



IoT 物聯網 結合 BIM 模型 元件模組化應用

陳哲仲／泛亞工程建設股份有限公司 BIM 中心 經理

依據美國邁肯錫公司所做的一項調查報告指出；營建產業數位化程度遠遠落後其他產業。事實上目前國內營建產業現況確實如此。三十年前筆者自軍中退役投入營建產業時，那時的建築施工方式跟現今似乎沒什麼差別。測量儀器依舊，只是功能稍微再強一些。當初繪圖一樣使用 CAD，現在依舊還是 CAD 為主，雖然目前進步到有 BIM 技術的導入，但是真正用在施工端又有多大助益？

或許創新動力不足？或是國內營建產業誘因不足？似乎在這塊的創新應用卻始終沒國外來的先進。

以 VR、AR 甚至 MR 技術來說；我經常在工地看到勞安工程師非常認真地教育新進的工程師或新到崗的保全或勞務工班等工區相關「危害告知」，也經常看到同仁辛苦製作大字報或投影片跟新進人員告知「何處」有墜落危害、「何處」有飛落物品意外風險…但事實上；有多少人知道？往往事故發生了，有人從開口掉下或有人被飛落物體給砸傷了，那時；當事人才知道勞安工程師口中所講的開口原來在這裡。BIM 模型是開工初期建置最完整的東西，難道我們不能換個模式讓工人戴著 VR 頭盔體驗看看？凡事走過必留下「印象」，這是我對工程的創新應用的一個小小建議。

前言

BIM 技術在台灣發展已超過十幾年，長久以來 BIM 在施工端的應用多僅止於契約所規定的應辦事項；諸如干涉碰撞檢討、4D 施工模擬甚至還有數量統計或計算。常常契約所規定的模型細緻程度，多半被業主或監造、專管（PCM）給放大解釋，造成國內 BIM 技術發展愈是往牛角尖裡面鑽。一般中小型營造廠普遍遇到合約內的 BIM 項目，也絕大多數都一腳踢給專業建模公司來承包，而營造廠只管賺取 BIM 項目裡的發包價差。不管是公部門或是有心發展 BIM 技術的單位，花了政府那麼多的公帑，但到最後所拿到的「竣工模型」卻是一顆在我個人看起來華而不實的精美模型罷了。而最後這些竣工模的歸處，多半也只能依約存放光碟或特定的雲端儲存位置或平台供後人調閱。目前台灣除了六都部分建管單位會用竣工模持續深化在物業管理端的發展與應用外，但其他的公部門呢？

再談談專業的建模公司吧！沒錯！近來政府普遍在一定契約價金以上之專案多半會導入 BIM 技術，縱使契約沒有。近來拜最有利標所賜，往往大型營造公司也都會主動導入 BIM，以提昇自我的價值，好跟同業做個市場區隔。除此之外；市場似乎也嗅到這股商機，一些中、小型建模公司或工作室也如雨後春筍般的竄出，而彼此間嘶殺的程度也樂得營造廠更捨去自辦而改以轉包的方式獲取更多價差與利潤。而事實上在發包後卻又是建模公司一連串惡夢的開始；業主或是專管、監造為展現對 BIM 的獨特認知，就會有模型為什麼沒把外牆鷹架模型給畫進去？或是窗簾為什麼沒畫進去？傢俱怎麼沒全放進去？外牆磁磚為什麼沒一塊塊貼上去？磁磚、地磚的數量怎麼沒出來？施工前各樓層的鋼筋數量？模板數量呢…？

沒錯，上面這些應用在 BIM 軟體有些東西如果要做確實應該都不成問題，但是放那麼多東西，你確定這顆模型還跑得動嗎？

20 多年前在沒有 BIM 的那個年代，有很多資訊公司開發了一系列 AutoCAD 外掛軟體進行所謂的數量計算，再加上當時在建設公司都會有些媽媽桑級的 CAD 高手，熟練的左手鍵盤、右手滑鼠兩手開攻下，再困難的磁磚分割排佈與數量計算都難逃她們的魔手。更重要的是：數量產出絲毫不會輸給現今的 BIM 軟體。那是不是還有這個必要在 BIM 軟體裡面做這檔事？

繼續回到專業建模公司這個話題；在拿在合約後或許沒寫到的、沒說到的…應該都不能算是合約的一部分。但是往往營造廠在不懂 BIM 的核心價值，又再業主無理的脅迫下，那些專業建模公司如果遇到好的營造廠多半還能收到一小筆追加款應付業主的需求，但怕的是；那些無理要求有些已超出軟體的功能必須額外再做開發才能達成；此時哪怕你說不做，營造廠不給錢最大。之後的標案專業建模公司再把這種不確定性的風險都加到報價去，換來的是更難拿到案子。這種惡性循環如今卻還是不停的上演著。

難道 BIM 在施工階段就只能一而再，再而三的去精雕那顆模型，非得把所有的裝修項目都在這顆模型給一次搞定？個人認為如果它確實有讓你節省很多時間，但又不會拖累整體模型圖顯效率，利用 BIM 軟體確實可達預期功效，那它就會是一個不錯的工具。但相反的，它不但增加你的工作量，卻又拖累整個模型的圖顯的流暢度，哪你為何不改用別的軟體來達成你的目的？

「智慧工地」

營造業界目前所稱「智慧工地」一詞的認定非常廣泛，但在我們所定義的「智慧工地」的機制是要將

傳統必須由人力到場才能獲知的資訊轉變由現場 IOT 元件主動告知，也就是「化被動為主動」概念。再利用目前人手一機的個人手持行動裝置的助力下，實現「一機在手，彈指間掌握工地大小事」的境界。簡單地說；也就是過去現場工程師都要去工地實地查勘才能獲知的現場狀況，如今都可經由現場的智慧裝置主動告訴你；它在做什麼？什麼事情發生？發生的地點在哪？狀況如何？處理結果又如何？一來可以立即有效控制風險、二來可有效遏止人為疏乎所造成的意外，並降低人力成本的付出，一舉數得。

以往智慧工地系統多屬客製化（圖 1），一旦工地有任何變化而觸動感測裝置就必須更動主系統來調整事件（EVENT）發生所在位置，否則只有事件推報，但卻無實際對應事件發生所在位置，無法立即有效阻止事態持續擴大。比方說；今天工地配電盤漏電，此時配電盤裡的感測裝置主動經由通訊模組發送一個告警訊號到雲端管理程式，經由程式邏輯關係判斷後，再由雲端伺服器主機經網際網路傳送告警訊息至個人行動裝置。人員接獲告警資訊後儘速通知管理人員過去現場瞭解原因或排除，但此時；這配電盤若在施工中有做任何型式或位置的更動。則系統跳圖所產生之事件位置，絕對與現場位置不一致（若 ID 不同；甚至連盤資訊都無法顯示，造成無謂之困擾。除非重新調整 BIM 模型該配電盤所在位置並改寫程式碼對應之 ID，否則無法做有效之連動）。

傳統這都必須由現場電氣專責人員或勞安人員主動巡檢後，發現問題再做即時處置，但事故往往發生都在一瞬間。倘若今天能藉由科技的手段時時監視配



圖 1 泛亞工程嘉義鐵路高架化 C602 標「智慧工地管理系統」

電盤任何狀況，而且還能主動在事故發生前提前發出示警。那麼人員感電意外或許就能提前預警防範，降低施工風險。而這也就是我們所定義的「主動式」智慧工地管理系統。

為降低智慧工地系統客製化成本因工地環境變化或新的案件開始執行又得重覆花費幾乎相同設施與成本。經由我們近兩年來吸取先前開發客製化智慧工地系統的經驗，我們嘗試將 BIM 模型的元件（Element）與實體的 IoT 感測元件進行綁定，日後工區環境一有變化或案件結束更替至新的案場，都可輕易地進行搬遷而無須再重新修改主程式及實際執行後的除錯（DEBUG）程序，加快智慧工地系統的部署（Deploy）。關於這一路來的開發歷程，我將就系統架構、模組化、BIM 與 IoT、通信訊號、通訊協定等五個面向來說明。

智慧工地管理系統架構

圖 2 是我們最新開發出的「模組化智慧工地管理系統」架構圖。其中每個物件或感測元件都有一個無線通訊模組進行感測元件的訊號推送任務。該通信訊號的選定牽涉到系統穩定，後面在介紹通信訊號時我會再做詳盡的介紹。此外還有通訊協定的選用，也涉及感測器與通訊模組選用型號的依據，因此彼此間緊密關連，任一環節遇有問題，都會卡到之後整個系統的開發。

初期我們嘗試開發了一些模組，例如溫、溼度（熱危害）監測模組、智慧配電盤模組、水位監測模組、抽水啟停偵測模組、AI 智能影像監視模組、風速計監測模組及光達電子圍籬監視模組。

上述所有模組均可在不同的工地任意轉換位置安裝。只要 BIM 模型內該相關元件與被綁定的工區實體感測元件所在位置相同，則現場之告警訊號也就可以在行動裝置實現監視告警的推播任務。

經由實測後結果證明，該模組化感測元件可不受地域限制進行重新組合，只要實體感測元件與虛擬的 BIM 模型元件進行異地遷移與重置，則後台管理程式即可連線待命。遇有事件發生，也會在重新組合之新場地（工地）裡正常推播告警訊息至該場域管理人員的手機中。

模組化概念與模組的開發

正如一開始所介紹的，過往的智慧工地系統多為專屬工地量身訂做。或是單一感測元件對接固定群組之通訊軟體或簡訊進行告警訊息之推送。無法整併所有的告警訊息與事件發生位置等資訊。失去獲取資訊全貌與發生位置之取得。故能透過 BIM 技術將元件資訊與實體感測元件進行綁定，才能有效自 BIM 模型元件中獲取更多資訊與事件發生位置所在。打個比方；就像綜合感冒藥物膠囊包裹者各自不同功效藥劑粉末（此處類比各種屬性資料）經由膠囊投送至身體。而該膠囊正是我們所認知的「載體」（此處類比 BIM 元件屬性欄的資訊，經由元件；例如：柱、梁、版、牆封包組成為一個體。而該柱、梁、版、牆就是我們所稱的「載體」；如圖 3 所示）。此一概念正也跟物聯網的理論有所雷同，物聯網即是透過感測器偵測數據後，並將數據經由通訊裝置傳送至監控端。而 BIM 則是將每個獨立單元或個體（這邊我們稱做「元件」Element）的資訊藉由軟體或程式的撈取分析或統計模型中所有

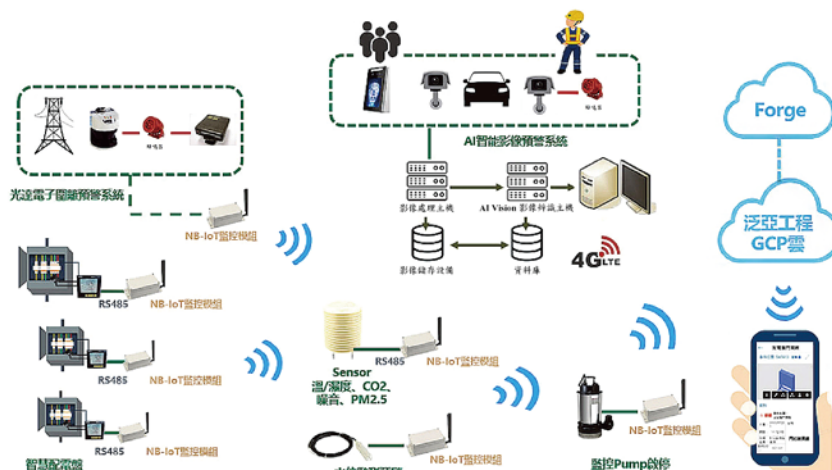


圖 2 智慧工地管理系統架構圖

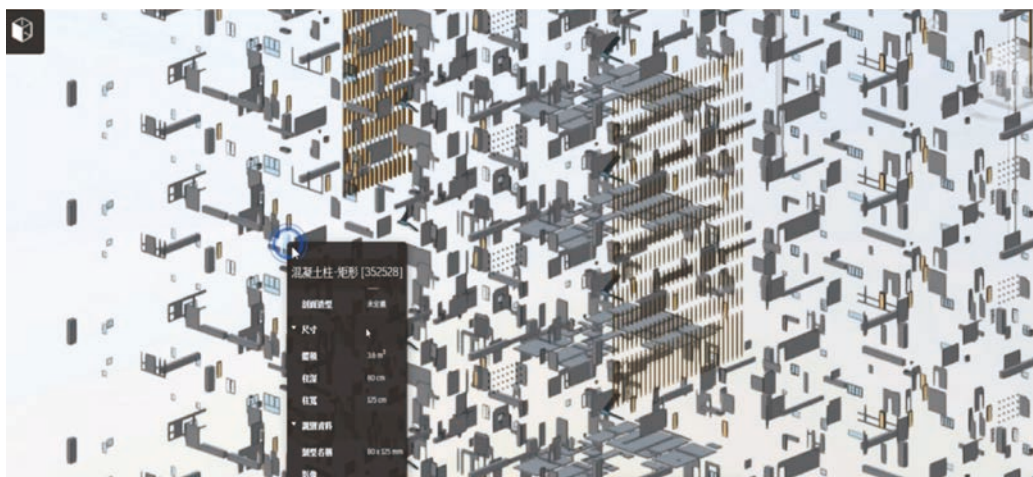


圖 3 建築物 BIM 模型分解後每一個元件都帶有詳細資料

獨立單元的資訊，以做為後續成本數量統計或材料採購之依據，以加速傳統作業模式之進化。

而物聯網最重要的一個環節就是如何把數據拋送至監控端？又是使用何種語言與監控端互聯？這個時候就需要機械與機械（簡稱：M2M）或機械與人之間的語言溝通，這邊我們叫「通訊協定」，稍後文章中我會再做說明。

圖 2 所示的每一個感測元件旁邊都會有一個叫通訊模組的東西，它的主要的工作是將感測器所搜集到的資訊傳遞至雲端，當然與雲端伺服器間還是要有一定的通訊協定進行溝通，才能將訊息傳送至雲端進行發佈或儲存到事件資料庫中，以做為未來資料分析統計之使用。而我們所開發的模組不只如此，它還必須對應到 BIM 模型的元件，因為它還必須讀取元件特殊的編碼，才能有效查詢事件所發生的位置進行圖形顯示。而這個圖形顯示的動作在工業自動控制中的術語就叫「跳圖」。因此整個模組的開發會比工業自動化控制採用的方法稍微再複雜一些些。

BIM 技術與 IoT 物聯網之關係

上圖（圖 3），我們看到分解後的 BIM（建築資訊模型）是由數千甚至上萬個元件所組成。而其中的每一個元件中又帶有諸多的資訊，在這些資訊中我們不但可以取得感測元件或配電盤的製造商資訊，甚至可以取得操作維護手冊、安裝圖…等資訊。再把這些資訊與感測器進行綁定後，這樣一旦因現場感知器探測到異常或原先所設定的條件，即會將感知器所得的資訊連同被綁定的 BIM 元件資料一併顯示到我們行動手持裝置的使用者介面中，讓我們可以在一個裝置中一目瞭然即時告警訊息，以便做相對應的處置。這也就是我們為什麼要將 BIM 元件與實際 IoT 感測元件進行綁定的目的。下圖（圖 4）就是我們所開發出來的模組，其實表中的模組型號對應著是與它連結的感知器與 BIM 元件的組合。這樣就是我們所定義的模組。

模組型號									
對應感測器	五合一環境偵測器	配電盤漏電偵測(1)	配電盤漏電偵測(2)	LiDAR電子圍籬(1)	LiDAR電子圍籬(2)	LiDAR電子圍籬(3)	排水泵浦啓閉偵測	水位偵測器	自動水霧
感測器信號輸出	Modbus(RS-485)	Modbus(RS-485)	Modbus(RS-485)	Hi/Low(5V或12V)	Hi/Low(5V或12V)	Hi/Low(5V或12V)	繼電器(ON/OFF)	二段斷電器(ON/OFF)	繼電器(ON/OFF)
輸出/入模組訊號型式	AI	AI	AI	DI	DI	DI	DI	DI	DO
MQTT(Topic)	PA/ZONE1/1 (示例)	PA/ZONE1/2 (示例)	PA/ZONE1/3 (示例)	PA/ZONE1/4 (示例)	PA/ZONE1/5 (示例)	PA/ZONE1/6 (示例)	PA/ZONE1/7 (示例)	PA/ZONE1/8 (示例)	PA/ZONE1/9 (示例)
BIM ID	54321	54322	54323	54324	54325	54326	54327	54328	54329
模組編碼	IoT-01	IoT-02	IoT-03	IoT-04	IoT-05	IoT-06	IoT-07	IoT-08	IoT-09

圖 4 BIM 元件綁定 IoT 通訊模組的情況

資訊的傳遞—簡談通信訊號

通信訊號種類繁多，又分為有線與無線部分。因其已屬資通訊專業，這邊就不另贅述。僅就本公司開發智慧工地管理系統部分所接觸之通信訊號在此說明。

因工地環境特殊，多半現場佈線不易，經常因施工不慎而斷線狀況甚多。因此大多選用無線通訊。而無線通訊中大家耳熟能詳就以 WiFi 訊號為主；然而 WiFi 經常受限於傳播距離與障礙物之阻隔無法全面發揮其在工地中的效用。以土木工程為例；一般道路、隧道、橋梁等標案工區動輒 2 ~ 3 公里以上距離，遇有隧道工程又因群山阻隔致距離太遠訊號傳送不易。因此必須選用之訊號更應注意此一特性來做選用。

圖 7 所示之通信訊號，除了 WiFi 之外；另像藍芽 (Bluetooth)、ZigBee 雖然也常為使用，但因其功率小、傳輸距離短、傳輸速率不佳，比較適合一般短距且環境因素不致太差的室內環境使用。而像 2G、3G、4G 甚至 5G 專網等 … 雖各項條件均不錯，但其建置成本過高，不太建議在施工環境使用。而 LPWAN (Low-Power Wide-Area Network, 低功率廣域網路)，或許就是一個不錯的選擇。

一般工業物聯網所選用的訊號多以 LPWAN (Low Power WAN) 低功率廣域網路；像 LoRa、SigFox 及 NB-IoT 為主。而其中又以 LoRa 更為企業選用，因其訊號為免費之頻譜，只要有收受及發送裝置即可無償使用。且該頻譜之訊號在遠距不受阻隔或外在電磁波 (例如高壓電塔、變電站等…) 干擾下，確實可獲得不錯之表現。但事實上工地環境變異因素過多，經常在使用後發現其結果並非大家所想像的那回事。以我們曾經在建築物密佈堪稱都市叢林的「台北市廣慈整體開發園區」所做過的一系列驗證測試後，事實證明；LoRa 訊號很容易因棟與棟之間的阻隔或是外牆鷹架大面積金屬表面所阻擋，訊號丟包情況非常嚴重 (詳圖 5 和圖 6)。幾經測試與考量後改以向電信公司申請 NB-IoT 訊號 (門號) 最終才獲解決。

機械到機械 (Machine to Machine, 常縮寫為 M2M) — 簡談通訊協定

人與人溝通用的是語言，同樣地機械與機械或人與機械之間的溝通也是透過特殊的語言來達成。以人類語言來說就有數百種之多，而機械與機械或機械與



圖 5 LoRa 增益值調整



圖 6 LoRa 信號傳送 / 接收實測

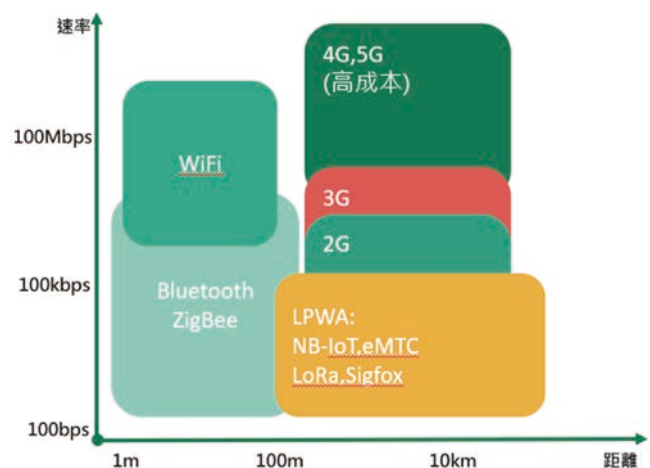


圖 7 常用通信訊號比較圖

人之間的溝通語言同樣種類繁多，通常這種語言我們稱做「通訊協定」(communications protocol)，常見的有像 Modbus、OPC UA、HTTP、MQTT … 等 (詳圖 8)。而目前工業物聯網較為人們使用的通訊協定是以輕便簡單的 MQTT 協定較為廣泛使用。而這正也是我們目前所開發出的智慧工地系統裡現場感測元件與雲端後台程式主要溝通的語言之一。



圖 8 工業物聯網一般常見通訊協定

MQTT^[1,2] 其實最初代表的意思是 Message Queuing Telemetry Transport（訊息佇列遙測傳輸），現在已經不用這種說法。MQTT 是 OASIS 標準的訊息通訊協定（Message Protocol），這是架構在 TCP/IP 通訊協定上，針對機械與機械的輕量級通訊協定。MQTT 可以在低頻寬網路和高延遲 IoT 裝置來進行資料交換，特別適用在 IoT 物聯網這些記憶體不足且效能較差的微控制器開發板。基本上，MQTT 是使用「出版和訂閱模型」（Publish/Subscribe Model）來進行訊息的雙向資料交換，如下（圖 9）所示：



註：發佈者也可以是訂閱者；同樣訂閱也可以是發佈者

圖 9 MQTT 信訊傳遞方式

以大家所熟知的 YouTube 來解釋，就像你今天喜歡上某一個頻道，你按了「訂閱」、「小鈴鐺」之後，日後這個頻道上有最新的影片就會在你的手機進行推播，通知你即時收看頻道最新影片的道理一樣。而 MQTT 所謂的訂閱者（Subscriber）就是你，那個頻道的影片創作人就是發佈者（Publisher），他透過 YouTube 平台傳遞訊息給你，這個平台就是 MQTT 所稱的代理人（Broker）。再對應到實際情況就是現場感測模組就是發佈者、你手機因為裝了專屬 APP，所以只要感測器發送訊息就會經由雲端推送該訊息給你，這裡的雲端就是代理人。而整個 MQTT 的協定原理就是這麼單純。

模組化智慧工地管理系統的優缺點

導入模組化智慧工地系統，其優點是感測模組可不同工地移轉使用。不因系統設定之工地位置而調整，無需改動主程式碼，節省建置成本。亦不須專業資訊工程師的協助即可輕易進行調整。除此之外；可提高感測元件的重覆使用性，不因工地結束就需重新購置與設定感測器的困擾（詳圖 10）。

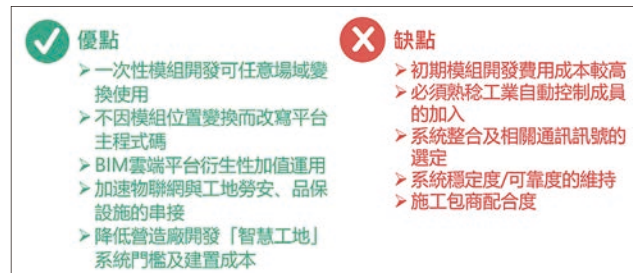


圖 10 一般智慧工地系統與模組化系統之比較

然而它的缺點；像是一開始開發模組的所需花費的成本較高（因為包含可靠度與穩定度的驗證及人力成本的支出），此外模組與主系統的連線測試或通訊協定內容的調整都需專業工程師或是廠商的協助才能順利導到工地使用。

模組化智慧工地管理系統異地移轉使用

前面已將我們開發出的模組化智慧工地管理系統完整介紹過，接下來必須說明是我們如何利用眾多的「獨立」模組來完成整套智慧工地系統的運做？那不同工地間模組遷移後系統是否仍能正常運作？我們用下面幾張影片截圖來做說明（圖 11 至圖 16）。

前面（圖 2）已說明整個智慧工地系統的所有架構，基本上這系統是由多個「模組」所組合而成。為證明它可不同工地變換使用，而不受原有程式束縛，可任意調度移動，我們就以高雄、桃園兩工地實際配電盤調動後，原先在高雄工地手機 APP 裡的配電盤將離線，同時在 BIM 模型中該配電盤元件也必須移除（圖 11 和圖 12）。之後移至桃園工地後將該配電盤元件自樣板檔裡中直接取用與放置（圖 13 和圖 14），經後台模型移轉後（圖 15）該配電盤日後發生任何事件（例如：配電盤門開啟或漏電）將會在桃園工地的手機 APP 直接跳圖並發出告警資訊（圖 16 和圖 17）。

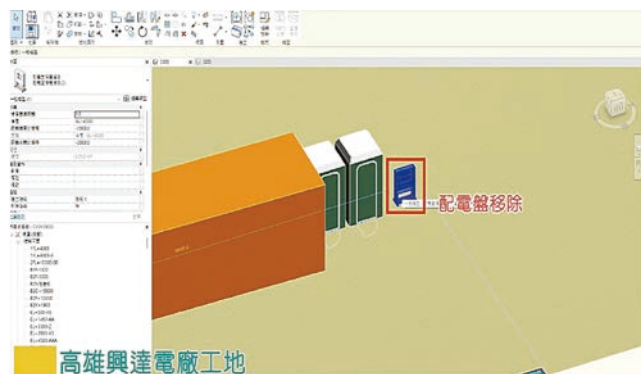


圖 11 原安裝於高雄工地的配電盤因需要遷移至桃園

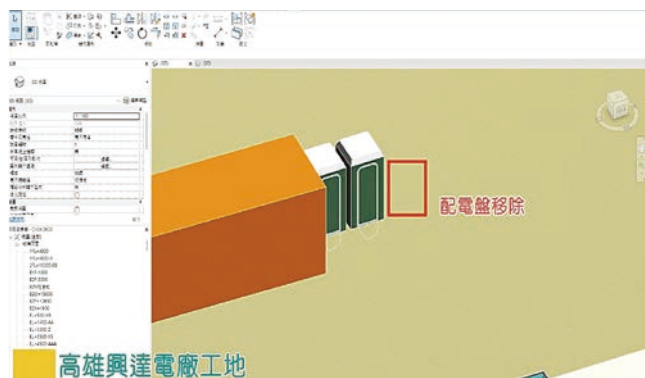


圖 12 在 REVIT 中將配電盤元件移除

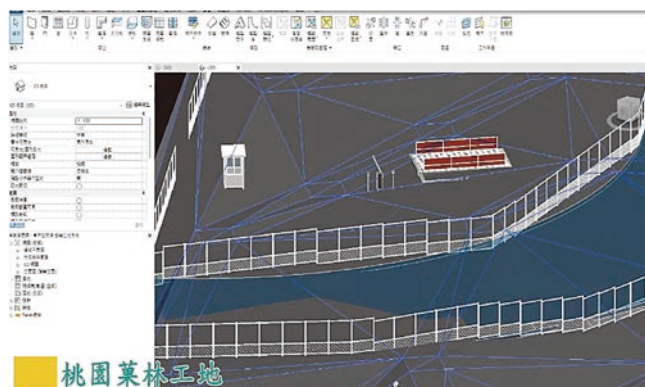


圖 13 在樣板檔裡取用原編號 (IoT-18) 配電盤元件

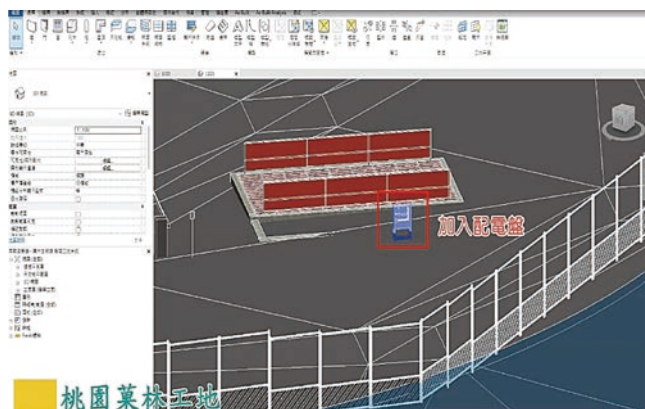


圖 14 放置工地相同位置



圖 15 後台物聯網模組偵測到 NB-IoT 模組訊號後連線成功



圖 16 手機接獲「事件」即時跳圖告警畫面



圖 17 配電盤即時電壓、電流、功率及漏電值訊息 (漏電值大於 30 mA 會再另跳告警訊息)

綠電新概念—系統穩定

地球暖化議題日趨嚴重，政府也預計在 2050 年達成碳中和目標。而營建產業又因高耗能、高污染常令人詬病。如能朝 ESG 企業永續發展的目標前進，將會是提昇營建產業競爭力的最佳途徑，也能為環境氣候變遷的改善盡一份心力。

當然營建業要在一朝一夕改變所有的程序來達到淨零減排的目標實屬不易，但若不敢邁出第一步，則永遠不可能達到淨零減排的未來。基於此一想法，我們義無反顧的踏出第一步，嘗試在艷陽高照的南台灣—「高雄興達電廠專案」開始做起，而智慧工地系統就是我們試圖減排的一個試煉基地。

基於傳統工地經常因人為因素或施工不慎反倒挖斷自己施工所或現場貨櫃辦公室電源的情況時有所聞。而我們智慧工地系統卻是要時時確保不斷電情況下供給電力予相關現地伺服器、閘道器、網通等相關設備電力。因此我們構思了太陽能電力做為主要電力來源，而即有的台電電力反倒是我們的第二備用電源。現場的儲電裝置一旦電力消耗殆盡，則透過系統自動切換開關 (ATS) 轉供台電電力供給網通設備與伺服器使用 (詳圖 18)。確保電力源源不絕供給，不致因斷電因素影響現場伺服器或感測器作業，間接削弱系

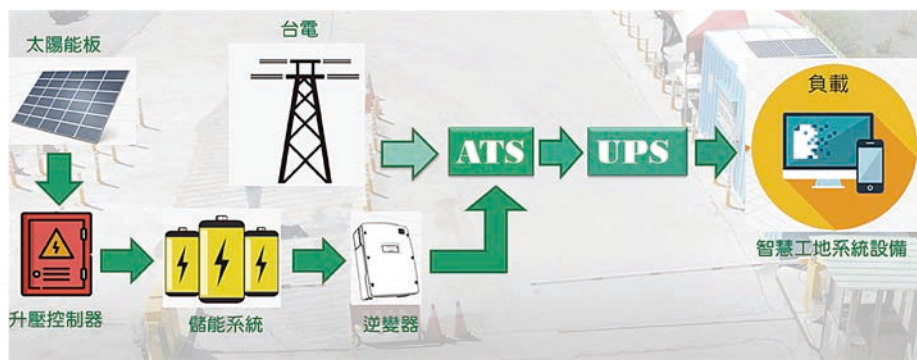


圖 18 智慧工地管理系統現場設備採用綠電與台電雙迴路架構圖

統的穩定性與可靠度。

此外藉由綠電的供給踏出營建產業施工端節能減碳的第一步，並同時確保的系統的穩定，一舉數得。

未來展望

回到我們一開始的初衷，營建產業走向未來自動化、數位化的趨勢已然不可擋，更沒有走回頭路的理由。提昇工程創新是我們一直努力的目標，未來希望除了勞安衛施工安全的智能化、自動化的腳步必須再

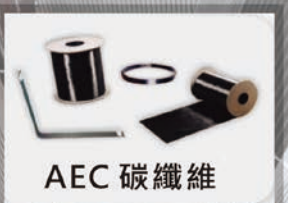
努力外，在品管與工程進度的控管，是另一個創新的課題，我們將持續努力。也期許台灣營建產業共創一個全新的未來。

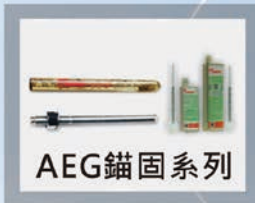
而前面所談到的淨零減碳部分，在未來已成為必然的趨勢，同為營建產業的我們，更應為這議題認真努力思考未來。

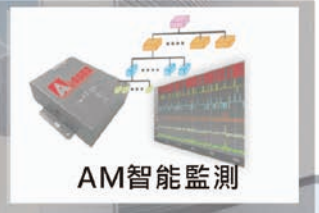
參考文獻

1. 「Node-RED 視覺化開發工具」陳會安 著 / 博碩文化
2. 「物聯網系統開發」付強 著 機械工業出版社











建築修復結構補強

STRUCTURE REPAIR & REINFORCE SYSTEM



免費服務電話 台北 02-29813223 台中 04-23810055 高雄 07-3500090
桃園 03-4022192 雲林 05-5967603 上海 021-54370088
0800-009-666 更多的資訊請上安固官方網站 www.anchors.com.tw

