

綠建築與近零能源制度之調合研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 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)

計畫編號：10815B0010

內政部建築研究所
108 年度創新循環綠建築環境科技計畫(一)
「綠建築與近零能源制度之調合研究」

計畫主持人：王榮進

協同主持人：鄭政利

研 究 員：陳麒任、呂文弘、徐虎嘯、廖婉茹

研 究 助 理：李招蓉、陳瑜芳

研 究 期 程：中華民國 108 年 3 月至 108 年 12 月

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 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

目次.....	I
圖次.....	III
表次.....	VII
摘要.....	XI
Abstract.....	XV
第一章緒論	1
第一節 計畫背景與目的.....	1
第二節 計畫內容與流程.....	3
第三節 執行進度與成果.....	5
第二章文獻回顧與探討	7
第一節 國際間對近零耗能建築之相關定義.....	7
第二節 國際近零耗能建築制度與可行策略彙整.....	10
第三節 綠建築政策制度發展與相關法規現況.....	20
第四節 零耗能建築之再生能源與技術.....	26
第五節 零廢棄設計之循環經濟概念.....	37
第三章近零能源建築之分級制度與節能基準分析	69
第一節 各國之相關制度與評估機制分析.....	69
第二節 近零能耗建築物（nZEB）之案例分析	92
第三節 辦公建築案例能源評估.....	115
第四節 住宅建築案例能源評估.....	144
第四章近零能源建築調和綠建築之發展策略與制度探討	157
第一節 近零能源建築操作設計及評估方法探討.....	157
第二節 近零能源建築量化評估與節能效率檢討.....	165
第三節 建築節能潛力最優量化評估與案例試算.....	179
第四節 零能源建築分級基準及評估制度擬議.....	185
第五章調和綠建築與近零能源策略與目標期程	191
第一節 專家座談委員會議召開及專訪.....	191
第二節 調合綠建築與近零能源建築策略.....	198
第三節 政策目標期程檢討.....	202
第六章結論與建議	207

第一節 結論.....	207
第二節 建議.....	211
附錄一、案例評估與試算	213
附錄二、採購評選會議紀錄	237
附錄三、期中審查會議紀錄	239
附錄四、「綠建築與近零能源制度之調合研究」第一次專家座談會會議紀錄	243
附錄五、「綠建築與近零能源制度之調合研究」第二次專家座談會會議紀錄	247
附錄六、期末審查會議紀錄	251
參考文獻.....	255

圖次

圖 1-1 研究計畫流程	4
圖 2-1 實現零能源建築的概念和策略 ^[A11]	9
圖 2-2 歐盟 EN 標準的住宅建築能源使用架構 ^[A11]	10
圖 2-3 歐盟對 NZEB 規範與目標期程 ^[A11]	13
圖 2-4 美國 2030 挑戰計劃 ^[A11]	15
圖 2-5 日本淨零耗能住宅與建築時程規劃 ^[A11]	16
圖 2-6 圖循環經濟架構圖 ^[D21]	38
圖 2-7 建築物循環設計概念圖 ^[A15]	40
圖 2-8 循環系統概念圖 ^[A15]	41
圖 2-9 材料護照概念圖 ^[A15]	42
圖 2-10 C2C 概念說明圖 ^[A15]	43
圖 2-11 歐盟「建材銀行」計畫示範小屋內的「循環建材」展示品 ^[A15]	45
圖 2-12 歐盟「建材銀行」計畫示範小屋的「材料護照」資料-1 ^[A15]	46
圖 2-13 歐盟「建材銀行」計畫示範小屋的「材料護照」資料-2 ^[A15]	46
圖 2-14 荷蘭 Park 20 20 全區現況 ^[D22]	48
圖 2-15 Park 20 20 全區平面圖 ^[D23]	48
圖 2-16 Park 20 20 全區入口 ^[D24]	49
圖 2-17 Park 2020 商業園區 ^[D25]	50
圖 2-18 建築內的綠化牆面 ^[D26]	52
圖 2-19 Park 2020 全區內現況 ^[D27]	52
圖 2-20 園區建築中央的綠色走廊 ^[D27]	52
圖 2-21 園區內西北方都市農園 ^[D28]	53
圖 2-22 廢物、熱能和能源系統 ^[D28]	53
圖 2-23 雨水和污水搜集系統 ^[D28]	54
圖 2-24 生物多樣性生態系統設計 ^[D29]	54
圖 2-25 再生能源太陽光電系統設置 ^[D29]	55
圖 2-26 中央水資源淨化系統增加生物多樣性和淨化灰水 ^[D28]	55
圖 2-27 都市共戶外空間和人行道路系統 ^[A14]	56
圖 2-28 室內工作區域設計 ^[D30]	56
圖 2-29 室內簡易裝潢及拆解設計 ^[D30]	57
圖 2-30 Maison du Projet 建築整體外觀與立面語彙 ^[D31]	58
圖 2-31 Maison du Projet 建築物夜間立面韻律及結構與空間配置 ^[D31]	58
圖 2-32 充氣結構的會議室 ^[D31]	60
圖 2-33 充氣結構的會議室內部使用現況 ^[D31]	60
圖 2-34 充氣結構示意圖 ^[D31]	60

圖 2-35 建築物內部使用說明示意圖 ^[A14]	61
圖 2-36 多功能獨立小空間 ^[D31]	61
圖 2-37 多功能獨立小空間 ^[D31]	62
圖 2-38 多功能大廳 ^[D31]	62
圖 2-39 太陽能板及木質燃料顆粒之配置及使用 ^[D32]	63
圖 2-40 雨水收集系統 ^[A14]	64
圖 2-41 三根黑色煙囪實際上是三個乾式廁所 ^[D32]	64
圖 2-42 乾式廁所的循環應用 ^[A14]	65
圖 2-43 乾式廁所內部現況 ^[D31]	65
圖 3-1 日本實現 ZEB 並推動普及之路徑藍圖	75
圖 3-2 日本零能源建築政策政府部門跨部會分工架構	77
圖 3-3 ZEH Builder 和 ZEH Planner 標章	78
圖 3-4 ZEB leading owner 及 ZEB planner 標章	79
圖 3-5 ZEH 設計概念圖	80
圖 3-6 ZEH 定義	80
圖 3-7 ZEH 與低碳住宅、智慧健康宅、LCCM 住宅等制度比較圖	83
圖 3-8 日本 ZEB 概念圖	87
圖 3-9 日本 ZEB 定義	87
圖 3-10 ZEB Oriented 評價示意圖	89
圖 3-11 BELS、CASBEE、LEED 等級與 ZEB 的相對關係圖	91
圖 3-12 英國光屋(Kingspan Light House) ^[D1]	92
圖 3-13 英國光屋(Kingspan Light House)整體空間規劃 ^[D2]	93
圖 3-14 英國光屋節能手法 ^[D2]	93
圖 3-15 英國光屋外觀 ^[D2]	94
圖 3-16 巴瑞特綠屋外觀照片 ^[D20]	95
圖 3-17 Barratt Green house 零碳設計操作手法示意圖 ^[D20]	95
圖 3-18 The Renewable House 建築外觀照片 ^[D19]	97
圖 3-19 Barratt Green house 零碳設計操作手法示意圖 ^[D19]	98
圖 3-20 零耗能實驗房屋 ^[D18]	100
圖 3-21 零碳天地(Zero Carbon Building)外觀 ^[D3]	102
圖 3-22 零碳天地(Zero Carbon Building)全景 ^[D3]	102
圖 3-23 太陽能電池板 ^[D3]	105
圖 3-24 新加坡 ZEB (Zero Energy Building)零碳建築 ^[D4]	106
圖 3-25 牆面及屋頂綠化 ^[D4]	107
圖 3-26 導光板設計以減少白天人工照明 ^[D4]	107
圖 3-27 東京瓦斯 Earth Port ^[D5]	108
圖 3-28 大成建 ZEB 實證棟的整合型照明系統 ^[D18]	110
圖 3-29 大成建設 ZEB 實證棟的環境空調系統 ^[D18]	111

圖 3-30 大成建 ZEB 實證棟立面使用有機薄膜太陽能板 ^[D18]	111
圖 3-31 大成建 ZEB 實證棟 ^[D18]	111
圖 3-32 鹿島建設技術研究所本館研究棟照明計畫與家具整合 ^[D19]	113
圖 3-33 鹿島建設技術研究所本館研究棟空調系統 ^[D19]	113
圖 3-34 鹿島建設技術研究所本館研究棟建築節能手法 ^[D19]	114
圖 3-35 一層平面圖	118
圖 3-36 二層平面圖	119
圖 3-37 三層平面圖	120
圖 3-38 四層平面圖	121
圖 3-39 五層平面圖	122
圖 3-40 設備比例	130
圖 3-41 整年用電量(kWh/yr)	130
圖 3-42 整年碳排放量(kgCO ₂ e/yr).....	131
圖 3-43 10 小時行政辦公類空間 (K1) 週間的室內發散熱逐時變動率	133
圖 3-44 12 小時間歇使用空間禮堂類別 (J2) 週間室內發散熱逐時變動率	133
圖 3-45 10 小時行政辦公空間書庫區 (K2) 週間室內發散熱逐時變動率	134
圖 3-46 eQuest 模擬中的大樓透視全貌.....	134
圖 3-47 eQuest 模擬中的南向立面圖.....	135
圖 3-48 eQuest 模擬中的西向立面圖.....	135
圖 3-49 eQuest 模擬中的東向立面圖.....	136
圖 3-50 eQuest 模擬中的北向立面圖.....	136
圖 3-51 eQuest 模擬中的俯視圖.....	137
圖 3-52 空調系統週間的逐時溫度設定時程	139
圖 3-53 空調週間開關的時間時程	139
圖 3-54 寶山行政大樓空調系統昇位圖 (一) 。	140
圖 3-55 寶山行政大樓的系統昇位圖 (二)	140
圖 3-56 eQuest 模擬下各項主設備逐月耗能量.....	142
圖 3-57 一層平面圖	145
圖 3-58 二層平面圖	145
圖 3-59 三層平面圖	146
圖 3-60 四層平面圖	146
圖 3-61 設備比例	152
圖 3-62 整年用電量(kWh/yr)	152
圖 3-63 整年碳排放量(kgCO ₂ e/yr).....	153
圖 3-64 室內照明與人員使用時程分佈	153
圖 3-65 eQuest 模擬下各項主設備逐月耗能量.....	154
圖 4-1 臺灣日射量分布圖 ^[A1]	163
圖 4-2 綠建築標章取得案例建築日常節能指標得分	181

圖 4-3 綠建築標章取得案例住宿類建築日常節能指標得分分布圖	182
圖 5-1 第一次專家會議之召開過程記錄	191
圖 5-2 第一次及第二次專家會議之召開過程記錄	192
圖 5-3 專家訪談過程紀錄	197
圖 5-4 政府目標期程檢討與建議	205

表次

表 2-1 屋頂透光天窗日射透過率 HWs 之基準值.....	21
表 2-2 外牆及立面開窗部位（含玻璃與窗框）之節能基準值	21
表 2-3 空調型建築、住宿類、學校類及大空間類等建築之節能基準值	22
表 2-4 再生能源來源的結構層次 ^[A7]	31
表 2-5 108 年度再生能源（太陽光電除外）發電設備電能躉購費率	34
表 2-6 108 年度太陽光電發電設備電能躉購費率	35
表 2-7 108 年度太陽光電發電設備電能躉購費率(高效能).....	36
表 2-8 108 年度太陽光電發電設備電能躉購費率(綠能屋頂).....	36
表 3-1 歐盟各國實施近零能源建築政策的日期與初級能源基準 ^[D17]	71
表 3-2 美國南部地區住宅類 EUI 目標值 (kWh/m ² .yr) ^[A3]	73
表 3-3 歐盟日本與我國零能源建築政策與推動制度體系比較	74
表 3-4 日本平成 24 年(2012)~平成 26 年(2014)ZEH 補助事業概要.....	84
表 3-5 日本平成 31 年(2019) ZEH 補助事業概要	85
表 3-6 BELS、CASBEE 及 LEED 系統比較表	90
表 3-7 各層空間用途一覽表	116
表 3-8 外牆構造各層建材之熱性能參數	116
表 3-9 室內隔間牆構造各層建材之熱性能參數	117
表 3-10 室內各層樓板構造各層建材之熱性能參數	117
表 3-11 屋頂構造各層建材之熱性能參數.....	118
表 3-12 各類功能空間耗能密度標準 EUI _{ij}	123
表 3-13 室內空調樓地板面積	124
表 3-14 外殼節能效率	124
表 3-15 換氣耗能碳足跡	126
表 3-16 電梯標準耗電量 E _{eli}	127
表 3-17 給污水各設備參數值	128
表 3-18 建築使用階段 BCF 法碳足跡計算列表	129
表 3-19 窗玻璃熱性能參數	132
表 3-20 各空間室內發散熱密度	133
表 3-21 冰水主機的參數設定	138
表 3-22 空調箱 (AHU) 參數設定，包含名稱、冷卻能力以及送風量	138
表 3-23 小型冷風機 (FCU) 參數設定，包含冷卻能力	138
表 3-24 eQuest 模擬各項設備系統之耗能量與碳排放量.....	142
表 3-25 建築碳足跡 BCF 與 eQuest 模擬之差異比較.....	143
表 3-26 各層空間用途一覽表	145

表 3-27 各類功能空間耗能密度標準 EUI _{ij}	146
表 3-28 室內空調樓地板面積	147
表 3-29 外殼節能效率	148
表 3-30 給污水各設備參數值	150
表 3-31 設備標準碳排放量	151
表 3-32 建築使用階段 BCF 法碳足跡計算列表	152
表 3-33 eQuest 模擬各項設備系統之耗能量與碳排放量.....	154
表 3-34 住宿類建築碳足跡 BCF 與 eQuest 模擬之差異比較.....	155
表 4-1 空調營運 24 小時功能空間耗能密度標準 EUI ^[A1]	160
表 4-2 空調營運 12-18 小時功能空間耗能密度標準 EUI ^[A1]	161
表 4-3 空調營運 10 小時功能空間耗能密度標準 EUI ^[A1]	162
表 4-4 再生能源替代效率估算項目估算方式	164
表 4-5 「住宿類建築短向平均深度 d」之空調節能效益比較 (EEV=0.8) ..	169
表 4-6 「其他類建築短向平均深度 d」之空調節能效益比較 (EEV=0.8) ..	169
表 4-7 「住宿類建築自然通風潛力 VP」之空調節能效益比較.....	170
表 4-8 「其他類建築自然通風潛力 VP」之空調節能效益比較.....	170
表 4-9 「住宿類建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較 (VP=0.9) ..	170
表 4-10 「其他類建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較 (VP=0.9) ..	171
表 4-11 空調節能標章修正係數 S _{EL}	172
表 4-12 無風管空氣調節機能源效率分級基準表	173
表 4-13 建築及設備節能設計對空調耗能之評估節能率	174
表 4-14 綠建築分級評分制度四大範疇九大指標配分基準	179
表 4-15 綠建築分級評分制度指標計分法與計算公式	180
表 4-16 綠建築標章案例日常節能指標得分 RS4 值統計	180
表 4-17 案例設計之推估節能率與最優節能設計之節能潛力	183
表 4-18 案例設計之推估節能率與最優節能設計之節能潛力(不含固定電氣設備)	184
表 4-19 調和綠建築之近零能源建築基準	187
表 4-20 調和綠建築之近零能源住宅建築基準	189
表 5-1 我國推動 ZEB 之政策建議	202
附表 1-1 空調照明設備承諾節能潛力	215
附表 1-2 空調、照明、電器系統全年碳排放量計算	216
附表 1-3 宗教文化館 BCFd 評估案例試算結果	217
附表 1-4 空調、照明及固定電器評估之節能率	218
附表 1-5 空調、照明評估之節能率	218
附表 2-1 空調、照明、電器系統全年耗能量計算	220
附表 2-2 案例建築物使用階段耗能評估	221
附表 2-3 節能率評估 (空調、照明、固定電器設備)	222

附表 2-4 節能率評估（空調、照明）	222
附表 3-1 空調、照明、電器系統全年耗能量計算	224
附表 3-2 案例建築物使用階段耗能評估	225
附表 3-3 節能率評估（空調、照明、固定電器設備）	226
附表 3-4 節能率評估（空調、照明）	226
附表 4-1 空調、照明、電器系統全年耗能量計算	228
附表 4-2 案例建築物使用階段耗能評估	229
附表 4-3 節能率評估（空調、照明、固定電器設備）	230
附表 4-4 節能率評估（空調、照明）	230
附表 5-1 住宅建築承諾節能潛力	232
附表 5-2 住宅空調、照明、電器系統全年碳排放量計算	233
附表 5-3 住宅建築評估案例試算結果	234
附表 5-4 節能率評估（空調、照明、固定電器設備）	235
附表 5-5 節能率評估（空調、照明）	235

摘要

關鍵詞：低碳、永續、綠建築、零能源建築、氣候變遷

一、研究緣起

因應全球氣候變遷及能源日漸匱乏嚴重情況下，近年來世界各國積極發展零能源及低碳建築，推動節能減碳及綠色環保技術，歐盟、美國及部分亞洲國家已經將建築零耗能或近零能源建築納入國家減碳目標期程，顯示零耗能建築將是未來建築發展的主流。歐盟訂出 2019 年所有新建公共建築及 2021 年所有新建建築，須符合「近零耗能建築」的基準。德國雖未針對「近零耗能建築」訂出標準，惟以務實方式推動建築節能，並訂出到 2020 年，與 1990 年相比溫室氣體排放量應減少 40%，以及到 2050 年，與 2008 年相比主要能源消耗應降低 50%。英國更率先自 2018 年 4 月起，要求所有新建建築都必須符合碳平衡的零碳排放標準。美國能源部則提出「淨零能源商業建築倡議」，訂出 2030 年前所有商業類新建建築需達到零耗能標準。日本亦設定 2030 年前需實踐零碳建築目標，推動方式採用經產省及環境省之 ZEB、ZEH 制度，並建立其與既有之綠建築標章（CASBEE）之連結。我國近零能源建築議題尚處於發展階段，惟目前我國「能源轉型白皮書」已將近零能源建築納為建築部門節能計畫重要推動工作之一。經盤點我國目前具備之基礎，內政部建築技術規則已訂有綠建築專章，建築物外殼耗能資訊透明機制，既有綠建築建築標章 EB 版及建築能源標示制度均在研議中，為國內未來重要能源政策實施重要工作。

二、研究方法與過程

本研究分析探討近零能源建築所需之相關技術與條件外，並探討我國推動近零能源建築之發展策略，調合綠建築與近零能源建築量化評估方法與基準，研究

方法主要以文獻回顧收集國外先進國家有關近零能源建築推動措施，及整理近零能源建築主要之技術手法文獻資料，並探討我國現有相關法規對於推動近零能源建築不足之處。其次與國內專家學者諮詢請益有關近零能源建築之技術與策略建議，並配合調整修正研究成果。藉由歐盟及日本等先進國家之推動近零能源建築經驗，比較分析我國推動近零能源建築之現況，探討適合我國推動近零能源建築之發展策略與可行性。綜合上述相關資料進行通盤檢討後，就技術面研擬我國綠建築調合近零能源建築之發展策略。

三、研究成果與發現

完成國內外有關近零能源建築相關研究文獻資料，以及歐美日本先進國家對於近零能源建築之政策推動措施與相關期程目標，成果概要如下：

1. 完成蒐集國內外近零能源建築之相關政策目標及推動作法。
2. 釐清零能源建築定義與完成國外近零建築案例之彙整。
3. 完成探討我國綠建築日常節能指標與建築能耗之關聯評估。
4. 完成零能源建築量化評估方法與評估標準情境。
5. 完成零能源建築分級基準及評估制度擬議。

四、建議事項

建議一

訂立近零能源建築明確的目標期程：立即可行之建議

主辦機關：經濟部能源局

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

國際上歐美先進國已明確訂立 ZEB 或近零能源時程及達成目標，亞洲地區之日、韓、新加坡、香港也積極建立時程目標與推動近零能源建築政策，政府應著手訂立明確的目標期程、相關的配套節能標準與獎勵措施，展示我國推動近零能源建築的決心與執行力，並促進建築技術產業的再升級。

建議二

確立近零能源建築跨部會分工推動機制：立即可行之建議

主辦機關：經濟部能源局

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

近零能源建築的制度推動與落實，需要積極經濟能源政策與產業輔導面相來配合實施，世界各國多以經濟能源與產業發展主管部門，為零能源建築政策推動之主導單位，建築管理與環保部門為協辦單位。建議國內以經濟部能源部門做為政策主導的單位，由建築管理主管部門內政部營建署或建築研究所，建立建築能源標示機制與建築能耗評估基準來配合推行。

建議三

建立建築能源標示制度：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

建築能源標示制度的實施是銜接近零能源建築重要之機制，歐盟國家及日本均以建築能源標示制度先行實施，確立建築能源評估方法與建築能耗基準，以使近零能源建築制度得以順利推行。我國建築能源標示制度尚處研議階段，建議調和綠建築能源指標與標章制度公布實施，以利銜接零能源建築制度之施行。

建議四

準零能源建築納入綠建築標章制度執行評估：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

準零能源建築 RZEBTB(Ready Zero Energy Building)與準零能源住宅 RZEBTH(Ready Zero Energy Housing)以建築節能為目標，無需評估再生能源之採用，延續綠建築評估方法與基準之提昇，執行制度上可以納入綠建築標章制度執行評估，並於日常節能指標中標示與登錄。近零能源建築 NZEBTB(Ready Zero

Energy Building)與零能源建築 ZEBTB 除了建築節能門檻評估外，必須採納再生能源之發電評估與平衡計算，而再生能源之推動制度與相關措施屬經濟部權責，必須跨部會合作執行方有成效，故有待經濟部來共同推動，由內政部協助提供評估方法與計算基準。

Abstract

Keywords: Low carbon, sustainable, green building, zero energy building, climate change

1. Introduction

In response to global climate change and the increasing crisis of energy, in recent years, countries around the world are actively developing zero-energy and low-carbon buildings to promote energy conservation and carbon reduction and green technology. European Union, the United States and some Asian countries have incorporated zero-energy or near-zero energy buildings into the national carbon reduction target period, showing that zero-energy buildings will be the mainstream of future building development. The EU has set a target of "near zero energy-consuming buildings" for all new public buildings in 2020. Although Germany does not set standards for near-zero energy-consuming buildings, it has pragmatically promoted energy efficiency in buildings and has set a target of reducing greenhouse gas emissions for 40% by 2020 compared to 1990 and reducing major energy consumption 50% reduction compared to year of 2008. The UK is the first country to start in April 2018 by requiring all new buildings to meet the zero-carbon emissions standard. The Department of Energy of USA has launched the Net Zero Energy Commercial Building Initiative, which sets zero energy consumption standards for all new commercial buildings by 2025. Japan has also set a zero-carbon building target by 2030, promoting the adoption of the ZEB and ZEH systems of the Ministry of Economy, Industry and the Environment, and establishing its links to the established Green Building Label (CASBEE). Taiwan's near-zero energy construction issues are still in the development stage. However, Taiwan's "Energy Transformation White Paper" has nearly zero energy construction for the construction sector energy conservation plan to be one of the important promotion mission. Nowadays, the Ministry of the Interior building technical rules have set a green building labeling system, building envelop energy consumption information transparency mechanism, and building energy marking system are under discussion, for the future of the country's important energy policy implementation.

2. Research methods and processes

This study analyzes the relevant technologies and conditions required for near-zero energy buildings, and explores the development strategies of Taiwan to promote near-zero energy buildings, and adjusts the quantitative assessment methods and benchmarks of green buildings and near-zero energy buildings. Firstly, the technical methods of near-zero energy building and the Taiwan's existing relevant laws and

regulations would be collected and reviewed. Secondly, the domestic experts and scholars would be consulted for the advice of near zero energy building technology and strategy, as the adjustment and revision of research results. Through the experience of promoting near-zero energy construction in advanced countries such as the European Union and Japan, the current situation of promoting near-zero energy construction could be compared and analyzed to explore the strategy and feasibility of promoting near-zero energy construction in Taiwan. After a comprehensive review of the above-mentioned relevant data, the development strategy of the green building in Taiwan for the integration of near zero energy buildings is developed on the technical aspects.

3. Results and discoveries

This research completed the domestic and foreign research literature data on near-zero energy construction, as well as the policy promotion measures and related period objectives of advanced countries in Europe, America and Japan for near-zero energy construction, the results are summarized as below:

- 1). To complete the relevant policy objectives and promotion practices for the collection of near-zero energy buildings at domestic and abroad.
- 2). Clarify the definition of zero energy building and complete the consolidation of near-zero building cases abroad.
- 3). Complete the evaluation of the relationship between the daily energy-saving pointer of green building in Taiwan and the energy consumption of building.
- 4). Complete the quantitative assessment method and evaluation standard scenario for zero-energy buildings.
- 5). The zero-energy building grading benchmark and assessment system are proposed with integration of green building system in Taiwan.

4. Recommendations

Advanced countries in Europe and the United States have clearly established ZEB or near zero energy time frame and achieve the goal, the Asian region of Japan, South Korea, Singapore, Hong Kong is also actively establishing time-lapse targets and promoting the near-zero energy construction policy, and the Government should set out a clear target period, relevant supporting energy-saving standards and incentives to demonstrate the determination and enforcement to promote near-zero energy construction, and promote the upgrading of the construction technology industry. In order to promote and implement the system of near zero energy construction, it is necessary for active economic energy policy and industrial guidance to cooperate with the implementation. The zero energy construction policy were promoted by economic and energy industrial development authorities and cooperated with building management and environmental protection departments in many advanced countries. It is recommended that the energy department of the Ministry of

Economy as the policy-lead authority, the Ministry of Interior Construction Department or the Institute of Building Research as the department of building management, establish a building energy marking mechanism and building energy consumption assessment benchmarks to cooperate with the implementation.

Ministry of the Interior Construction Department, Ministry of Economy Energy Bureau construction energy marking system implementation is an important mechanism to connect near zero energy buildings. The European Union countries and Japan implemented the building energy marking system, established the building energy assessment methods and building energy consumption benchmarks to enable the smooth implementation of the near-zero energy construction system. Taiwan's construction energy marking system is still in the stage of deliberations. it is proposed to reconcile the green building energy pointer and marking system announced implementation, in order to benefit from the implementation of zero energy construction system.

第一章緒論

第一節 計畫背景與目的

一、計畫背景

根據國際能源總署（International Energy Agency, IEA）估計，至 2050 年之前若要防止全球升溫 2°C，則需將年度溫室氣體排放量減至 140 億噸，其中建築部門屬具最大節能潛力之終端使用者，預估可減量二氧化碳約 15 億噸，成效驚人。建築物的生命週期可達 40 至 120 年，且是各種設備運轉之系統載具，故任何建築節能措施的效果，將遠比其他產業貢獻大而且具體，是節能減碳最需積極推動的重點產業。國際能源總署（IEA）統計，預估至 2030 年，建築部門耗能約占全球溫室氣體排放總量的 30%。因此，降低建築產業耗能已是全球節能減碳趨勢下，各國積極發展技術的方向。國內經濟部統計，106 年度電力消費工業部門占 53.5%，住宅及服務業部門共占 37.1%（其中住宅 18.2%、服務業 18.9%），代表各類建築物每年所消耗之能源，就約佔全國能源比例的三分之一以上。然而既有建築佔全國比例已超過 97%，且早期興建之建築物當時並無節能法規，普遍存在耗能及不符生態環境之問題，若欲有效管控建築部門整體耗能，除針對新建建築予以規範能耗外，亦亟需從既有建築著手進行管控措施，並配合再生能源設施以進一步降低建築物能耗，達到低耗能甚至近零耗能之目標。為因應極端氣候威脅，維護地球環境永續發展，近年許多先進國家如歐盟、美國等，提出了大量的近（淨）零能源建築倡議和政策，透過將建築節能與可再生能源技術結合，提出高性能建築的解決方案。歐盟訂出 2018 年前所有公共建築及 2020 年前所有新建建築，須符合「近零耗能建築」的基準。英國更率先自 2018 年 4 月起，要求所有新建建築都必須符合碳平衡的零碳排放標準。美國能源部則提出「淨零能源商業建築倡議」，訂出 2025 年前所有商業類新建建築需達到零耗能標準。日本也

設定 2030 年前需實踐零碳建築目標。

我國近零能源建築議題尚處於發展階段，惟目前我國「能源轉型白皮書」已將近零能源建築納為建築部門節能計畫重要推動工作之一。經盤點我國目前具備之基礎，內政部建築技術規則已訂有綠建築專章，並且營建署刻正研擬建築物外殼耗能資訊透明機制，預計 2020 年實施；此外本所推動之綠建築標章系統將日常節能納為必要指標。為有效推動近零能源建築，參採日本推動模式，結合綠建築與近零能源建築系統，以延續我國綠建築政策及推廣成果，並銜接國際推動近零能源建築之趨勢。目前我國雖對於近零能源建築議題尚未訂出具體路徑或預計實施期程，惟我國「能源發展綱領」提出 2025 年達成能源轉型 20-30-50 潔淨能源發電結構及非核家園之目標，除了從開源角度尋求供電來源外，亦從節流的面向積極推動節電，將可提供未來推動近零能源建築之發展基礎。此外，「能源轉型白皮書」將近零能源建築納為建築部門節能計畫重要推動工作之一，國內零能源建築相關制度與評估方法基準，近期應該要逐步建立與推動實施。

二、研究目的

對應前述研究背景之概略論述，茲彙整本研究之研究目的如下：

1. 蒐集國內外近零能源建築之相關政策、目標及推動作法。
2. 探討提高建築能源使用效率及可大量降低能源需求之建築設計方式，並檢討適合我國綠建築使用之可再生能源技術。
3. 探討我國綠建築日常節能指標與建築能耗之關聯。
4. 研擬我國綠建築與近零能源建築系統之調合發展策略。
5. 進行建築近零能源之實務案例分析，研擬可行模式與量化評估方法。

本研究擬透過蒐集國內外近零能源建築之相關政策、目標及推動作法，探討提高建築能源使用效率及可大量降低能源需求之建築設計方式，並檢討適合我國綠建築使用之可再生能源技術，彙整我國綠建築日常節能指標與住宅建築能耗之關聯，研擬我國綠建築與近零能源住宅建築系統之調合發展策略。同時進行住宅建築近零能源之實務案例分析，研擬可行模式與量化評估方法。

第二節 計畫內容與流程

一、研究方法

本研究分析探討近零能源建築所需之相關技術與條件外，並探討我國推動近零能源建築之發展策略，調合綠建築與近零能源建築量化評估方法與基準，研究方法主要包括以下項目：

1、文獻回顧法：

收集國外先進國家有關近零能源建築推動措施，及整理近零能源建築主要之技術手法文獻資料，並探討我國現有相關法規對於推動近零能源建築不足之處。

2、專家諮詢法：

本研究將與國內專家學者諮詢請益有關近零能源建築之技術與策略建議，並配合調整修正研究成果。

3、比較分析法：

藉由歐盟及日本等先進國家之推動近零能源建築經驗，比較分析我國推動近零能源建築之現況，探討適合我國推動近零能源建築之發展策略與可行性。

4、總結法：

綜合上述相關資料進行通盤檢討後，就技術面研擬我國綠建築調合近零能源建築之發展策略。

二、研究流程

本計畫之研究流程，如圖 1-1 所示：

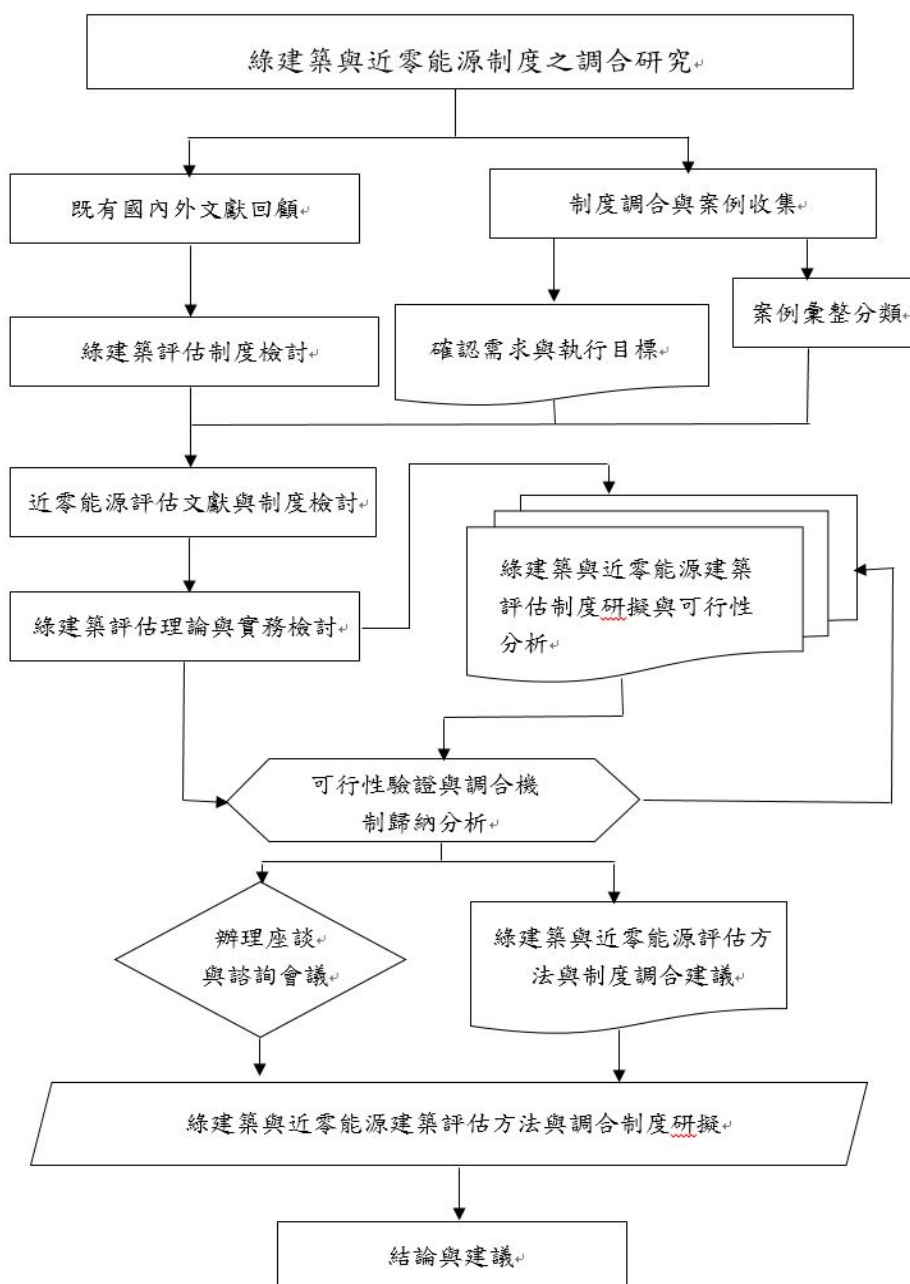


圖 1-1 研究計畫流程

第三節 執行進度與成果

本研究分析探討近零能源建築所需之相關技術與條件外，並探討我國推動近零能源建築之發展策略，調合綠建築與近零能源建築量化評估方法與基準，研究方法主要以文獻回顧收集國外先進國家有關近零能源建築推動措施，及整理近零能源建築主要之技術手法文獻資料，並探討我國現有相關法規對於推動近零能源建築不足之處。其次與國內專家學者諮詢請益有關近零能源建築之技術與策略建議，並配合調整修正研究成果。藉由歐盟及日本等先進國家之推動近零能源建築經驗，比較分析我國推動近零能源建築之現況，探討適合我國推動近零能源建築之發展策略與可行性。綜合上述相關資料進行通盤檢討後，就技術面研擬我國綠建築調合近零能源建築之發展策略。透過國際零能源建築技術發展與案例彙整分析、國內外推動綠建築指標彙整分析、國內外綠建築評估系統與工具彙整、最新研究動態及專家座談會議，建立國內零能源建築量化評估方法與零能源建築分級基準及評估制度擬議。

研究內容與成果包括國內外有關近零能源建築相關研究文獻資料，以及歐美日本先進國家對於近零能源建築之政策推動措施與相關期程目標，成果概要列舉如下：

1. 完成蒐集國內外近零能源建築之相關政策目標及推動作法。
2. 釐清零能源建築定義與完成國外近零建築案例之彙整。
3. 完成探討我國綠建築日常節能指標與建築能耗之關聯評估。
4. 完成零能源建築量化評估方法與評估標準情境。
5. 完成零能源建築分級基準及評估制度擬議。

第二章文獻回顧與探討

第一節 國際間對近零耗能建築之相關定義

建築物的生命週期可達 40 至 120 年，且是各種設備運轉之系統載具，故任何建築節能措施的效果，將遠比其他產業貢獻大而且具體，是節能減碳最需積極推動的重點產業。據國際能源總署（IEA）統計，預估至 2030 年，建築部門耗能約占全球溫室氣體排放總量的 30%。因此，降低建築產業耗能已是全球節能減碳趨勢下，各國積極發展技術的方向。因此，節能是建築發展的主軸，而建築則是全球節能減碳的核心。建築物是全球對生產副產品溫室氣體（GHG）的能源和材料需求的主要來源。為降低全球暖化以及面對極端嚴峻的氣候變遷挑戰，建築業必須導入零能源建築技術與相關制度策略目標。

目前國際間對於零能源建築的說法與定義大致可分為兩種，「淨零能源建築（Net Zero Energy Building, NZEB）」與「近零能源建築（Nearly Zero Energy Building, nZEB）」。「淨（net）」與「近（nearly）」的差別在於平衡狀態定義上些微的不同，尤其是「近（nearly）」到底要多「近（nearly）」，未有明確的定義。但兩者其實都是指建築能源的平衡狀態，希望建築物每年產生的能源（如再生能源）相等於自身所消耗的能源。尤其零耗能建築需要仰賴再生能源來抵銷自身耗能，故進一步分類還又能再區分為「基地內零能源建築（Site ZEB）」與「基地外零能源建築（Off-Site ZEB）」。

零能源建築（ZEB）的各種定義在 2008 年首次在國際上被討論和提出。這些定義中的許多要求在一定時間間隔（例如一年或一個月）內使用和產生的能量（或從電網導入並導出到電網）之間的零能量平衡。能源可能被考慮在基地內（site）或基地外來源（source）。國際能源署（IEA）彙編並討論了任務 40 中最早的定義，建立了包括近 20 個國家在內的零能源建築。在 2010/31/EC 指令 EPBD 公佈之後，

近零能源建築在沒有明確定義的情況下被廣泛使用，惟一必要的是將高效建築概念實施到國家歐盟成員國的能源守則。

整體而言，第一種「淨零能源建築」的說法定義以美國為主，第二種「近零能源建築」的說法定義則以歐盟為主，世界上許多國家各有傾向之定義類型。惟不論是何種，兩者意義相近，首先要求建築物本身，包含使用之耗能設備必需具備高效節能，其次是建築物消耗能源，必須能與經由基地自身產出或鄰近供應之可再生能源相抵銷，使整體耗能接近或達到能源消耗與產出之平衡。以臺灣於零耗能建築之推動現狀尚處於發展階段，若要達到能源消耗完全平衡恐有困難，故以近零能源建築較符合我國需求。

零能源建築在歐美、日本先進國家的推行已有相當的成效，例如英國的貝丁頓社區（Zero Energy Development, BedZed）、光屋(Lighthouse)及巴勒特綠屋(Barratt Green House)，德國的弗萊堡太陽能屋(Heliotrop)均是著名的零碳建築案例。然而歐美國家的氣候乾燥涼爽，夏季冷房的需求較少，冬季可透過良好的建築隔熱設計與太陽能的運用，就能大幅降低建築物的日常耗能，相對的，亞熱帶的熱濕氣候的建築主要的耗能來自夏季的空調，唯有運用空調才能除濕排熱達成室內環境的舒適，反而是世界上最需要空調的地方，因此這也是亞熱帶地區建築日常零耗能的重大挑戰。然而，鄰近的亞洲國家近年也陸續出現零耗能/零碳建築的案例，雖然各案例採用之建築設計技術不盡相同，但均已開啟零耗能建築設計的時代。

零能源建築和零碳建築的目標都是尋求最大效率能源中和資源消耗平衡的概念。設計過程要領與方法原則如下：

- (一)通過優化和整合加熱及冷卻技術，減少供熱冷卻的能源需求。
- (二)提升主動建築設備系統的能源效率。
- (三)導入可再生能源，平衡建築能源消耗。

在零能源建築實施的國家中，零能源建築通常被解釋為現場基地內消耗和產生的能量之間的平衡。下列方程式為零能源的概念方程式：

$$\text{ZEB} = \text{能源平衡:} |\text{加權供應}| - |\text{加權需求}| = 0$$

零能源建築物的總體概況，通過比較能源需求和能量轉換，顯示出為了減少現場可再生能源的規模，關鍵因素是最小化建築物所需的最終能源。因此，可行的解決方案是提高建築降低能耗的性能和主動能源系統的效率，如圖 2-1 所示。

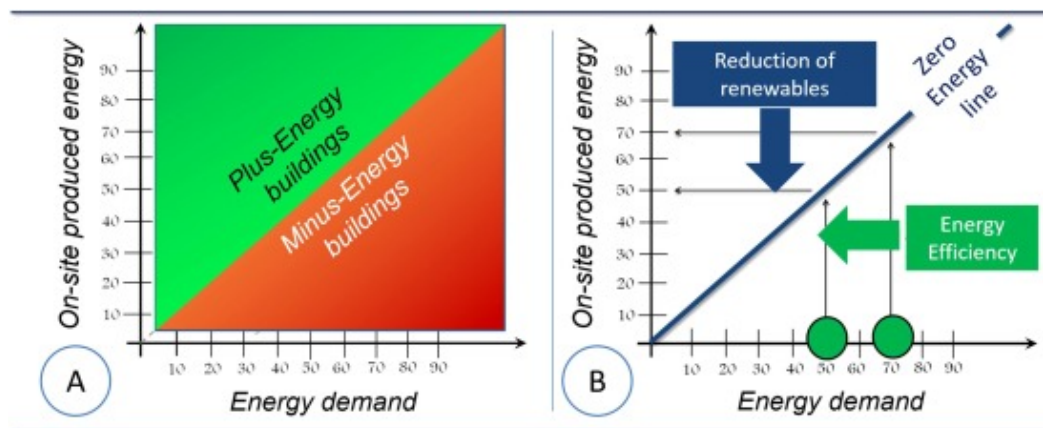


圖 2-1 實現零能源建築的概念和策略^[A11]

第二節 國際近零耗能建築制度與可行策略彙整

一、歐盟的制度與策略^[A11]

在歐洲建築業向能源效率高、近零能源建築（nZEB）轉型的時代，定性和定量指標有助於實踐目前歐盟 2020 年零能源建築目標。歐盟 EN 標準之住宅能源使用架構，如圖 2-2 所示。為了在建築物中實現高效率指標，對 nZEB 需要進行積極的建築節能和碳減排。在 2020 年以後，所有新建築都必須表現出高能源效率，再佐以導入可再生能源降低或實踐建築超低能耗需求。

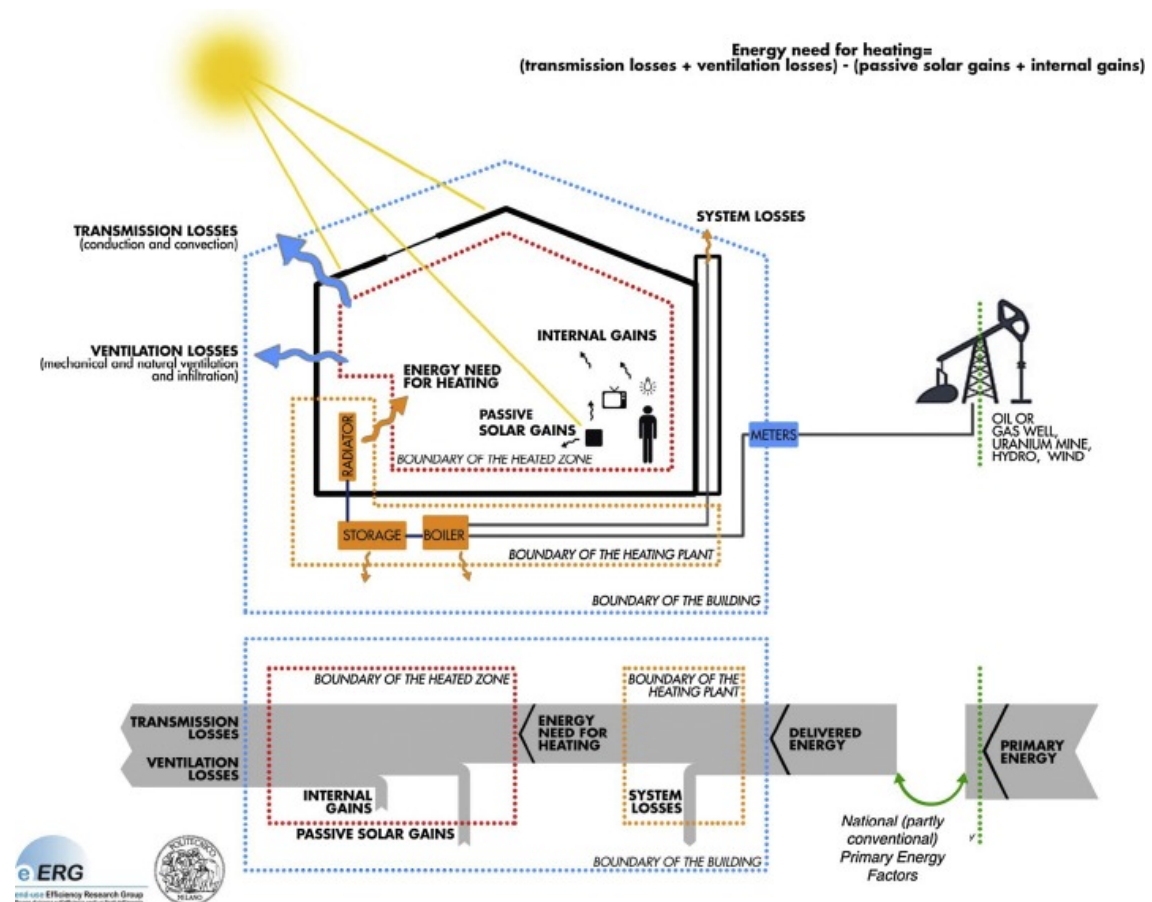


圖 2-2 歐盟 EN 標準的住宅建築能源使用架構^[A11]

新建築和改造的能源效率評估需要計算暖氣、冷氣、熱水、照明和通風能源使用的能源需求。從能源需求和使用開始，以一次能源使用的計算程序，在歐盟建立計算最低能效績效要求的成本，及最優化水平的方法框架與指導方針。加熱

和冷卻能量需求平衡的特徵，對於高性能建築物來說是非常重要的，以限制不必要的空氣調節系統耗能和能源高效率利用分配。在加熱主導的氣候中，設計人員藉由採用被動冷卻設計措施尋求消除主動冷卻，這將導致由於使用單個主動機械系統而顯著降低成本。在溫帶地區，可以實現相對容易的夏季舒適度，從而集中精力設計降低對供暖的能源需求。

平衡或準平衡的加熱和冷卻能量的含義通常需要選擇具有熱能和電能需求的雙主動系統，並且可能對初始成本、運營成本峰值負載和能量供應網絡產生很大的影響。被動冷卻系統，用於冷卻的地理管、通風空氣、蒸發冷卻、夜空輻射也是可行的，但需要經過仔細設計和氣候的適應、空氣和室外條件，這需要仰賴具有高度技術的建築師、工程師。藉由降低熱導率和滲透並選擇最佳玻璃窗和窗戶開口，可以顯著降低加熱能量需求。使用熱回收通氣（HRV），有時也稱為機械通氣熱回收（MVHR），可以提供足夠的空氣調節，具有最小的額外能源輸入，並允許藉由空氣供應直接進行熱分配。然而，由於太陽輻射高，城市室外環境溫度高、熱島效應高，在亞熱帶地區限制能耗低於 $15 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ 年})$ 的能源需求並不一定可行。因此，零能源建築 ZEB 的任何定義都應該考慮不同國家的氣候區的供暖冷卻平衡，並相應地採用被動或高效的主動系統解決方案。

2007 年，歐洲標準化委員會（CEN）引入了歐洲標準 EN 15251，該標準建議採用 Fanger 的 PMV / PPD 機械加熱和冷卻建築模型，以及 Humfreys 與 Nicol 的無機械冷卻系統建築的適應性模型。對於 nZEB，除了能源效率指標外，還應根據 EN 15251 計算短期和長期舒適指標。EPBD 中明確提到了熱性能和舒適度之間的聯繫，各組織會員國已經提出了自己的舒適度目標建議。法國法規要求在空調建築中夏季的設定溫度不應低於 26°C ，與台灣相似；CIBSE 指南將“過熱”定義為當住宅的生活區域的工作溫度（operative temperature, OT） 28°C 以上的溫度，超過年度佔用小時的 1% 時，或臥室 OT 超過 26°C 超過 1% 的年度佔用時間。PH(Passive House)標準則要求作為夏季舒適標準，「超過 25°C 的小時數不得超過工作時間的 5%」，該標準必須藉由使用動態模擬來驗證。

歐盟能源效率建築指令(Energy Performance of Buildings Directive)EPBD 要求歐盟會員國首先降低供暖和製冷的能源需求，藉由建築基地內或附近可再生能源做為主要的能源提供，安裝夏季空調以最大限度地減少冷卻的能源需求，並且有詳細的驗證程序。因此，能源效率是一個有效的政策工具，並結合節約成本的能源節約，可以在實現能源、氣候和經濟目標方面發揮主要作用。南歐的許多新建築未能採用具有成本效益的超級能源和可再生能源措施，投資建設可再生能源技術似乎有時更容易實施和與居民、投資者和媒體溝通。數據顯示，由於投資能源效率方面的法律和建築障礙，一些建築業主投資主要傾向於再生能源系統 (Renewable Energy Systems , RES)。另一方面，部分歐洲國家建議在基地內能源包括可再生能源生產的一部分，羅馬尼亞政府強制 nZEB 至少有 10 % 的能源是由可再生能源生產。

藉由新的施工技術，以高科技材料、專業能力等等，nZEB 要求施工品質必須有一定的水準。為了達到 nZEB 的水平，在施工的過程中需要使用節能技術和材料。這些技術和材料必須符合 nZEB 的要求，並滿足 nZEB 市場需求。歐洲 nZEB 的數量仍然有限，正在建造中，現有建築材料的一小部分每年都進行了翻新。需要通過交叉比較來確定實施 nZEB 實際的技術和社會障礙，以便找出解決方案，將已確定的障礙轉化為機會，並為今後的發展提供適當的處理程序。

在政策面的實施情況，歐盟、美國及部分亞洲國家已經將建築零耗能納入國家減碳目標期程。零耗能建築設計的情況，過去著名的零碳建築/零耗能建築設計均出現在歐美國家，尤以英國、德國為主，然而近來在亞洲地區也陸續出現零耗能建築/近零耗能建築設計，例如日本大成建設的「ZEB 實證棟」，新加坡由舊建築改造的「新加坡建設局辦公大樓 (BCA)」，香港建造業議會與香港政府合作也發展了香港第一棟零碳建築「零碳天地 (ZCB)」。
〈2020 氣候能源框架〉為歐盟會員國制定了三個項目的目標：與 1990 年的水平相比，分別是減少百分之二十的溫室氣體排放量、提高百分之二十的再生能源使用以及提升 20% 的能源效率 (European Commission,2010)。為了達成這些目標，建築部門的主要手段是透過能

源效率建築指令(Energy Performance Building Directive, EPBD)來改造能源績效，為歐洲新建和翻修的建築物設定標準。

歐盟在 2010 年的能源效率建築指令(Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)裡規範，歐盟成員國必須確保在 2019 年所有的公共建築以及到 2021 年所有新建築幾乎都是近零能源建築，而會員國也應該制定計劃，鼓勵現有舊建築物有效地轉變為近零能源建築。在 2012 年，歐盟提出了提高歐洲建築能效的國際規範，要求歐盟成員國必須大力改造建築材料，降低建築能源消耗。因此，為了實現整個建築材料的真正的永續性，必須為資金和促進現有建築的能源設施整修提供適當的策略。2012/27/EU 能源效率建築指令 EPBD 規定會員國制訂「為公共和私人住宅和商業建築物國家庫存改造調動投資的長期戰略」的定義，該指令要求自 2014 年 1 月起，中央政府將對其擁有或占用的建築物總建築面積進行翻新，至少必須滿足國家「最低能源性能要求」的 3%。

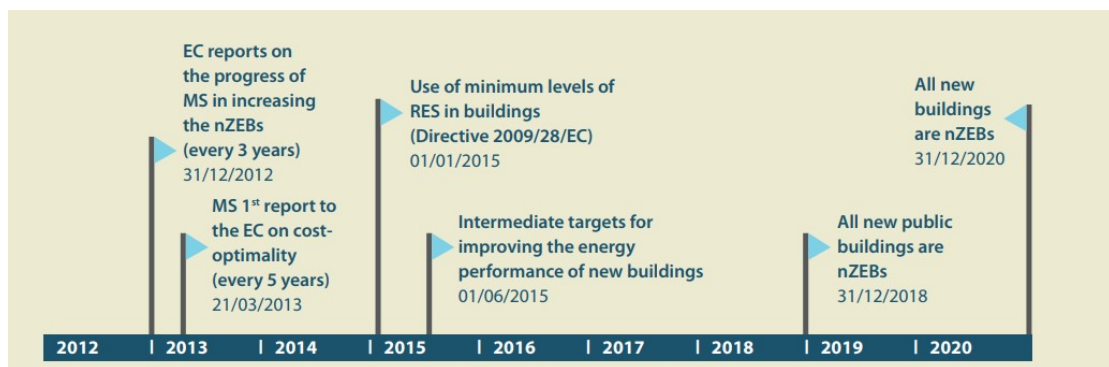


圖 2-3 歐盟對 NZEB 規範與目標期程^[A11]

因此，歐盟大多數會員國(MS)修訂了現行的法規和準則，並開始藉由在國家層面上制定與近零能源建築等相關規範，來增加其對於高性能建築的發展策略。然而，在 28 個 MS 中，nZEB 的進展和實施有顯著差異。北歐一方面設法開發或調整了 nZEB 的概念、定義和施工技術，這些概念，定義和施工技術都是有效的，對應於其採取暖主導氣候，其中誘導式建築或被動房（PH，Passive House）標準就是這個例子。

此外，歐盟會員國還需要制定增加 nZEB 數量的國家計劃，這些國家計劃可以根據建築類別建立不同的目標。這使得歐盟成為積極推動零能源建築的領導者，以使建築物

適應零能源建築發展策略 nZEB 的要求與目標。因此，在建築隔熱、主動建築設備系統的效率、可再生能源的地方轉換越來越嚴格，下一個目標是將能源永續性從設計階段延伸到整個建築的整個生命週期。

根據 2010/31/EC 指令第 10 節，歐盟成員國應界定能效水平，以實現成本最優化。在歐洲的大陸和寒冷的氣候中進行了許多有關的實驗，Risholt(2013)等人在挪威氣候中提出了一個獨立的單戶房屋幾乎零度的能源改造，提供了雙重可能性，其能效措施適用於整個建築物。在這情況下，太陽能集熱器和熱泵都被認為是可再生的系統。關於定性和定量參數的可行性研究中的改造策略主要表現在加熱能源需求的大幅度減少，可行性研究還考慮了生命週期成本和使用者的偏好。在相對溫暖的氣候的地區，意味著對空間冷卻的巨大能源需求。被動式節能策略和可再生能源（例如太陽能熱水器和光電設施）的廣泛組合，其根據技術和經濟性進行設計和評估標準，每年建築物比所需的能源轉換了更多的可再生能源，使其電力供應超越自給自足所需。

另一個重要課題是有關高效能建築物，居民對環境的滿意度課題。Mlecnik 等人(2012)在德國、奧地利、瑞士的被動式節能房屋以及荷蘭近零能源建築方面進行廣泛調查。當然，在暖季節的舒適感覺是有利的。然而，由居民和終端用戶採用近零能源建築的障礙涉及夏季的舒適感和空氣品質，尤其是室內濕度，必須適當設計微氣候控制系統和設備，包括通風、噪音保護和潛熱管理。建築性能模擬（BPS）可用於設計技術解決方案，U.S.Department of Energy 也藉由將 EnergyPlus 與「ZEBO」使用者界面相結合，為設計師和建築師提供優化零能源建築。

二、美國的發展情況

美國柏克萊國家實驗室（LBNL）則提出在 2020 年達到淨零耗能屋的規劃(能源獨立及安全法案，EISA 2007)，以節省 70% 耗能、再生能源產生 30% 來達到零耗能。美國能源部並訂出 2030 年前商業新建築需達到淨零耗能、2040 年前 50% 商業建築需達到淨零耗能，並於 2050 年前全面達到淨零耗能的目標。

另外，為減少溫室氣體排放量的增長率，然後扭轉溫室氣體排放量是解決氣候變

化，並保持全球平均氣溫低於工業化前水平以下 2°C 的關鍵。為了實現這一點，美國能源部在 2007 年發表了「2030 挑戰」，要求全球建築和建築社區採取執行目標。所有新建築、開發和重建的建築，應設計為滿足石油、溫室氣體排放、能源消耗性能標準，低於該建築類型的區域（或國家）平均值/中位數的 70%。至少每年對現有建築面積相等的數量進行翻新，以滿足石油、溫室氣體排放、能源消耗性能標準為該建築類型的區域（或國家）平均/中位數的 70%。所有新建築物 and 重大裝修的化石燃料減量標準應增加到：

- 2020 年降低 80%。
- 2025 年降低 90%。
- 2030 年達成碳中和（不使用化石燃料 GHG 能源來操作）。

這些目標可以通過實施創新的永續設計策略，生成基地內可再生能源和/或採購（最多 20%）可再生能源來實現。

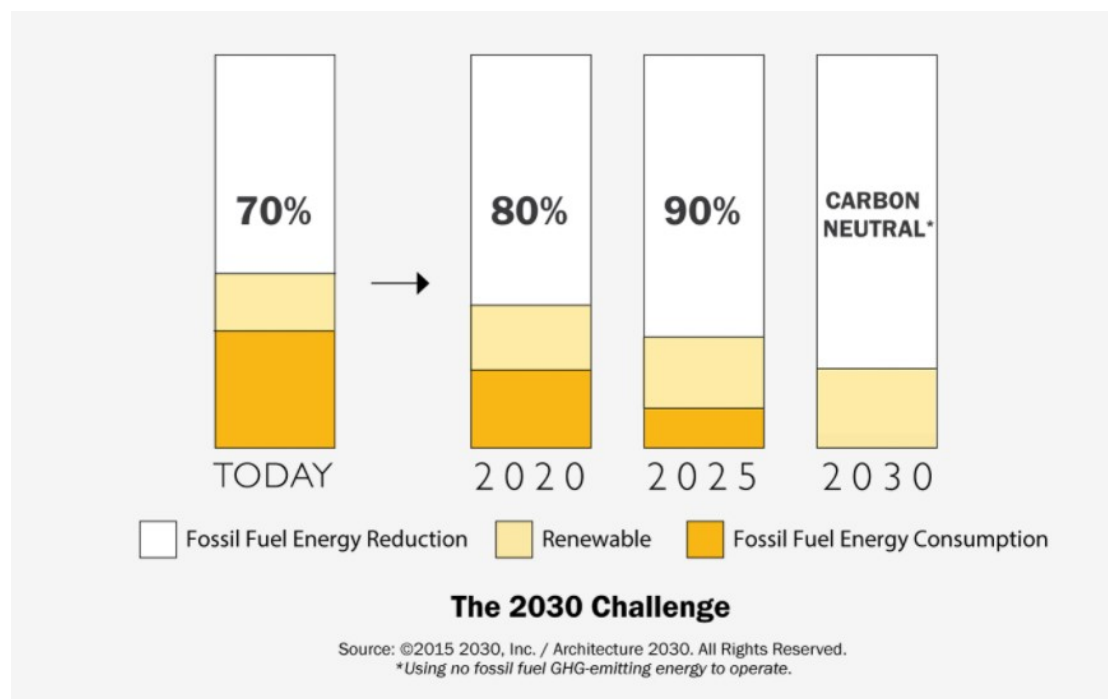


圖 2-4 美國 2030 挑戰計劃^[A11]

2030 年挑戰中提出的目標已被採用，並在美國前 20 名建築/工程/規劃公司的前 10 名和 65% 的 80% 執行。此外，AIA，ASHRAE，美國會議市長，聯邦政府等許多組織以及州，地方政府和機構訂定了執行目標與期程。

三、亞洲地區發展情況

在亞洲地區韓國政府規劃，在 2012 至 2025 這段期間，所有新建築的能源效率必須再提升，自 2025 年起，住宅建築必須為 nZEB，非住宅類建築則必須有節能 60% 的效率。而日本自 2002 年起，規範 2000 m² 以上建物必須符合 PAL(Perimeter Annual Load)及 CEC(Coefficient of Energy Consumption)等性能規範，並符合建築環境效率 BEE(Building Environmental Efficiency)的標準。同時日本政府推動 Top runner 與 Eco-Point 制度，從高效能家電設備切入節能建築，帶動整體產業發展。日本主要綠建築認證制度為 CASBEE。在近零能源建築的目標上，日本政府提出在 2020 年所有新建的公有建築須為近零能源建築，在 2030 年新建建築須為近零能源建築。有鑒於此，日本政府 2012 年 7 月決定在 2020 年以前對所有新建住宅、建築物設立「次世代節能基準」，要求所有樓地板面積達 300 m² 以上住宅均需符合之，不足 300 m² 建築物 2020 年後也將逐步納入管理。

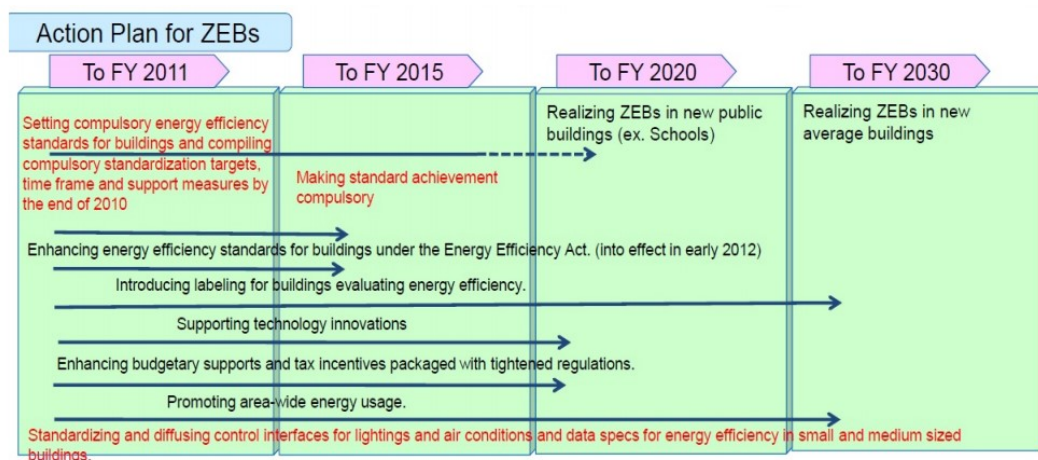


圖 2-5 日本淨零耗能住宅與建築時程規劃^[A11]

中國、香港也開始打造近零耗能的高樓層大樓。2012 年在中國廣州珠江城大廈為 309 公尺高，採用雙層玻璃牆，並可將熱氣輸送至上方的設備樓層來除去濕氣，大廈立面裝設太陽能面板發電，最特別的是大樓曲面設計來進行風力發電，目前統計指出此摩天大樓以節能設計加上自產電力，使得自身耗能降低近 60%。香港也於 2013 年興建了占地 13,700 平方公尺的「零碳天地」，雖然建築本身僅佔地 47%，搭配周邊的綠化環境來對建築進行降溫以及利用生質能源及太陽能產生

電力，預估此建築的耗能為一般大樓的 55%。馬來西亞在建築節能推動的發展歷程相近於美國柏克萊國家實驗室（LBNL）所提出的零耗能之層級架構。由建築耗能密度（EUI）來看，它先做到低能耗辦公建築（LEO），再向零耗能辦公建築（ZEO）邁進。

四、國內情況與可行性評估彙整

我國的政策推動計畫，自 1997 年起亦有在建築上推行節能減碳的概念，由行政院內政部建築研究所歷年辦理「綠建築與居住環境科技中程計畫」及「綠建築與永續環境科技計畫中程綱要計畫」，到 2010 年為止，陸續完成建築節約能源、資源有效利用、建築污染防治、室內環境品質及綠建築示範推廣等研究發展工作。自 2011 年起行政院科技部辦理「永續綠建築與節能減碳科技中程個案計畫」，以綠建築既有技術與評估系統為基礎，持續推動綠建築評估工具之更新與擴大應用。

在 2012 年，國內經濟部輔導成立「零耗能建築技術發展聯盟（ZEBTA）」，開始導入零耗能建築的理想。因此可望 ZEBTA 能更加積極推動零耗能建築的發展，來加強減低台灣環境污染的負擔。ZEBTA 的工作規劃包含了在短期內透過示範案例來證明可實行性，中期計畫為研訂各種評估模式、評估平台及指標之研究，長期計畫為研擬新建物和既有建物的能源耗用基準及查驗程序和執行機制。而目前成效為在 2014 年 8 月，中台灣零耗能示範建築主體完工，預計以創新設計降低全年耗電 50%，同時由太陽光電提供再生能源，達到淨零耗能餐廳的目標（ZEBTA, 2015）。

從 ZEBTA 的規劃來看，無論是在實行面、量測評估面、執行面甚至是獎勵面似乎皆有完整的考量，倘若參考先進國家之規劃，將有可再強化的空間。將示範建築仿照美國 NIST 的零耗能實驗來量測其耗能標準、居住品質，將可助益於規範此類建築的評估標準；參考歐美國家的政策推動，皆在目標上面訂有明確的

時程及數字；我國政府除了在 ZEBTA 實行產學官研開發的行動外，另外藉由示範住宅的成立過程、專家討論來訂定實施的目標，將有助益於在零耗能建築的推動。

而在推動的過程中，成本問題往往是各國零耗能行動計畫最大的阻礙，例如：英國原本規劃在 2016 年就要使所有新住宅都成為零耗能建築，但最終在經濟的考量下，政策有所轉變而延後該目標。在 NIST 的零耗能房屋實驗結果也顯示其建造費用較一般同等住宅多出 16 萬美元左右，而以其每年所節省下的能源計以當前電費來看，將需要約 28 年的時間來平衡建造成本 (Kneifel, 2014)。因此在實行計畫的過程中，與電力公司合作透過優惠電價計算進行補助，並且鼓勵使用低耗能高效率的各種電器。

根據國內建築發展現況，關於落實零能源建築之可行性評估，105 年所內協同研究報告，零能源建築可行性僅針對住宅類建築進行潛力評估與歸納，其他類建築則以無法達成零能源目標而暫不探討其可行性評估。住宅類建築達成零能源建築之評估，設定住宅耗能標準情境，以單戶住宅、一戶 4 口為預設值，假設其住宅所需之樓地板面積為 100m^2 ，在目前可行的一般被動式與主動式節能技術下，其 EUI 為 $33 (\text{kWh}/\text{m}^2.\text{yr})$ ，故每年總耗電量為 3300 kWh 。根據綠建築評估手冊再生能源發電量計算方法，進行太陽能光電設備換算， 1kW 的光電板於北部地區一年發電量約為 803 度 ($=2.75*0.8*1*365$)，於中部地區一年發電量約為 949 度 ($=3.25*0.8*1*365$)，於南部地區一年發電量約為 1095 度 ($=3.75*0.8*1*365$)，目前架設 1kW 結晶矽光電板約需面積 10m^2 ，故於北部地區約需設置至少 41 m^2 的光電板，於中部地區約需設置至少 35m^2 的光電板，於南部地區約需設置至少 30 m^2 的光電板，若為兩層樓的住宅，則約需留設 60%~80% 的屋頂面積設置太陽能光電板方能達成 ZEB 的目標。參考行政院主計總處 104 年的統計資料，全國平均每戶建坪為 44.12 坪 (近 150 m^2)，其 EUI 為 $33 (\text{kWh}/\text{m}^2.\text{yr})$ 時，每年總耗電量為 4950 kWh ，則北部地區的單戶住宅需設置至少 62 m^2 的光電板，中部

地區需設置至少 52 m² 的光電板，南部地區需設置至少 45 m² 的光電板。若該單戶住宅為二層樓，則約需留設 60%~80% 的屋頂面積架設太陽能光電板；但若為三層樓，則隨著屋頂面積縮小，則除了利用全部的屋頂面積之外，不足之處勢必將利用到地面空地或立面空間，才能滿足 ZEB 的目標^[A3]。

根據所內 107 年自辦研究，對住商建築部門達到近零能源建築之可行評估，評估住商部門達到近零能源建築之可行性，就透天式住宅、公寓式住宅、集合式住宅、獨立空調辦公大樓、中央空調辦公大樓等類型進行探討，為比較台灣北、中、南地區太陽光電發電之差異性，此處選取臺北市、臺中市及高雄市作為代表進行評估比較，並假設各類型建築之單層面積、樓層數，各類型建築物之耗能密度值，各縣(市)太陽光電容量因數值，並依照公式計算整理後，可得各類型建築物於不同地區之再生能源佔耗電量比例。符合近零能源建築水準，以位於臺中市、高雄市之透天式住宅較易達成，臺北市地區因太陽光電發電容量因數甚低，故建築本身之再生能源發電量亦甚低，不利發展近零耗能建築。此外，對於中南部之 4-7 層樓之公寓式或集合式住宅，其再生能源佔耗電量比例約介於 40%~70% 之間，若能進一步降低建築物之耗能，仍有機會達到低耗能甚至近零耗能建築之水準。至於辦公大樓，無論是獨立空調型或是中央空調型，其再生能源佔耗電量比例約介於 2%~12% 之間，主要是因為建築物量體較大，整體耗能亦較大，而能設置太陽光電設施之面積有限，相對其再生能源發電量遠低於建築物整體耗能，故不適合推動近零耗能建築，建議朝降低建築耗能方向發展較為可行^[A4]。

因此，低耗能密度建築，透天式住宅或獨立低層住宅達成零能源建築之目標可行性相當高，只要適度建築節能操作，透過再生能源之導入規劃設計，基本上均能達成零能源建築之基準要求。台灣中南部之 4-7 層樓之公寓式或集合式住宅，加強節能設計與低能耗操作，亦有相當大之機會達成零能源建築。

第三節 綠建築政策制度發展與相關法規現況

建築物生產及使用過程大量消耗能源及資源，衍生都市氣候環境變遷、生態環境破壞、建築污染、建築能源及資源不當耗用及室內生活環境品質不良等問題。為降低建築產業對環境之衝擊，內政部建築研究所歷年來持續積極辦理綠建築相關推動方案，以加強節能減碳，創造安全、健康、舒適及環保的居住環境。內政部 1995 年頒布實施建築節能法令，訂定建築技術規則建築外殼節能指標與基準，回應世界能源危機與氣候變遷之國際發展趨勢。1999 年建立綠建築標章制度以來，綠建築已經成為我國永續發展政策中最重要的一環。2001 年行政院核定實施綠建築推動方案，要求總工程費五千萬元以上公有建築物，必須取得候選綠建築證書，由公部門建築率先推動綠建築政策，引領民間建築業界跟進，積極促成國內綠建築的蓬勃發展。至今公私部門取得候選綠建築證書與綠建築標章之建築數量已經超過八千多件，政策推動成效卓著，也成為世界上綠建築政策最有成效的國家之一。2005 年，內政部再次修訂建築技術規則，導入綠建築標章制度基本指標與基準，完成綠建築專章立法與頒布，彰顯我國綠建築政策之重要推動成果。之後，綠建築相關規範基準，逐年修訂提升，有關建築節能相關法規要求，已經逐漸接軌國際與世界先進國家並駕齊驅。

一、我國有關建築節能相關法規

(一) 建築技術規則對於新建建築外殼隔熱性能之要求

我國經多次檢討修正建築技術規則中有關建築外殼耗能相關規定，其中關於屋頂隔熱性能部分，已要求屋頂之平均熱傳透率 U 值應低 $0.8\text{W/m}^2 \cdot \text{k}$ 。另當設有水平仰角小於 80 度之屋頂透光天窗之水平投影面積 HWa 大於 1.0 平方公尺時，其透光天窗日射透過率 HWs 應低於下表之基準值 $HWsc$ 。但建築物外牆透空二分之一以上之空間，不在此限。屋頂透光天窗日射透過率 HWs 之基準值如表 2-1 所示。

表 2-1 屋頂透光天窗日射透過率 HWs 之基準值

水平投影面積 HWa 條件	透光天窗日射透過率基準值 HWsc
$HWa < 30m^2$	$HWsc = 0.35$
$HWa \geq 30m^2$ 且 $HWa < 230m^2$	$HWsc = 0.35 - 0.001 \times (HWa - 30.0)$
$HWa \geq 230m^2$	$HWsc = 0.15$
計算單位 HWa： m^2 ； HWsc：無單位	

資料來源：「建築技術規則」建築設計施工編第十七章綠建築基準

關於建築物外牆、窗戶與屋頂所設之玻璃對戶外之可見光反射率不得大於 0.25。受建築節約能源管制建築物之外牆平均熱傳透率、立面開窗部位（含玻璃與窗框）之窗平均熱傳透率及窗平均遮陽係數^{*1}則應低於表 2-2 所示之基準值：

表 2-2 外牆及立面開窗部位（含玻璃與窗框）之節能基準值

類別	外牆平均熱傳透率基準值 W/ ($m^2.K$)	立面開窗率 ^{*2} > 0.5		0.5 ≥ 立面開窗率 > 0.4		0.4 ≥ 立面開窗率 > 0.3		0.3 ≥ 立面開窗率 > 0.2		0.2 ≥ 立面開窗率 > 0.1		0.1 ≥ 立面開窗率	
		窗平均熱傳透率基準值 ^{*3}	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值
住宿類建築	2.75	2.7	0.10	3.0	0.15	3.5	0.25	4.7	0.35	5.2	0.45	6.5	0.55
其他各類建築	2.0	2.7	0.20	3.0	0.30	3.5	0.40	4.7	0.50	5.2	0.55	6.5	0.60

資料來源：「建築技術規則」建築設計施工編第十七章綠建築基準

至於空調型、住宿類、學校類及大空間類等建築，其建築節能設計基準若能

¹：窗平均遮陽係數=外遮陽係數 K_i × 玻璃日射透過率 η_i

²：立面開窗率 WR[無單位]係所有開窗部位（包括開口玻璃以及窗框）總面積對總建築立面面積之比值。

³：窗平均熱傳透率 Uaf (Average Fenestration U Value) 係所有建築立面開窗部位熱傳透率之平均值。

符合表 2-2 之基準值，則可不受表 2-3 之限制（亦即兩者擇一即可）。

表 2-3 空調型建築、住宿類、學校類及大空間類等建築之節能基準值

建築類別	使用項目例舉	節能指標	氣候分區	基準值
基本門檻指標	所有受管制建築物	屋頂平均熱傳透率 U_{ar}	不分區	$< 0.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$
		屋頂天窗日射透過率 η	不分區	$< 0.35 \sim 0.15$
		玻璃可見光反射率	不分區	≤ 0.25
空調型建築	辦公廳類	政府機關、辦公室 建築外殼耗能量 ENVLOAD ^{*4}	北區	$< 80 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			中區	$< 90 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			南區	$< 115 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
	百貨商場類	百貨公司、商場 建築外殼耗能量 ENVLOAD	北區	$< 240 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			中區	$< 270 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			南區	$< 315 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
	旅館餐飲類	旅館、觀光旅館、餐廳 建築外殼耗能量 ENVLOAD	北區	$< 100 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			中區	$< 120 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			南區	$< 135 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
	醫院類	醫院、療養院 建築外殼耗能量 ENVLOAD	北區	$< 140 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			中區	$< 155 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			南區	$< 190 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
住宿類建築	住宅、集合住宅、寄宿舍、養老院、安養中心、招待所	外牆平均熱傳透率 U_{aw} 等價開窗率 Req ^{*5}	不分區	$< 3.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$
			北區	$< 13\%$
			中區	$< 15\%$
學校類建築	普通教室、特殊教室、行政辦公室、學校附屬圖書館	窗面平均日射取得率 ASWG ^{*6}	北區	$< 160 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			中區	$< 200 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			南區	$< 230 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
大空間類建築	圖書館、體育館、禮堂、體育館、音樂廳、航空站、倉儲場、汽車商場等	窗面平均日射取得率 ASWG，依平均立面開窗率 X （無單位）計算基準值	北區	$< 146.2X^2 - 414.9X + 276.2 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			中區	$< 273.3X^2 - 616.9X + 375.4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$
			南區	$< 348.4X^2 - 748.4X + 436.0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$

資料來源：隔熱材料對建築外殼隔熱性能及節能效益影響之研究，何明錦、林憲德，2011

上述各節能指標中，「空調型建築」的 ENVLOAD 指標屬於「建築外殼耗能指標」；

⁴：建築物外殼耗能量 ENVLOAD [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]，係為維持室內環境之舒適性，建築物之單位外周區空調樓地板面積全年冷房顯熱負荷量。計算公式詳見各類型建築物節約能源設計技術規範。

⁵：建築外殼等價開窗率 Req ，是指建築物「各方位」外殼之透光部位，經標準化日射、遮陽及通風修正計算後之開窗面積，對建築外殼總面積之比值。外殼等價開窗率 $Req = (\sum \text{窗面積 } Agi \times \text{各方位日射修正係數 } fk \times \text{開窗部位外遮陽修正係數 } ki \times \text{開窗部位通風修正係數 } fvi) \div \text{外殼總面積 } A_{en}$ 。

⁶：窗面平均日射取得量（Average Window Solar Gain）簡稱 AWSG [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]，係除了屋頂部位以外之建築物所有透光部位開窗表面之平均日射取得量。計算公式詳見各類型建築物節約能源設計技術規範。

「住宿類建築」的 Req 與「學校及大型空間類建築」的 AWSG 兩種指標屬於「綜合隔熱性能指標」；而其他類建築的屋頂隔熱 Uar 值與日射取得率則屬於「部位隔熱性能指標」。這些均依據其耗能比重、操作簡易度與建築專業人員之專業要求度，而作的分類規範系統。綠建築標章建築日常節能指標 EEV 基準要求，為法規基準值提升兩成以上之建築外殼性能，亦即強化建築外殼節能指標 20%以上。

二、綠建築推動方案於建築節能之相關措施

1、歷年辦理之綠建築相關推動方案

內政部於 88 年研訂完成綠建築評估系統，及建立綠建築標章制度後，行政院陸續於 90 年核定「綠建築推動方案」、96 年核定「生態城市綠建築推動方案」，透過由政府部門帶頭做起，積極推行以節能環保為導向之綠建築相關政策。迄今已完成綠建築法制化，對於綠建築節能、節水、生態環保等方面累積了非常顯著之績效。此外，行政院為有效運用我國 ICT 產業優勢，以創造經濟價值，因此推動四大新興智慧型產業政策，於 99 年核定「智慧綠建築推動方案」，主要係藉由既有綠建築優勢，在維護環境永續發展及改善人民生活前提下，進行智慧型創新技術、產品、系統及服務之研發，以建構「生產」、「生活」、「生態」三生一體的優質居住環境，同時提升產業競爭力及掌握龐大創新產業產值與商機。

因上述方案於 104 年底屆滿，為延續擴大發展智慧綠建築相關成果，及建構符合未來生活需求之永續智慧社區環境，以達成促進環境永續發展、提升民眾生活幸福、平衡城鄉發展及帶動產業升級之目標，內政部於 104 年研提「永續智慧城市-智慧綠建築與社區推動方案」，並經行政院核定實施，以「智慧綠建築深耕升級」及「永續智慧社區創新實證示範計畫」為推動主軸。

2、新建建築物之節能管制相關措施

歷年來上開方案於管制新建建築物之智慧綠建築設計方面，其中「綠建築標章」評估系統，係本部建築研究所於 88 年針對臺灣亞熱帶高溫高濕氣候特性，充

分掌握國內建築物對「生態」、「節能」、「減廢」及「健康」之需求所訂定，除為亞洲第一個上路的評估系統，更為僅次於英國、美國及加拿大之後，成為全球第四個實施具科學量化的評估系統，同時也是第一個對高溫、高濕氣候進行綠建築評估的國家。通過綠建築標章評定的建築物，在節水及節電方面至少約分別有 30% 與 20% 以上之效益。截至 108 年 10 月底止，累計已有 8,237 件公私有建築物取得綠建築標章或候選綠建築證書之評定，包括綠建築標章 2,949 件、候選綠建築標章證書 5,288 件。整體而言，這些綠建築完工啟用，在未來長達 40 年的生命週期中，預估每年可省電 19.62 億度，省水 9,306 萬噸（相當於 37,223 座國際標準游泳池的容量），合計減少之 CO₂ 排放量約為 110.96 萬噸，其減碳效益約等於 7.44 萬公頃人造林（約等於 2.3 個臺北市面積）所吸收的 CO₂ 量，每年節省之水電費約 77.97 億元。

這些取得綠建築認證的建築物中，民間私有建築物已累計達 2,258 件，且其比例由早期 91 年的 6%（7 案）逐年提升，至 103 年已達到 36%（204 案），而這部分的比例在 104 年已突破 40%（266 案），107 年更創新高達到 42%（311 案）。另外，為了促進建築與資通訊產業整合，在建築物內導入智慧化相關產業技術，以達到安全健康、便利舒適、節能永續目的，自 93 年起推動「智慧建築標章」認證制度，截至 108 年 10 月底累計通過智慧建築標章及候選智慧建築共計 462 案。其中，通過認證之建築物中，公有建築物已累計超過 100 件，其比例由早期 93 年的 0%，至 105 年已達到 67.3%（33 案）。相較以往智慧建築標章為公有建築物申請認證案件數較少，在內政部建築研究所推動公有建築物取得智慧建築標章後，公有建築物案件申請數量明顯成長。這些公私有建築物完工啟用，在未來 40 年的生命週期中，將成為我國示範應用資通訊感知控制技術，營造更為人性化空間，使建築物使用者身處之實質環境更為安全、健康、便利、舒適與節能之重要場所。同時為推動平價之智慧建築，內政部建築研究所並推動合宜住宅及公營住宅 1 萬 2 千餘戶將智慧建築納入規劃設計。

3、既有建築物之建築節能與綠廳舍改善。

國內既有建築物約占建築物總量 97%，早期完工的建築物普遍存在耗能高、不符生態環保等問題。內政部建築研究所自 92 年開始，特別針對中央廳舍及國立大專院校選擇具改善潛力之既有建築物，進行節能改善示範計畫，協助輔導建築物進行各項節能改善工程，提升既有建築物能源使用效率，以降低建築耗能，減緩都市熱島效應，及帶動國內相關綠能產業之發展。計畫以建築物空調系統等主要耗能設備進行實際之節能改善工程，成效極佳。空調節能改善係針對中央空調系統超量設計或空調主機效率老化、耗電及嚴重浪費能源等問題，進行技術輔導及改善，平均約可省能 39%；另針對屋頂隔熱改善、外遮陽改善及照明改善等，約可節省 15%~30%之用電量。

自 92 年至 107 年已完成 687 案，經費計約 18.47 億元，總計改善成效每年約可節電 1 億 592 萬度，節省電費約 4.05 億元，成效良好，且本計畫亦同時帶動了我國中小型能源監控系統 BEMS 公司之興起，突破國外大型監控廠商寡占之局面，對於節能技術推廣應用及帶動國內相關綠能產業發展均有顯著效益。另外，為了配合行政院「新節電運動方案」，內政部建築研究所將配合執行既有建築節能改善擴大計畫，規劃於 107-108 年度補助地方政府辦理，以進一步擴大政府部門節能成果，並帶動民間單位響應跟進。此外內政部於 106 年度率先推動所屬機關(構)廳舍節能診斷諮詢服務(共計辦理 30 案)，協助內政部所屬單位推動建築節能改善之可行性評估，以帶頭擴大建築節能改善之成效，並作為中央各部會參考執行之示範案例^[A4]。

第四節 零耗能建築之再生能源與技術

目前國際間對於近零定義大致有兩種，分別為歐盟提倡的「近零耗能建築（Nearly Zero Energy Building）」與其他地區常見的「淨零耗能建築（Net Zero Energy Building）」。

在大勢所趨的前提下，相關產業以整合性的軟體技術為主，需求端管理工具、智慧溫控器、智慧空調照明系統控制，以及因應不穩定再生能源前提下所需的智慧型電網等技術，與我國優勢 ICT 技術相配合，是下一波我國產業升級的關鍵領域。

從零耗能建築設計的角度觀之，過去著名的零碳建築/零耗能建築設計均出現在歐美國家，尤以英國、德國最盛，然而近來在亞洲地區也陸續出現精彩的零耗能建築/近零耗能建築設計，例如：日本大成建設的「ZEB 實證棟」，新加坡由舊建築改造的「新加坡建設局辦公大樓（BCA）」，香港建造業議會與香港政府合作也發展了香港第一幢零碳建築「零碳天地（ZCB）」。

因此正視國際零耗能建築潮流，本計畫從政策面與實務設計面雙管齊下，與國際接軌，並做為我國日後推動零耗能建築的參考依據。

零能源建築的節能技術，將比綠建築要求更高，相對一般建築就更為複雜且成本提高，除了透過誘導或被動式設計手法，以及高效率建築設備來達成建築物本身低耗能的需求之外，還需要整合建築智能化系統、太陽能等可再生能源在建築上的綜合利用技術等。

以位在倫敦西北方 30 公里的建築研究中心（BRE，Building Research Establishment）為例，從 2006 年起開始與建商及建材業者合作，已經有超過 300 種不同新材質、科技與施工方法在這裡測試，並且也已具體建了 8 棟低碳、甚至是零碳未來屋，以提供給各界參考。

英國綠建築協會（UK-GBC）預估零碳非住宅建築蘊含龐大的商業利益，推動創新，有助於到 2050 年時創造超過 10 億英鎊產值的出口商機。因此，明確的零碳/零耗能建築政策確實能給予產業界投資綠色建築新技術的創新動力。

零能耗建築利用建築誘導式節能設計，以太陽能、風能、淺層地熱能、生物

質能等可再生能源代替傳統能源，並採用排放量極低的新型電氣設備，在供應住宅用電需求之際，也不製造額外污染。同時，這種住宅能保持室內空氣清新，透過智慧控制裝置自動調節溫度、濕度、含氧量等，是更為優異的居住形式。集成技術是實現零能耗住宅的關鍵，據資料總結，零能耗住宅的技術要求包括：

- (一) 根據氣候、場地、結構要求選擇合理的建築功能佈局
- (二) 建造智能、保溫、遮陽的建築外殼構造
- (三) 優化室內通風、採光系統，採用置換送風技術
- (四) 大量使用太陽能、地熱能、風能、生物能等可再生能源
- (五) 採用輻射採暖、製冷系統，提高能源利用效率
- (六) 推廣節水技術、綠色建材、綠化技術等生態建築技術
- (七) 使用智能建築控制技術
- (八) 搭配儲能系統和蓄電池
- (九) 廢熱廢水回收技術

至於在再生能源技術的部分，主要來自於幾項技術^[A11]：

(一) 太陽光電

太陽能發電把陽光轉換成電能，可直接使用太陽能光伏 (PV)，或間接使用聚光太陽能熱發電 (CSP)。聚光太陽能熱發電系統會使用透鏡或反射鏡和跟蹤系統將大面積的陽光聚焦成一個小束，並利用光電效應將光伏轉換成電流。第一次商業集中開發太陽能發電廠發生在 20 世紀 80 年代，位於加利福尼亞州莫哈韋沙漠的太陽能發電廠安裝在世界上最大的聚光太陽能熱發電，354 百萬瓦的太陽能發電系統。在 2014 年，太陽能已經在主要市場達到電網平價，而在 2015 年太陽能發電量成長到佔所有發電量的百分之一。

(二) 太陽熱能

太陽熱能是一種利用太陽能的熱能（熱量）技術，主要是接收或聚集太陽輻射使之轉換為熱能來使用。現代的太陽能科技可以將陽光聚合，並運用其能量產生熱水、蒸汽和電力。美國能源信息管理局將太陽能集熱器進行分類為低，中，

高溫集熱器。低溫集熱器的平板一般用於加熱游泳池。中等溫集熱也通常是平板，但用於製造熱水或空間供暖，作為住宅及商業用途。高溫集熱器利用反射鏡或透鏡聚集太陽光，一般用於生產電力。太陽熱能不同於光伏發電，轉換效率遠遠超過太陽光能直接轉化為電能。

（三）碟式聚熱發電

碟式太陽能聚熱發電系統中已知具有最高效率的熱機是斯特林引擎。在高規模化生產和炎熱地區被預測為能夠產生所有可再生能源中最便宜的能量。碟式太陽能聚熱發電系統的主要組成部分包括太陽能聚焦器和能量轉換器。太陽能聚焦器（或碟）採集來自太陽的能量並聚焦到很小的面積上。碟狀結構可以持續追蹤太陽。能量轉化器包括兩個部分，即熱能接收器和引擎/發電機。熱能接收器可以吸收聚焦後的太陽光之中的能量，將其轉化為熱能，並儲存在熱空氣或熱水之中，然後再將熱量輸送到引擎/發電機，引擎/發電機子系統利用熱能接收器採集的熱能來發電。

（四）塔式聚熱發電

此為集中太陽光線加熱到元件上的斯特林發動機，整個裝置作為一個太陽能跟蹤器。此類技術利用一整個陣列的追蹤太陽的鏡子（定日鏡）以聚集陽光到一個中央接收器。這個接收器被固定在一個塔頂上。接收器內部的熱傳導流體可以用來產生蒸汽，以推動傳統渦輪發電機發電。於八十年代開發的塔式太陽能聚熱發電系統，利用蒸汽作為熱傳導流體。而新型的系統則利用熔化的硝酸鹽作為熱傳導流體，主要是因為這種流體超卓的熱容量和傳熱能力。

（五）槽式聚熱發電

此為拋物型槽電廠使用鏡像的彎曲，利用太陽輻射到玻璃管中的流體（也稱為接收器，吸收器或收集器）運行槽的長度，反射器的焦點定位在槽。沿一軸槽是拋物線和線性正交軸。接收機垂直於太陽的每日位置的變化，在槽東向西傾斜，從而使接收器上的直接輻射仍然集中。然而，在陽光平行的槽中角度的季節變化而並不需要調整反射鏡，由於光接收器上的其他地方進行簡單的集中。

(六)水力

水力發電是運用水的勢能轉換成電能的發電方式，其原理是利用水位的落差（勢能）在重力作用下流動（動能），例如從河流或水庫等高位水源引水流至較低位處，流的水流推動輪機使之旋轉，帶動發電機發電。高位的水來自太陽熱力而蒸發的低位的水份，因此可以視為間接地使用太陽能，由於技術成熟，是目前人類社會應用最廣泛的可再生能源。以水力發電的工廠稱為水力發電廠，簡稱水電廠，又稱水電站。

(七)海洋能

海洋能是利用海洋運動過程生產出來的能源，這些能量包括潮汐能、波浪能、海流能、海洋溫差能和海水鹽差能等形式，海洋隱含極大量的能源，並靠近許多都市或聚落。海洋能具有提供新的可再生能源給世界各地的巨大潛力。海洋受到太陽，月亮等星球引力以及地球自轉、太陽輻射等因素的影響，以熱能和機械能的形式蓄在海洋裏，海洋能主要包括潮汐能、波浪能、洋流能等動能量和海洋溫差能、海水鹽差能、海洋滲透能等，有專家估計，全世界海洋能的蘊藏量為 750 多億千瓦，這些海洋能源都是取之不盡、用之不竭的可再生能源。

(八)風能

風能是因空氣流動而產生的一種可利用的能量，空氣流具有的動能稱風能，空氣流速越高，它的動能越大，用風車可以把風的動能轉化為有用的機械能；而用風力發動機可以把風的動能轉化為有用的電力，方法是透過傳動軸，將轉子（由以空氣動力推動的扇葉組成）的旋轉動力傳送至發電機。全世界以風力產生的電力在 2008 年共約 2192 億度，當年風力供應電力佔全世界用電量的 1%，在 2014 年時全球風力發電量已增長到佔總用電量 3%。風能雖然對大多數國家而言還不是主要的能源，但在 2000 年到 2015 年之間已經成長了二十四倍。

(九)生質能

生物質是指能夠當做燃料或者工業原料，活著或剛死去的有機物，生物質能最常見於種植植物所製造的生質燃料，或者用來生產纖維、化學製品和熱能的動

物或植物，也包括以生物可降解的廢棄物製造的燃料，但那些已經變質成為煤炭或石油等的有機物質除外。許多的植物都被用來生產生物質能，包括了芒草、柳枝稷、麻、玉米、楊屬、柳樹、甘蔗和棕櫚樹，一些特定採用的植物通常都不是非常重要的終端產品，但卻會影響原料的處理過程，因為對能源的需求持續增長，生物質能的工業也隨著水漲船高。

(十) 氫能

氫能源是一種潔淨能源，氫氣燃燒後會排放水 (H_2O)，不像傳統的化石能源在燃燒產生電力或動力後就消耗了，因此它可以重複的使用。氫的來源非常複雜，包括水，生質材料、化石燃料都是氫的來源之一。產氫的方法及技術非常多樣，從傳統煉鋼廠、煉油廠生產過程中之煤炭和石油中的烴（碳氫化合物）會產生氫氣，這是副生氫氣，以往通常會被廠商排放掉，如今已經有很多廠商蒐集氫氣作為副產品販售。

此外，化石燃料，如：天然氣、石油、煤炭都富含大量的烴，能在高溫高壓的環境下經過觸媒轉換器與水蒸汽產生氫氣；而最廣為人知的，就是透過電解水製造氫氣。以目前熱門討論的再生能源-氫能系統為例，再生能源以太陽、風力或生質材產生電力，電解水產生氫氣，而氫氣可供燃料系統發電或產生熱，其副產品為水，因此這是一個再生循環的永續系統。而在應用面上，以氫作為燃料使用，將不須要擔心使用這類潔淨能源所產生的排放物污染環境問題，以氫燃料電汽車 (Fuel Cell Vehicle, FCV) 為例，FCV 車引擎產生動力後所排放的是水，因此不會像使用柴油或汽油的汽車會排放氮氧化物 (NO_x)、一氧化碳 (CO)、碳氫化合物 (HC)、硫化物 (SO_x)、微粒等會破壞環境空氣品質及影響人體健康等問題。

氫的優點有：(1) 存量豐富且來源多樣化、(2) 對環境友善、(3) 燃燒效率高、(4) 可再生；缺點則有：(1) 成本較石化燃料高、(2) 易燃、安全疑慮、(3) 存儲運輸不易。若撇除成本高昂與技術層面問題，基本上，氫可以說是未來 2030 年後所能找到的能源永續運用及解決環境破壞問題之解答之一。

台灣目前對氫能，如：氫燃料汽車、機車、各類新型的燃料電池的開發仍

持不一的態度，針對這些未來 15 年氫社會來臨後，將成為市場主流產品的技術或各類儲氫材料，與運輸系統將大幅調整為適應氫能的基礎建設需求及市場需求，台灣的因應措施為何呢？台灣四面環海，氫能來源多樣化其中最方便的一種就是水，因此比較其他的能源、如：核能、生質能、化石能源等，運用氫能將使台灣的能源安全得到更大的保障，可大幅降低對國外進口能源的依賴與需求。

(十一)地熱

地熱能是由地殼抽取的天然熱能，這種能量來自地球內部的熔岩，並以熱力形式存在，是引致火山爆發及地震的能量。地球內部的溫度高達攝氏 7000 度，而在 80 至 100 公里的深度處，溫度會降至攝氏 650 度至 1200 度。透過地下水的流動和熔岩湧至離地面 1 至 5 公里的地殼，熱力得以被轉送至較接近地面的地方。高溫的熔岩將附近的地下水加熱，這些加熱了的水最終會滲出地面。運用地熱能最簡單和最合乎成本效益的方法，就是直接取用這些熱源，並抽取其能量。地熱能的利用可分為地熱發電和直接利用兩大類，地熱能是來自地球深處的可再生能源。地球地殼的地熱能源起源於地球行星的形成（20%）和礦物質放射性衰變（80%）。表 2-4 所示，則為零耗能建築再生能源來源的應用結構層次。

表 2-4 再生能源來源的結構層次

結構層次	再生能源供應來源	技術與說明
0	應用節能技術建立之低耗能建築	日光照明、高效率冷凍空調設備、自然通風、蒸發冷卻技術
從基地內的來源		
1	使用再生能源－由建築物上的再生能源裝置產生	太陽光電 PV、太陽熱水系統、風力發電等設備
2	使用再生能源－由基地建築物外的再生能源裝置產生	同上，但不在建築物上而是在建築物基地內
從基地外的來源		
3	使用基地外再生能源燃料在基地內生產能源	生質能、木材、酒精、生物柴油以及基地內的廢棄物
4	購買基地外再生能源的電力	風力、太陽能等再生能源

資料來源：李浩銓，零能源建築國際案例介紹，能源報導 2011 年 8 月

可再生能源材料和技術對零耗能住宅的選址、建築以及居住使用而言具有核心地位。當前，隨著太陽能技術成長，設備成本降低且轉換效率提升，加上相關應用產品日臻成熟，太陽能冰箱、洗衣機等電器和設備逐漸開發並用於生活中，零能耗住宅更能有效把太陽能轉化為電力，從而滿足住宅需求、減少傳統能源的利用。

再生能源（Renewable Energy）泛指多種來自自然、取之不竭的能源，如太陽能、風力、水力、潮汐能、地熱能等。臺灣於民國98年6月12日三讀通過「再生能源發展條例」，並於同年7月8日公佈實施，為再生能源開啟新頁，也建立法制之發展環境。經濟部99年訂定119年再生能源設置目標為10,858MW，100年經修正提升至12,502MW，103年進一步提高到13,750MW，總計目標提升26.6%；104年經濟部完成規劃，太陽光電119年目標量由6,200MW提高至8,700MW，離岸風力發電目標量於119年由3,000MW提高至4,000MW，據此119年總裝置容量目標將擴大至17,250MW，再生能源目標與99年相比擴增達1.5倍。

經濟部能源局推動「陽光屋頂百萬座」、「千架海陸風力機」等重點計畫迄今，以再生能源電能躉購機制（FIT），太陽光電及風力發電累計裝置容量，由98年384MW增加至103年1,252MW，成長近3.2倍，其中太陽光電在這5年內新增約606MW，成長近64倍，最為快速。104年能源局將太陽光電推廣目標，由270MW進一步提高至500MW，透過擴大太陽光電系統的設置，原規劃於119年達成之6,200MW目標，可望提前5年、於114年完成。

風力發電則以「先優良後次級、先陸域後離岸、先示範後區塊」為推動策略，預計119年離岸風力發電裝置容量將由3,000MW提高至4,000MW。為達成上述目標，政府將採行加速區塊開發作業；協助融資風險評估；加速自主設置能量等作為。經濟部能源局指出，為加速再生能源發展，業已提出「三個再生」政策目標，除積極發展太陽光電與風力發電外，亦將積極提升我國地熱發電規模，規劃提前於109年達成100MW的設置目標（原規劃66MW）。

除《再生能源發展條例》明文規範自民國89年起20年內，再生能源發電容

量新增6,500~10,000MW 的目標外，我國於民國100 年11 月3 日宣布「確保核安、穩健減核、打造低碳綠能環境、逐步邁向非核家園」新能源發展願景，預計再生能源發電裝置容量目標至民國119 年（2030 年）可達13,750MW。經濟部依據「再生能源發展條例」第九條第一項，預告訂定「中華民國一百零八年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」。108年度，經濟部能源局，公告再生能源電能躉購費率計算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{躉購費率} &= \frac{\text{期初設置成本} \times \text{資本還原因子} + \text{年運轉維護費}}{\text{年售電量}} \\ \text{資本還原因子} &= \frac{\text{平均資金成本率} \times (1 + \text{平均資金成本率})^{\text{躉購期間}}}{(1 + \text{平均資金成本率})^{\text{躉購期間}} - 1} \\ \text{年運轉維護費} &= \text{期初設置成本} \times \text{年運轉維護費占期初設置成本比例} \end{aligned}$$

再生能源（太陽光電除外）發電設備之設置，符合「再生能源發展條例」第九條第四項規定，其設備未運轉者，自中華民國一百零八年一月一日起至一百零八年十二月三十一日止，與電業簽訂購售電契約，其電能按表2-5費率躉購二十年。自中華民國一百零八年一月一日起至一百零八年十二月三十一日止，與電業簽訂購售電契約，其設備曾取得經濟部能源局提供全額設備補助者，其電能躉購費率為每度新臺幣2.1107元。中華民國一百零五年度以前屬免競標適用對象者及一百零八年度之太陽光電發電設備，其設備未曾取得經濟部能源局提供設備補助，且於一百零八年一月一日起至一百零八年六月三十日止完工運轉併聯提供電能者，其電能躉購費率適用表2-6之第一期上限費率。中華民國一百零五年度以前屬免競標適用對象者及一百零八年度之太陽光電發電設備，其設備未曾取得經濟部能源局提供設備補助，且於一百零八年七月一日起至一百零八年十二月三十一日止完工者，其電能躉購費率適用附表2-6之第二期上限費率。自中華民國一百零八年起，屋頂型及不及一萬瓩之地面型與水面型（浮力式）太陽光電發電設備，屬「再生能源發電設備設置管理辦法」之第一型或第二型發電設備，且於首次取得同意備

案之日起六個月內完工者；或屬「再生能源發電設備設置管理辦法」之第三型發電設備，且於首次取得同意備案之日起四個月內完工者，其電能躉購費率適用同意備案時之上限費率。自中華民國一百零八年起，當年度首次取得同意備案之裝置容量一萬瓩以上之地面型及水面型（浮力式）太陽光電發電設備，於次年一月一日至九月三十日止完工者，其躉購費率適用同意備案時之上限費率。

表 2-5108 年度再生能源（太陽光電除外）發電設備電能躉購費率

再生能源類別	分類	裝置容量級距	躉購費率(元/度)		
風力	陸域	1 瓩以上未達 20 瓩	6.7968		
		20 瓩以上	有安裝或具備 LVRT 者	2.5438	
	無安裝或具備 LVRT 者		2.5124		
	離岸	1 瓩以上	固定 20 年躉購費率 (上限費率)	5.1060	
川流式水力	無區分	1 瓩以上	2.8325		
地熱能	無區分	1 瓩以上	固定 20 年躉購費率 ^{註 1}		5.1956
			階梯式躉購費率 ^{註 2}	前 10 年	6.1710
				後 10 年	3.5685
生質能	無厭氧消化設備	1 瓩以上	2.5765		
	有厭氧消化設備		5.0874		
廢棄物	無區分	1 瓩以上	3.8945		
其 他 (海 洋能、氫 能或其他 經中央主 管認定可 永續利用 之能源)	無區分	1 瓩以上	2.1107		
註1：屬地熱能發電設備，選擇適用固定 20 年躉購費率者，躉購費率為 5.1956 元/度。					
註2：屬地熱能發電設備，選擇適用階梯式躉購費率者，前 10 年適用費率為 6.1710 元/度，後 10 年起適用費率為 3.5685 元/度。					

資料來源：行政院公報，經濟部公告，再生能源電能躉購費率及其計算公式，2018.11

太陽光電發電設備全數採用取得經濟部標準檢驗局「太陽光電系統結晶矽、薄膜模組實施自願性產品驗證」證書（符合「台灣高效能太陽光電模組技術規範」中華民國一百零八年度以後之試驗要求），並於該證書有效期間內出廠之太陽光電

模組，且躉購費率適用一百零八年度之上限費率者，其電能躉購費率依其情形分別按附表三之第一期或第二期上限費率加成百分之六（如表2-7）。參與經濟部「綠能屋頂全民參與推動計畫」設置之太陽光電發電設備，且躉購費率適用一百零八年度之上限費率者，其電能躉購費率依其情形分別按附表三之第一期或第二期上限費率加成百分之三（如表2-8）。

表 2-6108 年度太陽光電發電設備電能躉購費率

再生能源類別	分類	裝置容量級距	第一期上限費率(元/度)		第二期上限費率(元/度)	
太陽光電	屋頂型	1 瓩以上未達 20 瓩	5.5813		5.5813	
		20 瓩以上未達 100 瓩	4.2216		4.2216	
		100 瓩以上未達 500 瓩	4.0600		4.0600	
		500 瓩以上	3.9459		3.9459	
	地面型	1 瓩以上	無建置特高壓系統者	3.7728	無建置特高壓系統者	3.7728
			有建置特高壓系統者	3.9686	有建置特高壓系統者	3.9686
	水面型 (浮力式)	1 瓩以上		4.1665		4.1665

資料來源:行政院公報，經濟部公告，再生能源電能躉購費率及其計算公式，2018.11

表 2-7108 年度太陽光電發電設備電能躉購費率(高效能)

再生能源類別	分類	裝置容量級距	第一期上限費率(元/度)		第二期上限費率(元/度)	
太陽光電	屋頂型	1 瓩以上未達 20 瓩	5.9162		5.9162	
		20 瓩以上未達 100 瓩	4.4749		4.4749	
		100 瓩以上未達 500 瓩	4.3036		4.3036	
		500 瓩以上	4.1827		4.1827	
	地面型	1 瓩以上	無建置特高壓系統者	3.9992	無建置特高壓系統者	3.9992
			有建置特高壓系統者	4.2067	有建置特高壓系統者	4.2067
	水面型 (浮力式)	1 瓩以上	4.4165		4.4165	

註：符合第 3 點第 6 款規定之太陽光電發電設備，其電能躉購費率按附表 2-6 之第一期或第二期之上限費率加成百分之六後，計算如本附表。

資料來源:行政院公報，經濟部公告，再生能源電能躉購費率及其計算公式，2018.11

表 2-8108 年度太陽光電發電設備電能躉購費率(綠能屋頂)

再生能源類別	分類	裝置容量級距	第一期上限費率(元/度)	第二期上限費率(元/度)
太陽光電	屋頂型	1 瓩以上未達 20 瓩	5.7487	5.7487
		20 瓩以上未達 100 瓩	4.3482	4.3482
		100 瓩以上未達 500 瓩	4.1818	4.1818
		500 瓩以上	4.0643	4.0643
註：符合第 3 點第 7 款規定之太陽光電發電設備，其電能躉購費率按附表 2-6 之第一期或第二期之上限費率加成百分之三後，計算如本附表。				

資料來源:行政院公報，經濟部公告，再生能源電能躉購費率及其計算公式，2018.11

第五節 零廢棄設計之循環經濟概念

一、循環經濟概念

循環經濟（英語：circular economy）是一種再生系統，藉由減緩、封閉與縮小物質與能量循環，使得資源的投入與廢棄、排放達成減量化的目標。「循環經濟」的理念起源於 1966 年鮑爾丁（K. E. Boulding）發表的文章〈未來太空船地球經濟學（The Economics of the Coming Spaceship Earth）〉，在文章中把地球比喻為宇宙中的孤立飛船，當無法由外部取得資源時，須透過持續的內部資源循環自給自足延長壽命。

工業革命以來，人們一直採用線性的生產消費模式：從自然環境開採原物料後，加工製造成商品，商品被購買使用後就直接丟棄。工業製程和人們的生活方式不斷的消耗著有限的資源創造產品，最後再直接掩埋或焚燒。隨著原物料需求持續增加、開採成本持續成長，商品的價格也越來越高，這樣的現象促使少數科學家開始思考新的解決方法，包含永續工業之父 Walter R. Stahel。Walter_R._Stahel 在 1970 晚開始「搖籃到搖籃（相對於搖籃到墳墓）」的論述，與 Product-Life 機構共同致力於發展封閉式循環的商品製程。與線性經濟造成的資源衰竭不同，循環經濟認為是建立在物質的不斷循環、利用上的經濟發展模式，形成「資源、產品、再生資源」的循環，使整個系統產生極少的廢棄物，甚至達成零廢棄的終極目標。

Ellen MacArthur Foundation (EMF)將「循環經濟」定義為：透過再生與恢復的設計，使部件和材料在任何時候都能保有其最高效用與價值。循環的設計概念應包括 6 個面向：再生（Regenerate）、共享（Share）、優化（Optimize）、循環（Loop）、虛擬化（Virtualize）與交換（Exchange）。

在能資源有限、經濟持續發展下，各國對於能源、礦產等資源爭奪激烈。而現行經濟發展模式過度消耗資源，產生大量廢棄物，40 年來全球原物料消耗量持續增加。根據國際環境智庫全球生態足跡網絡研究自 1961 年至 2013 年約 150 個

國家的數據，如果一個國家的生態足跡超過其生物可承載力(大自然負擔的程度)，就是生態赤字。而要維持現在的生活水準，未來於 2030 年生態足跡需要兩個地球才能承載人類對資源的需求。



圖 2-6 圖循環經濟架構圖 [D21]

建築產業而言，建築產業向來就是高耗能的產業，也是高廢棄物的產業。傳統的建築線性經濟架構下，多餘的或不被需要的產品均視為廢棄物，長遠來看，這是低效率而且不永續的作法。更好的辦法在於利用最少的新材料和新能源，將舊產品重新利用製成新產品，然而，使用回收材還是會增加建築的碳足跡，例如，回收材料需要遠距離運輸，材料需要進行高耗能的加工時，都會增加碳足跡，因此，在考慮使用回收材料時，還必須充分考量評估其來源、製造、運輸以及廢棄處理的流程。回收是一個雙向思考的過程，我們不僅應該設計能被最大限度使用的回收材料，也應該積極的思考如何使建築物的整體或部分構件在未來能夠回收使用，減少能源的使用與浪費。

在建築設計中，有系統的從生命週期思考有其必要性，與直接使用新材料相比，分析材料再利用（reuse）以及循環（recycling）的碳排影響更有益於「循環經濟」的思考。低碳循環經濟的基本原則在於儘可能的實現有益的循環利用。「循環」對於低碳排有兩個主要的好處：第一，減少浪費；第二，減少對新材料回收利用的需求。

二、Cradle-to- Cradle (C2C)概念

近期政府積極推出的循環經濟政策，便是從 Cradle-to- Cradle（C2C）的概念衍生出來。C2C 的概念從大自然中啟發，所有的物質皆為「養分」，如同大自然中的陽光、空氣、水一般，是可以不斷循環利用的。面對現代的環境問題，與其忙著彌補傷害，不如從源頭-產品設計初期著手，進而改變整個系統、商業模式。C2C 的概念包含兩個循環系統，分別是能 100% 由生物分解的、回歸自然的「生物循環」；以及可不斷回收再利用的「工業循環」。C2C 強調在產品設計之初，就應該先想好採用的材料該如何走進循環中，當產品壽命耗盡，應該如何回收處理。

C2C 的「思維模式」有三點：首先，是從產品設計初始做起，而非從後半段的回收體系去思考；再者，持續材料的創新，確保對環境與對人體都安全；最後，是必須具有良好功能性。另外還有三大原則：第一，材料養分永遠可以在循環中重新成為養分；第二，在製造過程中使用再生能源；第三，讚頌多樣性，鼓勵運用在地的材料或是在地的方案，解決在地的問題。C2C 可說是一套應對這個世代環境問題而產生的概念，其中更包含產品認證機制，這是一個跨產業、供應鏈彼此配合才能完整運行的概念，產品的整個生命週期中接觸到的所有廠商，都必須密切配合，期望透過 C2C 的認證讓廠商與消費者之間有更多保障。

C2C 的認證主要針對五個面向，分別為材料健康性、材料循環再利用性、再生能源與碳管理、水資源管理以及企業社會責任。再以此五面向為基準審核，將認證分為五個等級，申請通過的廠商還必須每兩年重新接受檢驗才能續證。而較高的等級更會進一步要求提供 SGS 的檢驗證書，以確保不含戴奧辛等有毒成分。

另外，在獲得認證前會去拜訪申請廠商的工廠，以了解整個製程的用水與用電以及其他細節，而這些稽查標準在每個國家都是一致的，C2C 的認證相較於國際其他的產品認證，較仰賴廠商的自我誠信，畢竟維護我們生活的環境與生活品質，是必須依靠自我的意識。這個認證機制可視為一種工具，提供廠商與廠商之間、消費者與廠商之間的保障，避免使用有毒或危害環境的材料，而獲得此認證後，也可以創造出和同業的差異性，並且 C2C 認證和世界其他建築認證是有互相承認的，彼此有加成效果。

亞洲區目前僅在台灣設立 C2C 的分公司，藉著地緣關係，便於服務鄰國欲申請的工廠，近期則有香港或是中國工廠對 C2C 的認證有興趣。當然，有部份是由於歐洲品牌對環境議題的重視，因此會要求下游廠商必須做到合格標準，在亞洲區的工廠就必須申請，這對於外銷歐美的廠商，吸引力又更大了，如果想要打入國際市場，取得 C2C 認證是優勢之一。

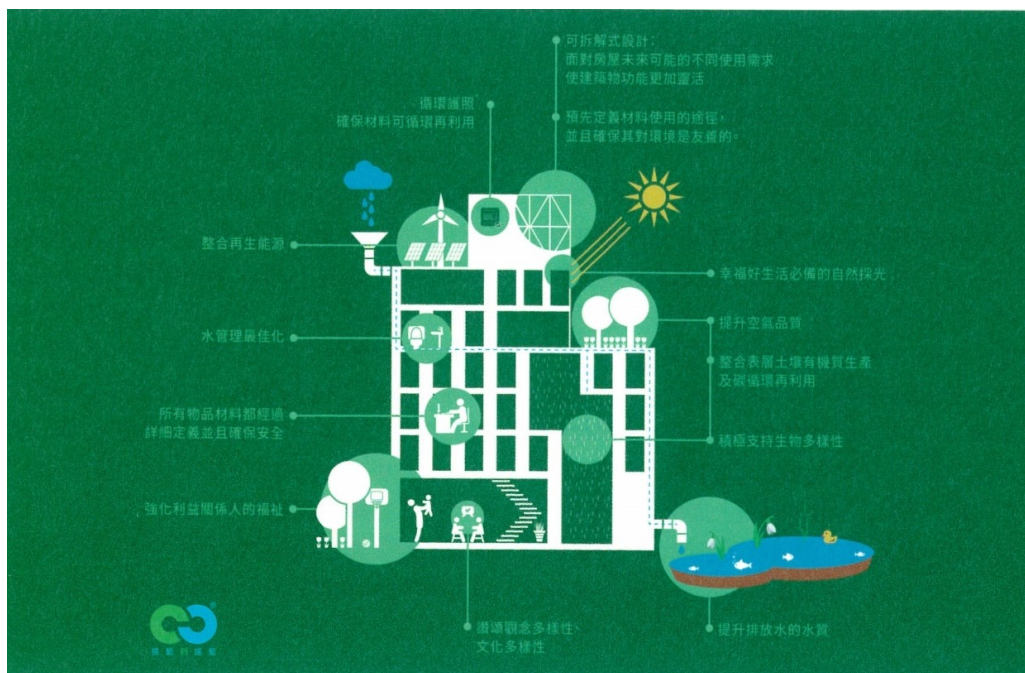


圖 2-7 建築物循環設計概念圖^[A15]

因為政策的關係，C2C 不斷的被提起，這兩年有許多企業又回過頭來想了解 C2C。這是一個趨勢，不管是共享或是以租代買，這都在循環經濟的範圍中。「循環經濟鼓勵的是商業模式，而 C2C 則是關注於材料，所以我們有做循環經濟中的

產品認證。」大部分產品在設計時並沒有去考慮產品壽命結束時，該如何透過有效的回收做處理，若要獲得 C2C 的認證，就必須思考這一塊。像是荷蘭的 Desso 地毯，他們會提供到府回收的服務，將回收的產品拆分為橡膠和尼龍類，重新再製成新的地毯。而回收卻不一定局限於單一企業自己完成，如果有合作的廠商也是理想的。C2C 鼓勵每一個產品能做到同等級或是升級的回收應用，例如回收醫療廢棄物裡的高級塑膠材，製成堅固的交通錐後，可外銷到天氣變化大的歐美地區。

循環建材或產品又可分做「生物循環」(Biological Cycle)及「工業循環」(Technical Cycle)，這兩種。「生物循環」強調其原生料取自於生態圈、為可不斷循環再生的生化原料（例如木材、羊毛等），在使用過後還可以回歸生態圈作為養分，或者是重新提取、再次作為新的生化原料。而「工業循環」強調在產品使用的過程中，藉由維修或共享達到最高效率之利用；在產品使用過後，可收集給服務提供者，供他人再次使用；或者收集給產品製造商，將既有產品翻修或再製造，達到循環利用；或者收集給零件製造商，回收再利用材料，做為新的製造原料，這兩種「循環模式」與台灣既有「綠建材標章」的「生態綠建材」和「再生綠建材」相似，不過「綠建材標章」僅是強調製造原料的循環，沒有像「循環建材」檢討到其他類型的材料循環。



圖 2-8 循環系統概念圖^[A15]

在兩個循環系統中，希望材料作為養分是多維度的，不被局限，可以是各種型態，並非只能走生物循環會是工業循環。例如清潔產品，在使用完畢後，塑膠瓶身由於無法被生物分解，可以走工業循環，清潔液體則是排到地下水處理，回到生物循環中；又或者紙或衣服的纖維在多次回收的過程後，纖維會逐漸變短，若是再製，品質會變得不好，此時便能以堆肥的方式回到生物循環中。因此，重點在於確保每一個零件或材料能回到循環中，如此就不會有廢棄物問題。

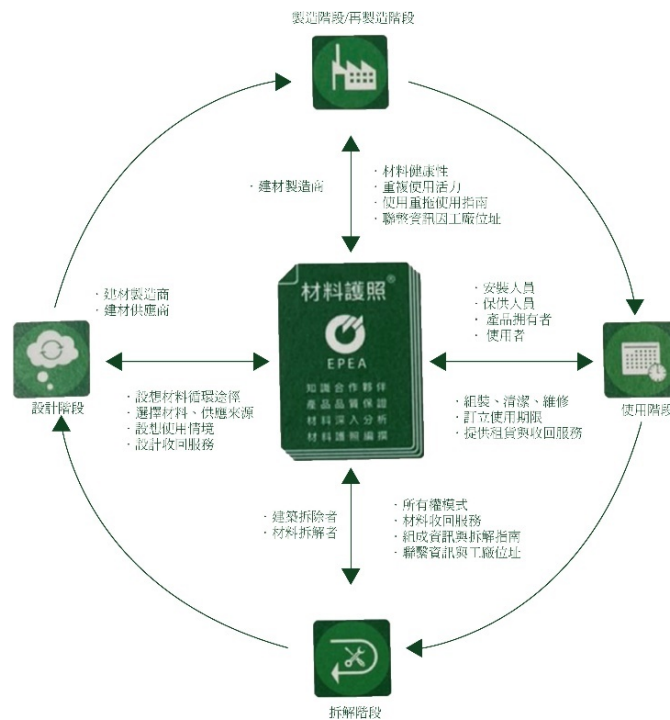


圖 2-9 材料護照概念圖 [A15]

歐盟有一個「地平線 2020 年科研規劃(Horizon2020)的計畫，將針對一些有潛在力的產業或是主題投入不同的計畫經費，C2C 在荷蘭的分公司也參與了其中建築方面的計畫-「建材銀行(BAMB, Building as Material Bank)」，包含了兩個重要的元素，一為建材護照，不管是從生產者、使用者到回收那一端的工廠，讓所有人知道建材的來歷；另一個是可回復式的建築設計，基本上是運用模組化的概念，讓建築中所有的東西皆能拆卸，可以作為不同空間的利用。

雖然目前 C2C 還沒有針對整個建築的認證，但接下來將推出「C2C Inspired 建築」，近期則是有專案嘗試把 C2C 的概念運用於室內設計中。當 C2C 的概念放

入建築裡，循環材料搭配建材銀行的建材護照，可確保供應鏈的透明度，運用可拆解的設計，讓建築內部的陽光、空氣、水都能流通，維持室內良好的空氣品質，也可以確保周圍的土壤生態是健康的，當然使用的建材也是健康的，有良好的水處理系統，搭配再生能源的應用，把一個產品的概念延伸至整個建築中。

C2C 的概念正在慢慢觸動更多人，這是一個需要眾人齊心努力才能實現的概念。就如同人們在地球上，我們從事任何活動都與這片大地緊密相依，沒有人能置身事外。從現有錯綜複雜的環境問題中尋求根本的解決之道十分不易，推動實行更是不易，但總是有人在為了彼此的共好而努力，藉由這些議題，我們需要去思索更深層的問題，才能觸及未來的展望。



圖 2-10 C2C 概念說明圖^[A16]

三、循環再生的房子

面對日益嚴重之資源匱乏、環境破壞、經濟蕭條等問題，強調資源循環利用的「循環經濟」(Circular Economy)一詞近年來在國內外吹起了一股風潮，而作為消耗地球資源主要產業-營建業，這波「循環變革」不僅是非得面對的挑戰，更是不能夠錯過的轉機。

早在 2012 年，歐盟認為自身已毫無選擇，唯有邁向循環經濟一途，才有望解決目前的問題，因此簽訂「循環經濟宣言」(Manifesto for a Resource-Efficient Europe)，並在 2015 年發表「循環經濟推動計畫」(An EU action plan for the Circular Economy)，

提出零廢棄物目標、具體策略、相關行動計畫等。在此框架底下，同年由歐盟資助的「建材銀行」計畫 (building as Material bank)正式啟動，納入橫跨歐洲 16 個合作廠商與學術研究機構，試圖在 2020 年前徹底翻轉人們對於建築的想像，並建立歐洲地區永續發展的基礎。

為了推動建築物的「循環利用」，這個「建材銀行」計畫共有六個研究主題：

- 1.建材護照 (Material Passport)
- 2.建築資訊管理 (Data Management)
- 3.可回復的建築設計 (Reversible Building Design)
- 4.循環建築商業模型 (Circular Building Business Model)
- 5.政策與標準 (Policies & Standards)
- 6.案例分析 (Case Studies & Pilots)

而自 2015 年計畫開始至今，各研究主題皆有初步的研究結果：這其中包括線上建材護照平台 (Materials Passports Platform)的建置、以及囊括 70 多種循環建築的「可回復建築模組小屋」(Reversible Experience Modules)的展示。

這座示範小屋在一年前一共拆組了六次，輪流在歐洲三個國家（英國，荷蘭，比利時）六個地方展出。參訪遊客不僅可以看到實體的「循環建材」，還可直接用手機掃描 QR Code 獲取相關的「建材護照」資訊，部分展示品甚至可以在現場動手操作。在模矩化的設計之下，這個約莫 60 平方公尺（約 18 坪）的空間共有展示、辦公、居家等三種不同情境的空間，向社會大眾展示了「循環建築」可能的面貌。

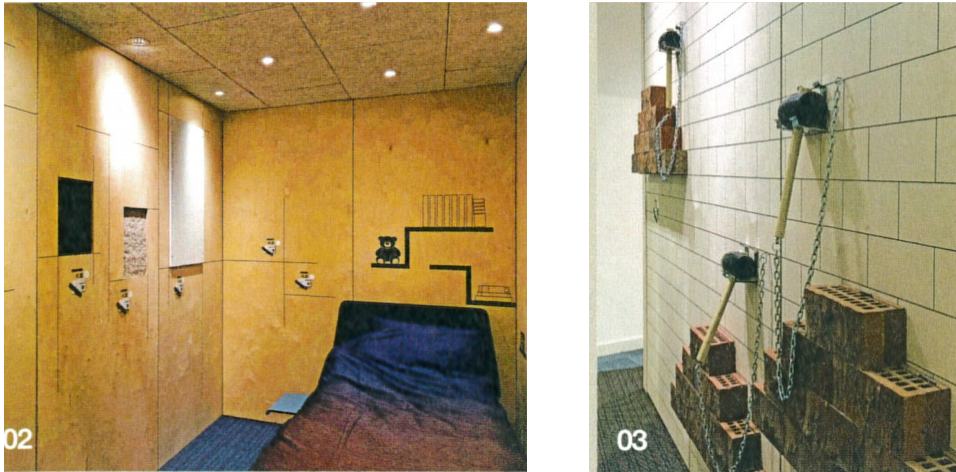


圖 2-11 歐盟「建材銀行」計畫示範小屋內的「循環建材」展示品^[A15]

圖 2-11 說明了這個建材小屋的木建構系統不僅符合「生物循環」的原則，還符合再使用、再製造、再利用等「工業循環」的要求。這個客製化預鑄的乾式隔間牆系統能夠在各個製造和使用階段達到「工業循環」，他們甚至在產品製造的開始就使用了回收材料作為原料。

在這個示範小屋裡面，我們可以看到各種不同類型的「循環建材」產品，這包括：建築外殼系統(立面、窗戶等)、室內裝修材料(天花板、牆面、樓板等)、室外景觀材料(如鋪面)、家具(如系桌椅)、設備系統(如照明系統)。除了在原料的可循環行上面下功夫之外，許多產品亦強調其模組化設計，讓產品能夠配合需求多樣變化，也利於日後的回收再利用。目前所展出的產品來自歐美的 11 個國家其中又以荷蘭、德國、丹麥、比利時最多。



圖 2-12 歐盟「建材銀行」計畫示範小屋的「材料護照」資料-1^[A15]

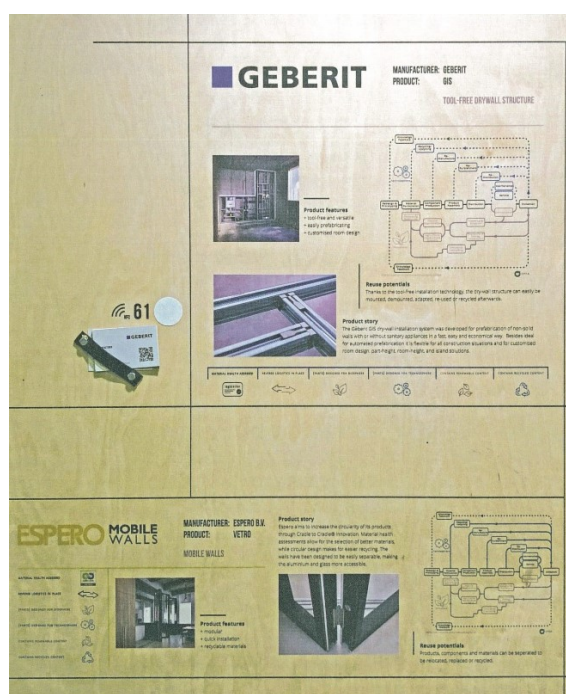


圖 2-13 歐盟「建材銀行」計畫示範小屋的「材料護照」資料-2^[A15]

反觀我們台灣的建築業要如何跟上這一波「循環變革」，首先，為了刺激需求，台灣政府應和這些歐洲國家一樣，盡快提出明確的循環經濟政策、目標、策路和時程。再者，台灣的研究單位可以多和這些歐洲組織交流，制定適合台灣的「循環建材」認證系統，以利循環經濟的推動(目前已開始研究進行)。最後，「循環建材」的開發不只是材料製造商的工作，在建築產業的各環各結(從建築師、營造商、管理者、到回收業者等)都有其循環經濟裡面需要扮演的角色，這些有志之士能否團結起來、跨界合作，才是台灣建築產業升級的關鍵。

四、零廢棄建築案例設計

(一) 荷蘭 Park 20 | 20

早在 21 世紀早期，荷蘭成為了從搖籃到搖籃設計的先鋒擁護者。通過各種媒體在全國大量推廣，這個概念被融入到荷蘭不同行業和實踐之中。大量在材料開發、金融、工程和技術等領域上創新和實驗有關可循環思維的方法，荷蘭理所當然地是近十年間引領循環經濟在行業內過渡的領先者。作為首批在城市規模上實踐從搖籃到搖籃和循環經濟理念的項目是位於阿姆斯特丹南部、距史基浦機場僅二十分鐘路程的一個名為 Park 20 | 20 的綜合開發項目。其已持續被開發了十餘年，這個佔地 91,200 平方米的項目不僅採用了循環設計策略和安全材料去確保人類和生態的健康，還開展了一個創新的整合發展過程：過程鞏固了各個社團和利益相關者的關係，保證了項目成功的重要先決條件。開發商先遊說阿姆斯特丹市政府交換其位於史基浦機場西南方 5 公里、Hoofddorp 火車站旁的土地，將原作農業使用失去原有生物棲息環境的「圩田」，利用建材銀行概念與結合自然資源，以土地混合使用的原則，興建建築出租讓企業與創新產業租賃使用，園區內也規劃休閒、托兒、餐飲、購物、會議等機能，並利用運河與藍綠資源，定位為 Business Park，建材的選用、建物的出租、廢棄物的處理、外部環境的規劃都是應用循環經濟的概念。



圖 2-14 荷蘭 Park 20 | 20 全區現況^[D22]



圖 2-15 Park 20 | 20 全區平面圖^[D23]

荷蘭獨特的文化、環境、景觀和圩田(填海造地的一种方式)創造了一個鼓舞人心的開發場所，鼓勵了屢獲殊榮的 Park 20|20 在其總體規劃內整合多領域和系統的考量：這當中包括了交通的便利和連通性、被動能源設計、自然採光率、視覺上的和諧與連貫性、以及能源、水和廢物管理系統等等。考慮到在租期替換中建築將服務不同的相戶和應用，Park 20|20 在建築設計中強調靈活和可變更的空間；亦同時大量地使用自然日照、通風和景觀。在總體佈局上，各個建築的定位是根據回應於形式、空間、材料、視覺以及用途上的考量。因此，當訪客或是使用者漫步在這個區域的時候，他們可以輕易地在四通八達的路徑中找到方向，同時感知到各個建築物之間共享的建築語言和整體區域的連貫性。



圖 2-16 Park 20|20 全區入口^[D24]

綜觀整個長型的園區，大樓群圍著中央的無車綠色走廊和水道，充分展現 William McDonough 的理念，Triple Top Line (Social equity, Ecology 和 Economy) 三大思維的並存。

1. Social equity: 荷蘭式社區哲學，重視社區彼此間的聯繫、健康的工作環境和降低交通壅塞
2. Ecology: 執行可生能源策略，重複使用材料，將產品分為生物養分和工業養分並強調生物多樣性。
3. Economy: 透過吸引人才和保留當地人力，以及提高市場區別度來增加地區的經濟效益。



圖 2-17 Park 2020 商業園區^[D25]

Park 20 | 20 採用了中央的清潔能源生產系統、生物基螺旋風水淨化系統、冷熱儲存裝置以及支持生物和活動多樣性的景觀設計，Park 20 | 20 的總體規劃生成一套互利共生的生態系統。與此同時，整個開發項目被架高了半層去建立一個公共的半地下公共停車場：在停車場頂部則提供了行人專用的公共園林區域，其中包括了都市農田、溫室、本地植物、蝴蝶園、在規劃西北方的休閒區域和東南方的水溪區域。規劃中設有一條主幹線去貫通所有公共廣場、設施和開放式聚集空間，並同時連通到附近的火車站和巴士站以方便使用者直達史基浦機場。

Park 20 | 20 園內的建築物主要是辦公大樓與企業總部，同時亦設有一座酒店大樓以及數間餐廳。在 Park 20 | 20 內，WM + P 已為八間大型企業和組織完成了設計，當中包括了博世-西門子、Plantronics 和國際職業足球員協會等：所有建築均通過 BREECAM NL 評級並評為極佳。現於園內，一座餘八千平方米的多租戶大樓 Share 正在建造當中，而另一座十九層樓高的綜合大樓則再設計階段當中並期望成為 Park 20 | 20 的一個新地標。儘管園內的每座建築均為每個品牌的文化所定制，它們均採用靈活設計的樓板方便未來可能需要的用途變更，例如把辦公空間改造為住宅用途。

在我們現時的經濟以及文化制度下，建築物和建材在使用後常規地被視為廢物，但是建築師卻不常把建築的後續處理看作為建築設計的一部分。這分歧導致了甚少建材在建築物週期結束後被回收或重複使用，成為「從搖籃到墳墓」系統的典型例子。經常採用機械連接和緊固組件、模塊化設計、系統分離的方式和預製的建造方法，WM+P 的設計總監 Jose Atienza 指出：「Park 20 | 20 內每個建築的材料和部件都經過精心選擇和設計，旨在未來可以實現結構的拆卸和解構。把建築物想像為「物負儲蓄」，我們期望在建築使用週期完結的時候收回材料存有的價值能重新利用。與此同時，建築物中靈活的空間亦為長期和短期的租戶提供了便利的佈局改動。這種設計和建造的方式大大增值了我們的設計、降低了入住自租賃期間的裝修費用。」

作為 Park 20 | 20 以人為本的設計承諾的延續，園區內環境和建築的設計均強調使用者的安康和生產力的增長：所採用的方空白日括了戶內與自然和戶外空間的不間斷連接、大量的中庭日照、對室內空氣質量的調控、室內綠植的加入、噪音的控制和健康材料的使用(Park 20 | 20 是全球聚集最多搖籃到搖籃認證產品的項目)。



圖 2-18 建築內的綠化牆面^[D26]



圖 2-19 Park 2020 全區內現況^[D27]



圖 2-20 園區建築中央的綠色走廊^[D27]



圖 2-21 園區內西北方都市農園^[D28]

綜觀上述，有關於荷蘭 Park 20 | 20 案例之整體設計，大致可分為共享系統、易拆解設計、創新商業模式三方面進行說明：

1. 共享系統設計方面

Park 20|20 以「富有生命的巨大的有機體」為社區營造主軸，雖然每棟建築都是為各個不同的企業租戶量身訂作，但建築之間可以共享資源並互相合作。透過廢棄物處理、水資源處理、生產能源、綠色廢棄物、生物氣體處理和熱能回收以及雨水儲存等等，來達成封閉的養分循環。

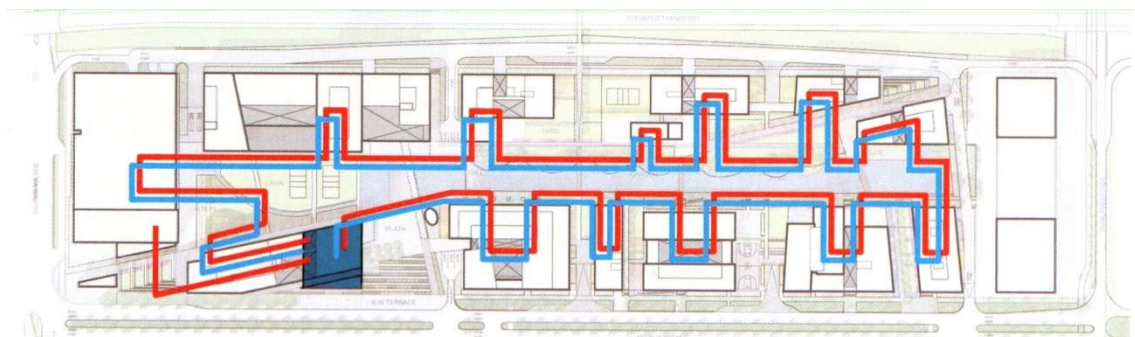


圖 2-22 廢物、熱能和能源系統^[D28]

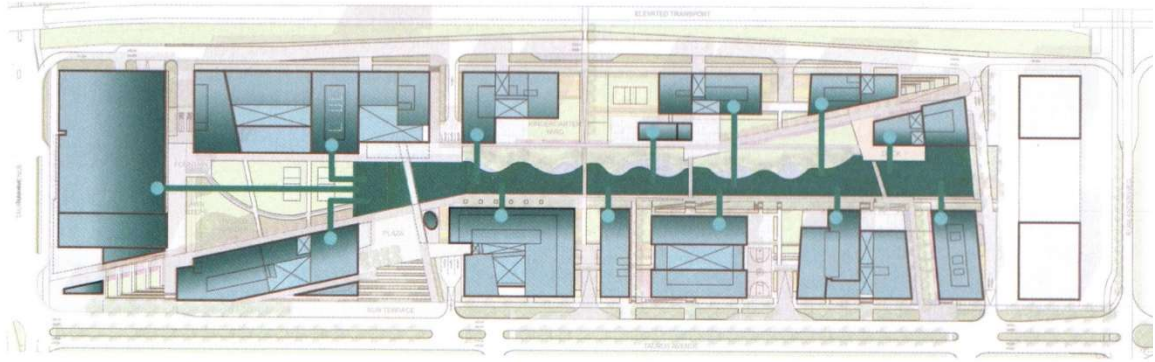


圖 2-23 雨水和污水搜集系統^[D28]

園區內的建築物屋頂設有太陽能板能夠自主發電，綠化的屋頂不僅為社區增添生物多樣性，它能夠降低表面溫度並提升太陽能板的效率；還有建築外牆的隔熱保溫系統和建築方位可降低能源的使用量和噪音干擾。此外，透過中央整合再生能源供應系統與建築供能優化設計，可減少二氧化碳的排放量並淨化室內空氣。Park 20|20 園區之中央水資源管理與處理系統，則可蒐集雨水作為衛廁清潔使用並過濾園區汙水，進而減少園區的廢水和耗水量。藉由園區管理中心，以集中運輸模式進行園區廢棄物管理而達到規模經濟之效益。



圖 2-24 生物多樣性生態系統設計^[D29]



圖 2-25 再生能源太陽光電系統設置^[D29]



圖 2-26 中央水資源淨化系統增加生物多樣性和淨化灰水^[D28]

於公共空間方面，Park 20|20 園區使用了綠色廊道融合了區內各個獨樹一格的建築體。它結合了水景、綠地、人行空間與休憩區，沒有汽車喧鬧聲的公共空間可以為工作之餘激發靈感。其他共享設施，像是會議室、電影院及停車場等，都在園區內適當的提供機能，不會浪費使用率不高的空間，更提升社群整體性。

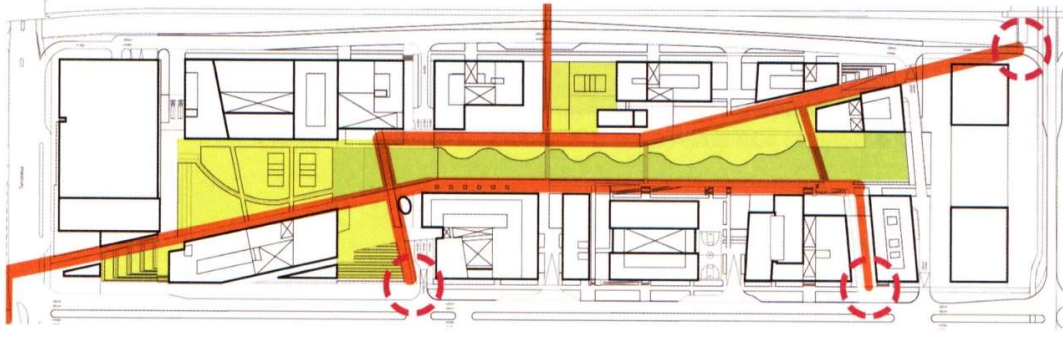


圖 2-27 都市共戶外空間和人行道路系統^[A14]

2. 易拆解設計部分

搖籃到搖籃核心思維緊扣循環經濟的脈絡，在這樣的想法中將建築視為一個組成元件，超越它的傳統生命週期，它將會持續生長、自我演化，隨著科技進步能夠更換建材，發展最新的應用方式。設計師著眼於「易拆解的設計」原則，從思考如何易於拆解出發，進而反向思考回設計源頭，這樣的思維模式能夠幫助在設計之初就能想出更簡單的組合方法。



圖 2-28 室內工作區域設計^[D80]



圖 2-29 室內簡易裝潢及拆解設計^[D80]

3.創新商業模式方面

PARK 20 | 20 案是由三個集團(Delta Developer、VolkerWessels, Reggeborgh)共同發展出建材銀行與出租模式。其說明如下：

(1)建材銀行：整個園區除了一般綠建築常見的設計之外，最重要的是應用了「建材銀行」的創新商業模式。所有建物使用可回收建材，並採用容易拆除、回收建材的設計。例如在施工方法上，幾乎不用水泥灌漿，而是像縫衣服一樣，把所有建材「縫在一起」，讓建物在使用壽命的期限內，可隨時根據不同需求，或是新建材、新科技的出現，更換建材，而使用壽命結束後，也容易拆除。尤其，身為建商的三角洲集團和建材供應商、營造商合作，讓建材供應商保留建材所有權。

(2)建物租金：客戶付的租金，就拆分成建商的建案管理費、建材供應商的建材使用費和營造商的建造費。這個商業模式的運作方式，有點類似資本市場的共同基金，營造商、建材供應商就像出錢的投資人，建商是基金管理人，最後大家一起分配利潤（租金收入），拿回本金（建材）。對建材供應商來說，可減少建材折舊，拆除後回收再利用，重複「出租」建材，增加收入，尤其是鋼材。

建案的租金收入，高於所在地市場平均價八成，每平方公尺獲利率也增加 34%，證明了循環經濟商業模式不但可行，而且比傳統模式創造更多價值

(二) Maison du Projet

Maison du Projet 建於 2015 年到 2016 年間，法國第一座 C2C(Cradle to Cradle) 建築案，由 Canos Aroyo Architects 設計。作為舊工廠的再生建築，它是一個融合經濟、文化、環境和活動的案子。



圖 2-30 Maison du Projet 建築整體外觀與立面語彙^[D81]



圖 2-31 Maison du Projet 建築物夜間立面韻律及結構與空間配置^[D81]

在原本的魯貝工廠大樓關閉後，里爾(Lille)大都會區決定實施一項面積約 1,000 公頃的城市更新計畫，並計劃在 10 年內完成，引入生產、文化和住宅活動，並以循環經濟為主軸，以不存在廢物為概念。本案具有雙重功能：一方面，它為運營中心，其辦公室、會議空間和多功能廳，用於競賽、展覽、演示和研討會用；另一方面，它具有示範性的使命，以證明建築物可以按照循環經濟的原則，在公共建築的正常預算內建造。

根據 C2C 的原則，Maison du Projet 的整個結構和外牆可以拆卸並重新組裝，以便重複使用；所用的大部分材料因不添加任何化學物質，所以都是可生物降解或可回收的，能安全地重新融入自然循環中；建築物由自然能源提供動力，衛生系統亦不會產生廢物，而是為植入環境中的植被提供肥料，並可用於中和由舊工業活動造成的底土中的一些污染物。有關於 Maison du Projet 建築案例之循環經濟設計概念及操作手法說明如下：

1. 空間靈活性和超級家具

Maison du Projet 採蜂窩狀結構，隱約有舊廠房的影子。這座建築改建後旨在舉辦各種活動，致力於文化活動如大型展覽廳和會議等推廣循環經濟之議題。其配置產生了兩種明顯不同的空間：低樓層(藍色色塊)的部分空間設置了辦公室、浴室、廚房等空間；其上部(黃色色塊)的空間充當儲藏室、設備室等；低樓層(綠色色塊)大部分的空間則為大廳，可以容納任何活動的空間，這些空間都配備了一系列移動式家具，如大型樓梯、可移動之管狀燈柱、便攜式辦公室、幾分鐘內就能展開的充氣結構、移動廚房、移動更衣室等。建築物內部使用空間說明示意圖如圖 2-32 所示。

充氣結構為 Maison du Projet 的要元素，它是由不含 PVC 的帆布組成，平常不使用時可收納成為一般袋子的大小，若需使用則可以在幾分鐘內充氣並完成部屬，它能提供 65 平方公尺的空間，在大廳裡創造出獨立的會議室。這些空間沒有預先定義功能，都是可以再現的柔性空間，而可移動家具的使用讓空間充滿了靈活性。



圖 2-32 充氣結構的會議室^[D81]



圖 2-33 充氣結構的會議室內部使用現況^[D81]



圖 2-34 充氣結構示意圖^[D81]

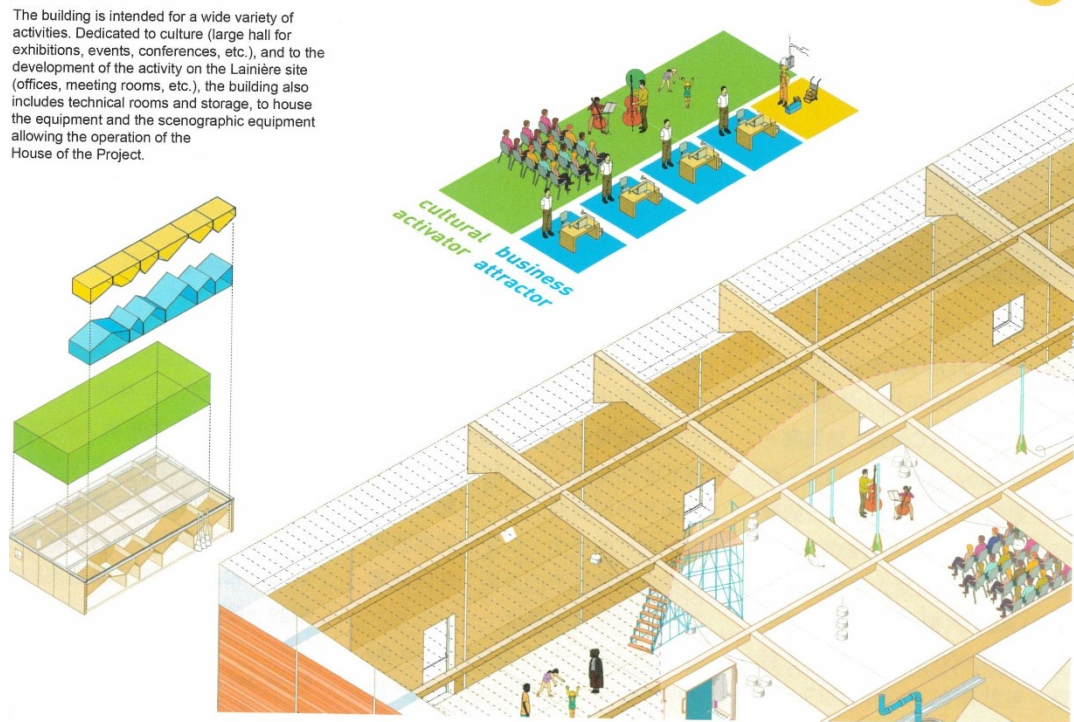
圖 2-35 建築物內部使用說明示意圖^[A14]圖 2-36 多功能獨立小空間^[D81]



圖 2-37 多功能獨立小空間^[D91]



圖 2-38 多功能大廳^[D91]

2.能源管理

能源由安裝在屋頂上的太陽能板和木質燃料顆粒來提供熱能。建築物上層的部分有一空間為供鍋爐燃燒的木質燃料顆粒，過程中轉換的熱能則可以供給熱水和暖氣的使用。木質燃料顆粒是非常緻密的材料，並為低含水量(低於 10%，使它們能夠以非常高的燃燒效率被焚燒並提供熱量。大廳的聚碳酸酯屋頂在冬季用作溫室，而在夏季由於立面系統設置產生交叉通風，而有冬暖夏涼的效果。

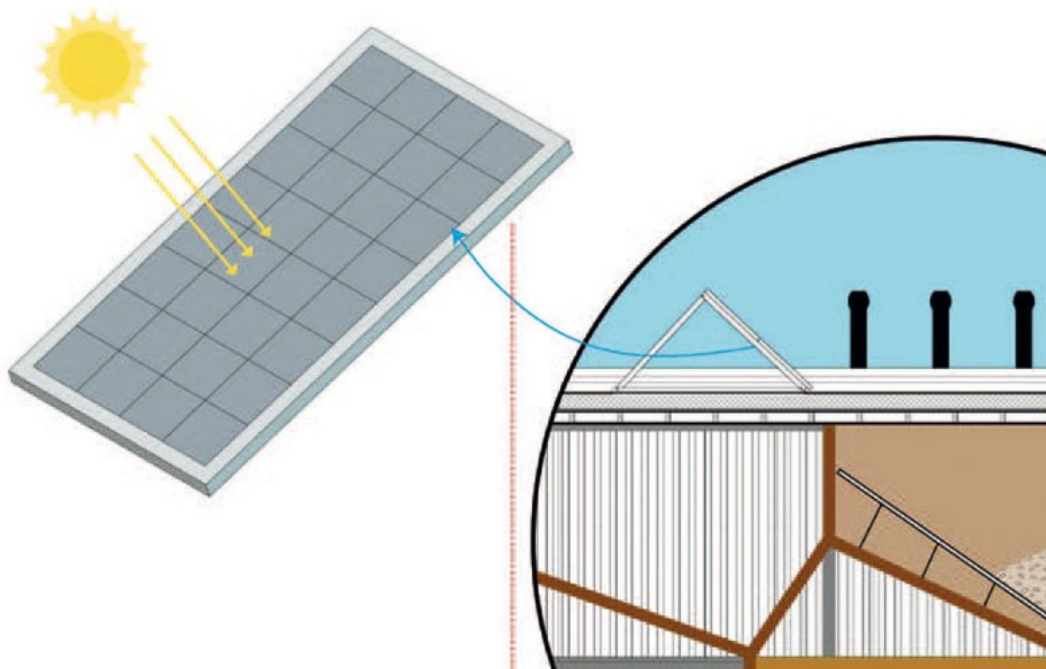


圖 2-39 太陽能板及木質燃料顆粒之配置及使用^[D92]

3.水資源管理與乾式廁所

建築物的主要外觀是用百葉窗保護建築物免受直接日照，整個立面的韻律中有三個大型的黑色煙囪特別突兀。這些煙囪實際上是三個乾式廁所，這免除了建築物的衛生系統用水，並產生了堆肥循環。被太陽加熱的黑色煙囪有助於廢液通過位於煙囪上側部分的渦輪機蒸發。這些立面元素證明了建築對環境的承諾，有生態紀念性的意義。

乾式廁所採用無水設計，旨在把排泄物這些有機物收集後，透過堆肥的程序，轉化成泥土。以木屑、乾草碎或紙板碎等含碳成分的物料，吸去排泄物的臭味，讓細菌、真菌及微生物等進行分解。乾廁所完全不會有異味，不單衛生，也很環保。與此同時，該建築的上側配備了雨水收集系統，該系統由兩個回收桶和一個過濾器組成，如果水過剩，多餘的水將排放到建築物旁邊的人工湖中，過濾後的水則用於維護建築物和園藝使用。另外，這些水儲存在高處，無需使用電泵即可提供水，進而達到節能效果。

06-Diversity

The building is intended for a wide variety of activities. Dedicated to culture (large hall for exhibitions, events, conferences, etc.), and to the development of the activity on the Lainière site (offices, meeting rooms, etc.), the building also includes technical rooms and storage, to house the equipment and the scenographic equipment allowing the operation of the House of the Project.

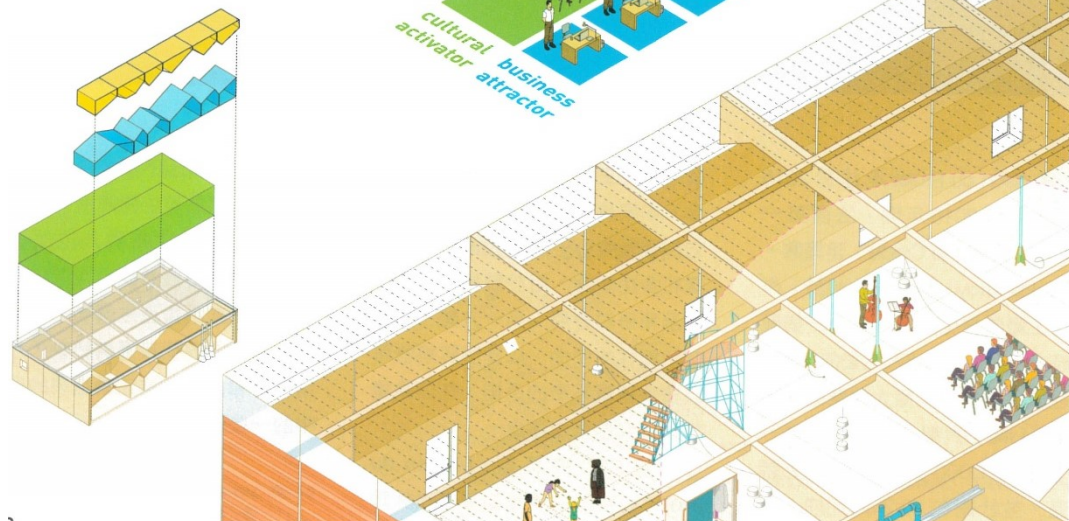


圖 2-40 雨水收集系統^[A14]



圖 2-41 三根黑色煙囪實際上是三個乾式廁所^[D82]

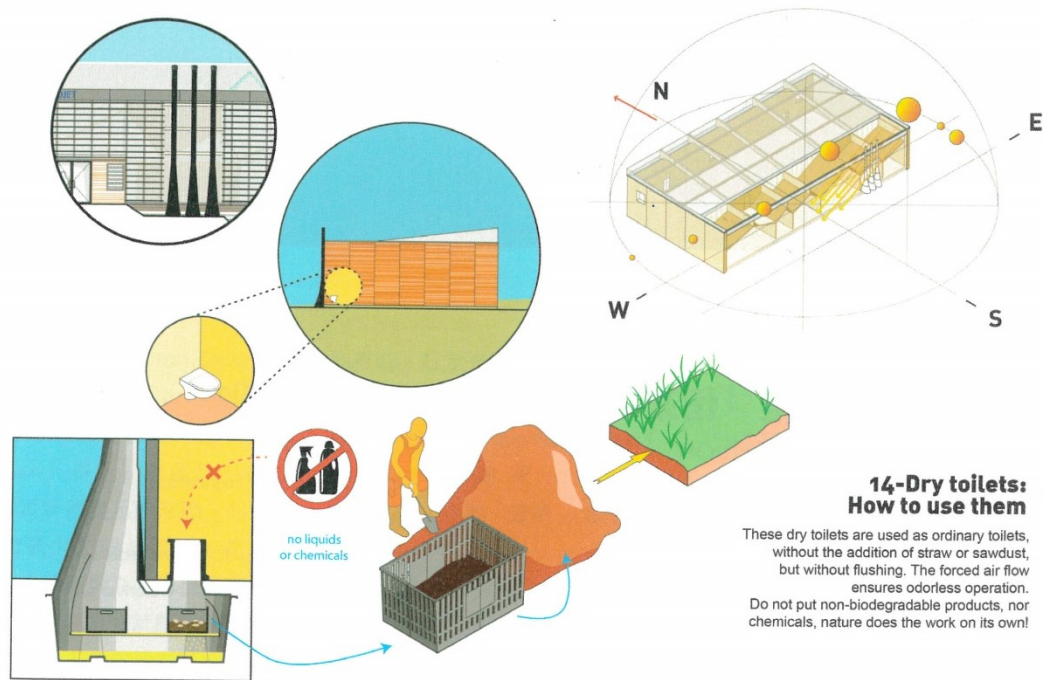
圖 2-42 乾式廁所的循環應用^[A14]

圖 2-43 乾式廁所內部現況^[D31]

4.沒有任何土方的可拆解建築

根據 C2C 的原則，本案的建造沒有任何土方工程，基礎由金屬樁製成，結構和外立面可以完全拆卸和重複使用，本案大多數材料是可生物降解和可回收的，這個建設性系統的碳排放量比傳統的混凝土系統減少許多。辦公室的結構則由交錯層積木材(CLT)和游簡單組裝、拆卸的金屬連接器製成，在拆卸後的這些面板可以成為另一種類型建築物的結構基礎。內部斜屋頂的結構和型態部分由原先基地前身的工廠為啟發，作為反映過去與現在的型態表現，進而創造空間。本案完全是預鑄的構成，所有的單元都是在工廠生產完後到現場組裝，連地板也是由預製板組裝而成。

Maison du Projet 是循環建築的一個極佳案例，若要做到循環建築，就必須系統性地檢視建築物完整的生命週期。從營造、使用到拆除的各個階段，找出資源循環的破口與機會。關鍵並不單單是建材是否使用了再生材料，而是是否有辦法創造出資源循環的迴圈。

本案透過預鑄、模組化、可拆解與富有彈性的設計，就能在建築物與生命週期結束或用途改變時，保有建材的價值並重覆利用。在這循環經濟的過程中，空間的變化性和多樣性也顧及到，連立面窗戶位置的多樣性也成為在建築物拆除過程中重建外牆的工具，並作為可變化的一個元素。本案作為循環經濟發展的基礎，強調逐步建立一種新的文化，使我們能夠在未來用新的態度及方法、想法去面對還挑戰。

綜合上述，循環經濟（Circular Economy）最核心的精神，為了解決線性經濟造成的資源耗損、環境汙染等問題，循環經濟應勢而起，涵蓋許多產品、技術與服務，甚至也改變了金融與貨幣的角色。零廢棄的設計，模組化及多功能技術的長期使用、提升效率降低成本，使用再生能源並節能減碳等等，都是循環經濟的基本原則；作為循環經濟的重要概念之一，七〇年代就發展出來的「搖籃到搖籃」理論，如今也被廣泛地提起與重視，不算新的理論卻是新的趨勢。

循環經濟衍生的設計原則及概念有很多，而消耗世界 40% 資源的建築產業投

入循環設計，更是重要且必要的目標，除了「搖籃到搖籃」認證、荷蘭的「建材銀行」、「材料護照」等等都是循環經濟中與建築產業最相關且廣為引用的概念，在世界各地也開始出現實踐的方案：被認為是世界上第一個實踐「搖籃到搖籃」概念的開發案「Park 20 | 20」，將建築造成的汙染，成為推動美好改變的驅動力。

第三章近零能源建築之分級制度與節能基準分析

第一節 各國之相關制度與評估機制分析

近年來零能源建築（zero energy building, ZEB）被認為是實現節約能源，減少溫室氣體排放，達到可持續發展的重要措施。2008 年起在國際能源署（International Energy Agency, IEA）、太陽能保溫和冷卻計劃（Solar Heating and Cooling Program, SHC）、建築與社區能源（Energy in Buildings and Communities, EBC，原ECBCS）等機構的支持下，共同進行一個聯合研究計畫“走向零能源太陽能建築（Towards Net Zero Energy Solar Buildings）”（IEA, 2014），目的是要將淨零能源建築推向市場並具備市場生存能力。計畫主要在建立淨零能源建築的共識，包括建立一個適用於國際的框架定義、設計流程工具、先進技術與解決方法、各類淨零能源建築準則，希望能適用於參與各國氣候區內的新建與既有的住宅及非住宅。國際間的歐盟、美國、德國等國近年也紛紛發表「零能源/零碳建築」的長期目標或傑出建築案例，並且將ZEB（淨零能源建築或近零能源建築）列入國家能源政策目標。

一、歐盟

自2003年6月起，歐盟通過對工業界的溫室氣體設下限額，並創立國際碳排放交易市場，在這機制下歐盟各成員國應以本身產業發展、產業碳排量等制定各國企業體在各交易階段碳排放量之定額（亦即國家分配計畫），並提出具體的減碳目標。該機制分為三個交易階段：2005～2007 年、2008～2012 年、2013～2020 年。同時2003年推出「建築物能源效益指令（Energy Performance of Buildings Directive, EPBD）」，歷經修改，最新規範目標為在2018 年所有公共建物、2020 年所有新建物，皆需達到近（Nearly）零能源的目標，即nZEB近零能源建築。由於歐盟將2020 年定為nZEB 的目標年，這同時啟動了零碳/零能源技術的科技研發計畫，並且配合了許多新節能制度與法令規範的修訂，使nZEB 成為具體明確

的努力目標。目前歐盟的節能規範架構如下 (European legislative framework)：

(1) 建築物能源效益指令 (EPBD, 2010/31/EU)

所有出售或租賃之建築物的廣告中均需包含能源效率認證證書。歐盟國家必須建立一套對空調系統的檢查計畫，或採取具有同等效力的措施。所有新建築在2020年12月31日前必須為近零能源建築（公共建築為2018年12月31日前）歐盟國家必須對新建築，或重大更新翻修的舊建築訂立最低能源性能的要求。歐盟國家必須制定國家財政的議案，以提高建築物的能源效率。

(2) 能源效率指令 (EED, 2012/27/EU)

歐盟國家必須由中央政府所屬的建築中進行節能更修，各國政府要求公共建築採取高效能建築物，同時將長期的建築更新計畫納入國家能源效率行動計劃之中。

(3) 可再生能源指令 (RED, 2009/28/EC)

2020年時，可再生能源佔總能源之20%，且10%運輸燃料必須來自可再生能源。依每個國家的整體潛力制定可再生能源目標。促進中歐國家之間的合作，並共同實現可再生能源目標。德國於1999年就已實施徵收生態稅，2001年5月德國制定「節能法」，要求建築物節能30%，2002年於EnEV (Energieeinsparverordnung，節約能源條例) 明定建築能源護照政策，凡是建築交易或擴建必須出示其能源護照，標示其耗能與排碳值。德國的節能法令中，並沒有「零能源」的用語，而是強調零碳或「近氣候中和建築 (nearly climate-neutral)」。2014年5月最新一版的EnEV 2014中，則以更嚴格的建築耗能標準，宣示在2050年時，所有的建築物必須都是「近氣候中和建築」。首先，2016年起，所有新建的建築在初級能源的需求上，必須減少25%；建築隔熱性能必須提升20%。同時自2014年起，建築物的能源將分為由A+到H的等級。

歐盟提出所有新建築在2020年12月31日起必須為近零能源 (nearly zero energy building) 建築，公共建築為2018年12月31日起必須為近零能源建築。目前歐盟已經開始制訂近零能源建築基準的國家，大部分與歐盟設定的實施日期一致，

但少部分國家如法國、比利時、英國等，早已開始推動，甚至已經開始實施近零能源建築政策，而這些國家的建築初級能源基準也相對較為嚴格，但其實也還有一些歐盟國家尚未具體擬定政策及基準。歐盟各國實施近零能源建築政策的日期與初級能源基準如表3-1所示，歐盟各國的政策推動上，歐盟各國對nZEB 的定義不同，nZEB 的基準內容也不盡相同且差異不小，基本上實施nZEB 的主要對象為新建築。整體而言，歐盟各國對新建築的nZEB 初級能源要求約為50 kWh/m².y。nZEB 在既有建築的推動上面臨一些問題，包括推動建築更新改善的法令問題，以及燃料貧困問題（fuel poverty，意指一個家庭需要花費超過百分之十的總收入來支付充分保暖住宅的燃料）。許多國家的nZEB 計劃既不明確，也不全面。只有少數幾個國家，例如比利時、法國、丹麥等國有設定清楚的目標和明確的執行。

表 3-1 歐盟各國實施近零能源建築政策的日期與初級能源基準^[D17]

國家	實施日期		新建築初級能源基準 [kWh/m ² y]		既有建築初級能源基準 [kWh/m ² y]	
	公共	非公共	住宅	非住宅	住宅	非住宅
奧地利	2019.01.01	2021.01.01	160	170	200	250
比利時 (布魯塞爾)	2015.01.01	2015.01.01	45	90	54	108
保加利亞	2019.01.01	2021.01.01	30~50	40~60	30~50	40~60
塞浦路斯	2019.01.01	2021.01.01	100	125	100	125
波蘭	2019.01.01	2021.01.01	60~75	45~70	--	--
丹麥	2019.01.01	2021.01.01	20	25	20	25
法國	2011.10.28	2013.01.01	40~65	70~110	80	60%PE
德國	2019.01.01	2021.01.01	40%PE	--	55%PE	--
匈牙利	2019.01.01	2021.01.01	50~72	60~115	--	--
愛爾蘭	2019.01.01	2021.01.01	45	60%PE	75-150	--
瑞典	2019.01.01	2021.01.01	30~75	30~105	--	--
英國	2018.01.01 住宅 2016	2019.01.01 住宅 2016	44	--	--	--

二、亞洲地區

日本自2002年起，規範2000 m²以上建物必須符合PAL(Perimeter Annual Load)及CEC(Coefficient of Energy Consumption)等性能規範，並符合建築環境效率BEE (Building Environmental Efficiency)的標準。同時日本政府推動Top runner與Eco Point 制度，從高效能家電設備切入節能建築，帶動整體產業發展，主要綠建築認證制度為CASBEE。

在近零能源建築的目標上，日本政府提出在2020年所有新建的公有建築須為近零能源建築，在2030年新建建築須為近零能源建築。有鑒於此，日本政府2012年7月決定在 2020年以前對所有新建住宅、建築物設立「次世代節能基準」，要求所有樓地板面積達300m²以上住宅均需符合之，不足300m²建築物2020年後也將逐步納入管理。日本政府建築物節能新基準則於2013年4月1日開始實施，住宅節能新基準則於2013年10月1日起開始實施。新的基準仍以「隔熱性能」作為之評定基準，但性能指標從原先之熱損失係數Q值，改為「外皮平均熱貫流率UA值(冷氣使用期平均日射熱取得率ηA值)」。UA 值因為是以牆壁、天花、地板、開口部位個別總熱損失量除以外皮表面積，可以更正確地判斷建築物之隔熱性能。另一方面，日本對於優良的節能住宅也有相關的稅制獎勵措施，例如取得認證的住宅可享有所得稅、登錄免許稅、不動產取得稅以及固定資產稅的減免。民眾在購買具備較佳的省能以及耐震性的住宅時，可以有較多的課稅抵扣額，此外若是購買設置較佳的隔熱設備、使用再生能源以及高效率的熱水及空調裝置，也能享有稅制優惠。以上種種措施，均能鼓勵民眾購買較好的住宅，同時促進節能產業升級。

亞洲地區則以日本及韓國在推動nZEB的政策上較為積極明確，新加坡與香港亦有相關推動政策與零能源建築案例實踐。日本政府提出2020年所有新建的公有建築須為nZEB 建築，在2030年所有新建建築須為nZEB，住宅建築必須為nZEB有節能20%以上的效率，非住宅類建築則必須有節能50%以上的效率。在韓國，

建築耗能約佔全國整體耗能的20%，依據韓國政府的規劃，在2012至2025這段期間，所有新建築的能源效率必須再提升，自2025年起，住宅建築必須為nZEB，非住宅類建築則必須有節能60%的效率。

三、美國

美國聯邦政府以行政命令定義NZEB 具體的目標和時間表定為2020 年，以確保2020年後所有聯邦內的新建築物都能在規劃過程中，實現2030年NZEB的目標。美國的Energy Star 與2030 Challenge 都以CBECS（2003）作為節能目標參考基準，若進一步轉換EUI 單位，以氣候與臺灣較為相近的美國南部地區來檢視的話，則其EUI Targets 2015 年在70%的目標下，住宅的EUI 希望能降至35~45 kWh/m².yr，至2025 年時，EUI目標則訂在12~15 kWh/m².yr，如表3-2所示，可作為我國的參考。EUI 比較基準的差異，以美國而言，通常將建築物一年期間所有耗電、耗化石能源皆轉換成一次能源加總計算為「Source EUI，Btu/ft².yr」；在臺灣EUI 的定義則僅計入建築一年的總用電，故臺灣一般以kWh/m².yr 做為EUI 之單位。

表 3-2 美國南部地區住宅類 EUI 目標值 (kWh/m².yr) ^[A3]

住宅類型	含基地外 EUI (kWh/m ² .yr)	基地內 EUI (kWh/m ² .yr)	2030 建築 EUI 目標值 (kWh/m ² .yr)				
			50%	60%	70%	80%	90%
			目標值	目標值	目標值 2015	目標值 2020	目標值 2025
獨棟住宅	271.8	131.1	65.7	52.5	39.5	26.2	13.3
連棟住宅	260.7	122.6	61.3	49.0	36.7	24.6	12.3
2~4 單元 集合住宅	359.0	148.2	74.3	59.4	44.6	29.7	14.9
5 單元以上 集合住宅	511.9	151.4	75.8	60.7	45.5	30.3	15.2

國際間對於零能源建築的說法與定義大致相近，要求建築能源的平衡狀態，藉由建築物每年產生的再生能源相等於自身所消耗的能源，故零耗能建築需要仰賴再生能源來抵銷自身耗能。整體而言，首先要求建築物本身，包含使用之耗能設備必需具備高效節能，其次是建築物消耗能源，必須能與經由基地自身產出或鄰近供應之可再生能源相抵銷，使整體耗能接近或達到能源消耗與產出之平衡。美國係為聯邦政府，各州政府能源政策行政獨立，歐盟的能源政策由歐洲議會主導相關政策與行政機制之運作，均與國內能源政策行政機制差異較大。日本在能源政策發展上，國情與行政體制推動機構，均與我國相當接近，故在零能源建築政策上，參採日本之推動模式與經驗，有利於國內在零能源制度推動趕上國際之潮流與趨勢。

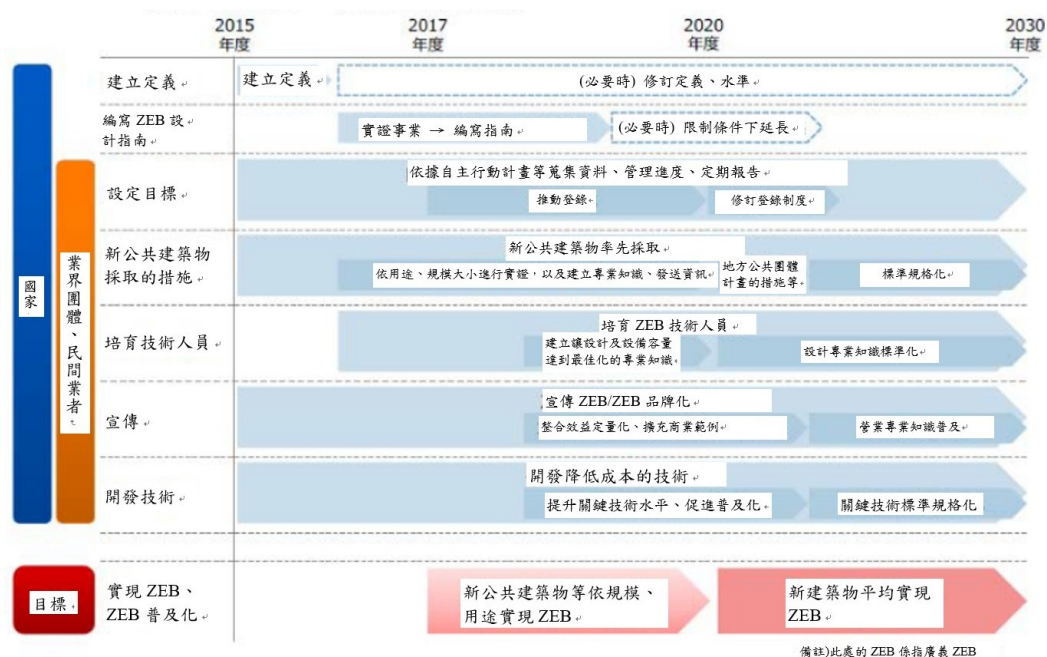
表 3-3 歐盟日本與我國零能源建築政策與推動制度體系比較

	歐盟	日本	我國
法規及政策措施方面	1、歐盟議會、能源委員會。 2、建築能源效能指令 (EPBD) 要求成員國依各國需求情況自訂國內法來推動執行。 3、各成員國各自訂目標，制定相關政策措施。	1、日本內閣會議，能源政策基本法，能源基本計畫，能源政策推動的方針。 2、根據「建築物節能法」強制建築物符合節能基準，強制要求新建住宅、建築物需符合建築物節能基準。	1、行政院，能源發展綱領，能源轉型白皮書，能源政策推動的方針。 2、建築技術規則針對新建建築外殼之隔熱性能訂定相關強制規定。 3、經濟部訂定建築耗能設備能源效率標準。
行政制度面	1、於歐洲規範標準 EN 15603 (2008) 界定 NZEB 建築物可能的系統邊界，並與現場可再生能源發電一起使用。 2、歐盟所屬相關研究機構，針對 NZEB 提出共通性之定義。	1、日本經產省、國土交通及環境省共同推動住宅 (House) 及建築物 (Building) 之零耗能化。 2、針對 ZEH、ZEB 提出定性及定量之定義。	1、相關政府機構，經濟部能源局、內政部、環保署 2、綠建築推動方案，綠建築標章制度。
建築耗能評估	1、歐盟制定建築能源證書 (EPC) 制度，供各成員國遵循或自行訂定施行細則。 2、德國聯邦政府制定 EnEG、EnEV 等相關法令，由法令規範降低能源需求。	1、日本政府公布「能源基本計畫」，於「實現徹底的節能社會」政策措施中，針對住商部門提出措施。 2、CASBEE 建築綜合性能評估制度。 3、BELS 建築節能性能標示制度。	1、我國對於建築耗能之評定，於綠建築標章之日常節能指標中有相關評定計算。 2、EEWH 綠建築標章制度。

日本推動近零能源建築物（NZEB）之發展

一、日本推動住宅及建築物之零耗能化（ZEH 及 ZEB）概要

日本於 2014 年 4 月內閣會議「能源基本計畫」裡，揭示「在建築物方面，2020 年為止新公共建築物等實現 ZEB，2030 年為止新建築物平均值達到 ZEB」的政策目標。為達成 ZEB 目標面臨的課題，於 2015 年 4 月成立 ZEB 規劃路徑藍圖委員會，並在同年 12 月公佈 ZEB 統一定義、實現 ZEB 及推動其更加普及的藍圖。2016 年 7 月，為了追蹤執行該藍圖的狀況，設置「ZEB 規劃藍圖追蹤委員會」，討論如何讓 ZEB 更加普及等課題，以及未來進行方向，並對外公佈。根據 ZEB 規劃藍圖追蹤委員會公告，實現 ZEB 並推動普及之路徑藍圖，如圖 3-1 所示。委員會自 2016 年度起，以總面積低於 10,000m² 的小型新建築物為對象，依用途制定「ZEB 設計指南」並對外公佈，解說進行超過節能合格基準、能將一次性能源消耗量降低 50% 以上的「ZEB Ready」時，所必須使用到的技術・設計手法・成本等，致力於實現 ZEB 及推廣其普及。



資料來源:日本 ZEB 規劃藍圖追蹤委員會彙整報告(2018 年 5 月)

圖 3-1 日本實現 ZEB 並推動普及之路徑藍圖

日本在零能源建築的政策上，主要由三個政府部門單位，包括經濟產業省、國土交通省及環境省共同推動住宅（House）及建築物（Building）之零耗能化。在政策計劃分工執行架構中，經濟產業省扮演政策計劃主導角色，制定節能基本計畫，成立零能源建築(ZEB)與零能源住宅(ZEH)推動路徑計畫委員會，在制度上

建立評估制度與登錄制度，同時實施補助計畫，補助零能源建築 ZEB 與零能源住宅 ZEH 之實證案例。國土交通省之任務分工主要在於建立建築能源性能法令與規範，提供建築能源評估計算方法與認定基準。環境省主要根據巴黎協定實踐低碳社會目標上，推動相關 CO² 減排政策，包括 2030 年國家碳排 26% 減少之實施目標，對於節能、低碳產品、服務、行動等政策之推動。日本零能源建築政策政府部門跨部會分工架構，如圖 3-2 所示。

ZEH(Net Zero Energy House)制度之推動係以提高住宅之隔熱性及節能功能，實現超過節能基準 20% 以上之節能，並活用太陽能發電等創造能源，使得年間一次消費能源量（空調、熱水器、照明及換氣）等之收支為負數或 0 以下之住宅。在 2014 年日本內閣決議之能源基本計畫中，要求「2020 年之過半新建住宅、2030 年為止所有新建住宅實現 ZEH 之目標」。2017 年 6 月內閣決議之「未來投資戰略 2017」中，則再進一步針對集合住宅建築，2030 年為止之新建住宅及建築物，達成 ZEB (Net Zero Energy Building) 為目標，以徹底推動節能。在 2018 年 7 月日本內閣通過的第 5 次能源基本計畫中，提到為了推動 ZEH 及 ZEB，須特別加強再生能源，於引進導入時之相關政策及協調，應採取相關普及促進措施。

為了達成上述目標，經產省創設 ZEH 及 ZEB 相關建築業者 (ZEH builder) 及 (ZEB planner) 登錄制度。經產省定期公佈 ZEH 之販售目標及販售成績等，對於積極實現 ZEH 之大型建商、地方小型建商等，作為「ZEH builder」，採以「ZEH builder」之建築作為接受 ZEH 補助金之援助要件。ZEH 之販賣件數過去 3 年急速增加，至 2016 年達到 3.4 萬戶，2016 年終時有 5,566 家 ZEH builder，但是 2016 年度自公司販賣目標之達成僅有 24% 程度，因此要達成 2020 年及 2030 年之時程表目標，仍有待解決之課題。因此對於再生能源發電成本的降低，不僅是賣電而需以自家消費觀點，進行是否合理使用之選擇與檢討。

日本零能源建築政策政府部門跨部會分工架構

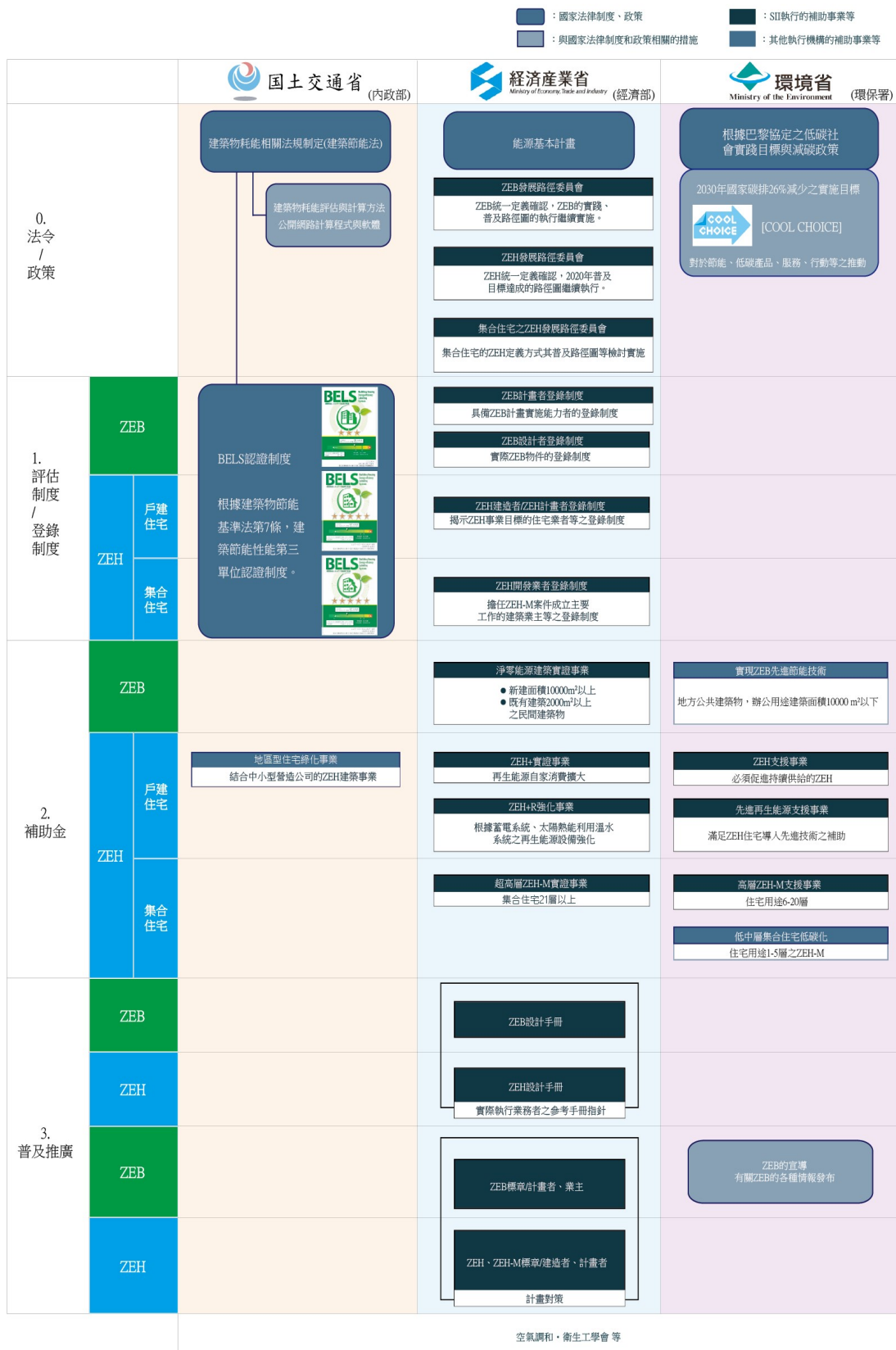


圖 3-2 日本零能源建築政策政府部門跨部會分工架構

日本從 2016 年 3 月開始實施 ZEH 建商支援補助業務，採取 ZEH 建築業者公開徵選、登記制度以及目標值公布等制度，從施行開始一年多，到 2018 年 1 月為止總共有 6,303 家登記，登錄的業者比預期多，對於 ZEH 制度的普及有正向意義。登錄之 ZEH 相關建築業者可申請 ZEH builder 標章，此標章可標示在受有第三方認證之節能評價住宅及 ZEH builder 所印製之住宅型錄上，以及實現 ZEH 所必要之高機能建材與高效率設備等。



資料來源：日本經產省

圖 3-3 ZEH Builder 和 ZEH Planner 標章

此一標章以 ZEH 之特徵，即「舒適之屋內環境」以及「好住的家」為象徵，在「節能生活」之樹葉象徵下予以一體化，依照申請次序發給登記號碼。此一標章制度與建築節能法第 7 條節能標章之 BELS（第三方認證制度）互相統合，個別住宅已受 ZEH 標章標示者，也同時取得 BELS 標章。

ZEB 在 2017 年開始，為 ZEB 普及化，對自主地採取相關措施之設計公司、設計施工公司、以及顧問公司等作為「ZEB planner」者，建築物所有人作為「ZEB leading owner」，透過補助金項目，促進登記數量擴大，繼續為實現 ZEB 時程表目標推進而努力，進行相關檢討。至 2018 年 5 月為止，ZEB planner 有 111 家公司登錄，ZEB leading owner 有 65 家公司，其設計標章如圖 3-3、3-4 所示。



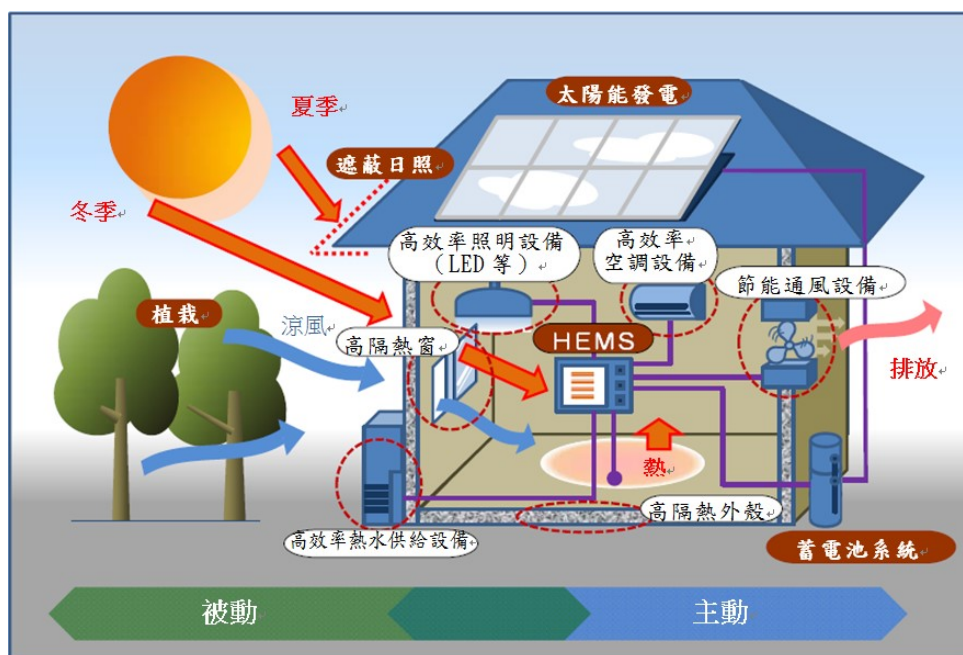
資料來源：日本經產省

圖 3-4 ZEB leading owner 及 ZEB planner 標章

二、ZEH 定義、政策對象及判斷基準

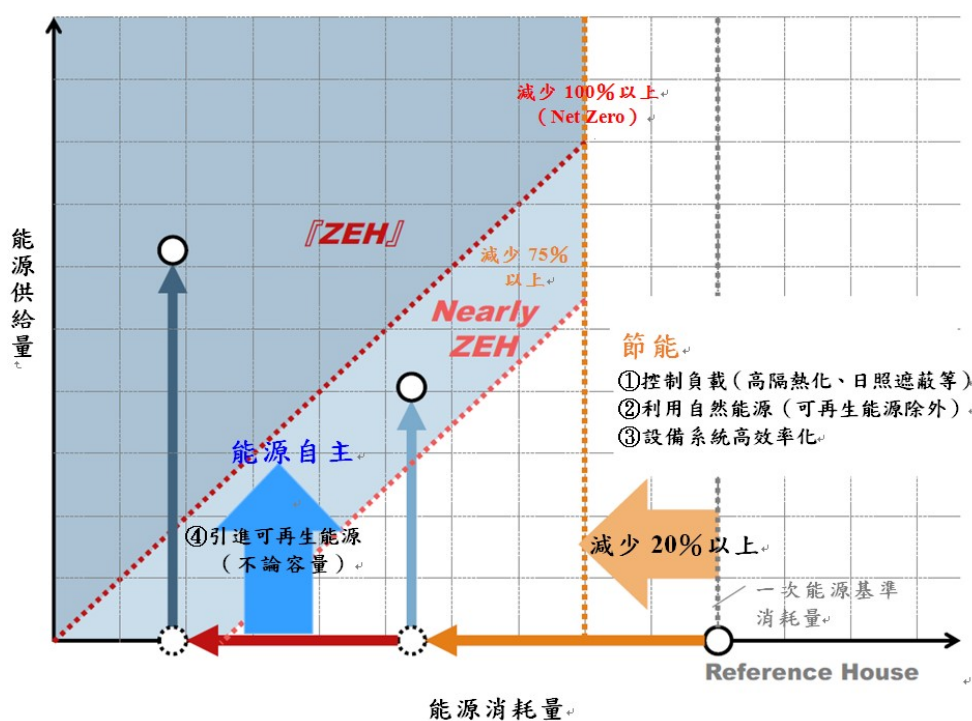
日本對於 ZEH 之定性定義係指「大幅提升外殼隔熱性能等的同時，藉由引進高效率設備系統，維持室內環境品質並實現大幅度節能，並透過引進可再生能源，目標為全年能源消耗量收支為零的住宅」，至於日本 ZEH 政策對象範圍為新建住宅。ZEH 之設計概念如圖 3-5，定義如圖 3-6 所示。為了普及 ZEH，日本將 ZEH 評估分為兩階段評定基準：

1. ZEH (NET · ZERO · ENERGY · HOUSE)：備有外殼高隔熱化及高效率節能設備，藉由可再生能源，使全年能源消耗量淨值為零或負值的住宅。
2. Nearly ZEH (Nearly · NET · ZERO · ENERGY · HOUSE)：著眼於 ZEH 的先進住宅，備有外殼高隔熱化及高效率節能設備，藉由可再生能源，使全年能源消耗量趨近於零的住宅。



資料來源：平成 26 年度補助住宅、建築物創新節能技術引進促進事業，日本經產省

圖 3-5 ZEH 設計概念圖



資料來源：平成 26 年度補助住宅、建築物創新節能技術引進促進事業，日本經產省

圖 3-6 ZEH 定義

在此情況下，為了確保今後數十年～半世紀住宅領域的能源節省，並打造優良住宅建物，對於竣工後難以做根本上改善的房屋主體及外殼，有必要在新建時引進高性能建材。惟住宅實際使用能源，受居住者家庭結構、年齡、氣候等影響甚大，故在設計階段很難全面預測、因應。因此，日本對於 ZEH 之評估，係針對設計階段做評估，而不包括營運使用階段。

ZEH 的判斷基準（定量定義），為滿足以下定量要件之住宅：

1. ZEH：完全符合以下①～③ 的住宅

- ① 滿足強化外殼基準（1～8 地區平成 28 年（2016）節能基準（確保 ηA 值、氣密・防結露性能等留意事項），且 UA 值 1、2 地區：相當於 $0.4 [W/m^2 K]$ 以下；3 地區：相當於 $0.5 [W/m^2 K]$ 以下；4～7 地區：相當於 $0.6 [W/m^2 K]$ 以下）。
- ② 除可再生能源之外，減少 20% 以上的一次性能源基準消耗量。
- ③ 加上可再生能源，減少 100% 以上的一次性能源基準消耗量。

2. Nearly ZEH：完全符合以下①～③ 的住宅

- ① 滿足強化外殼基準（1～8 地區平成 28 年（2016）節能基準（確保 ηA 值、氣密・防結露性能等留意事項），且 UA 值 1、2 地區：相當於 $0.4 [W/m^2 K]$ 以下；3 地區：相當於 $0.5 [W/m^2 K]$ 以下；4～7 地區：相當於 $0.6 [W/m^2 K]$ 以下）。
- ② 除可再生能源之外，減少 20% 以上的一次性能源基準消耗量。
- ② 加上可再生能源，減少 75% 以上、未滿 100% 的一次性能源基準消耗量。

3. Oriented ZEH：完全符合以下①～② 的住宅

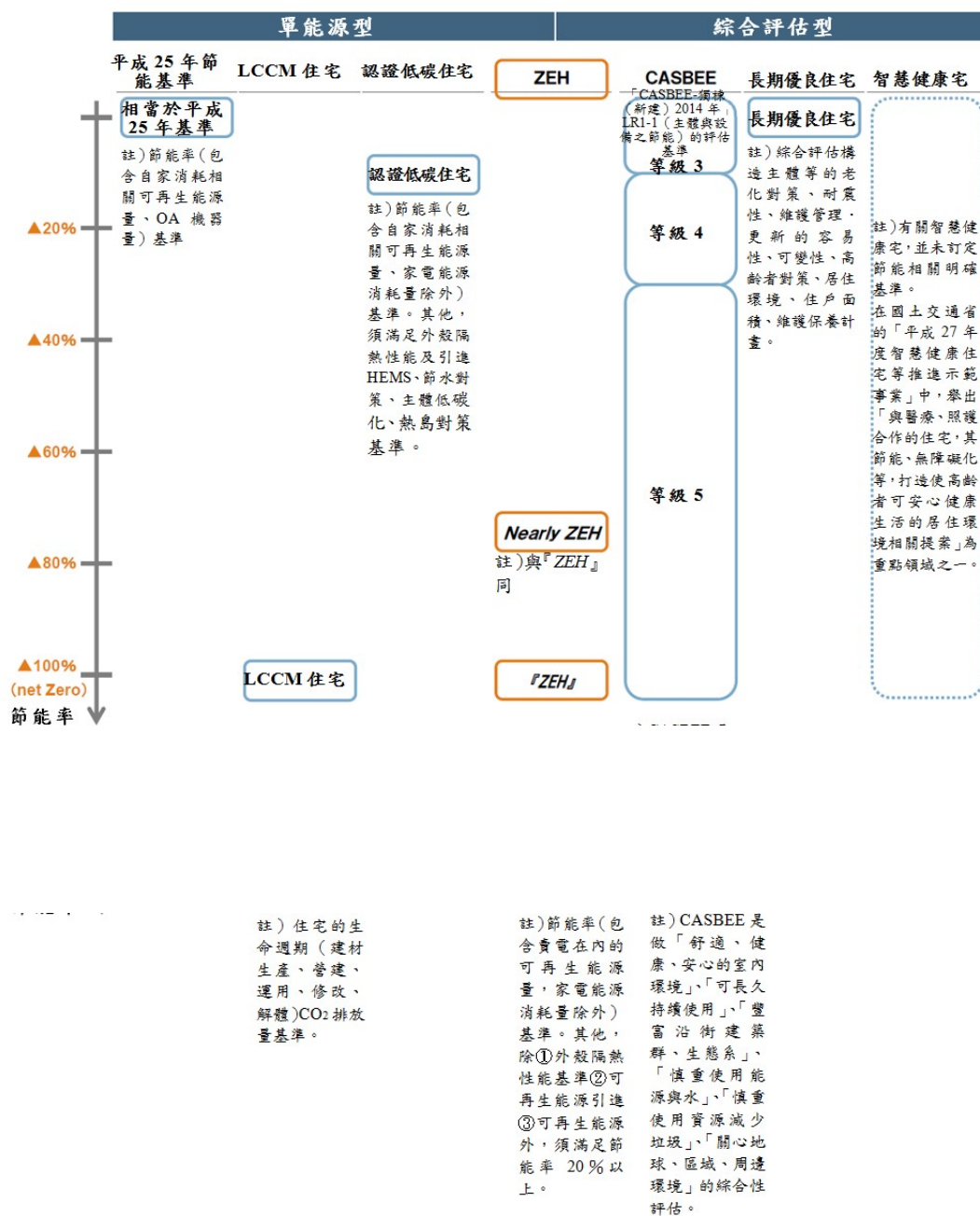
- ① 滿足強化外殼基準（1～8 地區平成 28 年（2016）節能基準（確保 ηA 值、氣密・防結露性能等留意事項），且 UA 值 1、2 地區：相當於 $0.4 [W/m^2 K]$ 以下；3 地區：相當於 $0.5 [W/m^2 K]$ 以下；4～7 地區：相當於 $0.6 [W/m^2 K]$ 以下）。
- ② 除可再生能源之外，減少 20% 以上的一次性能源基準消耗量。

日本於一次性能源基準消耗量、一次性能源設計消耗量的對象為冷暖氣、通風、熱水供給、照明。計算方法則依照平成 28 年（2016）節能基準訂定的方法。另因法令修改等需修正計算方法時，以最新節能基準的計算方法為準。

針對可再生能源量的對象，限定為基地內（on-site），自家消耗量、賣電量也列入對象。但是從能源自給的觀點出發，可再生能源不會全額收購，只會收購剩餘電力。此外，期待能活用蓄電池，貯存可再生能源，讓發電時間以外也可使用。

日本 ZEH 之目標對象為新建住宅中的新建獨棟住宅，推動集合住宅節能雖也是重要課題，不過，與該建築物的能源消耗量相比，產出可再生能源的面積（屋頂面積）受限，處於難以達成的狀況，故初期評估系統，將集合住宅從能源基本計畫的 ZEH 目標對象排除。2019 年起，納入集合住宅 ZEH-M 評定，定義集合住宅評定範圍，建立評估系統與指針手冊。

此外，日本存在許多認證低碳住宅、智慧健康宅、LCCM（Life Cycle Carbon Minus）住宅等類似制度，這些制度與 ZEH 的差異及關係，如圖 3-7 所示。日本經濟產業省資源能源廳，自平成 24 年度（2012 年）起，針對結合高隔熱性能之建築外殼、高性能設備及控制機構等，可達成全年一次性能源消耗量淨值為零之住宅，引進「住宅、建築物創新節能技術引進促進事業（NET ZERO ENERGY HOUSE 支援事業）」實施費用補助。日本平成 24 年(2012)~平成 26 年(2014)ZEH 補助事業概要如表 3-4 所示，平成 26 年(2014)補助件數達六千多件，政府年補助預算大約 100 億日元。日本平成 31 年（2019），增設集合住宅 ZEH-M 之評定制度與補助事業，單一案件補助金額可達 10 億日元，平成 31 年（2019）ZEH 補助事業概要如表 3-5 所示。

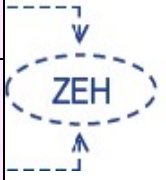


資料來源：平成 27 年 ZEH 路線圖審查委員會摘要，日本經產省

圖 3-7 ZEH 與低碳住宅、智慧健康宅、LCCM 住宅等制度比較圖

表 3-4 日本平成 24 年(2012)～平成 26 年(2014)ZEH 補助事業概要

	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H26 年度補助
隔熱性能 ()內為寒冷地區 數值	Q 值 1.9(1.4)以下	Q 值 1.9(1.4)以下	UA 值 0.6(0.4)以下 Q 值 1.9(1.4)以下	UA 值 0.6(0.4)以下 Q 值 1.9(1.4)以下
太陽能除外 一次性能源 減少消耗率	未設定要件 (但為審查項目)	未設定要件 (但為審查項目)	明白標示為審查 項目	設定 20%以上
其他	必須引進先進節 能系統	必須引進 PLUS ONE 系統	必須引進 PLUS ONE 系統	
太陽能發電	剩餘收購 (無上限)	剩餘收購 (無上限)	剩餘收購 (無上限)	剩餘收購 (上限為未滿 10Kw) ※
補助金額	補助對象費用 1/2 以內 上限 350 萬日圓	補助對象費用 1/2 以內 上限 350 萬日圓	補助對象費用 1/2 以內 上限 350 萬日圓	固定為 130 萬日 圓 (寒冷地區特別 規格為 150 萬日 圓)
補助對象費用計 算	隔熱及通風設備 採差額計價 設備採個別計價	隔熱可選擇簡易 計算或差額計價 設備採個別計價 (設定上限單價)	隔熱依性能採簡 易計算 設備採個別計價 (設定上限單價)	採定額制,故不需 要
實績(確定給付基 準)	443 件	1,055 件	938 件	6,146 件



※備註：太陽能板標稱最大輸出未滿 10kW，或電源調節器額定輸出未滿 10kW。

資料來源：平成 26 年度補助住宅、建築物創新節能技術引進促進事業，日本經產省

表 3-5 日本平成 31 年(2019) ZEH 補助事業概要

	補助對象	申請要件	補助金額	附註
ZEH	ZEH Nearly ZEH(寒冷、低日射、多雪區域限定) ZEH Oriented(都市建築限定)	1. 符合 ZEH 定義之住宅建築 2.SII 登錄之建造者、設計、計畫者	70 萬日元/戶	一般公開
ZEH+實證事業	ZEH+ Nearly ZEH+(寒冷、低日射、多雪區域限定)	1. 符合 ZEH+定義之住宅建築 2.SII 登錄之建造者、設計、計畫者	115 萬日元/戶	限定補助件數
ZEH+R 強化事業	ZEH+ Nearly ZEH+(寒冷、低日射、多雪區域限定)	1. 符合 ZEH+R 定義之住宅建築 2.SII 登錄之建造者、設計、計畫者	125 萬日元/戶，外加： 1.蓄電系統購入費用 2 萬日元/kWh， 2.太陽能熱水系統購入費用	先進再生能源、新建材工法導入事業。
超高層 ZEH-M	住宅用途建築 21 層樓以上之集合住宅 ZEH-M	1. 符合 ZEH-M 定義之超高層集合住宅建築 2.SII 登錄之建造者、設計、計畫者	工程經費 2/3 以內， 上限 5 億日元/年、10 億日元/單位	案件審查
高層 ZEH-M	住宅用途建築 6-20 層樓之集合住宅 ZEH-M	1. 符合 ZEH-M 定義之高層住宅建築 2.SII 登錄之建造者、設計、計畫者	工程經費 1/2 以內， 上限 4 億日元/年、8 億日元/單位	案件審查

資料來源：平成 26 年度補助住宅、建築物創新節能技術引進促進事業，日本經產省

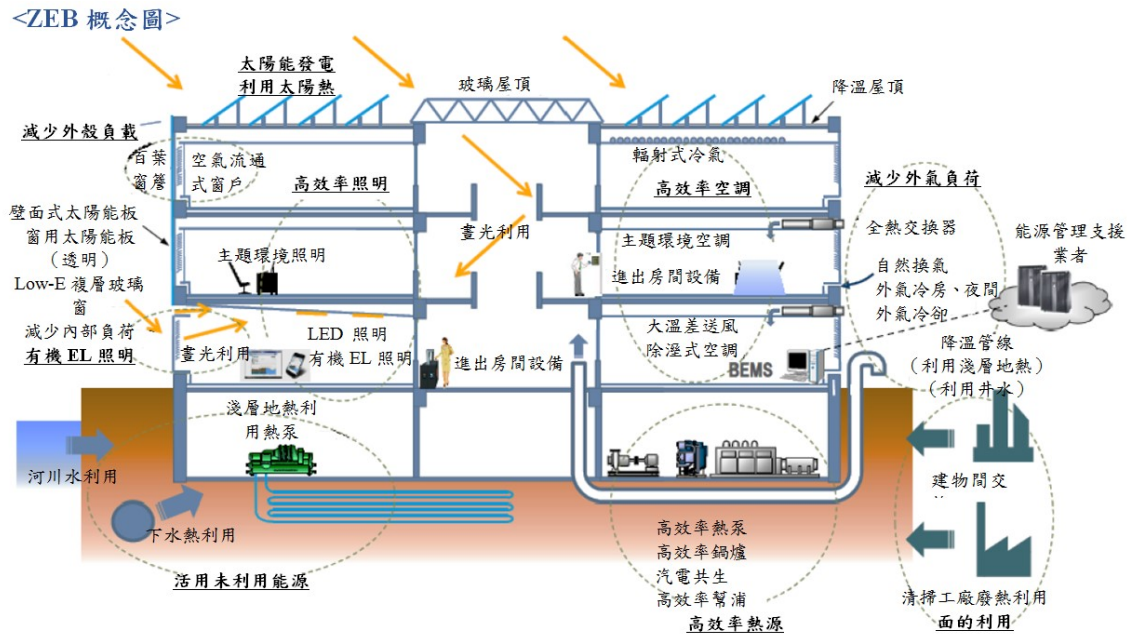
三、ZEB 定義、政策對象及判斷基準

所謂 ZEB 之定性定義是指「藉由先進的建築設計，控制能源負載；透過採用被動技術，積極活用自然能源；經由引進高效率設備系統，維持室內環境品質並實現大幅節能；並藉由引進可再生能源，極力提高能源自主程度；目標為全年一次性能源消耗量收支為零的建築物」。

ZEB 設計階段的重點是：最大限度活用隔熱、遮蔽日照、自然換氣、自然光利用等建築規劃手法(被動手法)，提升壽命長、修改困難的建築外殼之隔熱性能，並在建築設備上加以升級，即所謂分層處理的設計概念。此外考量營運使用階段，很難評估建築物的運作時間、人口密度、氣候、承租者狀況等影響建築物能耗表現之部分，因此，ZEB 只針對設計階段評估。另 ZEB 政策對象範圍為新建建築物、不包含新建獨棟住宅。

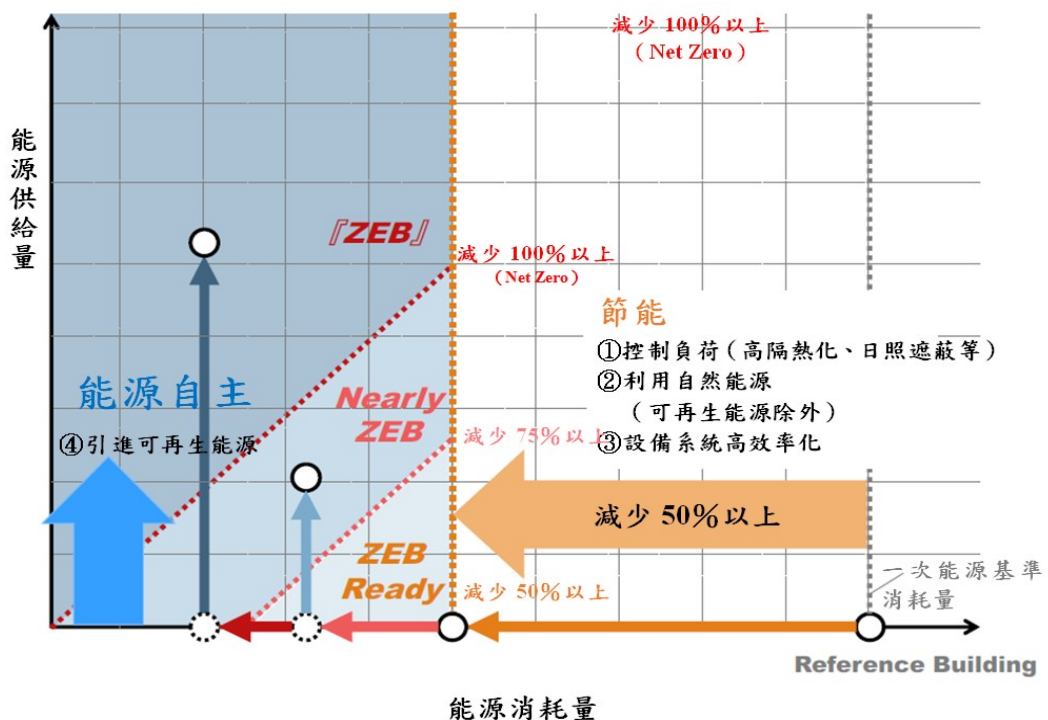
ZEB 之概念如圖 3-8，定義如圖 3-9 所示。為了普及 ZEB，依據上述，ZEB 又可分為：

1. ZEB (NET · ZERO · ENERGY · BUILDING)：全年一次性能源消耗量淨值為零或負值的建築物。
2. Nearly ZEB (Nearly · NET · ZERO · ENERGY · BUILDING)：近乎 ZEB 的建築物，滿足 ZEB Ready 的要件，並藉由可再生能源，使全年一次性能源消耗量趨近於零的建築物。
3. ZEB Ready (NET · ZERO · ENERGY · BUILDING · Ready)：著眼於 ZEB 的先進技術，具備外殼高隔熱化及高效率節能設備的建築物。



資料來源：平成 26 年度補助住宅、建築物創新節能技術引進促進事業，日本經產省

圖 3-8 日本 ZEB 概念圖



資料來源：平成 26 年度補助住宅、建築物創新節能技術引進促進事業，日本經產省

圖 3-9 日本 ZEB 定義

至於 ZEB 的判斷基準（定量定義），為滿足以下定量要件之建築物：

1. ZEB：完全符合以下①～②的建築物

①扣除可再生能源，減少 50% 以上的一次性能源基準消耗量。

②加上可再生能源，減少 100% 以上的一次性能源基準消耗量。

2. Nearly ZEB：完全符合以下①～②的建築物

①扣除可再生能源，減少 50% 以上的一次性能源基準消耗量。

②加上可再生能源，減少 75% 以上、未滿 100% 的一次性能源基準消耗量。

3. ZEB Ready：扣除可再生能源，減少 50% 以上的一次性能源基準消耗量。

總面積超過 10,000 m² 的建築物在實現 ZEB Ready 時，由於屬於大規模平面計畫，被動技術的效果相對變低許多，也因為位在高樓層，空調等輸送熱能消耗的能源變多，維持、提升室內環境品質所必備的設備數量增加，而且全體設備維持最佳化狀態的技術門檻變高等，因為這些課題，導致實現目標的困難度大增。因此，在 ZEB 的定義上，以總面積超過 10,000 m² 的建築物為對象，追加「ZEB Oriented」，並且為使整棟建築物(非住宅部分)都能進行 ZEB 評價的複合用途建築物，可以從建築物(非住宅部分)之中選擇一部分建物用途進行評價，應擴充複合用途建築物評價 ZEB 的方法。ZEB Oriented 評價示意，如圖 3-10 所示。

(1) ZEB Oriented (定性定義)

- ZEB Oriented 係指「以 ZEB Ready 為目標的建築物，除了外觀高性能化及設置高效率節能設備外，亦採取更進一步節能措施的建築物」。

(2) ZEB Oriented 適用對象

- 建築物總面積⁷超過 10,000 m² 的建築物。

(3) ZEB Oriented 判斷基準(定量定義)

- 係指符合下列①及②定量要件的建築物。

①不包括可再生能源在內，各建物用途一次性能源基本消耗量減少下列規定的一次性能源消耗量(※1)⁸。

⁷本定義中的總面積依照建築物節能法的定義。

⁸一次性能源消耗量減少率相當於建築物節能標示制度(BELS)中，以星星符號分 5 等級標示的五星水準。

- A) 事務所等、學校等、工廠等一次性能源消耗量減少 40%以上
- B) 飯店等、醫院等、百貨公司等、餐飲店等、集會場所等一次性能源消耗量減少 30%以上
- ②「更進一步節能措施」引進未評價技術(現階段 WEBPRO 未評價的技術)(※2)。

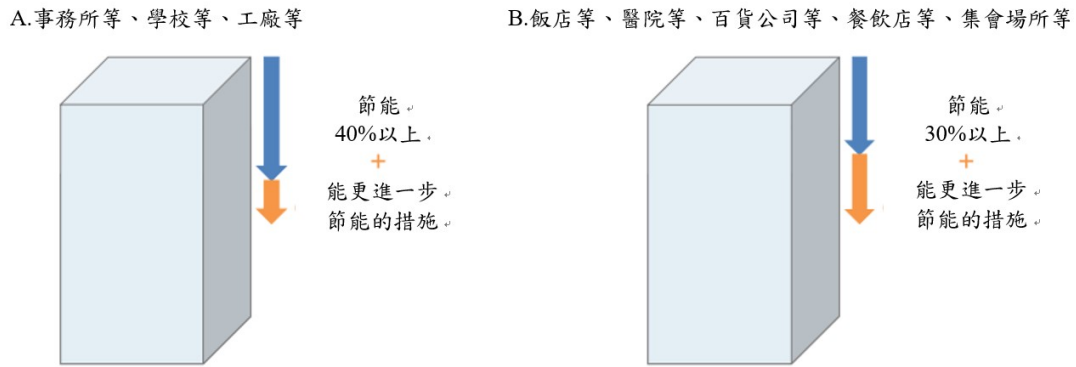


圖 3-10ZEB Oriented 評價示意圖

- ※1 一次性能源消耗量的對象為平成 28(2016)年節能基準中，所規定的空調設備、空調設備以外的機械性換氣設備、照明設備、熱水供應設備及升降機(「其他一次性能源消耗量」除外)。此外，計算時遵照最新版節能基準，或與其同等的方法進行計算。
- ※2 未評價技術適用對象為公益社團法人空調暨衛生工學會，評估節能效果高並對外公佈的項目。

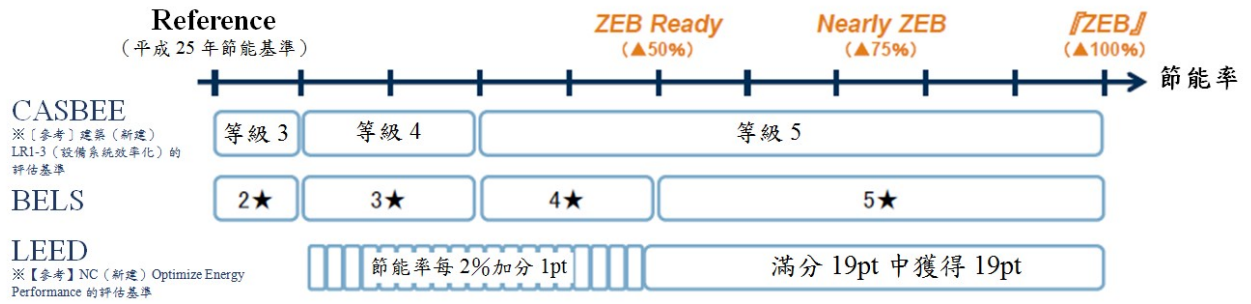
一次性能源消耗量的對象，為平成 28 年(2016)節能基準訂定的空氣調節設備、空氣調節設備以外的機械通風設備、照明設備、熱水供給設備及電梯(扣除「其他一次性能源消耗量」)。另外，可再生能源量的對象，限定為基地內(on-site)，自家消耗量、賣電量也列入對象。但有鑑於能源自給的宗旨，可再生能源不會全額收購，應以收購剩餘電力為前提。

ZEB 與現階段的建築物節能性能標示制度 BELS (Building Energy-efficiency Labeling System)、建築環境綜合性能評估系統 CASBEE(Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) 及美國綠建築基準 LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) 之定位比較如表 3-6 及圖 3-11 所示。

表 3-6 BELS、CASBEE 及 LEED 系統比較表

	CASBEE 建築環境綜合性能評鑑系統	BELS 建築物節能性能標示制度	LEED Leadership in Energy & Environmental Design
評估要件	◎ 建築物生命週期、◎ 「環境品質(Q)」與「環境負荷(L)」、◎ 以環境效率概念為基礎的評估指標「BEE(Built Environment Efficiency) 」 - 三個觀點做評鑑 - 評鑑結果分為 S 級 (BEE3.0 且 Q50 以上)、A 級 (BEE1.5 以上)、B+級 (BEE1.0 以上)、B-級 (BEE0.5 以上)、C 級 (未滿 BEE0.5) 5 等級	- 以新建、既有非住宅建築為對象，評估一次性能源消耗量及 BEI(Building Energy Index=設計一次性能源/基準一次性能源) - 評鑑結果分成 5★ (BEI≤0.5)、4★ (0.5<BEI≤0.7)、3★ (0.7<BEI≤0.9)、2★ (0.9<BEI≤1.0)、1★ (1.0<BEI≤1.1 ※僅既有) 5 等級	- 由◎ Sustainable Sites、◎ Water Efficiency、◎ Energy & Atmosphere、◎ Material & Resources、◎ Indoor Environmental Quality、◎ Innovation Design、◎ Regional Priority 等 7 個觀點評估 - 評鑑結果分為 Certified (40~49pt)、Silver (50~59pt)、Gold (60~79pt)、Platinum (80pt~) 4 等級
標章			

資料來源：平成 26 年度補助住宅、建築物創新節能技術引進促進事業，日本經產省



註：

1. 上圖 CASBEE、LEED 的評估軸，不光是一次性能源消耗量，又 LEED 的基準值，也不是以節能法為基礎的一次性能源基準消耗量，只是權且當做目標值，用做部分評估項目相關記述。
2. BELS(BEI)是由一次性能源基準消耗量來評估節能量，因此，數值上接近 ZEB 定義，不過，在 ZEB 的「未計入插座負荷之能源消耗量」「可再生能源包含賣電部分」這兩點上，則有數值上差異。
3. BELS、CASBEE 今後也有修訂的可能性，另在 LEED 下一版 v5 中，也正研討把 ZEB(Zero Impact)列為評估對象。

資料來源：平成 27 年 ZEB 路線圖審查委員會摘要，日本經產省

圖 3-11 BELS、CASBEE、LEED 等級與 ZEB 的相對關係圖

第二節 近零能耗建築物 (nZEB) 之案例分析

零碳建築的實踐，現階段仍有其技術上的困難與挑戰，茲列舉下列全球先進永續綠建築技術發展的零碳建築實踐案例分析，以茲參考。

一、英國光屋(Kingspan Light House)

面對氣候變遷和全球暖化的議題，英國政府企圖透過零碳建築為目標，降低二氧化碳排放量。英國零碳住宅定義，就是不消耗石化材料為來源的電力、暖房及相關住宅使用的能源，表示新建住宅必須要盡量減少能源消耗的可能性，且裝設太陽能或風力發電系統等再生能源系統與市電系統併聯，由住戶回送電力至國家電網系統，達到電力供需平衡，並採用微型燃燒生質燃料或木質燃料的鍋爐等相關技術，以減少瓦斯的使用。英國研究中心(BRE)整合各項新技術，興建了九棟低碳至零碳排放的建築物，作為英國建築業新建零碳排放住宅的技術模型典範，其中光屋(Kingspan Light House)完工於 2007 年，是英國第一棟零碳住宅範例，如圖 3-12 所示。



圖 3-12 英國光屋(Kingspan Light House)^[B1]

英國光屋(Kingspan Light House)於整體結構系統採用具有固定二氧化碳功能的木頭作為主要建材，且主體結構為特殊三明治牆板之木造牆體，中間層包覆對臭氣無害的保溫材料，建築物外殼達到良好之氣密及保溫能力。於整體空間規劃上，為了配合暖房能源需求，將客廳、餐廳等大眾空間配置於二樓，臥室私人空間則配置在一樓，而個人工作室則配置在三樓。另外臥室採用高窗設計，確保個

人私密性及採光需求，而臥室開窗面積較小，以避免夏季南向過量的日射量造成室內不舒適的情形，如圖 3-13 所示。

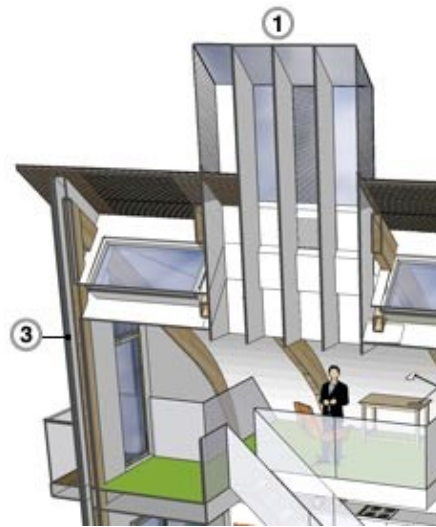


圖 3-13 英國光屋(Kingspan Light House)整體空間規劃^[D2]

光屋因建築物所在基地與位置座向為坐西朝東，因此，建築物斜屋頂以將近 40 度角由北向南傾斜，可取得夏季最大陽光直射角，確保裝設於斜屋頂的太陽能光電板和太陽能熱水器可發揮最大效能。此外，雨水也藉由這斜屋頂蒐集至埋設於地下的雨水回收箱內，用來灌溉以及回收作為廁所馬桶沖洗使用，如圖 3-14 所示。

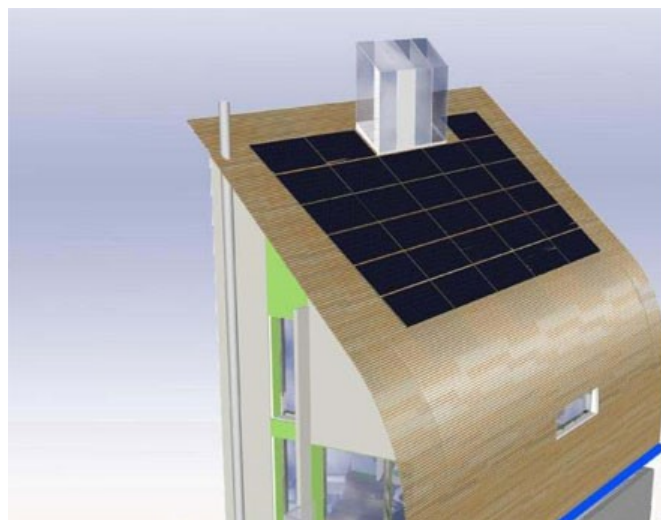


圖 3-14 英國光屋節能手法^[D2]

二樓客廳部分，為了避免夏季強烈且過多的日射量經開口部直接進入室內，

故於西南側外牆設計延伸的外遮陽系統，降低室內過熱及不舒適的情形，如圖 3-15 所示。



圖 3-15 英國光屋外觀^[D2]

除了雨水回收外，本案一樓的廁所亦設置了中水回收系統，收集二樓廚房洗碗機及洗衣機所排放的廢水，配合雨水回收系統的水一起供應作為沖洗馬桶使用，約可以節省家庭用水的 30%。英國光屋使用階段各項耗能之比例，其中生活熱水佔日常耗能最大宗約為 35%，但此棟建築物每年無須負擔任何電力費用，其所使用電力皆來自於斜屋頂所設置之太陽能光電板，符合經濟及環保需求。但該建築每年須採購生質燃料以維持冬天暖房之需求。英國光屋零耗能設計配置是透過各項節能手法設計，若將英國光屋與 2001 年境內建築之耗能比較，英國光屋總耗能量僅約一般同尺寸建築物的 1/3。該建築實際消耗的電力為 $47\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ ，但由於淨零能源是採用初級能源(PrimaryEnergy)為計算單位，因此必須乘上初級能源的係數再換算成初級能源（依據 EN15603），故每年的初級能源消耗預設值為 $166\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ 。由於其再生能源可供應 $192\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ ，故該案例不僅達成零能源的目標，還有多出 $26\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ 的可再生能源被使用。

二、英國巴瑞特綠屋(Barratt Green House)

Barratt Green house 是一個旨在展示和檢討可用於住宅環境的新材料和技術的計畫，位於 Watford 的 BRE Innovation Park 內，目前為樣品屋展示用，尚未實際建造為真實建物。建築物外觀如圖 3-16 所示。

該建築由建築師 Gaunt Francis 設計，其符合可持續住宅規範的第 6 級和政府的零印花稅標準。其背後的理念是該住宅具有高度的可持續性、採用可再生能源、智能科技、節能以及其易施工的工法。Green House 擁有許多尖端的技術，幫助其達成較高水準之零碳認證，透過建築設計、設備、材料與技術等三方進行零碳設計操作，詳如圖 3-17 及其下述說明。



圖 3-16 巴瑞特綠屋外觀照片^[D20]



圖 3-17 Barratt Green house 零碳設計操作手法示意圖^[D20]

（一）設計操作方面

1. 靈活運用的內部空間可有不同的空間佈局，以適應不斷變化的家庭需求。
2. 三層玻璃和木質框架可以提供足夠的採光空間，使日光照射到住宿的深處。
3. 其獨特的百葉窗可優化太陽能增益，控制過熱並防止眩光，同時達到隔熱的效果。
4. 具有熱回收的機械通風系統利用來自建築物排出的熱空氣來加熱進入的新鮮空氣，並通過管道系統將其循環到房間。
5. 朝南屋頂的太陽能光伏電池

（二）設備方面

1. 屋頂植被:朝北的屋頂覆蓋植被，擴大當地的生態系統。
2. 自動式百葉窗:由於夏季陽光強烈，利用電腦控制百葉窗，限制陽光照射量以減少室內熱量積聚。
3. 大氣熱量轉換:其中央設備由空氣中提取熱量，提高室內溫度及將水加熱。
4. 與人互動之房屋:電力及網路分布於房屋周圍，以及藏於地板下無處不在的有線和無線網路。
5. 自動控制:用於住宅的電腦控制系統以確保最佳的操作方式，具有最小的使用者輸入，並提供音樂及數據中央儲存設施。
6. 太陽能:設置朝向南方的光伏電池為住宅內的設備提供電力。
7. 通氣控制:機械通風確保屋內空氣清新及乾淨，不會讓冷空氣直通。
8. 超級隔絕材料: 180 毫米厚度之高性能隔熱材料包裹整個房屋牆壁，以保持住宅內的熱量。
9. 較厚的地板:具有光滑天花板飾面的混凝土地板將空氣與房屋的質量聯繫起來，有助於緩和內部溫度波動。
10. 三層玻璃:絕緣木框架中的高性能玻璃有助於保持熱量。

(三) 材料與技術

1. 外牆採用 180mm 泡沫絕緣的混凝土牆
2. 加氣混凝土面板結構中的高質量熱量，減少了加熱和冷卻需求
3. 高性能三層玻璃和百葉窗，可優化太陽能增益，控制過熱並防止眩光
4. 熱回收機械通風系統
5. 計算機控制系統，確保建築服務的最佳運行並提供中央數據存儲設施
6. 大金(品牌)的太陽能光伏，太陽能熱能和空氣源熱泵
7. 全部使用 FSC 木材
8. 雨水收集
9. 景天植物屋頂

三、可再生房屋 (The Renewable House)

國家非糧食作物中心 (NNFCC) 於 2009 年在能源與氣候變化部 (DECC) 的支持下建造了這座房屋。可再生房屋展示了可再生材料的可持續性，但不會影響設計或價格。可再生房的成本僅為 75,000 英鎊，不包括地面工程和公用設施，因此特別適合可負擔經濟的房市。這個概念設計為三居室獨立式住宅，也可以擴展到半獨立式和梯形式住宅。有關於可再生房屋於建築設計、設備、材料與技術之操作手法詳如圖 3-18、3-19 及其說明。



圖 3-18 The Renewable House 建築外觀照片^[D19]

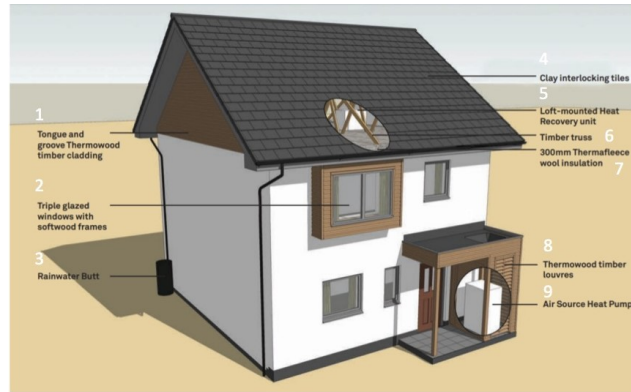


圖 3-19 Barratt Green house 零碳設計操作手法示意圖^[D19]

(一) 設計操作方面

開發商指出，所有使用的產品均採用可再生材料製成，可提供高水平的隔熱，透氣性和氣密性。選擇 Multi-Pro XS 是因為它採用環保的製造工藝，因為它是一種低風險的建築產品，切割時不會產生有害的灰塵或碎屑。

對於 BRE 的可再生房屋，總建造時間為 12 週，從 2009 年 1 月至 2009 年 4 月。可再生材料的特性使其成為一個有吸引力，健康和舒適的家庭，提供高水平的隔熱，透氣性和氣密性，而不是提到構建的速度。Multi-Pro XS 能夠被刻劃並折疊成尺寸並直接固定到木框架上。

(二) 設備方面

1. 榫槽加熱木材覆層
2. 三層玻璃窗，帶軟木框架
3. 雨水對接
4. 粘土互鎖瓷磚
5. 閣樓式熱回收裝置
6. 木桁架
7. 300mm 羊毛保溫
8. 木材百葉窗
9. 空氣源熱泵

（三）材料與技術

1. Hemcrete，大麻和石灰的混合物，用於木框架牆壁。
2. 木材和 Hemcrete 結構以及 FSC 認證的木窗，提供低 U 值和良好的氣密性。
3. 由英國羊毛製成的 Thermafleece TM 隔熱材料也可以減少碳足跡，油漆和家具中的可再生材料可提供舒適的環境。
4. 杜邦公司生產的新型生物可再生地毯由玉米和糖製成。
5. 油漆和家具中的可再生材料提供了舒適的環境。
6. 仔細注意細節可以最大限度地減少冷橋接並最大限度地提高絕緣性。
7. 木材和 Hemcrete®結構，以及 FSC 認證的木材窗口，提供低 U 值和高氣密性。

故隨著 BRE 可再生房屋可能會影響當地的未來建築，新建築可能包括更多的可再生材料，這些材料不僅長期具有成本效益。像這樣的家庭的潛在發展也可以減少當地對化石燃料的依賴，減少產生的二氧化碳排放，並鼓勵企業，並使英國處於新興產業的最前沿。

四、美國麻州丹佛^[D3]

美國國家標準與技術研究院（NIST）為了將零耗能建築於建材、結構關乎其產能耗能結果進行標準化，在 2011 年擬定了「零耗能房屋實驗計畫」（Pettit, Gates, Fanney & Healy, 2015）。零能耗房屋是使用可再生能源在現場產生的能量來滿足房屋的所有能源需求的房屋。零能耗房屋獨立於所有場外能源，必須具備在現場收穫和儲存能源的能力。大多數房主沒有足夠的資源來滿足這些標準，即獲得現場清潔和可再生能源，足夠的儲能能力以及持續不足的能源使用。另一方面，淨零能源房屋是指一年內消耗的能源總量小於或等於該年度現場產生的能源總量的房屋。雖然這仍然需要現場發電，但是零淨能源房屋連接到電網，並且電網充當現場產生的能量的“存儲”，其不立即被消耗。



圖 3-20 零耗能實驗房屋^[D18]

在總居住面積 252 平方公尺的地下一樓、地上二樓住宅裡住了一個虛擬家庭，成員是皆為上班族的爸爸、媽媽，和一個 14 歲與一個 8 歲的孩子。此房屋的建材選用加強隔熱，窗戶三層設計、牆壁結構多層設計讓屋內溫度穩定，屋頂設計加強對流降溫，使建築外殼熱負荷量降低、提高建築隔熱性能以及降低室內外熱交換率。在軟體上，屋內有多處設有感應器來感應室內溫度狀況而進行最佳化控制，根據家庭生活習慣來做能量最適化的配置，達到省能的目標。除了降低耗能之外，就是生產能源，此團隊根據當地環境條件於房子屋頂裝置 32 個太陽能電板、以及利用太陽的能量來加熱水。未來目標還有加裝燃料電池以及利用地熱等等能源來產能。

目前的實驗結果，於 2013 到 2014 年間，恰巧遇到美國大風雪肆虐，平均下雪的天數比往年要多出 38 天，這一年來能源消耗為 13,086 度，高出了原先預估的 3,000 度，但依然比在平均年溫較高的氣候下的一般住房（27,000 度）較為低。除此之外，在這樣嚴峻的環境下，屋頂被雪長期覆蓋，生產的能源仍有 13,577 度，房屋淨產了 491 度。根據這樣的實驗結果，美國國家標準與技術研究院甚至指出，

倘若將每年多產出的能源來提供家用電動車使用，此電動車將可行駛 2,304 公里之遠 (DuRant, 2014)。此實驗計畫在今年 8 月更提出了屋內空氣感測器的監視結果，發現當初在建材的選用低揮發性有機物質並在施工過程講究其封裝、且在屋頂增添的對流系統，而確保了擁有隔熱效果的醛類材料，並無污染屋內空氣品質 (Bello, 2015)。

設計淨零能耗房屋的十大原則

原則 1：舒適性和功能性設計

原則 2：建立密閉的建築外殼結構

原則 3：提供可控通風

原則 4：安裝超過當前能源規範要求的絕緣材料

原則 5：建築外殼結構的水和濕度控制

原則 6：在現場配置最大化之可再生能源

原則 7：選擇高效的機械設備

原則 8：選擇有效的照明佈局，固定裝置和電器

原則 9：使用能量建模來進一步減少和投射總能量

原則 10：系統的協調和調適

五、零碳天地(Zero Carbon Building)^[D3]

根據文獻資料顯示，在香港的總耗電量中，建築物用電量佔了將近 90%。而全香港地區整體溫室氣體排放量也有 60% 源自於建築物，相較於其他行業顯得相當高。由此可見，建築業在減少溫室氣體減排放量中扮演著極其重要的角色。因此，香港政府積極建立了首座零碳建築案例-零碳天地(Zero Carbon Building)，如圖 3-21 與圖 3-22 所示，其目的在於向大眾展示環保建築之尖端科技及先進設計，經由統計約可節省 20% 的能源。零碳天地之建築零碳策略及手法如下所述。

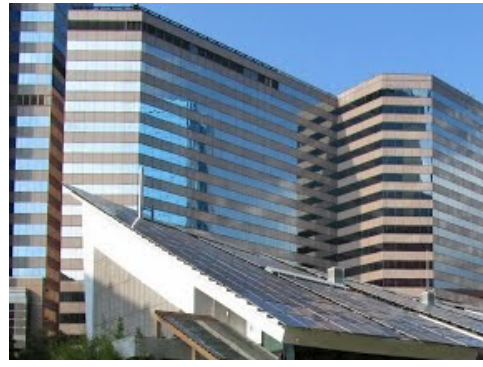


圖 3-21 零碳天地(Zero Carbon Building)外觀^[D8]



圖 3-22 零碳天地(Zero Carbon Building)全景^[D8]

(一) 誘導式設計

被動式設計係指利用天然元素來達到節能效果，例如：運用陽光和風力來加熱或降溫效果，或是作為建築物的照明。被動式設計系統對於維修的要求較少，可以通過減少或去除使用於調節室溫及燈光的控制系統，來降低建築能源消耗。

1. 對流通風佈局：環境設計策略中利用空氣由大廈或房間的一邊進入，流動至另一側離開，可有效紓緩潮濕天氣所帶來的不舒適感覺，並達到節能之目的。
2. 捕風器：此裝置是引進新鮮自然風使建築物進行通風的裝置，於屋頂建造一座塔，其頂部設有可擋風的天窗，且溫度較建築內部為低。由於天窗引進的風速較建築物中低層窗戶的風速大得多，吹進塔內的空氣將被風的壓力壓迫進入室內，達到冷卻室內溫度之效果。
3. 地中預冷管：地中管設施是利用地面下較低溫且新鮮之空氣進行預冷，以便有效減少空調系統的負荷及能源使用，新鮮空氣由基地東北面的管道吸入，經過溫度較低的地底來達到預先冷卻之效果。

4. 高性能玻璃帷幕牆系統：高性能玻璃帷幕牆系統之隔熱及採光效果優於一般玻璃帷幕牆，可有效降低空調系統的負荷及對人工照明的依賴，以減少能源消耗。另外於表面加上低透射性塗層以反射熱量，減少熱量吸收。
5. 超低總熱傳送值：主要採用合適的窗牆比率，設計上在東南立面設置外伸屋簷及室外遮陽設計，減少東西立面開口或窗戶，選擇高性能玻璃帷幕牆系統，採用適當遮陽及隔熱屋頂之設計手法，一棟建築物的總熱傳送值越低，其建築能源效益就越高。
6. 北向玻璃帷幕牆：採用錐形建築形態不但加強通風效果，而且減少東南立面所吸收的太陽熱量，並增加西北立面引進的日光。
7. 反光板及導光管：根據太陽軌跡幾何學運作的系統，把日光反射到天花板，由高處為整個室內空間提供自然採光，反光板以約 20 度之傾斜為室內提供較佳的自然採光。利用高性能反射管道設施，反射並引導從屋頂收集的太陽光線到室內來提供照明。
8. 熱反射窗簾：建築內部配置鋁表層的膠膜作為室內遮陽，透過窗戶導板反射太陽熱能，鋁表層因其低放射性，只於室內排放所吸收熱量的 3%至 5%，夏天將熱量反射出去，冬天減低室內熱量流失，並可阻擋 92%的紫外線減低 8%熱負荷。
9. 降溫油漆：利用高太陽能反射率及高熱能發射率，散發建築物所吸收的熱量，降低表面溫度可達攝氏 5 度，減少熱量由外傳送至室內，同時有利於減輕熱島效應。
10. 室外遮陽：利用室外遮陽設置來降低日照直接進入室內，於東南立面設置深長屋簷以阻擋高角度的陽光，另於西北向立面設置垂直遮陽鰭片可遮擋傍晚的陽光，且室外遮陽選擇淺色材料來降低室內眩光之風險。

（二）設備機械設計

主動式設計係指電力和機械設備系統，例如加熱、通風及空調系統(HVAC)

及照明系統。本案採用了具節約能源效益的設備系統，與同類建築相比可節省約 25% 的能源。

1. 高風量低轉速風扇：優點為低轉速下仍能產生強大氣流，此扇葉轉動時產生的噪音低，室內大型天花吊扇運用特殊刀片設計原理，產生大量的空氣移動來加速人體散熱，高風量低轉速風扇亦可有效減少使用空調的時間。
2. 高溫空調系統：利用冷卻和抽濕系統兩者分開設計原理，可節省空調所需的能源，室內仍可保有舒適乾爽，而高溫空調系統包括冷凝管、地下置換式供冷及乾燥劑除濕三種形式。其中傳統冷氣系統同時供冷和除濕，但零碳天地則是利用乾燥劑的轉輪系統獨立除濕，避免利用過冷來除濕的方法。冷空氣由地下送出，收集使用者的熱量再向上升，創造一個健康的環境，減少細菌蔓延，且將污濁的空氣於天花板附近抽走。
3. 智慧化照明管理：採用可根據建築物室內人數、個人需求及自然光強度來進行控制的自動照明控制，零碳天地依照採光及使用需要進行分區，每個區域所需要的光度及使用情況皆由感應系統自動控制和調整。
4. 活動天窗：活動天窗是一個設有傾斜遮陽擋板的屋頂天窗設計，天窗可依需求調整，以獲得最大採光及遮陽效果。鰭片的遮光角度可根據太陽運行的路徑，透過電腦程式及感應器控制，有效地發揮遮陽及採光功能，天窗同時可把日光擴散至室內，避免陽光直射並減少進入室內的熱量。
5. 工作照明：工作照明提供一個具能源效益及供個人操控的照明方式，有需要時才亮燈，可節省環境燈光使用的能源，可依不同功能需要及人們的視覺差異來進行調整使用。
6. 電梯再生能源系統：配備再生轉換器以回收及使用機組自動操作模式時所產生的能量，電梯非滿載上行或滿載下行均可產電，產電量則取決於負荷情況、運行距離、使用頻率及電梯效率。

(三) 可再生能源

可再生能源是指可持續循環再生的乾淨天然能源，包括生物能源發電、水力發電、地熱發電、太陽能、潮汐發電、海浪發電及風力發電。零碳天地採用可再生能源設備就地發電，安裝了太陽能光電板進行太陽能發電，以及利用廢棄食油煉成的生物柴油發電。

1. 太陽能光電板：太陽能光電(PV)板是從陽光吸收能量以產生電力的裝置，本案採用三種形式的太陽能光電板，包含傾斜屋頂上的多晶硅太陽能光電板，覆蓋觀景台的光電建築一體化系統，及整合在造型空氣樹上的圓筒形銅銦鎳硒（CIGS）太陽能光電板，其中圓筒形 CIGS 太陽能光電板能夠同時吸收直射陽光和地面反射光線作為發電用途。零碳天地(Zero Carbon Building)總共設置了太陽能板面積高達 1,015m²，每年共可提供約 8.7 萬度電。零碳天地之太陽能電池設備外觀，如圖 3-23 所示。

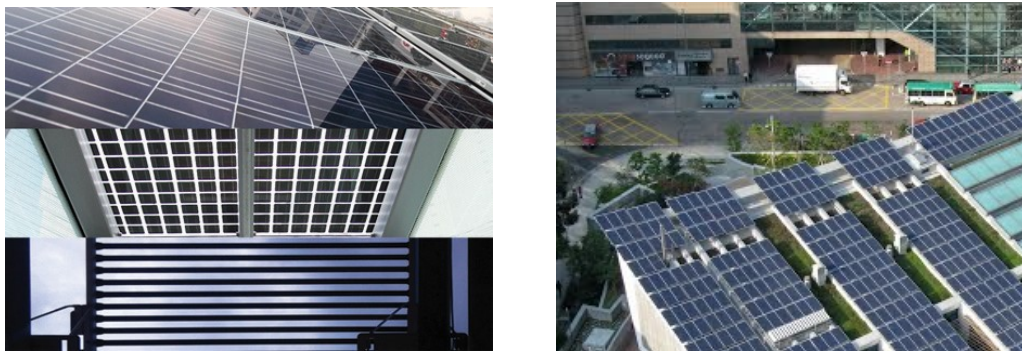


圖 3-23 太陽能電池板^[D3]

2. 生質燃料：生物燃料是一種有機物質的燃料，直接從植物或間接從農業、商業、家居及工業廢棄物製成，有別於石化燃料。此系統每年可產生 14.3 萬度電力，加上太陽能發電系統，零碳天地每年可向公共電網供應剩餘的電力，而這些電力都是由可再生能源系統產生的。
3. 生物柴油三聯供電系統：生物柴油冷熱電三聯供機組利用由廢棄食油煉製之生物柴油來製冷、產熱及發電。利用發電的廢熱來製冷及除濕，使得燃料利用效率高達 75%，而一般其他常規發電廠的燃料利用效率僅有 40%左右。

六、新加坡 ZEB (Zero Energy Building) 零能源建築^[D4]

這棟位於新加坡的零能耗建築 ZEB (Zero Energy Building)，是東南亞地區第一棟以既有建築改建成為零能源建築之案例，這項零能耗建築計劃是新加坡建設部(Building and Construction Authority, BCA)、國立新加坡大學(National University of Singapore, NUS)，以及新加坡教育局(Singapore's Education Ministry)三個單位的合作計畫。新加坡 ZEB (Zero Energy Building) 零碳建築外觀照片，如圖 3-24 所示。



圖 3-24 新加坡 ZEB (Zero Energy Building) 零碳建築^[D4]

改造前，此棟建築物就把重心積極地放在減少進口燃料的依賴。改造後則完全依賴太陽能營運，新的設計可引入最大範圍的自然通風和光線，以減少空調和人工照明的需求，除此之外，該棟建築物之綠色設施，包括太陽能煙囪(solar chimneys)、通風設計、創新空調設計系統以及屋頂與牆面綠化等。此棟既有建築改造零碳建築之成功案例，將有助於新加坡在 2030 年達到 80% 建物符合 BCA 綠色標誌認證的目標。在 2010 年時估計，如果新加坡欲達成目標，還有 6,500 棟的建築物有待改造。如圖 3-25 與圖 3-26 所示。



圖 3-25 牆面及屋頂綠化^[D4]



圖 3-26 導光板設計以減少白天人工照明^[D4]

辦公建築節能設計手法，包含導光板設計、導光管、動態感應自動調節裝置、二氧化碳感應調節裝置、桌燈及地板出風口設計等，以達到節能減碳之目標。空調節能設計，採用貼近地面高度的新鮮空氣供應口之空調方式，由於輸入的空氣溫度較低且密度較大，故會緩緩的蓄積在室內底層空間，而不與室內既有溫熱空氣混合。低溫空氣進入室內後，既有室內溫度較高的空氣將受推壓而向上流動升起，形成垂直向的自然對流，並促使室內熱空氣上升，類似浴缸中之水位緩緩上升，並配合設置於天花板之抽風設備達到空氣交換。冷卻機組較一般基準型空調設備提升 21%之能源使用效率，冷卻塔設備也較一般基準型空調設備提升 33%之能源使用效率。

地板出風口因符合熱浮力原理，人員所產生的熱量能順著氣流路徑被帶走，節能成效運用 CFD 數值解析結果，顯示在人體主要活動區域大約 2/3 室內空間高度範圍之人員作息區，有良好的溫熱舒適室內環境與空氣品質，並兼顧建築節能的要求。照明節能設計部分，節能燈泡之耗電量降低 26%，但同時產生相當於一般

日光燈 90%之發光效率，大幅提升能源使用效率且提供高照明效能。T5 燈具使用之電子式安定器在工作的高頻率範圍內（40 - 100 千赫），將增加約 26%之光通量，且使用之電子式安定器之 T8 燈管亦由 43W 下降到 22W。各項節能設計之自動感應裝置設施設計，其中二氧化碳自動感應調節裝置安裝在房間內，通過控制新鮮空氣風機的速度，來動態調整新鮮空氣量。動態感應調節裝置則是運用光線與風扇的刺激進行設備的自動控制與運轉，而日光自動感應調節裝置則是檢測充足的日光，自動減少人工照明的使用，以節省整體建築能源消耗。

七、東京瓦斯公司（Tokyo Gas Company, Limited）^[D5]

東京瓦斯公司（Tokyo Gas Company, Limited），是日本最大的天然氣瓦斯供應商，服務範圍涵蓋東京都和其鄰近區域。該公司創立於 1885 年，主要營業項目包括瓦斯供給、販售，瓦斯設備的製作、販售及其相關建設工程或建築設備研發，冷溫水以及蒸氣之地域性能源供給系統與電力事業等。東京瓦斯 Earth Port 計畫之建築及內部景觀，如圖 3-27 所示。



圖 3-27 東京瓦斯 Earth Port ^[D6]

東京瓦斯長期致力於「東京瓦斯 Earth Port 走向零碳建築改造更新」(Renovation of Earth Port toward the net-Zero Energy Building)，其應用主要針對位於日本神奈川縣，1996 年所建立的一棟四層樓的辦公展示建築做改造。「東京瓦斯 Earth Port 走向零碳建築改造更新」之計畫目標，為了近期達成該計

畫減碳 47%的期望值且在逐年改善進步下，能夠在未來 2030 年達成預期之零碳建築(ZEB)願景。其所運用之概念為提高建築外殼和設備系統的能源使用效率與設備性能，同時生產和使用可再生之能源，並引入區域範圍內的能源共享系統。在整體網路機制的持續運作下，期待透過建築本身產生及區域共享的可再生能源大於每年建築消耗之能源來逐步達成目標。

東京瓦斯公司 Earth Port 走向零碳建築改造更新之計畫，主要運用建築物理中之熱環境、光環境、電力供應等技術，進行建築節能科技與設備更新之改造。熱環境中的節能同時利用太陽能產生的熱與設備運作過程的廢熱，如連結燃氣發電機熱電聯設備與驅動式熱泵的熱系統網絡來實踐建築整體節能，燃氣冷熱電三聯供應系統(CGS)與地源熱泵系統可以支援不穩定的太陽熱能系統，乾燥式空調箱設備(AHU)可衍生舒適的溫熱環境和建築節能。燃氣發電機將可同時驅動熱水泵和發電機。此外，從燃氣發電機產生的廢熱利用來加熱建築需要之熱水系統能源。建築物開窗育外殼設計利用自然陽光之引入與互動感應系統，規劃室內照明控制運作系統，最大限度地利用自然光，照明系統採用高效率的 LED 燈具，並使用移動傳感器將照明設備達到最佳化控制。建築電力供應納入整合式電源管理系統，有效提升電池和太陽光電系統(PV)之利用功效，運用偶合高效聯合發電系統以及太陽光電系統與電池，以減少設備老化和電池的充電/放電損失。

八、大成建設 ZEB 實證棟（日本）^[D18]

大成建設株式會社一級建築士事務所設計，並由大成建設株式會社橫濱支店施工(建築師：加藤美好)。建築面積：427.57 平方公尺，總建築面積 1277.32 平方公尺，地上四樓(1 樓、2 樓、3 樓、屋凸樓)，於 2014年5 月完工。ZEB 實驗樓，屬於都市辦公室 ZEB 建築，在 ZEB 實證棟，通過現有新技術的高效結合，徹底節約能源。相較一般辦公建築的耗能，減少 75%，由太陽能光電板生成的能量，剩餘約 25%的能量，有機薄膜太陽能電池的開發，並達到了 11.7%的轉換效率。

1. 誘導式設計：

固定自然光照明系統 T-Light Cube，自然的採光開口透過結構上的鏡面設計從白色天井投射進室內，並配合太陽光高度，使室內全年皆有自然採光照明。

2. 設備機械設計：

(1)低照度和環境照明系統：

確保照明系統和超高效 LED 間接照明的合作使用，備有能夠自動偵測人（停留/不在）的偵測感應器，以控制 LED 的照明效率。調整桌子表面的照度，以柔光滿足使用者需求。

(2)無線照明控制系統 T-Green Wireless：

最佳的照明調光控制無線技術，適用於各種照明設備，較不易受其他無線電干擾，且可從一燈至多燈作一系列控制。

(3)餘熱的利用和環境空調系統：

利用燃料電池的低溫廢熱來製造吸收式冷凍機中的冰水，在空調空間中提供一個舒適的環境並減少傳輸效率，可依照個人的選擇調整舒適和節能的外部量、控制通過的空氣流空氣。

(4)自然通風系統 T-Fresh Air：利用數據偵測判斷窗戶的打開與關閉（例如：風、外界溫度、室溫、座位上的人）使室內達到舒適的溫度。

(5)建築物能源管理系統（T-Green BEMS）：提供能量的可視化、管理分析，並控制能量消耗與發電能量。



圖 3-28 大成建 ZEB 實證棟的整合型照明系統^[D18]

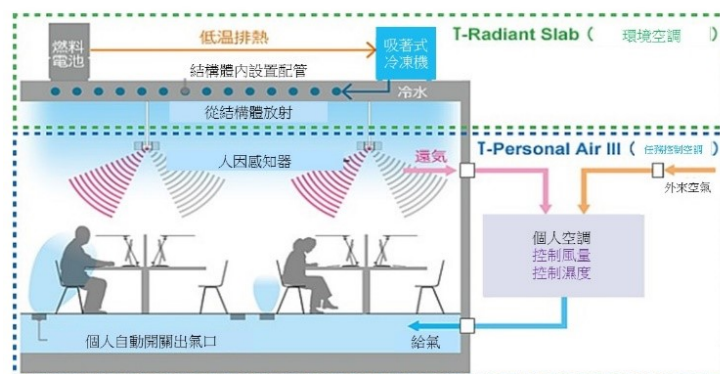


圖 3-29 大成建設 ZEB 實證棟的環境空調系統^[D18]

3. 再生能源：

採用有機薄膜太陽能帷幕外牆，建築外牆運用有機薄膜太陽能板，由於是可以選擇顏色變化的有機材料，在形狀與尺寸上的自由度更高，在兼顧同時太陽能發電之餘，也可使結構輕量化。



圖 3-30 大成建 ZEB 實證棟立面使用有機薄膜太陽能板^[D18]

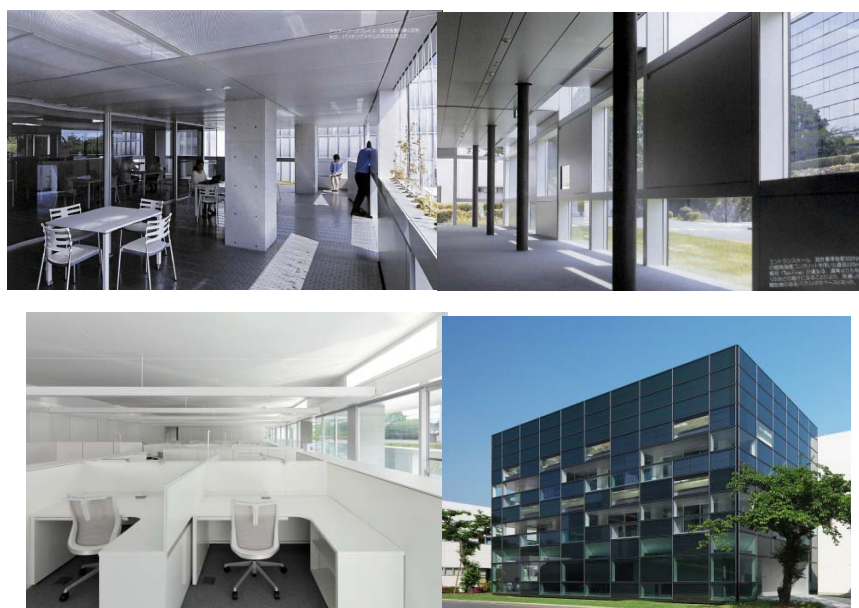


圖 3-31 大成建 ZEB 實證棟^[D18]

九、鹿島建設技術研究所--本館研究棟（日本）^[D19]

鹿島建設在 2005 年開始的重建計畫中，在新基地上建立技術研究所本館，本館共有研究棟及實驗樓兩個建築物組合而成，再將研究與技術部門分別設置在五層樓內。在重建計畫開始時，即有大量的研究人員投入，制定了知識創造、鹿島技術、順應環境三個主軸概念，並將這三個概念呈現在整體設計中。透過許多技術，2011 年10 月，實現了比 2010 年節能 50%的成效，也獲得了當年日本 CASBEE 的最高認證（BEE=8.3），2012 年東京一般辦公大樓的 CO₂ 排放標準為每年 100 kg-CO₂/m²，研究棟的實際值為 37.5 kg-CO₂/m²，約減少 62.5%的 CO₂ 排放量。全年初級能源耗能量為 959 MJ/m²，約為一般辦公建築的 55.2%。

1. 誘導式設計：

建築外殼計畫，立面為退縮 1.15m 的深遮陽，東西兩側為無開口的耐震壁，屋頂有屋頂綠化增加隔熱能力。整體 PAL 值為193，為一般辦公建築的 65%。

2. 設備機械設計：

(1)照明計畫：採用工作面與環境照明並用的方式，將一般作業面的照度設定在 350 Lux，利用書架及天花板的間接照明來做為環境照明。這不僅實現照明節能且舒適的工作環境，且照明耗能僅為一般辦公室的 50%。

(2)無管式空調系統：採用「中央空調」與「個別空調」並用的方式，中央空調採用無風管的系統，利用流體力學中的附壁作用（Coandă effect）原理，將冷空氣送進室內並流通，主要活動區域再以個別式空調輔助。不但可節約空調耗能，也能降低設備層所需的空間。其標準辦公層室內淨高為 3m，室內風速則控制在 0.3m/s 以下。



圖 3-32 鹿島建設技術研究所本館研究棟照明計畫與家具整合^[D19]

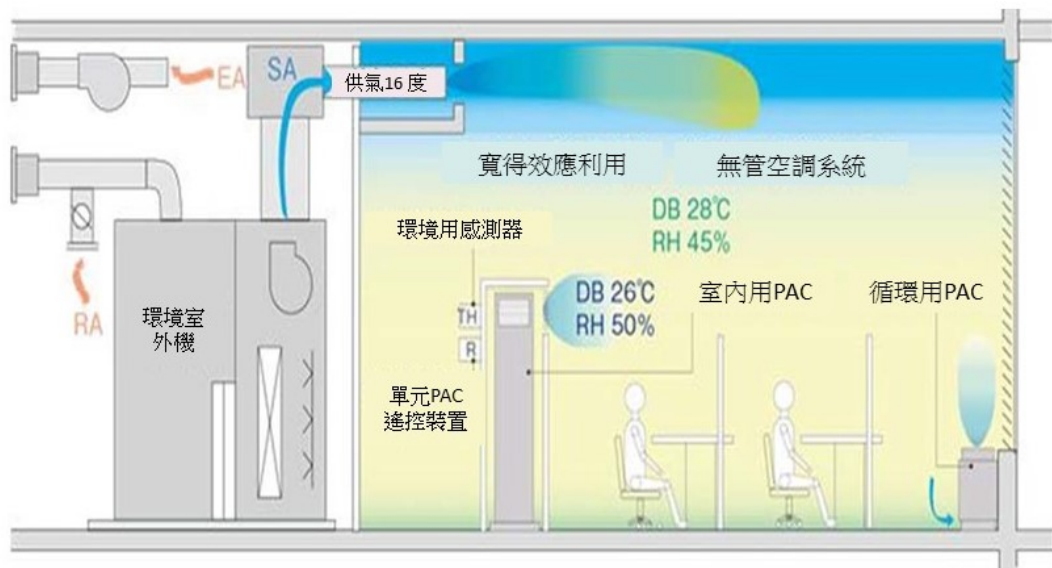


圖 3-33 鹿島建設技術研究所本館研究棟空調系統^[D19]

3.再生能源：

採用太陽能光電板，頂樓太陽能光電板發電供給室內 LED 照明使用。



圖 3-34 鹿島建設技術研究所本館研究棟建築節能手法^[D19]

第三節 辦公建築案例能源評估

本節以一棟實際取得綠建築標章之辦公類建築分別進行(1)建築碳足跡 BCF 法評估，與(2)電腦動態模擬計算之方式，比較二種評估方法下建築日常使用階段之碳排放量與能源使用分析。

一、應用建築碳足跡 BCF 評估法評估碳排放量

1. 建築案例描述

本案位置座落於新竹縣寶山鄉，為地上 5 層的鋼筋混凝土構造辦公廳類建築，主體建物為一矩形之建築，是一棟位於北部氣候區之辦公行政大樓。建築面積為 995.66m²，總樓地板面積為 4320.52m²。法定建蔽率 60%，實際建蔽率 59.99%；法定容積率 250%實際容積率 247.71%。建物的一樓室內淨高 5 公尺。室外有戶外休憩區，室內大部分的空間屬於 K1 的空調空間，為鄉公所的辦公空間，其餘東方的廁所以及西方的梯廳屬於非空調區。建物二樓室內淨高 4.2 公尺。室內大部分的空間屬於 K1 空調分區，為鄉公所的辦公空間，其餘東南方的廁所以及西北方的梯廳屬於非空調區。另外，因為二樓有檔案室以及清潔隊的休息空間，故建物南方的空間屬於 K2 的空調區間。

建物的三樓高 4.2 公尺。本層的空調分區較為複雜，三樓的戶政事務所檔案室以及鄉公所檔案室屬 K2 的空調分區，其餘的戶政辦公室以及調解會辦公室、調解會會議室為 K1 空調分區。其餘空間為非空調區，包含走廊、廁所、茶水間、電氣室以及梯廳等。建物四樓淨高為 5 公尺。本層空調區分為兩大區域，一為鄉公所會議室屬 K1 空間，另一為會議室與辦公室的集合空間，為簡化模擬建模過程的複雜程度，故統一簡化為同一 K1 空間。其餘空間為非空調區，包含走廊、廁所、茶水間、電氣室以及梯廳。建物的五樓為供社區教室以及活動中心，為儲藏室和機房夾層空間因屬非空調區無耗能設備，為方便模擬計算，故簡化為 7 公尺淨高之單一樓層。而社區教室以及活動中心皆屬於 J2 的空調分區，其餘包含走廊、廁所、茶水間、電氣室以及梯廳等空間為非空調區。本模擬案例之各層平面圖如圖至圖所示。各樓層空間分布如表 3-7 所示。

表 3-7 各層空間用途一覽表

樓層	功能／用途
一樓	辦公空間
	廁所、樓梯間
	梯廳
二樓	辦公空間
	檔案室
	廁所、樓梯間
	梯廳
三樓	戶政辦公室
	調解會議室
	檔案室
	檔案室
	廁所、樓梯間、梯廳、走廊
四樓	代表會
	鄉公所會議室
	廁所、樓梯間、梯廳、走廊
五樓	活動中心
	社區教室
	廁所、樓梯間、走廊
	梯廳

本案建築軀體外殼之隔熱性能及構造建材，外牆構造為 20 公分鋼筋混凝土外牆外貼磁磚之構造，各層材料之配置由外而內分別為：1cm 的磁磚、1.5cm 的水泥砂漿、15cm 的鋼筋混凝土以及 1cm 的水泥砂漿。材質的選用以及材料的特性（包括；傳導係數、密度、比熱）參考 2015 年版之綠建築評估手冊－基本型（BC）中的 RC 外壁構造。詳細的外牆材質以及材料特性如表 3-8 所示。

表 3-8 外牆構造各層建材之熱性能參數

材料名稱	厚度 (m)	傳導係數 (W/mK)	密度 (kg/m ³)	比熱 (KJ/Kg*K)
磁磚	0.01	1.3	2400	0.84
水泥砂漿	0.015	1.5	2000	0.8
鋼筋混凝土	0.15	1.4	2200	0.88
水泥砂漿	0.01	1.5	2000	0.8

內牆構造為厚度 10 公分之鋼筋混凝土牆，各層材料為 1cm 的水泥砂漿、8cm 的鋼筋混凝土以及 1cm 的水泥砂漿組成。詳細的各層內牆材質以及材料熱性能，如表 3-9 所示。

表 3-9 室內隔間牆構造各層建材之熱性能參數

材料名稱	厚度 (m)	傳導係數 (W/m*K)	密度 (kg/m ³)	比熱 (KJ/Kg*K)
1cm 的水泥砂漿	0.01	1.5	2000	0.8
8cm 的鋼筋混凝土	0.08	1.4	2200	0.88
1cm 的水泥砂漿	0.01	1.5	2000	0.8

內部樓板構造為表面 1cm 的水泥砂漿、12cm 的鋼筋混凝土以及 1cm 的水泥砂漿。詳細的內部樓板材質以及材料特性，如表 3-10 所示。

表 3-10 室內各層樓板構造各層建材之熱性能參數

材料名稱	厚度 (m)	傳導係數 (W/m*K)	密度 (kg/m ³)	比熱 (KJ/Kg*K)
1cm 的水泥砂漿	0.01	1.5	2000	0.8
12cm 的鋼筋混凝土	0.12	1.4	2200	0.88
1cm 的水泥砂漿	0.01	1.5	2000	0.8

屋頂樓板 (ExtRoof) 構造為傳統「五腳磚油毛氈」屋頂，各層材料配置由外而內分別為：0.02m 的水泥五角磚(水泥板)、0.03m 的水泥五角磚(保麗龍)、0.07m 的輕質混凝土、0.01m 的油毛氈、0.02m 的水泥砂漿、0.15m 的鋼筋混凝土以及 0.015m 的水泥砂漿。詳細的屋頂材質以及材料特性，如表 3-11 所示。

表 3-11 屋頂構造各層建材之熱性能參數

材料名稱	厚度 (m)	傳導係數 (W/m*K)	密度(kg/m ³)	比熱(KJ/Kg*K)
0.02m 的水泥五角磚(水泥板)	0.02	1.5	0.791	2000
0.03m 的水泥五角磚(保麗龍)	0.03	0.04	1.251	30
0.07m 的輕質混凝土	0.07	0.17	1.101	600
0.01m 的油毛氈	0.01	0.11	0.9	1020
0.02m 的水泥砂漿	0.02	1.5	0.8	2000
0.15m 的鋼筋混凝土	0.15	1.4	0.88	2200
0.015m 的水泥砂漿	0.015	1.5	0.8	2000

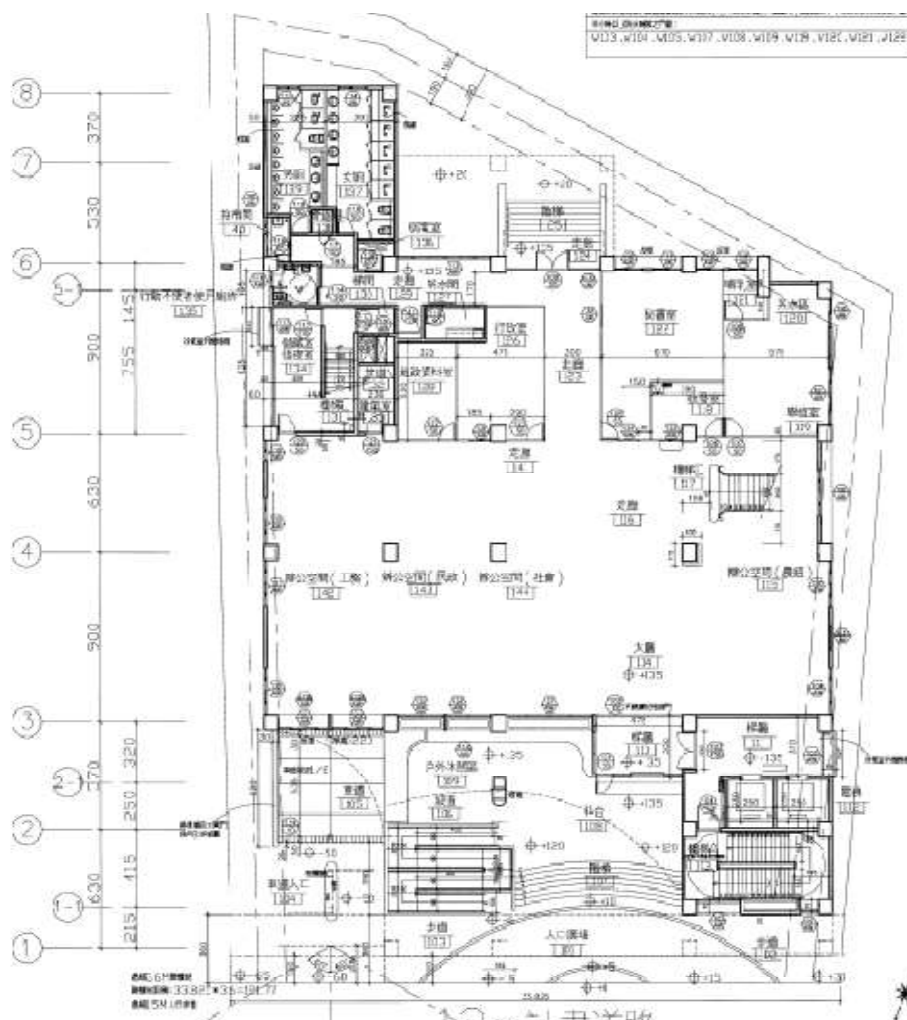
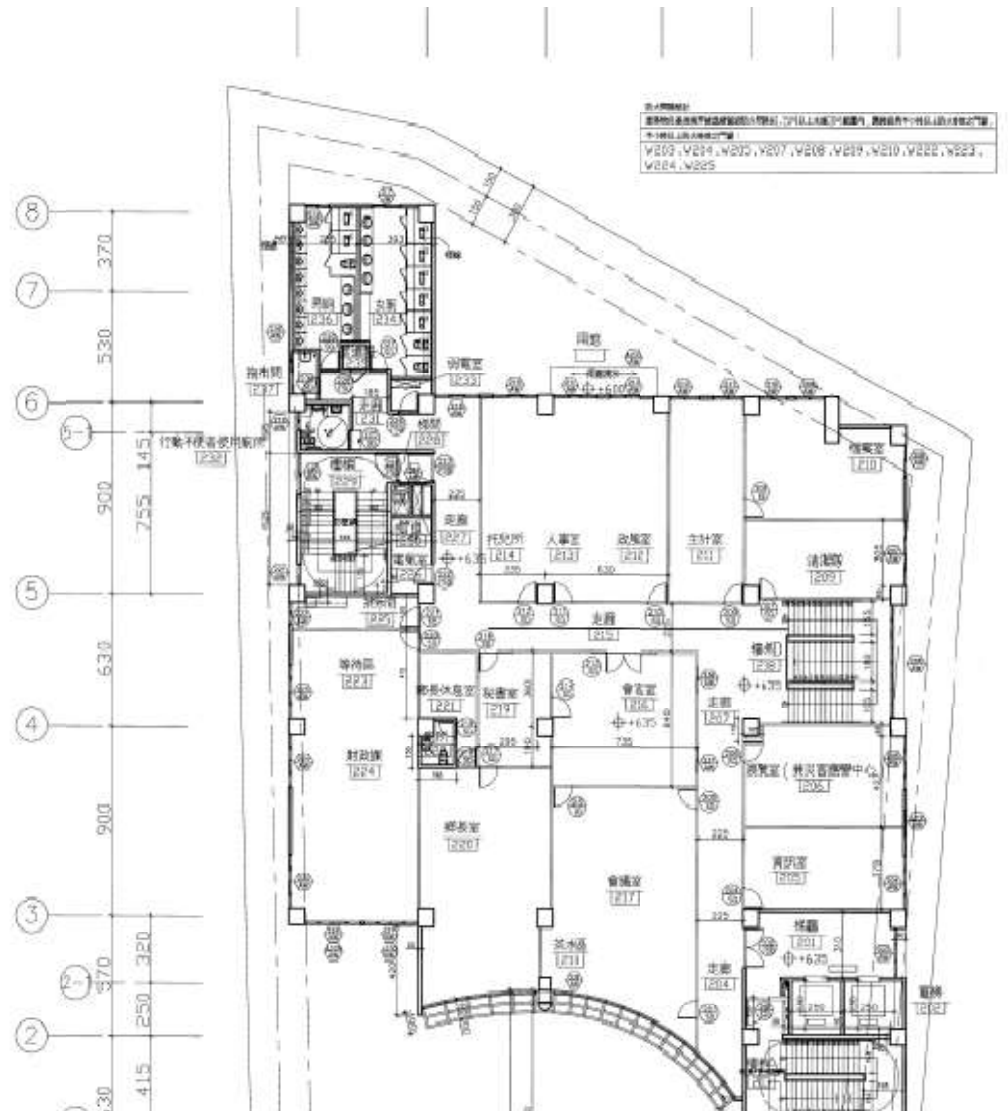


圖 3-35 一層平面圖



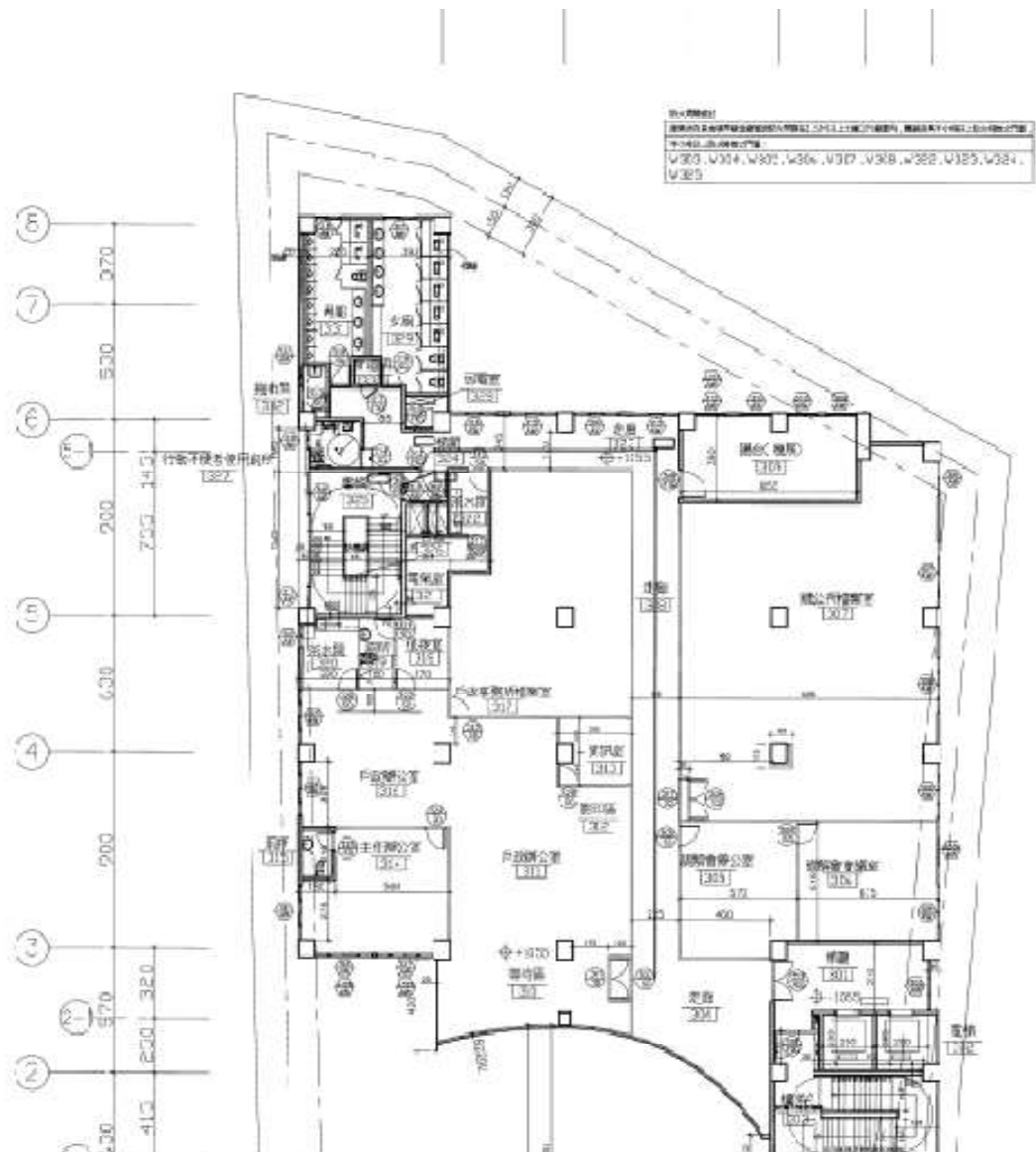


圖 3-37 三層平面圖

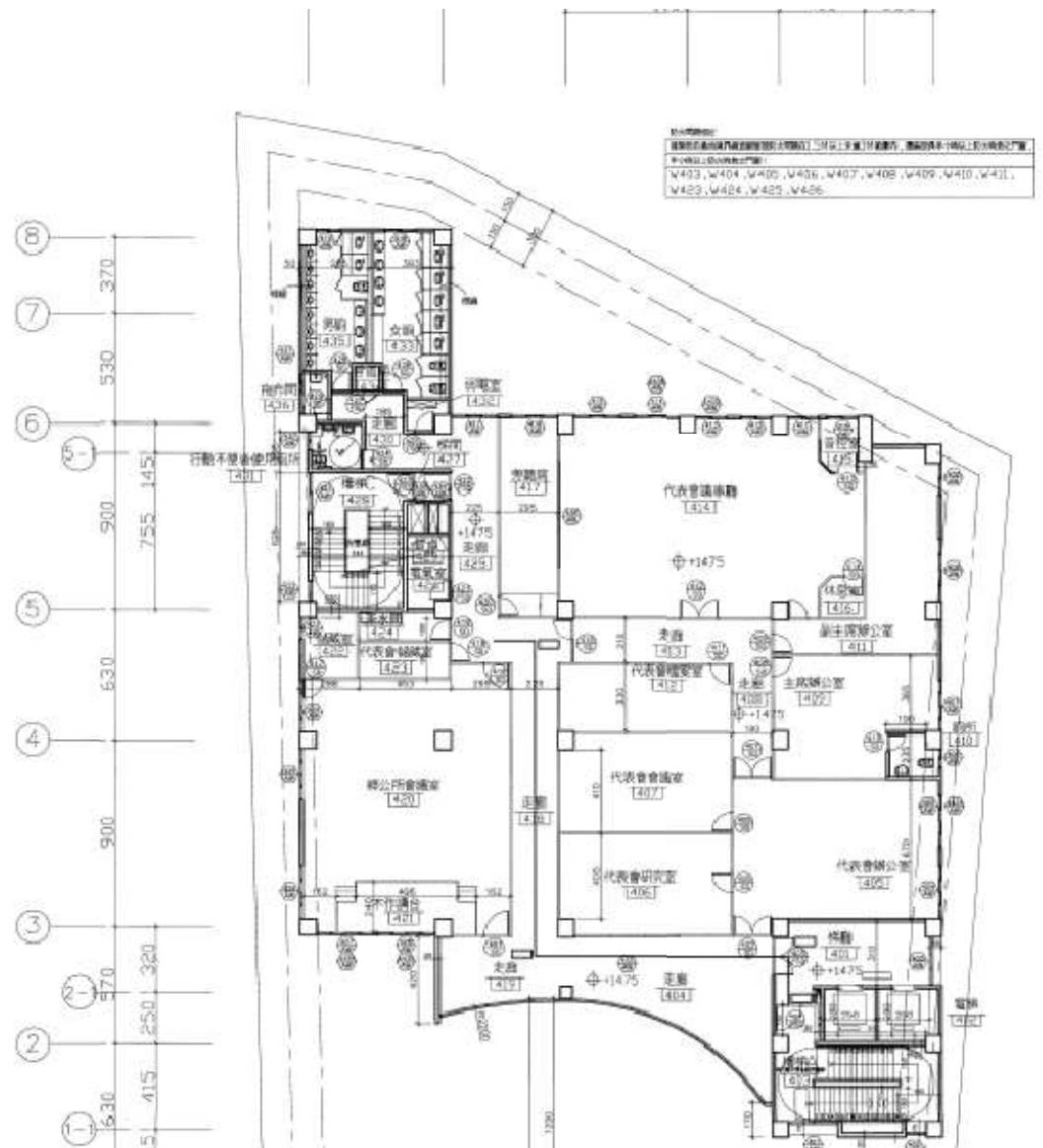


圖 3-38 四層平面圖

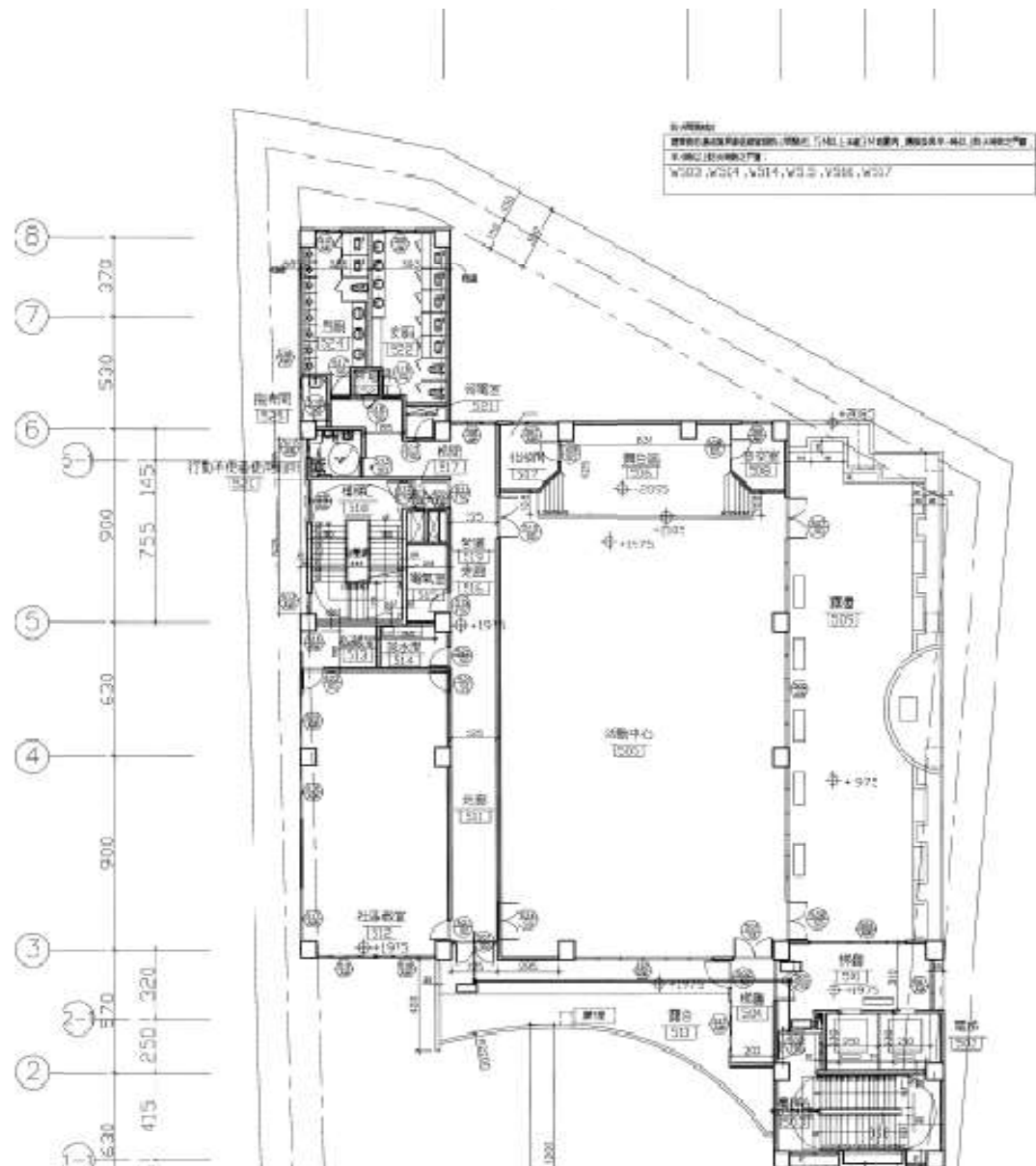


圖 3-39 五層平面圖

根據建築產業碳足跡 BCFc 法(BCF Certification for Completed Projects)(林憲德 2018)，設備系統之耗能碳足跡是由「功能空間」的耗能標準($\sum \text{EUI} \times \text{AFI}_i$)為主幹，再依建築外殼節能效率 Baci、空調節能效率 EAC、照明節能效率 EL 這三項操作因子所計算而得。本案主設備為空調、照明、電器等三項設備，雜項設備為換氣、輸送及給污水三項設備，所使用主要功能空間為 J2、K1、K2、F1，其各項耗能密度，如表 3-12 所示；各功能空間樓地板面積，如表 3-13 所示。

表 3-12 各類功能空間耗能密度標準 EUIij

空調營運分區	功能空間名稱		分向 EUI 基準 (kwh/m ² *yr)			EUIij (kwh/m ² *yr)
			空調 EUIai	照明 EUIli	電器 EUIei	
10 小時 行政辦公 類空間	J2	專用演講廳、 禮堂、會議廳	95	33	11	139
	K1	辦公行政類空 間	49	35	25	109
	K2	書庫區與及其 附屬大廳與室 內公共空間	0	39	21	102
24 小時 無空調 類空間	F1	24 小時機械換 氣空間(衛浴廁 所、機房)	0	22	3	25

2. 建築碳足跡 BCF 法之各階段計算流程

(1) 室內空調樓地板面積(AFI_i)計算

各層樓之樓地板面積如圖 3-24 至圖 3-28 所示，各空調分區之內外周區樓地板面積如表 3-12 所示。

$$\text{AFI}_i = \text{AFp}_i + \text{AFm}_i + \text{AFo}_i \quad (3-1)$$

其中：

AFp_i：i 類耗能特性空間之外周區總樓地板面積(m²)

AFm_i：i 類耗能特性空間之內周區總樓地板面積(m²)

AFo_i：i 類耗能特性空間被排除計算之「外殼熱性能固定之大空調空間總面積」(m²)

表 3-13 室內空調樓地板面積

功能空間	AF _{pi}	AF _{mi}	AF _{oi}	計算結果 AF _{li}	加權結果
J2	358.00	233.63	0	591.63	0.166
K1	1571.64	964.74	0	2536.38	0.713
K2	208.00	221.21	0	429.21	0.121
F1	632.50	130.80	0	763.30	0.215

主設備碳足跡之耗能計算

(2)空調設備碳足跡(CFa)

$$CFa = (\sum EULa_i \times AFI_i \times Bac_i) \times EAC \times \beta \quad (3-2)$$

其中：

CFa：建築使用空調耗能碳足跡(kgCO₂e)

EUL_{ai}：i 類功能空間之空調耗能密度(kwh/m²*yr)

AF_{li}：i 類功能空間之室內空調樓地板面積(m²)

Bac_i：建築外殼節能效率，詳(式 3-3)

EAC：空調系統節能效率，取值自綠建築標章報告書，本案為 0.73。

β：碳排係數(kgCO₂e/kWh)，標準 0.532 (kgCO₂e/度)

$$Bac_i = 1.0 - 0.15 \times \left[\frac{AFp_i}{(AF_{i+AF_{i+AF_{oi}}})} \right] \times EEV_i \quad (3-3)$$

其中：EEV_i 為外殼節能效率，參考綠建築評估手冊之(EV_c-EV)/(EV_c-EV_{min})值計算之。

表 3-14 外殼節能效率

EV _c	80	EEV _i	計算結果 Bac _i
EV	60.55	0.760	0.931
EV _{min}	54.408		

外殼節能效率部分，本案因屬辦公類建築，須檢討 ENVLOAD；A_{en}=5001.12m²，大樓開窗採用 8mm 清玻璃，ENVLOAD=61.08kWh/m²yr。基準值依北區為 80kWh/m²yr 檢討，可得 EEV=0.76 < 基準值=0.8。

空調節能效率 EAC 部分，本案空調設備系統設計之敘述如下：

1. 大樓 10 小時空調區分設三套中央空調系統，分別採用：

(1)公所及活動中心：110RT 水冷式冰水主機一台。

(2)戶政事務所：15RT 氣冷式冰水主機一台。

(3)鄉民代表會：25RT 氣冷式冰水主機一台。

共計 150RT。

2. 依本案綠建築標章申請資料，其空調主機供應面積 $AC_s=23.51\text{m}^2/\text{RT}$ ，基準值 $AC_{sc}=26.78\text{m}^2/\text{RT}$ ，主機容量效率 $HSC=1.14<1.35$ 基準值。

3. 在空調節能技術方面，本案空調熱源系統採用多台多壓縮機主機控制運轉、變風量 VAV 送風機、建築能源管理系統等，合算其 $EAC=0.73$ 。

由上述可得知，以 $\sum EU_{Iai} \cdot AFI_i=198514.290$ 、 $Bac_i=0.931$ 、 $EAC=0.73$ 、 $\beta=0.532$ 代入(式 2)可得本案建築使用階段空調耗能碳足跡(CFa)=
 $198514.290 \cdot 0.931 \cdot 0.73 \cdot 0.532 = 71814(\text{kgCO}_2\text{e})$

(3)照明設備碳足跡(CFI)

$$CFI = \sum(EU_{Ili} \times AFI_i) \times EL \times \beta \quad (3-4)$$

其中：

CFI ：建築使用照明耗能碳足跡(kgCO_2e)

EU_{Ili} ：i 類功能空間之照明耗能密度($\text{kwh}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$)

EL ：照明系統節能效率，基準案以 0.8 計

其中，

照明系統節能效率 EL ：

本案是依「綠建築評估手冊 EEWH-BC」進行照明節能評估，其設備如下所示：

1. 總用電功率基準=45186.8W。採用電子式安定器、T5 燈管、鏡面鋁板反射板。實際總用電功率=28263.7W。

2. $IER=0.63$ ， $IDR=1.05$ ， $EL=0.66$ 。

由上述可得知， $\sum EU_{Ili} \cdot AFI_i=141828.880$ 、 $EL=0.66$ 、 $\beta=0.532$ ，代入(式 3-4)可得
 $CFI = 141828.880 \cdot 0.66 \cdot 0.532 = 49799(\text{kgCO}_2\text{e})$

(4) 電器設備碳足跡(CFe)

礙於本案之綠建築申請資料無明確記載，因此無法準確得知二級以上之電器數量資訊，因此暫以 BCFd 法來計算，並採下式 3-5 計算電器設備之碳足跡。

$$CF_e = \sum EU_{lei} \times AFI_i \times ERe_i \times \beta \quad (3-5)$$

其中：

CF_e：建築使用電器耗能碳足跡(kgCO₂e)

EU_{lei}：i 類功能空間之電器耗能密度(kwh/m²*yr)，參考表 3-11。

ER_{ei}：i 類功能空間之插座電器承諾節能潛力(採夜間待機用電停機設定，有則 0.9、無則 1.0)

本案採夜間待機用電停機進行插座電器節能，ER_{ei} 以 0.9 計。因此，
 $\sum EU_{lei} \times AFI_i = 81220.740$ 、ER_{ei}=0.9、 $\beta=0.532$ ，可得 $CF_e = 81220.740 \times 0.9 \times 0.532$
 $= 38888(\text{kgCO}_2\text{e})$

雜項設備碳足跡之耗能計算

(5) 換氣設備碳足跡(CF_v)

$$CF_v = CF_{ppv} \times A_{pp} + CF_{ptv} \times A_{pt} \quad (3-6)$$

其中：

CF_v：建築使用換氣耗能碳足跡(kgCO₂e)

CF_{ppv}：公共類建築室內停車場換氣設備碳排密度標準(kgCO₂e/m²*yr)

A_{pp}：公共類建築室內停車場面積(m²)

CF_{ptv}：公共浴廁碳排密度標準(kgCO₂e/m²*yr)

A_{pt}：公共浴廁面積 (m²)

根據建築技術規則，對於公共建築之換氣量基準不同，其換氣設備之耗能碳足跡之計算，需依照建築技術規則來做計算。本建案之設備碳排密度標準(kgCO₂e/m²*yr)，如表 3-15 所示。

表 3-15 換氣耗能碳足跡

CF _{ppv} (kgCO ₂ e/m ² *yr)	6	CF _{ptv} (kgCO ₂ e/m ² *yr)	35.7
A _{pp} (m ²)	1802.46	A _{pt} (m ²)	276.52

由上表取值計算可得 $CF_v = 6 \times 1802.46 + 35.7 \times 276.52 = 20687 (\text{kgCO}_2\text{e})$

(6)輸送設備碳足跡(CFtr)

$$CFtr = (\sum ne_i \times Eel_i + \sum ns_j \times Ees_j) \times \beta \quad (3-7)$$

其中：

CFtr：建築使用輸送耗能碳足跡(kgCO₂e)

nei：i類電梯台數(台)

Eeli：i類電梯全年標準耗電量(kwh/台*yr)，基準值取 5526。

nsj：j類電扶梯台數(台)，本案無電扶梯。

Eesj：j類電扶梯全年標準耗電量(kwh/台*yr)，本案無電扶梯。

本建築之輸送設備為兩台電梯，且並未設置手扶梯。根據電梯之載重規格與數量，如表 3-16 所示之標準耗電量，本案以每部電梯額定供載人數 12 人之規格取值計算。

表 3-16 電梯標準耗電量 Eeli

電梯額定人數 (人/台)	電梯額定載重 (kg 台)	電梯額定 速度 (m/min)	一般電梯標準耗 電量 Eeli 基準 值(kWh/(台 yr))	電能回收電梯 標準耗電量 (kWh/(台 yr))
12	800	90	5526	3684

由上述可得知，nei=2、Eeli=3684、nsj=0、Eesj=0、β=0.532，代入式 7，可得
 $CFtr = (2 \times 3684 + 0 \times 0) \times 0.532 = 3920 \text{ (kgCO}_2\text{e)}$

(7)給污水設備碳足跡(CFv)

$$CFv = Wt \times \beta \quad (3-8)$$

其中：

CFv：建築使用給污水耗能碳足跡(kgCO₂e)

Wt：給污水耗電量(kWh/yr)

給污水設備是以計算淨水污水處理及自來水之馬達揚水設備之碳足跡兩者而得。本建築並未使用雨水沖廁系統以及雨水庭園澆灌系統；因此淨污水耗能密度將以標準值 0.81 來做計算。又，

$$Wt \times \beta = [Qw \times Ewp + (Qw - 365 \times qrw) \times Ewt] \times Rw \times \beta = \{Qw \times [0.02 \times (S + 2)] + (Qw - 365 \times qrw) \times Ewt\} \times Rw \times \beta \quad (3-9)$$

其中，

$$Qw = \sum(np_i \times Qw_i) \quad (3-10)$$

$$np_i = pr_i \times AFI_i \times pd_i \quad (3-11)$$

其中：

Qw_i ：i 類空間用水量(m³/yr)

np_i ：i 類空間使用人數(人)

pr_i ：i 類空間用人員使用率,無單位

pd_i ：公共建築 i 類空間人員密度標準(人/m²)

本案 i 類空間為 J2、K1、K2、F1，其中 J2 為會議室；K2 為書庫；F1 為公廁、倉庫及機房，其人員密度標準皆為 0(人/m²)； K1 為辦公空間， pr_i 為 0.7、 AFI_i 為 2536.38(m²)、 pd_i 為 0.15(人/m²)，經計算得知其 np_i 為 266 人；且 K1 空間用水量為 25.4(m³/yr)。故 $Qw = \sum(np_i \times Qw_i) = 266 \times 25.4 = 6756.4$ (m³/yr)。根據上述，可將各項變數如表 3-17 所示：

表 3-17 給污水各設備參數值

np_i i 類空間使用人數	266	$rt1$ 有雨水利用廁所面積(m ²)	0	S 地上總樓層數	5
$w1$ 雨水沖廁系統 (m ³ /人*day) 有=0.06；無=0	0	$rt2$ 總廁所面積(m ²)	276.52	Qw 總用水量 (m ³ /yr)	6756.4
$w2$ 雨水庭園澆灌系統 (m ³ /m ²) 有=0.003；無=0	0	$r1$ 省水馬桶使用比例 (基準案=0.0)	0	Ewt 淨水污水處理 裡耗能密度 (kWh/m ³)	0.81
Aig 雨水利用庭園澆灌 面積(m ²)	0	$r2$ 省水水栓使用比例 (基準案=0.0)	0	Rw 省水效率 [無單位]	1

其中， $W_t=6418.580$ 、 $\beta=0.532$ 代入式 8，可得 $CF_v = 6418.580 \times 0.532 = 3415$ (kgCO₂e)

3. 整體設備碳足跡之耗能計算

本建築整體設備包含空調、照明、電器等三項主要設備，以及換氣、輸送及給污水三項雜項設備。根據下式 3-12 計算加總即可得整體設備之碳足跡。

$$CF_{eu} = CF_a + CF_l + CF_e + CF_v + CF_{tr} + CF_v \quad (3-12)$$

其中，

$CF_a=71814$ 、 $CF_l=49799$ 、 $CF_e=38888$ 、 $CF_v=20687$ 、 $CF_{tr}=3920$ 、 $CF_v=3415$
故 $CF_{eu} = 71814 + 49799 + 38888 + 20687 + 3920 + 3415 = 188522$ (kgCO₂e)

茲將上述各步驟之碳排計算如表 3-17 所示，合計全年之總碳排放量為 188522 (kgCO₂e/yr)，全年用電耗能為 354365(kWh/yr)，本案之 EUI 相當於 82.02 (kWh/m²)。本案件建築主要設備碳排放佔總碳排 84% 雜項設備碳排放佔 16%。而，各設備細項之耗能比例以及相對應之碳排比例分布，分別如圖 3-29、30、31 所示。

表 3-18 建築使用階段 BCF 法碳足跡計算列表

分類	細項	整年用電量 (kWh/yr)	整年碳排放量 (kgCO ₂ e/yr)	EUI	比例%
主要設備	空調設備	134988	71814	31.24	37.5%
	照明設備	93607	49799	21.67	26.0%
	電器設備	73099	38888	16.92	20.3%
雜項設備	換氣設備	38884	20687	9.00	10.8%
	輸送設備	7368	3920	1.71	2.0%
	給排水設備	6419	3415	1.49	3.3%
合計		354365	188522	82.02	100%

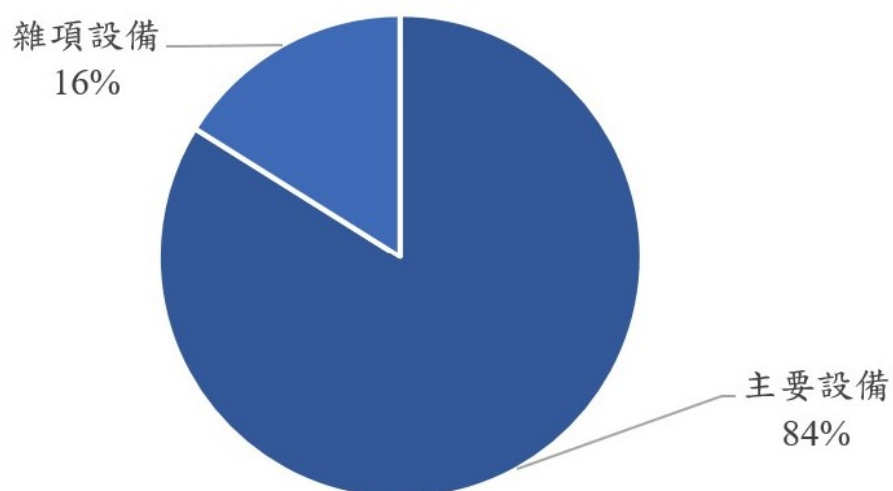


圖 3-40 設備比例

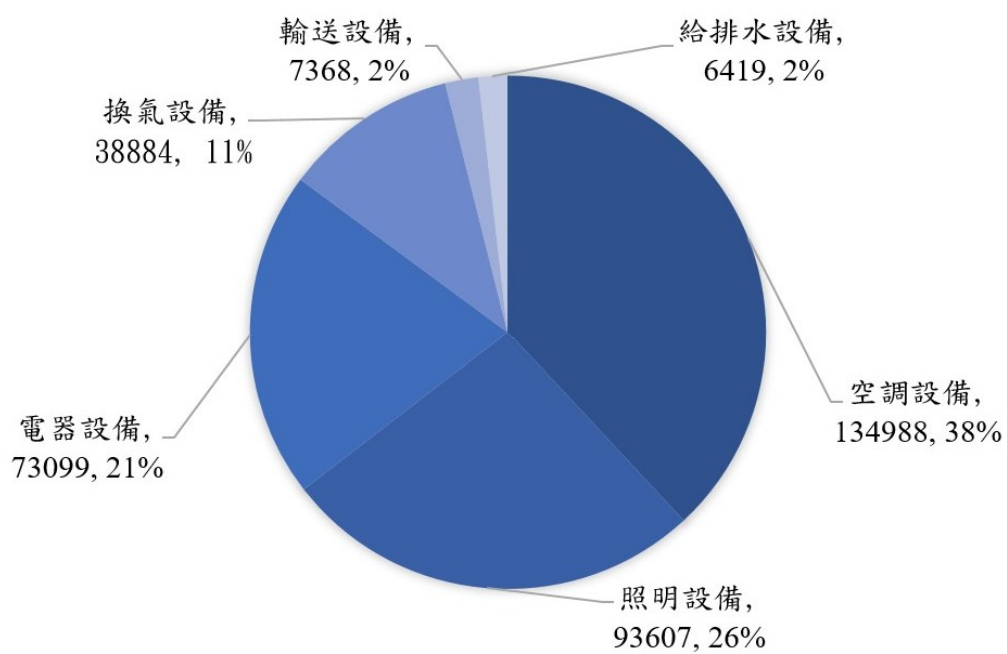


圖 3-41 整年用電量(kWh/yr)

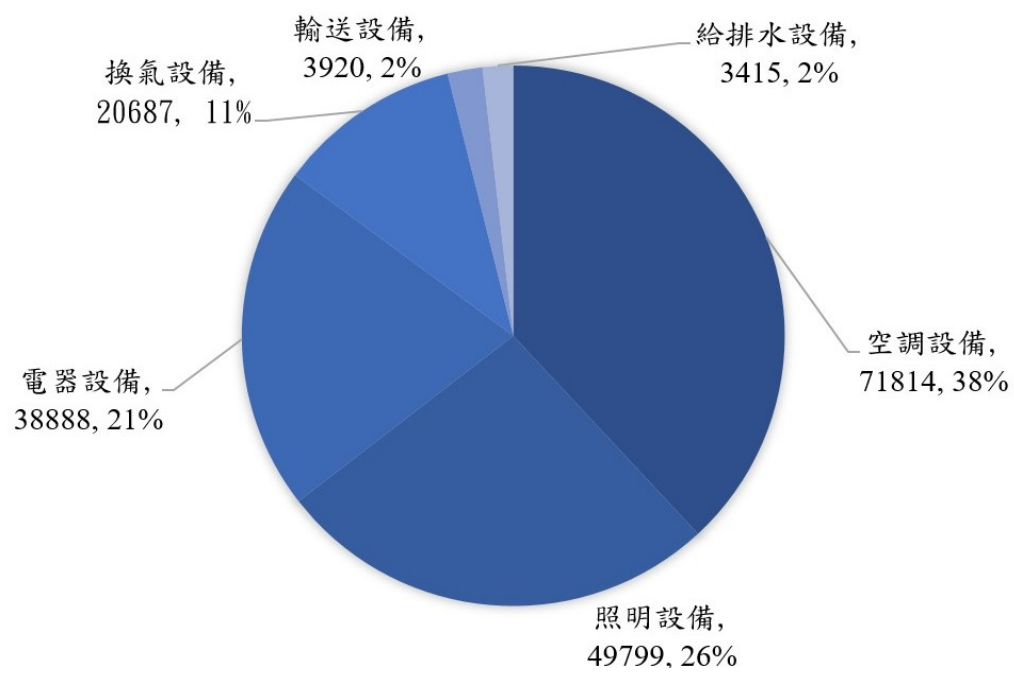


圖 3-42 整年碳排量(kgCO₂e/yr)

二、應用電腦動態模擬辦公建築碳排放量

本節以 eQuest 軟體進行建築空調系統能耗之估計，藉以換算空調系統全年之碳排放量。模擬時以內政部建築研究所公告之台北標準平均氣象年 TMY3 作為外界氣候資料之依據^[A12]。

1. 建築開口部熱性能

建築開口部玻璃之構造，本案所有的開口處（包含對外窗戶以及門）一律採用 8mm 清玻璃做模擬。以下是 8mm 清玻璃的材質特性，其中的玻璃日射遮蔽係數 SC 值(Shading Coefficient)是參考綠建築設計技術規範以 0.91 計算；而玻璃之熱傳透率(U 值)則以 6.16 W/m²K 計，詳細模擬參數如表 3-19 所示。

表 3-19 窗玻璃熱性能參數

玻璃種類	玻璃日射遮蔽係數(SC 值)	熱傳透率 U 值 (W/m ² *K)	可見光穿透率	玻璃外表面發散率 ε (Emissivity)
8mm 清玻璃	0.91	6.07	0.90	0.84

2. 室內發散熱及其使用時程

依照《2015 年版之綠建築評估手冊—基本版 (BC)》當中的分類，可以根據建築物內部空間使用機能與空調時區，將空間劃分為不同之空調分區。以寶山行政大樓的內部空間利用為例，而依據空間功能的不同，可以分為 K1 的辦公類空間（辦公、會議、行政、視聽、研究、實驗相關空間及其附屬大廳與室內公共空間）；K2 的圖書館（含閱讀區、書庫區與及其附屬大廳與室內公共空間）為主；J2 的專用演講廳、禮堂、會議中心、會議廳、演講活動兼用之宗教集會廳。

不同的空間分類有不同的室內發散熱建議值以及相對應的逐時負荷變動率，如表 3-20 所示。本模擬以《2015 年版之綠建築評估手冊—基本版 (BC)》中建議的數值作為基準值，做為未來建築物理條件優化後的比較基準值。各空調使用分區相對應之室內發散熱使用時程，如圖 3-32 至圖 3-34 所示。

表 3-20 各空間室內發散熱密度

項目	人員密度 (Occupant)	照明密度 (Lighting)	事務機器密度 (Equipment)
單位	W/m ²	人/m ²	W/m ²
K1 空調時區	0.2	20	10
J2 空調時區	0.4	25	10
K2 空調時區	0.4	25	10

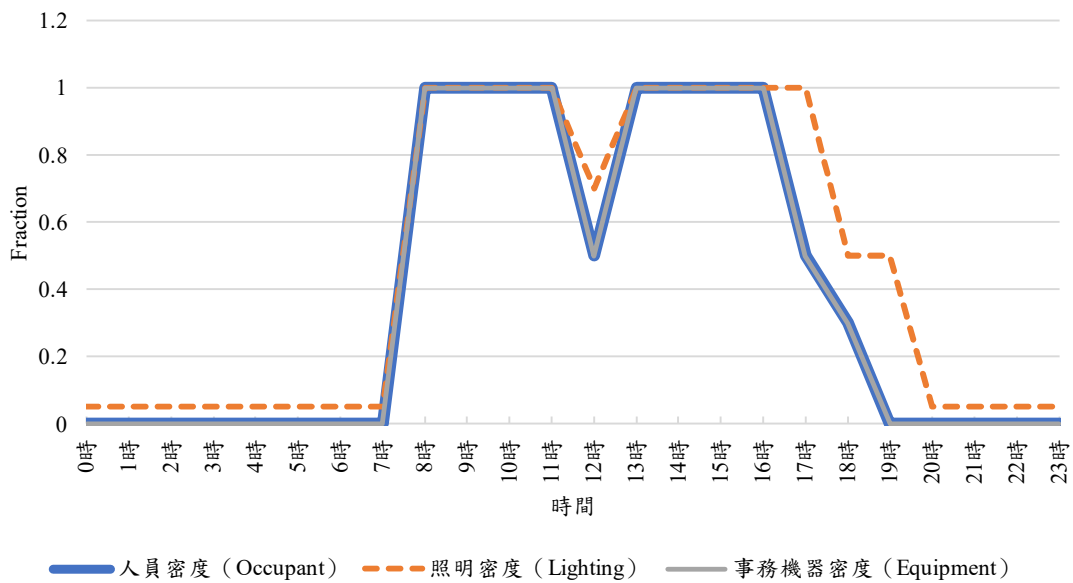


圖 3-43 10 小時行政辦公類空間 (K1) 週間的室內發散熱逐時變動率

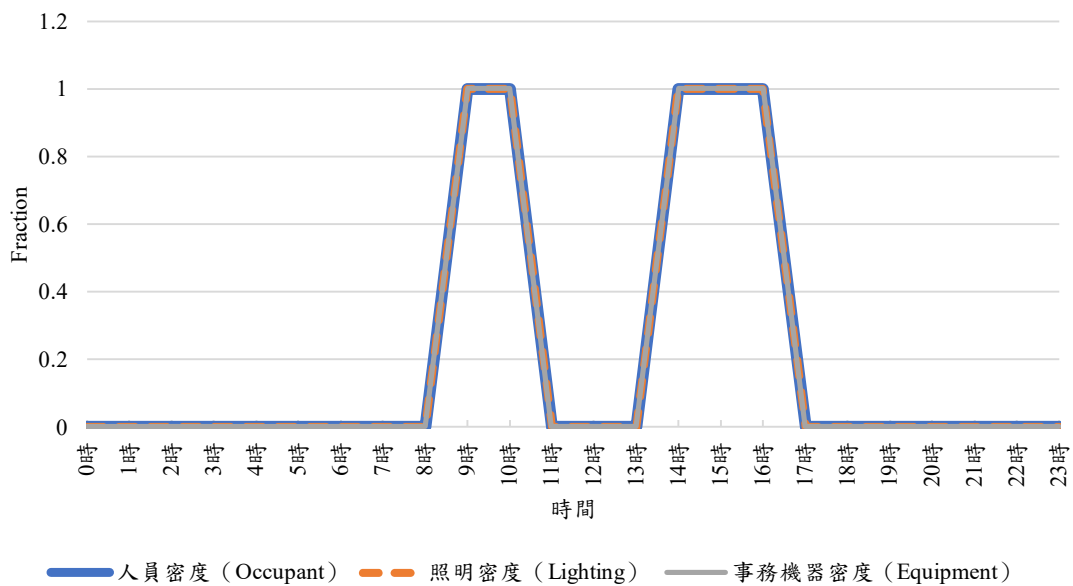


圖 3-44 12 小時間歇使用空間禮堂類別 (J2) 週間室內發散熱逐時變動率

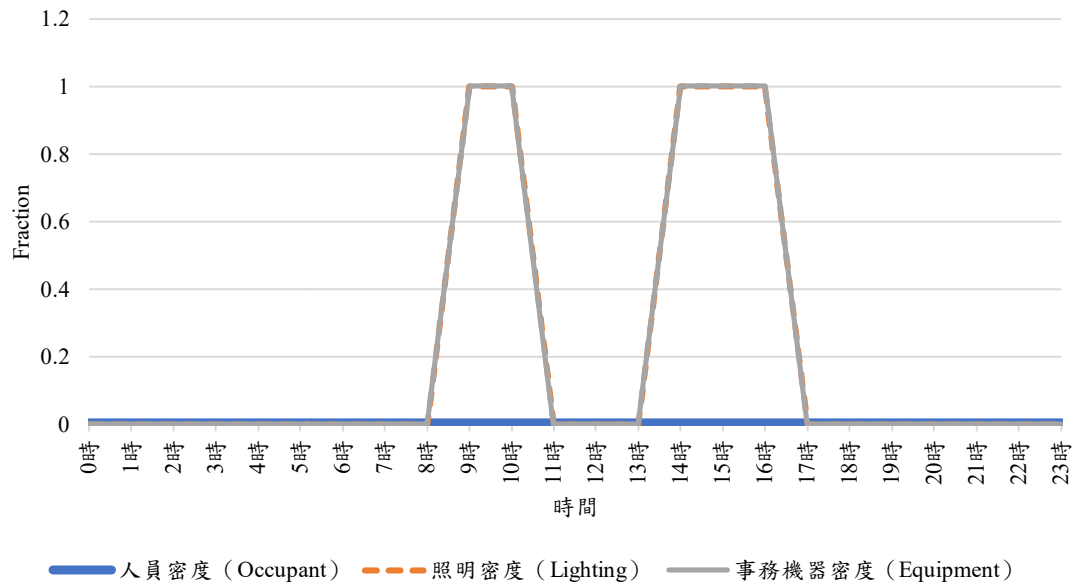


圖 3-45 10 小時行政辦公空間書庫區 (K2) 週間室內發散熱逐時變動率

3. 電腦動態能源解析之建模

本案在 eQuest 模擬中之 3D 示意以及各向立面圖如圖至圖所示。

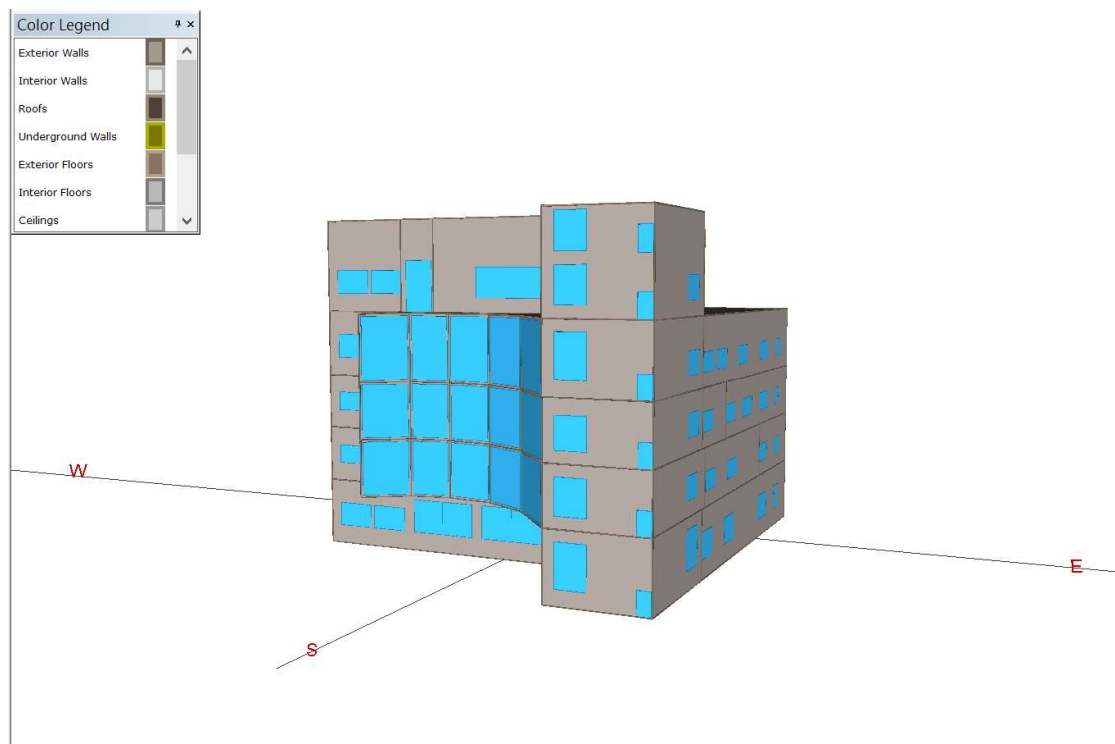


圖 3-46 eQuest 模擬中的大樓透視全貌

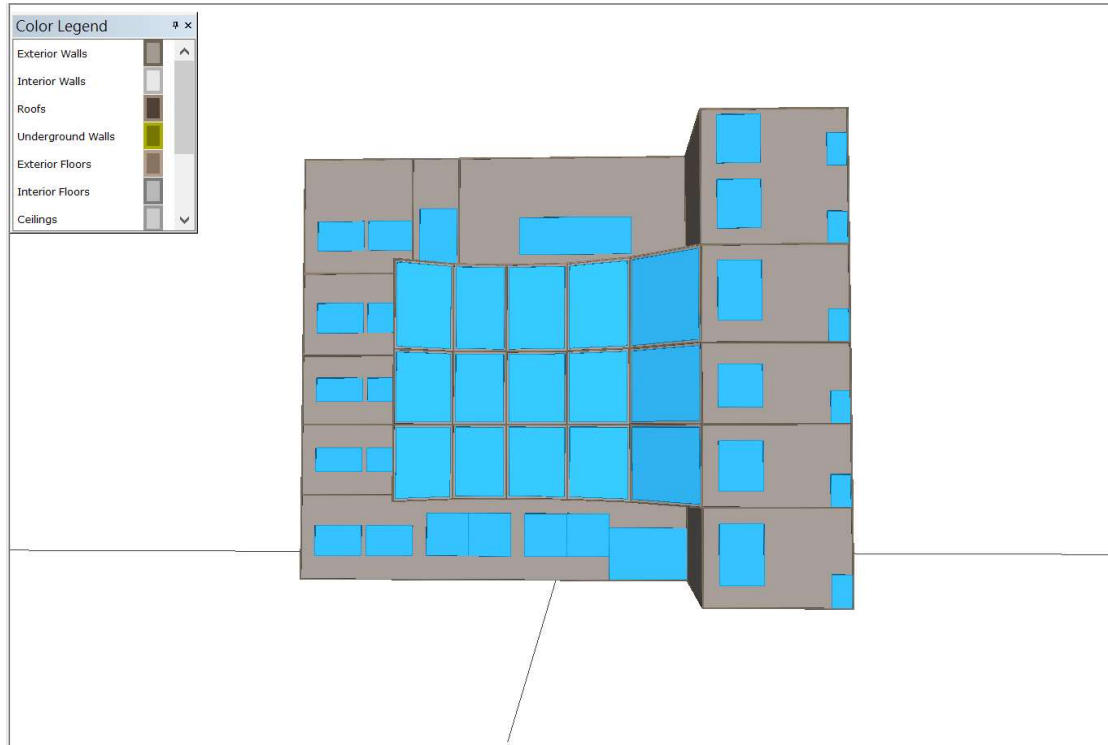


圖 3-47 eQuest 模擬中的南向立面圖

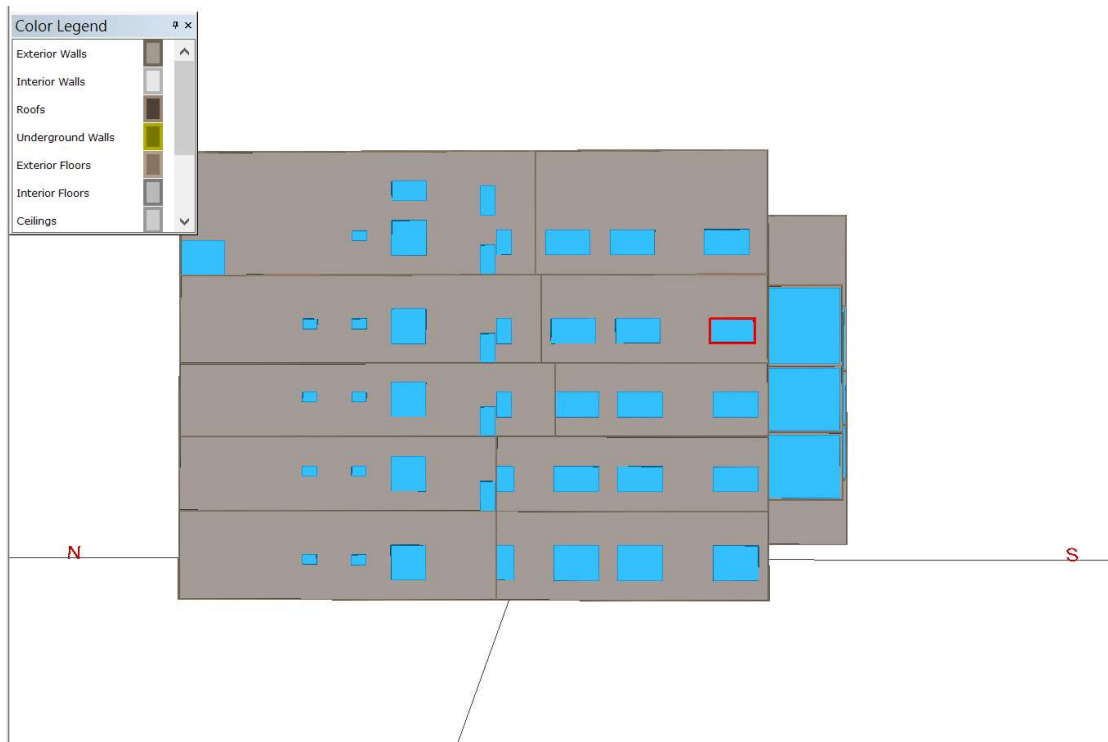


圖 3-48 eQuest 模擬中的西向立面圖

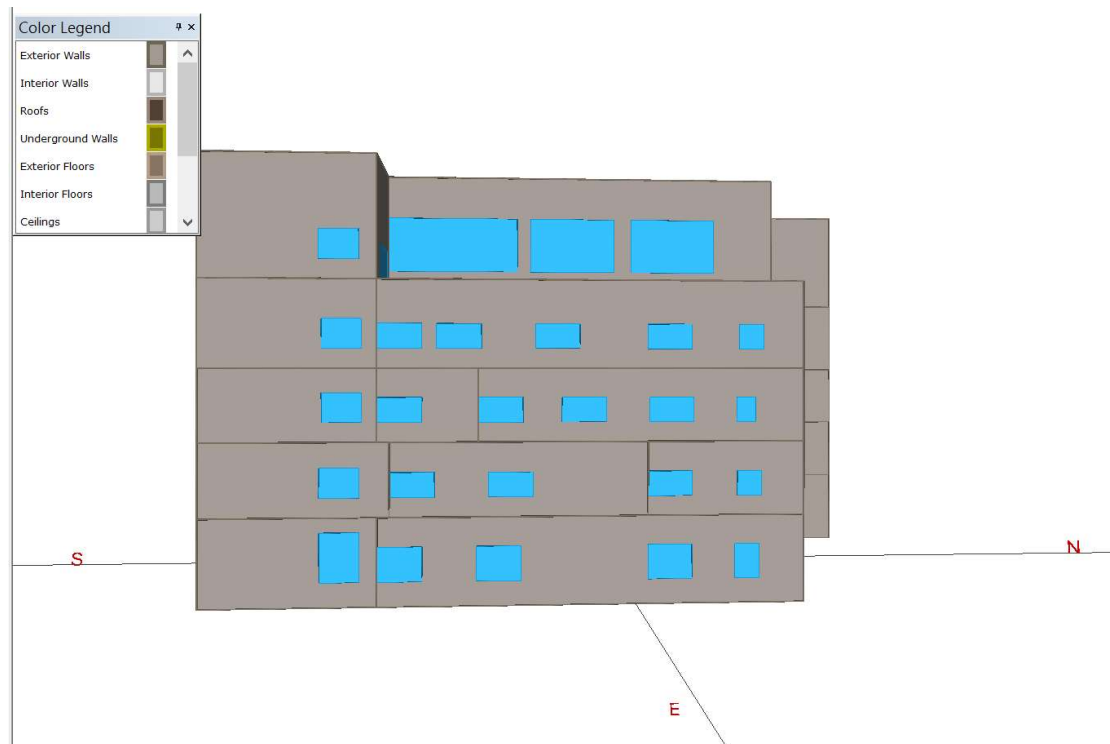


圖 3-49 eQuest 模擬中的東向立面圖

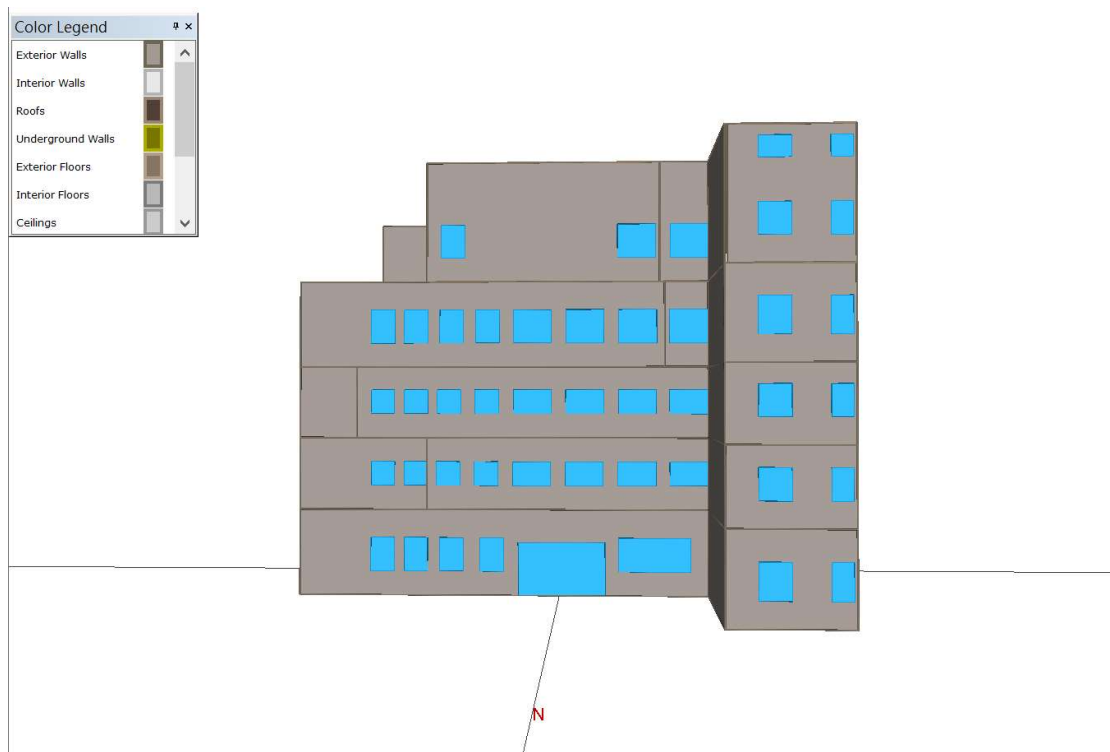


圖 3-50 eQuest 模擬中的北向立面圖

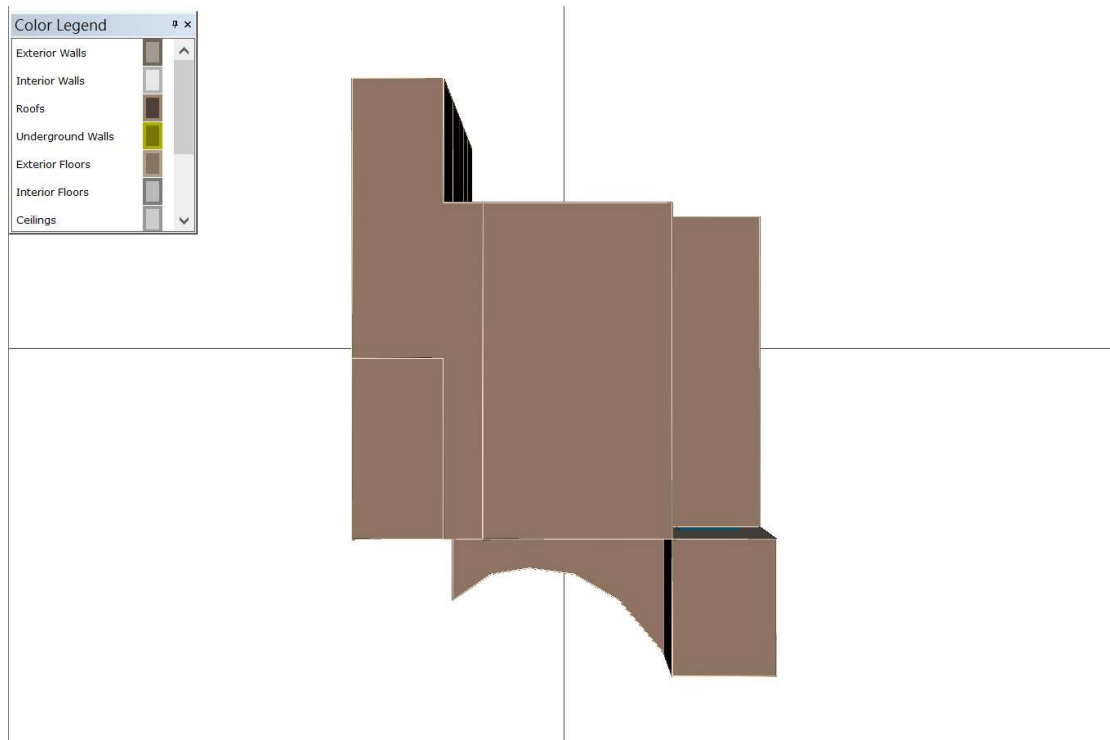


圖 3-51 eQuest 模擬中的俯視圖

4. 空調系統之描述

本案例大樓的空調主要由三台主機供應，而不同的區間也分別由不同的空調系統供應。大樓 10 小時空調區分設三套中央空調系統，分別採用：(1)公所及活動中心：110RT 水冷式冰水主機一台。(2) 戶政事務所：15RT 氣冷式冰水主機一台。(3) 鄉民代表使用空間：25RT 氣冷式冰水主機一台，合計總噸數為 150RT。各主機 COP 值皆優於我國公告之標準值。各空調設備系統之規格如下。

一、公所及活動中心：採用中央式滿液式冰水主機系統 110RT（雙壓縮），室內側搭配小型冷風機及預冷空調箱供應舒適空調環境，活動中心則利用空調箱搭配風管系統。

二、戶政事務所：採用氣冷式冰水主機系統（15RT 雙壓縮機），室內側搭配小型冷風機及預冷空調箱供應舒適空調環境。

三、鄉民代表會：採用氣冷式冰水主機系統（25RT 雙壓縮機），室內側搭配小型冷風機及預冷空調箱供應舒適空調環境。

表 3-21 冰水主機的參數設定

空調主機	冷凍噸數 (RT)	冷卻能力 (Kcal/hr)	COP	EIR	說明
水冷式主機	110	332640	4.83	0.2020	半密螺旋滿液式冰水主機
氣冷式主機	15	45360	2.79	0.3571	氣冷渦卷式冰水主機
氣冷式主機	25	75600	2.79	0.3571	氣冷渦卷式冰水主機

表 3-22 空調箱 (AHU) 參數設定，包含名稱、冷卻能力以及送風量

名稱	冷卻能力 (Kcal/hr)	送風 (CMM)
110RT 5-1 AHU	150000	455
110RT 1-1 AHU	12000	21.67
110RT 4-1 AHU	11800	48.33
110RT 3-2 AHU	16000	28.32
110RT 2-1 AHU	12000	21.67
110RT 2-2 AHU	12000	21.67
15RT 3-1 AHU	16000	28.32
25RT 4-2 AHU	16000	28.32

表 3-23 小型冷風機 (FCU) 參數設定，包含冷卻能力

名稱	冷卻能力 (Kcal/hr)
110RT FC-1	12000
110RT FC-2	12000

空調系統的室內空調設定溫度以及開啟之時程，如圖 3-41 與圖 3-42 摺線圖表示。空調系統的逐時溫度設定，早上 8 點到下午 7 點空調溫度 24℃。空調冰水機在 3 月至 11 月開啟冬季不運轉，期間運轉 10 小時空調從上午 8 時開到下午 6 時，非空調季節則僅空調箱風機運轉。本案空調系統昇位圖以及各空調主機所負責供應之空調空間及其二次側空調系統如圖 3-43、圖 3-44 所示。

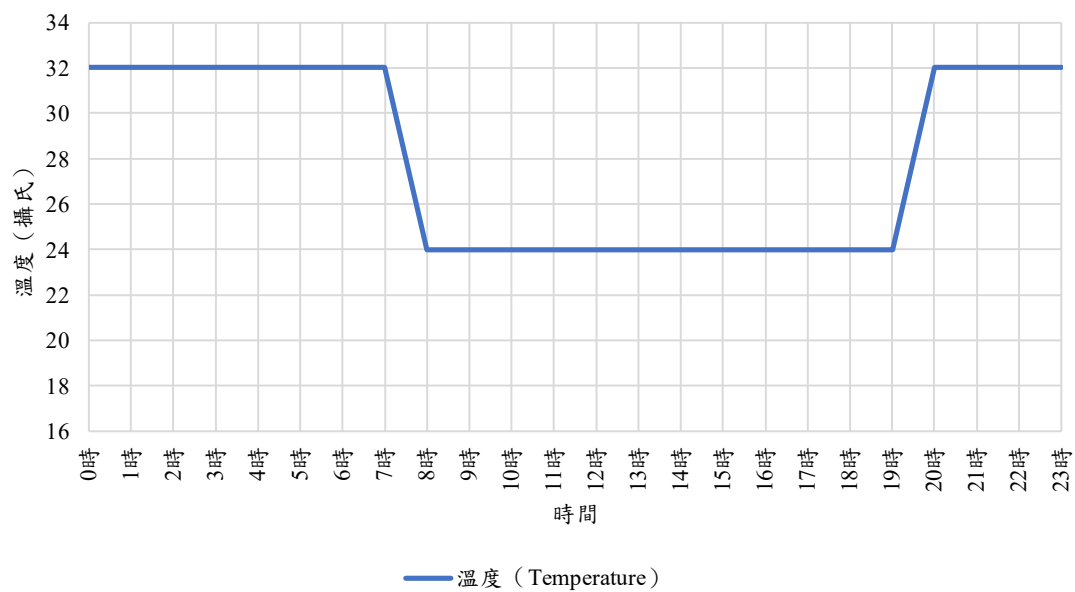


圖 3-52 空調系統週間的逐時溫度設定時程

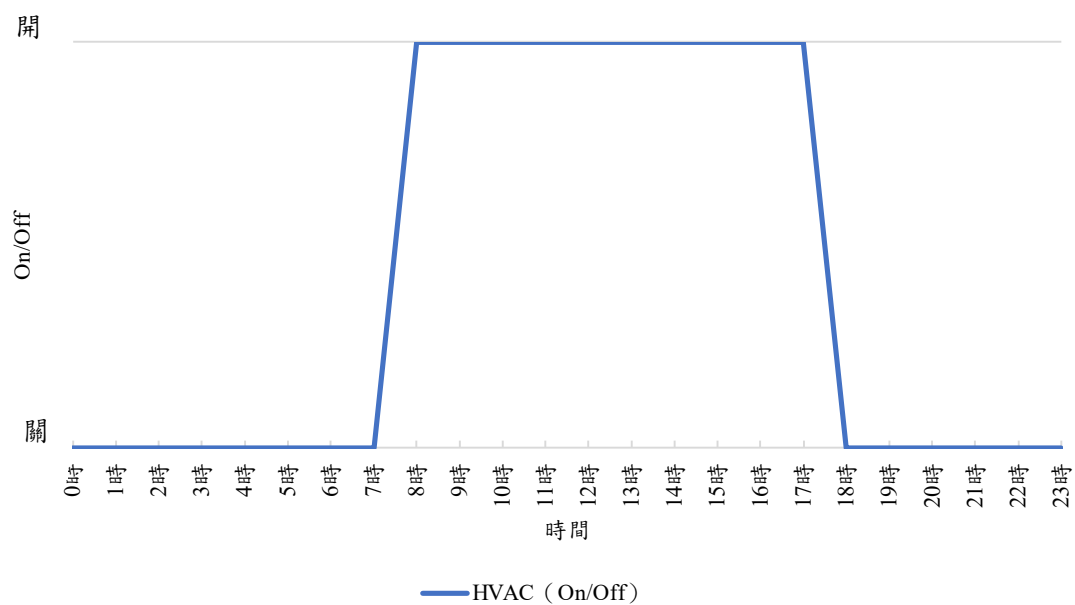


圖 3-53 空調週間開關的時間時程

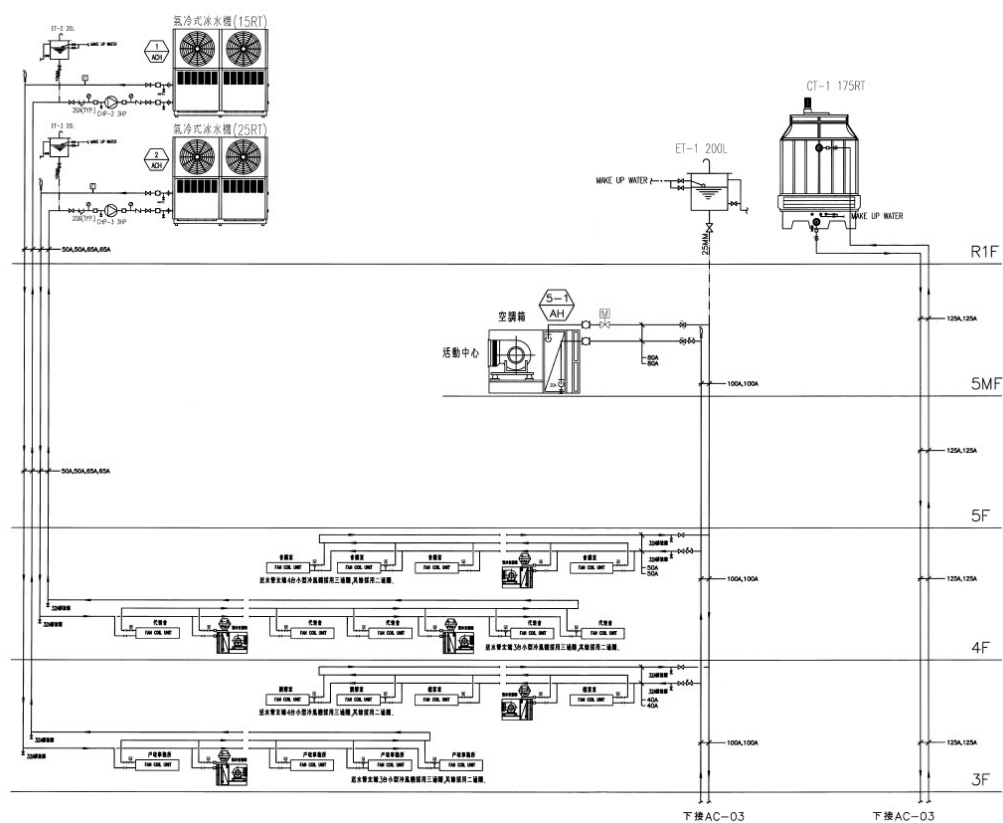


圖 3-54 寶山行政大樓空調系統昇位圖（一）。

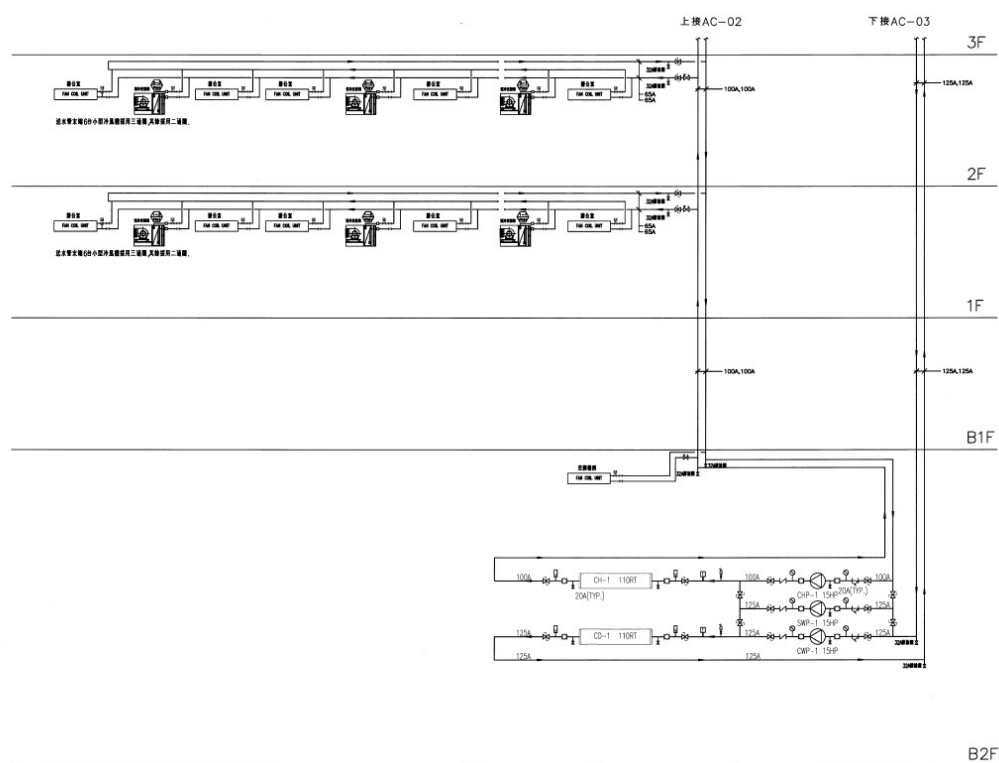


圖 3-55 寶山行政大樓的系統昇位圖（二）

5. 建築能源分析模擬結果闡釋

本辦公建築案例以台北之平均氣象年透過 eQuest 模擬分析之結果在主要設備方面，全年空調總用電量為 132,200 kWh，照明系統耗能 104,640 kWh，事務機器設備用電 7,7720kWh。由於 eQuest 乃基於空調熱負荷計算之軟體，因此對於換氣設備、輸送設備以及建築之給排水設備系統之耗能量並未予以估算。因此，本研究針對上述這些雜項設備耗能的估計，則沿用建築碳足跡評估 BCF 方法計算之。而空調系統、照明系統與事務設備插座用電之逐月耗能量及逐月分布如圖 3-56 所示。

表 3-24eQuest 模擬各項設備系統之耗能量與碳排放量

分類	細項	整年用電量	整年碳排放量	EUI	比例%
		(kWh/yr)	(kgCO ₂ e/yr)		
主要設備	空調設備	132200	70330	30.59	36.0%
	照明設備	104640	55669	24.22	28.5%
	電器設備	77720	41347	17.99	21.2%
雜項設備	換氣設備	38884	20687	9.00	10.6%
	輸送設備	7368	3920	1.71	2.0%
	給排水設備	6419	3415	1.49	1.7%
合計		367231	195368	85.00	100%

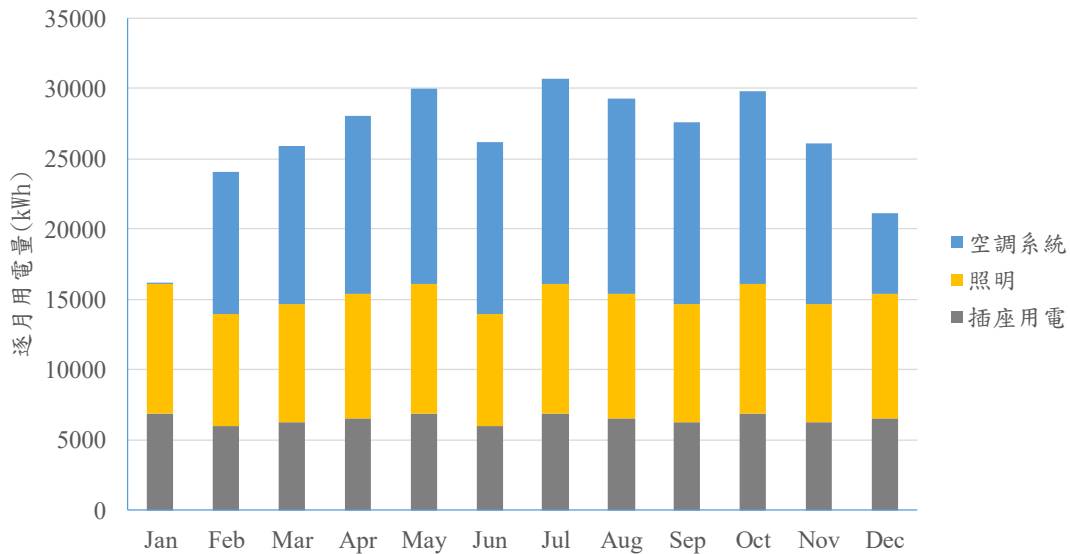


圖 3-56eQuest 模擬下各項主設備逐月耗能量

以建築碳足跡 (BCF 法) 與電腦動態熱負荷解析軟體(eQuest)模擬之結果，共同表列於如表 3-25 所示。顯示二者計算差異不大，二者建築全年耗能 EUI 分別為 BCF 法為 82.02 kWh/m²；而 eQuest 模擬者為 85.00 kWh/m²，模擬值稍高於 BCF 計算值僅約 3.5%。其誤差主要原因在於建築使用時程之假設與 BCF 法內之使用時間假設稍有不一致，而其中差異較多者為照明系統之耗能，此乃因 BCF 法以綠建

築之照明節能指標 EL 作為推估，然而 EL 之評估尚針對照明燈具之型式給予照明節能之優惠計算，此一燈具優惠之節能量並無法真實反應在基於熱負荷計算之軟體中，因而產生模擬值會較計算值高的情況。

表 3-25 建築碳足跡 BCF 與 eQuest 模擬之差異比較

分類	細項	eQuest 模擬				BCF 法			
		年用電量	年碳排放量	EUI	比例%	年用電量	年碳排放量	EUI	比例%
		(kWh/yr)	(kgCO ₂ e/yr)			(kWh/yr)	(kgCO ₂ e/yr)		
主要設備	空調設備	132200	70330	30.59	36.0%	134988	71814	31.24	38.1%
	照明設備	104640	55669	24.22	28.5%	93607	49799	21.67	26.4%
	電器設備	77720	41347	17.99	21.2%	73099	38888	16.92	20.6%
雜項設備	換氣設備	38884	20687	9.00	10.6%	38884	20687	9.00	11.0%
	輸送設備	7368	3920	1.71	2.0%	7368	3920	1.71	2.1%
	給排水設備	6419	3415	1.49	1.7%	6419	3415	1.49	1.8%
合計		367231	195368	85.00	100%	354365	188522	82.02	100%

第四節 住宅建築案例能源評估

本節以一棟實際取得綠建築標章之住宿類建築分別進行(1)建築碳足跡 BCF 法評估，與(2)電腦動態模擬計算之方式，比較二種評估方法下建築日常使用階段之碳排放量。由於本案例並無綠建築標章之申請資料，因此本研究依據建築能源設計技術規範，檢討本案之住宿類建築外殼節能指標 Req，計算結果為 7.65%。

一、應用建築碳足跡 BCF 評估法評估碳排放量

1. 透天住宅建築案例描述

本案為地上 4 層南北向的透天住宅類建築，建築主要正立面面北，主體建物為一矩形之建築，是一棟位於北部氣候區之透天住宅。總樓地板面積為 228.8 m²。建物的一樓室內淨高 4.1 公尺。室內空間屬於 A1 之空調分區，為客廳、飯廳及廚房，其餘非空調空間為廁所及樓梯間。建物二樓室內淨高 3.4 公尺。室內空間屬於 A1 空調分區，設置兩間臥室，其餘東方的陽臺與露臺及樓梯間之廁所屬於非空調區。建物三樓室內淨高 3.4 公尺。室內空間屬於 A1 空調分區，設置兩間臥室，其餘東方的陽臺及樓梯間之廁所屬於非空調區。建物四樓淨高為 3.2 公尺。室內空間屬於 A1 空調分區，設置一間書房。其餘東方的陽臺、西方之露臺及樓梯間之廁所屬於非空調區。本模擬案例之各層平面圖如圖 3-57 至圖 3-60 所示，各樓層空間用途分布如表 3-26 所示。

表 3-26 各層空間用途一覽表

樓層	功能／用途
一樓	客廳、飯廳
	廁所、樓梯間
	廚房
二樓	臥室
	陽臺、露臺
	廁所、樓梯間
三樓	臥室
	陽臺
	廁所、樓梯間
四樓	臥室
	陽臺、露臺
	樓梯間

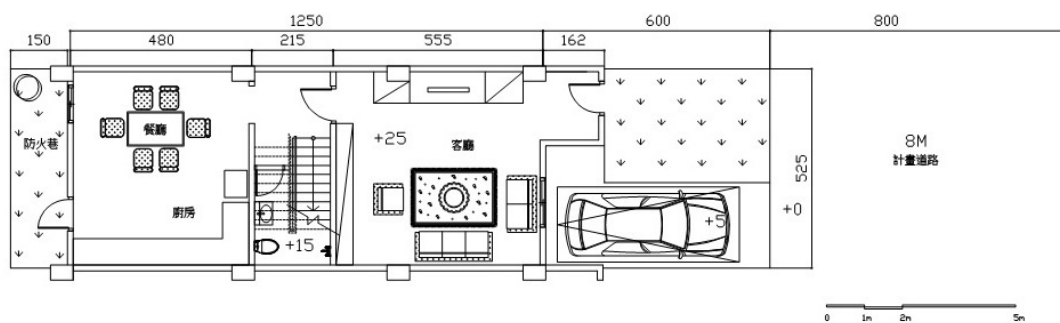


圖 3-57 一層平面圖

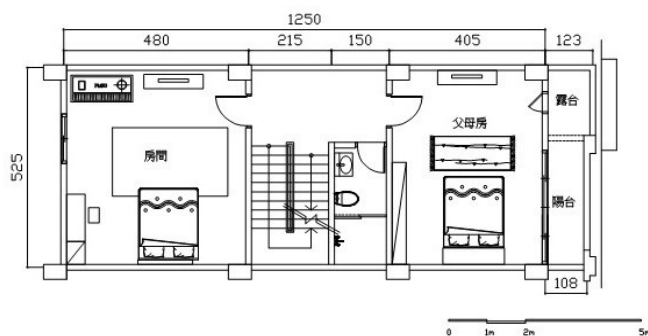


圖 3-58 二層平面圖

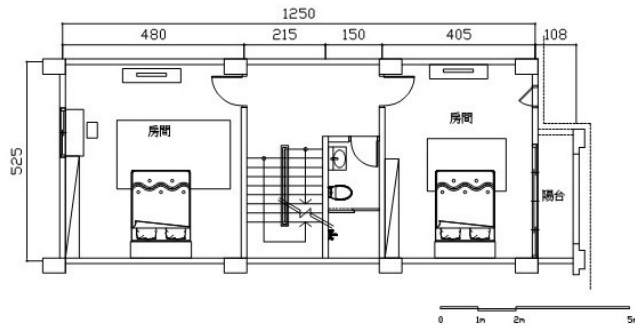


圖 3-59 三層平面圖

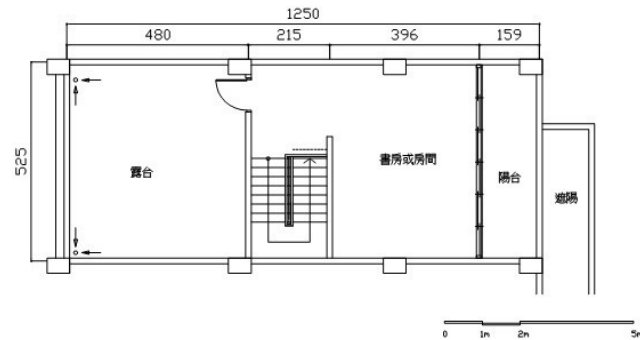


圖 3-60 四層平面圖

根據建築產業碳足跡 BCFc 法(BCF Certification for Completed Projects)(林憲德 2018)，設備系統之耗能碳足跡是由「功能空間」的耗能標準($\sum EUI \times AFI_i$)為主幹，再依建築外殼節能效率 Baci、空調節能效率 EAC、照明節能效率 EL 這三項操作因子所計算而得。本案主設備為空調、照明、電器等三項設備，雜項設備為給污水及加熱兩項設備，所使用主要功能空間屬於 24 小時間歇空調型住宅類空間(A1)，其各項耗能密度 EUI，如表 3-27 所示。

表 3-27 各類功能空間耗能密度標準 EUI_{ij}

空調營運分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準 (kWh/m ² yr)			EUI _{ij} (kWh/m ² yr)
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}	電器 EUI _{ei}	
24 小時 間歇空調 型住宅類 空間	A1	間歇空調透天住宅、集合住宅 (含地上室內空間)	9	14	20	43

2. 建築碳足跡 BCF 法之各階段計算流程

(1) 室內空調樓地板面積(AFI_i)計算

各層樓之樓地板面積請參考(圖 3-57~圖 3-60)，各空調分區之內外周區樓地板面積列表如表 3-28。

$$AFI_i = AFp_i + AFm_i + AFo_i \quad (3-13)$$

其中：

AFp_i：i 類耗能特性空間之外周區總樓地板面積(m²)

AFm_i：i 類耗能特性空間之內周區總樓地板面積(m²)

AFo_i：i 類耗能特性空間被排除計算之「外殼熱性能固定之大空調空間總面積」(m²)

表 3-28 室內空調樓地板面積

功能空間	AFp _i	AFm _i	AFo _i	計算結果 AFI _i
A1	228.8	0	0	228.8

主設備碳足跡之耗能計算

(2) 空調設備碳足跡(CFa)

$$CFa = (\sum EUIa_i \times AFI_i \times Bac_i) \times EAC \times \beta \quad (3-14)$$

其中：

CFa：建築使用空調耗能碳足跡(kgCO₂e)

EUIa_i：i 類功能空間之空調耗能密度(kwh/m²*yr)，取值參考(表)

AFI_i：i 類功能空間之室內空調樓地板面積(m²)，取值參考(表)

Bac_i：建築外殼節能效率，詳(式 3)

EAC：空調系統節能效率，取值自綠建築標章報告書，本案為 0.73。

β：碳排係數(kgCO₂e/kWh)，標準 0.532 (kgCO₂e/度)

$$Bac_i = 1.0 - 0.1 \times EEV_i \quad (3-15)$$

其中：EEV_i 為外殼節能效率，參考綠建築評估手冊之(EVc-EV)/(EVc-EVmin)值計算之。

本案由於非綠建築標章之申請案例，因此本研究重新計算其住宿類外殼節能指標為 Req=7.65%。各項 EV 之計算如表 3-29，EVc=13%；EVmin=4.6%，經代入式 3-15 之計算後其 Bac_i=0.936。

表 3-29 外殼節能效率

EVc	13%	EEVi	Baci
EV	Req=7.65%	0.637	0.936
EVmin	4.6%		

空調節能效率 EAC 部分，本案空調設備系統設計，每間房間皆使用二級能源效率之空調，其 EAC=0.6。

由上述可得知，以 $\sum EU_{Iai} \cdot AFI_i = 2059.2$ 、 $Bac_i = 0.936$ 、 $EAC = 0.6$ 、 $\beta = 0.532$ 代入(式 2)可得本案建築使用階段空調耗能碳足跡(CFa)= $2059.2 \cdot 0.936 \cdot 0.6 \cdot 0.532 = 615$ (kgCO₂e)

(3)照明設備碳足跡(CFI)

$$CFI = \sum (EUI_{li} \times AFI_i) \times EL \times \beta \quad (3-16)$$

其中：

CFI：建築使用照明耗能碳足跡(kgCO₂e)

EUI_{li}：i 類功能空間之照明耗能密度(kwh/m²*yr)

EL：照明系統節能效率，基準案以 0.8 計

照明系統節能效率 EL 部分，本建築使用二級能源效率之照明設備，並取用基準案=0.8 來做計算。由上述可得知， $\sum EUI_{li} \cdot AFI_i = 3203.200$ 、 $EL = 0.8$ 、 $\beta = 0.532$ ，代入(式 4)可得 $CFI = 3203.200 \cdot 0.8 \cdot 0.532 = 1363$ (kgCO₂e)

(4)電器設備碳足跡(CFe)

礙於本案之無綠建築申請資料，因此無法準確得知二級以上之電器數量資訊，因此暫以 BCFd 法來計算，並採下式 5 計算電器設備之碳足跡。

$$CF_e = \sum EU_{lei} \times AF_{li} \times ER_{ei} \times \beta \quad (3-17)$$

其中：

CF_e ：建築使用電器耗能碳足跡(kgCO₂e)

EU_{lei} ：i 類功能空間之電器耗能密度(kwh/m²*yr)，參考(表)

ER_{ei} ：i 類功能空間之插座電器承諾節能潛力 (採夜間待機用電停機設定，有則 0.9、無則 1.0)

插座電器承諾之節能潛力部分，假設本案並無採夜間待機用電停機進行插座電器節能， ER_{ei} 以 1.0 計。由上述可得知 $\sum EU_{lei} \times AF_{li} = 4576$ 、 $ER_{ei} = 1.0$ 、 $\beta = 0.532$ ，代入(式 5)可得 $CF_e = 4576 \times 1.0 \times 0.532 = 2434$ (kgCO₂e)

雜項設備碳足跡之耗能計算

(5)給污水設備碳足跡(CF)

$$CF_{wt} = W_t \times \beta \quad (3-18)$$

其中：

CF_{wt} ：建築使用給污水耗能碳足跡(kgCO₂e)

W_t ：給污水耗電量(kWh/yr)

給污水設備是以計算淨水污水處理及自來水之馬達揚水設備之碳足跡兩者而得。本建築並未使用雨水沖廁系統以及雨水庭園澆灌系統；因此淨污水耗能密度將以標準值 0.81 來做計算。又，

$$\begin{aligned} W_t &= [Q_w \times E_{wp} + (Q_w - 365 \times q_{rw}) \times E_{wt}] \times R_w \\ &= \{Q_w \times [0.02 \times (S + 2)] + (Q_w - 365 \times q_{rw}) \times E_{wt}\} \times R_w \end{aligned} \quad (3-19)$$

$$Q_w = \sum (n_{pi} \times Q_{wi}) \quad (3-20)$$

其中：

Q_{wi} ：i 類空間用水量(m³/yr)

n_{pi} ：i 類空間使用人數(人)

本案之空間屬於為 A1，空間使用人數為 6 人，且 A1 空間用水量為 98.6(m³/yr)。代入(式 3-20)可得 $Q_w = \sum (n_{pi} \times Q_{wi}) = 6 \times 98.6 = 591.6$ (m³/yr)。式 3-20 中之各項變數取值如表 3-30 所示，代入式 3-20 中計算可得 $W_t = 550.188$ 。

表 3-30 給污水各設備參數值

npi i 類空間使用人數	6	rt1 有雨水利用廁所面積(m ²)	0	S 地上總樓層數	4
w1 雨水沖廁系統 (m ³ /人*day) 有=0.06；無=0	0	rt2 總廁所面積(m ²)	9.225	Qw 總用水量 (m ³ /yr)	591.6
w2 雨水庭園澆灌系統 (m ³ /m ²) 有=0.003；無=0	0	r1 省水馬桶使用比例 (基準案=0.0)	0	Ewt 淨水污水處理 裡耗能密度 (kWh/m ³)	0.81
Aig 雨水利用庭園澆灌 面積(m ²)	0	r2 省水水栓使用比例 (基準案=0.0)	0	Rw 省水效率 [無單位]	1

再將 $W_t=550.188$ 、 $\beta=0.532$ 代入(式 3-18)與(式 3-19)中，可得給污水設備碳足跡 $CF_{wt} = 550.188 \times 0.532 = 293(\text{kgCO}_2\text{e})$ 。

(6)加熱設備碳足跡(CFtr)

$$CF_g = G1_j + G2_j \quad (3-21)$$

其中：

CF_g ：建築使用加熱耗能碳足跡(kgCO₂e)

$G1_j$ ：加熱設備碳排量(kgCO₂e/yr)

$G2_j$ ：廚房設備碳排量(kgCO₂e/yr)

加熱設備 $G1_j$ 包含電熱水器、熱泵熱水器以及瓦斯熱水器三項；廚房設備 $G2_j$ 包含廚房電熱爐、廚房 IH 爐以及廚房瓦斯爐三項。本建案之加熱設備為瓦斯熱水器；廚房設備為廚房瓦斯爐。根據加熱設備規格，參考表 3-31 之標準碳排量來計算。

表 3-31 設備標準碳排量

分類	設備碳排量 (kgCO ₂ e/yr)	項目	設備碳排量 (kgCO ₂ e/yr)	計算結果
G1j(加熱設備)	313	電熱水器	0	735
		熱泵熱水器	0	
		瓦斯熱水器	313	
G2j(廚房設備)	422	廚房電熱爐	0	
		廚房 IH 爐	0	
		廚房瓦斯爐	422	

由上述可得知， $G1_j=313$ 、 $G2_j=422$ 代入(式 3-21)可得 $CF_g = 313+422 = 735$ (kgCO₂e)。

3. 整體設備碳足跡之耗能計算

本建案整體設備包含空調、照明、電器等三項主要設備，以及給污水與加熱兩項雜項設備。根據式 3-22 計算加總即可得整體設備之碳足跡。

$$CF_{eu} = CF_a + CF_l + CF_e + CF_{wt} + CF_g \quad (3-22)$$

其中，

$$CF_a=615、CF_l=1363、CF_e=2434、CF_{wt}=293、CF_g=735$$

故

$$CF_{eu} = 615+1363+2434+293+735 = 5440 \text{ (kgCO}_2\text{e)}$$

茲將上述各步驟之碳排計算列表如下，合計全年之總碳排放量為 5440 (kgCO₂e/yr)，全年用電耗能為 10228 (kWh/yr)，本案之 EUI 相當於 44.70 (kWh/m²)。本案件建築主要設備碳排放佔總碳排 81% 雜項設備碳排佔 19%。而，各設備細項之耗能比例以及相對應之碳排比例分布，分別如圖 3-61~圖 3-63 所示。

表 3-32 建築使用階段 BCF 法碳足跡計算列表

分類	細項	整年用電量 (kWh/yr)	整年碳排放量 (kgCO ₂ e/yr)	EUI	比例%
主要設備	空調設備	1157	615	5.06	11.3%
	照明設備	2563	1363	11.20	25.1%
	電器設備	4576	2434	20.00	44.7%
雜項設備	給污水設備	550	293	2.40	5.4%
	加熱設備	1382	735	6.04	13.5%
合計		10228	5440	44.70	100%

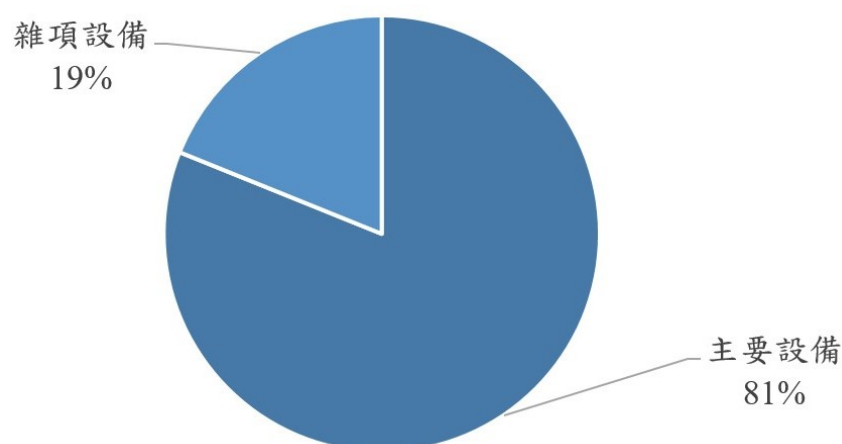


圖 3-61 設備比例

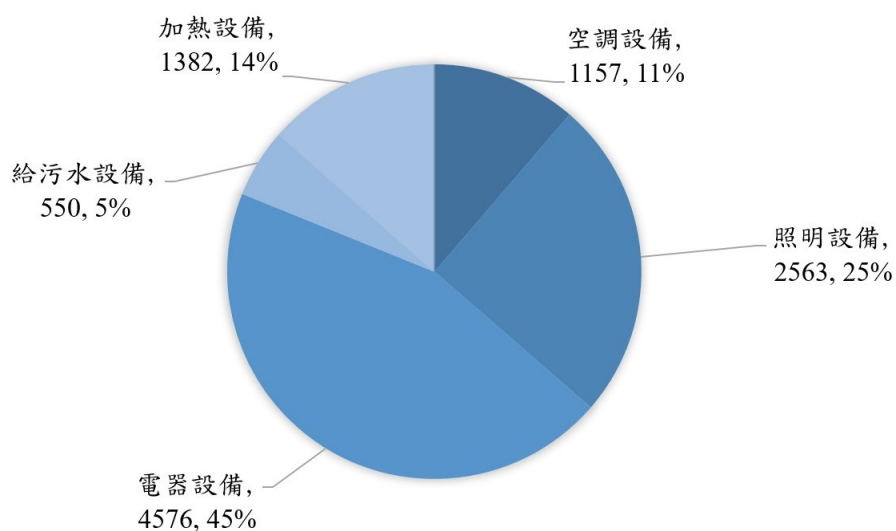


圖 3-62 整年用電量(kWh/yr)

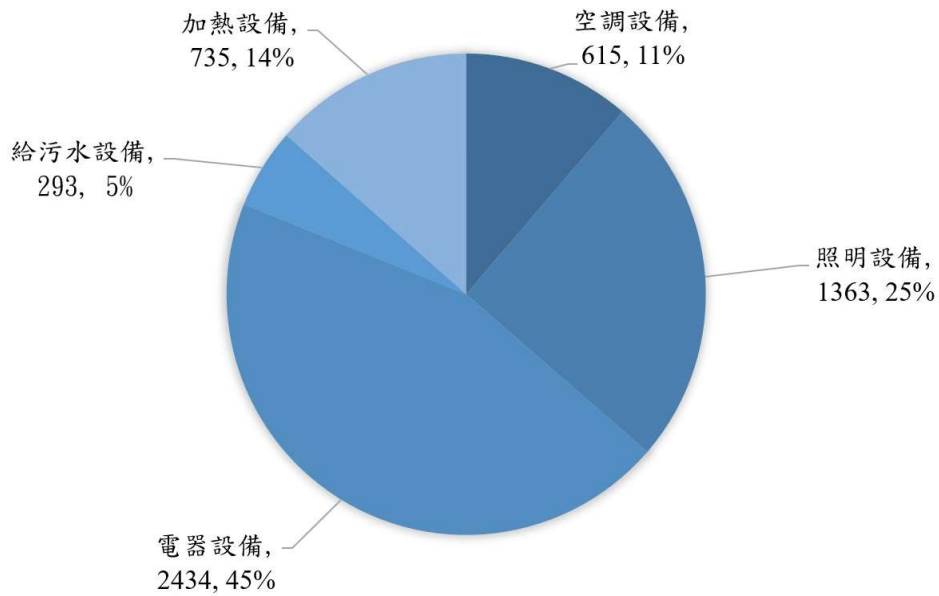


圖 3-63 整年碳排量(kgCO2e/yr)

二、應用電腦動態模擬住宿類透天住宅碳排放量

在 eQuest 模擬方面，假設住宅之空調使用月份為五月至九月底，屋頂構造熱傳透率 U 值為 $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ；建築外牆構造熱傳透率 U 值為 $3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ；空間照明密度： 4.85 W/m^2 ；住宅開口部玻璃構造為 6mm 清玻璃。室內人員使用與照明使用時程設定如圖 3-64 所示，採用一般住宿類之時程分布。

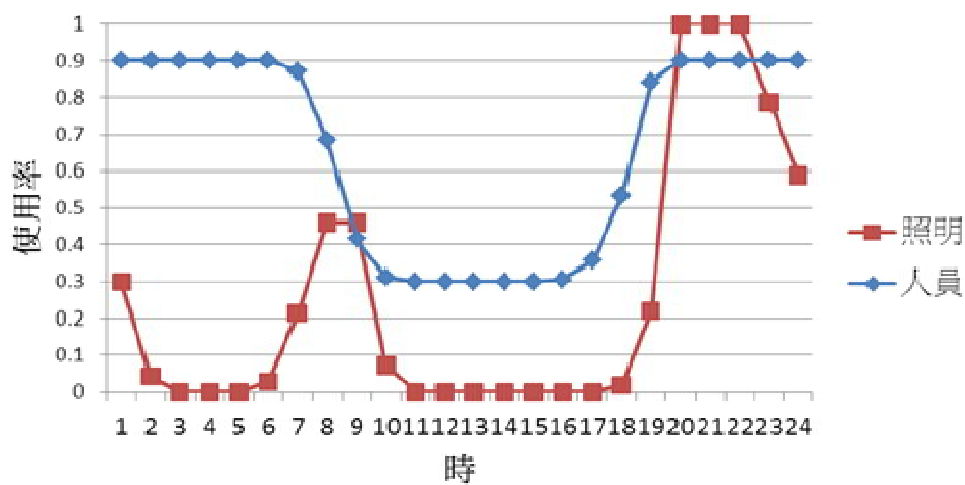


圖 3-64 室內照明與人員使用時程分佈

三、模擬結果闡釋

本透天住宅之建築案例以台北之平均氣象年透過 eQuest 模擬分析之結果在主要設備方面，全年空調總用電量為 1162 kWh，照明系統耗能 2554 kWh，事務機器設備用電 4498kWh。由於 eQuest 乃基於空調熱負荷計算之軟體，因此對於換氣設備、輸送設備以及建築之給排水設備系統之耗能量並未予以估算。因此，本研究針對上述這些雜項設備耗能的估計，則沿用建築碳足跡評估 BCF 方法(見前節內容)計算之。如下表 3-33 所示。而空調系統、照明系統與事務設備插座用電之逐月耗能量逐月分布如圖 3-65 所示。

表 3-33eQuest 模擬各項設備系統之耗能量與碳排放量

分類	細項	整年用電量	整年碳排放量	EUI (kWh/m ²)	比例%
		(kWh/yr)	(kgCO ₂ e/yr)		
主要設備	空調設備	1,162	618	5.08	11.5%
	照明設備	2,554	1359	11.16	25.2%
	電器設備	4,498	2393	19.66	44.3%
雜項設備	給污水設備	550	293	2.40	5.4%
	加熱設備	1382	735	6.04	13.6%

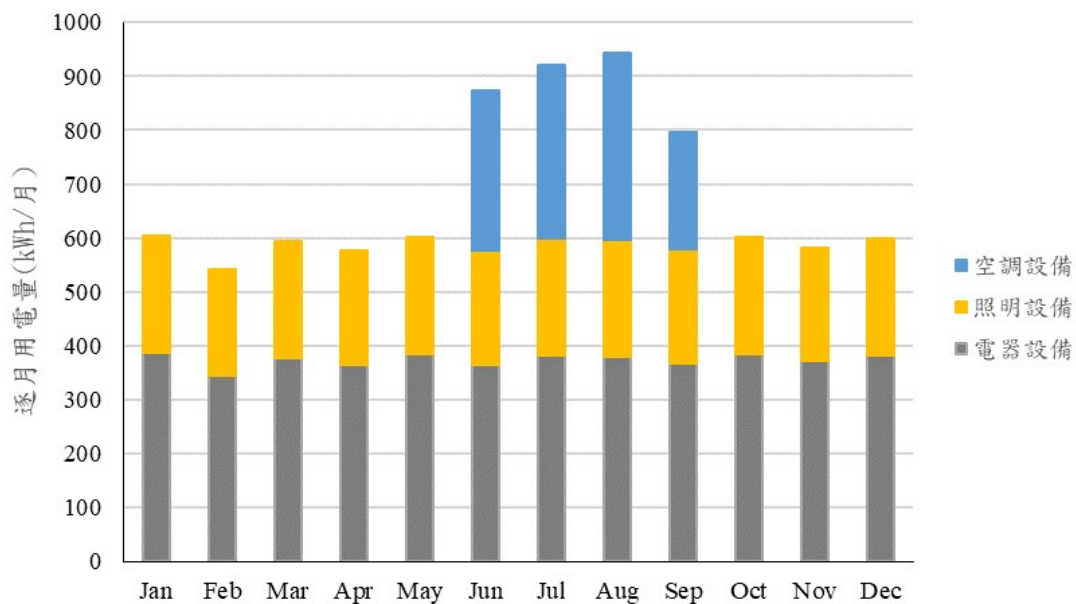


圖 3-65 eQuest 模擬下各項主設備逐月耗能量

今將前一節以建築碳足跡（BCF 法）與電腦動態熱負荷解析軟體(eQuest)模擬之結果，共同表列如表 3-34 所示。顯示二者計算差異不大，二者建築全年耗能 EUI 分別為 BCF 法為 44.70kWh/m²；而 eQuest 模擬者為 44.34 kWh/m²，模擬值稍低於 BCF 計算值僅約 0.8%。

表 3-34 住宿類建築碳足跡 BCF 與 eQuest 模擬之差異比較

分類	細項	eQuest 模擬				BCF 法			
		年用電量	年碳排放量	EUI	比例%	年用電量	年碳排放量	EUI	比例%
		(kWh/yr)	(kgCO ₂ e/yr)			(kWh/yr)	(kgCO ₂ e/yr)		
主要設備	空調設備	1,162	618	5.08	11.45%	1,157	616	5.06	11.31%
	照明設備	2,554	1,359	11.16	25.17%	2,563	1,364	11.20	25.06%
	電器設備	4,498	2,393	19.66	44.33%	4,576	2,434	20.00	44.74%
雜項設備	給污水設備	550	293	2.40	5.42%	550	293	2.40	5.38%
	加熱設備	1,382	735	6.04	13.62%	1,382	735	6.04	13.51%
合計		10,145	5,397	44.34	100%	10,228	5,441	44.70	100%

第四章近零能源建築調和綠建築之發展策略與制度探討

第一節 近零能源建築操作設計及評估方法探討

國內近零能源建築（nZEB）意義為低耗能的綠建築，日常耗能利用建築物設置的再生能源系統達到自給自足，兩者相抵銷後，耗能為零。零能源建築優先目標應為「建築節能」，亦即零耗能建築本身必須先透過各種節能設計手法降低自身的耗能需求，其次才是考量透過再生能源抵銷其耗能成為零耗能建築。因此，近零能源建築必須以建築耗能評估與標示為目標，建立簡化且可靠的建築能源評估法，以供執行落實與推動實踐。目前國際間的建築能源標示方法，以建築能源密度EUI (Energy Unit Intensity)為指標，評估方法大致分為營運評估法（Operational Rating）與模擬評估法(Asset Rating)。

營運評估法採用能源紀錄單據或能源實測資料來評估，故又稱為量測評估法(Measured Rating)，其評分標示採用既有能源統計的經驗基準(Empirical Benchmarking)來判別與執行。美國的能源之星(Energy Star)評估標示制度，即是採此營運評估或量測評估法，評估對象為建築物的能源密度EUI數據與美國環保署EPA的建築分類母體EUI的統計值來進行比較評估。該建築分類標準EUI之統計母體來自於美國能源資訊管理署EIA (Energy Information Administration)的商業建築耗能調查CBECS (Commercial Building Energy Consumption Survey)計畫所收集的大量EUI實際耗能資料。

模擬評估法採用一系列假設情境與熱負荷計算模型來模擬計算作為評估之依據，故又稱計算評估法(Calculated Rating)或模型基準標示法(Model-based Benchmarking)。評估方法上以數種建築變數，包括暖房度時、冷房度時、人員密度、營運時間等所組成之回歸方程式，預測該建築物的實際耗電資料來執行對比評估，並以低於設定之建築物標準EUI的節能百分比評定分數。歐盟的EPC (Energy Performance Certification)與DEC (Display Energy Certificates)，澳洲的NatHERS (Nationwide House Energy Rating Scheme)與NABERS (National Built Environment Rating System)，美國的HERS (Home Energy Rating)與BEAS (Building Energy Asset Score)均採此模擬評估法。

國內綠建築評估制度及評估方法，根據國情及實際建築能耗現況特性，長期以來以改良式模擬評分方式進行，延續碳足跡及能源標示相關制度研議既有研究成果，也以實證模擬評估法為主。本研究參採國內「動態EUI理論」，適用於國內建築機能混合使用之情況，相較國際採用單一建築分類之預測方法，比較精確預測國內建築耗能之特性。依據建築物之不同「耗能分區」分類模擬預測各分類空間之耗能量，再組合成整體建築物的耗能預測值，排除建築混用、營運複雜化差異，以減少預測之誤差。根據動態EUI理論概念，一棟由展覽、商業、辦公等三類耗能分區所組成的建築物，建築主要設備的耗能標準將由此三類空間的EUI值加權計算而得。本研究參採低碳建築聯盟所提BCF法計算耗能量（kWh/m².yr），以及動態EUI計算為節能評估基準，整體建築系統空間的總耗能密度值平均推估EUI之計算，如式4-1 所示：

$$EUI = \sum EUI_i \times AFI_i / AF \times ERI \quad (4-1)$$

EUI：建築平均單位面積耗能密度（kWh/m².yr）

EUI_i：i 類空間之建築耗能密度（kWh/m².yr）

AFI_i：i 類空間之室內樓地板面積（m²）

AF：室內總樓地板面積（m²）

ERI：i 類空間之承諾節能潛力值或節能設計節能效率值，無單位，基準案時ER_{ai}=1.0。

調和綠建築制度與評估方法，新建建築近零能源建築基準將與綠建築日常節能指標之模擬評分計算連結，建立基本門檻節能率基準，呼應零能源建築實踐之節能優先基本要領。在建築節能率評估方法與操作程序上，首先必須建置建築耗能的「標準情境」，其次再建立「基準建築」節能效益量化之評估方法，最後再計算再生能源的替代效率，作為評估判斷之依據。

（1）建置建築耗能的「標準情境」

本研究在既有的研究成果下，先確立節能基準點，再以相關的節能手法對解析住宅耗能密度EUI，來進行近零耗能計算的探討。本研究參採「低碳建築聯盟」的「BCF 評估法」，直接以「標準虛擬情境」的建築耗能進行評估。一棟建築是否耗能，與其「建築耗能密度」有關。建築耗能密度（Energy Use Intensity, EUI）

為一棟建築物單位樓地板面積的耗電量，能反映建築物的耗能特性，通常EUI 越高，表示建築物越耗能。本研究參考低碳建築聯盟的「碳足跡評估法（簡稱BCF法）」所設定的「標準虛擬情境」，將複雜的使用者、時程、設備透過能源動態模擬先行「標準化」。例如住宅建築設定每戶住宅標準人口設定為大人2人、小孩2人，同時將住宅空間的三大主要耗能來源（家電設備、照明設備、空調設備）的耗電量標準化（林憲德，2015）。

（2）「標準建築」節能效益之量化評估

國外的近零耗能建築案例，均導入完備的建築能源管理系統（BEM），因此能有效率的掌握建築物各類耗能支出，本研究導向近零耗能建築EUI 情境之可行性探討，呼應未來既有建築建築綠建築分類評估與建築能源標示制度推動。藉由標準建築建立的標準耗能情境後，將此定義為「基準值」；而後評估建築採用節能技術之後的耗電量，此為「設計值」；「基準值」與「設計值」之比較可得節能效益。由於建築物的主要能源消耗包括空調、照明、電器、輸送、給排水等五項。因此分別將空調、照明、電器、輸送、給排水設備所採用的節能手法與EUI推算出之後，可得數種節能手法設計下不同的建築EUI，做為後續近零能源建築可行性評估的基礎模型。本研究參採既有研究文獻之評估方法與綠建築制度，利用適宜的建築節能設計技術，建立ZEB 的量化評估方法。首先以「建築耗能密度（Energy Use Intensity, EUI）」作為評估基準，以低碳建築聯盟的「碳足跡評估法（Building Carbon Footprint Evaluation Method 簡稱BCF法）」所設定的「標準情境」，將複雜的使用者、時程、設備透過能源動態模擬先行「標準化」，再予以計算各種建築節能技術下，建築耗能的折減情形。根據功能空間建立之建築耗能密度標準EUI，如表4-1~3所示。輸送設備與給排水設備系統耗能型態不同，另表計算。建築基準值之耗能密度計算，根據動態EUI理論依功能空間分別累算耗能密度。

表 4-1 空調營運 24 小時功能空間耗能密度標準 EUI^[A1]

空調營運分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUIj(kWh/m ² .yr)
			空調 EUIai	照明 EUIli	電器 EUIei	
24 小時間歇空調型 住宿類空間	A1	間歇空調透天住宅、集合住宅(含地上室內公共空間)	10	18	22	50
	A2	間歇空調不常住型住宿設施(學校、機關、企業宿舍及其附屬接待大廳、室內公共空間)	11	29	16	56
24 小時間歇空調 常住型住宿類空間	B1	間歇空調常住型住宿設施(養老院、孤兒院、療養院及其附屬接待大廳、室內公共空間)	28	33	15	76
24 小時空調型住 宿類空間	C1	24 小時輕設備醫療空間(一般病房+護理站)	163	37	25	225
	C2	全年空調住宿空間(飯店客房及辦理入住業務之大廳、櫃台)	86	37	15	138
24 小時營業設備 間歇使用類空間	D1	24 小時連鎖超商與速食餐廳	624	185	584	1393
	D2	24 小時重設備醫療空間(加護病房、急診區)	214	82	190	486
	D3	醫院手術房(含其附屬空間)	228	115	175	518
24 小時營業設備 穩定使用類空間	E1	24 小時冷凍冷藏空間(飯店、餐廳、量販店之大型專用冷凍冷藏間空)	222	58	420	700
	E2	電腦、電信機房、(內含高密度電腦、電信設備之全空調機房)	315	57	561	933
24 小時無空調類 空間	F1	24 小時機械換氣空間(室內停車空間、變電室、地下室倉庫、機房等雜空間)	0	24	4	28
	F2	無空調之大型專用倉庫(不含其他空間附屬之小儲藏室、倉庫)	0	31	6	37

表 4-2 空調營運 12-18 小時功能空間耗能密度標準 EUI^[A1]

空調營運分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUIj(kWh/m ² .yr)
			空調 EUIai	照明 EUIli	電器 EUIei	
	F2	無空調之大型專用倉庫(不含其他空間附屬之小儲藏室、倉庫)	0	31	6	37
18 小時交通運輸類空間	G1	車站、轉運站、航站之大廳(業務大廳區以外空間(如販賣部、商品店等)以 12 小時營業空間處理)	230	104	21	355
15 小時視聽娛樂類空間	H1	電影院、影城、(包括走廊、前廳)	228	28	98	354
12 小時營業類空間	I1	一般商店、超市、百貨專櫃(未設餐飲空間、美食街、冷凍冷藏設備等者)	132	126	58	316
	I2	高照明商場(百貨一樓美妝商場)	173	247	64	484
	I3	一般餐廳、飯店宴會場(中西餐廳, 特色餐廳, 美食街等, 含附屬廚房、備餐區、冷凍冷藏區)	165	86	94	345
	I4	有大量冷凍冷藏設備之生鮮商場、量販店	206	96	289	591
	I5	中央廚房、中央洗衣房	100	43	110	253
	I6	12 小時輕設備醫療空間(醫院之門診部、診所、大廳等)	129	54	46	229
	I7	12 小時重設備醫療空間(醫院之檢驗部、藥劑部、放射科、血液透析中心、復健部等)	164	58	308	530
	I8	綜合性健身運動場館空間(健身房、舞蹈室、室內球場、保齡球道、運動練習室、運動俱樂部、室內游泳池, 含附屬空間)	62	49	8	119
	I9	娛樂空間(電子遊樂場、KTV、網咖、撞球、酒吧、舞廳、卡拉 ok 等, 含附屬空間)	126	52	33	211
	I10	有大量加熱設備之專用休閒設施(營業專用 SPA & 三溫暖、溫泉澡堂, 不含附屬於其他空間之小休閒設施)	175	47	385	607
12 小時間歇使用類空間	J1	展覽空間(美術館、文物陳列室、商業展覽場等, 及其附屬接待大廳、室內公共空間)	74	61	18	153
	J2	專用演講廳、禮堂、會議中心、會議廳、演講活動兼用之宗教集會廳	106	37	12	155
	J3	演藝廳、表演廳、演藝活動兼用之體育館	105	54	7	166
	J4	體育比賽專用室內體育館	132	37	18	187

表 4-3 空調營運 10 小時功能空間耗能密度標準 EUI^[A1]

空調營運分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUIj(kWh/m ² .yr)
			空調 EUIai	照明 EUIli	電器 EUIei	
10 小時行政辦公類空間	K1	辦公行政類空間(辦公、會議、行政、視聽、研究、實驗相關空間及其附屬大廳與室內公共空間)	54	39	28	121
	K2	圖書館(含閱讀區、書庫區與其附屬大廳與室內公共空間)	47	43	23	113
	K3	機關餐廳(學校、企業、工廠之大眾餐廳，含附屬廚房、備餐區、冷凍冷藏區)	124	58	56	238
	K4	工廠實驗、研究室(研發空間及其附屬大廳與室內公共空間)	72	58	32	162
10 小時學校教室類空間	L1	高中以上學校教室(辦公室、普通教室、專科教室、視聽教室)	25	24	10	59
	L2	國中教室(普通教室、專科教室、視聽教室)	23	22	9	54
	L3	國小教室(專科教室、視聽教室)	18	17	7	42
工廠廠房製程空間(24 小時營運)	M1	無空調一般工廠作業區	0	148	105	253
	M2	空調型一般工廠作業區	288	148	105	541
	M3	空調型精密製造區	301	185	105	591
	M4	空調型潔淨生產區	310	148	105	563
工廠廠房製程空間(10 小時營運)	N1	無空調一般工廠作業區	0	52	34	86
	N2	空調型一般工廠作業區	84	52	34	170
	N3	空調型精密製造區	87	65	34	186
	N4	空調型潔淨生產區	90	52	34	176

註:L1 學校建築在國中、國小因上課時數較少，使用時間以高中以上學校數據乘上 0.93、0.71 計之。M1~N4 工廠廠房製程空間 EUI 指標已扣除製程設備耗能(扣除 80%電氣設備密度)

(3) 計算再生能源的替代效率

如前文獻回顧所述，有關再生能源發展條例之推廣與落實，均屬經濟部權責來推動實施，國內再生能源項目主要包括太陽能熱能、太陽能光電、風力發電、生質能源發電等。再生能源導入建築物設計利用之發電量，依各再生能源項目特性推估其年發電量，再導入單位面積耗能抵消費計算。計算建築所使用的再生能源及其替代效率，其類別與估算方式如表4-4所示。以「太陽能光電」為例，可依

「臺灣日射量分布圖」(圖4-1)得出所在地之每日平均日射量($\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{day}$)，再乘以太陽能光電設置容量(kW)、日數、使用年限及修正係數 $0.8(\text{m}^2/\text{kWh})$ ，即可得全年發電量設計值。

$$\text{太陽能光電板發電量}(\text{kWh}/\text{年}) = \text{每日平均日射量}(\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{day}) \times \text{修正係數}0.8(\text{m}^2/\text{kWh}) \times \text{太陽能光電設置容量}(\text{kW}) \times 365(\text{days})$$

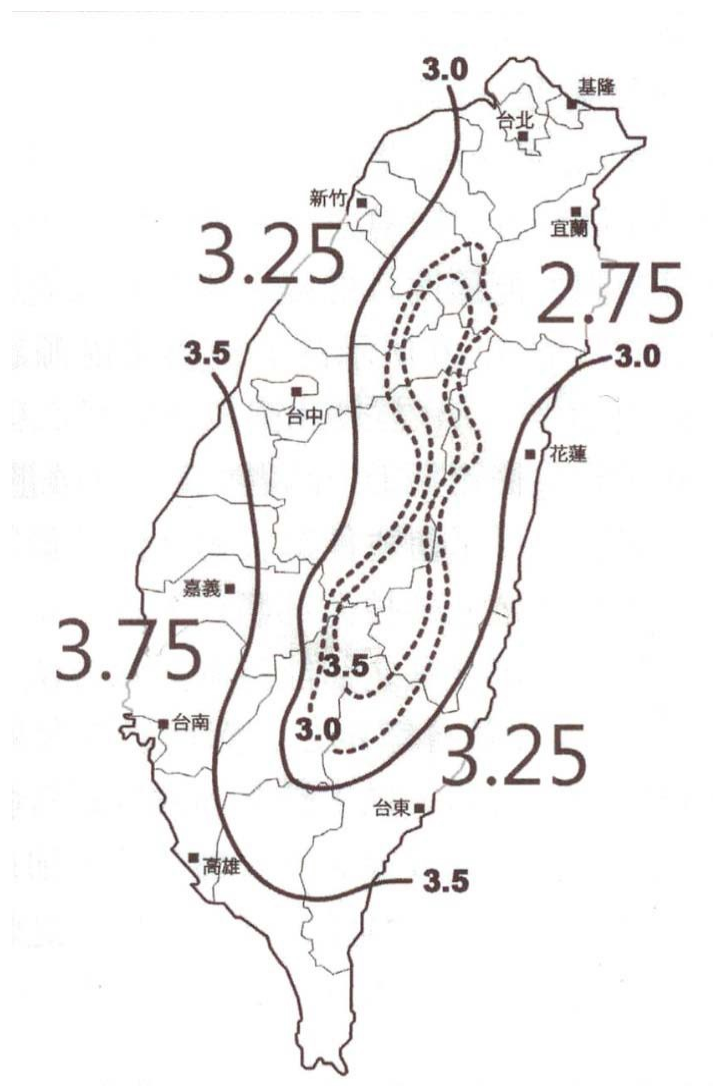


圖 4-1 臺灣日射量分布圖^[A1]

表 4-4 再生能源替代效率估算項目估算方式

再生能源項目	節電量設計值
太陽能熱水	以全年節電量設計值 (kWh/yr) 與使用年限(yr)換算
太陽能光電	以全年發電量設計值 (kWh/yr) 與使用年限(yr)換算
風力發電	以全年發電量設計值 (kWh/yr) 與使用年限(yr)換算
生質能	以全年發電量設計值 (kWh/yr) 或天然氣換算值與使用年限(yr)換算
其他再生能源	以全年發電量設計值 (kWh/yr) 或天然氣換算值與使用年限(yr)換算

第二節 近零能源建築量化評估與節能效率檢討

進行零能源建築ZEB的計算時，均是採用初級能源做為基準值，而我國針對建築耗能相關研究，則多以EUI做為計算單位。初級能源與電力消費的換算，我國的電力消費是依等價熱值法 (Equivalent Caloricity)進行統計，換算生產每度電所需初級能源投入(約2,100 千卡/度)，依IEA 統計定義，電力消費依其物理熱值(860 千卡/度)進行轉換，瓦斯(天然氣)消費則為8900 kcal/m³。(經濟部能源局，2012)。由於電力與初級能源可進行換算，同時前述之「碳足跡評估法(BCF 法)」也是以電力的單位耗能密度EUI (kWh/m²)進行估算，因此，本研究針對各類建築的近零能源的量化評估，以電力(kWh)及EUI (kWh/m²)做為量化評估基準單位。

(一) 日常耗能的「標準情境」^[A1]

建築使用階段的耗能是綠建築節能中最重要的部分，然而建築使用的行為是由一系列不確定的生活形態與社會活動變數所組成，因此實際的建築使用情境十分複雜且多變，但仍須有一套建築使用的「標準情境」作為耗能解析的依據。本研究採用「低碳建築聯盟」於碳足跡評估BCF 法所定義的建築使用「標準情境」為參考依據。「標準情境」是設定標準化的建築生活作息，並於標準化的時程中，操作標準化的空調、照明、家電器具等設備，依此設定各種功能空間的「標準情境」作為建築耗能活動的解析標準。

一般住宅歸類於「24 小時間歇空調型住宿類空間」，標準使用情境設定如下：使用時間為一年365 日，每天24 小時，空調時間為4、5、9、10 月每日4小時，6、7、8 月每日7小時；照明時間為365 日，每日8 小時；其他電器使用時間為365 日，每日7 小時。臺灣目前住宅的耗能組成，空調耗能佔20%，照明耗能佔30%，其他家電設備耗能佔50%，平均EUI 為50 (kWh/m².yr)。在「空調耗能」的部分，外殼負荷約佔總空調耗能的35%，外氣負荷約佔其40%，室內負荷約佔其25%。其他類建築，依據43類功能空間之標準情境以及耗能密度標準，分別計算動態EUI 做為評估判別節能比例依據。

(二)、調和綠建築節能設計量化評估計算

零能源建築ZEB 設計利用建築外殼的被動式節能設計，來降低室內空調熱負荷，進而減少空調耗能量，降低建築整體的耗能量。本研究參採低碳建築聯盟所提BCF法計算耗能量 ($\text{kWh}/\text{m}^2.\text{yr}$)，以及動態EUI計算為節能評估基準，空調系統空間的空調耗能推估如式4-2 所示：

$$EUI_a = \sum EUI_{ai} \times AFI_i / AF \times ER_{ai} \quad (4-2)$$

$$ER_{ai} = (1.0 - ERe) \times (1.0 - ER_s - ER_f - ER_p), \text{ 但 } ER_{ai} \text{ 不得小於 } 0.4 \quad (4-3)$$

EUI_a : 空調系統單位面積耗能密度 ($\text{kWh}/\text{m}^2.\text{yr}$)

EUI_{ai} : i 類空間之空調耗能密度 ($\text{kWh}/\text{m}^2.\text{yr}$)

AFI_i : i 類空間之室內樓地板面積 (m^2)

AF : 室內總樓地板面積 (m^2)

ER_{ai} : i 類空間之空調設備承諾節能設計換算耗能折減率，無單位，基準案時 $ER_{ai} = 1.0$ 。

ER_e : 建築節能設計空調節能率

ER_s : 主機系統節能設計空調節能率

ER_f : 送風系統節能設計空調節能率

ER_p : 送水系統節能設計空調節能率

一、建築節能設計

建築節能設計是指透過被動或誘導式設計手法利用自然物理環境技術原理，來達成節能的目標，在建築外殼的設計中，常見的被動式設計包括利用建築外殼的座向、開口、遮陽、隔熱等來獲取最大的通風性能或減少太陽熱得。依據公式4-2，中央空調系統與個別空調系統空間的空調耗能推估有關的「誘導式設計」因子包括「建築外殼節能效率EEV」、「建築短向平均深度 d 」、「自然通風空調耗能折減率 V_{ac} 」。

(1) 建築自然通風設計節能係數 a_1

$$a_1 = 1.0 - Vac(4-4)$$

公式4-4中「自然通風空調耗能折減率 Vac 」是指建築物利用自然通風條件，使冬季、春秋季停止空調運轉以減少全年空調耗能的比率。 Vac 為建築空間在涼爽季節開窗通風並停止空調的評估計算，若是全年為密閉空調建築，則設為0.0。若 $Vac=0.85$ ，意即因為自然通風可節約的空調能源為15%；若 $Vac=0.7$ ，意即因為自然通風可節約的空調能源為30%。「自然通風空調耗能折減率 Vac 」與「自然通風潛力 VP (Ventilation Potential)」有關，「自然通風潛力 VP 」之定義為「可自然通風居室面積」與「總居室面積」的比值。

「自然通風潛力 VP 」約介於0.9~0.3之間，亦即最好自然通風條件的案例之 VP 為0.9，但平面深邃、開窗不良的案例之 VP 為0.3。為了保證自然通風對空調節能操作之有效性，規範只對 VP 在0.9~0.5之間的案例進行優惠計算。規範設定自然通風對空調耗能折減率為 Vac (AC energy reduction factor for natural ventilation)，由於住宿類建築多在夜間空調，其節能效益較小，因此設定住宿類建築與其他類建築之最大空調節能效益 Vac 為0.225與0.45。規範依其自然通風潛力之差異，設定兩類建築物之 Vac 計算式如下：

住宿類建築

$$Vac = 1.0 - (VP - 0.7) \times 0.75, \text{ 唯 } Vac \leq 1.0 \quad (4-5)$$

其他類建築

$$Vac = [1.0 - (VP - 0.4) \times 0.75 \times \gamma], \text{ 唯 } Vac \leq 1.0 \quad (4-6)$$

其中 γ ：複合式通風控制係數，在中央空調型建築中具此控制系統者為1.0，若為手動或非中央空調系統者為0.5。式(4-6)中 γ 為複合式空調通風控制係數，此乃針對中央空調型建築由全空調轉成複合通風模式之控制管理，當具備外氣溫度監測與空調啟停執行自然通風時 $\gamma=1.0$ (須提供控制系統圖)，若無此裝備(僅依手動控制者)時 $\gamma=0.5$ 。另外，(4-3)式為住宿類建築，該通風控制均由手動控制，其

Vac值不再修正計算。例如，辦公類建築VP為0.9時， $Vac=0.625$ ，其意義為因自然通風條件良好而可節約空調能源37.5%；如VP為0.7時， $Vac=0.775$ ，其意義為因自然通風條件普通而可節約空調能源22.5%； $VP \leq 0.4$ 時， $Vac=1.0$ ，其意義為因自然通風條件不良而無任何空調節能可言。

(2) 建築外殼節能設計節能係數 a_2

$$a_2 = 1.0 - B_{ac} \quad (4-7)$$

$$B_{ac} = 1.0 - (2/d) \times (1.0 - EEV) \quad (4-8)$$

B_{ac} ：建築外殼節能空調耗能折減率

$2/d$ ：深度係數，其中 d 為建築短向平均深度(m)，但為一層建築時， d 強制為5m ($2/d = 0.4$ ，即認定外殼最大節能效益為20%之意)。

EEV為綠建築標章規定之建築外殼節能效率， $EEV = \text{建築外殼耗能指標}EV / \text{建築外殼耗能基準}EV_c$ ，其中 EV 與 EV_c 為依照營建署「建築節約能源設計規範」，所計算之ENVLOAD、Req、AWSG之指標值與基準值。

(3) 建築外殼創新節能設計節能係數 α_1

建築設計節能採用創新誘導式節能手法，包括浮力通風、特殊隔熱建材、屋頂綠化等節能手法，依其節能特性與節能預估數值納入計算，節能率以0.2為限。根據上述三項節能設計，外殼節能對空調節能率計算如下：

$$ERe = a_1 + a_2 + \alpha_1, \text{ 但 } ERe \text{ 不得大於 } 0.4 \quad (4-9)$$

表 4-5 「住宿類建築短向平均深度 d」之空調節能效益比較 (EEV=0.8)

VP	Vac	a1	EEV	d	Bac	a2	ERe
0.7	1.00	0.00	0.8	5	0.92	0.08	8%
0.7	1.00	0.00	0.8	10	0.96	0.04	4%
0.7	1.00	0.00	0.8	15	0.97	0.03	3%
0.8	0.93	0.08	0.8	5	0.92	0.08	16%
0.8	0.93	0.08	0.8	10	0.96	0.04	12%
0.8	0.93	0.08	0.8	15	0.97	0.03	10%
0.9	0.85	0.15	0.8	5	0.92	0.08	23%
0.9	0.85	0.15	0.8	10	0.96	0.04	19%
0.9	0.85	0.15	0.8	15	0.97	0.03	18%
1	0.78	0.23	0.8	5	0.92	0.08	31%
1	0.78	0.23	0.8	10	0.96	0.04	27%
1	0.78	0.23	0.8	15	0.97	0.03	25%

(資料來源：本研究整理)

表 4-6 「其他類建築短向平均深度 d」之空調節能效益比較 (EEV=0.8)

VP	Vac	a1	EEV	d	Bac	a2	ERe
0.7	0.78	0.23	0.8	5	0.92	0.08	31%
0.7	0.78	0.23	0.8	10	0.96	0.04	27%
0.7	0.78	0.23	0.8	15	0.97	0.03	25%
0.8	0.70	0.30	0.8	5	0.92	0.08	38%
0.8	0.70	0.30	0.8	10	0.96	0.04	34%
0.8	0.70	0.30	0.8	15	0.97	0.03	33%
0.9	0.63	0.38	0.8	5	0.92	0.08	46%
0.9	0.63	0.38	0.8	10	0.96	0.04	42%
0.9	0.63	0.38	0.8	15	0.97	0.03	40%
1	0.55	0.45	0.8	5	0.92	0.08	53%
1	0.55	0.45	0.8	10	0.96	0.04	49%
1	0.55	0.45	0.8	15	0.97	0.03	48%

(資料來源：本研究整理)

表 4-7 「住宿類建築自然通風潛力 VP」之空調節能效益比較

VP	Vac	a1	EEV	d	Bac	a2	節能效益
0.7	1.00	0.00	1	5	1.00	0.00	0%
0.8	0.93	0.08	1	5	1.00	0.00	8%
0.9	0.85	0.15	1	5	1.00	0.00	15%
1	0.78	0.23	1	5	1.00	0.00	23%
0.7	1.00	0.00	0.8	5	0.92	0.08	8%
0.8	0.93	0.08	0.8	5	0.92	0.08	16%
0.9	0.85	0.15	0.8	5	0.92	0.08	23%
1	0.78	0.23	0.8	5	0.92	0.08	31%

(資料來源：本研究整理)

表 4-8 「其他類建築自然通風潛力 VP」之空調節能效益比較

VP	Vac	a1	EEV	d	Bac	a2	節能效益
0.7	0.78	0.23	1	5	1.00	0.00	23%
0.8	0.70	0.30	1	5	1.00	0.00	30%
0.9	0.63	0.38	1	5	1.00	0.00	38%
1	0.55	0.45	1	5	1.00	0.00	45%
0.7	0.78	0.23	0.8	5	0.92	0.08	31%
0.8	0.70	0.30	0.8	5	0.92	0.08	38%
0.9	0.63	0.38	0.8	5	0.92	0.08	46%
1	0.55	0.45	0.8	5	0.92	0.08	53%

(資料來源：本研究整理)

表 4-9 「住宿類建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較 (VP=0.9)

VP	Vac	a1	EEV	d	Bac	a2	ERe
0.9	0.85	0.15	1	5	1	0.00	15%
0.9	0.85	0.15	0.9	5	0.96	0.04	19%
0.9	0.85	0.15	0.8	5	0.92	0.08	23%
0.9	0.85	0.15	0.7	5	0.88	0.12	27%
0.9	0.85	0.15	0.6	5	0.84	0.16	31%
0.9	0.85	0.15	0.5	5	0.8	0.20	35%
0.9	0.85	0.15	0.4	5	0.76	0.24	39%
0.9	0.85	0.15	0.3	5	0.72	0.28	43%

(資料來源：本研究整理)

表 4-10 「其他類建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較 (VP=0.9)

VP	Vac		EEV	d	Bac	a2	ERe
0.9	0.63	0.38	1	5	1	0.00	38%
0.9	0.63	0.38	0.9	5	0.96	0.04	42%
0.9	0.63	0.38	0.8	5	0.92	0.08	46%
0.9	0.63	0.38	0.7	5	0.88	0.12	50%
0.9	0.63	0.38	0.6	5	0.84	0.16	54%
0.9	0.63	0.38	0.5	5	0.8	0.20	58%
0.9	0.63	0.38	0.4	5	0.76	0.24	62%
0.9	0.63	0.38	0.3	5	0.72	0.28	66%

(資料來源：本研究整理)

二、空調設備節能設計

空調設備節能設計是指運用主動電力和機械系統來達成節能的設計方法，中央型空調系統設備節能設計對象包括主機系統、送風系統及送水系統。個別空調系統年耗能有關的主動式設計因子為「空調節能標章修正係數 S_{EL} 」，該係數是以經濟部能源局的「空調能源標示效率等級」5等級來進行空調耗能折減。

中央空調系統

(1)主機系統

主機台數控制（限用三台以上主機控制）， $a_3=0.09$

儲冰空調系統設計， $a_4=0.06$

吸收式、熱泵主機、熱回收主機或變頻高效率主機， $a_5=0.12$

CO₂濃度外氣控制系統設計， $a_6=0.9$

全熱交換器系統設計， $a_7=0.078$

外氣冷房系統設計， $a_8=0.036$

冷卻塔採濕球溫度控制變頻風扇設計， $a_9=0.15$

$a_3 \sim a_9$ 節能設計係數，主機系統節能對空調節能率 ER_s 計算如下：

$ER_s = \sum a_i$ ($i=3 \sim 9$)，但 ER_s 不得大於0.3(4-10)

(2)送風系統

變頻VAV系統設計， $a_{10}=0.1$

送風節能設計，送風系統節能對空調節能率 ER_f 計算如下：

$$ER_f=a_{10} \quad (4-11)$$

(3)送水系統

變頻VAV系統設計， $a_{11}=0.1$

送水節能設計，送水系統節能對空調節能率 ER_p 計算如下：

$$ER_p=a_{11} \quad (4-12)$$

根據上述空調設備節能設計，中央空調設備系統節能對空調節能率計算如下：

$$ER_{ai}=(1.0-ER_e) \times (1.0-ER_s-ER_f-ER_p),$$

但 ER_{ai} 不得小於0.4(4-13)

個別空調系統

節能標章空調設計， $a_{12}=1.0 - S_{EL}$

S_{EL} ：空調節能標章修正係數

表 4-11 空調節能標章修正係數 S_{EL}

空調能源標示 效率等級	5級	4 級	3級	2 級	1級
空調節能標章 修正係數 S_{EL}	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

(資料來源：林憲德，2015，建築碳足跡（二版）詹氏書局)

表 4-12 無風管空氣調節機能源效率分級基準表

機種		額定冷氣能力 分類 (kW)	各等級基準(kWh/kWh)						
			5 級	4 級	3 級	2 級	1 級		
氣 冷 式	單體式	2.2 以下	3.40 以上，	3.64 以上，	3.88 以上，	4.11 以上，	4.35 以上		
			低於 3.64	低於 3.88	低於 4.11	低於 4.35			
		高於 2.2， 4.0 以下	3.45 以上，	3.69 以上，	3.93 以上，	4.17 以上，	4.42 以上		
			低於 3.69	低於 3.93	低於 4.17	低於 4.42			
		高 於 4.0， 7.1 以下	3.25 以上，	3.48 以上，	3.71 以上，	3.93 以上，	4.16 以上		
			低於 3.48	低於 3.71	低於 3.93	低於 4.16			
	分離式	高 於 7.1， 71.0 以下	3.15 以上，	3.37 以上，	3.59 以上，	3.81 以上，	4.03 以上		
			低於 3.37	低於 3.59	低於 3.81	低於 4.03			
		4.0 以下	3.90 以上，	4.41 以上，	4.91 以上，	5.42 以上，	5.93 以上		
			低於 4.41	低於 4.91	低於 5.42	低於 5.93			
		高 於 4.0， 7.1 以下	3.60 以上，	4.03 以上，	4.46 以上，	4.90 以上，	5.33 以上		
			低於 4.03	低於 4.46	低於 4.90	低於 5.33			
		高 於 7.1， 10.0 以下	3.45 以上，	3.86 以上，	4.28 以上，	4.69 以上，	5.11 以上		
			低於 3.86	低於 4.28	低於 4.69	低於 5.11			
		高 於 10.0， 71.0 以下	3.40 以上，	3.81 以上，	4.22 以上，	4.62 以上，	5.03 以上		
			低於 3.81	低於 4.22	低於 4.62	低於 5.03			
		水冷式		全機種	4.50 以上，	4.77 以上，	5.04 以上，	5.31 以上，	5.58 以上
					低於 4.77	低於 5.04	低於 5.31	低於 5.58	

(資料來源：中華民國經濟部法規<http://www.moea.gov.tw/MNS/populace/home>

/Home.aspx)

個別空調系統系統節能對空調節能率 ER_{ai} 計算如下：

$$ER_{ai} = (1.0 - ERe) \times (1.0 - \alpha_{12}) \quad (4-14)$$

(4) 建築空調設備創新節能設計節能係數 α_2

空調設備 HVAC 採設備式節能包括樓板輻射冷卻系統、高效率空調系統、相變儲冷系統、智慧化控制系統、熱泵系統、地熱式冷卻管、智慧化能源管理系統等，依其節能特性與節能預估數值外加納入計算，節能率 α_2 以 0.2 為限。

中央空調系統採用最優節能設計，則節能率最大為 60%。個別空調系統最優節能設計，節能率最大為 48%。建築及空調設備節能設計對於空調耗能之節能率計算，如表 4-5 所示。

表 4-13 建築及設備節能設計對空調耗能之評估節能率

評估面向			節能項目	設計節能率	耗能折減率	
建築節能設計			1.自然通風設計	a1=1.0-Vac	ERai (60%)	
			2.外殼節能設計	a2=1.0-Bac		
			3.創新節能設計	α 1，依設計評估，不得大於 0.2		
空調節能率 ERe=a1+a2，但 ERe 不得大於 0.4						
空調節能設計	中央空調系統	主機系統	3.主機台數控制	a3=0.09		
			4. 儲冰空調系統設計	a4=0.06		
			5. 吸收式、熱泵主機、熱回收主機或變頻高效率主機	a5=0.12		
			6. CO2 濃度外氣控制系統設計	a6=0.09×採用率		
			7. 全熱交換器系統設計	a7=0.078×採用率		
			8. 外氣冷房系統設計	a8=0.036×採用率		
			9. 冷卻塔採濕球溫度控制變頻風扇設計	a9=0.015×採用率		
			主機系統節能率 ERs=Σ ai (i=3~9)，但 ERs 不得大於 0.3			
			送風系統	10.變頻 VAV 系統設計		a10=0.1×採用率
		送風系統節能率 ERf=a10				
		送水系統	11.變頻 VWV 系統設計	a11=0.1×採用率		
		送水系統節能率 ERp=a11				
		中央空調設備系統節能對空調耗能折減率ERai=(1.0-ERe)×(1.0-ERs-ERf-ERp)，但ERai 不得小於0.4				
	個別空調系統	空調耗電	12.節能標章冷氣機設計	a12=1.0-SEL SEL：空調節能標章修正係數		ERai (48%)
		個別空調設備系統節能對空調節能率 ERai=(1.0-ERe)×(1.0-a12)				

三、照明節能設計

本研究參採低碳建築聯盟所提出的BCF法進行照明的耗能模擬評估，不換算成碳足跡 (kgCO₂e)，僅計耗能量EUI (kWh/m².yr)，則照明耗能之推估如式(4-18)所示：

$$EUI1 \text{ (kWh/m}^2\text{.yr)} = \sum EUI1i \times AFIi / AF \times ER1 \text{ (4-15)}$$

$$ER1 = (1.0 - EL) + 0.1 \times NL \text{ (4-16)}$$

其中：

EUI1i：i 類空間之照明耗能密度 (kWh/m².yr)

AFIi：i 類空間之室內樓地板面積 (m²)

AF：室內總樓地板面積 (m²)

ER1：照明設備節能率

EL：照明系統節能效率

NL：自然採光性能

依內政部綠建築評估手冊EEWH-BC 日常節能指標規定計算BCF 法對於照明節能設計的潛力評估，是採用臺灣綠建築標章EEWH 評估系統2015 版中「日常節能指標」的照明系統節能效率EL指標及自然採光性能NL計算^[A2]。EL指標為節能燈具、照明方式、開關控制等綜合節能指標。照明節能首重在符合照明品質的前提下，避免超量設計，並輔助利用各種節能燈具及照明節能方式來達成節能的目標。EL的計算方式如下列各式所示。

$$EL = IER \times IDR \times (1.0 - \beta_2 - \beta_4) \leq 0.8 \text{ (4-17)}$$

其中 IER、IDR 變數依下二式計算之：

$$IER = (\sum n_i \times w_i \times B_i \times C_i \times D_i) / (\sum n_i \times w_i) \quad (4-18)$$

$$IDR = (\sum n_i \times w_i \times A_j) / (\sum LPD_{c_j} \times A_j) \quad (4-19)$$

其中：

EL：室內照明系統節能效率，無單位

IER：主要作業空間燈具效率係數，無單位

IDR：主要作業空間照明功率密度加權係數，無單位

n_i ：單一作業空間燈具數量，應附燈具配置圖並以圖例標明燈具種類並列出
空間燈具數量表

w_i ：單一作業空間空間燈具功率 (W)

B_i ：安定器係數

C_i ：照明控制係數

D_i ：燈具效率係數

β_2 ：建築能源管理系統效率

β_4 ：如光導管光纖集光裝置等其他特殊採光照明節能優待係數，由申請者提出計算值，經認定後採用之。

A_j ：單一作業空間空間樓地板面積 (m^2)

LPD_{c_j} ：單一作業空間照明功率基準。

照明節能指標 EL 之關鍵變數為燈具效率係數 IER 與照明功率係數 IDR 及 IER。IER 為實際總用電功率與設計總用電功率基準之比，IDR 為主要作業空間之設計照明功率密度與照明功率密度基準之比。唯 EL 指標太低亦可能有照度不足之疑慮，因此綠建築評估手冊 EEWB-BC 設定 $EL \leq 0.4$ 時在系統得分 RS43 均為 6.0，以避免盲目降低照明功率以損及照明健康之疑慮，故本研究也採用 EL 最低值為 0.4 進行評估。

自然採光比例NL介於1.0~0.0之間，亦即最好自然採光條件的案例之NL為1.0，參採外殼節能對於空調節能效益之參數，設定自然採光對於照明設備之節能效益為一成(0.1)。

(5) 建築照明設備創新節能設計節能係數 α_3

建築照明設備採設備式節能，包括高反射室內裝修材、導光板、導光百葉、導光管等，依其節能特性與節能預估數值外加納入計算，節能率 α_3 以0.2為限。因此，照明節能之最優設計，EUI採0.4及NL完全自然採光1.0，則照明設備最大節能率為0.7，即照明設備最大可節能70%。

四、電器及其他設備節能設計

建築物的耗能設備除了空調設備及照明設備外，還包括給水、排水設備、熱水設備、輸送設備及家電及一般電氣設備。建築物空間使用固定電氣設備，設備耗能不列入節能比例計算，唯電器設備採用夜間待機用電停機設計，以及電梯設備採用電能回收裝置，得折減耗能比例如下：

(1) 電器設備採用夜間待機用電停機設計， $a_{14}=0.1$

(2) 電梯設備採用電能回收裝置， $a_{15}=0.33$

電器設備節能設計，電器設備節能對電器節能率 ER_{ei} 計算如下：

$$ER_{ei} = 1.0 - a_{14} - a_{15} \quad (4-20)$$

計算住宅電器設備的節能潛力，所謂的電器設備指的是電腦、洗衣機等採用插頭之家庭電力設備。採用電氣設備使用管理效率，使用有效之夜間待機用電停機管理技術，則 $a_{14}=0.1$ 。由於家電待機的耗電量約佔家庭總耗電量的一成左右，若住宅電器設備年耗能密度為 $22 \text{ (kWh/m}^2\text{.yr)}$ ，則其最低年耗能為 $22*0.9=19.8 \text{ (kWh/m}^2\text{.yr)}$ 。推估住宅總節能潛力，依據前述分項評估，可知在目前的一般技術現況下，若住宅規劃設計均採用最佳的節能設計手法，則住宅之空調 EUI 可由

10 (kWh/m².yr) 降至 6 (kWh/m².yr) , 照明 EUI 可由 18 (kWh/m².yr) 降至 7.2 (kWh/m².yr) , 電器設備 EUI 可由 22 (kWh/m².yr) 降至 19.8 (kWh/m².yr) , 給排水設備 EUI 可由 2.2 (kWh/m².yr) 降至 1.4 (kWh/m².yr) , 昇降設備採回收電能裝置 EUI 可由 2.7 (kWh/m².yr) 降至 1.8 (kWh/m².yr) , 給熱水設備加強保溫 EUI 可由 1.85(kWh/m².yr)降至 1.67(kWh/m².yr), 總 EUI 可由 56.84(kWh/m².yr) 降至 37.96 (kWh/m².yr) , 最大節能效益可達 33%。

其他類建築之日常耗能節能潛力最佳值推估, 空調設備最優節能潛力為 60% , 照明設備最優節能潛力約為 70% , 其他電器設備最優節能率約 40%。根據建築類型之不同, 空調、照明及電器設備之耗能比例亦有不同, 整體而言, 其他類型建築之最優化節能潛力約 60%。

(三)既有建築物耗能評估

國內綠建築標章評估制度將有既有建築綠建築評估, 結合未來能源標示制度之推行, 既有建築物將以實際用電密度 EUI 建立耗能標示法, 評估計算建築能耗基準與節能率, 以作為判斷近零能源建築之依據。

第三節 建築節能潛力最優量化評估與案例試算

綠建築標章制度自 1999 年開始實施推動以來，累計已超過 8000 件公私有建築物取得綠建築標章或候選綠建築證書之評定，其中取得綠建築標章之建築物約 2,800 件。綠建築標章分級制度於 2005 年起實施，同時建立公布綠建築分級評分制度四大範疇九大指標配分基準，以及各指標計分方法與計算公式。各指標配分包括生態 27 分、節能 32 分、減廢 16 分、健康 25 分，如表 4-6 所示，指標計分法與計算公式，如表 4-7 所示。本研究彙整實施綠建築分級制度以來，1374 件綠建築標章建築案例，針對建築消耗一次能源相關之日常節能指標得分 RS4 值統計分析，如表 4-8 所示。根據彙整資料統計結果顯示，取得綠建築標章案例日常節能指標得分平均約 10.8，各類型建築之得分平均值在 8 分至 12 分之間，以辦公廳類建築與大型空間類建築得分平均較高，住宿類建築與百貨商業類建築得分平均值較低。日常節能指標得分 RS4 最大值以學校類建築、大型空間類建築與辦公廳類建築得分較高，約在 25 分以上。

表 4-14 綠建築分級評分制度四大範疇九大指標配分基準

四大範疇	九大指標		配分	
			指標配分上限b	範疇配分
生態	一．生物多樣性指標		9分	27分
	二．綠化量指標		9分	
	三．基地保水指標		9分	
節能	四.日常節能指標	建築外殼節能指標EEV	14分	32分
		空調節能指標EAC	12分	
		照明節能指標EL	6分	
減廢	五．CO ₂ 減量指標		8分	16分
	六．廢棄物減量指標		8分	
健康	七．室內環境指標		12分	25分
	八．水資源指標		8分	
	九．污水垃圾改善指標		5分	
綠建築創新設計	採優惠升級之認定制度，詳見1-8			

表 4-15 綠建築分級評分制度指標計分法與計算公式

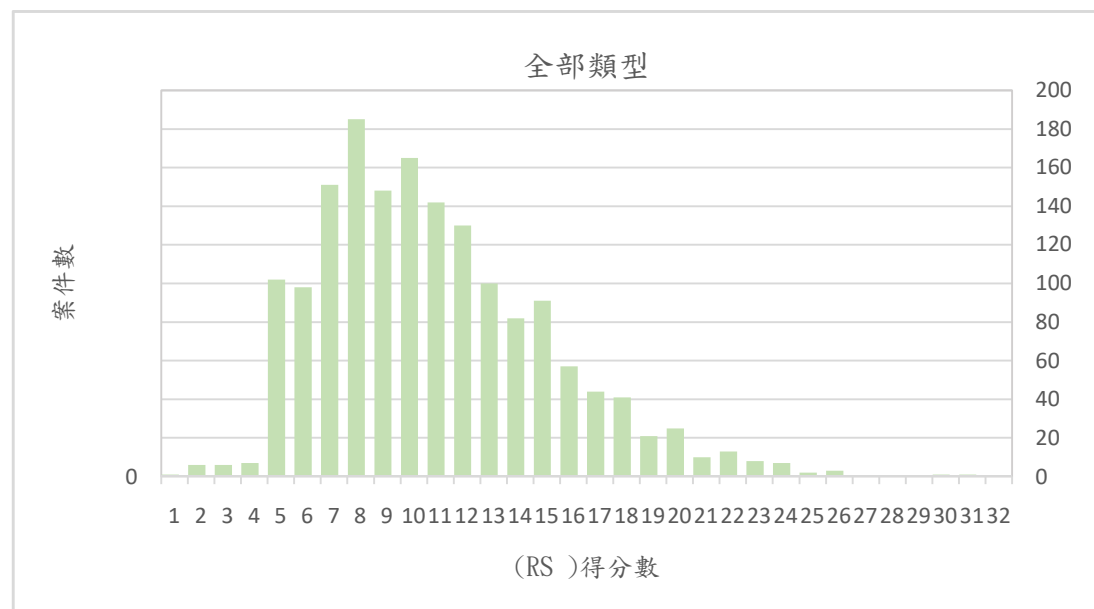
九大指標	設計值	基準值	得分變距Ri	系統得分Rsi公式 $RS_i = a \times Ri + c$	得分限制
一．生物多樣性指標	BD	BDc	$R1 = (BD - BDc) / BDc$	$RS1 = 18.75 \times R1 + 1.5$	$0.0 \leq RS1 \leq 9.0$
二．綠化量指標	TCO_2	TCO_{2c}	$R2 = (TCO_2 - TCO_{2c}) / TCO_{2c}$	$RS2 = 6.81 \times R2 + 1.5$	$0.0 \leq RS2 \leq 9.0$
三．基地保水指標	λ	λc	$R3 = (\lambda - \lambda c) / \lambda c$	$RS3 = 4.0 \times R3 + 1.5$	$0.0 \leq RS3 \leq 9.0$
四．日常節能指標	外殼節能	EEV	$R4_1 = (0.80 - EEV) / 0.80$	$RS4_1 = a \times R4_1 + 2.0$ a: 參見表2-4.1	$0.0 \leq RS4_1 \leq 14.0$
	空調節能	EAC	$R4_2 = (0.80 - EAC) / 0.80$	$RS4_2 = 18.6 \times R4_2 + 1.5$	$0.0 \leq RS4_2 \leq 12.0$
	照明節能	EL	$R4_3 = (0.70 - EL) / 0.70$	$RS4_3 = 10.5 \times R4_3 + 1.5$	$0.0 \leq RS4_3 \leq 6.0$
五．CO ₂ 減量指標	CCO_2	0.82	$R5 = (0.82 - CCO_2) / 0.82$	$RS5 = 19.40 \times R5 + 1.5$	$0.0 \leq RS5 \leq 8.0$
六．廢棄物減量指標	PI	3.30	$R6 = (3.30 - PI) / 3.30$	$RS6 = 13.13 \times R6 + 1.5$ (一般建築物) $RS6 = 10.0 \times Sr$ (舊建築再利用)	$0.0 \leq RS6 \leq 8.0$
七．室內環境指標	IE	60.0	$R7 = (IE - 60.0) / 60.0$	$RS7 = 18.67 \times R7 + 1.5$	$0.0 \leq RS7 \leq 12.0$
八．水資源指標	WI	2.00	$R8 = (WI - 2.0) / 2.0$	$RS8 = 2.50 \times R8 + 1.5$	$0.0 \leq RS8 \leq 8.0$
九．污水垃圾指標	GI	10.0	$R9 = (GI - 10.0) / 10.0$	$RS9 = 5.15 \times R9 + 1.5$	$0.0 \leq RS9 \leq 5.0$

表 4-16 綠建築標章案例日常節能指標得分 RS4 值統計

	平均	最大值	最小值	標準差 STD	案例數量
大型空間類建築	12.1	29.5	5.0	4.1	341
住宿類建築	8.9	22.5	5.0	2.9	284
百貨商場類建築	9.8	14.9	5.0	2.5	31
其他類建築	10.3	24.4	5.0	3.8	265
學校類建築	10.7	30.8	5.0	4.6	465
辦公廳類建築	12.3	26.5	5.0	4.6	307
旅館餐飲類建築	11.1	15.8	5.0	2.9	8
醫院類建築	11.4	20.0	5.0	4.6	33
平均	10.8	23.0	5.0	3.7	1734

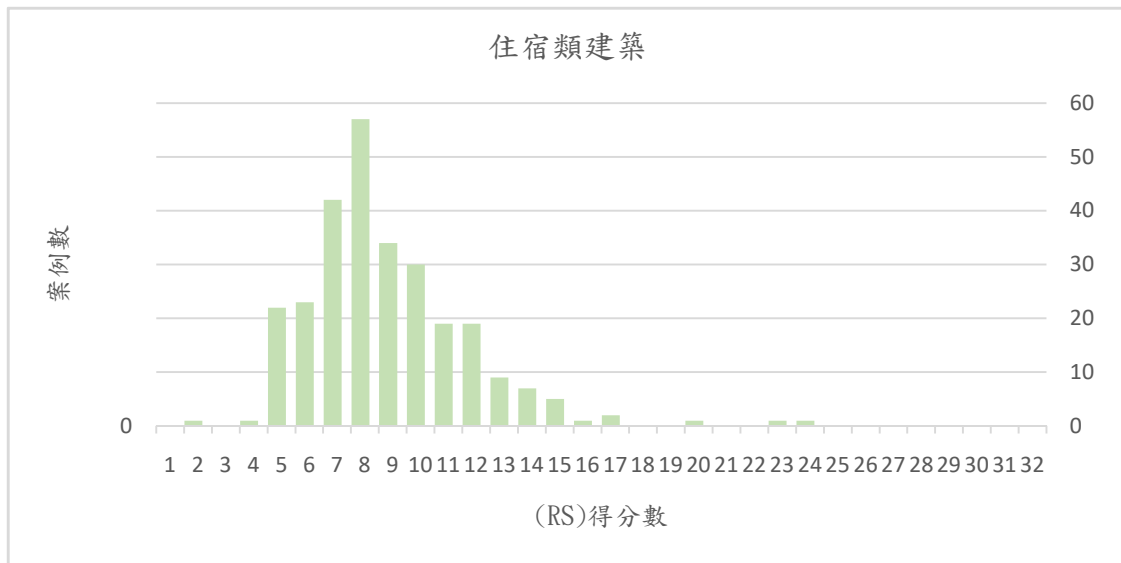
取得綠建築標章案例日常節能指標得分分佈，如圖 4-2 所示，以平均值 10 分為中心大約呈現偏常態分佈情況。住宿類建築日常節能指標得分分佈，如圖 4-3 所示，以平均值 8 分為中心呈現略偏常態分佈情況，整體而言，住宿類建築之日常節能指標得分低於其他類建築約兩成。綠建築標章住宿類大多以集合住宅為主，

台灣傳統透天厝、別墅、街屋等形式之建築物，目前申請綠建築標章認證案例較少。綠建築分級評估日常節能指標計分 RS4，因採推估節能效益加權計分方法，雖有大致之節能驗證，但仍無法直接換算建築一次能源節能比率，故難以參採為近零能源建築節能率評估之計算指標與基準。唯日常節能指標加權得分最大值為 32 分，以建築空調照明設備最優節能率 60% 計，RS4 中間值 16 分應可相當節能率 30%。住宿類建築日常節能指標得分有建築能耗特性上之限制，最大值為 33 分，以建築空調照明設備最優節能率 60% 計，住宿類建築日常節能指標 RS4 中間值 12 分應可相當節能率 20%。



本研究整理

圖 4-2 綠建築標章取得案例建築日常節能指標得分



本研究整理

圖 4-3 綠建築標章取得案例住宿類建築日常節能指標得分分布圖

本研究參採國內「動態 EUI 理論」，依據建築物之不同「耗能分區」分類模擬預測各分類空間之耗能量，再組合成整體建築物的耗能預測值，建立基準建築，作為評估對象建築參考比較之依據。以實際建築各類型案例，試算其節能設計之推估節能率，與最優節能設計之節能潛力，如表 4-9 所示。茲彙整各案例試算之結果與節能率比較如下，各案例之基本建築資料，以及計算之詳細資料，參見附錄一。各類建築案例依空調、照明及固定電氣設備之最優節能評估，節能率最優值為 30%~60% 區間，住宿類建築案例節能率試算最優值為 30%，相較其他類建築偏低。在案例試算中，辦公類建築案例節能率試算最優值為 38%，若以近零能源建築節能基準門檻為 50% 計，有實務上執行之困難。探究其原因，一般電氣設備、給排水設備、熱水供給設備及電梯設備等，為建築固定設備，節能比例偏低，不利建築節能規劃之操作，近零能源建築之推動與實施，應可考量不納入節能基準評估。依空調、照明之最優節能評估，不包含固定電器設備之計算，節能率最優值為 50%~75% 區間，住宿類建築之節能率約在 30%，如表 4-10 所示。顯示除了住宿類建築外，其他類建築應有達成近零能源基準門檻 50% 之潛力，住宿類建築之近零能源基準門檻應可考量降低，以利住宿類建築之近零能源建築之推動。

表 4-17 案例設計之推估節能率與最優節能設計之節能潛力

案例	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUIj(kWh/ m ² .yr)	節能率
			空調 EUIai	照明 EUIli	電器 EUIei		
1	宗教文化館建築	基準值	22.11	29.94	15.53	67.58	0%
		設計值	21.48	28.14	15.53	65.15	-4%
		最優值	10.17	11.97	13.98	36.13	-47%
2	學校圖書館&體育館建築	基準值	86.96	32.54	19.33	138.84	0%
		設計值	51.49	32.13	17.40	101.02	-27%
		最優值	19.11	16.27	17.40	52.78	-62%
3	醫院類建築	基準值	171.18	33.52	50.06	254.76	0%
		設計值	113.90	29.33	50.06	193.29	-24%
		最優值	32.96	16.76	45.06	94.77	-63%
4	辦公類建築	基準值	43.41	30.05	22.25	73.47	0%
		設計值	23.94	15.78	22.25	61.96	-16%
		最優值	10.27	15.03	20.02	45.32	-38%
5	住宿類建築	基準值	9.00	18.00	23.00	50.00	0%
		設計值	9.00	18.00	23.00	50.00	0%
		最優值	6.30	12.60	15.53	34.43	-31%

表 4-18 案例設計之推估節能率與最優節能設計之節能潛力(不含固定電氣設備)

案例	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)		EUI _j (kWh/m ² .yr)	節能率
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}		
1	宗教文化館 建築	基準值	22.11	29.94	52.05	0%
		設計值	21.48	28.14	49.62	-5%
		最優值	10.17	11.97	22.15	-57%
2	學校圖書館& 體育館建築	基準值	86.96	32.54	119.51	-14%
		設計值	51.49	32.13	83.63	-40%
		最優值	19.11	16.27	35.38	-70%
3	醫院類建築	基準值	171.18	33.52	204.70	0%
		設計值	113.90	29.33	143.23	-30%
		最優值	32.96	16.76	49.72	-76%
4	辦公類建築	基準值	43.41	30.05	73.47	0%
		設計值	23.94	15.78	39.71	-46%
		最優值	10.27	15.03	25.29	-66%
5	住宿類建築	基準值	9.00	18.00	27.00	0%
		設計值	9.00	18.00	27.00	0%
		最優值	6.30	12.60	18.90	-30%

第四節 零能源建築分級基準及評估制度擬議

零能源建築 (ZEB) 意義為一棟低耗能的綠建築，其概念為日常耗能可以利用建築物設置的再生能源系統達到自給自足，兩者消抵銷後，耗能為零。然而就達成建築零耗能的方法而言，有其重要的先後順序。首要目標應為「建築節能」，亦即零耗能建築本身必須先透過各種節能設計手法降低自身的耗能需求，其次才是考量如何在基地內 (on site) 產生再生能源，或是再生能源不足時，進一步尋求基地外 (off site) 的再生能源支援，才有可能透過再生能源抵銷其耗能成為零耗能建築。所謂的場外再生能源，則是包括來自社區基金所支持的社區規模能源設施，以及公用電廠提供的「綠色電力」 (Green power)。因此，零能源建築 (ZEB) 必須設定明確之節能比例門檻，以確保零能源建築之可行節能程度與低能耗性能。同時，為了零能源建築推動實施，分三階段分級評估基準，以利漸進達成零能源建築目標。零能源建築定量分級評估基準定義如下：

(一) 零能源建築 ZE/RTB 的判斷基準

調和綠建築之近零能源建築基準，以零能源建築 ZEB 的判斷基準 (定量定義)，為滿足以下定量要件之建築物：

1. 準零能源建築 RZE/RTB：符合以下(1)～(3)的建築物

- (1) 不含可再生能源，減少30%以上的能源基準消耗量。
- (2) 綠建築日常節能評估系統得分RS4大於或等於16以上之建築。
- (3) 建築外殼節能效率 $EEV \leq 0.8$ 。

2. 近零能源建築 NZE/RTB：符合以下(1)～(3)的建築物

- (1) 不含可再生能源，減少50%以上的能源基準消耗量。
- (2) 包含可再生能源，減少75%以上、未滿100%的能源基準消耗量。
- (3) 建築外殼節能效率 $EEV \leq 0.7$ 。

3. 零能源建築ZEBTB：符合以下(1)~(3)的建築物

(1)不含可再生能源，減少50%以上的能源基準消耗量。

(2)包含可再生能源，減少100%以上的能源基準消耗量。

(3)建築外殼節能效率 $EEV \leq 0.7$ 。

符合綠建築節能基準一般建築，主要在於強化建築技術規則法規要求，強化外殼節能指標 20%。近零能源建築則以法規基準，逐步提昇屋頂及外牆隔熱性能，作為門檻基準。一次性能源消耗量的對象，為節能基準訂定包含空調設備、機械通風設備、照明設備、自然通風採光。一般電氣設備、給排水設備、熱水供給設備及電梯設備等，為建築固定設備，節能比例偏低，不利建築節能規劃之操作，暫不納入節能基準評估，以利近零能源建築之推動與實施。綠建築分級評估日常節能指標計分 RS4，最大值為 32 分，以建築空調照明設備最優節能率 60%計，RS4 中間值 16 分應可相當節能率 30%。零能源建築評估一次性能源消耗基準，以節能率評估 30%以上，或日常節能指標 RS4 計分 16 分為準零能源建築(RZEBTB)門檻基準。以節能率評估 50%以上，為近零能源建築(NZEBTB)與零能源建築(ZEBTB)門檻基準。節能率之量化評估方法，以綠建築節能基準及建築碳足跡所認定的計算方法算定之，綠建築節能基準之算定方法，以政府公告之評估方法為準。另外，可再生能源量的對象，限定為基地內 (on-site)，自家消耗量、賣電量也列入對象。調和綠建築之近零能源建築基準彙整，如表 4-6 所示。

表 4-19 調和綠建築之近零能源建築基準

		零能源建築 ZEBTB	近零能源建築 NZEBTB	準零能源建築 RZEBTB	符合綠建築節能 基準建築
1	節能率	100%以上 (包含可再生能源)	75%以上 (包含可再生能源)	30%以上 (不包含可再生能源)	強化外殼節能指標 20%
	一次性能源節能率 門檻	50%	50%	30% 或 RS4 大於等於 16.0	
2	節能率估算對象範圍	空調、通風、照明、採光			空調、通風、照明
3	估算方法	綠建築節能基準及建築碳足跡所認定的計算方法			
4	北部氣候區	建築外殼節能效率 $EEV \leq 0.7$		建築外殼節能效率 $EEV \leq 0.8$	
5	中部氣候區				
6	南部氣候區				

(二) 零能源住宅建築 ZEBTH 的判斷基準

國內住宅類建築在建築節能基準上，建築技術規則考量其節能特性，在外殼節能與隔熱性能均以不同於其他一般建築類型另定基準。在一次性能源消耗的特徵，住宅類建築也有別於其他一般建築之能源消耗比例，以一般家電耗能佔比最高。同時考量住宅建築之合理居住環境功能與舒適性能，一般最優建築設計與建築設備一次能源節能率約在 30% 左右。衡量國內住宅類建築耗能特性，以及制度上推動可行策略，擬單獨設立零能源住宅建築基準，以一次性能源耗能之節能率 20% 以上為門檻基準。調和綠建築之近零能源住宅建築基準，以零能源住宅建築 ZEBTH 的判斷基準（定量定義），為滿足以下定量要件之住宅建築：

1. 準零能源住宅建築 RZEBTH：符合以下(1)～(3)的住宅建築

(1) 不含可再生能源，減少 20% 以上的能源基準消耗量。

(2) 綠建築日常節能評估系統得分RS4大於或等於12以上之建築。

(3) 屋頂平均熱傳透率0.8以下，不透光外牆部分平均熱傳透率 $2.75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ 以下，或 $\text{EEV} \leq 0.8$ 。

2. 近零能源住宅建築NZEBTH：符合以下(1)~(3)的住宅建築

(1) 不含可再生能源，減少20%以上的能源基準消耗量。

(2) 包含可再生能源，減少75%以上、未滿100%的能源基準消耗量。

(3) 建築外殼節能效率 $\text{EEV} \leq 0.7$ 。

3. 零能源住宅建築ZEBTH：符合以下(1)~(3)的住宅建築

(1) 不含可再生能源，減少20%以上的能源基準消耗量。

(2) 包含可再生能源，減少100%以上的能源基準消耗量。

(3) 建築外殼節能效率 $\text{EEV} \leq 0.7$ 。

符合綠建築節能基準住宅類建築，主要在於強化建築技術規則法規要求，強化外殼節能指標 20%。零能源建築則以法規基準，逐步提昇屋頂及外牆隔熱性能，作為門檻基準。零能源住宅建築能源消耗量的對象，為節能基準訂定包含空調設備、照明設備、自然通風採光規劃。一般電氣設備、給排水設備、熱水供給設備及電梯設備等，係建築固定設備，節能比例偏低，不利建築節能規劃之操作，暫不納入節能基準評估，以利近零能源建築之推動與實施。綠建築分級評估日常節能指標計分RS4，最大值為33分，以建築空調照明設備最優節能率60%計，RS4中間值12分應可相當節能率20%。零能源建築評估一次性能源消耗基準，以節能率評估20%以上，或日常節能指標RS4計分12分為準零能源住宅建築(RZEHTB)門檻基準。零能源住宅建築評估能源消耗基準，以節能率評估20%以上，為近零能源建築(NZEBTH)與零能源建築(ZEBTH)門檻基準。節能率之量化評估方法，以綠建築節能基準及建築碳足跡所認定的計算方法算定之，綠建築節能基準之算定方法，以政府公告之評估方法為準。另外，可再生能源量的對象，同一般零能源建築之評估限定為基地內(on-site)，自家消耗量、賣電量也列入對象。調和綠建築之近零能源住宅建築基準彙整，如表4-7所示。

表 4-20 調和綠建築之近零能源住宅建築基準

		零能源住宅 ZEBTH	近零能源住宅 NZEETH	準零能源住宅 RZEBTH	符合綠建築節能 基準住宅
1	節能率	100%以上 (包含可再生能 源)	75%以上 (包含可再生 能源)	20%以上 (不包含可再 生能源)	強化外殼節能指 標 20%
	一次性能源節能 率門檻	20%	20%	20% 或 RS4 大於等 於 12.0	
2	節能率估算對象 範圍	空調、通風、照明、採光			空調、通風、照明
3	估算方法	綠建築節能基準及建築碳足跡所認定的計算方法			
4	北部氣候區	建築外殼節能效率 $EEV \leq 0.7$		建築外殼節能效率 $EEV \leq 0.8$	
5	中部氣候區				
6	南部氣候區				

準零能源建築 RZEBTB(Ready Zero Energy Building)與準零能源住宅 RZEBTH(Ready Zero Energy Housing)以建築節能為目標，無需評估再生能源之採用，延續綠建築評估方法與基準之提昇，執行制度上可以納入綠建築標章制度執行評估，並於日常節能指標中標示與登錄。近零能源建築 NZEBTB(Ready Zero Energy Building)與零能源建築 ZEBTB 除了建築節能門檻評估外，必須採納再生能源之發電評估與平衡計算，而再生能源之推動制度與相關措施屬經濟部權責，必須跨部會合作執行方有成效，故有待經濟部來共同推動，由內政部協助提供評估方法與計算基準。

第五章調和綠建築與近零能源策略與目標期程

第一節 專家座談委員會議召開及專訪

一、 專家座談委員會議召開

本年度執行內政部建築研究所委託計畫綠建築與近零能源制度之調合研究，其中重要工作項目之一是調合綠建築之近零能源建築相關政策、目標及推動作法及措施，以及國內零能源建築分級基準及評估制度與推動策略可行方向，為了研討綠建築與近零能源制度之調合研究，執行團隊分別於2019年6月13日及9月26日，假內政部建築研究所辦理第一、二次專家座談會議，期許透過產、官、學者等各領域專家與會商討。首先研究團隊先針對本案之研究背景、動機及期程進行簡報說明，會中討論議題有二個方向，一、調合綠建築之近零能源建築相關政策、目標及推動作法及措施，二、國內零能源建築分級基準及評估制度與推動策略可行方向。研究團隊提出初步研究成果，含零能源建築量化初步評估與節能潛力，以及零能源建築分級基準及初步評估制度擬議，提請專家委員給予意見，圖5-1為第一次專家座談會議紀錄，圖5-2為第一次及第二次專家座談會議紀錄。



圖 5-1 第一次專家會議之召開過程記錄



圖 5-2 第一次及第二次專家會議之召開過程記錄

專家座談討論會議中指出，政府積極努力推動綠建築標章，於公有建築上成效良好，惟如何提升至零耗能建築是極為困難之挑戰及目標。因應明年將針對住宅及非住宅兩類做能源耗用標示，而綠建築是綜合指標裡包含九大指標，能源部分只佔其中一部分，建議不影響其他系統。我國近（淨）零能源建築議題尚處於發展階段，經盤點我國目前具備之基礎，內政部建築技術規則已訂有綠建築專章，並且營建署刻正研擬建築物外殼耗能資訊透明機制，預計 2020 年實施；此外內政部建築研究所推動之綠建築標章系統將日常節能納為必要指標。故為有效推動近零能源建築，可參採日本推動模式，訂定適合國內零能源建築分級基準及評估制度，結合綠建築與近零能源建築系統，以延續我國綠建築政策及推廣成果，並銜接國際推動近零能源建築之趨勢，同時深入了解經濟部及環保署之相關制度及資源，透過跨部會整合推動

制度及資源，以利零能源建築調合率建築制度之推動。

於零能建築分級基準方面，對於構造熱傳的評估偏重，建議可整合成 SF 法與 EEV 來評估即可。於近零能源建築在推動面上，建議可從設計建造完工使用之各面向來推動，設計階段-建築強化相關法規規範研擬，建造完工階段-建築強化性能測試與驗證，使用階段-建築強化使用能耗。查核與檢討，透過上述三個面向建築，配合現有智慧綠建築標章之評估內容與推廣策略檢討可更具有執行成效。

執行團隊未來將持續針對各項法規及規範進行探討，評估近零能源建築相關政策、目標及推動作法及措施，以及國內零能源建築分級基準及評估制度與推動策略可行方向，以利近零能源、準零能源、零能源建築之區分。

二、專家學者專訪

因應全球氣候變遷及能源日漸匱乏嚴重情況下，近年來世界各國積極發展零能源及低碳建築，推動節能減碳及綠色環保技術，歐盟、美國及部分亞洲國家已經將建築零耗能或近零能源建築納入國家減碳目標期程，零耗能建築將是未來建築發展的主流。故以國際發展趨勢來看，國內導入近零能源建築制度所必須面臨之現況問題與困難為何？國內綠建築制度與近零能源建築調和之策略為何？同時，近零能源建築之指標制度及基準應如何決定，以綠建築現況制度，與零能源建築如何結合，才能具備可行性，將是我國必須省思問題，故執行團隊選擇以專家學者深度訪談方式，訪談對象以綠建築、碳排放相關專長之專家學者為主，希望藉由專家學者之經驗協助執行團隊釐清上述課題。其專家訪談結果大致分為行政面、技術面、宣導推廣面、綠建築制度搭配面上、建築節能技術之節能效益評估等五個面向來談，結果彙整如下：

(一)行政面

1. 建議先建立定義與基準（內政部建築研究所），之後優先採用補助金等鼓勵方式推行（如經濟部、環保署、內政部之補助金），之後再以公有建築優

先法規強制方式推行（如行政院推動方案），最後再逐步納入建築管理法規（如內政部營建署之建築管理體系）。

2. 定義與基準部分，建議以委託研究方式進行，另外亦建議進行 ZEB 對國家減碳目標之貢獻程度，以及建築產業投入成本之效益分析。
3. 建議應逐步擬定行政院的推動方案，以爭取跨部會之研究與推動所需資源。
4. 建議從能源政策的整合著手，從電價訂定、再生能源收購、建築房屋稅制、維護管理應分階段進行，初期可針對公有建築物試辦，待成熟後逐步推動。法令修訂等。

（二）技術面

1. 目前綠建築管理僅至使用執照的取得，近零能制度攸關使用階段的耗能，故僅能進行預估，無法了解實際的耗能狀況。
2. 各國 ZEB/ZEH 之定義與推動方式差異不大，但細節條件各有不同。建議進行我國 ZEB/ZEH 之節能潛力、再生能源潛力之分析，特別是住宅類(ZEH)。
3. 建議編輯 ZEB 定義與基準手冊，以及實務應用面之設計手冊，以供技術顧問業及建築設計業參考。
4. 應先建立各類建築物的最基礎耗能量，然後建立各類建築物應達成的基準值。

（三）宣導推廣面

1. 建議結合相關公協會，共同辦理 ZEB/ZEH 相關技術研習活動，以利建築師等相關業者理解，並回饋業界成本效益之意見，除可讓制度更順利導入實務工作，亦可避免溝通或理解不足造成之抗爭。
2. 針對一般民眾進行媒體或文宣之宣導，以及講習會活動，以喚起民眾對建

築能源議題之重視。

3. 零能源建築結合在綠建築指標中成為必備選項，政府能源政策應確定達成目標（每年完成多少百分比），相對應知各項建設落實於建築產業中，由公部門機關建築以身作則。
4. 應分階段進行，初期可針對公有建築物試辦，待成熟後逐步推動。

（四）綠建築制度搭配

1. 建議 ZEB/ZEH 分別可作為綠建築 BC 版及 RS 版中日常節能指標之延伸，並促進再生能源，以及各項節能技術之評估更加多元化。
2. 建議亦可納入綠建築版本，可不需增設作業要點，並可沿用評定專業機構之制度。
3. 準零能源建築亦可整合綠建築標章將其分數轉換為 RS 值。故建議未來於準零能源建築計算時，與綠建築標章進行整合，先扣除再生能源計算部分，僅以『日常節能指標』進行驗證計算，探討空調、照明兩個最大耗能項目，另一方面，未來申請單位可以同時並行申請綠建築標章及準零能源建築認證。
4. 可由綠建築日常節能納入規範，提高節能的等級，以達到近零能的目標。或是可建立新的手冊，針對使用中的建築物的能耗進行評估，類似 CASBEE 的既存、BREEAM 的 In-Use 版本

（五）建築節能技術之節能效益評估

近零能源建築與我國現行綠建築評估制度內之日常節能指標其評估皆以減少建築耗能為目的，由於二者之評估目的相同，在僅考慮基地內之能耗為評估範疇暫不考慮基地外之再生綠能購入之前提下，差異僅在於基準嚴苛程度不同以及基地內再生能源之利用而已。

因此建議二者調和可能之最省工且最快之方式，為將近零能源建築之評

估建構在既有之日常節能指標下，並重新調整日常節能指標群之給分權重。其近零能源建築之標示可在既有之綠建築標章下以增加零能源建築等級之標示為之，以彰顯其等級。其評估方法建議提供二種評估途徑，以增加新穎建築節能技術之節能效益評估：

1. 開發能耗之簡算法

(1) 節能方面

以日常節能指標之外殼、空調、照明為基礎，研究開發推估至建築最終耗能或碳排之計算方法，其他設備耗能(給排水、輸送設備、通風換氣等)則建議採用建築碳足跡 BCF 之評估方式為之。此外，針對新穎之建築技術(如地中儲能、熱泵系統、智慧節能控制等被動或主動技術)則以創新技術認定之方式計算其抵碳量或節能量。依節能量或抵碳量評估其近零能源之等級。

(2) 再生能源方面

開發太陽光電、太陽熱能利用、風力等再生能源在台灣各氣候區之評估方法。

(3) 延伸之可能未來課題

建構以日常節能指標為基礎推估建築耗能量之計算方法。建構台灣各地再生能源利用效益之量化評估法。

2. 以電腦動態模擬方式評估

(1) 為顧及智慧建築節能控制、多元新穎節能技術與再生能源(如太陽光電、太陽熱之利用)之效益納入評估，可仿效現行綠建築 GF 與 RN 版本，開放以建築動態能源解析模擬之方式評估，定義清楚標準使用時程、標準建築、標準氣候等進行設計案與標準建築案之模擬比對，計算基地內(on-site)之最終能源消費，以評估其節能(碳)量，據此換算分數等級。

(2) 延伸之可能未來課題：建構符合台灣氣候之電腦動態模擬標準與情境定義、

定義清楚各種再生能源之計算或模擬邏輯。



圖 5-3 專家訪談過程紀錄

第二節 調合綠建築與近零能源建築策略

一、設計面

1. 節能設計應用

達成 ZEB 的目標除了運用各種節能技術之外，更重要的是被動式設計和主動式設計的整合，善用建築物物理環境等的自然光和通風能源，減少設備的能源消耗，加強系統化的整合設計。利用建築規劃設計的方式，在基地選址上對應當地氣候條件、運用各種被動式的節能設計手法來降低建築外殼負荷、降低外氣負荷、降低室內熱負荷。

2. 建築能源的活用

臺灣的地狹人稠，建築多為高密度且面積狹小的中高層大樓，因此未來若要全面的推動 ZEB 政策，有必要發展連結複數建築群的能源網絡，使能源設施共有化，同一區域內的建築物能共用空調系統及能源系統。未來在能源利用的面向上，還需包括降低能源費用、區域開發的定位、省能效率評估方法的確立等，提升整體能源的運用效率。未利用能源的活用，熱泵是吸收熱，並將其轉換成熱能的裝置，除了吸收大氣中的熱能，還能活用目前尚未開發利用的熱能，如地中熱、其他工廠排放廢熱等，即能發揮更多效益。

3. 再生能源導入設計

再生能源實際在規劃設計上，也必須考慮到再生能源的使用限制條件。以太陽能光電為例，臺灣北中南三區的日射量不同，故設置容量也有所不同，而在「建築整合型態陽光電系統 BIPV(Building Integrated Photo Voltaic)」的設計中，太陽能光電板的設置必須考慮方位座向、傾斜角度、鄰房及鄰近障礙物的相對位置，否則一旦產生屏蔽，將會降低光電板發電效率。故建議仍以「獨立型建築」及「屋頂面」做為優先設置考量，而後再思考立面整合太陽能光電設計的可行性。尤其薄膜型太陽能電池運用於建築立面時，會降

低可見光的透過率，不利於室內採光，也不便開窗，因此也未必全然適用於對於通風採光要求較高的住宅類建築。其他再生能源如風力發電、地熱利用等，也都有基地條件的限制性，必須詳加考量，才能發揮導入再生能源的最大潛力。採用低碳排的能源，利用再生能源及開發未利用之能源。

二、技術面

1. 設備性能提昇

空調、照明、動力、家電等設備節能設計是指運用主動電力和機械系統來達成節能的設計方法，中央型空調系統設備節能設計對象包括主機系統、送風系統及送水系統。空調、熱源輸送、照明、建築電器設備應積極研發提升性能，採用高性能高效率化的機器設備。

2. 建築能源管理系統：

ZEB 必須對建築物的耗能負荷進行精準的動態控制，並且要能維持建築節能與環境舒適性的平衡。透過建築能源管理系統，能夠將複雜的數據進行標準化與診斷分析，來檢視 ZEB 的效能與成本。同時若能將建築能源數據標準化，不僅能整合各項設備機器間的介面，也有利於複數建築物的群組管理。

3. 智慧化技術整合

設備的整合包括空調、照明及智慧化 ICT 設備機器系統。設備與使用者的整合，在無人狀態時的空調、照明控制、感知設備的活用。建築負荷追蹤控制系統，紀錄各種機器的最高效率、能源使用情形、未來氣象對應之空調模式控制…等，以及各個建築物間的系統整合。

三、政策面

1. 強化建築節能基準

我國目前的建築節能法令訂於《建築技術規則》第十七章，主要針對建

築的外殼耗能進行規範，外殼耗能基準制訂隨著時代進步與節能要求提升而有所調整。推動 ZEB 政策的第一步，應是提升現行的建築節能法規基準，並制訂中長期的建築節能目標，逐步地提升法規門檻，鼓勵低能耗、低密度的新建建築物能適用之。

2. 執行長期的建築耗能盤查

不同類型建築間的耗能差異其實頗大，因此應就不同的建築使用類型訂立不同的耗能基準，方能反映真實的耗能情形。臺灣的建築耗能資料調查困難，欠缺詳細的建築能源基本普查資料，不利相關能源政策的推動。應該運用政府公權力進行各類建築的長期的建築耗能盤查，建立詳實完備的建築耗能基礎資料庫，有利於我國未來推動建築能源政策的依據。

3. 擬定 ZEB 推動目標與執行期程

政府應立即著手訂立明確的目標期程，以 5、10 年為一階段目標，並參考國際 ZEB 目標關鍵年（2025 年、2030 年、2050 年）的目標，採取相關的配套節能標準與獎勵措施，展示我國推動近零能源建築的決心與執行力，並促進建築節能減碳技術產業的再升級。

四、制度面

1. 獎勵 ZEB 制度

ZEB 建築為了進一步建築效能，並且有效地運用再生能源，在前期的技術開發與設備投入均需可觀的資金，雖然在建築使用的中長期階段能透過節能效率進行回收，但由於再生能源設備的回收期間很長，因此從獎勵的觀點，應給予 ZEB 開發設計者資金面的支援與獎勵。例如日本取得認證的住宅可享有所得稅、登錄免許稅、不動產取得稅以及固定資產稅的減免，民眾在購買具備較佳的省能以及耐震性的住宅時，可以有較多的課稅抵扣額。既有建

築物的節能改善能大幅提昇環境效益，但又較新建建築物更不容易達成 ZEB 的目標，所以更應該利用鼓勵更多的既有建築投入節能改善的行列，以實際折減的節能效果做為獎勵措施。

2. 量化評估方法與系統

近零能源建築（nZEB）意義為低耗能的綠建築，日常耗能利用建築物設置的再生能源系統達到自給自足，兩者相抵銷後，耗能為零。零能源建築優先目標應為「建築節能」，亦即零耗能建築本身必須先透過各種節能設計手法降低自身的耗能需求，其次才是考量透過再生能源抵銷其耗能成為零耗能建築。在評估方法與操作程序上，必須建置建築耗能的「標準情境」，其次再建立「標準建築」節能效益量化之評估方法，最後再計算再生能源的替代效率，作為評估判斷之依據。

3. 建築能源標示制度

「建築能源效率標示制度」在歐洲已推行多年，透過標示制度將建築耗能進行能源效率分級，並改善效能不佳的建築物，已有顯著的成效。尤其 ZEB 並非僅關注於建築外殼耗能，也須計入空調、照明、設備等耗能以提供建築整體的耗能結構，目前生命週期探足跡評估 BCF 法已可於設計階段進行完整詳盡的耗能評估，降低能源標示分級的難度，因此建築能源標示制度更有其必要性。

第三節 政策目標期程檢討

本研究對我國發展 ZEB 的政策建議，包含短期、中期與長期的政策目標與相關配套措施。近零能源建築的制度推動與落實，需要積極經濟能源政策與產業輔導面相來配合實施，適合經濟部做為政策主導的舵手，搭配建築管理（內政部營建署、建築研究所）來配合推行。

表 5-1 我國推動 ZEB 之政策建議

	政策建議	相關配套措施
短期 (1~5 年)	■ 定義的確立 ■ 建立示範建築 ■ 確立目標 ■ 綠建築準零能源建築標示	■ ZEB 手冊的訂定 ■ 建立產官學共議機制 ■ 相關法規的配合 ■ 再生能源系統的配合
中期 (4~10 年)	■ 一定規模以上之公共工程獎勵推動 ■ 獎勵民間建築自願申請 ■ 特定區示範計畫(大學、工業園區等) ■ 綠建築近零能源建築標示	■ Smart grid 的建構 ■ ZEB 技術(輔導)人員的培訓 ■ 數據收集與定期檢討 ■ 建管法規的配合 ■ 再生能源系統的配合
長期 (11~20 年)	■ 一定規模以上之公共工程強制推動 ■ 一定規模以上、特定用途之民間建築工程強制推動 ■ 地方政府自治條例 ■ 獎勵民間建築 ■ 零能源建築法制化	■ ZEB 的推廣與品牌化 ■ 低成本技術開發 ■ 數據收集與定期檢討 ■ 地方政府的配合

(1) 短期目標

近零能源建築的定義是最重要的一個課題，首先必須公開確立。本研究建議國內近零能源建築（nZEB）定義為低耗能的綠建築，日常耗能利用建築物設置的再生能源系統達到自給自足，兩者相抵銷後，耗能為零的建築物。零能源建築優先目標應為「建築節能」，亦即零耗能建築本身必須先透過各種節能設計手法降低自身的耗能需求，其次才是考量透過再生能源抵銷其耗能成為零耗能建築。以建築管理角度而言，基地內 on-site 能源平衡的認定較為容易，而採用基地外

off-site 能源平衡的認定，就比較困難以一宗建築基地來檢討。然而，以整體都市發展的角度而言，要促進再生能源的整體發展，應該以都市整體的總量管制來考量。

國家的能源政策應以國土與產業做整體考量，包括各部門之能耗管理。近零能源建築 ZEB 設定評估基準與制度，藉由建築能源管制的方式來達成促進建築節能與提升再生能源的政策，其中更以提升再生能源的比例為主要政策目標。因此，定義的確立、計算方式以及建立示範建築是短期重要的發展策略。而相關配套措施，首先需要中央政府確立 ZEB 政策的主要推行部門，接下來便是建立產官學共議機制，訂定評估機制與認定制度。調和綠建築現行標章制度，在綠建築評估手冊基本型與住宿類建築中，納入準零能源建築評估與標示機制。以建築節能為主要評估對象，先不考慮再生能源課題與跨部會制度推動之問題，將有利於近零能源建築制度之政策堆動。以住宅及辦公建築實現 on-site ZEB 的可行性，也就是建築基地內能量平衡（on-site）的角度進行評估後，建議大力推動建築整合型太陽能 BIPV（Building Integrated Photovoltaic）系統。並建議政策初期應提供較多的獎勵補助措施，以提升產業投入 ZEB 設計的意願。

推動 ZEB 政策的第一步就是明確定義與主導政策的部門，世界各國在確立推動 ZEB 政策定義與主導政策部門機構相當慎重，且有相當一致之作法與推動模式。我國對於 ZEB 的定義、目標與基準尚未有明確的執掌，也就是未能明確界定哪個部會為主來推動這個政策。世界各國多以負責經濟、資源的部門來主導，如美國能源部 DOE，日本為經濟產業省・能資源廳，而由建築管理相關部門輔佐。建築管理的相關部門多以建築單體或新建，以一宗建築基地為申請單位的角度來考量，並以申請建築執照以及竣工時發給使用執照為管制點，缺乏後續日常維護、修繕更新時的積極推動。因此，由建築管理部門來主導 ZEB 的發展時，購買基地外再生能源（off-site）的管理與執行往往難以落實，需要有第三單位來協助管理與實踐。

（2）中期目標

調和綠建築現行標章制度，在綠建築評估手冊基本型與住宿類建築中，納入近零能源建築評估與標示機制。以建築節能為主要評估對象，考慮再生能源導入評估，積極實施近零能源建築制度之政策堆動。參採綠建築推動方案原則，一定規模以上之公共工程獎勵或強制推動，獎勵民間建築自願申請，鼓勵特定區示範計畫包括大學、工業園區等。

都市的智慧電網（smart grid）建構，可說是 ZEB 政策中期發展的重要基礎。智慧電網可將能源單位分散至每個家戶，甚至結合充電型車輛來調節電力需求，是我國實現智慧城市的重要基礎建設。中期建議建築管理機關開始進行強制規範，可從一定規模之公共工程開始。然而，一般都市中的辦公建築勢必難以完成 on-site 的 ZEB，因此需要大量的 off-site 再生能源，這也是再生能源大量發展的契機。除了台電的電廠，鼓勵民間設置再生能源電廠、家戶多餘的再生能源可以回售，都是大幅提升再生能源供給率的關鍵政策。而進入強制規範時，建立良好的建築節能輔導機制也是相當重要的一環，這部分必須鼓勵業者（或官方）發展技術人員的培訓與認證。並同時結合數據收集與分析（big data）以做為政策修訂的依據。

（3）長期目標

長期的政策建議，主要是推動 ZEB 的「普及化」，也就是擴大 ZEB 的影響範圍，除了擴大強制實施的範圍由公共工程至一定規模、特定用途之民間建築工程之外，也希望藉由 ZEB 的推廣與品牌化，以及低成本技術的開發，讓民間願意參與 ZEB 的相關產業。同時，推動地方政府納入地方自治條例，落實零能源建築法制化管理。

本研究建議近零能源建築的推動，政府目標期程與執行重點任務，如圖 5-1 所示。我國「能源發展綱領」提出 2025 年達成能源轉型 20-30-50 潔淨能源發電結

構及非核家園之目標，除了從開源角度尋求供電來源外，亦從節流的面向積極推動節電，將可提供未來推動近零能源建築之發展基礎。配合非核家園政策目標，零能源建築推動短期目標，建議以 2025 年為目標年度，作為短期推動工作之檢核年度。包括零能源建築定義的確立與公告，建築能源標示制度的實施，建立評估基準與制度，確立執行目標。中期目標建議獎勵公共建築與民間建築的申請與投入，建構智慧電網 Smart grid 與再生能源制度配套，輔導 ZEB 技術人員的培訓，實務數據的收集與定期檢討等。長期目標建議導入法制化零能源建築管理，強制一定規模以上工程檢討，地方政府建管配合推動，低成本技術持續開發，ZEB 品牌化普及推廣等。

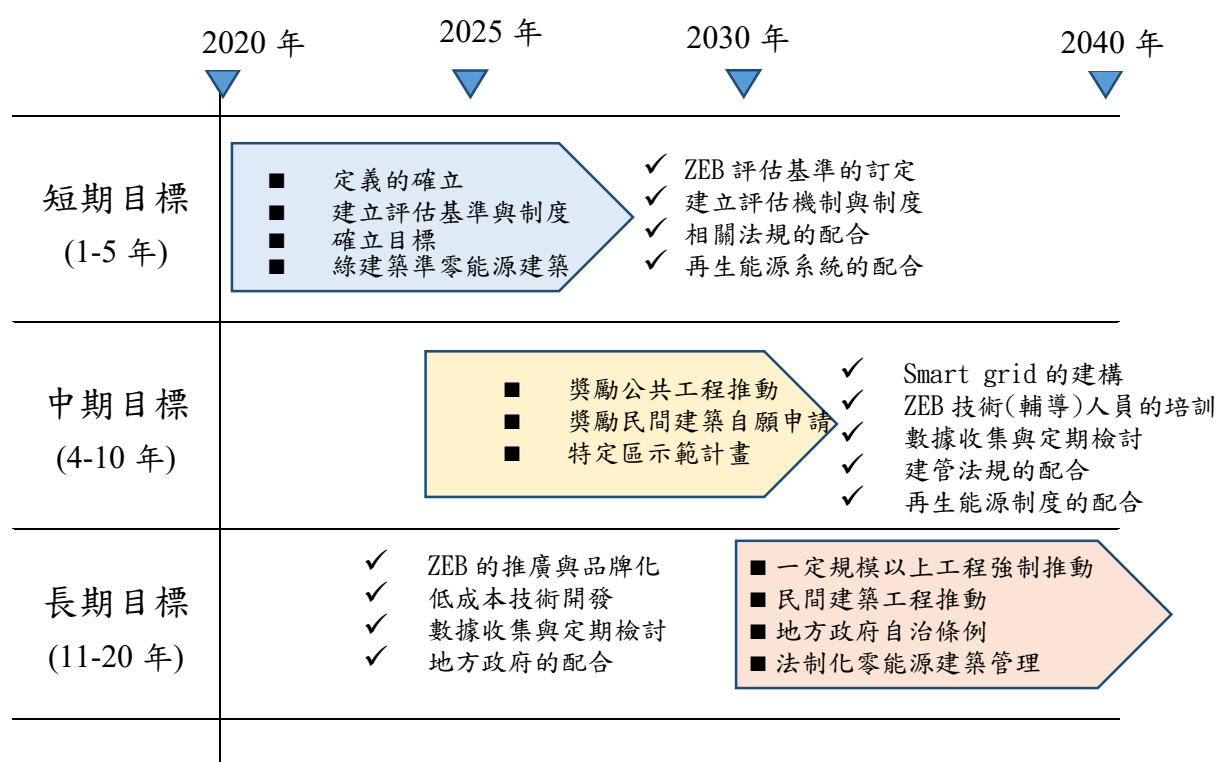


圖 5-4 政府目標期程檢討與建議

第六章結論與建議

第一節 結論

因應全球氣候變遷及能源日漸匱乏嚴重情況下，近年來歐美日本等先進國家積極發展零能源及低碳建築，推動節能減碳及綠色環保技術，歐盟、美國及部分亞洲國家已經將建築零耗能或近零能源建築納入國家減碳目標期程，顯示零耗能建築將是未來建築發展的重要趨勢。為有效推動近零能源建築，本研究參採國際零能源建築推動模式，結合綠建築與近零能源建築系統，以延續我國綠建築政策及推廣成果，並銜接國際推動近零能源建築之趨勢。根據國內外近零能源建築文獻彙整，探討提高建築能源使用效率及可大量降低能源需求之建築設計方式，並檢討適合我國綠建築使用之可再生能源技術，彙整我國綠建築日常節能指標與住宅建築能耗之關聯，研擬我國綠建築與近零能源建築系統之調合發展策略。透過國際零能源建築技術發展與案例彙整分析、國內外推動綠建築指標彙整分析、國內外綠建築評估系統與工具彙整、最新研究動態及專家座談會議，建立國內零能源建築量化評估方法與零能源建築分級基準及評估制度擬議。完成國內外有關近零能源建築相關研究文獻資料，以及歐美日本先進國家對於近零能源建築之政策推動措施與相關期程目標，研究成果概要如下：

一、完成蒐集國內外近零能源建築之相關政策目標及推動作法

歐盟提出所有新建築在 2020 年起必須為近零能源(nearly zero energy building)建築，公共建築為 2018 年起必須為近零能源建築。目前歐盟已經開始制訂近零能源建築基準的國家，大部分與歐盟設定的實施日期一致，部分國家如法國、比利時、英國等，早已開始推動實施近零能源建築政策。日本政府提出 2020 年所有新建的公有建築須為 nZEB 建築，在 2030 年所有新建建築須為 nZEB，住宅建築必須為 nZEB 有節能 20% 以上的效率，非住宅類建築則必須有節能 50% 以上的效率。

美國能源部並訂出 2030 年前商業新建築需達到淨零耗能、2040 年前 50% 商業建築需達到淨零耗能，並於 2050 年前全面達到淨零耗能的目標。歐美日本等先進國家積極發展零能源及低碳建築，推動節能減碳及綠色環保技術，歐盟、美國及部分亞洲國家已經將建築零耗能或近零能源建築納入國家減碳目標期程。國際各國相關政策目標及推動作法，值得國內政策與制度建立之參採。

二、釐清零能源建築定義與完成國外近零建築案例之彙整

國內近零能源建築（nZEB）意義為低耗能的綠建築，日常耗能利用建築物設置的再生能源系統達到自給自足，兩者相抵銷後，耗能為零之建築物。零能源建築優先目標應為「建築節能」，亦即零耗能建築本身必須先透過各種節能設計手法降低自身的耗能需求，其次才是考量透過再生能源抵銷其耗能成為零耗能建築。因此，近零能源建築必須以建築耗能評估與標示為目標，建立簡化且可靠的建築能源評估法，以供執行落實與推動實踐。國內綠建築評估制度及評估方法，根據國情及實際建築能耗現況特性，長期以來以改良式模擬評分方式進行，延續碳足跡及能源標示相關制度研議既有研究成果，以實證模擬評估法為主。

三、完成探討我國綠建築日常節能指標與建築能耗之關聯評估

本研究彙整實施綠建築分級制度以來，1374 件綠建築標章建築案例，針對建築消耗能源相關之日常節能指標得分 RS4 值統計分析，取得綠建築標章案例日常節能指標得分平均約 10.8，各類型建築之得分平均值在 8 分至 12 分之間，以辦公廳類建築與大型空間類建築得分平均較高，住宿類建築與百貨商業類建築得分平均值較低。日常節能指標得分 RS4 最大值以學校類建築、大型空間類建築與辦公廳類建築得分較高，約在 25 分以上。整體而言，住宿類建築之日常節能指標得分低於其他類建築約兩成。綠建築分級評估日常節能指標計分 RS4，因採推估節能效益加權計分方法，雖有大致之節能驗證，但仍無法直接換算建築能源節能比率，故難以參採為近零能源建築節能率評估之計算指標與基準。唯日常節能指標加權得分最大值為 32 分，以建築空調照明設備最優節能率 60% 計，RS4 中間值 16 分

應可相當節能率 30%。住宿類建築日常節能指標得分有建築能耗特性上之限制，最大值為 32 分，以建築空調照明設備最優節能率 60%計，住宿類建築日常節能指標 RS4 中間值 12 分應可相當節能率 20%。

四、零能源建築量化評估方法與評估基準

本研究參採國內「動態 EUI 理論」，適用於國內建築機能混合使用之情況，相較國際採用單一建築分類之預測方法，比較精確預測國內建築耗能之特性。依據建築物之不同「耗能分區」分類模擬預測各分類空間之耗能量，再組合成整體建築物的耗能預測值，排除建築混用、營運複雜化差異，以減少預測之誤差。根據動態 EUI 理論概念，建築物主要設備的耗能標準將由各類空間的 EUI 值加權計算，採低碳建築聯盟所提 BCF 法計算耗能量 ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$)，以及動態 EUI 計算為節能評估基準，整體建築系統空間的總耗能密度值平均推估 EUI 之計算。調和綠建築制度與評估方法，新建建築近零能源建築基準將與綠建築日常節能指標之模擬評分計算連結，建立基本門檻節能率基準，呼應零能源建築實踐之節能優先基本要領。在建築節能率評估方法與操作程序上，首先建置建築耗能的「標準情境」，其次再建立「基準建築」節能效益量化之評估方法，最後再計算再生能源的替代效率，作為評估判斷之依據。

五、近零能源建築分級基準及評估制度擬議

近零能源建築則以法規基準，逐步提昇屋頂及外牆隔熱性能，作為門檻基準。能源消耗量的評估對象及節能基準訂定包含空調設備、機械通風設備、照明設備、自然通風採光。綠建築分級評估日常節能指標計分 RS4，最大值為 32 分，以建築空調照明設備最優節能率 60%計，RS4 中間值 16 分應可相當節能率 30%。零能源建築評估一次性能源消耗基準，以節能率評估 30%以上，或日常節能指標 RS4 計分 16 分為準零能源建築(RZEBTB)門檻基準。以節能率評估 50%以上，為近零能源建築(NZEBTB)與零能源建築(ZEBTB)門檻基準。符合綠建築節能基準住宅類建築，

主要在於強化建築技術規則法規要求，強化外殼節能指標 20%。零能源住宅建築能源消耗量的評估對象及節能基準訂定包含空調設備、照明設備、自然通風採光規劃。零能源住宅建築評估能源消耗基準，以節能率評估 20%以上，或日常節能指標 RS4 計分 12 分為準零能源住宅建築(RZEHTB)門檻基準。零能源住宅建築評估能源消耗基準，以節能率評估 20%以上，為近零能源建築(NZEBTH)與零能源建築(ZEBTH)門檻基準。節能率之量化評估方法，以綠建築節能基準及建築碳足跡所認定的計算方法算定之，綠建築節能基準之算定方法，以政府公告之評估方法為準。

第二節 建議

為有效推動近零能源建築，建議可參採國際上歐盟、日本等先進國家零能源建築推動模式，結合國內綠建築與近零能源建築系統，以延續我國綠建築政策及推廣成果，並銜接國際推動近零能源建築之發展趨勢。茲彙整研究成果針對國內近零能源政策制度策略建議如下：

建議一

訂立近零能源建築明確的目標期程：立即可行之建議

主辦機關：經濟部能源局

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

國際上歐美先進國已明確訂立 ZEB 或近零能源時程及達成目標，亞洲地區之日、韓、新加坡、香港也積極建立時程目標與推動近零能源建築政策，政府應著手訂立明確的目標期程、相關的配套節能標準與獎勵措施，展示我國推動近零能源建築的決心與執行力，並促進建築技術產業的再升級。

建議二

確立近零能源建築跨部會分工推動機制：立即可行之建議

主辦機關：經濟部能源局

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

近零能源建築的制度推動與落實，需要積極經濟能源政策與產業輔導面相來配合實施，世界各國多以經濟能源與產業發展主管部門，為零能源建築政策推動之主導單位，建築管理與環保部門為協辦單位。建議國內以經濟部能源部門做為政策主導的單位，由建築管理主管部門內政部營建署或建築研究所，建立建築能源標示機制與建築能耗評估基準來配合推行。

建議三

建立建築能源標示制度：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

建築能源標示制度的實施是銜接近零能源建築重要之機制，歐盟國家及日本均以建築能源標示制度先行實施，確立建築能源評估方法與建築能耗基準，以使近零能源建築制度得以順利推行。我國建築能源標示制度尚處研議階段，建議調和綠建築能源指標與標章制度公布實施，以利銜接零能源建築制度之施行。

建議四

準零能源建築納入綠建築標章制度執行評估：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

準零能源建築 RZEBTB(Ready Zero Energy Building)與準零能源住宅 RZEBTH(Ready Zero Energy Housing)以建築節能為目標，無需評估再生能源之採用，延續綠建築評估方法與基準之提昇，執行制度上可以納入綠建築標章制度執行評估，並於日常節能指標中標示與登錄。近零能源建築 NZEBTB(Ready Zero Energy Building)與零能源建築 ZEBTB 除了建築節能門檻評估外，必須採納再生能源之發電評估與平衡計算，而再生能源之推動制度與相關措施屬經濟部權責，必須跨部會合作執行方有成效，故有待經濟部來共同推動，由內政部協助提供評估方法與計算基準。

附錄一、案例評估與試算

本研究參採國內「動態 EUI 理論」，依據建築物之不同「耗能分區」分類模擬預測各分類空間之耗能量，再組合成整體建築物的耗能預測值，建立基準建築，作為評估對象建築參考比較之依據。根據動態 EUI 理論概念，一棟由展覽、商業、辦公等三類耗能分區所組成的建築物，建築主要設備的耗能標準將由此三類空間的 EUI 值加權計算而得。

$$CFa = Eac * \beta * CL$$

$$CF1 = E1 * \beta * CL$$

$$CFel = Ee * \beta * CL$$

其中

CFa：建築使用階段空調耗能碳排量(kgCO₂e)

CF1：建築使用階段照明耗能碳排量(kgCO₂e)

CFel：建築使用階段電器耗能碳排量(kgCO₂e)

β ：電力的碳排係數 0.532(kgCO₂e/kWh)

CL：RC 建築生命週期標準，RC、SRC、S 構造為 60 年，輕鋼構或木構造則再分別乘上 0.8 或 0.5

$$Eac = (Es + Et + Ep + Ef) * Vac * Rm$$

$$Es = Lsa * Tac * Ps * Rs, \text{ 但 } SF = (Ps + Pss) / Ps < HSCc$$

$$Et = Lta * Tac * Pt * Rt$$

$$Ep = Lpa * Tac * Pp * Rp$$

$$Ef = Lfa * Tac * Pf * Rf$$

其中

Eac：空調統耗電量(kwh/yr)

Es：冰水主機全年耗電量(kwh/yr)

Et：冷卻塔全年耗電量(kwh/yr)，採個別空調系統時 Et=0

Ep：水泵全年耗電量(kwh/yr)，採個別空調系統時 Ep=0

Ef：送風機全年耗電量(kwh/yr)，在 AHU 系統為空調箱風機耗能，在 FCU 系統為 FCU 風機耗能，但採個別空調系統時 Ef=0

Vac：自然通風空調耗能折減率，無單位，為依附錄 1 計算，基準案 Vac=0

Rm：空調系統節能效率，無單位，取自綠建築評估手冊 EEWH-BC 日常節能指標 Rm 計算值，基準案設 Rm=0

Rs：主機系統效率，無單位，取自綠建築評估手冊 EEWH-BC 日常節能指標 Rs 計算值，基準案設 Rs=0

Rt：冷卻水塔系統效率，無單位，取自綠建築評估手冊 EEWH-BC 日常節能指標 Rt 計算值，基準案設 Rt=0

Rf：送風機系統效率，無單位，取自綠建築評估手冊 EEWH-BC 日常節能指標 Rf 計算值，基準案設 Rf=0

Rp：水泵系統效率，無單位，取自綠建築評估手冊 EEWH-BC 日常節能指標 Rp 計算值，基準案設 Rp=0

一、宗教文化館評估案例

建案名稱	P 宗教文化館		總樓地辦面積 AF		1966.22 m ²
建築分類	公共建築				
建築空間分區名稱 1	24 小時間歇空調型 住宿類空間 B2	室內樓地板面積 AFI1	1736.22 m ²	耗能密度標準 EUI1	56 kwh/m ² .yr
建築空間分區名稱 2	12 小時間歇空調型 住宿類空間 J2	室內樓地板面積 AFI2	230 m ²	耗能密度標準 EUI2	155 kwh/m ² .yr
建築物整體之平均耗能密度 EUIa	EUIa=($\sum$ EUIi*AFIi)/ $\sum$ AFIi			67.581 kwh/m ² .yr	

本案空調及照明設備最優節能之潛力設定，採最優之節能對策之節能率推估，包括空調主機耗電節能對策節能效率 ERs 為上限值 0.3，送風系統節能效率 ERs 為上限值 0.12，送水系統節能效率 ERs 為上限值 0.12，照明設備總承諾節能潛力 ERLi 為 0.4。自然通風之最大空調節能效益 Vac 上限設定為 0.45，照明設備最優節能率為 0.6，整體最優承諾節能率設定，如附表 1.1 所示。

附表 1-1 空調照明設備承諾節能潛力

中央空調系統 型空間	耗電項目	耗電比	節能對策	承諾節能率 ai
	空調主機耗電	60%	1. 良好建築平面通風設計	a1=0.6*(1.0-Vac)
			2. 採主機台數控制(限用三台以上主機案例)	a2=0.09
			3. 採用儲冰空調系統	a3=0.06
			4. 採用吸收式、熱泵主機或變頻高效率主機	a4=0.12
			5. 採用 CO ₂ 濃度外氣量控制系統	a5=0.09*採用率
			6. 採用全熱交換器系統	a6=0.078*採用率
			7. 採用外氣冷房系統	a7=0.036*採用率
	主機系統節能效率 ERs=Σai(i=1~7)，但 ERs 不得大於 0.3			
	空調送風系統	20%	8. 良好建築平面通風設計	a8=0.2*(1.0-Vac)
			9. 採用變頻 VAV 系統	a9=0.1*採用率
	送風系統節能率 ERf=Σai(i=8~9)，但 ERs 不得大於 0.12			
	空調送水系統	20%	10. 良好建築平面通風設計	a10=0.2*(1.0-Vac)
			11. 採用變頻 VWV 系統	a11=0.1*採用率
	送水系統節能效益 ERp=Σai(i=10~11)，但 ERs 不得大於 0.12			
	空調設備總承諾節能潛力 ERai=1.0-(ERs+ERf+ERp)			
分散個別空調系統型空間	空調耗電		13. 良好建築平面通風設計	a13=1.0-Vac
			14. 採用節能標章冷氣機	a14=0.2
	空調設備總承諾節能潛力 ERai=1.0-Σai(i=13~14)			

空調設備、照明設備及固定電氣設備系統，案例基本資料及碳排引用碳足跡案例數值，全年碳排量數值如附表 1.2 所示。宗教文化館 BCFd 評估案例試算結果，如附表 1.3 所示。

附表 1-2 空調、照明、電器系統全年碳排量計算

	基準值	設計值	最優值
空調耗能碳排量(CFa)	1387831.17	1346196.23	638402.34
第 1 類建築空間空調耗能密度(EUIa1)	11	11	11
第 1 類建築物室內樓地板面積(AFI1)	1736.22	1736.22	1736.22
第 1 類建築空間空調承諾節能潛力(ERa1)	1.00	0.97	0.46
第 2 類建築空間空調耗能密度(EUIa1)	106	106	106
第 2 類建築物室內樓地板面積(AFI1)	230	230	230
第 2 類建築空間空調承諾節能潛力(ERa1)	1.00	0.97	0.46
照明耗能碳排量(CFi)	1878823.33	1766093.93	1503058.66
第 1 類建築空間照明耗能密度(EUII1)	29.00	29.00	29.00
第 1 類建築物室內樓地板面積(AFI1)	1736.22	1736.22	1736.22
第 1 類建築空間照明承諾節能潛力(ERa1)	1	0.94	0.4
第 2 類建築空間照明耗能密度(EUII1)	37.00	37.00	37.00
第 2 類建築物室內樓地板面積(AFI1)	230	230	230
第 2 類建築空間照明承諾節能潛力(ERa1)	1	0.94	0.4
電器耗能碳排量(CFe)	974821.48	974821.48	877339.33
第 1 類建築空間電器耗能密度(EUII1)	16.00	16.00	16.00
第 1 類建築物室內樓地板面積(AFI1)	1736.22	1736.22	1736.22
第 1 類建築空間電器承諾節能潛力(ERa1)	1	1	0.9
第 2 類建築空間電器耗能密度(EUII1)	12.00	12.00	12.00
第 2 類建築物室內樓地板面積(AFI1)	230	230	230
第 2 類建築空間電器承諾節能潛力(ERa1)	1	1	0.9

附表 1-3 宗教文化館 BCFd 評估案例試算結果

宗教文化館 BCFd 評估案例				
		基準值	設計值	最優值
建築使用階段 耗能總 碳排	空調耗能碳排量	1,387,831.20	1,348,000.00	638,402.34
	照明耗能碳排量	1,878,823.30	1,766,093.90	751529.33
	其他電器耗能碳排量	974,821.50	974,821.50	877,339.33
	給汗水耗能碳排量	39,708.40	27,795.90	
	運輸設備耗能碳排量	117,593.30	117,593.30	
	加熱設備耗能碳排量	1,104,900.00	1,104,900.00	
	合計	5,503,677.70	5,339,204.60	
建築物使用階段耗能量=建築使用階段耗能總碳排 /LC/ β			LC=60	$\beta=0.532$
		基準值	設計值	最優值
建築物 使用階 段耗能 量	空調耗能量	43478.42	42230.58	20,000.07
	照明耗能量	58860.38	55328.76	23544.15
	其他電器耗能量	30539.52	30539.52	27,485.57
	給汗水耗能量	1244.00	870.80	
	運輸設備耗能量	3684.00	3684.00	
	加熱設備耗能量	34614.66	34614.66	
	合計	172420.98	167268.31	
建築物使用階段耗能密度=建築物使用階段耗能量/總樓地板面積				
		基準值	設計值	最優值
建築物 使用階 段耗能 密度	空調耗能密度	22.11	21.48	10.17
	照明耗能密度	29.94	28.14	11.97
	其他電器耗能密度	15.53	15.53	13.98
	給汗水耗能密度	0.63	0.44	
	運輸設備耗能密度	1.87	1.87	
	加熱設備耗能密度	17.60	17.60	
	合計	87.69	85.07	

本案依空調、照明及固定電氣設備之最優節能評估，節能率最優值為 47%，未達近零能源建築之基準門檻 50%，如附表 1.4 所示。一般電氣設備、給排水設備、熱水供給設備及電梯設備等，為建築固定設備，節能比例偏低，不利建築節能規

劃之操作，建議暫不納入節能基準評估，以利近零能源建築之推動與實施。本案依空調、照明之最優節能評估，節能率最優值為 57%，顯示有達成近零能源基準門檻之潛力，如附表 1.5 所示。

附表 1-4 空調、照明及固定電器評估之節能率

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUI j(kWh/ m ² .yr)	節能率
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}	電器 EUI _{ei}		
B2, J2	B2+J2 宗教文 化館	基準值	22.11	29.94	15.53	67.58	0%
		設計值	21.48	28.14	15.53	65.15	-4%
		最優值	10.17	11.97	13.98	36.13	-47%

附表 1-5 空調、照明評估之節能率

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)		EUI j(kWh/ m ² .yr)	節能率
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}		
B2, J2	B2+J2 宗教文 化館	基準值	22.11	29.94	52.05	0%
		設計值	21.48	28.14	49.62	-5%
		最優值	10.17	11.97	22.15	-57%

二、圖書館&體育館案例

建案名稱	N 國小圖書館		總樓地辦面積 AF		3208.24 m ²
建築分類	公共建築				
建築空間分區名稱 1	圖書館空間 K2	室內樓地板面積 AFI1	2068.06 m ²	耗能密度標準 EUI1	113 kwh/m ² .yr
建築空間分區名稱 2	演講禮堂空間 L1	室內樓地板面積 AFI2	1140.18 m ²	耗能密度標準 EUI2	97 kwh/m ² .yr
建築物整體之平均耗能密度 EUIa	EUIa=(∑EUIi*AFIi)/ ∑AFIi			107.57 kwh/m ² .yr	

本案空調及照明設備最優節能之潛力設定，採最優之節能對策之節能率推估。空調主機耗電節能對策， $\alpha 1$ 取最大值 0.15， $\alpha 2$ 取最大值 0.2， $\alpha 3$ 取最大值 0.3， $\alpha 4$ 取最大值 0.2， $\alpha 5$ 取最大值 0.15， $\alpha 6$ 取最大值 0.13， $\alpha 7$ 取最大值 0.06， $\alpha 8$ 取最大值 0.03，採用率 r 皆設為 1，節能效率 ERs 為上限值 0.3。

送風系統 $\alpha 10$ 取最大值 0.5， $R_f = 1.0 - \alpha 10 * r_{10} = 0.5$ 。送水系統 $\alpha 11$ 取最大值 0.75， $R_p = 1.0 - \alpha 11 * r_{11} = 0.25$ ， $\alpha 12$ 取最大值 0.5， $R_t = 1.0 - \alpha 12 * r_{12} = 0.5$ ， $\beta 2$ 取最大值 0.06， $\beta 3$ 取最大值 0.08， $R_m = 1.0 - \sum \beta_k = 0.86$ 。自然通風之最大空調節能效益 Vac 上限設定為 0.45，照明設備最優節能率為 0.4，整體以最優承諾節能率設定。空調設備、照明設備及固定電氣設備系統，案例基本資料及碳排引用碳足跡案例數值，全年耗能量數值如附表 2.1 所示。國小圖書館 BCFd 評估案例試算結果，如附表 2.2 所示。

附表 2-1 空調、照明、電器系統全年耗能量計算

	基準值	設計值	最優值
空調系統全年耗能量(Eac)	278960.99	165384.99	61322.34
自然通風空調耗能折減率(Vac))	1	0.87	0.55
空調系統節能效率(Rm)	1	0.93	0.86
冰水主機全年耗能量(Es)	209946.04	151161.15	104973.02
主機系統效率(Rs)	1	0.72	0.5
冷卻水塔全年耗能量(Et)	0	0	0
冷卻水塔系統效率(Rt)	1	1	0.5
水泵全年耗能量(Ep)	39339.83	29504.87	9834.96
水泵系統效率(Rp)	1	0.75	0.25
送風機系統全年耗能量(Ef)	29675.12	23740.10	14837.56
送風機系統效率(Rf)	1	0.8	0.5
照明系統全年耗能量(E1)	104397.66	103092.69	52198.83
照明系統節能效率(EL)	0.8	0.79	0.4
電氣設備耗電量	62021.48	62021.48	55819.33
電氣系統節能效率	1	1	0.9

根據 BCF 使用階段耗能評估計算，本案之基準值、設計值與最優值分別評估，如附附表 2.2 所示。

附表 2-2 案例建築物使用階段耗能評估

圖書館&體育館 BCFp 評估案例				
建築物使用階段耗能量=建築使用階段耗能總碳排/LC/ β		LC=60		$\beta=0.532$
建築物使用階段耗能量		基準值	設計值	最優值
	空調耗能量	279003.63	165198.18	61,322.34
	照明耗能量	104397.66	103092.69	52,198.83
	其他電器耗能量	62021.48	55819.33	55,819.33
	給汗水耗能量	12682.65	7480.91	
	運輸設備耗能量	6447.00	6447.00	
	加熱設備耗能量	0.00	0.00	
	合計	464552.42	338038.11	
建築物使用階段耗能密度=建築物使用階段耗能量/總樓地板面積				
建築物使用階段耗能密度		基準值	設計值	最優值
	空調耗能密度	86.96	51.49	19.11
	照明耗能密度	32.54	32.13	16.27
	其他電器耗能密度	19.33	17.40	17.40
	給汗水耗能密度	3.95	2.33	
	運輸設備耗能密度	2.01	2.01	
	加熱設備耗能密度	0.00	0.00	
	合計	144.80	105.37	

本案依空調、照明及固定電氣設備之最優節能評估，節能率最優值為 62%，達近零能源建築之基準門檻 50%，如附表 2.3 所示。一般電氣設備、給排水設備、熱水供給設備及電梯設備等，為建築固定設備，節能比例偏低，不利建築節能規劃之操作，建議暫不納入節能基準評估，以利近零能源建築之推動與實施。本案依空調、照明之最優節能評估，節能率最優值為 70%，顯示有達成近零能源基準門檻之潛力，如附表 2.4 所示。

附表 2-3 節能率評估（空調、照明、固定電器設備）

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUI _j (kWh/ m ² .yr)	節能率
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}	電器 EUI _{ei}		
K2, L1	K2+L1 圖書館 &體育館	基準值	86.96	32.54	19.33	138.84	0%
		設計值	51.49	32.13	17.40	101.02	-27%
		最優值	19.11	16.27	17.40	52.78	-62%

附表 2-4 節能率評估（空調、照明）

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)		EUI _j (kWh/ m ² .yr)	節能比例
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}		
K2, L1	K2+L1 圖書館 &體育館	基準值	86.96	32.54	119.51	-14%
		設計值	51.49	32.13	83.63	-40%
		最優值	19.11	16.27	35.38	-70%

三、醫院 BCFp 評估案例

建案名稱	K 醫院			總樓地辦面積 AF	4215m ²
建築分類	公共建築				
建築空間分區名稱 1	24 小時輕設備醫療空間(一般病房+護理站)C1	室內樓地板面積 AF11	2810m ²	耗能密度標準 EUI1	225 kwh/m ² .yr
建築空間分區名稱 2	醫院手術房(含其附屬間)D3	室內樓地板面積 AF12	468.33 m ²	耗能密度標準 EUI2	518 kwh/m ² .yr
建築空間分區名稱 3	24 小時機械換氣空間(室內停車空間、變電室、地下室倉庫、機房等雜空間)F1	室內樓地板面積 AF13	468.33 m ²	耗能密度標準 EUI3	28 kwh/m ² .yr
建築空間分區名稱 4	12 小時輕設備醫療空間(醫院之門診部、診所、大廳等)I6	室內樓地板面積 AF14	468.33 m ²	耗能密度標準 EUI4	229 kwh/m ² .yr
建築物整體之平均耗能密度 EUIa	$EUIa = (\sum EUI_i * AF_{Ii}) / \sum AF_{Ii}$			92.5627 kwh/m ² .yr	

$\alpha 1$ 取最大值 0.15, $\alpha 2$ 取最大值 0.2, $\alpha 3$ 取最大值 0.3, $\alpha 4$ 取最大值 0.2, $\alpha 5$ 取最大值 0.15, $\alpha 6$ 取最大值 0.13, $\alpha 7$ 取最大值 0.06, $\alpha 8$ 取最大值 0.03, 採用率 r 皆設為 1。 $R_s = 1.0 - \sum (\alpha_j * r_j)$, 但 R_s 不得小於 0.5。

$\alpha 10$ 取最大值 0.5, $R_f = 1.0 - \alpha 10 * r_{10} = 0.5$

$\alpha 11$ 取最大值 0.75, $R_p = 1.0 - \alpha 11 * r_{11} = 0.25$

$\alpha 12$ 取最大值 0.5, $R_t = 1.0 - \alpha 12 * r_{12} = 0.5$

$\beta 2$ 取最大值 0.06, $\beta 3$ 取最大值 0.08。 $R_m = 1.0 - \sum \beta_k = 0.86$

整體以最優承諾節能率設定, 空調設備、照明設備及固定電氣設備系統, 案例基本資料及碳排引用碳足跡案例數值, 全年耗能量數值如附表 3.1 所示。國小圖書館 BCFd 評估案例試算結果, 如附表 3.2 所示。

附表 3-1 空調、照明、電器系統全年耗能量計算

	基準值	設計值	最優值
空調系統全年耗能量(Eac)	721510.50	480083.72	138918.34
自然通風空調耗能折減率(Vac))	1	1	0.55
空調系統節能效率(Rm)	1	1	0.86
冰水主機全年耗能量(Es)	326904.86	261523.89	163452.43
主機系統效率(Rs)	1	0.8	0.5
冷卻水塔全年耗能量(Et)	21550.1	21550.1	10775.05
冷卻水塔系統效率(Rt)	1	1	0.5
水泵全年耗能量(Ep)	268235.88	134117.94	67058.97
水泵系統效率(Rp)	1	0.5	0.25
送風機系統全年耗能量(Ef)	104819.66	62891.80	52409.83
送風機系統效率(Rf)	1	0.6	0.5
照明系統全年耗能量(E1)	141279.74	74171.86	70639.87
照明系統節能效率(EL)	0.8	0.42	0.4
電氣設備耗電量	211012.95	211012.95	189911.66
電氣系統節能效率	1	1	0.9

附表 3-2 案例建築物使用階段耗能評估

醫院 BCFp 評估案例				
建築物使用階段耗能量=建築使用階段耗能總碳排/LC/ β		LC=60		$\beta=0.532$
建築物使用階段耗能量		基準值	設計值	最優值
	空調耗能量	721510.32	480083.57	138,918.34
	照明耗能量	141279.74	123619.77	70,639.87
	其他電器耗能量	211012.95	211012.95	189,911.66
	給汗水耗能量	22789.33	22789.33	
	運輸設備耗能量	6676.00	6676.00	
	加熱設備耗能量	22274.44	22274.44	
	合計	1125542.77	866456.06	
建築物使用階段耗能密度=建築物使用階段耗能量/總樓地板面積				
建築物使用階段耗能密度		基準值	設計值	最優值
	空調耗能密度	171.18	113.90	32.96
	照明耗能密度	33.52	29.33	16.76
	其他電器耗能密度	50.06	50.06	45.06
	給汗水耗能密度	5.41	5.41	
	運輸設備耗能密度	1.58	1.58	
	加熱設備耗能密度	5.28	5.28	
	合計	267.03	205.57	

本案依空調、照明及固定電氣設備之最優節能評估，節能率最優值為 62%，達近零能源建築之基準門檻 63%，如附表 3.3 所示。一般電氣設備、給排水設備、熱水供給設備及電梯設備等，為建築固定設備，節能比例偏低，不利建築節能規劃之操作，建議暫不納入節能基準評估，以利近零能源建築之推動與實施。本案依空調、照明之最優節能評估，節能率最優值為 76%，顯示有達成近零能源基準門檻之潛力，如附表 3.4 所示。

附表 3-3 節能率評估（空調、照明、固定電器設備）

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUI j(kWh/ m ² .yr)	節能比例
			空調 EUIai	照明 EUIli	電器 EUIei		
C1, D3, F1, I6	C1+D3+F1+I6 醫院	基準值	171.18	33.52	50.06	254.76	0%
		設計值	113.90	29.33	50.06	193.29	-24%
		最優值	32.96	16.76	45.06	94.77	-63%

附表 3-4 節能率評估（空調、照明）

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)		EUI j(kWh/ m ² .yr)	節能比例
			空調 EUIai	照明 EUIli		
C1, D3, F1, I6	C1+D3+F1+I6 醫院	基準值	171.18	33.52	204.70	0%
		設計值	113.90	29.33	143.23	-30%
		最優值	32.96	16.76	49.72	-76%

四、辦公大樓評估案例

建築名稱	F 辦公大樓			總樓地辦面積 AF	16569.84m ²
建築分類	公共建築				
建築空間分區名稱 1	地下停車場 F1	室內樓地板面積 AFI1	5116.29 m ²	耗能密度標準 EUI1	28 kwh/m ² .yr
建築空間分區名稱 2	一般商店 K1	室內樓地板面積 AFI2	622.06 m ²	耗能密度標準 EUI2	316 kwh/m ² .yr
建築空間分區名稱 3	辦公室 I1	室內樓地板面積 AFI3	10831.49 m ²	耗能密度標準 EUI3	121 kwh/m ² .yr
建築物整體之平均耗能密度 EUIa	EUIa=($\sum EUI_i \cdot AFI_i$)/ $\sum AFI_i$			99.605 kwh/m ² .yr	

α_1 取最大值 0.15, α_2 取最大值 0.2, α_3 取最大值 0.3, α_4 取最大值 0.2, α_5 取最大值 0.15, α_6 取最大值 0.13, α_7 取最大值 0.06, α_8 取最大值 0.03, 採用率 r 皆設為 1。 $R_s=1.0-\sum(\alpha_j \cdot r_j)$, 但 R_s 不得小於 0.5。

α_{10} 取最大值 0.5, $R_f=1.0-\alpha_{10} \cdot r_{10}=0.5$

α_{11} 取最大值 0.75, $R_p=1.0-\alpha_{11} \cdot r_{11}=0.25$

α_{12} 取最大值 0.5, $R_t=1.0-\alpha_{12} \cdot r_{12}=0.5$

β_2 取最大值 0.06, β_3 取最大值 0.08。 $R_m=1.0-\sum \beta_k=0.86$

整體以最優承諾節能率設定, 空調設備、照明設備及固定電氣設備系統, 案例基本資料及碳排引用碳足跡案例數值, 全年耗能量數值如附表 4.1 所示。辦公建築 BCFd 評估案例試算結果, 如附表 4.2 所示。

附表 4-1 空調、照明、電器系統全年耗能量計算

	基準值	設計值	最優值
空調系統全年耗能量(Eac)	719325.72	395405.54	170120.53
自然通風空調耗能折減率(Vac))	1	1	0.55
空調系統節能效率(Rm)	1	1	0.86
冰水主機全年耗能量(Es)	600183.46	300091.73	300091.73
主機系統效率(Rs)	1	0.5	0.5
冷卻水塔全年耗能量(Et)	0	0	0
冷卻水塔系統效率(Rt)	1	1	0.5
水泵全年耗能量(Ep)	0	0	0
水泵系統效率(Rp)	1	1	0.25
送風機系統全年耗能量(Ef)	119142.26	95313.81	59571.13
送風機系統效率(Rf)	1	0.8	0.5
照明系統全年耗能量(E1)	497986.37	261442.84	248993.19
照明系統節能效率(EL)	0.8	0.42	0.4
電氣設備耗電量	368655.50	368655.50	331789.95
電氣系統節能效率	1	1	0.9

附表 4-2 案例建築物使用階段耗能評估

辦公大樓 BCFp 評估案例				
建築物使用階段耗能量=建築使用階段耗能總碳排/LC/ β		LC=60		$\beta=0.532$
建築物使用階段耗能量		基準值	設計值	最優值
	空調耗能量	719324.77	396605.90	170,120.53
	照明耗能量	497986.37	261442.84	248,993.19
	其他電器耗能量	368655.50	368655.50	331,789.95
	給汗水耗能量	37227.26	24197.72	
	運輸設備耗能量	97808.80	97808.80	
	加熱設備耗能量	0.00	0.00	
	合計	1721002.70	1148710.76	
建築物使用階段耗能密度=建築物使用階段耗能量/總樓地板面積				
建築物使用階段耗能密度		基準值	設計值	最優值
	空調耗能密度	43.41	23.94	10.27
	照明耗能密度	30.05	15.78	15.03
	其他電器耗能密度	22.25	22.25	20.02
	給汗水耗能密度	2.25	1.46	
	運輸設備耗能密度	5.90	5.90	
	加熱設備耗能密度	0.00	0.00	
	合計	103.86	69.33	

本案依空調、照明及固定電氣設備之最優節能評估，節能率最優值為 38%，未達近零能源建築之基準門檻 50%，如附表 4.3 所示。一般電氣設備、給排水設備、熱水供給設備及電梯設備等，為建築固定設備，節能比例偏低，不利建築節能規劃之操作，建議暫不納入節能基準評估，以利近零能源建築之推動與實施。本案依空調、照明之最優節能評估，節能率最優值為 66%，顯示有達成近零能源基準門檻之潛力，如附表 4.4 所示。

附表 4-3 節能率評估（空調、照明、固定電器設備）

空調營運分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUI _j (kWh/m ² .yr)	節能比例
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}	電器 EUI _{ei}		
	F1+K1+I1 辦公大樓	基準值	43.41	30.05	22.25	73.47	0%
		設計值	23.94	15.78	22.25	61.96	-16%
		最優值	10.27	15.03	20.02	45.32	-38%

附表 4-4 節能率評估（空調、照明）

空調營運分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)		EUI _j (kWh/m ² .yr)	節能比例
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}		
	F1+K1+I1 辦公大樓	基準值	43.41	30.05	73.47	0%
		設計值	23.94	15.78	39.71	-46%
		最優值	10.27	15.03	25.29	-66%

五、住宅評估案例

建案名稱	L 住宅		總樓地辦面積 AF		354.24 m ²
建築分類	獨棟透天住宅建築				
建築空間分區名稱 1	獨棟透天住宅 B1	室內樓地板面積 AF11	354.24 m ²	耗能密度標準 EU11	50kwh/m ² .yr
建築物整體之平均耗能密度 EU1a	EU1a=($\sum$ EU1i*AF1i)/ $\sum$ AF1i			50 kwh/m ² .yr	

$$CFa = \sum EU1ai \cdot AF1i \cdot ERai \cdot \beta \cdot CL$$

$$CFI = \sum EU1li \cdot AF1i \cdot ERli \cdot \beta \cdot CL$$

$$CFel = \sum EU1ei \cdot AF1i \cdot ERei \cdot \beta \cdot CL$$

其中

CFa：建築使用階段空調耗能碳排量(kgCO₂e)

CFI：建築使用階段照明耗能碳排量(kgCO₂e)

CFel：建築使用階段電器耗能碳排量(kgCO₂e)

EU1ai：i 類建築空間之空調耗能密度 (kWh/m².yr)，見 5-4.2 節

EU1li：i 類建築空間之照明耗能密度 (kWh/m².yr)，見 5-4.2 節

EU1ei：i 類建築空間之電器耗能密度 (kWh/m².yr)，見 5-4.2 節

AF1i：i 類建築物之室內樓地板面積(m²)

ERai：i 類建築空間之空調設備總承諾節能潛力，無單位，基準案時 ERai=1.0

ERli：i 類建築空間之照明設備總承諾節能潛力，無單位，基準案時 ERai=1.0

ERei：i 類建築空間之電器設備承諾節能潛力，無單位，基準案時 ERai=1.0

β ：電力的碳排係數 0.532(kgCO₂e/kWh)

CL：RC 建築生命週期標準，RC、SRC、S 構造為 60 年，輕鋼構或木構造則再分別乘上 0.8 或 0.5。

以附表 5.1 之最小值 ERai=0.7、ERli=0.7、ERei0.75 帶入計算，住宿類建築之最大空調節能效益 Vac 為 0.225，帶入表 5.2 計算。

附表 5-1 住宅建築承諾節能潛力

		節能設計承諾對策	分項對策節能率 a_i
住宅單元	空調耗電	1. 良好建築平面通風設計	$a_1=(1.0-V_{ac})$
		2. 採用節能標章冷氣機	$a_2=0.2$
	承諾空調節電潛力 $ER_{ai}=1.0-(a_1+a_2)$ ，但不得小於 0.7		
	住宅內照明耗電	3. 良好採光平面設計	$a_3=R_L$
		4. 高效率照明節能設計	$a_4=0.2$
	承諾照明節電潛力 $ER_{li}=1.0-(a_3+a_4)$ ，但不得小於 0.7		
	電視耗電	5. 採用節能標章電視	$a_5=0.15 \times \text{採用率}$
	冰箱耗電	6. 採用節能標章冰箱	$a_6=0.13 \times \text{採用率}$
	洗衣機耗電	7. 採用節能標章洗衣機	$a_7=0.04 \times \text{採用率}$
	承諾家電節電潛力 $ER_{ei}=1.0-(a_5+a_6+a_7)$ ，但不得小於 0.75		
公共區	公共區空調耗電	8. 採用節能標章冷氣機	$a_2=0.2 \times \text{採用率}$
		承諾空調節電潛力 $ER_{ai}=1.0-0.2 \times \text{採用率}$	
	公共區照明耗電	9. 公共高效率照明節能設計	$a_9=0.2$
	承諾照明節電潛力 $ER_{li}=1.0-0.2=0.8$		

附表 5-2 住宅空調、照明、電器系統全年碳排放量計算

	基準值	設計值	最優值
空調耗能碳排放量(CFa)	101766.07	101766.07	71236.25
空調耗能量	3188.16	3188.16	2231.71
空調耗能密度(EUIai)	9	9	9
室內樓地板面積(AFli)	354.24	354.24	354.24
空調設備總承諾節能潛力(ERai)	1.00	1.00	0.700
照明耗能碳排放量(CFI)	203532.13	203532.13	142472.49
照明耗能量	6376.32	6376.32	4463.42
照明耗能密度(EUIli)	18.00	18.00	18.00
室內樓地板面積(AFli)	354.24	354.24	354.24
照明設備承諾節能潛力(ERli)	1	1	0.7
電器耗能碳排放量(CFe)	260068.84	260068.84	175546.47
電器耗能量	8147.52	8147.52	6110.64
電器耗能密度(EUIei)	23.00	23.00	23.00
室內樓地板面積(AFli)	354.24	354.24	354.24
電器設備承諾節能潛力(ERei)	1	1	0.75

附表 5-3 住宅建築評估案例試算結果

住宅 BCFs&d 評估案例				
建築使用 階段耗能 總碳排		基準值	設計值	最優值
	空調耗能碳排量	101,766.07	101,766.07	71,236.25
	照明耗能碳排量	203,532.13	203,532.13	142,472.49
	其他電器耗能碳排量	260,068.84	260,068.84	175,546.47
	給汗水耗能碳排量			
	運輸設備耗能碳排量			
	加熱設備耗能碳排量			
	合計	565,367.04	565,367.04	389,255.21
建築物使用階段耗能量=建築使用階段耗能總碳排/LC/ β			LC=60	$\beta=0.532$
建築物使 用階段耗 能量		基準值	設計值	最優值
	空調耗能量	3,188.16	3,188.16	2,231.71
	照明耗能量	6,376.32	6,376.32	4,463.42
	其他電器耗能量	8,147.52	8,147.52	5,499.58
	給汗水耗能量			
	運輸設備耗能量			
	加熱設備耗能量			
	合計	17,712.00	17,712.00	12,194.71
建築物使用階段耗能密度=建築物使用階段耗能量/總樓地板面積				
建築物使 用階段耗 能密度		基準值	設計值	最優值
	空調耗能密度	9.00	9.00	6.30
	照明耗能密度	18.00	18.00	12.60
	其他電器耗能密度	23.00	23.00	15.53
	給汗水耗能密度			
	運輸設備耗能密度			
	加熱設備耗能密度			
	合計	50.00	50.00	34.43

附表 5-4 節能率評估（空調、照明、固定電器設備）

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)			EUI j(kWh/ m ² .yr)	節能比例
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}	電器 EUI _{ei}		
24 小時 間歇空調 型住宿類 空間	B1 住宅	基準值	9.00	18.00	23.00	50.00	0%
		設計值	9.00	18.00	23.00	50.00	0%
		最優值	6.30	12.60	15.53	34.43	-31%

附表 5-5 節能率評估（空調、照明）

空調營運 分區	功能空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m ² .yr)		EUI j(kWh/ m ² .yr)	節能比例
			空調 EUI _{ai}	照明 EUI _{li}		
24 小時 間歇空調 型住宿類 空間	B1 住宅	基準值	9.00	18.00	27.00	0%
		設計值	9.00	18.00	27.00	0%
		最優值	6.30	12.60	18.90	-30%

附錄二、採購評選會議紀錄

1.採購評選會議紀錄

內政部建築研究所辦理「創新循環綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫」逕用協同研究人員第一案「綠建築與近零能源制度之調合研究」廠商回應一覽表

項次	委員評選意見	廠商回應
1	請補充說明近零能源建築與目前建築節能之能耗基準，於定義及標準值之差異，及未來將可完成的預期成果。	感謝委員意見，國內近零能源建築與目前建築節能之能耗基準，定義及標準值之差異，將納入研究執行內容，並於預期成果中提出。
2	1.在研究步驟流程圖中有關辦理座談與諮詢會議，建議多邀請有經驗之建築師及廠商參與。 2.請說明如何藉由提升建材在地化，達到減少能源之消耗。	1.專家座談諮詢會議將驗證研擬評估機制之可行性，有關諮詢會議專家廣泛邀請建議，將納入研究計畫執行參考，感謝委員建議。 2.建材碳排與建築構造碳排關係密切，計劃將加強納入建材在地化議題之探討。
3	1.建議考量台灣建築類型之近零能源評估方法及限制。 2.建議考量如何引入再生能源之方法及評估方式。	1.有關考量台灣建築類型之近零能源評估方法及限制建議，將納入研究計畫執行參考，並加強相關議題之探討。 2.再生能源引入評估課題之建議，將納入研究計畫執行參考，並加強相關議題之探討，感謝委員意見。
4	1.近零能源建築之發展趨勢，逐漸影響綠建築制度，考量國家減碳目標，亟需整合近零能源建築與綠建築系統，並研擬可行之推動目標、策略及進程。請補充說明國際所設定推動目標之實施狀況。 2.請說明我國推動近零能源建築策略之優先順序。	1.有關國際所設定近零能源建築之推動目標之實施狀況，將在研究計畫中加強相關議題之彙整與分析。 2.我國推動近零能源建築策略之優先順序將納入計畫執行檢討，委員建議遵照辦理，感謝委員意見。

附錄三、期中審查會議紀錄

本所 108 年度協同研究「創新循環綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫」遴用協同研究人員第 1 案「綠建築與近零能源制度之調合研究」等 2 案期中審查會議紀錄

一、時間：108 年 7 月 10 日(星期三)下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)

三、主席：主任秘書

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、計畫簡報：(略)

七、綜合討論：

(二)「綠建築與近零能源制度之調合研究」案

張建築師矩墉：

1. P.19-20 探討住宅設置光電板是否可行，提醒要注意一些實際狀況。以全國平均戶數 44 坪計，對真正人口密集的都會區可能太大。以南部需設置 45m² 為例，透天厝單層可能都還不及，更遑論屋頂還有屋頂突出物 25m²，剩下更少，更兼之還有方位問題，鄰地環境問題，都會降低可行性，不見得透天式住宅就可行，應該是鄉村地區的農舍較可行。
2. 除了太陽光電設備，其他再生能源來源如風力發電、小型水力發電等也應納入考慮。
3. P.21 建築外牆窗戶的玻璃反射率是安全問題，不是節能問題，無須納入。
4. 台灣的住宿類建築原本來就耗能不高，能減的空間相形不大，減 50%、75% 是否可行，可能需要再研議。

黃理事長秀莊：

1. 請將建材在地化納入檢討，並建立分級系統提供大眾參考，以達到減少能

源之消耗。

2. 請將我國綠建築日常節能指標及建築耗能之關係加強探討並做比較，及再生能源的使用提供學者採用，而能達到近零能源制度之建立。

能源局：

1. ZEB 的政策是否有非溫帶國家實施，或與台灣氣候相近之國家實施，或可再蒐集比較。
2. 針對較佳之節能技術是否有在 EUI 評估中納入？（例如變頻空調亦有能效較高及較低之分別），後續或可考量。

陳委員瑞鈴：

1. 有關國內綠建築發展情況論述，統計以 LEED 案件排名說明內容有失偏頗，建請修正為宜。
2. 國內相關建築節能法規敘述嚴謹性有待加強，建請全面檢討相關論述統計數據再確認。
3. 文獻回顧有關台灣綠建築發展敘述較少，內容篇幅應與他國論述說明一致為宜。
4. 節能手法主動、被動式之用詞容易混淆誤解，建議審慎檢討評估，使用正確名詞，如機械式與誘導式為宜。

楊董事長欽富：

1. 文獻收集完整。
2. 近零能源應定義清楚，所謂的減能源 50% 是以何基準比較？
3. 從綠建築切入，近零能源之調合策略與量化評估法正確。
4. 再生能源於期末報告時建議能多加論述成效。

營建署：

1. 摘要之研究源起有提到本署預計於 2020 年實施外殼耗能資訊透明機制，按住商部門溫室氣體排放管制行動方案第 1 期階段（核定本），本署係於 2020 年底研議可行之外殼耗能資訊揭露方式，並不是於 2020 年實施，請一併檢討修正報告書有關此部分之敘述。
2. 有關報告書 p.21 第三節提及之我國有關建築節能相關法規，建議以引用原條文之方式撰寫，另提醒第 308 條之 1、第 308 條之 2 已於 107 年 10 月

16 日預告修正，且最近設計技術規範也有預告修正，再麻煩引用條文時多加留意。

羅組長時麒：

1. 日本近零能源建築推動機制與推動單位應再釐清，相關單位推動之權責建議確認補充說明。
2. 有關經濟部與環保署推動之政策需再補充說明。

鄭主任秘書元良：

1. 國內推動再生能源達到零能源似乎較為困難，未來是否可提出短、中、長期目標。
2. 是否依建築類型各別訂定相關標準。
3. 各國零能源建築之目標年將到，應檢討是否有達成預期目標。

執行單位回應（國立台灣科技大學鄭計畫主持人政利）

1. 感謝各位委員的寶貴意見，誤繕文字及建議修正內容後續將遵照委員意見回應與修正，法規與引用之論述將會進一步確認更新。
2. 文獻回顧之國內近零能源可行性檢討為既有研究成果引用，根據國情與先進國家情況確有不同，台灣落實零能源建築確實有其挑戰，未來將持續探討可行策略，研議國內短中長期執行目標與期程。
3. 歐盟設定達成零能源建築目標年將至，目前尚未有達成率之相關檢討或研究，後續研究可以納入瞭解檢討，有關訂定基準與目標期程未來將持續研擬建議。
4. ZEB 與 ZEH 推動機制日本應該是經產省(經濟部)所推動，相關推動機制與跨部會合作權責將進一步釐清，以供國內未來推動零能源建築制度之參考。
5. 有關零能源建築採用再生能源部分，相關推動制度與內容為經濟部能源署權責非屬所內業務範圍，期中成果相關論述較少，後續將加強再生能源相關論述。
6. 零能源建築量化評估方法，有關創新設備之節能效益計算，將納入檢討修正，初步擬議法規之規定為基準門檻，綠建築與耗能為進一步計算節能，

後續研究零能源建築基準將再研討修訂。

附錄四、「綠建築與近零能源制度之調合研究」第一次專家座談會會議紀錄

壹、時 間：108 年 6 月 13 日（星期五）9：30~12：00

貳、地 點：內政部建築研究所討論室(一)

參、主 席：鄭政利

肆、出席單位及人員：詳如會議簽名冊

伍、主席致詞：本年度執行內政部建築研究所委託計畫綠建築與近零能源制度之調合研究，其中重要工作項目之一是調合綠建築之近零能源建築相關政策、目標及推動作法及措施，以及國內零能源建築分級基準及評估制度與推動策略可行方向。研究團隊提出初步之成果，請各位先進賜教寶貴意見。

陸、執行單位簡報：(略)

柒、綜合討論：

(一) 羅時麒組長(內政部建築研究所)

1. 綠建築推動方案以公有建築為綠建築標章積極推動對象，成效良好，唯公有建築在零耗能目標的達成上有其挑戰與困難，民間私部門之高耗能建築有許多業主有積極節能意願，如彰化基督教醫院，應可考量尋求推動示範之對象。
2. 因住宅建築耗能密度相較不高，可先評估住宅建築(住宅、獨棟住宅、連棟住宅、集合住宅等...)，確立較有可能達到零耗能標準之建築類型，或以非住宅之高耗能建築先行實施示範，例如辦公、醫院、旅館等...
3. 訂定基準所實施之策略與可行性，有關零能源建築之評估基準與門檻值，除了參採國際規範與先進國家作法，應審慎考慮國情之不同，因應國內實務情況與環境氣候條件，再進行討論調整與評估確認。

4. 有關節能減碳與再生能源推動政策及獎補助措施，應深入了解經濟部及環保署之相關制度資源，跨部會整合推動制度與資源，以利零能源建築調合率建築制度之推動。

(二) 徐虎嘯博士(內政部建築研究所)

1. 綠建築包含低碳建築，低碳建築下又有節能建築，在定義與範圍界定上請在報告中明確說明，在報告中之文字用詞亦請斟酌。
2. 營建署預計調高外殼節能標準，如調整後達到節能標準將會更加困難，可能思考營建署標準提高後，是否調降設定之基準值避免實施上困難。

(三) 孫振義教授(國立政治大學地政學系)

1. 近零能源在台灣系統中之定義，建議考慮國際上與哪一個系統對接。
2. 近零能源的評估可思考獨立評估，並且可取代 EEWB 中之日常節能指標之文件。
3. 近零能源評估中涉及再生能源設備及系統，甚至對相關綠建築技術(例如:電梯生能、吸收式冷凍機、熱泵、全熱交換器、光導管...等)產業具引導升級與市場提高之效果。故建議徵詢經濟部環保署之輔助政策(類似節能家電、老舊車輛汰換)以扶植國內產業，並漸低建築成本，更有利達到近零能源建築目標。
4. 近期可思考以「基準值」設定逐步調整(趨於嚴格)，促使建築短期尚可以綠建築技術符合近零能源建築標準，長期加上再生能源及其他綠建築技術與設備提高能源替代率。

(四) 林葳副教授(逢甲大學建築學系)

1. 建議蒐集辦公大樓之基準相關資料進行彙整，目前 WELL 及 LEED 已完善建置銀級、黃金級等評估標準，可將目前範圍限縮。
2. 若以全空調建築物來談，目前澳洲亦積極探討永續議題，期許 2025

年建築能達到 50%-60%左右節能，並以經典建築雪梨歌劇院作為示範案例，以現有建築形態透過 BIM 重新建置模型及檢討建築設備、能源使用，未來是否有機會以其他案例做全面一次性消費能源量、空調、熱交換、熱泵照明等所有消費之檢討。

（五）張矩墉建築師

- 1.因為各國家氣候的差異會有完全不一樣的操作手法，台灣節能效益 20%以經不容易，建築物耗能有時候照明比空調耗能比重高，與其他國家最大的不同是，台灣因為密度非常高不管是都會區甚至連鄉下的密度都比別的國家鄉下密度還高，不管是準零能源還是近零能源一定會需要有再生能源來支撐，這對台灣來說有難度，依我們那麼高的容積率和建築物的密度來看，零能源建築會是很困難的挑戰。
- 2.從熱阻觀念來看，維持室內溫度保溫很重要，亞熱帶國家氣候環境，建築物的通風散熱比保溫來的重要，U 值要適度就好，並不用朝著其他國家目標訂那麼低，應該依照我們自己的狀況作調整修正，外殼不管怎麼改都有限，空調設備的改善確實是比較容易達到較高的效益。

捌、 結論

感謝與會專家提出寶貴意見，未來將持續針對各項法規及規範進行探討，評估近零能源建築相關政策、目標及推動作法及措施，以及國內零能源建築分級基準及評估制度與推動策略可行方向，以利近零能源、準零能源、零能源建築之區分。

玖、 散會(12 時 00 分)

附錄五、「綠建築與近零能源制度之調合研究」第二次專

家座談會會議紀錄

壹、時 間：108 年 9 月 26 日（星期四）15：00~17：00

貳、地 點：內政部建築研究所討論室(一)

參、主 席：鄭政利

肆、出席單位及人員：詳如會議簽名冊

伍、主席致詞：本年度執行內政部建築研究所委託計畫綠建築與近零能源制度之調合研究，其中重要工作項目之一是調合綠建築之近零能源建築相關政策、目標及推動作法及措施，以及國內零能源建築分級基準及評估制度與推動策略可行方向。研究團隊提出初步之成果，請各位先進賜教寶貴意見。

陸、執行單位簡報：(略)

柒、綜合討論：

羅時麒組長(內政部建築研究所)

- 1.明年將針對住宅及非住宅兩類做能源耗用標示，因綠建築是綜合指標裡面包含九大指標，能源部分只佔其中一部分，盡量不影響其他系統。
- 2.環保團體要求美國、歐洲、日本訂定能源目標及期程，國內實務情況與環境氣候條件與日本較為相近，未來應藉由日本經驗及我國條件進行研擬。

陳瑞鈴委員

- 1.主要研究目的是否要馬上放到市政政策裡，馬上執行？
- 2.準零能源、近零能源用詞容易混淆誤解，建議審慎檢討評估，使用正確名詞。
- 3.結合動態能源 BCF 法之動力系統(電器)，不納入是否合宜？

黃國倉副教授(國立台灣大學生物環境系統工程學系)

1.零能建築分級基準，對於構造熱傳的評估偏重，建議可整合成 SF 法與 EEV 來評估即可。

蔡耀賢副教授(成功大學建築學系)

1.提案之方式與本案主題相符，未來建議與建築能源標示制度之研究，再進行調和。

2.以初級能源考量時，住宅之採用天然氣(廚房、給熱水)熱值較高，對住宅能源之影響是否偏低?建議後續可再確認。

張矩墉建築師

1.爾後評估 ZEB 是以 EUI 或是碳排放為評估依據，若是以 EUI 只能針對耗能，碳排放量則還加上其他的能源可能較合面。

2.所擬議的 ZEB 分級基準及評估制度中 RZEBTB(準零能源)的(1)扣除可再生能源是否有需要訂定一定下限，以免不公。(2)的 RS4 得分 ≥ 16 ，是否包括外殼、空調照明及固定耗能?是否會造成使用設備多外殼少住宿類的~~不一定能反應。(3) $U_{aw} \leq 2.0 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ 或 $EEV \leq 0.8$ ，的原因何在?

3.簡報 12.13 文字說明建議要文明確所謂「扣除可再生能源」是否為「不計入再生能源」，可能住宅的寫法較佳。

4.現行住宿類因為空調節能與照明節能因未取得標章時大部分未裝設，所以分數偏低，但 RZEB、NZEB 評估時按說這些設備是否要列入考量的，所以 RS4 分數 $RS4 \geq 12$ ，建議再考量。

周鼎金教授(台北科技大學建築學系)

近零能源建築，可從設計建造完工使用之個面向來推動

- 1.設計階段，建築強化相關法規規範研擬。
- 2.建造完工階段，建築強化性能測試與驗證。
- 3.使用階段，建築強化使用能耗查核與檢討。

以上三面向建築配合現有智慧綠建築標章，納入評估內容與推廣策略，可更具有成效。

蘇瑛敏教授(台北科技大學建築學系)

- 1.團隊資料收集完整豐富。
- 2.中文名稱如何區隔清楚可以再思考。
- 3.不同角度(重點)來看綠建築，省能建築低碳...，如何簡化整合以利大眾推廣。
- 4.應思考日後管理維護效能落實。

趙家琪建築師

- 1.佩服研究單位的付出，未來只有實施零能源建築(ZEB)非核家園才能實踐。
- 2.請教台灣之數據樣本，是否可提供並加以說明。
- 3.如何將數據更具體化，推廣給大眾。

捌、結論

感謝與會專家提出寶貴意見，未來將持續針對各項法規及規範進行探討，評估近零能源建築相關政策、目標及推動作法及措施，以及國內零能源建築分級基準及評估制度與推動策略可行方向，以利近零能源、準零能源、零能源建築之區分。

散會(17 時 00 分)

附錄六、期末審查會議紀錄

本所 108 年度協同研究「創新循環綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫」遴用協同研究人員第 1 案「綠建築與近零能源制度之調合研究」等 2 案期末審查會議紀錄

- 一、時間：108 年 10 月 23 日(星期三)上 9 時 30 分
- 二、地點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)
- 三、主席：主任秘書記錄：陳麒任、黃恩浩、許家睿
- 四、出席人員：詳簽到簿
- 五、主席致詞：(略)
- 六、計畫簡報：(略)
- 七、綜合討論：
 - (二)「綠建築與近零能源制度之調合研究」案

張建築師矩墉：

1. ZEBTH、NZEETH、RZEETH 等英文縮寫，請列出完整英文、中文對照索引。
2. P. 179 住宿類建築在 RS4 的總分合計應為 33 非 32。住宿類得分低乃因 RS42、RS43 經常無法取分(除 SF 檢討)、空調照明得分也都很低所致。
3. 為推動近零能源排除一般電器，但照明與空調佔比較低，落實後誤差會不會很大，有些空間不裝設空調或尚未裝設改如何評估。
4. 在既有建築物是否可能用電費單來計算。

黃理事長秀莊：

1. 表 3-8 室內隔間熱性能參數、有分材料厚度不同，是否將分別列

出給業績參考。

2. 技術規則隔音構造物中原樓地板 RC 厚度 12 公分，已改為 15 公分以上並符合隔音，列出熱性能參數供業界參考。
3. P.185 頁提供綠建築節能標準及碳足跡計算算式給業界參。

建築中心：

1. 研擬台灣建築標準全耗能評估方式。
2. 整合 EEWB 評估系統，擬定台灣近零能原建築之相關制度與定義。
3. 自 109 年起外殼節能規範修正實施，符合綠建築標章門檻需節能 20%以上 ($EEV \geq 0.02$)。

陳委員瑞鈴：

1. 零能源建築之量化評估方法，可採用建研所本年度即將完成之”建築能源標示法”，納入明年度延續年度計畫，研訂完成我國零能源建築評估系統，以利執行。
2. 近零能源與準零能源，何者更佳？中文字面上相當雷同，不易區分。若 ready 意指 get ready，僅是符合門檻，具備了進入零能源資格而已，則建議修正為初階、初級為宜。
3. 綠建築標章績效資料。是否更正至 108 年 10 月底為止，以與本研究期程一致。表 2-6、2-7、2-8 第一期與第二期費用均相同，是否正確？P.23”隔熱性能指標”，P.39.C2C”強調”，P.51”園”區內，P56.Par”k”，等錯漏字，請修正。

江建築師(建築師公會)：

1. 文 P76、P97 圖不清楚，請更新
2. P150 案例可附上平面圖加以表達。
3. P218~P219 部分數字沒標示單位請修正。

陳清茂科長(營建署)：

1. 外殼將用 EUI 方式，與 EEV 兩者之間是否能呈現比較轉換比例

對應關係？

2. 架構完整、內容極具參考價值
3. 基準值計算能否與 EEV 作相對應比較。
4. 建議參照最新的建築技術規則規定。

孫振義教授(政大):

1. 研究成果符合預期成果需求。
2. 建議酌予參考印度 IGBC 於 2018 年 11 月發佈之 Net Zero Energy Building Rating System 內容。
3. 中國今年會發布近零能耗的制度，目前已結案，如有資料會提供參考。

本所—

鄭主任秘書元良：

1. 建築技術規則的引用是否為最新版本 8 月有公布，EEV 標示方法不一樣，請確認引用建築技術規則是否有納入今年 8 月公告之更新條文資料。

執行單位回應（國立台灣科技大學鄭計畫主持人政利）

1. 感謝各位委員的寶貴意見，誤繕文字及建議修正內容後續將遵照委員意見回應與修正，法規與引用之論述將會進一步確認更新。
2. 本案計算方式採用 BCF 計算方法及林憲德教授新的計算方式，邏輯上與計算方式驗證後是一致性的，如未來有新的計算方式產生的話，則以林憲德教授之計算方式為主。
3. 建築中心提及到關鍵的 EEV 評估標準模式有所改變，未來新的計算則採用新公布之 EEV 評估標準。另，外殼僅能做到 10% 的節能，基本上則以空調與照明為主。
4. 零能源建築量化評估方法，有關創新設備之節能效益計算，將納入檢討修正，初步擬議法規之規定為基準門檻，綠建築與耗能為進一步計算節能，後續研究零能源建築基準將再研討修訂，擬定本國近零能原建築之相關制度與定義。

5. 淨零能源建築必須採納再生能源之發電評估與平衡計算，且必須跨部會合作執行，依照本案研究中日本推動淨零能源分工之方式對應本國政府機關單位則是經濟部來共同推動，內政部協助提供評估方法與計算基準，對節能效果有所益處外亦可帶來產業轉型幫助國家經濟發展。

參考文獻

A. 中文文獻

1. 林憲德，2015，建築碳足跡（二版）詹氏書局，台北
2. 林憲德等，2015，綠建築評估手冊-基本型（EEWH-BC）內政部建築研究所
3. 何明錦、趙又蟬，2016，我國近零能源建築設計與技術可行性研究，內政部建築研究所協同研究報告
4. 陳麒任、黃恩浩，2018，我國近零能源建築發展策略與可行性研究，內政部建築研究所協同研究報告
5. 創新低碳綠建築環境科技計畫，2016，內政部建築研究所。
6. 永續智慧社區實證場域推動策略及相關法制計畫，2016，內政部建築研究所。
7. 智慧綠建築推動方案,2010,內政部建築研究所
8. 永續智慧城市-智慧綠建築與社區推動方案,2016,內政部建築研究所
9. 李浩銓，零耗能建築國際案例介紹，能源報導 2011 年 8 月
10. 智慧城市導入參考手冊，2011，財團法人資訊工業策進會
11. 鄭政利、孫振義、廖婉茹，永續智慧城市與綠建築發展策略規劃,2017,內政部建築研究所
12. 何明錦，黃國倉（2013）。臺灣建築能源模擬解析用逐時標準氣象資料 TMY3 之建置與研究。台北，內政部建築研究所。
13. 林憲德（2018）。建築產業碳足跡-建築、景觀、室內裝修的碳管理策略，詹氏書局。
14. 台灣建築雜誌 2019 年 8 月 Vol.287
15. GREEN 綠建築雜誌:Vol.058(2019/04-2019/05)：循環之島

B. 日文文獻

1. 経済産業省、環境省，集合住宅における ZEH 支援事業の主なポイント，平成 30 年 3 月 27 日。
2. 経済産業省資源エネルギー庁，ZEH ロードマップ検討委員会とりまとめ，平成 27 年 12 月。
3. 一般社団法人環境共創イニシアチブ，ネット・ゼロ・エネルギー・ビル ZEB 実証事業について，平成 30 年。
4. 経済産業省資源エネルギー庁，ZEB ロードマップ検討委員会とりまとめ，平成 27 年 12 月。

C. 英文文獻

1. Torcellini, P. et al. 2006. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, National Renewable Energy Laboratory, Retrieved 25 June 2014.
2. Bibri, S. E. (2013). ICT for sustainable urban development in the European Information Society: A discursive investigation of energy efficiency technology, Master Thesis. School of Culture and Society, Malmö University.
3. Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017). ICT of the new wave of computing for sustainable urban forms: their big data and context-aware augmented typologies and design concepts. Smart Cities and Society (in press).
4. Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2016a). On the social shaping dimensions of smart sustainable cities: A study in science, technology, and society. Sustainable Cities and Society (in press).
5. Gabrys, J. (2014). Programming environments – environmentality and citizen sensing in the smart city. Environment and Planning D: Society and Space, 32, 30–48.
6. Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives – some stylized facts. Cities, 38, 25–36.
7. Jucevicius, R., Patasienė, I., & Patasius, M. (2014). Digital dimension of smart city: Critical analysis. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 156, 146–150.

8. Lee, J. H., Hancock, M. G., & Hu, M.-C. (2014). Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco. *Technological Forecasting and Social Change*, 89, 80–99.
9. Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *Geo Journal*, 79, 1–14.
10. Kärholm, M. (2011). The scaling of sustainable urban form: Some scale—Related problems in the context of a Swedish urban landscape. *European Planning Studies*, 19(1), 97–112.
11. Luisa F. Cabeza., Camila Barreneche ., Laia Miró ., Josep M., Morera ., Esther Bartolí ., Inés Fernández.(2013). Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 536–542.

D. 網頁文獻

1. 英國建築研究中心創新園區，liaoupei.pixnet.net
2. 英國光屋，www.wilder-associates.com;
<http://www.designsonearth.com/towards-zero-energy-architecture/>;
www.flickr.com
3. 香港零碳天地，
<http://www.panoramio.com/photo/83578671?tag=architecture>;
<https://plus.google.com/109875551386651490383/posts/TADz8kJCPtS>;
<http://zcb.hkcic.org/Chi/Features/renewenergy.aspx>;
4. 新加坡 ZEB 零碳建築，<https://www.bca.gov.sg/zeb/>
5. 東京瓦斯公司 Earth port,
http://kenchiku.tokyo-gas.co.jp/competition_info/;
6. 〈ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）に関する情報公開について〉http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/zeh/
(2018/06/25)。
7. 未來投資戰略2017-society5.0の実現に向けた改革—(2017年6月9日)
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2017_t.pdf
(2018/06/25)。
8. 〈ZEB(ネット・ゼロ・エネルギー・ビルに関する情報公開について)〉,
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/zeb/
(2018/06/25)。
9. 英國 BREEAM <http://www.breeam.org/>
10. 美國 LEED <http://www.usgbc.org/leed/rating-systems>
11. 澳洲 GREEN STAR www.gbcaus.org
12. 日本 CASBEE <http://www.ibec.or.jp/>

13. 歐盟環境組織 <http://www.eea.europa.eu/>
14. 新加坡 BCA Green Mark , http://www.bca.gov.sg/greenmark/green_mark_buildings.html
15. 德國永續發展協會 DGNB , <http://www.dgnb-system.de/dgnb-system/en/>
16. Europe 2020 Project
http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_en.htm
17. http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/132/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf
18. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/TechnicalNotes/NIST.TN.1847.pdf>
<https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10187;jsessionid=5965891F5C08AC54381BCE7BF2871CBC>
19. <https://www.bregroup.com/ipark/parks/england/buildings/renewables-house/>
<https://www.resistant.co.uk/case-studies/bre-renewable-house/>
20. <https://gauntfrancisarchitects.blog/2015/12/15/eco-housing-part-2-the-barratt-green-house/>
21. <http://web.lib.fcu.edu.tw/libstories/archives/5753>
22. <https://www.mcdonoughpartners.com/projects/park-2020-master-plan/>
23. http://www.c2cplatform.tw/global_pro_detail.php?cID=3&Key=67
24. <https://www.mcdonoughpartners.com/projects/park-2020-master-plan/>
25. <http://street-news.tncomu.tn.edu.tw/index.php?sn=15>
26. <https://www.ta-mag.net/ta/News.php?id=1629>
27. http://www.c2cplatform.tw/global_pro_detail.php?cID=3&Key=67
28. <https://www.mcdonoughpartners.com/projects/park-2020-master-plan/>
29. <https://www.asla.org/2010awards/612.html>
30. http://www.c2cplatform.tw/global_pro_detail.php?cID=3&Key=67
31. <http://88designbox.com/architecture/maison-du-projet-by-carlos-arroyo-arquitectos-2775.html>
32. http://www.ondiseno.com/proyecto_en.php?id=2683

綠建築與近零能源制度之調合研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：鄭政利、廖婉茹、李招蓉、陳瑜芳

出版年月：108年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-5448-71-4（平裝）