

# 創新循環綠建築環境科技計畫 協同研究計畫

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



計畫編號:11015B0003

# 創新循環綠建築環境科技計畫 協同研究計畫

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

研究主持人：鄭元良

協同主持人：張榮偉

研究員：陳振誠、吳致穎、姚志廷、王家瑩

研究助理：蕭惟澤、李宜澄

## 內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



## 目次

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 目次.....                                                   | i   |
| 表次 .....                                                  | iii |
| 圖次 .....                                                  | v   |
| 摘要 .....                                                  | vii |
| 第一章 緒論 .....                                              | 1   |
| 第一節 研究緣起與背景.....                                          | 1   |
| 壹、研究緣起.....                                               | 1   |
| 貳、研究背景.....                                               | 5   |
| 第二節 研究計畫內容.....                                           | 6   |
| 第三節 研究流程與進度.....                                          | 8   |
| 壹、研究流程.....                                               | 8   |
| 貳、研究進度.....                                               | 9   |
| 第四節 預期研究成果及效益.....                                        | 11  |
| 第二章 文獻分析與研究方法.....                                        | 14  |
| 第一節 文獻分析.....                                             | 14  |
| 壹、疫情傳播途徑.....                                             | 14  |
| 貳、建築對應防疫及永續發展相關措施.....                                    | 17  |
| 第二節 研究方法.....                                             | 28  |
| 壹、研究採用方法.....                                             | 28  |
| 貳、重要儀器之配合使用情形.....                                        | 31  |
| 第三章 計畫研究成果.....                                           | 34  |
| 第一節 COVID-19疫情傳播途徑的環境因素.....                              | 34  |
| 第二節 在建築物環境中控制和減緩COVID-19傳播措施.....                         | 50  |
| 第三節 彙整國際因應疫情衝擊下所提「建築防疫措施」相關之指標、規範、標章.....                 | 63  |
| 第四節 防疫通風標準與建築規劃設計.....                                    | 107 |
| 第五節 綠建築評估系統之健康及防疫措施評估項目之建議(草案).....                       | 131 |
| 第六節 建築通風防疫.....                                           | 144 |
| 第七節 第一次專家訪談結論與建議.....                                     | 160 |
| 第八節 第二次專家訪談結論與建議.....                                     | 163 |
| 第九節 第一次專家諮詢會議結論與建議.....                                   | 167 |
| 第十節 第二次專家諮詢會議結論與建議.....                                   | 173 |
| 第十一節 第三次專家訪談結論與建議.....                                    | 178 |
| 第四章 結論與建議.....                                            | 184 |
| 第一節 結論.....                                               | 184 |
| 第二節 建議.....                                               | 188 |
| 附錄一期初審查意見與回應.....                                         | 191 |
| 附錄二期中審查意見與回應.....                                         | 195 |
| 附錄三期末審查意見與回應.....                                         | 203 |
| 附錄四 ASHRAE 標準方法及文獻.....                                   | 209 |
| 附錄五 歐洲供暖、通風和空調協會COVID-19指引.....                           | 227 |
| 附錄六 美國建築師協會 Re-occupancy Assessment Tool.....             | 245 |
| 附錄七 管道內加入UVGI系統設計之消毒性能比較.....                             | 269 |
| 附錄八 Airborne transmission of respiratory viruses文獻彙整..... | 277 |
| 參考書目 313                                                  |     |



## 表次

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 表2-1減少COVID-19在建築物以及其他建築環境方面傳播的可行性方法及措施.....       | 23  |
| 表3- 1 不同環境參數對COVID-19之影響情形.....                    | 43  |
| 表3- 2 空氣消毒淨化系統和技術.....                             | 54  |
| 表3- 3 文獻統計分析室內環境品質於綠建築及非綠建築之差異.....                | 66  |
| 表3- 4 文獻統計分析室內環境品質於綠建築及非綠建築之滿意度.....               | 66  |
| 表3- 5 ASHRAE標準52.2-2017-最小過濾效率報告值 (MERV).....      | 70  |
| 表3- 6 Arc 關注空氣品質條件及相關閾值草案.....                     | 97  |
| 表3- 7 各組織防疫策略比較.....                               | 103 |
| 表3- 8 美國冷凍空調學會之建築防疫通風相關規範.....                     | 107 |
| 表3- 9 美國冷凍空調學會標準62-1之建議呼吸帶通風量(列舉).....             | 109 |
| 表3- 10 美國冷凍空調學會標準62-2之低層住宅建議通風量.....               | 110 |
| 表3- 11 美國冷凍空調學會標準62-2之過濾裝置移除效率.....                | 111 |
| 表3- 12 建築技術規則通風規定.....                             | 111 |
| 表3- 13 臺灣綠建築標章(EEWH)分類版本.....                      | 114 |
| 表3- 14 綠建築標章(EEWH)之室內環境指標(與建築防疫、通風相關).....         | 116 |
| 表3- 15 綠建築標章(EEWH)之日常節能指標(與建築防疫通風相關).....          | 117 |
| 表3- 16 綠建材標章與綠建築EEWH室內環境指標(與建築防疫材料相關).....         | 118 |
| 表3- 17 建築防疫因子與綠建築標章之關連項目分析(列舉).....                | 121 |
| 表3- 18 防疫問卷填答情形.....                               | 124 |
| 表3- 19 彙整健康及防疫措施可行性內容因子說明(列舉).....                 | 132 |
| 表3- 20 綠建築指標防疫編EEWH-AE( Anti-Epidemic)增修訂條文擬議..... | 135 |
| 表3- 21 新風裝置簡介.....                                 | 145 |
| 表3- 22 智慧感測監控與連動裝置簡介.....                          | 146 |
| 表3- 23 新風裝置與檢測流程.....                              | 147 |
| 表3- 24 第一次專家訪談.....                                | 160 |
| 表3- 25 第一次專家訪談內容.....                              | 161 |
| 表3- 26 第二次專家訪談.....                                | 163 |
| 表3- 27 第二次專家訪談內容.....                              | 164 |
| 表3- 28 第一次專家諮詢會議.....                              | 167 |
| 表3- 29 第一次專家諮詢會議內容.....                            | 168 |
| 表3- 30 第二次專家諮詢會議.....                              | 173 |
| 表3- 31 第二次專家諮詢會議內容.....                            | 174 |
| 表3- 32 第三次專家諮詢會議.....                              | 178 |
| 表3- 33 第三次專家諮詢會議內容.....                            | 179 |





## 圖次

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 圖1- 1 COVID-19 Response於美國LEED認證與WELL Building認證 .....             | 1   |
| 圖1- 2 COVID-19 Response於WGBC防疫建築規範 .....                           | 2   |
| 圖1- 3 COVID-19 Response 於WELL HSR防疫建築規範.....                       | 2   |
| 圖2- 1 急性感染患者產生的飛沫和小空氣中顆粒的傳輸理論 .....                                | 15  |
| 圖2- 2 SARS-CoV-2、SARS-CoV-1和其他流感病毒在建築物中的暴露機制 .....                 | 15  |
| 圖2- 3 住宅大樓空間新型冠狀病毒之傳播途徑示意圖 .....                                   | 16  |
| 圖2- 4 都市建築中減少COVID-19風險的措施.....                                    | 27  |
| 圖2- 5 Max-Min 預測值示意圖 .....                                         | 30  |
| 圖2- 6 REHVA對應COVID 19導入新風與過濾系統之智慧感測與連動機制.....                      | 31  |
| 圖2- 7 導入新風與過濾系統之智慧感測與連動系統於校園環境 .....                               | 32  |
| 圖3- 1影響室內空氣傳播的因素.....                                              | 36  |
| 圖3- 2 攜帶 SARS-CoV-2 的糞便氣膠於排水管傳播動線.....                             | 47  |
| 圖3- 3 無生命表面的存活時間和影響 SARS-CoV-2 傳播和存活的因素的化學成分.....                  | 49  |
| 圖3- 4 美國疾病控制與預防中心改編的傳統感染控制金字塔 .....                                | 50  |
| 圖3- 5 提高室內空氣品質的整體工程解決方案流程圖 .....                                   | 60  |
| 圖3- 6 台灣最佳化防疫型整體浴廁間示意圖 .....                                       | 62  |
| 圖3- 7 Arc Re-Entry為包含WELL健康安全評級和LEED v4.1 O+M的健康和綠色建築<br>評級系統..... | 93  |
| 圖3- 8 Arc Re-Entry數據輸入和調查的空氣品質種類 .....                             | 94  |
| 圖3- 9 Arc Re-Entry提供設施管理以及來自居住者IAQ 測量數據 .....                      | 96  |
| 圖3- 10 建築類別分類(9大類24組).....                                         | 120 |
| 圖3- 11以住宿類為例之傳染途徑影響項目示意圖 .....                                     | 120 |
| 圖3- 12 填答防疫問卷對象之基本資料 .....                                         | 123 |
| 圖3- 13 健身房3D 模型圖及實際室內活動空間.....                                     | 150 |
| 圖3- 14 本案健身房新風裝置啟動前後AQI變化情形 .....                                  | 151 |
| 圖3- 15 本案健身房新風裝置啟動前後CO <sub>2</sub> 變化情形.....                      | 151 |
| 圖3- 16 本案健身房新風裝置啟動前後甲醛變化情形 .....                                   | 152 |
| 圖3- 17 本案健身房新風裝置啟動前後TVOC變化情形 .....                                 | 152 |
| 圖3- 18 本案健身房新風裝置啟動前後真菌變化情形 .....                                   | 153 |
| 圖3- 19 本案健身房新風裝置啟動前後PM <sub>2.5</sub> 變化情形.....                    | 153 |
| 圖3- 20 本案健身房新風裝置啟動前後PM <sub>10</sub> 變化情形 .....                    | 154 |
| 圖3- 21 本案助理研究室新風裝置啟動前後AQI變化情形 .....                                | 155 |
| 圖3- 22 本案助理研究室新風裝置啟動前後CO <sub>2</sub> 變化情形.....                    | 155 |
| 圖3- 23 本案助理研究室新風裝置啟動前後甲醛變化情形 .....                                 | 156 |
| 圖3- 24 本案助理研究室新風裝置啟動前後TVOC變化情形 .....                               | 156 |
| 圖3- 25 本案助理研究室新風裝置啟動前後Fungi變化情形 .....                              | 157 |
| 圖3- 26 本案助理研究室新風裝置啟動前後PM <sub>2.5</sub> 變化情形.....                  | 157 |
| 圖3- 27 本案助理研究室新風裝置啟動前後PM <sub>10</sub> 變化情形 .....                  | 158 |
| 圖3- 28 辦公室實際室內活動空間 .....                                           | 158 |
| 圖3- 29 本案辦公室新風裝置啟動前後、上下班AQI變化情形 .....                              | 159 |
| 圖3- 30 本案辦公室新風裝置啟動前後、上下班AQI變化情形.....                               | 159 |



## 摘要

關鍵詞：建築防疫、公共衛生、綠建築標章、紫外光殺菌照射殺菌法、高效率空氣微粒子過濾網

### 一、研究緣起

2003年SARS(severe acute respiratory syndrome, SARS)與2019年嚴重特殊傳染性肺炎(Coronavirus disease 2019, COVID-19)讓全球受到顯著的衝擊影響，從全球國際政策與策略顯示，國際趨勢已將建築與社區作為因應疫情衝擊與後疫情環境改變之政策與措施目標。我國在「建築防疫」部分，無論在觀念、法令、規範以及實質作為，相對而言仍相當欠缺與薄弱。面對COVID-19疫情的肆虐、衝擊以及可能的再度反撲，該如何因應及研擬對策是一項刻不容緩的課題，更值得我們深思。本研究「建築環境健康與防疫措施之可行性研究」以「公共衛生」防疫觀點檢視目前國內在建築物設計相關制度及規範中是否足夠，是否有需要因COVID-19防疫經驗而檢討修法之空間？本研究之目的在於國際對COVID-19疫情衝擊下建築政策與因應策略，藉由彙整國際最新「健康建築指標、規範與標章」及「防疫建築」等資料，期能符合國際健康建築要求，因應市場脈動。爰此，本研究透過國際因應健康與防疫的建築政策與策略進行研究分析，提出建築物因應健康與防疫措施之對策項目。

### 二、研究方法及過程

本研究藉由蒐集COVID-19傳染途徑及國際上相關政府機關及產業界為疫情期間空調和通風系統的管理提供的建議和參考，例如：建築物空調和通風系統操作和維護指南，擬出我國可借鏡之防疫措施，過程中亦同步檢視健康建築標準及智慧建築認證系統，及國內外相關健康建築認證指標等，將眾多相關認證指標中關於防疫措施之相關內容歸納整併，藉由「文獻分析法」、「訪談法」、「專家問卷法」等方式，調合建築標章制度(例如：綠建築標章、智慧建築標章、綠建材標章..等)，期能符合國際健康建築要求，因應市場脈動。最後擬定與國際脈絡接軌之可行性內容，隨著綠建築與綠建材標章技術之成熟，加上對居住健康的品質要求，為達到改善環境與提升使用者健康與福祉之目的，使制度與標章更有依據與方向，欲建立可導入綠建築標章與綠建材標章之操作評估模式或評估後需升級為EEWH防疫版，經由相關研究方法之價值相互搭

配共同使用，取得專家共識及獲得不同的建議做為決策方向之考量，並擬訂項目之基礎與後續理論發展之架構，提供政府政策工具擬定之參考。

### 三、重要發現

本研究彙整SARS-CoV-2傳播途徑後發現，空氣途徑和通風系統的不良使用是不可忽視的因素。全球各種與HVAC有關的組織都發佈了因應冠狀病毒（COVID-19）的準則。但到目前為止，對SARS-CoV-2的傳播途徑和特徵的認識還不完整，這些準則也在不斷更新。回顧和比較不同準則的因應對策，對國內綠建築標章及準則日後的更新有很大的幫助，並有助於迅速因應疫情，展開與SARS-CoV-2有關的進一步研究。各國具體防疫措施包括：(1)HVAC系統的運作：各國都強調提高室外空氣比例和通風的重要性。建議通風系統應在室內空間使用前先運作，且應持續長時間地運作。此外，CO<sub>2</sub>濃度應建議控制在800 ppm，或減少以CO<sub>2</sub>濃度操作通風設定點。疫情期間不使用中央再(內)循環，以避免單純室內空氣回流而引起病毒的傳播，而當疑似患者在室內時，應停止所有對流設備，包括空氣送風機。(2)參考WHO或ASHARE指引制定不同場域最低要求通風量。(3)空氣清淨機的運作：建議將空調系統中的濾網級別提高至HEPA(醫療)或MERV-14濾網可以有效地控制病毒的傳播。(4)評估在機械通風路徑或上層應用中安裝紫外線殺菌輻射(UVGI)，以經由對流空氣運動間接處理空氣。(5)區域間壓力差：為確保氣流從潔淨區域流向低潔淨區，排氣系統應保持運作，外窗應關閉，以確保廁所中是維持負壓，廚房應該保持輕微的正壓。(6)定期檢查、維護、清潔和操作HVAC系統(如：HEPA過濾器、分離式空調和風機盤管裝置)。(7)衛浴間：將浴廁間所有橫支管，都配置在該層樓板上床板下之空間內（即同層排水）。此外，存水彎要定期加水，以免地板和其他衛生設備的水封變乾。最後，在馬桶沖水時蓋上馬桶蓋。(8)設計智慧門鎖，利用物聯網技術（RFIDs/keyfob 感應扣）類型非接觸式技術減少人員接觸機會，如免接觸門鎖/免觸摸旋轉門。

#### 四、主要建議事項

本研究經由比照國內外文獻彙整情形及專家面談及座談會意見後提供以下建議包括：

1. 本研究已擬定綠建築指標防疫編EEWH-AE (Anti-Epidemic)條文，針對新建公共空間或集合住宅可行性措施，除新風量需後續進行不同場所實場驗證，其餘設施皆具可行性，然實施時機為中央流行疫情指揮中心宣布疫情警戒標準為2級以上時，以減少平時防疫措施擱置或新風量提高時造成的能耗。
2. 防疫建築策略優先可以「通則」為主要探討的方向，再考量不同的場所類別來做延伸，且可以聚焦在易群聚且高風險的場所。
3. 防疫措施眾多，可優先以新風換氣進行探討，惟目前國內相關法規並未制訂新風量標準，後續建議針對不同場所疫情期間實施新風之可行性，包括其副作用及相關配套措施，如：它會改變正負壓及污染物流動方向、進排氣口位置選擇、噪音震動等進行深入研究，並搭配智能操作概念，已達節能及降低空調能耗之需求。
4. 針對疫情來時不同場域新風量制定不同分級標準，例如特殊場所，如：醫院、防疫旅館應該能完全符合1-3級之需求，但公共場所如健身房、圖書館須滿足2級需求、家戶至少滿足1級等。
5. 後疫情時代，對既有建築該怎麼做，短期可設計檢核表讓民眾或管理者了解自己家中是否適合隔離，或者需要去防疫旅館，長期方面再提升健康或防疫功能促進的相關建築設計著手，可有實質的助益。
6. 應考量未來不同病毒(如變種病毒Omicron)的傳播機制及因應防疫措來滾動式探討，不應只針對現有COVID-19疫情來做，以落實防疫健康綠建築。
7. 後續建議進行具代表性建築防疫問卷調查，包括管理者與使用者之防疫識能差異、如何增進不同對象之識能。及藉由專業設計者尋求相關防疫諮詢。

本案另外提出兩立即可行建議供作參考：

建議一、綠建築指標防疫編EEWH-AE(Anti-Epidemic)增修訂條文之修正與使用：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

持續邀集內政部建築研究所、評定專業機構、評定小組成員、產業代表等討論研議目

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

前修訂條文是否需進一步評估可行性，並以不同類別建築作為探討，以確保增加之防疫篇評估指標能維持標章原有性能與效益，並可搭配綠建築標章追蹤查核作業，共同建立完整綠建築標章防疫篇簡化評定機制，確保原綠建築標章品質。

建議二、積極擴大宣傳綠建築指標防疫編相關內容：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

針對本案研擬出之防疫措施或指標，後續以製作教材或舉辦說明會方式廣邀相關業者，使其獲得相關資訊，提升業者建築防疫識能，並由評定專業機構或第三方積極協助相關防疫指標申請或認定作業讓防疫指標申請者認同其使用效益。

# ABSTRACT

**Keywords: Covid 19, Public Health, Green Building Certification, ultraviolet germicidal radiation, High-Efficiency Particulate Air**

## **I. The Origin of Research**

The severe acute respiratory syndrome (SARS) outbreak in 2003 and the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic in 2019 dramatically affected public health, food systems, and the world of work. In various international policies and strategy proposals, architecture and community design have served as targets of the measures implemented in response to the effects of the pandemic and changes in the postpandemic environment. However, a coherent and clearly articulated strategy for implementing architectural approaches to pandemic prevention, in terms of concepts, laws, regulations, and substantive actions, has yet to be developed. In the face of the devastating effects and possible resurgence of the COVID-19 pandemic, determining how to respond and develop countermeasures to outbreaks is an urgent concern that deserves thorough consideration. In this paper, we examine whether the current domestic systems and regulations related to building design are adequate from the perspective of public health and whether review and revision of the law is necessary in response to experience with COVID-19 prevention measures.

The objective of this study was to review international architecture policies and response strategies to the COVID-19 pandemic. We compiled the latest international building health indicators, specifications, and certifications as well as information on architectural approaches to pandemic prevention, and we conducted research on and analysis of international building policies and strategies for public health and COVID-19 prevention. In this paper, we also propose additional measures for implementation.

## **II. Research Methods**

In this study, we compiled suggestions provided and measures implemented by relevant international government agencies and industries for the management of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems during the COVID-19 pandemic, including operation and maintenance guidelines for such systems. In the review process, we also collected building health indicators, smart building certification criteria, and related healthy building certification standards developed in Taiwan and abroad as parts of COVID-19 prevention and control strategies. We employed document analysis, administered a questionnaire survey to a sample of experts, and conducted interviews and discussion forums with an expert advisory committee.

Finally, we compared and coordinated our findings and suggestions with Taiwan building standard systems (e.g., green building, smart building, and green building material certification standards) and international standards, including international healthy building certification criteria.

To improve the environment and promote the health and well-being of users, an operational evaluation model that can integrate green building and green building material certification standards must be established. Furthermore, Taiwan's EEWH green building certification system must be updated to incorporate antipandemic measures. By accounting for different guidelines, suggestions, and pandemic prevention measures being implemented by governments and agencies worldwide, we formulated the basis of the present study and developed a framework for subsequent theoretical developments that may serve as a reference for the formulation of government policy.

### **III. Research results**

We initially investigated the transmission routes of SARS-CoV-2 and determined that insufficient and improper use of airflow routes and ventilation systems are influential factors that must be addressed. To date, the understanding of the transmission routes and characteristics of SARS-CoV-2 remains incomplete, and pandemic prevention guidelines are being continually updated. Reviewing and comparing the countermeasures employed in different standards may inform future updates of these standards and encourage rapid responses to pandemic outbreaks, the implementation of reasonable and appropriate countermeasures, and further research related to SARS-CoV-2. The specific COVID-19 prevention measures implemented in various countries include the following: (1) Operate HVAC systems effectively: Numerous countries' guidelines emphasize the importance of increasing ventilation and the proportion of outdoor air. For example, the ventilation system should be activated for some time before the indoor space is used, and the CO<sub>2</sub> concentration should be limited to  $\leq 800$  ppm or the operating settings of the HVAC system should be changed to obtain a lower CO<sub>2</sub> concentration. Moreover, central circulation should be avoided to prevent the spread of the virus caused by the pure return of indoor air, and when a suspected patient is indoors, all convection equipment, including air blowers, should be stopped. (2) Refer to the World Health Organization (WHO) or American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) guidelines to establish minimum ventilation requirements for different areas. (3) Upgrade filters in air conditioning systems to high-efficiency particulate air or



MERV-14 filters, which can effectively



control the spread of the virus.(4) Evaluate the installation of ultraviolet germicidal radiation (UVGI) in mechanical ventilation paths or upper applications to indirectly treat air through convective air movement.(5) Induce a pressure difference between different areas and ensure that air flows from clean areas to unclean areas. The exhaust system should operate continuously, the external windows should be closed to ensure that negative pressure is maintained in restrooms and slightly positive pressure is maintained in the kitchen.(6) Regularly inspect, maintain, clean, and operate the HVAC system (such as the HEPA filter and different air conditioner and fan coil units).(7) Employ effective bathroom design: all floor drains should be located in the same bathroom. The storage bay should be filled with water regularly to prevent the water seal of the floor and other sanitary equipment from drying out. The lid should be closed when flushing the toilet.(8) Design smart door locks and use Internet of Things technology (e.g., radio-frequency identification and keyfob induction buckles) and contactless technology (e.g., contactless door locks and automatic revolving doors) to reduce personal contact points.

In this study, we collected key COVID-19 prevention standards and guidelines. Several sources indicated that increasing the volume of fresh outdoor air can help reduce the indoor spread of COVID-19. On the basis of this information, we conducted a field experiment involving the introduction of fresh air ventilation systems with high-efficiency filtration into public buildings (e.g., offices, gymnasiums, and research laboratories) and other public spaces and analyzed the resultant changes in ventilation and air quality index (AQI).

#### **IV. Conclusion**

The following suggestions were developed in this study on the basis of a comparison of Taiwanese and international literature, expert interviews, and forum opinions: (1) Research on COVID-19-prevention building strategies should prioritize general rules and strategies and thereafter investigate the application of such strategies in different places. Future studies may account for distinct building types and prioritize places where groups of people tend to congregate and that individuals classified as high-risk might need to visit. (2) Among the COVID-19 prevention measures examined herein, the evaluation of ventilation and the implementation of air conditioning sterilization methods (e.g., UVGI) should be prioritized. (3) The COVID-19 prevention framework can be divided into three dimensions, namely the body shell (green building standards), the space body (lighting, heat, and water), and the human body (medical health). (4) Future research should account for potential pandemic outbreaks

caused by different viruses. COVID-19 should not be the sole target of the implementation of pandemic prevention measures and the construction of healthy and green buildings. (5) Distinct research directions should be adopted for the implementation of pandemic prevention measures in old and new buildings. Green building, smart building, green building material, and other certifications must be prioritized in future research. (6) After COVID-19 prevention measures are incorporated into building regulations and a building design process for the incorporation of such measures is further developed, the implementation of these measures in the construction industry must be promoted, and public opinion must be evaluated and considered. (7) The results of this study and future related projects can serve as references for construction managers and architects when implementing architecture-focused COVID-19 prevention measures and performing maintenance at different locations (e.g., general residences and medical sites).

# 第一章 緒 論

## 第一節 研究緣起與背景

### 壹、研究緣起

2003年SARS(severe acute respiratory syndrome, SARS)與2019年嚴重特殊傳染性肺炎(Coronavirus disease 2019, COVID-19)讓全球受到顯著的衝擊影響，因此，「防疫」成為全球重要的需求議題。為因應疫情帶來的生活模式改變，聯合國(UN)、歐盟(EU)、世界衛生組織(WHO)、世界企業永續發展協會(WBCSD)及世界綠建築協會(WGBC)等國際重要組織皆相繼針對「健康防疫」提出緊急因應政策與策略，例如：聯合國(UN)在聯合國環境規劃署(UNEP)的分責下，具體訂定「都市與建築環境防疫九大策略」；歐盟(EU)提出8大對應防疫策略；世界綠建築協會(WGBC)及美國綠建築協會(USGBC)則針對LEED認證及WELL認證，提出建築環境防疫之緊急應變機制，包括「防疫認證項目」(新建)、「WELL健康建築物業設施運營管理-健康安全評價準則」(WELL-HSR)認證系統(舊建)等；世界企業永續發展協會(WBCSD)亦以建築空間環境為基本防疫單元，訂定出「經濟與健康最小風險之工作場域準則」(Minimizing Risk in the Workplace)，亦即，並可擴及至社區環境。



圖1- 1 COVID-19 Response於美國LEED認證與WELL Building認證

(資料來源：IWBI，2020)

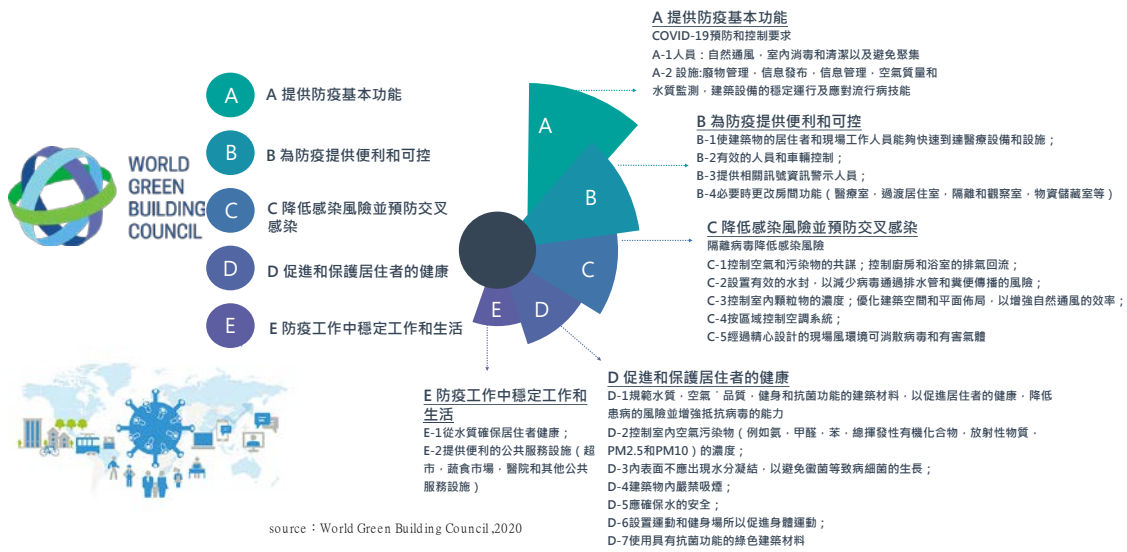


圖1- 2 COVID-19 Response於WGBC防疫建築規範

(資料來源：WGBC，2020)

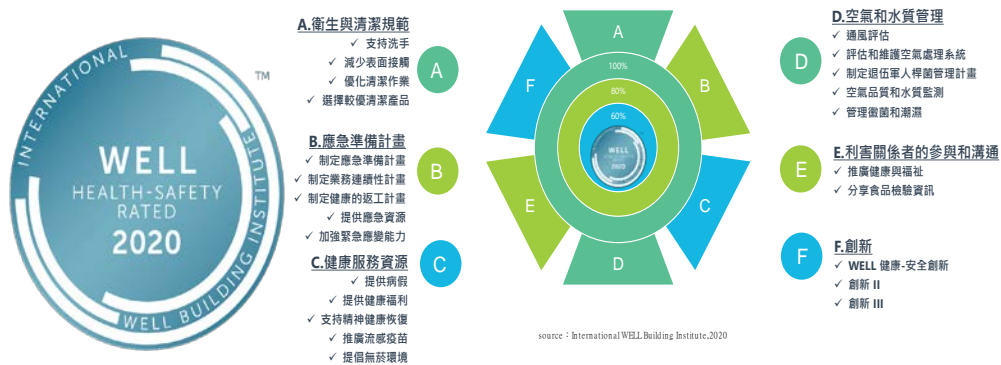


圖1- 3 COVID-19 Response 於WELL HSR防疫建築規範

(資料來源：IWBI，2020)

建築環境健康(或健康建築)是綠色建築深層次發展的需求。其賦予了建築更多“以人為本”的屬性，是以建築技術、設備、建築管理與物業服務為手段，通過多種形式所呈現的。如控制室內污染物濃度、優化室內熱濕環境、配置健身設施與器材、進行適老適幼設計、創建優美綠化環境、發佈室內環境監測資料、提供醫療服務和緊急救援的便利條件、提升物業服務能力等等，既能夠保障建築使用者短期的應急需求，也能為建築使用者提供長期的健康促進保障，最終實現促進建築使用者身心健康的目的。一般公認之健康建築於2000年於芬蘭赫爾辛基舉行之Healthy Buildings 2000國際共同會議中被定義為「一種體驗建築室內環境的方式，不僅包含物理量測量值，例如溫濕度、通風換氣效率、噪音、光、空氣品質等，尚須包含主觀性心理因子，如佈局、環

景色、照明、空間、使用材料等；另外加上如工作滿意度、人際關係等要項，且一棟健康建築必須包含以上所有」。

內政部建築研究所已發現室內空氣品質之問題，延伸發展出綠建材標章，2004 年至 2014年間發展健康議題為主要世界趨勢，其中關鍵為世界衛生組織(WHO)於2001年進行跨國性「住宅與健康計畫」(Housing and health Programme)，將影響健康住宅的抽象及具象因素歸納為四大類：物理性因素（光環境、熱環境、空氣環境、輻射環境等）、社會性、生理及化學等因數，且藉由多國共同合作提出健康住宅之 15 項建議事項，包含：(1)良好的通風換氣(2)減少使用化學材料進行室內裝潢(3)廚房、吸菸室設置局部排氣設備(4)降低室內化學物質濃度(5)室內溫度控制於 17°C~27°C之間(6)室內濕度控制於 40%~70%之間(7)二氧化碳濃度控制低於1000 ppm(8)懸浮微粒濃度控制低於 0.15 mg/m<sup>3</sup>(9)室內雜訊噪音控制小於50分貝(10)住宅竣工後間隔一段時間再進住(11)足夠照度的室內照明設備(12)日照時間須大於三小時以上(13)具防制自然災害的強度(14)足夠活動面積及私密性空間之確保(15)便利老人及身心障礙者之無障礙住宅環境，15 項建議事項已含括物質定量與非物質心靈指標，為健康建築埋下伏筆。2014 年聯合國永續發展目標 (SDGs)，包含 17 項目標 (Goals) 與 169 項細項目標 (Targets)；以及美國由綠建築標章 LEED，延伸發展為 WELL 健康建築標章 (v1)，包含 7 項評估指標 (Standard) 與 105 項評估項目 (Features)，兩者均含物質定量與非物質心靈指標，且 WELL 於 2018 年提出 WELL v2 版本，並於 2019 年已完成聯合國永續發展目標 (SDGs) 與 WELL 健康建築標章兩者之對標。隨著人類居住型態的演進與需求，針對新的建築物，「綠建築」、「智慧建築」、「健康建築」、「幸福建築」等的推動，可謂日新月異。COVID-19疫情後，民眾更迫切希望追求是「防疫建築」或「建築防疫」。「防疫建築」指的是在建築物規劃設計之初，一開始就導入新科技規劃，在「通氣」、「排水」等設計上，做到戶戶「隔絕」的效果，來阻斷或消除細菌病毒傳播的可能，改善環境與空氣品質，甚至規劃必要的隔離通道與空間。此部分相關空調系統、空氣品質、衛浴設備、排水/排氣管路是否需增加《建築技術規則》對「衛生設備設計」的評估項目，值得思考。而「建築防疫」則偏向於建築物落成後的全生命周期的管理維護，更與台灣息息相關，由於台灣屋齡逾30年老屋目前已破430萬戶大關，鼠患防治、除蟲消毒、壁癌防治、環境清潔、給水過濾與水池清洗、室內空氣品質監測與改善等，皆屬於傳統建築防疫手段，此部分是否需增加建築物的「公共衛生檢查制度」亦值得討論。換言之，針對防疫工作，「個人防護」與「空間防護」，必須雙管齊下

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

、缺一不可；也唯有同時具備「個人」與「空間」防疫，完整策略之建築的防疫措施，防疫才不會有破口。然令人擔憂的是，我國目前對於「防疫建築」的觀念，仍相當薄弱，並沒有受到各界的重視，更遑論相關法規的制定。換言之，由於沒有受到全民的關注與主管機關的重視，我國在「空間防護」部分，無論在觀念、法令、規範以及實質作為，相對而言仍相當欠缺與薄弱。面對COVID-19疫情的肆虐、衝擊以及可能的再度反撲，該如何因應及研擬對策是一項刻不容緩的課題，更值得我們深思。例如：2021年1月桃園某醫院爆發群聚感染，雖尚為造成大規模的社區感染，但目前台灣的建築物是否過分強調經濟/實用上的考量而人口密度過高影響防疫功能？因此本研究「建築環境健康與防疫措施之可行性研究」將以「公共衛生」防疫觀點檢視目前國內在建築物設計相關制度及規範中是否足夠，是否有須因COVID-19防疫經驗而檢討修法之空間？

從全球國際政策與策略顯示，國際趨勢已將建築與社區作為因應疫情衝擊與後疫情環境改變之政策與措施目標，爰此，本研究將透過國際因應健康與防疫的建築政策與策略進行研究分析，提出建築物因應健康與防疫措施之對策項目。



## 貳、研究背景

在2019年12月的下旬，中國湖北省武漢市發生了一群嚴重的肺炎病例(Wu et al., 2020; Zhu et al., 2020)。此病原體被鑑定為一種新型冠狀病毒，被稱為嚴重急性呼吸症候群冠狀病毒第二型(The severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2)(Shang et al., 2020; Zhou et al., 2020)。此疾病在國際間快速地傳播，引起全球公共衛生的關注，隨後被世界衛生組織命名為新冠肺炎(Coronavirus disease 19, COVID-19)(Chen et al., 2020; Xu et al., 2020)。感染COVID-19的患者最常見的臨床症狀為發燒、咳嗽、呼吸急促以及疲勞。一些患者在放射線攝影上肺部表現出毛玻璃狀的改變，最終死於急性呼吸窘迫症候群(acute respiratory distress syndrome, ARDS)(Huang et al., 2020; Wang et al., 2020)。世界衛生組織(WHO)於2020年3月11日宣布COVID-19為全球大流行(WHO, 2020a)。

新型冠狀病毒在個體間傳播包含許多因素，其中包括了建築環境以及人類的行為(Guo et al., 2020; Liu et al., 2020; Ong et al., 2020; West et al., 2020; Wu et al., 2020; Ye et al., 2020)。和其他呼吸道病毒傳播途徑相似(Nicas et al., 2006; Nicas et al., 2009; Tellier et al., 2019)，COVID-19的可能接觸途徑(1)手指接觸到受病毒污染的表面後再接觸到臉部；(2)吸入從咳嗽或說話呼出的病毒空氣微粒以及(3)咳嗽或說話呼出的病毒空氣粒子直接接觸到臉部。因此，建築中(例如公共場所、醫療場所、飯店、旅館、娛樂場所或人們靠近的住宅)的環境因素，包括溫度、濕度、於病媒上的穩定性、通風和過濾系統等皆可能對感染有顯著影響。充足的控制這些環境因素以及適當的人類行為在於防止COVID-19的傳播扮演重要的角色(Azuma et al., 2020)。因為大多數的人們有超過90%的日常時間都在建築內，所以了解新型冠狀病毒在建築環境中潛在的傳播機制、空間動態以及如何減少傳播極為重要。

## 第二節 研究計畫內容

本研究藉由蒐集COVID-19傳染途徑及國際上相關政府機關及產業界為疫情期間空調和通風系統的管理提供的建議和參考，例如：美國冷凍空調協會（即ASHRAE）、歐洲供暖、通風和空調協會（REHVA）以及日本空氣調和衛生工程師學會（即SHASE）等相關機構針對COVID-19發佈的建築物空調和通風系統操作和維護指南，擬出我國可借鏡之防疫措施，過程中亦同步檢視健康建築標準及智慧建築認證系統，包括美國WELL健康建築標準、美國fitwel認證與中國健康建築評價標準，及國內外相關健康建築認證指標等，將眾多相關認證指標中關於防疫措施之相關內容歸納整併，最後擬定與國際脈絡接軌之探討可行性內容，隨著綠建築與綠建材標章技術之成熟，加上對居住健康的品質要求，為達到改善環境與提升使用者健康與福祉之目的，使制度與標章更有依據與方向，欲建立可導入綠建築標章與綠建材標章之操作評估模式或評估後需升級為EEWH防疫版，經由相關研究方法之價值相互搭配共同使用，取得專家共識及獲得不同的建議做為決策方向之考量，並擬訂項目之基礎與後續理論發展之架構，提供政府政策工具擬定之參考。

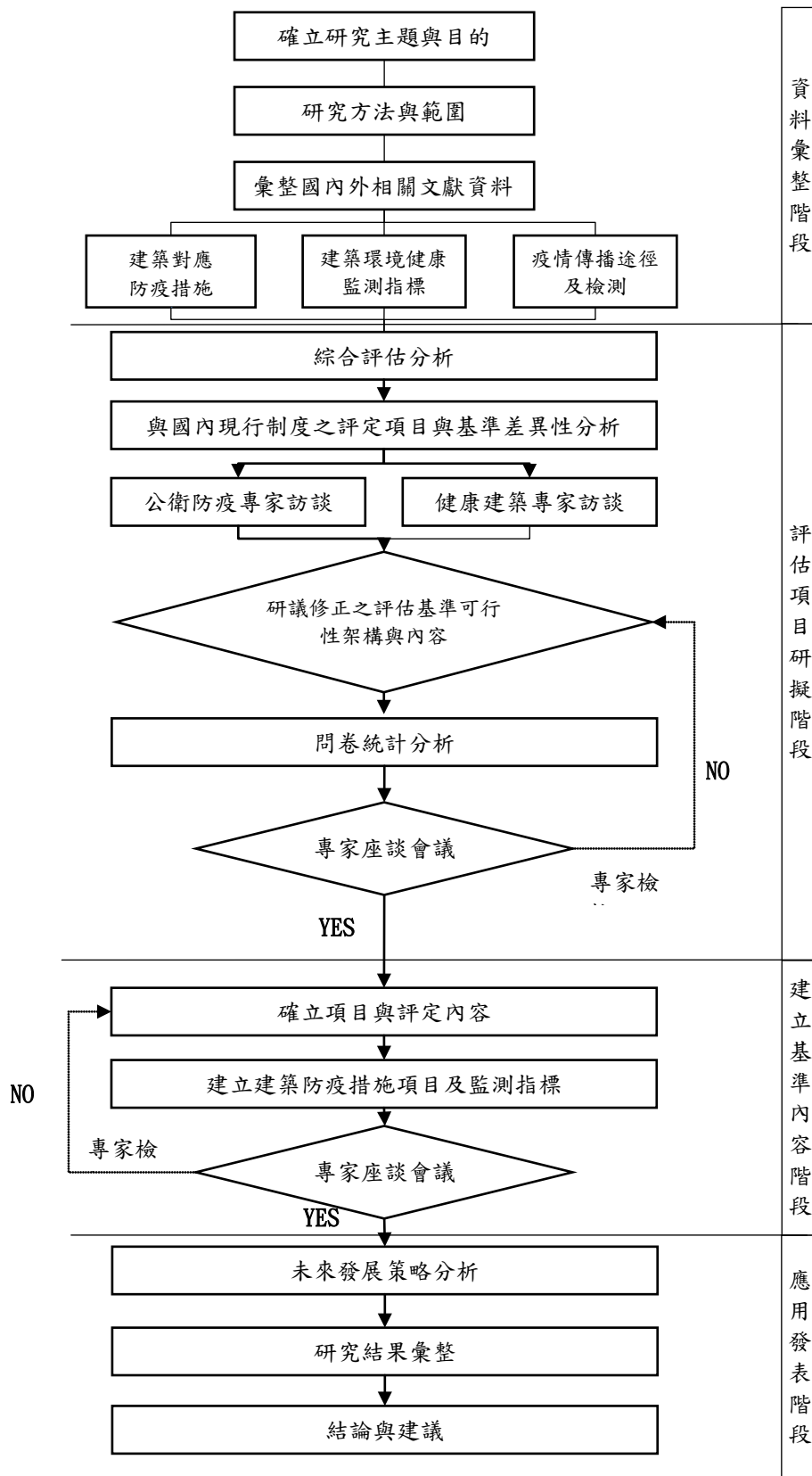
本研究計畫內容如下：

本研究之目的在於國際對COVID-19疫情衝擊下建築政策與因應策略，藉由彙整國際最新「健康建築指標、規範與標章」及「防疫建築」等資料，經由「文獻分析法」、「訪談法」、「模糊德爾菲問卷法」等方式，調合建築標章制度(例如，綠建築標章、智慧建築標章、綠建材標章、住宅性能評估制度、建築技術規則..等)，期能符合國際健康建築要求，因應市場脈動。目的主要分為五大項：

- (一)彙整國際最新「健康建築指標、規範、標章」，例如：2018年IWBI美國健康建築WELL v2、WELL HSR、2016年美國另一健康建築結合循環經濟之UL fitwel及2017年中國健康建築評價標準等趨勢資料，提供政府政策工具擬定之參考。
- (二)分析上列標章或標準，及為疫情衝擊而提出與「建築防疫措施」相關的部份進行研究，並評估上述健康及防疫措施導入與現行綠建築評估系統之可行性。
- (三)研究過程以使用「文獻分析法」、「訪談法」、「模糊德爾菲問卷法」等方式進行，以獲得後續可調合與應用性之項目。
- (四)召開產、官、學、研「專家座談會」，研議符合台灣氣候環境、國際「防疫建築」措施之導入現有推動制度之可行性內容。
- (五)探討後續調合綠建築標章、綠建材標章制度推動之政策效益與研究建議。

### 第三節 研究流程與進度

#### 壹、研究流程



貳、研究進度

| 月<br>工作項目 | 第<br>1<br>個<br>月 | 第<br>2<br>個<br>月 | 第<br>3<br>個<br>月 | 第<br>4<br>個<br>月 | 第<br>5<br>個<br>月 | 第<br>6<br>個<br>月 | 第<br>7<br>個<br>月 | 第<br>8<br>個<br>月 | 第<br>9<br>個<br>月 | 第<br>10<br>個<br>月 | 備註 |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|----|
| 彙整相關文獻    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |    |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

|                           |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|------------|-----|------|--|
| 綜合評估分析                    |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 國內現行制度<br>評定項目分析          |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 研議修正之評估<br>基準可行性架構<br>與內容 |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 問卷統計分析                    |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 建立建築防疫措施<br>項目及監測指<br>標   |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 實場測試評估                    |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 期中報告書製作                   |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 期末報告書製作                   |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 專家訪談                      |     |     | ◎   |           |     | ◎   |     |            |     |      |  |
| 專家座談會                     |     |     |     | ◎         |     | ◎   | ◎   |            |     |      |  |
| 整理與修正報告<br>書              |     |     |     |           |     |     |     |            |     |      |  |
| 期中期末報告                    |     |     |     | ◎<br>6/30 |     |     |     | ◎<br>10/15 |     |      |  |
| 預定進度<br>(累積數)             | 10% | 15% | 25% | 35%       | 50% | 65% | 80% | 90%        | 95% | 100% |  |

## 第四節 預期研究成果及效益

本研究之將預期成果分為三大項簡述，內容包含預期貢獻、預期效益及推廣應用計畫，以提供未來後續做為健康建築評估架構之參考依據與研究方向。

**本研究計畫預期成果如下：**

1. 完成國內外健康建築相關制度資料，及「建築防疫措施」文獻蒐集與分析，提出適用於我國之健康及防疫措施與項目內容。
2. 完成建築規劃設計階段導入「健康及防疫措施」之可行性分析。
3. 完成綠建築評估系統之健康及防疫措施評估項目之建議草案。

**本研究計畫預期貢獻：**

1. 短期貢獻：彙整國際上針對之COVID-19防疫措施的建議和參考文件，同步檢視健康建築標準及智慧建築認證系統相關指標中與防疫有關聯者。
2. 中期貢獻：依上述防疫措施擬定評定項目以提供台灣綠建築標章與綠建材標章增修相關之評定項目。
3. 長期貢獻：提升台灣綠建築標章及綠建材標章之健康建築產業發展。





## 第二章 文獻分析與研究方法

### 第一節 文獻分析

#### 壹、疫情傳播途徑

新型冠狀病毒主要藉由親密接觸、飛沫傳染、傳染媒介以及受污染的表面在人與人之間傳播(Cheng et al., 2020; Lai et al., 2020)。根據世界衛生組織的最新報告，發現其兩個主要傳播途徑為吸入和接觸空氣中含有病毒的飛沫(WHO, 2020a)。WHO根據在一公尺距離內可以遠離飛沫傳染的假設，制定一公尺的社交距離政策(WHO, 2020b)。然而，也有學者提出病毒可能藉由小於5  $\mu\text{m}$ 的空氣粒子在空氣中傳播(Morawska et al., 2020)。到目前為止，還沒有科學證據支持SARS-CoV-2的糞便-口腔途徑傳播，但一些證據表示，SARS-CoV-2病毒可能導致腸道感染，並可能存在於患者的糞便中。在特定情況下，這會觸發空氣傳播，例如 SARS（例如淘大花園 (Lee, 2003)）。ASHRAE 解釋了吸入傳播途徑（例如，見圖2-1）：當易感個體接近感染者（約 1~2 米）時，發現疾病的傳播率較高。這種緊密接觸易造成飛沫暴露，而顆粒越乾燥，容易使更小的飛沫揮發，且時間只需 2 secs，而冠狀病毒顆粒的大小範圍一般從 80 到 160 奈米 (Monto, 1974)。一般來說，病毒可以在空氣中存活 3 小時，在室內表面存活 2~3 天，除非定期消毒(van Doremalen et al., 2020)。研究表示，COVID-19 在空氣中被檢測到，故在確定 SARS-CoV-2 能否經由空氣傳播之前，應謹慎操作 HVAC 系統(暖通空調 (Heating, Ventilation and Air Conditioning)(WHO, 2020b)。<1  $\mu\text{m}$  飛沫經由通風管道傳輸的可能性很高，因為這些直徑較小的飛沫可以長時間懸浮。在美國，大多數空調系統都是中央空調及全空氣系統，一個房間的感染更有可能感染整個樓層，甚至整棟建築。

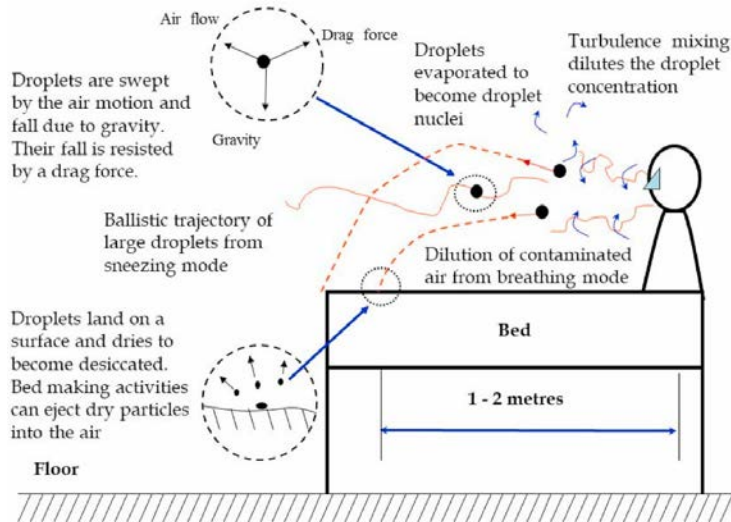


圖2- 1急性感染患者產生的飛沫和小空氣中顆粒的傳輸理論  
(資料來源：ASHRAE, 2020a)

根據 REHVA 建立的建築物中 SARS-CoV-2 的主要傳播途徑，如圖2- 2所示。深藍色箭頭代表世衛組織認可的傳播，REHVA和世衛組織越來越重視糞便-口腔傳播，因為在糞便樣本中檢測到了SARS-CoV-2病毒(Zhang et al., 2020; Guan et al., 2020)。淺藍色顯示經由吸入空氣飛沫進行傳播，這被稱為來自SARS-CoV-1和其他流感病毒的路線。目前對SARS-CoV-2吸入傳播的理解是，當滿足某些條件（即室內環境擁擠、暴露時間更長、新鮮空氣通風最少、稀釋空氣中飛沫的濃度）時，這種傳播的可能性更大。

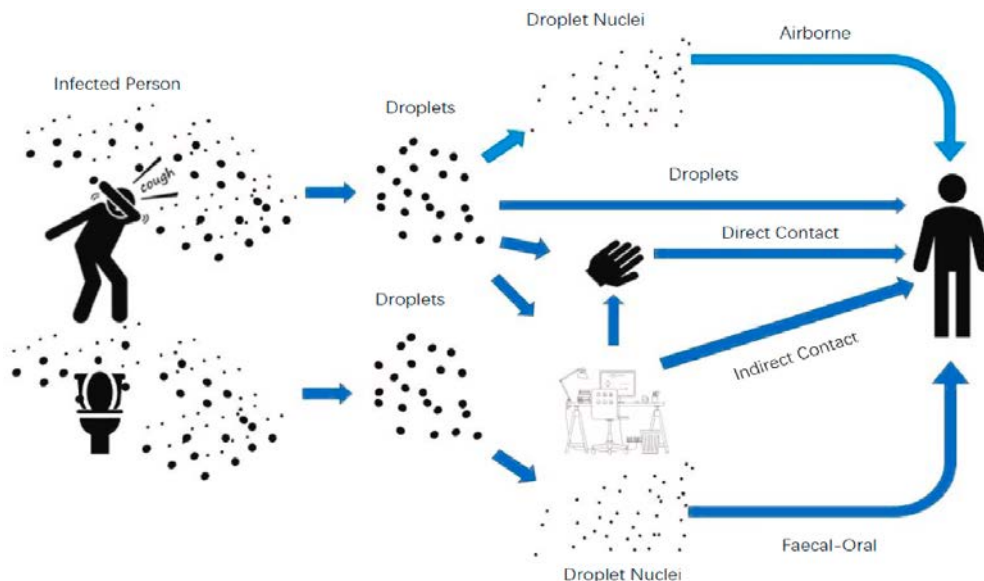


圖2- 2SARS-CoV-2、SARS-CoV-1和其他流感病毒在建築物中的暴露機制  
(資料來源：REHVA, 2020)

新型冠狀病毒患者的排泄糞便中，含有大量的病毒，尤其是在有腹瀉症狀者最為明顯，因此當住宅大樓社區住戶有人感染COVID-19時，浴廁間之污排水管路系統及其垂直管道間在排氣系統有瑕疵時，就易成為COVID-19病毒在室內傳播的途徑。最主要的瑕疵是污水（糞）管未完全密封，與周圍空氣相通，讓病毒由污水管滲露出來，再經由管道間與夾層移到上下樓層之浴廁間，並黏附在盥洗用具上，再經由口、手接觸而進入人體。此外，污排水立管與雜排水立管未分開設置情形時，連接到污水立管的雜排水管系統，由於管路上之存水彎水封乾涸而消失，成為破封現象造成存水彎阻擋病毒進入浴廁空間之功能喪失，當浴廁間排氣風機運轉時，浴廁間形成負壓狀態，就容易讓污水立管內含病毒之水氣被吸入室內，進而附著在盥洗用具上，進而造成人體而感染，見圖2-3所示。

COVID-19病毒患者之浴廁間，或被病毒滲入而污染的衛浴間，由裝有對外排氣之排風機，將帶有病毒的空氣和水氣排到室外空氣中，如果排出的位置是個四周全封閉的天井，或是3/4 封閉的天井，這些帶病毒空氣和水氣就不易飄散而聚集。因此就會在受到自然風壓與煙囪效應的影響，而會往隔壁戶或上層戶的開窗口移動，進入其他住戶室內空間，然後讓病毒黏附在日常用品上或桌面上，再由手、口、鼻的接觸而讓人染疫。見圖2-3所示。

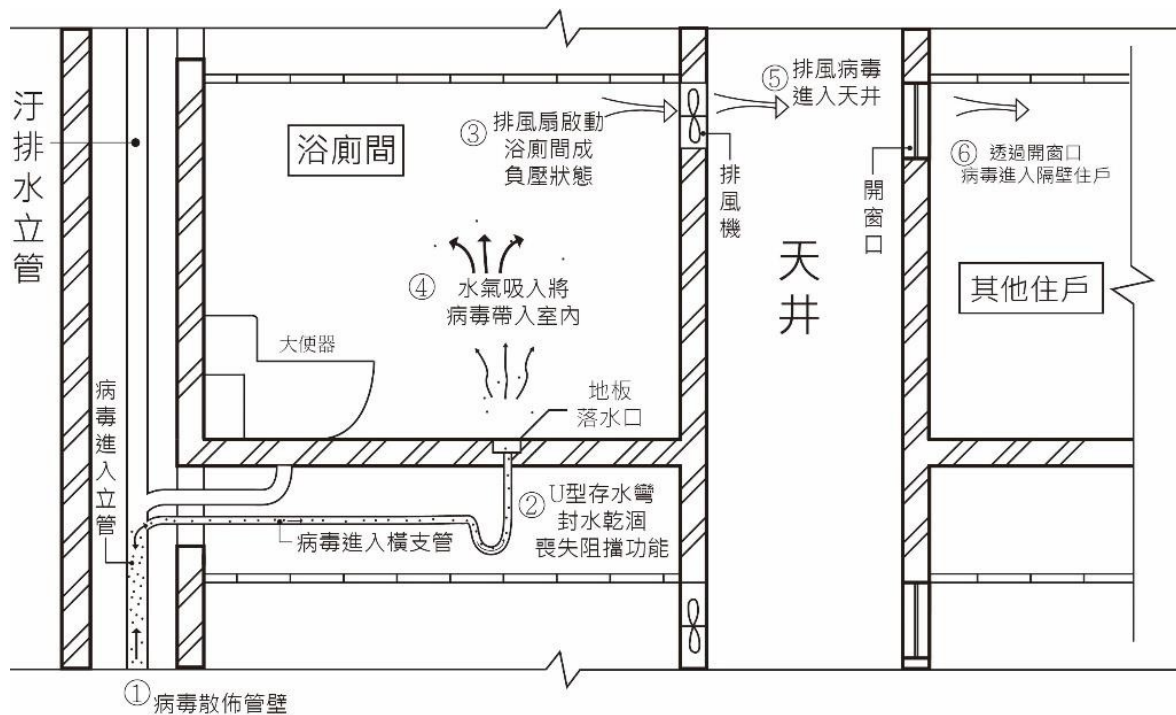


圖2- 3住宅大樓空間新型冠狀病毒之傳播途徑示意圖

(資料來源：陳海曙，2020)

## 貳、建築對應防疫及永續發展相關措施

隨著COVID-19大流行的發展，許多國家採取了各種臨時性緩解措施，例如，與社交距離，以及關閉各種公共場所、學校、飯店、工作和文化場所(Saez et al., 2020)。

對於建築物和城市地區，已經開始考慮和分析各種類型的措施（表2-1）。例如：在城市採取一級措施，經由加寬公共交通上的人行道，單向道和標誌來增加社交距離；在建築物中，可減少病毒的停留時間的材料，例如在建築和家具銅材質的選擇(van Doremalen et al., 2020)，並且很容易利用HVAC系統的潔淨、通風（Kurnitski et al., 2020; Tronville & Rivers, 2005）和相關條件控制，例如濕度(Moriyama et al., 2020)、廢棄物管理和廢水監測(Nghiem et al., 2020)、及一些簡約的室內設計選擇，包括拆除地毯（Becher et al., 2018）。

但是，並非所有潛在解決方案都容易應用，因此重要的是要從整體角度考慮該問題，並認識到每種解決方案還可以提供哪些其他好處，即以永續的方式，作為對（或不對）解決方案的貢獻。減少資源（能源、水、材料）的消耗，減少排放，增加生物多樣性和經濟價值。因此，關於這些潛在解決方案是否會在將來被採用以及它們是否將是長期解決方案的問題是一個複雜的答案，具體實行性取決於多個因素。

在城市地區，在永續發展的背景下，城市的「主動式移動」（active mobility）是一個不斷改善的過程。但是，在COVID-19大流行之後，有可能在一些城市實施一些結構性措施，以進一步改善和促進主動式移動。可以採取諸如加寬街道鋪面或單向人行道等措施，以確保適當的社交距離(WHO, 2020)。但它們還可以激勵人們採取更積極的出遊方式（步行，騎自行車等），從而減少使用公共交通工具的人數。這在疫情期間有助於減少傳染性傳染病在人體內傳播的可能性，也有助於減少公共交通工具或私人汽車的使用以及與之相關的GHG（溫室氣體）排放。

就公共設備而言，可能會促進社區衛生保健，如策略性地於公共場所分發消毒劑的小容器(WHO, 2020)，甚至為常見接觸表面（如滾輪扶手）提供消毒系統。這將是一種可以在某種程度上有助於公眾健康和衛生的解決方案，從而減少病毒感染的可能性。但是，卻沒有提供永續性相關的貢獻，因此這意味著造成消毒劑的大量消耗和設備的定期維護（重新裝填）。

也可以採用城市公共設施（例如長凳）上的安全距離標記。但是，它們的用處僅是短期的，因為它們除了減少人與人之間經由距離傳染的可能性外，沒有帶來任何其他其

他好處。一旦傳染風險降低，這些僅有助於抵抗COVID-19的社交距離措施可能就會消失，就像以前的大流行（如SARS-CoV-1）一樣。

在大城市中，實施更加在地化的服務（食品、能源）也可能成為長期趨勢。在某種程度上，這有助於地方自治化，並可以限制大批人的聚集，這一措施在預防傳染病的傳播以及減少運輸需求方面可能是有益的。但是，這是一個需要在中期逐步採用的解決方案。為主動式移動安裝支援設施（自行車修理、騎乘自行車者的供水）是另一種解決方案，最終能為減少傳染病的傳播做出了積極貢獻。預計公共運輸將發生一些變化，即與社交距離有關，使用安全距離標記（在公車站和座位上）以及在出入口區域之間進行區分(European Commission, 2020)。大眾運輸工具的載運量也應減少，因為這能阻止COVID-19或其他高傳染性疾病的傳播。為駕駛員和工人使用保護性屏障(Semple & Cherrie, 2020)，該措施已在多個國家/地區採用，不僅在公共衛生方面提供了保護，而且還防止了其他風險，例如竊盜，這是一個將來有待考慮的解決方案。自動門的使用(European Commission, 2020)是一種易於應用的解決方案，是減少常見接觸表面的最佳解決方案，儘管應探討其在永續性方面的利弊。

也可以嘗試投資增加城市地區的綠地面積，從而經由間接促進公共衛生而抵抗COVID-19，同時在永續性方面也有可觀的助益。該解決方案應根據永續發展和因應氣候變化的政策後在一些城市地區逐步實施。

在資訊技術中，隨著用於風險辨識和收集有關潛在減少傳染病傳播的資訊的軟體應用程序的出現，可能會有所發展。這些技術提供了可能的持久解決方案，但由於它們減少了對其他資源的需求，因此也帶來了永續性方面的好處，儘管它們可能對隱私造成重大挑戰。

就建築物的外殼元素（屋頂、外牆）而言，某些方面的改善能提高自然光的可近性（玻璃、天窗、開窗方向）是一種解決方案，不僅減少了內部的病毒活動，而且為建築物帶來了好處(Schuit et al., 2019)，而且在永續性方面，還可以經由改善建築物的生物氣候特性來實現。這些解決方案經由長期（25年或更長時間）改善公共衛生狀況，間接有助於抵抗COVID-19。

窗戶對於建築物居住者的健康至關重要(Yeom et al., 2020)，除了提供通風和日光照射之外，由於它們提供了視覺連接，它們也是與外界接觸的主要點。窗外的視線還可以根據每個人的感知做出精神上的貢獻，並提供在保持社交距離期間可能必不可少的其他好處。提供窗戶（最好是自然景觀）的窗戶可以對心理健康產生積極影響，即減

少壓力，增加注意力和幸福指數以及舒適感( Ko et al., 2020)。該解決方案不會直接有助於抵抗COVID-19，但可以增強人們的心理健康。

對於建築物的內部（建築和裝修），無論其性質如何，對於病毒而言，使用具有較短滯停留時間的材料以及易於清洗的表面都是新建築物的有效控制措施，尤其是對於普通建築物接觸面而言。這些材料（例如銅）的使用( van Doremalen et al., 2020 )，儘管可能很昂貴，它將在打擊病毒活性方面帶來根本的好處。人們認為，這種措施將減少COVID-19病毒在有效區域內的停留時間，同時進一步假定它將持續至少10年。免提門(無接觸)系統，已經提出並討論過一個想法(Preiss & Kramer, 2011)是一種解決方案，它可以減少SARS-CoV-2和其他病毒的傳播，並且可以增加殘疾人士的便利，儘管目前尚不清楚這將給永續發展的其他方面帶來哪些其他好處。

在傳送帶系統或服務中，可能減少潛在病毒傳播的措施，亦是社交距離解決方案（電梯( Eykelbosh, 2020 )和單向樓梯中的安全距離標誌）。此類措施將減少其他方面的一些好處，例如它們將相對難以應用（主要是由於某些建築物的空間有限，主要是單向上升或下降樓梯）一樣，它也將降低服務能力。

這些社交距離措施的實施難以預測，因為，正如已經提到的，當感染的風險降低時，這些益處可能會喪失。假設電梯中的標誌將持續至少一年，並且取決於當時傳播風險的持續性。據推測，由於它們涉及某些構造要求，因此單向樓梯設置將持續至少10年。

可以改進廢水管理系統，以減少傳染病傳播的風險。進行持續水質監測的方法可能是合理的，以監測特定地區的潛在感染病例（如：糞口傳播的疾病）( Nghiem et al., 2020 )。這種監測對於辨識其他病原體甚至污染顆粒的存在也很有用。所建議的處理方法被證明可以有效消除廢水中的微量病毒，並且可以用於消除其他病原體，甚至可以提供對COVID-19狀況的監測視角( Chen et al., 2006 )。雖然可以每月進行監測，但應每天進行適當的消毒處理。

通風是一個應引起更多注意的參數。首先，需要重新考慮沒有靈活通風選擇的封閉建築物的情況。持續通風對於保證空氣流通，減少病毒在建築物中的停留時間(Dietz et al., 2020 )以及減少傳播很重要，但是確保良好的室內空氣品質也很重要。另一方面，在HVAC系統中，由於交叉污染的風險，應重新考慮某些特性，例如對流室和空氣處理單元或過濾器(Kurnitski et al., 2020 )。

也許HVAC系統應該有更大的局部抽風量，以確保100%的室內和室外空氣交換，

避免再循環，既有助於減少病毒傳播和改善室內空氣品質，又不能提供像自然通風那樣的保護。這些功能可以輕鬆地納入每日行程，並被視為潛在認證的要素，因為它們還可以改善室內空氣品質，但是它們將對能源消耗產生重要影響，而無需任何回收供暖或其他措施。簡而言之，這是一個需要補充投資的解決方案，並且在應用方面存在許多限制。使用高效過濾器（HEPA）時也是如此(Tronville & Rivers, 2005)。但是，儘管可能必須定期更換這些過濾器（使用壽命從一個月到一年不等），但其餘的HVAC組件的使用壽命會更長，大約為10年。

期望進一步研究最佳條件，以減少在封閉環境中以霧化微粒形式存在的病毒的停留時間，重點放在濕度或溫度等問題上。某些室內空氣條件的水平，尤其是濕度，對建築物中的病毒活動產生積極影響，並加速了其他氣霧化顆粒的沉積(Marr et al., 2019)，從而避免了其他污染物或病原體的吸入。由於這是空調單元的組成部分，因此被認為遵循與熱回收單元相同的原理，有效期為10年。

例如，在檢測一系列風險（例如火災風險）的系統中，考慮的風險可能會增加，因此可以實施還檢測病毒或傳染病的系統（例如，熱感知器）。但是，需要評估永續性的組成以及所需的投資費用。對於電子系統，假定這種解決方案將持續五年。

在能源系統中，重要的是要確保在大流行時繼續提供能量，以防止人們需要離開。但是，如果當地的能源生產是可再生的，則在防止其他漏洞和確保永續性方面都是有用的。這類系統的持續時間至關重要，通常可持續10年以上。

在資訊系統中，使用無接觸技術（基於感知器以及其他功能）或數位控制來代替特定的通用接觸面（如開關和其他類型的界面），應成為一種長期趨勢，與當前的趨勢相一致。建築中數字化的使用(Alaloul et al., 2020)。該解決方案在減少人與人之間的病毒傳播方面具有積極作用，但在永續性方面也具有巨大優勢，例如可以降低能源或水的成本。資訊技術的增長可能不僅使獲得有關公共衛生的資訊成為可能，而且還可用於控制室內條件和資源（能源，水）。基於與以前相同的邏輯，假定此解決方案將持續五年。

在被確定為病毒傳播風險的地區進行廢物管理的情況下，區別於建築物或特定場所的廢物收集對於減少傳染病的傳播和改善公共衛生具有潛在的優勢(Nghiem et al., 2020)。這項措施還帶來了與其他風險作抵抗以及促進公眾健康和衛生的好處。但是，採用此措施並不容易，因為它需要更改都市廢物收集系統。它的持續時間對應於每個市政當局的垃圾收集間隔（天）。



也許一種更簡單，更整潔的極簡主義建築設計（北歐國家的典型）也將成為一種長期趨勢。極簡主義的概念，如類似禁止地毯的使用可以減少建築物內病毒的積累( Becher et al., 2018 )，這種解決方案可以消耗更少的資源和需要更少的維護方面所提供的助益，在永續性方面可能非常有用。極簡主義也使空間更加靈活和適應性強。如果避免使用地毯，則會進一步減少材料（原材料和清潔產品）的使用。假定這種措施將持續10年。

也許應該重新考慮建築物的入口。寬敞靈活的入口可以適應空間，從外面放置衣服和可能受污染的物體，甚至可以配備洗臉池( Larsson, 2020)（或緊鄰入口的浴室）。這是一種持久解決方案，可經由防止可能的病原體進入而從根本上改善建築物的衛生狀況。

留存一個小房間，用於隔離感染高傳染性疾病的居民，( Larsson, 2020 )最好是一個私人浴室，這也可能是未來集體住房建築的標準。該解決方案在防止傳染方面具有重大優勢。但是，每個建築物需要更多空間，並且能源成本更高。

政府因COVID-19大流行而頒布的隔離規定可能說明，進入室外空間以安全地獲取空氣和陽光（維生素D）是多麼重要。所有居民都可以使用的外部空間（例如陽台、露台或平坦的屋頂）的存在可能是未來建築物的標準。這些空間以後可以用作廚房花園，並帶來經濟和休閒上的好處(Sofa, 2020)。除了在永續性和其他好處方面提供優勢外，新建築物中的外部空間還可以用於體育活動和其他活動。由於建築物的容量有限，建置這樣的空間可能並不容易（並且甚至可能在法規中禁止使用），並且在建築級別（熱橋等）可能需要特殊的要求。在某些情況下，可能會封閉陽台以提高隔熱性；但是，重要的是要確保它們繼續提供通風條件並獲得陽光（開口）。

另一個重要方面是景觀問題，換句話說，就是建築物的周圍環境。亞伯拉罕（2006）指出，景觀的特徵具有促進健康以及身心健康的潛力( Brattig et al., 2017 )。天然綠地的存在是減少壓力，增加幸福感，促進體育鍛煉和減少空氣污染和噪音水平的基本要素之一( Mears et al., 2019 )。其他方面，例如連通性，安全性和便利設施的多樣性，也做出了重要貢獻，尤其是在社交互動和福祉方面( Brattig et al., 2017)。

在考慮建築物在人類健康方面可以發揮的作用時，考慮這一方面變得越來越重要。儘管這不是直接減少SARS-CoV-2或其他病毒傳播的措施，但它是一種長期促進公共健康的解決方案，可以在某種程度上幫助增強人群的免疫系統。

在另一個層面上，建設亦有可能對環境永續性造成破壞，永續建築和城市的趨勢

正在增長，這不僅提高了對傳染病的適應力，還因應氣候變化帶來的挑戰。

下面的圖2-4根據方法論中解釋的規模和評估，顯示了針對建築物和城市區域的這些解決方案的排名。經由這種分類，可以確定僅與降低COVID-19風險有關的解決方案，以及在永續性的其他方面（雙贏）也有益的其他解決方案。

表2-1減少COVID-19在建築物以及其他建築環境方面傳播的可行性方法及措施

| 主要部分 | 部分元素  | 方法、措施                                               | 防疫的優點                                                                                  |       | 韌性                     | 永續性                                                        |
|------|-------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------|------------------------------------------------------------|
|      |       |                                                     | 防疫的優點                                                                                  | 防疫的優點 | (對於COVID-19以及其他脆弱區)    | 永續性                                                        |
| 結構   | 基礎構造  | -                                                   | -                                                                                      | -     | 可減少地震、風災以及地滑造成的風險且具伸縮性 |                                                            |
|      | 地下室構造 | -                                                   | -                                                                                      | -     | 可減少地震、風災以及地滑造成的風險且具伸縮性 |                                                            |
| 殼層   | 上層構造  | -                                                   | -                                                                                      | -     | 可減少地震、風災以及地滑造成的風險且具伸縮性 |                                                            |
|      | 外部、外殼 | 透過特定方位、可透光玻璃以及百葉窗                                   | 儘管沒有證據說明陽光對於SARS-CoV-2的影響(WHO, 2020)。但某些病毒(像是流感)仍對陽光具敏感性(Schuit et al., 2019)          |       |                        | 對於生物環境及氣候有良好表現                                             |
|      |       | 提供看得到景色的窗戶                                          | 窗戶是和建築物外部接觸的主要元素，良好的景色(例如周圍的自然風光)會促使健康的生理狀態，像是注意力增強、減少壓力、感到舒適以及開心的情緒等(Ko et al., 2020) |       |                        |                                                            |
|      | 屋頂    | 配有開口以及屋頂窗口可使陽光照射進來                                  | 促進天然的陽光及建築物外部環境的使用                                                                     |       | 確保物理上及溫度上的保護           |                                                            |
| 內部   | 內部構造  | 設計不需用手開的門(使用手肘或是腳)                                  | 避免用手開門，減少SARS-CoV-1及其他病毒的傳播可能性                                                         |       |                        |                                                            |
|      | 內部整修  | 物品要容易清潔(均質且不具多孔材質)                                  | 簡單移除SARS-CoV-2以及其他原體，避免其他污染發生                                                          |       |                        | 極少數需清潔的物品以及有較低毒性                                           |
|      |       | 選擇可以減少病毒存活時間的材質(銅或其他材質)(van Doremalen et al., 2020) | 可以減少SARS-CoV-2及其他病原體存活時間，可避免其他污染發生                                                     |       |                        | LCA (生命週期評估)和LCC (生命週期成本)在每個功能單元(例如回收材料)之間都必須保持良好的平衡是很重要的。 |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

| 主要部分                              | 部分元素<br>運輸       | 電梯內部根據電梯容載量標示安全距離(2公尺)                                               | 維持社交距離，避免傳播SARS-CoV-2以及其他病毒                                                    |                           | 因為電梯容載量減少，每人需要花更多的能源                              |
|-----------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
|                                   |                  | 方法、措施                                                                | 防疫的優點                                                                          | 韌性<br>(對於COVID-19以及其他脆弱區) | 降低感染 <b>韌性</b> ，但可能在緊急情況下引發問題，像是火災。也造成樓梯可使用的空間降低。 |
| 設施                                |                  | 樓梯上下樓只能有單方向。在樓梯上標示方向及安全距離。                                           | 單方向行走可以減少接觸的風險。也確保了社交距離和方向。                                                    |                           | 在供水需求以及減少飲用水消耗之間得到平衡                              |
|                                   | 水系統              | 水系統                                                                  | 確保在適當的衛生條件                                                                     |                           | 減少風險                                              |
|                                   |                  | 定期廢水檢測                                                               | 可以檢測SARS-CoV-2以及其他病毒的存在，表明具有傳染的風險(Nghiem et al., 2020)                         |                           |                                                   |
|                                   |                  | 運用自由餘氯(>0.5 mg/L)、二氧化氯(>2.19 mg/L)或是紫外光輻射照射進行廢水消毒(Chen et al., 2006) | Chen 等人(2006)得出運用紫外線以及二氧化氯可以有效抵抗SARS-CoV-1(Chen et al., 2006)。而此方法對於其他病毒也可能有用。 |                           | 減少風險                                              |
|                                   | 空氣調節系統<br>(HVAC) | 有自然通風的混和模式                                                           | 不斷地進行空氣對流來減少病毒以氣膠化顆粒的形式殘留在建築物內部的可能性(Kurnitski et al., 2020)，還有其他心理層面的益處。       |                           | 除了降低病毒和其他微生物的風險外，還可以消除特定的污染顆粒，且具潛在的節能方法           |
|                                   |                  | 利用高效濾網(HEPA)過濾(Tronville et al., 2005)                               | 能夠去除約99.97%大於0.3 μm的顆粒(Tronville et al., 2005)                                 |                           |                                                   |
|                                   |                  | 熱回收裝置(Kurnitski et al., 2020)                                        | 確保空氣在傳入以及傳出有100%分隔(Kurnitski et al., 2020)                                     | 確保良好空氣品質                  |                                                   |
| 40-60%相對濕度(Moriyama et al., 2020) |                  | 減少病毒在氣膠化顆粒存活的時間(Marr et al., 2019)                                   |                                                                                |                           |                                                   |

表2.1(續)

表2-1(續)

第二章 文獻分析與研究方法

|    |        |                                                                            |                                                                               |                                             |                               |
|----|--------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
| 設施 | 風險防護系統 | 擴大風險保護系統，包括傳染疾病以及溫度感應等                                                     | 偵測病毒是否存在                                                                      | 擴大風險偵測系統以及運用在其他層面                           | 對於風險辨識有巨大貢獻                   |
|    | 能源系統   | 穩定的能源供應可以確保健康計劃管理的核心系統的有效運行，也可以確保在特定建築物的需要                                 | 確保功能在適當的條件(若有需要可開空調)                                                          | 所有活動都很仰賴穩定的能源供給，所以建置當地再生能源供給可以幫助提高系統的韌性     | 對於低碳的消耗(再生能源)以及當地能源供給系統有潛在的機會 |
|    | 資訊系統   | 資訊技術對於管理狀況以及使用者可能是需要的                                                      | 減少病毒的存活、通風優化以及其他選項                                                            | 一些裝置可以同時減少不必要的能源浪費以及水的消耗，更可以減少消毒用品的使用。      | 防止因為乾燥環境使污染的氣膠更長久殘留在空氣中       |
|    |        | 非接觸式技術(開關以及浴室設備)                                                           | 智慧型手機的操作、情緒感測器以及聲控功能的技術可以減少表面接觸以及病原體的傳播                                       | 使其控制其他風險的可能，減少手動控制                          | 使用者透過聲控功能操控程序的優化解決方法可以減少資源的消耗 |
|    | 廢棄物    | 對於有疫情爆發的隔離建築物以及區域進行特定的回收，並且將回收的廢棄物進行焚化，對於回收的運輸工具進行消毒 (Nghiem et al., 2020) | 病毒可以在塑膠上存活好幾天，所以垃圾袋可能是病毒傳播的媒介。所以在高傳染地區的廢棄物進行特殊處理可以預防其他感染(Nghiem et al., 2020) | 較低的活動性減少了垃圾掩埋場的廢棄物量，但也降低了回收的需求。另外焚化會釋放污染氣體。 | 根據解決方法以及是否整合較低的資源消耗和提高可回收性    |

表2-1. (續)

| 主要部分  | 部分元素        | 方法、措施                                               | 防疫的優點                                                                                                                                    | 韌性<br>(對於COVID-19以及其他脆弱區)                                     | 永續性                                     |
|-------|-------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 設備及傢俱 | 設備          | 確保容易清潔處理的解決方法                                       | 降低交叉污染的風險                                                                                                                                | LCA (生命週期評估) 和LCC (生命週期成本) 在每個功能單元(例如回收材料) 之間都必須保持良好的平衡是很重要的。 | 減少消毒用品的使用                               |
|       |             | 選擇可以減少病毒存活時間的材質(像是銅)(van Doremalen et al., 2020)    | 可以減少SARS-CoV-1及其他病原體存活時間，可避免其他污染發生                                                                                                       |                                                               |                                         |
|       |             | 利用極簡的解決方法以及減少病毒可傳播的地方。                              | 減少污染的區域可以減少潛在的污染發生                                                                                                                       | 越少的物件導致有更韌性的解決方法                                              | 減少材料使用。如果降低毒性低的LCA以及LCC式良好的，即可有正向的持續性   |
|       | 傢俱          | 避免使用地毯(Becher et al., 2018)                         | 有助於降低建築物內病原體的濃度                                                                                                                          |                                                               | 如果對於病原體生命週期有影響，有正面的持續性                  |
| 建築    | 入口          | 在入口(或是去除污染的區域) 配有清洗設備或是浴室 (Larsson, 2020)           | 防止病原體可能透過受污染的衣服、物體或用手從入口進入到建築物內                                                                                                          |                                                               | -                                       |
|       | 房間          | 提供額外的隔離房間給需要的使用者(有私人浴室最好)                           | 隔離可能受到感染的民眾，降低SARS-CoV-1和其他感染及傳染的風險。                                                                                                     |                                                               | 增加每棟建築物的空間和能源消耗的成本                      |
| 外部空間  | 陽台、露台以及屋頂平台 | 至少提供一個適當空間的外部區域                                     | 允許人們在運動時，獲得新鮮的空氣和陽光，同時避免社交接觸。新鮮空氣(Canadian Psychological Association, 2020) 和維生素D對人體健康有益，包括減少呼吸系統疾病( Martineau et al., 2020)，在密閉情況下更是如此。 |                                                               | 熱橋現象(thermal bridge)的處理對於食物生產以及其他活動非常有用 |
|       | 糧食生產的家庭式花園  | 運用外部空間建造家庭式花園                                       | 具有經濟，娛樂和健康益處的糧食生產(Sofa A, 2020)                                                                                                          |                                                               |                                         |
| 景觀    | 周邊環境        | 促進健康的景觀(天然的綠色景色及便利的設施，像是運動設施)(Abraham et al., 2009) | 促進心理健康，減輕壓力，提高幸福感，促進社會凝聚力以及提供生理上的好處。                                                                                                     | 維持生態系統以及為氣候變遷和其他功能性做準備                                        |                                         |

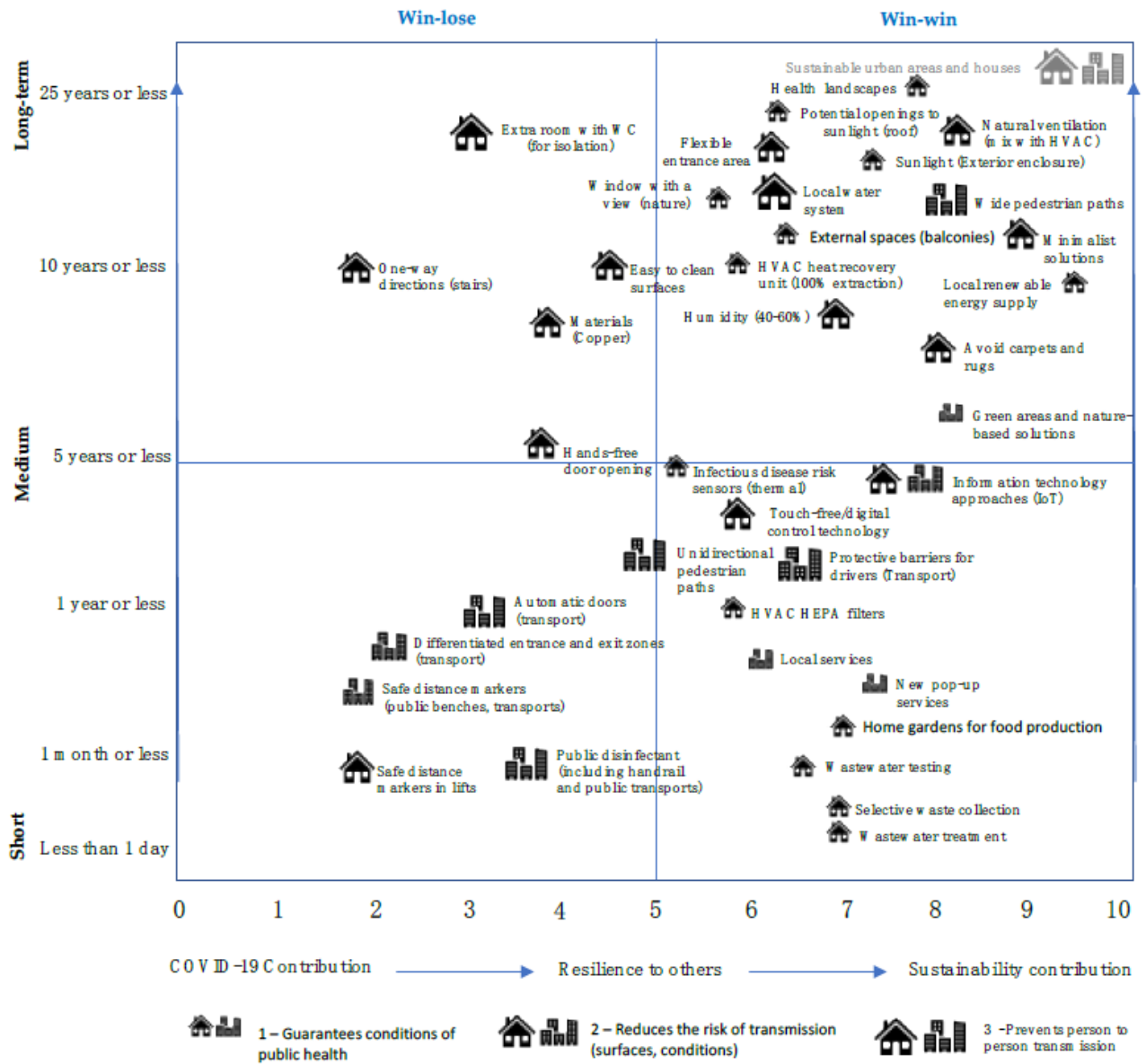


Figure 2. COVID-19 risk reduction measures in urban areas and buildings.

圖2- 4都市建築中減少COVID-19風險的措施

## 第二節 研究方法

### 壹、研究採用方法

#### 一、文獻分析法

文獻分析是指經由文獻的蒐集、分析及研究來提取所需資料的方法，並對文獻作客觀且有系統之描述的一種研究方法，注重客觀、系統與量化。範圍上，不僅分析文獻內容亦包含整個文獻的學術傳播過程；在價值上，不只是針對文獻內容作敘述性的解說，並且是在推論文獻內容對整個學術傳播過程所發生的影響（楊國樞、文崇一、吳聰賢等，1989）。

1. 本研究主要蒐集及彙整各國、組織有關「綠建材評估工具」、「健康建築」及「防疫建築」之相關研究等資料，期在此基礎上探討創新綠建材評估之機制。

(1) 研究期間將至先進國家之安全衛生與環保部門及國際組織網站搜尋健康建築及建築防疫的最新資訊，主要網站如：

- ✓ 世界衛生組織 <http://www.who.int/>
- ✓ 歐盟環境局 <http://www.eea.europa.eu/>
- ✓ 美國環保署 <http://www.epa.gov/>
- ✓ 美國疾病管制與預防中心（CDC）<https://www.cdc.gov/>
- ✓ 加拿大環保部 <http://www.ec.gc.ca/>
- ✓ 加拿大環境評估局 <http://www.ceaa.gc.ca/>
- ✓ 紐西蘭環境部 <http://www.mfe.govt.nz/>
- ✓ 日本厚生勞動省 <http://www.mhlw.go.jp/>
- ✓ 日本環境省 <http://www.env.go.jp/>

(2) 利用系統性資料庫，例如 PubMed，進行國內外相關文獻蒐集，目前陽明大學圖書館可供本研究計畫使用之資料庫主要有下列幾種：

- ✓ Science Citation Index Expanded (SCI) [Web of Science]
- ✓ Airiti Library 華藝線上圖書館(CEPS 中文電子期刊資料庫+CETD 中文碩博士論文資料庫整合查詢入口)
- ✓ PubMed Science Direct Online (SDOL) Medline



## 二、訪談法 (Interview Survey)

訪談法是質性研究中，用於理解受訪者對研究問題的看法，或陳述對生活、經驗或情況的觀點等所採用的方法。研究者以觀察者和參與者的身分，紀錄與研究對象或研究對象間的言談互動，並由對話過程發現人們對社會事實的認知，或分享經驗與觀點的互動方式。可分為一對一個別訪談與集體訪談兩種形式。訪談法設計與實施程序如下：依研究主題尋找願意參與訪談者、研究者擬訂訪談大綱、向受訪者說明研究目的及研究倫理、徵詢受訪者同意訪談錄音。本研究將邀訪公衛防疫及健康建築相關產官學專家學者，進行訪問。

## 三、模糊德爾菲法 (Fuzzy Delphi Method)

模糊德爾菲是一種可吸取多方意見又可依據專家學者之專業背景的經驗累積，判斷期指標之重要性，透過模糊德爾菲之專家問卷調查統計，得以整合諸多專家學者之多方觀點以求得共識，由於本研究因自評估指標初擬置評估系統建構之過程，需要涉及諸多專業知識與認知，故本研究運用模糊德爾菲專家法作為建構評估因子及系統建立之依據。本研究運用Ishikawa (1993) 等人利用累積次數分配與模糊積分觀念，將專家意見整合成模糊數之過程的方法，即計算每位專家對期指標所提出的重要性程度數值之模糊集合與模糊數的中間值，並計算一般算術平均數。

### (一) 建立評估因子集

針對本研究之目標「防疫型住宅綠建築評估指標」，廣泛蒐集綠建築、智慧型建築、影響住宅居住之條件等相關文獻，彙整出相關評估因子項目。

### (二) 蒐集專家群體意見

利用專家問卷方式，請各領域的專家學者，以「防疫型住宅綠建築評估指標」為最終目標，對評估因子進行評分，在彙整專家群體意見，取得專家群體對各評估因子之評值。

### (三) 建立三角模糊數

依據問卷所得評估因子之評值，建立模糊三角函數；分別建立「可接受最大值」的累積次數函數  $F1$  之四分位數  $(C1, D1)$  與「可接受最小值」的累積次數函數  $F2$  的四分位數  $(C2, D2)$ ，以及  $F1$ 、 $F2$  的中位數  $M1$ 、 $M2$ 。接著分別連結  $(C1, M1, D1)$  與  $(C2, M2, D2)$ ，可得到「可接受最大值」的隸屬函數與「可接受最小值」的隸屬函數，兩隸屬函數所交錯的區域即為預測值  $X$  (圖 2-5)。

(四) 訂立門檻值篩選評估因子

運用三角模糊隸屬函數依據研究目的訂定合適之門檻值(S)，並用其篩選本研究所需之評估因子：

$XA \geq S$ ，接受A為評估因子； $XA < S$ ，刪除A為評估因子。

模糊德爾菲可運用的層面的很多，其中又以規劃管理、功能評估的應用最多。何友鋒、陳惠玲(2005)運用模糊德爾菲法於評估住宅內部健康研究中，藉由專家問卷篩選住宅內部健康所需考量的環境評估因子，故本研究透過專家學者之群體意見，篩選相關之評估因子，藉以建構住宿類防疫建築評估指標體系。

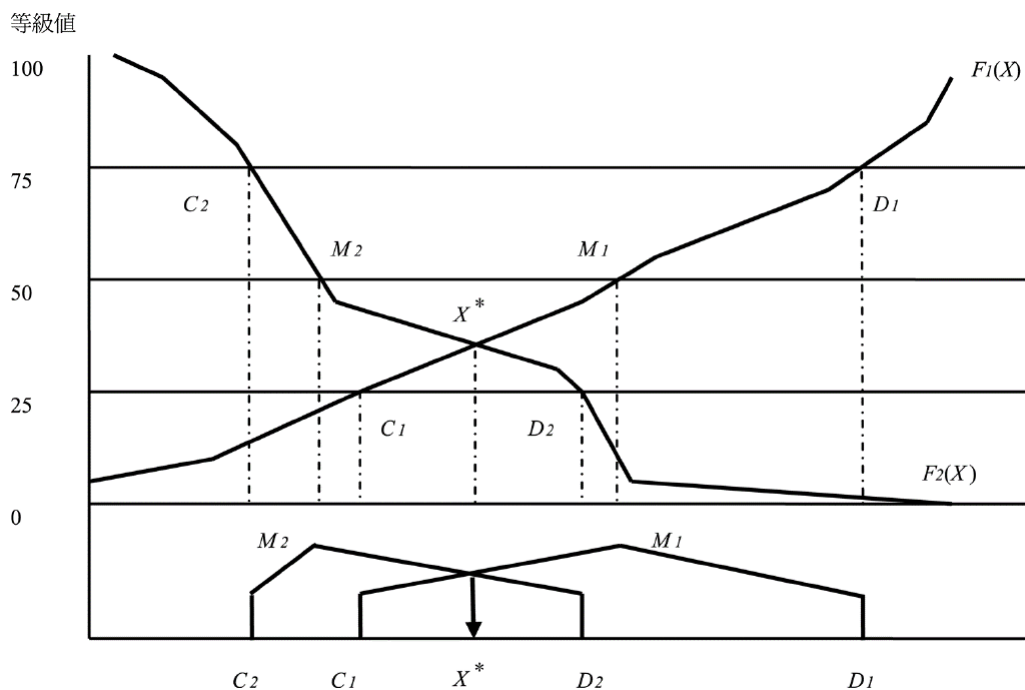


圖2- 5 Max-Min 預測值示意圖

(資料來源：Ishikawa et al., 1993)

四、專家諮詢法

有關建築規劃設計階段導入「健康及防疫措施」之可行性經過初步整理後，以3場專家諮詢會議邀請對健康建築、室內空氣品質、健康風險、環境醫學、公共衛生..等方面學有所長之專家學者，進行研討。3場專家會議擬邀請邀請產、官、學、研等方面之專家學者，進行應用策略之討論。並聘請專家學者針對評定項目及基準進行審查，提出內容修正及增刪之意見，加強本研究內容之參考依據，並擇期辦理期中、期末簡報說明研究案執行的成效、進度及所遭遇的問題。

## 貳、重要儀器之配合使用情形

經由文獻彙整結果，目前各國對於當前的COVID-19疫情大流行期間，皆建議應盡可能不使空氣再循環，以避免在整個室內環境中病毒顆粒的傳播與擴散。對於建築內的中央空調機組，應避免再循環，如果可能，系統應在100%室外空氣(OA)下運行。可以經由關閉再循環風門並打開室外空氣風門來取代再循環。在許多醫療機構中，在大多數情況下根本不允許空氣再循環，儘管在非醫院環境中通常使用再循環來提高能源效率。如果需要這種系統進行冷卻，則應經由例如定期的開窗/定期通風來確保室外空氣的額外通風。可以安裝空氣再循環系統。需要確保任何這樣的系統還提供室外空氣的通風(例如，感應裝置)。新風換氣系統可以有效增加通風及換氣效率，將室外的新鮮空氣送入室內，同時也可以將室內的溼氣、污染物以及異味排至室外。藉由新風換氣系統內部之污染物淨化裝置，將所引入之室外空氣淨化後，再引入室內。

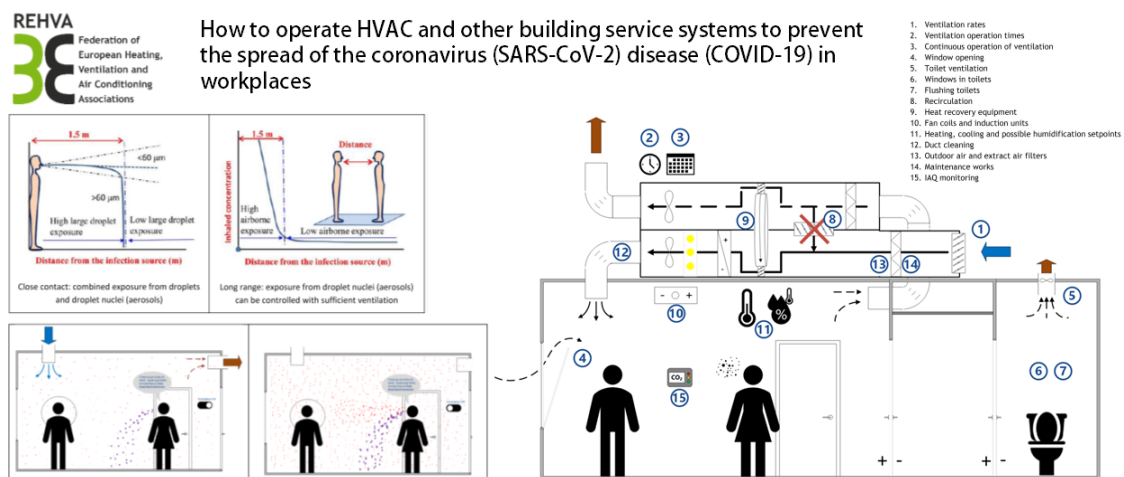


圖2- 6 REHVA對應COVID 19導入新風與過濾系統之智慧感測與連動機制

(資料來源：REHVA，2020)

國內李俊璋教授團隊曾於107年度受教育部委託「校園空氣污染防制策略規劃、執行暨成效評估計畫」所建立的一套系統一新風換氣系統。且證實其可有效維護校園空氣品質且為經濟可行之室內空氣污染防制策略，此方法可以改善空污季節中，受到室外霾害影響不敢開窗戶，所產生室內換氣量不足的問題。同時，新風換氣系統內淨化裝置，可依據使用者需求自行選配空氣清淨濾網，只需挑選與系統內淨化裝置尺寸相符者，皆可更換使用，濾網選擇自由度高且不限固定廠牌及種類。新風系統內配有連動控制裝置，可自動依照室內污染物濃度高低，啟停新風系統，不須人員手動操作，

自動化控制除操作方便外，更可於適當時機開啟/關閉新風換氣系統，以達到有效控制室內空氣品質之目的。另外新風換氣機搭配污染物感測器連動控制，可依照室內污染物濃度高低，作為控制換氣風機啟停之依據，進而達到減少電力之耗損。一般而言，新風換氣系統分為三個部分，分別為(1)新風換氣機、(2)空氣清淨濾網以及(3)連動控制系統。

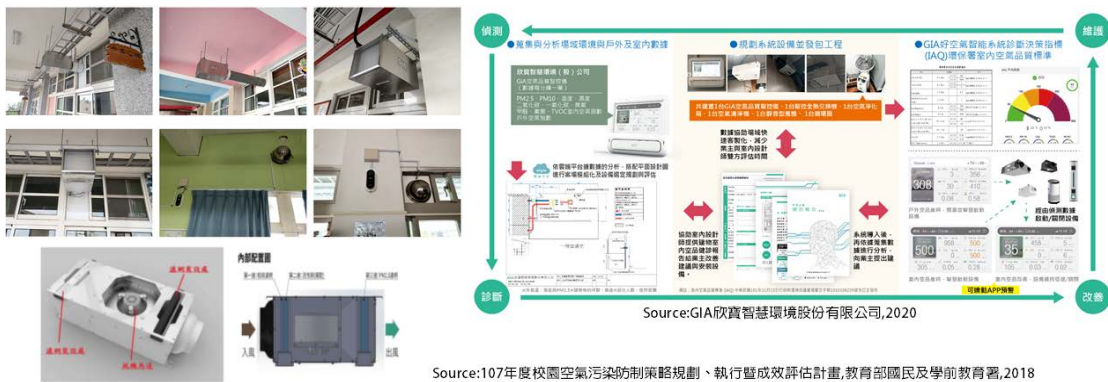


圖2-7 導入新風與過濾系統之智慧感測與連動系統於校園環境

(資料來源：107年度校園空氣污染防制策略規劃、執行暨成效評估計畫，教育部國民及學前教育署, 2018)

### (1)新風換氣機

新風換氣機是一種空氣換氣裝置，可以作為提高室內換氣率之設備，藉由馬達風扇作為空氣軸引，以正壓方式將室外空氣引入室內，當室外污濁空氣流經空氣清淨濾網的乾淨新鮮空氣引入同時，也可產生正壓現象將室內污濁空氣排出至室外，以達淨化室內空氣與提高通風換氣率之目的。

### (2)空氣清淨濾網

具有空氣淨化功能之新風換氣機，其內部風箱內設有多層濾網插槽，可插入多種空氣清淨濾網，特定之風機機型，其內部可設置特定空氣清淨單元，如光觸媒或靜電集塵等。新風換氣機因結合空氣污染物淨化裝置，其內部設計多層裝設空氣淨化濾網之插槽，可裝設多種類型之空氣淨化濾網，當室外空氣污染濃度高時，所引入之室外空氣，會先經過濾網過濾淨化後再進入室內，可有效避免室內空氣品質受到室外污染衝擊。如場所內受到室外霾害影響時，可於新風換氣機內放置高效濾網，HEPA 濾網可有效移除細懸浮微粒，如須移除總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compound, TVOC)污染物時，則可選用含有活性碳之複合濾網。另外，應先確認新風換氣機濾網插槽尺寸(長、寬及厚度)需一致，避免無法放入插槽之清淨濾網，需維持新

風換氣機機殼密合度，以確保良好過濾效果。

### (3)連動控制系統

新風換氣機搭配污染感測器作為連動控制系統，連動控制系統包含室內空氣污染物感測器及電路控制系統，自動啟動或停止新風換氣機，可有效降低新風換氣機之電力消耗。常見搭配使用方法係以二氧化碳(Carbon Dioxide, CO<sub>2</sub>)濃度作為控制依據，當感測器測得室內 CO<sub>2</sub>濃度超過所設定之啟動濃度標準時，控制系統自動開啟新風換氣機，運轉直到室內CO<sub>2</sub>濃度低於設定值(例如800 ppm)，便自動關閉新風換氣機，除可有效節約能源外，也可延長濾網之使用壽命。當新風換氣機之風機馬達具有不同段速的風速設定時，連動控制系統也可依當時室內污染狀況自動調整至最適風量。

本案後續以此套系統進行實場操作，初步將以公共建築和其他公共空間為優先考量(例如:辦公室、學校、幼兒園、圖書館或大眾運輸..等)比較新風換氣系統啟用前後與疫情相關空氣品質指標(例如CO<sub>2</sub>)變化情形進行評估。

## 第三章 計畫研究成果

### 第一節 COVID-19 疫情傳播途徑的環境因素

#### 3-1 環境因素影響

##### 3-1-1 空氣溫度以及濕度

溫度對於病毒在氣膠中的存活和傳播的影響是重要的因素 (Tang, 2009; Lin et al., 2006; Marr et al., 2019)。溫度可能會影響構成病毒的蛋白質、脂質和遺傳物質的穩定性。上呼吸道的溫度比肺部還要低 (McFadden et al., 1985)，證實其於上呼吸道的複製能力較強 (Tyrrell et al., 1960)。SARS-CoV-1 (Chan et al., 2011)、SARS-CoV-2 (Chin et al., 2020) 和流感病毒 (Moriyama et al., 2020) 在較低溫度下更穩定，這可能是因為衰減速度較慢（由阿倫尼烏斯方程式(Arrhenius equation)控制）和對於包膜病毒上磷脂的排序性更強。流行病學證據和動物研究證實，已知可感染上呼吸道的呼吸道病毒在較低溫度下更容易傳播 (Lin et al., 2006; Lowen et al., 2008)。藉由調節氣膠的蒸發速率和平衡大小，相對濕度 (Relative humidity, RH) 會影響它們的運輸和載有病毒的活性 (Lin et al., 2020; Yang et al., 2011; Marr et al., 2019)。呼吸氣膠從呼吸道釋出到環境空氣中時會蒸發，因為它們從飽和濕度環境過渡到較低的RH。蒸發過程預計需要幾秒鐘 (Yang et al., 2016; Walker et al., 2021)。在較低的環境 RH 下，蒸發發生得更快，並在以較小的顆粒型態下達到平衡 (Walker et al., 2021)。在 RH 低於約 80% 時，呼吸氣膠的最終直徑為原始大小的 20% 至 40% (Marr et al., 2019)。

流感病毒、引起普通感冒的人類冠狀病毒、RSV 和其他病例的季節性至少部分歸因於 RH (Moriyama et al., 2020)。病毒對 RH 的敏感性可能受 RH 相關影響病毒在環境中的持久性和/或免疫防禦的影響。黏液纖毛清除效率在低 RH 下效率不高 (Moriyama et al., 2020)。動物研究結果顯示，低 RH 有利於流感病毒傳播 (Lowen et al., 2008; Gustin et al., 2015)；然而，對 2009 年大流行 A 型流感病毒 (H1N1) 在生理上進行的一項研究報告指出，該病毒在 20% 至 100% 的廣泛 RH 範圍內仍保持高度穩定和傳染性 (Kormuth et al., 2018)。一項研究調查了 11 種空氣傳播病毒對 RH 的敏感性，發現雖然一些 RNA 病毒在低 RH 下存活得最好，但也有其他病毒在高 RH 下存活得更好 (Songer, 1967)。RH 與飛沫和氣膠中病毒活性之間的關係是病毒的特徵，受病毒的內

在物理化學特性及其周圍環境的調節 (Lin et al., 2020; Marr et al., 2019; Songar et al., 1967)

有許多研究討論COVID-19在不同環境條件下在氣膠中的持久性。van Doremalen 等人比較了SARS-CoV-2以及SARS-CoV-1在21-23 °C的溫度以及相對濕度(Relative humidity, RH)為65%的情況下3小時霧化後的存活率和半衰期。結果顯示霧化3小時後，兩種病毒都可以檢測到，SARS-CoV-2以及SARS-CoV-1的半衰期中位數分別為1.09和1.18小時(van Doremalen et al., 2020)。這些結果表示SARS-CoV-2和SARS-CoV-1的穩定性相似，Smither等人指出SARS-CoV-2在組織培養基(Tissue culture media, TCM)中培養，中度相對濕度40-60%(衰變率為0.91%/min)情況下比高度相對濕度68-88%(衰變率為1.59%/min)情況更穩定；而在人工唾液中培養發現相反的結果，在中度相對濕度中衰變率為2.27%/min，在高度相對濕度中衰變率為0.40%/min(Smither et al., 2020)。利用TCM在中度相對濕度下培養的半衰期結果與上述相似(van Doremalen et al., 2020)。儘管還不知道人類感染劑量，但SARS-CoV-2如果產生於小氣膠顆粒中，可能還是能在氣膠中保持數小時的活力以及傳染力。

### 3-1-2 氣流、通風和過濾

與飛沫相比，氣流強烈地影響載有病毒的氣膠 (Wei et al., 2018) 的傳輸，飛沫由於重力而迅速地沉積。呼出空氣中的氣膠數量往往會較多，因為呼出的空氣比環境溫度高 (Chen et al., 2020)，而且它們的移動軌跡也會受到身體熱羽流(Body's thermal plume)的影響 (Wei et al., 2018)。室外更大的氣流有助於氣膠分散，相反地室內的氣流受到周圍牆壁和天花板的限制。通風率和氣流模式在室內環境中病毒的空氣傳播中起著重要作用 (Li et al., 2007; Tang et al., 2006; Du et al., 2020)。一項關於鼻病毒傳播的研究指出，低通風率會增加在室內接觸載有病毒的氣膠的風險 (Myatt et al., 2003; Myatt et al., 2004)。COVID-19 在高層公寓樓中的爆發沿著垂直排列的單元(units)發生，這些單元由單個風管連接，證實存在與共同空氣相關的空氣傳播風險 (Chang et al., 2021)。提高通風率得以將通風不足建築物中的二氧化碳濃度從3200 ppm降低到 600 ppm (對應於估計的通風率從1.7 L/s/person增加到24 L/s/person) 已經被證實可以將結核病的繼發性發病率降低到零 (Du et al., 2020)。

室內環境中的氣流受通風系統的設計和運行狀態的影響，包括通風系統的類型 (無論是自然通風的門窗、機械通風還是這些通風系統的混合)、氣流模式、換氣率

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

和輔助系統，如空氣過濾（Tang et al., 2006; Qian et al., 2018）（圖3-1）。WHO 最近建議了10 L/s/person的通風率（WHO, 2021）。適當地放置攜帶式高效濾網（high-efficiency particulate air, HEPA），能夠去除 $\geq 99.97\%$ 氣膠顆粒（大小 $\geq 0.3 \mu\text{m}$ ），也可以有效減少傳染性氣膠的暴露，尤其是在結合通風和一般的遮罩物（如口罩）（Lindsley et al., 2021; Narayanan et al., 2021; Curtius et al., 2021）。儘管通風和過濾有助於去除攜帶病毒的氣膠，但必須正確實施才得以減少氣膠吸入的傳播和風險（Shao et al., 2021; Narayanan et al., 2021）。一項研究通過結合現場測量（Situ measurement）和計算流體動力學（Computational fluid dynamics, CFD）模擬，定量評估了無症狀人員在電梯、教室和超市環境中通過空氣傳播 COVID-19 的風險，證實不適當的通風可能會產生的風險遠高於在其他房間位置（Shao et al., 2021）。此外，為了阻隔室內空間咳嗽和打噴嚏產生的飛沫傳播所使用的物理性壓克力版或有機玻璃片反而會阻礙氣流，反而會在呼吸區暴露到更高濃度的氣膠，並且有研究證實會增加 SARS-CoV-2 的傳播（Lessler et al., 2021）。

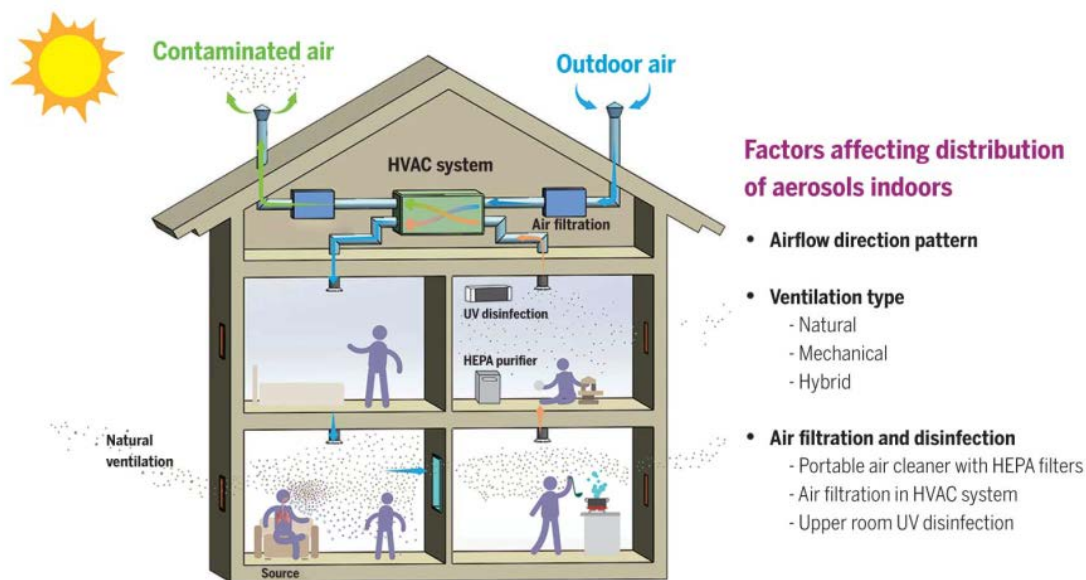


圖3- 1影響室內空氣傳播的因素

（資料來源：Wang et al., 2021）

空氣傳播感染的風險和與通風率的相關性可以通過病毒傳播的盒子模型(Box model)和 Wells-Riley 感染模型(Wells-Riley infection model)進行評估 (Riley et al., 1978; Miller et al., 2021)



$$P = \frac{N}{S} = I - e^{-Iqpt/Q}$$

其中 P 是感染率，N 是確診感染病例數，S 是易感病例數，I 是感染者數，q 是定量（感染劑量）生成率（每小時定量數），p 是易感個體的肺換氣率（ $\text{m}^3/\text{s}$ ），t 為暴露時間（hr），Q 為室內通氣率（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）。將使用 Wells-Riley 方法的模型應用於合唱團中的 COVID-19 大型社區爆發，其中一個已知有症狀的指示病例導致 61 名成員中出現 53 例（二次侵襲率(secondary attack rate) 87%），其中得出的結論是，通風不良、場地擁擠、聲音響亮和持續時間長都導致較高的二次侵襲率 (Miller et al., 2021)。合唱團中面對面的互動有限，並且非常注重手部消毒，因此排除了污染物接觸或飛沫傳播的貢獻 (Miller et al., 2021)。需要研究確定不同條件下可接受的最低通風率以及通風類型對傳播風險的影響。

實施有效的通風系統可減少載有傳染性病毒的氣膠的空氣傳播。建議採取一些確保足夠的通風率和避免再循環等策略 (Somsen et al., 2020; Morawska et al., 2020)。二氧化碳感測器可用作呼出空氣累積的指示器，並用來當作監測和優化通風的簡單方法 (Rudnick et al., 2003; Peng et al., 2021)。氣膠感測器還可用於評估 HEPA 和 HVAC 氣膠過濾的效率，這是減少由載有病毒的氣膠引起的感染的重要因素。已建議確保每小時換氣 4 至 6 次 (Air changes per hour, ACH) 的最低通風率並將二氧化碳濃度保持在 700 至 800 ppm 以下，但也應考慮通風類型和氣流方向和模式 (Qian et al., 2018; Villanueva et al., 2021)。提高 HVAC 系統、獨立 HEPA 過濾器中的空氣過濾效率或實施室內上層紫外線消毒系統，可以進一步降低載有病毒的氣膠的濃度 (Schuit et al., 2020; McDevitt et al., 2012; Schuit et al., 2020; Buonanno et al., 2020; Chen et al., 2010)。

### 3-1-3 紫外線輻射

長期以來，紫外線照射被認為是讓空氣傳播病毒失去活性的有效方法，包括流感病毒 (McDevitt et al., 2012; Schuit et al., 2020)、SARS-CoV-1 和其他人類冠狀病毒 (Buonanno et al., 2020)。在地面陽光中發現的波長下，紫外線輻射會使 SARS-CoV-2 在大量培養基 (Bulk culture medium) (Heilingloh et al., 2018) 和氣膠 (Schuit et al., 2018) 中快速地失去活性。紫外線輻射會破壞遺傳物質，導致病毒失去活性 (Chang et al., 2020)。儘管如此，在操作紫外線消毒燈時必須小心，避免直接接觸眼睛和皮膚。

在不鏽鋼表面的模擬唾液中，SARS-CoV-2 在黑暗中經過 60 分鐘不會衰減，但在於

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

模擬紫外線UVB輻射情況下(模擬在晴天海拔40°N，暴露於陽光下的情境)，在每6.8到12.8分鐘就會失去90%的傳染力(Montero et al., 2020)。

### 3-1-4傳染媒介表面的穩定性

SARS-CoV-2在塑膠、不鏽鋼以及玻璃表面上持久性與SARS-CoV-1相似(van Doremalen et al., 2020; Chin et al., 2020; Duan et al., 2003)。這些病毒在金屬表面上的生存能力會因為金屬的種類而有不同。2020年3月《新英格蘭醫學雜誌》的論文指出，COVID-19病毒可以在空氣中存活3小時以上，不鏽鋼表面2天，而塑膠固體表面3天。最近在澳洲的研究發現，病毒於20°C的環境溫度下，在塑膠、不鏽鋼、玻璃及紙幣上竟然可以存活28天，在棉製衣服上也可以活7天，然而在銅材上卻僅能存活8小時(van Doremalen et al., 2020)。

有研究指出銅和銅合金對各種病毒具有抗菌作用(Michels et al., 2020)。包含關於銅對於該病毒產生細胞毒性的各種機制。游離的銅離子產生的活性氧可以導致細胞代謝性自殺；也可以使病毒蛋白質不穩定；也能夠藉由病毒顆粒的聚集直接使病毒失去活性(Warnes et al., 2020)。這說明SARS-CoV-1和SARS-CoV-2在銅表面上的存活能力比在其他金屬表面上還要低。也有研究指出銅合金(≥58%銅)被利用到各種醫院設備時，可以減少表面的微生物(Karpanen et al., 2012)。

數十年來，在建築物中，特別是在醫院中，其他病原體藉由環境媒介途徑傳播感染一直是人們關注的問題。近年來，已經針對建築物環境(Built environment, BE)中微生物的存在、豐富度、多樣性、功能以及傳播進行了大量研究。這些研究揭露出常見的病原體交換途徑和機制，而這些途徑和機制可以使人們深入了解如何調節SARS-CoV-2藉由建築環境傳播途徑的潛在方法。

### 3-2影響COVID-19在建築物環境中傳播的因子

因為建築物環境(BE)可以促使個體間緊密相互作用以及讓病毒從空氣中交換以及傳遞，因此BE能作為潛在的傳播載體(Adams et al., 2016; Tellier et al., 2019)。建築物內的居住者密度會促使人類相關的微生物累積，相關影響因素包含建築物類型及規劃、啟用時程以及室內活動(Horve et al., 2020)。較高的居住者密度和室內活動通常會增加社交互動以及個體間或環境中的表面直接接觸(Andrews et al., 2020)。2019年12月在中

國武漢，最初有一群因為呼吸窘迫而住院的患者，大約10天後，在同一家醫院也出現了其他COVID-19的患者，推測可能是因為醫院內藉由建築環境傳染而造成患者人數增加(Rothan et al., 2020)。

目前對於SARS-CoV-2的傳染性(稱作 $R_0$ )估計為1.5到3 (Wu et al., 2020; Zhang et al., 2020)。 $R_0$ 定義為一名感染者會把感染傳給多少其他人的平均人數(Poon et al., 2020)。根據文獻，麻疹的 $R_0$ 值約為12-18 (Guerra et al., 2017)，流感 $R_0$ 值為2 (Biggerstaff et al., 2014)。但是，若在BE為密閉空間內，SARS-CoV-2的 $R_0$ 估計值會高很多，估計範圍為5至14，其中案例為鑽石公主號上3711名乘客中有700人(約19%)在船上2週隔離期間感染COVID-19。此事件說明，因為BE內為密閉空間，導致COVID-19的傳播性提高(Mizumoto et al., 2020)。考慮到郵輪的空間分布，受感染的乘客與其他人之間距離太近可能在COVID-19的傳播中發揮了重要作用(CDC, 2020)。

目前正在發展有關COVID-19傳播動力學的知識，但根據SARS和MERS-CoV的研究，初步的SARS-CoV-2資料以及CDC的建議，SARS-CoV-2似乎有可能存在傳染媒介上，根據材質的不同存活時間範圍能從數小時到5天(CDC, 2020; Kampf et al., 2020; van Doremalen et al., 2020)。根據SARS-CoV-2生存的初步研究，該病毒在塑膠表面上且相對濕度為40%時生存時間最長(半衰期median = 15.9 h)；在氣膠型式中生存最短(半衰期median = 2.74 h)，但是是以相對濕度65%情況下偵測的(van Doremalen et al., 2020)。基於SARS和MERS相關的數據，研究員預測若在較低的相對濕度情況下，SARS-CoV-2在氣膠中的生存能力可能會更長。研究顯示在相對濕度為40%情況時，SARS-CoV-2在銅(半衰期median = 3.4 h)、紙板(半衰期median = 8.45 h)以及鋼(半衰期median = 13.1 h)的存活率落在空氣和塑膠之間(van Doremalen et al., 2020)。然而，應該要注意的是，到目前為止還沒有任何資訊證明藉由傳染媒介感染到COVID-19的病例。只有初步數據表明糞便中存在SARS-CoV-2，顯示可能經由糞口途徑傳播。(Poon et al., 2020; Perlman et al., 2020; Ong et al., 2020; Xiao et al., 2020)。儘管文獻上COVID-19的傳播只藉由呼吸道飛沫傳播而沒有藉由傳染媒介，但在假設病毒可能經由接觸傳染的前提下，仍然應該要清除且消毒所有在非生物表面潛在的SARS-CoV-2(CDC, 2020; Ong et al., 2020)。在謹慎狀況下並且考量到COVID-19會沉降到表面，考慮病毒經由氣膠和污染媒表面傳播的可能性也很重要(Lipsitch et al., 2020)。

以前，人們已經確認SARS可以經由飛沫傳染(Bell et al., 2003)。考慮到SARS-CoV-2是2002年SARS病毒的旁系群(sister group)(Coronaviridae Study Group, 2020)，了解該病

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

毒會在人與人之間傳播，觀察到人與人之間傳播的發生率很高，並且COVID-19在全世界以及社區中快速傳播，SARS-CoV-2藉由飛沫傳染是當時所被接受的(Chang et al., 2020; Chan et al., 2020)。

### 3-3 攜帶病毒的氣膠和環境因素的相互作用

研究證實，冠狀病毒的空氣傳播是其最潛在的感染途徑之一(Morawska and Cao, 2020; Setti et al., 2020)。研究還證實，感染病毒的液滴核可能會感染直接接觸的個體，但是與呼吸液滴（直徑 $> 5-10 \mu\text{m}$ ）相比，液滴核（直徑 $< 5 \mu\text{m}$ ）可以經由空氣傳播並傳播更遠的距離。從而擴大了擴散區域。存在於環境空氣中的超細顆粒的停留時間約為數天或數週，可在大氣中傳輸達數千公里，而較重的較粗顆粒往往會沉積得更快，並且通常會從其發生地移動不到10 km (WHO, 2006)，儘管需要探索載有病毒的顆粒的傳輸程度。雖然缺乏具體的證據證明冠狀病毒感染可以經由空中進行遠距離傳播，但研究證實PM可以作為病毒滴狀核的潛在載體，最終傳播病毒和其他病原體(Sanità di Toppi et al., 2020)。然後，這些載有病毒的帶原者病毒液滴核也可以與微粒物質相互作用，因為它們被吸附在微粒表面上，可以進一步在大氣中傳播，從而增加了破壞（感染）的距離。

儘管PM可以在包含冠狀病毒的微生物中發揮作用，但仍未解決PM的各種組成與冠狀病毒之間的相互作用，即病毒在不同PM成分/組成上（包括碳黑和重金屬微粒等）的傳播和存活。另一方面，暴露於PM濃度超出空氣品質標準（每年平均PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>暴露分別為 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），可能會對免疫系統產生不利影響(WHO, 2006)，不僅進一步加重了病毒的感染潛力，而且嚴重影響了健康。有大量證據證實，短期和長期暴露於高濃度的超細微顆粒物PM和其他人為污染物與有害健康影響有關，包括加劇肺部特別是肺泡內沉積的既往呼吸系統疾病（Chen et al., 2016），經由慣性碰撞，重力沉降和擴散機制相結合（Darquenne, 2014）。吸入的PM<sub>2.5</sub>可以沉積在呼吸道的不同分區中，並與上皮細胞和駐留的免疫細胞相互作用，誘導局部或系統性炎症反應(Wei and Tang, 2018)。因此，如果微粒攜帶病毒，那麼暴露不僅可能使人感染COVID-19，而且可能影響個體的免疫系統，從而惡化個體的健康狀況，從而增加病毒的傳染性、發病率和死亡率，尤其是在兒童和成人中的應用(Pope III, 2007; Li et al., 2016; Pope et al., 2018; Kirrane et al., 2019; Tsatsakis et al., 2020)。

除了經由空氣傳播病毒和PM的干擾外，這些干擾還可能經常發生在不同的環境表面上，在這些環境表面上，粗顆粒的PM和載有病毒的呼吸核會沉降並污染表面。與PM一起，大氣中的生物氣膠包括病毒、真菌、細菌和藻類，它們與PM的結合可以提高病毒的生存能力，從而可能提高病毒的生長和繁殖能力(Turaga et al., 2012)。與清淨空氣和晴天相比，在高PM污染和煙霧事件期間，微生物數量明顯增加了(Cao et al.,

2014; Wei et al., 2016)。現在，當接觸到這種被感染的表面時，可以作為經由口、鼻或眼睛將病毒引入個人的途徑。這些表面還可以在高風速紊流中重新懸浮在充滿病毒的顆粒中，同時促成空氣傳播的感染。

研究指出PM的組成特徵和形態對病毒存活的影响也至關重要，因為與PM相關的許多化合物可能對病毒的存活產生毒性，這將顯著決定其在空氣和表面的擴散。由以上發現可以推斷，不同的PM成分對病毒的生存能力不同，因此，PM在空氣傳播和表面傳播中的作用不能一概而論，成為今後研究的重要課題。

### 3-4 和COVID-19傳播相關之環境參數

最近有許多關於SARS-COV-2及其與標準污染物和環境參數的關係的研究，總結了一些近期研究的結果，這些研究調查了其中一些因素與COVID-19傳播和死亡的關聯。

從表3-1可以推斷出，較高的溫度，紫外線輻射和風速與較低的COVID-19傳播風險有關，儘管其他政治/行政、人口、環境和科學因素也會產生干擾作用(Bherwani et al., 2020a, Bherwani et al., 2020c; Goumenou et al., 2020)。濕度對病毒傳播的影响尚不清楚，因此需要更多的科學證據來建立因果關係。據報導，若社交（物理）距離沒有得到適當遵循，則環境因素的影响將被低估 (Bherwani et al., 2020b; Gupta et al., 2020)。

對短期和長期暴露於標準污染物的研究發現，污染濃度與COVID-19傳播或死亡之間存在關聯，更高的濃度導致死亡增加。這可能主要是由於此類污染物對健康的影響，這將使人們更容易受到COVID-19感染，並且可能實際上並未考慮病毒在污染表面上的穩定性，尤其是在PM組成方面。有趣的是，短期暴露於較高濃度的SO<sub>2</sub>與降低COVID-19感染的風險有關(Zhu et al., 2020a)，從而進一步加強和證明目前的假設，即大氣化學和PM特性可以顯著影響病毒的生存，因為這可以經由兩種最可能的傳播方式（即經由空氣傳播和經由傳染媒介傳播）在疾病傳播中發揮至關重要的作用。

表3- 1不同環境參數對COVID-19之影響情形

| 研究地點和詳細信息                    | 探索的參數                                          | 主要成果                                                                     | 參考/ 作者，年份                |
|------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 中國的122個城市                    | 日平均溫度、相對濕度、氣壓和風速。                              | 平均溫度與COVID-19確診病例之間的近似線性關係在<3°C範圍內                                       | Xie and Zhu (2020)       |
| 中國大陸31個省                     | 日平均氣溫                                          | 每天將周圍環境的平均溫度提高到13°C左右，與每天發生COVID-19的情況呈負相關                               | Oliveiros et al. (2020)  |
| 100個中國城市和1005個美國縣            | 溫度和相對濕度                                        | 隨著溫度和相對濕度的升高，中國和美國的有效傳染數(R)均降低                                           | Wang et al. (2020a)      |
| 55個義大利省會城市                   | 2018年的PM <sub>10</sub> 、O <sub>3</sub> 和Wind數據 | 超出PM <sub>10</sub> 或O <sub>3</sub> 準則100天以上的城市感染率更高。低風速，高濕度和發生霧天與傳播增加有關。 | Coccia (2020)            |
| 雅加達，印度尼西亞                    | 最低溫度、最高溫度、平均溫度、濕度和降雨                           | 只有平均溫度與COVID-19大流行顯著相關                                                   | Tosepu et al. (2020)     |
| 中國各省                         | 溫濕度                                            | 升高1°C（高於5度）會導致病毒傳播降低10%。濕度之間沒有任何關係的可能性很小                                 | Gupta (2020)             |
| 2個印度州和3個印度城市，其中以美國1個城市為控制案例。 | 溫度和相對濕度                                        | 社交距離因素極大地破壞了溫度的影響。濕度的影響不是決定性的。溫度和濕度的總體影響與其他環境因素（如空氣污染等）可能彼此影響。           | Bherwani et al., (2020b) |
| 美國所有50個州和華盛頓特區               | 平均濕度                                           | 濕度與COVID-19死亡率之間呈顯著正相關                                                   | Li (2020)                |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

| 研究地點和詳細信息               | 探索的參數                                                                                                     | 主要成果                                                                                    | 參考/ 作者，年份           |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 全國0.25×0.25°網格          | 溫度、相對濕度、紫外線輻射<br>(衛星推估)                                                                                   | 在規定範圍內的溫度(0–10°C)，比濕(2–6 g/kg)和UV-B輻射(<1.5 MJ m <sup>-2</sup> d)可能會增加COVID-19的傳播風險      | Wen et al. (2020)   |
| 中國30個省會城市               | 環境溫度、晝夜溫度範圍、絕對濕度、遷移比例指數                                                                                   | 低溫，適度的晝夜溫度範圍和低濕度可能有利於COVID-19傳播                                                         | Liu et al. (2020c)  |
| 美國(縣級)                  | 衛星模擬的PM <sub>2.5</sub> (針對20個潛在的混雜因素進行了調整)                                                                | PM <sub>2.5</sub> 濃度每增加1 μg/m <sup>3</sup> ，COVID-19死亡率增加8%                             | Wu et al. (2020b)   |
| 166個國家                  | 溫濕度                                                                                                       | 溫度和相對濕度均與COVID-19的日常病例和死亡呈負相關。隨著溫度和濕度的升高，COVID-19大流行可能會得到部分抑制。                          | Wu et al. (2020a)   |
| 中國的120個城市               | 關鍵污染物：PM <sub>2.5</sub> 、PM <sub>10</sub> 、SO <sub>2</sub> 、CO、NO <sub>2</sub> 和O <sub>3</sub> 與每日確診病例的關係 | 短期接觸所有標準污染物(SO <sub>2</sub> 除外)會增加感染的風險。                                                | Zhu et al. (2020a)  |
| 義大利北部和西班牙中部             | 衛星模擬的NO <sub>2</sub> 和擴散模型                                                                                | 長期暴露於NO <sub>2</sub> 會導致較高的COVID-19死亡率                                                  | Ogen (2020)         |
| 中國、印度、巴基斯坦和印度尼西亞的9個亞洲城市 | PM <sub>2.5</sub> 和PM <sub>10</sub>                                                                       | 長期(10年)中高濃度的PM <sub>2.5</sub> 暴露與目前每單位報告病例中COVID-19的死亡率顯著相關。PM <sub>10</sub> 暴露沒有顯著相關性。 | Gupta et al. (2020) |



### 3-5 COVID-19 病毒在飲用水、糞便、污水和表面的存活情況

儘管未經處理的飲用水中可能存在 COVID-19 病毒，但尚未在飲用水供應環節中檢測到該病毒。此外，在地表或地下水源中也沒有檢測到其他冠狀病毒，因此，冠狀病毒對供水構成的風險很低(WHO, 2017)。COVID-19 病毒有包膜，因此，與已知可通過水傳播的無包膜人類腸道病毒（如腺病毒、諾如病毒、輪狀病毒和甲型肝炎）相比，在環境中更加不穩定。有一項研究發現，其他人類冠狀病毒<sup>a</sup>在脫氯自來水和攝氏20度的醫院廢水中僅存活兩天(Wang et al., 2005)。相比之下，我們發現流感病毒<sup>b</sup>在飲用水中的清除效率很高 (>4 log)，接觸時間僅需五分鐘，且氯殘留為0.3毫克/升 (Lénès et al., 2010)。其他研究也在數天至數周內發現了類似的清除水準。若要達成冠狀病毒顯著清除效果（99.9%清除），在 23°C的初級污水流出物中為兩天<sup>c</sup>，在25°C的巴氏殺菌沉澱污水中為兩個星期，在25°C的試劑級水<sup>d</sup>中為四個星期 (Gundy et al., 2008; Casanova et al., 2009)。較高的溫度、高或低的酸鹼度和光照都有助於減少病毒。

最近的證據表明，COVID-19病毒（SARS-CoV-2）在表面上的存活類似於 SARS-CoV-1 病毒，後者是引起嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒（SARS）的病毒 (Van Doremalen et al., 2020)，在表面上的存活時間為2小時至9天(Kampf et al., 2020)。存活時間取決於幾個因素，包括表面類型、溫度、相對濕度和病毒毒株。同一研究還發現，使用普通消毒劑，如70%的乙醇或0.1%的次氯酸鈉，即可在1分鐘內達到有效的滅活效果。

<sup>a</sup> 觀察到嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒（SARS-CoV）滅活。

<sup>b</sup> H5N1禽流感病毒也是一種包膜病毒。

<sup>c</sup> 觀察到人類冠狀病毒 229E (HCoV)和貓傳染性腹膜炎病毒(FIPV)滅活。

<sup>d</sup> 觀察到傳染性胃腸炎(TGEV)和小鼠肝炎（MHV）滅活。

科學家們還沒有發現廁所氣膠可以傳播病毒性疾病的直接證據，但至少自1950年代以來，他們一直在研究沖水馬桶引起的細菌羽流(或廁所羽流)。隨著時間的推移，他們改進了他們的實驗設置，試圖更準確地了解氣膠的傳染性。

在一些早期的實驗中，研究人員在沖水馬桶周圍留下了培養皿。任何從空氣中掉落的細菌或病毒都可以在盤子上生長，使研究人員能夠確定廁所氣膠攜帶的物質。然而，林等表示，這種被動採樣形式有一個缺點：1.空氣中細菌或病毒的濃度通常很低，有時沒有足夠的病原體落在培養皿以供檢測。2.為了有效地收集空氣中的微生物，更好

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

的辦法是使用幫浦經由過濾器從房間中抽取空氣，然後科學家可以捕獲完整的病毒或使用基於聚合酶鏈反應的方法來識別收集到的病毒的遺傳物質。但這些都需要後續的實驗室步驟。Lin等使用其中一些技術來了解伊波拉病毒如何通過糞便氣膠傳播，包括來自沖水馬桶。在一項實驗中，他將摻有噬菌體（感染細菌的病毒）的淨化後的污水污泥放入大學的廁所中，然後測量他沖水時的反應。結果發現，雖然沖洗只會將少量病毒傳播到空氣中，但微生物可以在這個過程中存活下來並保持傳染性（Lin & Marr, 2017）。在實驗室外，一些研究人員研究了表明人們被糞便氣膠感染的案例。例如，香港大學室內空氣品質專家李玉國調查了一個來自 COVID-19 大流行的案例。自2003年以來，李一直與衛生專業人員合作調查各種傳染病暴發，包括 2002-3 年嚴重急性呼吸系統綜合症 (SARS) 暴發。當時，香港的淘大花園的公寓樓裡，有超過 300 人感染了 SARS。李及其同事認為，來自破裂污水管的糞便氣膠可能導致了爆發（Yu et al., 2004）。

2020年2月，李與中國疾病預防控制中心合作，調查中國廣州一些 COVID-19 病例的起源。住在高層建築中三間公寓的九人感染了 COVID-19。雖然一個家庭最近從大流行的中心武漢返回，但其他家庭卻沒有。接觸者追蹤無法解釋其他家庭是如何被感染的。但是，雖然所有生病的家庭都住在不同的樓層，但他們的公寓號都以 02 結尾，這意味著他們住在一個樓上的公寓，並且都共享同一個污水管道系統。李想知道廣州大廈是否有類似於淘大花園的東西。中國疾控中心對大樓內的共享區域進行了採樣，並在公寓周圍設置了氣膠採樣器，但沒有發現空氣中存在病毒。為了確定污水系統是否可能傳播病毒，研究人員通過受感染家庭公寓之一的廁所向管道中添加了少量乙烷氣體。乙烷最終出現在所有三套公寓中（Kang et al., 2020）。由於這些結果，再加上流體動力學模型的數據，李的團隊得出結論，來自第一個受感染家庭的糞便氣膠可能已經穿過共用的污水管道，並通過乾涸的排水管進入其他公寓。

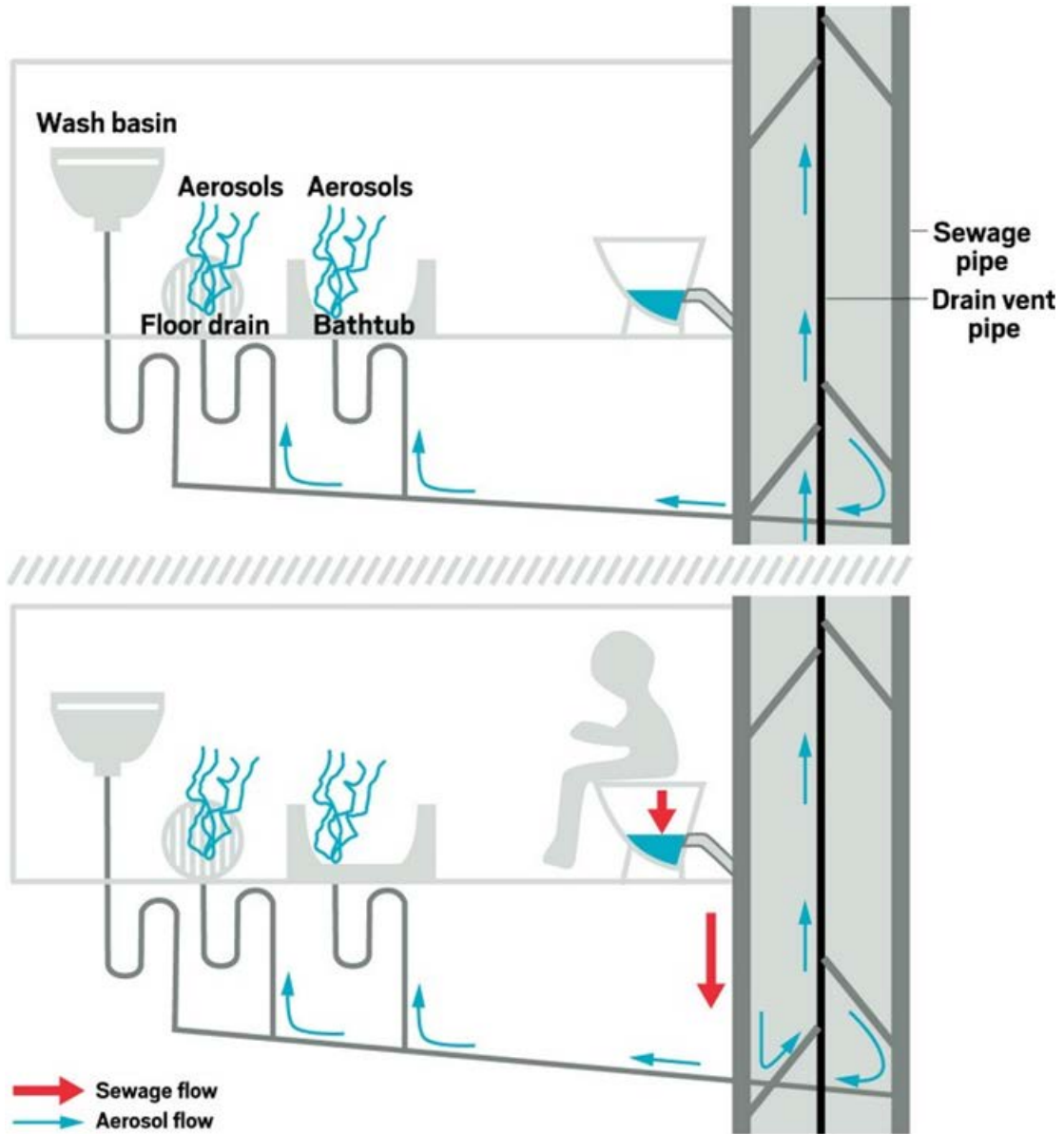


圖3- 2攜帶 SARS-CoV-2 的糞便氣膠於排水管傳播動線  
(資料來源：Kang et al., 2020)

### 3-6 與其他化學物質的相互作用

為了更好地理解SARS-CoV-2的生存特徵，也對病毒的生存以及與不同表面和化學物質的相互作用進行了研究。

#### 3-6-1 金屬離子

金屬離子在病毒的生存中起著重要的作用。鎂、鋅和銅是一些可以與病毒蛋白結合的金屬離子，可以是RNA和DNA過程的一部分(Tunde et al., 2020)。鈹的錯合物已顯示出有效抑制SARS-CoV的生長(Yang et al., 2007)。鋅錯合物已被證明可在細胞培養物中抵抗流感、脊髓灰質炎病毒和SARS-CoV (te Velhuis et al., 2010)。Zn<sup>2+</sup>還顯示出可抑制冠狀病毒(Tunde et al., 2020)。Tunde 等對鎳、鎂、鈷、鐵、銅等重金屬錯合物的作用及其與不同病毒的相互作用進行了全面綜述 (Tunde et al., 2020)。金屬離子可以沉積在表面並與病毒相互作用，建議進一步研究其對病毒存活的影响。

#### 3-6-2 精油

精油及其成分的抗病毒特性已得到充分文獻證明，研究證實對流感病毒、登革熱病毒等不同菌株具有實質性抑制作用(Nerio et al., 2010; Raut and Karuppaiyl, 2014)。最近，一項研究證實，作為大蒜精油主要成分 (> 99%) 的有機硫化合物與SARS-CoV-2有很強的相互作用，證實該食品成分是有價值的天然抗病毒來源，有助於預防入侵病毒進入人體內(Thuy et al., 2020)。此外，槲皮素和大蒜素等有機硫化合物與病毒感染的抑制作用有關(Sharma, 2019)。這些觀察結果證實，有機硫化合物的天然來源，例如大蒜、洋蔥、熟肉、魚和韭菜，在抑制冠狀病毒方面可以發揮積極作用。然而，根據生物環境的不同，高劑量會引起毒性和健康影響 (Sahu, 2002)。精油既可以存在於表面，也可以進行霧化。da Silva等人最近對精油的抗病毒特性進行了總結和綜述。

da Silva et al. (2020)已證明有機硫化合物屬於對SARS-CoV-2和其他病原體表現出抑制作用的較大的一類化學物質，稱為植物化學物質，是植物產生的化合物。已經發現各種各樣的活性植物化學物質具有針對多種病毒的治療應用 (Chandel et al., 2020)，並列在圖3-3中。Mani et al. (2020)還鑑定了可能治療COVID-19的關鍵植物化學化合物，例如黃cut素、西爾維斯托爾、色胺酮、皂苷B2、凝集素如格里芬素、lycorine和多酚類藥物-包括槲皮素、楊梅素、咖啡酸、補骨脂素和異巴威康寧。有必要探索基於植物化學物質的藥物和補救措施。

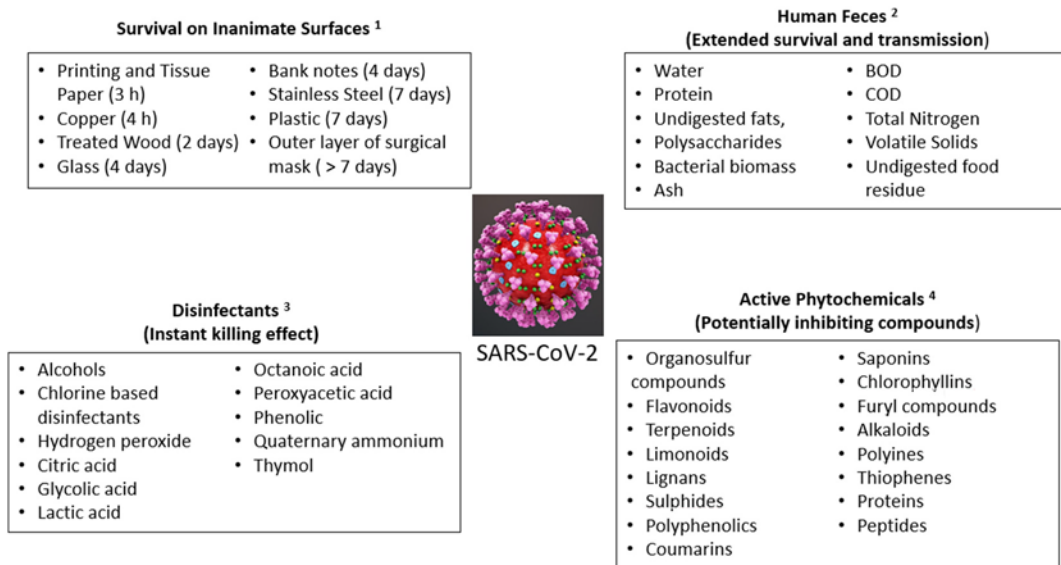


圖3- 3無生命表面的存活時間和影響 SARS-CoV-2 傳播和存活的因素的化學成分  
(資料來源：轉載 Wikipedia under CC license 4.0)

### 3-6-3消毒劑

消毒劑雖然不是天然產生的，但卻是消除病毒和其他病原體的最有效和短期的解決方案。美國環境保護署 (U.S.EPA) 概述了SARS-CoV-2的可行消毒劑，其有效成分包括乙醇、異丙醇、過氧化氫、檸檬酸、乙醇酸、乳酸、辛酸、過氧乙酸、酚醛、季銨、二氧化氯、鹽酸、次氯酸、亞氯酸鈉、二氯異氰尿酸鈉、次氯酸鈉和百里酚 (圖 3-3)。它們的使用範圍可以包括衣服、食物、玻璃和其他表面等各種表面 (US EPA, 2020)，並且霧化也是一種可能的機制。

根據活性成分的稀釋度和化學性質，消毒的時間範圍可能在幾秒到30分鐘之間變化，儘管大多數市售消毒劑需要10分鐘或更短的時間(US EPA, 2020)。但是，必須小心，因為它們會損壞表面，並且皮膚接觸或攝入這些化學物質可能對人體健康有害。

## 第二節在建築物環境中控制和減緩COVID-19傳播措施

為了盡可能保護人們免受SARS-CoV-2的空氣中傳播和任何其他包含空氣傳播的病毒的小飛沫的危害，有幾點針對室內環境建議是必要的，因為這是大多數病毒傳播發生的地方(Nishiura et al., 2020)。此外，這些措施主要適用於公共建築。在住宅和公寓中，應隨時保持正確做法（例如：隔離感染者、打開門窗和在可行時使用攜帶式空氣淨化裝置）以確保室內空氣健康。如此便可以很容易地以相對較低的成本加強已經存在的空調通風防護措施，以減少感染數量，從而挽救生命。下面討論的選項應始終與其他現有措施（例如：洗手和使用PPE）結合使用，以減少經由其他重要的傳播途徑引起的感染，因為在任何暴露事件中都不能完全排除所有這些途徑。本文的其餘部分將僅涵蓋“工程控制”的建議，如傳統的感染控制層次結構（圖3-4）中所述，以減少空氣中傳播的環境風險（CDC, 2015）。

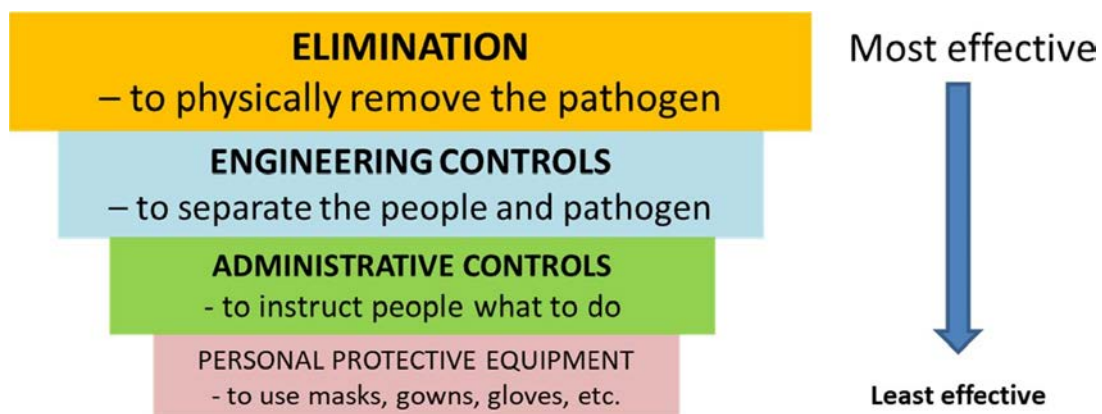


圖3-4美國疾病控制與預防中心改編的傳統感染控制金字塔  
（資料來源：CDC, 2015）

修訂或增加建築HVAC操作規範能夠減少潛在的SARS-CoV-2傳播。多數研究發現病毒與粒徑較大的顆粒有關，例如水、蛋白質和鹽類形成的複合物。儘管已經確定其中一些大小的顆粒會穿透HEPA濾網，但通風以及過濾對於降低SARS-CoV-2的傳播仍然很重要。適當安裝以及維持濾網能夠幫助降低空氣中傳播的風險，但重要的是要理解不應該假設濾網能來完全消除空氣傳播的風險。

建築物中較高的室外空氣比例(outside air fractions)以及較高的空氣交換率有助於幫助稀釋藉由BE中空氣呼吸到的室內污染物，包括病毒顆粒。可以透過打開空氣處理裝

置上的外部空氣擋板來獲得較高的室外空氣比例，進而排出較高比例的室內空氣和存在於空氣傳播的病毒顆粒(Qian et al., 2018)。需要注意一些與建築物操作參數有關的事項。第一，增加室外空氣比例可能會提高能量消耗。在短期內，這是一種支持人類健康重要的緩解方法，但在風險期過後，應該要回復到正常的比例。第二，並非所有的空氣處理系統都有能力大幅增加室外空氣比例，而那些系統可能需要更常維護過濾器。第三，若只是在室內空氣做循環而沒有和室外空氣做交換，可能會增加傳播的可能性。較高的氣流率可以透過更快的速度以及體積分配室內空氣，進而增加污染物懸浮的狀況，懸浮更多的超細顆粒，反而造成提升整個建築物污染的可能性(Qian et al., 2018)。除此之外，增加室內空氣循環速率可能會使人們暴露更多從其他居民身上逸散出的病毒顆粒，管理員和建築商應該合作確定是否有可能增加室外空氣比例，必須考慮哪些限制或次要的影響，並針對處理室外空氣比例和換氣率去擬定計畫。

### 3-7 減少SARS-CoV-2在空氣中傳播的工程控制措施

通風是經由自然或機械方式向空間或建築物提供室外空氣的過程(ISO, 2017)。它控制一段時間內室內空氣的清除和更換速度。在某些情況下，有必要使用適當的過濾系統清除受到污染的室外空氣，然後再將外氣引入建築物。通風能有效去除患者所呼出的含有病毒的空氣中總體濃度及劑量。

通風可以由機械系統，自然力或兩者共同驅動。機械通風會導致能源效率問題，而室外環境會限制自然通風。混合通風功能充分利用了這兩個優勢(Chan and Liu, 2018; Gao et al., 2009; Hoffman, 2019; Rackes and Waring, 2014; Yu and Kim, 2011; Zhao et al., 2020)。最好的策略是尋求去除污染物的功效，同時還要降低能源成本。適當的通風設計（例如供氣和排氣口的位置）可保證在需要的地方和情況下達到適當空氣稀釋，避免病毒累積(Melikov, 2011; 2016; Thatiparti et al., 2016; 2017)。重要指導原則是用乾淨的空氣代替受污染的空氣，但此過程中有時可能會出現局部障礙，例如在使用隔板或為了隱私或醫療程序而拉開窗簾的地方。如果使用這些屏障，則可能需要採取輔助措施以達到所需的通風效果。在許多醫院環境中，已經採取了良好的通風措施，作為日常和緊急措施的一部分，以防止飛沫和接觸傳播(Phiri, 2014)。良好的通風還可以保護居住者免受空氣中傳播。必要時（例如在COVID-19大流行期間）增加通風速率的能力可能有所不同，並且可能會受到其原始設計規範和實施的限制。

值得注意的是許多醫院在病房區域都採自然通風，包括在一些用於重症照護室

中。但是，如果氣流通道受阻（例如：門窗關閉），則空氣傳播的病原體濃度會急劇上升，從而導致空氣傳播和感染的風險增加(Gilkeson et al., 2013)。在有利的氣候條件下，自然通風的概念適用於發達國家和資源有限的國家的醫療機構。天然通風設施的設計，操作和維護並不簡單(WHO, 2009)。例如3月時WHO規定，如果使用自然通風，在COVID-19感染病房中通風量至少必須提供160 L/sec/患者(WHO, 2020b)。

最近，我們看到在展覽中心內建立了非常大的急診病房，可容納數百甚至數千名患者(MSN, 2020)。儘管這些設施將具有足以用於正常展覽或會議用途的機械通風，但尚不清楚在將這些設施用於諸如COVID-19大流行期間，是否有足夠的通風可用於患者管理和感染控制。在公共建築和其他公共空間（例如商店、辦公室、學校、幼兒園、圖書館、飯店、遊輪、電梯、會議室或大眾運輸）中，情況可能更糟，這些區域的通風系統範圍從專門設計過的機械系統到僅僅依靠打開的門窗。在大多數這些環境中，由於各種原因（包括限制氣流以節省能源和節省成本），通風率明顯低於醫院。因此，在這樣的環境中，較低的通風速率主要是為了控制室內空氣品質（可能還包括一些醫院急診室、普通病房和門診區域）(Booth et al., 2013; Jo et al., 2019; Kulkarni et al., 2016; Rule et al., 2018; Sornboot et al., 2019)，被感染者與易感者共享空氣的可能性很高，造成了感染風險，導致傳染病傳播。最近，研究人員強調了在封閉環境中使用再循環空氣可能會產生更高的COVID-19感染率。因此，對於當前的COVID-19大流行，不建議空氣再循環。但是，如果仍須採用，必須對再循環空氣進行處理(Blocken et al., 2020; Brittain et al., 2020)。

將戶外空氣帶入室內以減少污染物的概念並不是什麼新知，它已成為解決IAQ問題的答案。但是，即使通風條件得到改善，擁擠的室內空間仍然會存在危險，因為含病毒的顆粒會在過濾前接觸到民眾。因此，通風本身也可以被認為是污染和暴露的來源。現在的問題是，工程師是在室外空氣受到污染時將這些空氣帶入建築物，還是將其帶入熱舒適區域之外。在這種情況下，重要的是要檢查其他通風干擾和技術，以最大程度地達成室內到室外的清潔空氣交換(Abouleish, 2020; David, 2020; Morawska et al., 2020)。

### 3-7-1 通風相關的介入措施

如果放寬限制，室內環境中COVID-19的空中傳播將大大增加，並且缺少最有效的措施，例如社交距離和自我隔離。基於這種情況，大流行病正在提高人們對空氣和表



面清潔的認識(Bradley, 2020; Kumar and Morawska, 2019; ProLampSales, 2020; Yamano et al., 2020)。建築物中有許多潛在的感染部位，包括病人或建築物綜合症，或經由HVAC系統再循環的空氣。科學界在尋找工程技術上已經付出了很多努力，以使空氣傳播的病原體遠離人群或將其保持在較低濃度，以使它們不會引起疾病。加壓、稀釋、過濾、淨化和奈米技術（參見表3-2）是最技術性的介入措施。

實際上，上述與通風有關的介入措施具有許多標準和預防措施，需要對其進行更新才能更有效地預防或控制室內環境中的空氣傳播傳染病。在這種情況下，可以對現有的通風系統進行防護，以最大程度地減少SARS-CoV-2的進一步擴散。在機械通風的建築物中，通風系統由HVAC工程師制定，並根據ASHRAE、REHVA和SHASE通風指南進行更新，以解決COVID-19大流行。病毒和細菌病原體在被感染的個體釋放後會出現在空氣中，需在暖通空調系統中安裝了過濾和其他淨化技術，以保護通風設備並保持健康的室內空氣品質(Gao et al., 2009; Goyal et al., 2011; Morawska et al., 2020)。

表3- 2空氣消毒淨化系統和技術

| 技術   |             | 描述                                                                                    | 利弊                                                             | 資料來源                                                      |
|------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 加壓方式 | 正壓及負壓       | 壓差是指在相鄰空間之間產生定向氣流的可測量氣壓差。                                                             | 它需要詳細的計算和模擬來獲得其好處和準確的監控。它可以單獨使用，也可以與其他技術結合使用。                  | Memarzadeh et al. (2010)                                  |
| 稀釋   | 自然、機械和混合動力  | 這是去除病原體最簡單的方法之一。經由通風策略進行稀釋可以改善室內空氣品質，降低能耗並經由通風去除顆粒來控制顆粒。                              | 它與空氣分配方式，進氣口和回風口的位置、空間的物理配置、民眾的熱舒適度等有關。                        | (Memarzadeh et al., 2010; Rackes and Waring, 2014)        |
| 過濾   | 機械過濾        | 在HVAC系統中廣泛使用的一種方法，可以經由在特定區域使用高效微粒空氣 (HEPA) 過濾器或經由經過抗菌劑處理的過濾器來改善空氣品質。                  | 它要求正確的安裝，維護和監視。由於冠狀病毒的體積小，該病毒可以經由大多數過濾器。但是，HEPA過濾器會捕獲包含它的較大顆粒。 | (Horning and Davis, 2020; Memarzadeh et al., 2010)        |
|      | 生物過濾技術      | 一種基於植物的技術，可以吸收CO <sub>2</sub> ，NO <sub>2</sub> ，SO <sub>2</sub> 來過濾空氣。綠牆和微藻結構是最常見的應用。 | 需要進行更多的研究，尤其是所需的基礎結構和維護。                                       | (Cummings and Waring, 2020; Packer, 2009)                 |
| 淨化   | 雙極電離        | 高壓電極已結合HVAC系統中，在空氣中產生反應離子，可與空氣中的污染物 (包括病毒) 發生反應。                                      | 儘管它增強了過濾系統，但它可能會排放臭氧，因此需要更多的科學研究。                              | (Horning and Davis, 2020), ASHRAE, 2015)                  |
|      | UVGI技術      | 該技術基於UVGI破壞病原體的DNA/ RNA並使它們無害的能力。                                                     | 仍在開發中，以避免對人類的皮膚和眼睛產生不利的健康影響。                                   | (Bradley, 2020; Goel et al., 2020)                        |
| 奈米技術 | 銀奈米顆粒       | 該方法利用銀奈米顆粒來控制病原體的生存力。                                                                 | 實用，但仍需進一步研究其可能對健康的不利影響。                                        | (Bolashikov and Melikov, 2009)                            |
|      | 光催化氧化 (PCO) | 最近的研究提出了用於抗菌應用的基於奈米材料的塗料。最常見的光催化劑是TiO <sub>2</sub> 。                                  | 避免奈米顆粒對人類健康和環境的潛在影響仍在探索中。                                      | (Chouirfa et al., 2019; Goel et al., 2020; Megahed, 2014) |

## 3-7-2 紫外線的技術

最近的研究推薦了基於紫外線的技術，以下詳細討論了這種方法。防止空氣傳播的一種直接方法是滅活空氣中的病原體或帶原者病菌潛能。紫外線殺菌劑 (Ultraviolet Germicidal Irradiation, UVGI) 通常是指253.7 nm (UV-C) 的紫外線波長。儘管UVGI系統具有殺菌作用，但在輻射方面仍需謹慎。由於可能產生眼睛和皮膚的健康風險，這限制了其廣泛使用(Bang et al., 2018; Brickner and Vincent, 2013; Memarzadeh et al., 2010)。最近，已經確定遠紫外光 (波長207-222 nm) 可以有效地滅活病毒和細菌。在實驗室條件下，已證明UVG對一系列微生物有效，包括冠狀病毒(Walker and Ko, 2007)、牛痘(McDevitt et al., 2007)和分枝桿菌(Xu et al., 2003)，甚至流感(McDevitt et al., 2012; McLean, 1961)。幾項研究表示，細菌(Xu et al., 2005)和病毒氣膠(McDevitt et al., 2012)的都隨著濕度的增加而降低或失去活性。Darnell等人(2004)表示，SARS-CoV-1可以被UV-C去活化，而Bedell(2016)顯示，UV-C淨化設備可在1.22 m處去活化MERS-CoV，並在5分鐘內減少近6 log(對數級)。目前還沒有SARS-CoV-2的數據，但是其他冠狀病毒的數據表示它很可能對UV-C具易感性(或有效)。

證據顯示，這項技術適用於大型建築物，可經由使用對人體安全的紫外線強度來降低SARS-CoV-2的濃度。儘管尚未對其安全性和經濟性進行深入研究，但除其他病毒和細菌外，它還可以在交通繁忙和高風險公共場所的區域操作，以防止SARS-CoV-2的傳播(Horning and Davis, 2020; McNamara, 2020; Simon, 2020; Welch et al., 2018)。儘管減少了安全顧慮，但仍可能損壞眼睛和皮膚。遠紫外線燈可能會對角膜構成危險，而最近的研究對於遠紫外線燈是否會構成嚴重的皮膚風險並不一致。此外，仍很少進行研究來確定這些技術是否達到了COVID-19的預期目的。因此，研究仍在進行中，SARS-CoV-2在紫外光下的行為仍存在爭議(Goel et al., 2020; The Illuminating Engineering Society, 2020)。這些技術必須用於在消毒過程中室內淨空，以避免對人體健康造成不利影響。

建築物中大多數UVGI技術的應用主要取決於兩個領域：房間上層的空間輻射和管道內輻射。空間上層UVGI (UR-UVGI) 是經由從牆壁或天花板上懸掛燈以使輻射來達成的。UR-UVGI是一種適合在擁擠、通風不良的環境中考慮的合適技術，在該環境中可能會發生氣膠傳播，並且增強通風的能力有限。此外，UVGI燈安裝在地板上方較深距離的百葉窗箱中，以避免在眼睛濃度處過度暴露。據統計，上層UVG可將感染風險降低相當於將通氣速率提高一倍(Noakes et al., 2015)。Escombe等人 (2009年) 顯示，

在醫院環境中，人到豚鼠的傳播減少了77%，而基於暴露腔的研究表示，UVG對多種細菌氣膠的有效性(Xu et al., 2005, 2003; Yang et al., 2012)。這些與模式研究一致(Gilkeson and Noakes, 2013; Noakes et al., 2004; Sung and Kato, 2010; Yang et al., 2012)表示有效性取決於燈相對於通風口的位置，並且增加吊扇可增強UVG有效性(Xu et al., 2013; Zhu et al., 2014)。在評估上層UVG殺死或去活化空氣中微生物的能力時，必須考慮的因素包括微生物對UVG的敏感性以及微生物或微生物種群所接受的劑量。GUV劑量是紫外線(UV)輻射照度乘以暴露時間，通常表示為 $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 。如果設計得當，以使上部房間的平均紫外線通量率在 $30\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 到 $50\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的範圍內，設計合理的上部房間UVG可以有效殺死大多數含有分枝桿菌的懸浮飛沫核或使其失活。前提是要滿足這些準則中規定的其他要素。此外，應安裝固定裝置，以便在較高的房間中盡可能提供均勻的UVGI分佈(CDC/NIOSH, 2009)。區域感染風險模型(Noakes et al., 2015)表示，在紫外線燈具中，平面平均輻射照度為 $0.2\ \text{W}/\text{m}^2$ 的上層UVG可以等同於將通風速率從3 ACH增加到6 ACH。

管道內UVG系統的安裝提供了另一種方法，這可以是一種實用的方法，用於對污染的提取物進行消毒，或者在無法停止空氣再循環的情況下(Bang et al., 2018; Bradley, 2020; Horning and Davis, 2020; Kujundzic et al., 2007; Memarzadeh et al., 2010; Yamano et al., 2020; Welch et al., 2018)。若以UV-C進行管道內空氣消毒(In-duct air disinfection)時須留意，由於暴露時間有限，需要高劑量的紫外線才能使微生物通過輻照區時迅速將其消滅。最低目標紫外線劑量為 $1,500\ \mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  ( $1,500\ \mu\text{J}/\text{cm}^2$ )，且通常設計用於500 fpm移動氣流的系統，最小輻照區為兩英尺，而最小紫外線暴露時間為0.25秒。美國疾病管制中心已批准使用上層房間和管道系統作為控制HEPA過濾的輔助手段來控制結核病的傳播(CDC/NIOSH, 2009)。對於所有在UVGI領域工作的人來說，安全問題必定是一個問題，因為UVGI燈具放置不當或忽視預防措施會使居民處於危險之中。應盡一切努力設計和維護安全的UVGI系統(Brickner and Vincent, 2013)。

本計畫針對Building and Environment 2021年一篇關於管道內UVGI的效能評估review文章進行彙整，包括大多數管道內UVGI系統設計和文獻中報導的UV劑量。此外，對於減緩COVID-19，估計的CoV紫外線速率常數搭配去活化特定病毒的紫外線劑量，以評估當前管道內UVGI系統設計對冠狀病毒的消毒效果。整體而言，對於去活化90% SARS-CoV-2和SARS-CoV，適當的管道內UVGI系統設計應提供至少 $4.64\ \text{J}/\text{m}^2$ 和 $5.84\ \text{J}/\text{m}^2$ 的平均紫外線劑量。因此，需要更強大的燈或更慢的氣流來增加管道系統

中的紫外線劑量。紫外線速率常數是影響微生物在紫外線照射下的物種相關特性。儘管長期以來濕度一直被認為是影響紫外線速率常數的關鍵參數，但由於文獻中報導的混合影響，尚未得出一般性結論。由於水層吸收和吸濕性顆粒引起的紫外線散射造成的輻射衰減是影響紫外線速率常數變化的兩個潛在原因。然而，需要進一步的研究來量化這些對微生物消毒的影響。相關文章內容可參考附錄七

#### 3-7-3 生物過濾技術

未來的實驗需要專注於被動淨化室內空氣，以創造一個更加親生物的室內環境。生物過濾技術由於其經濟，環境和社會效益而受到關注。這包括將傳統和新興趨勢納入可持續的零排放綠色建築的可能性。已經開發了幾種系統，其中綠色牆壁和微藻結構是最流行的應用(Kisser et al., 2020; Malińska and Zabochnicka-Świątek, 2010; Pettit et al., 2018; Wang and Zhang, 2011)。長期以來，以植物為基礎的技術可以過濾空氣並將CO<sub>2</sub>轉化為生物質和O<sub>2</sub>。這樣的系統目前正在對藻類進行廣泛的研究。這為碳捕獲技術整合到污染嚴重的環境中提供了新的可能性，從而顯著改善了整體生活品質，人類健康和居民的生產力(Biloria and Thakkar, 2020; Frangoul, 2019; Neill, 2019)。但是，在建築環境中實施該技術受到的關注很少，並且存在一些局限性，可能會限制其廣泛的應用範圍。先進的技術是將植物生活帶入室內環境的障礙，已顯示某些物種在特定條件下會產生某些VOC。

#### 3-7-4 室內或攜帶式空氣淨化器

攜帶型消費性空氣淨化設備在較小的房間中可能是有益的，儘管應該認識到，此類設備的尺寸必須適合該空間(Miller-Leiden et al., 1996)。此外，設備裝設在需要清潔空氣的房間內，並將空氣濾清器放置在不妨礙空氣進出的位置（例如不要在家具附近或窗簾後面）。

當空氣被吸入到設備裡，淨化後的空氣在返回到房間；軟性管道系統可以連接到某些設備上，以達成進風口和/或出風口位置的策略，包括排放到室外以產生壓力差和/或產生從乾淨到不乾淨的定向氣流。

空氣清淨機的性能因空氣清淨機的設計和使用空間的不同而有很大差異(Shaughnessy and Sextro, 2006)。確定性能的有效指標是清潔空氣的輸送速度，它等於空氣清淨機產生的無顆粒空氣的體積流速(Foarde, 1999)。Kujundzic等人（2006年）報

導，空氣淨化器在26到980 m<sup>3</sup>/h的清潔空氣輸送速率下，同樣可以有效地清除空氣中的細菌和真菌孢子，分別相當於5到189 m<sup>3</sup>的房間容積的有效清潔。

從空氣中去除顆粒的速率稱為清潔空氣傳輸速率（Clean Air Delivery Rate, CADR），通常以立方英尺/分鐘（cubic feet per minute, CFM）為單位。

CADR≈氣流速率×去除效率；要達到每小時換氣量（air changes per hour, ACH）所需的空氣交換率： $ACH = CADR (cfm) \times 60 (min / hr) \div 房間體積 (ft^3)$

從去除空氣污染物的效率及其對相對濕度和CO<sub>2</sub>控制的影響的角度出發，需要進行進一步的研究。與必要的維護和基礎設施有關的主題，以及居民的接受程度，還需要進一步調查(Cummings and Waring, 2020; Llewellyn and Dixon, 2011; Soreanu et al., 2013)。最後，需要對不同的氣候區進行模擬，以提供更廣泛的氣候和空氣品質狀況的適用性和節能潛力的定量結果。

### 3-7-5減少流行病在相同室內環境中的人數

在需要降低空氣中攜帶病毒的顆粒物的濃度以及減少隨時可以暴露的人數的情況下，這項措施是不言自明的。對於大流行期間可能共享同一空間的許多人來說，沒有一個特定的值，並且考慮應結合上述工程措施，尤其是與該空間的通風參數有關。儘管避免直接接觸傳播所需的物理距離決定了人均建築面積的要求，但提供的通風速率和通風效率是控制居住者呼出的空氣中載有病毒的飛沫濃度的參數，並將決定有關安全入住人數的。例如，在學校或超級市場中，如果受感染的學生或購物者人數少，並且通風率高，則經由空氣傳播的風險可能會降低。同樣，在流行期間，減少使用公共或私人交通工具的人數同時，例如在地鐵系統或公車中，這是有效的社交距離的一部分(Knibbs et al., 2012; Stopera and Stopera, 2020)。

綜上所述，與通風相關的介入措施無疑是避免感染的關鍵問題。但是，在採用被動設計策略之後，必須補充機械設備及技術等措施。科學家對這些技術進行了更多的研究，以防止對人類的健康產生不利影響，迄今為止，還需要進行更多的研究。因此，需要謹慎和專業判斷，以了解選擇，優缺點，對其他建築系統的影響。總而言之，圖3-5顯示了整個工程解決方案的流程圖，做為增強IAQ之決策架構。如圖所示，工程解決方案在對抗COVID-19時必須考慮各個學科之間的協作。必須將新鮮空氣稀釋作為整體工程解決方案的一部分，以解決污染問題，同時不要忽略正確的空氣過濾和主動的空氣淨化。但是，該流程圖基於未經實際測試的理論方法。因此，作者根據最新的科學成果鼓勵未來的發展和更新。

許多研究已對空氣中病原體的存活力進行了各種研究(Brown et al., 2015; Kim et al., 2016; Kormuth et al., 2018; Kulkarni et al., 2016; Marr et al., 2019; Pyankov et al., 2018; Tang, 2009)。SARS-CoV-2病毒在空氣傳播的顆粒中穩定，半衰期超過一小時(van Doremalen et al., 2020)，因此易感染個體可能會吸入該病毒，從而引起感染並進一步傳播這種疾病。隨著“待在家裡”的限制措施逐漸寬鬆，許多人可能會回到在通風不良的工作場所、辦公室、學校和其他公共建築中花費更多的時間，在那裡他們可能會遭受病毒感染吸入感染。

在減輕和保護所有人免受傳染病爆發的過程，醫院面臨著巨大的挑戰。不僅因為採取社交距離方法去防止感染散播，健康照護以及醫療機構選擇變得有限，而且醫療機構還經常將他們對於BE不同需求的患者放置在同一空間。舉例來說，對於高風險免疫功能低下的患者通常要在保護環境室內，目的是限制外界空氣傳播的污染物進入室內。所以相對於走廊空間，這些空間需要正壓，並且需要最少的HEPA提供空氣(ASHRAE 170-2017) (ASHRAE, 2017)。但是，這種壓力差也會使門打開時，病房中的氣膠物質傳播到保護環境室外機會增加，且可能傳播到人們常走動的走廊空間中。

此外，未來的建築設計應該重新考慮如何用最好的方式去檢傷分類以及對與空氣傳播病毒有關的症狀的患者做完整的初步評估，盡可能減少對其他類型患者的暴露。在未來規劃中，建築師、設計師、建築商和健康照護管理員應該追求適應社交距離擴大的需求並盡量減少公共區域之間的連接以及流動，同時在正常運作狀況下，應該靈活且有效的利用空間。

有鑑於感染COVID-19或暴露於SARS-CoV-2的個體(無症狀)數量急遽增加。未來有必要對建築環境的微生物傳播研究進行系統性回顧，對於建築環境中常見的病原體交換途徑和機制如何控管提供最新知識，並盡可能地針對SARS-CoV-2作探討。本研究希望經由彙整這些資訊結果可以幫助提供政府單位、學校、醫療機構、一般私人公司以及一般住家等實施決策和控制感染的方法或措施，減少經由建築環境為傳播途徑的可能性。

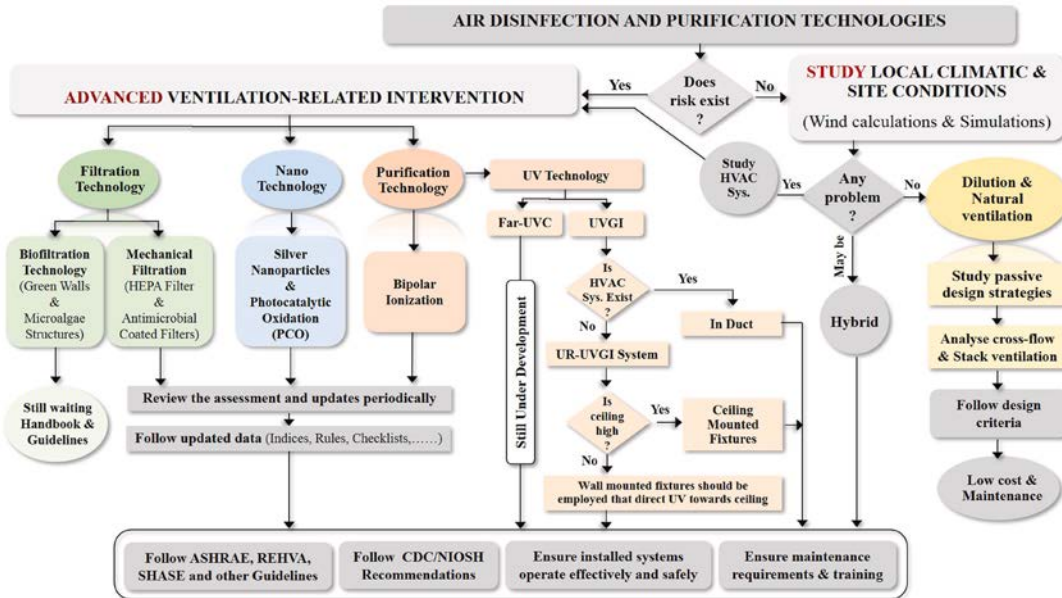


圖3-5提高室內空氣品質的整體工程解決方案流程圖

(資料來源：Morawska et al., 2020)

### 3-7-6 建築中環境衛生與水管設備建議

應當為疑似或確診患有COVID-19疾病的個人提供他們自己的抽水馬桶或茅廁。在做不到這一點的地方，同一個病房的病人應當可以使用其他病房的病人不用的馬桶。每個廁位都應當有一個可以關閉的門，將廁位與病人的房間隔開。抽水馬桶應運行正常，並有功能正常的放泄彎管。如果可能的話，馬桶應當在放下蓋子之後再沖，以防止水滴飛濺和氣膠雲。如果無法為COVID-19患者提供單獨的馬桶，那麼他們與其他非COVID-19患者共用的馬桶應由一名受過訓練的清潔人員每天至少清潔和消毒兩次，清潔人員應佩戴個人防護裝備（不透水的防護服，如果沒有，可佩戴圍裙、耐用手套、靴子、口罩和護目鏡或防護面罩）。衛生保健人員應當有單獨的廁所設施，與所有病人使用的設施分開。

世衛組織建議使用標準的、維護良好的管道設備，如密封的浴室排水管，和噴頭與水龍頭上的回流閥，以防止霧化的糞便物質進入管道或通風系統 (WHO, 2006)，同時還有標準的廢水處理(WHO, 2018)。2003年，香港特別行政區的一棟高層公寓大樓中，管道故障和通風系統設計不良是導致霧化的SARS-CoV-1 傳播的助長因素之一(Yu et al., 2004)。人們對高層公寓大樓有問題的馬桶傳播COVID-19 病毒也提出了類似的關切(Regan, 2020)。如果衛生保健設施與下水道相連，則應進行風險評估，以確認廢水是否受到控制，並且在到達正常運行的處理和/或處置場地之前不會從系統中洩漏出來。



應按照環境衛生安全規劃方法評估與收集系統的充分性或與處理和處置方法相關的風險 (WHO, 2015)。

如果衛生保健機構的廁所沒有連接到下水道，應確保衛生的現場處理系統，如坑式廁所和化糞池，或排泄物應安全儲存和運輸到現場以外處理。對於無襯砌的便坑，應採取預防措施，防止污染環境，確保便坑底部與地下水位之間至少有 1.5 米的距離（粗沙、礫石和裂隙地層應留出更多空間），而廁所與任何地下水源（包括淺井和井眼）水準距離至少30米(Tilley et al., 2014)。

台灣浴廁間若要具備防疫功能可以參考陳等提出的改善對策(圖3-6)，包括：

1. 浴廁間排水立管系統：為提升其防疫功能以阻止病毒在立管內之傳播，改善對策是將大便器之污排水立管，與洗面盆器具排水口、淋浴間落水口、地板落水口等之雜排水立管，應該分開個別設置，亦即須強制規定採用全通氣式二立管配置，以避免糞便在管內直接傳播造成社區感染之情況發生。
2. 浴廁間排水橫支管系統：為提升管路防疫功能以阻止病毒從經常乾涸的U型存水彎傳播出來，改善之對策是將洗面盆器具、淋浴間或浴缸落水口、地板落水等之排水橫支管設置共用的集合式存水彎（或稱總存水彎），以避免地板落水口之橫支管路上之個別U型存水彎因為不常有水流入而乾涸造成感染情況之發生。
3. 浴廁間排風機（排氣扇）之進氣與排氣系統：為提升其防疫功能以阻止管路內病毒因負壓太大被吸入室內而引發之傳播，改善之對策是將排氣系統與進氣系統做一起完整規劃，需要增加浴廁間通風窗開口，或是增設浴廁間門扇通風百葉，或是增加浴廁間單獨之外氣進風管路之設置，以避免直接吸入管道間內污染空氣，或污雜排水管路內已污染之空氣與水氣進入室內，造成感染情況之發生。
4. 浴廁間排風機（排氣扇）之排氣風口位置：為提升其防疫功能以阻止排風口病毒從一戶浴廁間排放出來，變成多戶之傳播，改善之對策是將排風機之排氣口，設置在通風佳之非天井區外牆上，或是設置在有密封隔離的通頂豎井的垂直管道間兼通氣豎井內，並利用豎井內自然的煙囪效應，自動將排氣上升並排放到建物最上方屋突層的大氣中，以避免含病毒的排氣任意亂竄又流進入其他住戶窗開口部造成感染情況發生。
5. 浴廁間污排水橫支管路防止可能滲漏之擴散：為提升其防疫功能以阻止病毒在隔層之間傳播，改善對策是將浴廁間所有橫支管，都配置在該層樓板上床板下之空間內（即同層排水），而非採下層排水配置方式；或將浴廁間採用組合式整體浴

廁同層排水工法，可以完全避免上層住戶之含病毒污排水橫支管路滲漏意外發生時，就直接擴散到下層住戶造成感染情況之發生。

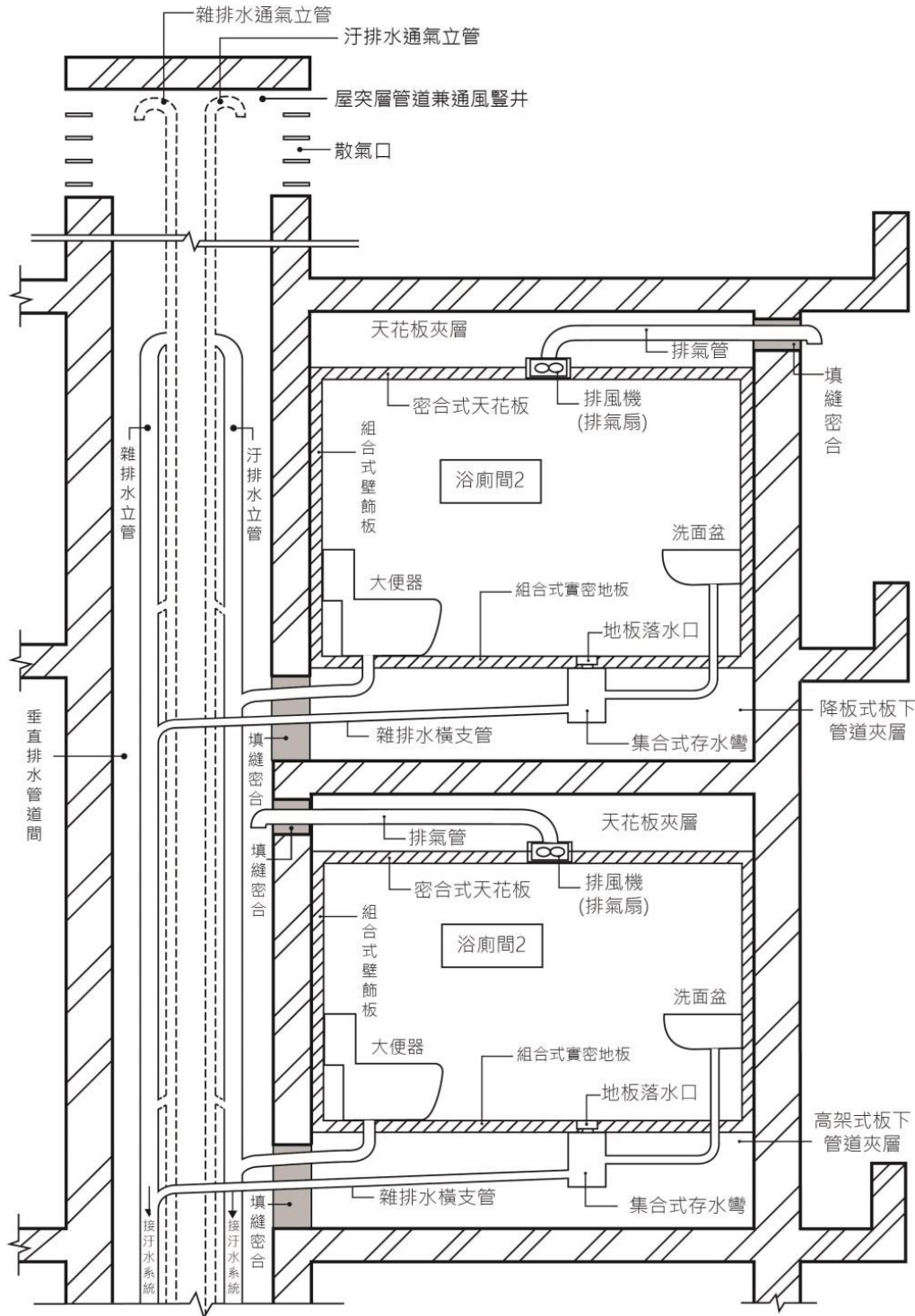


圖3-6 台灣最佳化防疫型整體浴廁間示意圖

(資料來源：陳海曙，2020)

### 第三節彙整國際因應疫情衝擊下所提「建築防疫措施」相關之指標、規範、標章

COVID-19疫情後，各國已逐漸擬訂室內環境品質控制策略以防止SARS-CoV-2在建築環境中傳播。經由分析實際感染病例來擬定新感染源的防疫措施並盡快執行是很重要的。截至2020年2月26日，厚生勞動省(the Ministry of Health, Labour and Welfare, MHLW) COVID-19應對小組總共檢查了11個群集中的110例病例，調查是誰感染了誰。所有群集都和室內環境中緊密接觸相關，包含健身館、船隻、俱樂部、醫療保健設施以及通氣率最低的帳篷內用餐空間(Nishiura et al., 2020)。因此厚生勞動省於2020年3月1日發布了名為『預防COVID-19群聚(Prevention of The COVID-19 Clusters)』的文件(PMJHC, 2020a)，確認建築物中需要足夠的通風，因為日本一般建築物尚未建立於控制感染的通風標準以及群聚的室內空間擁有較差的通風以及擁擠的性質。因此，”3 Cs”代表著「通風不良的封閉空間(Closed spaces with poor ventilation)」、「人多的擁擠空間(Crowded spaces with many people)」以及「緊密接觸(Close contact)」，像是在近距離內的親密交談、大聲歡呼、唱歌或在人與人之間短距離的運動都被認為是導致COVID-19群聚的重要因素(Furuse et al., 2020; PMJHC et al., 2020b)。

在「住宅評估制度」部分，研究以日本住宅品質確保制度為例，其通過建立優良部品認定制度，既推動了住宅產業和住宅部品的發展，又確保住宅的設計建造品質和室內性能，住宅普遍使用先進的戶式新風換氣與空氣消毒部品技術，衛生間與浴室使用獨立式橫向排氣部品及其單戶並聯同層系統化的、且具有維修更換性能的建築填充體排水部品等衛生防疫與健康安全性能保障的集成技術。日本整體浴室因其性能優越已在普通的住宅中廣泛使用，臺灣現在開發的住宅大多比較強調外觀，而對其部品品質重視不足，研究借鑒其居住衛生防疫與健康安全保障的建設經驗，對臺灣未來住宅建設可持續發展大有裨益。面向未來的住宅建設應以具有衛生防疫與健康安全保障的生活環境建設為根本，全面制定並實施住宅建築衛生防疫與居住安全健康保障方面的對策，既要與經濟社會發展的可持續性相協調，也要滿足住宅建築衛生防疫與居住安全健康保障方面的系統性要求。

此外，世衛組織指出SARS-CoV-2的空氣中傳播（即由在較長距離和時間內懸浮在

空氣中仍然具有傳染性的飛沫所引起)可能發生在產生氣膠的醫療過程中(WHO, 2020b)。在其他情況下,SARS-CoV-2也可能經由空氣傳播。因此,維護良好的暖通空調系統提供的稀釋通風、正確的氣流方向、壓差等,可以有效降低SARS-CoV-2傳播的風險。ASHRAE甚至發表了兩項正式聲明,反對不運作住宅或商用暖通空調系統的建議(ASHRAE, 2020b)。

### 3-8 彙整國際最新「健康建築指標、規範、標章」疫情衝擊之建築防疫措施

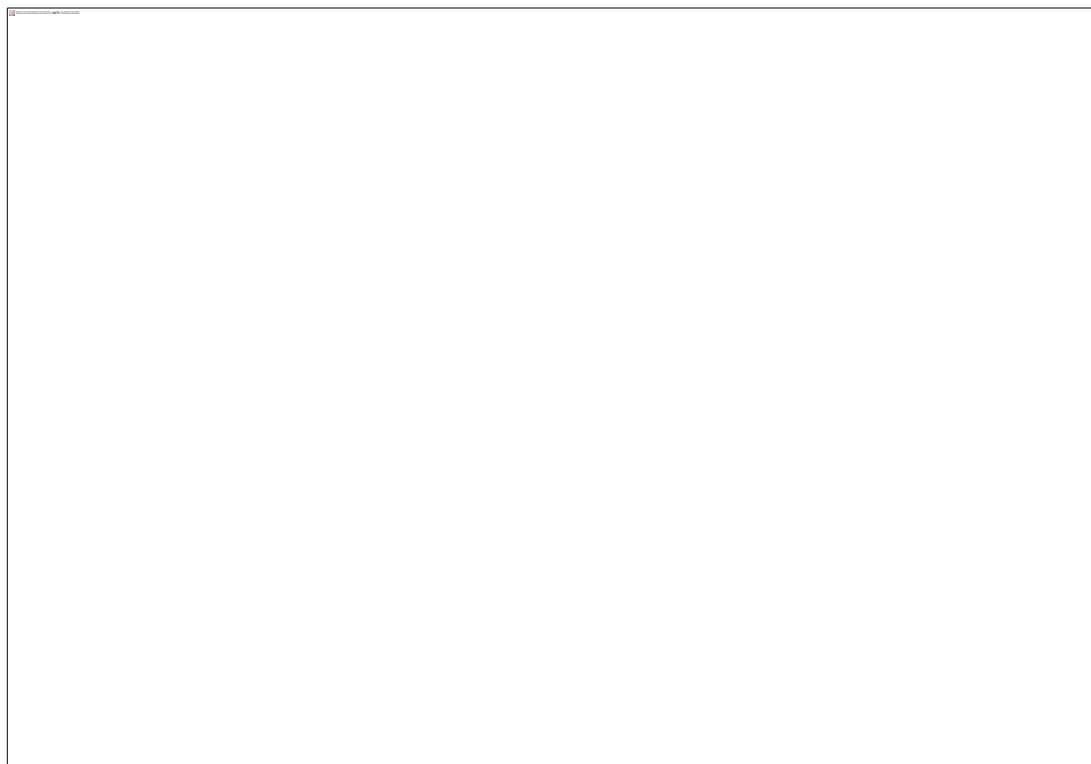
由於暖通空調系統在SARS-CoV-2的傳播中扮演重要的角色,如何以最佳方式操作加熱、通風和空調(即暖通空調)系統已成為暖通空調行業的緊迫問題。截至2020年6月,中國建築學會、中國製冷協會、美國冷凍空調協會(即ASHRAE)、歐洲供暖、通風和空調協會(REHVA)以及日本空氣調和衛生工程師學會(即SHASE)等相關機構都發佈文件,以回應COVID-19。2020年1月20日,中國國家衛生委員會將新冠肺炎COVID-19列入乙類傳染病,對乙類傳染病採取防控措施,新冠肺炎按照『中華人民共和國國境衛生檢疫法』進行治療(Xinhuanet, 2020)。中國建築學會為醫院、辦公大樓、住宅、臨時隔離酒店以及改建為臨時醫院的公共建築提供了相應的指導方針(The Architectural Society of China, 2020)。中國國務院發佈了『新冠肺炎疫情期間辦公場所和公共場所空調通風系統運行管理指南』(The State Council of China, 2020)。中國製冷協會還發佈了『關於安全使用空調(加熱)系統應對COVID-19流行病的建議』(The Chinese Association Of Refrigeration, 2020)。ASHRAE於2020年2月5日發佈了關於空氣傳播傳染病的立場檔。隨著美國疫情日益嚴重,2020年3月24日,ASHRAE網站上發布了建築物操作和維護指南(Schoen, 2020)。2020年4月14日,ASHRAE更新了其關於空氣傳播傳染病的立場檔(ASHRAE, 2020b)。2020年4月20日,ASHRAE網站發佈了兩份有關空調系統與COVID-19病毒傳播關係的聲明(HVAC, 2020)。2020年5月7日,ASHRAE發佈了『ASHRAE 提供 COVID-19 建築準備/重新開放指南』(ASHRAE, 2020c)。REHVA 於 2020 年 3 月 17 日發布了 COVID-19 空調系統指南檔,並在4月3日更新了該檔(REHVA, 2020),REHVA 建議如有必要,將繼續更新該檔。特許建築服務工程師協會(即CIBSE)和德國室內通風技術協會(即RLT)也在其官方網站上發表了建議(REHVA, 2020; CIBSE, 2020)。2020年3月30日,日本空氣調和衛生工程師學會(SHASE)發佈了『關於控制SARS-CoV-2感染的通風的問答』(SHASE, 2020)。2020年4月8日,SHASE發佈了『空調設備和其他設施作為SARS-CoV-2傳染病控制操作』

(SHASE, 2020)。HVAC 相關機構的指導檔為疫情期間空調和通風系統的管理提供了建議和參考。本研究亦會比較分析了有關SARS-CoV-2的傳播機制的指南以及HVAC系統應採取的對策。

### 3-9健康室內環境品質與綠建築之關連研究

Neda Mirzaei研究透過文獻分析法方式進行健康室內環境品質與綠建築之關連研究，從國外研究期刊論文發現，Neda Mirzaei等人比對690篇論文(SCI、SCOPUS、Spring等期刊)，以「綠建築案例」及「非綠建築案例」其人員對「室內環境品質」之滿意度進行文獻分析，結果顯示，「綠建築標章設計之建築物」其「室內環境品質」對於「居住使用者」之「滿意度」具有顯著向上趨勢結果，此研究亦以美國LEED、英國BREEAM、新加坡GreenMark、韓國KGBC、臺灣EEWH綠建築標章等納入評估，顯示有綠建築標章導入健康室內環境可有效滿足健康與舒適。(Neda Mirzaei et al., 2020)

表3- 3文獻統計分析室內環境品質於綠建築及非綠建築之差異



(資料來源：Neda Mirzaei et al., 2020)

表3- 4文獻統計分析室內環境品質於綠建築及非綠建築之滿意度

| Green building programme | Overall | Samle | Higher satisfaction in Green buildings | Lower satisfaction Or No differences in Green buildings |
|--------------------------|---------|-------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| LEED                     | 48%     | 195   | 18%                                    | 20%                                                     |
| BREEAM                   | 10%     | 19    | 23%                                    | 19%                                                     |
| Green Star               | 10%     | 8     | 25%                                    | 14%                                                     |
| GBL                      | 7%      | 25    | 18%                                    | 7%                                                      |
| KGBC                     | 2%      | 1     | 0                                      | 10%                                                     |
| EEWH                     | 2%      | 3     | 25%                                    | 0                                                       |
| GREEN MARK               | 5%      | 9     | 28%                                    | 15%                                                     |
| G-SEED                   | 2%      | 3     | 20%                                    | 10%                                                     |
| NA                       | 14%     | 176   | 13%                                    | 22%                                                     |

(資料來源：Neda Mirzaei et al., 2020)

### 3-10 各國暖通空調 (Heating, Ventilation, Air-conditioning and Cooling, HVAC) 系統的對策

COVID-19新冠病毒大流行對全球房地產業造成了廣泛的影響。許多官方組織及學術人員預測了全球大流行並論述其可能造成的後果。然而，依舊難以完全預見其對於我們日常生活的影響有多廣。疫情改變了我們的生活、工作和娛樂。經過數月的封鎖

與隔離，許多社區正嘗試建立新的生活常態。意味著返回工作場所、學校以及娛樂、公共場所和宗教(禮拜)場所。我們已經學到了許多在這重返生活的期間如何保護自己，也知道這需要深思熟慮、持續協調和努力。疫苗施打或涵蓋率未普及期間，沒有靈丹妙藥或單一技術可以保證每個人的安全。相反地，我們必須創建層層的“縱深防禦”以打破感染鏈。這意味著將人群分散、清潔和消毒物體表面與活動空間，循環和過濾空氣等等。以下，本研究整理具參考性之各國指引並將相關防疫措施整理於後續指標中，以調和或對照國內相關綠建築或智慧標章等制度。若該指引篇幅太長，則會將相關內容整理至附錄中。

鑒於我們尚未充分瞭解SARS-CoV-2，REHVA建議採用ALARA（低至合理可達成）原則，特別是在「熱點」地區；這是世衛組織建議的標準衛生措施之外另一項原則。SHASE對病毒傳播的看法與ASHRAE和REHVA的觀點相似。SHASE指南中提到的SARS-CoV-2與SARS-CoV-1進行比較的研究表示，SARS-CoV-2和SARS-CoV-1的生存特性相似，有證據表示SARS-CoV-1可以經由空氣傳播(Ignatius et al., 2020)。

總體而言，對SARS-CoV-2傳播途徑的看法是一致的。根據以往類似病毒（如SARS-CoV-1）的經驗，SARS-CoV-2的空氣中傳播是可能的。在幾乎所有國家，以指導方針的形式提出了關於HVAC系統操作和維護的建議，以幫助減少SARS-CoV-2的傳播。HVAC的工程師應運用現有資訊針對安全及健康建築提出方案及相關對策。

#### 3-10-1 ASHRAE建議的對策

ASHRAE於2020年4月20日發表了兩項聲明(ASHRAE, 2020a)，正式支持使用住宅或商用HVAC。第一項聲明提及到SARS-CoV-2/COVID-19在空氣中的傳播。研究表示，藉由吸入途徑暴露空氣中傳播的SARS-CoV-2是非常有可能的，因此，應該控制空氣中病毒的暴露。適當的使用HVAC可減少空氣中病毒的暴露。第二項聲明提及到HVAC的使用，可以減少SARS-CoV-2的暴露。藉由通風和過濾可以降低病毒在空氣中的濃度，進而降低空氣傳播的風險。此外，人們不應該在缺乏使用HVAC的空間下遭受悶熱的環境。HVAC中的濾網也有助於減少病毒傳播。

2020年3月24日，《ASHRAE雜誌》發表了針對COVID-19大流行期間的建築運作準則。此外，ASHRAE於2020年4月14日更新了「ASHRAE傳染性氣膠立場文件」。2020年5月7日，ASHRAE發佈了「ASHRAE提供COVID-19建築準備/重新開放準則」來減輕在COVID-19大流行期間關閉的建築物之後重新開放時的潛在健康

風險 (ASHRAE, 2020d)。ASHRAE在COVID-19大流行期間的建築運作準則認為，HVAC系統在傳染病傳播中起著次要的作用，SARS-CoV-2病毒主要經由飛沫和非醫療建築物中的接觸傳播。保持社交距離（1~2公尺）、表面清潔和消毒、洗手和其他良好衛生策略遠比與HVAC系統相關的防疫策略重要。除了採取上述防疫的基本措施，還建議採取以下與HVAC系統相關的策略 (Schoen, 2020)：

1. 增加通風系統中的室外空氣量，並打開最低限度的室外空氣調節閥，如果可能的話最好調節到 100%。不使用需求控制的通風系統(或外氣需求量控制通風) (Demand-controlled ventilation,DCV)。
2. 盡可能提高中央空調濾網的等級，至少達到 MERV-13 的等級，並密封濾網的邊緣來限制分流。空氣濾網的「最低過濾效率值（即 MERV）」是基於製造商指定氣流速率測試的三個複合平均顆粒大小的過濾效率（根據 ASHRAE 52.2 標準）。直徑為 <math>< 5 \mu\text{m}</math> 的飛沫（或氣膠），可以長時間懸浮在空氣中。它們指出對 SARS-CoV-2(WHO, 2020b)的傳播有很大的危險。MERV-13 空氣淨化器可以有效降低傳染性氣膠的傳播，對於 3.0~10.0  $\mu\text{m}$  大小顆粒過濾效率可達 90%
3. 讓系統運作時間更長，如果可以盡量保持系統在一周 7 天，一天 24 小時都在運作 (7/24)。
4. 建議使用帶有 HEPA (High efficiency particulate air, HEPA) 過濾器的攜帶式房間空氣淨化器。
5. 一些過濾器將靜電荷施加到介質上來增加顆粒去除率。由於這些過濾器的效率通常會在使用數月後下降，因此，MERV-A 值（如果有的話）將比標準的 MERV 值更好地反映實際的最低效率。
6. 過濾器效率的提高通常會導致過濾器的壓力降(pressure drop)增加。確保在更換過濾器之前，HVAC 系統能夠處理過濾器升級，而不會對壓差以及空氣流速產生負面影響。
7. 一般來說，空氣動力學直徑約為 0.3 $\mu\text{m}$  的顆粒最易滲透，若高於和低於此粒徑，效率都會提高。降低顆粒物濃度的總體效果取決於幾個因素：
  - I. 過濾效率
  - II. 通過過濾器的風量
  - III. 顆粒大小
  - IV. 過濾器在HVAC系統或室內空氣濾清器中的位置



8. 還建議進行紫外線殺菌照射(Ultraviolet germicidal irradiation, UVGI) ，特別是在一些高風險空間，如候診室、監獄和避難所。另外需要遮罩來保護居住者免受紫外光照射。

根據 ASHRAE 傳染性氣膠立場聲明文件 (ASHRAE, 2020b)，應根據不同的設施類型採用不同的方法。對於醫療保健設施，有通風設計標準，來減少傳染病在空氣中的傳播 (ASHRAE 2013, 2017a, 2019a; FGI 2010)。對於其他類型的建築，ASHRAE 在 ANSI/ASHRAE 標準 62.1-2019 、 ANSI/ASHRAE 標準 62.2-2019 和 ANSI/ASHRAE/ASHE 標準 170-2017 中對一般通風和空氣品質提出了要求。

ASHRAE 立場聲明文件建議的策略主要包括稀釋以及抽取式通風、加壓、氣流分配和優化、機械過濾、UVGI 和濕度控制。

表3- 5ASHRAE標準52.2-2017-最小過濾效率報告值 (MERV)

| Standard 52.2<br>Minimum Efficiency<br>Reporting Value<br>(MERV-A) | Composite Average Particle Size Efficiency, % in Size Range, $\mu\text{m}$ |                                        |                                         | Average Arrestance, % |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|
|                                                                    | Range 1<br>(0.30 to 1.0 $\mu\text{m}$ )                                    | Range 2<br>(1.0 to 3.0 $\mu\text{m}$ ) | Range 3<br>(3.0 to 10.0 $\mu\text{m}$ ) |                       |
| 1-A                                                                | N/A                                                                        | N/A                                    | $E_{3-A} < 20$                          | $A_{avg} < 65$        |
| 2-A                                                                | N/A                                                                        | N/A                                    | $E_{3-A} < 20$                          | $65 \leq A_{avg}$     |
| 3-A                                                                | N/A                                                                        | N/A                                    | $E_{3-A} < 20$                          | $70 \leq A_{avg}$     |
| 4-A                                                                | N/A                                                                        | N/A                                    | $E_{3-A} < 20$                          | $75 \leq A_{avg}$     |
| 5-A                                                                | N/A                                                                        | N/A                                    | $20 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 6-A                                                                | N/A                                                                        | N/A                                    | $35 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 7-A                                                                | N/A                                                                        | N/A                                    | $50 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 8-A                                                                | N/A                                                                        | $20 \leq E_{2-A}$                      | $70 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 9-A                                                                | N/A                                                                        | $35 \leq E_{2-A}$                      | $75 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 10-A                                                               | N/A                                                                        | $50 \leq E_{2-A}$                      | $80 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 11-A                                                               | $20 \leq E_{1-A}$                                                          | $65 \leq E_{2-A}$                      | $85 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 12-A                                                               | $35 \leq E_{1-A}$                                                          | $80 \leq E_{2-A}$                      | $90 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 13-A                                                               | $50 \leq E_{1-A}$                                                          | $85 \leq E_{2-A}$                      | $90 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 14-A                                                               | $75 \leq E_{1-A}$                                                          | $90 \leq E_{2-A}$                      | $95 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 15-A                                                               | $85 \leq E_{1-A}$                                                          | $90 \leq E_{2-A}$                      | $95 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |
| 16-A                                                               | $95 \leq E_{1-A}$                                                          | $95 \leq E_{2-A}$                      | $95 \leq E_{3-A}$                       | N/A                   |

#### A. 通風和空氣潔淨策略

具有有效氣流型樣的通風是最重要的傳染病控制策略 (Morawska et al., 2020)，此策略可以稀釋周圍的室內空氣和去除傳染性病原體。許多建築物有完全或部分自然通風。這些策略與風險和益處相關。一方面，這些建築物的氣流速率和室外空氣品質變異很大且不可預知的，導致不同的空氣分佈型樣，進而降低了管理這些建築物風險的能力。另一方面，適當地利用自然通風可以降低感染性氣膠的風險。

應控制建築物區域之間的壓力差異，以便空氣從安全區域流向不安全區域，從個人使用區域流向公共區域，例如從前廳流向呼吸道傳染隔離病房 (airborne infection isolation rooms, AIIRs)。建議使用 HEPA 濾網。集中式空調系統中的 HEPA 濾網可以降低交叉感染的風險，因為在同一中央 HVAC 系統中共用的區域提供再循環空氣。一個房間中的 HEPA 濾網只要尺寸適當且具有足夠的顆粒去除效率，就可以顯著降低傳染性氣膠的濃度。ASHRAE認為，整個紫外線光譜可以殺死或將微生物失去活性，而紫外線 (波長從200到280nm的紫外線) 提供最佳效果，其中265 nm是最佳波長。它不會進到人體組織，但可以穿透眼睛和皮膚的最外層，眼睛是最脆弱的。因此，當使用 UVGI燈時，需要遮罩以保護眼睛和皮膚。美國疾病控制和預防中心也認為UVGI可以降低病毒傳播的風險(CDC, 2020)建議採用個人化空氣供應和局部排氣或全新鮮空氣的使用，並在這些區域設置 HEPA 濾網或 UVGI。

## B. 溫度和濕度

Derby 和 Taylor 等人進行的研究表示，控制相對濕度可減少某些空氣中傳染性生物的傳播(Derby et al., 2017; Taylor et al., 2018)，包括一些流感病毒株。Mousavi 等人報告說，微生物最不利的生存條件是相對濕度在40%和60%之間(Mousavi et al., 2020)。研究表示，相對濕度低於40%會增加感染 (Mousavi et al., 2020)。原因有三個，首先，飛沫在乾燥的環境中迅速蒸發並變成飛沫核心。這些小病毒顆粒仍然懸浮在空氣中，可以傳播很遠的距離。其次，許多病毒和細菌在乾燥條件下增加了生存能力(Stone et al., 2016; Marcus, et al., 2009)。最後，當環境相對濕度低於40%(Kudo et al., 2009)時，黏膜屏障和人類免疫系統的其他部位將受到損害。溫度和濕度會影響SARS-CoV-2的穩定性。有一項研究表示，該病毒在4°C時高度穩定，但在高溫時活性不高(Chin et al., 2020)。因此，控制溫度和濕度有利於控制病毒在空氣中的傳播。建築物的溫度和相對濕度的設定應根據不同情況而有所不同。

ASHRAE要求所有建築物嚴格執行最新發佈的標準和準則。ASHRAE還建議，設計和施工團隊，包括HVAC設計師，應參與一個綜合設計流程，在一開始設計的階段要考慮適當的感染控制策略，尤其是具有較高傳播風險的建築物。

ASHRAE 提供的建築預備和重新開放準則的建議主要包括以下內容(ASHRAE, 2020d)：

1. 在建築重新開放前制定策略計劃，包括採取讓居住者感到更安全的措施以及確保關鍵項目，如濾網、針對建築物的溝通計劃以及為住戶提供安全措施。
2. 在進入建築物前和離開建築物後都打開 HVAC 相關設備至少 2 小時，包括排氣扇和室外空氣擋板。
3. 當建築物無人時，保持系統在最低的室外空氣運作
4. 在入住前將車庫排氣 2 小時。

ASHRAE的COVID-19資源網頁(ASHRAE, 2020e)部分中概述了建築物重新開放更具體的建議。ASHRAE相關指引及文獻可參考[附錄四](#)。

### 3-10-2歐洲供暖、通風和空調協會COVID-19建議的對策

近期發現 SARS-CoV-2 空氣傳播的新證據，並普遍承認 SARS-CoV-2 會透過氣膠長距離傳播，使得通風措施成為感染控制當中最具重要性的工程控制。保持物理距離

相當有助避免緊密接觸，不過若能採取充足通風及有效的空氣分配解決方案，更能降低氣膠濃度，並減少與感染者相距 1.5 公尺以上的交叉傳染風險。此種情形至少需要三種層級的指引：(1) 目前疫情期間，如何運作現有建築物的 HVAC 及其他建築設備；(2) 如何評估不同建築物與房間的風險和安全；(3) 在改善通風系統的建築物中，可採取何種更具廣泛影響力的行動，以進一步減少未來病毒感染症的傳播。建築物的每個空間與運作方式各自不同，需要特定的評估方式。歐洲供暖、通風和空調協會 (REHVA) 概述 2019 新型冠狀病毒感染症 (COVID-19) 流行期間建築設備系統之運作與使用建議，以預防 COVID-19 透過空調系統 (HVAC) 或管路系統相關因素之傳播。本指引提出 15 項建議，在現有建築物能夠花費相對低的成本，減少室內交叉傳染的次數。氣流率方面，通風永遠多多益善，然而加強通風並非唯一的考量點。根據現有標準採取通風措施的大空間，例如教室，往往相當安全；但是數人使用的小房間儘管通風良好，傳染機率卻最高。通風解決方案在未來固然仍有許多改善空間，但必須清楚知道一項重點：若是通風符合現有標準且有執行風險評估，那麼當前的技術與知識，已足夠允許建築物在 COVID-19 此類疫情期間開放使用許多房間。REHVA 於 4 月 3 日更新了 COVID-19 準則，進行了 7 次修訂和補充，包括病毒傳播機制、通風設備操作、不同溫度和濕度條件下的病毒生存能力以及熱回收設備操作等，並總結了 14 項建築服務操作的實際措施 (REHVA, 2020)。REHVA 的建議可歸納為以下幾個方面：

### A. 室外空氣和通風策略

減少 SARS-CoV-2 在建築物中的空氣中傳播的關鍵，是安全引入室外空氣的通風空間。REHVA 建議盡可能適當地提供室外空氣。經由保持或增加社交距離（2-3 公尺），確保每人可以獲得新鮮空氣量。

即使在機械式通風的建築物中，窗戶也應該定期打開。建議在進入房間前打開窗戶約 15 分鐘，尤其是先前已經被他人使用的房間。

### B. HVAC 系統的操作策略

在疫情期間，HVAC 系統不應該像平常來操作。建議在進入建築物之前以標準速度運作至少 2 小時，並在進入建築物一定時間後以較低的速度運作 2 小時。在高效智慧控制通風系統 (DCV) 系統中，CO<sub>2</sub> 建議將設定點更改為 400 ppm，確保通風系統以標準速度操作。不建議在晚上和週末關閉通風。相反地，系統應保持較低的速度運作。在

因疫情而騰空的建築物（如辦公大樓和學校）中，也不應關閉通風系統，而是應保持系統以較低的速度持續運作，以有限的能源消耗下仍然能從建築物中去除病毒。對於廁所通風系統，建議每周7天、每天24小時保持運作，以避免糞便-口腔傳播途徑。

至於終端設備的使用，即使有些配有回風濾網，建議有再循環的空氣處理裝置切換到100%室外空氣，雖然集中式空氣處理裝置配備了再循環濾網，回風管道中的病毒顆粒還是會重新進入建築物。回風濾網通常不符合 HEPA 標準，通常無法有效過濾病毒顆粒。室內送風機應關閉或持續運作，應關閉處理回風循環的室內送風機，以避免在室內重新讓病毒顆粒懸浮在空氣中；如果無法關閉室內送風機，建議持續運作室內送風機的風扇，以防止風扇再次打開時存留在濾網上的病毒重新傳播。

#### C. 溫度及濕度的設定點

不建議更改加熱、冷卻和相對濕度設定點。Chin 等人發現 SARS-CoV-2 在 4°C 下高度穩定至少 14 天。若要將病毒失去活性，需要維持一天的 37°C 或維持 30 分鐘的 56°C (Chin et al., 2020)。van Doremalen 等人在典型的室內溫度 21~23°C 和相對濕度 65% 下對 SARS-CoV-2 的高生存力由進行了測試 (van Doremalen et al., 2020)。研究表示，SARS-CoV-2 在中等濕度 (40~60%) 下的活動性不會顯著降低。然而，人類的鼻腔室和黏膜在 10~20% 的極低相對濕度範圍內對感染更敏感 (Salah et al., 1988)。然而，增加濕度不是降低 SARS-CoV-2 生存能力的方法。

#### D. 過濾以及空氣清淨

REHVA 認為，一般過濾中央室外空氣和抽取空氣的濾網效率低，只能過濾大顆粒物，但濾網應按維護計劃照常更換和維護，以防止濾網堵塞，從而降低供應氣流速率。對於空氣清潔，REHVA 認為使用 HEPA 濾網進行清潔是有效的，但經由空氣濾網的氣流通常受到限制（由於噪音和風扇尺寸）。因此，建議將空氣清潔裝置設置在呼吸區附近。安裝用於送風或室內空氣處理的特殊 UV 清潔設備也非常有效。

#### E. Heat recovery equipment(熱回收裝置)

對於熱回收裝置，建議檢查設備，包括壓差測量，以確保不會洩漏。正確操作旋轉式熱交換器的洩漏率在 1~2% 之間。對於現有系統，洩漏率低於 5% 的熱交換器是可以接受的。這可以經由增加室外空氣通風量來補償。但是，如果在這些系統中安裝了

回風風扇，則排氣的壓力可能會高於供氣側，此時洩漏率將提高至20%左右，這是不接受的。由於漏氣率與轉子的轉速無關，因此無需關閉轉子。另外在低風量下洩漏率較高，因此建議在增加通風量的情況下進行運作。

#### F. 其他策略

為了安全起見，REHVA 建議在進行定期濾網更換和維護工作時戴上口罩、手套和其他呼吸保護。

為了保持適當的壓力差，REHVA 建議不要打開廁所的窗戶。根據香港（淘大花園）的經驗，在2002-2003年SARS爆發期間(Lee, 2003)，病毒透過開放的相連污水管道傳播；因此，重要的是要定期加水（每3周根據天氣情況），以免地板和其他衛生設備的水封變乾。REHVA建議在馬桶沖水時蓋上蓋子。此外，REHVA 還發佈了兩個系統特定準則，說明在無法避免再循環的情況下室內送風機運作以及減少旋轉式熱交換器之間的漏氣措施。

作為 REHVA 的成員，英國設備工程師協會CIBSE及德國室內通風技術協會RLT支援 REHVA 準則中的建議。CIBSE強調了通風和室外空氣的重要性。但是CIBSE不推薦使用管道式UV-C設備，除非將其用於淨化再循環空氣。在使用空間中不建議使用臭氧或其他潛在危險產品的設備(REHVA, 2020; CIBSE, 2020)。RLT認為SARS-CoV-2不會經由HVAC系統傳播。相反地，HVAC 系統有助於稀釋建築物中可能的病毒載量。RLT強調了正確運行 HVAC 系統和保持不同區域之間壓力差的重要性(Pressemitteilung RLT, 2020)。相關內容可參考[附錄五](#)，另本研究亦將具參考性之防疫措施整理於指標中。

#### 3-10-3 SHASE建議的對策

SHASE關於空調設備和其他設施作為SARS-CoV-2傳染病控制措施的建議如下：

##### A. 室外空氣和通風策略

SHASE 建議即使通風系統已打開還是要定期打開窗戶增加室外空氣，同時確保氣溫舒適性，因為當室外空氣是室內體積的三倍時，95%的室內空氣將被更換。對於房屋和小型建築，通風系統應保持運作，並盡可能地供應室外空氣。對於主要在大型建築中的集中式空調，一般原則是，建議盡可能將室外空氣擋板和排氣擋板開啟至100%。如果氣流是由變流器控制的，則應提高送風風扇變流器和排氣風扇變流器的電

流值，並應取消對室外空氣的自動控制。

#### B.HVAC 系統操作

建議降低 CO<sub>2</sub> 設定點。還建議增加空調設備的運作時間，如果可能，持續運作 24 小時。廁所的排氣系統應保持持續運作。此外，為了確保廁所的負壓，廁所的窗戶應保持關閉。

#### C.溫度和濕度設定點

據世界衛生組織說明，SARS-CoV-2 病毒不僅在乾旱和寒冷地區，而且在廣西壯族自治區和新加坡等炎熱潮濕地區 (WHO, 2020c) 有極高社區感染發生。然而，在低溫環境下，人類口腔黏膜若在乾燥的情況下會降低防禦功效。因此，除了確保必要的通風量 (30 m<sup>3</sup> 每人/小時)，溫度應控制在 17 至 28 °C 之間，相對濕度應控制在 40~70% 之間。

#### D. 濾網及空氣清淨

對於具有 100% 室外空氣的系統，濾網可以照常運作。對於回流空氣運作，建議更經常地檢查濾網的壓力差，並比平時更常更換濾網。至於空氣濾清器，並不是所有的空氣濾清器都可以過濾掉病毒，淨化效率也與空氣的體積有關。應考慮到目標空間的體積來選擇空氣濾清器。空氣濾清器作為輔助設備是有效的。然而，通風對降低病毒濃度的影響更為顯著。

#### E. 熱回收設備

對於靜態全熱交換器，病毒經由熱交換器洩漏的風險很小，低至大約 5%。因此，它可以在熱交換模式下操作。SHASE 建議在有效通風量較大的情況下運作。當建築物使用合併排水系統處理排水時，建議在室內裝置的排水管中安裝一個止回閥，來處理氣流。

對於轉輪類型，如果設置了淨化區且壓力平衡正常 (返回氣壓 < 供應氣壓)，則病毒傳播的風險是可以接受的。因此，建議在有效通風量較大的情況下進行運作，同時根據需要來檢查或調整運作狀態。

## F. 其他策略

沖馬桶時，馬桶蓋應蓋上。應定期檢查水封的完整性。

### 3-10-4 中國的對策

中國一些機構和協會已經發佈了關於COVID-19大流行期間空調使用的建議，中國不同機構的各種建議基本相同。認為提高室外空氣速率是防止病毒經由空氣傳播最有效的手段之一，對非醫療建築的具體建議主要有如下：

#### A. 通風策略

根據房間的實際情況，建議會有所不同。對於擁有可打開外部窗戶的房間，窗戶應該要盡可能地打開。對於沒有外部窗戶和排氣通風的房間，應安裝雙向節能通風機，以滿足通風需求。對於具有集中式室外空氣系統(centralized outdoor air system)和地板集中式排氣系統(floor-centralized exhaust system)的房間，建議保持門打開狀態（或在門上裝設百葉窗）。或者，可以在隔牆上設置一個機械排氣風扇，以確保地板集中式排氣系統的總排氣量不低於設計室外空氣量的70%。對於具有集中式室外空氣系統但無地板集中式排氣系統的房間，增加機械排氣系統是一個適合的選擇，或經消防部門同意，消防防煙排氣系統可用作集中式排氣系統。當通風不足時，應打開排氣系統或裝置配有 HEPA 濾網的可攜型室內空氣濾清器。空調和機械通風系統應提前打開，然後再關閉。

#### B. 室外空氣和HVAC系統運作

建議盡可能多地增加空調系統中的室外空氣量。對於集中式空調系統，如果系統由多個區域共用，則系統應使用 100% 的室外空氣。如果需要再循環空氣，室外空氣的比例應大於 40%，並且系統必須配備回風濾網（至少 F7 級，歐洲標準化委員會在 EN779 提出的濾網等級，其效率大於 65%，粒子範圍為 1.0~10.0  $\mu\text{m}$ ）(The Chinese Association Of Refrigeration, 2020)。室外空氣系統應保證室內送風機中室外空氣的品質，沒有室外空氣系統且無法打開外窗的房間應停止使用。如果在建築物內發現「疑似病例」，應關閉所有對流終端（室內送風機等）。在空調系統的運行中，在供熱模式下建議提高供氣溫度，而在製冷模式下，建議降低供氣溫度(The Architectural Society



of China, 2020)。

#### C. 濾網和空氣清淨

HVAC系統中的過濾器應照常清洗和更換。對於辦公大樓，不應在空調房和空調機房中使用“化學消毒”。紫外線設備不應安裝在空調系統中。在工作時間內，應使用室內空氣濾清器。

#### D. 熱回收設備

與混合室外空氣和廢氣的風險不相關的間接熱交換器和其他熱交換器可以照常使用。不建議使用旋轉式熱交換器(The Architectural Society of China, 2020)。

#### E. 區域之間的壓力差

餐廳應與廚房分開，並且廚房中的壓力應略高於其他區域。為了保持廚房中的正壓，當廚房抽油煙機在運作的時候，應打開加壓式通風機。建議廁所、排污室等的排氣系統持續運作來保持負壓(The Architectural Society of China, 2020)。

#### F. 其他策略

為了維護 HVAC 系統，應定期檢查和清潔系統。應檢查室外通風口的位置，以確保室外空氣的品質，避免室外空氣和廢氣短路。對於日常給水系統，建議檢查每個排水系統、廢水、中水(medium water)、冷凝水系統以及排水裝置的水封是否有效。保持污水系統中的提升通風管暢通無阻，並在供水水管內設置銀離子、光催化氧化消毒器等設備，確保供水系統的安全。

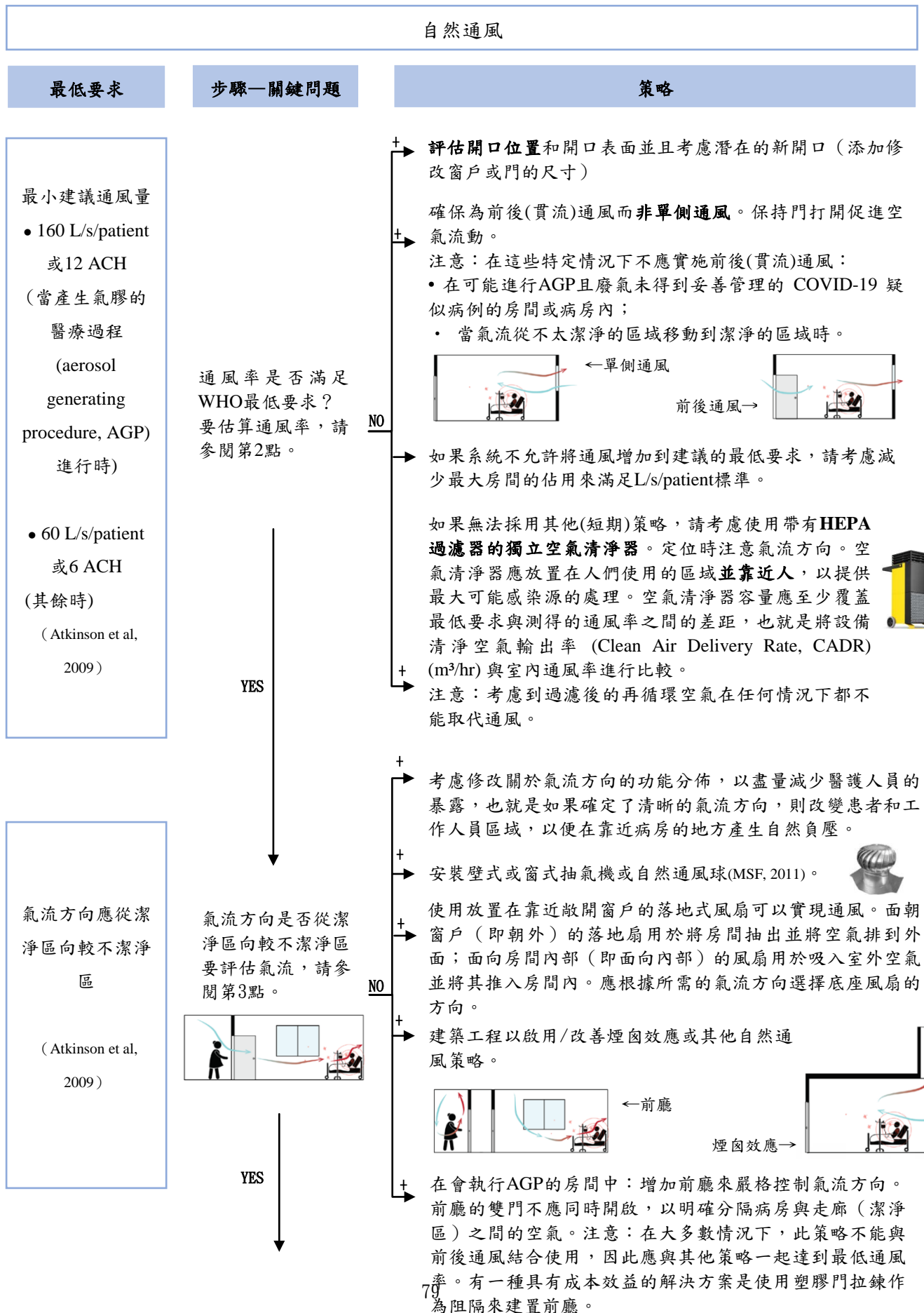
#### 3-10-6疫情下WHO改善室內通風的路線圖

通風是指將清潔空氣引入空間，同時去除陳舊空氣。通風將室外空氣輸送到建築物或房間內並在建築物或房間內分配。如果當地的室外條件需要，例如室外空氣懸浮微粒 (PM) 濃度偏高時，若仍需將其引入建築物之前可能需要對其進行處理。建築物通風的一般目的是確保建築物中的空氣適合呼吸。目前，這主要是經由清潔空氣稀釋源自建築物的污染物，並經由提供氣流速率以給定速率改變這種空氣從而去除污染物來執行的。通風也用於氣味控制、密封控制，並且通常與氣候控制（溫度和相對濕度）結合使用。

建築通風具有三個基本要素：

- 通風率 ( $\text{m}^3/\text{hr}$ 、 $\text{l/s}$  或 ACH) — 提供給空間的室外空氣量；
- 氣流方向—建築物和空間內的整體氣流方向，應該是從潔淨區到污染區；和
- 空氣分配或氣流模式—外部空氣應以有效和高效的方式輸送到空間的每個部分，並且在空間的每個部分產生的空氣污染物也應以有效和高效的方式去除。一般來說可以使用三種方法為建築物通風：自然通風、機械通風和混合（混合模式）通風。WHO roadmap(路線圖)僅考慮機械和自然通風，因為所描述的所有關鍵問題和策略也可用於混合通風。WHO 路線圖旨在確定用戶在評估室內通風時應考慮的關鍵問題，以及達到推薦通風程度或簡單改善室內空氣品質 (IAQ) 以降低 COVID-19 傳播風險所需的主要步驟。它還包括有關如何評估和衡量不同參數的建議，特別是在一個人接受家庭護理或家庭隔離時的醫療保健、非住宅和住宅環境中。本研究整理相關內容如下，此外，另本研究亦將具參考性之防疫措施整理於指標中。

A. 醫療照護環境，包括檢疫場所



建築環境健康及防疫措施之可行性研究

空氣應遠離入風口，直接排到室外(CDC, 1990)

應謹慎使用帶循環裝置的暖氣和空調，並在評估後

排出的空氣是否得到正確管理？

NO 使用圍欄來避免人們靠近開口(窗戶或是門)，使人或動物保持至少4公尺的距離。如果空氣從屋頂或比人高2公尺處排出(像是煙囪效應或自然通風球)，則無需採取任何措施。

YES

空調和暖氣由具有室內空氣循環的非管道對流器進行，例如分離式系統或風機盤管裝置。

YES



不鼓勵使用分離式系統和風機盤管裝置，因為難以維護、過濾效果差並且會導致紊流，可能會增加感染風險(ASHRAE,2003)。避免對 COVID-19 患者使用分離式系統和風機盤管裝置(ASHRAE,2020b)，尤其是執行AGP的地方，並應考慮使用替代加熱和冷卻系統以及局部排氣系統。分離式系統只能用於單人病房(疑似或確診病例)和容納確診住院患者的共用病房。注意：非管道再循環裝置在任何情況下都不能替代通風。

每當使用過濾不良的室內再循環裝置時，請考慮使室內產生負壓(相對於走廊)，以減少氣膠從房間逸出的可能性。透過安裝排風扇或相關設備來增加從房間排出的空氣，可以產生負壓。應在患者之間仔細清潔裝置(ASHRAE,2020b)。

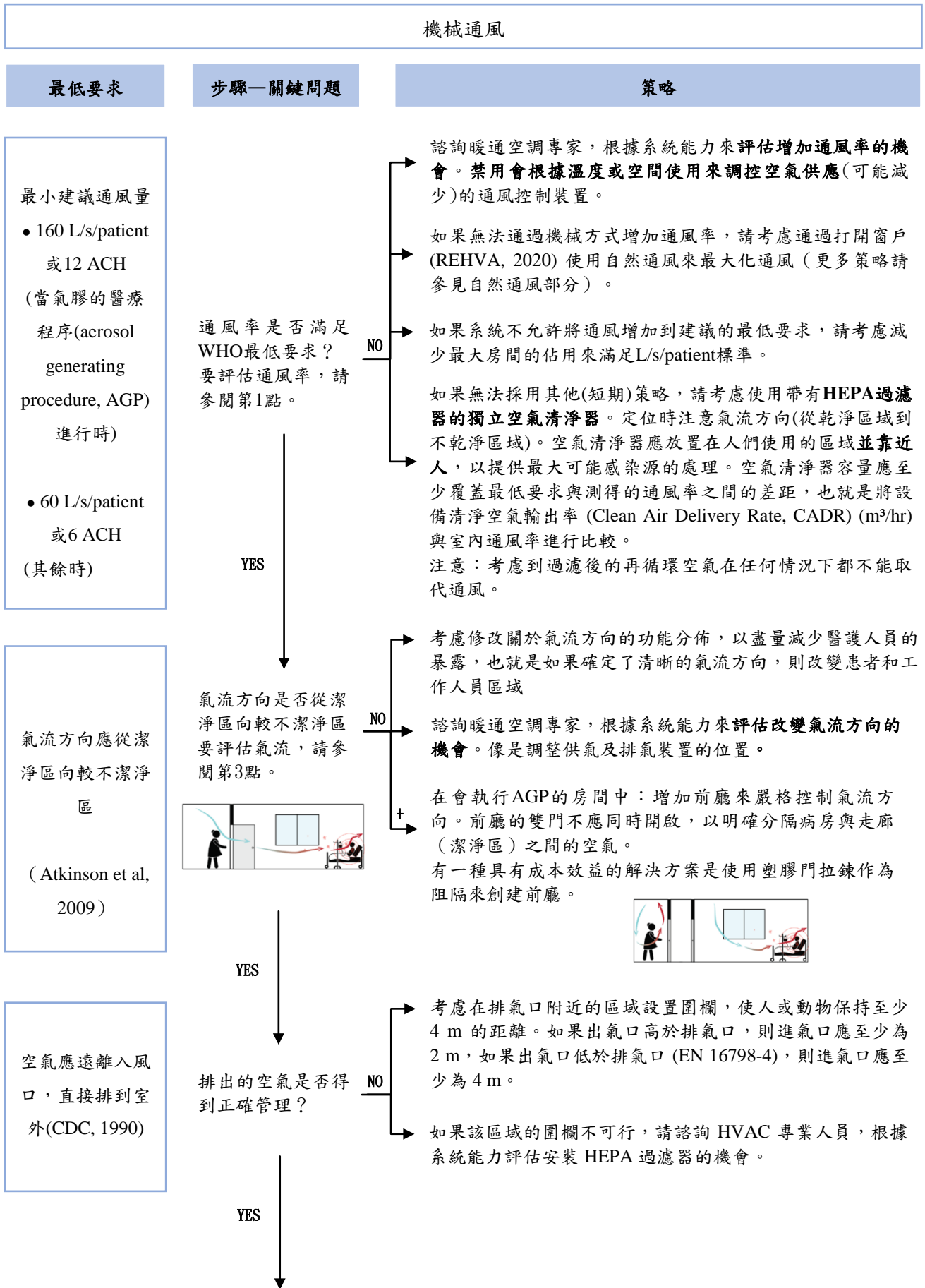
如果替代空調和供暖裝置不可用或不可行，請考慮以最低速度運行空調和供暖裝置，以達到在進行AGP的地方減少氣流紊流。在需要熱調節(高溫)的地方，確保避免個人之間的直接氣流。

單人病房(疑似或確診病例)和容納確診住院患者的共用病房除外。注意：考慮非管道再循環裝置在任何情況下都不能代替通風

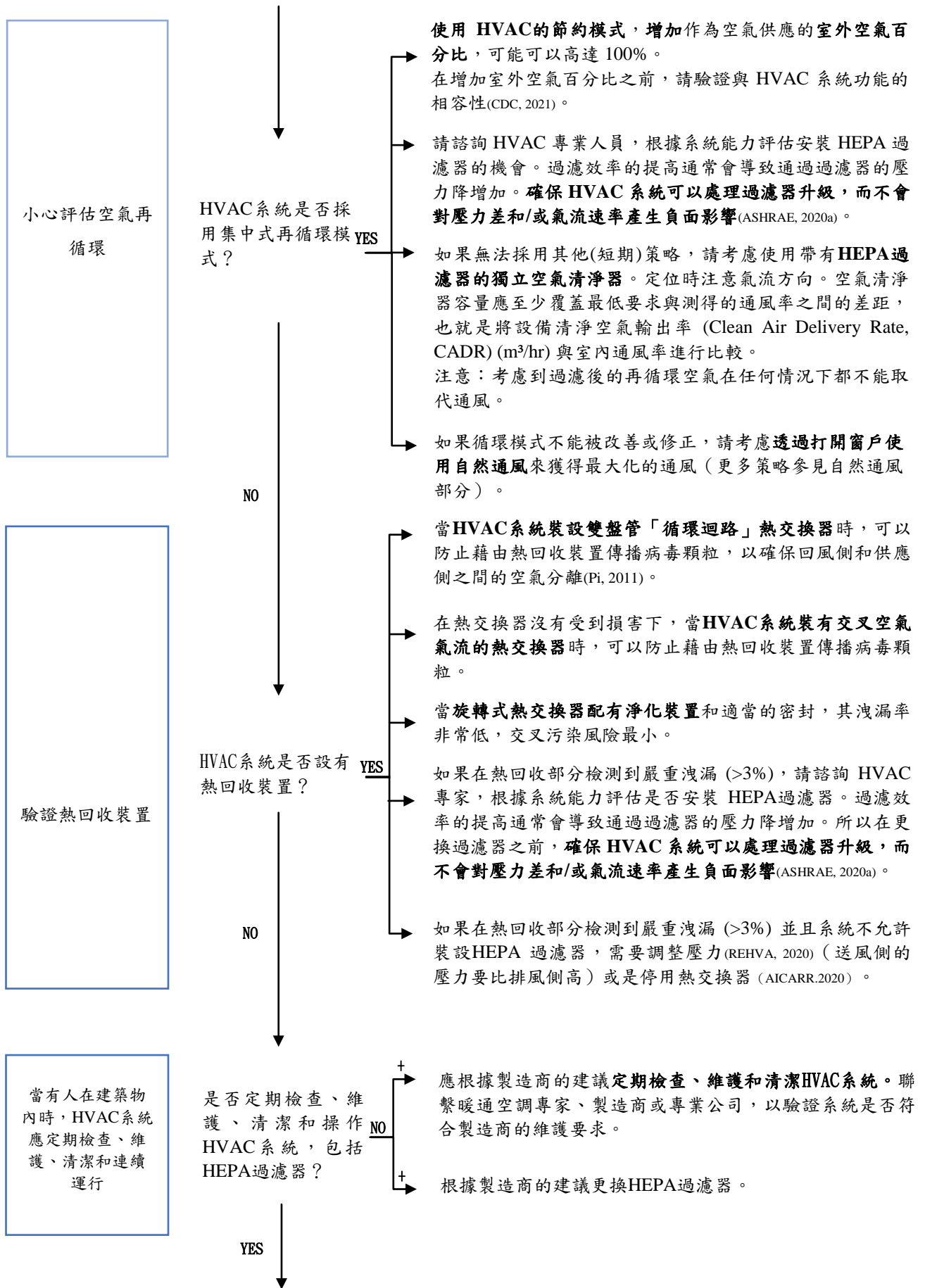
考慮更改加熱/冷卻裝置的位置以將氣流引導至清潔度較低的區域，或安裝抽風機來控制執行AGP的氣流。

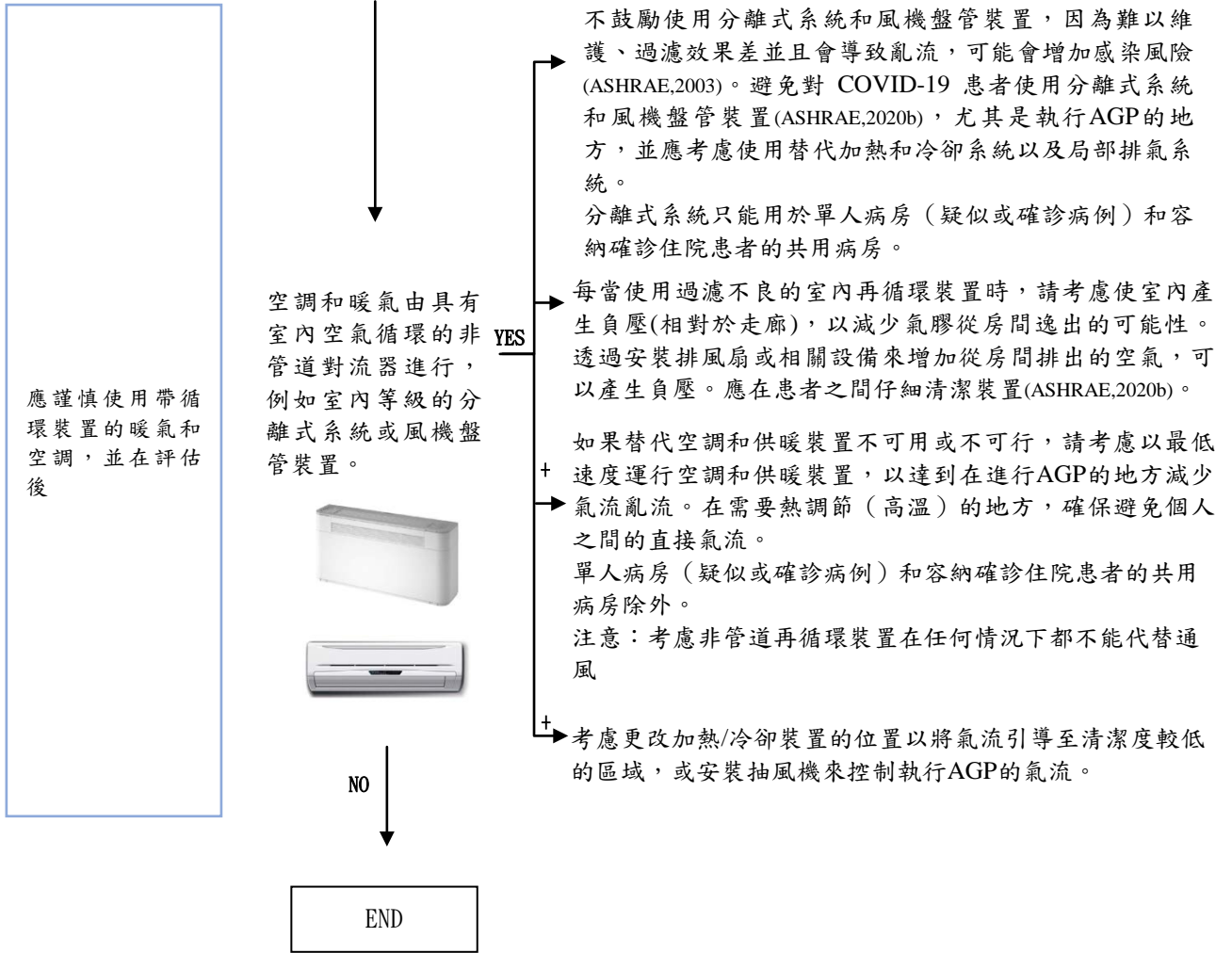
NO

END

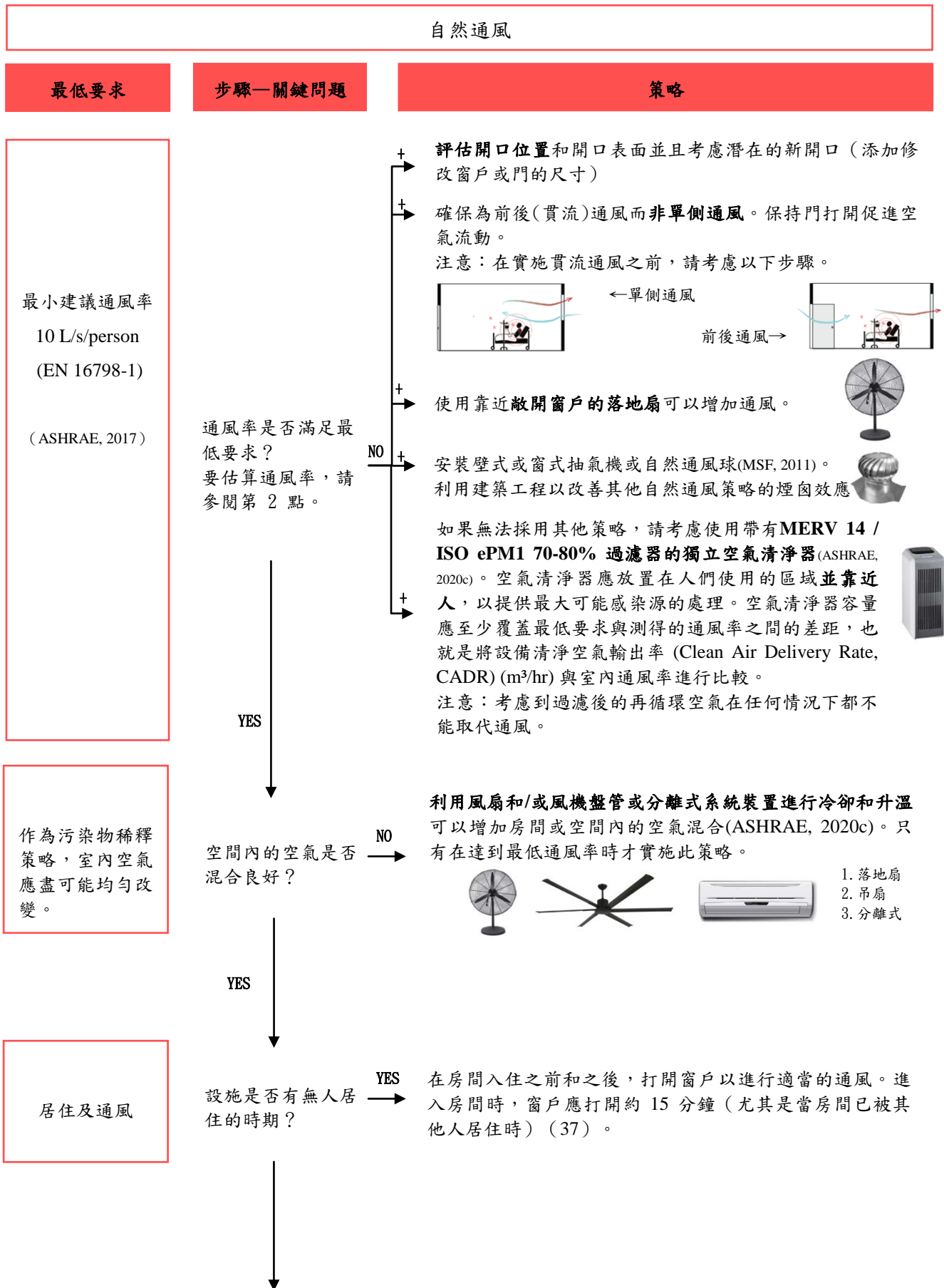


建築環境健康及防疫措施之可行性研究

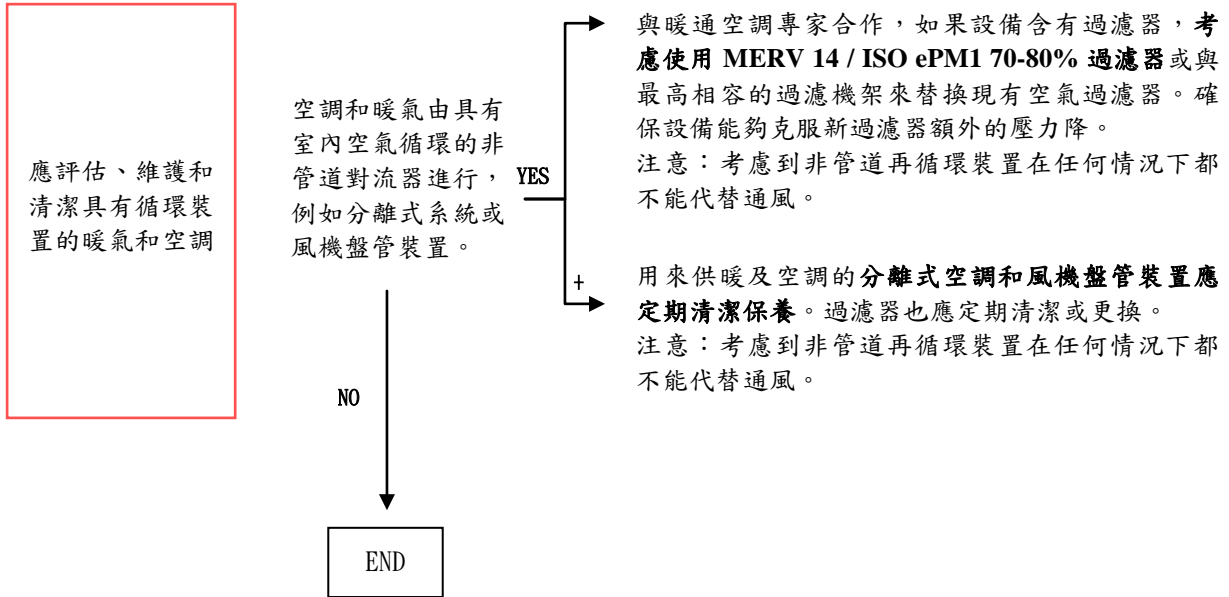


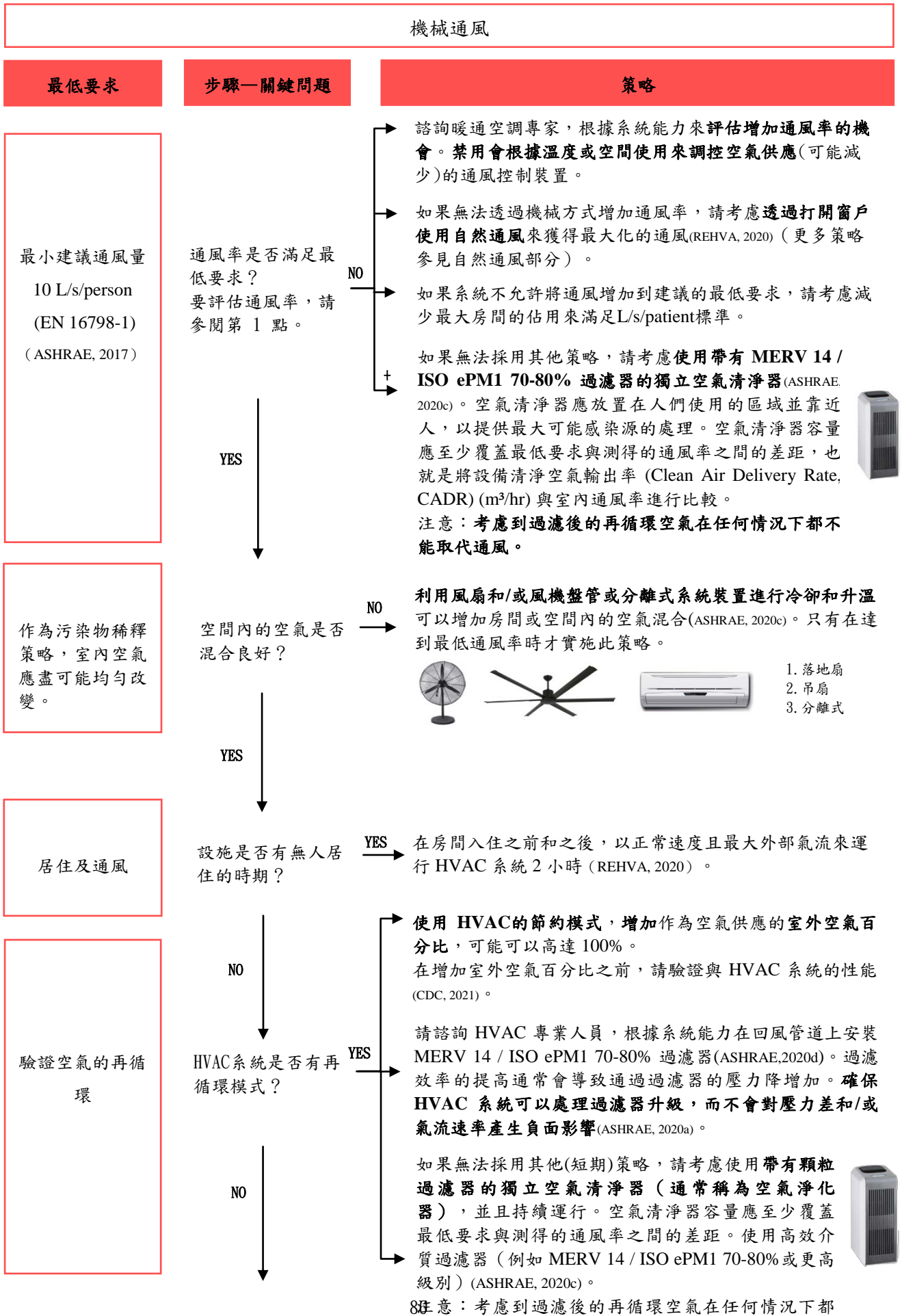


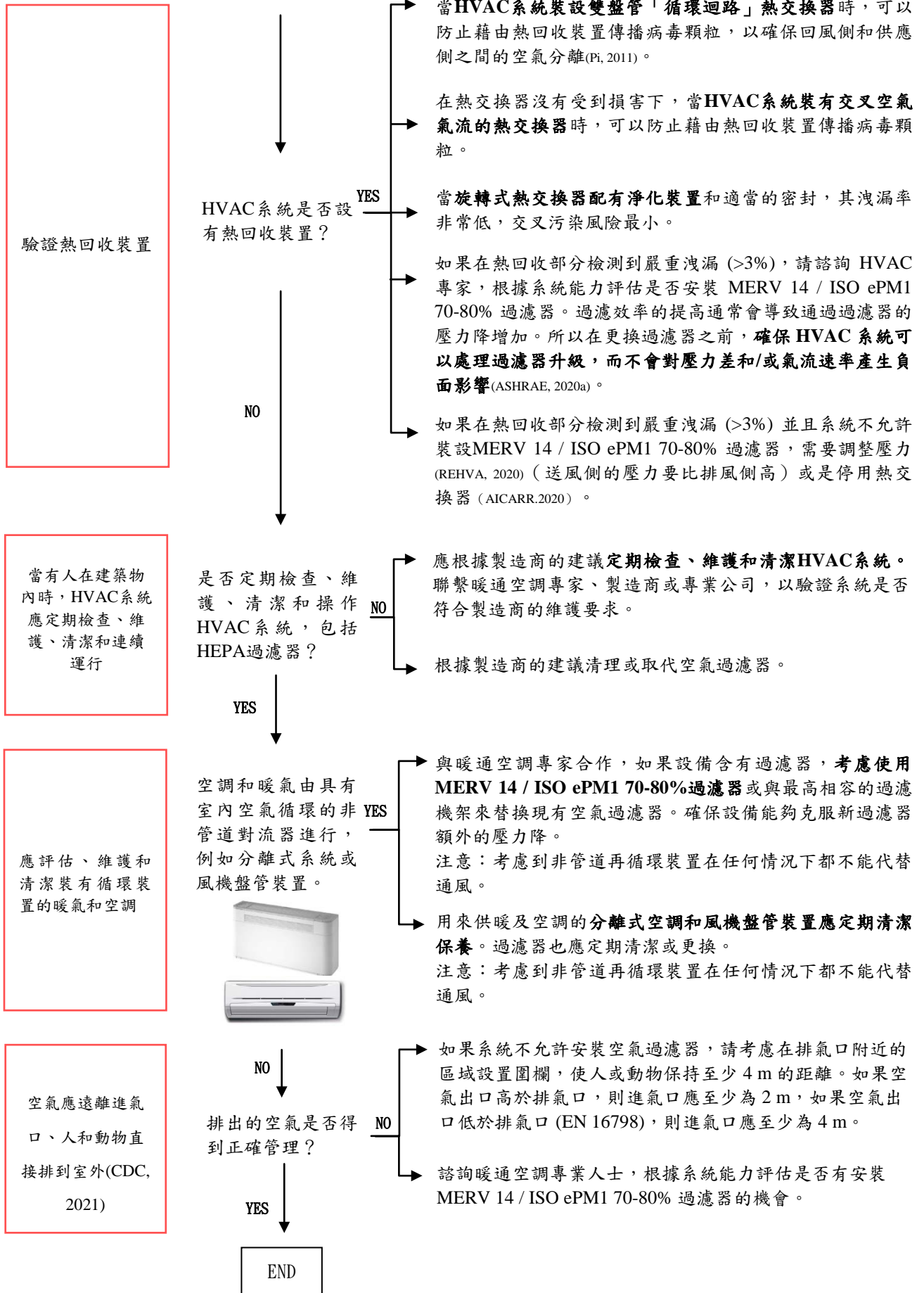
B. 非住宅環境



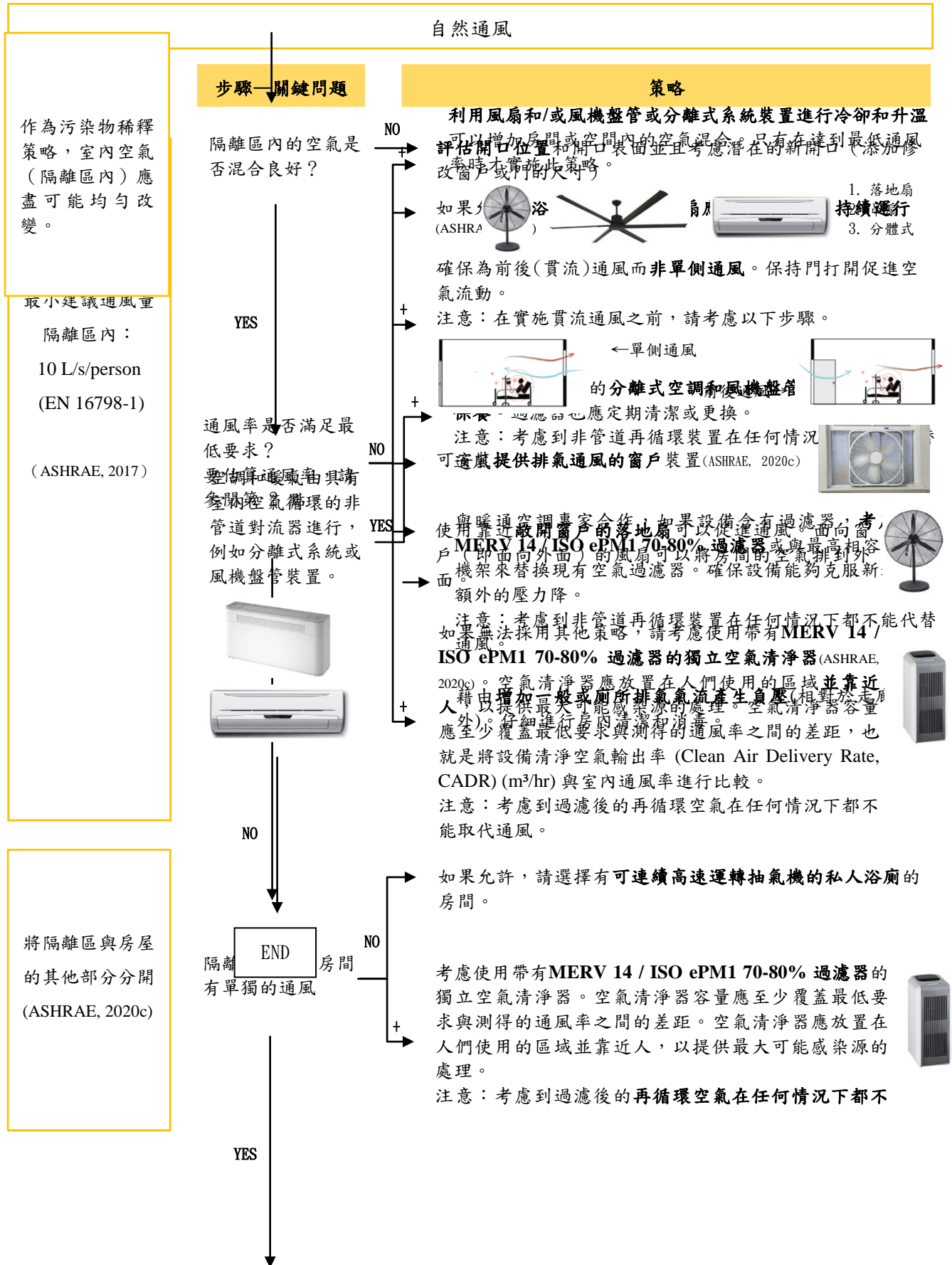




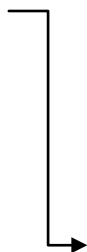


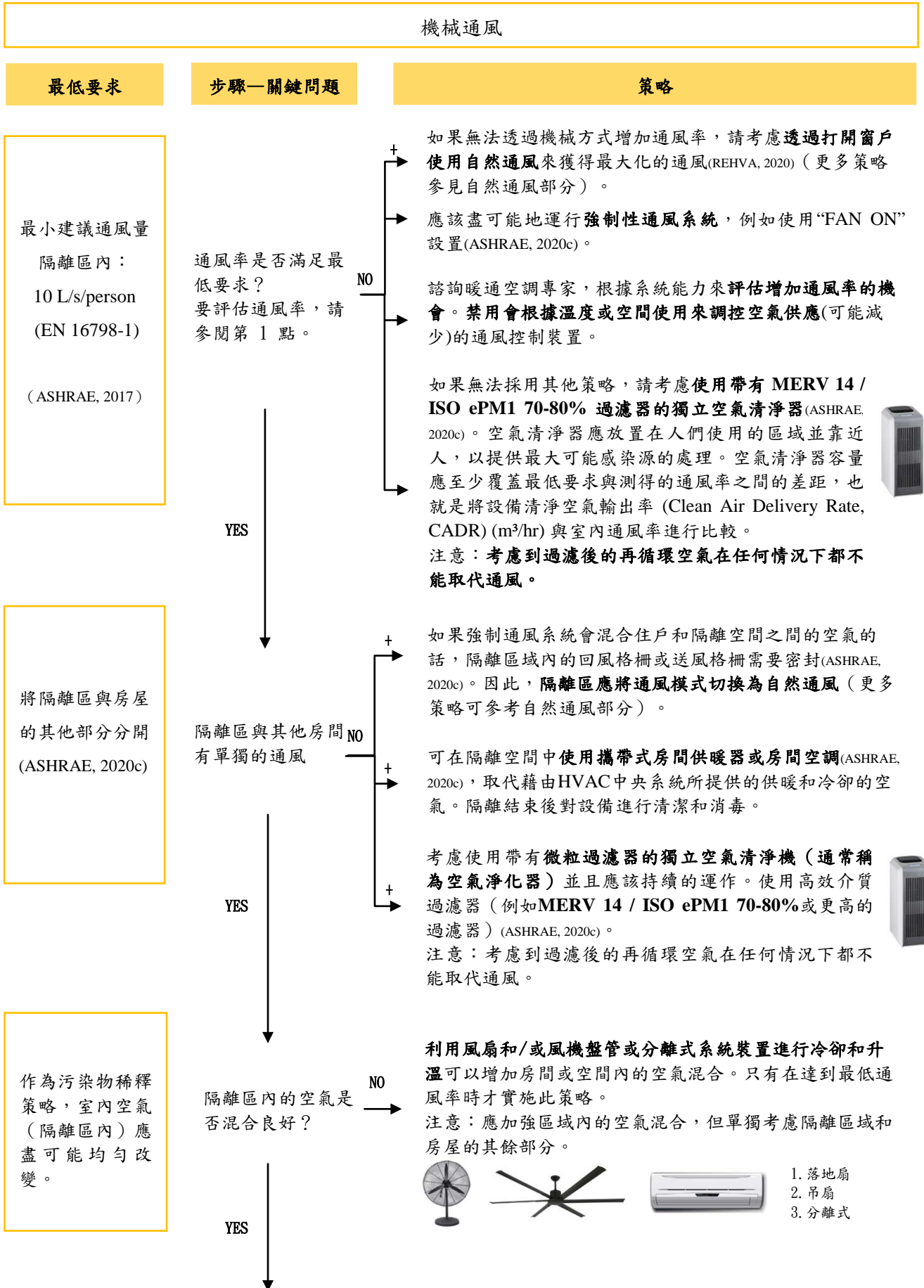


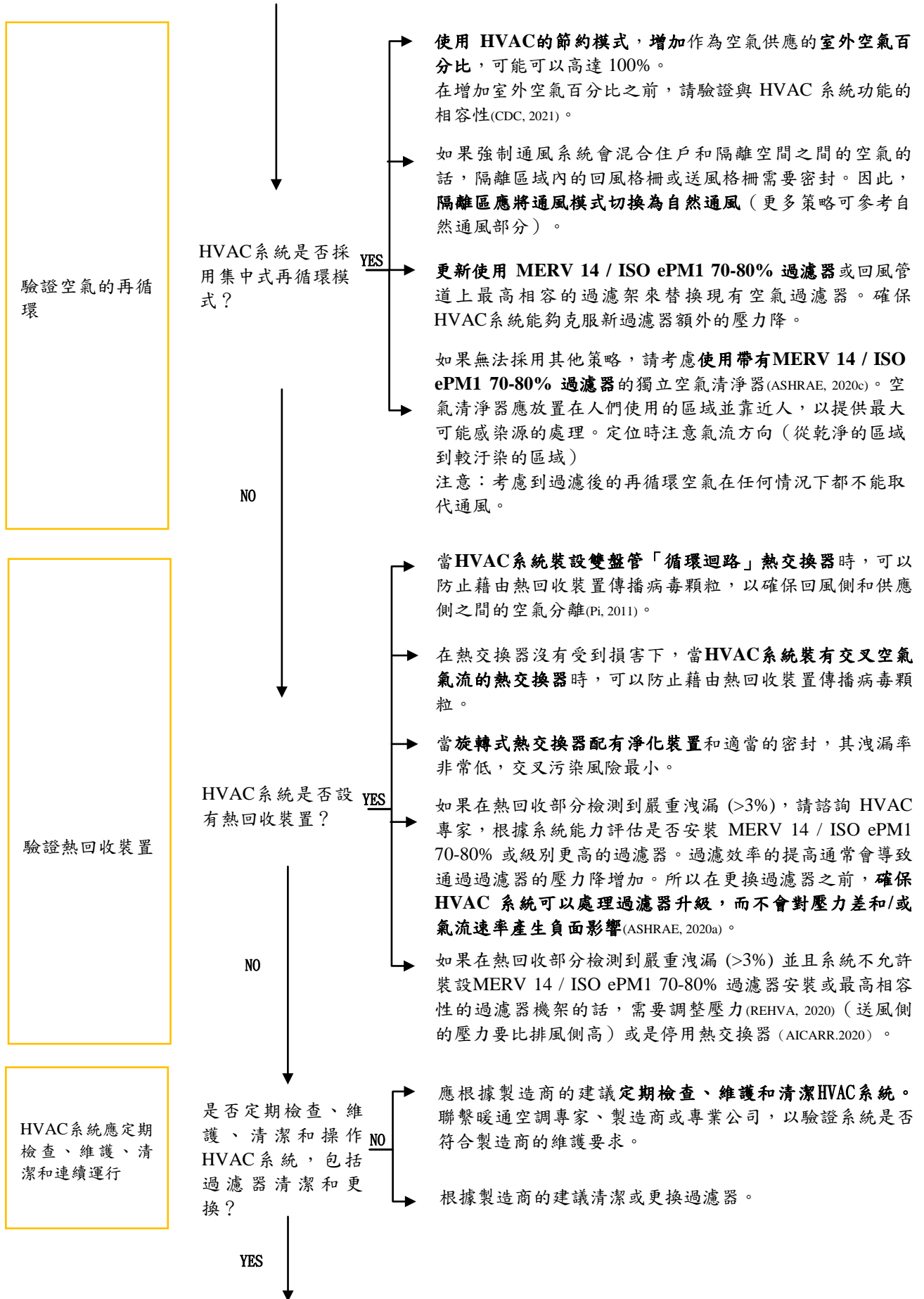
C. 居住環境，包括一般居家和居家自我隔離



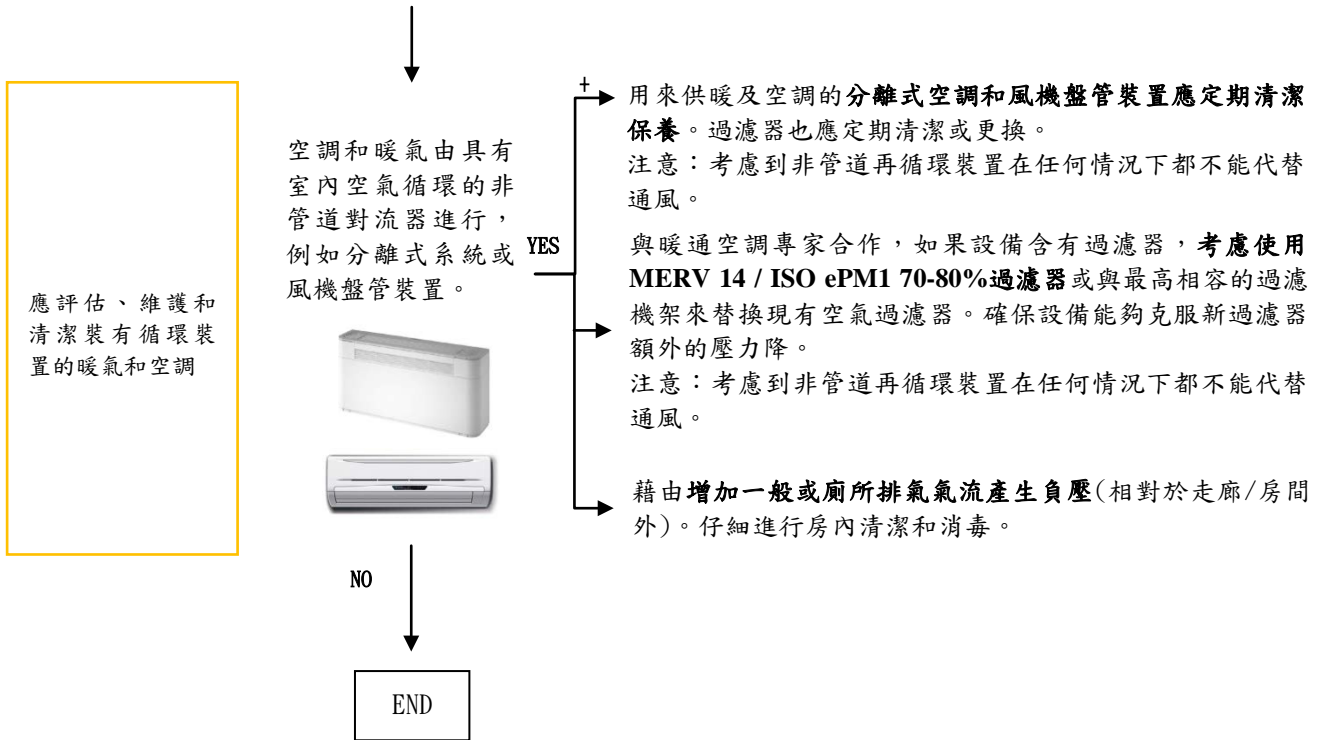
應評估、維護和  
清潔具有循環裝  
置的暖氣和空調







# 建築環境健康及防疫措施之可行性研究





### 3-10-7 Arc Re-Entry指標

Arc Skoru Inc 是一家技術公司，隸屬於Green Business Certification, Inc和美國綠色建築委員會。Arc Skoru Inc. 認為性能是綠色建築的未來，並創建了“Arc”性能平台，幫助為人和環境創造更好的建築和場所。Arc 幫助用戶獲得綠色建築認證，提高個人建築的可持續性，管理複雜的投資組合併改造城市和社區。Arc 支持下一代基於性能的評級系統，包括LEED v4.1 O+M和LEED for Cities and Communities。

Arc Re-Entry中的工具與指標，乃基於預防傳染病傳播的管理。Arc Re-Entry 可以補足現有的建築評級系統或用作獨立工具。

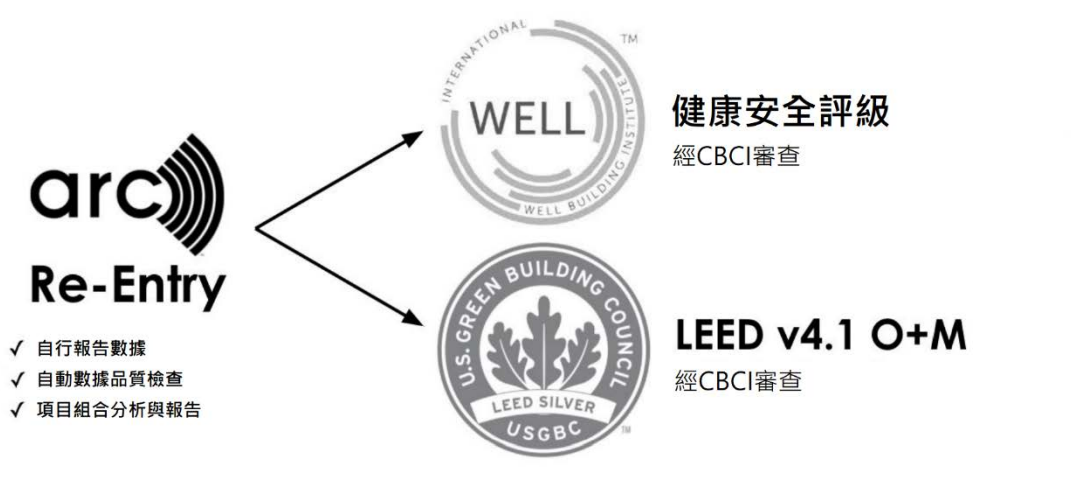
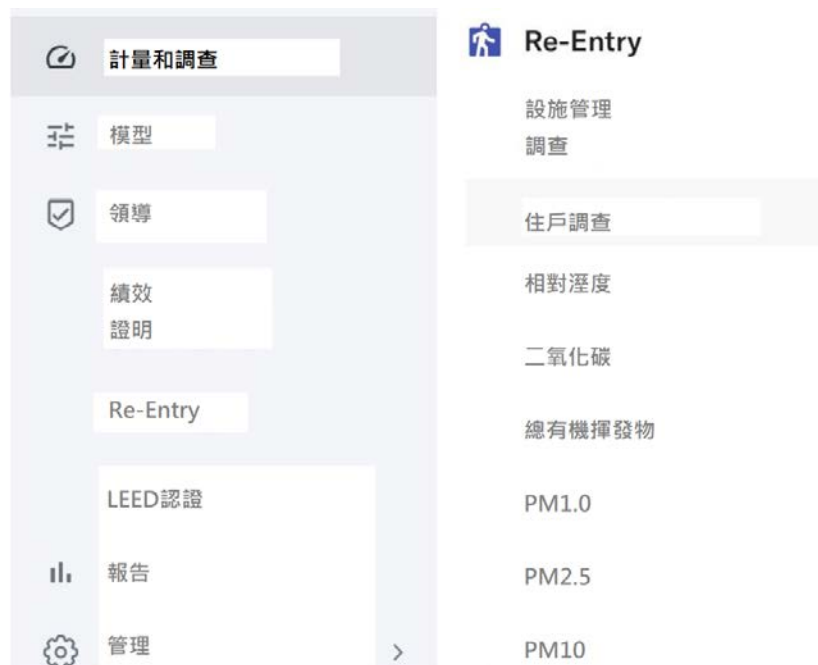


圖3-7 Arc Re-Entry為包含WELL健康安全評級和LEED v4.1 O+M的健康和綠色建築評級系統

Arc Re-Entry 利用現有的功能，包括 Arc 的長期居住滿意度調查和室內空氣品質測量要求。並有兩項新調查和一組擴充的室內空氣品質指標對這些進行補充。



### 圖3-8 Arc Re-Entry數據輸入和調查的空氣品質種類

(資料來源：Arc Skoru Inc 官網)

此外，Arc Re-Entry 允許管理人員記錄並共享給相關健康及公衛部門。這使得設施管理人員更容易選擇提供的感染控制策略。反過來，Arc Re-Entry 可幫助管理人員評估居住者對管理策略感受如何以及它們如何反映在量測的室內空氣品質中。這為管理動機和量測結果之間的提供了可重複反饋循環的基礎。

Arc Re-Entry 引入的新觀察因子包括：

1. **新設施管理調查**：新設施管理者調查要求有關感染控制政策和程序的資訊以及與有關當局的比對（例如，世界衛生組織等）。
2. **新的居住者觀察調查**：新的居住者觀察調查包括關於居住者滿意度的長期問題，以及新的機會分享與疾病管制相關的經驗，例如指示牌或使用消毒產品。
3. **新的室內空氣品質指標**：新的室內空氣品質指標擴展 Arc 現有的一組量測值並更改解釋以符合疾病管制的目標。這意味著 CO<sub>2</sub> 和 TVOC 都存在於長期的人們感適度以及 Re-Entry 類別。然而，指標已從污染物濃度變為短時間高於閾值比例。此外，新的部分要求提供有關相對濕度和顆粒物資訊；這些方面的空氣品質與疾病傳播及易受感性相關。所有些 IAQ 因素都可以通過以下任一方式進行量測，無論攜帶型儀器或感測器網路。

總之，新的 Re-Entry 工具有 120 個變量，包括簡單的是或否(類別)回答、量測數據和支援文件。

Re-Entry 綜合評分

Arc使用分數來解釋和整合測量績效。Arc分數對能源、水和廢棄物以參考集作為基準進行評分。Arc分數對交通運輸和人性體驗的評分基於數學函數。這兩種方法都不適合解釋重返的相關資訊。為設施管理人員和利害關係者匯整和解釋資訊。因此，Arc計算了一個Re-Entry綜合性評分（“Comp Score”）。

Comp Score 是一個0到100%的評估指標，由正面回饋比較總回饋數。Comp Score是3個部分的平均：設施管理、居住者觀察和室內空氣品質：

●Comp Score = 0：該機構報告沒有疾病管制實踐及程序，居住者一致觀察沒有需要進行疾病管制的特徵，並且沒有收集室內空氣品質數據。

●Comp Score = 100：設施報告所有要求的疾病管制實踐和程序。設施管理者對每個要素提供支援文件。居住者一致觀察有疾病管制的特徵。整個設施中始終如一地收集室內空氣品質資訊。

0到100之間的Comp Score分數表示潛在正面回應的簡單比例。除了分配給設施管理、居住者觀察和室內空氣品質的同等比例之外，沒有任何權重。

#### 小結

Arc Re-Entry提供實用工具來收集、管理和解釋有關設施管理、居住者體驗和室內環境條件的資訊。這些工具可以幫助通知和改進設施管理並支援與居住者的有效溝通。Arc Re-Entry並不是獨立的。理想情況下，它應該作為綜合感染控制管理系統的一部分進行部署，其中包括來自公共衛生和工業衛生專家的投入。這種綜合系統認識到保護來自管理過程的一致、點到點的操作，而不是任何單一的策略或技術。Arc可以支援這個過程，但不能保證結果。

作為正確管理系統的一部分，Arc Re-Entry可以幫助建立所需的知識和信心，讓安全佔據我們生活、工作和娛樂場所。

### Arc Re-entry 評分卡

#### 設施管理

最後回覆:2020,六月

| 措施              | 回應    | 文件   |
|-----------------|-------|------|
| 疾病管制計畫、政策和程序    | ☑ Yes | NA   |
| 政策、計畫和程序與權威機構一致 | ☑ Yes | ☒ No |
| 疾病管制溝通和指示牌      | ☑ Yes | ☒ No |
| 清潔與消毒           | ☑ Yes | ☒ No |
| 居住者篩檢           | ☒ No  | ☒ No |
| 給予職員和承包商病假      | ☑ Yes | ☒ No |
| 員工健康保險          | ☑ Yes | ☒ No |
| 社交距離            | ☑ Yes | ☒ No |
| HVAC系統作業        | ☒ No  | ☒ No |
| HVAC - 增加室外空氣供給 | ☑ Yes | ☒ No |
| HVAC - 增加通風率    | ☑ Yes | ☒ No |
| HVAC - 過濾       | ☑ Yes | ☒ No |
| 電梯管理            | ☒ No  | ☒ No |
| 飲用水系統作業         | ☒ No  | ☒ No |

#### 室內空氣品質

2020/05/16至2020/06/15

| 標準      | IAQ綜合評分 | 回應    |
|---------|---------|-------|
| 相對濕度    | 包含      | ☑ Yes |
| 室內二氧化碳  | 包含      | ☑ Yes |
| 室內TVOC  | 包含      | ☑ Yes |
| 室內PM1.0 | 不包含     | ☑ Yes |
| 室內PM2.5 | 包含      | ☑ Yes |
| 室內PM10  | 不包含     | ☑ Yes |

圖3-9 Arc Re-Entry 提供設施管理以及來自居住者IAQ 測量數據

表3- 6 Arc 關注空氣品質條件及相關閾值草案

| 參數                | 調查  | 低警戒<br>(可接受) | 良好      | 高警戒<br>(可接受) | 需調查   | 單位                | 包含於<br>綜合評分 | 資料來源                                    |
|-------------------|-----|--------------|---------|--------------|-------|-------------------|-------------|-----------------------------------------|
| CO <sub>2</sub>   | 350 | n/a          | 350-750 | 750-1,000    | >1000 | ppm               | 是           | CIBSE指南A 2018<br>LEED V4.1 O+M BETA指南   |
| RH                | 30  | 30-40        | 40-60   | 60-70        | >70   | %                 | 是           | CIBSE指南A 2018                           |
| TVOC <sup>¶</sup> | 0   | n/a          | 0-175   | 175-200      | >200  | µg/m <sup>3</sup> | 是           | RESET v2 2018                           |
| PM <sub>1</sub>   | 0   | n/a          | 0-12    | 12-15        | >15   | µg/m <sup>3</sup> | 否           | 待定                                      |
| PM <sub>2.5</sub> | 0   | n/a          | 0-12    | 12-15        | >15   | µg/m <sup>3</sup> | 是           | RESET v2 2018<br>WELL v2 2020 ,<br>優化版1 |
| PM <sub>10</sub>  | 0   | n/a          | 0-30    | 30-35        | >35   | µg/m <sup>3</sup> | 否           | WELL v2 2020 ,<br>優化版1                  |

### 3-10-8 Re-occupancy Assessment Tool V3.0

美國建築師協會 (AIA)2020 年發布了一種新的重新入住評估工具，該工具提供了限制建築物中 COVID-19 暴露的策略，提供企業、商店、餐館等重新開放時保護公眾健康、安全和福利的做法。此工具協助幫助民眾從社區安全地移入到辦公室、學校和其他生活中重要的地方。該工具提供了有助於減少接觸 COVID-19 的策略和一般減緩疫情措施架構。結合建築師、公共衛生專家、工程師、產品設計師和設施管理人員的多學科團隊並評估人們行為、空間、材料和操作策略後制定各種建築類型，包括辦公室、學校、多單元住宅、零售場所、餐廳和老年護理設施，該工具包含：

1. 重新使用的背景參數。
2. 場地和場地到達、建築防護結構、固定裝置和家具、管道和暖通空調的建築和工程策略。
3. 減少病原體傳播和支持物理距離的行政政策和程序
4. 與 PPE 相關的政策和程序

這個評估工具並未規定必要的干預措施，但包括適用於許多建築類型和營運規模的控制措施。這些控制措施可能適用於非必要設施，這些設施最初在必要限制（短期）下重新開放，最終在沒有強加限制（長期）的情況下運行。並非所有控制措施都適用於所有情況下的所有建築類型，同樣可能需要額外的控制措施。相關控制可以進一步分類為“必要的”或“理想的”，以便確定優先順序。以下為工具評估及調查項目。相關項目參考[附錄六](#)。

### 3-11 後疫情時代的防疫與ESG

在現時的社會討論中，環境(Environmental)、社會責任(Social)和企業管治(Governance) (簡稱ESG) 是一個方興未艾的話題。不少與ESG相關的轉型都在無形間因為新冠疫情而加快了，例如氣候變化、原油需求結構性改變和日常生活習慣改變等。ESG代表一種企業責任、永續投資的概念、近年來全球越來越多投資人用ESG分數，來衡量一間企業的社會責任表現，認為這個分數能衡量企業的外部風險，看出一間公司未來績效。企業在健康空間方面做了投入，不僅提升企業價值，甚至股價也跟著升高，都說明了WELL的經濟價值。WELL漸漸被企業和社會接受，越來越成為評估企業的環境(E)、社會(S)和公司治理(G)標準中的S量化指標，吸引外資湧入。相較於他國，ESG在台灣近幾年才逐漸普及化，但已有少數企業取得亮眼成績。ESG中的E和G皆為多年既有的行業通報指標，有成型的量化路徑。S部分的得分在每個社會有著不同的定義，因此全球尚未有真正的共識。不過，隨著企業對人員的健康與安全更加重視，健康與安全在S部分已經成為普遍沿用的範疇。

特別在疫情時代，人們更加重視健康，想要重返職場，2020年3月，因應疫情，國際健康建築學院(International Well Building Institute, IWBI)成立COVID-19特別工作小組，把20幾條跟防疫相關的生理、心理、環境層面的建築環境指標整理而出，彙整為HSR(Health-Safety Rating) 健康-安全評價準則，作為建築就如何創造更安全的室內環境、降低疾病或感染風險提供具體指導的一種手段。HSR是新冠肺炎趨緩後，特別為企業復工復業制定的簡易版本，較WELL v2完整版相對容易上手。在HSR準則引導下，可協助建築物增強防疫功能，HSR獲得的分數，之後還可以貢獻到WELL認證裡。WELL是建築史上第一次把醫學(公共衛生學、心理學、營養學、人類行為學等)與建築兩個專業領域結合、真正為人設計的健康建築認證準則。IWBI 正積極努力將WELL認證項目成為 ESG中S的得分亮點，支持那些通過WELL項目的建築空間及管理政策，持續提升並擁護人們健康與幸福感。

要獲得這一新評級，建築物必須在 5 個核心區域的 21 個總特徵中表現出 15 個特徵。為了獲得功能的讚揚，建築物必須滿足各種不同的要求，這些要求因功能而異，並且對該功能的實施進行了某種形式的驗證。

核心領域 1：清潔和消毒程序

第一個核心領域側重於建築物的消毒程序，因為它們是疾病傳播的關鍵區域。該區域

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

的功能提供了一些關於如何幫助確保建築清潔，同時保持使用環境和對人體安全的化學清潔劑的說明。這些功能包括：

1. 支持洗手
2. 減少表面接觸
3. 改進清潔程序
4. 選擇首選清潔產品

其中一些功能的要求是：

支持洗手：建築物必須配備無香味洗手液分配器，這是多種乾洗手方法中的一種，例如紙巾，以及標牌顯示正確洗手的步驟，並在任何食品相關區域的入口處指示洗手區。這將通過營運計劃和所有者的保證書進行驗證。

選擇首選的清潔產品：所有將在建築物中使用的清潔產品都應在消毒計劃中說明，並且產品應標記為“低危害”或“更安全”或獲得第三方認可。不應有使用化學品全球調和制度（GHS）歸類為 1、1A 或 1B 類的成分。將經由提交操作時間表來完成驗證。

### 核心領域 2：應急準備計劃

在 COVID-19 爆發及其對公共健康和經濟的影響之後，許多公司和建築物開始意識到彈性和應急準備的重要性。該領域著重於制定計劃和程序，以便建築物在 COVID-19 大流行後重新進入期間可以立即保持員工健康，同時也為未來可能出現的緊急情況做好準備。本節的特點是：

1. 制定應急準備計劃
2. 創建商業活動連續性計劃
3. 健康再返回崗位(Re-Entry)計劃
4. 提供緊急資源
5. 加強緊急應變能力

某些功能的要求包括：

創建商業活動連續性計劃：項目必須有商業活動連續性計劃，概述關鍵商業活動功能是什麼以及這些功能所需的資源和人員，使用影響分析來查看可能擾亂商業活動的事物的影響，有遠程工作準備評估，並定義面對各種災害時的連續性戰略。此功能由操作計劃驗證。

增強緊急應變能力：要實現此功能，該項目必須至少滿足以下要求之一：緊急情況下



可免費用於急救人員的指定空間、供員工緊急使用的員工援助基金以及避難所-當建築物中的租戶不能離開時，有自己的一套要求的就地計劃。這也將通過操作時間表進行驗證。

#### 核心領域 3：衛生服務資源

保持員工健康是 WELL 新評級系統的一個關鍵原則，這個核心領域提供了項目可以採取的各種措施，以在未來維持健康的工作環境。這些措施包括：

1. 提供病假
2. 提供健康福利
3. 支持心理健康康復
4. 推廣流感疫苗
5. 促進無菸環境

一些功能的要求包括：

提供病假：該項目應為承租者提供與帶薪休假和探親假分開的短期和長期病假，這樣任何生病的人都不必進來工作。這將通過政策聲明或營運計劃進行驗證。

提供健康福利：應為所有員工及其家屬提供健康福利計劃，其中應包括牙科、醫療、視力保健、心理健康、藥物使用、和生殖健康服務等服務，以及作為員工保密的福利諮詢。此功能還通過操作計劃或策略聲明進行驗證。

#### 核心領域 4：空氣和水質管理

由於許多人大部分時間都在室內度過，空氣和水質不佳會導致疾病或其他健康風險的容易傳播。如果不對建築物中的空氣和水系統進行適當的處理和評估，空氣中的黴菌或病毒感染等各種健康風險可能會變得突出。本節重點介紹可以採取哪些措施來降低這些室內威脅的潛在風險。這些措施包括：

1. 評估通風
2. 評估和維護空氣處理系統
3. 制定退伍軍人桿菌管理計劃
4. 監測空氣和水質
5. 管理黴菌和水分

一些關鍵功能的要求是：

評估通風：該項目必須有一名合格的工程師通過確定最高可能的室外空氣供應速率來評估室內空氣品質，可以進行任何修改以增加室外空氣，機械系統在沒有再循環空氣

的情況下可以運行的程度以及如何潛在的修改將影響能源使用、維護和管理氣溫的能力。

監測空氣和水質：為實現此功能，應監測室內空氣污染物數據，例如 PM<sub>5</sub>、PM<sub>10</sub>、總 VOC、臭氧、一氧化碳，這些數據將通過持續的數據報告進行驗證。為了測試和驗證水質，一份持續的數據報告描述了水中的濁度、pH、餘氯和大腸菌群。

### 核心領域 5：利益相關者的參與和溝通

與利益相關者的溝通和參與可以提供有價值的信息，有助於保持住戶的健康。就現有的緊急應變和準備實踐進行充分溝通有助於確保每個人都知道在發生緊急情況時該怎麼做。最重要的是，關於促進個人健康的正確習慣的教育有助於提高建築物中人們的整體健康。此核心區域下的功能和這些功能的要求包括：

促進健康和健康：為了獲得此功能的讚揚，該項目必須創建一個以健康為導向的使命，展示如何促進健康，提供功能指南，解釋項目獲得讚譽的每個功能，以及這些功能如何影響居住者衛生，以及定期就衛生資源進行交流。所有這些都將通過政策或運營計劃進行驗證。共享食品檢驗信息：對於此功能，項目內的任何餐飲服務點都必須公開展示衛生和衛生檢驗報告。這是通過保證書驗證的。

### 3-12比較和討論

在 SARS-CoV-2 傳播中，空氣途徑和通風系統的不良使用是不可忽視的因素 (Correia et al., 2020)。全球各種與 HVAC 有關的組織和社會都發佈了應對冠狀病毒病 (COVID-19) 的準則。但到目前為止，對 SARS-CoV-2 的傳播途徑和特徵的認識還不完整，這些準則也在不斷更新。回顧和比較不同準則的對策，對我國綠建築標章日後的更新有很大的幫助。它還有助於實施合理適當的對策，迅速應對疫情，並開展與 SARS-CoV-2 有關的進一步研究。

表 3-7 中列出了不同國家或地區發佈降低 SARS-CoV-2 室內傳播風險的主要對策。不同國家或地區發佈的準則或文件在建築物中 COVID-19 的傳輸機制方面具有共同點。空調和通風系統可以最大程度地減少病毒的空氣中傳播。關於 HVAC 系統的運作，準則中的具體內容略有不同。

### 第三章 計畫研究成果

表3-7各組織防疫策略比較

| 單位/<br>機構                 | ASHRAE                                                                      | REHVA                                                                                                   | SHASE                                                                           | China相關學會                                                |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 戶外<br>空氣                  | 1.增加室外空氣量。<br>2.打開室外空氣調節閥，如果可能的話，最高可達100%。                                  | 1.盡可能合理地供應室外空氣，如果可能，將終端設備切換到100%室外空氣。<br>2.定期打開窗戶。                                                      | 1.盡可能合理地供應室外空氣:如果可能，將終端設備切換到100%室外空氣。<br>2.定期打開窗戶。                              | 1.盡可能合理地供應室外空氣.如果可能，將終端設備切換到100%室外空氣。<br>2.室外空氣比例應大於40%。 |
| 暖通空<br>調系統<br>的運行         | 1.使用HVAC相關設備以在入住前後2小時進行沖洗。<br>2.如果可能，請每週7天每天24小時保持系統開機。<br>3.禁用需求控制通風(DCV)。 | 1.居住前以標稱速度通風至少2 h，居住後以較低速度通風2 h。<br>2.每週7天，每天24小時運行廁所通風系統。<br>3.在DCV系統中，將CO <sub>2</sub> 設定值更改為400 ppm。 | 1.延長HVAC設備的運行時間，如果可能，請連續運行24小時。<br>2.連續運行抽水馬桶的排氣系統。<br>3.降低CO <sub>2</sub> 設定值。 | 1.在加熱模式下提高供氣溫度，在冷卻模式下降低溫度。                               |
| 溫濕度<br>設定點                | 1.控制溫度和濕度是有益的.但應根據具體情況考慮溫度和相對濕度設定點。                                         | 1.無需調整溫度和濕度設定點。                                                                                         | 1.溫度應控制在17至28°C之間，相對濕度應控制在40至70%之間。                                             | 沒有提及。                                                    |
| 壓差                        | 1.空氣應從安全區域流向不安全區域，從個人使用區域流向公共區域。                                            | 1.確保馬桶上的負壓。                                                                                             | 1.確保馬桶上的負壓。                                                                     | 1.廚房應保持輕微的正壓力。<br>2.保持馬桶上的負壓。                            |
| HVAC<br>系統中<br>配備的<br>過濾器 | 1.盡可能提高中央空氣過濾器的等級，至少達到MERV-13的等級。                                           | 1.過濾器應照常更換和維護。                                                                                          | 1.對於具有100%室外空氣的系統，過濾器可以照常運行。<br>2.對於回風操作，應更頻繁地檢查過濾器的壓差，並比平時更早地更換過濾器。            | 1.照常維護過濾器。                                               |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

| 單位/<br>機構 | ASHRAE                   | REHVA                                                   | SHASE                                                          | China相關學會                                 |
|-----------|--------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 空氣<br>清潔  | 1. 推薦使用 HEPA 過濾器 和 UVGI。 | 1.建議將空氣淨化器放置在靠近呼吸區域的地方。<br>2.安裝用於送風或室內空氣處理的特殊UV清潔設備也有效。 | 1.空氣濾清器作為輔助設備是有效的。<br>2.通風比空氣濾清器更有效。                           | 1.室內空氣淨化器應進行操作。<br>2.紫外線設備不應安裝在HVAC系統中。   |
| 熱回收<br>設備 | 1.檢查系統中熱回收輪的狀態是否洩漏。      | 1.如果熱交換器的洩漏率低於5%，則在增加室外空氣流通量的情況下運行。<br>2.否則，請增加通風量。     | 1.對於靜態全熱交換器，請以熱交換模式運行。<br>2.對於旋轉型，如果回風壓力小於送風壓力，請以較大的有效通風量進行操作。 | 1.間接熱交換器和其他熱交換器可以照常運行。<br>2.不建議使用旋轉式熱交換器。 |
| 其他        | 1.在打開建築物之前，先制定策略計劃。      | 1.沖水馬桶時請關上蓋子。<br>2.避免水封乾掉dried。                         | 1.沖水馬桶時請關上蓋子。<br>2.定期檢查水封。                                     | 1.定期檢查水封。<br>2.保持通風管的上浮力。                 |

### 3-11-1 HVAC系統的運作

至於HVAC系統的運作，上述所有準則或文件都強調提高室外空氣比例和通風的重要性。他們都同意通風系統應在房間被使用之前先運作，並且應該盡可能長時間地運行。人們應該盡可能打開窗戶通風。此外，REHVA 建議CO<sub>2</sub>濃度應減少到400 ppm，SHASE還建議，應減少CO<sub>2</sub>濃度設定點。然而，對於多少的通風量可以有效降低感染風險，沒有達成一致的共識。對不同類型的空調系統的操作提出了各種建議。對於全空調系統，如果可能，所有系統都建議完全室外空氣運作。對於具有專用室外空氣系統的空氣送風機，REHVA建議停止回流氣流，以避免因對流而引起病毒的回流，而中國指南建議，當疑似患者在室內時，應停止所有對流設備，包括空氣送風機。ASHRAE 還建議將空調系統中的濾網級別提高至MERV-13。其他準則建議，在空調系統的正常運行和維護中使用的過濾器應該足夠，無需管道清潔。

### 3-11-2空氣清淨機的運作

對於室內空氣濾清器，HEPA 濾網可以有效地控制病毒的傳播。REHVA 和 SHASE 準則都提到，大多數空氣濾清器可以循環有限的空氣。ASHRAE和REHVA都相信紫外線照射可以有效地讓病毒失去活性。ASHRAE建議在所有建築物中使用紫外線滅菌照射設備，而REHVA則認為在醫療建築中使用紫外線滅菌照射設備更為合適。中國建築學會表示，在沒有明確依據或是醫療意見支持的情況下，在辦公大樓的空調和通風系統中安裝紫外燈是不合適的。

### 3-11-3區域間壓力差

所有準則都同意，其原則是確保氣流從高清潔度區域流向低清潔度的區域。所有準則都指出，排氣系統應保持運作，外窗應關閉，以確保廁所中是維持負壓。中國的準則還提到，廚房應該保持輕微的正壓。

### 3-11-4熱回收裝置的運作

對於熱回收設備，更新後的 REHVA 指南中的準則與 SHASE 的準則一致。雙方一致認為，如果回風壓力低於送風壓力，則熱交換器引起的回風混合量是可以接受的，並且增加送風量可進一步減少混合量。中國發佈的現行準則規定，除間接熱交換器外，熱回收裝置應關閉旁路(bypass)。

### 3-11-5溫度和濕度設定點

對於室內溫度和濕度設定點，ASHRAE 建議應該要取決於目前情況和建築的條件。根據 REHVA 的說法，沒有必要在春季調整溫度和濕度設定點。SHASE建議溫度設定點應介於17至28°C之間，相對濕度設定點應介於 40%和70%之間。然而，中國的準則只建議空調系統在較暖的季節提高送風的溫度，並在較冷的季節降低送風的溫度。在上述所有準則中，所有準則都強調通風的重要性，通風可以有效降低含有病毒的飛沫濃度。自然通風和機械通風應盡可能加強。然而，能夠消除空氣中顆粒物傳播風險的具體通風率尚不清楚。最近一些健康風險影響報告中，針對通風速率進行了最新審查，指出說對於從6- 40 L/s/person的各種室外通風速率可以以最大程度減少傳染病造成的健康風險(Carrer et al., 2015)。紫外燈和HEPA濾網也有利於降低病毒濃度。紫外燈要將病毒失去活性需要一些時間，因此中國不建議在室內送風機安裝紫外燈。空氣濾清器可以處理的空氣是有限的，它可以位於靠近呼吸區作為輔助對策，為避免病毒重新傳播和SARS-CoV-2經由HVAC系統傳播，建議盡可能關閉再循環系統。

在空調系統中是否更改溫度和相對濕度的設定值目前仍存在爭議。要將病毒失去活性，37°C下需要一天的時間，在56°C則需要30分鐘(Chin et al., 2020)。人們顯然不可能長時間待在這麼高溫的環境中。因此，不需要更改溫度設定點。至於相對濕度，當相對濕度為40~60%(Mousavi, 2020)時，SARS-CoV-2的生存能力不會降低。然而，研究表明，相對濕度低於40%可以增加感染(Mousavi, 2020)。因此，當相對濕度低於 40%時，可能需要增加相對濕度。

## 第四節防疫通風標準與建築規劃設計

### 3-12 建築防疫通風相關規範

(一)、美國冷凍空調學會ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)建築防疫之建議規範

美國冷凍空調學會 (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,ASHRAE) 於 2019 年爆發 SARS-CoV-2 ( Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2) 病毒傳染，美國冷凍空調學會回應聯合國與世界衛生組織提出之(COVID-19 Response)政策，綜合全球公共衛生、建築、冷凍空調等專家研究，提出於「不同建築空間」空調通風之回應，以降低 SARS-CoV-2之空氣傳染性與氣膠暴露程度。

表3- 8美國冷凍空調學會之建築防疫通風相關規範

| 標準編號                                          | 標準名稱                                                                            | 內容項目             | 對應建築防疫建議                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANSI/ASHRAE<br>Standard 62-1,2019<br>(update) | Ventilation for<br>Acceptable Indoor<br>Air Quality                             | HVAC系統之通<br>風規範  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 各類場所最低引入外氣風量</li> <li>· 增加新鮮外氣量引入室內</li> <li>· 溫度濕度控制</li> <li>· 使用過濾網 MERV-13 等級以上</li> <li>· 確保整體換氣率</li> <li>· 增加局部通風換氣設施</li> <li>· 清淨裝置</li> <li>· UV/Ozone-滅菌規範</li> <li>· 回風確保空氣品質</li> <li>· 整體空間清淨模式以 3 ACH 置換</li> </ul> |
| ANSI/ASHRAE<br>Standard 62-2,2019             | Ventilation for<br>Acceptable Indoor<br>Air Quality in<br>Residential Buildings | 住宅類空調系統<br>之通風規範 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 低樓層住宅空調通風規範</li> <li>· 住宿單元通風量(面積與單元數量加權計算)</li> <li>· 住宿單元增加人數時增加外氣量 7.5cfm (3.5L/s)/人</li> <li>· 廚房、衛浴等空間通風換</li> </ul>                                                                                                          |

| 標準編號                               | 標準名稱                                                                                                                         | 內容項目                     | 對應建築防疫建議                                                                                                                                 |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                                                                                                                              |                          | 氣 100cfm (50L/s)、50cfm (25L/s)以上或連續通風換氣 5 ACH<br>· 使用過濾濾網 MERV-13 等級以上<br>· 局部排氣設計                                                       |
| ANSI/ASHRAE Standard 52.2,2017     | Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size                           | 通風過濾清淨裝置移除不同粒徑懸浮微粒之效率    | · 不同粒徑懸浮微粒之移除效率測試<br>· 考量濾網成本與效益<br>· 建議使用過濾濾網 MERV-13 等級以上，可針對 1.0-3.0 (µm)有 85%以上之移除效率<br>· 過濾濾網 MERV-13 對於 PM <sub>2.5</sub> 具有 70%以上 |
| ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170,2017 | Ventilation of Health Care Facilities                                                                                        | 通風換氣對健康照護機構之規範           | · 醫院、門診、護理之家空間之通風規範<br>· 空間空氣正負壓設計<br>· 溫度、濕度、回風率規範<br>· 換氣次數規範 2-10 ACH                                                                 |
| ANSI/ASHRAE Standard 185.2,2020    | Method of Testing Ultraviolet Lamps for Use in HVAC&R Units or Air Ducts to Inactivate Microorganisms on Irradiated Surfaces | HVAC空調系統風管與風箱表面使用UV燈照射滅菌 | · UV 效率測試方法<br>· UV-A(400-320nm)、UV-B(320-280nm)、UV-C(280-100nm)                                                                         |
| ANSI/ASHRAE Standard 188,2018      | Legionellosis: Risk Management for Building Water Systems                                                                    | 空調系統之冷卻水(退伍軍人菌)之感控管理     | · 空調冷卻水塔等系統退伍軍人菌感控管理<br>· 水系統管理程序                                                                                                        |

(資料來源：ASHRAE,2020)

對於降低SARS-CoV-2之空氣傳染性與氣膠暴露程度，特別著重在「通風量」、「外氣引入量」、「過濾濾網」、「清淨裝置」與「UVLamp滅菌」等事項，依美國冷凍空調學會提出SARS-CoV-2對應策略，有以下重要關鍵通則：



1. 疫情期間公共衛生措施-配戴口罩等個人防護措施(PPE)、保持社交距離、自主檢測、遠距異地輪值辦公、減少室內人數、衛生管理等。
2. 通風換氣、過濾、空氣清淨淨化-依法令、標準與規範提供最小外氣引入量。HVAC 使用 MERV-13 等級以上過濾網。使用獨立清淨機、過濾裝置等減緩能耗。
3. 空氣分配-避免直吹氣流方式通風，使用空間充分混合通風方式，空氣稀釋方式避免人傳人之問題。
4. HVAC 系統操作-溫度與濕度之控制、清淨空氣供給確保到達空間各處、必要之大量置換換氣，以 3 ACH 方式供給乾淨空氣、控制因節能需求之回風設定，過濾或清淨方式處理回風達到可接受之空氣品質。
5. 確認 HVAC 設備效能與防疫設計需求一致。

表3-9美國冷凍空調學會標準62-1之建議呼吸帶通風量(列舉)

| 場所     | 人員外氣量      |            | 面積外氣量               |                      | 人員密度<br>#/100m <sup>2</sup> |
|--------|------------|------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
|        | Cfm/person | L/S/person | Cfm/ft <sup>2</sup> | L/S · m <sup>2</sup> |                             |
| 住宿單元   | 5          | 2.5        | 0.06                | 0.3                  | -                           |
| 健身房    | 20         | 10         | 0.18                | 0.9                  | 7                           |
| 游泳池    | -          | -          | 0.48                | 2.4                  | -                           |
| 零售商店   | 7.5        | 3.8        | 0.12                | 0.6                  | 15                          |
| 理髮店    | 20         | 10         | 0.12                | 0.6                  | 25                          |
| 大型商場   | 7.5        | 3.8        | 0.18                | 0.9                  | 10                          |
| 超市     | 7.5        | 3.8        | 0.06                | 0.3                  | 8                           |
| 劇院觀眾席  | 5          | 2.5        | 0.06                | 0.3                  | 150                         |
| 圖書館    | 5          | 2.5        | 0.12                | 0.6                  | 10                          |
| 公眾大廳   | 5          | 2.5        | 0.06                | 0.3                  | 150                         |
| 博物館    | 7.5        | 3.8        | 0.06                | 0.3                  | 40                          |
| 辦公空間   | 5          | 2.5        | 0.06                | 0.3                  | 5                           |
| 辦公入口大廳 | 5          | 2.5        | 0.06                | 0.3                  | 10                          |
| 休息室    | 5          | 2.5        | 0.12                | 0.6                  | 50                          |
| 餐廳用餐   | 7.5        | 3.8        | 0.18                | 0.9                  | 70                          |
| 商用廚房   | 7.5        | 3.8        | 0.12                | 0.6                  | 20                          |
| 咖啡廳/快餐 | 7.5        | 3.8        | 0.18                | 0.9                  | 100                         |
| 飯店大廳   | 7.5        | 3.8        | 0.06                | 0.3                  | 30                          |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

| 場所     | 人員外氣量 |     | 面積外氣量 |     | 人員密度 |
|--------|-------|-----|-------|-----|------|
|        |       |     |       |     |      |
| 飯店住宿房  | 5     | 2.5 | 0.06  | 0.3 | 10   |
| 小學教室   | 10    | 5   | 0.12  | 0.6 | 35   |
| 幼兒園日托  | 10    | 5   | 0.18  | 0.9 | 25   |
| 國中以上教室 | 10    | 5   | 0.12  | 0.6 | 25   |
| 電腦教室   | 10    | 5   | 0.12  | 0.6 | 25   |
| 牙科術室   | 10    | 5   | 0.18  | 0.9 | 20   |
| 一般檢驗室  | 7.5   | 3.8 | 0.12  | 0.6 | 20   |

(資料來源：ASHRAE,2020)

表3- 10美國冷凍空調學會標準62-2之低層住宅建議通風量

| 樓地板面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 臥室(L/S) |    |    |    |    |
|----------------------------|---------|----|----|----|----|
|                            | 1房      | 2房 | 3房 | 4房 | 5房 |
| <47                        | 14      | 18 | 21 | 25 | 28 |
| 47-93                      | 21      | 24 | 28 | 31 | 35 |
| 94-139                     | 28      | 31 | 35 | 38 | 42 |
| 140-186                    | 35      | 38 | 42 | 45 | 49 |
| 187-232                    | 42      | 45 | 49 | 52 | 56 |
| 233-179                    | 49      | 52 | 56 | 59 | 63 |
| 280-325                    | 56      | 59 | 63 | 66 | 70 |
| 326-372                    | 63      | 66 | 70 | 73 | 77 |
| 373-418                    | 70      | 73 | 77 | 80 | 84 |
| 419-465                    | 77      | 80 | 84 | 87 | 91 |

(資料來源：ASHRAE,2020)

表3- 11美國冷凍空調學會標準62-2之過濾裝置移除效率

| MERV | Filters Factor | PM(0.3-1.0 $\mu$ m) % | PM(1.0-3.0 $\mu$ m) % | PM <sub>2.5</sub> (%) |
|------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 11   | 4.3            | 0                     | 65                    | 35                    |
| 12   | 3.0            | 0                     | 80                    | 50                    |
| 13   | 2.1            | 25                    | 85                    | 70                    |
| 14   | 1.8            | 75                    | 90                    | 85                    |
| 15   | 1.7            | 85                    | 90                    | 90                    |
| 16   | 1.6            | 95                    | 95                    | 95                    |

(資料來源：ASHRAE,2020)

## (二)、臺灣建築技術規則-通風、開窗與機械通風設備規定

「建築技術規則設計施工編」與「設備編」分別針對建築物居室之通風、開窗、機械通風設備訂定規定，但其中對於「機械通風」之「外氣引入量」尚未清楚定義。

表3- 12建築技術規則通風規定

| 條文             | 說明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 設計施工編<br>第四十三條 | <p>居室應設置能與戶外空氣直接流通之窗戶或開口，或有效之自然通風設備，或依建築設備編規定設置之機械通風設備，並應依下列規定：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>一. 一般居室及浴廁之窗戶或開口之有效通風面積，不得小於該室樓地板面積百分之五。但設置符合規定之自然或機械通風設備者，不在此限。</li> <li>二. 廚房之有效通風開口面積，不得小於該室樓地板面積十分之一，且不得小於零點八平方公尺。但設置符合規定之機械通風設備者，不在此限。廚房樓地板面積在一百平方公尺以上者，應另依建築設備編規定設置排除油煙設備。</li> <li>三. 有效通風面積未達該室樓地板面積十分之一之戲院、電影院、演藝場、集會堂等之觀眾席及使用爐灶等燃燒設備之鍋爐間、工作室等，應設置符合規定之機械通風設備。但所使用之燃燒器具及設備可直接自戶外導進空氣，並能將所發生之廢氣，直接排至戶外而無污染室內空氣之情形者，不在此限。</li> </ol> <p>前項第二款廚房設置排除油煙設備規定，於空氣污染防制法相關法令或直轄市、縣（市）政府另有規定者，從其規定。</p> |
| 設計施工編<br>第四十四條 | <p>（自然通風設備之構造）自然通風設備之構造應依左列規定：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>一. 應具有防雨、防蟲作用之進風口，排風口及排風管道。</li> <li>二. 排風管道應以不燃材料建造，管道應儘可能豎立並直通戶外。除頂</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| 條文                     | 說明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |      |               |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|
|                        | <p>部及一個排風口外，不得另設其他開口，一般居室及無窗居室之排風管有效斷面積不得小於左列公式之計算值：</p> $A_v = \frac{A_f}{250\sqrt{h}}$ <p>其中A<sub>v</sub>：排風管之有效斷面積，單位為平方公尺。<br/> A<sub>f</sub>：居室之樓地板面積（該居室設有其他有效通風開口時應為該居室樓地板面積減去有效通風面積二十倍後之差），單位為平方公尺。<br/> h：自進風口中心量至排風管頂部出口中心之高度，單位為公尺。</p> <p>三. 進風口及排風口之有效面積不得小於排風管之有效斷面積。<br/> 四. 進風口之位置應設於天花板高度二分之一以下部份，並開向與空氣直流通之空間。<br/> 五. 排風口之位置應設於天花板下八十公分範圍內，並經常開放。</p>                                                                                             |      |               |
| <p>設計施工編<br/>第四十五條</p> | <p>建築物外牆開設門窗、開口，廢氣排出口或陽臺等，依下列規定：</p> <p>一. 門窗之開啟均不得妨礙公共交通。<br/> 二. 緊接鄰地之外牆不得向鄰地方向開設門窗、開口及設置陽臺。但外牆或陽臺外緣距離境界線之水平距離達一公尺以上時，或以不能透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。<br/> 三. 同一基地內各幢建築物間或同一幢建築物內相對部份之外牆開設門窗、開口或陽臺，其相對之水平淨距離應在二公尺以上；僅一面開設者，其水平淨距離應在一公尺以上。但以不透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。<br/> 四. 向鄰地或鄰幢建築物，或同一幢建築物內之相對部分，裝設廢氣排出口，其距離境界線或相對之水平淨距離應在二公尺以上。<br/> 五. 建築物使用用途為H-2、D-3、F-3組者，外牆設置開啟式窗戶之窗臺高度不得小於一·一〇公尺；十層以上不得小於一·二〇公尺。但其鄰接露臺、陽臺、室外走廊、室外樓梯、室內天井，或設有符合本編第三十八條規定之欄杆、依本編第一百零八條規定設置之緊急進口者，不在此限。</p> |      |               |
| <p>設備編<br/>第一百零一條</p>  | <p>（通風系統）機械通風應依實際情況，採用左列系統：</p> <p>一. 機械送風及機械排風。<br/> 二. 機械送風及自然排風。<br/> 三. 自然送風及機械排風。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |               |
| <p>設備編<br/>第一百零二條</p>  | <p>建築物供各種用途使用之空間，設置機械通風設備時，通風量不得小於左表規定：</p> <table border="1" data-bbox="411 1966 1417 2027"> <tr> <td data-bbox="411 1966 970 2027">房間用途</td> <td data-bbox="970 1966 1417 2027">樓地板面積每平方公尺所需通</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                  | 房間用途 | 樓地板面積每平方公尺所需通 |
| 房間用途                   | 樓地板面積每平方公尺所需通                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |               |

| 條文                                      | 說明                |               |    |
|-----------------------------------------|-------------------|---------------|----|
|                                         | 風量(立方公尺/小時)       |               |    |
|                                         | 第101條、第一款及第二款通風方式 | 第101條、第三款通風方式 |    |
| 臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者。                   | 8                 | 8             |    |
| 辦公室、會客室                                 | 10                | 10            |    |
| 工友室、警衛室、收發室、詢問室。                        | 12                | 12            |    |
| 會議室、候車室、候診室等容納人數較多者。                    | 15                | 15            |    |
| 展覽陳列室、理髮美容院。                            | 12                | 12            |    |
| 百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動室、灰塵較少之工作室、印刷工場、打包工場。 | 15                | 15            |    |
| 吸煙室、學校及其他指定人數使用之餐廳。                     | 20                | 20            |    |
| 營業用餐廳、酒吧、咖啡館。                           | 25                | 25            |    |
| 戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席。                     | 75                | 75            |    |
| 廚房                                      | 營業用               | 60            | 60 |
|                                         | 非營業用              | 35            | 35 |
| 配膳室                                     | 營業用               | 25            | 25 |
|                                         | 非營業用              | 15            | 15 |
| 衣帽間、更衣室、盥洗室、樓地板面積大於15平方公尺之發電或配電室        | —                 | 10            |    |
| 茶水間                                     | —                 | 15            |    |
| 住宅內浴室或廁所、照相暗室、電影放映機室                    | —                 | 20            |    |
| 公共浴室或廁所，可能散發毒氣或可燃氣體之作業工場                | —                 | 30            |    |
| 蓄電池間                                    | —                 | 35            |    |
| 汽車庫                                     | —                 | 25            |    |

(資料來源：內政部營建署，2020)

(三)、臺灣綠建築標章(EEWH)之建築防疫通風相關規定

綠建築評估指標體系分為「生態、節能、減廢、健康」(EEWH)四大部分共九項評估指標，包括了「生物多樣性指標」、「綠化量指標」、「基地保水指標」、「日常節能指標」、「CO<sub>2</sub>減量指標」、「廢棄物減量指標」、「室內環境指標」、「水資源指標」、「污水垃圾改善指標」等項目，在2005年推出新的「分級評估制度」，訂定了九大指標之綜合計分值及權重比例，亦發展不同建築類別版本(BC基本型、RS住宿類、GF工廠類、RN舊建築改善類、EC社區類、OS境外版)。

表3- 13臺灣綠建築標章(EEWH)分類版本

| 範疇 | 九大指標                   | EEWH-BC | EEWH-RS | EEWH-GF | EEWH-RN* | EEWH-EC | EEWH-OS |
|----|------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 生態 | 1.生物多樣性指標              | ◎       | ◎       |         | ◎        | ◎       | ◎       |
|    | 2.綠化量指標                | ◎       | ◎       | ◎       | ◎        | ◎       | ◎       |
|    | 3.基地保水指標               | ◎       | ◎       | ◎       | ◎        | ◎       | ◎       |
| 節能 | 4.日常節能指標               | ◎       |         |         | ◎        |         | ◎       |
| 減廢 | 5.CO <sub>2</sub> 減量指標 | ◎       | ◎       | ◎       | ◎        |         | ◎       |
|    | 6.廢棄物減量指標              | ◎       | ◎       | ◎       | ◎        |         | ◎       |
| 健康 | 7.室內環境指標               | ◎       |         |         | ◎        |         | ◎       |
|    | 8.水資源指標                | ◎       | ◎       | ◎       | ◎        |         | ◎       |
|    | 9.污水垃圾改善指標             | ◎       | ◎       |         | ◎        |         | ◎       |

\*註: EEWH-RN中另有減碳效益評估法不適用九大指標

對於「建築防疫與通風」在「綠建築標章」(EEWH)評估系統中，主要牽涉指標為「室內環境指標」、「日常節能指標」與「污水及垃圾改善指標」。其中以「室內環境指標」為主要對應建築防疫與健康。室內環境指標評估項目，主要在評估室內環境中，隔音、採光、通風換氣、室內裝修、室內空氣品質…等，影響居住健康與舒適之環境因素;與防疫相關影響因子有「通風換氣環境」(自然通風評估法、空調換氣評估法)、「光環境」(自然採光空間、人工照明)，可以從加強通風與自然光UV抑菌、空調風管或空間之UVGI人工光抑菌等方式強化建築防疫。

通風換氣環境評估主要針對人員常在空間評估，住宅類空間以住宿單元內的居室為對象，在非住宿類建築則以居室空間及室內大廳、梯廳、走廊、開放

性樓梯等公共空間為對象。

1. 自然通風評估-自然通風評估以「開窗」之「自然通風潛力VP」計算，確保每一居室「開窗自然通風換氣」之有效性。
2. 空氣換氣評估-以中央空調系統外氣供應量可送至空間之比例作為規範，以機械通風為主，對於分離式冷氣、窗型冷氣、FCU等系統，其無法引入「新鮮外氣量」至室內，不易通風換氣移出污染物。

表3- 14綠建築標章(EEWH)之室內環境指標(與建築防疫、通風相關)

| 大項     | 小項                                     | 對象                                               | 評分判斷                            | 查核                         | 小計  | 比重                            | 加權得分   |        |                                     |
|--------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----|-------------------------------|--------|--------|-------------------------------------|
| 光環境    | 自然採光空間                                 | 所有建築類型之玻璃透光性                                     | • 清玻璃或淺色low-E玻璃等 (可見光透光率0.6以上)  | D1=20                      | D=  | X2=D+E+F=                     | Y2=0.2 | X2×Y2= |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 色版玻璃等 (可見光透光率0.3~0.6)         | D2=15                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 低反射玻璃等 (可見光透光率0.15~0.3)       | D3=10                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 高反射玻璃等 (可見光透光率0.15以下)         | D4=5                       |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        | 教室、辦公、研究、實驗、臥房、病房、客房、住宿單元等居室空間，以自然採光性能NL(*6)指標評估 | • 0.6≤NL                        | E1=60                      |     |                               |        |        | E=                                  |
|        |                                        |                                                  | • 0.5≤NL<0.6                    | E2=40                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 0.3≤NL<0.5                    | E3=30                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 0.1≤NL<0.3                    | E4=20                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • NL<0.1                        | E5=10                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 不予評估                          | E6=36                      |     |                               |        |        |                                     |
|        | 人工照明                                   | 辦公、閱覽室、圖書室、教室等空間之照明                              | • 所有空間照明光源均有防眩光隔柵、燈罩或類似設施       | F1=20                      | F=  |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 所有居室空間照明光源均有防眩光隔柵、燈罩或類似設施     | F2=15                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 面積一半以上居室空間照明光源均有防眩光隔柵、燈罩或類似設施 | F3=10                      |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 照明狀況未達F1、F2、F3之標準者            | F4=0                       |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        | 上述用途以外空間之照明                                      | • 不予評估                          | F5=12                      |     |                               |        |        |                                     |
| 通風換氣環境 | 自然通風評估法                                | 由評估對象空間自由劃分適用本法範圍 (面積為Af1)，以自然通風潛力VP(*6)指標評估。    | • 0.10≤VP                       | G11=100                    | G1= | X3=(G1×Af1+G2×Af2)÷(Af1+Af2)= | Y3=0.3 | X3×Y3= |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 0.07≤VP<0.10                  | G12=80                     |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 0.05≤VP<0.07                  | G13=60                     |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • 0.03≤VP<0.05                  | G14=40                     |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | • VP<0.03                       | G15=10                     |     |                               |        |        |                                     |
|        |                                        |                                                  | 空調換氣評估法                         | 由評估對象空間自由劃分適用本法範圍 (面積為Af2) |     |                               |        |        | • 所有居室空間設有新鮮外氣供應系統者 (需提出外氣引入風管系統圖說) |
|        | • 80%以上居室空間設有新鮮外氣供應系統者 (需提出外氣引入風管系統圖說) | G22=80                                           |                                 |                            |     |                               |        |        |                                     |
|        | • 60%以上居室空間設有新鮮外氣供應系統者 (需提出外氣引入風管系統圖說) | G23=60                                           |                                 |                            |     |                               |        |        |                                     |
|        | • 40%以上居室空間設有新鮮外氣供應系統者 (需提出外氣引入風管系統圖說) | G24=40                                           |                                 |                            |     |                               |        |        |                                     |
|        | • 低於40% 居室空間設有新鮮外氣供應系統者                | G25=20                                           |                                 |                            |     |                               |        |        |                                     |

(資料來源：內政部建築研究所，2019)

綠建築標章室內環境指標之「自然採光空間」，除可確保光環境之建康舒適性以外，更能有效以「自然光」(紫外光UV)進行抑菌，其「自然採光區域」之劃設，可將「接觸飛沫傳染」之空間材料表面、家具、設施等進行「自然紫外光」之抑菌，對於



「脆弱族群」(高齡者、幼兒)能有效確保健康安全。

建築防疫之「通風換氣」對於「日常節能指標」之「空調節能評估」亦具有高度關連，在「熱源系統節能技術」之「CO<sub>2</sub>濃度外氣控制系統」、「全熱交換系統」、「外氣冷房系統」。「送風系統節能技術」之「變風量系統VAV」與「冷卻水塔節能技術」等，皆有參考「美國冷凍空調學會」(ASHRAE)的相關標準，可以節能、健康與防疫同步併進。

表3- 15綠建築標章(EEWH)之日常節能指標(與建築防疫通風相關)

| 節能對象         | 空調節能技術                   | 效率標準值                   |                         |                                                                     | 要求條件                                                                  |
|--------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|              |                          | 冰水AHU系統                 | 冰水FCU系統                 | 直膨VRF系統                                                             |                                                                       |
| 熱源系統<br>節能技術 | CO <sub>2</sub> 濃度外氣控制系統 | 0.03                    | 0.04                    | 0.05                                                                | 外氣風量需按照通風標準設置(例如，ASHRAE Std. 62-2016或其他相當之標準)，並提出外氣風量計算所採用之依據及計算資料。   |
|              | 全熱交換系統                   | 具有外氣旁通自動控制：<br>0.04     | 具有外氣旁通自動控制：<br>0.06     | 具有外氣旁通自動控制：<br>0.06                                                 | 外氣風量需按照通風標準設置(例如，ASHRAE Std. 62-2016或其他相當之標準)，並提出外氣風量計算所採用之依據及計算資料。   |
|              |                          | 無有外氣旁通自動控制：<br>0.03     | 無有外氣旁通自動控制：<br>0.05     | 無有外氣旁通自動控制：<br>0.05                                                 |                                                                       |
| 外氣冷房系統       | 0.14                     | 0.16                    | 0.12                    | 外氣風量需按照通風標準設置(例如，ASHRAE Std. 62-2016或其他相當之標準)，並提出外氣風量計算所採用之依據及計算資料。 |                                                                       |
| 送風系統<br>節能技術 | 變風量系統VAV                 | VAV系統：<br>0.0           | FCU風扇可自動變速控制：<br>0.0    | VRF室內機風扇可自動變速控制：<br>0.0                                             | 依據ASHRAE90.1定義，每空調區需有溫度控制風量。                                          |
|              |                          | 無VAV系統：<br>-0.23        | FCU風扇不可自動變速控制：<br>-0.13 | VRF室內機風扇不可自動變速控制：<br>-0.15                                          |                                                                       |
| 冷卻水塔<br>節能系統 | 冷卻水塔<br>節能               | 出水溫度控制：<br>0.05         | 出水溫度控制：<br>0.06         | -                                                                   | 出水溫度需自動控制低於28℃，採用濕球接近溫度控制及最佳濕球接近溫度重置策略控制者，必須確保冷卻水塔出水溫度不可低於18℃以下之控制策略。 |
|              |                          | 濕球接近溫度控制：<br>0.07       | 濕球接近溫度控制：<br>0.06       |                                                                     |                                                                       |
|              |                          | 最佳濕球接近溫度重置策略控制：<br>0.08 | 最佳濕球接近溫度重置策略控制：<br>0.09 |                                                                     |                                                                       |

(資料來源：內政部建築研究所，2019)

### 3-13 建築防疫材料

建築防疫材料，可作為防止飛沫表面感染之感控，一般以「無機材料」其表面之「病毒、真菌、細菌」等微生物較不易附著生存，「綠建築標章」之「室內環境指標」與「綠建材標章」(生態、健康、高性能、再生等分類綠建材)，其主要以「室內裝修建材」與「家具」作為化學性污染控制，在建築防疫材料上，仍可依據抑菌或不易附著，或具有自然化學反應因子，且符合健康低逸散之原則，作為室內表面防疫材料。

表3- 16綠建材標章與綠建築EEWH室內環境指標(與建築防疫材料相關)

| 生態綠建材                                                                                                                          | 健康綠建材                                | 高性能綠建材                                                                                                                                                                       | 再生綠建材                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 無匱乏危機<br>低人工處理                                                                                                                 | TVOC逸散限制<br>甲醛逸散限制                   | 防音綠建材<br>透水綠建材<br>節能綠建材                                                                                                                                                      | 再生回收比率<br>環境與人體無害<br>產品符合CNS                                                                           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· 木製建材</li> <li>· 天然植物建材</li> <li>· 非化學和成管材</li> <li>· 非化學和成衛浴</li> <li>· 塗料</li> </ul> | 地板類、牆壁類<br>天花板、填縫類<br>塗料類、黏著劑<br>門窗類 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 門、窗、樓板、牆板、外牆、屋頂板、分戶牆、分間牆</li> <li>· 樓板表面材</li> <li>· 吸音材</li> <li>· 隔熱玻璃</li> <li>· 隔熱門窗</li> <li>· 隔熱材料</li> <li>· 節能塗料</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 木質再生綠建材</li> <li>· 石質無機性再生綠建材</li> <li>· 混合材質再生綠建材</li> </ul> |

(資料來源：內政部建築研究所，2020)

### 3-14 建築污水傳播防疫

建築防疫容易由「破損或失去水封之污水設施」逸散傳染，例如，2003年SARS在香港陶大社區發生之污水管傳播，透過污水與空氣傳至社區爆發感染，後世界各國亦調整「污水管/通氣管/衛生器具存水封」等法令，並進階以濕區「同層排水」與「同層排氣」作為設計，並將共用管道間隔層封閉或獨立通氣，並輔以明管排水與通氣方式設計，便於管理維護及避免受感染污水傳播。另一方面，受感染之垃圾廢棄物，易容易殘留病毒等污染源，在垃圾儲藏與處理上，非常容易引起感染與接觸傳播。目前在綠建築標章(EEWH)之「污水及垃圾改善指標」即可透過「污水與垃圾之防疫傳播」進行管制，透過「污水及垃圾改善」方式設計：

1. 要求所有浴室、廚房及洗衣空間之生活雜排水均接管至污水下水道或污水處理設施。

2. 要求所有專用洗衣空間，必須設置截留器並接管至污水下水道或污水處理設施。
3. 要求所有餐廳之專用廚房，必須設有油脂截留器並將排水管確實接管至污水處理設施或污水下水道。
4. 要求所有專用浴室必須將雜排水管確實接管至污水處理設施或污水下水道。
5. 建築物應設有充足垃圾儲存處理運出空間。
6. 對於專用垃圾集中場應有綠美化或景觀化的處理。
7. 鼓勵設置廚餘收集再利用系統。
8. 鼓勵設置資源垃圾分類回收系統。
9. 對專用垃圾集中場鼓勵設置冷藏、冷凍或壓縮前置處理設施。
10. 對專用垃圾集中場要求設置防止動物咬食的密閉式垃圾箱，並定期執行清洗及衛生消毒。

### 3-15 小結

依據「空氣傳染、飛沫傳染、表面接觸」等傳染途徑，透過前一章節文獻彙整後分類出「防疫因子」，包括「溫度與濕度」、「陽光UV」、「材質媒介表面」、「懸浮微粒」、「化學物質因子交互影響」、「自然通風量」、「機械通風量」、「減少室內人數密度」、「過濾裝置」、「室內或攜帶式空氣淨化器」等，與「綠建築標章」、「綠建材標章」等進行交叉比對分析，並盤點對應建築防疫之項目。

綜合上述分類，可針對「建築物類別」（9類24組），對「綠建築標章、綠建材標章」等進行「防疫因子」之分群層級，研究以「建築物類別」、「使用分區」、「防疫分區」（污染區、半污染區、潔淨區）、「空間規劃設計」、「防疫關連設施/設備/材料」等可進一步進行比對。

建築防疫規劃-建築類別/使用分區/防疫分區/空間規劃設計/設施/設備/材料

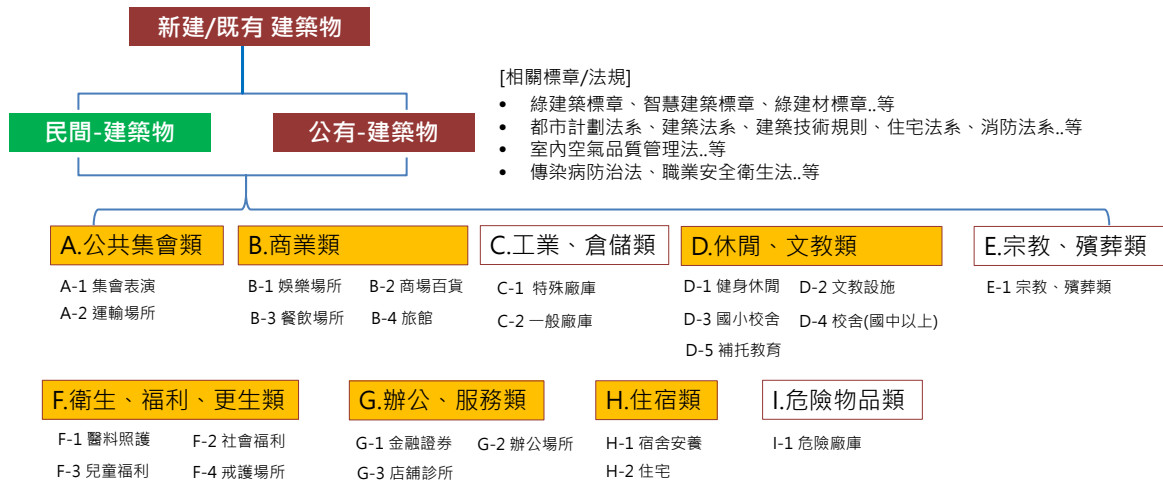


圖3-10建築類別分類(9大類24組)

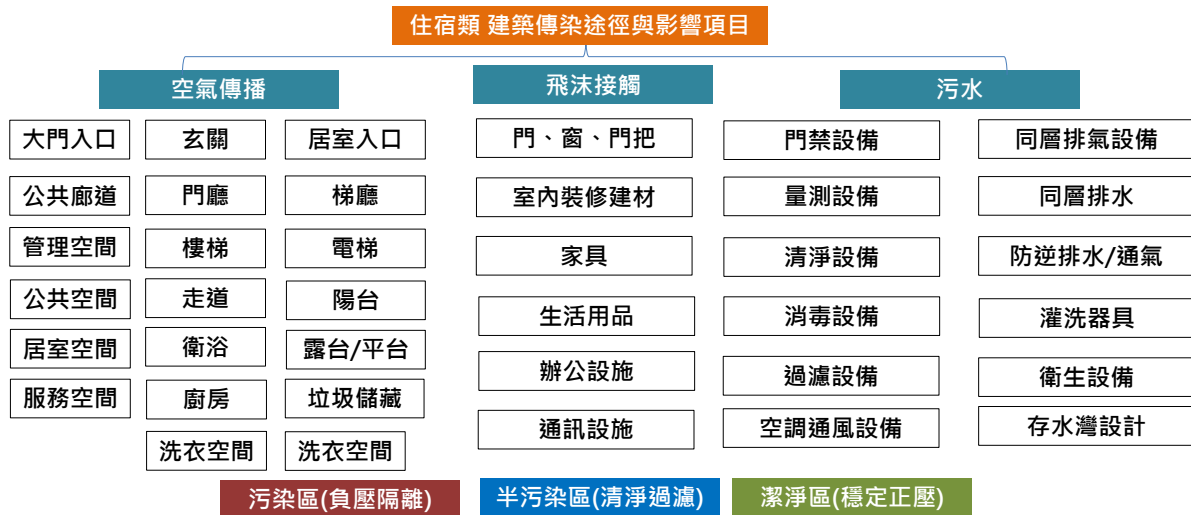


圖3-11以住宿類為例之傳染途徑影響項目示意圖

本研究以「防疫因子」，包括「溫度與濕度」、「陽光UV」、「材質媒介表面」、「懸浮微粒」、「化學物質因子交互影響」、「自然通風量」、「機械通風量」、「減少室內人數密度」、「過濾裝置」、「室內或攜帶式空氣淨化器」等，進一步與「綠建築標章」、「綠建材標章」等進行交叉比對分析，以作為「建築防疫項目」之對應分析。

表3- 17建築防疫因子與綠建築標章之關連項目分析(列舉)

| 綠建築評估手冊<br>-住宿類 | 4日常節能指<br>標<br>4.2日常節能<br>評估表<br>4.2.2空調系<br>統節能之評<br>估 | 4日常節能指<br>標<br>4.2日常節能<br>評估表<br>4.2.4固定耗<br>能設備節能之<br>評估 | 7室內環<br>境指標<br>7.4光環<br>境之評估 | 7室內環<br>境指<br>標<br>7.5通風換<br>氣之評估 | 7室內環<br>境指<br>標<br>7.8室內<br>綠建材<br>之評估 | 9污水及<br>垃圾改<br>善指標 |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| 溫度與濕度           | ○                                                       | ○                                                         |                              | ○                                 |                                        | ○                  |
| 陽光              |                                                         |                                                           | ○                            |                                   |                                        |                    |
| 媒介表面            |                                                         |                                                           |                              |                                   | ○                                      |                    |
| PM (懸浮微粒)       | ○                                                       | ○                                                         |                              | ○                                 |                                        |                    |
| 化學物質因子<br>交互影響  |                                                         |                                                           |                              |                                   | ○                                      |                    |
| 自然通風            |                                                         |                                                           |                              | ○                                 |                                        |                    |
| 機械通風            | ○                                                       | ○                                                         |                              | ○                                 |                                        | ○                  |
| 減少室內人數          |                                                         |                                                           |                              |                                   |                                        |                    |
| 污水、垃圾感控         |                                                         |                                                           |                              |                                   |                                        | ○                  |
| 室內或攜帶式<br>空氣淨化器 | ○                                                       | ○                                                         |                              |                                   |                                        |                    |

(本研究整理)

## 第五節健康及防疫措施問卷調查結果

本研究初步彙整與「建築防疫措施」相關文獻後，將防疫架構初分成三個構面，分別為軀殼體(綠建築標章、智慧建築標章、綠建材標章等)、空間體(室內環境品質、溫熱、光、水、材料、家具等)及人體(醫學公衛)並對應不同「防疫因子」等進行指標研擬，並進一步設計防疫問卷，邀請建築/公衛防疫專家，協助填答此份問卷，為國內防疫建築提出相關建議，作為未來相關防疫建築措施或標章制定完善機制之先驅調查研究，讓業者或民眾可實際執行或操作。本問卷分別就不同防疫措施之重要性程度，管理者對於此類防疫措施實際建置及後續管理成本高低。最後，此類防疫措施對後續民眾預期可接受性分別進行調查。

圖3-12為本次問卷填答對象之基本資料，填答較多者是女性，而年齡分布則為31-40歲(40%)及51-60歲(30%)，領域則多以建築領域為主。而本研究進一步依不同場所對應之防疫措施重要性程度、管理者及使用者進行分析，結果發現，就通則而言，重要性較高的項目如：1.確保建築物前後(貫流)通風而非單側通風或保持門打開促進空氣流動及2.浴廁排氣與進氣系統做完整規劃；排風機之風口位置設置在通風佳之非天井區外牆上。此兩項目亦較多數使用者能接受，然而，此兩項目對管理者實際建置及後續管理成本卻是相對偏高的，原因可能與目前建築設計有關，後續可以與相關建築設計師或從業人員討論，找出目前施作困難處，如何能重要性及施作難易度上兩者兼顧。就公共場所防疫措施上，較為重要的項目為1.考慮在機械通風路徑或上層應用中安裝紫外線殺菌輻射(UVGI)或UVC，以經由對流空氣運動間接處理空氣。2.制定WHO最低要求通風量:最小建議通風率10 L/s/person，同樣地，此兩項目對管理者實際建置及後續管理成本卻是相對偏高的，原因亦可能與目前建築設計有關，本研究認為目前各國在防疫措施上皆以新風量為優先考量，惟目前國內相關法規並未制訂新風量標準，後續建議針對不同場所疫情期間新風量實施之可行性，包括其噪音震動等副作用及相關配套措施，並搭配智能IoT概念，已達節能及降低空調能耗之需求。

就醫療場所防疫措施上，較為重要的項目為1.控制及確定氣流方向(從潔淨區向較不潔淨區)，在靠近病房的地方產生自然負壓。2.若使用中央再循環，則必須盡可能增加外氣的分率(OA>40%)，並建議另外採取過濾回送空氣的措施。如HEPA濾網。同樣地，此兩項目對管理者實際建置及後續管理成本卻是相對偏高的，這部份涉及複雜之通風工程技術，後續可以與相關建築設計師或從業人員討論，找出目前施作困難處，

如何能重要性及施作難易度上兩者兼顧。

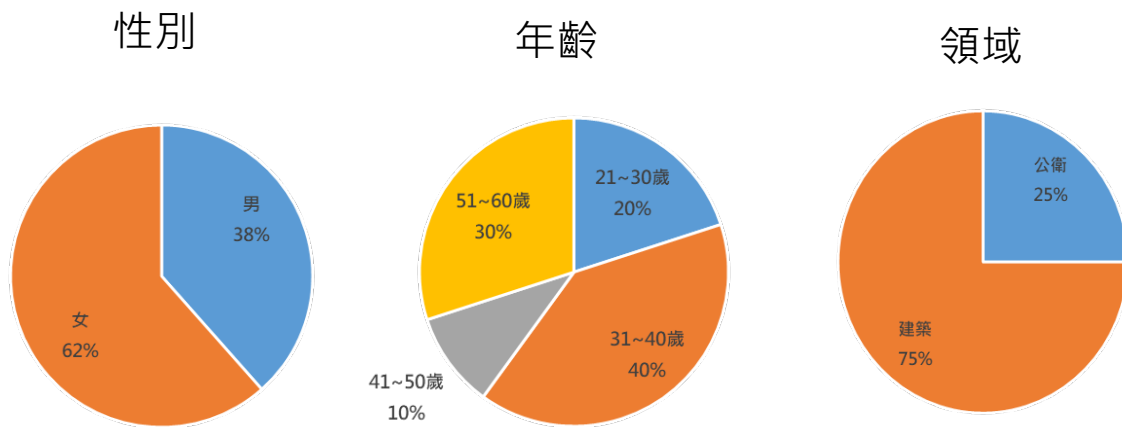


圖3-12填答防疫問卷對象之基本資料

表3- 18防疫問卷填答情形

|                                                                                                                             |    | 重要性程度 |       |       | 管理者   |       |       | 使用者   |       |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 項目內容                                                                                                                        | 類別 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  |
| 可安裝提供排氣通風的窗戶裝置，並評估開口位置和開口表面並且考慮潛在的新開口（添加修改窗戶或門的尺寸）。                                                                         | 通則 | 7.7%  | 61.5% | 30.8% | 33.3% | 50.0% | 16.7% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% |
| 確保建築物前後(貫流)通風而非單側通風。保持門打開促進空氣流動。                                                                                            | 通則 | 0.0%  | 9.1%  | 90.9% | 0.0%  | 38.5% | 61.5% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% |
| 運用熱浮力原理，進行垂直方向之換氣與導風風管工程，如啟用/改善煙囪效應或其他自然通風策略。                                                                               | 通則 | 38.5% | 38.5% | 23.1% | 53.8% | 38.5% | 7.7%  | 15.4% | 30.8% | 53.8%  |
| 為HVAC 系統裝設雙盤管機組「循環迴路」或另一熱回收裝置，保證回風側和供應側的空氣 100% 完全分離。                                                                       | 通則 | 25.0% | 75.0% | 0.0%  | 76.9% | 23.1% | 0.0%  | 84.6% | 15.4% | 0.0%   |
| 一、重要性程度：請針對評估指標之重要性程度。(稍微至重要1-10)<br>二、管理者對於此類防疫措施實際建置及後續管理成本是高或低。(高至低10-1)<br>三、對使用者實際接受性：請填入您對於此類防疫措施對後續民眾預期可接受性(易至難1-10) |    |       |       |       |       |       |       |       |       |        |



表3- 18 防疫問卷填答情形 (續)

|                                                                   |    | 重要性程度 |       |       | 管理者   |       |       | 使用者   |       |       |
|-------------------------------------------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 項目內容                                                              | 類別 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 |
| 欲選擇適合大小的空氣清淨機，單位氣流量 (在可接受的噪音等級) 必須至少為 2 ACH，並且要到 5 ACH 才有顯著的清淨效果。 | 通則 | 0.0%  | 54.5% | 45.5% | 7.7%  | 69.2% | 23.1% | 0.0%  | 66.7% | 33.3% |
| 疫情期間不使用中央再(內)循環，以免排氣 (回送) 風管中的病毒可能會重新進入建築物中，應利用建築管理系統或以手動方式關閉風門。  | 通則 | 41.7% | 50.0% | 8.3%  | 61.5% | 30.8% | 7.7%  | 50.0% | 33.3% | 16.7% |
| 將浴廁間所有橫支管，都配置在該層樓板上床板下之空間內 ( 即同層排水 )。                             | 通則 | 16.7% | 58.3% | 25.0% | 69.2% | 23.1% | 7.7%  | 38.5% | 23.1% | 38.5% |
| 浴廁排氣與進氣系統做完整規劃；排風機之風口位置設置在通風佳之非天井區外牆上。                            | 通則 | 0.0%  | 18.2% | 81.8% | 15.4% | 30.8% | 53.8% | 0.0%  | 23.1% | 76.9% |
| 存水彎要定期加水 ( 每 3 周根據天氣情況 )，以免地板和其他衛生設備的水封變乾。在馬桶沖水時蓋上蓋子。             | 通則 | 0.0%  | 72.7% | 27.3% | 0.0%  | 30.8% | 69.2% | 0.0%  | 33.3% | 66.7% |

表3- 18 防疫問卷填答情形 (續)

| 項目內容                                                     | 類別      | 重要性程度 |       |       | 管理者   |       |        | 使用者   |       |        |
|----------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|                                                          |         | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  |
| 考慮在機械通風路徑或上層應用中安裝紫外線殺菌輻射(UVGI)或 UVC，以經由對流空氣運動間接處理空氣。     | 公共場所    | 0.0%  | 27.3% | 72.7% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% |
| 利用風扇和/或風機盤管或分離式系統裝置進行冷卻和升溫可以增加房間或空間內的空氣混合                | 公共場所    | 18.2% | 54.5% | 27.3% | 46.2% | 23.1% | 30.8%  | 84.6% | 15.4% | 0.0%   |
| 制定 WHO 最低要求通風量:最小建議通風率 10 L/s/person (EN 16798-1)        | 住宅及公共場所 | 0.0%  | 16.7% | 83.3% | 33.3% | 16.7% | 50.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% |
| 如果無法採用其他通風策略，則使用帶有MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 過濾器的獨立空氣清淨機。 | 住宅及公共場所 | 41.7% | 50.0% | 8.3%  | 53.8% | 38.5% | 7.7%   | 23.1% | 30.8% | 46.2%  |
| 定期檢查、維護、清潔和操作 HVAC 系統？(如: 分離式空調和風機盤管裝置)                  | 住宅及公共場所 | 25.0% | 16.7% | 58.3% | 16.7% | 41.7% | 41.7%  | 15.4% | 53.8% | 30.8%  |

表3- 18 防疫問卷填答情形 (續)

| 項目內容                                            | 類別 | 重要性程度 |       |       | 管理者   |       |        | 使用者   |       |        |
|-------------------------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|                                                 |    | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  |
| 制定 WHO 最低要求通風量: 醫療: 12 ACH (產生氣膠)或 6 ACH (其餘時間) | 醫療 | 0.0%  | 33.3% | 66.7% | 0.0%  | 16.7% | 83.3%  | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% |
| 如果無法採用其他通風策略，使用帶有 HEPA 過濾器的攜帶型室內空氣清淨機。          | 醫療 | 18.2% | 45.5% | 36.4% | 0.0%  | 23.1% | 76.9%  | 23.1% | 7.7%  | 69.2%  |
| 控制及確定氣流方向(從潔淨區向較不潔淨區)，在靠近病房的地方產生自然負壓。           | 醫療 | 0.0%  | 8.3%  | 91.7% | 0.0%  | 15.4% | 84.6%  | 0.0%  | 7.7%  | 92.3%  |
| 定期檢查、維護、清潔和操作 HVAC(暖通空調)系統，包括 HEPA 過濾器？         | 醫療 | 0.0%  | 25.0% | 75.0% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% | 0.0%  | 15.4% | 84.6%  |
| 確保在安裝 HEPA 濾網下 HVAC 的熱回收部分未檢測到嚴重洩漏 (>3%)。       | 醫療 | 38.5% | 46.2% | 15.4% | 58.3% | 25.0% | 16.7%  | 61.5% | 30.8% | 7.7%   |

表3- 18 防疫問卷填答情形 (續)

| 項目內容                                                        | 類別      | 重要性程度 |       |       | 管理者   |       |        | 使用者   |       |       |
|-------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                                                             |         | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 |
| 安裝壁式或窗式抽氣機或自然通風球                                            | 醫療及公共場所 | 16.7% | 25.0% | 58.3% | 23.1% | 30.8% | 46.2%  | 0.0%  | 30.8% | 69.2% |
| 若使用中央再循環，則必須盡可能增加外氣的分率 (OA>40%)，並建議另外採取過濾回送空氣的措施。如 HEPA 濾網。 | 醫療及公共場所 | 0.0%  | 16.7% | 83.3% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% | 0.0%  | 15.4% | 84.6% |
| 在僅有小型室內送風機或分離式空調，搭配安裝二氧化碳監測器作為外氣通風的指示器。                     | 醫療及公共場所 | 0.0%  | 33.3% | 66.7% | 46.2% | 23.1% | 30.8%  | 7.7%  | 38.5% | 53.8% |
| 定期監測室內 CO <sub>2</sub> 濃度(ppm)                              | 醫療及公共場所 | 27.3% | 54.5% | 18.2% | 69.2% | 30.8% | 0.0%   | 38.5% | 61.5% | 0.0%  |
| 定期監測室內相對濕度(%)                                               | 醫療及公共場所 | 0.0%  | 16.7% | 83.3% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% | 0.0%  | 38.5% | 61.5% |

第三章 計畫研究成果

| 項目內容                                            |         | 重要性程度 |       |       | 管理者   |       |        | 使用者   |       |       |
|-------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                                                 |         | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 |
| 定期監測室內 PM <sub>2.5</sub> 濃度(µg/m <sup>3</sup> ) | 醫療及公共場所 | 25.0% | 33.3% | 41.7% | 30.8% | 23.1% | 46.2%  | 0.0%  | 33.3% | 66.7% |
| 電梯內部根據電梯容載量標示安全距離，樓梯上下樓只能有單方向，維持社交距離，減少病毒接觸。    | 醫療及公共場所 | 33.3% | 58.3% | 8.3%  | 69.2% | 30.8% | 0.0%   | 23.1% | 76.9% | 0.0%  |
| 設計智慧門鎖，非接觸式技術（聲控及臉部或瞳孔辨識或其他）。                   | 醫療及公共場所 | 0.0%  | 25.0% | 75.0% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% | 0.0%  | 30.8% | 69.2% |
| 用非接觸式裝置替換公共空間沖水閥和水龍頭。                           | 醫療及公共場所 | 8.3%  | 25.0% | 66.7% | 0.0%  | 46.2% | 53.8%  | 25.0% | 25.0% | 50.0% |
| 利用物聯網技術（RFIDs/keyfob 感應扣）減少接觸點。如免接觸門鎖/免觸摸旋轉門。   | 醫療及公共場所 | 33.3% | 58.3% | 8.3%  | 53.8% | 46.2% | 0.0%   | 30.8% | 53.8% | 15.4% |

表3- 18 防疫問卷填答情形 (續)

| 項目內容                                                                       | 類別     | 重要性程度 |       |       | 管理者   |       |        | 使用者   |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                                                                            |        | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分  | 1~3分  | 4~7分  | 8~10分 |
| 考慮使用帶有微粒過濾器的獨立空氣清淨機，且持續運作。使用高效介質過濾器 (例如 MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 或更高的過濾器) | 住宅     | 0.0%  | 63.6% | 36.4% | 0.0%  | 0.0%  | 100.0% | 0.0%  | 15.4% | 84.6% |
| 隔離區域內的回風或送風格柵需要密封，避免強制通風系統會混合一般住戶和隔離區間的空氣。                                 | 住宅及隔離區 | 0.0%  | 66.7% | 33.3% | 16.7% | 50.0% | 33.3%  | 8.3%  | 33.3% | 58.3% |
| 在隔離空間中使用攜帶式房間供暖器或獨立空調                                                      | 住宅及隔離區 | 38.5% | 53.8% | 7.7%  | 66.7% | 25.0% | 8.3%   | 41.7% | 16.7% | 41.7% |
|                                                                            |        |       |       |       |       |       |        |       |       |       |

## 第五節 綠建築評估系統之健康及防疫措施評估項目之建議

### (草案)

本研究彙整分析前述章節之建築規劃設計階段導入「健康及防疫措施」可行性內容後，進一步比對我國「EEWH綠建築標章」評估系統與「建築技術規則」，以瞭解國際上目前針對健康及防疫措施評估項目，包括建築設計、通風、空調、材料、污排水、採光、噪音..等，考量了飛沫傳播距離、飛沫粒徑、溫度、濕度、室內空氣品質IAQ、通風換氣率(稀釋)、氣流方向、正負壓設計、空氣分布或氣流模式、空氣混合率、回風管控、空氣過濾器與淨化分解、接觸表面-材質、面積、頻率、社交距離、人員密度、個人防護器具、UVC/UVGI 滅菌、污水洩漏感染、衛生盥洗器具等防疫因子，經比對分析後提出「綠建築評估系統之健康及防疫措施評估項目之建議」(草案)，以下為各項防疫健康因子與綠建築評估系統之健康及防疫措施評估項目之建議(草案)：

表3- 19彙整健康及防疫措施可行性內容因子說明(列舉)

| 防疫健康類別 | 項目        | 說明                                                     | 具體建議                                                                                                                                                                                                      |
|--------|-----------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 空氣與通風  | 增強空氣品質    | 超越當前的指導原則要求，進一步提高提供的空氣品質水準，改善人體健康和表現                   | 建議於醫療及公共場所定期監測室內空氣品質指標包括：<br>1. CO <sub>2</sub> 濃度(ppm):<br>良好: 350-750、提高警戒（接受上限）750-1,000、需調查原因及改善>1,000<br>2. 定期監測室內 PM <sub>2.5</sub> 濃度(µg/m <sup>3</sup> )<br>良好: 0-12、提高警戒（接受上限）12-15、需調查原因及改善>15。 |
| 空氣與通風  | 增強通風      | 實施增強級通風策略，以達到更高的空氣品質水準，改善人體健康、提高生產力。                   | 依場所不同(醫療/住宅/公共場所)制定最低要求通風量：<br>醫療: 12 ACH (產生氣膠)或6 ACH (其餘時間)<br>住宅/公共場所: 最小建議通風率10 L/s/person (EN 16798-1)                                                                                               |
| 空氣與通風  | 可開啟窗      | 建築物安裝可開啟窗戶，增加優質新風供應量，在室外空氣品質可接受時鼓勵建築用戶打開窗戶，加強與室外環境的聯繫。 | 評估開口位置和開口表面並且考慮潛在的新開口（添加修改窗戶或門的尺寸）。<br>確保建築物前後(貫流)通風而非單側通風。保持門打開促進空氣流動。                                                                                                                                   |
| 空氣與通風  | 空氣品質監測和意識 | 持續測量污染物資料，以對住戶進行環境品質教育和增強環境品質的自主控制權。                   | 建議於醫療及公共場所定期監測室內空氣品質指標包括：<br>1. CO <sub>2</sub> 濃度(ppm):<br>良好: 350-750、提高警戒（接受上限）750-1,000、需調查原因及改善>1,000<br>2. 定期監測室內 PM <sub>2.5</sub> 濃度(µg/m <sup>3</sup> )<br>良好: 0-12、提高警戒（接受上限）12-15、需調查原因及改善>15。 |
| 空氣與通風  | 污染滲透管理    | 減少空氣和污染物通過建築圍護結構和入口從室外向室內傳遞。                           | 浴廁排氣與進氣系統做完整規劃；排風機之排氣風口位置設置在通風佳之非天井區外牆上。                                                                                                                                                                  |



第三章 計畫研究成果

|       |          |                                                                 |                                                                                                                                                                 |
|-------|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 空氣與通風 | 污染源隔離    | 採取措施，包括通過門或專用排氣來隔離異味、細菌、污染或濕度的主要來源。                             | 隔離區域內的回風或送風格柵需要密封，避免強制通風系統會混合一般住戶和隔離區間的空氣。                                                                                                                      |
| 空氣與通風 | 空氣過濾     | 具有機械通風空間的專案，實施足夠的空氣過濾並記錄相關已安裝過濾器的維護協議。對於自然通風空間，該條款要求滿足室外空氣品質標準。 | 依場所不同(醫療/住宅/公共場所) 選擇室內空氣清淨機:<br>醫療:如果無法採用其他通風策略，使用帶有 HEPA 過濾器的攜帶型室內空氣清淨機。<br>住宅/公共場所:如果無法採用其他通風策略，則使用帶有MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 過濾器的獨立空氣清淨機。                   |
| 空氣與通風 | 增強空氣供應   | 使用未再迴圈的供應空氣或者經活性炭過濾器、介質過濾器和/或紫外線殺菌 (UVGI) 處理的供應空氣。              | 醫療場所或公共場所建議紫外線殺菌輻射(UVGI)安裝在機械通風路徑或空調箱中，以經由對流空氣運動間接處理空氣。                                                                                                         |
| 空氣與通風 | 微生物和黴菌控制 | 利用UVGI 系統和/或對冷卻系統進行定期檢查，以減少或消除微生物和黴菌的生長。                        | 為HVAC 系統裝設雙盤管機組「循環迴路」或另一熱回收裝置，保證回風側和供應側的空氣 100% 完全分離。<br>1. 建議定期檢查、維護、清潔和操作 HVAC(暖通空調)系統，包括 HEPA 過濾器、分離式空調和風機盤管裝置)<br>2. 確保在安裝 HEPA濾網下HVAC的熱回收部分未檢測到嚴重洩漏 (>3%)。 |
| 空氣與通風 | 過濾裝置     | 空調新鮮外氣與回風安裝空氣過濾裝置，至少可達ASHRAE MERV-14以上等級，並輔以清淨機過濾室內空氣。          | 依場所不同(醫療/住宅/公共場所) 選擇室內空氣清淨機:<br>醫療:如果無法採用其他通風策略，使用帶有 HEPA 過濾器的攜帶型室內空氣清淨機。<br>住宅/公共場所:如果無法採用其他通風策略，則使用帶有MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 過濾器的獨立空氣清淨機。                   |
| 材料    | 增強材料限制   | 限制產品中某些化學物質的存在，最大程度地減少這些物質與人體的接觸。                               | 選擇首選的清潔產品：所有將在建築物中使用的清潔產品都應在消毒計劃中說明，並且產品應標記為“低危害”或“更安全”或獲得第三方認可。不應有使用化學品全球調和制度 (GHS) 歸類為 1、1A 或 1B 類的成分。                                                        |
| 材料    | 減少接觸     | 實施減少人類與可能攜帶病原體的呼吸顆粒和表面接觸的策略。                                    | 欲選擇適合大小的空氣清淨機，單位氣流量 (在可接受的噪音等級) 必須至少為 2 ACH，並且要到 5 ACH 才有顯著                                                                                                     |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

|        |        |                                                  |                                                                                                  |
|--------|--------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |        |                                                  | 的清淨效果 (將房間容積乘以 2 或 5，可算出通過空氣清淨機的氣流率)。                                                            |
| 溫熱環境控制 | 濕度控制   | 提供適當的濕度水準來限制病原體的生長，減少排氣並保持熱舒適。                   | 定期監測室內相對濕度(%), 設定參考如下:<br>良好: 40-60、提高警戒 (接受上限) 60-70、需調查原因及改善>70。                               |
| 溫熱環境控制 | 增加可開啟窗 | 要求窗戶可以在不同的高度打開，以在不同的室外溫度下提供所需的空氣流動。              | 1. 可安裝提供排氣通風的窗戶裝置，並評估開口位置和開口表面並且考慮潛在的新開口 (添加修改窗戶或門的尺寸)。<br>2. 確保建築物前後(貫流)通風而非單側通風。保持門打開促進空氣流動。   |
| 給排水設施  | 同層排水   | 同層排水管線設計、分離獨立垂直管道設計、總存水彎設計                       | 1. 將浴廁間所有橫支管，都配置在該層樓板上床板下之空間內 (即同層排水)。<br>2. 存水灣要定期加水 (每 3 周根據天氣情況)，以免地板和其他衛生設備的水封變乾。在馬桶沖水時蓋上蓋子。 |
| 給排水設施  | 潮濕管理   | 制定策略，最大限度地減少水的洩漏，則透過材料的選擇和檢查進行管理。                | 定期監測室內相對濕度(%), 設定參考如下:<br>良好: 40-60、提高警戒 (接受上限) 60-70、需調查原因及改善>70                                |
| 給排水設施  | 衛生支持   | 提供洗手間，以適應用戶的不同需求，並提供足夠大的洗手池、肥皂盒、乾手器和減少接觸面以改善衛生。  | 於公共空間中接觸頻率高的地方(如門鎖、沖水閥和水龍頭)，多利用物聯網技術 (RFIDs/keyfob 感應扣)、智慧門鎖設計或其他非接觸式技術 (聲控及臉部或瞳孔辨識或其他)，減少接觸機會。  |
| 空間規劃   | 更多自然接觸 | 將自然和自然元素融入專案的室內和室外，提供自然景觀，以及附近的自然環境，例如綠色空間和藍色空間。 | 提供窗戶 (最好是自然景觀) 的窗戶可以對心理健康產生積極影響，即減少壓力，增加注意力和幸福指數以及舒適感，可以增強人們的心理健康。                               |

表3- 20綠建築指標防疫編EEWH-AE( Anti-Epidemic)增修訂條文擬議

| 研究成果發現                                                                                                                               | 研究成果建議                                                                                                                     | 現行規定                                | 原始標章與法令                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 建議增修訂後                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------|--|---------|----|----|------------------|----|----|----------------------|----|----|--------------|----|----|--------------------|----|----|
| 藉由空氣傳播的病毒大粒徑飛沫會落下，但小粒徑飛沫則停留在空氣中，且會藉由房間內、通風系統排氣管、以及空氣再循環時的供氣管的氣流攜帶而長距離移動。不同粒徑飛沫的移動距離取決於人員位置、空氣交換率、空氣分配系統的類型(例如混合式、換氣式或個人通風)及空間中的其他氣流。 | 依場所不同(醫療/住宅/公共場所)制定最低要求通風量:<br><b>醫療:</b> 12 ACH (產生氣膠)或6 ACH (其餘時間)<br><b>住宅/公共場所:</b> 最小建議通風率 10 L/s/person (EN 16798-1) | 建築技術規則設計施工編 #45條<br>設備篇 #101條、#102條 | 設計施工編 #45條建築物外牆開設門窗、開口，廢氣排出口或陽臺等，依下列規定：<br><br>一、門窗之開啟均不得妨礙公共交通。<br>二、緊接鄰地之外牆不得向鄰地方向開設門窗、開口及設置陽臺。但外牆或陽臺外緣距離境界線之水平距離達一公尺以上時，或以不能透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。<br>三、同一基地內各棟建築物間或同一幢建築物內相對部份之外牆開設門窗、開口或陽臺，其相對之水平淨距離應在二公尺以上；僅一面開設者，其水平淨距離應在一公尺以上。但以不透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。<br>四、向鄰地或鄰幢建築物，或同一幢建築物內之相對部分，裝設廢氣排出口，其距離境界線或相對之水平淨距離應在二公尺以上。<br>五、建築物使用用途為H-2、D-3、F-3組者，外牆設置開啟式 | <p>● 設備篇 #101條<br/>(通風系統)機械通風應依實際情況，採用左列系統：<br/>一、機械送風及機械排風。<br/>二、機械送風及自然排風。<br/>三、自然送風及機械排風。<br/><u>建議：使用機械通風應留設可安裝送風與排氣之通風開口，應視機械通風量設計合適之開口位置和開口面積。</u></p> <p>● 設備篇 #102條<br/>建築物供各種用途使用之空間，設置機械通風設備時，通風量不得小於左表規定：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>房間用途</th> <th colspan="2">樓地板面積每平方公尺所需通風量(立方公尺/小時)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>辦公室、會客室</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>工友室、警衛室、收發室、詢問室。</td> <td>12</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>會議室、候車室、候診室等容納人數較多者。</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>展覽陳列室、理髮美容院。</td> <td>12</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table> | 房間用途 | 樓地板面積每平方公尺所需通風量(立方公尺/小時) |  | 辦公室、會客室 | 10 | 10 | 工友室、警衛室、收發室、詢問室。 | 12 | 12 | 會議室、候車室、候診室等容納人數較多者。 | 15 | 15 | 展覽陳列室、理髮美容院。 | 12 | 12 | 百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動 | 15 | 15 |
|                                                                                                                                      | 房間用途                                                                                                                       | 樓地板面積每平方公尺所需通風量(立方公尺/小時)            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |
| 辦公室、會客室                                                                                                                              | 10                                                                                                                         | 10                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |
| 工友室、警衛室、收發室、詢問室。                                                                                                                     | 12                                                                                                                         | 12                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |
| 會議室、候車室、候診室等容納人數較多者。                                                                                                                 | 15                                                                                                                         | 15                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |
| 展覽陳列室、理髮美容院。                                                                                                                         | 12                                                                                                                         | 12                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |
| 百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動                                                                                                                   | 15                                                                                                                         | 15                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |
| 可安裝提供排氣通風的窗戶裝置，並評估開口位置和開口表面並且考慮潛在的新開口(添加修改窗戶或門的尺寸)。<br>確保建築物前後(貫流)通風而非單側通風。保持門打開促進空氣流動。                                              | 建築技術規則設計施工編 #45條<br>綠建築標章-室內環境指標<br>通風換氣環境<br>自然通風評估法                                                                      |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                          |  |         |    |    |                  |    |    |                      |    |    |              |    |    |                    |    |    |

|                                  |                                          |    | <p>窗戶之窗臺高度不得小於一·一〇公尺；十層以上不得小於一·二〇公尺。但其鄰接露臺、陽臺、室外走廊、室外樓梯、室內天井，或設有符合本編第三十八條規定之欄杆、依本編第一百零八條規定設置之緊急進口者，不在此限。</p> <p>設備篇 #101條<br/>(通風系統) 機械通風應依實際情況，採用左列系統：<br/>一、機械送風及機械排風。<br/>二、機械送風及自然排風。<br/>三、自然送風及機械排風。</p> <p>設備篇 #102條建築物供各種用途使用之空間，設置機械通風設備時，通風量不得小於左表規定：</p> <table border="1" data-bbox="1131 885 1545 1375"> <thead> <tr> <th>房間用途</th> <th>樓地板面積<br/>每平方公尺<br/>所需通風量<br/>(立方公尺/<br/>小時)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者。</td> <td>8 8</td> </tr> <tr> <td>辦公室、會客室</td> <td>10 10</td> </tr> <tr> <td>工友室、警衛室、收發室、詢問室。</td> <td>12 12</td> </tr> </tbody> </table> | 房間用途 | 樓地板面積<br>每平方公尺<br>所需通風量<br>(立方公尺/<br>小時) | 臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者。 | 8 8 | 辦公室、會客室 | 10 10 | 工友室、警衛室、收發室、詢問室。 | 12 12 | <p>室、灰塵較少之工作室、印刷工場、打包工場。</p> <table border="1" data-bbox="1579 311 2116 1332"> <tbody> <tr> <td>吸煙室、學校及其他指定人數使用之餐廳。</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>營業用餐廳、酒吧、咖啡館。</td> <td>25</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席。</td> <td>75</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>廚 營 業 用 房</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>非 營 業 用</td> <td>35</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>配 營 業 用 膳 非 營 業 用 室</td> <td>25</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>15</td> <td></td> </tr> <tr> <td>衣帽間、更衣室、盥洗室、樓地板面積大於15平方公尺之發電或配電室</td> <td>—</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>茶水間</td> <td>—</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>住宅內浴室或廁所、照相暗室、電影放映機室</td> <td>—</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>公共浴室或廁所，可能散發毒氣或可燃氣體之作業工場</td> <td>—</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>蓄電池間</td> <td>—</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>汽車庫</td> <td>—</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> <p>建議：因應疫情與災害狀況，衛生福利類</p> | 吸煙室、學校及其他指定人數使用之餐廳。 | 20 | 20 | 營業用餐廳、酒吧、咖啡館。 | 25 | 25 | 戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席。 | 75 | 75 | 廚 營 業 用 房 | 60 | 60 | 非 營 業 用 | 35 | 35 | 配 營 業 用 膳 非 營 業 用 室 | 25 | 25 | 15 | 15 |  | 衣帽間、更衣室、盥洗室、樓地板面積大於15平方公尺之發電或配電室 | — | 10 | 茶水間 | — | 15 | 住宅內浴室或廁所、照相暗室、電影放映機室 | — | 20 | 公共浴室或廁所，可能散發毒氣或可燃氣體之作業工場 | — | 30 | 蓄電池間 | — | 35 | 汽車庫 | — | 25 |
|----------------------------------|------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------|-----------------------|-----|---------|-------|------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|---------------|----|----|---------------------|----|----|-----------|----|----|---------|----|----|---------------------|----|----|----|----|--|----------------------------------|---|----|-----|---|----|----------------------|---|----|--------------------------|---|----|------|---|----|-----|---|----|
| 房間用途                             | 樓地板面積<br>每平方公尺<br>所需通風量<br>(立方公尺/<br>小時) |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者。            | 8 8                                      |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 辦公室、會客室                          | 10 10                                    |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 工友室、警衛室、收發室、詢問室。                 | 12 12                                    |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 吸煙室、學校及其他指定人數使用之餐廳。              | 20                                       | 20 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 營業用餐廳、酒吧、咖啡館。                    | 25                                       | 25 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席。              | 75                                       | 75 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 廚 營 業 用 房                        | 60                                       | 60 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 非 營 業 用                          | 35                                       | 35 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 配 營 業 用 膳 非 營 業 用 室              | 25                                       | 25 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 15                               | 15                                       |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 衣帽間、更衣室、盥洗室、樓地板面積大於15平方公尺之發電或配電室 | —                                        | 10 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 茶水間                              | —                                        | 15 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 住宅內浴室或廁所、照相暗室、電影放映機室             | —                                        | 20 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 公共浴室或廁所，可能散發毒氣或可燃氣體之作業工場         | —                                        | 30 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 蓄電池間                             | —                                        | 35 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |
| 汽車庫                              | —                                        | 25 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |                                          |                       |     |         |       |                  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |    |    |               |    |    |                     |    |    |           |    |    |         |    |    |                     |    |    |    |    |  |                                  |   |    |     |   |    |                      |   |    |                          |   |    |      |   |    |     |   |    |

### 第三章 計畫研究成果

|  |  |  |                                         |    |    |                                                                                                      |
|--|--|--|-----------------------------------------|----|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | 會議室、候車室、候診室等容納人數較多者。                    | 15 | 15 | <u>建築: 12 ACH (疫情升級)或6 ACH (一般感控)</u><br><u>住宿類建築及其他類屬公共場所之建築: 最小建議通風率10 L/s/person (EN 16798-1)</u> |
|  |  |  | 展覽陳列室、理髮美容院。                            | 12 | 12 |                                                                                                      |
|  |  |  | 百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動室、灰塵較少之工作室、印刷工場、打包工場。 | 15 | 15 |                                                                                                      |
|  |  |  | 吸煙室、學校及其他指定人數使用之餐廳。                     | 20 | 20 |                                                                                                      |
|  |  |  | 營業用餐廳、酒吧、咖啡館。                           | 25 | 25 |                                                                                                      |
|  |  |  | 戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席。                     | 75 | 75 |                                                                                                      |
|  |  |  | 廚房 營業用                                  | 60 | 60 |                                                                                                      |
|  |  |  | 非營業用                                    | 35 | 35 |                                                                                                      |
|  |  |  | 配膳室 營業用                                 | 25 | 25 |                                                                                                      |
|  |  |  | 非營業用                                    | 15 | 15 |                                                                                                      |
|  |  |  | 衣帽間、更衣室、盥洗室、樓                           | —  | 10 |                                                                                                      |

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                        |
|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|  |  |  | <p>地板面積大於15<br/>平方公尺之發電<br/>或配電室</p> <p>茶水間 — 15</p> <p>住宅內浴室或廁<br/>所、照相暗室、<br/>電影放映機室 — 20</p> <p>公共浴室或廁<br/>所，可能散發毒<br/>氣或可燃氣體之<br/>作業工場 — 30</p> <p>蓄電池間 — 35</p> <p>汽車庫 — 25</p>                                                                            |                                        |
|  |  |  | <p>(1) 自然通風評估法<br/>自然通風評估法雖然能適用於任何空間分區之評估，但通常是可開窗戶多、空間規劃較小的建築空間才能得到好評而較適合本法。本法依據本手冊附錄3之「建築物採光通風效益與空調節能率評估原則」所計算的自然通風潛力 VP(Ventilation Potential)為指標來計分，申請時應附VP計算書。</p> <p>(2) 空調換氣評估法<br/>空調換氣評估法雖然能適用於任何空間分區之評估，但通常是高品質的中央空調系統才可能有專用新鮮空氣供應系統才能得到好評而較適合採本法。</p> | <p>確保建築物前後(貫流)通風而非單側通風。室內門開啟以促進通風。</p> |

|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                     | <p>依場所不同(醫療/住宅/公共場所)選擇室內空氣清淨機:<br/> <b>醫療:</b>如果無法採用其他通風策略,使用帶有HEPA 過濾器的攜帶型室內空氣清淨機。<br/> <b>住宅/公共場所:</b>如果無法採用其他通風策略,則使用帶有MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 過濾器的獨立空氣清淨機。</p> | <p>綠建築標章無對應<br/>                 建築技術規則無對應</p>                                                                      |                                                                                                       | <p>建議:疫情或空污期間,建築物內室內空氣清淨機,清淨機規格需單位氣流量(在可接受的噪音等級)必須至少為 2 ACH,並且要到 5 ACH 具顯著清淨效果。如無法安裝其餘通風策略須依場合照下列指示。<br/> <b>醫療:</b>如果無法採用其他通風策略,使用帶有 HEPA 過濾器的攜帶型室內空氣清淨機。<br/> <b>住宅/公共場所:</b>如果無法採用其他通風策略,則使用帶有MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 過濾器的獨立空氣清淨機。</p> |
|                                                                                                                     | <p>欲選擇適合大小的空氣清淨機,單位氣流量(在可接受的噪音等級)必須至少為 2 ACH,並且要到 5 ACH 才有顯著的清淨效果(將房間容積乘以 2 或 5,可算出通過空氣清淨機的氣流率)。</p>                                                                 | <p>綠建築標章-室內環境指標<br/>                 通風換氣環境<br/>                 空調換氣評估法</p>                                        | <p>空調換氣評估法<br/>                 空調換氣評估法雖然能適用於任何空間分區之評估,但通常是高品質的中央空調系統才可能有專用新鮮空氣供應系統才能得到好評而較適合採本法。</p> |                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>WHO 承認 SARS-CoV-2 會經糞口傳染,亦即氣溶膠/汗水的傳播途徑。WHO 建議沖水時應蓋上馬桶蓋,令氣流釋出的飛沫和飛沫殘餘量減至最低(WHO, 2020)。應向建築物使用者明確指引如何使用馬桶蓋。水封應</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>將浴廁間所有橫支管,都配置在該層樓板上床板下之空間內(即同層排水)。</li> <li>浴廁排氣與進氣系統做完整規劃;排風機之排氣風口位置設置在通風佳之非天井區外牆上。</li> <li>存水灣要定期加水(每 3 周根據天氣情</li> </ol>  | <p><b>同層排水:</b><br/>                 1. 「建築技術規則」設備編第 2 章第二十七條之一:建築物為公寓大廈者,得採同層排水系統,衛生設備排水管、排水橫支管與衛生設備同層敷設,不貫穿分戶</p> | <p>「建築技術規則」設備編已規範同層排水,後續需對當層排氣及存水彎定期加水考量是否需要納入EEWH-AE制定進行評估。</p>                                      | <p>建議:建築物內同層排水需依下列規定實施:<br/> <u>浴廁間橫支管配置在該層樓板上地板下之空間內(即同層排水)。</u><br/> <u>浴廁排氣與進氣系統做完整規劃;排風機之排氣風口位置設置在通風佳之非天井區外牆上。</u></p>                                                                                                                  |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

|                                    |                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                          |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>隨時保持運作(Hung, 2003)。</p>         | <p>況)，以免地板和其他衛生設備的水封變乾。在馬桶沖水時蓋上蓋子。</p>                                                                                                                                                                | <p>樓板<br/>2. 「建築技術規則」設備編第 33 條: 存水彎之位置及構造之規定<br/>3. 綠建築標章 (EEWH)之「污水及垃圾改善指標」對污水及垃圾之處理環境有更額外周全的規範</p> |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                          |
|                                    | <p>建議於醫療及公共場所定期監測室內空氣品質指標包括:<br/>3. CO<sub>2</sub>濃度(ppm): 良好: 350-750、高警戒 (可接受) 1,000、需調查&gt;1000<br/>4. 定期監測室內 PM<sub>2.5</sub> 濃度(µg/m<sup>3</sup>)<br/>5. 良好: 0-12、高警戒 (可接受) 12-15、需調查&gt;15。</p> | <p>智慧建築標章<br/>健康舒適指標<br/>鼓勵項目-室內空間<br/>健康舒適</p>                                                      | <p>綠建築目前訂定之「CO<sub>2</sub>減量指標」由間接減碳因子的模擬，變成直接CO<sub>2</sub>排放量的標示，但指標仍和疫情較無直接關係。<br/>通風換氣環境評估主要針對人員常在的空間進行評估，在住宅類空間以住宿單元內的居室為對象，在非住宿類建築則以居室空間以及室內之大廳、梯廳、走廊、開放性樓梯(非安全梯)等公共空間為對象。<br/>這些對象可以分區分類並自由選擇表2-7.2所示之 (1)自然通風評估法、或 (2) 空調換氣評估法來執行其評估。</p> | <p>智慧建築評手冊<br/>7.1 室內空間健康舒適<br/>評估內容<br/>7.1.4 於大型會議室等使用者可能聚集處，設置 CO<sub>2</sub>濃度與 PM<sub>10/2.5</sub>濃度偵測系統與資訊顯示裝置並與空調系統連動提供必要換氣量。</p> |
| <p>1. 當 HVAC 系統有裝設雙盤管機組或另一熱回收裝</p> | <p>為HVAC 系統裝設雙盤管機組「循環迴路」或另一熱回收裝置，保證</p>                                                                                                                                                               | <p>綠建築標章-日常節能指標<br/>熱源系統節能技術</p>                                                                     | <p>綠建築目前訂定之「日常節能指標」EAC規定建築空間應依空調使用時間實施空調區劃、依據實</p>                                                                                                                                                                                                | <p>2-4.2.2空調系統節能之評估<br/>住宿類建築的個別空調部分<br/>住宿類建築大部分採用窗型或分離式之個</p>                                                                          |



|                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                   |               |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>置，可保證回送端與供應端的空氣 100% 完全分離，則不需擔心病毒微粒透過熱回收裝置傳播的問題。</p> <p>2. 某些熱回收裝置，可能會將微粒和氣相污染物經由漏氣處從排氣端攜帶至供氣端。若設計和保養不良，旋轉式空氣對空氣全熱交換器可能出現明顯漏氣。根據 EN 16798-3:2017，漏氣率應低於 5%，並輔以加強外氣通風。然而，許多旋轉式全熱交換器可能並未正確安裝。未受控制的受污染排氣傳遞量大約會落在 20%，超出可接受的程度。</p> | <p>回風側和供應側的空氣 100% 完全分離。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議定期檢查、維護、清潔和操作 HVAC(暖通空調)系統，包括 HEPA 過濾器、分離式空調和風機盤管裝置)</li> <li>2. 確保在安裝 HEPA 濾網下 HVAC 的熱回收部分未檢測到嚴重洩漏 (&gt;3%)。</li> </ol> | <p>全熱交換系統</p> | <p>際熱負荷預測值選用適當適量的空調系統、選用高效率熱源機器，但指標仍和疫情較無直接關係。</p> | <p>別空調系統，可免予評估。亦即，由於個別空調機組已有能源局節能效率 COP 之規定，本手冊對此並不重複把關，但為了鼓勵高效率空調設備，對於全面採用具有能源局一、二、三、四級節能效率之個別空調系統的建築物，則依其採用率予以優惠評估。一般家庭常採用 14kW 冷卻能力以下冰水機、非單體機組、變冷媒量熱源系統或箱型機系統，也視同個別空調，以節能效率標示來規範之。一、二、三、四級節能效率標示之優惠評估以各級標示之個別空調設備採用面積比例 Ar1、Ar2、Ar3、Ar4，依式 2-4.10 計算之，其系統得分 RS44 則依公式 2-4.9 計算之，最高值可達 6.0 分。唯住宿類建築之個別空調為活動型設備，在申請「候選證書」階段難以承認其節能標章之申請，除非建商統一配備裝設(提銷售證明)可予以承認，否則唯有在申請正式「標章」時於現場確認節能標示證明無誤後，始能者給予認證，否則應視同免評估處理之。通常，集合住宅案在完工交屋時並無空調設備，在「候選證書」階段只能令 RS44=0，若完工後在「標章」時，確實裝上有節能標示之個別空調設備無誤後，始能依公式換算得到較高之得分，HVAC 系統需裝置雙盤管機組「循環迴路」或另一熱回收裝置，保證回風側和供應側的空氣 100% 完全分離。亦即，採用個別式空調部分依下列兩者之一計算其 EAC 如下：</p> <p>當個別式空調設備具有節能標示證明時</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                           |                                                 |  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           |                                                 |  |                                               | <p> <math>EAC = 0.9 - (0.3 \times \text{一級能源效率空調採用面積比} Ar1 + 0.2 \times \text{二級能源效率空調採用面積比} Ar2 + 0.1 \times \text{三級能源效率空調採用面積比} Ar3 + \text{四級能源效率空調採用面積比} 0.05 \times Ar4) \times Vac</math>----- (2-4.10)<br/>                     當個別式空調設備無裝設或裝設而無法提供能源效率分級證明時<br/> <math>令RS44 = 0</math>----- (2-4.11)<br/>                     其中<br/>                     Vac: 自然通風節能率，無單位，參照EEWH-BC版附錄3計算。<br/>                     為了鼓勵住宿類建築之自然通風設計，凡是自然通風設計良好之案例可依EEWH-BC版附錄3求得自然通風節能率Vac(請附計算書)，對EAC打折優惠計算。<br/><br/>                     智慧建築手冊節能管理<br/>                     6.1.4 空調之基本設備運轉監視，冰水機系統增設水側系統設備(含冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔、冰水機)之耗電與實際製冷能力之比(kW/RT)。<br/>                     可每小時監控量測數據，每月作統計報表，每年有詳細紀錄之功能，定期維護、清潔和操作HVAC(暖通空調)系統，包括HEPA過濾器、分離式空調和風機盤管裝置)，確保在安裝 HEPA 濾網下HVAC的熱回收部分未檢測到嚴重洩漏(&gt;3%)。                 </p> |
| <p>1. 紫外線殺菌輻射(UVGI)可有效地用於臨床環境以滅活傳染性氣溶</p> | <p>醫療場所或公共場所建議安裝在機械通風路徑或空調箱中，以經由對流空氣運動間接處理空</p> |  | <p>並未看到相關綠建築標準，因此需就考量是否需要納入EEWH-AE制定進行評估。</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### 第三章 計畫研究成果

|                               |    |  |  |  |
|-------------------------------|----|--|--|--|
| 膠，並可以降低<br>感染的能力一些<br>病毒可以存活。 | 氣。 |  |  |  |
|-------------------------------|----|--|--|--|

## 第六節 建築通風防疫

本研究藉由蒐集世界各國建築對SARS、COVID-19等傳染方式與對策，以及國際上相關建築防疫措施應用於空調通風系統等方式，例如：建築物導入外氣新風進行增加通風換氣效率，並結合空調、通風、過濾等系統整合作為「新風導入建築物」之通風換氣效率與維護室內空氣品質等，本次檢測實驗以「既有建築物」在通風換氣不足條件下，導入「外氣引入之新風裝置」(具過濾系統)，以增加室內通風換氣率，降低室內空氣污染物濃度，減少各種飛沫或氣膠傳播，並維持室內健康空氣品質。

### 3-16-1 檢測場域範圍

本研究參考國際重要防疫標準與基準，多數重要文獻指出提高新風外氣量能助於減少室內疫情傳播問題，研究擬以具高效過濾之「新風換氣系統」，搭配「智慧污染感測器」作為連動控制系統進行實場驗證，初步規劃將優先以公共建築和其他公共空間(例如：辦公室等)導入高效過濾之新風換氣系統，藉以比對導入新風風量之前後差異與相關空氣品質指標變化情形進行比較評估。本次檢測實驗擬以健身房為示範實驗場域(圖3-13)，在原有建築空間導入「新風裝置」並比對其導入前後之各項空氣污染因子，以作為差異比對。

### 3-16-2 新風裝置與檢測項目

(一)、新風裝置：依據ASHRAE 標準與世界衛生組織的指引，防疫建築之新風導入與通風換氣效率需達到一定之引入量，以稀釋方式進行控制，研究之新風主機以700CMH之移動式新風機作為新風導入室內之來源，並搭配高效率濾網過濾引入外氣，並以此提高室內通風換氣效率(表3- 21)。

(二)、智慧感測監控與連動新風裝置進行檢測(表3- 22)：

(1)、化學性因子：二氧化碳、一氧化碳、臭氧、甲醛、TVOC等

(2)、物理性因子：溫度、相對濕度、懸浮微粒(粒徑 $10\mu\text{m}$ 以下)、細懸浮微粒(粒徑 $2.5\mu\text{m}$ 以下)等

表3- 21新風裝置簡介



| 名稱                                                                                  | 裝置                                                                                | 用途             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <p>智控新風機<br/>700Se(GiA-700SE)</p>                                                   |  | <p>過濾後引入外氣</p> |
|  |                                                                                   |                |

表3- 22智慧感測監控與連動裝置簡介

| 編號 | 名稱              | 圖像                                                                                  | 用途                                                                               | 操作                                                                                                                                                                                                   |
|----|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | GiA室內空氣<br>檢測裝置 |    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 監測室內空氣品質</li> <li>2. 控制新風裝置</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 確認已插上電源(插上電源就會自動開啟，如果沒有就按後方的 power 鍵)</li> <li>2. 開啟後確認時間。</li> <li>3. 如果需開啟新風裝置，請將主畫面右滑就可以看到操作介面</li> </ol>                                               |
| 2  | PPBRAE<br>3000  |    | 監測室內TVOC濃度                                                                       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 開機前需再進氣口安裝濾嘴</li> <li>2. 按中上方按鈕開機(要等一下，開機後就會自動記錄)</li> <li>3. 關機長按中上方(會有倒數提示)</li> </ol>                                                                   |
| 3  | AEROCET<br>531  |   | 監測室內PM <sub>2.5</sub> 與<br>PM <sub>10</sub> 濃度                                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 開機前需再進氣口安裝濾嘴</li> <li>2. 開機先將右側開機鍵撥開，之後按正面START(黃色的)就會開機</li> <li>3. 在按一次黃色安紐就會開始檢測(確認有倒數計時)，觀看不同數據按下方上下按鈕移動)</li> <li>4. 結束先按黃色按鈕停止監測，再將右側開關關機</li> </ol> |
| 4  | HTV-M           |  | 監測室內甲醛濃度                                                                         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 開機前需再進氣口安裝濾嘴</li> <li>2. 按右上按鈕就會開始檢測</li> <li>3. 關機就在按一次右上方按鈕就會關機</li> </ol>                                                                               |

表3- 23新風裝置與檢測流程

| 健身房-導入新風檢測計畫流程                |                                                         |                                   |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 實測時間:9:30 AM至17:30 PM(三天各八小時) |                                                         |                                   |
| 時間                            | 事項                                                      | 備註                                |
| 實測前一天                         | 儀器架測準備                                                  |                                   |
| 第一日                           | 室內監測<br>(12合一因子主機、<br>ppbRAE3000、HTV-M、<br>AEROCET 531) | 室外監測因子<br>新風裝置不啟動(未引入外氣)下連續監測8小時  |
| 第二日                           | 室內監測<br>(12合一因子主機、<br>ppbRAE3000、HTV-M、<br>AEROCET 531) | 室外監測因子<br>新風裝置啟動引入新風量<br>連續監測8小時  |
| 第三日                           | 室內監測<br>(12合一因子主機、<br>rae3000、HTV-M、<br>AEROCET 531)    | 室外監測因子<br>新風裝置啟動引入新風量，<br>連續監測8小時 |
| 檢測結束                          |                                                         |                                   |

#### 3-16-4 實測結果

由圖3-14可看出此場所若室內活動人數4人以上時(9/9日及9/10日)，室內AQI指標中位數值(9/9日272，9/10日166)顯示已達對所有族群不健康下限150，而當新風裝置啟動後連續三天AQI值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置可有效改善室內空氣品質。

由圖3-15可看出此場所若室內活動人數4人以上時(9/9日及9/10日)，室內CO<sub>2</sub>中位數值(9/9日1135，9/10日1180 ppm)已超過「室內二氧化碳濃度」標準1000 ppm，而當新風裝置啟動後連續三天CO<sub>2</sub>值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置可有效置換CO<sub>2</sub>，增加室內新鮮空氣比例。

由圖3-16可看出此場所無論室內活動人數多寡(連續3日)，室內甲醛中位數值(9/9日0.184，9/10日0.134 ppm，9/11日0.089 ppm)已超過「室內甲醛濃度」標準0.08 ppm，而當新風裝置啟動後連續三天甲醛值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置可有效排除甲醛，增加室內新鮮空氣比例。

由圖3-17可看出此場所無論室內活動人數多寡(連續3日)，室內TVOC中位數值(9/9日0.71，9/10日1.80 ppm，9/11日1.45 ppm)已超過「室內TVOC濃度」標準0.56 ppm，而當新風裝置啟動後連續三天TVOC值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置可有效排除TVOC，增加室內新鮮空氣比例。

由圖3-21可看出本研究另一場所(國立大學助理研究室)若室內活動人數7人以上時(10/19日及10/20日)，室內AQI指標中位數值(10/19日102及10/20日102)顯示已達對敏感族群不健康下限100，而當新風裝置啟動後連續三天AQI值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置可有效改善室內空氣品質。

由圖3-22可看出此場所(助理研究室)若室內活動人數7人以上且室內較不通風時(10/19日)，室CO<sub>2</sub>濃度中位數值(10/19日1088ppm)顯示已超過「室內二氧化碳濃度」標準1000 ppm，而當新風裝置啟動後連續三天CO<sub>2</sub>值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置可有效置換CO<sub>2</sub>，增加室內新鮮空氣比例。

由圖3-23可看出此場所(助理研究室)無論室內活動人數多寡(連續3日)，室



內甲醛中位數值(10/18日0.013，10/19日0.016 ppm，10/20日0.03 ppm)皆未超過「室內甲醛濃度」標準0.08 ppm，而當新風裝置啟動後10/19日、10/20日甲醛值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置在標準值內依然可有效排除甲醛，增加室內新鮮空氣比例。

由圖3-24可看出此場所(助理研究室)若室內活動人數7人以上時(10/19日及10/20日)，室內TVOC指標中位數值(10/19日0.8275，10/20日1.125ppm)已超過「室內TVOC濃度」標準0.56 ppm，而當新風裝置啟動後連續三天TVOC值皆有統計上顯著下降( $p < 0.001$ )，顯示此裝置可有效排除TVOC，增加室內新鮮空氣比例。

由圖3-29、圖3-30可看出本研究另一場所(建研所環控組辦公室)無論室內活動人數多寡(連續4日)，AQI、CO<sub>2</sub>皆遠低於室內空氣品質標準，而當新風裝置啟動後皆未有顯著變化，顯示此裝置在通風設計良好、活動空間較大之大樓辦公室(如圖3-28)，單一新風裝置難以影響空氣品質。

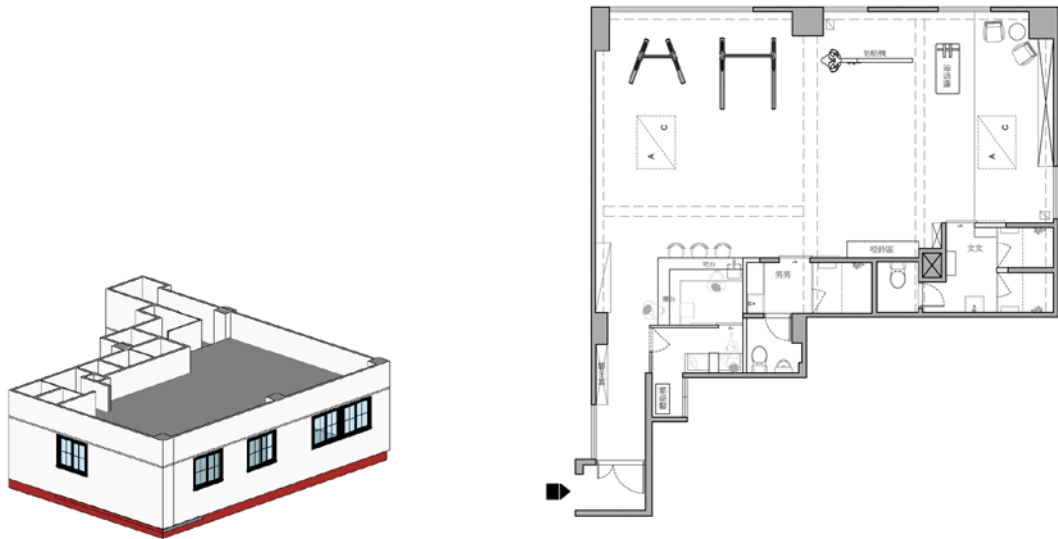


圖3- 13健身房3D 模型圖及實際室內活動空間

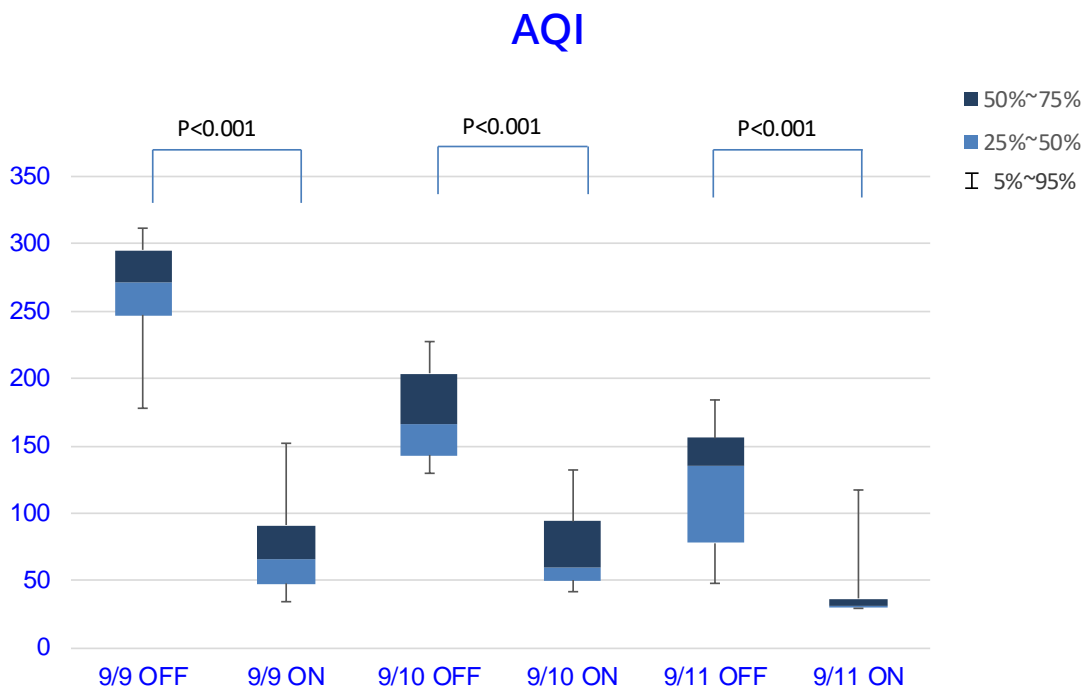


圖3- 14本案健身房新風裝置啟動前後AQI變化情形

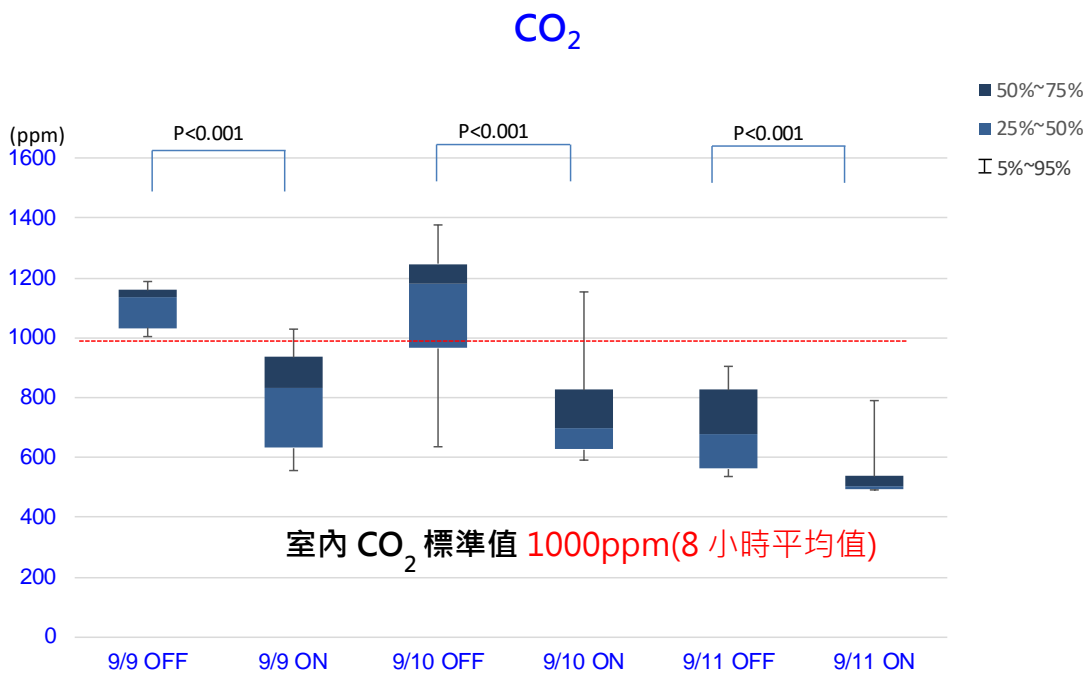


圖3- 15 本案健身房新風裝置啟動前後CO<sub>2</sub>變化情形

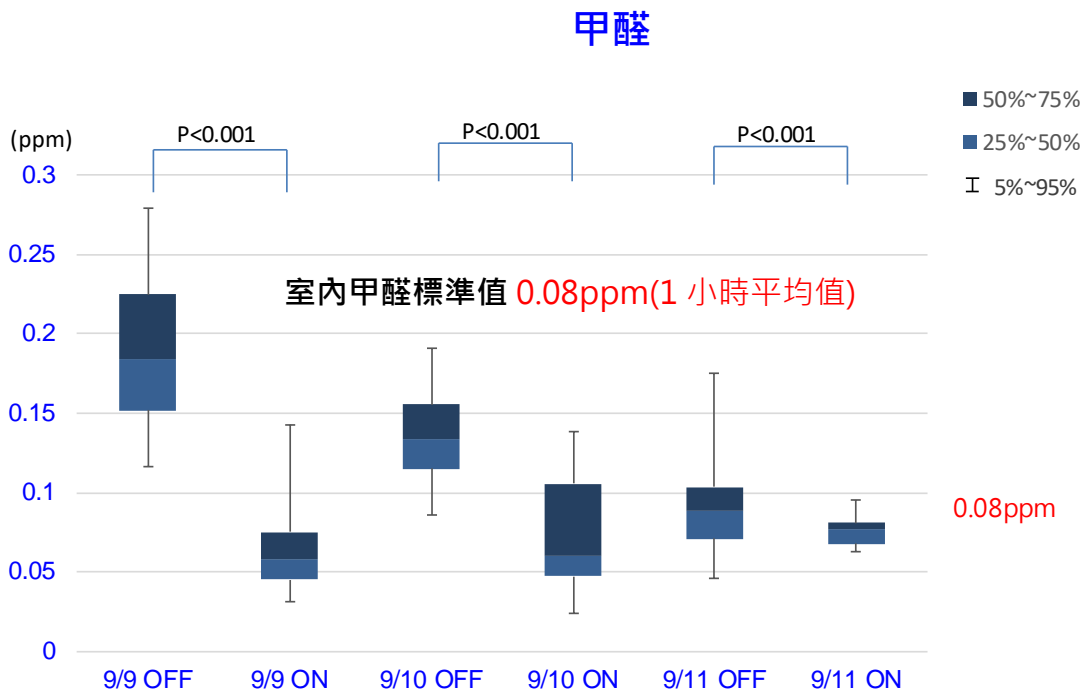


圖3- 16 本案健身房新風裝置啟動前後甲醛變化情形

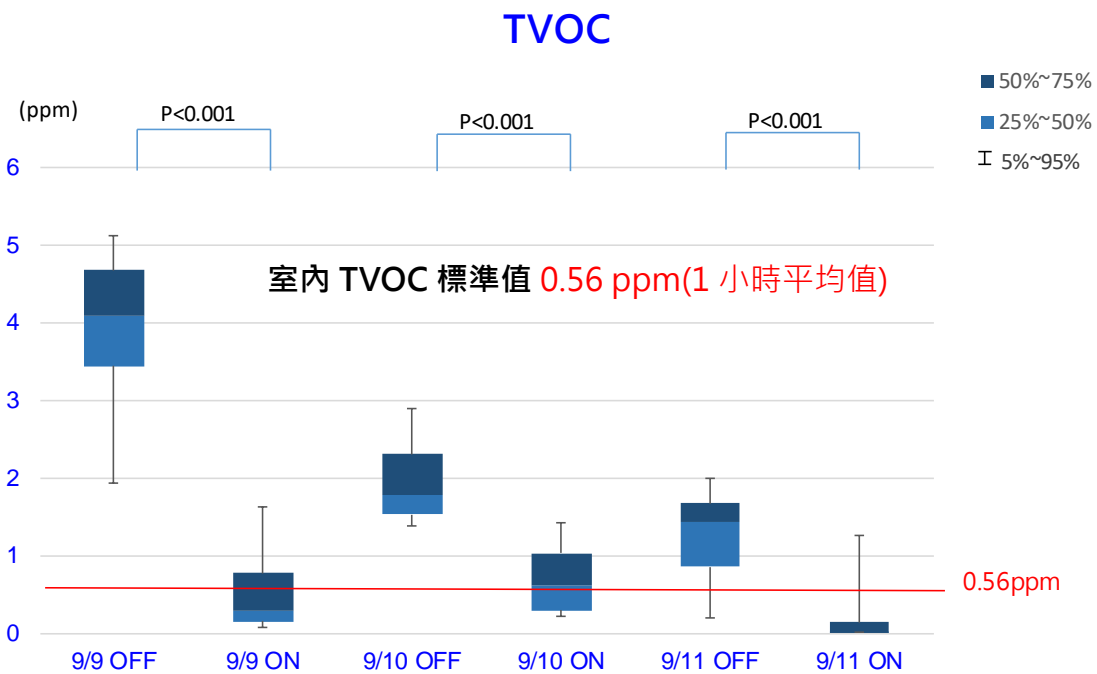


圖3- 17 本案健身房新風裝置啟動前後TVOC變化情形

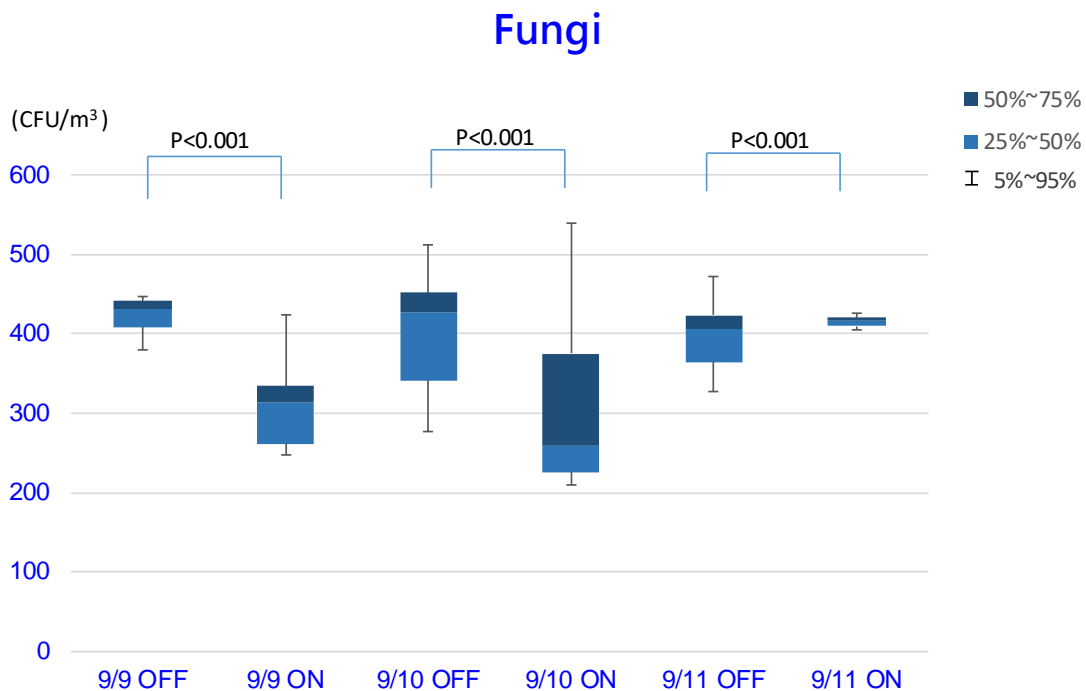


圖3- 18 本案健身房新風裝置啟動前後真菌變化情形

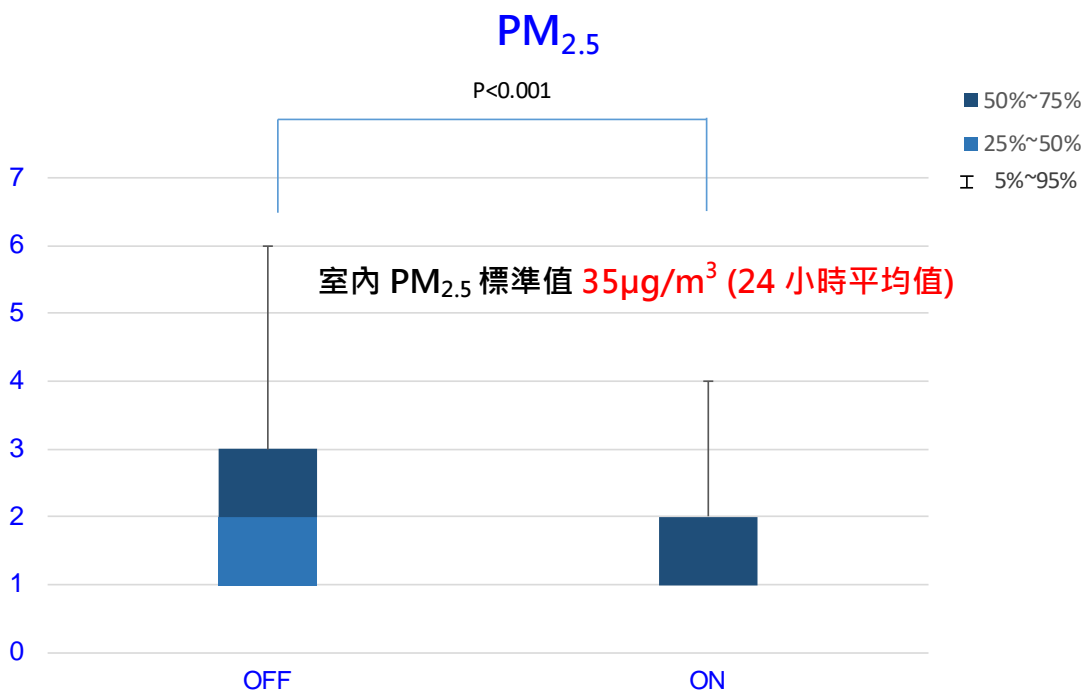


圖3- 19 本案健身房新風裝置啟動前後PM<sub>2.5</sub>變化情形

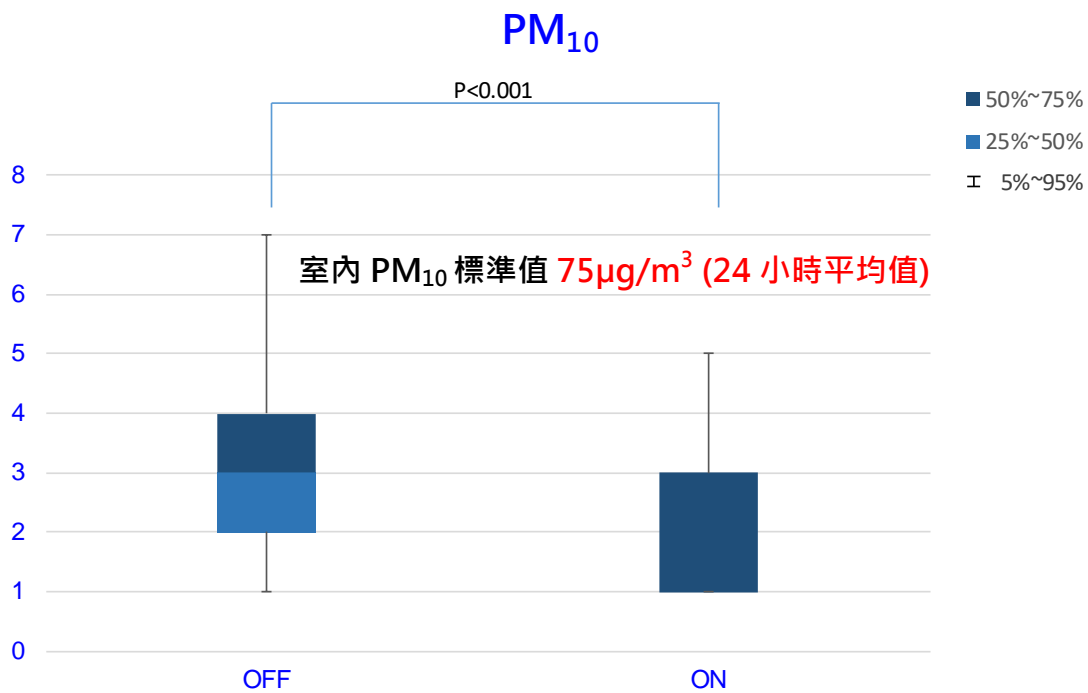


圖3- 20 本案健身房新風裝置啟動前後PM<sub>10</sub>變化情形

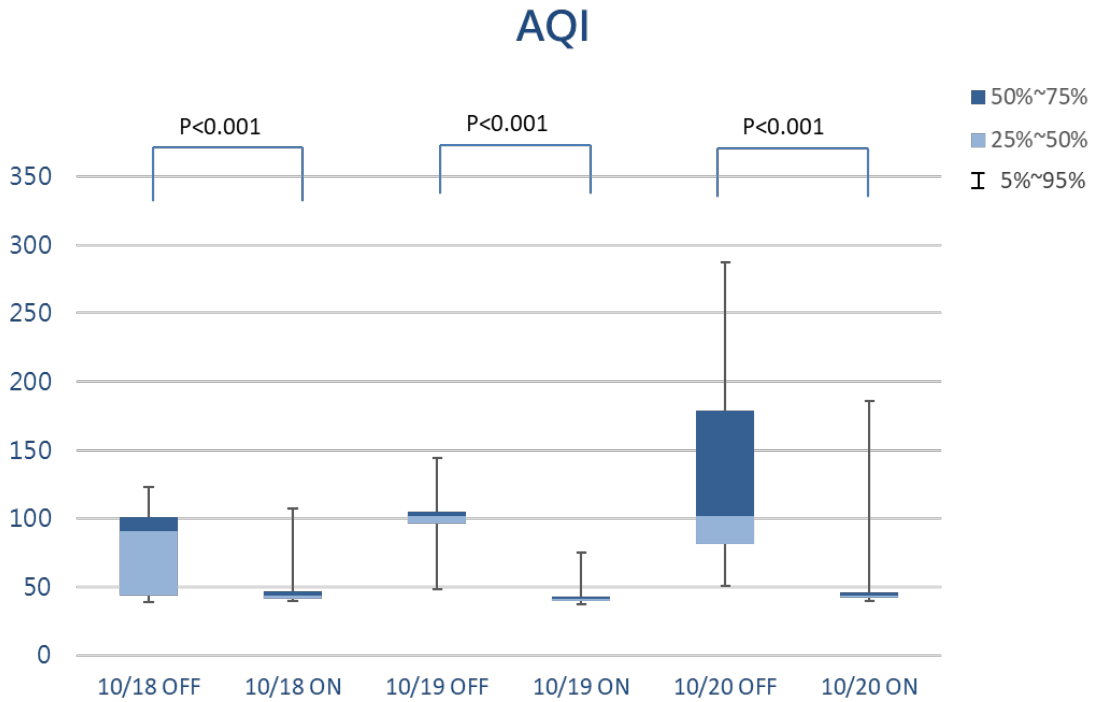


圖3- 21 本案助理研究室新風裝置啟動前後AQI變化情形

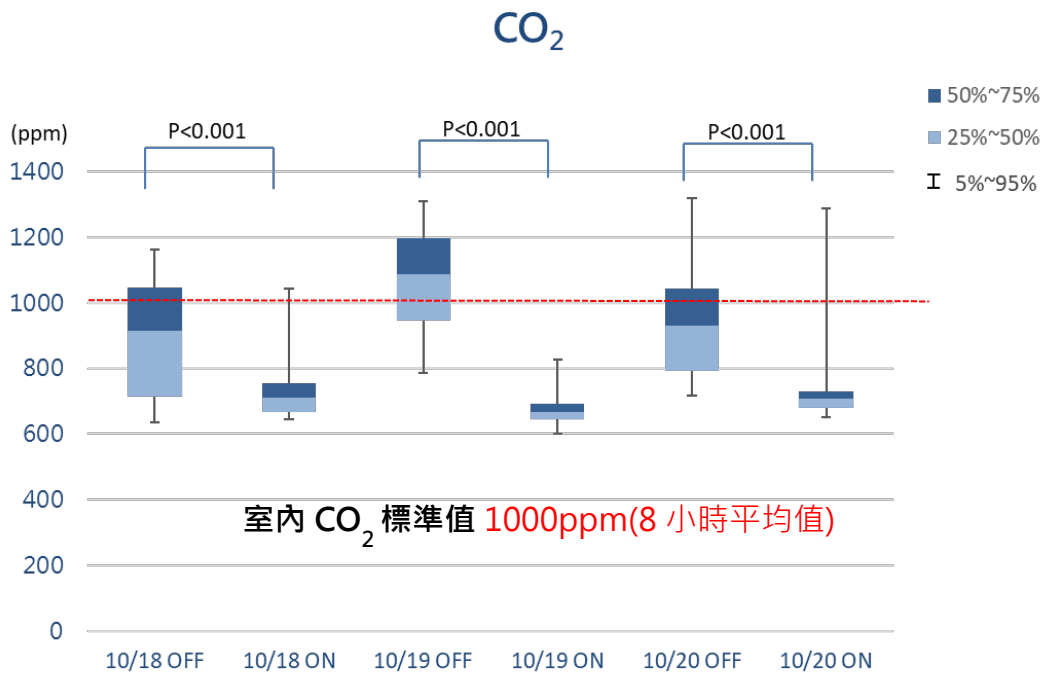


圖3-22本案助理研究室新風裝置啟動前後CO<sub>2</sub>變化情形

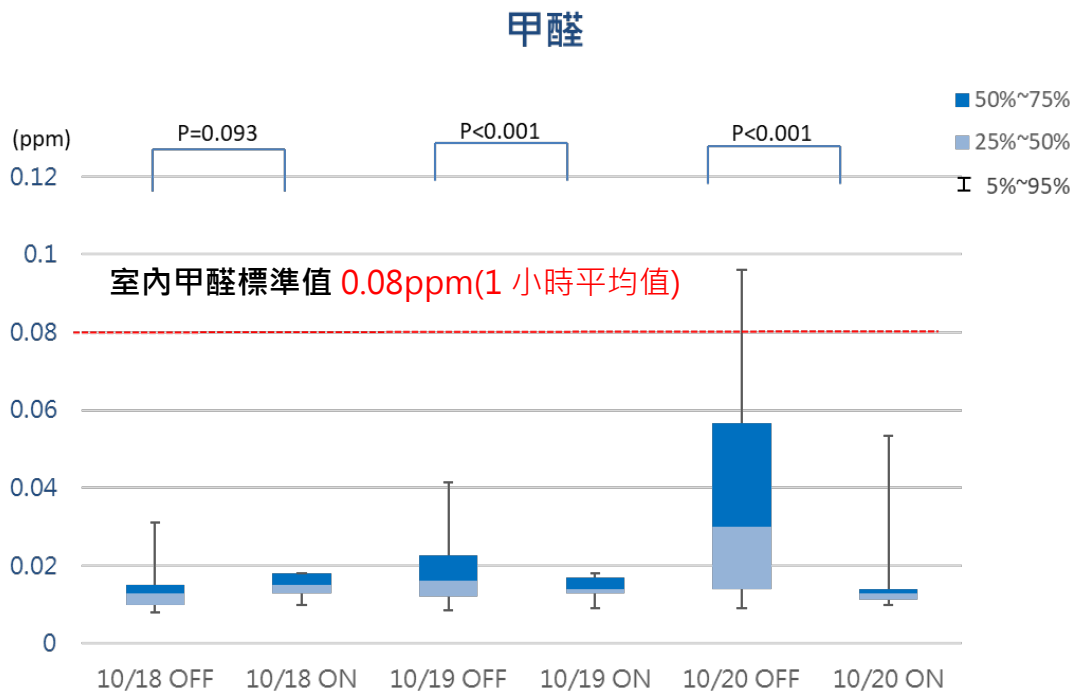


圖3-23本案助理研究室新風裝置啟動前後甲醛變化情形

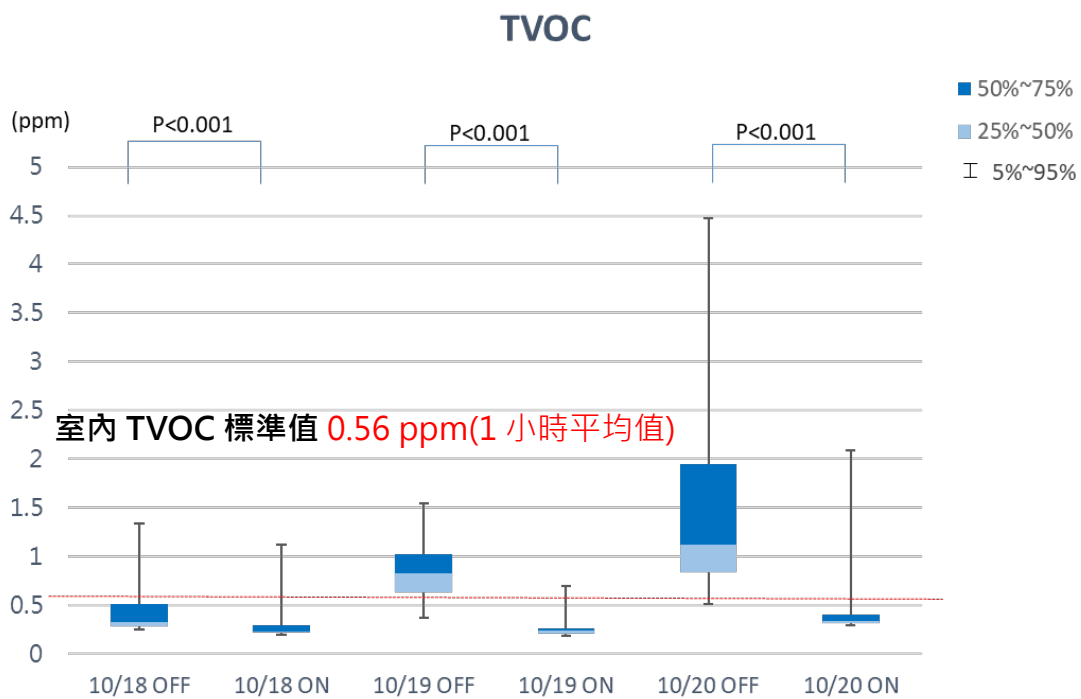


圖3-24 本案助理研究室新風裝置啟動前後TVOC變化情形



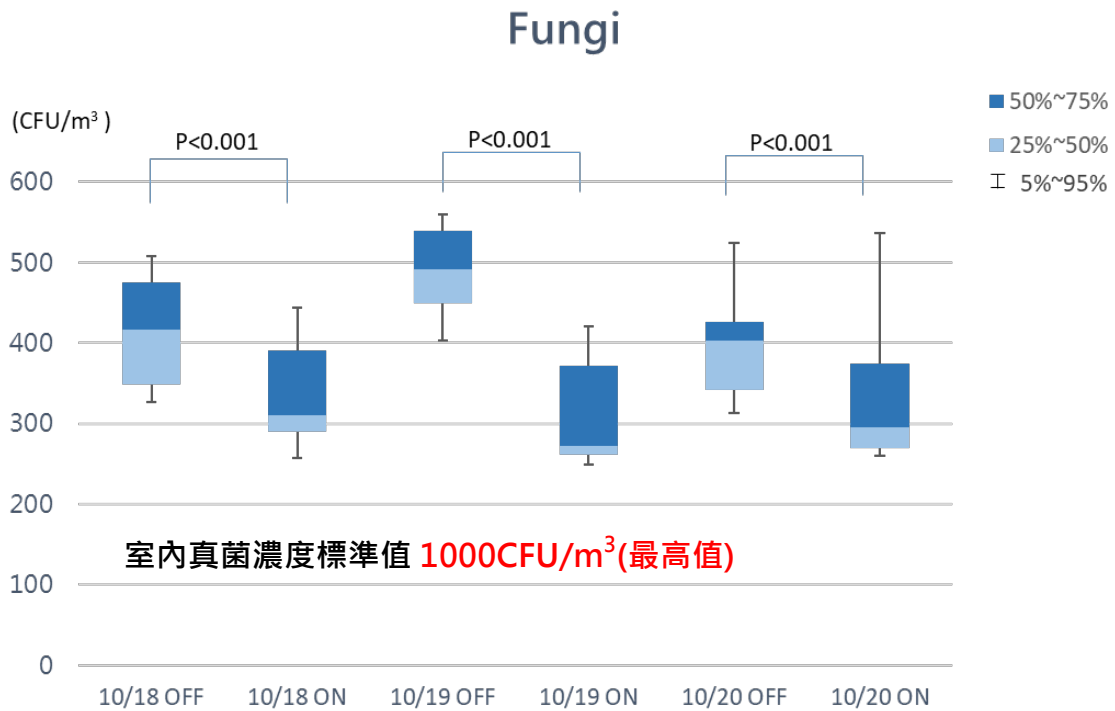


圖3-25 本案助理研究室新風裝置啟動前後Fungi變化情形

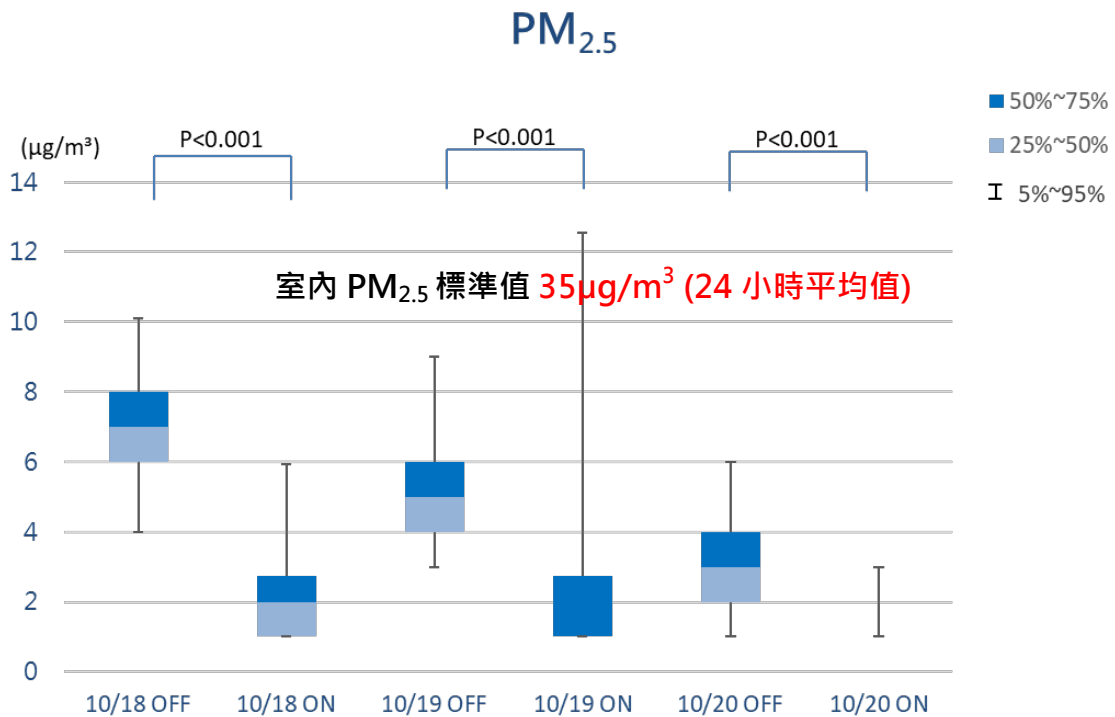


圖3-26 本案助理研究室新風裝置啟動前後PM<sub>2.5</sub>變化情形

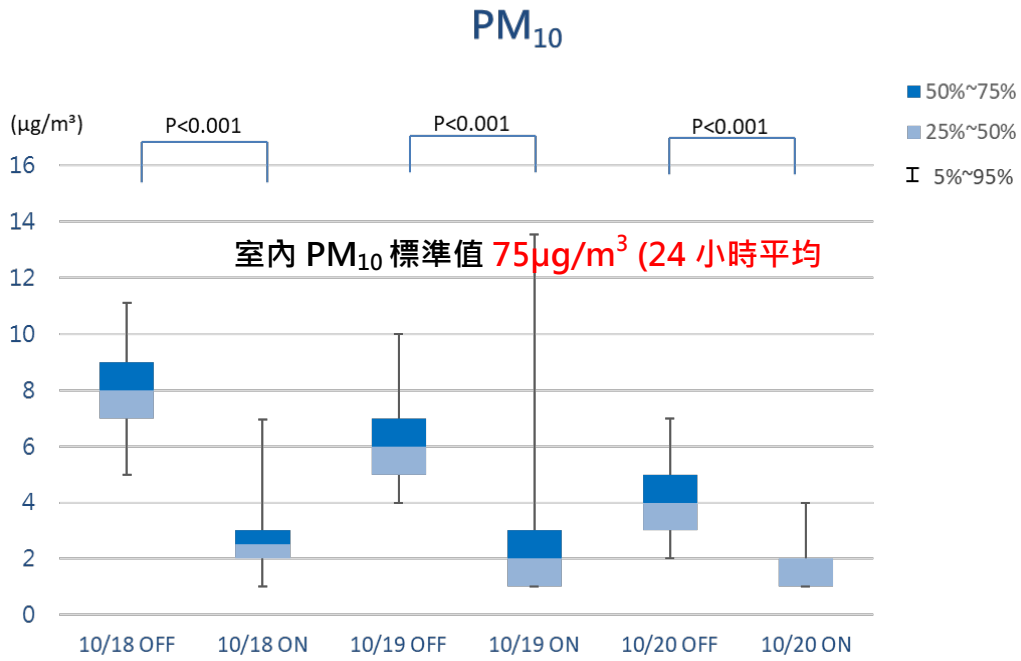


圖3-27 本案助理研究室新風裝置啟動前後PM<sub>10</sub>變化情形



圖3-28辦公室實際室內活動空間

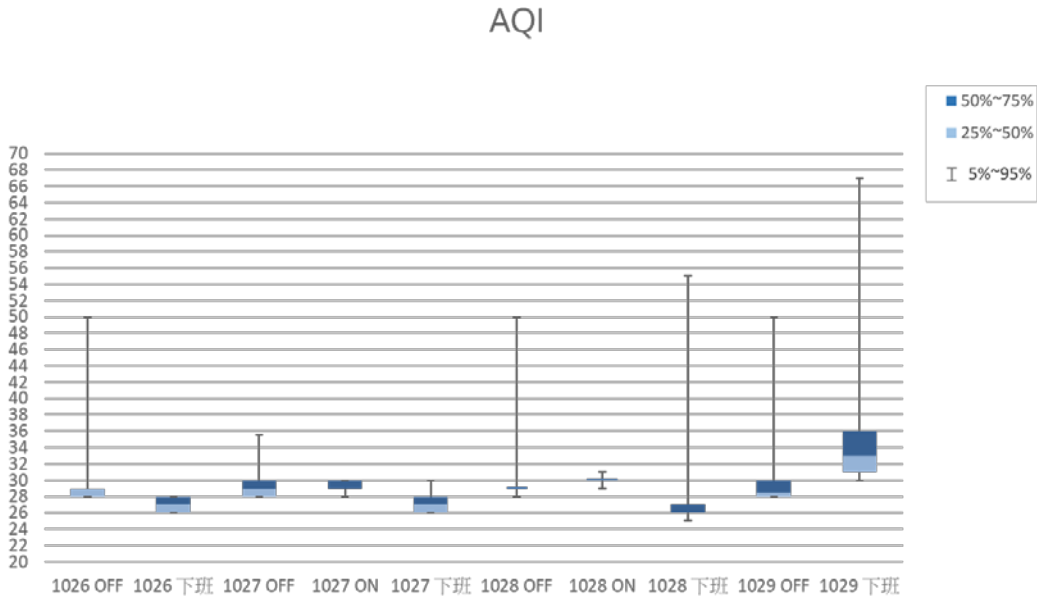


圖3-29本案辦公室新風裝置啟動前後、上下班AQI變化情形

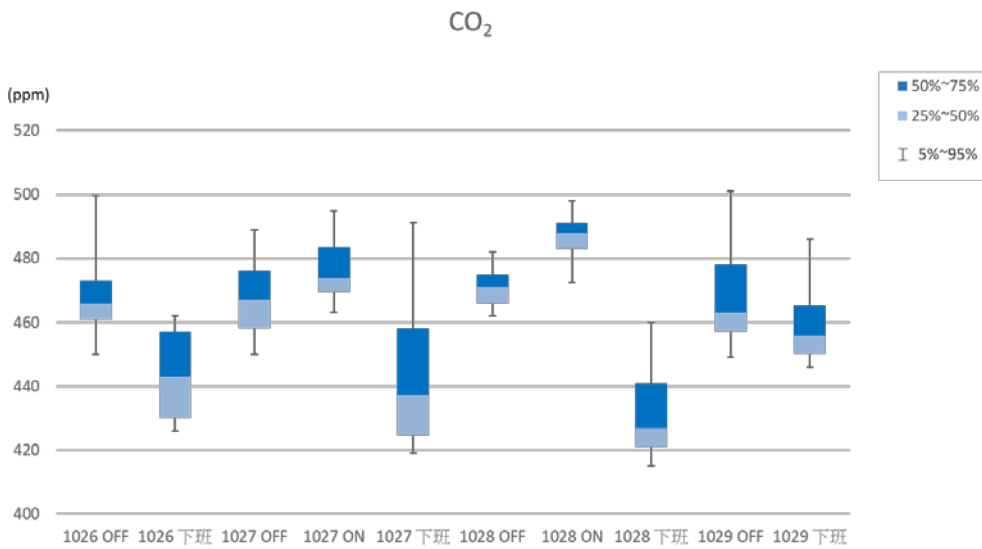


圖3-30本案辦公室新風裝置啟動前後、上下班AQI變化情形

## 第七節 第一次專家訪談結論與建議

本研究藉由文獻分析彙整相關資料後，進一步以專家諮詢方法，於110年06月17日召開第一次專家訪談，針對研究提出討論。

- 一、會議名稱：內政部建築研究所110年度創新循環綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫第1案-「建築環境健康及防疫措施之可行性研究」第一次專家訪談會議
- 二、110年06月17日(星期四)上午9點30分
- 三、開會地點：線上會議 Cisco Webex™平台軟體
- 四、訪談專家：邵文政副教授暨建築系主任
- 五、出席人員：張榮偉助理教授、陳振誠副教授、陳誌賢

表3- 24第一次專家訪談



表3-25 第一次專家訪談內容

紀錄：

議題一：若從環境衛生及公共衛生(建築)的角度來看建築防疫措施，您覺得現有建築硬體方面可以改變的地方為何?該從何處著手?

邵委員回答：

1. 首先要針對建築類型進行探討，住宅、辦公、校園、公共建築都不相同，但可能還是有通則。
2. 應該先從空間分區開始定義，明確界定潔淨區、半潔淨區、污區…等。
3. 在建築硬體方面，一般分為設施和設備。因為無法將病毒可視化以及無法知道病毒在哪，且病毒會隨飛沫或PM<sub>2.5</sub>進入人體或室內，停留於室內各式建材表面。因此，主要防疫概念為：藉由污染源管控方式，由外向內建構層層防護介面。
4. 具體作法：空氣源建立消毒機制(主動滅菌)，建材表面抑菌、殺菌，管線系統隔絕，空間正負壓與定向流場控制，充足而有效的通風換氣，善用陽光、空氣、水。

議題二：請問導入建築防疫措施可能遇到之困難?

邵委員回答：

1. 現在建築防疫只是針對疫情期間臨時性的裝置，需要思考是否為滾動式的，是否以後為常態遇到的問題。
2. 空間不足問題：難以設置智慧型防疫門等設備裝置，消毒、更衣均需在負壓空間進行。
3. 人力、經費不足：偵溫、消毒、實名登錄、口罩確認妥善，均需要人力，若改用智慧化或自動化設備取代，則有成本與設備維護問題。
4. 正負壓設置不易：如玄關、衛浴、廁所及垃圾存放等空間。

議題三：以現有智慧建築標章或綠建築標章等手冊內容來看，請問您認為有那些項目可導入建築防疫措施中?

邵委員回答：

智慧型防疫門、體溫額溫自動偵測、熱像追蹤辨識系統、無接觸消毒措施、感應式或聲控式取代電梯按鈕、新風系統…等等均可導入。

議題四：請問以保留原綠建築、綠建材、智慧建築、住宅性能評估制度..等制度基礎下，導入國際防疫建築制度有何政策上之效益或是建議？

邵委員回答：

1. 未來建築、建材均應有主動、被動協助防疫分類來探討，不應無法防疫更加速疫情擴散。例如需有新風(外氣)換氣系統、空間有效消毒機制應立即研究(結合光消毒、化學消毒、建材抑菌、濾網消毒)
2. 建議WELL的建築標章中有HSR有23個條文，可考慮參照哪些條文來放到裡面。另外台灣室內環境品質管理協會也推動旅館業的安靜標章，此兩標章都針對防疫，都建議可以參考，但不一定都很容易導入。

## 第八節 第二次專家訪談結論與建議

- 一、會議名稱：內政部建築研究所110年度創新循環綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫  
第1案-「建築環境健康及防疫措施之可行性研究」第二次專家訪談會議
- 二、110年08月05日(星期四)上午10點00分
- 三、開會地點：線上會議 Cisco Webex™平台軟體
- 四、訪談專家：陳佳堃副教授
- 五、出席人員：張榮偉助理教授、陳誌賢研究助理、李宜澄研究助理

表3- 26第二次專家訪談

### 線上簽到

第二次專家訪談會議 線上簽到(回覆) ☆ 儲存中...

檔案 編輯 查看 插入 格式 資料 工具 表單 外掛程式 說明 上次編輯是在數秒前

100% | NTS % .0 .00 123 | 預設 (Arial) | 10 | B I S A

|   | A                   | B           | C        | D      | E           | F |
|---|---------------------|-------------|----------|--------|-------------|---|
| 1 | 時間戳記                | 會議簽到：本研究人員或 | 本研究人員簽到  | 專家委員簽到 | 其他：單位、職稱、姓名 |   |
| 2 | 2021/8/5 上午 9:57:21 | (1) 本研究人員   | 張協同主持人榮偉 |        |             |   |
| 3 | 2021/8/5 上午 9:57:30 | (2) 專家委員    |          | 陳副教授佳堃 |             |   |
| 4 | 2021/8/5 上午 9:57:50 | (1) 本研究人員   | 陳研究助理誌賢  |        |             |   |
| 5 | 2021/8/5 上午 9:58:23 | (1) 本研究人員   | 李研究助理宜澄  |        |             |   |
| 6 |                     |             |          |        |             |   |

表3- 27第二次專家訪談內容

紀錄：

**議題一：一般建築空調管道中如何增加防疫力道，若室內增加對流可減少病毒於局部累積，有無建議對應之增加對流方案**

陳委員回答：

5. 通風跟空調是兩件事情，通風是中國跟台灣這邊翻出來的詞，英文叫ventilation，以日本的翻譯則稱為換氣。空調是air conditioner，是做環境溫度控制；ventilation是將舊空氣移除且引進新空氣，所以光有空調不會有空氣的交換。
6. 新舊空氣交換的部分，若允許新建築可以安裝「全熱交換器」，這種東西就是來做為ventilation用的。以現今目前分離式的冷氣都是密閉空間的內循環，不會有ventilation這件事情，只有空調沒有換氣，所以安裝全熱交換器可以達到換氣。但目前既有建築太多，所以再安裝全熱交換器會增加複雜度，所以建議再建新建築時就安裝上去。
7. 以既有建築要達到換氣的部分，可以在窗邊的牆挖一個洞加裝小排風扇，排風機往外面抽，當然需要具備相對應的防蟲蠅的設備，即可達到對流。
8. 以一個研究發現24平方公尺以內的地只要用「換氣率」可以把空氣換得很乾淨；大於24平方公尺以上整個流場不一樣，不能只單靠換氣率。
9. 目前單層排氣的方式是不錯的設計。
10. 若不能安裝全熱交換器或是排風扇，至少要開窗戶，但開窗是最沒效率，但比沒開窗好。要達到好的效率就是窗戶的設計須達到室內的對流。

**議題二：防疫增加通風量與正負壓控制，若以感控來看，如何形成不同防疫空間壓差區劃，另針對不同飛沫粒徑，如何控制不同感染途徑**

陳委員回答：

5. 要讓空氣從乾淨到不乾淨的地方，美國的CDC和ASHRAE有提到clean to less clean，要創造出directional air flow，也就是上游下游的概念。所以要在乾淨的地方產生正壓(像是醫護站)，不乾淨的地方產生負壓(像是病房)，空氣就會從正壓往負壓流。而不乾淨的地方也是排氣口的地方。



6. 大於50 $\mu\text{m}$ 粒子會落在人臉的附近，所以戴口罩跟局部清消要注意且盡量不要去接觸，小於50 $\mu\text{m}$ 粒子原則上都會跟著氣流走向去跑，盡量就是靠近吸進口。

**議題三：防疫建築環境之自然開窗通風與空調機械通風為兩種主要方式，若從環境防疫之有效性質，如何在不同防疫或感控階段進行調變。**

陳委員回答：

1. 若要產生directional air flow當然是機械通風最有效率，因為可以控制正負壓的地方，就會以clean to less clean的方向去走。以感控方面來看，機械通風是必然的，不要太輕易相信自然通風。
2. 若是住家的話可以自然通風，但每個家的狀況不同，開窗不見得就是通風，通風就是要有進有出，要先排出去就要先進得來，若窗戶只開在同一邊，就只有那邊在做氣體交換而已，因此窗戶要開在對面或對角才有用。像是很多的住宅大樓只開窗通風的話，中間的部分是沒辦法換到氣的。因此機械通風還是得考慮在基礎建設裡面。

**議題四：不同防疫建築類別，如防疫隔離建築、防疫醫院與一般建築或集合住宅就通風措施上是否有一致通則可遵循**

陳委員回答：

3. 通則就是clean to less clean，要創造出directional air flow，簡單來說就是機械通風並且知道風的走向。
4. 空間大的地方(>24平方公尺)像是百人會議或教室等等就無法用換氣率來解決，因為流量不見得會是整個空間的。
5. 目前很多指引單以換氣率來做為建議，但事實上不能只單單只看換氣率，也要配合directional air flow一起考慮，換氣率是個參考。若沒有考慮 air flow 濃度反而會上升不會下降。單看換氣率會有用就是在空間小(<24平方公尺)的地方，剛好負壓隔離病房是這個大小，所以十幾年來不需任何新科技來改善。

### 會後Q&A、心得及回覆

張協同主持人榮偉：

很多疫情爆發的地點在於長照中心以及健身房可能就是依照委員說的參考各國的指引增加通風換氣量但沒有參考到air flow的走向，造成一些地方有死水區(空氣換不到的地方)，才會這些區域又造成人們交互感染。針對流場的部分，目前是否有指引可以做參考？

陳委員回答：

目前指引還是以換氣量來考量，因為對於工程師來說換氣量是最好計算的方法，他們流體概念沒有很好，所以有時候裝了一些裝置可能就沒有用，可能原因就是因為一些概念沒有通。有沒有這種指引，不能說沒有，但就是clean to less clean 這句話。可以看一下美國CDC的建議，他會告訴你要創造directional air flow，如何創造directional air flow會告訴你參考ASHRAE的文章，ASHRAE會提供一些大方向原則，像是門窗不要同邊等等，但指引只是參考，最重要的還是人員訓練之後然後配合指引才能了解核心精神在哪裡。ASHRAE其實很多指引，但在以前的工業通風其實都有提過，再次拿來應用。但最後還是回到讓施工人員方便，還是以換氣率最為通俗代表，說穿了就是增加流量。

對於flow目前還尚未看到適合的指引，也就是我想要推廣的，但推起來很困難。冷氣也為了節能減碳，設計迴風的方式讓室內空氣溫度不要散太快，所以目前很多窘境。所以現在很多建築設計很節能但不怎麼健康，是smart building而不是healthy building。WELL 2.0標準，首次將人的健康也納入考量，是不錯的參考點，但他離真正的「健康」還是有一段很大的距離且不夠完整。

總結來說：除了創造適合這個區域的flow之外，公衛跟建築的結合，是未來healthy building一定要走的，單靠一方是沒辦法完成的。

## 第九節 第一次專家諮詢會議結論與建議

本研究藉由文獻分析彙整相關資料後，進一步以專家諮詢方法，於 110年06月23日召開第一次專家座談，針對研究提出討論。

- 一、會議名稱：內政部建築研究所110 年度創新循環綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫 第 1 案-「建築環境健康及防疫措施之可行性研究」第一次專家諮詢會議
- 二、110 年 06 月 23 日(星期三)下午 02 時30 分
- 三、開會地點：使用線上 Cisco Webex™平台軟體
- 四、專家委員：內政部建築研究所環境控制組 鄭主任秘書元良、內政部建築研究所環境控制組呂簡任研究員文弘、內政部建築研究所環境控制組 陳專案助理禱、國立臺北科技大學建築系 陳副教授振誠、台灣室內環境品質管理協會 鄭理事長仁雄、台灣建築醫學學會 張理事長智元、明志科技大學環境與安全衛生工程系洪助理教授明瑞、國立臺北科技大學建築系 邵副教授文政、成功大學能源科技與策略研究中心研究 江特聘教授哲銘、社團法人台灣室內環境品質學會 陳理事長秀玲、國立陽明交通大學環境及職業安全研究所 郭教授憲文

表3- 28第一次專家諮詢會議



表3-29第一次專家諮詢會議內容

紀錄：(依發言順序排列)

**(一)、鄭主任秘書元良：**

1. 病毒一直在變動，主題是否只以COVID-19疫情探討或是為將來的疫情作探討？
2. 此研究針對新的建築物的推動較容易，若對於舊有的建築物該如何因應？
3. 疫情在建築物內傳播是常態，故疫情對居家辦公是否是一個很大的影響？
4. 建築依用途別有九類，將來是否需針對用途不同而有不同的防疫措施，若考慮不同用途可能又太多，或許可以焦距在一些比較重要的用途別（像是旅館）。
5. 可將同層排水方法列為未來建議。

**(二)、江特聘教授哲銘：**

1. 架構可以分成三個構面來收斂，綠建築標章重點在於軀殼體，為第一構面，健康建築標章是建築內的空間體（燈光、熱氣以及水），為第二構面、而人體是醫學公衛方面，分類為第三構面。
2. 在既有的四個標章（包含綠建築標章EEWH、綠建材標章GBM、健康建築WELL以及智慧建築）的各指標基本架構上再去延伸防疫因子。
3. 先以通則為主，在根據不同的機能在做細部規定。
4. 應可考慮就ESG來探討。

**(三)、張理事長智元：**

1. 本研究整體文獻探討的豐富度足夠，議題面相廣度亦完整，可看出研究團隊戮力投入的初步研究成果豐碩，後續研究值得期待。
2. 從環衛與公衛角度看建築防疫議題時，建議可以先側重在重新檢視現階段所有與「通風換氣」相關法規之「有效性」與操作上類似CP值概念的「效益性」。後續根據現階段工程技術或不同使用型態建物的防疫需求，初步先擇要評估可新增、支援、精進或修改法規之處，聚焦探討修法的可能性。
3. 導入建築防疫措施之困難議題部分，開發商在技術(商品)導入上並不困難，而購屋民眾如未增加預期性的房屋總價時也很容易接受(但如考量後續維護成本時可能就不一定)，但現階段推展不易是因為開發商在規劃產品評估初始建置成本配置時，防疫措施通常不是優先選擇項。
4. 建築防疫措施在實務上也適合植入智慧建築標章，在標章內的健康舒適指標除了「視環境」較無關聯性外，其餘「空間環境」、「溫熱環境」、「空氣環境」、

「水環境」與「健康照護管理系統」皆有可著墨之處。但現階段竣工後在使用階段的「確效」讓民眾真正有感是一個值得關注的課題。

5. 綠建築、綠建材、智慧建築住宅性能評估制度與「國際防疫建築制度」在政策上應該是彼此不衝突的，且未來國內在防疫建築制度之效益上也應該是無庸置疑的，現階段民眾經歷此次新冠疫情的衝擊後，對於政府相關政策作為或民間相關產品的推動都相當具敏感性，因此政府如不盡快提早因應未來常態性社區防疫作為而提早佈局時，未來恐將面臨更多的民眾檢視與挑戰。

**(四)、鄭理事長仁雄：**

1. 健康跟防疫應該視為同一件事情還是不同層次，防疫可能比較被動，健康是可以主動的去創造。
2. 根據很多文獻指出，建築防疫最應該先做是通風換氣標準及要求，需要再更深入地去探討。
3. 此案困難的點在於科學上有效性的驗證，該如何在各種防疫的方法下獲得最有效的方法是困難的。
4. 防疫建築設計應考量病原微生物在科學上傳播途徑的思考來制定，但完整防疫不只有工程措施而已，還包含清潔消毒及行政管制等。要定義到何種程度的防疫要求，要再考量到何種範圍。
5. 以美國CDC發表立場，空氣清淨眾多技術只有UVG為全世界認可，其他新興技術仍有待驗證其安全性及成效，未來新興清淨技術都必須要經過確效及安全性的驗證。
6. 建築防疫要考量不同建築類型，不同運作型態，訂定標準後讓這些場所執行去做而且是做得到的。

**(五)、陳理事長秀玲：**

1. 這個主題範圍涵蓋太廣，是否能針對本次除家戶以外，群聚感染最為重要的場所(像是健身房)優先來進行探討。
2. COVID-19受通風影響甚鉅，新加坡正在研究於密集的辦公區加裝局部個人通風系統，另有了通風系統的干擾，病毒不會高濃度累積性(在空氣中會逐漸累積並懸浮於空氣中1小時)
3. 利用智慧化的方式來進行防疫措施是不錯的選擇，像是空調可用大家體溫的均值來進行調控，但此法可能沒那麼快，可加入於新的議題。

4. 應該要好好說明此案是針對舊的建築物還是新的建築物，因為不同的層面會有不同的訂定。
5. 未來逐步開放，某些人口密集處例如健身房、電影院等，如依據室內空氣品質管理法，僅能以CO<sub>2</sub>進行管制，但如果以疫情防護考量，則於設計之初就應該把換氣次數考慮進去，另局部通風循環扇等皆是輔助，此外室內空氣品質法管理對於短暫人多之處其實是排除的，如電梯。
6. 建材抗菌的部分可能性低且可能衍生VOC與甲醛問題，綠建材的部分為了符合標章，有時候反而不能抗菌，所以是否可以以減少或降低病毒的材質為導向去討論這個議題。
7. 在通風換氣中是否能導入殺菌的方法可能為重要的議題。
8. 設計裝設都沒有什麼太大問題，尤其是在公共建築，比較困難的部分為該如何「維持」，這部分該如何寫進措施或手冊需考量。
9. 未來是否於各個不同的場所檢討健康防疫建築通則，然後再依據不同的類別在做延伸，可以做矩陣圖可能比較好聚焦。

**(六)、洪助理教授明瑞：**

1. 此計畫從建築防疫的角度來看給予大大的肯定，因為有很多都文獻指出病毒是會藉由空氣來傳染的。
2. 對於未來的標章、法規規範告訴未來的建築師或是使用者需要防疫的觀念，是此計畫的可貴。
3. 免疫建築綜合技術這本書可以解決此計畫很多問題，此書說明了很多實務上的方法，除了從工程的方面角度，也有從經濟的角度，可以參考。
4. 防疫若很重要，除了在標章上去擬定，也可以內政部和環保署做跨部會協調，去訂定且推動，若沒有強制性，在真正業者或民眾實施上可能是困難的。
5. 此案面向真的太廣，建議一定要收斂，在短時間內要包括所有面向真的很難且可能有疏漏。
6. 若要凸顯防疫，在標章上的加分機制應納入思考，才能增加誘因使標章配合防疫推動。

**(七)、邵副教授文政：**

1. 現有的標章雖然有健康面向，也都有分數，但要談具備防疫性還是有差距的，所以

再次肯定此計畫的進行。

2. 不應被動的來防疫，應該因應疫情後來主動的建築防疫。
3. 此計畫不只是跨領域的難度高（包含該如何去驗證或監測），實際上的實施難度也很高，但這議題越晚做會越不理想，故給予肯定。
4. 可以收斂優先從較大危害的部分著手，像是較容易群聚之場所，例如健身房、住宅或老人安養中心等。探討因子可以以通則為主，適用於各類的場所及普遍性的策略優先來推動。

**(八)、陳副教授振誠：**

1. 透過美國CDC最主要透過工程以及WELL或HSR等等用軟硬體方式切入，一年內要做完不容易，感謝所內支持這個計畫。
2. 可根據江老師所說的三個構面來做分類及探討。
3. 此研究會以通則的方面來做後續的計畫研究，透過盤點可以找出是在標章或是法令上的缺失。
4. 相信這防疫議題不只有在這一年度才有，應為持續性的議題，未來在建築產業或其他產業如何輸出我們的技術力以及經濟力，故將ESG納入我們的文獻裡供應所內參考。

**(九)、郭教授憲文：**

1. 研究團隊整理國外相關文獻非常完整，也列舉建築環境中控制和減緩COVID-19傳播相關措施，值得參考。
2. 未來在規畫建築環境健康及防疫措施，應考慮四個階段：倡議、獎勵、輔導及推廣。多讓相關業者(Stakeholders) 了解此議題及其重要性。才能激發更多的能量去推廣建築環境健康的議題。
3. 若以環境衛生及公共衛生(建築)的角度來看建築防疫措施，可參考三個層次：不讓它進來不讓它停留把它趕出去(或殺死)來考量。每個層次都有一些方式來減少生物危害在室內環境中之傳播。
4. 設計可利用階層式控制室內危險等級，以減少人為之間的傳播，尤其是公共場所或特定場域，如醫院。使用各種控件方法的組合。發生源(機械設計控制方法)、傳播途徑(阻斷、清潔消毒、5S)、人體防護(PPE、行政手段分流分艙)。
5. 先參考各種標章或規範，逐步從綠建築→健康建築→幸福健築→到防疫健築，例如：

住宅從「音/光/熱/氣/水」分類，除常見的當層排氣，總存水彎、吸氣閥、醫療級空氣清淨系統、防潑濺兼具自潔功能之馬桶、淨水系統等設計，要考慮如何減少病毒殘存或生長。例如：(1) 衛浴設備的同層排氣設計，及(2) 室內空氣採用 VAF 設計。

6. 建築防疫措施可從Prevention (預防)、Ecology (生態)、Health (養生)、House (房宅) 四面向去評量防疫住宅，讓民眾自我健檢自住宅安全性與健康性，也能帶動建築、建材業及室內設計強化「房疫力」實際作法。多增加國內實證研究的成果，建立本土建築防疫措施的資訊，例如台灣夏天高溫與高濕更利於生物性病原體孳生與傳播，再加上台灣許多家戶多使用門窗通風，更容易將戶外空氣帶入室內場域，增加室內污染的嚴重性。

會議具體建議與結論如下：

1. 計畫面向廣泛且時間較短，防疫建築策略優先可以「通則」及「普遍性策略」為主要探討的方向，再考量不同的場所類別來做延伸，且可以聚焦在易群聚且高風險的場所。
2. 防疫措施眾多，可優先以通風換氣進行探討，並考量如何該從此措施導入空調殺菌的方法(像是UVGI等)方式，達成防疫效益。
3. 防疫架構可以分成三個構面來收斂及討論，綠建築標章重點在於軀殼體，為第一構面，健康建築標章是建築內的空間體(燈光、熱氣以及水)，為第二構面、而人體是醫學公衛方面，分類為第三構面。
4. 此計畫應為考量未來不同病毒的疫情來探討，不應只針對現有COVID-19疫情來做，以落實防疫健康綠建築。
5. 目前聯合國SDGs與ESG (Environmental, Social, Governance) 「環境、社會、企業管治」可以納入在本研究計畫當中做為討論。
6. 計畫應可明確界定是針對舊建築或是新建築來做研究方向，目前以綠建築、智慧建築、綠建材等標章作為優先研究。
7. 未來標章或法規將防疫概念納入後並制定完善防疫建築機制，後續如何推動讓業者或民眾可實際執行且有感也是需要考量方向。



## 第十節 第二次專家諮詢會議結論與建議

本研究藉由文獻分析彙整相關資料後，進一步以專家諮詢方法，於 110 年10月 05日召開第二次專家諮詢會議，針對研究提出討論。

- 一、會議名稱：內政部建築研究所110年度「創新循環綠建築環境科技計畫（一）協同研究計畫」遴用協同研究人員第1案第二次專家諮詢會議
- 二、110年10月5日(星期二) 下午 2點30分
- 三、開會地點：線上會議 Cisco Webex™平台軟體
- 四、主持人:鄭主任秘書元良、張協同主持人榮偉
- 五、出席人員：內政部建築研究所環境控制組(敬請派員指導)、內政部建築研究所環境控制組吳專案助理致穎、國立臺北科技大學建築系 陳副教授振誠、台灣室內環境品質管理協會 鄭理事長仁雄、台灣建築醫學學會 張理事長智元、社團法人台灣室內環境品質學會 陳理事 長秀玲、國立陽明交通大學環境及職業安全研究所 郭教授憲文、國立臺灣大學環境與職業健康科學研究所 陳副教授 佳堃
- 六、列席人員：國立臺北科技大學建築系 李研究助理宜澄、國立陽明交通大學環境與職業安全所 蕭研究助理惟澤

表3- 30第二次專家諮詢會議



表3- 31第二次專家諮詢會議內容

紀錄：(依發言順序排列)

**(一)、鄭理事長仁雄：**

1. 在建築和醫學的語言需要名詞統一，避免造成工程專家與醫學領域交流時有所隔閡。
2. 歐洲空氣品質指引喜歡使用自然開窗換氣的方式，但在台灣的環境不同，我們會遇到外氣污染物的問題，再者台灣相對溫度也較歐洲高，開窗的能耗可能不會有影響，還有現實的問題，台灣的建築較為壅擠也可能難以開窗，因此應該難以達到歐洲指引所述標準。
3. 簡報裡有提到在空調裝置建議濾材等級為MERV 16，應該為歐洲標準較為嚴格，美國是MERV 13，提供各位參考。
4. 問卷內容與研究目的(工程控制)有點遠，應該聚焦工程控制的手法、教育指引。
5. 建議參考協會之前標章制度的做法，訂出共同指引，再根據場域訂出特定指標。
6. 應從建築與公衛的角度來看這些指標供大家參考。

**(二)、張理事長智元：**

6. 簡報中PM<sub>2.5</sub>達到15ppm以上就要調查，事實上標準限制為35ppm，15ppm以上為需要了解排放源頭的部分，在實際經驗上相當容易超過15ppm。
7. 室內空氣品質標準界定需要排除I/O比，也就是受室外影響的部分。
8. 新風(調和引進新鮮空氣並降低污染物濃度)與排汗(針對特定污染源)問題需要分開來看，若有其他解決選項(例如：全熱交換)，需考慮新風系統之副作用問題(例如噪音)，是否為最適合。
9. 針對簡報所提永續性問題，未來若將系統成為建築物設計一部分，會不會有互斥性或增加負擔的問題？
10. 此研究所討論標準，應該超越目前的智慧建築或智慧標章，而非直接引用。
11. 防疫技術不斷更新，內容上以功能或效能方面為主即可，不把技術名稱或方向性訂的太死。
12. 空調管線維護方面也相當重要，可以多談一些。
13. 簡報中多防疫空間正負壓差問題，在不同的場域可能會因複雜度造成大量成本，因此現在一般性住宅、無特別要照顧者時，成本或許不容易被市場接受。
14. 實際應用上，自然通風仍然是理想的，機械通風並非不可，但會製造成本，應酌量使用。
15. 希望本研究到期末時或許可成為一個教育性的成果，並跟業界接軌。

16. 問卷方面，因為通風措施會造成耗能，可能與永續發展方面項目有互斥性。
17. 由於感測器精確度問題，CO<sub>2</sub>的標準值400ppm不容易達成。
18. 問卷項目中所提空間設備可能不如雙衛浴開窗。
19. 問卷有些選項需考慮頻率問題，並考慮風險的程度差別。

**(三)、陳理事長秀玲：**

1. 有關健康防疫建築採用WHO. CDC文件與內容，應考量國外的環境特性，例如空調依賴性、溫溼度與建築樣態，適度進行內容修正，並參採不同場域修正
2. 有關於通風設備的使用或加強，是否加入全熱交換或物理性功能如UV光殺菌加強防疫部分，此部分應與能源與舒適度一併考量
3. 目前由專家所提出的15項實務建議是基於何種考量，是否有文獻或研究成果支持
4. 本次健康防疫建築之文獻收集與內容規畫應明確提出適用對象，是建築擁有者、管理者、自主管理或是主管機關管理參考，應予以釐清。
5. 有關實場實作部分，為何僅以新風裝置進行評估，此應非計畫案主要著重部分
6. 有關問卷部分，施用對象、功能、問卷TITLE均缺乏。
7. 內容太過專業，很多例如社會、經濟背景的填寫人可能無法正確填寫。
8. 問卷用語不一如使用"會考慮"、"安裝"…應統一。
9. 重要性是一種認知，但不表示其會改變態度，另不認同的原因或認同原因會受經濟、空間、效益等影響，是否也需要考慮。

**(四)、郭教授憲文：**

1. 健康建築防疫的概念方面，多數建築師仍缺乏意識，如果能對本計畫適當整理提供資訊，能夠有很好的推廣效果。
2. 希望提供使用者、監督者、政府如何站在不同角度看待防疫建築的資訊。
3. 如果本研究要做為法令準則，似乎言之過早，但專責單位如環保署可能可以做為使用者管理者操作規範之參考。
4. 健康照護方面需要細分，並需要有分級管理的概念
5. 建議考慮在地性，台灣相對高濕高溫擁擠，指引是否適合使用要考慮在地文化
6. 需考慮不同場域產生危害之屬性，例如：生物性危害並非通風裝置就能處理，是否須加裝殺菌裝置？
7. 目前國內對健康建築為新興議題並且屬於跨領域的問題，似乎需要更多實證。

8. 歐盟來講所提出的通風率，是一般通則性的，但實際上應該不是固定的標準，應要考慮各場域整體環境設置。
9. 建議這份專家問卷根據不同場域分類，避免填寫困難，因其中項目就所有場域來說可能會有所差異而失準。
10. 問卷評估指標的最好要有量化標準要有可比較性，並且客觀。
11. 問卷中重要性方面，可以給予權重，讓指標之間可以有比較；永續性方面，專家學者想法差異可能比較大。

**(五)、陳副教授佳堃：**

1. 簡報多參考國外法規的部分，需考量台灣當地文化調整，例如能自然通風的地理緯度通常比較高。
2. 簡報所提風管後方加紫外光殺菌的設計，應考量紫外光殺菌所需時間，否則此設計會失去效用。
3. 此計畫結案方向建議偏向於教育面會相當實際，建議以此面向教育建築師、設計者的概念為主。
4. 專家問卷方面，不同空間場域在重要性項目的差別可能有差異，例如家中與醫院對各種措施取捨便相當不同，建議需要分門別類。
5. 問卷中的環境永續項目，增加措施皆為耗能，因此可能與重要性項目會相悖。

**(六)、陳副教授振誠：**

1. 此次報告聚焦建築可用空間或設備設施。
2. 使用新風裝置針對公共空間較有好處和誘因，自然通風可能會受季節、汽機車排放影響而無法應用。
3. 認同今年度會以教育推廣為陳述，法令或技術可能可以在明後年延伸研究。
4. 回應應會簡化至以通則方式表達。

**(七)、張助理教授榮偉：**

1. 每項建議皆可做為延伸研究案，且需考量氣候經濟等條件。
2. 認同委員建議，並期待本案會朝向教育方式做成果分享。

**(八)、鄭主任秘書元良：**

1. 由於招標要求，將來可能要提出一導入措施，做共通性指標。
2. 問卷建議給予更多相關領域專家填寫。
3. 空氣品質研究儀器價格是否會過高。
4. LEED(領先能源與環境設計)的資料文獻是否有所蒐集。

會議具體建議與結論如下：

1. 建議本研究結案朝向教育方面做成果與資訊分享，主要面向現場工作者、建築設計者等。
2. 建議統一建築與醫療方面專業用語。
3. 國外(歐盟)指引的引用，需考慮國內外環境特性進行適度修改，例如：溫溼度、汽機車排放、建築分布等。
4. 建議有關於通風設備的使用或加強、額外措施(例如：UV殺菌)、系統管線維護等應考量其副作用(例如：噪音)、耗能問題。
5. 建議計畫文獻收集與內容規畫應明確指出適用對象(例如：管理者、監督者、政府)以及適用場域(例如：一般性住宅、醫療場所)。
6. 專家問卷設計方面，建議明確指出施用對象、功能、目的。
7. 問卷中重要性項目，會因不同場域有所不同，建議標註並區分場域。
8. 問卷中永續性項目，各專家看法不一，並且可能會因措施之耗能而與重要性相悖。

## 第十一節 第三次專家訪談結論與建議

- 一、會議名稱：內政部建築研究所110年度「創新循環綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫」遴用協同研究人員第1案第三次專家諮詢會議
- 二、110年11月30日(星期二) 下午 2點30分
- 三、開會地點：因疫情限制，本次採實體及線上會議併行，會議當天提供實體及線上簽到  
會議地址：台北市北投區立農街二段155號 國立陽明交通大學醫學二館407會議室  
線上會議軟體: Cisco Webex™ 平台
- 四、主持人: 張助理教授榮偉
- 五、出席人員：內政部建築研究所環境控制組呂研究員文宏、內政部建築研究所環境控制組 吳專案助理致穎、國立臺北科技大學建築系 陳副教授振誠、台灣建築醫學學會 張理事長智元、社團法人台灣室內環境品質學會 陳理事長秀玲、國立陽明交通大學環境及職業安全研究所 郭教授憲文
- 六、列席人員：國立臺北科技大學建築系 李研究助理宜澄、國立陽明交通大學環境及職業安全研究所 蕭研究助理惟澤

表3- 32第三次專家諮詢會議



表3-33第三次專家諮詢會議內容

紀錄：(依發言順序排列)

(一)、呂研究員文弘：

1. 會前有先行跟主持人確認報告內建研所檢測甲醛與 VOC 數據部分，跟大家說明之所以如此關注是由於建研所當初在裝修時有要求廠商，並將大型材料送至所內性能實驗中心檢測、現場部分委託邵教授進行為期十二周的量測，現在經過了 15 年的時間，此次報告空氣數據都相當良好，因此相當慶幸執行單位工作環境算是良好。
2. 在目前依照問卷所提對象來說，對專業設計者的部分，也許在後續可以反過來向她們尋求諮詢我們所提出來的建議。
3. 面對現在後疫情時代，對既有建築該怎麼做，短期或許可以有個檢核表可以讓民眾了解自己家中是否適合隔離，或者需要去防疫旅館，長期方面再向專業人士請益。
4. 跟主持人與協同主持人表達謝意，本單位以內政部的智庫觀點出發，希望能了解到因應新冠肺炎可以有的作為，以建築的角度該如何應對。
5. 未來可以朝認證積分等方面探討。
6. 後續相關課題、資源投入未來應該會持續往下走，希望各位教授專家能持續給予鼓勵建議。

(二)、張理事長智元：

1. 此計畫產出有目共睹，並且深度及廣度十分難做，因此給予高度肯定。
2. 近期新型病毒 Omicron 特性是否在防疫策略上有所差異，宜再增加相關文獻的補充說明。
3. 新風是大家公認多數時候有效的方式，但其實要留意它的副作用，例如它會改變正負壓、污染物流動方向、進排氣口位置選擇、噪音震動等，或許配套措施才是重點。
4. 如果未來要像國外常態性的與病毒共存，在公共與私人場域的處理邏輯應該是不一樣的，例如由於台灣是一個人口密集的地區，室內污染往外排放或許只是將其轉移至公共場域，因此應該做雙向的確效，也就是說要做綜合性的模擬而非關注單一因子。
5. ACH 在醫院建築建議需要 12 次是否有點難度，請再確認。

6. 實務上的考量，建議後面所列之原則分為標配與選配，讓民眾可以適度參採，而非成為願景。
7. 如內政部長官所說，應該有初篩、中篩、細篩的邏輯，也就是不要一次到位而是階段性的，研究成果如能作成類似快篩表的形式，或許對於健康促進或防疫功能促進的管制執行可有實質的助益。
8. 健康促進、防疫促進、防疫功能是不同的，要小心操作。

**(三)、陳理事長秀玲：**

1. 文獻現更新的重點將使得病毒的傳播與防疫重點更為明確。
2. 將未來健康建築之要求分為通則與原則性要求，其要求重點明確。
3. 將建築分目標性需求，另如對於排風口位置、通風量、衛浴、隔離區、過濾(空氣清淨機等級)等皆有其重點規範。
4. 建議針對防疫問卷之對象、份數皆表示清楚，另有關管理者與使用者之識能差異，何者較優，如何增進不同對象之識能可提出建議方案。
5. 建議針對疫情時新風量是否能完全符合一級、二級或三級之需求，建議可針對於不同場域，例如特殊場所如醫院、防疫旅館應該能完全符合 1-3 級之需求，但公共場所如健身房、圖書館須滿足二級需求、家戶至少滿足一級等，分場域進行通風量之建議。
6. 對於新風應用的場域實作，目前看起來於陽明交大與健身房皆明顯 CO<sub>2</sub> 偏高，這表示新風未能完全解決通風問題，因此對於 user 必須要有適當的操作 SOP，除了硬體的協作，應有軟性的教育介入。
7. 未來如果將防疫的需求納入綠建築標章，將會有很長的要走，因此於第一階段是否能先有自主管理標章或獎勵制度，鼓勵民眾選擇建築物進入運動、生活與休閒。

**(四)、郭教授憲文：**

1. 生物性危害與化學性危害不同，此次計畫仍以測量化學性物質為主，未來建研所是不是考量不同的危害是否能做不同的設施、設計應對。
2. 本計畫可以看一下我們還缺甚麼資料，像是能否以後能建立一些在地的資料讓建研所作參考。
3. 循序漸進要如何讓民眾、相關人員了解，可以多提一些指引、標章等。



4. 污染防治以三個角度來看，(1)建材選擇:現在開始重視環保、安全衛生方面，也逐漸有法規要求(2)通風換氣設計:過去主要考慮能源、溫溼度，現在還要考慮生物性危害(3)管理面:這次張教授有提出比較先驅的研究，未來可能還需要更多資訊來施作。
5. 這是一門跨領域問題，希望有個好的平台來討論，並且需要更多的教育宣導，希望建研所提供更多資訊給管理者、使用者。
6. 張教授所提到新風裝置，希望之後有針對更多不同場域實驗、因素評估，也希望未來建研所提供更多資源讓大家參與。
7. 關於我們政府部門可以在防疫建築議題採取的策略步驟(1)倡議(2)建立平台(3)增加識能(4)制定相關法規。
8. 此研究具有持續性，希望政府單位能重視，民間多多參與。

**(五)、張助理教授榮偉：**

1. 由於時間、預算限制，也希望未來研究做更多有效性的問卷調查，包含更多領域、受訪者、項目等等。
2. 實驗場域部分，今年礙於防疫規定，像是原本計畫有幼稚園也無法勘採，若計畫有延續，做更多場域調查。
3. 如張理事長所述，新風系統有其副作用，後續有更多可深究的問題、實場驗證或評估。
4. 呂研究員所提循序漸進，計畫所提的文獻都有提到類似作法，可以再加上專家問卷的結果設計一個檢核表，在現在後疫情時代進一步把它變成一個篩選指標、標章，像是目前 WELL 有在做相關認證，這些皆有跡可循。

**(六)、陳副教授振誠：**

1. 本計畫已進行到最後，由於議題牽涉(法規、標章)廣泛，一年時程似乎仍有不足，因此本案藉由聚焦的方式進行收斂。實際上主要具體的成果是把各國防疫建築區塊鎖定指引標章做一個彙整，相信對建築業相當有參考價值，未來可在法令法規部分質化量化有更多依據。
2. 我們發覺除了 CDC 明確指示外，像美國以 re-entry 方式擬定一個返工計畫很好嫁接到我們未來建築設計規劃時，考量後續實際使用階段，也發現到

LEED 也有在 O+M 有獨立評估系統，我們未來在綠建築區塊或許也能用類似模式。

3. 回到主體方面目前防疫建築主要還是以通風、排污水方式處理，未來還有許多的點可以調查。

會議具體建議與結論如下：

1. 建議針對防疫問卷之對象、份數皆表示清楚，並可反過來對專業人士諮詢其項目。
2. 建議將未來健康建築之要求分為通則與原則性要求，令民眾、業者能夠易於接受實行。
3. 需考量新風機之副作用，因此未來可針對各場域做全面性”確效”探討。
4. 面對現在後疫情時代，短期可以有個檢核表可以讓民眾了解、自主管理標章或獎勵制度給予業者，長期則循序漸進往標章認證方向努力。
5. 此研究仍有持續性，未來有機會做更多場域、因素面向等進行實測與探討。



## 第四章 結論與建議

### 第一節 結論

隨著COVID-19大流行的發展，世界國家紛紛採取了各種臨時性防疫措施，然而，並非所有潛在解決方案都適用我國目前建築現況或氣候條件，需進行整體考量，本研究初步彙整與「建築防疫措施」相關文獻後，將防疫架構初分成三個構面，分別為軀殼體(綠建築標章、智慧建築標章、綠建材標章等)、空間體(室內環境品質、溫熱、光、水、材料、家具等)及人體(醫學公衛)並對應不同「防疫因子」等進行指標研擬，並進一步與「綠建築標章」、「綠建材標章」等進行交叉比對分析，以作為「建築防疫項目」之對應分析。本研究參考各國作法及專家建議後依不同場所給予不同防疫措施及共通做法。

#### 一、醫療場所

1. 制定WHO或ASHRAE最低要求通風量: 醫療: 12 ACH (醫療過程產生氣膠)或6 ACH (其餘時間)
2. 控制及確定氣流方向(從潔淨區向較不潔淨區)，在靠近病房的地方產生自然負壓。
3. 如果無法採用其他通風策略，使用帶有 HEPA 過濾器的攜帶型室內空氣清淨機，並確保在安裝 HEPA 濾網時其熱回收部分未檢測到嚴重洩漏 (>3%)。
4. 若使用中央再循環，則必須盡可能增加外氣的分率 (OA>40%)，並建議另外採取過濾回送空氣的措施。如 HEPA 濾網。
5. 在僅有小型室內送風機或分離式空調，搭配安裝二氧化碳監測器作為外氣通風的指示器，並定期監測室內空氣品質指標:
  - I. CO<sub>2</sub>濃度(ppm)  
良好: 350-750、提高警戒(接受上限): 750-1,000、需調查原因及改善:>1,000
  - II. 相對濕度(%)  
良好: 40-60、提高警戒(接受上限): 60-70、需調查原因及改善:>70。
  - III. 室內PM<sub>2.5</sub>濃度(μg/m<sup>3</sup>)  
良好: 0-12、提高警戒(接受上限): 12-15、需調查原因及改善:>15。

6. 電梯內部根據電梯容載量標示安全距離，樓梯上下樓或進出口只能有單方向，維持社交距離及出入實聯制，減少病毒接觸。
7. 於公共空間中接觸頻率高的地方(如門鎖、沖水閥和水龍頭)，可考慮使用銅材增加抑菌性，多利用物聯網技術 (RFIDs/keyfob 感應扣)、智慧門鎖設計或其他非接觸式技術 (聲控及臉部或瞳孔辨識或其他)，減少接觸機會。
8. 考慮在機械通風路徑或上層應用中安裝紫外線殺菌輻射(UVGI)，以經由對流空氣運動間接處理空氣。

## 二、集合住宅

1. 制定WHO最低要求通風量:最小建議通風率10 L/s/person (EN 16798-1)
2. 隔離區域內的回風或送風格柵需要密封，避免強制通風系統會混合一般住戶和隔離區間的空氣。
3. 在隔離空間中使用攜帶式房間供暖器或獨立房間空調
4. 藉由增加一般或廁所排氣氣流產生負壓(相對於走廊/房間外)。仔細進行房內清潔和消毒。
5. 如果無法採用其他通風策略，則使用帶有MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 過濾器的獨立空氣清淨機。
6. 在僅有小型室內送風機或分離式空調，搭配安裝二氧化碳監測器作為外氣通風的指示器，並定期監測室內空氣品質指標:
  - I. CO<sub>2</sub>濃度(ppm)  
良好: 350-750、提高警戒 (接受上限) : 750-1,000、需調查原因及改善:>1,000
  - II. 相對濕度(%)  
良好: 40-60、提高警戒 (接受上限) :60-70、需調查原因及改善:>70。
  - III. 室內PM<sub>2.5</sub>濃度(μg/m<sup>3</sup>)  
良好: 0-12、提高警戒 (接受上限) :12-15、需調查原因及改善:>15。
7. 電梯內部根據電梯容載量標示安全距離，樓梯上下樓或進出口只能有單方向，維持社交距離及出入實聯制，減少病毒接觸。
8. 於公共空間中接觸頻率高的地方(如門鎖、沖水閥和水龍頭)，可考慮使用銅材增加抑菌性，多利用物聯網技術 (RFIDs/keyfob 感應扣)、智慧門鎖設計或其他非接

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

觸式技術（聲控及臉部或瞳孔辨識或其他），減少接觸機會。

9. 若無法符合上述條件而須居家檢疫或隔離者，建議入住符合規定防疫旅館或集中檢疫所。

### 三、公共場所

1. 安裝壁式或窗式抽氣機或自然通風球
2. 制定WHO最低要求通風量:最小建議通風率10 L/s/person (EN 16798-1)
3. 如果無法採用其他通風策略，則使用帶有MERV 14 / ISO ePM1 70-80% 過濾器的獨立空氣清淨機。
4. 藉由增加一般或廁所排氣氣流產生負壓(相對於走廊/房間外)。仔細進行室內活動區域清潔和消毒。
5. 在僅有小型室內送風機或分離式空調，搭配安裝二氧化碳監測器作為外氣通風的指示器，並定期監測室內空氣品質指標:
  - I. CO<sub>2</sub>濃度(ppm)  
良好: 350-750、提高警戒（接受上限）: 750-1,000、需調查原因及改善:>1,000
  - II. 相對濕度(%)  
良好: 40-60、提高警戒（接受上限）:60-70、需調查原因及改善:>70。
  - III. 室內PM<sub>2.5</sub>濃度(μg/m<sup>3</sup>)  
良好: 0-12、提高警戒（接受上限）:12-15、需調查原因及改善:>15。
6. 電梯內部根據電梯容載量標示安全距離，樓梯上下樓或進出口只能有單方向，維持社交距離及出入實聯制，減少病毒接觸。
7. 於公共空間中接觸頻率高的地方(如門鎖、沖水閥和水龍頭)，可考慮使用銅材增加抑菌性，多利用物聯網技術（RFIDs/keyfob 感應扣）、智慧門鎖設計或其他非接觸式技術（聲控及臉部或瞳孔辨識或其他），減少接觸機會。
8. 考慮在機械通風路徑或上層應用中安裝紫外線殺菌輻射(UVGI)，以經由對流空氣運動間接處理空氣。

### 四、通則

1. 可安裝提供排氣通風的窗戶裝置，並評估開口位置和開口表面並且考慮潛在的新開口（添加修改窗戶或門的尺寸）。

2. 確保建築物前後(貫流)通風而非單側通風。保持門打開促進空氣流動。
3. 運用熱浮力原理，進行垂直方向之換氣與導風風管工程，如啟用/改善煙囪效應或其他自然通風策略。
4. 疫情期間不使用中央再(內)循環，以免排氣(回送)風管中的病毒物質可能會重新進入建築物中，應利用建築管理系統或以手動方式關閉風門。
5. 選擇適合大小的空氣清淨機，單位氣流量(在可接受的噪音等級)必須至少為 2 ACH，並且要到 5 ACH 才有顯著的清淨效果(將房間容積乘以 2 或 5，可算出通過空氣清淨機的氣流率)。
6. 為HVAC 系統裝設雙盤管機組「循環迴路」或另一熱回收裝置，保證回風側和供應側的空氣 100% 完全分離。
7. 將浴廁間所有橫支管，都配置在該層樓板上床板下之空間內(即同層排水)。
8. 浴廁排氣與進氣系統做完整規劃；排風機之排氣風口位置設置在通風佳之非天井區外牆上。
9. 存水彎要定期加水(每3周根據天氣情況)，以免地板和其他衛生設備的水封變乾。在馬桶沖水時蓋上馬桶蓋。

## 第二節建議

本研究整理各國標章或標準，及為疫情衝擊而提出與「建築防疫措施」相關文獻後，並彙整專家面談及座談會建議包括：

1. 本研究已擬定綠建築指標防疫編EEWH-AE (Anti-Epidemic)條文，針對新建公共空間或集合住宅可行性措施，除新風量需後續進行不同場所實場驗證，其餘設施皆具可行性，然實施時機為中央流行疫情指揮中心宣布疫情警戒標準為2級以上時，以減少平時防疫措施擱置或新風量提高時造成的能耗。
2. 防疫建築策略優先可以「通則」為主要探討的方向，再考量不同的場所類別來做延伸，且可以聚焦在易群聚且高風險的場所。
3. 防疫措施眾多，可優先以新風換氣進行探討，惟目前國內相關法規並未制訂新風量標準，後續建議針對不同場所疫情期間新風量實施之可行性，包括其副作用及相關配套措施，如：它會改變正負壓及污染物流動方向、進排氣口位置選擇、噪音震動等進行深入研究，並搭配智能概念，已達節能及降低空調能耗之需求。
4. 針對疫情來時不同場域新風量定部不同分級標準，例如特殊場所如醫院、防疫旅館應該能完全符合1-3級之需求，但公共場所如健身房、圖書館須滿足二級需求、家戶至少滿足一級等，分場域進行通風量之建議。
5. 後疫情時代，對既有建築該怎麼做，短期或許可以設計檢核表可以讓民眾或管理者了解自己家中是否適合隔離，或者需要去防疫旅館，長期方面再向專業人士請益健康促進或防疫功能促進的管制執行可有實質的助益。
6. 應考量未來不同病毒(如變種病毒Omicron)的傳播機制及對應防疫措來滾動式探討，不應只針對現有COVID-19疫情來做，以落實防疫健康綠建築。
7. 後續建議進行具代表性建築防疫問卷調查，包括管理者與使用者之防疫識能差異、如何增進不同對象之識能。及藉由專業設計者尋求相關防疫諮詢。







## 附錄一期初審查意見與回應

附錄一期初審查意見與回應

| 委員 | 委員評選意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 廠商回應                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建築環境「健康及防疫措施」所著重的風險來源，可能包括空氣、水及其他污染物，本研究是否僅著重空氣項目進行探討？另請補充說明擬研究分析的健康防疫項目，如空氣品質的影響因子，甲醛、VOC、病毒細菌及其來源。</li> <li>2. 研究流程提及健康防疫措施項目及監測指標，請補充說明監測與實場測試評估的案例數及操作方式。</li> </ol>                                                                                                                                                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 除通風外，本研究將針對室內空氣品質相關指標(如 PM<sub>2.5</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 等)與疫情相關文獻進行蒐集。</li> <li>2. 本研究參考國際重要防疫標準與基準，擬以具高效過濾之新風換氣機，搭配污染感測器作為連動控制系統進行實場驗證，初步規劃將優先以公共建築和其他公共空間（例如：辦公室、學校、幼兒園、圖書館或大眾運輸..等）導入高效過濾之新風換氣系統，針對啟用前後與疫情相關空氣品質指標變化情形進行比較評估，預計至少納入3案場作為實場測試。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 料建議書 P44 頁，本研究初期效益方面所提建議草案概要內容如何？請說明。</li> <li>2. 建議書 P33 頁，人力方面，引入公衛人才進入建築研究予以肯定，建築室內空間除通風方面，尤其重要的是 PM<sub>2.5</sub>對健康建築影響之設計最為重要，建議亦納入探討。</li> <li>3. 研究產出需落實反應建築實務最為重要，希望研究可反應在成果內。</li> <li>4. 研究目標上需考量防疫已成為未來建築設計應用之基本條件，本案符合未來建築之發展趨勢。</li> <li>5. 本案建議納入分析國內各部會機關(如環保署、衛福部、標檢局及內政部建築技術規則)之相關規定作為本研究之基礎資。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 《建築技術規則》對「衛生設備設計」已有相關規定，但對於空調系統、空氣品質、衛浴設備、排水/排氣管路等應可提升防疫性能，並與綠建築標章、綠建材標章等進行同步分析。本研究將彙整國內外 COVID-19 防疫經驗並進行專家訪談，邀請產、官、學研專家提供意見，討論增修建築防疫措施之可能方向，並探討可能增加之建築成本。</li> <li>2. 除通風外，本研究將蒐集室內空氣品質相關指標(如 PM<sub>2.5</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 等)與疫情相關文獻。</li> <li>3. 目前防疫建築，許多國家已將同層排氣、同層排水、空氣清淨與新風系統、淨水系統、防疫綠建材、防霾抗 PM<sub>2.5</sub>開口設計等納入考量，本研究將以空氣、水及人員之傳播方式，探討影響實質建築空間設計之項目。</li> <li>4. 受到疫情影響，民眾對健康與防疫建築需求增高，各國防疫建築之規劃設計手法眾多，本研究將收集此部分文獻資料進行趨勢分析。</li> <li>5. 本研究優先蒐集比較國內既有法令及標準規定，以作為後續草案擬定參考。</li> </ol> |
| 3  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案除有關綠建築，綠建材……等</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究將蒐集民間防疫建築工法，例</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|          |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <p>健康建築之研究補強，為提升建築防疫功能以阻止病毒在各種污、排水集管線內之傳播，建議應對於建築物設計興建時，將各排、污水之設計處理或是設計同層排水工法等納入考量，以避免上層住戶之含病毒污染空氣經由排水管，直接擴散到其他樓層。</p> <p>2. 另外對於室內空氣品質影響因子，也要研究提出處理方式，減少病毒傳播，提升防疫功能。尤其風管等之處理，亦應考量減少病毒之傳播。</p>                                       | <p>如：同層排氣、同層排水、空氣清淨系統、UVGI、淨水系統、防疫綠建材、新風系統、防霾抗 PM<sub>2.5</sub> 開口設計等。</p> <p>2. 本研究將蒐集風管塗料與防疫成效之相關案例實績或研究文獻。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>4</p> | <p>1. 一開始就否定以往的都市計畫，對都市計畫認識似乎不足，因此對研究課題的認知似有偏頗之慮。故題目與研究重點應在不否定以往都市計畫史的發展下，予以明確界定。</p> <p>2. 國內陽臺，如加窗常被認為違章，此問題涉及陽臺是否與防疫有關的認識，建議納入探討。</p> <p>3. 過去建築設計與都市計畫亦有考量健康安全，即使 WELL 也不否定以往的都市計畫，所以建議研究人員應從多方面觀點探討 COVID-19 疫情與目前建築兩者間的關係。</p> | <p>1. 本研究將收集彙整後疫情時代各國於建築空間之防疫對策措施，若有防疫於都市計畫之對策資料，亦同步納入參考與分析，後續研究亦將從目前建築設計及公衛防疫如何調和詳加分析提出相關研究建議。</p> <p>2. 新冠肺炎改變了人類的生活，也翻轉了建築的形式。為了避免感染，後疫情時代的建築，重視陽台與屋頂平台等戶外空間，並設法減少人們對密閉空間如電梯的依賴，本研究將蒐整陽台是否與防疫成效有關的文獻，希望能在不抵觸現有法律規定前提下，提出相關建議。</p> <p>3. 1984 年世界衛生組織報告指出，全球高達 30% 的建築物可能與病態大樓症候群（SBS, Sick Building Syndrome）有關連。大部分病態大樓症候群是與不良室內空氣品質 (IAQ) 有關，2014 年 WELL 認證制度考量建築更多健康因子，亦進行相關學術研究分析，本研究將綜整國際最新健康建築項目，並與我國綠建築標章、綠建材標章、智慧建築標章進行差異分析。</p> |
| <p>5</p> | <p>1. 健康建築環境、綠建築、綠建材、EEWH 可否防疫？請說明。</p> <p>2. 建築設計一般需考慮清潔、通風、排風、進風、過濾、公衛、日照、通風、採光、換氣、濾網等因子，建議本研究納入相關防疫的分析。</p>                                                                                                                       | <p>1. 本研究將檢視目前健康建築環境、綠建築、綠建材相關指標內容，是否足夠因應防疫需求及需調整方向，在綠建築標章、綠建材標章、智慧建築標章、住宅性能評估制度等基礎下，與國際防疫措施及健康建築制度調合，</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

|   |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>3. 建議將臺灣各地(如臺北市、新北、桃園、臺南、臺中、高雄)建築物密度一併納入與防疫的相關性分析，如樓地板/1公頃或樓地板/1m<sup>2</sup>等。</p> <p>4. 因應防疫需求是否造成建築成本增加？如施工成本、設計規劃監造之成本，請說明。</p>                      | <p>期能創造附加經濟價值，接軌國際，並落實人本健康與環境永續之精神。</p> <p>2. 本研究將嘗試蒐集對疫情之影響因子，並將國內既有建築物密度資料及其可能對疫情影響之相關文獻納入範圍。此外，本研究並將蒐集防疫建築相關建築成本及對健康質量的壽命度量標準(QALY)，進行兩者成本與效益比較分析。</p>                                                                      |
| 6 | <p>1. 我國建築環境屬亞熱帶氣候，與寒濕帶氣候區國家不同，請問不同氣候區的健康及防疫措施差異為何？</p> <p>2. 我國綠建築評估系統(EEWH)已有室內環境指標，因應 COVID-19，請問是否有改進之處？</p>                                            | <p>1. 臺灣位處亞熱帶氣候區，與寒溫帶國家明顯不同，相關亞熱帶與熱帶區域在健康及防疫措施研究上，係考量自然通風、日光照射、溫熱環境與濕度控制、污水處理及空調氣密與正負壓差等方式來防疫，與寒溫帶國家不同，本研究將彙整相關資料進行差異分析。</p> <p>2. 本研究將檢視目前綠建築系統(EEWH)之室內環境指標與空調節能指標等，評估是否需因應防疫需求予以強化，及如何與國際防疫措施及健康建築制度調合，以落實健康防疫與節能減碳之成效。</p> |
| 7 | <p>CNS15138-1...將塑膠樣品經破碎至直徑約2mm以下後，以『溶劑萃取』並分析其『可塑劑(塑化劑)』含量。然而，現今國際最新健康建材檢測方法與標準，已轉換至『逸散量』或『逸散速率』作為『評估標準』...」，為何服務建議書第18、19頁表6之附錄5與附錄7仍有使用「溶劑萃取法」，請補充說明。</p> | <p>標章依CNS15138方法，以建材破碎後萃取溶出其塑化劑含量；而第18、19頁表6之說明為今年度將參考ISO16000-33分析方法，由吸附管捕集建材逸散至空氣中之塑化劑後，依該檢測方法採用溶劑萃取並分析其濃度。</p>                                                                                                              |
| 8 | <p>建材添加塑化劑之議題，國內外相關標章有部分已將塑化劑納入管理，惟塑化劑為半揮發性有機化合物之一，暴露途徑以食入為主，試驗方法亦需考慮此點，請補充說明本計畫將採何種試驗方法。</p>                                                               | <p>塑化劑自建材表面逸散至空氣中容易與灰塵(PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>)結合，並經由手、鼻、口攝入(食入)至體內，在分析上參考ISO16000-33將表面刮塗分析方法與灰塵分析法建置，可分析其食入之暴露途徑。</p>                                                                                               |
| 9 | <p>不同氣候條件對試驗之影響為何，請補充說明。</p>                                                                                                                                | <p>我國綠建材標章之健康綠建材檢測溫度為 25°C，本研究除參考適用外，可增加夏季高溫氣候(30°C以上)檢測其升溫差異。</p>                                                                                                                                                             |

## 附錄二期中審查意見與回應

附錄二期中審查意見與回應

| 委員/問題 | 委員評選意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 廠商回應                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究除提出相當豐碩之國內外「健康建築」相關制度文獻資料，亦有對應到「健康防疫措施」之相關項目及內容，具有實務應用之參考價值。</li> <li>2. 報告書第三章有提出於建築規劃設計及設備計畫階段能導入「健康及防疫措施」之可能性分析(即防疫因子)，可對應於「建築技術規則」設計施工編及設備編上「防疫措施與設備」等相關需求。另結論部份亦有作「建築防疫因子與綠建築標章」關聯項目之分析與建議，並於報告內有提出初步成果，後續可以再慢慢延伸為擴張版。</li> <li>3. 本研究期中成果已符合預期成果。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定，後續仍建議持續推廣及輔導業者或民眾讓綠建築標章-防疫版可實際執行。</li> <li>2. 本研究彙整相關成果發現後提出建議並考量「建築技術規則」設計施工編及設備編上現行規定及對應之原始標章與法令後，提出綠建築指標防疫編 EEWB-AE (Anti-Epidemic)增修訂條文草案</li> <li>3. 感謝委員肯定，後續仍建議持續推廣及輔導業者或民眾讓綠建築標章-防疫版可實際執行。</li> </ol>                                                                  |
| 2     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究議題具高度研究與實務貢獻之價值，期中成果符合預期需求。</li> <li>2. 本研究係採專家問卷模糊德爾菲法建立評估因子系統，而防疫建築策略則以通則(典型)及普遍性策略為探討方向，惟建議再考量不同的用途場所(非典型)類別，並延伸易群聚且高風險(全空調)的場所。另從建築載體、室內環境、醫學公衛等三方面去廣泛性探討，透過通風換氣、導入空調殺菌(像是 UVGI)等方式，達成防疫效益，並可嘗試納入綠建築標章與健康建築產業之發展；惟因居家防疫與隔離居住機能需求與不同，相關評估因子會</li> </ol>         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 本研究初步彙整與「建築防疫措施」相關文獻後，將防疫架構初分成三個構面，分別為軀殼體(綠建築標章、智慧建築標章、綠建材標章等)、空間體(室內環境品質、溫熱、光、水、材料、家具等)及人體(醫學公衛)並對應不同「防疫因子」等進行指標研擬，並進一步與「綠建築標章」、「綠建材標章」等進行交叉比對分析，以作為「建築防疫項目」之對應分析。</li> <li>3. 目前本研究亦有提出居家隔離防疫需求，然因國內舊建築居多，此部分提升防疫等級有限，故仍建議無法符合上述條件而須居家檢疫或隔離者，建議入住符合規</li> </ol> |



|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>有所差異(暫時性或永久性空間區劃探討)，建議在居家空間隔離區劃之討論應再評估。</p> <p>3. 報告中有討論永續發展目標(SDGs)與環境社會治理(ESG)，其中關於區域公衛之公平性及近零碳與碳捕捉機制之企業機制(CSR 責任)如何對應？請審酌考量。</p> <p>4. 本研究期中報告階段，目前已收集豐富之國內外相關文獻來說明，來說明臺灣大量既有建築情況如何調和，而新建築之設計規劃如何導入設計，目前以綠建築、智慧建築、綠建材等標章內容探討防疫概念，並制定完善防疫建築設施與機制，惟後續如何推動設施與成熟商業化單元設備(通風循環淨化)整合，提供大建築產業相關從業人員之依循，請考量。</p> | <p>定防疫旅館或集中檢疫所。</p> <p>4. 已增加 3-11 章節討論後疫情時代的防疫與 ESG(環境(Environmental)、社會責任(Social)和企業管治(Governance)相關防疫作法，未來可循序漸進進行。</p> <p>5. 本計畫參考 WHO 及 ASHRAE 建議後提出相關不同場所新風量要求，並提出實場驗證數據，惟目前國內相關法規並未制訂新風量標準，後續建議針對不同場所疫情期間新風量實施之可行性進行深入研究，並搭配智能概念，已達節能及降低空調能耗之需求。</p> |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| 委員/問題 | 委員評選意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 廠商回應                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 臺灣位居於亞熱帶高溫高濕的氣候型態，在建築屋頂配有開口及開天窗使陽光照進來的方法，易引入大量輻射熱進入室內，造成熱負荷偏高、不舒適及空調耗能問題，似乎弊大於利，宜審慎評估是否適用採行(表 2-1)。</li> <li>2. 綠建築標章針對新建建築、舊建築及社區等不同類別，各使用不同的評估版本，未來宜正確選用，以利研究。</li> <li>3. 防疫建築策略分為「通則」及「普遍性」策略探討，就字義而言，兩辭相當雷同，不易區分，建議再酌。</li> </ol>                                                                                               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究目前提出之防疫措施建議實施時機為疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，此時若無有效新風或全熱交換機裝置下，仍建議增加室內開窗時間防止室內空氣不流通造成之病毒累積。</li> <li>2. 考量舊建築韌性不足，將設定其符合目前綠建築標章防疫版之通則，而將優先考量新建，舊建築可考量選用通則，而公共空間若無法有效實施防疫措施，建議採取 work from home，或分流管制，減少人群聚集。</li> <li>3. 考量不同場所實施防疫措施之強度有別，本研究後續將改為通則措施。</li> </ol>                                                                                        |
| 4     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 防疫是一時不是長時，時間太久會防疫疲勞。甚麼是「防疫建築」?需要做哪些措施?若要策略上從通則著手，究竟通則是甚麼?建請研究團隊能補充敘明。</li> <li>2. 是否需要各種不同用途建築物都達到「防疫建築」?或僅侷限於特定用途建築場域如專責負壓病房、防疫旅館、集中檢疫所等，請說明。</li> <li>3. 報告書 P.4 談及「但目前臺灣的建築物是否過分強調經濟/實用上的考量而人口密度過高影響防疫功能?」。惟地小人多係我國的環境使然，因扣除不能利用的山地及保護區，國土居住密度高為環境基本條件，非因經濟實用考量下所致，請審酌調整相關說明內容。</li> <li>4. 目前許多防疫措施看來和節能減碳的趨勢不見得是一致的，</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究目前提出之防疫措施建議實施時機為疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，仍須在原崗位工作或從事室內休閒活動時，此時防疫建築或措施的介入可提供民眾更多保護，減少染疫。本研究已針對不同場所提出相關建議防疫措施，亦增列通則涵蓋的內容。</li> <li>2. 感謝委員意見，本計畫彙整相關結果後已針對不同建築場所，提出對應防疫措施。</li> <li>3. 考量國外相關防疫措施及復工後各場域防疫要求及疫情控制得宜下防疫措施效率問題，本計畫目前擬定之防疫措施建議實施時機為中央流行疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，仍須在原崗位工作或從事室內休閒活動時，因對應之指引或作為。</li> <li>4. 本研究目前提出之防疫措施建議實施時機為疫情指揮中心宣布防</li> </ol> |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <p>例如全外氣的空調，與節能減碳的手法就不一致，因過大的外氣量會消耗更多能源。或為防疫於交通手段上降低大眾運輸人流，但此舉將讓大眾運輸萎縮使其無法達到經濟規模，喪失的大眾運輸的基本精神，似乎亦不是我們所樂見。</p> <p>5. 報告中多次談到 SARS 時期香港淘大花園大樓污水與雜排水共管的污染案例，以臺灣目前應該不會有雜排水共管這樣的做法，頂多是通氣管要注意；另採總存水彎確實是一個好方法，可減少水封失敗。現行國內建築浴廁的通氣都改用當層排氣，也可以大幅減低交互污染。</p> <p>6. 報告書 P.21 表 2-1 的措施有些可能需再考量，例如於屋頂開窗是節能上要避免的，電梯內部維持 2m 的間距或樓梯改單向等，實務上不易執行，建議再考慮。</p> <p>7. 報告書 P.79 提到建築技術規則其中對於「機械通風」之「外氣引入量」尚未清楚定義。」請說明是指哪項？</p> <p>8. 報告書 P.86 有關綠建材部分，建議可考慮將抑菌材料列於健康綠建材或高性能綠建材之可行性。</p> | <p>疫等級 2 級以上，仍須在原崗位工作或從事室內休閒活動時，此時防疫建築或措施的介入可提供民眾更多保護，減少染疫，雖可能導致能耗，但仍能維持百業百工原工作之產能，減少國家更巨大的經濟損失。</p> <p>5. 感謝委員意見，本計畫已提出相關對應措施。</p> <p>6. 本研究目前提出之防疫措施建議實施時機為疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，此時若無有效新風或全熱交換裝置下，仍建議增加室內開窗時間防止室內空氣不流通造成之病毒累積，及增加社交距離等相關措施。</p> <p>7. 感謝委員意見，針對「機械通風」之「外氣引入量」，本計畫已提出相關對應規章及擬增修條文。</p> <p>8. 本案有整理不同材料對 COVID-19 活性之抑制效果，然一般場所銅材或奈米材實施之成本考量，故需要進一步計畫評估。</p> |
| <p>5</p> | <p>1. 由於全球在疫情衝擊下，以公衛防疫的觀點來檢視國內建築相關領域，及現有標章的各項評定指標，其中對於有關排氣、通風、空調、污水、通氣系統及同層排水等維生系統的實質設施探討，不失為可行的策略。</p> <p>2. 目前疫情將於何時結束尚無從</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>1. 感謝委員意見，本計畫已提出相關對應措施，包括排氣、通風、空調、污水、通氣系統及同層排水等措施。</p> <p>2. 感謝委員意見，本計畫彙整相關結果後已針對不同建築場所，提出對應防疫措施，供社會各界及行政部門參考因應。</p>                                                                                                                                                                                                                                                   |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>得知，但建築物居室空間依然是人們生活的保護傘，因此建議研究團隊對於既有建築物，尤其是空調型或群聚性高的建築物，檢討短期立即可行的改善策略，以供社會各界及行政部門參考因應。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 6 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究內容探討議題面向相當廣泛，建築空間設備性能與防疫措施之對應要求程度上之差異，如防疫隔離建築、防疫醫院與一般建築或集合住宅防疫要求層級相當不同，建請適度收斂議題面向，聚焦建築可操作規劃設計或建築行政管理相關之課題項目為宜。</li> <li>2. 建築規劃設計及建築管理大多針對硬體建設，而防疫措施多為行為管理及軟體概念之項目，建請釐清兩者之交集與關聯，才能提供具體可行之建築規劃設計策略建議。</li> <li>3. 健康建築在防疫的議題上，技術原理應該釐清病媒在建築中傳播之原理及途徑，以及理論上防止傳播病原媒介對策，應該不限 COVID-19 或 SARS 的事件，建請釐清考量為宜。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，考量國外相關防疫措施及復工後各場域防疫要求及疫情控制得宜下防疫措施效率問題，本計畫目前擬定之防疫措施建議實施時機為中央流行疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，仍須在原崗位工作或從事室內休閒活動時，因對應之指引或作為。</li> <li>2. 面對新冠病毒，各國推出之防疫作為多為建築管理(硬體建設)及，防疫措施(管理及軟體)並行，針對相關建築方面措施，本計畫亦擬定相關具體綠建築指標防疫編 EEWH-AE (Anti-Epidemic) 條文供相關單位參考。</li> <li>3. 不同疾病傳播途徑迥異，本計畫聚焦經空氣傳播之相關病媒，並提出相關對應之防疫措施。</li> </ol> |
| 7 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究之執行進度，除完成相關文獻資料彙整與分析，並已各召開 1 場專家訪談及專家座談會等，內容豐富完整進度符合預期。</li> <li>2. 報告書表3-2、圖3-5等，建議應載明資料來源係自行整理或自行彙整等附註說明。</li> <li>3. 建議期中報告後，應審慎評估於規劃設計階段導入相關防疫措施之可行性分析，並完成建</li> </ol>                                                                                                                                        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員，本案期末已順利完成計畫所規定之各項工作項目。</li> <li>2. 本研究將加註圖表出處或自行彙整文獻資料。</li> <li>3. 本研究已擬定綠建築指標防疫編 EEWH-AE (Anti-Epidemic) 條文，建議實施時機為中央流行疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，民眾仍須在原崗位工作或從事室內休閒活動時，因對應之指引或作為，各項措施技術上皆為可</li> </ol>                                                                                                         |

|    |                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 議草案。                                                                                                                                                                                                                                       | 行，惟不同建築之新風量設定需後續相關研究進行評估。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 8  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 防疫建築是僅適用於新建築或亦可適用於舊建築，應給予明確定義。</li> <li>2. 若訂通風為重要指標，建議針對室內空氣品質法規進行檢討修正。</li> <li>3. 空調管道中如何增加防疫力道，建議收集相關資訊與文獻整理。</li> <li>4. 室內增加對流可減少病毒於局部累積，故建議亦可將增加對流方案納入評估。</li> </ol>                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本計畫彙整相關結果後已針對不同建築場所，提出對應防疫措施，舊建築若韌性不夠可參採通則各防疫項目。</li> <li>2. 本研究已擬定綠建築指標防疫編 EEWB-AE (Anti-Epidemic) 條文，建議實施時機為中央流行疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，一般疫情下仍建議遵循現行室內空氣品質法規。</li> <li>3. 空調管道可增加 UVGI，本研究已整理相關內容於章節 3-7-2 紫外線的技術。</li> <li>4. 本研究已擬定綠建築指標防疫編 EEWB-AE (Anti-Epidemic) 條文已納入增加室內空氣對流建議值，惟不同建築之 ACH 設定需後續相關研究進行評估。</li> </ol> |
| 9  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書 P.54 及 P.55 提到台灣浴廁防疫改善對策，其中總存水彎及同層排水部分，本署已依據建研所去年的研究案建議內容，進行後續法制相關作業，目前正在徵詢各公會團體之意見。</li> <li>2. 有關浴廁排風機的規畫設置，以及報告書 P.79 所提技術規則設備編對於機械通風的外氣引入量尚未清楚定義部分，如本研究後續有具體建議內容，本署將納入後續修法參考。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究已擬定綠建築指標防疫編 EEWB-AE (Anti-Epidemic) 條文已納入總存水彎及同層排水等防疫措施，希望後續能順利納入防疫措施項目中。</li> <li>2. 感謝委員意見，針對「機械通風」之「外氣引入量」，本計畫已提出相關對應規章及擬增修條文，惟可行性部分仍續後續研究進行不同場域實場驗證及效益評估。</li> </ol>                                                                                                                                                     |
| 10 | 建議應明確界定本研究方向係針對舊建築或是新建築來做研究，另因應研究計畫名稱防疫之措施可行性研究，建議團隊擇一比較重要之用途別（如住宅或旅館）進行建築環境健康及防疫措施之可行性探討實例，並檢視現行法規如何修正配套，個人認為範圍                                                                                                                           | 本研究已擬定綠建築指標防疫編 EEWB-AE (Anti-Epidemic) 條文，針對新建公共空間或集合住宅可行性措施除新風量需後續實場驗證，其餘設施皆具可行性，然實施時機為政府宣布 2 級或 3 級警戒，以減少平時防疫措施擱置或新風量提高時造成的能耗。                                                                                                                                                                                                                                          |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 可先聚焦在這方面，則在應用面上可加速執行。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 11 | 本研究報告完整量化內容也能清楚的呈現，惟建議可再將量化的資料圖表化，以利閱讀。                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 感謝委員意見，將盡量以圖示取代量化文字部分。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 12 | <p>1. 針對 COVID-19 病毒，建築物如何建置健康環境與防宅措施為重要課題，本研究符合社會需求。</p> <p>2. 本研究在病毒傳播、通風等，建議加強新科技殺菌、滅菌之探討，避免常使用噴殺菌液或酒精，相關殘留物會對人體有害。至於新科技殺菌產品如 UVC 殺菌燈、UV 殺菌棒及奈米的光觸媒殺菌等用途廣泛，將舉辦的日本東京奧運主辦單位，即是請臺灣廠商提供相關新科技殺菌產品。另建議研究團隊應收集此次東奧有關建築防疫措施，做為參考指標。</p> <p>3. 報告書 P.79 表 3-11 建築技術規則通風規定之一項：一般居室及浴廁之窗戶……，不得小於面積百分之五。因有些建案忽略廁所開窗為密閉式，建議探討居室及浴廁開窗，應分別表列比例，以凸顯浴廁開窗重要性。</p> | <p>1. 感謝委員意見，本計畫彙整相關結果後已針對不同建築場所，提出對應防疫措施。</p> <p>2. 東奧舉辦期間，東京疫情仍持續延燒，且連五天新增確診破 4 千。國際奧會宣稱，奧運會場跟選手村都有執行嚴格的防疫泡泡，但還是有 436 名相關人士確診，而且由於病毒有潛伏期，染疫人數可能會再往上增。然本研究仍於章節 3-7-2 有討論紫外線的技術及不同劑量及耗能之相關探討。</p> <p>3. 感謝委員意見，已分別表列以下防疫措施：</p> <p>I. 可安裝提供排氣通風的窗戶裝置，並評估開口位置和開口表面並且考慮潛在的新開口（添加修改窗戶或門的尺寸）。</p> <p>II. 浴廁排氣與進氣系統做完整規劃；排風機之排氣風口位置設置在通風佳之非天井區外牆上。</p> |

## 附錄三期末審查意見與回應

附錄三期末審查意見與回應

| 委員 | 委員意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 廠商回應                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究就我國之健康及防疫措施，已完成部分可行性分析之建議革新。</li> <li>2. 符合預期成果</li> </ol>                                                                                                                                                                                                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定，本研究彙整相關成果發現後提出建議並考量「建築技術規則」設計施工編及設備編上現行規定及對應之原始標章與法令後，提出綠建築指標防疫編 EEWH-AE (Anti-Epidemic)增修訂條文案草案。</li> </ol>                                                                                                                                                 |
| 2  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 此次建築環境健康及防疫措施之可行性研究，收集了國內外相關專業文獻，非常完整，尤其對應國內建築標章、綠建築標章等，值得肯定。</li> <li>2. 此研究涵蓋國際 WELL(健康)，並結合 ESG(社會責任)等，為多元性完善的報告。</li> <li>3. 針對研擬出防疫措施或指標，建議多多與業者溝通，以減少推動時的阻礙，順利執行。</li> </ol>                                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定，已增加3-11章節討論後疫情時代的防疫與ESG(環境(Environmental)、社會責任(Social)和企業管治(Governance)相關防疫作法，未來可循序漸進進行。</li> <li>2. 後續仍建議持續推廣及輔導業者或民眾讓綠建築標章-防疫版可實際執行。</li> </ol>                                                                                                            |
| 3  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對室內設計裝修相當有參考價值。</li> <li>2. 希望線上會議有更多人能夠參與。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                 | <p>感謝委員肯定，後續仍建議相關單位持續推廣及輔導業者或民眾提升防疫識能，亦讓綠建築標章-防疫版可實際執行，促進建築防疫能力。</p>                                                                                                                                                                                                                                          |
| 4  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究彙整國內外健康建築相關制度資料，及防疫措施相關文獻，具有參考價值，另建議再加王家蓁主任"science"期刊論文針對 covid-19 空氣傳播及 UV-C 之消毒等資料。</li> <li>2. 本研究擬於建築規劃設計階段，導入健康防疫措施，尤其明確建議防疫建築策略以「通則」優先，並輔以「通風換氣」，並考量源頭控制之殺菌系統(如 UV-GI)等，再據以三個構面軀殼體(綠建築)、空間體(環控、聲光、熱氣等)、人體(醫學公衛)，來輔佐於設計。</li> <li>3. 本研究亦以初步研擬綠建築評</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，已彙整王等學者發表 Airborne transmission of respiratory viruses 期刊內容至本研究中。</li> <li>2. 本研究初步彙整與「建築防疫措施」相關文獻後，將防疫架構初分成三個構面，分別為軀殼體(綠建築標章、智慧建築標章、綠建材標章等)、空間體(室內環境品質、溫熱、光、水、材料、家具等)及人體(醫學公衛)並對應不同「防疫因子」等進行指標研擬，並進一步與「綠建築標章」、「綠建材標章」等進行交叉比對分析，以作為「建築防疫項目」之對應分析。</li> </ol> |



|   |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>估系統之健康及防疫措施評估項目(如 p113,表 3-18)。</p> <p>4. 本研究已順利完成預期結果，值得肯定。</p>                                                                         | <p>3. 感謝委員意見，本計畫彙整相關結果後已針對不同建築場所，提出對應防疫措施。</p>                                                                                                                                                                                                                               |
| 5 | <p>1. 建議主持人增加江老師所提到王家蓁主任論文中濕度對病毒傳播影響、UV 設備的應用。</p> <p>2. 本研究結果對不同場域有不同建議，但各場所之定義有重複或不明確的部分希望做審核。</p> <p>3. 對季節性的設備(如暖空調)是否有近一步建議或想法。</p>    | <p>1. 感謝委員意見，已彙整王等學者發表 Airborne transmission of respiratory viruses 期刊內容至本研究中。</p> <p>2. 感謝委員意見，本計畫彙整相關結果後已針對不同建築場所，提出對應防疫措施。</p> <p>3. 本研究已擬定綠建築指標防疫編 EEWB-AE (Anti-Epidemic) 條文，針對新建公共空間或集合住宅可行性措施除新風量需後續實場驗證，其餘設施皆具可行性，然實施時機為政府宣布 2 級或 3 級警戒，以減少平時防疫措施擱置或新風量提高時造成的能耗。</p> |
| 6 | <p>1. 研究內容完整，論述彙整清晰，符合預期結果。</p> <p>2. 建議增加對材料使用之防疫性能表現建議。</p> <p>3. P56 對浴廁之排氣是否應建議清消之作為，建議詳加探討。</p> <p>4. 未來期使綠建築亦能具備防疫性能，再進階導入綠建築之設計。</p> | <p>1. 關於不同材料之防疫性比較請參考 3-1-4 傳染媒介表面的穩定性，本研究亦將委員建議抗疫材料整理之相關防疫措施中。</p> <p>2. 感謝委員意見，目前浴廁排氣是進行清消涉及工程設計成本及病毒於環境中之存活能力等多方考量，固本研究對於新建之住宅可建議增設隔離區，設置獨立空調，隔離區域內的回風或送風格柵需要密封，避免強制通風系統會混合一般住戶和隔離區間的空氣。</p> <p>3. 本研究已擬定綠建築指標防疫編 EEWB-AE (Anti-Epidemic) 條文。</p>                         |
| 7 | <p>1. 個人不贊同將健康建築或防疫建築納入綠建築評估系統之中。並非認為健康或防疫不重要，而是現行的綠建築評估管理包羅萬象，若所有指標都要檢討已經是非常複雜，經由這個議題拉近綠建築只是徒增困</p>                                        | <p>1. 本研究目前提出之防疫措施建議實施時機為疫情指揮中心宣布防疫等級 2 級以上，仍須在原崗位工作或從事室內休閒活動時，此時防疫建築或措施的介入可提供民眾更多保護，減少染疫，雖可能導致能耗，但仍能維持百業百</p>                                                                                                                                                               |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>擾，綠建築的室內環境指標只是描述正常環境下，維持健康活動的基礎條件，與防疫非常有針對性的議題還是略有區別，若認為建康防疫建築重要值得推動應另立指標為之。</p> <p>2. 我認同不同用途的建築物應該要有不同的健康或防疫對策。如醫療院所必定是等級最嚴厲的存在，但 p149 的住宅有談到隔離區，這點就不是很明瞭為何住宅會有隔離區項目？這並不是正常情形下住宅必備的空間機能，而下方的分類又是三、公共場所四、住宅及公共場所，這分類似乎有點奇怪，建議再確認。</p> <p>3. 空調型建築物在台灣是少數，與歐美卻是已全空調建築物為主，有區別，是否可對台灣的特殊情形提出不同做法。</p> <p>4. 可行性因子有一半和空氣有關，以台灣目前戴口罩、個人防疫情形，感覺上必要性不高，做建築設計必經依照建築計畫，除非計畫中對防疫有特別要求，否則設計不會將這些特殊措施納入。</p> | <p>工原工作之產能，減少國家更巨大的經濟損失。</p> <p>2. 感謝委員意見，對於新建之住宅可建議增設隔離區，設置獨立空調，隔離區域內的回風或送風格柵需要密封，避免強制通風系統會混合一般住戶和隔離區間的空氣。</p> <p>3. 在隔離空間中使用攜帶式房間供暖器或獨立房間空調。若無法符合上述條件而須居家檢疫或隔離者，建議入住符合規定防疫旅館或集中檢疫所。</p> <p>4. 針對「空調型建築」，如辦公廳、旅館、百貨公司、醫院等較大規模且常使用中央空調之建築物，本計畫已列出不同場所對應之防疫措施，此外，針對一般舊建議設置通則可讓業者或民眾遵循。</p> <p>5. 針對防疫工作，「個人防護」與「空間防護」，必須雙管齊下、缺一不可；也唯有同時具備「個人」與「空間」防疫，完整策略之建築的防疫措施，防疫才不會有破口。過去 20 年著重與環境共生的「綠建築」，已經被逐漸興起的「健康建築」超越，加上目前疫情並無緩和跡象，若未來新建築不逐漸加入防疫措施，待下次大流行時，我國可能又需步入全面 lock down，百業停滯，造成經濟損失，故本研究目前已提出 EEWB 綠建築標章防疫版，希望能依序提升我國建築防疫能力，以符合後疫情來臨時民眾對居家及辦公住宅之要求。</p> |
| 8 | <p>1. 內容扎實，符合預期成果予以肯定。</p> <p>2. 建築防疫中通風量與外氣引入量的項目跟我們綠建築標章有</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>1. 感謝委員肯定，後續仍建議持續推廣及輔導業者或民眾讓綠建築標章-防疫版可實際執行。</p> <p>2. 綠建築目前訂定之「日常節能指</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|  |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>關日常節能指標空調節能評估項目，在觀念上有些不盡相同的部分，未來建議或許有可以整合調適的檢討。</p> <p>3. 依照本計畫防疫措施偏向於新設備為主，未來研究建議能增加對舊建築改善措施的部分。</p> <p>4. 依照綠建築標章推動之經驗，希望未來完善後能納入法規規範的期程。</p> | <p>標」EAC 規定建築空間應依空調使用時間實施空調區劃、依據實際熱負荷預測值選用適當適量的空調系統、選用高效率熱源機器，但指標仍和疫情較無直接關係。本研究仍提出相關防疫措施建議，包括：</p> <p>I. HVAC 系統需裝置雙盤管機組「循環迴路」或另一熱回收裝置，保證回風側和供應側的空氣 100% 完全分離。</p> <p>II. 可每小時監控量測數據，每月作統計報表，每年有詳細紀錄之功能，定期維護、清潔和操作 HVAC(暖通空調)系統，包括 HEPA 過濾器、分離式空調和風機盤管裝置)，確保在安裝 HEPA 濾網下 HVAC 的熱回收部分未檢測到嚴重洩漏 (&gt;3%)。</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## 附錄四ASHRAE標準方法及文獻

IEQ APPLICATIONS  
COLUMN

This article was published in ASHRAE Journal, May 2020. Copyright 2020 ASHRAE. Posted at [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org). This article may not be copied and/or distributed electronically or in paper form without permission of ASHRAE. For more information about ASHRAE Journal, visit [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org).

This peer-reviewed column does not represent official ASHRAE guidance. For more information on ASHRAE resources on COVID-19, visit [ashrae.org/COVID19](http://ashrae.org/COVID19).

# Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic

BY LAWRENCE J. SCHOEN, P.E., FELLOW/LIFE MEMBER ASHRAE

The HVAC systems in most non-medical buildings play only a small role in infectious disease transmission, including COVID-19.<sup>1</sup> Knowledge is emerging about COVID-19, the virus that causes it (SARS-CoV-2), and how the disease spreads. Reasonable, but not certain, inferences about spread can be drawn from the SARS outbreak in 2003 (a virus genetically similar to SARS-CoV-2) and, to a lesser extent, from transmission of other viruses. Preliminary research has been recently released, due to the urgent need for information, but it is likely to take years to reach scientific consensus.

Even in the face of incomplete knowledge, it is critically important for all of us, especially those of us in positions of authority and influence, to exercise our collective responsibility to communicate and reinforce how personal choices about social distancing and hygiene affect the spread of this disease and its impact not just on ourselves, but on our societal systems and economy. The consequences of overwhelming the capacity of our health-care systems are enormous and potentially tragic. The sooner we “flatten the curve,”<sup>2</sup> the sooner we can return to safer and normal economic and personal lives.

According to the WHO (World Health Organization), “The COVID-19 virus spreads primarily through droplets of saliva or discharge from the nose when an infected person coughs or sneezes....” Talking and breathing can also release droplets and particles.<sup>3</sup> Droplets generally fall to the ground or other surfaces in about 1 m (3 ft), while particles (aka aerosols), behave more like a gas and can travel through the air for longer distances, where they

can transmit to people and also settle on surfaces. The virus can be picked up by hands that touch contaminated surfaces (called fomite transmission) or be re-entrained into the air when disturbed on surfaces.

SARS infected people over long distances in 2003,<sup>4</sup> SARS-CoV-2 has been detected as an aerosol in hospitals,<sup>5</sup> and there is evidence that at least some strains of it remain suspended and infectious for 3 hours,<sup>6</sup> suggesting the possibility of aerosol transmission. However, other mechanisms of virus dissemination are likely to be more significant, namely,

- direct person to person contact
- indirect contact through inanimate objects like doorknobs
- through the hands to mucous membranes such as those in the nose, mouth and eyes

Lawrence J. Schoen, P.E., is president and principal engineer at Schoen Engineering, Inc., in Columbia, Md. He was chair of the committee that wrote the most recent version of the “ASHRAE Position Document on Airborne Infectious Diseases.”

# Seminar 81 -- The Impact of COVID-19 on Building Energy Consumption, IAQ and Occupant Behavior

Linking Social-Psychological Factors with the Analysis of Energy Pattern and Home Energy Management System during COVID-19

ASHRAE VIRTUAL WINTER CONFERENCE  
February 9-11, 2021

## SMNR 81: The Impact of COVID-19 on Building Energy Consumption, IAQ and Occupant Behavior

Chair: Neil Ghani, Ph.D.  
NSF-ERC, CURENT, University of Tennessee  
nghani@utk.edu  
606-475-1217

Linking Social-Psychological Factors with the Analysis of Energy Pattern and Home Energy Management System during COVID-19

1

### Outline/Agenda

- Objectives of this project and survey design
- Energy pattern, perceived energy usage and climate change issues, and perceived risk of getting COVID-19
- Energy burdens across income levels
- Residents' willingness to adopt and pay for a home energy management system (HEMS)
- Demographics, social-psychological factors influencing HEMS adoption and willingness to pay

4

### Learning Objectives

- Understand the linkage between social-psychological factors with IAQ and Energy in residential buildings during COVID-19
- Understand the impact of shelter-in-place on energy use of office buildings
- Understand the impact of COVID-19 on IAQ in residential homes
- Provide an overview of how work from home affects well-being during COVID-19
- Understand energy justice issues, low-income households' energy burdens and energy pattern across different income groups during COVID-19
- Understand demographics, social-psychological and perceived technological attribute factors influencing home energy management system (HEMS) adoption intention and willingness to pay
- Understand how to use the socio-technical integration perspective to promote energy transitions away from fossil-fuel-based systems for diverse populations

This program is registered with the AIA/CES for continuing professional education. As such, it does not include content that may be deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA of any material or construction or any method or course of handling, using, distributing or dealing in any material or product. Questions related to specific materials, methods, and services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

### Coronavirus comes home? Energy use, home energy management, and the social-psychological factors of COVID-19

#### Objectives:

Explores the dynamics of energy use patterns, climate change issues, energy burdens and the relationship between social-psychological and demographic factors, with residents' acceptance of and willingness to pay (WTP) for home energy management systems (HEMS) during the COVID-19 pandemic in New York areas.

- Sampling 632 residents, and draws from energy justice framework, the extended theory of planned behavior (TPB), and the technology adoption model (TAM) to propose an integrative approach to addressing the multi-dimensionality
- Research on low-income and other demographic differences in energy burdens and HEMS adoption and WTP.
- Analyze the factors affecting HEMS adoption, willingness to pay and utilities price by using the OLS regression and analysis of variance analysis (ANOVA).
- Investigate social-psychological factors (trust, environmental concern, data privacy and cyber security concern, relationship with utility providers) across income difference.

5

### Acknowledgements

This work was supported in part by National Science Foundation (NSF) Award Number CNS 1541117 and the Engineering Research Center Program of the NSF and the Department of Energy under NSF Award Number EEC-1041877 and the CURENT Industry Partnership Program.

The authors would like to thank Dr. Xiaojing Xu, Hannah Nelson, and Gregory Bonilla's help on data collection and analysis from CURENT, University of Tennessee.

3

### Perceived risk of getting COVID-19 by income differences

- Low-income households (LIHs) had lower perceived risks than medium- or high-income participants did.
- Most LIHs (38.4%) perceived less than 1% chance of becoming infected by COVID-19, compared to only 17.4% of medium- and 16.8% of high-income participants. Similarly, 31.6% of LIHs perceived the COVID-19 risk infection of 21%, compared to 44% of medium- and 46.4% of high-income participants.



6

## Seminar 81 -- The Impact of COVID-19 on Building Energy Consumption, IAQ and Occupant Behavior

What Can We Learn from Impact of Shelter-in-Place on Energy Use of Office Buildings?



1

### Outline

- Theoretical relation between energy use and occupancy level
- Energy use data from real building operations
- Findings and discussion
- Conclusion

4

### Learning Objectives

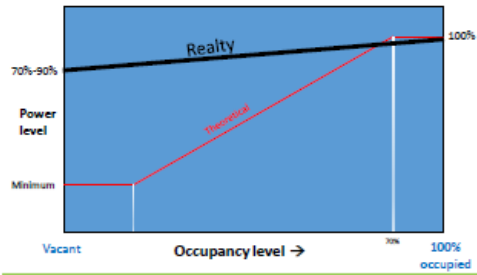
1. Understand the linkage between social-psychological factors with IAQ and Energy in residential buildings during COVID-19
2. Understand the impact of COVID-19 on IAQ in residential homes
3. Provide an overview of how work from home affects well-being during COVID-19
4. Understand the impact of shelter-in-place on energy use of office buildings

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education Systems. Credit earned on completion of this program will be reported to AIA/CES for AIA members. Certificates of Completion for non-AIA members are available on request.

This program is registered with the AIA/CES for continuing education. As such, it does not include content that may be deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA/CES of any material or any method or manner of handling, using, distributing, or relating to any material or product. Questions related to specific materials, methods, or services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

### Theoretical curve: occupancy vs power



5

### Acknowledgements

Some slide materials were prepared by Alan Meier, Zhe Wang, Raphael Vitti, and John Elliott of LBNL

3

### Influence on Energy Use in Office Buildings (Hatch Data, 400Msf of commercial real estate)

#### Commercial Building Electricity Reduction

As Compared to Week of March 1st

|           | March 8 - March 14 | March 15 - March 21 | March 22 - March 28 | March 29 - April 4 | April 5 - April 11 |
|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| US Total  | 5%                 | 12%                 | 18%                 | 22%                | 25%                |
| Northeast | 7%                 | 16%                 | 21%                 | 23%                | 26%                |
| Midwest   | 4%                 | 3%                  | 11%                 | 19%                | 25%                |
| South     | 5%                 | 10%                 | 16%                 | 22%                | 24%                |
| West      | 4%                 | 14%                 | 21%                 | 22%                | 27%                |

PREPARED

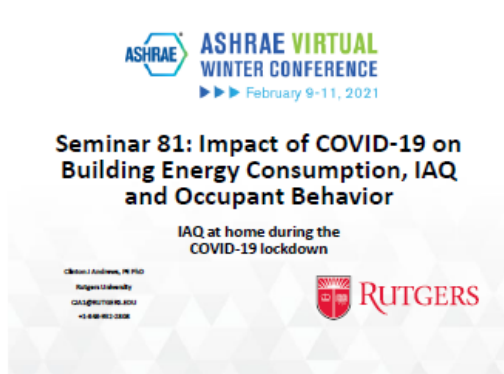
Source: www.hatchlab.com

6



# Seminar 81 -- The Impact of COVID-19 on Building Energy Consumption, IAQ and Occupant Behavior

IAQ at home during the COVID-19 lockdown



1

## Outline/Agenda

- Changes in outdoor air quality due to COVID-19 pandemic
- Changes in locations where people spend time
- Changes in residential indoor air quality
- Net changes in exposures?

4

## Learning Objectives

1. Understand the linkage between social-psychological factors with IAQ and Energy in residential buildings during COVID-19
2. Understand the impact of shelter-in-place on energy use of office buildings
3. Understand the impact of COVID-19 on IAQ in residential homes
4. Provide an overview of how work from home affects well-being during COVID-19

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education System. Credit earned on completion of this program will be reported to AIA/CES. Credits for AIA members. Completion of this program is available on request.

This program is registered with the AIA/CES for continuing professional education. As such, it does not include content that was deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA of any material or any method or process. Questions related to specific materials, methods, and services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

## Outline/Agenda

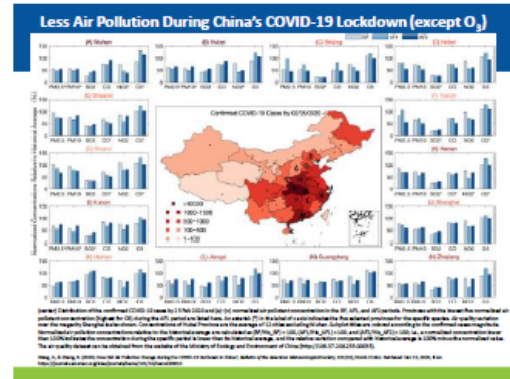
- Changes in outdoor air quality due to COVID-19 pandemic
- Changes in locations where people spend time
- Changes in residential indoor air quality
- Net changes in exposures?

5

## Acknowledgements

Jie Gong, Dep't. of Civil & Environmental Engineering, Rutgers University—New Brunswick  
 Ruikang He, Dep't of Environmental Science, Rutgers University—New Brunswick  
 Gediminas Mainelis, Dep't of Environmental Science, Rutgers University—New Brunswick  
 Jennifer Senick, Rutgers Center for Green Building, Rutgers University—New Brunswick  
 NSF Award AGS-1645786

3



6

# Seminar 81 -- The Impact of COVID-19 on Building Energy Consumption, IAQ and Occupant Behavior

## How Work from Home Affects Well-Being during Covid-19: Results from an International Survey

1

### Background

- The COVID-19 pandemic caused by SARS-CoV-2 has affected over 200 countries/regions in the world, leading to a dramatic loss of human life.
- A survey conducted in Milan, Italy [1] suggested a strong dependency between the poor residential built environment (e.g., small living spaces, poor views from windows, and bad air qualities) and appearance/worsening of depression symptoms.
- Dr. Nicholas Bloom, a Professor at Stanford University, revealed in an interview [2] that many people he surveyed during the COVID-19 pandemic had worked in their bedrooms or shared common rooms, suffering the noise issue and low productivity during working due to their partners, family or roommates.

We designed and conducted a comprehensive survey to address the scarce knowledge of the occupants' well-being during home working amid the global quarantine due to the COVID19 pandemic.

4

### Learning Objectives

- Understand the linkage between social-psychological factors with IAQ and Energy in residential buildings during COVID-19
- Understand the impact of shelter-in-place on energy use of office buildings
- Understand the impact of COVID-19 on IAQ in residential homes
- Provide an overview of how work from home affects well-being during COVID-19

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architecture Continuing Education Systems. Credit earned on completion of this program will be reported to AIA/CES for AIA members. Guidelines for CEUs for non-AIA members are available on request.

This program is registered with the AIA/CES for continuing professional education. As such, it does not include content that may be deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA of any material or product, or a specific method, technique, or service, and no services will be advertised at the conclusion of this presentation.

2

### Survey Design

Table 1. Categories/variables measured by the survey.

| Category              | Subject    | Measurement                                                                                                                                             |
|-----------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Independent variables | Residence  | Location, latitude, longitude, elevation, distance to nearest airport, daily volume of physical activities, population for service recipient's district |
|                       | Residence  | Structure, floor area, layout, and number of occupants                                                                                                  |
|                       | Residence  | Quality of indoor climate and outdoor environment                                                                                                       |
|                       | Residence  | Views from the window, and indoor environmental quality                                                                                                 |
| Dependent variables   | Health     | Range of the index for self-reported health (0-100)                                                                                                     |
|                       | Well-being | Range of self-rated well-being and satisfaction                                                                                                         |
|                       | Well-being | Range of self-rated well-being and satisfaction                                                                                                         |

- Survey - How Work from Home Affects Occupants' Well-being During the COVID-19 Pandemic
- 81 questions summarized into five categories (Table 1).
- The categories of Residence, Residency, and Ratings for IEQ are considered as the independent variables and the categories of health and WFH experience are considered as the dependent variables for the correlation analysis.

5

### Acknowledgements

- The study reported in this presentation is a collaboration work between Texas A&M University, University of Southern California, Drexel University, and Arizona State University.
- The study reported in this presentation is supported by the U.S. National Science Foundation under award number 2009754 (Dr. Zheng O'Neill, Texas A&M University), 1931226 (Dr. Burcin Becerik-Gerber, University of Southern California), 1931238 (Dr. Jin Wen and Dr. Simi Hoque, Drexel University), and 1931254 (Dr. Teresa Wu and Dr. Giulia Pedrielli, Arizona State University).
- Ph.D. Student: Zhihong Pang, Tao Yang, and Xing Lu
- Postdoctoral Research Associate: Dr. Yangyang Fu

3

### Survey Distribution

- The questionnaire was open from April 27<sup>th</sup> to July 9<sup>th</sup>, 2020, and it was distributed via various online networks, e.g., LinkedIn, professional email lists, university mail services, etc.
- A total of 1460 responses were received from 35 countries on six continents. All the retrieved responses were anonymized to protect the privacy.
- The respondents who had no employment experiences before the COVID-19 pandemic were excluded using a filter question. Besides, the respondents should at least answer one question beyond the first ten questions to qualify for a post-analysis. These two rules together narrowed down the size of analytical sample to 1137 respondents, which accounted for 77.9% of the total retrieved responses.

6

## Seminar 15 -- Building Operation and COVID-19: What is the Standard of Care and Who's Responsible (LIVE)

### Risk Management and Reasonably Foreseeable

**ASHRAE VIRTUAL WINTER CONFERENCE**  
February 9-11, 2021

**Seminar 15:  
Building Operation and COVID-19:  
What is the Standard of Care  
and Who's Responsible?**

February 10, 2021 - 1:30 to 2:50 pm

**Risk Management  
and Reasonably Foreseeable**

E. Mitchell Swann P.E., FCI, LEED AP,  
Managing Director  
Resolution Management Consultants  
em.swann@resmgt.com

**RESOLUTION  
MANAGEMENT  
CONSULTANTS**  
http://www.resmgt.com

1

### Risk Management

**An Amorphous Risk**

- Fuzzy Edges
  - o between Design, Construction & Operations
- 'Reasonably Foreseeable'
  - o By whom?
- Standard of Care (the practice)
  - o Duty to Warn
- Duty of Care (by edict, aka 'law')
  - o Duty to Act

V U C A

3

### Le *Force* Majeure

/, fōrs mə 'ZHər/ (noun)

- 1. (in LAW): unforeseeable circumstances that prevent someone from fulfilling a contract.
- 2. irresistible compulsion or greater force.

- Unexpected
- Unpredictable
- Unprecedented
- Natural Occurrence
  - Earthquakes      Hurricanes      Tornadoes
  - Floods              Wildfires
  - Pandemics??**

*Reasonably foreseeable?*

*We know they are coming, we just don't know when. Or where.*

5

### Learning Objectives

1. Understanding the Standard of Care and its implications
2. Understanding the roles and responsibilities of key stakeholders in project delivery and operation and the Standard of Care.
3. Understand how the "Standard of Care" may differ from the "Duty of Care" for each stakeholder.
4. Understand the different legal implications between a tenant-occupied building and an owner-occupied building.

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education System. Credits are issued on completion of this program and are reported to AIA/CES. Prerequisites for all members. Confirmation of Completion for non-AIA members are available on request.

This program is registered with the AIA/CES for continuing professional education. Its work does not include content that may be deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA of any material or construction or any method or manner of handling, using, distributing, or dealing in any product or product. Questions related to specific materials, methods, and services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

### Standard of Care

- common law standard of care for design professionals (DP) services is generally defined as ...**the ordinary and reasonable care usually exercised by one in that profession, on the same type of project under similar circumstances** (i.e. 'same time' – contemporaneously, and same 'locality') and conditions.
- Perfect performance is not required nor expected!*
- Duty of Care – defined by Law
- Standard of Care – defined by Practice

4

- It can't happen here!
  - **It has. Multiple times.**
- Unprecedented!
  - **A failure of imagination.**
- Reasonably foreseeable
  - **Reasonable and prudent care**
- Standard of Care
  - **The practice evolves**
- Duty of Care
  - **Expanding regulatory scheme**

6

**Seminar 15 -- Building Operation and COVID-19: What is the Standard of Care and Who's Responsible (LIVE)**

The Operator's Perspective



1

**Learning Objectives**

1. Understand the roles and responsibilities the three stakeholders (Owner, building manager and tenant) have to reduce the risk of COVID infections in a building.
2. Describe some of the HVAC and other building adaptations possibly required by each stakeholder to reduce the risk of COVID infections
3. Understand how the "Standard of Care" may differ from the "Duty of Care" for each stakeholder
4. Understand the different legal implications between a tenant-occupied building and an owner-occupied building.

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education System. Credit earned on completion of this program will be reported to AIA/CES for AIA members. Certificates of Completion for non-AIA members are available on request.

This program is registered with the AIA/CES for continuing professional education. As such, it does not include content that may be deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA of any material or product, or any method or manner of handling, using, installing, or doing in any material or product. Questions related to specific materials, methods, and services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

**Operator's Outline**

- ❑ ASHRAE Recommendations For Minimizing Risk
- ❑ Do we implement....or better off if we don't?
- ❑ Operator vs. Tenant Potential Conflicts



3

**(Very) Brief Overview of ASHRAE Task Force**

- ❑ Non-HVAC strategies:
  - Building Occupancy Levels Allowed
  - Face mask requirement or recommendation
  - Social distancing between desks, breakrooms, conference rooms, elevator, etc.
  - Directional flow for office space
  - Personal hygiene
  - Cleaning requirements
- ❑ HVAC strategies:
  - Increased Ventilation
  - Pre & Post Occupancy Purge
  - Improved Filtration
  - Air cleaning devices (such as UVGI and other newer technologies)



4

**(Very) Brief Overview of ASHRAE Task Force**

- ❑ Non-HVAC strategies: **(Occupant Focused)**
  - Building Occupancy Levels Allowed
  - Face mask requirement or recommendation
  - Social distancing between desks, breakrooms, conference rooms, elevator, etc.
  - Directional flow for office space
  - Personal hygiene
  - Cleaning requirements
- ❑ HVAC strategies: **(Building Focused)**
  - Increased Ventilation
  - Pre & Post Occupancy Purge
  - Improved Filtration
  - Air cleaning devices (such as UVGI and other newer technologies)



5

**Potential Increased Ventilation Concerns**

- ❑ Limited size of existing air intake louvers/ducts
- ❑ System Capacity
  - Lowered mixed air temps may require preheat to avoid low limit trips
  - Does the cooling coil have sufficient capacity?
- ❑ Worsens dehumidification issues with cycling of compressors at part load

6

## Seminar 15 -- Building Operation and COVID-19: What is the Standard of Care and Who's Responsible (LIVE)

### The Owner's Perspective

1

#### Owner's Outline

- Establishing building guidelines
- Communication
- Owner responsibility vs Tenant responsibility
- Long term impact on real estate

3

#### Janitorial

- Hand sanitizing stations throughout the building
- Maintaining inventory and supplies (PPE and CDC recommended products)
- Enhanced 3 "tier" cleaning
  - Tier 1: daily, common areas and high-touch surfaces
  - Tier 2: after hours cleaning of affected areas for suspected case
  - Tier 3: disinfection and deep cleaning for confirmed case
- Tenant is responsible for increased cleaning and associated costs within their space

5

#### Learning Objectives

1. Understand the roles and responsibilities the three stakeholders (Owner, building manager and tenant) have to reduce the risk of COVID infections in a building.
2. Describe some of the HVAC and other building adaptations possibly required by each stakeholder to reduce the risk of COVID infections
3. Understand how the "Standard of Care" may differ from the "Duty of Care" for each stakeholder
4. Understand the different legal implications between a tenant-occupied building and an owner-occupied building.

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education Systems. Credit earned on completion of this program will be reported to AIA/CES for AIA members. Certificates of Completion for non-AIA members are available on request.

This program is presented with the acknowledgment for continuing professional education. Its work it does not include content that may be deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA of any material or construction or any method or manner of teaching, using, distributing, or dealing in any material or product. Questions related to specific products, methods, and services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

#### Building Guidelines

- Federal, state and local authority requirements
- Face mask requirements
- Janitorial specification for common areas
- Lobby and building entrance guidelines
- Health screening for building employees, tenants and contractors
- Social distancing signage in common areas
- Amenities - building restaurants, cafeterias, fitness and conference centers
- Air Quality and HVAC specification and recommendations

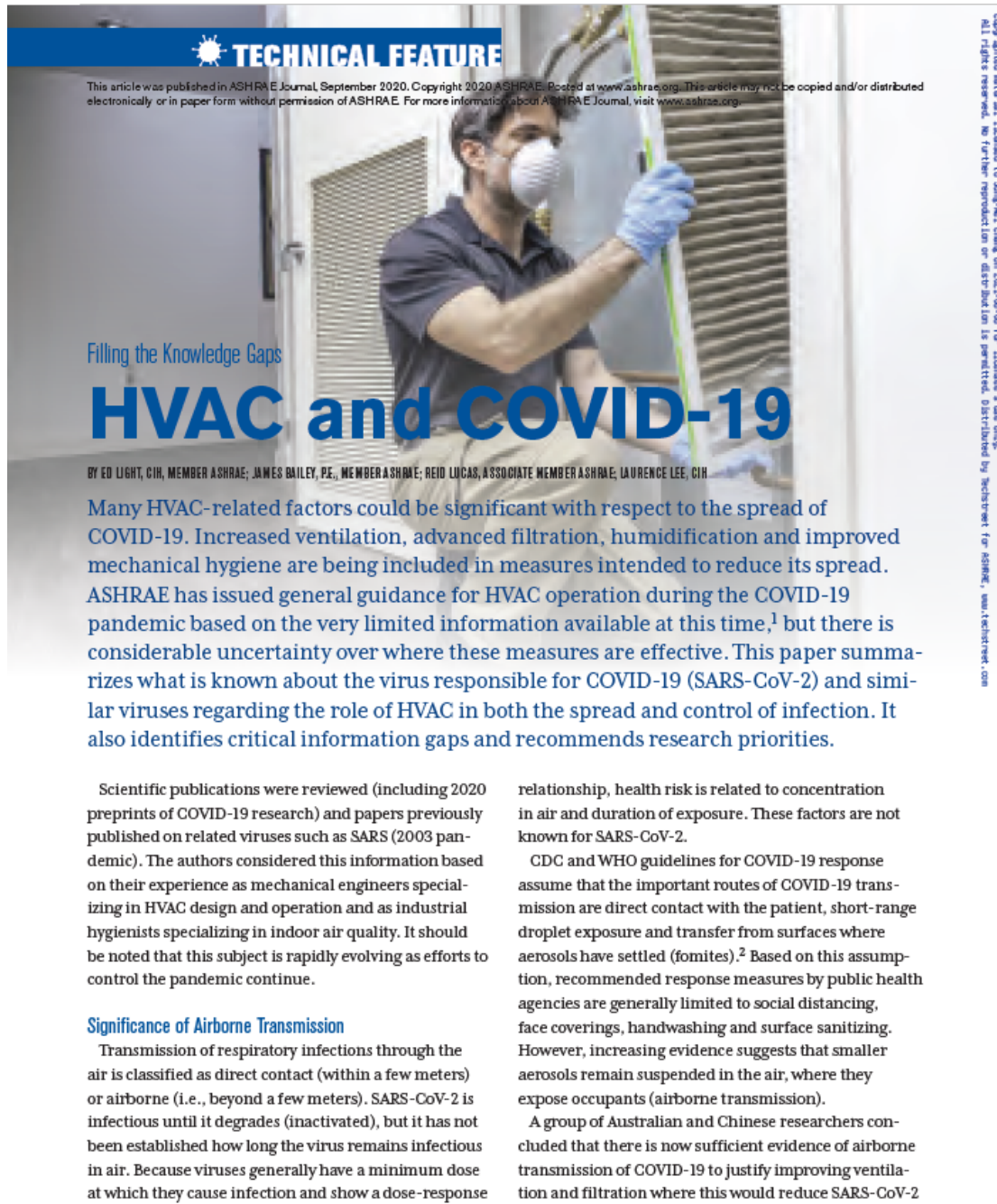
4

#### Social Distancing

- Develop new floor plans for the lobby and common areas to promote social distancing
- Entrances and foot traffic are one-direction where possible
- Certain areas are blocked off or restricted to minimize exposure
- Installation of plexiglass barrier at security desk
- Health screening

6

## Filling the Knowledge Gaps: HVAC and COVID-19



### TECHNICAL FEATURE

This article was published in ASHRAE Journal, September 2020. Copyright 2020 ASHRAE. Posted at [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org). This article may not be copied and/or distributed electronically or in paper form without permission of ASHRAE. For more information about ASHRAE Journal, visit [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org).

Filling the Knowledge Gaps

# HVAC and COVID-19

BY ED LIGHT, CIH, MEMBER ASHRAE; JAMES BAILEY, PE., MEMBER ASHRAE; REID LUCAS, ASSOCIATE MEMBER ASHRAE; LAURENCE LEE, CIH

Many HVAC-related factors could be significant with respect to the spread of COVID-19. Increased ventilation, advanced filtration, humidification and improved mechanical hygiene are being included in measures intended to reduce its spread. ASHRAE has issued general guidance for HVAC operation during the COVID-19 pandemic based on the very limited information available at this time,<sup>1</sup> but there is considerable uncertainty over where these measures are effective. This paper summarizes what is known about the virus responsible for COVID-19 (SARS-CoV-2) and similar viruses regarding the role of HVAC in both the spread and control of infection. It also identifies critical information gaps and recommends research priorities.

Scientific publications were reviewed (including 2020 preprints of COVID-19 research) and papers previously published on related viruses such as SARS (2003 pandemic). The authors considered this information based on their experience as mechanical engineers specializing in HVAC design and operation and as industrial hygienists specializing in indoor air quality. It should be noted that this subject is rapidly evolving as efforts to control the pandemic continue.

### Significance of Airborne Transmission

Transmission of respiratory infections through the air is classified as direct contact (within a few meters) or airborne (i.e., beyond a few meters). SARS-CoV-2 is infectious until it degrades (inactivated), but it has not been established how long the virus remains infectious in air. Because viruses generally have a minimum dose at which they cause infection and show a dose-response

relationship, health risk is related to concentration in air and duration of exposure. These factors are not known for SARS-CoV-2.

CDC and WHO guidelines for COVID-19 response assume that the important routes of COVID-19 transmission are direct contact with the patient, short-range droplet exposure and transfer from surfaces where aerosols have settled (fomites).<sup>2</sup> Based on this assumption, recommended response measures by public health agencies are generally limited to social distancing, face coverings, handwashing and surface sanitizing. However, increasing evidence suggests that smaller aerosols remain suspended in the air, where they expose occupants (airborne transmission).

A group of Australian and Chinese researchers concluded that there is now sufficient evidence of airborne transmission of COVID-19 to justify improving ventilation and filtration where this would reduce SARS-CoV-2

*This peer-reviewed article does not represent official ASHRAE guidance. For more information on ASHRAE resources on COVID-19, visit [ashrae.org/COVID19](http://ashrae.org/COVID19).*

Photo: spatzphoto - stock.adobe.com

## COVID-19: Minimizing Transmission in High Occupant Density Settings, Part 1

### TECHNICAL FEATURE

This article was published in ASHRAE Journal, May 2021. Copyright 2021 ASHRAE. Posted at [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org). This article may not be copied and/or distributed electronically or in paper form without permission of ASHRAE. For more information about ASHRAE Journal, visit [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org).

COVID-19

# Minimizing Transmission In High Occupant Density Settings, Part 1

BY DAVID ROTHAMER, PH.D.; SCOTT SANDERS, PH.D.; DOUGLAS REINDL, PH.D., P.E., FELLOW ASHRAE; TIMOTHY BERTRAM, PH.D.

As the global community learns more about SARS-CoV-2, it seems increasingly probable that a significant mode of transmission is via airborne route. In this first article in a two-part series, we review the current base of knowledge regarding transmission of COVID-19. After briefly introducing a modified form of the Wells-Riley model for predicting the conditional probability of infection within indoor environments, we move on to field experiments conducted in an actual classroom to validate the well-mixed assumption for the Wells-Riley model. Finally, we measure effective filtration efficiency for a range of mask types.

The second part of the article (in the June issue of *ASHRAE Journal*) applies the Wells-Riley model to these experimental results to predict the conditional probability of infection for various protective measures.

Since the report of the first positive case of COVID-19 in November 2019 in Wuhan, China,<sup>1</sup> much has been learned about the virus and its effect on humans, yet many questions remain unanswered, including infection control best practices to interrupt or prevent its transmission to mitigate its effects on both people and the global economy. To date, the U.S. Food and Drug Administration has authorized three COVID-19 vaccines

for emergency use,<sup>2</sup> and by the end of March 2020, more than 54 million people in the U.S. have been fully vaccinated.<sup>3</sup> With recent trends in vaccination administration of 2 million doses per day, it will be months before the majority of the U.S. population could be fully vaccinated. Beyond COVID-19, it is highly probable that other, similarly airborne infectious diseases will lead to future pandemics; what we learn from COVID-19 may help us decrease their impact.

Foundational to infection control and prevention is a clear understanding of the mode of transmission of the pathogen. Early in the COVID-19 pandemic,

*David Rothamer, Ph.D., is the Robert Lorenz Professor of mechanical engineering, Scott Sanders, Ph.D., is a professor of mechanical engineering, Douglas Reindl, Ph.D., P.E., is a professor of mechanical engineering, and Timothy Bertram, Ph.D., is professor of chemistry at the University of Wisconsin, Madison, Wis.*

*This peer-reviewed article does not represent official ASHRAE guidance. For more information on ASHRAE resources on COVID-19, visit [ashrae.org/COVID19](http://ashrae.org/COVID19).*

ASHRAE Chinese(Measurement, Testing, Adjusting, and Balancing of Building HVAC Systems)



ANSI/ASHRAE Standard 111-2008  
(Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 111-1988)

# ASHRAE STANDARD

## Measurement, Testing, Adjusting, and Balancing of Building HVAC Systems

### 建築物空調系統之量測, 測 試, 調整, 與平衡

Approved by the ASHRAE Standards Committee on January 19, 2008; by the ASHRAE Board of Directors on January 23, 2008; and by the American National Standards Institute on January 24, 2008.

ASHRAE標準委員會於January 19, 2008核定, ASHRAE董事會於January 23, 2008核定, 美國國家標準協會ANSI 於January 24, 2008核定

ASHRAE Standards are scheduled to be updated on a five-year cycle; the date following the standard number is the year of ASHRAE Board of Directors approval. The latest copies may be purchased from ASHRAE Customer Service, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305. E-mail: [orders@ashrae.org](mailto:orders@ashrae.org). Fax: 404-321-5478. Telephone: 404-638-8400 (worldwide) or toll free 1-800-527-4723 (for orders in US and Canada).

ASHRAE 標準以每五年為一循環周期進行更新, 接續在標準編號之後的日期, 即為 ASHRAE 董事會核定的年份。最新的版本可經由 ASHRAE 的客服單位購得。地址: 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305, 電子信箱: [orders@ashrae.org](mailto:orders@ashrae.org), 傳真: 404-321-5478, 電話: 404-638-8400 (全球), 免付費電話: 1-800-527-4723 (美加地區)

© Copyright 2008 ASHRAE

ISSN 1041-2336



American Society of Heating, Refrigerating  
and Air-Conditioning Engineers, Inc.  
1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329  
[www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)

Copyrighted material. Licensed to Jung Mei Chang on 2021-06-06 for Licensee's use only. All rights reserved. No further reproduction or distribution is permitted. Distributed by Inohrnet for ASHRAE. [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)



## COVID-19 and Buildings: Reoccupation After Lockdown



COVID-19 and Buildings:  
Reoccupation After  
Lockdown

**ASHRAE**  
Learning Institute

**Francis Anthony Mills**, ASHRAE DL  
Chartered Engineer, FCIBSE, FIMechE, MASHRAE  
Frank Mills Consulting  
[famills@hotmail.co.uk](mailto:famills@hotmail.co.uk)  
Tel (44)7850 024523

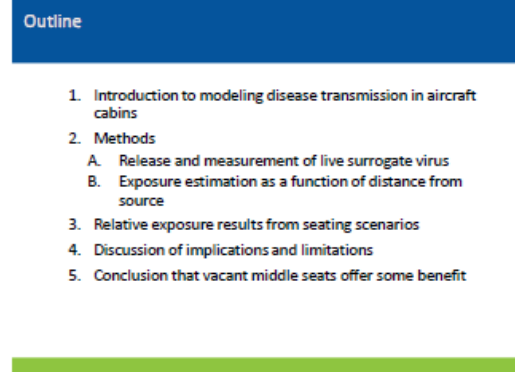
 FMC

**Seminar 9 -- Mass Transit Ventilation and Infectious Diseases: Transmission and Countermeasures (LIVE)**

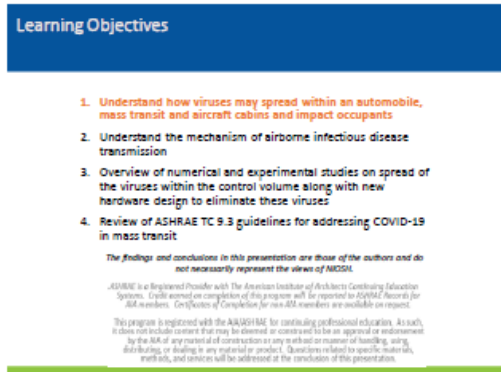
Laboratory modeling of COVID-19 exposure and transmission risk reduction through social distanced seating in aircraft cabins



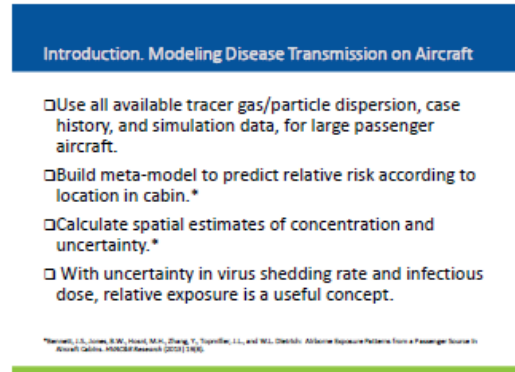
1



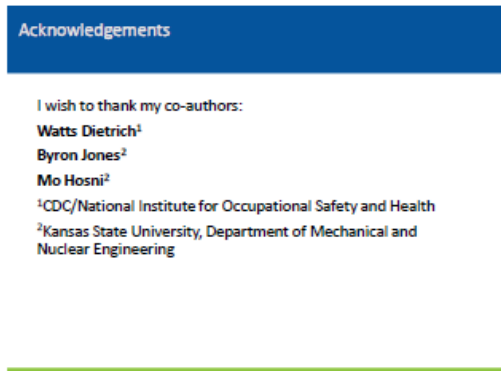
4



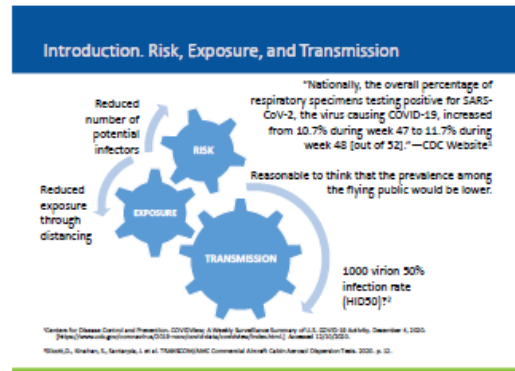
2



5



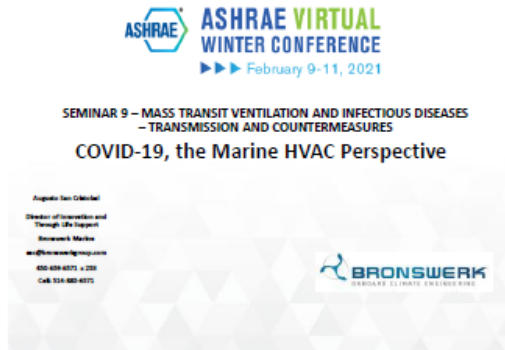
3



6

# Seminar 9 -- Mass Transit Ventilation and Infectious Diseases: Transmission and Countermeasures (LIVE)

## COVID-19, the Marine HVAC Perspective



1

### Learning Objectives

- SEMINAR 9 – MASS TRANSIT VENTILATION AND INFECTIOUS DISEASES – TRANSMISSION AND COUNTERMEASURES
- Explain how viruses spread within an automobile, mass transit and aircraft cabins and impact on occupants
  - Understand the mechanism of airborne infectious disease transmission
  - Describe numerical and experimental studies on spread of the viruses within the control volume along with new hardware design to eliminate these viruses
  - Explain ASHRAE TC 9.3 guidelines for addressing COVID-19 in mass transit

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education Systems. Credit earned on completion of this program will be reported to AIA/CES for AIA members. Certificate of Completion for non-AIA members can be obtained on request.

This program is registered with the AIA/CES for continuing professional education. As such, it does not include content that may be deemed or construed to be an approved or endorsed activity by the AIA in any material, construction or any method or means of handling, using, distributing, or failing to distribute in any material or product. Comments related to specific materials, methods, and services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

### Outline/Agenda

- Understanding virus transmission and the role of HVAC
- Air filters in HVAC Plants – NBC, HEPA filters
- UV Light disinfection
- Humidity Control
- Fresh Air Balancing
- Conclusion

3

### COVID-19 THE MARINE HVAC PERSPECTIVE

#### COVID-19 VIRUS

- MAIN MEANS OF TRANSMISSION:
- RESPIRATORY DROPLETS FROM HUMAN CONTACT
  - SMALL DROPLETS (FROM NOSE/MOUTH) LANDING ON SURFACES AROUND PERSON (>5-10µm)
  - OTHER PEOPLE CATCH THE VIRUS BY TOUCHING CONTAMINATED SURFACES AND THEN THEIR NOSE/MOUTHS/EYES
  - BREATHING IN THE DROPLETS (BASIS FOR SOCIAL DISTANCING & MASKS)
- AEROSOLS – DROPLET NUCLEI (<5µm)
  - AEROSOLS CAN STAY IN THE AIR FOR EXTENDED PERIODS OF TIME
  - CONFLICTING INFORMATION WHETHER COVID-19 IS TRANSMITTED IN AEROSOL AND IS CONSIDERED AIRBORNE
  - ONLY IF AIRBORNE CAN THE VIRUS ENTER THE HVAC SYSTEM.

4

### COVID-19 THE MARINE HVAC PERSPECTIVE

#### IS COVID-19 AIRBORNE?

- THE WHO STATES THAT THE VIRUS IS MAINLY TRANSMITTED BY RESPIRATORY DROPLETS
- *How does COVID-19 spread?*
- *People can catch COVID-19 from others who have the virus. The disease spreads primarily from person to person through small droplets from the nose or mouth, which are expelled when a person with COVID-19 coughs, sneezes, or speaks. These droplets are relatively heavy, do not travel far and quickly sink to the ground. People can catch COVID-19 if they breathe in these droplets from a person infected with the virus.*
- <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-coronaviruses>

5

### COVID-19 THE MARINE HVAC PERSPECTIVE

#### IS COVID-19 AIRBORNE?

- ASHRAE CONSIDERS THAT THERE IS ENOUGH CONCERN ABOUT THE VIRUS BEING AIRBORNE TO PRESENT GUIDELINES AS IF IT WERE:
- ASHRAE Statement on airborne transmission of SARS-CoV-2: Transmission of SARS-CoV-2 through the air is sufficiently likely that airborne exposure to the virus should be controlled. Changes to building operations, including the operation of heating, ventilating, and air-conditioning systems, can reduce airborne exposure.
- [https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd\\_infectiousaerosols\\_2020.pdf](https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_infectiousaerosols_2020.pdf)

6

## Seminar 9 -- Mass Transit Ventilation and Infectious Diseases: Transmission and Countermeasures (LIVE)

### Elimination of Viruses from Automobile Cabins

ASHRAE VIRTUAL WINTER CONFERENCE  
February 9-11, 2021

Seminar 9. Mass Transit Ventilation and Infectious Diseases  
Transmission and Countermeasures

Business D. Maffei  
Maffei North America  
D.Maffei@marelli.com  
248 450 0221  
248 450 0242

MARELLI

1

INTRODUCTION

- Cabin Air Quality is extremely important as we are spending more time in our respective vehicles
- Cabin air quality usually is not good as it contains the following pollutants:

Cabin Air Quality

- From Outside
  - Exhaust/Gases
  - Dust
  - Bacteria
- Generated Inside
  - Moisture (DPC)
  - Microorganisms
  - Pathogens/Germs\*
  - Mold/Spores\*

\* Can also come into the cabin from outside

4

Learning Objectives

- 1 CEU autonomous learning in order to be signed into the system by the user
- 1 CEU AIA/AIAA (for ASHRAE members) for the cabin air of an automobile\*
- 1 CEU will be awarded toward a live streaming webinar during the current period(s).

These are the Overall Session Objectives that were submitted for CEU approval for the session and not just your portion. Your Session Chair should provide you with this information or it can be found at the bottom of your Speakers Corner or on the Speaker's Resources page.

\*\*\*This is a required slide if you are a Seminar, Workshop, or Paper session (including conference paper, technical paper and extended abstract). The text below must be included on this slide.

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education Systems. Credits earned on completion of this program will be reported to AIA/CES for AIA members. Certificates of Completion for non-AIA members are available on request.

This program is registered with the AIA/CES for continuing professional education. As such, it does not include content that may be deemed or construed to be an appeal or endorsement by the AIA of any material or construction or any method or manner of handling, using, distributing, or selling in any material or product. Questions related to specific materials, methods, and services will be addressed at the conclusion of this presentation.

2

INTRODUCTION - Continued

- From Outside
  - Moisture (DPC), CO<sub>2</sub>, HC, etc.
  - Exhaust/Gases, Dust, Bacteria, Pollutants, etc.
- From Inside
  - Chemicals from paints, adhesives, foam, seats, carpets, junks (DPC)
  - Small: Microbial (Fungi, yeast), Tobacco, Smoking, Cologne
  - CO<sub>2</sub>
  - Mold\*
  - Bacteria\*
  - Fungus\*
  - Mold Spores\*
  - Dust Mites

\* Can also come into the cabin from outside

5

OVERVIEW OF THE PRESENTATION

- Introduction
- Literature Review
- Current Investigation
- Analysis of Virus Propagation in Cabin
- Developed HVAC Unit
- Experimental Details
- Results & Discussions
- Conclusions
- Recommendations & Future Work

3

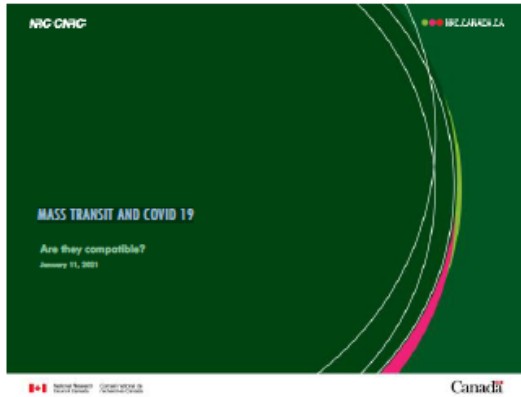
INTRODUCTION - Continued

- In this study the focus is to address the pathogens/germs in the cabin of an automobile.
- Primary source of virus, germs and bacteria are the occupants and pets inside of the vehicle; mold & spores within the cabin; and dust mites from dead skins from occupants & pets.
- However, these can also come into the cabin when the HVAC unit is operated in outside (OSA) mode.
- Hence, the author conducted an exhaustive literature search in this area, and as a result developed a prototype HVAC unit to eliminate viruses, bacteria, mold & spores, dust mites.

6

# Seminar 9 -- Mass Transit Ventilation and Infectious Diseases: Transmission and Countermeasures (LIVE)

## MASS TRANSIT AND COVID 19



1

### VERY QUICKLY, WHAT IS MASS TRANSIT?

I am not talking at all about those gravity defying, silver sausages in the sky. Passenger aircraft are a separate topic.

I am talking about passenger trains and buses.

We group these together because they are very similar, and in fact there is more variety between different types trains and buses than there is between trains and buses.

They can be generally broken out by ride duration, short trip, light rail, longer commuter rail, intercity heavy rail etc.

4

### 3 LEARNING OBJECTIVES

- \* Explain how viruses spread within an automobile, mass transit and aircraft cabins and impact on occupants
- \* Understand the mechanisms of airborne infectious disease transmission
- \* Describe numerical and experimental studies on spread of the virus, within the control volume along with new hardware design to eliminate these viruses
- \* Explain ASHRAE TC 9.3 guidelines for addressing COVID-19 in mass transit

1. Should I turn off my HVAC so I don't spread the virus around in the space?
2. Can't I just add HEPA filters? They work right?
3. Is it "safe" to ride on mass transit?

ASHRAE is a Registered Provider with The American Institute of Architects Continuing Education System. Credit earned on completion of this program will be reported to ASHRAE Records for AIA members. Certificates of Completion for non-AIA members are available on request. This program is registered with the AIA/ASHRAE for continuing professional education. In each, it does not include content that may be deemed or construed to be an approval or endorsement by the AIA of any material or construction or any method or process of handling, using, distributing, or dealing in any material or product. Questions related to specific materials, methods, and services will be addressed at the discretion of the presenter.

HOW TO USE THE TEMPLATE

2

### 3 LEARNING OBJECTIVES

#### QUICK ANSWERS

1. Should I turn off my HVAC so I don't spread the virus around in the space?

NO!

2. Can't I just add HEPA filters? They work right?

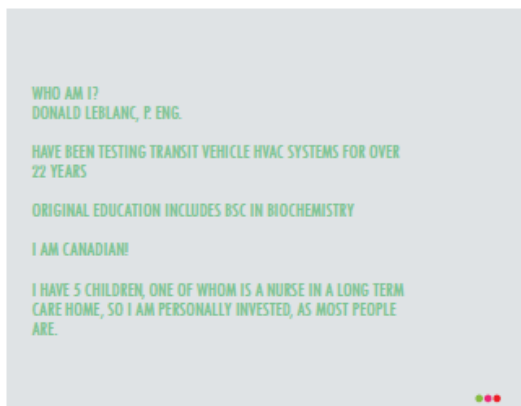
Maybe! But probably not.

3. Is it "safe" to ride on mass transit?

NO, Maybe, and YES!

HOW TO USE THE TEMPLATE

5



3

AS IS OFTEN THE CASE, THE SHORT ANSWERS ARE NOT VERY HELPFUL

6

**ASHRAE 62.1-2019(Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ANSI Approved))**



**ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019**  
(Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016)  
Includes ANSI/ASHRAE addenda listed in Appendix O

# Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality

ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019 is the current edition of the Standard for Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. It is the only standard in the world that provides a comprehensive, integrated approach to indoor air quality. It is the only standard that provides a comprehensive, integrated approach to indoor air quality. It is the only standard that provides a comprehensive, integrated approach to indoor air quality.

See Appendix O for approval dates by ASHRAE and the American National Standards Institute.

This Standard is under continuous maintenance by a Standing Standard Project Committee (SSPC) for which the Standards Committee has established a documented program for regular publication of addenda or revisions, including procedures for timely, documented, consensus action on requests for change to any part of the Standard. Instructions for how to submit a change can be found on the ASHRAE® website ([www.ashrae.org/continuous-maintenance](http://www.ashrae.org/continuous-maintenance)).

The latest edition of an ASHRAE Standard may be purchased from the ASHRAE website ([www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)) or from ASHRAE Customer Service, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305. E-mail: [orders@ashrae.org](mailto:orders@ashrae.org). Fax: 678-539-2129. Telephone: 404-636-8400 (worldwide), or toll free 1-800-527-4723 (for orders in US and Canada). For reprint permission, go to [www.ashrae.org/permissions](http://www.ashrae.org/permissions).

© 2019 ASHRAE      ISSN 1041-2336



**附錄五歐洲供暖、通風和空調協會COVID-19指引**



歐洲供暖、通風和空調協會COVID-19指引文件，2020年8月3日  
(本文件為先前4月3日與3月17日文件之更新版。往後將視需要持續更新)

*預防工作場所傳播 2019 新型冠狀病毒 (SARS-CoV-2) 感染症 (COVID-19)  
之 HVAC 及其他建築設備系統運作方法*

## 1 前言<sup>1</sup>

歐洲供暖、通風和空調協會 (REHVA) 於本文件概述 2019 新型冠狀病毒感染症 (COVID-19) 流行期間建築設備系統之運作與使用建議，以預防 COVID-19 透過空調系統 (HVAC) 或管路系統相關因素之傳播。下文建議應視為臨時指導；本文件將隨時增補新證據與資訊。

下文建議是補充世界衛生組織 (WHO) 文件針對雇主與建築物屋主所提出之一般指引〈工作場所因應 COVID-19 之準備〉。下文主要閱覽對象為 HVAC 技師與廠務主管。對於職業與公共衛生專業人員，以及涉及建築物使用方法決策之其他人士，下文亦應有所助益。

本文件涵蓋與建築設備有關之預防措施。範圍限於商業與公共建築物（例如辦公室、學校、商場、運動場所等），感染者預期僅會偶爾停留於此類建築物。本文件範圍不包括住宅建築物。

指引著重於暫時性、容易安排之措施，且可實施於疫情期間或疫情後仍以正常或減少之佔用率 (occupancy rate) 持續使用之現有建築物。

<sup>1</sup>近 20 年內，全球爆發三次冠狀病毒感染症：(1)2002-2003年，嚴重急性呼吸道症候群 (SARS)，由 SARS-CoV-1 病毒引起；(2) 2012年，中東呼吸症候群冠狀病毒感染症 (MERS)，由 MERS-CoV 病毒引起；(3) 2019-2020年，嚴重特殊傳染性肺炎 (COVID-19)，由 SARS-CoV-2 病毒引起。本文件著重於 SARS-CoV-2 之現有傳播實例。文中如有指稱 2002-2003年 SARS 疫情，將使用 SARS-CoV-1 之名。



**免責聲明：**

本文件根據文件發布時可取得之 COVID-19 可用科學知識，傳達 REHVA 專家建議與觀點。就許多層面而言，SARS-CoV-2 資訊並不齊全，故本文件運用先前 SARS-CoV-1 經驗所得之證據<sup>1</sup>，提出最佳實務之建議。對於可能因使用本文件資訊而導致或與此相關之任何直接、間接、附帶損害，REHVA、作者及所有涉及本文件發布之人士概不承擔任何責任。

**摘要**

近期發現 SARS-CoV-2 空氣傳播的新證據，並普遍承認 SARS-CoV-2 會透過氣膠長距離傳播，使得通風措施成為感染控制當中最具重要性的工程控制。保持物理距離相當有助避免緊密接觸，不過若能採取充足通風及有效的空氣分配解決方案，更能降低氣膠濃度，並減少與感染者相距 1.5 公尺以上的交叉傳染風險。此種情形至少需要三種層級的指引：(1) 目前疫情期間，如何運作現有建築物的 HVAC 及其他建築設備；(2) 如何評估不同建築物與房間的風險和安全；(3) 在改善通風系統的建築物中，可採取何種更具廣泛影響力的行動，以進一步減少未來病毒感染症之傳播<sup>2</sup>。建築物的每個空間與運作方式各自不同，需要特定的評估方式。本文提出 15 項建議，能夠以相對低的成本使用在現有建築物，減少室內交叉傳染的次數。氣流率方面，通風永遠多多益善，然而加強通風並非唯一的考量點。根據現有標準採取通風措施的大空間，例如教室，往往相當安全；但是數人使用的小房間儘管通風良好，傳染機率卻最高。通風解決方案在未來固然仍有許多改善空間，但必須清楚知道一項重點：若是通風符合現有標準且有執行風險評估，那麼當前的技術與知識，已足夠允許建築物在 COVID-19 此類疫情期間開放使用許多房間<sup>3</sup>。

**目錄**

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 1 前言.....                      | 176 |
| 2 傳播途徑.....                    | 178 |
| 3 COVID-19 情境下的暖氣、通風和空調系統..... | 182 |
| 4 疫情期間為降低傳染風險之建築設備運作實務建議.....  | 185 |
| 5 疫情期間建築設備運作實務措施.....          | 192 |

<sup>2</sup>關於第 2、3 點的更多資訊，目前仍由 REHVA 的 COVID-19 工作小組制定中。

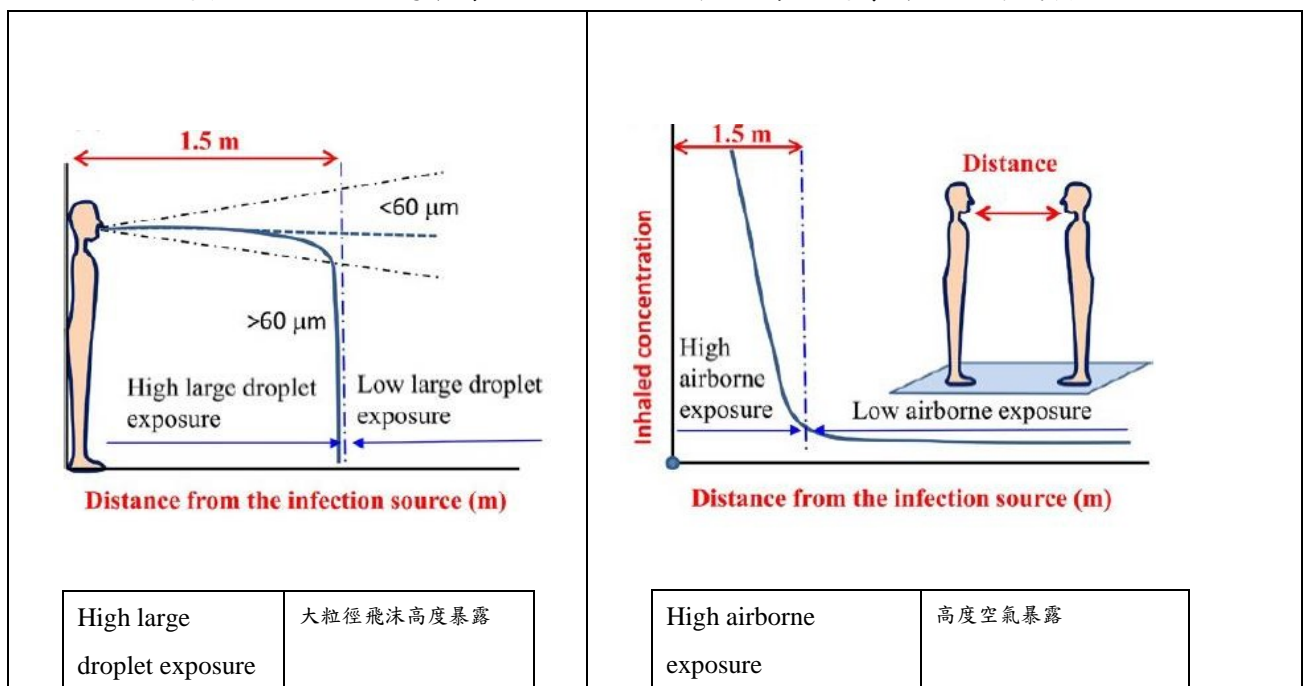
<sup>3</sup>目前仍由 REHVA 的 COVID-19 工作小組制定中。

## 2 傳播途徑

每場疫情都必須查知傳染源的傳播途徑。以 COVID-19 和許多其他呼吸道病毒而言，傳播途徑主要有三種：(1) 飛沫傳播與空氣傳播的綜合，此為 1-2 公尺的緊密接觸區域內，由噴嚏、咳嗽、歌唱、喊叫、談話與呼吸時噴出的飛沫與氣膠產生的傳播；(2) 長距離空氣（氣膠式）傳播；(3) 表面（環境污染）傳播，此為透過手與手、手與表面等的接觸而產生的傳播。對付上述傳播途徑的方法，是保持物理距離以避免緊密接觸，維持通風以避免空氣傳播，以及重視手部衛生以避免表面傳播。本文主要著重於減少空氣傳播的相關措施，至於個人防護用具例如配戴口罩，則不在本文討論範圍內。其他有稍加討論的傳播途徑，包括 SARS-CoV-2 的糞口途徑和再懸浮 (resuspension)。

冠狀病毒粒徑為 80-160 奈米<sup>44,i</sup>，除非經特殊清潔，否則病毒仍可在表面上存活數小時或數天<sup>ii,iii,iv</sup>。一般室內條件下，SARS-CoV-2 可在室內空氣存活至多 3 小時，在房間表面存活至多 2-3 天。藉由空氣傳播的病毒並非裸露，而是被包覆在噴出的呼吸道飛沫內部。大粒徑飛沫會落下，但小粒徑飛沫則停留在空氣中，且會藉由房間內、通風系統排氣管、以及空氣再循環時的供氣管的氣流攜帶而長距離移動。證據顯示，空氣傳播曾在之前導致惡名昭彰的 SARS-CoV-1 及其他病毒之傳染<sup>vi,vii</sup>。

呼吸道噴出的飛沫懸浮於空氣中（亦即空氣傳播），粒徑從小於 1 微米到大於 100 微米不等，此為能夠被吸入的最大粒徑。此種飛沫又稱氣膠，即懸浮於空氣中的微粒，因飛沫屬於液體微粒。圖 1 為空氣傳播的主要機制。



<sup>41</sup>1 奈米 = 0.001 微米

|                                        |               |                                        |               |
|----------------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------|
| Low large droplet exposure             | 大粒徑飛沫低度暴露     | Low airborne exposure                  | 低度空氣暴露        |
| Distance from the infection source (m) | 與感染源之間距離 (公尺) | Distance from the infection source (m) | 與感染源之間距離 (公尺) |
|                                        |               | Inhaled concentration                  | 距離            |

緊密接觸：飛沫和飛沫核(氣膠)的綜合暴露

長距離：藉由充分通風，可控制飛沫核(氣膠)的暴露程度

圖 1：飛沫和氣膠綜合傳播之緊密接觸（左圖）與長距離氣膠傳播（右圖）之區別，長距離傳播可藉由充分通風來控制，將病毒濃度稀釋至低度。（圖片來源：L. Liu、Y. Li、P. V. Nielsen等人<sup>xii</sup>）

空氣傳播取決於飛沫大小<sup>viii, ix, x</sup>，通常可分為緊密接觸與長距離的空氣傳播，說明如下：

1. 緊密接觸事件的短距離飛沫傳播，可透過液滴與大粒徑飛沫（最大 2000 微米/2 公釐）降落至表面之前移動的距離來定義。飛沫初速每秒 10 公尺時，大粒徑飛沫會於 1.5 公尺內落下。

呼吸運動的飛沫速度方面，正常呼吸為每秒 1 公尺，談話每秒 5 公尺，咳嗽每秒 10 公尺，噴嚏每秒 20-50 公尺。噴出的飛沫會在空氣中蒸發乾燥，因此飛沫核最後會縮小到初始粒徑的一半或三分之一左右<sup>xi</sup>。初始粒徑小於 60 微米的飛沫，在完全乾燥之前不會落地，可能會經氣流攜帶超過 1.5 公尺遠。

2. 長距離傳播適用於粒徑小於 50 微米的飛沫、移動距離超過 1.5 公尺。飛沫很快就會乾燥，例如粒徑 50 微米的飛沫大約 2 秒即會乾燥，粒徑 10 微米的飛沫約 0.5 秒即會乾燥，飛沫乾燥後變成飛沫核，大小是初始粒徑的一半或三分之一左右<sup>55</sup>。粒徑小於 10 微米的飛沫核，可能會經氣流攜帶而長距離移動，原因是粒徑 10 微米及 5 微米的微粒（飛沫核的平衡直徑）沉降速度僅為每秒 0.3 公分和 0.08 公分，因此兩者分別需時 8.3 分鐘和 33 分鐘才會下降 1.5 公尺。由於飛沫乾燥快速，故「飛沫」一詞常用於指稱乾燥後的飛沫核，飛沫核仍含有些許液體，此即為病毒仍能存活的原因。飛沫核形成空氣中的懸浮微粒，亦即氣膠。在有效的混合通風下，1-1.5 公尺以上的氣膠濃度幾乎不變。充分通風的房間內，氣膠濃度最主要會受到空氣交換率所影響，但也會因搭載病毒的微粒之沉積與衰減，而使得氣膠濃度降低。

<sup>5</sup>空氣懸浮呼吸飛沫的物理學顯示，初始粒徑 20 微米的飛沫，在相對濕度 50% 的室內空氣中不到 0.24 秒就會蒸發，同時縮小成平衡直徑約 10 微米的飛沫核。就此 10 微米飛沫核（仍包含些許液體）而言，在靜止空氣中需時 8.3 分鐘才會下降 1.5 公尺。

比起不同粒徑飛沫的移動距離，更重要的是與來源或感染者之間，氣膠濃度保持幾乎不變的距離。如圖 1 右圖所示，飛沫核的濃度在呼氣後的最初 1-1.5 公尺內便會大幅下降<sup>xii</sup>。此種效果是來自呼氣流以及人身周遭微環境氣流（羽昇流）的空氣動力學所致。飛沫核的分布情形，取決於人員位置、空氣交換率、空氣分配系統的類型（例如混合式、換氣式或個人通風）及空間中的其他氣流<sup>xiii</sup>。因此，在最初 1.5 公尺內的緊密接觸，會造成高度暴露於大粒徑飛沫與飛沫核中，實驗研究與數值研究已證明此點<sup>xiii</sup>。透過充足的通風和空氣分配解決方案，可控制氣膠濃度及與感染者相距 1.5 公尺以上的交叉傳染。圖 2 為通風的效果。

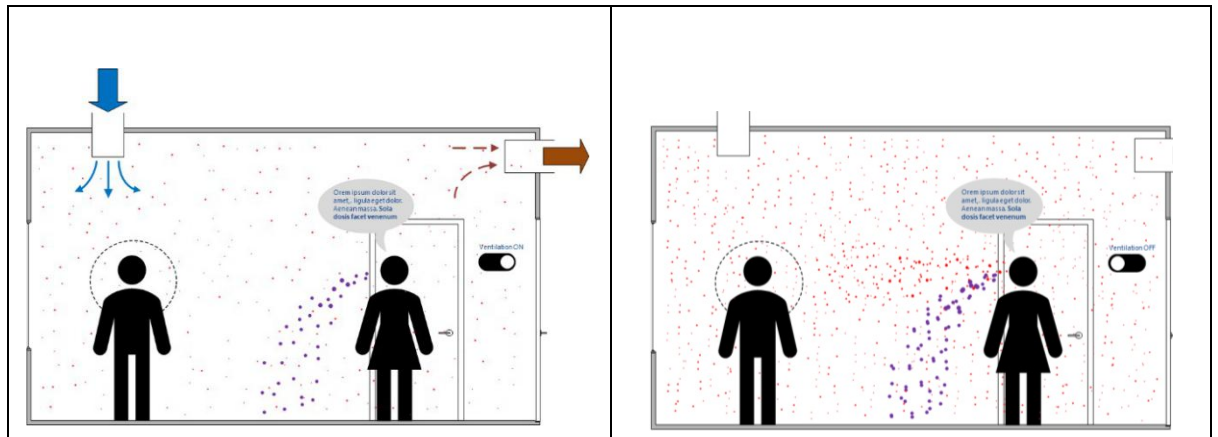


圖 2. 感染者（右側說話之女性）導致另一人（左側男性）的呼吸區暴露於氣膠（紅點）。呼出的大粒徑氣膠以紫點標示。當房間採取混合通風系統，呼吸區中搭載病毒的微粒數量遠低於通風系統關閉時的數量。左圖：通風系統開啟；右圖：通風系統關閉。

以 SARS-CoV-2 而言，經由暴露於飛沫核微粒而感染的長距離氣膠傳播途徑，首先得到 WHO 承認，WHO 針對的是產生氣膠的醫療程序 (aerosol-generating procedure)，並在相關指引中提及應加強通風<sup>xiv</sup>。日本衛生機關相當率先因應特定場合中（例如在密閉空間和多人近距離談話）氣膠傳播的可能性，以及即使無咳嗽或噴嚏卻仍存在的相關傳染風險<sup>xv</sup>。此後許多他國的衛生機關紛紛跟上，包括美國疾病管制中心、英國政府、義大利政府和中國國家衛生健康委員會。一項研究提供重要證據<sup>v</sup>，指出氣膠是可能的傳播途徑，因為病毒能夠在氣膠裡存活數小時。超級傳播事件的分析顯示，最低度通風的密閉環境，十分容易導致數量極高的續發感染<sup>xvi</sup>。透過氣膠傳播的知名超級傳播事件，包括廣州的一家餐廳<sup>xvii</sup>和斯卡吉特谷唱詩班 (Skagit Valley Chorale)<sup>xviii</sup>，這些場所中的外氣通風率低達每人 1-2 L/s（每秒所需換氣量）。呈現出 SARS-CoV-2 是透過氣膠傳播的重大證據快速浮現，許多科學家要求普遍承認此一事實<sup>xix, xx</sup>。到目前為止，歐洲疾病預防控制中心 (European Centre for Disease Prevention and Control) 對於 COVID-19 情境的 HVAC 系統審查，以及德國聯邦疾病防治研究單位 (Robert Koch Institut)，皆已承認氣膠傳播<sup>xxi, xxii</sup>。

WHO 在收到 239 名科學家的公開信後，終於將氣膠傳播新增至其傳播模式科學摘要<sup>xxiv</sup>。一般而言，長距離的氣膠傳播機制，代表與感染者保持 1-2 公尺的距離還不夠遠，且需要透過通風來控制濃度，以有效去除室內空間的微粒。

表面（環境污染）接觸傳播，可能出現在噴出的大粒徑飛沫落在附近表面及物體時，例如落在書桌或餐桌上。一個人若觸碰上面帶有病毒的表面或物體，接著又觸碰自己的口、鼻或眼睛，便可能感染 COVID-19，但美國疾病管制中心不認為此為新型冠狀病毒的主要傳播途徑<sup>xxv</sup>。

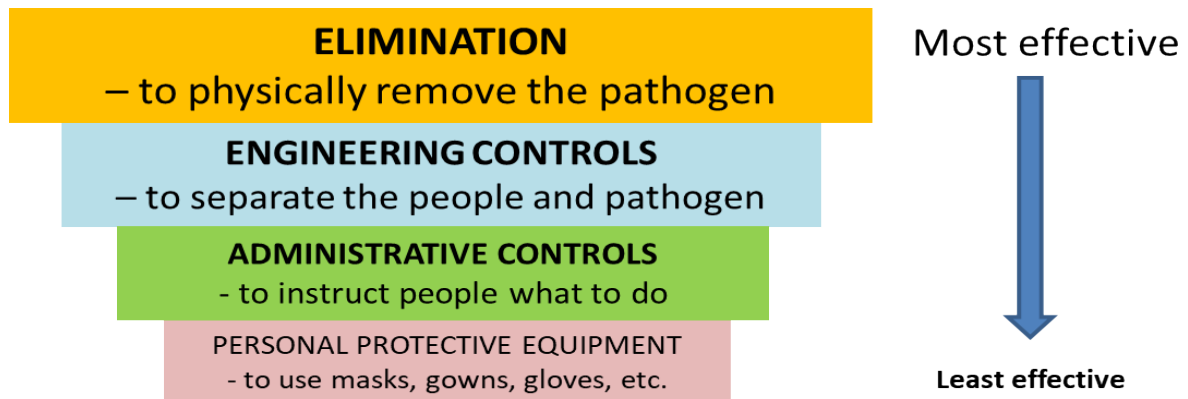
WHO 承認 SARS-CoV-2 會經糞口傳染，亦即氣膠/汗水的傳播途徑<sup>xxvi</sup>。WHO 建議馬桶沖水時蓋上馬桶蓋，以預防此種傳播途徑。此外，必須避免地板和其他衛生裝置的落水頭與存水彎完全乾涸，應定期加水（每三週加水，視氣候而定）以令水封妥善運作。此種方法可預防氣膠經由污水系統傳播，並符合 2002-2003 年 SARS 疫情爆發時的觀察：污水系統的開放連通，似乎成為香港一棟公寓大樓（淘大花園）的傳播途徑<sup>xxvii</sup>。已知沖水馬桶在沖水時若未蓋上馬桶蓋，會產生帶有飛沫和飛沫殘餘顆粒的上升氣流。糞便樣本中已檢測出 SARS-CoV-2 病毒（近期科學論文及中國衛生機關皆有報告）<sup>xxviii, xxix, xxx</sup>。

#### 氣膠（空氣）傳播途徑結論：

氣膠傳播途徑在近期確立了新證據並獲得普遍承認。本文件於 2020 年 3 月 17 日發布第一版時，REHVA 提議在採取最低合理可行（As Low As Reasonably Practicable, ALARP）原則後，可實施一套有助控制建築物中氣膠途徑的 HVAC 措施。到目前為止，已有證據證明 SARS-CoV-2 會透過氣膠傳播，且全球現已承認此種傳播路徑。至於不同傳播途徑對於散布 COVID-19 的相對影響，則尚未得知，因此仍無法明言氣膠傳播是否在疫情散布上扮演主要或顯著角色。傳播途徑亦視場所而定。在通風率良好、ACH（每小時換氣量）達 12 的醫院中，可阻絕大部分的氣膠傳播；但在通風不良的空間，氣膠可能成為主要傳播途徑。傳播途徑一向是重要的研究主題，且已有報告指出，短距離的氣膠傳播途徑，是緊密接觸時令人暴露於呼吸道傳染風險的主因<sup>xxxii</sup>。醫學文獻開始討論傳染性氣膠的全新典範，主張仍無證據可佐證大部分呼吸道傳染主要是與大粒徑飛沫傳播有關的此種概念，並認為小粒徑氣膠才是普遍通則，而非例外，此意見與目前的指引資訊相悖<sup>xxxiii</sup>。建築物與室內空間中，與他人保持 1.5 公尺以上的物理距離，此外再加上採取通風解決方案，此種作法確實應有助控制交叉傳染風險。

### 3 COVID-19 情境下的暖氣、通風和空調系統

為了減緩建築物中的 COVID-19 傳播風險，有多種可用措施可供採行。本文件涵蓋有關通風解決方案的建議，將通風視為主要的「工程控制」手段，如慣行的感染控制等級所示（圖 3），以降低空氣傳播的環境風險。根據感染控制等級顯示，通風以及其他 HVAC 與管路相關措施的等級，比行政控制和包括口罩在內的個人防護用具等級還高。因此建築物務必考慮採取通風及其他建築設備系統的措施，以預防空氣傳播。此種措施或許能夠以相對低的成本使用在現有建築物，減少室內傳染風險。



|                                                                             |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>ELIMINATION</b><br>– to physically remove the pathogen                   | 消除-實質清除病原體          |
| <b>ENGINEERING CONTROLS</b><br>– to separate the people and pathogen        | 工程控制-將人員與病原體隔離      |
| <b>ADMINISTRATIVE CONTROLS</b><br>- to instruct people what to do           | 行政控制-指導人員因應方式       |
| <b>PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT</b><br>- to use masks, gowns, gloves, etc. | 個人防護用具-使用口罩、隔離衣、手套等 |
| <b>Most effective</b>                                                       | 效果最強                |
| <b>Least effective</b>                                                      | 效果最弱                |

圖3. 慣行的感染控制金字塔，改編自美國疾病管制中心<sup>xxxiii</sup>。

歐洲疾病預防控制中心 (ECDC) 針對 COVID-19 情境下的室內空間通風，為歐盟/歐洲經濟區國家和英國的公共衛生機關製作相關指引<sup>xxi</sup>。該份指引的目標閱覽對象為公衛專業人員，REHVA 並以該份指引為基礎，為 HVAC 專業人員提供專門針對技術與系統上的指引。ECDC 的主要證據和結論，可總結如下：

- COVID-19的傳播，常見發生於密閉室內空間。
- 目前並無關於透過通風系統風管散布傳染性氣膠而導致人類感染SARS-CoV-2的證據。此種傳染風險經評為相當低。
- 保養良好的 HVAC 系統（包括空調機組）可確實過濾帶有SARS-CoV-2 的大粒徑飛沫。COVID-19氣膠（小粒徑飛沫與飛沫核）能夠透過建築物或交通工具內的 HVAC 系統、以及空氣再循環形式的獨立式空調而散布。
- 感染者在室內空間中噴出飛沫，空調機組產生的氣流可能使得飛沫散布的距離更遠。
- HVAC 系統可增加換氣率、減少空氣再循環、並提高外氣的使用，或許可在室內空間發揮輔助作用，降低傳播情形。
- 建築物管理者應根據製造商目前的指引作法來保養暖氣、通風和空調系統，尤其應重視過濾器的清洗與更換方面。若為了因應COVID-19 而增加保養週期，此作法並不會帶來特別好處，亦無此必要。
- 應避免採用節能設定，例如由計時器或二氧化碳偵測器控制的需求控制通風 (demand-controlled ventilation)。
- 應考慮將 HVAC 系統的運作時間延長至定期運作期間的之前與之後。
- 應將直接氣流導離人群，以避免散布來自感染者及傳播途徑的病原體。
- 負責集會和重要基礎設施設定的主辦單位和管理者，應在其技術/保養團隊的協助下探討各種選項，以盡可能避免使用空氣再循環。負責人應考慮根據製造商提供的資訊或（若無法取得上述資訊時）向製造商尋求建議，檢討其 HVAC 系統使用空氣再循環的程序。
- 應隨時確保每小時最低的空氣交換率（按照適用的建築物規範）。增加每小時的空氣交換率，將可降低密閉空間的傳播風險。或許可透過自然通風或機械通風來達成此目標，視場所環境而定。

#### 4 疫情期間為降低傳染風險之建築設備運作實務建議

本條為 REHVA 的建築設備運作指引，涵蓋 15 項要點，如圖 4 所示：

1. 通風率
2. 通風運作時間
3. 通風持續運作
4. 開窗
5. 洗手間通風
6. 洗手間窗戶
7. 沖水馬桶
8. 再循環
9. 熱回收設備
10. 小型室內送風機 (Fan Coil Unit) 與戶外無葉風扇 (induction unit)
11. 加熱、冷卻及可能的加濕設定點
12. 風管清潔
13. 外氣與排氣過濾器
14. 保養工作
15. 室內空氣品質監測

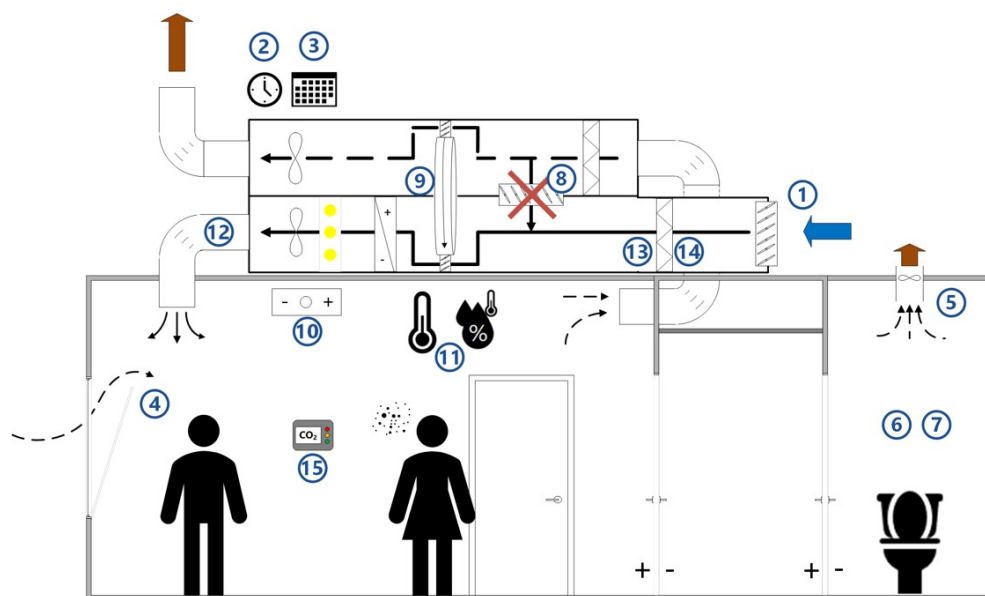


圖4. REHVA 建築設備運作指引的 15 項要點



#### 4.1 增加供氣與排氣通風

在有裝設機械通風系統的建築物中，建議延長通風系統的運作時間。調整系統定時器的時鐘時間，讓通風系統在建築物開放時間至少 2 小時前以額定速率開始運作，並在建築物使用時間之後的 2 小時期間切換至較低的通風速率。需求控制通風系統方面，可將二氧化碳設定點更改為 400 ppm，令系統維持以額定速率運作。每日全天候保持通風，無人在場時可降低通風率（但不可關閉通風）<sup>6</sup>。在因疫情而清空的建築物（部分辦公室或教學大樓）中，不建議關閉通風，而應於正常運作期間以較低速率持續運作通風。在建築物稍微需要加熱和冷卻的換季期間，上述建議造成的能源損失並不大。另一方面，上述建議有助清除建築物的病毒微粒，以及清除物體表面釋出的病毒微粒。冬季與夏季時，必須接受耗能增加，因通風系統有足夠的加熱與冷卻能力，無須損及熱舒適性即可實現上述建議。

一般建議在合理範圍內盡可能充足供應外氣。重點在於每平方公尺地板面積供應的新鮮空氣量。若室內人數減少，不可將剩餘人員集中至較小面積的區域，而應維持或增加彼此之間的物理距離（最低 2-3 公尺），以提高通風的稀釋效應。未來數月內將發布本文件的更新版本，說明有關不同房間通風率和風險的詳細資訊。

洗手間的排氣通風系統，應比照主要通風系統的作法，每日全天候運作。洗手間通風系統應在建築物開放時間至少 2 小時前切換至額定速率運作，並可於建築物使用時間之後的 2 小時期間切換至較低速率。若無法控制風扇轉速，則洗手間通風應每日全天候以全速運作。

#### 4.2 更常使用可開啟窗

一般建議遠離擁擠和通風不良空間。在未裝設機械通風系統的建築物中，建議積極使用可開啟窗（比正常情形更常使用，即使會造成些許熱不適）。因此開窗是提高換氣率的唯一作法。進入房間時，應開窗 15 分鐘左右（尤其先前曾有他人使用該房間時）。此外，在有裝設機械通風系統的建築物中，可透過開窗來進一步加強通風。

在有裝設通風豎管或機械排氣系統的洗手間，開窗可能導致遭污染的氣流從洗手間逸出至其他房間，如此代表通風會開始反向運作，故應避免開啟洗手間窗戶。若洗手間未能充分排氣通風，且無法避免洗手間開啟窗戶，則其他空間的窗戶也務必保持開啟，讓整棟建築物的空氣能夠對流。

---

<sup>6</sup> 建築物無人在場期間，可將通風調為定時運作，以維持 EN16798-1:2019 建議的最低戶外氣流率，亦即每平方公尺地板面積 0.15 L/s。

### 4.3 加濕與空調並無實質效果

相對濕度 (relative humidity, RH) 與溫度，會影響病毒活性、飛沫核的形成、以及室內人員黏膜的感受性。藉由空氣溫度和濕度的變動來降低病毒活性，可改變部分病毒在建築物中的傳播情形。但遺憾的是，此作法對 SARS-CoV-2 無效，原因是冠狀病毒相當能夠耐受環境變動，僅會受到 80% 以上極高相對濕度和攝氏 30 度以上溫度的影響<sup>ii,iii,iv</sup>，但建築物為了熱舒適和避免微生物成長，無法達到也無法接受如此高的相對濕度與溫度。研究發現 SARS-CoV-2 可在攝氏 4 度下存活 14 日，攝氏 37 度下存活 1 日，攝氏 56 度下存活 30 分鐘<sup>xxxiv</sup>。

SARS-CoV-2 的穩定性 (活性)，經測試可在一般室內溫度攝氏 21-23 度及相對濕度 65% 下，保持極高穩定性<sup>xxxv</sup>。綜合先前關於 MERS-CoV 的證據，有充分證據顯示濕度至多 65% 的加濕處理，對於 SARS-CoV-2 病毒穩定性的影響極低或無影響。有一看法指出中度濕度 (相對濕度 40-60%) 有助降低 SARS-CoV-2 活性，但目前證據不足以對此佐證，因此加濕並非降低 SARS-CoV-2 活性的辦法。

在任何相對濕度下，小粒徑飛沫 (0.5 - 50 微米) 都會更快蒸發<sup>xxxvi</sup>。在 10-20% 的極低相對濕度下，鼻部和黏膜更易受到感染<sup>xxxvii,xxxviii</sup>，基於此原因，建議冬季有時可部分加濕 (至 20-30% 的相對濕度)，儘管加濕器的使用與病假總數和短期病假次數增加有關<sup>xxxix</sup>。

在有裝設中央加濕器的建築物中，不需要更改加濕系統的設定點 (常為 25% 或 30%<sup>xl</sup>)。一般而言不需調整加熱或冷卻系統的設定點，且可令系統正常運作，因為此種系統對 SARS-CoV-2 的傳播風險並無直接影響。

### 4.4 安全使用熱回收段

當 HVAC 系統有裝設雙盤管機組或另一熱回收裝置，可保證回送端與供應端的空氣 100% 完全分離，則不需擔心病毒微粒透過熱回收裝置傳播的問題<sup>xli</sup>。

某些熱回收裝置，可能會將微粒和氣相污染物經由漏氣處從排氣端攜帶至供氣端。若設計和保養不良，旋轉式空氣對空氣全熱交換器 (亦即轉輪，又稱焓輪 [enthalpy wheel]) 可能出現明顯漏氣。如欲令裝有淨化箱且正確安裝的旋轉式全熱交換器妥善運作，漏氣率必須介於 1-2% 的極低範圍內，實際上如此低的漏氣率根本不構成影響。至於現有的熱回收系統方面，根據 EN 16798-3:2017，漏氣率應低於 5%，並輔以加強外氣通風。然而，許多旋轉式全熱交換器可能並未正確安裝。最常見的錯誤為風扇組裝方式使得排氣端產生更高的壓力，如此將導致排氣洩漏至供氣。此種情形中，未受控制的受污染排氣傳遞量大約會落在 20%<sup>xlii</sup>，超出可接受的程度。

研究指出，正確組合、安裝、保養的旋轉式全熱交換器，與微粒結合的污染物（包括空氣傳播的細菌、病毒和真菌）傳遞數量趨近於零，且僅會傳遞氣狀污染物，例如二手菸及其他氣味<sup>xliii</sup>。並無證據顯示粒徑大於 0.2 微米左右、搭載病毒的微粒會通過轉輪傳遞。由於漏氣率與轉輪轉速無關，因此不必關閉轉輪。正常運作轉輪，較容易維持更高的通風率。已知低氣流時的攜帶漏氣率最高，故應採用第 4.1 節建議的提高通風率。

若在熱回收段偵測到重大漏氣，可選擇調整壓力或採取旁通模式（某些系統可能裝有旁通），以避免發生排氣端壓力升高導致漏氣至供氣端的情形。可利用風門或其他合理安排來修正壓力差。總而言之，本文件建議應詳細檢查熱回收設備，包括測量壓力差及根據測得溫度來評估漏氣情形（參見特殊指引：減少內部漏氣通過旋轉式全熱交換器）。

#### 4.5 不使用中央再循環

若中央空調箱有裝設再循環段，排氣（回送）風管中的病毒物質可能會重新進入建築物中。一般建議避免於 SARS-CoV-2 疫情期間使用中央再循環：應利用建築管理系統或以手動方式關閉風門。

有時空調箱及再循環段有裝設空氣回送過濾器。不應基於此理由而保持開啟再循環風門，原因是此種過濾器的過濾效率為粗效率或中效率（G4/M5 或 ISO coarse/ePM10 過濾等級），無法有效過濾病毒物質。

若是空氣系統與水循環冷卻系統因冷卻或加熱能力有限，而不得不使用中央再循環，則必須盡可能增加外氣的分率（fraction），並建議另外採取過濾回送空氣的措施。如欲完全清除回送空氣中的微粒和病毒，必須使用 HEPA 濾網。然因 HEPA 濾網的壓降較高，且需要專屬的濾網外框，因此現有系統通常不易安裝 HEPA 濾網。或許可在風管安裝消毒裝置，例如紫外線殺菌燈（ultraviolet germicidal irradiation [UVGI]，又稱 germicidal ultraviolet [GUV]），作為替代方案。此種裝置務必選用適合尺寸並正確安裝<sup>7</sup>。若技術上可行，較建議在現有的濾網外框上裝設過濾等級更高的濾網，以及在不減損氣流率的前提下增加排氣風扇壓力。最低程度的改善，起碼應將現有的低效率回送空氣濾網替換為 ePM1 80%（先前標準中屬於 F8 等級）的濾網。先前 F8 等級的濾網，對於帶有病毒的微粒具備合理的捕捉效率（對 PM1 的捕捉效率為 65-90%）。

---

<sup>7</sup>目前仍由 REHVA 的 COVID-19 工作小組制定中。

#### 4.6 房間等級循環：小型室內送風機、分離式空調、戶外無葉風扇

在僅有小型室內送風機或分離式空調（全水系統或直膨式系統）的房間，首要優先考量為達到充分的外氣通風。此種系統中，機械通風往往與小型室內送風機或分離式空調分開，有二種選項可達到通風效果：

1. 主動開啟窗戶，並搭配安裝二氧化碳監測器作為外氣通風的指示器；
2. 安裝獨立式機械通風系統（局部式或中央式，依其技術可行性而定）。唯有此方式可確保房間隨時獲得充分外氣供應。

若採用選項 1，則二氧化碳監測器相當重要，原因是兼具冷卻或加熱功能的小型室內送風機或分離式空調，會提高熱舒適性，室內人員可能要經過很久時間才會察覺空氣品質不良和缺乏通風<sup>xliv</sup>。二氧化碳監測器範例可參見〈[學校建築物特殊指引文件](#)〉。

小型室內送風機使用粗濾網，實際上無法過濾較小的微粒，但或許仍會蒐集可能遭污染的微粒，當送風機開始運作時，恐又釋出這些微粒。小型室內送風機和戶外無葉風扇可能需採取如下的額外措施：

1. 有裝設主要外氣供應（空氣與水系統）的小型室內送風機、冷樑系統和其他戶外無葉風扇，除了盡可能增加外氣通風率，不需採取任何其他具體措施來供應外氣；
2. 單一辦公室房間和家屋的小型室內送風機和分離式空調，除了定時將外氣供應至空間中，不需採取任何其他措施；
3. 共用空間的小型室內送風機和分離式空調（有裝設小型室內送風機或分離式空調的較大面積房間，並有許多人使用該空間），可選擇於無人在場期間以低速運作，或於人員離場的一小時後關閉、人員進場的一小時前先開啟，並搭配開窗，視何種措施較適合該特定空間且較不耗電而定。有人在場期間，應半開窗戶（如為可行）以確保達到一定程度的通風。

#### 4.7 風管清潔並無實質效果

有些說法建議應清潔風管，以避免 SARS-CoV-2 透過通風系統傳播，如此顯得反應過度。風管清潔並無助於預防房間對房間的傳染，原因是若遵從上述有關熱回收和再循環的指引，通風系統便不會成為污染源。附著在小粒徑微粒的病毒，並不容易沉降在通風風管上，一般而言會經由氣流攜帶<sup>xlv</sup>。因此不需要改變正常的風管清潔和保養程序。更值得重視的要點，是增加外氣供應，並依上述建議避免空氣再循環。

#### 4.8 外氣濾網的更換並非必要

COVID-19 情境下，有些提問是關於極少數戶外病毒污染案例中（例如排氣口鄰近進氣口）濾網更換和濾網的防護效果。現代通風系統（空調箱）會在外氣進氣口的後方立即裝設細緻的外氣濾網（過濾等級 F7 或 F8，或者 ISO ePM<sub>2.5</sub> 或 ePM<sub>1</sub>）<sup>8</sup>，可妥善過濾外氣裡的懸浮微粒。呼氣氣膠中最小的病毒微粒，粒徑約為 0.2 微米 (PM<sub>0.2</sub>)，比 F8 濾網（對 PM<sub>1</sub> 的捕捉效率為 65-90%）的捕捉範圍還小。不過，大多數的病毒物質都落在濾網的捕捉範圍內，表示在極少數的外氣遭病毒污染案例中，標準的細緻濾網已能合理防範外氣裡低濃度和偶爾出現的病毒物質。

熱回收段和再循環段有裝設功效較差的中效率或粗效率排氣濾網 (G4/M5 或 ISO coarse/ePM<sub>10</sub>)，目的是為設備防塵。此種濾網對病毒物質的捕捉效率十分低（參見第 4.4 節熱回收和第 4.5 節再循環）。

更換濾網方面，採取正常保養程序即可。濾網阻塞並非 COVID-19 情境下的污染來源，但會使得供氣的氣流減少，不利於降低室內污染程度。因此，應在壓力或時限超過時，或按照預定保養時程，依正常程序更換濾網。總而言之，不建議改變現有的外氣濾網並以其他類型的濾網替代，亦不建議比一般時程更頻繁更換濾網。

#### 4.9 保養人員的安全程序

HVAC 保養人員在執行預定的保養、檢查或更換濾網（尤其是排氣濾網）時，若未遵守標準的安全程序，可能會面臨風險。為安全起見，必須始終假設濾網、排氣風管和熱回收設備上可能帶有存活的微生物物質，包括存活的病毒。尤其近期曾出現傳染事件的任何建築物，更應重視此點。濾網更換時應關閉 HVAC 系統，同時應配戴手套和呼吸防護具，使用後置於密閉袋內拋棄。

#### 4.10 房間空氣清淨機和紫外線殺菌燈，可在特定狀況派上用場

房間空氣清淨機可清除空氣中的微粒，帶來堪比外氣通風的相似效果。為維持效力，空氣清淨機必須具備 HEPA 過濾效率，亦即最後步驟應是安裝 HEPA 濾網。遺憾的是，大部分廉價的房間空氣清淨機，效力並不足夠。使用靜電過濾方式而非 HEPA 濾網的空氣清淨機（跟靜電消除器不一樣！）通常亦有類似的過濾效率。由於通過空氣清淨機的氣流不多，因此能夠清淨空氣的地板面積積通常很小。欲選擇適合大小的空氣清淨機，單位氣流量（在可接受的噪音等級）必須至少為 2 ACH，並且要到 5 ACH 才有顯著的清淨效果<sup>xlvi</sup>（將房間容積乘以

<sup>8</sup>EN779:2012 為舊有的過濾分類，現已由新標準替代：EN ISO 16890-1:2016《一般空調濾網要求 - 第一部分：微粒過濾效率的技術規範、需求和分類系統》(Air filters for general ventilation - Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM))。

2 或 5，可算出通過空氣清淨機的氣流率)。若在大面積空間使用空氣清淨機，機器需放在靠近空間人員之處，且不應放在角落和看不見的地方。再循環回送風管中或房間內，可安裝特殊的紫外線殺菌消毒設備，以去除病毒和細菌的活性<sup>9</sup>。此種裝置多半使用於醫療場所，必須選用適合大小，並且妥善安裝及保養。因此，空氣清淨機是容易使用的短期減緩措施，但長期而言仍需改善通風系統，以達到充分的外氣通風率。

#### 4.11 馬桶蓋使用說明

若馬桶座附蓋，建議沖水時應蓋上馬桶蓋，令氣流釋出的飛沫和飛沫殘餘量減至最低<sup>xlvi, xxvi</sup>。應向建築物使用者明確指引如何使用馬桶蓋。水封應隨時保持運作<sup>xxvii</sup>。請定期檢查水封（與存水彎），視需要加水，至少每三週應加水。

#### 4.12 建築物封閉後的退伍軍人症風險

SARS-CoV-2 (COVID-19) 疫情的整個期間，許多建築物皆曾長時間減少使用或完全封閉，包括諸如旅館/度假村、學校、運動設施、體育館、泳池、澡堂等建築物，以及許多其他有裝設 HVAC 和水系統的建築物和場館類型。

根據包括系統配置和設計在內的多種因素，建築物減少使用（或未使用）的時間延長，可能導致一部分的 HVAC 和水系統殘留水分，一旦系統恢復完全運作，恐增加退伍軍人症爆發的風險。

系統重啟前，應執行徹底的風險分析，以評估任何相關的退伍軍人症風險。多個主管機關有針對風險評估和重啟程序提供相關資訊，包括<sup>xlviii, xlix, lli, lii</sup>。

#### 4.13 室內空氣品質監測

通風不良的房間，經由氣膠導致室內交叉污染的風險相當高。若需要室內人員主動操控通風（混合式或自然式通風系統），或者建築物中並無專屬的通風系統，則建議應於人員活動區域安裝二氧化碳偵測器，以提醒通風不良情形，尤其是經常有一群人使用一小時以上的空間，例如教室、會議室、餐廳。疫情期間，建議應暫時變更二氧化碳流量燈號的初始設定，設為 800 ppm 亮黃燈/橘燈（或提醒燈），1000 ppm 亮紅燈（或警告燈），以便在即使室內人員減少的狀況下，仍能促使人員立即採取行動以達成充分通風。部分情形中，可使用獨立式二氧化碳偵測器或「二氧化碳流量燈號」，範例可參見〈學校建築物特殊指引文件〉。使用屬於連網式偵測器網絡的二氧化碳偵測器，有時效果可能更佳。上述偵測器發出的信號，可提醒建築物室內人員以正確方式使用可開啟窗以及有多種設定的機械通風系統。亦可儲存偵測器的資料，每週或每月提供資料給場所管理者，令其得知二氧化碳濃度高的建築物及房間狀況，之後再依此辨識

<sup>9</sup>關於紫外線殺菌燈的更多資訊，目前仍由 REHVA 的 COVID-19 工作小組制定中。

傳染風險。

## 5 疫情期間建築設備運作實務措施總結

1. 為空間提供充分的外氣通風
2. 建築物開放時間至少 2 小時前以額定速率開啟通風，並於建築物使用時間之後的 2 小時期間將通風切換至較低速率
3. 夜間和週末不可關閉通風，而應以較低速率維持通風系統運作
4. 常開窗戶（即使於機械通風建築物亦應常開窗）
5. 洗手間維持每日全天候通風
6. 避免開啟洗手間窗戶，以維持通風方向正確
7. 指引建築物使用者沖馬桶時應蓋上馬桶蓋
8. 將空調箱切換為 100% 外氣再循環
9. 詳細檢查熱回收設備，確保已掌控漏氣情形
10. 調整小型室內送風機的設定，令其持續運作
11. 不可更改加熱、冷卻及可能的加濕設定點
12. 依正常程序定期清潔風管（不需額外增加清潔）
13. 按照預定保養時程，依正常程序更換中央外氣與排氣濾網
14. 定期更換與保養濾網時，應採取包括呼吸防護具在內的一般防護措施
15. 採用空氣品質偵測器網絡，令室內人員與場所管理者可監測通風是否充分運作





**附錄六美國建築師協會 Re-occupancy Assessment Tool**

# Re-occupancy Assessment Tool V3.0

## 一般條件—基線參數：

如果該設施的預期營運不能滿足某些先決條件，則該設施可能不適合利用以下重新開放考慮因素來最大程度地降低傳播 SARS-CoV-2 的風險。以下**目標、操作權限、設施權限和風險管理類別**被列為基線先決條件。被評估的設施可能有額外的先決條件。

| 目標：                                                        | 是否                                                |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 致力於制定企業重啟計劃以恢復經濟                                           | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 致力於降低包括 SARS-CoV-2 在內的病原體在企業工作者和公眾中傳播的風險                   | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| <b>運作權限：</b>                                               |                                                   |
| 驗證設施重新開放的命令是否來自適當的管理機構                                     | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 有一個指南來監控當局對營運政策的變化 <sup>10</sup>                           | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| <b>設施權限：</b>                                               |                                                   |
| 驗證企業是否具有對場所進行物理改造的合法授權                                     | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 確定具有管轄權的機關（AHJ）對允許設施改造的要求                                  | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| <b>風險管理：</b>                                               |                                                   |
| 遵守聯邦、州和地方法律，包括ADA「美國身心障礙者法案」、OSHA 和衛生部的法規和要求 <sup>11</sup> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 評估企業的風險承受能力，有關風險管理流程的更多信息，參考AIA的建築物風險管理計劃。                 | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

**E** Education

**O** Office

**F** Restaurant

**S** Senior living

**R** Retail

**H** Housing

府的指導，包括您所在州或當地的公共衛生機構、緊急管理部門、州長和市長辦公室。復運營之前，建議測試消防、生命安全、管道和機械系統，以確保所需的功能和符合規其他指南，請參閱國際規範委員會關於 COVID-19 大流行後重新開放的注意事項。

教育  
辦公室  
餐廳  
長者住宅  
零售業  
住家

這個評估工具並未規定必要的干預措施，但包括適用於許多建築類型和營運規模的控制措施。這些控制措施可能適用於非必要設施，這些設施最初在必要限制（短期）下重新開放，最終在沒有強加限制（長期）的情況下運行。並非所有控制措施都適用於所有情況下的所有建築類型，同樣可能需要額外的控制措施。相關控制可以進一步分類為“必要的”或“理想的”，以便確定優先順序。

CDC的優先考慮事項

**第一：消除**

學會社會隔離。在可能的情況下，居住者應在家工作或進行其他活動。這應該包括重組責任，以盡量減少需要親自到場的住戶數量。

**第二：替代**

更換危害。沒有可用的 COVID-19 替代品； 因此這個控制措施是不適用的。

**第三：建築和工程控制**

將人員與 SARS-CoV-2 暴露隔離。在適當的情況下，這些控制措施可以在不依賴居住者行為的情況下減少對危險的暴露，並且實施起來具有成本效益<sup>12</sup>

3.1 設計：

3.1.1 調整空間以增進公共衛生目標

**E** 利用大的內部、傳統的運動空間（例如：體育館）作為擴展、被動的教學空間和更多的室外活動設計

**H S O** 為戶外工作/用餐提供分散的臨時工作檯面，以減少隔離疲勞

**H S** 確定包裹儲存堆滿時的臨時空間

**F** 將停車場用作等候區，以避免聚集在餐廳等候區或在整個餐廳徘徊

| 必要的                      | 理想的                      |
|--------------------------|--------------------------|
|                          |                          |
| N                        | /A                       |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |


CDC的優先考慮事項

| 必要的 | 理想的 |
|-----|-----|
|-----|-----|

<sup>12</sup>考慮與廣泛的成本相關，每個設計干預的投資回報率將因建築而異。

|                                                                        |                          |                          |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>S</b> 為家庭探訪提供室內用餐區，以減少隔離                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S</b> 確認一個指定的參觀空間，最好能直接在戶外                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.1.2 提供促進心理健康和福祉的 <b>親生物設施</b>                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.1.3 為戶外設計提供空間                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O F S</b> 提供戶外座位以補充室內座位                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 包括提供零售業戶外空間                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S</b> 指定戶外區域供家人探訪                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>3.2 空間規劃</b>                                                        |                          |                          |
| 3.2.1 減少座位密度/或增加座位間距                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O</b> 盡可能錯開工作站並旋轉以面向同一方向                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O</b> 提供或改裝鎖定腳輪以限制家具的移動性，因為移動性可能會造成物理距離問題                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O F S</b> 改造餐廳或休息室的佈局以增加桌子之間的間距並限制座位數量以允許人與人之間有足夠的間距，從肩部向外至少測量六英尺 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2.2 減少設備數量，提供更多空間                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E</b> 拆除/重新安置走廊儲物櫃，為大眾移動提供更寬闊的路徑。                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2.3 限制進入衛生間衛浴設備，以在設備上的個人之間提供至少 6 英尺的間距 <sup>13</sup>                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2.4 確保在入口、門和PPE站附近放置額外的非接觸式垃圾桶。                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2.5 考慮公共空間、走廊、入口和出口點的單向交通流，同時牢記典型路線的改變和大眾移動距離的延長可能帶來新的挑戰             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>13</sup> 確保衛生間衛浴設備的數量能夠容納最大數量的建築用戶。

| CDC的優先考慮事項                                                                                               | 必要的                      | 理想的                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3.2.6 確定進出洗手間的入口/出口，以建立減少他人等待的路徑以及進出人員之間的面對面會合，並考慮用指標牌將用戶分散到通常未被充分利用的洗手間                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2.7 擴大內部排隊空間，必須使其分流循環；必要時使用障礙物以確保物理距離                                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.2.8 搬遷一些計程車/共乘車/下客站，以增加物理距離                                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>3.3非結構性的分隔和開放</b>                                                                                     |                          |                          |
| 3.3.1 考慮一個與入口分開的出口                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3.2 限制入口的此項在V3.0中被刪除，而是整合到3.3.1中                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3.3 確定分開的入口給予教職員工和學生、訪客、交貨員進入                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3.4 建立非接觸式的進入功能                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 將旋轉門設置為連續運作                                                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 推拉門：手肘推動進出、語音進出、手機進出、接近裝置進出                                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 入口門以動力、接近傳感器或藍牙命令的方式進入                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 將門組裝為不用手的方式和硬件方式打開                                                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 在行駛路徑上的防火門上使用警報釋放裝置                                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 提供自動開門器/接近傳感器                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 當長廊/前廳能夠遮擋視線時，盡可能取消洗手間門；或者將洗手間門反向打開，從而在洗手後實現無接觸離開                                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 考慮暫時禁用防火/生命安全不是問題的門鎖。                                                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3.5 盡可能使陽光直射 <sup>14</sup>                                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.3.6  安裝得來速和/或取貨服務窗口 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>14</sup>溫暖的溫度和暴露在陽光下會減少病毒在表面和物體上存活的時間。

| CDC的優先考慮事項                                                               | 必要的                      | 理想的                      |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>3.4 標示牌<sup>15</sup></b>                                              |                          |                          |
| 3.4.1 在建築物外部展示 COVID-19 緩解標誌，以傳達為保護公眾健康而採取的行動，在無眩光的表面上使用大尺寸、高對比度的字以提高可讀性 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4.2 公告衛生、清潔和消毒標誌                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4.3 實施地板/路面標記（即油漆/膠帶）以可視化建議居住者們之間的距離                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4.4 在可行的情況下鼓勵安置單程移動的標記/標示牌，但盡量減少改道的程度，以將移動長度和重新定向保持在最低限度               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4.5 繪製地板表面以描述流動和/或家具位置                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4.6 在入口處和整個空間放置顯眼的標誌，提醒居住者所需的居住限制、最小物理距離、PPE 的使用和其他風險管理政策              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4.7 使用通訊板和數位消息傳遞訪問或輪班前信息，結合語音功能為視障人士提供幫助。                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.4.8 放置標誌，提醒在沖水前應關上馬桶蓋（如果有的話）                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>3.5 管道和管道裝置</b>                                                       |                          |                          |
| 3.5.1 考慮為建築運作下實施水源管理計劃。                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.5.2 對於經歷長時間關閉的建築物，沖洗和測試飲用水系統                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.5.3 用免提裝置替換沖水閥和水龍頭                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.5.4 在整個空間，尤其在公共空間，增加非接觸式洗手/衛生站                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.5.5 以非接觸式水桶(瓶)灌裝站替代傳統飲水機。                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.5.6 安裝馬桶蓋。                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>15</sup>建議所有標示牌使用多種語言，並在高對比度、無眩光的表面上使用大尺寸字樣。

| CDC的優先考慮事項                                                                                               | 必要的                      | 理想的                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>3.6 機械和被動通風<sup>16</sup></b>                                                                          |                          |                          |
| 3.6.1 盡可能使用可操作的窗戶進行自然通風 <sup>17</sup>                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.2 確保通風系統正常運行，並為每個空間目前的容納量提供可接受的室內空氣品質 <sup>18</sup>                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.3 定期監測相對濕度、溫度和CO <sub>2</sub> 濃度，以快速辨別和解決問題                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.4 增加通風率和空氣交換 <sup>19</sup>                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.5 在可能的情況下，經由調節風門、節能器和AHU 來優先考慮新鮮空氣與循環空氣的吸入 <sup>20</sup>                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.6 對每個廁所進行負壓調整                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.7 考慮每個 HVAC 區域的最大居住人數                                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.8 檢查過濾器(濾材)，確保它們在使用壽命內並正確安裝                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.9 將 HVAC 過濾器選擇、清潔計劃和更換週期與ASHRAE 建議保持一致                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>在再循環空氣管道上安裝 HEPA 或 MERV 16 過濾器</li> </ul>                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>安裝至少 MERV-13 等級的過濾器以過濾空氣傳播的病毒（首選 MERV 14）<sup>21</sup></li> </ul> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>密封過濾器的邊緣以限制分流</li> </ul>                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>16</sup>有關 HVAC 系統的其他指南，請參閱 ASHRAE 的 COVID-19 (冠狀病毒) 準備資源。

<sup>17</sup>改變或增加空間中的氣流會產生多種副作用。更高的氣流速度可能會增加污染物的再懸浮，並經由以更高的速度和體積更快地分配室內空氣，從而可能重新懸浮更多的超細顆粒，從而增加整個建築物受到污染的可能性。

<sup>18</sup>系統可能還需要重新平衡，以確保延長的停機時間不會影響建築性能。

<sup>19</sup>如果室外空氣品質和溫度條件可以接受，增加通風率和增加新鮮空氣引入量會有所幫助。空氣污染是一種複雜的問題；微生物存在於空氣中的顆粒物上，並能隨顆粒物一起傳播。

<sup>20</sup>建築物中較高的室外空氣比例和較高的空氣交換率可能有助於稀釋室內污染物，包括在建築環境中呼吸的空氣中的病毒顆粒。經由進一步打開空氣處理裝置上的外部空氣阻擋器位置，可以實現更高的外部空氣分數，從而排出更高比例的室內空氣和任何存在的空氣傳播病毒顆粒。區域氣候和空氣污染條件可能會限制這種技術。

<sup>21</sup>ASHRAE 建議在打開建築物時提高空氣處理裝置 (AHU) 的過濾水平，以確保空氣處理系統和風扇能夠克服新過濾器的額外壓降，並仍將空氣流量保持在可接受的水平。

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

- 3.6.10 每天清潔暖通空調進氣口
- 3.6.11 早上入住前和下午/晚上入住後通氣沖洗建築物兩小時
- 3.6.12 監控和保持相對濕度水平，最好是 RH 40 - 60%<sup>22</sup>
- 3.6.13 禁用需求控制通風 (DCV)
- 3.6.14 考慮使用帶有 HEPA 過濾器的攜帶型室內空氣淨化器
- 3.6.15 考慮暫時省略能量回收系統。

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>22</sup>根據對 SARS-CoV-2 和 MERS 的研究，氣膠形式和表面上的 COVID-19 病毒在低相對濕度水平（即 30-40% RH）下的生存力最高。高於 40% 的相對濕度 (RH) 不利於許多病毒的生存，包括一般的 CoVs。



| CDC的優先考慮事項                                                          | 必要的                      | 理想的                      |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3.6.16 如果使用室內風扇，採取的措施盡量減少風扇產生的空氣從一個人直接吹向另一個人                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.17 考慮在機械通風路徑或上層應用中安裝紫外線殺菌輻射(UVGI)，以經由對流空氣運動間接處理空氣 <sup>23</sup> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.18 考慮在非工作時間使用短波紫外線(UVC) 進行消毒                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.19 對於較大的建築物，檢查冷卻和水塔冷凝水是否有細菌生長                                   |                          |                          |
| 3.6.19 對於較大的建築物，檢查冷卻和水塔冷凝水是否有細菌生長 <sup>24</sup>                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.6.20：盡可能單獨為廁所通風（例如，如果直接在室外通風，則打開排氣扇並連續運行風扇）                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>3.7 電氣、照明和通信</b>                                                 |                          |                          |
| 3.7.1 利用物聯網技術（RFIDs/key fob）減少接觸點                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • 免接觸門鎖                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 🟡 免觸摸旋轉門                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 🟡🟢🔴🟠 免觸摸工時卡                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.7.2 用運動傳感器控件或基於手機的應用程序替換燈開關                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.7.3 將電梯調控為只能上去一層樓                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.7.4 將電梯控制改為語音或手機控制                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.7.5 增加數據安全協議和保護。                                                  |                          |                          |
| 3.7.6 改進會議和“共享”軟體以促進最佳的電腦的通訊                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>3.8 器具、設備和附件</b>                                                 |                          |                          |
| 3.8.1 如果將體溫檢測作為症狀檢查過程的一部分，請按要求安裝非接觸式體溫檢測設備。                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.8.2 增加易於清潔的自動售貨機                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>23</sup>較短波長區域（254 nm UV C [UVC]）中的紫外線具有特別強的殺菌作用，調整到這部分光譜的設備可有效地用於臨床環境以滅活傳染性氣膠，並可以降低感染的能力。一些病毒可以存活。但是，如果房間居住者暴露在高能光下，紫外線殺菌輻射（UVGI）存在潛在的安全隱患。出於這個原因，UVGI 安全地安裝在機械通風路徑或上部房間應用中，以經由對流空氣運動間接處理空氣。

<sup>24</sup>這種情況可能會造成退伍軍人症風險。此外，可能需要沖洗空氣管道、更換過濾介質和沖洗供水管道，以最大程度地減少退伍軍人症風險。有關退伍軍人症緩解的其他指南，請參閱 ASHRAE 指南 12-2020，管理與建築供水系統相關的退伍軍人症風險。

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

3.8.3 提供洗碗機對可重複使用的餐具/廚房用具進行消毒的功能。



| CDC的優先考慮事項                                             | 必要的                      | 理想的                      |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3.8.4 提供支持物理距離和減少病原體傳播的設備                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| O 在專用於視訊會議的工作站上提供額外的監視器                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| O 使用個人的耳機而不是桌面的共享電話                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| S 將內建技術添加到居民房間以啟用虛擬連接以減輕隔離的影響                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.8.5 用非接觸式售貨亭改造或替換現有的售貨亭。                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>3.9 裝飾和陳設</b>                                       |                          |                          |
| 3.9.1 安裝物理屏障，例如透明塑膠隔板或噴嚏防護罩                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| E 使用小房間、隔板和其他教室家具作為靠近學生課桌和教學區的低障礙物                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| E O F S 用餐區分隔：安裝臨時隔板或高大的攤位                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| O 利用臨時、可移動的隔板來細分大型工作空間<br>包括被動式通話端口或對講機，以適應聽力障礙並改善聲音傳輸 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.9.2 更換或修改廁所隔間/隔板，使隔板從地板到天花板，並使防火安全和適當通風不是問題          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.9.3 盡量減少使用高接觸或難以清潔的裝飾面和設備（地毯、移動白板等）                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.9.4 改造現有垃圾桶或安裝新的非接觸式垃圾桶                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.9.5 提供非接觸式洗手液、乾淨的毛巾或感應烘乾機                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.9.6 在電梯按鈕等表面提供可清潔的透明薄膜                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.9.7 在選擇替換家具時優先考慮易於清潔的材料                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| CDC的優先考慮事項                                                        | 必要的                      | 理想的                      |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3.9.8 加強聲學處理，使居住者可以經由面罩聽到/被聽到                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>3.10 現場工作</b>                                                  |                          |                          |
| 3.10.1 <b>R</b> 重新配置停車和/或通道以容納路邊取貨                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.10.2 為入口排隊區提供足夠的間距，同時最大限度地減少暴露於惡劣天氣（包括風、太陽和降水）的情況               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.10.3 此管制在 3.0 版中與 3.10.2 結合使用                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.10.4 確保指定的建築物/空間入口和出口路徑提供明確分開的定向交通，同時提供 ADA 無障礙設計 <sup>25</sup> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.10.5 考慮提供室外供暖和/或遮陽以提供外部設施                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3.10.6 <b>S II</b> 為農業和/或親生物種植確定臨時空間，以促進心理健康和加強糧食安全               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>4. 第四：行政控制</b>                                                 |                          |                          |
| 需要個人或企業採取行動，通常是工作政策或程序的變化，以減少或最大程度地減少危害暴露                         |                          |                          |
| <b>4.1 政策<sup>26</sup></b>                                        |                          |                          |
| 4.1.1 制定緊急通訊計劃以及大流行和/或疫情應對計劃                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.1.2 制定升級程序，向當地衛生部門報告潛在的 COVID-19 病例                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.1.3 確定人力資源政策的必要修訂 <sup>27</sup>                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.1.4 制訂組織政策，以指導人員如果發現工作場所的員工 COVID-19 呈陽性會發生什麼事 <sup>28</sup>    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.1.5 提供有關 COVID-19 的最新教育和培訓                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>25</sup>將需要考慮多條路徑補充監視/安全規定，以解決公眾的正確使用、損失預防和可能的暴力入侵者（濫射槍手場景）問題。

<sup>26</sup>第 4.1 節中列出的政策也可能適用於其他疾病，例如流感。

<sup>27</sup>政策可能包括危險津貼、帶薪病假、確定必要人員、靈活的護理人員工作時間表、修訂的 PTO 傳遞政策和/或旅行政策等。確保病假政策和做法與公共衛生指導一致，遵循州和聯邦工作場所法律和政策，並與員工共享。

<sup>28</sup>策略可能包括隔離、加強清潔和消毒、臨時關閉辦公室、接觸者追蹤等。

|                                                                                            |                          |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 4.1.6 識別和容納在CDC定義的較高健康風險類別的居住者                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| CDC的優先考慮事項                                                                                 | 必要的                      | 理想的                      |
| 4.1.7 傳達有關定義清潔標準和協議的拼車服務、送貨服務和出租車服務的推薦指南 <sup>29</sup>                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>4.2 減少病原體傳播的過程（人對人）<sup>30</sup></b>                                                    |                          |                          |
| 4.2.1 為有症狀的人制定方案和實施計劃；包括收容區和安全運送回家或醫療護理的程序                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.2 隔離此項在V2.1中被刪除，而是整合到4.2.1中                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.3 在員工被懷疑或確認患有 COVID-19 後，關閉病人長時間使用的區域。準備計劃應允許其他員工的備用工作區域。根據 <b>CDC 指南</b> 對受影響區域進行徹底清潔 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.4 制訂在 COVID-19 患病後重返工作崗位的程序                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.5 現場篩查學院入口 <sup>31</sup>                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.6 為維護第一章 ADA 要求並防止污名化和歧視，盡可能將員工健康檢查保密                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.7 鼓勵自我監測症狀                                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.8 鼓勵住戶參與接觸者追蹤協議。                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.9 提倡洗手、個人衛生和呼吸禮儀，相反地，不鼓勵握手或其他密切接觸                                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.10 刪除此註。以前的版本引用了非接觸乾手器的參考                                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.11 提供含有至少 60% 酒精消毒劑的酒精搓手液                                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.12 提供紙巾                                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.13 將同一地區和/或一天中相似時間的高風險個案分組。                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>29</sup>近年來，共享經濟創造了環境並增加了與多人如何共享同一空間相關的新成分。共享空間和物品，例如共同工作環境、家庭房間、汽車、自行車和建築環境的其他元素，可能會增加環境介導的暴露途徑的可能性，並增加制定物理距離措施的複雜性。

<sup>30</sup>有關最佳清潔產品、潤濕時間、接觸時間和程序的信息，請參閱 CDC 指南。

<sup>31</sup>篩查可能包括經由紅外線發熱篩查系統（IFSS）進行非接觸式體溫檢測和症狀識別等做法。

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

4.2.14 在需要人際互動的地方，將居住者分成同一區域內較小的、一致的群體，尤其是高風險個體<sup>32</sup>

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|--------------------------|--------------------------|

CDC的優先考慮事項

|                                                         | 必要的                      | 理想的                      |
|---------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>E</b> 如果課堂使用分配式學習模式/以中心為基礎的學習，根據大小將一個區域內的兒童數量限制為2或3人 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S</b> 排隊：來自同一“側”或設施區域的用餐者每天坐在同一區域用餐，如果等待，則有相同的工作服務員  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S</b> 允許小團體利用集會區來減少社會隔離                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S</b> 消除多個站點、建築物和兩側之間的員工輪換                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.15 限制公眾拜訪區域                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S</b> 打開額外的入口，將外部訪客引導到他們指定的目的地。                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.16 建立經批准的協議的官方指南，以管理住戶和訪客的安全並提供相關培訓                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.2.17 限制允許的活動以降低暴露風險                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E</b> 更改體育課程以減少呼吸量/強度、增加間距並消除使用共用物體/表面               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>O II</b> 限制舒適空間中的活動類型以減少飛沫的範圍（例如，不運動、唱歌等）            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3 減少病原體傳播（經由物體傳播）的程序 <sup>33</sup>                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.1 考慮在工作時間內定期休息，以增加清潔和廢物清除的範圍和頻率                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 調整或修改商店營業時間，為定期、徹底的清潔和產品備貨提供充足的時間              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.2 定期清潔和消毒高接觸表面                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S R</b> 提供清潔輪椅的場所和消毒劑並協助清潔                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 銷售場所的手推車、架子、擱架、衣架和其他物品應特別乾淨，並考慮將其標記為“乾淨”或“已消毒” | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 顧客使用後對試衣間進行消毒                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| CDC的優先考慮事項                                              | 必要的                      | 理想的                      |

<sup>32</sup> 維護這些團體是為了多個群體。隨著時間的推移，群體應該保持穩定，因為一次性群體的效果要差得多。

<sup>33</sup> 有關最佳清潔產品、潤濕時間、接觸時間和程序的信息，請參閱 CDC 指南

|                                                       |                          |                          |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 4.3.3 搬遷物材，使房間易於清潔                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.4 如果已知有症狀的人在場，請考慮第三方深度清潔服務 <sup>34</sup>          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.5 提供一次性毛巾和消毒劑，供居住者在使用前清潔工作檯面                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.6 將等候區提供的附加實體紙本媒體替換為用於娛樂、新聞和廣告的電視或顯示器             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.7 避免和/或大大限制使用通用設備 <sup>35</sup>                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E</b> 消除接觸性運動和共用運動器材的使用                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O S</b> 消除使用公司內部運輸和公司車輛                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O F S</b> 消除共用餐具或餐具組；強制使用一次性餐具/盤子/碗              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E F S</b> 取消自助沙拉吧和自助餐                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>F R</b> 為零售商制訂非接觸式支付流程選項，以進一步限制與現金、信用卡讀卡器、筆或表面的接觸。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 停止產品抽樣                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 關閉大型垃圾箱選項                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.8 必須使用公共設備的地方，包括盲文標誌和坡道和樓梯的頂部/底部，經常進行衛生           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.3.9 制訂政策以降低與高接觸相關的風險 <sup>36</sup>                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 除非有意購買，否則不鼓勵顧客觸摸物品                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 允許暫停或延長商品退貨期                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>4.4 支持物理距離的程序</b>                                  |                          |                          |
| 4.4.1 制訂促進物理距離的策略                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 避免展示和服務區域的類型和分佈導致近距離接觸                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

<sup>34</sup>深度清潔服務最好由獲得 IICRC 認證的減損公司執行。

<sup>35</sup>常用設備可能包括咖啡壺、冰箱、飲水機以及會議室技術設備等共享設備。

<sup>36</sup>高接觸行為可能包括取消店內試穿、清洗穿上但未購買的服裝、確認購買後允許更換、“隔離”通過換貨或退貨返回零售商的產品足夠長的時間，等等。

| CDC的優先考慮事項                                                           | 必要的                      | 理想的                      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>E F S</b> 關閉用餐區，讓訂單僅用於自取或送貨                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 調整商業慣例以減少與客戶的密切接觸（例如，得來速服務、點擊取貨在線購物、電話購物、路邊取貨和送貨選項，在可行的情況下） | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 提供專門的工作人員在零售環境中為客戶取回貨物                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 建立接收退貨和換貨的方法，以盡量減少客戶與員工之間的接觸                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 錯開放貨點，使員工處於不同的過道                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.4.2 只允許必要的工作人員和訪客進入                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.4.3 對建築物的所有區域實施減少群聚政策；包括但不限於工作區、公共等候區、休息區和洗手間                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 安排客戶會面以避免等待群體                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O S</b> 透過錯開輪班分配或入場時間來限制入住率                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>F R</b> 在任何時候限制一個空間中的客戶數量                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 透過鼓勵使用購物清單、預訂和指定內外取貨，縮短在設施內的公共時間                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E O F R</b> 將送貨服務（裝貨/卸貨）計劃一次限制只為一個供應商                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>E</b> 提倡教師輪換，而不是班級輪換                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 在可能的情況下，將主要的庫存活動轉移到非高峰時間或下班時間，以減少與客戶的接觸                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 在可能的情況下，確定僅允許 CDC 定義的高風險個人訪問的營業時間，最好在徹底清潔後一次                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>S</b> 將長邊兩側分成較小的家庭，並設有獨立的用餐區和活動區                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| CDC的優先考慮事項                                | 必要的                      | 理想的                      |
|-------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 4.4.4 在建築物入口處提供專職工作人員指導來訪者的列隊行進           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.4.5 設計一個流程以確保乘客在等待時保持距離                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>R</b> 管理結帳流程以減少 COVID-19 傳播            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4.4.6 鼓勵步行、騎自行車或其他不促進與他人密切互動的個人交通方式作為公共交通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



**5. 第五：個人防護裝備 (PPE)**

可能需要正確使用 PPE 以防止某些暴露，但不應取代其他預防措施

**5.1 PPE 政策**

5.1.1 利用 CDC 指南來確定何時使用何種類型的保護。

5.1.2 定期檢查、維護和更換耗材

5.1.3 確保必要的供應品和適當的現場儲存設施

5.1.4 限制進入供應儲存空間並集中分配

**5.2 PPE 程序**

5.2.1 根據對工人的危害佩戴 PPE

5.2.2 培訓工人正確使用 PPE

5.2.3 戴手套前要求洗手/消毒

5.2.4 確保正確安裝並定期重新套量

**5.3 個人防護裝備**

5.3.1 提供手套

5.3.2 提供護目鏡

5.3.3 提供面罩

5.3.4 提供口罩或布製面罩

## 附錄

本附錄包括支持物理距離準則的設計工具和方法

### 空間句法圖

雖然最初開發為一種圖形工具，用於調查城市空間到建築規模的隱私、安全或連通性/劃分，但術語“空間句法”實際上是由 Julienne Hanson、cvi Bill 開發的理論和技術的結合 Hillier、cvii cviii cix 和倫敦大學學院巴特利特的同事，在1970年代末到1980年代初。隨著空間句法的發展，已經發現某些措施與人類空間行為相關，空間句法現在用於預測建築和城市空間對用戶的可能影響。

在2019新型冠狀病毒(COVID-19) 爆發：減少傳播的當前文獻和建築環境 (BE)考慮因素的回顧中，作者利用這種類型的分析以圖形方式描述了某些空間的連通性或排他性。另一個從向量控制的角度來看。在複雜的建築環境中，這種圖解策略可以開始將其操作流模型建立在以這種方式從圖解空間中收集的規則的基礎上。

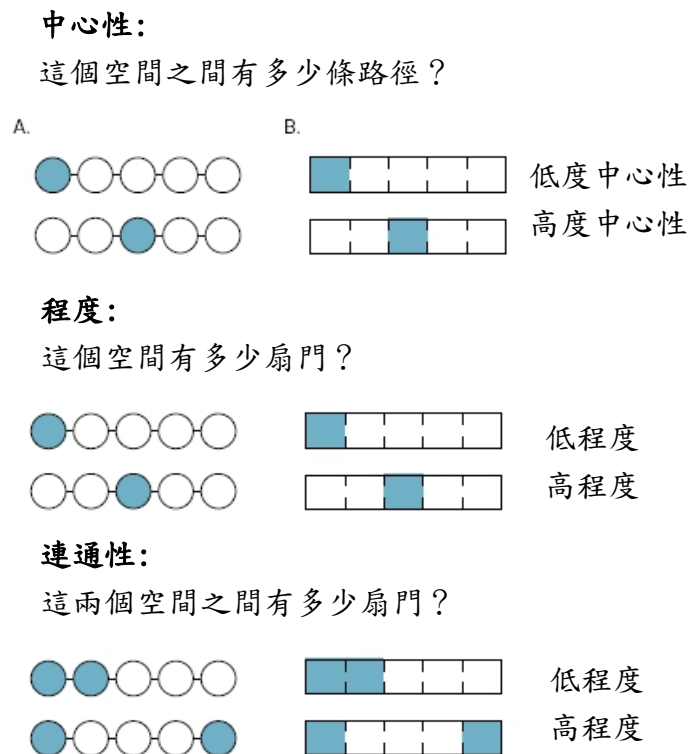
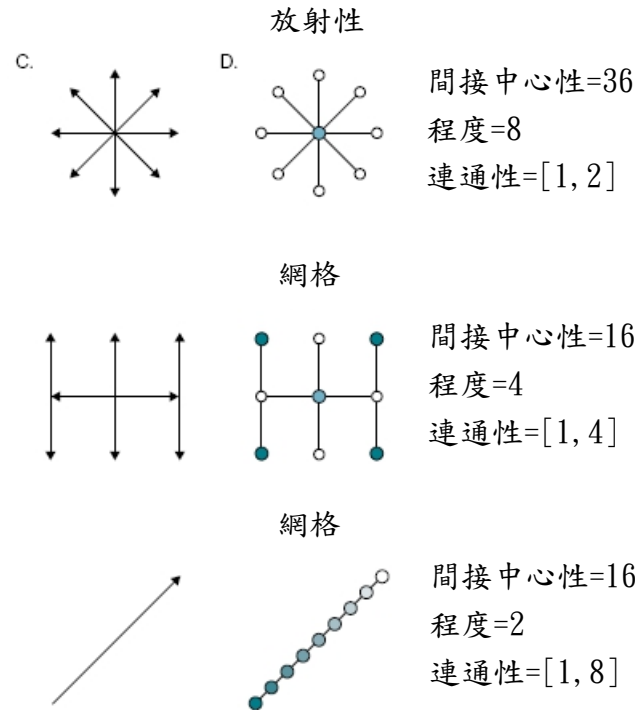


圖 2：空間連通性，強調公共房間和門配置的中心性和連通性



這個關於空間連通性的圖，強調了公共房間和門配置的中心性和連通性，來自 2019 新型冠狀病毒 (COVID-19) 大流行：對減少傳播的當前和建築環境 (BE) 考慮因素的回顧。(A) 圓和線遵循經典網絡表示。(B) 矩形遵循網絡的架構轉換。陰影區域對應於間接中心性（穿過給定空間的所有空間對之間的最短路徑數量超過建築物中所有空間對之間所有最短路徑的總和）、程度（一個空間的連接數）與任何兩個空間之間的其他空間）和連接（任何兩個空間之間的門數）。(C) 箭頭代表微生物傳播的可能方向，由BE的佈局決定。(D) 圓圈代表趨勢

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

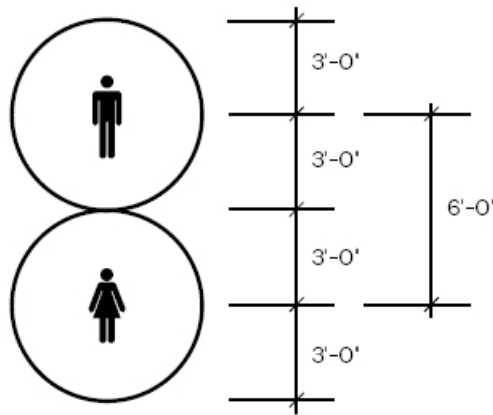
根據佈局確定BE通過BE的微生物豐富度了解微生物傳播。顏色越深代表微生物豐富度越高，顏色越淺代表微生物豐富度越低。

### 佔用評估<sup>37</sup>

以下六英尺的物理距離和相關的人均平方英尺分析旨在描述當前建築規範中允許的佔用程度在給定建議的六英尺物理距離的情況下的含義。該分析的目的是為了更好地告知政府決策者和建築業主在給定空間內應該允許多少人—作為一個經驗法則。

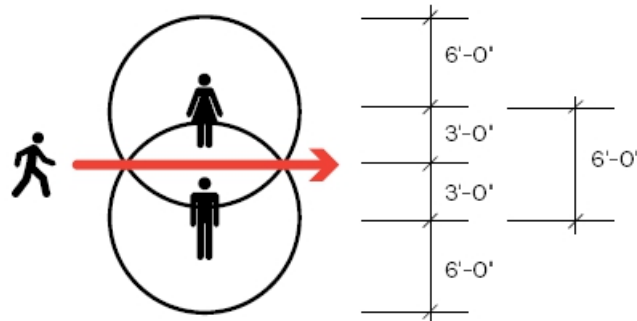
CDC建議的在 COVID-19 大流行期間保持身體距離的常用措施是在你與他人之間保持六英尺的距離

這通常被形象化為一個3英尺半徑的圓圈，以個人為中心：



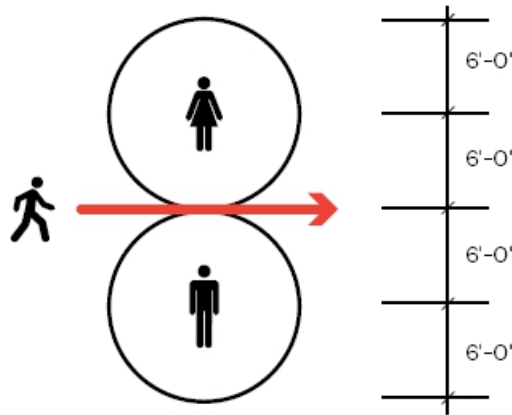
當僅使用3英尺半徑的圓時，物理距離空間是靜態的。它僅適用於人們站成一排或人們彼此相距六英尺的情況。它是線性的，它不考慮人類在空間中的運動。

如果每個人之間的物理距離正好是6英尺，那麼當人們在空間中移動時違反物理距離，因為在空間中移動相距六英尺人在兩個人之間最多只有3英尺的物理距離。



<sup>37</sup> 本評估不考慮建築和工程控制的實施，也不考慮可能改變必要物理距離的 PPE 的使用。

允許人們在由六英尺半徑形成的物理距離圓的周長/圓周處移動和導航空間，這允許人們在空間中動態移動。



六英尺物理距離半徑的區域允許並解釋了人類在空間中的移動和導航，它是動態的。

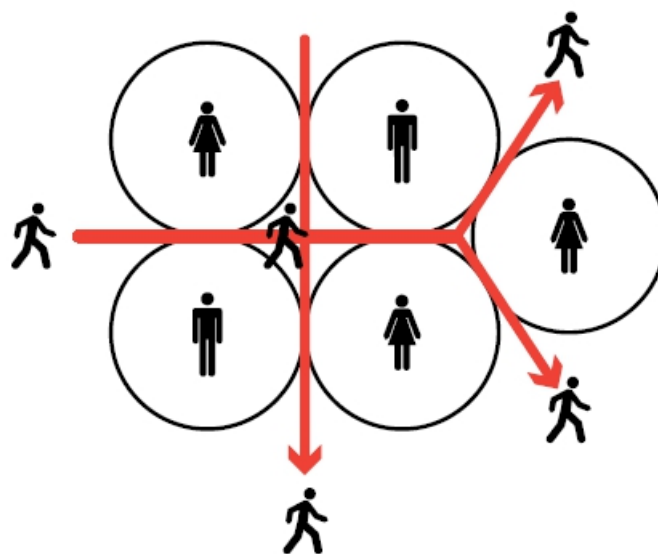
### 物理距離和建築規範

考慮到人類行為的動態特性，本分析使用六英尺半徑來表示個人物理距離空間的圓。

該物理距離圓可以作為一個起點，用於根據建築面積確定給定空間的適當佔用程度。

6 英尺半徑圓的面積為 113.097 平方英尺 ( $\text{Pi} \times 6 \text{ 英尺半徑的平方}$ )，比 10 英尺 x 10英尺房間的100平方英尺面積大。

如前所述，六英尺半徑的物理距離允許人類通過半徑形成的圓的切線處的佔用空間進入（例如：旅行），包括圓的緊密排列佈置。



## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

該原則可用作確定建築物和消防規範佔用率及其各自佔用率的指南，這些佔用率將受到 CDC 建議的六英尺物理距離的影響。為了簡化計算並出於本練習的目的，使用每人100平方英尺的標稱面積，而不是113.097 平方英尺的 6 英尺半徑圓的面積，作為與建築規範中規定的允許佔用水平的比較。

### 舉例：

使用建築規範裝配佔用面積為每人15平方英尺的有桌椅的非集中空間（例如餐廳），可以很容易地計算出設計為可容納100人的餐廳佔用面積為1,500 平方英尺。（根據現有規範，每人100人x15平方英尺）

同一個1,500平方英尺的餐廳，物理距離半徑為6英尺，只能容納15人就座（每人 1,500 平方英尺除以 100 平方英尺的物理距離）。還應指出的是，在餐廳中，桌子相距六英尺，餐廳工作人員或其他人進入六英尺餐桌間距的空間將違反物理距離，因為最多只有三英尺的間距。

另一點需要考慮的是，在重新開放經濟時，不同類型用途的佔用水平不應簡單地通過說明允許的佔用程度為其正常佔用容量的50%、25% 或任何其他百分比計算來確定。簡單地說明之前允許入住的百分比，或確定一個絕對數字，例如一個空間中不超過25或50人，並不能充分考慮物理距離所需的空間面積。

如果使用100平方英尺作為標稱物理距離措施，則受影響最大的佔用如下，以及它們各自當前每個佔用的最大建築面積限額（國際建築規範，表1004.1.1，不同版本）。此處未列出每個居住者的最大建築面積限額為100平方英尺或淨平方英尺或更多的居住，因為它們可以被視為符合標稱上100平方英尺的物理距離。

- 機場：行李領取處-總面積20平方英尺；等候區-總面積15平方英尺
- 組裝：遊戲樓層-總面積11平方英尺
- 固定座椅裝配：參考國際建築規範 1004.7
- 無固定座位的組裝：集中-7平方英尺淨；站立空間-5平方英尺淨；未集中（桌椅）-淨15平方英尺
- 保齡球中心：淨面積7平方英尺；檢查五人/車道的津貼，包括15英尺的跑道
- 法庭：淨面積 40 平方英尺

- 托兒所：淨面積35平方英尺
- 宿舍：50平方英尺
- 教育：教室面積-20淨平方英尺；商店、職業室-50平方英尺淨
- 健身房：總面積50平方英尺
- 圖書館：閱覽室-淨面積50平方英尺
- 更衣室：總面積50平方英尺
- 商業：其他樓層的區域-總面積60平方英尺；地下室和等級樓面面積-30平方英尺總面積
- 溜冰場、游泳池：溜冰場和游泳池-總面積50平方英尺；甲板-15平方英尺總面積
- 舞台和平台：淨面積15平方英尺





## 附錄七管道內加入UVGI系統設計之消毒性能比較

本計畫針對Building and Environment 2021年一篇關於管道內UVGI的效能評估review文章(Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) for in-duct airborne bioaerosol disinfection: Review and analysis of design factors)進行彙整，包括大多數管道內UVGI系統設計和文獻中報導的UV劑量（如文中表2）。此外，對於減緩COVID-19，估計的CoV紫外線速率常數搭配去活化特定病毒的紫外線劑量，以評估當前管道內UVGI系統設計對冠狀病毒的消毒效果。

表2中列出了24種不同的設計。其中，美國環境保護署(EPA)對各種燈管配置進行了一系列真實的管道內UVGI調查，這些是管道內UVGI系統設計的基本指南。報告的紫外線劑量範圍為2.47至423.42 J/m<sup>2</sup>，這對應於SARS-CoV-2和SARS-CoV的消毒效率分別為70.61% - 100.00%和62.23% - 100.00%。對於在COVID-19大流行期間能夠去活化空氣中99% SARS-CoV-2適當的UVGI系統，則可以考慮選用管道內UVGI系統#1、#4、#5和#7。

例如，按照設計#4 [32]提供198.26 J/m<sup>2</sup>的紫外線劑量。大多數其他系統提供足夠去活化90% SARS-CoV-2的紫外線劑量，除了設計#11、#13和#14，其中由於高氣流速度（6、5和6.5 m/s），暴露時間縮短，UV燈輸出降低（風寒影響）。此外，還考慮了HVAC操作條件，有報告指出30°C和1 m/s提供最高的紫外線劑量（垂直或平行於氣流的四個燈為133.74和110.21 J/m<sup>2</sup>），而10°C和3 m/s由於紫外線燈的過度冷卻，導致垂直或平行方向的UV劑量降為44.58和36.74 J/m<sup>2</sup> [67]。

整體而言，對於去活化90% SARS-CoV-2和SARS-CoV，適當的管道內UVGI系統設計應提供至少4.64 J/m<sup>2</sup>和5.84 J/m<sup>2</sup>的平均紫外線劑量。因此，需要更強大的燈或更慢的氣流來增加管道系統中的紫外線劑量。

紫外線速率常數是影響微生物在紫外線照射下的物種相關特性。儘管長期以來濕度一直被認為是影響紫外線速率常數的關鍵參數，但由於文獻中報導的混合影響，尚未得出一般性結論。由於水層吸收和吸濕性顆粒引起的紫外線散射造成的輻射衰減是影響紫外線速率常數變化的兩個潛在原因。然而，需要進一步的研究來量化這些對微生物消毒的影響。

在這篇綜述中，總結了各種管道內UVGI系統設計，並列出了報告的UV劑量和整體系統去活化效率（表2）。

依據每個紫外線速率常數設計下獲得的紫外線劑量的報告中評估了SARS-CoV-2去活化效率（表5）。已經發現，一些設計嚴重浪費了紫外線劑量（能量），而另一些設計為SARS-CoV-2去活化99%程度下所提供的紫外線劑量不足。因此，假設燈的數量與對系統中總UV劑量的貢獻之間存在線性比例關係，建議在每個設計中提供足夠的UV燈以提供所需的UV劑量，並在表5中列出。

設計建議的去活化效率和能耗列於表5，不同UVGI系統設計的能耗預測存在顯著差異。從節能的角度來看，設計#1、#4和#7是最節能的設計，每年分別消耗1051.2、613.2和1095 kWh，至少99%的SARS-CoV-2去活化。造成這種情況

的一個主要原因是 UVGI 系統設計中使用的反射材料。在三種設計中，設計#4 和#7 特別有效。與設計#1 中僅 99% 的去活化效率相比，它們提供比系統所需的紫外線劑量高得多的紫外線劑量，使它們在消毒其他具有更高紫外線抵抗力的微生物時更可靠。設計#2 和#5 報告能耗適中，因為它們使用反射性較低的牆體材料。此外，設計#5 將五個紫外線燈緊湊地安裝在一個拋物面反射器，其中一些紫外線輻射會浪費在反射器上。設計#3 和#6 消耗更多的能量，因為它們都沒有應用反射牆材料或類似鏡子的管道壁，而設計#8 由於使用脈衝紫外線燈而消耗大量能量，這超出了本比較的範圍。此外，通過考慮操作因素對 UV 燈輸出的影響來實現節能。設計#3 最初需要 16 個燈來提供  $11.8 \text{ J/m}^2$  的紫外線劑量，以便在夏季去活化 99.26%。然而，由於夏季 ( $24.5^\circ\text{C}$ ) 的燈輸出高於原始研究的實驗條件 ( $23.1^\circ\text{C}$ )，因此發現 15 盞燈提供足夠的紫外線劑量 ( $11.3 \text{ J/m}^2$ ) 實現 99.09% 的去活化，為夏季節省 109.5 kWh 的能源。最後，應該指出的是，本文中的能耗預測受到燈功率輸入與管道中貢獻的紫外線劑量之間的線性關係假設的影響，這忽略了濕度對輻射傳輸的影響。需要進一步的輻射傳輸模擬研究來準確關聯燈管中的燈功率輸入和紫外線劑量。

最後，為了減緩 COVID-19 的傳播，本文總結了文獻中的導管內 UVGI 設計，並預測了它們的 SARS-CoV-2 去活化效率（表 2）和能耗（表 5）。兩個節能 UVGI 系統設計（設計#4 和#7）被確定為 COVID-19 大流行期間 UVGI 設計的參考。

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

表2、文獻中的導管內 UVGI 系統設計和估計冠狀病毒去活化效率

| Design details             |                                 |                                            |           |                             |               |                          | Reported inactivation efficiency in literature                         | Estimated inactivation efficiency (log reduction) in this study |               |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|-----------|-----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------|
| Design No.                 | Duct size W × H × L (m × m × m) | Lamp arrangement (lamp numbers, direction) | Power (W) | UV dose (J/m <sup>2</sup> ) | Airflow (m/s) | Environmental conditions |                                                                        | SARS-CoV-2                                                      | SARS-CoV-2    |
| #1 (EPA 600/R-06/049) [29] | 0.61 × 0.61 × 4.6 <sup>a</sup>  | 12 <sup>b</sup> , reflective duct material | 720       | 76.51                       | 2.5           | 23.2–24.1 °C             | MS2 98%                                                                | ~100% <sup>d</sup> (16.47)                                      | ~100% (13.10) |
| #2 (EPA 600/R-06/050) [30] |                                 | 1, perpendicular                           | 58        | 2.47                        |               | 22.7–22.9 °C             | 39%                                                                    | 70.61% (0.53)                                                   | 62.23% (0.42) |
| #3 (EPA 600/R-06/051) [31] |                                 | 4, perpendicular                           | 100       | 2.95                        |               | 23–23.2 °C               | 46%                                                                    | 76.84% (0.64)                                                   | 68.74% (0.51) |
| #4 (EPA 600/R-06/052) [32] |                                 | 6, perpendicular, reflective               | 420       | 198.26                      |               | 25.3–25.8 °C             | 99%                                                                    | ~100% (42.69)                                                   | ~100% (33.94) |
| #5 (EPA 600/R-06/053) [33] |                                 | 5, parallel                                | 1100      | 164.39                      |               | 24.4–24.8 °C             | 99%                                                                    | ~100% (35.40)                                                   | ~100% (28.14) |
| #6 (EPA 600/R-06/054) [34] |                                 | 4, perpendicular                           | 240       | 5.82                        |               | 23–23.2 °C               | 75%                                                                    | 94.42% (1.25)                                                   | 89.92% (0.99) |
| #7 (EPA 600/R-06/084) [35] | 0.3 × 0.3 × 4.6 <sup>a</sup>    | 6, parallel, reflective                    | 750       | 423.42                      | 1.56          | 21.2–24.1 °C             | 100%                                                                   | ~100% (91.17)                                                   | ~100% (72.49) |
| #8 (EPA 600/R-06/085) [36] | 0.61 × 0.61 × 4.6 <sup>a</sup>  | 12, pulsed, perpendicular                  | 7020      | 4.47                        | 2.72          | 23.6–25.2 °C             | 59%                                                                    | 89.10% (0.96)                                                   | 82.83% (0.77) |
| #9 [19]                    | 0.2 × 0.2 × 1.4                 | 1, perpendicular                           | 9         | 7.35                        | 3             | 23 °C, 55%               | SM (99.925%); PA (99.909%); EC (98.168%); SE1 (93.607%); SE2 (92.935%) | 97.39% (1.58)                                                   | 94.48% (1.26) |
| #10 [19]                   |                                 |                                            |           | 4.90                        | 4.5           |                          | –                                                                      | 91.19% (1.06)                                                   | 85.51% (0.84) |
| #11 [19]                   |                                 |                                            |           | 3.68                        | 6             |                          | –                                                                      | 83.83% (0.79)                                                   | 76.51% (0.63) |
| #12 [24]                   | 0.2 × 0.2 × 1.4                 | 1, perpendicular                           | 9         | 6.52                        | 3             | 20 °C, 50%               | SE2 (81.73%); PA (99.75%); EC (95.92%)                                 | 96.05% (1.40)                                                   | 92.35% (1.12) |
| #13 [24]                   |                                 |                                            |           | 3.91                        | 5             |                          | –                                                                      | 85.62% (0.84)                                                   | 78.61% (0.67) |
| #14 [24]                   |                                 |                                            |           | 3.01                        | 6.5           |                          | –                                                                      | 77.52% (0.65)                                                   | 69.47% (0.52) |
| #15 [67]                   | 0.61 × 0.61 × 2.74              | 4, perpendicular                           | 240       | 66.87                       | 2             | 20 °C                    | –                                                                      | ~100% (14.40)                                                   | ~100% (11.45) |
| #16 [67]                   |                                 |                                            |           | 44.58                       | 3             | 10 °C                    | –                                                                      | ~100% (9.60)                                                    | ~100% (7.63)  |
| #17 [67]                   |                                 |                                            |           | 133.74                      | 1             | 30 °C                    | –                                                                      | ~100% (28.80)                                                   | ~100% (22.90) |
| #18 [67]                   |                                 | 4, parallel                                |           | 55.11                       | 2             | 20 °C                    | –                                                                      | ~100% (11.87)                                                   | ~100% (9.43)  |
| #19 [67]                   |                                 |                                            |           | 36.74                       | 3             | 10 °C                    | –                                                                      | ~100% (7.91)                                                    | ~100% (6.29)  |
| #20 [67]                   |                                 |                                            |           | 110.21                      | 1             | 30 °C                    | –                                                                      | ~100% (23.73)                                                   | ~100% (18.87) |
| #21 [68]                   | 0.64 × 0.64 × 2.44              | 4, parallel                                | 240       | 6.30                        | 0.93          | 22.7 °C; 31%             | MS2 (99.21%); BB (99.94%); FH (43.77%); CD (96.84%)                    | 95.60% (1.36)                                                   | 91.65% (1.08) |
| #22 [25]                   | 0.61 × 0.61 × 3.54              | 1, perpendicular                           | 145       | 13.41                       | 1.27          | 24 °C, 50%               | SM (99%); SE (81%); BS (50.5%); AV (10.5%); PC (0.5%); CS (9.5%)       | 99.87% (2.89)                                                   | 99.49% (2.30) |
| #23 [25]                   |                                 | 3, perpendicular                           | 435       | 31.97                       |               |                          |                                                                        | ~100% (6.88)                                                    | ~100% (5.47)  |
| #24 [25]                   |                                 | 6, perpendicular                           | 870       | 75.09                       |               |                          |                                                                        |                                                                 |               |

| Design details |                                 |                                            |           |                             |               |                          | Reported inactivation efficiency in literature | Estimated inactivation efficiency (log reduction) in this study |               |
|----------------|---------------------------------|--------------------------------------------|-----------|-----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------|
| Design No.     | Duct size W × H × L (m × m × m) | Lamp arrangement (lamp numbers, direction) | Power (W) | UV dose (J/m <sup>2</sup> ) | Airflow (m/s) | Environmental conditions |                                                | SARS-CoV-2                                                      | SARS-CoV-2    |
|                |                                 |                                            |           |                             |               |                          | BS (85%); AV (74.5%); PC (13.5%); CS (16%)     | ~100% (16.17)                                                   | ~100% (12.86) |

SM : S. marcescens ; PA : 產鹼假單胞菌 ; SE1 : S. enterica ; SE2 : 表皮葡萄球菌 ; EC : 大腸桿菌 ; BB : B. bronchiseptica ; FH : 貓皰疹病毒-1 ; CD : 犬瘟熱病毒 ; BS : 枯草

芽孢桿菌；AV：雜色麴黴；PC：Penicillium chrysogenum；CS：球孢枝孢菌。

a根據 ASHRAE 標準 52.2 [ 69 ]估算的管道長度。

b參考文獻中的燈配置細節。[ 29 ]。

c參考文獻中的燈配置細節。[ 32 ]。

d對於大於 99.995% 的去活化效率，標示為“~100%”。

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

表5、文獻中用於 99% SARS-CoV-2 去活化的管道內 UVGI 系統的設計和能耗預測（所需的紫外線劑量：夏季為11.17 J/m<sup>2</sup>，冬季為 6.29 J/m<sup>2</sup>）。

| Original design (from EPA reports)      |                                               |                                                                        | New design suggestions                 |                                          |                                                  |                           |         |          |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|---------|----------|
| Design details                          | UV dose (J/m <sup>2</sup> )                   | Inactivation efficiency (log reduction)                                | Design                                 | UV dose <sup>b</sup> (J/m <sup>2</sup> ) | Inactivation efficiency (log reduction)          | Energy consumption (kW h) |         |          |
|                                         |                                               |                                                                        |                                        |                                          |                                                  | Summer                    | Winter  | Year     |
| #1 (EPA 600/R-06/049) <sup>a</sup> [29] | 12 lamps (each 60W), reflective duct material | 76.51<br>~100% <sup>c</sup> (13.82) (summer)<br>~100% (24.19) (winter) | 2 lamps                                | 12.75                                    | 99.50% (2.30) (summer)<br>99.99% (4.03) (winter) | 525.6                     | 525.6   | 1061.2   |
| #2 (EPA 600/R-06/050) [30]              | 1 lamp (58W), perpendicular                   | 2.47<br>65.25% (0.45) (summer)<br>76.38% (0.78) (winter)               | 5 lamps (summer)<br>3 lamps (winter)   | 12.14 (summer)<br>7.49 (winter)          | 99.36% (2.19) (summer)<br>99.57% (2.37) (winter) | 1270.2                    | 762.12  | 2032.32  |
| #3 (EPA 600/R-06/051) [31]              | 4 lamps (each 25W), perpendicular             | 2.95<br>71.70% (0.53) (summer)<br>82.16% (0.93) (winter)               | 15 lamps (summer)<br>9 lamps (winter)  | 11.30 (summer)<br>6.48 (winter)          | 99.09% (2.04) (summer)<br>99.11% (2.05) (winter) | 1462.5                    | 985.5   | 2448     |
| #4 (EPA 600/R-06/052) [32]              | 6 lamps (each 70W), perpendicular, reflective | 198.26<br>~100% (35.80) (summer)<br>~100% (62.69) (winter)             | 1 lamp                                 | 33.70 (summer)<br>34.71 (winter)         | ~100% (6.09) (summer)<br>~100% (10.98) (winter)  | 306.6                     | 306.6   | 613.2    |
| #5 (EPA 600/R-06/053) <sup>a</sup> [33] | 5 lamps (each 220W), parallel                 | 164.39<br>~100% (29.69) (summer)<br>~100% (51.98) (winter)             | 1 lamp                                 | 32.88                                    | ~100% (5.94) (summer)<br>~100% (10.40) (winter)  | 963.6                     | 963.6   | 1927.2   |
| #6 (EPA 600/R-06/054) [34]              | 4 lamps (each 60W), perpendicular             | 5.82<br>91.71% (1.05) (summer)<br>96.66% (1.84) (winter)               | 8 lamps (summer)<br>5 lamps (winter)   | 11.48 (summer)<br>7.38 (winter)          | 99.15% (2.07) (summer)<br>99.54% (2.33) (winter) | 2102.4                    | 1314    | 3416.4   |
| #7 (EPA 600/R-06/084) <sup>a</sup> [35] | 6 lamps (each 125W), parallel, reflective     | 423.42<br>~100% (76.46) (summer)<br>~100% (133.89) (winter)            | 1 lamp                                 | 70.57                                    | ~100% (12.74) (summer)<br>~100% (22.31) (winter) | 547.5                     | 547.5   | 1095     |
| #8 (EPA 600/R-06/085) <sup>a</sup> [36] | 12 pulsed lamps (each 585W), perpendicular    | 4.47<br>85.23% (0.81) (summer)<br>92.66% (1.41) (winter)               | 30 lamps (summer)<br>17 lamps (winter) | 11.18 (summer)<br>6.33 (winter)          | 99.01% (2.00) (summer)<br>99.00% (2.00) (winter) | 76,869                    | 43559.1 | 120428.1 |

<sup>a</sup> 99% 去活化的紫外線劑量沒有通過夏季和冬季天氣的燈輸出校正，因為其他燈氣流面臨的場景缺乏熱傳遞模型。

<sup>b</sup> 夏季和冬季的紫外線劑量因夏季和冬季暖通空調工作條件（050、051、054、085：圓柱燈強制對流）而考慮不同的燈輸出量而不同。

<sup>c</sup> 對於大於 99.995% 的去活化效率，文中標記“~100%”。

## 參考文獻

- [19] Y. Yang, H. Zhang, S.S. Nunayon, V. Chan, A.C.K. Lai. Disinfection efficacy of ultraviolet germicidal irradiation on airborne bacteria in ventilation ducts *Indoor Air*, 28 (2018), pp. 806-817, 10.1111/ina.12504
- [24] H. Zhang, X. Jin, S.S. Nunayon, A.C.K. Lai. Disinfection by in-duct ultraviolet lamps under different environmental conditions in turbulent airflows. *Indoor Air*, 30 (2020), pp. 500-511, 10.1111/ina.12642
- [25] D. VanOsdell, K. Foarde. Defining the effectiveness of UV lamps installed in circulating air ductwork, prep. Air-conditioning refrig. Technol. Inst. Under ARTI 21-CR progr. Contract number 610-40030. Public from U.S. Dep. Commer. Natl. Tech. Inf. Serv. 5285 Port R. Road (2002)
- [29] EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light. UltraViolet Devices. Inc. Altru-V V-Flex (2006). Epa 600/R-06/049
- [30] EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light

- systems. Dust free bio-fighter 4Xtreme. Model, 21 (2006). Epa 600/R-06/050
- [31]EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light systemsAtlantic Ultraviolet Corporation AeroLogic Model AD24-4 (2006). Epa 600/R-06/051
- [32]EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light. Steril-Aire, Inc. Model SE 1VO with GTS 24 VO emitter (2006). Epa 600/R-06/052.
- [33]EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light systemsSanuvox Technologies Inc. UV Bio-Wall 50 Outwardly Projecting Air Purifier (2006). Epa 600/R-06/053.
- [34]EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light. American Ultraviolet Corporation ACP-24/HO-4 (2006). Epa 600/R-06/054
- [35]EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light. Novatron, Inc. BioProtector BP114i (2006). Epa/600/R-06/084
- [36]EPA. Biological inactivation efficiency by HVAC in-duct ultraviolet light systemsAbracair, LLC In-Duct System (2006). EPA 600/R-06/085
- [67]J. Lau, W. Bahnfleth, R. Mistrick, D. Kompare. Ultraviolet irradiance measurement and modeling for evaluating the effectiveness of in-duct ultraviolet germicidal irradiation devices. HVAC R Res., 18 (2012), pp. 626-642, 10.1080/10789669.2011.611575
- [68]J.I. Pearce-Walker, D.J. Troup, R. Ives, L.A. Ikner, J.B. Rose, M.A. Kennedy, M.P. Verhoughstraete. Investigation of the effects of an ultraviolet germicidal irradiation system on concentrations of aerosolized surrogates for common veterinary pathogens. Am. J. Vet. Res., 81 (2020), pp. 506-513, 10.2460/ajvr.81.6.506
- [69]M.D. Corbat, K. Owen, T.A. Mcgrath, R.B. Burkhead, D.M. Feddersen, C. Fischer, P. Maybee, S.W. Nicholas, C.Q. Sun, R.M. Harrold, S.J. Emmerich, J.D. Aswegan, K.I. Emerson, J.M. Ferguson, M.W. Gallagher, W.T. Grondzik, S.S. Hanson, R.L. Hedrick. Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size. ASHRAE Stand (2017), pp. 1-64. 2007.





附錄八 Airborne transmission of respiratory viruses

文獻彙整

|      |                                                     |
|------|-----------------------------------------------------|
| 英文   | <b>Airborne transmission of respiratory viruses</b> |
| 中文   | 呼吸道病毒的空氣傳播                                          |
| 文獻類別 | Review paper                                        |

## 回顧概要(Review summary)

### 背景：

呼吸道病原體 (Respiratory pathogens) 的主要傳播方式被廣泛認為是接觸到感染者咳嗽和打噴嚏時產生的飛沫或接觸到被飛沫污染的表面 (污染物)。空氣傳播傳統上被定義為主要在距離感染者1至2公尺的距離內吸入小於 5  $\mu\text{m}$  的傳染性氣膠或飛沫核(Droplet nuclei)，而這種傳播被認為只和一些不尋常的疾病有關。然而，許多強而有力的證據指出呼吸道病毒的空氣傳播，包括嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus, SARS-CoV)、中東呼吸症候群冠狀病毒感染症 (Middle East respiratory syndrome coronavirus, MERS-CoV)、流感病毒、人類呼吸道合胞病毒(Respiratory syncytial virus, RSV)。在 COVID-19 大流行期間顯示出了在我們對於飛沫、污染物和空氣等傳統傳播機制的觀點的限制性。僅 SARS-CoV-2 的飛沫和污染物傳播並不能解釋 COVID-19 大流行期間觀察到的眾多超級傳播事件和室內外環境之間傳播的差異。圍繞在 COVID-19 如何傳播以及需要哪些措施來控制大流行的爭論證實出需要迫切地了解呼吸道病毒的空氣傳播途徑，這將有助於製定更明智的策略來減輕呼吸道感染的傳播。

### 進展(Advances)：

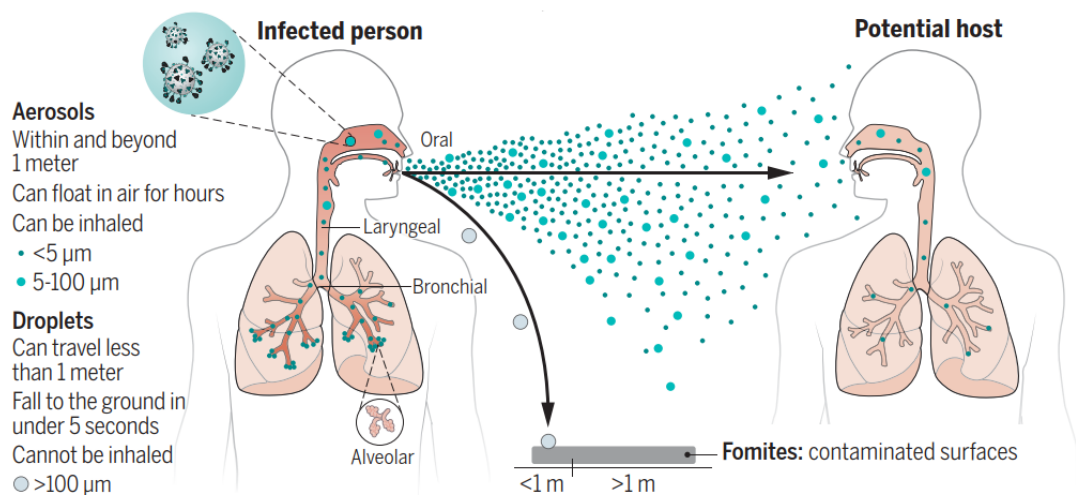
呼吸道飛沫和氣膠可以透過各種呼氣活動產生。氣膠量測技術的進展，例如空氣動力學和掃描式電移動度分析儀(Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS) 粒子大小，顯示呼出的氣膠主要小於5  $\mu\text{m}$ ，對於大多數呼吸活動則小於1  $\mu\text{m}$ ，包括呼吸、說話和咳嗽等，表示呼出的氣膠大小種類與呼吸道中的不同產生部位和產生機制有關。儘管歷史上曾使用 5  $\mu\text{m}$  來區分氣膠和飛沫，但氣膠和飛沫之間的大小差異應為 100  $\mu\text{m}$ ，這代表了從 1.5 m 的高度可以在靜止空氣中懸浮 5 s 以上的最大粒徑，通常達到距噴發位置 1 到 2 m 的距離 (取決於攜帶氣膠的氣流速度)，並且可以被吸入。受感染個體產生的氣膠可能含有傳染性病毒，研究證實病毒富含小氣膠 (<5  $\mu\text{m}$ )。攜帶病毒的氣膠的傳輸受氣膠本身的理化性質和環境因素的影響，包括溫度、相對濕度、紫外線輻射、氣流和通風。一旦被吸入，攜帶病毒的氣膠就會沉積在呼吸道的不同部位。較大的氣膠傾向於沉積在上呼吸道；然而，較小的氣膠雖然也可以沉積在上呼吸道，但可以更深入到肺部的肺泡區域。

通風對傳播的強烈影響；室內和室外傳播之間的明顯差異；有所根據的遠

距離傳播；室內SARS-CoV-2超級傳播的高發生率事件以及動物實驗和氣流模擬等都為空氣傳播提供了強有力和明確的證據。目前已發現藉由污染物傳播SARS-CoV-2的傳播效率比空氣傳播還要來的低，但僅當個體在交談時彼此相距在 0.2 m 以內時，飛沫傳染才是主要的傳播途徑。儘管受感染的個體在呼氣活動期間可以產生氣膠和飛沫，但飛沫會在幾秒鐘內迅速落到地面或表面。此外，空氣傳播途徑可能有助於其他呼吸道病毒的傳播，這些病毒的傳播以前被定性為飛沫驅動(droplet driven)。世界衛生組織 (WHO) 和美國疾病控制與預防中心 (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) 已正式宣告，吸入載有病毒的氣膠是 2021 年短距離和長距離傳播 COVID-19 的主要傳播方式。

### 展望(Outlook)：

病原體藉由空氣傳播被大大低估了，主要是因為對氣膠在空氣傳播的行為模式了解不足，而部分原因是因為軼事觀察的錯誤歸因(Misattribution of anecdotal observations)。鑑於缺乏飛沫和污染物傳播的證據，以及越來越多的證據證實氣膠傳播多種呼吸道病毒，我們必須承認，空氣傳播比以前認識到的要普遍得多。鑑於我們對 SARS-CoV-2 感染的了解，需要重新評估所有呼吸道傳染病的氣膠傳播途徑。必須採取額外的預防措施來減少短距離和長距離的氣膠傳播，尤其要注意通風、氣流、空氣過濾、紫外線消毒和口罩配戴。這些干預措施是結束當前大流行和防止未來爆發的關鍵工具。



**呼吸道病毒透過空氣傳播所涉及的階段。**攜帶病毒的氣膠 ( $< 100 \mu\text{m}$ ) 首先由感染者透過呼氣活動產生，透過呼氣活動被呼出並在環境中運輸。只要它們保持傳染性，它們可能會被潛在宿主吸入以引發新的感染。與飛沫 ( $> 100 \mu\text{m}$ ) 相比，氣膠可以在空氣中停留數小時，並在距離呼出它們的感染者 1 到 2 m 的範圍內傳播，從而在短距離和長距離內引起新的感染。

本文

摘要(abstract)：

COVID-19 大流行揭示了我們對呼吸道病毒傳播途徑的傳統觀點的理解和需要更新的關鍵知識的不足。飛沫和空氣傳播的長期定義無法解釋攜帶病毒的呼吸道飛沫和氣膠透過空氣傳播並導致感染的機制。在這篇回顧中，我們討論了有關呼吸道病毒透過氣膠傳播的當前證據，也就是它們是如何產生、運輸和沉積的，以及影響飛沫沉積與氣膠吸入作為傳播方式的相對貢獻的因素。對於嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒第2型 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2) 感染的研究帶來對氣膠傳播的更好理解需要重新評估其他呼吸道病毒的主要傳播途徑，這將允許更明智的控制以減少空氣傳播。

前言：

在過去的一個世紀裡，呼吸道病毒被認為主要透過大的呼吸道飛沫傳播，這些飛沫藉由感染者咳嗽和打噴嚏時產生，這些飛沫沉積在潛在宿主的眼睛、鼻子或嘴巴的黏膜上（飛沫傳播）或沉積在表面，然後宿主接觸並轉移到黏膜上（污染物傳播）。此類飛沫被認為會落在距離感染者1至2 m範圍內的地面上——這是大多數公共衛生機構在建議與呼吸道病毒感染者保持安全距離時使用的關鍵假設。即使被認為不太普遍，空氣傳播指的是吸入傳染性氣膠或「飛沫核(Droplet nuclei)」（在空氣中蒸發的飛沫），通常定義為小於 5  $\mu\text{m}$  且傳播距離大於距離感染者1至2m。氣膠是微小的液體、固體或半固體顆粒，它們非常小，可以懸浮在空氣中。可呼吸性氣膠是在所有呼氣活動中產生的，包括健康人和呼吸道感染者的呼吸、說話、唱歌、喊叫、咳嗽和打噴嚏(1-4)。

空氣傳播在歷史定義上忽略了氣膠也可以在接近感染者的範圍內被吸入的可能性，在這種情況下，暴露的可能性更大，因為呼出的氣膠更靠近釋放它們的人。此外，根據氣膠和飛沫的空氣動力學行為模式，最近有人建議將兩者之間的尺寸區別更新為 100  $\mu\text{m}$ ，而不是傳統的 5  $\mu\text{m}$  定義(5-7)。具體而言，100  $\mu\text{m}$  代表在靜止空氣中懸浮超過5秒（從 1.5 m的高度）以及從感染者傳播超過 1 m 可以被吸入的最大顆粒。雖然感染者透過咳嗽或打噴嚏產生的飛沫可能會在短距離 (<0.5 m) 內傳播感染，但透過說話和其他呼氣活動產生的氣膠的數量和病毒載量遠高於飛沫 (8-10)。氣膠小到足以在空氣中滯留、累積在通風不良的空間中，並在短距離和長距離內被吸入，因此迫切需要在當前的呼吸道疾病控制協議中加入氣膠預防措施。在 COVID-19 大流行期間，控制措施主要側重於防止飛沫和污染物接觸傳播，而空氣傳播途徑需要更多證據才能添加控制措施以防止傳播。

圍繞在傳播呼吸道疾病中不同傳播模式的爭論已經持續了幾個世紀。在 20 世紀之前，傳染性呼吸道疾病被認為是透過感染者釋放瘟疫顆粒(Pestilential particles)所傳播的 (11,12)。這種空氣傳播的觀點在 1900 年代初期被 Charles Chapin 駁回，他聲稱接觸是呼吸道疾病傳播的主要途徑，噴霧（飛沫）傳播是

接觸傳播的延伸 (13)。Chapin 擔心提及空氣傳播會嚇到人們不作為並取代衛生習慣。Chapin 錯誤地將近距離感染等同於飛沫傳播—忽略了氣膠傳播也會發生在近距離的事實。這種不受支持的假設在流行病學研究中變得普遍 (14)，從此之後控制呼吸道病毒傳播的措施集中在限制飛沫和污染物傳播 (15)。其中一些策略對於阻隔氣膠傳播也有效果，但卻會導致錯誤的結論，即它們的有效性證實了飛沫傳播。

儘管假設飛沫傳播為主要的傳播途徑，但也有強而有力的證據支持許多呼吸道病毒的空氣傳播，包括麻疹病毒 (16-18)、流感病毒 (19-24)、人類呼吸道合胞病毒 (Respiratory syncytial virus, RSV) (25)、人類鼻病毒 (hRV) (9, 26-28)、腺病毒、腸道病毒 (29)、嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus, SARS-CoV) (30, 31)、中東呼吸症候群冠狀病毒感染症 (Middle East respiratory syndrome coronavirus, MERS-CoV) (32) 和 SARS-CoV-2 (33-36) (表1)。在一項針對家庭環境的研究中，估計空氣傳播約佔 A 型流感病毒傳播的一半 (20)。另一項關於鼻病毒傳播的人類挑戰研究得出結論，氣膠可能是主要的傳播方式 (26)。倉鼠和雪貂的 SARS-CoV-2 感染已被證實可以透過空氣傳播，此實驗設計是在排除直接接觸和飛沫傳播的狀況下進行 (33, 37, 38)。對於流感病毒、副流感病毒、RSV、人類間質肺炎病毒和 hRV 感染期間呼吸道排放物的分析顯示，病毒基因組存在於各種大小的氣膠中，在小於 5  $\mu\text{m}$  的氣膠中檢測到的含量最高，而不是在較大的氣膠中 (39)。已檢測到 SARS-CoV-2 RNA，並在 0.25 至  $>4 \mu\text{m}$  (34, 35, 40-44) 的氣膠中找出了傳染性病毒。在從感染者呼出的細顆粒 ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) 和粗顆粒 ( $> 5 \mu\text{m}$ ) 氣膠中也檢測到流感病毒 RNA，在細顆粒氣膠中含有更多的病毒 RNA (23)。實驗室研究發現，霧化的 SARS-CoV-2 的半衰期約為 1 至 3 小時 (45-47)。世界衛生組織 (WHO) 和美國疾病控制與預防中心 (CDC) 分別在 2021 年 4 月和 5 月正式承認吸入載有病毒的氣膠是 SARS-CoV-2 短程和長程傳播的主要方式 (48, 49)。

呼吸道病原體暴露的數學模式證實出傳播主要是在距離感染者 2 m 以內的短距離氣膠吸入，而飛沫僅在個體說話時 0.2 m 以內或咳嗽時 0.5 m 以內時為主要的傳播方式 (50)。對麻疹病毒 (16-18) 和結核分枝桿菌 (51, 52) 近距離感染的軼事觀察，以前僅歸因於飛沫，現在包括了近距離氣膠傳播。目前需要進一步研究呼吸道疾病，其傳播方式以前被定性為飛沫驅動 (droplet driven)，因為空氣傳播對大多數疾病來說很重要且可能為主要的傳播方式。在 COVID-19 大流行早期，若假設飛沫和污染物接觸為主要的傳播途徑，與麻疹 (53-55) 相比擁有相對低的基本傳染數 (Basic reproduction number,  $R_0$ ) (表1)。

表1 呼吸道病毒之空氣傳播。各種呼吸道病毒及其基本傳染數( $R_0$ )的空氣傳播的代表性證據。

| Virus name                        | Scope of studies and/or approaches |                               |                     |                                |                            |                         |                           |                  | Basic reproduction number ( $R_0$ ) |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------------------|
|                                   | Air sampling and PCR               | Air sampling and cell culture | Animal models       | Laboratory or clinical studies | Epidemiologic -al analysis | Simulation and modeling | Size-resolved information |                  |                                     |
| SARS-CoV                          | (31)                               | (31)                          | -                   | (30)                           | (30)                       | (30)                    | -                         | 2.0–3.0 (197)    |                                     |
| MERS-CoV                          | (32)                               | (32, 103)                     | (103,198)           | (32)                           | -                          | -                       | -                         | 0.50–0.92 (197)  |                                     |
| SARS-CoV-2                        | (41-44)                            | (34, 35, 40)                  | (33, 37, 199)       | (34, 45, 107)                  | (36, 64, 71, 72, 186)      | (36, 50)                | (34, 41, 43)              | 1.4–8.9 (57, 58) |                                     |
| Influenza virus                   | (22, 23, 98, 102, 106)             | (23, 98, 101)                 | (24, 137, 200, 201) | (24, 138, 202, 203)            | (20)                       | (20, 114, 204)          | (23, 105, 106)            | 1.0–21 (205)     |                                     |
| Rhinovirus                        | (9, 27)                            | (26, 28)                      | -                   | (26–28)                        | -                          | (27)                    | (9)                       | 1.2–2.7 (205)    |                                     |
| Measles virus                     | (16)                               | (16)                          | -                   | -                              | (17)                       | (17)                    | (16)                      | 12–18 (206)      |                                     |
| Respiratory syncytial virus (RSV) | (102)                              | (25)                          | -                   | (25)                           | -                          | -                       | (25)                      | 0.9–21.9 (205)   |                                     |

$R_0$ 是指一個初發病例在易感的人群中引起的平均繼發病例的個數。這個論點建立在一個長期的信念之上，代表所有空氣傳播的疾病都必須具有高度傳染性。然而，這種假設沒有科學依據，因為空氣傳播疾病表現出的  $R_0$  值範圍取決於多種因素，所以不能用單個平均值很好地表示。例如，結核病 ( $R_0$ : 0.26 至 4.3) 是一種專一性的空氣傳播細菌感染 (56)，但它的傳播性不如 COVID-19 ( $R_0$ : 1.4 至 8.9) (57-59)。影響空氣傳播的因素包括不同大小的呼吸道顆粒中的病毒載量、病毒在氣膠中的穩定性以及每種病毒的劑量反應關係 (透過特定暴露途徑暴露於一定數量的病毒粒子而感染的比率)。此外， $R_0$  是平均值，而 COVID-19 的分散程度很高，這意味著在某些條件下，它可能具有高度傳染性。流行病學研究發現，10% 至 20% 的 SARS-CoV-2 感染者後續再度感染的比例有 80% 至 90%，代表了二次侵襲率 (secondary attack rates) (被感染的暴露者比例) 的異質性 (60-63)。

越來越多關於 COVID-19 的研究為 SARS-CoV-2 的空氣傳播為主要的傳播方式提供了大量證據。這條傳播路徑在某些環境條件下是主要的傳播方式，尤其是在通風不良的室內環境 (6, 34, 35, 41, 42, 45, 50, 64-68)，這一觀察結果僅涉及氣膠，因為只有氣膠 (而不是大顆粒飛沫或表面) 受通風影響。此外，室內和室外傳播率之間的顯著差異只能用空氣傳播來解釋，因為大顆粒飛沫的軌跡受重力沉降而不是通風影響，大顆粒飛沫在兩種情況下表現相同 (69)。流行病學分析各種組合，包含氣流模式模擬 (airflow model simulations)；示踪劑實驗 (tracer experiment)；餐廳 (36)、肉類加工廠 (70)、遊輪 (71)、合唱團排練 (64) 以及教堂的遠距離傳輸 (72) 中傳播事件的分析和建模都指出氣膠是最有可能透過污染物和飛沫傳播的方式。大多數人在這些事件中都接觸同一個受污染的表面或近距離接觸感染者咳嗽或打噴嚏產生的飛沫並暴露足夠的病毒載量來引起感染的可能性很小。然而，對於參加這些室內活動的所有人來說，一個共同的因素是他們在同一個房間吸入共同的空氣。超級傳播事件的共同點包括室內環境、人群、暴露時間為 1 小時或更長時間、通風不良、發聲和缺乏正確佩戴的口罩 (36)。考慮到飛沫傳播僅在個人說話時在 0.2 m 以內時為主要的傳播方式 (50) 並且 SARS-CoV-2 透過受污染表面傳播的可能性較小 (73-75)，因此只能透過將氣膠傳播作為一種模式來解釋這些超級傳播事件。

為了制定有效的方針和政策來防止呼吸道病毒的空氣傳播，重要的是充分了解所涉及的相關機制。為了要發生空氣傳播，必須產生氣膠，再透過空氣傳播被易感宿主吸入，最後沉積在呼吸道中來引發感染。病毒必須在整個過程中保持其傳染性。在這篇回顧中，我們討論了記載有病毒的氣膠的產生、運輸和沈積所涉及的過程，以及影響這些過程的重要參數，這些參數對於制訂有效的感染控制措施至關重要 (圖 1)。

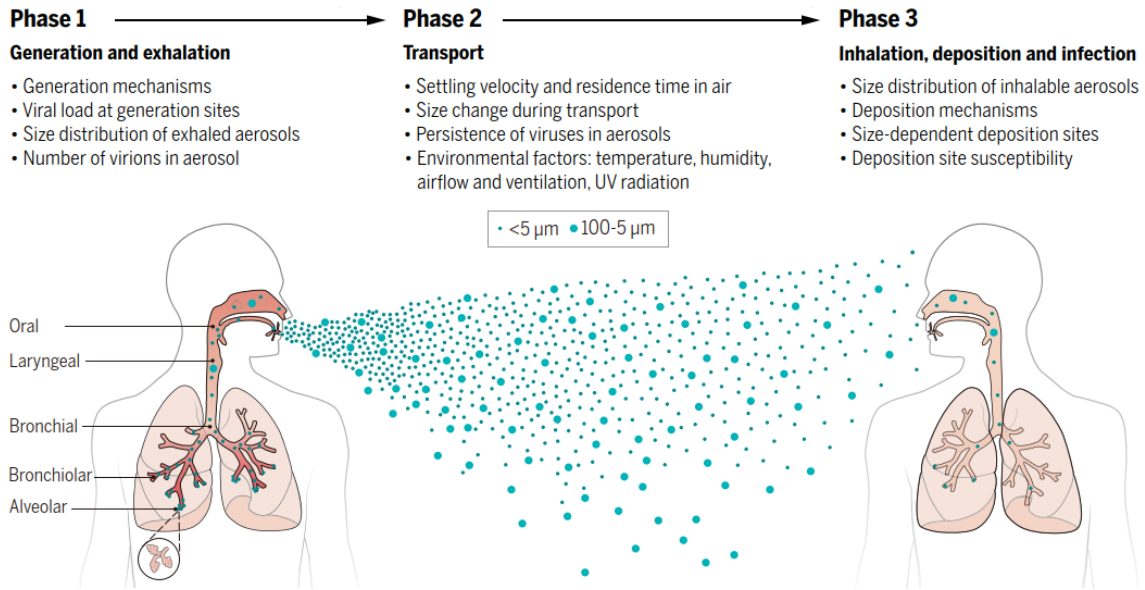
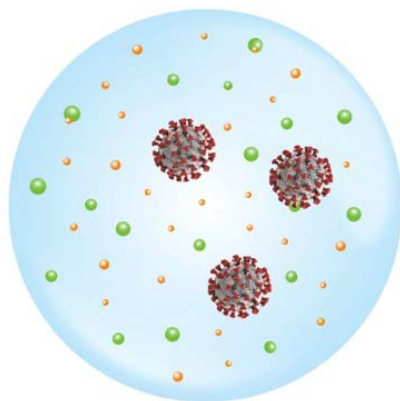


圖 1. 呼吸道病毒的空氣傳播。載有病毒的氣膠的空氣傳播涉及的階段包括 (i) 產生和呼氣、(ii) 運輸以及 (iii) 吸入、沉積和感染。每個階段都受到空氣動力學、解剖學和環境因素的綜合影響。(含病毒氣膠的大小不按比例。)

### 產生攜帶病毒的氣膠(Generation of virus-laden aerosols)

呼氣活動透過不同的機制從呼吸道的不同部位產生氣膠。呼吸、說話和咳嗽等活動產生的氣膠表現出不同的氣膠大小顆粒分佈和氣流速度 (76, 77)，這反過來又控制著每個氣膠顆粒可能攜帶的病毒類型和載量、在空氣中的停留時間、行進距離，最終到達吸入它們的人呼吸道中的沉積部位 (78)。受感染個體呼出的氣膠可能含有病毒 (39, 79-81) 以及電解質、蛋白質、表面活性劑和呼吸道表面液體中的其他成分 (82, 83) (圖2)。

### Physicochemical properties of virus-laden aerosols:



- Size
- Viral load and infectivity
- Other chemical components:
  - electrolytes, proteins, surfactants
- pH value
- Electrical charge
- Air/liquid interfacial properties

圖2 載有病毒的氣膠的物理化學特性。載有病毒氣膠的行為和歸宿本質上受其特性的控制，包括物理大小、病毒載量、傳染性、氣膠中的其他化學成分、靜電荷、pH 值和氣液界面特性。



### 氣膠形成的場所(Sites of aerosol formation)

呼吸道氣膠根據其產生部位可分為肺泡、細支氣管、支氣管、喉部和口腔氣膠 (3, 84, 85)。細支氣管氣膠是在正常呼吸過程中形成的 (3)。在呼氣過程中，細支氣管腔表面內襯的液膜破裂，產生小氣膠。這種氣膠是由使氣液或氣液界面不穩定的剪切力產生的。呼吸氣流在高氣流速度下通常是紊流(turbulent)的，特別是在上呼吸道的大管腔中，在支氣管和細支氣管中轉變為層流(laminar flow) (76, 86–88)。喉部氣膠是通過發聲過程中的聲帶振動產生的 (3)。聲帶的並置形成了液橋，在呼氣時爆發成氣膠。相比之下，飛沫 (>100  $\mu\text{m}$ ) 主要由口腔中的唾液產生 (3)。在唱歌和喊叫等活動中，氣膠排放率隨著氣流速度和說話量而增加 (9, 89, 90)。

### 數量和大小的分布(Number and size distributions)

呼出氣膠的大小是決定其命運的最有影響力的特性之一，因為大小不僅決定了它們的空氣動力學特性，還決定了它們的沉積動力學和感染部位。自 1890 年代以來，已經使用各種方法研究了呼吸氣膠的粒徑分佈，包括光學顯微鏡、高速攝影，以及最近的基於激光的檢測技術 (1, 2, 91)。早期研究使用的測量技術和分析方法無法檢測小於 5  $\mu\text{m}$  的氣膠 (1, 92)，但目前的儀器，如空氣動力學和掃描式電移動度分析儀系統，已經能夠檢測到較小的氣膠。呼吸氣膠產生多峰尺寸分佈，峰值約為 0.1  $\mu\text{m}$ 、0.2 至 0.8  $\mu\text{m}$ 、1.5 至 1.8  $\mu\text{m}$  和 3.5 至 5.0  $\mu\text{m}$ ，每個代表不同的產生地點、生產過程和呼氣活動 (2、8、9、85、91、93)。模式大小越小，氣膠起源於呼吸道越深。以說話在 145  $\mu\text{m}$  和咳嗽在 123  $\mu\text{m}$  為中心的較大模式主要來自口腔和嘴唇 (3)。就數量而言，大多數呼出的氣膠小於 5  $\mu\text{m}$ ，大多數呼吸活動的大部分呼出氣膠小於 1  $\mu\text{m}$ ，包括呼吸、說話和咳嗽時產生的氣膠 (8, 9)。總體而言，對於每個 >100  $\mu\text{m}$  的飛沫，語音產生的氣膠數量是小於 100  $\mu\text{m}$  的氣膠數量的 100 到 1000 倍 (3)。

已有研究指出正常呼吸每升呼出的空氣會釋放多達 7200 顆氣膠顆粒 (9, 93)。個人呼吸時排出的載有病毒的氣膠數量因人而異，取決於疾病階段、年齡、體重指數和先前存在的健康狀況 (94, 95)。兒童通常比成人產生更少的攜帶病毒的氣膠，因為他們的肺部仍在發育，並且可以形成氣膠的細支氣管和肺泡較少 (96)。氣膠形成所涉及的過程，特別是在影響氣膠分解形成氣膠傾向的氣道內襯流體(fluid lining the airways)的特性，對呼出氣膠的數量有著至關重要的作用 (94)。一項研究證實，說話 1 分鐘可能會產生至少 1000 顆氣膠 (97)。雖然咳嗽可以在短時間內產生更多的氣膠，但相較於持續呼吸和說話，咳嗽的發作頻率是偶爾的，特別是對於沒有臨床症狀的感染者。因此，和不太常咳嗽相比，受感染者的呼吸、說話和其他連續發聲可能會釋放出更多的攜帶病毒的氣膠。

### 氣膠的病毒含量 (Viral content of aerosols)

氣膠的病毒含量是決定空氣傳染相對貢獻的關鍵因子。然而，空氣傳播病毒的採樣和檢測具有挑戰性，因為它們在空氣中的濃度很低，並且在採樣過程中容易被破壞和滅活。一般透過高度敏感的定量聚合酶鏈反應 (quantitative polymerase chain reaction, qPCR) 或定量逆轉錄 PCR (quantitative reverse transcription PCR, qRT-PCR) 方法分析空氣樣本中是否存在病毒基因。然而，只依據遺傳物質的存在並不能證實該病毒是否具有傳染性。病毒的生存能力取決於其遺傳物質(genomic material)、核蛋白(nucleoprotein)、衣殼(capsid)和/或包膜(envelope)的完整性和功能。儘管一些研究嘗試從空氣中培養病毒但失敗了，但使用更溫和的方法，例如液體冷凝收集裝置(liquid condensation collection device)，已經能夠檢測到許多可行的呼吸道病毒，包括氣膠中的流感病毒和 SARS-CoV-2 (35、40、98)。

從呼吸和室內空氣樣本中分離出的病毒包括腺病毒(adenovirus) (29、99)、柯薩奇病毒(coxsackievirus) (100)、流感病毒 (22、23、98、101)、鼻病毒 (9、26-28)、麻疹病毒 (16、17)、RSV (25, 102)、SARS-CoV (31)、MERS-CoV (32, 103) 和 SARS-CoV-2 (34, 35, 40-44) (表1)。有兩名 COVID-19 患者的病房空氣中 SARS-CoV-2 的濃度在6至74 TCID<sub>50</sub>/liter (每升半數組織培養感染劑量)之間 (35)。病毒粒子在不同大小氣膠顆粒上的分佈與其產生部位、產生機制和產生部位感染的嚴重程度有關，不同病毒之間存在差異 (104)。通常假設臨床樣本 (例如痰或唾液) 中的病毒濃度直接轉化為呼吸道液體產生的飛沫和氣膠的濃度，也就是病毒載量隨飛沫和氣膠的初始體積成比例 (50、55、71)。然而，在感染 A 型或 B 型流感病毒、副流感病毒、冠狀病毒、hRV 或 RSV 的個體呼出氣體中收集的氣膠大小分離樣本以及在各種環境中收集的空氣中顯示，較小的氣膠含有許多的病毒(10)。在從流感患者呼吸、說話和/或咳嗽時收集的樣本中，超過一半的病毒 RNA 存在於<4 至 5 μm的氣膠中 (23, 104, 105)。對幾種呼吸道病毒的研究發現病毒 RNA 在小顆粒氣膠 (<5 μm) 中比在大顆粒氣膠中更常見 (39)。在一家醫療診所測量的環境氣膠中流感病毒和 RSV 的分佈顯示，有42%的A型流感病毒 RNA，但只有 9%的 RSV RNA 位於 ≤4 μm的氣膠中 (102)。在一項收集衛生診所、兒童托育中心和飛機中的氣膠的研究中，在小於 2.5 μm的氣膠中發現了一半以上的A型流感病毒 RNA (106)。另一項研究發現，一部分 COVID-19 患者在呼出的氣體中每小時釋出多達 105 至 107 個 SARS-CoV-2 基因組拷貝(genome copies)，而其他人則不會呼出可檢測到的病毒 (107)。人與人之間產生的氣膠數量及其病毒的含量的變異性可能會導致 COVID-19 傳播上過度的傳染，這是超級傳染事件的關鍵原因(108)。儘管小顆粒氣膠富含傳染性病毒，但在暴露於一定數量的病毒粒子的情況下，控制感染概率的劑量反應關係仍有待確定。在易感宿主中，最小感染劑量因病毒類型和呼吸道內沉積部位而異，因此吸入沉積在肺部深處的較小顆粒氣膠可能需要較少的病毒來引發感染。對流感病毒的研究證實，以斑點形成單位 (plaque-forming units, PFU) 計算，人類開始感染所需的劑量是吸入氣膠所需的劑量，約

為鼻內注射(intranasal injection)劑量的百分之一 (101)。針對不同人群和疾病階段，改進個體氣膠中病毒含量和傳染性病毒粒子分佈的特徵作為粒徑的函數，將極大地有助於我們了解呼吸道病毒在空氣的傳播。

### 環境中攜帶病毒的氣膠 (Virus-laden aerosols in the environment)

氣膠的物理特性會影響它們在空氣中的傳播。呼吸氣膠的初始速度取決於它們如何在呼吸道內產生和釋放，例如咳嗽產生的飛沫和氣膠的釋放速度比說話的速度快 (109)。氣膠傳輸受氣流和環境特性的組合以及氣膠本身的物理特性控制。由於慣性、布朗運動和外力（包括重力、電泳和熱泳力），氣膠可能會偏離流線。這種運動還可以透過在表面上沉積而導致從空氣中去除。空氣中病毒的生命期是受到物理運輸和生物失去活性(biological inactivation)作用，它們受溫度、濕度和紫外線 (UV) 輻射等環境因素的影響。

由於蒸發、凝結和/或沉積，呼出氣膠的大小會隨著時間變化。從水性氣膠中蒸發水份通常可以用 Hertz-Knudsen 方程式描述 (110)。然而，由於呼吸氣膠含有非揮發性成分，包括蛋白質、電解質和其他生物物種，蒸發速度比純水慢 (111)。在蒸發過程中，氣膠會發生相位、形態、黏度和 pH 值的變化，所有這些都已在模擬但未在實際呼吸氣膠中進行過研究 (83, 112)。氣膠物理特性的變化會影響它們載有病毒的運輸和歸宿，氣膠化學特性的相關變化會影響病毒的生存能力 (113)。空氣中載有病毒的氣膠的總體大小分佈也隨著時間而變化，因為較大的氣膠優先透過沉積到地面或其他表面而從空氣中被去除，導致大小分佈的中位數值越靠近較小的值 (114)。

載有病毒的氣膠在空氣中的停留時間對於確定其傳播範圍非常重要。在沒有其他外力的情況下，特定大小的氣膠的停留時間與其最終沉降速度有關，由黏性阻力和重力之間的平衡產生，如斯托克斯定律(Stokes' law)對小顆粒的描述受層流影響 (115, 116)

$$u_p = \frac{d_p^2 g \rho_p C_c}{18\eta}$$

其中  $d_p$  是氣膠顆粒的直徑， $g$  是重力加速度， $\rho_p$  是氣膠顆粒的密度， $C_c$  是坎寧漢滑失校正係數(Cunningham slip correction factor)，當粒徑變得與平均自由度相當時，該係數解釋了由滑移引起的空氣阻力降低氣體分子的路徑， $\eta$  是空氣的動力黏度。

因此，可以根據周圍空氣處於靜止狀態(無風狀態)的假設來估計特定大小的氣膠到達地面的沉降時間 (圖3)。在靜止空氣中，5  $\mu\text{m}$  的氣膠從 1.5 米的高度沉降到地面需要 33 分鐘，而 1  $\mu\text{m}$  的氣膠可以懸浮在空氣中 > 12 小時 (116)。但是，在大多數現實環境中，應考慮周圍氣流的速度。此外，當呼吸氣膠被呼出時，這些顆粒以自己的速度和軌跡包含在呼出的潮濕羽流(humid plume)中，這也決定了最終可達的距離和方向 (86)。攜帶病毒的氣膠傳播的距離取決於氣膠大小、攜帶它們的氣流的初始速度

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

以及其他環境條件，例如室外風速或自然通風或暖通空調 (Heating, ventilation and air conditioning, HVAC) 引起的室內氣流系統 (117, 118)。呼出氣膠的濃度在靠近源（即感染者）的地方最高，並隨著呼吸羽流與環境空氣混合而隨距離降低 (50, 119)。

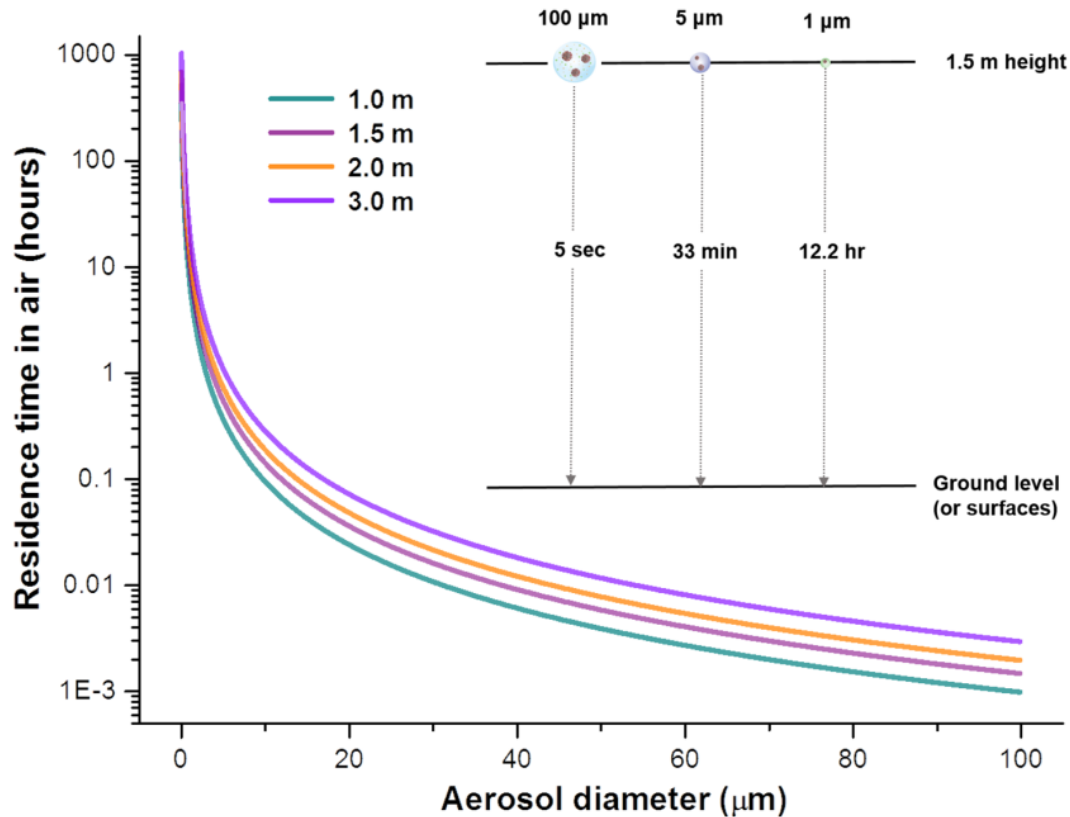


圖 3 氣膠可以在空氣中停留多長時間？不同大小的氣膠在靜止空氣中的停留時間可以根據球形顆粒的斯托克斯定律進行估計 (116)。例如，100、5 或  $1\mu\text{m}$  的氣膠從 1.5 m 的高度落到地面（或表面）所需的時間分別為 5 s、33 min 或 12.2 hr。

咳嗽和說話期間產生的呼出氣膠的軌跡和蒸發已經透過計算模型進行了研究 (117, 120)。大顆粒飛沫往往會迅速達到最大水平距離，並在幾公尺內落到地面或表面，而氣膠可以懸浮數秒到數小時，長距離傳播，並在通風不良的空間中積聚在空氣中 (117)。載有病毒的氣膠流動的多相性質大大地影響了流動動力學和氣膠傳播的距離，特別是對於氣流速度較高的呼氣，例如咳嗽 (121)。

## 影響氣膠傳播的環境因素 (Environmental factors that affect aerosol transmission)

病毒在氣膠中的存活率，也稱為持續性、穩定性或傳染性的保留，通常使用轉桶(rotary drum)實驗確定，這使氣膠比在固定實驗腔(stationary chamber)中保持懸浮的時間更長。病毒的衰變可以用一級動力學(first-order kinetics)來描述。

$$C = C_0 \times e^{-kt}$$

其中 C 是 t 時刻感染性病毒的濃度， $C_0$  是感染性病毒的初始濃度，k 是失活速率常數 (inactivation rate constant) (122)。失活速率常數因病毒而異，並取決於許多因素，包括溫度、濕度、紫外線輻射和氣膠化病毒的流體的化學成分 (45, 46, 123)。這種特別對呼吸液成分的依賴性，使得比較不同研究的結果具有挑戰性。達到 99.99% 失去活性所需的時間從數小時到數月不等 (124)。衰減率可以用半衰期來量化，對於 SARS-CoV 和 SARS-CoV-2 實驗室產生的氣膠來說，半衰期約為 1 到 3 小時 (125-127)。

### 溫度(Temperature)

溫度對於病毒在氣膠中的存活和傳播的影響是重要的因素(125, 128, 129)(Tang, 2009; Lin et al., 2006; ...)。溫度可能會影響構成病毒的蛋白質、脂質和遺傳物質的穩定性。上呼吸道的溫度比肺部還要低 (130)，證實其於上呼吸道的複製能力較強 (131)。SARS-CoV (132)、SARS-CoV-2 (133) 和流感病毒 (134) 在較低溫度下更穩定，這可能是因為衰減速度較慢（由阿倫尼烏斯方程式(Arrhenius equation)控制）和對於包膜病毒上磷脂的排序性更強。流行病學證據和動物研究證實，已知可感染上呼吸道的呼吸道病毒在較低溫度下更容易傳播 (128, 135)。

### 相對濕度(Relative humidity, RH)

透過調節氣膠的蒸發速率和平衡大小，相對濕度 (Relative humidity, RH) 會影響它們的運輸和載有病毒的活性(113, 114, 129)。呼吸氣膠從呼吸道釋出到環境空氣中時會蒸發，因為它們從飽和濕度環境過渡到較低的RH。蒸發過程預計需要幾秒鐘 (114, 136)。在較低的環境 RH 下，蒸發發生得更快，並在以較小的顆粒型態下達到平衡 (136)。在 RH 低於約 80% 時，呼吸氣膠的最終直徑為原始大小的 20% 至 40% (129)。

流感病毒、引起普通感冒的人類冠狀病毒、RSV 和其他病例的季節性至少部分歸因於 RH (134)。病毒對 RH 的敏感性可能受 RH 相關影響病毒在環境中的持久性和/或免疫防禦的影響。黏液纖毛清除效率在低 RH 下效率不高 (134)。動物研究結果顯示，低 RH 有利於流感病毒傳播 (135, 137)；然而，對 2009 年大流行 A 型流感病毒 (H1N1) 在生理上進行的一項研究報告指出，該病毒在 20% 至 100% 的廣泛 RH 範圍內仍保持高度穩定和傳染性 (138)。一項研究調查了 11 種空氣傳播病毒對 RH 的敏感性，發現雖然一些 RNA 病毒在低 RH 下存活得最好，但也有其他病毒在高 RH 下存活得更好

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

(139)。RH 與飛沫和氣膠中病毒活性之間的關係是病毒的特徵，受病毒的內在物理化學特性及其周圍環境的調節 (113、129、139) (圖 2)。

### 紫外線輻射(UV radiation)

長期以來，紫外線照射被認為是讓空氣傳播病毒失去活性的有效方法，包括流感病毒 (127, 140)、SARS-CoV 和其他人類冠狀病毒 (141)。在地面陽光中發現的波長下，紫外線輻射會使SARS-CoV-2在大量培養基(Bulk culture medium) (142) 和氣膠 (47) 中快速地失去活性。紫外線輻射會破壞遺傳物質，導致病毒失去活性 (143)。儘管如此，在操作紫外線消毒燈時必須小心，避免直接接觸眼睛和皮膚。

### 氣流、通風和過濾(Airflow, ventilation, and filtration)

與飛沫相比，氣流強烈地影響載有病毒的氣膠 (81) 的傳輸，飛沫由於重力而迅速地沉積。呼出空氣中的氣膠數量往往會較多，因為呼出的空氣比環境溫度高 (50)，而且它們的移動軌跡也會受到身體熱羽流(Body's thermal plume)的影響 (81)。室外更大的氣流有助於氣膠分散，相反地室內的氣流受到周圍牆壁和天花板的限制。通風率和氣流模式在室內環境中病毒的空氣傳播中起著重要作用 (144-146)。一項關於鼻病毒傳播的研究指出，低通風率會增加在室內接觸載有病毒的氣膠的風險 (27, 28)。COVID-19 在高層公寓樓中的爆發沿著垂直排列的單元(units)發生，這些單元由單個風管連接，證實存在與共同空氣相關的空氣傳播風險 (147)。提高通風率得以將通風不足建築物中的二氧化碳濃度從3200 ppm降低到 600 ppm (對應於估計的通風率從1.7 L/s/person增加到 24 L/s/person) 已經被證實可以將結核病的繼發性發病率降低到零 (146)。

室內環境中的氣流受通風系統的設計和運行狀態的影響，包括通風系統的類型 (無論是自然通風的門窗、機械通風還是這些通風系統的混合)、氣流模式、換氣率和輔助系統，如空氣過濾 (145、148) (圖4)。WHO 最近建議了10 L/s/person的通風率 (149)。適當地放置攜帶式高效濾網 (high-efficiency particulate air, HEPA)，能夠去除 ≥99.97%氣膠顆粒(大小≥0.3 μm)，也可以有效減少傳染性氣膠的暴露，尤其是在結合通風和一般的遮罩物(如口罩)(150–152)。儘管通風和過濾有助於去除攜帶病毒的氣膠，但必須正確實施才得以減少氣膠吸入的傳播和風險 (93, 151)。一項研究通過結合現場測量(Situ measurement)和計算流體動力學 (Computational fluid dynamics, CFD) 模擬，定量評估了無症狀人員在電梯、教室和超市環境中通過空氣傳播 COVID-19 的風險，證實不適當的通風可能會產生的風險遠高於在其他房間位置 (93)。此外，為了阻隔室內空間咳嗽和打噴嚏產生的飛沫傳播所使用的物理性壓克力版或有機玻璃片反而會阻礙氣流，反而會在呼吸區暴露到更高濃度的氣膠，並且有研究證實會增加 SARS-CoV-2 的傳播 (153)。

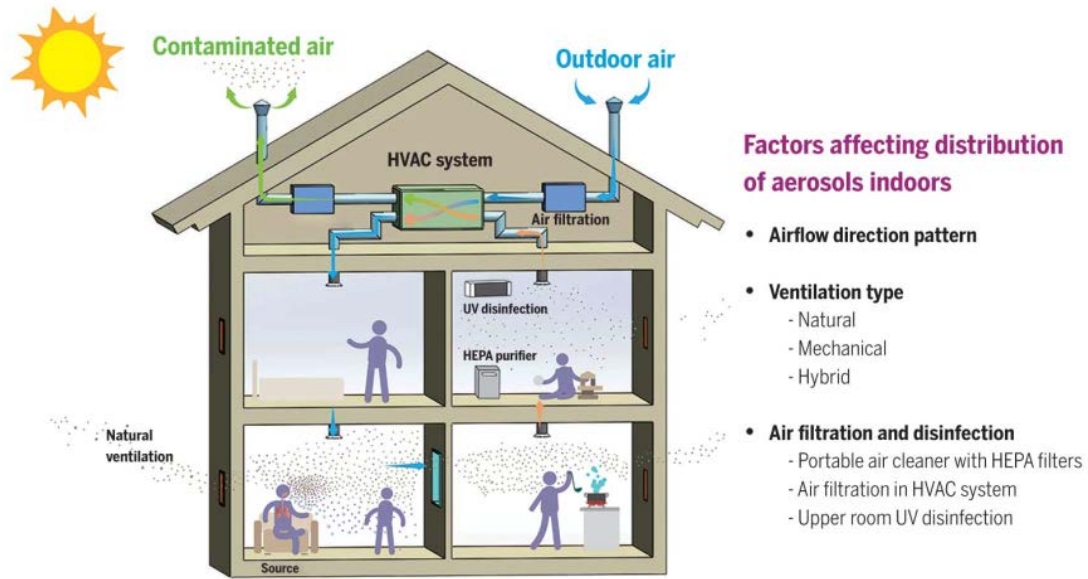


圖4 影響室內空氣傳播的因素。大顆粒飛沫的運動主要受重力控制，而氣膠的運動受氣流方向和模式、通風類型以及空氣過濾和消毒的影響更大。

空氣傳播感染的風險和與通風率的相關性可以通過病毒傳播的盒子模型(Box model)和 Wells-Riley 感染模型(Wells-Riley infection model)進行評估 (17, 64)

$$P = \frac{N}{S} = I - e^{-I p q t / Q}$$

其中 P 是感染率，N 是確診感染病例數，S 是易感病例數，I 是感染者數，q 是定量（感染劑量）生成率（每小時定量數），p 是易感個體的肺換氣率（ $m^3/s$ ），t 為暴露時間（hr），Q 為室內通氣率（ $m^3/s$ ）。將使用 Wells-Riley 方法的模型應用於合唱團中的 COVID-19 大型社區爆發，其中一個已知有症狀的指示病例導致 61 名成員中出現 53 例（二次侵襲率(secondary attack rate) 87%），其中得出的結論是，通風不良、場地擁擠、聲音響亮和持續時間長都導致較高的二次侵襲率 (64)。合唱團中面對面的互動有限，並且非常注重手部消毒，因此排除了污染物接觸或飛沫傳播的貢獻 (64)。需要研究確定不同條件下可接受的最低通風率以及通風類型對傳播風險的影響。

### 載有病毒氣膠的沉積(Deposition of virus-laden aerosols)

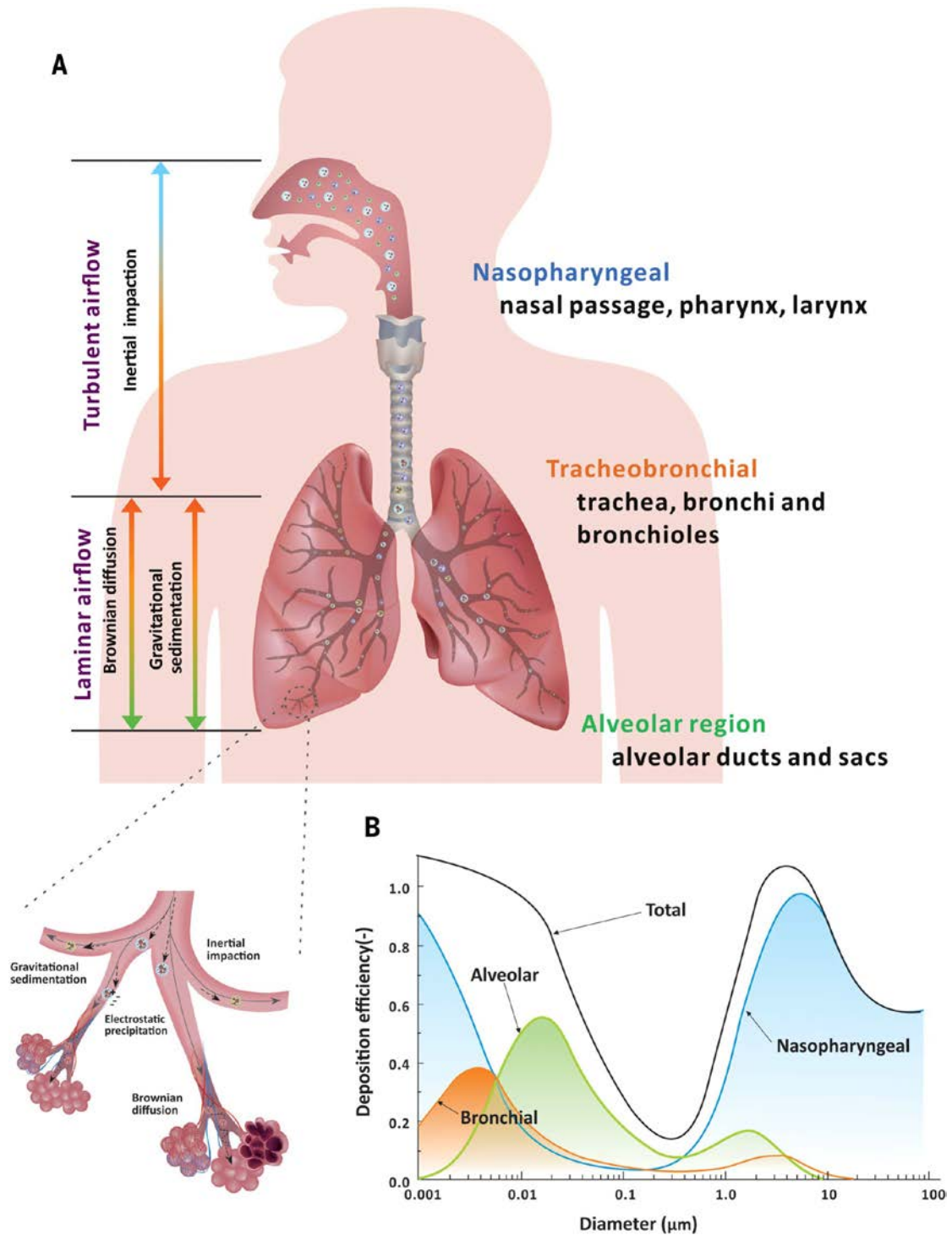
一旦吸入載有病毒的氣膠，可能會沉積在潛在宿主的呼吸道中。儘管許多解剖學、生理學和空氣動力學因素（包括氣道解剖結構、呼吸模式、呼吸道中的氣膠傳輸空氣動力學以及吸入氣膠的物理化學性質）也影響著氣膠的沉積部位，但是氣膠的顆粒大小才是最主要影響沉積位置的因素。如果病毒仍然具有傳染性並且存在合適的受體，則可以在沉積部位開始感染。

最大 100  $\mu m$  的氣膠可以被人體吸入。根據它們的大小沉積在呼吸道的不同區域，而其中包含一些重要的機制，包括慣性撞擊(inertial impaction)、重力沉降(gravitational

sedimentation)、布朗擴散(Brownian diffusion)、靜電沉澱(electrostatic precipitation)和攔截(interception) (154, 155) (圖 5A)。吸入時，由於在接近飽和濕度的呼吸道中吸濕性生長(Hygroscopic growth)，吸入氣溶膠的大小可能會增加 (156)。國際放射防護委員會(International Committee on Radiological Protection, ICRP) 開發了一種根據人類肺部結構的模型，該模型將沉積效率量化為氣膠大小的函數 (157) (圖 5B)。大於 5  $\mu\text{m}$  的氣膠主要沉積在鼻咽區域 (87% 至 95%)，主要通過慣性撞擊和重力沉降 (115)；儘管小於 5  $\mu\text{m}$  的氣膠也會沉積在那裡，但它們也可能更深地滲透到肺部並沉積在肺泡腔中 (115, 157, 158)。布朗擴散是吸入顆粒 < 0.1  $\mu\text{m}$  在細支氣管和肺泡區域的主要沉積機制 (78, 116, 159)。攜帶自然靜電荷的氣膠可能會被吸引到氣道壁上 (160)。如果沉積部位存在細胞受體，則可能會引發感染。感染效率進一步受呼吸道的細胞受體分佈和病毒-宿主相互作用的控制。由於氣道表面結構的變化和黏液的阻塞，患者的肺中氣膠的沉積可能與正常肺中的不同 (161)。慢性阻塞性肺病 (Chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 導致氣道和氣道狹窄的呼吸上皮表面特性的變化改變了吸入氣膠的氣流和空氣動力學的行為，進而改變了它們的沉積動力學和位置 (162, 163)。COPD 患者的沉積通常高於健康個體，氣喘和慢性支氣管炎患者在支氣管更容易沉積 (154)。

由於小顆粒氣膠含有較多病毒 (< 5  $\mu\text{m}$ )，它們可以深入到下呼吸道並沉積在下呼吸道。據報導，與上呼吸道相比，SARS-CoV-2 的病毒載量更高，並且病毒在下呼吸道中的持續時間更長 (164、165)。下呼吸道感染的開始增加了診斷患者的技術挑戰，因為目前的篩查通常使用拭子從鼻咽或口腔收集樣本。





**圖 5. 呼吸道部位的大小依賴性氣膠沉積機制。** (A) 人體呼吸道不同區域的主要沉積機制和相應的氣流狀態。由於慣性撞擊，大顆粒氣膠傾向於沉積在鼻咽區域，而小顆粒氣膠傾向於在重力沉降和布朗擴散的基礎上沉積在氣管支氣管和肺泡區域。支氣管和肺泡區域的放大視圖說明了沉積機制。(B) 顯示了根據 ICRP 肺沉積模型的氣溶膠在呼吸道不同區域的沉積效率與氣溶膠直徑的函數關係 (116)。大多數大型氣膠沉積在鼻咽部；只有足夠小的氣膠才能到達並沉積在肺泡區域。

## 討論(Discussion)

長久以來，空氣傳播一直是導致呼吸道病毒疾病傳播的一種被忽視的途徑，這主要是因為對載有病毒的氣膠的產生和運輸過程以及對軼事觀察的錯誤歸因(Misattribution of anecdotal observations)的了解不足。SARS-CoV-2 主要的傳播方式為空氣傳播，流行病學證據隨著時間的推移而增加，並且變得特別重要。首先，室內和室外傳播之間的明顯差異不能用飛沫傳播來解釋，因為重力驅動的飛沫在室內和室外表現相同。室內超傳播事件相對於室外事件的高頻率證實空氣傳播的重要性(63)。通風不良在室內傳播和超級傳播作用也和氣膠有相關性，因為飛沫和污染物傳播不受通風影響。在傳播率極低的國家(166)和一座大教堂(72)的酒店隔離區中，已觀察到SARS-CoV-2可藉由遠程空氣來傳播。

在新型呼吸道病毒出現期間，需要一種更全面的方法來確認所有傳播方式(空氣傳播、飛沫傳播和污染物接觸傳播)，以成功降低風險並防止傳播。在確認和增加控制措施以解決空氣傳播之前，要求提供採樣氣膠的傳染性的直接證據，因為這使人們處於潛在風險中(69)。當不受傳統傳播途徑定義的影響時，SARS-CoV-2、流感病毒和其他呼吸道病毒的現有證據更符合透過小於100 μm的氣溶膠傳播，而不是透過近距離散佈在人的黏膜上的大飛沫傳播。世界衛生組織(48)和美國疾病預防控制中心(49)最近指出對SARS-CoV-2會經由空氣傳播且加強了在短距離和長距離內針對這種傳播途徑實施保護的必要性。

一旦完全了解空氣傳播的機制，承認氣膠傳播在近距離範圍內最大，很明顯飛沫和氣膠的預防措施和緩解措施(例如距離和口罩)存在有部分重疊，但需要額外考慮到在短距離和遠距離減少氣膠傳播。其中包括注意通風、氣流、口罩及面罩的佩戴和類型、空氣過濾和紫外線消毒，以及區分室內和室外環境的措施。儘管我們的知識仍在增加，但已經知道足夠多的保護措施可以更好地防止呼吸道病毒的空氣傳播，並指出「飛沫傳播預防措施」沒有被取代，而是擴大且延伸。

很大比例的SARS-CoV-2感染者在檢測時沒有任何症狀(167, 168)。大約20%到45%的SARS-CoV-2感染者在整個感染過程中保持無症狀，而一些感染者經歷了症狀前階段(Presymptomatic phase)，並在感染後幾天開始出現症狀(168, 169)。SARS-CoV-2的傳染性在症狀出現前兩天達到峰值，並持續到症狀出現後一天(170)。根據研究指出，流感病毒和其他呼吸道病毒感染的無症狀感染率也很高(171-173)。儘管一些研究證實空氣傳播不是一種有效的途徑，特別是對於唾液中病毒載量可能較低的無症狀和輕度症狀個體(55)，但症狀前個體的病毒載量與有症狀患者的病毒載量相當(174, 175)。重要的是要實施控制措施，以防止接觸沒有任何症狀的感染者說話、唱歌或只是呼吸時產生的載有傳染性病毒的氣膠。由於這些人不知道自己已被感染，因此他們通常會繼續參與社交活動，而導致空氣傳染。

一般面罩或口罩是阻止載有病毒氣膠的有效且經濟的方法(67)。模型模擬證實，口罩可有效防止無症狀傳播，並減少因COVID-19而導致的感染者總數和死亡率(176)，所以優化口罩的分配是非常重要的(177)。外科口罩已被證實可以減少釋

出到空氣中的流感病毒、季節性人類冠狀病毒和鼻病毒(小於 5  $\mu\text{m}$ 的氣膠)高達 100%(104, 178)，但還是對一些人來說並沒有減少，另外口罩對於抑制飛沫傳染更有效(179)。由不同材質和/或多層組合製成的口罩，如果正確佩戴且無洩漏，可阻擋 0.5 至 10  $\mu\text{m}$ 之間高達 90% 的顆粒(179)。面罩材料和皮膚之間的縫隙會導致整體過濾效率大幅下降。對於小於 2.5  $\mu\text{m}$ 的氣膠，相對洩漏面積為 1% 時，過濾效率會降低 50%(180)。一項研究使用模型病毒比較了N95、外科和織物口罩的病毒過濾效率，發現N95和部分外科口罩的過濾效率超過99%；而測試的所有織物口罩至少有 50% 的效率(181)。已經使用面對面放置的人體模型研究了 N95、外科口罩和棉質口罩在阻斷含有 SARS-CoV-2 的氣膠方面的有效性。N95 口罩在阻斷傳染性 SARS-CoV-2 方面表現出最高效率(182)。幾乎所有的口罩都至少提供了一些保護，但並不是 100% 有效。儘管有醫用口罩(專為飛沫而非氣膠設計)和眼部保護裝置(183-185)，但 SARS-CoV-2 的傳播仍發生在醫療保健環境中，這說明需要適當的個人防護設備(Personal protective equipment, PPE)並針對空氣傳播採取多種干預措施，尤其是在高風險的室內環境中。

衛生保健設施更有可能容納感染呼吸道病毒的患者。因此，應為衛生保健人員提供適當的 PPE來減少空氣傳播。居住在室內空間的人更有可能接觸到高濃度的載有病毒的氣膠，尤其是在通風不良和/或擁擠的室內環境中，載有病毒的氣膠很容易累積(93)。乘坐飛機、火車、公共汽車、輪船和遊輪旅行時，應始終採取預防措施，這些地方的空間相對較小且封閉，通風可能並不總是最佳。許多研究顯示，室外環境中空氣傳播的風險大大低於室內環境(186)；然而，戶外傳播的風險存在於近距離的情況下，尤其是長時間的說話、唱歌或大喊大叫。室外傳播的風險可能會隨著病毒(例如 SARS-CoV-2 的某些變異株)的生命期和傳播能力的增加而增加(187, 188)。含有病毒的廢水和醫院排泄物的霧化也帶來了潛在的戶外暴露風險，這些因素都不可以被忽視(189)。

實施有效的通風系統可減少載有傳染性病毒的氣膠的空氣傳播。建議採取一些確保足夠的通風率和避免再循環等策略(190, 191)。二氧化碳感測器可用作呼出空氣累積的指示器，並用來當作監測和優化通風的簡單方法(192, 193)。氣膠感測器還可用於評估 HEPA 和 HVAC 氣膠過濾的效率，這是減少由載有病毒的氣膠引起的感染的重要因素。已建議確保每小時換氣4至 6次(Air changes per hour, ACH)的最低通風率並將二氧化碳濃度保持在 700 至 800 ppm 以下，但也應考慮通風類型和氣流方向和模式(148, 194)。提高 HVAC 系統、獨立 HEPA 過濾器中的空氣過濾效率或實施室內上層紫外線消毒系統，可以進一步降低載有病毒的氣膠的濃度(47, 127, 140, 141, 195)。

社交距離是為解決飛沫傳播而採取的措施，也可有效減少吸入氣膠的機會，因為在靠近感染者的地方，氣膠濃度要高得多(50)。WHO 和許多國家公共衛生機構建議保持 1m或 2 m的社交距離。然而，這個距離不足以防止傳播超出這個範圍的氣膠。如果大顆粒飛沫在傳播中占主要的傳播方式，那麼僅靠保持距離就可以有效抑制 SARS-CoV-2 的傳播。正如在超級傳播事件中反覆發生的那樣，當人員吸入室內傳染性空氣時，空氣傳播會發生在通風不良的房間中(18, 36, 62, 64, 71)。此外，儘管保持距離有助於讓人們遠離呼吸道羽流最集中的地方，但如果不考慮其他措施，例如通風和過濾、

## 建築環境健康及防疫措施之可行性研究

排放傳染性氣膠的人數以及在封閉空間中停留的時間 (196)，單獨保持距離並不能阻止傳播。而且在特定環境中存在的無症狀（包括症狀前）感染者數量未知，這是呼吸系統疾病控制的另一個挑戰。透過通風、過濾和上層房間紫外線消毒來降低氣溶膠濃度的工程措施仍然是降低空氣傳播風險的關鍵策略。

儘管人們逐漸認識到呼吸道病毒會藉由空氣傳播，但仍有許多問題需要進一步探索。例如，需要直接測量氣膠和飛沫中病毒的濃度，作為大小及其引發新感染的潛力的函數。病毒在不同大小的氣膠中的生命期需要系統性調查。需要更多的研究來量化氣膠和飛沫傳遞的病毒劑量與感染嚴重程度之間的關係；對於不同的病毒，這種關係可能會有很大差異。調查疾病的嚴重程度是否與氣膠的大小和數量以及它們在呼吸道中的沉積位置相關也很重要。儘管需要更多研究，但明確的證據證實，空氣傳播是 SARS-CoV-2 和許多其他呼吸道病毒傳播的主要途徑。必須採取額外的預防措施來減少短距離和長距離的氣膠傳播，重點放在通風、氣流、空氣過濾、紫外線消毒和口罩及面罩佩戴上。這些干預措施是幫助結束當前大流行和防止未來爆發的關鍵策略。重要的是，需要注意這些改善室內空氣品質的措施提議將造成遲來的改善，其健康益處遠遠超出 COVID-19 大流行。

## 參考文獻：

1. J. P. Duguid, The size and the duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet-nuclei. *Epidemiol. Infect.* 44, 471–479 (1946). doi: 10.1017/S0022172400019288; pmid: 20475760
2. L. Morawska et al., Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J. Aerosol Sci.* 40, 256–269 (2009). doi: 10.1016/j.jaerosci.2008.11.002
3. G. R. Johnson et al., Modality of human expired aerosol size distributions. *J. Aerosol Sci.* 42, 839–851 (2011). doi: 10.1016/j.jaerosci.2011.07.009
4. G. Scheuch, Breathing is enough: For the spread of influenza virus and SARS-CoV-2 by breathing only. *J. Aerosol Med. Pulm. Drug Deliv.* 33, 230–234 (2020). doi: 10.1089/jamp.2020.1616; pmid: 32552296
5. W. F. Wells, On air-borne infection: Study II. Droplets and droplet nuclei. *Am. J. Epidemiol.* 20, 611–618 (1934). doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a118097
6. The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM), “Airborne transmission of SARS-CoV-2: A virtual workshop, 26 to 27 August 2020” (NASEM, 2020); [www.nationalacademies.org/event/08-26-2020/airborne-transmission-of-sars-cov-2-a-virtual-workshop](http://www.nationalacademies.org/event/08-26-2020/airborne-transmission-of-sars-cov-2-a-virtual-workshop).
7. K. A. Prather et al., Airborne transmission of SARS-CoV-2. *Science* 370, 303–304 (2020). doi: 10.1126/science.abf0521; pmid: 33020250
8. G. Zayas et al., Cough aerosol in healthy participants: Fundamental knowledge to optimize droplet-spread infectious respiratory disease management. *BMC Pulm. Med.* 12, 11 (2012). doi: 10.1186/1471-2466-12-11; pmid: 22436202
9. P. Fabian, J. Brain, E. A. Houseman, J. Gern, D. K. Milton, Origin of exhaled breath particles from healthy and human rhinovirus-infected subjects. *J. Aerosol Med. Pulm. Drug Deliv.* 24, 137–147 (2011). doi: 10.1089/jamp.2010.0815; pmid: 21361786
10. K. P. Fennelly, Particle sizes of infectious aerosols: Implications for infection control. *Lancet Respir. Med.* 8, 914–924 (2020). doi: 10.1016/S2213-2600(20)30323-4; pmid: 32717211
11. C. A. E. Winslow, *Conquest of Epidemic Disease* (Princeton Univ. Press, 1943).
12. B. Rush, *The Works of Thomas Sydenham, M.D., On Acute and Chronic Diseases: With Their Histories and Modes of Cure* (Benjamin & Thomas Kite, 1809).
13. C. V. Chapin, *The Sources and Modes of Infection* (Wiley, 1910).
14. K. Han et al., Lack of airborne transmission during outbreak of pandemic (H1N1) 2009 among tour group members, China, June 2009. *Emerg. Infect. Dis.* 15, 1578–1581 (2009). doi: 10.3201/eid1510.091013; pmid: 19861048

15. A. Bak et al., SARS-CoV-2 routes of transmission and recommendations for preventing acquisition: Joint British Infection Association (BIA), Healthcare Infection Society (HIS), Infection Prevention Society (IPS) and Royal College of Pathologists (RCPATH) guidance. *J. Hosp. Infect.* 114, 79–103 (2021). doi: 10.1016/j.jhin.2021.04.027; pmid: 33940093
16. W. E. Bischoff et al., Detection of measles virus RNA in air and surface specimens in a hospital setting. *J. Infect. Dis.* 213, 600–603 (2016). doi: 10.1093/infdis/jiv465; pmid: 26386428
17. E. C. Riley, G. Murphy, R. L. Riley, Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *Am. J. Epidemiol.* 107, 421–432 (1978). doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a112560; pmid: 665658
18. A. B. Bloch et al., Measles outbreak in a pediatric practice: Airborne transmission in an office setting. *Pediatrics* 75, 676–683 (1985). pmid: 3982900
19. R. Tellier, Review of aerosol transmission of influenza A virus. *Emerg. Infect. Dis.* 12, 1657–1662 (2006). doi: 10.3201/eid1211.060426; pmid: 17283614
20. B. J. Cowling et al., Aerosol transmission is an important mode of influenza A virus spread. *Nat. Commun.* 4, 1935 (2013). doi: 10.1038/ncomms2922; pmid: 23736803
21. R. Tellier, Aerosol transmission of influenza A virus: A review of new studies. *J. R. Soc. Interface* 6, S783–S790 (2009). doi: 10.1098/rsif.2009.0302.focus; pmid: 19773292
22. W. E. Bischoff, K. Swett, I. Leng, T. R. Peters, Exposure to influenza virus aerosols during routine patient care. *J. Infect. Dis.* 207, 1037–1046 (2013). doi: 10.1093/infdis/jis773; pmid: 23372182
23. J. Yan et al., Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115, 1081–1086 (2018). doi: 10.1073/pnas.1716561115; pmid: 29348203
24. F. Koster et al., Exhaled aerosol transmission of pandemic and seasonal H1N1 influenza viruses in the ferret. *PLOS ONE* 7, e33118 (2012). doi: 10.1371/journal.pone.0033118; pmid: 22509254
25. H. Kulkarni et al., Evidence of respiratory syncytial virus spread by aerosol. Time to revisit infection control strategies? *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 194, 308–316 (2016). doi: 10.1164/rccm.201509-1833OC; pmid: 26890617
26. E. C. Dick, L. C. Jennings, K. A. Mink, C. D. Wartgow, S. L. Inhorn, Aerosol transmission of rhinovirus colds. *J. Infect. Dis.* 156, 442–448 (1987). doi: 10.1093/infdis/156.3.442; pmid: 3039011
27. T. A. Myatt et al., Detection of airborne rhinovirus and its relation to outdoor air supply in office environments. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 169, 1187–1190 (2004). doi: 10.1164/rccm.200306-760OC; pmid: 14754759

28. T. A. Myatt, S. L. Johnston, S. Rudnick, D. K. Milton, Airborne rhinovirus detection and effect of ultraviolet irradiation on detection by a semi-nested RT-PCR assay. *BMC Public Health* 3, 5 (2003). doi: 10.1186/1471-2458-3-5; pmid: 12525263
29. C.-C. Tseng, L.-Y. Chang, C.-S. Li, Detection of airborne viruses in a pediatrics department measured using real-time qPCR coupled to an air-sampling filter method. *J. Environ. Health* 73, 22–28 (2010). pmid: 21133312
30. I. T. S. Yu et al., Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *N. Engl. J. Med.* 350, 1731–1739 (2004). doi: 10.1056/NEJMoa032867; pmid: 15102999
31. T. F. Booth et al., Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. *J. Infect. Dis.* 191, 1472–1477 (2005). doi: 10.1086/429634; pmid: 15809906
32. S. H. Kim et al., Extensive viable Middle East respiratory syndrome (MERS) coronavirus contamination in air and surrounding environment in MERS isolation wards. *Clin. Infect. Dis.* 63, 363–369 (2016). doi: 10.1093/cid/ciw239; pmid: 27090992
33. J. S. Kutter et al., SARS-CoV and SARS-CoV-2 are transmitted through the air between ferrets over more than one meter distance. *Nat. Commun.* 12, 1653 (2021). doi: 10.1038/s41467-021-21918-6; pmid: 33712573
34. J. L. Santarpia et al., The Infectious Nature of Patient- Generated SARS-CoV-2 Aerosol. medRxiv 2020.07.13.20041632 [Preprint] (2020). doi: 10.1101/2020.07.13.20041632
35. J. A. Lednicky et al., Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. *Int. J. Infect. Dis.* 100, 476–482 (2020). doi: 10.1016/j.ijid.2020.09.025; pmid: 32949774
36. Y. Li et al., Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *Build. Environ.* 196, 107788 (2021). doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107788; pmid: 33746341
37. S. F. Sia et al., Pathogenesis and transmission of SARS-CoV-2 in golden hamsters. *Nature* 583, 834–838 (2020). doi: 10.1038/s41586-020-2342-5; pmid: 32408338
38. J. Shi et al., Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2. *Science* 368, 1016–1020 (2020). doi: 10.1126/science.abb7015; pmid: 32269068
39. J. Gralton, E. R. Tovey, M.-L. McLaws, W. D. Rawlinson, Respiratory virus RNA is detectable in airborne and droplet particles. *J. Med. Virol.* 85, 2151–2159 (2013). doi: 10.1002/jmv.23698; pmid: 23959825
40. J. A. Lednicky et al., Isolation of SARS-CoV-2 from the air in a car driven by a COVID patient with mild illness. *Int. J. Infect. Dis.* 108, 212–216 (2021). doi: 10.1016/j.ijid.2021.04.063; pmid: 33901650

41. Y. Liu et al., Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature* 582, 557–560 (2020). doi: 10.1038/s41586-020-2271-3; pmid: 32340022
42. Z.-D. Guo et al., Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020. *Emerg. Infect. Dis.* 26, 1583–1591(2020). doi: 10.3201/eid2607.200885; pmid: 32275497
43. P. Y. Chia et al., Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital rooms of infected patients. *Nat. Commun.* 11, 2800 (2020). doi: 10.1038/s41467-020-16670-2; pmid: 32472043
44. J. L. Santarpia et al., Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care. *Sci. Rep.* 10, 12732 (2020). doi: 10.1038/s41598-020-69286-3; pmid: 32728118
45. N. van Doremalen et al., Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N. Engl. J. Med.* 382, 1564–1567 (2020). doi: 10.1056/NEJMc2004973; pmid: 32182409
46. S. J. Smither, L. S. Eastaugh, J. S. Findlay, M. S. Lever, Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity. *Emerg. Microbes Infect.* 9, 1415–1417 (2020). doi: 10.1080/22221751.2020.1777906; pmid: 32496967
47. M. Schuit et al., Airborne SARS-CoV-2 is rapidly inactivated by simulated sunlight. *J. Infect. Dis.* 222, 564–571 (2020). doi: 10.1093/infdis/jiaa334; pmid: 32525979
48. World Health Organization (WHO), “Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?” (2021); [www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted](http://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted).
49. U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), “Scientific brief: SARS-CoV-2 transmission” (2021); [www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html](http://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html).
50. W. Chen, N. Zhang, J. Wei, H.-L. Yen, Y. Li, Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. *Build. Environ.* 176, 106859 (2020). doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106859
51. R. L. Riley et al., Aerial dissemination of pulmonary tuberculosis a two-year study of contagion in a tuberculosis ward1. *Am. J. Epidemiol.* 70, 185–196 (1959). doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a120069
52. E. A. Nardell, Transmission and institutional infection control of tuberculosis. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 6,a018192 (2015). doi: 10.1101/cshperspect.a018192; pmid: 26292985
53. M. Klompas, M. A. Baker, C. Rhee, Airborne transmission of SARS-CoV-2: Theoretical considerations and available evidence. *JAMA* 324, 441–442 (2020). doi: 10.1001/jama.2020.12458; pmid: 32749495



54. J. Conly et al., Use of medical face masks versus particulate respirators as a component of personal protective equipment for health care workers in the context of the COVID-19 pandemic. *Antimicrob. Resist. Infect. Control* 9, 126 (2020). doi: 10.1186/s13756-020-00779-6; pmid: 32762735
55. S. H. Smith et al., Aerosol persistence in relation to possible transmission of SARS-CoV-2. *Phys. Fluids* 32, 107108 (2020). doi: 10.1063/5.0027844; pmid: 33154612
56. Y. Ma, C. R. Horsburgh Jr., L. F. White, H. E. Jenkins, Quantifying TB transmission: A systematic review of reproduction number and serial interval estimates for tuberculosis. *Epidemiol. Infect.* 146, 1478–1494 (2018). doi: 10.1017/S0950268818001760; pmid: 29970199
57. Y. Liu, A. A. Gayle, A. Wilder-Smith, J. Rocklöv, The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *J. Travel Med.* 27, taaa021 (2020). doi: 10.1093/jtm/taaa021; pmid: 32052846
58. S. Sanche et al., High contagiousness and rapid spread of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. *Emerg. Infect. Dis.* 26, 1470–1477 (2020). doi: 10.3201/eid2607.200282; pmid: 32255761
59. C. R. MacIntyre, M. R. Ananda-Rajah, Scientific evidence supports aerosol transmission of SARS-COV-2. *Antimicrob. Resist. Infect. Control* 9, 202 (2020). doi: 10.1186/s13756-020-00868-6; pmid: 33339522
60. R. Laxminarayan et al., Epidemiology and transmission dynamics of COVID-19 in two Indian states. *Science* 370, 691–697 (2020). doi: 10.1126/science.abd7672; pmid: 33154136
61. K. Sun et al., Transmission heterogeneities, kinetics, and controllability of SARS-CoV-2. *Science* 371, eabe2424 (2021). doi: 10.1126/science.abe2424; pmid: 33234698
62. D. C. Adam et al., Clustering and superspreading potential of SARS-CoV-2 infections in Hong Kong. *Nat. Med.* 26, 1714–1719 (2020). doi: 10.1038/s41591-020-1092-0; pmid: 32943787
63. D. Lewis, Superspreading drives the COVID pandemic - and could help to tame it. *Nature* 590, 544–546 (2021). doi: 10.1038/d41586-021-00460-x; pmid: 33623168
64. S. L. Miller et al., Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air* 31, 314–323 (2021). doi: 10.1111/ina.12751; pmid: 32979298
65. L. Morawska, D. K. Milton, It is time to address airborne transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Clin. Infect. Dis.* 71, 2311–2313 (2020). doi: 10.1093/cid/ciaa939; pmid: 32628269
66. E. L. Anderson, P. Turnham, J. R. Griffin, C. C. Clarke, Consideration of the aerosol transmission for COVID-19 and public health. *Risk Anal.* 40, 902–907 (2020). doi: 10.1111/risa.13500; pmid: 32356927

67. K. A. Prather, C. C. Wang, R. T. Schooley, Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science* 368, 1422–1424 (2020). doi: 10.1126/science.abc6197; pmid: 32461212
68. L. Morawska, J. Cao, Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ. Int.* 139, 105730 (2020). doi: 10.1016/j.envint.2020.105730; pmid: 32294574
69. T. Greenhalgh et al., Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *Lancet* 397, 1603–1605 (2021). doi: 10.1016/S0140-6736(21)00869-2; pmid: 33865497
70. J. Middleton, R. Reintjes, H. Lopes, Meat plants-a new front line in the covid-19 pandemic. *BMJ* 370, m2716 (2020). doi: 10.1136/bmj.m2716; pmid: 32646892
71. P. Azimi, Z. Keshavarz, J. G. Cedeno Laurent, B. Stephens, J. G. Allen, Mechanistic transmission modeling of COVID-19 on the Diamond Princess cruise ship demonstrates the importance of aerosol transmission. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118, e2015482118 (2021). doi: 10.1073/pnas.2015482118; pmid: 33536312
72. A. L. Katelaris et al., Epidemiologic evidence for airborne transmission of SARS-CoV-2 during church singing, Australia, 2020. *Emerg. Infect. Dis.* 27, 1677–1680 (2021). doi: 10.3201/eid2706.210465; pmid: 33818372
73. E. Goldman, Exaggerated risk of transmission of COVID-19 by fomites. *Lancet Infect. Dis.* 20, 892–893 (2020). doi: 10.1016/S1473-3099(20)30561-2; pmid: 32628907
74. M. U. Mondelli, M. Colaneri, E. M. Seminari, F. Baldanti, R. Bruno, Low risk of SARS-CoV-2 transmission by fomites in real-life conditions. *Lancet Infect. Dis.* 21, e112 (2021). doi: 10.1016/S1473-3099(20)30678-2; pmid: 33007224
75. A. K. Pitol, T. R. Julian, Community transmission of SARS-CoV-2 by surfaces: Risks and risk reduction strategies. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 8, 263–269 (2021). doi: 10.1021/acs.estlett.0c00966
76. M. Abkarian, S. Mendez, N. Xue, F. Yang, H. A. Stone, Speech can produce jet-like transport relevant to asymptomatic spreading of virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 117, 25237–25245 (2020). doi: 10.1073/pnas.2012156117; pmid: 32978297
77. L. Bourouiba, The fluid dynamics of disease transmission. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 53, 473–508 (2021). doi: 10.1146/annurev-fluid-060220-113712
78. R. J. Thomas, Particle size and pathogenicity in the respiratory tract. *Virulence* 4, 847–858 (2013). doi: 10.4161/viru.27172; pmid: 24225380
79. S. A. Sattar, M. K. Ijaz, C. P. Gerba, Spread of viral infections by aerosols. *Crit. Rev. Environ. Control* 17, 89–131 (1987). doi: 10.1080/10643388709388331
80. R. M. Jones, L. M. Brosseau, Aerosol transmission of infectious disease. *J. Occup. Environ. Med.* 57, 501–508 (2015). doi: 10.1097/JOM.0000000000000448; pmid: 25816216

81. J. Wei, Y. Li, Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. *Am. J. Infect. Control* 44, S102–S108 (2016). doi: 10.1016/j.ajic.2016.06.003; pmid: 27590694
82. S. Niazi, R. Groth, K. Spann, G. R. Johnson, The role of respiratory droplet physicochemistry in limiting and promoting the airborne transmission of human coronaviruses: A critical review. *Environ. Pollut.* 276, 115767 (2021). doi: 10.1016/j.envpol.2020.115767; pmid: 33243541
83. E. P. Vejerano, L. C. Marr, Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets. *J. R. Soc. Interface* 15, 20170939 (2018). doi: 10.1098/rsif.2017.0939; pmid: 29491178
84. B. Patterson, R. Wood, Is cough really necessary for TB transmission? *Tuberculosis* 117, 31–35 (2019). doi: 10.1016/j.tube.2019.05.003; pmid: 31378265
85. H. Holmgren, E. Ljungström, A.-C. Almstrand, B. Bake, A.-C. Olin, Size distribution of exhaled particles in the range from 0.01 to 2.0 mm. *J. Aerosol Sci.* 41, 439–446 (2010). doi: 10.1016/j.jaerosci.2010.02.011
86. L. Bourouiba, Turbulent gas clouds and respiratory pathogen emissions: Potential implications for reducing transmission of COVID-19. *JAMA* 323, 1837–1838 (2020). doi: 10.1001/jama.2020.4756; pmid: 32215590
87. C. Kleinstreuer, Z. Zhang, Airflow and particle transport in the human respiratory system. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 42, 301–334 (2010). doi: 10.1146/annurev-fluid-121108-145453
88. G. R. Johnson, L. Morawska, The mechanism of breath aerosol formation. *J. Aerosol Med. Pulm. Drug Deliv.* 22, 229–237 (2009). doi: 10.1089/jamp.2008.0720; pmid: 19415984
89. F. Koster, The experimental aerosol transmission of influenza virus. *Future Virol.* 8, 969–981 (2013). doi: 10.2217/fvl.13.83
90. S. Asadi et al., Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci. Rep.* 9, 2348 (2019). doi: 10.1038/s41598-019-38808-z; pmid: 30787335
91. R. S. Papineni, F. S. Rosenthal, The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *J. Aerosol Med.* 10, 105–116 (1997). doi: 10.1089/jam.1997.10.105; pmid: 10168531
92. M. W. Jennison, “Atomizing of Mouth and Nose Secretions into the Air as Revealed by High-Speed Photography” in *Aerobiology* (American Association for the Advancement of Science, ed. 17, 1942), pp. 106–128.
93. S. Shao et al., Risk assessment of airborne transmission of COVID-19 by asymptomatic individuals under different practical settings. *J. Aerosol Sci.* 151, 105661 (2021). doi: 10.1016/j.jaerosci.2020.105661; pmid: 32968325

94. D. A. Edwards et al., Exhaled aerosol increases with COVID-19 infection, age, and obesity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118, e2021830118 (2021). doi: 10.1073/pnas.2021830118;pmid: 33563754
95. W. G. Lindsley et al., Quantity and size distribution of cough-generated aerosol particles produced by influenza patients during and after illness. *J. Occup. Environ. Hyg.* 9, 443–449 (2012). doi: 10.1080/15459624.2012.684582; pmid: 22651099
96. M. Riediker, L. Morawska, Low exhaled breath droplet formation may explain why children are poor SARS-CoV-2 transmitters. *Aerosol Air Qual. Res.* 20, 1513–1515 (2020). doi: 10.4209/aaqr.2020.06.0304
97. V. Stadnytskyi, C. E. Bax, A. Bax, P. Anfinrud, The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 117, 11875–11877 (2020). doi: 10.1073/pnas.2006874117; pmid: 32404416
98. M. Pan et al., Collection of viable aerosolized influenza virus and other respiratory viruses in a student health care center through water-based condensation growth. *MSphere* 2, e00251-17 (2017). doi: 10.1128/mSphere.00251-17; pmid: 29034325
99. J. Y. Choi et al., Aerosol sampling in a hospital emergency room setting: A complementary surveillance method for the detection of respiratory viruses. *Front. Public Health* 6, 174 (2018). doi: 10.3389/fpubh.2018.00174; pmid: 29963543
100. V. Knight, Viruses as agents of airborne contagion. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 353, 147–156 (1980). doi: 10.1111/j.1749-6632.1980.tb18917.x; pmid: 6261640
101. W. G. Lindsley et al., Viable influenza A virus in airborne particles from human coughs. *J. Occup. Environ. Hyg.* 12, 107–113 (2015). doi: 10.1080/15459624.2014.973113; pmid: 25523206
102. W. G. Lindsley et al., Distribution of airborne influenza virus and respiratory syncytial virus in an urgent care medical clinic. *Clin. Infect. Dis.* 50, 693–698 (2010). doi: 10.1086/650457; pmid: 20100093
103. A. Totura et al., Small particle aerosol exposure of African green monkeys to MERS-CoV as a model for highly pathogenic coronavirus infection. *Emerg. Infect. Dis.* 26, 2835–2843 (2020). doi: 10.3201/eid2612.201664; pmid: 32744989
104. D. K. Milton, M. P. Fabian, B. J. Cowling, M. L. Grantham, J. J. McDevitt, Influenza virus aerosols in human exhaled breath: Particle size, culturability, and effect of surgical masks. *PLOS Pathog.* 9, e1003205 (2013). doi: 10.1371/journal.ppat.1003205; pmid: 23505369
105. W. G. Lindsley et al., Measurements of airborne influenza virus in aerosol particles from human coughs. *PLOS ONE* 5, e15100 (2010). doi: 10.1371/journal.pone.0015100; pmid: 21152051
106. W. Yang, S. Elankumaran, L. C. Marr, Concentrations and size distributions of airborne influenza A viruses measured indoors at a health centre, a day-care centre and on

- aeroplanes. *J. R. Soc. Interface* 8, 1176–1184 (2011). doi: 10.1098/rsif.2010.0686; pmid: 21300628
107. J. Ma et al., Coronavirus disease 2019 patients in earlier stages exhaled millions of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 per hour. *Clin. Infect. Dis.* 72, e652–e654 (2021). doi: 10.1093/cid/ciaa1283; pmid: 32857833
108. P. Z. Chen et al., Heterogeneity in transmissibility and shedding SARS-CoV-2 via droplets and aerosols. *eLife* 10, e65774 (2021). doi: 10.7554/eLife.65774; pmid: 33861198
109. S. B. Kwon et al., Study on the initial velocity distribution of exhaled air from coughing and speaking. *Chemosphere* 87, 1260–1264 (2012). doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.01.032; pmid: 22342283
110. J. D. Smith, C. D. Cappa, W. S. Drisdell, R. C. Cohen, R. J. Saykally, Raman thermometry measurements of free evaporation from liquid water droplets. *J. Am. Chem. Soc.* 128, 12892–12898 (2006). doi: 10.1021/ja063579v; pmid: 17002384
111. L. Liu, J. Wei, Y. Li, A. Ooi, Evaporation and dispersion of respiratory droplets from coughing. *Indoor Air* 27, 179–190 (2017). doi: 10.1111/ina.12297; pmid: 26945674
112. H. Wei et al., Aerosol microdroplets exhibit a stable pH gradient. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115, 7272–7277 (2018). doi: 10.1073/pnas.1720488115; pmid: 29941550
113. K. Lin, L. C. Marr, Humidity-dependent decay of viruses, but not bacteria, in aerosols and droplets follows disinfection kinetics. *Environ. Sci. Technol.* 54, 1024–1032 (2020). doi: 10.1021/acs.est.9b04959; pmid: 31886650
114. W. Yang, L. C. Marr, Dynamics of airborne influenza A viruses indoors and dependence on humidity. *PLOS ONE* 6, e21481 (2011). doi: 10.1371/journal.pone.0021481; pmid: 21731764
115. J. Sznitman, Respiratory microflows in the pulmonary acinus. *J. Biomech.* 46, 284–298 (2013). doi: 10.1016/j.jbiomech.2012.10.028; pmid: 23178038
116. W. C. Hinds, *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles* (Wiley, ed. 2, 1999).
117. D. Parienta et al., Theoretical analysis of the motion and evaporation of exhaled respiratory droplets of mixed composition. *J. Aerosol Sci.* 42, 1–10 (2011). doi: 10.1016/j.jaerosci.2010.10.005
118. R. Mittal, R. Ni, J.-H. Seo, The flow physics of COVID-19. *J. Fluid Mech.* 894, F2 (2020). doi: 10.1017/jfm.2020.330
119. V. Vuorinen et al., Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors. *Saf. Sci.* 130, 104866 (2020). doi: 10.1016/j.ssci.2020.104866; pmid: 32834511

120. X. Xie, Y. Li, A. T. Y. Chwang, P. L. Ho, W. H. Seto, How far droplets can move in indoor environments—Revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air* 17, 211–225 (2007). doi: 10.1111/j.1600-0668.2007.00469.x; pmid: 17542834
121. L. Bourouiba, E. Dehandschoewercker, J. W. M. Bush, Violent expiratory events: On coughing and sneezing. *J. Fluid Mech.* 745, 537–563 (2014). doi: 10.1017/jfm.2014.88
122. J. A. Posada, J. Redrow, I. Celik, A mathematical model for predicting the viability of airborne viruses. *J. Virol. Methods* 164, 88–95 (2010). doi: 10.1016/j.jviromet.2009.12.004; pmid: 20025904
123. P. Dabisch et al., The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols. *Aerosol Sci. Technol.* 55, 142–153 (2021). doi: 10.1080/02786826.2020.1829536
124. E. C. Pirtle, G. W. Beran, Virus survival in the environment. *Rev. Sci. Tech.* 10, 733–748 (1991). doi: 10.20506/rst.10.3.570; pmid: 1782426
125. J. W. Tang, The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *J. R. Soc. Interface* 6, S737–S746 (2009). doi: 10.1098/rsif.2009.0227.focus; pmid: 19773291
126. D. Welch et al., Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. *Sci. Rep.* 8, 2752 (2018). doi: 10.1038/s41598-018-21058-w; pmid: 29426899
127. J. J. McDevitt, S. N. Rudnick, L. J. Radonovich, Aerosol susceptibility of influenza virus to UV-C light. *Appl. Environ. Microbiol.* 78, 1666–1669 (2012). doi: 10.1128/AEM.06960-11; pmid: 22226954
128. K. Lin, D. Yee-Tak Fong, B. Zhu, J. Karlberg, Environmental factors on the SARS epidemic: Air temperature, passage of time and multiplicative effect of hospital infection. *Epidemiol. Infect.* 134, 223–230 (2006). doi: 10.1017/S0950268805005054; pmid: 16490124
129. L. C. Marr, J. W. Tang, J. Van Mullekom, S. S. Lakdawala, Mechanistic insights into the effect of humidity on airborne influenza virus survival, transmission and incidence. *J. R. Soc. Interface* 16, 20180298 (2019). doi: 10.1098/rsif.2018.0298; pmid: 30958176
130. E. R. McFadden Jr et al., Thermal mapping of the airways in humans. *J. Appl. Physiol.* 58, 564–570 (1985). doi: 10.1152/jap.1985.58.2.564; pmid: 3980358
131. D. A. Tyrrell, R. Parsons, Some virus isolations from common colds. III. Cytopathic effects in tissue cultures. *Lancet* 275, 239–242 (1960). doi: 10.1016/S0140-6736(60)90168-9; pmid: 13840115
132. K. H. Chan et al., The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. *Adv. Virol.* 2011, 734690 (2011). doi: 10.1155/2011/734690; pmid: 22312351

133. A. W. H. Chin et al., Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe* 1, e10 (2020). doi: 10.1016/S2666-5247(20)30003-3; pmid: 32835322
134. M. Moriyama, W. J. Hugentobler, A. Iwasaki, Seasonality of respiratory viral infections. *Annu. Rev. Virol.* 7, 83–101 (2020). doi: 10.1146/annurev-virology-012420-022445; pmid: 32196426
135. A. C. Lowen, J. Steel, S. Mubareka, P. Palese, High temperature (30°C) blocks aerosol but not contact transmission of influenza virus. *J. Virol.* 82, 5650–5652 (2008). doi: 10.1128/JVI.00325-08; pmid: 18367530
136. J. S. Walker et al., Accurate representations of the microphysical processes occurring during the transport of exhaled aerosols and droplets. *ACS Cent. Sci.* 7, 200–209 (2021). doi: 10.1021/acscentsci.0c01522; pmid: 33532579
137. K. M. Gustin et al., Environmental conditions affect exhalation of H3N2 seasonal and variant influenza viruses and respiratory droplet transmission in ferrets. *PLOS ONE* 10, e0125874 (2015). doi: 10.1371/journal.pone.0125874; pmid: 25969995
138. K. A. Kormuth et al., Influenza virus infectivity is retained in aerosols and droplets independent of relative humidity. *J. Infect. Dis.* 218, 739–747 (2018). doi: 10.1093/infdis/jiy221; pmid: 29878137
139. J. R. Songer, Influence of relative humidity on the survival of some airborne viruses. *Appl. Microbiol.* 15, 35–42 (1967). doi: 10.1128/am.15.1.35-42.1967; pmid: 4291670
140. M. Schuit et al., The influence of simulated sunlight on the inactivation of influenza virus in aerosols. *J. Infect. Dis.* 221, 372–378 (2020). doi: 10.1093/infdis/jiz582; pmid: 31778532
141. M. Buonanno, D. Welch, I. Shuryak, D. J. Brenner, Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. *Sci. Rep.* 10, 10285 (2020). doi: 10.1038/s41598-020-67211-2; pmid: 32581288
142. C. S. Heilingloh et al., Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. *Am. J. Infect. Control* 48, 1273–1275 (2020). doi: 10.1016/j.ajic.2020.07.031; pmid: 32763344
143. Y. Ye, P. H. Chang, J. Hartert, K. R. Wigginton, Reactivity of enveloped virus genome, proteins, and lipids with free chlorine and UV254. *Environ. Sci. Technol.* 52, 7698–7708 (2018). doi: 10.1021/acs.est.8b00824; pmid: 29886734
144. Y. Li et al., Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment – a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air* 17, 2–18 (2007). doi: 10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x; pmid: 17257148
145. J. W. Tang, Y. Li, I. Eames, P. K. S. Chan, G. L. Ridgway, Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *J. Hosp. Infect.* 64, 100–114 (2006). doi: 10.1016/j.jhin.2006.05.022; pmid: 16916564

146. C.-R. Du et al., Effect of ventilation improvement during a tuberculosis outbreak in underventilated university buildings. *Indoor Air* 30, 422–432 (2020). doi: 10.1111/ina.12639; pmid: 31883403
147. S. E. Hwang, J. H. Chang, B. Oh, J. Heo, Possible aerosol transmission of COVID-19 associated with an outbreak in an apartment in Seoul, South Korea, 2020. *Int. J. Infect. Dis.* 104, 73–76 (2021). doi: 10.1016/j.ijid.2020.12.035; pmid: 33346125
148. H. Qian, X. Zheng, Ventilation control for airborne transmission of human exhaled bio-aerosols in buildings. *J. Thorac. Dis.* 10, S2295–S2304 (2018). doi: 10.21037/jtd.2018.01.24; pmid: 30116608
149. World Health Organization (WHO), “Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19” (2021); [www.who.int/publications/i/item/9789240021280](http://www.who.int/publications/i/item/9789240021280).
150. W. G. Lindsley et al., Efficacy of portable air cleaners and masking for reducing indoor exposure to simulated exhaled SARS-CoV-2 aerosols — United States, 2021. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 70, 972–976 (2021). doi: 10.15585/mmwr.mm7027e1; pmid: 34237047
151. S. R. Narayanan, S. Yang, Airborne transmission of virus-laden aerosols inside a music classroom: Effects of portable purifiers and aerosol injection rates. *Phys. Fluids* 33, 033307 (2021). doi: 10.1063/5.0042474; pmid: 33746493
152. J. Curtius, M. Granzin, J. Schrod, Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. *Aerosol Sci. Technol.* 55, 586–599 (2021). doi: 10.1080/02786826.2021.1877257
153. J. Lessler et al., Household COVID-19 risk and in-person schooling. *Science* 372, 1092–1097 (2021). doi: 10.1126/science.abh2939; pmid: 33927057
154. C. Darquenne, Aerosol deposition in health and disease. *J. Aerosol Med. Pulm. Drug Deliv.* 25, 140–147 (2012). doi: 10.1089/jamp.2011.0916; pmid: 22686623
155. C. Darquenne, Deposition Mechanisms. *J. Aerosol Med. Pulm. Drug Deliv.* 33, 181–185 (2020). doi: 10.1089/jamp.2020.29029.cd; pmid: 32598200
156. A. E. Haddrell et al., Pulmonary aerosol delivery and the importance of growth dynamics. *Ther. Deliv.* 8, 1051–1061 (2017). doi: 10.4155/tde-2017-0093; pmid: 29125064
157. S. Guha, P. Hariharan, M. R. Myers, Enhancement of ICRP’s lung deposition model for pathogenic bioaerosols. *Aerosol Sci. Technol.* 48, 1226–1235 (2014). doi: 10.1080/02786826.2014.975334
158. D. K. Milton, A rosetta stone for understanding infectious drops and aerosols. *J. Pediatric Infect. Dis. Soc.* 9, 413–415 (2020). doi: 10.1093/jpids/piaa079; pmid: 32706376



159. P. Hofemeier, K. Koshiyama, S. Wada, J. Sznitman, One (sub-)acinus for all: Fate of inhaled aerosols in heterogeneous pulmonary acinar structures. *Eur. J. Pharm. Sci.* 113, 53–63 (2018). doi: 10.1016/j.ejps.2017.09.033; pmid: 28954217
160. L. Zhang, Z. Gu, C. Yu, Y. Zhang, Y. Cheng, Surface charges on aerosol particles – accelerating particle growth rate and atmospheric pollution. *Indoor Built Environ.* 25, 437–440 (2016). doi: 10.1177/1420326X16643799
161. M. S. P. Islam et al., A review of respiratory anatomical development, air flow characterization and particle deposition. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 380 (2020). doi: 10.3390/ijerph17020380; pmid: 31935991
162. J. K. Mutuku, W.-C. Hou, W.-H. Chen, Two-phase flow dynamics and PM<sub>2.5</sub> deposition in healthy and obstructed human airways during inhalation. *Aerosol Air Qual. Res.* 20, 1091–1110 (2020). doi: 10.4209/aaqr.2020.03.0107
163. W.-H. Chen, K.-H. Lee, J. K. Mutuku, C.-J. Hwang, Flow dynamics and PM<sub>2.5</sub> deposition in healthy and asthmatic airways at different inhalation statuses. *Aerosol Air Qual. Res.* 18, 866–883 (2018). doi: 10.4209/aaqr.2018.02.0058
164. E. K. Alidjinou et al., Spatial and temporal virus load dynamics of SARS-CoV-2: A single-center cohort study. *Diagnostics* 11, 427 (2021). doi: 10.3390/diagnostics11030427; pmid: 33802451
165. A. Weiss, M. Jellingsø, M. O. A. Sommer, Spatial and temporal dynamics of SARS-CoV-2 in COVID-19 patients: A systematic review and meta-analysis. *EBioMedicine* 58, 102916 (2020). doi: 10.1016/j.ebiom.2020.102916; pmid: 32711256
166. N. Eichler et al., Transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 during border quarantine and air travel, New Zealand (Aotearoa). *Emerg. Infect. Dis.* 27, 1274–1278 (2021). doi: 10.3201/eid2705.210514; pmid: 33734063
167. M. M. Arons et al., Presymptomatic SARS-CoV-2 infections and transmission in a skilled nursing facility. *N. Engl. J. Med.* 382, 2081–2090 (2020). doi: 10.1056/NEJMoa2008457; pmid: 32329971
168. M. A. Johansson et al., SARS-CoV-2 transmission from people without COVID-19 symptoms. *JAMA Netw. Open* 4, e2035057 (2021). doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.35057; pmid: 33410879
169. D. P. Oran, E. J. Topol, Prevalence of asymptomatic SARS-CoV-2 infection: A Narrative Review. *Ann. Intern. Med.* 173, 362–367 (2020). doi: 10.7326/M20-3012; pmid: 32491919
170. X. He et al., Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nat. Med.* 26, 672–675 (2020). doi: 10.1038/s41591-020-0869-5; pmid: 32296168
171. M. Galanti et al., Rates of asymptomatic respiratory virus infection across age groups. *Epidemiol. Infect.* 147, e176 (2019). doi: 10.1017/S0950268819000505; pmid: 31063096

172. N. H. L. Leung, C. Xu, D. K. M. Ip, B. J. Cowling, Review article: The fraction of influenza virus infections that are asymptomatic: A systematic review and meta-analysis. *Epidemiology* 26, 862–872 (2015). doi: 10.1097/EDE.0000000000000340; pmid: 26133025
173. F. Carrat et al., Time lines of infection and disease in human influenza: A review of volunteer challenge studies. *Am. J. Epidemiol.* 167, 775–785 (2008). doi: 10.1093/aje/kwm375; pmid: 18230677
174. L. Zou et al., SARS-CoV-2 viral load in upper respiratory specimens of infected patients. *N. Engl. J. Med.* 382, 1177–1179 (2020). doi: 10.1056/NEJMc2001737; pmid: 32074444
175. K. A. Walsh et al., SARS-CoV-2 detection, viral load and infectivity over the course of an infection. *J. Infect.* 81, 357–371 (2020). doi:0.1016/j.jinf.2020.06.067; pmid: 32615199
176. S. E. Eikenberry et al., To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. *Infect. Dis. Model.* 5, 293–308 (2020). doi: 10.1016/j.idm.2020.04.001; pmid: 32355904
177. C. J. Worby, H.-H. Chang, Face mask use in the general population and optimal resource allocation during the COVID-19 pandemic. *Nat. Commun.* 11, 4049 (2020). doi: 10.1038/s41467-020-17922-x; pmid: 32792562
178. N. H. L. Leung et al., Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nat. Med.* 26, 676–680 (2020). doi: 10.1038/s41591-020-0843-2; pmid: 32371934
179. M. Gandhi, L. C. Marr, Uniting infectious disease and physical science principles on the importance of face masks for COVID-19. *Med* 2, 29–32 (2021). doi: 10.1016/j.medj.2020.12.008; pmid: 33521753
180. F. Drewnick et al., Aerosol filtration efficiency of household materials for homemade face masks: Influence of material properties, particle size, particle electrical charge, face velocity, and leaks. *Aerosol Sci. Technol.* 55, 63–79 (2021). doi: 10.1080/02786826.2020.1817846
181. H. Whiley, T. P. Keerthirathne, M. A. Nisar, M. A. F. White, . E. Ross, Viral filtration efficiency of fabric masks compared with surgical and N95 masks. *Pathogens* 9, 762 (2020). doi: 10.3390/pathogens9090762; pmid: 32957638
182. H. Ueki et al., Effectiveness of face masks in preventing airborne transmission of SARS-CoV-2. *mSphere* 5, e00637-20 (2020). doi: 10.1128/mSphere.00637-20; pmid: 33087517183. M. Klompas et al., Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From Asymptomatic and Presymptomatic Individuals in Healthcare Settings Despite Medical Masks and Eye Protection. *Clin. Infect. Dis.* 10.1093/cid/ciab218 (2021). doi: 10.1093/cid/ciab218; pmid: 33704451

184. L. Goldberg et al., SARS-CoV-2 infection among health care workers despite the use of surgical masks and physical distancing—the role of airborne transmission. *Open Forum Infect. Dis.* 8, ofab036 (2021). doi: 10.1093/ofid/ofab036; pmid: 33732749
185. M. Klompas et al., A SARS-CoV-2 cluster in an acute care hospital. *Ann. Intern. Med.* 174, 794–802 (2021). doi: 10.7326/M20-7567; pmid: 33556277
186. T. C. Bulfone, M. Malekinejad, G. W. Rutherford, N. Razani, Outdoor transmission of SARS-CoV-2 and other respiratory viruses: A systematic review. *J. Infect. Dis.* 223, 550–561 (2021). doi: 10.1093/infdis/jiaa742; pmid: 33249484
187. N. R. Faria et al., Genomics and epidemiology of the P.1 SARS-CoV-2 lineage in Manaus, Brazil. *Science* 372, 815–821 (2021). doi: 10.1126/science.abh2644; pmid: 33853970
188. N. G. Davies et al., Estimated transmissibility and impact of SARS-CoV-2 lineage B.1.1.7 in England. *Science* 372, eabg3055 (2021). doi: 10.1126/science.abg3055; pmid: 33658326
189. M. Kang et al., Probable evidence of fecal aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a high-rise building. *Ann. Intern. Med.* 173, 974–980 (2020). doi: 10.7326/M20-0928; pmid: 32870707
190. G. A. Somsen, C. van Rijn, S. Kooij, R. A. Bem, D. Bonn, Small droplet aerosols in poorly ventilated spaces and SARS-CoV-2 transmission. *Lancet Respir. Med.* 8, 658–659 (2020). doi: 10.1016/S2213-2600(20)30245-9; pmid: 32473123
191. L. Morawska et al., How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environ. Int.* 142, 105832 (2020). doi: 10.1016/j.envint.2020.105832; pmid: 32521345
192. S. N. Rudnick, D. K. Milton, Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air* 13, 237–245 (2003). doi: 10.1034/j.1600-0668.2003.00189.x; pmid: 12950586
193. Z. Peng, J. L. Jimenez, Exhaled CO<sub>2</sub> as COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 8, 392–397 (2021). doi: 10.1021/acs.estlett.1c00183
194. F. Villanueva et al., Assessment of CO<sub>2</sub> and aerosol (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, UFP) concentrations during the reopening of schools in the COVID-19 pandemic: The case of a metropolitan area in Central-Southern Spain. *Environ. Res.* 197, 111092 (2021). doi: 10.1016/j.envres.2021.111092; pmid: 33785326
195. C. Chen et al., The effectiveness of an air cleaner in controlling droplet/aerosol particle dispersion emitted from a patient’s mouth in the indoor environment of dental clinics. *J. R. Soc. Interface* 7, 1105–1118 (2010). doi: 10.1098/rsif.2009.0516; pmid: 20031985
196. M. Z. Bazant, J. W. M. Bush, A guideline to limit indoor airborne transmission of COVID-19. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118, e2018995118 (2021). doi: 10.1073/pnas.2018995118; pmid: 33858987

197. E. Petersen et al., Comparing SARS-CoV-2 with SARS-CoV and influenza pandemics. *Lancet Infect. Dis.* 20, e238–e244 (2020). doi: 10.1016/S1473-3099(20)30484-9; pmid: 32628905
198. X.-Y. Hao, Q. Lv, F. D. Li, Y. F. Xu, H. Gao, The characteristics of hDPP4 transgenic mice subjected to aerosol MERS coronavirus infection via an animal nose-only exposure device. *Animal Model Exp. Med.* 2, 269–281 (2019). doi: 10.1002/ame2.12088; pmid: 31942559
199. S. L. Bixler et al., Aerosol Exposure of Cynomolgus Macaques to SARS-CoV-2 Results in More Severe Pathology than Existing Models. *bioRxiv* 2021.04.27.441510 [Preprint] (2021). doi: 10.1101/2021.04.27.441510
200. S. S. Lakdawala et al., Eurasian-origin gene segments contribute to the transmissibility, aerosol release, and morphology of the 2009 pandemic H1N1 influenza virus. *PLOS Pathog.* 7, e1002443 (2011). doi: 10.1371/journal.ppat.1002443; pmid: 22241979
201. J. Zhou et al., Defining the sizes of airborne particles that mediate influenza transmission in ferrets. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115, E2386–E2392 (2018). doi: 10.1073/pnas.1716771115; pmid: 29463703
202. J. S. Nguyen-Van-Tam et al., Minimal transmission in an influenza A (H3N2) human challenge-transmission model within a controlled exposure environment. *PLOS Pathog.* 16, e1008704 (2020). doi: 10.1371/journal.ppat.1008704; pmid: 32658939
203. K. A. Kormuth et al., Environmental persistence of influenza viruses is dependent upon virus type and host origin. *Mosphere* 4, e00552-19 (2019). doi: 10.1128/mSphere.00552-19; pmid: 31434749
204. P. J. Bueno de Mesquita, C. J. Noakes, D. K. Milton, Quantitative aerobiologic analysis of an influenza human challenge-transmission trial. *Indoor Air* 30, 1189–1198 (2020). doi: 10.1111/ina.12701; pmid: 32542890
205. N. H. L. Leung, Transmissibility and transmission of respiratory viruses. *Nat. Rev. Microbiol.* 19, 528–545 (2021). doi: 10.1038/s41579-021-00535-6; pmid: 33753932
206. F. M. Guerra et al., The basic reproduction number (R0) of measles: A systematic review. *Lancet Infect. Dis.* 17, e420–e428 (2017). doi: 10.1016/S1473-3099(17)30307-9; pmid: 28757186

## 參考書目

1. Abraham, A.; Sommerhalder, K.; Abel, T. Landscape and well-being: A scoping study on the health-promoting impact of outdoor environments. *Int. J. Public Health* 2009, 55, 59–69.
2. Adams RI, Bhangar S, Dannemiller KC, Eisen JA, Fierer N, Gilbert JA, Green JL, Marr LC, Miller SL, Siegel JA, Stephens B, Waring MS, Bibby K. 2016. Ten questions concerning the microbiomes of buildings. *Build Environ* 109:224 –234. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.001>
3. AICARR. Protocollo per la riduzione del rischio da diffusione del del SARS-CoV2-19 mediante gli impianti di climatizzazione e ventilazione in ambienti sanitari. 2020:1-4.
4. Alaloul, W.S.; Liew, M.S.; Zawawi, N.A.W.A.; Kennedy, I.B. Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Eng. J.* 2020, 11, 225–230.
5. Alirol, E.; Getaz, L.; Stoll, B.; Chappuis, F.; Loutan, L. Urbanisation and infectious diseases in a globalised world. *Lancet. Infect. Dis.* 2011, 11, 131–141.
6. Allen, J.G.; Macomber, J.D. *Healthy Buildings: How Indoor Spaces Drive Performance and Productivity*; Harvard University Press: Cambridge, MA, USA, 2020; ISBN 9780674237971.
7. American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers, Inc. (ASHRAE). 2017. Ventilation of health care facilities (ANSI/ASHRAE/ ASHE standard 170-2017). American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers, Inc., Atlanta, GA.
8. Andrews JR, Morrow C, Walensky RP, Wood R. 2014. Integrating social contact and environmental data in evaluating tuberculosis transmission in a South African township. *J Infect Dis* 210:597– 603. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiu138>.
9. ASHRAE. Filtration/Disinfection. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2020a.
10. ASHRAE. Handbook HVAC fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers; 2017.
11. ASHRAE. HVAC design manual for hospitals and clinics (second edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers;

- 2003.
12. ASHRAE. Technical resources for health care settings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2020b.
  13. ASHRAE. Technical resources for residential settings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2020c.
  14. ASHRAE. Technical resources for commercial settings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2020d.
  15. Atkinson J, Chartier Y, Pessoa-Silva CL, Jensen P, Li Y. Natural ventilation for infection control in health-care settings: WHO guidelines. Geneva: World Health Organization; 2009.
  16. Azuma K, Kagi N, Kim H, Hayashi M. 2020. Impact of climate and ambient air pollution on the epidemic growth during COVID-19 outbreak in Japan. *Environ Res.* 2020;190:110042. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110042>.
  17. Becher, R.; Øvrevik, J.; Schwarze, P.E.; Nilsen, S.; Hongslo, J.K.; Bakke, J.V. Do carpets impair indoor air quality and cause adverse health outcomes: A review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018, 15, 184.
  18. Bell DM, World Health Organization Working Group on International and Community Transmission of SARS. 2004. Public health interventions and SARS spread, 2003. *Emerg Infect Dis* 10:1900–1906. <https://doi.org/10.3201/eid1011.040729>.
  19. Biggerstaff M, Cauchemez S, Reed C, Gambhir M, Finelli L. 2014. Estimates of the reproduction number for seasonal, pandemic, and zoonotic influenza: a systematic review of the literature. *BMC Infect Dis* 14:480. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-480>.
  20. BioSpace. 11 February 2020. Condair study shows indoor humidification can reduce the transmission and risk of infection from coronavirus. BioSpace, Urbandale, IA.
  21. Booth CM, Clayton M, Crook B, Gawn J. Effectiveness of surgical masks against influenza bioaerosols. *J. Hosp. Infect.* 2013;84:22–26.
  22. Braithwaite, R.; Warren, R. The African American Petri Dish. 2020. Available online: [https://preprint.press.jhu.edu/jhcpu/sites/default/files/02\\_warren.pdf1762847](https://preprint.press.jhu.edu/jhcpu/sites/default/files/02_warren.pdf1762847) (accessed on 13 July 2020).
  23. Brattig, N.W.; Tanner, M.; Bergquist, R.; Utzinger, J. Impact of environmental changes on infectious diseases: Key findings from an international conference in Trieste, Italy in May 2017. 2017. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001706X19312252> (accessed on

- 13 July 2020).
24. Brown J, Tang J, Pankhurst L, Klein N, Gant V, Lai K, et al. Influenza virus survival in aerosols and estimates of viable virus loss resulting from aerosolization and air-sampling. *J. Hosp. Infect.* 2015;91:278 – 281.
  25. Canadian Psychological Association. Traumatic Stress Section Executive Managing COVID-19 Anxiety—Resources. Available online: <https://cpa.ca/resources-for-managing-covid-19-anxiety-cpatraumatic-stress-section/> (accessed on 13 July 2020).
  26. Casanova L, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Survival of surrogate coronaviruses in water. *Water res.* 2009;43(7):1893-8. doi: 10.1016/j.watres.2009.02.002.
  27. Casanova LM, Jeon S, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. 2010. Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces. *Appl Environ Microbiol* 76:2712–2717. <https://doi.org/10.1128/AEM.02291-09>.
  28. CDC. COVID-19 employer information for office buildings. Atlanta (GA): Centers for Disease Prevention and Control; 2021.
  29. CDC. Guidelines for preventing the transmission of tuberculosis in health-care settings, with special focus on HIV-related issues. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention; 1990 (<https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00001897.htm>, accessed 12 February 2021).
  30. CDC. 2015. Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention.
  31. CDC. 2020. Coronavirus disease 2019 (COVID-19). Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA.
  32. Chan J-W, Yuan S, Kok K-H, To KK-W, Chu H, Yang J, Xing F, Liu J, Yip CC-Y, Poon R-S, Tsoi H-W, Lo S-F, Chan K-H, Poon V-M, Chan W-M, Ip JD, Cai J-P, Cheng V-C, Chen H, Hui C-M, Yuen K-Y. 2020. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. *Lancet* 395: 514 –523. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30154-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30154-9).
  33. Chan KH, Malik Peiris JS, Lam SY, Poon LLM, Yuen KY, Seto WH. 2011. The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. *Adv Virol* 2011:734690. <https://doi.org/10.1155/2011/734690>.
  34. Chang D, Xu H, Rebaza A, Sharma L, Dela Cruz CS. 2020. Protecting health-care workers from subclinical coronavirus infection. *Lancet Respir Med* 8:e13. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30066-7](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30066-7)

35. Chang D, Xu H, Rebaza A, Sharma L, Dela Cruz CS. 2020. Protecting health-care workers from subclinical coronavirus infection. *Lancet Respir Med* 8:e13. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30066-7](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30066-7).
36. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, Han Y, Qiu Y, Wang J, Liu Y, Wei Y, Xia J, Yu T, Zhang X, Zhang L. 2020. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *Lancet*. 2020;395:507–13.
37. Chen, C.; Zhang, X.-J.; Wang, Y.; Zhu, L.-X.; Liu, J. Waste water disinfection during SARS epidemic for microbiological and toxicological control. *Biomed. Environ. Sci.* 2006, 19, 173–178.
38. Cheng VCC, Wong SC, Chen JHK, Yip CCY, Chuang VWM, Tsang OTY, Sridhar S, Chan JFW, Ho PL, Yuen KY. 2020. Escalating infection control response to the rapidly evolving epidemiology of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2 in Hong Kong. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2020;41: 493–8.
39. Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen HL, Chan MCW, Peiris M, Poon LLM. 2020. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe*. 2020. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3).
40. Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses. 2020. The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat Microbiol* <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0695-z>.
41. Dietz, L.; Horve, P.F.; Coil, D.A.; Fretz, M.; Eisen, J.A.; Van Den Wymelenberg, K. 2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission. *MSystems* 2020, 5, e00245-20.
42. Djalante, R.; Shaw, R.; DeWit, A. Building resilience against biological hazards and pandemics: COVID-19 and its implications for the Sendai Framework. *Prog. Disaster Sci.* 2020, 6, 100080.
43. European Commission (EC). COVID-19: Guidelines on the Progressive Restoration of Transport Services and Connectivity. European Commission: Brussels, Belgium, 2020.
44. Eykelbosh, A. COVID-19 Precautions for Multi—Unit Residential Buildings. 2020. Available online: <https://ncceh.ca/sites/default/files/COVID-19%20Precautions%20for%20Multiunit%20Residential%20Buildings%20-%20March%2031%202020.pdf> (accessed on 13 July 2020).



45. Fahimipour AK, Hartmann EM, Siemens A, Kline J, Levin DA, Wilson H, Betancourt-Román CM, Brown GZ, Fretz M, Northcutt D, Siemens KN, Huttenhower C, Green JL, Van Den Wymelenberg K. 2018. Daylight exposure modulates bacterial communities associated with household dust. *Microbiome* 6:175. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0559-4>.
46. Fears, A. C., Klimstra, W. B., Duprex, P., Hartman, A., Weaver, S. C., Plante, K. S., ... & Roy, C. J. (2020). Persistence of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in aerosol suspensions. *Emerging infectious diseases*, 26(9), 2168.
47. Forester, J. Kindness, Planners' Response to Vulnerability, and an Ethics of Care in the Time of Covid-19. *Plan. Theory Pract.* 2020, 21, 185–188.
48. Frank, L.D.; Iroz-Elardo, N.; MacLeod, K.E.; Hong, A. Pathways from built environment to health: A conceptual framework linking behavior and exposure-based impacts. *J. Transp. Health* 2019, 12, 319–335.
49. Furuse Y, Ko YK, Saito M, Shobugawa Y, Jindai K, Saito T, Nishiura H, Sunagawa T, Suzuki M, National Task Force for COVID-19 Outbreak in Japan. 2020. Epidemiology of COVID-19 outbreak in Japan, January–March 2020. *Japanese J Infect Dis* 2020. doi: <https://doi.org/10.7883/yoken.JJID.2020.271>.
50. Gilkeson CA, Noakes C. Application of CFD simulation to predicting upper room UVGI effectiveness. *Photochem. Photobiol.* 2013; 89:799–810.
51. Gills, B. Deep Restoration: From The Great Implosion to The Great Awakening. *Globalizations* 2020, 17, 577–579.
52. Guerra FM, Bolotin S, Lim G, Heffeman J, Deeks SL, Li Y, Crowcroft NS. 2017. The basic reproduction number (R0) of measles: a systematic review. *Lancet Infect Dis* 17:e420 – e428. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30307-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30307-9).
53. Gundy PM, Gerba CP, Pepper IL. Survival of coronaviruses in water and wastewater. *Food Environ Virol.* 2008;1(1):10. doi: 10.1007/s12560-008-9001-6.
54. Guo ZD, Wang ZY, Zhang SF, Li X, Li L, Li C, Cui Y, Fu RB, Dong YZ, Chi XY, Zhang MY, Liu K, Cao C, Liu B, Zhang K, Gao YW, Lu B, Chen W. 2020. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020. *Emerg Infect Dis.* 2020;26:1583–91.
55. Helm, D. The Environmental Impacts of the Coronavirus. *Environ. Resour. Econ.* 2020, 76, 21–38.
56. Hepburn, C.; O'Callaghan, B.; Stern, N.; Stiglitz, J.; Zenghelis, D. Will COVID-19 fiscal

- recovery packages accelerate or retard progress on climate change? *Oxford Rev. Econ. Policy* 2020, 36, 1–48.
57. Horve PF, Lloyd S, Mhuireach GA, Dietz L, Fretz M, MacCrone G, Van Den Wymelenberg K, Ishaq SL. 2020. Building upon current knowledge and techniques of indoor microbiology to construct the next era of theory into microorganisms, health, and the built environment. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 30:219–217. <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0157-y>.
  58. Howard-Reed C, Wallace LA, Ott WR. 2002. The effect of opening windows on air change rates in two homes. *J Air Waste Manag Assoc* 52:147–159. <https://doi.org/10.1080/10473289.2002.10470775>.
  59. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, Zhang L, Fan G, Xu J, Gu X, et al. 2020. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020;395:497–506.
  60. Jo S, Hong J, Lee SE, Ki M, Choi BY, Sung M. Airflow analysis of Pyeongtaek St Mary's Hospital during hospitalization of the first Middle East respiratory syndrome patient in Korea. *R. Soc. Open Sci.* 2019; 6:181164.
  61. Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. 2020. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and its inactivation with biocidal agents. *J Hosp Infect* 104:246–251. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>.
  62. Kanda, W.; Kivimaa, P. What opportunities could the COVID-19 outbreak offer for sustainability transitions research on electricity and mobility? *Energy Res. Soc. Sci.* 2020, 68, 101666.
  63. Kang, M., Wei, J., Yuan, J., Guo, J., Zhang, Y., Hang, J., ... & Zhong, N. (2020). Probable evidence of fecal aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a high-rise building. *Annals of internal medicine*, 173(12), 974-980.
  64. Karpanen TJ, Casey AL, Lambert PA, Cookson BD, Nightingale P, Miruszenko L, Elliott TSJ. 2012. The antimicrobial efficacy of copper alloy furnishing in the clinical environment: a crossover study. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2012;33:3–9.
  65. Keenan, J.M. COVID, resilience, and the built environment. *Environ. Syst. Decis.* 2020, 40, 216–221.
  66. Keim, M.E. Building Human Resilience: The Role of Public Health Preparedness and Response As an Adaptation to Climate Change. *Am. J. Prev. Med.* 2008, 35, 508–516.
  67. Kembel SW, Jones E, Kline J, Northcutt D, Stenson J, Womack AM, Bohannon BJ,

- Brown GZ, Green JL. 2012. Architectural design influences the diversity and structure of the built environment microbiome. *ISME J* 6:1469 –1479. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.211>.
68. Kim SH, Chang SY, Sung M, Park JH, Bin Kim H, Lee H, et al. Extensive viable Middle East respiratory syndrome (MERS) coronavirus contamination in air and surrounding environment in MERS isolation wards. *Rev. Infect. Dis.* 2016; 63:363–369
69. Kim SW, Ramakrishnan MA, Raynor PC, Goyal SM. 2007. Effects of humidity and other factors on the generation and sampling of a coronavirus aerosol. *Aerobiologia* 23:239–248. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9068-9>.
70. Klemeš, J.J.; Fan, Y.; Van Fan, Y.; Tan, R.R.; Jiang, P. Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2020, 127, 109883.
71. Ko, W.H.; Schiavon, S.; Zhang, H.; Graham, L.T.; Brager, G.; Mauss, I.; Lin, Y.-W. The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance. *Build. Environ.* 2020, 175, 106779.
72. Kormuth KA, Lin K, Prussin AJ, Vejerano EP, Tiwari AJ, Cox SS, et al. Influenza virus infectivity is retained in aerosols and droplets independent of relative humidity. *J. Infect. Dis.* 2018; 218:739 – 747.
73. Kulkarni H, Smith CM, Lee DDH, Hirst RA, Easton AJ, O' Callaghan C. Evidence of respiratory syncytial virus spread by aerosol. Time to revisit infection control strategies? *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2016;194:308 – 316.
74. Kurnitski, J.; Boerstra, A.; Franchimon, F.; Mazzarella, L.; Hogeling, J.; Hovorka, F.; Seppänen, O. REHVA COVID-19 guidance document. 2020. Available online: [https://www.rehva.eu/fileadmin/user\\_upload/REHVA\\_COVID-19\\_guidance\\_document\\_ver2\\_20200403\\_1.pdf](https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_ver2_20200403_1.pdf) (accessed on 13 July 2020).
75. Lai CC, Shih TP, Ko WC, Tang HJ, Hsueh PR. 2020. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID- 19): the epidemic and the challenges. *Int J Antimicrob Agents.* 2020;55:105924. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020>
76. Larsson, N. Pandemics and the Built Environment. 2020. Available online: [https://www.researchgate.net/publication/342376251\\_Pandemics\\_and\\_the\\_Built\\_Environment\\_22June20](https://www.researchgate.net/publication/342376251_Pandemics_and_the_Built_Environment_22June20) (accessed on 13 July 2020).

77. Lénès D, Deboosere N, Ménard-Szczebara F, Jossent J, Alexandre V, Machinal C, et al. Assessment of the removal and inactivation of influenza viruses H5N1 and H1N1 by drinking water treatment. *Water Res.* 2010;44(8):2473-86. doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.013.
78. Li, Y. Y., Wang, J. X., & Chen, X. (2020). Can a toilet promote virus transmission? From a fluid dynamics perspective. *Physics of Fluids*, 32(6), 065107.
79. Lin, K., & Marr, L. C. (2017). Aerosolization of Ebola virus surrogates in wastewater systems. *Environmental science & technology*, 51(5), 2669-2675.
80. Lin, K., & Marr, L. C. (2019). Humidity-dependent decay of viruses, but not bacteria, in aerosols and droplets follows disinfection kinetics. *Environmental Science & Technology*, 54(2), 1024-1032.
81. Lipsitch M, Allen J. 16 March 2020. Coronavirus reality check: 7 myths about social distancing, busted. *USA Today*, McLean, VA. <https://www.usatoday.com/story/opinion/2020/03/16/coronavirus-social-distancing-myths-realities-column/5053696002/>.
82. Liu Y, Ning Z, Chen Y, Guo M, Liu Y, Gali NK, Sun L, Duan Y, Cai J, Westerdahl D, Liu X, Xu K, Ho KF, Kan H, Fu Q, Lan K. 2020. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*. 2020; 582:557–60.
83. Lucchese, M.; Pianta, M. The Coming Coronavirus Crisis: What Can We Learn? *Intereconomics* 2020, 55, 98–104.
84. Marr LC, Tang JW, Van Mullekom J, Lakdawala SS. 2019. Mechanistic insights into the effect of humidity on airborne influenza virus survival, transmission and incidence. *J R Soc Interface* 16:20180298. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0298>.
85. Martineau, A.R.; Jolliffe, D.A.; Hooper, R.L.; Greenberg, L.; Aloia, J.F.; Bergman, P.; Dubnov-Raz, G.; Esposito, S.; Ganmaa, D.; Ginde, A.A.; et al. Vitamin D supplementation to prevent acute respiratory tract infections: Systematic review and meta-analysis of individual participant data. 2017. Available online: <https://www.bmj.com/content/356/bmj.i6583> (accessed on 13 July 2020).
86. Mears, M.; Brindley, P.; Jorgensen, A.; Ersoy, E.; Maheswaran, R. Greenspace spatial characteristics and human health in an urban environment: An epidemiological study using landscape metrics in Sheffield, UK. *Ecol. Indic.* 2019, 106, 105464.
87. Melikov AK. Advanced air distribution. *ASHRAE J.* 2011; 53:73–77.
88. Melikov AK. Advanced air distribution: improving health and comfort while reducing

- energy use. *Indoor Air* 2016; 26: 112 – 124.
89. Memarzadeh F, Olmsted RN, Bartley JM. 2010. Applications of ultraviolet germicidal irradiation disinfection in health care facilities: effective adjunct, but not stand-alone technology. *Am J Infect Control* 38:S13–S24. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.04.208>.
  90. Michels H, Moran W, Michel J. Antimicrobial properties of copper alloy surfaces, with a focus on hospital-acquired infections. *Int J Metalcasting*. 2008; 2:47–56.
  91. Mizumoto K, Kagaya K, Zarebski A, Chowell G. 2020. Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020. *Euro Surveill* 25(10):pii2000180. <https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/15607917.ES.2020.25.10.2000180>.
  92. Montero DA, Arellano C, Pardo M, Vera R, Gálvez R, Cifuentes M, Berasain MA, Gómez M, Ramírez C, Vidal RM. Antimicrobial properties of a novel copperbased composite coating with potential for use in healthcare facilities. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2019; 8:3. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0456-4>.
  93. Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. *Environ Int*. 2020; 139:105730. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>.
  94. Moriyama, M.; Hugentobler, W.J.; Iwasaki, A. Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annu. Rev. Virol*. 2020, 7, 1–19.
  95. MSF. Environmental measures to prevent TB transmission in resource-limited settings having a high TB-HIV burden. *Médecins Sans Frontières*; 2011.
  96. MSN, 2020. Look inside Singapore’s exhibition hall turned hospital (Photos).
  97. Neda Mirzaei , Hamed Kamelnia, Seyed Gholamreza Islami, Saeid Kamyabi, Seyedeh Negar Assadi , The Impact of Indoor Environmental Quality of Green Buildings on Occupants' Health and Satisfaction: A systematic review , *Journal of Community Health Research* 2020; 9(1): 54-65.
  98. Nghiem, L.D.; Morgan, B.; Donner, E.; Short, M.D. The COVID-19 pandemic: Considerations for the waste and wastewater services sector. *Case Stud. Chem. Environ. Eng*. 2020, 1, 100006.
  99. Nicas M, Jones RM. Relative contributions of four exposure pathways to influenza infection risk. *Risk Anal*. 2009; 29:1292–303.
  100. Nicas M, Sun G. An integrated model of infection risk in a health care environment. *Risk Anal*. 2006; 26:1097–108.
  101. Nishiura H, Oshitani H, Kobayashi T, Saito T, Sunagawa T, Matsui T, et al., 2020.

- Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). medRxiv.
102. Nishiura H, Oshitani H, Kobayashi T, Saito T, Sunagawa T, Matsui T, Wakita T, MHLW COVID-19 Response Team, Motoi Suzuki. Closed environments facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19), medRxiv preprint; 2020. p. 0029272. <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>.
  103. Noti JD, Blachere FM, McMillen CM, Lindsley WG, Kshon ML, Slaughter DR, Beezhold DH. 2013. High humidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs. PLoS One 8:e57485. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057485>.
  104. Ong SWX, Tan YK, Chia PY, Lee TH, Ng OT, Wong MSY, Marimuthu K. 2020. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. JAMA <https://doi.org/10.1001/jama.2020.3227>.
  105. Perlman S. 2020. Another decade, another coronavirus. N Engl J Med 382:760 –762. <https://doi.org/10.1056/NEJMe2001126>.
  106. Pi CH, Chang YS, Kang BH. An experimental study on air leakage and performance characteristics of a desiccant rotor. International Institute of Refrigeration; 2011.
  107. PMJHC. 16th meeting document (March 1, 2020). Tokyo: National Task Force for COVID-19 Outbreak in Japan, Prime Minister of Japan and His Cabinet; 2020. Available at: [https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel\\_coronavirus/th\\_siryou/sidai\\_r020301.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/th_siryou/sidai_r020301.pdf). Assessed 31 Aug 2020. (In Japanese).
  108. PMJHC. 21th meeting document (March 20, 2020). Tokyo: National Task Force for COVID-19 Outbreak in Japan, Prime Minister of Japan and His Cabinet; 2020. Available at: [https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel\\_coronavirus/th\\_siryou/sidai\\_r020320.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/th_siryou/sidai_r020320.pdf). Assessed 31 Aug 2020. (In Japanese).
  109. Poon LLM, Peiris M. 2020. Emergence of a novel human coronavirus threatening human health. Nat Med 26:317–319. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0796-5>.
  110. Preiss, S.; Kramer, A. Foot-operated door opener to eliminate the door handle as a source of contamination. GMS Krankenhhyg. Interdiszip. 2011, 6, 10.
  111. Pyankov OV, Bodnev SA, Pyankova OG, Agranovski IE. Survival of aerosolized coronavirus in the ambient air. J. Aerosol Sci. 2018;115:158 – 163.
  112. Qian H, Zheng X. 2018. Ventilation control for airborne transmission of human exhaled

- bio-aerosols in buildings. *J Thorac Dis* 10:S2295–S2304. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.01.24>.
113. Qian H, Zheng X. 2018. Ventilation control for airborne transmission of human exhaled bio-aerosols in buildings. *J Thorac Dis* 10:S2295–S2304. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.01.24>.
114. Queiroz, M.M.; Ivanov, D.; Dolgui, A.; Fosso Wamba, S. Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: Mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. 2020. Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-020-03685-7> (accessed on 13 July 2020).
115. REHVA. REHVA COVID-19 guidance document. 3 August 2020. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations; 2020.
116. Regan H. How can the coronavirus spread through bathroom pipes? Experts are investigating in Hong Kong. *CNN*. 12 February 2020. (<https://edition.cnn.com/2020/02/12/asia/hong-kong-coronavirus-pipes-intl-hnk/index.html>, 2020年4月22日訪問)。
117. Rothan HA, Byrareddy SN. 26 February 2020. The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak. *J Autoimmun* <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433>.
118. Rule AM, Apau O, Ahrenholz SH, Brueck SE, Lindsley WG, de Perio MA, et al., Healthcare personnel exposure in an emergency department during influenza season. *PLoS ONE* 2018;13.
119. Rutala WA, Weber DJ, Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HIPAC). 2017. Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities, 2017. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA.
120. Saez, M.; Tobias, A.; Varga, D.; Barceló, M.A. Effectiveness of the measures to flatten the epidemic curve of COVID-19. The case of Spain. *Sci. Total Environ.* 2020, 727, 138761.
121. Schuit M, Gardner S, Wood S, Bower K, Williams G, Freeburger D, Dabisch P. 2020. The influence of simulated sunlight on the inactivation of influenza virus in aerosols. *J Infect Dis* 221:372–378. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiz582>.
122. Schulz, A.J.; Mehdipanah, R.; Chatters, L.M.; Reyes, A.G.; Neblett, E.W.; Israel, B.A. Moving Health Education and Behavior Upstream: Lessons From COVID-19 for Addressing Structural Drivers of Health Inequities. *Health Educ. Behav.* 2020, 47, 519–

- 524.
123. Semple, S.; Cherrie, J.W. Covid-19: Protecting Worker Health. *Ann. Work Expo. Health* 2020, 64, 461–464.
124. Shang J, Ye G, Shi K, Wan Y, Luo C, Aihara H, Geng Q, Auerbach A, Li F. Structural basis of receptor recognition by SARS-CoV-2. *Nature*. 2020;581:221–4.
125. Sherr, L.; Cluver, L.; Desmond, C.; Toska, E.; Aber, L.; Dhaliwal, M.; Webb, D.; Dugbahaz, J. A new vehicle to accelerate the UN Sustainable Development Goals. *Lancet Glob. Health* 2020, 8, e637–e638.
126. Sofo, A.; Sofo, A. Converting Home Spaces Into Food Gardens At the Time of Covid 19 Quarantine: All the Benefits of Plants in This Difficult and Unprecedented Period. 2020. Available online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7171439/> (accessed on 13 July 2020).
127. Sornboot J, Aekplakorn W, Ramasoota P, Bualert S, Tumwasorn S, Jiamjarasrangsri W. Detection of airborne Mycobacterium tuberculosis complex in high-risk areas of health care facilities in Thailand. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.* 2019;23:465 – 473.
128. Sun, J., Zhu, A., Li, H., Zheng, K., Zhuang, Z., Chen, Z., ... & Li, Y. M. (2020). Isolation of infectious SARS-CoV-2 from urine of a COVID-19 patient. *Emerging microbes & infections*, 9(1), 991-993.
129. Tang JW. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *J. R. Soc. Interface* 2009; 6: S737 – S746.
130. Tellier R, Li Y, Cowling BJ, Tang JW. 2019. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary. *BMC Infect Dis* 19:101. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-3707-y>
131. Thatiparti DS, Ghia U, Mead KR. Assessing effectiveness of ceiling ventilated mock airborne infection isolation room in preventing hospital-acquired influenza transmission to health care workers. *ASHRAE Trans.* 2016;122:35.
132. Thatiparti DS, Ghia U, Mead KR. Computational fluid dynamics study on the influence of an alternate ventilation configuration on the possible flow path of infectious cough aerosols in a mock airborne infection isolation room. *Sci. Technol. Built Environ.* 2017; 23:355–366.
133. Tilley E, Ulrich L, Luthi C, Reymond P, Zurbrügg C. Compendium of sanitation systems and technologies, 2nd revised edition. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag); 2014.



- (<https://www.eawag.ch/en/departement/sandec/publications/compendium/>, accessed 22 April 2020) .
134. Tronville, P.; Rivers, R.D. International standards: Filters for buildings and gas turbines. *Filtr. Sep.* 2005, 42, 39–43.
  135. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI, Lloyd-Smith JO, de Wit E, Munster VJ. 2020. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
  136. Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., ... & Munster, V. J. (2020). Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England journal of medicine*, 382(16), 1564-1567.
  137. van Doremalen, N.; Bushmaker, T.; Morris, D.H.; Holbrook, M.G.; Gamble, A.; Williamson, B.N.; Tamin, A.; Harcourt, J.L.; Thornburg, N.J.; Gerber, S.I.; et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N. Engl. J. Med.* 2020.
  138. Wang X-W, Li J-S, Jin M, Zhen B, Kong Q-X, Song N, et al. Study on the resistance of severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus. *J Virol Methods.* 2005;126(1):171-7. [doi.org/10.1016/j.jviromet.2005.02.005](https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2005.02.005).
  139. Wang Z, Yang B, Li Q, Wen L, Zhang R. Clinical features of 69 cases with coronavirus disease 2019 in Wuhan, China. *Clin Infect Dis.* 2020:ciaa272. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa272>.
  140. Wang, J. X., Li, Y. Y., Liu, X. D., & Cao, X. (2020). Virus transmission from urinals. *Physics of Fluids*, 32(8), 081703.
  141. Wang CC, Prather KA, Sznitman J, et al., Airborne transmission of respiratory viruses. *Science.* 2021 Aug 27;373(6558):eabd9149.
  142. Warnes SL, Keevil CW. Inactivation of norovirus on dry copper alloy surfaces. *PLoS One.* 2013;8(9):e75017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075017>.
  143. West R, Michie S, Rubin GJ, Amlôt R. Applying principles of behaviour change to reduce SARS-CoV-2 transmission. *Nat Hum Behav.* 2020;4:451–9.
  144. Weston Williamson + Partners Weston Williamson + Partners Envisions Social-Distancing Office. Available online: <https://www.dezeen.com/2020/05/14/weston-williamson-social-distancing-office/> (accessed on 29 May 2020).

145. WHO. Infection Prevention and Control During Health Care When COVID-19 is Suspected. Interim Guidance. World Health Organization; 2020a. 19 March 2020.
146. WHO. Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations. Geneva: World health Organization; 2020b. [cited March 29, 2020]. Available at: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>. Accessed 31 Aug 2020.
147. Wijburg, G. The de-financialization of housing: Towards a research agenda. 2019. Available online: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02673037.2020.1762847> (accessed on 13 July 2020).
148. World Health Organization (WHO). Strengthening Preparedness for COVID-19 in Cities and Urban Settings: Interim Guidance for Local Authorities; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2020; Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
149. Writing Urban Places COST Socially Distanced—Windows Looking (and Listening) to Nature Where I Resided. Available online: <https://writingurbanplaces.eu/wup-news/socially-distanced-windows-looking-and-listening-to-nature-where-i-resided/> (accessed on 14 July 2020).
150. Wu F, Zhao S, Yu B, Chen YM, Wang W, Song ZG, Hu Y, Tao ZW, Tian JH, Pei YY, Yuan ML, Zhang YL, Dai FH, Liu Y, Wang QM, Zheng JJ, Xu L, Holmes EC, Zhang YZ. A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*. 2020;579:265–9.
151. Wu JT, Leung K, Leung GM. 2020. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *Lancet* 395:689 – 697. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30260-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30260-9).
152. Wu S, Wang Y, Jin X, Tian J, Liu J, Mao Y. Environmental contamination by SARS-CoV-2 in a designated hospital for Coronavirus Disease 2019. *Am J Infect Control*. 2020:S0196-6553(20)30275-3. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.05.003>.
153. Xiao F, Tang M, Zheng X, Liu Y, Li X, Shan H. 2020. Evidence for gastrointestinal infection of SARS-CoV-2. *Gastroenterology* <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.02.055>.
154. Xiao, F., Sun, J., Xu, Y., Li, F., Huang, X., Li, H., ... & Zhao, J. (2020). Infectious SARS-CoV-2 in feces of patient with severe COVID-19. *Emerging infectious diseases*, 26(8), 1920.
155. Xie X, Li Y, Chwang ATY, Ho PL, Seto WH. 2007. How far droplets can move in

- indoor environments—revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air* 17:211–225. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2007.00469.x>.
156. Xu Z, Shi L, Wang Y, Zhang J, Huang L, Zhang C, Liu S, Zhao P, Liu H, Zhu L, et al. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med*. 2020;8:420–2.
157. Yang W, Marr LC. 2012. Mechanisms by which ambient humidity may affect viruses in aerosols. *Appl Environ Microbiol* 78:6781– 6788. <https://doi.org/10.1128/AEM.01658-12>.
158. Ye G, Lin H, Chen S, Wang S, Zeng Z, Wang W, Zhang S, Rebmann T, Li Y, Pan Z, Yang Z, Wang Y, Wang F, Qian Z, Wang X. Environmental contamination of SARS-CoV-2 in healthcare premises. *J Infect*. 2020:S0163- 4453(20)30260-7. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.04.034>
159. Yeom, S.; Kim, H.; Hong, T.; Park, H.S.; Lee, D.-E. An integrated psychological score for occupants based on their perception and emotional response according to the windows' outdoor view size. *Build. Environ*. 2020, 180, 107019.
160. Yu IT, Li Y, Wong TW, Tam W, Chan AT, Lee JH, et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *N Engl J Med*. 2004;350(17):1731-9. doi: 10.1056/NEJMoa032867.
161. Zhang S, Diao M, Yu W, Pei L, Lin Z, Chen D. 2020. Estimation of the reproductive number of novel coronavirus (COVID-19) and the probable outbreak size on the Diamond Princess cruise ship: a data-driven analysis. *Int J Infect Dis* 93:201–204. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.02.033>.
162. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, Zhao X, Huang B, Shi W, Lu R, Niu P, Zhan F, Ma X, Wang D, Xu W, Wu G, Gao GF, Tan W. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med*.2020;382:727–33.
163. 水務衛生問題。日內瓦：世界衛生組織；2006年。  
(<https://apps.who.int/iris/handle/10665/43423>)。
164. 王家瑩，綠建築室內環境指標整合健康概念之可行性研究成果報告，內政部建築研究所，2018，新北市，臺灣。
165. 邱意庭，建構臺灣健康建築評估指標與驗證之研究，國立臺北科技大學建築系暨建築與都市設計碩士班論文，2020。
166. 陳宗鵠，健康住宅設計學-陳宗鵠建築師的能量綠建築，城邦文化事業股份有限公司麥浩斯出版，2020，臺北市，臺灣。

建築環境健康及防疫措施之可行性研究

167. 飲用水水質準則，第四版，含第一版附錄。日內瓦：世界衛生組織；2017 年。  
◦ ([https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/ drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/))。
168. 陳海曙，住宅大樓浴廁間防疫提升大策略，2020 年台灣衛浴文化協會第52 期衛文會訊
169. 歐冠廷，臺灣智慧建築標章導入健康建築指標之研究，國立臺北科技大學建築系暨建築與都市設計碩士班論文，2020。
170. 衛生安全規劃：廢水、污水和糞便的安全使用和處置手冊。日內瓦：世界衛生組織；2015 年。
171. 衛生和健康準則。日內瓦：世界衛生組織； 2018 年。  
([https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/ guidelines-on-sanitation-and-health/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/guidelines-on-sanitation-and-health/en/))。
172. 羅時麒、邵文政、姚志廷、王家瑩、林俊賢、吳佩秦、邱意庭、歐冠廷，國際健康建築與綠建築、綠建材制度之調合研究成果報告，內政部建築研究所，2019，新北市，臺灣。