

數位雙生(Digital Twin)－建築資訊建模(BIM)與人工智慧(AI)整合應用可行性研究

內政部建築研究所委託研究報告(一一〇)

數位雙生(Digital Twin)—建築 資訊建模(BIM)與人工智慧(AI) 整合應用可行性研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

科技部 GRB 編號

PG1101-0594

「數位雙生(Digital Twin)—建築資訊 建模 (BIM) 與人工智慧(AI)整合應用 可行性研究」委託研究案 成果報告書

受託單位	:	思納捷科技股份有限公司
計畫主持人	:	莊榮榮
協同主持人	:	嚴嘉鑫
研究員	:	林根溢
研究助理	:	林煒哲
研究期程	:	中華民國 110 年 1 月至 110 年 12 月
研究經費	:	新臺幣壹佰貳拾貳萬壹仟伍佰元

內政部建築研究所業務委託計畫報告

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次	II
圖次	III
第一章 緒論	8
第一節 研究緣起與背景	8
第二節 計畫流程	10
第二章 文獻回顧	13
第一節 相關技術背景及現況	13
第二節 相關技術案例調查	20
第三章 數位雙生案場實驗執行內容及成果	24
第一節 研究問題	24
第二節 研究假設	24
第三節 設計實驗進程	24
第四節 確認研究對象	24
第五節 建構實驗環境	29
第六節 實驗觀察及驗證分析	41
第七節 完成事項與成果	44
第四章 結論與建議事項	47
第一節 結論	47
第二節 建議	49
參考書目	51
附錄一 期初審查意見回覆表	53
附錄二 期中審查會議記錄回應表	58
附錄三 專家座談會會議記錄	69
附錄四 期末審查會議記錄回應表	82
附錄五 場勘、工作會議及教育訓練記錄	91
附錄六 系統操作手冊	99
附錄七 計畫期末成果說明會	120
附錄八 專有名詞中英文對照表	129

表次

表 3-1 冰機感控資料點列表	29
-----------------------	----

圖次

圖 1-1 計畫執行步驟作業流程圖	12
圖 2-1 數位雙生資料流(dataflow)示意圖	14
圖 2-2 數位雙生技術及應用架構示意圖	16
圖 2-3 2020 年 AI 技術的 Hype Cycle 示意圖	19
圖 2-4 虛擬新加坡提供都市規劃示意圖	21
圖 2-5 虛擬新加坡提供太陽能發電潛力分析	21
圖 2-6 應用數位雙生的產業與傳產案例比較	22
圖 2-7 台積電冰水系統節能技術示意圖	23
圖 3-1 新北藝文綜合大樓外觀	25
圖 3-2 實驗場域螺旋式冰水主機外觀	26
圖 3-3 實驗場域冰水主機銘板	26
圖 3-4 實驗場域冰水主機斷路器	27
圖 3-5 實驗場域冰水主機斷路器	27
圖 3-6 實驗場域 BTU 計外觀	28
圖 3-7 SCADA 操作介面	28
圖 3-8 冰水主機感控設備安裝方式	29
圖 3-9 板橋觀測站與本實驗場域距離量測	30
圖 3-10 計畫執行單位 IoT 平台系統架構	31
圖 3-11 本計畫系統通訊架構	32
圖 3-12 現場安裝之通訊開道器	32
圖 3-13 現場安裝之通訊開道器	33
圖 3-14 不同冰水主機的效能曲線	34
圖 3-15 本研究系統 AI 方法流程圖	35
圖 3-16 本研究系統資料清洗方法設定	36
圖 3-17 本研究系統資料清洗方法設定	37
圖 3-18 BIM 圖台選用比較表	39
圖 3-19 實驗場域冰水主機實景照	40
圖 3-20 使用 BIMVision 渲染的冰水主機視角	40
圖 3-21 使用 XeoKit 渲染的冰水主機視角	41
圖 3-22 使用 XeoKit 渲染的冰水主機視角	41
圖 3-23 一號冰水主基 10/6 單日耗能	42
圖 3-24 一號冰水主基 10/8 單日耗能	42
圖 3-25 一號冰水主機建議值畫面	43

圖 4-1 本研究系統架構與數位雙生之對應	47
圖 4-2 數位雙生對於建築的應用可行性	48
圖 4-3 數位雙生在建築應用上帶來的效益	49

摘要

壹、研究緣起

數位雙生(Digital Twin, 簡稱 DT) 以虛擬的場域來呈現實質環境的資訊應用,提供使用者或決策者進行判讀或決策運用。DT 是建立在人工智慧、機器學習、資料分析三個基礎,創造動態的數位模型。這個模型可以不斷的學習、更新場域的實質狀態,達到資訊整合應用。

近年來,建築資訊模型(BIM)導入設計與工程應用日漸成熟,隨著本所 104、105 年研擬「我國 BIM 協同作業指南執行要項」,108、109 年完成建築物維護資料交付項目與維護管理作業指南之研擬,從設計、施工、竣工到維運階段應可建立完整建築物生命週期維護管理資料。智慧建築是未來國家推動建築發展的政策主軸,人工智慧(Artificial Intelligence,簡稱 AI)的導入可以協助相關資訊整合應用,建立主動化與最佳化的管理指標或服務模式,藉此節省日常維護管理所需的人力與成本,延伸建築物使用之生命週期。

本案採用實作方式於實際案場建值 BIM 與 AIoT 整合的示範平台,透過改善建築物內設備的方式驗證此整合應用的可行性與效益。

貳、建議

建議一

強化既有建築及新建案數據的永續性：立即可行建議

主辦機關：臺北市政府工務局新建工程處、新北市政府新建工程處、國家住宅及都市更新中心

由於資通訊產業與建築產業的生態系不同,建築資通訊其實一直停滯在建築自動化的階段。建築的資料也常封存在建築中控系統與世隔絕,或是中控系統廠商收取費用才釋出資料等情況。建議未來建物的發包單位或是管理單位考量是否透過合約或協議書等方式規範建築中控系統廠商保留外界擷取建築資訊的渠道,例如資料的收存方式、讀取方式等,甚至可將較不機敏直接置入政府 Open Data 平台,在資料易於取用的環境下才能讓建築數位雙生應用有資材可用。

建議二

建置建築數位雙生示範場及提案研究：立即可行建議

主辦機關：工業技術研究院、財團法人資訊工業策進會

建築數位雙生是集合建築專業、資通訊專業與管理專業於一體的領域。除了本研究將實作驗證可行性外，也建議研發法人可考量爭取資源將建築數位雙生廣泛推行。可藉較大規模整合型的研究計畫或實務上的專案執行，跨領域的將建築數位雙生的價值內化至建築產業成為可以評估、可具體規畫(量化)與可執行的法規準則或是商品，成為市場上可以滾動的商業模式。

建築內的既有的數據流其實已經相當豐富，舉凡電力、環控、電梯、給排水、空調、照明、消防、空氣品質、門禁、監控攝影等都是數據來源，但如何將數據轉化成有價的服務及減少人力、物力是整個計畫需求的最終目標。本研究透過空調偵測數據轉化成有價的節能服務並減少空調控制維管的人力，除此之外建築數位雙生還有較宏觀的研究方想可以開展。尤其這兩年間疫情衝擊讓建物的使用行為驟變，如何利用建築數位雙生技術對這些建築公共衛生問題提出解決方法也是未來研究議題的發想方向。此外氣候變遷議題也將驅使建築物必須重新考量提高能源效率、創能、減廢等全生命週期降低碳排等手法的實施。而如何在短時間模擬建物全生命週期的碳排最佳化將是數位雙生得以發揮價值的重要研究議題。

Abstract

Digital Twin (DT) uses data to present information applications in the real environment, providing users or decision makers with interpretation or decision-making applications. DT is built on the three foundations of artificial intelligence, machine learning, and data analysis to create dynamic digital models. This model can continuously learn and update the actual state of the field to achieve information integration applications.

In recent years, Building Information Modeling (BIM) has introduced data on design, process application, stage maturity, design, construction, completion, construction completion, construction completion, maintenance management, etc. of the whole life cycle of a building. From design, construction, completion to maintenance, it should be possible to establish complete building life cycle maintenance management data. Smart buildings are the main policy axis for the country to promote the development of buildings in the future. The application of artificial intelligence can assist in the integration and application of relevant information, establish automated and optimized management indicators or service models, thereby saving manpower and costs required for daily maintenance and management. Extend the life cycle of building use.

In this case, a demonstration platform for the integration of BIM and AIoT was built on the actual site, and the feasibility and benefits of this integrated application were verified by improving the equipment performance in the building.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

建築物數位雙生的精神在於將建物的有形資產以數據資料的方式複製儲存、分析、利用。近十餘年來因數位科技的進步與資通訊設備普及化並成本降低，將建物數位化的技術門檻也隨之降低。像是 BIM 的導入對於建物在營建週期的審查自動化、施工期間工程碰撞避免、工序最佳化等應用都有成熟的實績。

但諸如 BIM、IoT 與 AI 的整合應用卻鮮少在一個建物生命週期最長的運維(O&M)週期中充分的被利用並賦予價值。多數的 BIM 資料在營建周期結束後便束之高閣。本研究即聚焦在建物數位資料在運營週期依然能發揮其價值。本計畫將在 BIM 資訊在的營運週期的再利用之外納入建物 IoT 的即時資訊以及透過 AI 方法論將建物的靜態、動態資料賦予建築運維上的價值。

貳、研究背景

本研究的三大技術領域分別為 BIM(Building Information Model)、IoT(Internet of Things)與 AI(Artificial Intelligence)。BIM 領域最早由美國發跡，於 2007 年起建築送審須提交 3D BIM 模型作為審查依據。美國建築師協會 AIA 於 2008 年提出全面以 BIM 為主，整合各項審查作業流程。之後先進國家紛紛跟進，將 BIM 納入公共工程的流程要件。陸續跟進的國家為英國、新加坡、丹麥、日本、中國、韓國與芬蘭。過內近年亦將 BIM 納入較大規模公共工程標案的要件。也有產業界積極投入 BIM 的開發與應用，包括物管業者、建築自動化(BA, building automation)業者與資通訊整合業者。

建築 IoT 的產業算是建築自動化(BA, Building Automation)的延伸。有別於建築有數十年甚至百年的生命週期，資通訊技術的生命週期可在一至三年內就更替一個世代。所以在許多建物在營建時期建置的資通訊系統在建物運營時期會遇到因資通訊技術汰換而無法維修或料件停產的窘境，而後裝

(Aftermarket installation)的建築 IoT 市場也因而興起。IoT 的特性是採用高度彈性的通訊元件與協定，如 4G、5G 及其下的窄頻服務(ex.NB-IoT)以及 WiFi、ZigBee、Bluetooth 等低功耗、易於佈建的通訊技術，搭配感測網路、控制器、影音通路等，並由行動裝置 App 將應用整合到隨時隨地可存取操作的情境。

IoT 技術與產品的後裝特性部分適應了建築生命週期內資通訊技術演化的問題，讓舊建築智慧化的門檻降低。所以近年 IoT 產品在建築領域有逐漸取代部分以 SCADA 實現 BA 的趨勢。

關於建築的 AI 技術現況，人工智慧的應用多是以影像辨識的型態利用在商用建築中，例如門禁的生物辨識、人流(crowd monitoring)/容留(accommodate)感測計數分析、電子圍籬(Electronic fence)等應用。常見的有利用集中式運算(centralized computing)或邊際運算(edge computing)的方式解決建築子系統的問題，鮮少有跨子系統數據整合的運用。而除了前述安防系統的利用外，能資源管理例如電力設備安全診斷、設備預知保養與耗能設備的效能優化都是近年建築領域 AI 較常見的產品方向。

本研究之目的為利用建物營建週期的重要數據資產 BIM，加上 IoT 技術整合建物運營週期設備數據、環境感測數據與控制資源，建立建物數位雙生的模型，再結合 AI 的手法將建築內的硬體設備的運維智慧化以達到降低人力投入、降低能資源成本與設備效能優化的綜效。

第二節 計畫流程

本計畫規劃研究步驟內容描述如下：

壹、研究方法設計與規劃(工作計畫)

研究方法計畫、WBS 與資源規劃，產出工作計畫書一份。

貳、場域接洽、場勘記錄、備料

接洽實驗場域並進行場勘。

產出場勘記錄、施工規劃並完成備料。

取得 BIM 模。

參、現場安裝測試、紀錄數據

進行設備現場安裝、測試及試車並開始記錄數據、建立基線。

期中報告

撰寫期中報告，報告內容包括上述工項步驟及成果佐證。

肆、展示環境及 BIM 圖台架設

BIM 模的輕量化及資料萃取，實作 BIM 圖台於瀏覽器環境。

伍、設備 AI 優化演算法開發

建立設備行為 AI 模型並利用現場資料進行模型訓練(model training)

陸、設備 AI 優化方法驗證

驗證設 AI 模型可優化設備效能。

柒、期末報告

舉辦成果發表會、教育訓練以及撰寫期末報告。

表 1 研究進度及預期完成之工作項目

月次 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	第 12 個 月
1. 研究方法設計與規劃(工作計畫)												
2. 場域接洽、場勘記錄、備料												
3. 現場安裝測試、紀錄數據												
4. 期中報告												
5. 展示環境及 BIM 圖台架設												
6. 設備 AI 優化演算法開發												
7. 設備 AI 優化方法驗證												
8. 期末報告												
預定進度(累積數)	4%	8%	20%	28%	44%	60%	68%	72%	80%	92%	96%	100%

資料來源：本計畫繪製

。

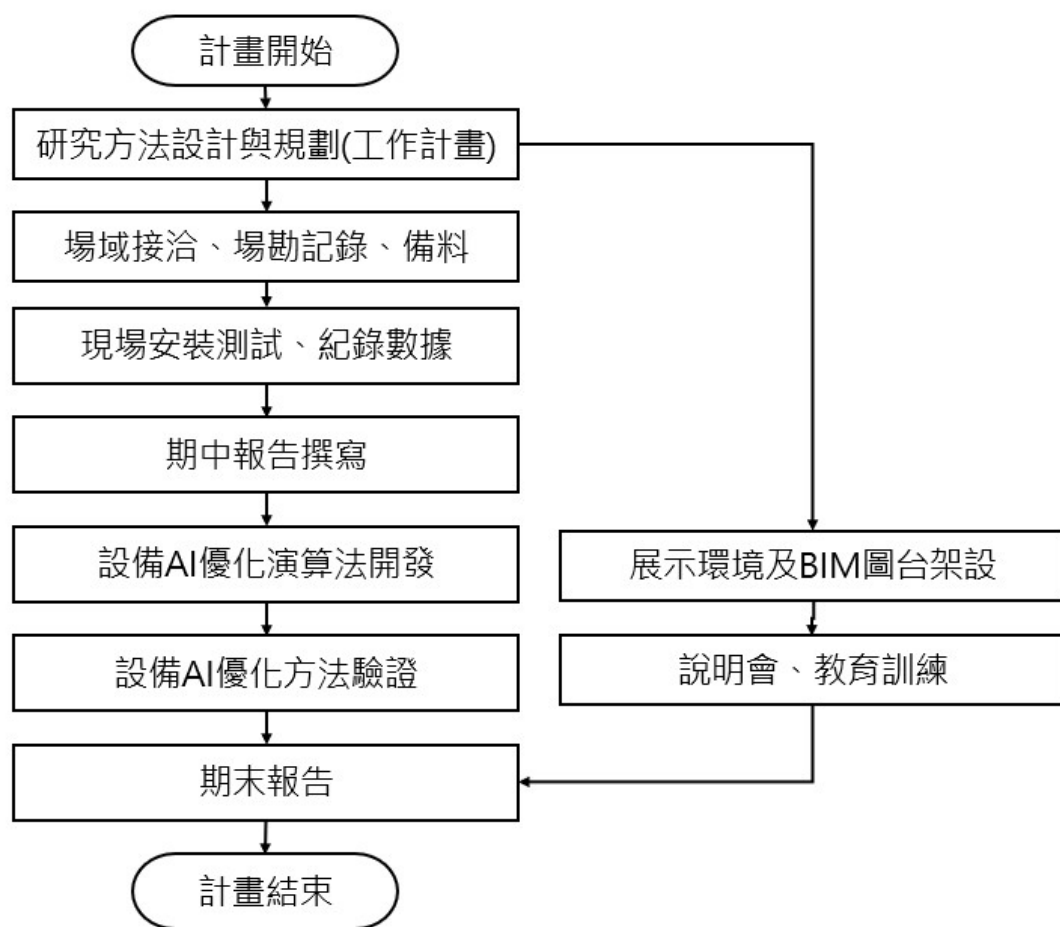


圖 1-1 計畫執行步驟作業流程圖

(資料來源：本計畫繪製)

第二章 文獻回顧

第一節 相關技術背景及現況

壹、數位雙生技術現況

數位雙生的概念最早是 David Gelernter 在 1990 出版的 Mirror World 一書中舉出以軟體複製物理世界的概念[15]。其後 Dr. Michael Grieves (現職佛州理工學院)在 2002 年提出實做的想法，但第一次實際的應用是在 2010 年 NASA 進行航太載具物理模擬的專案中與 NASA 的 John Vickers 的協作[14]。

數位雙生 (Digital Twin，簡稱 DT)，或譯作數位孿生、數位分身，指在資訊化平台內建立模型類比物理實體、流程或者系統，類似實體系統在資訊化平台中的雙胞胎。藉助於數位對映，可以在資訊化平台上了解物理實體的狀態，甚至可以對物理實體裡面預定義的介面元件進行控制。

如圖 2-1，以一個建築工程為例，左側是一個實體世界(Physical space)的建築工地在進行工程。我們將實體的工地資料蒐集起來，包括現場的空間尺寸、機具相對位置、建材尺寸、數量、材質、工法、工序、工班等細節，我們就可以用資訊手法建立一個如同實體世界的雙胞胎虛擬工地，如右側(Virtual space)。在這個虛擬工地裡，如果我們的運算資源足夠，我們可以模擬各種建材、工法、工序、機具的條件下進行工程。在模擬的過程中就可以得知怎樣的工法有比較低的成本、比較快的效率以及避免危險及衝突。

這些經由模擬後得知的優化資訊(Information)再反饋到實體的工地來改善現況。而實體世界的資料持續的餵給虛擬世界，持續的改善。

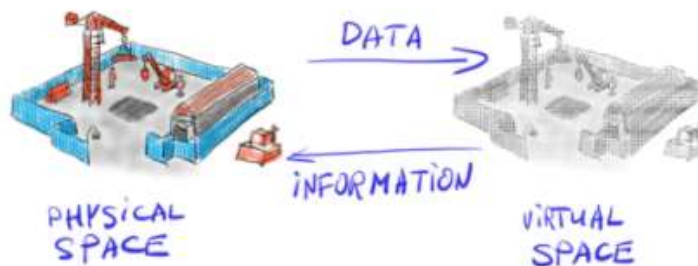


圖 2-1 數位雙生資料流(dataflow)示意圖

(資料來源: ICTHUB)

與過去傳統技術領域有明顯的差異，數位雙生同時具備了三點特徵，以下說明：

1. 跨場域：

數位雙生抄錄的數位複本不受時間、空間的限制，透過資訊網路可以遠端的複製、模擬、操作及回饋。有別於傳統的集中式的系統(Centralized)，會受限於單一系統的資源。

數位雙生可以遠端操作甚至可以將複本拆解發包給不同的運算供應來解決問題，再回饋給實體。例如工程的碰撞分析、工序最佳化及建材成本最佳化等運算可交由不同的雲端演算法供應商異地、同時來完成。

2. 即時性：

借助 IoT 及各式異質感測技術，賦予數位雙生得以盡可能的與實體同步。過去的建築設計或工程模擬多是離線式(offline)的模擬。例如過去建築物在設計階段會借助靜態的 3D 模型進行如室外的全年日照模擬，了解建物的熱源、採光或是太陽光電的條件。但這是在靜態的模上面進行的模擬，當建物完工在使用後這些模便失去實際價值。

數位雙生可沿用靜態的幾何模型輔以實際的日照感測值、外氣溫度、室內溫度、製冷裝置負載及相關參數。在建物營運時可以即時得知不管是空調提升能源效率的方向、太陽光電的發電效率、設備異常診斷等事件，達到有效的改善或準確維養。

3. 立體化：

數位雙生將實體立體化提供了與使用者的高互動性。例如建築物報修過程中，過去用戶可能透過電話或到櫃檯口述報修標的位置或外型，這其實很難轉化成一個具體可確認的流程進一步來執行。數位雙生可透過幾何模型的外觀及位置來確認維修標的。不論是用戶自行在 APP 的 3D 模中找到待修物件或是櫃台人員操作 3D 畫面與用戶確認，一旦標的確認，系統可利用 3D 物件的 ID 立刻關聯該物件的規格、即時運轉參數、維修履歷、供應商或維保單位聯繫方式等資訊，並同步開立報修單或追蹤單。

另一個情境是維修人員若不熟悉設備位置也可由 3D 模說明其位置或外型。另外，數位雙生在建築中也可提供導覽或是防災逃生路線規劃等功能的架構。

研究指出[19]，數位雙生的技術架構與元素亦有其相關性及階層型(如 2-2 圖)最下層為實體層，也就是真實世界包含的元素。除了實體本身，還需要建構感測器、控制器(Achurate)及實體工作人員、工具、機具等。中層為提供模型的架構，整合了實體資料與虛擬模型，並提供視覺化、優化、模擬、預測、繪圖引擎等演算法或軟體工具來支援上層的各式服務。最上層即為服務層，舉凡視覺化界面、自動控制服務、效能提升與成本降低等實務面服務等，藉由中間層的提供的數據成果來支撐。

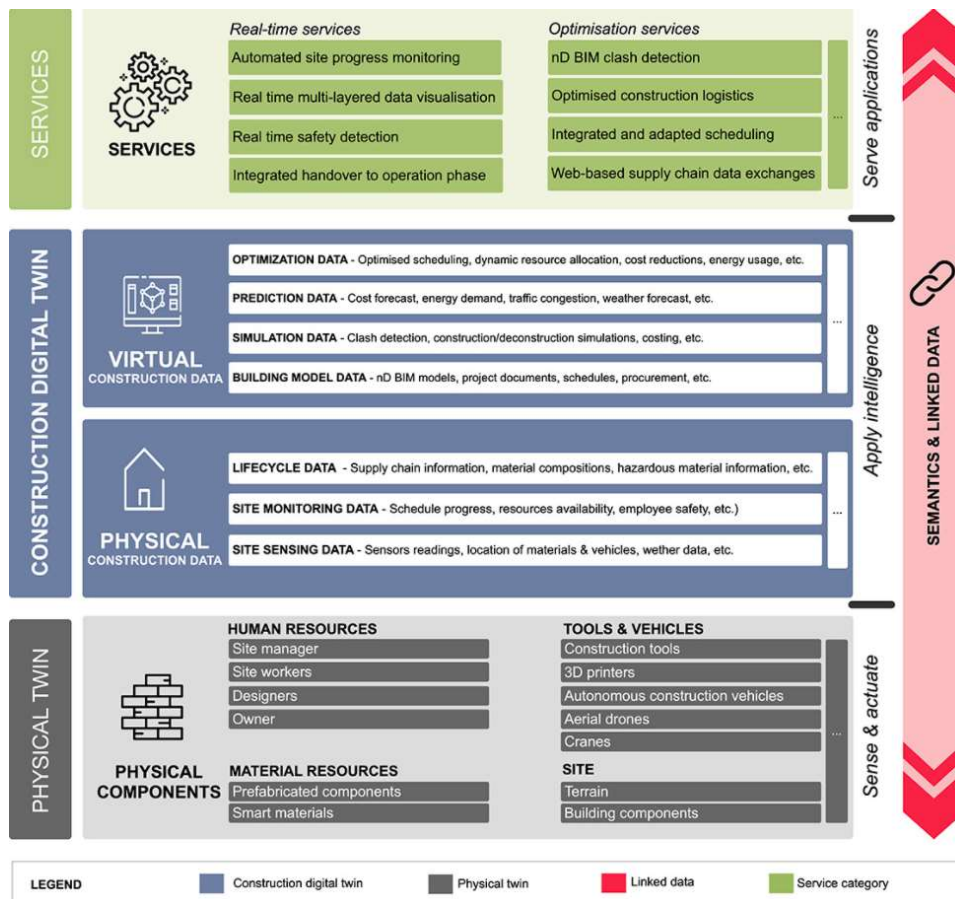


圖 2-2 數位雙生技術及應用架構示意圖

(資料來源：Science Direct)

貳、建築資訊模型(BIM)圖台技術現況

BIM 模的 3D 檢視一直是 BIM 應用、可視化的重要議題。也因為 BIM 模的檔案格式標準、版本及龐大的資料量一直使得 BIM 的推廣應用有很大的瓶頸。

據文獻調查了解 BIM 模在國際間有相當多種的檔案格式，例如 3D DWF、3DS、BCF、BIMx、DWF(DWFx)、IFC、NWC (NWD)、PLN/PLA、RVT、SMC 以及 Vectorworks...等資料(檔案)格式[1]，加上各格式/軟體版本的差異使格式種類更龐雜。應用端很難實作一套兼容並蓄的系統可以解析各種格式。目前折衷的方式是選擇占比最高、轉檔支援也最高的 IFC 作為首要的標的，來整合 BIM 模 3D 瀏覽的功能。

BIM 的瀏覽架構亦是要探討的另一課題。目前各式應用軟體系統的樣態已經從上個世紀應用軟體都在個人電腦、主機、終端機上執行的模式，進展到這十年應用軟體都在瀏覽器、平板、手機上的樣態。所以單機應用程式

的應用將被侷限在 BIM 編輯器的應用範圍。主流的應用必須具備低安裝(使用瀏覽器)、低設定、跨平台(作業系統)、行動化的特性。在便利性提升的需求下，便衍伸出對應的技術問題。尤其像 BIM 這種大量 3D 元件顯示的運算上，需要考量資料傳輸量與行動裝置運算能力(computing power)等資源。

目前市場上支援以上需求的瀏覽器 BIM 圖台也有幾項選擇，如 Autodesk 的 Forge[12]平台、Unity 的 Unity Reflect[13]解決方案、XeoLabs 的 XeoKits SDK[9][10][11]等。

其中 Forge 的架構是需要將 BIM 模上傳至 Forge 雲端，每次上傳 BIM 模會依 BIM 模的大小會有費用發生，但瀏覽器連上雲端檢視 BIM 模就不需額外付費，Forge 提供了瀏覽器端以 JavaScript 為主的 SDK 以及 API 供開發方運用，開發有彈性、技術支援也完整。

Unity 過去的主力是 Unity 的 3D VR/AR 開發環境，主打 3D 遊戲中 AR/VR 的渲染。後來推出的 Unity Reflect 則是以 BIM 的應用為標的的開發環境，可以將 AutoDesk Revit、BIM 360、Navaworks、SketchUp、Rhino 的模型導入 AR/VR 的運用，開發的教學資源應用相當豐富。

XeoKit 是由 XeoLabs 提出的開源(Open Source)方案，與 Forge 類似提供 JavaScript 的 SDK 以及 API，但 XeoKit 的伺服器可自建且獨立運作(Stand alone)，不用像 Forge 必須上傳雲端且須付費，可以符合實務上一些有資安需求的應用、封閉環境以及單機需求。本計畫選擇開源的 XeoKit 作為瀏覽器 3D BIM 圖台的基底。即是由於 XeoKit 具有開發彈性與可自建伺服器的這兩個實務上的重要特性。

參、人工智慧(AI)技術現況

AI 在 1950 年代已已經被提出，至今有三次高峰期。第一次就是 1950 年代，當時計算機(computer)技術剛興起，圖靈(Alan Mathison Turing)即提出人工智慧及驗證人工智慧的著名方法-圖靈測試(Turing Test)。當時的人工智慧標準相當高，企圖用機器完成人類所能做的所有智慧行為，包含自然語言、判斷、推理等能力。礙於目標太過遠大，計算機的技術也落後與昂貴，這一波的人工智慧風潮也就停止了。

第二波的人工智慧始於 1970 年代，當時計算機技術以有小成，科學家便將人工智慧用於處理人類已知問題及已知解法的用途，企圖蒐集大量的問

題及解法來組織人工智慧。但人類要解決的問題太多，除非限縮領域，這類的人工智慧很難達到預期的功效。第二波的風潮也慢慢降溫，但也不算失敗。這波投入產出了專家系統(Expert System)與規則庫(Rule base)、規則引擎(Rule engine) 等技術，這些技術時至今日還是很有實用價值。

第三波的人工智慧可依說是始於 1997 年 5 月 11 日，深藍(Deep Blue)成為戰勝西洋棋世界冠軍卡斯帕羅夫(Garry Kimovich Kasparov)的第一個計算機系統。嚴個說起來，應該算是摩爾定律(Moore's law)已經將計算機的算力(computing power)帶到另一個領域，使得某些特定範圍的問題可以快速的利用窮舉取得最佳化。

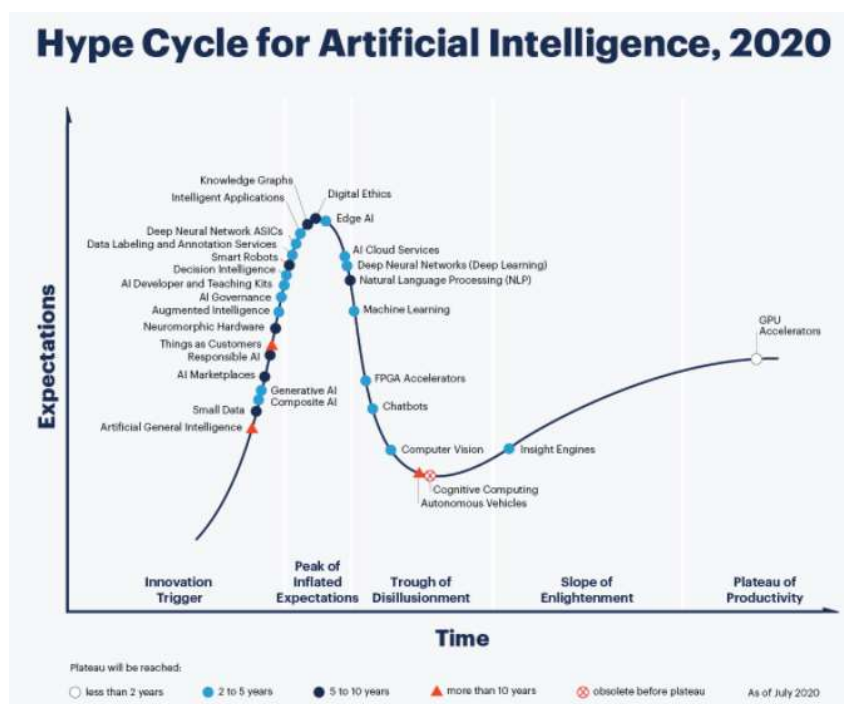
另外，過去許多運算需求量龐大的類神經網路(Artificial Neural Network)運算都可以用單晶片的低成本完成，於是過去兩波熱潮的研究成果有了產業價值，也都拜半導體製程進步之賜。但第三波的人工智慧就比過去的目標來得踏實，這一波的標的是重在利用機器學習(Machine Learning)解決已知問題，著重在領域知識(Domain knowledge)結合機器學習方法。不像早期的人工智慧目標是企圖取代人類思考，近十年的人工智慧比過去踏實許多，例如影像辨識的運用、語音辨識的運用等都已經有其產業價值。

近代的人工智慧演算法可以依照用來訓練的力是資料有沒有標準答案將演算法分為兩大類，就是監督式學習(Supervised Learning)與非監督式學習(Unsupervised Learning)兩種。監督式學習演算法包含統計上的線性迴歸(Linear Regression)、非線性迴歸(Non-linear Regression)、邏輯迴歸(Logistic Regression)、決策樹(Decision Tree)、隨機森林法(Random Forest)、貝氏分類(Bayes's Theorem Classification)、最近鄰居法(KNN)、支持向量機(Support Vector Machine)等。非監督式學習則如 K-平均分類法(K-means Clustering)。近來熱門的名詞”深度學習”(Deep Learning)則是採用捲積神經網路(Convolution Neural Network, CNN)，模擬多層的神經元，在物件識別的能力上有不錯的成效。[18]

人工智慧議題在最近十年相當熱門，資本市場也投入相當多的研發資源。但成熟又具有合理商業模式的 AI 卻有限。依據 Gartner 智庫的 Hypr cycle 理論，一個新興技術在生命週期上會經歷研發、推廣的研發啟動期(innovation trigger)、預期膨脹高峰期(Peak of inflated expectation)、幻滅期(Through of Disillusionment)與量產平原期(Plateau of Productivity)，如下圖即

Gartner 對世界 AI 項目技術的調查分析。多數的 AI 技術項目都還沒熬過前面三個時期成為成熟穩定的商品。從需求市場面來看，許多實務上的需求端無法支付相對應 AI 解決方案的代價、或 AI 提供了品質過剩的商品以及需求端根本沒有使用 AI 產品的動機，這些都是 AI 應用難以普及的障礙。

圖 2-3 2020 年 AI 技術的 Hype Cycle 示意圖



(資料來源:Gartner)

本計畫除了朝向 AI 技術開發外，亦期許同時 AI 技術可以在實際市場上具有商業價值，故選擇建築中最大耗能占比的設備作為研究改善的標的。空調系統節能一直是具有誘因有具有技術門檻的領域。依據文獻調查，過去學術單位的學理上可透過調整冰水系統負載率來做到節能[5]，但沒有闡明方法論與演算法，若要在資通訊系統上實作可能只能用試誤法(Try & error)來設計系統，在最佳化的過程會顯得沒有效率或是難以收斂。

肆、物聯網(IoT)技術現況

IoT(Internet of Thing)稱作物聯網，是讓資訊化的物件透過網路將其感測資訊及控制能力遠端化、即時化以及物與物的溝通的技術手法。IoT 的技術與數位雙生密不可分之處在於他實現了實體物件在任何時間(Anytime)、任何地點(Anywhere)都可以掌握的特性，且拜無線網路技術演進與成本降低

之賜，近年的 4G、5G、WiFi(IEEE 802.11x)、NB-IoT(Narrow Band Internet of Thing)、藍芽(bluetooth)、LoRa(Long Range Wireless)、ZigBee 等技術演進與普及化的成本，讓 IoT 技術提升了需多傳統產業的技術型態，例如智慧家庭(Smart Home)、智慧工廠(Smart Factory)、智慧電網(Smart Grid)以及智慧建築(Smart Building)。IoT 的運用與技術廣泛且標準龐雜，本研究將不贅述 IoT 的歷史與現況，僅將在第三章計畫執行與成果中描述本案採用之 IoT 技術及執行方法。

第二節 相關技術案例調查

數位雙生在學術上的研究遠不如實際案例來得多，而且實際案例已經滲入生活中各種領域。不論是政府的公共事務或是個人生活行為都已經充斥著數位雙生的時機應用。以下針對幾個案例介紹其輪廓及其成效。

數位雙生較知名的案例是虛擬新加坡(Virtual Singapore)這個計畫。虛擬新加坡包括 3D 建模，其中包含詳細的物件屬性，例如幾何元件的紋理、材料；地形屬性，例如水體、植被、交通基礎設施等。建築物模型對幾何結構以及設施的組件（例如牆壁、地板和天花板）進行編碼，強調其細節，如在組合中建築材料中的花崗岩、沙子和石頭。

虛擬新加坡基於從各個公共機構收集的幾何和圖像數據進行開發，並將整合不同的數據源，用必要的動態數據本體來描述城市。通過 OneMap、People Hub、Business Hub 等現有幾何空間和幾何空間平台協調的 2D 數據來支援 3D 新加坡城市模型。並融入不同來源的靜態、動態和即時城市數據和訊號，例如人口統計、交通、氣候。透過全新加坡地貌及建物的全面 3D 建模，提供一個幾何的數位雙生來協助公共項目規畫決策。

例如：電信基地台的布建決策：可透過數位雙生計算最佳通訊涵蓋下的最佳成本。太陽能設備佈建決策：計算最佳日照角以及避免遮蔽的 PV 佈建方式，產生最大發電效益。都市安全決策：在都市發生衝突事件時人流疏散計畫。其他如車流模擬、建立最佳公營車輛路徑以及基礎建設設置點模擬等。



圖 2-4 虛擬新加坡提供都市規劃示意圖

(資料來源: Singapore nation research foundation)



圖 2-5 虛擬新加坡提供太陽能發電潛力分析

(資料來源: Singapore nation research foundation)

數位雙生不只在公部門提供有利的規劃工具，也有很多產業利用數位雙生的方法進行商業模式上的創新。

以睿能新動力股份有限公司的 Gogoro 品牌電動機車為例，當電動機車在每一次換電池時，電池便將電動機車的里程、車速統計、耗電量、換電池頻率、換電池地點等資訊藉由電池交換站的通訊傳回資料中心，這便是 IoT 建立複本的手法。此時數位雙生不單是建立機車的模型，還建立了使用者騎乘行為及體驗的模型。Gogoro 可以用這模型知道很多事情，例如哪一個型號、哪一批的馬達效能最好？那些車性能下降了？那些車該維修要用 APP 通知客戶了？這些體驗跟服務都是過去傳統機車產業無法提供的。

	Gogoro 電動機車	傳統機車
		
	利用數位雙生的模式	傳統模式
獲利模式	機車是生財工具，換電服務是獲利模式	機車是商品，一次性獲利。
故障診斷	透過換電將機車運行數據回傳數據中心，可以遠端得知每台車的使用行為及車況，提供精準維保服務(APP推播)。	定期維修或壞了再修。
優化	不同車種、用料與運轉效能分析(公里/度)(維修次數/年)可提供未來產品設計決策。	難以取得運轉數據回饋。
遠端存取	數據中心可遠端存取數據加以運用。	只有接觸到實體才能了解車況。

圖 2-6 應用數位雙生的產業與傳產案例比較

(資料來源：本計畫繪製)

另外有許多數位雙生的實力其實已經在我們生活周遭，以下簡要說明。

Google Maps：

Google Maps 有別於傳統導航系統僅建立道路圖資。Google 利用廣大的 Android 行動裝置擷取每個使用者的座標、移動速度、密度等資訊。這些即時的 IoT 資訊不斷的更新在 Google Maps 的圖資模型上，讓 Google Maps 的模型不但有幾何資訊，還有即時車速、車流等路況資訊，讓系統在規劃行車路徑時有更精確的數據依據可以避開壅塞與預估到達時間。

Tesla：

特斯拉的汽車跟前述 Gogoro 電動機車有類似數位雙生架構。更進一步的是特斯拉提供了比 Gogoro 電動機車更即時的 IoT 架構，也就是直接可將車內的感測器資訊透過公共無線網路直接回傳給數據中心。基於這個架構，特斯拉提供了遠端診斷的功能，即使特斯拉電動車停在使用者的車庫，原廠也可透過遠端診斷 90% 的異常狀況，減少回廠檢修的次數、車程、時間與車主的不便，提供給使用者不一樣的服務體驗。數據中心紀錄的數據歷程也提供未來車輛設計優化的依據。

Rolls-Royce：

英國勞斯萊斯的(飛機)引擎健康管理部門(Engine Health Management)，全年無休的透過 IoT 監控安裝在全球近一百家航空公司客機上的數千具勞斯萊斯引擎。這些引擎，每具都安裝有數十個關鍵數據的感測器，隨時收集轉速、溫度、震動、油壓等各種運轉數據，並透過衛星通訊回傳至德比(Derby)的監控中心，進行即時分析，和其他幾千具引擎的資料做分析比對，檢視引擎是否正常運轉與異常預警，透過數位雙生維持引擎高度的性能、燃油效率與運轉可靠度。

在國內業界，台積電過去曾對其製程用空調利用 AI 技術進行規模性的改善措施[2][7]，並在國內申請專利獲證[8]。台積電所利用的 AI 方法是基於冰水系統在各不同溫度時各設備用電量分布的學習與最佳化(如圖 2-7)，節能控制程式會依照不同的冰水溫度、冷卻水溫差及冷卻水溫度自動運算總耗電量，在不同的外氣狀況與現場負載隨時變動下，自動回饋並即時修正最佳設定溫度。冰水主機及附屬設備依據此溫度，設定運轉於最佳節能控制點，節能效益可達 8~17%。不過此系統是包含了冰水系統及冷卻水系統連動，複雜度與技術門檻較高，設備與建置的投入也較高，較適合已有完備自動控制系統的製程設備。

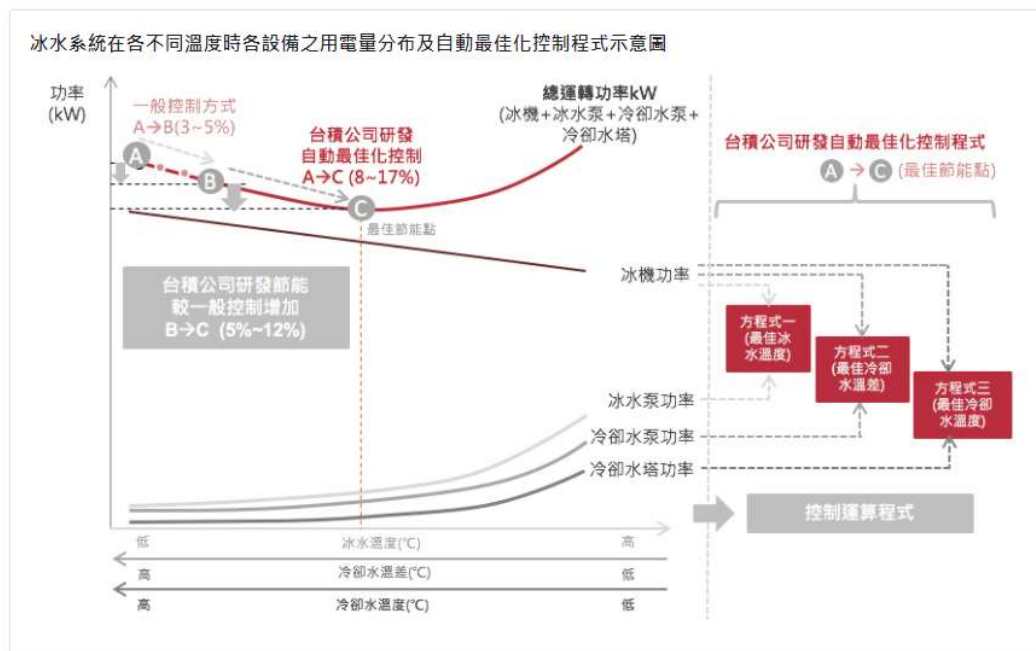


圖 2-7 台積電冰水系統節能技術示意圖

第三章 數位雙生案場實驗執行內容及成果

本研究的研究方法論採用實驗法，包含以下步驟。下列 6 個步驟：(1)確定研究問題，(2)陳述研究假設，(3)設計實驗進程，(4)確定研究對象，(5)建構實驗環境，(6)實驗觀察及驗證分析，以下分節說明。

第一節 研究問題

基於本研究需求針對數位雙生的方法，結合 BIM、人工智慧與物聯網技術對建築的營運管理績效是否能有效提升提出佐證，並經由實驗國城及結果探討其可行性。

第二節 研究假設

假設以建築內的耗能設備為例施作結合 BIM、人工智慧與物聯網技術的數位雙生應用情境是可行且具有效益的(可改善且可驗證)。

第三節 設計實驗進程

本研究之實驗進程包含數位雙生軟體(AI、BIM)的建置、現場硬體設置(IoT)、整合測試及實驗效益驗證分析。

第四節 確認研究對象

本計畫於 3 月拜訪新北市政府新建工程處說明本計畫欲進行之研究項目並獲得新北市新工處李仲昀總工程司支持，同意提供新北市新工處所在的建築為實驗場域。

該建築為新北藝文綜合大樓(以下簡稱實驗案場)，位於樹林區樹新路 40 之 7 號，為一地下三層地上七層之綜合功能建築。建物地下一至三層為停車場、地面一至二層為衛生所、地面三至四層為公有圖書館、地面五至七層為新北市新工處辦公室。樓地板面積為 21,204 平方米，建造始於 105 年 9 月 1 日，完工於 108 年 3 月 31 日。

在實驗案場選址過程當中曾拜訪多處公有住宅及其所屬單位，包含住宅、運動中心以及民間住宅。最終選定樹林藝文中心的考量包含如下：

- 一、該中心為一綜合使用功能的建物，較複雜的使用行為可以彰顯

系統改善的強度。

二、該中心有完整的 BIM 模，因為本計畫並不包含建模，所以案場有完整的 BIM 模相當重要。

三、該中心管理單位(新北市新工處)對建物的智慧化有高度的興趣與要求，在研究的過程當中會有良性互動。

基於以上因素選定此場域作為試驗案場。



圖 3-1 新北藝文綜合大樓外觀

(資料來源：現場拍攝)

實驗案場已建置有 BA 弱電自動化與 BIM 模瀏覽操作介面，弱電部分由辰洸科技股份有限公司承製，BIM 模瀏覽操作介面由探視空間科技股份有限公司承製，BA 系統與 BIM 操作介面已有相當程度的整合與應用。目前已有對各樓層冷氣用量的分析(BTU 統計)與空調箱啟閉時間最佳化等實績。

本計畫的標的為銜接建物內重要設備動態資料以建立數位雙生模型，即實驗案場案場中空調系統中之重要設備-冰水主機。

冰水主機位於實驗案場地下一層，現場有兩台鑫國螺旋式冰水主機冰水側併聯運轉，兩台規格上的製冷能力都是 250 冷凍噸(75,600 kCal/Hr)，每台滿載耗能約 180kW。現場如圖 3-2。



圖 3-2 實驗場域螺旋式冰水主機外觀

(資料來源：現場拍攝)

鑫國空調設備股份有限公司			
桃園市平鎮區平鎮工業區工業11路1之1號 TEL:03-4695050			
型號	SN-250D	冷房能力	756,000 KCAL/Hr
機型	SN-250DD-F-134	暖房能力	**** KW
機號	S1070407	電 源	3 ϕ 380V*60HZ
壓縮機	RC2-550A*2	消耗電力	179 KW
冷媒	R-134a*266 KG	運轉電流	305 A
冷凍油	HBR-B08	額定電流	438 A
製造重量	4,700 KG	啓動電流	1,252 A
製造日期	2018 年 05 月	C O P	: 4.91

圖 3-3 實驗場域冰水主機銘板

(資料來源：現場拍攝)

冰水主機的供電在冰水主機機房的電力盤中。冰水主機由三相四線 (3P4W)380V/220V 迴路供電，供給兩台冰水主機的電力源頭來自兩枚 NFB 斷路器，皆為 600A。現場已安裝兩只數位電表，如圖 3-4。



圖 3-4 實驗場域冰水主機斷路器

(資料來源：現場拍攝)

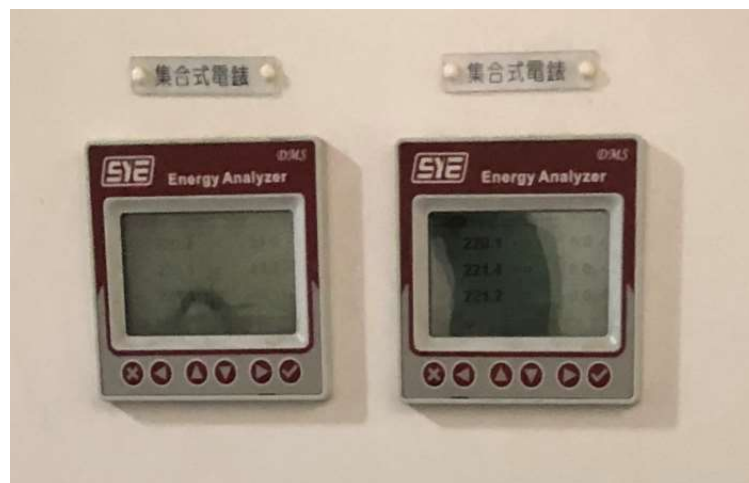


圖 3-5 實驗場域冰水主機斷路器

(資料來源：現場拍攝)

冰水主機冰水側水管已安裝 BTU 計，採用管外超音波流量計輔以貼片式溫度感測器量測冰水進出水溫。



圖 3-6 實驗場域 BTU 計外觀

(資料來源：現場拍攝)

以上設備之資訊(包含兩組冰水主機電力、冰水出水水溫、冰水回水水溫、冰水流速、冰水流量)皆已接回中控室 SCADA，可透過 SCADA 監控中央空調系統各項運轉參數。



圖 3-7 SCADA 操作介面

(資料來源：現場拍攝)

第五節 建構實驗環境

壹、物聯網架構建置

原期初規劃感測裝置皆由本計畫提供裝置安裝，安裝的方式設備清單如下圖。經實驗案場勘後改採與既有 SCADA 資訊介接方式。透過 Modbus-TCP 方式將既有資料以每分鐘一筆的頻率擷取至資料平台。

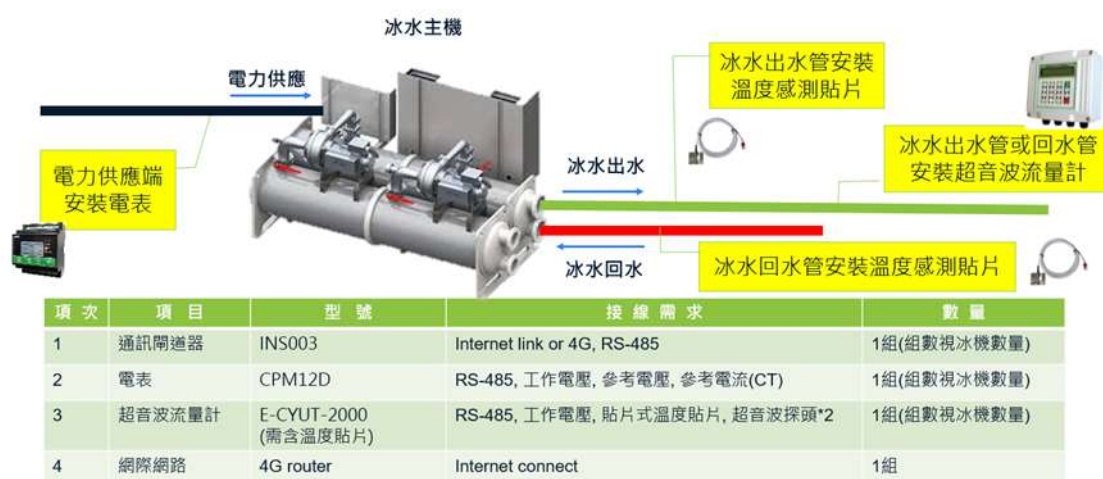


圖 3-8 冰水主機感控設備安裝方式

(資料來源：本計畫繪製)

規劃介接之資料點位如表 3-1。目前銜接之資料點位包含兩台冰水主機之感測與控制資料點。

表 3-1 冰機感控資料點列表

項次	項目	單位	屬性	備註
1	一號冰水主機啟閉狀態	ON/OFF	R	每分鐘一筆
2	一號冰水主機用電功率	kW	R	每分鐘一筆
3	一號冰水主機用電累積度數	kWh	R	每分鐘一筆
4	一號冰水主機冰水出水溫度	°C	R	每分鐘一筆
5	一號冰水主機冰水回水溫度	°C	R	每分鐘一筆
6	一號冰水主機冰水流速	m ³ /h	R	每分鐘一筆
7	一號冰水主機冰水累積流量	m ³	R	每分鐘一筆
8	一號冰水主機冰水出水溫度設定值	°C	R/W	每分鐘一筆
9	二號冰水主機啟閉狀態	ON/OFF	R	每分鐘一筆
10	二號冰水主機用電功率	kW	R	每分鐘一筆
11	二號冰水主機用電累積度數	kWh	R	每分鐘一筆
12	二號冰水主機冰水出水溫度	°C	R	每分鐘一筆

13	二號冰水主機冰水回水溫度	°C	R	每分鐘一筆
14	二號冰水主機冰水流速	m ³ /h	R	每分鐘一筆
15	二號冰水主機冰水累積流量	m ³	R	每分鐘一筆
16	二號冰水主機冰水出水溫度設定值	°C	R/W	每分鐘一筆

(資料來源：本計畫繪製)

此外，因實驗場域與中央氣象局板橋觀測站間的距離約在 1.5 公里內，故外氣溫濕度資料擬採用中央氣象局板橋觀測站之歷時數據，圖 3-9 為板橋觀測站與本實驗案場距離量測圖。



圖 3-9 板橋觀測站與本實驗場域距離量測

(資料來源: Google Maps)

計畫執行單位的技術專長即為提供 AIoT 的平台服務。如圖 3-10，資料平台提供既有裝置管理、帳號權限管理、場域管理以及資料繪圖分析等 IoT 平台功能。AI 學習功能亦將建置在此平台上。本平台建置案場已逾 500 處，包含工廠、醫院、學校、辦公大樓、園區、路燈等各式場域。透過多功能開道器銜接現場的各式感測器、控制器在開道器端執行邊際運算或由雲端進行規則引擎、AI 模組運算，依不同案場需求組合成各式加值應用。

本平台建構在微軟 Azure 的雲端服務上，具有高度的可靠度。另 IoT 架構的設計上也有各項提高可靠度的技術，例如 IoT 開道器在網路斷線時可儲存現場資訊待網路恢復連線時可排程補傳回 IoT 平台、網路斷線時也有通報機制提醒維護端進行診斷與修復。

IoT 閘道器採彈性設計，目前已可銜接國內外各式電表、感測器、控制器等設備逾 400 種型號，並支援多領域傳輸協定如電力的 DNP3、IEC-61850、空調的 BACnet、自動控制的 Modbus。並具有有線網路(RJ-45)、無線網路(WiFi a/b/g/n/ac)、4G、NB-IoT 等多種傳輸管道適應不同場域的通訊現況。

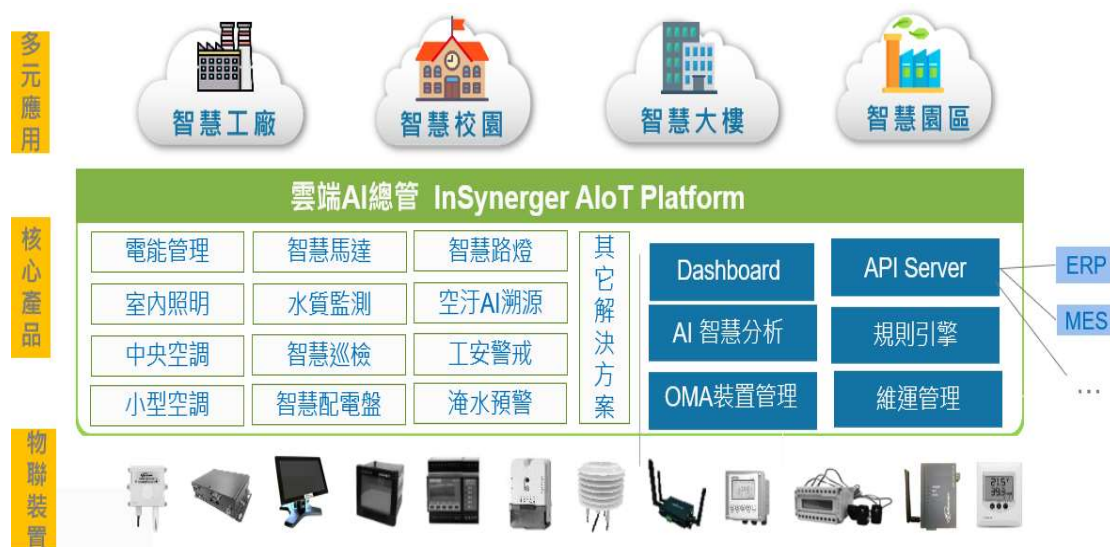


圖 3-10 計畫執行單位 IoT 平台系統架構

（資料來源：本計畫繪製）

本案 IoT 架構如圖 3-11，平台利用 IoT 通訊閘道器自現場 SCADA 每分鐘擷取各項感測與控制狀態資訊，透過 4G 網路送回 IoT 雲端平台，並記錄於關聯式資料庫中(PostgreSQL)。



圖 3-11 本計畫系統通訊架構

(資料來源：本計畫繪製)

現場安裝之通訊閘道器設置於 B2F 中控室辦公桌，如圖 3-12。

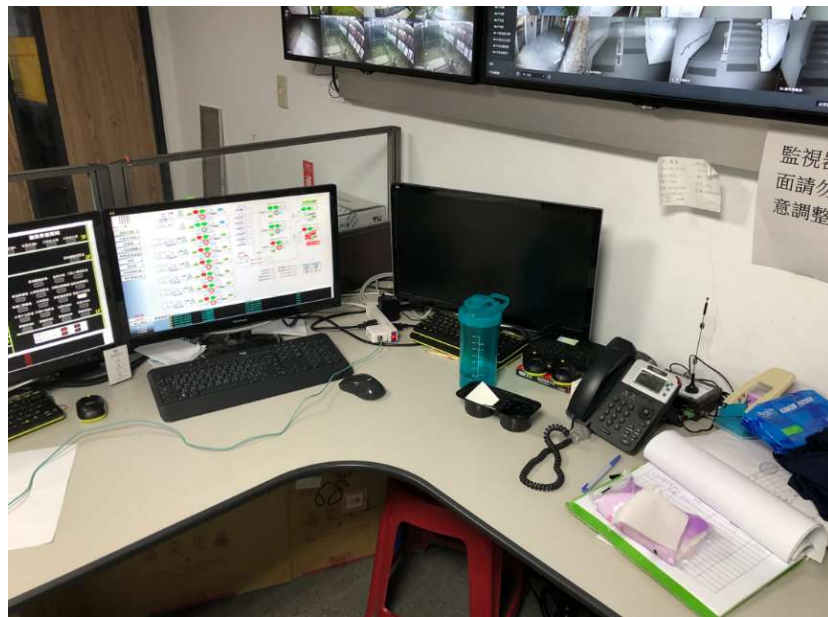


圖 3-12 現場安裝之通訊閘道器

(資料來源：現場拍攝)



圖 3-13 現場安裝之通訊閘道器

(資料來源: 現場拍攝)

通訊閘道器對設備端透過乙太網路與現場 SCADA 介接，採用 Modbus-TCP 的通訊協定擷取每分鐘設備的資訊。通訊閘道器備有 4G 通訊界面，每分鐘將資料透過網際網路傳往雲端主機。閘道器本身也會備份資料，當網際網路斷線時閘道器有能力備份一個月以上的資料量，當網路恢復連線時會將資料自動補傳。

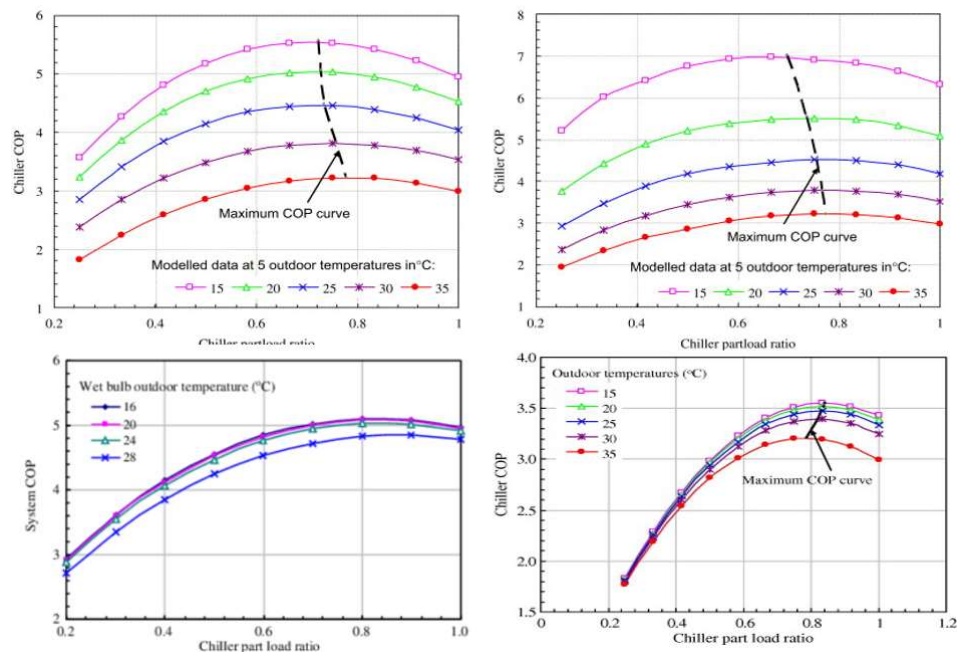
貳、人工智慧演算方式

數位雙生的精神是利用現場數據來建立數位的模型，在不碰觸實體的情況下可以(遠端的)監測、診斷、分析及改善實體的功能或效能以達到數位雙生的價值。本計畫以蒐集建物冰水主機的數據及 AI 運算為數位雙生的功效演示與可行性的評估研究。

冰水主機普遍是建築物內的重要耗能設備，冰水主機出廠前都會有效能的量測驗證(M&V)，在標準的測試環境下得知該冰水主機的效能參數(EER or COP)。但即便是相同規格型號的冰水主機，出廠後安裝至現場，配搭不同的冷卻水系統、冰水系統、氣側系統、負載狀態甚至外氣、機房條件都截然不同，其效能表現也會與出廠前的量測產生相當大的差異。本研究即是利用 AI 機器學習技術學習冰水主機現場的效能與操作行為間的關係模型，再從模型中追蹤冰水主機最佳效能的操作點。

圖 3-14 中的四張圖表分別來自於四台不同冰水主機的量測數據，圖的橫軸是負載率(load ratio)，縱軸是冰機系統的效能係數(COP，Coefficient of

Performance), COP 越大表示效能越好。圖中不同曲線代表在不同外氣溫度



(outdoor temperature)下的效能表現。

圖 3-14 不同冰水主機的效能曲線

(資料來源: ASHRAE)

從這幾個特性曲線可以看出來每一台冰水主機的效能表現間都有不少的差異。個別冰機在不同外氣環境下的效能也有差異。以上方的兩張圖為例，虛線部分即代表在不同外氣溫度下，該冰水主機效能最佳的負載率操作點，兩圖的冰水主機的虛線也具有不一樣的行為。

本案即利用前述 IoT 手法將冰水主機的效能、負載率以及外氣溫度的數據於實際運轉時段蒐集至資料庫，然後利用 AI 手法經由資料清洗(Data washing)、機器學習(建模)(Machine learning or model training)、並利用建立的 AI 模型追蹤出冰機操作中的效能最佳操作點。

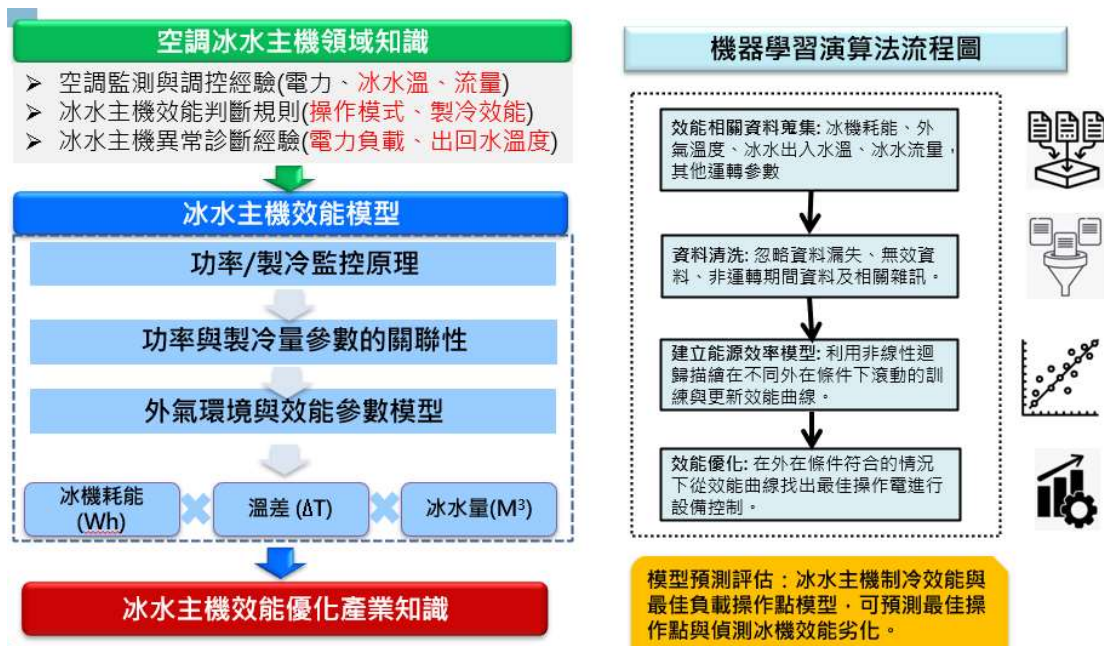


圖 3-15 本研究系統 AI 方法流程圖

(資料來源: 本計畫繪製)

本研究系統 AI 流程如上圖右側, 首先 IoT 平台擷取現場即時資料, 將資料紀錄於資料庫中。接下來透過資料清洗將不可用的資料剔除以避免資料在機器學習時讓模型發散或錯誤。最後將訓練模型中效能最佳點選出, 以利系統下次遇到相同條件時可預測最佳操作點。

在資料清洗的方法上首先會依操作狀態來刪除非穩態的資料以去除雜訊 (noise reduction), 例如排除冰水主機關機時段、開機後的五分鐘、冰水出入水溫度不合理的值、用電量不穩定、用電量太高、用電量太低、COP 不在合理範圍等資料, 並且將跳動大(如感測器錯誤或漏值)的資料以移動平均(moving average)的方式平滑化, 例如外氣溫度這樣穩定的物理量, 以避免在機器學習時模型收斂在錯誤的區間或發散。這些資料清洗的方式都採用自動處理避免繁複的人工介入, 如圖 3-15 即為自動資料清洗的設定頁, 儲存設定後感測資料即會今或清洗後才會進入訓練模型。

模型設定

AI模型訓練期間(最多31天)

☐ 固定期間 開始時間: [] ~ 結束時間: []

☒ 滾動期間 自當下回溯 15 日

資料清洗方法

* 模型樣本數下限 30 筆

☒ 僅採用冰水出入水溫 7 °C ~ 9 °C 的樣本

☒ 僅採用負載率 5 % ~ 100 % 的樣本

☐ 周末不列入模型樣本

☒ 每日模型數據取樣時段(小時)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

AI模型試算/繪圖
(資料較多, 請耐心等待。)

圖 3-16 本研究系統資料清洗方法設定

(資料來源: 本計畫繪製)

如上圖,本研究系統實作的資料清洗方式包含了過濾樣本數不足的資料集、刪去不需要的出水溫度資料集、刪去不穩定附載的資料集、刪去假日的樣本以及刪去非上班時間的資料集。以上各設定的區間可視現場狀況調整,存檔後即利用該條件組合來清洗該冰水主機的資料,在進一步進行模型的訓練。

機器學習部分依效能曲線的型態為二次方程曲線,故選擇非線性迴歸(Nonlinear Regression)或稱曲線擬合(Curve Fitting)來作為冰水主機的效能模型的建模方法。以 COP、負載率(負載控制點)、外氣溫度為 AI 模型的輸入。因為冰水主機下達控制命令到製冷效能變化之間的時間延遲會因系統規模、冰水循環時間、熱交換效率、外氣熱傳導時間等延遲,故以每半小時至一小時的均值為一樣本以排除誤差。學習過程中在不同外氣溫度下透過手動或自動調整負載率來取得樣本以完善樣本的分布。

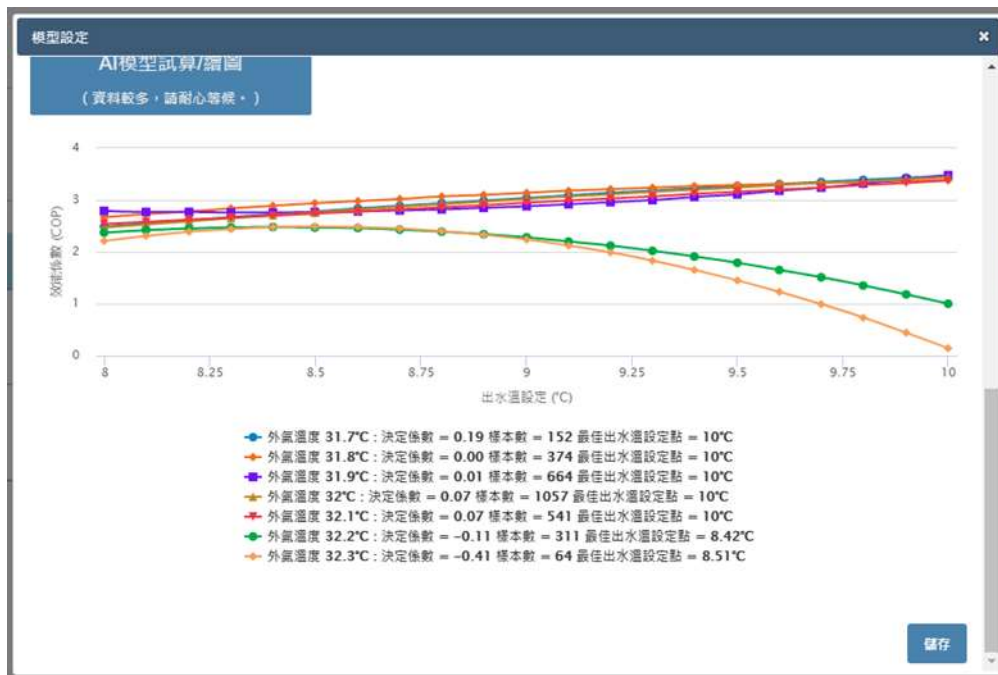


圖 3-17 本研究系統資料清洗方法設定

(資料來源: 本計畫繪製)

如上圖，經由資料清洗後的資料經過二次回歸後可以得到各外氣溫度下各有一條冰水出水溫度與冰機效率(COP)的行為曲線。本案機器學習是以計算性能係數 COP(Coefficient of performance) 參數與負載點(出水溫度設定)並追蹤冰水主機最佳效能負載點為模型核心。性能係數的擷取與計算方式如下：

性能係數(COP)=冷卻能力(kWh) / 冷卻消耗的電功(kWh)...(A)

當中，冷卻消耗的電功由數位電表取得 kWh，冷卻能力部分利用 BTU 計(超音波流量計)的量測值來算。

冷卻能力(Q)

=冰水密度(g/cm³) * 流量(m³) * 比熱(cal/g.°C)

* 出回水溫差(°C)*1000Kcal(cm³/m³)*0.001162(kWh/kCal)...(B)

=[流量(m³) * 出回水溫差(°C)*1.162](in kWh)

由(A)(B)可知

性能係數(COP)

=[流量(m³) * 出回水溫差(°C)*1.162]/冷卻消耗的電功(kWh)

資料取樣的條件為每小時取樣一個 COP 值，即透過累計值及平均來計算，

例如：下午 13:00~14:00 計算 COP 的數據來自

流量: 14:00 的 m³ 讀值 -13:00 的 m³ 讀值

出回水溫差: (13:00 的溫差+13:01 的溫差+...+13:59 的溫差)/60

冷卻消耗的電功(度): 14:00 的 kWh 讀值 -13:00 的 kWh 讀值

計算出的 COP 數據透過非線性迴歸計算出冰水主機的效能模型，在操作時依據當下的外氣條件透過模型追蹤最佳效能操作點，達到 AI 最佳化控制。本研究標的為 100RT 以上冰水主機空調節能需求，案場無冰機汰換需求且儘可能採用非侵入式監測手法降低建置難度與成本，提高技術的可行性。

因冰水主機之效能亦會由於機器的新舊狀況、維修、保養前後而有不同表現，效率模型在冰水主機的運作生命週期中會持續的被訓練(online training)，也持續的滾動更新(rolling update)。這樣的機制是確保數位雙生是伴隨實體一起變動，隨時維持數位雙生與實際世界的同步性。

訓練出的模型型態為各外氣溫度下的方程式曲線，透過該曲線的集合即可追蹤該方程式計算出當下外氣溫度下的最佳效能操作點。

本研究目前的資料取樣頻率(sampling rate)為每分鐘一筆資料(包含外氣溫度、冰水主機用電量、冰水進/出水溫及冰水流量)。每日凌晨依據過去 20~30 天的歷史資料(清洗過的)樣本訓練一個新模型。系統可設定最短一小時最長一天的時間區間控制冰水主機一次。本演算法的控制頻率其實是取決於外氣溫度的變化，若外氣溫度無變化，冰水主機的運作點基本上不會做調整。

參、圖台功能架構

過往營建產業在建築生命週期各個階段(規劃、設計、施工、營運維護)間資訊交換上，仍以傳統的平、立、剖面圖說為主，導致資訊不易完整的傳遞、統整與維護，不僅無法有效提升營建產業的整體效能，甚至同時浪費不少材料與人力資源。而 BIM 就是為了解決前述資訊交換不足所帶來的問題，利用電腦可存取的標準化資訊模型，改良建築規劃、設計、建造與維護管理的完整專案工作流程。

本計畫在平台中以 3D 檢視 BIM 模的方式來達到數位雙生的可視化(Visualize)效果，提供友善的應用介面。利用第三方 SDK 開發 3D 渲染的瀏覽器圖台，目前是選用 XeoLabs 的解決方案。該 SDK 開發的圖台可透過 XeoKit converter 將 IFC 格式的 BIM 模檔案轉成圖台可解析(Parsing)的格式。瀏覽器圖

台即可以檔案為單位開啟 3D BIM 的檢視畫面。

在選用 BIM 圖台時，標的物放在經濟、易用與輕量的條件上。經濟部分，由於多數圖台都須要在開發環境與使用環境資費。在未來的推廣活動或採購時易造成阻力，故以免費的圖台環境為目標。易用部分，圖台需要具有一定的相容性，只少能解析如 IFC 檔型態的供通資料格式，並且需要在瀏覽器上檢視、操作 3D 圖面。在輕量上，一個完整的 BIM 含結構及各子系統其 IFC 檔從數百萬位元組(MByte)到數十億(GByte)不等，對一般消費型的筆記型電腦或平板而言都是很大的運算負載。而圖台在本計畫的主要角色是展示建物設備的幾何位置，所以容許圖台適度忽略竣工 BIM 模的一些細節。也藉此輕量化提高瀏覽 BIM 模的效能。

下圖表示了依據以上考量來比較幾種 BIM 圖台的評估。評估的結果本計畫選用 XeoKit 來做為瀏覽器圖台。XeoKit 為一具有 AGPL V3 授權的開源軟體，可將 IFC 輕量化後顯示於瀏覽器上。

BIM瀏覽器圖台	開發彈性	資費方式	瀏覽器可用	可建置單機
AutoDesk Forge	高	上傳/轉檔/修改 BIM 的動作每次0.3~1.5美元 雲端的(下載/View)使用 目前不計費 開發用API部分免費，部分需付費(0.2~6美元)	可	需連接雲端
Unity Reflect	中	開發環境 Unity Reflect Develop Plus版 399美元/每年/每個單機 Pro版 1800美元/每年/每個單機	可	可單機使用
XeoKit SDK	高	SDK(Soft Develop Kits)為開源軟體 採 AGPL V3 license 範圍 免費	可	可單機使用

圖 3-18 BIM 圖台選用比較

(資料來源: 本計畫繪製)

以本案採用的樹林藝文中心 BIM 模為例，該案場 BIM 模 IFC 檔原為 1.5GB，經輕量化後為 50MB，容量縮小 300 倍，在瀏覽及渲染上依然有不錯的細緻度。以下比較未轉檔前的 IFC 採用 BIMVision 軟體與輕量化後採用 XeoKit 的渲染效果。

以本案實驗場域的空調系統為例，實作以 XeoKit 為基底的 3D BIM 圖台的呈現的效果與比較如下。

下面圖 20 是冰水主機的實景照，圖 21 是使用 BIMVision 渲染的相同視角，圖 22 是本計畫 XeoKit 渲染的相同視角。圖 21、22 的效果接近，在操作上的流暢度也接近。但 BIMVision 是應用程式，XeoKit 的渲染是由 Chrome 瀏覽器完成。



圖 3-19 實驗場域冰水主機實景照

(資料來源: 本計畫繪製)

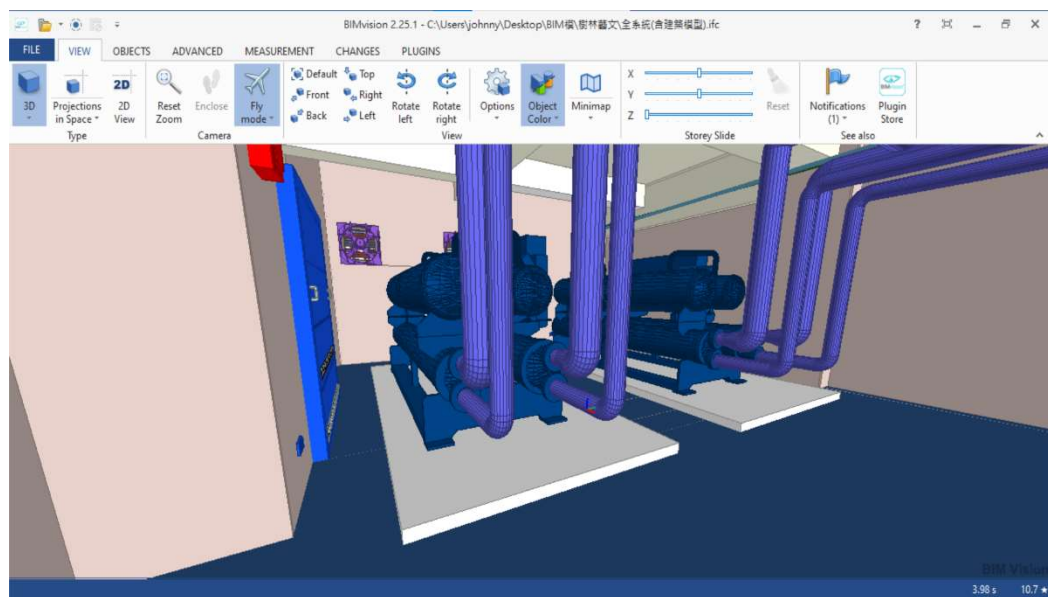


圖 3-20 使用 BIMVision 渲染的冰水主機視角

(資料來源: 本計畫繪製)

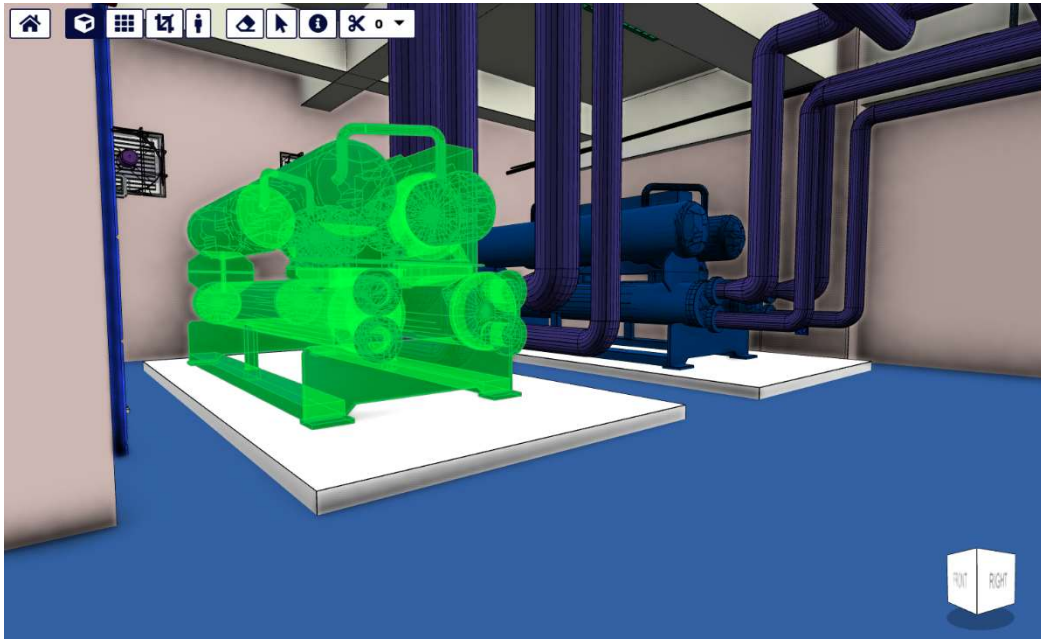


圖 3-21 使用 XeoKit 渲染的冰水主機視角

(資料來源: 本計畫繪製)

基本上 BIM 在 XeoKit 上的渲染效果不差，下圖為樹林藝文中心其他視角的渲染效果。



圖 3-22 使用 XeoKit 渲染的冰水主機視角

(資料來源: 本計畫繪製)

更大的 BIM 模(包含結構與各系統)在 Xeokit 實作的圖台上呈現不流暢(使用 BIMView 上也不流暢)，因為期望未來 BIM 的瀏覽不要倚靠強大的硬體(高 GPU 資源、高記憶體規格)，故測試環境還是鎖定在筆記型電腦與平板上，未來將從輕量化 BIM 模的方向去優化調整。

第六節 實驗觀察及驗證分析

本研究之系統可追蹤冰水主機的效能最佳操作點，但由於既有系統常由維

保人員進行調控，本系統留有[自動控制]與[手動建議]兩種途徑。冰水主機的效能改善，常見的量測與驗證方式為改善前、改善後(Before and after)的比較或是建立基線(Baseline)的方式來比較。本研究採用比較直觀的改善前、改善後比較來驗證成效。

以本研究一號冰水主機為例，過去未實施節能改善前的操作行為為週一、三、五開機，開機時間約為早上 07:30，關機時間約為晚上 20:00。冰水的出水溫度設定為固定 11 度。下圖我們可以看到 10/6 當日的耗能曲線。

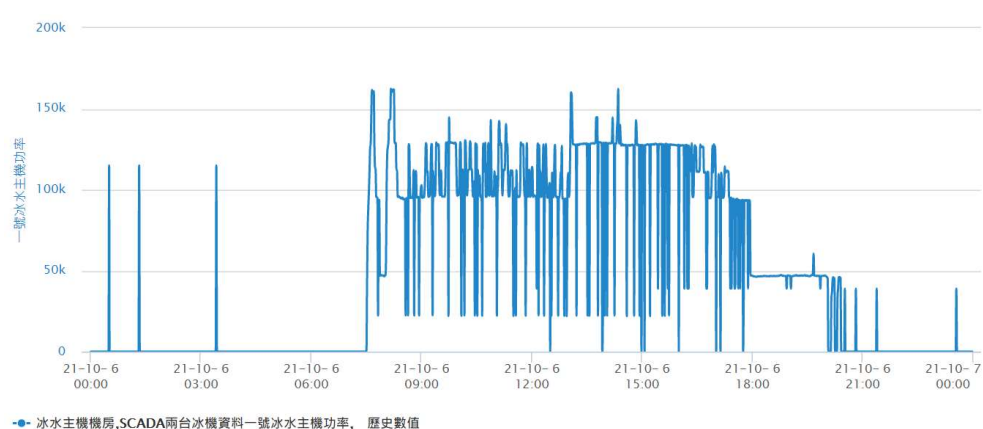


圖 3-23 一號冰水主機 10/6 單日耗能

(資料來源: 本計畫繪製)

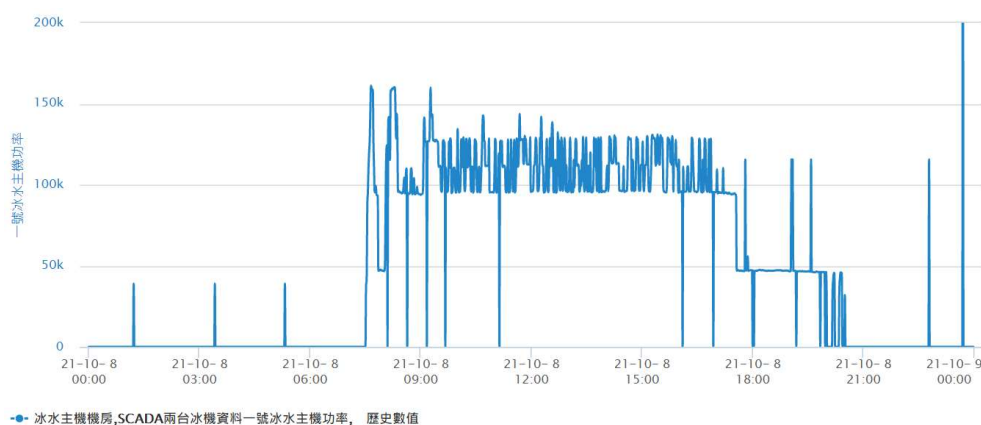


圖 3-24 一號冰水主機 10/8 單日耗能

(資料來源: 本計畫繪製)

在 10/8 我們透過系統 AI 演算法得到一個根據當日外氣溫度算出的建議最佳出水溫度調整值(如下圖)。我們請現場人員將這個調整值輸入現場冰水主機系統。並取得 10/8 當日的耗能資料。

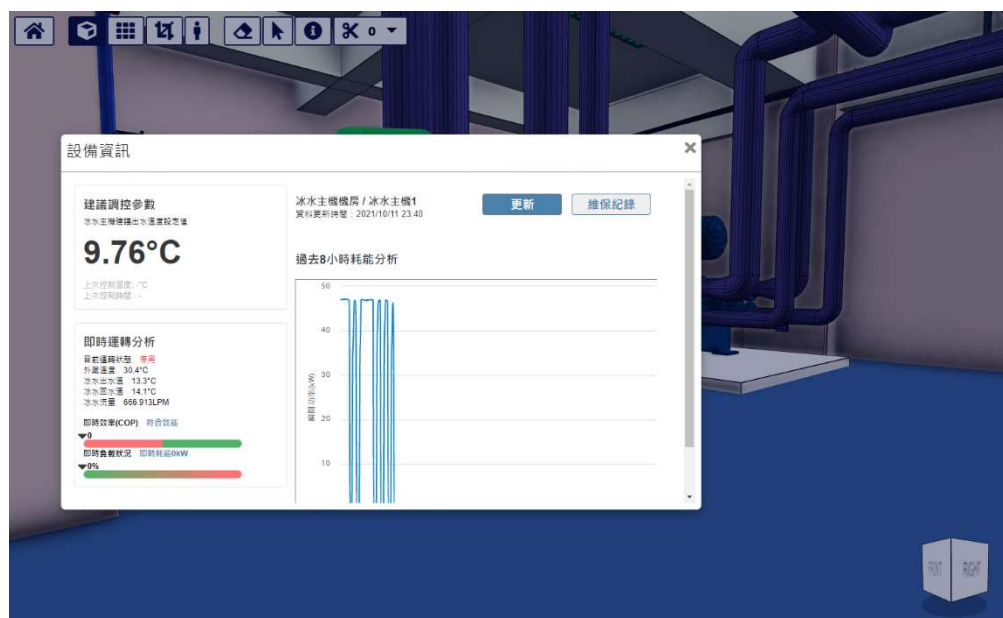


圖 3-25 一號冰水主機建議值畫面

(資料來源: 本計畫繪製)

根據改善前與改善後的操作與耗能製成以下比較表。表中外氣溫度為中央氣象局板橋測站之讀數。冰水主機當日累積耗電為冰水主機電表瓦時計之讀數累積值(kWh 讀數日尾減日首)。根據數據計算，不改變每日開機 12.5 小時之下每日可節省 82 度電，相當於改善 6.3%。而實驗組當日外氣溫度還略高於對照組外氣溫度。

	當日最高外氣溫度	當日冰水主機能耗(度)
10/6 改善前	32.5 °C	1,298 kWh
10/8 改善後	32.8 °C	1,216 kWh
節能量		82kWh (6.3%)

(資料來源: 本計畫繪製)

若以該建築每月上班日 20 日計算,每度電費新台幣 3 元。每月將可省下 5000 元的電費,每年可節省六萬元電費。

若暫不納入研發成本系統單一冰水主機建置費用(含工料)約為十萬元(閘道器含安裝設定兩萬、BTU 計含安裝設定四萬、電表含安裝兩萬、通訊布線及設定約兩萬),投資的回收年限將不會超過兩年。對於年度使用時數更長,冷凍噸數更大的主機而言,回收年限與投資報酬率將更具市場誘因。

第七節 完成事項與成果

本計畫為期一年,自 2021 年 1 月至 2021 年 12 月底,依前述計畫進度規劃已完成項目為

1. 研究方法設計與規劃(工作計畫)
2. 場域接洽、場勘記錄、備料
3. 現場安裝測試、紀錄數據
4. 期中報告
5. 展示環境及 BIM 圖台架設
6. 設備 AI 優化演算法開發
7. 設備 AI 優化方法驗證
8. 期末報告

一、 已完成工作項目

以下逐項說明各工作項目進度及成果。

1. 完成研究方法設計與規劃(工作計畫)

完成工作進度報告書,已於三月交付,當中述明工作步驟、研究方法、進

度及內容簡述。

2. 場域接洽、場勘記錄、備料

期間進行新北市新工處拜訪與場勘，時程與項目如下：

-- 3 月 15 日至新北市政府新建工程處辦理案例訪談,了解該處於建築資訊建模 (BIM) 與人工智慧(AI)整合應用現況，並討論未來其他應用的項目及優化構想。

-- 4 月 10 日完成拜訪新北市新工處洽談合作構想與研究內容，並得到新北新工處同意提供場域作為實驗場域。

-- 5 月 3 日完成場勘記錄與規劃。

3. 現場安裝測試、紀錄數據

-- 4 月 23 日完成前往場勘選定實驗標的物。因現場已安裝之裝置可符合計畫需求，故規劃與現場系統串接後進行本計畫之研究。

-- 5 月 20 日完成與協力廠連繫、提供需求與請求報價。

-- 5 月 27 日 與協力廠(辰洸科技)規劃資料介接方式細節。

-- 6 月 15 日已完成與協力廠商(現場設備廠商)之資料介接訂購。待協力廠完成資料介接界面後即進場施作擷取資料。

4. 期中報告

-- 7 月 8 日完成期中審查。

5. 展示環境及 BIM 圖台架設

-- 6 月 9 日完成取得新北市政府新建工程處 BIM 模 IFC 檔，進行解析，瀏覽器圖台雛型測試完成。

6.設備 AI 優化演算法開發

-- 4 月 10 日已完成數位雙生數據來源確認以及 AI 演算法規劃，系統分析/設計(SA/SD)進行中。

-- 8 月 23 日完成 AI 演算法開發。

7.設備 AI 優化方法驗證

-- 9 月 8 日完成 AI 演算法測試。

-- 9 月 15 日完成優化方法驗證。

-- 9 月 16 日完成專家座談會。

8.期末報告

-- 10 月 15 日完成期末報告交付(包含系統說明書及說明影片)。

--11 月 26 日完成辦理教育訓練(包含系統實地安裝及影片錄製)。

--12 月 10 日完成成果說明會之舉辦。

第四章 結論與建議事項

第一節 結論

本計畫截至期末報告已透過實際的施作驗證數位雙生在建築應用上的可行性。研究中整合工作的部分利用計畫執行單位既有的 IoT 平台(InFactory)為主架構，在其上整合開源的 BIM 圖台以及 AI 冰機優化的操作頁面，操作頁面皆以網頁瀏覽器的形式實作。

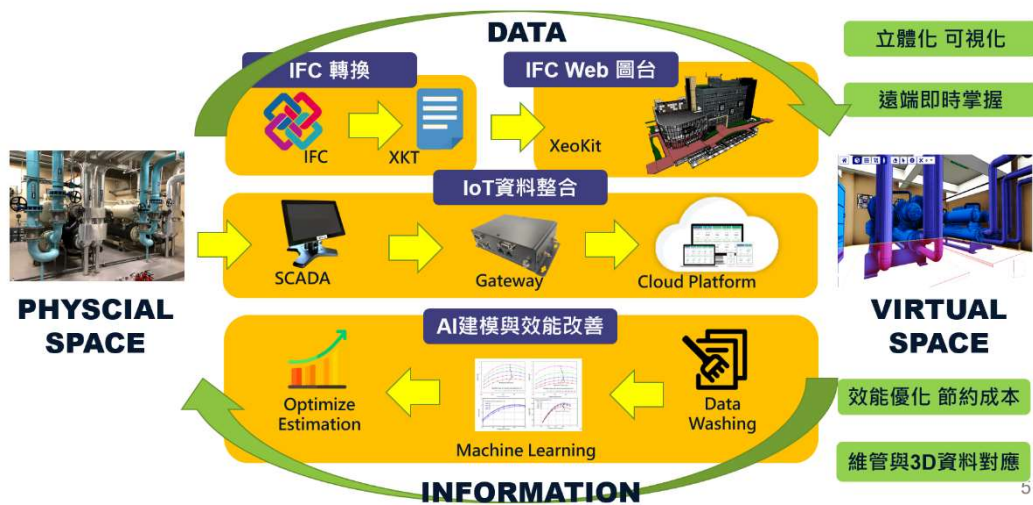


圖 4-1 本研究系統架構與數位雙生之對應

(資料來源: 本計畫繪製)

如上圖所示，本研究透過實作方式已將數位雙生的概念實體化，上端資料流部分透過 BIM 的圖台工具以及 IoT 平台的資料擷取，將真實空間中的幾何資料、設備運轉資料帶到虛擬空間來建立數位雙生。進而在虛擬空間利用 AI 建立建築設備的效能模型，在模型中運算並優化效能，再將優化的建一回饋給實體世界(下端的回饋資訊)。完成數位雙生的運作。

AI 冰機優化的驗證方法則為先建立冰機改善前的效能基線(Baseline)，與改善後的實際量測績效做出驗證。本可行性研究除了驗證數位雙生的可行性，也驗證在不投入昂貴資源的條件下亦可完成數位雙生的架構，包含低廉的 IoT 架構與



設備、開源的 BIM 圖台與可在雲端運作的 AI 優化演算法。

圖 4-2 數位雙生對於建築的應用可行性

(資料來源: 本計畫繪製)

探討數位雙生利用感測、建模與決策的手法結合領域知識來改善建築在全生命週期中的各種應用。包含了營建管理、設施設備管理、居住空間的安全防災、健康舒適、節能減碳、貼心便利以及各種輔助決策來降低營運成本、提高效率與居住品質等。除了如本計畫針對節能減碳的應用，透過即時監測與 AI 演算法自動調控設備，優化設備效能之外，運用 AI 機械學習演算法預測或辨識空間使用行為、主動訊息發布及能源管理最佳化訊息或決策建議。以下列舉其他可透過數位雙生來優化建築管理的各種方向與可行性。

設備維管：監測設備參數，預測設備劣化時主動推播通報。效益為節省人力，提高設備妥善度。

能資源管理：監測並記錄建築用電參數，利用演算法精算最佳契約容量及電價方案。效益為節能、節費。

健康舒適：監測建物空間舒適度參數及有害氣體參數模型，透過演算法分析空氣環境。效益為提升住戶健康條件、了解空間使用行為。

輔助決策：由大數據評比各供應商、產品維修率、維修成本作為未來採購依據。效益為建立優質供應鏈、提升設備品質及妥善度。

安全防災：監測門位(磁簧)資訊，利用機器學習住戶出入行為，判斷異常時主動發報。效益為提高住戶人身安全，主動偵測管理。

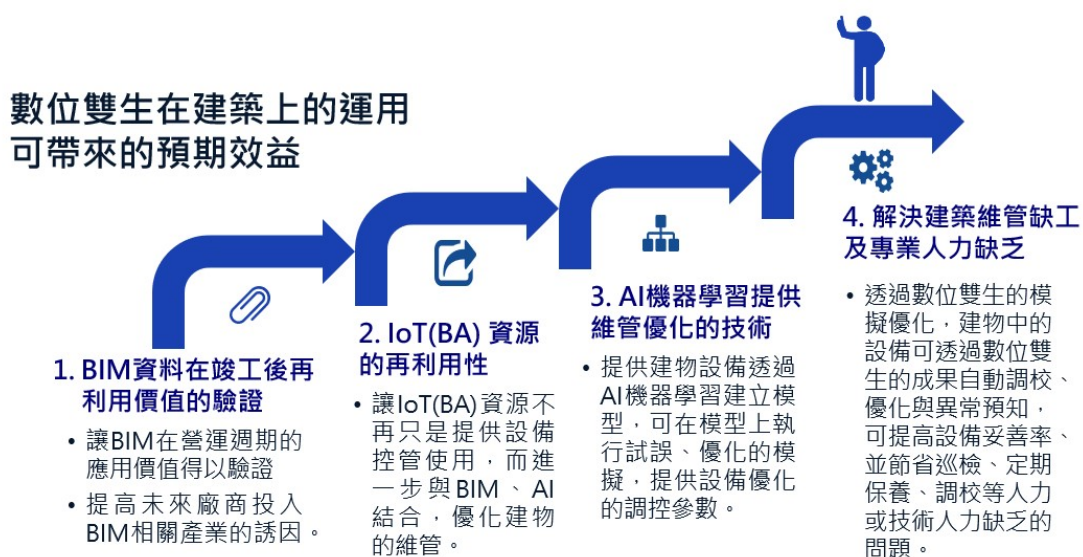


圖 4-3 數位雙生在建築應用上帶來的效益

(資料來源: 本計畫繪製)

第二節 建議

建議一

強化既有建築及新建案數據的永續性：立即可行建議

主辦機關：臺北市政府工務局新建工程處、新北市政府新建工程處、國家住宅及都市更新中心

由於資通訊產業與建築產業的生態系不同，建築資通訊其實一直停滯在建築自動化的階段。建築的資料也常封存在建築中控系統與世隔絕，或是中控系統廠商收取費用才釋出資料等情況。建議未來建物的發包單位或是管理單位考量是否透過合約或協議書等方式規範建築中控系統廠商保留外界擷取建築資訊的渠道，例如資料的收存方式、讀取方式等，甚至可將較不機敏直接置入政府 Open Data 平台，在資料易於取用的環境下才能讓建築數位雙生應用有資材可用。

建議二

建置建築數位雙生示範場及提案研究：立即可行建議

主辦機關：工業技術研究院、財團法人資訊工業策進會

建築數位雙生是集合建築專業、資通訊專業與管理專業於一體的領域。除了本研究將實作驗證可行性外，也建議研發法人可考量爭取資源將建築數位雙生廣泛推行。可藉較大規模整合型的研究計畫或實務上的專案執行，跨領域的將建築數位雙生的價值內化至建築產業成為可以評估、可具體規畫(量化)與可執行的法規準則或是商品，成為市場上可以滾動的商業模式。

建築內的既有的數據流其實已經相當豐富，舉凡電力、環控、電梯、給排水、空調、照明、消防、空氣品質、門禁、監控攝影等都是數據來源，但如何將數據轉化成有價的服務及減少人力、物力是整個計畫需求的最終目標。本研究透過空調偵測數據轉化成有價的節能服務並減少空調控制維管的人力，除此之外建築數位雙生還有較宏觀的研究方想可以開展。尤其這兩年間疫情衝擊讓建物的使用行為驟變，如何利用建築數位雙生技術對這些建築公共衛生問題提出解決方法

也是未來研究議題的發想方向。此外氣候變遷議題也將驅使建築物必須重新考量提高能源效率、創能、減廢等全生命週期降低碳排等手法的實施。而如何在短時間模擬建物全生命週期的碳排最佳化將是數位雙生得以發揮價值的重要研究議題。

參考書目

- [1] BIM Blog, “Model viewers,” [online]. Available: <https://bimblog.bondbryan.co.uk/model-viewers/>
- [2] 台灣積體電路, “業界首創人工智慧冰水系統節能手法年省 3,000 萬度電,” [online]. Available: <http://esg.tsmc.com/csr/ch/update/greenManufacturing/caseStudy/18/index.html>
- [3] 蔡尤溪, “空調系統節能應用,” [online]. Available: <http://https://www.slideserve.com/makya/3433386> .
- [4] 陸紀文, “莫里耳圖與空氣濕線圖應用,” [online]. Available: <http://blog.ncut.edu.tw/userfile/2773/8第八節-莫里圖耳圖應用.pdf>.
- [5] 蔡尤溪, “空調負荷計算理論,” [online]. Available: <http://esg.tsmc.com/csr/ch/update/greenManufacturing/caseStudy/18/index.html>
- [6] 台灣日立江森自控, “冰水主機負荷曲線,” [online]. Available: http://http://www.jci-hitachi.tw/products/products_level3.aspx?83ADA55777525D74.
- [7] 台灣積體電路, “台積公司成功開發業界第一個冰水系統最佳化節能控制程式,” [online]. Available: <https://esg.tsmc.com/csr/ch/update/greenManufacturing/caseStudy/6/index.html>
- [8] 台灣積體電路, “TWI640387B 最佳化控制的冷卻系統及其之自動控制方法,” (專利) [online]. Available: <https://patents.google.com/>.
- [9] XeoLabs, “xeokit-bim-viewer,” [online]. Available: <https://github.com/xeokit/xeokit-bim-viewer>.
- [10] XeoLabs, “Xeokit SDK” [online]. Available: <https://github.com/xeokit/xeokit-sdk>.
- [11] IFCOpenShell, “IFCOpenShell” [online]. Available: <https://github.com/IfcOpenShell/IfcOpenShell>.
- [12] Autodesk, “AutoDesk Forge” [online]. Available: <https://forge.autodesk.com/>.
- [13] Unity, “Unity Reflect” [online]. Available: <https://unity.com/products/unity-reflect>.
- [14] YouTube, “Interview of Dr. Michael Grieves”, [online] <https://www.youtube.com/watch?v=vAgDfcR-Ww8>
- [15] David Gelernter (1991), “Mirror World”, (pp. 16-19). ISBN 978-0195079067
- [16] 經濟部能源局非生產性質行業能源查核, [online] <https://energynet.tgpf.org.tw/>
- [17] 台灣產業服務基金會, “空調系統能源管理應用指標”, [online]

- <https://www.ftis.org.tw/active/hsct-002/002-1b.pdf>
- [18] YouTube, “機器學習、深度學習技術原理及延伸應用”, [online]
<https://www.youtube.com/watch?v=UGdG4WpluJ8>
- [19] Calin Boje, AnnieGuerrieroa, SylvainKubickia, YacineRezguib (2020),
“Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future
research” ,
[online]<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519314785#f0035>

附錄一 期初審查意見回覆表

內政部建築研究所「數位雙生(Digital Twin)—建築資訊建模(BIM)與人工智慧(AI)整合應用可行性研究」 委託研究計畫評選委員會第1次會議紀錄及意見回覆

一、

委員	審查委員意見（依發言順序）	廠商回應
委員 1	1.文獻探討應增列較近期的國際期刊或技術報告。 2. BIM 所提供之空間資料需包含實體空間尺寸，假設設施及牆與窗戶的材質以及其面向，再依智慧型設施位置進行分析與優化。 3.優化對象可為室溫、二氧化碳、光線等，在健康舒適和節能間進行平衡與優化。 4.數位雙生和實境間的互動和連動應確認。 5.IoT sensor 位置的調整與優化應可考慮納入。 6.維修時的 AR 應用有否可能性？	1.思納捷會在後續交付文件中補充與本案相關之國內外近期研究與相關之參考文獻。 2.思納捷將在本研究中將 BIM 中的建築參數例如建物朝向、日照角、冷房空間等參數納入 AI 的訓練數據。 3.本研究執行中會同時量測室內舒適度，以確認在耗能優化的過程當中仍能維持舒適度與空氣品質。 4. 本計畫中數位雙生數據的來源為建築數據，數位雙生 AI 優化產出的調校也將回饋建築設備控制器或建物自動化系統 (Building Automation)。優化的過程是透過這樣的循環持續進行。 5.過去曾有在公有建築實施過利用 AR 巡檢、設備定位的技術示範，也有詢問過同業相關實作的案例。但導入後現場巡檢人員一般對

		於巡檢、診斷需求還習慣於打電話叫修，行動裝置在現場的妥善度也不理想(易失竊或被弄壞)，所以本研究中暫不考慮納入 AR 應用。
委員 2	1.數位雙生是在「圖示模擬」(服務建議書第 9 頁輕量化、資料萃取)實體運作，在服務建議書第 10 頁之人工智慧建模是如何操作與建立？ 2.AI 與 BIM 圖台是如何溝通？ 3.最後得出之成果(冰水主機)，是如何呈現數位雙生之特點？如何交付及引導產業實行？	1.BIM 模取得後會先解析幾何資訊與非幾何資訊，幾何資訊的輕量化依 BIM 內類別篩選，若原模無類別或類別不清則靠人工篩選資料。幾何資訊中對 AI 有幫助的資訊也會抽出，如建物空間、材質、座向與日照條件。非幾何資訊則抽出設備規格、運轉條件等納入 AI 建模參數。 2.AI 將提供建物設備的優化數據、圖表供圖台與標的設備一起呈現在 3D 渲染的介面上。 3.IoT 的整合方式、AI 與 BIM 資料的建模優化方法與成果都將在本研究文件及說明會中揭露，並展示可以複製的成果。
委員 3	1.本案研究將接洽實驗場域，進行安裝、量測、紀錄及分析，對於場域之選擇、數量、類別等如何確認其具代表性？分析結果是否可供類似場域參採比較？有否共通性之原則或項目？ 2.服務建議書第 18 頁七、(一)、1.研究費，部分參與研究人員之月支酬金為 18,000 元/月，究係專職或兼職？請確認。	1.本研究所選取之設備標的物為冰水主機，因為以國內為例，不論何種建物型態，多數的空調系統為冰水主機，其壓縮機主要的型態為離心式與螺旋式的壓縮機，且 80%以上既有大型建物內空調採用冰水系統供冷，基於這樣的普遍性與共通性讓我們選擇了如計畫書中的現場安裝施作方式。 2.本研究中的研究人員皆為兼

		任，倘本公司順利得標，經費編列表內參與本案人員之月支酬金將依內政部委託研究計畫經費編列標準表規定重新調整。另服務建議書內原編列總經費新臺幣 122 萬 1,500 元係誤繕，倘本公司順利得標，經費編列表內各項金額將依本採購預算總金額 127 萬 6,000 元重新調整。
委員 4	1.本案題目為 BIM 與 AI 整合研究，惟服務建議書內似僅提及 BIM 模型為 IOT 施作與 AI 模型的基礎，且 AI 主要針對設備資料進行訓練，是否在 BIM 與 AI 整合上並無明顯關係，請補充說明 BIM 模型資料是否作為 AI 處理資料的一部份，以及 AI 將如何利用 BIM 模型中的那些資料。 2.請補充說明，成果交付事項是否包含資訊系統，以及若須要交付系統者，則系統內將會包含哪些主要功能模組，如 AI 演算法等。 3.請補充說明是否有創意或自由回饋項目。	1.同委員一的回應 2。 2.本研究所開發之研究結果包含程式碼、AI 方法部分將會在計畫結束前充分揭露。本研究範疇內所產生之智慧財產包含著作、報告、影片、電腦程式、演算法與操作方式等，將於計畫結束後提供給建研所。 3.因研究已對 BIM、IoT、AI 三大領域提出整合應用，計畫本身便需要大量具有實務價值的創意、設計與領域知識。在有限時間與資源中未補充回饋項目部分，倘本公司順利得標，將與建研所討論互利的回饋方式。
委員 5	1.BIM 除局部視覺性，及空間尺寸定位外，有何屬性或關係可深化 Digital Twin 及 AI?也請研究時專章整理申論。 2.只選空調一項不滿足本所預期成果 3 之列舉，應請擴	1.思納捷會再針對 BIM 在 Digital Twin 與 AI 上的深化在研究中提出專章整理申論。 2.思納捷本身業務即為建物的智慧化，有幸能競標與公司方向相符的標案。在建物設備的資通訊管

	增。 3.這幾項似與 BIM 這麼多的功能無關，似乎只要設備供應商的規格或維護手冊已足，應請擴增各研究事項間之關係。 4.AI 學習也請說明學習方法、理論及公認之項目、規則，如何通案化?以及本案研究成果之通用化、正規化，以反覆複製在其他場域，以供技轉，應是本案重點。因此，所用軟硬體、技術及人力，不能只鎖定設限於貴公司。 5.提醒本所已列有研究必備基礎設備，應請查找購置應用，所有購置設備，均請結案(或前)繳回。 6.執行本研究，究竟其數據對於數位建築、數位都市、數位國家、數位地圖有何貢獻?	理領域思納捷也有不少案例，包含空調、照明、電力、水資源量測等的監測、診斷與控制服務。但期望在本案中先聚焦 AI 的優化與整合示範，且專注深化，做出實績。後續對建研所推廣與思納捷業務拓展都有意義。空調系統以外之建築內設施設備與 IoT、AI 之整合、技術、應用等，本研究中將會調查國內外案例與本公司相關案例分享。 3.在本研究中我們會再針對 BIM 除了 3D 模(視圖)之外還有什麼價值提出探討並併入報告。並在在 AI 建模中嘗試 BIM 中所提供之參數。 4.本研究的成果會提供系統面的複製方法及他廠如何(最低成本)沿用本計畫成果的方法。例如如何將系統建構在開源的環境中，以降低複製推廣的成本與技術門檻。 5.本計畫購置之設備將於結案(或前)繳回建研所。 6.思納捷自成立以來也是以數位技術能力建立各種 IoT 服務，過去的案例也服務了校園、工業園區、漁港、智慧路燈、室內智慧照明及各式建物內的自動化及智慧化。提供了節能減碳、空氣品質改善、汙水監測、設備故障診斷、提高生產效能的各種解決方案。在本
--	---	--

		案也將透過過去的經驗與技術研發，提供政府更多可提升公眾效益的數位解決方案及方向。
--	--	--

附錄二 期中審查會議記錄回應表

委員	審查意見	執行團隊回應
王理事長明德	此研究計畫是個可行性的研究，值得研究。建議如下： 1. 請補充問題背景(誰要用? 要解決什麼問題?有何效用)、研究目的、研究範圍及研究架構。 2. 可行性研究至少應包括以下幾個課題之研究:技術上、經濟上、效果上。 3. 請加強 IoT/AI/Digital Twins/AR/VR 等課題之文獻回顧及其各自功能，為何本研究採用某些系統?尤其是 Digital Twins 及 AI 的部分。 4. 也請加強國內外既有系統發展的狀況及其優缺點。此研究架構與他們有何不同? 例如台積電的案例? 5. 本案選新北市既有建築物為研究案例，未來新建物時應如何事先設計進去?	1. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中補充以上項目之描述。 2. 本計畫將在期末報告中補充以上項目之描述。 3. 本計畫將在期末報告中加強數位雙生整合之描述。 4. 本計畫將在期末報告中加強案例之描述。 5. 本研究示範系統為後裝系統，在新建築時導入成本更低。
林理事長長勳 (許總經理勝凱代)	1. 本案 BIM 圖台採用可彈性開發及自建的 XeoKit 平台其立意良善，惟考量系統操作效能及流暢度，請研究團隊就大型 IFC 檔案進行測試，並提出模型如何輕量化建議(如分棟?分層?分系統?)以及主機軟硬體建議規格。 2. 報告著重於設備 AI 優化方法驗證，惟 BIM 圖台與 IoT 設備介接的方式及與 BIM 圖台之邏輯關係為何，請補充。	1. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中補充 XeoKit 圖台特性。 2. 本計畫將在期末報告中加強 AIoT 及 BIM 整合之細節描述。 3. 期末報告中將說明 BIM 與 AIoT 結合的操作情境。

	3. 請研究團隊補充 AI 優化方法與 BIM 之間關係為何，如何整合應用之構思？ 4. 請研究團隊於期末報告提出 BIM、IoT 及 AI 結合應用的整體系統架構及整合應用情境以符合本研究意旨。	
何教授 明錦	1. 數位雙生(Digital Twin)就應用技術成熟度而言，在 BIM 與 AI 整合應用已具相當之可行性與實用性，重要的是未來示範推廣如何選擇與建築相關，且具代表性之最佳場域，尤其結合 VR、AR 技術及其 Viewer 可更加平易近人。 2. 就應用層面而言，除了空調節能外，智慧停車管理、智慧防災避難指引...等，屬可開發之領域，當然與物業管理之結合亦屬必然之趨勢。 3. BIM 之輕量化在 DT(Digital Twin) 整合應用可減少資料累積與伺服器負擔，但操作方法須能簡易化與精準化。建議後續可研提 BIM 輕量化之具體操作建議或 SOP 作業手冊，以擴大應用。	1. 謝謝委員意見，本計畫會朝委員提供的方向思考。 2. 本計畫將在期末報告中補充空調外之應用可行性描述。 3. BIM 輕量化以往已有許多技術與成果，數位雙生確實需要輕量化的 BIM 來提高可行性。但本計畫標的為 BIM 與 AIoT 整合，故暫不投入 BIM 輕量化的研究。
杜教授 功仁	1. 建議將當初之研究案招標需求（研究目的或研究工作内容）於一個小節（研究目的）中具體條列出來，以利委員了解當初的業主要求。 2. 請於報告書中新增一個小節，補充數位雙生的整合應用研究構想架構圖，及研究構想之具體說明文字。 3. 以新北藝文大樓為案	1. 本計畫將在期末報告中依此方向修正。 2.. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中改善圖示及補充架構圖。 3. 本計畫將在期末報告中補

	例，進行數位雙生之技術應用研究是可行的。但是建議以此案例提供更具體的現場操作情境模擬的說明，釐清中控人員如何操作？BIM 圖台的功能？AI 演算結果（最佳化）之後續作動方式？BIM、AI 之關聯性等。 4. 數位雙生技術整合應用的可行性如何評估？建請補充說明。 5. 建議第 10 頁執行進度表能反映研究案的進度現況，如 3.現場安裝測試、記錄數據尚未完成，預計何時完成？應於表中反映。	充以上項目之描述。 4. 本計畫將在期末報告中補充以上項目之描述。 5..本計畫將在期末報告中補充數據紀錄及安裝測試方法及驗證成果。
閻教授克勤	1. 本計畫運用 AI 技術與 IoT 訊息，進行 BIM 建模之資料整合實驗，整體研究已具基本模式架構，應屬可行。 2. 圖 19 的最佳負載率操作點是否應是不同外氣溫度下的效能曲線頂點的連線？建議圖形可以再清晰化。才有利判別與閱讀。 3. 請補充說明，建立最佳化模式後，如何運用 BIM 系統將 AI 運算資料回饋至個別冰機，以進行最佳化管理。建議建立一模式架構圖加以說明。 4. 整體而言，期中報告符合預期成果之要求。	1. 謝謝委員意見。 2. 本計畫將在期末報告中依此方向修正。 3. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中改善圖示及補充架構圖。
高組長文婷	1. 本署「內政部營建署-推動建置數值式(BIM)3D 建物圖資計畫」係行政院核定「邁向 3D 智慧國土-內政地理資訊 3D 化推動計畫(110-114 年)」	謝謝委員提供寶貴資訊。

	新興中長程計畫」之子計畫，專案目標在於 1.BIM 繳交標準(IFC)研擬 2.建置 BIM 模型資訊圖台 3.建置 3D GIS 資訊整合平台 4.建置三維建築物共通資料庫。簡言之，過去建管系統在收受建築圖說時係以 2D (CAD)圖為主，而上開計畫則是希望透過建置 BIM 的繳交標準(即 IFC 標準)，使未來建管系統依據統一標準來接受 BIM 的 IFC 圖檔，將圖說模型的幾何資訊及非幾何資訊收進本署所建立的三維建築物共通資料庫進行後續的應用，除了能夠在 BIM 模型資訊圖台上展圖，該資料庫更能夠透過模型資訊交換格式的開放來讓國家底圖介接。 2. 至於本次建研所「BIM 與 AI 整合應用可行性研究」，係使用 IoT 技術現場實際進行資料擷取，並且將其導入由 BIM 模 IFC 檔所開啟的圖臺上，並以 AI 演算法技術進行後續改善應用計畫。具體的案例實作將有助於發現技術實際應用層面上的問題，期待本案的研究結果貢獻，將有助於未來「BIM 建物圖資數據庫」的衍伸應用價值。	
王建築師文楷	1. 何謂研究報告名稱的「數位雙生」。但<P1>計畫緣起的起始卻是「數位孿生」，建議予以一致，而且又有稱「數位異生」，故建議應補詳細說明「數位雙生」。	1. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中依此方向修正補充。

	2. 第二章「文獻探討」以台積電科技廠的冰水主機<P13>，而「實驗場」以新北藝文綜合大樓<P15>，以這二類本身差異性就很大的建築物，來說明「一般建築物」的最耗能設備「冰水主機」是否具說服性？建議再補充說明。 3. 建議於文獻探討內補充說明與「綠建築九大指標—日常節能指標」的關聯性。 4. 依據台灣建築中心綠建築官網，空調耗能佔 4~5 成，照明耗能佔 3~4 成，但本研究<P3>以「據統計，空調設備耗能佔建築總耗能 30%~40%」，請補充據統計的資料來源。 5. 以特殊場所猶如「小樣本」，欲描述多數建築物的「大樣本」，是否足夠？且又是以冰水系統，建議略補充「氣冷式」與「水冷式」主機的差異性，尤其是面對「缺水」情況下的說服力。 6. <P6>研究團隊累積案例「已逾百台以上」，建議可否補充統計這些經驗，經進行分析的成果，使與本研究產生連結。 7. <P17>研究單位所列舉「實驗場域」的冰水主機案例，是個「良例」，建議能否補充「不良例」的介紹。 8. <P18、19>研究單位選用「實驗場域」的冰水主機，「採用管外超音波流量計輔以貼片式溫度感測器」，透過	
--	--	--

	Modbus-TCP 通訊協定，再以「SCADA」系統，收集數據再進行分析，這套系統就如以RFID 透過 Tag 收集數據(Big data)再進行分析，故建議能於期末報告補充數據資料與分析的成果。但這整套的系統與「程式」是可公開的呢?勿使形成似乎是一種「商業系統」的介紹，請釐清。 9. 相關的圖表應予放大或重製，使具可閱讀性、可辨識性，如圖 5、6、7、19(放大每圖均可辨識)...等。 10. 相關的資通訊名詞，建議略予補充說明，如 PLC、SCADA、Modbus-TCP...等。 11. 「伍、參考資料」請加註文獻出版日期、網路瀏覽日期。	
洪建築師迪光	1. 請增加各國實施情形案例分析。 2. 請補充 AI 優化方法驗證的加強分析。 3. 請加強分析如何利用建築數位雙生技術來提升建築效率的問題。	
內政部營建署劉工程員文遷	建議本案能多參考一些國外的案例，及提供更多的文獻參考，並互相比較，以利得出更多元的應用價值。	1. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中依此方向修正補充。
中華民國全國建築師公會張建築師文瑞	1. 關於研究主題： 甲、以實例表明 IoT、BIM 與 AI 之間相互應用的存在及可行。 乙、揭示 AI 具有機械學習的特殊功能，開拓人們對於	

	AI 認知的境界。 2. 關於文獻探討：囿於受委託者專業技能及思考習慣的限制，文獻探討向機械特性一面倒，關於 IoT、BIM 與 AI 的探討沒有利用到貴所龐大的研究成果。Digital Twins 語出突然，需要特別解釋，也是探討的一部分。 3. 關於名詞對照表：將文中會談到的專業名稱的英文原文及英文縮寫，列表呈現，使人一目瞭然，其為可取。其中基線與渲染只是單字，沒有英文縮寫。 4. 關於語法：使用的都是專業人員對話的方式，若能「科普」一點，較好。 5. 關於資料來源：思納捷科技改為「本研究」。現場照片則記為「現場拍攝」 6. 關於場域：實驗場域原來就有使用分區溫測以控制冰水主機的機制，請說明使用數位雙生後所呈現的優點為何？	
臺北市 建築師公會 林建築師 煒郁	1. 本計畫著重在新北藝文大樓的實驗場域，利用感測設備蒐集資料，目前是看到著重在冰水主機的系統。建議研究團隊可以嘗試其他系統，也許更能看到 AI 跟 BIM 整合的功效。	1. 本計畫將在期末報告中補充空調外之應用可行性描述。
中華民國 土木技師公會 全國聯合會 梁理事	1. 數位雙生(Digital Twin)研究方案；還是很新的技術，也是未來管理上的利器，值得繼續努力。 2. 數位雙生對虛擬設備控	1. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中依此方向修正補充。

詩桐	制相關參數的設定與調整，非常重要。希望期末報告能針對建築相關設備的參數設定等技術，提供較完整的資料。	
財團法人資訊工業策進會 張組長 群芳	建議本案可規劃未來介接其他系統的設計及方法，以增加應用範圍的廣度。	1. 謝謝委員意見，本計畫將在期末報告中依此方向修正補充。
內政部 建築研究所 陳助理 研究員 士明	1. 肯定本案研究團隊之實作技術及經驗，及取得新北市政府新建工程處同意以新北藝文綜合大樓作為本案實驗場域之努力。 2. 請研究團隊於期中審查後加速完成實驗場域現場安裝測試及大數據資料收集作業進度。 3. 研究團隊期中報告內容稍嫌不足，請於期末報告中加強研究成果相關論述，及補充國內外相關技術之發展趨勢與代表性成果介紹、研究緣起、研究目的及研究架構等。	1. 委員有提出 BIM 與 AIoT 整合情境上的問題。依據本案原始需求說明，未來建築物管理會因人口結構老齡化、少子化而衍生出缺工、缺才的議題。本案情境設計方向依此需求將數位雙生的應用 AI 化、自動化的去調整設備，不論這個設備是有異常還是故障，系統皆可自動報修或是自動提醒。以及利用 AI 去微調設備參數讓設備的效能優化，並降低人力的使用。
內政部 建築研究所 陳組長 建忠	1. 數位雙生是視覺性的模型，希望研究單位所建立的系統能讓建築人樂於去使用。 2. 希望研究單位再補充建築數位雙生於國內外之案例研究，以利將數位雙生這個技術推廣至土木建築領域人員。 3. 國內部分研究及研討會已經有相關研究，建議研究團隊多蒐集相關研究。 4. 建立這些建築子系統如空調、電梯、消防排水系統，不論是用來行銷廣告還是學	1. 委員意見提出本案文獻探討需要加強及補充，執行單位接下來會進一步對文獻包含文件的格式、包含紀錄、包含不同種類建築、不同設備適用得情境做描述。還有文件當中資訊語言(的淺顯解釋)，以及本研究未來在建築物的用途與選擇方法等，會再做詳細的補充。 2. 本案的執行方式著重於建物設備的數據擷取與分析，及驗證可行性，所以執行單位花費比較多的時間在資料蒐集與

	術研究，還是要參考其他技術研究的現況，不要沉浸在自己的數位世界裡來做。因為在土木及機電的領域已經有很多不適那麼數位化及資訊化的解決方案，但是已經夠用來解決各領域的問題。所以這方面要注意避免落後、避免重複的狀況。 5. 報告的格式跟機關的規範有點不同，再請研究單位調整。	AI 分析實務上，未來也會將資料擷取與 AI 分析方法做詳細的描述。
主席	1. 請研究單位將數位雙生的定義說明清楚，要讓建築領域的人能看得清楚，文獻探討也應加強及補充。 2. 實驗場域為什麼要選擇藝文中心、設備為什麼要用冰水主機要交代清楚。	謝謝主席意見，本計畫將依委員意見加強研究選址及選系統的理由與描述。

內政部建築研究所

「社會住宅結合 BIM 之智慧維護管理雲平台原型規劃」業務委託案期中審查會議簽到簿

時 間：110 年 1 月 19 日（星期二）下午 2 時 30 分	
地 點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）	
主 席：王所長榮進 紀錄：劉青峰	
出席人員	簽到處
王教授明德	王明德
余教授文德	余文德
林監事世俊	林世俊
柯副執行長茂榮	柯茂榮
練協理文旭	練文旭
鄭教授泰昇	
鍾經理振武	
行政院公共工程委員會	
臺北市政府都市發展局	陳正廷
新北市政府城鄉發展局	
桃園市政府住宅發展處	賴源聰

臺中市政府住宅發展工程處	劉得弘 工程師
臺南市政府都市發展局	
高雄市政府都市發展局	
國家住宅及都市更新中心	柯武榮
中華民國全國建築師公會	王宗瑞
財團法人台灣建築中心	李明 洪榮發
台灣物業管理學會	羅榮育
思納捷科技股份有限公司	
莊總經理榮泰	莊榮泰
	嚴嘉鑫 梁可倫
本所 陳組長建忠	陳建忠
劉副研究員青峰	劉青峰
謝助理研究員宗興	
相關人員	

附錄三 專家座談會會議記錄

本所 110 年度委託研究「數位雙生（Digital Twin）—建築資訊建模（BIM）與人工智慧（AI）整合應用可行性研究」案辦理第一次專家座談會會議紀錄

一、時 間：110 年 9 月 16 日（星期四）上午 10 時 00 分

二、地 點：內政部建築研究所第四會議室

（新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）

三、主持人：莊總經理榮堯

（記錄：嚴嘉鑫）

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

主持人先行針對研究內容及現況進行簡報，並說明座談會所要探討的議題。本座談會探討的議題如下。

1. 在少子化、高齡化的趨勢下，數位雙生技術如何改善建物的各項條件

- 延長生命週期
- 提升居住安全
- 降低營運成本
- 改善居住品質
- 優化管理效率

2. 對於計畫內容與未來方向是否有任何實務面、技術面的建議。

內政部建築研究所 陳組長建忠：

在這個座談會上想請教各位專家及業界，數位雙生這個技術領域是將舊的技術套到數位雙生這個概念上還是一個新的技術，他跟舊技術的差異在哪裡？是不是有了 IoT 才會產生價值？

在我的想像裡，舉醫療的例子，就像在手術之前的將人體建模，在手術前先模擬手術的過程各種可能性，這樣可以增加手術的準確度、成功率。那同樣的在建築領域上有怎樣的應用也可以套用數位雙生，那跟過去的技術有什麼不一樣的地方？希望各位專家提供意見。

台北市政府都市發展局住都課 吳正工程司逸民

台北市這幾年一直在社宅的 BIM、IoT 以及要開發的軟體三部分有一些實務上的執行經驗。在實務上最底層的 BIM 的完整性、renew 的動作與整合後段的軟體應用是很不容易的。例如以 IoT 來說各設備商有不同設備的資料來源、格式與取得問題。在現場也許他有自己的設備在監控但因為規格或其他因素沒有再將資料開放出來，最後軟體整合時期就會有狀況。這在整合階段一路要資料的時候就會浮現狀況。

這裡建議是採取循序漸進的方式來進行，首先對管理有效用的、比較容易達成的先進行，較有階段性的成果，在執行的過程中也會比較有成就感。以下建議分成三個階段來進行。

1. 管理服務：提供現場管理效率提升。例如現場有很多問題是經由住戶反應來被動解決問題。這個模式相當的吃現場人

力，所以可以透過一些資訊手法及利用自動化來接收，可以節省人力，提升效率。

另外如公共的大數據，例如智慧三表得數據蒐集可以先做，在能資源管理可以解決一些第一線的問題。還有不先追求大一統的解決方案，例如防災中心已經有子系統局部的整合，功能面上歲堦還是需要人力介入，但已經可以跨系統監控如電梯、庭園燈、能源尖離峰儲電、太陽能等能源調度等功能，初期這樣執行會比較有時效。

2. 行為分析：這部分是整合監視系統與門禁系統的一些應用，判斷人員出入的狀態，進一步辨識與介入。透過大數據了解生活狀態、住戶有可能發生的事件。

另外也可以透過 IoT 蒐集硬體的資訊度分析來加強設備的妥善度。在個資方面當然是一個雙面刃，但其中也有許多對社宅有價值的應用。

3. 整合共識：最終是希望 BIM 跟 IoT 可以完整的結合並有效地提供價值。像新加坡的智慧城市一樣，可以將建築所有資訊建置在雲端透過遠端的、無人的提供服務。當然像這樣需要長期營運的服務，需要長期穩定且在合理成本下更軟體新物件。

目前無論建研所在公私有建築資訊整合上的努力已經有一些成果。各縣市政府在共通平台上也有一些時機。不過縣市市政府、各家廠商都說自己有解決方案也無法說服彼此。目前反而需要有實務上能長期經營的方案漸漸出實效，將來才會有發展，節省很多管理上的成本，以上分享。

主持人提問：

1. 在目前除了本計畫針對的設備外，還有什麼是數位雙生應用可以切入的？
2. 在安全防災與防災中心方面的數位雙生應用也請教是否有什麼想法？
3. 設施管理有一部份也是為了能源，那能源上是否有也有應用的建議？

專家回覆

實務上重點要先能蒐集、不要求統一但要能監控。後續是有資料後要怎麼用 AI 工具可以提供最佳方案，例如太陽能、儲能在尖離峰用電的最佳化調控。這需要長時間的資料餵養，這部分是我建議的方向。

台北市政府都發局 張中一工程司

數位雙生的特性是利用數位的手法去建立實際世界系統的複製，在藉由 IoT 方式可以即時的模擬與操作，並輔以 AI 的手法提供服務。這裡提供一些案例供計畫執行單位參考。

1. 我們可以將社宅得長期修繕資料建立在雲端，即時更新並移供查詢與分析的服務。在社宅營運的錢間可以在第一時間提供長期修繕的事項、費用等資訊來提高長期修繕的作業效率。
2. 過去社宅報修一直都是透過電話或櫃檯工作人員的人工進行。我們可以將報修資料建立在雲端，並利用數位雙生 AI 的特性優化加強管理服務，讓客戶滿意。

新北市新建工程處 李總工程司仲昀

新建工程處的任務是在新建大樓的前期作業，我們目前所做的研究與探討的時候無非是希望能將新建物的籌建過程能將架構與系統建立得更完備。先就組長提出的方向說明一下，事實上我們大概都已經做完了，也慢慢把問題辨識出來了。建築的模型其實是建築物資訊的一個載體，這個載體除了承載過去施工階段的一些條件。這些資料我們可以一次的倒入到維護管理的欄位裡面來。

從去年上線我們的一些如維護、巡檢都已經進入 MIS 裡面了。這些手法其實是 MIS 其實就可以把他處理得很好，而模型會是未來不管是查找還是前端使用者進入操作最好的一個窗口。

其次是模型與傳統 BA 之間的關係。我們給模型的定位上應該是他在立體化的呈現上有很好的效果。因為對於傳統 BA 的運作上，他會不斷的傳回很多現場的資料，但是用者會找不到，也不知道該怎麼處理。就像藝文中心這棟大樓是一個有很多使用單位的建物，如果我將不同來源的能耗資料透過模型將他立體化之後，由線上 dashboard 呈現出來之後，使用者就能自己辨識出來他的行為，透過這樣預警式的方法來改變他的用電行為，進一步有一個節能的效果。

我們過去開發了三個區塊來彼此串聯，分別是模型的展示(3D 畫面)、BA、MIS(維護巡檢、保養、報修)達到無紙化及初步判斷，這是我們的前期所達到的成果。

長期以來空調在能耗上最能夠達到短期效益的東西。過去 BA 設定參數往往是一個定值，管理維護人員也不敢做一個大幅地調動。即使會去做調動也往往是根據過去的經驗值裡面。例如夏季出冰水主機的水溫度高於 11 度他會啟動第二台冰

水主機。他會說因為你的使用空間已經是處於不舒適的狀況。但這些邏輯是固定的，而不是一個常態的模組。

而這個計畫承蒙各單位協助，我們的方向是偵測冰水主機在某個負荷下，可以比較有效率的運作。一台機器在低載或者是高載的情況下效率並不是最好的。所以這個計畫的價值就是去偵測設備低載或是高載的情況下依照外在氣候條件來做一個最佳化的控制。

我們目前也在進行的是，就以一個空調的操作條件來說，冰水主機的設定溫度跟室內風機的設定值包括外氣空調箱的進氣，現在已經有很多感測器在蒐集資料。在外氣空調箱開啟時可以改善室內空氣品質(二氧化碳減量)，但是反觀夏季進氣開啟時空調的熱負荷會非常的高，在節能上就產生問題。這些操作條件就相當的複雜。

過去有跟維護廠商討論這些問題，廠商的回應就會說這是經驗。這就叫做被動式的管理。也就是問題發生後透過客訴或其他管道反應環境品質不良，但也已經來不及了。

所以這些複雜的操作條件都要經由 SCADA 或其他資訊管道蒐集後，透過一個演算法來產生具本來對設備做優化的控制，這個是我們接下來要做的。

既然現場已經有完備的室內品質改測模組與既有的 I/O 模組，未來應該是結合冰水主機控制模組。根據我們過去研究過的國內外技術，大部分的技術都是偏向單一的組合或設備。因為整體系統他是非常的複雜，所以我們是先採取比較保守的作法，就是我透過 AI 把劇本算出來之後，我還不敢直接丟到 BA 控制系統去自動控制。

當然如果能自動控制是非常好的，但是原有的系統廠商有他

原有的控制邏輯，我們還不適合做大規模的干預，因為這會產生責任分工的問題。所以現在的做法是 AI 產生的腳本會先 pass 給中控人員讓他參考判斷，然後輸入到原系統去進行干預。所以目前就是透過這個方式去驗證這個 AI 是否有效益，在比較單純的場域驗證過後，加上評估系統設備的投資有效益了，在公有建築的設置上我們就可以在前期的規劃上設計進去。

現階段還是遷就在固有的模式裡面。單一的建築完成以後，將來就可以對縣市政府所屬的建物平台底下包含什麼社宅或是市府持有的公有建築辦公空間，再來思考哪些建物那些辦公空間是要回饋到市府的角度來控管。這裡讓各位長官了解新工處這裡的做法，以上簡單說明。

主持人提問

數位雙生的應用面是否有甚麼建議，以及管理面還有什麼是數位雙生可以貢獻效益的。

專家回覆

目前智慧建築設備系統的串聯已經充足，像新工處大樓有七百四十幾個設備有一萬多個 I/O 點，但問題是資料的功用與價值有沒有被發揮出來。廠商在建置時的參數是一般使用的預設值，大多沒有依照使用行為來做調整。很多 I/O 跟效能與設備妥善度有關，可以透過正常跟異常的數值範圍預發布設備狀況，所以依據使用期間的行為、歷史資料建立合理區間就可以做預診斷的功能。

在管理面上，模在溝通的角度是有正要的角色。管理者是少

數人、使用者是多數人。像傳統報修透過電話來描述，機器無法理解，需要人力轉化。而 Digital twins 是站在專業者與使用者的橋樑，是視覺化的工具，如果使用者可以透過立體化的模來報修，系統就可以馬上得到明確的對應，管理者也可以明確的獲取到報修的標的。專業者對視覺化要求不高，但對使用者來說是個有效的媒介，強化識別性就可以提升效率。

吳正工程司補充

我這裡很認同裡總工的看法。我也很認同 AI 技術的發展，但 AI 不容易發展是因為人是複雜的動物，市府也有有嘗試中央智慧控制的方向，但除非是很單純的 1 或 0 的控制，其像是溫控、光源的調整，用戶都覺得當中的邏輯思考太簡單不符合需求。還有智慧設備的穩定度、妥善度跟後續維修的問題，所以我們就將智慧控制抽出住戶，回歸到公共區域防災的方向。像是基本警示、廣播外，希望在 APP 可以提供應用服務。另外像節能問題比較單純，使用 AI 去迴歸，不如人員去控制，所以使用 AI 要考量實務上的實用性。

乘以科技 莊執行長威龍(數位雙生學會創辦人)

今天來參加這個座談會是基於兩個身份，一個是代表乘以科技來參加，乘以科技是混合實境技術的供應商，過去的實績像是包括剛才組長提到的醫療領域，是透過 MRI 建立人體的模型，讓醫療人員可以在鼻管內視鏡術前可以模擬操作情境這樣的技術。我另一個身份是數位雙生學會的創辦人。數位

雙生學會將在下個月成立，成員包含了約一半的學界先進以及數位雙生相關產業，也包含了建築業。

數位雙生對於系統設計者的痛點是，在過去開發系統時是處理限定範圍內的已知問題，而數位雙生是處理已知問題跟擴張模擬實體以因應未知的問題。而這就會面臨到成本的問題，這是目前要克服的。另外就是數位雙生這個技術在應用實的一些要件，包含以下四點：

1. 呈現性(Representation)

數位雙生的模必須是更新容易的，因為數位雙生是一個長程的工作。如果在標的物的模不好維護或修改的情況下，數位雙生的應用很難營運下去。當然模並沒有那麼好修改與維護，所以在模上疊上其他呈現方式如 dashboard 也是一種方式。

2. 互動性(Interaction)

數位雙生必須是好操作的，不論是專業的或是非專業的都可以在上面操作模擬。

3. 連結性(Connection)

數位雙生必須與實體有一定的連動關係，這個精神就像雙胞胎其中一個人有什麼感受，雙胞胎的另一個人也會有一樣的感受。系統需要做到盡可能的即時反應實體，例如透過 IoT 的技術傳遞，就算不能做到即時也需要同步關鍵的參數讓數位雙生一致。

4. 模擬性(Simulation)

需要具備模擬工具，已建築為例不論是設備的耗能或是空間的空氣品質舒適度等都要有數學模型及工具來模擬真實世界的反應。

數位雙生不是新東西，系統是有限範圍的，數位雙生是盡量擴張來利他，這是數位雙生跟過去系統在設計時要界定系統範圍這樣思維很大的差異。

主持人提問

對計畫未來的建議

專家回覆

我這裡的建議是先定義使用者經驗服務流程，如果把這些流程當作數位化管理有好處，就值建立推廣。最重要的還是要長程的運作，就是現場就算是換了一組人，SOP 也換掉了，DT 還是要在、資料還是要在。

誼卡科技股份有限公司 張總經理作鳴

誼卡是法國達梭系統的代理商，在製造業有一些應用與實績。在 DT 的應用來說，我們會有一個疑問是過去好像在過去好像沒有也一樣可以執行。但我在實務上如產線的模擬、問題的預防都會有優於過去技術的一些成效。關於 DT 的應用與方向這裡提出以下幾點建議。

第一點、像是實際產線的現實問題解決方式一樣，流程操作都可以在 DT 的是前模擬中做優化，或在 DT 裡面發現一些問題來解決或預防。在建築領域就如同這個研究中針對設備的耗能做優化。在問題的預防方面，可以針對主機運行中的震動監測，在故障前透過模擬得知即將故障，做預先排除。第二是透過 DT 可在如建築新建工程上進行預先的排程模擬、碰撞避免。就如在醫學上進行如心臟手術這種重大醫療

前做模擬，可以達到提高效率與避免風險的成效。建模型是不容易的，所以在投入前也需要設定範圍及流程，符合效益。另外在建築應用面人臉辨識與行為的判別也是 DT 的相關應用。

第三、圖台的實用性、效能與相容性也時提供立體化過程中需要評估的重點。

主持人提問

在建置數位雙生時系統怎麼導入、步驟是什麼？

專家回覆

我們會先確認客戶產線工作面的問題解決，把資料面、人的因素、機器震動的因素等都考量進去。最重要的還是要看我們要解決的是什麼，例如缺工或是安全的問題。產業是很現實的，最後都會回歸投報率，這也是重要的思考方向。

財團法人資訊工業策進會 張組長群芳

這段時間有接觸數位雙生的業者，過去數會雙生比較偏重 BIM 的幾何資訊呈現，例如江陵建設透過 BIM 來模擬設計建物進行採光模擬、環境模擬等輔助設計等。但在國際上的 DT 不只是模擬或是幾何 3D 的圖台呈現，而是跨領域的資料連結與連動。

例如微軟與亞馬遜都在他們的資料平台上提供很多模擬跟決

策工具。那如果套用在這樣的平台下，DT 就不只是建築物下面子系統間的互動，而進一步是社區與社區，甚至是與環境、交通等更大尺度模型的相互連動，這些都是未來可以發展的走向，提供研究團隊參考。

「數位雙生(Digital Twin)—建築資訊建模(BIM)與人工智慧(AI)
整合應用可行性研究」座談會會議簽到簿

時 間：110 年 09 月 16 日（星期四）上午 10 時 00 分			
地 點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第四會議室 （新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）			
主 席：莊總經理 榮榮		紀 錄：	
出席單位	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
內政部建築研究所 陳建忠組長	陳建忠		
內政部建築研究所 陳士明助理研究員	陳士明		
台北市政府都市發展局住宅服務科			
台北市政府都市發展局住宅服務科	吳遠民		
新北市政府新建工程處 李仲昀 總工程司	李仲昀		
財團法人資訊二業策進會 蘇偉仁 協理			
財團法人資訊二業策進會 張群芳組長	張群芳		
乘以科技股份有限公司 莊威龍 執行長	莊威龍		
諒卡科技顧問股份有限公司 張作鳴 技術部協理	張作鳴		
思納捷科技股份有限公司 莊榮榮 董事長	莊榮榮		
思納捷科技股份有限公司 嚴嘉鑫 經理	嚴嘉鑫		
思納捷科技股份有限公司 林根溢 經理	林根溢		

附錄四 期末審查會議記錄回應表

委員	審查意見	執行團隊回應
李經理 維倫	1. 請補充說明 BIM(Building Information Model)、AI(Artificial intelligence)、IoT(Internet of Things), 上述三項功能是否皆可在 XeoKit 圖台上整合顯示? 與現場的 BA(Building Automation)系統關聯性為何? 2. 請補充說明 IOT 平台功能與應用目標, 以及未來擴充性為何? 3. 第 31 頁敘及「如圖 17, 資料平台提供既有裝置管理、帳號權限管理、場域管理以及資料繪圖...」, 請補充說明平台帳號權限管理相關圖片; 本案圖與內文編號請確認。	謝謝委員意見, 本計畫將依委員意見修改成果報告。
陳教授 建謀	1. 本計畫對於整合 BIM/AI/IoT/的創新技術值得肯定。 2. 建議第 V 頁「摘要」內容應將本計畫執行成果增加一段文字具體說明。 3. 建議「第二章研究內容及成果」應拆成兩章說明以便清楚凸顯本研究成果。 4. 建議原來的「第三章期末完成事項與成果」可併入以上建議的「第三章研究成果」成為其中的一個小節。 5. 建議成果報告撰寫架構	1. 謝謝委員建議, 成果報告將依委員建議方向修正。

	可以章別分小節編排以便能清楚辨識文章架構，如第一頁「一、計畫緣起」建議修改為「1.1 計畫緣起」、「二、研究背景」建議修改為「1.2 研究背景」...，其他以此類推。 6. AI 流程是本研究計畫執行重點，故建議「圖 1 AI 流程示意圖」應將圖形放大並標示清楚其流程關聯性並於文章中具體說明之。 7. 本研究主題是(BIM)與人工智慧(AI)整合應用的可行性研究，故建議應再增加討論其他可納入整合的項目，例如物業管理上最怕突發故障的污水馬達與抽水馬達的人工智慧監測與預警。 8. 建議也可探討人工智慧(AI)與 BEMS(Building Energy Management System)大樓能源管理系統整合應用的可行性。 9. 建議增加 AI 減少人力的量化分析。	
張建築師啟明	1. 本案成果豐碩，依據最佳化規劃帶來預期效益，有效應用汽、機車 IoT 應用說明可信度。 2. 持續推廣 BIM 資料在本案之後再利用價值已提高未來廠商引入 BIM 之刺激進程。 3. 同意期末審查提報成果。	謝謝委員肯定。
中華民國全國建築師公會 張建築師文瑞	1. 關於研究主題：以實例表明 IoT、BIM 與 AI 之間相互應用的存在及可行，揭示 AI 具有機械學習的特殊功能，開拓人們對於 AI 認知的境界。	

	2. 關於文獻探討：囿於受委託者業技能及思考習慣的限制，文獻探討向機械特性一面倒，關於 IoT、BIM 與 AI 的探討沒有利用到貴所龐大的研究成果。Digital Twins 語出突然，需要特別解釋，也是探討的一部分。 3. 關於名詞對照表：將文中會談到的專業名稱的英文原文及英文縮寫，列表陳現，使人一目瞭然，其為可取。其中基線與渲染只是單字，沒有英文縮寫。 4. 關於語法：使用的都是專業人員對話的方式，若能「科普」一點，較好。 5. 關於資料來源：思納捷科技改為「本研究」。現場照片則記為「現場拍攝」。 6. 關於場域：實驗場域原來就有使用分區溫測以控制冰水主機的機制，請說明使用數位雙生後所呈現的優點為何？ 以上六點係期中報告審查時，本人所提意見，經查閱，研究單位已回應並作適度的修正。至於本期末預期成果第五至第八，研究單位已經辦理完畢。為資訊時代技術三合一應用作了一個最佳的示範操作。	
臺北市 建築師 公會 姜建築 師智勻	1. 三案的錯字、編輯、索引都要仔細檢查。 2. 數位雙生的概念是如何將現場感測的資訊即時的送	1. 謝謝委員建議，成果報告將依委員建議方向修正。

	到虛擬世界做比對。目前已經有一個執行的過程，但是還是要提出一些具體的看法，比如多久要有一個採樣，多久要有一次調整、優化。 3. 本案強調圖台的渲染呈現與轉檔瘦身等成效，建議多陳述轉換的過程有沒有差異(資料漏失)。 4. 報告中案例是使用[G 牌]來說明數位雙生，建議可以直接闡明案例，畢竟未來也許會有其他 G 開頭的廠商，明確說明可以避免混淆。 5. 冰水主機在節能驗證的採樣只有一天時間不夠，驗證操作結果與過程、採樣數量要多一點，比較客觀。 6. 在第 41 頁 AI 的圖說最好再增加文字說明。	
中華民國 國土 技師公會 全國 聯合會 梁理事 詩桐	1. 數位雙生(Digital Twin)研究方案，還是很新的技術，具有前瞻性，也是未來管理上的利器，值得繼續努力。 2. 數位雙生(Digital Twin)研究方案，以運用人工智慧(AI)學習，整合應用在優化以驗證虛擬作業是它的效益與貢獻。 3. 對本案有關設備優化方法之驗證，計畫在 110 年 9 月 15 日完成，約可節能 6.3%，這種改善是否合乎效益，與缺少國內或國外其他實證成果相對比較，這部分是否再收集資料補強。 4. 開源軟體的運用也是一個將來管理方式之一，應該繼	1. 謝謝委員意見。 2.關於圖台的相容性，本案的 XeoKit 圖台目前僅供 IFC 格式的 BIM 模顯示，本案是利用此圖台開源的彈性將 BIM 圖與 IoT/AI 功能頁面整合。XeoKit 僅顯示、渲染等功能，與 FreeCAD 或各家 BIM 繪圖軟體功能定位不同，所以不能與 FreeCAD 可繪製、編輯 BIM 模的功能類比。

	續重視與推動。	
台灣物業管理學會 林監事 世俊	1. 報告中有提到數位雙生有三個特點，分別為跨場域、即時性及立體化。當中跨場域必須具備互通性、延展性、備援性與擴充性，希望可以提出這些說明。 2. 第二個特點講到即時性，因為本案實驗中是採用冰水主機，它的資料採樣是如何？比如一般 SCADA 的採樣頻率是五分鐘一次，所以數位雙生的即時性不能採用 SCADA。另外資料的採樣有分事件資料與連續性資料，在本計畫中的資料是多久 Scan 一次？ 3. 關於 BIM 這部分，現在新建築的 BIM 都會送審、送照，沒有問題，假如沒有 BIM 就要另外再討論。	1.關於實驗資料的取樣頻率問題，現場的 SCADA 資料更新頻率是秒級的，我們建置的 IoT 平台擷取資料也是秒級的，不過控制是小時級的。這主要是因為我們演算法中的重要參數「外氣溫度」不會隨時間變化太快，冰水主機的冰水循環也需要數十分鐘到一小時多，才會達到穩定的狀態，所以目前資料的取樣頻率已經足夠。
財團法人資訊工業策進會 張組長 群芳	1. 簡報內容資訊比計畫書豐富許多，建議簡報內容可加入結案報告。 2. 本案在短時間內進行實作實屬不易，自實務與數位雙生的論述與關聯、應用特點以及未來可於建築產業的延伸與應用可以再多做著墨。	謝謝委員建議，成果報告將依委員建議方向修正。
內政部建築研究所 工程技術組	1. 請思考建築數位雙生的架構。 2. 為何選擇樹林冰水主機，樹林案例的數位雙生是什麼？請構思。 3. 本案 AI 是用什麼演算	2.關於實驗場域為何要選擇樹林藝文中心這個議題這裡說明，首先要說明研究單位與樹林藝文中心(新北市新工處)沒有 business 的關係。我們之所以選擇樹林藝文中心是基於我

	法？如何優化？使用的是什麼大數據？資料如何清洗？洗出多少？是不是自動清洗？如果不是是怎麼做？用什麼函數？其特性？如何複製、技轉到其他建築物？信度？ 4. 本案成果可節多少能、多少碳？ 5. 簡報資料文件比報告書內容好。 6. 建議本案可參與本部資訊中心電腦展。 7. 預期成果五、六、七對象不清，至少應有本所。 8. 報告內容請再深化及補充。 9. 本案期末驗收時，請執行團隊依本所「辦理軟體開發案廠商結案應交付項目之驗收規範」辦理。	們一開始設定實驗場域目標時就有一些條件，第一是希望實驗環境是相對複雜的，像我們公司所在的大樓是純辦公大樓，如果在單純的環境來驗證AI演算法無法凸顯出AI的價值，樹林場域包含了辦公室、圖書館、展演廳及衛生所，滿足第一個條件。第二是我們希望目標的建物已經有他的BIM模型，也就如同報告中提到建物在竣工後依然可以善用既有的BIM模，讓它有持續使用的價值。第三是好配合，在計畫剛開始的時候我們其實跑了十幾個場域來洽談，最終才決定採用樹林這個場域，因為樹林藝文中心(新北新工處)對於數位雙生的相關技術也非常關注，所以也願意給予我們協助。基於以上這幾個因素，我們選定了樹林藝文中心作為研究的案場。
主席	1. 請依部定的報告格式撰寫。 2. 為什麼要選擇樹林場域、為什麼要選擇冰水主機？請說明清楚。 3. 簡報資料中「數位雙生」的定義要釐清。 4. 軟體程式原始碼請於成果報告交付時一併交付。 5. 節能的效率 6.3%是好還是不好，請探討說明。	1. 謝謝委員建議，成果報告將依委員建議方向修正。 2. 關於為什麼要採用冰水主機作為建築數位雙生試驗的標的，我們一棟大樓當中的設施設備非常多，我們在構思建築數位雙生應用整合的時候也在思考要如何產生效果與效益。這當中有兩個重點，第一個就是可以做到自動化、無人化來降低人力的負擔。第二個就是可以做到節能節費及降低成本的功能。在建物的設施設備當中

		最複雜最需要改善的就是冰水主機，冰水主機在建築物中的耗能占比也高，所以我們挑選冰水主機作為試驗的對象。 4. 節能部分，我們在實作中達到 6.3%的節能率，這部分我們要從節能的三個階段來談。第一是設備汰換，如 20 年前的設備跟現在的設備效能差很多，可能一換就差了二十至三十%。第二個階段是加變頻器，變頻器增設並調整後也可以達到節能。但我們這個實驗的條件就是前面兩個階段都做完以後，我們再透過 AI 進行再節能。在樹林這個案場，冰水主機是新的(2018 年製造)，也已經有既有的變頻節能，能在既有的節能手法下再節省 6.3%，難度已經很高。
--	--	--

內政部建築研究所

召開本所 110 年度委託研究「數位雙生 (Digital Twin) — 建築資訊建模 (BIM) 與人工智慧 (AI) 整合應用可行性研究」、「收存運用建築資訊建模 (BIM) 與物聯網 (IOT) 之建築數據中心開發策略研擬」及補助案「建築資訊建模 BIM 應用推廣及宣導計畫」等 3 案期末審查會議簽到簿

時 間：110 年 10 月 29 日 (星期五) 下午 2 時 30 分	
地 點：本所簡報室及視訊併行會議	
主 席：鄭主任秘書元良	
紀 錄：陳士明、張清峰、謝振興	
出席人員	簽到處
王理事長明德	(請假)
李經理維倫	李維倫
何教授明錦	(請假)
陳教授俊杉	(請假)
杜教授功仁	(請假)
閻教授克勤	(請假)
高組長文婷	高文婷
王建築師文楷	(請假)
陳教授建謀	陳建謀
張建築師啟明	張啟明

國家發展委員會	(請假)
行政院科技會報辦公室	(請假)
科技部	(請假)
內政部國土測繪中心	(視訊)
內政部資訊中心	(請假)
內政部營建署	(請假)
新北市政府工務局	(請假)
中華民國全國建築師公會	張文瑞(視訊)
臺北市建築師公會	姜智勻(視訊)
中華民國土木技師公會 全國聯合會	梁詩桐(視訊)
台灣物業管理學會	林世俊(視訊)
財團法人資訊工業策進會	張群芳(書面意見)
財團法人台灣地理資訊中心	(請假)
思納捷科技股份有限公司	
莊計畫主持人榮泰	嚴嘉發代 林根益 莊榮泰

附錄五 場勘、工作會議及教育訓練記錄

數位雙生案合作案場拜訪
拜訪單位：新北市政府新建工程處(新北市樹林區樹新路 40 之 7 號 5 樓) 會議時間：2021 年 3 月 15 日 15:00~17:30 與會人員： (府方)李仲昀 總工程司、陳星妤 主任、魏竹威 正工程司 (我方)莊榮榮 總經理、嚴嘉鑫 經理
會議摘要： 1. 府方介紹關於新北新工處在 BIM 與設施維管目前驗證的案例，以樹林藝文綜合行政大樓的設施管理系統為例。當中介紹了樹林藝文大樓自營建期間如何預畫統包及其下包要交付的文件、BIM 模、設備清單、弱電系統及各式對應關係。其重點在於業主必須在廠商交付各工項前清楚勾勒維管期間的作業流程及需求，在整合期間才能順利遂行。 2. 府方即出幾項與 AI 相關的應用與需求，包括： A. 室內環境品質最佳化：整合二氧化碳感測器與全熱交換器進行動態的換氣控制策略，以辦公空間為單位個別控制以達到維持空氣品質與節能的功效。 B. 中央空調能耗優化管理：監測內外氣參與空調主機製冷狀況調控最佳的預冷排程。 C. 其他未來規劃，警報點位的 AI 判斷(FDD, Fault Detection and Diagnosis)、設備需量預測、室內環境品質的預測性控制等。 3. 提出我方在本研究案空調主機效能優化構想供新工處參考並討論下一步進行的方法。

工作會議

地點：建築研究所(新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓)

會議時間：2021 年 4 月 13 日 14:30~16:00

與會人員：

陳士明 副研究員、嚴嘉鑫 經理

會議摘要：

月次	第 1 個月	第 2 個月	第 3 個月	第 4 個月	第 5 個月	第 6 個月	第 7 個月	第 8 個月	第 9 個月	第 10 個月	第 11 個月	第 12 個月	備註
1. 研究方法設計與規劃(工作計畫)	■	■											
2. 場域接洽、場勘記錄、備料		■	■										
3. 現場安裝測試、紀錄數據			■	■	■	■							
4. 期中報告					■	■							
5. 展示環境及 BIM 圖台架設			■	■	■	■							
6. 設備 AI 優化演算法開發					■	■	■	■	■	■			
7. 設備 AI 優化方法驗證									■	■			
8. 期末報告										■	■	■	

1. 研究方法設計與規劃(工作計畫) (1~2 月)

- 已完成。

2. 場域接洽、場勘記錄、備料單 (2~3 月)

- 已接洽新北新工處場域，預計 4/16(五)前往說明計畫內容細節及初勘(已改期)
- Study 近期冰機耗能效率改良方法。
- 初步規劃設備清單。

數位雙生研究案內容解說與場勘
對拜訪單位：新北市政府新建工程處(新北市樹林區樹新路 40 之 7 號 5 樓) 會議時間：2021 年 4 月 23 日 15:00~17:30 與會人員： (府方)李仲昀 總工程司、陳星妤 主任、魏竹威 正工程司 (我方)嚴嘉鑫 經理、林根溢 經理
會議摘要： 1. 跟新工處報告了計畫提案與現場需求。 2. 李總工提出兩項問題 甲、冰機控制會有現場操作限制，需要進一步了解(例如夏季會開兩台冰機，環境要求不能卸載)。 乙、弱電廠商是否能配合開放控制的介面還需要確認。 丙、預計五月初再開一次會議 sync. (後來約不到弱電廠商取消) 3. 對 B1 空調主機與中控室相關配置做場勘與紀錄。

工作會議

地點：遠距會議

會議時間：2021 年 5 月 19 日 14:30~16:00

與會人員：

陳士明 副研究員、嚴嘉鑫 經理

會議摘要：

月次 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	第 12 個 月	備註
1. 研究方法設計與規劃(工作計畫)													
2. 場域接洽、場勘記錄、備料													
3. 現場安裝測試、紀錄數據													
4. 期中報告													
5. 展示環境及 BIM 圖台架設													
6. 設備 AI 優化演算法開發													
7. 設備 AI 優化方法驗證													
8. 期末報告													

1. 研究方法設計與規劃(工作計畫)(1~2 月)

- 已完成。

2. 場域接洽、場勘記錄、備料單 (2~3 月)

- 已接洽新北新工處場域，預計 4/16(五)前往說明計畫內容細節及初勘(已改期)
- Study 近期冰機耗能效率改良方法。
- 初步規劃設備清單。

3. 現場安裝測試、紀錄數據 (3~6 月)

- 已與新北新工處弱電廠商李總經理聯繫，廠商可提供冰水主機進出水溫及流速(BTU 計)，電表部分可能需要額外加裝。
- 請弱電廠商報價中。

工作會議

地點：遠距會議

會議時間：2021 年 8 月 26 日 14:00~15:30

與會人員：

陳士明 副研究員、嚴嘉鑫 經理

會議摘要：

月次	第 1 個月	第 2 個月	第 3 個月	第 4 個月	第 5 個月	第 6 個月	第 7 個月	第 8 個月	第 9 個月	第 10 個月	第 11 個月	第 12 個月	備註
1. 研究方法設計與規劃(工作計畫)													
2. 場域接洽、場勘記錄、備料													
3. 現場安裝測試、紀錄數據													
4. 期中報告													
5. 展示環境及 BIM 圖台架設													
6. 設備 AI 優化演算法開發													
7. 設備 AI 優化方法驗證													
8. 期末報告													

報自期中審查後已完成項目，包括：

- 資料已介接，收納置資料庫，正檢視其正確性
- AI 模型已完成，資料清洗模式調整中
- 3D BIM 圖台建立與設備 IoT 資料的串接
- 開發畫面簡介
- 期末驗收項目討論

數位雙生研究案內容解說與 Gateway 安裝測試
對拜訪單位：新北市政府新建工程處(新北市樹林區樹新路 40 之 7 號 5 樓) 會議時間：2021 年 9 月 7 日 14:00~17:30 與會人員： (府方)李仲昀 總工程司、陳星妤 主任 (我方)嚴嘉鑫 經理
會議摘要： 1. 安裝通訊閘道器，測試通訊與數據。 2. 跟新工處報告目前系統完成狀況及操作模式。 3. 李總工提出建議，希望未來系統能進一步將冰機以外的如環境條件、空調箱、水泵、水塔耗能等數據統合起來做 AI 優化，效益會更大。

系統安裝與操作教育訓練
地點：內政部建築研究所(新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓) 教育訓練時間：2021 年 11 月 7 日 10:00~15:00 與會人員： (甲方)陳士明 助理研究員 (乙方)嚴嘉鑫 經理、陳東堅 資深工程師
會議摘要： 1. 介紹安裝系統步驟。 2. 實地安裝及錄影。(架設於 VM 上) 3. 介紹系統操作方式及錄影。

教育訓練紀錄

時間：110 年 11 月 25 日 10:00~15:00

地點：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

內容：系統架設、系統操作

內政部建築研究所
110 年度「數位雙生(Digital Twin)－建築資訊建模(BIM)與人工智慧(AI)整合應用可行性研究」委託研究案教育訓練簽到簿

時 間：110 年 11 月 25 日(星期四) 上午 10 時 0 分	
地 點：本所工程技術組(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)	
出席人員	簽 到 處
思納捷科技股份有限公司	嚴嘉鑫
	陳東聖
本所 陳助理研究員士明	陳士明

附錄六 系統操作手冊

建築數位雙生系統操作手冊
遠端冰水主機 AI 節能及管理系統

思納捷科技股份有限公司

中華民國 110 年 10 月

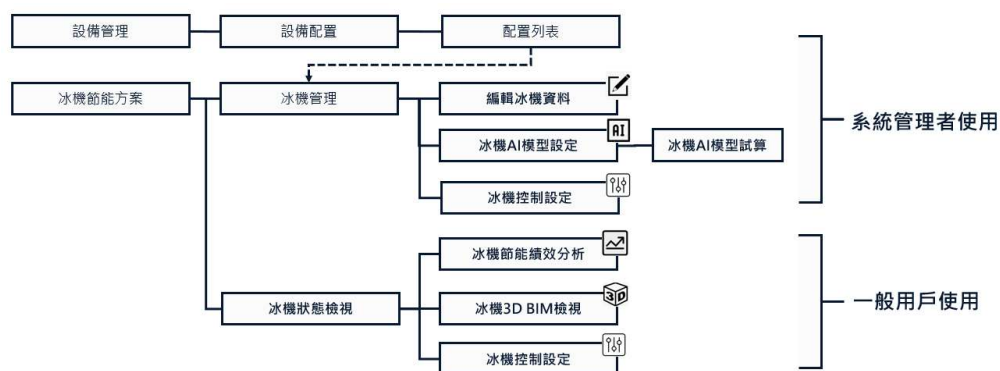
1. 系統簡介

本系統針對外氣溫度與空調冰水主機量測耗能量與製冷量以計算並分析空調冰水主機效能。以計算 COP(Coefficient of performance) 參數與負載點(出水溫度設定)並追蹤最佳效能負載點為手法。透過迴歸計算出冰水主機的最佳效能操作點，進一步達到最佳化控制。

本系統並與 BIM 圖台結合，可於資訊平台中即時跳轉到設備 3D 進行檢視。

2. 功能架構

本系統功能架構如下圖，主要功能群組為最左側的[設備管理]與[冰機節能方案]。上半部功能為系統建制期由系統管理者操作與設定用，為避免設定遭到修改或刪除，這部分權限不開放給用戶。下半部功能則開放給一般用戶使用，可供使用者瀏覽、查詢與操作。



以下章節功能介紹以一般用戶的操作功能為主，逐項介紹操作流程。

3. 功能說明

3.1 登入

開啟瀏覽器(建議使用 Chrome 瀏覽器)

在網址欄輸入[<https://infactory.insynerger.com/index.do>]後[enter]進入登入畫面。

輸入[帳號]及[密碼]後點選登入(帳號密碼大小寫相異)。



3.2 裝置看板

登入後預設畫面為[裝置看板]，或在主選單點選[資訊總攬]➔[裝置看板]即可進入此功能。

[裝置看板]下可檢視該登入帳號下的所有設備。

若該帳號權限不只一個場域，可點選左側「>>」符號拉出場域選單選擇所要查看的場域。

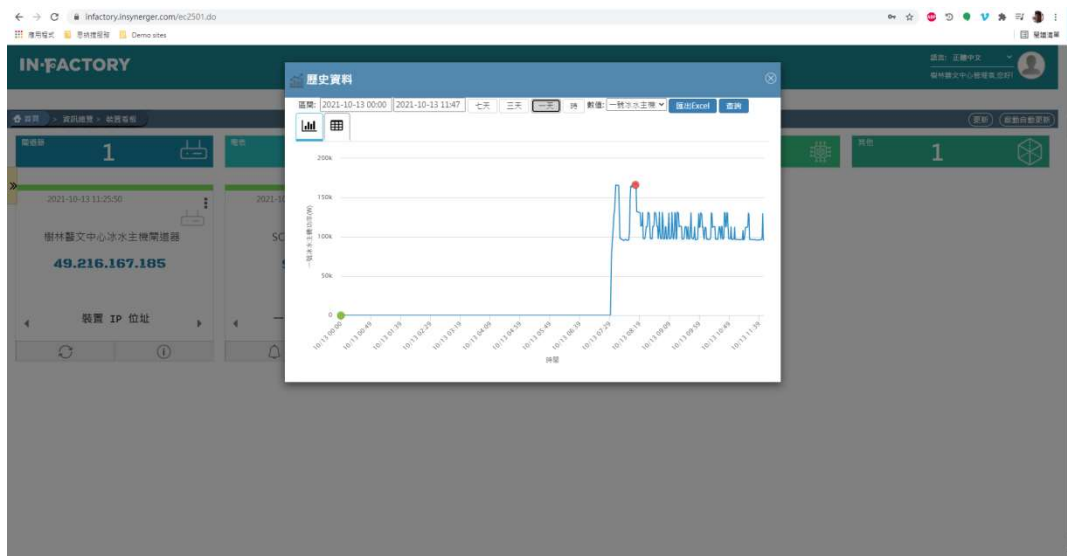
色塊[閘道器][電表]...[其他]點選可以過濾該類別的裝置。下方白底卡片每一張便是一個裝置。

以下圖為例，本案場有一台閘道器以及直到器銜接的 SCADA。



卡片上記有該裝置最後資料更新時間、名稱、屬性(讀值)、及屬性名稱，屬性名稱左有方的三角可切換檢視該裝置的不同屬性。選擇到想檢視的屬性時可看到即時值。

卡片右下方的圖標點選後可察看短期的歷史數據線圖，如下圖。



3.3 冰機狀態檢視

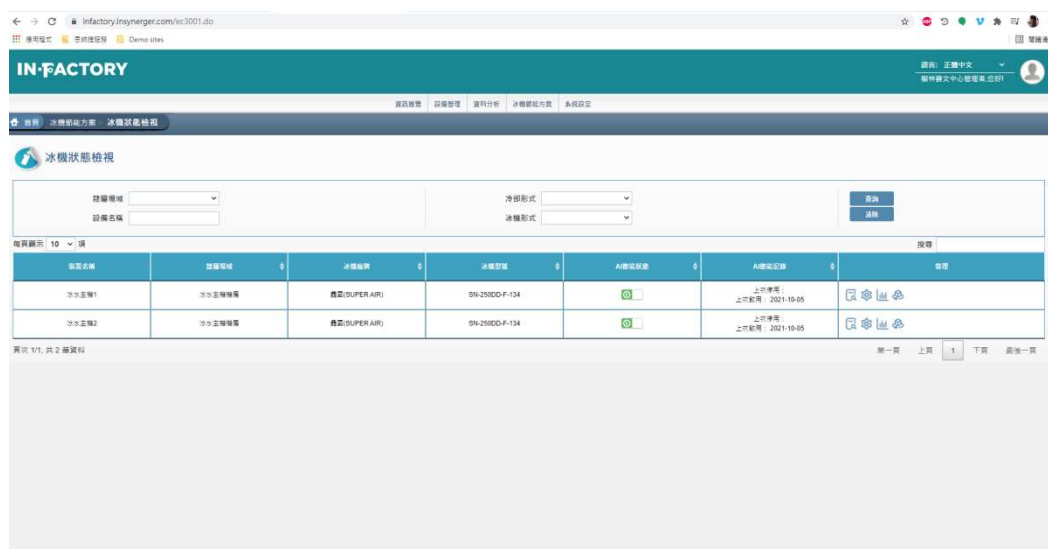
選單選擇 [冰機節能方案] → [冰機狀態檢視] 即可檢視目前帳號權限下的冰水主機機列表。

列表中包含 [裝置名稱]、[隸屬場域]、[冰機廠牌]、[冰機型號]... [冰機節能記錄] 燈資訊供使用者辨識。

當冰機數量較多時可利用過濾方式查詢。



1. 列表中 [管理] 為該冰水主機子功能，包含 [詳情] 、[控制設定] 、[分析資料]  以及 [BIM 檢視] ，點選後可進入。以下分項介紹。

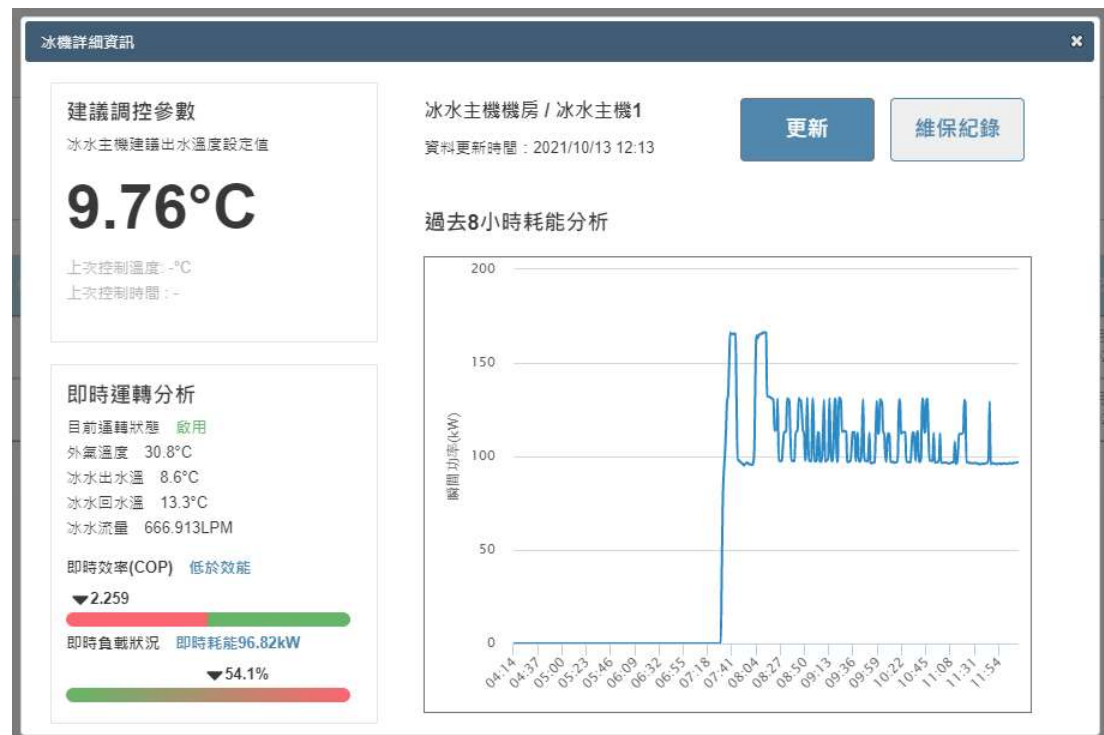


裝置名稱	隸屬場域	冰機廠牌	冰機型號	AI 節能狀態	AI 節能記錄	管理
冰水主機1	冰水主機機房	鑫亞(SUPER AIR)	SN-20ED0-F-124		上次傳感: 上次啟用: 2021-10-05	  
冰水主機2	冰水主機機房	鑫亞(SUPER AIR)	SN-20ED0-F-124		上次傳感: 上次啟用: 2021-10-05	  

2. 列表中的 [AI 節能狀態] 欄唯一可控的開關，可切換該冰機 AI 節能控制的啟閉

3.3.1 詳情

1. 點選[詳情] 後畫面如下。



2. 圖框左上方[建議調控參數]為本系統經 AI 演算法計算後建議之冰水出水溫度調控值。
3. [即時運轉分析]為當下自感測器讀回的參數，包含冰水主機的[運轉狀態]、[外氣溫度]、[冰水出水溫]、[冰水回水溫]、[冰水流量]、[即時效率(COP)]、[即時負載狀況]等參數。
4. [即時效率(COP)]參考能源局 90 年頒布的冰水主機效率標準中第二階段的標準(參考如後附件)，系統會依冰機的冷卻形式(水冷式、氣冷式)、冰機壓縮機型態(容積式壓縮機、離心式壓縮機)及當下效能 COP 值判定該冰水主機當下是否滿足能源局標準。若高於標準則箭頭指向綠色區域、低於標準則箭頭指向紅色區域、吻合標準箭頭會落在圖條中間。
5. [即時負載狀況]則依照該冰水主機出廠額定耗能为準，計算當下的耗能为額定負載的多少百分比顯示。

6. 本圖框為靜態顯示，若需要更新資料則點選右上[更新]即可。
7. 右下為該冰水主機最近 8 小時的耗能歷時曲線。
8. 右上[維保紀錄]點選後可查看、編輯該冰機的維保歷史資料，如下圖。

冰機詳細資訊 / 維保紀錄			
冰水主機機房 / 冰水主機1 - 維保紀錄		新增	返回
日期	維保類別	結案狀況	管理
2021-10-14	報修	已	 
2021-10-31	巡檢	已	 
2021-10-08	報修	已	 

頁次 1/1, 共 3 筆資料

上頁 1 下頁

9. 維保紀錄列表會將最近期的維保紀錄置頂並顯示黃色背景。
10. 管理欄可點選[詳情]  進入檢視/修改。如下圖

冰機詳細資訊 / 維修紀錄 / 維修紀錄單

維修紀錄單

冰水主機機房 / 冰水主機1

建立日期 2021-10-13 11:44

維修類別 保養

執行日期 2021-09-03

維修內容

9/3 已新加裝通訊閘進器銜接AI節能系統。
測試後有數據順序錯誤，已當場修正。

費用 1000 記錄人員 陳文瑞

是否結案 是 否

儲存 返回

其中日期欄不得為空，點選[儲存]後即紀錄於系統中。

3.3.2 控制設定

1. 點選[控制設定]後即出現控制設定頁。
2. 頁面中會顯示目前控制狀況、控制點、控制範圍以及控制週期。設定後點選右下[儲存]系統即會依照本頁設定範圍執行控制。但前提是須先設定設備的控制點位。(參考 3.3 的第 5 點)

控制設定

目前控制狀況：啟用ON

控制點：未設置控制裝置

☒手動控制

☐自動控制

控制範圍

8.5 °C ~ 11.5 °C

控制範圍

☐穩定負載時控制 5% ~ 100%

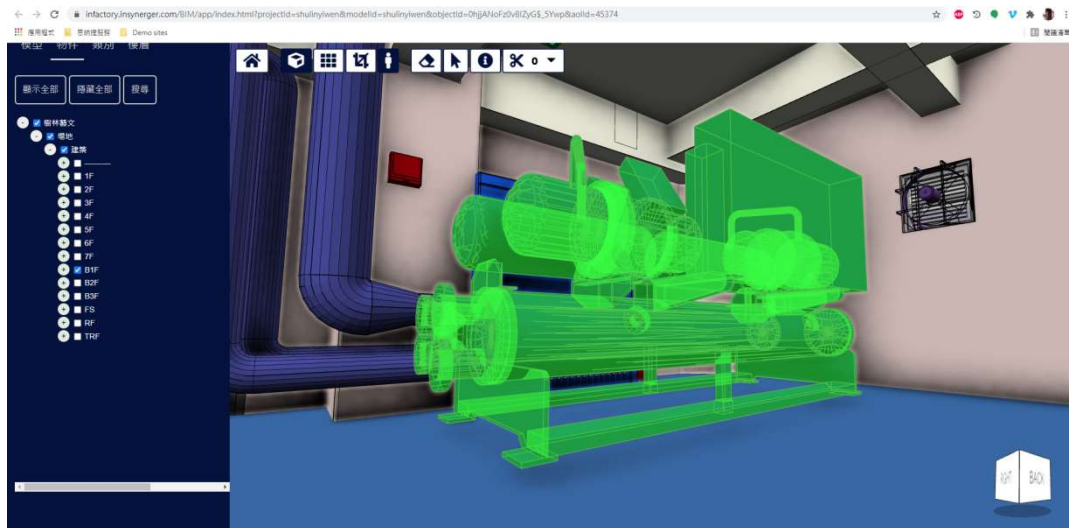
控制週期

1 小時

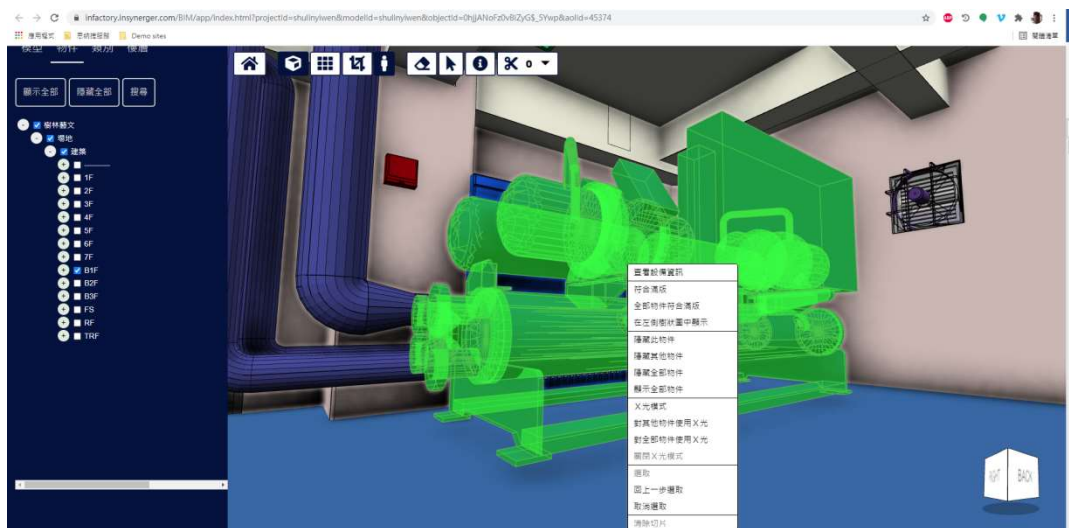
儲存

3.3.3 BIM 檢視

1. 點選[BIM] 後瀏覽器會開出一個新的頁籤(Tab)出現所選冰機的 BIM 圖。
該裝置會 Highlight 成綠色。



2. 在設備上點選滑鼠右鍵會出現選單，如下圖。



3. 在選單中點選第一項[查看設備資訊]也可查看該冰水主機詳細資料，如下圖。



4. 本圖台為開源的 XeoKit 圖台，左側可依階層勾選要檢視的元件，若硬體資源不足(GPU 圖形加速器及獨立記憶體不足)在操作的時候會有延遲現象，建議將不需要的元件關掉，可以增加流暢度。
5. 圖台預設的瀏覽模式是軸轉的方式，進入 BIM 瀏覽器後建議使用[第一人稱模式]  檢視，點選[第一人稱模式]  後在頁面中用滑鼠拖曳，拖曳的方向即為視角的轉向，滑鼠的滾輪的往前滾是前進，往後滾是後退，這樣的操作模式較為直覺易用。

3.4 配置列表

請注意[配置列表]為系統管理者使用，一般使用者不具操作權限。

1. [設備管理]→[設備配置]→ [配置列表]

選擇新增[設備配置]



2. 點選[新增/編輯]來將資料源開道器綁在該設備下。

輸入[設備名稱]、[設備類型]、[開道器後]點選[下一步]

系統設定

*設備名稱: 冰水主機1

*設備類型: 冰水系統

*開道器: 樹林藝文中心冰水主機開道器

設備裝置配置:

圖示	設備名稱	開道器	裝置類型	裝置名稱
✓	冰水主機機房	樹林藝文中心冰水主機開道器	冷氣	SCADA兩台冰機資料

取消 下一步

3. 如下圖，確認綁定的資料源後[儲存]。

系統設定

*設備名稱: 冰水主機1

*設備類型: 冰水系統

*屬地: 樹林藝文中心冰水主機隔間器

設備運轉看板屬性配置:

已勾選的裝置與對應屬性: (點選屬性加入右側列表)

欲呈現的屬性: (可拖拉裝置改變呈現順序)

▶ SCADA兩台冰機資料

取消

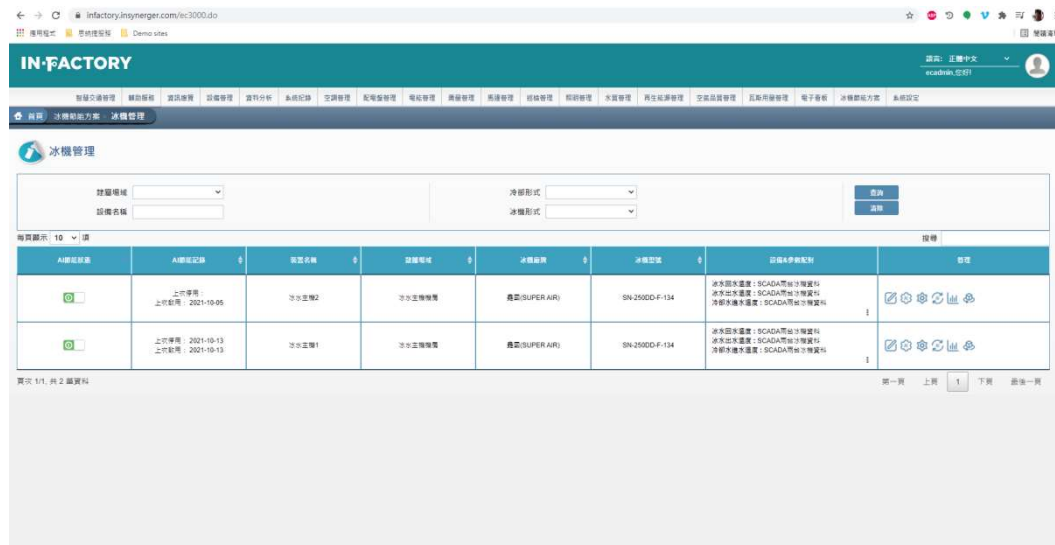
上一步

儲存

3.5 冰機管理

請注意[冰機管理]為系統管理者使用，一般使用者不具操作權限。

1. [冰機節能方案]→[冰機管理]



2. [冰機管理]的[管理]欄中有一下功能。

[編輯基本資料] 、[AI 模型設定] 、[控制設定] 、[模型重算] 、[績效分析] 與[BIM 檢視] ，當中[控制設定]、[績效分析]與[BIM 檢視]與前面章節相同，在此不贅述。

個子功能以下分節介紹。

3.5.1 編輯基本資料

1. 依冰水主機銘版資料輸入基本資料，因各項規格額定皆會納入系統運算，請詳細填寫並注意物理單位的差異。
- 2.

修改基本資料

* 隸屬場域：

冰水主機機房

* 組合設備：

冰水主機2

* 額定功率：

179000

(W)

* 單位電價：

3

冷凍種類：

R-134a

運轉電流：

305

(A)

額定電流：

438

(A)

出廠日期：

201805

(YYYYMM)

* 冰機廠牌：

鑫圓(SUPER AIR)

* 冰機型號：

SN-250DD-F-134

* 冷凍能力：

250

RT

* 冷卻形式：

水冷式

* 冰機形式：

容積式壓縮機(往復式、螺旋式、渦捲式)

啟動電流：

1252

(A)

效能係數：

5.2

維護商及聯繫方式：

03465050

設備&參數配對：

新增裝置屬性

	參數	設備	對應屬性
⊖	冰水回水溫度	SCADA兩台冰機資料	二號冰水主機冰水回水溫度
⊖	冰水出水溫度	SCADA兩台冰機資料	二號冰水主機冰水出水溫度

修改基本資料

運轉電流：305(A)

啟動電流：1252(A)

額定電流：438(A)

效能係數：5.2

出廠日期：201805(YYYYMM)

維護商及聯繫方式：03465050

設備&參數配對：

新增裝置屬性

	參數	設備	對應屬性
⊖	冰水回水溫度	SCADA兩台冰機資料	二號冰水主機冰水回水溫度
⊖	冰水出水溫度	SCADA兩台冰機資料	二號冰水主機冰水出水溫度
⊖	冷卻水進水溫度	SCADA兩台冰機資料	外氣溫度
⊖	消耗功率	SCADA兩台冰機資料	二號冰水主機功率
⊖	冰水流量	SCADA兩台冰機資料	二號冰水主機冰水流量

儲存

- 裝置資料來源的配對設定需確認場域、閘道器及屬性。

3.5.1 AI 模型設定

設定資料清洗條件，可以篩去不適用的樣本。

模型設定

AI模型設定

更新時間：2021/10/06 17:12

*設定名稱

AI模型訓練期間(最多31天)

☐ 固定期間 開始時間： ~ 結束時間：

☒ 滾動期間 自當下回溯 日

資料清洗方法

*模型樣本數下限 筆

☒ 僅採用冰水出入水溫 °C ~ °C 的樣本

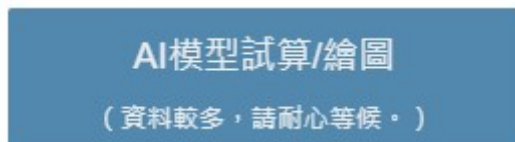
☒ 僅採用負載率 % ~ % 的樣本

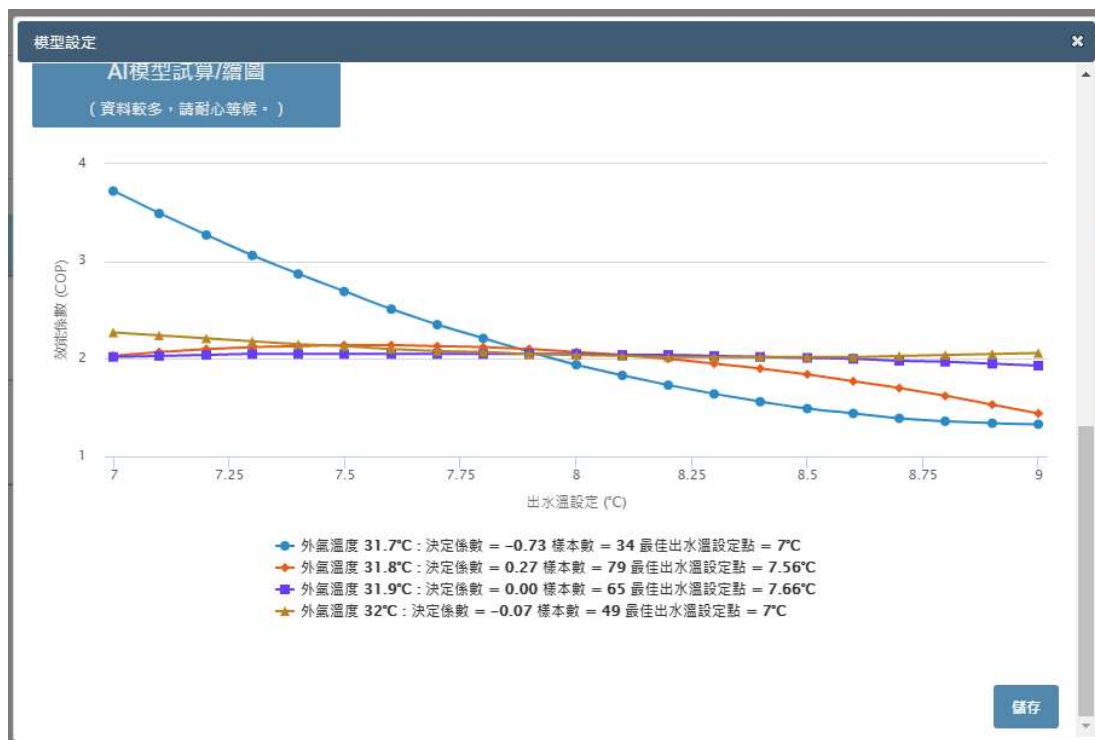
☐ 周末不列入模型樣本

☒ 每日模型數據取樣時段(小時)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

設定後按此鍵試算。





試算後可檢視模型是否可用，若判斷可用則按[儲存]。或修改條件後重新試算。

3.5.2 模型重算

缺漏模型的時段可利用本功能補算。

重算資料

開始時間：2021-10-12

~

結束時間：2021-10-12

最多選擇7天，資料較多，請耐心等待。

開始重算

4. 附件

冰水主機效率標準

空調系統冰水主機能源效率標準

中華民國九十年九月十二日
經(九〇)能字第〇九〇〇四六一九一七〇號

公告附表：

空調系統冰水主機能源效率標準

執行階段			第一階段		第二階段	
實施日期			民國九十二年一月一日		民國九十四年一月一日	
型	式	冷卻能力等級	能源效率比值 (EER)kcal/h- W	性能係數 (COP)	能源效率比值 (EER) kcal/h- W	性能係數(COP)
水冷式	容積式 壓縮機	<150RT	3.50	4.07	3.83	4.45
		≥150RT ≤500RT	3.60	4.19	4.21	4.90
		>500RT	4.00	4.65	4.73	5.50
	離心式 壓縮機	<150RT	4.30	5.00	4.30	5.00
		≥150RT <300RT	4.77	5.55	4.77	5.55
		≥300RT	4.77	5.55	5.25	6.10
氣冷式	全機種		2.40	2.79	2.40	2.79

註：

- 1.冰水機能源效率比值(EER)依CNS12575容積式冰水機組及CNS12812離心式冰水機組規定試驗之冷卻能力(Kcal/h)除以規定試驗之冷卻消耗電功率(W),測試所得能源效率比值不得小於上表標準值,另廠商於產品上之標示值與測試值誤差應在百分之五以內。
- 2.性能係數(COP)=冷卻能力(W) / 冷卻消耗電功率(W)=1.163EER。1RT(冷凍噸)=3024Kcal/h。

資料來源：能源局官方網站

附錄七 計畫期末成果說明會

成果說明會計畫資料



內政部建築研究所
Architecture and Building Research
Institute, Ministry of the Interior

「數位雙生(Digital Twin)—建築資訊 建模(BIM)與人工智慧(AI)整合應用可 行性研究」成果說明會 計畫書

主辦單位：內政部建築研究所
執行單位：思納捷科技股份有限公司

中華民國 110 年 11 月

「數位雙生(Digital Twin)—建築資訊建模(BIM)與人工
智慧(AI)整合應用可行性研究」成果說明會
主辦單位：內政部建築研究所
執行單位：思納捷科技股份有限公司

一、計畫緣起

建築物數位雙生的精神在於將建築的有形資產以數據資料的方式複製儲存、分析、利用。近十餘年來數位科技的進步與資訊設備普及化並成本降低，將建築物數位化的技術門檻也隨之降低，像是 BIM 的導入對於建築在營運週期的審查自動化、施工期間工程碰撞避免、工序最佳化等應用都有成熟的實踐。

但诸如 BIM-IoT 與 AI 的整合應用卻鮮少在一個建築物生命週期最長的運維(O&M)週期中充分的被利用並賦予價值。多數的 BIM 資料在營運週期結束後便束之高閣。本研究即聚焦在建築物資料在營運週期依然能發揮其價值。本計畫將在 BIM 資訊在的營運週期的再利用之外納入建築物 IoT 的即時資訊以及透過 AI 方法編譯建築物的靜態、動態資料賦予建築運維上的價值。

本研究之目的為利用建築物營運週期的重要數據資產 BIM，加上 IoT 技術整合建築物營運週期設備數據、環境感測數據與控制資源，建立建築物數位雙生的模型，再結合 AI 的手法將建築內的硬體設備的運維智慧化以達到降低人力投入、降低能源成本與設備效能優化的成效。

因應新型冠狀病毒避免人潮聚集，本次活動將以線上直播方式召開。

3

二、課程規劃：

本次說明會為線上直播，開放免費參加且無須報名，亦不提供講習積分。
舉辦時間：110 年 12 月 10 日（星期五）下午 13:50-17:40
地點：線上方式進行

時間	議題	主講人
13:50 ~14:00	報 到	
14:00 ~14:10	長官致詞	
14:10 ~15:00	國內 BIM 發展趨勢與展望	內政部建築研究所 陳建忠 組長 引言 陳士明 助理研究員 主講
15:00 ~15:50	數位雙生(Digital Twin)—建築 資訊建模(BIM)與人工智慧(AI) 整合應用可行性研究成果說明	思納捷科技股份有限公司 計畫主持人 莊傑崇 總經理
15:50 ~16:40	建築數位雙生(Digital Twin)示 範系統說明	思納捷科技股份有限公司 嚴嘉鑫 經理
16:40 ~17:30	數位雙生介紹與建築應用案例 分析	數位雙生學會創辦人 莊威龍 執行長
17:30 ~17:40	會議結束總結	思納捷科技股份有限公司 計畫主持人莊傑崇 總經理

三、說明會日期及地點：

時間：110 年 12 月 10 日（星期五）下午 13:50 報到

地點：採線上方式進行

<https://meet.google.com/xpg-poiw-dqx>

四、研討會對象：

1. 中央政府機關、縣市政府之建築/營建/土木相關部門，及大專院校
相關科系所教授、研究生、學生等。

4

2. 建設公司、營造廠、工程顧問公司、建築師、結構技師、土木技師、
冷凍空調技師、物業管理公司及相關公會團體及會員。
3. 建築資訊領域學界教授、軟體、硬體、系統整合廠商、研發機構、
公協會與財團法人。

五、預算規劃

經費用途別	項目名稱	用途說明	數量	單價	總計
其他費用	說明會外聘講師費		1 人	2,000 元/人	2,000 元
	說明會內聘講師費		3 人	1,000 元/人	3,000 元
	圖印製	印製 DM 及發送	1,000 份	10 元/份	10,000 元
	海報印製		10 份	500 元/份	5,000 元
	廣宣費用	委託網路廣宣	2 網站	5000 元/站	10,000 元
說明會用講義印刷費	講義費	寄發聽會之講義 含郵資、牛皮紙 袋及地址印製	200 份	225 元/份	45,000 元
合計					75,000

5



110年度
數位雙生(Digital Twin)
建築資訊建模 (BIM) 與人工智慧(AI)整合應用可行性研究 - 成果說明會

思納捷科技股份有限公司受內政部建築研究所委託，將辦理數位雙生(Digital Twin)——建築資訊建模 (BIM) 與人工智慧(AI)整合應用可行性研究成果說明會，一同瞭解如何透過IoT技術整合建物運營週期設備數據、環境感測數據與控制資源，建立建物數位雙生的模型，再結合 AI將建築內硬體設備的運維智慧化之研究成果說明。

建築物數位雙生的精神在於將建物的有形資產以數據資料的方式複製儲存、分析、利用，並將數位資料透過AI技術的分析、運用，使得硬體設備的維運智慧化以達到降低人力投入，能資源成本，將設備效能優化讓建築物之運營週期發揮最佳價值。

本活動全程免費參加，請把握機會報名！

報名方式與注意事項

- 報名費用與名額免費參加，報名名額限100人，名額有限，依報名順序額滿為止。
- 報名方式採網路報名，連結請掃右方QR Code。



活動議程

110年12月10日 (星期五) 下午13:50-17:40

時間	議題	主講人
13:50 ~ 14:00	報到	
14:00 ~ 14:10	長官致詞	
14:10 ~ 15:00	國內BIM發展趨勢與展望	內政部建築研究所 陳建忠 組長 引言 陳士明 助理研究員 主講
15:00 ~ 15:50	數位雙生(Digital Twin) 建築資訊建模 (BIM) 與人工智慧(AI) 整合應用可行性研究成果說明	思納捷科技股份有限公司 計畫主持人 莊榮榮 總經理
15:50 ~ 16:40	建築數位雙生(Digital Twin)示 範系統說明	思納捷科技股份有限公司 嚴嘉鑫 經理
16:40 ~ 17:30	數位雙生介紹 與建築應用案例分析	數位雙生學會 創辦人 莊威龍 執行長
17:30 ~ 17:40	會議結束總結	思納捷科技股份有限公司 計畫主持人 莊榮榮 總經理

主辦單位：



內政部建築研究所

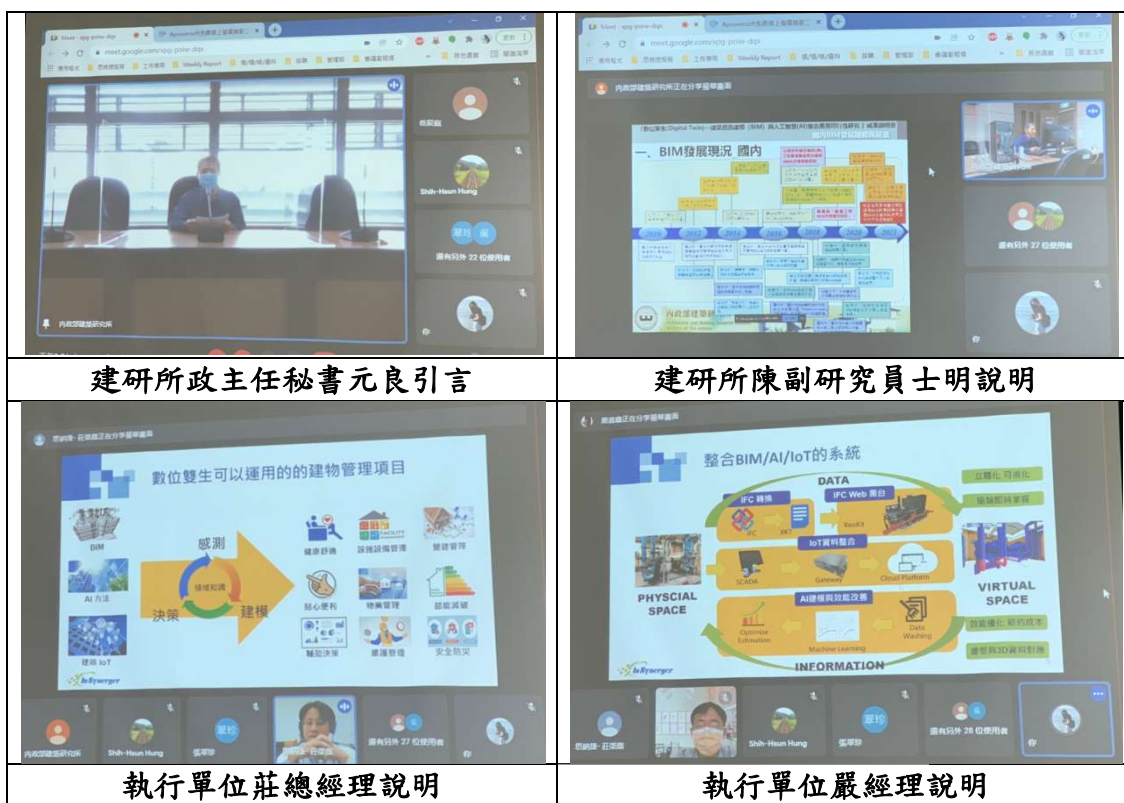
執行單位：



思納捷科技股份有限公司

內政部建築研究所廣告

線上成果說明會現場照片



數位雙生(Digital Twin)—建築資訊建模(BIM)與人工智慧(AI)整合應用可行性
研究成果說明簡報

數位雙生(Digital Twin)-建築資訊建模(BIM)與人工智慧(AI)整合應用可行性研究成果報告

計畫主持人：莊榮泰 博士
恩納捷科技股份有限公司
2021/10/29

InSynerger
24小時能源與機電設備雲端 AI 總管
智慧能源 / 智慧路燈 / 裝置聯網 / 資料分析

簡報大綱

- 一、計畫概要
- 二、計畫工作項目及成果
- 三、結論與效益

計畫需求

計畫緣起
數位雙生(Digital Twin, 簡稱DT)以虛擬的場域來呈現真實環境的資訊應用，提供使用者或決策者進行判斷或決策運用。DT是建立在人工智慧、機器學習、資料分析三個基礎，創造動態的數位模型。這個模型可以不斷的學習、更新場域的實質的狀態，達到資訊整合應用。

計畫需求
1.建立以BIM結合IoT及AI預先判斷設施是否有即將故障隱患或效能優化調整之系統。
2.探討BIM與AI的整合應用於主動式的設備管控與維護管理之方法。
3.探討以AI機械學習主動訊息服務之可行性。
4.以BIM為核心進行探討主動式服務及設備訊息整合之資料整合模式。

計畫研究方法及範疇

- 1 調查分析及案場接洽
文獻研究現行建物AloT技術現況
接洽可進行BIM、AloT之案場
場勘備料
- 2 IoT數據蒐集&AI演算法開發
規劃IoT資料蒐集方法與施作
規劃應作標的AI模型及優化方法
- 3 BIM圖台開發&系統整合
取得BIM檔並實作 BIM圖台
整合BIM、AloT操作系統
- 4 建物優化與成效驗證
完成BIM、AloT整合系統
依據量化基礎驗證系統優化的績效

計畫規劃工項及時程

工作項目	第1個月	第2個月	第3個月	第4個月	第5個月	第6個月	第7個月	第8個月	第9個月	第10個月	第11個月	第12個月
1.研究現場環境 計劃規劃(工作計畫)												
2.海島風扇、橋樑、光線數據												
3.調度室安裝測試、紀錄數據												
4.期中報告												
5.完成現場安裝BIM平台安裝												
6.完成 AI 優化演算法研發												
7.完成 AI 優化方法驗證												
8.期末報告												

計畫工作項目及成果

數位雙生 (Digital twin)，或譯作數位學生、數位分身，指在資訊化平台內類比物理實體、流程或者系統，類似實體系統在資訊化平台中的雙胞胎。藉助於數位對映，可以在資訊化平台上了解物理實體的狀態，甚至可以對物理實體裡面預定義的介面元件進行控制。(from Wikipedia)

PHYSICAL SPACE → DATA → INFORMATION → VIRTUAL SPACE

圖片來源: <http://www.itsbbn.pkiblog.advanced-imaging-algorithms-for-digital-twin-reconstruction/index.html>

文獻探討

新加坡智慧國家計畫 (Singapore Smart Nation :Virtual Singapore)

透過全新新加坡地景及建物的全面3D建模，提供一個幾何的數位雙生來協助公共項目規畫決策，例如：

1. 電燈基地台的布網決策，可透過數位雙生計算最佳通訊訊號下的最佳成本。
2. 太陽能設備佈置決策，計算最佳日照角度以及避免遮擋的PV佈局方式，產生最大發電效益。
3. 都市安全決策，在都市發生衝突事件時人流疏散計畫。
4. 其他如車流模擬，建立最佳公族車轉運站以及基礎建設設置點位等。

大南港區電力分佈

資料來源: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>

文獻探討

數位雙生與傳統BA相異點比較

特性	傳統技術	數位雙生
可视化	傳統的BA多是平面圖或示意圖缺乏空間概念與互動性。	數位雙生強調3D VR(虛擬實境)、AR(擴增實境)、MR(混合實境)等可視化技術，提供使用者更直觀友善的操作。
智慧化	傳統BA功能為集中控制、排程、運動或警報等基本操作為主。	在數位雙生模型上同步進行模擬、機器學習、大數據分析、預測、診斷及人工智慧等多元手法來進行優化及反應。
無人化	傳統BA需要專人看管與操作。	藉由AloT技術可以提供自動AI優化控制、自動巡檢、輔助決策、故障異常預測以及即時主動通報，可降低可觀的人力。

文獻探討

Gogoro電動機車 傳統機車

	利用數位雙生的模式	傳統模式
獲利模式	機車是生財工具，換電服務是獲利模式	機車是商品，一次性獲利。
故障診斷	透過換電將機車運行數據回傳數據中心，定期維修或壞了再修，提供精準維修服務(APP推薦)。	可以透過得知每台車的使用行為及車況，提供精準維修服務(APP推薦)。
優化	不同車種、用料與運轉效能分析(公里/度)(維修次數/年)可提供未來產品設計決策。	難以取得運轉數據回饋。
遠端存取	數據中心可遠端存取數據加以運用。	只有接觸到實體才能了解車況。

11

文獻探討

感測 領域知識 建模 決策

結合感測、建模與決策技術，輔以領域知識(domain knowledge)是各數位雙生應用中不可或缺的技术要件。

Google Maps, Google maps, Rolls-Royce, Tesla, Apple Health

12

數位雙生可以運用的建物管理項目

感測 領域知識 建模 決策

BIM, AI方法, 建築IoT

健康狀態, 設施設備管理, 營運管理, 關心便利, 物業管理, 節能減碳, 輔助決策, 維護管理, 安全防災

13

AI機械學習演算法可提供最佳化管理項目

節能減碳, 設備維護, 降低成本, 健康舒適, 輔助決策, 安全防災

14

整合BIM/AI/IoT之維運管理系統雛形架構

PHYSICAL SPACE, DATA, VIRTUAL SPACE, INFORMATION

15

整合BIM/AI/IoT之維運管理系統雛形架構

應用服務與使用者介面, AI設備優化引擎, BIM圖台, 物聯網開道器, BIM模型之資料, 感測器組, 控制器組

16

場域接洽、場勘、備料

場域接洽

- 新北新工處 新北藝文綜合大樓
- 地址: 新北市樹林區樹新路40之7號
- 建物規模: 地上7層 地下3層
- 樓地板面積: 21,204m²
- 開工日期: 105/09/01
- 完工日期: 108/03/31
- 進駐機關: 新工處、衛生所、文化局、交通局

接洽單位: 新北市政府新建工程處 李仲鈞 總工程師 秘書室 陳星妤 主任

17

現場安裝測試、紀錄數據

場勘/資料交接

- 完成現場場勘並選定現場兩台空調冰水主機作為AIoT的實驗機。
- 兩台冰水主機為250冷噸螺旋式雙壓冰水機，每日輪替，上班日在07:30~19:30開機。
- 現場的弱電系統已銜接系統所需的資料點。包含BTU計以及冰機電表。
- 完成場勘記錄及現場資料交接規劃。

18

現場安裝測試、紀錄數據

IoT架構實作

採用萬用開道器與現場SCADA整合，並將即時資訊透過4G通訊同步至微軟Azure雲端資訊平台。整合快速、妥善度高且具高度彈性，可擴充多種現場感測器、感測器、控制器，並支援行動裝置APP，滿足主動通報需求。

19

展示環境及BIM圖台架設

BIM圖台

- 採用實驗場域(樹林藝文中心)BIM模型檔案
- 經調查評估採用以瀏覽器檢視、不需軟體架構的XeoKit SDK開發的BIM圖台。
- 可有效渲染BIM的3D畫面，具有彈性的開發空間。

BIM瀏覽器圖台	開發彈性	實作方式	瀏覽器可用	可建置單機
AutoDesk Forge	高	上傳/轉檔/修改 BIM 的動作每小時 3~1.5 美元 (需購買的下載/View) 使用 目前不計費 開發用 API 部分免費，部分無付費 (0.2~6 美元)	可	需連接雲端
Unity Reflect	中	開發環境 Unity Reflect Develop Plus 399 美元/高年/每套單獨 Pro 1800 美元/每套/每套單獨	可	可單獨使用
XeoKit SDK	高	SDK (Soft Develop Kits) 為開源軟體 採 AGPL V3 license 範圍 免費	可	可單獨使用

20

展示環境及BIM圖台架設

BIM圖台

- XeoKit 轉檔工具具有量化的功能，以翰林藝文中心全建築IFC檔案為例，原始檔案約1.5GB，轉檔後約為50MB，若僅供圖台瀏覽，資料量可壓縮300倍。

圖台測試環境：

ASUS Notebook
CPU: Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz
RAM: 8GB on board
OS: Microsoft Windows 10 pro (64 位元)
Browser: Google Chrome 版本 94.0.4606.81 (正式版本) (64 位元)
CPU資源占約60%；記憶體70%；圖形處理器GPU 70%。

IFC (轉檔前)

.xkt & .json (轉檔後)



展示環境及BIM圖台架設

設備實景

圖台效果



設備AI優化演算法開發

空調冰水主機機組知識

- 空調系統與控制經驗(電力、冰水主機、冷凍)
- 冰水主機效能判斷機制(運行模式、製冷效能)
- 冰水主機異常診斷經驗(電力異常、出水溫度)

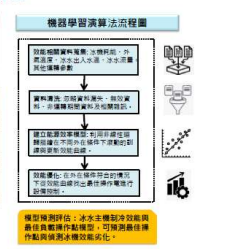
冰水主機效能模型

功率與製冷量參數的關係性

外氣環境與效能參數模型

冰水主機效能優化產業知識

機器學習演算法流程圖



設備AI優化演算法開發

AI機器學習及優化演算法實作

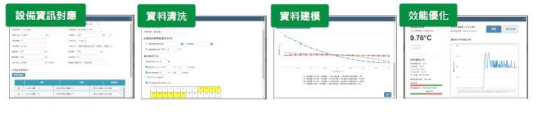
在資訊平台上建立設備資料庫，透過資料擷取、清洗、建模、優化等數據運算，提供設備效能優化建議。

設備資訊擷取

資料清洗

資料建模

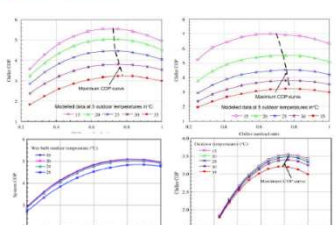
效能優化



設備AI優化演算法開發

冰機AIoT機器學習優化演算法

- 每一台冰水主機出廠後都會有不同的效率表現，原因在於它的冷卻水側、冰水側、負載、外氣條件、操作習慣、維修狀況都不同。
- 本計畫AIoT方法藉由IoT設備即時擷取運轉數據，並透過隨時的機器學習建立動態的冰機效能模型。
- 透過冰機效能模型可以在運轉時追蹤當下最佳效能的操作點，達到將冰機性能優化的功效。



設備AI優化方法驗證

系統每日依據AI學習演進追蹤最佳調控參數，顯示於操作頁面上(如下圖)，現場即依據建議調控。驗證方式為在固定環境條件下，比較改善前改善後之耗電(即右圖耗電曲線)，並計算改善量(右下)。

驗證結果在外氣溫度接近的條件下，單日，單台冰水主機，運轉約13小時的節電量為82度電(kWh)，節電率約為6.3%。

改善前(10/6) 單日耗電(kWh)曲線

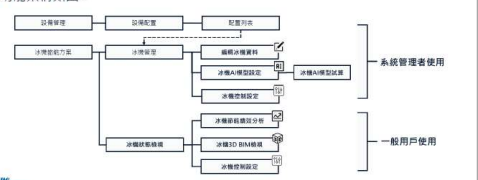
改善後(10/8) 單日耗電(kWh)曲線

	單日最高外氣溫度	單日冰水主機耗電(度)
10/6改善前	32.5°C	1,298 kWh
10/8改善後	32.8°C	1,216 kWh
節電量		82kWh (6.3%)



計畫期末成果(12):於實驗場域建立以BIM結合IoT及AI之數位雙生系統並進行驗證

本計畫整合BIM、IoT、AI技術並整合空調設備領域知識建置應用資訊系統進行驗證，功能架構如圖。



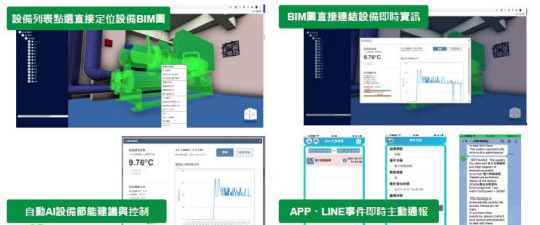
計畫期末成果(12):於實驗場域建立以BIM結合IoT及AI之數位雙生系統並進行驗證

設備列表點選直接定位設備BIM圖

BIM圖直接連結設備即時資訊

自動AI設備節能建議與控制

APP、LINE事件即時主動通報



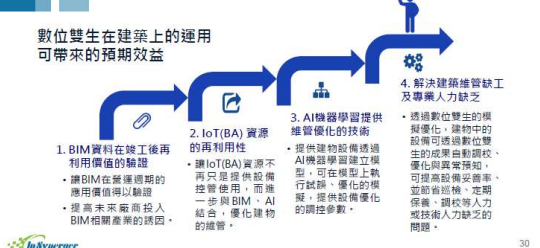
03 結論與效益



結論與效益

數位雙生在建築上的運用可帶來的預期效益

1. BIM資料在竣工後再利用價值的驗證。
 - 據BIM在營運階段的應用價值得以驗證。
 - 提高未來廠商投入BIM相關產業的誘因。
2. IoT(BA)資源的再利用性。
 - 據IoT(BA)資源不再只是提供設備控管使用，而進一步與BIM、AI結合，優化建物的維管。
3. AI機器學習提供維管优化的技術。
 - 提供建物設備透過AI機器學習建立模型，可在模型上執行訓練、优化的模擬，提供設備优化的調控參數。
4. 解決建築維護員工及專業人力缺乏。
 - 透過數位雙生的模擬優化，讓物中的設備可透過數位雙生的成果自動調控、優化與其異常預知，可提高設備安全率，並節省維修、定期保養、調校等人力或技術人力缺乏的問題。



IoT平台架構

實驗標的選擇

- 空調系統是建物內耗能占比最大的系統，而冰水主機又是空調系統中最主要的耗能與效率的關鍵。
- 國內冷凍空調人力缺乏，急需解決方案彌補人力不足。
- 本計畫將針對冰水主機參數建立設備設備的數位孿生，並進行AI機器學習，透過模型優化冰機效率，並節省維護、巡檢、調校人力。

InSynergy

IoT平台架構

場勘/資料交接

- 完成現場場勘並選定現場兩台空調冰水主機作為AIoT的實驗標的。
- 兩台冰水主機為250冷噸螺旋式雙壓冰水機，每日輪替，上班日在07:30~19:30開機。
- 現場的弱電系統已銜接系統所需的資料點，包含BTU計以及冰機電表。
- 完成場勘記錄及現場資料交接規劃。

B1冰水主機

現場弱電系統

BTU計

冰機電表

InSynergy

3D BIM圖台

BIM圖台

- 採用實驗場域(樹林藝文中心)BIM模型檔案。
- 經調查評估採用以瀏覽器檢視，不需雲端架構的XeoKit SDK開發之BIM圖台。
- 可有效演繹BIM的3D畫面，具有彈性的開發空間。

InSynergy

13

3D BIM圖台

BIM圖台

- XeoKit 轉檔工具具有輕量化的功能，以樹林藝文中心全棟IFC檔為例，原始檔案約1.5GB，轉檔後約為50MB，若僅供圖台瀏覽，資料量可壓縮300倍。

IFC (轉檔前)

圖台測試環境:

ASUS NoteBook
CPU: Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz
RAM: 8GB on board
OS: Microsoft Windows 10 pro (64 位元)
Browser: Google Chrome 版本 94.0.4606.81 (正式版本) (64 位元)
CPU資源佔約60%；記憶體70%；圖形處理器GPU 70%。

InSynergy

14

3D BIM圖台

InSynergy

15

3D BIM圖台

BIM圖台實作

採用開源XeoKit實作的瀏覽器BIM圖台，實現可離線操作(Stand Alone)、輕量化、普及化、低成本並可與其他網頁彈性應用整合的BIM圖台。

InSynergy

建築設備AI優化

空調冰水主機領域知識

- 空調製冷與調節控制(電力、冰水溫、流量)
- 冰水主機效能調節控制(操作模式、制冷效能)
- 冰水主機具有診斷功能(電力負載、出水溫度)

機器學習演算法流程圖

InSynergy

建築設備AI優化

冰機AIoT機器學習優化演算法

- 每一台冰水主機出廠後都會有不同的效率表現，原因在於它的冷卻水側、冰水側、負載、外氣條件、操作習慣、維修狀況都不同。
- 本計畫AIoT方法藉由IoT設備即時擷取運轉數據，並透過隨時的機器學習建立動態的冰機效能模型。
- 透過冰機效能模型可以在運轉時動態當下最佳效能的操作點，達到將冰機性能优化的功效。

InSynergy

建築設備AI優化

AI機器學習及優化演算法實作

在資訊平台上建立設備資料庫，透過資料擷取、清洗、建模、優化等數據運算，提供設備效能優化建議。

InSynergy

建築設備AI優化

系統每日依據AI學習演算法動態最佳控制參數，顯示於操作畫面(如下圖)，現場即依據建議調控。驗證方式為在固定環境條件下，比較改善前改善後之耗能(如右圖耗能曲線)，並計算改善量(如下)。

驗證結果在外氣溫度接近的條件下，驗證一周(五個工作天)，節能率約為4%~6%。

	改善前(10/6) 單日耗能(kWh)曲線	改善後(10/8) 單日耗能(kWh)曲線
10/6改善前	32.5 °C	1,298 kWh
10/8改善後	32.8 °C	1,216 kWh
節能量		82kWh (6.3%)

InSynergy

附錄八 專有名詞中英文對照表

名稱	英文原文	英文縮寫
建築資訊模型	Building Information Model	BIM
物聯網	Internet of Things	IoT
人工智慧	Artificial Intelligence	AI
基線	Baseline	
效能係數	Coefficient of Performance	COP
數據採集及監控系統	Supervisory Control And Data Acquisition	SCADA
可程式邏輯控制器	Programmable Logic Controller	PLC
閘道器	Gateway	GW
虛擬實境	Virtual Reality	VR
擴增實境	Augmented Reality	AR
非侵入式偵測	Non-Invasive Detection	NID
冷凍噸	Refrigeration Ton	RT
渲染	Rending	
軟體開發套件	Software Development Kits	SDK
應用程式介面	Application Programming Interface	API
無熔絲斷路器	Non-Fuse Breaker	NFB
能源效率	Energy Efficiency Ratio	EER
量測與驗證	Measurement and Verification	M&V
數位雙生	Digital Twins	DT
建築自動化	Building Automation	BA
建築自動化系統	Building Automation System	BAS