

循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究

資料蒐集分析報告

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 106 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：10615B0008

循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究

資料蒐集分析報告

研究主持人：羅時麒

協同主持人：蔣本基

研究員：黃國倉、徐虎嘯、鄭任軒、林霧霆

研究助理：李宜臻、陳則綸

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 106 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
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
ABSTRACT.....	XV
第一章、緒 論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	4
第三節 研究重要性	5
第四節 預期成效	7
第二章、研究架構與方法	9
第一節 研究架構及研究方法	9
第二節 計畫人力配置	11
第三節 執行成果與差異分析說明	12
第三章、綠建築創新技術發展趨勢	15
第一節 綠建築永續發展目標	17
第二節 綠建築創新技術發展	24
第四章、循環永續綠建築創新技術發展推動策略	87
第一節 研析障礙與挑戰	88
第二節 國外推動策略與措施	90
第三節 國內推動策略與措施	96
第四節 創新技術評量體系	99
第五章、綠建材創新技術	105
第一節 自然生態綠建材	107
第二節 節能減碳綠建材	111
第三節 健康安全綠建材	115
第四節 再生循環綠建材	118
第五節 高性能綠建材	123
第六章、循環永續綠建材技術優先研究方向	127
第一節 循環永續綠建材分類	127

第二節 循環永續綠建材推動策略分析	130
第三節 循環永續綠建材技術優先研究方向	136
第七章、結論與建議	155
第一節 結論	155
第二節 建議	157
附錄一	159
附錄二	161
附錄三	165
附錄四	169
附錄五	175
附錄六	177
附錄七	181
參考書目	189

表次

表 2-1、本計畫人力配置表	11
表 2-2、本計畫執行成果對照表	12
表 3-1、依照雨水徑流的流程分類的雨水截汙措施	33
表 3-2、雨水回收的處理措施	33
表 3-3、雨水調蓄的方式、特點和適用條件	35
表 3-4、節能技術的特點和適用條件	44
表 3-5、國內外照明產業技術發展指標與時程	56
表 3-6、居家型節水技術說明	62
表 3-7、室內建材所排放之污染物	70
表 3-8、台玻公司與 Pilkington 之 Low-E 玻璃材質及性能比較	83
表 4-1、國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰	88
表 4-2、國內綠建材創新技術執行障礙與挑戰	89
表 4-3、國外綠建築推動目標及措施	91
表 4-4、國外綠建築推動策略與措施	95
表 5-1、歐洲與加拿大常見之工程化木材產品與應用面	108
表 5-2、各國營建資源回收狀況彙總	119
表 6-1、國外對於再生綠建材具體推動策略彙整	130
表 6-2、針對再生綠建材推廣策略進行 SWOT 分析結果與策略選擇	135

圖次

圖 1-1、創新低碳綠建築環境科技計畫重要技術關聯圖	6
圖 2-1、本計畫研究架構流程	10
圖 3-1、全球永續發展概況	15
圖 3-2、聯合國永續發展目標	16
圖 3-3、WGBC 所提出(左)綠色家庭與(右)綠色辦公室之永續發展目標	16
圖 3-4、建立 SDGs 與 EEWB 關聯性	17
圖 3-5、各類綠建築技術與 EEWB 九大指標關聯圖	24
圖 3-6、與綠建築相關的生態綠化技術彙整	25
圖 3-7、綠屋頂與傳統屋頂輻射程度比較圖	26
圖 3-8、綠屋頂構造層示意圖	27
圖 3-9、垂直綠化系統示意圖	32
圖 3-11、雨水收集系統示意圖	37
圖 3-12、雨水花園示意圖	39
圖 3-13、雨水樹溝示意圖	39
圖 3-14、歐盟對於 NZEB 之定義	42
圖 3-15、建築物邊界內之能源轉移平衡圖	42
圖 3-16、歐盟零耗能建築的推動期程	43
圖 3-17、追日型光電設備示意圖	47
圖 3-18、EWICON 風輪機示意圖	48
圖 3-19、EWICON 風輪簡易理論示意圖	49
圖 3-20、地熱輔助空調系統示意圖	50
圖 3-21、地熱輔助空調系統示意圖	51
圖 3-22、誘導式房屋示意圖	52
圖 3-23、誘導式房屋五大原則	52
圖 3-24、日本燃料電池技術發展路線	53
圖 3-25、太陽能輔助電梯設計	54
圖 3-26、Watson-wock 過濾器示意圖	58
圖 3-27、建築中水回收淨化系統示意圖	59
圖 3-28、建築雨水收集系統	60
圖 3-29、組合式雨水地下儲水槽	61
圖 3-30、免沖水小便器示意圖	62
圖 3-31、建築污水處理技術案例示意圖	63
圖 3-32、堆肥廁所示意圖	64
圖 3-33、預製體積建設 PPVC 示意圖	66
圖 3-34、雙層維護結構	68

圖 3-35、(左) 光電動力通風窗室內立面圖；(右) 光電動力通風窗縱剖圖	69
圖 3-36、太陽能煙囪浮力通風原理	69
圖 3-37、地板送風空調系統空氣流動示意圖	71
圖 3-38、地板空調系統示意圖	72
圖 3-39、主動式冷樑(左)與誘導式冷樑(右)空調系統示意圖	73
圖 3-40、 Pilkington 公司 Optiphon 隔聲玻璃結構示意圖	75
圖 3-41、室內生物過濾系統示意圖	76
圖 3-42、側窗採光示意圖	77
圖 3-43、下沉式自然採光設計圖	77
圖 3-44、導光玻璃原理示意圖	78
圖 3-45、Almecco 導光管鍍層及內部光線示意圖	80
圖 3-46、日本 Minato Mirai Center 使用的 T-Soleil 垂直光照系統	80
圖 3-47、 Pilkington 公司雙層隔熱玻璃結構示意圖	82
圖 3-48、台玻公司 Low-E 隔熱玻璃結構示意圖	83
圖 3-49、3M 公司玻璃隔熱膜成效示意圖	84
圖 3-50、溫度濕度獨立控制系統 (ICTHS) 原理圖	85
圖 4-1、循環永續綠建築創新技術發展推動策略之流程	87
圖 4-2、綠建築推動策略之五大方針	94
圖 4-3、循環永續綠建築執行障礙與實施措施	96
圖 4-4、綠建築創新技術 4E 評估流程圖	99
圖 4-5、3E 量化模型作圖法分析	103
圖 5-1、我國對於綠建材內涵說明圖	105
圖 5-2、自然生態綠建材分類圖	107
圖 5-3、(左)竹材 I 型鋼板之結構剖面圖(右)竹材 I 型鋼板成品	108
圖 5-4、各類天然隔熱材料之熱傳導率彙整	110
圖 5-5、(左)天然纖維材料製造流程(右)黃麻、亞麻與大麻	110
圖 5-6、(左)GGBS 與波特蘭水泥之水合作用原理(右) GGBS 與波特蘭水泥之碳排放比較	111
圖 5-7、以稻殼灰渣製作成耐火磚之示意圖	112
圖 5-8、發脹聚苯乙烯之混凝土隔間板產品	112
圖 5-9、(左) 3D 列印技術之聚合纖維(右) 3D 列印技術之混凝土	113
圖 5-10、泡沫混凝土砌塊磚示意圖	113
圖 5-11、礦化後鹼性廢棄物拌合成水泥砂漿示意圖	114
圖 5-12、健康安全綠建材分類圖	115
圖 5-13、光觸媒塗料用於室內空氣品質之理論	116
圖 5-15、C&DW 回收再利用作為再生建材之流程	118
圖 5-16、木質素 Epoxy/PU 樹脂材料開發及應用流程圖	120
圖 5-17、以廢輪胎與廢液晶顯示器玻璃製作為輕量粒料混凝土與一般混凝土比較圖	121
圖 5-18、結合細粒料、廢橡膠顆粒與鋼纖維形成再生粒料混凝土	121

圖 5-19、微生物聚合物混合土塊製作與抗壓強度測試之示意圖	122
圖 5-20、綠建材簡易施工做法之示意圖	123
圖 5-21、(左) 高嶺土聚合物應用於消波塊(右)於不同溫度之防火強度測試.....	124
圖 5-22、(左) 可依照不同室內溫度調整輻射入射量(右)不同波長下的入射光穿透率.....	124
圖 5-23、透明木材製造流程之示意圖	125
圖 6-1、綠建材技術發展路線圖	129
圖 6-2、再生綠建材環境與建築效益之整合分析	131
圖 6-3、建構再生綠建材之資源再生產業體系	132
圖 6-4、資源再生產業體系之目標、策略與效益	132
圖 6-5、再生綠建材之循環經濟體系	133
圖 6-6、永續綠建材技術優先研究方向	136
圖 6-7、實現碳礦化技術商業化以建構綠色供應鏈	138
圖 6-8、鹼性廢棄物碳礦化技術於建材應用之技術路線圖	138
圖 6-9、整合污染物排放與建材生產過程實踐循環經濟	139
圖 6-10、鋼纖維與廢橡膠再用於再生粒料混凝土之技術路線圖	141
圖 6-11、再生發泡聚苯乙烯之技術路線圖	142
圖 6-12、超高強度高性能混凝土之技術路線圖	144
圖 6-13、輕質骨材混凝土之技術路線圖	145
圖 6-14、光觸媒塗料之技術路線圖	146
圖 6-15、天然隔熱材料之技術路線圖	148
圖 6-16、海洋生物黏附材料之技術路線圖	150
圖 6-17、透明木材之技術路線圖	152

摘要

關鍵詞：綠建築、循環永續、綠建材、發展策略

一、研究緣起

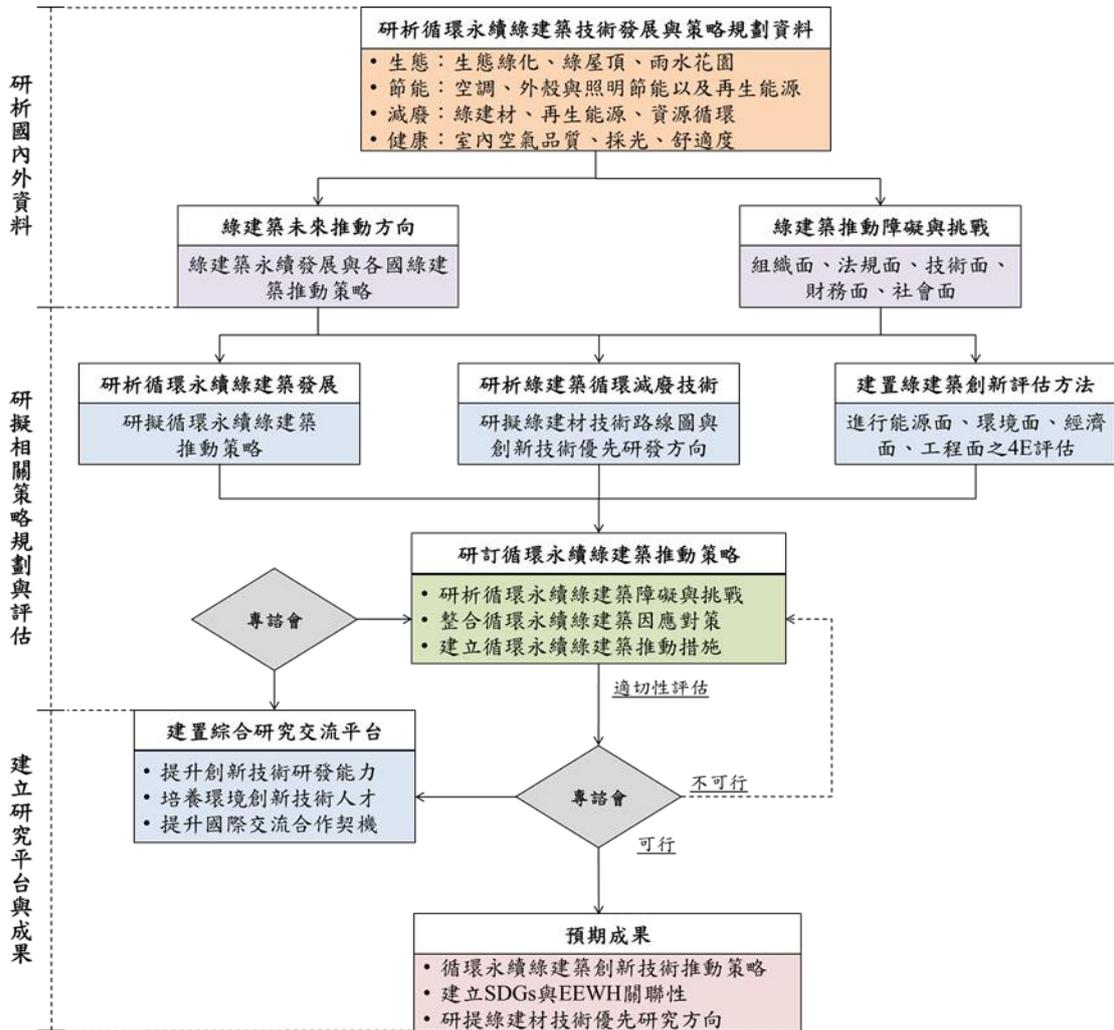
目前全球綠建築推廣工作持續深入至不同發展層級的國家，依據美國綠建築協會(USGBC)於 2017 所發表的 World Green Building Trends 2016 SmartMarket Report，至 2018 年全球綠建築案件比例將從 2015 年的 18% 上升至 37%，其中成長最快速的國家包含巴西(綠建築比例：6% 上升至 36%)、中國(綠建築比例：5% 上升至 28%)以及沙烏地阿拉伯(綠建築比例：8% 上升至 32%)，其他例如墨西哥、哥倫比亞、南非以及印度等國也有卓越的成長，有此可見，綠建築不僅在已開發國家成熟發展，也在部分開發中國家取得成功的經驗。

在台灣方面，據內政部統計，臺灣中層住宅大樓所使用的建材之二氧化碳排放量約為 300 (公斤/平方米)，以每戶 35 坪(116 平方米)來計算的話，每戶二氧化碳排放量約為 3 萬 4,000 公斤，這些二氧化碳排放量相當於一棵喬木在 40 年的光合作用才能吸收完畢，也就是說，地球上每戶人家必須持續種植一棵喬木，才能平衡住宅建設對地球氣候的衝擊。建築產業對環境的破壞影響甚鉅。根據聯合國環境規劃署 UNEP 的估計(2006)，全球的建築相關產業消耗了地球能源的 50%、水資源的 50%、原材料的 40%、農地損失的 80%，同時產生了 50% 的空氣汙染，42% 的溫室氣體、50% 的水汙染、48% 的固體廢棄物、50% 的氟氯化合物，顯然建築產業是造成地球環境危機的主角之一。

此外，綠建材為綠建築中循環減廢之重要環節，目前國際間對於綠建材的概念，可大致歸納為以下幾種特性：再使用(Reuse)、再循環(Recycle)、廢棄物減量(Reduce)、低污染(Low emission materials)。基本上綠建材之優點包括：生態材料(減少化學合成材之生態負荷與能源消耗)；可回收性(減少材料生產耗能與資源消耗)；健康安全(使用自然材料與低揮發性有機物質建材，可減免化學合成材之危害)。因此，強化國內循環永續綠建築創新環境科技能力，規劃短期高質材料建材化利用技術研發方向、再生建材之循環減廢再利用及未來辦理循環永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構顯得尤為重要。

二、研究方法及過程

首先研析國際間循環永續綠建築科技發展現狀與未來推動方向，例如：自然通風、低能耗、天然採光、健康空調、能源控制、資源回收、生態綠化、再生能源、舒適環境等方面，並著重於綠建材之循環減廢創新技術資料蒐集，將研析各國政府、公會、協會或其他單位過去相關的循環永續綠建築科技發展政策和數據資料，作為本研究之參考諮詢，並從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面，進一步說明發展循環永續綠建築創新環境科技之障礙及挑戰。



三、重要發現

(一) 綠建築未來發展應配合永續發展目標(SDGs)，可包含：SDG3(確保健康與福祉)、SDG6(潔淨水資源)、SDG7(可負擔且永續的能源)、SDG8(全面的就業及永續的經濟成長)、SDG9(永續的產業、加速創新以及具有韌性的基礎建設)、SDG11(人類居住的公平、安全及永續性)、SDG12(永續的消費及生產模式)、SDG13(因應氣候變遷)、SDG15(陸地資源的永續管理)以及SDG17(強化永續發展執行面以及全球夥伴關係)，並將上述SDG與

EEWH 九大指標結合，建構循環永續綠建築體系。

- (二) 綠建築創新技術可分為：結合自然生態、促進節能減碳、促進循環減廢與維護人體健康等，目前在國際上皆已逐步推動發展，未來綠建築發展將以建築節能為主，包含提升「能源效率，邁向近零能耗建築」以及「結合控制軟體，發展智慧節能系統」。
- (三) 彙整國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰，主要包含缺乏公眾意識與接受度，綠建築之設計師也缺乏充分的瞭解，導致投資者對於綠建築技術相關產業充滿投資風險與不確定因素，因為綠建築創新技術將可能產生較高技術成本和收益的不確定性。
- (四) 已彙整各國綠建築發展策略，並研析作為國內綠建築發展策略五大方向，包含完善政策體系、落實基礎教育、強化夥伴合作以及發展經濟誘因等推動目標與實施策略。
- (五) 研提永續綠建築創新環境技術評估方法，建議可以 4E 包含環境(Environment)、經濟(Economy)、工程(Engineer)及能源(Energy)等四個面向進行分析，並可補足現有 EEWH 對於創新技術量化評估不足之處。
- (六) 本計畫蒐集國內外相關綠建材創新技術，加以整合分為「自然生態」、「節能減碳」、「健康安全」、「再生循環」以及「高性能」等類別；對於循環永續綠建材推動策略分析，建議應打通上中下游業者與使用者通路，包含廢棄物來源、資源回收、產品功能設計、產品銷售規劃以及產品使用者等，以建構資源再生產業體系作為循環經濟實踐基礎。
- (七) 本計畫研擬循環永續綠建材技術優先研究方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。

四、主要建議事項

依據本研究計畫結果，針對未來國內循環永續綠建築發展推動實施策略與循環永續綠建材技術優先研究方向等提出下列建議：

建議一

從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大層面深入研擬推動策略與措施；立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

1. 循環永續綠建築推動策略與措施為「構建循環永續綠建築發展藍圖，實踐低碳循環經濟」、「完善經濟誘因政策工具，落實循環永續綠建築市場運作機制」、「研發循環永續綠建築創新技術，提升建築能資源利用效能」、「落實循環永續綠建築環境教育，強化綠建築創新技術人才培育」以及「建構永續綠建築技術交流平臺，建立國際合作交流機制」
2. 針對永續綠建築創新環境技術，建議可以 4E 包含環境(Environment)、經濟(Economy)、工程(Engineer)及能源(Energy)等四個面向結合現行政策及評估體系進行分析，建立創新技術評估方法。

建議二

將本研究成果作為建研所科技計畫之「低碳綠建築與節能減碳科技」之相關工作項目之參考資料；立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

1. 研訂規劃循環永續綠建材技術優先研究方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。

2. 循環永續綠建材策略分析：落實再生綠建材資源回收體系以推動循環經濟：包含國內廢棄物來源、資源回收管道、產品功能設計、產品銷售規劃、經濟效益分析以及產品使用者調查等研究方向。

Abstract

Keywords: Green Building, Sustainability, Green Construction Materials, Development Strategy

Green construction materials technologies gradually have been implemented to minimize negative impacts of environment and society and become an innovative strategy for sustainability. Specifically, the green building has been not only regarded as a promising method of green technology but viewed as an effective measure to implemented environmental economic and social sustainability in construction industry. This study examined the development of green building rating system and the green technologies in four views of ecology, energy efficiency, waste reduction and health (EEWH) are described as well. Additionally, the study finds the barriers and challenges on development of green building among organization, regulation, finance, technology and society. Therefore, The study proposes five integrated strategies on enhancing green technology for sustainable building in Taiwan: (i) establishing the sustainable framework of green building and leading to low carbon circular economy, (ii) completing the green building policy and developing the sustainable market mechanism, (iii) developing the innovative technology of sustainable green building and increasing the energy performance, (iv) developing the innovative evaluated method of green building and improving the rating system and (v) establishing the green building technology communication platform and international cooperation mechanism.

Research methods

1. The current trends and development of state-of-art technology on sustainable Green Building around the world are collected.
2. The barriers and challenges of promoting the green building and green construction materials are analyzed.
3. The strategic plans of green construction materails and sustainable green building are established.

3. Major outcomes

1. The barriers and challenges of green building materials include the lack of public awareness and acceptance, the lack a full understanding, leading investors for green building technology-related industries are full of high investment risk, may result in higher technical costs and earnings uncertainty.
2. For promoting the recycled green building materials, it is recommended that to boarden the roads connection between the industry and the user, including waste sources, resource recovery, product design, product sales and product users to build a resource recycling industry as a circular economy basis.
3. The future work of green building can be conbimed with Sustainable Development Goals (SDGs) including SDG 3 (good health & wellbeing), SDG 7 (affordable & clean energy), SDG 8 (decent work & economic growth), SDG 9 (industry, innovation & infrastructure), SDG 11 (sustainable cities & communities), SDG 12 (responsible consumption & production), SDG 13 (climate action), SDG 15 (life on land) and SDG 17 (partnerships for the goals).

第一章、緒 論

第一節 研究緣起與背景

二十世紀五、六十年代，隨著「綠色運動」在西方興起和開展，「綠色」思想開始在全世界範圍內被人們接受。「綠色」思想的出發點是保護自然資源，調整人類行為，滿足自然生態的良性循環，保證人類生存的安全。二十世紀八十年代末，「永續發展」成為全球的行動綱領，同時，生態學、社會學等學科向建築學領域的擴展，很自然地出現了「綠色建築」的概念。「綠色建築」的產生是建築學發展的必然結果，是永續發展在建築學方面的具體體現。「綠建築」在歐洲國家則稱為「生態建築」、「永續建築」，日本稱為「環境共生建築」，北美國家則稱為「綠建築」。由於「綠色」的用語在國際間已成為地球環保的代名詞，許多「綠色消費」、「綠色生活」、「綠色照明」已成為民眾朗朗上口的時髦用語，因此在美洲、澳洲、東亞國家，大多遂援用「綠建築」作為生態、環保、永續、環境共生之建築的通稱。

當前，人類面臨的兩大問題是能源危機和環境污染，由此帶來的氣候變化已成為 21 世紀全球經濟發展所面臨的巨大挑戰之一。建築領域是全球能耗最大的領域之一，其中，一方面是大量建築中採暖、空調、照明、家用電器、炊事用具等用能設備消耗大量能源，另一方面在新建建築的建造過程中，消耗了大量的鋼鐵、有色金屬、水泥、玻璃、塑膠等建築材料，在這些建築材料的製造、運輸、生產及加工等環節也消耗大量的能源。建築作為人類文明最重要的產物，在其建造和使用的過程中消耗了地球約 50% 的資源，因此，探索建築的永續發展已經成為當今建築業發展的迫切要求。建築產業破壞山林，建築環保尤其在經濟發展的亞洲國家有特別的意義，例如，新加坡為實施自 2004 年至 2015 年的海岸開發工程，每年需從印尼進口 3.21 億至 3.37 億立方米的沙，但此舉卻導致印尼的 Nipah 島消失。又如，建築的磚窯產業在中國造成了嚴重的農地損失，因為中國在 2000 年仍有 95% 採用實心黏土磚牆體構造，造成每年由農田取土 14.3 億立方米、燒磚 6,000 億塊，每年因生產黏土磚毀田 50 萬畝，同時消耗 7,000 多萬噸標準煤，這使得中國人均耕地快速減少。水泥從石灰石開採，經窯燒製成熟料，再加入石膏研磨成水泥，生產過程耗用大量煤與電能，並排放大量 CO₂。在臺灣每生產一噸水泥就必須消耗 112 度電、134 公斤燃料煤與 0.45 噸 CO₂，是最嚴重的空氣污染源。目前亞洲工業化國家建築產業最大的環保問題，在於大量暴增的鋼筋混凝土構造建築物（以下簡稱 RC 建築物）。RC 建築物不只在水泥、煉鋼、燒窯之建

材生產階段產生高汙染，在營建過程及日後的拆除廢棄物之汙染也非常嚴重。在臺灣的 RC 建築物每平方米樓版面積，在施工階段約產生 1.8 公斤的粉塵、0.24 m³ 的剩餘土方與 0.31m³ 的固體廢棄物，在日後拆除階段則產生 1.23 m³ 的固體廢棄物，不但對人體危害不淺，也造成大量的廢棄物處理負擔，許多廠商甚至隨意傾倒營建廢棄物，造成河川公地受到嚴重汙染。

綠建築的觀念始於 1960 年代義裔建築師 Paolo Soleri，他提出生態建築的觀念，應用於 1976 年聯合國於溫哥華所舉行關於人類聚落特性研究之研討會，其結論稱為 Habitat I。並於次年成立 UN Habitat 專職機構，並每 20 年舉辦一次大會。Habitat II 在 1996 年於伊斯坦堡舉行、Habitat III 在 2016 年於厄瓜多爾 Quito 舉行。第三次的主題是住宅與都市永續發展，宗旨在重振對永續都市的全球承諾，並通過 New Urban Agenda。賓州大學伊恩瑪哈 1969 年著《Design with Nature》，被認為是生態建築學的先驅，使綠建築觀念漸成形，基本上瑪哈透過疊圖法，將地形、地質、土壤及集水區範圍等自然條件繪成透明圖，將其相疊，即可找出適當的土地使用，規畫同時也要注意到人文、景觀美質及種植物生態。其相關概念亦作為日後發展為地理資訊系統(Geographic Information System ,GIS)，可廣泛應用在土地使用計畫上。

2015 年於法國巴黎所召開第二十一次聯合國氣候變遷大會(Conference of Parties, COP 21)中通過了巴黎協定，旨於使全球暖化效應維持在 2 攝氏度以下，建築部門於減緩氣候變遷的成果也非常關鍵，全球建築與建造聯盟(The Global Alliance for Buildings and Construction, Global ABC)已研擬氣候變遷之應變方案，並得到聯合國的支持，目前已有 20 個國家加入，代表超過 10 億人口，8 家大型企業，以及超過 50 個國際組織參予。Global ABC 已擬定促進建築業對於氣候變遷改善計畫之目標(UNEP 2016)，包含：(1)建立全球參與者整合溝通平臺，確保共同合作之機會；(2)增加綠建築於國際投資額，實行新的節能措施，並提高示範措施之知名度；(3)擴大建築參與者範疇，涵蓋建築物生命週期中的所有利益相關者；(4)整合所有參與者之改善意見與解決方案，並確保足夠的資金額度；(5)建立施工方與政府當局之溝通橋樑，發展一致性規範與低碳融資策略。

全球綠建築推廣工作也持續深入至不同發展層級的國家，依據美國綠建築協會(USGBC)於 2017 所發表的 World Green Building Trends 2016 SmartMarket Report，至 2018 年全球綠建築案件比例將從 2015 年的 18% 上升至 37%，其中成長最快速的國家包含巴西(綠建築比例：6% 上升至 36%)、中國(綠建築比例：5% 上升至 28%)以及沙烏地阿拉伯(綠建築比例：8% 上升至 32%)，其他例如墨西哥、哥倫比亞、南非以及印度等國也有卓越的成長，有此可見，綠建築不僅在已開發國家成熟發展，也在部分開發中國家取得成功的經驗。

目前據內政部統計，臺灣中層住宅大樓所使用的建材之二氧化碳排放量約為 300（公斤／平方米），以每戶 35 坪（116 平方米）來計算的話，每戶二氧化碳排放量約為 3 萬 4,000 公斤，這些二氧化碳排放量相當於一棵喬木在 40 年的光合作用才能吸收完畢，也就是說，地球上每戶人家必須持續種植一棵喬木，才能平衡住宅建設對地球氣候的衝擊。建築產業對環境的破壞影響甚鉅。根據聯合國環境規劃署 UNEP 的估計（2006），全球的建築相關產業消耗了地球能源的 50%、水資源的 50%、原材料的 40%、農地損失的 80%，同時產生了 50% 的空氣汙染，42% 的溫室氣體、50% 的水汙染、48% 的固體廢棄物、50% 的氟氯化合物，顯然建築產業是造成地球環境危機的主角之一。

另一方面，綠建材作為綠建築中重要的板塊，其概念於 1988 年第一屆國際材料科學研究會上首次提出。直到 1992 年國際學術界才為綠建材下定義：在原料採取、產品製造、應用過程和使用以後的再生利用循環中，對地球環境負荷最小、對人類身體健康無害的材料，稱為綠建材。目前國際間對於綠建材的概念，可大致歸納為以下幾種特性：再使用（Reuse）、再循環（Recycle）、廢棄物減量（Reduce）、低污染（Low emission materials）。基本上綠建材之優點包括：生態材料（減少化學合成材之生態負荷與能源消耗）；可回收性（減少材料生產耗能與資源消耗）；健康安全（使用自然材料與低揮發性有機物質建材，可減免化學合成材之危害）。目前依據國內綠建材標章制度推動以來，所核發之標章中，「健康綠建材」佔比接近 80%，遠高於其他三類包含生態、再生、高性能。其中再生綠建材更僅佔約 7%，此現象並未符合當初推動綠建材標章設立四個分類之規劃目標。再生綠建材推動的主要障礙為民眾接受度，由於健康綠建材之名稱較能提高民眾的吸引力，再生綠建材卻常常造成民眾誤解認為回收再利用產品之品質與安全較差。為克服此困難，加強綠建材標章驗證與再生綠建材產品品質之公信力十分重要，以利提升民眾對於取得綠建材標章之產品，安全及性能品質上之信任感與接受度。因此，強化國內循環永續綠建築創新環境科技能力，規劃短期高質材料建材化利用技術研發方向及未來辦理循環永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構顯得尤為重要。

第二節 研究目的

本(106)年度「循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究」計畫之研究目的，旨為積極研擬短期綠建築循環再生建材與相關技術研發之優先課題，並規劃我國未來辦理循環永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計畫與推動架構，以作為政府推動永續綠建築創新技術之參考。詳述如下：

1. 參考國內外資料，且依本土營建環境條件及需求，從自然通風、低能耗、天然採光、健康空調、能源控制、資源回收、生態綠化、再生能源、綠色建材和舒適環境等方面進行相關研究。
2. 建立短期建築資材再生利用或高質材料建材化利用技術資料庫，同時補充建立相應的評估方法，篩選出關鍵績效，提出短期建築資材再生利用優先辦理課題及相關技術研發方向。
3. 研析國內推行循環永續綠建築在組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等方面的障礙及挑戰。
4. 從能源面、經濟面、環境面及工程面，建立循環永續綠建築創新環境科技 4E 評估方法。
5. 規劃出我國未來辦理永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構，以供政府部門未來應用參考。
6. 增強國內循環永續綠建築創新科技能力，建立國際合作與夥伴關係，培育專業人才，建構綠建築綜合研究技術交流平臺。

第三節 研究重要性

目前內政部建築研究所(以下簡稱本所)所積極推動之「創新低碳綠建築環境科技計畫」(以下簡稱科技計畫),分為「低碳綠建築與節能減碳科技」、「生態環境與低碳城市評估機制」、「建築先進技術創新開發與推廣應用」、「法規教育推廣及生活應用」等四大領域(如圖 1-1 所示),積極辦理基礎研究、調查研究、設計技術與材料研發、生命週期成本分析、產業推廣策略、國際接軌交流,俾達國土永續建設之整體政策目標。

我國已建立綠建築評估系統(EEWH)並實現綠建築標章法制化,其通過綠建築標章與候選綠建築證書於 2016 年已逾 6000 多件,其中資源再生綠建材技術或高質材料建材化利用技術,一直是綠建築提升建材使用效率或實現循環減廢之有效策略。然對於建築資材循環再生利用技術評估方式,除了以現有 EEWH 評估之外,可同時從能源面、經濟面、環境面及工程面進行完善的技術評估。因此,強化國內循環永續綠建築創新環境科技研發能力,匯集永續綠建築相關先進技術以及建構永續綠建築綜合研究技術交流平臺乃當務之急。本計畫係配合前述科技計畫之「低碳綠建築與節能減碳科技」之相關工作項目,期研擬短期資源循環再生綠建材創新技術研發之優先課題、循環永續綠建築創新環境科技發展之中長期策略計劃與推動架構、系統研究循環永續綠建築科技發展創新及應用推廣評估,以規劃循環永續綠建築創新環境科技之發展藍圖,以供政府部門未來應用參考。

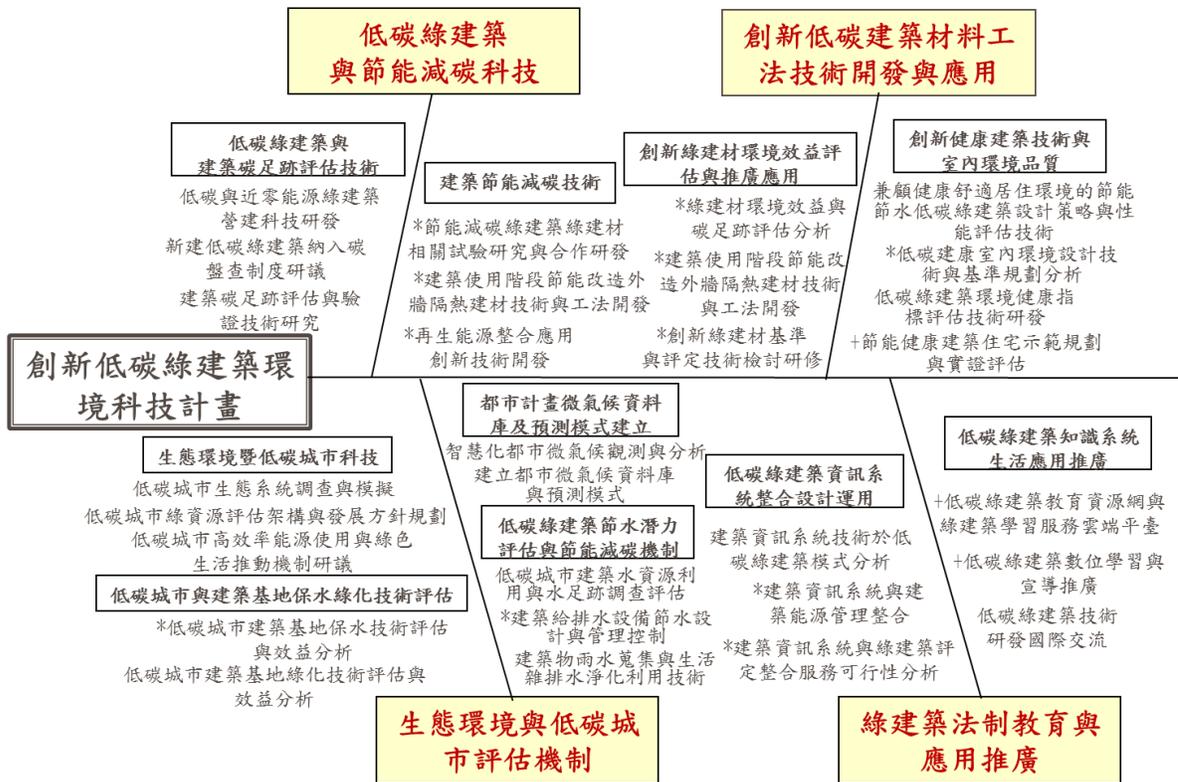


圖 1-1、創新低碳綠建築環境科技計畫重要技術關聯圖

(資料來源：內政部建研所「創新低碳綠建築環境科技計畫」，2015)

第四節 預期成效

本研究計畫之綜合研究成果包括：

1. 建立短期建築資材再生利用或高質材料建材化利用技術資料庫，研擬相應創新技術之評估方法，選定篩選出關鍵績效。
2. 規劃短期建築資材再生利用優先辦理課題及相關技術研發方向。結合綠建築之相關創新科技應用，提出最佳整合技術。
3. 規劃出我國未來辦理永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構，以供政府部門未來應用參考。
4. 增強國內循環永續綠建築創新科技能力，建立國際合作與夥伴關係，培育專業人才，建構綠建築綜合研究技術交流平臺。

本研究計畫於「學術成就」方面，規劃主導短期建築資材再生利用技術整合發展，培訓專業學程各界人士，並使研究成果推廣選產至各界，同時積極推廣相關政策制度之效益，籍以發揮輔導業界技術提升之卓越成效。研究成果包括：

1. 培養參與計劃書之博碩士等專業人才 5 名。
2. 養成永續綠建築資材再生或高質材料建材化利用技術及政策研究團隊 1 個。
3. 舉辦「綠建築之資材再生利用及應用」座談會合計 2 場次。

本計畫於「技術創新」方面，係研析從 17 項聯合國永續發展目標，對當前國內外綠建築之相關創新科技資料應用進行綜合研析，並以現行 EEWB 體系與綠建材標章進行分類彙整。此外，研析從能源面、經濟面、環境面及工程面（以下簡稱 4E），以 4E 及環境衝擊評估分析法，對當前國內外綠建築之相關創新科技應用進行綜合評估，建立相關創新技術之評估方法；最後，對綠建築實行至今國內推行循環永續綠建築創新環境科技之障礙及挑戰進行分析，作為規劃我國未來循環永續綠建築創新科技發展中長期策略計劃與推動架構。

第二章、研究架構與方法

第一節 研究架構及研究方法

本計畫首先研析國際間循環永續綠建築技術發展現狀與未來策略推動方向，依照 EEWB 體制進行分類，例如：自然通風、低能耗、採光、空氣品質、資源回收、生態綠化、再生能源、舒適環境等方面，並著重於綠建材之循環減廢創新技術資料蒐集，研析各國政府、公會、協會或其他單位相關政策與數據資料，並從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面，說明發展循環永續綠建築創新環境科技之障礙及挑戰與推動策略。最後將提出循環永續綠建築創新技術之發展藍圖與優先研發方向，以供政府部門未來應用參考。本計畫研究架構流程圖詳如圖 2-1 所示。

本計畫各項工作項目之研究方法說明如下：

(1) 研析國內外資料：

蒐研各國循環永續綠建築創新技術發展，並依照生態、節能、減廢、健康等方面進行技術分類說明；並推動循環永續綠建築障礙與挑戰，包含組織面、法規面、技術面、財務面、社會面等五大面向，並參考聯合國永續發展目標擬定循環永續綠建築推動目標，包含：(1)促進能資源循環減廢再利用、(2)完善綠建築節能減碳，以及(3)推動綠建築產業邁向循環經濟，據以研擬推動循環永續綠建築策略規劃。

(2) 研擬相關策略規劃與評估

透過整合國內外循環永續創新綠建築創新技術資料、推動目標以及實施策略，包含研析循環永續綠建築發展、綠建築循環減廢技術以及綠建築創新評估方法，研訂國內研訂循環永續綠建築推動策略，研析循環永續綠建築障礙與挑戰、整合循環永續綠建築因應對策、建立循環永續綠建築推動措施；並辦理專家諮詢會，廣納跨領域人才建議，建置綜合研究交流平臺，以利提升創新技術研發能力、培養環境創新技術人才、提升國際交流合作契機。

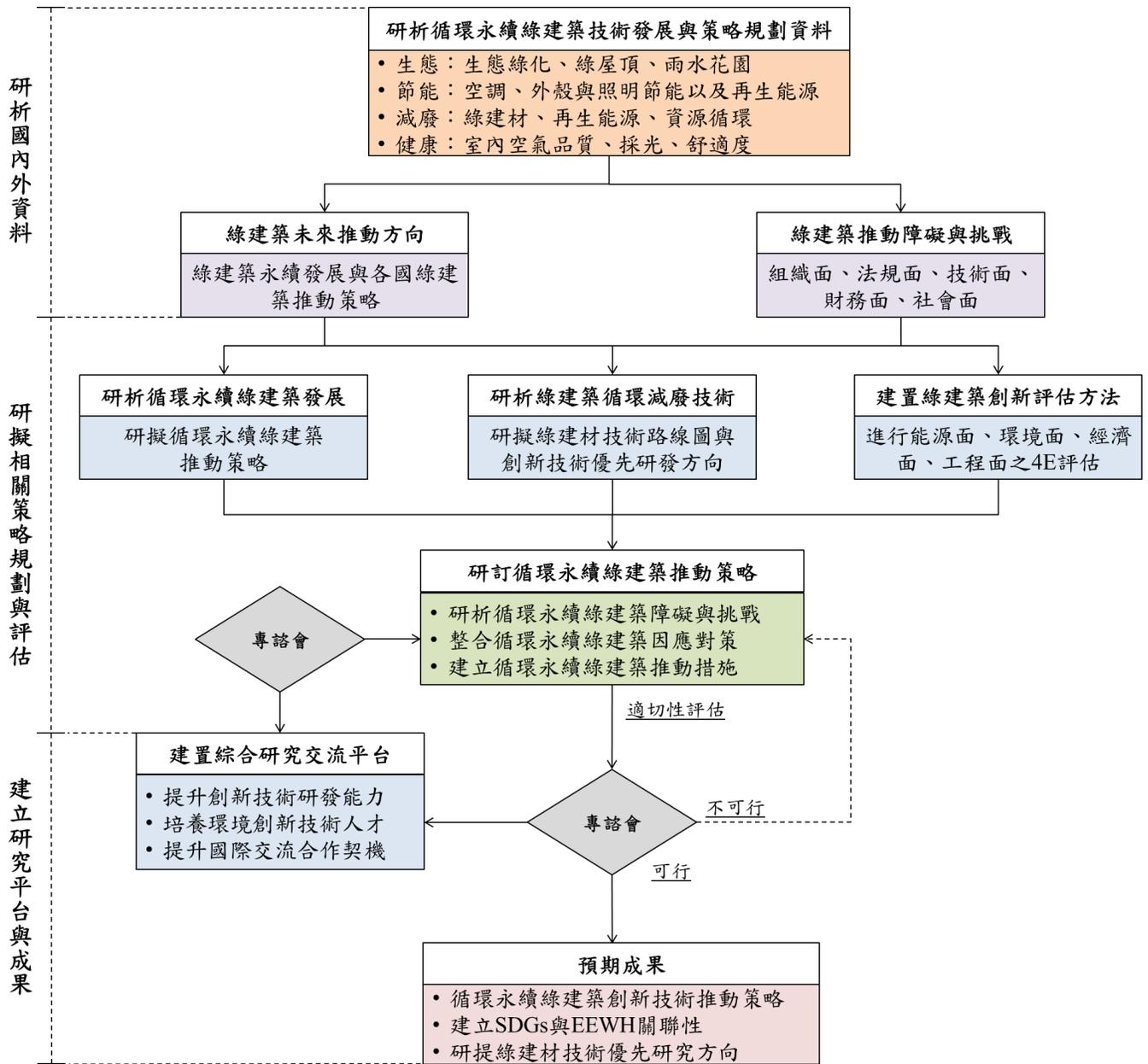


圖 2-1、本計畫研究架構流程

(資料來源：本研究整理)

第二節 計畫人力配置

本計畫人力配置說明如表 2-1 所示：

表 2-1、本計畫人力配置表

參與本案職稱	專或兼	姓名	學歷	專長領域	參與月	在本案擔任之工作
計畫主持人 (本所派兼)	兼	羅時麒	博士	生命週期評估、整合式系統分析、智慧建築評估	10.5	規劃及督導研究內容、管控進度。
研究員 (業務承辦人員) (本所派兼)	兼	林霧霆	碩士	建築環境控制、綠建材	10.5	協助規劃及參與研究內容、管控進度等事宜。
研究員 (業務承辦人員) (本所派兼)	兼	徐虎嘯	博士	建築環境控制、綠建築	10.5	協助規劃及參與研究內容。
研究員 (業務承辦人員) (本所派兼)	兼	鄭任軒	博士	建築環境控制、綠建築	10.5	協助規劃及參與研究內容。
協同主持人	兼	蔣本基	博士	永續發展、綠色科技	10.5	統籌協同研究事務並擔任本案協同主持人，撰寫資料蒐集分析報告。
研究員 (研究助理)	兼	黃國倉	博士	永續綠建築、生態工程	10.5	協助本案進行及協助撰寫資料蒐集分析報告。(協助本案之資料蒐集及辦理相關分派工作)
研究助理	兼	李宜臻	學士	綠建築、建築物理	10.5	協助本案資料蒐集及辦理相關分派工作。
研究助理	兼	陳則綸	碩士	環境工程、溫室氣體減量技術	10.5	協助本案資料蒐集及辦理相關分派工作。

第三節 執行成果與差異分析說明

本計畫之執行進度分析與差異說明，詳如表 2-2 所示：

表 2-2、本計畫執行成果對照表

查核點	查核點內容	執行進度與成果說明	差異分析
1. 蒐研國外創新技術應用現況與經驗	包含自然生態、能源效率、人體健康以及循環減廢綠建材相關之技術與相關應用案例	完成蒐研資料包含（第三章）： 1. 結合自然生態：植被系統設計、生態水資源利用、生態光環境技術、區域聲環境以及生態交通設計 2. 提升能源效率：建築外殼節能、空調節能、再生能源、建築朝向以及能源管理 3. 維護人體健康：室內通風設計、採光設計、音環境設計以及人體舒適度 4. 循環減廢綠建材：竹製與木材建材、光觸媒塗料、天然纖維材料、透明木材、營建廢棄物再利用、再生水泥、再生混凝土、再生粒料等等。	無差異 (已完成)
2. 建立創新技術與建築資材再生利用技術資料庫	蒐研綠建材與廢棄物再利用技術	完成蒐研資料包含（第五章）：竹製與木材建材、光觸媒塗料、天然纖維材料、透明木材、營建廢棄物再利用、再生水泥、再生混凝土、再生粒料等等。	無差異 (已完成)
3. 研析國內推行障礙及挑戰	包含組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大方面之障礙及挑戰	完成五大面向執行障礙及挑戰研析說明（第四章）： 1. 組織面：部會整合不易、產業推動能量不足、綠建築整合平臺未落實 2. 法規面：缺乏政策一致性、評量體系未健全、未完全建置整合管理系統 3. 財務面：技術成本較高、未整合獎勵機制、成本效益不易分析評估 4. 技術面：技術本土化程度較低、缺乏技術經驗人才、未建置環保經濟產業鏈 5. 社會面：缺乏整合應用與推廣、資源配置與利用未最佳化、技術疊加效益低完成	無差異 (已完成)

4. 建立創新環境科技之 4E 評估	針對循環永續綠建築創新技術，建立環境、工程、經濟與能源等四面向評估方法	建立綠建築創新技術之 4E 分析方法，提出關鍵績效指標，可評估創新技術於環境、經濟、工程與能源面向之影響。(第 4-4 節)	無差異 (已完成)
5. 提出短期建築資材再生利用優先辦理課題及相關技術研發方向	研析短期建築資材再生利用及相關技術研發之發展策略	1. 完成永續綠建築創新技術發展策略之 SWOT 分析，並提出相關可行策略。(第四章) 2. 研擬政策法規、經濟刺激、技術研發整合、評價體系、教育合作交流平臺等五大方面之實施策略。(第四章) 3. 研提短期建築資材再生利用創新技術優先研發方向。(第六章)	無差異 (已完成)
6. 規劃科技發展中長期策略計劃與推動架構	規劃出我國未來辦理永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構，以供政府部門未來應用參考。	1. 研析聯合國 17 項永續發展目標，並結合國內 EEWB 體系，提出未來發展方向。(第 3.1 節) 2. 蒐研並比較包含美國、英國、澳洲、中國與加拿大之綠建築發展策略。(第 4.2 節) 3. 研提再生綠建材中長期發展策略，主要為建構與強化再生綠建材資源再生產業體系，落實永續物料管理循環經濟。(第 6.2 節)	無差異 (已完成)
7. 舉辦座談會	舉辦兩場次座談會，邀集國內永續綠建築專家並蒐集相關意見。	1. 已於 106 年 3 月 8 日辦理第一場專家座談會 2. 已於 106 年 9 月 19 日辦理第二場專家座談會 3. 已於 106 年 10 月 23 日辦理第三場專家座談會	無差異 (已完成)
8. 期中報告	每階段進行相應成果報告，確保雙方溝通。	於 106 年 6 月 30 日前繳交期中報告；並於 106 年 7 月 20 日完成期中審查。	無差異 (已完成)
9. 期末報告	每階段進行相應成果報告，確保雙方溝通。	於 106 年 10 月 13 日前繳交期末報告；並於 106 年 10 月 31 日完成期末審查。	無差異 (已完成)

(資料來源：本研究整理)

第三章、綠建築創新技術發展趨勢

自 1992 年開聯合國召開地球高峰會(Agenda 21)，正式建立永續(Sustainability)概念，於 2000 年於聯合國舉行的千禧年大會當中，與會的 189 個國家，共同簽署了「千禧年宣言」(United Nations Millennium Declaration)，承諾在 2015 年前所要達成的 8 項「千禧年發展目標」(Millennium Development Goals, 簡稱 MDGs)，緊接著於 2016 年 1 月 1 日各國領導人同意簽屬簽署的 2030 年永續發展目標議程 (Agenda 30) 正式啟動，而當中最受矚目的便是聯合國所訂定的 17 項永續發展目標 (Sustainable Development Goals, 簡稱 SDGs)，係以「促進繁榮同時保護地球」為宗旨 (圖 3-1 所示)。

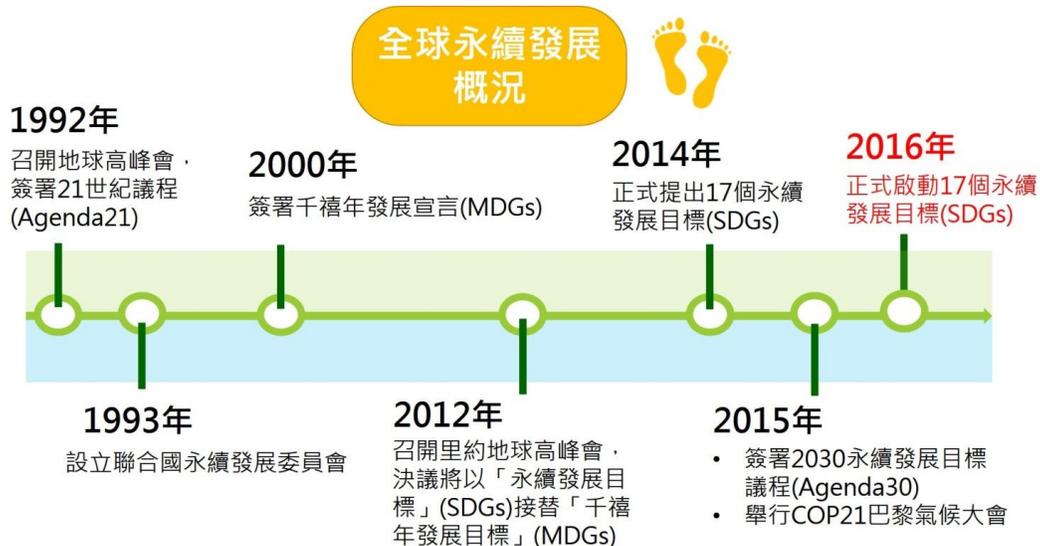


圖 3-1、全球永續發展概況

(資料來源：聯合國, 2016)

SDGs 內容包含提出瞭解決經濟增長與氣候變化，貧困與不平等現象的挑戰，推廣綠建築將有助於實踐永續發展目標。以生命週期與物質流可說明綠建築的永續價值，不僅節約能源與水資源與降低碳排放，且更具備提升教育，創造就業機會、加強社區溝通，改善健康與福祉等效益 (圖 3-2 所示)。綠建築可作為解決世界上目前緊迫問題之催化劑。雖然 17 個 SDGs 非常廣泛，且每個 SDGs 都有未來 15 年要完成的具體目標，然而世界綠建築委員會(World Green Building Council, WGBC)已針對綠建築可對於部分可實踐之 SDGs 說明綠建築與永續發展目標之關聯性說明，提出綠色家庭與綠色辦公室之構想 (如圖 3-3 所示)，下列說明 SDGs 與綠建築關聯性：

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



圖 3-2、聯合國永續發展目標

(資料來源：聯合國，2016)



圖 3-3、WGBC 所提出(左)綠色家庭與(右)綠色辦公室之永續發展目標

(資料來源：WGBC，2016)

第一節 綠建築永續發展目標

透過 WGPC 可瞭解綠建築具備實踐 SDGs 之契機，本研究亦發現 SDGs 與國內綠建築 EEWB 體系以及九大指標皆有關聯性，圖 3-4 可說明部分永續發展目標與 EEWB 體系之關聯性，可分為結合自然生態(SDG 15)、提升能源效率(SDG 7)、促進循環減廢(SDG 13)、維護人體健康(SDG 3 與 SDG 6)以及綠建築永續發展(SDG 8、SDG 9、SDG 11、SDG 12 與 SDG 17)等方向，說明如下：



圖 3-4、建立 SDGs 與 EEWB 關聯性

(資料來源：本計畫彙整)

(一) 結合自然生態(Ecology)

· 目標 15：陸地資源永續管理

確保綠建材使用率為綠建築永續發展的關鍵。因此，建築業及其建材供應鏈應採用經認證之綠色材料(如木材或再生建材)。綠建築認證工具亦必須評估降低建築用水量，提升生物多樣性以及確保人體健康等重要性，並將其納入到施工期間和施工後建造的空間中，盡量減少損害並設計出增加生物多樣性的方法，例如通過與當地植物區系的景觀美化。建材之獲取往往伴隨對生態棲地的破壞。聯合國永續發展目標亦在對陸地資源的永續管理(SDG15)做出期待，在此規劃下，綠建築營建應當：(1)確保陸地生態系和淡水生態系與其生態系服務的保育、復育和永續利用；(2)提倡並執行各類型森林資源的永續經營措施，停止森林砍伐，復育受損的森林；(3)針對遺傳資源的利用，提倡公平、公正的共用機制，並提倡接觸這些資源的適當作法。為減少因資源開採以及廢棄物對陸地生物的威脅，實現永續的陸地資源開發及利用模式，臺灣應當比照國外積極推動再生綠建材的開發及使用。

(二) 提升能源效率

· 目標 7：可負擔之永續能源

清潔能源也是邁向永續發展之手段之一，而綠建築(無論是商業大樓還是住宅)的節能效益通常是最受關注的好處之一。部分開發中國家，可將綠建築結合再生能源，作為化石燃料替代。例如，國際再生能源機構(The International Renewable Energy Agency, IRENA)表示，非洲的家庭太陽能系統可為每戶提供每年最低 56 美元的電力 - 比柴油或煤油的能源便宜得多。可再生能源不僅有降低碳排放的附加效益，透過有效提升能源效率亦可提高能源使用率。可負擔且永續的能源(SDG)是聯合國永續發展目標之一，並且 WGBC 期待能夠通過綠建築達成包括(1)節能減碳；確保人人獲得負擔得起的；(3)可靠和可持續的現代能源以及清潔能源在內的三大指標。

(三) 促進節能減廢

· 目標 13：氣候變遷對策

面對氣候變化及其影響，建築物佔有全球溫室氣體排放的 30% 以上，因此可視為是影響氣候變遷的原因之一。然而，綠建築同樣具有減碳潛力，通過提升能源效率等措施為最具成本效益的方法之一。例如，南非的綠星認證建築每年可節省 3.36 億千克的碳排放量，同樣的道路上將耗資 8.4 萬輛，有助於限制氣候變化的影響。WGBC 指出，綠建築產業對於因應氣候變遷應當負有重要責任。因此，在評估綠建築及其相關科技時，應當擴展評價範疇，將環境保護和資源開發等因

素納入其中。首先應當繼續推動生命週期評估方法，以分析綠建築在原材料開採、建材生產、建造、維護和廢棄過程中的能源需求、環境破壞、天然材料消耗以及碳足跡等。例如，雖然竹材根木材屬於天然材料，但在台灣主要考量是建築永久性與耐震度，通常這些天然材料都要進行特殊加工，例如形成複合式材料、塑膠以及金屬等材料，再加工過程往往伴隨二氧化碳和污染物排放、能源索取以及材料消耗等，都需要審慎評估。

(四) 維護人體健康

· 目標 3：確保健康與福祉

SDG3 旨於維護人類健康與福祉並為聯合國推廣永續發展的重要目標。據世界衛生組織稱，較差的室內環境品質為造成呼吸系統疾病死亡前五名的三大原因。多數案例證據已證明，建築設計可影響居住者之健康與福祉。透過綠建築的功能，例如照明改善，降低室內空氣汙染、提升空氣品質與促進綠色環保，對於提升人體健康有良好的效益。其中綠建築對於人類健康與福祉中“減少因污染造成的健康危害”扮演重要角色。

· 目標 6：潔淨水資源

飲用水、公共衛生及個人衛生，以及水資源品質為永續發展之手段之一。此目標對於地球和人類的生存至關重要，實現此標意味著擴大國際合作，在提高飲用水和衛生管理方面獲取當地社區的支持。綠建築可確保水資源管理並具備污水改善效益，過去由於建築物用水設計不當，水費偏低、國人用水習慣不良，使得國人用水量偏高。1990 年台灣平均用水量為 350 公升/(天*人)，尚有許多節約用水的空間。今後在地球環保要求下，建築物的節水設計與污水改善勢成為全民共同的課題。建築物水資源保育希望能積極利用雨水與生活雜用水之循環再利用的方法(開源)，並在建築設計上積極採用省水器具(節流)，來達到節約水資源的目的。

(五) 綠建築永續發展

· 目標 8：全面的就業及永續的經濟成長

隨著全球綠建築需求的增長，綠建築之需求人力也在增長。例如，加拿大的綠建築行業在 2014 年的全職就業人數近 30 萬人。另外，由於綠建築的生命週期，從設計概念到建築建造完工，以及經營與修繕，都能創造多元性就業機會。另一方面，部分綠建築委員會已考量將就業潛力納入評估體系，如南非，將更為複雜的社會經濟問題，如失業或缺乏技能，納入綠建築評估體系，從而進一步鼓勵建築產業推廣綠建築就業機會。WGBC 表明未來各國對綠建築的追求將會驅動潛力巨大的市場，由此創造可觀的勞動力市場。國際勞工協會（International Labour Organization，ILO）建議未來綠建築營建過程中可考慮依靠當地勞工、採納當地建築技術以及採購當地生產的材料。特別的，盡可能將中小型的建築企業納入營建過程。然而，有別於傳統建築，綠建築在追求人體舒適度的同時，亦對其環境可能的衝擊提出要求。對於能源效率、物質迴圈、再生能源等新生概念的出現，過往的建築設計與建造技術需要重新審視並提升。此外，歐盟委員會（EC）與國際勞工協會指出傳統建築設計師缺乏對於綠色設計的觀念，而建築工人對於綠色建築與維護工法的技能亦有短缺。因此，除了綠建築技術開發以及市場投資，綠建築技能培訓亦可成為未來的企業與政府的努力方向。

· 目標 9：永續的產業、加速創新以及具有韌性的基礎建設

綠建築設計必須確保在面對不斷變化的全球氣候時，具有彈性與韌性。對於發展中國家至關重要，特別容易受到氣候變遷影響之國家。除了建築物以外，基礎設施必須也具有同等的永續性與面對未來氣候風險之韌性。新氣候經濟報告指出，未來 15 年，在基礎設施領域需要 90 萬億美元的投資以實現淨零排放未來。因此，為了推動永續發展的建築物，例如淨零排放建築物，也是目前綠建築創新技術的主要推手。依據聯合國永續發展目標九，綠建築產業發展目標應當囊括：(1) 提高綠建築產業在就業和國內生產總值中的比例；(2) 增加小型工業和其他企業，特別是發展中國家的這些企業獲得金融服務、包括負擔得起的信貸的機會，將上述企業納入價值鏈和市場；(3) 改進綠建築產業以提升其可持續性，提高資源使用效率，更多採用清潔和環保技術及產業流程；(4) 加強科學研究，提升工業部門的技術能力；和 (5) 提供有利的政策環境，以實現工業多樣化，增加商品附加值。為達成上述目標，首先應當推廣「建築企業永續發展」概念：提供建築產業永續經營資訊及交流平臺，提升建築產業在建材生產管理、製程改善、污染預防、環境化設計、能資源回收、清潔生產等永續發展政策之能力，提昇企業之環境品質及綠色競爭力。對此可發佈針對

建築企業的「企業社會責任」(Corporate Social Responsibility, 簡稱 CSR) 報告, 詳實揭露公司在「永續經營」及「社會責任」之目標、成果、承諾及規劃。使得建築企業進行商業活動時, 需考量其對各相關利益者造成之影響, 企業社會責任之概念即是基於商業運作須符合「永續發展」之思維, 企業除考慮自身之財政和經營狀況外, 亦須考量其對「社會」和「自然環境」所造成之影響。推動建築行業創新。例如建材生產過程中可積極實踐「能資源整合」, 透過重新設計產品和商業模式, 達到更好之能資源使用效率, 降低消除廢棄物排放, 以避免污染自然環境以提升能資源整體使用效率, 降低廠區污染排放, 邁向「循環經濟」(Circular Economy)。

· **目標 11：人類居住的公平、安全及永續性**

到 2030 年, 世界人口將近 60% 將在城市生活, 因此確保永續發展至關重要。建築物做為城市的基礎, 綠建築更做為永續發展的關鍵。無論是家庭, 辦公室, 學校, 商店或其他空間, 都有助於建構綠色社區, 以確保所有人的生活水準。事實上, 在許多國家, 綠色建築委員會已經發展超越了單一綠建築的認證, 並開發了便於綠色社區與區域的評估工具。

SDG11 期望到 2030 年 (1) 確保人人獲得適當、安全和負擔得起的住房和基本服務; (2) 加強包容與永續的城市建設, 加強參與性、綜合性、可持續的人類住區規劃和管理能力; (3) 大幅減少包括水災在內的各種災害造成的死亡人數和受災人數; (4) 減少城市發展造成的負面環境影響, 包括特別關注空氣品質, 以及城市廢物管理等; (5) 大幅增加採取和實施綜合政策和計畫以構建包容、資源使用效率高、減緩和適應氣候變化、具有抵禦災害能力的城市和人類住區數量; 和 (6) 通過財政和技術援助等方式, 支援未開發國家就地取材, 建造可持續的, 有抵禦災害能力的建築。

ICLEI 主要目標在實踐 1992 年地球高峰會議所提出的「21 世紀議程 (Agenda 21)」第 28 章「地方 21 世紀議程」(Local Agenda 21, LA21), 積極推動全球性的地方政府運動, 致力於地方永續社區與城市計畫, 強調居民參與及培力, 以達成公平、安全、韌性、活力經濟及健康環境之目標。具體推動策略包括: 永續城市 (Sustainable city)、資源效率城市 (Resource-efficient city)、生物多樣性城市 (Biodiverse city)、低碳城市 (Low-carbon city)、韌性社區與城市 (Resilient community and city)、綠色都會經濟 (Green urban economy)、智慧都會基礎建設 (Smart urban infrastructure)、健康幸福社區 (Healthy & happy community) 等 8 個主張。

由此可見, 作為綠建築的基本功能, 維護人體健康以及居住公平、安全及永續性涵蓋包括衛生、環境、國安、市政和財政等諸多方面, 因此絕非僅靠單個部會即可推動。由此, 跨部門整合,

設立專責管理單位以統一事權，成為推廣綠建築的必要。

· **目標 12：永續的消費及生產模式**

此目標重點是促進資源利用與能源效率，打造永續基礎設施，以及提供基本服務與綠色就業機會，相關指標包括：(1) 實現自然資源的永續管理以及有效率的使用；以及 (2) 透過預防、減量、回收與再使用大幅減少廢棄物的產生。因此建築行業可秉持“循環經濟”原則，將建築資源循環再利用。主要包括建築產品製造商，透過“搖籃到搖籃”的產品製造方法。不僅減少廢棄物產生量，亦減少所使用的原料量。例如：地毯製造商 Shaw 自 2006 年以來，已收回並重新製造超過 4 億公斤的消費後地毯。

· **目標 17：強化永續發展執行面以及全球夥伴關係**

建築產業過去在多次氣候變化會議上缺乏多邊國際合作的機會，並且重視程度也不高，2015 年時，WGBC、UNEP、歐盟與其他 NGO 共同舉辦第一個“建築物日”，作為 COP21 正式議程的一部分，並啟動了全球建築聯盟，實現重要的里程碑。在後來的一年半時間內的努力，已確保與世界資源研究所和全球環境基金等合作夥伴關係的新夥伴關係，增加了推動變革的能力，並確保合作關係是建立在彼此的優勢上，其達成永續綠建築環境的障礙不是技術，而是如何有效合作，確保集體努力真正一致，以獲得更大的影響。值得特別注意的是全球夥伴關係已從早期的「援助效果」轉換到「開發效果」，國際不約而同採取停止慈善援助的侷限性方式，改採用永續開發與共創價值的作法，以達符合善用自然資源的加乘經濟發展效應。

(六) 小結

藉由以上論述，未來國際上推動綠建築以符合永續發展目標的四大方向，收斂為發展創新技術、推動教育宣導；制定誘因政策，以及建立夥伴關係：

(1)發展創新技術：創新技術應當能夠確保綠建築能夠維護居住安全與健康，包括提升用水安全、降低室內空氣污染，以及提供良好舒適的溫度、濕度和光照環境。此外，應當大力發展小規模再生能源技術，包括風能、太陽能、生質能和地熱等，以提升綠建築的能源自給率。另外再通過先進的光照、空調以及圍護，降低建築能耗，提升能源效率。

(2)推動教育宣導：教育宣導旨在引導政府、企業和民眾關注綠建築，通過展現其在舒適性、環境保護和經濟性等方面的優勢而提高公眾接受度。此外，為彌補綠建築市場專業人才的不足，還應當針對包括設計師、建築師以及設施安裝維護等建築從業人員進行培訓，以提升其應用新技術的技能。

(3)制定誘因政策：為促進新興綠建築技術的發展和應用，政府應當設立相關誘因政策。其中包括對綠建築及衍生產業提供稅收減免、對綠建築進行評鑒並提供相應獎勵與宣傳，以及對消費者進行補貼等。

(4)建立夥伴關係：建立夥伴關係將強化政府與學術間的合作，並可加強國際間綠建築相關技術的開發與合作，其他的合作夥伴關係還包括中央政府與地方政府間的合作、以及政府與企業間的合作。此外，綠建築作為一門綜合性較高的產業，政府應當鼓勵產業內上下游企業相互合作，共同開發經濟、環保、節能、舒適的綠建築。

第二節 綠建築創新技術發展

本節係說明國內外綠建築創新技術發展，並依據國內綠建築 EEWB 評估體系分類，以結合自然生態、提升能源效率、促進循環減廢以及維護人體健康等四大類別進行說明，如圖 3-5 所示，其中自然生態部分以綠建築結合生態融合設計方法為主，能源效率部分是以建築外殼、空調節能與能源管理等技術措施為主，人體健康部分則主要說明室內通風、採光、噪音防制與人體舒適度等面向進行說明，最後循環減廢部分主要著重於是以綠建材以及廢棄物資源化等創新技術說明為主，以下茲說明循環永續綠建築相關創新技術蒐研成果。

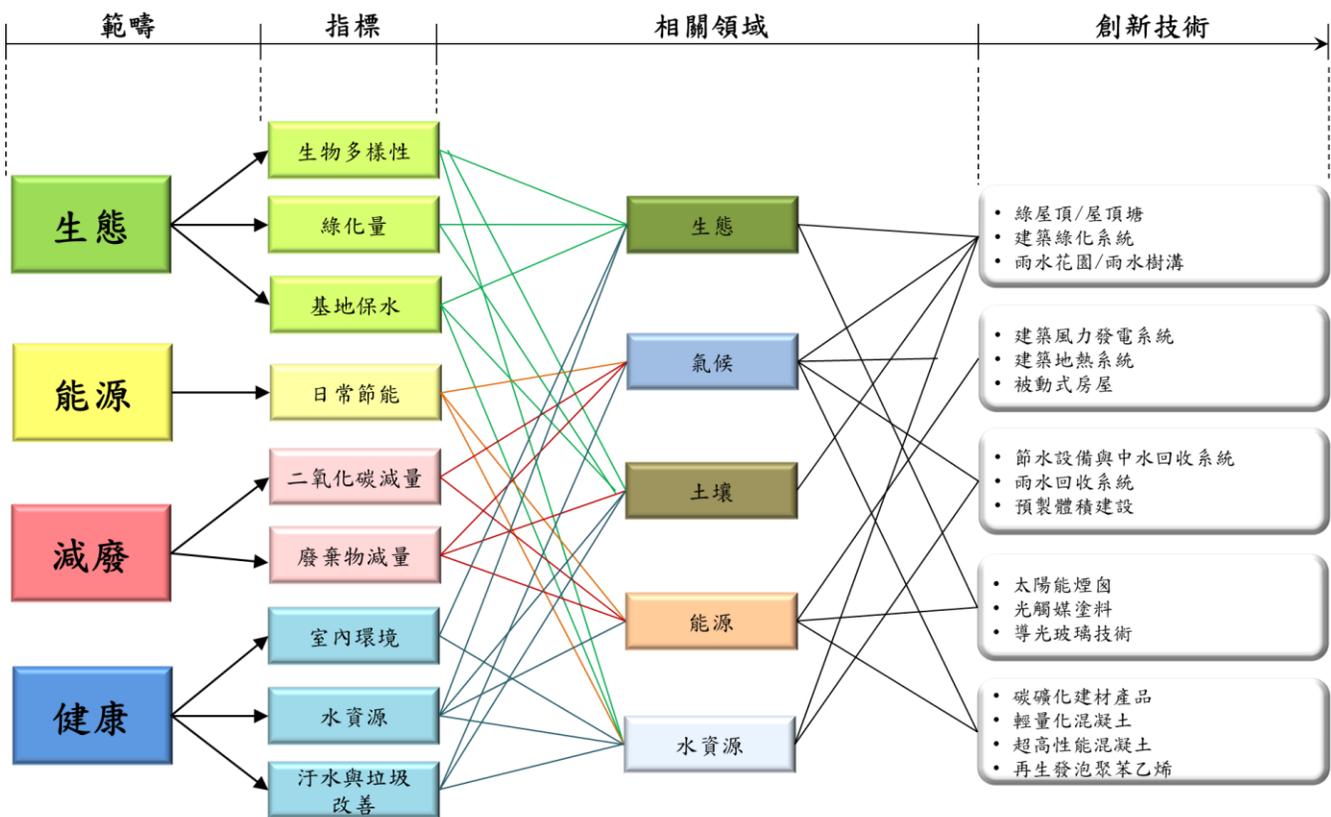


圖 3-5、各類綠建築技術與 EEWB 九大指標關聯圖

(資料來源：本計畫彙整)

3.2.1、結合自然生態

綠建築之生態部分是指技術設計與自然充分融合(Design with Natural)，使人的創造力和生產力得到最大限度的發揮，居民的身心健康和環境品質得到最大限度的保護，高效率利用能資源，生態良性循環，換句話說，即是創造高效率、高和諧之人類生活環境。在日常生活中，常會看到生態觀念的誤用問題，比如認為生態狀態的好壞就是綠地量的多寡，實際上綠地只是環境因素之一，但環境不僅限於綠地，不能單以綠地指標來衡量，它還包括水域及其他生物資源。此外，綠色建築不能被混淆為「綠化建築」。某些概念認為綠色建築即綠化，然而綠化並非綠建築唯一設計理念，而是通過綠色生態手段達到淨化空氣、美化環境之目的，實際上綠建築整體要求是相當廣泛；本計畫亦彙整與綠建築相關的生態綠化技術彙整如圖 3-6 所示，並於下列說明相關技術重點：

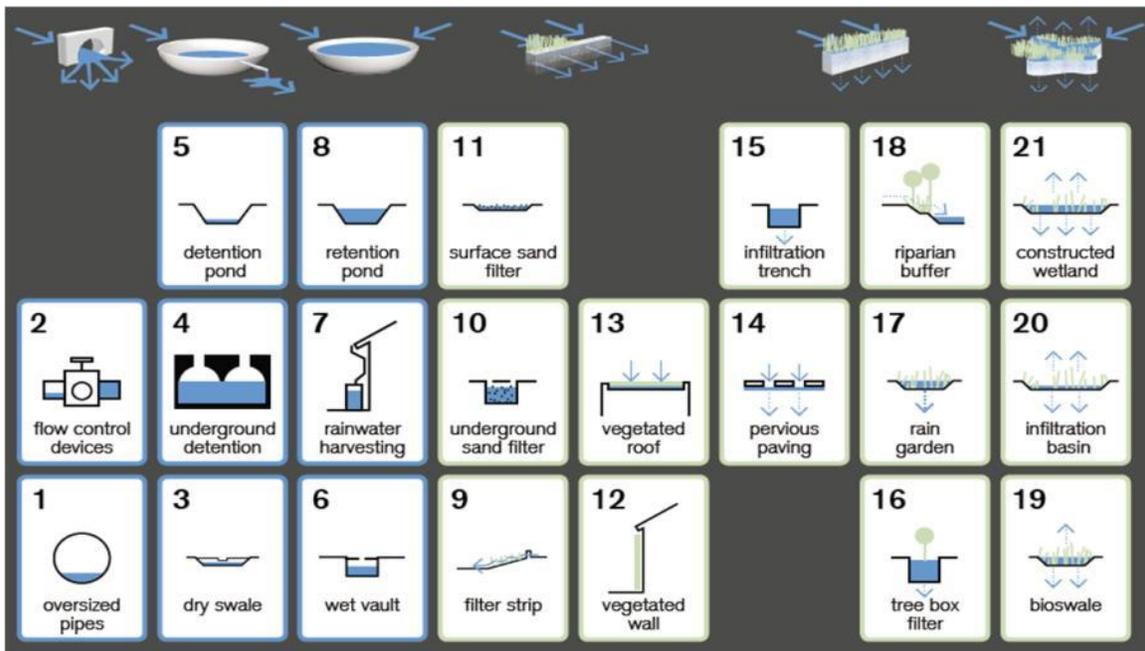


圖 3-6、與綠建築相關的生態綠化技術彙整

(資料來源：USEPA，2014)

3.2.1.1、建築植被系統

綠建築之生態系統理念中，植物是生態系統唯一的生產者，具有極重要的地位，同時植物是建築最具生命力的系統，不僅僅具備美觀和裝飾作用，而且具有重要生態調節作用。本節首先將說明綠建築之外觀環境和建築本身植被系統之設計組織。第二部分，則是綠建築植被系統之功能設計方法，透過植被系統之組織與功能設計，發揮生態調節作用。第三部分，則是將綠建築設計理念結合技術發展之方法，例如：植物系統設計，屋頂綠化、垂直綠化及室內綠化等等。

(一) 綠屋頂應用

綠屋頂(green roof)係指將建築物屋頂、外牆及陽臺以人工方式進行植栽之基礎綠化工程，綠屋頂被視為有效率地擴展都市綠覆面積率以及降低都市熱島效應的途徑。綠屋頂種植區構造層由下至上主要由保護層、排(蓄)水層、過濾層，基質層、植被層組成。在實際的屋頂綠化施工過程中，以上幾個基本結構是缺一不可的。每個步驟都關係到整個屋頂以後植物的生長狀況。下列將分別介紹每個構造層。



圖 3-7、綠屋頂與傳統屋頂輻射程度比較圖

(資料來源：2012，田慧峰等人)

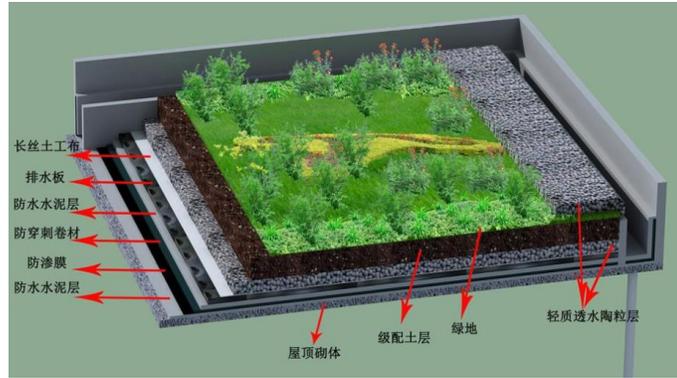


圖 3-8、綠屋頂構造層示意圖

(資料來源：2012，田慧峰等人)

a. 保護層

保護層包括防水層和防根層，有時兩者合而為一。保護層主要有兩個作用，防水和防止植物根系的穿透，有時分為防根層和防水層，有時合二為一。對於保護層的要求，除了防止雨水和灌溉水的滲入，也要求防水層能長時間抵抗植物根系的穿透能力。保護層一般有合金、橡膠、PE（聚乙烯）和 HDPE（高密度聚乙烯）等材料類型，用於防止植物根系穿透保護層。這些材料，都有很強的可加工性和根穩定性，並且抗拉強度高、承載能力強，是很好的屋頂綠化保護材料。

b. 排（蓄）水層

排（蓄）水層一般包括排（蓄）水板、陶礫（荷載允許時使用）和排水管（屋頂排水坡度較大時使用）等不同的排（蓄）水形式，用於改善基質的通氣狀況，迅速排出多餘水分，有效緩解暫態壓力，並可蓄存少量水分。一些適合做排水層的材料，其特性也適合做保護層，就沒有必要在排水層下邊再附加保護層。目前市場上有許多保護層和蓄排水層結合在一起的產品。但是，有些材料類如沙礫、碎石、珍珠岩，陶粒、就應該附加保護層。一些由組合礦物質構成的例如破碎的膨脹黏土和膨脹葉岩，來自拆除建築物的混凝土、磚砌體或者磚瓦等，還有用膨化舊玻璃的泡沫玻璃等，都很適合做排（蓄）水層。

c. 過濾層

過濾層的作用是阻止基質進入排水層。過濾層要保證有排水的功能，除此之外，還要有防止排水管泥沙淤積的作用。一般採用既能透水又能過濾的聚酯纖維無紡布等材料。

d. 基質層

基質層是指滿足植物生長條件，具有一定的滲透性能、蓄水能力和空間穩定性的輕質材料層。

用於屋頂綠化的種植基質需具備三個基本條件：有一定的保水保肥能力，透氣性好；有一定的化學緩衝能力，保持良好的水、氣、養分的比例等。第四，重量輕，理想的基質容重應該在 $0.1\sim 0.8T/m^3$ ，最好在 $0.5T/m^3$ 。基質主要包括改良土和超輕量基質兩種類型。改良土由田園土、排水材料、輕質骨料和肥料混合而成；超輕量基質由表面覆蓋層、栽植育成層和排水保水層三部分組成。

e. 種植層

屋頂綠化植物的選擇應用，是屋頂綠化過程中極其重要的一個環節。植物選擇原則須遵循植物多樣性和共生性原則，以生長特性和觀賞價值相對穩定、滯塵控溫能力較強的本地常用和引種成功的多年生常綠植物為主。

- 以低矮灌木、草坪、地被植物和攀緣植物等為主。原則上不用大型喬木，有條件時可少量種植耐旱小型喬木。
- 選擇鬚根發達的植物。不宜選用根系穿刺性較強的植物。防止植物根系穿透建築防水層。
- 選擇易移植、耐修剪、耐粗放管理、生長緩慢的植物。
- 選擇抗風、耐旱、耐高溫、耐寒、耐鹽鹼、抗病蟲害的植物。
- 選擇抗汙性強、可耐受、吸收、滯留有害氣體或污染物質的植物。

植物的選擇一定要切合當地的植被規律，可以借鑒當地牆體或類似生境上生長的植物。由於景天類植物具有耐旱、耐寒、耐高溫、根系淺、植株低矮、易成活、四季可觀賞等諸多特性，常被應用在屋頂綠化中，尤其常應用於植被屋面，如八寶景天、“胭脂紅”景天、六棱景天、“光亮”假景天、反曲景天、佛甲草等。矮小的灌木及多年生草花。如繡線菊、鳳尾蘭，紫葉小檗、鳶尾、蛇莓等也可根據栽培基質的厚度或灌溉的有無進行選擇和應用。另外，日本和歐洲也採用苔蘚植物進行屋頂綠化，苔蘚不需要土壤，只依靠太陽和雨水就能生長。苔蘚可保水的程度大約在自重的 20 倍。其中砂蘚、灰蘚耐乾旱性強，對形成一般植物生長生物層困難的高層大樓屋面、坡度較陡的斜屋頂均可使用。把土壤、砂子、秸稈、廢舊紙張等和砂蘚、灰蘚均衡的組合在一起，不使用任何化學合成材料，在屋頂固定好即可。而且成本低，不需要維護。

(二) 綠屋頂的維護

一般來說，所有的綠化屋頂都需要維護，屋頂植物移栽有一個適應環境的過程，植物移栽初期需要特別維護。一般植物在對新環境有了一定的適應後，可不需經營管理，但必要時仍需要進行維護，下列說明綠屋頂維護作業：

a.灌溉

屋頂因光照強、風大。植物的蒸騰量大、易失水，尤其是夏季高溫季節，當較長期沒有天然降水時。應該及時澆灌。根據屋頂綠化類型、植物種類和季節不同，適當調整灌溉次數。防凍水和返青水十分重要，應適時澆灌。澆灌返青水的時間一般在3月上旬，在土壤凍結層化透以後。或在5cm平均地溫穩定在5°C以上時為宜，灌溉過早會引起地溫下降，推遲返青，甚至導致凍害。防凍水要適時澆，過早會使地溫降低。不利於植株發育甚至造成死苗；過晚積水不能及時下滲，造成凍害。一般認為當日平均氣溫降到3~4°C。土壤夜凍晝消時澆防凍水較好。

b.施肥

依據瑞典農業大學對屋頂植被施肥原理之研究，發現植被屋面施肥要根據植物種類和氣候特點等原理進行施肥。因此早期應採取控制施肥的方法，抑制植物雨季生長，防止植物生長過旺而降低旱季的抗性，一般栽植多年以後，可依照國家標準進行施肥。

c.雜草清除

由於基質、風、動物等途徑會攜帶草籽。使屋頂雜草叢生。雜草一旦侵入，往往會形成優勢種，破壞原來的景觀。這就需要將之清除。以免對其他植物的生存造成危害。雜草清除最好人工連根拔掉，否則草會繼續生長，不提倡用除草劑。在一個生長季一般進行2~4次的雜草清除工作。

d.修剪

一般在初冬結合防凍水的澆灌，對木本植物進行修剪。而且由於根冠平衡的原理，對樹木花卉的整形修剪還可起到抑制其根部的生長，減少根系對防水層破壞的作用。

e.病蟲害防治

應採用對環境無污染或污染較小的防治措施。如人工及物理防治、生物防治、環保型農藥防治等措施。

f.防風防寒

應根據植物不同的抗風性和耐寒性，特別是高層建築樓頂以及海邊有強風的城市，採取有效的防風設計。

(三) 外牆綠化

垂直綠化的傳統定義是指利用藤本植物纏繞、吸附、攀緣、鉤搭的特性，綠化牆壁、欄杆、棚架、杆柱及陡直的山石等。外牆綠化是垂直綠化的一種重要形式，人們對外牆綠化的內涵有不同的理解，這裡特指廣義的建築外部的牆面綠化。包括開敞的陽臺和窗臺、雨篷等除屋頂之外的

一切建築外維護結構的綠化。甚至還包括與建築外牆有連接的網架式的垂直綠化。一般外牆綠化根據需要可以設計為附壁式、網架式、懸蔓式(披垂式或懸垂式)、直立式、貼牆式等方式，下列說明不同設計方式：

a.附壁式

附壁式為最常見的垂直綠化形式。主要依附物為建築物的牆面。附壁式綠化能利用攀緣植物打破牆面呆板的線條。吸收夏季強烈的太陽，柔化建築物的外觀。附壁式以吸附類攀緣植物為主，北方常用爬山虎、凌霄、扶芳藤、木香、膠東衛矛等；南方多用薜荔、常春藤、凌霄等。附壁式在配置時應注意植物材料與被綠化物的色彩、形態、質感的協調，並考慮建築物或其他園林設施的風格、高度、牆面的朝向等因素。較粗糙的表面，如磚牆、石頭牆、水泥砂漿抹面等可選擇枝葉較粗大的種類。如具有吸盤的爬山虎，有氣生根的凌霄等。而表面光滑、細密的牆面如馬賽克貼面則宜選用枝葉細小。吸附能力強的種類，如三葉地錦、常春藤等。

不同方向的牆面選用植物時應區別對待：凌霄喜陽，耐寒力較差，在北方可種植向陽的南牆；絡石喜陰，耐寒力較強，在南方宜植於房屋的北牆；爬山虎生長迅速，分枝較多。故適宜栽植於房屋的西牆。注意植物與門窗的距離。在生長過程中，通過修剪調整攀緣方向。防止枝葉覆蓋門窗。綠化形式以附壁式最為普遍，可以適用於各類牆面綠化，儘管不能滿足高層建築牆面綠化的需要，但如果在建築的一定高度設立藤本植物種植槽。則可解決這一問題。不過目前除日本有少量外還很少採用。

b.網架式

網架式就是於陽臺上除擺設盆花，並架設陽臺護欄外側。通常選用繩索、竹竿、木條或金屬線材構成一定形式的網架、支架，進行植物攀爬。目前較為新穎的網架式綠化模式主要應用在建築遮蔭節能方面，如日本的垂直植物攀緣系統、魔力攀緣系統和 TU 型攀緣網系統。不僅可以放置在地面、陽臺，也可應用在牆面懸掛上。

附壁式和網架式儘管可以應用到高空綠化。但通常還是利用地面。因為植物根系深植大地，所以生長良好。經濟生態。但藤本植物生長高度有限，因而開啟式陽臺和外部窗臺的綠化以及上部其他牆面的綠化。就顯得有些困難且比較重要。目前很多建築在設計中就考慮了花槽、花架的設計與安裝，有的甚至整個牆面都設計了可以滿足不同植物綠化需要的栽培支架與灌溉體系，可以使整個建築除採光和其他特殊需要外，都披上綠色的盛裝。由於不受地面的限制。因此其綠化形式也就多種多樣，主要有懸蔓式、直立式、貼牆式等。

c.懸蔓式（披垂式或懸垂式）

利用懸掛或放置的種植容器種植藤蔓或軟枝植物。使其凌空懸掛，形成別具一格的植物景觀，最適用於牆面綠化。在牆面的種植槽內，種植小型的蔓生植物，如探春、蔓長春花等，與牆面向上生長的吸附類植物配合。相得益彰。或在陽臺、窗臺上擺放幾盆蔓生植物。讓其自然下垂。不僅起到遮陽功能，而且微風徐過之時，枝葉翩翩起舞，別有一番風韻。這樣既豐富了陽臺或窗臺的造型，又美化了圍欄和街景。但要注意北陽臺(陰面)光線較弱，應選擇耐陰的植物，如常春藤、蔓長春花、綠蘿等。同時，在樓頂四周可修建種植槽。栽種爬山虎、迎春、連翹、薔薇、枸杞、蔓長春花、常春藤等拱垂植物，美化牆面。

d.直立式

通常在牆面懸掛的花槽中，陽臺、窗臺放置或懸掛的種植槽中也佈置一些直立的草本花卉，或結合懸垂植物混合應用。這種形式比較自由。但所選用的植物通常比較低矮、觀賞性高，適應性較強，耐粗放管理。可以選擇應用許多矮生的花卉。但以多年生植物為好。

e.貼牆式

英國的近代園林中。曾出現一種將樹木貼牆種植的方式，近年來在日本有少量發展。最近新發展了多種貼牆綠化的模式，如在牆面上貼上薄薄的培養基，通過多肉抗旱的景天類植物進行綠化；在陰面牆壁堆放袋裝的輕型栽培基質種植蕨類植物、蔭生花卉的模式；法國植物學家派翠克·布萊克的“植物牆”模式以及日本的垂直森林牆，綠色板塊等牆面綠化模式。

無論是何種形式的外牆綠化，都要堅持生態和景觀的基本原則，深入瞭解外牆綠化的生境特點與綠化功能的需求。特別是高層牆面綠化植物的生境特點及其功能要求。利用地面進行外牆綠化的方式比較簡單。一般有些植物的牽引和少量的修剪就能達到良好的效果。甚至可以免去牽引。但高層外牆是目前所有綠化類型中的難點。其生境與屋頂類似都不利於植物生長，如栽培基質較薄、溫濕度變化劇烈。因此。要求選擇的植物應為抗逆性強的種類，如金銀花、景天、常春藤、地錦等，並注意建築不同朝向光照強度的變化。同時高層外牆綠化的防護要求更高、更嚴，其綠化栽培容器以及配件、灌溉系統、栽培基質的厚度、過濾層與覆蓋層等防護層和統一排水的設計以及相關的施工和修剪等養護問題都要考慮周全。



圖 3-9、垂直綠化系統示意圖

(資料來源：2013，Perini K 等人)

(四) 透水鋪面

透水鋪面分為兩部分，上層表層，下層基層，表層為耐磨材料，基層為承載層。一般採用的材質包括連鎖磚、植草磚、水泥板塊、砌石、透水瀝青、透水混凝土鋪面等，透過高孔隙率之設計，可有效地將雨水滲入地表。其優點與效益為於建築基地內設立透水鋪面，雨水可經由透水鋪面縫隙滲入土壤中，增加地表透水能力，達到保水功能。



圖 3-10、透水鋪面示意圖

(資料來源：綠建築 91 技術，2016)

3.2.1.2、生態水資源系統

水環境是綠建築的重要組成部分，「水環境系統(water environmental system)」是指滿足建築用水水量、水質要求的前提下，將水景觀、水資源綜合利用技術等集成一體的水環境系統。它由社區給水、管道直飲水、再生水、雨水收集利用、汙水處理與回用、排水、水景等子系統有機地組合，有別於傳統的水環境系統。綠色建築水資源狀況與建築所在區域的地理條件、城市發展狀況、氣候條件、建築具體規劃等有密切關係。

(一) 雨水截汙與調蓄

a. 雨水截汙

為了保證雨水利用系統的安全性。提高整個系統的效率，需要考慮在雨水收集面或收集管路上實施簡單有效的截汙措施。按照雨水徑流的流程分類，雨水截汙措施可分為源頭治理、匯流治理、終端治理三類，具體措施見表 3-1：

表 3-1、依照雨水徑流的流程分類的雨水截汙措施

分類	源頭治理	匯流整理	終端治理
技術措施	屋頂綠化	下凹式綠地	雨水過濾地
	雨水蓄水裝置	初期棄流裝置	雨水濕地
	截汙掛籃	滲管(渠)	幹(濕)塘
	截汙濾網	生物滯留系統	油砂分離裝置
	高位花壇等	植物淺溝等	湖濱淨化帶等

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

按照雨水回收處理措施分類，可分為常規處理、深度處理、自然淨化處理三類，具體措施及其適用範圍如表 3-2：

表 3-2、雨水回收的處理措施

	技術措施	適用範圍
自然淨化處理	生物滯留系統	匯水面積小於 1 hm ² 的區域及公路兩側、停車場等污染比較嚴重的匯水面
	雨水濕地	匯水面積大於 10 hm ² 的區域
	雨水生態塘	匯水面積大於 4 hm ² 的區域
	植被緩衝帶	匯水面坡度較大、人工水體周邊等區域
	生物島	人工水體內的水質保障
	高位花壇	強化處理雨落管收集的屋面雨水

一般處理	土壤過濾	徑流污染嚴重及利用時對雨水水質要求較高
深度處理	沉澱+傳統過濾+消毒	處理雨水用作水質要求較高的雜用水水源，如洗車、沖廁，甚至用作飲用水水源
	活性炭技術	
	微濾技術	
	膜技術	

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

對於屋面、廣場、運動場、停車場、綠地甚至路面等。應根據不同的徑流收集面和污染程度，採取相應的截汙措施。屋面雨水收集系統主要採用屋面雨水鬥、排水立管、水準收集管等，沿途可設置一些截汙濾網裝置攔截樹葉、鳥糞等大的污染物，一般濾網的孔徑為 2-10mm，用金屬網或塑膠網製作，設計成局部開口的形式以方便清理，格網可以是活動式或固定式。截汙裝置可以安裝在雨水鬥、排水立管和排水橫管上。應定期進行清理。這類裝置只能去除一些大顆粒污染物，對細小的或溶解性污染物無能為力。適用於水質比較好的屋面徑流或作為一種預處理措施。

b.花壇滲濾淨化裝置

可以利用建築物四周的一些花壇來接納、淨化屋面雨水，也可以專門設計花壇滲濾裝置。既美化環境，又淨化了雨水。屋面雨水經初期棄流裝置後再進入花壇，能達到較好的淨化效果。在滿足植物正常生長要求的前提下。盡可能選用滲濾速率和吸附淨化污染物能力較大的土壤填料。一般 0.5m 厚的滲透層就能顯著地降低雨水中的污染物含量，使出水達到較好的水質。

c.雨水棄流裝置

對建築區域小匯水面，初期雨水棄流裝置是一種非常有效的水質控制技術，合理設計可控制徑流中大部分污染物，包括細小的或溶解性污染物。棄流裝置有多種設計形式，可以根據流量或初期雨水排除水量來設計控制裝置。研究都表明，屋面雨水一般可按 2mm 控制初期棄流量，對有污染性的屋面材料，如油氈類屋面，可以適當加大棄流量。

d.路面雨水截汙措施

由於地面污染物的影響，路面徑流水質一般都明顯比屋面的差，必須採用截汙裝置或初期雨水的棄流裝置。一些污染嚴重的道路則不宜作為收集面來利用。在路面的雨水口處可以設置截汙掛籃，或在適當位置設置其他截汙裝置。路面雨水也可以採用類似屋面雨水的棄流裝置。

e.停車場、廣場雨水截汙措施。

由於停車場、廣場上人的集中活動和車輛的洩漏等原因。雨水徑流水質容易受到污染，為保證雨水水質。需採取有效的管理和截汙措施，如停車場或廣場較大，也可以利用周邊的綠化帶設

計面積較大的生物滯留區(bioretention)，這也是一種生態型的雨水滯留、淨化設施，類似於低勢綠地，可以種植不同的花卉灌木，具有良好的景觀效果。

f.綠地雨水截汙措施。

綠地本身就是一種有效的徑流截汙淨化設施，還有調蓄雨水(低勢綠地)和增加雨水下滲量的功能，合理的設計可發揮綜合作用。當採用淺溝、雨水管渠等方式對綠地徑流進行收集時，還需要注意控制由綠地帶來的顆粒物、雜草等污染物、溢流台坎、濾網、掛籃等方式可有效地攔截雜草和大顆粒的污染物。

g.雨水調蓄

雨水利用系統中雨水調蓄的主要目的是為了滿足雨水利用的要求而設置的雨水暫存空間，待雨停後將儲存的雨水淨化後再使用。常用雨水調蓄方式、特點及適用條件如表 3-3。

表 3-3、雨水調蓄的方式、特點和適用條件

雨水調蓄的方式		特點	常見做法	適用條件	
調蓄池	按建造位置不同	地下封閉式	節省占地，雨水管渠易接入，但有時溢流困難	鋼筋混凝土結構、磚砌結構、玻璃鋼水池等	多用於社區或建築群雨水利用
		地上封閉式	雨水管渠易於接入，管理方便，但需占地面空間	玻璃鋼、金屬、塑膠水箱等	多用於單體建築雨水利用
		地上開敞式	充分利用自然條件，可與景觀、淨化相結合。生態效果好	天然低窪地池塘濕地，河湖等	多用於開闊區域，如公園、新建社區等
	按調蓄池與雨水管系的關係	線上式	一般僅需一個溢流出口，管道佈置簡單。漂浮物在溢流口處易於清除，可重力排空，但自淨能力差，池中水與後來水發生混合，為了避免池中水被混合，可以在調蓄池的入口前設置旁通溢流，但該方式調蓄池的漂浮物容易進入池中	可以做成地下式、地上式、地表式	根據現場條件和管道負荷大小等經過技術經濟比較後確定
		離線式	管道水頭損失小，離線式也可以將溢流井個溢流管		

雨水調蓄的方式		特點	常見做法	適用條件
		設置在入口上		
雨水管道調節		簡單實用，但調蓄空間一般較小，有時會在管道底部淤積。	在雨天管道上游或下游設置溢流口保證上游排水安全，在下游管道上設置流量控制閘線。	多用於管道調蓄空間較大時
多功能調蓄	靈活多樣，一般為地表式	可以實現多種功能，如削減洪峰、減少水滯、調蓄利用雨水資源，增加地下水補給、創造城市水景或濕地，為動植物提供棲息場所，改善生態環境	主要利用地形地貌等等條件，常與公園、綠地、運動場等一起設計和建造	城鄉結合部、衛星城鎮、新開發區、生態住宅區或保護區、公園、城市綠化帶、城市低窪地等

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

(三) 雨水處理與淨化

根據不同用途和水質標準，雨水一般需要經過處理後才能滿足使用要求。一般而言，常規的各種水處理技術及原理都可以用於雨水處理，但也要注意雨水的水質特性和雨水利用系統的特點。根據其特殊性來選擇、設計雨水處理工藝，以實現最高效率。

雨水處理可以分一般處理和非一般處理。一般處理指經濟適用、應用廣泛的處理技術，主要有沉澱、過濾、消毒和一些自然淨化等；非一般處理則是指一些效果好但費用較高或適用於特定條件下的的技術。如活性炭技術、膜技術等，另外雨水也可與建築廢污水一併經再生水處理措施淨化後回收利用。

建築師需要瞭解水環境專業的相關技術和理念，才能很好地在綠色建築設計中加以考慮和利用，如上述和後續的一些案例。在涉及雨水處理淨化技術的問題時，需充分利用場地地形和地貌特點，盡可能結合自然淨化技術。在達到綠色建築標準的同時又可節約資金達到美觀且實用的效果。

(四) 雨水利用

a. 雨水直接利用

雨水直接利用是指將各匯水面上的徑流雨水收集、調蓄後經過適當處理進行利用，即狹義的

雨水利用。收集處理後的雨水可用於綠化、噴灑道路、沖廁、洗車等，根據雨水的用途對水質的不同要求，選擇相應的處理技術。

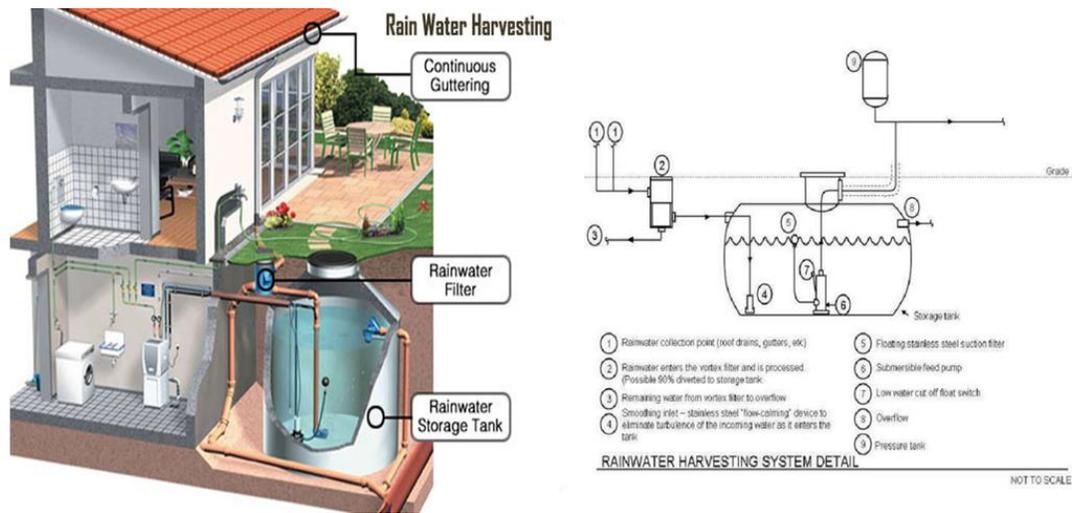


圖 3-11、雨水收集系統示意圖

(資料來源：Watertech Company，2016)

b. 雨水間接利用系統

雨水間接利用系統主要是運用雨水滲透技術，將雨水回灌地下，補充涵養地下水資源，改善社區生態環境，緩解地面沉降，減少社區水滯。

c. 水窪滲透渠組合系統

該系統多設計於公共建築場所及道路附近，通過雨水的分散控制來緩解城市排水管網的負擔，並涵養地下水資源。系統由上至下分為兩層，上層為種植草類植物的淺水窪，下層為滲透渠。通常，水窪層鋪設活土的深度不超過 0.3m，通過土壤與植物的處理作用淨化雨水，同時種植的植被綠化可以很好地融入到建築周圍的生態景觀當中。下層滲透渠一般填充高滲透性的棱柱狀顆粒，例如礫石或熔岩顆粒等，可儲存大量雨水。並逐漸將雨水釋放以補充地下水，多餘的雨水通過排空管排走。

d. 低勢綠地

綠地是一種天然的滲透設施，它具有透水性好、節省投資、便於雨水引入就地消納等優點；同時對雨水中的一些污染物具有一定的截留和淨化作用。目前中國城市規劃要求有較高的綠化率，可以通過改造或設計成低勢綠地，以增加雨水滲透量，減少綠化用水並改善環境。低勢綠地結構

設計的關鍵是控制調整好綠地與周邊道路和雨水溢流口的高程關係，即路面高程高於綠地高程，雨水溢流口設在綠地中或綠地和道路交界處，雨水口高程高於綠地高程而低於路面高程。如果道路坡度適合時可以直接利用路面作為溢流坎，從而使非綠地鋪裝表面產生的徑流雨水匯入低勢綠地入滲。待綠地蓄滿水後再通過溢流口或道路溢流。

e.滲透管

滲透管是在傳統雨水排放的基礎上，將雨水管或明渠改為滲透管或滲透渠，周圍回填礫石，雨水通過埋設於地下的多孔管材向四周土壤層滲透。

d.滲透淺溝

植被淺溝具有截汙、淨化和滲透的多種功能。當土質滲透能力較強時，可以設計以滲透功能為主的植被淺溝，稱之為滲透淺溝。淺溝作為一種滲透設施，主要是在雨水的彙集和流動過程中不斷下滲，達到減少徑流排放量的目的，滲透能力主要由土壤的滲透係數決定。由於植物能減緩雨水流速，有利於雨水下滲，同時可以保護土壤在大暴雨時不被沖刷，減少水土流失。滲透淺溝自然美觀、便於施工、造價低。由於徑流中的懸浮固體會堵塞土壤顆粒間的空隙，滲透淺溝最好有良好的植被覆蓋，通過植物根系和土壤中的生物作用保障土壤滲透能力。

e.滲透井

滲透井包括深井和淺井兩類，前者適用水量大而集中，水質好的情況，如雨季河湖多餘水量的地下回灌。在城區後者更為常用，作為分散滲透設施。其形式類似於普通的檢查井，但井壁和底部均做成透水的，在井底和四周鋪設碎石，雨水通過井壁、井底向四周滲透，

f.滲透池

滲透池(塘)是利用地面低窪地水塘或地下水池對雨水實施滲透的設施。當可利用土地充足且土壤滲透性能良好時，可採用地面滲透池。地面滲透池適用於匯水面積較大(>1hm²)，有足夠的可利用地面的情況，特別適合城市立交橋附近匯水量集中、排洪壓力大的區域，或者在新開發區和新建生態社區裡應用。滲透池(塘)一般與綠化、景觀結合起來設計，充分發揮城市寶貴土地資源的效益。

g.雨水花園

雨水花園是自然形成的或人工挖掘的淺凹綠地(如圖 3-12 說明)，透過生物截流和滲透作用，可用於彙聚並吸收來自屋頂或地面的雨水，通過植物、沙土的綜合作用使雨水得到淨化，並使之逐漸滲入土壤，涵養地下水，或使之補給景觀用水、廁所用水等城市用水。是一種生態可持續的

雨洪控制與雨水利用設施。另一種形式是雨水樹溝如圖 3-13 所示，植栽一排樹木，經過地下溝槽連接，設計有多層砂礫和土壤，用於存儲和過濾雨水徑流。

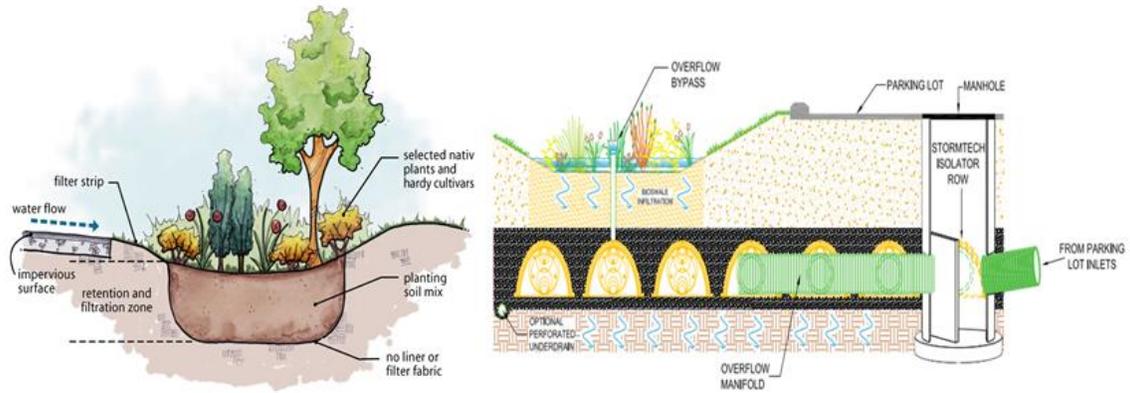


圖 3-12、雨水花園示意圖

(資料來源：Paulides J J., et. al., 2009)

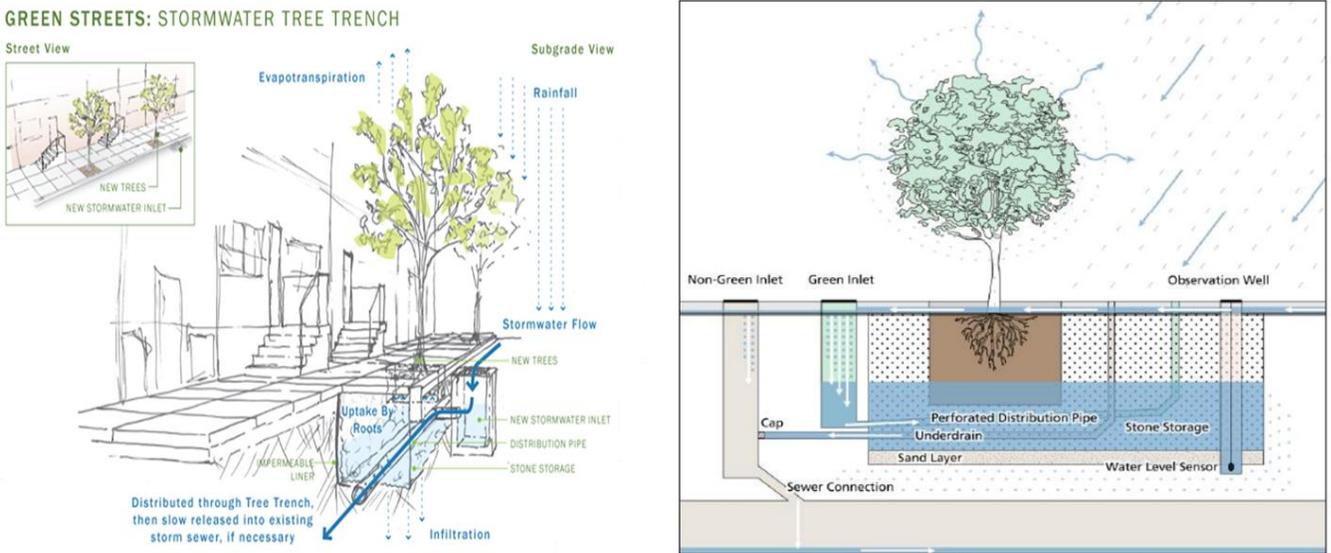


圖 3-13、雨水樹溝示意圖

(資料來源：Paulides J J., et. al., 2009)

3.2.1.3、生態音環境

(一) 基地內道路措施

建築基地內道路規劃設計中，應對道路的功能與性質進行明確的分類、分級，分清交通性幹道和生活性道路。交通性幹道主要承擔城市對外交通和貨運交通。它們應避免從城市中心和居住區域穿過，可規劃成環行道等形式從城市邊緣或城市中心區邊緣繞過。在擬定道路系統，選擇線路時，應兼顧防噪因素，儘量利用地形設置成路塹式或利用土堤等來隔離雜訊必須從城市中心和居住區域穿過時，可考慮採取下述措施：

- 將道路設計成半地下式，如結合地形將道路下沉佈置，以形成路塹式道路，或利用懸臂構築物作為防噪構築物，可以結合邊坡加固的需要一併考慮。
- 當幹道鋪設在水準地面上時，可結合地形，利用既有的綠化土堤作為與居住區的防噪屏障，綠化土堤的背向道路的邊坡可兼作居民休息地。當有城市建設中大量棄土可利用時，也可設置人造土堤隔離道路噪音，可考慮沿幹道兩側設置種植牆。在聲障朝幹道一側佈置灌木叢、矮生樹，美化街景，提高人的舒適度。

(二) 居住區規劃

在居住區生活性道路兩側可佈置公共建築或居住建築，但也必須仔細考慮防噪佈局。當道路為東西向時，兩側建築群佈局宜採用平行式佈局。路南側可佈置防噪居住建築，將次要的較不怕吵的房間，如廚房，廁所、儲藏室等朝街北佈置，或朝街一面設帶玻璃隔聲窗的同廊走道。路北側可將商店等公共建築或一些無污染、較安靜的小工廠集中成條狀佈置在臨街處，以構成基本連續的防噪屏障，並方便居民購物。南側也可佈置公共建築住宅綜合樓，將公共建築建在朝街背陰處，住宅佔據陽面。當道路為南北向時，兩側建築群佈局可採用混合式。路西臨街佈置低層非居住性屏障建築，如商店等公共建築、多層建築垂直于道路佈置。建築間的平行佈局可引起聲音在兩建築立面間反射，在臨街的地段，應當儘量避免。這時低層公共建築與住宅應分開佈置，方能使公共建築起聲屏障的作用。

建築的高度應隨著離開道路距離的增加而漸次提高，可利用前面的建築作為後面建築的隔聲屏障，使暴露于高雜訊級中的立面面積儘量小。隔聲屏障建築所需的高度，應通過作剖面幾何聲線圖來確定。

居住區內道路的佈局與設計應有助於保持低的車流量和車速，如採用盡端式並帶有終端回路的道路網，並限制這些道路所服務的住宅數，從而減少車流量。終端回路的設置可避免車輛由於

停車、倒車和發動所產生的較高的雜訊級。對車道的寬度應進行合理的設計，只需保持必要的最小寬度。如有可能，道路交叉口宜設計成 T 形道口，還可將居住道路網有意識地設計成曲折形。這些措施可使得人們低速並小心行駛，從而保持較低的雜訊級。

將居住區劃分為若干住宅社區，每個組團組成相對封閉的組群院落。一些公共建築或過渡性質的建築可佈置在臨近居住區級或社區級道路處，並作為社區或組團的入口。對鍋爐房、變壓器站等應採取吸音措施，或者將它們連同商店卸貨場佈置在社區邊緣角落處，使之與住宅有適當的防護距離。中小學的運動場應當相對集中佈置，最好與住宅隔開一定距離，或者用圍牆來隔離。有雜訊干擾的工業區必須用防護地帶與居住區分開，佈置時還要考慮主導風向。儘量不要把居住區佈置在工業區的下風位置。

3.2.2、提升能源效率

未來建築設計將以近零能耗(Nearly Zero-Energy Buildings, NZEB)或零能耗(Zero-Energy Buildings, ZEB)為主流，其整體概念即是高效能建築與電網的連結，使用再生能源以彌補其建築本身能源需求，近零能源即能源消耗與產出達到平衡，圖 3-14 說明歐盟對於 NZEB 與 ZEB 之定義，圖 3-15 說明建築物能源消耗與產出之平衡圖。

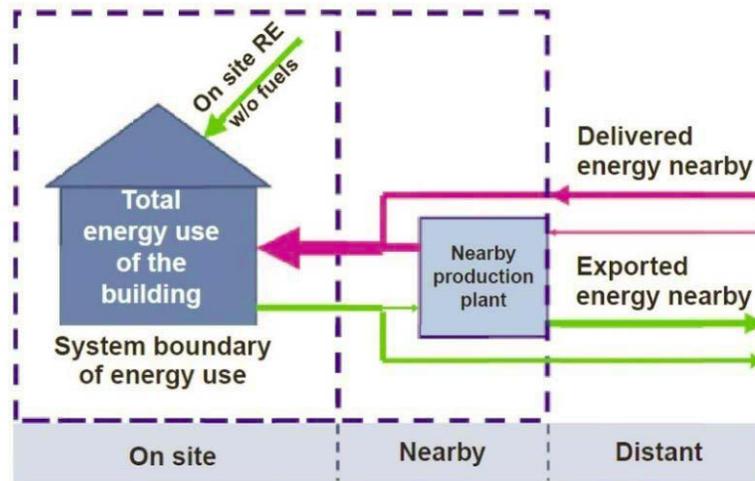


圖 3-14、歐盟對於 NZEB 之定義

(資料來源：European Commission, 2014)

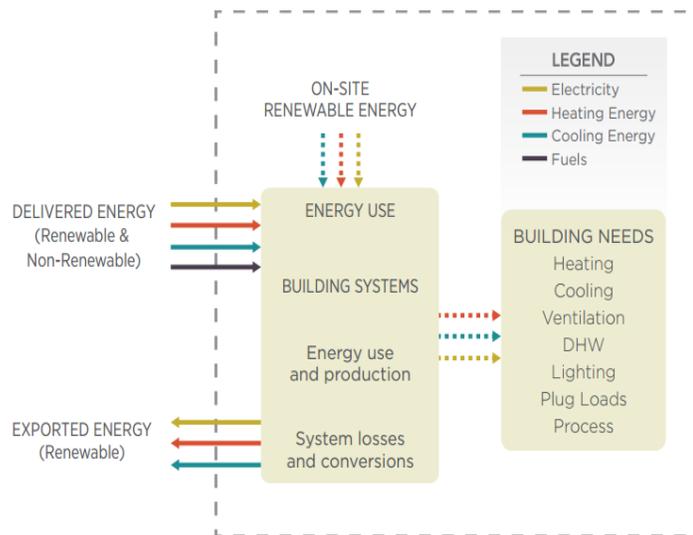


圖 3-15、建築物邊界內之能源轉移平衡圖

(資料來源：European Commission, 2014)

依據 NZEB 或 ZEB 之設計原則，近年來歐美等國紛紛發表相關建築能源政策，舉例來說，歐盟已宣佈 2020 年所有新建建築的節能標準必須符合 NZEB 標準，其推動歷程如圖 3-16 說明；英國更早於歐盟，率先公佈自 2016 年起，所有新興建的建築物都必須符合碳平衡的零碳排放標準，美國能源部訂出 2030 年前商業類新建建築需達到零耗能、2040 年前 50% 商業建築需達到零耗能，以及 2050 年前全面達到零耗能的目標，亞洲地區以日本為首，設定 2030 年為零碳建築的實踐目標年。

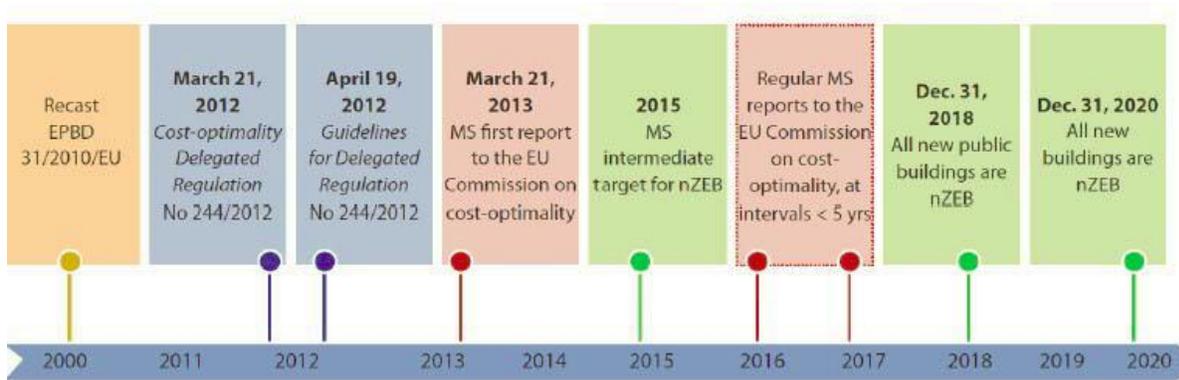


圖 3-16、歐盟零耗能建築的推動期程

(資料來源：European Commission, 2014)

建築耗能有廣義和狹義之分。廣義的建築耗能是指建築在其全生命期（包括原材料和產品生產、運輸、規劃設計、施工安裝、運行維護、拆除的全過程）所消耗的能量。其中，建築運行過程能耗約占整個生命期能耗的 75%~85%。狹義的建築能耗專指建築在運行過程中所消耗的能量，包括採暖、空調、通風、熱水供應、照明、炊事、電梯、家用或辦公電器等方面的能耗，其中冷凍空調的能耗約占建築運行能耗的 65%。由於建築能耗在社會總能耗中所占的重大比例，建築節能成為世界節能浪潮的主流之一。

影響建築冷熱能耗量的主要因素包括：(1)室內外溫差和輻射：由建築周圍的氣候條件和室內環境品質要求決定；(2)建築外殼結構面積：在採暖和空調條件下，建築外殼結構面積越大，冷熱耗量越大。(3)在盡可能減少建築外殼結構面積的同時，應充分考慮建築的自然採光和自然通風；(4)建築外殼結構熱工性能；(5)室內熱源狀況：包括人體、燈具、家電、廚房設備等。

因此，綠色建築能源系統及技術應用具有兩個方面的取向：其一，節流，在建築全生命週期內節約能耗，提高能源利用效率。其二，開源，在能源利用上盡可能減少或避免使用不可再生能

源，探求充分利用太陽能、風能、生物質能、水能、地熱能等各種可再生能源的方法和技術。

節能與能源利用相關的技術，主要包括建築外殼結構、冷凍空調、能源綜合利用、可再生能源利用以及照明與電氣節能等方面，以及施工和運營管理中的節能管理，每個方面從概述、適用範圍、技術措施、參考案例加以介紹，彙整說明如表 3-4。

表 3-4、節能技術的特點和適用條件

分類	節能技術	應用範圍
誘導式節能設計技術	遮陽一體化設計	固定式外遮陽
	室內通風、採光優化	整個建築
	光導管技術	大樓走廊
建築外殼節能技術	屋面保溫技術	屋面
	牆體保溫隔熱技術	建築物外牆體
	垂直綠化體系建築物	牆體立面
設備和系統節能技術	地源熱泵空調系統	重要空調佈置區
	溫濕度調控系統	公眾活動區
建築能耗類比系統	能耗類比軟體對建築物全年能耗監測	建築物整體
節能計量監控	監測建築物能耗	用電系統
可再生資源利用	地源熱泵空調系統	中央空調應用區
	太陽能系統	建築物整體
電氣設備應用設計	照明系統	建築物整體
	資訊機房熱管裝置	機房

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

3.2.2.1、建築外殼節能

建築外殼結構是建築節能的重要組成部分，其各部分節能技術的結合運用是能否達到節能標準的關鍵，也是降低空調系統能耗的關鍵。改善外殼結構隔熱性能，外殼節能三原則包含：隔熱遮陽、適當的創護開口率以及節能玻璃等，「窗面遮陽」因數是空調耗能的第二重大因數，在亞熱帶地區是節能最有效的方法之一，「開窗率」對空調耗能的影響約佔 40~50%，亦即開窗越大空調耗能愈高，一般的 RC 構造而言，通常辦公建築在 40%、住宅在 20% 的平均開窗率就已具備十分良好的採光眺望開口。遮陽可分為外遮陽和內遮陽，但以外遮陽為首要考量，水準遮陽可擋高傾斜角之輻射線，而台灣位於北緯，在建築南向立面最適合使用水準遮陽，台灣地區北向射入室內的輻射角度很低，適合垂直遮陽，格子遮陽東西向的效益也很卓越。廠房為追求明亮潔淨的印象，採用玻璃帷幕的立面，但日射量較強地區應以控制開口部大小，以降低日照熱度。

另外通過採用保暖隔熱性能好的新型牆體材料和建築材料，相關創新材料說明如下：

(一) 整合式陶瓷保溫薄板

以玄武岩棉等無機保溫材料或燃燒性能較高的聚氨酯(Polyurethane, PU)等有機保溫材料為保溫層，以多種裝飾效果 5~8mm 厚度的陶瓷薄板為防護及裝飾層，以無機複合片材為襯底材料，配以可調組合錨固件，通過工廠化預製工藝複合而成的集保溫、防火、裝飾、安全之整合式的新興節能產品。其適合用於舊建築改善，其優點包含具有極佳的、保色性、抗鹼性、耐水性、耐擦洗性、抗裂耐溫變、防水、耐磨、耐碰撞，且漆膜持久性高、附著力強、防黴效果極佳。

(二) 真空隔熱板

將高阻氣鋁箔複合膜應用於外殼牆，其中的鋁箔可以反射輻射熱；芯材為高效保溫材料，其自身的熱阻隔可減少熱傳導所帶來或帶走的熱量；通過抽真空封裝，徹底杜絕空氣對流引起的熱傳導。導熱係數極低，保溫效果可達到常規聚苯板的 5 倍，擠塑板的 4 倍，聚氨酯的 3 倍，單位面積品質輕，上牆後的安全係數高，使用年限與建築物同壽命；材料自身的熱穩定性好，熱脹冷縮係數小，不存在常規有機保溫材料的熱收縮性。

(三) 外牆外保溫系統

RW (岩棉)、EPS (聚苯板)、XPS (擠塑板)、SEPS (石墨聚苯板)、TPS (改性聚苯板)、PU (聚氨酯)、PF (改性酚醛板)、FPS (纖維增強聚苯顆粒保溫板) 系列。保溫系統可置於建築物牆體表面的保溫及裝飾系統，保溫效果優秀並且長期，節能保溫效果好。在建築牆體形成裝飾性完美、高強耐久性的裝配式成品一體化，從而實現建築牆體系統節能保溫、隔熱、防火、裝飾

耐久的一體多重功效。

(四) 雙層玻璃幕牆

雙層玻璃幕牆由內外兩道玻璃幕牆、其空氣間層以及進出風口、遮陽百葉等設施構建組成，可以有效減少建築冷熱負荷，提高自然通風率；此外還具有以下優點：可以為建築提供自然採光，避免開窗對室內氣候的干擾，使室內免受室外交通雜訊的干擾，夜間可安全通風。不足之處是如果採用過大的玻璃面積，會大大增加對太陽輻射熱的吸收，提高環境調控的難度。

(五) 水牆

在朝向陽光的外牆外側（或內側）附設的水管中、或埋設在牆體中的導管（一般多採用玻璃纖維管）內注水即構成水牆，也有利用盛水容器完全替代傳統石牆的水牆做法。由於水的比熱比磚石大，單位體積水的蓄熱效率更高。水牆一般運用於溫室植物栽培，用於住宅或辦公室則會因為室內溼度提高而降低人體舒適度。

(六) 整合式建築太陽能技術(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)

BIPV 係結合太陽能光電與太陽能集熱器，安裝在建築外殼結構外表面，或直接取代建築外殼結構，整合太陽光電設備與建材，即將太陽光電板作為建築迎光面的一部份，可直接利用太陽能。此外，該設施將太陽能轉化為電能的同時，利用集熱器中的流體將發電產生的熱量帶走並加以利用，綜合利用電能和熱能。然而，將 BIPV 作為取代建築外殼的一部份，必須同時克服建築結構強度以及後續維護的問題，以確保建築使用壽命。

3.2.2.2、建築空調節能

建築空調節能一般來說有兩項原則包含：減少空調時間以及做好自然通風；例如：簡單而淺的通風平面 平面避免過於深長的空間或過於複雜的隔離型式，應該拉長平面以增加通風面。或者是採用浮力通風，因為錯誤開口減低壓力梯度使浮力通風效果不佳的實例與修正。另外下面說明結合再生能源進行建築節能之創新技術：

(一) 整合式太陽能集熱技術

太陽能熱水系統是吸收太陽輻射來加熱水的裝置，除太陽能集熱器外，應採取熱水保溫加入輔助系統或儲熱措施來確保太陽能熱水系統全天候穩定供應熱水。太陽能集熱系統主要有太陽能散熱器集熱、太陽能地板輻射採暖技術和太陽能熱泵集熱技術等。

(二) 追日型光電系統之太陽能板

安裝太陽能板時，其面光角度非常重要，配合追日型光電系統，可根據不同緯度與季節，將面光角度最佳化，提升發電效率。優點與效益：根據太陽能板安裝地點與季節自動調整面光角度，以利達到最大輻射量，預估提升 20%~60%的發電效率。



圖 3-17、追日型光電設備示意圖

(資料來源：Germany, DEGERenergie GmbH & Co. KG, 2017.)

(三) 建築式風力發電技術

風能的利用主要是以風力發電為主，即風輪在風力的作用下旋轉，把風的動能轉變為風輪軸的機械能，發電機在風輪軸的帶動下旋轉發電。風能發電分別形式主要有三種：獨立運行、風力發電與其他發電方式相結合以及風力並網發電。針對建築式風力發電技術，主要問題在於葉片轉動造成的低頻噪音污染，因此葉片設計極為重要。按葉片設計方式可分為兩種，垂直軸風力發電機 (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT)及水準軸風力發電機(Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT)兩種。水準軸風機的葉輪圍繞水準軸旋轉，多數由 2~3 個葉片組成。葉片安置與旋轉軸垂直，工作時葉輪的旋轉平面與風向垂直，水準軸風力發電機技術成熟，風能利用率高，是目前風力發電機的主要形式。另外一種為垂直軸風機，其風輪圍繞一個垂直軸旋轉，風機塔架結構簡單，傳動機構和控制系統可以安裝在地面或者低空，修護方便。

另外，在風力發電技術蓬勃發展的歐洲，目前荷蘭正積極研發最新式的風力發電機，稱為風輪機，其創新點在於無葉片，並採用靜電風能轉換器技術(Electrostatic Wind Energy Converter, EWICON)，如圖 3-18 所示，EWICON 類型風輪機組件包括巨大的鋼管框架，內中有一系列水準裝置的絕緣管，絕緣管包含電極和噴嘴，兩者的作用是產生帶電粒子。當風吹入風機時，風沿著特定的方向推動帶電粒子，EWICON 中的電壓隨之改變，形成電場，從而產生電能。它與傳統風力渦輪發電機區別明顯，其優點因為沒有轉子與扇片等機械運動部件，可降低組件磨損及維護成本，可更減少低頻噪音，同時可保證居住品質與兼顧節能之功效。

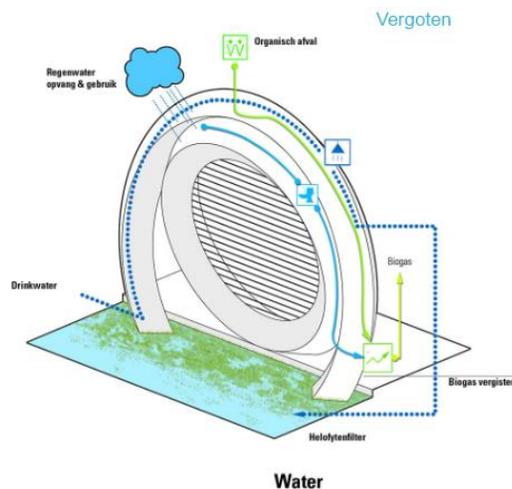


圖 3-18、EWICON 風輪機示意圖

(資料來源：Dutch Windwheel，2015)

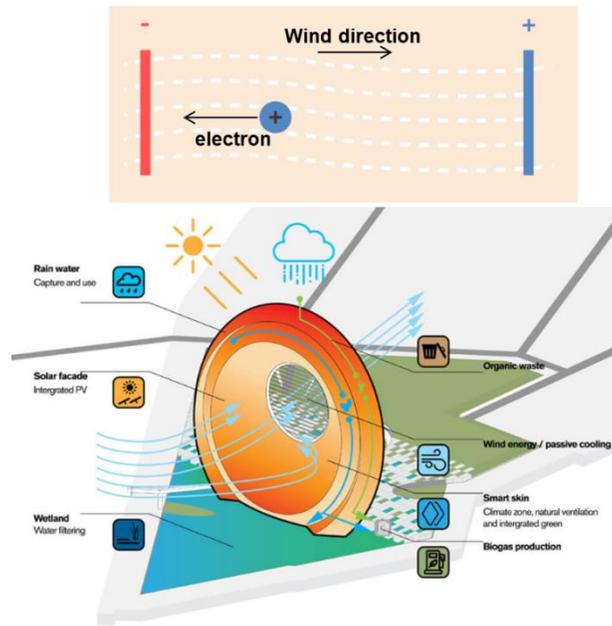


圖 3-19、EWICON 風輪簡易理論示意圖

(資料來源：Dutch Windwheel，2015)

(四) 建築式地熱能利用技術

目前聯合國發展計畫署(UNDP)與國際能源組織(IEA)等，已將地源熱泵之推廣應用作為節約能源、減少二氧化碳排放、改善地球環境的重要手段。聯合國發展計畫下屬的全球環境基金(GEF)與中國政府合作的二氧化碳減量計畫已納入地源熱泵技術，地源熱泵空調系統主要由3部分組成，即熱泵系統、末端空調系統和地源熱交換系統。熱泵系統由壓縮機、四通閥、冷凝器、蒸發器和節流閥組成，通過製冷劑的循環可實現夏季供冷和冬季供熱。末端空調系統可採用風機盤管系統與低溫地板採暖系統。地源熱交換系統由熱交換器和管路組成，是地源熱泵技術的關鍵部分。

對於地熱的應用，以淺層地熱能為主，透過水源熱泵、土壤源熱泵技術，通過熱交換系統與岩土體、地下水（地表水）的熱能進行交換，並將低位熱能轉移至高位熱能，可作為輔助建築物的空調系統；水源熱泵是以地表或淺層水源作為熱源的熱泵，包括地下水源熱泵、地表水源熱泵和污水源熱泵等；土壤源熱泵利用地下土壤作為低位熱源，通過作為熱載體的迴圈介質（水或防凍液）在埋設於地下的封閉管路中進行閉路迴圈流動，實現不同季節系統與土壤之間傳熱的地源熱泵系統。此外，地熱能可作為輔助建築空調系統之熱源，如圖 3-20 所示，運用上述地熱泵傳輸抽取地熱水過程中所排放的冷氣並收集之，導引至建築室內並同時將室內熱源排回地底，可有效降低室內溫度與冷房耗能，地熱能作為輔助熱源亦可提高空調系統主機的蒸發溫度，可改善壓縮

機工作環境，延長空調機組的壽命。

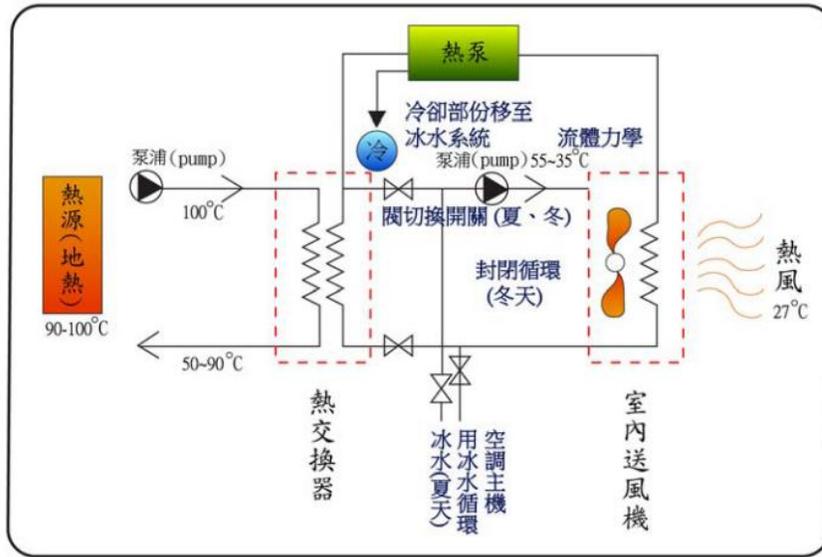


圖 3-20、地熱輔助空調系統示意圖

(資料來源：張，2012)

(五) 全熱交換器

全熱交換器是作為排風與送風交替並達到熱交換作用的設備，廢氣中的主要能量通過轉輪介質傳遞到送風中，基於可交替的空氣流通方向。同時擁有溫度與濕度交換的能力與較高的熱交換效率。於 200 Pa 的壓降的條件下全熱交換器正常能達到 70-90%的節能效率，即通過調節電機轉速來改變效率。全熱交換器主要應用於送排風管道，空氣從不同的方向通過轉輪芯體，達到熱能回收效果。兩股氣流同時不斷的通過轉輪，轉動一圈後轉輪會被加熱和冷卻，並將排風中熱量通過轉輪輪芯傳遞到室外空氣。以冬季為例，室內的回風通過熱交換器的上半部分，排出到室外。此時，外氣中所包含的大部分熱量和濕氣，聚集在轉輪中，排到室外的只有被污染了的空氣。另外，從熱交換器的下半部分引入的室外新風，通過轉輪時，獲取轉輪中所聚集的熱量和濕氣，進行預熱，同樣夏天時有保冷、除濕作用，連續不斷地向室內供給流通空氣。(如圖 3-21 所示)

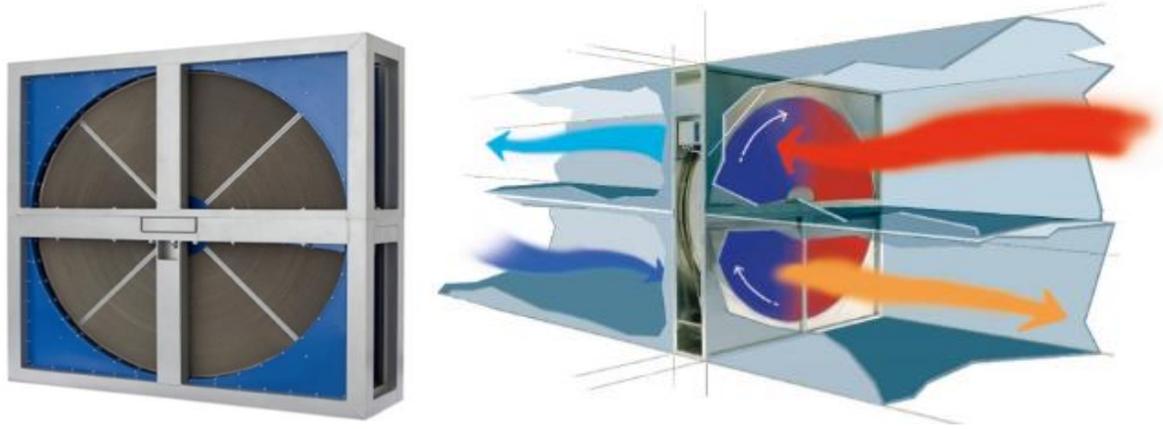


圖 3-21、地熱輔助空調系統示意圖

(資料來源：奧斯柏格通風設備有限公司，2015)

(六) 誘導式房屋

誘導式房屋概念最早源自於瑞典隆德大學與德國誘導式房屋研究所於 1988 年 5 月所提出。通過一系列研究以及政府資助，逐步建立誘導式房屋的概念。1990 年最早的一批誘導式房屋在德國達姆施塔特建成。1996 年誘導式房屋研究所在達姆施塔特成立，致力於推廣和規範動式房屋的標準。此後有越來越多的誘導式房屋落成。一般誘導式房屋可解釋為沒有安裝冷暖空調的房子，只依賴建築外殼進行遮陽隔熱等，但誘導式房屋更納入了健康舒適居住環境的要點，例如將室內二氧化碳維持在 1000ppm 以下，而且減少室內結露所造成的黑黴菌發生；以室內舒適溫度來說，夏天維持在 25 度以下，在冬天則維持在 20 度以上，並且避免冷風的出現，同時兼顧節能與舒適度，誘導式房屋示意圖如圖 3-22 所說明。誘導式房屋不僅適用於住宅，還適用於辦公建築、學校、幼兒園、超市等，目前適用於全世界 80% 以上的地區。截至目前，全世界共有將近 2 萬棟誘導式節能屋，主要分佈在德語系國家與斯堪地那維亞半島地區。自 2012 年起，國際誘導式房屋技術陸續引進亞洲區，於 2014 年台灣已有獨家專業技術公司導入建築市場，目前台灣已有一件被德國誘導式房屋機構(Passivhaus Institut)所認證之案例，並針對台灣氣候進行在地化的調整，推廣至獨棟住宅和大型集合住宅使用。

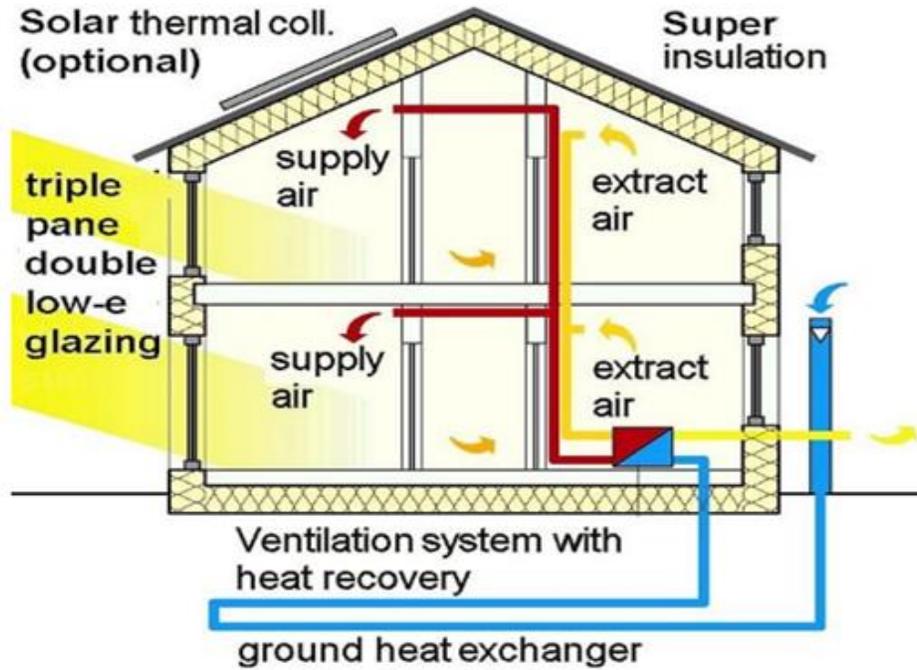


圖 3-22、誘導式房屋示意圖

(資料來源：One Sky Homes Co. Ltd., 2015)

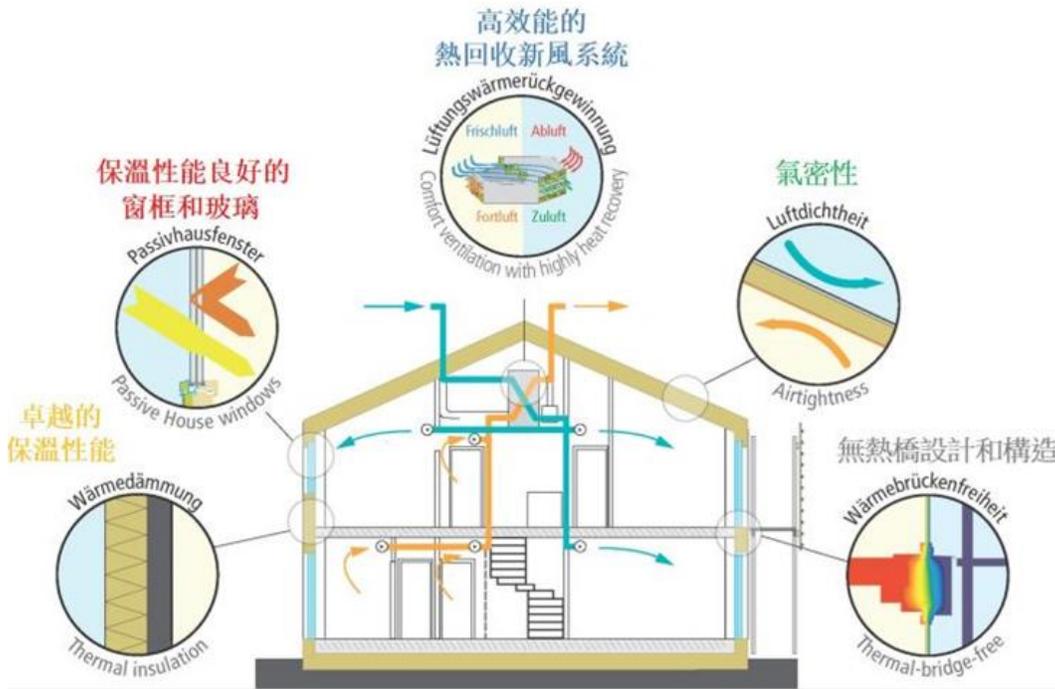


圖 3-23、誘導式房屋五大原則

(資料來源：Germany, Passive House Institute, 台灣誘導式房屋協會., 2015)

(七) 燃料電池技術

日本為提升全球變暖問題能源供應的效率，解決區域環境問題以及推進節能減排發展燃料電池技術和氫能技術（氫的生產，運輸，儲存和供應技術），減少對環境的影響及能源多樣化之新產業創造。

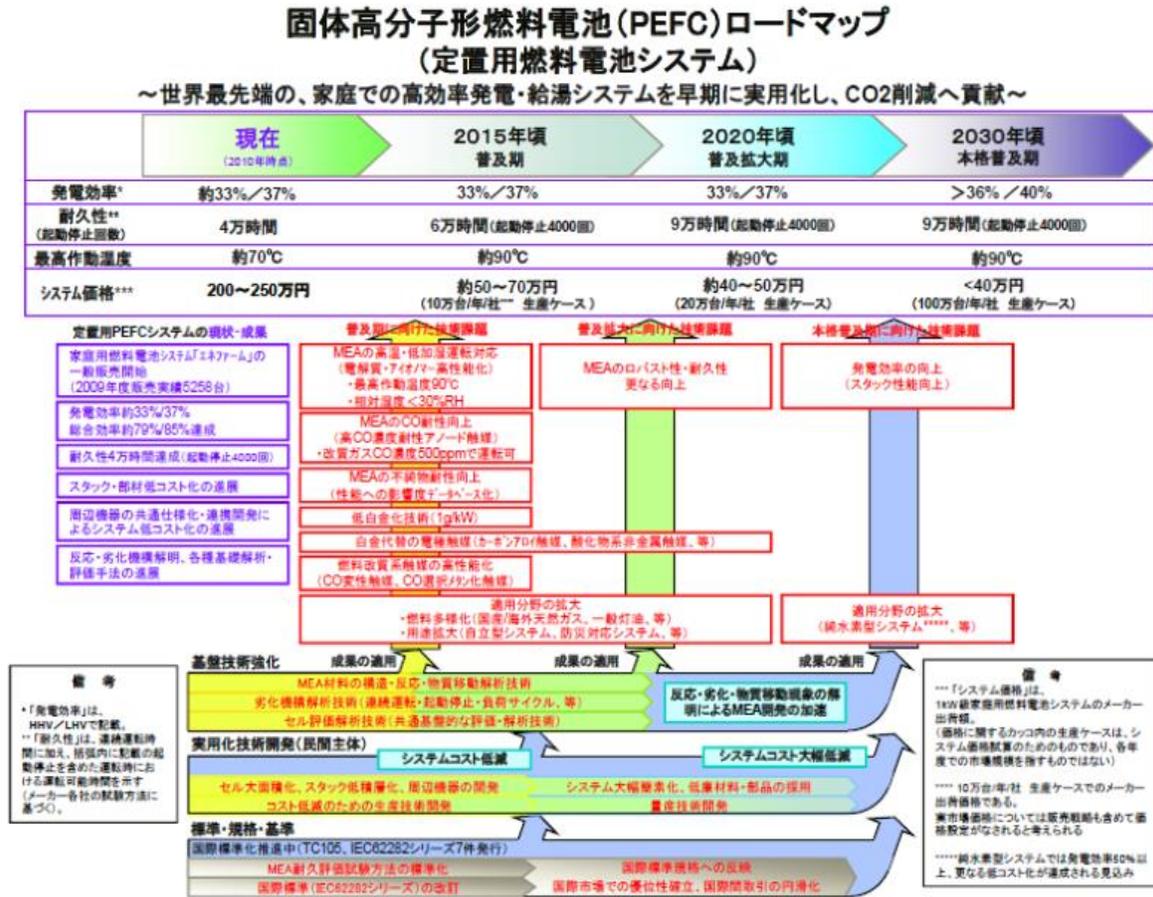


圖 3-24、日本燃料電池技術發展路線

(資料來源：New Energy and Industrial Technology Development Organization, 2016)

(八) 太陽能輔助電梯創新設計

將傳統電力供應電梯改裝成太陽能與電能混合動力系統(Feist et al., 2005)，詳如所示；其可依據不同地區太陽光照時間與強度進行靈活改進，每年最高可節省 50%的電力資源。



圖 3-25、太陽能輔助電梯設計

(資料來源：Ng et al., 2016)

3.2.2.3、建築照明節能

照明節能原則包含：提高設備效率與善用區域照明；必須選用好的照明光源與安定器，並適當的提升空間照明密度，例如：採全般照明方式使室內空間有許多共同使用時，將對作業面全部給予均勻之照明；或採局部全般照明方式使背景照明的照度較小，但在作業面與重點處卻可得較高的照度，並大大的減少其它不必要的照明，達到最有效的節能；以及作業面重點照明之空間，即只對重點處或該一作業面而用之照明。國內外照明產業技術發展指標與時程彙整與表 3-5，以下說明照明節能技術：

(一) 照明系統與節能燈具

照明系統的節能主要是通過採用節能燈具和智慧照明控制系統實現的。在滿足照明品質的前提下，選用光效好、顯色性好的光源及配光合理、安全高效的燈具。目前使用較為廣泛的節能燈具有 T5 螢光燈、LED 燈等。另外，推廣使用低能耗性能優的光源用電附件，如電子整流器、節能型電感整流器、電子觸發器以及電子變壓器等，公共建築場所內的螢光燈宜選用帶有無功補償的燈具，緊湊型螢光燈優先選用電子鎮流器，氣體放電燈宜採用電子觸發器。

(二) 智慧照明控制系統

在建築的實際運行過程中，可導入智慧照明控制系統以降低能源浪費，如照明系統的分區控制、定時控制、自動感應開關、照度調節等措施對降低照明能耗作用顯著。照明系統分區控制亦需滿足自然光利用、功能和作息差異的要求。公共活動區域、大空間及室外照明可採取定時等成都控制或者光電、聲控等感應控制。

(三) 供配電系統

供配電系統主要是針對節能變壓器的選用以及對電能品質的管理。可通過以下措施有效減小變壓器自身的電能損耗、提高哦那個配電系統的電能品質。合理選擇配電用變壓器：選擇自身功耗低的變配電設備、國家認證機構確認的節能型設備、符合國家節能標準的配電設備。降低用電設備配電線路的損耗：變壓器靠近負荷中心，縮短線纜、母線長度；進行電容器補償提高設備的運行功率因數，降低線路的運行電流；抑制諧波電流在線路中的含量。

表 3-5、國內外照明產業技術發展指標與時程

技術項目		國外發展指標	國內發展指標
LED 照明	光引擎封裝	光引擎達 70%	國內已有 LED 電控 IC 但尚無封裝系統
	驅動電源	2020 轉換效率 90%	2020 轉換效率 92%
	智慧化 LED	已有初步發展技術但尚未普及	自動調光及調色溫燈控制系統
智慧照明系統	系統軟體	數位元元元照明時程、模式、場景與照明度	網路控制平臺、光環境設計與控制技術、照明管理系統資訊化
OLED 照明	OLED 元件	發光效率達 114Lm/W，發光面積達 1cm ²	發光效率達 110Lm/W
	大面積技術	發光面積達 144cm ²	發光面積達 100cm ²
	封裝技術	阻水氣率<10 ⁻⁶ g/m ² day	阻水氣率<10 ⁻² g/m ² day
	驅動電源	2020 轉換效率 93%	2020 轉換效率 93%

(資料來源：Norman Bardsley, 2013)

3.2.3、促進循環減廢

循環減廢概念即建築物從設計、建造到營運等階段，能降低廢棄物與污染物產生，及溫室氣體排放，並更進一步將相關廢棄物進行回收再利用，逐步實現建築物從「搖籃到搖籃」物料供應系統之理念，下列說明循環減廢相關創新技術。

3.3.3.1、建築廢棄物循環資源化技術

建築廢棄物之循環再利用，首先，需要建築師在建築設計中具有自覺意識，可以將利用建築廢棄物作為設計創意構思的來源。

(一) 廢棄物回收箱

透過建立廢棄物回收箱，除了一般垃圾箱之外，建造商可鼓勵居民將廢棄物循環再利用。依據建築類型與廢棄物種類選擇垃圾箱數量、規劃和廢物回收類型（紙，塑膠，罐頭，玻璃等）。目前電子產品廢棄物也是主要問題，大部分電子產品和電器都可以回收利用，透過金屬提煉、修復與翻新後提升再利用的可能性，因此，提供電子產品回收箱，包括終端電子電器與消耗品如電池等，可提高回收率，亦避免焚燒產生的危害。垃圾回收箱設計可內置壓縮機藉此提升容量空間，提高廢棄產品的回收率，在壓實操作上亦可使用再生能源。

(二) 多重廢棄物回收滑槽

廢棄物回收滑槽於歐美國家的公共住宅很常見，可在單一位置多向收集各戶的廢棄物。然而，常常被某些不實施垃圾分類的人們濫用。因此可考慮採用雙重或多重廢棄物滑槽，專門用於某些廢物處理類型，藉此提升回收率。例如建置有機物單獨廢棄物滑，使有機廢棄物可以轉用堆肥。

3.3.3.2、水資源回收技術

「開源、節流」是綠建築水系統規劃的兩個方面。其中，水資源的「開源」具有很大的潛力，可以採取的措施主要是對非傳統水源的利用。該「非傳統水源」是指不同於傳統地表水供水和地下水供水的水源，包括再生水、雨水、海水等。

(一) 建築中水再利用

中水是指污水經適當再利用處理後具有一定使用功能，亦可稱為再生水，此處的污水主要是指建築物中各種排水經處理後，達到規定的水質標準，可在一定範圍內重複使用的非飲用水。對於建築中水的處理可以分為分散處理（建築中水就地處理回用）或集中處理再生利用（市政再生

水) 兩種方式。市政再生水系統在一定的輸水距離內制水成本與分散處理相比較低。故當距建築 10km 之內有市政再生水廠，且再生水系統內無重污染工業廢水影響再生水水質時，宜優先採用市政再生水。如建築 10km 以內無市政再生水系統，則對於建築可回收水量大於 $100\text{m}^3/\text{d}$ 的居住區和集中建築區，設置建築中水就地處理回用系統。

中水是指廁所、雜物間、淋浴及洗衣機所產生之污水，家庭污水有 80% 都是中水，其中包含許多可回收的水資源以及對植物與土壤微生物有用的營養源。中水系統的概念就是收集並有效利用這些水源與營養源，簡易作法例如廚房流理台水槽上可設置回收盆，或者是將洗衣機的排水管接到戶外的植物進行灌溉等等，然而，中水卻必須立即使用，因為一旦儲存時間過長，會隨著水中有機物分解而導致惡臭，降低居家環境品質，因此，可在植物與土壤接觸之間避免中水的沉積。一種於地表下所設計的創新中水過濾器 (Watson-wock 過濾器)，如圖 3-26 所示，將多孔隙塑膠包覆著細小石頭埋入土壤中，接著將作物種植在上面，中水通過過濾器之後，可將部分營養鹽保留在過濾器中，並讓植物得到良好的生長環境。透過將淨水廠模組小型化，使其可以安裝在大型建築內部，用以回收處理建築物中水。為一種小型整合式沉澱、生物處理、過濾與消毒之淨水設備。其優點與效益包含具有較高的中水回收效率，較低的污染物殘留，無需反沖洗和較低的能源需求。



圖 3-26、Watson-wock 過濾器示意圖

(資料來源：本計畫蒐集)

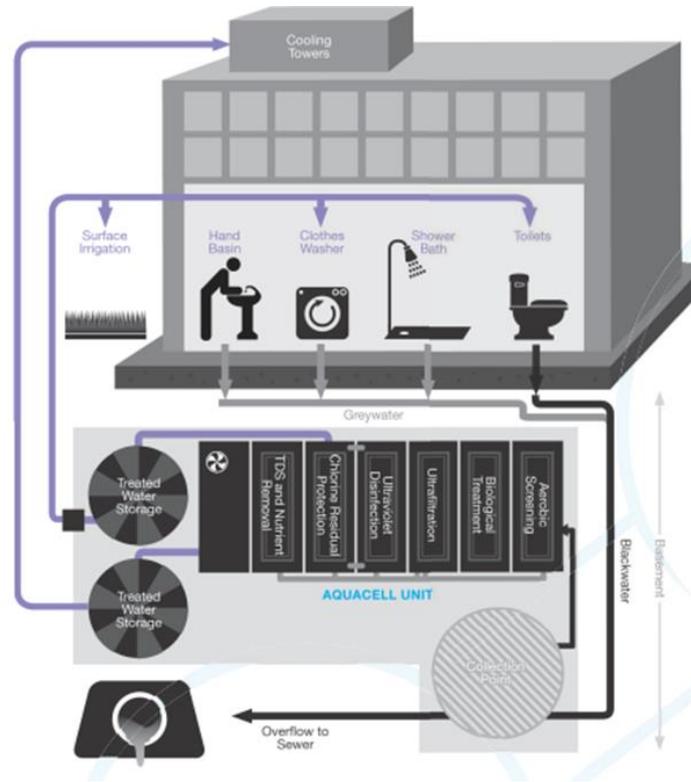


圖 3-27、建築中水回收淨化系統示意圖

(資料來源：USA, PHOENIX Process Equipment., 2017)

(二) 建築雨水利用

雨水收集即「雨水收集與利用系統」，是指收集、利用建築物屋頂及道路、廣場等硬化地表匯集的降雨徑流，經收集—輸水—淨水—儲存等管道積蓄、雨水收為綠化、景觀水體、洗滌及地下水源提供雨水補給，以達到綜合利用雨水資源和節約用水目的。具有減緩城區雨水洪澇和地下水位下降、控制雨水徑流污染、改善城市生態環境等廣泛的意義。其中主要包括雨水管和雨水儲槽和水池的使用。收集雨水首先要有一個集水面，再配一套輸水管，最後是蓄水池或雨水撲滿，蓄水池通常是設置在地下室以節省建築空間（如圖 3-28 所示）。

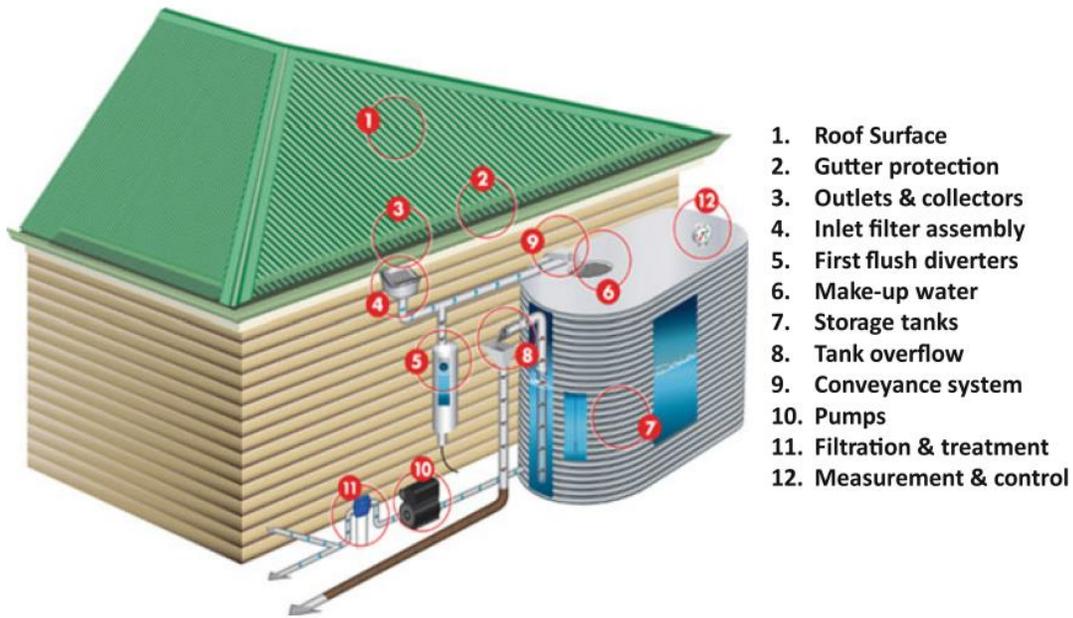


圖 3-28、建築雨水收集系統

(資料來源：Rainwater Harvesting SupplyCompany, 2016)

目前雨水回收儲水設備及過濾設備皆已達到商業化水準，整體雨水回收再利用系統包含回收系統、雨水回收過濾器、儲水槽、雨水貯留滲透系統等，可依據不同需求並符合設計規範建置適合的建築雨水收集系統，例如：依據建築物雨水貯留利用設計技術規範，雨水貯留利用率 R_c 值的合格基準應大於 4%；雨水收集流程包含：雨水自屋簷天溝收集下來後，經由雨水回收濾槽過濾雜質，乾淨的雨水被儲存於雨水儲水槽內，儲水槽的容積可以依照實際需求串聯擴充，只需要使用一組或多組擴充墊圈來串聯 2 個或更多儲水槽即可，之後雨水透過沉水泵浦抽至庭園澆灌取水箱，庭園澆灌取水箱供庭園澆灌；目前部分商業化的雨水儲水槽包括了 PPC 組合式地下儲水槽或 FRP 組合式雨水儲水槽（如圖 3-29 所示），並內置過濾器，其優點為雨水回收率達 95%、自動排汙功能、拆卸方便等。另外還有箱型雨水貯留再利用系統，較適合公共場所及工廠等區域，因為此設備擁有極度的載重負荷力，車輛載重的設計使其每平方公尺可以長時間承受約 3.5 噸的重量，排列方式設置為一系列一系列或是積木堆疊的形式，但必須依據當地狀況及想要的儲存容量做調整。



圖 3-29、組合式雨水地下儲水槽

(資料來源：Battenfeld GmbH Solingen, 2014)

(三) 建築蓄洪

建築蓄洪即針對雨水調節與儲存兼顧。雨水調蓄屬於雨水利用系統，一般在雨水利用系統中以調蓄池的形態存在，雨水調蓄不僅僅可儲存雨水，在對雨水的收集上，也起到相應的作用。在進行雨水調蓄設計時，需進行水量平衡分析並防止雨水對原水體污染。利用建築基地內低窪地作為蓄洪設施，可達到有限土地資源多功能開發的目標。具備蓄洪作用的景觀綠地包括下凹式綠地、雨水花園、樹池等。

綜合來說，考量兼具收集、儲存和回收功能的雨水回收利用系統可以將防洪、節水、保護環境等作用綜合起來，是應加以推廣的雨水利用方式。雨水利用應因地制宜，針對不同項目採取相應措施。例如對於佔地面積大、屋面集中的公共建築，可以將屋面雨水蓄集利用或園區雨水綜合收集利用結合起來。對於佔地面積大但建築和屋面分散的居住小區，更適於採用設置綠地雨水滲透利用和地面雨水滲透利用的方式。

(四) 提升用水效率

直接減少建築物用水量最佳方法為提升用水效率，並立即監測節水量以呈現節水成效。下列彙整八種居家型節水技術，透過安裝一些簡便型的節水措施，以提升用水效率，詳情如表 3-6 所說明：

表 3-6、居家型節水技術說明

技術名稱	技術說明	節水成效	參考來源
水龍頭節水配件	於水龍頭上加裝整合式曝氣器和充氣器，可以降低出水流速與飛濺現象，同時增加潤濕效果	40 – 80 % 用水量	DrainWorks 2014
高效率蓮蓬頭	將水流與空氣充分混合，提升濕潤度並降低水量	25 – 60 % 用水量	DrainWorks 2014
高壓噴嘴	以強力水柱噴射力進行廚房碗盤清潔，提高洗滌效果並降低用水量	—	—
自動停水式蓮蓬頭與水龍頭	達使用設定之用水量，便會自動切斷開關，可減少用戶使用後忘記關閉水源，大多可設置於公共廁所和浴室。	—	—
感應式水龍頭	於水龍頭安裝紅外線感應器，並調節用水量。然而部分感應器的敏銳度還有待提升。	50 – 70 % 用水量	DrainWorks 2014
即時熱水器	即時熱水器上安裝溫度指示器，可減少水加熱時間進而降低用水量。	—	—
低容量與多選項沖洗水箱	於馬桶安裝不同流量之水箱，使用者可依據其需求選用沖水量，可大量節省用水量。	—	—
免沖水小便器	小便器中裝有密封液體(例如：油)的裝置，使尿液單向通過廢水系統閥門。利用兩個液體之間的密度差，使尿液通過液體密封閥，如圖 3-30 所示。	1600 億噸水/每年()	ZME Science 2013

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

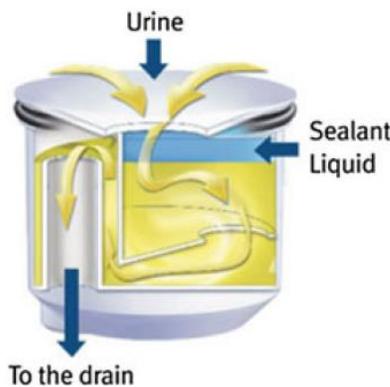


圖 3-30、免沖水小便器示意圖

(資料來源：ZMEScience, 2013)

(五) 黑水處理系統

污水即為家庭或辦公大樓廢水中，來自廚房與廁所含有的肉類血液或清洗蔬菜帶有農藥的廢水，往往帶有致病性微生物，一般處理方式也是經由污水下水道與化糞池處理，然而，採用人工濕地處理黑水被視為比較新穎的作法，透過自然工法的生物處理，比一般污水下水道處理方式更具生態性及經濟性。據統計，若每日節省超過 100,000 升的飲用水或每年超過 3,000 萬升，將飲用水量減少高達 90%。廢水從建築物下水道收集並接收相鄰的市政下水道補充的廢水。於辦公建築設置污水處理系統，如 Aquacell 薄膜生物反應器，廢水可被收集再初級池和平衡池中去除懸浮固體物，接著送往建築物地下室的小型污水處理廠中，運用生物處理和薄膜超濾結合的方式處理污水。經處理的廢水具有高濃度的鹽，再通過反滲透去除。剩下的鹽水被送到市政下水道。使用雙重消毒（紫外線和氯氣）來確保再生水對於建築物再利用的安全性。回收的廢水在被泵輸送回建築物中的水再利用系統前，存儲在再利用水池中。如果系統離線或沒有足夠的流量，飲用水可以作為補充添加水，如圖 3-31 所示。

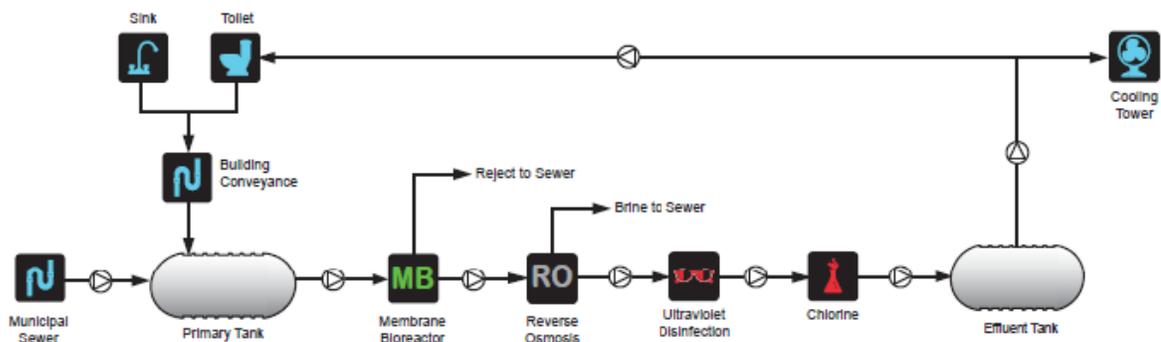


圖 3-31、建築污水處理技術案例示意圖

(資料來源：雪梨中央商務區)

(六) 堆肥廁所

堆肥廁所是由一個馬桶座便器以及一個糞尿儲存容器，該容器安裝在座便器下方，透過好氧反應處理糞尿，再作為堆肥用之有機物，此種方法具備生態性也不易飄散異味，糞尿儲存容器可安裝攪拌器，使微生物環境達到好氧效果，當內容物達容量的三分之二時，可打開容器下方，部分被分解的有機物會流到下方進行最後的分解及乾燥作用，當整個程式完成之後，裝置最底部的儲藏箱會被移走和清空，將堆肥後的有機物作為有機肥料，通常一年只須清理四次，透過堆肥廁所的作法，可將人類糞尿有效的運用，也減少水資源使用以及其他處理成本。

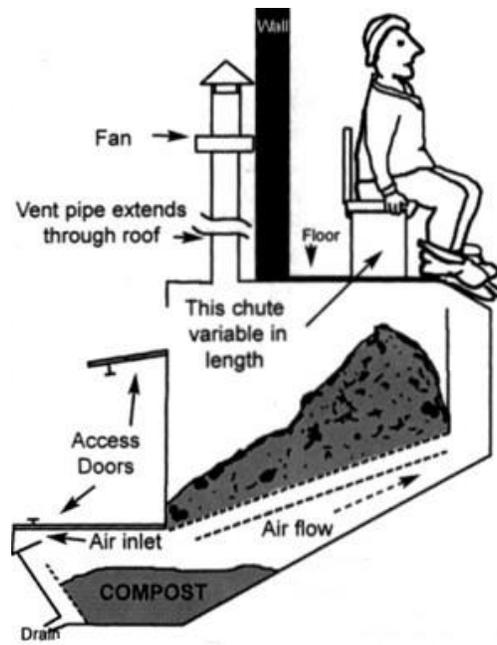


圖 3-32、堆肥廁所示意圖

(資料來源：本計畫蒐集)

3.3.3.3、建材再利用與施工最佳化

一般建築物於建造施工過程中，往往產生一些廢棄建材，另外考量整個建築物生命週期，於維修或翻新時也會產生一些廢棄建材，如果可將這些建築廢資材進行完整規劃再利用的途徑，即可達到減少建築資源浪費。下列說明建材施工最佳化相關技術：

(一) 施工建材之最佳化使用

建築師需考慮施工順序如何影響建築廢棄物之產生，並與承包商和其他專業分包商合作，在不影響設計理念和安全性為前提下，將廢棄物產生最小化。可通過使用較少材料與簡化式結構進行，例如，使用鑄造用之鋼筋混凝土與可重複使用/模塊作為建築主體。另外，多方協調可減少現場資源的浪費。例如機械，電路和管線的配置圖佈局與配送路線最佳化，可減少工人工作量，並提升建材供應與包裝效率。此外，建築物可於設計階段運用於靈活性高的結構，例如固定式機械工具與易拆卸的元件，並納入易拆解之功能性考量，避免使用膠合和復合材料以增強建築結構靈活性。

(二) 預製體積建設

預製體積建設(Pre-fabricated and Pre-finished Volumetric Construction, PPVC) 是一種新穎的建築方法，將獨立完整體積的模塊，對於房間的牆壁與天花板，於工廠事先進行製造，然後“樂高式”推疊成完整的建築物，以 PPVC 方式不僅使得建造過程更安全，品質更有保障，也有效減少廢棄物，PPVC 也可以加快施工速度，節省人力資源，預估可提高 50% 的生產率，同時還可以減少灰塵與噪音污染，提高施工現場安全與建材使用效率。例如在新加坡，PPVC 已被政府廣泛推廣應用於預售屋的建造(BAC 2016)，PPVC 施工示意圖如圖 3-25 所示。非現地製造之建築的好處主要包括了降低廢棄物產生，特別是廣泛運用工廠內所製造的元件，例如：建築木材、預製規格鋼筋框架以及混凝土等等。



圖 3-33、預製體積建設 PPVC 示意圖

(資料來源：Heng, 2016)

的裝置，提高建築外牆表面溫度，有利於建築保溫；在夏季，則可以利用熱壓原理將熱空氣不斷從夾層上部排出，達到降溫的目的。對於高層建築來說，直接對外開窗容易造成紊流，不易控制，而雙層維護結構則能夠很好的解決這一問題。

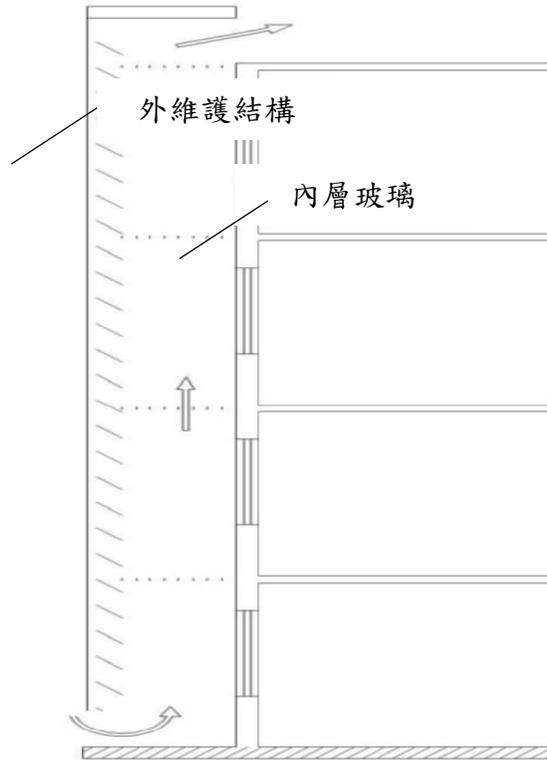


圖 3-34、雙層維護結構

(資料來源：香港綠色建築科技網)

b. 光電動力通風窗

主要是把光電發電技術、動力通風器、智慧控制和窗戶相整合而成的一體化通風裝置，更適合普通民用建築使用。新型通風窗在系統構成上分為兩部分（圖 3-35）：光電電路系統和通風系統。白天，太陽電池工作，為蓄電池和直流風機提供電力，夜間和陰雨天時，蓄電池存儲的電力作為直流風機的動力來源。通風系統主要由進風口、空腔、空氣淨化裝置、直流風機和出風口構成，室外新風通過上述路徑進入室內。

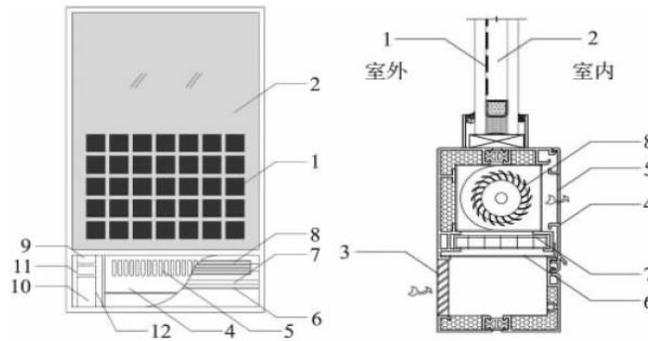


圖 3-35、(左) 光電動力通風窗室內立面圖；(右) 光電動力通風窗縱剖面圖

(資料來源：香港綠色建築科技網)

c. 太陽能煙囪

主要是將自然浮力通風技術和新能源開發利用兩種手段有機結合起來，基於建築物高度引起的壓力差來達到自然通風的目的。它利用太陽輻射作為動力，為空氣流動提供浮升力，將熱能轉化為動能，太陽能煙囪原理如圖 3-36 說明。

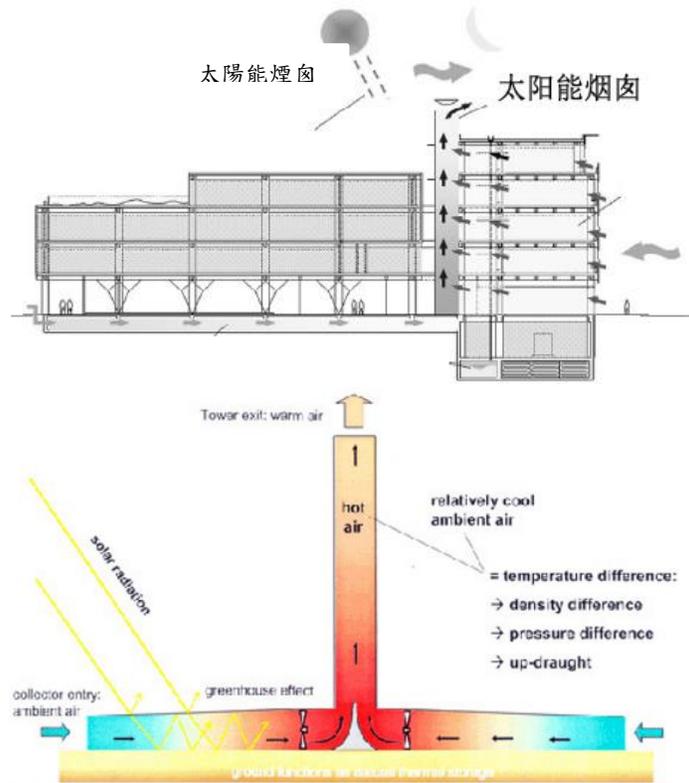


圖 3-36、太陽能煙囪浮力通風原理

(資料來源：American Broadcasting Company, 2011)

d.改進室內氣流組織設計

室內氣流流向應當避免與自然通風氣流對立，以維護通風效率。對於居家廚房、廁所及其他易產生臭味和空氣污染物的室內單元，在室內風道設計時，可設置機械排風等裝置以生成負壓單元，使其至於空氣流通的下游。對於有供暖及製冷需求的建築物，合理設置垂直風道可提升暖(冷)氣團的利用效率。針對高大空間的公共建築，如劇場、歌劇院、體育場等，中國大陸規定其冷凍空調設計圖紙應該有專門的氣流組織設計說明，提供射流公式校驗報告，末端風口設計應有充分的依據，並在必要時提供相應的模擬分析優化報告。美國 ASHRAE 標準建議通風口開口面積須大於該房間淨面積的 8%，且不小於 2.3 m²。同時，單側通風房間的進深不超過房間淨高的 3 倍；穿堂風房間的進深不超過淨高的 5 倍。

(二) 維護室內空氣品質

為了維護室內空氣品質，避免建築建造及裝潢過程產生過量的甲醛、VOC、氬及苯類等等的污染物，進而影響人體健康，因此，除了建立良好的室內通風條件外，選擇良好的裝潢材料也是重要因素。

a.選擇環保綠建材

使用符合國家標準之裝潢建材及傢俱，包含裝潢過程中會使用的工具如油漆、黏膠、磁磚等，皆必須考量其對於室內空氣品質所造成的影響，可能對人體產生物理性、化學性、生物性與放射性的危害，其中放射性物質以稀有惰性氣體氬氣為主，世界衛生組織已確認氬氣是屬於致癌物質，廣泛的存在一般建築材料中。表 3-7 說明一般室內建材所產生的污染物。

表 3-7、室內建材所排放之污染物

室內污染物名稱	建材名稱
甲醛	酚醛樹脂、尿醛樹脂、三聚氬胺樹脂、水性顏料、複合木材、壁紙、壁布、傢俱、人造地毯、泡沫塑膠、黏著劑等
甲醛以外之 VOC	塗料中的溶劑、稀釋劑、黏著劑、防水材料、壁紙與其他裝飾品等
氬	高鹼度混凝土膨脹劑
放射性氬氣	花崗岩、磚頭、水泥、建築陶瓷與衛生用品等

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

b. 裝潢後不宜立即居住

建築室內裝潢後，應須進行室內空氣品質監測，監測項目包含放射性物質、遊離甲醛、TVOC、氨及苯類等有害物質，並設法使屋內保持良好通風環境，但屋內溫度與濕度也會影響有害物質的釋放，因此，定期進行屋內空氣品質監測，以確認有害物質的含量，為保障室內空氣品質的作法之一。

(三) 地板送風空調系統

為達到維護人體舒適與節省空間之目的，亦可採用地板送風空調系統將風道埋於地板下，經地板風口送出後，通過天花板將熱空氣回收，如圖 3-37 所示。地板送風空調系統允許不同個體根據自身情況精準調節細部環境溫度和風量，提高人體舒適性。此外，地板送風系統還有其他有點，包括：提升能源效率、降低建築生命週期開銷以及提升建築靈活性。

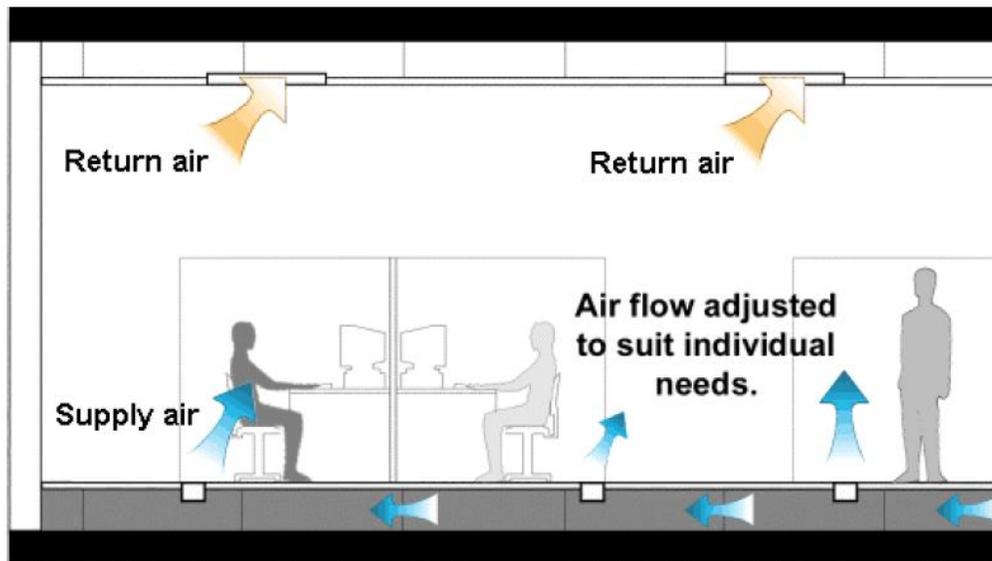
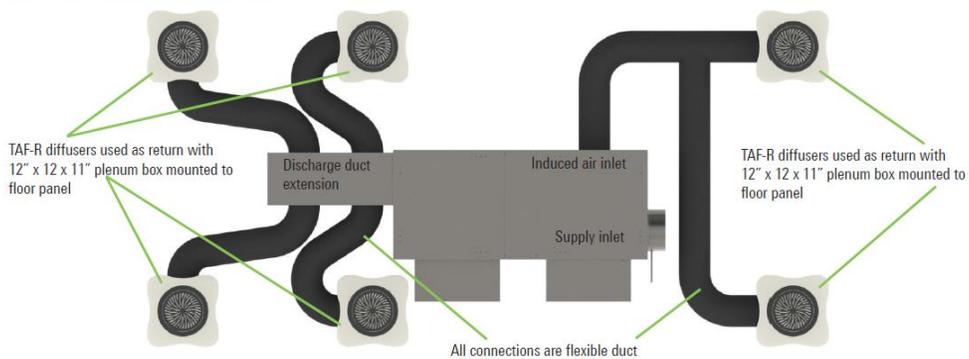


圖 3-37、地板送風空調系統空氣流動示意圖

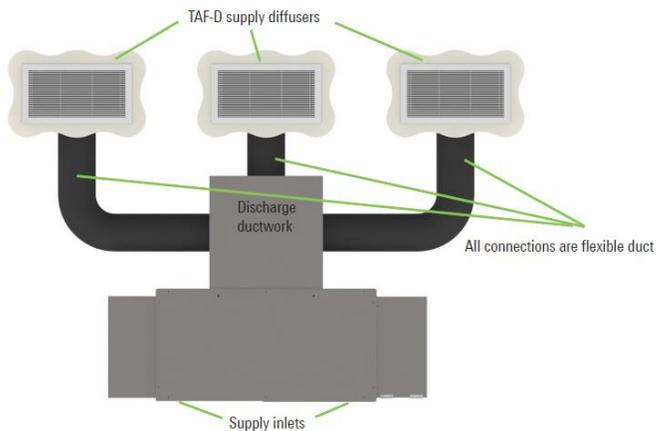
(資料來源：Titus, 2013)

TAF-R(-FR) Diffuser and LHK Layout



Note: Number of TAF-R(-FR) diffusers required depends on the airflow of the LHK

TAF-D Diffuser and PFC Layout



Note: Number of TAF-D diffusers required depends on the airflow of the PFC

圖 3-38、地板空調系統示意圖

(資料來源：Titus, 2013)

(四) 冷樑送風空調系統

冷樑送風系統（以下簡稱冷樑）為透過室內熱交換及熱能傳送的空調系統，屬於氣水並行系統，主要推廣原因為節能效益、完全混合室內空氣流通、良好的室內空氣品質與靜音運轉效果；冷樑是藉由空間的熱負荷與冷樑送風口面板間之溫差所產生『對流』以及『輻射』效應進行熱交換，同時冷樑送出乾冷空氣亦有助於人體皮膚表面之蒸發冷卻，因此冷樑是一結合其內部冰水盤管提供冷能以控制室內溫度，以及利用送風與回風溫差形成自然對流及水蒸氣壓力差所建立之空調送風系統。可分為主動式與誘導式兩種型式，依據是否有外氣供給而定，在使用上的比較，主動式冷樑因較誘導式冷樑多了一次空氣冷卻能量，故在相同冷樑尺寸面積下，冷卻能量較大可減少裝置數量及吸頂覆蓋率，然而主動式冷樑單價較高，實際應用亦可視空調負荷分佈密度高低而採用主動式與誘導式冷樑混合配置方式（如圖 3-39 所示）。

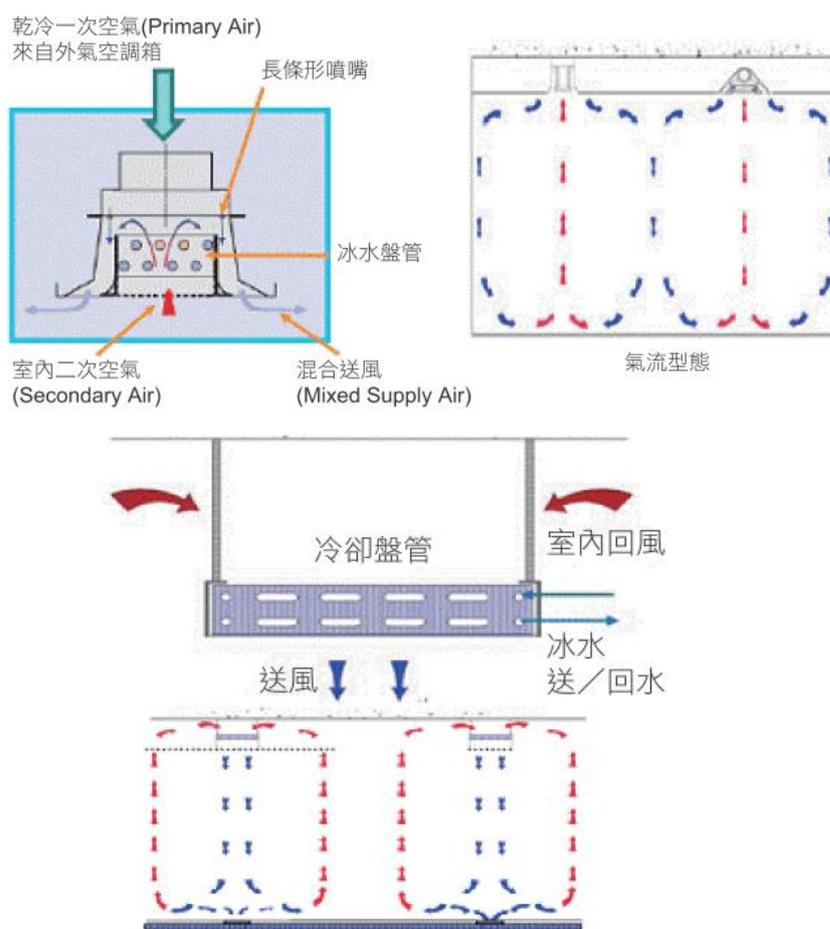


圖 3-39、主動式冷樑(左)與誘導式冷樑(右)空調系統示意圖

(資料來源：李，2011)

3.2.4.2、室內環境改善

(一) 室內噪音控制技術

噪音源是向周圍介質輻射噪音的源頭，降低聲援的噪音輻射是控制噪音最有效的措施，主要控制技術包括：改良噪音源產生之機械設備，提高工程精密度、減少衝擊與摩擦等；對於高壓與高流速流體，通過減少管內與管口障礙物，以降低出流速度降低噪音；降低噪音輻射；採取吸音、隔音、減少震動或安裝消音器等技術。

對於聲音傳播的控制途徑，因為噪音於傳播過程中會衰減，因此建築平面設計時應將教室、辦公室、旅館、會議室等需要安靜房間遠離相對集中設備機房等噪音源佈置，此外，聲音傳播具有方向性，也可以通過改變噪音傳播方向降低高頻噪音。

(二) 室內吸音與隔音技術

主要指採用吸音材料與隔音結構以降低室內噪音技術的方法，當建築物室內採用表面較硬的材料（如水泥牆），所產生的噪音不容易被建材所吸收，如果於室內牆面採用軟面吸音材料，可有效降低噪音產生，一般可降低 10 分貝左右即可達到吸音效果。下列說明一般常用吸音與隔音材料：

a. 多孔吸音材料

以各種纖維材料為主，包含玻璃棉、岩棉、礦棉等無機纖維或有機纖維等，使用時通常製造成棉板，如玻璃棉板、岩棉板、礦棉板等等，多孔吸音材料對於聲波的吸收作用原理為通過大量且對外開放之細小孔隙與孔洞將音源吸收。

b. 共振吸音結構

主要可分為中空共振吸音與薄板吸音等兩種，前者為使用較多的石膏板、金屬板等等，並將版面之間留下中空孔隙，作為吸音結構，後者則主要是由固定周圍框架而成。

c. 隔音技術

主要可分為降低外部空間與介質傳播的機會，稱為空氣隔絕，或降低因撞擊摩擦所產生噪音之撞擊隔絕，一般來說，隔音材料必須要有良好的密封性，材料要密實且有一定的厚度，接著是要與樓板保持適當的間距，此外，為了減輕機械設備運轉所產生之噪音，可於設備上安裝隔音器（如金屬彈簧、空氣彈簧或玻璃纖維板等等）。

(三) 室內空間佈局方式

於建築設計過程中合理考量建築平面與空間功能安排方式，從設計面向降低噪音源，例如於公共建築中，辦公區域應遠離配電房及空調機房等等，會產生較大噪音的設備應設置於地下室，但對於住宅而言，不可安裝在地下室以避免影響住戶作息。此外，室內房間應配合當地噪音源進行合理設計，例如：辦公室或寢室應遠離交通要道，降低外部噪音對於人體的影響。

(四) 隔音玻璃設計

玻璃再設計上除了隔熱跟保護作用外，亦可強化其隔音功能，以避免室內遭受室外噪音汙染，例如：Pilkington 公司生產的 Optiphon 隔聲玻璃通過向兩片光學玻璃中間加入聚乙烯醇縮丁醛（PolyVinyl Butyral, PVB）夾層，如圖 3-40 所示，在保證透光性的同時，提供非常理想的隔聲效果。

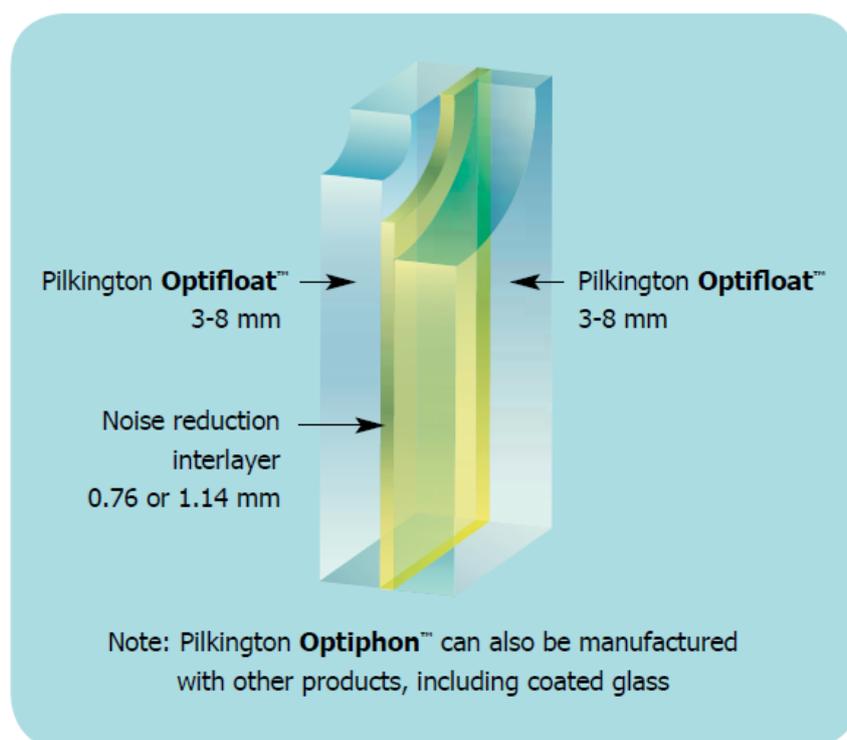


圖 3-40、Pilkington 公司 Optiphon 隔聲玻璃結構示意圖

（資料來源：Pilkington, 2014）

(五) 生物過濾系統

使用生物的氧化作用分解污染物。當空氣流過生物濾床時，其中的污染物會被生物膜上

的微生物和藻類吸附並降解。其優點與效益包含可有效降低室內揮發性有機物（VOC）濃度，除了維護室內空氣品質之外，更可用於淨化雨水徑流和污水水質。



圖 3-41、室內生物過濾系統示意圖

（資料來源：Guoliang Liu, et al 2017）

（六）善用自然光

善用自然光不但可為建築物節省能源，而且能使室內有更舒適的光度。若人工照明系統配合得宜，使用自然採光可以大大地減少人工照明系統的用電量（圖 3-42），然而過度之自然採光，同時亦會增加夏季室內熱取得而造成空調冷房負荷的增加，因此如何引進晝光利用並兼顧空調節能之創新技術是自然採光利用之重要考量。另一方面，由於減少使用人工照明系統，亦減少來自它們的熱量，所以空調系統的負荷也相應降低。而除了節能之外，採用自然光還可為用戶創造一個舒適的視覺環境，從而增加他們的生產力。通過不同的設計概念來應用在建築物之中。窗戶的設計也會影響到天然光的可用程度。自然光還可以與人工照明系統配合使用，從而達到更大的節能效果。如果所有這些因素都可協調得當，利用自然光的效益就更大。

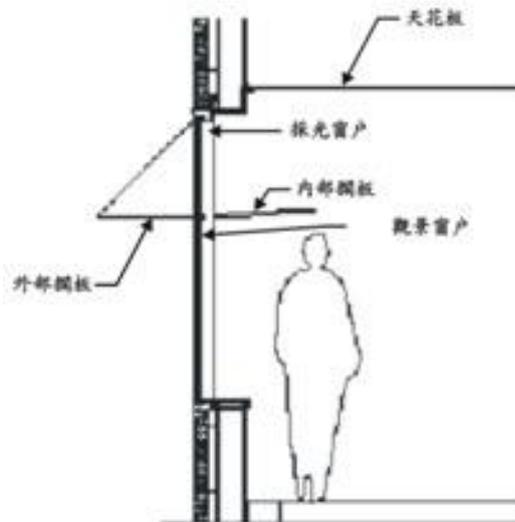


圖 3-42、側窗採光示意圖

(資料來源：香港綠色建築科技網)

建築方位可分為面北朝南，且將門窗設計為落地門窗，以讓陽光更多地進入室內。地下空間宜採用設置採光天窗和側窗、下沉式廣場或綠地、光導管措施提供天然採光，如圖 3-33 所示：

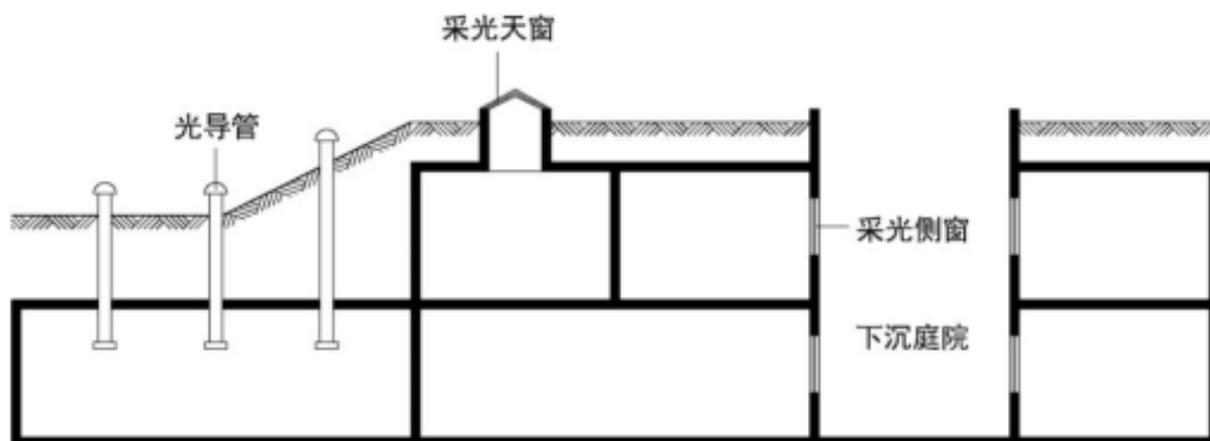


圖 3-43、下沉式自然採光設計圖

(資料來源：香港綠色建築科技網)

(七) 導光玻璃技術

建築物的光源污染主要指夜間的室外照明、室內照明的溢光、廣告照明以及建築物反射光等，光污染將會使人體產生暈眩，降低眼睛對於燈光信號辨識度，甚至會危害行車駕駛的交通安全，因此，降低光污染設計方式主要以大量外牆玻璃或室外有泛光照明之建築，其原理如下：

a. 採用適當的玻璃外窗

建築物外牆盡量避免採用大面積且單一材質的玻璃，將室外玻璃帷幕透過鋁、大理石板、陶瓷版、合金等材質進行組合，使建築物更加美觀，並降低因玻璃反射造成的光污染。

b. 選擇性能較佳的玻璃

應嚴格控管玻璃的光學反射性能，以符合國家標準，例如於市區、交通要道、橋墩交叉口等區域之玻璃可見光反射比不得大於 0.25。此外，利用導光玻璃增加採光度也是有改善室內採光效果之作法，導光玻璃是利用玻璃與導光膜之貼合，是屬於膠合玻璃的一種，其組成結構如圖 3-44 所示。導光玻璃在建築節能的特性是可以將入射太陽光偏折向上，一方面降低入射日光直射進入室內，可提高建築物外周區（窗戶旁）使用者之舒適度，而且折射到天花板之光線可經由反射成為間接照明，不僅會產生較柔和舒適之照明環境，同時可減少該區域的人工照明光源使用，降低建築物之照明用電。再者，配合玻璃的組合設計，可進一步將紫外線與近紅外線阻隔，因而具有降低建築外殼熱得(Heat Gain)的特性。經由光學性質的量測證實導光玻璃具有偏折光線之功能，但是在實際應用時，光線經由導光玻璃的行徑軌跡及造成之光環境的影響，值得進一步評估。

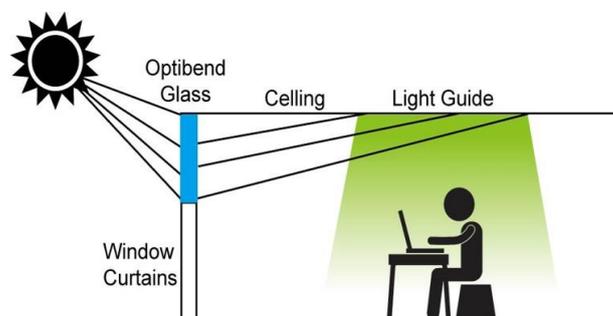


圖 3-44、導光玻璃原理示意圖

(資料來源：李與洪，2013)

c.選擇適當的裝飾材料

對於室外照明設計，需降低建築物外牆裝飾材料（如玻璃或彩繪顏料等）的炫光影響，合理的選擇照明器具，並採取相應措施防止溢光。

d.窗戶最適化設計

一般來說，建築物窗戶的設計方式也會影響採光程度，必須依據實際室內空間情況設計窗戶擺設位置，主要以滿足室內 70% 以上的區域都能通過地面以上 0.8~2.3m 高度處之玻璃窗可看到室外視野為主。同時也要考量窗戶離地高度對於採光設計的影響。

(八) 提升室內採光度

a.引用導光管或導光井

除了充分利用自然光照是綠建築營造舒適環境之外，並同時提升能源效率的一項重要指標。傳統建築物的自然採光方式為外部光照通過窗戶進入室內，因此室內光照強度、角度等均由外部光源決定，可能會造成嚴重的眩光和過熱，影響人體舒適。為避免光照不適的問題，建築物可通過加裝多重反射的裝置使光照均衡分佈，其中一項技術即為導光管。配合使用特殊的塗層材質和先進的熱環境控制技術，光照性能可以被顯著提升，同時營造熱舒適環境。

評估導光管性能指標有總反射率、鏡面反射率和漫反射率。(1) 總反射率用以評估導光管的透光效率。一般每一次反射都會造成約 4% 的光能量損失。因此導光管內部通常為石英材質，同時內部使用高反射率的塗層材質，提升透光性能。(2) 鏡面反射率是決定導光管透光性能的重要指標。如果鏡面反射率低，則光線會在導光管內部散射，降低透光率。(3) 漫反射雖會降低導光管的透光率，但是適當的漫反射卻可以營造柔和的光照環境。提高人體的舒適性。

參考 Almeico 公司開發的 Vega 系列導光管材質通過先進的金屬鍍層，將總反射率提高至 98.5%（歐盟 DIN 5036-3）。如果按照美國 ASTM E-1651，其入射角為 30° 時的總面反射率達到 99%。其內部鍍層結構及工作原理如圖 3-45 所示。

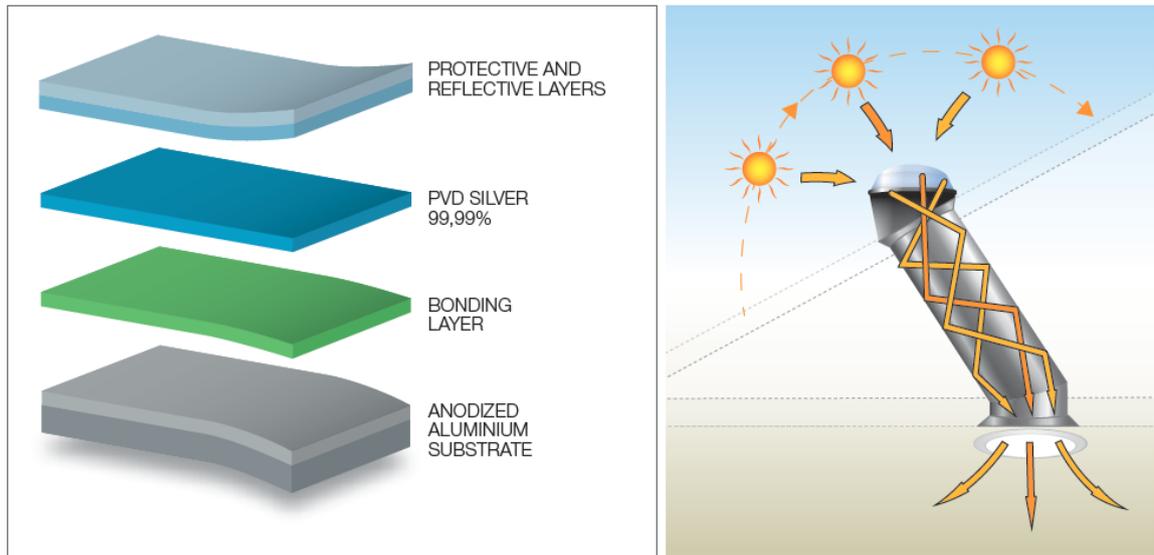


圖 3-45、Almedco 導光管鍍層及內部光線示意圖

(資料來源：Almedco，2013)

b. 垂直光照系統

垂直光照系統適宜用於垂直高度較高的建築。其中建築物內部通過可調節角度的反光鏡，將光線均勻地分散至建築物內部，如圖 3-46 所示。該技術可滿足公共區域，例如大廳、門廊的照明需求。例如：日本神奈川縣的 Minato Mirai Center 為滿足公共區域的照明需求，採用了名為 T-Soleil 的垂直光照系統。Minato Mirai Center 建築含 21 層地上部分，其建築頂部為透光玻璃。光線經由頂部玻璃進入建築物內部，而後由反光鏡片將其分佈至建築底部。建築物整體平均照度達到 750lux，並被評為 S 級。



圖 3-46、日本 Minato Mirai Center 使用的 T-Soleil 垂直光照系統

(資料來源：Japan Minato Mirai Center, 2015)

3.2.4.3、室內舒適度改善

人類是經由皮膚機能、外在服裝與建築結構等三個面向適應氣候環境之影響，生理反應是第一面向，透過生理反應散發熱量調節體內溫度，但是適應性只侷限在一定範圍，所以第二面向是透過服飾穿著，因應氣候變化帶來的影響；由於人類並非屬於遷徙性的動物，通常會選擇相對穩定的地理環境條件生存，因此就產生了建築的概念，房屋建築提供了遮風蔽雨雪，與抵抗寒暑之功能，屬於第三面向的建築結構對於室內環境影響很大，隨著科技日新月異，人類對於室內環境的舒適度要求也逐漸提高。

熱舒適度是指人體對於所處環境之溫度與濕度的主觀感受，不舒適的環境所導致工作效率降低，並影響生心理健康，一般來說，人體熱舒適度是通過新陳代謝與汗水蒸發產生及散發熱量，進而調節人體體溫，因此如何控制建築室內環境之溫度、濕度與通風等等都是影響舒適度之重要因素，以下將說明建築室內環境對於人體舒適度影響與相關技術：

(一) 減少室內與室外熱源

電器使用是室內熱度主要來源，在照明部分，盡量選用環保省電燈泡，以較低的瓦數亦可達到相同的照明程度，可減少室內熱源，另外白天時候引用自然光照明也是減少室內熱源的手段之一，所以在室內設計中，窗戶位置需要合理設計，以達到自然採光的良好效果；交用電器也是室內熱來源之一，可選用高能效之家用電器有助於室內熱源，例如以微波爐取代烤箱或火爐，乙太陽光曬衣服取代烘衣機使用等等。

室外熱來源主要是太陽光，台灣位於亞熱帶地區，夏季時候室內溫度相當炎熱，以節能為導向，如何防止室外熱源進入室內是重要考量項目，目前防止外部熱源進入室內的方法包含：合理的住宅朝向、以導燈管取代天窗、生態植栽、安裝適當的遮陽板、安裝百葉窗或室外遮陽棚、選用淺色之屋頂與外牆以及安裝抗輻射屋頂等等。

(二) 排除室內蓄熱及室內降溫

以台灣氣候條件，很容易造成住宅室內蓄熱，因此排除室內蓄熱也是提升人體舒適度之措施之一，包含了引用自然通風、於窗戶口或天花板安裝引入風機，增加自然通風率。

為了提升舒適度，使用低能耗之輔助設備室內降溫措施也是可採行措施之一，主要經濟又節能效果的就是作法就是安裝吊扇，可達到通風降溫效果，吊扇安裝方式又視室內住宅坪數

而定，以大型賣場為例，較適合安裝大體積慢速吊扇，可使工作場所內達到降溫效果，另外使用吊扇在能耗上也比一般空調系統較少。另一種做法是安裝蒸發式冷卻器，可將室外空氣蒸發冷卻後向室內噴霧，透過水分降低室內溫度，此設備比起一般空調系統能耗也較低。

(三) 使用隔熱玻璃

使用隔熱材可有效維護室內熱環境，降低空調系統負荷及能耗。為滿足建築物採光的需要，往往需要大面積的窗戶。而由於傳統玻璃材料隔熱性能不足，使得窗戶成為熱傳導的主要媒介，例如：Pilkington 公司研製的低輻射玻璃 (Low-E) 如圖 3-47 所示，可在保證透光率的同時，將熱輻射係數降低至 $0.9 \text{ W/m}^2\text{-K}$ 以下，空氣層部分則充滿氬氣，進一步降低氣體的熱傳導能力。

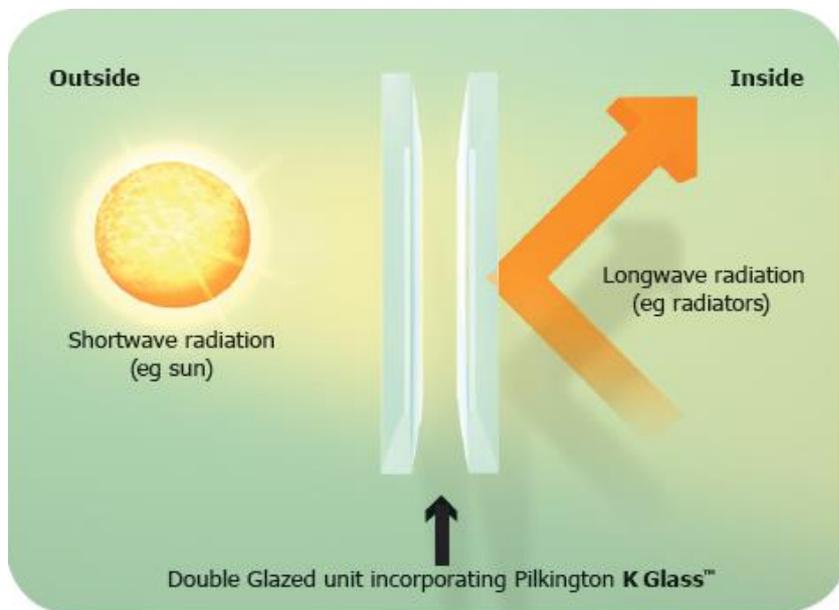


圖 3-47、Pilkington 公司雙層隔熱玻璃結構示意圖

(資料來源：Pilkington, 2014)

此外，台灣的台玻公司已成功研發國產 Low-E 玻璃量產數年。台玻 Low-E 玻璃產品，具有 CNS12681 國家標準及 ISO9001 國際品保認證，其結構由複層玻璃、鍍膜層以及空氣層組成，複層玻璃是指兩片清玻璃或有色玻璃，四周以鋁條隔開組合，形成中空之空氣層，再以結構 Silicon 封邊而成；鍍膜層可反射大多數紫外線與紅外線，隔熱效果佳，符合台灣亞熱帶氣候所使用，鍍銀層下之底層鍍膜為二氧化錫(SnO_2)抗反射鍍膜，用以增加透光率，鍍銀層上鍍膜為

鎳鉻合金(NiCr)金屬隔離鍍膜，用以保護銀鍍層功能，最頂層鍍膜為二氧化錫(SnO₂)抗反射鍍膜，主要功用是保護整體鍍膜層另外鍍膜後顏色趨近玻璃原色，具有良好的透光性，讓可視光進入室內，享有良好的採光，空氣層則是充滿惰性氣體。另比較 Pilkington 公司與台玻公司 Low-E 玻璃性能比較，如表 3-8 所說明，其中台玻公司的 Low-E 玻璃之總太陽輻射穿透率較低，具有更好的隔熱效果，較適合台灣氣候，而 Pilkington 公司 Low-E 玻璃則比較適合溫帶或寒帶國家。

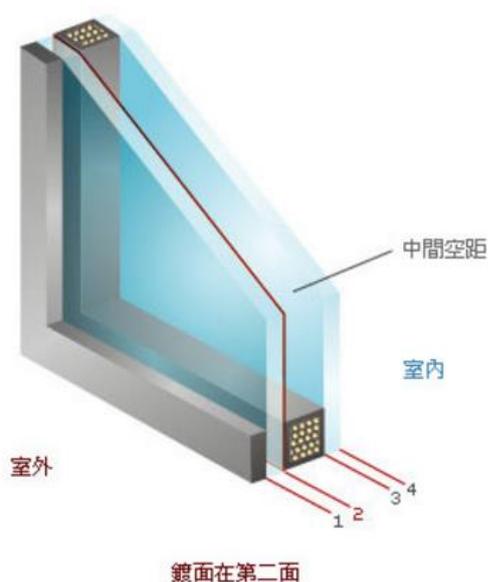


圖 3-48、台玻公司 Low-E 隔熱玻璃結構示意圖

(資料來源：台灣玻璃股份有限公司)

表 3-8、台玻公司與 Pilkington 之 Low-E 玻璃材質及性能比較

產品名稱	厚度	空氣層	透光率 (%)	反射率 (%)	冬季傳熱係數 (W/m ² -K)	總太陽輻射穿透率 (%)
Pilkington - Optiwhite™	20mm	氬氣	76~81	12、18	1.2、1.5	71~78
台玻高性能 Low-E 玻璃	12mm 24mm	真空 氬氣	63、64、72	11~18	0.59~1.76*	38~53

備註：透光率、反射率、冬季傳熱係數與總太陽輻射穿透率依不同產品性能而定

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

(四) 使用隔熱膜

玻璃帷幕原本適用於高緯度寒冷國家的建築，其功能是使室內產生溫室效應，進而保存冬天日照輻射熱，讓室內變得較為溫暖。但是台灣位於亞熱帶地區，又屬於海島型季風氣候，其氣候相當濕熱，特別是在夏季時，氣溫經常在攝氏三十五度以上之高溫，卻有不少建築採用大面積的玻璃外牆設計，這將導致室內的蓄熱增加，因而提升空調負荷，嚴重增加室內空調的耗能。然而，台灣許多辦公大樓常採用玻璃帷幕之建築方式，針對其節能特性及對策，首重在玻璃遮蔽性能，因此常見作法是使用反光玻璃或於玻璃貼上隔熱膜，提高太陽熱能的反射性，進而阻隔太陽輻射進入室內，在夏季可有效降低室內溫度，降低冷氣空調的運轉，而達到節能效果，並可減少建築空調用電消耗與二氧化碳的排放。在國際上也有許多學者對於建築玻璃之熱特性進行研究。

隔熱膜為層壓膜，依據其細部材質（色度、金屬成分、陶瓷或納米級等）進行分類，一般可安裝於車輛、船隻或住宅建築物之玻璃窗戶表面的內部或外部，通常由聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET），具備隔熱效果，但其隔熱程度係依據品質而不同，由於其透明度、強度、穩定性與經濟實惠性皆被大眾所接受，因此，應用於綠建築上可透過其隔熱效果，於夏季降低對空調需求。目前台灣市面上最廣泛運用的隔熱膜屬 3M 公司 prestige series 高透光系列日照調節膜產品，以超過 200 層的奈米薄膜堆積而成，可有效隔絕太陽射線中的紅外線熱量，因為沒有金屬含量，故保有玻璃的透明感，其總隔熱率最高可達 79%，預估可降低室內溫度 3°C~6°C，減輕冷氣房的負荷，提升室內舒適感與空調系統壽命。



圖 3-49、3M 公司玻璃隔熱膜成效示意圖

(資料來源：3M 股份有限公司)

(四) 溫度濕度獨立控制系統 (ICTHS)

ICTHS 由液體乾燥劑系統和冷卻/加熱網格系統組成。液體乾燥劑系統由室外空氣處理器 (夏季為除濕器，冬季為加濕器)，再生器和乾燥劑儲罐組成。由於以下兩個主要原因，IAQ 得到極大改進：(i) 室內終端設備在乾燥條件下操作，並且在 AC 系統表面上不會產生冷凝水；(ii) 液體乾燥劑可以從空氣流中除去大量污染物。ICTHS 不僅可以提高 IAQ，而且降低能耗和運行成本。在夏季，當建築物的潛在負荷從 10% 到 50% 時，ICTHS 的一次能源消耗為 76 - 80 %，運行成本約為常規交流系統的 75%。在冬季，與常規 AC 系統相比，當建築物的潛在負荷為 5%，10% 和 15% 時，ICTHS 的一次能源消耗分別為 77%，62% 和 45%，運營成本為 75 %，57% 和 42%。如果使用太陽能或廢熱來再生乾燥劑，並且使用地下水來冷卻室內空氣，將節省更多的能量和操作成本。

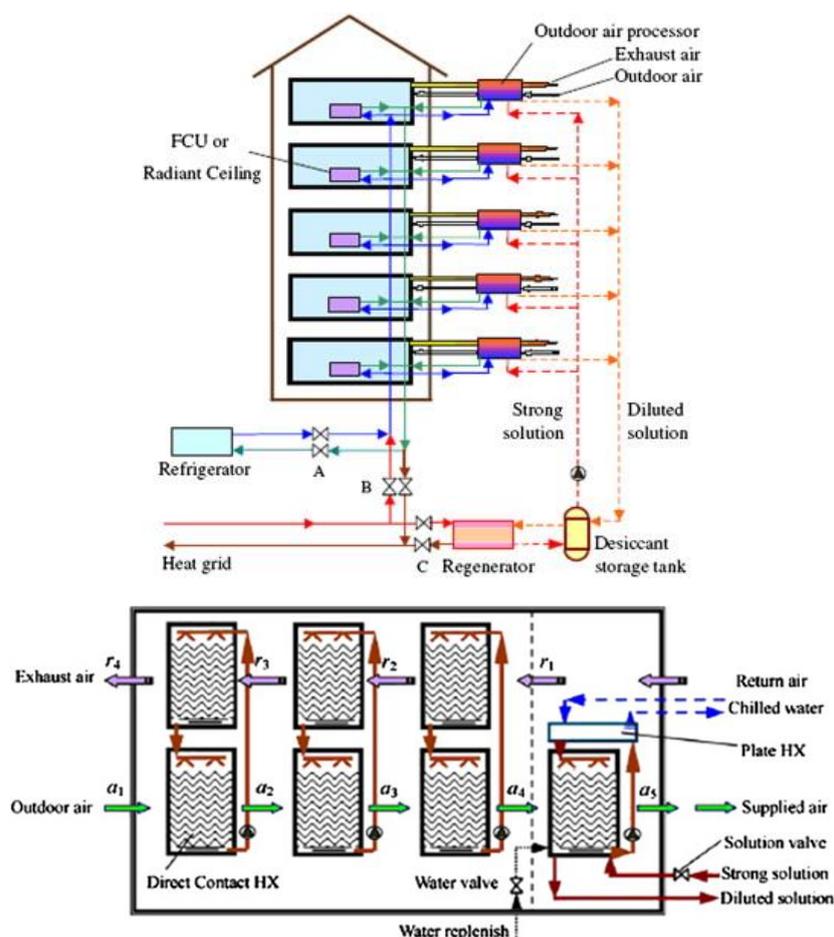


圖 3-50、溫度濕度獨立控制系統 (ICTHS) 原理圖

(資料來源：Yu et al., 2009)

3.2.5、小結

(一)提升能源效率，邁向近零能耗建築

未來綠建築節能的主流趨勢為「提升能源效率，建立近零能耗使用之建築」。淨零能耗建築係指住宅或商業大廈經由減少能源需求，使能源需求達到平衡。生態系統的平衡，建立在能量平衡上，建築物的主要功能在於適當控制室內與室外能量流動，即利用建築物提供一個不同於外在自然環境的人為小環境，特別是較為舒適的、恆定的溫濕環境。為提升建築能效，必須靠降低能耗，而非能量供給（誘導式原則），也非替代能源，因此節能比開源更重要。無論從經濟性或環境保護角度衡量，建築節能都比開發新能源效益更高。此外，對於建築節能設計上也必須考量因地制宜，台灣屬亞熱帶／熱帶氣候，防熱製冷除濕為主，冬季濕冷，位於地震、颱風好發地帶，另外建築具有高樓與消防問題，且台灣能源皆仰賴進口，又具備尖峰電力高負荷與低電價等問題，對節能結構（主體、窗、外殼）設計要求，必須優先考量克服上述問題。

(二)結合控制軟體，發展智慧節能系統

物聯網（Internet of Things, IoT）的出現也影響著綠建築物發展，具備 IOT 之建築物可想像成嵌入式的電子網絡，軟件，傳感器與網絡連接，例如：建築能耗計算軟體比較／研發：PHPP、熱濕動態模擬計算軟體、監控傳感器、智慧樓宇控制軟體及產品、樓房控制軟體(BACnet, KNX, EnOcean)、無線與無源信號傳輸技術以及 BIM 應用，建立整合式大數據平臺。

自 2016 年開始，部分建築開發商與決策者將投資物聯網與雲端技術整合至建築設計概念中，發展較高成本效益之數據收集設備與自動化智慧管理，並期許將綠建築從設計至實踐進行最適化之物料能源管理。Navigant Research 於 2016 年所發表之智慧綠建築白皮書中所提到未來建築工業邁向智慧綠建築的十個趨勢(Navigant Research 2016)，包含了：(1)發展整合式建築能源管理系統(Building energy management systems, BEMS)，整合式 BEMS 收入預期到 2024 年將達到 108 億美元；(2)能源雲端將建築重新定義為一種能源資產；(3)氣候變化政策將規範建築能源效率；(4)智慧建築可將居住者經驗最佳化，進而整合為建築數據平臺；(5)將提升創新技術投資機會；(6)網路安全將作為智慧綠建築管理之關鍵指標；(7)軟硬體分析將改善建築設計；(8)建築水資源管理將成為建築設計之優先考量；(9)推廣智慧城市將促進智慧綠建築的發展；(10)電力及能源公司將投資於 BEMS。

第四章、循環永續綠建築創新技術發展推動策略

本章節主要說明循環永續綠建築創新技術發展推動策略，研析國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰，針對商業面、技術面與法令政策面之障礙與挑戰，並從中研析國內推廣綠建築創新技術於組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大面向所遭遇之障礙與挑戰；最後研擬整合循環永續綠建築創新技術因應對策、推動策略與措施。

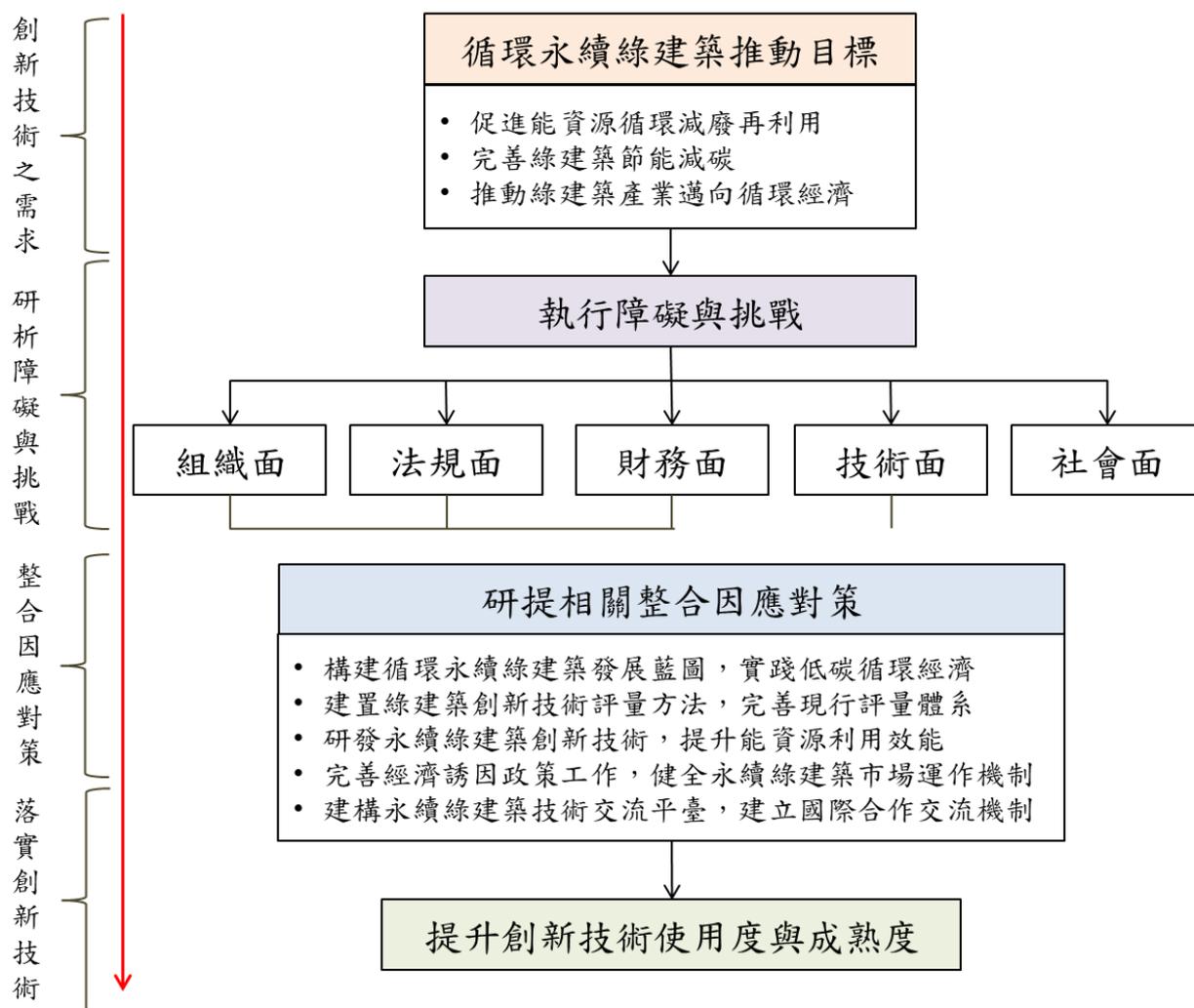


圖 4-1、循環永續綠建築創新技術發展推動策略之流程

(資料來源：本計畫彙整)

第一節 研析障礙與挑戰

目前國際上推廣綠建築所遭遇的障礙可歸類為商業相關、製程相關以及組織與個人行為相關等三種，如表 4-1 所說明國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰，主要障礙為缺乏公眾意識與接受度，另外對於綠建築之設計師也缺乏充分的瞭解，將導致投資者對於綠建築技術相關產業充滿投資風險與不確定因素，因為綠建築常常涉及應用的新技術，將可能產生較高技術成本和收益的不確定性。

表 4-1、國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰

項目	障礙與挑戰
商業相關障礙	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 建築師或設計師對於創新技術認知不同而減少使用量 ➤ 創新技術產品價格較昂貴 ➤ 產品市場需求度不高 ➤ 建材選擇通常以價格考量而非環境效益
技術相關障礙	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 創新技術之原料來源與品質不穩定 ➤ 創新技術料源通路不健全 ➤ 創新技術產品資訊不夠廣泛 ➤ 缺乏對創新技術完整資訊揭露
法令政策相關障礙	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 缺乏落實創新技術之教育推廣或宣導工作 ➤ 法令限制創新技術用途 ➤ 未符合建築或營造法規規定 ➤ 缺乏對創新技術供應商之優惠措施

(資料來源：Lukumon O.Oyedele, et, al., 2014； Hongping Yuan, et, al., 2017，本計畫蒐集彙整)

此外，對於綠建築創新技術研發與創新理念推廣過程中，除了國際上存在許多包含商業、技術與法令政策相關障礙與挑戰，本計畫從國內包含組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大層面研析綠建築創新技術執行障礙與挑戰，彙整主要障礙與挑戰說明如表 4-2：

表 4-2、國內綠建材創新技術執行障礙與挑戰

項目	障礙與挑戰
組織面	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 中央部會（內政部營建署、經濟部能源局、工業局及水利署、環保署相關主管單位）與地方政府（都市規劃或都市發展局等）間之整合與職權劃分之界定不易； ➤ 綠建築產業聚落促成機制規劃未完善，導致產業界投入綠建築之推動能量不足； ➤ 永續綠建築創新環境科技相關議程與推動架構之組織機構缺乏； ➤ 綠建築創新技術整合平臺未落實，缺乏永續綠建築研究、交流、合作、教育綜合平臺。
法規面	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 政府對永續綠建築環境創新技術指導政策缺乏整體性； ➤ EEWB 評量體系對於創新技術評分標準尚未健全； ➤ 對於綠建築之再生能源與節約能資源相關配套與誘因政策之研擬未完善； ➤ 區域能資源之法規及行政分析與整合式管理系統建置未臻完備。
財務面	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 技術成本較高，關鍵技術設備與其相關原材料進口成本過高與其專利權問題尚未解決； ➤ 利益相關方間動機不一致，未能整合獎勵機制和收益； ➤ 整體節能減排之效益及區域能資源整合之經濟成本效益不易分析評估； ➤ 永續綠建築初期投資和成本較高，科技含量高、成本投入高且回報長期緩釋，開發商、消費者難見即時利益，阻礙其應用和推廣。
技術面	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 技術本土化程度較低，未能高效利用可在國內大量生產並推廣應用的國產材料降低成本，且創新技術的利用具有風險和不確定性； ➤ 有經驗的工作人員及具備專業知識和技能的設計和建設團隊缺乏，對新技術和新材料的應用經驗不足，綠色建築設計的完成度較低； ➤ 建築材料和系統的環境效益分析複雜、可用性較低； ➤ 適應市場機制的環保經濟產業鏈尚未完整形成，產業化水準低。
社會面	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 永續綠建築初期投資和成本較高，科技含量高、成本投入高且回報長期緩釋，開發商、消費者難見即時利益，阻礙其應用和推廣； ➤ 資源利用和配置效率的最優化難以實現； ➤ 大量的技術疊加未必能達到資源利用和配置效率最佳，往往成本增加同時造成綜合效益降低。

（資料來源：本計畫蒐集彙整）

第二節 國外推動策略與措施

(一) 推動目標：

本計畫參考聯合國永續發展目標擬定循環永續綠建築推動目標，包含：(1)促進能資源循環減廢再利用、(2)完善綠建築節能減碳，以及(3)推動綠建築產業邁向循環經濟；因此，推廣循環永續綠建築技術時，首先必須明確定義綠建築技術以及相關適用範疇，讓大眾與投資者可明確瞭解，藉此提升綠建築創新技術發展層面，另一方面，也必須深入瞭解創新技術的需求度與使用度，才能針對各項障礙與挑戰擬定因應對策。

(二) 整合因應對策：

有鑑於國內綠建築推動策略與法制作業已行之有年，本計畫蒐研各國針對綠建築發展策略以及規畫藍圖，包含美國、中國、英國、日本、加拿大以及澳洲等綠建築協會，主要提到的發展策略方向包含了提升評量體系、改善教育品質、加強理念宣導以及完善政府政策等面向，並可與我國綠建築推動措施進行比較說明，其國外綠建築推動目標及措施之綜合內容如表 4-8 所說明：

表 4-3、國外綠建築推動目標及措施

國家	推動目標	推動措施
美國 (USGBC)	擴大綠建築市場機制	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 擴大綠建築社區之健康與社會福利的價值 ➤ 增加綠建築教育、知識共用、資格認證等方面的創新能力培養 ➤ 整合企業、學校與醫療保健之資源機構的綠建築系統 ➤ 促進綠色夥伴關係與合作機制，參與及擴大大利益相關者基礎建設創新技術
	提升州政府之綠建築政策	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 提倡高影響力之綜合綠建築政策與法規 ➤ 保持決策者、市場與其他投資者之夥伴關係 ➤ 積極推動 LEED 認證規範 ➤ 強化服務不足之綠建築理念宣導工作 ➤ 訂定與宣導有助於減少建築物對氣候自然產生負面影響之政策 ➤ 協調公共政策與獎勵措施，並在國家和地方一級予以支持
	加強綠建築經濟、環境與健康效益之基層教育工作	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 加強企業、學校、社區與專業人員對於綠建築效益與影響之教育工作 ➤ 建置綠建築量化效益之標竿值 ➤ 建構組織型夥伴關係以提升綠建築經濟、環境與健康效益之溝通與教育工作 ➤ 強化綠建築理念之基層宣導
	落實高質量之綠建築組織與社區	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 培養組織文化、組織成員、志工，董事會，技術團於 USGBC 中擔任關鍵領導職務的技能訓練 ➤ 經由定量與定性方式量化組織績效 ➤ 擴大綠建築社區與組織之開發市場
英國 (UKGBC)	強化組織型夥伴關係	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 提升境內夥伴關係之網絡，廣納跨領域人才 ➤ 強化境內主要城市之綠建築永續發展方針 ➤ 建立綠建築市場合作經營模式
	培養具備永續發展思維之領導人才	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 規劃創新技術相關課程 ➤ 建置技術資訊庫及辦理國際研討會議，深化技術推廣程度 ➤ 培育具前瞻性思考之專業技術人才
	提升綠建築創新技術研發能量	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 持續推廣發表技術研發成果 ➤ 結合跨領域人才，量化技術研發效益

國家	推動目標	推動措施
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 建立綠建築創新技術研發誘因 ➤ 提升綠建築技術對於社會發展與循環經濟之價值
中國	發展產官學國際合作模式	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 提升公部門與企業合作機制 ➤ 建立綠建築發展之典範城市 ➤ 結合歐盟與非政府組織之綠建築發展經驗，實踐永續城市
	強化決策者與相關政策之誘因制度	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 強化對綠建築發展指標之查核 ➤ 鼓勵並支援省級地方政府之立法作業 ➤ 推動省級綠建築示範亮點區域
	整合區域與地方綠建築評價體系	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 實踐對省、市級綠建築評價能力之培訓 ➤ 強化地方住房城鄉建設部門之綠建築評價能力 ➤ 提升不同地區的綠建築發展水準
	綠建築督導與重點地區支援	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 提高綠建築落實比例 ➤ 鼓勵與支持綠建築地方標準之編制 ➤ 提高重點地區之政策規劃能力 ➤ 協助制定綠建築產品規範目錄
	協助創新技術之財稅融資	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 推動綠建築產業化政策 ➤ 建置財政補貼、信貸優惠與容積率獎勵等經濟誘因政策 ➤ 優化投融資機制，邁向智慧城市之經濟模式
	強化企業資質信貸	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 提高企業參與綠建築開發之積極性 ➤ 深化綠建築之開發企業比例 ➤ 加速讓綠建築企業成為行業之新標竿
加拿大 (CaGBC)	提升綠建築教育品質	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 規劃建築環境對於氣候變遷與生態健康之環境教育課程 ➤ 提供永續發展與 LEED 專業教育學分班 ➤ 彌補綠建築市場教育不足之處
	強化綠建築專業團隊合作關係	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 訂定傑出、專業及創新綠建築績優獎勵機制 ➤ 建立技術目標一致的夥伴關係
	加強綠建築促進永續發展之宣導工作	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 建立短期綠建築發展優先政策 ➤ 利用各級政府與重點機構之合作關係，進一步發展綠建築

國家	推動目標	推動措施
	建立跨領域人才培訓	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 推動建築能源與水資源鏈結技術 ➤ 培養專業技術青年人才 ➤ 強化綠建築學術研發能量
澳洲 (GBCA)	積極推動低碳綠建築產業	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 建構綠建築產業循環經濟藍圖 ➤ 強化政府採購與評估體系，拓展永續綠建築設施
	建構永續宜居之綠建築社區與城市	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 提升創新技術發展品質，以達到聯合國永續發展目標為宗旨 ➤ 加速產業技術更新，提升建築居住品質 ➤ 建構推動永續城市之法制作業
	擴大綠建築市場轉型	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 導入智慧技術與客製化商品服務 ➤ 建立綠建築專業技術輔導團隊 ➤ 建立亞太地區之綠建築推廣技術國際夥伴關係
	政府層完善技術、評價體系	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 橫向發展專項與特殊性綠色技術 ➤ 縱向深入完善集成工程對綠色建築產業的技術體系 ➤ 加快 CASBEE 評價體系的精細標準和政策層面的完善工作推進綠建築誘因機制
	深化發展綠色建築產業市場	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 對綠色建築相關的所有產品的功用、品質、技術與性能進行科學化提升與評定 ➤ 不斷推動產業綠色化升級形成良性的發展局面 ➤ 提高各類綠色建築技術；全面推動各種綠色建築市場 ➤ 建立適應未來綠色建築產業及其市場的完善制度和大資料價值機制
日本 (JSBC)	引導並開發未來型綠色建築材料	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 達到功能材料低碳化以及新型建築部品產業鏈優選化 ➤ 牆體與屋頂裝飾生態化、環保材料體系化、太陽能建築一體化 ➤ 家居節能系統化；居室功能集成化與複合材料延伸化
	引導並開發未來型綠色建築材料	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 培養肩負未來綠色建築產業的人才 ➤ 發展學術研究，技術研究節能培訓，節能調查研究， ➤ 打造綠色建築的虛擬機器構與功能機制平臺

(資料來源：USGBC 2017-2019 strategic plan、UKGBC Second Nature Plans、“十三五”加速推進中國綠建築政策誘因、GBCA Strategic Plan 2016-2019、CaGBC 3-Year Strategic Plan 2017-2019，本計畫翻譯彙整)

本計畫將上述各國綠建築推動目標與措施，進行細部彙整分類為提升研發技術、完善政策體系、落實基礎教育、強化夥伴合作以及發展經濟誘因等五大推動策略與措施，如圖 4-2 顯示與表 4-4 所說明：



圖 4-2、綠建築推動策略之五大方針

(資料來源：各國 GBC 策略，本計畫彙整)

表 4-4、國外綠建築推動策略與措施

推動策略	推動措施
完善政策體系	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 提升創新技術發展品質，以達到聯合國永續發展目標為宗旨（澳洲） ➤ 強化境內主要城市之綠建築永續發展方針，提高綠建築落實比例（英國、中國） ➤ 建置綠建築量化效益之標竿值，強化地方住房城鄉建設部門之綠建築評價能力（美國、中國） ➤ 強化政府採購與評估體系，拓展永續綠建築設施（澳洲）
發展經濟誘因	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 建置財政補貼、信貸優惠與容積率獎勵等經濟誘因政策（中國） ➤ 優化投融资機制，加速讓綠建築企業成為行業之新標竿（中國） ➤ 建構智慧城市之經濟模式與綠建築產業循環經濟藍圖（中國、澳洲） ➤ 提升綠建築技術對於社會發展與循環經濟之價值（英國）
提升研發技術	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 結合跨領域人才，量化技術研發與優選化新型建築部品產業鏈（英國、日本） ➤ 建立綠建築專業技術輔導團隊，導入智慧技術與客製化商品服務（澳洲） ➤ 推動建築能源與水資源鏈結技術：家居節能系統化；居室功能集成化（加拿大、日本） ➤ 持續推廣發表技術研發成果與獎勵，建立綠建築創新技術研發誘因（英國）
落實基礎教育	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 增加綠建築教育、知識共用、資格認證等方面的創新能力培養（美國） ➤ 規劃創新技術相關課程，培育具前瞻性思考之專業技術人才（英國） ➤ 發展學術研究，技術研究節能培訓，節能調查研究（日本） ➤ 強化綠建築理念之基層宣導，培養專業技能人員的訓練（英國、加拿大）
強化夥伴合作	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 促進綠色夥伴關係與合作機制，參與及擴大利益相關者基礎建設創新技術（美國） ➤ 建構組織型夥伴關係以提升綠建築經濟、環境與健康效益之溝通與教育工作（美國） ➤ 提升境內夥伴關係之網絡，廣納跨領域人才（英國） ➤ 建立綠建築發展之典範城市，建立綠建築市場合作經營模式（英國）

(資料來源：本計畫彙整)

第三節 國內推動策略與措施

本計畫參考國外綠建築執行障礙與挑戰、推動策略與措施，從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大層面，研擬推動策略與措施(如圖 4-3 所說明)，主要策略與措施為「構建循環永續綠建築發展藍圖，實踐低碳循環經濟」、「建置綠建築創新環境科技評量方法，完善現行綠建築評量體系」、「研發永續綠建築創新技術，提升能資源利用效能」、「完善經濟誘因政策工作，健全永續綠建築市場運作機制」以及「建構永續綠建築技術交流平臺，建立國際合作交流機制」，包含政策法規、經濟誘因、技術研發整合、評價體系、教育合作交流平臺等面向，並細分共計 25 點建議事項：



圖 4-3、循環永續綠建築執行障礙與實施措施

(資料來源：本計畫彙整)

(一) 構建循環永續綠建築發展藍圖，實踐低碳循環經濟

- 強化城市之綠建築永續發展方針，提升創新技術發展品質，以達到聯合國永續發展目標為宗旨。
- 完善建築節能與循環經濟政策與法規；增進中央及地方政府合作功能。
- 建立循環永續綠建築能資源化綠色供應鏈模式，提出最適化綠建築發展方案，落實永續物料管理；
- 結合「國土規劃」與「地理資訊系統」，建構綠建築技術發展路徑圖，建立區域亮點專案示範計劃。

(二) 完善經濟誘因政策工具，落實循環永續綠建築市場運作機制

- 建置財政補貼、信貸優惠與容積率獎勵等經濟誘因工具，完善循環永續綠建築市場運作機制
- 優化投融资機制，樹立綠建築企業之行業標竿，發展綠建築溫室氣體減量方法學與評定原則，對實現綠建築所獲得之減碳量，取得碳權額度，提供實質交易機會。
- 鼓勵研發創新技術與技術集成創新，確保相關再生建材等創新技術獲得優惠貸款及獎勵措施，
- 提升綠建築技術對於社會發展與循環經濟之價值，建構智慧城市之經濟模式與綠建築產業循環經濟藍圖。

(三) 研發循環永續綠建築創新技術，提升建築能資源利用效能

- 研發新技術和新產品，經 4E（工程、環境、經濟與能源）技術評估及驗證後再予以推廣使用；
- 推廣倡導並輔導產業投入研發，培育關鍵技術之專業人員，建立技術開發，提升國內綠建築區域整合研發能量；
- 綠建築技術體系宜兼顧城市整體和建築單體，並予以組織模式、模塊化、系統化及整體化，達到家居節能系統化；居室功能集成化。
- 建立產學合作模式，籌組綠建築專業技術輔導團隊，導入智慧技術與客製化商品服務。
- 推動建築能源與水資源鏈結與廢棄物資源化技術，建立生命週期評估，完善循環永續綠建築創新技術指標體系，量化各類再生利用技術之環境效益。

(四) 落實循環永續綠建築環境教育，強化綠建築創新技術人才培育

- 規劃循環永續綠建築創新技術相關課程，培育具前瞻性思考之專業技術人才，建立相關資格認證制度

- 提高科研經費發展學術研究，並擴大建築節能相關基礎資訊調查研究
- 加強綠建築種子教師養成，國民教育能力，編列綠建築教育叢書，創建綠建築文化，舉辦教育系列活動，提升國民綠建築環境素養
- 培養綠建築創新能力，厚實綠建築開放課程、增加數位教材、實踐知識共用，強化綠建築基層宣導

(五) 建構循環永續綠建築技術交流平臺，建立國際合作交流機制

- 結合建築、機械土木、水利及環境工程專業，建立綠建築產學研技術交流平臺；
- 透過專家諮詢會、講習或線上研討會、綠建築團隊及綠建築社區交流活動等，為營建相關公協會、環保之相關人員提供培訓、專家諮詢服務等；
- 建立國際夥伴機制與合作經營模式，定期舉辦國際研討會，加強資訊與技術交流，將成功經驗深耕並朝向商業模式；
- 建構民間組織與相關公協會夥伴關係以提升綠建築經濟、環境與健康效益之溝通與教育工作，建立綠建築發展之示範案例，完善綠建築市場合作經營模式

第四節 創新技術評量體系

(一) 4E 創新技術評估流程方法

針對永續綠建築創新環境技術評估方法，建議可以 4E 包含環境(Environment)、經濟(Economy)、工程(Engineer)及能源(Energy)等四個面向進行分析，圖 4-4 為綠建築創新技術之 4E 評估流程圖，此評估流程將結合現行政策及評估體系，包括：永續發展政策綱領、EEWH 評估指標、及綠色/循環經濟等。以綠建築評估體系之舊建築改善類為例，其改善技術若為創新技術，除了必須以 EEWH 性能效益評估法或減碳效益評估法說明建築改善前後之效益外，也必須是永續創新之綠建築技術。目前申請綠建築創新技術的改善條件必須具備現有 EEWH-BC 或 EEWH-GF 評估系統所無法評估之內容，但為與生態、節能、減廢、健康密切相關之綠建築新穎革命技術，此技術應由申請者自我舉證，並經過特別綠建築委員會審查合格後認定之。本計畫擬針對永續綠建築創新技術，以 4E 分析結果提出相關關鍵績效指標，並結合現有現行 EEWH 性能效益評估體系，整體性考慮創新技術之系統效率、氣候變動、稼動率等因數變動。

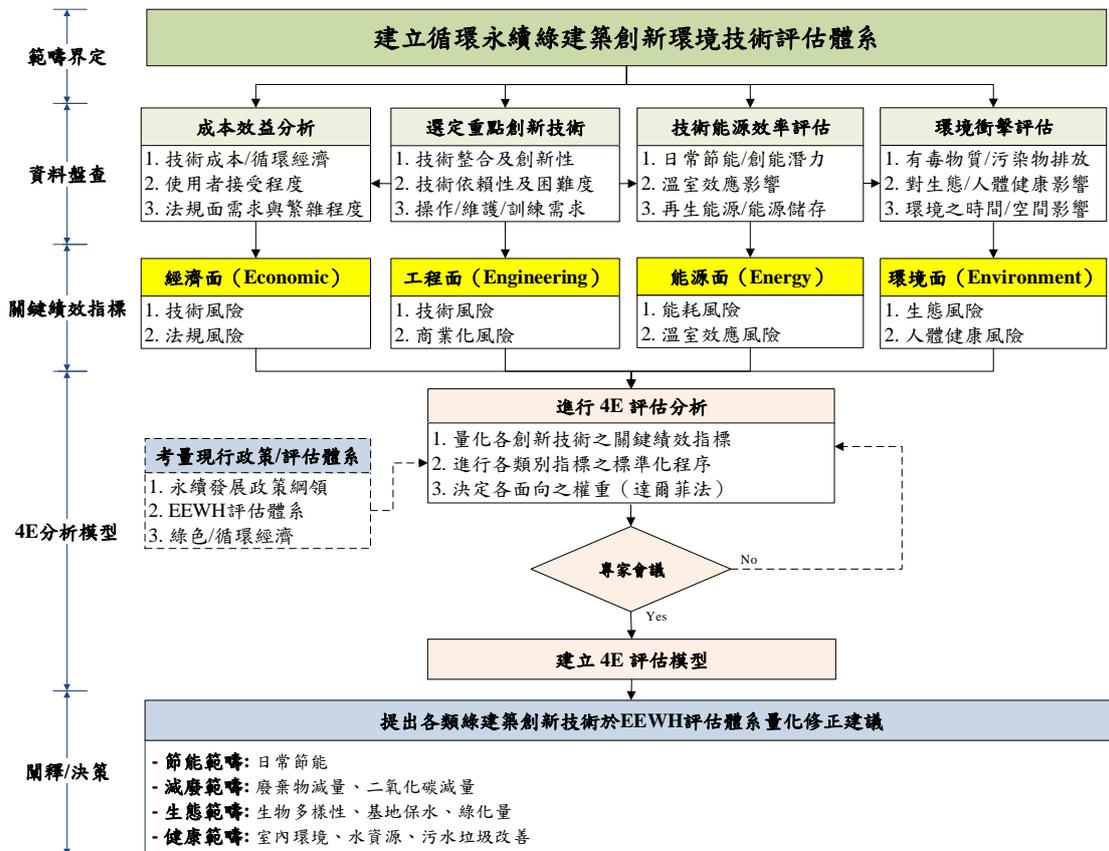


圖 4-4、綠建築創新技術 4E 評估流程圖

(資料來源：本計畫彙整)

(二) 創新技術之 4E 評估指標

目前永續綠建築創新技術，其 EEWB 性能效益僅由申請單位自行檢附計算書與性能證明，由綠建築委員會進行主觀性審查，無法提供客觀之量化數據。據此，本計畫擬建立綠建築創新技術評估方法，基於 EEWB 九大指標範疇之延伸，進行 4E 評估指標之擬定，供以未來政府部門決策執行之參考依據；針對工程面的考量係基於創新技術於工程實質執行成果與難易度，包括技術關鍵突破困難、技術滲透率、設備維護操作之專業人員需求、新系統需求度以及國外資源仰賴度等等；環境面則是基於創新技術對於環境衝擊，選擇項目包括污染排放減量、毒性物質影響程度、水土資源影響程度、動植物影響程度以及安全衛生與職業災害等；經濟面向則是基於技術接受度、法規需求與相關成本為考量，包括技術接受度、技術成本、法規要求程度、使用者對於創新技術以外的其他技術的喜好度以及最後是針對循環經濟的貢獻度；能源面向則是以節能為考量，包括是否引用再生能源、能源效率、能源儲存效益、日常節能效益以及溫室氣體減量效益等，4E 評估分析方法說明如下：

能源面、經濟面、工程面、及環境面之 4E 評估：

本研究團隊過去長期為整合經濟面 (Economy)、工程面 (Engineering) 和環境面 (Environment) 三個面向，建立起評估技術優劣之數學工具；於本期研究計畫，更規畫將此 3E 評估延伸至「4E 評估」，加入「能源面 (Energy)」考量。該分析之結果完全取決於技術本身之工程績效、能量和物料消耗、經濟開銷和造成的環境衝擊。該評估第一步為選定關鍵績效指標 (Key Performance Indicator, KPI)。

在該步驟中需要瞭解待評估技術或製程之運行條件，並根據專業經驗選定合適之 KPI 及其權重。決定 KPI 及權重之方法許多，本研究擬採用達菲爾法 (專家問卷法)。選定 KPI 後，即可搜集相關資料，並將其陳列為矩陣。下式為針對環境衝擊 (環境面)、工程績效 (工程面)、經濟成本 (經濟面) 及能源效率 (能源面) 之模型運算矩陣：Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System

$$LECI_{yi} = e_{yi} = \begin{bmatrix} e_{11} & \cdots & e_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & \cdots & e_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

$$EP_{yi} = p_{yi} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

$$EC_{yi} = c_{yi} = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

$$EE_{yi} = e_{yi} = \begin{bmatrix} e_{11} & \cdots & e_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & \cdots & e_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

其中， $LECI_{yi}$ 、 EP_{yi} 、 EC_{yi} 和 EE_{yi} 分別為環境衝擊、工程績效、經濟成本及能源效率。 y 表示第 y 個研究物件，在本研究中指代不同的技術或操作情境。 i 表示第 i 個評價 KPI。當資料準備完備後，即要對其標準化，以消除不同情境之間的資料差異，使其落入【0，1】範圍。根據不同的面向，標準化有兩種方法：

第一種如式(4)，用於工程績效的評估。此標準化方法會將較高工程績效之技術或製程賦予較高的數值，從而評判其為較優的技術或製程：

$$X'_{yj} = (x'_{yj}) = \left(\frac{x_{yj} - \min_{y=1}(x_{yj})}{\max_{y=1}(x_{yj}) - \min_{y=1}(x_{yj})} \right) = \begin{bmatrix} x'_{11} & \cdots & x'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x'_{m1} & \cdots & x'_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

第二種標準化方法如下式所示，主要用於環境衝擊和經濟成本之評估。對於一特定技術或製程而言，較低環境衝擊和經濟成本是被運用之前首要考慮的。因此，經濟面和環境面之標準化會將環境衝擊和經濟成本較低的技術以較高的數值。

$$T'_{yj} = (t'_{yj}) = \left(\frac{\max_{y=1}(t_{yj}) - t_{yj}}{\max_{y=1}(t_{yj}) - \min_{y=1}(t_{yj})} \right) = \begin{bmatrix} t'_{11} & \cdots & t'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t'_{m1} & \cdots & t'_{mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

其中，環境衝擊面向可經由生命週期評估分析，

最後，各面向之得分即為標準化數值與其對應權重乘積之總合：

$$KPI_y = \sum_{i=1}^m (KPI_{yi} \cdot W_{yi}) \dots\dots\dots(7)$$

該評估結果以三角矩陣呈現，三角矩陣三條邊分別對應環境衝擊、經濟成本和工程績效。將三角矩陣根據評估分為 A、B、C、D、E 共 5 個區塊。其中 A、B 具有較好的工程績效、較低的環境衝擊和經濟成本，是較有應用價值的技術。落在 C、D 的技術，其工程績效尚可達標、環境衝擊和經濟成本也在可接受的範圍內，因而可作為備選技術納入考量或進一步開發和改良。

本計畫建議可採用達菲爾法（專家問卷法），針對綠建築創新技術推廣落實作業，擬定相關關鍵績效指標，並設計成專家問券方式，邀集相關專業人士針對該技術進行評分，最後依據評分結果可建立創新技術評估分析之量化結果，以呈現該技術於環境、工程、經濟與能源四大面向的貢獻程度。

(二) 案例說明-以二氧化碳礦化發展再生綠建材技術

本計畫以工業界鹼性廢棄物結合超重力程式發展二氧化碳礦化技術，並將礦化後廢棄物作為輔助凝膠材料，期未來商品化發展為再生綠建材，本計畫將以二氧化碳礦化發展綠建材作為 3E 分析成果之案例，說明如下：

工程績效：

以一公噸之飛灰為功能單位，其中，分析水量需求，電力需求，進而量化反應器轉速、風機和幫浦的運轉功耗以及批次之操作時間。根據不同操作條件，分別為對應不同進氣量，對應不同旋轉填充床轉速以及對應不同液固比。在不同操作條件下，每噸飛灰之碳捕獲容量處於 0.09 到 0.19 噸二氧化碳的範圍內，並可將 5kg 反應後飛灰作為水泥取代材料。

環境衝擊：

環境面分析方法主要為生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)，同樣以 1 公噸之飛灰為功能單位。分為三部分，分別為超重力程式對於空氣污染物控制部分，水泥生產以及碳酸鈣礦化生產。情境分為一般情境、二氧化碳礦化捕獲情境以及廢棄物再利用情境。所用分析軟體為 Umberto 5.5。生命週期評估之 Midpoint 衝擊因數中，溫室效應潛勢(global warming potential, GWP)項目切合研究主題，且其值相對較大，對於總環境衝擊貢獻較大。通過空氣污染物減量，可有效降低程式之溫室效應潛勢，此外，廢棄物再利用可避免生產相同產品所造成的大量的溫室效應潛勢。進氣量操作之潛勢大幅度攀升原因在於其處理效率相對較低，總物料流量較大，故而潛勢較為明顯。

經濟成本：

二氧化碳礦化技術主要成本包含三個來源：設備操作成本，設備安裝成本以及設備維護成本。對於設備操作成本，由於反應物飛灰來自於靜電集塵器，無需任何成本，液相反應原料為自來水，當地工業用水價格約合 0.30US\$/t-tap water；能源來源為廠區用電，價格約為 0.10US\$/kWh，並以 1 公噸飛灰為功能單位之操作成本。對於設備安裝成本，以設備總壽命為 10 年期計算，初期安裝投資為 2,000,000 NTD，換算為美元約 67,000 US\$，由於在此 10 年期中等量投資具有一定利率，其總投資成本其實高於初期安裝投資，以每年 5% 之利率計算。設備總安裝成本為：

$$Total\ Capital\ Cost = \frac{67000}{10} (1 + 1.05 + 1.05^2 + \dots + 1.05^9) US\$$$

再以設備每年 8100 操作小時數以及不同操作條件下飛灰處理速率折算，即可得到每噸飛灰設備安裝成本。對於設備維護成本，其主要易損壞之子系統為後端風機及進流幫浦。其中風

機單價約 300US\$/台，運行壽命約為 10000 小時，進流幫浦為清水幫浦，單價約為 150US\$/台，每個 1000 小時需進行機油加註，大修前壽命約為 10000 小時。在保養方面，使用過程中軸承消耗一定量之潤滑機油；此外由於通入液體含有一定量之飛灰顆粒，需要定時更換堵塞填料以及濾網，但反應器附屬設備與潤滑機油用量相對較少，成本均可忽略不計。

3E 分析成果

根據對各操作條件之工程面績效、環境面衝擊值以及經濟面成本之統整結果，利用作圖法核算得到各操作條件分佈如圖 4-5 所示。每個點代表一個操作條件，所處位置越高代表在此系列關鍵性能指標下績效越優。所得到之最優操作條件為：進氣流量: 4.23 m³/min; 旋轉填充床轉速: 600 rpm; 液固比: 40ml-tap water/g-fly ash。

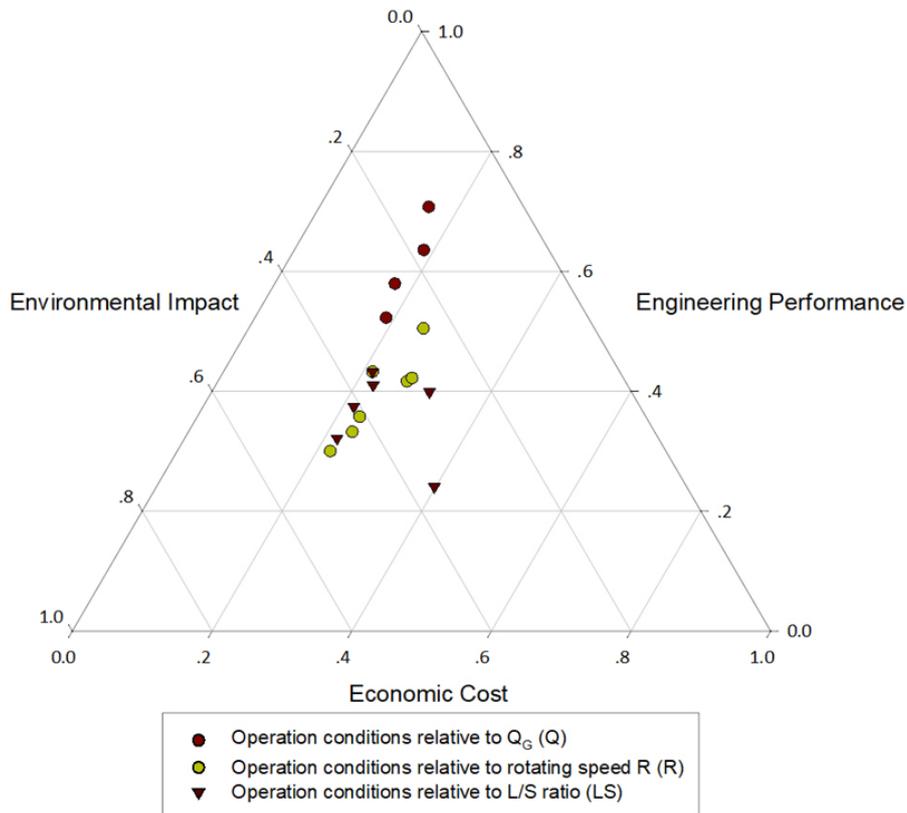


圖 4-5、3E 量化模型作圖法分析

(資料來源：本計畫彙整)

第五章、綠建材創新技術

本計畫特別著重於綠建材對於循環減廢之相關創新技術進行說明。綠建材可定義為製造過程使用最少能源，減少廢棄物產生量，避免產生有毒有害污染物，延長建築物生命週期與回收建材再利用，並分為再利用與可循環兩種類型，再利用材料是指「不改變所回收物質形態的前提下進行材料的直接再利用，或經過再組合、再修復後再利用的材料」。可循環材料是指「已經無法進行再利用的產品通過改變其物質形態，形成另一種材料，並可進行多次循環利用」。再利用、可循環材料主要有兩方面來源：其一來源於建築廢棄物，包括建築施工、舊建築拆除和場地清理等建築全生命週期中產生的各種固體廢棄物；其二來源於工業廢棄物、農業廢棄物、生活廢棄物的資源化再生。於建築施工、舊建築拆除和場地清理過程中會產生大量固體廢棄物，如果不加處理地棄置堆放，不僅浪費材料，而且會對環境造成污染。在這些廢棄物中，有些是可再利用材料，包括砌塊、磚石、管道、板材、木地板、木製品（門窗）、鋼材、鋼筋、部分裝飾材料等。有些屬於可再循環材料，主要有金屬材料（鋼材、銅）、玻璃、鋁合金型材、石膏製品、木材等。另外綠建材亦可定義為原料採取、產品製造、使用過程和再生利用循環中，對地球環境負荷最小、對人體健康無害之建材



圖 5-1、我國對於綠建材內涵說明圖

（資料來源：2015 年版綠建材解說與評估手冊）

本計畫依據「2015年版綠建材解說與評估手冊」，綠建材依照建材生命週期的概念可分為四種（如圖 5-1）：(1) 「生態綠建材」指使用無匱乏危機之天然材料（例如竹材、再生林木材等）製成之建材；(2) 「健康綠建材」指低甲醛及揮發性有機化合物（TVOC）逸散之建材；(3) 「高性能綠建材」包括防音、透水、節能等性能上有高度表現之建材；以及(4) 「再生綠建材」指將廢棄物再利用製成之建材。參酌聯合國 2016 所頒佈之永續發展目標之精神，加以整合分為「自然生態」、「節能減碳」、「健康安全」、「再生循環」以及「高性能」等五大類別，以下依照上述分類說明創新綠建材技術如下：

第一節 自然生態綠建材

自然生態綠建材係以結合天然材料為主，基於低加工、低能耗、無毒害與耐久性之特點所製成之建材，可包含竹材鋼板、工程化木材建材、天然隔熱材料以及天然纖維水泥材料等等，如圖 5-2 所示，其效益具備減少傳統人為加工之建材用量以及延長建材壽命與碳匯功用，下列係說明與自然生態相關之創新綠建材技術：

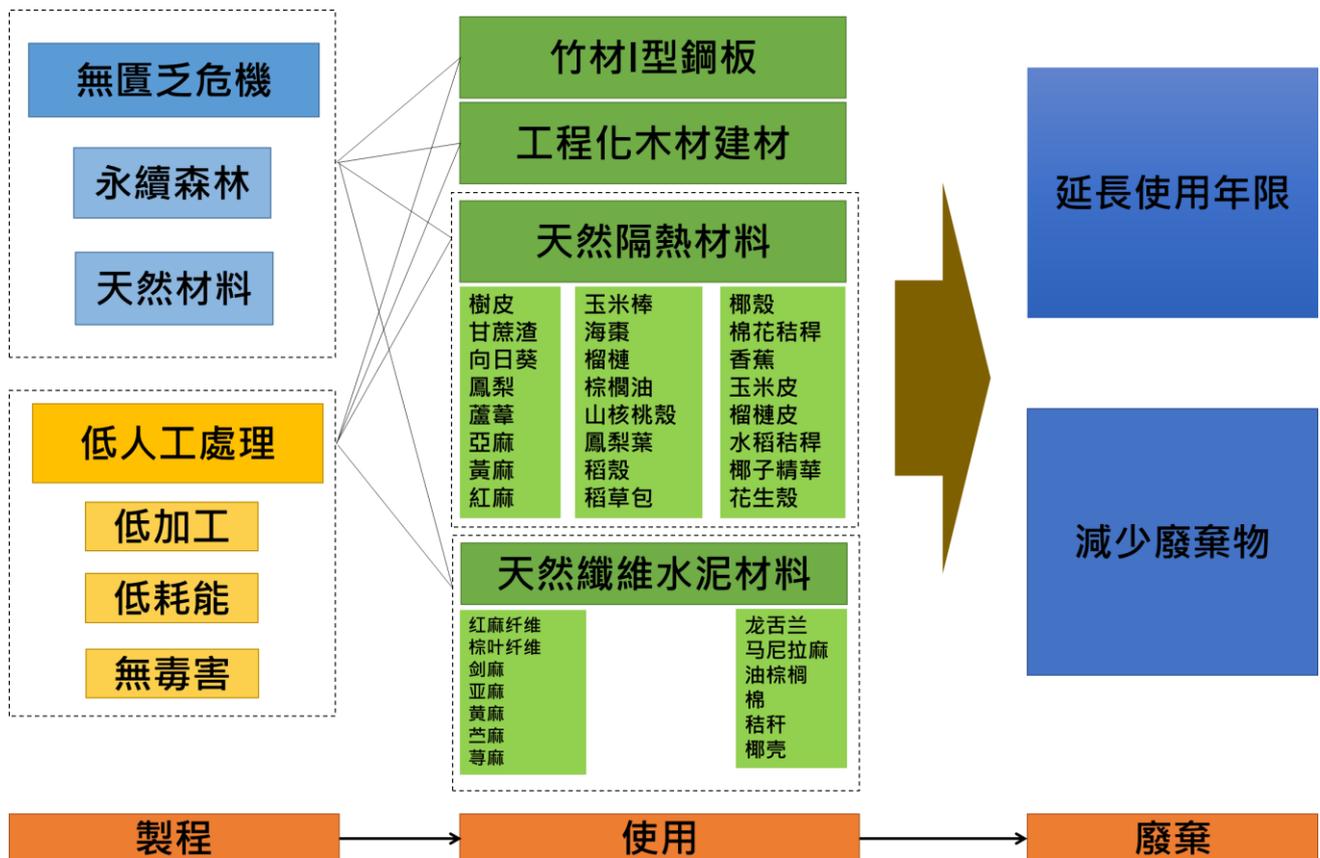


圖 5-2、自然生態綠建材分類圖

(資料來源：本計畫彙整)

(一) 竹材 I 型鋼板 (I-section bamboo-steel)(中國與英國)

為了加強竹材作為綠建材，目前正積極研發一種新型的輕質 I 型竹鋼複合梁，主要由兩片冷成型薄壁鋼組成，中間帶有黏合劑的三通竹膠合板條板由竹材為骨幹結合 I 型鋼板做成建築樑，可以充分利用生態建材亦達到節約鋼材料之效益。I 型竹鋼複合梁具有良好的機械性能與強度，利用竹膠合板和冷成型薄壁鋼，克服了竹材較薄與不穩定的缺點。(如圖 5-3 所示)

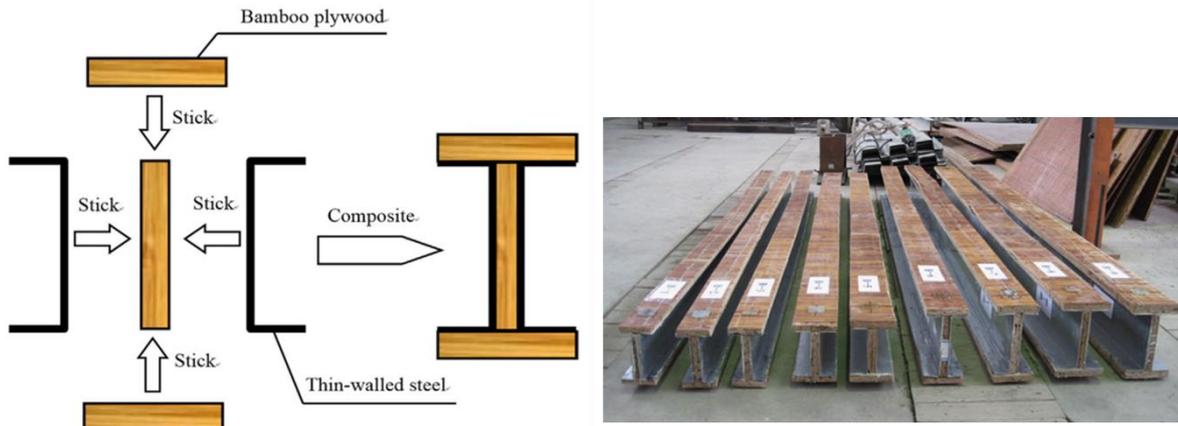


圖 5-3、(左)竹材 I 型鋼板之結構剖面圖(右)竹材 I 型鋼板成品

(資料來源：Yushun Li, et, al., 2015)

(二) 工程化木材建材(Engineered Timber)(英國與加拿大)

歐洲地區與加拿大有著廣大的森林，意味著具備發展生態建材之潛力，目前諸多國家已將工程化木材發展為室內建築使用之樑柱或傢俱等，這些層壓木材與木材複合材料製造技術之效益包括提高木材穩定性、更均勻的機械性能與更大的耐用性（如表 5-1 所示）。其中泛用的工程化木材產品包含：

表 5-1、歐洲與加拿大常見之工程化木材產品與應用面

工程化木材產品	應用面
平行條木板 Parallel Strand Lumber	室內樑柱
層壓單板木材 Laminated Veneer Lumber (LVL)	室內樑柱
I 型桁 I-Joist	室內樑、桁
膠合層積材 Glulam	室內樑、地板
結構絕緣木板 Structural Insulating Panel	室內屋頂、隔間、地板
錯層壓木材 Cross-Laminated Timber (CLT)	室內外屋頂、隔間、地板
Brettstapel	室內外屋頂、隔間、地板

(資料來源：Michael H. Ramage, et, al., 2017)

- 膠合層積材(Glulam)：定義為由至少兩個基本上平行的疊片組成的結構木材構件，其可以包括一個或兩個板，並且具有 6mm 至 45mm 的厚度。這些通常用於製造僅由運輸方式限制的彎曲與長梁。
- 層壓單板木材(Laminated Veneer Lumber, LVL)：通常是由 3 毫米厚的雲杉，松樹或去皮

膠合板製成的相同種子的立體木材強度的兩倍。通常的單板顆粒以單一方向上取向，但是也可以根據定制的機械性能製造交叉顆粒切片。短膠合板的長度通過縫合接頭端對端連接，允許無限尺寸長度。

- **錯層壓木材(Cross-Laminated Timber, CLT)**：由至少三層鋸切軟木製成的木材板材以相互垂直的方式彼此堆疊在一起，並以膠合方式形成厚度在 50-500 毫米適用於流體，牆壁和屋頂元素高達 13.5 米長度。
- **結構絕緣木板(Structural Insulating Panel, SPIs)**：定義為結構預製夾心板由兩層纖維或定向刨花板之間的絕緣層組成。
- **I 型桁(I-Joist)**：具備更深木質托樑具有相當的強度和堅固性，複合材料 I-Joists 由於其均勻結構與相對較小的木材尺寸使桁可更加穩定。
- **Brettstapel**：這些實木面板也被稱為“dowellam”，由用硬木樺連接的軟木板製成。硬木銷釘以 8% 的含水量驅動進入面板。隨著軟木板材的含水量達到 12-15%，硬木銷釘膨脹達到均衡，固定板材緊固無需黏著劑。

(三) 天然隔熱材料 (巴西)

建築保溫材料和增強結構材料可由局部可得到的纖維和其他有機廢棄物複合材料替換。在各種情況下，軟木被用作絕緣材料，耐磨性和耐久性，可作為綠建築的原材料。天然樹皮板的甲醛釋放量與適當的熱導率可以滿足絕熱材料的需求，可由椰子皮和蔗渣可以製成不使用化學黏合劑及添加劑的低密度保溫板，無膠棉稈纖維板特別適合於天花板和牆壁，大麻、亞麻和黃麻的天然纖維可以用作絕緣材料，而且此技術可以適當地應用到建築立面和屋頂。棗木建築保溫材料、玉米芯刨花板、油棕櫚、稻殼和碎核桃殼也具有可接受的性能。熱帶水果皮可用於特定的應用，在絕緣的牆壁和天花板製造刨花板。榴槿（榴槿）皮和椰子（椰子）椰殼纖維作為低導熱係數的建築板元件，鳳梨纖維絕緣子極有可能取代合成纖維絕緣子。

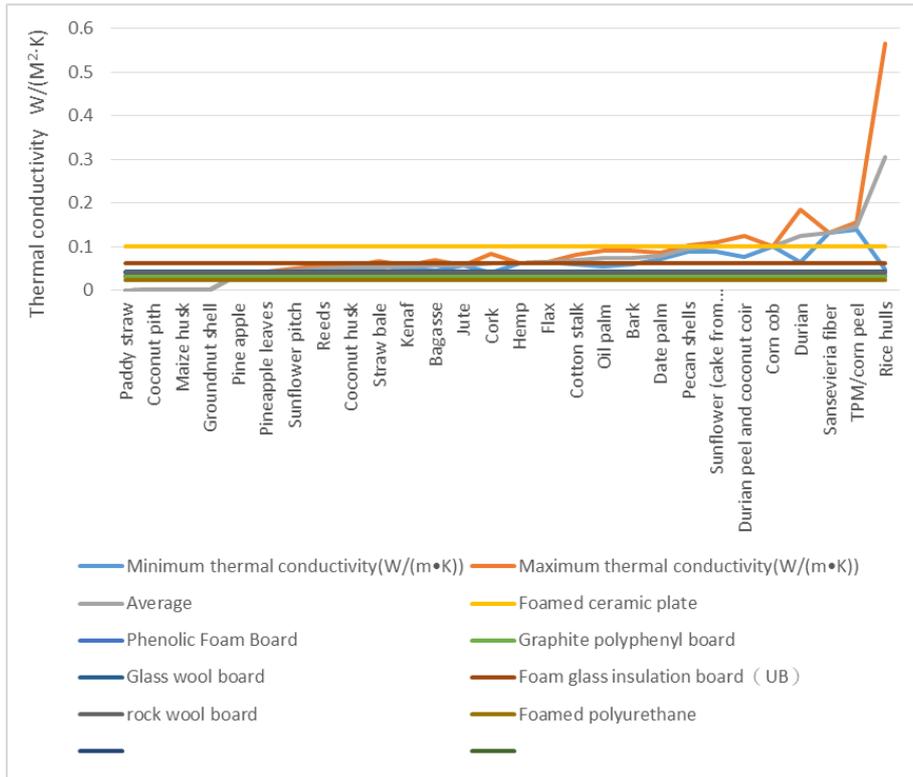


圖 5-4、各類天然隔熱材料之熱傳導率彙整

(資料來源：本計畫彙整)

(四) 天然纖維材料(Natural Fibers Materials)(法國)

天然纖維如黃麻與亞麻或大麻，將其混和後可形成塊狀材料，經過抗噪音與隔熱測試結果，決定最佳混和比，最後製成隔熱墊或隔音墊。應用於建材上具備抗噪音與隔熱之功能，於天然纖維盛產國家俱備商業化之潛力。(如圖 5-5 所示)



圖 5-5、(左) 天然纖維材料製造流程(右) 黃麻、亞麻與大麻

(資料來源：Azra Korjenic, et, al., 2016)

第二節 節能減碳綠建材

(一) 以粉碎造粒高爐渣(GGBS)作為水泥取代(英國)

粉碎造粒高爐渣(Ground Granulated Blast furnace Slag, GGBS)是製鐵工業副產物，GGBS可與過量的氫氧化鈣反應形成矽酸鈣，進一步減少骨料間孔隙率，提高混凝土抗壓強度與穩定度。GGBS 可用作水泥的替代品，(如圖 5-6 所示) 因為水合過程與波特蘭水泥非常相似。當波特蘭水泥與水反應時，不溶性水合產物與水泥顆粒接近。水合(氫氧化鈣)的較易溶解產物作為離散晶體析出，被大孔包圍。當 GGBS 顆粒也存在時，GGBS 和波特蘭水泥均可。另外，GGBS 與過量的氫氧化鈣反應形成有助於填充和阻塞孔隙的水合物。結果是硬化的水泥漿，其含有大大降低的氫氧化鈣和較不透氣的精細孔結構。遊離氫氧化鈣的還原使混凝土化學更穩定，更細的孔結構限制了侵蝕性化學物質通過混凝土擴散的能力。目前在英國，GGBS 料源穩定且為一種商業化之綠色水泥建材技術，具備廢棄物資源化、低能耗以及低碳排等效益。

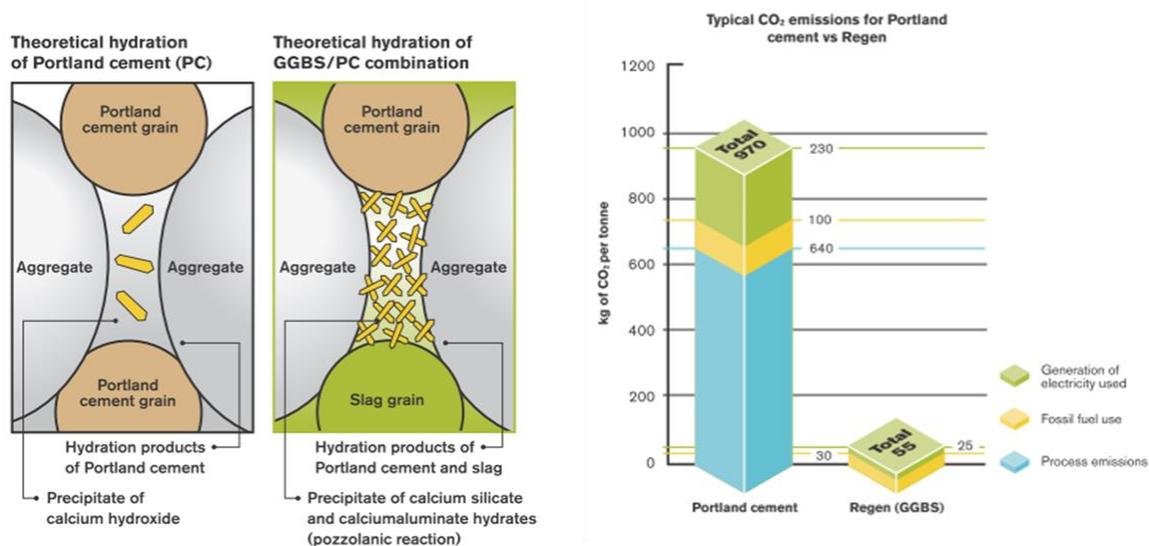


圖 5-6、(左)GGBS 與波特蘭水泥之水合作用原理(右) GGBS 與波特蘭水泥之碳排放比較

(資料來源：Hanson Cement Company., 2015)

(二) 稻殼灰渣(rice husk ash)再利用於水泥取代(東南亞及印度)

作為稻米大國的東南亞地區與印度，持續研究以稻殼灰渣部分取代至波特蘭水泥，可增強混凝土之抗壓強度、抗腐蝕度與耐久度，目前最佳取代率為 10%。優由於稻殼灰有高含量矽(84%~92%)，可作為建築磚頭、隔熱磚頭等應用，具備再生建材之開發潛力。(如圖 5-7 所示)



圖 5-7、以稻殼灰渣製作成耐火磚之示意圖

(資料來源：Ramchandra Pode., 2016)

(三) 發脹聚苯乙烯(Expanded Polystyrene)(斯里蘭卡)

以發脹聚苯乙烯作為輕量混凝土的製作材料，或可製成起泡混凝土(Foamed Concrete)，取代率可達 40%~50%，並作為隔間板之用途；為輕質量，利於搬運，並可減少傳統混凝土用量，具備商業化之潛力。(如圖 5-8 所示)



圖 5-8、發脹聚苯乙烯之混凝土隔間板產品

(資料來源：P.L.N. Fernando, et, al., 2017 ； D.M.K.W. Dissanayake, et, al., 2017)

(四) 3D 列印材料 (3D printed Materials)(新加坡)

3D 列印技術為一種將透過工業機械製造方法以三圍立體方式呈現最終產品，透過 3D 列印技術可將回收材料做出再生混凝土等綠色建材。透過此技術可有效降低人力與建材浪費，並可提升建材使用率與能源使用效率等，為未來建築機械化之發展方向。(如圖 5-9 所示)

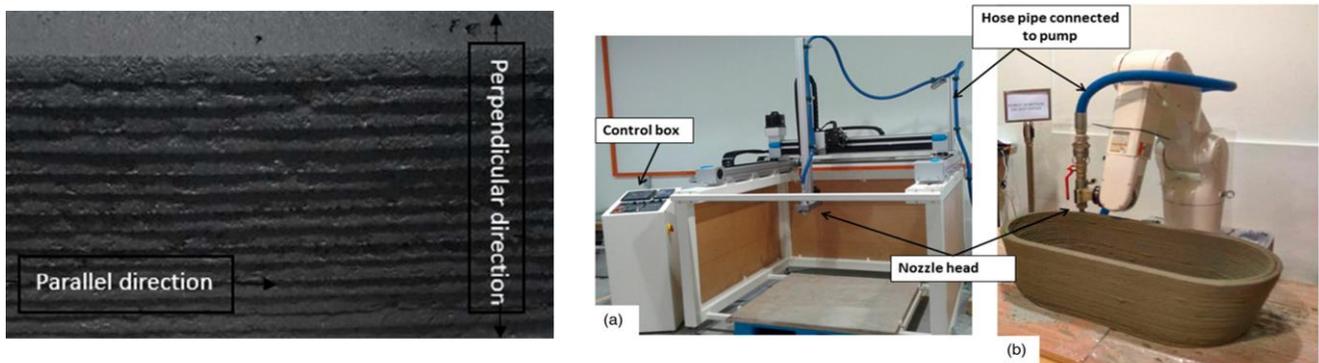


圖 5-9、(左) 3D 列印技術之聚合纖維(右) 3D 列印技術之混凝土

(資料來源：Yi Wei Daniel Tay, et, al., 2017； Biranchi Panda, et, al., 2017)

(五) 泡沫混凝土砌塊磚 (美國)

泡沫混凝土砌塊 (又稱免蒸壓加氣塊) 屬於加氣混凝土砌塊的一種，其外觀品質、內部氣孔結構、使用性能等均與蒸壓加氣混凝土砌塊基本相同。這是一種新型節能環保牆體材料，具有輕質高強，減輕建築物負荷；良好的抗壓性能；抗震性好；不開裂、使用壽命長；抗水性能好的突出特點。



圖 5-10、泡沫混凝土砌塊磚示意圖

(資料來源：Ali A. Sayadi, et, al., 2017)

(六) 水泥發泡外牆保溫裝飾一體板

外牆保溫裝飾一體板將裝飾和保溫施工合二為一，節約了近十道工序，大大節約了施工時間，相對於傳統保溫方法，縮短 60% 的工期，施工效率提高一倍。通過先進安裝體系與牆體相互配合，形成低碳節能、裝飾、防水、防黴、防火與建築一體的美觀效果。

(七) 鹼性廢棄物碳礦化於建材利用

使用鹼性廢棄物進行二氧化碳礦化捕獲技術為一相當有潛力之技術，為國際新穎綠色技術。其反應效果較傳統反應器優越許多，且反應時間、溫度與壓力也相對小很多，因此具有高捕獲效率、低操作成本、不產生二次污染等優點。反應前固體廢棄物存在氫氧化鈣，且碳酸鈣含量較少（原始碳酸化轉換率約 10%）；反應後固體廢棄物氫氧化鈣含量消失，碳酸鈣含量則明顯上升（反應後碳酸化轉換率可達 27%）；此外，使用廢水與固體廢棄物進行吸附實驗，經過碳酸化反應後爐石 free-CaO 含量降為 0%（原始原料中約含 5% 之 free-CaO），達到同步安定化鹼性廢棄物效果。經碳酸化反應後之產物可被安定化與穩定化（如：降低原物料中游離氧化鈣，避免遇水產生膨脹），經研究亦發現，碳酸化反應後之產物可作為水泥輔助凝膠材料，例如：添加少量碳酸化反應後之產物製作成波特蘭水泥，可提升其抗壓強度。可發展為創再生綠建材。

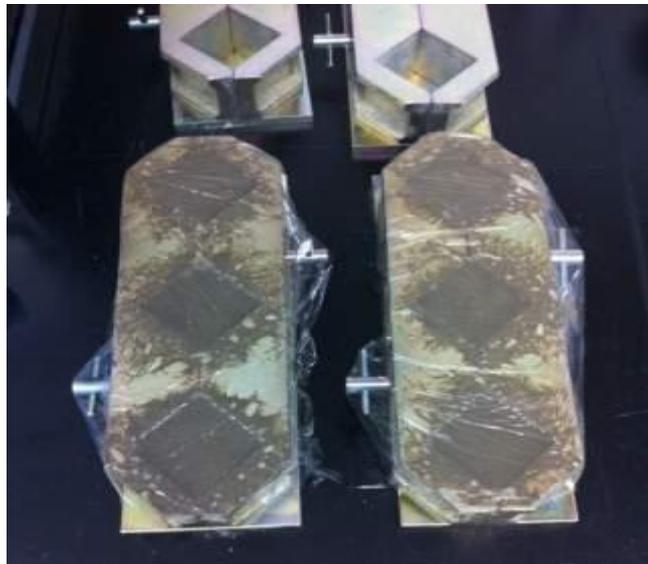


圖 5-11、礦化後鹼性廢棄物拌合成水泥砂漿示意圖

(資料來源：Pan, et, al., 2017)

第三節 健康安全綠建材

健康安全綠建材範疇可涵蓋地板、塗料、窗戶、隔間、密封材料與隔熱材料等，主要效益包含可維護室內空氣健康品質、人體照明度健康、人體舒適度以及人身安全保護等，如圖 5-12 所說明，下列係說明與健康安全相關之創新綠建材技術：

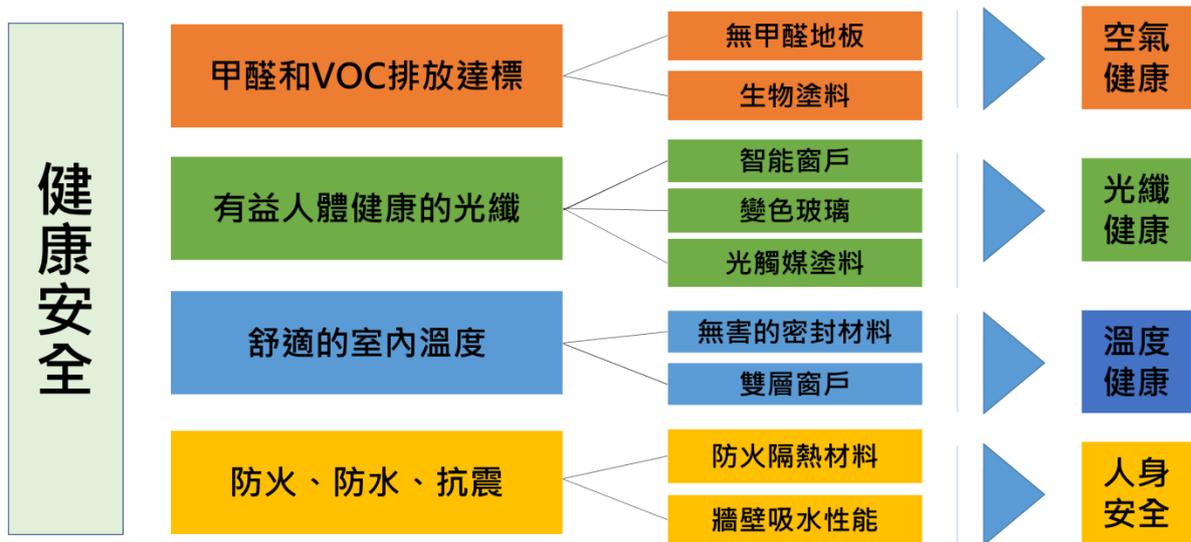


圖 5-12、健康安全綠建材分類圖

(資料來源：本計畫彙整)

(一) 光觸媒塗料(Photocatalytic Coating)(澳洲)

以二價金屬與其金屬氧化物如 TiO_2 作為光觸媒，可用促使自由基與空氣中污染物如病媒菌、臭味或 VOC 等反應成無機產物，其附帶效益為去除空氣中微量污染物如 VOC 與微量病媒菌，提升室內空氣品質。(如圖 5-13 所示)

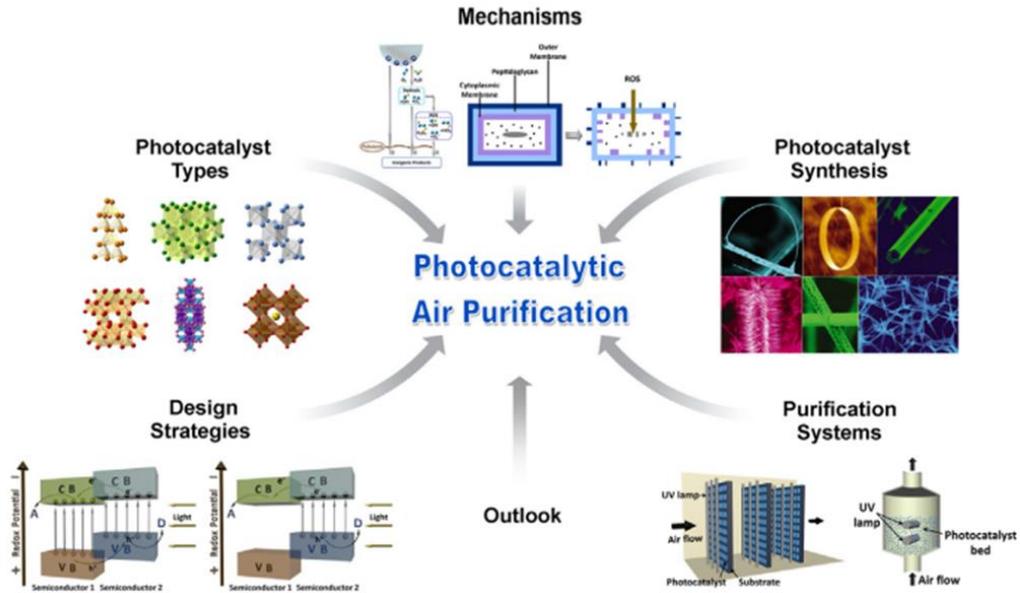


圖 5-13、光觸媒塗料用於室內空氣品質之理論

(資料來源：Hangjuan Ren, et, al., 2017)

(二) 木製辣椒秸稈塑膠複合材料(Wood chile peppers stalks-plastic composite, WPC)

木製辣椒秸稈塑膠複合材料 (WPC) 是一種非常有發展性之綠色材料，無需使用有毒化學品，主要透過含有植物纖維和熱固性材料或熱塑性塑膠之複合材料。與其他纖維材料相比，植物纖維通常適合於加強塑膠，因為相對高的強度和剛度，低成本，低密度，低二氧化碳排放，生物可降解性與可再生性。

(三) 海洋生物黏附材料

沿海生態系統依靠牡蠣礁過濾水，保護風暴，並為其他物種建立棲息地。從化學的角度來看，很少有細節可以說明這些貝類如何建造如此廣泛的珊瑚礁系統。實驗表明，牡蠣產生聚合成大社區的生物黏附材料。這種水泥是一種有機-無機雜化，不同于周圍的殼通過顯示替代碳酸鈣晶體形式，交聯的有機基質與蛋白質含量升高。在比較牡蠣水泥與其他海洋生物黏合劑時，揭示了新的主題和獨特的方面。交聯蛋白的存在提供了一個類似於貽貝和藤壺膠而高無機含量是獨家的牡蠣。通過對牡蠣水泥的描述，我們獲得了發展合成複合材料的策略，以及更好地瞭解健康海岸環境所需的成分。

(四) 新型聚氨酯樹脂黏結劑

韓國研製了一種低 VOC 含量的新型聚氨酯樹脂黏結劑。對其易燃性、彈性、滲透性和抗拉強度進行了室內試驗，並進行了凍融、抗滑和現場施工試驗。新合成的樹脂的非揮發性組分在約 98.8% 時測定，而以前的樹脂約為 93.5%。實測抗拉強度比值的木屑混合物凍融滿意準則。

測得的臨界熱通量在滅火 (CFE) 滿足 C 類歐洲阻燃標準。現場施工後的滲透性與養護時間基本相同。

第四節 再生循環綠建材

(一) 營建與拆卸廢棄物再利用(Construction and Demolition Waste, C&DW)

蒐集建築營造或拆卸過程中所產生的廢棄混凝土、粒料或廢棄木材等，透過破碎、過篩與重新組裝等流程可作為再生混凝土、再生粒料或其他再生建材。可減少廢棄物處理成本、降低能源消耗及碳排放、提高再生產品附加價值與廢棄物資源化。(如圖 5-15 所示)

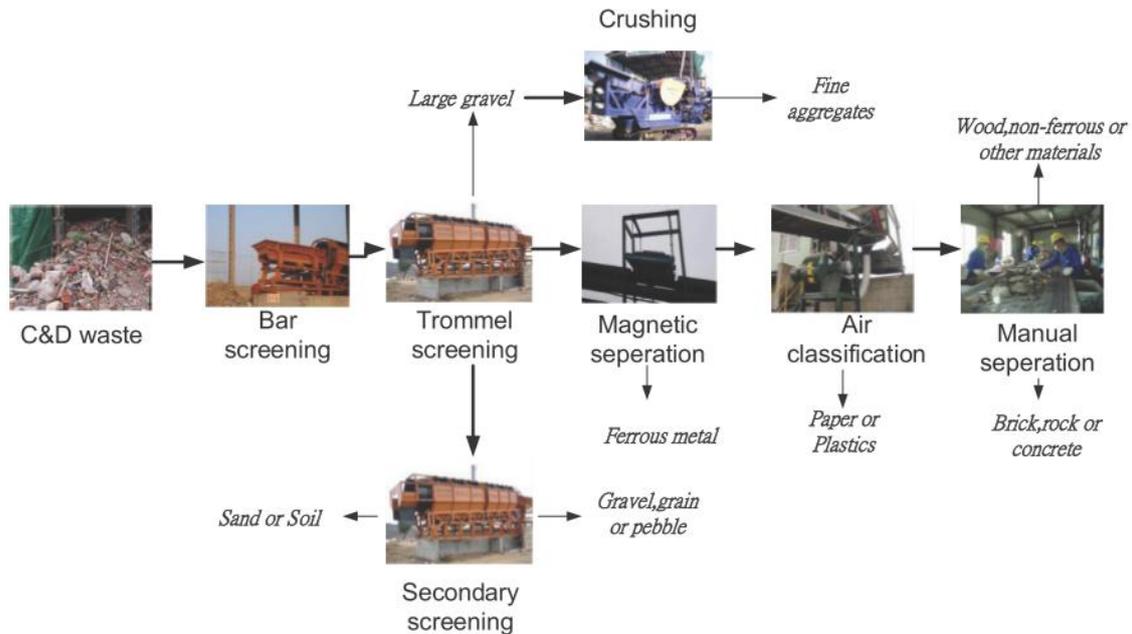


圖 5-15、C&DW 回收再利用作為再生建材之流程

(資料來源：Serdar Ulubeyli, et. al., 2017; Ying-Ying Lai et., al, 2016)

本計畫主要著重於再生綠建材之資料蒐集，以符合綠建築循環永續發展之宗旨，因此，一般建築物於建造施工過程中，往往產生一些廢棄建材，以建築物生命週期為考量，於維修或翻新時也會產生一些廢棄建材，如果可將這些建築廢資材進行完整規劃再利用的途徑，即可達到減少建築資源浪費；國外先進國家對於營建廢棄物的回收再利用已推廣多年，由於建築技術、建築習慣與材質的偏好，資源回收再利用的情形略有差異，以澳洲為例，將營建廢棄物分為施工建造廢棄物及拆除廢棄物兩大類，並已制定完整之再生料粒品質試驗標準及施工技術規範，再利用之市場管道以道路工程最為廣泛。

建築營造或拆卸過程中之廢棄資材是最具回收作為綠建材的原物料，例如於英國每年約產生 1.2 億噸建築廢資材；荷蘭則因國家地理的自然因素影響，將超過 90% 廢棄混凝土塊皆運用於道路基層的填充材料與填海造陸工程；建築廢資材再利用後，可減少施工所造成的環境負

擔（例如降低能耗、二氧化碳排放、廢棄物等）。特別於設計階段，考量使用具有高回收含量的廢資材進行施工，可於建築物生命週期內，於建築維護和翻新，或者建築物拆除時，回收這些廢棄資材。針對國外相關營建再利用現況整理，如表 5-2 所示。

表 5-2、各國營建資源回收狀況彙總

國家	再利用項目	高附加價值	低附加價值
澳洲	廢磚、廢混凝土、回收石膏板、木材	景觀造景、再利用骨材、再生石膏板、模版、傢具	一般回填料、道路基層、施工便道、木粉
荷蘭	廢混凝土、營建混合物	再利用骨材、再生混凝土、非結構性建築物、公路隔音牆、河堤、壩體補強	道路基層、道路填方
日本	廢混凝土、廢瀝青混凝土	再生骨材、道路級配	一般回填料、路基材
加拿大	廢混凝土、廢瀝青混凝土	再利用骨材	一般回填料、整地、道路基層
比利時	廢混凝土、廢瀝青混凝土	道路建設、河堤、壩體補強、消波塊、再生瀝青、瀝青骨材	-
新加坡	廢混凝土、廢磚瓦	路緣石	施工便道、道路填海
中國	廢混凝土、廢磚石、廢瓷、廢木材	粗細骨料、再生牆版、再生地磚、空心磚、室內地坪、透水磚、傢具、木質再生板材、再生紙漿	燃料、模版
香港	廢瀝青、廢磚、廢混凝土、碎石、廢木材	再生瀝青、瀝青骨材、再利用骨材、桌椅、再生粒片版	人行步道基底、一般回填料、道路基層物料、地基工程碎料、排水工程基層填料

(資料來源：本計畫蒐集彙整)

(二) 木質素發泡與混合分散技術(台灣)

木質素是構成樹木細胞壁的主要成分之一，也是造紙的副產物，全球造紙業每年產生約 5,000 萬噸木質素，其中九成以上被當成廢料燒掉或丟棄；如圖 5-16 所示，工研院研發「混合分散安定模擬與應用系統」，藉由研磨分散設備與製程設計降低木質素粒徑，改善木質素不易分散且與傳統石化原料相容性差的缺點，使木質素與傳統石化材料有更佳的相容性與安定性，進一步開發出高性能 PU 發泡生質複合材料，可應用於包括隔熱建材、織物衣著、車輛內裝、傢俱裝潢、包裝填充等領域（工研院，2015）。亦常用於防火吸音板綠建材例如岩綿裝飾吸音板、屋頂防火吸音板、混凝土粒料 RS-C(陶瓷砂再生細粒料)、德國 Pflleiderer F2 型化粧粒片板（W300MP-W300 白色 28mm）以及蒜果木(kulim)，皆符合 CNS 試驗，分別認定為健康、高性能、生態及再生綠建材。

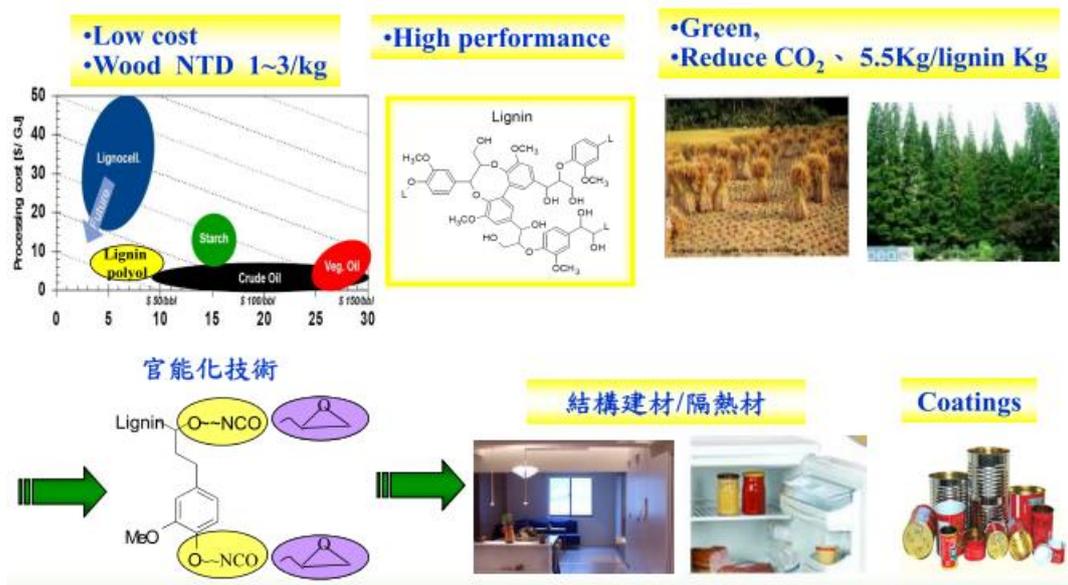


圖 5-16、木質素 Epoxy/PU 樹脂材料開發及應用流程圖

(資料來源：工研院，2015)

(三) 廢輪胎與廢液晶顯示器於建材再利用(台灣)

以廢輪胎與廢液晶顯示器玻璃製作為輕量粒料混凝土 (Lightweight Aggregate Concrete)，取代率天然粒料 10%，抗壓強度可於 91 天達 56Mpa。其優點與效益為可減少傳統細粒料用量，具備再生建材之開發潛力。(如圖 5-17 所示)

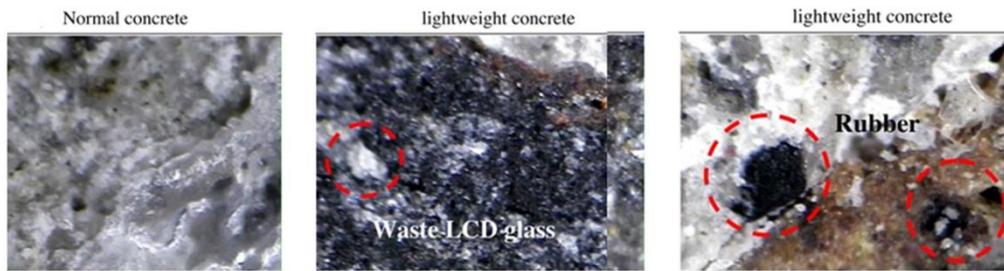


圖 5-17、以廢輪胎與廢液晶顯示器玻璃製作為輕量粒料混凝土與一般混凝土比較圖

(資料來源：Li-Jeng Hunag, et, al., 2015)

(四) 廢橡膠顆粒與鋼纖維之再生粒料混凝土(中國與美國)

以廢橡膠顆粒與鋼纖維作部分取代，形成再生粒料混凝土，與一般混凝土有較的抗壓強度與穩定度。其優點與效益為可減少傳統水泥與粒料用量，具備再生建材之開發潛力。(如圖 5-18 所示)



圖 5-18、結合細粒料、廢橡膠顆粒與鋼纖維形成再生粒料混凝土

(資料來源：Xie Jian-he er. al., 2015)

(五) 微生物聚合物混合磚(Microbial Biopolymers)(南韓)

將作為土壤改良劑之生物聚合物作為磚塊製造之替代黏合劑，其產品抗壓強度符合國際標準。其優點與效益為提高土造建築物的強度和耐久性能並減少傳統水泥用量，具備再生建材之開發潛力。(如圖 5-19 所示)



圖 5-19、微生物聚合物混合土塊製作與抗壓強度測試之示意圖

(資料來源：Ilhan Chang, et, al., 2015)

第五節 高性能綠建材

(一) 速配隔間牆系統(台灣)

此系統主要將邊板鎖固定於收邊角鐵上，板與板以螺絲交互鎖固成模組化牆體，不需要骨架，其優點包含節省空間，土地面積可用率高，引用輕質骨材，防火性與耐震性高，具高效能保溫、抗壓高等，施工比輕隔間快 2 倍，工人經過短期訓練即可施作，且施工介面配合度高，在施工現場不需要裁切，以螺絲直接鎖付組裝單側施工即可完成雙面組裝，另外在環保特點部分，拆除後可重複使用，可將材料回收再利用，並不會產生廢棄物。因此，這種樂高式拆卸作法於建築應用層面，主要作為隔間牆施工設計作法，避免未來建築內部管線施工時，要破壞牆壁而造成建材浪費。(如圖 5-20 所說明)

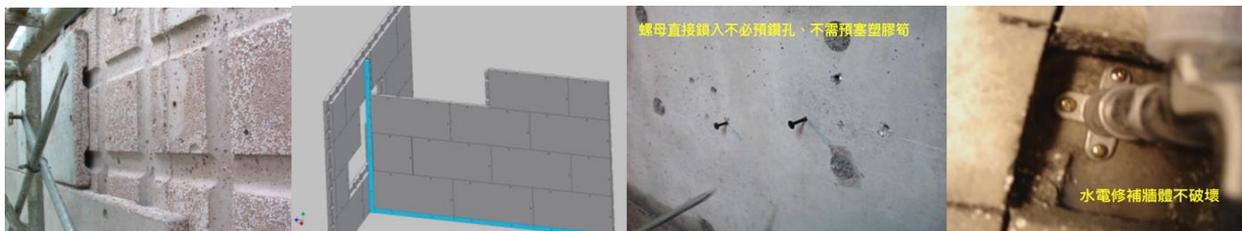


圖 5-20、綠建材簡易施工做法之示意圖

(資料來源：樂高牆建材股份有限公司)

(二) 熱導電聚合物奈米複合材料(台灣)

將熱導電聚合物奈米複合材料(thermally conductive polymer nano-composites)及混合液體除濕冷卻液體乾燥劑(如氯化鋰的鹵化物溶液)可應用於建築空調設備，並結合傳統中央空調與液體乾燥劑運用，可廣泛推廣應用於住宅或商業建築，具備環保概念且符合其成本效益(工研院，2015)。

(三) 有機無機混成奈米材料技術(台灣)

本技術乃利用有機無機奈米混成技術，開發高透明性之材料，藉由有機材料及無機材料導入可得良好之接著性、高硬度、耐磨性、交聯性、加工性、尺寸安定性、低膨脹係數及熱安定性；藉由官能基改質技術可賦予無機材料具有良好相容性及感光性，並兼顧環保需求，減少有機溶劑之污染，開發紫外線硬化奈米塗料，提高塑膠材料表面的耐磨及硬度(工研院，2015)。

(四) 高嶺土聚合材料(Geopolymer form kaolin)(中國)

透過混合高嶺土與膠凝劑，以及高分子結晶與聚合作用，穩定材料結構型態，形成高嶺土聚合材料。若可將此材料作為建材表面，具備防火耐熱與抗腐蝕之功能，塗抹約 10mm 之聚

合材料，其耐熱期間可達 1.5 小時，未來具備開發為防火塗料之潛力。(如圖 5-21 所示)

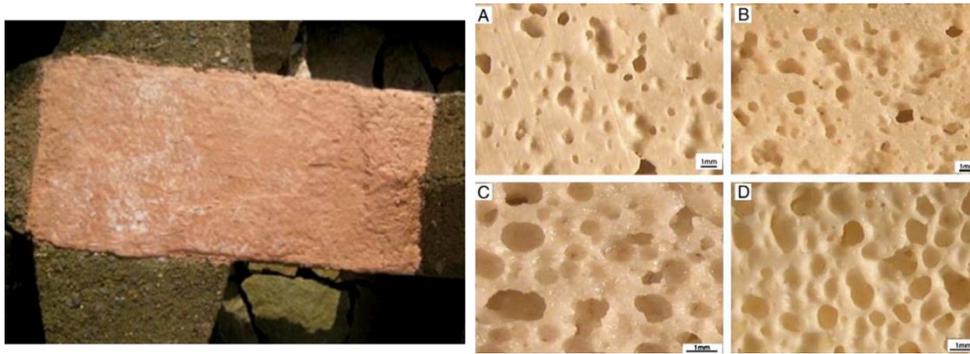


圖 5-21、(左) 高嶺土聚合物材料應用於消波塊(右)於不同溫度之防火強度測試

(資料來源：Michael H. Ramage, et, al., 2017)

(五) 以有機材料之智慧玻璃(Smart Window)(荷蘭)

以膽固醇液晶(Cholesteric liquid crystal, CLT)作為玻璃製造原料，利用其分子排列會依照不同溫度而變化，會反射不同波長的光。可依據室內溫度調整太陽輻射入射量，具備節能效益，具備未來商業化之潛力。(如圖 5-22 所示)

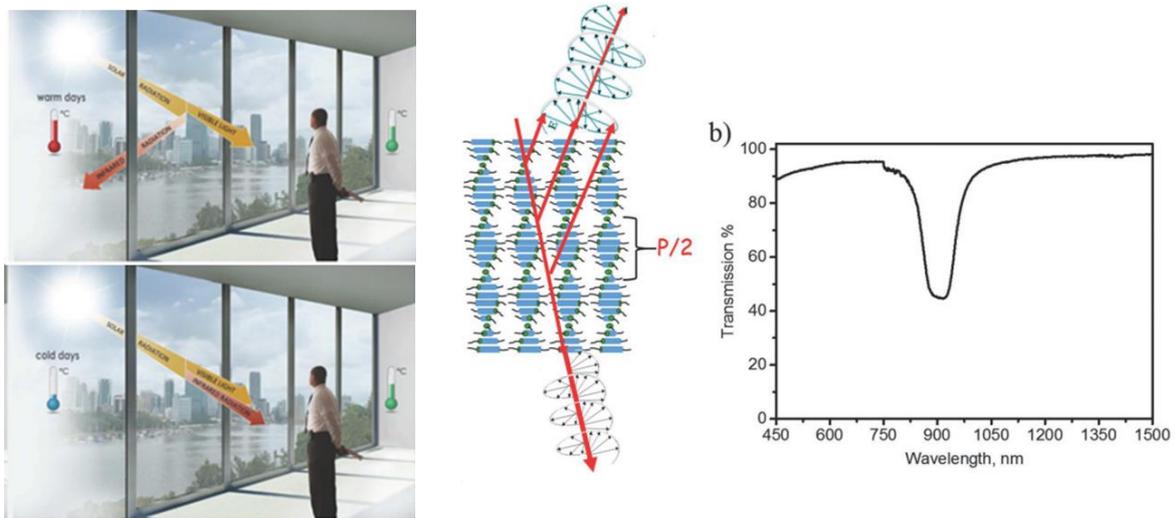


圖 5-22、(左) 可依照不同室內溫度調整輻射入射量(右)不同波長下的入射光穿透率

(資料來源：Hitesh Khandelwal, et, al., 2016)

(六) 透明木材(Transparent Wood)(美國&瑞典)

利用氫氧化鈉與過氧化氫去除維管束植物中產生顏色的木質素 (Lignin)，使木材成為半透明白色材料，這種白色材料在與預聚合的甲基丙烯酸甲酯 (methyl methacrylate) 混合之後，其折射率就會改變，進而變成透明，並將黏著劑注入木質部和韌皮部，以維持木質部和韌皮部中細胞壁的奈米構造，接著可視最終產品的需求，只要調整木材和甲基丙烯酸甲酯的比例，就

可以改變此「透明木材」的透明度。為了使「透明木材」將來能走向商業化，研究人員下一步將利用不同的木材研究如何增加其透明度，並擴大生產規模。(如圖 5-23 所示)

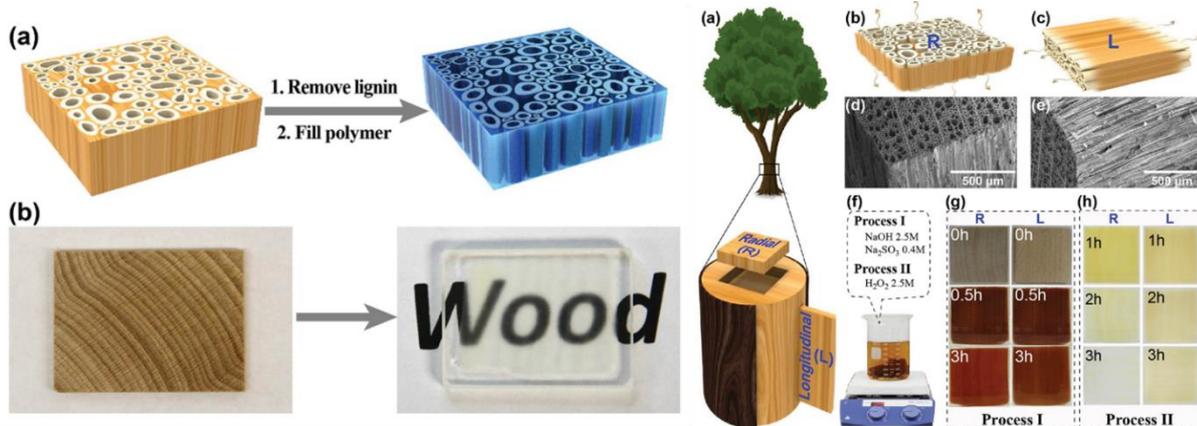


圖 5-23、透明木材製造流程之示意圖

(資料來源：Mingwei Zhu, et, al., 2016)

(七) 超高強度高性能混凝土(UHPC)(台灣)

混凝土是當今最大用量的建築材料，而且在短時間的未來，仍將如此。然而，傳統混凝土材料自重大、脆性高、強度低的特性，影響限制了混凝土的使用。20 世紀以來，隨著社會經濟的發展和科技的進步，混凝土的強度不斷地提高。20 世紀末，已出現了強度超過 60 MPa 的高強混凝土，且已經開始各個層面的推廣應用。在強度不斷提高的同時，對於耐久性與其他特殊性能的要求也不斷提昇，在導入各類化學摻料、礦物摻料、人造纖維等外加材料後，超高強度高性能混凝土(Ultra-high Performance Concrete，簡稱 UHPC)被提出，並且研發成功。它是一種使用高強度鋼纖維的高強度水泥砂漿材料，兼具水泥質材料與鋼鐵材料的優點，會是將建築與土木工程推升至下一世紀的革新性材料。

(八) 輕質骨材混凝土(LWAC)(台灣)

國內各主要水庫在長期使用過程中，因上游帶來的淤泥沉積，已使得多數水庫的庫容大幅降低，可能在十年內將出現水庫功能迨盡的情形，目前水庫多半以人工抽砂的方式來抽取庫底淤泥，減低庫容降低的速率。然而，抽出的淤泥處置與去化卻形成另一個問題，以石門水庫為例，其週邊共設置十個以上的大型淤泥堆置場，近年來已接近飽和狀況。水庫淤泥材質與天然砂石接近，是可再利用的材料，但其顆料細度過大，影響了其再利用形式。國內近十年來，有學術單位與產業界合作研究，成功將水庫淤泥利用燒結技術，製作成可供工程應用之粒料，且其強度可不亞於天然砂石，相關技術已臻成熟。然而，因水利相關規定與地方政府環保法規所限，水庫淤泥燒結為粒料無法形成產業，使水庫泥得以形成具備經濟效益的去化模式。現今

政府力推循環經濟，此一可成功去化水庫淤泥，使水庫得以有效延壽的再利用方式應該被加以重視。如能在相關法規與管理機制因應調整下，水庫淤泥所製作之輕質粒料所產製的輕質粒料混凝土(Light-weight Aggregate Concrete, 簡稱 LWAC)將有很大的應用空間。

第六章、循環永續綠建材技術優先研究方向

本計畫參酌聯合國永續發展目標、EEWH 體系以及綠建材標章，加以整合分為「自然生態」、「節能減碳」、「健康安全」、「再生循環」以及「高性能」等五大類別，並彙整定義說明，此外，參考國內資源再生建材產業相關對策，透過 SWOT 分析，研擬循環永續綠建材技術優先研究方向，以供政府部門參考。

第一節 循環永續綠建材分類

（一）自然生態綠建材

生態綠建材有助於降低建築材料開採和加工過程中的能源消耗、污染物排放與碳足跡，因此大多數生態綠建材皆取自木材、竹類等。然而竹材根木材屬於天然材料，但在台灣主要考量是建築永久性與耐震度，通常這些天然材料都要進行特殊加工。因此，未來還應將生命週期概念納入生態綠建材的鑑定與評估，以促進綠建材廠商更新產品，降低環境衝擊與資源消耗。此外，綠建築之維護與元件更新亦會造成額外之環境衝擊。

（二）節能減碳綠建材

綠建材對於節能減碳也有助益，透過天然或再生循環之材料做成綠建材，可有效減少傳統水泥、混凝土材料用量，達到減少二氧化碳排放效果。例如使用再生粒料、混凝土或農林廢資材作為建材原料，抑或開發具備碳捕獲效益是吸附材作為建築外殼結構等等。

（三）健康安全綠建材

為了因應台灣亞熱帶氣候環境考量，建議可強化隔熱建材的技術發展資料。並由本土發展技術開始發想，既可達到再利用資源化，又可以創造新穎建材。例如室內裝潢材料可考量多孔與輕量化材料，以利調整室內濕度與溫度。此外可考量推廣研發高反射塗料，但目前問題是耐久性不夠，建議要兼具高耐久與環保效益。例如對於玻璃幕牆之清潔維護，會消耗水資源。因此建議研究自潔性建材，可減少清潔劑使用，並將降低環境賀爾蒙效益納入建材評估體系。

（四）再生循環綠建材

對於再生建材技術發展研究課題，可由材料選擇、技術選擇、產品功能性等三個面向進行策略性思考；材料選擇要說明可再利用與適用的廢棄物料源，接著是產品功能性要明確，例如隔熱、防火、節能或輕質化等等，最後再說明技術如何選擇。舉例來說：發泡玻璃隔音磚，使用的料源是廢棄玻璃，功能是隔音隔熱與輕質化，其技術則是發泡技術。輕質骨材也是可以發展的通路，因為建材減重可有效提高耐震度，但是包含運輸、性能、汙染去化等都是可以研

究發展的課題。另外金屬材料之生產涉及礦石開採、冶煉、鍛造等，是屬於環境衝擊較高的建材。

(五) 高性能綠建材

建材對於建築結構很重要，天然材料如木材或木材無法取代鋼筋混凝土，鋼構材料，主因是竹材木材耐久性低、維護頻率高；在臺灣，為了因應未來都市更新與都市高樓化，建議可發展高性能材料，將混凝土材料與鋼筋材料效能提高，使結構型態更穩定，包含超高性能混凝土(Ultra High Performance Concrete, UHPC)與新型混凝土 New Concrete 等。(UHPC 指強度達 1000kgf/cm² 以上之纖維水泥質複合材料)

(六) 小結

目前建築營建廢棄物回收再利用之技術包含：(1)重複使用開挖材料設計為排水設施；(2)瀝青柏油之再利用技術；(3)回收綠屋頂的土壤做為土地利用；(4)既有土地設施維修後再利用；(5)使用再生材料於混凝土中；(6)使用替代式水泥添加劑，例如粉煤灰或高爐渣等；(7)回收混凝土原料結塊，並做為儲熱之用途；(8)儲藏容器再利用；(9)回收木材作為圍欄等景觀美化之用；(10)來自拆遷場地的木材可作為木屑堆肥，景觀美化之用，或作為生質燃料；(11)將廢棄磚塊重新用於景觀美化設計；(12)重新使用建築用之固定輔助器材；(13)既有建築可將現場施工承包商廢資材再利用。本計畫亦將蒐研之綠建材技術彙整為綠建材技術發展路線圖如圖 3-59 所示，依照各國技術目前發展現況，並依照「自然生態」、「節能減碳」、「健康安全」、「再生循環」以及「高性能」等五類，可分為成熟商業化技術、示範階段技術以及新興發展技術等三類。

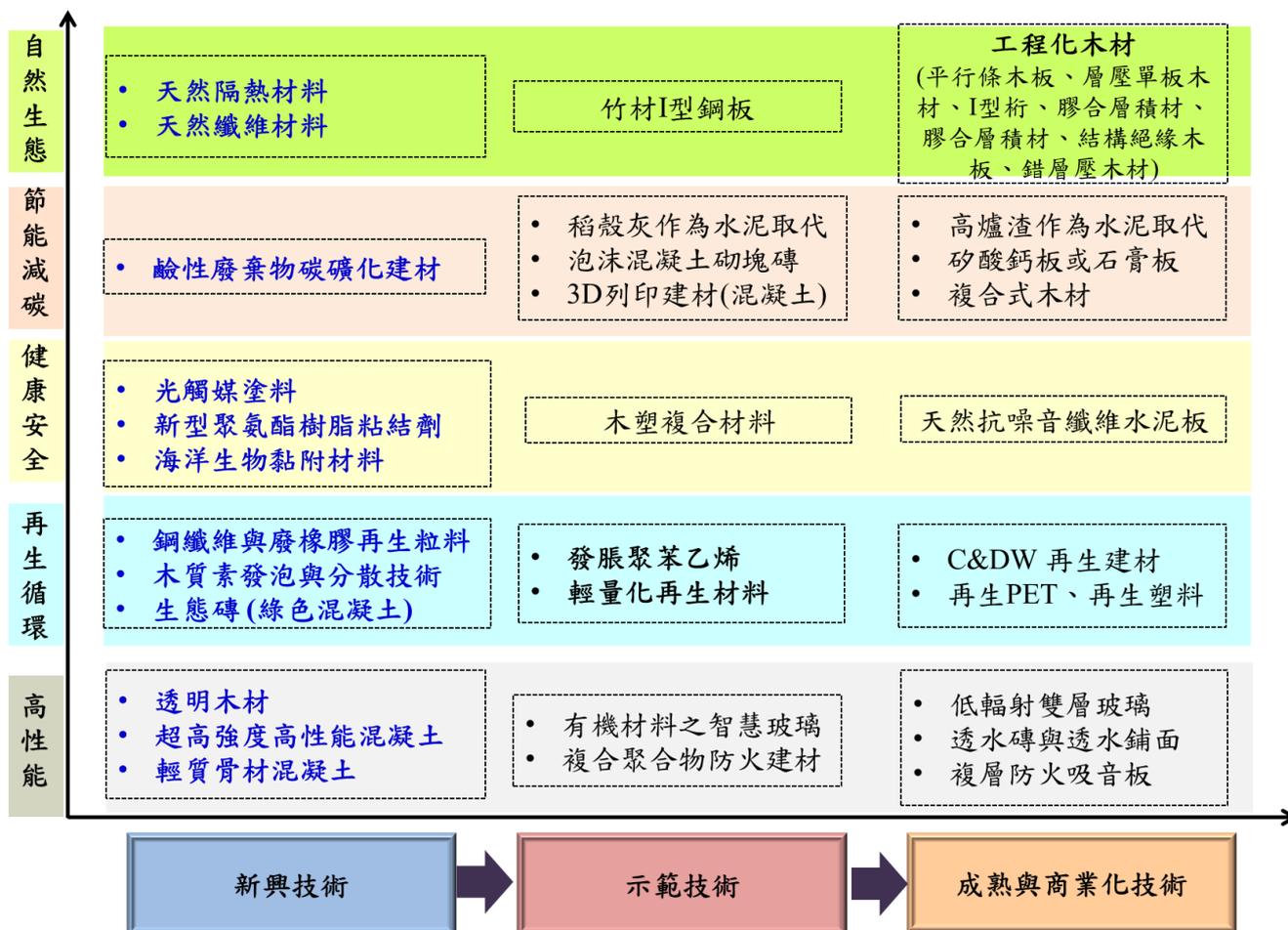


圖 6-1、綠建材技術發展路線圖

(資料來源：本計畫蒐集)

第二節 循環永續綠建材推動策略分析

目前依據國內綠建材標章制度推動以來，所核發之標章中，「健康綠建材」佔比接近 80%，遠高於其他三類包含生態、再生、高性能。其中再生綠建材更僅佔約 7%，此現象並未符合當初推動綠建材標章設立四個分類之規劃目標。再生綠建材推動的主要障礙為民眾接受度，由於健康綠建材之名稱較能提高民眾的吸引力，再生綠建材卻常常造成民眾誤解認為回收再利用產品之品質與安全較差。為克服此困難，加強綠建材標章驗證與再生綠建材產品品質之公信力十分重要，以利提升民眾對於取得綠建材標章之產品，安全及性能品質上之信任感與接受度。因此本計畫參考國外再生綠建材推動策略並進行國內綠建材推動策略分析，彙整相關資料透過 SWOT 分析，以研擬綠建材技術優先研究方向。

(一) 國外再生綠建材推動策略

目前歐盟與美國對於推動永續建築之願景包含提升老舊建築翻新率以及提升營建廢棄物使用率，因此再生綠建材可被視為未來深具前瞻性之產業，而對於國外所提出的具體推動策略如表 6-1 所示，可配合國內實際情形，並作為推動再生綠建材之參考。

表 6-1、國外對於再生綠建材具體推動策略彙整

項目	實踐推動政策
與綠建材市場相關	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 完善建材廠商與料源之供應通路 ➢ 強化再生建材對於永續發展效益評估工作 ➢ 提升建築師與供應商對於再生建材製程之參予機會 ➢ 開拓再生建材之通路市場與資源化用途
與綠建材創新技術相關	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 提升不同再生建材之研究發展能量 ➢ 完善境內綠建材數據資料庫 ➢ 建立再生建材促進環境效益評估成果工具 ➢ 培養再生建材創新技術研發人才
與綠建材法令政策相關	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 提升法令規範再生建材之再生料含量 ➢ 政府設定再生建材之目標用量 ➢ 提高再生建材之基礎教育推廣工作 ➢ 建立再生建材之補助措施以提升經濟誘因

(資料來源：Lukumon O.Oyedele, et, al., 2014；Hongping Yuan, et, al., 2017，本計畫翻譯彙整)

(二) 強化資源再生產業體系與落實循環經濟

對於再生綠建材的品質應考量兼顧健康、生態、性能等之基本要求下，以保持建材基本性能為前提，儘量提高其回收料之比例。並應避免於製程中過度添加如膠合劑等 外來物質。另外針對法規制度方面，現行建築技術規則第 321 條，對於綠建材要求強制使用面積 45%，且對於再生綠建材標章評估基準亦包括：(1)無限制性物質、(2)產品性能符合應符合國家標準，若無國家標準者，應另提出所符合之國際標準等；此外，再生綠建材評定亦必需確保以下原則：(1)回收材料應為國內所產生者，不得含有綠建材通則中之限制物質，且不得為來自國外之回收料、(2)廠內產生之廢棄物，如各種污染防治設施所回收之污泥、灰燼等，無通則中之限制性物質者，亦可視為回收料，但應以乾重(扣除水分後)計算、(3)產品製程所產生之邊料或不良品返送於同一製程再製相同之產品者，則不視為回收材料。基於上述，再生綠建材未來推動策略應整合其對於建築與環境效益（如圖 4-1 所說明），以及三減三高原則，即為減少原物料用量、減少廢棄物處理成本、減少能耗與碳排放、提高資源永續利用程度、提高產業競爭力以及提高產品附加價值，最後推動再生綠建材之循環經濟體系。

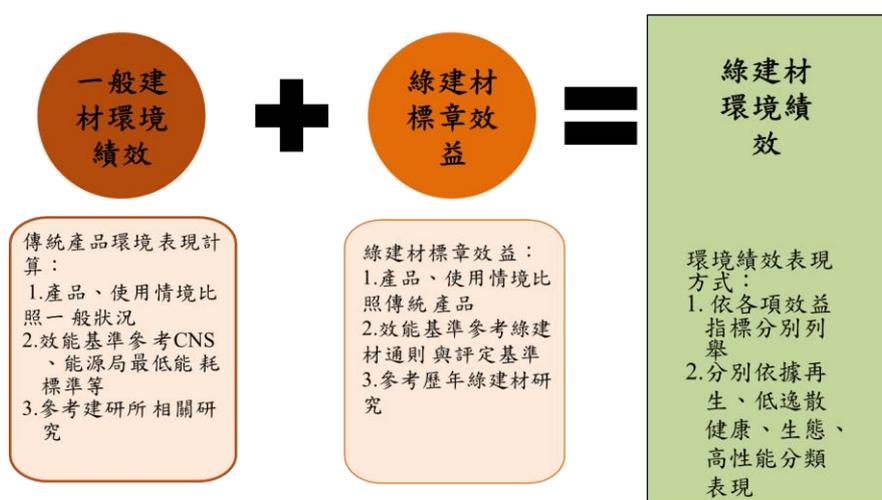


圖 6-2、再生綠建材環境與建築效益之整合分析

(資料來源：財團法人環境與發展基金會，2017)

另外，目前經濟部所公告可再利用廢棄物多達 58 項，其中評估可作為再生綠建材原料包括：廢木材、廢白土、廢玻璃、廢陶瓷磚瓦、石材廢料、石材汙泥、電弧爐煉鋼爐渣、感應電爐爐渣、化鐵爐爐渣、廢橡膠、淨水污泥高爐礦泥、轉爐礦泥、熱軋礦泥、旋轉窯爐渣以及廢水泥電桿等，且再利用產品主要作為再生混凝土以及再生水泥產品等，因此，建議應打通上中下游業者與使用者通路，包含廢棄物來源、資源回收、產品功能設計、產品銷售規劃以及產品使用者等，以建構資源再生產業體系作為循環經濟實踐基礎，如圖 6-3 所示。

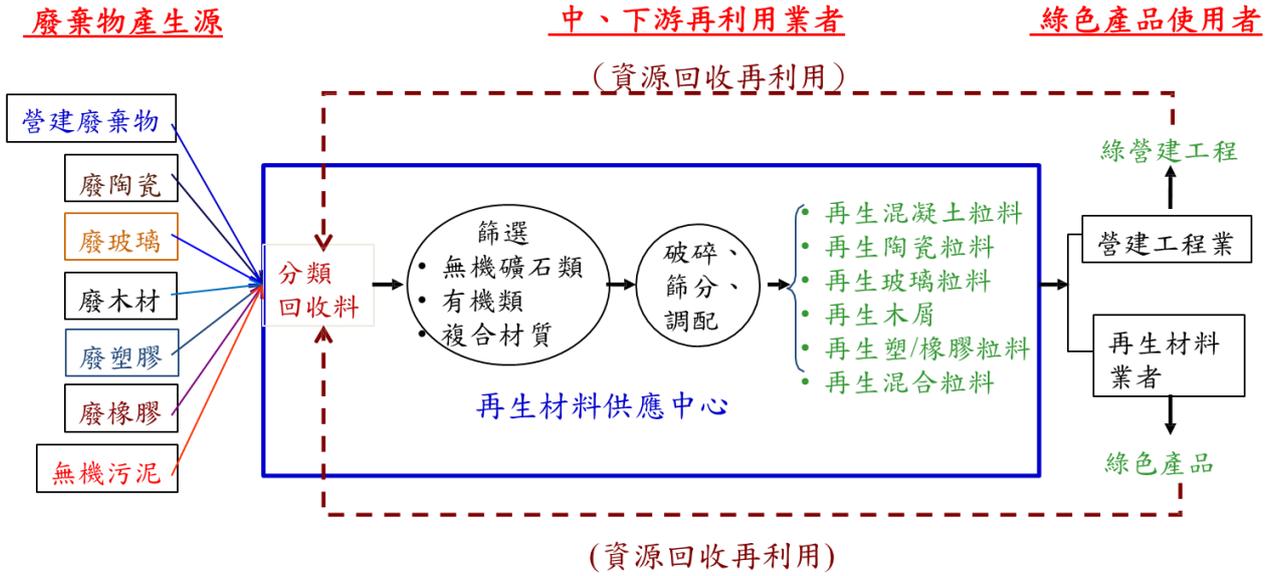


圖 6-3、建構再生綠建材之資源再生產業體系

(資料來源：財團法人環境與發展基金會，2017)

建構資源再生體系必須配合健全的產業體質、強韌的法令制度以及完善的市場行銷等因素，因此，必須透過政府部會間與民間之溝通合作，才能落實；主要克服再生綠建材在市場上的低接受度，將廢棄物作為資源材料，提升綠建材產品之品質，加強廢棄物去化途徑，例如：將大量的再生材料作為公共營建工程之使用，最後由政府作為使用再生綠建材之領導者，輔導產業與民眾投入其使用率，如圖 6-4 與 6-5 所示。

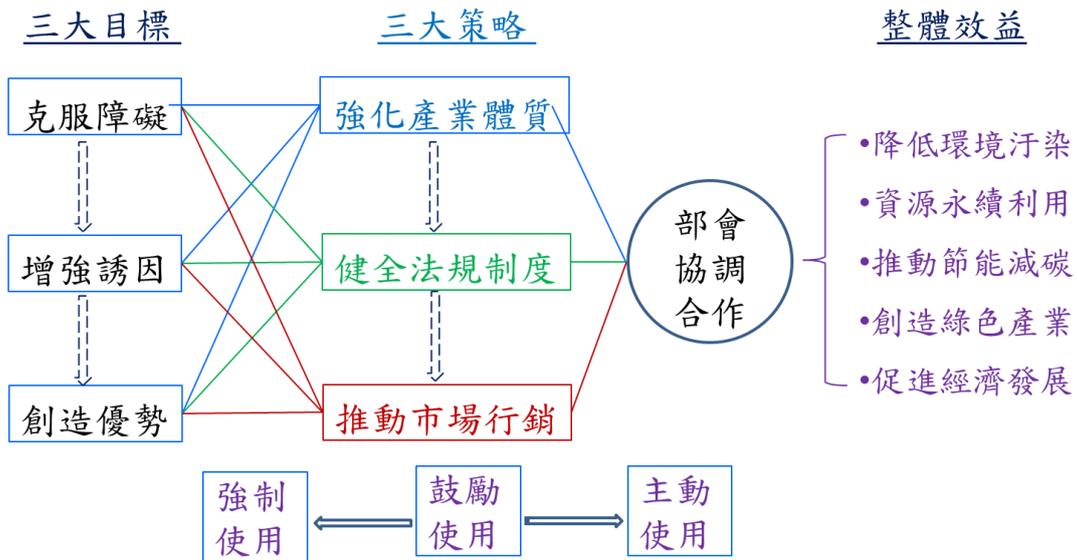


圖 6-4、資源再生產業體系之目標、策略與效益

(資料來源：財團法人環境與發展基金會，2017)

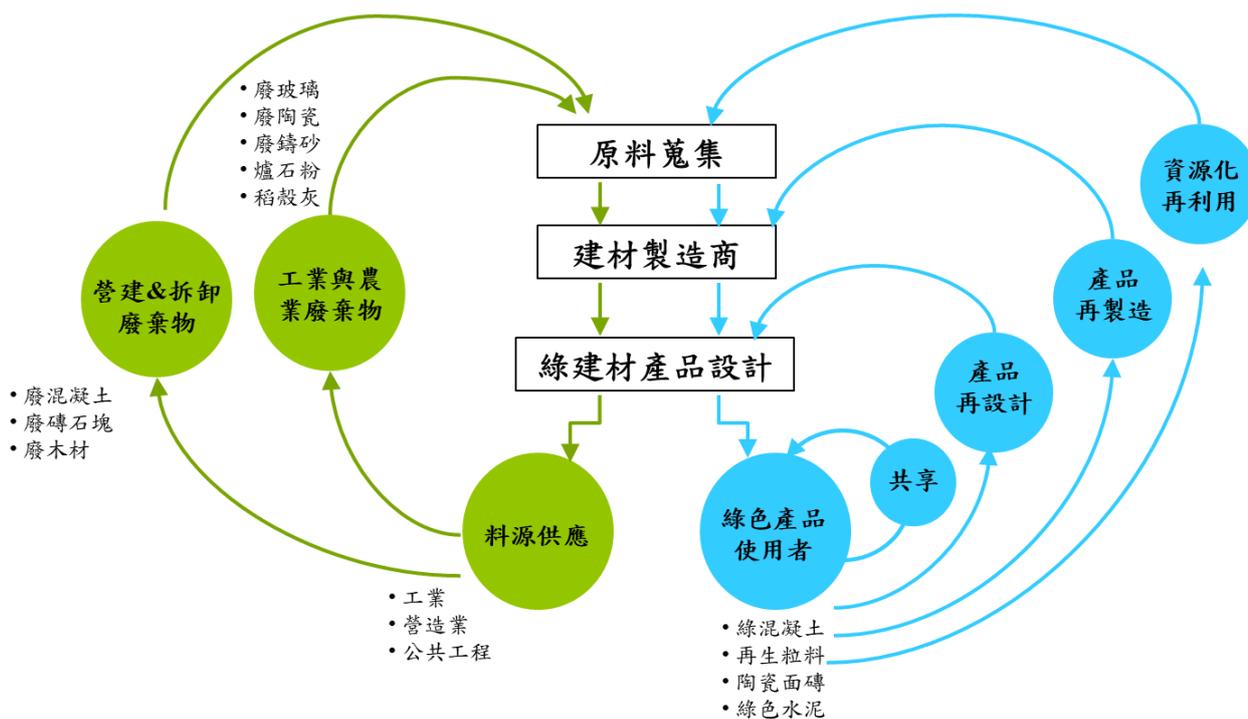


圖 6-5、再生綠建材之循環經濟體系

(資料來源：Ellen Macarthur Foundation，2017，本計畫彙整)

(三) SWOT 策略分析

本計畫透過 SWOT 分析綠建材創新技術研發策略之內外部條件各方面內容分析優劣勢、面臨的機會和威脅，並進行綜合評估。其中，優劣勢分析主要是注重於自身的實力及其與競爭對手的比較，而機會和威脅分析則是注重於外部環境的變化可能影響。以內外部條件進行整體性分析之後，可擬定 SO、WO、WT、ST 等四個策略方向，分別代表增長型、扭轉型、多元型及防禦型策略，並進一步以自身現況評估最適化之策略方向。

表 6-2 說明本計畫 SWOT 分析結果與策略選擇建議，依目前推動綠建築規劃短期建築循環再生建材技術研發優先課題之 SWOT 分析結果說明四項策略方針：

- **SO 策略屬於積極發展型**：目標著重於推動再生建材之永續物料管理循環經濟體系，強化現有 EEWB 與綠建材標章評估體系，建構政府與業者合作機制，並發展獎勵誘因制度以確保再生綠建材推廣工作；
- **ST 策略則以多元面向進行考量**：注重於再生綠建材多元化產業鏈結機制，建構產官學合作交流平臺，以活絡綠建材市場發展，並加強綠建材相關法令政策之大眾宣導；
- **WO 策略則是以外部機會條件已克服目前遭遇劣勢**：主要為強化再生建材原料與產品通路，並整合國內再生建材原物料來源與產品需求面，建構再生綠建材永續管理系統；
- **WT 策略屬於保守型方法**：以 EEWB 評量體系與綠建築標章規範為基礎，發展物料通路、產品需求、品質保證之整合式管理制度，優先建立綜合交流平臺，以提升綠建築之學術研究、技術人才培訓、國際交流與合作等工作，並舉辦相關教育宣導活動，以落實民間與公部門溝通橋梁。

表 6-2、針對再生綠建材推廣策略進行 SWOT 分析結果與策略選擇

		內部條件	
		優勢(Strengths)	劣勢(Weakness)
		<ul style="list-style-type: none"> ➢ 具備廣大的營建與拆卸廢棄物(C&DW)來源與區域能資源鏈結之潛力 ➢ 中央與地方政府對於推動永續營建廢棄物管理已有共識 ➢ 廢棄物與綠建材之相關法律規範完整，例如廢清法、資再法以及綠建材標章制度等 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 尚未建立再生建材之循環經濟體系 ➢ 缺乏營建廢棄物料源與品質之整合式管理體系 ➢ 缺乏落實再生建材推廣教育工作與宣導活動
		機會(Opportunities)	WO 策略(扭轉性策略)
外部環境		SO 策略(增長性策略)	
		<ul style="list-style-type: none"> ➢ 政府政策主導邁向低碳循環經濟與永續發展 ➢ 國內對於營建廢棄物需求面逐漸提高 ➢ 政府部門提供相關補助以提高經濟誘因 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 強化再生建材原料與產品通路，建構以再生綠建材為主之循環經濟體系 ➢ 整合國內再生建材原物料來源與產品需求面，以現有綠建材資料庫為基礎，建構再生綠建材永續管理系統 ➢ 實踐再生綠建材推廣教育與相關效益宣導，提升再生綠建材投資意願
		威脅(Threats)	WT 策略(防禦性策略)
			ST 策略(多元性策略)
		<ul style="list-style-type: none"> ➢ 營建與拆卸廢棄物運輸管理以及儲存地方不足 ➢ 缺乏完整的永續物料管理與再生建材供需市場 ➢ 再生綠建材之民眾接受度較低 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 建立綠建材技術綜合交流平臺，以提升多元化產業鏈結 ➢ 以現有 EEWB 與綠建材標章評估體系為基礎，發展物料通路、產品需求、品質保證之整合式管理制度 ➢ 落實民間與公部門溝通橋梁，舉辦相關教育宣導活動

(資料來源：本計畫彙整)

第三節 循環永續綠建材技術優先研究方向

本計畫依照國內外創新綠建材技術以及發展現況，並配合台灣發展創新綠建材技術所遭遇的障礙與挑戰，針對循環永續綠建材研擬優先研究方向(Priority Research Direction, PRD)，包含各項研發技術之(1)科學挑戰、(2)重點研發方向、(3)潛在性影響以及(4)潛在效益。

科學挑戰為評估綠建材技術開發之可行性，並說明技術**重點研發方向**，包含：

- 有限的綠建材原料來源品質與通路：台灣對於再生建材有規範是不可使用國外進口的廢棄物，並且要配合亞熱帶氣候去做科技研發，將限制綠建材來源與資源化通路的開發與應用；
- 缺乏隔熱材料以應對臺灣濕熱氣候環境：臺灣地處亞熱帶氣候環境，夏季炎熱潮濕。而目前多數隔熱材料多以歐美氣候條件為設計參考，難以適應臺灣濕熱的應用環境；
- 缺少輕質且高強度的結構建材：臺灣地處地震帶，對於建築物抗震有較高的需求。而目前綠建材領域缺乏高強度的建材可供選擇和應用。

潛在性影響與效益可完整說明創新技術之政策配套與，以利聚焦研發方向：

- 提升再生綠建材創新技術發展與再生建材之普及率
- 促進綠建材永續物料管理實踐循環經濟
- 開拓多元化創新綠建材產品市場以及並完善綠建材技術與產品評量體系

本計畫彙整循環永續綠建材創新技術優先研發方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。由下列說明：

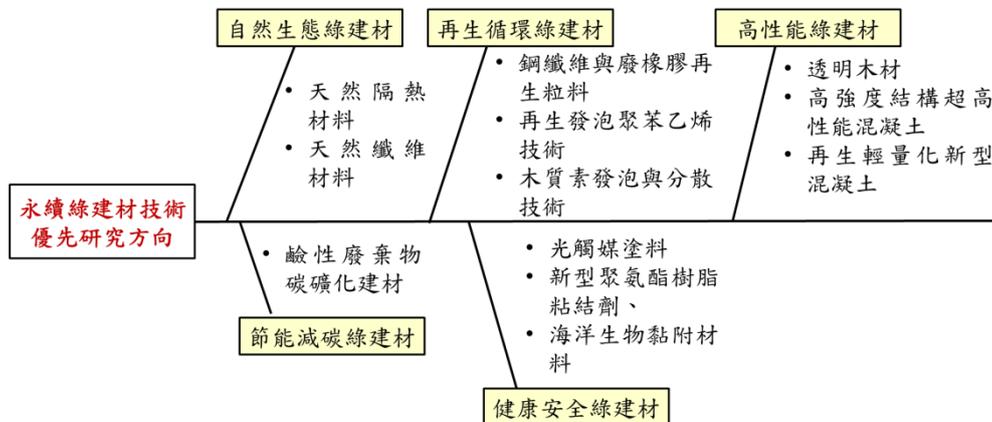


圖 6-6、永續綠建材技術優先研究方向

(資料來源：本計畫彙整)

(一) 鹼性廢棄物碳礦化(Carbon Mineralization)於建材應用

1. 科學挑戰：

- 二氧化碳礦化過程十分緩慢，現行技術限制了其反應速率；
- 礦化反應過程中即時監測固相、液相和氣相的物理與化學變化，為礦化反應控制之關鍵；
- 為使礦化產品能夠用於建築材料，必須嚴格掌控產品規格，使其符合建築材料之性能規範；
- 研究礦化產品的微觀結構和礦物化學組成是控制和提升產品性能的關鍵。

2. 研究重點：

- 從分子層級瞭解礦化過程，探究礦化產品結構-性質-性能之間的關係，預測和控制產品長期的穩定性，開發前/後處理技術以提升產品性能，研究礦化產品毒性溶出，以量化評估人體暴露之健康風險；
- 開發奈米級別的分析手段，以確定質傳和物質相態，重點研究固相和流動相之間的反應和質傳過程，並嘗試進行預測；
- 盤查和厘清各產業可利用的鹼性廢棄物、廢水產量、性質及相關制程，以及二氧化碳排放源相關資料，規劃建置區域化處理中心；
- 除機械強度、耐久性和工作度等常規指標外，開展包括耐濕、隔熱等適應臺灣環境的指標性能測試，擴展產品應用領域，建立 3E 評估體系。
- 整合煙氣污染物控制、水回收處理單元，開發資訊管理系統與程式自動化控制，簡化操作維護流程，實現超重力礦化制程商業化和建構綠色供應鏈；



圖 6-7、實現碳礦化技術商業化以建構綠色供應鏈
(資料來源：本計畫彙整)

3. 技術路線：

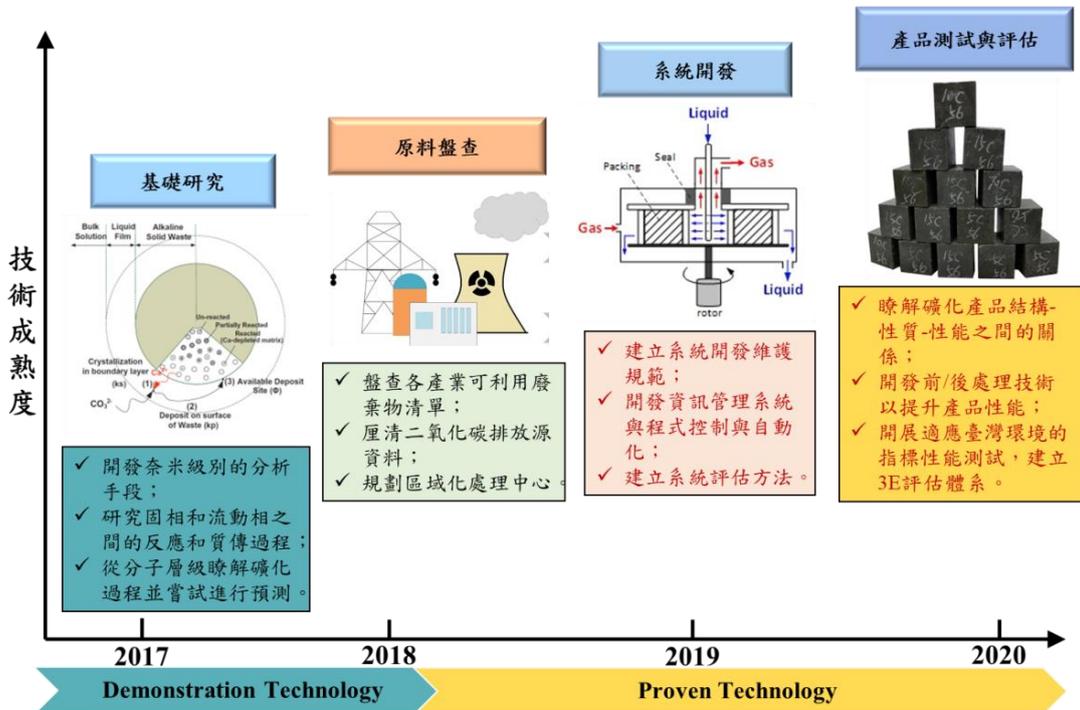


圖 6-8、鹼性廢棄物碳礦化技術於建材應用之技術路線圖
(資料來源：本計畫彙整)

(二)鋼纖維與廢橡膠再利用於再生粒料混凝土(Steel-fibre-reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber)

1. 科學挑戰：

- 現階段鋼纖維與廢橡膠屬於經濟部公告可再利用工業廢棄物，但是缺乏整合式的回收體系與多元化再利用產品功能測試中心；
- 國內對於鋼纖維與廢橡膠資源化再利用尚處於研發階段，缺乏量產化與商業化之契機；
- 目前鋼纖維與廢橡膠之取代率低，應針對產物的晶項結構、水化反應與化學組成分析，以瞭解提升產品性能的關鍵。

2. 研究重點：

- 盤查釐清國內可再利用之工業廢棄物之產量、性質及相關制程，規劃建置區域物料管理中心；
- 開發整合式再利用測試流程，重點研究添加碳纖維與廢橡膠對於混凝土強度、彈性、壓縮性以及耐久性之影響；
- 研析添加廢橡膠後產品之毒性溶出性與逸散性，量化評估對於人體健康風險危害；
- 釐清鋼纖維與廢橡膠之再生混凝土產品結構-力學性質-物化性能之間的關係，建立產品性能穩定性之預測模式。

3. 技術路線圖：

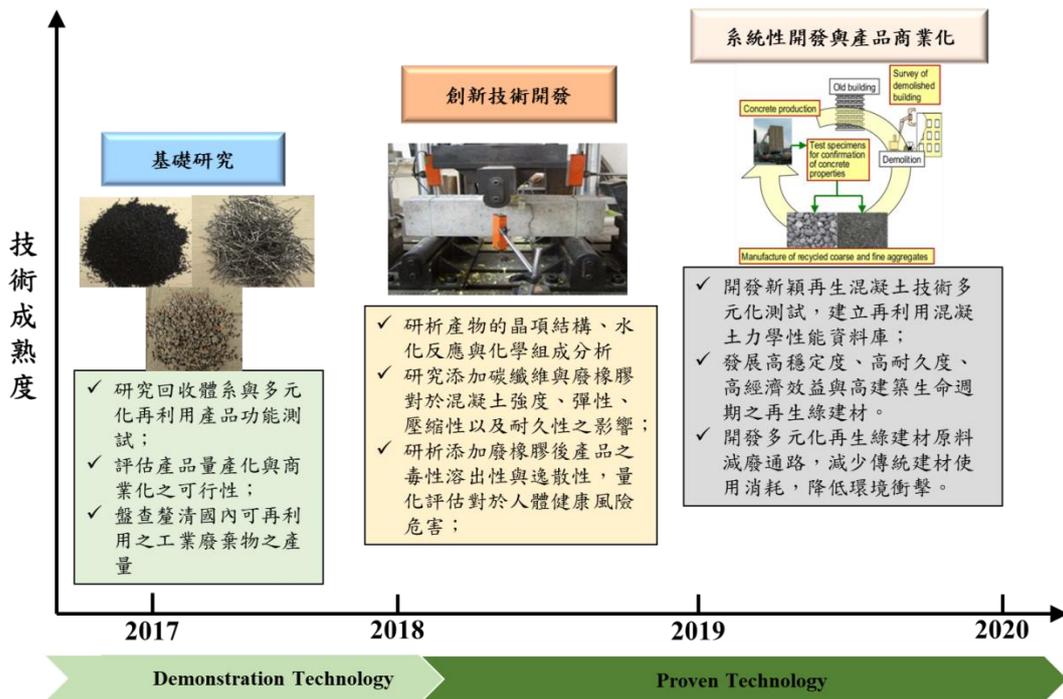


圖 6-10、鋼纖維與廢橡膠再用於再生粒料混凝土之技術路線圖

(資料來源：本計畫彙整)

4. 潛在效益：

- 開發新穎再生混凝土技術多元化測試，建立再利用混凝土力學性能資料庫；
- 發展高穩定度、高耐久度、高經濟效益與高建築生命週期之再生綠建材；
- 開發多元化再生綠建材原料減廢通路，減少傳統建材使用消耗，降低環境衝擊；

(三) 再生發泡聚苯乙烯(Recycled Expanded Polystyrene)

1. 科學挑戰：

- 發泡聚苯乙烯廣泛地用於機械設備、儀器儀錶、家用電氣、防震包裝材料以及速食食品的包裝，缺乏廢棄聚苯乙烯泡沫塑料資源化去路；
- 廢棄發泡聚苯乙烯具備輕量化、大體積、耐老化、難腐蝕等問題；
- 深化再生發泡聚苯乙烯作為再生隔間牆之性質、厚度、耐震度與耐久性等產品性質研究。

2. 研究重點：

- 盤查釐清國內可再利用發泡聚苯乙烯之產量、成分性質等，研擬物料回收管理中心；
- 開發多元化再利用測試流程，研究再生發泡聚苯乙烯作為隔間牆之添加比例對於建築整體能資源節省之效益與整體產品碳足跡，建立技術產品規格；
- 研析添加發泡聚苯乙烯之毒性溶出性與逸散性，量化評估對於人體健康風險危害；
- 開發發泡聚苯乙烯與不同建材混和比例，創新產品結構-力學性質-物化性能之間的關係，建立產品性能穩定性之預測模式；
- 結合生命週期與物質流管理評估發泡聚苯乙烯再利用技術，透過工程效益、環境衝擊與經濟成本之技術評估。

3. 技術路線圖：

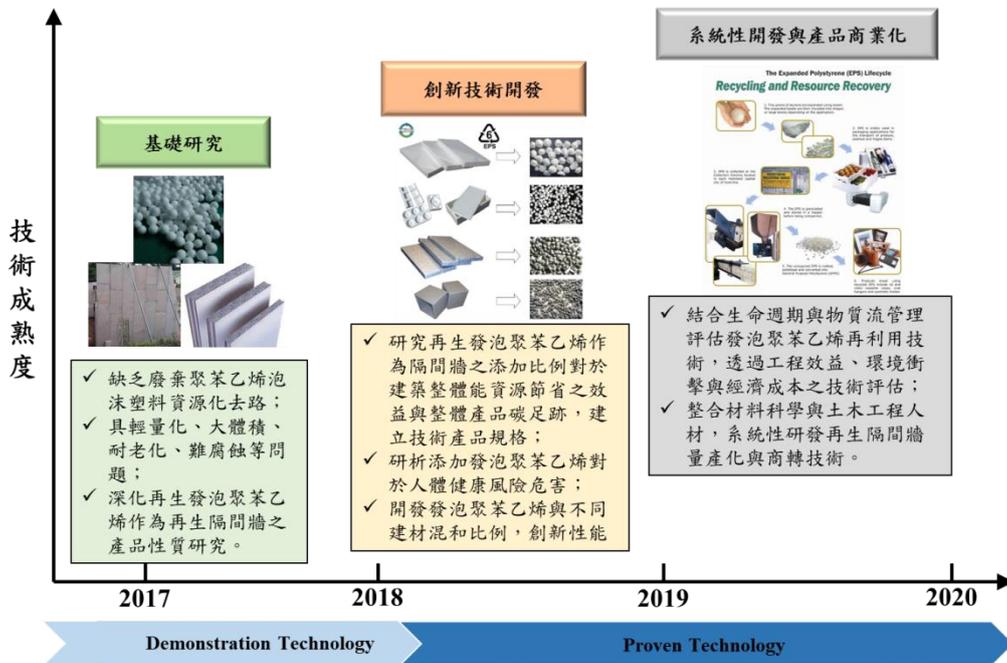


圖 6-11、再生發泡聚苯乙烯之技術路線圖
(資料來源：本計畫彙整)

4. 潛在效益：

- 開發新穎再生發泡聚苯乙烯技術多元化測試，建立多功能技術資料庫；
- 建立再生發泡聚苯乙烯技術產品技術評估，可提升技術發展之可行性；
- 發展高穩定度、高耐久度與高經濟效益之再生綠建材；
- 開發多元化再生綠建材原料減廢通路，減少傳統建材使用消耗，降低環境衝擊。

(四) 超高強度高性能混凝土(Ultra-high Performance Concrete, UHPC)

1. 科學挑戰：

- 在可預見的未來，由於缺乏可替代的材料，混凝土仍將是當今最大用量的建築材料；
- 然而，傳統混凝土材料比重大、脆性高、強度低的特性，影響限制了混凝土的使用；
- 混凝土內部微觀結構、化學組成和礦物成分是決定和調整其性能的關鍵；
- 傳統場鑄混凝土工法需較長工期以供其凝固強化，且會產生較大之環境衝擊；

2. 研究重點：

- 發展奈米級別分析方法，研究 UHPC 結構—性質—性能之關係，研發 UHPC 性能提升的相關技術；
- UHPC 使用混凝土預鑄工法之製造與施工介面研究；
- UHPC 以噴凝土(Shotcrete)技術做為特殊構造修補材料之設備與配比研究；
- 研究 UHPC 的使用範圍，如使用 UHPC 做為核廢料儲存容器之力學性能與耐久性能驗證，使用 UHPC 做為設計年限 100 年以上橋梁之橋面版之設計與施工研究。

3. 技術路線圖：

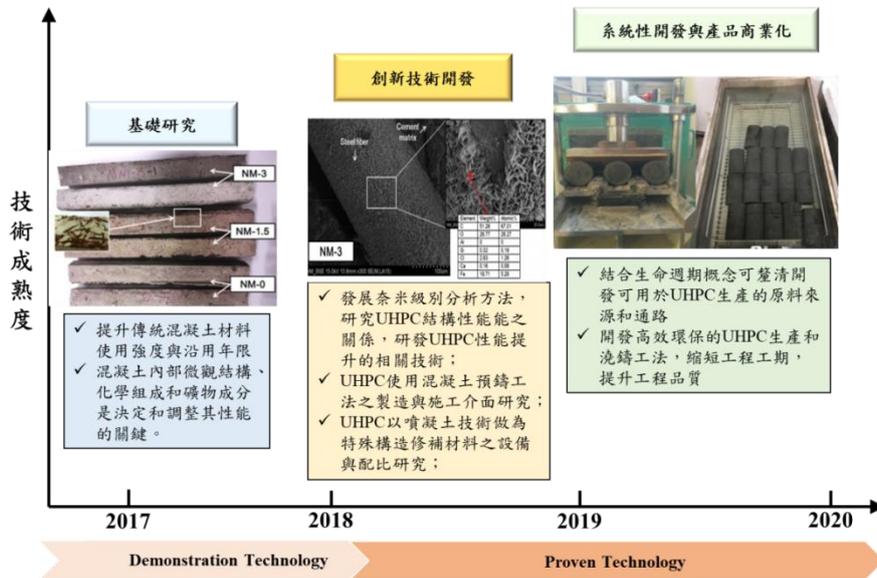


圖 6-12、超高強度高性能混凝土之技術路線圖
(資料來源：本計畫彙整)

4. 潛在效益：

- 結合生命週期概念可釐清開發可用於 UHPC 生產的原料來源和通路；
- 開發高效環保的 UHPC 生產和澆鑄工法，縮短工程工期，提升工程品質；
- 提升 UHPC 性能，應用於臺灣超高層建築及其他大型基礎設施建設發展。

(六) 光觸媒塗料

1. 科學挑戰：

- 控制室內窗戶的熱輻射量對於室內舒適度具有影響；
- 室內玻璃功能對於透光與視野之影響需進一步研究；
- 光觸媒材料應用在窗戶上還沒有得到商業化應用，目前仍在實驗室階段。

2. 研究重點：

- 研究光觸媒材料對能量的儲存技術；
- 研發具備良好的熱穩定性與紫外線入射強度之高性能塗料；
- 有效反射頻寬在較長的時間範圍內的穩定性需要進一步提高，並且可以使用不吸收可見光的光回應染料來完成。
- 設計同時回應多個觸發器的系統，紅外反射矩陣可以手動調整，通過暴露電勢，溫度上升自動回應，聚合物穩定網路可以非常精細地調整其交聯密度。

3. 技術路線圖：

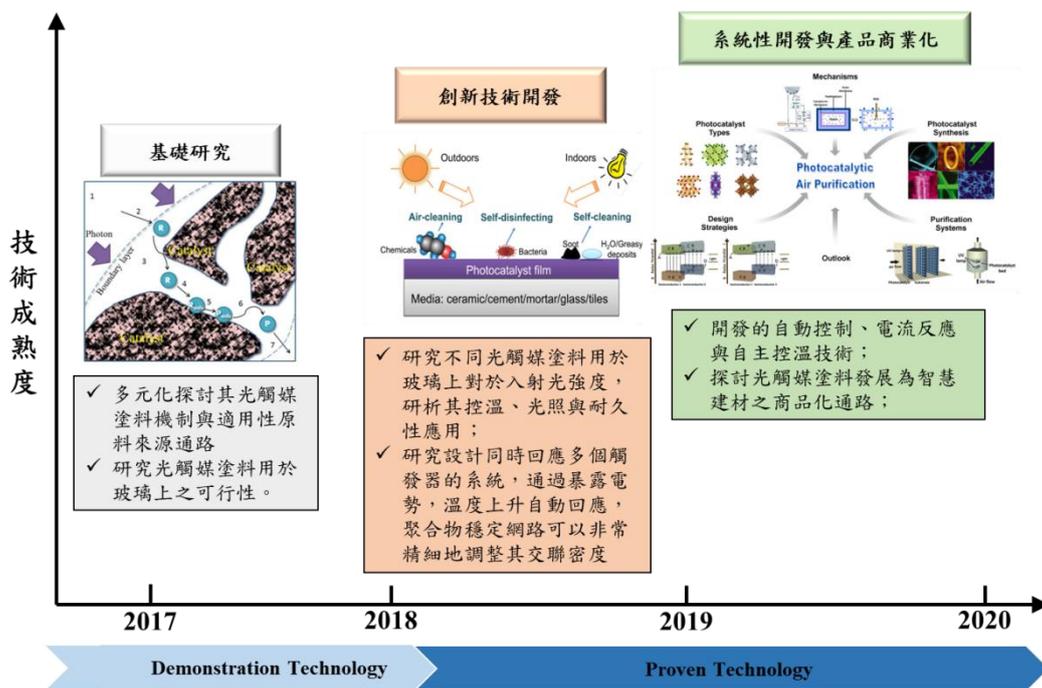


圖 6-14、光觸媒塗料之技術路線圖
(資料來源：本計畫彙整)

4. 潛在效益：

- 使用光觸媒材料的玻璃在改善室內光線的同時，還可以儲存能量之效益；
- 從百葉窗到先進的液晶技術，已經開發了幾種方法來控制室內溫度；

- 針對窗戶將要求它們同時控制室內溫度，同時保持可見區域的高透明度，以減少對人工照明的依賴；
- 目前已開發的手動控制、電回應和自主的溫度回應技術，這些技術可以根據外部環境條件改變反射特性；
- 光觸媒材料應用在智慧窗戶上，可以減少空調的使用量，節省了化石能源，為節能減廢做出貢獻。

(七) 天然隔熱材料

1. 科學挑戰：

- 天然隔熱材料的來源十分廣泛，但是大部分的應用都是來自當地的生物原材料，具有一定的地域限制；
- 不添加化學原料的植物纖維具有環保的優點，但是防火性能各有不同，在使用的過程中需要細細甄別；
- 天然材料的採集主要依靠農戶，未形成鏈條產業會阻礙這種環保的建築材料的發展，而且更詳盡的管理標準需要進一步制定；

2. 研究重點：

- 結合當地的自然環境，考慮建築的隔熱需求，採用最合適的原材料並研究最優的加工流程與運輸路線，形成具有一定規模的產業；
- 隔熱需求滿足之後，應當重點考慮防火需求，使用低環境影響的方法對天然材料進行處理，使其達到相應的防火等級，其次應該滿足適當的防潮指標等；
- 天然隔熱材料也可以使用回收的天然材料，這樣比使用新鮮的材料進行加工更加低碳環保，但是目前還沒有相關的產業鏈；
- 把不同的原材料混合使用以提高性能將會是一個研究的興趣點，提高原材料使用效率也是值得研究的課題；

3. 技術路線圖：

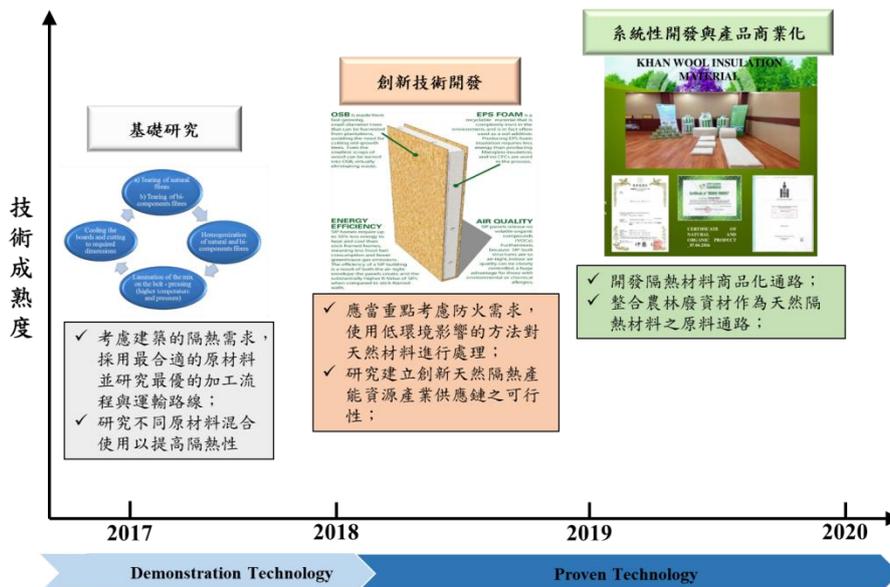


圖 6-15、天然隔熱材料之技術路線圖

(資料來源：本計畫彙整)

4. 潛在效益：

- 使用天然隔熱材料或者回收天然隔熱材料與傳統材料相比，對生態環境有更小的影響，在經濟面考量也更加節省，同時能源的消耗也降低；
- 天然隔熱材料的來源可以是許多種類的農業垃圾，所以在提供一種很好的隔熱材料的同時，削減了農業垃圾的產生量，也避免了垃圾被焚燒產生的空氣污染和其他危害；
- 相比于其他化學合成或者工業製造的隔熱板材，天然隔熱材料不必擔心有毒氣體的排放，因為材料天然，所以不會對人體造成危害；
- 從全生命週期的角度來看，天然隔熱材料的碳排放將大大低於工業材料。

(八) 海洋生物黏附材料

1. 科學挑戰：

- 海洋生物黏附材料是一個比較新的領域，而標誌性的物種是該領域研究的重點，目前發現的生物有限，仍待進一步發掘。
- 材料的黏結壽命會受到一定的環境影響，這要求改進生物分子的結構特性或者在分子層面進行改造；
- 針對生物材料的功能性，必須進一步探究分子結構特性，

2. 研究重點：

- 利用二羥基苯丙氨酸的超強黏附性能可以開發抗黏附材料。聚乙二醇（是一種廣泛應用的不黏結材料，通過單個或者多個兒茶酚基團將聚乙二醇接枝到一些材料的表面上，這些材料就可以表現出很強的抵抗血清蛋白黏結的能力。
- 表徵在自然環境中使用的生物有機體的廣泛的黏合劑機制，並通過合成平臺模仿這種黏合劑性能。
- 黏附材料的使用壽命將會關乎建築的安全，從物理學的角度實現材料的性能提升是將來運用到市場的關鍵步驟。

3. 技術路線圖：

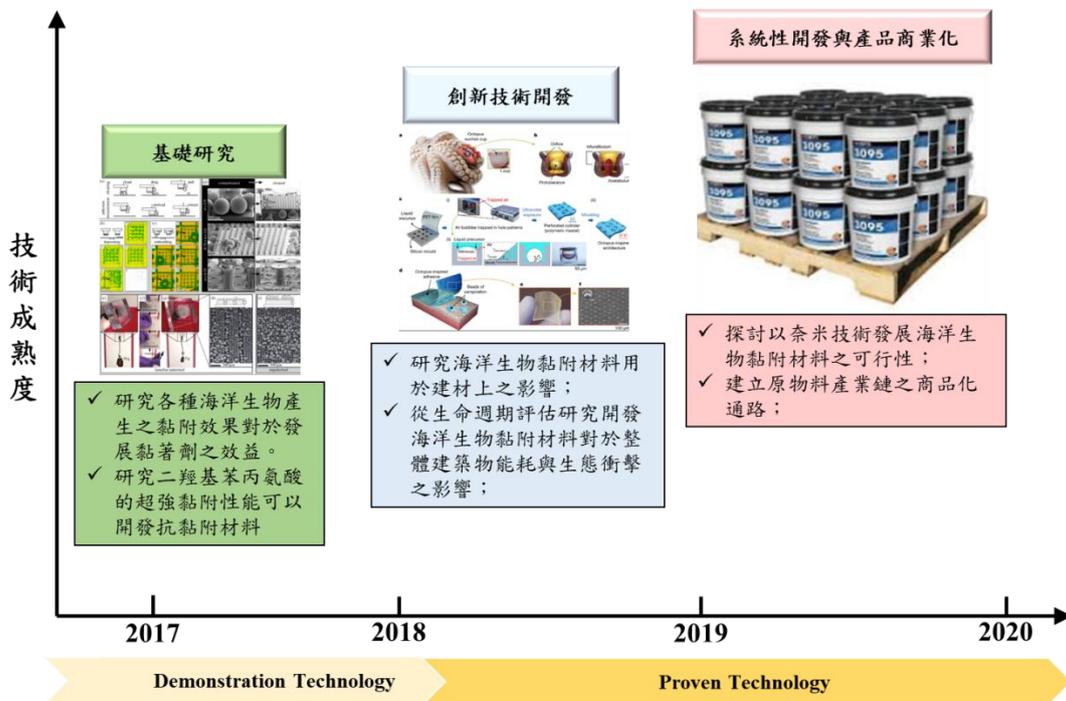


圖 6-16、海洋生物黏附材料之技術路線圖
(資料來源：本計畫彙整)

4. 潛在效益：

- 隨著細胞生物學、基因工程等研究領域的發展，臨床使用的生物醫用材料已經由單純的生物材料製成的植入物，發展成細胞與生物材料的複合物。
- 生物醫用材料應具備生物安全性、生物相容性、血液相容性等特性。納米複合材料因具有一些獨特的效應，如體積效應和表面效應，有利於細胞黏附、增殖和功能表達，具有很好的生物相容性，在生物醫用材料方面也具有良好的應用前景。利用生物相容性材料可以很好地實現以上幾個特性。
- 海洋貽貝物種啟發工程師研製出介面黏接、塗料和密封劑材料；
- 重要的發現是在不久的將來為其他類型的翻譯後修飾的氨基酸，多糖為基礎的系統，用於黏附取決於離散的結構單元，以及多價混合平臺。
- 海洋生物黏附才倆未來可能在建築，醫藥，軍事等領域有更廣闊的應用。

(九) 透明木材

1. 科學挑戰：

- 未來建築節能為綠建築發展重點，木材因為相較玻璃、鋼鐵更為環保，然而科研成果必須與商業通路進行結合；
- 由於傳統玻璃的隔絕性差，夏天無法隔絕外熱及保持室內涼度不足，冬天又無法隔絕外冷維持室內暖氣熱度，使得冷氣和暖氣的效率降低而耗損能源。

2. 研究重點：

- 開創不同種類適用發展為透明木材之選用；
- 研究樹脂聚合物加工處理的透明木材之光導管，提升導光性能；
- 研究創新加工去除木質部技術，提升使用面向，擴大透明木材之面積與適用範圍；
- 研究不同加工技術對於透明木材之入射光強度，研析其控溫、光照與耐久性應用。

3. 技術路線圖：

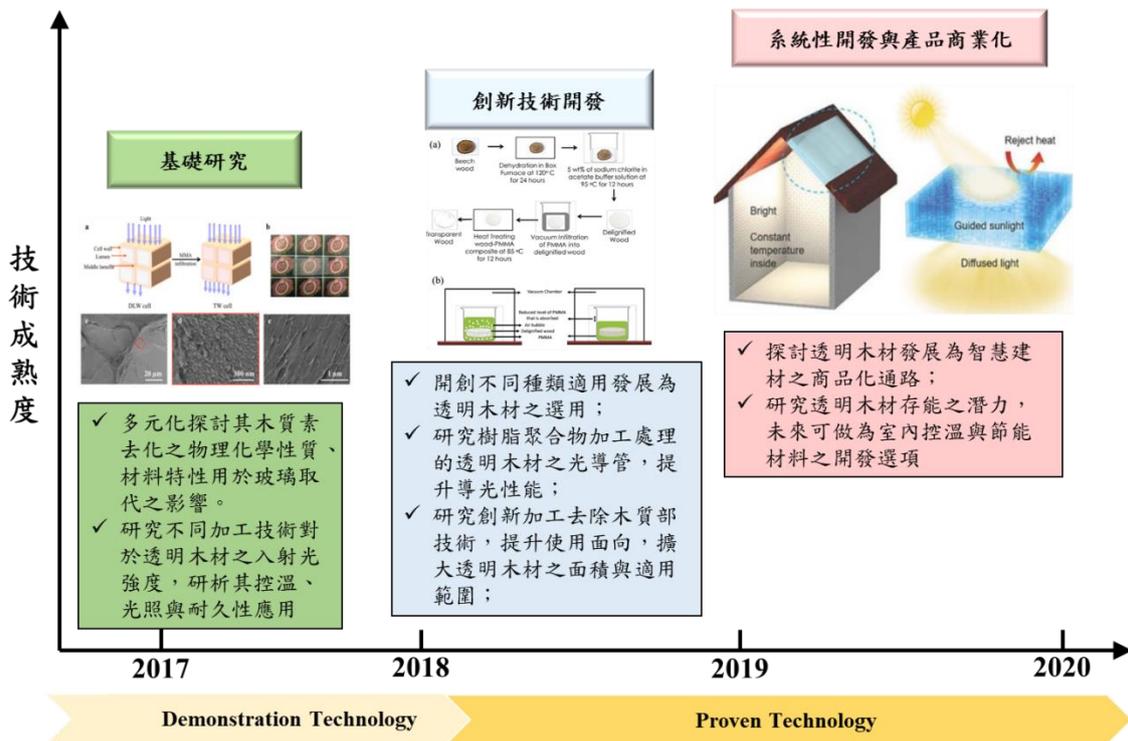


圖 6-17、透明木材之技術路線圖

(資料來源：本計畫彙整)

4. 潛在效益：

- 可取代傳統玻璃，具備較高堅固程度，其耐久性更高；
- 透明木材屬於對環境無害的建材，可重複利用，達到永續發展的目的；

- 透明木材具備儲存太陽能之潛力，未來可做為室內控溫與節能材料之開發選項。

第七章、結論與建議

第一節 結論

本計畫研析彙整各國循環永續之綠建築創新技術，包含生態、節能、減廢與健康之範疇，符合我國 EEWB 評估體系分類，最後特別強調綠建材之循環減廢效益，研析各國綠建材創新技術並參酌我國綠建材標章與永續發展目標之精神（生態自然、節能減碳、健康安全、再生循環、高性能）進行分類，另一方面並邀集國內建築、環工、土木與材料等專家學者徵詢相關意見，彙整綠建材技術發展路線圖。

本計畫亦研析國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰，針對商業面、技術面與法令政策面之障礙與挑戰，並從中研析國內推廣綠建築創新技術於組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大面向所遭遇之障礙與挑戰；最後研擬整合循環永續綠建築創新技術因應對策、推動策略與措施；參考國內資源再生建材產業相關對策，透過 SWOT 分析，研擬循環永續綠建材技術優先研究方向。本研究計畫結論包含：

1. 綠建築未來發展應配合永續發展目標(SDGs)，可包含：SDG3(確保健康與福祉)、SDG6(潔淨水資源)、SDG7(可負擔且永續的能源)、SDG8(全面的就業及永續的經濟成長)、SDG9(永續的產業、加速創新以及具有韌性的基礎建設)、SDG11(人類居住的公平、安全及永續性)、SDG12(永續的消費及生產模式)、SDG13(因應氣候變遷)、SDG15(陸地資源的永續管理)以及 SDG17(強化永續發展執行面以及全球夥伴關係)，並將上述 SDG 與 EEWB 九大指標結合，建構循環永續綠建築體系。
2. 綠建築創新技術可分為：結合自然生態、促進節能減碳、促進循環減廢與維護人體健康等，目前在國際上皆已逐步推動發展，未來綠建築發展將以建築節能為主，包含提升「能源效率，邁向近零能耗建築」以及「結合控制軟體，發展智慧節能系統」。
3. 彙整國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰，主要包含缺乏公眾意識與接受度，綠建築之設計師也缺乏充分的瞭解，導致投資者對於綠建築技術相關產業充滿投資風險與不確定因素，因為綠建築創新技術將可能產生較高技術成本和收益的不確定性。
4. 已彙整各國綠建築發展策略，並研析作為國內綠建築發展策略五大方向，包含完善政策體系、落實基礎教育、強化夥伴合作以及發展經濟誘因等推動目標與實施策略。
5. 研提永續綠建築創新環境技術評估方法，建議可以 4E 包含環境(Environment)、經濟

(Economy)、工程(Engineer)及能源(Energy)等四個面向進行分析，並可補足現有 EEWB 對於創新技術量化評估不足之處。

6. 本計畫研擬循環永續綠建材技術優先研究方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。

第二節 建議

依據本研究計畫結果，針對未來國內循環永續綠建築發展推動實施策略與循環永續綠建材技術優先研究方向等提出下列建議：

建議一

從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大層面深入研擬推動策略與措施

主辦單位：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

1. 循環永續綠建築推動策略與措施為「構建循環永續綠建築發展藍圖，實踐低碳循環經濟」、「完善經濟誘因政策工具，落實循環永續綠建築市場運作機制」、「研發循環永續綠建築創新技術，提升建築能資源利用效能」、「落實循環永續綠建築環境教育，強化綠建築創新技術人才培育」以及「建構永續綠建築技術交流平臺，建立國際合作交流機制」
2. 針對永續綠建築創新環境技術，建議可以 4E 包含環境(Environment)、經濟(Economy)、工程(Engineer)及能源(Energy)等四個面向結合現行政策及評估體系進行分析，建立創新技術評估方法。

建議二

將本研究成果作為建研所科技計畫之「低碳綠建築與節能減碳科技」之相關工作項目之參考資料；立即可行建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

1. 研訂規劃循環永續綠建材技術優先研究方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。
2. 循環永續綠建材策略分析：落實再生綠建材資源回收體系以推動循環經濟：包含國內廢棄物來源、資源回收管道、產品功能設計、產品銷售規劃、經濟效益分析以及產品使用者調查等研究方向。

附錄一

「循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究」評選報告意見回應對照表

委員	委員評選意見	廠商回應
陳委員伯勳	服務建議書 P3 有關預期效益學術成就方面，3.舉辦國、內外綠建築之研討會等 2 場次，是否有誤植？原本所編列經費並無此項相關費用核銷，請說明。	感謝委員指正，本項修正為召開二次專家諮詢會議。
羅委員時麒	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究需考量亞熱帶氣候特性（與東南亞鏈結），及發展在地低碳循環綠建築創新技術。 2. 國內經濟誘因政策工具有限，建請補充說明在綠建築應用之可行性。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照委員意見辦理。 2. 遵照委員意見辦理。
徐委員益梁	<ol style="list-style-type: none"> 1. 服務建議書中多所誤繕，如 P.7 中段、P.11 照明設計末段、索引連結出現錯誤，建議檢討修正。 2. 4 次座談會預定時間，建議於研究進度中呈現。 3. 法規面向面臨之障礙，本研究是否提擬對應修訂建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 誤繕處將一併修正，感謝委員指正。 2. 修正為 2 次專家諮詢會議，第一次預於 4 月下旬召開，第 2 次於 8 月上旬召開。 3. 法規面向之障礙分析與策略分析，將納入重點研究。
黃委員秀莊	<ol style="list-style-type: none"> 1. 既然「建築設計」和「技術設計」是綠建築不可或缺的兩大元素，建議增加有經驗建築師參與研究。 2. 推動綠建築九大指標目前尚無法量化、定性化，請研究團隊幫助業者如何量化及定性化。 3. 研究團對所研究課題應聚焦。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照委員意見辦理。 2. 感謝委員指教，將納入研究重點。 3. 擬即早召開專家諮詢會議，確認研究重要、關鍵課題作深入探討。

附錄二

「循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究」期中審查回應對照表

委員	委員意見	廠商回應
李調查專員榮泰	<p>1.本研究如何建立相關創新技術之評估方式，用以補充現行 EEW H 評估體系？另有關 SDGs17 項永續發展目標與本研究之關聯性為何，建議一併補充說明。</p> <p>2.推動我國未來循環永續綠建築之中長期策略及架構為何？建議回歸 EEW H 系統架構。</p> <p>3.如何與我國現行前瞻計畫一定程度結合？(中、長期計畫)。另本案可否加入政策評估(或政策環評)之參考架構(策略)，提供政府重大公共工程前瞻計畫政策制度參考。</p> <p>4.短期計畫有關建築資材再生利用或高資材利用之篇幅建議予以強化。</p> <p>5.期中報告具體方向不足，建議回歸主題研析，聚焦目標提出發展策略。</p>	<p>1.感謝委員指教，本研究已針對工程、環境、經濟、能源之 4E 創新技術評估方法，建議可作為補充現行 EEW H 體系。另已參考 WGBC 資料，補充說明 SDGs 與綠建築之關聯性。</p> <p>2.感謝委員指教，依據建研所指示，本研究後期著重於綠建材之循環減廢，據此建議出再生綠建材之中長期發展策略。</p> <p>3.遵照委員意見辦理。</p> <p>4.遵照委員意見辦理。</p>
林教授憲德	<p>1.類似「策略研究」之研究課題，屬建築研究所自身長期研究方向之研究，本應由建築研究所本身來研究，同時建研所之研究應與本部主管機關之主管範圍為限，避免無限擴張致難以落實，委外研究亦應該聚焦主管機關需求以順利推動策略。</p> <p>2.本案如能聚焦在循環經濟內(回收、廢棄物再利用)處理，較能納入建築研究所體系之內。</p>	<p>1.遵照委員意見辦理。</p> <p>2.遵照委員意見辦理。</p>
陳總經理文卿	<p>1.本案簡報呈現內容完整且邏輯性清晰，建議據此修正報告內容，並依建築研究所之報告格式規定補充「摘要」。</p> <p>2.資料蒐集豐富，但應與建研所綠建築與綠建材之推動內涵結合，如 3.3.1 節綠色建材雖將四分類的綠建材提出，但所舉 5 項材料代表性尚嫌不足。3.3.2 節建築資源化技術所舉 3 項，包括蚯蚓堆肥法商業化技術，建議考量是否合宜。</p>	<p>1.誤繕處將一併修正，感謝委員指正。</p> <p>2.感謝委員指正，已補充多項綠建材技術資料於 3-4 節，並刪除蚯蚓堆肥法商業化技術。</p> <p>3.感謝委員指正，本計畫報告內容將於計畫結案時同時出具一份技術報告作為參考資料庫。</p> <p>4.感謝委員指正，本計畫已</p>

	<p>3.計畫目標之一為「提出高質材料建材技術資料庫」，但研究報告提出之內容型式應非資料庫，建議說明。</p> <p>4.報告書第四章綠建築創新技術與發展策略提到許多國內外之障礙與挑戰，建議提出具體例證說明，而非僅概略性敘述。</p> <p>5.報告書 P84 之 4E 評估績效以經濟面、工程面、能源面、環境面來分類，但 P90 之關鍵指標則分為環境、社會、經濟等 3 範疇，應求得一致性，否則建議說明二者差異。</p> <p>6.P84 圖4-2 經濟面向之指標為技術風險與法規風險，而工程面之指標重複提及技術風險，如何區隔?另環境面包括人體健康風險，未列入環境污染風險，建議納入。</p> <p>7.SWOT 分析應針對我國推動永續綠建築評估，而非著重本研究自我評估，如報告書 P94 有關優勢、劣勢分析所提內容均為「本計畫」具備發展綠建築創新環境技術之潛力等，建議修正。</p> <p>8.本案重要貢獻係提出未來的技術實施策略供建研所參採，故建議事項應與問題分析關聯對應，如報告書 P.83 提出組織面、法規面、財務面、技術面、社會面等障礙與挑戰，建議應依此提出因應策略;另 P.91 提出 5 個策略主軸應適當分類，並與前面分析有所對應。</p>	<p>將重心放置再生綠建材推動之障礙與挑戰說明彙整，並以歐盟為例，並以歐盟為例，請參考 4-1 節。</p> <p>5.感謝委員指正，4E 評估績效以經濟面、工程面、能源面、環境面係作為綠建材創新技術評估方法，永續關鍵指標則是探討綠建築之永續性，兩者有區別性。</p> <p>6.感謝委員指正，經濟面向主要是以技術成本為考量，工程面向則是考量技術滲透率與執行困難度為主;環境面將納入有毒物質與水土汙染等風險。</p> <p>7.感謝委員指正，已修正 SWOT 分析，以國內推動綠建材發展策略說明。</p> <p>8.感謝委員指正，已修正永續綠建築創新技術實施策略對應至織面、法規面、財務面、技術面、社會面等障礙與挑戰，請參考 4.3-4 節。</p>
<p>張建築師矩墉</p>	<p>1.有關第三章綠建築創新技術發展趨勢，部分內容過於深入細節，似乎無法達到每個層次細部，且這些細節僅為重新彙整創新的理論或技術，建議有關發展趨勢探討以大方為主。</p> <p>2.報告書 P.28 表 3-2 中，雨水處理回收設施分 3 類：自然淨化、一般處理及深度處理，其中一般處理和深度處理已屬環工範疇，而自然淨化適用範圍面積甚大，考量一般建築基地幾百至 2-3000 平方公尺，將如何運用?建請補充說明。</p> <p>3.報告書 P.34(二)居住區規劃內文，僅</p>	<p>1.遵照委員意見辦理。</p> <p>2.感謝委員指教，此部分係結合綠色生態基礎設施的概念於綠建築當中，運用層面仍須考量建築基地為基準。</p> <p>3.感謝委員指教，可納入未來研究課題。</p> <p>4.感謝委員指教，本計畫擬提出創新技術評估方法，指標權重訂定部分仍須依照不同技術進行考量，並透冠專家學者討論訂定之。</p>

	<p>適用於緯度較高、居住密度不高之地區，臺灣屬亞熱帶、高居住密度環境和使用習性，建議審慎考量其適用性。</p> <p>4.有關策略發展方面提及多部會整合劃分界定不易，而綠建築本是跨部會工作，歐美各國亦是如此，原因有可能是我國執行之行政層級偏低所致。另我國對綠建築無視為新興產業之商業模式，僅就現有專業人員及廠商加工無商業模式運作，投入產出則不易顯著發展。</p> <p>5.創新技術指標要具體化，應注意過於具體化反而失去彈性，建議各面向指標應考量權重。</p> <p>6.報告書 P41 部分簡體文字建議修正。</p>	<p>5. 誤繕處將一併修正於 P.40，感謝委員指正。</p>
<p>黃理事長秀莊</p>	<p>1.本案針對綠建築創新環境科技發展策略彙整相關資料，提出未來政策與研究，具有參考價值。</p> <p>2.簡報在綠建築創新技術發展趨勢提出 4 項努力，結合自然生態等 4 項，建議配合參考綠建築技術規則第 322 條綠建材材料構成共 7 項之研究。</p>	<p>1.感謝委員指教。</p> <p>2.感謝委員指教。</p>
<p>王副工程師冠翔</p>	<p>1.本案蒐集大量綠建築創新技術，但部分技術有地域適用特性，建議後續針對技術補充對國內之適用性及所需配套措施，如：施作及應用之注意事項或策略。</p> <p>2.報告書中圖表資料來源，多數以「本研究蒐集」，建議補充完整出處，俾利後續研究參考應用。</p>	<p>1.感謝委員指教，此部分可納入未來研究課題。</p> <p>2.感謝委員指教。</p>
<p>陳所長瑞鈴</p>	<p>1.就建築物之生物週期而言，自規劃設計、建置、使用、廢棄、拆除階段使用大量資材及能源，故綠建築評估系統重視能源及資源（水資源）指標。考量本研究目的及規模，建議聚焦循環永續方面，著重減廢（材料耐久性、耐候性及延壽材料）及再生利用（建材再利用、廢棄混凝土再利用）等策略研擬。</p> <p>2.有關循環永續方面於報告書第一章緒論中，呈現完整論述，建議應考量後續研究如何與其連結，俾供未來本所科技計畫之參考。</p>	<p>1.遵照委員意見辦理。</p> <p>2.遵照委員意見辦理。</p>
<p>羅組長時麒</p>	<p>1.本研究已逐漸收斂至循環、永續等議</p>	<p>1.感謝委員指教。</p>

	<p>題，期望在 10 月底前能提出相關優先課題，俾供本所規劃下一階段 4 年科技計畫之參考。</p> <p>2.有關再生綠建材之推動，本所綠建材指定之評定專業機構(財團法人台灣建築中心)將成立專案小組，加強再生綠建材標章推動，建議與該中心加強聯繫與討論。</p>	<p>2.遵照委員意見辦理。</p>
--	--	--------------------

附錄三

「循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究」期末審查回應對照表

委員	委員意見	廠商回應
李調查專員榮泰	<p>1.本案充分論述 SDGs 與綠建築永續發展 EEWB 之關係，開拓未來其他研究方展之可能性；另提及國際綠建築最新發展方向，亦可提供我國研究方向之參考，研究成果具體豐碩。</p> <p>2.建議針對法規面、組織面執行障礙與挑戰等部分再詳加論述，俾提供政府參考。</p> <p>3.創新綠建材之方向可供國內相關產業及科技部提案計畫之參考，惟仍需考量符合我國在地性及耐候性等條件。</p>	<p>1.感謝委員指教。</p> <p>2.感謝委員指教，以強化相關推動障礙論述於 P.89。</p> <p>3.感謝委員指教，已將我國氣候地理條件納入考量，撰寫綠建材技術優先研究方向如 6-3 節。</p>
陳委員伯勳	<p>1.本研究資料收集豐碩，有關報告書 P.7 綜合研究成果第 4 點：建立國際合作與夥伴關係，建構綠建築綜合研究技術交流平台，建請說明此項成果相關研究內容呈現於報告書何處，如有調整計畫內容，建議於相關章節說明，以利前後對應；另報告書 P.12 之說明，建議加強為成果對照表，俾供計畫最終查核驗收。</p> <p>2.報告書 P. 23(六)小結(4)建立夥伴關係部分，建議增加「政府與學術間的合作」等文字，以強調產官學之合作關係應為推動永續綠建築之基礎。</p> <p>3.報告書 P.26、P.33 及 P.40 標頭之標示有誤，建請修正；另 P.112 (三)內容中，「斯裡蘭卡」應是錯字誤植，同時圖 5-10 未列資料來源，參考書目中文條列不一致等，建請一併修正。</p>	<p>1.遵照委員意見辦理，已將相關國際合作夥伴關係與技術交流成果於附錄七呈現。</p> <p>2.遵照委員意見辦理，已修正 P.23。</p> <p>3. 感謝委員指正，誤繕處將一併修正，已修正 P.26、P.33、P.40 與 P.112。</p>
陳總經理文卿	<p>1.本研究資料收集完整，並列舉多項可研發之課題，值得肯定；對於所提出之課題項目，建議再分析國內綠建築環境背景，補充說明各議題適合國內發展理由，俾利未來篩選分析。</p> <p>2.報告書第四章第三節之國內推動策</p>	<p>1.感謝委員指教，本計畫已針對綠建築循環永續發展提出全面性的發展方向供建研所參考。</p> <p>2.感謝委員指正，已於圖 4-3 修正實施策略與建議事項具一</p>

	<p>略與措施，提出五個面向實施策略，並提出 25 點建議事項，建議應與實施策略對應，力求其一致性。</p> <p>3.第五章綠建材創新技術，與第六章永續循環綠建材技術優先研究方向，內容提出多項國外建材技術，但部分技術重複，建議整合。</p> <p>4.本研究內容中所彙整之國外相關技術及建材資料相當完備，建議可補充說明國內業界（建築界、建材界）現況，以瞭解這些技術及材料國內是否有能力開發或使用。</p>	<p>致性。</p> <p>3.感謝委員指教，第五章係依據綠建材五大類型說明國內外創新技術發展，並據此提出第六章所說明的技術優先研究方向。</p> <p>4.感謝委員指教，本計畫重心放在彙整國內外建材創新技術，後續技術推廣篩選將與建研所進一步討論，或可做為下一年度研究課題。</p>
<p>鄭教授政利</p>	<p>1.本研究執行成果內容豐富多元，完整詳實，值得肯定，符合預期成果。</p> <p>2.彙整聯合國永續發展目標(SDGs)與我國 EEWB 綠建築評估的關連性，具體陳列對應工作項目利於國際接軌；惟 SDGs 涵蓋領域甚廣，如能掌握國內各部會分工與對應，將更利於研究成果定位與應用。</p> <p>3.有關發展策略研擬完整，惟仍建請補充原則項目如何考量連結法制化，可供具體落實之參考。</p> <p>4.技術研發項目成果收斂於綠建材領域，建請未來可納入設計規則及社區都市尺度之議題。</p>	<p>1.感謝委員指教。</p> <p>2.感謝委員指教，目前已了解建研所係負責 SDG11 永續城市，可作為未來發展課題作深入研究。</p> <p>3.感謝委員指教，本計畫重心放在發展策略研究，法制化連結與應用可納入未來研究課題。</p> <p>4.感謝委員指教，後續可將各項創新技術應用評估作為未來研究課題。</p>
<p>羅組長時麒</p>	<p>1.本案提出多項願景及各項策略，有助於本所未來研究規劃，惟實施策略範疇較廣，建議研究團隊於期末審查會議後，擇期與本所召開一次工作會議，研究聚焦方向並提出具體可行策略，俾使研究成果更具可行性。</p> <p>2.有關行政院環境保護署針對聯合國永續發展目標，已有各部會之分工分配，本所負責項目為 SDGs 第 11 項，本案提出我國綠建築議題涵蓋多個 SDGs 項目，未來可供本所參考。</p> <p>3.本所明(107)年度 10 月將於臺北舉辦環亞熱帶創新低碳國際研討會，建議本案相關成果可投稿研討會發表，俾利提升我國在綠建築及綠建材推動成果的可見度。</p>	<p>1.遵照委員意見辦理，已於 11 月 27 日與建研所辦理工作會議，並釐清未來綠建築推動策略與措施，聚焦於建研所推動方向，可參考 4-3 節。</p> <p>2.感謝委員指教。</p> <p>3.感謝委員指教。</p>
<p>陳所長瑞鈴</p>	<p>1.本研究成果豐碩，其成果可供本所未來科技計畫參考，報告書內容部分名</p>	<p>1.遵照委員意見辦理。</p> <p>2.遵照委員意見辦理。</p>

	<p>詞建議調整，如：「被動屋」修正為「誘導式屋」，「熱回收轉輪」修正為「全熱交換器」，「自動光趨系統」修正為「追日型光電系統」，請於資料蒐集分析報告一併修正。</p> <p>2.本案提出許多推動策略及創新技術，惟建議審慎評估所提各項策略及技術之可行性(例如發泡式材料，其隔熱效果雖佳，但仍須考量防火性能)。</p>	
--	--	--

附錄四

「研擬循環永續綠建築創新環境科技發展策略」第一次座談會

- 一、 時間：106年3月8日（星期三）下午13時30分
- 二、 地點：國立臺灣大學 環境研究大樓401會議室（臺北市芳蘭路71號4樓）
- 三、 主席：蔣本基特聘教授 記錄：陳則綸
- 四、 出（列）席單位及人員：

台灣大學環工所	蔣本基特聘教授
中華大學景觀建築系	馬以工教授
成功大學建築系	林憲德教授
台灣大學生工系	黃國倉教授
臺北科技大學能源系	李魁鵬教授
九典聯合建築師事務所	郭英釗建築師
文彬建築師事務所	黃文彬建築師
黎明興技術顧問股份有限公司	黎德明董事長
台灣大學碳循環永續技術與評估研究中心	洪淑惠博士
台灣大學碳循環永續技術與評估研究中心	潘述元博士
台灣大學碳循環永續技術與評估研究中心	裴思魯研究助理
台灣大學碳循環永續技術與評估研究中心	陳則綸研究助理
- 五、 主席致詞：（略）

六、 簡報摘要（依報告順序）：

（一）綠建築與綠色迷思（馬以工教授）

綠建築的觀念始於 1960 年代，其中賓州大學伊恩瑪哈 1969 年著《Design with Nature》，被認為是生態建築學的先驅，綠建築觀念漸成形，主要概念為發展地理資訊系統，以疊圖法，將地形、地質、土壤及集水區範圍等自然條件繪成透明圖，將其相疊，廣泛應用在土地使用計畫上。英國於 1990 年推動 BREEAM - 建築物環境評估方法與分級系統，是世界最早的綠建築認證，目前已有 70 餘國引入此一評估方法，設定永續的設計、營造最佳措施的標準，考量建築物生命週期的各階段（規劃、設計、營建、使用、翻修及拆毀），並分出合格、良好、優良、傑出、卓越不同等級，其中包含管理、能源、健康和福利、交通運輸、水資源、材料、廢棄物、土地利用、及生態等等。

我國於 1999 年由內政部建築研究所推動綠建築標章，並委託給財團法人台灣建築中心受理「綠建築標章」申請，經綠建築標章審查委員會審查通過即可發給綠建築標章。自 2003 年修訂後，標章之核給須進行綠建築九大指標評估系統之評估，包括綠化量、基地保水、水資源、日常節能、二氧化碳減量、廢棄物減量、污水垃圾改善、生物多樣性與室內環境等指標。

（二）玻璃性能對室內熱舒適與節能之影響（黃國倉教授）

目前政府推動公有建築空調溫度管制，對於節能考量到並非只是溫度控管，必須包含人體舒適度影響。考量要點為建築外窗、建築外窗及設備控制，才能達到節約能源效果。

玻璃輻射熱是影響人體舒適度最重要因數，包含玻璃日射輻射及日射穿透等因素，因此最佳節能效率也必須考量人體舒適度、SHGC 係數及窗牆比，雖然公認 26°C 是最佳節能溫度，但以過熱時數及過熱嚴重度來看，其不同性質玻璃皆會影響人體舒適度。因為玻璃性能差，將使熱舒適度降低，因此必須降低空調溫度，反而導致節能效果降低。改善方式有分為新建建築設計及既有建築改善方式，後者包括玻璃貼附隔熱膜外遮陽及臨窗邊輔以風扇提升舒適度等。

（三）國內綠建築案例分享（郭英釗建築師）

建築材料如果仍持續使用鋼筋混凝土為主，其碳足跡本來就較高，國際驅勢對於綠建築主要為使用木材及竹子為較低碳排之建築材，在材料選擇考量上，盡量與鋼筋混凝土作區別，或降低其用量，建築木材在台灣取得不易，部分必須仰賴進口；植披也是綠建築設計考量之一，但是植物栽種及照顧不易，因此維護作業很重要。如果設計過程無法避免使用鋼筋混凝土，則植栽是一個很好的考量，以整個生命週期角度來看，對於降低碳排是有幫助。綠建築設計過程也可納入太陽能板建置的考量。另外降低輻射，讓建築熱舒適度達到最佳化也是近年來討論範疇，故使用淺色建材亦可納入考量。以臺北市花博展覽館鑽石及綠建築為例，其基地保水、遮陽功能、植披數量、碳足跡及後續維護作業較容易等觀點來看是一個非常理想的綠建築案例，花博部分建

築物當初設計屬於暫時性建築物，因此以可拆解式之木材作為建材（搭配少數鋼筋構造），以利後續可再利用，另外在整個設計過程也必須兼顧建築性能及美觀等等因素。

生態基盤(Green Infrastructure)也是目前綠建築設計過程中考量重點，有助於提昇自然和建築環境的品質，例如：採用多孔隙建材，可讓建築內部保持通風，提升舒適度，或者將既有舊式建築、舊貨櫃及其他廢棄資材再利用，以生態觀光為出發點進行改良。

小結：(蔣本基教授)

目前環保署推動節能減碳不遺餘力，對於綠建築也是有很多創新想法；綠建築設計概念以 design with nature、energy efficiency、environmental sustainability 為主，另外將 Green infrastructure、GIS 及廢資材再利用的概念以生命週期評估與 4E(Environmental, Engineering, Economic, Energy)模式進行分析，朝向 Zero Carbon 的願景。

(四) 工程碳管理策略 (林憲德教授)

生命週期的環境管理策略(Life Cycle Assessment Management, LCAM)為建築碳足跡盤查計算之重要概念，必須考量建材運輸、處理及應用層面，如果使用進口建材，其碳足跡在運輸及能源使用占比會非常高，再生建材考量運輸、能源占比及成本，對於降低碳足跡並非是正面的。

對於建築碳足跡在盤查計算上應嚴謹以對，排放數據及碳揭露之監測，避免碳排計算高估；國內公共工程委員會已要求針對建築、公路、橋梁進行工程碳足跡盤查作業，此外目前有六家民間建築案取得低碳建築聯盟(Low Carbon Building Alliance, LCBA)碳足跡標章，所有公共建築都已要求工程碳足跡盤查作業，目前科技部以輔導成立低碳建築聯盟，主要以建立建築系統碳揭露及碳足跡排查作業為主，核發國內建築標案之低碳建築標章。建築碳足跡計算係以建築平面面積、建材碳排放、建築結構及能源使用量為基礎；目前環保署已公告建築碳足跡產品類別規則(Product Category Rule, PCR)，後續將持續推動景觀工程及室內設計工程之 PCR，台灣建築碳足跡 PCR 在全球僅次於歐盟及日本。

碳足跡係評斷綠建築之重要節能指標，以溫室氣體減量觀點來看，碳足跡計算的性價比最高；目前遭遇困難為數據資料庫取得不易，引用國外數據資料庫，最後所呈現的碳足跡成果可信度較低，在建築生命週期碳足跡組成中，以建築使用耗能占比最高，所以在建築設計過程降低能耗量或提升能源效率為主要減碳策略，對於政府工程碳管理，應以快速精確診斷及簡單有效管理為目的，並作為環評都審相關作業之重要工具。

建築碳排計算通常以六十年為基準，單位能耗量乘以建築物能源運轉時數乘以六十年；在景觀工程部分，以高雄凹仔底公園為案例，雖然將零碳排為願景，但是經計算後其碳排還是過高，依碳足跡盤查結果，其中公共建設如步道、基礎結構及設施物碳排放分別佔 48%、19%及 15%，遠高於植樹的碳匯量。工程碳管理應以本土化數據

庫為基礎，所呈現碳足跡成果可信度較高。

建議：(蔣本基教授)

環境檢驗目前國家有兩套認證做法，一個是透過國際組織認證，另一個由國家認證；另外數據資料庫必須考量例如平均值、標準偏差、Data Quality Objectives (DQO) 及數據來源等，以確認數據品質與管制，使整體數據資料庫較有公信力。

(五) 綠與建築 實踐之路 (黃文彬建築師)

台中市規劃永續綠色校園，以北屯國小鑽石級綠建築為例，以新增校區為目的，並將環境教育納入考量，以增加學生參與戶外學習的機會，包括場所精神、生態學習及建立學校特色教學等；設計過程考量互動性與在地性，互動性包括學童、社區民眾及工班都可以參予，在地性則是以現有材料結合生態工法概念進行建造；整體設計考量教學實用性、師生互動性、交通安全及節能減碳概念等為主，例如：學生上學路線設計、教室樓板改為通風良好及遮陽效果佳、增加吸音設計以降低噪音污染及栽種植物等。

校園綠建築設計必須考量以結合當地氣候與地形，例如順著西南風以提升通風效果、使用透水地基並建置雨水儲集槽以達到水資源保護效果，其中在水資源效益分析，建設結水性衛生設備使用率達 100%，以降低平均每人用水量 37% 左右，另外永續綠校園亦可增加學生人數成長率，以抵抗少子化趨勢，提升學校競爭力，更可達到永續環境教育之目的。實務上，綠建築的確是可以結合教育，以綠化校園及推廣戶外景觀教學作法，可讓學童從小就瞭解環境保育之重要性，並可兼顧節能減碳及景觀美學。

建議：(蔣本基教授)

環境教育在實務面不僅是可行也具教育指標性，其中又以水資源保護概念為主，包括以 Green Roof 結合再生能源，降低水足跡與碳足跡，達到生態永續之目的。在電能消耗量雖然過高，但可以作為一個發展節能措施的研究方向；台灣目前最具著名的永續大學為高雄大學，未來可向其學習相關推廣經驗。

(六) 節能思維與業界案例分享 (李魁鵬教授)

節能減碳策略目前以用戶端節能作為減緩氣候變遷之最有效之策略；在整體建築節能設計，初期規劃空調系統為最重要，國際上建築能源使用目標已逐年設定目標，以美國為例，已設立相關建築節能標準，主要精神係以能耗量基準年與當年度進行比較，以計算節能量；美國加州於 1970 年代已依照其規範制定其建築能耗標準，相較於其他州的確有大幅降低趨勢；目前執行率建築空調效率評估信賴度研究，以節能量化為目的，建立空調節能基線作為節能標準；現行建築概念上，以化繁為簡並達到節能為主，在國內部分科技廠也持續推廣節能，引用 Performance Rating Method 及能源成本預演算法，與既有廠房能耗量相較於改善後能耗量比較與節能措施成本計算為主，用以評估科技廠節能成效。

確保建築持續性運轉，以能源管理系統為出發點，從手動監測能耗數據，自動監

測，目前演進為以模式預測方式，建立一套節能模擬系統，達到建築能耗最佳化；此外，需量反應建築設計也是持續推廣的概念，透過調查不同用戶在旺季用電量，建立用電量交易以調整建築能源需求，另外儲能設備也在國際上最經濟效益之儲能為冰水儲能；能源系統係透過建築設計，以能源需求及儲能系統最佳化為考量，以達到節能目標。

(七) 循環永續綠建築創新環境科技 (洪淑惠博士)

以零碳為設計主軸是未來國際建築設計潮流；綠建築在日本最早為環境共生住宅 (Environmental Symbiotic Housing)，其內涵包括「地球環境的保全」、「周邊環境的親和」、及「健康快適的居住環境」等三個層次，歐洲則是稱為「生態建築」(Ecological Building)或「永續建築」(Sustainable Building)，主要強調生態平衡、保育、物種多樣化、資源回收再利用、再生能源及節能等永續發展課題。美國及加拿大稱綠建築(Green Building)，主要講求能源效率的提升與節能、資源與材料妥善利用、室內環境品質及符合環境容受力等。台灣則是強調以生態、節能、減廢、健康之英文字首，此體系又可被稱為「EEWH 系統」。

淨零能源 (NZEB) 整體概念即是高效能建築與電網的連結，使用可再生能源以彌補其自身的能源需求，淨零能源即是能源消耗與產出的平衡。以美國第一棟淨零耗能飯店為例，建置了 850 個屋頂太陽能電板、兩個 35 英尺高的風力渦輪機、於商店下麵鑽 550 英尺而獲得的地熱能等等，另外使用 LED 照明和日光以及二氧化碳製冷劑用於製熱、製冷設備等等都具備一個理想節能指標的綠建築。其他案例如：北京雁棲湖國際會展中心以淨化霧霾為主，使用低甲醛環保建材；香港的零碳天地，以光伏板和以生物柴油推動之三聯供應系統，現場生產可再生能源，達至每年零碳排放的目標；德國的弗萊堡 (Freiburg) 的居民透過制定公約方式，積極發展應用太陽能做為城鎮之動力來源，社區有超過 65% 的家戶用電來自區域供電系統，大量推廣太陽能及社區能源循環系統，讓弗班區每年可省下約 7777 千瓦的電力，並且減少 2100 噸的二氧化碳排放量。台灣則是以成功大學綠建築科技大樓為指標。

在國內外綠建築創新技術的發展，以低能耗、生態綠化、能源控制技術、資源循環及綠色建材等措施為主，包括空調設備節能變頻化、創新節能空調系統、複層植栽、人工地盤綠化、垂直綠化、陽台露台綠化、燃料電池技術、太陽能電池技術、煉鋼爐渣之資源化技術、有機無機混成奈米材料技術、木質素 PU 發泡與混合分散技術等等。

七、 綜合討論 (依發言順序)：

(一) 郭英釗建築師

感謝各位先進提供建築業界經驗分享，讓未來建築節能這方面可以有更多的新穎作法，其中又以儲冰觀念可讓建築業界在設計上為考量，以因應政府推廣節能減碳做法。

(二) 李魁鵬教授

政府應在節能規範上持續推廣，讓法規制度面與節能技術面可以整合，除了儲冰技術，再生能源結合建築技術，也是可再持續深入研究。

(三) 黃文彬建築師

本次會議透過結合產業界及學術界，理論與實務面上的結合，可讓未來建築節能目標有更多元的思考方向，另外實務上也是必須考量預算合理性，以達到綠建築規劃有效性。

(四) 黎德明董事長

在環評案件上公共建設皆屬於綠建築，但是民間建築卻不是綠建築，未來應可以由制度面考量，給予民間產業投資誘因，以達到推廣綠建築之目的，而非只是為了符合環評需求而投資。

(五) 鄭麒麟顧問

台灣在建築節能有很多技術，但是推廣層面卻仍有待加強，未來如果可透過包裝，建置國內技術投資市場，並推廣至國際。

(六) 林憲德教授

綠建築的推廣應結合環工界與建築界，但考量到實務執行面，節能計算必須化繁為簡，讓產業可以實際運用，針對研究計畫可往政策評估方向進行，讓政府未來在政策制度設計上可做參考。

(七) 馬以工教授

綠建築屬於環境問題，包含新技術推廣及節能指標都有待克服，另外在建材或玻璃裝置之選擇，對於後續計算碳足跡皆有相關性；未來應以節能概念來推廣綠建築，讓一般民眾就容易瞭解，才能提高節能減碳落實度；環境教育部分，也是作為綠建築之重要推手；能源控管部分，亦可配合國內法規部分，達到能源使用最佳化；對於儲冰系統技術，可思考國內儲能容量是否足夠滿足國內能源需求。

八、 散會：下午 17 時 30 分

附錄五

「循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究」工作會議

- 一、會議日期：2017年6月15日（四）10:00
- 二、會議地點：內政部建築研究所會議室（新北市新店區北新路三段200號）
- 三、會議主席：蔣特聘教授本基 會議記錄：陳則綸
- 四、與會人員：（如簽到單）
- 五、計畫成果簡報：（略）
- 六、綜合討論：

（一）羅組長時麒：

1. 國內綠建築之定義已包含永續的意涵，另一方面建研所亦與環保署合作，參考美國LEED，推動綠建築邁向永續發展，包含綠建材指標、智慧建築及健康建築等，故毋須再考量永續議題，建議研究團隊未來宜針對再生綠建材之創新研發技術多方面研搜國外資訊。
2. 綠建築應考量環境尺度，例如區域氣候的挑戰，建議創新技術研析應納入台灣氣候適用性之考量（如地震或颱風等）。
3. 建研所科技計畫強調是創新技術研發，推動方案則是強調文化與經濟面向的契合，因此，建築安全是技術研發之考量優先，另外近年也考量建築對於高齡化社會之影響。
4. 因為國內評量系統礙於法規等因素導致數據難以收集，建議可納入建築物使用後評估模式(Post-Occupancy Evaluation, POE)等相關資訊。
5. 目前國內綠建築推廣在營建業已落實完善，但一般民眾對於綠建築議題尚未非常瞭解，期許本計畫研究團隊將此納入。
6. 對於EEWH評量體系的修正採開放態度，也期望蔣老師給予相關改良建議。

（二）黃副教授國倉：

1. 綠建築創新技術應考量台灣在地性與氣候條件，並針對研析技術資料作可行性評估說明。

（三）呂文弘博士：

1. 建議本計畫內容納入建研所科技計畫或推動方案的架構，並進一步蒐集國外綠建築推動政策或策略，與國內綠建築發展進行比較分析。

2. 建議針對營建廢棄物回收資訊或技術盤點可進行系統化整理。
3. 建議可將林憲德老師所撰寫的綠建築技術回顧資料納入計畫內容。
4. 建議可提出創新技術之量化效益的想法。

(四) 姚志廷博士：

1. 期許蔣老師可發揮學術界優勢，更廣泛蒐集國外技術資訊或推動策略等。
2. 社會經濟面向可參考 LEED 或德國等發展方向。

(五) 蔣特聘教授本基：

1. 本計畫將蒐研國內外創新技術交叉比對，並提出相關對策，考量引進國外創新技術於台灣應用之可行性評析。預計於 7 月 10 日至 12 日期間辦理第二次專家諮詢會議，廣納國內建築專家意見，充實本計畫內容。
2. 綠建築應考量社會與經濟面向，即永續發展的基本概念，並結合聯合國永續發展目標進一步深入探討。
3. 將建研所推廣方針納入本計畫內容，以做為科技計畫或創新技術之重要研究課題。

七、會議結論：

對於本計畫執行方向可參考各專家的意見，針對下列項目進一步深入探討：

- 評析國內外綠建築創新技術，並考量針對適合台灣應用之可行性。
- 系統化整合創新技術分類，研擬推廣綠建築及綠建材之優先辦理課題。
- 研析國外綠建築推動策略，與國內綠建築科技計畫與推動方案比較分析，研擬實施改善策略。

八、會議結束：11:30。

附錄六

「研擬循環永續綠建築創新環境科技發展策略」第二次座談會

- 一、時間：106年9月19日（星期二）下午14時00分
- 二、地點：國立臺灣大學 環境研究大樓401會議室（臺北市芳蘭路71號4樓）
- 三、主席：蔣本基特聘教授 記錄：陳則綸
- 四、出（列）席單位及人員：如簽到單
- 五、主席致詞：（略）
- 六、簡報內容：（略）
- 七、綜合討論

議題一：推廣國內綠建築及綠建材之關鍵技術議題

（一）林教授憲德：

1. 本次資料蒐集廣泛，並將重點強調再生綠建材，目前再生綠建材廠商研發能力是充足的，建議將創新綠建材技術評估導入綠建材認證系統，特別要針對技術自我推薦的部分，並建議政府提供廠商技術輔導，讓創新技術能夠通過認證體系，開拓綠建材創新技術的通路。例如：建立綠建材新穎技術認定，成立評審委員會，提供相關輔導作業。
2. 建議可強化再生綠建材環境效益評估方法，例如：循環經濟的貢獻度、減碳以及廢棄物減量等；並可推動低碳建材技術發展。

（二）張建築師清華：

1. 雖然竹材根木材屬於天然材料，但在台灣主要考量是建築永久性與耐震度，通常這些天然材料都要進行特殊加工，例如形成複合式材料、塑膠以及金屬等材料；另考量金屬材料為建材的一環，建議可增加對於金屬材料回收再利用等部分。

（三）鄭理事期霖：

1. 為了因應台灣亞熱帶氣候環境考量，建議可強化隔熱建材的技術發展資料。並由本土發展技術開始發想，技可達到再利用資源化，又可以創造新穎建材。

（四）詹教授穎雯：

1. 建材對於建築結構很重要，天然材料如木材或木材無法取代鋼筋混凝土，鋼構材料，主因是竹材木材耐久性低、維護頻率高；在台灣，為了因應未來都市更新與都市高樓化，建議可發展高性能材料，將混凝土材料與鋼筋材料效能提高，使結構型態更穩定，包含超高性能混凝土(Ultra High Performance Concrete, UHPC)與新型混凝土 New Concrete 等。(UHPC指強度達1000kgf/cm²以上之纖維水泥質複合材料)

2. 輕質骨材也是可以發展的通路，因為建材減重可有效提高耐震度，另外可將水庫淤泥回收再利用，做為輕質骨材的原料，但是包含運輸、性能、汙染去化等都是可以研究發展的課題。

(五) 陳建築師俊芳：

1. 建議建材應考量不同建築部位之用途，例如室內材料考量防震、耐用性、施工安裝簡易性；室外材料則彈性高一點。
2. 台灣氣候潮濕，故室內裝潢材料可考量多孔與輕量化材料，以利調整室內濕度與溫度。
3. 建議鋁金屬回收再利用作為建材是可以發展的研究方向。
4. 為符合台灣氣候，可考量推廣研發高反射塗料，但目前問題是耐久性不夠，建議要兼具高耐久與環保效益。
5. 建議綠建材評估必須以生命週期的概念進行思考。

(六) 許博士景翔：

1. 建議可往高性能建材研究發展，例如：隔熱、多孔性磚、奈米技術、創新疏水膜以及輕質化材料。
2. 建議可研究廢棄金屬回收資源化再利用作為綠建材之可行性。

(七) 陳總經理文卿：

1. 台灣對於再生建材有規範是不可使用國外進口的廢棄物，並且要配合亞熱帶氣候去做科技研發，目前已協助統計國內公告可回收再利用廢棄物中，可發展為再生建材之料源，可提供參考。
2. 對於再生建材技術發展研究課題，可由材料選擇、技術選擇、產品功能性等三個面向進行策略性思考；材料選擇要說明可再利用與適用的廢棄物料源，接著是產品功能性要明確，例如隔熱、防火、節能或輕質化等等，最後再說明技術如何選擇。舉例來說：發泡玻璃隔音磚，使用的料源是廢棄玻璃，功能是隔音隔熱與輕質化，其技術則是發泡技術。

議題二：研擬永續綠建築創新環境科技發展推動策略

(一) 陳建築師俊芳：

1. 政策法規面，建議綠建材從源頭管制，明訂再生材料占比，強化綠建材標準；並根據建築部位分類作規定，明確說明綠建材之環境經濟效益以供建築師參考之用。

(二) 林教授憲德：

1. 建議研究自潔性建材，可減少清潔劑使用，並將降低環境赫爾摩效益納入建材評估體系；另外有一些建材並非綠建材產品，但其實是廢棄物再利用資源化的產品，因

此可加強建材減碳與減廢指標中的優惠計算，納入循環經濟的概念。

(三) 張建築師清華：

1. 綠建材應用部分，綠建材規定是使用面積 45%，以後要提升到 60%；儘管綠建材具備市場開發潛力，但目前技術認證成本很高，因此建議要參考先進國家建材規範以及引進國外綠建材技術，評估國內適用性，並鼓勵創新技術開發。
2. 綠建材推廣作法，需考量環境效益與綠化程度評估，建議以生命週期做整體評估，綠建材製造過程中可能會添加不同顏料，但相同建材卻因不同顏色而導致無法全面通過率建材認證，建議可往調整評估體系之可行性研究。
3. 建議結合永續物料管理與建築設計，並納入經濟成本效益評估，開拓綠建材廢棄物再利用通路，並協助本土綠建材產業建立國際合作，提升產品經濟價值。

(四) 陳總經理文卿：

1. 再生綠建材推廣可分為，兩大課題：再生材料無差別性的發展；公共工程與建築業強制規定再生材料占比；三大策略：健全的評估體系，強化行政法規強制性以及拓展綠色採購與市場行銷；最後核心則是強化政府部會橫向溝通與政策思考。

(五) 詹教授穎雯：

1. 建議營建業綠建材必須強化綠色採購制度，以利推廣再生材料產品化機制。
2. 以建築結構面來看，高性能結構綠建材結合永續發展並邁向循環經濟是一個值得研究發展的課題。

八、 會議結論：

蔣特聘教授本基：

1. 綠建材推廣方向包含：(1)廢棄物資源化管理，(2)創新技術研發潛力，(3)綠色產品行銷設計；往高性能、輕質化、隔熱、多孔性以及智慧建材。
2. 綠建築發展策略：強化綠建材認證體系，推廣綠色採購與清潔生產，以邁向循環經濟與永續發展。

九、 散會：下午 17 時 00 分

附件一：簽到單

內政部建築研究所 106 年度
「研擬循環永續綠建築創新環境科技發展策略」座談會
簽到簿

時間：106 年 9 月 19 日下午 14：00-17：00	
地點：台大環境研究大樓 401 會議室	
主席：蔣本基特聘教授	紀錄：陳則綸
出席人員	簽到處
內政部建築研究所	王瑞瑩 林重遠
成大建築系 林憲德講座教授	林憲德
九典聯合建築師事務所 張清華建築師	張清華
陳俊芳建築師事務所 陳俊芳建築師	陳俊芳
台大土木系教授 詹穎雯教授	詹穎雯
環境與發展基金會 陳文卿總經理	陳文卿
臺灣綠建築發展協會 鄭期霖理事	鄭期霖
台大環工所 蔣本基特聘教授	蔣本基
台大生工系 黃國倉教授	黃國倉
台大碳循環永續技術與評估研究中心 陳則綸研究助理	陳則綸
台大碳循環永續技術與評估研究中心 裴思魯研究助理	裴思魯

附錄七

「臺灣大學環境工程學研究所成立 40 周年慶典 暨 海峽兩岸生態研討會」

一、研討會主題簡介

自 2014 年至 2017 年期間，臺灣大學環境工程研究所（National Taiwan University Graduate Institute of Environmental Engineering，簡稱 GIEE/NTU）、國立臺灣大學碳循環研究中心（Carbon Cycle Research Center, National Taiwan University，簡稱 CCRC/NTU）與美國阿岡國家實驗室（Argonne National Laboratory，簡稱 ANL）藉由科技部龍門計畫建立良好的國際學術研究與研發合作計畫，所執行合作計畫包括「系統性研發具環境永續性之碳捕獲與再利用技術」以及「發展與評估具能源效率之水回收技術以因應氣候變遷：水資源/能源/土地相倚性」等研究領域進行合作，其過去主要豐碩成果如下：

- 以整合系統性方式研發超重力碳酸化技術，進行碳捕獲與再利用
- 應用超重力碳酸化系統，發展鹼性廢棄物能資源高值化再利用途徑
- 結合反應曲面法與生命週期評估，建立超重力碳酸化系統之 3E（工程、環境、經濟）模型
- 結合決策工具於國內整合式水資源管理，建立完善「水資源-能源-土地之相倚性（Water-Energy-Land Nexus）」方案
- 持續強化美國阿岡實驗室與台灣大學合作關係，將理論研究成果發表於國際學術會議，工程實務經驗推廣至國內產業界建立產學合作計畫，策略分析結果提供給政府作為永續能源發展政策參考

目前今年度(2017)龍門計畫合作項目為「整合節能省水技術應用於農業永續土地使用管理規劃」，「糧食、能源與水資源鏈結（Food, Water and Energy Nexus）」為面對全球氣候變遷方面最迫切且重要議題，尤其是未來幾十年內主要能源供應來源仍然仰賴燃煤發電廠的臺灣。我國有大量能源被使用在水的泵送、處理、運輸、加熱、冷卻及回收等製程上；相對的，在製造能源方面也需要大量的水資源，於是造成更多的二氧化碳排放；另一方面，農業部門生產使用大量水資源，並可能對於能源生產與工業程序造成

競爭，進而影響未來糧食、能源及水資源供給安全性。此外，台灣地狹人稠，土地空間有限，因此，關於完善之土地使用規劃，勢必成為國內未來研析「糧食、能源與水資源鏈結（FEW Nexus）」之重要議題。今年度龍門計畫主要目標包括：

- 開發整合式先進薄膜電化學分離技術，建立新穎具能源效率之水回收技術(例如：晶圓樹脂電去離子)
- 開發 WATER 模型介面與資料庫，選定國內重點農業及工業進行水技術應用分析
- 以地理資訊系統（GIS）為工具，進行全台灣自然資源潛力分析於水回收技術應用，以建立完善之土地利用管理規劃藍圖
- 評估先進水回收技術於國內石化產業應用潛力，建立其碳足跡與水足跡之生命週期分析（LCA）
- 應用 WATER 模型於糧食/能源/水資源（FEW）使用決策，研析濁水溪於不同情境下之糧食/能源/水資源使用方案

二、研討會議程簡介

日期	中華民國 106 年 08 月 05 日	
時間	議程	主持人或報告人
09:30 – 12:00	Ceremony on the 40th Anniversary of GIEE/NTU	
12:00 – 13:00	Lunch Break	
13:00 – 13:30	Registration	
	Session I: Development and Deployment of Clean Water Technology for Water Sustainability	Prof. Pen-Chi Chiang
13:30 – 13:50	Opening Remarks	Dr. Chien-Hsin Lai (Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs) Dr. Norman Peterson (Argonne National Laboratory)
13:50 – 14:20	Challenge and Perspectives of Water Reuse Policy in Taiwan	Dr. Chien-Hsin Lai Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs
14:20 – 14:50	Greener, Cleaner, Faster: 40 Years of Energy Innovation	Dr. Norman Peterson Argonne National Laboratory
14:50 – 15:20	Water Energy Nexus	Prof. Hyunook Kim University of Seoul, Korea
15:20 – 15:40	Coffee Break	

	Session I: Development and Deployment of Clean Water Technology for Water Sustainability	Dr. Norman Peterson
15:40 – 16:00	The State of Water Technology	Dr. Seth Snyder ANL, Northwestern-Argonne Institute for Science and Engineering
16:00 – 16:20	Green Growth in China: an Overview of My Recent Studies	Prof. Yong Geng Shanghai Jiao Tong University
16:20 – 16:40	Development of Water Stress Index in the U.S. for Energy System Water Impact Analysis	Dr. Michael Wang Argonne National Laboratory
16:40 – 17:00	Interactions of sedimentary antibiotics and resistant genes in a city waterway network within a suburban-urban gradient	Prof. Shen-Yu Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences
17:00 – 17:20	Low-Energy Desalination via Capacitive Deionization Technology	Prof. Chia-Hung Hou National Taiwan University
17:20 – 17:30	Concluding Remark	Dr. Norman Peterson (Argonne National Laboratory) Prof. Pen-Chi Chiang (National Taiwan University)
日期	中華民國 106 年 08 月 06 日	
時間	議程	主持人或報告人
	Session II: Urban Food-Energy-Water Nexus: Smart System Analysis, Modeling and Assessment	Dr. Seth Snyder
09:00 – 09:25	The US FDA Food Modernization Act (FSMA) Produce Safety Rule and Water Food Nexus	Dr. Ching-Tzung. Tien Maryland Department of the Environment
09:25 – 09:50	Development of Water- Energy and Food Nexus Program-Role of Most	Prof. Tsair-Fuh Lin Cheng Kung University
09:50 – 10:15	Urban Resource Recovery and ReuseFit-for-Use Water Technology	Dr. Yu-Po Lin ANL, Northwestern-Argonne Institute for Science & Engineering
10:15 – 10:35	Q/A	
10:35 – 10:55	Coffee Break	
	Session II: Urban Food-Energy-Water Nexus: Smart System Analysis, Modeling and Assessment	Prof. Aaron Packman
10:55 – 11:20	Smart Cities Systems Analysis of The Water-Energy Nexus	Dr. Jennifer Dunn Argonne National Lab, Northwestern-Argonne Institute for Science & Engineering
11:20 – 11: 45	Water demand for alternative fuel development in China	Prof. Xiao-Min Xie Shanghai Jiao Tong University
11:45 – 12:10	Food, Energy and Water Nexus—Assessing Risks and Mitigation Opportunities	Prof. Hwong-Wen Ma National Taiwan University
12:10 – 12:30	Q/A	
12:30 – 13:30	Lunch Break	

	Session III: Building Green Infrastructure Practice towards Resilience City	Prof. Yong Geng
13:30 – 13:55	Observation, Prediction, and Design of Multifunctional Urban Green Infrastructure	Prof. Aaron Packman (Northwestern University, Northwestern-Argonne Institute for Science & Engineering)
13:55 – 14:20	Evaluating the Effectiveness of Green Roads for Runoff Control	Prof. Jhen- Yang Lin /Prof. Ho Chia-Chun National Taipei University of Technology
14:20 – 14:45	Green Infrastructure Planning and Climate Adaptation Decision-making for a Resilient Community	Prof. Ching-Pin Tung National Taiwan University
14:45 – 15:10	Toilet wastewater treatment and resource recovery using biochar adsorption and forward osmosis technology	Prof. Cheng-Wen Wang Beijin Tsinghua University
15:10 – 15:30	Q/A	
15:30 – 15:50	Coffee Break	
	Session IV: Sustainable Water Environment	Dr. Michael Wang
15:50 – 16:05	Sustainable Water Environment	Prof. Run Wang Hubei University
16:05 – 16:20	Transboundary environmental footprints of food consumption in urbanized China	Prof. Sheng-hui Cui Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences
16:20 – 16:35	Development and Implementation of Green Infrastructure Practice for Healthy Watershed Management	Prof. Pen-Chi Chiang National Taiwan University
16:35– 16:45	Q/A	
	Session V: Comprehensive Discussion	Prof. Hwong-Wen Ma
16:45 – 17:15	To establish collaborative R&D programs including: •Clean Water Technologies •Urban Food-Energy-Water Nexus •Green Infrastructure Practice •Sustainable Water Environment	
17:15– 17:30	Concluding Remark	Prof. Hwong-Wen Ma (Argonne National Laboratory) Dr. Ching-Tzung. Tien (Maryland Department of the Environment)

※表格不足時請自行增加格位

三、 研討會紀要

本次會議目的主要是藉由台大環工所舉辦四十周年所慶之契機，推廣國際合作研究計劃、發展國際多邊合作夥伴關係、開拓各領域研究學者之國際視野、培育跨領域之人

才以及提升其專業技術研發能力，以助於解決城市永續發展中所遭遇水資源、能源與糧食相倚性之挑戰。藉由美國阿岡國家實驗室研究團隊對於都市發展、水回收技術、綠色生態科技與能源技術方面的研發經驗，期許本次研討會能作為發展智慧城市規劃思想與實施策略之基礎，並建立國際學術研究計畫合作夥伴關係與研究資訊及溝通平台，以促進全球永續生態發展，本次會議目的如下：

- 建置國際技術交流合作平台，研擬智慧城市發展策略，以提供政府政策參考依據
- 建立水資源、糧食與能源相倚性之技術研發團隊，開發邁向智慧城市之創新技術
- 建立國內產學合作技術資源整合平台，發展智慧城市之跨領域專業人才培訓作業

本次訪問計畫係以辦理研討會的方式進行，透過各項專業議題分享與討論，以達成學術交流為目的，並建立國際學術單位研究合作機制，以助於未來進一步發展共同合作研究計畫，此外，本次訪問行程亦安排與台北市政府工務局交流，讓國外研究學者能充分了解台灣對於永續生態發展以及智慧城市推廣以及相關科技技術研發成果，藉此建立學術資訊交流平台。

本次訪問計畫預期貢獻為建立台灣大學、阿岡國家實驗室以及西北大學等多邊合作關係，並將理論研究成果發表於國際學術會議，工程實務經驗推廣至國內產業界建立產學合作計畫，策略分析結果提供給政府作為永續能源發展政策參考，未來將針對下列研究主題持續推動跨領域技術研發合作計畫，本次訪問之預期效益如下：

- 建置國際技術交流合作平台，研擬智慧城市發展策略，以提供政府政策參考依據
- 建立水資源、糧食與能源相倚性之技術研發團隊，開發邁向智慧城市之創新技術
- 建立國內產學合作技術資源整合平台，發展智慧城市之跨領域專業人才培訓作業

四、建議事項（針對研討會）

本次研討會為台灣大學、阿岡國家實驗室以及西北大學建立多邊合作關係，未來仍須針對相關議題進行深入研析與探討，以利提升多邊合作契機與相關計畫發展，本次研討會建議事項如下：

- 研擬提升城市水、能源與糧食鏈結安全度與可靠度之全面性發展策略。

- 提升城市與區域性之水、能源與糧食鏈結運作組織系統之效率與韌性度。
- 發展智慧城市與智慧水、能源與糧食鏈結體系，包含：大數據網絡系統、調適策略管理、預測模式系統等。
- 結合系統分析與策略評估，發展新穎水回收再生技術。
- 建立城市與區域性之永續水資源再利用風險管理與技術評估體系，以利降低環境與社會衝擊，確保永續水環境之發展。

五、 相關辦理成果（如論文集、刊物、文件或紀錄等）

本次研討會相關辦理成果如下：

- 研討會相關成果照片：



- 發行印製「永續水環境創新技術研發合作研習會」論文集共計 40 冊。



「RISUD Annual International Symposium 2017 (RAIS 2017) New Frontiers in Urban Development」

於2017年8月24日至25日派遣本研究團隊陳則綸博士生參與香港理工大學所舉辦的永續城市發展研習會，本次研習會內容主要是土木與建築工程領域，分享香港這座城市是如何從各個面向去評估開發城市建築的影響以及如何從這些建設計劃去影響政策規劃。這些評估項目包含能源分析、經濟分析、建築流程最適化、心理與社會的影響以及環境衝擊的評估與處理。另外，香港城市發展與都市建設亦開始研究如何結合施工自動化、資訊化與客製化等理念，並結合人工智慧、3D 列印等技術，減少建築施工面與使用面之能源消耗，發展成智慧綠建築，讓人看到未來都市發展的一個新的藍圖。



Announcement and Call for Participation

RISUD Annual International Symposium 2017 (RAIS 2017) New Frontiers in Urban Development

24-25 August 2017

Organized by
Research Institute for Sustainable Urban Development
The Hong Kong Polytechnic University

Financial Sponsors: The Ove Arup Foundation and the Kwang-hua Education Foundation

Aim and Scope of the Symposium

The RISUD Annual International Symposium (RAIS) Series aims to provide an international platform for in-depth exchanges in key areas related to sustainable urban development and to serve as a catalyst for international collaboration. The second symposium of the series (RAIS 2017), to be held on 24 – 25 August 2017, will be focused on New Frontiers in Urban Development. The symposium will consist of Invited Plenary Presentations to be delivered by a significant number of distinguished researchers on day 1 and three workshops as detailed below; these workshops will address three frontier topics of significant importance to sustainable urban development.

Name of Workshop	Workshop 1 Urban Simulation	Workshop 2 Industrialization of Construction	Workshop 3 Very Large Floating Structure
Chair	Prof. Xiao-li Ding	Prof. Geoffrey Q.P. Shen	Prof. Jin-guang Teng
Significance / Scope	If the systems and activities of a city can be properly simulated on a computer, then many planning and operational issues of cities can be studied using such an urban simulation platform.	Many benefits can be derived from the industrialization of construction process: cleaner construction sites, improved construction quality, reduced amount of construction wastes. A number of new technologies BIM are making industrialization of construction increasingly efficient.	Very large floating structures (VLFs) include floating islands, floating solar farms, floating wind farms, and floating airports. These structures are very important to the sustainability of coastal cities but are also very challenging to construct and operate.
Objective	Each workshop aims to review the current status and identify future research needs in the area.		
Format	Invited presentations plus in-depth discussions		

Organizing Committee

Chair:
Prof. Jin-guang Teng, Director of RISUD, PolyU
Co-Chairs:
Prof. Xiao-li Ding, Division of Smart Cities, RISUD, PolyU
Prof. Geoffrey Q.P. Shen, Division of Urban Systems, RISUD, PolyU

Call for Participation

We welcome participants from within and outside Hong Kong. Please visit <https://www.polyu.edu.hk/mysurvey/index.php/639467> to register your interest in attending the Symposium and settle the registration payment by **30 June 2017 (early registration deadline)** or **21 July 2017 (Full registration deadline)**. Incomplete or late registrations will not be considered.

Registration Fees

Early registration (Register and pay on or before 30 June 2017):	HK\$1,200 (US\$150)
Full registration (Register and pay between 1 July 2017 and 21 July 2017):	HK\$1,500 (US\$188)
Discount rate for PolyU staff and students by (Register and pay by 21 July 2017):	HK\$800 (US\$100)

Online credit card payment link: https://www40.polyu.edu.hk/foccp/ccp_payment_menu.jsp

Important Dates

Registration and Payment Deadline: 21 July 2017 (full registration) or 30 June 2017 (early registration)
Symposium: 24-25 August 2017

Other Details

For more information, please contact the Research Institute for Sustainable Urban Development at rais.2017@polyu.edu.hk.

參考書目

- Ahn Y H, Jung C W, Suh M, et al. Integrated Construction Process for Green Building[J]. *Procedia Engineering*, 2016, 145: 670-676.
- Bhandari B, Poudel S R, Lee K T, et al. Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: A review on small hydro-solar-wind power generation[J]. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, 2014, 1(2): 157-173.
- Block A H, Livesley S J, Williams N S G. Responding to the urban heat island: A review of the potential of green infrastructure[J]. *Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research Melbourne*, 2012.
- Feist W, Schnieders J, Dorer V, et al. Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept[J]. *Energy and Buildings*, 2005, 37(11): 1186-1203.
- Foster J, Lowe A, Winkelmann S. The value of green infrastructure for urban climate adaptation[J]. *Center for Clean Air Policy*, 2011, 750.
- Gallet D. The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits[J]. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2011, 2011(17): 924-928.
- Kaklauskas A. Passive House model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system[M]//*Biometric and Intelligent Decision Making Support*. Springer International Publishing, 2015: 87-112.
- Karachaliou P, Santamouris M, Pangalou H. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens[J]. *Energy and Buildings*, 2016, 114: 256-264.
- Kibert C J. *Sustainable construction: green building design and delivery*[M]. John Wiley & Sons, 2016.
- Liu A, Wu X S. The application of the double envelope structure with convective loop in a passive solar building[M]. *Energy Conservation in Building*, 1990:115-118.
- Liu H, Lin B. Ecological indicators for green building construction[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 68-77.
- Ng A W, Wong A K L, Wut T M. Second-movers' advantage of utilizing Big Data to enhance sustainability performance: the case of elevator industry[J]. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2016: 2569-2579.
- Parida B, Iniyani S, Goic R. A review of solar photovoltaic technologies[J]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011, 15(3): 1625-1636.
- Paulides J J H, Jansen J W, Encica L, et al. Human-powered small-scale generation system for a sustainable dance club[C]//*Electric Machines and Drives Conference, 2009. IEMDC'09. IEEE International. IEEE*, 2009: 439-444.
- Sansalone J, Kuang X, Ranieri V. Permeable pavement as a hydraulic and filtration interface for urban drainage[J]. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 2008, 134(5): 666-674.
- Yu B F, Hu Z B, Liu M, et al. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health[J]. *International journal of refrigeration*, 2009, 32(1): 3-20.
- Schindler. "Schindler Solar Elevator." January 28, 2013.
- Olanipekun Ayokunle Olubunmi, Paul Bo Xia, Martin Skitmore. Green building incentives: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, (59), 1611-1621.
- Hui, S. C. M. (2001). "HVAC Design and Operation for Green Buildings."
- Pilkington (2014). *Pilkington Optiphon™: Laminated Glass for noise control*.
- Pilkington (2016). *Pilkington Thermal Resistance Glass*
- Titus (2013). *Underfloor Air Distribution*.

http://www.schindler.com/content/fi/internet/fi/about-us/ekologisuus/jcr_content/rightPar/downloadList_1/downloadList/304_1376996586734.download.asset.304_1376996586734/solar_elevator.pdf

Zuo J, Zhao Z Y. Green building research—current status and future agenda: A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 30: 271-281.

Navigant Research (2016) Intelligent buildings: 10 trends to watch in 2016 and beyond. NavigantResearch Publication

UNEP (United Nations Environment Programme) (2016). Available online at: <http://web.unep.org/climatechange/buildingsday/about-us>. Accessed 14 Mar 2016

Nilesh Y. Jadhav, Green and Smart Buildings: Advanced Technology Options, Springer, 2016, ISBN 978-981-10-1000-2

方能基. 變風量空調系統外區負荷處理淺談[J]. 福建建材, 2014 (3): 82-84.

李國棟. 太陽能煙囪自然通風在建築節能中的應用分析[J]. 製冷技術, 2015 (4): 47-51.

楊維菊. 綠色建築設計與技術[M]. 東南大學出版社, 2011.

張軍傑. 建築用新型光伏動力通風窗設計[J]. 建築節能, 2016 (5): 75-77.

打開綠建築的 18 把鑰匙, 內政部建築研究所

2015 綠建築評估手冊-住宿, 內政部建築研究所

2015 綠建築評估手冊-社區, 內政部建築研究所

2015 綠建築評估手冊-舊建築, 內政部建築研究所

2015 綠建築評估手冊-廠房, 內政部建築研究所

劉庭芬, 陳清楠, 國內外綠建築評估系統比較, 中興工程, 第 113 期, 2011 年 10 月, P87-94
推動氣候變遷調適建構低碳永續台灣, 經建會都市及住宅發展處

江哲銘, 2002, 從生態、氣候與地理多樣性發展之台灣永續建築與健康生活, 永續綠建築

白宜珊, 國內外生態城市比較研究, 2012 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會

能源報導, 2011.08, 經濟部能源局

江哲銘, 賴光邦, 謝婷婷, 2012.10, 氣候變遷下綠建材環境效率初探, 台灣建築學會會刊雜誌

江哲銘, 周伯丞, 陳振誠, 2005.07, 綠建材標章制度與永續健康環境

綠建築設計手法及實例彙編研究(二), 2009, 內政部建築研究所

2006 年台灣永續發展指標現況報告, 2006, 行政院國家永續發展委員會

2011 永續發展指標評量結果, 2011, 行政院國家永續發展委員會

2010 永續發展指標評量報告書, 2010 行政院國家永續發展委員會

永續綠建築與節能減碳科技中程個案計畫, 2011, 行政院國家科學委員會

100 年度研究機構科技發展績效評估報告, 2011, 內政部建築研究所

2017 中國綠色建築, 中國城市科學研究會

劉撫英, 2011, 綠色建築設計策略

田慧峰、孫大明、劉蘭, 2012, 綠色建築適宜技術指南

管振忠、薛一冰, 2016, 新生態住宅—綠色建築完全指南

蔣一德、趙亞軍、秦家順, 2008, 綠色建築技術指南

黃文彬, 106 年度綠建築創新發展座談會, 綠建築實踐之路—以大坑國小為例

中華人民共和國住房與城鄉建設部-中國綠色建築評價標

<http://www.cngb.org.cn/gbl/newgbl/index.php>

德國永續發展協會 DGNB <http://www.dgnb-system.de/dgnb-system/en/>

英國建築研究中心創新園區 liaupei.pixnet.net

國立成功大學永續環境研究

http://serc.ncku.edu.tw/ncp-taiwan/news_detail.asp?le=tchinese&fid=12&pid=185

英國 BREEAM <http://www.breeam.org/>
美國 LEED <http://www.usgbc.org/leed/rating-systems>
加拿大 LEED <http://www.cagbc.org/>
澳洲 GREEN STAR www.gbcaus.org/
日本 CASBEE <http://www.ibec.or.jp/>
印度 LEED <http://www.igbc.in/site/igbc/tests.jsp?event=22869>
歐盟環境組織 <http://www.eea.europa.eu/>
新加坡 BCA Green Mark http://www.bca.gov.sg/greenmark/green_mark_buildings.html
香港綠色科技建築網 http://gbtech.emsd.gov.hk/tc_chi/minimize/daylight.html
城市智慧科技股份有限公司 http://www.citysmarter.com.tw/CN/CSTC_BAS_cn.html

循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究

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：羅時麒、蔣本基、黃國倉、林霧霆、徐虎嘯、鄭任軒、陳則綸、
李宜臻

出版年月：106 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN：978-986-05-4180-9