

內政部建築研究所  
應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之研究

資料蒐集分析報告

計畫主持人：王榮進

協同主持人：沈揚庭

研究員：林峰正、李雨澤、林谷陶、張怡文

研究助理：廖士豪、李致遠

研究期程：中華民國 109 年 04 月至 109 年 12 月

研究經費：新臺幣 90 萬 2 仟 6 佰元整

內政部建築研究所協同研究計畫

中華民國 109 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬小組意見，不代表本機關意見)



## 目錄

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節. 研究緣起與背景.....	1
第二節. 研究動機.....	1
第三節. 研究目標.....	2
第四節. 本研究計畫之重要性.....	2
第五節. 研究方法與流程.....	4
第六節. 研究預期對相關施政之助益.....	6
第二章 文獻探討-人工智慧.....	9
第一節. 人工智慧發展與影響.....	9
第二節. 人工智慧方法彙整.....	16
第三節. 國內外人工智慧應用案例.....	19
第三章 文獻探討-維運管理.....	25
第一節. 建築維運管理現況.....	25
第二節. 建築維運管理項目.....	31
第三節. 三維資訊模型應用於維運管理案例.....	35
第四章 人工智慧運用於建築生命週期.....	41
第一節. 人工智慧在營建業之應用.....	41
第二節. 人工智慧在建築維運管理之應用.....	45
第三節. 人工智慧導入維運管理.....	50
第四節. 小結.....	60
第五章 影像辨識用於空間情境感知.....	63
第一節. 影像辨識模型建立.....	63
第二節. 幾何校正.....	66
第三節. 基於網絡的服務系統.....	70

第四節. 資訊傳遞與視覺化服務介面.....	70
第五節. 成果效益預估.....	71
第六章 結論與建議.....	81
第一節. 結論.....	81
第二節. 建議.....	87
參考文獻.....	91
附錄 1: 第一次專家諮詢會議.....	99
附錄 2: 台灣建築物使用類別.....	107
附錄 3: 期中審查會議回應表.....	113
附錄 4: 第二次專家諮詢會議.....	117
附錄 5: 期末審查會議回應表.....	131
附錄 6: 文獻摘譯.....	137
附錄 7: 專有名詞中英對照表.....	157

## 表次

表 2-1 人工智慧應用面向 .....	22
表 4-1 AI 人工智慧在營建業之應用(資料來源:國家實驗研究院科技政策研究與 資訊中心, 2018).....	41
表 4-2 維運效益深化程度.....	53
表 4-3 人工智慧應用於維運與建築的應用範疇.....	54
表 5-1 駐衛保全人員工作項目性質 .....	72
表 5-2 保全人員時間成本權重效益 .....	77



## 圖次

圖 1-1 建築生命週期的資訊傳遞落差與 BIM 介入後的提升(資料來源: EASTMAN, 2008).....	4
圖 1-2 研究步驟流程圖 .....	6
圖 2-1 人工智慧發展分類為三個階段 .....	10
圖 2-2 人工智慧技術方法 .....	18
圖 2-3 人工智慧應用領域 .....	19
圖 2-4 VOXEL51 影像判釋與數據分析 .....	20
圖 2-5 GORILLATECHNOLOGYGROUP 視頻分析維運管理介面 .....	21
圖 2-6 利用 AI 影像辨識技術導入施工現場管理 .....	22
圖 3-1 建築物 30 年成本比例.....	25
圖 3-2 建築生命週期的資訊傳遞落差與 BIM 介入後的提升(資料來源: EASTMAN, 2008).....	26
圖 3-3 資訊遺失所造成價值損失 (TEICHOLZ, 2013 年) .....	28
圖 3-4 建築三個階段因資訊互通性不足所造成而外成本增加百分比.....	29
圖 3-5 BIM 與 FM 整合可獲取優勢(來源: 設施管理者的 BIM 指南 IFMA、2015).....	30
圖 3-6 IFMA 可辨識設施管理功能(翻譯自 IFMA, 2001).....	35
圖 3-7 MATHWORKS 公司使用 BIM 結合 FM 行程最後的建築物營運管理系統。(資料來源: MATHWORKS).....	37

圖 3-8 威斯康辛能源研究所透過 BIM 與 FM 進行膽案的空間管理。(資料來源:UW - MADISON).....	37
圖 3-9 VIRTUALSINGAPORE 系統介面圖(資料來源:NRF. GOV. SG) .....	38
圖 3-10 將電梯樓層預定系統與通關系統集成在一起(TAKAMICHIHOSHINO2018) .....	39
圖 3-11 通過使用人員流分析技術來最佳化建築物運動的模擬 (TAKAMICHIHOSHINO).....	39
圖 4-1 GENMEP 介面圖(來源:BUILDINGSP, INC).....	42
圖 4-2 BIM360PROJECTIQ 介面圖(來源:BIM360).....	43
圖 4-3 利用 AI 影像辨識技術導入施工現場管理(來源:SMARTVID. IO).....	44
圖 4-4 DOXEL 施工現場資訊可視化(來源:DOXELAI).....	44
圖 4-5 七種人工智慧應用於維運管理方式 .....	45
圖 4-6 NEURON 系統介面 .....	46
圖 4-7 HKGMYFLIGHTAPP 規畫路線虛擬實境介面.....	47
圖 4-8 設備最佳化界面 .....	<b>錯誤! 尚未定義書籤。</b>
圖 4-9 NEURON 預測性維護系統介面.....	48
圖 4-10 FM:SYSTEMS 空間規劃系統介面 .....	49
圖 4-11 AXIS 電腦視覺安全管理.....	49
圖 4-12 OPEN BIM 收集日常數據情境模擬.....	50
圖 4-13 透過 WEBSERVICE 整合建築資訊與傳訊溝通.....	52

圖 4-14 建築智慧化分級.....	56
圖 4-15 智慧維運系統服務迴圈.....	57
圖 4-16 藉由網站傳遞與視覺化呈現空間情境資訊.....	71
圖 5-1 目標追蹤與影像校正流程圖.....	63
圖 5-2 目標追蹤與影像校正流程圖.....	65
圖 5-3 電腦視覺目標追蹤與三維空間點位關係.....	66
圖 5-4 影像處理透視校正流程圖.....	66
圖 5-5 透視校正後的坐標地圖.....	69
圖 5-6 藉由網站傳遞與視覺化呈現空間情境資訊.....	71



## 摘要

關鍵詞：人工智慧、電腦視覺、智慧建築、維運管理系統、建築生命週期

### 一、 研究緣起

為配合行政院加速推動人工智慧應用產業發展，本所辦理「智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫」，爰規劃推動智慧建築作為人工智慧科技實驗場域。智慧建築維運管理，如積極的與人工智慧進行整合，提供主動式服務，可因應高齡少子女化社會缺工趨勢所產生的相關建築維運管理人力不足之問題。例如運用人工智慧科技判釋建築物設備、使用人數及室內外環境狀態，便能連動調整空氣調節設備運轉，形成更省能、更貼心的客製化建築營運服務，為建築物管理維護產業帶來新一波的服務昇級。本研究旨在探討如何應用人工智慧科技，主動、精準投遞建築物維運管理服務，提高建築物維運管理之成本效益。

### 二、 研究目標

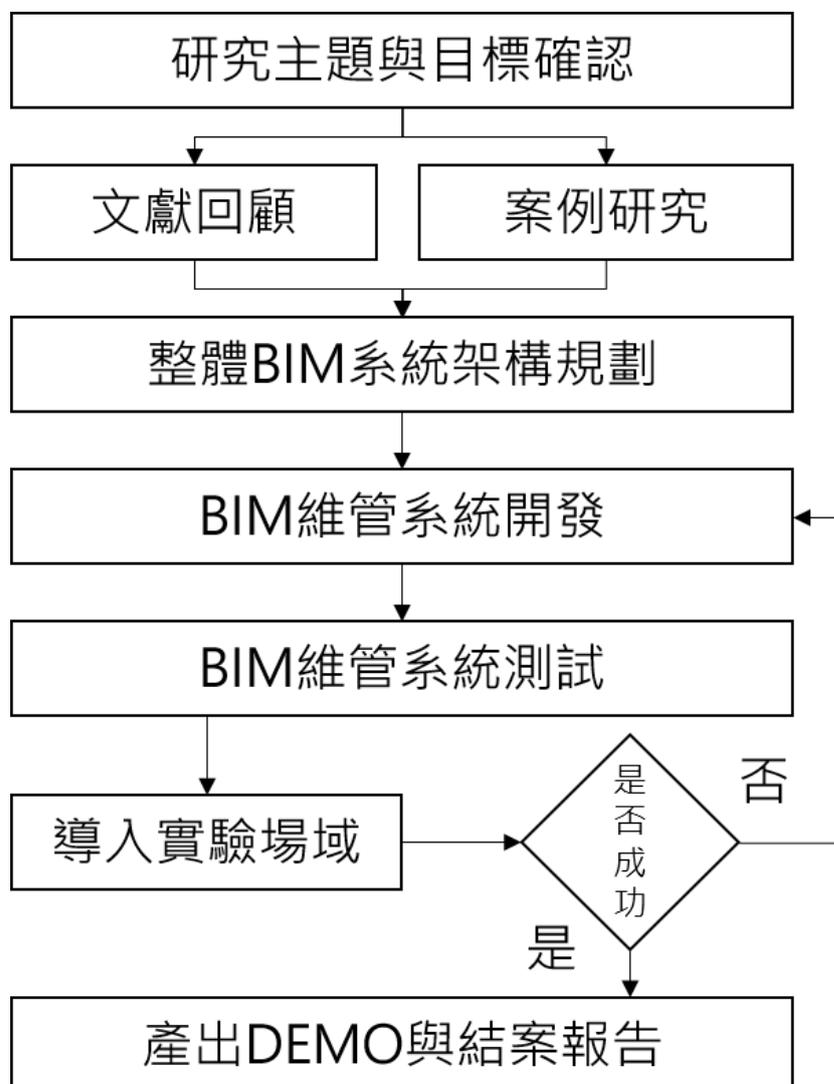
1. 完成國內外應用人工智慧科技減少建築物維運管理成本之相關資料及案例蒐集。
2. 完成以人工智慧科技為核心的情境判釋演算法之開發，說明可減少之建築物維運管理人力訓練成本與職能門檻。
3. 完成案例模擬分析，說明可提升之建築物維運管理量化及質化效益，供本所智慧建築評估手冊增修訂參考。

### 三、 研究方法及過程

1. 資料蒐集：(1)透由文獻回顧與案例研究調查國外實際運用中或國內開發中的建築維護管理資訊系統(2)分析其維運系統功能、管理架構、資訊需求及資金需求等，提出適合國內參考相關內容(3)提出本計畫推動建議事項並與國內維護管理實務理想比對，了解 BIM 模型在維護管理作業階段中，

除了收集移交資訊外，其實際之角色功能。

2. 實作驗證:開發一套示範性 BIM 維運管理系統，透過系統開發與整合的實際研發過程，驗證本研究所提出之應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之可行性與效益。並能完成案例模擬分析，說明可提升之建築物維運管理量化及質化效益。
3. 本案成功舉辦兩次專家會議、一次工作會議、一次期中審查、以及最終的期末審查。最終並實際開發出維運管理系統，並以電腦視覺發展建築維運系統進行實證。



(資料來源:本研究)

#### 四、 預期目標

本計畫目標為應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之研究，以建築空間作為資訊服務的載體，提出人工智慧介入建築物維運管理之方法與架構，並提出其對應的效益與評估方法。

本案目標及其對應章節有三項：本案預期目標有三項：

1. 完成國內外應用人工智慧科技減少建築物維運管理成本之相關資料及案例蒐集。本項詳參【第二章 文獻探討-人工智慧、第三章 文獻探討-維運管理】
2. 完成以人工智慧科技為核心的情境判釋演算法之開發，說明可減少之建築物維運管理人力訓練成本與職能門檻。本項詳參【第四章 人工智慧運用於建築生命週期】
3. 完成案例模擬分析，說明可提升之建築物維運管理量化及質化效益，供本所智慧建築評估手冊增修訂參考。本項詳參【第五章 影像辨識用於空間情境感知】

本案具體貢獻包括 (1) 找出四項現階段建築維運管理的痛點、(2)分析歸納出建築維運導入人工智慧後的七大項類別及其效益評估方法、(3)分析歸納出人工智慧維運管理效益的深化程度、(4)完成人工智慧介入維運管理機制及其演算法、(5)成功舉辦兩次專家會議、一次工作會議、一次期中審查、以及最終的期末審查。本案經綜合多次會議與報告回饋後，綜合總整出下列結論：

## 1. 四項現階段建築維運管理的痛點

AI 未來的發展勢必從人工管理轉變成智慧化管理模式，並完成全生命週期的循環管理。AI 應用於智慧建築維運管理應不止於被動的設施管理(FM)，而應該以人本友善及環境友善的目標進行「情境感知動態調適管理」。在此前提下，目前建築物的維運管理痛點包括：

- (1) 無數據集成 (No Data Integration)
- (2) 沒有文件連續性 (No Document Continuity)
- (3) 無流程模擬 (No Process Simulation)
- (4) 無涵構察覺 (No Context Awareness)

## 2. 七項人工智慧導入建築維運管理可行項目

為了能夠具體落實人工智慧介入到建築維運管理的目標，本案歸納彙整出智慧建築系統七大可行項目，並根據可行性與深化程度進行排序，以利作為後續應用發展的優先順序參考。七項可行項目分別為：**【詳第二節人工智慧在建築維運管理之應用】**

- (1) 能源監測、測量和驗證 (Energy monitoring and measurement and verification)、
- (2) 安全保障 (Safety and security)、
- (3) 設備最佳化 (Facility Optimization)、

(4) 預測性維護 (Predictive Maintenance) 、

(5) 生活管理(Life management) 、

(6) 空間規劃 (Demand Management) 、

(7) 需求管理 (Demand Management)

人工智慧應用於維運與建築的應用範疇

項目	定義與目的	AI 介入之可行方式	深化程度	評估方法
能源監測、 測量和驗證 Energy monitoring and measurement and verification	監測、測量和驗證建築運行時所產生的能耗數據。例如電力、瓦斯、給排水等。目的在於提供數據模型作為最佳化的比對	採用人工智慧紀錄建築物的效能模型，並對新舊的數據比對提供能耗估算、分析數據之間的相關性等，用以作為調整能源效能模型之參考。	低	能源消耗 成本追蹤 能源預測可 靠度 提升溫熱環 境品質 提升空氣環 境品
安全保障 Safety and security	安全管理包含門禁管制、防火避難、保全 規劃、建築結構維護等，確保建築沒有危險發生。	運用人工智慧實時監測安全保障項目，並能夠主動發出預警或進行趨勢預測。	低	空間可靠度 空間使用預 測準確率 使用排程 使用率分析
設備最佳化 Facility Optimization	建築設備如照明設備、空調設備、通風設備等，根據環境、使用者的數據分析比對，使設備可以更有有效的作業。	藉由能源數據資料分析評估績效趨勢，主動進行調控設備的運作模式，提升設備使用效率。	中	運行效率 設備故障預 測分析
預測性維護 Predictive Maintenance	修復或更換磨損零件、調整精度、排除故障，恢復設備原有功能而進行的技術活動，其主要作用在於恢復設備精度、性能、提高效率，延長使用壽命，維持建築正常運行。	透過 AI 所分析出的趨勢模型，根據設備的狀況以及有關其使用方式的合理預估消耗程度，呈現短期內很有可能發生故障的設備，協助管理人員進行維護，減少設備中斷所帶來的成本。	中	設備故障預 測分析 系統可靠性 縮短通知大 眾所需的時間

生活管理 Life management	收集日常數據例如人數統計、空間分佈、移動路線、動作、生活型態等，找出使用者的特徵及行為模式並加以管理。	透過多項數據或新的感測技術分析，使 AI 可以判釋空間真實的使用狀態，了解當前空間情境來達到使用者主動生活管理。	高	使用時間分析 熱點分析 路徑分析 提升員工生產力 通行時間 提升使用者滿意度
空間規劃 Demand Management	對於空間使用型態和使用率進行排程規劃。目的是提升空間的使用效率。	人工智能分析並提供空間使用類型及使用率估算值，用以減少過多的閒置空間或增加使用率。	高	空間使用預測準確率 使用排程 使用率分析 有效人力支配
需求管理 Demand Management	對於特殊的空間使用需求進行特殊化的管理。目的是配合特殊的需求事件對空間進行彈性或動態的使用。	人工智能根據特殊事件設定事件的情境，根據事件的實時數據模型分析事件進行的狀態，並加以對於該情境進行有效的動態維運管理。	高	回應特殊需求 環境變化預測可靠度 舒適度分析 降低維管人力成本 節省營運及維護成本

### 3. 人工智慧維運管理效益與評估的深化程度

從智慧建築資訊面向提出結合人工智慧技術可提升維運管理深化程度，分別從數據集成、文件連續性、流程模擬、涵構察覺資訊問題提供可發展的維運管理項目。【詳二、維運效益深化程度】

人工智慧維運管理效益的深化程度				
	深化程度	人工智慧應用技術	維運管理項目	評估方法

數據集成	低	內容擷取 Content Extraction 文本分類 Text Classification	能源監測、測量和驗證 Energy monitoring and measurement and verification	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 能源消耗</li> <li>● 成本追蹤</li> <li>● 能源預測可靠度</li> </ul>
文件連續性	低	機器學習 Machine Learning (ML) 監督式學習 Supervised	安全保障 Safety and security	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 警示通知效率</li> <li>● 預防性</li> </ul>
流程模擬	中	自動排程 Automated scheduling 自動化計劃 Automated Planning 深度學習 Deep learning 無監督式學習 Unsupervised	設備最佳化 Facility Optimization 預測性維護 Predictive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設備故障預測分析</li> <li>● 運行效率</li> <li>● 設備故障預測分析</li> </ul>
涵構察覺	高	影像識別 Image Recognition 機器視覺 Machine Vision	生活管理 Life management 空間規劃 Demand Management 需求管理 Demand Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 使用時間分析</li> <li>● 熱點分析</li> <li>● 路徑分析</li> <li>● 空間使用預測準確率</li> <li>● 使用排程</li> <li>● 使用率分析</li> <li>● 回應特殊需求</li> <li>● 環境變化預測可靠度</li> <li>● 舒適度分析</li> <li>● 人事情本分析</li> </ul>

#### 4. 人工智慧介入維運管理機制及其演算法

本案發展並完成人工智慧介入維運管理機制及其演算法，以人工智慧的機器視覺，對目標維運管理場域進行空間情境感知的判釋，達到場域的即時情境狀態分析。具體的作法首先是透過目標場域的監控設備如 CCTV，擷取即時影像後對影像內容進行機器視覺的演算法分析。演算法的分析項目主要為場域中的使用者分布狀態，透過本案開發的影像辨識功能，能夠準確的找

到使用者的即時分布狀態。此外本案的演算法更進一步的對使用者分布狀態進行幾何校正，使其能正確還原定位出使用者的絕對位置座標，目的是能順利與未來的維運管理平台如 BIM 系統進行對接，如此一來便能夠進行場域的精確使用者情境狀態空間管理。

## 五、 主要建議事項

### 1. 立即可行建議：建議增修「智慧建築手冊」的智慧創新指標

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

目前國內智慧建築手冊共分成八大指標，包括(1) 綜合佈線指標、(2) 資訊通信指標、(3) 系統整合指標、(4) 設施管理指標、(5) 安全防災指標、(6) 節能管理指標、(7) 健康舒適指標、(8) 智慧創新指標。期中前七項指標目前手冊中皆有較為完整而詳細的規範，惟第八項智慧創新指標目前規範較為模糊，建議可以參考本研究的成果進行智慧創新項目內容的增修，配合中央發展人工智慧之大方向政策，以利國內 AI 整合介入建築全生命週期管理之發展與落實。

### 2. 中長期可行建議：鼓勵發展「人工智慧應用於維運管理」具體項目

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

在建築智慧化的趨勢下，以人工智慧的觀念將情境感知資訊導入至維運管理階段，有利於提升管理上的效益。本研究提出四大維運管理痛點與七項人工智慧應用於維運管理發展項目，包括(1)能源監測、測量和驗證、(2)安全保障、(3)設備最佳化、(4)預測性維護、(5)生活管理、(6)空間規劃、(7)需求管理。上述項目依其應用人工智慧深化程度排序並初步建議其做法與效益，故可作為政府推廣或民間導入優先順序的參考依據。

### **3. 中長期可行建議：建立「智慧維運管理平台」 研擬 AI 介入公私有建築物維運管理**

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

建築維運管理具有一定程度的公眾性與社區性，舉凡社會住宅屬於政府層級的公眾型維運管理、一般公寓大廈屬於私有群眾社區型維運管理等。為能夠有效的進行維運管理的同時亦保障其安全性，建議未來可研議建立官方「智慧建築維運平台」。該平台得由政府機關統籌開發，並採用模組化的功能管理機制，政府扮演平台維護與租令的角色，民間則根據需求租用平台的模組。如此不但可以確保廣泛的住宅都能有高品質的維運管理平台可以使用，另一方面亦可透過政府的管理而確保為運管理資料的公益性與私密性，避免被有心人士或組織錯誤運用。

根據此前提，建議配套研擬「人工智慧介入公私有建築物維運管理辦法」的可行性，將有利於國內應用 AI 加速智慧審查、應用 AI 實現智慧維運、應用 AI 於全生命週期等產官學應用，並有機會促進國內整體物業管理產業的轉型與提升，進而建構出新興智慧建築產業鏈的成形，為國內整體物業管理塑造可持續性全生命週期循環管理的典範轉移。

#### **4. 中長期可行建議：促進建築維運管理數位轉型與創造 AI 維運管理創新產業鏈**

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

我國運用人工智慧介入維運管理階段尚屬萌芽期，加上建築維運管理將為台灣未來建築產業逐漸成熟後的長期需求，並有其廣大的市場利基，故未來可將人工智慧介入建築全生命週期管理視為國家數位轉型的重要發展目標，並創造「人工智慧維運管理」的創新產業鏈。

## ABSTRACT

Keywords: Artificial intelligence, computer vision, smart building, Operation management, Life Cycle Management

### I. Introduction

In order to cooperate with the Executive Yuan to promote the application and development of artificial intelligence in the industry, this research puts forward the "Development and promotion plan for the integrated application of intelligent living space and artificial intelligence technology", planning to use smart buildings as an experimental field for artificial intelligence technology.

In this case, the problem of a lack of manpower in building maintenance management caused by the trend of labor shortage in an aging society can be determined by actively integrated smart building maintenance management with artificial intelligence, and provide proactive services.

For instance, the use of artificial intelligence technology can judge and interpret the indoor and outdoor environmental conditions, and adjust the operation of air-conditioning equipment according to the parameters of building equipment status and the number of users, thereby providing more energy-saving and more intimate customized building operation services. At the same time, it brings a new wave of service upgrades to the building management and maintenance industry.

This research aims to explore the way of applying artificial intelligence technology in buildings in order to proactively and accurately deliver building maintenance and operation management services and improve the cost-effectiveness of building maintenance and operation management.

## **II. Research Objectives**

1. Complete the collection of relevant information and cases from domestic and foreign on the application of artificial intelligence technology which is used to reduce the cost of building maintenance and management.
2. Complete the development of a situational interpretation algorithm based on artificial intelligence technology. Explain the reduction of human training costs and smart thresholds for building maintenance management.
3. Complete cases simulation analysis. Explain the quantitative and qualitative benefits of building maintenance and operation management that can be improved, which will be used as a reference for the addition and revision of our smart building evaluation manual.

## **III. Research Methods and Processes**

Through some survey on the existing information and models , analyze it's system functions, management structure, information requirements and capital requirements, etc., and propose relevant content suitable for reference.

This study develop a demo algorithm program base on artificial intelligence and computer vision for verification the usage of computer vison work on common management , we also successfully held two meetings with the relevant experts and summarizes corresponding reference and suggestion.





## 第一章 緒論

### 第一節. 研究緣起與背景

為配合行政院加速推動人工智慧應用產業發展，本所辦理「智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫」，爰規劃推動智慧建築作為人工智慧科技實驗場域。智慧建築維運管理，如積極的與人工智慧進行整合，提供主動式服務，可因應高齡少子女化社會缺工趨勢所產生的相關建築維運管理人力不足之問題。例如運用人工智慧科技判釋建築物設備、使用人數及室內外環境狀態，便能連動調整空氣調節設備運轉，形成更省能、更貼心的客製化建築營運服務，為建築物管理維護產業帶來新一波的服務昇級。本研究旨在探討如何應用人工智慧科技，主動、精準投遞建築物維運管理服務，提高建築物維運管理之成本效益。

### 第二節. 研究動機

建築資訊模型(buildinginformationmodelling, BIM)近年來除了為建築工程營造(AEC)界帶來了革新，同時也讓目前建築維運看見了潛力與曙光，國際設施管理協會(internationalfacilitymanagementassociation, IFMA)將設施維護這一項需藉由整合人、環境、過程與科技等層面之應用領域，將 BIM 導入並利用它完整且著重全面性之建築資訊與規範的特性確保建築效能正常(IFMA, 2014)。而在英國政府的推動下所成立的 BIMTASKGROUP 除了遵照政府政策執行策略，並致力推動建築生產建造供應鏈的各項職責。而在政府機關在制定了各項協同作業規範後，從 2016 年四月起，要求具有高度協作功能之建築資訊模型為未來建築的要求之一。

BIM 在建築生命週期各個階段所扮演的重要角色，讓其在未來成為一項基礎設施成為趨勢之一。因為它不僅擔任營建階段的有利工具或資料庫，所提供的各項彈性與整合功能同時能夠提供建築維運的各項需求，發揮其強大的應

用整合能力。然而現今建築維運的相關應用中，較偏重於設施管理(facility management, FM)與對於設施管理中建築效能提升與功能性是否正常，即便此要求是對於設施維護最常見的目標之一，但其以被動的方式解決維運過程中所衍生之問題，無法顯露出建築中使用者與環境現地即時情況，若使用者與環境的涵構關係沒有納入考量，在此情境下所做的建築維運決策，可能無法全面呼應建築使用者與環境真正的需求。這也點出建築維運管理所要面對的問題，使用者與環境空間會受到時間等因素影響而變動，例如空氣品質、溫度、使用者人數等，這些變動因素對於建築維運具有一定程度的重要影響，為了回應這個影響，本研究認為建築使用狀況必須被積極顯示，並需將這種變動關係反映在維運過程之中，將會是建築維運所需要完成的一項目標。

### 第三節. 研究目標

1. 完成國內外應用人工智慧科技減少建築物維運管理成本之相關資料及案例蒐集。
2. 完成以人工智慧科技為核心的情境判釋演算法之開發，說明可減少之建築物維運管理人力訓練成本與職能門檻。
3. 完成案例模擬分析，說明可提升之建築物維運管理量化及質化效益，供本所智慧建築評估手冊增修訂參考。

### 第四節. 本研究計畫之重要性

建築資訊模型(Building Information Model)近年來儼然成為一門應用顯學，各種相關的研究與應用在產官學界已形成一股不可小覷的影響力與實質成效。然而從整個建築生命週期的 1. 規劃設計、2. 施工營造、3. 維運使用三大階段來說，現階段的運用多注重在設計到製造(Design to Build)，卻較少延伸到「維運使用端」。事實上就整個建築生命週期來看，真正佔有較長比例的是在最後的使用營運階段。根據國內綠建築學者林憲德教授的研究報告中指

出，西歐的建築平均壽命大約可達 80 年，而台灣建築平均壽命雖然較短但也可長達 40 年左右，相較於建築從設計到施工的平均期程約莫 1-5 年，維運使用階段所佔的時間比例甚至可以達到整體建築生命週期的 90%以上。除此之外，根據相關的建築生命週期研究(林憲德，2007)，建築物在使用的過程會隨時間自然的老化，若沒有對建築物進行定期的更新修繕，建築物的效能很可能在 30 年內便會達到極限。但若能透過定期的維修保養，並納入適當的維運管理機制，則可以有效的延展建築物的使用年限與效能。綜合上述的觀點，下階段的 BIM 被投入到維運使用階段的產業應用，將是整個 BIM 發展歷程上不可避免的典範轉移。

BIM 介入到整個建築生命週期的預期成效可以從下圖中觀察出來，在左邊的設計與施工階段，固然資訊傳遞有落差，但因為各分項的營建技術日趨成熟，因此 BIM 介入後(綠線)可以提升的效能有限。然而進入到建築落成後的維運階段(右邊虛線紅框)，因為生活的面向非常廣泛，需用設備也相對的多元，導致各項資訊的不協調而造成資訊傳遞落差非常的大，因此若能透過 BIM 來進行資訊整合，則可以對於整體的建築效能產生極大的提升。

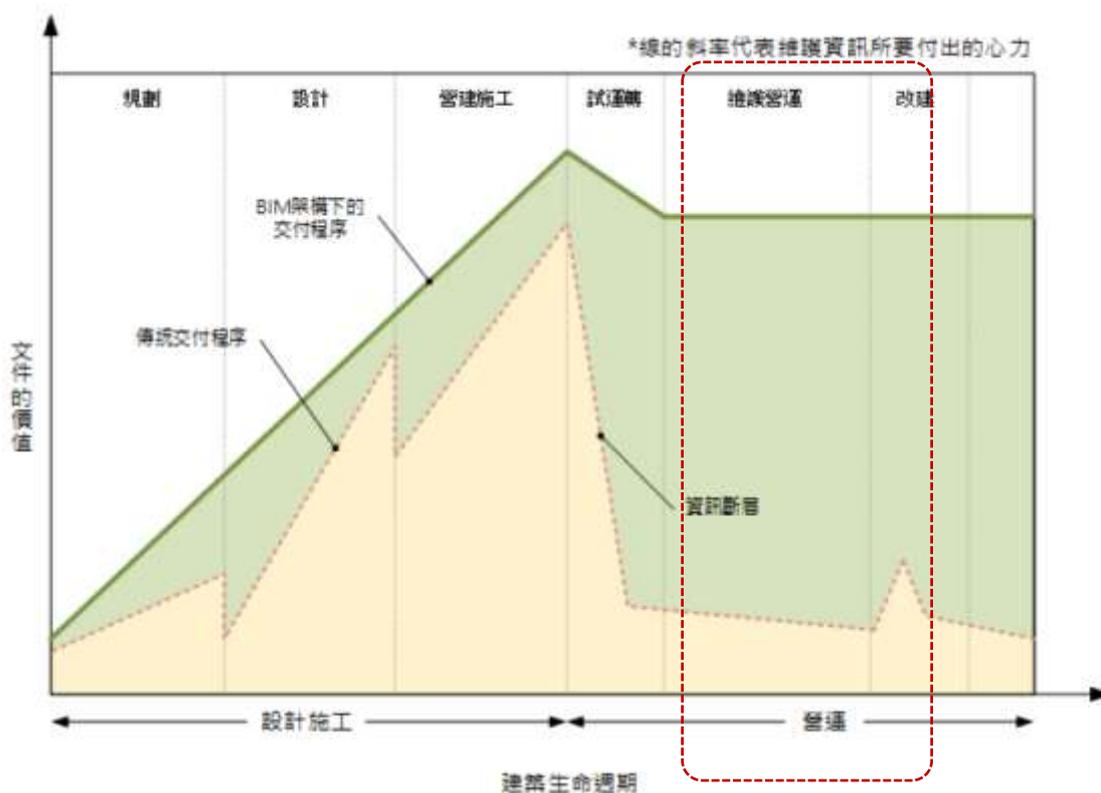


圖 1-1 建築生命週期的資訊傳遞落差與 BIM 介入後的提升  
(資料來源:Eastman, 2008)

## 第五節. 研究方法與流程

### 一、研究採用之方法

1. 資料蒐集：(1)透由文獻回顧與案例研究調查國外實際運用中或國內開發中的建築維護管理資訊系統(2)分析其維運系統功能、管理架構、資訊需求及資金需求等，提出適合國內參考相關內容(3)提出本計畫推動建議事項並與國內維護管理實務理想比對，了解 BIM 模型在維護管理作業階段中，除了收集移交資訊外，其實際之角色功能。
2. 實作驗證:開發一套示範性 BIM 維運管理系統，透過系統開發與整合的實際研發過程，驗證本研究所提出之應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之可行性與效益。並能完成案例模擬分析，說明可提升

之建築物維運管理量化及質化效益。

## 二、方法之原因

1. 資料蒐集的手法包括訪談、文獻、或案例研究。採用這些手法的原因在於汲取 BIM 過往的務實研究與經驗，從成功的案例中分析與歸納出未來可行的 BIM 全生命週期資訊傳遞模式，尤其是在維運管理階段 BIM 的資訊交付及可持續應用所會遭遇的困難與可行的應用方法。
2. 實作驗證主要是透過系統開發與整合的實際研發過程，對所提出之系統規劃與架構進行驗證，並提供用以評估的案例模擬分析，產出可提升之建築物維運管理量化及質化效益報告。

## 三、預計可能遭遇之困難及解決途徑

1. 遭遇問題: BIM 模型建置需求

解決途徑: 本研究團隊成員具備 BIM 建模能力，可建置 BIM 模型以利模擬建築生命週期建築資訊傳遞與轉移之情境，有助於本研究在建築維護管理結合建築資訊建模(BIM)之資訊系統開發。

2. 遭遇問題: 系統開發需整合建築與資訊方面等跨域的專業

解決途徑: 本研究除協同主持人同時具備建築 BIM 與資工方面的跨域知識與整合能力外，研究團隊成員亦具備電腦視覺、雲端系統、演算法編程等資工方面的專業，故應可為本研究所需要開發的 BIM 系統作出重要貢獻。

## 四、重要儀器之配合使用情形

本案所預計開發之系統原型預計會採用網路搭配雲端伺服器的模式進行運轉，故本案所需重要儀器為雲端伺服器主機等相關設備，例如

需要作出雲端空間的租用與支付使用管理權限費用等。

### 五、研究步驟(請以流程圖表示)

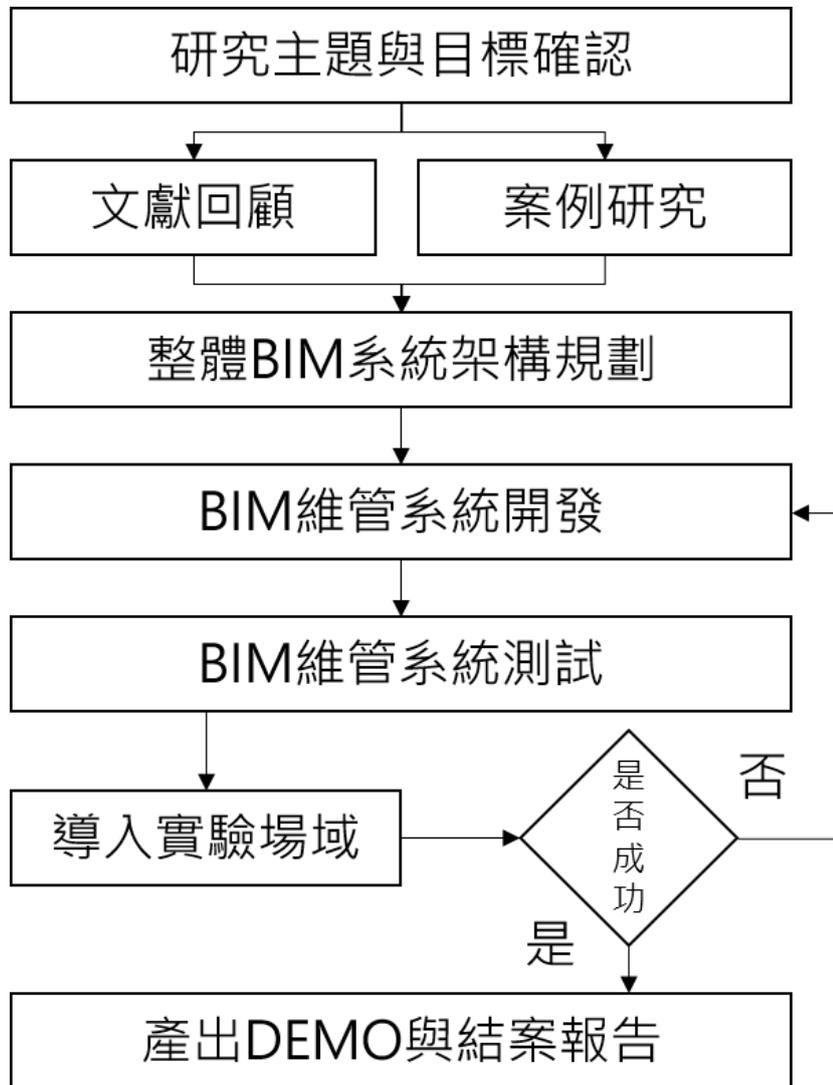


圖 1-2 研究步驟流程圖(資料來源:本研究)

### 第六節. 研究預期對相關施政之助益

本研究所預計完成之相關預計成果與效益如以下三點：

1. 對建築發展短中長期方面預期貢獻

短期貢獻:發展出一套建築維護管理結合建築資訊建模(BIM)之資訊系

統，預期可以起到系統方面的示範作用。

中期貢獻:探究建築維管的機制與效益評估，預期可做為建研所智慧建築評估手冊增修訂參考。

長期貢獻:探究 BIM 維運管理在產業應用的創新潛力，促進 BIM 產業與相關產業如物業管理的結合。

## 2. 對於經濟建設或社會發展方面預期效益

配合行政院加速推動人工智慧應用產業發展，本所辦理「智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫」，爰規劃推動智慧建築作為人工智慧科技實驗場域。智慧建築維運管理，如積極的與人工智慧進行整合，提供主動式服務，可因應高齡少子女化社會缺工趨勢所產生的相關建築維運管理人力不足之問題。

長期來看將以 BIM 作為維運管理應用的核心，藉此促進 BIM 產業與相關產業如物業管理、人工智慧應用、或是智慧建築產業等的結合，實現從智慧生活到智慧建築的整合性產業鏈。

## 3. 推廣應用計畫(如人才培育)

在相關人員的訓練上，本研究預計培養出同時具備建築專業能力與程式開發能力的跨領域整合型專業人才，該人才將對應到未來智慧建築營運管理上的需求，可以進行智慧建築設計，並有能力能夠將其設計與自動化控制進行結合，產生營運管理端的 BIM 與智慧建築實際整合。本計畫預計培育博士生 1 名，碩士生 1 名。



## 第二章 文獻探討-人工智慧

### 第一節. 人工智慧發展與影響

現代人類對於人工智慧(AI)科技之使用已是悄悄的融入我們的日常生活中。人工智慧一詞常於各新聞媒體報導中出現與使用，如 AlphaGo 打敗世界圍棋棋王，然對於一般非 AI 相關領域之人，往往只是偏於虛擬想像，無從得知究竟人工智慧是如何計算與運作，甚至連具體的人工智慧範疇也無法作說明，只能以片面資訊揣測人工智慧可能之面貌，所以欲了解人工智慧需從技術面之著手。

人工智慧一詞最早出現於 1956 年美國達特茅斯學院(DartmouthCollege)中的一場研討會中，由 JohnMcCarthy 教授為首的數人提出，並認為人工智慧是「製造智慧機械的科學與工程，尤其是指具有智慧的電腦程式」，而人工智慧具體運算程度或呈現類型於該定義中仍屬不明，雖然連人類須以何種表現或舉止可稱得上智慧，可能都無有令多數人滿意的答案，JohnMcCarthy 教授提出之定義觀之，可得出結論為人工智慧其核心技術強調電腦程式運算之能力，而其運算能力來自於演算法。而演算法是計算機科學中非常重要的基礎科目，是一個有限長度的具體計算步驟，以清晰定義指令來使輸入資料經過連續的計算過程後產生一個輸出結果，即演算法可被定義為電腦科學家為了解決問題，而設計出的一連串數學公式，以得到其想要的解答。

從人工智慧一詞出現的 1956 年到往後的 1974 年為 AI 的萌芽期，演算法著重於邏輯符號推導，以此來解代數題與數學證明題為主，當時急於嘗試將機器模擬轉成人工智慧，雖曾推出通用解難器(generalproblemslover)，目的在作為解決通用問題的機器，但畢竟當時軟硬體科技尚未發展到位，對於欲模擬人類思考之推理、學習與判斷能力，尚屬遙不可及。

自 80 年代起人工智慧技術蓬勃發展，各式演算法於不同領域中大放異彩，人工智慧之技術發展雖難以區分發展階段，但仍可由一些劃時代的人工智慧核心技術出現作為分界，本文根據 2016 年美國白宮科技政策辦公室(The White House Office of Science and Technology Policy, OSTP)發布的國家人工智慧研發政策計劃(National Artificial Intelligence Research And Development Strategic Plan)，將人工智慧發展分類為三個階段。1. 手工知識 (Handcrafted Knowledge) 階段 2. 統計學習 (Statistical Learning) 階段 3. 語境順應 (Contextual Adaptation) 階段。

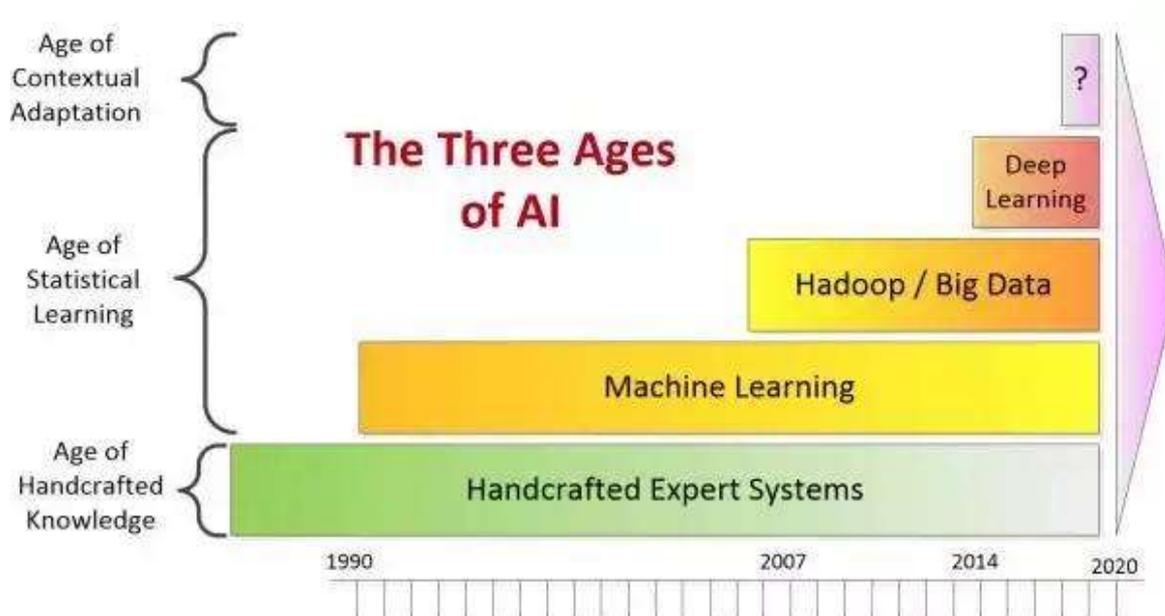


圖 2-1 人工智慧發展分類為三個階段  
(資料來源: Three Waves of AI,2018)

### 一、 第一階段人工智慧發展

由 1980 年代開始發展，主要是把大量專家的知識輸入電腦中，電腦依照使用者的問題判斷答案，專家系統應用在疾病診斷，連續的問題有一個判斷錯誤則得到錯誤的結果，而且知識是無窮無盡的，不可能把所有的

知識都輸入電腦，還把所有知識的前後順序都找出來，因此最後變得不實用，到了 1990 年代又冷卻了下來。

此時為手工知識(handcrafted knowledge)階段，以人類專家所整理收集好的知識庫，轉成以若則規則(if then rules)表示，依靠的人工智慧為規則式專家系統(rule-based expert systems)，於硬體上實行。此系統之運行方法是通過知識庫中的知識來模擬專家的思維方式的，因此，知識庫是專家系統質量是否優越的關鍵所在，即知識庫中知識的質量和數量決定著專家系統的質量水平。一般來說，專家系統中的知識庫與專家系統程式是相互獨立的，用戶可以通過改變、完善知識庫中的知識內容來提高專家系統的效能。

目前專家系統仍大量用於現今 AI 應用產品上，日常生活中依然隨處可見。例如產品商輸入產品名稱、購買日期、使用年限等等，以系統算出故障率的風險評估，即是將風險因子資料化的的風險評估；部分金融科技針對資產運用諮詢，客戶輸入相關資產狀況等資料，系統可以提供其資料庫中合適的最佳方案；而可以算出最佳化路徑的系統只要輸入的目的地與出發地即可算出資料庫中的最佳運輸行程。然而專家系統其最大的限制在於其資料庫須以手動來輸入資料，不但資料更新不易，也使系統資料量因此受限。

## 二、第二階段人工智慧發展

第二階段人工智慧開始發展於 2000 年代為統計學習 (Statistical Learning) 階段，主要的人工智慧核心在於機器學習 (machine learning, ML) 演算法研究與大數據分析，是以透過更大量的資料利用、較不昂貴的大規模平行計算能力與更進步的學習技術使 AI 有的更進一步的突破，能處理更多的事物，例如圖文辨識、語音辨識和人類語言轉譯等等。

機器學習演算法之定義雖為公認之技術但各界以文字呈現之說明不一，而以 Google 公司為例，其定義為：「一個利用所輸入的資料去建置或訓練而來的程式或系統，系統會利用學習出來的模組，以訓練資料模組所得來的新數據 (或從未見過的數據) 做出有用的預測。」由此可知，機器學習演算法不同於傳統演算法需按照事先設計的程式模式規則以按部就班之方式進行編碼，而是脫離此種限制，不需經過人類設計程式化模組，可以從資料中去學習系統建置加上隨著大數據發展，以資料探勘的技術所收集的關聯性資料，是助於人工智慧機器學習的有價值資料，使機器學習演算法在資料訓練上更有效率更豐富，進而提升演算法學習效果。

第二階段人工智慧發展階段中演算法以機器學習演算法為核心，為了解決不同應用面上的需求，衍生出不同類型之機器學習演算法，其中包含應用廣泛的有監督式學習 (supervised learning) 演算法、非監督式學習 (unsupervised learning) 演算法、強化學習 (reinforcement

learning)、深度學習(deep learning)演算法等等。非監督式與監督式的學習演算法之差異，主要在於對於所欲訓練 AI 的訓練資料集之標示與其所形成之模組，形成不同功能之應用。非監督式學習演算法使用非標示的訓練資料集，表示其資料皆未標示對或錯的的答案標示或其他等等之標示，並利用此種資料自行特徵與規則後建立模組，例如在一堆相片中計算出有多少不同的人，即需要有自動分類人臉之演算能力；監督式學習演算法則使用已標示好的訓練資料集來訓練模組，可以用來分類或整理新的或未曾遇過的資料集，例如學習如何在一堆照片中找出一位特定之人，即為此演算法之應用。

強化學習演算法如同人類藉由嘗試錯誤方法，經歷多次成功與失敗後而學習，使 AI 系統自行做決策，再將其所作出之決策以回饋信號告訴系統其決策是好或壞，最終系統依照不同的回饋與評價基準來獲得各式各樣的對應模式，對於沒有明確答案的問題是有效果的解決方式，方法與概念較接近非監督式學習演算法。有些機器學習演算法利用如同人類神經網路(neural networks)之概念的演算法技術，其模組架構如同人類神經系統有輸入層、輸出層、與中間密密麻麻的隱藏層或稱中間層，其網絡是由許多如微小神經元般的運算單元相互連接而成。深度學習演算法為現今應用最廣泛的類神經網路演算法，由監督式學習技術結合類神經網路的多層次模組，以預先訓練(pretraining)設定各層特徵量以自動辨

識資料集的特徵，再開始正式學習，使深度學習演算法能產生相關判斷、決策或建議，與運算模組的持續自我修正或改善<sup>23</sup>。從深度學習演算法中，不同領域之應用也發展出不同類型的深度學習演算法，最具代表性的應用技術即為卷積神經網路 (Convolutional Neural Networks; CNN) 演算法受到生物行為模式的啟發，特別是大腦如何理解從眼睛接收到的信號，以目前來說，現有的影像識別系統便是採用 CNN 演算法來執行影像分類、定位與對象檢測等工作。近年來，科學界對於卷積神經網路的興趣不斷提高，因為它正被大量運用於智慧監控、社交網絡照片標記和影像分類、機器人、醫學影像辨識，無人機和自動駕駛汽車等用途上，包括 Google、Amazon、Facebook 等數據工程師則使用它來進行各種圖像過濾和分類。而循環神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN) 演算法同樣也是深度學習中應用廣泛的演算法技術，不同於 CNN 演算法如同眼睛的功能，其相當於耳朵和嘴巴的角色，而其在語音辨識方面的表現十分出色，RNN 演算法的出現加快了語音方面運算革命的發展腳步。RNN 演算法使用的長期短期記憶網路，可以用於一系列資料以猜測接下來會發生的內容，某些層的輸出內容透過 RNN 演算法送回到前一層當成輸入項，如此一來便建立起回饋迴路，RNN 演算法不只能用於處理自然語言和語音辨識，還能用於語言翻譯、股票預測和演算法交易。然而有專家表示在深度學習中以語音辨識和視覺辨識的進展最快，但此種類神經網路演算法已從原先 152 層神

經網路訓練出來的模組，因 AI 工程師欲增加演算準度，發展層數遽增，導致最終 AI 工程師無法對 AI 所預測或判斷的結果解釋其來由，相較於第一波人工智慧的專家系統，產生許多演算法解釋性上問題，稱為 AI 黑盒子。

發展至深度學習演算法，機器人學(Robotics)所仰賴之軟體系統之核心，也深受其影響，機器人學的軟體系統面雖與 AI 演算法或系統關係密不可分，但其硬體面仍以機械學、電子學等傳統電機科學為主體，非屬純 AI 的科學學門，但因為媒體與影音娛樂之過度渲染，時常被誤認機器人學等同於人工智慧學。機器人學可被定義為「AI 在物質世界的表現」(AI in action in the physical world)，以具備有高動態與型態變化複雜性的機械所構成的機器人，搭配具有感知外界、邏輯推演、行為動作、學習能力與互動能力效能的系統，來達成整體機器人系統的控制架構。因此，有了機器人學物質面的支持，第二波人工智慧所發展的 AI 演算法等技術與應用得以發揮與實現，為使機器人達成如人類一般的行為與思考，甚至展現人類全面的智慧表現，人工智慧學與機器人學的發展也開始邁向技術多元整合，開啟了位於現今的三波人工智慧發展。

### 三、第三階段人工智慧發展

第三階段語境順應 (Contextual Adaptation) 階段，從機器學習演算法、深度學習演算法、機器人學等等 AI 科技出現，AI 開始有了多元性

應用的可能。我們日常所使用的 AI 系統大多只能於該應用領域處理單一特定事務，稱為弱 AI(NarrowAI)，然而隨者軟硬體的提升科學家所追求的為更全能的 AI 系統，稱為強 AI(StrongerAI)，其定義為除了能夠達到自我學習外，還要能處理各種不同事務之問題，並有學習解決新問題之能力，甚至包含能否擁有人類意識的概念。然而目前尚未開發出效能如同強 AI 一般之系統，但某些產業已漸漸開發出接近全自動的應用與系統，例如汽車產業，而真正的全自動仍為眾人所追求的未來目標。而第三波人工智慧即將從現階段開始。在多元 AI 系統與機械硬體之整合的同時，將聚焦於強 AI 的研究，使 AI 應用在各方面能達到全自動之效能，超越原來弱 AI 之效能，欲達成擁有近乎人類智慧表現的階段；而為解決與改善於第二波人工智慧發展中由機器學習演算法所衍生之深度學習演算法產生的黑盒子問題，針對 AI 的可解釋性上做技術的提升，以透過加強學習型模組的可解釋性與可校正性，來釐清訊息輸出依靠的基礎，並增加 AI 可信度與系統操作之透明性，在欲達到更多功能之運行之外更能解決更多 AI 演算法上之產生的技術面問題。

## 第二節. 人工智慧方法彙整

隨著人工智慧科技的進步與大數據資料庫的快速發展，各領域逐漸導入人工智慧增加其產業之競爭力，以達到人為失誤減少或人力成本之負擔，以解決產業發展之瓶頸及困境。根據人工智慧實踐方法(圖 2-2)可以分為 1. 機器學習 Machine Learning(ML)、2. 自然語言處理 Natural Language Processing

(NLP)、3. 專家系統 ExpertSystems、4. 視覺 Vision、5. 語言 Speech、6. 規劃 Planning、7. 機器人 Robotics(M. Noguera, 2018)，並以其中四個項目為當前人工智慧發展趨勢：

**(1) 機器學習 MachineLearning(ML)：**

機器學習是對計算機算法的研究，該算法允許計算機程序根據經驗自動修正，機器學習透過檢查和比較數據以找到常規的模式並探索細微差別來處理小型或大型數據集。

**(2) 自然語言處理 NaturalLanguageProcessing(NLP)：**

以有價值的方式閱讀、解讀、理解和理解人類語言。大多數 NLP 技術都依靠機器學習來從人類語言中獲取含義。在生活中常見的應用例如人與機器對話、垃圾電子郵件檢測皆為自然語言處理的應用。

**(3) 視覺 Vision：**

機器視覺系統是指用電腦來實現人的視覺功能，試圖從圖像或者多維資料中取得資訊的人工智慧系統，也就是用電腦來對三維實現的客觀識別，透過攝影機將影像轉換數位訊號來進行分析當中資訊。

**(4) 機器人 Robotics：**

涵蓋了機器人的設計、建造、運作、以及應用的跨領域科技。

機器人通常用於執行人類難以執行或持續重複執行的任務，取代人力的自動化機器。



圖 2-2 人工智慧技術方法

(資料來源:本研究修改自 M. Noguier, 2018)

(圖 2-2)機器學習作為人工智慧的一部分，主要功能是當電腦獲得大量資訊時，通過自主學習和分析資訊內容並且自我進化，最終得出答案或回饋。實現機器學習需要提供機器大量的資訊並設定目標，機器透過分類，統計，分析和預測，找出其中隱藏的資訊和分析的模型，而不需要通過重複寫程式的傳統方法

來指示機器分析資訊的方向。機器學習對資訊的處理方式可以運用在人工智慧的各個領域當中，例如視覺，自然語言，規劃，機器人等，進而節省大量的人力與時間，最終機器能夠更貼近人的思考模式。

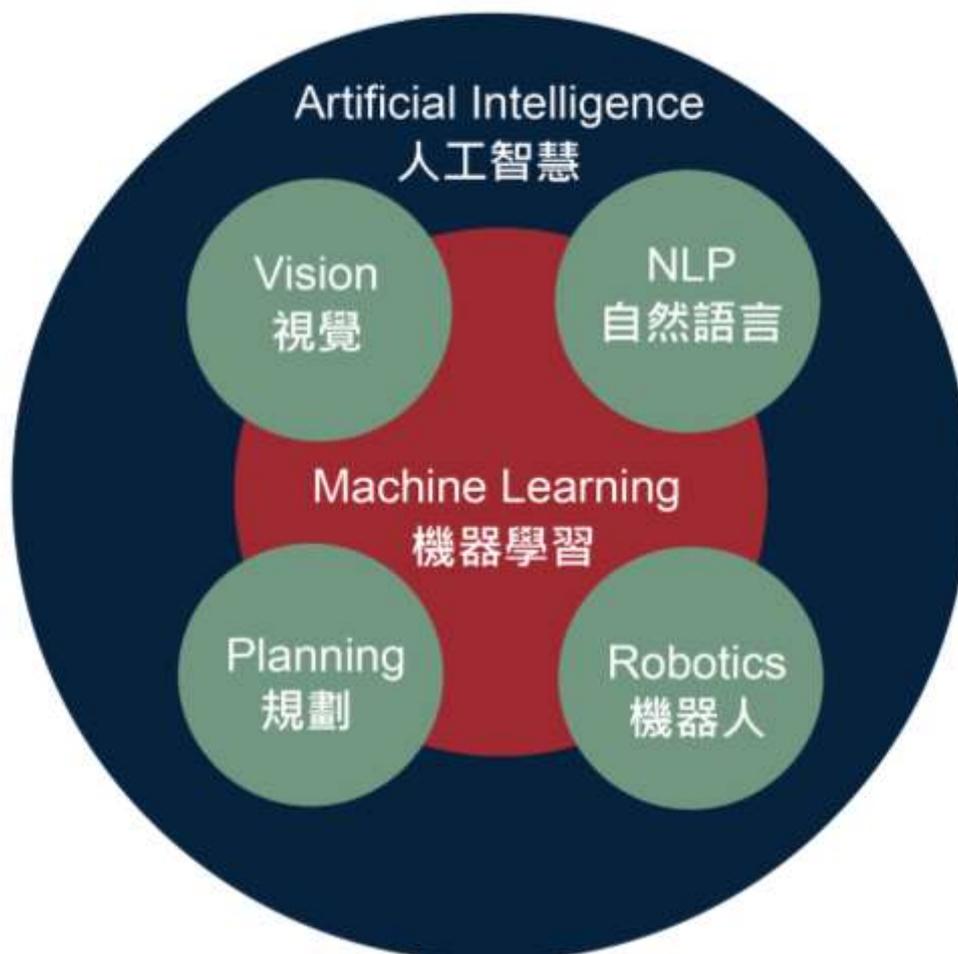


圖 2-3 人工智慧應用領域

(資料來源:本研究)

### 第三節. 國內外人工智慧應用案例

近年來機器學習已經廣泛被運用在生活當中，(圖 2-4) Voxe151 位於美國密西根州安娜堡市，主要服務從視頻影像中建構對於影像判釋與數據管理，在 2020 年全球 COVID-19 衝擊下借助計算機視覺模型和實時公共路況視頻，監測公共區域社交疏離的分析，基於個人的保護隱私原則下，只提供社交區域

人與人的相對位置關係，並且分析人群聚集對於死亡率的關係，從數據說明冠狀病毒和全球必要的預防措施已對日常生活產生了深遠的影響在 3 月份，上述所有城市的公共社交活動均急劇下降。依據數據分析影響決策的方向，未來也依據物理距離指數提供下次爆發的疾病一種預測性的模型評估。



圖 2-4Voxel51 影像判釋與數據分析

(資料來源：Voxel51)

CCTV 攝影機影像可應用於許多的環境監測，同時 CCTV 遍布於各種室內與室外空間當中，除了紀錄影像功能，以影像識別方式可以提高感測器效益與人員管理成本，影像識別的應用非常廣泛包含圖像分類 (Image Classification)、對象偵測 (Object Detection)、實例分類 (Instance Segmentation)、語意分類 (Semantic Segmentation)、姿勢評估 (Pose Estimation)、動作識別 (Action Recognition)、對象跟蹤 (Object Tracking)、空間定位等 (Space Positioning)，影像辨識技術為建築管理於施工端與維運端解決大量重複性人工的工作，(圖 2-5) Gorilla Technology Group\_大猩

猩科技股份有限公司位於台灣台北市，藉由 CCTV 智能和物聯網技術，分析和提取數位內容中的資訊，以推動智能解決方案和自動化，隨著時間的推移分析使用者採取的行為，從視頻中判釋是否發生事件或行為，扮演 24 小時的監督者，為管理員提供了一種更好地大規模監控，管理和決策的方法，邊緣計算技術連接到未來的智慧城市，正在影響建築或城市管理模式。



圖 2-5GorillaTechnologyGroup 視頻分析維運管理介面

(資料來源: GorillaTechnologyGroup)

Smartvid.io(圖 2-6)是一個施工現場照片和視頻管理平台，其中包括一個' SmartTag' 引擎，可以利用機器學習、語音和圖像辨識將施工現場的照片和視頻進行自動標記，以便整理數據及搜索。Smartvid.io 的這款機械學習技術叫 VINNIE(VeryIntel ligent Neural Networkfor Insight& Evaluation)，並聲稱其採用深度學習模式分析影像和語音，以自動標記施工數據資料並主動向客戶提供安全措施建議。根據 Smartvid.io 和 Engineering News Record 的案例研究，VINNIE 曾進行人工智慧用於提升施工安全的示範，能在 10 分鐘內辨識 1,080 張施工照片，並正確辨識 446 張含有人像的照片、未著安全帽者、未著安全反光衣工人之照片。相較於人工需要 4.5 小時才能完成相同的任務。這種自動化工地監測可以為工地現場增加一對“眼睛”，動態辨識潛在

風險因素，是有助於提升施工安全的。

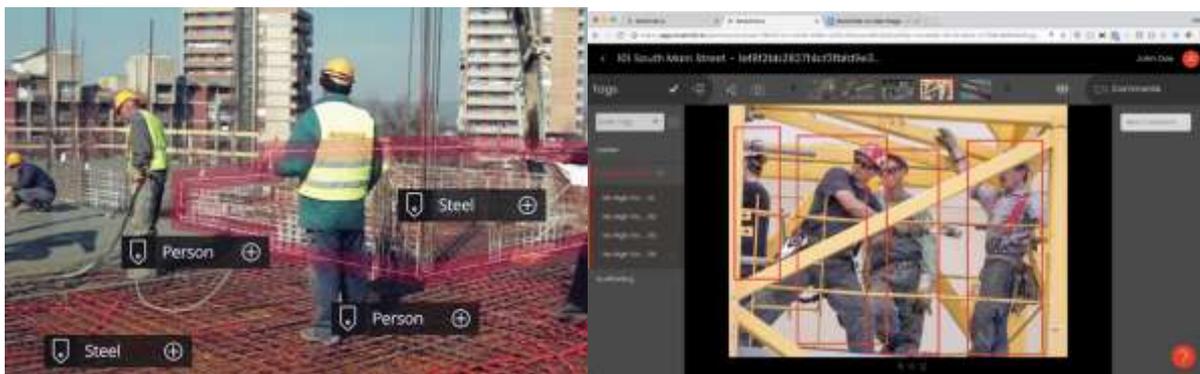


圖 2-6 利用 AI 影像辨識技術導入施工現場管理

(資料來源:Smartvid.io)

根據文獻探討整理目前人工智慧發展趨勢應用面向如下

表 2-1 人工智慧應用面向

應用面向	技術方法	說明
機器學習 Machine Learning(ML)	深度學習 Deep learning	機器學習理論主要是設計和分析一些讓電腦可以自動「學習」的演算法。機器學習演算法是一類從資料中自動分析獲得規律，並利用規律對未知資料進行預測的演算法。
	監督式學習 Supervised	
	無監督式學習 Unsupervised	
自然語言處理 Natural Language Processing(NLP)	內容擷取 Content Extraction	自然語言認知和理解是讓電腦把輸入的語言變成有意思的符號和關係，然後根據目的再處理。自然語言生成系統則是把計算機資料轉化為自然語言。
	文本分類 Text Classification	
	機器翻譯 Machine Translation	
	問答系統 Question Answering	
自然語言生成 Natural language generation		
專家系統 Expert Systems		專家系統適合於完成那些沒有公認的理論和方法、數據不精確或資訊不完整、人類專家短缺或專門知識十分昂貴的診斷、解釋、監控、預

		測、規劃和設計等任務。
視覺 Vision	<b>影像識別 ImageRecognition</b>	是配備有感測視覺儀器（如自動對焦相機或感測器）的檢測機器，其中光學檢測儀器占有比重非常高，可用於檢測出各種產品的缺陷，或者用與判斷並選擇出物體，或者用來測量尺寸...等，應用在自動化生產線上對物料進行校準與定位。
	<b>機器視覺 MachineVision</b>	
語言 Speech	<b>語音轉換文字 SpeechtoText</b>	電腦自動將人類的語音內容轉換為相應的文字。與說話人辨識及說話人確認不同，後者嘗試辨識或確認發出語音的說話人而非其中所包含的詞彙內容。
	<b>文字轉換語言 TexttoSpeech</b>	
規劃 Planning	<b>自動化計劃 AutomatedPlanning</b>	在具有可用模型的已知環境中，可以離線進行計劃。解決方案可以在執行之前找到並評估。在動態未知的環境中，通常需要在線修改該策略。模式和政策必須調整。解決方案通常採用人工智能中常見的迭代試驗和錯誤過程。
	<b>自動排程 Automatedscheduling</b>	
機器人 Robotics	<b>機械手臂 roboticarm</b>	是一項涵蓋了機器人的設計、建造、運作、以及應用的跨領域科技，就如同電腦系統之控制、感測回授、以及資訊處理。

(資料來源:本研究)



## 第三章 文獻探討-維運管理

### 第一節. 建築維運管理現況

美國國家標準與技術研究院(NIST)於 2004 年 12 月發表的「美國資本設施工業可互通性不佳之成本分析」研究中，闡述設計、施工、維運時所需資訊，因數據儲存不佳與缺乏可互通性所造成的效率不佳。建築資訊模型(BuildingInformationModel)近年來儼然成為一門應用顯學，各種相關的研究與應用在產官學界已形成一股不可小覷的影響力與實質成效。然而從整個建築生命週期的 1. 規劃設計、2. 施工營造、3. 維運使用三大階段來說，現階段的運用多注重在設計到製造(Design to Build)，卻較少延伸到「維運使用端」。事實上就整個建築生命週期來看，建築初始成本僅約佔總成本的 2%，而運營和維護成本則為 6%，人員成本則為 92%。



圖 3-1 建築物 30 年成本比例

(資料來源: Sustainable Building Technical Manual, 1994)

根據國內綠建築學者林憲德教授的研究報告中指出，西歐的建築平均壽命大約可達 80 年，而台灣建築平均壽命雖然較短但也可長達 40 年左右，相

較於建築從設計到施工的平均期程約莫 1-5 年，維運使用階段所佔的時間比例甚至可以達到整體建築生命週期的 90%以上。除此之外，根據相關的建築生命週期研究(林憲德，2007)，建築物在使用的過程會隨時間自然的老化，若沒有對建築物進行定期的更新修繕，建築物的效能很可能在 30 年內便會達到極限。但若能透過定期的維修保養，並納入適當的維運管理機制，則可以有效的延展建築物的使用年限與效能。綜合上述的觀點，下階段的 BIM 被投入到維運使用階段的產業應用，將是整個 BIM 發展歷程上不可避免的典範轉移。

BIM 介入到整個建築生命週期的預期成效可以從 (圖 3-2) 中觀察出來，在左邊的設計與施工階段，固然資訊傳遞有落差，但因為各分項的營建技術日趨成熟，因此 BIM 介入後(綠線)可以提升的效能有限。然而進入到建築落成後的維運階段(右邊虛線紅框)，因為生活的面向非常廣泛，需用設備也相對的多元，導致各項資訊的不協調而造成資訊傳遞落差非常的大，因此若能透過 BIM 來進行資訊整合，則可以對於整體的建築效能產生極大的提升。

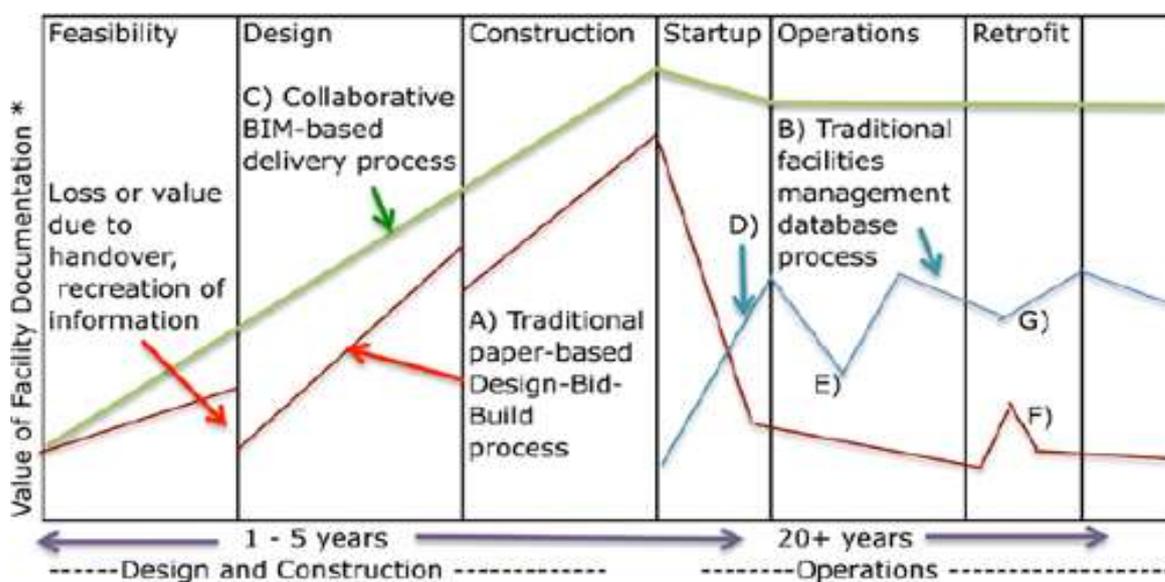


圖 3-2 建築生命週期的資訊傳遞落差與 BIM 介入後的提升

(資料來源:Eastman, 2008)

「BIM 是設施管理必須參與的，並且必須盡快開始參與」(BIFM, 2012 年)。  
 建築資訊模型 (BIM) 是一種可管理的方法，用於收集和利用整個項目中的資

訊 (GCCG, 2011 年)。BIM 的核心是三維模型，其中包含有關資產設計，構造和操作的圖形和非圖形資訊。建築物運營和維護 (O&M) 的持續成本遠遠超過了設計和建造的初始資本支出 (Cotts, 2010)，無效的設施移交和基本資訊的丟失會大大增加這些成本 (Sabol, 2013) 建議透過 BIMforFM 做為這些問題的解決方案，BIM 可以提供數據匯集存儲功能，在建築物的整個生命週期中將其移交給使用者和設施管理員 (Sabol, 2013 年)，從而改善運維效能，培訓，並延長設備壽命 (Foster, 2012 年)。

儘管 FM 社區越來越意識到 BIM，但人們普遍認為 FM 的發展步伐緩慢，設施管理人員不確定如何有效地將 BIM 用於 FM (BIFM, 2012 年)。設計，施工和維運團隊之間的合作是 BIMforFM 成功的基礎 (NBS, 2013)，但是 FM 給建築環境帶來的價值存在明顯的差距，施工對 FM 並不了解，為了使 BIM 有價值，必須與 FM 軟件 (Teicholz, 2013) 結合，例如計算機輔助設施管理 (CAFM)。

資訊是設施管理 (FM) 重要核心 (Atkin, 2009)，因為它需要大量資訊才能高效有效地操作設施 (Teicholz, 2013; Wang 等, 2013; Janus, 2012)。傳統上，大多數建築物資訊都以紙本文檔存儲，在建築物運營後，有時在幾個月後才提供給設施管理員 (Teicholz, 2013 年)。「設計，建造和運營相關的許多有價值的數據在其使用壽命期間都會丟失」(NRC, 1983 年)，圖 3-3 因為資訊的遺失所成的成本的增加。

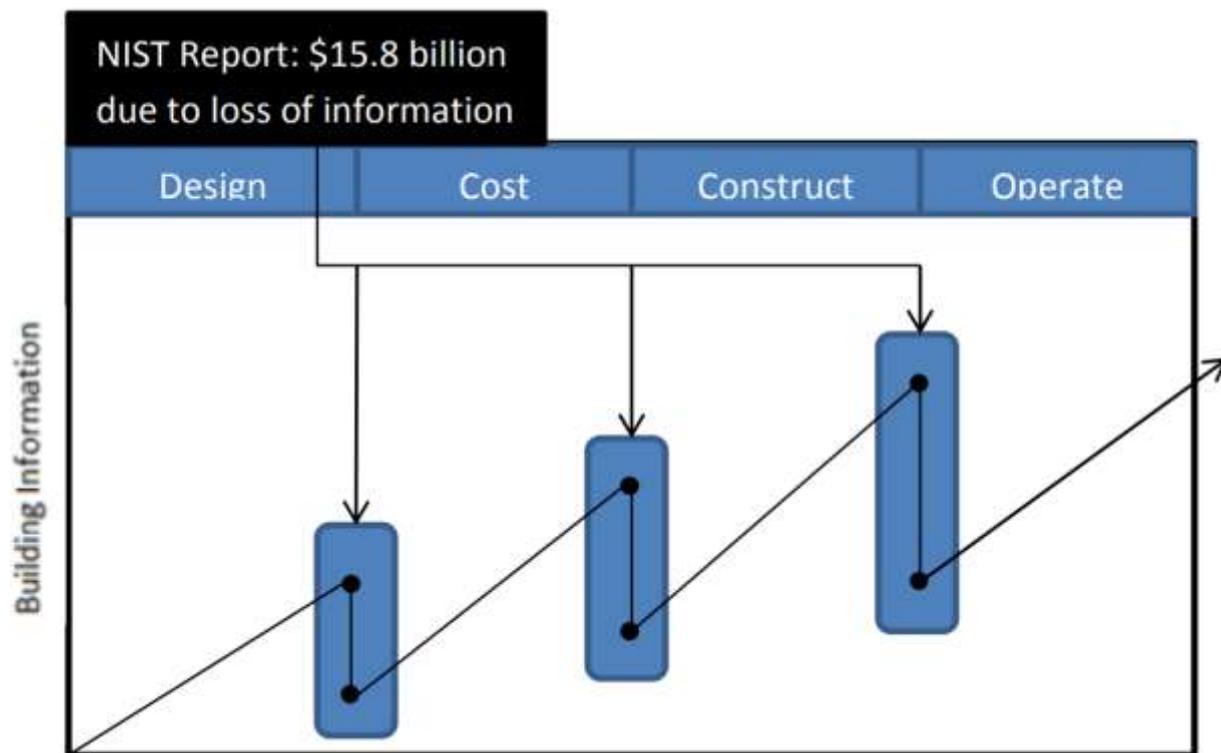


圖 3-3 資訊遺失所造成價值損失

(資料來源:Teicholz, 2013 年)

2004 年國家標準與技術研究院(NIST)在「美國資本設施工業可互通性不佳之成本分析」中敘述在整個建築生命週期當中，設計、施工、維運三個階段因為資訊傳遞不足所造成的成本影響，(表 3-1) 可以了解到建築維運時因資訊不足造成成本佔 57.5%，因此資訊傳遞與儲存對於維運管理相當重要，根據 2009 年國際設施管理協會(IFMA)的維護調查，在營運與維護(O&M)上，因資訊傳遞不佳所增加的成本為每平方英尺 0.24 美金，佔據全年平均 O&M 成本 12.4%。

表 3-1 2004 年因資訊互通性不足而造成而外成本增加 NIST04-867ES-2

利益相關者	規劃、設計、策畫階段	施工階段	營運與維護階段	總計	總計百分比
建築師與工程師	1007.2	147.0	15.7	1169.8	7.4%
每平方英尺	0.89	0.13		1.02	
總承包商	485.9	1265.3	50.4	1801.6	11.4%
每平方英尺	0.43	1.11			

製造商與供應商	442.4	1762.2		2204.6	13.9%
每平方英尺	0.39	1.55			
業主與經營者	722.8	898.0	9072.2	10648.0	67.3%
每平方英尺	0.64	0.79	0.23	1.66	
總計	2658.3	4072.4	9093.3	15824.0	100%
每平方英尺	2.34	3.58	0.24	6.16	
總百分比	16.8%	25.7%	57.5%	100%	

(資料來源: NIST04-867ES-2)

根據美國資本設施工業可互通性不佳之成本分析，建築生命週期三個階段資訊傳遞落差所帶來的成本分別為(圖 3-4)，規劃、設計、策畫階段占 17%、施工階段占 26%，而因資訊互通性不足造成成本上升最多的為營運與維護階段 58%。

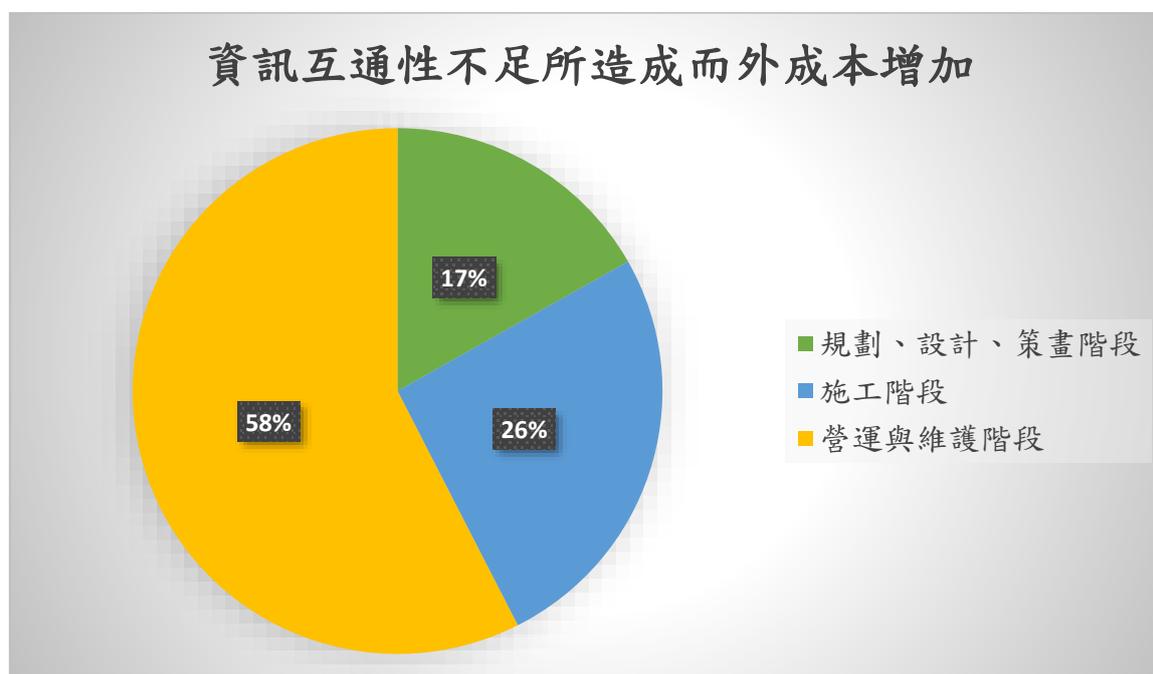


圖 3-4 建築三個階段因資訊互通性不足而造成而外成本增加百分比

(資料來源:本研究)

2005 年 Howell 和 Batcheler 在 TheLaiserinLetter (<http://www.laiserin.com/>) 中所提出之建築資訊模型 (BuildingInformationModeling, BIM) 概念，就是期望將建築工程中圖形與

非圖形資訊整合於資料模型中，而這些資訊不只是可以應用於設計施工階段，亦可以應用於建築物的整個生命週期(BuildingLifeCycle)。生命週期各階段的維運人員可持續更新與維護 BIM 模型，最後在建築物興建完成後將此 BIM 模型應用於設施維運管理上，便可節省傳統設施管理系統中資料查閱的人力成本與時間，並減低人為所造成的錯誤。因為不同生命週期階段對模型的需求並不相同，建築生命週期中逐漸整合建立一個以設施維護管理為應用目標的 BIM 資訊模型。(圖 3-5) BIM 在介入縮短了 AEC 與業主之間的資訊溝通落差，以 BIM 為基礎建構可不斷更新的動態資料庫，並透過精確完整的降低資訊調閱與 O&M 的成本，更有效的存取 FM 數據，以利於後續管理上的分析使用。



圖 3-5 BIM 與 FM 整合可獲取優勢  
(資料來源：設施管理者的 BIM 指南 IFMA、2015)

## 第二節. 建築維運管理項目

### 一、設施管理定義

設施管理(Facility Management, FM)，針對各國 FM 的定義(表 3-2)，國際設施管理協會(IFMA)及美國國會圖書館(American Library Congress)對於設施管理的定義：「保持業務空間高品質的生活和提高投資效益為目的，以最新的技術對人類有效的生活環境進行規劃、整備和維護管理的工作」，且「整合了商業行政、建築學、行為學及工程科學的基本原理，達到確保建築物與環境的功能運作正常。使工作人員、組織與實質的工作場域互相協調」。以台灣目前對於設施管理大致可區分為兩大項(1)營運管理及(2)維護管理。營運管理主要是使該動作的有所動作以提供建築設施基本運作之目的；維護管理主要是協助設施維持其機能所做的處置，除基本運作之要求外更透過定期檢修、老舊零件更換等方式要求機能應保持在一定水準之上(李兆平，2001)。

表 3-2 各國設施管理的定義

國家/年份	設施管理之定義
美國國際設施管理協會，IFMA，2010	設施管理是一門涵蓋多門學科之專業，充分整合人、物、地點、流程及科技。目標在確保整個建築環境內之設施能充分發揮其應有功能。

<p>英國建築特許機構，CIOB，2010</p>	<p>鑑於建築物的設計、施工、使用及維護等階段彼此有密切關連，所以特別強調建築設施管理除了空間的規劃及設計之外，更包括了建築物本身及周圍環境的有效維護、營運及使用</p>
<p>日本建築協會專門委員會，JIA，2012</p>	<p>FM 乃對企業所持有的資產（人、物、空間等）進行企劃、實施、管理檢核的連續過程之活動。以企業經營的目的而言，FM 乃為達成工作品質的提昇、資料庫的累積、設施的適切管理與計劃等效果。</p>
<p>香港設施管理學會，HKIFM，2010</p>	<p>香港設施管理學會為設施管理不單只是一個過程，更同時是一門專業；它更確認機構可透過這整合的門徑，應用於全球的設施管理及促進有效的人力和樓宇資產管理上，定能提昇企業的競爭力。</p>
<p>台灣綠建築發展協會，2011</p>	<p>設施管理即運用高科技把有限資源及建築空間進行綜合開發利用，以提供舒適、安全、便捷之使用環境，並有效地節省建築營運費用、保護環境及降低資源消耗。</p>

(資料來源:本研究彙整)

## 二、IFMA 維運管理項目

國際設施管理協會(IFMA)將建築設施管理所涵蓋可辨識的功能(IdentifiableFMFunctions)分為 1. 維護/營運管理、2. 物業管理、3. 服務三大類(圖 3-6)。

### 1. 維護/營運管理(Maintenance/OperationManagement)

(1) 監控/追蹤：功能效能為整個設施或設施的任何部分，能夠滿足所在組織的需求以及組織活動對住宿的影響。

(2) 維護/變更/修理：包含建築物外部管理維護(屋頂、外觀、窗戶等系統)、預防性的管理維護、能源管理、管理維護方案、災害救援、服務購置(運作、管理維護、修繕)。

(3) 空間管理：空間使用管理、移動管理。其中空間使用管理：面積測量/計算、空間分配、空間任務、空間適應性評估、空間規劃、空間預測、用後評估、標誌放置。

### 2. 物業管理(PropertyManagement)

物業管理是物業的一種增值服務，除了提供建築物內勞務與服務，以延續建築物壽命與使用的基本需求外，亦可藉由營運管理而增加收入，以提升不動產與土地的價值。

### 3. 服務(Services)

倉庫管理、保管工作規劃、複印/打印服務、回收、應急計畫、火災防護措施、安全服務。

BIMforFacilityManagers 一書中指出 BIM 的應用主要於設計與施工階段中佔據大多數，於建築物維運階段中並沒有達到使用最佳實踐。則包含不僅資料庫統一，使物件模型及設備、裝置提供數據，有效資源各種分析特別是針對能源與永續經營，更能夠支援緊急應變以及情節規劃，可被用來提升建築生命週期的需求(Teicholz, 2013)。因此本研究認為建築物要能達到永續性運用，則需要以 BIM 導入於維運階段中全面性的思考與環境之間的互動關係，具備能察覺動態環境資訊的能力，才能使其機制導入後端的運作系統並且回饋至生命週期的應用。

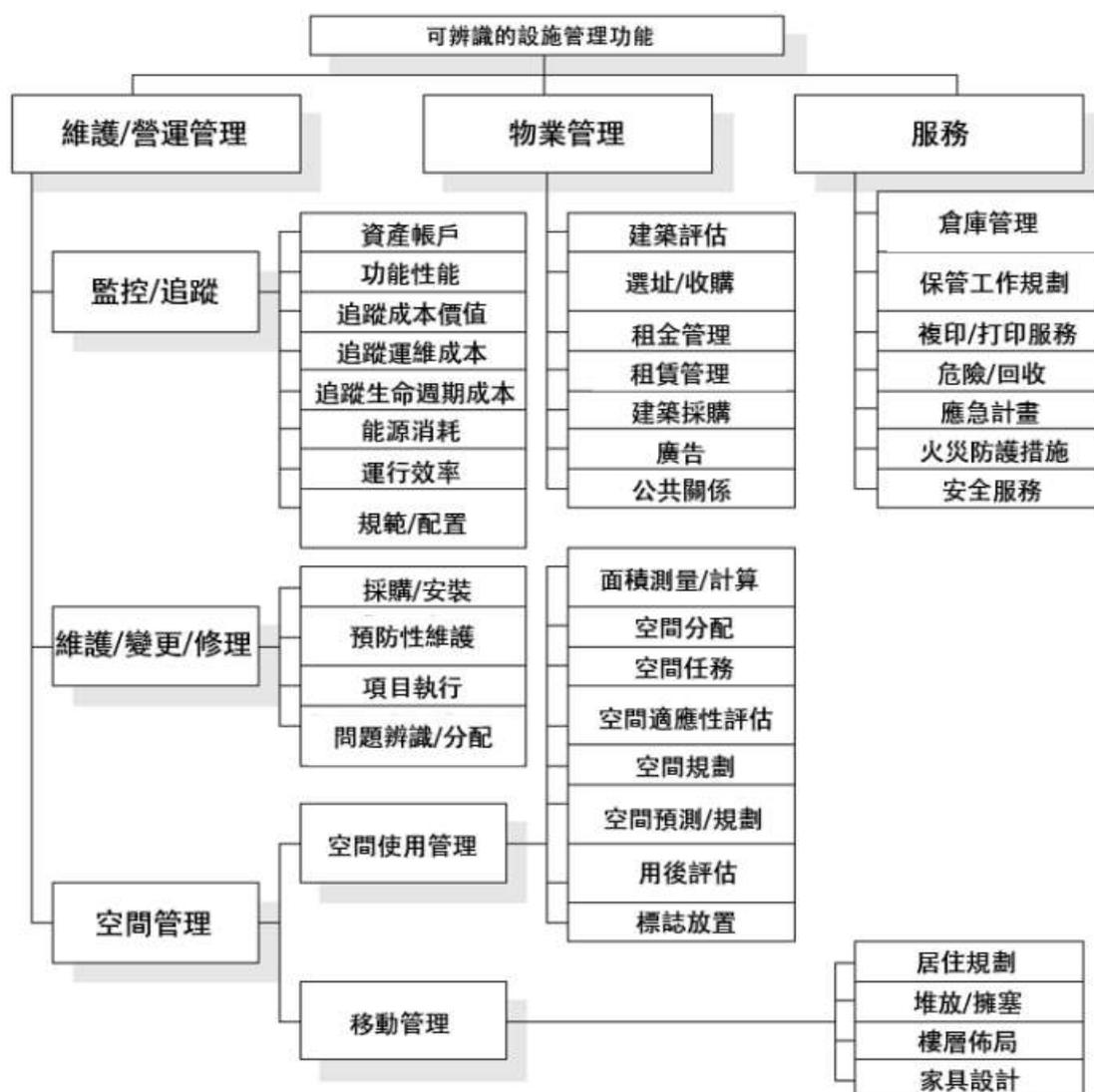


圖 3-6 IFMA 可辨識設施管理功能  
 (資料來源:翻譯自 IFMA, 2001)

### 第三節. 三維資訊模型應用於維運管理案例

在建築業、工程業與營造產業，目前 BIM 的技術在各國政府機關的推行下，已見到了一定程度的成果。而同樣隨著資通訊技術的演進，更多的應用技術例如電腦影像辨識(ComputerVision)、人工智慧(ArtificialIntelligence)以及各種感測器及環境感測設備如光達(LiDAR)則補足了真實環境中及時數據與現場資料蒐集的可能性，讓 BIM 模型能夠預測及規劃資源與運輸的分配，監督工地現場環境的安全性，藉由更早的階段導入數位孿生，能更進一步提升

BIM 應用於建築全生命週期優勢。

近年來 BIM 各項應用隨著技術與科技的發展，成為各國建築營建工程業不可忽視、甚至成為基本要求的一環，因其能夠將營建專案之三維模型與數位化資料儲存與管理整合的優點，能夠應用的範圍相當廣泛，而在台灣政府推動之下，國內建築業也逐漸跟上各國的腳步，將 BIM 納入建築生命週期各個階段之中(陳鴻銘, 2011)。綜觀目前 BIM 介入到維運使用階段較為主流的應用在於設施管理 (FacilityManagement, 簡稱 FM) 領域。按照國際設施管理協會 (InternationalFacilityManagementAssociation, 簡稱 IFMA) 對於設施管理的定義是以保持業務空間高品質的生活和提高投資效益為目的，以最新的技術對人類有效的生活環境進行規劃、整備和維護管理的工作。

BIM 應用於設施管理的實例如美國的 MathWorks 公司 2005 年在麻薩諸塞州(麻州)的園區擴建計畫。BIM 在此計畫中在前期的設計與施工階段便被導入，以 BIM 結合 FM 的觀念在營運階段協調設施及維護需求。在其所使用的 BIM 維運管理系統中，空間管理、規劃策略和資產管理為其三個主要模組，其他可用的模組包含房地產投資組合管理、搬遷管理、專案管理、設施管理及永續經營。而與本研究最直接相關的是其永續經營的 BIM 模組，永續經營模組可平衡環境和經濟的衝擊並協助管理與節能效能、建築認證、能源改造等重要資訊，使得 MathWorks 在建築物的維運使用上獲得極好的效益。

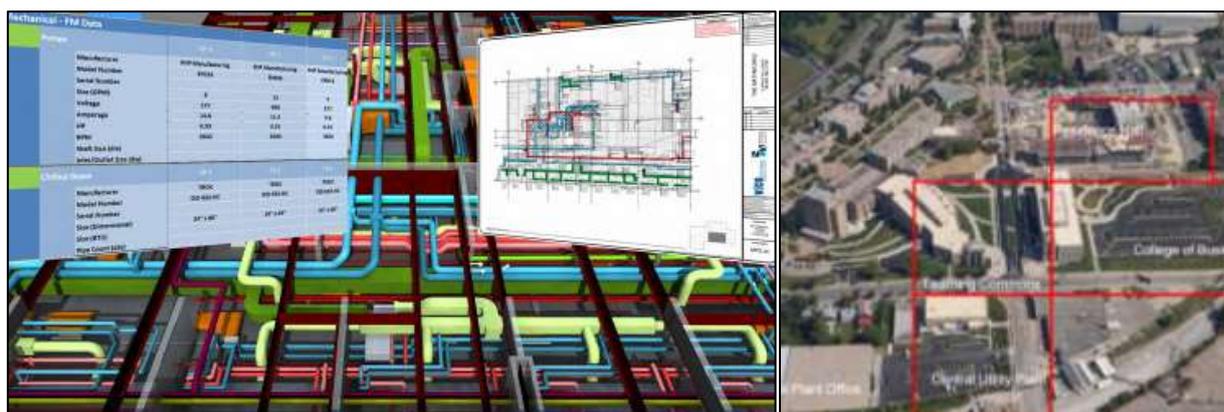


圖 3-7 MathWorks 公司使用 BIM 結合 FM 行程最後的建築物營運管理系統。

(資料來源:MathWorks)

另一個例子是美國的威斯康辛能源研究所，主要是以 AssetWorks 電腦維護管理系統來做設施管理。此專案的 BIM 應用從施工到設施管理，相關資料包括 2D 和 3D 的模型及 PDF 檔最後存於 SQLServer 資料庫中匯出給電腦維護管理系統使用。而使用方式也是透過 BIM 與 FM 結合的視覺化概念，將檔案存取的位置與虛擬的 BIM 模型設施位置疊合，如此便能夠透過空間進行設施歷程的管理。

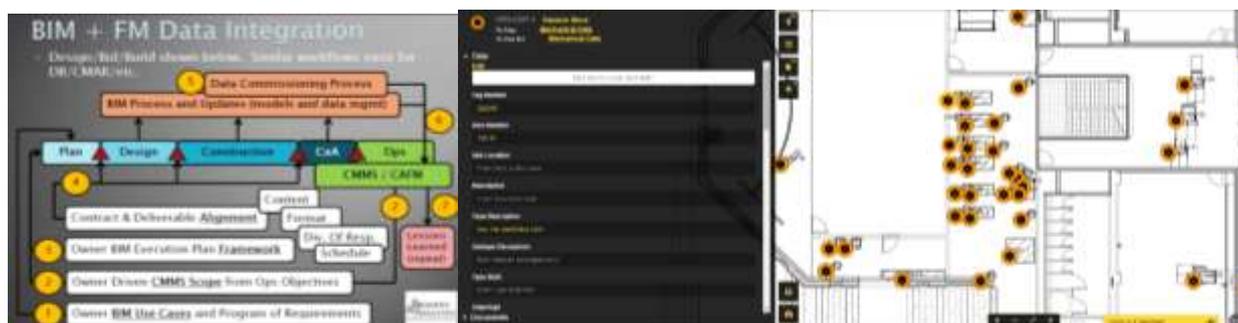


圖 3-8 威斯康辛能源研究所透過 BIM 與 FM 進行膳案的空間管理。

(資料來源:UW - Madison)

法國軟體公司達梭系統耗時五年開發完成的「虛擬新加坡」(VirtualSingapore)，在這個虛擬的三維平台上，可以自由瀏覽城市中的各個角落，無論是建築，道路，公共基礎設施與自然環境的各項數據，但其更重要的是提供了四項主要功能，分別為虛擬試驗(VirtualExperimentation)、虛擬

實驗台(VirtualTest-Bedding)、都市規劃與決策(PlanningandDecision-Making)以及研究與開發(ResearchandDevelopment)，讓都市的經營決策者能夠預測不同的決定與政策方向對都市帶來的衝擊與影響程度，因此在都市防災與各個領域例如物流、環境保育等有相當多的廣泛應用。圖中可以見到此虛擬新加坡平台的系統介面圖，透過來自公領域與社群領域等部門所提供即時資訊與巨量數據，虛擬新加坡在解決資源受到限制的區的宜居問題方面的潛力是無限的，例如導入全年日照區域與溫溼度等數據後，便能提供空間決策者做出更舒適與人性化的環境。



圖 3-9 VirtualSingapore 系統介面圖

(資料來源:nrf. gov. sg)

日本日立製作所的電梯基於人本友善日立提供有助於創建安全，有保障和舒適的城市空間的解決方案，以實現考慮到地理分佈的無障礙移動服務。提出預定電梯系統將人員目的地與空間位置資訊集成，依據人流分析解析場域的使用狀態，進而對電梯系統投遞有效疏導的服務，(圖 3-10) 透過人員的晶片獲取該人員前往的樓層，並將分析最佳化的電梯分流方式，將數據依照時間

的紀錄，可判別電梯運作的高峰時段，以回饋到服務投遞最佳化的決策當中，（圖 3-11）通過分析和評估人員遵循的複雜路徑以及建築物的日益多樣化的使用習慣，助於在建築維運時加速人員更暢通無阻地穿越建築物。



圖 3-10 將電梯樓層預定系統與通關系統集成在一起  
（資料來源: Takamichi Hoshino 2018）

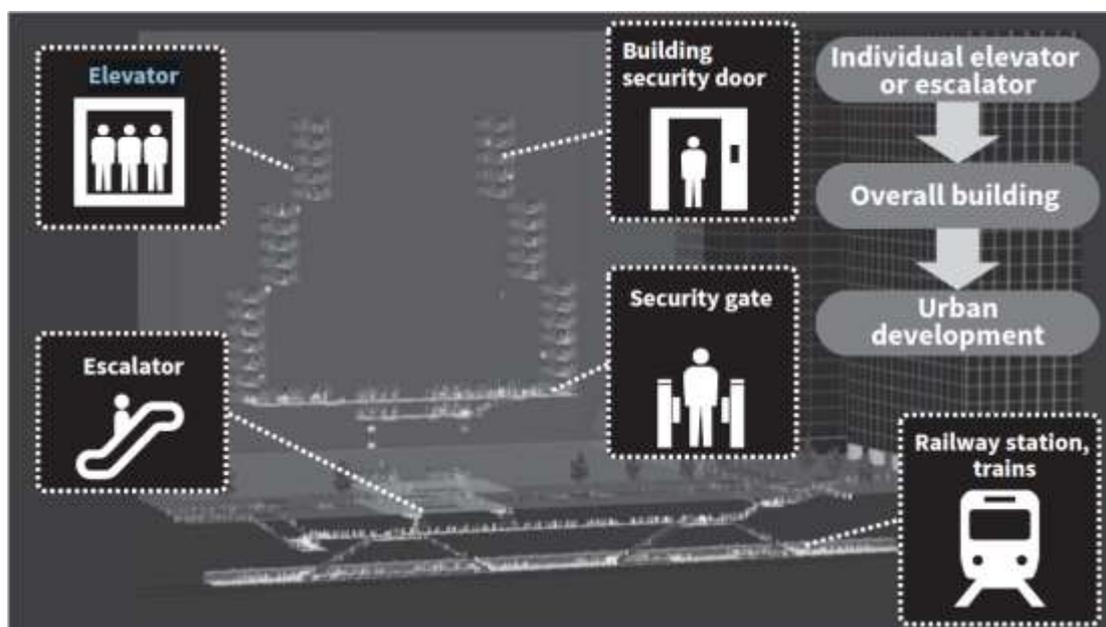


圖 3-11 通過使用人員流分析技術來最佳化建築物運動的模擬  
（資料來源: Takamichi Hoshino）



## 第四章 人工智慧運用於建築生命週期

### 第一節. 人工智慧在營建業之應用

現行人工智慧(Artificial Intelligence, AI)主要技術為藉由大量的電腦科學訓練，分析並且實現各領域的專業人類智慧技術(簡培原等, 2018)，藉由人工智慧的品管與監督，能夠取代大量的人為判斷工作，達到精確且有效的預測能力(土木水利期刊, 第四十五卷第二期)。例如營建施工現場在面臨工期與成本的壓力，同時又需要高度整合各個領域的施工規範與介面彙整，導入AI與BIM技術進行各種資訊的整合，將能帶來一定程度的效率提升與加值。根據國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心的研究指出，AI對於營建業的幫助可以分為約四項類別，在表中可以見到其相關範疇分別為(1)規劃和設計、(2)安全、(3)自動化設備、(4)監控和維護。

表 4-1 AI 人工智慧在營建業之應用

人工智慧應用於施工與建築的應用範疇	
種類	內容
規劃與設計	BIM 模型利用 AI 自動完成管線配置與分析與機械學習對工程做風險管理
安全	AI 搭配聲音、圖像辨識系統自動標記施工現場
自動化設備	建築物智能化管理讓用戶感到舒適
監控與維護	AI 搭配機器人和無人機以提升施工效率

(資料來源:國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心, 2018)

國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心所提出的四項 AI 應用範疇，都

能與 BIM 進行高度的連結：

### (1) 規劃和設計

建築施工的現場需要考慮建築結構工程、機電工程與管道工程等，其中牽涉不同的承包商使用不同的器具與介面，在最終整合階段經常造成工時的延宕與重複性工作，因此 BuildingSystemPlanning 在 BIM 建模軟體 Autodesk Revit 開發了 GenMEP。利用利用衍生式設計(Generative Design)，使用 GenMEP 外掛程式就可以自動建置建築物模型內電氣系統的配置，同時考慮到設計規範和不同建築物的空間複雜性。

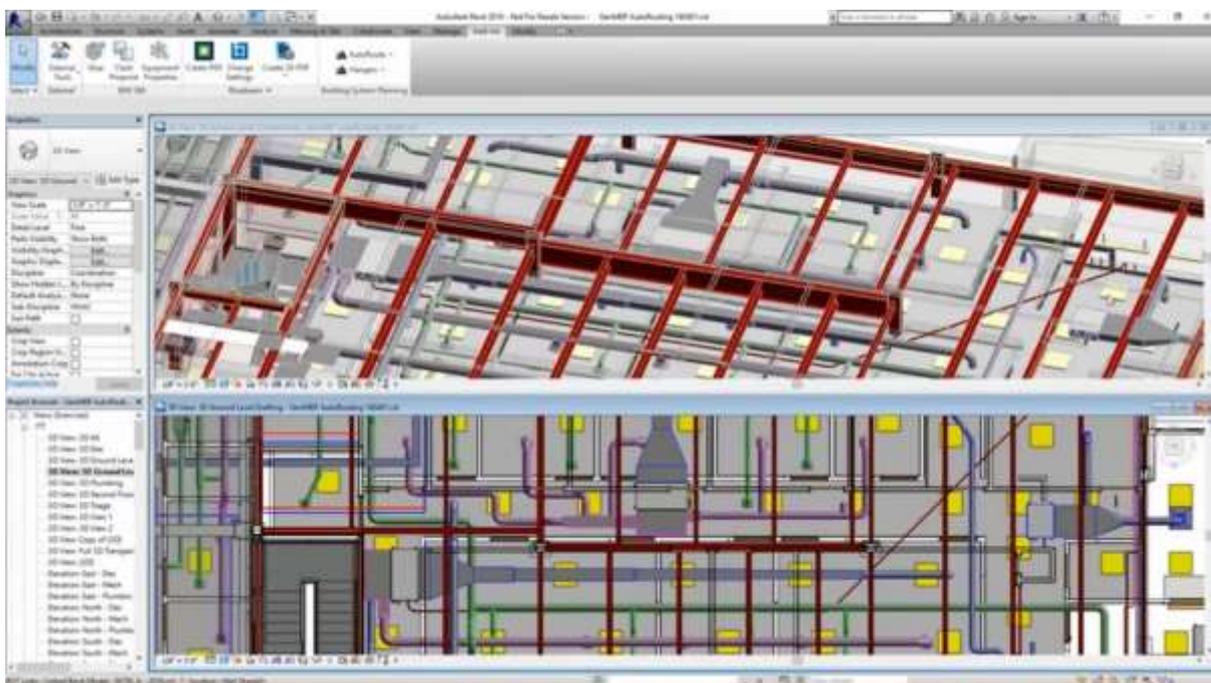


圖 4-1GenMEP 介面圖

(資料來源:BuildingSP, Inc)

### (2) 安全

利用資料分析與機械學習等人工智慧技術對工程做風險管理，例如由 Autodesk 推出了 BIM360ProjectIQ 即是一個案例，藉由現場蒐集的各項影像、音訊等營建管理資訊形塑的 BIM360Fielddata 進行分析，為工地相關品管人員提供建議並減低風險。瑞典公司沃爾沃(Volvo)建築設備公司在 2015 年推

出了緊密型輔助軟體，用於土壤和瀝青壓實機的智慧壓實系統，可以視覺化呈現。開發出 AI 算法，用於名為 DensityDirect 的軟體中的附加功能，該軟體可以適應於新的瀝青混合料和升降機，並自動校準至最終密度要求。

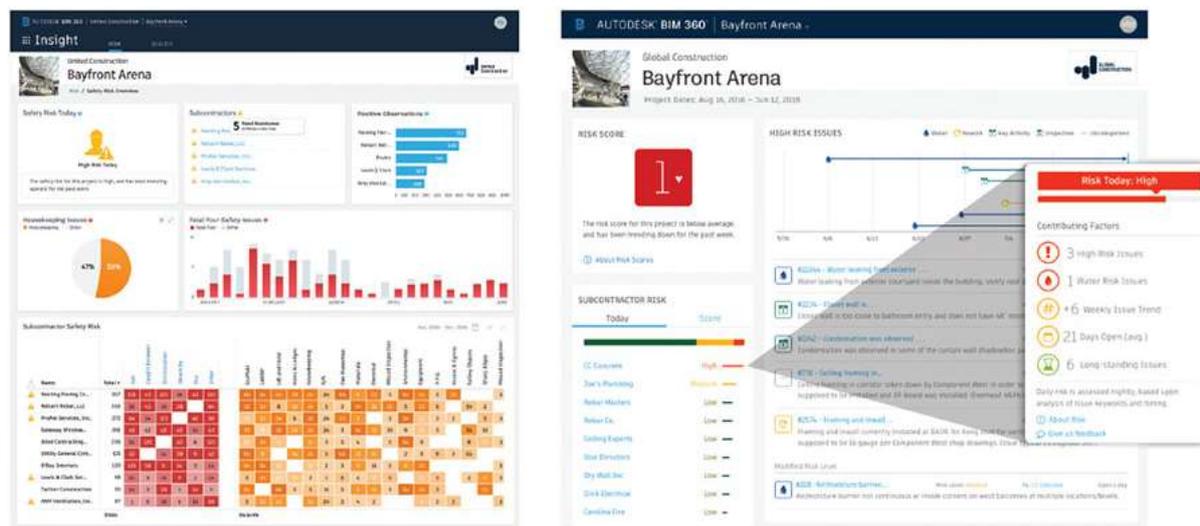


圖 4-2 BIM360ProjectIQ 介面圖  
(資料來源: BIM360)

### (3) 自動化設備

Smartvid.io 是一個施工現場照片和視頻管理平台，其中包括一個 'SmartTag' 引擎，可以利用機器學習、語音和圖像辨識將施工現場的照片和視頻進行自動標記，以便整理數據及搜索。Smartvid.io 的這款機械學習技術叫 VINNIE (Very Intelligent Neural Network for Insight & Evaluation)，並聲稱其採用深度學習模式分析影像和語音，以自動標記施工數據資料並主動向客戶提供安全措施建議。根據 Smartvid.io 和 Engineering News-Record 的案例研究，VINNIE 曾進行人工智慧用於提升施工安全的示範，能在 10 分鐘內辨識 1,080 張施工照片，並正確辨識 446 張含有人像的照片、未著安全帽者、未著安全反光衣工人之照片。相較於人工需要 4.5 小時才能完成相同的任務。這種自動化工地監測可以為工地現場增加一對“眼睛”，動態辨識潛在風險因素，是有助於提升施工安全的。

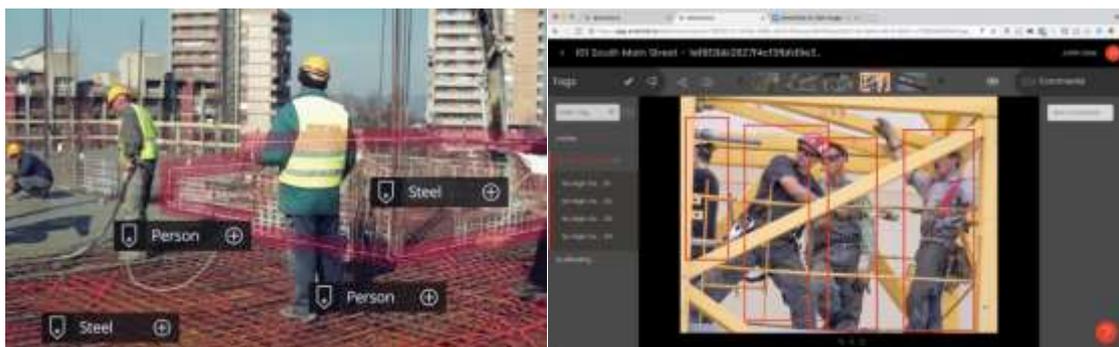


圖 4-3 利用 AI 影像辨識技術導入施工現場管理

(資料來源:Smartvid.io)

#### (4) 監控和維護

位在波士頓的 SuffolkConstruction 利用了 VR 建構的虛擬模型，連結現場工程進度進行監控，藉由此項技術來因應建築成本上升與現場施工安全的管理問題，提升了施工效率。另外圖中顯示了矽谷的 DoxelAI 利用探勘機器人與無人機，搭配攝影設備與 LiDAR 來掃瞄並建構現場的即時狀況，利用可視化資料與深度學習的演算法處理，能提供使用者與管理者藉由 AI 技術的導入分析現場施工進度，自動排除施工現場的各項錯誤與監督危險性。

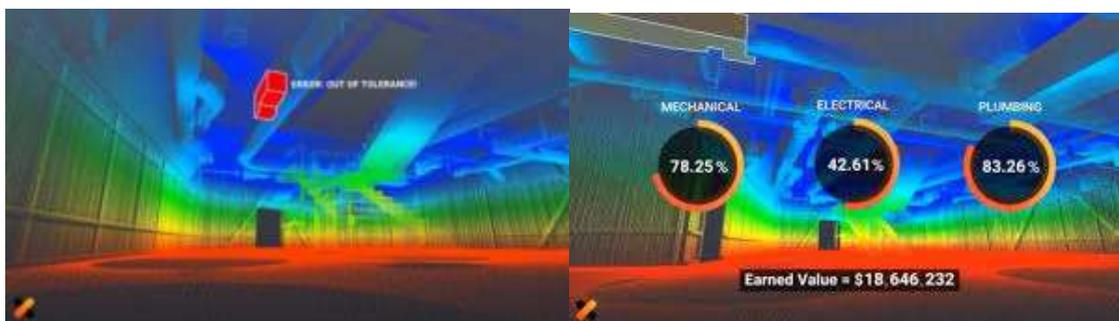


圖 4-4 Doxel 施工現場資訊可視化

(資料來源:DoxelAI)

AI 的存在能扮演 24 小時的監督者，能導入影像辨識的技術在施工現場進行全天候的監督，例如電子圍籬的設置讓進入危險區域的人能得到足夠的警示與保護，同時也提供通知讓管理者得知工的目的的高風險存在狀況，而這些即時資訊也能回饋到數位孿生的 BIM 環境整合平台之中並以可視化的方式呈現，透過整合 BIM 與 AI 的各項技術，建築維運現場便能有效的提升的時間效

率與成本效益。

## 第二節. 人工智慧在建築維運管理之應用

維運管理中的人工智慧提高設施管理者監督和查閱的時間，具有影響日常運營細節的能力，設施管理中的人工智能可以為團隊成員減少重複性的工作。使維運管理人員可以更專注於服務客戶和改善體驗，本研究藉由文獻與案例整理出維運管理結合人工智慧時未來可能的應用，包含能 (Joseph Aamidor, 2019) 能源監測、測量和驗證 Energy monitoring and measurement and verification、需求管理 Demand Management、設備最佳化 Facility Optimization、預測性維護 Predictive Maintenance、空間規劃 Space planning、安全警示 Safety and security、生活管理。

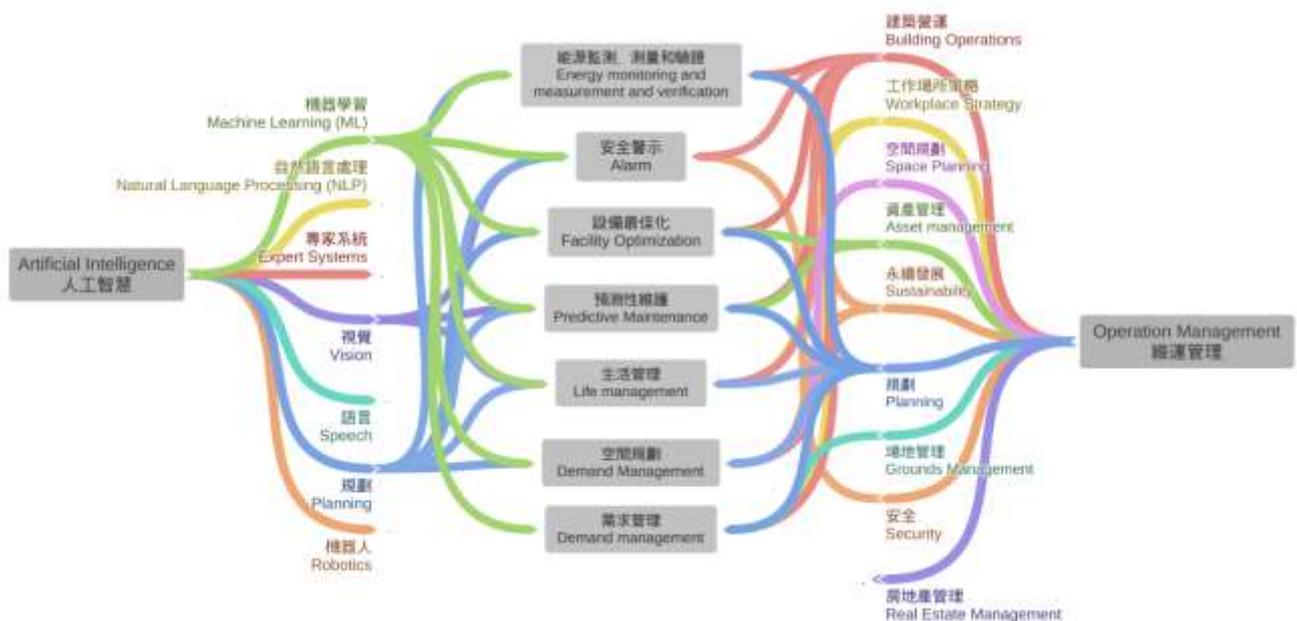


圖 4-5 七種人工智慧應用於維運管理方式

(資料來源:本研究)

(1) 能源監測、測量和驗證 Energy monitoring and measurement and verification：採用人工智慧演算法（創建建築物的效能模型）並將其自動化。可用建築物的效能模型對新的變量比對來提供能耗估算。有了足夠的數據來觀察效能，氣候和占用等數據之間的相關性，並且用實際的數據來調整舊演算模型下能源消耗可靠度，讓實際能源與預測能源之間更加精準，使得能源使用可以更有效的監控。Neuron 建築物根據預測和自學能力提前做出主動響應。通過歷史數據產生機器學習預測模型，建築物預測結果和自學能力主動調適建築設備。



圖 4-6 Neuron 系統介面

(資料來源: Neuron)

(2) 需求管理 Demand Management：HKG My Flight App 香港智能機場透過室內空間定位與使用者需求目標，自動的規畫路線相關資訊，減少管理人員被詢問的時間，主要功能包括提供實時航班資訊及登機提示，讓旅客接收最新的航班資訊通知。iBeacon 定位技術及擴增實境技術，應用程式可助旅客輕鬆到達客運大樓內各項設施及商店。

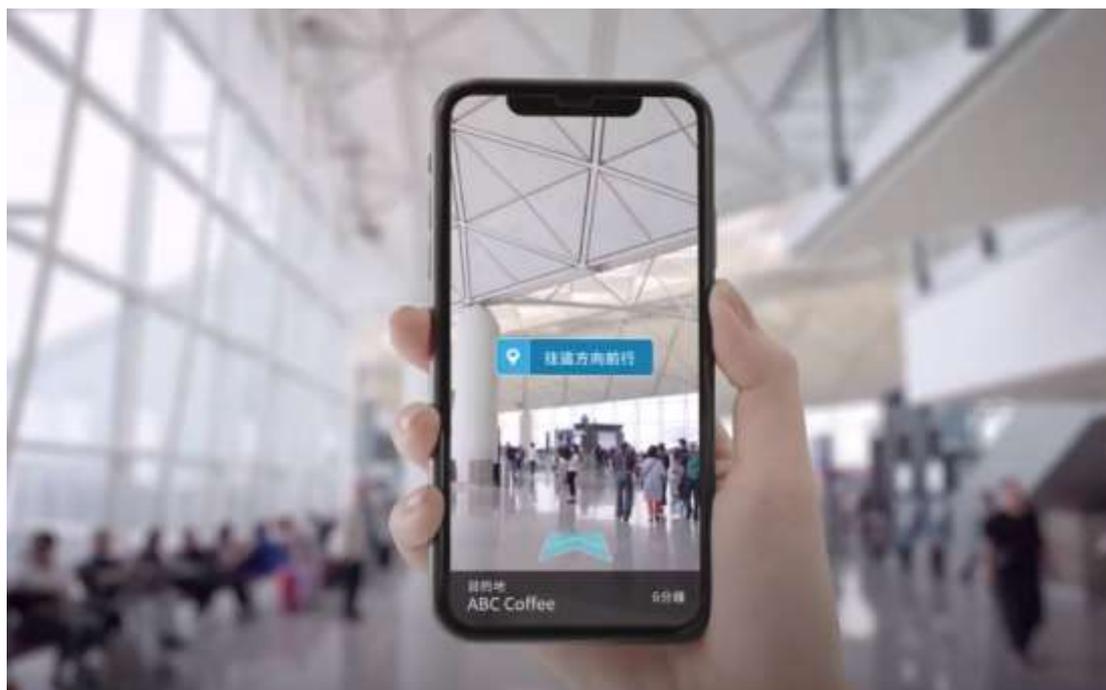


圖 4-7 HKGMyFlightApp 規畫路線虛擬實境介面

(資料來源: HKGMyFlight)

- (3) 設備最佳化 Facility Optimization: 將 BIM 結合資通訊科技(ICT), 搭配對於建築物涵構察覺的掌握, 當所設定的情境劇本達到臨界值時, 對相關性設施進行主動式的自動控制運用, 達到環境控制與設備效能最大化的目標。



圖 4-8 設備最佳化界面(資料來源: Facility Optimization)

(4) 預測性維護 Predictive Maintenance: 技術用於確定在役設備狀況，以預測何時需要做維護。這比日常或定期進行的預防性維護能節約成本，因為只在確有必要時才做維護。預測性維護首先要做歷史資料建置或實時設備資訊狀態監測，以確定在設備發生故障前的成本效益最優的維護時機。預測部分是指預測設備狀態的未來趨勢這個目標。用統計過程控制原理來確認未來合適的維護時機。



圖 4-9 Neuron 預測性維護系統介面

(資料來源: Neuron)

(5) 空間規劃 Space planning: 隨著越來越多的辦公室採用開放式設計和更靈活的安排。減少過多的空間或增加佔用率可能會增加這些成本，但也可能導致較差的工作環境。隨著室內空間傳感器的增加，有可能在不同時間預測需求 - 無論是在計劃新的開放式辦公室時，還是僅用於日常管理。人工智能通過從這些空間傳感器獲取數據並提供佔用率估算值以及有助於解決潛在問題的資訊來提供幫助。fm:systems 公司在透過監測和管理其建築空間，有效監測使用者在空間位置使用狀況，了解當前可用建築室內空間數量，並以計算機輔助方式有效的管理與規劃達到空間最大效益。



圖 4- 10 fm:systems 空間規劃系統介面

(資料來源: fm:systems)

- (6) 安全保障 Safety and security：許多商業建築在辦公室的室內安全上花費了大量金錢，許多新興的 AI 應用程序並與安全性相關案例。例如，透過使用面部識別達到空間使用許可的管制。例如 AXIS 透過攝影機與電子圍籬設置，透過物件辨識以及手動的框選空間性識別範圍，可以判釋目標物件是否闖入到識別區，從而達到安全警示的效果。



圖 4- 11 AXIS 電腦視覺安全管理(資料來源: AXIS)

- (7) 生活管理：運用 BIM 模型三維視覺化功能，對建築物進行最大容量、人員安全距離、人員與路線檢查等，根據人與空間的關係，調整空間管理的生活模式規劃，並且針對突發狀況如疫情爆發可調整空間的使用模式，讓使用者獲得最舒適的生活模式。

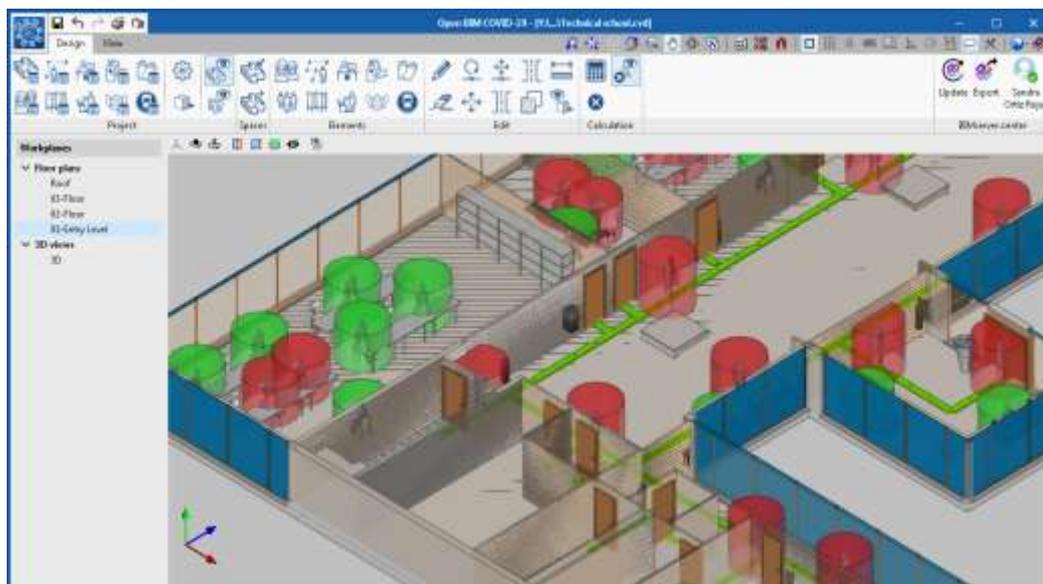


圖 4-12 OPEN BIM 收集日常數據情境模擬  
(資料來源: OPEN BIM)

### 第三節. 人工智慧導入維運管理

人工智慧在建築維運系統所扮演的角色是將使用者與環境數據判別可用的數據，讓建築可以察覺、識別、判釋使空間情境可以解讀，讓建築可以主動的動態感知空間情境的變化。藉由機器學習特性讓影像不在是圖像式解讀、而是從動態持續的影像中判讀出可用環境數據，來達到空間涵構察覺目的。

#### 一、現況痛點

AI 未來的發展勢必從人工管理轉變成智慧化管理模式，並完成全生命週期的循環管理。AI 應用於智慧建築維運管理應不止於被動的設施管

理(FM)，而應該以人本友善及環境友善的目標進行「情境感知動態調適管理」。在此前提下，目前建築物的維運管理痛點包括：

(1)無數據集成 (No Data Integration) (2)沒有文件連續性 (No Document Continuity) (3)無流程模擬 (No Process Simulation) (4)無涵構察覺 (No Context Awareness)

(1) 無數據集成(No Data Integration)

獨立系統需導出資訊與提供數據交互，但獨立系統會因為資訊交換使成本的增加，並且資訊轉換過程當中資訊的流失與無實時動態數據使資訊缺乏真實性，衍生管理者在資訊判斷與決策時所造成的失誤。

(2) 沒有文件連續性(No Document Continuity)

資訊收集無系統性的分類與整理，使文件之間無關聯性，使得在非結構性的資訊中調閱以及運用計算時，消耗大量時間在資料的處理流程，造成資訊的可靠度無法被驗證。

(3) 無流程模擬(No Process Simulation)

在良好的資訊結構下，所建構的管理流程能模擬出未來的使用情況，管理決策時可透過真實數據的條件模擬建築管理流程是否符合真實需求，並藉由真實動態資訊模擬出最佳的管理模式，來提升建築維運效益。

(4) 無涵構察覺(No Context Awareness)

應用偏重向設施管理 (FM) 的應用，這意味著在建築維運管理當中尚未著重使用者與環境在建築使用運作的需求，導致建築資訊互動性不

足，帶來對建築維運管理上的問題，而在建築維運相關研究指出建築的維運應跳脫僅止於設備管理的被動服務，以涵構察覺的技術察覺動態的涵構變化主動的進行調適。

維運管理平台在於透過建築產業熟悉的軟體進行協調所有物件之間資訊的交換與協同作業，達到物件彼此之間可以相互的共構、操作、影響，所有呈現出的模型物件皆攜帶資訊。而智慧建築維運平台則是以三維資料庫的架構整合空間環境的資訊，資訊模型運用轉變為一種整合平台以達成建築與人之間的協作者的角色，方便實虛的數位數據管理與運用，透過網路服務讓資訊有了可通訊的機制，使各單位減少溝通上的資訊落差，並提升資訊調閱與查找的工作流程效率，以 Webservice 開放數據的通訊能達到讓數據集成(Data Integration)與文件連續性(Context Awareness)。

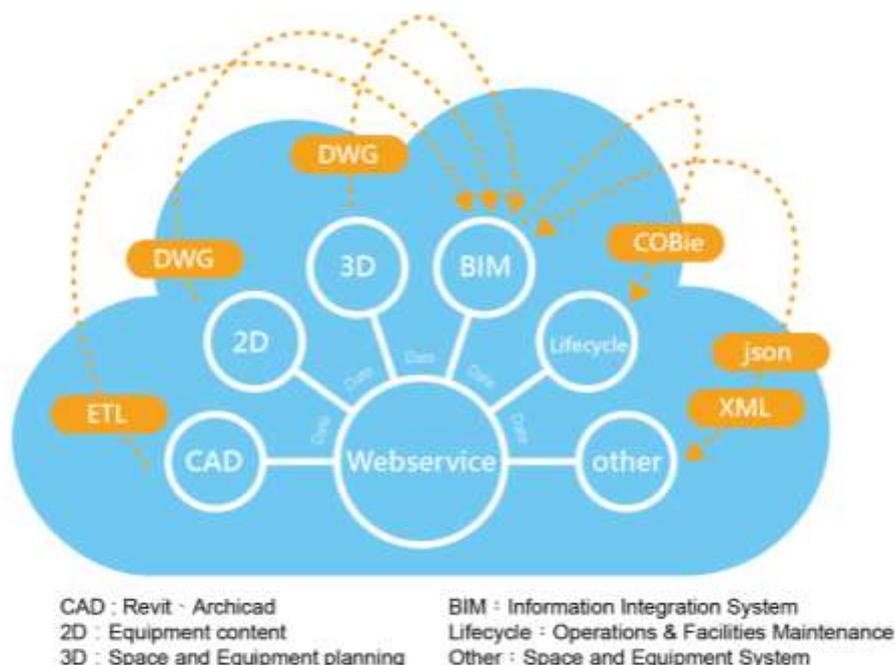


圖 4-13 透過 Webservice 整合建築資訊與傳訊溝通(資料來源:本研究)

## 二、維運效益深化程度

從智慧建築資訊面向提出結合人工智慧技術可提升維運管理深化程度，分別從數據集成、文件連續性、流程模擬、涵構察覺資訊問題提供可發展的維運管理項目。

表 4-2 維運效益深化程度

	深化程度	人工智慧應用技術	維運管理項目	評估方法
數據集成	低	內容擷取 Content Extraction 文本分類 Text Classification	資產管理 Asset management 房地產管理 Real Estate Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 能源消耗</li> <li>● 成本追蹤</li> <li>● 能源預測可靠度</li> </ul>
文件連續性	低	機器學習 Machine Learning (ML) 監督式學習 Supervised	工作場所策略 Workplace Strategy 安全 Security	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 警示通知效率</li> <li>● 預防性</li> <li>● 緊急應變能力</li> </ul>
流程模擬	中	自動排程 Automated scheduling 自動化計劃 Automated Planning 深度學習 Deep learning 無監督式學習 Unsupervised	建築營運 Building Operations 永續發展 Sustainability	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設備故障預測分析</li> <li>● 運行效率</li> <li>● 設備故障預測分析</li> </ul>
涵構察覺	高	影像識別 Image Recognition 機器視覺 Machine Vision	空間規劃 Space Planning 規劃 Planning 場地管理 Grounds Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 使用時間分析</li> <li>● 熱點分析</li> <li>● 路徑分析</li> <li>● 空間使用預測準確率</li> <li>● 使用排程</li> <li>● 使用率分析</li> <li>● 回應特殊需求</li> <li>● 環境變化預測可靠度</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>● 舒適度分析</li> <li>● 人事成本分析</li> </ul>
--	--	--	--	---

(資料來源:本研究)

### 三、人工智慧應用於維運與建築的應用範疇

為了能夠具體落實人工智慧介入到建築維運管理的目標，本案歸納彙整出智慧建築系統七大可行項目，並根據可行性與深化程度進行排序，以利作為後續應用發展的優先順序參考。七項可行項目分別為表 4- 3:

表 4-3 人工智慧應用於維運與建築的應用範疇

人工智慧應用於維運與建築的應用範疇				
項目	定義與目的	AI 介入之可行方式	深化程度	評估方法
能源監測、 測量和驗證 Energy monitoring and measurement and verification	監測、測量和驗證建築運行時所產生的能耗數據。例如電力、瓦斯、給排水等。目的在於提供數據模型作為最佳化的比對	採用人工智慧紀錄建築物的效能模型，並對新舊的數據比對提供能耗估算、分析數據之間的相關性等，用以作為調整能源效能模型之參考。	低	能源消耗 成本追蹤 能源預測可靠度 提升溫熱環境品質 提升空氣環境品
安全保障 Safety and security	安全管理包含門禁管制、防火避難、保全 規劃、建築結構維護等，確保建築沒有危險發生。	運用人工智慧實時監測安全保障項目，並能夠主動發出預警或進行趨勢預測。	低	空間可靠度 空間使用預測準確率 使用排程 使用率分析
設備最佳化 Facility Optimization	建築設備如照明設備、空調設備、通風設備等，根據環境、使用者的數據分析比對，使設備可以更有效的作業。	藉由能源數據資料分析評估績效趨勢，主動進行調控設備的運作模式，提升設備使用效率。	中	運行效率 設備故障預測分析
預測性維護 Predictive Maintenance	修復或更換磨損零件、調整精度、排除故障，恢復設備原有功能而進行的技術活動，其主要作用	透過 AI 所分析出的趨勢模型，根據設備的狀況以及有關其使用方式的合理預估消耗程度，呈現	中	設備故障預測分析 系統可靠性 縮短通知大眾所需的時間

	在於恢復設備精度、性能、提高效率，延長使用壽命，維持建築正常運行。	短期內很有可能發生故障的設備，協助管理人員進行維護，減少設備中斷所帶來的成本。		
生活管理 Life management	收集日常數據例如人數統計、空間分佈、移動路線、動作、生活型態等，找出使用者的特徵及行為模式並加以管理。	透過多項數據或新的感測技術分析，使 AI 可以判釋空間真實的使用狀態，了解當前空間情境來達到使用者主動生活管理。	高	使用時間分析 熱點分析 路徑分析 提升員工生產力 通行時間 提升使用者滿意度
空間規劃 Demand Management	對於空間使用型態和使用率進行排程規劃。目的是提升空間的使用效率。	人工智能分析並提供空間使用類型及使用率估算值，用以減少過多的閒置空間或增加使用率。	高	空間使用預測準確率 使用排程 使用率分析 有效人力支配
需求管理 Demand Management	對於特殊的空間使用需求進行特殊化的管理。目的是配合特殊的需求事件對空間進行彈性或動態的使用。	人工智能根據特殊事件設定事件的情境，根據事件的實時數據模型分析事件進行的狀態，並加以對於該情境進行有效的動態維運管理。	高	回應特殊需求 環境變化預測可靠度 舒適度分析 降低維管人力成本 節省營運及維護成本

(資料來源:本研究)

#### 四、建築智慧化分級

在人工智慧的邏輯判斷還是會有演算法邏輯上的差異，有傳統邏輯式的判斷方法，也有透過 AI 演算所做的管理決策，有一個訓練的程序，來從機器學習到深度學習得進程，因此從不同邏輯判斷下提出建築智慧化的分級，並且根據人工智慧深度進程來對智慧維運管理提出可能

的條件，並對應維運管理相關的可行項目來做探討。

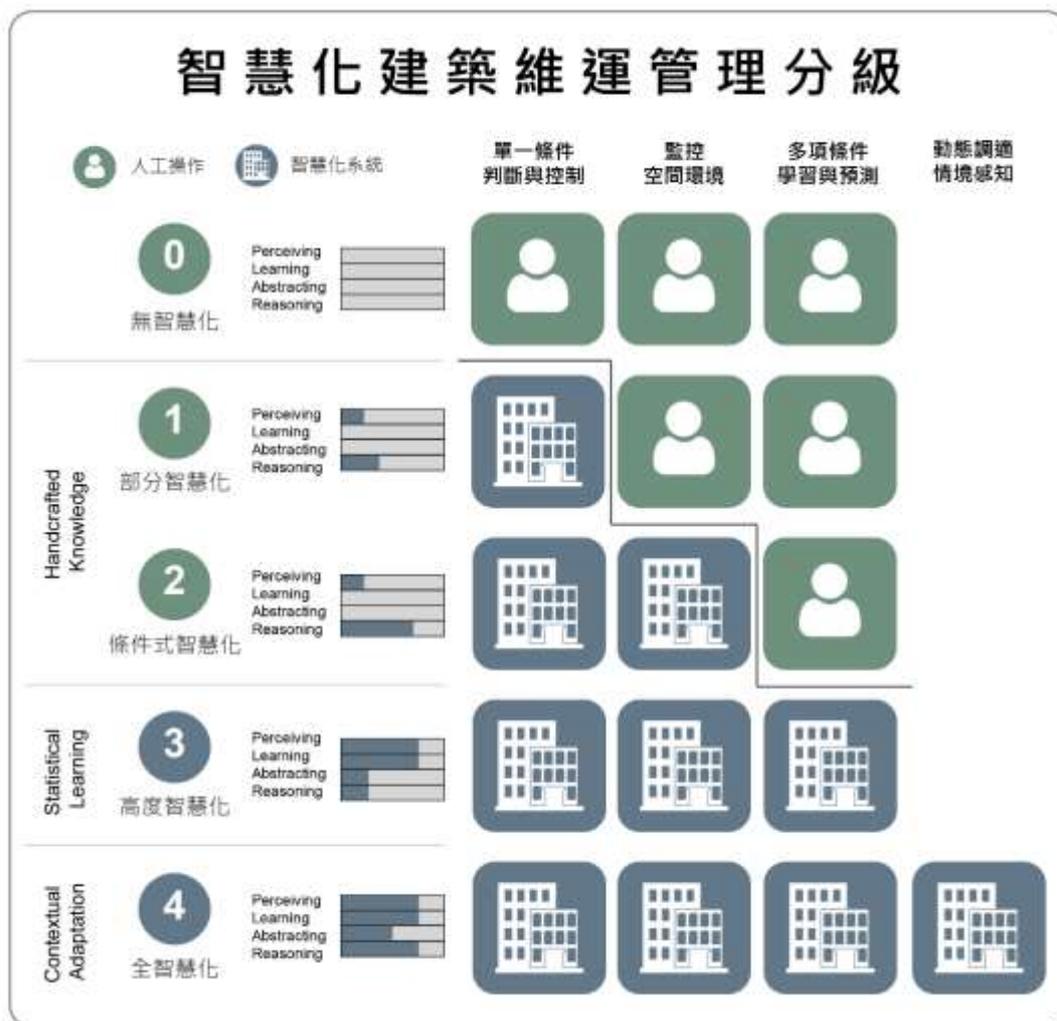


圖 4-14 建築智慧化分級(資料來源:本研究)

## 五、資訊整合模式

本計畫提供智慧建築服務循環模式(1)涵構情境感知、(2)建築資訊整合、(3)建築維運動態調適作為智慧維運的依據，在人工智慧基礎下的空間涵構情境感知需滿足，察覺 (Detection)、識別 (Recognition)、判識 (Identification) 程序。基於適地性服務下建築維運動態調適需滿足，解析 (Input)、運算 (Process)、投遞 (Output)，而在兩者之間需以三

維建築資訊模型為依據整合其資訊傳遞，以達成本研究之目的以人工智慧提升建築物維運管理之系統。

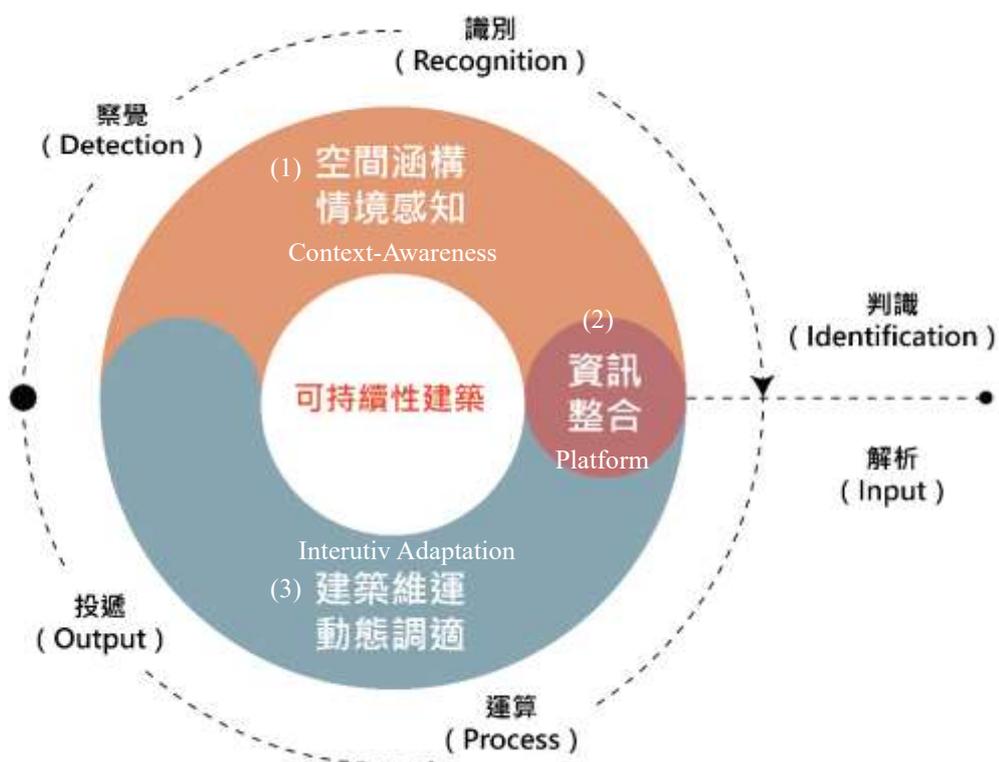


圖 4-15 智慧維運系統服務迴圈(資料來源:本研究)

## 1. 空間涵構情境感知

空間涵構情境感知意旨在建築本身獨特的使用行為與空間涵構關係。藉由人工智慧科技的助力下，我們有機會去感知空間的使用情況，並且解析出空間獨特的使用情況，為了能夠解析出空間的涵構關係，我們透過影像辨識的察覺 (Detection)、識別 (Recognition)、判識 (Identification) 這三個步驟，增強影像對空間的解析能力，預測空間使用狀態，來完成空間涵構情境感知的目的。

察覺 (Detection): 從即時影像中檢測出是否有物件的能力，初步從影像判斷出特徵。

識別 (Recognition): 進一步的去識別物體的屬性，在本研究當中以人為主要的特定物體，讓系統可以學習識別是否為人的特屬性，透過即時運算後，反饋偵測的物件名稱、數量及相似度等相關資料。

判識 (Identification): 當瞭解影像中的人員後，解析人在空間的位置關係，精準追蹤物件移動軌跡及方向，藉以推論後續可能動向及方位，自動偵測介入道特定區域的人員，以達到情境感知的解析。

## 2. 建築資訊整合

空間涵構情境感知所獲取環境資訊，透過三維建築模型作為資料庫將其兩者資訊整合，以 BIM 作為資訊模型的載體，詳細記錄建築資訊與系統資訊，有效讓管理人員在檢視模型時同時獲得所需的各項資訊，減少傳統建築在查閱資料所消耗的時間。

三維資訊模型：建築維運調適所需要的各項資料分成了三種類別，分別為其一收集實時即時數據，其二記錄使用者操作紀錄與偏好習慣的適性模式資料，其三是結合了空間資訊建構維運調適劇本，因此建立智慧維運系統需要以 BIM 來建構具有空間性的三維維運管理系統，並且以視覺化的方式呈現給建築維運管理人員。

物件導向：在建構建築維運系統所需要之建築資訊模型，除了利用物件導向技術將環境資訊疊合在建築物件上，並將操作維運系統時所需要的功能與服務連結，因此在檢視三維模型時，除了能從建築物件中獲取之空間資訊，同時系統本身也提供調適維運的功能，理解使用情境與空間關係。

### 3. 建築維運動態調適

建築維運動態調適意旨在建築變動的使用中即時給予相對應的環境調適能力。藉由空間涵構情境感知解析出即時的空間資訊，使建築可以因應不同的空間使用型態給予相對應的維運管理調整，而為了能夠將判釋出的空間資訊能夠即時的調適，需透過解析 (Input)、運算 (Process)、投遞 (Output)，三個步驟來達到建築維運時可以因應動態環境進行調適。

#### 解析 (Input)

機器的學習需透過資訊來傳地，而 BIOM 系統則是透過將空間情境資訊化並為可相容的格式，因為當不同使用在建築空間之種進行各種活動時，會產生各種不同的使用模式，將這些使用的行為模式以參數化的數據記錄下來，並且集中進行分析，屆時便能知道空間在特定時間與空間之中的使用情況。

#### 運算 (Process)

當收集到一定數量的資訊，便能夠進行進一步的分析找出資訊之中的特殊模式，當使用模式的建立完成，就代表能夠更加精準判斷空間的狀態，能在使用者進入到指定的建築空間時，就能自主的進行調控各項建築指標。

#### 投遞 (Output)

在資料庫分析後的結果將能提供給系統感知目前情境與人員在空間關係，並且對於空間得異常使用，讓建築可以主動的察覺空間事件的發生，給予即時的反應，以達到可持續性建築的維運管理模式。

## 第四節. 小結

### 1. 四項現階段建築維運管理的痛點

AI 未來的發展勢必從人工管理轉變成智慧化管理模式，並完成全生命週期的循環管理。AI 應用於智慧建築維運管理應不止於被動的設施管理(FM)，而應該以人本友善及環境友善的目標進行「情境感知動態調適管理」。在此前提下，目前建築物的維運管理痛點包括：

- (1) 無數據集成 (No Data Integration)
- (2) 沒有文件連續性 (No Document Continuity)
- (3) 無流程模擬 (No Process Simulation)
- (4) 無涵構察覺 (No Context Awareness)

### 2. 七項人工智慧導入建築維運管理可行項目

為了能夠具體落實人工智慧介入到建築維運管理的目標，本案歸納彙整出智慧建築系統七大可行項目，並根據可行性與深化程度進行排序，以利作為後續應用發展的優先順序參考。七項可行項目分別為：**【詳第二節人工智慧在建築維運管理之應用】**

- (1) 能源監測、測量和驗證 (Energy monitoring and measurement and verification)、
- (2) 安全保障 (Safety and security)、

- (3) 設備最佳化 (Facility Optimization) 、
- (4) 預測性維護 (Predictive Maintenance) 、
- (5) 生活管理(Life management) 、
- (6) 空間規劃 (Demand Management) 、
- (7) 需求管理 (Demand Management)

本案發展並完成人工智慧介入維運管理機制及其演算法，以人工智慧的機器視覺，對目標維運管理場域進行空間情境感知的判釋，達到場域的即時情境狀態分析。具體的作法首先是透過目標場域的監控設備如 CCTV，擷取即時影像後對影像內容進行機器視覺的演算法分析。演算法的分析項目主要為場域中的使用者分布狀態，透過本案開發的影像辨識功能，能夠準確的找到使用者的即時分布狀態。此外本案的演算法更進一步的對使用者分布狀態進行幾何校正，使其能正確還原定位出使用者的絕對位置座標，目的是能順利與未來的維運管理平台如 BIM 系統進行對接，如此一來便能夠進行場域的精確使用者情境狀態空間管理。



## 第五章 影像辨識用於空間情境感知

維運管理系統判釋空間情境是建立在電腦視覺與影像處理的人工智慧技術下感測技術，將透視影像資訊辨別影像中的物件，對物件進行分類找出物件屬性為人的影像，找出人在影像中相對的座標點位，在以影像處理獲取空間中的邊界條件後，進行影像校正將透視角度的影像資訊，轉換成二維的空間座標系統，藉此獲取真實空間使用者的空間座標。因此本研究運用機器學習演算法目的不單純或去影像中的目標，更進一步的解析監視畫面的空間關係。完成人工智慧感知的系統建構完成後，為了方便資料在 BIM 維運管理上得以運用，需轉換成通用格式建構空間後設資料，提供在後續建築維運管理系統編程能順利進行。

### 第一節. 影像辨識模型建立

情境感知系統主要以電腦視覺的目標追蹤與影像處理的透視校正建構，以（圖 5-1）目標追蹤與透視校正流程圖說明在情境感知系統中所需使用到的人工智慧技術，最後整合到整合座標地圖，產出空間後設資料，最後儲存在雲端資料庫當中。

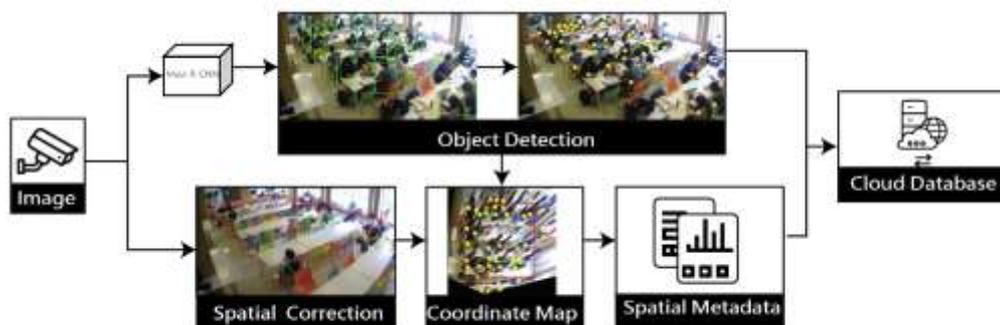


圖 5-1 目標追蹤與影像校正流程圖(資料來源:本研究)

```
1. import time
2.
3. import cv2
4. import gluoncv as gcv
5. import mxnet as mx
6. net = gcv.model_zoo.get_model('ssd_512_mobilenet1.0_voc', pretrained=True)
7. cap = cv2.VideoCapture(0)
8. time.sleep(1) ## 使相機自動對焦
9.
10.axes = None
11.NUM_FRAMES = 200 # 每幾幀擷取分析
12.for i in range(NUM_FRAMES):
13. ## 從相機加載框架
14. ret, frame = cap.read()
15.
16. ## 圖像預處理
17. frame = mx.nd.array(cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)).astype('uint8')
18. rgb_nd, frame = gcv.data.transforms.presets.ssd.transform_test(frame, short=512, max_size=700)
19.
20. ## 通過網絡運行模組
21. class_IDs, scores, bounding_boxes = net(rgb_nd)
22.
```

1. #顯示結果
2. `img = gcv.utils.viz.cv_plot_bbox(frame, bounding_boxes[0], scores[0], class_IDs[0], class_names=net.classes)`
3. `gcv.utils.viz.cv_plot_image(img)`
4. `cv2.waitKey(1)`



圖 5-2 目標追蹤與影像校正流程圖(資料來源:本研究)

情境感知系統主要以電腦視覺的目標追蹤與影像處理的透視校正建構，以目標追蹤與透視校正流程圖說明在情境感知系統中所需使用到的人工智慧技術，最後整合到整合座標地圖，產出空間後設資料，最後儲存在雲端資料庫當中。

1. `%matplotlib inline`
2. `from gluoncv import utils`
3. ##載入分析影片
4. `video_path = 'https://raw.githubusercontent.com/dmlc/web-data/master/gluoncv/tracking/Coke.mp4'`
5. ##影像辨識框選相對座標
6. `im_video = utils.download(video_path)`
7. `gt_bbox = [298, 160, 48, 80]`



圖 5-3 電腦視覺目標追蹤與三維空間點位關係  
(資料來源:本研究)

## 第二節. 幾何校正

梯形校正主要目的在於將透視三維空間調整成以俯視的二維座標系統，整合上一章的目標偵測獲取真實空間使用者的位置關係，以達到空間情境感知效益，本研究透過影像處理技術使用 Python 進行校正處理，但資訊結構並未能在 BMIO 維運系統當中使用，因此空間資料還需要透過一次的轉譯，形成一種通用性的空間後設資料結構，讓跨平台之間資訊可以交互連結。

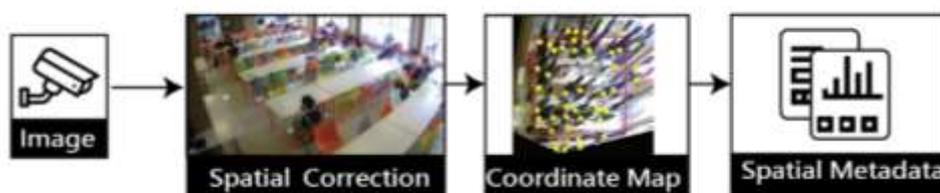


圖 5-4 影像處理透視校正流程圖  
(資料來源:本研究)

```

1. void WarpPerspective_CoorTransfer_Inve(const vector<double>&
    HomogMat, double& x, double& y) {
2.     const double* H = HomogMat.data();
3.     const double i=x, j=y;
4.     ## 空間校正
5.     x = (H[2] - H[8]*i) * (H[4] - H[7]*j) -
6.         (H[1] - H[7]*i) * (H[5] - H[8]*j);
7.     y = (H[0] - H[6]*i) * (H[5] - H[8]*j) -
8.         (H[2] - H[8]*i) * (H[3] - H[6]*j);
9.     double z = (H[1] - H[7]*i) * (H[3] - H[6]*j) -
10.        (H[0] - H[6]*i) * (H[4] - H[7]*j);
11.     x /= z;
12.     y /= z; }

```

1. 空間校正 (Spatial Correction): 空間校正目的在於將監視器透視畫面轉化成二維俯視角度的影像，以生成透視範圍藉由四點梯形校正成矩形的矩陣運算，轉換時須確定影像的四個矩形座標( $x_i, y_i$ )， $i$  的範圍在0到3之間表示四個頂點的順序，以矩陣函數(1)、(2)轉換至二維俯視的影像。

$$\begin{bmatrix} t_i x'_i \\ t_i y'_i \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \left( \frac{M_{11}x + M_{12}y + M_{13}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}}, \frac{M_{21}x + M_{22}y + M_{23}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}} \right) \quad (2)$$

```
1. ## 輸入座標, 轉換輸出.  
2. void WarpPerspective_CoorTranfer(const vector<double>& HomogMat, double& x, double& y) {  
3.     const double* H = HomogMat.data();  
4.     const double i=x, j=y;  
5.     x = H[0]*i + H[1]*y +H[2];  
6.     y = H[3]*i + H[4]*y +H[5];  
7.     double z = H[6]*i + H[7]*y +H[8];  
8.     x /= z;  
9.     y /= z;  
10.    x=round(x);  
11.    y=round(y);  
12.}
```

2. 座標地圖(Coordinate Map)：影像校正與目標偵測疊合後形成具有座標的空間地圖，以獲取使用者的空間座標資訊，目標偵測點位不能表示其空間位置關係，而影像校正技術不能判斷出特定目標的資訊，因此將電腦視覺與影像處理技術整合後，便能獲的座標地圖，以察覺空間使用者與空間座標關係，此階段俯視影像資料並不能與建築座標系統疊合。

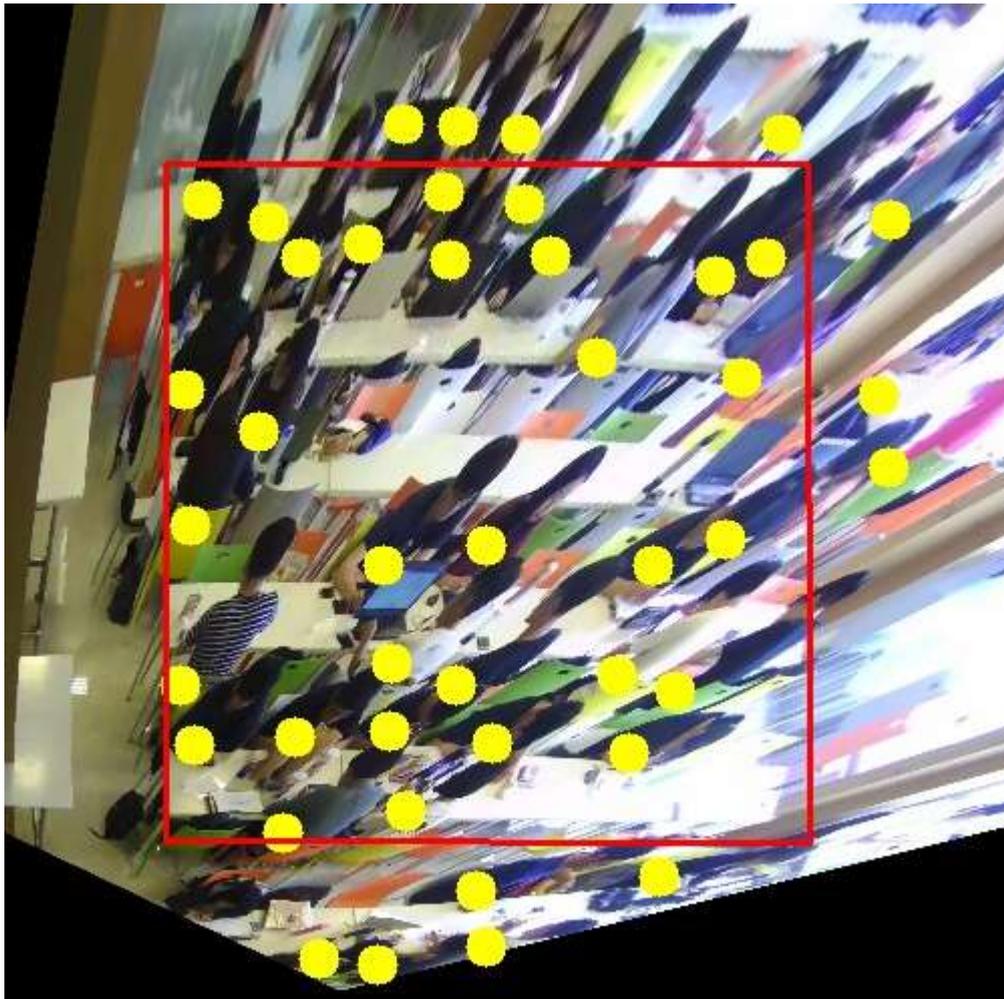


圖 5-5 透視校正後的坐標地圖

(資料來源:本研究)

3. 空間後設資料 (Spatial Metasata)：空間的後設資料目的在於協助儲存、管理、查閱、散佈與交換資訊，因此需以通用格式利於資料傳遞使用，本研究紀錄其時間、人數、人員、座標、空間範圍以便於管理上的使用與調閱。

```
{"people": [{"name": "person-1", "x": 176, "y": 498}],
```

```
"transformation 4 points (ROI)": [
```

```
{"name": "corner-0", "x": 35, "y": 50},
```

```
{"name": "corner-1", "x": 480, "y": 49},  
{"name": "corner-2", "x": 480, "y": 399},  
{"name": "corner-3", "x": 35, "y": 400}],  
"transform image": [{"height": 530, "width": 530}]}
```

### 第三節. 基於網絡的服務系統

為了達到無所不在的資訊傳遞，本研究藉由 Web 服務建構人工智慧情境感知平台與建築維運動態調適平台的資訊連接，人工智慧情境感知平台目的在於將空間情境感知結果透過 Web 可視覺化動態資料與歷史資料，並開放 API 讓資料可以透過網絡互相連接，基於網絡的服務系統目的在於根據環境情境變化，能即時調整空間管理機制，並建構物件導向(Object-oriented)的三維資料庫模型，連接動態環境數據產生新的建築維運管理模式。因此為了達到三維建築維運系統，須對建築資訊模型轉化成 Web 可使用的資料結構，透過 Web 查看三維模型，最後將導入的數據做視覺化呈現，讓管理時可快速的辨識空間異常的狀態。

### 第四節. 資訊傳遞與視覺化服務介面

藉由 Web 服務，人工智慧情境感知 Web-Based 目的在於將空間情境感知資訊結果透過 Web 可視覺化動態資料與資料統計，並開放 API 讓資料可以透過網絡互相連接，可以進行的呼叫 (call) 或請求 (request) 應用其資料，並

透過 Web 服務將影像分析資料即時發佈在網絡上，並以資料統計折線圖的方式，紀錄每天的空間人數與分佈的紀錄，以即時更新網站資訊呈現實時使用者分佈，並開發第三方軟體可以呼叫其資訊。



圖 5-6 藉由網站傳遞與視覺化呈現空間情境資訊 (資料來源: 本研究)

## 第五節. 成果效益預估

根據行政院勞工委員會「保全業之保全人員工作時間審核參考指引」每日正常工作時間不得超過 10 小時；連同延長工作時間，1 日不得超過 12 小時。2 出勤日之間隔至少應有 11 小時。

保全業之一般保全人員每月正常工時上限為 240 小時，每月延長工時上限為 48 小時，每月總工時上限為 288 小時。

人身保全及運鈔車保全，每 4 週內正常工作時間不得超過 168 小時。

因天災、事變或突發事件，雇主有使勞工在正常工作時間 2 以外工作之必要者，得將工作時間延長之。但應於延長開始後 24 小時內通知工會；無工會組織者，應報當地主管機關備查。延長之工作時間，雇主應於事後補給勞工以適當之休息。

採用勞基法 84-1 條的勞工保全員，核准工時 240H。其薪水計算公式是「基本工資+ (基本工資 / 核准工時) X (核准工時-每月正常工時)」，將法定單週 40H 反推年度總工時，再分攤至 12 個月，故每月正常工時=(40x52 週+ 8 時)/12 月=174 小時。保全員 240H 工資不得低於 23100+(23100/240)X(240-174) =29453 元。基本工資為 23100 元/月，換算時薪 23100 元/240 時=96.25 元，保全員月總工時若是 288 小時，超過的 48H 有包含加班費其算法(96.25 元x4/3)x48 小時=6160 元，加上 29453 元共 35613 元。

表 5-1 駐衛保全人員工作項目性質

工作項目內容	性質	需作業時間		是否人工智慧取代	備註
人員進出管制	常態性	00:00-08:00	是	是	範指進出標的物所有人員，如：員工、住戶、親友訪客、水電瓦斯人員、維護與施工人員、稽查人員、民意代表、
		08:00-16:00	是		

		16:00-24:00	是		宗教推廣人員、勸募人員、購屋租屋員、仲介人員、外賣車位使用人、遷出遷入管理等。
車輛進出管制停車場管理	常態性	00:00-08:00	是	是	範指進出標地物車輛，如：住戶車輛、來賓車輛、員工車輛、企業主車輛、公務車輛、工程車輛、臨停車 70 輛、送貨車輛、長期停放之異常車輛、故障車輛或事故車輛及車輛進出引導等。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
物品進出管制	常態性	00:00-08:00	否	否	私人物品、公共物品、寄放物品、施工物料、社區或公司財產等。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
郵務處理	常態性	00:00-08:00	否	否	私人物品、公共物品、寄放物品、施工物料、社區或公司財產等。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
水、電管制	臨時性	00:00-08:00	是	否	公共區域之電燈關閉、公共水源管理、公共設施設備電力異常管理、機械式停車場電力異常管理、公共水電使用管理等。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
施工管理	臨時性	00:00-08:00	否	否	裝潢施工、設施設備更換、設施維護保養、外牆清洗、地下室清洗、水塔清洗、外牆面施工維護、化糞池清理、電梯保養、消防系統保養等。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	否		

公共鑰匙管理	臨時性	00:00-08:00	否	否	指公共區域之電力機房、水池水塔門、各處通道門、電信機房、電梯機房、消防機房、機械車位控制箱、電梯車廂門、水電控制開關門等及其他公共休閒空間門等。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
公共空間與設施設備使用管理	常態性	00:00-08:00	否	否	針對公共區域之健身房、交誼廳、撞球室、視聽室、游泳池等各類休閒設施。外租外借空間、大廳梯廳、停車場、逃生通道、中庭花園及其他建築物內公共櫃間及通道。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
監控設備監視範圍異常管理	常態性	00:00-08:00	否	否	標的物內之監控設備損壞報修、監控範圍內人事物異常前往查看、存檔資料管理、異常畫面檔案管理。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	否		
火警報管理	臨時性	00:00-08:00	是	否	標的物配置的警報辨識及處理、系統異常損害報修、滅火或求援應變處理、火災現場管制。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
瓦斯警報管理	臨時性	00:00-08:00	是	否	系統異常損害報修、異常訊號通報及持續監控。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
巡邏安全管理	臨時性	00:00-08:00	是	否	以標的物重要庫房、處所、死角、重要設施設備、常發生異常狀況位置、常發生破壞位置、垃圾及回收場、物
		08:00-16:00	是		

		16:00-24:00	是		料堆放位置、重要人物辦公室等。
異常狀況處理	臨時性	00:00-08:00	是	否	泛指非立即產生危害的狀況，藉由執勤人員自行發現或接受通報之各類事故及異常狀況處理。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
天然災害預防管理	臨時性	00:00-08:00	是	否	可預期之颱風、暴雨、乾旱等狀況之公告及建物排水系統檢查、門窗懸掛物檢查、樹木電線檢查等事先準備事項。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
人為損害處置及管理	臨時性	00:00-08:00	是	否	指標的內、外人員之行為間接或直接造成標的物內他人、財產及設施設備遭受損害之狀況處理。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
救難及疏散引導	臨時性	00:00-08:00	是		於重大事故發生時，疏散標的物內人員及引導救護救難人員進行救援行為。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
傳染病管制管理	臨時性	00:00-08:00	是		遇政府公告法定傳染病防疫時，對標的物內隔離人員予以監控，對外來人員做體溫出及辨識等預防行為，如sars事件之管理。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
通報管理	臨時性	00:00-08:00	是		現場發生事故時，立即通報公司、警、消、醫院、業主

		08:00-16:00	是		或救難中心支援處理現場狀況。
		16:00-24:00	是		
紀錄管理	常態性	00:00-08:00	是	否	針對已造成損害支事件，書面寫明人、事、時、地、物、原由、目擊者及受害者，並蒐集相關照片、資料與影片作成紀錄呈報公司及業主。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		
其他交辦事項執行及回覆	常態性	00:00-08:00	是	否	對業主交辦事項執行成果與完成進度製成紀錄後定時向業主或公司回報。
		08:00-16:00	是		
		16:00-24:00	是		

(資料來源:本研究)

24 小時輪班管理保全人員需耗時  $24(H)*30(天)=720$  小時， $720(H)/288(H)=2.5(人)$ 至少需 3 位保全人員輪替，一年的保全人員維運成本為  $35613(元)*3(人)*12(月)=1,285,068(元)$ ，可從常態性工作由藉由影像辨識方式減少保全人員的工作項目以達到成本降低，因此本研究認為人員進出、管制車輛進出管制停車場管理、公共空間與設施設備使用管理常態性工作可以藉由人工智慧進行監控，以減少人事時間成本效益，達到成本的降低。

本計劃將常態性的工作時數權重為 1，臨時性估做工作時數權重為 0.5 傳統建築維運管理模式為  $(8*1)+(12*0.5)=14$ ，藉由人工智慧科技導入工作時數權重為  $(5*1)+(12*0.5)=11$ ，預期可以減少  $(3/14)*100=21.14\%$  的工作時數成本。

表 5-2 保全人員時間成本權重效益

工作項目內容	性質	需人力作業時間		人工智慧介入後 10 需要人力	傳統保全工作時數權重	人工智慧介入後保全人員工作權重
		時間	人數			
人員進出管制	常態性 1	00:00-08:00	1	0	3	0
		08:00-16:00	1	0		
		16:00-24:00	1	0		
車輛進出管制停車場管理	常態性 1	00:00-08:00	1	0	3	0
		08:00-16:00	1	0		
		16:00-24:00	1	0		
物品進出管制	常態性 1	00:00-08:00	0	0	2	2
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
郵務處理	常態性 1	00:00-08:00	0	0	2	2
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
水、電管制	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
施工管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	0	0	0.3	0.3
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	0	1		
公共鑰匙管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	0	0	0.6	0.6
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
公共空間與設施設備使用管理	常態性 1	00:00-08:00	1	0	3	0
		08:00-16:00	1	0		
		16:00-24:00	1	0		
監控設備監視範圍異常管理	常態性 1	00:00-08:00	0	0	1	1
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	0	0		
火警報管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9

瓦斯警報管理		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
巡邏安全管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	0	0.9	0
		08:00-16:00	1	0		
		16:00-24:00	1	0		
異常狀況處理	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
天然災害預防管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
人為損害處置及管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
救難及疏散引導	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
傳染病管制管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
通報管理	臨時性 0.3	00:00-08:00	1	1	0.9	0.9
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
紀錄管理	常態性 1	00:00-08:00	1	1	3	3
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
其他交辦事項執行及回覆	常態性 1	00:00-08:00	1	1	3	3
		08:00-16:00	1	1		
		16:00-24:00	1	1		
					29.9	20

(資料來源:本研究)

依據白天與晚上工作區分計算工作時數權重，傳統保全工作時數權重 29.9，人工智慧介入後保全人員工作權重 20， $(29.9-20)/29.9*100=33.11\%$ ，可

減少 33.11%工作時間。



## 第六章 結論與建議

本章節說明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(一)「應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之研究」之結論與建議，計有四點結論三點建議，分述以下二節。

### 第一節. 結論

本計畫目標為應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之研究，以建築空間作為資訊服務的載體，提出人工智慧介入建築物維運管理之方法與架構，並提出其對應的效益與評估方法。

本案目標及其對應章節有三項:本案預期目標有三項:

1. 完成國內外應用人工智慧科技減少建築物維運管理成本之相關資料及案例蒐集。本項目標已完成，詳參【第二章 文獻探討-人工智慧、第三章 文獻探討-維運管理】
2. 完成以人工智慧科技為核心的情境判釋演算法之開發，說明可減少之建築物維運管理人力訓練成本與職能門檻。本項目標已完成，詳參【第四章 人工智慧運用於建築生命週期】
3. 完成案例模擬分析，說明可提升之建築物維運管理量化及質化效益，供本所智慧建築評估手冊增修訂參考。本項目標已完成，詳參【第五章 影像辨識用於空間情境感知】

本案具體貢獻包括 (1) 找出四項現階段建築維運管理的痛點、(2)分析歸納出建築維運導入人工智慧後的七大項類別及其效益評估方法、(3)分析歸納出人工智慧維運管理效益的深化程度、(4)完成人工智慧介入維運管理機制及其演算法、(5)成功舉辦兩次專家會議、一次工作會議、一次期中審查、以及最終的期末審查。本案經綜合多次會議與報告回饋後，綜合總整出下列結論：

### 3. 四項現階段建築維運管理的痛點

AI 未來的發展勢必從人工管理轉變成智慧化管理模式，並完成全生命週期的循環管理。AI 應用於智慧建築維運管理應不止於被動的設施管理(FM)，而應該以人本友善及環境友善的目標進行「情境感知動態調適管理」。在此前提下，目前建築物的維運管理痛點包括：

- (5) 無數據集成 (No Data Integration)
- (6) 沒有文件連續性 (No Document Continuity)
- (7) 無流程模擬 (No Process Simulation)
- (8) 無涵構察覺 (No Context Awareness)

### 4. 七項人工智慧導入建築維運管理可行項目

為了能夠具體落實人工智慧介入到建築維運管理的目標，本案歸納彙整出智慧建築系統七大可行項目，並根據可行性與深化程度進行排序，以利作

為後續應用發展的優先順序參考。七項可行項目分別為：【詳第二節人工智慧在建築維運管理之應用】

- (8) 能源監測、測量和驗證 (Energy monitoring and measurement and verification)、
- (9) 安全保障 (Safety and security)、
- (10) 設備最佳化 (Facility Optimization)、
- (11) 預測性維護 (Predictive Maintenance)、
- (12) 生活管理(Life management)、
- (13) 空間規劃 (Demand Management)、
- (14) 需求管理 (Demand Management)

人工智慧應用於維運與建築的應用範疇

項目	定義與目的	AI 介入之可行方式	深化程度	評估方法
能源監測、測量和驗證 Energy monitoring and measurement and verification	監測、測量和驗證建築運行時所產生的能耗數據。例如電力、瓦斯、給排水等。目的在於提供數據模型作為最佳化的比對	採用人工智慧紀錄建築物的效能模型，並對新舊的數據比對提供能耗估算、分析數據之間的相關性等，用以作為調整能源效能模型之參考。	低	能源消耗 成本追蹤 能源預測可靠度 提升溫熱環境品質 提升空氣環境品
安全保障 Safety and security	安全管理包含門禁管制、防火避難、保全 規劃、建築結構維護等，確保建築沒有危險發生。	運用人工智慧實時監測安全保障項目，並能夠主動發出預警或進行趨勢預測。	低	空間可靠度 空間使用預測準確率 使用排程 使用率分析

設備最佳化 Facility Optimization	建築設備如照明設備、空調設備、通風設備等，根據環境、使用者的數據分析比對，使設備可以更有效的作業。	藉由能源數據資料分析評估績效趨勢，主動進行調控設備的運作模式，提升設備使用效率。	中	運行效率 設備故障預測分析
預測性維護 Predictive Maintenance	修復或更換磨損零件、調整精度、排除故障，恢復設備原有功能而進行的技術活動，其主要作用在於恢復設備精度、性能、提高效率，延長使用壽命，維持建築正常運行。	透過 AI 所分析出的趨勢模型，根據設備的狀況以及有關其使用方式的合理預估消耗程度，呈現短期內很有可能發生故障的設備，協助管理人員進行維護，減少設備中斷所帶來的成本。	中	設備故障預測分析 系統可靠性 縮短通知大眾所需的時間
生活管理 Life management	收集日常數據例如人數統計、空間分佈、移動路線、動作、生活型態等，找出使用者的特徵及行為模式並加以管理。	透過多項數據或新的感測技術分析，使 AI 可以判釋空間真實的使用狀態，了解當前空間情境來達到使用者主動生活管理。	高	使用時間分析 熱點分析 路徑分析 提升員工生產力 通行時間 提升使用者滿意度
空間規劃 Demand Management	對於空間使用型態和使用率進行排程規劃。目的是提升空間的使用效率。	人工智能分析並提供空間使用類型及使用率估算值，用以減少過多的閒置空間或增加使用率。	高	空間使用預測準確率 使用排程 使用率分析 有效人力支配
需求管理 Demand Management	對於特殊的空間使用需求進行特殊化的管理。目的是配合特殊的需求事件對空間進行彈性或動態的使用。	人工智能根據特殊事件設定事件的情境，根據事件的實時數據模型分析事件進行的狀態，並加以對於該情境進行有效的動態維運管理。	高	回應特殊需求 環境變化預測可靠度 舒適度分析 降低維管人力成本 節省營運及維護成本

表 4-4 人工智慧應用於維運與建築的應用範疇

(資料來源: 本研究)

## 5. 人工智慧維運管理效益與評估的深化程度

從智慧建築資訊面向提出結合人工智慧技術可提升維運管理深化程度，分別從數據集成、文件連續性、流程模擬、涵構察覺資訊問題提供可發展的維運管理項目。【詳二、維運效益深化程度】

人工智慧維運管理效益的深化程度				
	深化程度	人工智慧應用技術	維運管理項目	評估方法
數據集成	低	內容擷取 Content Extraction 文本分類 Text Classification	能源監測、測量和驗證 Energy monitoring and measurement and verification	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 能源消耗</li> <li>● 成本追蹤</li> <li>● 能源預測可靠度</li> </ul>
文件連續性	低	機器學習 Machine Learning (ML) 監督式學習 Supervised	安全保障 Safety and security	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 警示通知效率</li> <li>● 預防性</li> </ul>
流程模擬	中	自動排程 Automated scheduling 自動化計劃 Automated Planning 深度學習 Deep learning 無監督式學習 Unsupervised	設備最佳化 Facility Optimization 預測性維護 Predictive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設備故障預測分析</li> <li>● 運行效率</li> <li>● 設備故障預測分析</li> </ul>
涵構察覺	高	影像識別 Image Recognition 機器視覺 Machine Vision	生活管理 Life management 空間規劃 Demand Management 需求管理 Demand Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 使用時間分析</li> <li>● 熱點分析</li> <li>● 路徑分析</li> <li>● 空間使用預測準確率</li> <li>● 使用排程</li> <li>● 使用率分析</li> <li>● 回應特殊需求</li> <li>● 環境變化預測可靠度</li> <li>● 舒適度分析</li> <li>● 人事成本分析</li> </ul>

表 4-5 維運效益深化程度(資料來源: 本研究)

## 6. 人工智慧介入維運管理機制及其演算法

本案發展並完成人工智慧介入維運管理機制及其演算法，以人工智慧的機器視覺，對目標維運管理場域進行空間情境感知的判釋，達到場域的即時情境狀態分析。具體的作法首先是透過目標場域的監控設備如 CCTV，擷取即時影像後對影像內容進行機器視覺的演算法分析。演算法的分析項目主要為場域中的使用者分布狀態，透過本案開發的影像辨識功能，能夠準確的找到使用者的即時分布狀態。此外本案的演算法更進一步的對使用者分布狀態進行幾何校正，使其能正確還原定位出使用者的絕對位置座標，目的是能順利與未來的維運管理平台如 BIM 系統進行對接，如此一來便能夠進行場域的精確使用者情境狀態空間管理。

## 第二節. 建議

### 1. 立即可行建議：建議增修「智慧建築手冊」的智慧創新指標

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

目前國內智慧建築手冊共分成八大指標，包括(1) 綜合佈線指標、(2) 資訊通信指標、(3) 系統整合指標、(4) 設施管理指標、(5) 安全防災指標、(6) 節能管理指標、(7) 健康舒適指標、(8) 智慧創新指標。期中前七項指標目前手冊中皆有較為完整而詳細的規範，惟第八項智慧創新指標目前規範較為模糊，建議可以參考本研究的成果進行智慧創新項目內容的增修，配合中央發展人工智慧之大方向政策，以利國內 AI 整合介入建築全生命週期管理之發展與落實。

### 2. 中長期可行建議：鼓勵發展「人工智慧應用於維運管理」具體項目

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

在建築智慧化的趨勢下，以人工智慧的觀念將情境感知資訊導入至維運管理階段，有利於提升管理上的效益。本研究提出四大維運管理痛點與七項人工智慧應用於維運管理發展項目，包括(1)能源監測、測量和驗證、(2)安全保障、(3)設備最佳化、(4)預測性維護、(5)生活管理、(6)空間規劃、(7)需求管

理。上述項目依其應用人工智慧深化程度排序並初步建議其做法與效益，故可作為政府推廣或民間導入優先順序的參考依據。

### 3. 中長期可行建議：建立「智慧維運管理平台」 研擬 AI 介入公私有建築物維運管理

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

建築維運管理具有一定程度的公眾性與社區性，舉凡社會住宅屬於政府層級的公眾型維運管理、一般公寓大廈屬於私有群眾社區型維運管理等。為能夠有效的進行維運管理的同時亦保障其安全性，建議未來可研議建立官方「智慧建築維運平台」。該平台得由政府機關統籌開發，並採用模組化的功能管理機制，政府扮演平台維護與租金的角色，民間則根據需求租用平台的模組。如此不但可以確保廣泛的住宅都能有高品質的維運管理平台可以使用，另一方面亦可透過政府的管理而確保為運管理資料的公益性與私密性，避免被有心人士或組織錯誤運用。

根據此前提，建議配套研擬「人工智慧介入公私有建築物維運管理辦法」的可行性，將有利於國內應用 AI 加速智慧審查、應用 AI 實現智慧維運、應用 AI 於全生命週期等產官學應用，並有機會促進國內整體物業管理產業的

轉型與提升，進而建構出新興智慧建築產業鏈的成形，為國內整體物業管理塑造可持續性全生命週期循環管理的典範轉移。

#### 4. 中長期可行建議：促進建築維運管理數位轉型與創造 AI 維運管理創新產業鏈

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、財團法人台灣建築中心

我國運用人工智慧介入維運管理階段尚屬萌芽期，加上建築維運管理將為台灣未來建築產業逐漸成熟後的長期需求，並有其廣大的市場利基，故未來可將人工智慧介入建築全生命週期管理視為國家數位轉型的重要發展目標，並創造「人工智慧維運管理」的創新產業鏈。



## 參考文獻

### 中文文獻

1. 林彥志(2010)。以雲端支援架構建置 RFID 為基礎之個人化無所不在學習系統。
2. 楊家輝(2010)。人本智慧生活科技之整合研究
3. 楊逸詠、劉慶男(2003)。建立住宅效能評估制度之研究:二。內政部建研所。
4. 江哲明、王文安(1999)。建築室內環境保健控制綜合指標之研究。內政部建築研究所。
5. 沈揚庭(2012)。識域：科技中介、社群融入、空間擴增的學習環境。
6. 溫琇玲(2004)。台灣地區智慧型建築資料庫暨資訊系統之建置。
7. 田偉廷(2008)。建築外層智慧化設計對降低室內輻射熱之效益評估。
8. 邱彥豪, 吳昆儒, 梁家銘, 陳建志, 曾煜棋. (2018). 應用於智慧農場之影像電子圍籬. TANET2018 臺灣網際網路研討會, 84 - 85. <https://doi.org/10.6861/TANET.201810.0017>
9. Chen, Jair, & Tsai, W. -H. (n. d. ). 國立交通大學多媒體工程研

- 究所碩士論文. 116. 電子圍牆在台南市國中小的應用
10. 陳信銘, 陳佳珮, 邱柏訊, 林多常, 簡大為. (2016). 智慧型影像監控之電子圍籬技術. 電工通訊季刊, (2016 第 4 季), 14 - 23.
  11. 卓聖田, &張志永. (2004). 在轉換空間中識別人類室內活動 (PhDThesis).
  12. 吳翌禎. (2010). 應用 4D 動態模擬於工作空間最佳化配置之研究.
  13. 廖偉智. (2019). 整合型校園安全防護警報監視系統設計. 樹德科技大學電腦與通訊系碩士班學位論文, 1 - 57.
  14. 林柏佑. (2014). 基於雲端架構的電子圍籬主動式追蹤定位系統. 淡江大學資訊工程學系碩士在職專班學位論文, 1 - 74.
  15. 林裕峰. (2016). 基於 FPGA 之手掌靜脈辨識系統設計與實現. 中正大學電機工程學系學位論文, 1 - 54.
  16. 邱彥彰. (2011). 4D 視覺化工作空間衝突分析系統之建置
  17. 黃啟銘, &陳稔. (2009). 以內容為基礎的建築物影像檢索
  18. 簡聖芬. (2002). 網路環境中建築設計協同作業系統之研究--子計畫 III: 建築設計協同作業之設計溝通與回饋支援系統。
  19. 莊天翔、李伯青、吳翌禎(2011)。應用雲端運算技術於建築資訊模型展現與操控之研究。

20. 蔡尚安(2009)。利用社交網路於適地性服務之位置感知時空間事件查詢。臺灣大學電機工程學研究所學位論文。1 - 44。
21. 許俊逸(2014)。BIM 帶來的變革與政府的前瞻作為。
22. 郭榮欽、謝尚賢、陳以文、楊基恩、簡添福(2014)。雲端 BIM 協同作業服務平台之設計與實作。中國土木水利工程學刊(4)。309。
23. 郭榮欽、康仕仲、謝尚賢(2011)。資訊共享跨越時空美夢成真 雲端運算實踐 BIM 資訊模型同步化。營建知訊, (345), 55 - 57。
24. 鄭 昭 平 . (n. d.) 。 FIM(BIM)ApplicationsinHigh-TechFacilityPlant.
25. 陳 柏 均 、 鄭 泰 昇 (2010) 。 Livindex:SituationalEnergyAwarenessforSustainableLiving. ArchitectureScience(2) 。 35 - 47 。
26. 陈泽琳、潘运军、何浥尘、齐德昱(2014)。一种基于 Hadoop 的 BIM 云服务框架和空间位置检索算法。计算机科学。41(11)。107 - 111 。
27. 陳上元(2008)。涵構覺察的可調適性建築。

英文文獻

1. Giuda, G. M. D. , Villa, V. , &Piantanida, P. (2015). BIMandEnergyEfficientRetrofittinginSchoolBuildings. EnergyProceedia, 78, 1045 – 1050.
2. Goulding, J. S. , PourRahimianLeilabadi, F. , &Wang, X. (2014). Virtualreality-basedcloudBIMplatformforintegratedAECprojects. JournalofInformationTechnologyinConstruction, 19, 308 – 325.
3. J. Yang, &H. Peng. (2001). Decisionsupporttotheapplicationofintelligentbuildingtechnologies. RenewableEnergy, 22(1 – 3), 67 – 77.
4. Jiao, Y. , Zhang, S. , Li, Y. , Wang, Y. , &Yang, B. (2013). TowardscloudAugmentedRealityforconstructionapplicationbyBIMandSNSintegration. AutomationinConstruction, 33, 37 – 47.
5. J. K. W. Wong. (2005). Intelligentbuildingresearch:areview. AutomationinConstruction, 14(1), 143 – 159.
6. Akinci, B. , Fischer, M. , &Kunz, J. (2002). AutomatedGenerationofWorkSpacesRequiredbyConstructionActivities. JournalofConstructionEngineeringandManagement, 128(4), 306 – 315.

7. Akinci, B. , Fischer, M. , Kunz, J. , & Levitt, R. (2002). Representing Work Spaces Generically in Construction Method Models. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4), 296 – 305. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:4\(296\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(296))
8. Anuar, K. A. M. , Maharam, M. F. , Hadi, N. A. A. , Harun, M. H. , & Halim, M. F. M. A. (2019). Development of wireless and intelligent home automation system. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(1), 32.
9. Baldwin, A. (n. d. ). *Handbook for Construction Planning and Scheduling*. 433.
10. Brunberg, E. I. , Bøe, K. E. , & Sørheim, K. M. (2015). Testing an ew virtual fencing system on sheep. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science*, 65(3 – 4), 168 – 175. <https://doi.org/10.1080/09064702.2015.1128478>
11. Chavada, R. , Dawood, N. , & Kassem, M. (n. d. ). CONSTRUCTION WORK SPACE MANAGEMENT: THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AN OVERLAP PLANNING APPROACH AND TOOL. 24.
12. Chen, J. , Tseng, T. , Lai, C. , & Hsieh, S. (2012). An Intelligent

- tVirtualFenceSecuritySystemfortheDetectionofPeopleInvading. 20129thInternationalConferenceonUbiquitousIntelligenceandComputingand9thInternationalConferenceonAutonomicandTrustedComputing, 786 - 791.
13. Despotovic, M. , Koch, D. , Leiber, S. , Döllner, M. , Sakeena, M. , &Zeppelzauer, M. (2019). Predictionandanalysisofheatingenergydemandfordetachedhousesbycomputervision. *EnergyandBuildings*, 193, 29 - 35.
14. Din, I. U. , Guizani, M. , Rodrigues, J. J. P. C. , Hassan, S. , &Korotayev, V. V. (2019). MachinelearningintheInternetofThings:Designedtechniquesforsmartcities. *FutureGenerationComputerSystems*, 100, 826 - 843.
15. Francis, A. (2019). ChronographicalSpatiotemporalSchedulingOptimizationforBuildingProjects. *FrontiersinBuiltEnvironment*, 5, 36.
16. Francis, A. , Meur, E. L. , &Miresco, E. (n. d. ). SpaceplanningofmaterialflowforBuildingprojects:TheChronographicalmodellingconcept. 9.
17. Geo-FencingGeographicalFencingbasedEnergy-

- Aware. pdf. (n. d. ).
18. Kim, S. H. , Lim, S. C. , & Kim, D. Y. (2018). Intelligent intrusion detection system featuring a virtual fence, active intruder detection, classification, tracking, and action recognition. *Annals of Nuclear Energy*, 112, 845 – 855.
  19. Mallasi, Z. , & Dawood, N. (n. d. ). Workspace Competition: Assignment, and quantification utilising 4D Visualisation Tools. 10.
  20. Mazars, T. , & Francis, A. (2018). Dynamic 4D space planning using chronological modeling. *Creative Construction Conference 2018–Proceedings*, 747 – 752.
  21. Muminov, A. , Daeyoung Na, Cheolwon Lee, & HeungSeok Jeon. (2016). Virtual fences for controlling livestock using satellite tracking and warning signals. *2016 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, 1 – 7.
  22. Muminov, A. , Na, D. , Lee, C. , Kang, H. , & Jeon, H. (2019). Modern Virtual Fencing Application: Monitoring and Controlling Be

haviorofGoatsUsingGPSCollarsandWarningSignals. Sensors  
, 19(7), 1598.

23. Obute, S. O. , Dogar, M. R. , &Boyle, J. H. (2019). ChemotaxisBa  
sedVirtualFenceforSwarmRobotsinUnboundedEnvironments.  
ArXiv:1906.07492[Cs]. Retrievedfrom[http://arxiv.org/ab  
s/1906.07492](http://arxiv.org/abs/1906.07492)

24. Pan, M. S. , &Tseng, Y. C. (2013). ZigBee-basedlong-  
thinwirelessensornetworks:Addressassignmentandroutin  
gschemes. InternationalJournalofAdHocandUbiquitousComp  
uting, 12(3), 147.

Pépin, M. (n. d. ). CALCULATIONOFTHECONSTRUCTIONSITES' OCC  
UPANCYRATEUSINGCHONOGRAPHICMODELING. 8. Sivagurunathan,  
S. , Piratl

## 附錄 1: 第一次專家諮詢會議

「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 1 案「應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之研究」

### 專家會議記錄

開會時間: 109年06月10日下午2時30分整

開會地點: 內政部建築研究所大坪林聯合開發大樓13樓討論室1

(新北市新店區北新路三段200號)

主持人: 王榮進所長、沈揚庭副教授

出席者: 內政部建築研究所(敬請派員指導)李孟崇總經理、陳清楠建築師、包晃豪科長、吳崇弘副總經理、張晉銓總經理、李咸亨教授、陳柏華副教授

列席者: 李雨澤研究助理、廖士豪研究助理

討論事項:

1. 建築產業智慧化所面臨的困難與機會為何?
2. 建築物維運管理的需求面向為何? 如何提升其效益?
3. 建物維運管理結合人工智慧的應用面向及其案例?
4. 列舉示範性的維運管理系統並進行專家評估建議。

## (1) 沈揚庭

今天有四個命題希望可以跟各位專家做討論。第一個命題是，建築產業智慧化所面臨的困難與機會為何？這個也是回應到剛剛組長說的，說不定我們可以為智慧建築找出一些新的可能性。第二個命題是，建築物維運管理的需求面向為何？維運管理有什麼可能性，我們需要管理和維運什麼事情，以及怎樣提升效率？第三個則是，我們有沒有辦法將人工智慧介入到維運管理？以上二三兩點前者是討論維運管理的需求，後者是討論能否結合人工智慧，或許可以把他們並成同一個命題來討論。最後一個命題是，列舉示範性維運管理系統並請專家提供建議。但由於目前我們的系統還沒有出來，所以這一題或許在第二次專家會議的時候再請專家對我們的系統做評估。以上就是我們這次會議討論的議題。

維運平台系統是我們最後希望做到的，演算法是可以開發出來的，他的開發目前已經接近尾聲了。跟各位組長和委員解釋一下，其實我們把他拆成兩個部分了，第一個部分是前端，我們會用 CCTV 接入電腦視覺寫出演算法，可以算出空間中真正分佈的狀態，也就是絕對位置。因為目前如果直接用 CCTV 看的話是透視的，他只是在那一張畫面有效，我們希望能夠找出物體真正在空間中的位置，這部分已經開發出來了。

BIM 其實只是一個載體，但是他的關鍵在於可以視覺化和咨詢傳遞。由於具備以上這兩個特點，BIM 其實可以直接拿來用。或許還有其他的手法，但目前更適合把 BIM 導入進來。

因為現在有一些系統的廠商有在開發一些管理的系統也都是蠻好的。但因為 BIM 其實有一個共通格式，所以說不定未來的

資訊可以開始做互通。現在很多新開發管理系統做的很好但就是缺乏互通性。因為你可能會翻出圖面上的某一個 icon。

就是在做某個事情，但別人不是這樣做規劃的。但如果以 BIM 來講的話，比如我規劃這一排的空調主機就是在做這件事情，那到別人家也是一樣，他們可以對這個物件做規劃。所以經過我們的努力或許可以出現一些互通性。我們要強調一定要有視覺化。因為做管理的視覺化蠻重要的，如果只是報表的話其實不一定大家都看得懂。外層是視覺化，是讓管理者看的，然後資訊傳遞其實是內容。所以內部的話就是有辦法用這個系統一直傳遞、承載和記錄資訊來做分析。

## (2) 組長羅時麒

你們說最後會有一個演算法，那你們產出的是演算法還是系統？

智慧建築推動到現在，實際有用的都覺得很好用，但是現在最大的問題就是說不清導入智慧化會有怎樣的效益。效益有的是說錢的效益，有的是行政作業上的減輕，或者所需能力上的降低。在建築物維運管理的部分導入智慧化會有他的效益，之前有導入設施管理的智慧化，但是大家有些意見是說實際沒有在用，為什麼沒有在用就是因為沒有效益。我們這個題目雖然是要提升維運管理但其實重點在效益。

## (3) 總經理李孟崇

我想討論一下這些設施維護的資料跟未來營運維護的資料，我們在之前研究的時候把他們分成了幾塊。一塊是現有智慧建築

就有很多的系統，而且他不是現在才有的，而是幾十年來都有的，比如 IBM，西門子等等。這些資料我們可以這樣分，剛剛我們談到的資訊斷層裡面到竣工為止的，這一段其實是一個固定靜態的資料，我們可以把牠當做 Low Data，但是當他竣工以後就會有另外三種資料，一種是設備運轉的資料，一種是人的資料，他可能是 maintain，可能是維護修護，還有使用的資料，當然還有一些其他的。因為在以前，只有大系統，關於生活、服務部分的資料比較少，比如沒有空調的地方就不會管你是不是舒適的溫度濕度等相關的資料。那其實還有第三種資料，是近期才有的，就是很多環境的 Open Data。來認識一個比較完整的智慧建築維護、營運的資料大概可以這樣分。那麼 BIM 的資料其實只提供了剛剛這一大堆裡面的 Low Data 和視覺化而已。當然這一塊以前的圖控是沒有辦法達到的，因為最主要的是 BIM 有精確的空間定位，是三向度的，當然可以計入坐標。因此從這個角度來談，其實智慧建築營運維護一直都有，所以應該是說在做更加精實管理的進化，因為以前沒有視覺化和完整的 Low Data。

第二個想要討論的是，我們談論這個事情的時候一定會碰到的問題：他到底是開放的還是封閉的？剛才全部都是封閉的，那他有沒有做 AI？有，他有很多邏輯判斷。他要不要卸載？雖然封閉但又很多很多的這些東西，現在他們開始陸續引入更多大廠，這些大廠各有很多產品，他們在產品裡面做很多事，他們可能不是從業主的角度出發，他對營運的業主來說他可能是設備設施做的比較好，但是在其他地方不完整，所以他會少掉使用者和剛剛講到的生活服務的部分。剛剛的封閉或開放我想直接談到第二和第三項。如果以到廠商的那一段來說他可以做一些事，到使用者就

會有另外一件事，可能還有許多其他事情要做，所以這個系統能不能被我使用跟溝通？還是會被 block 在那裡？現在因為可靠度的原因，系統不太可能讓你去控制。那他又能不能讓你溝通、取資料？能不能把他串接到另外一個我們希望拿來分析的系統？這些系統有沒有被規定必須要提供 Open API？

我覺得協議是一個事情，要開放提供 API。為了可靠度可以不讓你寫過去但他要可以去用。像很多大的軟體都是這樣，我只要能取就可以做後面營運維護相關的 AI 運用。要讓這個議題和產業變強就要從規範上讓他打開，那大家就會強了。

但是我要把資料取回來，他固定一個時間就複製一個資料丟在某一個資料夾讓你去取，那基本上就有可能是時間上落後了。還有就是，如果我們談到 AI 在營運維護上最主要是有的預測的能力。重點就是可能拿到很久之前的資料，那要怎麼樣預測呢？

#### (4) 建築師陳清楠

一般的維運管理像是看醫生，平台的作用是把零組件的需求電腦化，管理上比較方便。如果未來加入 AI，期待會像是養生。日常的使用模式的大數據就可以通過 AI 來學習，經過一段時間的營運就知道一些零組件的數據在什麼樣的狀況下就可能會壞，就是一種學習式的預警。並不是等他壞了再去換，而是在平時就可以保養。

維運管理有很多面向，其中又包括資產管理、設施管理、消防管理等等，目前台灣最普遍的可能是在保全管理，或許需要把這些面向稍微聚焦一下，或者先做一些可行性的評估。

### (5) 包晃豪科長

在智慧化這塊可能要包括一些設備的規範，需要提供資料的是哪些廠商，我們先做一些認證。如果將來推在一般的建築或者公共建築，至少三家我們就可以用了。以後再推的時候也比較方便，國內有一些廠商其實都可以做。但這個就比較長期的考量。在 BIM 的部分，現在運用上沒問題，智慧化的部分各個居處也有在做，像是消防也有做 BIM 的模擬，比如人進去火場的時候再什麼位置。這個案子可能要先定位要做到什麼樣的程度，要選哪些項目先來做，如果可行就可以往後再推。成本分析可以從設備維護管理人力可以減少多少成本來研究。

### (6) 副總經理吳崇弘

剛剛沈老師和組長有提到，不要太凸顯 BIM，所以我覺得目前困境不一定要直接把 BIM 寫在裡面。少了一些視覺化的載體，或者諮詢傳遞的載體，後面再寫用 BIM 來做這些事情。我知道國內很多 IOT 的廠商有在處理這個問題。他不會去用西門子的設備，開始用國內廠商自己的設備，就可以做到剛剛提到的可監可控。例如研華與台達電。

### (7) 助理教授紀乃文

其實 AI 在討論的偏向機器學習，但維運管理有很多可以討論議題，本質並沒有很複雜，例如門禁管制到保全因為他的本質最複雜到覺得 AI 可以處理，之前說像是溫度光線控制，一個感測器可以決定維運決策，但本質比較複雜的問題，像是美國校園槍擊案頻傳，透過 BIM 模型管理應用在校園出現槍手能不能透過門禁方式將她鎖起來，向空間之間關係不一定是資料庫可以提供的，

BIM 是資訊載具但她其實有些資訊是傳統資料庫無法呈現的，尤其是像是空間關係結合複雜的議題 AI 介入才會有比較大的意義，那我覺得說監與控，監的時候 CCTV 影像辨識一直是 AI 有趣的研究之一，而現在的 AI 偏向於泛用的應用，影像提供非常多的議題但也有很多不確定性。現階段我比較希望可以看到具體情境能夠刺激我們去思考 AI 有甚麼著力點讓我們去思考。

#### (8) 沈揚庭 總結

第一點 從各總手冊盤點建築物維運需求，維運需求分類、層級去了解 AI 可以介入的方向有哪些。

第二點 AI 的應用可以強調某種生活效益例如個人習慣或是空間管理，可能是新的管理模式提供智慧建築創新部分的修正建議

第三點 效益評估不一定要是算費用，可以是時效性、某種可靠度提升用來評估維運管理效益。



附錄 2: 台灣建築物使用類別

表 3-3 建築物之使用類別

類別		類別定義	組別	組別定義
A 類	公共類 共會	供集會、觀賞、社交、等候運輸工具，且無法防火區劃之場所。	A-1	供集會、表演、社交，且具觀眾席之場所。
			A-2	供旅客等候運輸工具之場所。
B 類	商業類	供商業交易、陳列展售、娛樂、餐飲、消費之場所。	B-1	供娛樂消費，且處封閉或半封閉之場所。
			B-2	供商品批發、展售或商業交易，且使用人替換頻率高之場所。
			B-3	供不特定人餐飲，且直接使用燃具之場所。
			B-4	供不特定人士休息住宿之場所。
C 類	工業、倉儲類	供儲存、包裝、製造、檢驗、研發、組裝及修理物品之場所。	C-1	供儲存、包裝、製造、檢驗、研發、組裝及修理工業物品，且具公害之場所。
			C-2	供儲存、包裝、製造、檢驗、研發、組裝及修理一般物品之場所。
D 類	休閒、文教類	供運動、休閒、參觀、閱覽、教學之場所。	D-1	供低密度使用人口運動休閒之場所。
			D-2	供參觀、閱覽、會議之場所。
			D-3	供國小學童教學使用之相關場所。(宿舍除外)
			D-4	供國中以上各級學校教學使用之相關場所。(宿舍除外)
			D-5	供短期職業訓練、各類補習教育及課後輔導之場所。
E 類	宗教、殯葬類	供宗教信徒聚會、殯葬之場所。	E	供宗教信徒聚會、殯葬之場所。

F 類	衛生、福利、更生類	供身體行動能力受到健康、年紀或其他因素影響，需特別照顧之使用場所。	F-1	供醫療照護之場所。
			F-2	供身心障礙者教養、醫療、復健、重健、訓練、輔導、服務之場所。
			F-3	供兒童及少年照護之場所。
			F-4	供限制個人活動之戒護場所。
G 類	辦公、服務類	供商談、接洽、處理一般事務或一般門診、零售、日常服務之場所。	G-1	供商談、接洽、處理一般事務，且使用人替換頻率高之場所。
			G-2	供商談、接洽、處理一般事務之場所。
			G-3	供一般門診、零售、日常服務之場所。
H 類	住宿類	供特定人住宿之場所。	H-1	供特定人短期住宿之場所。
			H-2	供特定人長期住宿之場所。
I 類	危險物品類	供製造、分裝、販賣、儲存公共危險物品及可燃性高壓氣體之場所。	I	供製造、分裝、販賣、儲存公共危險物品及可燃性高壓氣體之場所。

(資料來源:內政部營建署)

表 3-4 建築物使用類組使用項目舉例

類組	使用項目舉例
A-1	1. 戲(劇)院、電影院、演藝場、歌廳、觀覽場等類似場所。 2. 觀眾席面積在二百平方公尺以上之下列場所：體育館(場)及設施、音樂廳、文康中心、社教館、集會堂(場)、社區(村里)活動中心等類似場所。
A-2	1. 車站(公路、鐵路、大眾捷運)。 2. 候船室、水運客站。 3. 航空站、飛機場大廈。
B-1	1. 視聽歌唱場所(提供伴唱視聽設備,供人唱歌場所)、理髮(理容)場所(將場所加以區隔或包廂式為人理髮理容之場所)、按摩場所(將場所加以區隔或包廂式為人按摩之場所)、三溫暖場所(提供冷、熱水池、蒸烤設備,供人沐浴之場所)、舞廳(備有舞伴,供不特定人跳舞之場所)、舞場

	<p>(不備舞伴, 供不特定人跳舞之場所)、酒家(備有陪侍, 供應酒、菜或其他飲食物之場所)、酒吧(備有陪侍, 供應酒類或其他飲料之場所)、特種咖啡茶室(備有陪侍, 供應飲料之場所)、夜總會、遊藝場、俱樂部等類似場所。</p> <p>2. 電子遊戲場(依電子遊戲場業管理條例定義)。</p> <p>3. 錄影帶(節目帶)播映場所。</p> <p>4. B-3使用組別之場所, 有提供表演節目等娛樂服務者。</p>
B-2	<p>1. 百貨公司(百貨商場)商場、市場(超級市場、零售市場、攤販集中場)、展覽場(館)、量販店、批發場所(倉儲批發、一般批發、農產品批發)等類似場所。</p> <p>2. 樓地板面積在五百平方公尺以上之下列場所: 店舖、當舖、一般零售場所、日常用品零售場所等類似場所。</p>
B-3	<p>1. 飲酒店(無陪侍, 供應酒精飲料之餐飲服務場所, 包括啤酒屋)、小吃街等類似場所。</p> <p>2. 樓地板面積在三百平方公尺以上之下列場所: 餐廳、飲食店、飲料店(無陪侍提供非酒精飲料服務之場所, 包括茶藝館、咖啡店、冰果店及冷飲店等)等類似場所。</p>
B-4	<p>1. 觀光旅館(飯店)、國際觀光旅館(飯店)等之客房部。</p> <p>2. 旅社、旅館、賓館等類似場所。</p> <p>3. 樓地板面積在五百平方公尺以上之下列場所: 招待所、供香客住宿等類似場所。</p>
C-1	<p>1. 變電所、飛機庫、汽車修理場(車輛修理場所、修車廠、修理場、車輛修配保管場、汽車站房)等類似場所。</p> <p>2. 特殊工作場、工場、工廠(具公害)、自來水廠、屠(電)宰場、發電場、施工機料及廢料堆置或處理場、廢棄物處理場、污水(水肥)處理貯存場等類似場所。</p>
C-2	<p>1. 倉庫(倉儲場)、洗車場、汽車商場(出租汽車、計程車營業站)、書庫、貨物輸配所、電信機器室(電信機房)、電視(電影、廣播電台)之攝影場(攝影棚、播送室)、實驗室等類似場所。</p> <p>2. 一般工場、工作場、工廠等類似場所。</p>
D-1	<p>1. 保齡球館、室內溜冰場、室內游泳池、室內球類運動場、室內機械遊樂場、室內兒童樂園、保健館、健身房、健身服務場所(三溫暖除外)、公共浴室(包括溫泉泡湯池)、室內</p>

	<p>操練場、撞球場、室內體育場所、少年服務機構（供休閒、育樂之服務設施）、室內高爾夫球練習場、室內釣蝦（魚）場、健身休閒中心、美容瘦身中心等類似場所。</p> <p>2. 資訊休閒服務場所（提供場所及電腦設備，供人透過電腦連線擷取網路上資源或利用電腦功能以磁碟、光碟供人使用之場所）。</p>
D-2	<p>1. 會議廳、展示廳、博物館、美術館、圖書館、水族館、科學館、陳列館、資料館、歷史文物館、天文臺、藝術館等類似場所。</p> <p>2. 觀眾席面積未達二百平方公尺之下列場所：體育館（場）及設施、音樂廳、文康中心、社教館、集會堂（場）、社區（村里）活動中心等類似場所。</p>
D-3	小學教室、教學大樓等相關教學場所。
D-4	國中、高中、專科學校、學院、大學等之教室、教學大樓等相關教學場所。
D-5	<p>1. 補習（訓練）班、文康機構等類似場所。</p> <p>2. 兒童課後照顧服務中心等類似場所。</p>
E	<p>1. 寺（寺院）、廟（廟宇）、教堂（教會）、宗祠（家廟）、宗教設施、樓地板面積未達五百平方公尺供香客住宿等類似場所。</p> <p>2. 殯儀館、禮廳、靈堂、供存放骨灰（骸）之納骨堂（塔）、火化場等類似場所。</p>
F-1	<p>1. 設有十床病床以上之下列場所：醫院、療養院等類似場所。</p> <p>2. 樓地板面積在一千平方公尺以上之診所。</p> <p>3. 樓地板面積在五百平方公尺以上之下列場所：護理之家機構（一般護理之家、精神護理之家）、產後護理機構、屬於老人福利機構之長期照顧機構（長期照護型）、長期照顧機構（失智照顧型）等類似場所。</p>
F-2	<p>1. 身心障礙福利機構（全日型住宿機構、日間服務機構、樓地板面積在五百平方公尺以上之福利中心）、身心障礙者職業訓練機構等類似場所。</p> <p>2. 啟智（聰、明）學校、盲啞學校、益智學校。</p> <p>3. 日間型精神復健機構。</p>
F-3	兒童及少年安置教養機構、幼兒園、幼兒園兼辦國民小學兒童課後照顧服務、托嬰中心、早期療育機構等類似場所。

F-4	精神病院、傳染病院、勒戒所、監獄、看守所、感化院、觀護所、收容中心等類似場所。
G-1	含營業廳之下列場所：金融機構、證券交易場所、金融保險機構、合作社、銀行、證券公司（證券經紀業、期貨經紀業）、票券金融機構、電信局（公司）郵局、自來水及電力公司之營業場所。
G-2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不含營業廳之下列場所：金融機構、證券交易場所、金融保險機構、合作社、銀行、證券公司（證券經紀業、期貨經紀業）、票券金融機構、電信局（公司）郵局、自來水及電力公司。</li> <li>2. 政府機關（公務機關）、一般事務所、自由職業事務所、辦公室（廳）、員工文康室、旅遊及運輸業之辦公室、投資顧問業辦公室、未兼營提供電影攝影場（攝影棚）之動畫影片製作場所、有線電視及廣播電台除攝影棚外之其他用途場所、少年服務機構綜合之服務場所等類似場所。</li> <li>3. 提供場地供人閱讀之下列場所：K 書中心、小說漫畫出租中心。</li> <li>4. 身心障礙者就業服務機構。</li> </ol>
G-3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 衛生所（健康服務中心）、健康中心、捐血中心、醫事技術機構、牙體技術所、理髮場所（未將場所加以區隔且非包廂式為人理髮之場所）、按摩場所（未將場所加以區隔且非包廂式為人按摩之場所）、美容院、洗衣店、公共廁所、動物收容、寵物繁殖或買賣場所等類似場所。</li> <li>2. 設置病床未達十床之下列場所：醫院、療養院等類似場所。</li> <li>3. 樓地板面積未達一千平方公尺之診所。</li> <li>4. 樓地板面積未達五百平方公尺之下列場所：店舖、當舖、一般零售場所、日常用品零售場所、便利商店等類似場所。</li> <li>5. 樓地板面積未達三百平方公尺之下列場所：餐廳、飲食店、飲料店（無陪侍提供非酒精飲料服務之場所，包括茶藝館、咖啡店、冰果店及冷飲店等）等類似場所。</li> </ol>
H-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 民宿（客房數六間以上）、宿舍、樓地板面積未達五百平方公尺之招待所。</li> <li>2. 樓地板面積未達五百平方公尺之下列場所：護理之家機構（一般護理之家、精神護理之家）、產後護理機構、屬於老</li> </ol>

	<p>人福利機構之長期照顧機構（長期照護型）、長期照顧機構（失智照顧型）、身心障礙福利服務中心等類似場所。</p> <p>3. 老人福利機構之場所：長期照顧機構（養護型）、安養機構、其他老人福利機構。</p> <p>4. 身心障礙福利機構（夜間型住宿機構）、居家護理機構。</p> <p>5. 住宿型精神復健機構、社區式日間照顧及重建服務、社區式身心障礙者日間服務等類似場所。</p>
<p>H-2</p>	<p>1. 集合住宅、住宅、民宿（客房數五間以下）。</p> <p>2. 設於地面一層面積在五百平方公尺以下或設於二層至五層之任一層面積在三百平方公尺以下且樓梯寬度一點二公尺以上、分間牆及室內裝修材料符合建築技術規則現行規定之下列場所：小型安養機構、小型身心障礙者職業訓練機構、小型日間型精神復健機構、小型住宿型精神復健機構、小型社區式日間照顧及重建服務、小型社區式身心障礙者日間服務等類似場所。</p> <p>3. 農舍。</p> <p>4. 社區式家庭托顧服務、身心障礙者社區居住服務場所。</p>
<p>I</p>	<p>1. 化工原料行、礦油行、瓦斯行、石油煉製廠、爆竹煙火製造儲存販賣場所、液化石油氣分裝場、液化石油氣容器儲存室、液化石油氣鋼瓶檢驗機構（場）等類似場所。</p> <p>2. 加油（氣）站、儲存石油廠庫、天然氣加壓站、天然氣製造場等類似場所。</p>

（資料來源：內政部營建署）

附錄 3: 期中審查會議回應表

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
何教授 明錦	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 智慧化不等同於人工智慧，建議再加強釐清。</li> <li>2. BIM 應用於物業管理(FM)雖屬必然趨勢，但就實際人才、技術、制度而言，據實務運用仍有一段差距。</li> <li>3. AI 結合 BIM 在 FM 領域有其前瞻性，值得推動。</li> <li>4. 本研究目前初步提出之 AI 技術運用項目，是否契合維護與營運以及未來之操作運用技術，仍待明確界定，以及建構契合性之系統方能整體效益，並須同時考量培育相關人才。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本處回答</li> <li>2. 感謝委員的肯定，本案預計以短期可行 AI 影像辨識技術結合建築維運空間管理做先導示範，並以案例分析了解其他維運管理介入的 AI 的應用方式。</li> </ol>
陳教授 俊杉(鄭 組長維 中代)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書第 21 頁，建議可以再釐清機器學習是人工智慧的一個子技術還是一種應用面向。</li> <li>2. 情境判釋演算法的開發與後續案例是本研究一項重要目標，如果已經有預計使用 AI 技術、類型規劃建議加強說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝指教，針對人工智慧的部分，機器學習為人工智慧中一門技術，未來會針對表格使用上做出修正，以期用詞更加精準。</li> <li>2. 遵示辦理。</li> </ol>
黃教授 彥男	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 維運管理加入 AI 的價值需要更明確，例如預期節省成本等。</li> <li>2. 運用 AI 需要大量資料，資料來源為何? Transfer Learning 會有效嗎?建築物的差異很大資料是否有可用性?例如如何預測水管可能或破裂而須提早更換?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝指教，針對本案成本量化分析不一定以金錢費用為主，本研究整理不同分析方法，例如人潮分流、使用人數預測等方法來提升建築運行效益。</li> <li>2. 謝謝指教，AI 之資料來源一般係為攝像頭、各種感應器等，本案預期僅以影像辨識技術做為示範。</li> </ol>
廖建築 師慧燕	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究分析強調 BIM，但是人工智慧必須是動態資料收集後再分析應用，建議再釐清。</li> <li>2. 報告書第 36-40 頁，案例模擬分析部分依計畫重點應該是建築物維運管理相關主題，目前資料似乎過於簡略，除少部分外多未清楚說明與人工智慧關係。</li> <li>3. 能源管理應用人工智慧技術已經相當成熟建</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵示辦理，本案提及之 BIM 僅作為資訊之載體使用。</li> <li>2. 謝謝指教，本案將收集整理人工智慧介入維運管理的面向文獻探討，以期透過文獻找出適合導入 AI 維運管理導項目、方案。</li> <li>3. 謝謝指教，本研究後續整理人工智慧多</li> </ol>

	議本案著重在其他應用的可能性的探討。	個面向探討。
黎院長 淑婷(趙 主任又 蟬代)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 維運管理的定義討論範圍應具體說明，是著重於建築物設備的物理性能維護還是降低人力成本部分，效益如何呈現。</li> <li>2. 業主和經營者因資訊落差而增加成本，會出現在何種情況?而現今常見的維運管理模式為何?或可做為本案預測比較之基準。</li> <li>3. 目前進度偏向於資料收集，後續演算法開發與營運模式如何產生?。</li> <li>4. 報告書內容格式、參考文獻格式請依據標準</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，針對本案成本量化分析不一定以金錢費用為主，本研究整理不同分析方法，例如人潮分流、使用人數預測等方法來提升建築運行效益。</li> <li>2. 感謝委員指導，針對現今常見之管理，本案將於後續之報告加強解說。</li> <li>3. 感謝委員指導，演算法如何產生</li> <li>4. 遵示辦理，關於格式部分之疏漏與誤植，未來報告會做最終校稿以確保品質。</li> </ol>
練協理 文旭	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 計畫進度甘特圖為詳列執行進度，請補充說明。</li> <li>2. 第二章文獻探討未見與建築管理相關 AI 文獻，建議以建築管理相關 AI 為主。(第四章有 AI 在建築維運管理應用但文獻未見到)。</li> <li>3. 針對預期成果之完成演算法開發，目前選定的主題與可能性，做補充說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，本案因成案較晚，未來將持續補充相關文獻，並提出相關之運用可能性。</li> <li>2. 感謝委員指導，本研究後續整理人工智慧多個面向探討。</li> <li>3. 感謝委員指導，本案以人工智慧電腦視覺應用於維運管理德可能性探討。</li> </ol>
鍾經理 振武	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書第 2 頁，1-3 研究目標要把 BIM 加入，才與 1-4 的計畫重要性相符合。</li> <li>2. 報告書第 3 頁，要使用 BIM 整合何種資訊，請說明之。</li> <li>3. 報告書第 27 頁，3-2 的成功案例以空間規劃都市空間為主，且案例分享的是發展 AI 在視覺(VISION)上的應用，且非建物維運。</li> <li>4. 報告書第 8-22 頁，花太多篇幅解釋人工智慧，第 23-31 頁也是花太多篇幅介紹物業管理與 BIM。</li> <li>5. 報告書第 31 頁，目前 AI 在視覺化處理技術成熟，第 41 頁的案例多為視覺應用而非 BIM 的 I(Information)的應用。。</li> <li>6. 報告書第 35 頁，4-2 提及的(1)能源監測(2)需求管理(3)設備最佳化(4)預測性維護(5)安</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，本案所使用、提及之 BIM 作為一種資訊的載體，為研究團隊既有/租用之版權軟體平台，並非是本次研究成果，其用途為整合建築、環境、人、資訊，以利於本案人工智慧開發演算法的資訊收集與分析應用。</li> <li>2. 感謝委員指導，關於人工智慧電腦視覺技術方面，雖其發展逐漸成熟，但大多為技術面向之探討，較少以三維空間管理模式介入到建築維運當中，而自動化的確是建築維運管理的重要探討項目，人工智慧介入自動化需收集其大量資料進行分析預測，本案預計以可行的生活管理做為主要的典範演示，取代長時間的人力監視管理模式。</li> </ol>

	<p>全警示(6)生活管理(7)空間規劃，這七大面向如果可以加上(1)國內外資料收集(2)將自動化與智慧化分野界定清楚，並且將國內外案例加以個案分析，讓讀者可以清楚了解人工智慧如何將自動化的維運管理提升到智慧化的維運管理，目前看來 P.2 所提及目標皆未達成。</p>	<p>3. 本案未來將強化關於此七項範疇之定義、目的，與 AI 預期可介入之可行方式，以供讀者參考。</p>
<p>中華民國全國建築師公會</p>	<p>1. 關於內容引用生命週期相關的部分，請在報告書引用文獻清楚註明出處，亦須注意建築物生命週期，實際情況須視經濟社會情況而定。</p> <p>2. 建議表 3-1 與所相關之內文部分再強化說明。</p>	<p>1. 感謝委員指導，建築物之生命週期確可因不同之經濟社會情況有所不同，本研究預計著重於維運管理方面之資料收集。</p> <p>2. 遵示辦理。</p>
<p>中華民國電機技師公會(劉總經理火炎)</p>	<p>1. 如何利用大數據分析做專案系統，如電力、空調、給排水。因此如何這些專家系統整合，才能達到 AI 之目的。</p> <p>2. 初期數據不多，要花多久時間架構完整的 AI 系統之發揮。</p>	<p>1. 感謝委員指導，針對不同空間，不同的情境之下，人工智慧須根據各別空間所提供的資料來進行分析，以建立客製化的管理，其所需時間亦因案而異。</p>
<p>財團法人資訊工業策進會(書面意見)</p>	<p>1. 智慧空間是實際場域與數位環境結合人、物件、流程和服務，為 AI 產業垂直應用，創造沉浸、互動與自動化體驗，需要空間感、視覺辨識、視覺定位事件解析等技術。建議定義計畫預達成之維運管理效益之指標為主要應用，如何建置感測點以收集數據，分析使用的技術與模型選擇。</p>	<p>1. 感謝委員指導，本案目的為整理人工智慧介入維運管理的面向文獻探討，透過文獻找出適合導入 AI 維運管理導項目、方案，並以短期可行 AI 影像辨識技術結合建築維運空間管理做先導示範，以案例分析了解其他維運管理介入的 AI 的應用方式，發展計量化的活動事件判釋，取代長時間的人力監視管理模式。</p>
<p>財團法人台灣建築中心(廖工程師偉廷)：</p>	<p>1. 報告書第 26 頁表 3-1 有以下疑問：</p> <p>(1) 數字單位是否為美金，請補充標註。</p> <p>(2) 部分欄位有成本增加之金額，但無每平方英尺的成本增加金額，例如影運管理階段，是否因該階段無法以面積評估成本增加金額。</p> <p>(3) 於本表倒數第三列總計一列，以營運階段時成本增加金額最多，但每平方英尺的成本增佳最少。</p>	<p>1. 感謝委員指導，針對表 3-1 如何判讀與報告書內文、表格中格式疏漏與誤植等情形感謝委員細心指證，未來報告會做最終校稿以確保品質。</p> <p>2. 感謝委員指導，關於報告書之格式未來將強化校稿以減少漏誤。</p>

	<p>2. 關於報告書格式之建議，如下：</p> <p>(1) 內文交互參照無法正常顯示圖表標號。</p> <p>(2) 書眉標示有誤，奇數頁書眉應為章節名稱且靠右；偶數頁書眉應為本研究案名稱且靠左。</p> <p>(3) 每一章節起始頁應在奇數頁。</p> <p>(4) 第 22 頁表格內文字間格請統一。</p> <p>(5) 文字字體請統一。</p> <p>(6) 第 4 頁圖 1-1 與第 24 頁圖 3-1 資料來源相同，應為相同圖例，請統一格式。</p>	
<p>羅組長 時麒</p>	<p>1. 本研究案業於 109 年 5 月 1 日開始，成案較晚。</p> <p>2. 請執行單位就演算法的部分再加以說明。</p> <p>3. 本計畫預計供智慧建築手冊增修訂參考，建議執行單位可在未來的規劃中與協會溝通聯繫、提出建議。</p>	<p>1. 感謝委員指導，本案演算法預期以預計以可行的影像視覺技術做為主要的典範演示，取代長時間的人力監視管理模式。</p> <p>2. 敬悉，將納入期末成果報告之中。</p>
<p>主席(王 副所長 安強)</p>	<p>1. 本計畫研究成果涉及演算法開發，報告中請清楚敘明所使用之相關輔助軟體、平台程式何為既有非本案開發成果；與本案開發之演算法如何應用操作，俾利期末辦理結案驗收。</p>	<p>1. 遵示辦理，本案開發之演算法與相關操作方式會於期末一併交付。</p>

## 附錄 4: 第二次專家諮詢會議

「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 1 案「應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之研究」

### 專家會議記錄

開會時間:109年10月13日(星期二) 11點至13點整

開會地點:內政部建築研究所 性能實驗中心 一樓會議室

(台南市歸仁區六甲里中正南路1段2496號)

主持人:王所長榮進、沈教授揚庭

出席者:內政部建築研究所(敬請派員指導)陳教授怡兆、楊教授

詩弘、謝總經理博全、張總經理晉銓、汪主任孟欣、許總經理坤

榮、林教授威延、李主任明濤

列席者:李雨澤研究助理、廖士豪研究助理 討論事項:

1. 建築物維運管理的需求面向為何?如何分析其效益?
2. 人工智慧介入維運管理需求與面向優先次序。

#### (1) 陳教授怡兆

就幾個項目提供建議,在居住空間介入人工智慧應用,

子項目可提升維運管理效益提升研究,七大項目沒有問

題，不過裡面的深化程度低到高，就目前在推動 AI 應用維運階段裡面，假設我們有分為幾個階段應用，從低到高應用面向有幾個具體建議，可以分為期程來推動，適用對象是那些類型建築物，那如果是廠房管線效益就另當別論，所以我們所條列七大項對於居住空間得需求面可以再做一些盤點，已經有研究成果，讓成果更凸顯規模效益，所以說案例演示可以加一些說明，針對案例應用階段從設計階段就導入了 AI 應用規劃呢?還是只有從在建工程或是完工建築物導入這個模式，如果是前端規劃階段就應用 AI 方式提供維運相關規劃的考量，我想那個效益是最大的，如果是在設計階段做規劃，那 BIM 資料價購需求應該要被完整探討，不同階段 BIM 模型是否能滿足系統需要，如果本研究定義在完工階段的建築居住空間，可以聚焦在人員監控、設備最佳化、生活管理這幾點更符合居住空間應用需求，目前國外發展情況以及有沒有對應防疫需求規劃可以在裡面做一些探討或是研究重點。

## (2) 許總經理坤榮

從我瀏覽資料裡面，從整理的清單整理還算周全，可是在

深化程度上的麻煩是技術上得深化，目前一些條件的可行性馬上實施的深化，在國外談 AI 往下實踐時候會遇到從業主端或是從 ai 介入產業的發展做法會不同，從業主端目前設施管理操作方法邏輯程序資料取得決定 AI 工具，不管是機器學習、深度學習基本上都會牽涉到舊有的維運管理既有情境，資料是否足夠去訓練才能達到效益，資料不足即使技術存在但能夠發揮的效益是有限的，幾使在國外很多技術都很成熟，但台灣沒有就是沒有紀錄那些資料，往下要發展 AI 的技術導入，但卻無法讓 AI 發揮效益，國外在維運管理在探討最多的是在本計畫裡深化程度最低的前兩項，這兩項國外資料最多不管是產業發展還是繫屬發展是最成熟的，在台灣因為某些原因我們在能源資訊上資料是不足的，往下要發展 AI 的技術導入，但卻無法讓 AI 發揮效益，國外在維運管理在探討最多的是在本計畫裡深化程度最低的前兩項，這兩項國外資料最多不管是產業發展還是繫屬發展是最成熟的，在台灣因為某些原因我們在能源資訊上資料是不足的，我們的資料是留不下來的，台灣這方面的資料很少，會不會反映深化程度低，所以從這個角度出發，深化程度是否要再細分問題的類型來

看台灣的條件，台灣在這個面向上面它適合的深化程度，中間會有一些評估指標，舉個例子來說台灣人力維運作業模式流程，要使用 AI 還要導入軟硬體，資料目前收集的情況是如何，國外光是從收集資料從 AI 出發就可以發揮很大效果，從感測器回應 AI 判讀就可以省去人力就很可觀，你是在哪方面深化程度條件在台灣已經很好，還要再繼續開發的軟件，或是已經可以用的技術，軟硬體狀況是如何？需不需要用到雲端運算等技術條件，可能都需要深化來面對不同技術，混比較清楚現在來做會比較可行。還有一個是說每一項，在維運管理都有不同介入的方式，技術效益做大的是統計的機器學習，跟過往的經驗最能銜接，最後在談經濟與統計分析，AI 的分析大部分用的方法是用 LCCA 跟用續發展很類似，講簡單點可以替代傳統方法成本所帶來的效益，看你是要應用在某個機構，還是工具普遍用在台灣的產業，或是開發台灣 FM 結合 AI 軟體結合的產業，台灣這方面的技術很足夠，不同層次的 LCCA 效益面向也會不一樣。

### (3) 謝總經理博全

即時數據整合，整合不好就無法達到效益，我們是否可以

做一個平台同時去容納數據，針對 BIM 平台的開放度，太依賴國際性軟體是風險，台灣高鐵要貢獻 2000 多萬維護費給 IBM 做運維，如果太依賴國際軟體就會被綁架，是否可以發展國內的平台，我們設計端開發屬於自己得平台，BIM 的承載能力國內常用 UNITL 引擎做開發，但他不是真正的 BIM 系統，經過幾次 BIM 審查，都會提模型輕量化的事情，我認為 BIM 不應該做輕量化的事情，所以我們談 BIM 承載能力你的平台是否可以承受 LOD 400 直接轉到雲端使用，也是我們要發展的，再來就是說我們本身頂層架構，到底是管一個柱子還是建築以外的公共建設，再往上拉就是 GIS 這一塊，如果太著重於 BIM 格局就只有建築本體，反而把 GIS 給否局掉了，所以從平台上如果把架構往上拉 GIS 整合，屬於城市級的規模，就需要資訊溝通技術，如果科技部要發展，整個平台用戶端友善要夠，例如 WEB 是否可以直接看到 BIM 或是手機是否可以瀏覽，需要把空間界接手段打通，否則就會被受限，再來就應用面輕量化個概念，不可能住宅花上百萬的金費在做維運，在大陸有操作過智慧工地，我們對所有工地發展基樁開挖傾斜監測與環境監測，只需要一個月花四萬工

地結束不需付費，如果整個包含 AI 設施管理運維可以輕量化到所有的社區應用，讓他平民化應用，會得到能量很強，所以可以往這幾個面向發展，但資訊能力整合是一個重點。

#### (4) 汪主任孟欣

SGS 在全球有 10 個大產業鏈，比如在建築、工業、產品、消費品等，我們長年來一直在研究送樣品如何去減少人工，近年來實驗室開始實施機械化手臂，另外會透過視覺影像去做判釋，那所以我想回饋的是如果把人工智慧用到智慧建築的產業裡面，我們碰到第一個問題是如何 AI 或是判別邏輯式的判斷，很多廠商在程式寫入大量人工邏輯，那只是去判斷訊號異常何差別，然後編輯至邏輯資料庫去告訴異常情況如何處理，近年來碰到真正在做 AI 的主要以能源居多，我們在與香港公司合作，他以舊建築為主整理 5-10 年的監控數據後，然後放到演算法去偵測異常狀態，再經由後續使用加入異常的使用狀態資訊不斷去訓練，其實他想說的是建築管理是需要客製化的，每個建築物所用的空調系統架構是不一樣的，可能是全空氣、氣冷、水冷、分離式，所以監控點位所造成的異常樣態式不一樣的，如

過未來是用在建築獎勵的話，可以先把應用先給展開，有了基礎架構表後再根據不同情景開展，隨著應用去拓展，未來在審查要納入創新時候，要先去判斷是以邏輯判別式還是 AI，那進入到應用細節會去發掘整個系統架構，感測器如何校正資訊是否正確，會影像到後面的成果判斷的效益，在 AI 部分基本的邏輯判斷還是會有演算法，會有一個訓練的程序，來從機器學習到深度學習得進程，所以在架構上或獎勵上能否明確的判斷這個事情。我們之前碰到過的廠商碰到邏輯判斷報告警式設備異常，跟我們現場管理或式使用者介面都不是很親切，所以工程師還要從傳統數據辨別他使用者介面所代表得訊息，對於管理造成困擾，所以在使用者介面式非常重要的，再來我們在驗收的時候碰到的事情，在相關的系統測試驗收與可靠度，有沒有一個邏輯規則可以做為交付予驗收的。另外我在回覆林老師未來智慧建築不會獎勵 BIM，但中國在 BIM 獎勵分數拉的很高，他們想把設計工作轉變成資訊工具，帶台灣營建資訊化跑得很慢如果讓 BIM 變成資訊工具，那還是擺脫不了由第三方來把它過度成資訊工具，未來兩三年期間過度當中如果不把它變成獎勵機制的話，那我們把 BIM

變成資訊化工具會越來越遠。

(5) 林教授威延

首先我想說七大主題應用面向是否符合營運維護需求面向，我大概把它分成營運維護兩者，營運好就減少維護，這七大項除了一三四項目跟維護有關，其他都是跟營運有關，所以需求面蠻完整的，涵蓋營運跟維護面向，到時候要如何做分析，與人工智慧結合，我大膽假設 BIM 應用在營運那種資料是會用到，屬於靜態資料，如果只是要做資訊整合一般性應用，這些資料是足夠的，但談到 AI 這些靜態資料是不夠的，AI 需要後面動態資料，是營運維護的資料累積，如果這個建案一開始有想到資料如何收集與累積，那我覺得可以列為績效指標標準，營運維護動態資料包含如何使用與維修，例如透過 IOT 設備紀錄資料針對使用狀況做累積，設備都有與 IOT 連結可以加分，那 IOT 就可以做能源最佳話與監測，那另外一個動態資料當設備有問題的時候，報修資料的累積，我覺得是人工智慧最重要的一環，報銷資料包含哪個設備出問題，是機房、電梯、水管，以及多快被發現，發現後多塊處理完，壞掉後影響層面多廣，都在維護紀錄範疇，以及維護金額

紀錄累計,如果這個建案有完整維修紀錄架構可以給他加分,如果建物累積 50 年的資料,未來可以提供人工智慧的應用,並開放讓大家去獲取資訊使用,而我們可以透過海量資料來做預防性維護。

(6) 楊教授詩弘

我想從物業管理的角度來看這個的可行性在那,這案叫做維運管理效益來看,那效益本身要給誰看要去定義,效益一定會給業主看,或是說建築物擁有者,再依據效益的多寡調整第一線物業管理單位是否加強或是減弱,當然業主效益來至於量化數據,也有使用者 POE,那從物業管理有三大範疇,一個叫做設施與設備維護,第二個叫做生活資源與服務,第三個叫做資產管理,資產事實上因應房地產價值變動,生活資源與服務偏向住戶應用科技達到生活品質提升,所以我認為偏向物業管理第一類,建築物設施設備如何維持竣工後的現況,從這樣衍生命週期成本,生命週期成本來看,分為四種第一種是日常水電瓦斯的費用,在業界有很多成果,B 是日常生活人事費用,清潔、保全、總幹事等,談北市都發局有個運算基準,怎樣的戶數要配多少清潔人員的管理面積,用資訊科技漸少駐點人員,C

是法定檢查，公安、電梯維修等每年花費的費用，這是最好預測的，最難預測的是 D 工期修繕，建築物磁磚、地坪、防水本身耐用程度不一，數據不夠多所以只能用日本、美國等但是情況不一樣，比如說社會住宅公共空間耗損比例就會比較高，比一般住宅還要低，最頭痛就是要累積長期修繕的部分，住部分我認為是 AI 介入後是在這四項的基礎長期累積資料建立預測模型，我們目前在幫都發局建構長期修繕模式，告訴市政府來編列預算，換算成住戶要收多錢，也可變成一般住宅的管理費與修繕費的一個標準，那 BIM 有沒有幫助，BIM 一定幫助的，而 BIM 對長期修繕是最友善的，但物管公司能不能建構這個系統，物業管理幾乎是人事成本占最高，如果要依賴業界來做獨立開發應該是不可能，應該是政府要去做公共平台，依照智慧工地方式來做月費制，開發平台後租給物管公司，依據物館所管理不同規模、類型的建築，來出租給物管公司，所以應該針對建築物維護性能或是延壽的研究，所以在達到人工智慧之前應該要達到日常維護與長期修繕、人事成本來做更多的數據收集。

(7) 李主任明濤

這段期間建研所再推動相關工作，陸續跟規畫設計單位、建築師、結構技師、營造廠、業主、社宅等，我發現在業主需求大家不是那麼清楚，剛剛有提到三都在做戰情中心，假設每個縣市政府都做一個戰情中心，在市政府還可以發揮效益，但如果是在單一建築裡面，能發會的效益就很有有限，能收集資料就更少，假設沈老師提到的七大方向在很多可能都要再細分，重點是 AI 要大量餵資料，建築在做預防性維護在工廠會有很大效益，但是一般住宅會是不一樣的，那設備最佳化應該是在設計時就要來探討模擬分析，假設我是在事後，用初期投入成本最低標來看，使用的設備是否能夠達到最佳化會是個問題，目前在維運管理都是透過人力來管理，那物業管理系統如何跟 AI 做連結，一般物業管理人力是年長的，但要他們去使用系統可能就是要考慮的，那 BIM 資料量非常完整時候跑不跑得動，如果用全國來看輕量化就有必要性，輕量化不代表資料遺失，可以透過傳統資料庫的方式來做連結，再來就世說軟硬體需求部分，很多都是租國外的，能否爭取開發全國使用的平台，並增加普及性，那智慧建築常常要求監控中心，那醫院個案面積比較小，是否變成雲端的監控中心。

(8) 張晉銓

我現在先用台灣國際物業來談這個事情，以一個建商而言，建商在做建築前期規劃都不會談到，談的是美學、如何銷售規劃，這個產業很特別，是資金密集、勞力密集、技術密集而且是一個大的協作團隊，談智慧化的事情根本跳脫他的想像，今天的問題只落在採發，我們會透過機電技師做規劃，今天的主題智慧化居住空間，我以物業角度來說，在我參與物業規劃白場的個案，上到下是管委會需求，從下到上是建設公司在談如何銷售，所以前面談的建商有個重要的情境，很多鑽石級通過後，系統不能使用但他也申請智慧建築，那一個建築物前期規劃來導入的時候，應該是要模擬整個建築物的情境，其實軟體也是這樣，要考慮物業管理使用情境，這情境包含動態的管理，所以一個建商在申請智慧建築的時候，應該要有整個規化的設計，但在前期規劃設計很少納入智慧物業管理的評鑑，如果沒有真正在操作使用者腳色在營運管理維護的時候，你說做得規劃是脫離的，那我再從物業的角度來看個位規劃的東西能不能用好不好用，那你可以帶給我什麼，透過物業智慧系統，原本只要迎賓、接待、通報、換證、登記、引導

的工作就可以結束，結果現在要把大數據納入，我們根本沒有人再可以承受，未來社會宅都會有個問題，社會宅編列的預算請不到這樣的人才，人員在異動的情況下又要教學成本，所以在物業管理資訊產業一定要輔導教育去把環境，也就是 AI 最後目的可以導入情境，否則很難實現，那我現在是應用科技，我就是看到前面物業的現況，要改變現況是今天的主題，所有不管靜態動態資料，最後設備的元件要達到可視化，要達到長期修繕，使用者介面是什麼，因此呢我們談到所有數據會整串接都是設備元件，這些設備元件的 ID 以及養護修繕的統計分類效益，是物業最需要的，因為需要才放到 SI 整合目標之一，我們對於靜態分類資料都應該要有標準化的東西，ID 就很重要，現在設施設備要整合 BIM，光是把 ID 展現在警報到那個位置的時候，都需要靠人工來做，我們採取作法在畫 BIM 的時候裡面有個欄位，提供 IOT 的清單在畫 BIM 的時候就可呼叫標註，綁訂在 IOT 清單，建立 API 來做串接，來做到 MQTT 對 API，來完成未來交付物業管理有擴充性，來把所有硬體廠商來做完整的整合，所以在整個物業管理過程中很少在前期納入討論，在 AI 也很少納入物業

管理的討論。

附錄 5: 期末審查會議回應表

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
何教授明錦	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書圖表多係直接剪貼，建議重新繪製並翻譯為中文。</li> <li>2. 報告中所列七項人工智慧導入之項目，有關用字與功能請再釐清，建議修正如下：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 能源監測量測和驗證：大數據建立模型 OR 參考之標準值。</li> <li>(2) 安全保障：主動感知、控制與使用排程有何關聯。</li> <li>(3) 設備最佳化：是否為設備運作營運最佳化。</li> <li>(4) 預防性維護：此項對設施設備而言可行且重要。</li> <li>(5) 生活管理：針對生活較常提到服務，如何管理?即使進行總量管制，也不代表群集密度，宜再釐清。</li> <li>(6) 空間規劃：內容何為公共空間之使用管理。</li> <li>(7) 需求管理：本項內容不夠明確。</li> </ol> </li> <li>3. 請釐清並補充說明本研究目標係為減緩人工不足或是推廣智慧維運。</li> <li>4. 建議針對監控工具、運算管理方式及平台架構等相關資通訊議題進行資料蒐集與評估，使研究內容更為完善。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，後續將強化翻譯與重繪部分。</li> <li>2. 本研究後續將針對七大項目「定義與目的」與「AI 介入之可行方式」更明確定義說明。</li> <li>3. 本研究目標為降低人力之需求，亦為智慧維運普及化中之一環。</li> <li>4. 感謝委員指導，管理方式之蒐集這塊本研究後續將會持續研討此議題。</li> </ol>
陳教授振誠(周教授碩彥代理)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究結論指出的維運管理問題缺乏時間性閱讀資料，建議可考慮下列議題：無空間關係、無 Semantic 資料無法有效處理複雜系統事件，亦指資料關聯未能有效被記錄。</li> <li>2. 預防性維護是否為 Preventive Maintenance，應改為預測性維護。</li> <li>3. 電子圍籬 Motion Detection 與 Heatmap 等靜態功能已相當成熟，應可考慮降低隱私性考量的感測技術，並以感測器融合的方</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，此議題本研究會研擬至未來規劃中，繼續深討。</li> <li>2. 感謝委員指導，後續將強化翻譯部分。</li> <li>3. 感謝委員指導，AI 影像分析判斷確為相當可行之替代人力手段。</li> <li>4. 感謝委員指導。</li> </ol>

	<p>式來進行，此外更進一步的資訊可嘗試用影片的動分析來強化。</p> <p>4. 施工時候的人身安全保障應有許多功能可嘗試，亦符合以人為中心的目的。</p>	
<p>黃教授彥男</p>	<p>1. 針對空調、照明相關系統，來做預測性維護，本研究確有其重要性。</p> <p>2. 預防性維護的正確性，應做分析。建築的預測性維護應和環境有關，如溫度、濕度、設備的位置等。預測性如使用 AI 深度學習技術，訓練資料如何取得，請補充說明。</p> <p>3. 建議增加國外文獻蒐集的數量。</p>	<p>1. 感謝委員的肯定。</p> <p>2. 感謝委員指導，AI 訓練乃需視不同情境設計，後續之研究本團隊將會持續探索模式的可能性。</p> <p>3. 感謝委員指導，後續將強化文獻部分。</p>
<p>練協理文旭</p>	<p>1. 針對報告書第 5、60 頁，彙整出七大可行項目，除標示深化程度 AI 可行方式外，如果能增加需求性及 AI 可行性高低補充內容，更能看得出哪些領域可以優先導入 AI。</p> <p>2. 針對這七大類可行項目，目前影像分析相對成熟，在資料收集，資料取得性及互通性，均會影響其整體可行性，請補充說明。</p> <p>3. 可行性建議部分：建立官方「智慧維運管理平台」建議斟酌「維運」二字。(維運偏向日常運作管理，中央不宜介入)或以「雲端平台」較為中性，並避免介入日常運操作業，此外官方是指中央或是地方政府，請釐清。</p> <p>4. 空間規劃建議文字，請修正為空間管理。</p>	<p>1. 感謝委員指導，後續將強化可行性與導入建議部分。</p> <p>2. 感謝委員指導，關於七大類可行項目後續將持續強化其內容。</p> <p>3. 感謝指教，該建議內容將再次審視斟酌。</p>

<p>黎院長淑婷(林教授衍良代理)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建築物維運管理量化質化效益部分不明確，請再作補充。</li> <li>2. 報告書第 7、95 頁關於情境狀態、事件或行為、分布狀態等，請再作補充。</li> <li>3. 報告書第 64 頁關於劇本調適、語境適應等，請補充說明。</li> <li>4. 如何判斷人力訓練成本與職能門檻下降？請說明。</li> <li>5. 請補充說明以視覺找出絕對位置與 AI 建築維運管理可行性驗證之方式。</li> <li>6. 研究主題是效益，請提出效益相關的分析 and 結論建議。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，後續將從案例研究做為本案效益參考。</li> <li>2. 感謝委員指導。</li> <li>3. 感謝委員指導，後續將補充劇本調適、語境適應等說明。</li> <li>4. 感謝委員指導，以視覺判斷為例，人工智慧進行判讀之速度明顯優於一般人力管理，此即可說明人力成本與門檻之下降。</li> <li>5. 感謝委員指導，後續將補充該案例。</li> <li>6. 感謝委員指導，相關分析後續會陸續整理至報告當中。</li> </ol>
<p>鍾經理振武(書面意見)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書中提到已有許多 BIM 應用於設施管理的案例，例如 MathWorks 公司 2005 年在麻州的園區擴建計畫，或可用以說明其應用的具體效益。</li> <li>2. 報告書中未見人工智慧與 BIM 結合應用案例及關聯性之敘述，請補充說明是否有相關研究。</li> <li>3. 文獻回顧雖點出許多產業目前面臨的問題，例如 BIM 在跨階段及跨領域的資訊交付不完整導致設施維護管理的困難及成本增加，請補充上述問題解決方案與本研究之關係。</li> <li>4. 報告書章節 4-3-2，請補充說明涵構察覺導向之定義。</li> <li>5. 報告書章節 4-3，請補充說明影像辨識處理結果如何轉換至 BIM 結合，並與本案開發之演算法與人工智慧(AI)結合應用方式。</li> <li>6. 從研究目標與研究成果看不出對應關係，BIM 在此研究的角色定位模糊，影像辨識處理加上建物 3D Model 定位是否一定需要用到 BIM，且未有具體效益說明，建議於成果報告補充說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，已將案例列於第三章中。</li> <li>2. 感謝委員指導，後續將持續補充相關案例。</li> <li>3. 感謝委員指導，該困難可透過維運管理平台來獲得改善，請參閱第四章。</li> <li>4. 感謝委員指導，涵構察覺為整合資訊傳遞之一部分，用以服務解析運算等。</li> <li>5. 感謝委員指導，本案探討 ai 人工智慧介入維運管理研究，bim 可作為資訊整合工具之一，BIM 可作為整合資訊的工具之一。</li> <li>6. 感謝委員指導，後續會調整七大指標定義，演算法開發後續會陸續整理至報告當中。</li> </ol>

<p>中華民國全國建築師公會 (黃建築師錫洲)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 人工智慧應用於空間規劃，空間大小，高度或動線設計，是否能提供相關參考數據，請補充說明。</li> <li>2. 人工智慧應用有無機會配合建築人體工學設計之空間設計數位化，或是建築規模預估，請再評估。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，本研究暫以影像辨識為示範，關於此議題擬在未來之研究中繼續探討。</li> <li>2. 感謝委員建議，本研究著重於運維管理面向探討。</li> </ol>
<p>財團法人資訊工業策進會 (劉協理培權)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫提出應用 AI 技術輔助建築維運管理的方向，建議後續可補充投資報酬效益分析和推廣方向。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導，後續將做出推廣之難易、優先度之建議。</li> </ol>
<p>財團法人台灣建築中心(廖工程師偉廷)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書第 30 頁，表 3-1 所示數字單位是否為美金，請補充標註。 其部分欄位有成本增加之金額，但無每平方英尺的成本增加金額。例如營運與維護階段，是否是因為該階段無法以面積評估成本增加金額。 於本表倒數第三列顯示，以營運與維護階段時成本增加金額最多但每平方英尺的成本增加金額最少，請釐清。</li> <li>2. 關於報告書格式之建議，如下： <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 目錄，圖目錄，表目錄頁數有誤，請修正。</li> <li>(2) 表目錄請於新一分頁開始，請修正。</li> <li>(3) 書眉標示有誤，奇數頁書眉應為章節名稱且靠右；偶數頁書眉應為本研究案名稱且靠左，請修正。</li> <li>(4) 尚有部分頁面無頁碼，請全部檢視並修正。</li> <li>(5) 報告書第 8、62 頁圖未有圖號，請全部檢視並修正。</li> <li>(6) 全文文字字體大小及行距，請統一修正。</li> <li>(7) 內文圖表參照找不到來源，請補充說明，如報告書第 59 頁，並請全部檢視並修正。</li> </ol> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，針對表 3-1 如何判讀與報告書內文、表格與格式疏漏與用詞準確性等情形，將再校稿修正，感謝委員細心指正</li> <li>2. 感謝委員建議，格式將於後續持續修正。</li> </ol>

<p>羅組長時 麒</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書請參照本所規定格式撰寫，例如摘要、結論、建議等項目，格式不符，請研究團隊修正。</li> <li>2. 本案涉及演算法開發，後續請依契約「資料使用及軟體交付協議書」及本所規定，於期末時完成軟體開發原始碼等相關文件交付，俾利辦理結案驗收。</li> <li>3. 有關結論與建議部分，請根據研究成果具體描述說明，並列出主協辦單位。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員建議，格式將於後續持續做出修正。</li> <li>2. 感謝委員指導，後續將依約交付相關檔案與使用說明。</li> <li>3. 遵示辦理。</li> </ol>
-------------------	--	--



## 附錄 6: 文獻摘譯

### 應用人工智慧科技提升建築物維運管理效益之研究

#### 「人工智慧+建築物維運管理效益」文獻：摘譯

與人工智慧(artificial intelligence, AI)應用相關的課題包括機器學習、深度學習各種演算法的發展；建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM) 與物聯網(Internet of Things)的整合；BIM 與雲端計算、邊緣計算的整合；建築資訊模型與設施管理(Facility Management, FM)的整合；建築資訊模型與設施營運與維護(BIM-O&M)的整合；機器學習、深度學習等人工智慧演算法在設施營運與維護的應用(Facility Operation and Maintenance, Facility O&M)；以及這些相關技術在設施管理應用的成本效益分析。

配合本研究題目，我們從 Automation Construction 與 Advanced Engineering Informatics 二本期刊，各挑選一篇「建築物維運管理效益與人工智慧應用」相關的文章，摘譯其文獻回顧段落。

#### 文獻來源：

1. Xinghua Gao and Pardis Pishdad-Bozorgi, BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. *Advanced Engineering Informatics* 39 (2019) 227 – 247.  
Xinghua Gao and Pardis Pishdad-Bozorgi, 以建築資訊模型為基礎的設施運營和維護：一個回顧。 *Advanced Engineering Informatics* 39 (2019) 227 – 247。
2. Jack C.P. Cheng , Weiwei Chen , Keyu Chen , Qian Wang, Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms, *Autom. Constr.* 112 (2020) 1–21.  
Jack C.P. Cheng , Weiwei Chen , Keyu Chen , Qian Wang , 以建築資訊模型和物聯網為基礎、用機器學習演算法做為數據驅動的 MEP 構件預測性維護計劃架構， *Autom. Constr.* 112 (2020) 1–21.

## 文獻 1：

Xinghua Gao and Pardis Pishdad-Bozorgi, BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. *Advanced Engineering Informatics* 39 (2019) 227 – 247.

Xinghua Gao and Pardis Pishdad-Bozorgi, 以建築資訊模型為基礎的設施運營和維護：一個回顧。 *Advanced Engineering Informatics* 39 (2019) 227 – 247。

## 摘要

建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 為設施管理者提供一個數值化的 3D 環境中來存取、分析和處理建築的資訊平台，來推進和改造設施營運與維護 (Operation & Maintenance, O&M)。當前，由於建築資訊模型的快速發展，研究人員和產業的專家需要設施營運與維護中有關建築資訊模型實施和研究最新發展的回顧。本文呈現這主題相關的最新文獻整理。本文從設施管理者的角度來評估和總結當前的 BIM-O&M 研究和應用開發、分析研究趨勢、確定研究差距和可期望的未來研究方向。本研究的範圍包括「使用建築資訊模型來改善設施營運和維護活動」有關的學術文章、行業報告、和指南，包括維護和維修 (maintenance and repair)、應急管理 (emergency management)、能源管理 (energy management)、變更/搬遷管理 (change/relocation management)，和安全管理 (security)。內容分析結果表明，用於營運與維護的建築資訊模型 (BIM for O&M, BIM-O&M) 的研究仍處於初期階段，目前的研究大多集中在能源管理上。我們發現，BIM-O&M 有關課題的脈絡中，可互操作性 (the interoperability in the BIM-O&M context) 仍然是一個挑戰，採用美國國家標準技術研究院 (the National Institute of Standards and Technology, NIST) 的 Cyber-Physical Systems (CPS) 系統框架是解決此問題一個具有潛起點。但仍需要進行更多的調查研究，以了解建築資訊模型實施的基本運維原則-數據要求，會產生效率低下的領域範圍，及所須程序改變 (the process changes)。此外，還需要對其相關新創系統的投資回報率進行更多研究，以判斷 BIM-O&M 應用的改進價值，而一個「生命週期成本分析方法 (Life Cycle Cost Analysis method) 的改進」對於此類判斷至關重要。

## 關鍵字(Keywords)：

建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)、設施管理(Facilities Management, FM)、營運與維護(Operation & Maintenance, O&M)、應急管理(Emergency management)、能源管理(Energy management)

## 1. 導論

建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 是「一種經改善後、用標準化機器可讀的資訊模型，以應用於規劃設計、施工、營運、和維護的程序；包括新、舊的設施，並含括為該建築物所創建或收集的、可提供給全生命週期使用的適切資訊格式」 [1,2]。這裡所指涉的建築資訊模型，是指“任何被建造物件 (built object) 的、物理和功能特徵的數位表達 (The shared digital representation of physical and functional characteristics of any built object)” [1, 3, 4]。近年來，建築資訊模型的推展為設計端和施工端提供了實現以較低成本、更短專案工期、更高品質建築的新機會 [1, 5-7]。建築資訊模型具有從虛擬的數位模型中，提取資訊的強大功能的潛力，來為業主和營運者提供價值[8]。然而，即使 2010 起，設施營運與維護在建築資訊模型的需要已被確認[4, 9-12]，但設施營運者卻仍未能擁抱建築資訊模型的效益。2015 年，在荷蘭所進行的一項調查表明，即使已在設計和施工階段實施建築資訊模型的公司，建築資訊模型在設施營運階段所增加的價值仍是微不足道的[13]。出現這種低價值現象的主要原因是：「在人員、流程、和系統之間，沒能對準建築資訊模型的基本原則」 [13]。對於設施管理者來說，即使給定建築資訊模型及其內包含的資訊，如何使用它們來支持設施管理活動，仍是個問題。研究者和產業內的專業人士關於建築資訊模型在設施營運與維護仍需要一個最新發展的回顧。

本研究通過檢視「建築資訊模型如何成為設施營運與維護效率的損耗，且在多大程度上可以提高其效率和效果 (efficiency and effectiveness)」，進而洞察「當前建築資訊模型對設施營運與維護的支持」。其目標在評估和總結 BIM-O&M 當前的發展、分析性的研究和應用的趨勢，以確定當前研究上尚存在的缺漏及未來應有的研究方向。

本研究的範圍包括用建築資訊模型來改善設施營運與維護活動的有關學術文章、行業報告和指南，包括維護和維修 (Including maintenance and repair)、能源管理 (Energy management)、應急管理 (Emergency management)、變更/搬遷管理 (Change/relocation management)、和安全性 (Security)。本研究不包括與基礎設施、既有老舊建築物的調查 (existing buildings)、建築資訊模型的創建和評估、建築更新、建築翻新、和建築拆除有關的文獻。並從設施經理的角度詳細討論和分析有關技術上的成果、創新流程和研究上尚存在的缺漏，並為研究者和從業人員關於建築資訊模型-設施管理 (BIM-FM) 感興趣的領域提供有關建築資訊模型的工具集和實務的一個總回顧。

## 3. 設施營運與維護中有關建築資訊模型的現有文獻回顧

在過去十年中，BIM-O&M 的文獻呈增長趨勢。在本研究所識別的 177 篇期刊論文中，除了 27 篇建築資訊模型文獻綜述和 55 篇一般討論設施營運與維護的建築資訊模型論文外，有 95 篇論文具有明確的研究目標，並涉及利用建築資訊模型來提高一項或多項營運與維護活動的效率和有效性。

根據所回顧的文獻內容分析，依營運與維護的活動類別可將這些文章分為六類，人們可通過文章中討論的研究發展，來對未來進一步加以改進：(1) 維護和維修，(2) 能源管理，(3) 應急管理，(4) 變更/搬遷管理，(5) 安全性和 (6) 一般情況下的設施運維。在本節中，本文將對這些文章進行比較分析。

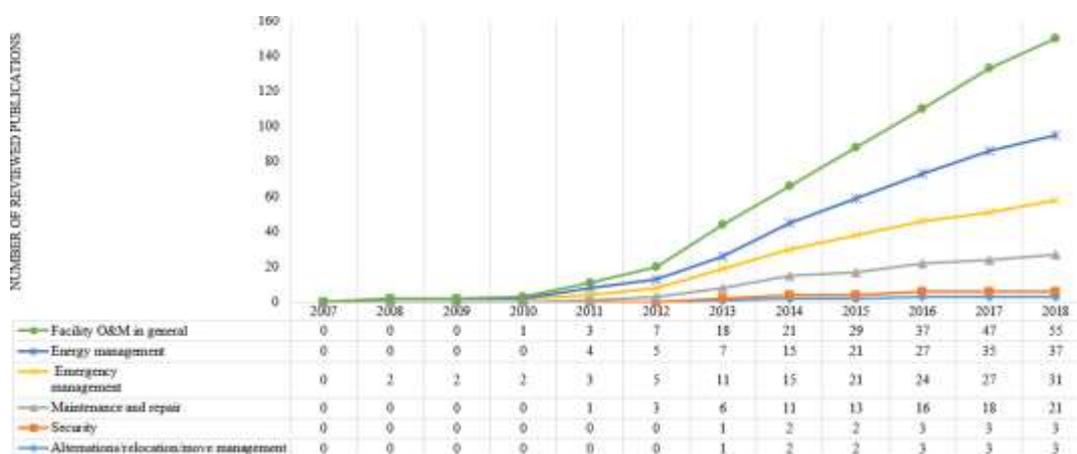


圖 4. 經審查期刊中，「使用建築資訊模型於設施營運與維護」的論文累積數量。

圖 4 顯示了每種營運與維護活動類型中與建築資訊模型應用有關的期刊出版物的數量。這表明了研究者對營運與維護活動（例如能源管理，應急管理和維護與維修）進行了相對多的研究，因為他們發現這些活動將從建築資訊模型中受益更多。有關安全性和變更/搬遷管理的建築資訊模型的學術出版物相對較少。本節將討論與這些營運與維護活動中有關建築資訊模型應用的研究結果。

### 3.1 維護和修理

設施維護是指“維持某固定資產原初預期使用壽命所需的工作”，包括預防性的（Preventive）和主動性的（Proactive），而設施維修（Repair）則是指“將損壞或磨損的資產恢復到正常運行狀態所需的工作”，這是治愈性（Curative）和被動性的（Reactive）[18]。通過以三維（3D）可視化為基礎的資訊整合，建築資訊模型使設施管理人員和技術人員能夠更有效地定位建築構件，並減少了資訊與理解所須的工作量[53]。建築資訊模型在設施維護和維修中的主要研究發展的四個關鍵研究重點：當前實務上和資訊來源、數據交換和系統整合、數據的可訪問性、以及故障檢測與診斷。

設施管理者最常見的問題是資訊的可訪問性問題[67]。在設施營運階段，他們通常無法輕鬆快捷地訪問所需資訊以處理所需的日常工作清單。為了解決此問題，建築資訊模型用於整合存放在不同建築管理系統中的零散設施管理資訊，並提供較為直觀的資訊訪問界面（information access interface）。

以下詳細討論這領域的四個關鍵研究重點，包括：了解當前實務的作法和資訊來源、數據交換和系統整合，數據可訪問性、以及故障檢測和診斷。

### 3.1.1 了解當前的實務作法和資訊來源

設施維護和修理所須要的資訊來源涉及檔案室中現有的設施管理檔案、設施管理人員的經驗，和建築管理系統[55, 65, 68-70]。這些系統包括建築自動化系統（Building Automation System, BAS）[65,70,71]，計算機維護管理信息系統（Computerized Maintenance Management Information System, CMMS）[62, 65, 72, 73]，建築能源管理系統（Building Energy Management Systems, BEMS）[65]，電氣儀表和控制（Electrical Instrumentation and Control, EIC）系統[68]和地理信息系統（Geographic Information system, GIS）[56, 69, 74, 75]。在大多數審閱文獻中，都討論了如何從建築能源管理系統中提取和營運與維護相關的資訊。但是，很少有研究者在提出他們的營運與維護系統之前，對設施人員的現場活動進行觀察，以獲取營運與維護相關數據和知識。作為少數幾個例子之一，Lee & Akin [55] 通過觀察營運與維護現場工作人員的維護活動收集了 618 個資訊例證，將它們分為 20 種資訊類型以建立營運與維護的資訊模型。此模型用於以增強現實為基礎（Augmented Reality-based）的營運與維護來開發出支持所須的現場工作應用程序。儘管這些研究為運維人員提供了有用的工具，但如 Lee & Akin 的研究[55]，通過遮顯和觀察設施管理人員或技術人員來了解當前的實務工作，是很少在其他建築資訊模型相關的設施維護文章中被討論的。

### 3.1.2 資料交換與系統整合

資料交換和獨立系統間的整合，曾被廣泛討論。為了解決可互操作性（interoperability）問題，一些研究採用的行業基礎類（Industry foundation classes, IFC）作為建築資訊模型和計算機維護管理信息系統（CMMS）[62, 65]、電氣儀表和控制（EIC）[68]、地理資訊系統（GIS）[69]、以及建築自動化系統（BAS）[71]之間的資料交換模式。有些人則使用商業軟件應用程序來執行資料交換，例如 AutoCAD Civil 3D 作為建築資訊模型和地理資訊系統之間的數據交換 [56]；和用 Revit DB Link 來實現建築資訊模型和計算機維護管理信息系統（CMMS）之間的數據

交換 [72]。美國總務署 (General Services Administration, GSA) 提出的中央設施存儲庫 (Central Facility Repository, CFR) 的概念描述了圍繞中央設施存儲庫 (CFR) 構建的綜合信息系統，該數據庫用作設施管理相關軟件應用程序的數據基礎[76]。儘管中央設施存儲庫 (CFR) 是一個有前途的發展方向，但是當前的 BIM-O&M 研究很少顯示建立中央設施存儲庫 (CFR) 的努力。不去建立一個全面的中央設施存儲庫 (CFR)，而採用鬆散耦合系統整合的解決方案 (Integration solutions) 是更常用的方法[57, 62, 65, 71]。Shen et al. [38] 聲稱，建築行業最有希望的系統整合方法是“使用智能代理和網絡服務技術的分佈式鬆散耦合整合解決方案 (integration solutions)”，因為使用單個中央設施存儲庫 (CFR) 來存儲所有信息是不可行的，因為「代表該行業的分散性本質和相互之間常有的對抗行為」[57, 77]。使用這種方法，Shen et al. [57]開發了一個系統框架，為設施管理和維護提供決策支持。這種方法的一個優點是，與建立集中式的全面設施管理數據庫相比，它具有更好的通用性。在這項研究中，所提出的方法在理論上可以將建築資訊模型與多個建築系統的整合，例如空調 (HVAC) 控制系統，本地氣象站，建築立面監控系統，設備和人員跟踪系統，設備狀態監控系統，火災響應和疏散模擬系統。但是，該文章並沒有顯示其所開發系統原型的太多證據，也沒有進行實驗來驗證其有效性。在另一個例子中，Motamedi et al. [62]將 CMMS，狀態評估系統 (Condition Assessment System, CAS)，計算機輔助設施管理 (Computer Aided Facilities Management, CAFM) 中存儲的數據和建築運營建築資訊交換 (Construction Operations Building Information Exchange, COBie) 格式的數據整合在一起。他們為每個建築元素標識一個唯一的 ID，並將其所有相關應用程序中使用，來鏈接這些系統的數據庫。這種鬆散耦合的整合依存於現有建設系統之間數據自動傳輸的可互操作性 (Interoperability) 基礎。但是，要完全實現數據交換的自動化仍然需要大量工作。

### 3.1.3 數據的可訪問性 (Data accessibility)

一旦所需的資訊準備就緒，下一個問題就是如何在需要時使設施管理員可以使用和訪問資訊，以及如何以直觀的方式呈現資訊，以便維護人員可以輕鬆地理解資訊。為了實現這些目標，許多研究者都採用條碼 (Barcodes)、射頻識別系統 (RFID)、以及增強現實 (Augmented Reality, AR) 與建築資訊模型結合在一起，以支持維護和修理的活動[55, 59-61, 78]。

#### 3.1.3.1 條碼和 RFID.

條碼和 RFID 標籤用作為識別建築項目，以取得相應物件所鏈接的相關資訊。通過掃描商品的條碼或 RFID 標籤，行動裝置 (mobile device) 將顯示相對應的 3D 建築資訊模型的構件及其資訊，例如說明手冊、照片、營運影片，維護歷史記錄和製造商信息等。[61, 79]。與 2D 條碼相比，RFID 具有一些優勢。它可以從遠處掃描 RFID 標

籤，而不需要視線或淨潔的環境，而這對於 2D 條形碼來說是不可缺少的[79]。此外，每個 RFID 標籤都有一個可以存儲一些可修改數據的芯片，當在未連接到遠程資訊服務端 (Server) 的環境中使用時，RFID 標籤具有一些靈活性。RFID 也有一些缺點，包括每個標記組件之間的干擾以及標記組件和某些材料之間的干擾[79, 80]。

### 3.1.3.2 增強現實 (Augmented Reality, AR)

通過物理空間上的疊加幾何資訊表示以及以建築資訊模型為基礎的設施資訊，增強現實為設施營運與維修的戶外工作提供了合適的界面支持[55, 59, 60]。類似於以條碼和 RFID 為基礎的系統，增強現實系統還需要在設施項目上安裝識別標籤以對其進行識別。正如 Lee & Akin 在[55]中指出的那樣，以計算機視覺為基礎的增強現實技術 (the computer vision-based AR technology)，只能識別預定義的物理標記來識別建築構件。因此，如果不能清楚地看到標記，則所提出的以增強現實為基礎的建築資訊模型維護系統 (AR-based BIM-maintenance system) 將無法正常運行。另一個挑戰是，將物理標記物部署到所有可維護的建築構件既不經濟也不可行。這些問題在後來由 Koch et al. [60]進行的研究中得到了部分解決。他使用自然標誌 (natural markers) (例如出口標誌，滅火器的位置標誌以及帶有文字資訊提示的標誌) 作為可被建築資訊模型-增強現實系統 (BIM-AR system) 所捕獲的、已定義的視覺標誌。視覺標記和用戶之間的相對位置，以及相機的方向，用於定位用戶的位置；因此，與維護相關的資訊可以準確地顯示在銀幕上，並覆蓋在已識別設備的頂部。該系統仍然有一些限制。當 (1) 相機視域沒有預定義的自然標記，(2) 兩個標記之間的距離大於 10 m，以及 (3) 相同的標記出現在多個位置時，便無法找到用戶的位置和方向。

### 3.1.4 故障測與診斷

除了提供資訊之外，以建築資訊模型為基礎的營運與維護系統還可以分析維護和維修任務，例如設備故障檢測和診斷 (equipment fault detection and diagnosis, FDD)。某些研究者展示了利用建築資訊模型的可視化和分析功能來檢測和定位系統故障 [64, 81]並確定故障原因模式 [62, 73] 的方法，從而改善維護和維修程序。該領域研究的一個主要挑戰是：須驗證其所提議的「建築資訊模型-故障檢測和診斷系統 (BIM-FDD system)」，因為在同一個時間，建築物通常不會有足夠的設備故障清單。例如，Motamedi et al.提出了一種可提供視覺分析的系統，來支持設施管理者在製定決策和解決問題時的認知和感知推理 [62]。即使在案例研究中清楚地展示了原型的實現和數據傳輸過程，其提議的系統僅能在一個設備故障事件中進行測試。該系統在其他情況下是否可以正常工作仍有待測試。Yang & Ergan [63]使用模擬測試台對啟用建築資訊模型的空調 (HVAC) 故障排除系統進行了廣泛的實驗。他們使用通過重新組合實際工單的特性來創建的綜合工單，並測試系統，因為現有的設施管理工單數據庫沒有足夠

的資訊。所提出的系統的有效結論係假設測試台可以複製現實世界的場景，而這尚需要更多的討論來證明其合理性。

### 3.3 能源管理

一般來說，建築物並不是運作得很有能源效率[102]，並消耗全球每年能源的 30-40% [103]。能源管理本質上便具有挑戰性，因為能源消費的最佳化需要了解實際能源需求，並據以調整營運活動。為了解決這個問題，建築資訊模型被用於提供建築物的幾何形狀和材料的資訊[70, 104-111]、整合和可視化與能源有關的資訊[112-116]、評估能源性能和模擬[117-120]、以及能源最佳化[70, 71, 113, 121-124]。

#### 3.3.1 建築資訊模型作為能源分析的數據源

在過去十年來，有關建築能耗模擬和管理的眾多文獻中，討論建築資訊模型應用的文獻僅占很低的比例。這可能是因為，無論是設計和建造過程所創建的建築資訊模型的詳細程度通常都不包含能源模擬所需的數據[105]。因此，對於那些已經熟練掌握主流能源模擬和分析軟體（例如 EnergyPlus 和 IES-VE，而其中大多數軟件程序都支持 3D 模型）的研究者來說，將能源模擬所須的相關資訊填入建模者所創建的建築資訊模型，顯得是多餘的工作。而能源模擬和軟體所創建的模型通常不被視為建築資訊模型，因為它們通常僅包含 3D 幾何圖形和與能源有關的資訊。建築資訊模型在能源管理中的最早應用是使用建築資訊模型來做為能源分析所須提供的基本建築資訊。通過將建築幾何和/或構件的物理特性資訊從建築資訊模型導入到能源分析工具中，研究者可以避免在這些能源分析工具中重新創建建築模型所需的部分工作[70, 104-111]。建築資訊模型創建工具和能源分析工具之間的可互操作性（Interoperability）程度決定了進行數據傳輸所需的工作。例如，Crosbie et al. [105]可以將在 Revit 中開發的建築資訊模型直接導入 IES-VE，因為 Revit 具有允許直接鏈接的 IES-VE 附加模組。Raftery et al. [106]必須使用名為 GST / IDF Generator 的工具將 IFC 檔案轉換為 EnergyPlus 的輸入資料檔案 IDF。僅將建築資訊模型用作基本建築資訊數據源的研究，通常將討論的重點放在特定的能源分析方法上，而不是研究建築資訊模型如何改善分析過程或提供新的能源管理方法。

### 3.3.2 能源消費數據的整合和可視化

能源效率在一個建築基本設計階段早就是一個重要的考慮因素，但一直到運營階段開始之前，實際的能耗數據是無法取得的。即使許多能源軟件應用程序都可以執行能源模擬和分析，但在設計意圖和實際能源績效之間始終存在缺陷與不足[121,135,136]。收集實際能耗數據對將來的設計和模擬提供反饋，至關重要[135,136]。在能量管理的脈絡中，具有與能源相關的建築資訊模型也被稱為建築能源資訊模型（Building Energy Information Modeling, BEIM）[113]。研究者已經開發出架構和/或系統，俾將建築資訊模型與其他多個建築系統（例如，建築管理系統（Building Management System, BMS）[112]和建築能源管理系統（Building Energy Management Systems, BEMS）[113,114,116]）所提取的能源數據進行整合。這不只是將建築資訊模型用作數據源，還可以更深層次的整合。例如，Dong et al. [114]開發了一種用於建築資訊模型的實時建築能源故障檢測和診斷（Fault Detection and Diagnostics, FDD）的數據架構。該架構整合從建築資訊模型所提取的、與故障檢測和診斷（FDD）相關的資訊，與建築物中安裝的感測器所生成的實時數據結合在一起。通過模擬得到的能源績效模型基準（simulated baseline energy performance model）和實際能耗二者間比較，來實施故障檢測和診斷（FDD）。但是，該研究並未實現無縫的數據採集，而故障檢測和診斷（FDD）的結果在也沒能可視化的呈現在 3D 模型之中。

許多能源管理研究利用建築資訊模型的 3D 可視化功能，但只有少數是提供具色彩方案的可視化來反映出隨時間變化的能耗資訊。Natephra et al. [134]將來自 Revit 的建築資訊模型導入 Rhinoceros，並將其與時間編碼的熱成像圖像結合在一起，該圖像可以通過 Grasshopper 插件可視化熱值的資訊隨時間的變化。通過 Grasshopper 的視覺腳本從熱成像圖像中提取熱值，並將其顯示在建築資訊模型上。由於這些圖像是通過紅外熱成像調查和感測器收集的室內/室外乾球溫度計生成的，因此建築資訊模型中可視化的熱量資訊是歷史記錄，而不是實時記錄。在 Chou et al. [131]所進行的研究中，建築物感測器生成的數據由中央數據庫收集，並整合在 Unity（一個視覺化的遊戲引擎）中的建築資訊模型中，以可視化時間和空間分析的結果，那是他們所建立的時間和空間數據分析系統所生成的。該作者開發了一個程序，用於同步 Unity 和數據庫之間的所有通信資料，因此用戶可以在虛擬建築物中查看實時能耗資訊和分析結果。Lee et al. [116] 使用名為「網絡發布模型（Web published model）」的 Revit 插件將建築資訊模型轉換為可以在網絡上發布的 wpm 檔案。他們所提出的、以網絡為基礎的系統，用預先定義的視點來展示有關建築資訊模型的能耗資訊和分析結果，這意味著：在該系統中 3D 模型不能轉動，而僅能使用幾個預先定義的角度，來呈現用戶有興趣的資訊。Hamza-Lup & Maghiar [109]提出了另一個以網絡為基礎的系統，該系統可以通過將建築資訊模型轉換為 X3D 檔案，然後在系統上發布來實現 3D 的瀏覽。由於 X3D 是開放式建模的展示標準（open modeling representation standard），因此該系統獨立於專有授權軟體（proprietary software packages）及其整合的解決方案。

### 3.3.3 以建築資訊模型為基礎的能源管理系統

某些研究者則提出一套綜合系統，通過利用支持建築資訊模型的平台來改善能源管理，該平台有助於

獲取、存儲、和處理與能源有關的資訊，從而為設施管理者提供了下列的能力：

- (1) 用來監控能源消費並分析能源績效[70, 104-109, 112-116, 121, 123, 125, 126, 128, 131, 133, 137-141]，
- (2) 進行能源模擬和預測[105, 109, 117-119]，
- (3) 通過 3D 模型可視化能源資訊[112-116, 140]，
- (4) 獲取管控建築節能的建議[105, 131, 133, 142]，
- (5) 監視熱狀況[115, 134, 143]，
- (6) 進行故障檢測和診斷[62, 64, 73, 81, 114, 125]和
- (7) 評估建築的永續性[144, 145]。

大多數經過審查的文獻都使用建築資訊模型作為數據源，以提供建築資訊（幾何形狀、構件的屬性、等等）並執行專門的能源模擬和分析軟件應用，例如 IES-VE 和 EnergyPlus [105, 106, 108]。建築資訊模型還用作整合能耗數據[112-116, 125, 138, 146]，熱感測器數據[115, 134]的平台，並實現了各個建築系統之間的資訊交換[62, 64, 73, 81, 114, 125]。一些研究使建築資訊模型數據庫做為專家系統的資訊基礎結構，該數據庫將實際能耗與設計的基準值（designed benchmarks）或預測模型的結果比較，以區別二者間的差異[112, 114, 121, 127-129, 133]。收集與能源有關問題的知識，以支持設施管理者進行當時問題的決策，並為將來的建築設計和管理提供資訊。

### 3.4 變更/搬遷管理（Change/relocation management）

在建築、工程、施工、業主、和營運者（Architecture, Engineering, Construction, Owner, and Operator, AECCO）的脈絡中，變更管理（Change Management, CM）是指那些影響專案變更而和所有專案內部外部因素相關的整體過程；這個過程包括預測可能的變化、識別已經發生的變化、規劃那些具有預防性的衝擊，以及整個專案中的變更協調[147]。將變更管理與建築資訊模型整合的研究很缺乏，尤其是在設施營運與維護（O&M）環境中。Pittet et al. [148]引入了一種以建築資訊模型為基礎的本體論（a BIM-based ontology CM approach）的變更管理方法，稱為 OntoVersionGraph。該方法應用於營運與維護領域，以管理變更所造成的影響，並維持知識的一致性，提供每個參與者所需的資訊。本體論（Ontology），在這種情況下意味著異構資訊可由機器處理，並為人類所能理解。作者從理論上討論了營運與維護中多重脈絡下，以用戶為中心的變更管理的 OntoVersionGraph 的機制。以現有牆壁上打洞來設置門口的例子來說明，如何將所提出的方法應用於涉及具有不同本體論觀點的不同參與者的問題。在該例子中，分別從建築師的角度、機電技師的角度、以及建築資訊模型本體的角度，來描述變更管理的過程。每個過程的基本步驟涉及變更檢測（change detection）、變更建模（change modeling）、變更語義（change semantics）、變更實施（change implementation）、變更傳播（change propagation）、和變更驗證（change validation）。儘管建議的方法似乎適用於設施中的所有變更（例如，更換建築設備，翻新內部裝修等），但作者並沒有提供一個涉及多個變更任務的更複雜的案例，這可能會是更好地能證明所擬議方法對全面變更的適用性。此方法已應用於 Active3D（[www.active3d.soprasteria.com](http://www.active3d.soprasteria.com)）商業軟件的應用程序中。使用此一以建築資訊模型為基礎的變更管理軟件工具的經驗研究（例如案例研究）仍缺乏，而這將對此一研究領域會有顯著的效益。

我們收集文獻中唯一涉及建築資訊模型在搬遷管理 (Relocation management) 中應用的期刊論文是一個有關案例的研究，該研究創建了一個嚴謹的遊戲來支持醫護人員學習他們的新設施[149]。醫療機構的搬遷具有挑戰性，因為在搬遷之前需要對人員進行充分的培訓，否則可能危及患者的健康。在該案例研究中，建築資訊模型用於提供遊戲場景的數據，並且在建築資訊模型的指導下，在基於遊戲的過程模擬 (gaming-based process simulation) 中顯示了一個具有希望的研究前景。但是，作者發現，由於 Unity 與建築資訊模型創建工具 Revit 之間缺乏可互操作性 (Interoperability)，因此建築資訊模型與遊戲引擎 Unity 之間的數據交換 (甚至只是導入和導出幾何圖形) 也是一項挑戰。這項研究於 2013 年至 2014 年進行，此後的一些研究已解決了此可互操作性的問題，如[93,131]的研究。Merschbrock et al. [149] 強調了遊戲的實現過程，但沒有詳細討論遊戲開發，特別是沒有討論建築資訊模型和遊戲引擎 (gaming engine) 之間的數據交換過程。整合建築資訊模型和影像遊戲引擎以支持重定位管理 (relocation management) 的框架尚待研究。

### 3.5 安全

設施的物理安全目標涉及控制數據的訪問、減少盜竊、並防止組織任務中斷[18]。要實現這些目標，就需要安全專家對設施進行物理安全評估的知識和經驗，即對設施進行檢查並評估未發現或未採取適當應對措施的風險[150]。為了減少對專家的依賴，研究人員開發了計算機模擬和專家系統來協助安全人員。並考慮將建築資訊模型用於設施物理安全評估[150]和增強訪問管理系統[99, 151]。

在支持建築資訊模型的安全評估領域中採用圖論 (Graph Theory)，將建築資訊模型中的物理實體轉換為節點 (nodes)，並將它們之間的連接關係轉換為邊 (edges) [99,150]。節點表示地區或區域 (areas or zones)，例如房間 (rooms)；而邊緣則表示可能的路徑，例如穿過門和窗戶。每個邊緣具有權重或成本，通常指示與路徑相關聯的難度級別或延遲。例如，兩個房間 (節點) 具有連接它們的三個路徑 (邊緣)，它們是沒有鎖的門，窗戶和固定的內部隔板。這些路徑的權重/成本可以量化為：門的 1.0，窗的 4.0 和隔板的 10.0，分別表示通過此路徑的難度或延遲。在將建築資訊模型轉換為圖之後，可以使用圖論演算法 (例如 Dijkstra 的最短路徑算法 (Dijkstra's shortest path algorithm) [152]) 來分析每個區域的安全狀況。為了證明這一概念，Porter et al. [150] 使用一個簡單的建築資訊模型來測試他們的 BIM-graph 方法，該方法涉及兩層對稱的房間。他們在圖表上進行了貪婪的搜索 (greedy search)，並確定了薄弱環節，從而使設計人員能夠輕鬆檢查傾向於侵入的房間並加以改進，從而提高了設施的整體安全性。該研究可以從兩個方面進一步改進。通過將提議的系統生成的安全評估結果與安全專家的評估進行比較，可以進一步證明其合理性。此外，仍需在大型建築物上進行實驗，以測試這種方法的適用性並確定挑戰。

大型設施中的物理訪問控制 (Physical access control) 是一項相對困難的工作，因為它需要有效地理解複雜的環境才能做出明智的訪問控制決策[151]。Skandhakumar et al. [151] 提出了一種以建築資訊模型為基礎的方法，該方法通過「直觀地創建物理訪問控制策略，方便地管理物理訪問控制系統以及有效審核物理訪問控制日誌」來支持訪問控制管理。在該研究中，作者僅簡要討論了這種方法如何通過提供 3D 可視化，尋路功能以及識別策略規則集中潛在的不一致性來支持訪問控制評估。擬議的

方法框架和技術方法沒有詳細討論。在另一項研究中[99]，Skandhakumar et al.提出了一種建築資訊模型的圖形理論表示形式（a graph theoretic representation of BIM），稱為「建築資訊模型-圖（BIM graph）」，並演示瞭如何在現實的訪問控制應用場景中使用它。BIM graph 的思想類似於將建築資訊模型轉換為用於安全評估的圖[150]，在上一段中將對此進行討論。區別在於 BIM graph 是一個分層圖，其中屬於建築物某個故事的所有節點（代表空間）和邊緣（代表門戶）都在對應的子圖下，代表該故事。而[150]中的建築資訊模型將轉換為一個沒有任何層次結構的圖形。作者[99]開發了三種基於 BIM graph 的算法：尋路演算法（the pathfinding algorithm）、最小安全路徑演算法（the minimum security path algorithm）、和可訪問性分析演算法（the accessibility analyze algorithm）-來自動化典型的訪問控制功能，例如尋路、一致性檢測、和可訪問性的驗證。所提出的 BIM graph 方法及其演算法雖尚未經過任何實驗或模擬測試。然使用 BIM graph 方法進行物理訪問控制管理的案例研究將對該領域有所幫助。

### 4.3 投資回報率（Return on investment, ROI）

有許多設施運營與維護的研究，提出了一些「可以在執行設施運營與維護任務時，為設施管理者決策提供資訊」以支持決策判斷的系統。這些決策支持系統整合了建築資訊模型、執行綜合分析、提供直觀的 3D 可視化、並為用戶提供對相關資訊的實時訪問，這些研究所開發的系統實例可在[54, 55, 59, 62, 83, 86, 93, 109, 133, 134]中找到。然而，即使這些系統所具有的優點已被了解和接受，但只有少數研究檢視了他們所提出系統所帶來的效率改進的量化分析[53, 55, 61]。

我們需要更多的研究來探討實現合理投資回報率的 BIM-O&M 系統。例如，與目前實務相比，Yang & Ergan 所發展的「空調系統的校正性維護（HVAC corrective maintenance）的可視化平台」能達到完成任務時間減少 58% 的效果，這主要歸因於可以從 BIM-O&M 系統的文檔中進行資訊的搜索[53]。執行任務所用時間的中位數（median），從 12 分鐘 32 秒減少到 5 分鐘 12 秒。在另一項研究中，該研究所提出的方法在執行維護工作時，使用基於移動式 BIM / 2D 條碼系統（barcode-based system）的方法，可為用戶每項任務節省大約 6–40 s。而在當前的基於圖紙的方法，每個任務需要 12–90 s 才能完成[61]。這兩個系統縮短了每個任務的完成時間。然而，當考慮到需要大量的努力來創建和維護完整的建築資訊模型，開發和配置系統，放置條碼等工作時，人們便會質疑 BIM-O&M 系統的投資回報率是否合理。大型和複雜的校園設施需要執行許多維護任務，這些系統的實用價值便可能可以被實現。

對運維中建築資訊模型應用的投資回報率進行研究的一個挑戰是建築資訊模型所帶來的影響缺乏量化的方法。清楚地了解與在設施運營和維護中實施建築資訊模型相關技術相關的成本節約，對於投資回報率的合理性至關重要。建築資訊模型應用於設計和施工中的好處（較短的設計迭代周期，通過減少衝突節省的時間和金錢等），可以相對容易地感知和量化，但是 BIM-O&M 不同，其好處往往需要更長的時間跨度未平衡所投入成本。因此，要評估 BIM-O&M 應用程序的投資回報率，需要更好地了解其對設施及其構件的生命週期成本（Life Cycle Cost, LCC）的影響。

以歷史數據為基礎的生命週期成本分析 (Life Cycle Cost Analysis, LCCA) 架構，是判斷 BIM-O&M 應用的投資回報率問題的一個解決方案。生命週期成本分析是一種評估設施擁有總成本的方法，其中包括購置、擁有和處置建築物或建築物系統的所有成本[183]。目前，生命週期成本分析方法主要用於設計階段不同方案之間的比較[184]，但是了解生命週期成本對營運階段的決策也很重要，例如，建築翻新、建築更新、建築改建，以及合併新的營運和維護工具或系統。但是，儘管它很重要，但迄今為止，生命週期成本分析在 AECOO 行業中的應用有限。生命週期成本分析應用中的兩個主要障礙是生命週期成本數據的短缺[185]和預測實際未來成本的複雜性[186]。通過從不斷發展的建築系統 CMMS，BAS，BEMS 等生成的數據中獲取生命週期成本的部分資料組成，有可能克服上述第一個障礙。借助細緻的感測器和設備網絡，這些系統會生成設備消費使用，及維護工作所涉及的大量數據及歷史記錄[187]，而其中一部分數據可用於計算生命週期成本。第二種障礙有可能通過快速開發機器學習技術 (Machine Learning techniques) 來解決。機器學習是一個從數據中提取模式的自動化過程 [188]。在預測數據分析 (Data analytics) 領域，機器學習是一種複雜預測演算法和模型 (Complex prediction algorithms and models) 的方法[188, 189]。這些分析模型者數據分析師能夠通過「從數據的歷史關係和趨勢中學習」來發現隱藏而未顯現的洞見 (Hidden insights)，預測未來價值，並做出可靠的、可重複的決策[190]。機器學習技術和更先進的建築系統的發展為建築專家提供了新的機會，以實現對設施生命週期成本的更準確的預測，從而可以評估建築訊模型-營運和維護 (BIM-O&M) 投資回報率並確定其價值。

## 文獻 2：

Jack C.P. Cheng , Weiwei Chen , Keyu Chen , Qian Wang, Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms, *Autom. Constr.* 112 (2020) 1–21.

Jack C.P. Cheng , Weiwei Chen , Keyu Chen , Qian Wang , 以建築資訊模型和物聯網為基礎、用機器學習演算法做為數據驅動的 MEP 組件預測性維護計劃架構, *Autom. Constr.* 112 (2020) 1–21.

### 摘要

設施管理者通常會在建築物的維護管理中執行被動式維護 (Reactive maintenance) 或預防性維護策略 (Preventive maintenance strategies)。然而，它存在了一些局限性，即被動式的維護並不能防止故障發生，而預防性的維護也不能預測 MEP 組件的未來狀況，進而提前進行維修，以延長設施的使用壽命。本研究採用一個具有先進技術的預測性維護策略，來克服這些限制。建築資訊模型 (Building information modeling, BIM) 和物聯網 (Internet of Things, IoT) 具有提高設施維護管理 (Facility maintenance management, FMM) 效率的潛力。儘管建築資訊模型和物聯網的應用已做出了巨大努力並應用於建築、工程、施工、和設施管理 (architecture, engineering, construction, and facility management industry, AEC / FM) 行業，但應用於設施維護管理的建築資訊模型和物聯網整合仍處於起步階段。為提供建築設施更佳的維護策略，本研究發展了一種以建築資訊模型和物聯網技術為基礎的設施維護管理，並以數據驅動預測性維護計劃 (data-driven predictive maintenance planning framework) 的架構，該架構由資訊層 (information layer) 和應用程序層 (application layer) 組成。建築資訊模型、設施管理系統 (FM system)、和物聯網網絡 (IoT network) 之間的數據收集和數據整合是在資訊層進行的，而應用層包含四個模塊來實現預測性維護，即：(1) 狀態監視和故障警報模塊、(2) 狀態評估模塊、(3) 狀態預測模塊和 (4) 維護計劃模塊。本研究使用機器學習演算法 (Machine learning algorithms)，類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 和支持向量機 (Support Vector Machine, SVM)，來預測 MEP 組件的未來狀況。發展出來的架構則應用一實例來以驗證方法的可行性。研究結果顯示，從資訊層所獲得的不斷更新的數據，以及應用程序層中的機器學習演算法，可以有效地預測維護計劃的 MEP 組件的未來狀況。

關鍵字(Keywords)：

建築資訊模型、數據驅動的方法(Data driven approach)、設施管理(Facility management)、物聯網 (Internet of Things)、 預測性維護(Predictive maintenance)、機器學習(Machine learning)

## 1. 導論

建築維護被公認為是設施管理 (facility management, FM) 整體組成的部分，因為建築物的維護成本

占設施管理年成本的 65% 以上 [1]。有效的維護策略可以降低建築物的維護成本，甚至可以延長建築物構件的使用壽命。當前，建築物維護管理中採用被動式維護 (Reactive maintenance) 和預防性維護 (Preventive maintenance)。在被動式維護中，設施管理人員在故障發生後執行維護的行動。預防性維護是一種以日曆為基礎的方法 (a calendar-based approach)，可使維護管理人員在預定的時間間隔或特定的期間段落；去執行例行的檢查或更換建築物構件。但是，被動式維護並不能防止故障發生，預防性維護也不能預測將來的狀況，並提前修復構件以延長建築構件的使用壽命。預測性維護 (也稱為以狀態為基礎的維護) 是在「基於使用歷史數據的構件狀態及趨勢檢查」來測得初期故障 (Incipient failures) 和最終的退化 (Eventual degradation)，進而可以提早採取措施[2]。當建築構件仍處於良好的工作狀態時，預測性維護可以通過預測可能的故障，提前維修構件，以延長使用壽命進而改善上述問題。這種方法高度依賴感測器數據的傳輸和收集來運作。收集某一設施狀況數據的兩種主要方法是「檢查 (例如定期調查)」和「連續監視 (例如使用感測器來進行監視)」。進行預測性維護所做的決策需要整合各種類型的資訊，例如監看數據、維護記錄、工作表單、溯源、以及判斷故障的連鎖效應等等。

除了這些維護策略之外，以計算機為基礎的系統 (computer-based systems) 也被應用於提高設施維護管理 (Facility maintenance management, FMM) 活動的效率。當前，流行的建築物維護系統，例如以計算機為基礎的維護管理系統 (computerized maintenance management systems, CMMS) 和計算機輔助設施管理系統 (computerized aided facility management systems, CAFM)，主要集中在獲得有價值的資訊上。但是，紙本記錄 (paper-based records) 和 Excel 電子表格仍被廣泛用於傳輸設施管理的資訊，這可能會導致在回應服務請求時的時間延遲，從而導致營運與維護 (operation & maintenance, O&M) 效率低下。在建築、工程、施工、和設施管理 (architecture, engineering, construction, and facility management, AEC / FM) 產業中，建築資訊模型已被用於促進維護活動並儲存維護記錄，例如故障位置和問題類型[1]。因此，建築資訊模型具有提高設施維護管理效率的潛力。除建築資訊模型之外，還可以從物聯網 (例如感測器網絡 (sensor networks) 或射頻識別 (radio frequency identification, RFID) 系統) 來獲得有關設施狀況的數據。感測器網絡已被應用於監視建築設備和建築環境的狀況，其所收集的感測器數據對於預測性維護非常有價值。

許多研究人員曾研究過許多預測性維護的各個方面。Hao et al. [3] 提出了用於糾正性維護 (Corrective maintenance)、預防性維護 (Preventative maintenance)、和基於以狀態為基礎的維護 (condition-based maintenance) 的決策支持系統 (decision support system) 的原型。然而，該決策支持系統及狀態預測的演算法尚未考慮資訊整合的方法。Wang et al. [4] 研究了一種以雲端為基礎的 (cloud-based) 預測性維護範型，該模式以行動裝置為基礎來實現及時的資訊取得、共享、和利用，以提高故障診斷、剩餘使用壽命預測、和維護計劃的準確性和可靠性。但是，它沒有包括一個可信賴的預演算法以供狀態的預測。此外，有些研究則進行了有關建築維護的狀況預測方法 (On the condition predictive methods) 的研究。例如，Ren and Zhao [5] 建立了一個以物聯網為基礎的架構，以應用於產品研究和製造、及營運與維護過程的數據獲取、使用了應用於預測性維護所須的決策方法，如決策樹 (Decision tree)、k-Means、支持向量機 (Support vector machine, SVM) 和神經網絡 (Neural network)。但是，他們沒有說明如何使用這些方法以及預測過程。

上述所提及的、研究上待補足的缺漏 (research gaps) 包括：(1) 缺乏用於預測性維護的資訊整合；(2) 缺乏可靠的預測演算法；(3) 沒有對預測過程的描述。基於這些研究上的空白，為提高設施管理的效率，有必要採用系統的方法來實施建築資訊模型和物聯網技術以進行 MEP 組件的預測性維護。因此，本研究開發了一種以建築資訊模型和物聯網技術為基礎的數據驅動及整合架構

(integrated data-driven framework based on BIM and IoT technologies)，以用於建築物設施的預測性維護。該架構包含 (1) 狀態監視和故障警報模塊，(2) 狀態評估模塊，(3) 狀態預測模塊和 (4) 維護計劃模塊，為設施維護管理中的決策提供技術上的架構。

本研究聚焦於建築設施的機械、電氣和管道組件 (mechanical, electrical and plumbing (MEP) components)，例如空調 (HVAC) 系統、電氣組件、照明、電梯和升降機，它們是確保建築物功能的基本要素[6]。並以空調 (HVAC) 系統的冷水機組為例，說明如何將建議的架構用於 MEP 設施；因為冷水機組是空調 (HVAC) 系統冷卻建築物，並提供更好建築環境的關鍵組成部分。該架構可以監控 MEP 組件的狀況，並從物聯網網絡獲得實時資訊 (real-time information)。它不僅解決了建築資訊模型，物聯網和設施管理系統之間的資訊整合問題，而且還使用實時感測器數據，更新的檢查記錄和維護記錄，以處理對預測模型的持續培訓。因此，該預測模型可適應實際情況，並提高預測精度。此外，設施管理的管理者可以安排維護計劃並提前購買材料和工具，以在故障發生之前執行維護行動。因此，本研究所提出的架構可以提前防止設施故障並延長 MEP 組件的使用壽命。

本文的組織結構如下：第二部分回顧了設施維護管理的現狀和局限，以及以建築資訊模型和物聯網為基礎的預測性維護。第 3 節詳細介紹了預測性維護的建議架構。第 4 節中提供了一個說明性的案例，以驗證所提議架構的可行性，然後在第 5 節中得出結論。

## 2. 相關文獻綜述

### 2.1 以建築資訊模型為基礎的 (BIM-based) 的設施維護管理

第一種設施維護管理的建築資訊模型應用，是將之關連到設施資訊管理。Lee and Lin [7] 曾研究如何將建築資訊模型應用於開發管理和維護建築設施所須的 3D 模型。然而，這些應用程序有限，只能在 3D CAD 為基礎的模型中跟踪和管理與維護相關的最新信息、事件和問題描述。然而，沒有自動狀態的監視和維護進度功能，來讓設施管理人員快速地做出設施維護的決策。Motawa and Almarshad [8] 探討了許多案例研究，並開發了一個整合系統，並使用案例庫推理 (Case base reasoning) 來獲取建築物維護的資訊和知識。但是，整合系統無法預測建築構件的故障。Shen et al. [9] 提出了一種鬆散耦合的整合方法，以應用於設施管理和維護的決策支援。他們描述了一個有助於進行建築維護決策的架構，但未提供有關如何使用該架構和具體案例研究的詳細資訊。Motamedi et al. [10] 利用建築資訊模型可視化的功能來解決設施維護的問題，並提供了應用於故障根源檢測的數據模型。但是，該研究未考慮使用建築資訊模型進行自動決策。Chen et al. [11] 提出了個「從建築資訊模型和設施管理系統來獲得資訊」以自動生成維護以建築資訊模型為基礎的工作清單的架構，從而自動化的產生維護進度。但是，此架構僅用於設施維護計劃，而不用於預測性維護。

第二種用於設施維護管理的建築資訊模型應用涉及將建築資訊模型與其他技術（例如地理資訊系統（geographic information system, GIS）和增強現實（augmented reality, AR）相結合以提高設施維護的效率。Kang and Hong [12] 提出了一種將建築資訊模型與基於地理資訊系統的設施管理系統有效結合的軟件體系結構，他們創建了一個基於建築資訊模型 / 地理資訊系統的原型（a BIM/GIS-based prototype），該原型從建築資訊模型和地理資訊系統中提取、轉換和加載資訊以整合設施管理數據。Koch et al. [13] 使用基於標記的增強現實技術來導航設施人員的維修路徑。Lee and Akin [14] 使用基於標記的增強現實（Marker-based AR）技術來檢測組件的狀況。Cheng et al. [15] 在室內維護和裝修工作上，比較了基於標記的增強現實（Marker-based AR）和無標記的增強現實（Marker-less AR）。但是，該應用程序只能顯示設施維護和管理的數據，而不包括維護的計劃。總體而言，上述大多數研究人員研究了建築資訊模型中資訊的可視化和資訊的提取，但沒有研究設施狀況的分析或設施維護的計劃。

基於前面提到的研究上待補足的缺漏，本研究描述了一個特定的架構來顯示預測性維護的數據流和實施過程，並且該研究包括四個模塊，這些模塊使設施管理人員可以據以製定出更好的維護決策。

## 2.2 以建築資訊模型和物聯網為基礎的（BIM- and IoT-based）預測性維護

許多研究者曾研究將建築資訊模型應用於預測性維護的可能性。Hallberg [16] 發現採用預測性維護策略的可能性取決於「隨時間推移的性能」和「使用壽命預測模型和方法的可用性」。Hao et al. [3] 發展了一個決策支持系統來整合糾正性維護、預防性維護和以狀態為基礎的維護，在研究中他們提到了將狀態監視系統與建築資訊模型技術相結合的可能性。Hallberg and Tarandi [17] 討論了開放式建築資訊模型如何促進一個預測性的生命週期管理系統（Lifecycle Management System, LMS）的實施以及長期動態維護策略的採用。該系統僅用於建築結構維護，並未提及特定的退化模型（the specific degradation models）和用於狀態預測的特定方法。之後，Cheng et al. [18] 開發了一種基於建築資訊模型的決策支持系統，用於建築設施的預測性維護。但是，該研究並沒有提供案例研究來驗證所提議框架的可行性。Wang et al. [4] 研究了一種以雲端為基礎的預測性維護範例，該範例基於行動裝置，以實現及時的資訊獲取、共享和利用，從而提高了故障診斷，剩餘使用壽命預測、和維護計劃的準確性和可靠性。他們聲稱如何用有效的預測維護的演算法的存儲和分析這些數據是一個巨大的挑戰。這項研究舉例說明了一個電動馬達案例，並將健康的電動馬達與損壞的電動馬達進行了比較以進行故障診斷，但沒有提供用於狀態預測的預測演算法。Ren and Zhao [5] 指出，使用大數據進行維護的挑戰在於缺少及時、準確的組件數據，以及缺乏有用的模式和組件生命週期知識。但是，他們沒有建議如何收集及時準確的感測器數據的解決方案。Civerchia 等。[19] 提出了工業 4.0 中的智慧預測性維護（Intelligent Predictive Maintenance, IPdM）系統的框架，並說明了 IPdM 系統中六個模塊的功能。但是，沒有提供案例研究來驗證該系統的可行性。Schmidt and Wang [20] 提到雲端技術可以增強預測性維護過程，也說明了在預測性維護的執行目前尚缺乏系統的方法。

此外，Wang and Wang [21] 提出了以深度學習（deep learning）為基礎的預測性維護架構。但是，

他們並沒有說明如何將該架構應用於實務。Gombé et al. [22]提出了一種以無線感測器網絡為基礎的系統來監視工業系統，以防止故障和損壞。他們使用這種傳感架構來測量工業機械部件的溫度，並評估了該方法的穩健性。在連結的預算計算中的查詢範圍（Interrogation range）的主要限制被強調出來。Francis and Mohan [23] 研究了基於實時趨勢分析的 ARIMA 模型，用於預測性維護的預測過程。其鐵路運輸中的自動化數據採集系統有助於分析故障趨勢的演替並預測故障。此外，這些研究者在沒有建築資訊模型技術的情況下，將物聯網和預測演算法應用於預測性維護。因此，上述應用並沒有為設施管理者提供任何可靠和實用的方法來預測未來的狀況，且沒有提供實際的案例研究。在本研究中，並在第 2.3 節中，我們討論了一些具潛力的演算法，以支持本研究所採用機器學習演算法在預測性維護上的可靠性與實用性。並選擇了具有潛力的演算法來支持本研究。

### 2.3 用於預測性維護的機器學習演算法

有許多種機器學習演算法（machine learning algorithms），包括類神經網絡、支援向量機和 Markov chain，可用來預測建築構件的狀況。最近，由於類神經網絡具有預測非線性時間序列趨勢的潛在能力，因此被用來作為決策支援的工具。類神經網絡具有把握並支持非線性破壞模式的能力，並且已被廣泛研究和記載[24, 25]。對於非線性時間序列的趨勢預測，人們發現類神經網絡優於已知的古典自回歸模型（Classical auto-regressive models）[26]。類神經網絡成功學習時間序列的非線性特徵的能力與傳統統計技術不同，類神經網絡已廣泛用於預測 [27]。例如，El-Abbasy et al. [28] 用許多種因子（包括腐蝕）來發展模型並評估和預測管道狀況。Silva et al. [29]使用多元線性回歸分析和類神經網絡來估計外牆塗料的耐久性和使用壽命，並建立了描述外牆退化的數學模型。然而，Silva et al. [29] 發現研究不能僅僅過度地依賴統計數據。支援向量機是基於統計學習理論的一種已被廣泛使用的分類技術。Sousa et al. [30]評估了類神經網絡和支持向量機在預測下水道結構狀況方面的性能，並指出在預測結構狀況方面有其特殊的優勢。這兩種方法還取決於訓練和測試樣本的特定情況，而且支援向量機方法對參數更敏感。Morcouc [31]使用 Markov chain 模型來預測橋樑構件的未來狀況，並試圖預測橋樑的使用壽命。但是，Markov chain 模型有兩個局限性：（1）該模型使用離散參數。（2）假定未來狀況僅取決於其當前狀況，而不取決於其過去狀況。這些限制意味著 Markov chain 不適用於某些建築構件，例如空調（HVAC）系統。

此外，Wang and Wang [21]討論了人工智慧（artificial intelligence, AI）對未來預測性維護的影響，這是未來先進生產系統的一個重要部分。特別是，他們討論了為什麼人們對將深度學習技術應用於預測性維護策略感興趣。但是，他們提到深度學習並不適合所有問題。它通常需要大量的數據集進行培訓。der Mauer et al. [32]提到預測性維護方法通常需要對特定機器進行深度整合。他們的研究使用在 Keras 和 TensorFlow 中開發的神經網絡來分析聲音序列（Sound sequences）。該研究描述，其所提出的方法可以應用於解決預測性維護任務。但它們的研究在執行時，通常與技術受限的解決方案的複雜性，及與法律和財務相關的限制相關聯。Carvalho et al. [33]提到預測性維護應用程序的性能取決於機器學習方法的適當選擇。他們對用於預測性維護的機器學習方法進行了系統的文獻綜述，顯示了該領域正在探索的一些方法以及當前最先進的機器學習技術的性能。因此，根據我們收集的數據集和我們所比較的這些方法，本研究選擇了類神經網路和演算法作為機器學習模型來預測未來情況。此

外，類神經網絡和支持向量機)均取決於用於訓練模型網絡的數據集的數量，並且效率隨數據集數量的增加而提高。模型的質量與可用數據量直接相關。因此，我們的研究將改善預測過程，並使預測模型成為基於實時數據的數據驅動模型。



## 附錄 7: 專有名詞中英對照表

## 專有名詞中英對照表

Architecture, Engineering, Construction, Owner, and Operator, AECOO	建築、工程、施工、業主、和營運者
architecture, engineering, construction, and facility management, AEC/FM	建築、工程、施工、和設施管理
artificial intelligence, AI	人工智慧
artificial Neural Network, ANN	類神經網路
application layer	應用程序層
augmented reality, AR	增強現實
Augmented Reality-based, AR-based	以增強現實為基礎的
AR-based BIM-maintenance system	以增強現實為基礎的建築資訊模型維護系統
building component	建築構件
Building Energy Management Systems, BEMS	建築能源管理系統
Building Energy Information Modeling, BEIM	建築能源資訊模型
Building Information Modeling, BIM	建築資訊模型
BIM-based	以建築資訊模型為基礎的
a BIM-based ontology CM approach	一種以建築資訊模型為基礎的本體論
BIM- and IoT-based	以建築資訊模型和物聯網為基礎的
BIM-AR system	建築資訊模型-增強現實系統
BIM-FDD	建築資訊模型-故障檢測和診斷系統
BIM/GIS-based prototype	基於建築資訊模型/地理資訊系統的原型
Building Automation System, BAS	建築自動化系統
BIM-FM	建築資訊模型-設施管理
BIM for O&M, BIM-O&M	用於營運與維護的建築資訊模型、建築資訊模型-營運與維護
Building Management System, BMS	建築管理系統
a calendar-based approach	一種以日曆為基礎的方法
case base reasoning	案例庫推理
classical auto-regressive models	古典自回歸模型
Central Facility Repository, CFR	中央設施存儲庫
Change Management, CM	變更管理
cloud-based	以雲端為基礎的
component	構件、組件

computer vision-based AR technology	以計算機視覺為基礎的增強現實技術
computerized aided facility management systems, CAFM	計算機輔助設施管理系統
computerized maintenance management systems, CMMS	以計算機為基礎的維護管理系統
condition-based maintenance	以狀態為基礎的維護
the condition predictive methods	狀況預測方法
corrective maintenance	糾正性維護
data	資料、數據
data analytics	數據分析
data accessibility	數據的可訪問性
data collection	數據收集
data exchange	資料交換
data integration	數據整合
data driven approach	數據驅動的方法
data-driven predictive maintenance planning framework	據驅動的預測性維護計劃架構
decision support system	決策支持系統
decision tree	決策樹
deep learning	深度學習
Electrical Instrumentation and Control, EIC	電氣儀表和Control
emergency management	应急管理
energy management	能源管理
equipment fault detection and diagnosis, FDD	設備故障檢測和診斷
eventual degradation	最終的退化
facility management, FM	設施管理
FM system	設施管理系統
facility maintenance management, FMM	設施維護管理
gaming engine	遊戲引擎
gaming-based process simulation	基於遊戲的過程模擬
General Services Administration, GSA	美國總務署
geographic information system, GIS	地理資訊系統
Graph Theory	圖論
Incipient failure	初期故障
Industry foundation classes, IFC	行業基礎類
information	資訊
information layer	資訊層
Intelligent Predictive Maintenance, IPdM	智慧預測維護

integration	整合
Internet of Things, IoT	物聯網
Internet of Things (IoT) Device	物聯網設備
IoT-based	以物聯網為基礎的
interoperability	可互操作性
Life Cycle Cost, LCC	生命週期成本
Life Cycle Cost Analysis, LCCA	生命週期成本分析
Life Cycle Cost Analysis method	生命週期成本分析方法
Lifecycle Management System, LMS	生命週期管理系統
machine learning	機器學習
maintenance strategies	維護策略
marker-based AR	基於標記的增強現實
marker-less AR	無標記的增強現實
mechanical, electrical and plumbing components, MEP	機械、電氣和管道
MEP component	MEP 組件
mobile device	行動裝置
National Institute of Standards and Technology, NIST	美國國家標準技術研究院
open modeling representation standard	開放式建模的展示標準
operation & maintenance, O&M	營運與維護
paper-based records	紙本記錄
paradigm	範型
preventive maintenance	預防性維護
preventive maintenance strategies	預防性維護策略
proprietary software packages	專有授權軟體
reactive maintenance	被動式維護
Relocation management	搬遷管理
research gaps	研究上待補足的缺漏
smart building	智慧建築
smart city	智慧城市
smart built environment	智慧建築環境
sensors	感測器
sensor networks	感測器網絡
support Vector Machine, SVM	支持向量機
Web published model	網絡發布模型





應用人工智慧科技提升維運管理效益之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王榮進、沈揚庭、林谷陶、張怡文、林峰正、李雨澤、廖士豪、李致遠

出版年月：109年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-5450-58-8（平裝）