

內政部建築研究所
「智慧化居住空間整合應用人工智慧
科技發展推廣計畫協同研究計畫」
第 2 案
「應用使用者為中心之控制技術提
升智慧建築節能效益研究」

資料蒐集分析報告

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 111 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)

11115B0007

「智慧化居住空間整合應用人工智慧
科技發展推廣計畫協同研究計畫」
第 2 案

「應用使用者為中心之控制技術提
升智慧建築節能效益研究」

資料蒐集分析報告

計畫主持人： 王榮進

協同主持人： 李訓谷

研究員： 蔣鎮宇、林霧霆、呂文弘、張怡文

研究助理： 林惟榮、曾宥人、林詩頻

研究期程： 中華民國 111 年 3 月 31 日至 111 年 12 月 31 日

研究經費： 新台幣捌拾貳萬貳仟壹佰元整

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 111 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.....	IX
ABSTRACT.....	XIII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究流程與進度.....	5
第三節 預期成果及效益.....	7
第二章 研究方法.....	9
第一節 文獻分析.....	9
第二節 專家諮詢法.....	9
第三節 全尺度實驗驗證.....	9
第四節 使用者中心控制技術之節能量化效益評估.....	30
第五節 研究採用方法之原因.....	31
第六節 遭遇之困難及解決途徑.....	31
第七節 重要儀器之配合使用情形.....	32
第三章 文獻蒐集與相關法規分析.....	33
第一節 OCC 技術.....	34
第二節 使用者中心控制建築外殼研究.....	39
第三節 使用者中心控制照明研究.....	46
第四節 使用者中心控制空調系統研究.....	47
第五節 感控照明相關法規分析.....	50
第四章 全尺度實驗.....	55
第一節 智慧調光窗.....	55
第二節 智慧照明.....	63
第三節 智慧通風.....	79
第四節 使用者中心控制技術之節能量化效益評估.....	89
第五節 2050 淨零碳排之節能效益衝擊評估.....	94
第五章 結論與建議.....	97
第一節 結論.....	97

第二節 建議.....	99
附錄一 期初會議審查回覆	101
附錄二 第一次專家座談會議記錄	105
附錄三 第二次專家座談會議記錄	111
附錄四 期中會議審查回覆	115
附錄五 第三次專家座談會議記錄	125
附錄六 期末會議審查回覆	129
附錄七 學術研討會	133
參考書目.....	135

表次

表 1-1 智慧建築標章評估指標與項目	4
表 2-1 節能技術之評估內容	10
表 2-2 智慧調光膜光學性能測驗	13
表 2-3 廁所情境感控條件	22
表 2-4 通道情境感控條件	23
表 2-5 臥室情境感控條件	24
表 2-6 客廳情境感控條件	25
表 3-1 印度乾熱型態氣候之智慧窗每年的空調成本節約和投資回收	45
表 3-2 不同空間類型設定感應照明延遲關閉時間之節能率	53
表 4-1 微波感應器廁所情境照明感控設定參數	65
表 4-2 通道情境照明感控設定參數	68
表 4-3 臥室情境照明感控設定參數	72
表 4-4 臥室情境照明感控設定參數	75
表 4-5 室內供風 SA 與回風 RA 處之三段風速運轉量測	83
表 4-6 房間居室使用者人數產生之 CO ₂ 濃度變化	84
表 4-7 全熱交換機運轉時間與啟停週期對室內 CO ₂ 濃度與設備用電量之影響	86
表 4-8 不同外氣溫度啟動全熱交換器運轉性能試驗結果	87
表 4-9 貨櫃屋建築模擬相關輸入設定資訊	89
表 4-10 貨櫃實驗屋未實施節能控制之全年逐月電力消耗統計	91
表 4-11 貨櫃實驗屋實施感控照明之全年逐月電力消耗統計	92
表 4-12 實施感控照明與高效能空調機之全年逐月電力消耗統計	93
表 4-13 實施感控照明、高效能空調機與電致變色膜之全年逐月電力消耗統計	93
表 4-14 實施感控照明、高效能空調機與全熱交換器之全年逐月電力消耗統計	94
表 4-15 社宅詳細資訊	96
表 4-16 社宅與 OCC 技術減碳率	96

圖次

圖 1-1 國際能源總署提出淨零排放路徑之關鍵里程碑.....	2
圖 1-2 日本零能建築政策.....	2
圖 2-1 貨櫃實驗屋之外觀與位置鳥瞰圖.....	11
圖 2-2 實驗屋室內環控設備配置平面圖.....	12
圖 2-3 智能 PDLC 調光膜.....	13
圖 2-4 ESP32-S.....	14
圖 2-5 Woody 輔助開發板.....	15
圖 2-6 智慧調光膜啟動(ON).....	15
圖 2-7 智慧調光膜關閉(OFF).....	16
圖 2-8 MAX44009 環境光感測器模組 GY-49.....	16
圖 2-9 CR300_HFH02.....	17
圖 2-10 HOBO MX1104.....	17
圖 2-11 LR5000 Utility.....	17
圖 2-12 HomePod mini.....	18
圖 2-13 iPhone 手機.....	18
圖 2-14 Oplus 手機控制 App 介面.....	19
圖 2-15 微波感應器.....	20
圖 2-16 微波感應器感應偵測範圍.....	20
圖 2-17 PIR 感應器.....	20
圖 2-18 PIR 感應器感應偵測範圍.....	21
圖 2-19 Zenbo 機器人.....	21
圖 2-20 感應器實驗區域與四個動線.....	22
圖 2-21 微波感應器廁所情境之動線與感應器偵測範圍.....	23
圖 2-22 通道情境之動線與感應器偵測範圍.....	24
圖 2-23 臥室情境之動線與感應器偵測範圍.....	25
圖 2-24 客廳情境之動線與感應器偵測範圍.....	26
圖 2-25 即時感測數據資訊.....	27
圖 2-26 新風國際生產全熱交換器產品.....	27
圖 2-27 Acer Air Monitor Pro.....	28
圖 2-28 全熱交換設備管路系統之進排風口設置溫溼度感測器.....	29
圖 2-29 全熱交換室內供風口與空調機之間無隔板(左)與有隔板(右).....	30
圖 2-30 建築能源模擬分析平台.....	31
圖 3-1 使用者反應環境控制之系統架構.....	34
圖 3-2 傳統的使用者模型.....	35
圖 3-3 新世代的使用者模型.....	36
圖 3-4 使用者資訊之分類.....	37

圖 3-5 IEA EBC 附錄 79 建立使用者資訊分類.....	38
圖 3-6 研究回顧涵蓋自動化控制建築自適應立面與使用者中心控制自動化之 範圍.....	40
圖 3-7 建築自適應立面自動遮陽控制透過開放式或封閉式迴路.....	41
圖 3-8 使用者中心控制遮陽系統之控制情景涵蓋範圍.....	43
圖 3-9 使用者中心控制遮陽系統之個人化即時控制.....	43
圖 3-10 PDLC 玻璃於 ON 與 OFF 模式之四種不同顏色狀態.....	44
圖 3-11 基於使用者中心控制之強化學習的一般架構.....	47
圖 3-12 基於學習溫度喜好(LTPC)之控制方塊圖.....	48
圖 3-13 移動感測示意圖.....	51
圖 3-14 照明設計流程圖.....	52
圖 4-1 調光膜狀態對照度影響之量測結果.....	56
圖 4-2 調光膜狀態對溫度影響之量測結果.....	57
圖 4-3 調光膜狀態對空調耗電影響之量測結果.....	58
圖 4-4 自動模式對室內光環境影響之量測結果.....	59
圖 4-5 自動模式下設備運作流程.....	60
圖 4-6 使用者為中心控制智慧調光窗自動模式系統邏輯.....	60
圖 4-7 三種模式按鈕控制.....	61
圖 4-8 使用者中心遮陽控制.....	62
圖 4-9 廁所情境.....	63
圖 4-10 廁所情境智慧照明系統啟停結果.....	64
圖 4-11 通道情境.....	65
圖 4-12 通道情境智慧照明系統啟停結果.....	67
圖 4-13 臥室情境.....	68
圖 4-14 臥室情境智慧照明系統啟停結果.....	71
圖 4-15 客廳情境.....	73
圖 4-16 客廳情境智慧照明系統啟停結果.....	74
圖 4-17 使用者為中心控制系統流程.....	76
圖 4-18 使用者為中心控制之客廳模式中照明系統邏輯.....	77
圖 4-19 偵測較佳範圍.....	78
圖 4-20 感應偵測範圍圈邊緣切合.....	78
圖 4-21 大空間場域之區域型照明感知控制.....	79
圖 4-22 風管型全熱回收換氣機於室外側之現場圖.....	80
圖 4-23 風管型全熱回收換氣機於室內側之現場圖.....	80
圖 4-24 全熱交換器運轉功能測試模式.....	80
圖 4-25 全熱交換器運轉測試期間，A 區室內偵測參數變化.....	81
圖 4-26 Oplus 電腦網頁版.....	81
圖 4-27 Oplus 手機 App 螢幕畫面.....	82

圖 4-28 全熱交換機三段風速切換運轉用電測試.....	83
圖 4-29 房間場域量測三段風速運轉之室內噪音值.....	84
圖 4-30 濃度設定模式對室內 CO ₂ 濃度之影響.....	85
圖 4-31 排程設定模式對室內 CO ₂ 濃度之影響.....	85
圖 4-32 全熱交換器於不同設定運轉時間之室內供回風溫度與設備運轉電流變化.....	87
圖 4-33 全熱交換室內供風口與空調機之間無隔板(左)影響空調機回風溫度.....	88
圖 4-34 全熱交換器室內供風口與空調機之間相對位置，對空調機能耗之影響.....	88
圖 4-35 建築外觀設定尺寸與窗牆比之示意畫面.....	90
圖 4-36 建築標的物所在地之氣候區選擇.....	91
圖 4-37 貨櫃實驗屋未實施節能控制之全年逐月電力消耗.....	92
圖 4-38 貨櫃實驗屋實施感控照明之全年逐月電力消耗.....	92
圖 4-39 實施感控照明與高效能空調機之全年逐月電力消耗.....	93
圖 4-40 獲得候選證書之南部社宅.....	95

摘要

關鍵字：使用者為中心控制、智慧調光窗、照明系統、全熱交換器

一、研究緣起

長期以來智慧建築技術一直被設想為未來建築的主流。然而現今智慧建築技術的發展並沒有達到預期的效果，導致智慧建築技術的落實遠不及其在工業製造與車輛的廣泛應用。在眾多建築智慧控制技術中，以使用者為中心的控制 (Occupant-Centric Control) 技術是目前最具節能減碳的技術。

本計畫研究目的在於了解現行常用於台灣建築中，以使用者中心控制對用電設備之節能效益現況，藉由選取智慧調光窗、照明系統、全熱交換器等設備進行全尺度實驗，建立居家住宅建築之使用者中心控制方法，使獲得兼顧建築物用電設備能耗改善與使用者舒適的環境控制條件；並完成量化評估效益成果。依此評估全面採用使用者中心控制技術對於達成 2050 淨零建築目標之衝擊程度。

二、研究方法及過程

本研究完成收集使用者為中心控制應用在智慧照明、智慧空調與智慧外殼之學術發表文獻，以及現行相關智慧控制之標準規範。並在研究目前常用於台灣建築的使用者中心控制技術後，透過全尺度實驗進行探討現有使用者中心控制模式交互作用等情境，對於建築物用電設備之能耗改善程度。因此本研究計畫採用文獻調查分析法、專家諮詢法以及全尺度實驗法以達成計畫之目標。

三、重要發現

由全尺度實驗發現目前最常用的人員感應偵測之智慧照明技術之裝設位置、感應範圍與啟動時間為影響照明系統耗電量之主要因素。採用人員感應偵測之智慧照明系統必須在裝設位置與感應範圍的設定可以採用類似消防灑水系統設置方法達到最佳化的配置。智慧調光窗以電致變色膜阻擋了可見光的穿透

應用使用者為中心之控制技術提升智慧建築節能效益研究

導致進入室內的熱量減少，在本研究之貨櫃屋實驗場域中，電致變色膜可降低5%的空調耗電量，同時以使用者為中心設計自動控制智慧調光窗之功能。

四、主要建議事項

本研究計畫探討以使用者為中心之控制技術對智慧建築節能效益提升為主要目標，藉由本研究收集世界各國相關專利與文獻，並加上全尺度實驗佐證，擬定實際確切的專利技術與發展方向。為擴大本研究產出後續實質成果，提出下列建議：

建議一

「以使用者為中心之智慧建築控制技術」專利申請：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

建議本研究計畫所產出之「以使用者為中心之智慧建築控制技術」，可依據「政府科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法」相關規定，申請台灣的新型專利。並且在專利獲證以非專屬授權方式授權於私立學校、私立研究機關（構）、法人、團體、公司等，於中華民國（指臺灣、澎湖、金門、馬祖及其他附屬島嶼）境內，進行本技術之使用。

建議二

舉辦智慧建築節能效益技術開發與應用之推廣講習：中長期建議

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、社團法人台灣智慧建築協會

現階段國內建商、建築業、專業智慧建築廠商對如何準確以節能導向進行建築智慧化設計似乎尚未清楚掌握，而一般民眾對於智慧建築具體效益等認知也是薄弱，因此如何有效發揮智慧建築技術之最大性能效益，乃是提升國人住居品質與邁向淨零減碳當務之急。故本研究建議將本研究成果彙整成教材，融入在

智慧建築標章相關之講習中，針對建築產業相關人士團體與一般民眾進行推廣及辦理系列技術說明講習示範。

ABSTRACT

Keyword : Occupant-Centric Control, Smart Window, Lighting system, Total Heat Exchanger

Smart building technologies have long been envisioned as the mainstream of future buildings. However, the development of today's smart building technology has not achieved the expected effects, resulting in the implementation of the technology is far less extensive than its application in industrial manufacturing and vehicles. Among many building intelligent control technologies, Occupant-centric control technology is the most energy-saving and carbon-reducing technology at present.

This study aimed at understanding the current status of energy-saving benefits of electrical equipment commonly used in Taiwanese buildings with occupant-centric control. By selecting smart window, lighting system, total heat exchanger in the building to conduct full-scale experimental validation, establish the occupant-centric control method for residential buildings, so as to obtain environmental control conditions that take into account the improvement of energy consumption of electrical equipment in the building and the comfort of users; and complete the quantitative assessment of benefit results. Based on this, the impact of fully adopting user-centered control technology on achieving the goal of 2050 zero-energy buildings is assessed.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究背景

根據國際能源署 2017 年能源效率報告指出建築部門的能源使用總量隨著時間的推移仍持續增加，雖然藉由技術發展和政策驅動可使建築 EUI 成長有減緩趨勢，但大多數策略（例如修訂建築法規和推動獎補助方案）都集中在建築外殼隔熱改善與設備能效提升等傳統領域，建築的未實現節能潛力超過 80%，高於其他工業、交通和發電部門。

長期以來智慧建築技術一直被設想為未來建築的主流。然而現今智慧建築技術的發展並沒有達到預期的效果，導致智慧建築技術的落實遠不及其在工業製造與車輛的應用廣泛。但全世界先進國家仍將智慧化技術納入作為達成淨零建築目標的四大解決方案（降低外殼能耗、提升設備能源效率、智慧化能源管理技術、擴大再生能源使用）。

國際能源署(IEA)於 2021 年 3 月提出建築淨零排放路徑的關鍵技術項目：提高市售電器與空調設備能效（如圖 1-1 所示）與世界各國訂定的淨零耗能或低耗能建築政策之方針一致。例如：日本明確指出總樓地板面積超過 10,000m² 之非住宅建築，欲達近零耗能等級之建築，需減少 75%以上的能源消耗量。若為低碳住宅建築等級者，則應減少 50%以上的能源消耗量，參圖 1-2 所示。日本採取的節能技術包含三項：(1)採以高隔熱、遮陽建材降低負荷，(2)利用太陽能之外的再生能源，(3)設備系統高效率化。然而，我國現階段對近淨零建築發展策略規劃路徑中，除相關建築能效標示政策推動與提高家電設備運轉效率，已成為正在執行之目標外，改善既有建築物能源效率、建築節能減碳新技術及工法研發與推廣應用為未來發展主軸。此主軸中具有極大節能潛力的項目為阻絕耗能因子或降低設備使用時間。其對應之具體核心技術為提升人工智慧物聯網(AIoT)能源管理系統

之普及率，此項智慧化技術成熟度直接影響智慧建築的發展以及能否使建築能效達到近零能源建築之等級。

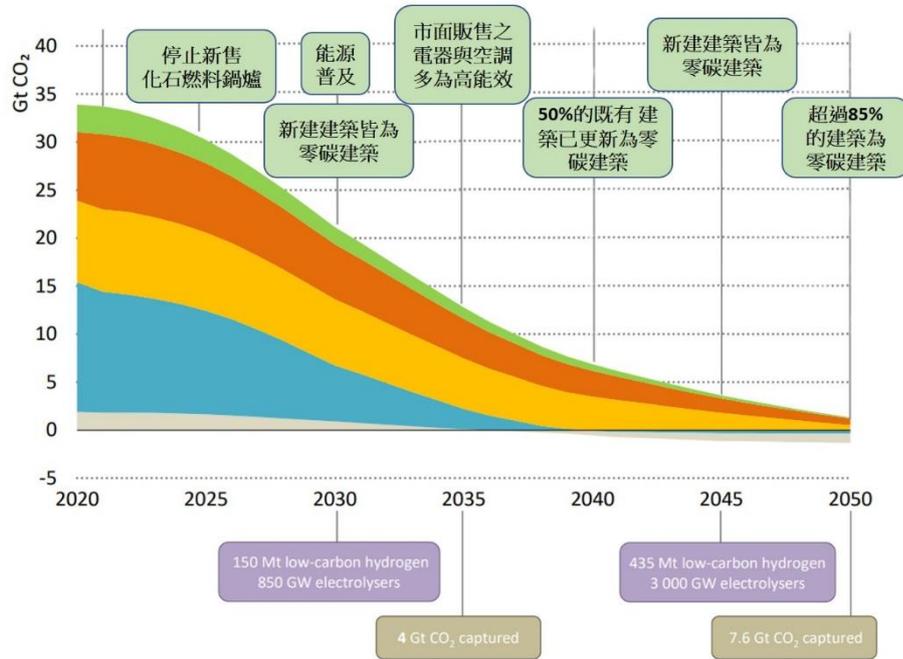


圖 1-1 國際能源總署提出淨零排放路徑之關鍵里程碑
(資料來源：International Energy Agency, 2021)

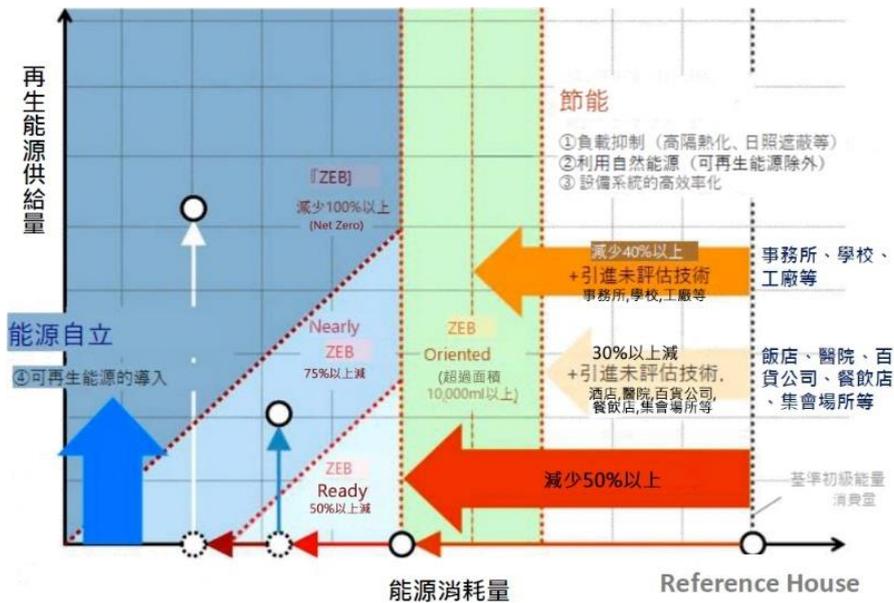


圖 1-2 日本零能建築政策
(資料來源：Takashi KURABUCHI, 2017)

依據英國、韓國與日本之文獻皆指出智慧建築之具體內涵為結合 AIoT 所建構之智慧化建築能源管理技術。我國早在 1989 年引進智慧建築之觀念，內政部

研究所參考日本「高度資訊化建築物整備事業融資推薦基礎」，制定了台灣之「智慧建築指標與基準」[1] 受到建築業高度的關注與重視；同時也展開我國智慧建築之發展現況調查與法令研修建議等相關研究[2]。爾後，歷經智慧型建築物之研究發展八個階段。於 2003 年制定智慧建築標章解說與評估手冊，以正式接受各界申請「智慧建築標章」。持續將智慧建築標章解說與評估手冊演進至 2011 年版，主要是評估指標擴充為八項，其中將設備節能指標，更名為節能管理，以使智慧建築評估得以更加完備，並更加符合科技之發展趨勢與使用者需求。

現階段以 2016 年版施行之智慧建築標章評估內容依其性質分為八大指標[3]，分別為綜合佈線、資訊通信、系統整合、設施管理、安全防災、節能管理、健康舒適及智慧創新；上述指標的個別評估項目如表 1-1 所示。

但往往隨著業主成本的高低，在建設智慧建築的程度上而有所折扣。據調查過往業主建造智慧建築主要是以提升企業形象、提高附加價值，易於出租或提高售價為目的。對於智慧型建築之高度資訊通信機能、環境控制與節能效益，以及高效率使用管理等之概念較為忽視[4]。其中以節能管理指標為智慧建築控制技術帶來潛在節能效益之影響大。然而，由此指標的分項與評估內容觀之，在能源管理與節能技術中，所訂定各個子項的評估內容與配分原則。雖依照評估可獲得相對應的分數，但往後實際運轉使用卻未達到預期的效果。

基於此因，我國內政部建築研究所於 108 年針對建築效益評估面向及評估架構、共通性效益完成研究；隨之，於 109 年對於申請智慧建築標章案較多的辦公類建築，完成擬定量化效益評估項目與方式[5]。可藉由量化效益評估進行比較同一建築前後期及不同建築間之比較，作為評估建築達成智慧化之高低程度。即便如此，在建築營運之具體效益呈現上，需進行全尺度實驗來達成。

在眾多建築智慧控制技術中，以使用者為中心的控制(Occupant-Centric Control)技術是目前最具節能減碳的技術。使用者中心控制技術在智慧建築上是整合實際狀況或模型預測之人員使用率、室內環境數據與中央控制系統的一種智慧控制技術，可將建築物內的相關設備（例如：空調、照明、通風等）調整到使

用者所在位置上滿意的程度。然而，目前我國在採用使用者中心控制技術的智慧建築之節能效益上缺乏相關之驗證資料，亟需深入探討此類技術在台灣高溫高濕氣候下之節能潛在效益。

表 1-1 智慧建築標章評估指標與項目

指標名稱	基本規定項目	鼓勵項目
綜合佈線	佈線規劃與設計、佈線應用與服務、佈線性能與整合、佈線管理與維運	佈線規劃與設計、佈線應用與服務、佈線性能與整合、佈線管理與維運
資訊通信	廣域網路之接取、數位式(含 IP)電話交換、區域網路、公共廣播、公共天線	廣域網路之接取、數位式(含 IP)電話交換、區域網路、公眾行動通信涵蓋、視訊會議、公共環境資訊導覽
系統整合	系統整合基本要求、系統整合程度、整合安全機制	中央監控系統之整合效能、系統整合平台、系統整合之具體互動關聯、系統整合之操作與管理、系統整合之安全機制
設施管理	資產管理、效能管理、組織管理、維運管理	資產管理、效能管理、組織管理、維運管理、長期修繕
安全防災	防火管理、防水管理、防盜管理、監視系統、門禁系統、停車管制、有害氣體防治、緊急求救系統	防火管理、防水管理、門禁系統、停車管理系統、緊急防災求救系統
節能管理	能源監視、能源管理系統、設備效率、需量控制	能源管理、設備效率、節能技術、再生能源設備
健康舒適	室內高度	室內空間健康舒適、健康管理系統、生活服務系統
智慧創新		智慧建築標準符號、智慧創新設計、應用創新設備系統

(資料來源：本研究製作)

貳、研究目的

目前我國在採用使用者中心控制技術的智慧建築之節能效益上缺乏相關之驗證資料。為了深入探討此類技術在台灣高溫高濕氣候下之節能潛在效益，本研究計畫之目的在於了解現行常用在台灣建築的使用者中心控制技術對於建築設備之節能效益現況，並且評估全面採用使用者中心控制技術對於達成 2050 淨零建築目標之衝擊程度。綜整本研究重點所列如下：

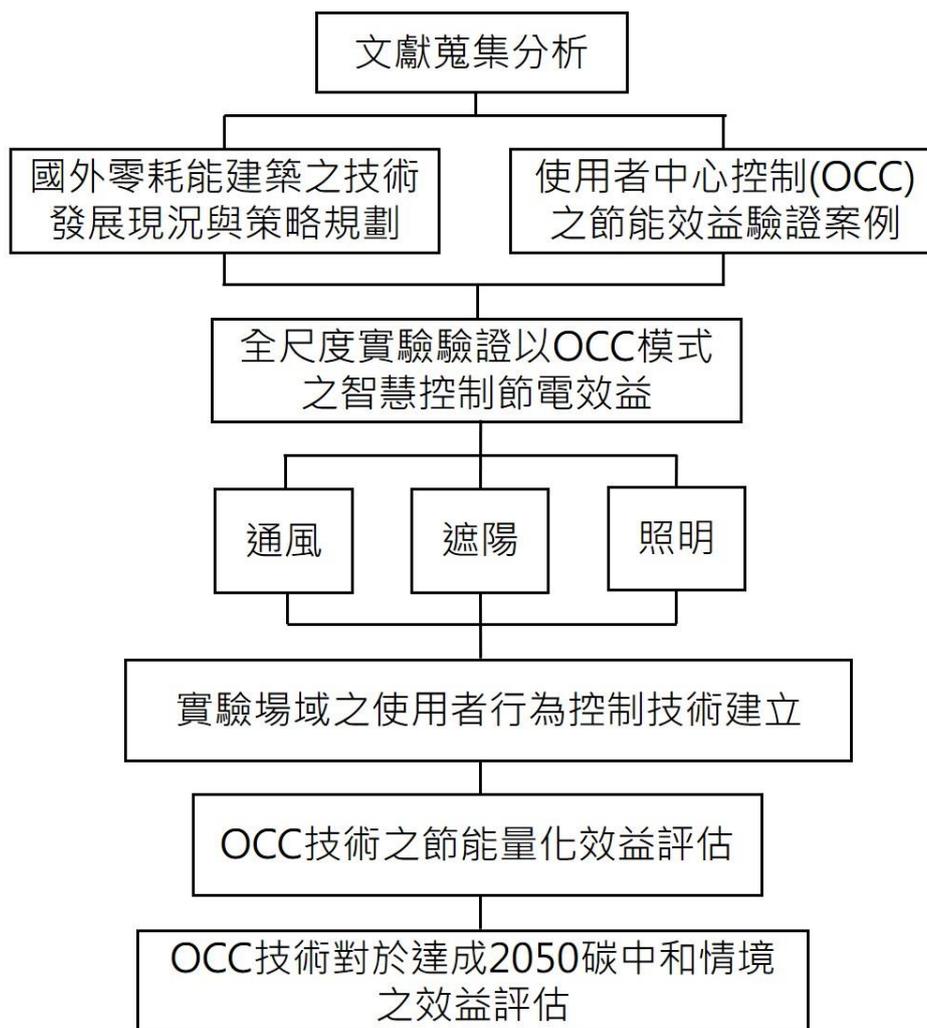
1. 完成收集國際間有關智慧技術應用在淨零建築之技術成熟度與發展藍圖，並將其歸納分為建築外殼、室內光熱環境控制兩部份的技術。同時了解智慧建

築物節能潛力高的控制技術，可試行之量化效益評估項目與方式，以成為我國發展智慧建築在效益面向之量化評估參考。

2. 利用全尺度實驗進行探討現有使用者中心控制模式（如：自動感知照明系統、全熱交換器、智慧調光窗）交互作用等情境，對於建築物用電設備之能耗改善程度。
3. 以數值模擬方法推估智慧建築全面採用使用者中心控制模式之可達效益，對於達成 2050 淨零建築目標之衝擊程度。

第二節 研究流程與進度

壹、研究流程



貳、進度甘特圖

月 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	備 註
相關文獻收集 分析	■	■										
全尺度實驗驗 證以 OCC 模 式之智慧通 風、遮陽及照 明控制節電效 益		■	■	■								
實驗場域之使 用者行為控制 技術建立				■	■							
專家諮詢				■		■		■				
期中審查					■							
OCC 技術之節 能量化效益評 估						■	■					
OCC 技術對於 達成 2050 碳 中和情境之效 益評估								■	■	■		
期末審查										■		
研究成果提出									■	■	■	
預 定 進 度 (累 積 數)	5 %	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
<p>說明：</p> <p>1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本案之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。</p> <p>3 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。</p>												

第三節 預期成果及效益

壹、預期成果

1. 完成智慧建築物使用者中心控制之節能技術相關研究文獻之蒐集。
2. 完成住宅類建築全尺度實驗所需之控制模式規劃、數據收集整理與分析。
3. 完成建築以使用者中心控制使用者行為之技術建立與節能操作模式。
4. 完成建築能源管理使用者與室內環境、建築節能之相關性分析。
5. 完成國際研討會發表 1 篇。請見附錄七。

貳、效益

1. 本研究所完成之智慧建築物使用者中心控制之節能技術能夠驗證建築物的節能效益，不僅能與國際接軌，且能提升業者開發創新智慧節能技術或產品的研發能力。
2. 由研究成果可評估全面採用使用者中心智慧控制技術對於達成 2050 淨零建築目標之衝擊程度。

參、對於參與之工作人員預期可獲之訓練。

本研究計畫參與人員可以透過技術開發與性能驗證評估，讓參與人員精進節能智慧建築之設計方案，也將全面瞭解建築節能效率、室內環境提升之理論；並可學習如何將研究結果發展成商業產品之過程。研究計畫提供了一個將理論及實務結合之整合性研究機會，對於參與人員往後不論是從事業界實務或學術研究均有相當大的助益。

第二章 研究方法

本研究使用文獻分析法、專家諮詢法及全尺度實驗驗證法，建立居家住宅建築類之使用者中心控制方法，以用於調光窗、照明系統、全熱交換器等之居家設備，使之達到智慧調光窗、智慧照明、智慧通風之情境，並進一步探討使用者為中心控制與淨零建築之關聯。

第一節 文獻分析

本研究計畫將依照計畫之研究議題，蒐集國際間有關智慧技術應用在淨零建築之技術成熟度與發展藍圖，並將其歸納分為建築外殼、室內環控兩方面的技術。同時了解建築物節能潛力高的智慧控制技術之量化效益情形與評估方式，以作為我國在發展智慧建築之效益量化評估方面參考。希望藉由收集文獻的分析，明白我國在智慧建築技術上的不足與強化的重點技術，進而聚焦在本研究議題上，能夠透過全尺度實驗建立以使用者中心控制技術，作為本研究計畫報告與投稿論文撰寫之重要成果。

第二節 專家諮詢法

研究結果經初步整理後，研究團隊將定期邀請相關學者以及產業界、工會專家進行意見溝通交流，並針對研究內容進行審議，提出應修正及增刪之意見，作為充實、加強計畫內容之參考。本研究依預定計畫進度表辦理期中、期末簡報來說明研究計畫執行成效、進度及所遭遇之問題。

第三節 全尺度實驗驗證

本研究以目前最具節能減碳的技術-使用者中心控制，探討節能管理指標中的節能技術，如:建築外層智慧化、空調設備智慧化及照明設備智慧化之具體效益。參表 2-1 所示，選取自動調整遮陽窗戶、全熱交換器、人員感知控制與情境模式控制於本實驗進行，完成以上技術應用在智慧建築，以整合實際狀況或模型

預測之人員使用率、室內環境數據與中央控制系統的一種智慧控制技術，使建築物內的相關設備（例如：空調、自動照明、調光窗等）調整到使用者滿意的程度。

表 2-1 節能技術之評估內容

建築外層智慧化
建築外殼、屋頂樓梯間、通風管道等設置具有可感知室內外環境，可以自動調整之遮陽、窗戶、通風管道、追日型 BIPV 等降低室內耗能。
空調設備智慧化
人感、主機運轉台數控制、全熱交換器、多聯變頻、變風量、變水量、二氧化碳濃度外氣量控制、外氣冷房、室內機(窗型、分離型、多聯變頻)內建人體日照感應技術、App 或 ICT 雲端應用管理等系統，具有智慧控制技術之節能效益。
照明設備智慧化
採用晝光利用、時程控制、人員感知控制、情境模式控制、調光控制、App 或 ICT 雲端應用管理等智慧照明技術。

(資料來源：本研究製作)

實驗地點選取位在國立成功大學歸仁校區之貨櫃屋（如圖 2-1 所示），進行全尺度實驗，探討類居家空間基於使用者行為控制之實際節能效益。提出智慧遮陽、智慧照明及智慧空調規劃不同情境模式，並採用智能 PDLC 調光膜、自動感知照明系統、全熱交換器等節能技術，檢視建築物設備之能耗改善程度。依智慧遮陽、智慧照明及智慧空調將空間劃分成三個區域，如圖 2-2 標示 A 至 C 區。本實驗模式設計原則可分為實驗組與對照組，對照組以居家的既有使用方式(如：照明燈具手動開關使用)，作為系統設備運轉能耗與舒適程度上之比較。



圖 2-1 貨櫃實驗屋之外觀與位置鳥瞰圖
(資料來源：本研究製作)



圖 2-2 實驗屋室內環控設備配置平面圖
(資料來源：本研究製作)

(一)智慧調光窗

本實驗使用明碁智能 PDLC 調光膜，通電(調光膜啟動)時液晶聚合物整齊排列使光線均勻穿透，因而呈現如同清玻璃的透明態；斷電(調光膜關閉)時液晶聚合物則呈現不規則排列，使光線向四方散射，因而呈現呈如同毛玻璃的霧白狀態如圖 2-3。智慧調光膜經光學性能檢測得出如表 2-2 之結果。另使用 ESP32-S 物聯網開發板如圖 2-4，其為低成本、低功耗的單晶片微控制器，擁有連線 Wi-Fi 和藍牙功能，並提供使用者進程式開發，且可自由搭配不同硬體設備，例如：自走車、燈具和不同感應器等等。而本研究團隊使用 ESP32-S 開發板搭配 Woody 輔助板(圖 2-5)控制調光膜啟動(ON)與關閉(OFF)兩種狀態(如圖 2-6, 2-7)，並安裝 max44009 GY49 感光器(圖 2-8)於 ESP32-S 上，藉此收集照度，然後上傳資料至 ThingSpeak 數據蒐集平台，以此記錄照度，同時將模式分為三種：1.照光模式，為啟動(ON)調光膜 2.遮光模式，為關閉(OFF)調光膜 3.自動模式，會依照度自動啟動或是關閉調光膜。比較三種模式照度、溫度與冷氣耗電之差異。

本實驗於 B 區分別進行三種模式的實驗為期共三週，室內開啟冷氣，並裝設 CR300_HFH02 量測玻璃表面溫度，HOBO MX1104 量測室內溫度及光線照度，及掛 LR5000 Utility 電表，如圖 2-9~2-11，用以收集三種模式下室內照度，溫度及冷氣用電度數，從中挑選室外溫度及天氣較為接近的日期，比較之間差異，以此探討遮陽之節能效益實驗。

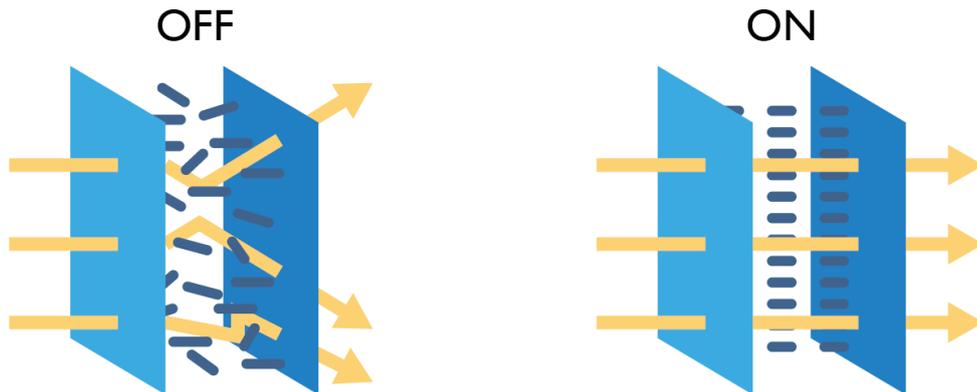


圖 2-3 智能 PDLC 調光膜

(資料來源：https://www.benqmaterials.com/zh-tw/product/film_detail.php?SID=14)

表 2-2 智慧調光膜光學性能測驗

	ON	OFF
1. 可見光穿透率 (380nm~780nm)	87.68%	61.07%
2. 可見光反射率 (380nm~780nm)	7.71%	13.60%
3. 日光穿透率 (300nm~2500nm)	79.18%	58.62%
4. 日光反射率 (300nm~2500nm)	7.96%	11.31%
5. 日光輻射熱取得率 SHGC	0.8246	0.6630
6. 遮蔽係數 Sc	0.9479	0.7621
7. 紫外線穿透率 (300nm~380nm)	0.39%	0.00%

8. 紫外線反射率 (300nm~380nm)	4.74%	4.81%
9. 總熱傳係數 U W/m ² -K	5.821	5.825
10. 紅外線阻隔率 (780nm~2500nm)	20.65%	36.87%
11. 總熱穿透量 W/m ²	643.39	526.18
12. 總太陽能量阻隔率	17.54%	33.70%
13. 光效因子	1.0633	0.9211
14. 表面輻射率	室外側：0.837 室內側：0.814	室外側：0.832 室內側：0.815
15. 內反光率 (380nm~780nm)	6.98%	13.67%

(資料來源：本研究製作)



圖 2- 4 ESP32-S

(資料來源：<https://www.taiwaniot.com.tw/product/nodemcu-32s-lua-wifi/>)



圖 2-5 Woody 輔助開發板

(資料來源：<https://sites.google.com/view/esp32-woody/%E9%A6%96%E9%A0%81>)



圖 2-6 智慧調光膜啟動(ON)

(資料來源：本研究製作)

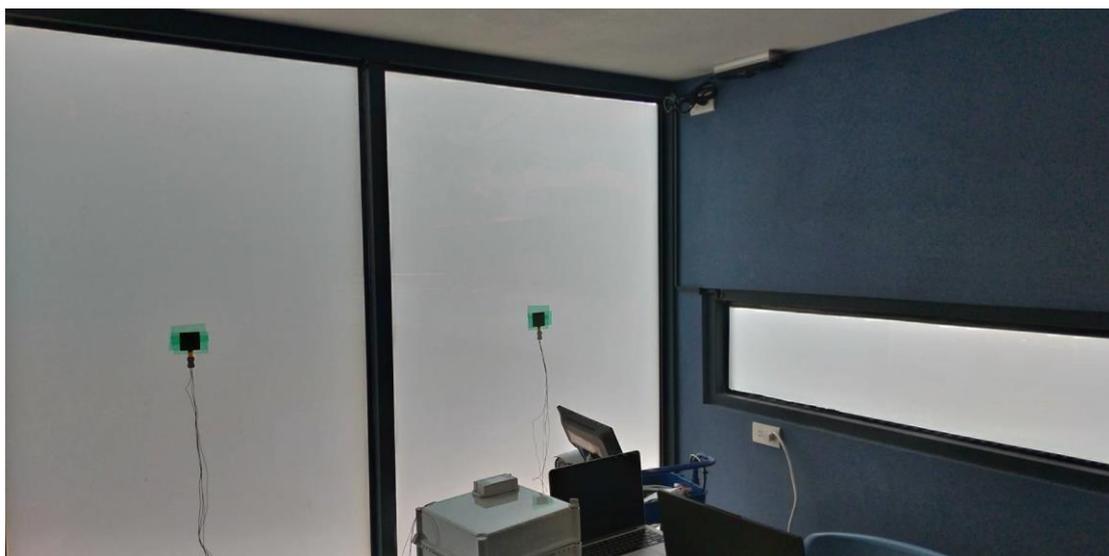


圖 2-7 智慧調光膜關閉(OFF)
(資料來源：本研究製作)

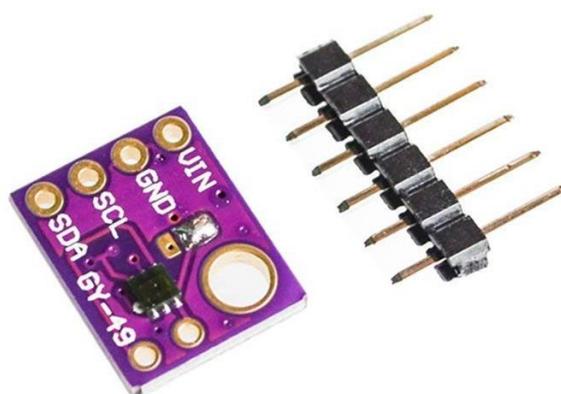


圖 2-8 MAX44009 環境光感測器模組 GY-49

(資料來源：<https://www.taiwansensor.com.tw/product/max44009-%E7%92%B0%E5%A2%83%E5%85%89%E6%84%9F%E6%B8%AC%E5%99%A8%E6%A8%A1%E7%B5%84-gy-49-%E9%81%A9%E7%94%A8%E6%96%BC-arduino-i2c-iic-%E8%BC%B8%E5%87%BA-%E4%BD%8E%E5%8A%9F%E8%80%97-1-7v-3-6v/>)



圖 2- 9 CR300_HFH02
(資料來源：本研究製作)



圖 2- 10 HOBO MX1104
(資料來源：本研究製作)



圖 2- 11 LR5000 Utility
(資料來源：本研究製作)

(二)智慧照明

壹、照明控制器

本實驗控制照明的方式有以下三種，1.聲控控制 2.手機控制 3.自動控制。聲控控制使用 HomePod mini(如圖 2-12)，接收聲控訊息，開啟和關閉燈具。手機控制設計燈具控制系統 App 並匯入 iPhone 進行調控(如圖)，可選擇不同情境及開啟或關閉多個區域燈具如圖。自動控制使用兩種不同感應器，當人員經過自動啟動燈具，而人員離開則依照所設定的延遲時間關閉。



圖 2- 12 HomePod mini

(資料來源：<https://24h.pchome.com.tw/prod/DYAJFH-1900B23G7>)



圖 2- 13 iPhone 手機

(資料來源：本研究製作)



圖 2-14 Oplus 手機控制 App 介面
(資料來源：本研究製作)

貳、自動感應器

本實驗自動照明感測，分別使用微波感應器與 PIR 感應器。微波感應器，主要是利用電磁波的都普勒原理，發射 50~60Hz 左右的微波雷達信號進行場域雷達掃描似的工作如圖 2-15。當物體移動進入到雷達的電磁場內時，天線就能回饋信號給接收電路，從而觸發改變電路的工作狀態，而實測照明偵測資訊(1)燈具至地板之高度為 2m (2)感應器偵測範圍為燈具投射至地面中心點左右各 3m 如圖 2-16。PIR 感應器如圖 2-17，原理是感應器接受到特定波長範圍的紅外線，會影響到感應器的接受器元件，產生電位差的訊號，以此觸發改變電路的工作狀態，而實測照明偵測資訊(1)燈具至地板之高度為 1.5m (2)感應器偵測範圍為燈具投射至地面中心點左右各 2.5m 如圖 2-18。

微波感應器



圖 2-15 微波感應器

(資料來源：<https://www.trplus.com.tw/p/016278401>)

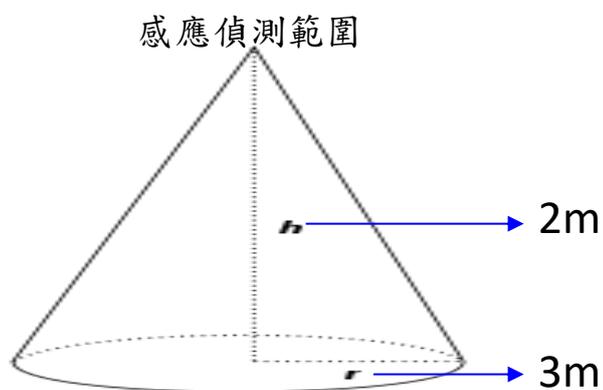


圖 2-16 微波感應器感應偵測範圍

(資料來源：本研究團隊)



圖 2-17 PIR 感應器

(資料來源：本研究團隊)

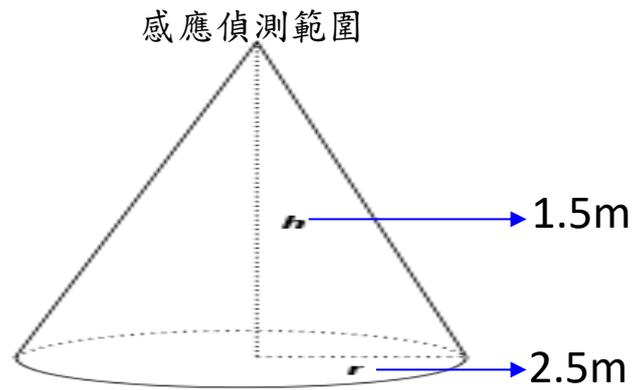


圖 2-18 PIR 感應器感應偵測範圍
(資料來源：本研究團隊)

參、感應器實驗

本實驗使用 ASUS Zenbo，其為臺灣電腦廠商華碩公司於 2017 年推出的智慧機器人產品，透過 Zenbo 定位巡邏功能，代替使用者行走不同模式下的動線以此進行實驗，但由於 Zenbo 本身高度過低，感應器不易偵測，因此本實驗於 Zenbo 頭部黏貼保麗龍以增加高度如圖 2-19。



圖 2-19 Zenbo 機器人
(資料來源：本研究製作)

本實驗於 C 區三組燈具中，分別裝設微波感應器、PIR 感應器與聲控制，並調整不同偵測範圍及時間延遲，搭配設計四條動線作為節能情境，並設定 Zenbo 行走所設計之動線如圖 2-20。

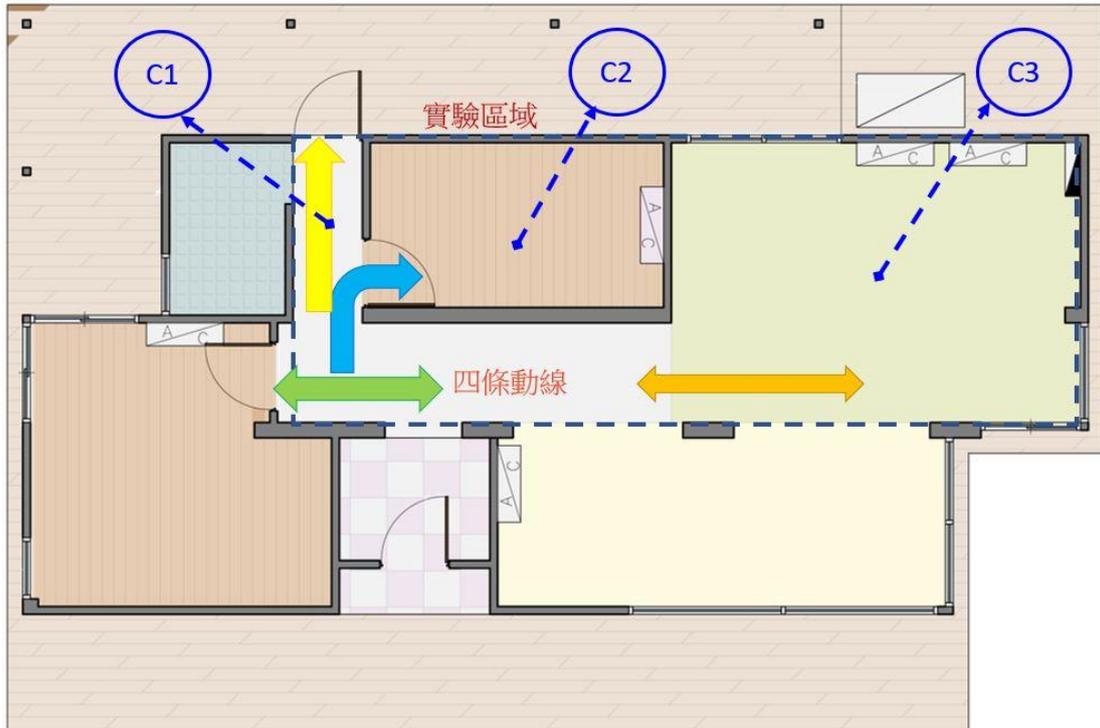


圖 2-20 感應器實驗區域與四個動線
(資料來源：本研究製作)

廁所情境(黃色動線)設定的情境為兩個感應器分別安裝在進入廁所的走道上及臥室內，使用者進入廁所且不進入房間。實驗參數為走廊中感應器偵測範圍、臥室內感應器偵測範圍與關閉延遲時間，本情境設定兩個感控條件如下表 2-4，以固定關閉延遲時間搭配兩種偵測範圍為主要，並以假定人員每天經過通道次數為 100 次如圖 2-21。

表 2-3 廁所情境感控條件

模式	感應器	照明點燈時間(sec)	感應器偵測距離(m)
Y1	微波感應器	5,5	0.5,0.5
Y2	微波感應器	5,5	2.5,2.5

(資料來源：本研究製作)

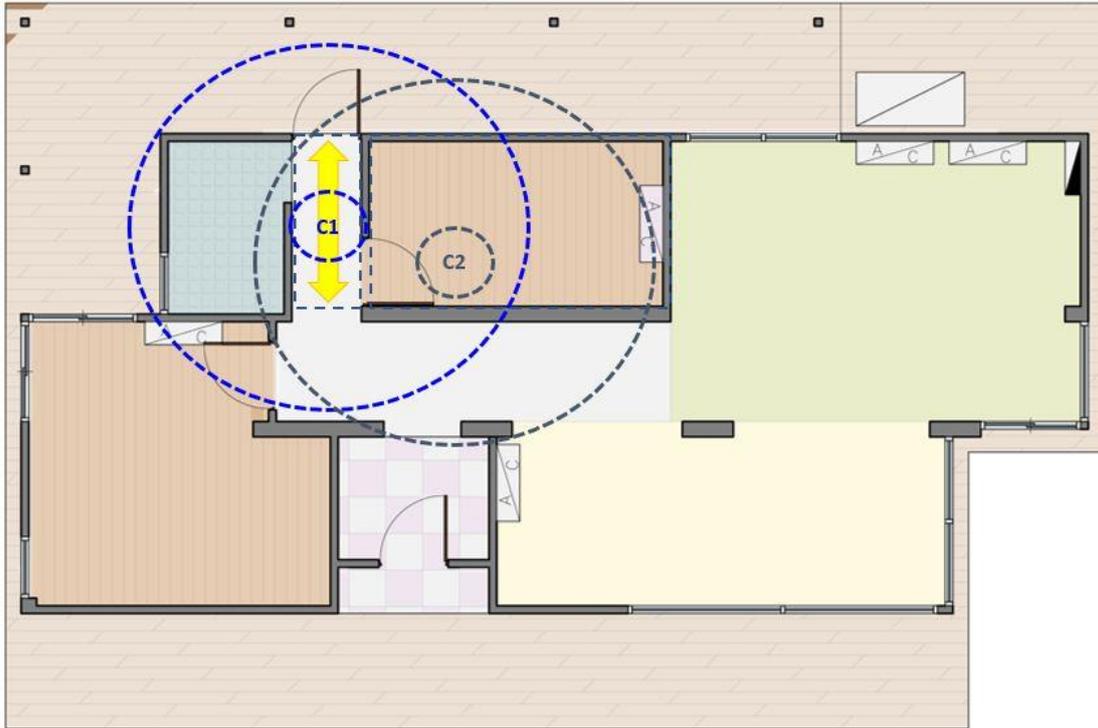


圖 2-21 微波感應器廁所情境之動線與感應器偵測範圍
(資料來源：本研究製作)

通道情境(綠色動線)設定的情境為單一感應器安裝在進入廁所的走道上，且使用者不進入廁所走道。實驗參數為感應器偵測範圍與關閉延遲時間，本情境設定四個感控條件如下表 2-3，以固定關閉延遲時間搭配三種偵測範圍為主要，並以假定人員每天經過通道次數為 100 次如圖 2-22。

表 2-4 通道情境感控條件

模式	感應器	照明點燈時間(sec)	感應器偵測距離(m)
G1	微波感應器	5	0.5
G2	微波感應器	5	1.7
G3	微波感應器	5	2.5
G4	PIR 感應器	5	2.5

(資料來源：本研究製作)

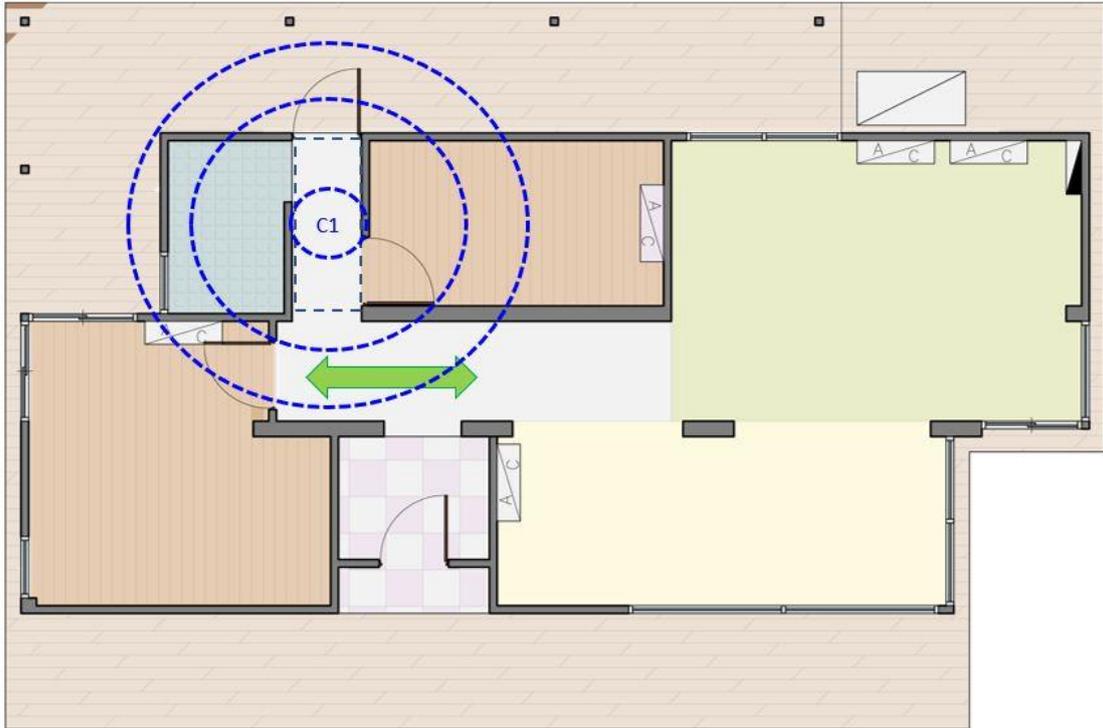


圖 2-22 通道情境之動線與感應器偵測範圍
(資料來源：本研究製作)

臥室情境(藍色動線)設定的情境為兩個感應器分別安裝在進入廁所的走道上及臥室內，使用者進入房間。實驗參數為走廊中感應器偵測範圍、臥室內感應器偵測範圍與關閉延遲時間，本情境設定六個感控條件如下表 2-5，以兩種關閉延遲時間搭配三種偵測範圍為主要，並以假定人員每天經過通道次數為 50 次如圖 2-23。

表 2-5 臥室情境感控條件

模式	感應器	照明點燈時間(sec)	感應器偵測距離(m)
B1	微波感應器	5,5	1.7,1.7
B2	微波感應器	5,5	2.5,2.5
B3	微波感應器	5,90	0.5,2.5
B4	微波感應器	5,90	1.7,2.5
B5	微波感應器	5,90	2.5,2.5
B6	PIR 感應器	5,5	2.5,2.5

(資料來源：本研究製作)

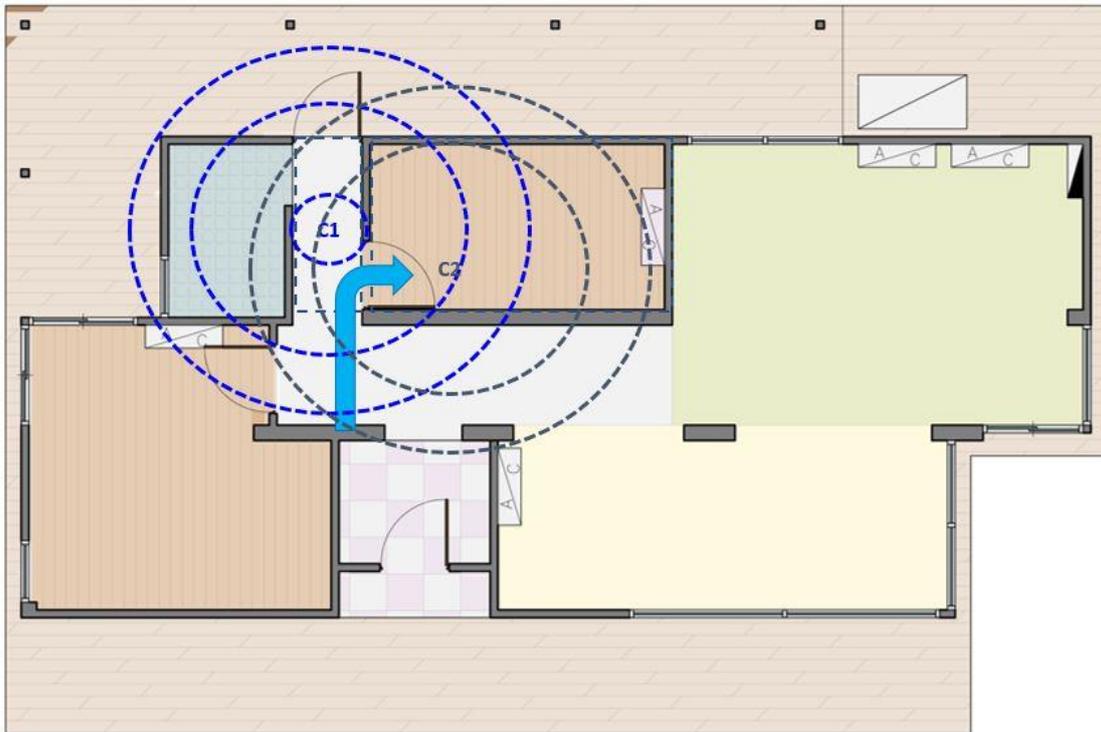


圖 2-23 臥室情境之動線與感應器偵測範圍
(資料來源：本研究製作)

客廳情境(橘色動線)設定的情境為單一感應器安裝在客廳中，使用者進入客廳。實驗參數為關閉延遲時間，本情境設定兩個延遲時間，1.聲控控制開關無延遲 2.自動燈控延遲 5 秒 3. 自動燈控延遲 15 秒，並假定人員每天進入次數為 30 次如圖 2-24。

表 2-6 客廳情境感控條件

模式	感應器	照明點燈時間(sec)	感應器偵測距離(m)
O1	聲控控制	0	2.5
O2	PIR 感應器	5	2.5
O3	PIR 感應器	15	2.5

(資料來源：本研究製作)

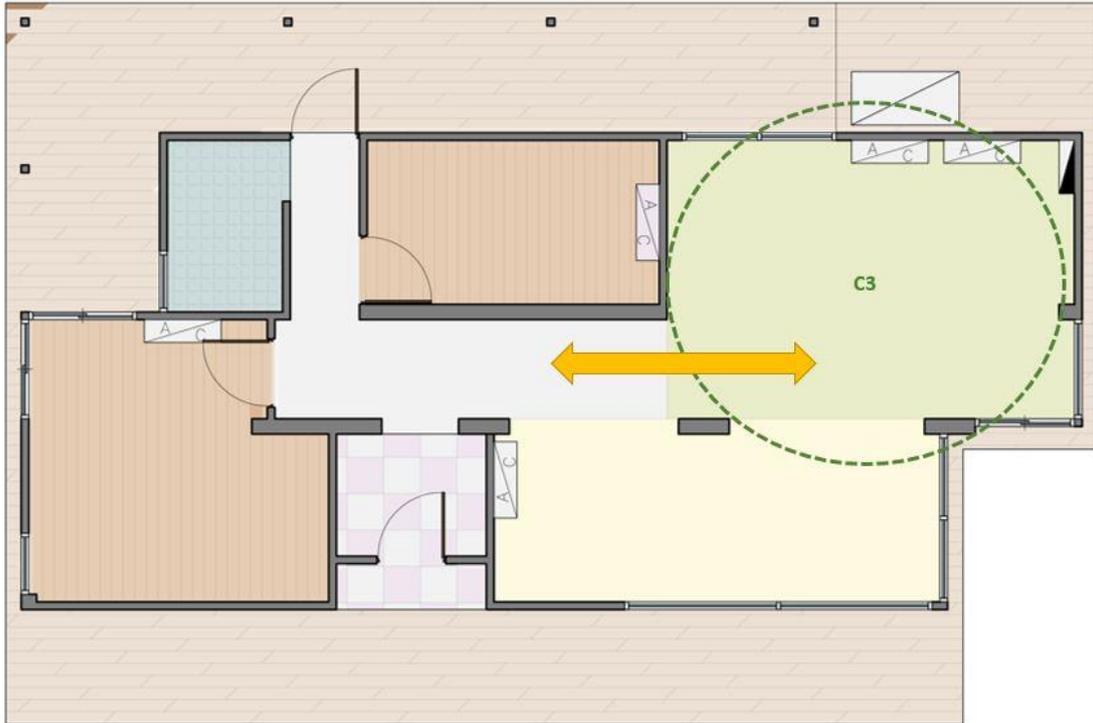


圖 2-24 客廳情境之動線與感應器偵測範圍
(資料來源：本研究製作)

(三)智慧通風

本項實驗於 A 區(如圖 2-2)進行使用者所需室內環控條件與空調運轉能耗變化，藉此結果找到不僅滿足使用者偏好，且能兼顧節能運轉並行為目的。實驗系統設備方面，除裝設風管型全熱回收換氣機外，並且建置感知環境參數與設備連動運轉控制系統，即 Oplus 智能系統。其以即時顯示感測數據資訊且記錄儲存資料於雲端平台如圖 2-25，並完成上述實驗控制情境模式之能耗比較分析，同時整合控制燈具、空調、全熱交換器以及 Acer Air Monitor Pro(如圖 2-26,2-27)可偵測室內空氣品質 8 個參數 (其包含 CO₂、照度、溫度濕度、PM10、PM2.5、甲醛及總有機揮發物)。其中，設置的全熱交換器由下列數個部分組成：

- (i) 初級濾網：過濾較大粒徑的毛髮和粉塵顆粒物，防止呼吸道疾病。
- (ii) 高效過濾網 HEPA：去除 PM2.5、病毒、花粉等，淨化效濾可去除 PM2.5 \geq 99%。
- (iii) 奈米除菌技術：採用加強防護空氣殺菌濾網避免交叉感染，滅菌率 99%。

- (iv) 複合活性碳濾網：工業觸媒吸附劑：採工業級廢氣處理能力，空氣淨化吸附材利用奈米觸媒附著於活性碳上並可吸附不同臭味，以及各種有機裝飾材料有害氣味，可去除甲醛 $\geq 85\%$ ，TVOC 淨除能力高達 99%。
- (v) PHI 主動式離子除菌：除菌 PHI 防護淨化技術超氧化劑不只是停留，主動於空氣中游離捕抓滅細菌、病毒和霉菌 幫助室內全面除菌保障。

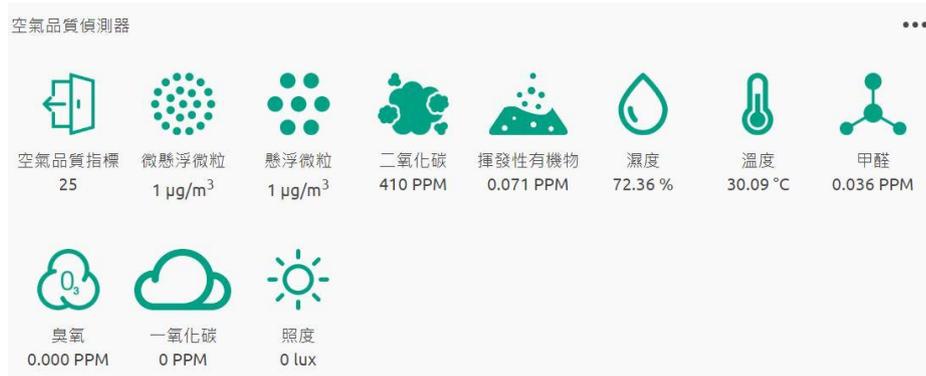


圖 2-25 即時感測數據資訊
(資料來源：本研究製作)



圖 2-26 新風國際生產全熱交換器產品
(資料來源：本研究製作)

本實驗採用全熱交換器之機型，具有兩種以上運轉模式。當 CO_2 濃度過高時，開啟自動新風模式引進室外新鮮空氣幫助室內通風改善，當室內 $\text{PM}_{2.5}$ 過高時自動進行室內淨化模式。本機型設備規格表示運轉風量介於 250~350 m^3/h ，其對應的最大運轉風量下，用電消耗功率為 395W，噪音值為 45dB；而最小運轉風量之運轉消耗功率為 60W，噪音值為 55dB，設備主機板內建電力過載保護裝置。



圖 2- 27 Acer Air Monitor Pro
(資料來源：本研究製作)

本實驗對於室內 IAQ 需求-使用者行為控制，可規劃為兩個模式，第一模式藉由設置感測器辨識人員進入 A 區的數量與活動狀態，配合使用者感測數據狀態或自身感受手動調整 CO₂ 濃度設定值。第二個模式則是設定當 A 區 CO₂ 濃度高於 800 ppm，則自動開啟全熱交換器以稀釋 CO₂ 濃度，使控制在低於 1000ppm 標準值。當啟動運轉期間，為權衡外氣引入熱得而影響到室內空調負荷，以及全熱交換器本身運轉能耗，使同時滿足室內空氣品質且能將總體能耗降至最低。因此獲得的節能運轉時間為本研究主要的實驗模式。

此外，本實驗期間欲進行全熱交換器運轉性能，以瞭解不同外氣條件之即時運轉性能，提供判斷在運轉性能不佳的狀態，實施間歇性運轉之決策。全熱交換器運轉性能試驗，依據 CNS-16494:2021 規範所定義式(1)整體有效度 ε (顯熱或全熱)進行運算，參考如下。

$$\rightarrow \varepsilon = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_3} \quad (1)$$

其中， x 可為乾球溫度(適用顯熱有效度)，絕對溼度比(適用潛熱有效度)或總熱焓(適用全熱有效度)。本試驗於全熱交換設備管路系統之進排風口 4 處設置溫溼度感測器，以進行通風換氣時的數據記錄。參圖 2-28 所示，OA 表示外氣進入供風，SA 表示經回收冷能後，進入室內供風，RA 則是將室內需要置換

的空氣送回風口，透過管路排放至室外(即 EA)；此時，室內可再利用的餘冷，則傳遞予 OA 成為 SA 的全熱交換過程。

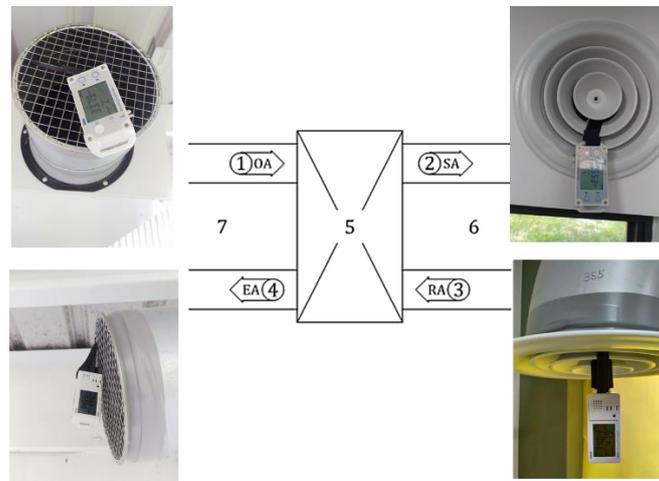


圖 2-28 全熱交換設備管路系統之進排風口設置溫溼度感測器
(資料來源：本研究製作)

如下為本項智慧通風歸納實驗研究重點：

1. 全熱交換器運轉性能

由於設備具有三段風速運轉切換，試驗前以確定運轉能耗低的風速來進行後續工作；於此同時，也對實驗場域測試了解音環境的現況。試驗進行包含室內供回風之風速範圍與設備耗能，以確定啟動運轉風速段數。量測記錄前述全熱交換器設備管路系統風口 4 處的溫溼度，以獲得啟動運轉期間於不同外氣溫度之整體有效度。

2. 全熱交換器排程模式之最適運轉時間

試驗進行場域使用者兩員且設定排程運轉時間分別為 5、10、15 分鐘，試圖以啟動運轉後，比較 CO₂ 濃度降低率與室內供回風溫度之影響，以得到最適運轉時間。如當使用者人數增加時，可透過本試驗結果調整最適運轉時間，作為智慧控制操作參考。

3. 全熱交換器裝設室內供風口位置之合宜性

本研究以實測運轉探討全熱交換器室內供風口與空調機之間相對位置(如圖 2-29 所示)對空調機能耗之影響，檢討全熱交換器裝設室內供風口位置之合宜性。



圖 2-29 全熱交換室內供風口與空調機之間無隔板(左)與有隔板(右)
(資料來源：本研究製作)

第四節 使用者中心控制技術之節能量化效益評估

目前諸多建築智慧控制技術，以使用者為中心的控制(Occupant-Centric Control)技術最具節能減碳。相關文獻已證實採此技術可以節省空調系統與照明系統的耗電量。然而，我國在採用使用者中心控制技術的智慧建築之節能效益上缺乏相關驗證資料。爰此，本研究以全尺度實驗完成驗證建築智慧控制技術之節能效益。進一步藉由建築性能模擬方式，完成不同控制技術組合(如：玻璃門窗隔熱、全熱交換器、人員感知照明控制等)的節能效益結果，可做為評估採用智慧控制技術之優先選項。

本研究使用我國開發的建築能源模擬分析平台(BESTAI)軟體工具，如圖 2-30 所示。其採用 EnergyPlus 作為模擬運算引擎，但相較於 EnergyPlus 則包含幾項特點，例如：客製化模擬功能與使用介面，圖形化及選單式設定方法，簡易五個設定步驟即可快速完成建築能源模型。另外，內建參考建築模型，內含建築外殼、內部負載、使用排程等超過上千種元件可直接套用。同時包括本土化資料庫，收錄內政部建築技術規則之外殼結構包括屋頂 18 種、外牆 28 種、窗戶 324 種，以及能源局節能標章 48 種項目近 7 千種產品。利用雲端化資源，進行線上建模、運算分析、結果儲存，可同時進行多筆模擬計算，達到快速分析及節省硬體成本之功效。



圖 2-30 建築能源模擬分析平台
(資料來源：本研究製作)

第五節 研究採用方法之原因

現今智慧建築技術的發展，除仰賴產業開發出高效率的能源系統設備，還需持續精進資訊通信及系統整合技術，再加上能夠落實設施與節能管理工作。那麼，智慧建築施行節能技術之實際成效方能彰顯。

目前諸多建築智慧控制技術，以使用者為中心的控制(Occupant-Centric Control)技術最具節能減碳。根據相關文獻證實採此技術可以節省空調系統與照明系統的耗電量。然而，目前我國在採用使用者中心控制技術的智慧建築之節能效益上缺乏相關之驗證資料。為了深入探討此類技術在台灣高溫高濕氣候下之節能潛在效益，以及評估全面採用使用者中心控制技術，對達成 2050 淨零建築目標之衝擊程度。故為本研究採用使用者行為控制技術之原因。

第六節 遭遇之困難及解決途徑

全尺度實驗所需之使用者中心控制技術研究產品與量測儀器在本計畫中無編列相關預算採購，擬透過其他計畫或與相關廠商研商進行產學合作計畫之資源來提供。

電致變色膜控制程式為廠商所有且無法提供給研究團隊，因此於研究過程中無法配合實驗進行調整，最終本研究團隊自行購買物聯網開發面板進程式開發，以此完成智慧調光窗的相關實驗。

第七節 重要儀器之配合使用情形

本研究計畫選取貨櫃屋實驗場域作為住宅類建築進行使用者中心控制，整合建築外殼、空調與照明系統之既有智慧節能技術，完成全尺度實驗工作。執行期間使用必要儀器為用電資訊感測記錄器、室內空氣品質 8 合 1 偵測器、照度計、PMV/PPD 溫熱指數量測系統與溫濕度計等。本實驗場域目前由內政部建築研究所與成功大學能源科技與策略研究中心共同合作管理，內部空間用途與實驗設備使用規劃彈性度高，易於達成本計畫驗證節能成效與研究目標。故本研究計畫可在計畫期限內充份使用該場域，未來也可透過本計畫促進內政部、經濟部與科技部間之跨部會合作。

第三章 文獻蒐集與相關法規分析

傳統的建築能源管理系統 (BEMS) 控制策略通常使用預定溫度設定和溫度回調(setback)時程之方式 [6]。這些溫度控制排程通常由產業標準所決定，沒有來自建築物使用者的輸入。上述 BEMS 通常具有靜態操作參數，這些參數提供最小的靈活度來滿足建築使用者全天候不斷變化的需求、新建築住戶不斷改變的需求或任何提供建築物居住群的不同熱需求。

有別於本研究關切以使用者中心控制(OCC)之議題，所談的是一種對室內環境的控制策略，特別聚焦在滿足建築居住者當前的需求，同時也能降低建築能耗。此方式可用於控制照明和電器，但最常用於控制加熱、通風和空調。OCC 使用收集關於室內環境條件、居住者存在和居住者偏好的即時數據作為能源系統控制策略的輸入 [7]。透過對即時輸入的反應，使用者控制能夠在居住者需要的時間和地點，彈性地提供適當程度的能源服務。

對此控制策略美國冷凍空調學會(ASHRAE)概述了使用者的熱舒適度受到輻射熱、濕度、空氣流動速度和季節等環境條件，以及生理、穿著和活動程度等個人因素的影響 [8]。在過去熱舒適的這種動態和個人化的特質，將其整合到複雜地 HVAC 控制中，但是隨著感測技術和計算能力的提高，以及傳感和運算成本的降低，使 OCC 成為一種有效且可擴展的控制建築能源系統的可能方法。

近幾年於國際上，使用者中心控制(OCC)之研究呈現顯著成長趨勢 [9]。據國外研究對於 OCC 技術方法的定義，即是從使用者與建築環境的互動行為，包含進入或離開房間、調整室內溫度、視覺或聽覺條件(例如，通過窗戶、門或百葉窗)，以及使用其他設備的過程中，收集室內環境和室外氣象變化數據，用以使系統學習或是提供資訊回饋控制建築物，主要為提高使用者舒適度為優先，而提升設備能源效率，達到運轉能源節約為次要，如圖 3-1 為使用者中心控制系統架構。

室內環境的數據資料收集主要來自各種傳感器(例如,照度、溫度、濕度、CO₂),用以感測推斷使用者的滿意度、生產力,甚至健康指標;再者,使用者與建築物的互動作用(例如:感知人員在場、電燈開關、百葉窗、恆溫器的使用)皆受到監控。最後由控制器將訊號發送到制動器進行最佳控制動作(例如,修改設定點、移動窗簾、切換設備),依使用者的反饋來表示當時的滿意度,進而滿足人員舒適度。

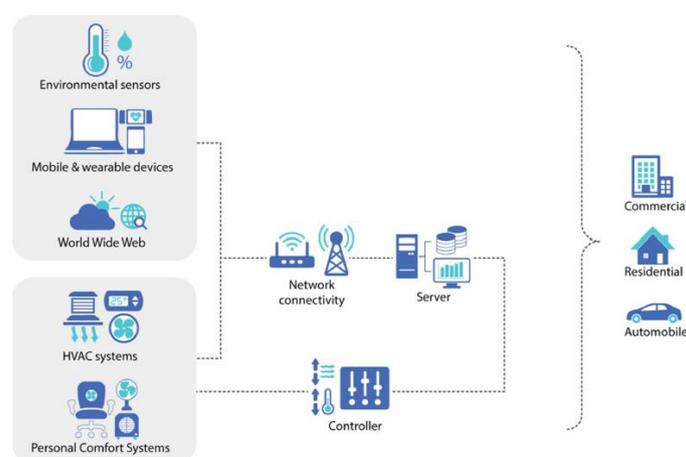


圖 3-1 使用者反應環境控制之系統架構
(資料來源: Kim, J., Schiavon, S., and Brager, G., 2018)

以下分節敘述經研究蒐集 OCC 應用於外殼、照明及空調系統之國外研究文獻與國際能源總署(IEA)對於 OCC 技術發展專案之附錄內容。另外,在第五節部分的内容則針對智慧照明之節能感控議題,蒐集現行相關法規、設計規範,以及設置準則詳加規定與否,同時了解產業實績作法。最後提供本研究照明感控元件於特定場合之規劃設置原則建議。

第一節 OCC 技術

OCC 技術方法依行為複雜程度區分為二,一則視居住者進出空間的情形(occupancy-based),二則是使用者行為(occupant behavior-based)。在定義上,第一種型式所強調的是關切使用者有無出現在建築空間,可透過裝設人員偵測器(例如,二氧化碳傳感器,運動檢測器,無線網路設備技術)來確定,告知系統設備提供處於空間內之人員所需環境條件。其存在著能源系統主動運轉供應之特性。第

二種 OCC 型式，其定義為基於使用者行為的控制，其強調對使用者的關切，自使用者與建築系統的互動中推斷出使用偏好，包含使用者喜好的光線強度或是溫度感受。此兩種 OCC 型式，由近期文獻研究統計得知超過 50%仍聚焦在基於人員使用空間的控制(occupancy-based)，亦即為上述第一種型式。而在 OCC 的研究中，供熱、通風與空調(heating, ventilation and air-conditioning，簡稱 HVAC)以及照明，兩者是建築物最常為 OCC 系統所用[10]。據知，第一種 OCC 型式已累積許多相關研究成果，多半則是透過與使用者有關的數據收集進行分析與預測使用空間的頻度。關於以使用者行為之研究議題相對少數，若同時考量建築外殼、HVAC 與照明系統三者，以使用者行為進行連動控制之研究，更是微乎其微。據調查近期 IEA 進行使用者中心控制設計與運營為主題的一項專案計畫[11]，清楚說明使用者與建築間不再像傳統的單向關係，如圖所示 3-2。而是存在復雜且動態的雙向交互作用關係，成為新世代使用者模型，請參圖 3-3 顯示。即建築室內的音、光、熱、氣等物理參數要滿足使用者的舒適度，而使用者對建築物的回饋要以行為方式來達成動態的雙向交互作用。

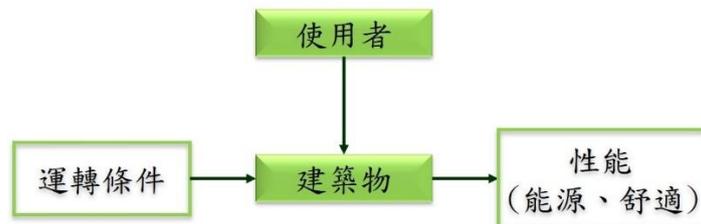


圖 3-2 傳統的使用者模型
(資料來源：本研究製作)

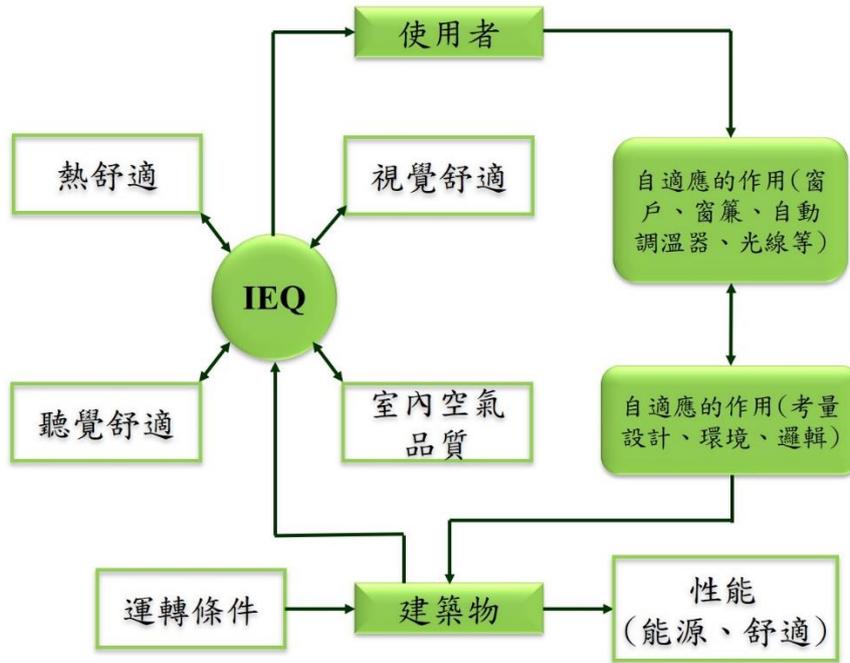


圖 3-3 新世代的使用者模型
(資料來源：本研究製作)

實際上，在使用者模型中還須包含使用者本身即時的狀態與所處環境空間規模的資訊，透過分類法來辨識屬於何者類型，並發出相對應的控制策略指令。本研究調查蒐集來自 ASHRAE 於 2021 年 5 月發行期刊內容，以商業 HVAC 系統中使用以居住者為中心控制為主題。其定義為一種室內氣候控制方法，藉利用居住情況和使用者舒適度訊息用於建築能源系統的運轉操作順序。OCC 主要將使用者的信息分為六個資訊級別 (IG)，由三個等級的使用者數據(使用者在建築區域空間現場與否、使用者人員數量、使用者偏好)和兩個等級(建築物、區域)的空間分辨率組成，參如圖 3-4。

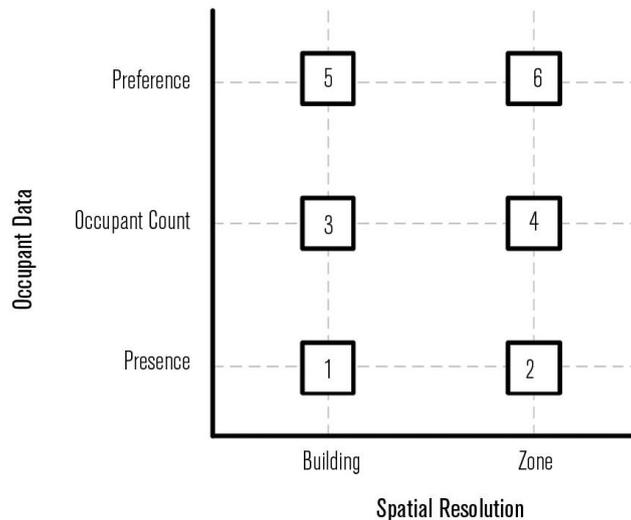


圖 3-4 使用者資訊之分類

(資料來源：ASHRAE Journal, Vol. 63, No.5, 2021)

每個 IG 都可以透過商用感測技術獲取 (例如:二氧化碳感應器、運動偵測器、Wi-Fi 裝置計數器), 以告知至少一個變量在區域和建築物層級中, HVAC 設備的控制編程。(例如, 空氣處理單元 AHU 的最小室外風門位置設定點、可變風量終端設備(VAV)的最小氣流速率、區域溫度設定點、AHU 運轉排程和 VAV 區域溫度 setback 排程)。目前這六個 IG 可用於獲取使用者數據的最有潛力的傳感技術和資料收集機制, 引入重要的 OCC 指標, 以進行案例研究, 在其中探索這些指標在室內氣候控制中的使用。

上述分類之建立, 在國際能源署建築和社區能源計劃 (IEA EBC) 附錄 79 子任務四的工作群組內也提出討論。其中, 將使用者資訊與空間規模的定義分為七個級別, 參圖 3-5 所示。這些類別中的前三個主要依據人員在場與否, 以感測技術來修改建築空調系統的開關或區域級的溫度回調時程, 並關閉無人區的照明用電。第 4 類與第 5 類分別在建築物和區域層級去偵測人員數量, 並調節 HVAC 系統 (例如 AHU 和 VAV 終端單元) 的氣流速率。而第 6 類與第 7 類則是在區域中使用期間, 以學習人員對於室內氣候條件的偏好, 調節室溫度和照度設定值。計畫專案對於七個控制類別中的每一個, 在不同的氣候條件和建築類型下進行幾次實驗, 已初步證實為一個有效的方式。



圖 3- 5 IEA EBC 附錄 79 建立使用者資訊分類
(資料來源：本研究製作)

第二節 使用者中心控制建築外殼研究

使用者中心控制在建築外殼與遮陽方面的研究，團隊調查來自建築自動化期刊發表有關建築自適應立面以使用者中心控制策略的研究。由於日光的變化特性需要一個因應策略來控制室內環境，國外研究人員 Amir Tabadkani [19]提出利用自適應建築立面作為遮陽系統。據證實辦公建築的自適應性立面遮蔭系統，其相較於靜態遮蔭系統，能使居住者的室內環境性能準則達到較好的性能 [20]。自適應立面(adaptive facades，縮寫 AFs)是可以憑藉全自動控制或以使用者為中心的控制策略來運作。不過，要達成自適應性系統的完整優勢具挑戰性，因為良好的設計系統，在可接受的範圍內，依據視覺與熱舒適定義，至少需考量幾個面向。包含：(1).在工作面上有充足的日光 [21]，(2).適當的晝光分布 [15]，(3).無眩光視野範圍[22, 23]，(4).關於室內溫度、夏天供冷與冬天供暖之太陽熱得控制 [18]。(5).透過晝光捕獲系統的利用，降低電力照明能耗[24, 25]。

將遮陽作為一種自適應系統，在兩個主要層面上滿足性能需求：一為熱和視覺參數定義了系統應當如何在使用者的舒適度和工作表現中運作。二為 HVAC 系統供應冷熱的經濟與能源需求。然而，這在早期設計階段的過程必須考慮到的高層次整合 [26]。因此，使用具有適當控制策略的遮陽系統來達成建築自適應立面的優勢，乃為至關重要。當以最佳方式控制遮陽配置及其轉變時，可以在不影響能耗的情況下獲得室內環境品質和使用者舒適度 [27]。

在居住和環境變化都可能增加控制場景的複雜性。從更廣泛的角度來看，自適應立面是可以透過兩種方法控制。(1).自動互動，即自動控制策略（無需使用者介入），以及(2).使用者互動，亦即以使用者為中心的控制策略（使用者參與）。如圖 3-6 顯示自動互動，即 AFs-Occupant 與使用者互動(Occupant-Automation)之方法，形成以使用者為中心的控制。在 AFs 自動化和使用者自動化的相互作用中存在一個共同的研究領域。其中，人工智慧 (AI) 在以使用者為中心的智慧遮陽控制或預測控制中發揮重要作用。A. Tabadkani, A. Roetzel, H.X. Li 等人對第一

層級 (AFs-Automation) 進行了全面地審視，主要關注在沒有任何使用者互動的情況下，自動遮陽控制策略對使用者之舒適度和滿意度以及節能潛力的影響。

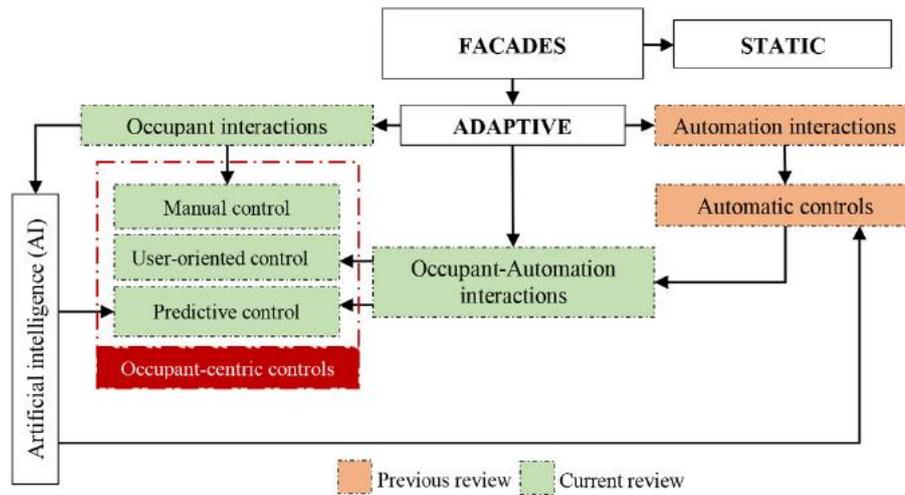


圖 3-6 研究回顧涵蓋自動化控制建築自適應立面與使用者中心控制自動化之範圍

(資料來源：A. Tabadkani 等人, 2020)

調查研究文獻中，有幾篇研究論文針對手動操作窗簾 [28]、使用者偏好和滿意度 [29]、辦公建築中的使用者互動模式 [30]、從建築的角度來看使用者中心控制策略[28]，或為使用者-建築立面互動提出一種新的分類方案[31]。這些研究結果大部分焦點不是在居住者與建築及或外殼立面系統互動，就是特定的遮陽控制策略和研究。晝光的動態特性需要響應控制策略。自動遮陽控制可以調控遮陽板以防眩光，並在陽光直射的情況下提供均勻的晝光性能；然而，視野和熱舒適度是需要其他使用者需求同樣的關注。圖 3-7 顯示自動遮陽控制可以透過開放式迴路(沒有來自室內環境的任何回饋)或封閉迴路(允許來自室內傳感器的回饋)演算法來實現。自動陰影控制能夠根據使用的喜好，以最大幅度地提高即時性的使用者舒適度，而不是長期預測需求。

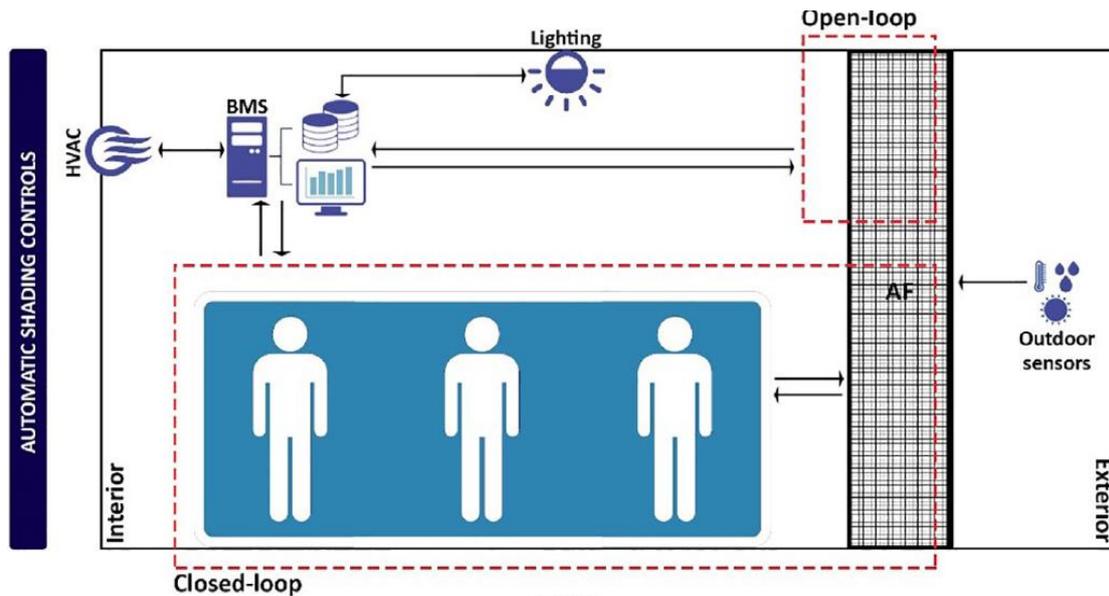


圖 3-7 建築自適應立面自動遮陽控制透過開放式或封閉式迴路
(資料來源: A. Tabadkani 等人, 2020)

多數研究調查遮陽操作型式和使用者的舒適度之間的關係，由圖 3-6 已明瞭其涵蓋三種以使用者為中心之操控情景，將使用者自動化與自適應控制間的互動作用整合到遮陽控制演算法中。自此產生 AFs-Occupant 和 Occupant-Automation 互動範圍內之三個層級（手動、使用者導向和預測控制）或說三種操控情景。參圖 3-8 所示，以“手動”操作對於使用者而言，有直接控制的代表性，其根據視覺偏好、隱私、工作的需求而調整遮蔭，並且在利用晝光而不是電燈的情況下，非常有效 [32]。過去以百葉簾作為遮光系統的研究文獻最為普遍，而在手動操作常以兩種方式進行；(a) 拉繩或轉動桿，(b) 按住按鈕將百葉窗移動到所需位置（電動百葉窗）。幾項研究報告敘述手動方式與全自動控制相比，當使用者有機會控制遮蔭裝置 [33,34] 時，他們的滿意度和舒適度則更高。但是，如果手動控制陰影調整，可能會出現幾個潛在問題：

1. 使用者需要持續去注意手動控制，而且使用者通常會以舒適度來做決定，這可能會對建築熱性能產生負面或正面的影響 [35]。
2. 手動控制可能因人而異，並且難以是用於每個使用者；或是當需要調整遮蔭時，使用者可能不在房間內。

3. 手動控制通常無法準確地對應物理變化量。例如:如果打開遮陽，太陽輻射進入房間，導致夏季冷卻負荷增加；反之，關閉遮陽系統，則失去維持視野的可能性。
4. 在共享工作環境的情況下，群體動態和單人的各自控制距離會有所差異，此意味著單一個人比群體擁有更多的控制權。

為了解決手動操作問題，遮陽系統的自動控制是不可避免的，因為它允許連續調整，特別是在手動控制的情況下。據調查大多數研究一致認為，如果使用者可以手動覆蓋自動操作來滿足他們的個人喜好，或者即“以使用者為導向 (User-oriented)”的控制，則他們更有可能接受自動遮陽和照明控制。以使用者為導向的控制與自適應舒適模型具有相同的原理 [36]；“如果發生產生不適的變化，人員會傾向於恢復舒適的方式而做出反應”。此功能需要一個反饋迴路進入自動遮陽控制（多重反饋迴路協定），作為提高使用者滿意度的必要條件，並且在封閉迴路的情況下，它最終成為一個“實時”系統；進一步地，透過學習建立預測模型。為求模型趨於使用者個人即時的偏好，可設置個別的使用者介面，藉手動操作而蒐集即時資訊，以修正預測模型之準確性。

上述研究文獻令人明白使用者中心控制遮陽系統之控制情境範圍，並分析出三種操控上的差異。

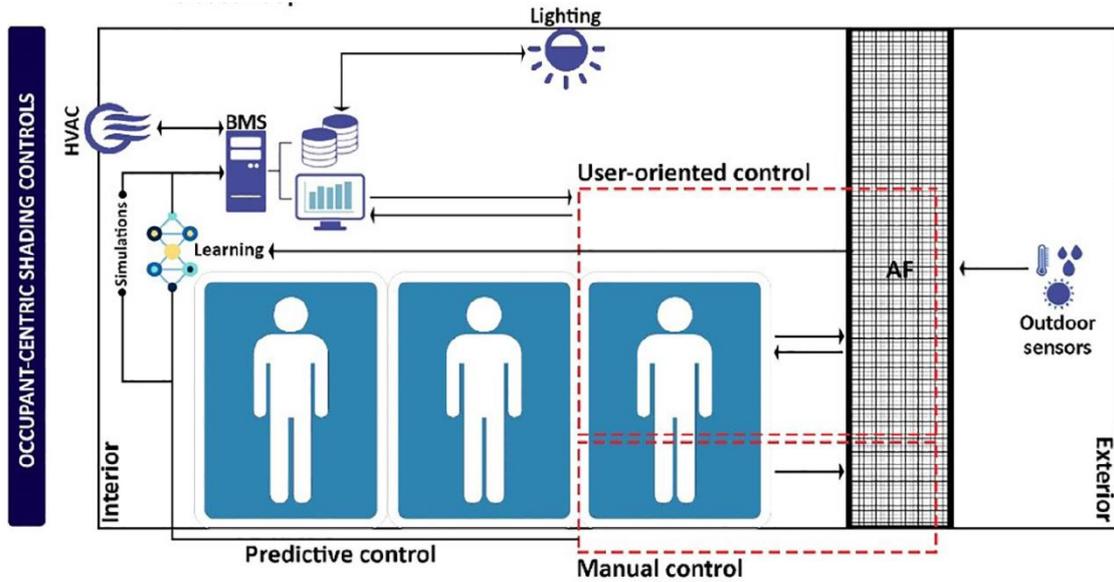


圖 3-8 使用者中心控制遮陽系統之控制情景涵蓋範圍
(資料來源: A. Tabadkani 等人, 2020)

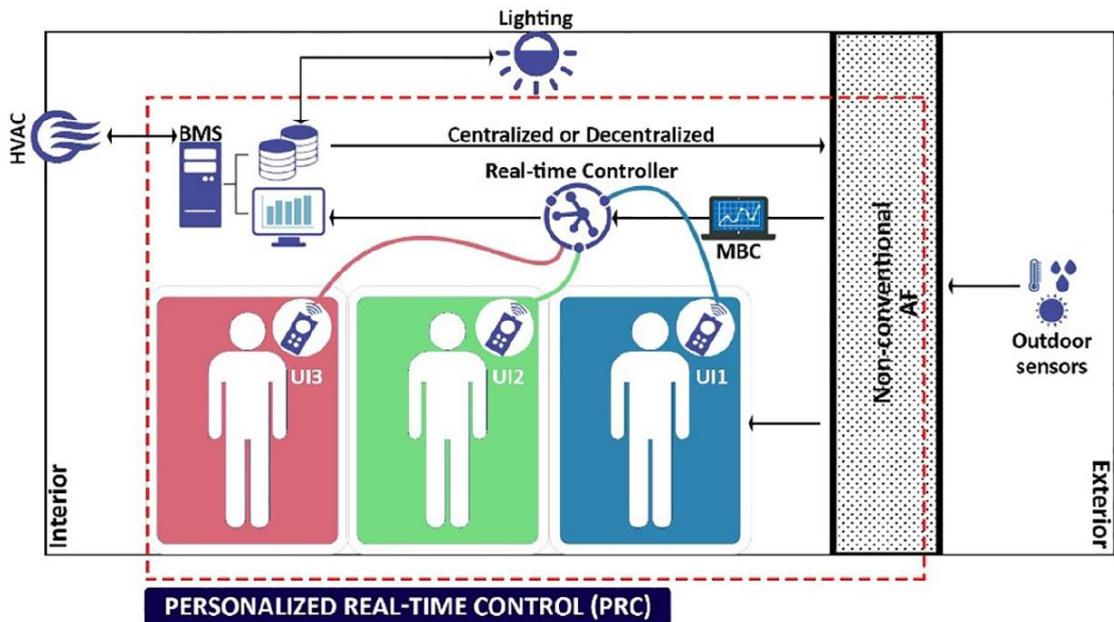


圖 3-9 使用者中心控制遮陽系統之個人化即時控制
(資料來源: A. Tabadkani 等人, 2020)

有關建築遮陽之案例研究，近期蒐集國際最新研究得知遮陽玻璃窗採 PDLC 調光膜，用於節能建築的熱性能和成本評估。那麼，將它用在不同氣候型態與建築調光窗的方位，它的太陽熱得與每年空調成本節約的效果。PDLC 智慧調光窗建築物大多使用玻璃作為建築外殼，以提供自然採光和美學原因，但太陽輻射熱

通過玻璃進入建築物會造成巨大影響。因此 Saboor Shaik 等研究了四種不同的智能 PDLC 玻璃（白色、藍色、粉紅色和黃色）在通電和斷電條件下的太陽能光學特性，參圖 3-10。同時開發一個模型來計算通過 PDLC 智能玻璃在通電和斷電狀態下獲得的太陽能熱量，並進行成本分析，估算每年節省的空調成本，參圖 3-11。最後在三種氣候條件下的建築物中一般透明玻璃相比，於通電與斷電的條件下，所有智能 PDLC 玻璃都顯熱量的增加/損失顯著減少。研究指出白色智能 PDLC 玻璃最為節能，並減少約 69% 的熱增益。但若是在不通電的情況下，最節能的則是粉紅色智能 PDLC 玻璃。

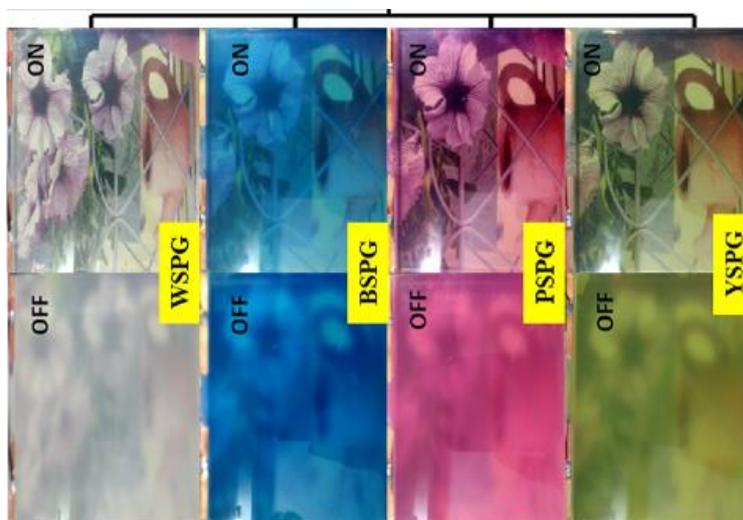


圖 3-10 PDLC 玻璃於 ON 與 OFF 模式之四種不同顏色狀態
(資料來源: Saboor Shaik 等人, 2020)

表 3-1 印度乾熱型態氣候之智慧窗每年的空調成本節約和投資回收

調光膜顏色	智慧窗供電成本 (USD/m ²)	裝設調光窗成本 (USD/m ²)	空調節能 淨成本(USD/年)	回收年限 (年)
白色 (off_電壓)	0	1285.8	106.2	12.1
白色 (on_電壓)	1.4	1293.6	101.8	12.7
藍色 (off_電壓)	0	1543.4	105.2	14.7
藍色 (on_電壓)	1.4	1551.2	100.8	15.4
粉紅 (off_電壓)	0	1543.4	108.2	14.3
粉紅 (on_電壓)	1.4	1551.2	98.6	15.7
黃色 (off_電壓)	0	1543.4	106.2	14.5
黃色 (on_電壓)	1.4	1551.2	100.3	15.5

(資料來源：本研究製作)

第三節 使用者中心控制照明研究

有關 OCC 技術用於照明之控制研究，目前國內工業技術研究院為智慧照明產業之產品開發與推動發展，不遺餘力。更且在照明系統控制介面與燈具設備的通訊控制相容性，以及智慧控制技術面累積豐富的實際場域研究成果。其中，智慧節能照明控制相關的研究，由 2013 年發表的技術學刊文章得知，林研究員等人設計具備最佳能耗演算法及滿足光環境需求配置之照明決策系統，以有效地應用在照明用電達到節能減碳之目的。實驗地點為在新竹總院之中興院區 74 館實驗室，經系統測試運算在無外部光源和有外部光源之環境下，個別的最佳化燈具配置方案，並將此方案透過 DALI(Digital Addressable Lighting Interface)控制網路部署到可調控燈具上，最後紀錄各計算點的照度與燈具消耗功率。實驗結果顯示在無外部光源(有窗簾)的情況下，使用該照明決策系統相較於無控制燈具配置之耗電量低約 63.3%；若打開窗簾引入自然光源，則其耗電量較無控制燈具配置降低 65.6%[20]。

Z. Nagy 等人提出用於辦公空間照明的控制策略，目的在降低能源消耗及提升使用者的光環境舒適度，透過使用者行為與人流數據統計分析得出開關燈的設定。以 10 間辦公室進行為期 6 週的實驗獲得能源節約 37.9%，不過因研究實驗時間較短，所以在隔年以 6 間辦公室和 10 位參與者進行 12 週的實驗。研究結果顯示所有使用者滿意度很高且標準化能耗平均降低 13.4%，而對使用者的視覺舒適度影響不顯著。 [21,22]。

J.Y. Park 等人提出基於強化學習(Reinforcement Learning，縮寫 RL)的 LightLearn 系統，以使用者為中心的照明控制器。該系統可以學習使用者行為和室內環境，並透過了解個人控制喜好而調整控制參數。廣用的強化學習架構，控制伺服器獲取兩種類型的數據。一種是物理的室內環境，例如照度、溫度和濕度、CO₂，它與居住者滿意度和工作效率有關。另一種是使用者與建築物及其環境系統的相互作用，例如:在場與否、燈的開關、百葉窗和調溫器的使用。這些

數據表明使用者的舒適度，或者更常見是使用者的不適情況。RL 控制代理的狀態是使用這些建構的數據，概率轉換是使用歷史數據確定的。控制器的可能動作取決於所研究的系統，通常包括修改設定點、移動窗簾或開關電器，例如：燈具。

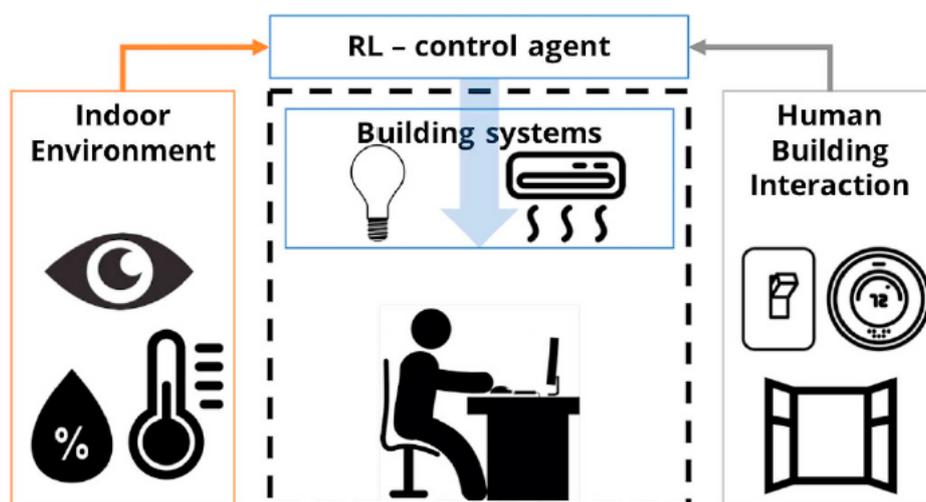


圖 3-11 基於使用者中心控制之強化學習的一般架構
(資料來源: D. Yan 等人, 2017)

研究案場以五間辦公室的使用者為實驗對象進行 8 週。實驗結果顯示只有 LightLearn 成功地兼顧使用者舒適度和能源消耗之表現[23]。

第四節 使用者中心控制空調系統研究

近年來因電腦科學的快速發展，各領域所面臨的問題嘗試利用它來獲得解決，使建築能源管理系統可更加智慧化的控制運作。正值大數據分析、工業物聯網與人工智慧成為新紀元發展重點技術之際。目前國外也將 OCC 技術用於 HVAC 系統，利用機器學習、神經網絡演算法進行模擬與實驗印證之研究。相關文獻蒐集內容敘述如下：

1.以機器學習法作為自動控制策略方面，由 Y. Peng 與 Z. Nagy 等人於 2018 年發表 [33]。其分析在辦公樓層中的使用者行為，提出了一種自動控制策略用於學習使用者行為且維持室內溫度，使能耗降低。此控制策略使用兩種類型的機器學習方法，則是非監督式學習和監督式學習。系統學習使用者現身於空間與否的

訊息，並設計出一套規則來控制辦公室的空調系統。實驗選擇了 11 個研究辦公空間，包含三種典型的辦公用途：單人辦公室、多人辦公室和會議室。實驗結果表明其與傳統的系統相比，節能範圍約在 7% 至 52% 之間。

2.於 2019 年再由該研究團隊提出一個以在線學習為主的控制方法及其設計過程 [34]。收集四種變量(時間、室內和戶外氣候、使用者行為)，用以建構模型的數據庫。使用神經網絡運算法和相應的超參數(corresponding hyperparameters)來模擬。學習依據隨時間變化的環境溫度設定點，以產生一組特定規則去決定 HVAC 系統運轉設定值。該實驗於新加坡國家的研究實驗大樓進行五個月，產出以學習為主的溫度喜好控制 (learning-based temperature preference control ,LTPC) 應用於實際辦公空間的冷卻系統，如圖。四個案例研究之空間組成，包含兩間單人與兩間多人辦公室，其中配置 1 至 3 位不同性別之人員。實驗結果指出這些辦公室在相同使用時間區段內，人員有設定高於或低於 22.5°C 之兩種不同溫度程度喜好，結果則以採 LTPC 控制方式優於固定在某一平均溫度之控制。其中，以喜好室內較高溫度設定之辦公室，其節能範圍約在 10% 至 25% 間 [18,19]。

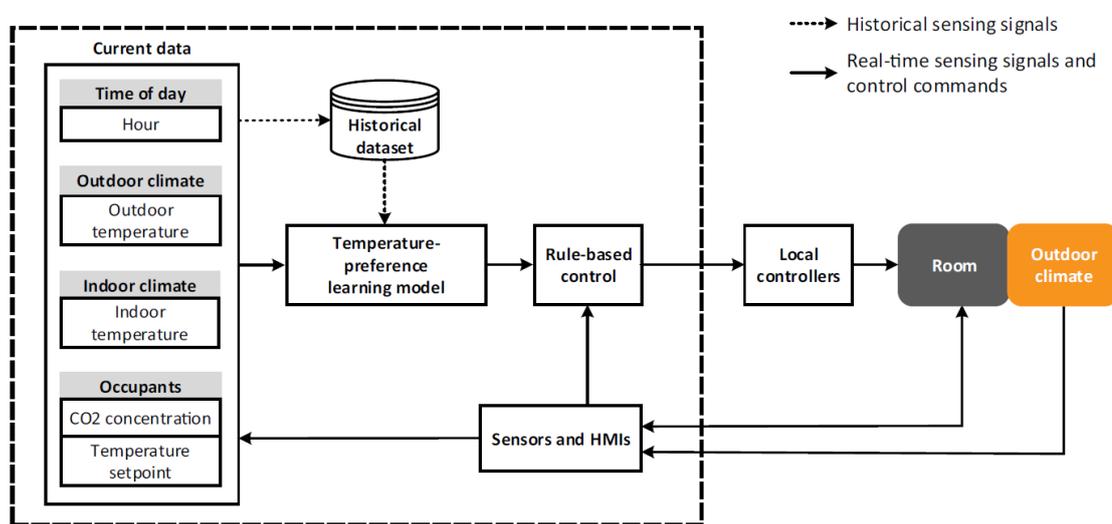


圖 3- 12 基於學習溫度喜好(LTPC)之控制方塊圖
(資料來源：Peng, Y. 等人, 2019)

3.F. Jazizadeh 等人評估將使用者個人隨時間變化之體感溫度曲線，整合到空調控制邏輯架構之可行。該架構使用模糊控制(fuzzy control)預測模型學習使用者

的舒適度，並利用控制策略去影響既有的中央空調系統。其結果顯示使用者舒適度提升，也使辦公大樓空調系統性能效率提高 [16]。

4.而 SR West 等人提出商業建築 HVAC 系統的監督模型預測控制 (MPC) 最佳化。該系統從歷史運轉數據中學習且建立模型。使用天氣預報和溫度設定點的曲線來預測建築區域條件和熱舒適度，主要目的是優化建築 HVAC 系統之多個區域控制，將運轉成本和碳排量降至最低；同時放寬使用者可接受的舒適度範圍(如:調整設定溫度與風量之搭配)，依此找到建築物的最佳溫度設定值和運轉時間。然後，透過反饋控制系統將此運轉排程用於建築物。此控制系統在澳大利亞的兩棟辦公大樓中進行兩個冬天的實驗，其與現有建築管理控制系統 (BMCS) 進行比較結果，得到兩棟建築在運轉 51 天和 10 天的平均能耗分別降低 19%和 32% [17]。由此結果看來運轉天數長雖獲得小的能耗節約率，但有相對較高的信賴度。因此，為求有效的實驗成果，期程是一個重要因素。

第五節 感控照明相關法規分析

目前本研究蒐集調查相關資料，如建築技術法規、智慧高效率照明系統技術規範、照明系統節能技術手冊、產業照明系統節能技術手冊、老人住宅基本設施及設備規劃設計規範，以及美國冷凍空調學會 ASHRAE/IES 90.1-2016 制訂對建築物內人員感知控制規範等，發現尚無明確提供該類智慧感控裝置之設置規定，以作為依循的準則。以下為本研究整理內容：

1. 建築技術法規建築設備編-修正日:111.01.19

第一章電氣設備第二節照明設備及緊急供電設備敘述第三條提到建築物之各處所除應裝置一般照明設備外，應依建築設計施工編第 116 條之 2 規定設置安全維護照明裝置，並應依各類場所消防安全設備設置標準之規定裝置緊急照明燈、出口標示燈及避難方向指示燈等設備。其餘控制的部分未有規範。

2. 智慧高效率照明系統技術規範

智慧高效率照明系統包含 LED 照明燈具與智慧照明控制系統。其中，LED 照明燈具規範燈具之距高比、光通量、亮度限制、調光範圍、待機功率及閃爍指數。智慧照明控制系統須包含照明控制與能源管理監測功能，相關控制功能規範：

(i).照明控制依實際環境需求搭配時序控制、人員感知控制、晝光照明調光、場景照明設定/呼叫等功能。

(ii).照明控制系統須具備整合控制能力，可整合感測資訊對照明燈具進行獨立或群組調光控制。

3. 照明系統節能技術手冊

照明設計規劃之初，即導入整體照明節能之觀念，如：採用高頻燈管與電子式安定器、晝光利用、初期照度調整、時間設定控制、感知控制等，可省下照明用電 66.5%。其中照明節能採用高頻燈管與電子式安定器 24%外，晝光利用、初

期照度調整、時間設定控制、感知控制，省能比例可達 42.5%。另外，提到照明節能設計原則三項要點，分別為選用高效率節能光源、選用高效率及長效燈具、照明節能管理系統。其中，照明選用及設計原則，於大樓照明常用控制方式：(1). 利用熱感開關裝置。(2). 使用附加感知器。移動感測：搭配感應器來偵測人員/車輛是否在场，來對於照明設備調整 ON/OFF 或調光，圖 3-11 為移動感測示意圖。

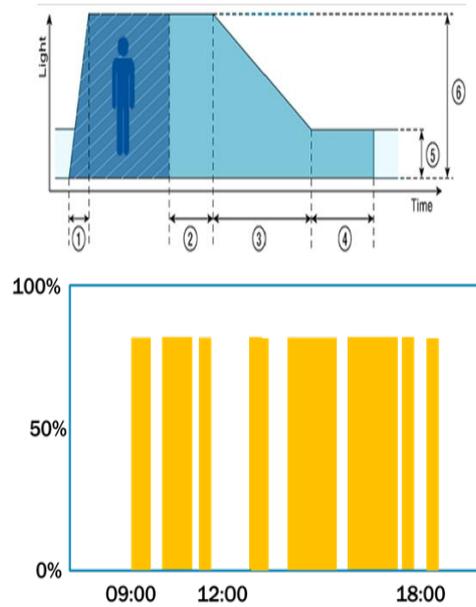


圖 3-13 移動感測示意圖
(資料來源：產業照明系統節能技術手冊)

4. 辦公室高效率照明指引手冊

照明設計流程如圖 3-12 所示，在設計上須先掌握照明之目標，依照目的決定照度，決定燈具後，依照度需求決定燈具數量，並進行模擬。

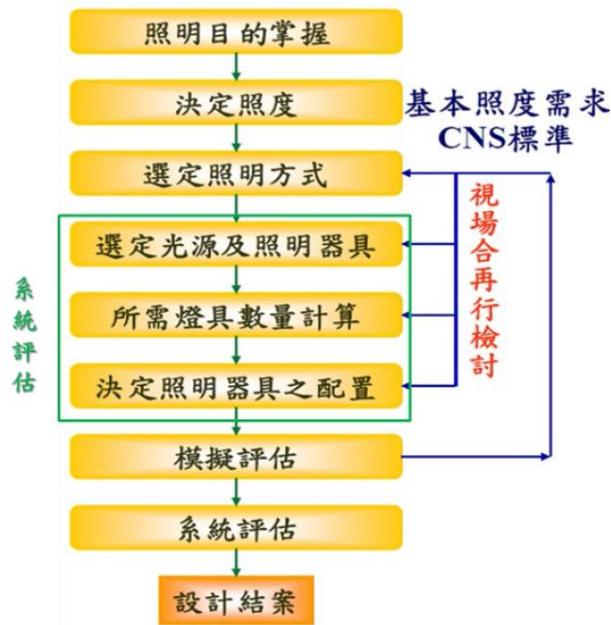


圖 3-14 照明設計流程圖
(資料來源:我國辦公室高效率照明指引手冊)

其中，有關決定照明器具配置：在節能標章基準中，要求 LED 平板燈距高比需在 1.2 以上。以裝置高度 3 m，扣除工作面高度後為 2.15 m，兩燈間隔需小於 2.58 m。照明器具配置須依現場狀況決定，計算及模擬結果可供參考。

5. 老人住宅基本設施及設備規劃設計規範

設置原則：老人住宅設置之設備及設施應能提供老人寧靜、安全、衛生、通風採光良好之環境為原則。

電氣照明：在照明設備中，規範老人住宅之照明設備，應考量全體照明、部分照明、夜間照明、戶外照明。樓梯間、電梯間門廳應為常時點燈或自動（感熱、光電）感應照明，防火門及出入口、平臺均應設頂燈。

6. ASHRAE/IES 90.1-2016 Sec.3.3.3 與 C405.2.1 (IECC 2018)規範建築使用在場

感應器時，人員離開後 20 分鐘內自動關閉，而感應器必須具有手動開關。如表 3-2 所示，提供不同空間類型使用感控裝置，設定延遲關閉時間的節能率。

表 3-2 不同空間類型設定感應照明延遲關閉時間之節能率

空間名稱	節能率(%)	
	延遲時間(20 分)	延遲時間(5 分)
教室	52	58
私人辦公室	28	38
會議室	39	50
休息室	17	29
美式廁所	47	60

(資料來源:本研究製作)

(ii).ASHRAE/IES 90.1-2016 要求除倉庫儲存照明外,其他指定場所應用中的照明在不使用時自動減少。與倉庫儲存區相同,照明電力必須在閒置的 20 分鐘內減少至少 50%。一般照明必須在下列空間無人使用的 20 分鐘內自動減少至少 50%,如: 醫院或製造設施以外的所有其他走廊、實驗室、儲藏室、圖書館書庫、所有其他大廳(電梯、酒店和電影劇院大堂除外)。

國際節能法規(IECC 2018) 要求在倉庫、開放區域和通道中使用人員傳感器。這些傳感器在感知無人員在區域時,必須自動減少照明功率至少為 50%。每個走廊通道必須單獨控制。控制走道照明的傳感器不得控制走道外面的照明。

(iii).IECC 2018 第 C405.2.1.3 節:要求大於 300 ft² 的開放式辦公空間的照明必須劃分為 600 ft² 的控制區。當一個區域內的使用者離開時,照明功率必須減少至少 80%。當所有人員離開該空間時,所有控制區域必須在 20 分鐘內關閉照明。

(iv). ASHRAE/IES 90.1-2016:要求在停車場使用是依據時間和感知人員傳感器的照明減少控制。當空間是空的時,照明必須減少至少 30%,確保照明在任何時候必須保持開啟,以節省能源的時間。

7. ASHRAE/IES 189.1-2011 高性能綠建築設計

關於照明控制的人員感應器規定: 工商業建築內的儲存堆置通道, 當區域空間無人員狀態, 不得超過 20 分鐘關閉照明或以調暗照明(至少 50%的照明功率)方式行之。另針對停車場出口外部標誌照明和停車控制, 在夜間(取決於燈)或在不超過 15 分鐘, 未檢測到有人員活動的任何時間段內, 自動降低至全功率的 50-70%

第四章 全尺度實驗

本研究實驗主要進行智慧調光窗、智慧照明及智慧通風等三項工作。第一節為智慧調光窗實驗，其目的在於發現以了解智慧調光膜與室內照度調節之最大極限、太陽輻射影響調光膜表面溫度之程度，智慧調光膜對於空調能耗之影響程度，進而建立使用者為中心之智慧調光窗控制技術。第二節為智慧照明實驗。其目的在於探討常用的感應技術對於不同路線情境下的智慧照明節能差異，藉此發現可優化的智慧照明節能模式，並且獲得可量化的智慧照明系統耗電計算式。第三節為智慧通風實驗，其目的為發現全熱交換器如何透過智慧化控制達到節能與維持室內空氣品質之雙重目標。各項實驗結果如下所述：

第一節 智慧調光窗

由於智慧調光窗需陽光及高溫度較易看出實驗差異，因此實驗時間選為夏季，並且以使用者活動時間為主，蒐集上午九點至下午五點之數據。

壹、智慧調光膜對室內光環境影響之實測現況

照度數據顯示調光膜為透明狀態(ON)時，桌面光線感應器獲取數值平均為700Lux，最大值可達1000Lux以上，而調光膜關閉時(OFF)時，調光膜將直射光線轉換成漫射光線進入室內，因此室內光照度平均值降低為500Lux，最大值不超過800Lux，如圖4-1。



圖 4-1 調光膜狀態對照度影響之量測結果
(資料來源：本研究製作)

貳、智慧調光膜對室內熱環境之影響

圖 4-2 為比較調光膜透明(ON)與遮光(OFF)兩種模式下，玻璃表面與室內溫度之量測結果。量測結果發現當全日調光膜為透明狀態(ON)時，太陽輻射能量會直接穿透玻璃進入室內，故靠近窗邊的外週區室內溫度會隨室外溫度即時地變化。調光膜為遮光狀態(OFF)時，玻璃表面溫度、外週區室內溫度變化均會比室外溫度變化延遲。此結果乃是因為調光膜在遮光狀態(OFF)的日光穿透率(58.62%)比透明狀態(ON)的日光穿透率(79.18%)降低 20.56%，加上日光反射率提高了 3.35% (ON: 7.96%，OFF: 11.31%) 造成直接進入室內的輻射熱量降低之故。

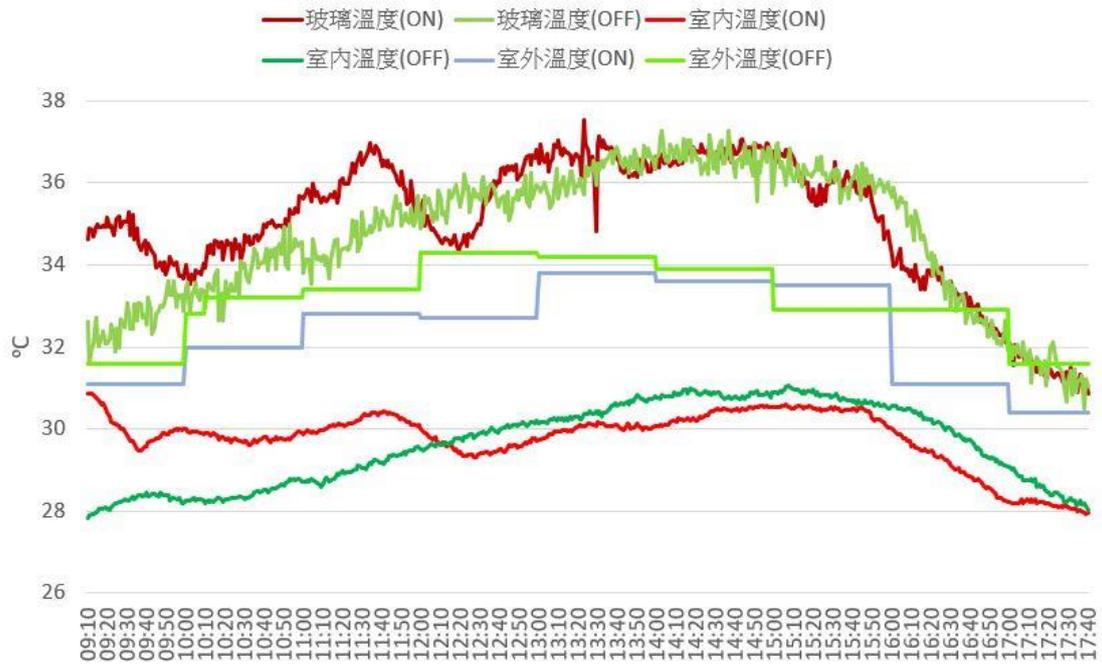


圖 4-2 調光膜狀態對溫度影響之量測結果
(資料來源：本研究製作)

參、啟用調光膜之節能效果

圖 4-3 為由實驗數據中挑選室外溫度相近的兩天，比較調光膜透明狀態(ON)與遮光(OFF)狀態下之空調耗電。實驗結果發現調光膜為透明狀態(ON)時，空調主機在 10 點過後即為全載運轉，而遮光狀態(OFF)的調光膜因為阻擋較多的太陽輻射熱量進入室內，因此在下午時段空調系統出現卸載運轉狀態，致使空調運轉能耗可節約 5%。

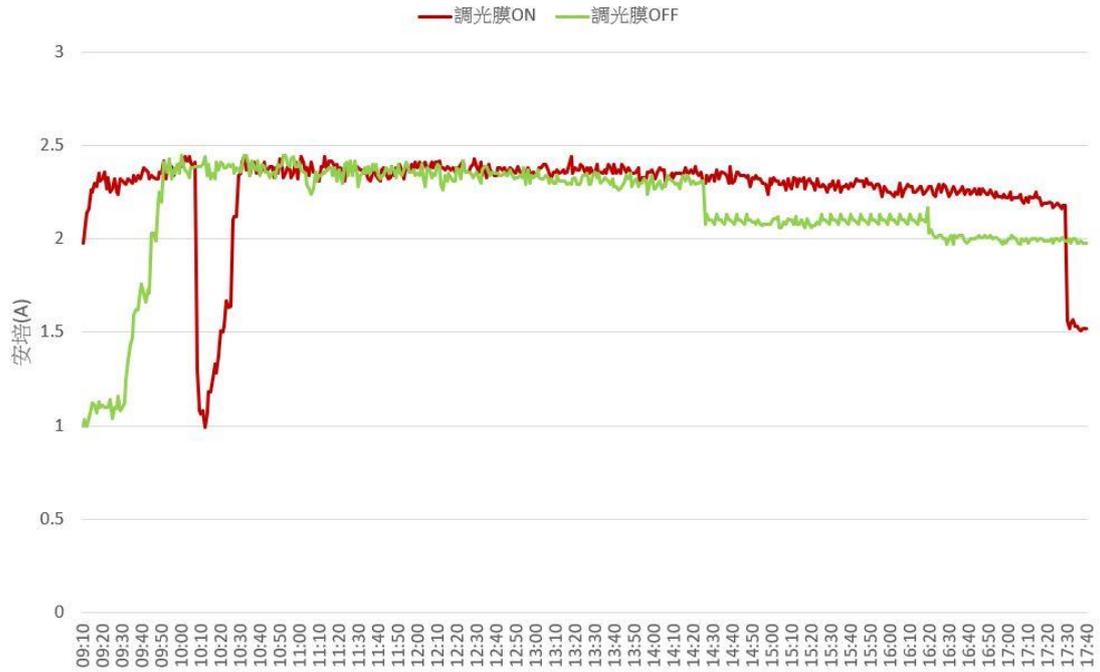


圖 4-3 調光膜狀態對空調耗電影響之量測結果
(資料來源：本研究製作)

肆、自動模式對室內光環境影響之實測現況

照度數據顯示調光膜為自動模式時，光線感應器獲取數值平均為 600Lux，介於照光模式平均照度 700Lux 與遮光模式平均照度 500Lux 之間。自動模式下光線會依照亮度進行自動調整，當照度高於 700Lux 會將電致變色關閉(OFF)，降低照度，當度低於 500Lux 則會將電致變色啟動(ON)，提供充足光線，同時為了解決啟停頻繁的狀況，照度介於 500Lux~700Lux 時會維持原本狀態，例如是啟動狀態則會維持啟動，但實驗發現下午光線過亮時，即便自動關閉電致變色仍無法有效降低，如圖 4-4。

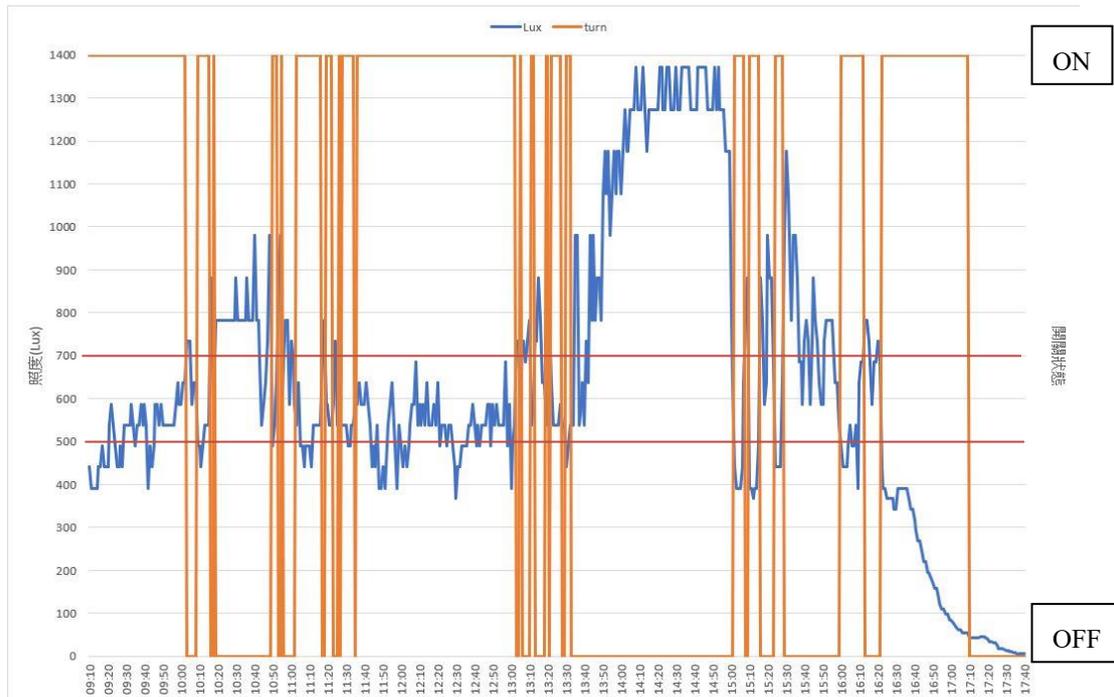


圖 4-4 自動模式對室內光環境影響之量測結果
(資料來源：本研究製作)

伍、使用者為中心控制智慧調光窗自動模式

自動模式使用 ESP32-S 開發板，本團隊根據實驗獲得不同模式下照度實驗結果，訂定以使用者為中心控制技術應用在智慧調光窗中自動模式系統之運作方式及設計邏輯，如圖 4-5 與 4-6，並透過撰寫 86Duino 程式，將控制邏輯寫入該開發板中，使用 Woody 輔助開發板上的按鈕控制，進行三種模式的切換，以此控制調光膜如圖 4-7，可依使用者對於光線的需求自由切換模式。

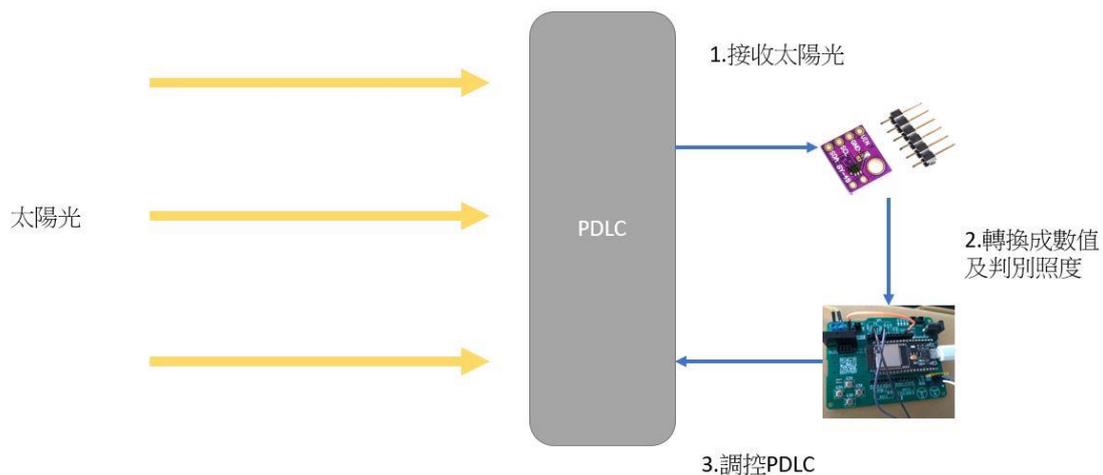


圖 4-5 自動模式下設備運作流程
(資料來源：本研究製作)

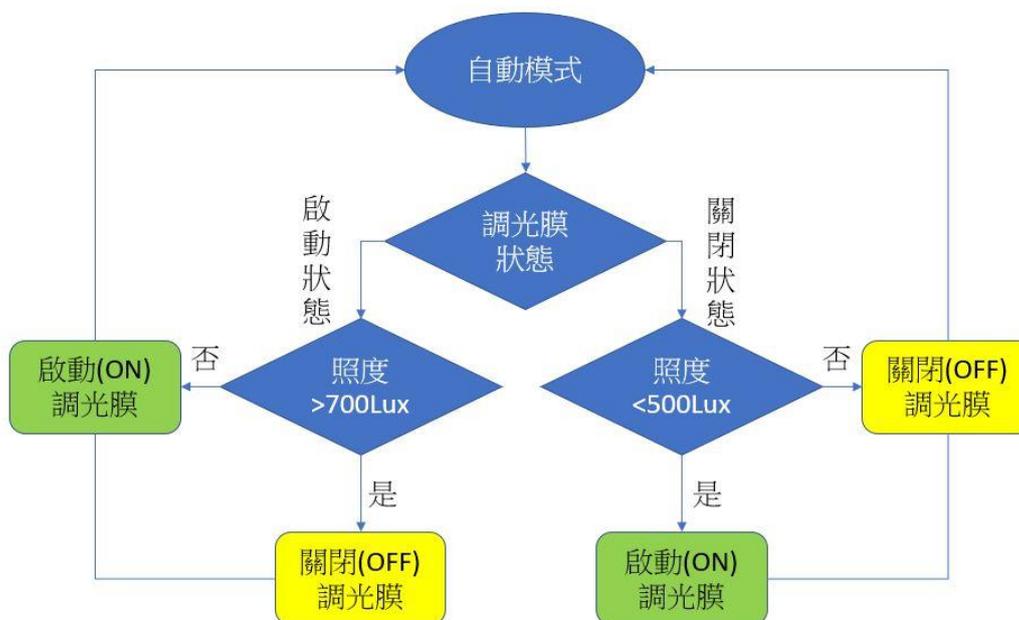


圖 4-6 使用者為中心控制智慧調光窗自動模式系統邏輯
(資料來源：本研究製作)

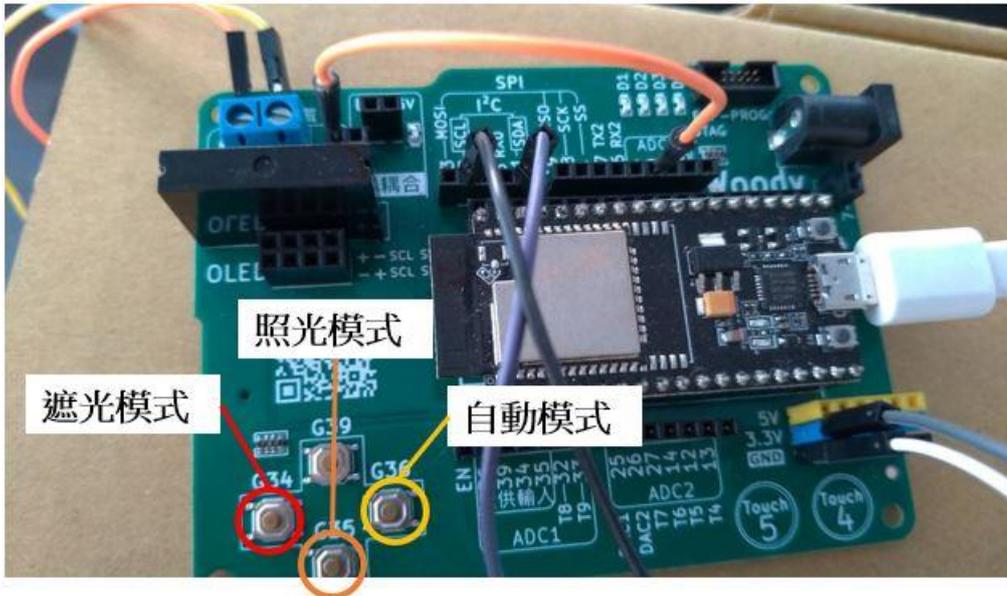


圖 4-7 三種模式按鈕控制

(資料來源：本研究製作)

陸、以使用者為中心控制智慧調光窗之發展

本研究團隊目前已完成以使用者為中心控制部分系統，已優於單純手動及自動控制，而未來有幸能繼續進行研究，也會持續研發不同功能，例如即時控制、AI 智慧等等(如圖 4-8)。

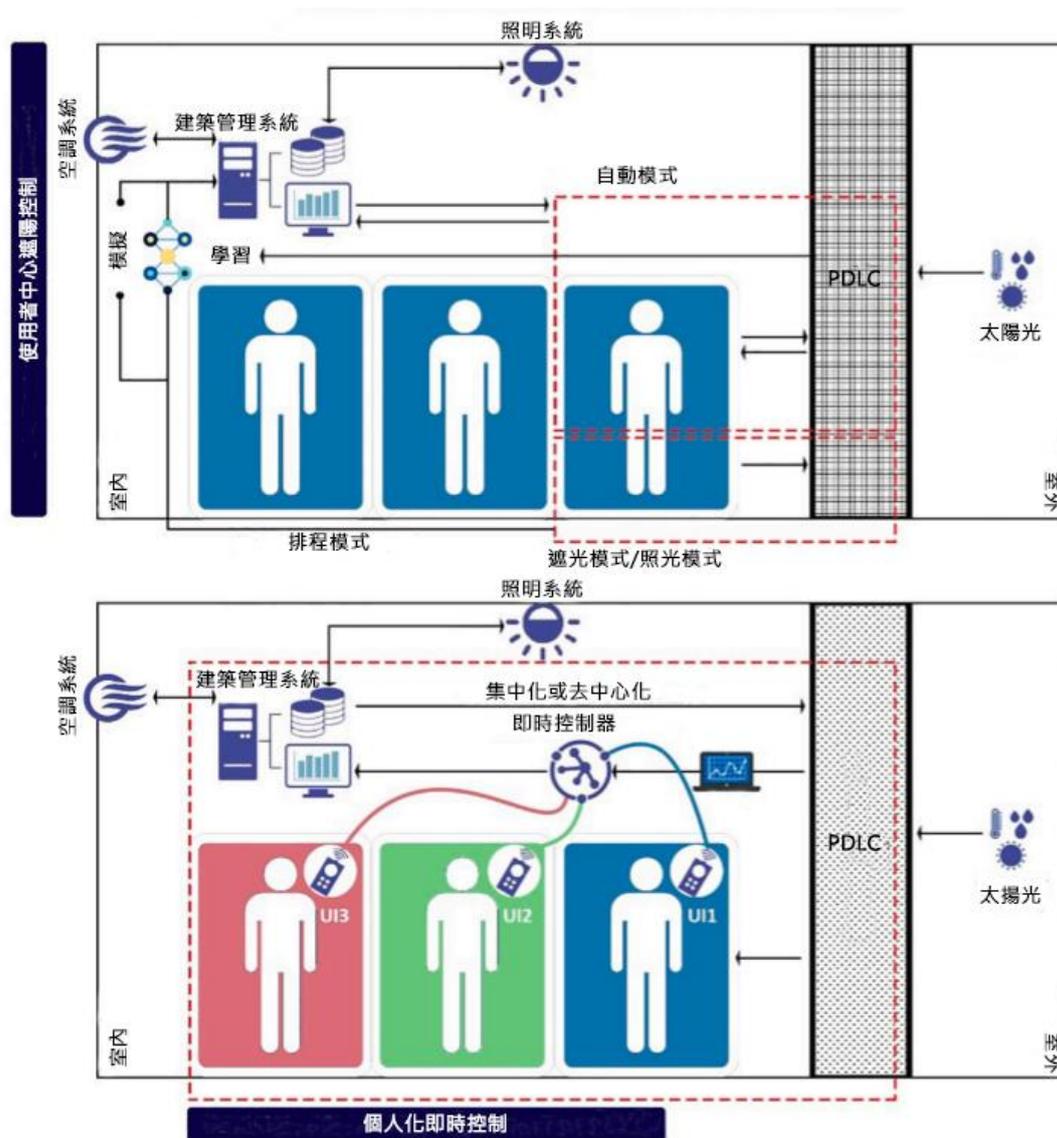


圖 4-8 使用者中心遮陽控制
(資料來源：本研究製作)

第二節 智慧照明

壹、智慧感應(微波感應器)對不同照明情境之探討

廁所情境(黃色動線)設定的情境為兩個感應器分別安裝在進入廁所的走道上及臥室內，使用者進入廁所且不進入房間。實驗參數為走廊中感應器偵測範圍(0.5,2.5m)與臥室內感應器偵測範圍(0.5,2.5m)，關閉延遲時間(5sec)，本情境設定兩個感控條件，以固定關閉延遲時間搭配兩種偵測範圍為主要，並以假定人員每天經過通道次數為 100 次如圖 4-9。

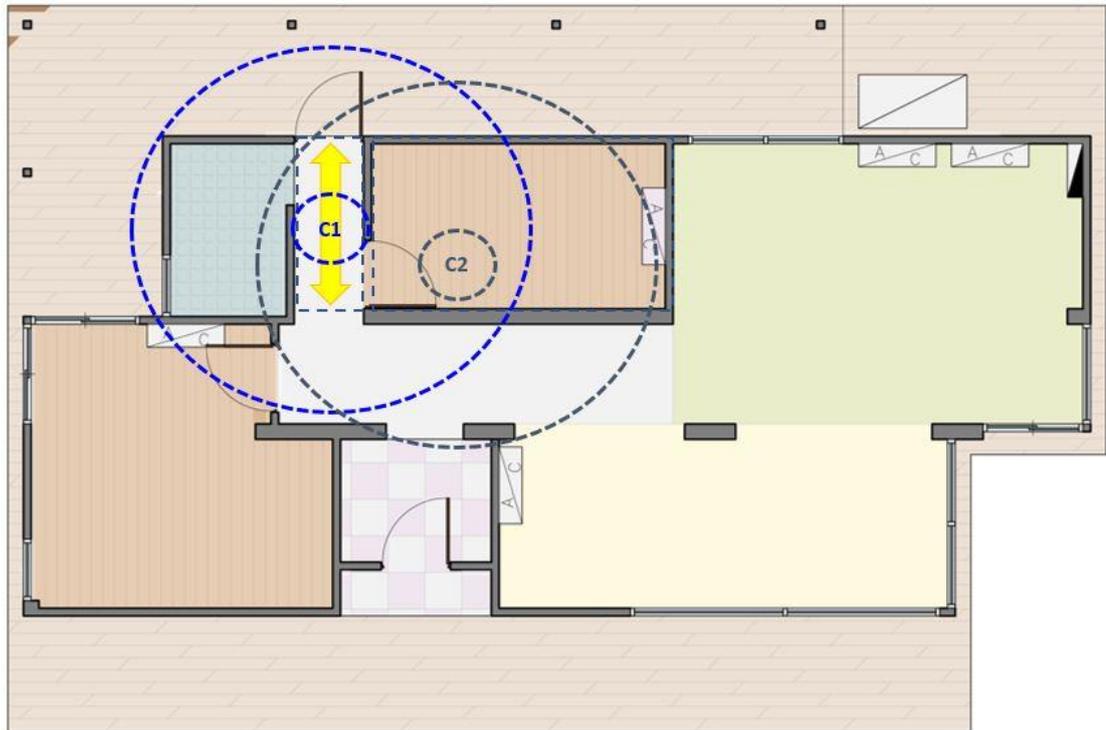
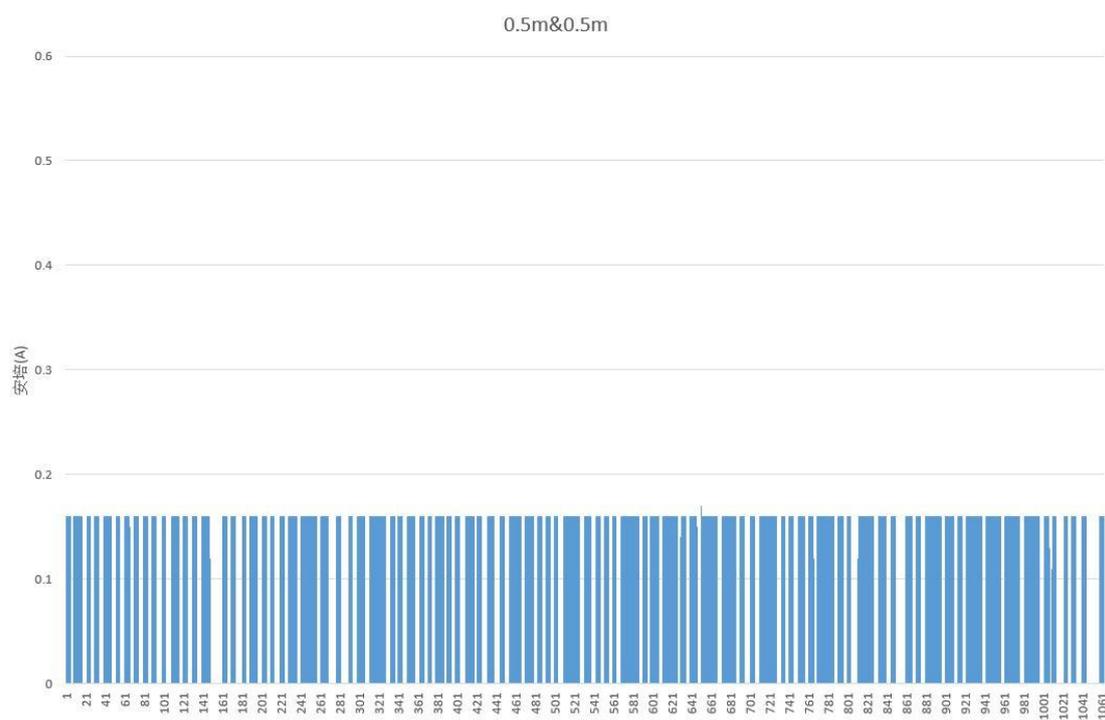
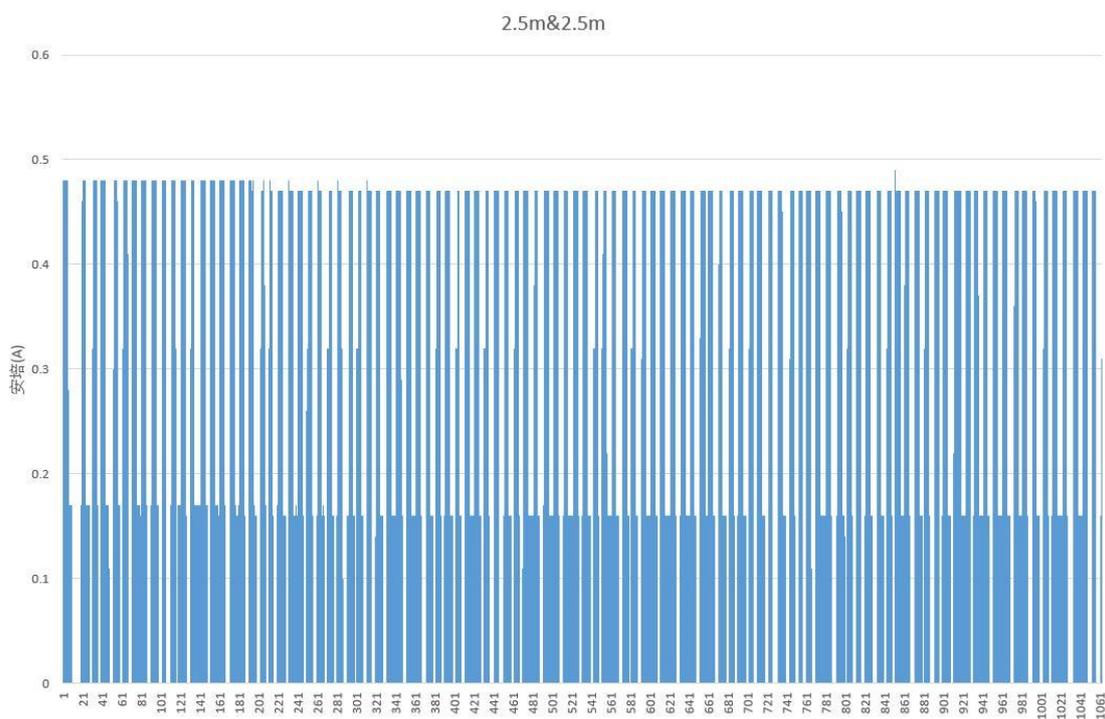


圖 4-9 廁所情境
(資料來源：本研究製作)

廁所情境之實驗結果如下：



(a)



(b)

圖 4-10 廁所情境智慧照明系統啟停結果
(資料來源：本研究製作)

由圖 4-10 可看出，感控條件為 0.5m&0.5m 偵測範圍的燈具啟動最不頻繁，
以此計算 1 年用電與節能率如下表 4-1。

表 4-1 微波感應器廁所情境照明感控設定參數

	電力度數(kWh)	節電率(%)
手動起停無感控-對照組	44.61k	0
微波，偵測範圍 0.5m,0.5m	9.89	78
微波，偵測範圍 2.5m,2.5m	26.1	41

(資料來源：本研究製作)

通道情境(綠色動線)設定的情境為單一感應器安裝在進入廁所的走道上，且使用者不進入廁所走道。實驗參數為感應器偵測範圍(0.5,1.7,2.5m)，關閉延遲時間(5sec)，本情境設定四個感控條件，以固定關閉延遲時間搭配三種偵測範圍為主要，並以假定人員每天經過通道次數為 100 次如圖 4-11。

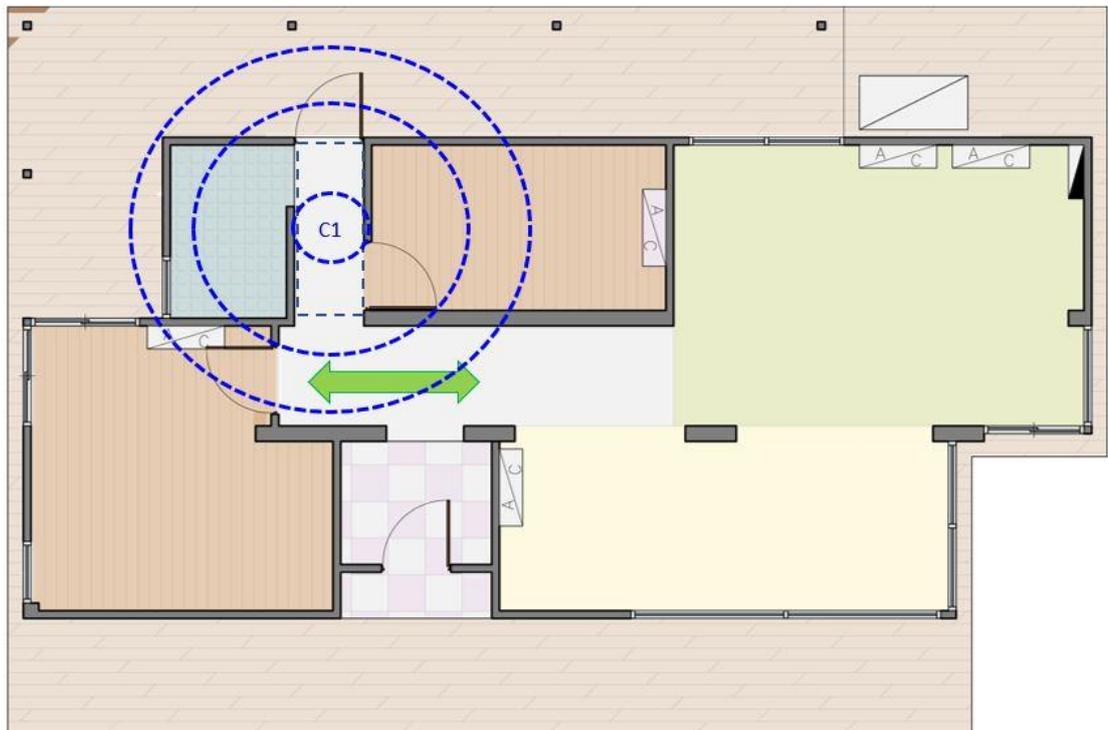
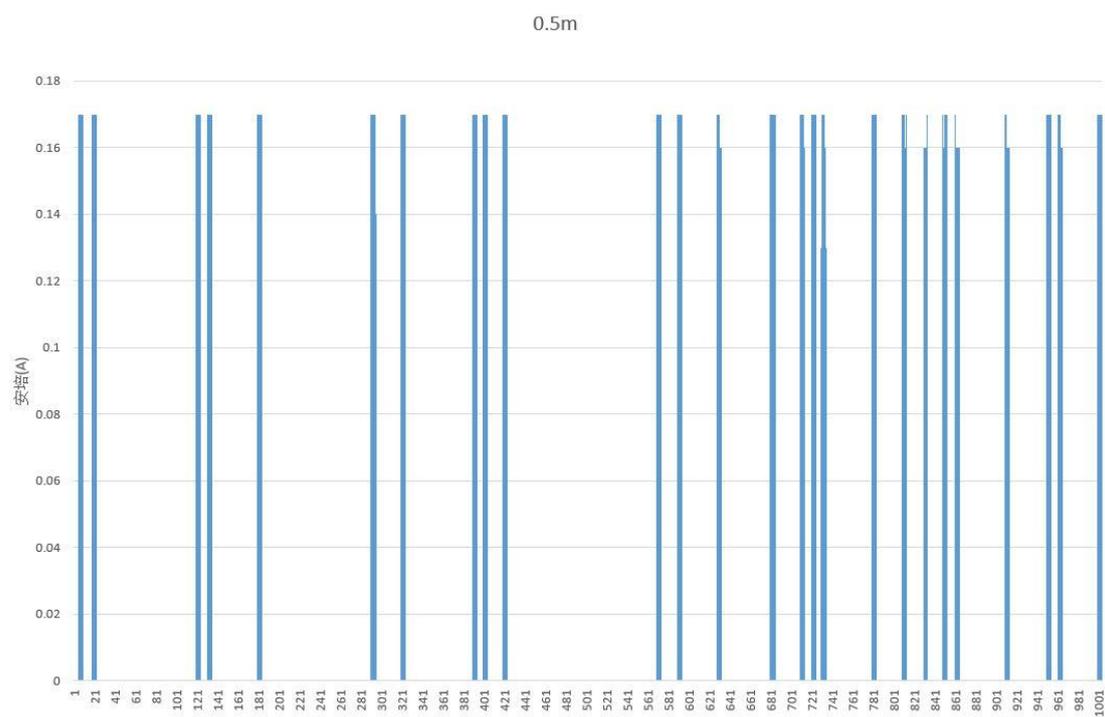


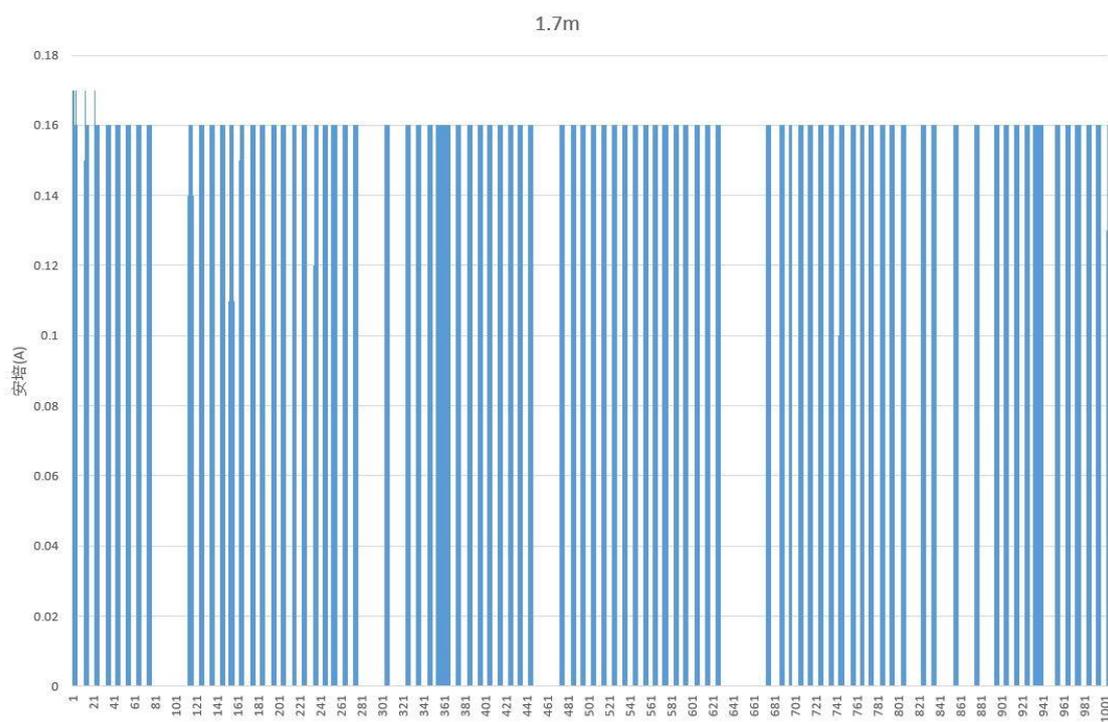
圖 4-11 通道情境

(資料來源：本研究製作)

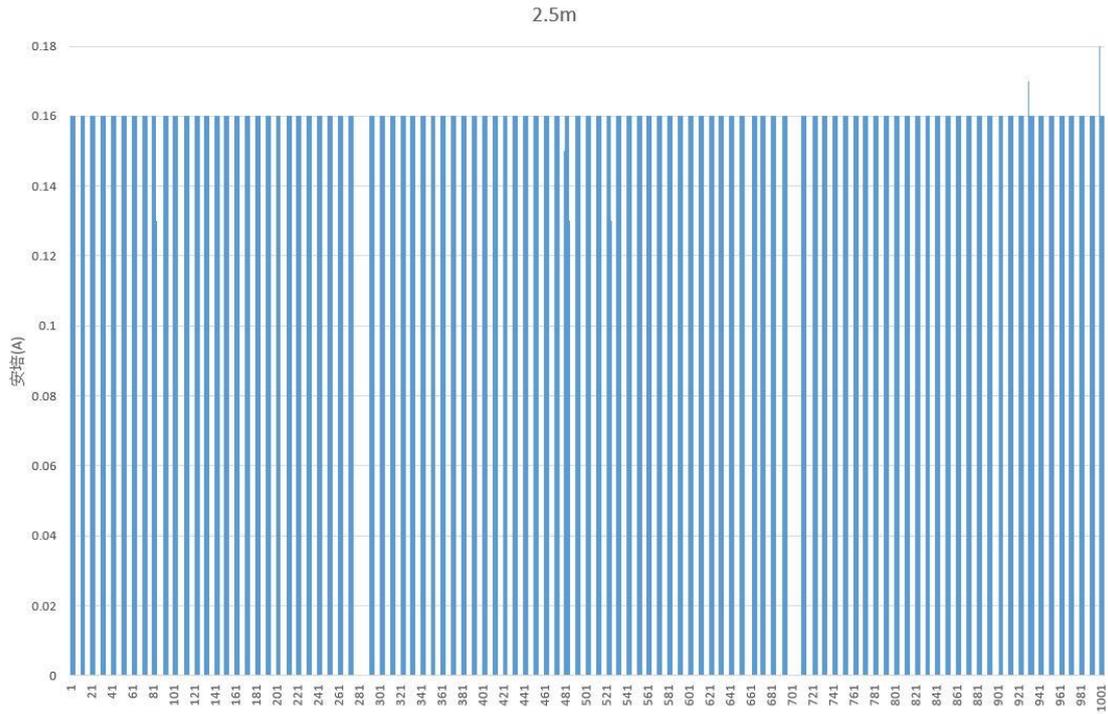
通道情境之實驗結果如下：



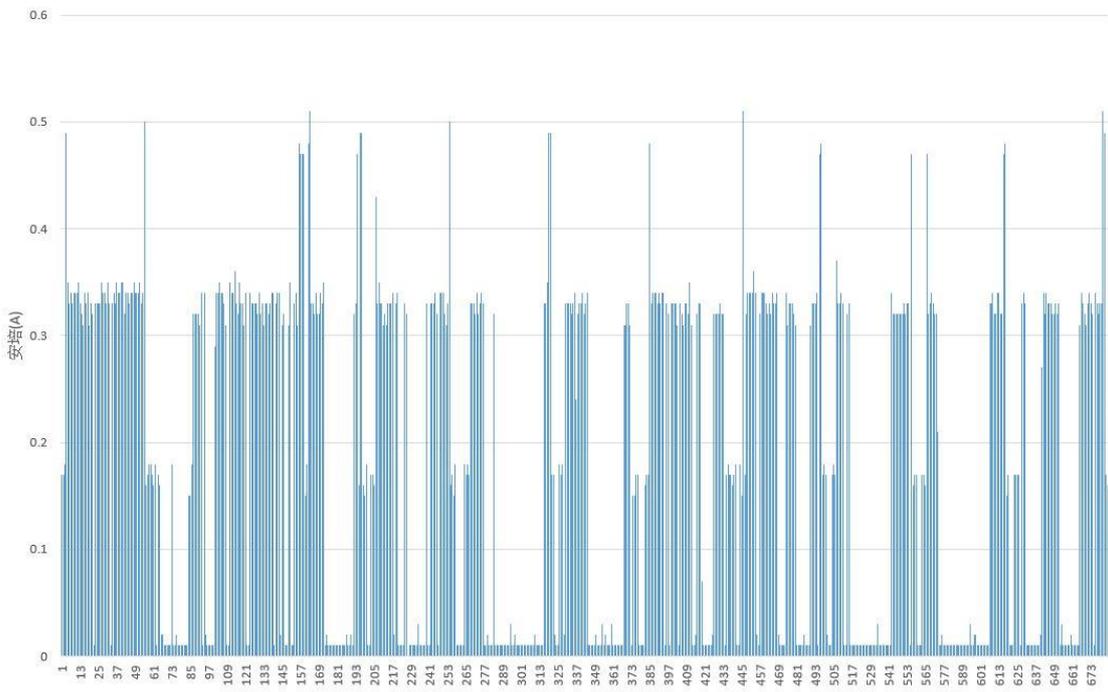
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 4-12 通道情境智慧照明系統啟停結果
(資料來源：本研究製作)

由圖 4-12 可看出，感控條件為 0.5m 偵測範圍的燈具啟動最不頻繁，以此計算 1 年用電與節能率如下表 4-2。

表 4-2 通道情境照明感控設定參數

	電力度數(kWh)	節電率(%)
手動啟停無感控-對照組	14.28	0
微波，偵測範圍 0.5m	2.23	84
微波，偵測範圍 1.7m	6.26	56
微波，偵測範圍 2.5m	7.10	50
PIR，偵測範圍-2.5m	3.08	78

(資料來源：本研究製作)

臥室情境(藍色動線)設定的情境為兩個感應器分別安裝在進入廁所的走道上及臥室內，使用者進入房間。實驗參數為走廊中感應器偵測範圍(0.5,1.7,2.5m)與臥室內感應器偵測範圍(1.7,2.5m)，關閉延遲時間(5,90sec)，本情境設定六個感控條件，以兩種關閉延遲時間搭配三種偵測範圍為主要，並以假定人員每天經過通道次數為 50 次如圖 4-13。

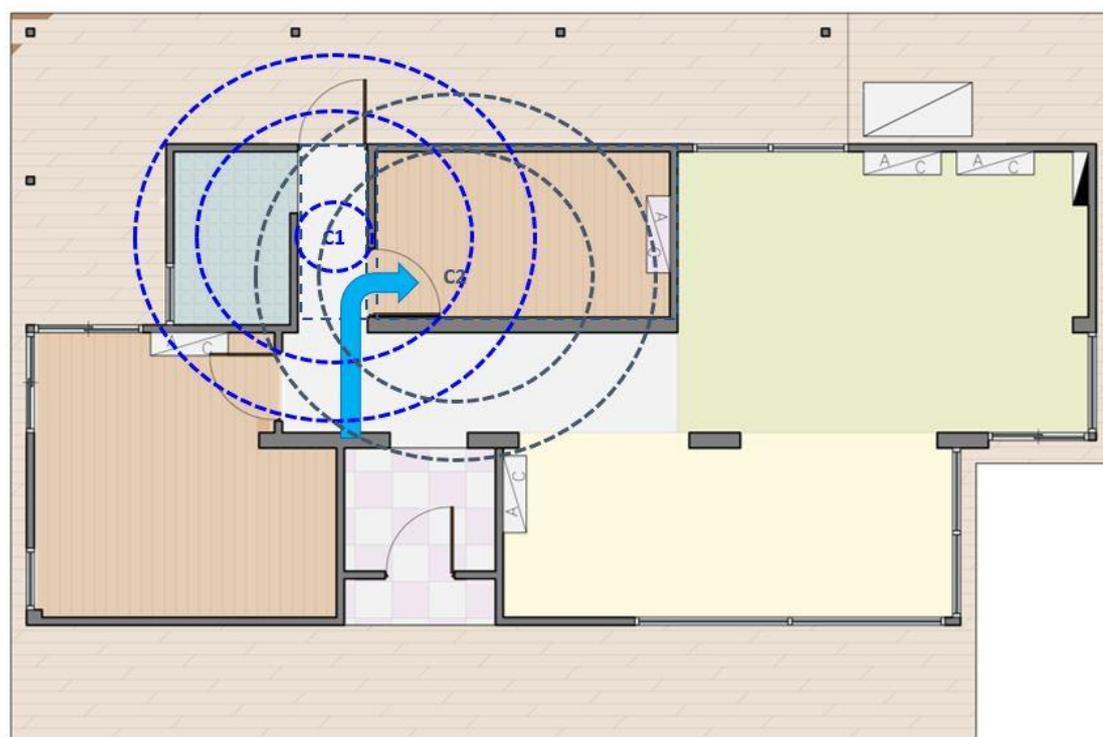
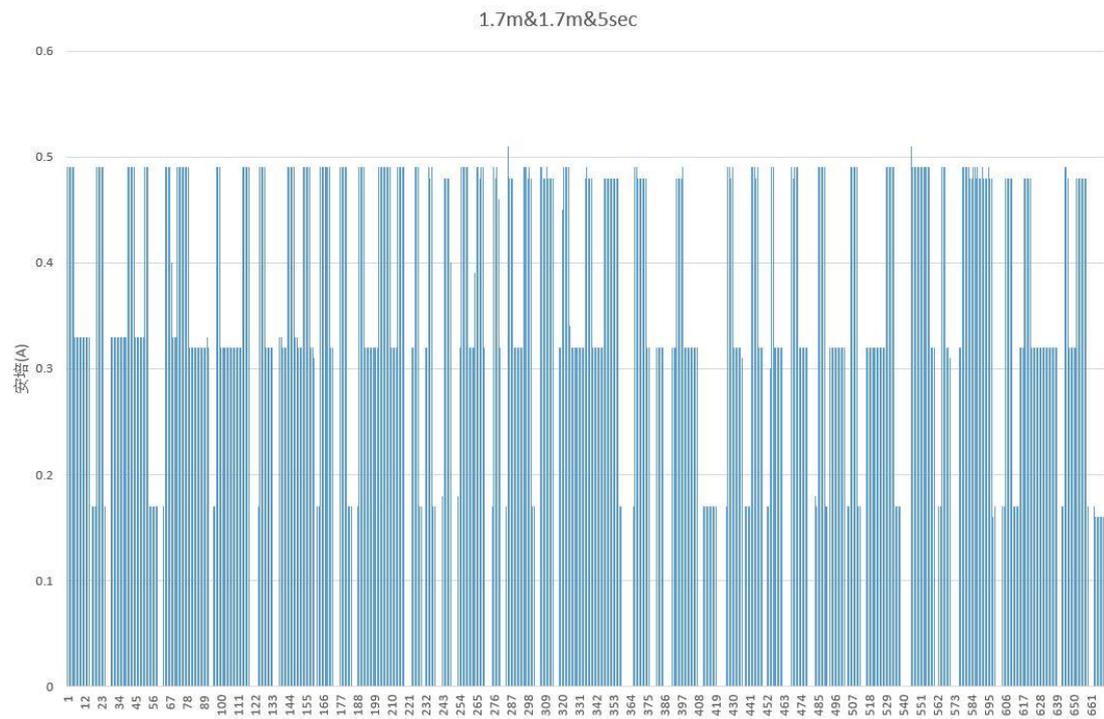


圖 4-13 臥室情境

(資料來源：本研究製作)

臥室情境之實驗結果如下：



(a)



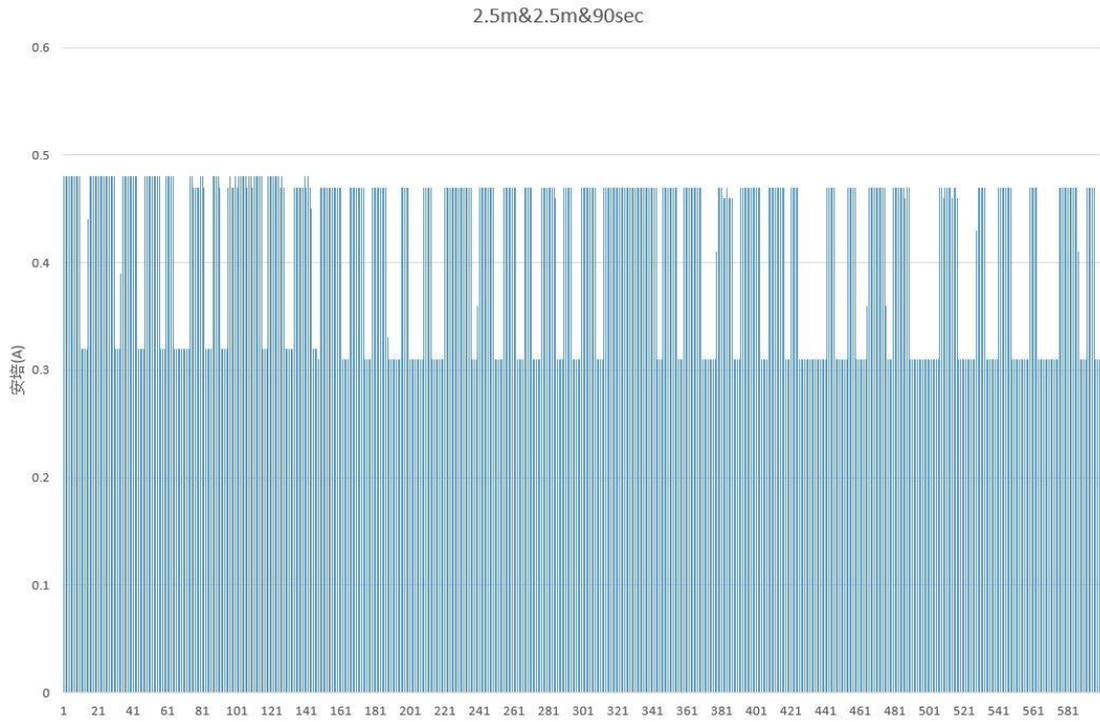
(b)



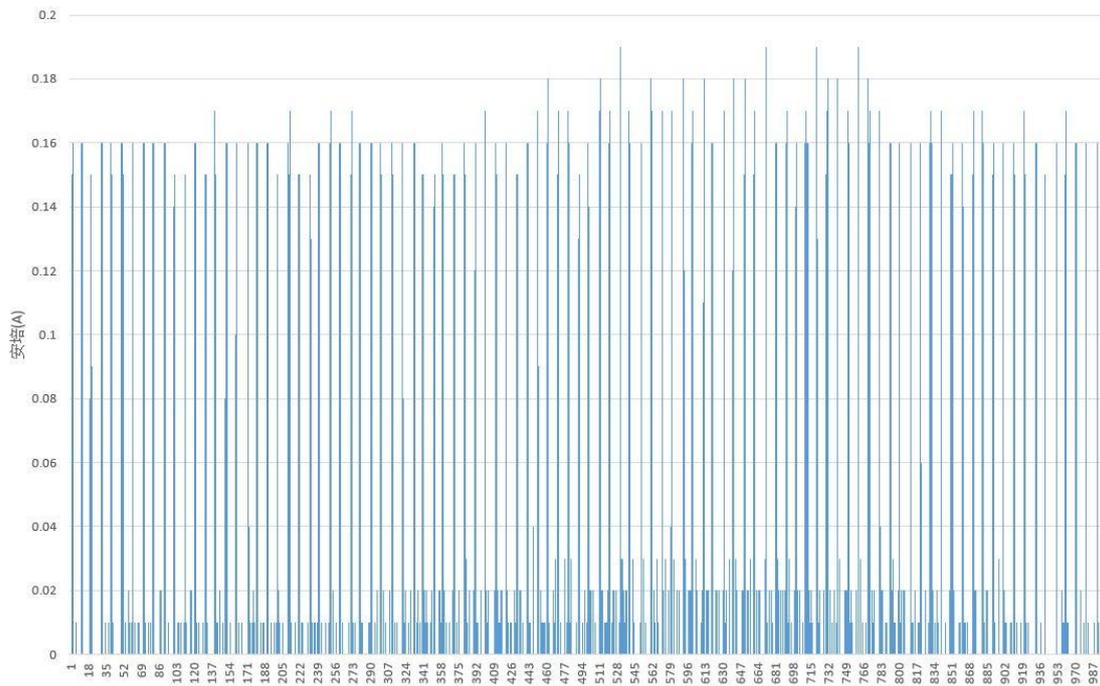
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 4-14 臥室情境智慧照明系統啟停結果
(資料來源：本研究製作)

由圖 4-14 可看出，感控條件為 0.5m&2.5m&90sec 偵測範圍的燈具啟動最不頻繁，以此計算 1 年用電與節能率如下表 4-3。

表 4-3 臥室情境照明感控設定參數

	耗電	節電率
手動起停無感控-對照組	26.77	0
微波，偵測範圍 1.7m,1.7，5sec	18.41	31
微波，偵測範圍 2.5m,2.5m，5sec	21.56	19
微波，偵測範圍 0.5m,2.5m，90sec	18.05	33
微波，偵測範圍 1.7m,2.5m，90sec	22.06	18
微波，偵測範圍 2.5m,2.5m，90sec	22.73	15
PIR，偵測範圍 2.5m,2.5m，5sec	11.31	58

(資料來源：本研究製作)

客廳情境(橘色動線)設定的情境為一個感應器安裝在客廳內，使用者進入客廳。實驗參數為客廳中感應器，關閉延遲時間(0,5,15sec)，本情境設定三個感控條件，以兩種關閉延遲時間搭配三種偵測範圍為主要，並以假定人員每天經過通道次數為 50 次如圖 4-15。

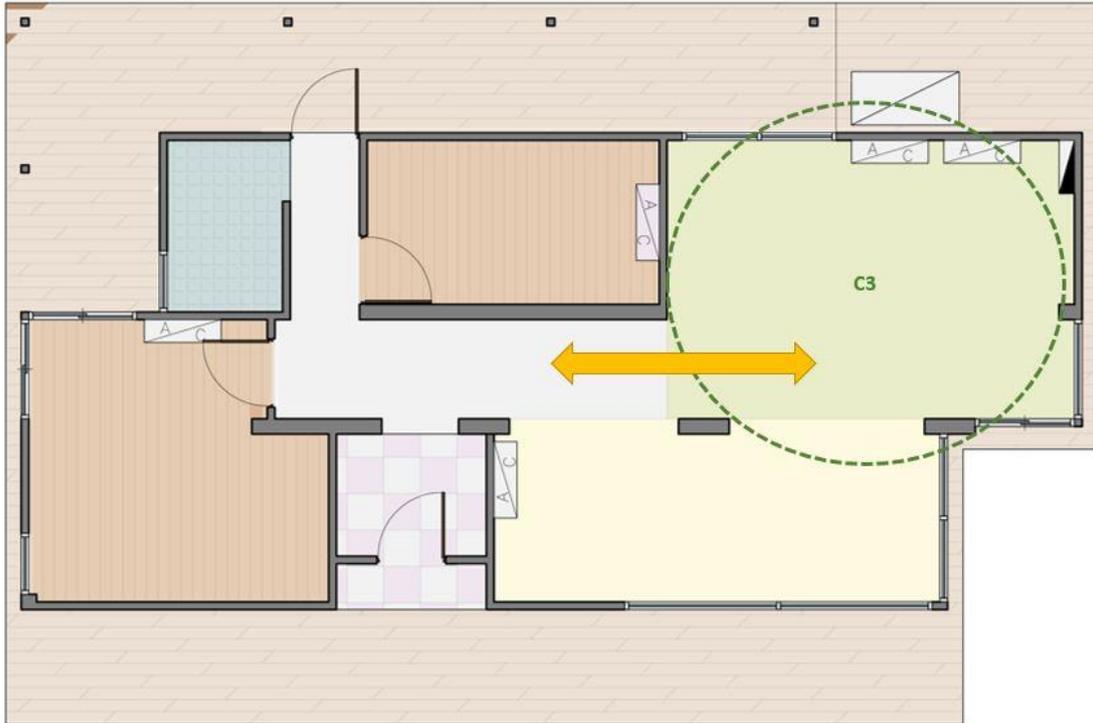
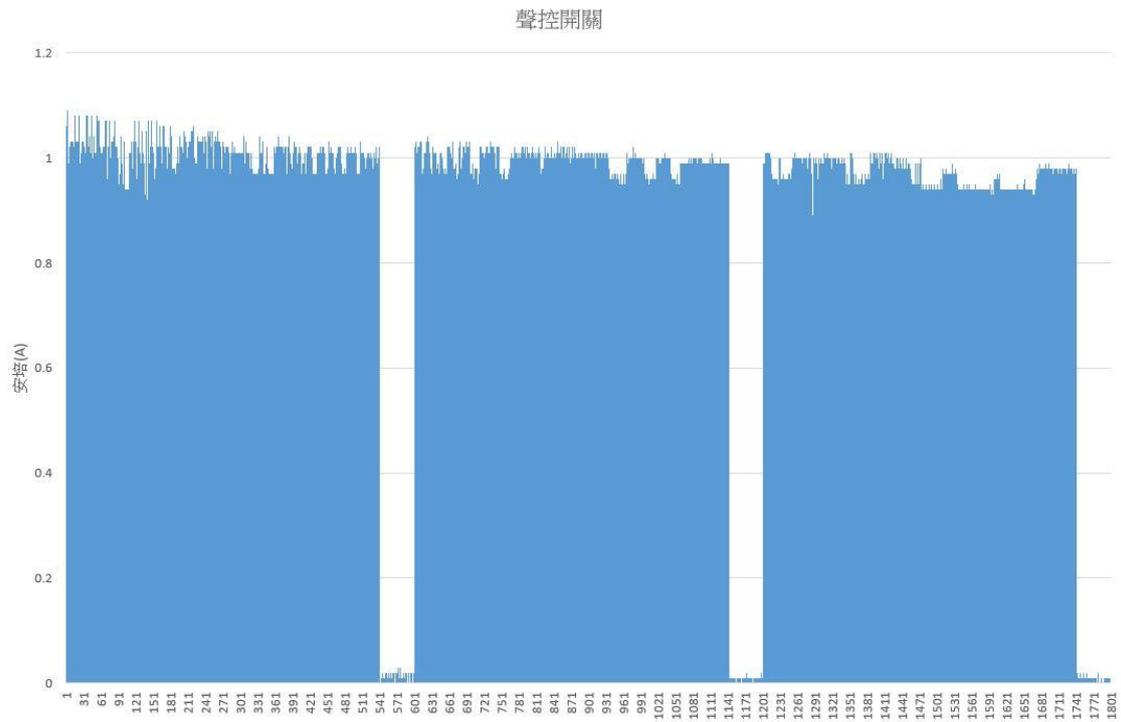


圖 4-15 客廳情境
(資料來源：本研究製作)

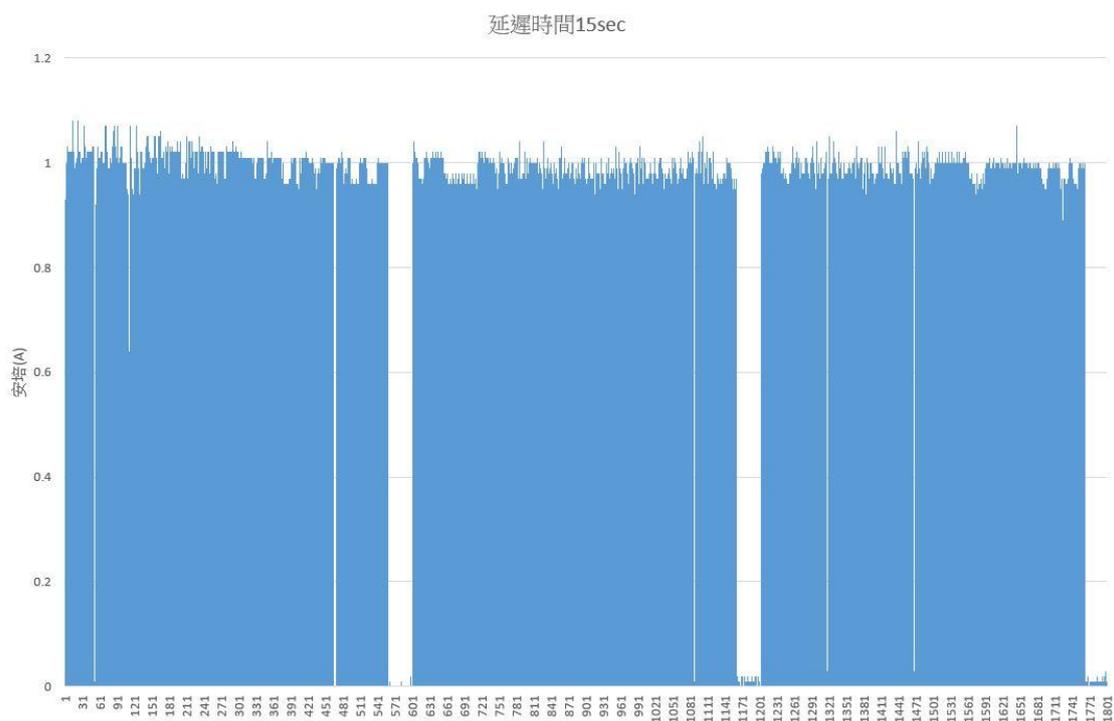
客廳情境之實驗結果如下：



(a)



(b)



(c)

圖 4-16 客廳情境智慧照明系統啟停結果
(資料來源：本研究製作)

由圖 4-16 可看出，感控條件為 5sec 的燈具啟動最頻繁，以此計算 1 年用電與節能率如下表 4-3。

表 4-4 臥室情境照明感控設定參數

	電力度數(kWh)	節電率(%)
手動起停無感控-對照組	160.6	0
聲控開關	142.89	11
PIR, 5sec	107.78	33
PIR, 15sec	145.78	9

(資料來源：本研究製作)

藉由以上實驗歸納出電燈使用電力計算式(1)，如下所示

$$P=A*V*S*N/3600*0.001 \quad (1)$$

其中，P 為電燈平均用電度數(kWh)，A 為平均電流(A)，V 為電壓(V)，S 為啟動時間(sec/次)，N 為啟動頻率 (次數)

節能率(%)=(電燈平均耗電-感應燈控平均耗電)/電燈平均耗電

貳、智慧感應器比較

經由本研究團隊實驗後發現，微波感應器之優勢在於可以調整偵測範圍，但缺點是較為敏感容易誤動即亮，且偶爾會發生穿牆感應的狀況，同時燈具關閉後感應器會造成延遲啟動。PIR 感應器較不容易誤動，且燈具關閉後無延遲啟動的情況，然而 PIR 感應器無法調整偵測範圍，同時會電壓迴流導致燈仍有微光的情況。比較兩個感應器節能效益可發現，偵測範圍相同的模式下，PIR 感應器較為節電。由上述比較結果得知，微波感應器較適合安裝於大空間，例如：停車場、大廳等等；PIR 感應器則適合使用於居家住宅。

參、使用者為中心之智慧照明系統控制邏輯建立

根據實驗進行獲得居家內行走不同動線之實驗結果，訂定以使用者為中心控制技術應用在智慧照明系統之設計邏輯，如圖 4-17。

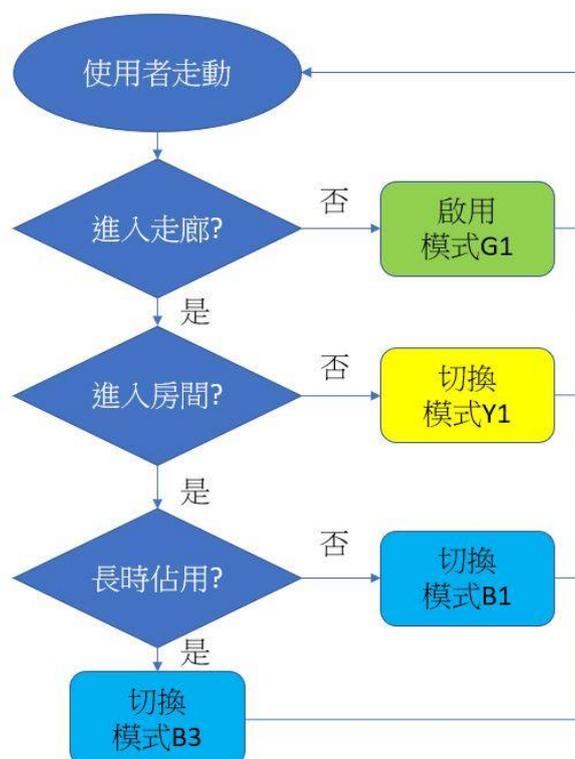


圖 4-17 使用者為中心控制系統流程
(資料來源：本研究製作)

肆、以使用為中心控制之客廳情境照明系統邏輯建立

客廳模式可使用聲控控制、手機控制與自動控制三種方式，並根據實驗進行獲得實驗結果，訂定以使用者為中心控制技術應用在客廳模式中照明系統之設計邏輯如圖 4-18。

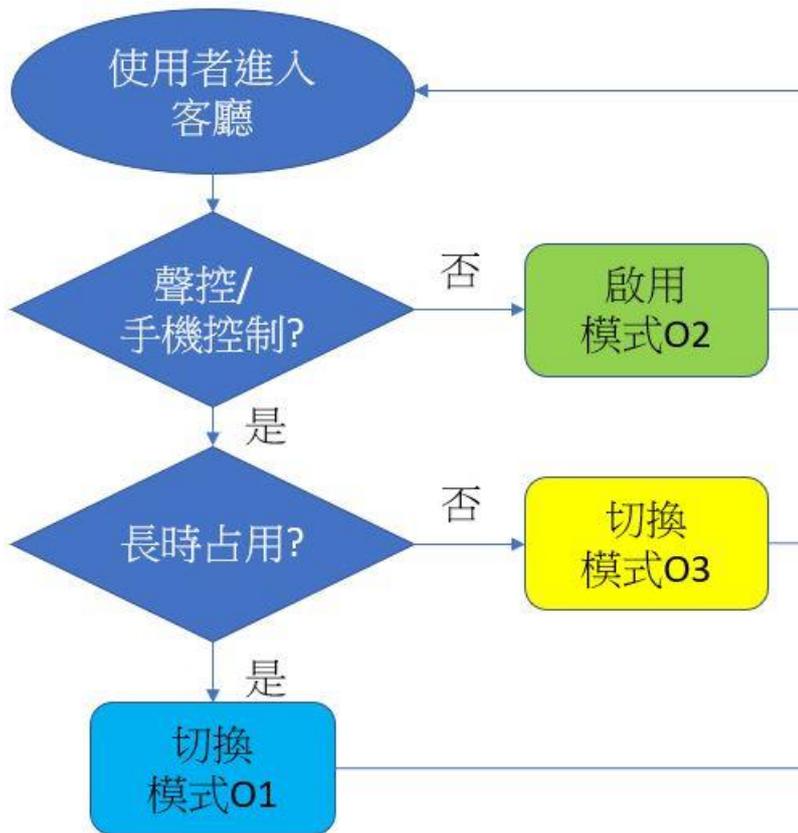


圖 4-18 使用者為中心控制之客廳模式中照明系統邏輯
(資料來源：本研究製作)

伍、人員感應智慧照明感應器安裝建議

在本報告第三章第五節完成之照明系統感知控制相關準則、規範或法規文獻收集發現國內目前尚無明確提供相關設置規定與設計準則。故本研究嘗試從全尺度實驗中有關照明系統感知控制節能實驗結果，提出裝設感控照明產品的準則，未來作為裝設於不同場所與空間區域之參考依循。本研究提出之建議如下：

1. 單一感應器專屬照明區域，如：樓梯間、走廊及騎樓處，視區域大小，調整偵測範圍為佳如圖 4-19。另收集使用者行經頻率與停留時間，以訂定節能照明之點燈時間。

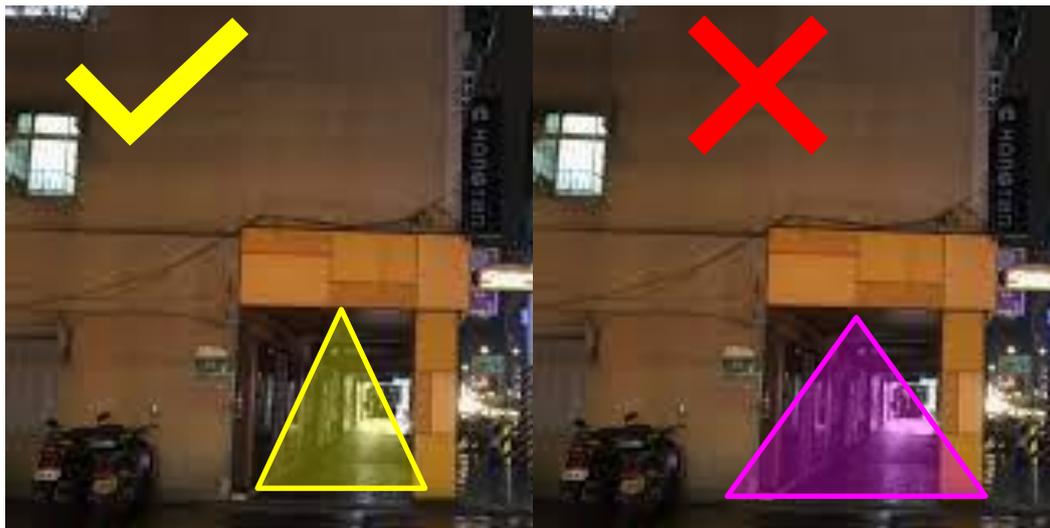


圖 4-19 偵測較佳範圍
(資料來源：本研究製作)

2. 兩個以上感應器設置，應視裝設的場地或空間類型組合而定。原則上，兩者感應偵測範圍無交錯，以感應圈邊緣切合為佳如圖 4-20。大空間場域之區域型照明感知控制，則以偵測範圍直徑作為等間距設置感應器如圖 4-21。

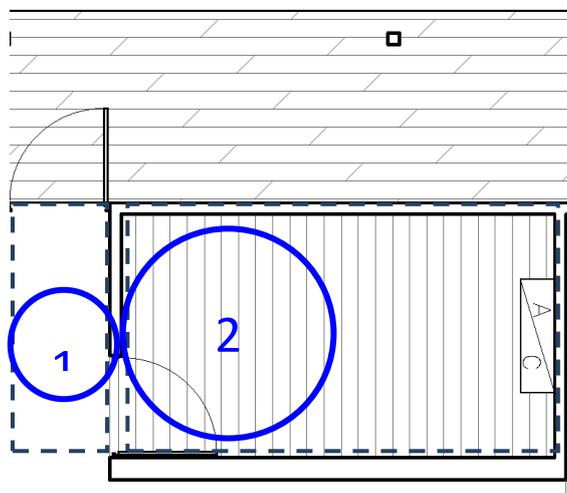


圖 4-20 感應偵測範圍圈邊緣切合
(資料來源：本研究製作)



圖 4-21 大空間場域之區域型照明感知控制
(資料來源：本研究製作)

第三節 智慧通風

壹、通風設備與智能系統平台建置

全熱交換機早期多用於工商業場所，保持空氣對流，為室內使用者（員工）提供舒適健康的工作環境，從而有效提升工作效率，增強生產力。因空氣污染漸趨嚴重，近年不少台灣業主為改善空氣品質，保持室內空氣流通及氧含量，故多選擇在家中安裝全熱交換機，甚至新蓋的住宅建築都已將全熱交換機作為單位標準配備。因此，本項智慧通風實驗著重在探討住宅居室安裝全熱交換機之智慧控制模式對空調耗能與室內空氣品質之影響。本實驗於貨櫃屋場域建立風管型全熱回收換氣機與 Acer 公司開發的 Air Monitor Pro 智能系統平台，並完成空調、照明設備連動控制之整合測試。如圖 4-22、4-23 所示為風管型全熱回收換氣機於室內與室外側裝設之現況。有關智慧通風控制功能測試，即 A 區(房間用途)的使用者於室內產生的 CO₂ 濃度設定達 800ppm 隨即觸動新風模式補充新鮮空氣，參圖 4-24、4-25 所示。此外，近期因疫情關係，實驗場域於使用前亦須要使用 75%濃度稀釋的酒精來清潔，故產生有機揮發性氣體恰

好可進行動作測試。倘若實驗場域週遭環境的空氣懸浮微粒過量，則此設備隨即啟動室內淨化模式。



圖 4-22 風管型全熱回收換氣機於室外側之現場圖
(資料來源：本研究製作)



圖 4-23 風管型全熱回收換氣機於室內側之現場圖
(資料來源：本研究製作)



(a)補新風模式

(b)內循環新風模式

圖 4-24 全熱交換器運轉功能測試模式
(資料來源：本研究製作)



圖 4-25 全熱交換器運轉測試期間，A 區室內偵測參數變化
(資料來源：本研究製作)

本實驗進行前，完成另一項工作為設置感知環境參數與設備連動運轉控制系統(Oplus)，它可使用電腦網頁版或手機 App 控制貨櫃實驗屋所建置之燈具、空調，以及全熱交換器，請參如圖 4-26 與 4-27，使用者可以依喜好設計多種情境，並結合相容於蘋果電腦產品 Homepod 的語音功能發送訊號，使增添使用者以語音控制方式之選項。

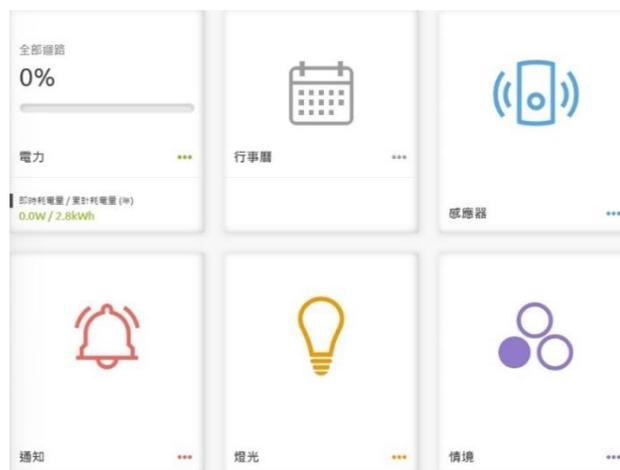


圖 4-26 Oplus 電腦網頁版
(資料來源：本研究製作)



圖 4-27 Oplus 手機 App 螢幕畫面
(資料來源：本研究製作)

貳、全熱交換機運轉性能試驗

本試驗由於目前國內尚未有依照 CNS-16494 規範建立的設備運轉性能檢測實驗室。於此進行方式以實場域空間試驗，了解具有三段風速切換運轉的設備(如圖 4-28)，實測得到室內供回風之風速範圍與設備耗能，參表 4-5。本試驗期間由使用者感受發現設備運轉噪音恐怕成為日後改善議題，故同時進行量測室內運轉噪音值，確實得到室內有高的噪音值，圖 4-29 之量測結果顯示三段風速運轉實測的噪音平均值大約在 64.1~65.4 dB 範圍，最低者也超過 60 dB。經本試驗結果獲得操作風速 1 有低的運轉噪音與耗能，而後續的全熱交換機啟動運轉性能測試，則以設定風速 1 進行。



圖 4-28 全熱交換機三段風速切換運轉用電測試
(資料來源：本研究製作)

表 4-5 室內供風 SA 與回風 RA 處之三段風速運轉量測

名稱	全熱風速 1	全熱風速 2	全熱風速 3
室內供風口	3.7~4.9 m/s	5.4~5.6 m/s	5.4~6.4 m/s
室內回風口	3.5~5.5 m/s	4~6.5 m/s	4~6.7 m/s

(資料來源：本研究製作)



圖 4-29 房間場域量測三段風速運轉之室內噪音值
(資料來源：本研究製作)

本試驗執行人員於房間居室場域，使用設備商建置 Oplus 監測平台收集記錄室內使用者產生的 CO₂ 濃度變化，人數約為 1~2 員。如表 4-6 實驗數據顯示，單人的使用者約 2~4 ppm/min，而兩員使用者 CO₂ 濃度產生率約 7~10 ppm/min，上述男性均為中等體型。

表 4-6 房間居室使用者人數產生之 CO₂ 濃度變化

居室人數	性別	第 1 次測試濃度值 (ppm)		計數時間 (分)	第 2 次測試濃度值 (ppm)		計數時間 (分)	人均 CO ₂ 濃度產生範圍 (ppm/分)
1	男	411	605	97	425	785	90	2~4
2	男	700	1004	45	499	967	50	7~10

(資料來源：本研究製作)

參、全熱交換機控制模式對室內空氣品質之影響

目前常用的全熱交換機之控制模式為排程設定模式與濃度設定模式兩種。所謂的排程設定模式是指全熱交換機的起停時間由中央監控系統的排程功能進行設定。濃度設定模式是指室內 CO₂ 濃度高於開啟設定值時全熱交換機啟動，待室內 CO₂ 濃低於關閉設定值時全熱交換機關閉，全熱交換機啟停週期取決於空間大小、人員數量。在智慧通風項目上，研究團隊探討上述兩種常見全熱交換機控制模式之差異。圖 4-30 為全熱交換機採用濃度設定模式之室內 CO₂ 濃度變化情形。當室內 CO₂ 濃度高於 800ppm 時，全熱交換機會立即自動開啟，補

充新鮮外氣以稀釋室內的 CO₂ 濃度；而當室內 CO₂ 濃度低於 500ppm 時，全熱交換機會立即自動關閉。由圖 4-30 之實驗數據可發現，在 2 個男生在 A 區域臥室（如圖 2-2）的情境下，全熱交換機採用濃度設定模式並控制開啟時間為 5 分鐘時，室內 CO₂ 濃度可被控制在 500~800ppm 的範圍內。圖 4-31 為全熱交換機採用排程設定模式之室內 CO₂ 濃度變化情形。全熱交換機的排程時間為每半小時開啟 5 分鐘與每小時開啟 5 分鐘兩種週期。實驗結果顯示雖然全熱交換機開啟後會降低室內 CO₂ 濃度，但室內 CO₂ 濃度無法被有效控制法規值(1000 ppm)內。

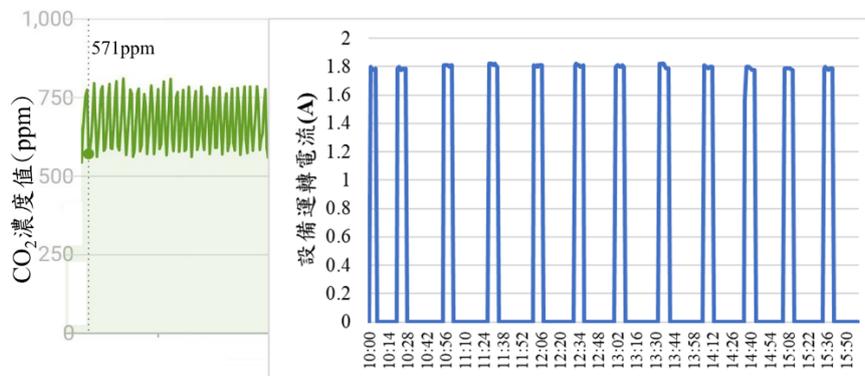


圖 4-30 濃度設定模式對室內 CO₂ 濃度之影響
(資料來源：本研究製作)

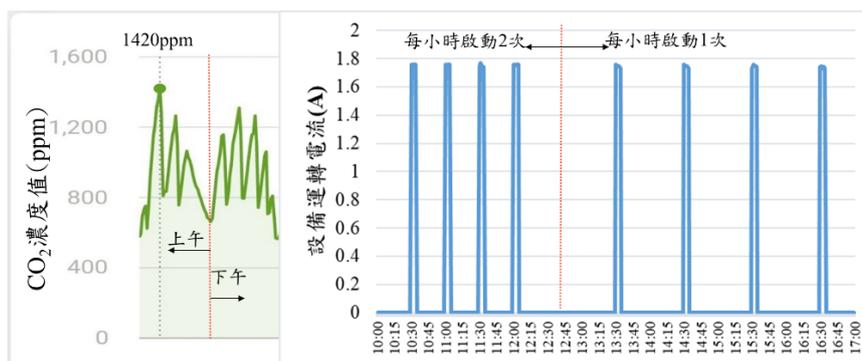


圖 4-31 排程設定模式對室內 CO₂ 濃度之影響
(資料來源：本研究製作)

本研究接著探討全熱交換機運轉時間（10 分鐘、15 分鐘）與啟停間隔時間對於室內 CO₂ 濃度之影響。表 4-7 之實驗結果顯示啟停間隔時間調整為 15 分鐘/次增加了全熱交換機運轉頻率，可使得室內 CO₂ 濃度均可被控制在 1000ppm

內。而運轉時間增加可使得室內 CO₂ 濃度下降到接近室外環境濃度。然而，全熱交換機的運轉時間增加也會增加設備的耗電量。

表 4-7 全熱交換機運轉時間與啟停週期對室內 CO₂ 濃度與設備用電量之影響

全熱交換機狀態	控制週期 1			控制週期 2			控制週期 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
啟動時濃度	694	619	552	610	523	534	518	480	468
關閉時濃度	567	525	505	464	457	446	439	429	430
運轉時間	5min			10min			15min		
間隔時間	15min			15min			15min		
設備總用電 (Wh)	95			192			289		

(資料來源：本研究製作)

肆、全熱交換機控制模式對室內熱環境與空調耗能之影響

本項試驗設定全熱交換機以排程運轉模式控制，運轉時間分別為 5、10、20 分鐘，量測運轉時間對室內供回風溫度的影響。如圖 4-32 所示，室內回風溫度其實就是代表居室的平均溫度，也是空調機溫度控制的依據。當隨著啟動運轉時間增加，造成居室內受到外氣進入的熱得增加而影響室內空調溫度的維持。實驗結果得知當啟動運轉時間為 5 分鐘的狀態下室內供回風溫度差最大（約 7°C），因短時間的熱得對空調區間的環境溫度影響小且在控制設定值內，亦即造成室內空調負載的時間短。當全熱交換機啟動運轉時間增加為 10 與 15 分鐘時，居室內受到外氣進入的熱得增加而使得室內供回風溫度差下降到 6°C 與 5°C。全熱交換機啟動運轉時間增加會提高室內回風溫度，不僅造成空調負載增加而增加空調機耗電量，也造成全熱交換機的有效度衰減。總體而言，全熱換氣機運轉時間長會增加設備總用電（全熱交換機加空調機）。

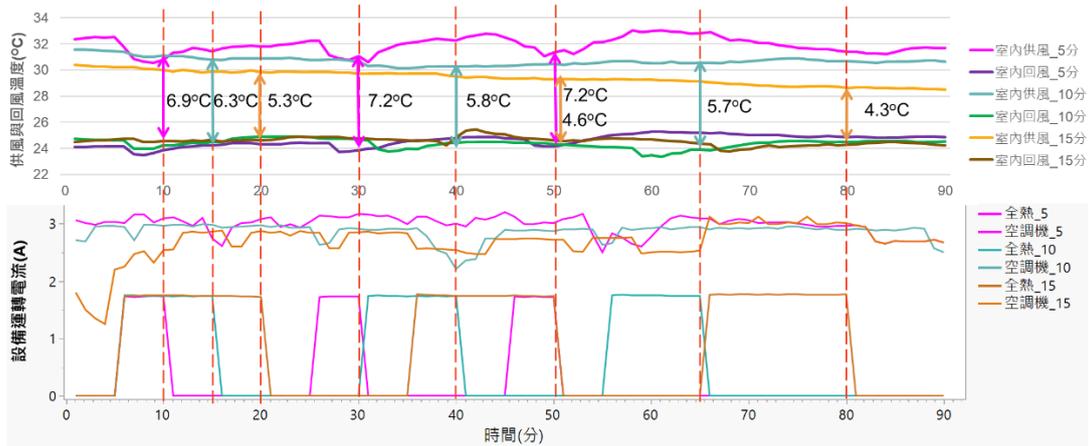


圖 4-32 全熱交換器於不同設定運轉時間之室內供回風溫度與設備運轉電流變化

(資料來源：本研究製作)

表 4-8 為參考前述計算全熱交換設備運轉性能之公式，將量測得到的即時溫溼度記錄數據代入獲得之全熱交換器運轉的總體有效度。當外氣溫度高時，室內排出的冷能回收效率低，亦即整體有效度不佳。當外氣溫度高於 32°C，啟動全熱交換器運轉的總體有效度是明顯衰退的。本結果可提供做為智慧通風之動態節能控制方式，主要是避免高溫外氣時段，又必須啟動換氣機的情況下，以短暫啟動或暫時犧牲室內標準空氣品質的要求。

表 4-8 不同外氣溫度啟動全熱交換器運轉性能試驗結果

外氣溫度(°C)	28.8	29.3	31.1	31.7	32.7
整體有效度 ϵ (%)	56~63	42~54	40~56	12~22	7~18

(資料來源：本研究製作)

伍、全熱交換機送風口位置對空調耗能之影響

為了探討在居室安裝全熱交換器，其室內送風口與空調機之間相對位置對空調機能耗之影響，本項實驗設計全熱交換器之室內送風口距離空調機的距離僅有 30 公分，初步判斷距離空調機過近之室內送風口將會使得新鮮空氣進入室內後產生氣流短路，進而影響空調耗能。因此，本研究透過加裝隔板探討全熱交換器送風口位置對空調耗能之影響性（如圖 4-33 所示）。圖 4-34 之實驗結果顯示，在無隔板設計的實驗條件下，濕熱的外氣會立即成為室內空調熱得造成

空調負載，使得空調機的耗電量增加。在原本空調機在高負載的狀態(A)下，無隔板的空調機運轉電流較有隔板的空調機運轉電流高，並且在全熱交換器關閉後，無隔板的空調機達到穩定運轉的時間也較有隔板的條件高。而在空調機為部分空調負載運轉狀態(B)下，無隔板的實驗結果顯示，啟動全熱交換機後空調系統立即加載反應，而當全熱交換機關閉後，空調機為控制室內溫度在設定空調溫度 26°C，自加載起始至達到穩定狀態的時間約 20 分鐘。本試驗結果推估全熱交換器送風口位置安裝太過靠近空調機(無隔板條件)，將獲使得空調機運轉平均能耗增加 15%以上。因此，本研究建議全熱交換器設置室內供風口的位置應當特別留意，防止全熱交換器與空調機產生氣流短路之現象發生。



圖 4-33 全熱交換室內供風口與空調機之間無隔板(左)影響空調機回風溫度
(資料來源：本研究製作)

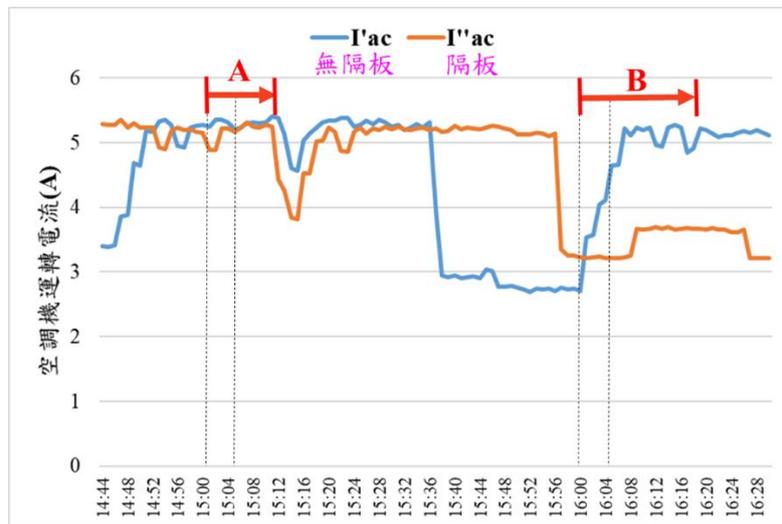


圖 4-34 全熱交換器室內供風口與空調機之間相對位置，對空調機能耗之影響
(資料來源：本研究製作)

第四節 使用者中心控制技術之節能量化效益評估

承前所述研究方法使用我國開發的建築能源模擬分析平台(BESTAI)軟體工具，以貨櫃實驗屋建築為對象進行建模，並且將相關建材性質、內部負載、設備運轉排程、空調機性能規格與數量等資訊進行設定，如表 4-9 所列。其中，建築外觀設定之尺寸與窗牆比，必須依照圖 4-35 所示建築面向填入正確值。最後選定建築座落縣市之氣候區(如圖 4-36)，完成建築能源模擬分析。

表 4-9 貨櫃屋建築模擬相關輸入設定資訊

建築外觀					
建物名稱	樓層數	建築正面朝向	建築尺寸	窗牆比	外牆結構
貨櫃屋	1	西	長:12m 寬:6m 高:3m 室內高度:2.2m	正面:0.65 背面:0.30 左面:0.85 右面:0.31	屋頂 U 值:1.0W/m ² .K 外牆 U 值:2.0W/m ² .K 窗戶 U 值:6.16W/m ² .K 窗戶 SHGC:0.3977 窗戶可見光穿透率:0.4437
內部負載					
員工人數	顧客數/時	室內照明(名稱/功率/數量)		室外照明	運轉設備(如電腦伺服器、列表機、電風扇或冷凍冷藏設備等)
2	1	圓形嵌燈，功率:15W，數量:21。 層板燈，功率:23.7W，數量:4。		0	0
排程設定					
人員排程		室內照明		室外照明	運轉設備(24hrs/非24hrs)
平日時間	負載率	平日時間	負載率	負載率	負載率
9:30~17:30	1	9:30~17:30	1(全開)	0	0
空調設定					
空調種類	設定溫度值	冷房能力(kW)	能源效率值(kW/kW)	平日時間	負載率
小型空調	26°C	4 台	4.3 4.3	9:30~17:30	1(開)

(冷氣機)		(2.2 kW / 台)	4.3		
			4.3		
	1 台(2.3 kW)	3.95			

(資料來源：本研究製作)



圖 4- 35 建築外觀設定尺寸與窗牆比之示意畫面
(資料來源：本研究製作)

氣候區選擇

北部 基隆 台北 板橋 淡水 新竹 竹子湖(陽明山) 新屋(桃園) 竹南(苗栗)

中部 台中 日月潭 梧棲(台中)

南部 嘉義 台南 高雄 恆春 永康(台南) 阿里山(嘉義)

東部 宜蘭 花蓮 台東 大武(台東) 成功(花蓮) 蘇澳(宜蘭)

離島 金門 澎湖

自訂 +

本平台採用氣象資料，由GREEN BIM微氣候資訊平台及ICDI 國際氣候發展智庫合作提供，該氣象資料具本土代表性，使解析結果更貼近實際應用情境。

友站連結：
 GREEN BIM微氣候資訊平台 <http://www.weatherservice.org.tw/>
 ICDI 國際氣候發展智庫 <https://www.icdi.network/>



圖 4-36 建築標的物所在地之氣候區選擇
(資料來源：本研究製作)

下顯示圖 4-37 與表 4-10 為模擬貨櫃實驗屋未實施節能控制之全年逐月電力消耗情形，統計全年用電總和為 1,762 kWh。

表 4-10 貨櫃實驗屋未實施節能控制之全年逐月電力消耗統計

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總和
內部設備	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
內部照明	77	70	77	77	73	77	80	73	77	77	73	80	911
外部照明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冷氣	13	28	17	42	80	130	118	113	126	84	52	28	831
風扇	0	1	0	1	2	3	3	3	3	2	1	1	20
總和	90	99	94	120	155	210	201	189	206	163	126	109	1,762

(資料來源：本研究製作)

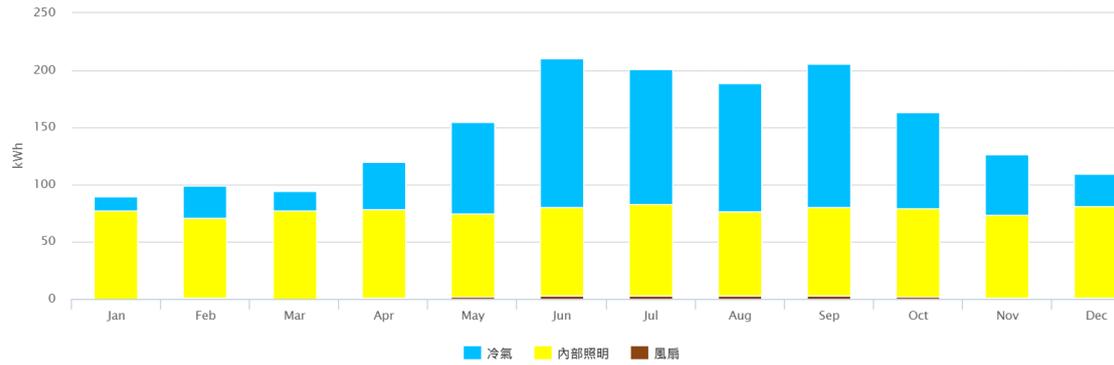


圖 4-37 貨櫃實驗屋未實施節能控制之全年逐月電力消耗
(資料來源：本研究製作)

接著，模擬評估實施人員感知照明控制、高效能空調機控制策略、電致變色玻璃隔熱及全熱交換器等技術，而獲得節能效益結果如下。

■ 人員感知照明

表 4-11 貨櫃實驗屋實施感控照明之全年逐月電力消耗統計

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總和
內部設備	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
內部照明	31	28	31	31	29	31	32	29	31	31	29	32	365
外部照明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冷氣	11	24	13	36	73	122	110	106	119	77	46	23	760
風扇	0	1	0	1	2	3	3	3	3	2	1	1	20
總和	42	53	44	68	104	156	145	138	153	110	76	56	1,145

(資料來源：本研究製作)

如表 4-11 顯示實施感控照明之全年用電統計總和為 1,145 kWh，相較於未實施控制技術之建築能耗節約 35%。自圖 4-38 所示可明顯看出照明用電佔比減少。

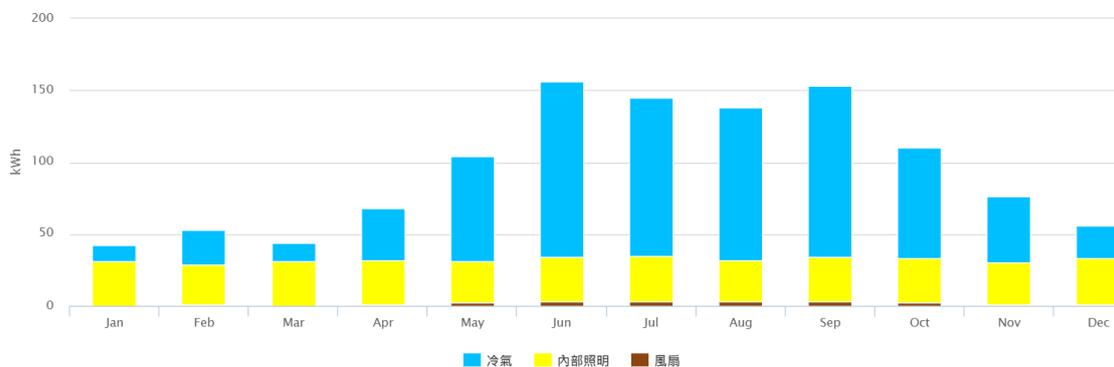


圖 4-38 貨櫃實驗屋實施感控照明之全年逐月電力消耗
(資料來源：本研究製作)

■ 人員感知照明與高效能空調機

如表 4-12 顯示實施感控照明與高效能空調機之全年用電統計總和為 886 kWh，相較於未實施控制技術之建築能耗節約 50%。若單一來看實施高效能空調機，則節約 15%建築消耗電力。

表 4-12 實施感控照明與高效能空調機之全年逐月電力消耗統計

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總和
內部設備	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
內部照明	31	28	31	31	29	31	32	29	31	31	29	32	365
外部照明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冷氣	7	16	9	24	48	81	73	70	78	50	30	15	501
風扇	0	1	0	1	2	3	3	3	3	2	1	1	20
總和	38	45	40	56	79	115	108	102	112	83	60	48	886

(資料來源：本研究製作)

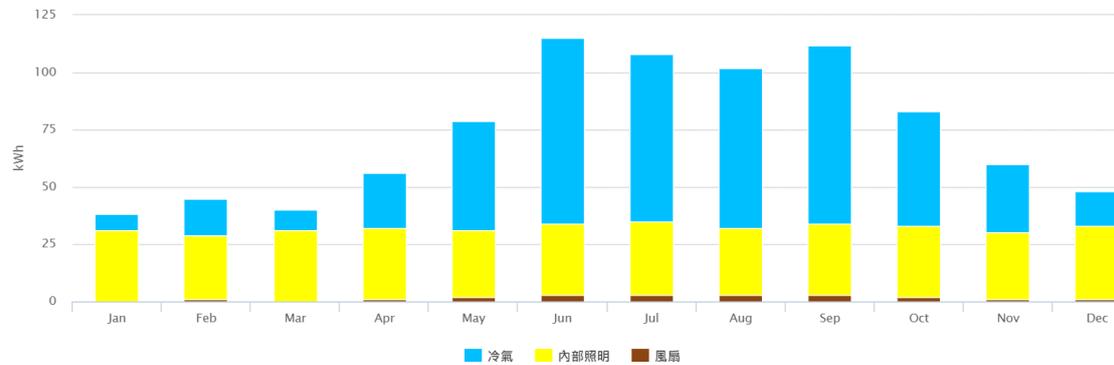


圖 4-39 實施感控照明與高效能空調機之全年逐月電力消耗

(資料來源：本研究製作)

■ 人員感知照明、高效能空調機與電致變色膜

如表 4-13 所示實施三項技術(感控照明、高效能空調機與電致變色膜)之全年用電統計總和為 845 kWh。單一實施電致變色膜，為建築帶來 2%電力節約。此三項技術組合實施，相較於未實施控制技術之建築能耗節約 52%。

表 4-13 實施感控照明、高效能空調機與電致變色膜之全年逐月電力消耗統計

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總和
內部設備	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
內部照明	28	26	28	28	27	28	29	27	28	28	27	29	333
外部照明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冷氣	7	15	8	23	47	80	72	69	77	50	30	14	492
風扇	0	1	0	1	2	3	3	3	3	2	1	1	20
總和	35	42	36	52	76	111	104	99	108	80	58	44	845

(資料來源：本研究製作)

■ 人員感知照明、高效能空調機與全熱交換器

如表 4-14 所示實施三項技術(感控照明、高效能空調機與全熱交換器)之全年用電統計總和為 966 kWh。其相較於未設置全熱交換器之建築能耗增加 5%。事實上，全熱交換器是一項用電設備，主要目的在於維持室內良好空氣品質，無助於建築能耗的節約。

表 4-14 實施感控照明、高效能空調機與全熱交換器之全年逐月電力消耗統計

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總和
內部設備	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	71
內部照明	31	28	31	31	29	31	32	29	31	31	29	32	365
外部照明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冷氣	7	16	9	25	49	82	74	71	79	51	31	16	510
風扇	0	1	0	1	2	3	3	3	3	2	1	1	20
總和	44	50	46	63	86	122	115	109	119	90	67	55	966

(資料來源：本研究製作)

本節完成模擬評估智慧建築之節能控制技術，得到實施人員感知照明控制、高效能空調機控制策略、電致變色玻璃隔熱等三項技術組合有高的節能效果。但以經濟效益考量，感控照明技術是一項優先實施的選項。同時，可將此量化的效益結果用以評估達成 2050 碳中和情境之效益。

第五節 2050 淨零碳排之節能效益衝擊評估

評估方式以住宅類建築(住宅與集合住宅)專用的能效評估系統 R-BERS (Building Energy-Efficiency Rating System for Residential Buildings)，為內政部建築研究提出之台灣建築能效評估系統 TBERS (Taiwan Building Energy-Efficiency Rating System)中的次系統。本評估以獲得候選證書之南部社宅為例(圖 4-40)，該社宅包含地下 3 樓、地上 12 樓(見表 4-15)。原有設備為 1.節能效率 3 級之熱水器(保溫管材)，2.節能效率 3 級之瓦斯爐台(鹵素爐)，3.無節能標章之送排風機，4.使用變頻永磁馬達之電梯。若加入使用者為中心之控制技術，使得智慧外殼能提升 EEV 至 0.5 (居室內不變)，智慧照明可提升 EL 至 0.4、β 至 0.75(公共空間)，並於地下室新增有標章之排風設備用以感測 CO₂ 濃度，綜合以

上三項具 OCC 智慧控制技術，其相較於取得候選證書之住宅建築減碳率再提升 3.3%見表 4-16。

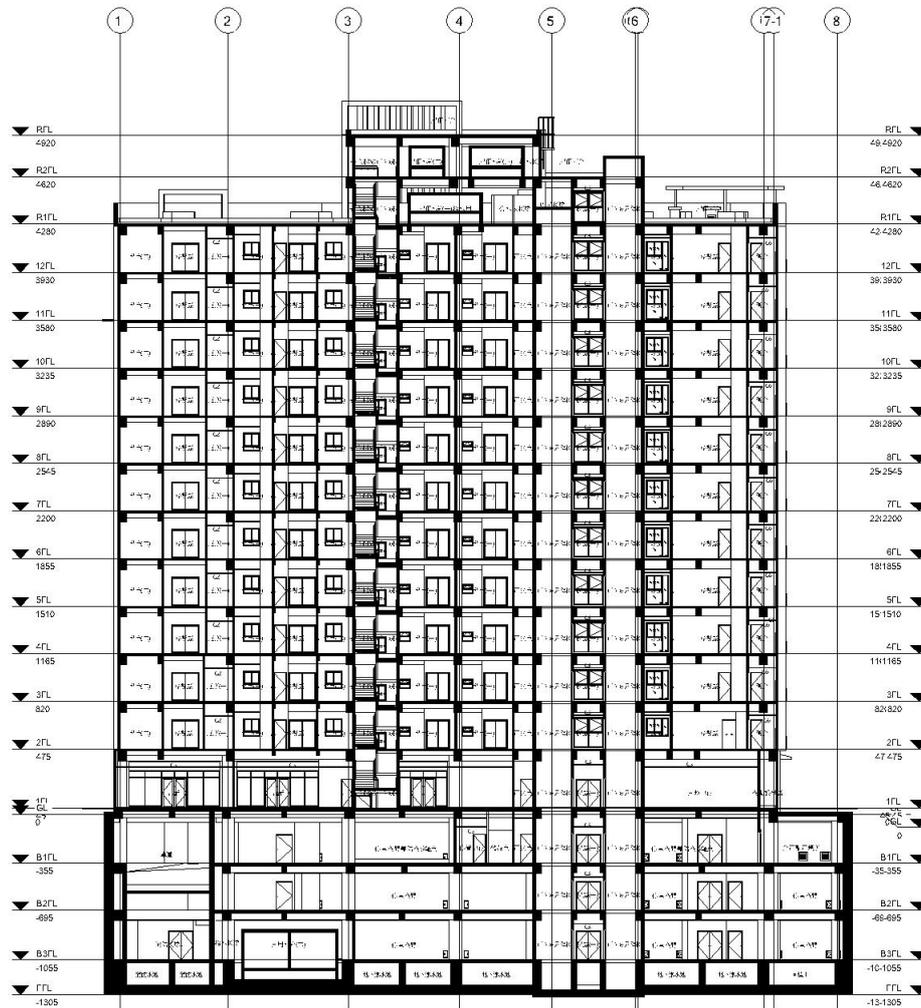


圖 4-40 獲得候選證書之南部社宅
(資料來源：本研究製作)

表 4-15 社宅詳細資訊

	店面面積	社福面積	大廳面積	梯廳面積	公設面積	B1 面積	B2 以下面積	住宿面積
EEV	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35			0.35
EAC			0.8	0.8	0.8			0.61
EL			0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.4
面積(%)	0.99%	3.87%	0.62%	1.33%	1.05%	13.38%	26.76%	52.01%
面積合計	174.67	685.07	109.87	235.02	185.57	2371.17	4742.34	9217.67

(資料來源：本研究製作)

表 4-16 社宅與 OCC 技術減碳率

	候選證書	情境一 智慧外殼	情境二 智慧照明	情境三 智慧排風	情境四 (1+2+3)
CEI _m 碳排密度中位值 (kgCO ₂ /(m ² .yr))	39.21				
CEI _n 近零碳建築碳排密度 基準值(kgCO ₂ /(m ² .yr))	27.45				
CEI* 碳排密度指標 (kgCO ₂ /(m ² .yr))	30.47	30.46	29.92	29.73	29.17
CRR(減碳率) CRR=1.0 - CEI*/CEI _m	22.29%	22.31%	23.70%	24.17%	25.59%

(資料來源：本研究製作)

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究計畫依循計畫目標與進度規劃，逐步達成利用提升智慧建築設備節能效益之目標。完成之工作項目與成果如下：

1. 使用者為中心之文獻分析與探討：本研究團隊廣泛收集各種使用者為中心控制技術於智慧照明、智慧空調與智慧外殼之學術發表文獻以及現行相關智慧控制之標準規範。了解使用者為中心控制技術之定義與使用者為中心控制技術目前發展之現況與瓶頸。
2. 智慧照明節能效益全尺度實驗：本研究結果發現目前最常用的人員感應偵測器（PIR 紅外線人體感測、微波感應）之智慧照明技術之裝設位置、感應範圍與啟動時間為影響照明系統耗電量之主要因素。採用人員感應偵測之智慧照明系統必須在裝設位置與感應範圍的設定可以採用類似消防灑水系統設置方法達到最佳化的配置。人員感應偵測智慧照明系統之啟動時間設定必須考量設置場域使用目的與人員停留時間。人員感應偵測智慧照明系統之耗電量可由如下公式： $\text{單位照明燈具耗電量(kW)} \times \text{啟動時間(小時/次)} \times \text{使用頻率(次)}$ 求得。微波感應器較為敏感且有穿牆感應現象，容易誤動開燈，適合用在大面積區域（如地下停車場）之智慧照明上。PIR 紅外線人體感測器適合於小面積區域（例如：廁所、走道、茶水間）之智慧照明上。再者，利用聲控照明是可以讓使用者主動控制照明，但是使用者若忘記關燈，便會造成耗電的情況。
3. 智慧調光窗戶節能效益全尺度實驗：根據電致變色膜光學性質量測結果顯示，電致變色膜調光功能主要是調整可見光波長之太陽輻射穿透率與擴散方式，對於紅外線穿透率之影響不大。因此，本研究計畫在面西南落地窗採用電致變色膜之實驗結果發現電致變色膜開啟狀態時，玻璃轉變為不透明狀態，原本直射室內的光線轉變為漫射進入室內，室內照度雖會降低，但仍可維持符合規定

(500Lux)的室內光環境。再者，電致變色膜阻擋了可見光的穿透導致進入室內的熱量減少，故在本研究之貨櫃屋實驗場域中，電致變色膜可降低5%的空調耗電量。

4. 智慧通風節能效益全尺度實驗：本研究發現安裝全熱交換器雖然會使室內空氣品質保持在法規值之下，但是引進的外氣依然會造成空調負載，而增加空調耗能。全熱交換器若以開啟時間作為控制參數，則無法有效地使得空調耗電增加量達到最小，因此，導入使用者為中心的控制技術，可能達到空調耗電與室內空氣品質的最佳化。

第二節 建議

本研究計畫探討以使用者為中心之控制技術對智慧建築節能效益提升為主要目標，藉由本研究收集世界各國相關專利與文獻，並加上全尺度實驗佐證，擬定實際確切的專利技術與發展方向。為擴大本研究產出後續實質成果，提出下列建議：

建議一

「以使用者為中心之智慧建築控制技術」專利申請：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

建議本研究計畫所產出之「以使用者為中心之智慧建築控制技術」，可依據「政府科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法」相關規定，申請台灣的新型專利。並且在專利獲證以非專屬授權方式授權於私立學校、私立研究機關（構）、法人、團體、公司等，於中華民國（指臺灣、澎湖、金門、馬祖及其他附屬島嶼）境內，進行本技術之使用。

建議二

舉辦智慧建築節能效益技術開發與應用之推廣講習：中長期建議

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、社團法人台灣智慧建築協會

現階段國內建商、建築業、專業智慧建築廠商對如何準確以節能導向進行建築智慧化設計似乎尚未清楚掌握，而一般民眾對於智慧建築具體效益等認知也是薄弱，因此如何有效發揮智慧建築技術之最大性能效益，乃是提升國人住居品質與邁向淨零減碳當務之急。故本研究建議將本研究結果彙整成教材，融入在智慧建築標章相關之講習中，針對建築產業相關人士團體與一般民眾進行推廣及辦理系列技術說明講習示範。

附錄一 期初會議審查回覆

項次	評選意見	廠商回應
1	<p>1. 服務建議書 P.8 載述在澳大利亞的兩棟辦公大樓進行兩個「冬天」(51,10 天)商業建築 HVAC 監控實驗-冬天是指 11 月至隔年 2 月間?還是南半球的「冬天」?</p> <p>2. P.9 載述於新加坡國家的研究實驗大樓進行 5 個月的決定 HVAC 運轉設定值的實驗;這兩個實驗場地是不是貨櫃屋?</p> <p>3. 則服務建議書 P.5,P.13~P.15 以貨櫃屋做全尺度實驗驗證,是否要/如何祛除「外周區」?</p>	<p>1. 該研究實驗其 HVAC 系統於澳大利亞兩個辦公大樓中,而實驗的季節為冬天是指南半球的冬天,也就是 7 月至 8 月。</p> <p>2. 回覆委員有關新加坡研究兩個實驗場地確實非為貨櫃屋。</p> <p>3. 本案實驗所使用的貨櫃屋,其 U 值與一般建築物相似。實際上,整棟貨櫃實驗屋包含內外周區,外周區的影響將在是智慧外殼實驗項目的重點,其餘兩項實驗則與外周區無關。</p>
2	<p>1. 建築智慧化的主要效益包括安全、舒適方面、及節能,如何藉由智慧管理技術提升建築能源效率,請問應用使用者為中心的控制與一般技術有何異同?</p> <p>2. 請問使用者為中心控制技術的核心理論為何?應用可行性為何?</p>	<p>1. 一般技術可分手動控制與自動控制。使用者為中心控制(OCC)可以避免因人不受限地手動控制而造成能源浪費;此外,也能顧慮使用者舒適度及衡量兩者控制權重或同時多位使用者,則能決策優先使用者之需求,以改善一般技術控制上的問題且提升安全、舒適及節能效益。</p> <p>2. 本技術的核心理論為,收集使用者行為、室內外環境變化等等數據,令系統學習或獲得資訊,以回饋控制建築物。應用例子如:外殼遮陽、照</p>

		明、空調系統等。
3	<p>1. 簡報 P.5 研究內容有涉及成熟度，發展藍圖，效益之數值模擬評估，或效益均宜量化及可查核。</p> <p>2. P.16 所需之量測儀依本計畫無編列相關預算採購，如何取得所需量測儀器以利研究。</p>	<p>1. 本處提及成熟度與發展藍圖，實際上係以技術評估機制 TRL 從基礎應用研究、技術發展、產品/系統開發，乃至商業化運行/量產等階段來建立發展藍圖。另委員提到可查核的效益，尤以數值模擬評估。研究團隊擬用於建築外殼、通風、照明系統之 OCC 技術控制來模擬獲得節能效益。藉由改善建築耗能密度指標且設定建築類別與棟數現況，可估算出量化效益，以備查。接續，本團隊將於服務建議書補充。</p> <p>2. 本計畫預計使用實驗屋之既有設備與量測儀器，將由過去研究團隊與相關產品開發廠家合作進行驗證性產學合作計畫，以及歷年執行科技部、內政部提供計畫經費購置儀器尚能續用，故於本計畫無須編列相關預算採購。</p>
4	<p>1. 期待本案具體提出建築外層智慧化，空調設備智慧化，照明設備智慧化，交互作用之各種情境之流程或方塊圖，亦即智慧化建築標章中系統整合之具體呈現(類似專家決策模型，但更應以 AIoT 的趨勢下的模型)。</p> <p>2. 量化效益一向是智慧建築最受關注質疑的問題點，本案從節能效益切</p>	<p>1. 感謝委員建議，本案參採委員建議，製交互作用情境流程或方塊圖，後續進行服務建議書之內容補充。</p>

	<p>入應能較為可行，建議並能勾勒構思其他如安全監控，便利舒適等面向可能評估方向。</p> <p>3. 建議加強外殼、空調、照明智慧化之系統整合連動控制技術建置。</p>	<p>2. 謝謝委員的建議，本研究除了將節能效益量化為主要目標外，全熱交換器的連動項目亦包含便利舒適指標之內涵，本研究團隊未來亦會針對安全監控等其他智慧建築標章面向提出相關效益評估之參考依據。</p> <p>3. 參採委員建議，本計畫業以此方向努力。期以透過全尺度實驗擬定的5項工作印證比較控制效益，並從中找出最節能的連動控制模式，以完成技術建立。</p>
--	---	--

附錄二 第一次專家座談會議記錄

一、時間：111年06月24日(星期四)上午09時30分

二、地點：內政部建築研究所性能實驗中心 會議室

三、主席：李教授訓谷

記錄：林惟榮

四、出席委員：杜總經理威達、江總顧問哲銘、陳副教授震宇、
林研究員霧霆

五、會議記錄

委員	委員意見/建議	研究團隊回應
杜總經理威達	<ol style="list-style-type: none"> 1. 明確定義節能績效。 2. 建置虛擬實驗並與實際實驗進行驗證。 3. 建置基線實驗，作為實驗比較依據。 4. 實驗之燈光偵測範圍，未來可作為法規訂定之參考依據 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究團隊將於期中後定義明確節能績效。 2. 本研究團隊將建置模擬實驗，用於日後與實驗進行比較。 3. 本研究團隊設計基線實驗，作為模擬及實驗的對照。 4. 感謝委員之建議，本研究團隊將會繼續實驗及驗證，於未來提出研究成果作為法規訂定參考依據
陳副教授震宇	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究方針著重於提升技術還是技術應用。 2. 如何評估節能效益。 3. 使用者中心目標達到舒適還是節能。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究團隊於三個實驗中，皆有技術的應用，而有些技術有其限制，研究團隊將其記錄，做為建議提供給廠商或是未來的研究人員。 2. 本研究團隊將參考上述委員建議，設計基線實驗作為比較依據，以此驗證實驗節能效益。 3. 由於使用者中心控制，是期望在達到節能效益的情況下，也能帶給使

		<p>用者舒適感，而本研究在探討節能的過程中，也同時收集使用者的反饋，應於日後取得節能與舒適度之平衡。</p>
江總顧問哲銘	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將淨零架構更多納入研究。 2. 智慧建築標章之詳述以及科學化的內容。 3. 居住空間類型確立與分析。 4. 研究對象的確立，包含其行為，年齡等等，藉由文獻分析定義。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 此部分研究團隊將參照委員意見將淨零架構歸納進研究中。 2. 本研究團隊將參照委員建議，於研究中詳述智慧建築標章及科學化內容。 3. 目前研究團隊已確立是以居家空間類型為一般居家住宅，以此進行實驗與分析。 4. 研究團隊將藉由分析文獻，探討不同使用者之行為、年齡、體格等等，以此確立實驗之研究對象。

六、開會通知單與出席人員名單

檔 案：
保存年限：

「應用使用者為中心之控制技術提升智慧建築節能效益研究」

李訓谷 開會通知單

地址：711015 台南市歸仁區中正南路一段 2502 號
聯絡人：林詩頻
電話：06-2300440
電子郵件：apple25852002@gmail.com

受文者：內政部建築研究所
發文日期：111 年 6 月 20 日
發文字號：無
類別：普通
密等及解密條件或保密期限：
附件：會議議程

開會事由：「智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫協同研究計畫」第 2 案「應用使用者為中心之控制技術提升智慧建築節能效益研究」專家座談會。

開會時間：111 年 6 月 23 日(星期四)上午 9:00

開會地點：內政部建築研究所性能實驗中心 會議室

主持人：李教授訓谷

出席者：內政部建築研究所(敬請派員指導)、台灣永續綠營建聯盟 江哲銘總顧問、成功大學陳震宇教授、社團法人美國冷凍空調工程師協會台灣分會杜威達理事長

列席者：蔣助理研究員鎮宇、林研究助理惟榮、林研究助理詩頻

協同主持人：李訓谷



內政部建築研究所會議出席簽到表

計畫名稱：內政部建築研究所「智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫協同研究計畫」

第2案「應用使用者為中心之控制技術提升智慧建築節能效益研究」

會議時間：111年6月23日(四) 上午9:00

姓名	單位	職位	簽章	備註
江哲銘	台灣永續綠營建聯盟	總顧問	江哲銘	
陳震宇	國立成功大學建築系	教授	陳震宇	
杜威達	社團法人美國冷凍空調工程師協會 台灣分會	理事長	杜威達	
蔣鎮宇	國立成功大學	助理研究員	蔣鎮宇	
林惟榮	國立成功大學	研究助理	林惟榮	
林詩頻	國立成功大學	研究助理	林詩頻	
林霧霆	內政部建築研究所	研究員	林霧霆	
李訓谷	國立成功大學	組長	李訓谷	

計畫協同主持人：李訓谷



七、會議記錄之情況

附錄二 第一次專家座談會議記錄



附錄三 第二次專家座談會議記錄

時間：111年7月8日(星期五)下午02:00~04:30

地點：內政部建築研究所性能實驗中心 會議室

簡報人：李訓谷 計畫協同主持人

出席委員：內政部建築研究所 林研究員霧霆、
永續綠營建聯盟 江總顧問哲銘、崑山科技大學 郭教授崇仁、
社團法人美國冷凍空調工程師協會台灣分會 杜理事長威達、
亮鉅股份有限公司 張副總經理文奎、榮晉開發股份有限公司 胡董事長榮哲、
內政部建築研究所 林研究員谷陶

列席人員：林研究助理惟榮

會議記錄：林研究助理惟榮

會議內容：

一、主席致詞(略)

二、計畫團隊進度報告

- 1.計畫緣起(略)
- 2.研究方法(略)
- 3.文獻探討(略)
- 4.使用者為中心的控制技術之應用
- 5.實驗結果與討論
- 6.結論與建議

郭教授崇仁：

- 1.提出微波感應器實驗結果之限制，以及增加紅外線感應器的實驗。
- 2.實驗中行經感應器計算啟停次數，因人流可能導致實驗誤差，需考量進實驗的設計。
- 3.全熱交換器使用尚未普及，可考慮以空調設備為實驗設備。

杜理事長威達：

- 1.設計空白實驗。
- 2.將節能績效量化。
- 3.該計畫可持續發展為長期計畫。

張副總經理文奎：

- 1.冷氣機規格需經過挑選，其影響實驗結果。
- 2.將基線實驗與模擬對照，以進行評估。
- 3.新增客廳模式。
- 4.智慧照明實驗可增加照度、攝溫等變數探討。

胡董事長榮哲：

- 1.OCC 技術對於 2050 碳中和的評估之預設情境為何？

江總顧問哲銘：

- 1.探討舒適性、健康性與節能程度的平衡。
- 2.進行精準個人化調控的實驗。
- 3.增加自動調控實驗。
- 4.因應不同使用者，不同空間及使用狀況，設計更多不同模式實驗。

林研究員霧霆：

- 1.OCC 文獻分析，可提出更多文獻及案例。
- 2.實驗可以將電動窗簾列為應用之參考。

林研究員谷陶：

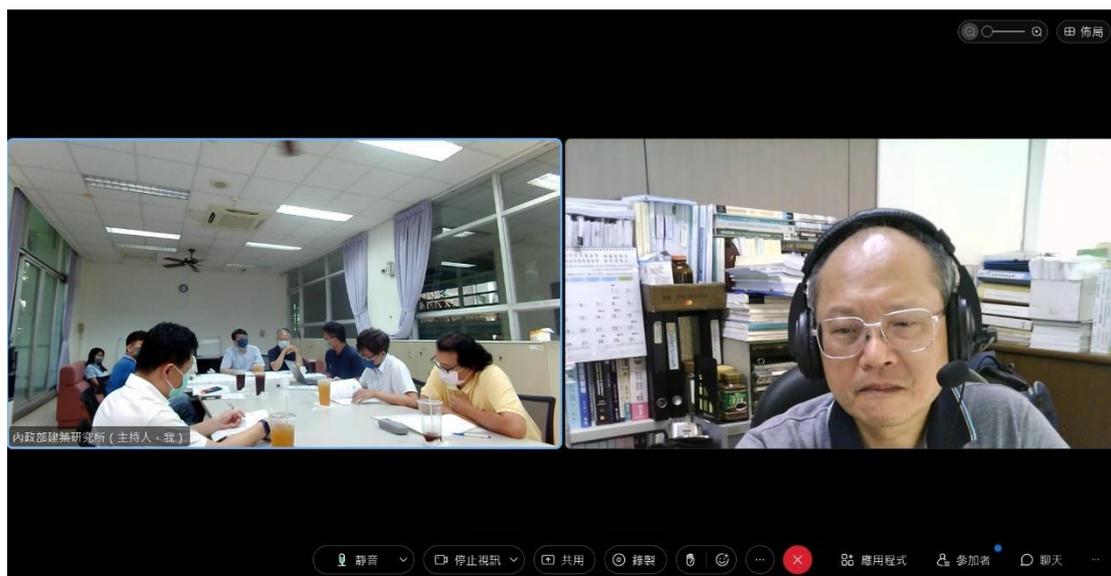
- 1.空間設置感應器數量及位置，經過實驗後，提供具體裝設建議。
- 2.研究對象的確立，包含其行為，年齡等等，藉由文獻分析定義。

李訓谷：

- 1.設計實驗對照之空白實驗。
- 2.本研究會參採委員意見，將可能導致實驗誤差之因素例如人流，冷氣機規格等列入實驗設計考量。
- 3.空調無法控制設備，僅能測試設備節能效益，因此選用全熱交換器。
- 4.本研究將持續收集數據並搭配模擬以此量化節能績效。
- 5.研究團隊參採委員意見，新增客廳模式及自動控制實驗，並加入不同變數以此探討。
- 6.本研究實驗可以根據不同使用者以及空間進行設計，並且探討舒適性與節能之間的平衡
- 7.期末將補充更多資料包含文獻及案例，並由此定義出該研究之對象。
- 8.藉由實驗得出結論於未來將提出感應器之裝設原理，包含感應器數量及裝設位置。

會議記錄之情況：





附錄四 期中會議審查回覆

委員	委員評選意見	廠商回應
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. 智慧建築的推廣，過去並沒有達到預期的效果。未來智慧建築對節能減碳十分重要，本計畫具有重要性。 2. 是否可訂出節能效率的目標？如電腦機房的PUE指標。 3. 是否也應研究舒適度和能源使用的關係？舒適度是否可量化？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員提示，本團隊努力展現成果，以彰顯計畫的重要性。 2. 基本上，建築能效可由能耗密度EUI的變化，來得知節能改善之成效。依不同建築類型統計而訂出之EUI門檻值作為目標，或可超越。 3. 本案實驗所使用的貨櫃屋，其U值與一般建築物相似。實際使用整棟貨櫃屋的內部環境溫度並未有一般貨櫃炙熱的感受。本案研究在於節能，如將舒適度納入，僅憑使用者主觀的舒適度無法量化，更且不夠客觀。展望未來計畫能有感測舒適度的儀器設備，方可使之量化。
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案以使用者為中心探討應用於智慧照明、智慧空調與智慧外殼之智慧建築節能效益，並導入淨零建築概念，研究目標與預期成果明確。 2. 建議強化使用者生活應用情境及使用行為定義，並模擬分析不同使用者。 3. 智慧照明之應用建議可 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員明察本案研究目標與預期成果。 2. 謝謝委員建議。未來擴展計畫可朝著強化的力道進行。目前計畫本質上，以建立基礎技術為導向。在鎖定OCC技術應用項目後(如：外殼遮陽、照明、空調系統等)，也定義不同情境模式，同時反應使用者行為。

	<p>納入晝光利用因子，以增加節能效益。</p> <p>4. 本案智慧空調採用全熱交換器作為實驗分析設備，希望能與室內空氣品質連動。</p> <p>5. 本研究智慧外殼實驗採用智慧調光窗，建議強化結合應用於使用者為中心之控制技術與情境。</p>	<p>因此，本案基礎工作在於收集使用者行為、室內外環境變化等數據，使系統學習或獲得資訊，以回饋控制建築物。</p> <p>3. 感謝委員建議。因計畫時程與提案工作項目的緊密配合之故，如有時間餘裕，將納入晝光因子之實驗項目。</p> <p>4. 本實驗屋建置全熱換氣機與環控監測系統之運轉功能上，確實依據室內空氣品質的設定而連動控制。</p> <p>5. 參採委員建議，期末成果展現使用者為中心控制智慧調光窗之應用情境。</p>
<p>3</p>	<p>1. 本案基本架構可行，論述清楚資料整理用心，實驗架設準備充分。完成進度符合預期，惟報告書 P.7 研究進度，預估 11 個月，但本案實際上執行期間僅 9 個月左右，建議調整進度工項達成之時程。</p> <p>2. 本案提出之使用者中心控制技術，採用自動感知照明、全熱交換器及智慧調光窗等 3 項系</p>	<p>1. 本處提及成熟度與發展藍圖，實際上係以技術評估機制 TRL 從基礎應用研究、技術發展、產品/系統開發，乃至商業化運行/量產等階段來建立發展藍圖。另委員提到可查核的效益，尤以數值模擬評估。研究團隊擬用於建築外殼、通風、照明系統之 OCC 技術控制來模擬獲得節能效益。藉由改善建築耗能密度指標且設定建築類</p>

	<p>統。作為照明、通風、遮陽之節能測試標的。建議後續可導入更多系統（如可動式遮陽、自動通風窗及電動調光窗簾等），針對更多方面節能技術（如減少待機耗能等），進行全面性測試。</p> <p>3. 第二章除智慧照明有說明進行行為測試外，其他兩項建議說明使用者行為及數據收集方式；另使用者為中心的感測設備環境，電致變色膜本身所需耗電量等是否抵消所降低的耗電量？</p> <p>4. 在實驗空間上，面臨多人使用情形時，針對使用者行為模式及效能，有哪些演算法的調適，助於未來實驗應用？同時，有關調光膜實驗，除考量照度及空間耗能的變因之外，可進一步考量使用者對隱私及視覺需求與季節晝夜作息之關係，了解其裝設後可發揮之最大潛力。</p> <p>5. 採用微波感應器應考量實際應用面，例如長時間偵測人流感受環境的設置。建議注意感測設備種類與使用者長期暴露於電磁</p>	<p>別與棟數現況，可估算出量化效益，以備查。接續，本團隊將於服務建議書補充。</p> <p>2. 謝謝委員提供後續工作之建議。</p> <p>3. 其餘兩項實驗中，使用者行為與數據蒐集方式將於期末補充。有關委員提到電致變色膜本身所需耗電量抵消所降低的耗電量與否之問題。本團隊已注意到電致變色膜確實本身會有電力消耗，並且全透明玻璃（ON_調光膜）所需驅動電力為（OFF_調光膜）的2倍。因此，考量電致變色膜本身所需耗電量抵消空調節約耗電量，則OFF_調光膜使用，更使總體節約17~20%用電。</p> <p>4. 目前情境設計並沒有考量多人使用及隱私的情況，未來可以列入考量；本研究團隊會持續搜尋適合之演算法並應用。</p> <p>5. 感謝委員寶貴建議，本研究團隊會參考委員意見，並作調整。</p>
--	--	--

	<p>波環境中的風險管理。通風實驗。結合使用者聲控後情境與空調全熱交換器運轉。建議導入耗能數據顯示介面提醒使用者。使用者自身主動節能之行為回饋，可能帶出相關節能效益。</p>	
<p>4</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究計畫欲探討情境式設計導入智慧建築規劃之可行性，本計畫現有成果為前期相關文獻探討以及初步情境設定討論。本研究計畫共有四項目標，需考量後續時程安排計畫執行進度。另如何客觀定義最後結論出的情境條件式客觀且廣泛？同時使用者情境條件似乎太過個人化，如報告書 P.36 所提，智慧化效益的理解和情境式設計的定義差異？ 2. 本研究如何有系統定義智慧化建築的情境是一個關鍵議題。當中除設備導向外，更應包含國際永續趨勢導向國際之願景，如 2030SDGs，2050 淨零碳，高齡化人口，5G 後疫情沉境式技術與社會模式，既有 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，本案參採委員建議，製交互作用情境流程或方塊圖，後續進行服務建議書之內容補充。 2. 謝謝委員的建議，本研究除了將節能效益量化為主要目標外，全熱交換器的連動項目亦包含便利舒適指標之內涵，本研究團隊未來亦會針對安全監控等其他智慧建築標章面向提出相關效益評估之參考依據。

	<p>BIM 資訊導向加值應用等等。</p> <p>3. 承上議題，則情境更直接反應社會住宅，照護及後疫情公共建築等建築使用情境。另是否由當前我國智慧建築標章規定，對應前述國際趨勢，進而推論出具有國際永續願景之情境。</p> <p>4. 國外有沒有以情境式設計導向智慧建築效益提升的具體案例，文獻應補充 5 年內相關文獻。</p>	<p>3. 參採委員建議，本計畫業以此方向努力。期以透過全尺度實驗擬定的 5 項工作印證比較控制效益，並從中找出最節能的連動控制模式，以完成技術建立。</p> <p>4. 本研究團隊會持續找尋相關文獻。</p>
<p>5</p>	<p>1. 以使用者為中心之控制技術，期中階段之智慧遮陽、智慧照明、智慧通風等研究及實作成果優異，建議未來可以此為基礎，擴大智慧監控實際驗證的感測設備種類與範圍，達到以使用者為中心之智慧建築節能效益。</p> <p>2. 目前驗證場所為一貨櫃屋，請說明未來以此為基礎之實際驗證場所之規劃，以對應智慧建築標章相關內容。(住宅、商場、辦公室、高鐵站、...)。</p> <p>3. 未來可增加感應器的類別，應注意各感應器之安裝位置及其效能分</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p> <p>2. 此貨櫃屋設定為住宅，因此情境及智慧化的部分會以住宅為出發點設計。</p> <p>3. 本研究團隊將於期末增設新的感應器並注意裝設位置。</p>

	<p>析。</p> <p>4. 報告書 P.24、伍、預計可能遭遇之困難及解決途徑全尺度實驗所需之使用者中心控制技術研究產品與量測儀器在本計畫中無編列相關預算採購，擬透過其他計畫或與相關廠商研商進行產學合作計畫之資源來提供。上述經費來源是否穩定足以支撐本研究案之持續進行，請說明。</p>	<p>4. 本計畫使用實驗屋之既有設備與量測儀器，由過去研究團隊與相關產品開發廠家合作進行驗證性產學合作計畫，以及歷年執行科技部、內政部提供計畫經費購置儀器尚能續用，故於本計畫無須編列相關預算採購。</p>
<p>6</p>	<p>1. 有關使用者為中心議題部分，目前對能源的管理是台電對消費者是單向的，對於使用者非常不友善。HEMS 能夠理解家用電力分布，高峰離峰與支出等等。能源使用與管理的雙向互動是很重要的需求。HEMS 需要 SG.S.M.，在台電(發電、輸配電、管理)分家後，建議需提早為 SG、SM 下的”家庭能源管理系統”研究提早準備。</p> <p>2. 淨淨零建築，亦是高效益、效能的建築，需要全能耗計算工具，</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p> <p>2. 本研究若未來持續進行該方面的研究，將參考委員意見探討更多相關議題。</p>

	<p>其需要國家訂定不同用途建築的 EUI 基準。建築節能設計，包括：(1)建築被動設計、(2)主動設備節能效率與可調適設計、(3)再生能源設備設置。本研究還有許多可行的研究議題，不限於外殼、照明與空調。</p>	
7	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究已完成相關文獻收集。 2. 本研究有效完成全尺度實驗室(歸仁實驗群)，透過通風、遮陽及照明因子，實證智慧控制節電效益，且已取得階段性成果。 3. 最後彙整可得使用者為中心之控制技術智慧建築節能效益之數值模擬與評估。 4. 本研究期中成果符合預期成果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。
8	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究團隊所做的一切嘗試及努力值得肯定。 2. 未來之研究建議針對日本、新加坡等鄰近國家之地理環境、法規、建築技術...等，進行建築物之氣密 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 本研究團隊若未來有執行相關研究將參考委員建議進行探討。

	性、節能、室內環境之比較與分析。	
9	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用者為中心之控制技術涉及個資產業、處理及利用。新加坡 5 月 17 日公布。「利用生物特徵識別資料指引」，協助物業、建築業、場域所有人蒐集個資，僅供參考。 2. 如何針對 OCC 技術達成 2050 碳中和目標進行評估。 3. 使用者中心之使用者及應用場域為何？如何整合不同使用者之需求？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員提供資訊。 2. 本研究將針對全尺度實驗獲得 OCC 技術應用所獲得之節能效益為基礎，利用建築耗能電腦模擬軟體模擬 OCC 技術對於建築物之整體節能效益，再換算成不同採用率下的建築節電量。 3. 本研究團隊目前僅針對住宅類場域應用與探討，並會蒐集居住者使用行為，例如開關燈次數作為使用者為中心控制之設計。
10	<ol style="list-style-type: none"> 1. 智慧照明採人員感應設備，作為燈具啟閉機制，目前以通道及動線空間居多(如玄關／走廊／樓梯等)，對長時使用的空間效益較有限，如感應器之效度，或不同使用者對延遲時間之需求不一等情境。 2. 智慧空調建議可納入整合外氣冷房之機制，如室內外溫溼度分析比對結果啟動全熱交換器。 3. 建議納入季節(夏季/非夏季)對能耗影響 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。

	<p>之模擬。</p> <p>4. 報告書 P68 後續研究工作項目：達成碳中和情境。與研究摘要及目標” 近零能耗建築” 關聯性，建議確認一致。</p>	
11	<p>1. 使用者為中心控制技術屬於較前瞻技術，考量多數不熟悉，建議詳述本主題內容及相關定義，並與過去傳統技術方法差異為何?需補充說明。</p> <p>2. 有關研究團隊投稿國際期刊發表，係屬本研究計畫工作項目之一，惟須注意發表著作人員需為本計畫研究人員。</p>	<p>1. 參採委員意見，期末報告補充說明。本處片段敘述傳統技術可分手動控制與自動控制。使用者為中心控制(OCC)可以避免因人不受限地手動控制而造成能源浪費；此外，也能顧慮使用者舒適度及衡量兩者控制權重或同時多位使用者，則能決策優先使用者之需求，以改善一般技術控制上的問題且提升安全、舒適及節能效益。</p> <p>2. 感謝委員提示，於發表著作時多加留意。</p>
12	<p>1. 本案建築外牆(電致變色膜)開關採自動控制、智慧照明採微波感應、全熱交換器(智慧空調)採聲控，宜請研究彼此之間節能效益間有無競合關係。</p>	<p>1. 本研究團隊目前以分區進行實驗，若未來有持續研究，會參考委員建議探討彼此間競合關係。</p>

附錄五 第三次專家座談會議紀錄

時間：111年10月18日(星期二) 下午 02:00~04:30

地點：內政部建築研究所性能實驗中心 會議室

簡報人：李訓谷 計畫協同主持人

出席委員：內政部建築研究所 林研究員霧霆、永續綠營建聯盟

江總顧問哲銘、崑山科技大學 郭教授崇仁、社團法人美國冷凍空調工程師協會台灣分會 杜理事長威達、國立成功大學 陳教授震宇、台灣建築中心 徐副董事長文志、內政部建築研究所 蔡主任介峰

列席人員：林研究助理惟榮

會議記錄：林研究助理惟榮

會議內容：

- 一、 主席致詞(略)
- 二、 計畫團隊進度報告
 1. 計畫緣起(略)
 2. 研究方法(略)
 3. 文獻探討(略)
 4. 使用者為中心的控制技術之應用
 5. 實驗結果與討論
 6. 結論與建議

徐副董事長文志：

1. 探討以使用者為中心控制應用於實際住戶中的節能差異。

江總顧問哲銘：

1. 智慧建築連結於照明、空調等系統，搭配先進設備有良好實驗成果。
2. 將裝設位置、條件、感測器大小及安裝方式等等設計成使用手冊供人參考。
3. 未來可探討於政府推動淨零碳排下，以使用者為中心控制之使用者心理、生理及舒適度等等研究。

杜理事長威達：

1. 增設不同情境，並將人員影響及室外條件加入模擬分析，增加模擬的真實性，也能更細緻的探討節能效益。
2. 研究討論提出裝設感測器之建議。

陳教授震宇：

1. 提出基於不同情況下及不同使用者所需，感應器裝設位置之建議，將更為貼近以使用者為中心控制。

郭教授崇仁：

1. 未來系統與感應器使用於更多不同場域，也應考量系統運轉效能，例如使用邊緣運算、Cloud computing 等等。
2. 提升 Zenbo 之運用，例如空間溫度感知。

蔡主任介峰：

1. 加入質性研究，設計問卷調查、使用滿意度等等，增加研究豐富度。
2. 智慧遮陽之光學性質部分可探討更多元的面向。

李訓谷：

1. PDLC 光學性質研究值得探討。
2. 未來可探討不同顏色的玻璃以及不同光環境下 PDLC 的節能效益。
3. 不同裝置與裝設位置可深入研究，設計參考手冊，提供標章及法規參考。
4. 加強模擬分析，增加不同情境。
5. 會嘗試將 Zenbo 作為收集數據之用途。
6. 未來可以設計質性研究。

會議記錄之情況：





內政部建築研究所
智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫協同研究計畫
遴用協同研究人員第2案

**應用使用者為中心之控制技術
提升智慧建築節能效益研究**

- 主持人：王榮進
- 協同主持人：李訓谷
- 研究員：蔣鎮宇、林霧霆、呂文弘、張怡文
- 研究助理：林惟榮、曾宥人、林詩頻

一下以新增備忘稿

A screenshot of a video conference interface. In the top right corner, there is a small video window showing a man with glasses and a blue shirt, identified as 徐文志. Below the video window, there are several control options: '關閉音訊 (M)', '隱藏背景圖形 (H)', '色彩 (C)', and '透明度 (T)' with a slider set to 0%. At the bottom of the interface, there are buttons for '全部禁用 (A)' and '重新命名 (R)'. The background of the slide features a geometric pattern of orange and white triangles.

附錄六 期末會議審查回覆

委員	委員評選意見	廠商回應
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. 書面報告引用參考文獻的格式，將中英文參考文獻之編碼混用，宜依據APA文獻格式予以修正。 2. 書面報告的結論較為薄弱，宜予強化，並提出更具體的政策建議。結論第2點的語意未完，應再檢視後修正。另於建議一提及，如利用本計畫之成果進行專利申請，其授權對象將僅限於私立學校..等，與政府科技研發成果歸屬及運用辦法之精神不符，應予修正。 3. 簡報審查中所提出有關淨零節能效益的研析內容相當重要，並未見於書面報告，宜於會後補充納入書面報告中。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請參 P.135-P.137 完成修正。 2. 有關語意未完結論部份完成檢視修正請參 P.97。 3. 請參 P.94 完成補充。
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究已完成蒐集分析，以人為本之使用者為中心之控制技術，提升節能效益之智慧系統資料蒐集，且應用於人與室內環境之智慧調控技術。 2. 運用 PIR 紅外線人體感測及微波感應之感應偵 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員明察本案研究目標與預期成果。

	<p>測器，實驗證實分別適於大小面積之室內空間，以取得最佳化之節能效益及健康舒適之室內環境品質。</p> <p>3. 經全尺度實驗智慧調光窗戶及智慧照明之節能系統實驗驗證，取得最佳化之室內健康照明及空氣品質。已完成可申請專利之成果，本研究已完成預期成果項目可給予肯定。</p>	
<p>3</p>	<p>1. 本研究期末成果內容符合預期目標。</p> <p>2. 本研究第三章探討國內外相關研究案例及法令規定，內容豐富並具參考價值，建議可再增加小結歸納彙整相關分析結果，以更彰顯研究價值。</p> <p>3. P.4 表 1-1 智慧建築標意評估指標與項目，內容僅為基本規定之評估項目，建請補充鼓勵項目之評估內容。</p> <p>4. P.86 有誤植「……本研究建議全熱交換器設置室內供風口的位置應當特別留意,……」，應為「應」當特別留意,建請修正。</p>	<p>1. 感謝委員明察本案研究目標與預期成果。</p> <p>2. 感謝委員提供後續工作之建議。</p> <p>3. 請參 P.4 表 1-1 完成補充。</p> <p>4. 請參 P.88 完成修正。</p>
<p>4</p>	<p>1. 本案採用全尺度實體建</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p>

	<p>築空間進行探討 OCC 研究，已有完整的數據作為分析基礎，研究成果值得肯定。</p> <p>2. P.87~88 結論內容建議增加對 2050 年淨零建築目標之衝擊程度加以說明。</p> <p>3. P.88 結論所提電致變色膜可降低 5%的空調耗電量，建議加以說明係指全日/全年或夏季負荷尖峰(P.58 圖 4-3)。</p> <p>4. P.32「五、預計可能遭遇之困難及解決途徑」所敘為過去之問題，建議修正為敘述研究過程中問題之解決方式。</p> <p>5. P.57 請問圖 4-2 中所示為調光膜透明(ON)與遮光(OFF)下，在上下午造成室內溫度高低剛好相反的可能原因?</p> <p>6. P.63、69 請問「手動起停無感控-對照組」的假設條件如何獲取?常理下手動並無延滯關燈時間，耗能的亮燈時間應較短，何以導致比感應照明多一倍之耗電量?考慮人為疏失所致?</p> <p>7. P.69 公 式 $P=A*V*S*N/3600*0.001$ 說明中遺漏「電壓 V」說</p>	<p>2. 請參 P.94 完成修正。</p> <p>3. 請參 P.55 完成補充。</p> <p>4. 請參 P.31 已修正。</p> <p>5. 調光膜能延緩熱進入室內，也因此室內的熱不易散出室外，導致下午時，熱會蓄於室內，但仔細觀察可發現，溫度差異非常微小，在誤差範圍內。</p> <p>6. 「手動起停無感控-對照組」為假設整天在家燈不關燈的使用者，因此數據蒐集是從上午九點至下午五點，並無考慮人為疏失。</p> <p>7. 請參 P.75 完成補充。</p>
--	--	--

	<p>明，請補充。</p> <p>8. 建築物智慧化內遮陽(如智慧窗簾)的種類甚多，本研究採用變色膜進行研究為眾多方式之一,若尚有後續研究建議可以加以實驗比較,以找出最適合朝淨零建築的智慧內遮陽方式，供機關參採。</p>	<p>8. 感謝委員寶貴意見，未來若有執行相關研究將會納入參考。</p>
<p>5</p>	<p>1. 本案有關使用者為中心之定義及架構已有清晰說明，有關專利申請及費用等，後續由本所依規定辦理相關作業，請研究團隊評估專利技轉對象潛力，俾有效顯現專利產出效益。</p> <p>2. 本研究報告中出現之零耗能建築名稱，請依本部之近零碳建築或淨零建築等名稱，避免誤解。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 已完成修正。</p>

附錄七 學術研討會

2022 再生能源與國家安全學術研討會
暨第三十一屆台灣太陽能及新能源學會年會及論壇

智慧建築以使用者中心控制技術之研究調查

蔣鎮宇 1、林惟榮 2*、王榮進 3、李訓谷 4

1, 2, 4 國立成功大學能源科技與策略研究中心

3 內政部建築研究所

*Email: 10608114@gs.ncku.edu.tw

內政部計畫編號: 11115B0007

摘要

長期以來智慧建築技術一直被設想為未來建築的主流。然而現今智慧建築技術的發展並沒有達到預期的效果，導致智慧建築技術的落實遠不及其在工業製造與車輛的廣泛應用。在眾多建築智慧控制技術中，以使用者為中心的控制(Occupant-Centric Control)是目前最具節能減碳的技術(如圖 1)。

國外研究提出用於辦公空間照明的控制策略，目的在降低能源消耗及提升使用者的光環境舒適度，透過使用者行為與人流數據統計分析得出開關燈的設定。以 10 間辦公室進行為期 6 週的實驗獲得能源節約 37.9%，不過因研究實驗時間較短，所以在隔年以 6 間辦公室和 10 位參與者進行 12 週的實驗。研究結果顯示所有使用者滿意度很高且標準化能耗平均降低 13.4%，而對使用者的視覺舒適度影響不顯著 [1, 2]。國外最新研究使用強化學習(RL)基礎的照明學習(LightLearn)系統，以使用者為中心的照明控制器。其可學習使用者行為和室內環境，並透過了解個人控制喜好而調整控制參數。泛用的強化學習架構，控制伺服器獲取室內環境照度、溫度和濕度、CO₂ 濃度，以及使用者與建築物及其環境系統的交互作用，例如：在場與否、燈的開關、百葉窗和調溫器的使用等的數據。其表明使用者的舒適度，或者更常見是使用者的不適情況。RL 控制代理的狀態是使用這些建構的數據，概率轉換是使用歷史數據確定的。控制器的動作通常包括修改設定點、移動窗簾或開關電器，例如：燈具[3]。由上述研究透露國內目前在使用者中心控制議題需要再提升技術研究層面。

本研究主要在於了解以使用者中心控制技術方法的區分與定義，使成為國內發展建築智慧控制技術之概念。藉由調查國外研究現況，從中獲得以使用者中心控制技術應用之相關驗證成果與方法，提供我國探討應用此技術在智慧建築節能效益之實證參考。

關鍵字：智慧建築、使用者中心控制技術、節能效益、強化學習

時間	地點	編號	單位	姓名	職稱	投稿文章名稱	投稿主題	用餐
13:00-13:10	304會議室	C1	國立台灣科技大學/電機工程系	郭政謙 吳國揚 張彥宏* 張碩庭	教授 研究生 研究生 研究生	儲能調輔助服務與削峰填谷之分散式控制策略與驗證	微電網技術	午餐/晚餐 無 午餐/晚餐 午餐/晚餐
13:10-13:20	304會議室	C2	國立高雄科技大學	施文騰	研究生	運用雙壓電風扇於加熱平面上之熱傳導研究	微電網技術	午餐/晚餐
13:20-13:30	304會議室	C3	國立勤益科技大學/電機工程系	張廣益 趙冠英*	教授 研究生	太陽光電發電系統併入低內電網對系統衝擊與用電效率影響之研究	微電網技術	無 午餐/晚餐
13:30-13:40	304會議室	C4	國立成功大學電機系	王體 廖子豪*	教授 研究生	整合風能、燃料電池、微渦輪機發電系統之直流微電網 併入多機電力系統之穩定度特性分析	微電網技術	無 午餐
13:40-13:50	304會議室	C5	台灣電力公司 新桃供電區營運處	劉忠奇* 陳志宏	工程師 竹園超高壓經理	南興(DS)應用IEC61850自建增設繼電技術	微電網技術	午餐
13:50-14:00	304會議室	C6	台灣電力公司 配電處	吳碧琳	資控組經理			午餐
14:10-14:20	304會議室	C7	台灣電力公司 業務處	楊國輝	工程師	台電公司配電饋線自動化發展及未來規劃	微電網技術	午餐
14:20-14:30	304會議室	C8	台灣電力公司 電力通信處	解子祥	工程師	家庭能源管理系統參與量度反饋之現況與展望	微電網技術	午餐(茶)
14:30-14:40	304會議室	C9	行政院原子能委員會核能研究所	謝國聖 姜政穎* 韓佳佑 李奕德	副研究員 副工程師 副工程師 副研究員	台電公司IP-MPLS光纖通信系統簡介 微電網輔助服務對配電穩定度之效益研究	微電網技術	午餐 午餐/晚餐 午餐 午餐/晚餐
14:40-15:00				茶敘				
15:00-15:10	304會議室	C10	行政院原子能委員會核能研究所	陳彥輔	助理研究員	應用微電網實現台電即時備轉輔助服務之規劃	微電網技術	午餐
15:10-15:20	304會議室	C11	行政院原子能委員會核能研究所	陳敬宇 陳明遠* 王泓升 梁威志	技術員 電機工程專員 電機工程專員 電機研究專員	應用於微電網之三相不平衡負載補償策略 應用即時樣機器於台電樹林微電網之研究	微電網技術	午餐/晚餐 午餐 午餐 午餐
15:20-15:30	304會議室	C12	台灣電力公司-綜合研究所	卓明遠 王崑祥*	教授 研究生	小型工廠微電網設計與建置	微電網技術	午餐/晚餐 午餐/晚餐
15:30-15:40	304會議室	C13	國立高雄科技大學	卓明遠 杜哲恩*	教授 研究生		微電網技術	午餐/晚餐 午餐/晚餐
15:40-15:50	304會議室	C14	國立高雄科技大學	陳一順 洪佑煜* 黃昱文 王鵬煒 黃秀英 陳嘉勳 劉子忻*	教授 研究生 研究生 研究生 副教授 副教授 研究生	鳳山宿舍區AMI B Route通訊架構分析與改善精進研究 陶瓷式與可攜式熱電晶片之應用 車窗隔熱節能實車測試	微電網技術 節能技術 節能技術	無 午餐/晚餐 午餐/晚餐 午餐/晚餐 晚餐 晚餐 午餐/晚餐
15:50-16:00	304會議室	B10	亞東科技大學機械系					
16:00-16:10	304會議室	B11	國立台北科技大學					
16:10-16:20	304會議室	B12	國立成功大學能源科技與策略研究中心	林惟崇	研究助理	智慧建築以使用者中心控制技術之研究調查	節能技術	無 午餐/晚餐

參考書目

【中文參考文獻】

1. 許宗熙、楊逸勇(1992)。智慧型建築指標基準及未來發展方向之研究。內政部建築研究所。
2. 溫琇玲，詹添全(1992)。智慧型建築自動化現況調查及分析研究。內政部建築研究所。
3. 廖慧燕，陳伯勳(2016)。智慧建築評估手冊。內政部建築研究所。
4. 溫琇玲(2003)。智慧建築解說與評估手冊。內政部建築研究所。
5. 張效通、溫琇玲、游璧菁(2020)。辦公類智慧建築效益量化評估合理性研究。內政部建築研究所。

【外文參考文獻】

1. Rocha, P., Siddiqui, A., & Stadler, M. (2015). Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures. *Energy and Buildings*, 88, 203-213.
2. Langevin, J. (2019, July 11). Occupant-Centric Building Controls: Assessing Potential Energy Impacts at Scale [Conference presentation]. ARPA-E SENSOR Annual Meeting, Denver, CO.
https://arpaenergy.gov/sites/default/files/1.%20Langevin_SENSOR_071119_low.pdf
3. ASHRAE Standard 55-1992. (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
4. Wagner, A., O'Brien, W., & Dong, B. (2018). Exploring occupant behavior in buildings. Wagner, A., O'Brien, W., Dong, B., Eds.
5. Park, J. Y., Ouf, M. M., Gunay, B., Peng, Y., O'Brien, W., Kjærsgaard, M. B., & Nagy, Z. (2019). A critical review of field implementations of occupant-centric building controls. *Building and Environment*, 165, 106351.
6. O'Brien, W., Wagner, A., Schweiker, M., Mahdavi, A., Day, J., Kjærsgaard, M. B., ... & Berger, C. (2020). Introducing IEA EBC Annex 79: Key challenges and opportunities in the field of occupant-centric building design and operation. *Building and Environment*, 178, 106738.
7. Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021). A review of

- occupant-centric control strategies for adaptive facades. *Automation in Construction*, 122, 103464.
8. Loonen, R. C., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 483-493.
 9. Katsifaraki, A., Bueno, B., & Kuhn, T. E. (2017). A daylight optimized simulation-based shading controller for venetian blinds. *Building and Environment*, 126, 207-220.
 10. Evola, G., Gullo, F., & Marletta, L. (2017). The role of shading devices to improve thermal and visual comfort in existing glazed buildings. *Energy Procedia*, 134, 346-355.
 11. Tabadkani, A., Shoubi, M. V., Soflaei, F., & Banihashemi, S. (2019). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction*, 106, 102857.
 12. Tabadkani, A., Banihashemi, S., & Hosseini, M. R. (2018, August). Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: A parametric analysis. In *Building simulation* (Vol. 11, No. 4, pp. 663-676). Tsinghua University Press.
 13. Van Moeseke, G., Bruyère, I., & De Herde, A. (2007). Impact of control rules on the efficiency of shading devices and free cooling for office buildings. *Building and environment*, 42(2), 784-793.
 14. Sharma, L., Kishan Lal, K., & Rakshit, D. (2018). Evaluation of impact of passive design measures with energy saving potential through estimation of shading control for visual comfort. *Journal of Building Physics*, 42(3), 220-238.
 15. Al Touma, A., & Ouahrani, D. (2017). Shading and day-lighting controls energy savings in offices with fully-Glazed façades in hot climates. *Energy and Buildings*, 151, 263-274.
 16. Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. *Automation in Construction*, 121, 103450.
 17. Loonen, R. C. G. M., Rico-Martinez, J. M., Favoino, F., Brzezicki, M., Ménézo, C., La Ferla, G., & Aelenei, L. (2015, November). Design for façade adaptability—Towards a unified and systematic characterization. In *Proc. 10th Energy Forum-Advanced Building Skins*, Bern, Switzerland (Vol. 1274, p. 1284).
 18. O'Brien, W., Kapsis, K., & Athienitis, A. K. (2013). Manually-operated window

- shade patterns in office buildings: A critical review. *Building and Environment*, 60, 319-338.
19. Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. *Energy and buildings*, 38(7), 728-742.
 20. Van Den Wymelenberg, K. (2012). Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and buildings*, 51, 165-176.
 21. Naylor, S., Gillott, M., & Lau, T. (2018). A review of occupant-centric building control strategies to reduce building energy use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 1-10.
 22. Luna-Navarro, A., Loonen, R., Juaristi, M., Monge-Barrio, A., Attia, S., & Overend, M. (2020). Occupant-Facade interaction: a review and classification scheme. *Building and Environment*, 177, 106880.
 23. Gunay, H. B., O'Brien, W., Beausoleil-Morrison, I., & Huchuk, B. (2014). On adaptive occupant-learning window blind and lighting controls. *Building Research & Information*, 42(6), 739-756.
 24. Stevens, S. (2001). Intelligent facades: occupant control and satisfaction. *International journal of solar energy*, 21(2-3), 147-160.
 25. Day, J., Theodorson, J., & Van Den Wymelenberg, K. (2012). Understanding controls, behaviors and satisfaction in the daylit perimeter office: A daylight design case study. *Journal of Interior Design*, 37(1), 17-34.
 26. Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2002). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and buildings*, 34(6), 667-684.
 27. Shaik, S., Gorantla, K., Mishra, S., & Kulkarni, K. S. (2020). Thermal and cost assessment of various polymer-dispersed liquid crystal film smart windows for energy efficient buildings. *Construction and Building Materials*, 263, 120155.
 28. Peng, Y., Rysanek, A., Nagy, Z., & Schlüter, A. (2018). Using machine learning techniques for occupancy-prediction-based cooling control in office buildings. *Applied energy*, 211, 1343-1358.
 29. Peng, Y., Nagy, Z., & Schlüter, A. (2019). Temperature-preference learning with neural networks for occupant-centric building indoor climate controls. *Building and Environment*, 154, 296-308.