



建築物管理系統

數位孿生 科技博物館

— 海科館 BIM 建築資訊整合管理系統

林谷屏／國立海洋科技博物館工務機電組 主任

鍾紀蔚／國立海洋科技博物館 助理

康思敏*／續紛科技股份有限公司 總經理

國立海洋科技博物館（本文簡稱海科館）多年來戮力於打造數位孿生博物館，以提升管理綜效。本系統 BIM 建築資訊模型為基礎，整合 APP 開發、IoT 設備監控技術等應用，發展出數位孿生科技博物館—BIM 建築資訊整合管理系統，更與時俱進導入科技創新技術，逐年擴充系統功能以滿足偌大場址之管理需求。

自 2016 年起，本館與各領域之專業開發團隊（包含土木建築、機電、冷凍空調、能源管理、軟體科技等）歷經長期的需求訪談、規劃、開發與應用。除了以圖資配合現場勘驗作業以建立完善 BIM 模型外，更成功開發基礎功能，如：設施設備巡檢報修、圖資檢閱、設備數據監控等模組作為首要開發項目，成功地完成數位轉型並有效提升管理效益。不僅於此，近年更導入遠端圖控機電設備功能、節能分析功能，透過智慧化數據分析降低環境負擔。未來，我們將以「節能」、「防災」兩大方向及永續經營的目標邁進。

關鍵詞：BIM 建築資訊模型、IoT 智慧監控、設施設備管理、AI 節能分析

計畫簡介

國立海洋科技博物館隸屬於教育部的五大科學館之一，位於臺灣基隆市中正區，西迎八斗子市街與八斗子漁港、東接東北角海岸風景特定區，總面積約 48 公頃。本館開館於 2013 年，以海洋科技為展示主題，設有「海洋環境廳」、「海洋科學廳」等 9 個展示廳，以及潮境海洋中心、潮境公園、環保復育公園、八斗子公園等遊憩設施，依山傍海的優美景色與豐富的生態體驗環境，使本館成為全台寓教於樂的指標博物館。

因應幅員廣大的場址、眾多的設施設備及高標準的環境條件維持需求，目前主要面臨課題如下：

1. 主要場館完工時僅交付 2D 圖說至營運階段使用，營運維護所需的資訊不完整。
2. 設備進行汰換、改善或檢查時，無法即時更新資料，影響管理系統的有效性。
3. 場館維修流程主要仍依賴人工方式進行，相關資料之保存及檢索不易，且更難以運用於決策管理。
4. 現有管理人力不足且流動頻繁，管理經驗難以傳承。
5. 場館空調耗電量大，急需進行節能方案優化以降低電費支出。

* 通訊作者，janna970519@gmail.com

基於對場館智慧化之營運管理需求，本計畫透過建立數位模型（Digital Model）、數位影子（Digital Shadow）、數位孿生（Digital Twin）三步驟，打造海科館 BIM 建築資訊管理系統，用以輔助本館日常運維管理，並結合 IoT 物聯網、AI 節能分析等最新科技整合應用，打造領先全台之數位孿生科技博物館。計畫發展概念如圖 1 所示。

- 數位模型（Digital Model）：

本館自 2017 起即利用原有竣工圖說並配合現場勘查作業，開始分階段建置各場館之 BIM 建築資訊模型。運用 BIM 模型輕量化技術，使管理者可運用瀏覽器瀏覽 BIM 模型輔助日常管理作業。

- 數位影子（Digital Shadow）：

利用已建置完成之 BIM 數位模型及相關屬性資料，發展海科館 BIM 建築資訊整合管理系統。該系統結合 BIM 模型、IoT 監控、擴增實境 AR 及大數據分析等技術，並優化既有管理流程，開發 BIM 建築資訊管理、巡檢報修前端 APP 及管理後台、IoT 設備監控整合和節能分析及空調 3D 圖控等功能，成功地為場館的營運維護流程提供強而有力的輔助工具。

- 數位孿生（Digital Twin）：

為優化場館節能方案以降低電費支出，本計畫透過蒐集人流、場館溫溼度、空調系統運作參數等數據建立 AI 分析模型，預測各時段場館電力負載與相應的最佳排程方案，再發展 BIM-3D 圖控模組控制場館空調系統運作，使其自動對應最佳排程，以達到智慧節能之效。

數位創新成果

數位模型（Digital Model）：BIM 建置

BIM 建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）係一種將建築物資料數位化應用的流程，透過建立含有工程及管理資訊的虛擬 3D 建築物資料庫，並作為建築物設施設備資料載體供建築生命週期各階段使用。本館自 2017 起即利用原有竣工圖說並配合現場勘查作業，開始分階段建置各場館之 BIM 建築資訊模型，主要包含下列兩項重點：

1. 制定 BIM 模型建置標準規範：為落實發展 BIM 技術應用，本館於 2017 年即制



圖 1 計畫發展概念圖

定完成符合本館使用之 BIM 模型建置標準規範，內容主要包括：系統及檔案分類標準、樣板及環境規畫標準、模型元件及屬性建置標準、元件編碼標準、檔案移交格式、建置範例說明等。本館既有各棟建築或改建工程均參照本標準規範進行 BIM 建置工作，以利數位化圖資之統一性及有效性。

2. 模型建置作業：為確保模型成果品質，本館逐年編列建置進度及預算，要求相關單位參照上述之建模標準規範及竣工圖資進行建置，並配合現場勘查作業（如圖 2），確保模型與現場一致。目前已完成海科館主題館（A、B、C、D 棟）、行政中心（E 棟）、教育中心（F 棟）、研究典藏中心（G 棟）、海洋劇場及地下停車場（H 棟）、區域探索館及潮境智能海洋館之土建模型及機電整合模型（空調、消防、電力、給排水、照明、環境監控及指標系統）及相關屬性資料等，如圖 3 所示。



圖 2 潮境館現場勘查作業

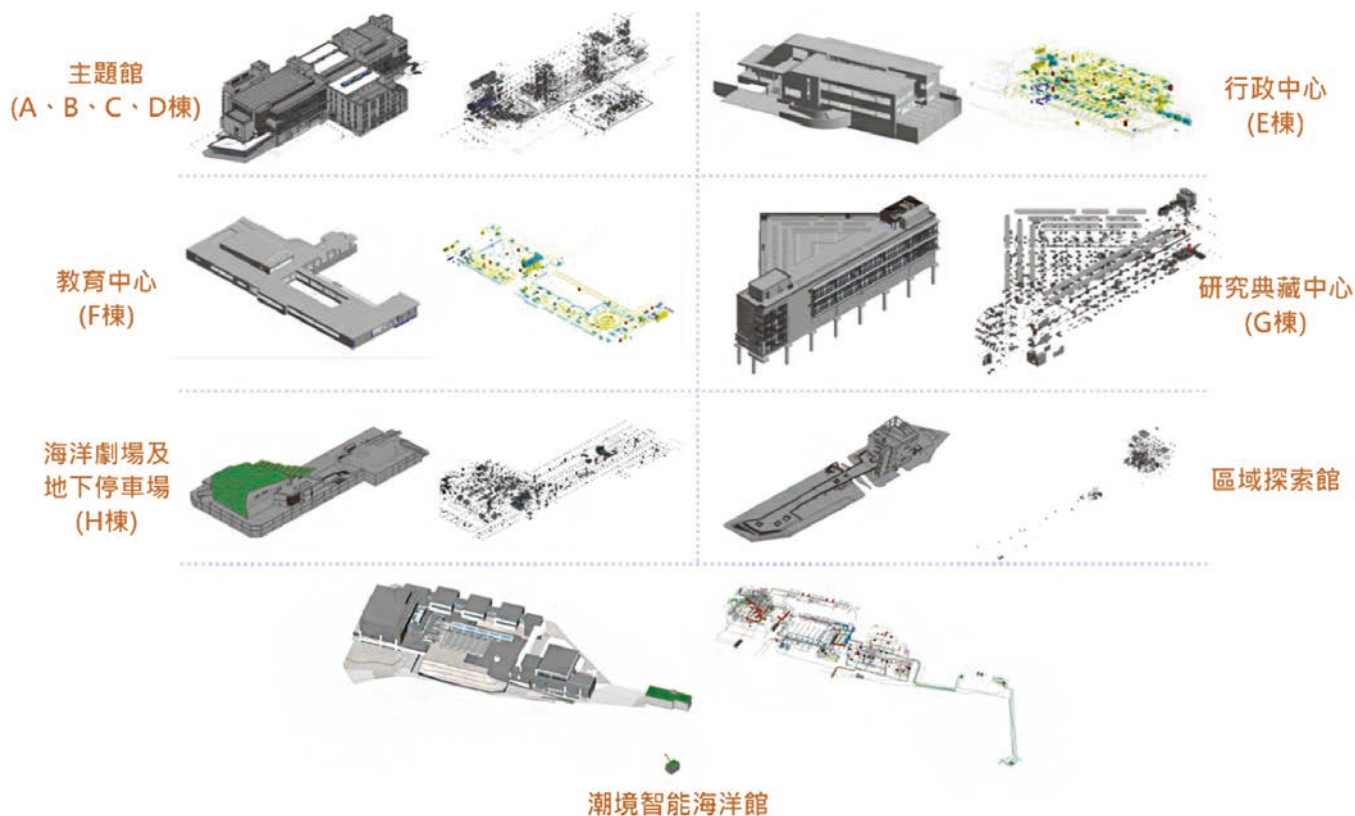


圖 3 BIM 模型成果

數位影子 (Digital Shadow)：資訊系統建置

利用已完成之 BIM 數位模型及相關屬性資料，建置海科館 BIM 建築資訊整合管理系統。該系統由一套基於 BIM 模型的資料庫圖台核心軟體組成，用以提供設備圖資一致性之空間資料管理機制，並提供標準介面與其他系統介接。終端用戶無需安裝 BIM 軟體，僅需採用瀏覽器登入，經驗證帳號密碼取得使用權限

後，即可透過 Web 操作方式進行設備定位、屬性與空間查詢等多種 BIM 功能應用，功能架構如圖 4 所示。

BIM 建築資訊管理

以本館既有管理流程結合 BIM 模型，開發 BIM 設施管理系統後台並以。為提升 BIM 之應用，本館增設 Kiosk 機台提供遊客以簡易的操作本節將概述數位影子範疇之功能模組，說明如表 1：

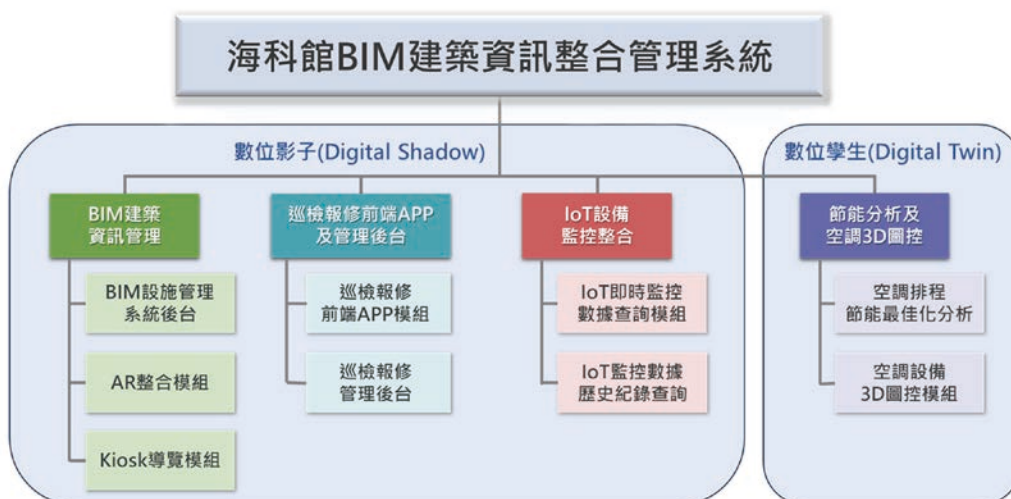
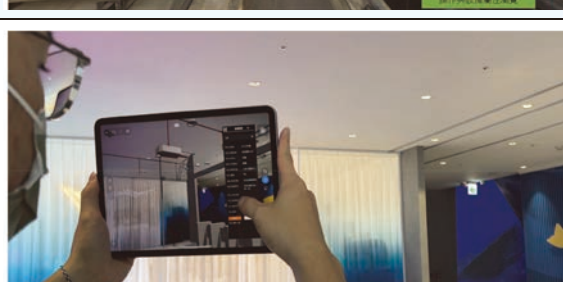


圖 4 BIM 建築資訊整合管理系統功能架構

表 1 BIM 建築資訊整合管理系統功能概述

功能模組	功能說明	系統操作畫面
BIM 設施管理系統後台	BIM 模型操作與管理：進行海科館各場館之 BIM 模型檢視、空間查詢、設備屬性查詢。	
BIM 設施管理系統後台	以資查圖：使用者可依棟別、空間別、空間名稱、國有財產編碼、系統及設備關鍵字等篩選條件，快速於系統中定位查找相關設備之精確位置，點選該設備元件即可跳出屬性視窗，亦可進行後續設備報修。	
	竣工圖管理：依照棟別、空間、系統、圖號及圖名搜尋土建竣工圖及機電竣工圖。	
	720 度環景：環景圖與 BIM 的虛實整合應用，使用全景相機拍攝潮境館空調機房並製作照片環景圖，以水平視角 360 度加上垂直視角 360 度，打造全方位的環景檢視功能，提供更佳臨場感與沉浸效益。於環景照片中的設備上建立標註點，點選標註點，便可檢視該設備資訊以及報修填寫。	
AR 整合模組	以 BIM 模型套疊現場環境，管理者透過螢幕可檢視隱藏管線，進行周邊管線瀏覽功能，提供管理單位即時查詢，現場即可辨別周邊管線種類及分布路徑。此外，亦可於本模組進行點擊報修作業，提升維管效率。	
Kiosk 導覽模組	透過整合 BIM 模型至 Kiosk 現場導覽機進行潮境智能海洋館 BIM 導覽，提供潮境館重要設施與服務之空間分布標示，提供遊客便利的服務。	

巡檢報修 APP 及後台管理

為現場現場人員開發巡檢及報修 APP，強化報修便利性，增進修繕工作效率，並增加後台管理者派工及審核功能，確保「巡、報、修」三大維護環節的流暢與完成度。

巡檢報修 APP

現場巡檢人員以行動裝置登入 APP，查看指派工單，並藉由掃描 QR Code 查看相關設備資訊，並進行巡檢或報修填報。



內巡報修後台管理

管理者於內巡報修管理模組可針對待報修項目進行詳情、派工、審核或點選「定位」後於 BIM 模型中定位到該設備位置。

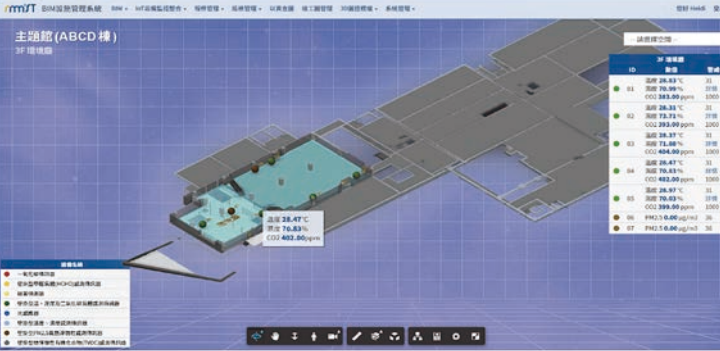


IoT 監控設備整合

利用 Web-API 介接室內環境感測器等 IoT 設備，將環境即時數據整合顯示於 BIM 模型介面。當數值異常時，系統自動發出告警，提醒管理人員即時處理環境異常狀況。

IoT 即時監控數據查詢模組

於館內建置，包含溫、溼度及二氧化碳氣體感測傳訊器、一氧化碳 (CO) 感測傳訊器、PM2.5 氣懸浮微粒感測傳訊器及甲醛氣體 (HCHO) 感測傳訊器等環境感測器，並與訊號蒐集平台介接，將以上環境即時參數整合於 BIM 模型。管理者可檢視即時環境參數資訊於 BIM 模型上。若 IoT 設備偵測到正常值範圍以外之數值，BIM 模型上即可看到該數值以紅色亮顯。





數位孿生 (Digital Twin)：空調自動控制

基於數位模型（智能海洋館 BIM 模型）與數位影子（BIM 設施管理系統）發展空調系統 BIM-3D 圖控軟體、人機介面與通訊整合。本階段之研究流程概述如下：

1. 蒐集數據：蒐集環境參數、小型送風機參數等，並由館方提供影響空調主機運行效率之相關參數歷史紀錄，包含環境參數（室內溫、溼度、人流數）與空調主機參數（設定溫度、設定風速、開關狀態）。
2. AI 分析模型規劃：建立整館的空調箱及冰水主機最適運作模式為目的，擬綜合考量不同位置感測器資料。此外，因智能海洋館展示觀賞魚缸，故需同時監控館內濕度，當濕度過高影響體感溫度時，進行館內空調箱及冰水主機調控。
3. 最佳空調操作設計：依照館內營運模式，分為週一、週間（週二至週五）、週末模式，並考量時間電價之尖離峰時段，進行小型送風機的模式、溫度、風速設定。
4. 實地測試：以蒐集到的全體樣本進行時間序列分析。

5. 評估成效：結果顯示相較於現行之空調運作方式，當週末人潮較多時，新設之空調模式有效降低電力支出。

6. 電價方案評估：以本年度公布之時間電價試算空調操作模式（如圖 5），各方案皆能讓使省電效果卓著。其中，在這些方案中，Case 1 能省下最多電，而 Case 2 讓館內溫度較低。

本階段之建置成果使管理者可於 BIM 模型上監看空調設備運轉即時數據，且控制單一小型送風機之開關、溫度和風速，系統建置介面，如圖 6。另外，本館更進一步發展電力節能模式，透過 AI 模型運算，預測各時段場館電力負載與相應的最佳排程方案，再透過程式編寫控制空調系統，使其自動調整場館溫度，達到智慧節能之效。

系統建置效益及未來展望

系統建置效益

量化效益

- (1) 紙本耗材：本館每個報修案平均耗費 4 張 A4 紙。以最新使用結果為例，112 年 07 月 01 日至 112 年 08 月

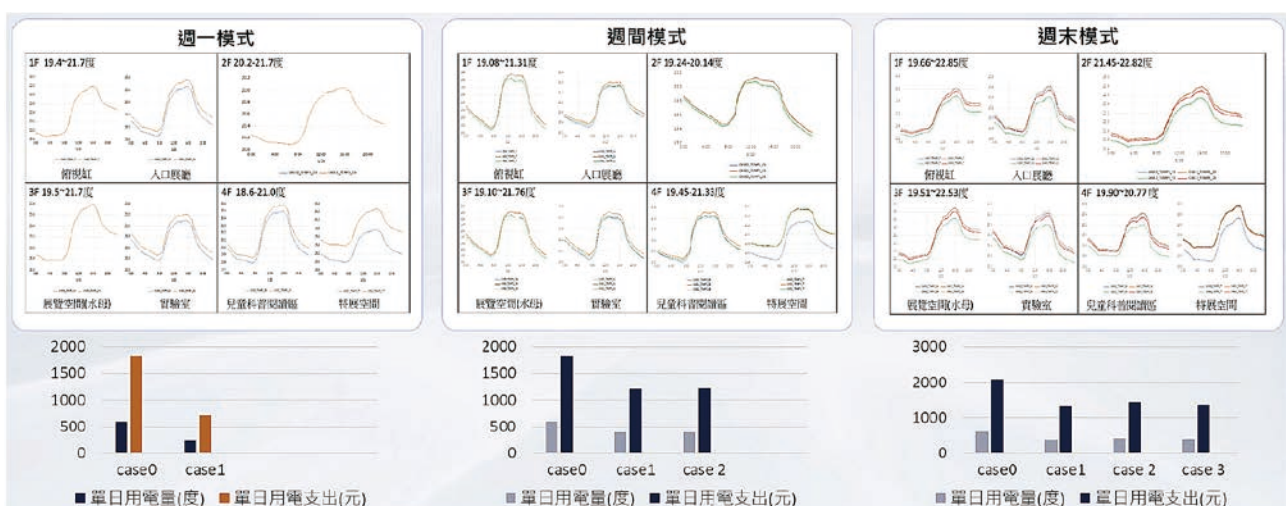


圖 5 節能模式模擬結果



圖 6 3D 智慧圖控介面

21 日運用系統進行設備報修共有 151 件，推估全年共需使用 3,624 張 A4 紙。使用本系統後，將不須使用紙本耗材，耗材使用降低為 0 張。

- (2) 碳排量：依據環保署碳排係數所示，一張 A4 紙排放量為 18 公克 CO₂。以近兩個月報修案件數量約 151 件換算，共計減少了 10,872 公克碳排量，推估全年耗費 65,232 公克碳排量。
- (3) 時間：本館既有的報修作業流程為紙本填寫、人工繕打成電子檔再經人工審核、分類與派工，平均每件需耗時 42 分鐘，預估全年使用 44,436 分鐘。使用本系統進行報修填報及派工處理等作業，平均每件縮短為 5 分鐘，全年共節約 39,146 分鐘即 88% 時間。
- (4) 電力成本：根據用電支出計算潮境智能館之測試標的（92 台小型送風機），平均每日用電量約 600 度（約 2,100 元）。導入智慧節能方案採用 AI 智能分析空調節能技術後，下降至不足 500 度以台灣電力公司收費計算，每周末單日可省下 1,400 元，每年可省下超過 145,600 元之電力成本。
- (5) 人力成本：透過本系統可大量節省填報及派工時間，有效節約人力成本。以每人平均時薪 200 元計算，每年共可節約人力成本約 128,990 元。

非量化效益

- (1) 建立海科館 BIM 建築資訊整合管理系統，具有宏觀管理視野，有效提高管理效率和運營效果。
- (2) 於系統中快速切換 BIM 模型之管理空間及設備，有助於維運作業與空間導覽。
- (3) 將環境即時數據整合顯示於 BIM 模型介面。當數值異常時，系統自行發出告警，提醒管理人員即時處理發生狀況，縮短災害應變所需時間。
- (4) 設有多元化報修途徑，管理者可透過不同工具進行

報修，得以即時回報損壞狀況，除了能防止損害惡化，也能減少通報作業的冗長流程及所需時間。

- (5) 管理者透過長期的巡檢和報修資料搜集與分析，能夠統計出故障率較高的設備和區域，並制定更全面的運維計畫。
- (6) 設置 Kiosk 導覽機於潮境智能海洋館內，利用既有模型推廣 BIM 科普教育，讓 BIM 成為寓教於樂的有趣題材。

未來展望

未來發展重點將著重於「節能」與「防災」。本館將裝設智慧電表並導入機器學習與人工智慧發展新一代節能控制模式，智慧電表能讓場館的數位分身學習選擇當下最佳的控制模式反饋給本體建築，並結合人流運算科技、BIM 科技整合應用，進一步發揮節能環保之效益，並有效節約館方經費之使用。

另外，將 BIM 系統擴展至整體館區防災管理，建置防災管理子系統，以發揮數據管理、精確管控、快速反應的智慧型防災管理。具體項目如下：

1. 持續完成之 3D BIM 數位化工作，並全面納入系統管理。
2. i-Ocean 潮境館智慧電表建置。
3. i-Ocean 智能海洋館空調負載智能控制：採用機器學習模型進行分析預測智能海洋館溫度及需電量趨勢，包含：隨機森林、人工神經網路、KNN 等。設計夏月可行之空調操作策略方案，並針對各方案，機器學習方法預測各方案之溫度及需電量趨勢。
4. 防災子系統建置功能包含：滅火器及消防設備管理、逃生動線管理、危險物品管理、緊急應變計畫（火災等天災、大量傷患）、施工安全管理、安全巡檢管理、防災管理戰情等。