



綠建築與淨零建築初探

萬鼎工程服務股份有限公司結構工程部助理總工程師 / 王緯民

關鍵字：綠建築、近零減碳、淨零、建築能效、統包

摘要

近來地球環境變遷及能源議題嚴重影響全球，淨零減碳已刻不容緩。本文將分享團隊如何將營建工程本業結合永續作為，透過「綠色工程」技術的應用，於公私有建築或統包工程，推動節能減碳與永續工程的做法，在智慧綠建築方面，以中鼎集團第二總部大樓興建統包案為例，本案取得智慧綠建築雙鑽石及美國黃金級綠建築標章，完工後常收到高科廠業主與國內大型企業主參訪，為成功示範場域。

另一案以社會住宅新建統包案為例，藉由提升建築外殼隔熱、設備效能及導入低碳工法等設計與採購，達到「近零碳建築」，未來視需求輔以各種再生能源設施或購買再生能源憑證，來達到碳中和至零碳排，最終邁向「淨零建築」的目標。

本文綜整近年執行綠建築、智慧綠建築及近零碳建築相關執行案例，分享從設計、施工、使用維護至最終拆除各階段可努力的方向及具體作法，期對永續綠建築後邁向淨零排放的統包工程有所助益。

一、前言

以建築工程而言，由於建築物的生命週期動輒40年以上，從新建到後續使用階段耗費能源甚鉅，因此節能減碳的綠色建築設計非常重要。我國從1999年起推動綠建築標章制度，建立「EEWH」綠建築評估系統，根據內政部統計，截至2024年10月為止，全台綠建築申請數量累積以超過1.2萬件，綠建築是營建工程響應地球環保、永續發展的解方。

根據聯合國2023年的全球建築與營建



現狀報告研究顯示，建築營建產生的溫室氣體排放中，建築能源使用（使用碳排）佔約整體營建碳排的中碳排量的75%左右，剩餘25%則來自建材的製造與施工（蘊含碳排），要達到建築工程淨零目標，需另對此二項碳排來源加以管制，其中以建築能源使用項目佔建築物生命週期內耗能占比最高，由此切入改善之效益最高。

以下分別將從綠建築、智慧綠建築及近零碳建築案例，依時代演進就關注的不同面向及相關對應設計手法及效益概估分述如後。[1/2]

二、綠建築

（1）綠建築設計手法

我國對於綠建築的設計，主要依循內政部營建署綠建築相關規範設計，評估指標包含九大面向，包括綠化量、基地保水、水資源、日常節能、二氧化碳減量、廢棄物減量、污水垃圾改善、生物多樣性、室內環境等指標等，如圖1所示，透過可評量的作法，使綠建築由過去「消耗最少地球資源，製造最少廢棄物的建築物」的消極做法，擴大為「生態、節能、減廢、健康的建築物」的積極作為。[1]

一般而言，工程從受業主委託起，團隊即依照建築基地特性、業主需求及預算等限

制條件，研擬具潛力與效益並適合發展綠建築的指標面向，並納入生命週期計算尋找節能熱點，以建築為主設備為輔，選用適合的建材、設備及工法，並以可量化的綠建築評量方式，以達到節能減碳的目標。

在統包工程裡，除須符合業主契約及統包需求書內規定之建築材料與設備需求外，如何在業主預算的額度下，選用最適合的綠建築手法，完成契約應辦事項，並降低將來營運端的維護管理成本亦是統包工程的重要課題之一。以近年執行的綠建築案例分析統計，綜整對達成綠建築各指標的具體設計手法，概述如表1所示。



資料來源：本文整理

圖1 綠建築評估指標



表 1 綠建築各項指標及具體設計手法 [1]

	指標名稱	說明	具體做法
一	生物多樣性指標	主要在提升大基地(面積一公頃以上)開發的綠地生態品質,提供完善的生活空間給最基層生物棲息,顧全生態金字塔。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 綠地面積最好在 25% 以上。 2. 植栽物種越多越好。 3. 植物最好選用原生種。 4. 綠地採用複層綠化方式。 5. 生態透水邊坡或圍牆。 6. 透水的生態滯洪池。 7. 降低照明光害。 8. 避免高反射玻璃。
二	綠化量指標	主要是以各種設計手法,來達到綠化量增加效果。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 空地上除了最小必要的鋪面道路外,儘量全面綠化。 2. 避開原有老樹設計,施工時保護老樹不受傷害。 3. 大部分綠地種滿喬木或複層綠化,小部分綠地種滿灌木。 4. 屋頂或戶外露臺採綠化方式,增加基地綠覆率及保水量。 5. 退縮人行道及綠帶,除步道外,採用中高密度之綠化種植方式,且採用多層次綠化,喬木下方種植灌木草花。 6. 地面喬木綠化範圍內之覆土深度均大於 1.5m。 7. 生態綠化可採用多樣化的原生及誘鳥、誘蝶樹種。 8. 人工地盤植穴或花台綠化。
三	基地保水指標	係指建築基地內自然土層及人工土層涵養水分及貯留雨水的能力,基地的保水性能愈佳,有益於維護建築基地內自然生態環境平衡。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增加土壤面積,增加雨水直接入滲效果。 2. 增加透水鋪面,如步道、停車場及廣場等面積。透水鋪面的透水性能相當於裸露土地,增加透水效益。 3. 貯留滲透設計,讓雨水暫時貯存於水池,再慢慢以自然滲透方式滲入大地。 4. 地面層留設裸露綠地,自然滲入土壤,提供土地涵養水份。 5. 在起挖區及屋頂、露台等規劃覆土花台以供保水。 6. 人行道及廣場,採透水性鋪面,以集結雨水使土壤保有水份。 7. 必要時設置地下貯集滲透水箱(透水積磚)輔助。 8. 透水混凝土的應用。 9. 滲透排水管及滲透陰井的應用。 10. 雨水截流及滲透側溝應用。
四	日常節約能源指標	節能評估重點設定在建築外殼節能 EEV 設計、空調效率 EAC 設計及照明效率 EL 設計提升等級三大方向,依不同類型建築,有不同重點。綠建築增加檢討的建築能效標示,請參考附表建築能效說明。	<p>外殼節能：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 減少全面玻璃造型,控制建築開窗率。 2. 減少屋頂水平天窗設計,水平天窗設計宜採低日射透過率的節能玻璃。 3. 開窗部位盡量設置外遮陽或陽台。 4. 建築物方位規劃,避免東西向開大窗。 5. 住宅採用 6mm 以上玻璃,反射率 <0.20,亦可採用色板玻璃。 6. 配置適當開窗面積及增加對流通風,以達通風採光功用並減少耗能量。 7. 如預算較足夠,隔熱砂漿或節能 LOW-E 玻璃可考慮使用。 8. 外牆及屋頂加強隔熱或遮陽設計。



四	日常節約能源指標	<p>節能評估重點設定在建築外殼節能 EEV 設計、空調效率 EAC 設計及照明效率 EL 設計提升等級三大方向，依不同類型建築，有不同重點。綠建築增加檢討的建築能效標示，請參考附表 3 建築能效說明。</p>	<p>空調節能：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 選用高效率主機及設備節能設計。 2. 主機及送水馬達採用變頻控制等節能設備系統。 3. 空調選擇一級能效空調主機。 4. 冷氣噸數、冷卻水塔及相關主機避免過量設計。 5. 大型中央空調建築能源管理系統的導入。 6. 空調節能技術的採用。 7. 負壓風扇使用。 <p>照明節能：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 一般空間盡量採用節能燈具。 2. 配合室內工作模式作好分區開關控制，以隨時關閉無人使用空間照明。 3. 採用附防眩光隔柵或燈罩。 4. 公共區域走廊，設有分區開關控制或定時器等節能管理系統。 5. 迴路採用二線式控制燈具迴路。景觀照明採用自動控制點滅系統。 6. 室內裝修採用高明度色彩計畫，提高照明效果。 7. 減少間接照明。 8. 避免超量的照度設計。 <p>其他節能：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 開窗搭配陽台、露梁等遮陽形式並搭配通風設計，提升外殼節能設計。 2. 住戶空調選擇容量合適之一級能效空調主機，避免過量設計。 3. 熱水管採發泡 PE 被覆保溫。 4. 住宿空間爐台設置節能標章瓦斯爐或 IH 爐及瓦斯熱水器。 5. 採變頻系統搭配電力再生裝置電梯。 6. 地下停車場排風機採用 CO 偵測變頻風機控制系統。 7. 太陽能發電板的利用。 8. 地下停車場四周設置通風採光天窗，導入通風換氣及自然採光。
五	二氧化碳減量指標	<p>係指減低所有建築物軀體構造的建材，在生產及運輸過程中所的 CO₂ 排放量。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用輕量鋼骨結構或其他輕量化結構。 2. 室內採用輕量乾式隔間。 3. 採用輕量化金屬帷幕外牆。 4. 平面規則之建築物，結構合理標準化。 5. 結構採用 RC 耐震結構：達成結構輕量化、減少地震力作用。 6. 採用預鑄工法或使用系統模板或鋁模板。管道間牆採用輕隔間牆系統。 7. 地下室機房的設備進出動線與出入口寬度足夠後續維修使用。 8. 採用高爐水泥替代部分水泥。 9. 空調及衛生排水管線採用明管設計。 10. 使用高性能混凝土或低碳混凝土。 11. 使用再生或回收建材。



六	廢棄物減量指標	係指減低建築施工及日後拆除過程所產生的不平衡土方、棄土、廢棄建材、逸散揚塵等廢棄物。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 盡量減少地下室開挖。 2. 多餘土方儘量用於現場地形改造或用於基地內之土方平衡。 3. 採用系統模版或預鑄工法。 4. 做好空氣污染防制。 5. 降低拆除廢棄物。 6. 採用高爐爐石粉混凝土。 7. 降低工程污染，如設置專用清洗措施、污泥沉澱過濾處理設施、工地車行路鋪鋼板、灑水噴霧、防塵罩網等。 8. 採用營建自動化手法。 9. 採用乾式輕隔間。 10. 結構輕量化設計。
七	室內環境指標	降低室內環境中噪音、採光、通風換氣、室內裝修、室內空氣品質等，影響居住健康與舒適之環境因素，減少室內污染傷害。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 住宿類建築、非中央空調型辦公建築，保有通風及自然採光。 2. 燈具設有防止炫光燈照或格柵（燈管不裸露）。 3. 中央空調系統設置新鮮外氣引入系統。 4. 室內裝修建材盡量採用環保標章、綠建材標章建材。 5. 隔音設計的考慮。 6. 增加綠建材及再生建材使用率。 7. 施作樓板衝擊音緩衝材料。 8. 室內空氣 CO2 濃度監測及通風控制系統連動可調整。 10. 良好的採光深度，避免暗區。 11. 避免不必要的裝修。
八	水資源指標	係指建築物實際使用自來水的用水量與一般平均用水量的比率，又名「節水率」。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大小便器與公共使用之水栓全面採用具省水標章之省水器材。 2. 將一段式馬桶改成省水標章的金級兩段式馬桶。 3. 省水閥、節流器、起泡器等省水水栓改用自動感應水栓或自閉式水栓。 4. 住宿類、飯店類建築之浴室盡量以淋浴替代浴缸。 5. 設置雨水回收系統，回收屋頂、露臺、屋突至筏基設置雨水收集池之水源。 6. 公共區部分採用自動感應式或自閉式水龍頭。 7. 草花花圃設置節水澆灌系統及雨水回收利用設施。 8. 大耗水項目的彌補措施設計。
九	污水垃圾改善指標	與建築空間設施及使用管理相關，是加強落實現有污水及垃圾處理系統的功能及改善。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 浴室、廚房及洗衣空間之生活雜排水均接管至污水下水道或污水處理設施。 2. 綠美化或景觀化的專用垃圾集中場。 3. 設置廚餘收集利用及資源垃圾分類回收系統。 4. 設冷藏、冷凍或壓縮等垃圾前置處理設施或衛生密閉式垃圾箱。 5. 設置垃圾暫停車位於垃圾儲藏室旁，以便運輸。 6. 公共設施，有設置廚房位置，設置油脂截留器。 7. 污水接管至污水下水道或污水設施。



(2)、綠建築推動實績及效益

以近年執行具指標的綠建築案例(如圖2)分析統計，團隊在推動綠建築的節能減碳設計，迄今已完成並取得近五十案綠建築候選證書或標章。屬性橫跨辦公大樓、廠房、停車場、捷運車站或住宅等大型空間，這些案例換算每年約可節省用電約11,679,500度電，可供台灣地區家庭每年3,266戶使用，每年約可減少溫室氣體排放量6,124,078KG，相當於15.92座大安森林公園吸收CO₂量；每年約可減少用水量581,042M³，執行綠建築案例及節能減碳效益如表2。

另以早期所執行的桃園機場捷運線六個捷運車站的細部設計與監造工作為例，因捷運設施屬特種建築物，與一般建築物法規及建築基地認定略有差異，在當年適用綠建築規範或標準較無案例可依循對照的背景下，團隊努力克服基地及認定等先天限制條件，順利取得綠建築標章。

本案也是國內早期取得綠建築標章的捷運車站之一，成功的經驗，也成為後續其他捷運車站綠建築申請的參考。

表 2 執行綠建築案例及節能減碳效益

SDGs	實績案例	省電(度/年)	減少溫室氣體排放量(公斤/年)	省水(M ³ /年)
 9 工業、創新 基礎建設	中央警察大學偵查與鑑識科技大樓新建工程	523,397	274,440	26,038
	新店高中運動場附建地下停車場新建統包工程	229,728	120,457	11,429
	中油大林廠-維修綜合大樓	366,685	192,269	18,242
	機場捷運 DE03 標 A15~A20 車站設計及監造工程	1,038,124	544,334	51,645
	機場捷運 DE03 標行政大樓設計及監造工程	133,660	70,084	6,649
	新北市土城區學成公園附建地下停車場新建統包工程	146,507	76,820	7,289
	新北市三重商工地下停車場新建統包工程	382,196	200,402	19,014
	新北市板橋音樂公園地下停車場新建統包工程	452,525	237,279	22,513
	中鼎集團第二總部大樓新建統包工程	600,409	314,821	29,870
	新莊運動公園地下停車場統包工程	547,352	287,001	27,230
 11 永續城市	光榮國民小學老舊校舍及地下停車場整建統包工程	715,759	375,304	35,608
	屏東勝利公園地下停車場統包工程	258,966	135,788	12,883
	永冠集團：台中港新建工程	2,235,194	1,172,011	111,198
	桃園捷運綠線 GC03 標 G07 站 ~G12 站統包工程	1,399,819	733,987	69,639
	台泥 DAKA 再生資源利用中心建築工程	590,678	309,719	29,386
	新竹金城安居社會住宅統包工程	2,058,501	1,079,363	102,408
	合計	11,679,500	6,124,078	581,042



資料來源：本文整理

圖 2 執行綠建築案例

三、智慧綠建築

智慧綠建築是在既有綠建築基礎上，導入資通訊應用科技，相輔相成，提供更便利舒適安全節能的建築空間，以綠建築為基礎，導入智慧型高科技技術、材料及產品之應用，使建築物更安全健康及舒適。[3]

以中鼎集團第二總部大樓設計施工智慧

綠建築統包案（如圖3）為例，本案由集團自地自建，於規劃設計開始即導入智能及綠能設計，分別取得美國LEED綠建築標章（黃金級）、台灣綠建築標章（鑽石級）及智慧建築標章（鑽石級）三大榮耀。在綠建築方面，採用原生喬木搭配低光害的照明設計，整體綠覆率達89%以上，建材部分多選用綠建材、鋼結構+輕隔間及輕量化的帷幕牆，搭配外殼節能玻璃及自動遮陽捲簾。設備部分採用高

效中央冰水空調系統及磁浮式冰水主機省水節能標章的衛生器具及照明燈具與電梯位能回收等系統。

在智慧建築方面，舉凡空調、照明、監視、供水、捲簾、會議室、停車管理等系統，皆納入整合進中央監控系統，並進行智慧化的各項監控及運用。在智慧建築維運設施管理系統上，搭配中鼎集團自行開發的智慧能管系統(Mr. Energy)及智慧維運系統(BIM 7D)，可即時找出異常能耗，使浪費無所遁形，並使後續維護管理之預警、保養、維修，一氣呵成，降低後續營運階段的維管費用及人力，為節能、永續與環境共生的智慧綠建築大樓（如圖4）。

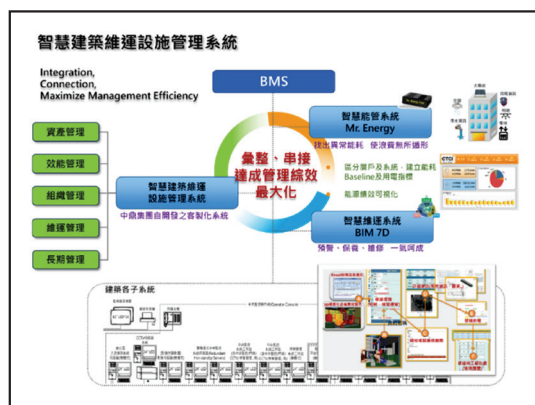
此外，因應外商及跨國企業之高科技廠房及辦公大樓節能減碳需求，團隊與國際接軌，導入美國綠建築協會認證的能源與環境先導設計（LEED）評估系統，LEED評估系統由美國綠建築協會（United States Green Building Council, USGBC）發起，為世界上知名且具公信力的綠建築評級制度，廣泛為世界所認可。根據九大指標評分結果後由第三方認證機構 GBCI 獨立認證，共分成認證級、銀級、金級、白金級等四個認證等級，目前廣泛使用在外商企業總部或跨國業務之電子廠房使用。

中鼎集團第二總部大樓興建案取得LEED黃金級標章及國內鑽石級綠建築及智慧建



資料來源：本文整理

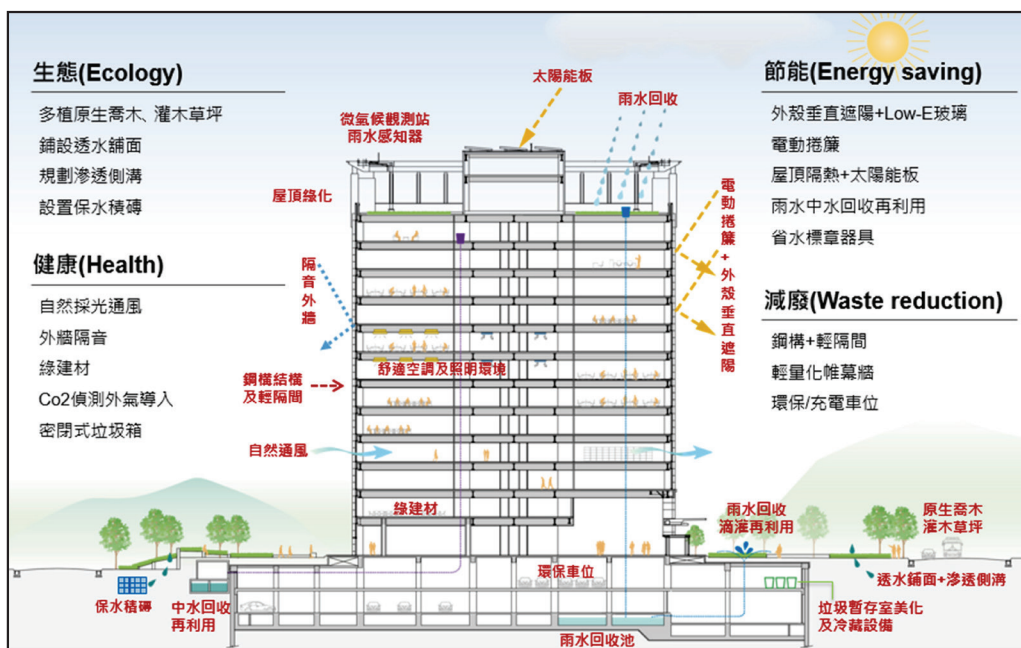
圖 3 中鼎集團第二總部大樓外觀



資料來源：本文整理

圖 4 智慧建築維護管理系統

築，初估每年可節省電費約20%，是兼具節能、永續與環境共生的綠色大樓案例。本工程完工後常收到學校團體、高科廠業主與國內大型工程企業參訪，為推廣統包工程智慧綠建築的成功示範場域（如圖5）。



資料來源：本文整理

圖 5 中鼎集團第二總部 智慧綠建築 +LEED

五、淨零建築

因應2050年淨零路徑，國家發展委員會規劃，在建築產業方面於2050年能夠達成100%新建建築物及超過85%既有建築物，皆為「近零碳建築」的目標。在既有的綠建築架構下，增加「建築能效標示」或「低碳建築標示」評估[4/5]。

落實淨零碳排政策，台北市政府自今（2024）年2月起分期實施公有及私有建築物，申請綠建築標章之新建建築物應併同申請建築能效評估，且其建築能效等級應達1+級（近零碳建築），「建築能效標示」共分為1至7級，建築能效分級屬第1級的建築

物，且能效評分為前50%者，屬於「近零碳（能）建築」如附圖6（Nearly Zero-carbon Buildings），以第1+級標示，未來取得近零碳（能）建築等級之建築物，其餘用電量需靠再生能源碳中和至零排放，為淨零建築（Net Zero Buildings）[2]。

該如何實現淨零碳建築呢？可從建築物生命週期分三階段探討如下：

1. 設計與施工階段減碳：

導入低碳與循環建築的設計，透過輕量化結構設計、低碳建築工法、循環建材、營建廢棄物管理等方式，來降低蘊含碳排量。

2. 日常運營階段減碳

改善照明與空調設備，如採用能效 1 級空調設備、LED 照明燈具，導入智慧能源管理系統等。

3. 再生能源減碳

建築物設置太陽能板，太陽能板有減碳、隔熱、遮陽等多重效益，太陽能板的設置位置除地面或屋頂外，也可設置在建築物立面上，搭配儲能系統爭取最大發電面積。

在低碳工法方面，主要在減少建築的碳足跡。在營建業中常見的低碳工法有以下方式：

1. 使用綠色建材：採用可再生或回收的建材。
2. 高能源效率設計：使用高效能建築系統。
3. 再生能源應用：使用再生能源。

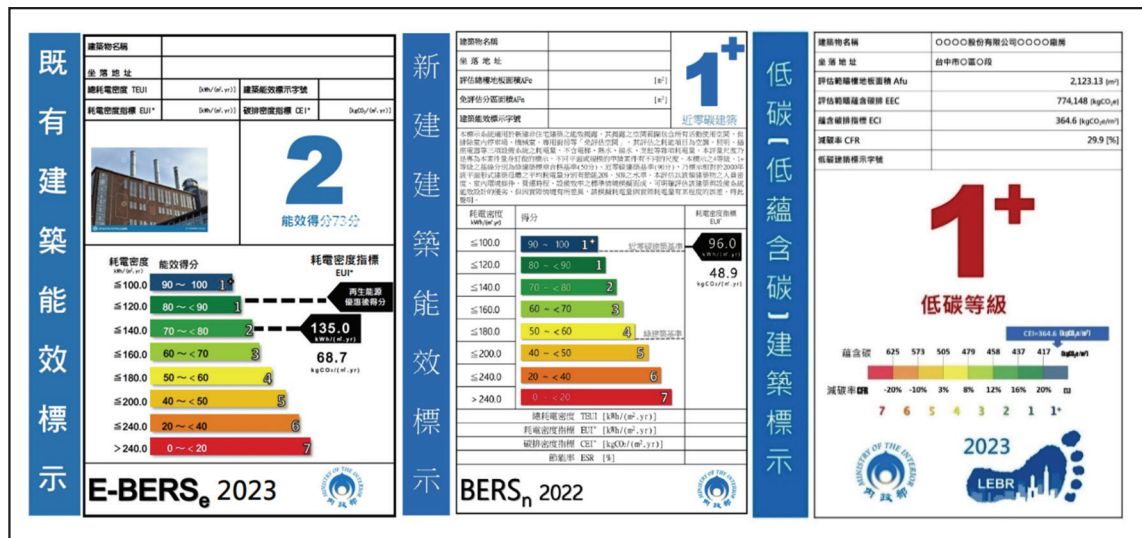
4. 節水及廢棄物管理：使用節水設備、雨水回收，廢棄物分類回收等措施。

5. 智能建築：如使用能源監控系統。

6. 綠色工法：如綠色材料（如低碳水泥）、預鑄工法或鋁模板及系統模板等。

住宅能效評估系統供住宅使用，主要是將全棟住宅耗能量或排碳量大的項目，如外殼隔熱空調、照明、熱水器、爐台、電梯、水塔揚水泵、地下停車場送風機等八大項目，從源頭對耗能項目加以管制，達到最有效率的減碳作為，

以團隊近期取得社會住宅新建統包工程案例如圖7~11而言，綜整住宅能效評估及淨零碳的具體設計手法如表3[2]。



資料來源：內政部營建署

圖 6 建築能效標示



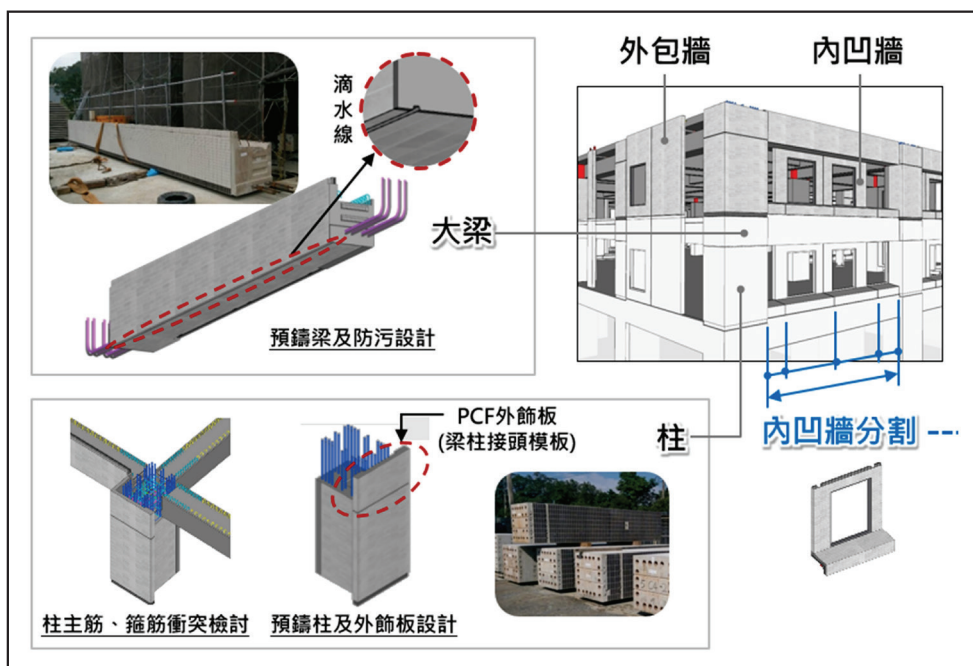
表 3 新建集合住宅能效評估具體設計手法

	評估項目	具體做法
一	外殼隔熱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 減少全面玻璃造型設計，控制建築開窗率 2. 避免屋頂水平天窗設計，水平天窗設計宜採低日射透過率的節能玻璃 3. 開窗部位盡量設置外遮陽或陽台，避免東西向開大窗 4. 住宅採用 6mm 以上玻璃，反射率 <0.20 5. 配置適當開窗面積及增加對流通風，以達通風採光功用並減少耗能量 6. 如預算較足夠，隔熱砂漿或節能 LOW-E 玻璃使用 7. 屋頂隔熱材料性能或厚度加強 8. 屋頂或牆面設置太陽能板及儲能裝置
二	空調	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用 1 級能源效率的空調設備 2. 不需要的空調區免設 3. 避免超量設計 4. 採用變頻式空調系統 5. 與能源管理系統整合，配合需求量調整
三	照明	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採最高等級的節能設計 2. 居室採自然採光 3. 照度合理配置，減少燈具數量 4. 照明分區開關及自動感知與調光功能 5. 使用高效率 LED 燈具 6. 與能源管理系統整合，可配合需求量調整
四	熱水器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 熱水系統使用一級能效標示設備 2. 熱水管保溫披覆 3. 使用太陽能熱水器
五	爐台	<ol style="list-style-type: none"> 1. 避免使用電熱爐 2. 使用一級能效標示設備 3. 套房使用 IH 爐
六	電梯	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設電力回收系統裝置 2. 採用永磁變頻電梯
七	水塔揚水泵	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不超量設計 2. 使用節能水泵
八	地下停車場送風機	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用節能標章設備 2. 使用有 CO 濃度控制的變頻排送風機



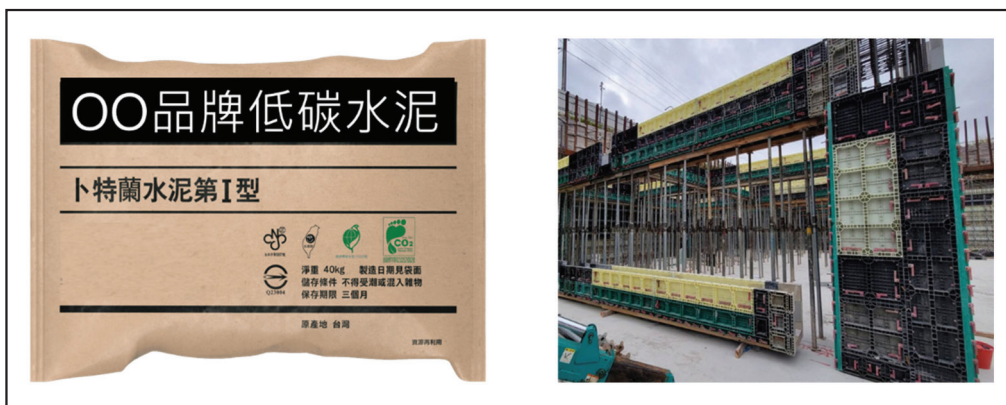
資料來源：本文整理

圖 7 金城安居社會住宅示意（規劃中 - 近零碳建築）



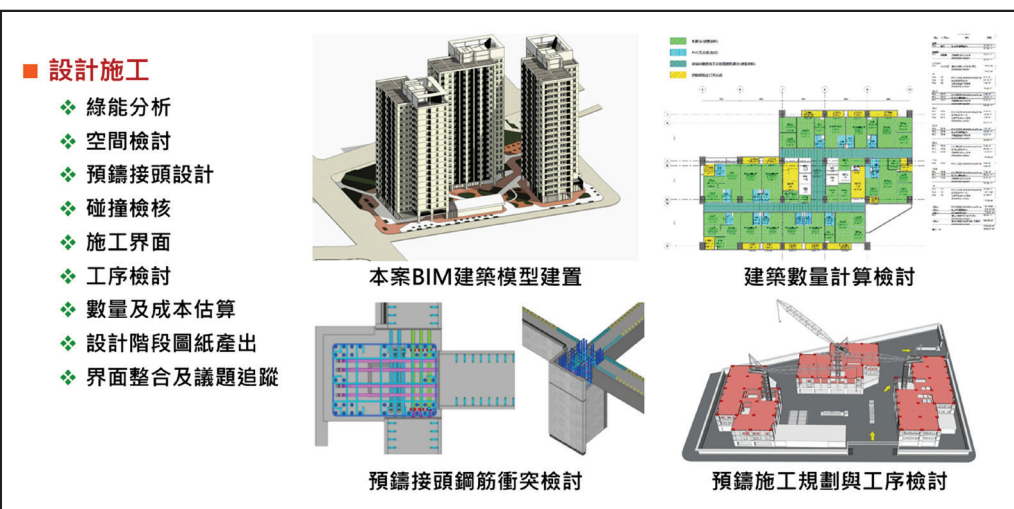
資料來源：本文整理

圖 8 建築預鑄工法的應用



資料來源：本文整理

圖 9 低碳水泥及系統模板工法的應用



資料來源：本文整理

圖 10 BIM 技術的導入及應用



資料來源：本文整理

圖 11 節能設施導入及應用



六、結語

我國從1999年綠建築推動開始，到2050年達到近零碳建築，是從綠建築的基礎架構上，逐步提升建築外殼、設備效能及導入低碳工法等的手法，先從建築節能50%達到「近零碳建築」，再輔以各種再生能源設施或外購再生能源憑證，來達到碳中和至零碳排，最終達到邁向「淨零建築」。^[5]

由於建築物使用中持續有能源消耗使用，加上台灣地區受限地理氣候條件，能提供再生能源如太陽能或風力發電等場所面積有限，要達到「淨零建築」的目標，未來仍需持續精進節能技術，導入循環建築、低碳工法等方式，依各案特性適時導入應用。

本文綜整綠建築至近零碳建築案例，及淨零碳建築、低碳工法、能效評估與綠建築等新材料、新工法、新技術等作法，提供具體實踐可為減碳淨零與生態友善的營建工程提供參考，未來工程業可結合綠色工法、材料及技術搭配綠色能源使用，達到以工程技術為始，淨零建築為目標，成為地球永續的把關者，共同朝淨零建築目標邁進。

參考文獻：

1. 內政部建築研究所：綠建築評估手冊－基本型 2023 版
2. 內政部建築研究所：住宅建築能效評估概論
3. 內政部：智慧 建築推動方案修正核定本
4. 國家發展委員會：2022 年 3 月 30 日。台灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明
5. 內政部建研所：2024 年 5 月 7 日 綠建築發展與淨零轉型策略