

我國近零能源建築設計與技術可行性研究

內政部建築研究所協同研究報告

104

年度

我國近零能源建築設計與技術可行性研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 104 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)

我國近零能源建築設計與技術可行性研究

計畫主持人：何明錦

協同主持人：趙又嬋

研究員：鄭明仁

研究助理：廖峯淇、詹佳綾

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 104 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.....	VII
摘要.....	XIII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究目標與成效.....	4
第四節 研究採用之方法.....	5
第五節 研究規劃與流程.....	10
第二章 國際近零能源建築推動政策與方針.....	13
第一節 零能源建築 ZEB 的定義.....	13
第二節 零能源建築的平衡方式.....	16
第三節 國際 ZEB 政策推動方針.....	19
第四節 各國的 NZEB 政策彙整.....	30
第三章 近零能源建築設計技術.....	35
第一節 亞洲 ZEB 案例蒐集.....	35
第二節 亞洲 nZEB 常用節能技術彙整.....	78

第四章 近零能源建築可應用之再生能源技術	85
第一節 臺灣再生能源技術應用現況	85
第二節 臺灣再生能源發展政策	103
第五章 臺灣近零能源建築之量化評估	109
第一節 國外近零能源建築之目標與量化設定	109
第二節 臺灣近零能源建築之量化評估	113
第三節 臺灣近零能源建築設計與推動策略之探討	132
第六章 結論與建議	137
第一節 結論	137
第二節 建議	138
附錄一 評選會議紀錄及處理情形	141
附錄二 期中審查會議紀錄及處理情形	143
附錄三 第一次專家諮詢會議紀錄	147
附錄四 第二次專家諮詢會議紀錄	149
附錄五 期末審查會議紀錄及處理情形	151
參考書目	153

表次

表 1-1 零耗能建築和零碳建築的各種用語與定義	3
表 1-2 再生能源替代效率估算	10
表 2-1 NZEB 的設定要項條件.....	17
表 2-2 丹麥及斯洛伐克的新建建築物能源基準	24
表 2-3 美國住宅類 EUI TARGETS (KBTU/FT ² .YR)	27
表 2-4 PAL 與 CEC 最低能源績效.....	28
表 2-5 歐盟各國近零能源建築政策日期與初級能源基準	31
表 2-6 美國南部地區住宅類 EUI TARGETS (KWH/M ² .YR) .	32
表 3-1 亞洲近零能源建築案例一覽表	35
表 3-2 「零碳天地」案例資料	36
表 3-3 「零碳天地」節能技術彙整.....	42
表 3-4 「大成建設技術中心 ZEB 實證棟」案例資料	43
表 3-5 「大成建設技術中心 ZEB 實證棟」節能技術彙整	46
表 3-6 「鹿島建設技術研究所本館研究棟」案例資料.....	47
表 3-7 「鹿島建設技術研究所本館研究棟」節能技術彙整	49
表 3-8 「LCCM 住宅示範棟」案例資料.....	50
表 3-9 「LCCM 住宅示範棟」日常使用階段的 CO ₂ 減碳計 ..	52
表 3-10 「LCCM 住宅示範棟」節能技術彙整	52

表 3-11	「BCA ZERO ENERGY BUILDING」案例資料	53
表 3-12	「BCA ZERO ENERGY BUILDING」節能技術彙整	57
表 3-13	「INDIRA PARYAVARAN BHAVAN」案例資料	58
表 3-14	「INDIRA PARYAVARAN BHAVAN」節能技術彙整	61
表 3-15	「SAMSUNG GREEN TOMORROW」案例資	61
表 3-16	「SAMSUNG GREEN TOMORROW」節能技術彙整	64
表 3-17	「E+ GREEN HOME」案例資料	65
表 3-18	「E+ GREEN HOME」節能技術彙整	67
表 3-19	「馬來西亞能源中心」案例資料	68
表 3-20	「馬來西亞能源中心」節能技術彙整	73
表 3-21	「DIAMOND BUILDING」案例資料	73
表 3-22	「DIAMOND BUILDING」節能技術彙整	78
表 3-23	亞洲 NZEB 常用節能技術彙整	79
表 3-24	各案例再生能源使用情形	80
表 3-25	被動式設計策略與技術要點	83
表 3-26	主動式設計策略與技術要點	83
表 3-27	再生能源設計策略與技術要點	84
表 4-1	全球水力發電總量	91
表 4-2	世界水力發電前十名之國家	92
表 4-3	103 年度臺灣風力發電及太陽光電之效益統計	96

表 4-4	臺灣歷年風力發電累計裝置容量一覽表	97
表 4-5	地熱資源類型.....	100
表 4-6	臺灣再生能源設置分年目標	104
表 4-7	臺灣再生能源發展目標規劃	104
表 4-8	各項再生能源階段性重點作法之規劃	105
表 4-9	臺灣再生能源獎勵補助措施一覽表.....	105
表 4-10	再生能源發電設備電能躉購費率(太陽光電除外)..	107
表 4-11	太陽光電躉購費率	108
表 5-1	「24 小時間歇空調型住宿類空間」標準使用情境.	114
表 5-2	住宅加熱設備耗能一覽.....	115
表 5-3	24 小時間歇空調型住宿類空間之耗能密度標準 ...	115
表 5-4	空調節能標章修正係數 S_{EL}	116
表 5-5	無風管空氣調節機能源效率分級基準表	116
表 5-6	「建築短向平均深度 D」之空調節能效益比較	118
表 5-7	「建築短向平均深度 D」之空調節能效益比較	119
表 5-8	「自然通風潛力 VP」之空調節能效益比較.....	119
表 5-9	「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較...	120
表 5-10	「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較.	120
表 5-11	「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較.	120
表 5-12	「空調能源效率等級 S_{EL} 」之空調節能效益比較...	121

表 5-13	「空調能源效率等級 S_{EL} 」之空調節能效益比較...	122
表 5-14	安定器效率係數 BI.....	124
表 5-15	照明控制係數 CI.....	124
表 5-16	燈具效率係數 DI	124
表 5-17	節能設計 BI (W/ M^2)	125
表 5-18	主要作業空間照明功率密度基準 LPDCJ (W/ M^2)	126
表 5-19	節能手法、住宅耗能密度與最大節能潛力.....	127
表 5-20	太陽能光電之替代潛力計算 (每戶 $100 M^2$)	129
表 5-21	太陽能光電之替代潛力計算 (每戶 $150 M^2$)	130

圖次

圖 1-1	建築生命週期的碳排放計算範圍	2
圖 1-2	歐盟對於「近零耗能建築」的定義	2
圖 1-3	歐盟零耗能建築的推動期程	5
圖 1-4	亞洲地區的零耗能/零碳建築案例	6
圖 1-5	零耗能建築的概念（本研究改繪）	7
圖 1-6	澳洲政府對於零碳建築及其減碳方案的定義	8
圖 1-7	近零耗能住宅節能技術應用與 EUI 折減之示意圖	9
圖 1-8	本研究流程圖	12
圖 2-1	現場淨零能源（NET ZERO SITE ENERGY）	15
圖 2-2	淨零輸入能源（NET ZERO SOURCE ENERGY）	15
圖 2-3	淨零能源支出（NET ZERO ENERGY COSTS）	15
圖 2-4	淨零能源排放（NET ZERO ENERGY EMISSIONS）	15
圖 2-5	淨零能源平衡的概念（1）	16
圖 2-6	淨零能源平衡的概念（2）	17
圖 2-7	LIGHTHOUSE 的淨零能源平衡	18
圖 2-8	歐盟推動近零能源建築政策的重要時程圖	20
圖 2-9	目前歐盟各國的 NZEB 政策發展情形	21
圖 2-10	CODE FOR SUSTAINABLE HOME	22

圖 2-11	HOME QUALITY MARK	22
圖 2-12	THE 2030 CHALLENGE TARGETS.....	25
圖 2-13	美國普查分區圖 (FOR EUI TARGETS)	26
圖 2-14	日本建築規模與新節能基準適用之時間表	28
圖 2-15	日本建築節能新基準前後版本之比較 (JSBC)	29
圖 2-16	日本建築節能基準地域分區與 UA 基準值	30
圖 2-17	丹麥、法國、英國、比利時 NZEB 實施時程基準 ...	32
圖 3-1	香港零碳天地採用的捕風器、地冷管、導光管	38
圖 3-2	香港零碳天地採用的三聯供系統	40
圖 3-3	香港零碳天地每年耗能量與可再生能源的平衡	41
圖 3-4	大成建設 ZEB 實證棟的整合型照明系統	44
圖 3-5	大成建設 ZEB 實證棟的環境空調系統	45
圖 3-6	大成建設 ZEB 實證棟立面使用有機薄膜太陽能板 ..	45
圖 3-7	大成建設 ZEB 實證棟	46
圖 3-8	「鹿島建設技術研究所本館研究棟」照明計畫整合	48
圖 3-9	「鹿島建設技術研究所本館研究棟」空調系統	48
圖 3-10	「鹿島建設技術研究所本館研究棟」綠建築手法	49
圖 3-11	「LCCM 住宅示範棟」平立剖計畫與通風採光設計	51
圖 3-12	「BCA ZERO ENERGY BUILDING」導光設計	54
圖 3-13	「BCA ZERO ENERGY BUILDING」外遮陽設計	54

圖 3-14	「BCA ZERO ENERGY BUILDING」牆面及屋頂綠化..	55
圖 3-15	「BCA ZERO ENERGY BUILDING」的太陽能煙囪.....	55
圖 3-16	「BCA ZERO ENERGY BUILDING」個人化通風系統..	56
圖 3-17	「INDIRA PARYAVARAN BHAVAN」的自然通風計畫	59
圖 3-18	「INDIRA PARYAVARAN BHAVAN」的空調系統.....	60
圖 3-19	「SAMSUNG GREEN TOMORROW HOUSE」應用的節 能手法.....	63
圖 3-20	「E+ GREEN HOME」應用的節能手法	66
圖 3-21	「E+ GREEN HOME」應用的節能手法	67
圖 3-22	「馬來西亞能源中心」的平面採光計畫	69
圖 3-23	「馬來西亞能源中心」的窗面導光計畫	70
圖 3-24	「馬來西亞能源中心」的天窗採光設計	70
圖 3-25	「馬來西亞能源中心」建築量體設計有遮陽考量..	71
圖 3-26	「馬來西亞能源中心」的輻射冷卻地板	72
圖 3-27	「DIAMOND BUILDING」外牆與中庭遮陽採光設計	75
圖 3-28	「DIAMOND BUILDING」的窗面導光系統.....	76
圖 3-29	「DIAMOND BUILDING」的智能照明系統.....	76
圖 3-30	「DIAMOND BUILDING」的樓板輻射冷卻系統	77
圖 3-31	ZEB 的設計參考流程 (HOOTMAN,2012)	82
圖 4-1	太陽能光電之基本構造.....	85

圖 4-2	獨立式太陽能光電系統.....	86
圖 4-3	混合式太陽能光電系統.....	86
圖 4-4	併聯式太陽能光電系統.....	87
圖 4-5	自然循環型太陽能熱水器.....	89
圖 4-6	真空蓄水型太陽能熱水器.....	89
圖 4-7	水力發電流程圖.....	91
圖 4-8	潮汐發電原理.....	93
圖 4-9	臺灣海洋能發電之潛力.....	94
圖 4-10	臺灣風力發電分布圖.....	97
圖 4-11	生質能發電流程.....	98
圖 4-12	氫能與燃料電池.....	99
圖 4-13	熱水型地熱系統.....	101
圖 5-1	ZEB 的各種節約能源技術和節約能源量之關係.....	110
圖 5-2	2030 年新建建築與既有建築的節能目標（日本）	111
圖 5-3	2025 年既有建築物達成 ZEB 目標的比例（美國）	112
圖 5-4	住宅建築之空調、照明、家電耗能比例.....	115
圖 5-5	「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較...	120
圖 5-6	「空調能源效率等級 S _{EL} 」之空調節能效益比較.....	122
圖 5-7	住宅空調、照明、電器的最大節能潛力比較.....	128
圖 5-8	臺灣日射量分布圖.....	129

圖 5-9 太陽能光電的利用與 ZEB 的可能性評估 (2025 年)	
(日本)	131
圖 5-10 薄膜太陽能電池整合 BIPV 設計.....	131
圖 5-11 橫濱市 3 施設 ESCO 事業空調系統整合案例	134

摘要

關鍵詞：近零能源建築、淨零能源建築、建築節能、建築碳足跡、再生能源

一、研究緣起

近年來，在溫室氣體減量與永續發展的潮流下，發展零耗能建築(zero energy building, ZEB)和零碳建築(zero carbon building, ZCB) 已是國際共識。然而臺灣位處亞熱帶熱濕氣候，歐美著名的零能源建築設計手法未必全然適用於臺灣，加上臺灣夏季需仰賴大幅的空調能源，這是臺灣發展零能源建築的一大挑戰。本研究期能在發展臺灣近零耗能建築的前提下，找出適宜的建築設計技術，並進行可行性評估。

二、研究方法及過程

本研究首先蒐集彙整國際間各國（歐盟、美國、日本…等）對於近零耗能建築政策的推動方針、分期目標與執行策略，做為我國日後推動近零能源政策參考。同時蒐集亞洲地區零耗能建築案例與臺灣再生能源運用之現況，並分析（1）被動式設計（2）主動式設計（3）再生能源等三個面向的節能技術。最後透過 BCF 法，針對臺灣住宅進行 ZEB 的量化與可行性評估。

三、重要發現

1. 本研究利用「低碳建築聯盟」的建築碳足跡評估 BCF 法，在不將耗能量換算為 CO₂ 排放當量的前提下，在「住宅標準情境」中透過操作建築外殼設計、通風、照明、家電設備等因子，計算住宅在各種節能手法下的「建築用電密度 EUI」，評估其 ZEB 之可行性，結果得出在現今一般的節能手法運用下，住宅總 EUI 可由 50 (kWh/m².yr) 降至 33 (kWh/m².yr)，最大節能效益可達 34%。
2. 本研究以「太陽能光電」為主要再生能源進行 ZEB 可行性之評估，在臺灣住宅居住水準平均每戶建坪 46.02 坪（約 150 m²），EUI 為 33 (kWh/m².yr) 的前提下，若不計設備投資成本，利用屋頂及部分基地內空地設置太陽能光電板，目前小規模的「單戶住宅」有達成 ZEB 的潛力。但若為複數以上集合住宅，則需

導入全立面的 BIPV 設計與高轉換效率的太陽能電池後，方有成為 ZEB 的潛力。

四、主要建議事項

建議一

推動 BIPV 整合型設計：立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部能源局、內政部營建署

「太陽能光電」為目前最主要的再生能源，有效增加太陽能光電使用面積，從基本的屋頂型、地面型，擴展至立面型設計，便能提升建築物的再生能源替代率，尤其近來新型的薄膜太陽能電池應用於窗面的設計，已突破以往太陽能電池裝設位置的限制，因此鼓勵或推動「建築整合型太陽能 BIPV (Building Integrated Photovoltaic)」應是立即可行的推動策略。

建議二

獎勵綠建築、低碳建築、ZEB 設計：立即可行之建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

優良的綠建築低但節能設計於生命週期使用階段能大幅折減地球環境負荷，本即應以鼓勵或獎勵手段推動。尤其若為 ZEB 設計，在前期的技術開發與設備投入均需可觀的資金，應給予 ZEB 開發設計者資金面的支援與獎勵，例如稅制的減免等，以提升建築產業主動投入 ZEB 設計。

建議三

推動既有建築效能改善：立即可行之建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

既有建築物相較於新建建築而言，其能源使用效能與建築性能較差，故透過更新改善的方式，有助於大幅提昇環境效益。加上既有建築物的數量龐大，有計畫的執行更新改善，將有助於降低我國建築產業的整體碳排，未來我國若推動 ZEB 政策，既有建築物達成 ZEB 的比例與潛力也是極重要的一環。因此除了擬定實質的政策推動之外，建議以補助獎勵的方式鼓勵更多的既有建築投入節能改善的行列。

建議四

強化建築節能基準：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

相對於討論節能技術的可行性，其效益可能有限；反而是近零能源政策面的推動時程，近零能源的評估基準、或明確的近零能源目標(如初級能源基準、EUI 等)，不僅能激勵創新的建築節能設計手法，也能促使建築產業技術升級，這些才是推動 ZEB 的關鍵。

建議五

推動建築能源標示制度：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

目前經濟部能源局僅有部分設備納入「能源效率標示」，未來希望能進一步透過標示制度，將建築耗能進行能源效率分級，這不僅能在規劃設計階段，改善效能不佳的建築物，也能提供具體明確的空調、照明、家電設備的耗能構成，讓設計者、使用者能有效掌握住宅耗能概況，並進行因應評估。

建議六

執行長期的建築耗能盤查：中長期建議

主辦機關：經濟部能源局

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

目前臺灣缺乏如美國 C B E C S (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) 等具公信力的單位長期統計建築的詳細耗能資料，並且公開耗能統計資訊。建議運用政府公權力進行各類建築的長期的建築耗能盤查，建立詳實完備的建築耗能基礎資料庫，有利於我國未來推動建築能源政策的依據。

建議七

推動臺灣近零能源建築政策：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

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

ABSTRACT

Keywords: net zero energy building, nearly zero energy building, building energy conservation, building carbon footprint, renewable energy

In recent years, with the global trend of greenhouse gas reduction and sustainability, the development of zero energy building (ZEB) and zero carbon building (ZCB) becomes international consensus. However, some ZEB design technologies in Europe and America may not be entirely applicable to Taiwan where air condition costs a lot of energy in summer for the hot-humid climate. To face these challenges, this study provided appropriate architectural design technologies and conduct feasibility assessment of ZEB in Taiwan.

Firstly, this study collected international ZEB promotion and strategies from EU, US, and Japan to be the ZEB policy references for Taiwan in the future. Secondly, it gathered 10 ZEB cases in Asia and analyzed three-oriented energy-saving technologies, including passive design, active design and renewable energy. Finally, this study aimed at ZEB quantify and feasibility of Taiwan's residential building through "Building Carbon footprint Method (BCF)."

The main research results are as follows:

1. In "Residential standard situations," through operating the optimizing design of building envelope and other ventilation and equipment efficiency factors, the EUI could be by 50 (kWh / m².yr) down to 33 (kWh / m².yr) . The total energy efficiency could rise up to 34%.
2. If photovoltaics were chosen as the main renewable energy source, a single-family house with 150m² floor areas would have the potential of reaching ZEB. However, if the house had larger scale, it needed more BIPV design and improve the conversion efficiency of solar cells to increase its ZEB potential.

This project comes to the immediate and long-term strategies.

For immediate strategies:

1. Promoting BIPV Integrated Design
2. Rewarding green buildings, low-carbon buildings, and ZEB design
3. Improving building energy efficiency and performance of existing buildings

For long-term strategies:

1. Enhancing building energy efficiency benchmarks
2. Promoting Energy-Efficiency Labels and standards
3. Implementing long-term building energy inventory
4. Establishing ZEB policies in Taiwan

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

因應全球氣候變遷及能源日漸匱乏的趨勢，降低 CO₂ 排放為全球共同責任與義務，各國皆將達成國際減碳承諾列為未來重點能源政策，例如歐盟提出「2030 氣候與能源政策綱要」，2030 年時，達到減碳達到 40%、27% 能源消耗來自再生新能源、減少 30% 的能源使用等目標。美國歐巴馬政府於 2013 年 6 月提出氣候變遷行動計畫，2014 年提出清潔電廠計畫，以 2030 年以前減少 30 億公噸碳排放為目標。臺灣 90% 以上能源仰賴進口，臺灣、新加坡與韓國分別訂定 2020 年排放總量將較基準(BAU)情境減少 30% 以上、16% 及 30%。尤其建築產業為耗能產業，故近年來世界各國積極發展零碳及低碳建築，推動節能減碳及綠色環保技術，歐盟、美國及部分亞洲國家已經將建築零耗能納入國家減碳目標期程，顯示近零能源建築 (nearly zero energy building, nZEB) 將是未來建築發展的主流。

臺灣目前已有成熟的綠建築評估系統，自 1999 年啟動綠建築評估系統，2001 年行推動「綠建築推動方案」，2002 年將綠建築政策列為「挑戰 2008 年--國家重點發展計畫」的一環；在 2003 年更將部分綠建築設計規定納入建築技術規則，2008 年核定「生態城市綠建築推動方案」，且擴大綠建築之層次，至生態社區或生態城市，以達成國土永續之目標，但目前臺灣政府尚未將建築零耗能納入國家減碳目標期程。當歐美先進國家逐漸達成相關期程目標之後，勢必影響國際綠建築發展趨勢與相關建築設計技術之發展。延續國內綠建築政策及推廣成果，對於綠建築零耗能設計與技術可行性，應該要急起直追跟上國際潮流。

近年來歐美等國紛紛發表零耗能(zero energy building, ZEB)或零碳建築(zero carbon building, ZCB)的政策。歐盟已宣布 2020 年所有新建建築的節能標準必須符合「近零耗能建築 (Nearly Zero-Energy Buildings)」的基準。英國更搶先歐盟一步，率先公布自 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。在美國，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。亞洲的日本也設定 2030 為零碳建築的實踐目標年。

第二節 研究目的

從建築生命週期 (Life Cycle) 的觀點，規劃設計、建材生產、材料運輸、營建施工、日常使用、更新修繕、廢棄處理等階段的碳排放均應納入計算 (圖 1-1)，然而此法相當複雜也不易精確量化。目前國際上強調之「近零耗能建築(nZEB)」設計，係指建築物之耗能僅考慮「日常使用」階段，不包括建築生命週期其他階段的耗能。近零耗能建築不僅具備極高的節能性能，其整體耗能可經由基地自身產出或鄰近供應的可再生能源抵銷，使其達到能源中和零耗能之建築設計目標 (圖 1-2，prEN 15603:2013-05)。然而在「日常使用」的耗能計算上，通常僅考量照明設備、空調設備、給熱水設備，一般家電設備的耗能則要視計算所設定的邊界而定，不一定納入計算。



圖 1-1 建築生命週期的碳排放計算範圍

(資料來源：本研究改繪)

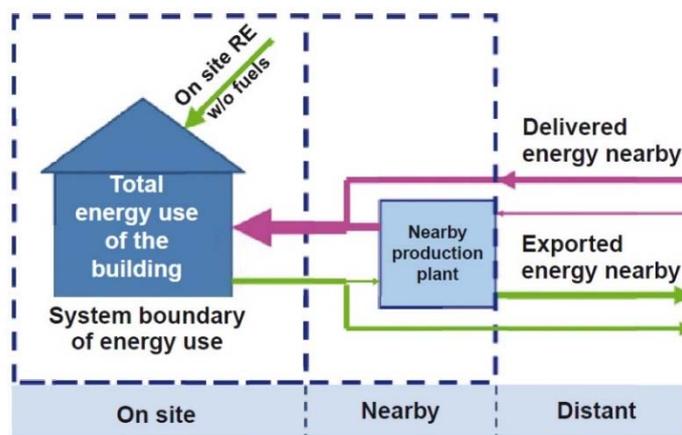


圖 1-2 歐盟對於「近零耗能建築」的定義

(資料來源：prEN 15603:2013-05)

目前國際間對於零能源建築的說法與定義大致可分為兩種，「淨零能源建築 (Net Zero Energy Building, NZEB)」與「近零能源建築 (Nearly Zero Energy Building, nZEB)」，「淨 (net)」與「近 (nearly)」的差別在於平衡狀態定義上些微的不同，尤其是「近 (nearly)」到底要多「近 (nearly)」，也未有明確的定義。但兩者其實都是指建築能源的平衡狀態，希望建築物每年產生的能源 (如再生能源) 相等於自身所消耗的能源。尤其零耗能建築需要仰賴再生能源來抵銷自身耗能，故進一步分類還又能再區分為「現場零耗能建築 (Site ZEB)」與「場外零耗能建築 (Off-Site ZEB)」，其定義可參考圖 1-2 與表 1-1 之說明。

表 1-1 零耗能建築的各種用語與定義

用語	定義
零耗能建築 (ZEB) 淨零耗能建築 (NZEB) 近零耗能建築 (nZEB)	建築物每年產生的能源 (如再生能源) 相等於自身所消耗的能源
現場零耗能建築 (Site ZEB)	建築物每年於建築物現場 (On Site) 產生的能源相等於自身所消耗的能源
場外零耗能建築 (Off-Site ZEB)	建築物每年於建築物現場產生及場外購得的再生能源相等於自身所消耗的能源。

(資料來源：本研究整理)

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

由於歐美日各國相繼將建築零耗能納入國家減碳目標期程，反觀國內更應延續國內綠建築政策及推廣成果，對於綠建築零耗能設計與技術可行性應有更進一步的推動策略與執行方針。故本研究主要目的如下：

1. 彙整國際間零耗能建築的推動方針執行策略，做為我國日後推動零耗能建築的參考依據。
2. 彙整與分析適用於臺灣亞熱帶氣候與建築型態的低耗能建築技術。
3. 評估當前再生能源技術之效率與應用性。
4. 建立近零耗能建築之量化評估模式設計與執行機制。

第三節 研究目標與成效

本計畫針對國際零耗能建築推動趨勢與實際案例進行蒐集研究，並彙整評估我國近零耗能建築設計之可行性，其重要性如下：

1. 與國際零耗能建築設計潮流接軌

從政策面觀之，歐盟、美國及部分亞洲國家已經將建築零耗能納入國家減碳目標期程，顯示近零能源建築將是未來建築發展的主流。首先歐盟已設定 2020 年為達成近零耗能建築的目標基準年，美國能源署也設定於 2025 年時，商業類建築能達成具備成本效益的零耗能建築。日本也設定在 2020 年時，新建的公共建築能達成零耗能的目標，並且在 2030 年時其他私人建築也能達到相同的水準。

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

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

2. 加速建築節能產業的技術創新

零碳建築的節能技術相對一般建築更為複雜且昂貴，除了透過被動式設計手法、建築設備來達成建築物本身低耗能的需求之外，還需要整合建築智能化系統、太陽能等可再生能源在建築上的綜合利用技術等。已有專家指出，零碳/零耗能建築目前在技術上已經沒有問題，關鍵是如何將它的成本降低到可以走向大規模市

場推廣的範圍，這就牽涉到節能技術與設備的創新再改良。

事實上，零碳建築/零耗能建築加速啟發了建築設計創新的機會。近年英國政府推行嚴格且富挑戰性的零耗能建築目標，就加速了建築行業的大規模技術轉移。位在倫敦西北方 30 公里的建築研究中心（BRE，Building Research Establishment），從 2006 年起開始與建商及建材業者合作，已經有超過 300 種不同新材質、科技與施工方法在這裡測試，並且也已具體建了 8 棟低碳、甚至是零碳未來屋，以提供給各界參考。英國綠建築協會（UK-GBC）執行主席更表示「零碳非住宅建築蘊含龐大的商業利益，推動創新，有助於到 2050 年時創造超過 10 億英鎊產值的出口商機。」因此，明確的零碳/零耗能建築政策確實能給予產業界投資綠色建築新技術的創新動力。

故本研究主要預期目標與成效如下：

1. 參考國外執行策略，歸納適合國內氣候及建築型態之執行方針。
2. 彙整降低建築能源需求之設計方法與技術，提高建築能源使用效率。
3. 整理可供綠建築規劃設計導入使用之可再生能源技術。
4. 建立模擬評估機制，驗證我國近零能源建築執行可行性。

第四節 研究採用之方法

一、彙整國際間零耗能建築的推動方針執行策略

本研究首先蒐集彙整國際間各國（歐盟、美國、日本...等）對於近零耗能建築政策的推動方針、分期目標與執行策略，做為我國日後推動近零能源政策參考。

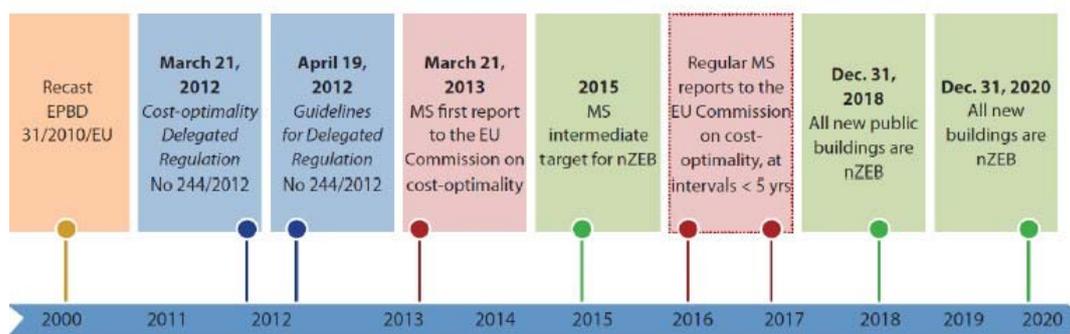


圖 1-3 歐盟零耗能建築的推動期程

（資料來源：<http://solarthermalworld.org/content/austria-european->

二、彙整與分析適用於臺灣亞熱帶氣候與建築型態的低耗能建築技術

(1) 蒐集亞洲地區零耗能建築案例

過去國際間著名的零碳建築均起源於歐美，這些零碳建築的案例手法已可由過去的研究報告得知其具體的手法，加上案例年代較久，雖有參考價值，但無重複分析的必要。另一方面，歐美的氣候較為涼爽，冬季嚴寒提升建築隔熱性能就能大幅降低日常耗能，再輔以其他建築節能技術、運用再生能源，達成零碳建築並非難事。因此溫帶地區的零碳技術/零耗能技術並非全然適用於亞熱帶地區。

近來亞洲地區陸續出現精彩的零耗能建築的案例，其分布範圍遍布日本、韓國、新加坡、香港、大陸、甚至印度等地（圖 1-4），其中不乏專為亞熱帶熱濕氣候量身打造的零耗能設計手法，透過這些亞熱帶零耗能建築的案例分析，可做為臺灣發展近零耗能建築設計的借鏡。



圖 1-4 亞洲地區的零耗能/零碳建築案例

（資料來源：本研究繪製）

(2) 分析適用於亞熱帶熱濕氣候之低耗能建築技術

常見的建築節能措施包括自然採光、自然通風、建築方位、建築隔熱、建築遮陽、照明節能、空調節能、設備節能和能源管理等手法。但近零耗能建築的設計可能會比一般建築複雜，還必須掌握實際的能源使用情況，來決定建築節能和可再生能源的安排。因此本計畫將近零耗能建築之設計技術分為（1）被動式設計（2）主

動式設計 (3) 再生能源運用等三個面向來探討，並分析其適用性。

3. 評估當前再生能源技術之效率與應用性

再生能源為自然界中可以不斷再生、持續使用的能源，主要包括太陽能、風能、水力、生質能、地熱與海洋能，其中應用最為廣泛的即為太陽能。一般而言，太陽能發電的潛能主要以日射量強度及季節性等兩大因素來判斷。而臺灣的日射量分布情形，整體而言在海拔五百公尺以下的區域，大致上呈現由東北往西南方向遞增的現象。有關臺灣日射量的氣象資料與太陽能的發電量推估在過去建研所已有相關研究整理，故本研究除將沿用此基礎資料，並結合當前太陽能技術的現況，進行後續的整合評估。

至於其他再生能源發展現況及應用效率，參考前述亞熱帶地區近零耗能建築的再生能源應用技術，進一步評估臺灣地區適用之可行性。

4. 我國近零耗能建築可運用之設計策略及量化評估

零能源/近零能源建築 (ZEB) 意義為一棟低耗能的綠建築，其概念為日常耗能可以利用建築物設置的再生能源系統達到自給自足，兩者消抵銷後，耗能为零，CO₂ 排放量為零 (圖 1-5)。然而就達成建築零耗能的方法而言，有其重要的先後順序。以澳洲政府對於零碳建築及其減碳方案為例 (圖 1-6)，首要目標應為「建築節能」，亦即零耗能建築本身必須先透過各種節能設計手法降低自身的耗能需求，其次才是考量如何在場內 (on site) 產生再生能源，或是再生能源不足時，進一步尋求場外 (off site) 的再生能源支援，才有可能透過再生能源抵銷其耗能成為零耗能建築。所謂的場外再生能源，則是包括來自社區基金所支持的社區規模能源設施，以及公用電廠提供的「綠色電力」(Green power)。

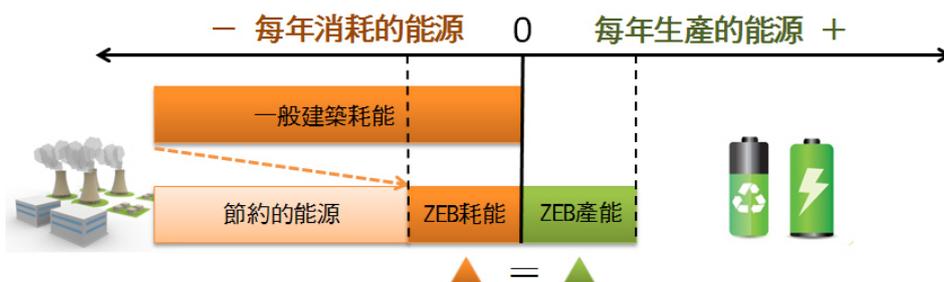


圖 1-5 零耗能建築的概念

(資料來源：本研究改繪)



圖 1-6 澳洲政府對於零碳建築及其減碳方案的定義

(資料來源：本研究繪製)

(1) 建置一般住宅耗能的「標準虛擬情境」

本研究並未重新分析氣象資料、設定標準住宅進行動態耗能模擬，而是在既有的研究成果下，先確立節能基準點，再以相關的節能手法對解析住宅耗能密度 EUI，來進行近零耗能計算的探討，其主要原因如下：前期的建研所計畫諸如「零碳綠建築發展與策略規劃之研究」(吳桂陽，2010)與「零碳綠建築願景、策略及可行性之研究」(鄭元良，2009)中，已有詳細的氣象資料與動態模擬，無須重複運作。

前述計畫中均有設計一住宅案例進行耗能模擬，然而實際上每間住宅的耗能模式均不相同，因此單僅模擬一住宅代表性有限。故本研究參考「低碳建築聯盟」的「BCF 評估法」，直接以「標準虛擬情境」的住宅耗能進行討論。

一棟建築是否耗能，與其「建築耗能密度」有關。建築耗能密度 (Energy Use Intensity, EUI) 為一棟建築物單位樓地板面積的耗電量，能反映建築物的耗能特性，通常 EUI 越高，表示建築物越耗能。成大建築研究所之研究顯示，國民中學之平均 EUI 為 28.6 kWh/(m².yr)，透天住宅為 39.3 kWh/(m².yr)，公寓住宅則為 45.6 kWh/(m².yr)，顯示國民中小學與住宅為耗能較低的建築類型 (林憲德，2015)。

然而學校與住宅相比，不僅規模大、使用性質也較複雜，因此本研究選定「住宅類」做為建零耗能建築的評估標的。雖然住宅類型相對單純，但是仍有百萬種的

建築樣式與使用型態，因此本研究參考低碳建築聯盟的「碳足跡評估法（簡稱 BCF 法）」所設定的「標準虛擬情境」，將複雜的使用者、時程、設備透過能源動態模擬先行「標準化」。每戶住宅標準人口設定為大人 2 人、小孩 2 人，同時將住宅空間的三大主要耗能來源（家電設備、照明設備、空調設備）的耗電量標準化（林憲德，2015）。

(2) 「標準住宅」節能效益之評估

綜觀國外的近零耗能建築案例，均導入完備的建築能源管理系統（BEM），因此能有效率的掌握建築物各類耗能支出，本研究導向近零耗能住宅 EUI 情境之可行性探討，呼應未來「住宅耗能標示」的重要性與必要性。藉由上一個步驟得出「標準住宅」的耗能情形之後，將此定義為「基準值」；而後第二階段評估標準住宅採用節能技術之後的耗電量，此為「設計值」；「基準值」與「設計值」之比較可得節能效益。

由於住宅的主要耗能來自「家電設備」、「照明設備」及「空調設備」三部分，因此分別將家電、照明、空調所採用的節能手法與 EUI 推算出之後，可得數種節能手法設計下不同的住宅 EUI，做為後續近零能源可行性評估的基礎模型（圖 1-7）。

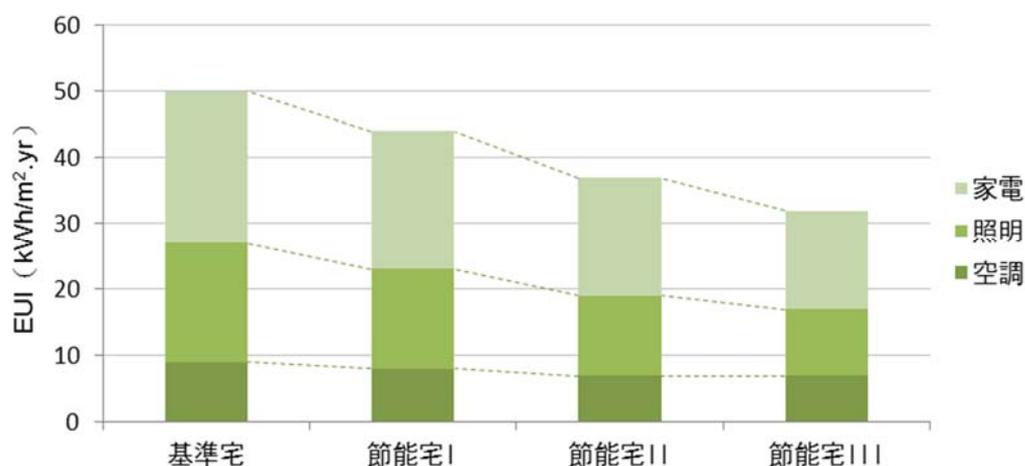


圖 1-7 近零耗能住宅節能技術應用與 EUI 折減之示意圖

（資料來源：本研究繪製）

(3) 計算再生能源的替代效率

此步驟計算建築的所使用的再生能源及其替代效率，其類別與估算方式如表

1-2 所示。以「太陽能光電」為例，可依「臺灣日射量分布圖」(圖 5-8) 得出所在地之每日平均日射量 ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)，再乘以太陽能光電設置容量 (kW)、日數、使用年限及修正係數 0.8 (m^2/kWh)，即可得全年發電量設計值。

表 1-2 再生能源替代效率估算

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

(資料來源：本研究整理)

(4) 近零耗能建築設計之量化評估與執行機制

最後，將各種近零耗能住宅設定情境之耗能與再生能源之產能相抵，則可比較各方案的效益與可行性。

事實上，也有文獻指出，近零耗能建築目前在技術上已經沒有問題，關鍵在於降低「成本」，使其可以大規模的推廣應用 (陳碩，2011)。如果成本可以於 7~8 年回收，該零耗能建築技術就值得大規模推廣；如果需要 15~20 年回收，仍可進行小規模的試驗；但如果回收年限擴大至 20~30 年以上，則單純只能做為案例探討 (許俊民，2012)。因此本研究計畫最後將整合研究成果，提出近零耗能建築的設計程序與目標設定，以及研擬短期、中期、長期的執行建議。

第五節 研究規劃與流程

本研究並未重新分析氣象資料、設定標準住宅進行動態耗能模擬，而是在既有的研究成果下，先確立「標準虛擬情境」，再以相關的節能手法對應可能的住宅 EUI，來進行住宅近零耗能的探討，其主要原因如下：

- (1) 前期的建研所計畫諸如「零碳綠建築發展與策略規劃之研究」與「零碳綠建築願景、策略及可行性之研究」中，已有詳細的氣象資料與動態模擬，無須重複運作。

- (2) 前述計畫中均有設計一住宅案例進行耗能模擬，然而實際的住宅耗能模式並不容易掌握，代表性有限。故本研究參考「低碳建築聯盟」的「BCF 評估法」，直接以「標準虛擬情境」的住宅耗能進行討論。
- (3) 綜觀國外的近零耗能建築案例，均導入完備的建築能源管理系統 (BEM)，因此能有效率的掌握建築物各類耗能支出，本研究導向近零耗能住宅 EUI 情境之可行性探討，呼應未來「住宅耗能標示」的重要性與必要性。
- (4) 本研究蒐集亞洲地區的近零耗能建築案例，尤其聚焦在亞熱帶地區，一方面是為了不重複既有研究所整理過的歐美地區知名案例，一方面是分析這些專為亞熱帶熱濕氣候量身打造的零耗能設計手法，是否能成為做為臺灣發展近零耗能建築的借鏡。

在研究方法與研究流程上，本研究首先蒐集彙整國際間各國（歐盟、美國、日本…等）對於近零耗能建築政策的推動方針、分期目標與執行策略，做為我國日後推動近零能源政策參考。同時蒐集亞洲地區零耗能建築案例與臺灣再生能源運用之現況，並分析（1）被動式設計（2）主動式設計（3）再生能源等三個面向的節能技術。最後透過 BCF 法，針對臺灣住宅進行 ZEB 的量化與可行性評估。研究過程中的主要工作項目與流程如圖 1-8 所示：

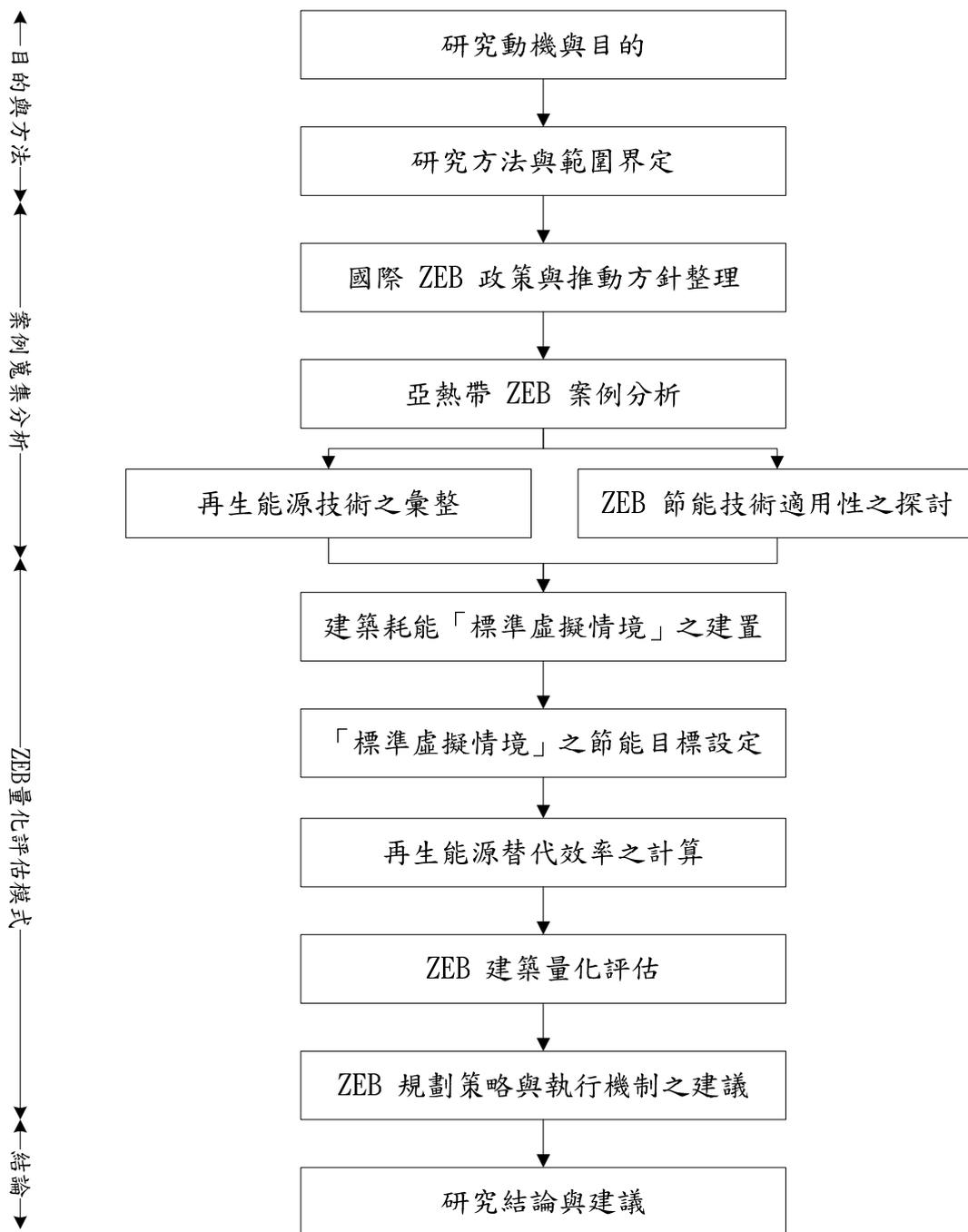


圖 1-8 本研究流程圖

(資料來源：本研究繪製)

第二章 國際近零能源建築推動政策與方針

第一節 零能源建築 ZEB 的定義

目前國際間對於零能源建築的說法與定義大致可分為兩種，「淨零能源建築」與「近零能源建築」：

(1) 淨零能源建築 (Net Zero Energy Building, NZEB)

(2) 近零能源建築 (Nearly Zero Energy Building, nZEB)

第一種「淨零能源建築」的說法定義以美國為主，第二種「近零能源建築」的說法定義則以歐盟為主。至於本研究案中所蒐集的亞洲 NZEB 案例，則是兩種用語都有案例使用。兩者的縮寫都可以表示為 NZEB，也都使用初級能源 (Primary Energy) 進行評估，其能量單位為 kWh/m².a：

無論是「淨零能源建築」或「近零能源建築」，兩者意義相近，但由於「淨零能源 (net zero energy)」為「淨 (net)」，因此定義較「近 (nearly)」來得明確，也更強調能源的平衡，因此目前由美國能源部 (DOE) 和國家可再生能源實驗室 (NREL) 提出的 4 種“淨零能源”的定義，是國際中廣為人接受的定義，包括 (1) 現場淨零能源 (Net Zero Site Energy)；(2) 淨零輸入能源 (Net Zero Source Energy)；(3) 淨零能源支出 (Net Zero Energy Costs)；(4) 淨零能源排放 (Net Zero Energy Emissions) (圖 2-1~圖 2-4) (Hootman, 2012)，這些淨零能源的定義相對明確且有能源平衡的邊界設定。歐盟雖然率先提出 2020 年所有新建建築的節能標準必須符合「近零能源建築」，但事實上歐盟各國對於「近零能源建築」卻沒有一個統一或明確的定義，例如德國就僅採用「零碳建築」或「氣候中和建築」的說法，甚至一些歐盟的國家目前的近零能源建築政策還在發展中。

由於“零能源 (zero energy)”和“淨零能源 (net zero energy)”仍是比較新的概念，因此尚未有進一步、較明確且被廣泛接受的零耗能指標。目前美國能源部 (DOE) 和國家可再生能源實驗室 (NREL) 已經率先進行許多淨零能源建築 (NZEB) 的工作。尤其 NREL 提出了 4 種“淨零耗能”的定義，並且鼓勵建築設計師，業主和運營商來選擇最適合自己的項目指標。這 4 種定義包括：

1. 現場淨零能源 (Net Zero Site Energy)

「現場淨零能源」是指能源的生產與消耗均位於同一個「現場 (site)」(如建築物)，但不限能源是在哪裡生產或如何生產的。在一個現場淨零能源的建築中，能源的生產與消耗均以一年為計算單位。

2. 淨零輸入能源 (Net Zero Source Energy)

「淨零輸入能源」是指「初級能源 (primary energy)」與包括可能在生產、運輸、分配的過程中消耗與浪費的能源，其輸入或取得都需要在「現場 (site)」發生。初級能源的利用係數不同，例如，一個燃煤發電廠生產 1 焦耳的電力，需要消耗 3 焦耳的煤，但這會取決於現場和實際的利用係數因素而有所不同。

3. 淨零能源支出 (Net Zero Energy Costs)

「淨零能源支出」意指建築一整年中的能源帳單為 \$ 0。在某些情況下，業主或經營者可能銷售現場多餘的可再生能源，並從中獲利。

4. 淨零能源排放 (Net Zero Energy Emissions)

許多能源在生產及使用過程中會產生二氧化碳，氮氧化物，二氧化硫等環境負荷，「淨零能源排放」則是指不使用會產生溫室氣體排放的能源，或是藉由現場再生能源系統來抵銷其排放。

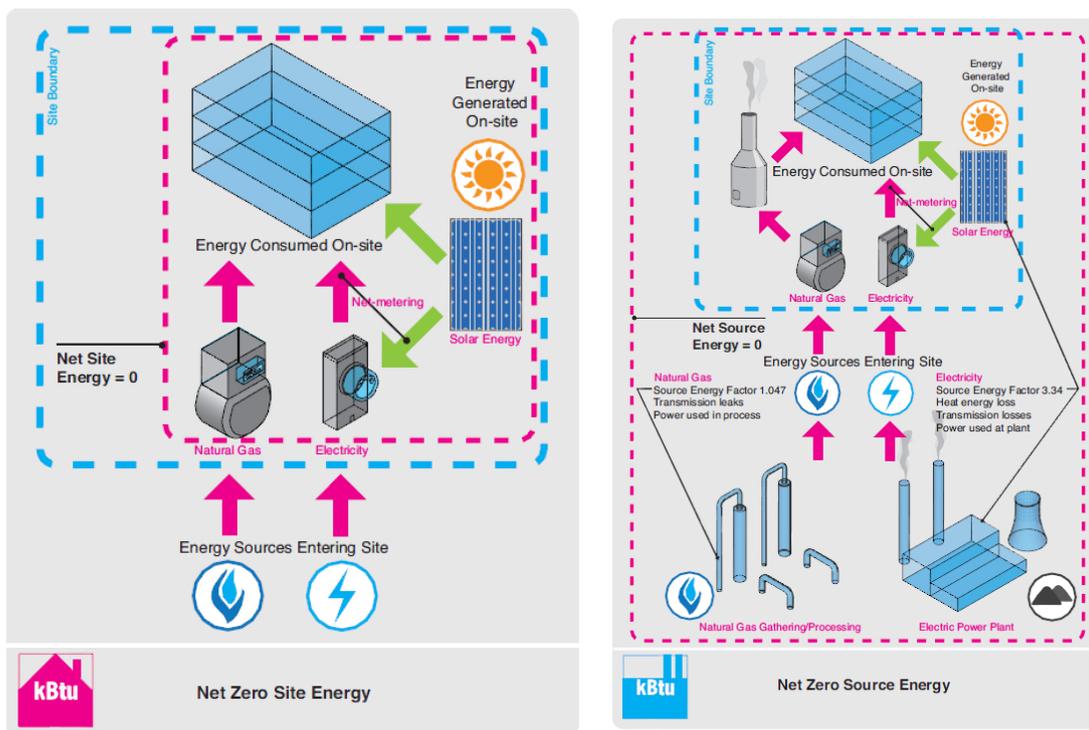


圖 2-1 現場淨零能源 (Net Zero Site Energy) (左圖)

圖 2-2 淨零輸入能源 (Net Zero Source Energy) (右圖)

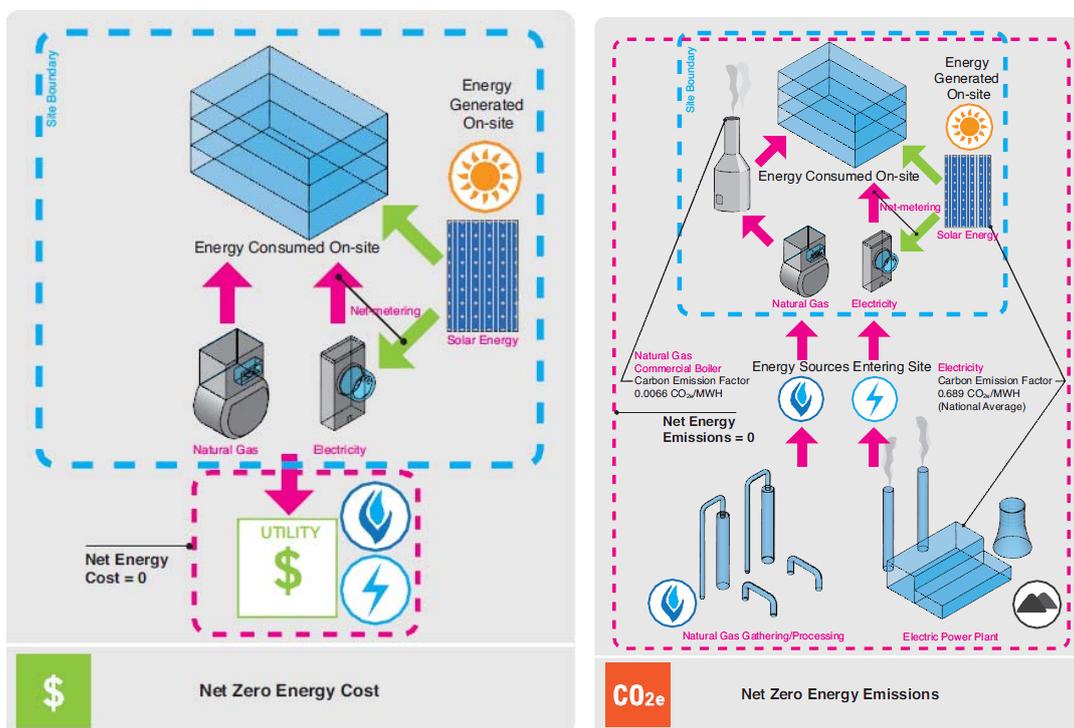


圖 2-3 淨零能源支出 (Net Zero Energy Costs) (左圖)

圖 2-4 淨零能源排放 (Net Zero Energy Emissions) (右圖)

(資料來源：Net Zero Energy Design, 2012)

第二節 零能源建築的平衡方式

儘管「零能源建築 (ZEB)」有諸多不同的定義，不同國家有不同的政策目標、不同的氣候條件、不同的室內環境，但均可利用“Towards Net Zero Energy Solar Buildings” 聯合研究計劃中所提出的架構來解釋：「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」(IEA, 2014)。以圖 2-5 為例，淨零能源即是輸入 (input) 與輸出 (output) 的平衡，X 軸表示加權的輸入 / 需求能源，Y 軸表示加權的再生能源饋電 (feed-in Credits) / 現場生產的再生能源，兩者平衡後會落在 Net zero Energy 的斜線上。

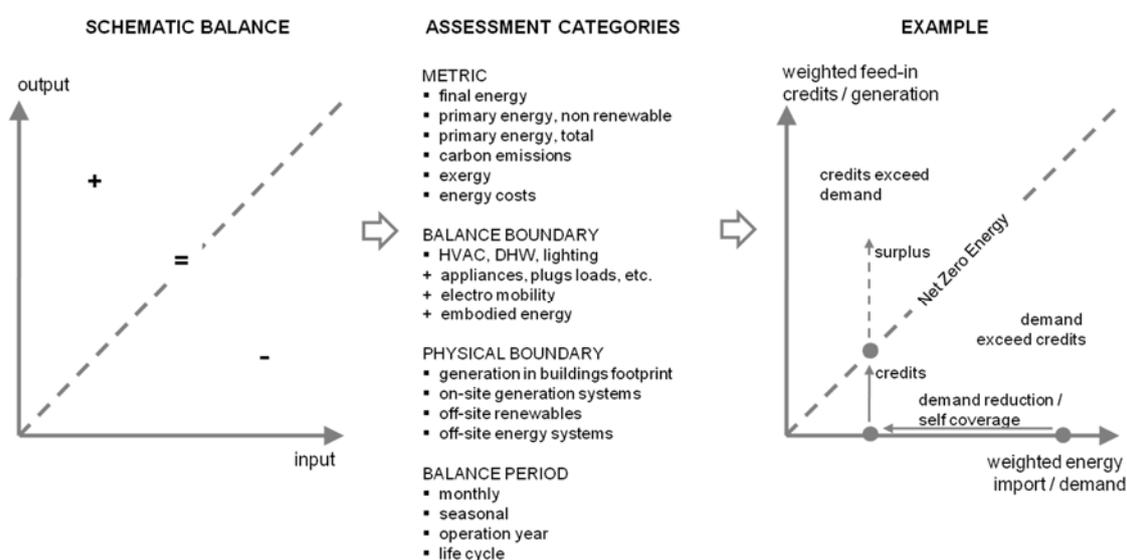


圖 2-5 淨零能源平衡的概念 (1)

(資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Zero-energy_building)

這其中的“淨 (Net)”特別強調「建築」和「能源基礎設施」之間的能量交換。透過電網的連結，建築本身成為再生能源設施的一部份，這樣可避免僅有季節性的再生能源儲能以及設置過大的再生能源設施。

在平衡的過程中，有幾個面向和重要抉擇必須確定 (表 2-1)：

- 建築系統的邊界 (building system boundary) 必須被確立。首先是「物理性的邊界」，這決定何種可再生能源需要納入考量 (例如建築碳足跡、現場或場外的再生能源)，多少的建築物要被納入計算 (單一建築或集體建築)。其次是「平衡的邊界」，這裡必須確立能源使用的種類 (冷暖房、通風、熱水、照明...

等)，但值得注意的是，一般先納入平衡的是「空調、照明與熱水」，至於電器設備的耗能有時是附加設定，不一定納入第一層級的平衡邊界，這與我們慣用的耗能量計算有些不同。至於可再生能源的部分，可以優先考慮供給的來源。

- 不同的能源單位需轉換成一個統一的度量（通常是初級能源），使得它們能夠互相比較或互相彌補而達成平衡。
- 淨零能源的平衡週期通常假定為 1 年，這適用於所有能源的運作使用。當然較短的時間(月或季)、或是整個建築生命週期的內含耗能(embodied energy)也可以被考慮。
- 能量平衡可以分為兩種類型：(1)「運作階段」的能源輸入和輸出的能源平衡（現場可再生能源生產時的消耗可被考量）；(2)「設計階段」的（加權）能源需求和（加權）能源生產的平衡。以圖 3-6 為例，「設計階段」的能源需求和能源生產的平衡、「運作階段」的能源輸入與輸出的平衡、或是每月的平衡都能以不同類型的平衡圖來表示（圖 2-6）。

總而言之，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。圖 2-5 及圖 2-6 均說明了其平衡概念，其中有一些計算時的設定參考條件必須加以設定考量（表 2-1）。目前零能源建築之計算係參考國際主流規範：(1)單位為「初級能源」（電能轉換量以各國係數為準）；(2)計算期間為「建築日常使用」階段之產能與耗能；(3)以「年」作為能源平衡計算週期；(4)能源平衡型態為能源產出=耗能；(5)主要考量現場生產之再生能源。

表 2-1 NZEB 的設定要項條件

計算方式選定	平衡邊界設定	物理邊界設定	平衡時間設定
1. 最終能源 or	空調、熱水、照明	1. 建築碳足跡 or	1. 一個月 or
2. 初級能源（無再生能源）or	加	2. 現場發電系統 or	2. 一季 or
3. 初級能源（含再生能源）or	1. 電器設備 or	3. 場外再生能源 or	3. 一年 or
4. 二氧化碳排放 or	2. 電動車充電 or	4. 場外能源系統	4. 生命週期
5. 能源 or	3. 內含耗能 or		
6. 能源成本			

（資料來源：本研究整理）

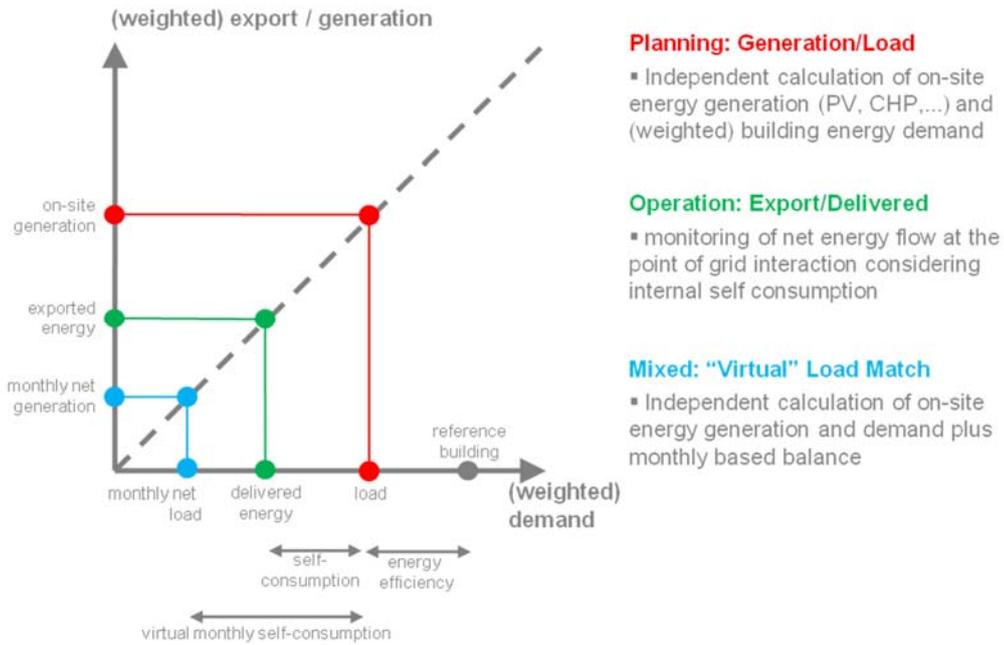


圖 2-6 淨零能源平衡的概念 (2)

(資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Zero-energy_building)

以英國著名的零碳建築 LIGHTHOUSE 為例，透過其能源平衡圖 (圖 2-7) 就能瞭解該建築實際消耗的電力為 $47 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ，但由於淨零能源是採用「初級能源 (Primary Energy)」為計算單位，因此必須乘上初級能源的係數再換算成初級能源 (在此是依據 EN 15603)，故每年的初級能源消耗預設值為 $166 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ 。由於其再生能源可供應 $192 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ，故該案例不僅達成零能源的目標，還有多出 $26 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ 的可再生能源被使用。

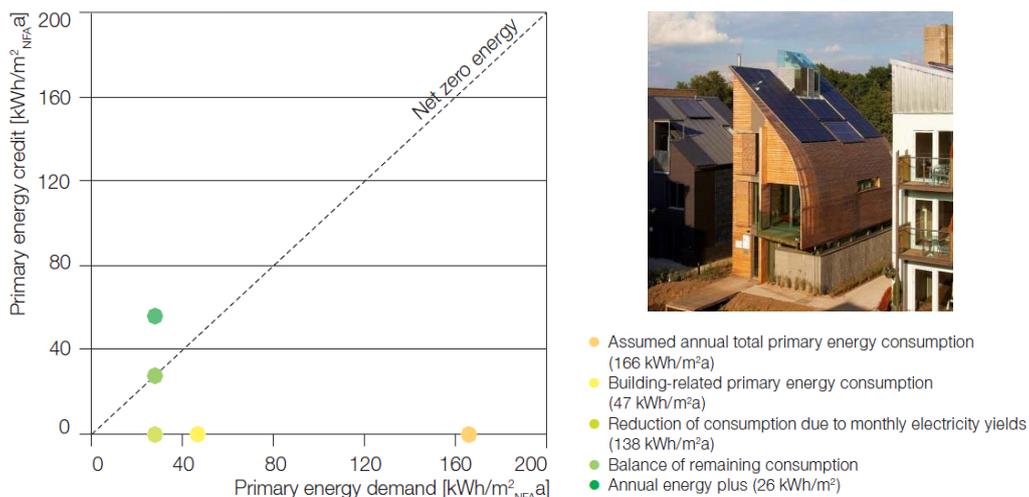


圖 2-7 LIGHTHOUSE 的淨零能源平衡

(資料來源：Voss, 2013)

第三節 國際 ZEB 政策推動方針

當前的世界潮流中，以零能耗建築 (zero energy building, ZEB) 和零碳建築 (zero carbon building, ZEB) 備受世界關注，它們被認為是實現節約能源、減少溫室氣體排放、達到可持續發展的重要措施。

2008 年至 2013 年間，來自美國、英國、澳大利亞，奧地利，比利時，加拿大... 等數十國的研究人員，在國際能源署 (International Energy Agency, IEA)、太陽能保溫和冷卻計劃 (Solar Heating and Cooling Program, SHC)、建築與社區能源 (Energy in Buildings and Communities, EBC, 原 ECBCS) 等機構的支持下，共同進行一個聯合研究計畫“走向零能源太陽能建築 (Towards Net Zero Energy Solar Buildings)” (IEA, 2014)，目的是要將淨零能源建築推向市場並具備市場生存能力。該計畫主要在建立淨零能源建築的共識，包括建立一個適用於國際的框架定義、設計流程工具、先進技術與解決方法、各類淨零能源建築準則，希望能適用於參與各國氣候區內的新建與既有的住宅及非住宅。

國際間的歐盟、美國、德國等國近年也紛紛發表「零能源/零碳建築」的長期目標或傑出建築案例，並且將 ZEB (淨零能源建築或近零能源建築) 列入國家能源政策目標，顯示零能源建築將是未來的主流。

一、歐盟

自 2003 年 6 月起，歐盟通過對工業界的溫室氣體設下限額，並創立國際碳排放交易市場，在這機制下歐盟各成員國應以本身產業發展、產業碳排量等制定各國企業體在各交易階段碳排放量之定額 (亦即國家分配計畫)，並提出具體的減碳目標。該機制分為三個交易階段：2005~2007 年、2008~2012 年、2013~2020 年。同時 2003 年推出「建築物能源效益指令 (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)」，歷經修改，最新規範目標為在 2018 年所有公共建物、2020 年所有新建物，皆需達到近 (Nearly) 零能源的目標。故此處所談之 nZEB 為「近零能源建築」之意。

由於歐盟將 2020 年定為 nZEB 的目標年，這同時啟動了零碳/零能源技術的科研研發計畫，並且配合了許多新節能制度與法令規範的修訂，使 nZEB 成為具體明確的努力目標。目前歐盟約 35% 的建築物都已超過 50 年，透過提高建築物的能源效率，可以減少 5~6% 的能源消耗及約 5% 的碳排。

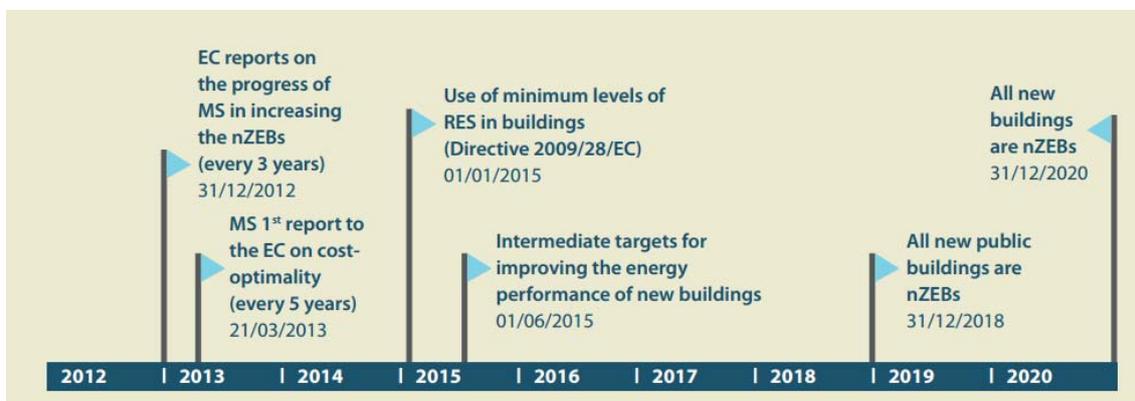


圖 2-8 歐盟推動近零能源建築政策的重要時程圖

(資料來源：BPIE, 2015)

目前歐盟的節能規範架構如下 (European legislative framework)：

(2) 建築物能源效益指令 (EPBD, 2010/31/EU)

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

(3) 能源效率指令 (EED, 2012/27/EU)

- 歐盟國家必須至少在 3 % 由中央政府所屬的建築中進行節能更修。
- 歐盟各國政府應只購置高效能建築物。
- 歐盟國家必須將長期的建築更新計畫納入國家能源效率行動計劃之中

(3) 可再生能源指令 (RED, 2009/28/EC)

- 2020 年時，可再生能源佔總能源之 20%，且 10% 運輸燃料必須來自可再生能源。
- 依每個國家的整體潛力制定可再生能源目標。
- 促進中歐國家之間的合作，並共同實現可再生能源目標。

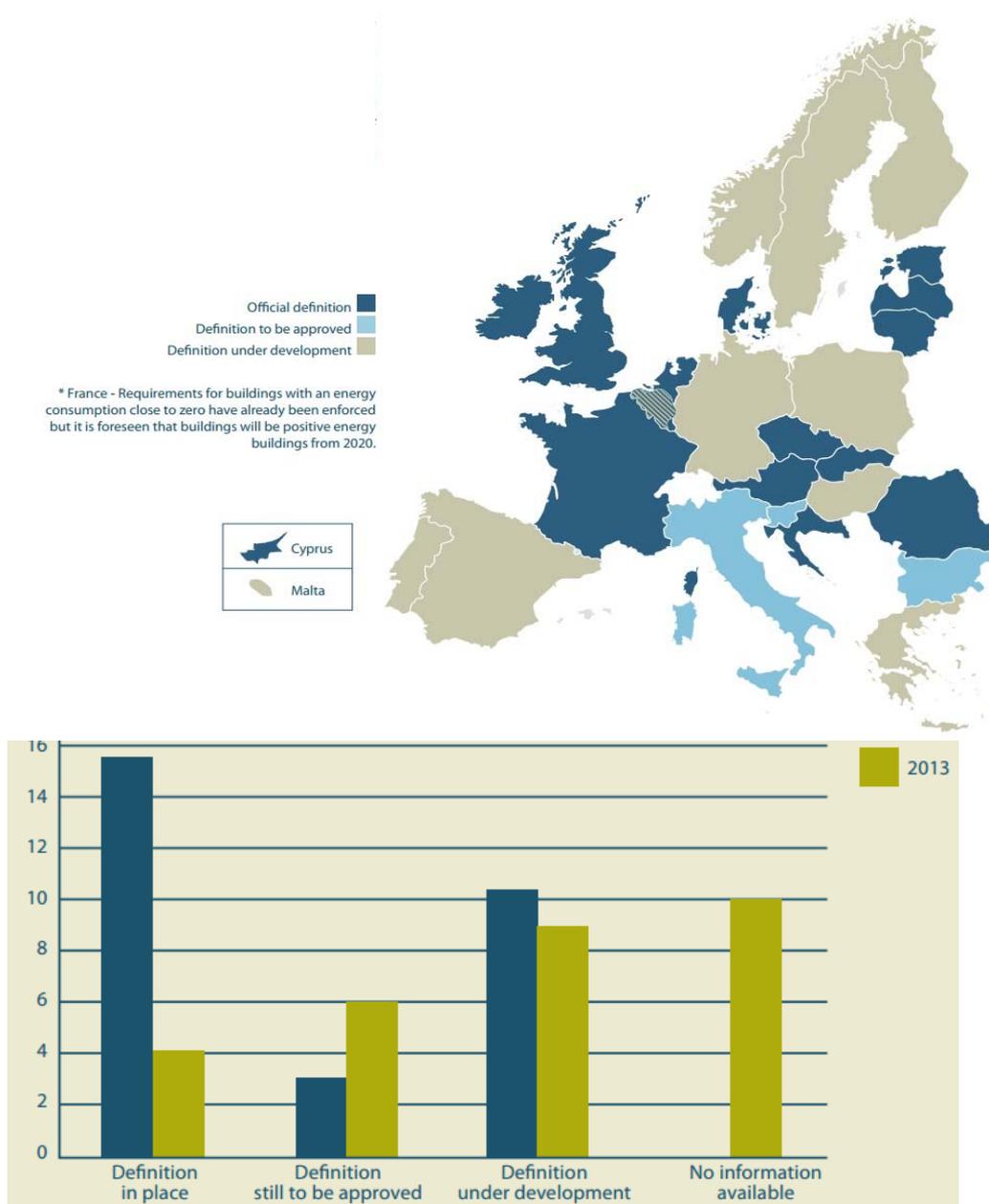


圖 2-9 目前歐盟各國的 nZEB 政策發展情形

(資料來源：BPIE, 2015)

二、英國

自 1997 年起，英國住宅部門的碳排放量成長超過 5%，佔英國碳足跡總量之 27% (DTI 2003；Osmani and O'Reilly 2009)。英國政府指出營建產業是降低碳排放的關鍵部門，並於 2003 年實現低碳經濟作為英國能源策略首要目標。2006 年 9 月，英國提出「永續住宅規範」(Code for Sustainable Home, CSH)，作為英國新建住宅達成零碳住宅的方法 (圖 2-10)，並且於 2006 年修訂建築物規範 (The Building Regulations)，同時宣示英國於 2016 之前，所有新建物必須達到國家節能標準，並擬定稅制配套優惠。2007 年起推動家庭能源分級效率與標章制度 (Energy Performance Certificates, EPCs)，標示能源效率與溫室氣體對環境之衝擊值，每 10 年需更新。主要綠建築認證制度稱為 BREEAM。2015 年 3 月，英國政府更推出 Home Quality Mark 的制度，利用 5 顆星的分級，讓消費者能更清楚瞭解新住宅的性能 (圖 2-11)。



圖 2-10 Code for Sustainable Home 圖 2-11 Home Quality Mark

(資料來源：<http://www.rund.co.uk/>)

相對於零能源，英國政府講求的其實是零碳排。自 2010 年起每隔 3 年便強化一次規定，並決定在 2016 年之前使所有的新建住宅實現零碳排。此外還規定，住宅以外的建築也要在 2019 年之前實現零碳建築，到 2050 年將英國 CO₂ 的排放量降低 60%。2016 年起，建築物的碳排放限制規定如下：

(1) 獨棟住宅：10 kg CO₂/m²/year or 46 kWh/m²/yr

(2) 連棟住宅：11 kg CO₂ /m²/year or 46 kWh/m²/yr

(3) 低層公寓：14 CO₂ /m²/year or 39 kWh/m²/yr

近零能源建築 (nZEB) 與英國政府所推動的零碳住宅政策 (Zero Carbon homes, FEES) 的部分差異在於：零碳住宅需先計算每年單位樓地板面積的耗能量 (kWh/m²/yr)，並將其換算為 CO₂ 排放量。近零能源建築 nZEB 則是以初級能源 (kWh/m²/yr) 計算。歐盟所提出的 2020 年 nZEB 目標是針對歐盟各國，零碳住宅則僅是針對英國國內規範。

三、德國

德國於 1999 年就已實施徵收生態稅，2001 年 5 月德國制定「節能法」，要求建築物節能 30%，2002 年於 EnEV (Energieeinsparverordnung, 節約能源條例) 明定建築能源護照政策，凡是建築交易或擴建必須出示其能源護照，標示其耗能與排碳值。其實德國的節能法令中，並沒有「零能源」的用語，而是強調零碳或「近氣候中和建築 (nearly climate-neutral)」。2014 年 5 月最新一版的 EnEV 2014 中，則以更嚴格的建築耗能標準，宣示在 2050 年時，所有的建築物必須都是「近氣候中和建築」。首先，2016 年起，所有新建的建築在初級能源的需求上，必須減少 25%；建築隔熱性能必須提升 20%。同時自 2014 年起，建築物的能源將分為由 A+到 H 的等級。

四、丹麥及斯洛伐克

在歐盟的一些國家中，節能政策已非常具體且嚴謹。例如，在丹麥和斯洛伐克共和國，節能指標在 2015 年起趨於嚴格。以丹麥為例，2021 年時新建建築的 EUI 門檻為 20 kWh/m².yr (表 2-2)。

表 2-2 丹麥及斯洛伐克的新建建築物能源基準

Maximum required primary energy consumption in new buildings [kWh/m ² y]			
Country	Before 2015	2015	2021
Denmark	52,5 + 1650/ (heated gross floor area)	30 + 1000/ (heated gross floor area)	20 (nZEB)
Slovak Republic	109-216 (Energy Class B)	55-108 (Energy Class A1)	54 (nZEB, Energy Class A0)

(資料來源：BPIE, 2015)

五、比利時

比利時於 2011 年修訂 EPB (Energy Performance of Buildings) 條例，從 2015 年 1 月起，對於近零耗能建築 nZEB 的要求為：

(1) 住宅建築：

- 初級能源消耗：低於 45kWh/m².yr
- 暖氣能源消耗：低於 15kWh/m².yr

(2) 辦公和教育建築：

- 初級能源消耗：低於 (90-2.5*C) kWh/m².yr (C=容積/面積)
- 暖氣能源消耗：低於 15kWh/m².yr
- 冷氣能源消耗：低於 15kWh/m².yr

六、美國

美國於 2007 年能源獨立及安全法案 (EISA 2007) 要求 2030 年前之商業新建築需達到淨零能源(Net Zero Energy)、2040 年前 50%商業建築需達到淨零能源、並於 2050 年前全部商業建築需達到淨零能源。

歐巴馬於 2010 推動 HOMESTAR 獎勵住宅節能法案，且於 2011 國情咨文發表宣示美國將投入並推動 Better Building Initiative，2025 年再生能源產量由目前的 8%提高到 25%。美國目前主要認證與標準制度包括 LEED, Energy Star, ASHRAE standards 等。相關補助獎勵措施包括若添購隔熱裝置，進行管線封漏，更新熱水

器、空調設備及門窗屋頂，便可獲 1,000 到 1,500 美元的補助。如果住戶因這些翻新改造措施達到 20% 的節能目標，補貼金額可高達 3,000 美元。同時對改善建築能效之公司進行減稅與擴大貸款，另一方面也積極培訓綠能技術人員。若 2020 之前能提升商用住宅 20% 能源效率，每年約能節省 400 億美金。

針對淨零能源建築，美國 13514 行政命令定義具體的目標和時間表為 2020 年，以確保 2020 年後所有聯邦內所有新建築物都能在規劃過程中，實現 2030 年零淨能源的目標。

自 2014 年 1 月 1 日開始，加州的綠色建築標準 (Green Building Standards, CALGreen) 開始實施，加州政府致力於 2020 年所有的新建建築、2030 年所有的商業建築均能達成淨零能源建築的目標，因此，目前在加州的淨零能源建築有比美國其他州來得更多。

美國柏克萊國家實驗室 (LBNL) 則提出在 2020 年達到淨 (Net) 零耗能屋的規劃，以節省 70% 耗能、再生能源產生 30% 來達到零耗能。於 **2050 年前全面達到淨零耗能的目標。**

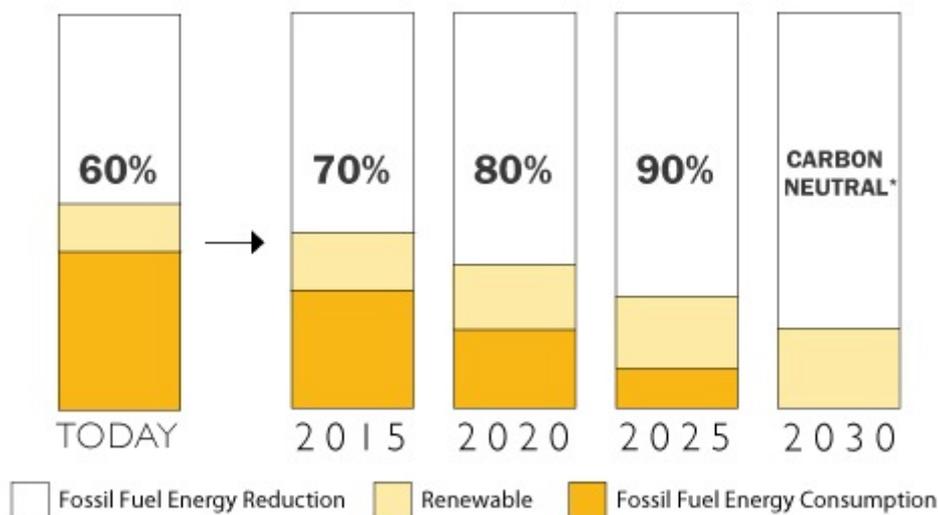


圖 2-12 The 2030 Challenge Targets

(資料來源：http://architecture2030.org/2030_challenges)

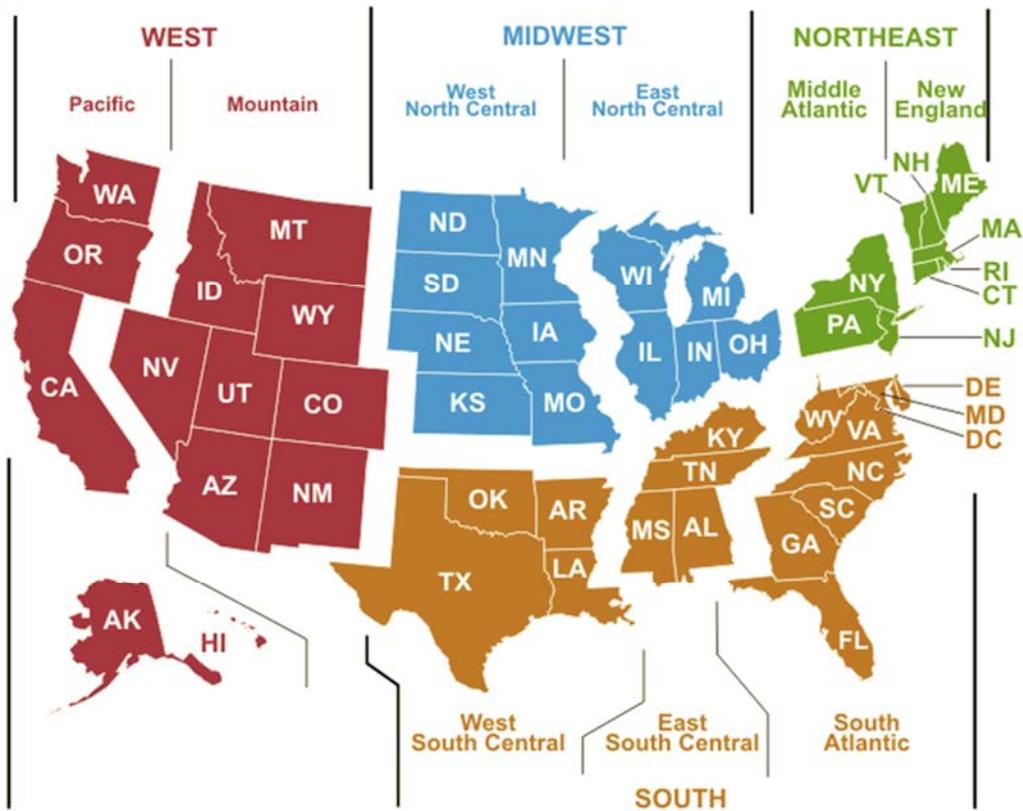
因應世界潮流，來自世界各地的建築師有志於降低建築能源的使用，並且降低建築物對於氣候的衝擊。美國建築師協會 (AIA) 採用了由 Architecture 2030 組織所提出的減碳目標 The 2030 Challenge Targets (圖 2-12)。在這個目標下：

- 所有新建築，發展中的建築和更新的建築，其化石燃料使用、溫室氣體排

放，耗能標準應低於該區域（或國家）該類型建築的平均數/中位數之 70 % 以下。

- 或至少，同等面積的既有建築在修繕更新時之化石燃料使用、溫室氣體排放，耗能標準應低於該區域（或國家）該類型建築的平均數/中位數之 70 % 以下。
- 所有新建築和重大更新之化石能源減量標準需逐年提升：2020 年時為 80%，2025 年時為 90%，2030 年時達到碳中和（使用零溫室氣體排放的能源）。

以美國的住宅類建築為例，2013 Challenge Targets 將能源使用密度 EUI (Energy Use Intensity) 的逐年目標，依照 2009 年完成的調查資料，將地理分區、5 種不同的住宅類型進行 EUI 目標的分類（獨棟住宅、連棟住宅、2~4 單元集合住宅、5 個單元以上的集合住宅、移動式住宅）（表 2-3）（圖 2-13）。



Source: U.S. Energy Information Administration.

圖 2-13 美國普查分區圖 (for EUI Targets)

(資料來源：U.S. Energy Information Administration)

表 2-3 美國住宅類 EUI Targets (kBtu/ft².yr)

U.S. Regional Averages for Site Energy Use and 2030 Challenge Energy Reduction Targets by Residential Space/Building Type (RECS 2001) ¹							
From the Environmental Protection Agency (EPA): Use this chart to find the site fossil-fuel energy targets.							
Residential Space/Building Type ²	Average Source EUI ^{3,4} (kBtu/Sq.Ft./Yr)	Average Site EUI ^{3,4} (kBtu/Sq.Ft./Yr)	2030 Challenge Site EUI Targets (kBtu/Sq.Ft./Yr)				
			50% Target	60% Target	70% Target	80% Target	90% Target
Northeast							
Single-Family Detached	67.5	45.7	22.9	18.3	13.7	9.1	4.6
Single-Family Attached	68.6	50.3	25.1	20.1	15.1	10.1	5.0
Multi-Family, 2 to 4 units	78.8	57.8	28.9	23.1	17.3	11.6	5.8
Multi-Family, 5 or more units	98.2	60.7	30.4	24.3	18.2	12.1	6.1
Mobile Homes	145.5	89.3	44.6	35.7	26.8	17.9	8.9
Midwest							
Single-Family Detached	76.2	49.5	24.7	19.8	14.8	9.9	4.9
Single-Family Attached	66.6	44.8	22.4	17.9	13.4	9.0	4.5
Multi-Family, 2 to 4 units	104.8	74.0	37.0	29.6	22.2	14.8	7.4
Multi-Family, 5 or more units	93.3	50.9	25.4	20.4	15.3	10.2	5.1
Mobile Homes	168.9	103.3	51.6	41.3	31.0	20.7	10.3
South							
Single-Family Detached	86.0	41.5	20.8	16.6	12.5	8.3	4.2
Single-Family Attached	82.5	38.8	19.4	15.5	11.6	7.8	3.9
Multi-Family, 2 to 4 units	113.6	46.9	23.5	18.8	14.1	9.4	4.7
Multi-Family, 5 or more units	122.4	47.9	24.0	19.2	14.4	9.6	4.8
Mobile Homes	162.0	63.3	31.6	25.3	19.0	12.7	6.3
West							
Single-Family Detached	67.2	38.4	19.2	15.4	11.5	7.7	3.8
Single-Family Attached	63.2	38.8	19.4	15.5	11.6	7.8	3.9
Multi-Family, 2 to 4 units	87.3	47.6	23.8	19.1	14.3	9.5	4.8
Multi-Family, 5 or more units	81.7	40.0	20.0	16.0	12.0	8.0	4.0
Mobile Homes	128.2	65.8	32.9	26.3	19.7	13.2	6.6

(資料來源：http://architecture2030.org/2030_challenges)

七、日本

日本自 2002 年起，規範 2000 m² 以上建物必須符合 PAL(Perimeter Annual Load) 及 CEC(Coefficient of Energy Consumption) 等性能規範(式 2-1~式 2-2)，並符合建築環境效率 BEE (Building Environmental Efficiency) 的標準。同時日本政府推動 Top runner 與 Eco-Point 制度，從高效能家電設備切入節能建築，帶動整體產業發展。主要綠建築認證制度為 CASBEE。

$$PAL = \frac{\text{內部周邊的年度熱負荷(百萬焦耳/年)}}{\text{每層內部環境總樓地板面積(平方公尺)}} \dots\dots\dots (式 2-1)$$

$$CEC = \frac{\text{單一建築設備之全年實際能源消費(百萬焦耳)}}{\text{相同建築設備之標準能源消費(百萬焦耳)}} \dots\dots\dots (式 2-2)$$

表 2-4 PAL 與 CEC 最低能源績效

建築類型	PAL* (MJ/yr·m ²)	CEC				
		空調	通風	採光	熱水	起重
餐廳	550	2.2	1.5	1	若 0<A≤7, CEC=1.5 若 7<A≤12, CEC=1.6 若 12<A≤17, CEC=1.7 若 17<A≤22, CEC=1.8 若 22<A, CEC=1.9	-
禮堂	550	2.2	1	1		-
旅館	420	2.5	1	1		1
零售店	380	1.7	0.9	1		-
醫院或診所	340	2.5	1	1		-
學校	320	1.5	0.8	1		-
辦公室	300	1.5	1	1		1
工廠或其他	-	-	-	1		-

註：PAL*為無考量規模修正係數調整之未調整值
 A=熱水供應之循環管道總長度(m)/平均每天熱水消耗量(m³)
 (資料來源：CCREUB, 1999)

在近零能源建築的目標上，日本政府提出在 2020 年所有新建的公有建築須為近零能源建築，在 2030 年新建建築須為近零能源建築。有鑒於此，日本政府 2012 年 7 月決定在 2020 年以前對所有新建住宅、建築物設立「次世代節能基準」，要求所有樓地板面積達 300 m²以上住宅均需符合之，不足 300 m²建築物 2020 年後也將逐步納入管理，其實施期程如圖 2-14 所示。

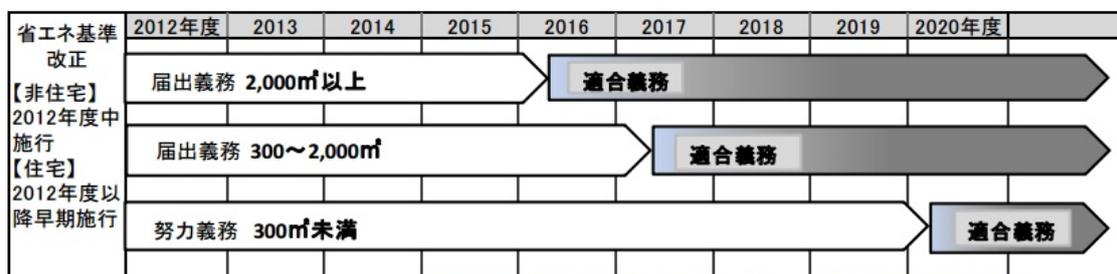


圖 2-14 日本建築規模與新節能基準適用之時間表

(資料來源：南都經濟研究所，2012)

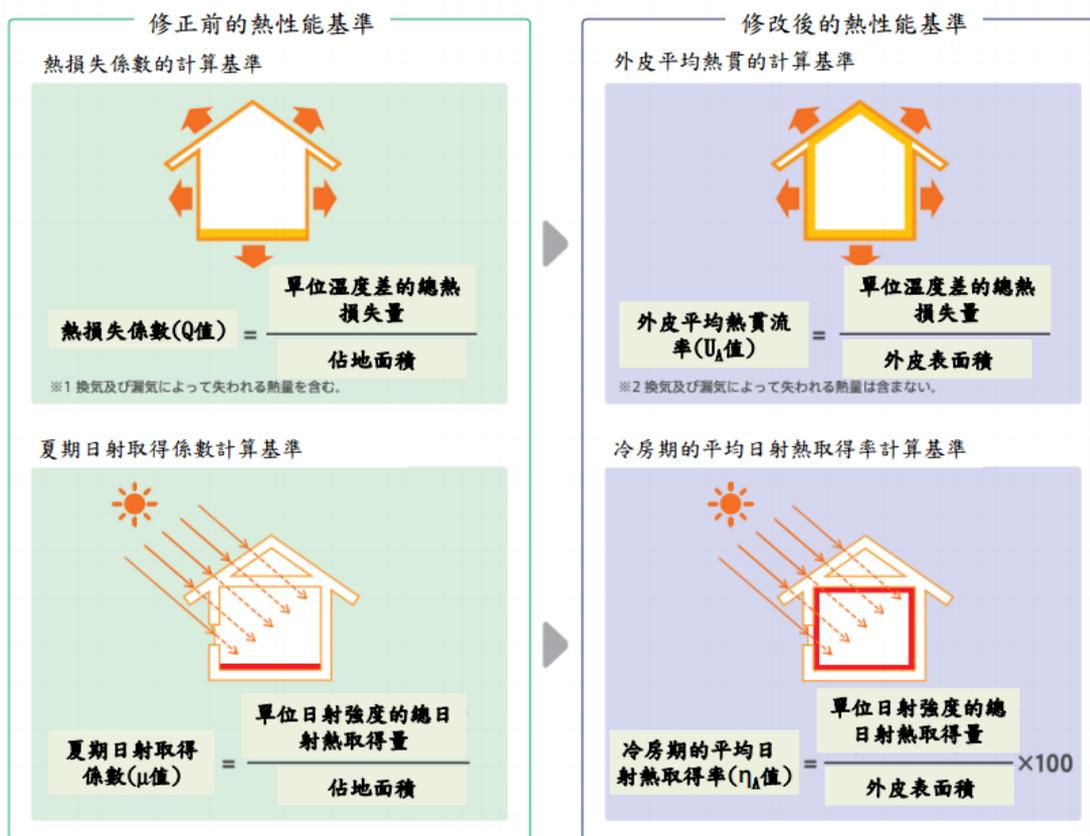


圖 2-15 日本建築節能新基準前後版本之比較 (JSBC)

(資料來源：http://www.is-design.co.jp/blog/message/25_1.php)

日本政府建築物節能新基準則於 2013 年 4 月 1 日開始實施，住宅節能新基準則於 2013 年 10 月 1 日起開始實施。新的基準仍以「隔熱性能」作為之評定基準，但性能指標從原先之熱損失係數 Q 值，改為「外皮平均熱貫流率 UA 值（冷氣使用期平均日射熱取得率 η_A 值）」。UA 值因為是以牆壁、天花、地板、開口部位個別總熱損失量除以外皮表面積，可以更正確地判斷建築物之隔熱性能(圖 2-15)。UA 基準如圖 2-16。

另一方面，日本對於優良的節能住宅也有相關的稅制獎勵措施，例如取得認證的住宅可享有所得稅、登錄免許稅、不動產取得稅以及固定資產稅的減免。民眾在購買具備較佳的省能以及耐震性的住宅時，可以有較多的課稅抵扣額，此外若是購買設置較佳的隔熱設備、使用再生能源以及高效率的熱水及空調裝置，也能享有稅制優惠。以上種種措施，均能鼓勵民眾購買較好的住宅，同時促進節能產業升級。

改正前の省エネルギー基準 [平成11年基準]

地域区分	I	II	III	IV	V	VI
熱損失係数の基準値 [W/(m ² ·K)]	1.6	1.9	2.4	2.7		3.7
夏期日射取得係数の基準値	0.08		0.07			0.06

改正後の省エネルギー基準 [平成25年基準]

地域区分	1	2	3	4	5	6	7	8
外皮平均熱貫流率の基準値 [U ₀ 値] [W/(m ² ·K)]	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	—
冷房期の平均日射取得率の基準値	—	—	—	—	3.0	2.8	2.7	3.2

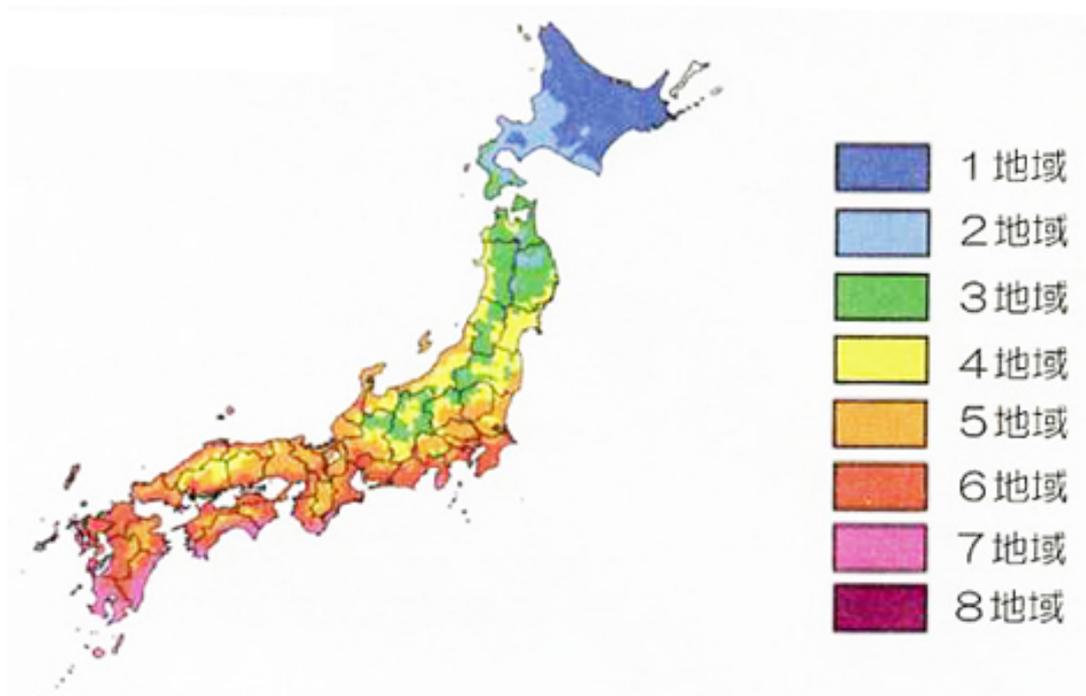


圖 2-16 日本平成 25 年建築節能基準之地域分區與 UA 基準值

(資料來源：日本サステナブル建築協会，2013)

第四節 各國的 NZEB 政策彙整

歐盟提出所有新建築在 2020 年 12 月 31 日起必須為近零能源 (nearly zero energy building) 建築，公共建築為 2018 年 12 月 31 日起必須為近零能源建築。本研究進一步彙整目前歐盟已經開始制訂近零能源建築基準的國家，並將其資料整理如表 2-5 所示。從表中可知，大部分已開始推動近零能源建築政策的國家，均與歐盟設定的實施日期一致，但少部分國家如法國、比利時、英國等，早已開始推動，甚至已經開始實施近零能源建築政策，而這些國家的建築初級能源基準也相對較為嚴格，但其實也還有一些歐盟國家尚未具體擬定政策及基準。從歐盟各國的政策推動上，可歸納幾個要點：

- 歐盟各國對 nZEB 的定義不同，nZEB 的基準內容也不盡相同。
- 實施 nZEB 的主要對象為新建築。
- 平均而言，歐盟各國對新建築的 nZEB 初級能源要求約為 50 kWh/m²。
- nZEB 在既有建築的推動上面臨一些問題，包括推動建築更新改善的法令問題，以及燃料貧困問題（fuel poverty，意指一個家庭需要花費超過百分之十的總收入來支付充分保暖住宅的燃料）。
- 許多國家的 nZEB 計劃既不明確，也不全面。只有少數幾個國家，例如比利時、法國、丹麥等國有設定清楚的目標和明確的執行（圖 2-17）。

表 2-5 歐盟各國實施近零能源建築政策的日期與初級能源基準

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

(資料來源：

http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/132/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf)

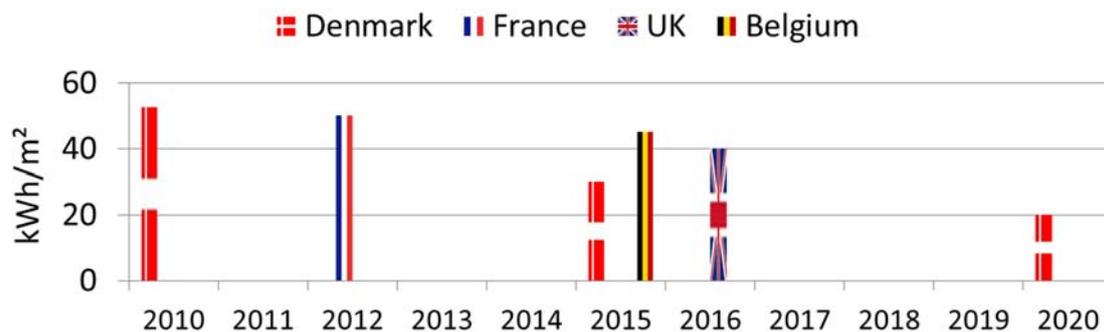


圖 2-17 丹麥、法國、英國、比利時的 nZEB 實施時程與能源基準

(資料來源：<http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/05/nZEB-current-policy-process.pptx>)

美國 13514 行政命令定義 NZEB 具體的目標和時間表定為 2020 年，以確保 2020 年後所有聯邦內的新建築物都能在規劃過程中，實現 2030 年 NZEB 的目標。美國的 Energy Star 與 2030 Challenge 都以 CBECS (2003) 作為節能目標參考基準，若進一步轉換 EUI 單位，以氣候與臺灣較為相近的美國南部地區來檢視的話，則其 EUI Targets 如表 2-6 所示，2015 年在 70% 的目標下，住宅的 EUI 希望能降至 35~45 kWh/m².yr，至 2025 年時，EUI 目標則訂在 12~15 kWh/m².yr，可作為我國的參考。

表 2-6 美國南部地區住宅類 EUI Targets (kWh/m².yr)

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

(資料來源：本研究整理)

此處要特別注意的是，EUI 比較基準的差異，以美國而言，通常將建築物一年期間所有耗電、耗化石能源皆轉換成一次能源加總計算為「Source EUI, Btu/ft².yr」；而在臺灣，EUI 的定義則僅計入建築一年的總用電，故臺灣 EUI 一般以 kWh/m².yr 做為 EUI 之單位（蘇梓靖，2015）。

亞洲地區則以日本及韓國在推動 nZEB 的政策上較為積極明確。日本政府提出 2020 年所有新建的公有建築須為 nZEB 建築，在 2030 年所有新建建築須為 nZEB。在韓國，建築耗能約佔全國整體耗能的 20%，依據韓國政府的規劃，在 2012 至 2025 這段期間，所有新建築的能源效率必須再提升，自 2025 年起，住宅建築必須為 NZEB，非住宅類建築則必須有節能 60% 的效率。

第三章 近零能源建築設計技術

第一節 亞洲 ZEB 案例蒐集

早期著名的零碳建築或近零耗能建築多出現於歐美地區，然而隨著近零能源建築意識的興起，近來亞洲地區也陸續出現了一些精彩的近零能源建築案例。由於溫帶地區的零碳技術/零耗能技術並非全然適用於亞熱帶地區，加上過去的研究報告中均已詳加描述，故此次的近零能源案例蒐集主要鎖定亞洲地區的案例，其中一些專為亞熱帶熱濕氣候量身打造的零耗能設計手法，可做為臺灣發展近零耗能建築設計的借鏡。本研究共選取了 10 個亞洲地區的近零能源案例（表 3-1），分別就各案例的（1）被動式設計；（2）主動式設計；（3）可再生能源等三個部分進行建築設計手法的彙整。

（1）被動式設計

被動式設計是指利用自然元素，如陽光、風力等來調節物理環境，使這些自然元素作為建築加熱或降溫，或照明的使用。被動式設計大多不使用複雜的設備，因此對設備系統的維修需求很少，經濟且可靠，通常為建築節能設計的初始考量。

表 3-1 亞洲近零能源建築案例一覽表

建築名稱	地點	氣候類型	建築類型
1. 零碳天地	香港	亞熱帶季風氣候	公共建築
2. 大成建設 ZEB 實證棟	日本	溫帶海洋性氣候	辦公建築
3. 鹿島建設技術研究所本館研究棟	日本	溫帶海洋性氣候	辦公建築
4. The LCCM	日本	溫帶海洋性氣候	住宅建築
5. BCA Zero Energy Building	新加坡	熱帶雨林氣候	公共建築
6. Indira paryavaran bhavan 政治大樓	印度	熱帶季風氣候	辦公建築
7. Samsung Green Tomorrow House	南韓	溫帶海洋性氣候	住宅建築
8. E+ Green Home	南韓	溫帶海洋性氣候	住宅建築
9. Pusat Tenaga Malaysia 馬來西亞能源中心	馬來西亞	熱帶季風氣候	辦公建築
10. Diamond Building	馬來西亞	熱帶季風氣候	辦公建築

（資料來源：本研究整理）

(2) 主動式設計

主動式設計則指使用電力和機械系統來調節物理環境，例如使用 HVAC（加熱、通風及空調）系統及人工照明系統。

(3) 可再生能源

利用太陽能、風能、生質能、地熱...等可再生能源來支援建築物中所需的耗能。如最常使用的太陽能，不僅可以用來集熱加熱，也能轉換為光電能產生電力。

一、零碳天地(CIC ZERO CARBON BUILDING)

表 3-2 「零碳天地」案例資料（香港）

案例名稱	零碳天地	
地點/城市	九龍灣常悅道/香港	
國家	中華人民共和國香港特別行政區	
建築型態	公共建築	
氣候類型	亞熱帶季風氣候	
案例背景	<p>1. 零碳天地是香港首座零碳建築。這個由建造業議會及香港政府合作建造的計畫，旨在向香港及世界各地的建造業展示環保建築的尖端科技及先進設計，並提高市民對可持續生活模式的認知。完工後並獲得多個建築界大獎。</p> <p>2. 零碳天地是香港政府“起動東九龍”計畫的首個工程。座落於被譽為香港下一個星級商業地段的九龍灣心臟地帶，零碳天地可謂是高密度城市中的綠州。</p> <p>3. 建築師：黃錦星，面積佔地總共 14,700 平方米，包括 3 層高的零碳天地大樓及綠化區。</p>	
效益	<p>1. 得到綠色建築環保評核體系 BEAM PLUS 之白金級認證。70% 的電力將由廢食油或生物柴油產生，其餘 30% 則由屋頂 1,015 平方米的太陽能發電系統生產，預料未來 50 年可以減少 8,250 噸的溫室氣體排放，比較傳統建築物減少能源消耗達 45%。期望可以推動香港首個三聯供（製冷、發熱、發電）系統。</p> <p>2. 透過安裝於天台、能夠 360 度吸收陽光的圓柱形太陽能光伏板、光導管及捕風塔等設施產生再生能源，估計每年可以產生 22.5 萬度電，使到建築物能夠自給自足，並且有剩餘電力供給予公共的電力網絡。</p>	

（資料來源：本研究整理）

1. 被動式設計：

● 對流通風與捕風器：

對流通風是環境設計策略中最重要的一環，可有效紓緩香港潮濕天氣帶來的影響。主立面朝向東南，可更好利用夏季的季風。

捕風器則是一個利用建築物自然通風的裝置。此處的氣溫較建築內部低，加上此天窗引進的風速較建築物中低層的窗戶的風速大得多，空氣經由補風器引入室內達到冷卻室內溫度效果。

● 地中預冷管：

地中預冷管是一條埋於地底的管道，經地底為空調系統引入新鮮空氣。地中預冷管利用地面下較低的溫度為新鮮空氣進行預冷，減少空調系統的負荷及能源使用。

● 高性能玻璃帷幕系統：

高性能玻璃幕牆系統，有良好的隔熱及採光效果，降低空調系統的負荷及對人工照明的依賴，以減少能源消耗。在表面加上低透射性塗層以反射熱量，減少熱量的吸收。

● 超低總熱傳送值：

總熱傳送值是在一幢建築物中，比較其外牆或屋頂與傳送至室內的熱力值。建築物的總熱傳送值越低，建築的能源效益就越高。零碳天地的總熱傳送值(overall thermal transfer value)為 11 W/m^2 ，比法定要求低約八成，這主要是靠建築外殼設計如適當的開口率、東南立面設置的外伸屋簷、室外的遮陽鰭片、減少東西立面或窗戶、高性能玻璃幕牆系統、遮陽及隔熱屋頂來達成。

● 導光板與導光管：

導光板約 20 度傾斜設置，將屋外日光反射到室內較深的位置，為室內提供較佳的採光。導光管基本上是高性能反射管道，反射從天台收集的光線到室內來提供照明。



圖 3-1 香港零碳天地採用的捕風器、地冷管、導光管

(資料來源：零碳天地官方網站 <http://zcb.hkcic.org/>)

- 熱反射窗簾：

配置有鋁表層的膠膜作室內遮陽。鋁表層因其低放射性，只於室內排放所吸收熱量的 3%至 5%，夏天反射熱力出去，冬天減低熱力流失，可擋 92%的紫外線。

- 降溫油漆：

反射太陽熱能回天空，降低表面溫度多達攝氏 5 度，減少熱量由外傳送至室內，減輕熱島效應。

- 優化窗牆比率（開窗率）：

西北立面為高窗牆比（逾 65%），設有玻璃與戶外遮陽，以採納北面柔和的日光及提供景觀。東南立面也屬於高窗牆比（逾 70%）。西南立面和東北立面則採用低窗牆比（分別為約 10%和 25%），以降低熱量吸收及眩光。

- 室外遮陽：

東南立面設置深長的屋簷以阻擋高角度的陽光。在西北立面則設置的垂直遮陽遮擋傍晚的陽光

2. 主動式設計：

- 高風量低轉速風扇：

高風量低轉速風扇在低轉速下仍能產生強大氣流，而且扇頁噪音小。室內的大型天花吊扇具有專利設計，可使大量的空氣移動、加速人體散熱，並能可有效

地減少使用空調的時間。

- 高溫空調系統：

高溫空調系統包括冷管、地下置換式供冷及乾燥劑除濕。水管流經 "冷管" (熱力置換器)，貼近天花板通往室內。當冷管冷卻室內空氣後，空氣變重而流向地面，隨後被上升的暖空氣取代，令室內空氣保持流通，從而達到冷卻作用。

地下置換式供冷是一個空氣配置方法，以達至建築物內保持良好通風及室內空間舒適。系統利用加高的地板，增加地下的通風壓力，將冷卻了的空氣由地面直接向上擴散至周邊範圍。

除濕乾燥器使用化學物除去空氣中的濕氣，然後將相對濕度低的空氣流經乾燥劑將濕氣從乾燥劑帶走。傳統冷氣系統同時供冷和除濕，但零碳天地利用乾燥劑的系統獨立除濕，避免以過冷導致除濕的方法。冷空氣由地下送出，收集使用者的熱量再向上升。每個使用者附近產生垂直上升流動的空氣，創造一個健康的環境，減少細菌蔓延，而污濁的空氣於天花板附近抽走。

- 智能照明管理：

智能照明管理指按照建築物內人數、個人需要及自然光強度來進行控制的自動照明控制。零碳天地按採光及使用需要劃分成不同區域。每個區域的照度及使用情況皆由感應系統控制。

- 活動遮陽天窗：

活動天窗是一個設有傾斜遮陽擋板的屋頂天窗。天窗可按需要調整以獲得最大採光及遮陽效果。鰭片的遮光角度由電腦程式及感應器控制，根據太陽運行的路徑，有效地遮陽或採光。

- 生物柴油三聯供系統 (Tri-generation)：

三聯供系統是一個製冷、產熱及發電的綜合系統。零碳天地的生物柴油三聯供系統使用從廢棄食油煉成的生物柴油。生物柴油冷熱電三聯供機組利用由廢棄食油煉製之生物燃料製冷、產熱及發電。發電的餘熱利用來製冷及除濕，使得燃料利用效率高達 75%，而常規發電廠的燃料利用效率只有 40%左右。

- 吸收式主機：

吸收式主機使用熱水製冷，其熱水來自冷熱電三聯供系統通過回收熱能加熱。

3. 再生能源：

- 電梯再生能源系統：

配備再生轉換器回收及使用機組制動模式時產生的能量。電梯非滿載上行或滿載下行均可產電，產電量取決於負荷情況、運行距離、使用頻率及電梯的效率。

- 太陽能光電板 (PV)：

零碳天地使用了三種不同的太陽能光電板：傾斜屋頂上的多晶硅太陽能光伏板、覆蓋觀景台的光伏建築一體化系統，及整合在空氣樹上的圓筒形銅錳鎳硒 (CIGS) 太陽能光電板。當中最特別的是圓筒形 CIGS 太陽能光電板，其效能較高並為香港首次使用，能夠同時吸收直射陽光和地面反射的光線作發電用途。綠色茶室的熱水由太陽能熱水系統供應。面積 1,015 m² 的太陽能板，每年共可提供約 8.7 萬度電。

- 生物燃料：

生物燃料是一種由有機物質(直接從植物或間接從農業、商業、家居及/或工業廢物而製成)的燃料。零碳天地使用製冷、產熱及發電的三聯供系統，來生產

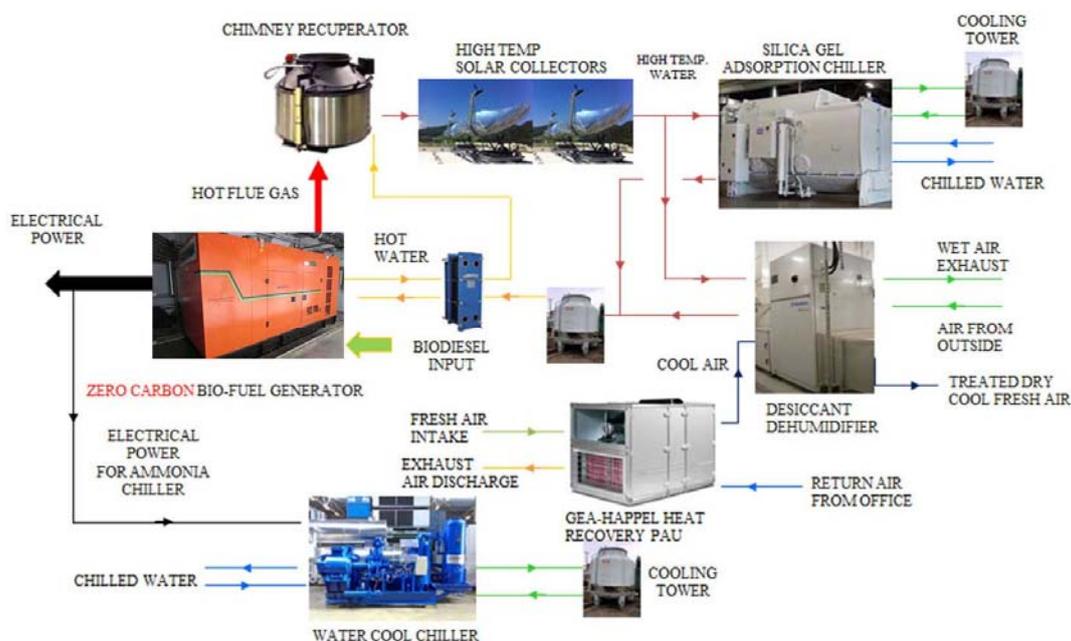


圖 3-2 香港零碳天地採用的三聯供 (Tri-generation) 系統

(資料來源：<http://kolarhusky.com>)

電力、製冷及除濕。此系統使用的生物燃油，是由廢棄食油煉製而成。利用可再生能源發電，發電的廢熱用以製冷和除濕，從而將能源利用率提高到 75%，傳統發電的能源利用率只有 40%。此系統每年可產生 14.3 萬度電力，加上太陽能發電系統，零碳天地每年可向公共電網供應盈剩餘的電力，而這些電力都是由可再生能源產生的。

4. 其他：

- 都市原生林：

零碳天地的都市原生林的面積約為 2,000 平方米，佔用地總面積逾 13%，共約栽種了約 220 棵逾 40 個品種的原生樹。

- 低碳建材及施工：

零碳天地採用消耗較少能源及排放較少碳的施工方法。在地基建設時採用均衡的挖填設計施工，挖掘出的土方用於建設都市原生林。施工時強調建材的節約並減少廢料，以節約資源，例如使用清水混凝土和減少裝飾油漆。

- 智慧控制/建築設備管理系統：

利用建築設備管理系統(BMS)監控建築物機械及電力設施，如通風、照明、電力系統、防火系統及保安系統。透過實時監控零碳天地可自動監測其運作，該套管理系統可對整個建築的機電設施進行環境評估。

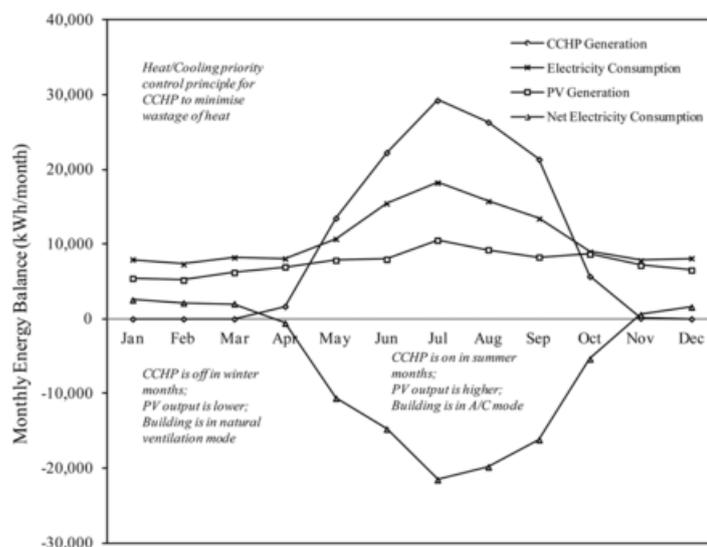


圖 3-3 香港零碳天地 (ZCB) 每年耗能量與可再生能源的平衡

(資料來源：零碳天地官方網站 <http://zcb.hkcic.org/>)

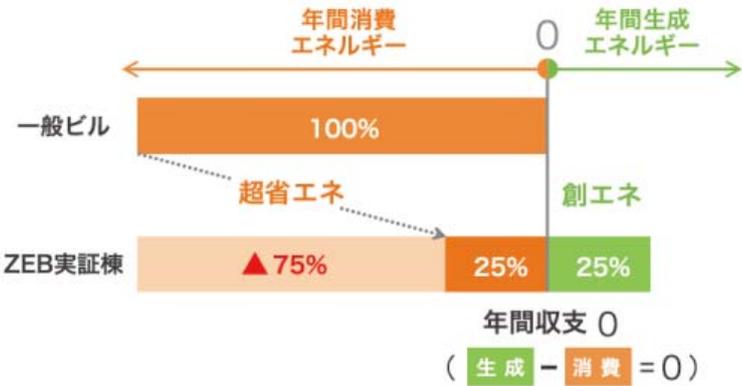
表 3-3 「零碳天地」節能技術彙整（香港）

零碳天地（香港）		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	<ul style="list-style-type: none"> ● 導光板 ● 導光管
	自然通風與混合式通風	<ul style="list-style-type: none"> ● 對流通風設計 ● 捕風器 ● 地中預冷管
	建築外殼設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 適當的開口率 ● 遮陽設計 ● 屋頂隔熱 ● 高性能玻璃帷幕系統 ● 降溫油漆 ● 熱反射窗簾
主動式設計	照明與控制系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能照明管理 ● 活動遮陽天窗
	HVAC	<ul style="list-style-type: none"> ● 高風量低轉速風扇 ● 冷管 ● 地下置換式供冷 ● 乾燥劑除濕 ● 活動遮陽天窗 ● 生物柴油三聯供系統 ● 吸收式主機
可再生能源	太陽能	<ul style="list-style-type: none"> ● 太陽能光電板
	生質能	<ul style="list-style-type: none"> ● 生物柴油三聯供系統
	其他	<ul style="list-style-type: none"> ● 電梯再生能源系統

（資料來源：本研究整理）

二、大成建設 ZEB 實證棟（日本）

表 3-4 「大成建設技術中心 ZEB 實證棟」案例資料（日本）

案例名稱	大成建設技術中心 ZEB 實證棟	
地點/城市	戶塚區/ 神奈川縣	
國家	日本	
建築型態	辦公建築	
氣候類型	溫帶海洋性氣候	
案例背景	<p>1. 由大成建設株式會社一級建築士事務所設計，並由大成建設株式會社橫濱支店施工(建築師：加藤美好)。</p> <p>2. 建築面積：427.57 平方公尺，總建築面積 1277.32 平方公尺，地上四樓(1 樓、2 樓、3 樓、屋凸樓)，於 2014 年 5 月完工。</p> <p>3. ZEB 實驗樓，屬於都市辦公室 ZEB 建築，用以下三個概念設計並投入設備，可以使人更舒適並且更方便於工作：</p> <ul style="list-style-type: none"> A. 生動活潑的辦公室 B. 零耗能 C. 安全舒適 	
效益	<p>在 ZEB 實證棟，通過現有新技術的高效結合，徹底節約能源。</p> <ol style="list-style-type: none"> 相較一般辦公建築的耗能，減少 75%。 由太陽能光電板生成的能量，剩餘約 25% 的能量。 有機薄膜太陽能電池的開發，並達到了 11.7% 的轉換效率，這是有機類產品中的全球最高水平。 	

(資料來源：大成建設株式會社網站 <http://www.taisei.co.jp/>，本研究整理)

1. 被動式設計：

- 固定自然光照明系統 T-Light Cube：

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

2. 主動式設計：

- 低照度和環境照明系統：

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

- 無線照明控制系統 T-Green Wireless：

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

- 餘熱的利用和環境空調系統：

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

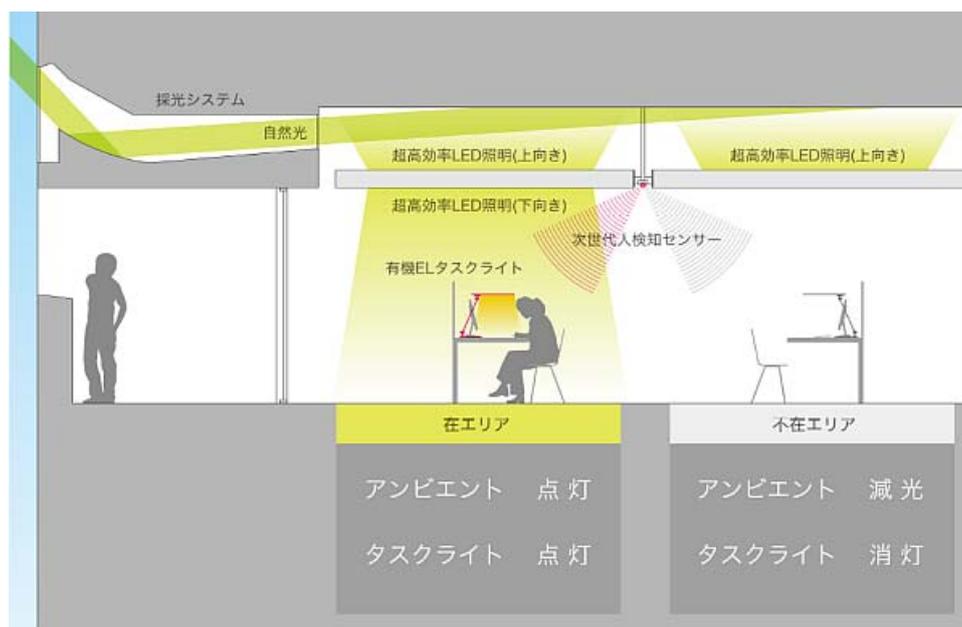


圖 3-4 大成建設 ZEB 實證棟的整合型照明系統

(資料來源：大成建設株式會社網站 <http://www.taisei.co.jp/>)

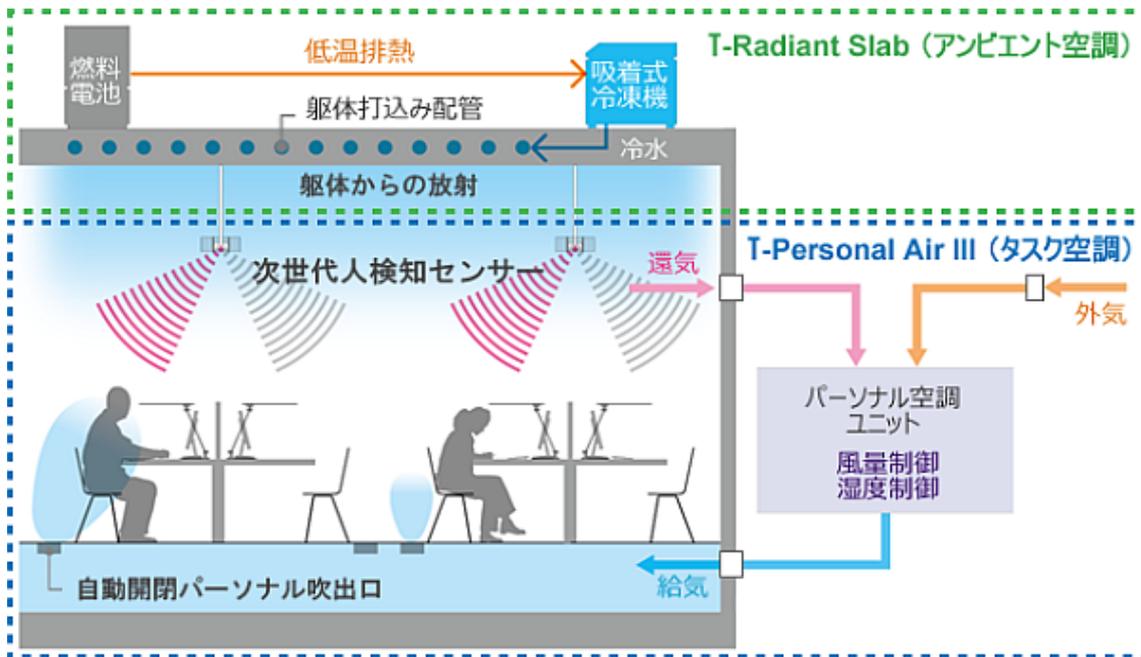


圖 3-5 大成建設 ZEB 實證棟的環境空調系統

(資料來源：大成建設株式會社網站 <http://www.taisei.co.jp/>)

- 自然通風系統 T-Fresh Air：

利用數據偵測判斷窗戶的打開與關閉(例如：風、外界溫度、室溫、座位上的人)使室內達到舒適的溫度。

3. 再生能源：

- 有機薄膜太陽能帷幕外牆：

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



圖 3-6 大成建設 ZEB 實證棟立面使用有機薄膜太陽能板

(資料來源：大成建設株式會社網站 <http://www.taisei.co.jp/>)

4. 其他：

- 建築物能源管理系統 (T-Green BEMS)

提供能量的可視化、管理分析，並控制能量消耗與發電能量。

表 3-5 「大成建設技術中心 ZEB 實證棟」節能技術彙整（日本）

大成建設技術中心 ZEB 實證棟（日本）		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	● 固定式自然導光系統
	自然通風與混合式通風	● 自然通風系統
主動式設計	人工照明	● 無線照明控制系統
	HVAC	● 餘熱的利用 ● 工作區環境空調系統 ● 建築物能源管理系統
可再生能源	太陽能	● 有機薄膜太陽能帷幕外牆

（資料來源：本研究整理）

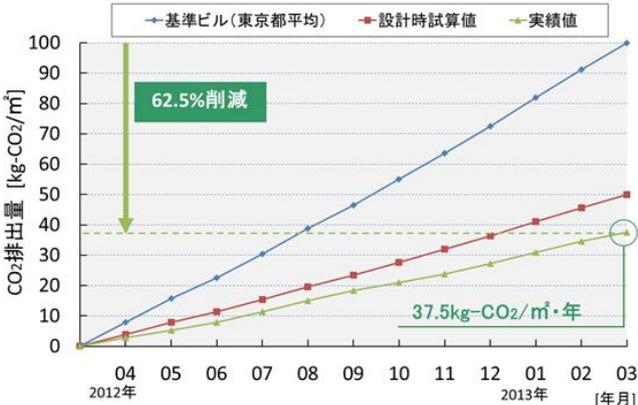


圖 3-7 大成建設 ZEB 實證棟

（資料來源大成建設株式會社網站 <http://www.taisei.co.jp/>）

三、鹿島建設技術研究所--本館研究棟（日本）

表 3-6 「鹿島建設技術研究所本館研究棟」案例資料（日本）

<p>案例名稱</p>	<p>鹿島建設技術研究所本館研究棟</p>	
<p>地點/城市</p>	<p>調布市/ 東京都</p>	
<p>國家</p>	<p>日本</p>	
<p>建築型態</p>	<p>辦公建築（研究室）</p>	
<p>氣候類型</p>	<p>溫帶海洋型氣候</p>	
<p>案例背景</p>	<p>1. 鹿島建設在 2005 年開始的重建計畫中，在新基地上建立技術研究所本館，本館共有研究棟及實驗樓兩個建築物組合而成，再將研究與技術部門分別設置在五層樓內。</p> <p>2. 在重建計畫開始時，即有大量的研究人員投入，制定了(知識創造)、(鹿島技術)、(順應環境)這三個主軸概念，並將這三個概念呈現在整體設計中。</p> <p>3. 透過許多技術，2011 年 10 月，實現了比 2010 年節能 50% 的成效，也獲得了當年日本 CASBEE 的最高認證 (BEE=8.3)。</p>	
<p>效益</p>	<p>2012 年東京一般辦公大樓的 CO₂ 排放標準為每年 100 kg-CO₂/m²，研究棟的實際值為 37.5 kg-CO₂/m²，約減少 62.5% 的 CO₂ 排放量。全年初級能源耗能量為 959 MJ/m²，約為一般辦公建築的 55.2%</p> 	

(資料來源：鹿島技術研究所網站 <http://www.kajima.co.jp/>，本研究整理)

一、被動式設計：

● 建築外殼計畫：

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

二、主動式設計：

● 照明計畫：

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



圖 3-8 「鹿島建設技術研究所本館研究棟」照明計畫與家具整合

(資料來源：鹿島技術研究所網站 <http://www.kajima.co.jp/>)



圖 3-9 「鹿島建設技術研究所本館研究棟」空調系統

(資料來源：鹿島技術研究所網站 <http://www.kajima.co.jp/>)

● 無管式空調系統：

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

三、再生能源：

● 太陽能光電板：頂樓太陽能光電板發電供給室內 LED 照明使用。



圖 3-10 「鹿島建設技術研究所本館研究棟」其他綠建築手法

(資料來源：鹿島技術研究所網站 <http://www.kajima.co.jp/>)

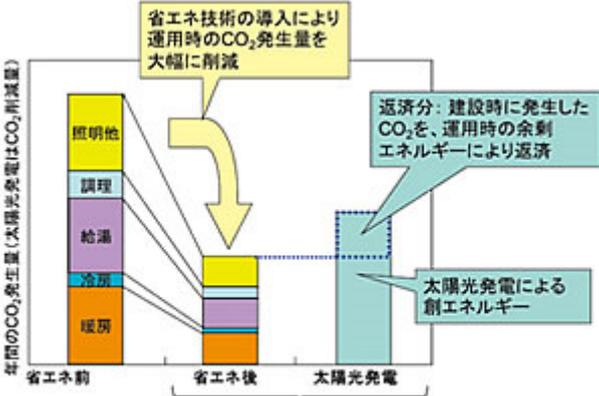
表 3-7 「鹿島建設技術研究所本館研究棟」節能技術彙整 (日本)

技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	自然通風與混合式通風	● 自然通風系統
	建築外殼設計	● 深遮陽 ● 東西向立面無開口 ● 屋頂綠化
主動式設計	人工照明	● 工作面與環境照明定用
	HVAC	● 無管式空調系統
可再生能源	太陽能	● 太陽能光電板

(資料來源：本研究整理)

四、LCCM 住宅示範棟（日本）

表 3-8 「LCCM 住宅示範棟」 案例資料（日本）

<p>案例名稱</p>	<p>LCCM (Life Cycle Carbon Minus) 住宅示範棟</p>	
<p>地點</p>	<p>次城縣，Japan</p>	
<p>建築型態</p>	<p>住宅建築</p>	
<p>氣候類型</p>	<p>溫帶海洋型氣候</p>	
<p>案例背景</p>	<p>1. LCCM 示範棟由 2010 年開始動工，2011 完工後著手一連串的實測驗證。目標是透過建立範例顯示其效率，讓大眾參考。LCCM 房屋目的為減少二氧化碳排放，包括生產、建設、運營和廢棄階段。首先，計畫使用高效率設備及仰賴自然通風，其次，計畫使用可再生能源，如太陽能光電板和太陽能熱，用於減少 CO₂ 排放量；也儘可能在施工期間使用可回收材料。</p> <p>2. 此建築為示範性 2 層樓住宅，假想使用人數為 4 人小家庭，建築總樓地板面積僅 143 m²，</p>	
<p>效益</p>	<p>The LCCM 的房子意味著從生產、建設、營運及報廢著手減少整體 CO₂ 排放量，運用太陽能發電、發熱、生質能源等方式，讓 CO₂ 排放量呈現負成長。其 Q 值為 1.98W/m²k，C 值為 1.2cm²/m²，分別獲得四本 CASBEE 5 星及 LCCO₂ 5 星評價。</p>  <p>省エネ技術の導入により運用時のCO₂発生量を大幅に削減</p> <p>返済分：建設時に発生したCO₂を、運用時の余剰エネルギーにより返済</p> <p>太陽光発電による創エネルギー</p> <p>省エネ前 省エネ後 太陽光発電</p> <p>従来の住宅 LCCM住宅</p> <p>■ 図 1 運用時のLCCM住宅のコンセプト</p>	

（資料來源：

<http://archiscape.lixil.co.jp/column/ienochi/vol29/page3.html>）

1. 被動式設計：

● 自然採光及自然通風設計：

利用在建築物立面製造開口，並設置多層次的緩衝區來達成隔熱、遮陽、視線私密性等目的，讓光及空氣可自然流入室內，以及利用立面的活動格柵在不同的季節打開開口或是關閉開口。

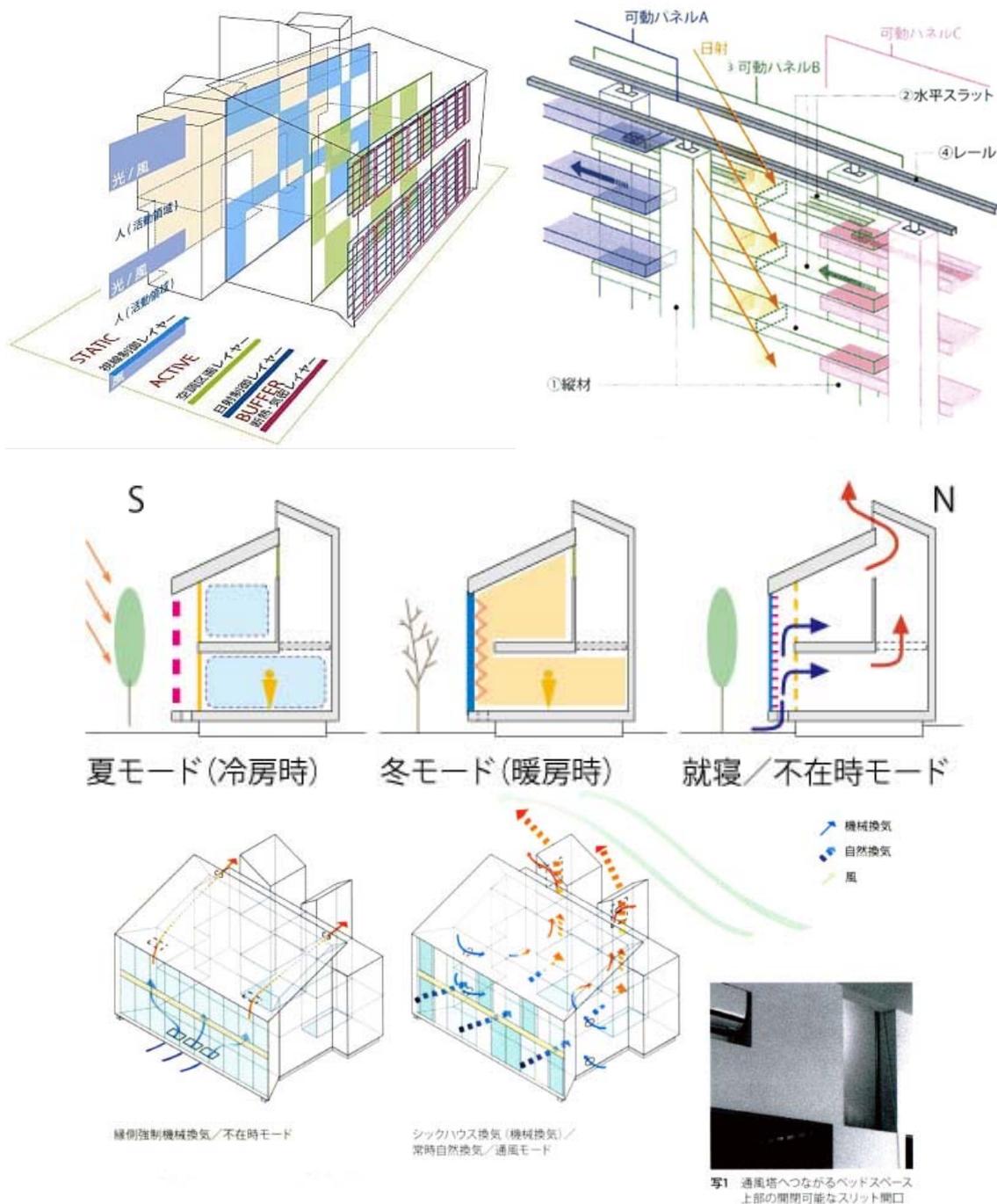


圖 3-11 「LCCM 住宅示範棟」之平立剖面計畫與自然通風採光設計

(資料來源：<http://archiscape.lixil.co.jp/column/ienochi/vol29/>)

● 建築平立剖計畫：

平面計畫利用緩衝區域來遮陽及隔熱，南向為主要開口部，北向利用通風塔及設計讓光線和新鮮空氣進入，建築物的造型並考量流體力學原理，使其更能促進然通風的流動。剖面計畫則讓自然光、風與人的空間呈現交錯，讓自然光與風在空間裡自然對流。同時考慮人的活動行為，讓動的活動對應於高高的天花板，靜態的活動則對應於小空間。同時因應不同的季節、時間，外殼設計都有相對應的模式。

2. 再生能源：

利用斜屋頂的形狀設置 7.98kW 的太陽能光電板與太陽能熱水器，此部分也是 LCCM 住宅折減生命週期 CO₂ 排放量的主要設施。各種預想的住宅日常使用情境與再生能源的碳排折減計算如下表所示。

表 3-9 「LCCM 住宅示範棟」日常使用階段的 CO₂ 減碳計算（日本）

		太陽能熱水	太陽能發電	CO ₂ 排放量
類別	使用行為	m ²	kw	t-CO ₂ /使用期·年
1	浪費型	6.00	4.375	-0.052
2	標準型	6.00	4.375	-0.28
3	節能型	6.00	4.375	-0.91

（資料來源：LCCM 住宅の設計手法，2013）

表 3-10 「LCCM 住宅示範棟」節能技術彙整（日本）

LCCM 住宅示範棟（日本）		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	● 自然採光
	被動式太陽能	● 緩衝區保溫
	自然通風與混合式通風	● 自然通風與通風塔
	建築外殼設計	● 平面熱區劃/平面通風計畫 ● 開窗面積控制 ● 活動式遮陽
主動式設計	人工照明	● LED+多燈分散式照明
	HVAC	● 自然通風與機械通風並用 ● HEMS 管理系統
可再生能源	太陽能	● 太陽能光電板 ● 太陽能熱水

（資料來源：本研究整理）

五、BCA Zero Energy Building (新加坡)

表 3-11 「BCA Zero Energy Building」案例資料 (新加坡)

案例名稱	BCA Zero Energy Building	
地點/城市	新加坡	
國家	新加坡	
建築型態	公共建築	
氣候類型	熱帶雨林氣候	
案例背景	<p>1. 新加坡政府有一個目標：截至 2030 年 80% 本國建築實現綠色標識認證。而 BCA 是第一棟完全由綠色建築設計特點和技術改造完成的建築，該建築達到了 BCA ZEB 綠色建築白金獎，符合新加坡環境可持續發展的最高獎項。</p> <p>2. BCA ZEB 是東南亞首座由既有建築改建而成的零能耗建築。除了技術的優勢，該建築力求美學上最大的舒適度。垂直花園不僅保持了建築物的涼爽，也能緩解視覺疲勞。日光滲入教堂也創造出寧靜的氛圍。</p> <p>3. BCA ZEB 總建築面積為 4500M²</p>	
效益	<p>1. BCA ZEB 自 2009 年 10 月累計生產 851798 千瓦小時的能量，消耗 812786 千瓦小時，因此被稱為零耗能建築，與一般的辦公大樓建築相比，BCA ZEB 每年可節省電費 84000 新幣。</p>	

(資料來源：新加坡綠建築官網 <https://www.bca.gov.sg/zeb/>，本研究整理)

1. 被動式設計：

● 自然導光設計：

在多功能教室的天花板間層的管道中使用了高反射材料，以此光纖經過多次反射，最後通過天花板上的光孔射入室內，這樣的光通常無眩光。鏡面管道系統將室外的自然光深入的引入到室內，很大程度上減少了日光燈的使用，並且減少了機械管線的佈置，節約了能耗。在空間大進深的情況下，光照度更均勻。在辦公區，屋頂設置了伸出室外的採光管，採光管的功能類似于天窗，但比天窗更節能，因為更細更小，在炎熱的夏季會有更少的熱量進入室內。BCA ZEB 共使用了兩種光導管，一種配有旋轉鏡，位於開放區域，光線經過更多的反射進入室內。另一種不配有旋轉鏡，光線直接通過管道進入。



圖 3-12 「BCA Zero Energy Building」的窗面與屋頂導光設計

(資料來源：新加坡綠建築官網 <https://www.bca.gov.sg/zeb/>)

● 遮陽設計：

BCA Zero Energy Building 在建築立面使用了兩種種遮陽板，一種是在圖書館和辦公室的遮光板 (light Shelves)，遮光板上有高反射塗層，使高反射的表面在白天可以反射陽光進入室內，減少日間的人工照明使用。另一種是在遊客中心和圖書館辦公室的設置附有光電板的遮陽設備，每一平方公尺的光電板能夠提供 45W 的燈具耗能。



圖 3-13 「BCA Zero Energy Building」的窗面外遮陽設計

(資料來源：新加坡綠建築官網 <https://www.bca.gov.sg/zeb/>)

● 隔熱與綠化系統：

綠化能夠通過直接陰影和蒸散作用減少熱量進入建築。BCA ZEB 具有屋頂綠化和垂直綠化兩部分，綠屋頂除了能夠直接減少陽光直射帶來的熱量以外，還能夠作為一個小的冷卻器充當雨水儲存。垂直綠化則能夠有效的減少通過建築外牆傳遞的熱量。並減少內部能量消耗。



圖 3-14 「BCA Zero Energy Building」牆面及屋頂綠化

(資料來源：新加坡綠建築官網 <https://www.bca.gov.sg/zeb/>)

- Low-e 玻璃：

建築物玻璃部分使用 LOW-E 玻璃，low-e 玻璃具有對可見光、高的透射率 and 對中遠紅外線高的反射率的特性，因此具有良好的透光性和優異的隔熱效果。應用於建築表面能夠有效的減少熱傳遞，達到一定的節能效果。

- 通風與太陽能煙囪：

特別為熱帶氣候研製的金屬太陽集熱煙囪能夠利用太陽能光電板的熱量及電板與金屬屋頂間不小於 300mm 的間隙進行通風除熱。在學校禮堂與教室，由於熱壓差及浮力作用，熱空氣匯集在建築上層，當屋頂煙囪通過深色金屬管與禮堂教室室內空間相連時，熱從間隙去除，在屋頂間層形成負壓，室內空氣流入通道，為保持房間內的壓力平衡，室外空氣將通過窗戶進入室內，形成循環。

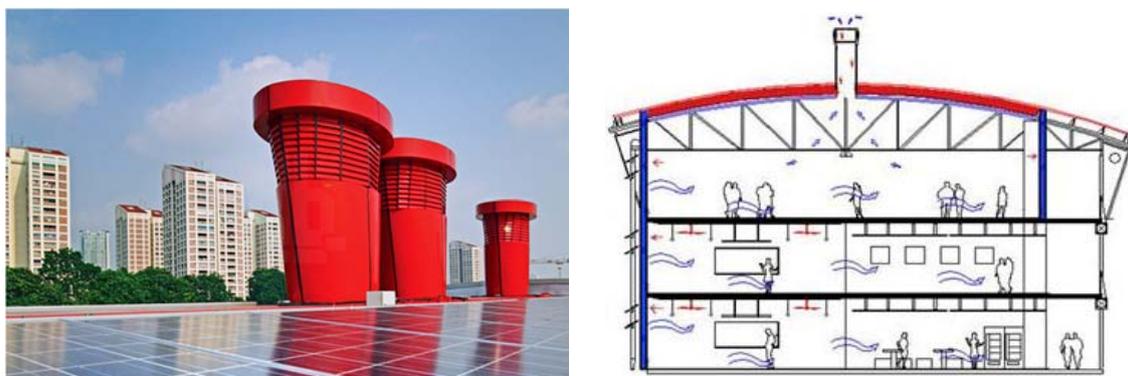


圖 3-15 「BCA Zero Energy Building」的太陽能煙囪

(資料來源：新加坡綠建築官網 <https://www.bca.gov.sg/zeb/>)

2. 主動式設計：

● 個人化通風系統：

建築的空調系統採用變速驅動器來控制新鮮空氣更換頻率。在傳統的空調系統下，即使在需求量少的情況下依舊採用勻速轉動，浪費一部分能量。而在變速的風機控制下，當有足夠的通風情況下，變頻器將切換到較慢的模式，以此節約能源。在辦公區域，冷氣傳輸管與可調節器安裝在每個辦公桌前，個人化的空氣供給能夠帶來更高質量的空氣，以及在不損失個人舒適度的情況下增加周圍空氣的溫度，以此達到節能的效果。

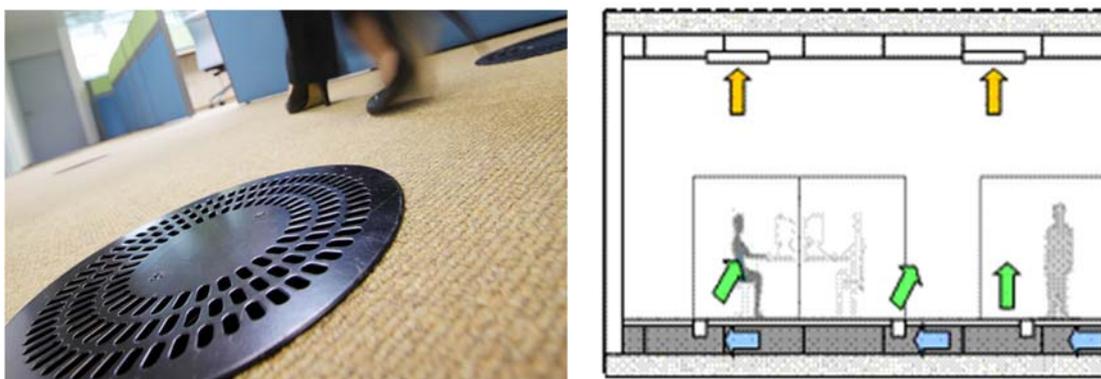


圖 3-16 「BCA Zero Energy Building」個人化通風系統

(資料來源：新加坡綠建築官網 <https://www.bca.gov.sg/zeb/>)

● 空調系統：

空調系統使用高效製冷機組及冷卻塔，具有變速驅動的方式控制風扇，當有足夠的通風時，變速器會切換到較慢的模式，反之亦然。此外，使用單線圈雙風扇空氣處理機組(Single coil Twin Fan System)和風機盤管，這是一種創新的空調和空氣分配系統，新鮮空氣風扇和再循環冷卻空氣風扇被獨立控制，以優化其基於個體各個氣流的要求，用於通風或冷卻局部區域。

● 人工照明：

整棟建築物皆使用 T5 燈具，增加光通量及節能。此外在工作臺上設置工作燈重點照明，可降低環境照明燈具的使用。同時在足夠的日光空間中，人工照明可進行調光。

3. 再生能源：

● 太陽能光電板：

BCA 被設計為 100% 太陽能供電，1300m² 的太陽能光電板大規模陣列覆蓋了 BCA ZEB 的屋頂，每年可發電約 207,000 kWh。三小時的陽光足以提供 BCA ZEB 一天的能耗需求，如果電量不足以提供 BCA ZEB 的日常使用，那麼電網將為 BCA ZEB 提供電力，讓用戶舒適度和功能不受影響。另外，獨立光電板不直接與電網連接，而是將電力供給到 BCA ZEB 的一些特定功能區，例如訪客中心的太陽能充電亭。

4. 其他：

- 建築管理系統：建築管理系統控制，監控和管理所有安裝在建築物的設備。除了監測外還收集數據以產生審計報告，進而提高建築物的節能效益。

表 3-12 「BCA Zero Energy Building」節能技術彙整（新加坡）

BCA Zero Energy Building (新加坡)		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	<ul style="list-style-type: none"> ● 導光板 ● 導光管
	自然通風與混合式通風	<ul style="list-style-type: none"> ● 太陽能煙囪浮力通風
	建築外殼設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 牆面與屋頂綠化 ● Low-E 玻璃 ● 外遮陽設計
主動式設計	人工照明	<ul style="list-style-type: none"> ● 高效率 T5 燈具
	HVAC	<ul style="list-style-type: none"> ● 個人化通風系統 ● 空調變頻控制系統 ● 建築管理系統
可再生能源	太陽能	<ul style="list-style-type: none"> ● 太陽能光電板

（資料來源：本研究整理）

六、Indira Paryavaran Bhavan (IPB) (印度)

表 3-13 「Indira Paryavaran Bhavan」案例資料 (印度)

案例名稱	Indira paryavaran bhavan 政治大樓	
地點	新德里，印度	
建築型態	辦公建築	
氣候類型	熱帶季風氣候	
案例背景	<ol style="list-style-type: none"> 1. 該建物的基本設計理念是淨零耗能建築，是印度第一棟現場淨零能源建築。並獲得 LEED 白金評價。該建築物注重在保護區域周圍的自然環境，並讓充足的自然光線調節植物日照區域，盡可能減少對環境的不利影響。 2. 室內採用多項綠色建材，如雙層玻璃的 UPVC 窗戶，引進 75% 的自然光線減少能源消耗；露台磁磚及粉煤灰磚都是採用高回收量的建材；門框和百葉窗也使用可再生的竹麻複合材料。此外，屋頂也安裝高效率太陽能電池板，其 930 kW 峰值功率的太陽能板是目前印度的高樓大廈中最大的太陽能系統。 	
效益	<ol style="list-style-type: none"> 1、與同樣大小建物相比，paryavaran bhavan 節省了 40% 的電力及 55% 的水。 2、高質量太陽能板使用效率為 20% 3、空調及暖氣系統採用地熱冷卻空調系統，進而減少傳統空調之水和電的使用。空調系統已節省超過 50% 的能源。 4、使用 ” 機器人停車系統 ” 確保每輛汽車使用空間少於 16 平方公尺。 5、建築採東西向設計，盡量自然通風。雙層玻璃將熱能隔離，從而減少空調的使用，以便節約用電。 6、景觀澆灌採用雨水節約系統 7、獲得 GRIHA 5-Star and LEED India Platinum 的認證。 	

(資料來源：<http://greencleanguide.com/2014/02/27/indira-paryavaran-bhawan-indias-first-on-site-net-zero-building/>，本研究整理)

1. 被動式設計：

- 利用煙囪效應：

其最大地面覆蓋率僅有 30%，並且利用煙囪效應和建築物的東西方向保持自然通風。並且種植許多綠色植物展現生物多樣性，使用低耗水裝置，透過汗水處理廠，利用在綠化植物的廢水進行循環利用。

- 建築隔熱與遮陽計畫

為了減少太陽直射的熱量，IPB 先後在東西方向設置露台，並在外牆填充岩棉絕緣。建築物的開窗比例限制為 17%，同時採用雙層窗設計。為了減少對空氣調節的依賴，建築物有開放式的中庭和大廳。整棟建築只有 38% 的區域採用空調冷梁。

- 引進自然光線：

引進 75% 的自然光線以減少傳統照明帶來的負荷，並且在門框和百葉窗上使用可快速再生的竹麻複合材料。

- 門窗隔熱：

利用 uPVC 門窗為絕緣體，可以使冷空氣密封在建築結構裡，而大量減少室內冷氣的散失，因此在隔熱、隔音也有良好的效果。

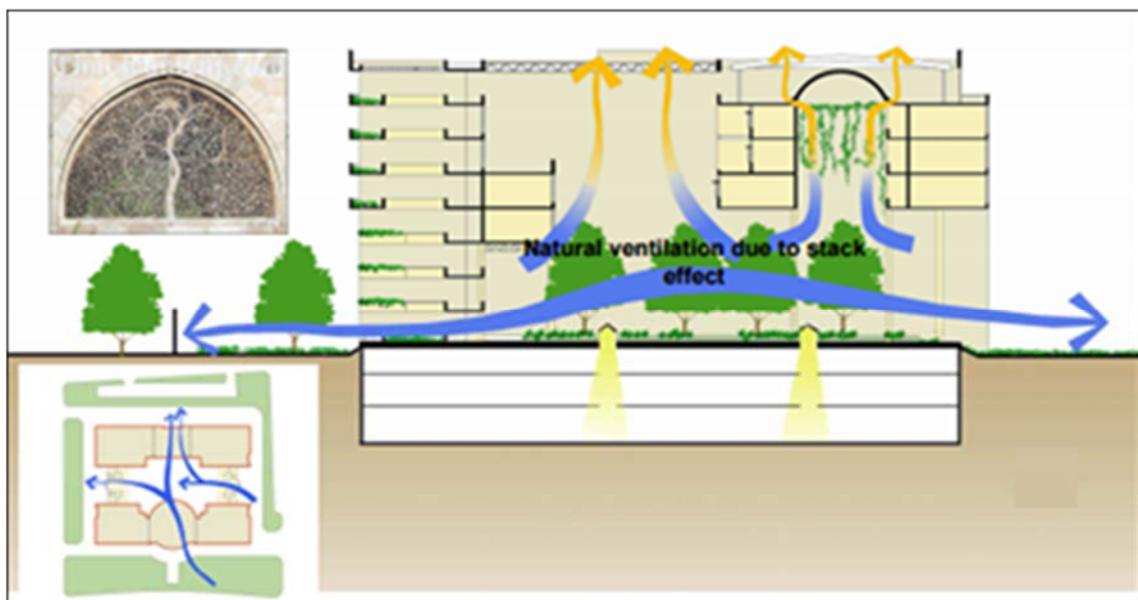


圖 3-17 「Indira paryavaran bhavan」的自然通風計畫

(資料來源：<http://greencleanguide.com/2014/02/27/indira-paryavaran-bhawan-indias-first-on-site-net-zero-building/>)

2. 主動式設計：

● 地熱輻射冷卻空調系統：

該建築物利用了地熱來減少空調的耗能及耗水。部分管道嵌在建築物的結構裡，像是地板、牆壁以及天花板等地方，利用循環冷卻水的方式，利用輻射冷卻均勻的吸收來自各個房間的熱能，以排除熱對流造成溫度升溫的因素。而輻射冷卻不只能處理整個冷負荷更能彌補傳統冷卻技術的基礎負荷，該方法優點除了降溫之外，又可改善空氣品質。

整個空調系統則採用螺旋式主機、變頻式空調及冷樑(chilled beams)系統。空調系統僅有一般空調系統 2/3 的耗能。空調的設定溫度為夏季 $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，冬季 $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。研究顯示這些溫度的設定控制約可節省 3-5% 能源。

● 照明控制系統

此建築有 75% 的辦公區域為自然採光，剩下的人工照明部分，還導入了照明自動控制系統，照明功率密度僅有 $5\text{W}/\text{m}^2$ (一般標準為 $11\text{W}/\text{m}^2$)。

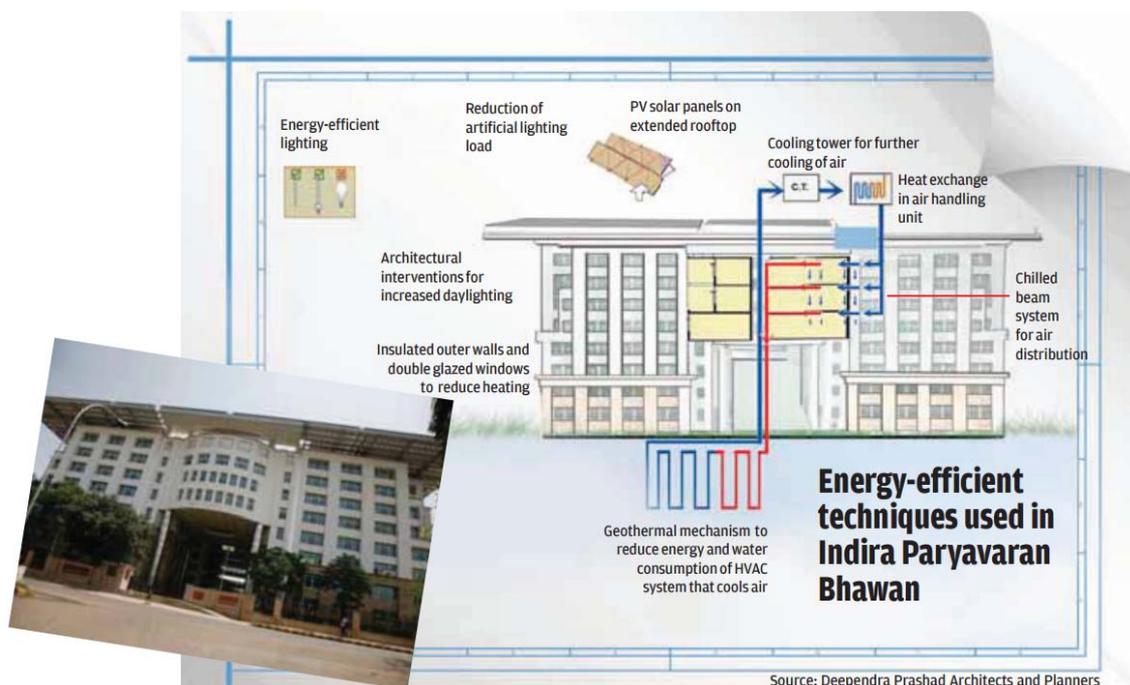


圖 3-18 「Indira paryavaran bhavan」的空調系統

(資料來源：<http://greencleanguide.com/2014/02/27/indira-paryavaran-bhawan-indias-first-on-site-net-zero-building/>)

3. 再生能源：

● 太陽能發電系統：

該建築擁有面積 6000m² 共 930 kW 功率的太陽能板，為印度高樓大廈中最大的屋頂太陽能系統。但 IPB 並不直接使用自己所產生的再生能源，而是將產出的電力與電網連結，使用電網所供應的電力，這樣可以避免使用過多昂貴的電力儲存裝置。

表 3-14 「Indira paryavaran bhavan」節能技術彙整（印度）

Indira paryavaran bhavan (印度)		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	● 自然採光
	自然通風與混合式通風	● 自然通風計畫
	建築外殼設計	● 建築隔熱 ● 適當開口
主動式設計	人工照明	● 照明控制
	HVAC	● 變頻式空調 ● 冷樑 ● 地熱空調
可再生能源	太陽能	● 太陽能光電板
	地熱	● 地熱空調

（資料來源：本研究整理）

七、 Samsung Green Tomorrow House（南韓）

表 3-15 「Samsung Green Tomorrow House」案例資料（南韓）

案例名稱	The Samsung Green Tomorrow House	
地點/城市	京畿道/龍仁市	
國家	韓國	
建築型態	住宅	
氣候類型	溫帶海洋型氣候	

<p>案例背景</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 三星 GREEN-TOMORROW 為完全不使用化石燃料所產生之能源的環保能源住宅。此為示範性零能源住宅，目前三星公司作為招待所使用，並開放給員工居住體驗。 2. 2009 年是東亞第一取得美國 LEED 白金級的綠建築，也是韓國第一個零耗能建築。 3. 面積約 423 平方公尺，使用高達 68 項的節能技術。
<p>效益</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用 68 個節能技術，先減少 56% 的建築耗能，其餘 44% 的能源則來自屋頂 176 塊太陽能光電板的供應。 2. 70% 的飲用水透過生物膜反應系統處理後可再利用。 3. 戶外通風率達提高 30%。 4. 50% 的廢料被回收再利用，20% 的材料來自回收建材。

(資料來源：http://www.arup.com/Projects/Green_Tomorrow.aspx，本研究整理)

1. 被動式設計：

● 遮陽隔熱：

使用相變材料(PCM)、雙層帷幕系統以及感應式遮陽。窗上設置的百葉窗亦是太陽能光電板。高性能的外牆能減少 40% 的熱損失。此外，創新的三層玻璃技術，不僅降低 U 值，也具有有良好的氣密性。利用相變材料將室溫控制在 26°C。

● 自然採光與通風：

自然採光和導光管的應用設計，減少人工照明的使用。為了改善室內熱舒適度，並降低冷卻負荷，採用適當的開口率。

2. 主動式設計：

● 空調節能：

地板採輻射採暖系統，並利用地熱式熱泵連接到空調機組和空氣處理機組，以節省整體的加熱和冷卻負荷，並使用全熱交換器。

● 智慧電源控制系統：

當家電處於待機狀態時，能自動切斷電力，降低能源的使用。同時可透過控制器控制每個房間使用者的熱舒適偏好，除客廳集中控制外、每個房間單獨控制。

3. 可再生能源

- 太陽能：

屋頂 176 塊太陽能光電板的供應全住宅的 44% 用電。外遮陽百葉與太陽能光電板結合，同時達到遮陽與發電的效益。

- 地熱系統：

利用地底 10m 處的 15°C 地熱結合熱泵系統來節約空調冷暖氣之耗能。

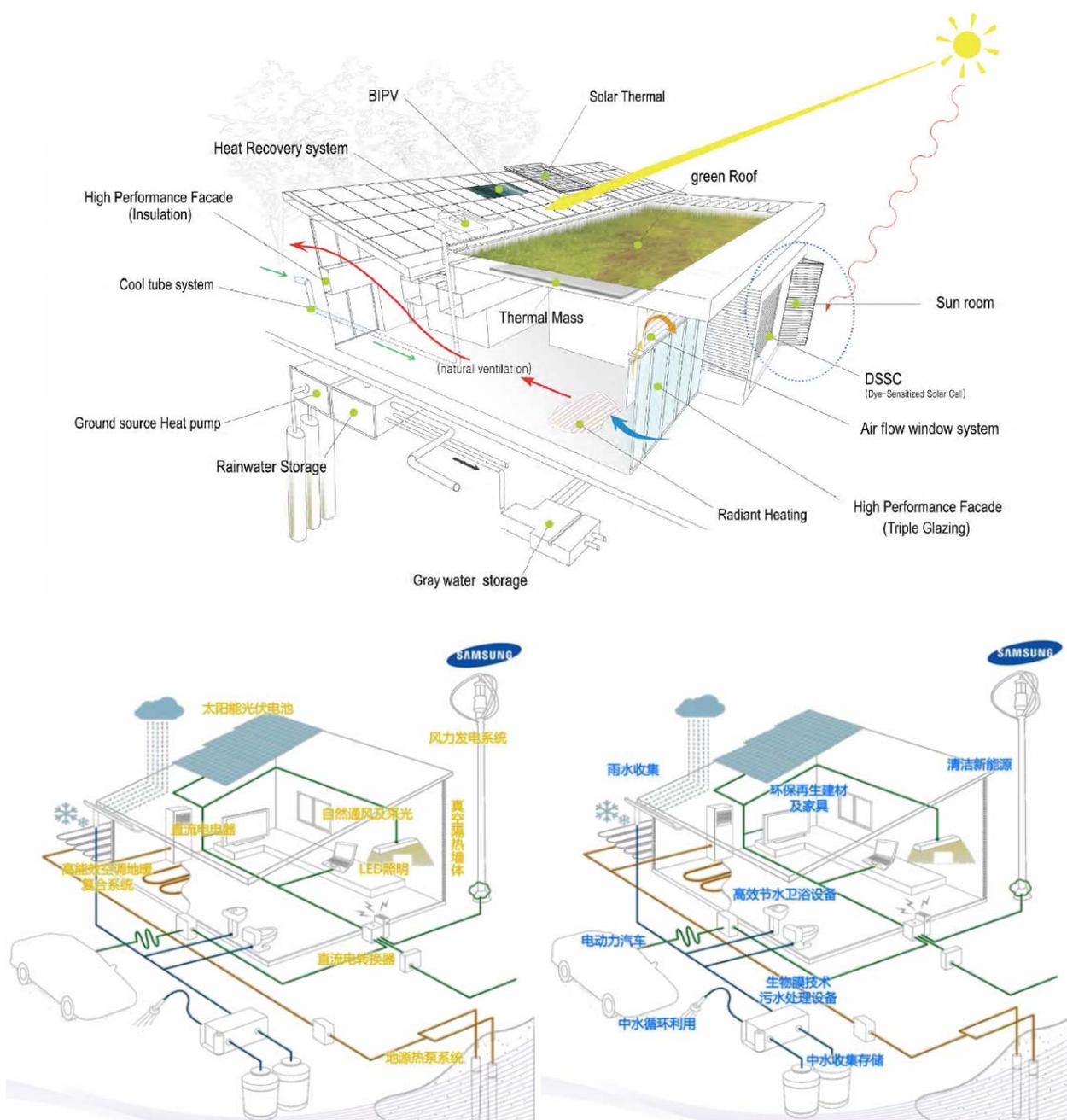


圖 3-19 「Samsung Green Tomorrow House」應用的節能手法

(資料來源：a+U 11:04, 2011)

表 3-16 「Samsung Green Tomorrow House」節能技術彙整（南韓）

Samsung Green Tomorrow House（南韓）		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然採光 ● 晝光感知系統
	自然通風與混合式通風	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然通風
	建築外殼設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 東西向長軸設計 ● 建築隔熱 (雙層外牆、三層窗) ● 超薄層屋頂綠化
主動式設計	人工照明	<ul style="list-style-type: none"> ● 直流 LED 照明 ● 照明感知系統
	HVAC	<ul style="list-style-type: none"> ● 熱泵系統 ● 暖氣地板 ● 高效率設備 ● 智慧化能源管理系統 ● 地熱式冷卻管 ● 輻射冷卻樓板
可再生能源	太陽能	<ul style="list-style-type: none"> ● 太陽能光電板 ● 太陽能熱水
	地熱	<ul style="list-style-type: none"> ● 地熱系統
	風力	<ul style="list-style-type: none"> ● 風力發電

(資料來源：本研究整理)

八、E+ Green Home (南韓)

表 3-17 「E+ Green Home」案例資料 (南韓)

案例名稱	E+ Green Home	
地點	Gyeong Gi, 南韓	
建築型態	住宅建築	
氣候類型	溫帶海洋型氣候	
案例背景	<p>1. E+ Green House 計畫中有三項目標，一是運用綠色科技協助量體使用自然能源；二是呈現與在地環境相合相容的友善建築；三是促進居住者與大自然和彼此之間的情感。</p> <p>2. Unsangdong Architects Cooperation 在設計「E+ Green House」之前，就以融合自然與人文文化為創意內容，並充滿大膽的實驗精神，因而作品在生態建築的指標下富有多變性。曾獲得超過百年歷史的建築設計雜誌 Architectural Review 之肯定，取得全球知名獎項 AR Award；也由老牌設計月刊 Architectural Record 頒發的 Vanguard Award，得到具有革命性創意的設計團隊之美譽。除了是韓國首屈一指的建築事務所，更因在日新月異的設計形式中，保有「空間協調」的本質，而在世人眼中留下不褪色的風景。</p>	
效益	<p>該建築被定義為近零能源建築，共使用 95 個不同的綠色技術。建物使用面積為 295 m²，電能消耗為 531 kWh/a，因此電能的消耗只有 1.82 kWh/m².a。所生產的再生能源是連結到電網，建築本身不儲存電力。</p>	

(資料來源：<http://blacklemag.com/design/e-green-home-is-a-self-contained-design/>，本研究整理)

1. 被動式設計：

● 屋頂綠化：

綿延整片屋頂又延伸至地面的綠色植被，除了是綠色造景的一部分，更可以藉由植物吸收紫外線，營造健康的居住空間，同時因為含水土壤層的覆蓋，維持屋內一年四季的涼爽舒適。屋頂的每一面結構設計，都以善用自然能源、使空間與自然協調為原則。

● 自然通風：

室內如煙囪般矗立的柱狀結構，是一條連結至室外的管道，導入戶外新鮮空氣並分享給室內一、二樓空間，同時配合窗戶位置，形成流動的風循環。開窗位置經過規畫，讓屋內也能有明艷的陽光與新鮮的空氣。房子中央的柱體外層以木格柵包圍，內裡堆疊著留有間隙的混凝土石塊，管道與戶外連接，因此提供了風可以流入的通道，並從隔柵的間隙中散溢到空間四處巨型窗戶設計消除室內與戶外的隔閡，在三層氣密窗的保護下，即使冬天也能自在地欣賞風景。

2. 主動式設計：

● 冷卻系統散熱器 (Cooling radiator)：

冷卻散熱器在建築物扮演著類似隔間元素的角色，它可協助控制室內溫濕度。此外在天花板也裝有冷卻散熱器，用來降低室內溫度。

3. 再生能源：

● 太陽能發電系統：

建築表層依據太陽入射角度決定坡面方位，並裝置太陽能板，致力達到能源自給自足。太陽能再轉化為室內 LED 燈的光源。

● 風力發電：供給路燈能源使用。

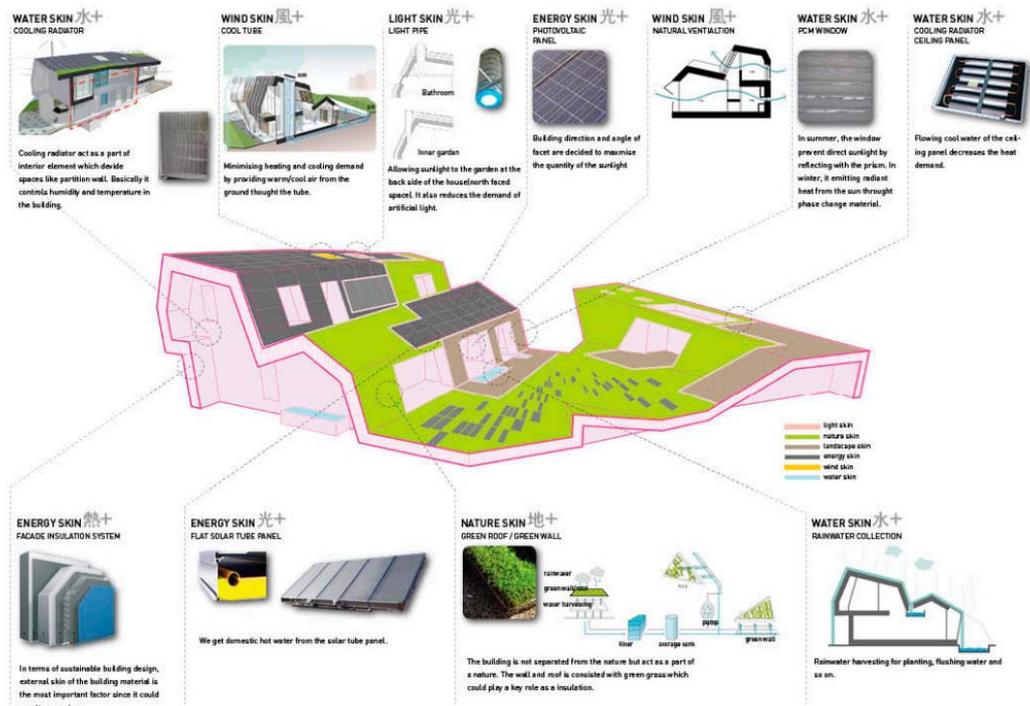


圖 3-20 「E+ Green Home」應用的節能手法

(資料來源：<http://blacklemag.com/design/e-green-home-is-a-self-contained-design/>)

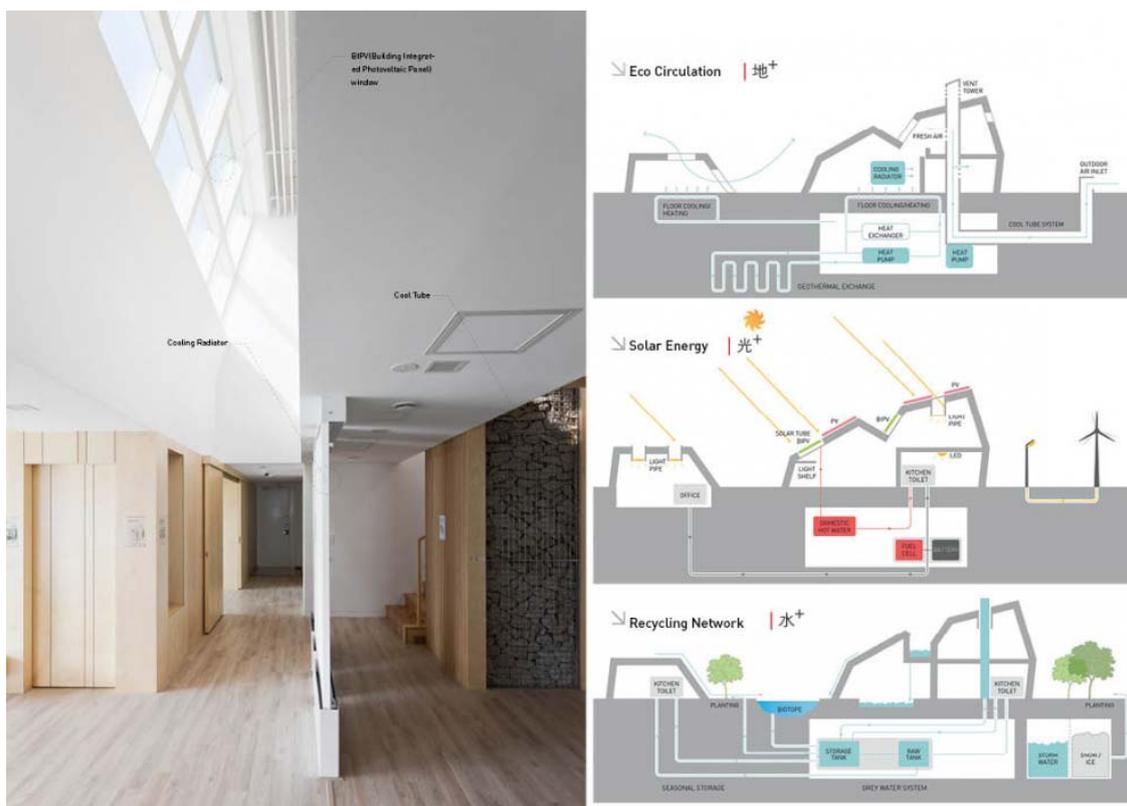


圖 3-21 「E+ Green Home」應用的節能手法

(資料來源：<http://blacklemag.com/design/e-green-home-is-a-self-contained-design/>)

表 3-18 「E+ Green Home」節能技術彙整 (南韓)

E+ Green Home (南韓)		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	● 導光管
	自然通風與混合式通風	● 自然通風 ● 地冷風管
	建築外殼設計	● 隔熱設計 ● 屋頂綠化 ● 相變材料 (PCM)
主動式設計	人工照明	● LED 燈具
	HVAC	● 冷卻系統散熱器
可再生能源	太陽能	● 太陽能光電板
	風力	● 風力發電

(資料來源：本研究整理)

九、馬來西亞能源中心（馬來西亞）

表 3-19 「馬來西亞能源中心」案例資料（馬來西亞）

案例名稱	Pusat Tenaga Malaysia 馬來西亞能源中心	
地點	Malaysia	
建築型態	辦公建築	
氣候類型	熱帶雨林氣候	
案例背景	<p>1. Pusat Tenaga Malaysia (PTM)是馬來西亞的第一個零耗能辦公建築（ZEO）建築，面積為 4000 m²，於 2005 開始設計，2006-2007 年間被建造於 2007 年 7 月竣工。這是一個位於熱帶地區，作為未來非商業建築可持續性設計的試驗項目。</p> <p>2. 馬來西亞在建築節能推動的發展歷程相近於美國柏克萊國家實驗室(LBNL)所提出的零耗能之層級架構。由建築耗能密度(EUI)來看，它先做到低能耗辦公建築(LEO)，再向零耗能辦公建築(ZEO)邁進。</p> <p>3. Pusat Tenaga Malaysia 實現了綜合建築設計概念，即主動和被動能源系統相互使用於整棟建築，同時，建築元素經由設計成為能源系統的一部份。環境模擬也貫串著整個建築設計流程。</p>	
效益	<p>1. Pusat Tenaga Malaysia 使用眾多的節能策略，包括高效率的辦公設備的選擇，幾乎沒有消耗額外的能源，與馬來西亞一般的辦公建築相比，約減少了 85%的耗能。</p> <p>2. 其能源使用密度為每年 34kWh/m².y（未計算 PV 發電），其中以照明耗能與插座設備耗能降低的幅度最為顯著，如果計算 PV 發電則為 0kWh/m².y（ZEO）。此建築的花費較一般建築建造費用高約 21%（不含 PV 發電），或高 45%（含 PV 發電）。</p>	

（資料來源：

http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.Pusat_Tenaga_Malaysia_Zero_Energy_Office_Building_Zero_Net_Energy_Building_Case_Study.html，本研究整理）

1. 被動式設計：

- 自然採光：

為了更高效地利用散射自然光，PTM (Pusat Tenaga Malaysia)確保大部分窗戶面向北面 and 南面，同時避免太陽直射與大量的熱得。PMT 的窗戶沿著建築長邊放置，盡量減少使用人工照明。空間區劃上，PMT 將工作空間設置在窗邊，並且將使用分區最小化，使自然光盡可能達到所有的工作空間。

- 窗面導光系統：

窗邊的遮陽板不但能減少太陽熱能進入室內，上面還安裝了反射鏡，用來反射光線進入室內。百葉窗安裝在遮陽版上部的高側窗，用來進一步將光導入室內天花的反光板上。

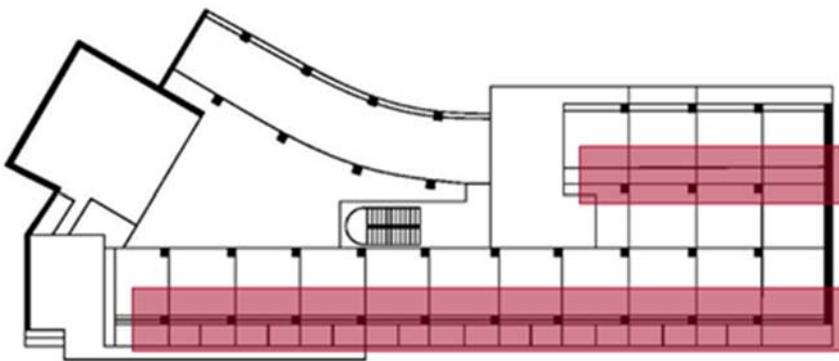


圖 3-22 「馬來西亞能源中心」的平面採光計畫

(資料來源：

http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.Pusat_Tenaga_Malaysia_Zero_Energy_Office_Building_Zero_Net_Energy_Building_Case_Study.html)

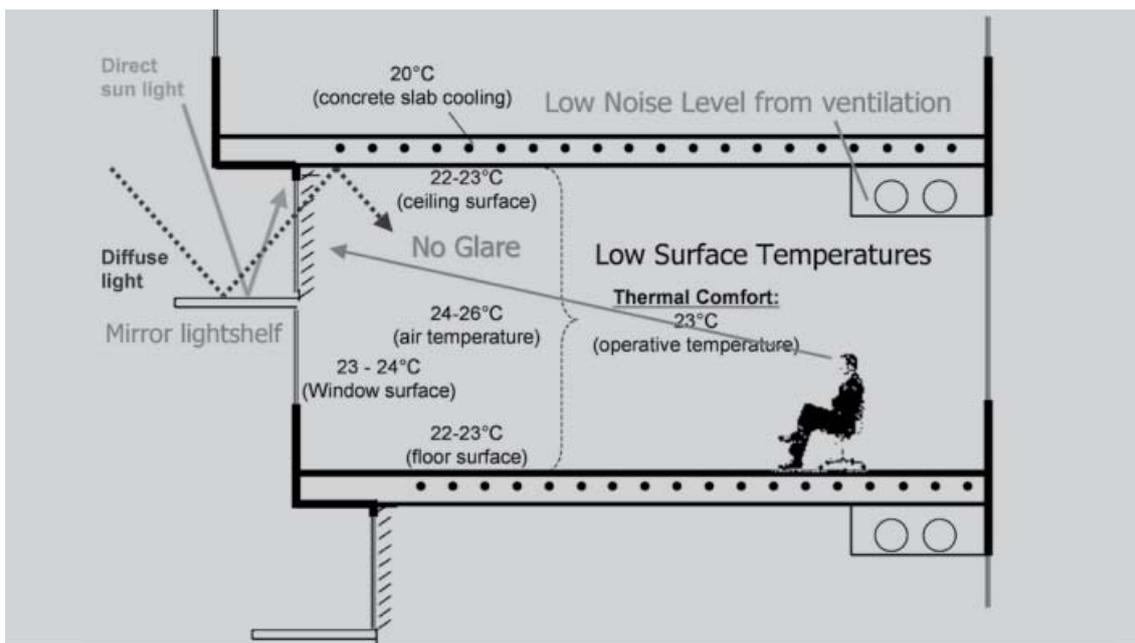


圖 3-23 「馬來西亞能源中心」的窗面導光計畫

(資料來源：

http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.Pusat_Tenaga_Malaysia_Zero_Energy_Office_Building_Zero_Net_Energy_Building_Case_Study.html)

- 天窗採光：

此建築幾乎 100% 使用自然採光。在建築頂層利用高側天窗間接反射光線進入室內，故僅帶入光線，而未帶入太陽光的熱量，確保室內的熱舒適度。



圖 3-24 「馬來西亞能源中心」的天窗採光設計

(資料來源：

http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.Pusat_Tenaga_Malaysia_Zero_Energy_Office_Building_Zero_Net_Energy_Building_Case_Study.html)

- 保溫隔熱技術：

使用雙層玻璃窗減少了 25% 的熱量傳遞。透過樓板輻射冷卻和空調系統，建築內部的平均溫度保持在 24 °C 至 26°C，室內外可產生 7°C 的溫差。

- 結構外遮陽系統：

PTM 大樓有一個“階梯式”設計，每層的樓地板面積隨著樓高而增加。這使得建築物本身成為一個大型的垂直遮陽系統，上一樓層出挑的陰影可視為下層的遮陽，這也能避免造成室內刺眼的眩光。

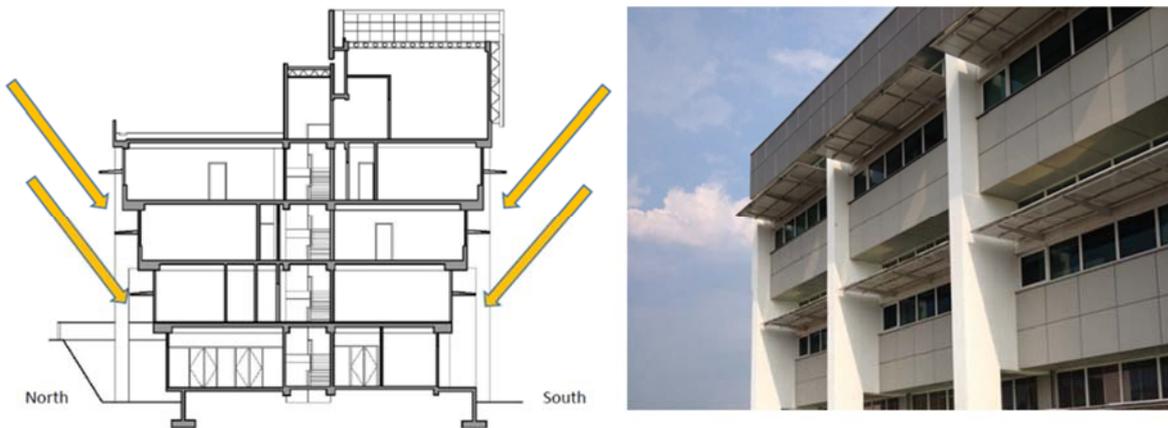


圖 3-25 「馬來西亞能源中心」的建築量體設計有遮陽的考量

(資料來源：

<http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.PusatTenagaMalaysiaZeroEnergyOfficeBuildingZeroNetEnergyBuildingCaseStudy.html>)

- 通風系統：

可利用建築物內部貫穿多層的豎穴作為通風塔，並在頂部設置可以控制的開口，將建築各層的熱空氣排出，達到自然通風的目的。浮力通風不僅實現了自然通風，它在雙層玻璃帷幕中的使用，還能有效的阻擋熱量的傳遞，降低建築牆體的傳熱系數，達到了建築節能的功效。

2. 主動式設計：

- 空調系統 & 相變儲冷系統技術：

Pusat Tenaga Malaysia 的冷卻和節能通風系統，是由 50% 的輻射冷卻和 50

%的空氣冷卻（對流）系統構成。輻射冷卻是通過樓板，使冷卻冷水交聯聚乙烯管道嵌入到地板。

值得一提的是相變儲冷系統技術，由於物質在進行相變化時，可以儲存的能量遠大於溫度的變化，因此可利用白天太陽能充足時間制冷，以相變物質儲存冷能，於太陽能較差的時段使用。儲冷式空調系統即是利用製冷主機在電力離峰時間將冷凍能力儲存起來，在於電力尖峰時間釋放出來的空調節能系統。

此外，Pusat Tenaga Malaysia 採用 Green Tower 來優化空氣品質。Green Tower 不使用電力，而是利用原本就存於空調系統中的水，使水的流量和壓力來讓風扇供電的模塊化冷卻塔。

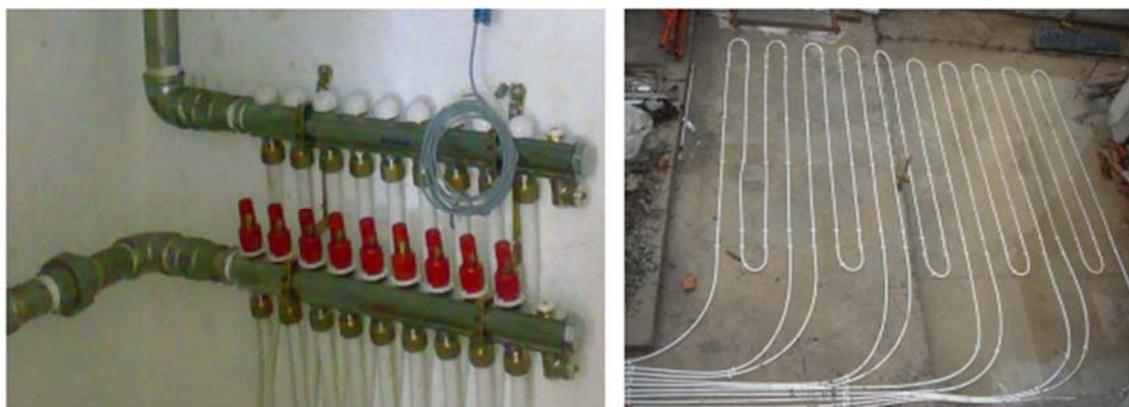


圖 3-26 「馬來西亞能源中心」的輻射冷卻地板

（資料來源：

http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/CS.Pusat_Tenaga_Malaysia_Zero_Energy_Office_Building_Zero_Net_Energy_Building_Case_Study.html）

3. 再生能源：

● 太陽能發電系統：

Pusat Tenaga Malaysia 主要的發電來源來自於太陽能發電，該大樓鋪設 4 個區域的太陽能板來進行發電，分別為 A 區（屋頂）47kW、B 區（第二區屋頂）6kW、C 區（天井）11.7kW、D 區（停車場）27kW，當中鋪設在主建築的太陽能板約可提供 91kW 的發電量，所發的電加入當地的電網系統，並沒有設置儲電裝置。

表 3-20 「馬來西亞能源中心」節能技術彙整（馬來西亞）

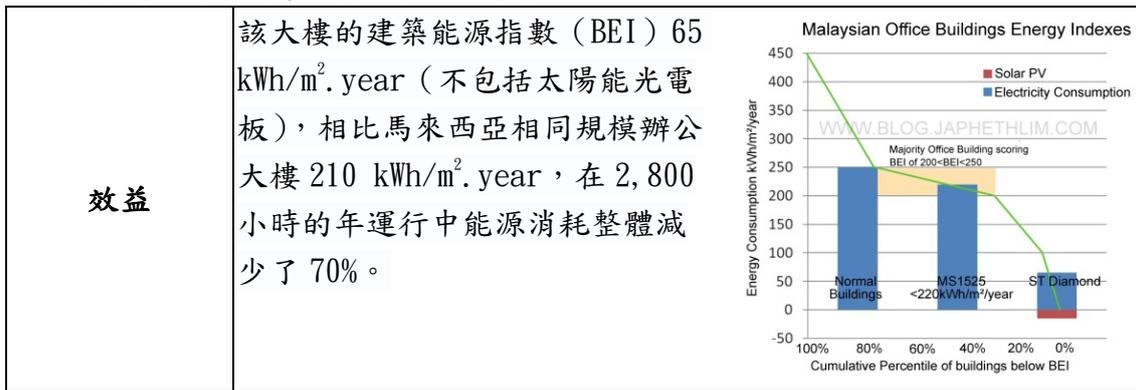
馬來西亞能源中心（馬來西亞）		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	自然採光 窗面導光/天窗導光
	自然通風與混合式通風	浮力通風
	建築外殼設計	建築遮陽 建築隔熱
主動式設計	人工照明	高效率人工照明
	HVAC	高效率空調系統 相變儲冷系統 輻射冷卻地板 智慧化控制系統
可再生能源	太陽能	太陽能光電板

（資料來源：本研究整理）

十、Diamond Building（馬來西亞）

表 3-21 「Diamond Building」案例資料（馬來西亞）

案例名稱	Diamond Building	
地點	Putrajaya, 馬來西亞	
建築型態	辦公建築	
氣候類型	熱帶雨林氣候，常年降雨。27.1 °C 為 Putrajaya 的全年平均氣溫。2307 mm 為年平均降雨量。	
案例背景	Diamond Building 不僅獲得馬來西亞綠建築 GNI 與新加坡 Green Mark 的雙重綠建築標章，2013 還榮獲 ASEAN Energy Award (AEA) (白金等級)。Diamond Building 整年整棟建築的耗能量僅需同規格建築物的三分之一。此建築的中庭與天窗設計，配合自動百葉窗，巧妙引導自然光到室內。外殼的精密設計，讓人造光的需求大幅降低，進而達到節能。另外，該大樓設有一體式散熱系統，內嵌於混凝土樓板有冷卻盤管，於夜間冷卻室內溫度，使得天花板與地板的表面溫度維持在攝氏 19~21 度，進一步提高了室內的舒適性。	



(資料來源：<http://www.asiagreenbuildings.com/7763/malaysias-diamond-building-designing-shading-system-tropical-climate/>，本研究整理)

1. 被動式設計：

- 建築外殼設計：

Diamond Building 獨特的形狀是根據馬來西亞氣候和赤道的太陽軌跡而設計的。對應太陽軌跡，外牆傾斜 25° 角可以確保南北向立面全年都能獲得遮陽所需的陰影，同時可減少 40% 的東西向立面受到太陽的影響。

- 自然採光設計：

為了獲得最多的自然採光，建築中央的中庭採鑽石的形狀設計。同時，使用太陽熱得係數 (SHGC) 0.37、可見光透過率 (VLT) 50% 的 low-e 玻璃，一方面節能又能有效的將漫射光引入室內。此外，倒立的鑽石形狀也增加了建築周圍可用於綠化的地面空間，有助於減少熱島效應。

- 中庭採光設計：

中庭上方有 6 種不同的遮陽組合，能確保中庭內部在任何時刻都能有最佳化的採光水準。依據一天當中早、中、晚三個時段，每 15 分鐘調整遮陽的策略。面對中庭的第四層及第五層設有反射板，能將進入中庭的日光進一步反射到採光較差的最底層及第二層。

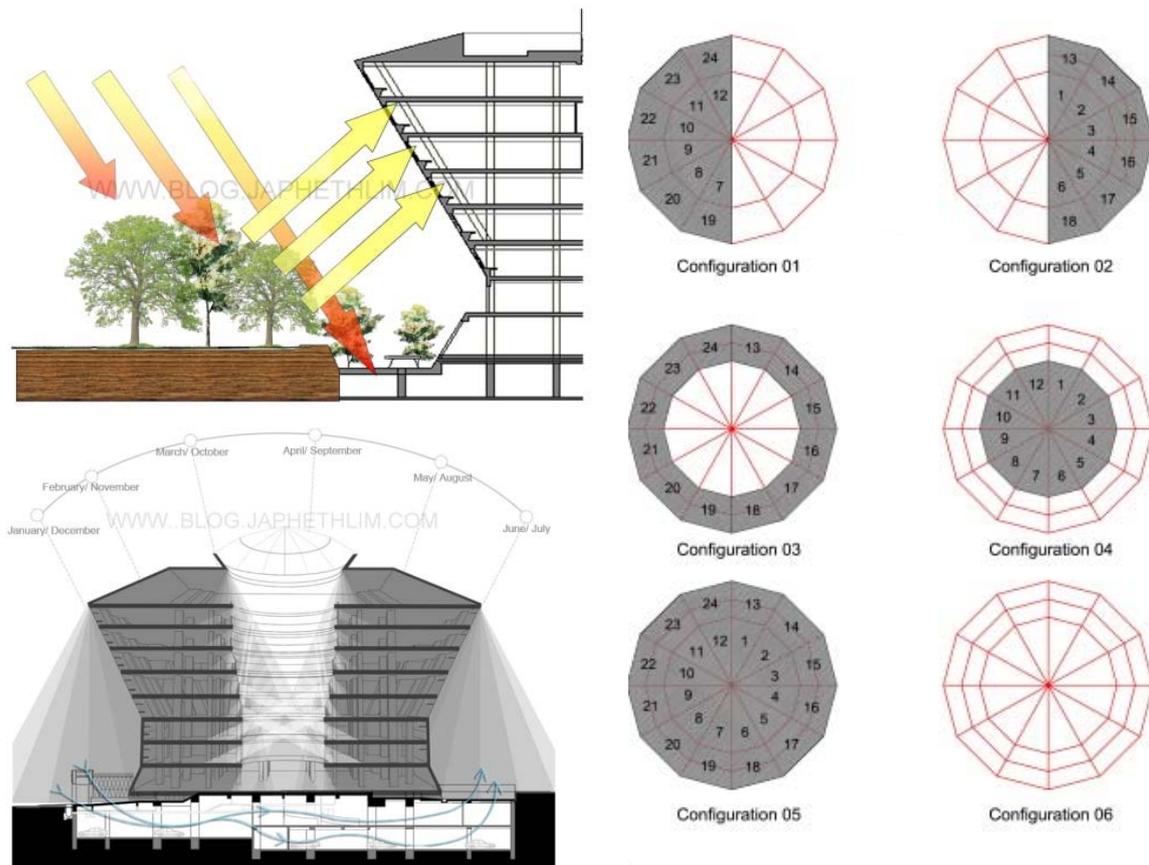


圖 3-27 「Diamond Building」外牆與中庭的遮陽與採光設計

(資料來源：<http://www.asiagreenbuildings.com/7763/malaysias-diamond-building-designing-shading-system-tropical-climate/>)

● 窗面導光：

Diamond Building 約有 50%的自然採光，透過窗面具有高反射率的導光系統、塗以白色油漆的窗台與室內天花板，以及室內無任何懸吊天花板與隔間的設計，讓自然光能再更深入室內至 5m 深。固定的窗面百葉在上部有鏡面塗裝，並以 30° 的角度傾斜安裝，一方面防止直接眩光、也當遮陽使用，一方面將戶外光線反射至室內的天花板。

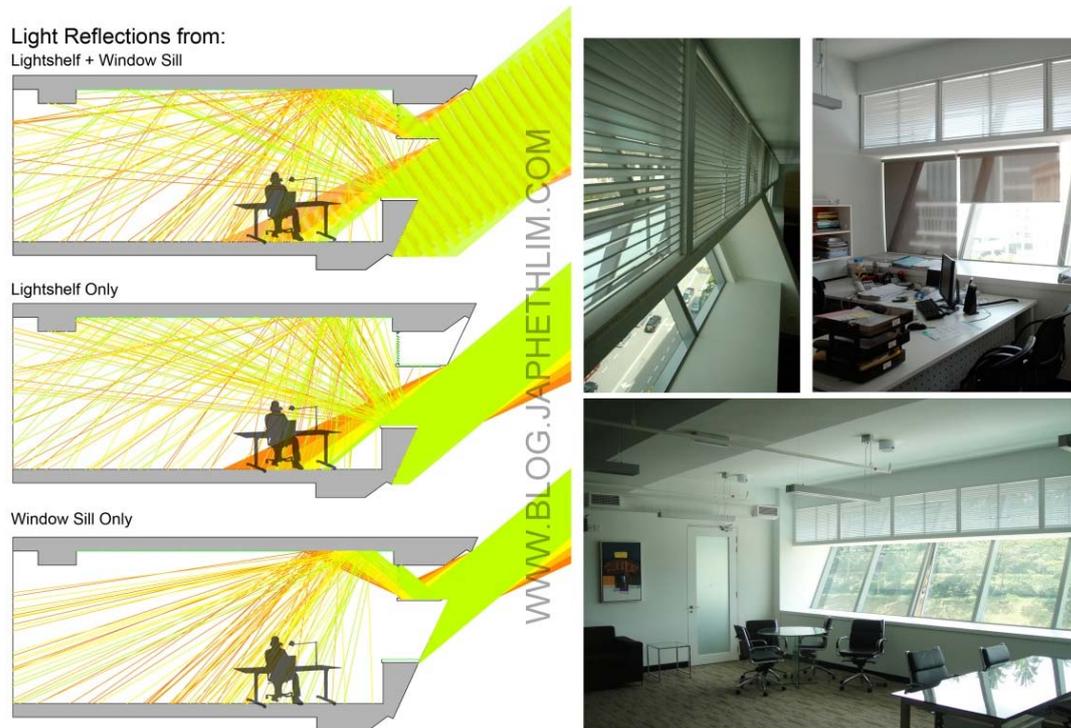


圖 3-28 「Diamond Building」的窗面導光系統

(資料來源：<http://www.asiagreenbuildings.com/7763/malaysias-diamond-building-designing-shading-system-tropical-climate/>)

2. 主動式設計：

● 智能照明系統：

Diamond Building 智能照明系統採用 T5 燈管與電子式安定器，並整合自然光的自動化感應照明系統，照明耗能可由 $8\text{W}/\text{m}^2$ 降到 $0.9\text{W}/\text{m}^2$ 。

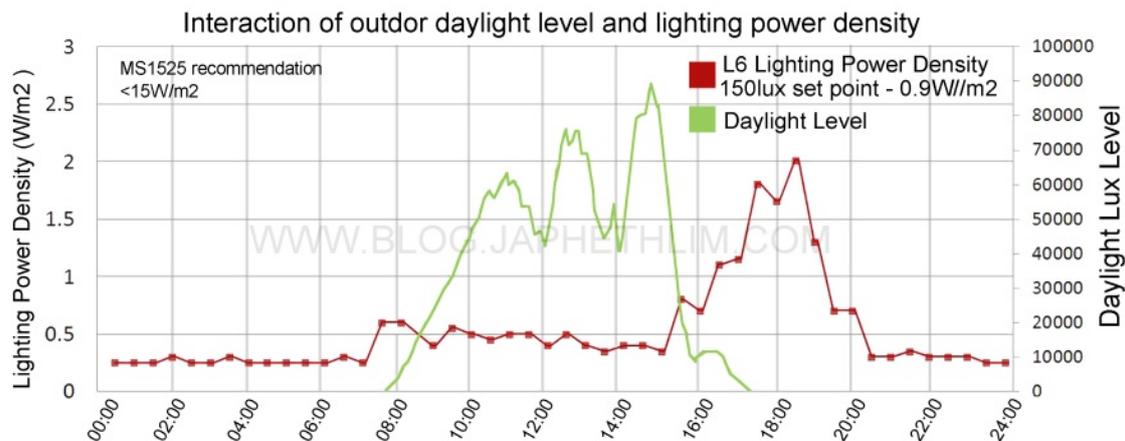


圖 3-29 「Diamond Building」的智能照明系統

(資料來源：<http://www.asiagreenbuildings.com/7763/malaysias-diamond-building-designing-shading-system-tropical-climate/>)

- 樓板輻射冷卻系統：

樓板輻射冷卻系統主要是將 19°C 的冰水管嵌入在鋼筋混凝土的樓板中，冷卻混凝土樓板以達到輻射冷卻效果。混凝土樓板每晚從 10 點到早上 6 點冷卻室內到大約至 22°C，白天時再被動的吸收來自電腦、室內人員、太陽光的熱量，即便如此，整個白天混凝土樓板大約僅升溫 1°C 而已。由於輸送冰水比輸送冷氣更有效率，因此透過這樣的方式可以減少 64% 的空調輸送耗能，同時，空調的設備容量可減少約 30%。由於將 30%~40% 製冷於夜間進行，這也讓 Diamond Building 降低空調的尖峰負載。

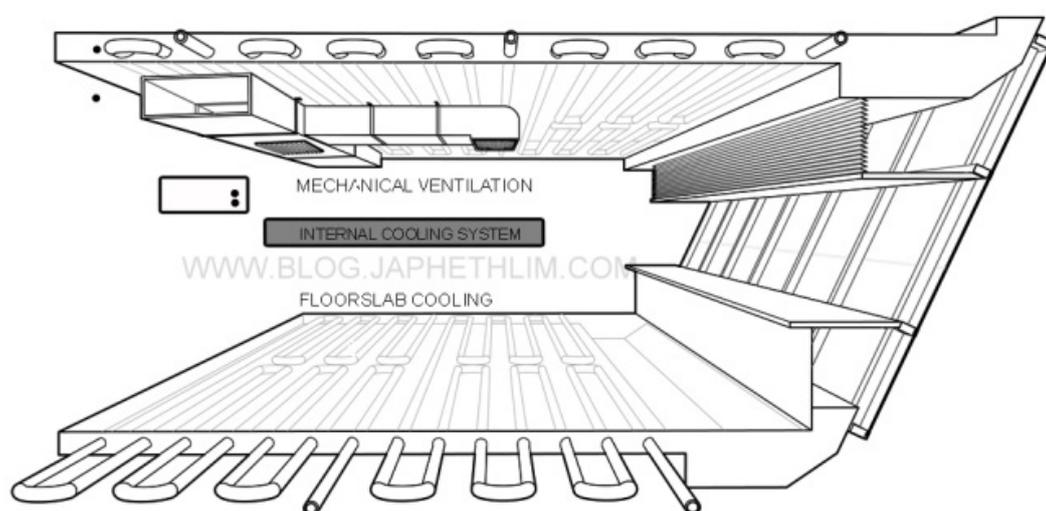


圖 3-30 「Diamond Building」的樓板輻射冷卻系統

(資料來源：<http://www.asiagreenbuildings.com/7763/malaysias-diamond-building-designing-shading-system-tropical-climate/>)

3. 再生能源：

- 太陽能系統：

屋頂的 71.4 kW 的太陽能薄膜電池可降低 10% 的建築耗能。薄膜太陽能技術十分適合熱帶氣候，原因是這類型的太陽能電池比傳統的太陽能光電板更能捕捉漫射光，同時在高溫曝曬下較不會將低其發電效率。薄膜太陽能的年產量是 1400 kWh/kWp，大大高於傳統的太陽能光電板 1150 kWh/kWp。每月平均可生產 8,300kWh 電力，每年平均可生產 100,000kWh 的電力。

表 3-22 「Diamond Building」節能技術彙整（馬來西亞）

Diamond Building (馬來西亞)		
技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	窗面導光 中庭採光
	建築外殼設計	建築立面傾斜設計
主動式設計	人工照明	智能照明系統
	HVAC	樓板輻射冷卻系統
可再生能源	太陽能	薄膜太陽能

（資料來源：本研究整理）

第二節 亞洲 nZEB 常用節能技術彙整

本研究蒐集了 10 個位於亞洲地區的 NZEB 及 nZEB 案例，分別位於香港（1）、日本（3）、韓國（2）、新加坡（1）、馬來西亞（2）及印度（1），類型包括辦公建築、複合型公共建築、住宅建築，其中住宅類建築均為展示型示範建築。本研究進一步將這些近零能源案例所採用的節能設計手法，依照近零能源的設計流程分為「被動式設計」、「主動式設計」及「再生能源」三部分來整理，如表 3-23 所示。

在「被動式設計」中，因應亞洲地區夏季較炎熱的氣候特性，較常使用的技術項目包括「晝光利用」、「自然通風」、「建築外殼節能設計」。尤其為了減少人工照明的耗能，在各案例中除了以平立面配置來取得晝光利用的最佳化，還常整合使用導光板、導光百葉、導光管、高反射率的室內裝修材來加強晝光的引入和分布，因此在照明節能上都有十分顯著的成效。通風部分則著重使用對流通風及浮力通風設計，部分案例還使用地中冷管將進入室內的空氣事先預冷。至於外殼設計節能的部分，也是著重於「遮陽」與「隔熱」的設計。

在「主動式設計」中，以空調（HVAC）部分的設計手法最為多變精彩。除了最基本的使用高效率空調設備之外，眾多案例中不約而同的使用樓板輻射冷卻系統、相變儲冷系統、地熱式熱泵等設計手法，顯然為新興的主動式技術。照明部分則均設計照明控制系統因應人員使用、晝光使用進行調整，也均使用高效率燈具。值得一提的是，幾乎所有的案例均有 HEMS、EMS 等智慧化能源管理系統。

表 3-23 亞洲 nZEB 常用節能技術彙整

技術類型	技術項目	技術內容
被動式設計	晝光利用	<ul style="list-style-type: none"> ● 開窗率 ● 窗面可見光透過率 ● 高反射室內裝修材 ● 導光板/導光百葉/導光管 ● 遮陽設計
	自然通風與混合式通風	<ul style="list-style-type: none"> ● 開窗率 ● 開窗位置 ● 自然通風 ● 地冷(熱)風管
	建築外殼設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 建築座向 ● 建築型態係數 ● 隔熱設計 ● 遮陽設計 ● 屋頂綠化 ● 相變材料(PCM)
主動式設計	人工照明	<ul style="list-style-type: none"> ● 高效率燈具(T5、LED) ● 照明控制系統
	HVAC	<ul style="list-style-type: none"> ● 樓板輻射冷卻系統 ● 高效率空調系統 ● 相變儲冷系統 ● 智慧化控制系統 ● 熱泵系統 ● 地熱式冷卻管 ● 智慧化能源管理系統
可再生能源	太陽能	<ul style="list-style-type: none"> ● 太陽能光電板 ● 太陽能薄膜 ● 太陽能熱水
	風力	<ul style="list-style-type: none"> ● 風力發電
	生質能	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料電池
	地熱	<ul style="list-style-type: none"> ● 地熱

(資料來源：本研究整理)

在「再生能源」的部分，太陽能仍是最普遍使用的可再生能源技術(表 3-24)，包括太陽能熱水、太陽能光電板，尤其太陽能光電為了獲得更多的設置面積增加其發電量，均會以建築整合型太陽能 BIPV (Building Integrated Photovoltaic) 的方式設計。少部分案例有使用到風力發電、生質能與地熱。在案例彙整中也發現，nZEB 或 NZEB 所產生的現場 (on-site) 電力，均會傳輸到再生能源電網，再由電網提供所需之電力，如此一來可以減少建築本身儲電的設備與投資花費。

綜觀表 3-23 所表列的節能技術，其實都是已是廣為人知的被動式與主動式節能技術，再加上由於是由 10 個亞洲地區的案例彙整而來，尤其當中還有位於熱帶地區的新加坡、馬來西亞的案例，氣候條件與臺灣相近，這些節能技術也都適合於臺灣使用。

最後，參考各政令規範、文獻資料，可歸納近零能源建築的設計參考流程(圖 3-31)：

表 3-24 各案例再生能源使用情形

建築名稱	太陽能 光電	太陽能 熱水	風力 發電	地熱 熱泵	生質能
1. 零碳天地	●				●
2. 大成建設 ZEB 實證棟	●				
3. 鹿島建設技術研究所本館 研究棟	●				
4. The LCCM	●	●			
5. BCA Zero Energy Building	●	●			
6. Indira paryavaran bhavan 政治大樓	●			●	
7. Samsung Green Tomorrow House	●		●	●	
8. E+ Green Home	●		●		
9. Pusat Tenaga Malaysia 馬來西亞能源中心	●				
10. Diamond Building	●				

(資料來源：本研究整理)

1. 設定能源使用基準底限 (baseline)
2. 評估氣候、場址等計畫
3. 確立建築量體配置、座向，並提升微氣候
4. 設計絕佳的建築外殼性能
5. 選擇適當的被動式設計
6. 建置低耗能的主動式設計與系統
7. 電力設備的管理系統
8. 整合型再生能源設計

在「被動式設計」上 (表 3-23)，可利用晝光、被動式太陽能、自然通風與建築外殼設計來達成；在「主動式設計」上 (表 3-26)，可利用「照明與電器設備」與「空調」的整合設計來達成；在「再生能源」上 (表 3-27)，則依據空調與電力負荷評估場內再生能源目標，並且整合空調與被動式設計，將再生能源目標最佳化。三者的技術必須相互整合考量，例如開口必須同時考量採光係數、自然通風效益、以及建築外殼節能的表現，又例如被動式的晝光利用可以同時使用主動的晝光控制系統來使整個採光效益最佳化。如此才能發揮節能技術的最大效益。

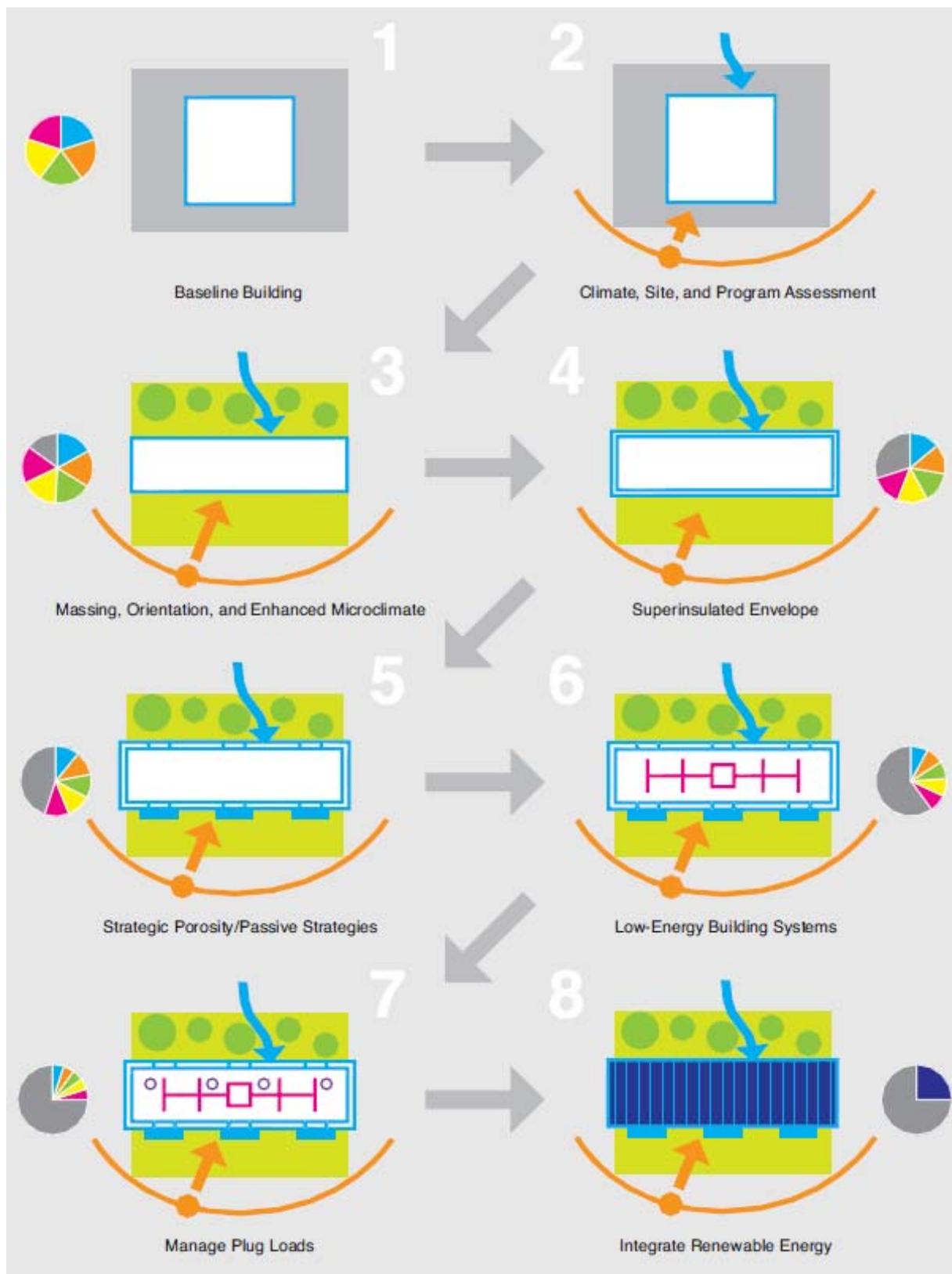


圖 3-31 ZEB 的設計參考流程 (Hootman, 2012)

(資料來源：Net Zero Energy Design, 2012)

表 3-25 被動式設計策略與技術要點

設計項目	細部項目	設計策略與技術要點
畫光利用	開窗率	考量建築外殼性能，提出適宜的開窗率，決定開窗的位置
	可見光透過率	考量玻璃的可見光透過率
	室內裝修材	評估室內裝修材的反射率
被動式太陽能	開窗率	考量建築外殼性能，提出適宜的開窗率
	遮陽	同時考量畫光利用與遮陽的需求決定遮陽尺寸
	熱容量	熱容量設計與開窗及通風設計進行調合
自然通風	開口大小	考量建築外殼性能與畫光利用，決定確切的開口尺寸
	開口位置	提出風力通風與浮力通風的開口計畫，決定確切的開口位置
建築外殼	實牆部	依據實牆部的隔熱性能與熱容量決定 U 值與構造材料
	玻璃部	評估玻璃的 U 值、日光輻射熱取得率(SHGC) 及可見光透過率

(資料來源：本研究整理)

表 3-26 主動式設計策略與技術要點

設計項目	細部項目	設計策略與技術要點
照明與電器設備	設備	以同類型的建築物為評估基礎，並評估其整體照明與電器設備之需求
	控制系統	整合畫光利用設計、決定照明調光策略
空調	設備	評估各種場內再生能源的優點，並計算利用再生能源時的冷暖房負荷
	控制系統	空調控制系統應整合被動式太陽能設計、自然通風與再生能源目標 (RET)，使空調系統達到最佳化

(資料來源：本研究整理)

表 3-27 再生能源設計策略與技術要點

設計項目	細部項目	設計策略與技術要點
再生能源 技術	設備	依據空調與電力負荷評估場內再生能源目標
	控制系統	整合空調與被動式設計，將再生能源目標最佳化

(資料來源：本研究整理)

第四章 近零能源建築可應用之再生能源技術

第一節 臺灣再生能源技術應用現況

一、太陽光電

太陽能光電技術，其基本構造是運用 P 型與 N 型半導體接合而成。太陽光電技術發展項目主要包括：矽晶太陽電池、矽薄膜太陽電池、染料敏化太陽電池、矽晶模組之研發、太陽光電系統設置及安裝 CIGS（銅銦鎳硒）薄膜太陽電池等。國內安裝之太陽光電發電系統多採晶矽模組為主，而在技術發展上，也以矽晶太陽電池產業發展最為完善。太陽能光電設備一般可分為獨立系統、混合系統及併聯系統。

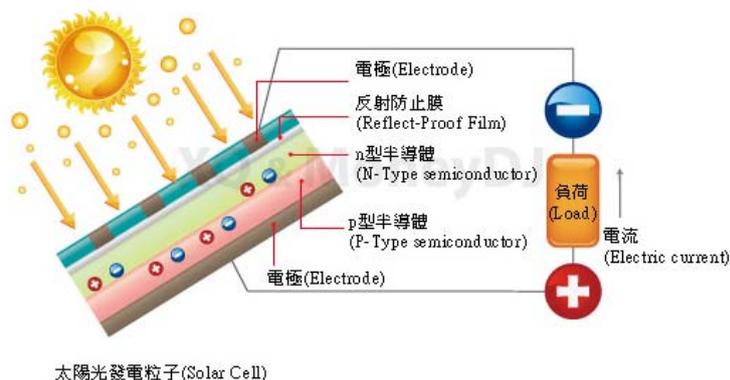


圖 4-1 太陽能光電之基本構造

(資料來源：<http://www.moneydj.com/HotProduct/HTML/PA71-2.html>)

- 1、獨立系統：指太陽光電發電設備系統獨立供應負載，利用太陽能模組於白天生產電力，並對蓄電池組充電；在夜晚由蓄電池組經電力轉換器提供電源給負載，過程中未與市電系統有任何連結，該系統多半用於市電無法建構之偏遠地區。

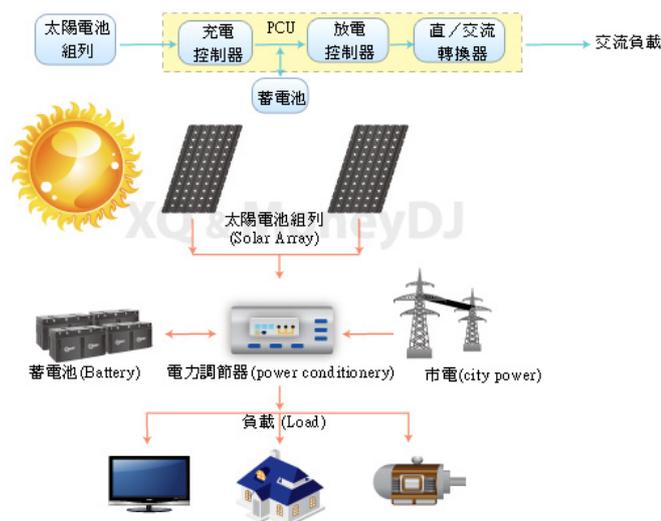


圖 4-2 獨立式太陽能光電系統

(資料來源：<http://www.moneydj.com/HotProduct/HTML/PA71-2.html>)

- 2、混合系統：指將市電系統與蓄電池搭配使用。平時太陽能光電系統併聯發電，同時供應負載與蓄電池充電，夜晚電力不足時，由電力公司供電。此系統多用於有防災救難需求之公共設施。
- 3、併聯系統：指將太陽能光電系統與市電系統併聯使用，其控制器具有逆電功能。當太陽能光電系統發電量大於電力負載時，系統會自動將多餘電力送回電力公司；當負載用電大於太陽能光電發電量或夜晚太陽光電能電力不足時，便由電力公司供電。

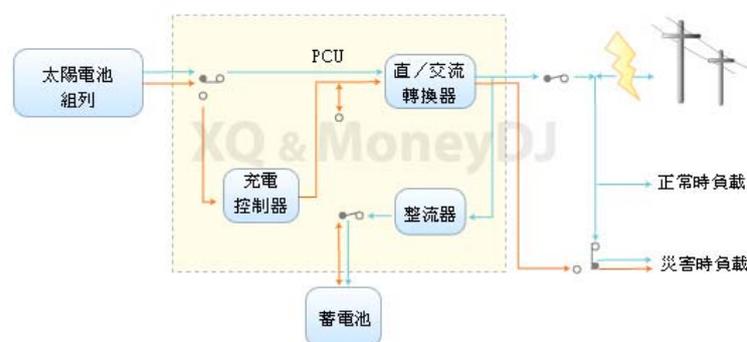


圖 4-3 混合式太陽能光電系統

(資料來源：<http://www.moneydj.com/HotProduct/HTML/PA71-2.html>)

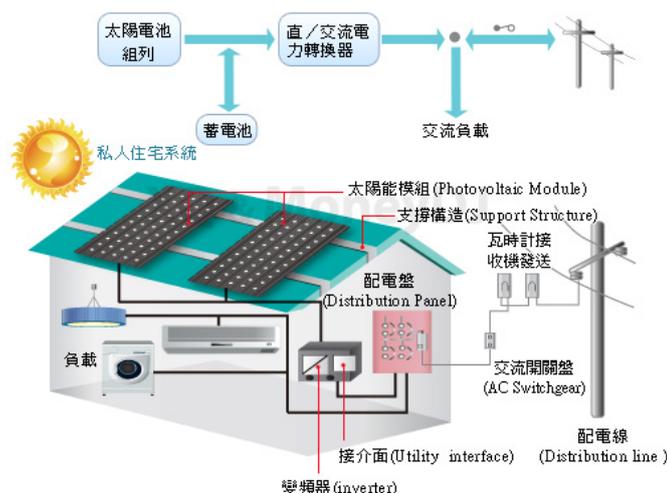


圖 4-4 併聯式太陽能光電系統

(資料來源：<http://www.moneydj.com/HotProduct/HTML/PA71-2.html>)

國內目前以矽晶電池研發為主之「低成本矽材電池技術」為主要之科研計畫，目標以發展建立自主研發、低成本之多晶矽生產技術為重點。曾先推動偏遠離島、陽光電城、Solar Top、陽光社區、振興經濟擴大公共建設投資等專案計畫。未來展望則包括以小額貸款方式，扶持小型用戶設置系統成長，對大型企業則在電能躉購費率上給予足夠誘因，以鼓勵大型太陽光電發展。

經濟部為鼓勵各直轄市、縣市結合在地社區特色，另於 102 年 3 月 5 日訂定《經濟部推動陽光社區輔助要點》，執行機關為能源局，透過提供地方政府推動費用，推動太陽光電陽光社區建制，塑造太陽光電輔助供電之群聚應用示範，達成陽光屋頂百萬座計畫之願景。101 年成立「陽光屋頂百萬座」計畫推動辦公室後，並陸續制定多項執行政策，102 年依照經濟部的規劃設置目標為 130MW，並規定上半年度躉購費率為每度電最高為新台幣 8.3971 元，並以協調台電公司簡化作業程序，縮短民眾申請程序。本計畫預定 104 年完成 420MW，2020 年達到 1,020MW，119 年達到目標 3,100MW。另外，也放寬太陽光電發電設置至 3 公尺以下免雜照，減少申請建築執照等法令障礙。

政府亦大力導入太陽光電能源技術服務業 (PV-ESCO, photovoltaic-Energy Service Companies) 之模式，PV-ESCO 是一種商業模式，由太陽光電發電設備設置或投資業者，像建築物或土地業主取得空間或場址使用權，設置並營運太陽光電發電設備，將該發電設備生產之電能售予電力公司。其合作之空間或場址可為一般

民眾之屋頂，也可為公部門建築物、校園屋頂、廠房等。業主於出租空間或場址使用權時，可向業者收取一定租金，進而鼓勵業主將其閒置之屋頂租予業者設置太陽光電發電系統。而利用太陽光電發電系統發電所得之電力，尚得賣回給電力公司，而其收益依照業者和業主間契約的規範，可分為完全歸屬於業者，或是由業者和業者業主者業者，兩者共同按照約定比例分享，以鼓勵業者多多設置太陽光電發電系統。此種模式不但減少民眾初期投資資金，業者亦可整批融資，以具經濟規模之方式設置系統。而雙方合作結束時，依契約決定系統之所有權，原則上屬於業主所有，以使其後續仍能繼續利用太陽光電系統。

103 年台電綜合研究所提出「綠能智慧屋儲能系統」，有效提升太陽能與風力發電使用率的新技術，根據家庭用電需求，設計出以太陽光電及風力發電為主、市電為輔、燃料電池作為後援的電源配置，並由全鈦氧化還原液流電池（Vanadium Redox. Flow Battery，簡稱 VRFB）擔任儲能裝置的角色。根據 2014 年 1 至 12 月的累積資料計算，太陽能發電，每度電的成本超過 6 元，若再加上儲能系統，每度電的供應成本將攀升至 43 元左右，故目前系統成本較高而暫時無法普及。

二、太陽熱能

太陽能熱水器裝置構造主要係由一用來吸收太陽能輻射熱的集熱器與儲存熱水的水罐，再加上供熱和冷水的管道構成一完整太陽能集熱設備。利用接收或聚集太陽輻射能，使之轉換為熱能或電能來使用，需利用太陽能集熱氣，將水加熱後儲存於儲水槽以供後續使用。太陽能熱水器設備，依集熱及蓄水方式分為以下兩種：

1. 自然循環型太陽能熱水器：其運作原理如圖 4-5 所示，其中自然循環型太陽能熱水器的集熱器多為不鏽鋼平皮形，其表面採用強化玻璃作為保護層，係為提高輻射熱的吸收效率，其儲水罐皆具保溫功能。

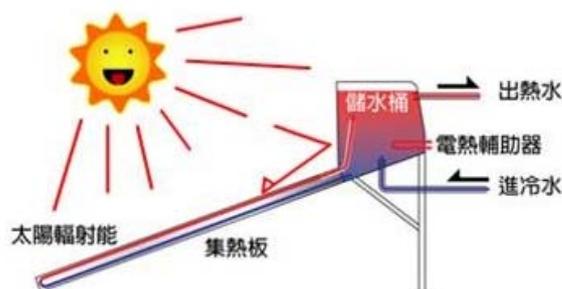


圖 4-5 自然循環型太陽能熱水器

(資料來源：<http://www.suncue-078319017.com.tw/product-detail-291465.html>)

2. 真空蓄水型太陽能熱水器：指由許多玻璃圓管及若干引水連接管結構零件所組成，其運作架構原理如圖所示。為提高玻璃圓管吸收太陽光之集熱效果，其表面還被覆一層熱吸收膜防止散熱。自然循環與真空蓄水型太陽能之區別在於自然循環型的集熱器與儲水罐為各自分開獨立配置，且集熱器和儲水罐間連結管道所用的儲熱介質為甘醇，並利用泵來強制熱循環。由於管道內採用的介質不是水，因此可供冬天會結冰的地區安心使用。

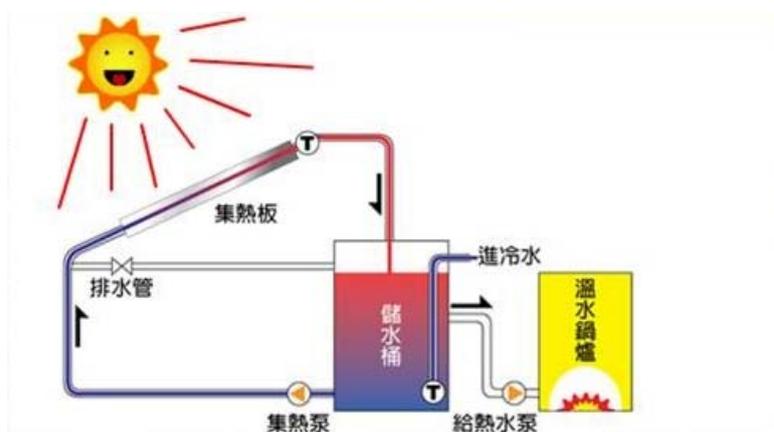


圖 4-6 真空蓄水型太陽能熱水器

(資料來源：<http://www.suncue-078319017.com.tw/product-detail-291465.html>)

為推廣太陽能熱水器之使用及減少民眾之負擔，政府於民國 75~81 年期間訂定《太陽能熱水器推廣獎勵辦法》鼓勵民眾裝設，99 年以後，則改以《太陽能熱

水系統獎勵辦法》為之。目前就設置者每平方公尺集熱器面積提供本島新台幣 1,500~2,250 元之補助，離島地區新台幣 3,750~4,500 元之補助，約占設置成本之 20~25%。以澎湖低碳島計畫為例，太陽能熱水系統加碼補助部分，於 101 年開始實施，根據現行補助規定，我國每平方公尺集熱面積補助新臺幣 2,250 元，離島地區則補助 4,500 元，再加上低碳島計畫期間，澎湖縣政府加碼補助每平方公尺 3,000 元，總計在澎湖安裝太陽能熱水系統每平方公尺即可獲得 7,500 元的補助款項。自 89 年起至 104 年 4 月止，太陽能熱水系統累計安裝面積達 3,680 平方公尺，累計集熱面積每年可減少約 699 公噸二氧化碳排放量，並可減少使用約 250 公噸油當量的能源，節能成效有顯著成長。

而國內太陽能熱水之安裝利用統計，99 年普及率增長為 6.5% 以上，達每平方公里有 52.82 平方公尺之密度，排世界第五。未來我國應注重於技術突破，使陰雨時無須啟用輔助電熱器輔助加熱，且應研擬如何於我國現行建築法規下，不影響建物整體外觀，而與太陽光電系統併行推動。

三、水力

水力發電的基本原理是利用水位落差產生能量，並配合水輪機串接發電機以產生電力。水的能量包括：動能與位能，水力機械中的水輪機可把這兩種能量轉變為機械能加以利用。具有位能或動能的水沖水輪機開始轉動，會帶動發電機產生電力。提高水位可使得水輪機轉速增加，亦即水位差越大則水輪機所得動能越大，可轉換之電能越高。

水電技術可分為「慣常式」、「抽蓄式」兩種，其中慣常式水電又可分為「川流式」、「調整池式」、「水庫式」三種。慣常式及抽蓄式之區別在於慣常式水電乃將水由引水隧道送到水輪機後，就經由尾水路排回河川，而抽蓄式發電則有上下兩池，水由引水隧道送到水輪機後，在於夜間以白天所發之電力，將下池庫水抽回上池儲存，於發電過程中，水並未全部排回河川。而如今在追求綠能低碳的時代，各國政府無不呼籲以慣常式發電，而非抽蓄式水電，作為再生能源施政之一。

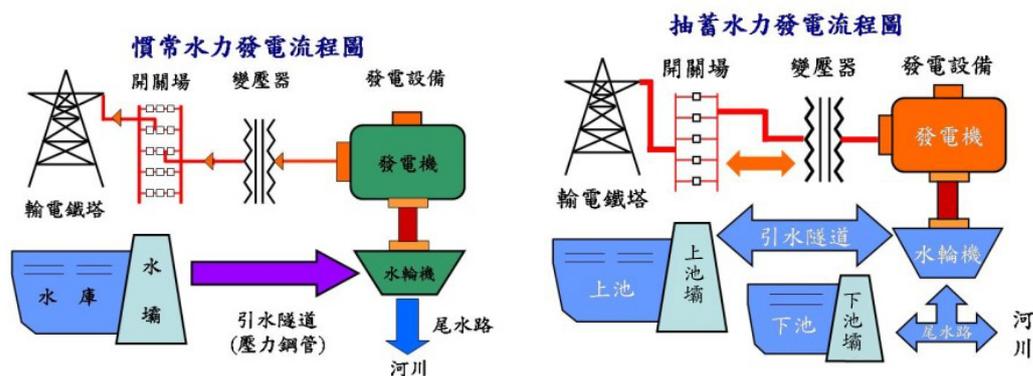


圖 4-7 水力發電流程圖

(資料來源：

<http://www.taipower.com.tw/content/about/about02.aspx?PType=2>)

據 2004 年統計，世界上大約有五分之一（20%）的電力供應是來自水力發電，至 2011 年則下降至 16%。現在全球有 150 個國家使用水力發電，有 24 個國家的水電比重超過 90%，至少有三分之一的國家的電力供應以水電為主。有 75 個國家主要依靠水壩來控制洪水，全世界約有近 40%的農田是依靠水壩提供灌溉。至今，水力發電仍然是最低成本的可再生能源，全球水力發電總量每年都不停在增長中，但在全球可再生能源所佔比重就不斷下降，近年由於中國、俄國、巴西等發展水力發電，所以比重的減少有所減緩。

表 4-1 全球水力發電總量

年份	一年發電量	佔再生能源百分比	佔所有能源百分比
2010	945GW	83%	16.10%
2011	970GW	75.90%	15.3
2012	960GW	76%	16.50%
2013	1000GW	74.20%	16.40%

(資料來源：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E7%99%BC%E9%9B%BB>)

表 4-2 世界水力發電前十名之國家

排名	國家	數據年份	總共 (億千瓦時/年)	水電 (億千瓦時/年)	百分比 (%)
1	中國	2011	797.4	687.1	86.2
-	歐盟	2010	699.3	397.7	70.9
2	美國	2011	520.1	325.1	62.5
3	巴西	2011	459.2	424.3	92.4
4	加拿大	2011	399.1	372.6	93.4
5	俄羅斯	2010	166.6	163.3	98
6	印度	2011	162	131	80.9
7	德國	2012	136.1	21.2	15.6
8	挪威	2011	121.4	119.6	98.5
9	日本	2011	116.4	82.5	70.9
10	西班牙	2011	87	30.3	34.8

(資料來源：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E7%99%BC%E9%9B%BB>)

我國目前水力發電總量有下降之趨勢，但仍保有 11 座水電廠、82 座機組，總發電設置裝置容量仍然達 4,541.607MW，水電技術十分成熟。其中大甲溪、明潭及大觀發電廠為主要的三座發電設施，幾乎占我國總水電量之 90%。目前在臺灣，慣常式水力發電累計容量為 193.8 萬瓩，以台電公司為主，民間小水力為輔，目前民間設置小水力容量約 3.9 萬瓩。

四、海洋能

海洋能具再生性且又屬清潔能源，對環境污染影響相對較小。海洋中蘊藏著巨大能量，包括：動能、位能及熱能。海洋發電係指可藉著利用海洋物理或化學特性形式而得。可分為潮汐發電、海水溫差發電、洋流發電及波浪發電。

- 1、潮汐發電：指利用漲潮與退潮造成海水高低潮為落差，進而推動水輪機旋轉，帶動發電機發電來產生電力。目前臺灣沿海潮汐，最大潮差位於金門、馬祖外島其潮差可達5公尺，西部海岸則多為平直沙岸，缺乏可供建置潮汐發電之地勢。

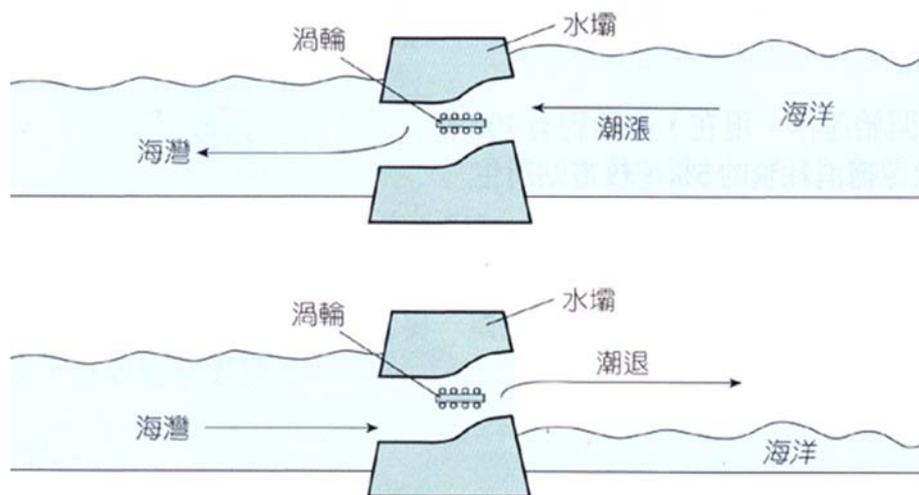


圖 4-8 潮汐發電原理

(資料來源：<http://163.32.48.2/teaches/lifescience/class8/pages/8-09%E6%BD%AE%E6%B1%90%E7%99%BC%E9%9B%BB-1.htm>)

- 2、溫差發電：係藉由海水或湖水將之冷卻成液體，再經幫浦加壓打回鍋爐，行程一閉路循環以產生電能，是一種熱能、機械與電能之轉換形式。藉由海水吸收與儲存之太陽輻射能，隨著緯度不同所接收到的太陽輻射能熱也有所差異。依循環系統不同，又可分為開放式循環、閉式循環、混合循環、霧式循環、泡式循環發電系統。
- 3、海流發電：海流能係指海水朝一方像不停地流動所具之動能。海洋流發電係藉由動能使海流渦輪機轉抽運轉，為一動能轉換為電能原理。其中，海流渦輪機結構與運轉原理類似風力渦輪機，亦即依軸之結構可分為兩種：水平軸渦輪機與垂直軸渦輪機。

4、波浪發電：波浪能係由於太陽輻射照設於廣大海洋面積上，造成地表海水與深海海水間之溫差，產生地球表面大氣間壓力差形成之風所造成。波浪能發電係藉由風吹過海洋時產生波浪運動的位能差、往復力或浮力產生的動力進行發電機能量轉移，是一種風能，機械與電能的轉換形式。由波浪發電所在位置分為：固定式與浮動式兩種裝置。前者，係將波浪能發電設備裝設於或嵌入海岸線上；後者，係利用波浪壓縮空氣室內空氣，使輪機轉動並發動發電機，將波動能轉



圖 4-9 臺灣海洋能發電之潛力

(資料來源：<http://blog.xuite.net/jjeducation/twblog/124256692>)

海流發電（洋流發電）研究約在 1970 年代開始，包括英國、美國、中國、加拿大、挪威、澳洲都陸續投入研究。目前全球尚無可商業化之波浪發電機組，仍處於海上測試與示範階段，歐洲海洋能源中心（European Marine Energy Center, EMEC）有多座百 kW（ 瓩） 級機組進行測試中，分別為 Pelamis（750kW）、Oyster 800（800kW）、Oy_Penguin（500kW）、Oceanus（800kW）。瑞典 Seabased 開發 25kW

與 50kW 之點吸收式波浪發電機，正在建置全球最大 10MW（百萬瓦）波浪發電廠。根據國際能源總署海洋能源系統（IEA-OES）評估，波浪發電之發展於 2020 年前屬商業化前期，2019~2025 將開發小型商業化電廠，2025~2030 年後邁向大型化電廠開發。

臺灣四面環海，海岸線長達一千多公里，蘊藏豐富的海洋能量。目前相關成果也證實，透過向黑潮借電，可讓海水發電，計畫設置渦輪發電機，將海流動能量轉換成電能，傳輸到各地供應電力。海洋能發電開發包含波浪發電、洋流發電和溫差發電等，而在洋流發電上，相較於其他國家，臺灣得天獨厚有海流速度和流量大的黑潮經過，且洋流產生的電目前臺灣在蘇澳花蓮外海、綠島及蘭嶼已具備洋流發電潛在條件（圖 4-9）。

臺灣在 2010 年於花蓮完成建置第 1 套 100kW 溫差發電示範系統，截至 101 年已開發 50 瓩（KW）溫差發電機組並完成 100 瓩級海洋溫差發電現場機組。在波浪發電方面，截至 101 年已開發 20 瓩（KW）波浪發電機組，並進行初步短期佈放測試。102 年完成第 1 代機組開發與基隆外海測試，於東北季風作用下進行測試，可以滿載發電，最大瞬時發電量高達 30.69kW，每小時最佳平均效率 84.73%，已初步達到設計目標。藉由該次測試，重新檢視機組性能與安全性，並著手進行第 2 代機組之精進改良。第 2 代 20kW 波浪發電機組改良重點為提升機組性能、製程維護便利性與佈放安全性，預估滿載發電時數可達 3 千小時以上。2014 年底機組下水啟用後，佈放於高雄外海，進行 10 天之海上功能與結構強度測試，顯示機組結構安全無虞。機組回拖後進行必要的維護與調整，即將於基隆外海進行海上長期測試來驗證機組，更將藉由機組海上成功發電來宣示波浪發電技術之重大突破。

我國具波浪能開發潛力，若加速研發將可於 114 年為我國再生能源做出貢獻，預計我國波浪高潛能區之能量密度大於 10kW/m 以上，具潛力場址分布在東北角、雲彰隆起與澎湖海域，初步估計波浪發電開發潛能為 2.4GW（十億瓦）。

五、風能

風是最常見的自然現象，其形成源於地球的自轉以及區域性太陽輻射吸收不均造成的溫度差異，而引起的空氣循環流動，小規模者如海陸風、山谷風，大規

模者如東北季風。人類使用風力能源的歷史由來已久，數千年前即已懂得利用風力拖動船隻航行，風速越高其蘊藏的能量也越大。

風力發電廠(Wind Farm)是利用風來產生電力的發電廠，屬於可再生能源發電廠的一種。目前，由於聯合國《京都議定書》減少溫室氣體排放協議的關係，世界各國相繼將發展再生能源列為重要目標，而在此情形下，風力發電廠也就成為各國首選的能源發展重點。

風力發電所需要的裝置，基本上可分渦輪機、發電機、鐵塔與控制系統四個部分。風力機是將風的動能轉變為機械能的重要部件，它由兩片或兩片以上之螺旋槳形的葉片所組成的，當風吹向葉片時，葉片上會產生氣動力來使風利基轉動。而發電機的作用是将渦輪機所得到的轉速，經過傳動練帶動發電機運轉，讓機械能轉變為電能。產生的電力再經由輸配電線路的傳輸，以供民眾使用。

103 年度臺灣風力及太陽光電累計發電量 1,998,219,544 度，因其發電不需燃料且不會排放 CO₂，故其 103 年度所替代之燃油、燃煤及燃氣電力，約節省 499,555 公秉燃油、739,341 公噸燃煤或 329,706 公噸燃氣且減少約 1,043,071 公噸 CO₂ 排放，相當於 105,361 公頃造林效益。迄 104 年 7 月底止，國內已建置 324 部風力發電機組，其中本公司 169 部，民間 155 部，總裝置容量為 63.996 萬瓩，累積至 7 月底總發電量為 8 億 5,891 萬度。

表 4-3 103 年度臺灣風力發電及太陽光電之效益統計

效益	發電量(度)	節能			減碳	
		燃油 (公秉)	燃煤 (公噸)	燃氣 (公噸)	減排量 (公噸)	造林效益 (公噸)
風力發電	1,486,495,480	371,624	550,003	245,272	775,951	78,379
太陽光電	511,724,064	127,931	189,338	84,434	267,120	26,982
合計	1,998,219,544	499,555	739,341	329,706	1043,071	105,361

(資料來源：<http://www.taipower.com.tw>)

表 4-4 臺灣歷年風力發電累計裝置容量一覽表

項目	93 年		94 年		95 年		96 年	
	台電	民間	台電	民間	台電	民間	台電	民間
累計裝置容量 (萬瓩)	0.240	0.000	1.776	0.000	4.776	4.980	11.176	4.980
項目	97 年		98 年		99 年		100 年	
	台電	民間	台電	民間	台電	民間	台電	民間
累計裝置容量 (萬瓩)	13.176	11.420	17.976	16.710	24.916	22.230	28.676	23.150
項目	101 年		102 年		103 年		104 年 6 月止	
	台電	民間	台電	民間	台電	民間	台電	民間
累計裝置容量 (萬瓩)	28.676	27.290	28.676	32.300	28.676	34.600	29.396	34.600

(資料來源：<http://www.taipower.com.tw>)

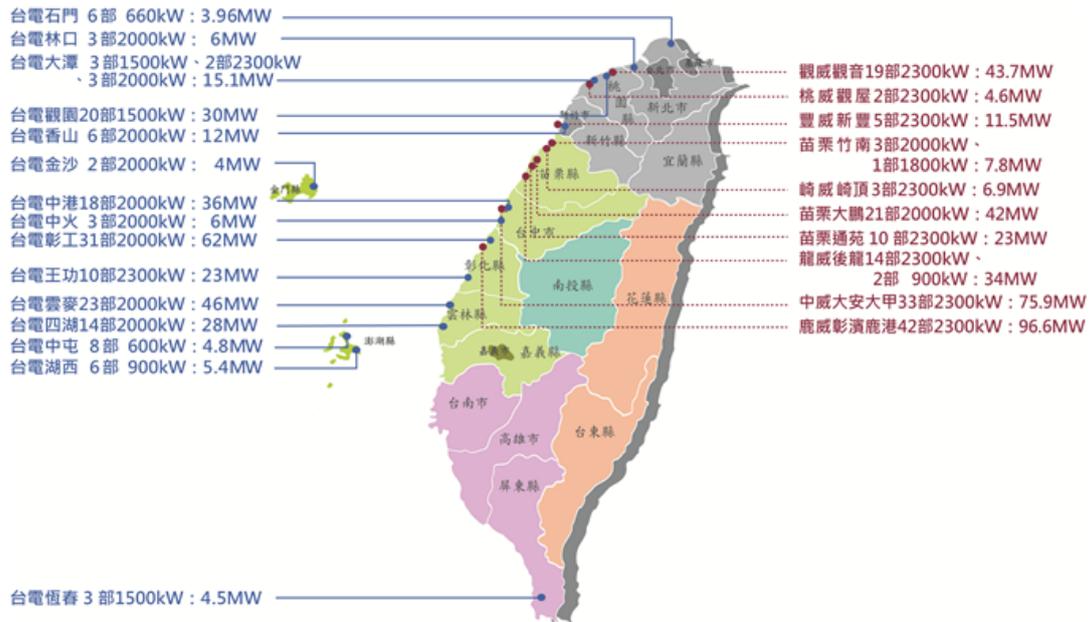


圖 4-10 臺灣風力發電分布圖

(圖片來源：<http://www.taipower.com.tw>)

六、生質能

生物電力 (biopower) 或稱為生質電力 (biomass power) 指的是利用生物質量來發電。生物電力系統技術包括直接燃燒、共燃 (cofiring)、氣化、熱分解及厭氧發酵。在再生能源當中的生物質量指的是用來作為燃料或者是工業產品的生物材質。若是談到能源，通常生物質量指的就是作為生物燃料的植物，但同時也包括了用來生產纖維化學品或熱的動物性或植物性的物質。生物質量也可包括可以當燃料稍的可生物分解廢棄物。其不含透過地質過程所轉換成的，例如煤或石油等物質的有機物。臺灣地區的生質能發電目前則有垃圾焚化發電及沼氣發電二大類。

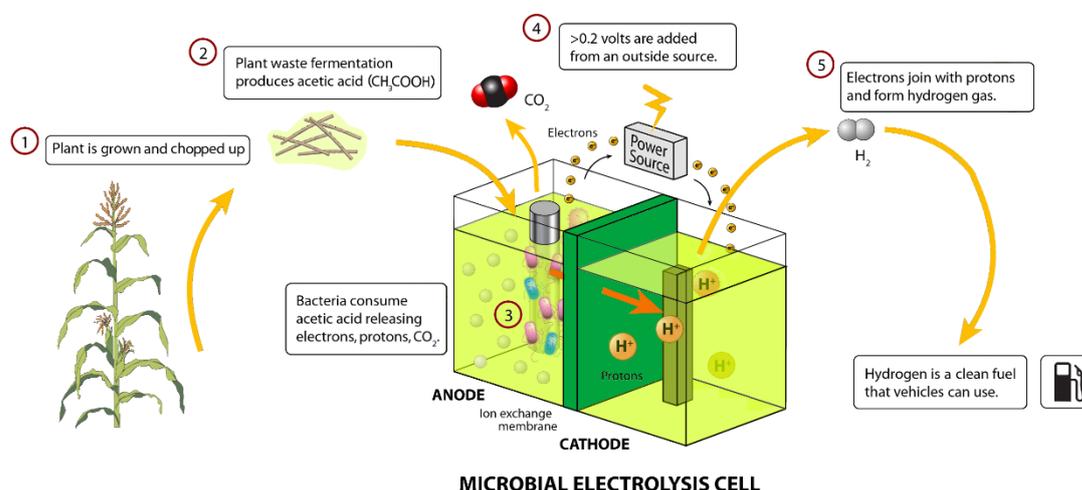


圖 4-11 生質能發電流程

(資料來源：維基百科 <https://zh.wikipedia.org/>)

2. 垃圾焚化發電

目前焚化發電以內湖焚化廠成效最好，目前已將其產生的部份剩餘電力回售給台電公司連同其他垃圾焚化發電，總計裝置容量有 54.76 萬瓩。此外，經濟部及環保署於民國 85 年中開始協助再生能源業者開發國內垃圾掩埋場沼氣發電計畫；迄今為止，已有台北之山豬窟、福德坑、台中文山、高雄西青埔等垃圾掩埋場之沼氣發電廠順利併聯發電，合計裝置容量 2.18 萬瓩，台電公司並配合購電，未來則

視成效逐步擴展至其他縣市。

3. 沼氣發電

在農委會及農林廳的輔助下，為豬糞尿厭氧消化處理研究首開其端，開發各種沼氣利用的途徑，包括烹調、發電及運輸。較代表性例子有高雄立大農畜公司，建立 200 頭豬糞尿處理系統，產生的沼氣直接供燃燒及發電之用。另在台糖公司竹南畜產研究所設立 10,000 頭豬糞尿處理系統，產生的沼氣做為 170kVA 雙燃料引擎的動力，提供養豬場的電力之需。

七、氫能

氫能源發展包括：氫能源生產、儲存、安全及燃料電池應用示範驗證。氫從很多方面來看都堪稱完美的燃料。它可以完全燃燒，而且又最有效率。氫可發出電，而電又可產生氫，如此形成一個可以再生且又對環境無害的能源迴路。由於氫可以和絕大部分元素做化學結合，其長期以來便被工業界廣泛應用。首先，燃料電池需要靠氫氣 (H_2) 和氧氣 (O_2) 來相互作用才可以產生電壓。燃料電池是將氫氣從陽極進入，在陽極的催化劑作用下，一個氫分子可分解成為兩個質子和兩個電子。而在陰極進入，同時質子穿過電解質到達陰極，電子則經過外加負載到達陰極，而形成電流。

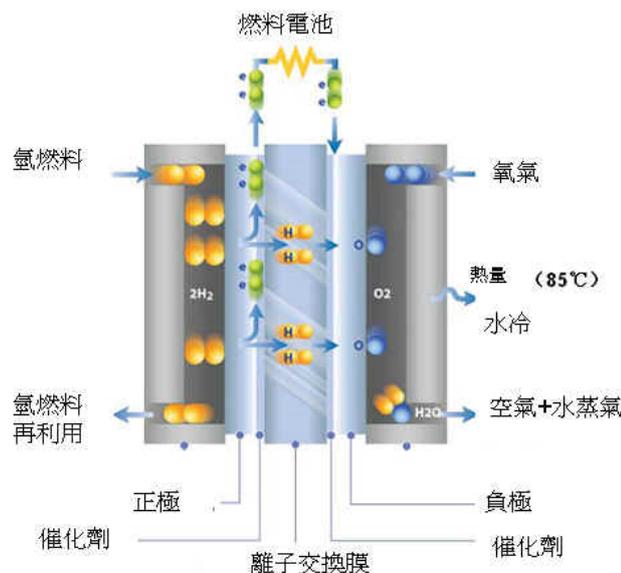


圖 4-12 氫能與燃料電池

(資料來源：電子工程世界 <http://www.eeworld.com.cn/>)

目前氫氣製造有兩大來源：化石燃料的重組 (Reform) 以及水的電解，此外也有許多研究投入發展新的產氫技術。現有至氫技術包括：

- 氣態燃料蒸氣重組或部分氧化
- 液態燃油蒸氣重組或部分氧化
- 煤的氣化
- 水電解
- 生質酒精改質
- 生物質熱解
- 藻類光合製氫

自 98 年度起，經濟部針對國內企業建置「燃料電池發電系統」示範運轉進行經費補助。日前已通過《燃料電池示範運轉驗證補助辦法》以補貼業者由於早期生產價格過高所致之競爭劣勢。

八、地熱能

地熱資源為儲存在某特定地區的地表與地殼當中某深度之間，以當地年平均溫度所量測得的熱能。最常用來區分地熱資源的標準，根據的是深層熱岩江熱攜帶到地表的地熱流量當中的焓 (enthalpy)。此焓大體上與溫度成正比，可用來表示該流體的熱能，而可粗略告訴我們其能源價值。而地熱資源也可藉此，根據流體當中所焓能源及其可能加以利用的形式，區分成低、中、高焓 (或溫度) 的資源。

表 4-5 地熱資源類型

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
低焓資源	<90°C	<125°C	<100°C	≤150°C	≤190°C
中焓資源	90-150°C	125-225°C	100-200°C	-	-
高焓資源	>150°C	>225°C	>200°C	>150°C	>190°C

(資料來源：(a)Muffler and Cataldi(1978)；(b)Hochstein(1990)；(c)Benderitter and Cormy(1990)；(d)Nicholson(1993)；(e)Axelsson and Gunnlaugsson(2000))

一般地熱資源種類包括三種：

1. 熱液資源：係指在多孔性或裂隙較多的岩層中，儲集的熱水及蒸汽。這是一般所謂的地熱資源，業已開發為經濟替代能源。
2. 熱岩資源：係指潛藏在地殼表層的熔岩或尚未冷卻的岩體，可以人工方法造成裂隙破碎帶，注入冷水使其加熱成蒸汽或熱水後收取利用，其開發方法上在研究中。
3. 地壓資源：係指在油田地區較高溫的熱水，受巨大的地壓而形成。通常僅出現在尚未固結獲致在進行成岩作用的較深處沈積岩內。

地熱發電乃是擷取地下熱能，將之轉換為機械能，然後再把機械能轉換為電能的過程。目前開發利用的多屬「蒸汽型」及「熱水型」2類地熱資源，前者產生的蒸汽可直接推動渦輪機來帶動發電機發電，後者熱水型的地熱發電則可分為閃發式及乾蒸氣型2種。閃發式發電係根據熱水的汽化溫度與壓力來設計，例如在0.3絕對大氣壓下，水的汽化溫度是攝氏68.7度，我們可通過降低壓力而使熱水沸騰變為蒸汽，以推動渦輪發電機轉動而發電；乾蒸氣型發電則是指利用地熱水間接加熱另外的「低沸點工作流體」使其變為蒸汽，再來推動渦輪機做功的

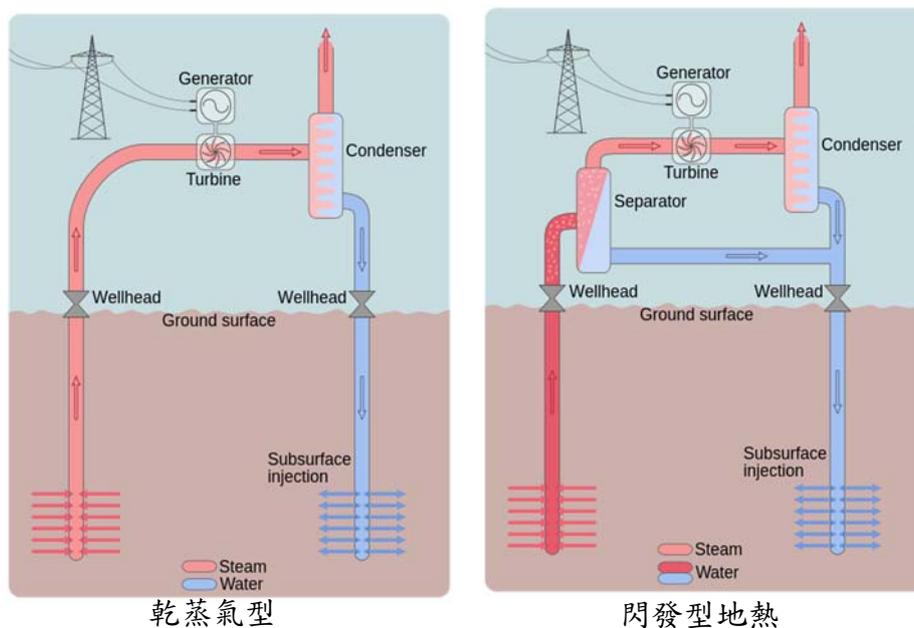


圖 4-13 熱水型地熱系統

(資料來源：維基百科 <https://en.wikipedia.org/>)

發電方式，這種方式既可利用攝氏 100 度以上的地熱水（汽），也可使用攝氏 100 度以下的地熱水，對於溫度較低的地熱水來說，效率會較低。

世界上大部份地熱田屬於熱水型，以液態熱水的型態蘊藏在儲集層中，地熱井生產以熱水為主（或含部份之蒸汽）。儲集層之溫度最高可達攝氏 200 多度，低者則僅數 10 度。一般而言，與火山或火成活動有關之地熱區，較容易形成高溫（攝氏 200 度以上）之地熱田；中溫（攝氏 90 ~ 200 度）或低溫之地熱田則與變質作用或區域地溫異常有關。

國際地熱發電的發展，統計至 102 年底，全世界有 24 個國家擁有地熱發電廠，總裝置容量已達 11,000MW，排名第 1 的美國地熱發電裝置容量為 3,389MW；美國能源部於 2000 年開始推動 Geopowering the West 計畫，除已知的地熱資源開發，觸角更深入到不具地表徵兆的深部地熱資源，並發展建構「加強型地熱系統」（Enhanced or Engineered Geothermal System, EGS）技術，希望藉由工程技術來擴大擷取更深的地熱能以供人類使用，減少對化石能源的依賴，並提升能源的自主性；預計於 2020 年地熱能利用能達到 20,000MW。

我國位處環太平洋構造帶，火山活動與板塊擠壓造成國內豐富的地熱資源，有報導的溫泉出露地點即近 130 處。我國地熱資源頗豐，根據 1980 年以前之探勘資料估算，全島淺層地熱 26 處（<3000 公尺深度）約有近 1GW（十億瓦）之發電潛能，其中大屯火山區之發電潛能即達 514MW，宜蘭清水（61MW），宜蘭土場（25MW），南投廬山（41MW），臺東知本（25MW），臺東金崙（48MW），此 6 處地熱發電潛能合計便達到 714MW。近年來國際上積極發展加強型地熱系統（EGS）技術，工研院綠能所也曾於 97 年評估大屯火山區深度 3000 ~ 5000 公尺的地熱發電潛能，以及蘭陽平原磁力異常帶的地熱發電潛能，估算結果分別為 12.6GW 與 5.6GW。101 年 12 月，經濟部能源局及工業技術研究院在宜蘭縣政府的協助下，建置完成「清水地熱 50kW 地熱增強型雙循環發電示範系統」，縣府也針對清水地熱區推動 1MW 發電整建營運移轉招商計畫。現階段政府持續進行的地熱計畫尚有：經濟部的「高效能地熱發電技術研發計畫」，著重在火山型地熱資源的探勘與開發；科技部的「第二期能源國家型科技計畫地熱分項計畫」，主要聚焦於蘭陽地區的深層地熱探勘及開發。

第二節 臺灣再生能源發展政策

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

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

風力發電則以「先優良後次級、先陸域後離岸、先示範後區塊」為推動策略，預計 119 年離岸風力發電裝置容量將由 3,000MW 提高至 4,000MW。為達成上述目標，政府將採行加速區塊開發作業；協助融資風險評估；加速自主設置能量等作為。

經濟部能源局指出，為加速再生能源發展，業已提出「三個再生」政策目標，除積極發展太陽光電與風力發電外，亦將積極提升我國地熱發電規模，規劃提前於 109 年達成 100MW 的設置目標 (原規劃 66MW)。

除《再生能源發展條例》明文規範自民國 89 年起 20 年內，再生能源發電容量新增 6,500~10,000MW 的目標外，我國於民國 100 年 11 月 3 日宣布「確保核安、穩健減核、打造低碳綠能環境、逐步邁向非核家園」新能源發展願景，預計再生能源發電裝置容量目標至民國 119 年 (2030 年) 可達 13,750MW，相關各類再生能源分年目標與獎勵措施如表 4-6~表 4-9 所示。

表 4-6 臺灣再生能源設置分年目標

再生能源類別		2012	2015	2020	2025	2030
太陽光電		222	847	2,120	4,100	6,200
風力發電	陸域	571	814	1,200	1,200	1,200
	離岸	0	15	320	1,520	3,000
生質能		740	745	768	813	950
水力		2,081	2,089	2,100	2,150	2,200
地熱能		0	4	66	150	200
累計		3,614	4,514	6,574	9,933	13,750
						單位：MW

(資料來源：

http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW_WEBPAGE/webpage/book/book04.pdf)

表 4-7 臺灣再生能源發展目標規劃

推廣階段 推廣項目		2010			2020		
		推廣目標			推廣目標		
		累計裝置容量	累計年產量 MKLOE/y	年產量占 比(%)	累計裝置容量	累計年產量 MKLOE/y	年產量占 比(%)
太陽能熱水器		310 萬 m ²	0.203	4.67	599 萬 m ²	0.326	4.36
太陽光電		55MW	0.021	0.48	1200MW	0.455	6.08
風能		230MW	0.142	3.27	530MW	0.327	4.37
慣常水力	小水力	207MW	0.177	4.08	322MW	0.275	3.68
	大水力	2403.5MW	1.967	45.29	2972.4MW	2.437	32.57
地熱		42MW	0.072	1.66	130MW	0.224	2.99
廢棄物	垃圾焚化發電	535MW	0.95	21.87	626MW	1.112	14.86
	沼氣發電	35MW	0.062	1.43	43MW	0.076	1.02
	*其他發電	126MW	0.229	5.27	747MW	1.337	17.87
	+熱利用	104× 10 ⁴ t/y(125MW)	0.462	10.64	121× 10 ⁴ t/y(145MW)	0.601	8.03
生質汽柴油		10×10 ⁴ kl/y	0.058	1.34	54×10 ⁴ kl/y	0.312	4.17
合計		-	4.343	100	-	7.482	100
			[2.376]			[5.045]	

(資料來源：http://www.ecct.org.tw/print/45_2.htm#a3)

表 4-8 各項再生能源階段性重點作法之規劃

產品 / 技術	2001~2004 年	2005~2010 年	2011~2020 年	
太陽熱能	獎勵推廣	普及宣導		
太陽光電	加強 R/D 獎勵示範及扶植並促進產業投入	規定發電業設置配比義務並獎勵示範推廣	規定發電業設置配比義務作推廣	普及宣導
風能	獎勵示範	規定發電業設置配比義務作推廣		
水力	優惠收購電價，獎勵推廣	俟電業法修正案通過，規定發電業之再生能源發電配比義務作推廣		
地熱	1. 協助推動地熱發電多目標利用計畫			
	2. 俟電業法修正案通過，規定發電業之再生能源發電配比義務作推廣			
沼氣發電	獎勵示範	電費獎勵推廣	普及宣導	
沼氣燃燒	獎勵示範	獎勵推廣	普及宣導	
垃圾焚化發電	繼續獎勵推廣			
廢棄物氣化發電	R/D 及獎勵示範	電費獎勵推廣		
廢棄物熱利用	R/D 及獎勵示範	獎勵推廣		
酒精汽油 / 生質柴油	加強 R/D 及獎勵示範		獎勵推廣	
生質物氣化發電	列入長程 R/D		獎勵示範與推廣	
生物製氣	列入長程 R/D		獎勵示範與推廣	
海洋溫差發電	待技術釐清後再考量			

(資料來源：http://www.ecct.org.tw/print/45_2.htm#a3)

表 4-9 臺灣再生能源獎勵補助措施一覽表

獎勵措施		補助方式及標準			占設置成本比例	補助對象
設備補助	太陽能熱水系統推廣獎勵辦法	按其所購置之集熱器種類及有效集熱面積予以補助 (平方公尺)			15-20%	1. 用戶(中華民國國民或法人)購置合格產品。 2. 以新品為限。
	(89.01.26 發布)		本島	離島		
		1. 面蓋式平板集熱器：	1,500 元	3,000 元		
		2. 真空管式集熱器：	1,500 元	3,000 元		

我國近零能源建築設計與技術可行性研究

		3. 無面蓋 平板集熱 器：	1,000 元	2,500 元		
		4. 其他型 式之集熱 器：	本、離島由主管機關核 定			
	風力發電示範 系統設置補助 辦法 (89.03.22 發 布)	每 kW 之補助金額：<1.6 萬元		<50%	中華民國國民或 法人於本辦法施 行後在臺灣及離 島地區新設或擴 增示範系統，且 未曾獲得補助 者。	
	太陽光電發電 示範系統設置 補助辦法 (89.05.31 發 布)	每峰 kW 之補助金額：		<50%	中華民國國民或 法人於本辦法施 行後在臺灣及離 島地區新設或擴 增示範系統，且 未曾獲得補助 者。	
1. 併聯型：<11 萬元						
2. 獨立型：<15 萬元						
財稅獎勵	促進產業升級 條例 (88.12.31 修 正發布)	1. 抵減營利事業所得稅 10-20%		—	以公司為限	
		2. 二年加速折舊				
	公司購置節約 能源或利用新 及淨潔能源設 備或技術適用 投資抵減辦法 (89.07.19 修 正發布)	3. 低利貸款：按交通銀行基本放款 利率減 2.125%-2.25%計息				· 購置利用太陽 能熱水器、風力 發電、太陽光 電、小水力發 電、地熱利用、 生質與廢棄物能 利用等設備均得 適用。
購電費率	1. 以汽電共生裝置容量 20%以上之購 電費率(即迴避成本)收購		—	1. 小水力、地 熱、風力、太陽 光電及垃圾焚化 發電系統。		

	2. 以汽電共生購電費率收購(環保署另提供沼氣發電獎勵金每度 0.3~0.5 元)		2. 垃圾掩埋場沼氣發電系統。
--	---	--	-----------------

(資料來源：http://www.ecct.org.tw/print/45_2.htm#a3)

此外，政府每年綜合考量各類別再生能源發電設備之平均裝置成本、運轉年限、運轉維護費、年發電量及相關因素，依再生能源類別分別訂定再生能源發電設備電能躉購費率(表 4-10~表 4-11)。同時為鼓勵與推廣無污染之綠色能源，提升再生能源設置者投資意願，躉購費率不得低於國內電業化石燃料發電平均成本。

表 4-10 再生能源發電設備電能躉購費率(太陽光電除外)

再生能源	分類	裝置容量級距	電能躉購費率(元/度)					
			102 年	103 年	104 年			
風力	陸域	1 瓩以上不及 10 瓩	7.3562	8.1735	8.4071			
		10 瓩以上*	2.6258	2.6338	<table border="1"> <tr> <td>加裝 LVRT</td> <td>2.7229</td> </tr> <tr> <td>未加裝 LVRT</td> <td>2.6900</td> </tr> </table>	加裝 LVRT	2.7229	未加裝 LVRT
	加裝 LVRT	2.7229						
	未加裝 LVRT	2.6900						
離岸	無區分	無區分	5.5626	5.6076	固定 20 年躉購費率	5.7405		
					<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">階梯式躉購費率</td> <td>前 10 年</td> <td>7.1085</td> </tr> <tr> <td>後 10 年</td> <td>3.4586</td> </tr> </table>	階梯式躉購費率	前 10 年	7.1085
階梯式躉購費率	前 10 年	7.1085						
	後 10 年	3.4586						
川流式水力	無區分	無區分	2.4652	2.5053	2.6338			
地熱能	無區分	無區分	4.8039	4.9315	4.9315			
生質能	無厭氧消化設備	無區分	2.4652	2.5053	2.6338			
	有厭氧消化設備		2.8014	3.2511	3.3802			
廢棄物	無區分	無區分	2.8240	2.8240	2.8240			
其他	無區分	無區分	2.4652	2.5053	2.6338			

(資料來源：<http://www.taipower.com.tw>)

表 4-11 太陽光電躉購費率

再生能源	分類	裝置容量級距	電能躉購費率 (元/度)	
			104 年 (1-6 月)	104 年 (7-12 月)
太陽光電	屋頂型	1 瓩以上不及 20 瓩	6.8633	6.6721
		20 瓩以上不及 100 瓩	5.7378	5.5760
		100 瓩以上不及 500 瓩	5.3627	5.2155
		500 瓩以上	5.1935	5.0537
	地面型	1 瓩以上	4.8845	4.7521

(資料來源：<http://www.taipower.com.tw>)

第五章 臺灣近零能源建築之量化評估

第一節 國外近零能源建築之目標與量化設定

一、日本

依據平成 21 年（2009 年）11 月所發表的《ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について》報告指出，在日本要達成 ZEB 的目標是相當具有挑戰性的，但是考量未來 20 年的建築技術大幅進步，ZEB 還是有可能實現的（圖 5-1）。以中低層的辦公類建築進行試算，2030 年時的建築技術已可達成目標。因為空調與照明技術的進步，節能方式的改進，太陽能光電板的建材化，均使得 ZEB 的可行性大增。事實上若以太陽能光電板與建築牆面整合的利用方式為例，在 2025 年時，有大半的建築物可以達成 ZEB 的目標（圖 5-2）。

有關 ZEB 執行可能性的量化評估設定說明如後：假設每層樓樓地板面積 5000m^2 的辦公大樓，每年的初級能源消耗約為 $2000\text{ MJ/M}^2\cdot\text{yr}$ 。又假設在 2030 年時，建築節能技術進步，並且 Cool Earth 的革新技術計畫實施的情形下，ZEB 技術的應用與設定如下，且達成 ZEB 的各種節約能源技術和節約能源量之關係如圖 5-1 所示：

- 被動式設計：高隔熱、遮陽設計
- 自然能源的利用：外氣冷房、夜間外氣導入、外氣控制室內 CO_2 濃度
- 高效率熱源：比現狀高 2 成效率的熱源的開發（現狀離心式冷凍機 COP6.4 提升至 8.0）
- 低耗能的輸送方式：變頻器的活用、高效率馬達、高效率泵、高效率風機
- 高效率照明：現狀電力消費 1/3 的高效率照明燈具的開發、照度設定與調光開關
- 低耗能 OA 機器：現在電力消耗量 1/2 的伺服器，1/12 的 PC

- 其他的電力消耗：現在電力消耗量 1/3 防犯用、防災用機器、待機電力機器
- 太陽能發電：與現況相比屋頂面積 2/3 、2 倍轉換效率的光電板設置
- 以上是以 3 層建築以下的低層大樓進行估算，但 10 層左右規模的建築的一次能源消耗也能降為現況的 2 成左右。

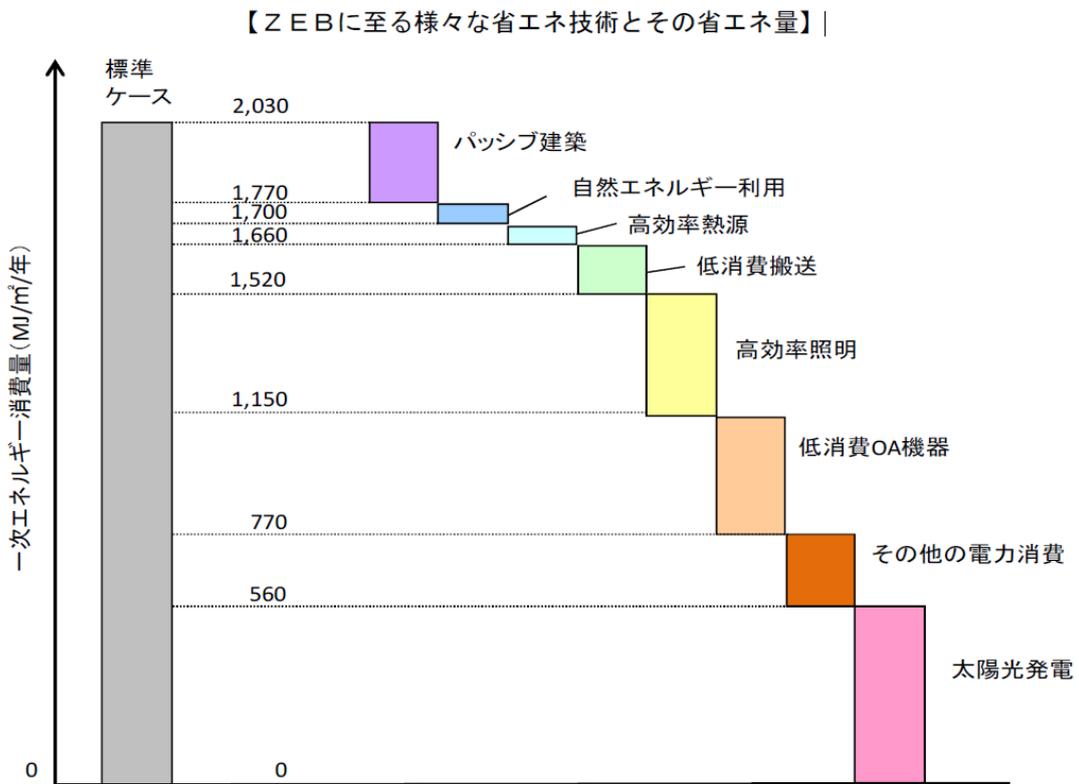


圖 5-1 達成 ZEB 的各種節約能源技術和節約能源量之關係 (日本)

(資料來源：ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) の実現と展開について，2009)

此外，日本政府也對於節能的必要投資額進行試算。首先有以下假設情境：

1. 平均建築物的生命週期為 40 年，既有建築物每 20 年進行一次大規模整建。每年全國約有 2.5% 的建築樓地板面積為新建，有 2.5% 為既有建築的更新整建。

2. 自 2011 年起，新建建築的初級能源消耗相較於既有建築物減少 20%。所有的新建建築物在 2030 年均能達成 ZEB 的目標（圖 5-2）。
3. 自 2011 年起，既有建築更新整建後，其初級能源之消耗平均應有 10% 的折減。既有建築物經更新整建後，在 2030 年時其初級能源的消耗量應為目前的一半（圖 5-2）。
4. 新建與既有建築物每年均有 1% 的節能效益。
5. 建築樓地板面積從 2009 年的 18 億 m^2 至 2020 年時再增加 1 億 m^2 。

經由上述的假設，可推得 2030 年時，新建與既有建築合計約有 51% 的節能效益。而新建與既有建築的節能設備或設計技術的額外投資，分別以 7000 日圓/ m^2 及 10000 m^2 假設，又假設 2011~2020 年間，每年約有 5500 萬 m^2 的新建建築與 4500 萬 m^2 的既有建築，2020~2030 年間每年分別有 4500 萬 m^2 的新建與既有建築，則在「不考慮物價上漲」的前提下，關於 ZEB 的節能投資額到了 2020 年時，每年約為 8300 億日圓；到了 2030 年時，每年的投資額約為 7600 億日圓。



圖 5-2 2030 年新建建築與既有建築的節能目標（日本）

（資料來源：ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について，2009）

總而言之，ZEB 的達成應從制訂規範、政策支援等誘導的中長期方式執行，同時強化各種地域、建築用途、建築規模進行對應的建築節能基準。尤其是 offsite 的再生能源技術實現的可能性評估，更是今後執行的重點。為實現 ZEB 規劃而採取的措施將包括：

- 1、將逐步提高建築物的節能標準，建立綜合評價機制，進而強制執行；

2、在財稅方面加強對於零能耗建築的開發和技術進步的支援力度；

3、積極宣傳節能建築，並完善旨在反映不動產價值的評分制度，改變國民的工作方式，提高國民的節能意識。

二、美國

美國能源部（DOE）與國家再生能源實驗室（NREL）於2007年12月針對全美4820棟既有建築若進行重建來進行ZEB實現可能性的評估，若以2025年的最高建築節能技術水準(Max Tech)來評估，約有62%的建築棟數、47%建築面積的建築能達成ZEB的目標（圖5-3）。所有建築類型中，以無空調的倉庫最有達成ZEB的潛力，其次為宗教性空間；但需要長時間空調及大量空調設備的空間，如健康照護醫療場所、實驗室、食物倉儲販售等處，則幾乎無法達成ZEB的目標。

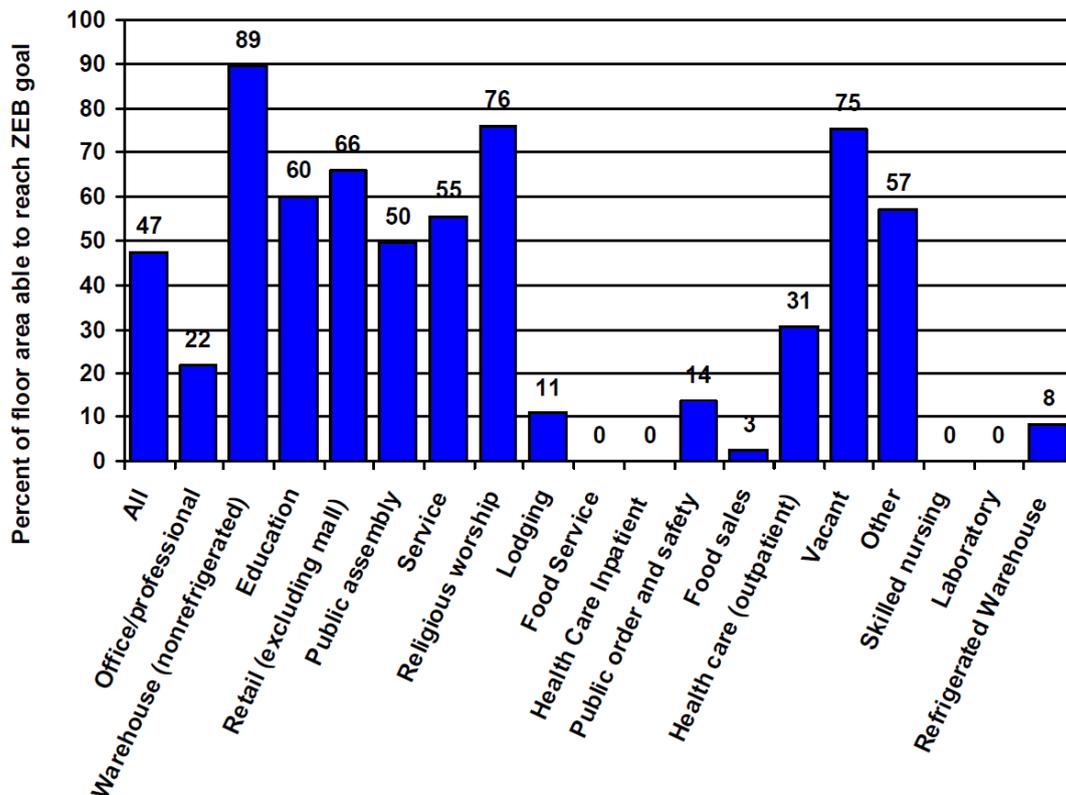


圖 5-3 2025 年各類既有建築物能達成 ZEB 目標的比例（美國）

（資料來源：ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について，2009）

所謂的「2025年最高建築節能技術水準 (Max Tech)」的設定概要為：

- 建築軀體的隔熱性能提升（比現行基準強化3成）
- 照明耗能50%削減：晝光照明等
- 插座消費的25%削減：高效率機器的採用
- 空調機器：熱泵的COP的30%提高，鍋爐效率的20%提高，空調動力的削減（根據空調種類17~20%），通風動力的回收率（根據換氣方式24~40%）
- 冷凍設備的30%效率提高
- 太陽光發電系統的引進：屋頂面積的50%，太陽能電池效率2倍

第二節 臺灣近零能源建築之量化評估

由前一節可得知，美國與日本的近零能源建築的目標估算，均是以2025年目標設定年，同時假設設備均有顯著的效率提升，尤其太陽能光電板之發電效率，需為現今的2倍以上，方能達成ZEB的設定目標，其餘的重要技術還包括LED的應用，建築外殼的遮陽隔熱設計、高效率的空調系統、熱泵的應用、以及建築控制系統的整合設計。在ZEB的達成難易度上，在2025年後，新建建築物均可達成，既有建築則約有50%可達成。

本研究的研究目的之一，在於利用適宜的建築節能設計技術，進行ZEB的可行性評估。考量到本研究的執行規模與期程有限，故先以「建築耗能密度 (Energy Use Intensity, EUI)」較低的住宅類建築作為評估對象，並利用低碳建築聯盟的「碳足跡評估法 (Building Carbon Footprint Evaluation Method 簡稱BCF法)」所設定的「標準虛擬情境」，將複雜的使用者、時程、設備透過能源動態模擬先行「標準化」，再予以計算各種建築節能技術下，建築耗能的折減情形。

一般在進行ZEB的計算時，均是採用初級能源做為基準值，而我國針對住宅的建築耗能相關研究，則多以EUI做為計算單位。至於初級能源與電力消費的換算，我國的電力消費是依等價熱值法 (Equivalent Caloricity)進行統計，換算生產

每度電所需初級能源投入(約 2,100 千卡/度)，惟依 IEA 統計定義，電力消費依其物理熱值(860 千卡/度)進行轉換，瓦斯(天然氣)消費則為 8900 kcal/m³。(經濟部能源局，2012)。由於電力與初級能源可進行換算，同時前述之「碳足跡評估法(BCF 法)」也是以電力的單位耗能密度 EUI (kWh/m²) 進行估算，本研究針對住宅類建築的近零能源的量化評估，也先以電力(kWh)及 EUI (kWh/m²) 做為量化單位。

一、住宅日常耗能的「標準情境」

建築使用階段的耗能是建築節能議題中最重要的部分，然而建築使用的行為是由一系列不確定的生活形態與社會活動變數所組成，因此實際的建築使用情境十分複雜且多變，但仍須有一套建築使用的「標準情境」作為耗能解析的依據。本研究採用「低碳建築聯盟」於碳足跡評估 BCF 法所定義的建築使用「標準情境」為參考依據。所謂的「標準情境」是假設一群標準化的人有標準化的生活作息，並於標準化的時程中，操作標準化的空調、照明、家電器具等設備，低碳建築聯盟依此設定了 43 種功能空間的「標準情境」作為碳排活動的解析標準，其實也適用於建築耗能的解析標準，一般住宅則歸類於「24 小時間歇空調型住宿類空間」。

「24 小時間歇空調型住宿類空間」的標準使用情境設定如下：使用時間為一年 365 日，每天 24 小時，空調時間為 4、5、9、10 月每日 4 小時，6、7、8 月每日 7 小時；照明時間為 365 日，每日 8 小時；其他電器使用時間為 365 日，每日 7 小時(表 5-1)。

至於臺灣目前住宅的耗能組成，空調耗能佔 20%，照明耗能佔 30%，其他家電設備耗能佔 50%，平均 EUI 為 50 (kWh/m².yr)。若進一步細分，在「空調耗能」的部分，外殼負荷約佔總空調耗能的 35%，外氣負荷約佔其 40%，室內負荷約佔其 25%(圖 5-4)。

表 5-1 「24 小時間歇空調型住宿類空間」的標準使用情境

空間類別	營運時間	全年使用時數 (hr/yr)		
		空調	照明	事務設備
24 小時間歇空調型住宿類空間	8760	1132	2920	2555

(資料來源：林憲德，建築碳足跡(二版)，詹氏書局，2015)

表 5-2 住宅加熱設備耗能一覽

項目	設備種類	每戶耗能量 電：kWh/yr 瓦斯：m ³ /yr	熱值係數	每戶熱值 (kcal)
烹飪設備	廚房電熱爐	1881.6 (kWh/yr)	860	1618176
	廚房 IH 爐	1045.3 (kWh/yr)	860	898958
	廚房瓦斯爐	202.0 (m ³ /yr)	8900	1797800
熱水設備	電熱水器	1378.6 (kWh/yr)	860	1185596
	熱泵熱水器	459.5 (kWh/yr)	860	395170
	瓦斯熱水器	149.9 (m ³ /yr)	8900	1334110

(資料來源：林憲德，建築碳足跡 (二版)，詹氏書局，2015)

表 5-3 24 小時間歇空調型住宿類空間之耗能密度標準

功能空間名稱	分項 EUI 基準 (kWh/m ² .yr)			EUI (kWh/m ² .yr)
	空調	照明	電器	
間歇空調透天住宅、 集合住宅 (含地上室 內公共空間)	10	18	22	50

(資料來源：林憲德，建築碳足跡 (二版)，詹氏書局，2015)

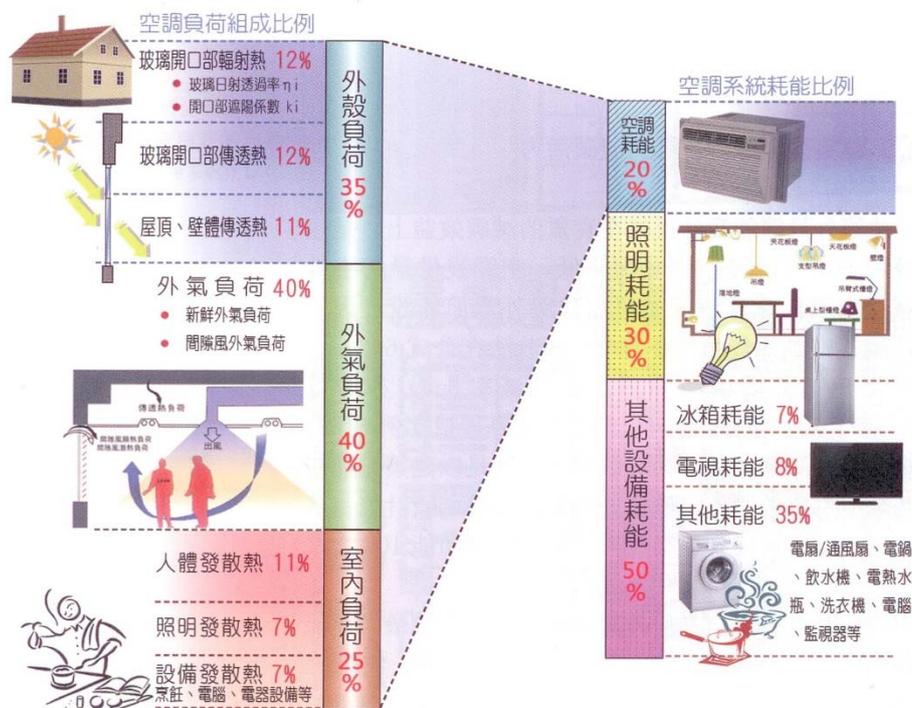


圖 5-4 住宅建築之空調、照明、家電耗能比例

(資料來源：林憲德，建築碳足跡 (二版)，詹氏書局，2015)

二、住宅外殼節能設計的空調節能潛力

ZEB 設計的第一步，乃是利用建築外殼的被動式節能設計，來降低室內空調熱負荷，進而減少空調耗能量，降低建築整體的耗能量。本研究參考低碳建築聯盟所提出的 BCF 法，若不換算成碳足跡 (kgCO₂e)，僅計算耗能量 (kWh/m².yr)，則個別空調系統空間的空調耗能推估如式 5-1 所示：

$$\text{個別空調系統年耗能 (kWh/m}^2\text{.yr)} = (\sum EU_{Iai} \times AFI_i) \times Vac \times Bac \times S_{EL} \dots\dots\dots (\text{式 5-1})$$

$$Bac = 1.0 - (2/d) \times (1.0 - EEV) \dots\dots\dots (\text{式 5-2})$$

其中：

EU_{Iai}：i 類空間之空調耗能密度 (kWh/m².yr)

AFI_i：i 類空間之室內樓地板面積 (m²)

Vac：自然通風空調耗能折減率

Bac：建築外殼節能空調耗能折減率

EEV：建築外殼節能效率 = 建築外殼耗能指標 EV / 建築外殼耗能基準 EV_c

S_{EL}：空調節能標章修正係數

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

表 5-4 空調節能標章修正係數 S_{EL}

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

(資料來源：林憲德，2015，建築碳足跡 (二版)，詹氏書局)

表 5-5 無風管空氣調節機能源效率分級基準表

機種	額定冷氣能力分類 (kW)	各等級基準(kWh/kWh)				
		5 級	4 級	3 級	2 級	1 級
氣冷式 單體式	2.2 以下	3.40 以上， 低於 3.64	3.64 以上， 低於 3.88	3.88 以上， 低於 4.11	4.11 以上， 低於 4.35	4.35 以上
	高於 2.2， 4.0 以下	3.45 以上， 低於 3.69	3.69 以上， 低於 3.93	3.93 以上， 低於 4.17	4.17 以上， 低於 4.42	
	高於 4.0， 7.1 以下	3.25 以上， 低於 3.48	3.48 以上， 低於 3.71	3.71 以上， 低於 3.93	3.93 以上， 低於 4.16	4.16 以上

分離式	高於 7.1 ， 71.0 以下	3.15 以上， 低於 3.37	3.37 以上， 低於 3.59	3.59 以上， 低於 3.81	3.81 以上， 低於 4.03	4.03 以上
	4.0 以下	3.90 以上， 低於 4.41	4.41 以上， 低於 4.91	4.91 以上， 低於 5.42	5.42 以上， 低於 5.93	5.93 以上
	高於 4.0 ， 7.1 以下	3.60 以上， 低於 4.03	4.03 以上， 低於 4.46	4.46 以上， 低於 4.90	4.90 以上， 低於 5.33	5.33 以上
	高於 7.1 ， 10.0 以下	3.45 以上， 低於 3.86	3.86 以上， 低於 4.28	4.28 以上， 低於 4.69	4.69 以上， 低於 5.11	5.11 以上
	高於 10.0 ， 71.0 以下	3.40 以上， 低於 3.81	3.81 以上， 低於 4.22	4.22 以上， 低於 4.62	4.62 以上， 低於 5.03	5.03 以上
水冷式	全機種	4.50 以上， 低於 4.77	4.77 以上， 低於 5.04	5.04 以上， 低於 5.31	5.31 以上， 低於 5.58	5.58 以上

(資料來源：中華民國經濟部法規

<http://www.moea.gov.tw/MNS/populace/home/Home.aspx>)

式 5-1 中所謂的「自然通風空調耗能折減率 V_{ac} 」是指建築物利用自然通風條件，使冬季、春季停止空調運轉以減少全年空調耗能的比。若 $V_{ac}=0.85$ ，意即因為自然通風可節約的空調能源為 15%；若 $V_{ac}=0.7$ ，意即因為自然通風可節約的空調能源為 30%。「自然通風空調耗能折減率 V_{ac} 」與「自然通風潛力 VP (Ventilation Potential)」有關，「自然通風潛力 VP 」之定義為「可自然通風居室面積」與「總居室面積」的比值，依據成大建築研究所的研究顯示，「自然通風潛力 VP 」約介於 0.9~0.3 之間。由於住宿類空間多在夜間空調，因此最大的空調節能效益設定為七成，故住宿類之「自然通風空調耗能折減率 V_{ac} 」之計算式如式 5-3 所示， V_{ac} 最大值為 1， VP 介於 0.9~0.7 之間：

$$V_{ac}=1.0-(VP-0.7)\times 0.75, \text{ 唯 } V_{ac}\leq 1.0\text{..... (式 5-3)}$$

參考式 5-1，本研究將分別從「被動式節能技術」與「主動式節能技術」來探討住宅空調節能的潛力，其中「被動式節能技術」的相關因子包括「建築短向平均深度 d 」、「自然通風潛力 VP 」與「建築外殼節能效率 EEV 」；「主動式節能技術」因子則包括「空調能源標示效率等級 S_{EL} 」。

(一) 被動式節能設計效益之探討

「被動式節能設計」是指設計手法利用天然元素來達成節能的目標，在建築外殼的設計中，常見的被動式設計包括利用建築外殼的座向、開口、遮陽、隔熱...等來獲取最大的通風性能或減少太陽熱得。依據式 5-1，與個別空調系統空間的空調耗能推估有關的「被動式設計」因子包括「建築外殼節能效率 EEV 」、「建築短向平

均深度 d 」、「自然通風空調耗能折減率 V_{ac} 」。由於 BCF 法鼓勵利用自然通風來降低空調耗能，在假設 EUI 與總樓地板面積均相同的情形下，本研究先假設在不採取任何外殼節能設計手法時，其節能情境基準值為： $VP=0.7$ ， $V_{ac}=1$ ， $EEV=1$ ， $S_{EL}=1$ 。

1. 「建築短向平均深度 d 」與空調節能效益

「建築短向平均深度 d 」與建築設計的平面規劃有關，若建築物平均深度過深，則不利於自然通風，尤其住宅類建築若能有效利用自然通風，則能大幅降低其空調耗能。表 5-6 與表 5-7 為「建築短向平均深度 d 」之節能效益比較， d 以最小值 5m 帶入，並以通風潛力深度極限值 15m 為最大值，則當「自然通風潛力 VP 」介於 0.7 ~ 0.9 之間時， $EEV=1$ 時（意即耗能等於建築技術規則建築外殼耗能基準的一般建築物），不同的 d 值不會改變空調節能效益，此時空調節能效益主要受到 VP 的影響而介於 0%~15% 之間（表 5-6）。當 $EEV=0.8$ 時（意即耗能符合綠建築日常節能指標耗能基準的一般建築物），空調節能效益會隨著深度 d 的增加而遞減，均以 $d=5m$ 時空調節能效益為最佳， $VP=0.7$ 時，最佳的空調的節能效益為 8%， $VP=0.8$ 時，最佳的空調的節能效益為 15%，而 $VP=0.9$ 時，最佳的空調的節能效益為 22%（表 5-7）。

表 5-6 「建築短向平均深度 d 」之空調節能效益比較（ $EEV=1$ ）

VP	V_{ac}	EEV	d	B_{ac}	S_{EL}	節能效益
0.7	1	1	5	1	1	0%
0.7	1	1	10	1	1	0%
0.7	1	1	15	1	1	0%
0.8	0.925	1	5	1	1	8%
0.8	0.925	1	10	1	1	8%
0.8	0.925	1	15	1	1	8%
0.9	0.85	1	5	1	1	15%
0.9	0.85	1	10	1	1	15%
0.9	0.85	1	15	1	1	15%

（資料來源：本研究整理）

表 5-7 「建築短向平均深度 d」之空調節能效益比較 (EEV=0.8)

VP	Vac	EEV	d	Bac	S _{EL}	節能效益
0.7	1	0.8	5	0.92	1	8%
0.7	1	0.8	10	0.96	1	4%
0.7	1	0.8	15	0.97	1	3%
0.8	0.925	0.8	5	0.92	1	15%
0.8	0.925	0.8	10	0.96	1	11%
0.8	0.925	0.8	15	0.97	1	10%
0.9	0.85	0.8	5	0.92	1	22%
0.9	0.85	0.8	10	0.96	1	18%
0.9	0.85	0.8	15	0.97	1	17%

(資料來源：本研究整理)

2. 「自然通風潛力 VP」與空調節能效益

由表 5-8 可知，當「自然通風潛力 VP」介於 0.7~0.9 時，「建築短向平均深度」設為較佳條件 (d=5m) 時，在不設定其他節能設計條件下，「自然通風空調耗能折減率 Vac」介於 1~0.85，意即住宅使用自然通風所能折減的空調耗能最大可達 15%。當 EEV=0.8 時，其空調節能效益可提升至 8%~22%。

表 5-8 「自然通風潛力 VP」之空調節能效益比較

VP	Vac	EEV	d	Bac	S _{EL}	節能效益
0.7	1	1	5	1	1	0%
0.8	0.925	1	5	1	1	8%
0.9	0.85	1	5	1	1	15%
0.7	1	0.8	5	0.92	1	8%
0.8	0.925	0.8	5	0.92	1	15%
0.9	0.85	0.8	5	0.92	1	22%

(資料來源：本研究整理)

3. 「建築外殼節能效率 EEV」與空調節能效益

「建築外殼節能效率 EEV」為「建築外殼耗能指標 EV」和「建築外殼耗能基準 EV_c」的比值，目前綠建築的外殼節能要求為 EEV 必須低於 0.8，亦即建築外殼節能之計算值必須優於現行法令合格基準值 20%，其日常節能指標方能合格。表 5-11 直接先以「自然通風潛力 VP」為 0.9 時 (自然通風潛力最佳之情形) 進行節

能潛力的檢討，並以不同的 EEV 檢視住宅日常使用空調耗能的節能效益，EEV=1 時，表示遵循節能法規之要求，此時空調節能效益為 15%；若 EEV=0.8，此時為綠建築日常指標通過門檻，也接近大部分綠建築的日常節能設計值，其空調節能效益增至 22%；若 EEV=0.6，約是現行綠建築設計外殼節能最佳的表現值，此時空調節能效益為 29%，約可折減 3 成的空調耗能（圖 5-5）。

表 5-9 「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較 (VP=0.7)

VP	Vac	EEV	d	Bac	S _{EL}	節能效益
0.7	1	1	5	1	1	0%
0.7	1	0.9	5	0.96	1	4%
0.7	1	0.8	5	0.92	1	8%
0.7	1	0.7	5	0.88	1	12%
0.7	1	0.6	5	0.84	1	16%

(資料來源：本研究整理)

表 5-10 「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較 (VP=0.8)

VP	Vac	EEV	d	Bac	S _{EL}	節能效益
0.8	0.925	1	5	1	1	8%
0.8	0.925	0.9	5	0.96	1	11%
0.8	0.925	0.8	5	0.92	1	15%
0.8	0.925	0.7	5	0.88	1	19%
0.8	0.925	0.6	5	0.84	1	22%

(資料來源：本研究整理)

表 5-11 「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較 (VP=0.9)

VP	Vac	EEV	d	Bac	S _{EL}	節能效益
0.9	0.85	1	5	1	1	15%
0.9	0.85	0.9	5	0.96	1	18%
0.9	0.85	0.8	5	0.92	1	22%
0.9	0.85	0.7	5	0.88	1	25%
0.9	0.85	0.6	5	0.84	1	29%

(資料來源：本研究整理)

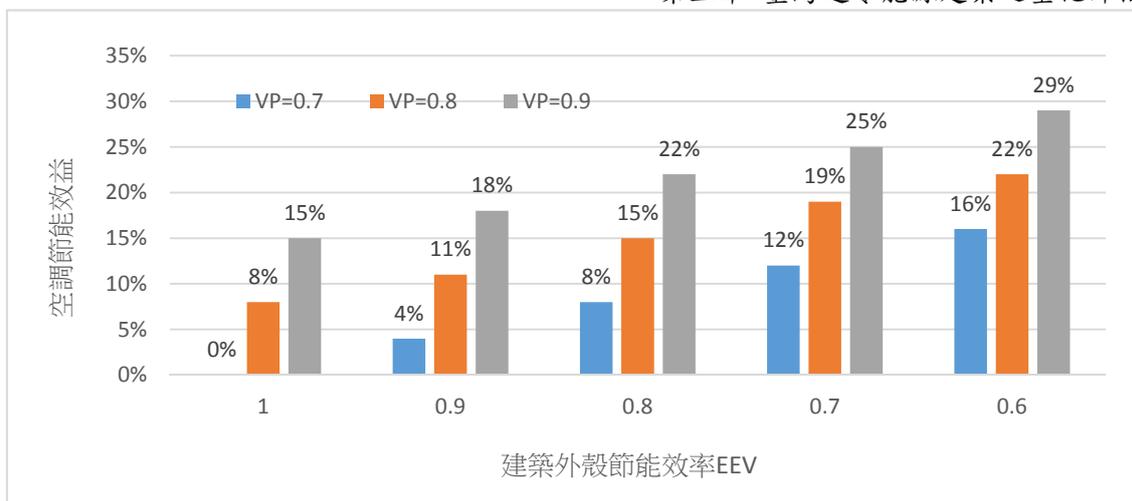


圖 5-5 「建築外殼節能效率 EEV」之空調節能效益比較

(資料來源：本研究繪製)

(二) 主動式節能設計效益之探討

1. 「空調能源標示效率等級 S_{EL} 」與空調節能效益

「主動式節能設計」指運用電力和機械系統來達成節能的設計方法，在式 5-2 中，與個別空調系統年耗能有關的「主動式設計」因子為「空調節能標章修正係數 S_{EL} 」，該係數是以經濟部能源局的「空調能源標示效率等級」5 等級來進行空調耗能折減。由表 5-13 可知，在優良的被動式節能設計前提下 ($VP=0.9$, $EEV=0.6$, $d=5$ 時)，使用不同的「空調能源標示效率等級」，空調節能效益最多可達 43%。

表 5-12 「空調能源效率等級 S_{EL} 」之空調節能效益比較 ($EEV=0.8$)

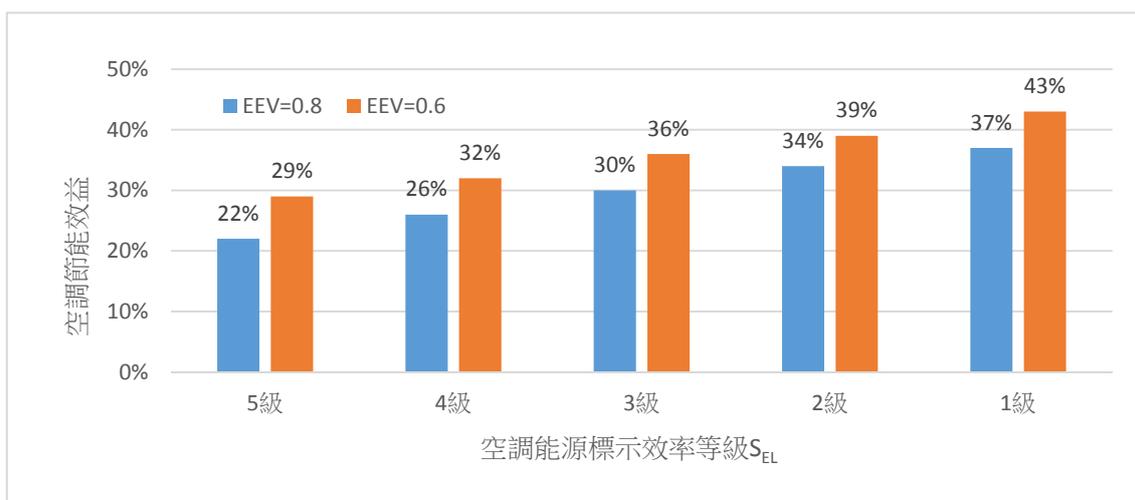
VP	Vac	EEV	d	Bac	S_{EL}	節能效益
0.9	0.85	0.8	5	0.84	1	22%
0.9	0.85	0.8	5	0.84	0.95	26%
0.9	0.85	0.8	5	0.84	0.90	30%
0.9	0.85	0.8	5	0.84	0.85	34%
0.9	0.85	0.8	5	0.84	0.80	37%

(資料來源：本研究整理)

表 5-13 「空調能源效率等級 S_{EL} 」之空調節能效益比較 (EEV=0.6)

VP	Vac	EEV	d	Bac	S_{EL}	節能效益
0.9	0.85	0.6	5	0.84	1	29%
0.9	0.85	0.6	5	0.84	0.95	32%
0.9	0.85	0.6	5	0.84	0.90	36%
0.9	0.85	0.6	5	0.84	0.85	39%
0.9	0.85	0.6	5	0.84	0.80	43%

(資料來源：本研究整理)

圖 5-6 「空調能源效率等級 S_{EL} 」之空調節能效益比較

(資料來源：本研究繪製)

(三) 整體空調節能效益之探討

住宅的空調耗能折減需由被動式設計與主動式設計著手，由式 5-1 及前述各項設計影響因子試算得知，優良的被動式設計加上優良的空調設備 (VP=0.9、EEV=0.6、d=5m、 S_{EL} =0.85 時)，在臺灣現有住宅設計條件下，可使住宅的日常使用空調達到 4 成的節能效益。因此，若住宅空調年耗能密度為 10 (kWh/m².yr)，則其最低年耗能為 10*0.6=6 (kWh/m².yr)。

三、住宅照明設計的節能潛力

影響住宅耗能的第二個因子為「照明」，本研究同樣參考低碳建築聯盟所提出的 BCF 法進行照明的耗能模擬評估，若不換算成碳足跡 (kgCO₂e)，僅計耗能量 EUI (kWh/m².yr)，則照明耗能之推估如式 5-4 所示：

$$\text{照明年耗能 (kWh/m}^2\text{.yr)} = (\sum EUI_i \times AFI_i) \times EL \dots\dots\dots (\text{式 5-4})$$

其中：

EUI_i：i 類空間之照明耗能密度 (kWh/m².yr)

AFI_i：i 類空間之室內樓地板面積 (m²)

EL： 照明系統節能效率，依內政部綠建築評估手冊 EEWB-BC 日常節能指標規定計算

BCF 法對於照明節能設計的潛力評估，是採用臺灣綠建築標章 EEWB 評估系統 2015 版中「日常節能指標」的 EL 指標計算（內政部建築研究所，2015）。EL 指標為節能燈具、照明方式、開關控制等綜合節能指標。照明節能首重在符合照明品質的前提下，避免超量設計，並輔助利用各種節能燈具及照明節能方式來達成節能的目標。EL 的計算方式如下列各式所示。

$$EL = IER \times IDR \times (1.0 - \beta_1 - \beta_2 - \beta_4) \leq 0.8 \dots\dots\dots (\text{式 5-5})$$

其中式 5-5 之 IER、IDR 變數依下二式計算之：

$$IER = (\sum n_i \times w_i \times B_i \times C_i \times D_i) / (\sum n_i \times w_i) \dots\dots\dots (\text{式 5-6})$$

$$IDR = (\sum n_i \times w_i \times A_j) / (\sum LPD_{c_j} \times A_j) \dots\dots\dots (\text{式 5-7})$$

其中：

EL：室內照明系統節能效率，無單位

IER：主要作業空間燈具效率係數，無單位

IDR：主要作業空間照明功率密度加權係數，無單位

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

w_i：單一作業空間空間燈具功率 (W)

B_i：安定器係數，查表 5-14

C_i：照明控制係數，查表 5-15

D_i：燈具效率係數，查表 5-16

β₁：20.0×再生能源節能比例 R_r，見表 5-17

β₂：建築能源管理系統效率，見表 5-17

β₄：如光導管光纖集光裝置等其他特殊採光照明節能優待係數，由申請者提出計算值，經認定後採用之。

A_j：單一作業空間空間樓地板面積 (m²)

LPD_{cj}：單一作業空間照明功率基準，如表 5-18。

表 5-14 安定器效率係數 Bi

燈具種類	安定器效率係數	備註
電子安定器	0.9	應附擬採用規格或功能圖說
高功率安定器	1.0	應附擬採用規格或功能圖說
普通安定器	1.1	

(資料來源：綠建築評估手冊 BC 版，2015)

表 5-15 照明控制係數 Ci

照明設備控制種類	照明控制係數	備註
最佳營運模式自動開關控制系統 (照明之 BEMS)	0.75	應附擬採用規格或功能圖說
晝光感知控制自動點滅控制功能	0.80	
採用低背景照度輔助以作業面檯燈照明的設計	0.85	
具有自動調光控制、紅外線控制照明點滅等功能	0.90	應附分區開關控制圖或規格或功能圖說
具良好之分區開關控制或自動點滅控制功能	0.95	
無自動控制功能	1.0	

(資料來源：綠建築評估手冊 BC 版，2015)

表 5-16 燈具效率係數 Di

燈具種類	燈具效率係數	備註
附防眩光鏡面隔柵，且具高反射鏡面塗裝反射板之燈具	0.8	應附擬採用規格或功能圖說
附防眩光隔柵，或具高反射塗裝反射板之燈具	0.9	應附擬採用規格或功能圖說
具一般反射板或裸露光源之燈具	1.0	
無玻璃罩筒狀嵌燈、外加玻璃罩、壓克力罩或裝飾燈罩的燈具	1.1	
外加玻璃罩之筒狀嵌燈、嵌入天花板內間接反射照明設計的燈具	1.2	

(資料來源：綠建築評估手冊 BC 版，2015)

表 5-17 節能設計 β_i (W/m^2)

節能技術	效率	效率標準值	送審設計圖說
再生能源	β_1	20.0×再生能源佔總耗能之比例 Rr	
建築能源管理系統（必須提出系統功能說明）	β_2	具監視、警報、運轉控制、計測等功能者： $b \times 0.03$	附系統流程及監測規範圖說
		具能源、效率、設施計測與控制管理功能者： $b \times 0.05$	附系統流程及監控管理規範圖說
		具電能管理、最佳化策略控制管理功能並執行空調系統測試調整平衡(TAB)及性能確認(Cx)者： $b \times 0.10$	附系統流程及監控管理規範圖說、依冷凍空調技師公會出版之「空調系統性能確認(Cx)及測試調整平衡(TAB)作業程序指針」提出空調系統測試調整平衡(TAB)計劃書(候選證書階段及標章階段)和成果報告書(標章階段)若有 Cx 者，需再提供 Cx 計畫書(候選證書及標章)及 Cx 成果報告書(標章階段)
其他	β_4	(提出計算證明自填)	附系統流程及節能技術規範圖說

(資料來源：綠建築評估手冊 BC 版，2015)

EL 之關鍵變數為燈具效率係數 IER 與照明功率係數 IDR，IER。IER 為實際總用電功率與設計總用電功率基準之比，IDR 為主要作業空間之設計照明功率密度與照明功率密度基準之比。唯 EL 指標太低亦可能有照度不足之疑慮，因此綠建築評估手冊 EEWH-BC 設定 $EL \leq 0.4$ 時在系統得分 RS43 均為 6.0，以避免盲目降低照明功率以損及照明健康之疑慮，故本研究也採用 EL 最低值為 0.4 進行評估。依照式 5-4 之推算，照明年耗能最低可為基準照明耗能之 4 成，所以若住宅照明年耗能密度為 $18 (kWh/m^2 \cdot yr)$ ，則其最低年耗電為 $18 \times 0.4 = 7.2 (kWh/m^2 \cdot yr)$ 。

表 5-18 主要作業空間照明功率密度基準 LPD_{cj} (W/ m²)

空間型態	LPD _{cj} (W/m ²)	空間型態	LPD _{cj} (W/m ²)
辦公室、行政空間、會議室、視聽室	15	辦公、百貨、商場、藝文、展覽等商業大廳、中庭天井、梯廳	20 (註 2)
教室、階梯教室	15	旅館、住宿類、醫療、宗教類、工廠、車站、航站、交通運輸設施等大廳、中庭天井、梯廳	15 (註 2)
實驗室、研究室(學校、機關)	12		
各式餐廳、宴會廳、喜宴場	20 (註 2)	藝文展覽空間、表演舞台區、講演台區	25 (註 2)
酒吧、俱樂部	12		
閱覽室、書庫	15	健身房、舞蹈室、室內球場、運動區、	20 (註 2)
旅館客房、醫院病房	10		
住宅、療養院住房	10	觀眾/座位區(會議中心、禮堂、教堂)	13
宿舍單元	10		
休息室/休閒室/會客室	10	觀眾/座位區(航站、車站、運輸站)	10
醫院醫療、門診、加護病房、護理站	15		
工廠實驗室、研究室	22	觀眾/座位區(體育館、運動競技場、電影院)	5
工廠作業區	20 (註 2)		
自動化設備區	16	精密製造區(精密機械，電子零件製造，印刷工廠及細之視力作業區如：裝配，檢查，試驗，篩選，設計，製圖等空間)	25
電影院(前廳、售票大廳)	20		
電影院(放映廳)	10	電腦電信機房	7
中央廚房、中央洗衣房	10	專用倉庫(含一般倉庫、冷凍冷藏)	7
		娛樂空間(電子遊樂場、KTV、網咖、撞球、酒吧、舞廳、卡拉OK等，含附屬空間、營業專用SPA & 三溫暖、溫泉澡堂等)	12

註 1：基準值包括屋頂牆面、立柱燈之固定式一般照明，但不包括活動式檯燈、局部投光、櫃檯櫥窗之照明
 註 2：該數據以樓高 1~2F 為主 (7m 以下)，樓高 3F 以上每增一層樓高 (3.5m) 可增加 20%
 註 3：不在表列空間不予評估

(資料來源：綠建築評估手冊 BC 版，2015)

四、住宅電器設備的節能潛力

所謂的電器設備指的是電腦、洗衣機等採用插頭之家庭電力設備，較特別的是，BCF 法對於熱水器、熱飲機、家用三溫暖等設備也視為家電設備，不納入熱水耗能計算之中。本研究參考低碳建築聯盟所提出的 BCF 法，若不換算成碳足跡 (kgCO₂e)，僅計電器設備耗能量 (kWh/m².yr)，則電器設備的耗能推估如式 5-8 所示：

$$\text{電器設備年耗能 (kWh/m}^2\text{.yr)} = (\sum EU_{i} e_{i} \times AFI_{i}) \times U_{ei} \dots\dots (\text{式 5-8})$$

其中：

EUI_{ei} ：i 類空間之電器耗能密度 ($kWh/m^2 \cdot yr$)

AFI_i ：i 類空間之室內樓地板面積 (m^2)

U_{ei} ：電氣設備使用管理效率，使用有效之夜間待機用電停機管理技術者 0.9

由於家電待機的耗電量約佔家庭總耗電量的一成左右，BCF 法對於使用夜間待機用電停機管理技術給予電器設備總耗能 10% 的優惠，因此若以式 5-8 來推估， U_{ei} 最小值為 0.9，若住宅電器設備年耗能密度為 22 ($kWh/m^2 \cdot yr$)，則其最低年耗能為 $22 \times 0.9 = 19.8$ ($kWh/m^2 \cdot yr$)。

五、住宅總節能潛力

依據前述分項評估，可知在目前的一般技術現況下，若住宅規劃設計均採用最佳的節能設計手法，則住宅之空調 EUI 可由 10 ($kWh/m^2 \cdot yr$) 降至 6 ($kWh/m^2 \cdot yr$)，照明 EUI 可由 18 ($kWh/m^2 \cdot yr$) 降至 7.2 ($kWh/m^2 \cdot yr$)，電器設備 EUI 可由 22 ($kWh/m^2 \cdot yr$) 降至 19.8 ($kWh/m^2 \cdot yr$)，總 EUI 可由 50 ($kWh/m^2 \cdot yr$) 降至 33 ($kWh/m^2 \cdot yr$)，最大節能效益可達 34% (表 5-19，圖 5-7)。

表 5-19 節能手法、住宅耗能密度與最大節能潛力

耗能密度	分項 EUI ($kWh/m^2 \cdot yr$)			總 EUI ($kWh/m^2 \cdot yr$)
	空調	照明	電器	
原標準值	10	18	22	50
採用最佳節能手法	6	7.2	19.8	33
最大節能潛力	40%	60%	10%	34%

(資料來源：本研究整理)

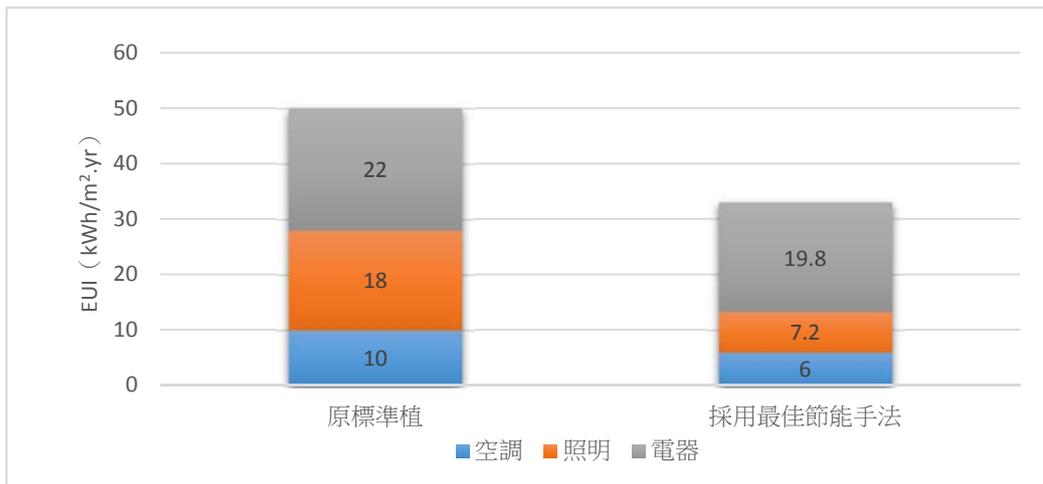


圖 5-7 住宅空調、照明、電器的最大節能潛力比較

(資料來源：本研究繪製)

六、住宅再生能源技術之替代潛力

最後一步計算建築的所使用的再生能源及其替代效率，雖然目前再生能源的種類不少，諸如太陽能光電、風力發電、小水力發電...等，但實際應用仍以太陽能光電為主，故此處的再生能源計算，也以太陽能光電進行估算。以「太陽能光電」為例，可依「臺灣日射量分布圖」(圖 5-8) 得出所在地之每日平均日射量 (kWh/m². day)，再乘以太陽能光電設置容量 (kW)、日數、使用年限及修正係數 0.8 (m²/ kWh)，即可得全年發電量設計值 (式 5-9)。

$$\text{太陽能光電板發電量 (kWh/年)} = \text{每日平均日射量 (kWh/m}^2\text{. day)} \times \text{修正係數 } 0.8 \text{ (m}^2\text{/ kWh)} \times \text{太陽能光電設置容量 (kW)} \times 365 \text{ (days)} \dots \text{ (式 5-9)}$$

與住宅耗能標準情境相同，若以單戶住宅、一戶 4 口為預設值，假設其住宅所需之樓地板面積為 100m²，在目前可行的一般被動式與主動式節能技術下，其 EUI 為 33 (kWh/m². yr)，故每年總耗電量為 3300 kWh。參考圖 5-8 與式 5-9 進行太陽能光電設備換算，1kW 的光電板於北部地區一年發電量約為 803 度 (= 2.75*0.8*1*365)，於中部地區一年發電量約為 949 度 (=3.25*0.8*1*365)，於南部地區一年發電量約為 1095 度 (=3.75*0.8*1*365)，目前架設 1kW 結晶矽光電板約需面積 10m²，故於北部地區約需設置至少 41 m² 的光電板，於中部地區約需設置至少 35m² 的光電板，於南部地區約需設置至少 30 m² 的光電板，若為 2 層樓的住宅，則約需留設 60%~80% 的屋頂面積設置太陽能光電板方能達成 ZEB 的目標。

目前架設 1kW 的太陽能光電約需耗費 8~13 萬元，若設置費用以 10 萬(元/kW)估計，以 104 年 7~12 月最新的太陽光電躉購費率 6.6721 (元/kWh) 來計算，則具體投資回收年限約為 14~19 年 (表 5-20)。

表 5-20 太陽能光電之替代潛力計算 (每戶面積 100 m²)

地點	每日平均日射量 (kWh/m ² .day)	單位容量年發電量 (kWh/kW)	總裝置容量 (kW)	設置面積 (m ²)	回收年限 (yr)
北部	2.75	803	4.1	41	約 19 年
中部	3.25	949	3.5	35	約 16 年
南部	3.75	1095	3.0	30	約 14 年

(資料來源：本研究整理)

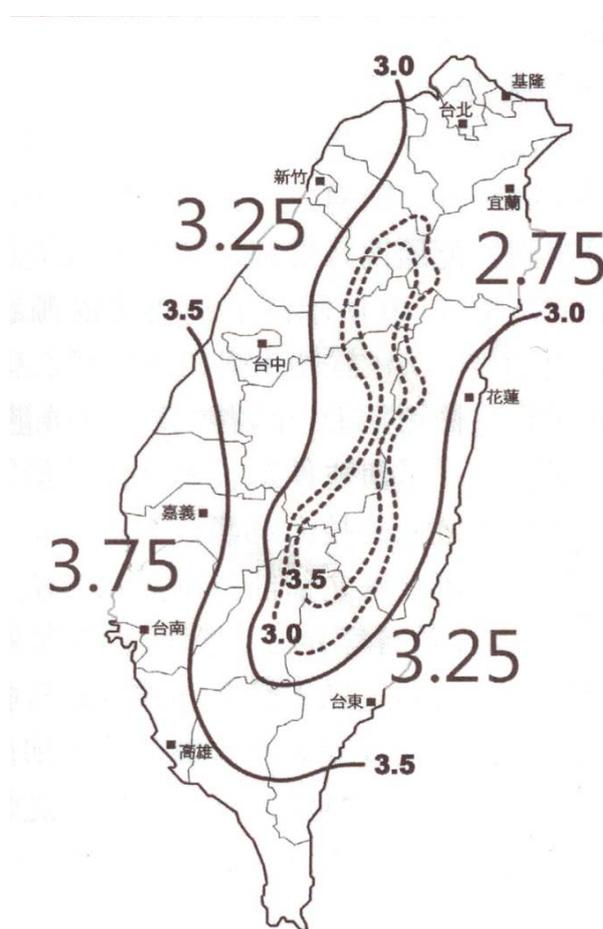


圖 5-8 臺灣日射量分布圖

(資料來源：林憲德，2015，建築碳足跡 (二版)，詹氏書局)

本研究參考行政院主計總處 104 年的統計資料，全國平均每戶建坪為 44.12 坪 (近 150 m²)，其 EUI 為 33 (kWh/m².yr) 時，每年總耗電量為 4950 kWh，則北部地區的單戶住宅需設置至少 62 m² 的光電板，中部地區需設置至少 52 m² 的光電

板，南部地區需設置至少 45 m²的光電板（表 5-21）。若該單戶住宅為 2 層樓，則約需留設 60%~80%的屋頂面積架設太陽能光電板；但若為 3 層樓，則隨著屋頂面積縮小，則除了利用全部的屋頂面積之外，不足之處勢必將利用到地面空地或立面空間，才能滿足 ZEB 的目標。

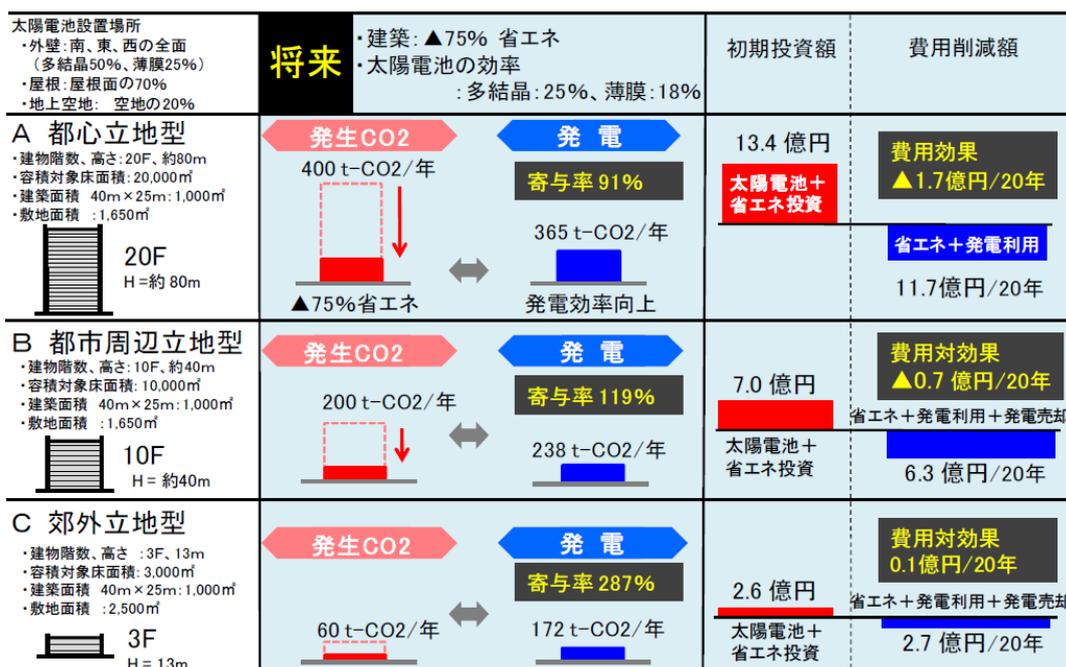
表 5-21 太陽能光電之替代潛力計算（每戶面積 150 m²）

地點	每日平均日射量 (kWh/m ² .day)	單位容量年發電量 (kWh/kW)	總裝置容量 (kW)	設置面積 (m ²)	回收年限 (yr)
北部	2.75	803	6.2	62	約 19 年
中部	3.25	949	5.2	52	約 16 年
南部	3.75	1095	4.5	45	約 14 年

（資料來源：本研究整理）

除了建築本身的傑出節能設計使其低耗能之外，再生能源之應用是 ZEB 能否成功之重要關鍵。從上述之試算結果可知，目前在臺灣若以一般規模的單戶住宅（樓地板面積 150m²）來進行 ZEB 設計，在不計設備投資成本的前提下，利用屋頂及部分基地內空地設置太陽能光電板，有達成 ZEB 的潛力。但實際的居住模式其實複雜許多，尤其在大型都會區，櫛比鱗次的高密度集合住宅居住型態，戶數多且屋頂可用來設置太陽能光電板的面積相當有限，因此僅利用屋頂設置太陽能光電板來達成 ZEB 的平衡是幾乎不可行的狀態。

在不考慮場外 (off-site) 再生能源的供給前提下，考慮再生能源全由場內 (on-site) 供給，可參考同樣是高密度居住型態的日本對於 ZEB 可行性的太陽能光電利用試算之設定（圖 5-9），除了假設 2025 年時太陽能電池效率為現今的 2 倍之外，還可發現其利用「建築整合型態陽光電系統 BIPV (Building Integrated Photo Voltaic)」的概念，把太陽能電池應用到建築物的圍護結構如屋頂、天窗、外觀、門窗等部分的建築材料之中，設定至少在 70%的屋頂面積、20%的空地面積設置太陽能光電板，以及南向、東向、西向立面全面設置 50%的多晶矽與 25%的薄膜太陽能電池，並將多晶矽電池的轉換效率假設為 25%，將薄膜太陽能電池的轉換效率假設為 18%，則可接近 ZEB 的目標。



* 2025年太陽電池コスト: 屋上&地上: 20万円/kW、窓&壁: 7~12万円/㎡、電力単価: 15円/kWhとそれぞれ想定。

出所) 森本委員プレゼン資料より事務局作成

圖 5-9 太陽能光電的積極利用與實現 ZEB 的可能性評估 (2025 年)

(日本)

(資料來源: ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) の実現と展開について, 2009)

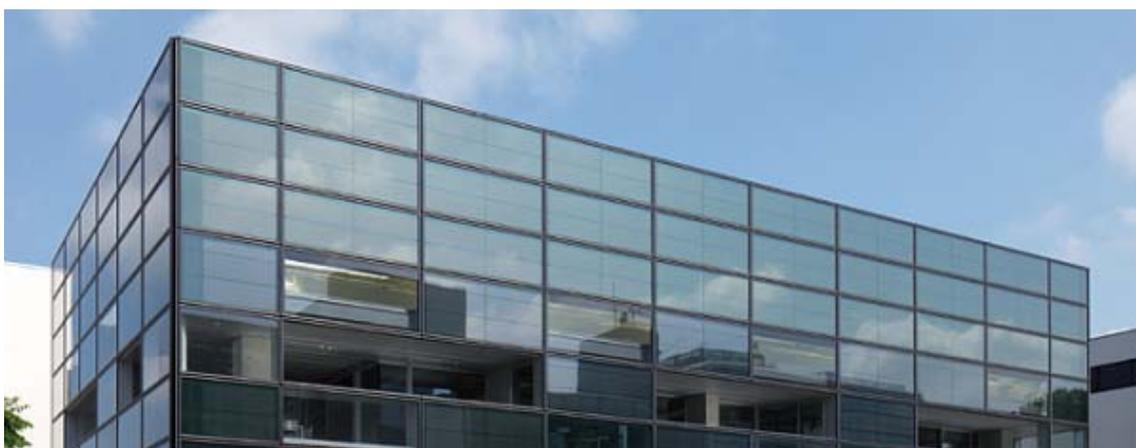


圖 5-10 薄膜太陽能電池整合 BIPV 設計

(資料來源: 大成建設株式會社網站 <http://www.taisei.co.jp/>)

另一方面，太陽能電池最重要的參數是轉換效率，目前在實驗室所研發的矽基太陽能電池中，單晶矽電池效率為 25.0%，多晶矽電池效率為 20.4%，CIGS 薄膜電池效率達 19.8%，CdTe 薄膜電池效率達 19.6%，非晶矽（無定形矽）薄膜電池的效率為 10.1% (Green et. al, 2014)，太陽能電池的轉換效率已大幅提昇，尤其 CIGS 薄膜電池的轉換效率幾乎已與傳統常用的單晶矽與多晶矽太陽能電池接近，加上便於與建築立面整合，可望成為新一代太陽能電池的主流產品之一。故複數戶數以上的集合住宅，期待未來在導入更新的 BIPV 設計、與技術發展更高轉換效率的太陽能電池後，也有成為 ZEB 的潛力。

第三節 臺灣近零能源建築設計與推動策略之探討

從前一節的近零能源建築量化評估，以及第三章近零能源住宅的案例可知，小規模的單戶住宅因耗能單純，加上有充足的屋頂面積及空地面積，因此在不考慮任何設備成本的情形下，均有達成 ZEB 的潛力。然而臺灣地狹人稠，尤其居住型態大多為中高樓層的集合住宅，要利用 on-site 的再生能源來達成 ZEB 的平衡有相當大的限制。因此必須先儘可能的提升住宅本身的節能效率，其次利用太陽能做為主要再生能源進行彌補。

就目前的技術條件而言，臺灣住宅最大節能效益可達 34%，但參考國外 2025 年的 ZEB 試算條件，未來的空調與照明節能技術仍會持續進步，加上其他能源的開發利用、BIPV 的整合、雲端控制技術的應用，未來即使是中高層的建築，也有達成 ZEB 的可能。

一、ZEB 的設計策略

1. 節能設計技術的應用

欲達成 ZEB 的目標，除了運用各種節能技術之外，更重要的是被動式設計和主動式設計的整合，善用光和風等的自然能源，減少設備的能源消耗，系統化的整合設計至為重要。ZEB 節能設計的對策包括 3 個層面：

- (1) 耗能減量對策：利用建築規劃設計的方式，在基地選址上對應當地氣候特色、運用各種被動式的節能設計手法來降低建築外殼負荷、降低外氣負荷、降低室內熱負荷
- (2) 機器設備對策：空調、熱源輸送、照明設備的高效率化
- (3) 能源使用對策：採用低碳排的能源、利用再生能源、開發未利用之能源

2. 建築控制管理系統

ZEB 必須對建築物的耗能負荷進行精準的動態控制，並且要能維持建築節能與環境舒適性的平衡。

- (1) 設備的整合：空調+照明+IT 設備機器
- (2) 設備與使用者的整合：無人狀態時的空調、照明控制、感知設備的活用
- (3) 建築負荷追蹤控制系統：紀錄各種機器的最高效率、能源使用情形、未來氣象對應之空調模式控制...等
- (4) 各個建築物間的系統整合

3. 建築能源的活用

(1) 既有能源的活用

臺灣的地狹人稠，建築多為高密度且面積狹小的中高層大樓，因此未來若要全面的推動 ZEB 政策，有必要發展連結複數建築群的能源網絡，使能源設施共有化，讓同一區域內的建築物能共用同一套空調系統，例如日本橫濱市著名的「3 施設 ESCO 事業」就整合體育中心、療養中心與醫療中心 3 棟建築物的空調冷暖房系統，估計約可減少 20%~30% 的耗能（圖 5-11）。

此外，法國巴黎將廢棄物燃燒的熱能，透過城市的蒸氣網路進行再利用，也是將城市未利用能源最大化的借鏡。未來在能源利用的面向上，還需包括降低能源費用、區域開發的定位、省能效率評估方法的確立等，才能提升整體能源的運用效率。

(2) 未利用能源的活用

熱泵是吸收熱，並將其轉換成熱能的裝置，除了吸收大氣中的熱能，還能活用目前尚未開發利用的熱能，如地中熱、其他工廠排放廢熱等，即能發揮更多效益。

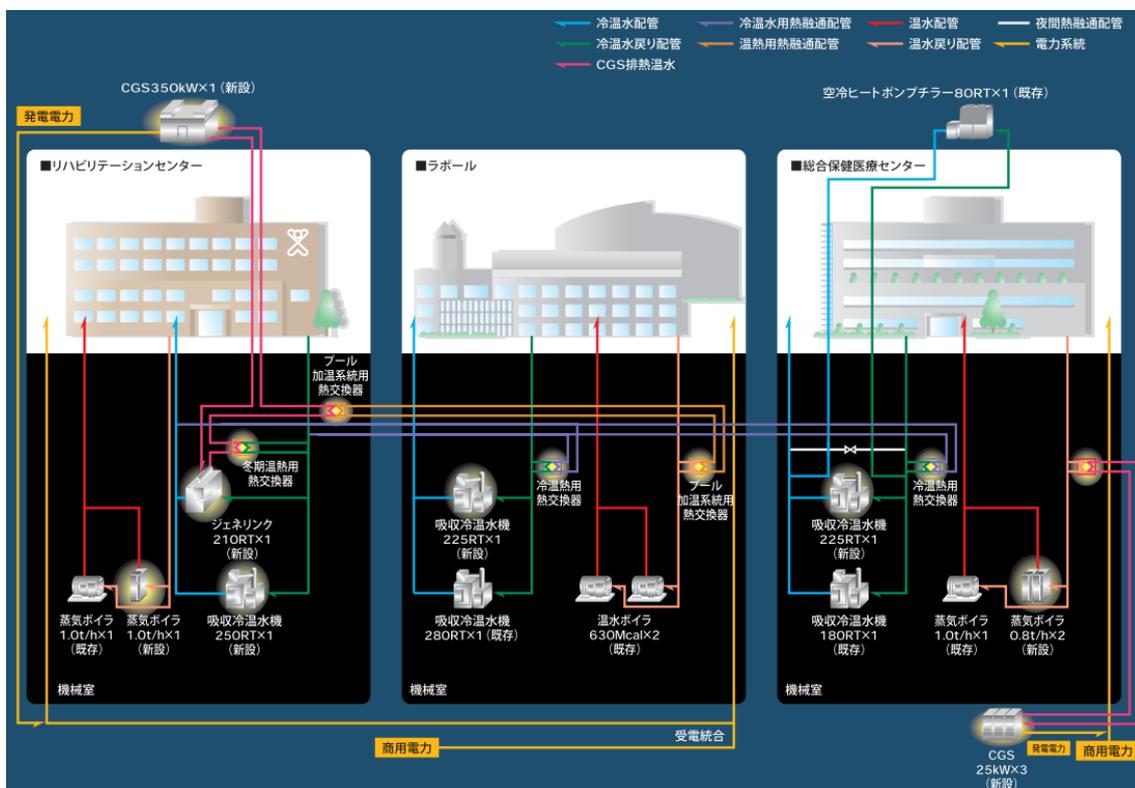


圖 5-11 橫濱市 3 施設 ESCO 事業空調系統整合案例

(資料來源：<http://www.energy-advance.co.jp/case/view/10>)

(3) 再生能源的使用限制條件考量

前述有關再生能源的替代率與 ZEB 的達成潛力計算固然有其依據，但實際在規劃設計上，也必須考慮到再生能源的使用限制條件。以太陽能光電為例，臺灣北中南三區的日射量不同，故設置容量也有所不同，而在「建築整合型態陽光電系統 BIPV (Building Integrated Photo Voltaic)」的設計中，太陽能光電板的設置必須考慮方位座向、傾斜角度、鄰房及鄰近障礙物的相對位置，否則一旦產生屏蔽，將會降低光電板發電效率，故建議仍以「獨立型建築」及「屋頂面」做為優先設置考量，而後再思考立面整合太陽能光電設計的可行性。尤其薄膜型太陽能電池運用於建築立面時，會降低可見光的透過率，不利於室內採光，也不便開窗，因此也未必全然適用於對於通風採光要求較高的住宅類建築。其他再生能源如風力發電、地

熱利用等，也都有基地條件的限制性，必須詳加考量，才能發揮太陽能光電發電的最大潛力。

4. 建築能源管理系統

透過建築能源管理系統，能夠將複雜的數據進行標準化與診斷分析，來檢視 ZEB 的效能與成本。同時若能將建築能源數據標準化，不僅能整合各項設備機器間的介面，也有便於複數建築物的群組管理。

二、ZEB 的政策推動策略

1. 強化建築節能基準

我國目前的建築節能法令訂於《建築技術規則》第十七章，主要針對建築的外殼耗能進行規範，但外殼耗能基準制訂迄今尚未有所調整。推動 ZEB 政策的第一步，應是提升現行的建築節能法規基準，並制訂中長期的建築節能目標，逐步地提升法規門檻，並使一定規模以上的新建建築物能適用之。

2. 建立建築能源標示制度

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

3. 執行長期的建築耗能盤查

不同類型建築間的耗能差異其實頗大，因此應就不同的建築使用類型訂立不同的耗能基準，方能反映真實的耗能情形。再以美國的 C B E C S (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) 為例，其定期收集商業建築的耗能資訊，包括建築特點、能源消耗和支出，成為許多能源政策推行的依據，反觀臺灣的建築耗能資料調查困難，欠缺詳細的建築能源基本普查資料，其實不利相關能源政策的

推動。建議運用政府公權力進行各類建築的長期的建築耗能盤查，建立詳實完備的建築耗能基礎資料庫，有利於我國未來推動建築能源政策的依據。

4. 獎勵 ZEB 設計

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

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

5. 擬定 ZEB 推動目標與執行期程

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

第六章 結論與建議

第一節 結論

綜合本文的研究成果與分析，有以下之結論：

1. 本研究蒐集彙整國際間（歐盟、美國、日本...等）對於近零能源建築政策的推動方針、分期目標與執行策略，做為我國日後推動近零能源政策參考。ZEB 以初級能源為計算基準，各國推動近零能源建築的時間表不一，但大多以每 5 年作為政策目標的階段性檢視。國際間重要的 nZEB 政策執行時間點為：2020 年、2025 年、2030 年。
2. 本研究蒐集 10 個位於日本、韓國、新加坡、馬來西亞、香港、印度等地的近零能源案例，做為臺灣近零能源建築技術的借鏡。「被動式設計」中，較常使用的包括「晝光利用」、「自然通風」、「建築外殼節能設計」，「主動式設計」中，以空調（HVAC）部分的設計手法最為重要，「再生能源」中，太陽能光電與太陽能熱水最常被應用，同時也均使用 HEMS、EMS 等智慧化能源管理系統。案例技術因應亞洲地區夏季較炎熱的氣候特性，故節能技術適用性高。
3. 本研究蒐集臺灣再生能源技術應用現況，以及臺灣目前的再生能源相關政策，包括太陽能、風能、水力、生質能、地熱與海洋能...等，以進一步評估臺灣再生能源應用於 ZEB 之潛力。由資料得知，現階段推動再生能源主要以風力發電及太陽光電為主，陸域優良風場大都開發殆盡，風力發電將朝向離岸發展，現以太陽光發電為最具發展潛力的再生能源。
4. 本研究利用「低碳建築聯盟」的建築碳足跡評估 BCF 法，在不將耗能量換算為 CO₂ 排放當量的前提下，在「住宅標準情境」中透過操作建築外殼設計、通風、照明、家電設備等因子，計算住宅在各種節能手法下的「建築用電密度 EUI」，評估其 ZEB 之可行性，結果得出在現今一般的節能手法運用下，住宅總 EUI 可由 50 (kWh/m².yr) 降至 33 (kWh/m².yr)，最大節能效益可達 34%。
5. 本研究以「太陽能光電」為主要再生能源進行 ZEB 可行性之評估，在臺灣住宅

居住水準平均每戶建坪 46.02 坪 (約 150 m²)，EUI 為 33 (kWh/m².yr) 的前提下，若不計設備投資成本，利用屋頂及部分基地內空地設置太陽能光電板，目前小規模的「單戶住宅」有達成 ZEB 的潛力。但若為複數以上集合住宅，則需導入全立面的 BIPV 設計與高轉換效率的太陽能電池後，方有成為 ZEB 的潛力。

第二節 建議

建議一

推動 BIPV 整合型設計：立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部能源局、內政部營建署

「太陽能光電」為目前最主要的再生能源，有效增加太陽能光電使用面積，從基本的屋頂型、地面型，擴展至立面型設計，便能提升建築物的再生能源替代率，尤其近來新型的薄膜太陽能電池應用於窗面的設計，已突破以往太陽能電池裝設位置的限制，因此鼓勵或推動「建築整合型太陽能 BIPV (Building Integrated Photovoltaic)」應是立即可行的推動策略。

建議二

獎勵綠建築、低碳建築、ZEB 設計：立即可行之建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

優良的綠建築低但節能設計於生命週期使用階段能大幅折減地球環境負荷，本即應以鼓勵或獎勵手段推動。尤其若為 ZEB 設計，在前期的技術開發與設備投入均需可觀的資金，應給予 ZEB 開發設計者資金面的支援與獎勵，例如稅制的減免等，以提升建築產業主動投入 ZEB 設計。

建議三

推動既有建築效能改善：立即可行之建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

既有建築物相較於新建建築而言，其能源使用效能與建築性能較差，故透過更新改善的方式，有助於大幅提昇環境效益。加上既有建築物的數量龐大，有計畫的執行更新改善，將有助於降低我國建築產業的整體碳排，未來我國若推動 ZEB 政策，既有建築物達成 ZEB 的比例與潛力也是極重要的一環。因此除了擬定實質的政策推動之外，建議以補助獎勵的方式鼓勵更多的既有建築投入節能改善的行列。

建議四

強化建築節能基準：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

相對於討論節能技術的可行性，其效益可能有限；反而是近零能源政策面的推動時程，近零能源的評估基準、或明確的近零能源目標(如初級能源基準、EUI 等)，不僅能激勵創新的建築節能設計手法，也能促使建築產業技術升級，這些才是推動 ZEB 的關鍵。

建議五

推動建築能源標示制度：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

目前經濟部能源局僅有部分設備納入「能源效率標示」，未來希望能進一步透過標示制度，將建築耗能進行能源效率分級，這不僅能在規劃設計階段，改善效能不佳的建築物，也能提供具體明確的空調、照明、家電設備的耗能構成，讓設計者、

我國近零能源建築設計與技術可行性研究

使用者能有效掌握住宅耗能概況，並進行因應評估。

建議六

執行長期的建築耗能盤查：中長期建議

主辦機關：經濟部能源局

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

目前臺灣缺乏如美國 C B E C S (Commercial Buildings Energy Consumption Survey) 等具公信力的單位長期統計建築的詳細耗能資料，並且公開耗能統計資訊。建議運用政府公權力進行各類建築的長期的建築耗能盤查，建立詳實完備的建築耗能基礎資料庫，有利於我國未來推動建築能源政策的依據。

建議七

推動臺灣近零能源建築政策：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

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

附錄一 評選會議紀錄及處理情形

內政部建築研究所 104 年度創新低碳綠建築環境科技計畫(一)協同研究計畫第 1 案「我國近零能源建築設計與技術可行性研究」

評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	評選意見	廠商回應
一	<ol style="list-style-type: none"> 1. 評估零耗能建築(ZEB)在臺灣實施的可行性涉及電力來源、再生能源發展及碳排交易等外在因素，請補充說明我國和國際的異同。 2. 各國 ZEB 的定義之異同，請補充說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將補充說明我國與國際能源背景與環境條件之異同。 2. 將蒐集各國資料後補充說明。
二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國際近零能源建築設計法規？有無相關獎勵機制？ 2. 適合我國氣候之相關政策方案？國際間情形？ 3. 預期成果可否說明預期可節能(量化)多少？以全面實施新建案推估，節電多少度？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前國際間已有相關近零能源的規範，然而相關獎勵機制符蒐集後補充說明。 2. 本研究將參酌與我國氣候相近國家與地區之能源政策與方案，作為我國日後政策推動之借鏡。 3. 近零能源建築有其階段性，本研究將先針對建築的節能效益進行量化評估。
三	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請具有節能建築設計實務經驗的建築師參與研究，不是只是參與座談會。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將納入請益之考量。
四	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究背景建議加入國內問題與未來規劃。 2. 是否可針對各種節能技術對空調、照明設備之量化節能效益，作為未來政策推動之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。 2. 本研究將針對住宅分項的耗能結構、節能技術與節能效益進行分析探討。

五	<ol style="list-style-type: none">1. ZEB 研究重要性是肯定的，也符合國際趨勢，但須針對臺灣氣候條件。2. 本研究能源效率上請將臺灣氣候之空氣（潮濕）納入研究成果。3. 本研究請將再生能源之太陽能發電效率納入研究成果。4. 建議研究分期執行，最終以能源價格 Energy price 方式呈現，以利推廣。	<ol style="list-style-type: none">1. 感謝委員建議。2. 本研究將參酌亞熱帶地區近零耗能案例，評估是否有效解決空調需求的低耗能技術。3. 感謝委員建議。4. 本研究本期計畫將以建築節能技術與節能效益作為研究主軸，未來若有延續性計畫，可朝此目標研究。
---	--	---

附錄二 期中審查會議紀錄及處理情形

時間：104 年 7 月 28 日（星期二）下午 2 時 30 分

地點：本所簡報室

主持人：廖組長慧燕

出席人員：略

經濟部能源局（簡科員津浩）

1. 關於「零能源建築」之定義，我國似乎較不適合採用美國淨零能源建築（Net Zero Energy Building）之概念，另日本制定 EUI 基準之背景為何？建議補充說明，俾供參考。

中華民國全國建築師公會（張建築師矩墉）

1. 計畫中所列所有亞洲地區案例十分詳盡，但都存在幾個特點，報告中未提及：
 - (1) 中小規模以下。
 - (2) 低建蔽率（通風、高木固碳、地冷需求）。
 - (3) 屋頂面積相較於使用樓地板面積比例高。所以實驗性的建築物，以目前技術是沒問題，但普遍性上，以臺灣高密度集合住宅為多的型態，可能較不容易達成。
2. 建議可作一參考對照分析，以綠建築之日常節能 EEV、EAC、EL 在基準時 EUI 約為多少？而 EEV、EAC、EL 在滿分時 EUI 又約為多少？俾初步了解若要進入 nZEB 我們要做多少的努力。

1. 目前日本所採用的性能規範包括 PAL 與 CEC，綠建築認證制度為 CASBEE，當中均未以 EUI 作為參考基準，此部分應為委員誤解，但說明不足的部分，本研究會參酌建議補充。

1. 感謝委員意見，以臺灣高密度集合住宅型態，確實不易達成近零能源的目標，因此研究結果將建議以「社區、群體建築」之概念進行整體規劃，以提高 ZEB 之可行性。
2. 以目前的綠建築的日常節能指標 EEV、EAC、EL 得分情形作為近零能源建築的量化評估是十分良好的建議，但是取得各個綠建築的基礎耗能資料十分不易，目前不僅未有相關的基礎調查資料，且已超出本研究能力範圍，建議納入後續研究探討。

中華民國電機技師公會(張技師景陽)

1. P11 節能宅 I、II、III 之 EUI 設定值 43、38、31 如何制訂出來，建議補充說明。
2. 地冷風管是否可列入替代效率，請再進一步確認。
3. 北部集合住宅如何設定 EUI 值？建議再詳加考量。

吳建築師德賢

1. 國外執行策略及案例蒐集頗為完整豐富，惟如何分析其異同、特性、我國如何應用以及效益為何？建議可在爾後研究加強。
2. 我國建築基地普遍小且壅擠，除單棟建築外，是否亦考慮「社區、群體建築」之概念，以提高可行性或說明臺灣之真實環境，需在哪種配合條件下，或隨著科技進步預估在何時可以接近「近零能建築」。

黃教授國倉

1. 本案案例收集內容豐富，符合預期。
2. 案例收集之彙整與分析，建議加註氣候條件應用上之差異，以表明本土應用之限制。
3. 文中有部分名詞應為翻譯用語，建議統一以及採用國內常用之專有名詞。

張教授又升

1. 近零能源建築物勿過於理想化，宜以實務角度切入。

1. P11 本研究所提出的住宅耗能減量構想圖，該圖 EUI 僅供示意用，實際 EUI 模擬結果將於期末報告後半部進行詳述。
2. 感謝委員意見。
3. 目前本研究擬使用 BCF 法中的「住宅標準情境」作為初始 EUI 設定值，最後在再生能源折減的部分，再視北中南氣候條件差異進行設定。

1. 感謝委員建議，有關 ZEB 技術之氣候條件之限制與技術特性，將參酌委員建議補充之。
2. 感謝委員意見，以臺灣高密度集合住宅型態，確實不易達成近零能源的目標，因此研究結果將建議以「社區、群體建築」之概念進行整體規劃，以提高 ZEB 之可行性。

1. 感謝委員指教。
2. 感謝委員建議，有 ZEB 技術之氣候條件之限制與技術特性，將參酌委員建議補充之。
3. 感謝委員指正，將修正文中用語。

1. 感謝委員意見，將納入研究建議之參考。

<p>2. 近零能源建築可能必需為零空調、全電化設計，建議考量與一般綠建築技術有所區隔。</p>	<p>2. 感謝委員建議。</p>
<p><u>廖組長慧燕</u></p>	
<p>1. 簡報 P9 零能源的平衡設定條件不包括「電器設備」之耗能，與實際有所差異，建議宜補充說明，以免誤用。</p>	<p>1. 感謝委員指正，此部分將於文中補充說明，避免誤導。</p>
<p>2. 本案請將建築基地條件、氣候因素納入整體考量，俾增進應用參考價值。</p>	<p>2. 感謝委員意見，有關 ZEB 平衡設定條件、基地氣候條件之限制等，本案將參酌委員建議，一併納入整體考量。</p>

附錄三 第一次專家諮詢會議紀錄

開會時間：104 年 4 月 12 日(星期日) 下午 1 時

開會地點：台南市東區大學路 1 號(成功大學建築系)

壹、主席報告與工作進度說明

- 一、會議討論近零耗能建築國際推動趨勢與相關技術，以及請各位專家學者提出對於本研究案之建議，在此宣布會議開始。
- 二、至期中報告前之進度為完成國際間近零耗能建築之推動政策彙整，以及亞洲地區的近零耗能建築案例分析。請就目前調查內容與未來工作提出建議。

貳、會議紀錄

建議一

說明：建議除了蒐集各國推動近零耗能建築政策的標準與期程之餘，也能論及臺灣推動近零耗能建築議題的背景與可能的困難點。

決議：本研究將針對我國推動近零耗能建築的背景差異與困難點，進行補充說明，並計畫研究成果以階段性呈現。

建議二

說明：各國的近零耗能建築案例與設計手法，如何進行進一步的彙整與應用？

決議：(1)本研究首先會考量案例的地域適用性，盡量以氣候或建築風土環境接近於臺灣的案例為優先參考對象。若此部分的資料仍充足，則再輔以歐美地區的近零能源建築設計手法為參考依據。

(2)資料的蒐集上，盡量蒐集到各案例中可量化的數據，如 EUI、設備或技術的節能效率...等，從空調、照明、設備三方面來進行討論；其次是參考該案例所在國家的建築節能法令，以其節能水準或綠建築等級做為討論依據。

建議三

說明：近來日本積極推動近零耗能建築，也陸續出現實際的 ZEB

建築案例，建議可納為研究分析對象。

決議：本研究將採納建議，日本的傑出案例如「大成建設 ZEB 実証棟」、「鹿島建設技術研究所本館研究棟」會優先做為解析之參考案例。

參、臨時動議

無

肆、散會

附錄四 第二次專家諮詢會議紀錄

開會時間：104年6月30日(星期二) 下午3時30分

開會地點：台中市西屯區文華路100號(逢甲大學人言大樓
B1 積學堂 B101 研討室)

壹、主席報告與工作進度說明

- 一、會議討論近零耗能建築國際推動趨勢與相關技術，以及請各位專家學者提出對於本研究案之建議，在此宣布會議開始。
- 二、至期中報告前之進度為完成國際間近零耗能建築之推動政策彙整，以及亞洲地區的近零耗能建築案例分析。本次就期中報告前期結果進行討論及建議。

貳、會議紀錄

黃國倉委員

1. 文獻蒐集與回顧內容豐富。
2. 建議加強補充說明（近）零能源建築的定義。
3. 臺灣氣候尚有高海拔地區，未來是否針對不同氣候擬定不同策略？

梁漢溪委員

1. 近零能源可先從定義予以界定，以利未來研究方向之擬定。
2. 國外案例可針對其低耗能部分予以分析，以供研究參考。

吳友烈委員

1. 計畫選定10個案例之節能技術手法加以整理，其成果極具參考價值，後續可朝如何量化進行探討？
2. 建議可納入目前國內技術應用發展的現況，找出哪些可直接作為國內發展零耗能建築之應用。

柯佑沛委員

1. 世界上已有多國訂有零耗能建築之政策與目標，亞洲地區的日
本與韓國均已如此，國內是否可訂出自己的目標？

蔡耀賢委員

1. 建議可分建築類型進行分析，例如近零耗能住宅可分開討論。

鄭定乾委員

1. 被動式與主動式節能技術全球已有相當成熟的發展，建議
nZEB 之重點可放在可再生能源，建議可再蒐集「可再生能
源」的應用方式與其政策。

黃瑞隆委員

1. 零耗能建築所需平衡的耗能內容應在報告書中有明確說明。
2. 建議除了案例介紹之外，宜增加 ZEB 評估軟體的介紹。

林子平委員

1. 近零能源建築發展為國際間趨勢，本案特別以亞洲案例做比
較，具有應用價值。
2. 對於臺灣的應用潛力及可行性，未來可於期末報告中呈現含法
令的執行構想。

- 回覆：1. 感謝諸位委員的肯定與指教，有關近零能源建築的定義
與評估內容，將會補充說明。
2. 有關近零能源技術的量化、可再生能源的應用，本研究
將參酌目前國內產業發展的現況進行進一步的分析比較。

參、臨時動議

無

肆、散會

附錄五 期末審查會議紀錄及處理情形

時間：104 年 11 月 11 日（星期三）下午 2 時 30 分

地點：本所簡報室

主持人：廖組長慧燕(陳簡任研究員伯勳代理)

出席人員：略

<p><u>周教授鼎金</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本案蒐集了各國 ZEB 的推動政策及相關案例，具有參考價值。 2. 近零能源建築之量化評估，建議後續將設備效率之技術提升列入預測會更有節能潛力的呈現。 3. 建議一，推動 BIPV 整合型設計，建議協辦機關應將能源局列入。 4. ZEB 的設計策略，除了技術策略外，建議增加建築設計相關策略。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見。 2. 有關未來設備與技術提升的節能潛力預測，將參酌相關產業動態，並列入 ZEB 建築設計節能潛力之討論。 3. 遵照辦理。 4. 感謝委員意見，將補充說明。
<p><u>張教授又升</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 其他初級能源(瓦斯)未納入討論，可加強補充。 2. 可補充良好的使用習慣與建築物能源管理系統。 3. BIPV 宜保守看待，勿過於理想化。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見。 2. 感謝委員意見，將補充說明。 3. 感謝委員意見。
<p><u>黃教授國倉</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本案文獻案例收集成果豐富，符合預期。 2. BIPV 建議應注意傾角所造成的效率問題。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指教。 2. 感謝委員意見，將補充說明。
<p><u>蔡教授尤溪</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議對我國建築型態加以論述，例如樓層高度影響太陽能源之可利用率等。 2. 對於光電效率與設備效率之預測，建議加入較有權威文獻，俾作為設備效率提升之科學論證。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見，將補充說明。 2. 感謝委員意見，將補充說明。

鄭教授政利

1. 案例蒐集豐富，符合預期成果需求。
2. 國際上歐美先進國已明確訂立 ZEB 或近零能源時程及達成目標，臺灣周邊亞洲國家，日、韓、新加坡、香港也積極建立時程目標，唯臺灣仍處觀望及不明確態度，建議本案宜明確釐清臺灣應有之策略及實踐目標。

中華民國電機技師公會(張技師景陽)

1. 再生能源效率提高 2 倍，可達淨零能源 ZEB？建議補充說明。
2. 太陽能板之回收年限 14~19 年太長，建議再進一步確認。
3. 模擬情境之每戶建坪 150m² 似乎太大，建議再詳加考量。

主席

1. 本案請將北中南氣候因素納入整體考量，或相關限制條件請加以釐清，以免造成研究成果誤用。
2. BIPV 發電效率是否會受鄰屋影響？建築基地條件宜補充說明。

1. 感謝委員指教。
2. 有關我國 ZEB 執行期程與執行目標，將納入中長期政策執行建議。

1. 有關未來的光電效率與設備效率，本研究係參考國外 ZEB 相關文獻之計算設定值以提供 ZEB 平衡狀態之參考，並非做為預測之論述。
- 2 太陽能回收年限推估，是以經濟部能源局提供的安裝費用與設置面積條件進行換算，再以 104 年 7~12 月最新的太陽光電躉購費率 6.6721 (元/kWh) 來計算，得到回收年限 14~19 年。
- 3 關於模擬情境每戶建坪之參數設定為 150m²，本研究係參考行政院主計總處 104 年的統計資料，全國平均每戶建坪為 44.12 坪 (約 145 m²)，與實際情況相近。

1. 感謝主席意見，北中南氣候因素已納入太陽能光電計算中。
2. 有關 BIPV 整合型設計手法的應用與限制條件、基地氣候條件之限制將一併補充之。

參考書目

中文文獻

- 1、何明錦、歐文生，2007，建築物建置太陽能光電最佳化設計模型之研究，內政部建築研究所協同研究報告
- 2、林憲德，2015，建築碳足跡（二版），詹氏書局，台北
- 3、林憲德等，2015，綠建築評估手冊-基本型（EEWH-BC），內政部建築研究所
- 4、吳桂陽等，2010，零碳綠建築發展與策略規劃之研究，內政部建築研究所委託研究報告
- 5、高銘志、蔡岳勳、翁敏航、宋書帆、陳建璋，2013，再生能源政策與法律概論，元照出版社
- 6、洪志明，2013，再生能源發電，全華圖書
- 7、蘇梓靖，2009，住宅耗能標示制度之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文
- 8、蘇梓靖，2015，美國 Energy Star 建築 EUI 營運因子正規化修正分析技術報告，工業技術研究院
- 9、許俊民，2012，剖析零碳建築對建築創新與環保設計的意義，《2012 第十屆兩岸四地工程師（香港）論壇論文集：「科技創新、優質工程」》，2012 年 11 月 23-24 日，香港生產力促進局生產力大樓，香港，p185-194。
- 10、陳碩，2011，零碳建築技術指南，《建築技藝》Vol.09-10, p127-131 頁
- 11、陳維新，2014，綠色能源，高立圖書
- 12、蘇燈城，2014，再生能源工程實務，羸禾文化
- 13、鄭元良、張又升，2009，零碳綠建築願景、策略及可行性之研究，內政部建築研究所委託研究報告
- 14、華健、吳怡萱，2013，再生能源概論，五南圖書

日文文獻

1. 日本サステナブル建築協会，2013，住宅の改正省エネルギー基準の建築主の判断基準と設計・施工指針の解説，日本サステナブル建築協会
2. Z E B の実現と展開に関する研究会，2009，Z E B（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について
3. 南都経済研究所，2012，2020 年省エネ義務化で激変する住宅建築産業，Nanto Monthly Report，南都経済研究所

英文文獻

- 1、Andreas Athienitis & William O'Brien, 2015, Modelling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings, Ernst & Sohn, Berlin, Germany.
- 2、BPIE, 2015, Nearly Zero Energy Building Definitions Across Europe, Buildings Performance Institute Europe, Buildings Performance Institute Europe
- 3、Brown, H., 2010. *Toward Zero-Carbon Buildings, The Post Carbon Reader Series: Cities, Towns, and Suburbs*, Post Carbon Institute, Santa Rosa, CA.
- 4、ECEEE, 2009. *Net Zero Energy Buildings: Definitions, Issues and Experience*, European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE), Stockholm, Sweden.
- 5、Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, Wilhelm Warta and Ewan D. Dunlop, 2014, Solar cell efficiency tables (version 43), *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS*, 22:1-9
- 6、Ministry of Construction (Japan), Criteria for Clients in the Rationalization of Energy Use for Buildings, 1999

- 7、NSTC, 2008. Federal Research and Development Agenda for Net-Zero Energy, High-Performance Green Buildings, Subcommittee on Buildings Technology Research and Development, Committee on Technology, National Science and Technology Council (NSTC), Washington, DC.
- 8、NIES, 2009. *Japan Roadmaps towards Low-Carbon Societies* (LCSs), National Institute for Environmental Studies (NIES), Tsukuba, Ibaraki, Japan
- 9、Trevor S.K. Ng, Raymond M.H. Yau, Tony N.T. Lam and Vincent S.Y. Cheng*, 2013. Design and commission a zero-carbon building for hot and humid climate, *Int. J. Low-Carbon Tech.* doi: 10.1093/ijlct/ctt067
- 10、Marszal et al., 2011, Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, *Energy and Buildings*, 43, 971–979
- 11、"Net Zero Energy Solar Buildings". International Energy Agency: Solar Heating and Cooling Programme. 2014. Retrieved 25 June 2014.
- 12、Karsten Voss, Eike Musall, 2013, *Net Zero Energy Buildings: International Projects of Carbon Neutrality in Buildings*, DETAIL,
- 13、Tom Hootman, 2012, *Net Zero Energy Design: A Guide for Commercial Architecture*, Wiley, New Jersey, US.
- 14、Thorsten Schuetze, 2015, Zero Emission Buildings in Korea—History, Status Quo, and Future Prospects, *Sustainability*, 7, 2745–2767

網頁資料

- 1、<http://architecture2030.org/>
- 2、http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/132/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf
- 3、<http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>

- 4、<http://www.kronoply.com/cms/News/Artikel/The-2014-German-Energy-Saving-Ordinance-EnEV-2014-Stricter-Requirements-for-Energy-Efficiency/0522282941.html>
- 5、<http://cleantechnica.com/2014/10/01/japan-focuses-zero-energy-buildings/>
- 6、<http://www.taisei.co.jp/giken/topics/1353301853006.html>
- 7、<http://archiscape.lixil.co.jp/column/ienochi/vol29/page3.html>
- 8、<http://greencleanguide.com/2014/02/27/indira-paryawaran-bhawan-indias-first-on-site-net-zero-building/>
- 9、http://www.academia.edu/10362132/Green_Buildings_with_Case_Study_on_Indira_Paryawaran_Bhavan_New_Delhi
- 10、http://www.cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/C.S.Pusat_Tenaga_Malaysia_Zero_Energy_Office_Building_Zero_Net_Energy_Building_Case_Study.html
- 11、<http://www.suncue-078319017.com.tw/product-detail-291465.html>
- 12、<http://energymonthly.tier.org.tw/outdatecontent.asp?ReportIssue=201505&Page=43>
- 13、經濟部能源局 <http://energymonthly.tier.org.tw/index.asp>
- 14、工業技術研究院能源與資源研究所/江懷德
http://www.ecct.org.tw/print/45_2.htm#a3
- 15、<http://energymonthly.tier.org.tw/outdatecontent.asp?ReportIssue=201505&Page=43>

我國近零能源建築設計與技術可行性研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：231 新北市新店區北新路3 段200 號13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：何明錦等編

出版年月：104 年12 月

版(刷)次：第 1 版

ISBN：978-986-04-6740-6 (平裝)