

計畫編號：11115B0009

內政部建築研究所
創新循環綠建築環境科技計畫(一)
協同研究計畫
「住商部門淨零排放策略及減碳潛力之研究」
資料蒐集分析報告

研究主持人：王榮進 所長

協同主持人：黃國倉 教授

研究員：黃瑞隆 教授

研究助理：林國華、黃艾文

內政部建築研究所協同研究期末報告

中華民國 111 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

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
第 1 章 緒論.....	1
第一節 研究緣起.....	1
第二節 研究內容.....	1
第 2 章 文獻回顧與評析.....	5
第一節 各國住商部門之減碳措施文獻評析.....	6
2.2.1 各國推動淨零能源建築的政策與鼓勵機制.....	6
2.2.2 加拿大的淨零能源建築政策與鼓勵機制.....	8
2.2.3 日本住商部門的淨零能源正色與鼓勵機制.....	12
2.2.4 歐盟住商部門之溫室氣體減量措施.....	19
2.2.5 英國住商部門之溫室氣體減量措施.....	23
2.2.6 韓國淨零能源建築政策、獎勵機制與困境.....	24
2.2.7 中國大陸住商部門推動低能耗建築政策與鼓勵機制.....	28
2.2.8 德國住商部門之溫室氣體減量措施.....	33
第 3 章 研究方法.....	37
第一節 住商部門溫室氣體排放量推估模式之更新.....	37
第二節 研究流程.....	39
3.2.1 空調能源推估用氣象資料.....	39
3.2.2 各項能源之溫室氣體排放係數.....	40
第三節 住宅部門溫室氣體推估理論.....	40
3.3.1 住宅空調耗能推估.....	43
3.3.2 住宅照明耗能推估.....	49
3.3.3 住宅家電耗能推估.....	50
3.3.4 住宅熱水耗能推估.....	53
3.3.5 住宅烹飪耗能推估.....	57
3.3.6 住宅總溫室氣體排放量之推估.....	58
第四節 商業部門溫室氣體推估理論.....	58
3.4.1 商業建築空調耗能之推估.....	58
3.4.2 商業建築照明耗能之推估.....	66
3.4.3 商業事務設備耗能之推估.....	67
3.4.4 商業它項設備與總耗能量之推估.....	68
3.4.5 商業瓦斯與汽柴油碳排放量之推估.....	69
3.4.6 商業部門總溫室氣體排放量之推估.....	69

第五節 住商部門建築溫室氣體排放量推估之校正.....	70
3.5.1 住宅溫室氣體排放推估模式之校正法.....	70
3.5.2 商業建築溫室氣體排放推估模式之校正法.....	71
3.5.3 商業部門非電力耗能項目之未來溫室氣體排放推估方法.....	73
第4章 住商部門溫室氣體排放量基線預測.....	75
第一節 住宅溫室氣體排放量預測結果.....	75
第二節 商業部門溫室氣體排放量預測結果.....	80
第三節 我國住商部門減碳基線分析.....	82
第5章 導入建築能效標示制度減碳情境之效益評估.....	86
第一節 我國建築能效標示制度評估簡介之建築類型整理.....	86
51.1 BERS 的適用對象.....	87
5.1.2 BERS 應排除的免評估分區.....	88
第二節 取得各建築能效標示等級之節能率計算方法.....	88
第三節 導入建築能效標示之情境假設.....	90
第四節 建築溫室氣體減量經濟誘因機制之建議.....	95
第6章 結論與建議.....	97
第一節 結論.....	97
第二節 建議.....	98
附錄一：期初審查意見回覆表.....	99
附錄二：期中審查意見回覆表.....	101
附錄三：期末審查意見回覆表.....	104
參考書目.....	107

表次

表 2-1 東南亞國家協會(ASEAN)推廣淨零碳建築的政策概要.....	7
表 2-2 加拿大淨零能耗建築與準淨零能耗建築的定義.....	8
表 2-3 加拿大住宅建築改造補助項目、金額及補助要求.....	10
表 2-4 日本建築規範與標示彙整.....	14
表 2-5 根據能耗表現定義三階種等級的 ZEB.....	15
表 2-6 根據能耗表現定義三階種等級的 ZEH.....	16
表 2-7 新舊建築的 ZEB 補助金制度與補助來源總覽.....	18
表 2-8 新舊建築的 ZEH 補助金制度總覽.....	19
表 2-9 歐盟對於建築能源效率的補助資金來源與概述.....	22
表 2-10 韓國建築 BER 分級與能耗對應表.....	26
表 2-11 中國大陸鼓勵政策類型表.....	32
表 2-12 德國聯邦政府設定之能源消耗個階段目標（以 1990 年為比較基準）.....	34
表 2-13 政府與 KfW 對新建建築之補助.....	35
表 2-14 政府與 KfW 對既有建築之補助.....	35
表 3-1 溫室氣體排放量推估模型預計滾動更新之項目.....	38
表 3-2 各項能源之排放係數.....	40
表 3-3 住宅建築外殼與室內發散熱參數設定.....	43
表 3-4 六種住宅模擬平面.....	44
表 3-5 各縣市人均居住面積.....	45
表 3-6 未來逐年年末人口數推估值（單位：千人）.....	45
表 3-7 住宅逐年之新增樓地板面積（單位： m^2 ）.....	46
表 3-8 住宅未來新增樓地板面積推估（單位： m^2 ）.....	47
表 3-9 2036 至 2050 年中情境空調耗能密度推估.....	48
表 3-10 各空間照明密度及時間.....	50
表 3-11 住宅平面格局抽樣調查資料.....	50
表 3-12 不同格局對應之廳室面積比例 $R_{Ai,j}$	50
表 3-13 單台家電全年耗能（單位：kWh）.....	51
表 3-14 戶均擁有家電台數.....	51
表 3-15 未來戶數及低度用戶推估.....	52
表 3-16 利用 2033 年戶均居住面積推估之未來戶數.....	53
表 3-17 各類熱水器耗能與普及率.....	54
表 3-18 各類熱水器普及率.....	55
表 3-19 貯備型電熱水器能源效率分級基準表.....	56
表 3-20 居家熱水傳輸管散熱耗能量.....	56
表 3-21 大台北地區家戶年食物處理能源消費概況（樣本數=661 戶）.....	57
表 3-22 EnergyPlus 模擬案例數.....	59

表 3-23 商業建築外殼參數設定.....	60
表 3-24 商業建築室內發散熱設定.....	62
表 3-25 商業建築空調系統設定(2005 年基準).....	64
表 3-26 商業及住宅歷年核發建築物使用執照樓地板面積.....	65
表 3-27 商業大樓電力流向.....	68
表 3-28 商業大樓各項能源消費量及占比.....	69
表 3-29 全國低度使用（用電）住宅統計表.....	70
表 3-30 商業建築用電推估時採用之資料來源整理.....	71
表 3-31 各商業建築類別之既有存量分析.....	71
表 3-32 屬服務業類別之各建築別逐年歷史用電.....	73
表 3-33 其他各能源耗用別之消耗量推估模式.....	73
表 4-1 全國住宅熱水液化瓦斯與天然瓦斯消耗量與溫室氣體排放量推估.....	78
表 4-2 歷年與未來逐年住商部門之預估總碳排放量一覽表.....	84
表 5-1 TBER 的系統分類.....	86
表 5-2 我國建築能效評估系統分級尺度下之由第五等級提升至各等級之預估節 能率(ζ_k).....	89
表 5-3 為達成我國近零碳建築減碳路徑所需之逐年新建建築 BERS 達成比率	91
表 5-4 住宅建築未來逐年需達 1 級與 1+ 級之總樓地板面積.....	92
表 5-5 商業建築未來逐年需達 1 級與 1+ 級之總樓地板面積.....	92
表 5-6 未來各期距下之預估減碳量.....	94

圖次

圖 1-1 我國各部門溫室氣體排放現況.....	2
圖 1-2 我國住宅與服務業部門電力與非電力溫室氣體排放比例.....	3
圖 2-1 世界各國對建築能效標示的應用概況.....	7
圖 2-2 加拿大建築能效標示標籤.....	9
圖 2-3 加拿大淨零能耗住宅建築的內部設備與能源應用.....	9
圖 2-4 加拿大對於淨零耗能建築和能源資金投資概況.....	10
圖 2-5 日本能源標示 BELS 標章與零能源建築政策整合.....	14
圖 2-6 日本 BELS 分級說明.....	15
圖 2-7 日本 ZEB 分級制度與定義.....	15
圖 2-8 住宅建築 ZEH 系列的能源應用差異.....	16
圖 2-9 ZEB Planner 登錄表.....	17
圖 2-10 ZEB leading owner 登錄機制的目的與年度規劃.....	18
圖 2-11 歐盟採用計算評估或能源單據評估的分佈圖.....	20
圖 2-12 兩次 EPBD 法令公布後執行能效認證的歐盟會員國成長情況.....	21
圖 2-13 BER 和 DEC 碳排的規範.....	22
圖 2-14 英國在 EPC 和 DEC 實際評估應用標準.....	24
圖 2-15 韓國對淨零建築政策的定義與評級方式.....	26
圖 2-16 韓國國土交通部(MLIT)和國產業通商資源部(MTIE)在推動零耗能建築 的分工概況.....	27
圖 2-17 中國大陸對於低能耗建築的政策流程分級.....	29
圖 2-18 中國大陸對於推動低能耗建築的鼓勵機制與全省採用的機制執行數量	30
圖 2-19 德國能源證書分為九個等級.....	35
圖 3-1 全國住宅空調耗能推估模型.....	41
圖 3-2 全國住宅照明耗能推估模型.....	41
圖 3-3 住宅家電、熱水與烹飪耗能推估模型.....	42
圖 3-4 全國住宅部門二氧化碳排放計算與修正流程圖.....	42
圖 3-5 北中南冷房度時與鮮對應的空調 EUI 散佈圖.....	48
圖 3-6 2005 至 2021 年歷年總居住面積及全國戶數統計.....	52
圖 3-7 2034 至 2050 年未來戶數推估.....	53
圖 3-8 模式推估未來逐年每人每日生活熱水之用水量.....	54
圖 3-9 全國商業建築空調耗能推估模型.....	59
圖 3-10 建築長寬比 Gamma 分佈示意圖.....	61
圖 3-11 玻璃 U 值 Gompertz 分佈示意圖.....	61
圖 3-12 商業大樓照明密度分布參考圖.....	62
圖 3-13 各設備之負荷率及運轉時程.....	63

圖 3-14 全國商業建築照明與事務設備耗能推估模型.....	66
圖 3-15 商業建築照明 EUI 分布圖	67
圖 4-1 國家未來人口中推估	75
圖 4-2 各區住宅樓地板面積推估圖（以人口中推估計算）	76
圖 4-3 全國未來戶數推估	76
圖 4-4 住宅各耗電項目耗電量未來推估	77
圖 4-5 全國住宅生活熱水瓦斯溫室氣體排放量與全國人口數之趨勢.....	77
圖 4-6 電力碳排係數成長趨勢	79
圖 4-7 住宅部門逐年溫室氣體排放基線之推估	80
圖 4-8 逐年商業建築樓地板面積推估	81
圖 4-9 商業空調、照明、事務設備及其餘設備耗電量推估	82
圖 4-10 商業部門逐年溫室氣體排放基線之推估	82
圖 4-11 住商部門溫室氣體未來排放基線預測與核配減碳目標之比較.....	84
圖 4-12 去年(109 年度)住商部門溫室氣體未來排放基線預估值	84
圖 5-1 新建非住宅建築 BERSn 與既有建築能效 BERSe 標示	87
圖 5-2 現行建築能效標示系統之分級評分尺度	90
圖 5-3 新建建築在未來逐年取得 BERS 比例之路徑	91
圖 5-4 住商部門導入建築能效標示減碳後之溫室氣體排放推估	94

摘要

關鍵詞：住商部門、溫室氣體排放基線、建築能效標示、減碳潛力

一、研究緣起

「溫室氣體減量及管理法」自 2015 年上路以來，明訂我國溫室氣體減量的目標為 2050 年碳排放減量至 2005 基準年的 50%，爰此我國依六大部門(能源部門、工業部門、運輸部門、農業部門、服務業部門與住宅部門)分別訂立其減碳目標，並於每五年滾動檢討之。由過去之研究發現全國住宅與服務業之溫室氣體排放量占全國總碳排放量約 11.69%與 9.94%。為達溫管法之目標，各部門暫依各自之全年溫室氣體排放比例分配減碳額度，其中內政部負責住宅部門與服務業部門內建築之溫室氣體減量部分。本計畫係針對我國住商部門溫室氣體排放量推估模式進行比較分析，並基於未來氣象年，結合不確定性分析，同時應用蒙地卡羅方法建立我國住商部門建築之各式與耗能相關之樣態，以作為進行未來住宅與商業部門能源消費分析及預測，並建立溫室氣體排放基線 (Business As Usual, BAU)。在建立全國建築溫室氣體排放基線下，進一步提出建築溫室氣體減量經濟誘因機制之建議，期作為政府作為提出住商部門減碳政策之參考。此外我國建築能效標示制度亦已於 111 年始上路，是建築全年耗能量揭露之重要方法論，亦是未來進行建築節能減碳之重要工具。本計畫另針對「建築能效標示」分析可行之導入方法，評估其潛在的節能(減碳)效益，以作為住商部門節能減碳重要之推行政策參考依據。

二、研究方法及過程

本計畫係針對我國住商部門溫室氣體排放量推估模式之檢討與持續滾動更新推估模式，同時考量未來氣候之變遷、住商未來之成長等因子，進行我國住宅與商業建築能源消耗與碳排放量之分析及預測，除了建立各建築類別之溫室氣體排放基線，並分析我國於未來導入建築能效標示制度後，評估其未來逐年至 2050 年之預期減碳效益。因此，本計畫之研究目的有以下三點：

1. 應用蒙地卡羅方法與不確定性分析，結合未來氣候資料以動態電腦模擬之方式推估住商部門溫室氣體排放量及能源需求量至 2050 年。
2. 因應溫室氣體減量及管理法修正，針對建築溫室氣體減量核發額度及抵減碳費等規定，評估可行之經濟誘因機制之建議。
3. 配合淨零建築目標，評估導入建築能效標示制度對我國住商部門之各關鍵年(2030、2040、2050)減碳情境及效益。

三、重要發現

1. 依照重新建立之住商碳排基線模型與滾動更新新的各項統計資料後，發現 2021 年住商部門年總溫室氣體總量為 57,986 千公噸碳當量，相

較於前一年度(2020 年)之 56,585 千公噸碳當量提升了 2.4%。因此往後各年之排碳推估基線亦隨之調整，至 2025 年時預估住商部門之總溫室氣體排放量依發電結構不變與改變下，將分別變為 58,512 與 47,039 千公噸碳當量。與現階段所訂的第二階段管制目標至 2025 年之分配排放額度分別仍有 17,091 與 5,618 千公噸碳當量之減碳缺口，尚須進一步分別再減碳 29.2%與 11.9%。意即排除電力碳排放係數下降所導致之溫室氣體減少量外，額外住商部門本身需再減量 11.9%。

2. 本研究完成導入建築能效標示制度後未來逐年之減碳效益分析。若依國發會所公布之減碳路徑，在未來能源結構不變之情況，至 2050 年時之減碳比例 4.78%，其溫室氣體排放量減為 56,420 千公噸 CO₂，相當於減碳 2832.53 千公噸 CO₂，在未來能源結構改變之情況，至 2050 年時之減碳比例為 4.60%其溫室氣體排放量則減為 43,394 千公噸 CO₂，相當於減碳 2092.40 千公噸 CO₂。
3. 本研究同時提出針對建築溫室氣體減量具經濟誘因之推動機制建議。

四、主要建議事項

根據本研究成果發現，提出下列建議：

建議一

本研究顯示在國發會所擬定針對未來新建建築之建築能效提升減碳路徑，由於新建之樓地板面積相較於龐大之既有建築而言相對所佔之比例甚小，在減碳效益上對比於全國住商之全年總溫室氣體排放量而言亦較明顯。有鑑於既存大量的建築效能提升才能有顯著之減碳效果，因此建議評估針對既有建築導入建築能效標示，在擬定不同的減碳路徑下評估其潛在的減碳效益，將更具實質減碳效益，同時作為政策推動方向之參考。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心

Abstract

Keywords : Residentail and commercial building sector, Business as usual of the Greenhouse gas emission, Building energy rating system, Carbon reduction potential

I. Introduction

The "Greenhouse Gas Reduction and Management Act" was enacted in 2015, specifying that our country's greenhouse gas (GHG) reduction target is to reduce carbon emissions below 50% than that in 2005 by 2050. To this end, the government of Taiwan has set its national carbon reduction targets according to the six major energy consumption sectors, which are constantly reviewed every five years. The GHG emissions from the building and commercial building sectors account for 11.69% and 9.94% of the total carbon emissions nationwide. To allocate the carbon reduction amount among inter-governmental authorities and to evaluate the carbon reduction potential, this research established the business as usual (BAU) estimation model of the future GHG emissions of the nationwide building sectors. The Monte Carlo method and the building energy simulation technique were used to establish the energy consumption profiles of buildings. This research further proposes economic incentives for building GHG reduction as a reference to formulate carbon reduction policies. In addition, the building energy rating system (BERS) is deemed an essential measure to achieve the ultimate net zero emission goal of 2050 for the building sector. The carbon reduction potential of implementing this system was also evaluated in this research.

II. Method

This research reviewed and updated the previously established predicting model of GHG emissions of the building sector in Taiwan. To this end, future climate variation and the growth of the building sectors were both considered to increase the predicting precision of the model. Moreover, the potential carbon reduction of implementing the BERS till the end of 2050 was also appraised. The purposes of this research are as follows:

1. This study applies the Monte Carlo method and uncertainty analysis to combine future climate data with dynamic computer simulation, aiming to estimate GHG emissions and energy demand in the residential and commercial building sectors by 2050.
2. This study proposed feasible economic incentive mechanisms for promoting the nation's GHG reduction strategy.

3. To achieve the net-zero energy building target, this study evaluates the carbon reduction scenarios and benefits of implementing the BERS for the residential and commercial building sectors in Taiwan in the years 2030, 2040, and 2050.

III. Conclusion

1. After re-calibrating the building sector's carbon emissions' BAU model against the newly published national energy consumption inventory data, this study found that the total annual building GHG emissions in 2021 is 57,986 kilotonnes CO_{2e}, which is a 2.4% increment as opposed to that of 2020. Therefore, the baseline of carbon emission projection for the following years will be adjusted accordingly. By 2025, it is estimated that the total building GHGs emissions will be 47,039 kilotonnes CO_{2e} calculated under premises that the equivalent CO₂ emission per unit of electricity will be decreased in the future. Excluding the reduction of GHG emissions caused by the removal of electricity carbon emission coefficient, the residential and commercial building sectors need to further reduce by an additional 11.9% of GHGs emissions.
2. This study analyzed the potential carbon reduction benefits after implementing the BERS. If we follow the carbon reduction path announced by the National Development Council, the likely carbon reduction rate will be 4.60% by the end of 2050, which is equivalent to 2092.40 kilotonnes CO_{2e} reduction.
3. This study proposed an implementing mechanism of multiple economic incentive measures to promote the GHG reduction of the building sector/

IV. Suggestion

Based on this study, the amount of GHG reduction from the existing buildings plays a significant role in achieving the ultimate net-zero goal of 2050. It is imperative to further evaluate the potential carbon reduction by implementing the BERS targetted to the existing buildings under various scenarios.

Organizer: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior.
Co-organizer: Taiwan Architecture & Building Center

第1章 緒論

第一節 研究緣起

本計畫係針對我國住商部門溫室氣體排放量推估模式進行比較分析，並基於未來氣象年，結合不確定性分析，同時應用蒙地卡羅方法建立我國住商部門建築之各式與耗能相關之樣態，以作為進行未來住宅與商業部門能源消費分析及預測，並建立溫室氣體排放基線（Business As Usual, BAU）。在建立全國建築溫室氣體排放基線下，進一步提出建築溫室氣體減量經濟誘因機制之建議，期作為政府作為提出住商部門減碳政策之參考。此外我國建築能效標示制度亦已於 111 年始上路，是建築全年耗能量揭露之重要方法論，亦是未來進行建築節能減碳之重要工具。本計畫另針對「建築能效標示」分析可行之導入方法，評估其潛在的節能(減碳)效益，以作為住商部門節能減碳重要之推行政策參考依據。

第二節 研究內容

「溫室氣體減量及管理法」自 2015 年上路以來每 5 年滾動檢討之，以作為評估減碳成效與目標調整之參考。該法自 2015 年實施以來，前五年為第一個管制目標階段至 2020 年，今日則進入下一個五年之第二期部門階段管制目標。依目前行政院環境保護署之規劃，2025 年全國溫室氣體總淨排放量需降為 2005 年溫室氣體淨排放量再減少 10%(相當於 241.011 MtCO_{2e})。以住商部門而言 2025 年推估之溫室氣體排放總量為 48.857 MtCO_{2e} 需再比基準年 2005 年之淨排放量降低 27.9%，此目標比例訂立係依據預期我國之電力二氧化碳排放係數至 2025 年時，會再下降 24%，然而卻未充分考量了住商部門未來之成長。依本團隊過去之研究，實際上相較於新草擬之第二期住商部門階段管制目標 41.421 MtCO_{2e}，仍需再減量 7.436 MtCO_{2e}。

而為因應國際之趨勢，近期該法預計將我國至 2050 年需達淨零排放之遠程目標入法，且將溫管法更名為「氣候變遷因應法」，著重在與國際接軌，並制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體的排放，以落實環境正義，並全面建構因應氣候變遷之健全體系，善盡共同保護地球環境之責任。由過去之能源統計發現全國住商部門之溫室氣體排放量佔全國總碳排放量約二成，住商部門之減碳成效將扮演達成我國碳中和之重要因素之一。本所規劃「建築能效評估系統」作為我國導入建築能效標示制度之重要工具，亦是達成未來淨零建築之重要策略之一，國際間尤其是歐盟早已導入建築能源護照制度作為國家建築部門邁向碳中和之重要策略。

本研究預計蒐集國外住商部門推動淨零建築之相關措施，回顧其政策作法，並評析我國推動淨零建築之減碳效益、經濟誘因及相關衝擊影響等，以作為我國未來推動相關政策之參考。此外，本研究預計滾動式估算住商部門能源消費量、

碳排放量等，評估住商部門建築物減碳潛力，以作為住商部門達成碳中和之重要減碳策略之參考。

本計畫之研究內容如下：

1. 完成建築物溫室氣體排放量及能源需求量預測模擬與檢討。
2. 完成建築溫室氣體減量經濟誘因機制之建議。
3. 完成導入建築能效標示制度對住商部門之減碳情境及效益評估。

溫管法中明訂我國溫室氣體減量的目標為 2050 年碳排放減量至 2005 基準年的 50%，而溫管法中將我國之溫室氣體排放區分為六大部門進行管制，分別為住商部門、能源部門、製造業部門、農業部門、運輸部門與環境部門。爰此我國依六大部門分別訂立其減碳目標，並於每五年滾動檢討之。由過去之研究發現工業佔了將近一半之全國溫室氣體排放量，約 50.35%，而全國住宅與服務業之溫室氣體排放量佔全國總碳排放量約 11.69%與 9.94%，如下圖 1-1 所示。為達溫管法之目標，各部門暫依各自之全年溫室氣體排放比例分配減碳額度，其中內政部負責住宅部門與服務業部門內建築之溫室氣體減量部分。然而不同權責機關間存在主管之項目、可行之政策工具與減碳策略皆不同，各權責機關間進行減碳之難易程度因而各異。本計畫，基於住宅與服務業部門建築本體之主管機關(內政部)，考量其可應用之政策工具與權責管理範疇，提出應用於住商部門具體可行之減碳策略，量化評估其未來合理之減碳潛力範圍，以供進行研商各部門間減碳分配額度之參考。

此外，住商部門二氧化碳排放來源主要為使用電力產生的 CO₂ 排放，其排放量住、商分別為 31.22 百萬與 26.54 百萬公噸，占各自整體部門之比例為 84.2%與 87.6%，如圖 1-2，顯示節約用電為後續推動住商部門溫室氣體減量之首要工作。

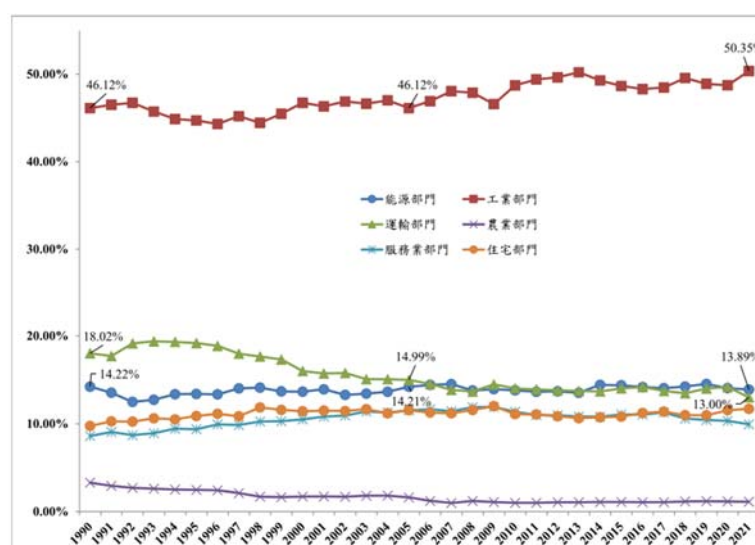


圖 1-1 我國各部門溫室氣體排放現況

(資料來源：(經濟部能源局 2022))

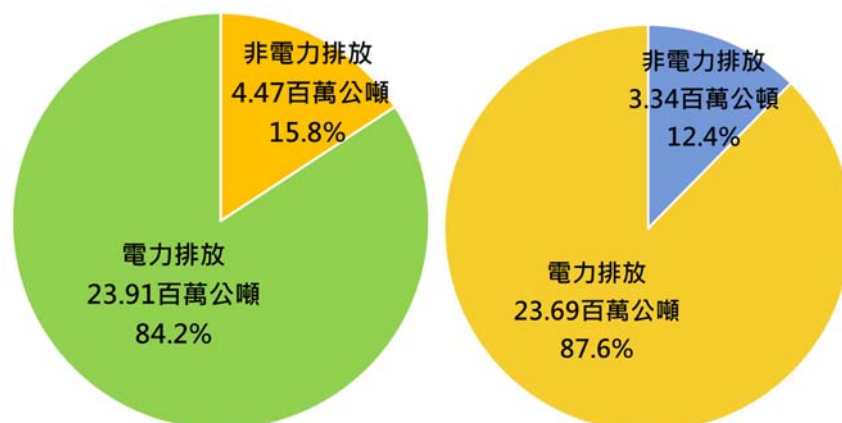


圖 1-2 我國住宅與服務業部門電力與非電力溫室氣體排放比例

(資料來源：(經濟部能源局 2019))

本計畫係針對我國住商部門溫室氣體排放量推估模式之檢討與持續滾動更新推估模式，同時考量未來氣候之變遷、住商未來之成長等因子，進行我國住宅與商業建築能源消耗與碳排放量之分析及預測，除了建立各建築類別之溫室氣體排放基線（BAU, Business As Usual），並分析我國於未來導入建築能效標示制度後，評估其未來逐年至 2050 年之預期減碳效益。因此，本計畫之研究目的有以下三點：

1. 應用蒙地卡羅方法與不確定性分析，結合未來氣候資料以動態電腦模擬之方式推估住商部門溫室氣體排放量及能源需求量至 2050 年。
2. 因應溫室氣體減量及管理法修正，針對建築溫室氣體減量核發額度及抵減碳費等規定，評估可行之經濟誘因機制之建議。
3. 配合淨零建築目標，評估導入建築能效標示制度對我國住商部門之各關鍵年(2030、2040、2050)減碳情境及效益。

第2章 文獻回顧與評析

根據跨政府氣候變遷組織(IPCC)之相關研究，自從 1970 年以來，建築溫室氣體年排放量已成長超過兩倍，在 2010 年時達到 9.18 GtCO₂eq，占了 2010 年全球總溫室氣體排放量的 19% (International Energy Agency 2012, European Commission 2013)，其中 6.02Gt 大多來自建築用電所造成的間接排放(The IPCC Working Group III 2014)。在 2010 年，建築占了全球最終能源使用量的 32% (其中 24%是住宅部門，8%是商業部門) (International Energy Agency 2013)，為能源使用之最大宗，不管是住宅或商業部門，暖氣系統皆是耗能最多的，除此之外，照明耗能在商業部門次之，烹調及熱水耗能則在住宅部門較為顯著。不同於持續成長的溫室氣體排放量，世界各區的人均溫室氣體排放量在 1990-2010 年間並沒有太顯著的增加，這說明了能源使用效率的提高減緩了建築能源使用量成長的趨勢，在許多開發中國家尤其明顯，由於從生質能轉型到現代能源的過程可以大幅提高能源的使用效率。

然而 2021 年 IPCC 公布最新的第六次評估報告(AR6)中表示，隨著全球氣溫加劇提升，預計各地區會因氣候影響加劇。在所有排放情境中，除非未來十幾年內大幅減少二氧化碳及其他溫室氣體排放量，否則全球將在 21 世紀會超過 1.5 °C 和 2 °C。都市局部地區的溫度提升，加劇都市熱島影響程度，連同更頻繁的極端高溫區，將增加熱浪的嚴重程度。另外，沿海城市，會發生更頻繁的因海平面上升及暴潮所致的極端事件，使洪水的可能性大增。

國際能源署(IEA)與聯合國環境署(UNEP)在 2019 年發布了一份全球性的報告，內容談到在 2018 年建築與營造部門占了全球最終能源使用的 36% 以及全球二氧化碳排放量的 39%，而從 2017 年到 2018 年，全球的建築溫室氣體排放量增加了 2%，原因出自於樓地板面積以及人口的增加。主要的排放源來自電力的使用量增加，自從 2010 年以來電力的年使用量已成長超過 19%。2017-2018 年，暖氣的耗能下降了 2%，照明也下降了 1.4%，冷氣的耗能上升 2.7%，其餘服務如熱水、烹調、電器大致維持，自從 2010 年以來，冷氣已成長了 8%，成為建築中成長最快的能源使用量。

IEA 在 2021 年五月針對 2050 淨零路徑提出達標路徑與關鍵里程碑。整體轉型創造更多就業機會，對發展更高效能的電器、燃料電池運具，以及建築節能改造，可額外創造 1600 萬的就業機會。為了達到 2050 年淨零的目標，其電力來源 90%來自於再生能源，其中 70%是太陽能及風能，其裝置容量要提升四倍以上，而電動車銷售量則比現今提升 18 倍。除了改變發電結構以外，零碳建築(Zero-carbon-ready building)是計算建築碳排時，需涵蓋建築營運、搭建、和材料生產等各階段，因此建築須具備良好被動式設計、整合再生能源，以及使用低碳建材等要件。於 2030 年全球 20%既有建築需翻新，2050 年超過 85%的建築需遵守零碳建築能源法規。

以下回顧說明國際上有關各國住商部門減碳策略及減碳潛力之措施：

第一節 各國住商部門之減碳措施文獻評析

2.2.1 各國推動淨零能源建築的政策與鼓勵機制

自從巴黎協定簽訂後，世界各國都紛紛致力於推廣淨零能源建築，其中也各自提出了許多政策與鼓勵措施。而建築節能法規(Building Energy Codes)為普遍推廣的政策，但因為各國政治、經濟、環境及社會等因素，對其執行的強度皆有差異，圖 2-1 顯示世界各國使用建築節能法規的強度差異情況。其中有包括美國、日本、澳洲和德國等 12 個國家強制執行建築節能法規；在印度、巴西和墨西哥等 60 多個國家則有持續制定自願性的建築節能法規；在多個非洲國家和阿爾巴尼亞等則為建立建築節能法規。歐盟(EU)國家根據各國的建築發展，在建築能源性能的基礎上，在 2010 年提出《建築能效指令》(Energy Building Performance Directive, EPBD)，其中訂定歐盟國家中，在 2019 年時，所有新建公共建築要實現近零能耗建築(Nearly Zero Energy Buildings, NZEBs)的標準，2021 年時，則擴展至所有新建建築皆要實現近零能耗建築(Concerted Action EPBD 2016)。丹麥制定了《2025 年能源政策展望》，提出可再生能源的比例要占所有能源消耗的 30%。使用超過 100 兆瓦時/年的消費者必須安裝一個智能電表。雖然沒有對居民用戶做出強制性規定，但丹麥已經提供了遠程計量的指導方針(Danish Transport and Construction Agency 2015)。德國自 2002 年以來，在獲得聯邦政府頒布的《節能條例》(EnEV)下的《節能法》的批准後，開始應用建築節能設計標準。該法在 2016 年進行了修訂。作為邁向近零能耗建築(NZEBs)的逐步措施的一部分，該措施規定 2016 年 1 月 1 日後提交的建築許可證的一次能源不應超過參考建築所需的 75%，2009 年在《可再生能源熱法》下增加了新建建築的 NRE 分配標準。德國自 2002 年以來，在德國聯邦政府頒布建築節能法批准後，開始應用建築節能設計標準，其中規定自 2016 年 1 月 1 日後提交的建築許可證申請中的一次能源(primary energy)不應超過建築所需能源的 75%，2009 年在《可再生能源供熱法》中增加了新建建築的再生能源分配標準。德國也制定了到 2020 年 100%使用智能電表的目標，以追求歐盟的指導方針(Feist 2015)。法國法令強制規定“能源儲蓄”(BEPOS)標準，該標準規定，建築使用的能源不應超過參考建築所需的能源量(BEPOS_{max})，並使用再生能源。而不是單以零能耗建築為最終目標，並從 2020 年開始對新建建築實施(International Energy Agency 2008)。日本在 2009 年 5 月啟動了，以調查追求 ZEB 的詳細測量，建設零能耗房屋(ZEHs)，從而提出了一個整體的 ZEB 願景。日本對 ZEB 的量化定義如下。首先，建築不得超過標準值 50%的一次能源消耗量。其次，建築必須通過使用可再生能源節省 100%以上的一次能源消耗，或者通過增加可再生能源實現一次能源消耗減少 50%(Cui and Niu 2011)。美國奧巴馬政府的目標是到 2020 年實現住宅的 ZEBs，到 2025 年實現非住宅的 ZEBs，並增加再生能源的使用，並建立穩定的再生能源供應鏈，美國各州會根據各自的發展情況提出目標。例如，加利福尼亞州的目標是在 2020 年之前對新的住宅建築采用 ZEBs，在 2030 年之前對非

住宅建築採用 ZEBs (American Society of Heating 2016)。由以上可看出各國淨零能耗建築的推廣方式皆不盡相同，但因為各國政府間的互相交流與學習，仍有許多政策或鼓勵措施在多個國家被執行，表 2-1 為東南亞國家協會(ASEAN) 推廣淨零碳建築的主要三個面向，分別是政策規範、和鼓勵措施(International Energy Agency 2022)，此雖然為針對新加坡、馬來西亞及泰國等東南亞國家的推廣政策的匯整，但三個推廣淨零耗能建築事實上也已被其他許多國家採用，以下會針對加拿大、日本、韓國及中國的政策發展及制定、推廣措施以及所面臨到的困難來詳細講述。

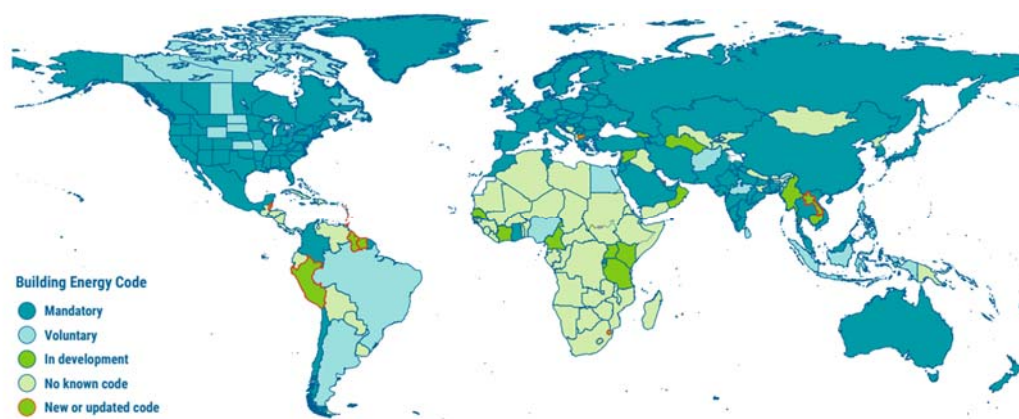


圖 2-1 世界各國對建築能效標示的應用概況

(資料來源：(International Energy Agency 2020))

表 2-1 東南亞國家協會(ASEAN)推廣淨零碳建築的政策概要

政策面向	政策	內容
法律訂定	建築節能標章	為針對新舊建築，規範其最低能源耗、熱性能、可再生能源系統的使用和建築結構等
	產品規範	對電器、建築系統和設備實行強制的最低能源性能標準（MEPS），並定期更新規範準則。
	建材的選擇規範	強制要求公共建築使用低碳材料以及高效設備和電器
	拆除建築的廢棄物處理	訂定拆除建築所產生的廢料收集、再利用和回收計畫
	再生能源供電系統的建設	建設已可再生能源為來源的電網系統，並提出相應的法規；提出逐步取消化石燃料的補貼；強制要求將可再生能源納入城市規劃。
基礎建設	建築能效證書	建設針對新舊建築的建築能源認證，以要求建材效和能源應用效率。
	能源效率分級制度	基於能源和設備性能等，對新舊建築進行強制性評級制度。
	披露 和 基準化	對新建築和大型翻新建築項目的能源和熱性能強制規範其需取得能源效率證書或使用一定能源效率等級的設備。
	教育人員的培訓	建立低碳建築、裝修、建築能源管理方面的專業人員認證體系，和推出相關課程。
	提高民眾對於淨零能耗建築的認識	提高消費者對淨零能耗建築、節能改造政策和激勵措施的認識。

	數位能源管理系統的應用	推出用於評估建築能效的數位能源管理系統
鼓勵措施	資金補助	新舊建築翻新補助、貸款、退稅與再生能源系統安裝補助。
	鼓勵措施	加速建築許可等證照的申請審核速度、優先開發土地
	交通政策	鼓勵搭乘或駕駛使用再生能源的交通工具，並提出能源價格補助政策

(資料來源：(International Energy Agency 2022))

2.2.2 加拿大的淨零能源建築政策與鼓勵機制

加拿大建築部門的二氧化碳排放量近十年來波動很大，在 1990 年時有 71.2 萬公噸二氧化(MtCO₂)，在 2018 年上升最高峰到 92.9 MtCO₂，而 2020 年則排放了 87.8MtCO₂，建築部門占加拿大溫室氣體排放量的 12% (ECCC 2022)。根據「巴黎協定」，加拿大已訂定了將於 2050 年達到淨零排放的目標，且也發佈了相關政策已實現此目標，且為了實現這個目標，加拿大政府從 2019 年 8 月開始，「影響評估法(IAA)」建立了評估關於環境、社會和經濟影響的流程，而評估過程是基於實現「巴黎協定」的承諾。此外，加拿大環境與氣候變化組織(Environment and Climate Change Canada, ECCC)也會在每五年重新審視及更新氣候變化的政策。ECCC 於 2020-2021 發佈氣候變化的政策內容如下：

- 量化溫室氣體淨排放量
- 減少溫室氣體，並計劃在 2050 年實現淨零排放
- 發展低碳建築：目前政府政策要求所有新建的公共部門建築取得 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)證書，其中規範建築過程和其建材需使用低碳的材料，並提出相應的獎勵措施。

加拿大聯邦政府為了推廣建築近零耗能建築，從 1991 年開始，提供了人員培訓、技術研發和資金援助等支持，並提出能源績效合約(Energy performance contract, EPC)，此政策的推廣，讓整府每年節省加幣 5900 萬，其中加拿大的私人公司為了表示對節能減碳的支持，更是資助 4.2 億加幣。為了提升建築能源效率以支持節能減碳，加拿大自 2014 年起便成立淨能耗住宅建築委員會(Net Zero Energy Housing Council)，旨為支持加拿大住宅建築協會(Canadian Home Builders' Association, CHBA)對於提升住宅的建築使用能源效率。淨能耗住宅建築委員會又更進一步提出加拿大對淨零能耗建築、近零能源建築和準近零能耗建築的定義，圖 2-3 為其對最理想情況下的淨零能耗住宅建築各項技術策略圖示。在 2016 年時，在「泛加拿大清潔成長與氣候變遷架構」(Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change, PCF)中更是擬訂在 2030 年時，所有新建建築都要符合淨零能源的標準。圖 2-2 為加拿大建築能效標示(Energy Guide)之標籤。

表 2-2 加拿大淨零能耗建築與準淨零能耗建築的定義

Net Zero Energy Building 淨零能耗建築	當再生能源與建築耗能量相同時，意即節能量 100%，則達成淨零能耗建築。
------------------------------------	--------------------------------------

大 2016 至今用於推廣淨零耗能建築的資金投資概況。此外，2020 年開始，加拿大基礎建設投資銀行釋出 20 億加幣的資金貸款給大型建築之節能整建方案。

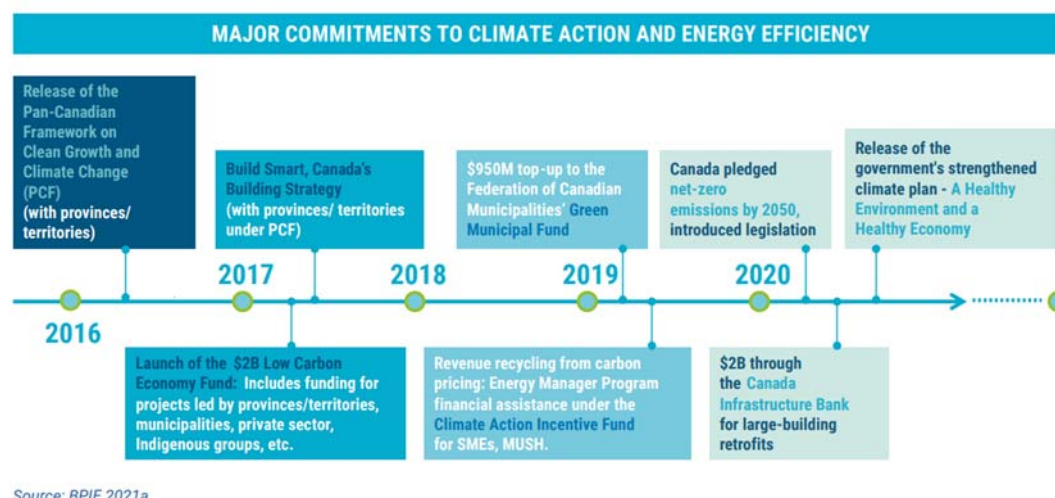


圖 2-4 加拿大對於淨零耗能建築和能源資金投資概況

- 加拿大淨零能耗建築的資金補助措施

- 加拿大全國性住宅節能改造補貼(eco ENERGY Retrofit - Homes)

此補貼項目旨為改善住宅的能源性能。補助對象包括自住和租賃單位、社會住宅和住房合作社的住宅。該計劃使用第三方交付系統，並在加拿大自然資源部的許可下提供能源評估服務。加拿大自然資源部為專門培訓能源顧問和質量控制人員的單位，並提供能源審計服務。其中，能源顧問執行負責住宅建築改造前的評估，並提供建議改善的項目清單，提出該建築的能源效率評級 EnerGuide 等級，並要求在 18 個月內實施部分需要改善的項目。能源顧問執行改造後評估，確定已造完成並合乎要求後，並會為業主提交補助申請，而補助項目、補助要求及金額列於表 2-3:

表 2-3 加拿大住宅建築改造補助項目、金額及補助要求

補助項目	補助金額與限制
閣樓隔熱	補助上限 1800 USD (隔熱面積越大，補助越多)
外牆隔熱	退稅金額 660~5000 USD (保溫面積越大熱阻就越大，得到的退稅越多)
外殼樓版(如屋頂、露台樓版等)	定額補助美金 350 元。 (對鄰外氣樓地版進行隔熱處理的面積需至少有 11m ² 。
窗戶或落地窗	定額補助 125 美元/窗。 (更新之窗戶或落地窗其能源等級需≥ 34)
	定額補助 250 美元/窗。 (更新之窗戶或落地窗其能源等級需≥ 40)
鉸鏈式門(hinged door)	定額補助 125 美元/門。 (將鉸鏈式門改成連窗門(sidelight door)，且能源等級需≥ 34)
自動溫度調節器	定額補助美金 50 元

安裝地源熱泵	定額補助美金 5000 元
更換地熱熱泵機組	定額補助美金 3000 元
安裝空氣源熱泵	定額補助美金 2500 元
安裝太陽能板（單戶住宅）	補助美金 1000/Kw
安裝太陽能板（公寓）	定額補助美金 1000 元

（資料來源: (Audit 2022)）

2. 艾伯塔省太陽能計劃(Alberta Solar Energy Program)

加拿大艾伯塔省的太陽日照時間相較於其他地區長，當地政府也積極鼓勵民眾使用太陽能發電，以下為此計畫的詳細資訊，補助對象僅限於加拿大艾伯塔省。

- 學校建築太陽能應用：針對使用太陽能發電的幼稚園、國民小學和國民中學進行退稅補助。其中，發電系統用電在 10 千瓦以下的學校，每瓦可退稅 1.5 美金；發電系統用電在 2 到 5 兆的學校，每瓦可退稅 1.5 美金。
- 公共建築退稅補助：艾伯塔省的公共建築可申請補助 30% 太陽能版安裝成本的退稅補助。其中，發電系統用電在 10 千瓦以下的公共建築，每瓦可退稅 0.9 美金；發電系統用電在 2 到 5 兆的學校，每瓦可退稅 0.55 美金。另外，首次申請此補助的可以額外申請的每瓦 0.25 美金的資金補助。

3. 馬尼托巴太陽能計劃(Manitoba Solar Energy Program)

加拿大的馬尼托巴省陽光也十分充足，適合太陽能發電。因此當地政府為了推廣太陽能的應用，推出了此計畫，並主要針對住宅、商業和工業建築。太陽能計畫提供兩種支持系統：一次性撥款支持以及住宅貸款，詳細資訊如下：

- 一次性撥款補助：住宅、商業和工業建築可以獲得安裝容量至多至 200 kW 的安裝費用補助，唯系統必須連接到電網。補助的安裝費為每瓦 1 美元。該激勵措施的上限是年平均電力消耗水平，並逐項進行評估。
- 購買太陽能係統的住宅貸款：適用於住宅及非季節性客戶，貸款利率為 4.9%，最高融資額限制在 30,000 美元。
- 太陽能安裝費用之貸款：馬尼托巴省的居民可以貸款 500 至 30,000 美元，以安裝太陽能板，且無需首付。

4. 不列顛哥倫比亞省能源效率補助金(British Columbia Energy Efficiency Grants)：

居住於加拿大不列顛哥倫比亞省的居民如需安裝或使用太陽能發電，皆可向當地政府申請退稅補助，而補助內容如下：

- 安裝再生能源系統補助：針對當地住宅建築，如果業主要將住宅改為使用再生能源的系統時，可申請定額每戶 250 美金的補助。
- 業主免繳銷售稅：對於當地生產再生能源相關設備的廠商，無須繳納銷售稅。包括：太陽能電池板、電線、充電控制器和逆變器等。

5. 新布朗斯維克省能源效率補助金(New Brunswick Energy Efficiency Grants)：

新布朗斯維克省對住宅及商業建築都設置再生能源應用的鼓勵措施。這些鼓勵措施包括：

- 智慧商業建築改造補助：該計劃為商業建築的太陽能系統改造提供資金獎勵。該計劃為商業建築的能源審計評估提供高達 3000 美元的資金。此外，最高可提供 75,000 加元用於能源改造項目的費用。
- 住宅安裝太陽能板補助：居民將住宅改安裝成太陽能板時，可獲得太陽能板電池安裝費每瓦特 0.2 至 0.3 美元的資金補助。

6. 魁北克省能源效率補助金(Quebec Energy Efficiency Grants)：

魁北克省的能效計劃提供多項補助，針對住宅建築提升其能源運用效率，包含以下設備：

- 熱水器：上限 25,000 美元
- 冷凝式熱水器：上限 20,000 美元
- 熱水鍋爐：上限 1,100 美元
- 冷凝式無槽熱水器：上限 300 美元；
- 智能恆溫器：符合 ENERGY STAR 標準的溫度控制器 25 美元

2.2.3 日本住商部門的淨零能源正色與鼓勵機制

日本的產業發展主要可分為電力及產業、民生運輸(非電力)這兩部分，其中電力部門著重於非石化電力供給的擴大；產業民生運輸方面則注重在二氧化碳封存、石油燃料水素化、合成燃料技術等方面的議題。

日本從設備供應端以及需求端積極推動設備節能措施，設備供應端以直接限制低效率設備作為手段，以最低能源效率標準（Minimum Energy Performance Standards, MEPS）限制廠商生產或進口達到標準之設備(陳麒任 2017)；而在需求端則積極提高用戶採用節能措施之意願，並搭配能源服務制度（Energy Service Companies, ESCO），透過設備的監控以及驗證機制確保用戶的節能效益。

日本政府針對設備自 1999 年起採用 Top Runner 的制度，目標是提升設備效率，促進住宅、商業與運輸部門的節能成效。Top Runner 管制的項目以高市場普及率的設備為主，規定管制設備在目標年限內需達到效率標準，而該效率標準以目前市場上同期產品效率最佳者為標竿，從初期 11 項管制項目，至今天已達 23 項，而日本政府亦於 2006 年時要求電視、微波爐、冰箱、販賣機、DVD 播放器、冷氣、電鍋、汽車等設備的效率水準提升 7%~34%。此一制度的實施大幅提升日本家用設備之效率，在相同使用時數之下所耗費的能源更少。

日本針對建築節能性能評估訂有《能源使用合理化》（The Law Concerning the Rational Use of Energy, 1998）的法律規範，採用 PAL（Perimeter Annual Load）與 CEC（Coefficient of Energy Consumption）性能指標法，前者用以評估建築外周區整年的熱負荷，後者則規範建築耗能設備之能源使用效率，將建築節能標準分為大樓以及住宅兩大類，並且提出建築隔熱材之性能係數標準與出版住宅節能設計施工指南。針對住宅類的建築，節能手段主要著重在外殼設計，而對大樓建築的節能標準管制較為嚴苛，包含：建築外殼熱損失、空調設備能源使用效率、

非空調設備之機械通風能源使用效率、照明設備能源使用效率、熱水供應設備能源使用效率、升降機設備能源使用效率。而在 2008 年之後，日本修訂《能源使用合理化》的規章，加強規範效果，修正內容著重在大型建築物需主動向主管機關通報建築的節能措施與安全維護狀態，並且規定建築物的販售或者租賃業者須公開建築物的節能性能標示。若為建築物為獨棟住宅，且達到外牆、窗戶、設備以及熱水的性能，可標示「住宅符合業者判斷基準」。

- 日本建築節能與日本節能減碳政策

日本政府近年有關建築能源相關之國家政策主要是由國土交通省(相當我國內政部與交通部)、經濟產業省(相當我國經濟部)及環境省(相當於我國環保署)等 3 個平行單位跨部會合作、專業分工，擬訂中長程政策。其中國土交通省所負責的即為建築物節能法令等基準制定並基於耗能計算推動 BELS 建築能源標示、環境省則以巴黎協定減少二氧化碳之低碳社會為目標，以一般民眾為對象，制定減碳推廣政策。而經濟產業省則研擬日本國家之能源基本計畫，並研擬相關前瞻對策。

日本(環境省)於 2015 年 7 月於聯合國提出，2020 年後之溫室氣體減量政策。目標為 2030 年之溫室氣體排放量應較 2013 年減量 26%，其中住宅與非住宅建築應較 2013 年減量 40%，為達成上開目標，日本環境省於 2016 年彙整相關部會並制訂各部門減碳策略，確立了新建建築物的節能強制化、既有建築物節能改善與推動零能源建築等 3 項有關建築物的節能政策(國土交通省)，另訂定高效率照明與家用電池的普及政策(經濟產業省)與導入 BEMS 與 HEMS 進行徹底的能源管理政策(國土交通省與經濟產業省)。

隨後國土交通省在 2015 年 7 月，頒布了《改善建築能耗性能法(建築節能法)》，並於 2016 年 4 月開始實施，主要有兩大輔導政策：

1. 節能改進計劃的認證(獲得具有佳節能性能認證之建築物，具有容積獎)。
2. 建築耗能標示(BELS)的推動。

在 2017 年 4 月開始針對大規模的非住宅類建築(2,000 m² 以上)必須強制通過 BELS 認證，中等規模以上的所有建築物(300m² 以上)則都必須於申請建築執照時提出建築耗能指數(BEI)的計算結果等強制性政策。國土交通省在 2019 年 5 月，對《建築節能法》進行修訂，主要加強房屋和建築物的節能措施規定，以實現《巴黎協定》的溫室氣體減排目標，規劃將所有中等規模非住宅類建築物(300m² 以上) 都必須強制計算建築耗能指數(BEI)並應符合建築節能法所定之節能基準、新增複數建築物節能性能評價，並制定設計單位應將建築節能性能向建築所有人說明之義務。同時有關 ZEB 與 ZEH 政策亦於 2018 年 7 月第五次基本能源計劃確定於 2020 年所有新建公有建築、2030 年 50%新建建築物應符合 ZEB 標準，新建住宅亦應於 2030 年達到 50%新案應符合 ZEH 標準。而在既有建築物部分，主能政策仍是以設備更換補助與節能改善工程補助等鼓勵性之政策為主。

因此由以上可知，日本的建築體系規範主要是由日本建築節能法、BELS 及 ZEB/ZEH 所構成，且計算依據皆為 BEL，其中在公有建築物部分均以為強制性規定，而要申請 ZEB/ZEH 的建築須先取得 BELS。表 2-4 為三個規定的特色概要：

表 2-4 日本建築規範與標示彙整

	節能要求	法律強制性	指標分級
建築節能法	低	強制	無
建築耗能標示(BELS)	中	部分強制	5 級
住宅及建築物之零耗能(ZEB/ZEH)	高	鼓勵	3 級

(資料來源：本研究室整理)

- 建築耗能標示(BELS)與建築耗能指數(BEI)

日本近零能源建築能源計算主要是透過 BELS 系統，並已在該國建築基準法中立法完成，為所有新建建築於申請建築許可時之必備文件；BELS 標章與評估項目也與我國綠建築評估系統之建築節能項目相近。日本建築基準法所定之 BELS 系統主要是基於日本國立研究開發法人建築研究所開發的能源計算程式計算得的 BEI 值，並與同類型建築物之耗能程度。此程式為網路架構，並可免費使用，分有住宅與非住宅類差異，使用者可依網頁指示逐步輸入各項建築物參數，即可計算得到所輸入之設計較同類型基準建築耗能差異。圖 2-5 日本能源標示 BELS 標章與零能源建築政策整合圖 2-5 為日本淨零建築、近零建築與準淨零建築之標章。



圖 2-5 日本能源標示 BELS 標章與零能源建築政策整合

(資料來源：(日本建築研究所 2022))

圖 2-6 為日本 BELS 之分級，區分為三種建築類別，並以五星等表示。其中之比較基準是參考 2013 年建築耗能普查所之之平均值，訂定各類型建築耗能基準值為 1.0。

☆数	住宅用途	非住宅 用途1 (事務所等、学校等、工場等)	非住宅 用途2 (ホテル等、病院等、百貨店等、飲食店等、集会所等)
★★★★★	0.8	0.6	0.7
★★★★	0.85	0.7	0.75
★★★ 誘導基準	0.9	0.8	0.8
★★ 省エネ基準	1.0	1.0	1.0
★ 既存の省エネ基準	1.1	1.1	1.1

圖 2-6 日本 BELS 分級說明

(資料來源：日本建築研究所 2022)

- 日本淨零能源建築(ZEB)之定義與評估方式

日本 ZEB 依照建築零耗能的實現比例分成三個等級，如圖 2-7 所示，各 ZEB 等級之定義說明如表 2-5。相對在住宅方面因基地條件與使用情形較一般建築更為複雜，淨零能源住宅(ZEH)之定義與說明如(資料來源：日本建築研究所 2022)

表 2-6 所示，圖 2-8 則為日本對於住宅建築 ZEH 系列的能源應用差異與需要達到淨零建築所需的能源改善量。

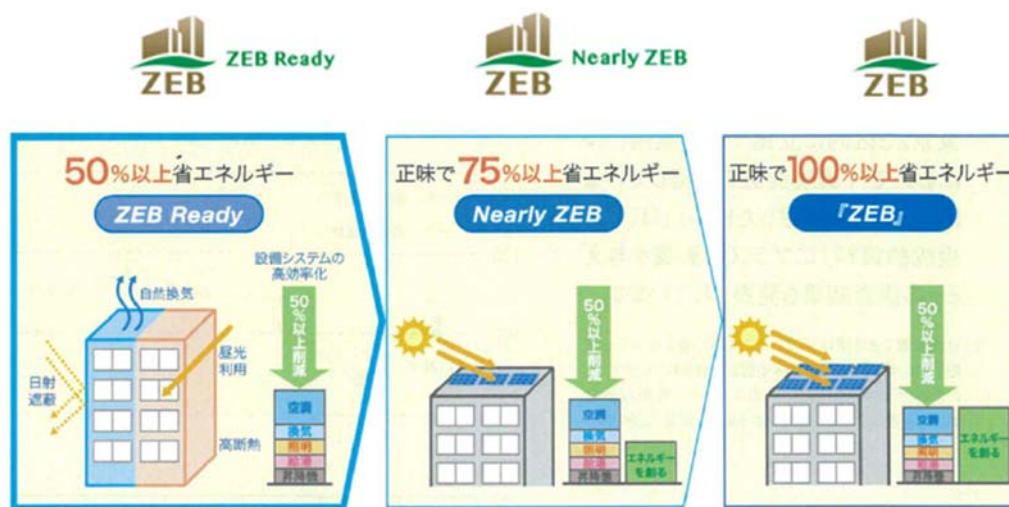


圖 2-7 日本 ZEB 分級制度與定義

(資料來源：(日本建築研究所 2022))

表 2-5 根據能耗表現定義三階種等級的 ZEB

等級	定義
ZEB 淨零能耗建築	當再生能源與建築能源量相同時，也就是節能量 100%，則達成淨零能耗建築。
ZEB Nearly 近零能源建築	將 ZEB Ready 導入再生能源以減少建築耗能 25%，也就是實質節能 75%以上時，即為近零能源建築。

ZEB Ready 準近零能耗建築	透過 BELS 計算建築設計之成果可較同類型的基準耗能量節能 50%
----------------------	------------------------------------

(資料來源：日本建築研究所 2022)

表 2-6 根據能耗表現定義三階種等級的 ZEH

等級	定義
ZEH 零能源住宅	當再生能源與建築能源量相同時，也就是節能量 100%，則達成淨零能耗建築。
ZEH Nearly 近零能源住宅	將 ZEH Ready 導入再生能源以減少建築耗能，讓實質節能 75%以上時，即為近零能源建築。
ZEH Ready 準零能源住宅	透過 BELS 計算建築設計之成果可較同類型的基準耗能量節能 20%

(資料來源：日本建築研究所 2022)

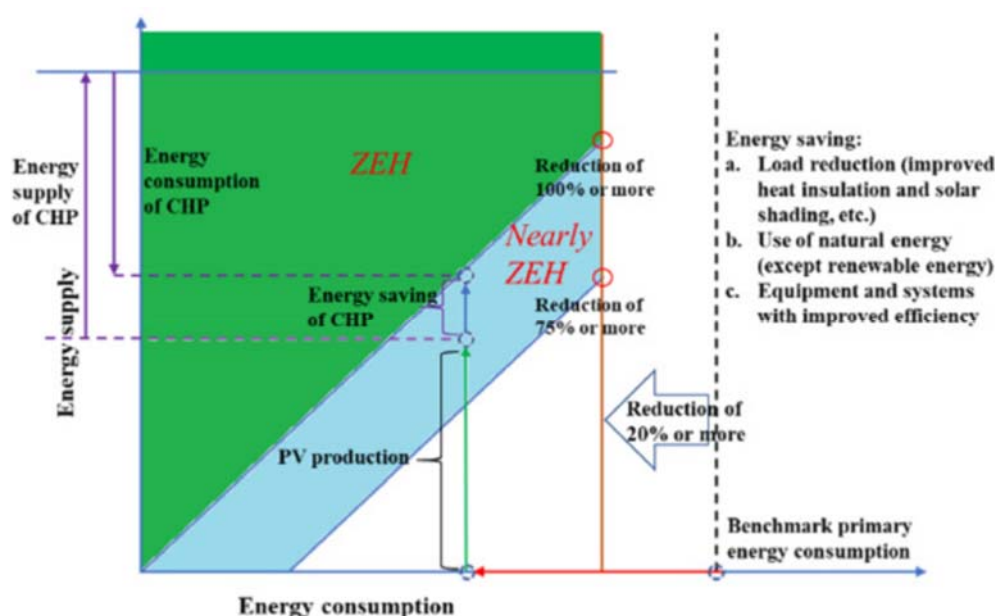


圖 2-8 住宅建築 ZEH 系列的能源應用差異

(資料來源：(Y. Li, W. Gao et al. 2020))

有關 ZEB 與 ZEH 的推動日本政府於 2015 年時公布之推動藍圖，均是以 2020 年前完成新建公有建築或 50%新建住宅應該達到準零能源之標準，並逐步推動至 2030 年前所有新建建築或住宅達到準零能源之標準，其中之過渡期亦逐步推動強制化之法令。於 2018 年日本 ZEB 與 ZEH 委員會均公布相關推動成果，ZEB 部分已達 2020 之目標，而 ZEH 部分 16%新建住宅已符合 ZEH 標準，並針對推動結果提出改進措施與調整政策方向。

日本為推動 ZEB 政策，經濟產業省召集相關學界組成委員會，分別就 ZEB 及 ZE 的進行統一定義、制定政策藍圖與檢討執行狀況。而委由日本社團法人環境共創倡議(社團法人環境共創イニシアチブ Sustainable open Innovation Initiative, SII)辦理 ZEB/ZEH 之相關實證、補助與推廣。其內容可分為耗能揭露制度、補助金制度，如下說明。

1. 建築耗能揭露與登錄

建築耗能揭露制度係由經濟產業省規劃，由 SII 辦理，分有 ZEB Planner、ZEB Leading Owner、ZEH Planner、ZEH Builder 及 ZEH Developer 登錄。申請以 ZEB Planner 流程為例，首先，業主需自行上 SII 網站上填寫申請表格，網站上的登錄表如圖 2-9 所示，並根據要求將必要文件寄去 SII 當局；之後 SII 會審理 ZEB Planner 註冊申請的細節，並進行文件審核。如果確認合格，SII 會編制 ZEB Planner 的註冊表，並將申請者公司公布於 SII 網站上公布，並頒布 ZEB Planner 註冊證書。

ZEB29P-00004-PGC ZEBプランナー登録票

法人名 株式会社アル・工業 所在地 富山県

登録種別

設計 建築設計 設備設計 設計施工 設備設計施工 コンサル 建築コンサルティング 設備コンサルティング 省エネコンサルティング

ZEB 相談窓口

部署名等 産学官連携事業部

住所 富山県富山市下野 1-6 富山市新産業支援センター 403号

TEL 076 - 471 - 6059 FAX 076 - 471 - 6058

E-MAIL ra-eco@abellia.ocn.ne.jp

HP http://ra-hokuriku.jp

対応可能なエリアと建物用途・規模

地域	都道府県	建物用途	規模
北海道	北海道	事務所等	ホテル等
東北	青森 岩手 宮城 秋田 山形 福島	病院等	物販店舗等
関東	茨城 栃木 群馬 埼玉 千葉 東京 神奈川	学校等	集会所等
北陸	新潟 富山 石川 福井		
中部	山梨 長野 岐阜 静岡 愛知		
近畿	三重 滋賀 京都 大阪 兵庫 奈良 和歌山		
中国	鳥取 島根 岡山 広島 山口		
四国	徳島 香川 愛媛 高松		
九州	福岡 佐賀 長崎 熊本 大分 宮崎 鹿児島		
沖縄	沖縄		

規模を問わず対応可能

ZEBプランニング実績 10 件

登録年度	都道府県	新築/既存建築物	建物用途	延べ面積	階数	竣工年	一次エネルギー削減率	ZEBランク		
							削減率			
1	2017	富山県	新築	集会所等	1,028 m ²	2階	2014	56.2 %	56.2 %	ZEB Ready
2	2017	富山県	新築	病院等	2,103 m ²	2階	2016	52.3 %	52.3 %	ZEB Ready
3	2018	富山県	新築	病院等	2,003 m ²	1階	2017	52.9 %	62.3 %	ZEB Ready
4	2018	富山県	新築	集会所等	632 m ²	1階	2017	68.8 %	68.8 %	ZEB Ready
5	2018	奈良県	新築	病院等	1,028 m ²	2階	2017	52.8 %	52.8 %	ZEB Ready

ZEB以外の省エネ建築物プランニング実績 3 件

圖 2-9 ZEB Planner 登録表

(資料來源：(Seiko Instruments Inc 2022))

ZEB 與 ZEH Planner 登錄主要分有設計單位、設計施工單位與顧問單位，登入資格為擁有近零能源建築或節能建築規畫設計實績並對外公開，同時承諾在 2020 前推出之新案 50%以上為近零能源建築，竣工後應提供一年的建物能源使用資料。藉由登錄為 ZEB 及 ZEH Planner 有助其他開發者找尋到合適優秀設計單位，也是一種對於規畫設計單位的表揚。而 ZEH Builder 則是專門針對施工廠商進行登錄。ZEB Leading Owner 則是以擁有 ZEB 的業主單位為對象登錄，以公開作為表揚，除了可以成為該單位的公共關係(PR)亮點外，並提升為所有企業的企業社會責任(CSR)，推廣近零能源建築理念，其登錄制度目的與年度規劃如圖 2-10 所示。ZEH Developer 則是針對大型建案的開發商設立與 ZEB Leading Owner 目的類似，都是以開發者業主為導向進行推廣。前述經登錄完成的單位均可獲得對應的近零能源建築標示，可自由用於本身單位的宣傳文宣。

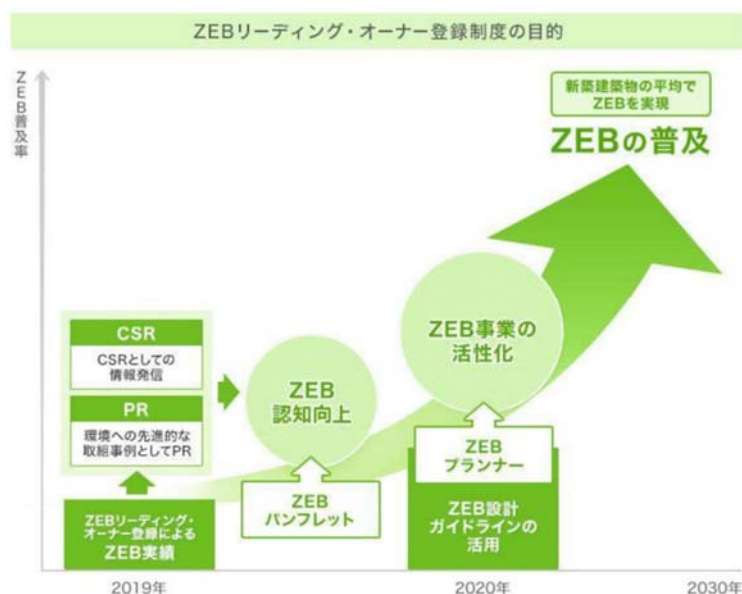


圖 2-10 ZEB leading owener 登錄機制的目的與年度規劃

(資料來源：(Seiko Instruments Inc 2022))

2. 補助金制度

ZEB 及 ZEH 補助金制度由經濟產業省及環境省指導，分別由不同法人單位檢核申請資料並發放。ZEB 的補助對象皆為建物所有人或 ESCO 廠商，表 2-7 為根據 ZEB 建築根據建築面積與補助單位劃分補助金的補助說明，可知當建築總面小於 2000 m² 時，新舊建築的業主只需根據其獲取的近零建築能效證書(ZEB, Nearly ZEB)即可向環境省申請補助；當建築面積在 2,000 m² 至 10,000 m² 時，新建建築還是可向環境省申請補助，而既有建築只能向當地政府申請，或轉而向經濟產業省申請。最後，當建築面積大於 10,000 m² 者，不論新舊建築皆只能向經濟產業省申請補助，或向當地政府申請。以上來自環境省和經濟產業省的補助上限皆為每年 5 億日圓。

表 2-7 新舊建築的 ZEB 補助金制度與補助來源總覽

總面積	環境省		經濟產業省	
	新建築	既有建築	新建築	既有建築
< 2000 m ²	1. ZEB: 補助比例 3/5 至 2/3 2. Nearly ZEB: 1/2 - 3/5 3. ZEB Ready: 未補助或 1/2 上限 1 年 5 億日圓	1. ZEB: 2/3 2. Nearly ZEB: 2/3 3. ZEB Ready: 不在補貼範圍內或 2/3	-	-
2,000 m ² -10,000 m ²	1. ZEB: 3/5 - 2/3 2. Nearly ZEB: 1/2 - 3/5 3. ZEB Ready: 1/3 - 1/2 上限 1 年 5 億日圓	地方政府補助	-	最高可補助 2/3，上限為 1 年 5 億日圓

≥10,000 m ²	地方政府補助	地方政府補助	最高可補助 2/3，	最高可補助 2/3， 上限 1 年 5 億日圓
------------------------	--------	--------	------------	----------------------------

(資料來源：(Seiko Instruments Inc 2022))

而日本對於新舊住宅建築的補助機制如表 2-8 所示，可知環境省除了對新建獨棟建築的定額補助外，尚有特別鼓勵可再生能源同時結合蓄電池蓄電的應用，依電池之蓄電總瓦數補助；經濟省則以提升高效率的節能設計為主，針對新建獨棟住宅或 21 層樓以上的大規模集合住宅提供資金支援。

表 2-8 新舊建築的 ZEH 補助金制度總覽

補助來源	補助建築類型	補助說明	補助範圍
環境省	新建獨棟住宅	對新建符合獨立屋 ZEH 發行要求的新房定額補貼	定額補助 550,000 日元/戶
	新建/既有獨棟住宅	獨立式住宅 (ZEH+) 統一補貼，旨在通過比 ZEH 更節能和設備高效運行來提高可再生能源的自用率	定額補助 100 萬日元/戶
	新建、既有獨棟住宅	在上方安裝併網蓄電池，使用一定數量或更多有助於低碳化的材料 (CLT (正交層壓木) 等)，或單獨使用先進的可再生能源熱利用技術。	單獨的補助蓄電池 20,000 日元/kWh (上限 200,000 日元/個)
	既有獨棟住宅	既有獨棟建築保溫改造	最高可補助 1/3，上限為 120 萬日元/家。(蓄電池和電熱泵熱水器分開補助)
	既有 6 至 20 層之集合住宅	補助對象為開發商	最高可補助 1/2，上限為 1 年 4 億日圓
經濟省	新建獨棟住宅	符合 ZEH 定義並導入更高效率的節能設計之新建住宅建造或購入個人	定額補助 125 萬日元/戶
	21 層以上集合住宅 (新建：≥ 10,000 m ² 既有：≥ 2,000 m ²)	符合 ZEH 定義並導入更高效率的節能與續能設計之住宅建造開發商或購入個人	最高可補助 2/3，上限為 1 年 5 億日圓

(資料來源：(Seiko Instruments Inc 2022))

2.2.4 歐盟住商部門之溫室氣體減量措施

歐盟的建築能效評估早在 2002 年即開始推行，其評估方法區分為「計算評估法(Calculated Rating)」與「能源單據評估法(Measured Rating)」。歐盟所執行的認證系統分為兩類，其一為建築能效認證 EPC (Energy Performance Certification)，係針對新建建築並以能源模擬為主之評估方式；另一為能源揭露認證 DEC (Display Energy Certification) (Healy 2013)，是專為既有公共建築使用。使用於新

建建築的計算評估法與適合於既有建築的能源單據評估法，常被同時使用。根據歐洲建築能效機構 Buildings Performance Institute Europe (BPIE 2014)的報告，歐盟各國推行建築能效認證(EPC)評估工具的現況如圖 2-11 所示，其中 14 國只採用計算評估單軌制，其他各國則採用計算評估與能源單據評估雙軌制(如英國)，其中有些國家之能源單據評估法只適用於非住宅建築，有些則可適用於既有建築或新建築。

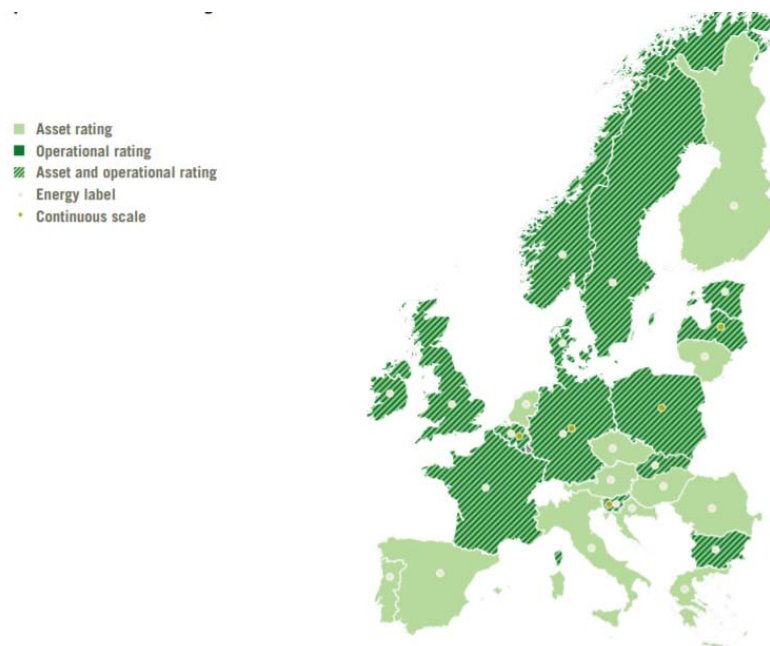


圖 2-11 歐盟採用計算評估或能源單據評估的分佈圖

(資料來源: (BPIE 2014))

歐盟「建築能源效率指令」簡稱 EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)自 2002 起開始要求會員國對新建建築採用建築能效認證 EPC，並導入建築能源護照制度 EPC (Energy Performance Certificate)，並於 2006 生效，但給予一些技術未完備的成員國具有三年的緩衝期。但自 2008 年 10 月 1 日起，在歐盟管轄範圍內之建築物無論買賣、建造或租賃，建物所有權人都需要提具建築物能源效能證書。2010 年 EPBD 在修正改版時，再進一步提出「近零耗能」建築 (Nearly Zero Energy Building, nZEB)的落實時程，同時要求自 2019 年起所有新建的公有建築需達到近零耗能水準，而於 2021 年起則是所有新建築(包含民間)都需達到這個標準。然而歐盟並無對「近零」耗能有一致的定義，允許會員國可就國內現況與市場機制，根據自身的「成本效益」(cost-effectiveness)加以規範。圖 2-12 顯示在兩次 EPBD 法令公布後執行建築能效認證的歐盟會員國數量成長情況。

另一方面，為了履行歐盟建築能效指令 EPBD 的 7.3 文件(Field and Efficiency 2020)為了對既有公共建築物進行能源揭露認證目的，而提出公共建物能效標示計畫 EPlabel project，以發展一個在歐洲以實測耗能為基礎的通用能源認證方法。該計畫提出四個通用步驟：1.收集建築耗能資料以計算能效指標 EPI。2.定義耗

電評量尺度 (通常要求耗電中位數為 50%標準值)。3.以評量尺度比較評估建築的能效指標 EPI(盡量要求七等級標示,但容許地方差異)。4.評估確認節能狀況。5.進行標示建築耗能數據與等級。其中第四步驟建議要提供以下三種層級的評估方法: 1.以與數據資料庫互為比較的簡易標示法、2.納入簡易標示未加計的耗能項目的修正標示法,以及 3.以使用時間或設備密度來修正的客製化標示法(Cohen, Bordass et al. 2006)。以上對新建物的建築能效認證 EPC 與對既有建物的能源揭露認證 DEC 在英國的實例如圖 2-14 所示。

在節能政策上,計算評分法與能源單據評分法兩者是相輔相成的策略,目前歐盟在公共建築銷售與租賃階段採建築能效認證 EPC 之計算評分法,但歐盟 EPBD 只針對公有建築物強制採用能源揭露認證 DEC 之能源單據評分法。

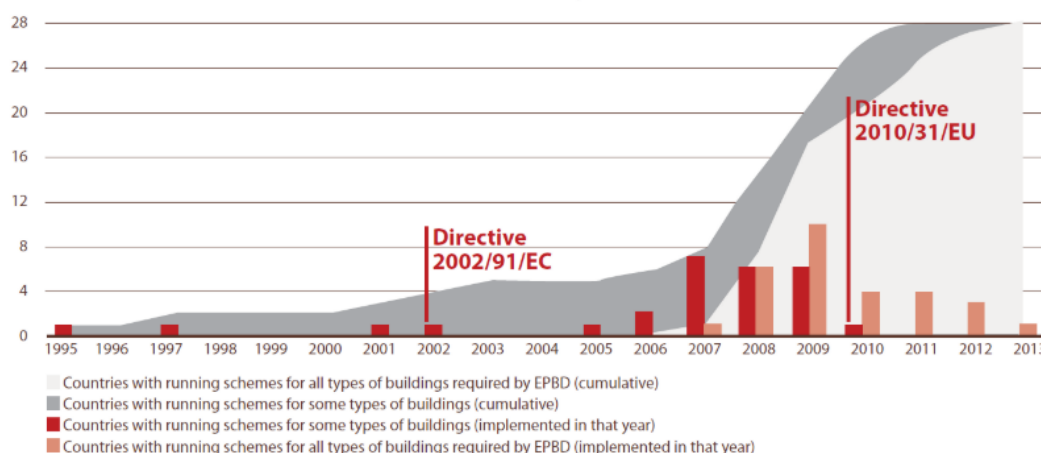


圖 2-12 兩次 EPBD 法令公布後執行能效認證的歐盟會員國成長情況

(資料來源: (BPIE 2014))

此外,在建築碳排評估方面,不管是歐盟關於新建建築的能效認證 EPC 與既有公共建築的能源揭露認證 DEC 均包含碳排評分的標示(表 2-13)。值得注意的是,此碳排評分標示僅將空調、照明、熱水等建築設備系統於日常使用階段之耗能項目換算成碳排放量而已,並不包含建材製造、運輸等階段之碳排放量。

建築部門佔歐盟國家近 40%的能耗和 36%的溫室氣體排放,而歐洲現有三分之二的建築低於能源建築物效率標準,每年翻修率約 0.4~1.2%,為加快建築物翻修率,使得能源消耗能大幅度降低,故提出一連串促進措施,包括鼓勵使用 ICT 及智慧技術於現代建築,例如在大型商業建築設置自動化控制系統 (automation and control systems) 及電動車充電設施,並導入智慧指標 (smartness indicator) 評估其建物及電網間的技術準備情況,促使建築物能源效率更佳且更具智慧性;鼓勵建築物裝修,透過資金及能源效率認證,加強國家中長期建築物翻修率策略;此外,亦放寬建築物能源效率及再生能源的民間融資規定。加速建築物改造不僅有助於能源和氣候的挑戰,亦帶來 9%的歐洲國內生產總值,及 1800 萬個就業機會,並助於城市化、數位化等經濟和社會面向的挑戰。另針對能源貧困之問題,各會員國應進行監測 並制定相關措施,以助於經濟弱勢族

群進行建築物能效提升。因此建築部門為能源效率政策的核心，可說是歐盟僅次於能源部門第二重視的產業發展重心。

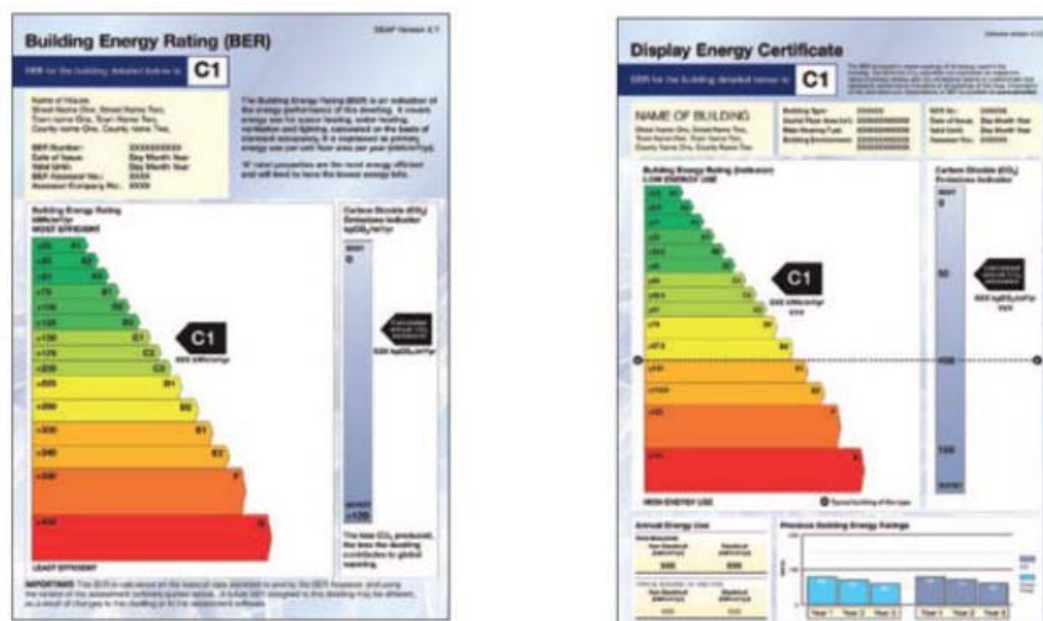


圖 2-13 BER 和 DEC 碳排的規範

歐盟在 2010 年 3 月首度公布了建築節能績效(Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)中要求歐盟成員國提出各自的建築節能策略，EPBD 2010 還要求在建築出租或出售時出示能源績效證書，要求建築翻修和改造達到最低能源消耗，包括暖氣通風空調系統，屋頂和外牆的要求，以及建立財政措施，以提高在建築上能源利用效率；並要求自 2021 年 1 月 1 日起所有新建建築在 2020 年底達到「近零耗能建築」(nearly zero-energy buildings)標準。公共建築必須在 2018 年底達到近零能耗。亦即，建築所需低度能源必須來自再生能源。歐盟能源效率指令要求成員國必須使政府之建築節能，達到每年 3%。在 2012 年時，又提出了能源效率(Energy Efficiency Directive, EED)，在原有的基礎上進一步要求成員國除了提出一份關於資金、投資銀行以及其他公共融資機構的有效性分析外，還要求成員國提出建築改造的投資計畫，並且建立能源效率目標，並在 2020 年最終達成設定的節能量，但在執行上允許彈性做法。建築能源績效指令與能源效率指令歐盟建築業主和管理者面臨比美國更加嚴格的節能政策。表 2-9 為歐盟國用於建築改造計畫的資金來源與其投資額。

表 2-9 歐盟對於建築能源效率的補助資金來源與概述

資金來源	補助措施與機制	補助總金額	Funding for EE
歐盟共同法律基金 Cohesion Policy Funding	資金操作成居包括各式金融商品（如JESSICA） Operational Programmes incl. financial instruments (e.g. JESSICA)	為可再生能源(RES & EE)提供最高 101億歐元	針對EE、能源效率和管理提供最高55億歐元
研究資金	Seventh Framework Programme (FP 7)	針對能源提供 23.5億歐	針對能源效率提供2.9億歐元的研究資金

	如: Concerto, E2B PPP, Smart Cities)	元的研究資金	
產業發展擴張 Enlargement	政策資助於IFI 機構 Policy Funding IFI facilities (SMEFF, MFF, EEFF)	最高5.523億 歐元	約有三分之一的資金用於工業和建築部門的項目
歐洲能源回收計畫 European Energy Recovery (EPR)	歐洲能源效率基金 European Energy Efficiency Fund (EEEF)	最高2.65億 歐元	針對能源效率約提供70%歐元的研究資金
競爭力與創新基金 Competitiveness and Innovation Funding (CIP)	歐洲智慧能源計畫、信息與通訊係數政策支持計畫	每個項目約 上限7.3億歐 元	針對能源效率約提供50%歐元的研究資金

● (資料來源：(European Commission 2013))

在多國年度財政會議 (Multi-Annual Financial Framework, MFF) 所提出的建議中，歐盟委員會建議增加對低碳經濟歐盟共同法律基金(Cohesion Policy Funding)的補助，並提出要將資金的 20%用於較發達及正在經濟轉型的地區已進行建設可再生能源與提升能源效率的發展，其次 6%用於剩餘發展發展遲緩的地區。並擴大發展金融措施的使用。

其中，該會議中更進一步提出能源發展會是建築節能最有效的發展之一，特別是針對公共建築。此類建築可藉由能源績效合約(Energy Performance Certificate, EPC)，讓能源服務公司或 ESCO 公司通過前期投資來提供資金，並推過實現所承諾的節約量進行再融資，來實現能源效率的提升。因此，EPC 被歐盟視為提高能源效率的金融工具，且不需要客戶投入前期的資金成本。此外，萊此會議當中還特別指出政府須加強對 ESCO/EPC 市場的支持，例如，建立更多貸款擔保系統，提高公民對 EPC 的任制等。歐盟規定每年有 3%的政府部門的建築需進行翻修，因此如果融資難度下降，有助於公門建築能源效率的改善。

2.2.5 英國住商部門之溫室氣體減量措施

英國是已將「近零能源建築」納入法規強制要求的國家。其針對新建建築採用「能源效率證書(Energy Performance Certificates, EPCs)」，使用的是計算評估法，並針對新建建築以進行性能模擬為主；而對既有建築則採用「揭露能源效率證書(Display Energy Certificate, DEC)」(Healy 2013)，使用能源單據評估法執行。以上對新建物的建築能效認證 EPC 與對既有建物的能源揭露認證 DEC 在英國的實例如圖 2-14 所示。

能源效率證書是一為期 10 年有效之證書，且於英國脫歐後全面採用數位化證書，於不動產租售或建造時均須提供。此證書內容載明各項能源之性能表現(建築外殼性能、暖氣系統、熱水系統)、能源(使用種類、用量、花費)、排碳量、提升效能的建議、預估的節能量、預估之成本，以及可申請之補助項目(設備、使用能源種類、建築外殼)與評估人員等資訊。其分級從 A 到 G 共七個等級等級，以 A 級表示為最節能，目前英國整體平均建築能源效率評分為 D 等級。

而英國於 2010 年修正能效規範時，再提出「近零耗能」建築(Nearly Zero Energy Building, nZEB)的實施時程，要求 2019 年起所有新建公有建築達到近零

耗能，2019 時，根據所有建築在 2050 年之前需要達到的性能水平，提出了關於新的和現有的商業辦公建築的最低能效目標的建議，以實現近零碳排。隔年英國更是提出在 2035 年要達到零耗能的準則指引。2021 年起則是所有新建築(包含民間)都要達到這個標準。其中，只有宗教建築、臨時建築、獨棟小於 50m²、及將被拆除的建築、歷史建築、一年使用小於 4 個月之建築等，得免申請能源效率證書。而在既有建築方面，如為公共建築且大於 250 m² 時須將揭露能源效率證書張貼於建物明顯處，以供檢驗。

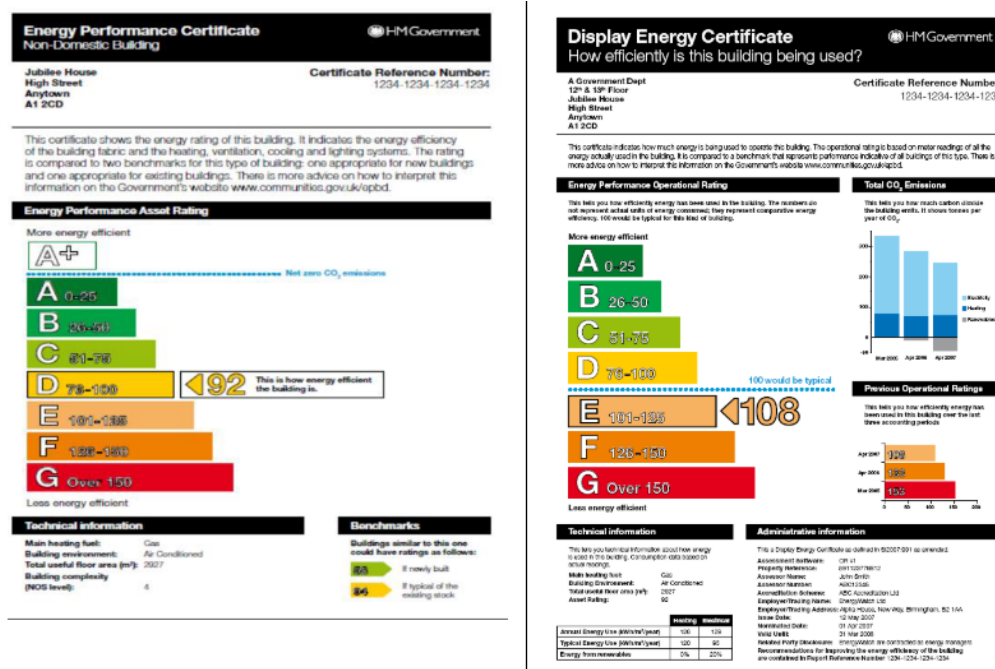


圖 2-14 英國在 EPC 和 DEC 實際評估應用標準

(資料來源：<https://www.edfenergy.com/energy-efficiency/how-improve-your-epc-rating>.)

2.2.6 韓國淨零能源建築政策、獎勵機制與困境

韓國全球暖化嚴重，在過去 30 年間，平均氣溫已升高 1.4℃，且預測未來變暖速度會更快。認知到氣候變遷問題的緊迫性，在 2015 年國際上通過巴黎協定後，韓國政府在 2016 年 11 月 3 號也批准了該協議。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)在 2018 年 10 月在韓國仁川舉行的第 48 屆會議上通過巴黎協定中將全球平均氣溫的上升控制在低於工業化前水平的 1.5℃的目標，並提出在 2030 年時全球二氧化碳排放要為 2010 年的排放量 45%，並在 2050 年達到淨零。

為了巴黎協定所呼籲的減碳目標，韓國政府決定開發其 LT-LEDS。2050 低碳願景論壇的成立是為了在 LEDS 籌備階段聽取私營部門專家的各種意見。論壇由來自學術界、工業界和民間社會的專家組成，他們仔細審查和審查了韓國到 2050 年減少 2050 年溫室氣體排放的願景和目標的廣泛選擇。論壇起草了一項提案，後來用於政府的部際討論和全國協商，以收集不同利益相關者的意見，以制定該戰略。隨後，由來自 15 個部委的代表組成的政府諮詢機構進行了在線調查、

專家諮詢、公眾討論和聽證會，並將來自行業、民間社會和青年的不同意見納入該戰略。其中根據韓國在 2017 年統計，建築部門的排放量估計佔全國總排放量的 7%。因此最大限度地減少建築部門的能源使用，同時提高能源效率並提供低碳能源，是最具成本效益的減排選擇。公寓大樓為最普遍的住房類型，因此目前韓國的住宅建築部門減碳政策主要集中在公寓大樓，並著重提升燈具及家用電器的能源效率，規定在 2027 年起要全面禁用螢光燈(fluorescent lights)。並規定從 2020 年起，任何新建的建築面積在 1000 平方米以上的公共建築都應設計為零能耗建築；所有建築面積大於 500 平方米的公共和私人建築則要求在 2030 年前實現零耗能。

韓國的零耗能建築(Zero Energy Buildings, ZEBs)的定義中，住宅建築須滿足對於非可再生一次性能源(non-renewable primary energy, NRPE)的使用需小於 60 kWh/(m²·yr)，非住宅建築為 80 kWh/(m²·yr)，且再生能源的使用比例需至少佔建築總耗能的 20%。韓國推動 ZEBs 的方法主要有兩個，分別是改善建築被動式設計，與提升再生能源的使用，以減少化石燃料等一次性能源的使用，如圖 2-15 所示。韓國國土交通部為負責監督與管理建築能源的使用量，而韓國產業通商資源部則主導推動再生能源與減少化石燃料資源上，因此在韓國推動零耗能建築時，需要這兩個部門互相合作，圖 2-16 檢視韓國國土交通部和國產業通商資源部在推動 ZEBs 上的分工概況。

為了推動零耗能建築，韓國各部門在 2019 年 4 月通過修訂《綠色建築創建支持法》，宣布了通過強制認證推廣 ZEB 的發展計畫，並推出 BER 的認證標準，BER 等級表如表 2-10 所示。強制要求從 2017 年 1 月開始啟動 ZEB 認證，ZEB 認證是指超過 20%的再生能源使用量和超過 BER 1++等級的建築。2001 年，韓國將所有建築類型的能源標準都整合到《建築節能設計標準》(Building Design Criteria for Energy Saving, BDCES)中，並要求所有新建和既有建築皆要強制執行，除了規範其各項建築外殼性能設計標準，還針對大型新建建築 6 進行了規範，包括：(1) 超過 50 戶的公寓/共管式建築；(2) 超過 3000 平方米的教育/研究或辦公建築；(3) 超過 2000 平方米的酒店/旅館和醫院；(4) 超過 500 平方米的公共浴室和游泳池；(5) 批發/零售店（如百貨公司）。(5) 擁有集中制冷/供暖系統且面積超過 3000 平方米的批發/零售店（如百貨公司），或(6) 總面積超過 10000 平方米的表演廳、市政廳和體育場。並規定從 2020 年開始根據地區和建築目的逐步強制實施 ZEBs，韓國最終的目標是，到 2030 年，對所有新建築和面積在 500 平方米以上的新增建築進行強制性 ZEBs。

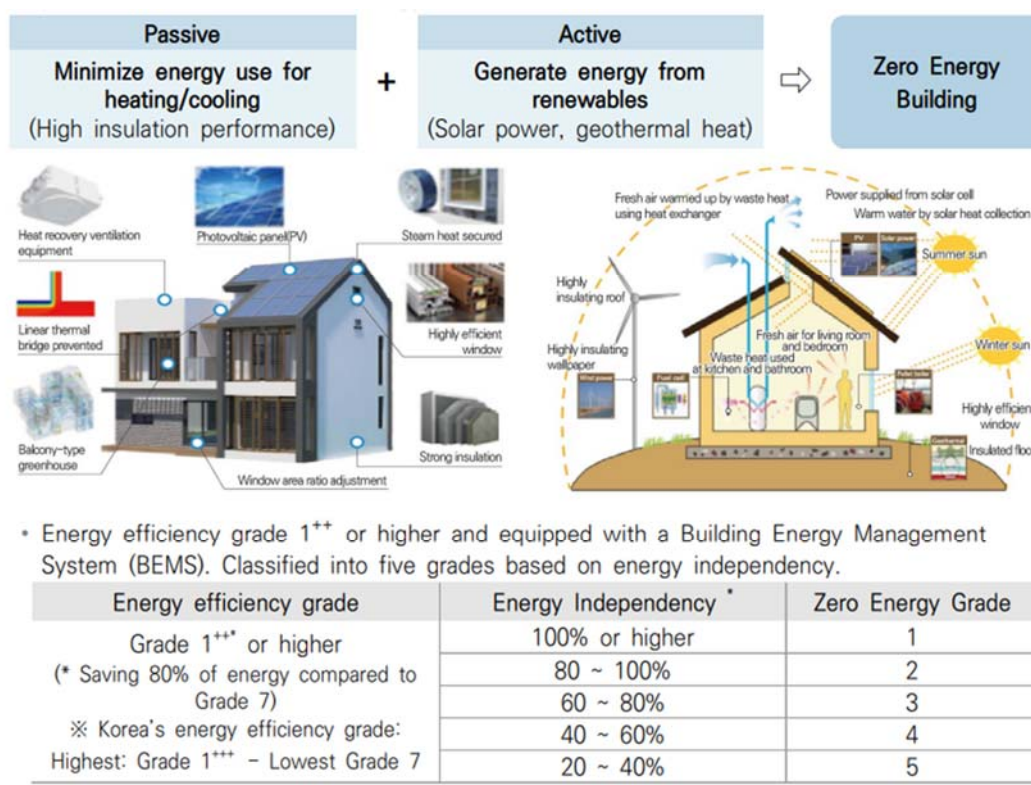


圖 2-15 韓國對淨零建築政策的定義與評級方式

(資料資料：(Korea 2020))

表 2-10 韓國建築 BER 分級與能耗對應表

BER 等級	x 不可再生能源年使用量(kWh/m ²)	
	住宅建築	非住宅建築
1+++	<60	<80
1++	60 ≤ x < 90	80 ≤ x < 140
1+	90 ≤ x < 120	140 ≤ x < 200
1	120 ≤ x < 150	20 ≤ x < 260
2	150 ≤ x < 190	260 ≤ x < 320
3	190 ≤ x < 230	320 ≤ x < 380
4	230 ≤ x < 270	380 ≤ x < 450
5	270 ≤ x < 320	450 ≤ x < 520
6	320 ≤ x < 370	520 ≤ x < 610
7	370 ≤ x < 420	610 ≤ x < 700

(資料資料：(The Ministry of Land 2018))

● 韓國政府推動零耗能建築的獎勵機制

韓國政府在 2010 年發布了《可再生能源應用標準》，提出到 2035 年可再生能源應用比例將提高到 11%。2015 年，在可再生能源方向投入了 5.4860 億美元的預算。該預算主要用於可再生能源的強制性並網電價補貼和基本法律法規的建設。對於可再生能源的應用，要求到 2020 年，對於新建和改建的面積在 1000 平方米以上的公共建築，可再生能源應覆蓋總能源需求的 30%。至於增量成本，韓國政府為住宅項目設立了 4740 萬美元的補貼，為大型項目設立了 2000 萬美元

的補貼。此外，韓國政府推動零能耗建築建設產業化，頒布了一系列的財政激勵措施如下：

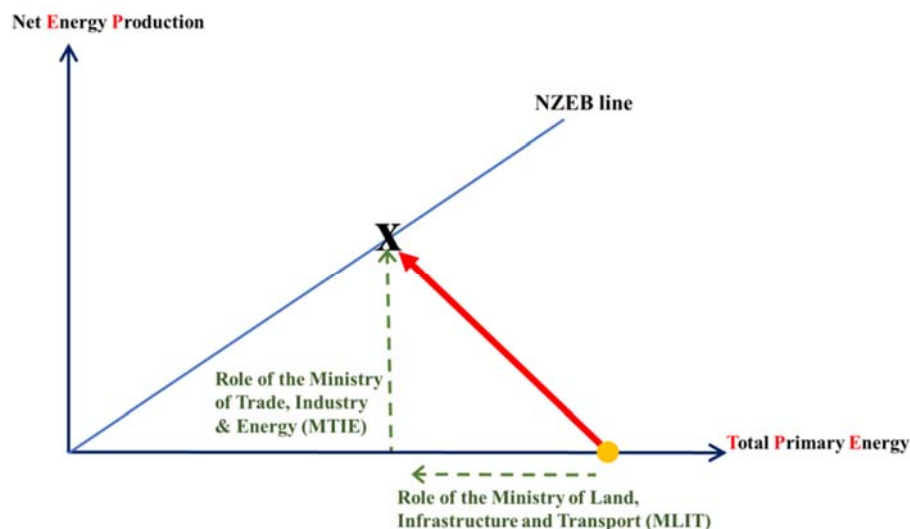


圖 2-16 韓國國土交通部(MLIT)和國產業通商資源部(MTIE)在推動零耗能建築的分工概況

(資料來源：(Yeweon Kim and Yu 2020))

1. 放寬建築管制：放寬容積率和建築高度的限制，在現有標準下增加 15%。在目前的標準下，以減少一些建築增量成本。
2. 稅收減免：購買零能耗建築住宅的消費者將可在頭五年內，獲得 15% 的適當減稅。
3. 住宅公積金貸款：針對既有建築的節能改建，提供住宅公積金的低利息住房公積金支持，同時提供超過 20% 的貸款限額。
4. 企業所得稅：零能耗建築的建造者和相關產業的業主（如外牆保溫材料、高性能窗戶）可以免除部分企業所得稅。

韓國政府也針對獲得建築耗能認證的建築項目，額外提供以下相關補貼：

1. 針對被動式設計技獎勵：對於採用被動技術的建築項目，如高熱性能的建築外殼結構設計，政府將給予一定比例的改善成本補助，住宅建築為 15%，公共建築為 50%。
2. 可再生能源設施成本的補貼：對於採用可再生能源的建築項目，如太陽能、地源熱泵或其他可再生能源系統，可以申請系統成本的 50% 作為補貼。
3. 建築能源管理系統裝設費用之補貼：對於採用建築能源管理系統的建築項目，可以申請 50% 的系統費用作為補貼。
4. 技術支援：建商或相關建築相關從業人員可向零能耗中心(Zero Energy Center)諮詢有關建築技術或 BEMS 等，並免費獲得的零耗能建築認證費用。

然而，韓國推廣零能耗建築也面臨了許多困難和障礙(韓國環境部 2021)，主要集中在以下幾個方面：

1. ZEB 市場小：由於韓國本身需求量較小，國內生產的被動技術建築材料種類很少，需要使用昂貴的進口產品。因此，在沒有任何配套政策和法規的情況下，零能耗建築產業很難培育起來。
2. 與普通建築相比，零能耗建築的成本將增加 30%，如果政府在補貼和稅收方面的支持不足，將減少建商對 ZEB 的支持。
3. 韓國政府的在建築部門的補貼政策主要針對可再生能源的應用，對於被動技術應用的資金支持較少。

2.2.7 中國大陸住商部門推動低能耗建築政策與鼓勵機制

截止到 2019 年底，中國大陸建築總量已達到 620 億平方米樓地板面積，建築能耗約占全國總能耗的 22%，並且將隨著人們生活水平和對室內環境要求的提高持續攀升，因此建築節能成為應對全球能源危機和實現綠色低碳與可持續發展的重要手段。降低建築能耗、提升建築能效和利用可再生能源、推動建築邁向超低能耗、近零能耗和零能耗始終是建築節能領域的中長期發展目標。中國在 2011 年與德國能源署開展「中國超低能耗建築示範項目」合作，首次借鑒德國 Passive House 被動式技術體系，成功建設了河北秦皇島「在水一方」等的 NZEB (Net Zero Energy Building) 建築示範案例；2013 年與美國合作開展了近零能耗、零能耗建築節能技術的研究，完成中國建築科學研究院近零能耗建築示範案例；2017 年，住建部建築節能與綠建築「十三五」規劃中首次明確提出大力發展低能耗建築；於 2019 年，首部引導性之建築節能國家標準《近零能耗建築技術標準》頒布，提出超低能耗、近零能耗和零能耗建築的定義並規定室內環境參數與能效指標，奠定中國 2025、2035 和 2050 中長期建築能效提升目標奠定理論基礎。

補助政策對於低能耗建築之發展扮演關鍵性之推動作用，在 2020 年 1 月為推廣住商建築節能發展，河北省、黑龍江省、河南省、重慶市、保定市及青島市等相關省市頒佈了支持低能耗建築發展的專項規劃、實施方案及指導意見等綱要性文件，進一步明確了低能耗建築發展目標、任務與路徑，對低能耗建築項目給予資金補貼、容積率核算等多種政策激勵、優化產業布局等手段加強低能耗建築產業培育。截至 2020 年 6 月，共有 10 個省及自治區和 17 個城市頒佈了共計 47 項政策，對超低能耗建築項目給出明確發展目標或激勵措施。例如 2016 年，北京市頒佈「推動超低能耗建築發展行動計劃」，提出三年內建設 30 萬平方米樓地板面積示範建築之目標，以加快推進近零能耗建築與超低能耗建築相關產業發展。

● 中國大陸低能耗建築政策發展流程

中國政府針對低能耗建築的政策文件中，不同類型的政策間從在相互依存、遞進並相呼應的關係。以推動階段式、多種政策的方式來推動低能耗建築的發展。以下介紹其政策的發展過程。首先，會先由省市級政府文件開始，參考既有節能減碳或在生態環保等政策中，提出對低能耗建築發展方向和規畫目標；再通過對建築部門頒佈第二類科技發展規劃文件，裡面包括綠建築、建築產業現代化和建築

節能等科技發展規劃中，提出初步的低能耗建築發展目標和鼓勵措施；隨後根據各省市級地區前兩類政策內容與實際執行情況，由政府頒佈第三類低能耗建築的政策，提出各地區低能耗建築真實建築改造示範案例，並對於建築產業規劃，並提出針對低能耗建築具體的鼓勵措施；最後，由各省市及地方政府根據該年度或某段時期對上述政策的實際執行情況和低能耗建築發展現況，制定政府年度計畫工作文件。

隨著各地低能耗建築政策的提出，其涉及的領域與規模也不斷擴大，需提出包括房地產、相關產業發展(如:能源產業部門)、人員培訓等。相關的獎勵政策也從低能耗建築技術指導、規模化推動計畫和房地產方面，擴大至產業發展、節能環保、人才培訓和宣傳引導等領域，政策級別逐漸提高，覆蓋範圍也逐步擴大，各鼓勵政策級別和其所針對的領域如圖 2-17 所示。

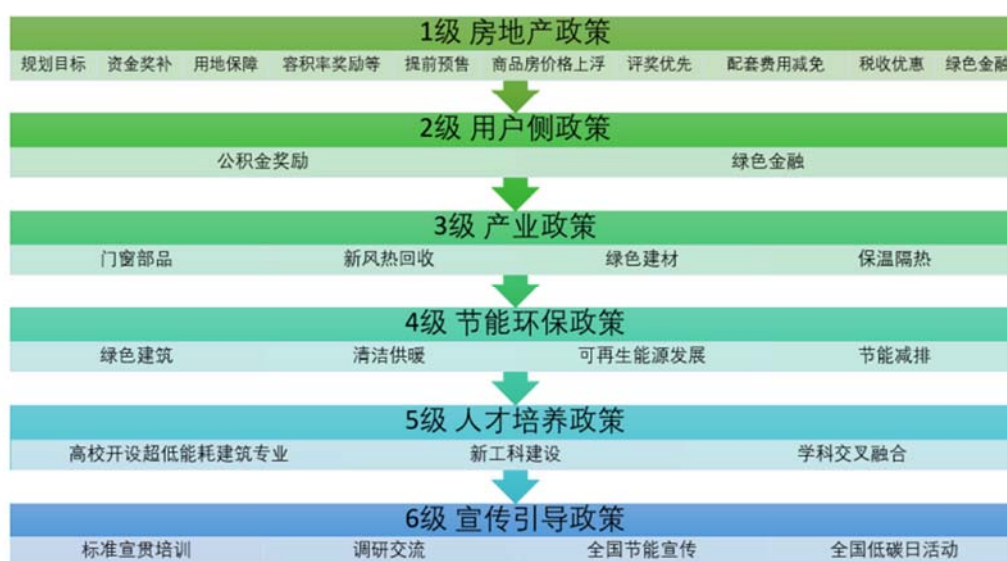


圖 2-17 中國大陸對於低能耗建築的政策流程分級

(資料來源：(中國建築科學研究院 2022))

- 第一級，房地產政策；中國政府已提出在 2020 年時，全國需建設 1000 萬 m^2 以上的低能耗建築，同時，各地政府也會根據當地低能耗建築發展情況訂定出相應的低能耗建築發展規模和目標，因此也同時催生出相應的優惠政策，包括每平方米樓地板面積的獎金補助、容積率獎勵、用地保障、提前預售等措施，以激發房地產生對低能耗建築的積極性。
- 第二級，用戶側政策；主要通過對消費者和用戶給予一定的優惠補貼，例如稅收優惠、綠色金融(融資)等，減少消費者在購買低能耗建築的房屋時的經濟負擔。
- 第三級，產業政策；中國住房與城鄉建設部《建築節能與綠建築“十三五”專項規劃》提出實施「建築全產業鏈綠色供給行動」，積極推動建築節能與綠建築方面的新技術和建材等。中國科技部也為此建立了低能耗建築技術體系，研究範圍包括基礎技術、高性能材料和示範項目建立等內容。進一步加強低

能耗建築相關技術、材料和產品發展應用，為低能耗建築的產業提供政策保障，促進相關產品、系統和設備的生產製造，建立良善市場化機制。

- 第四級：環保節能政策；由中央財政部通過的大氣污染防治資金鼓勵北方冬季時要定期清潔供暖系統或設備更新，以提升建築能效，並更進一步通過節能減碳補助資金、可再生能源發展專項資金等多種管道對節能減碳技術應用等予以補助。同時，中央財政部還透過企業所得稅優惠政策，鼓勵企業從事節能減碳技術之改造。
- 第五級，人才培育政策；教育部門在高等教育學校和職業教育學校中開設低能耗建築專業，並成立了高等學校建築類專業教學指導委員會，對低能耗建築類培養相關人才，為低能耗建築長遠發展提供人才來源和技術保障。
- 第六級，宣傳引導政策：通過開辦定期人員培訓、研究交流，以及與國家發展和改革委員會聯合展開國家節能宣傳和全國低碳日等活動，積極對建築節能、綠建築等相關理念和技術等進行宣傳。

隨著政策體系的逐步完善和政策涉及產業的不斷擴大，補助措施也在不斷加強。就河北省而言，每平方米樓地板面積的補貼增加了約 40 倍，單個項目的最高補貼增加了約 15 倍，這是因為政府的強烈意願和豐富的財政狀況，使河北省成為低能耗建築發展的先鋒省份。

- 針對低能耗建築推行措施的整理

中國大陸各地政策中針對超低能耗建築項目的激勵內容主要分為圖 2-18 中計 15 類項目。在 15 項之補助措施中，設立地方規劃目標有關的推行措施佔比最大有 29%，其次是資金補助，佔 25%；佔比第三高的是容積獎勵補助，佔 10%。其他補助措施還包括用地保障、流程簡化、預售等。以下說明 15 項補助措施的內容與各省的應用情況。

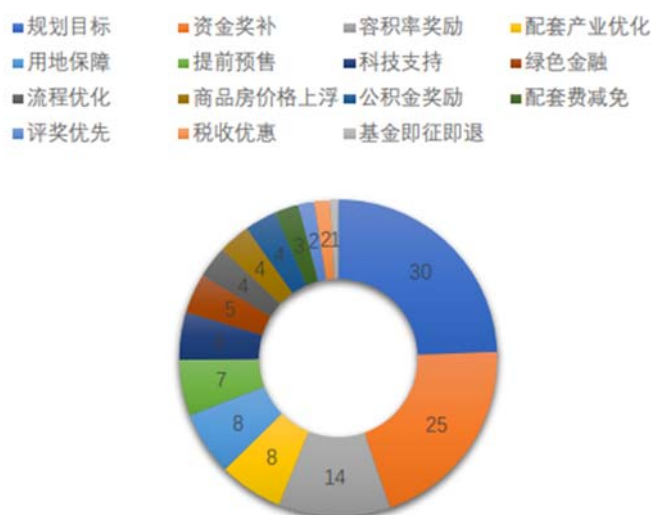


圖 2-18 中國大陸對於推動低能耗建築的鼓勵機制與全省採用的機制執行數量

(資料來源：(中國建築科學研究院 2022))

(1) 設立地方規劃目標：計有 7 個省份及自治區共 14 個城市共同商討並明確設定 30 項未來各地低能耗建築項目的具體發展規劃和目標，主要以低能耗建築總面積和占比要求為主。例如：石家莊市住房與城鄉建設局發布並開始實施《石家莊市建築節能專項資金管理辦法》，指出到 2020 年，全市累計開工建設低能耗建築不低於 100 萬平方米。

(2) 資金補助：計有 6 個省份及自治區共 12 個城市擬定了 25 項針對不同地區發展情況的相應補貼獎勵政策。例如北京自 2016 年起對超低能耗建築給予 1000 元/m² 的直接補貼；保定市、張家口市、承德市超低能耗建築示範項目可申請 100 元/m²，以及最高 300 萬元的資金補貼。

(3) 容積率獎勵：計有 4 個省份共 10 個城市推行了 14 項不同的容積率獎勵政策，對建築面積核定予以 4% 至 9% 的獎勵，由於各地區自身發展情況不同，容積率獎勵比例也不同。例如天津市對外牆保溫層厚度超過 7 公分所增加的部分不計算建築面積；石家莊市規定對地上建築樓地板面積給予 9% 不計入容積率之獎勵；鄭州市規定對於採用超低能耗建築技術的商品住宅，地上建築樓地板面積之 4% 可不計入容積率。

(4) 配套產業優先補助：計有 7 個城市推行了 8 項配套產業優化策略，例如：河北省的石家莊市、衡水市、滄州市等，以及山東省青島市推行了配套產業優先補助之政策，利用基金對超低能耗建築配套產業鏈企業給予優先補助。

(5) 優先用地保障：計有 1 個省份共 6 個市對按照低能耗建築標準要求建設的項目，保證優先用地權。例如：青島市、宜昌市、石家莊市和邯鄲市均對超低能耗項目給與優先用地之保障。

(6) 提前預售：計有 7 個城市推行了商品房提前預售政策，例如：承德市、滄州市、邯鄲市等為超低能耗建築項目加速取得建築執照。對主動採用超低能耗建築方式建造的獨棟建築，投入開發建設資金達到工程建設總投資的 25% 以上和施工進度達到主結構體動工後，即可辦理《商品房預售許可證》進行預先銷售。

(7) 提供超低能耗建築技術支援：計有 1 個省份共 5 個城市推行了超低能耗建築相關技術之支援，解決工程上的技術難點，為項目的規劃、設計、施工和後期使用提供技術支持。

(8) 綠色金融：計有 1 個省份共 5 個城市推行了綠色金融獎勵方法，例如：承德市、邯鄲市和青島市等改進超低能耗建築的金融服務工作，擴大綠色信貸之支援。

(9) 流程優化：計有 4 個城市推行了行政流程簡化，例如：石家莊市簡化了超低能耗建築項目報建手續和辦事流程；宜昌市也推行了綠色辦事流程等獎勵政策。

(10) 允許房價制度上調：計有 4 個城市推行房價制度上調政策，對滿足要求的超低能耗建築項目，在辦理房價備案時可以適當上調房屋售價，例如：保定和石家莊市均可將房屋售價上調 30%。

(11) 貸款獎勵政策：計有 4 個城市推行了政府住房公積金(類似我國之勞工保險制度)，例如：青島市規定購買超低能耗建築商品房，政府基金貸款可優先考

慮發放；滄州市規定使用住房政府基金貸款購買二星級以上綠色建築且為超低能耗建築的自住住房，可貸額度在不超過住房政府基金貸款最高額度且符合國家關於住房貸款首付比例政策的情況下上調 15%。

(12) 規費減免：計有 2 個城市實行了規費減免政策，規定示範項目不再增收土地價款和城建配套費，且通過評審的項目規費享有系列優惠。例如：保定市對非計容積面積不徵收城市基礎設計規費或增收土地價款；焦作市規定超低能耗改造建築可享受減免差別補貼費。

(13) 評獎優先：青島和宜昌 2 個城市推行了評獎優先政策，規定超低能耗建築在評優評獎時優先考慮，參建單位則可在信用考核中加分獎勵。

(14) 稅收優惠：河北省和青島市推行了稅收優惠政策，規定超低能耗建築的單位和企業，可享受稅收優惠政策，按 15% 稅率繳納企業所得稅。

(15) 基金即徵即退：海門市對徵收的牆改基金、散裝水泥基金實施即徵即退，揚塵排污費按規定核定相應的達標削減系數執行。

- 中國大陸針對低能耗建築補助措施的分類與有效性

對於上述 15 類主要之鼓勵措施，按照其激勵模式和鼓勵力度可分為流程支持、間接經濟效益和直接資金獎勵，表 2-11 為鼓勵政策的類型表，以下分析其有效性。

表 2-11 中國大陸鼓勵政策類型表

政策類型	獎勵項目
流程支持	設立地方規劃目標、優先用地保障、提供超低能耗建築技術支援、評獎優先、流程優化
間接經濟效益	容積率獎勵、提前預售、允許房價制度上調、綠色金融、稅收優惠、規費減免、貸款獎勵政策
直接資金獎勵	配套產業優先、基金即徵即退、資金補助

(資料來源：(中國建築科學研究院 2022))

- (1) 直接資金獎勵：資金補貼能夠最有效地提高項目關注度，提高開發商參與低能耗建築項目的積極性，進一步吸引更多開發商配套費用減免和基金即徵即退政策能夠促使低耗能建築案例之推行。綜上，直接資金獎勵政策是由政府自上而下明確給出獎補助，一開始便使開發商看到直接利益，激發其興趣，在項目實施過程中又由於明確規劃和容積率獎勵擴大項目規模，提升執行力度，因此該類型政策激勵力度最高。
- (2) 間接經濟效益政策：間接經濟效益政策雖然無直接的資金補助，但對項目給與一定的後期經濟效益，一定程度上可使開發商和消費者得到經濟利益。對建築容積率獎勵更能直接提高建築規模，多維度推動低能耗建築項目的實施；提前預售配合商品房價格上調兩個政策共同作用下，能夠使項目資金盡快回籠，同時一定程度上增加開發商利潤，對日後的銷售具有積極之推動作用；公積金獎勵、綠色金融、稅收優惠則是從消費者的角度出發，對購買超低能耗住房給與一定社會福利和貸款優惠保障等經濟效益。綜合

以上，這類政策對於低能耗建築項目配套設施完善和竣工後商品房銷售具有有效之推廣作用。

- (3) 行政流程支援類型政策：主要是針對於低能耗建築項目在規劃、立項、施工、運營、後期評估、預售等流程方面的工作進行激勵，為項目實施過程中進展順利提供協助，並無直接資金補助或間接經濟獎勵。首先政府通過明確的規劃目標制定，使低能耗建築案例有長遠的發展潛力；用地保障政策能夠在開發商決定開展超低能耗建築項目建設時確保足夠且優先開發用地；科技支持政策能夠在項目實施過程中解決技術難題，提升工程實施效率和技術水平，保證項目之品質；流程優化政策在交接、報批、報建、審核等關鍵行政銜接過程更加高效順暢，對項目整體進度有促進作用等。綜合以上，此類政策雖不具有直接經濟利益，僅透過加強項目實施各項環節之效率，一定程度上使項目之進展更加順利，誘因較弱。

2.2.8 德國住商部門之溫室氣體減量措施

自 2020 年 11 月 1 日起，德國新建築能源法上路，以統整並取代先前的節能條例(EnEV)、節約能源法(EnEG)，以及可再生能源供熱法(EeWärmeG)三項建築節能法規。德國聯邦政府針對建築之節能與能源效率提升之具體政策作為主要可以分為兩部分：(1)針對新建建築之能源使用密度、建築外殼性能之規定；以及(2)針對既有建築物改造之低利貸款以及根據節能成效的補助。

德國最早在 1976 年時就實施「節約能源法」(陳麒任 2017)，並於隔年的 1977 年實施「建築節能法」，主要是因為建築部門的能源消耗占所有能源消耗高達 40%左右，也因此德國不斷地修訂新建建築物之耗能標準，從 1977 年之消耗標準 330 kWh/(m².yr)，至 2009 年時已經將標準提高至 50 kWh/(m².yr)，而未來的目標則是將新建建築之耗能標準控制在 25~30 kWh/(m².yr)。

2013 年 7 月德國聯邦政府通過新修正的建築物節約能源法(EnEG)更新增了 2a 條以及 7b 條有關新建建築物零耗能建築以及能源績效證書與檢驗報告之規定。近零能耗建築物係指建築物擁有良好的能源使用效率，使其建築物之能源使用量維持在較低的水準，並且規定能源供給的來源應盡可能使用再生能源。在 2a 條有關新建零耗能建築物之規定中，明確規定所有新建之建築物必須在 2020 年 12 月 31 日時，履行近零耗能建築(Niedrigstenergiegebäudestandard)之義務，而對於政府機關之新建非住宅類之建築物，則提早至 2018 年 12 月 31 日開始實施，2021 年與歐盟同時實施所有新建建築皆須達成近零耗能建築的標準。然而目前歐盟尚未提供該項目全面性的定義，以致目前德國描述近零耗能建築是綜合高效的建築，具體來說它是幾乎為零或非常低的能源需求的房屋，並可用鄰近的可再生能源來滿足能源需求。該項目由德國能源署(Deutsche Energie-Agentur)監督，新建建築皆需滿足 2014 年版 EnEV 的節能法規。

2014 年 5 月 1 日德國聯邦政府修訂節能條例(EnEV)，針對新建建築物的能源消耗採取更嚴格之標準，規定電力以及暖氣之能源消耗應降低 25%、建築外殼之隔熱性能應提高 20%，目標是希望能於 2020 年時降低德國能源消耗的五分

之一，每一年度之目標可以參考表 2-12。另外一部有關德國節能之法規為《能源服務暨其他能源效率法》(Gesetz über und andere Energieeffizienzmaßnahmen, EDL-G)，為德國導入具有成本效益之能源服務，並由德國聯邦政府帶頭示範，目標在 2050 年實現近碳中和建築。另依據節能條例，建築物之能源證書由建築、土木、設備等專業共同認證與執行，而地方政府會將技師名單以及建築物之基本資料、能源需求、能源消耗量、改善建議及評估方法等內容公布於網路上，若既有建築中有 30 年以上之老鍋爐，隨著新法規的正式生效，必須強制更換，新核發之能源證書需載明能源效率等級(Deutsche Energie-Agentur)(如圖 2-19)，且必須清楚標示隔熱、空調使用、CO₂ 排放等能源消耗狀況，無論業者將建築物出租或者出售，皆需要出示完整的建築能源證書，否則將被處以 15,000 歐元以下的罰鍰。透過建築物之能源資訊揭露的方式，可以使買方或者租賃方知道建築物的能源使用情形，若建築之能源表現較差，可能會影響到房價或者租金，透過這樣的方式，使市場機制促使建築物的所有權人改善建築物之能源表現。

表 2-12 德國聯邦政府設定之能源消耗個階段目標（以 1990 年為比較基準）

項目	2011	2020	2030	2040	2050
減少溫室氣體排放	-27%	-40%	-55%	-70%	-80%
再生能源占能源總耗量	10%	18%	30%	45%	60%
再生能源占電力使用量	16%	35%	50%	65%	80%

資料來源：(Energie-Agentur)

德國聯邦政府與德國復興信貸銀行（簡稱 KfW）為節能建築提供相關借貸措施，關於新建建築之能耗改善。自 2021 年 7 月起民眾若是購買或建造新建建築者，可依造住房的能源等級獲得補助。利用基本能源需求(Q_p)與傳輸熱損失(H_T')制定貸款與政府補助額度，如表 2-13。目前法律規定新建建築之耗能是參考型建築 75%，以 KfW 效能房屋 55 為例，該建築須比 75%基礎能源需求更下降至 55%，加上結構性隔熱性能提高 30%，才可取得 KfW 補助資金。而更高節能效率的建築如 KfW 效能房屋 40+，大多為擁有自發電與自用電設施。該房屋具有儲電專裝與熱回收功能的通風系統，以節省更多能源。同時，若建築擁有 55% 以上可再生能源的供熱系統，可另申請更高額的補助。詳細能源等級及補助額度如表。另外，關於既有建築物的改善也是透過獎勵補助的方式，促進既有建築的翻新，使既有建築物亦可實現近零耗能之標準。目前的法規提供自用建築物所有權人為期 8 年、高達 300 萬歐元之額外補助，作為改善既有建築能源表現之誘因。KfW 提供「節能改善翻新計畫」，效能房屋分類從 40 至 100，其補貼相較新建建築更為豐厚，政府的貸款補貼甚至提升至 45%，若包含 55%可再生能源的供暖系統，貸款額度不僅可增加 30,000 歐元甚至政府補貼可多得 5%，如表 2-14。對於特別建築另有其他節能規劃，以保護古蹟等重要文化建築遺產。

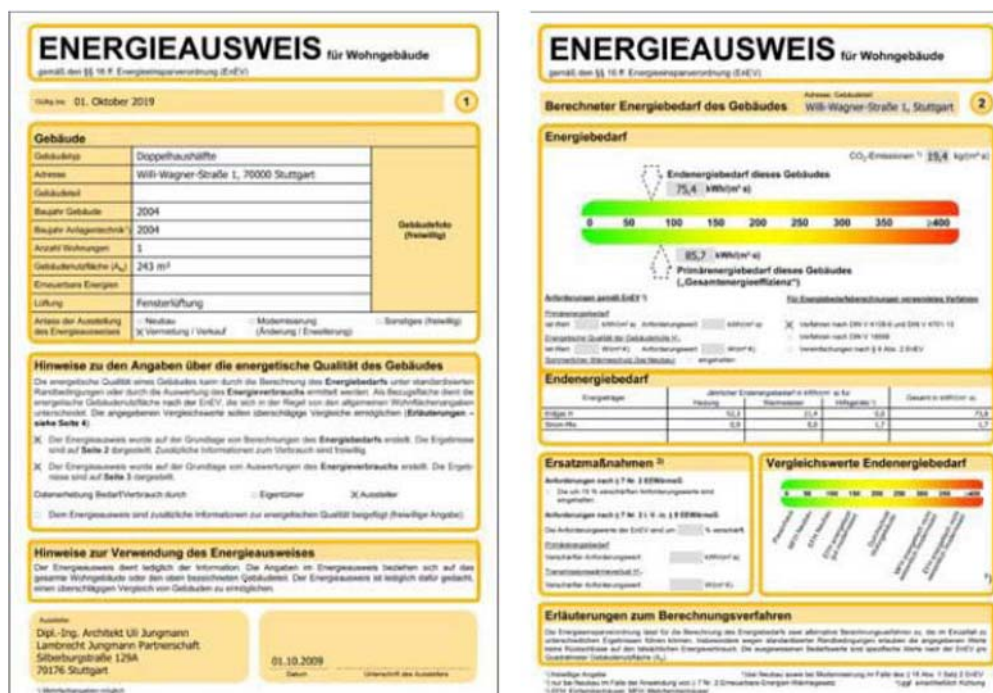


圖 2-19 德國能源證書分為九個等級

(資料來源：(Deutsche Energie-Agentur))

表 2-13 政府與 KfW 對新建建築之補助

效能等級	基礎能源需求 (%)	建築結構熱損失 (%)	最高貸款額度(歐元)及政府補貼(%)
效能房屋 40+	40	55	貸款€150,000，補貼 25%
效能房屋 40	40	55	貸款€120,000，補貼 20%
效能房屋 40 (含再生能源類)	40	55	貸款€150,000，補貼 22.5%
效能房屋 55	55	70	貸款€120,000，補貼 15%
效能房屋 55+ (含再生能源類)	55	70	貸款€150,000，補貼 17.5%

(資料來源：(KfW 2021))

表 2-14 政府與 KfW 對既有建築之補助

效能等級	基礎能源需求 (%)	建築結構熱損失 (%)	最高貸款額度(歐元)及政府補貼(%)
效能房屋 40	40	55	貸款€120,000，補貼 45%
效能房屋 55	55	70	貸款€120,000，補貼 40%
效能房屋 70	70	85	貸款€120,000，補貼 35%
效能房屋 80	80	100	貸款€120,000，補貼 30%
效能房屋 100	100	115	貸款€120,000，補貼 27.5%

(資料來源：(KfW 2021))

第3章 研究方法

在住商部門溫室氣體排放量推估模型方面，本計畫延續去(110 年)年之研究，採用由下而上之建築能源推估法，導入蒙地卡羅方法(Monte-Carlo Method)中之拉丁超立方抽樣 LHS (Latin Hypercube Sampling)方法，以綜合考量各種現存建築之建築外殼熱性能、建築使用密度、運轉時程、設備效率等之不確定因素，透過大量建立之樣本以推估我國總體建築之樣本分佈，進而推估其未來全年建築能源使用量。所建立之建築能耗資料庫其優勢在於提供未來政策導入各種節能減碳策略時，可以進一步評估各種可能之減碳潛力，以優化適合於台灣本土較佳之減碳路徑。

然而，過去本系列研究所建立之溫室氣體排放量推估模型中採用了許多我國歷年之能源統計值、人口成長、全國建築規模成長等有關能源、社會經濟等相關之因子，這些因子有些隨年代而有最新之統計數據或推估模式之更新，因此必須針對所建立之溫室氣體排放量推估模型持續進行滾動更新、檢討與更新模式之修正係數，以求更能精確預估我國未來之住商溫室氣體排放量，以供政府部會間分配減碳額度或研擬減碳政策之參考。以下首先針對今年度預計更新之項目內容。

第一節 住商部門溫室氣體排放量推估模式之更新

本計畫係針對我國住商部門溫室氣體排放量推估模式之檢討與持續逐年滾動更新推估模式，包含同時考量未來氣候之變遷、人口成長趨勢等。表 3-1 為本計畫根據人口變化因子、住商建築面積變化因子、能源與設備效率變化因子和能源與溫室氣體推估模擬因子所歸納需要逐年滾動更新的項目。首先，人口變化因子裡包含各縣市人口數、未來逐年人口數低中高推估值、全國戶數和全國低度數量(戶)與佔比。歷年人口數的統計與人均居住面積相乘，以求得各縣市的住宅居住面積，提供後續推估總耗能量之計算。未來的人口中低高推估值由於未來逐年的人口變化會不定期調整後再經由國家發展委員會發布，本研究今年已重新取得新數據並更新至 2021 年的最新數據。此外，本研究同時更新未來逐年之全國戶數。2021 年低度用戶比例為 9.13%，相較於 2019 年的 10.17%與 2020 年 9.96%，有逐年降低的趨勢。

住商建築面積變化因子包含商業及住宅歷年核發建築物使用執照樓地板面積以及商業及住宅未來建築物使用執照樓地板面積推估。歷年住商樓地板面積是由內政部營建署逐年逐月公布的「核發建築物使用執照按使用分區別分」，再經由本研究室統整後滾動更新的。而住商未來建築物樓地板面積則是分為兩部分，住宅方面因為建築面積變化逐年上升，所以本研究室根據從 2006 年至 2021(最新更新年份)的所有住宅面積做線性推估至 2050 年，而其他建築類型則因為建築面積歷年變化大，難以使用線性或其他模型法推估，所以推估方式是先統計各別建築類型歷年建築面積與住宅歷年建築面積的比例，再計畫所有建築類型至今(2021 年)前 10 年的平均面積比例，最後將各別的建築面積比例與未來住宅面積

相乘，來取得 2022 年至 2050 年辦公服務類、宿舍安養類、商業類、休閒及文教類、衛生與福利類以及公共集會類的建築使用面積。

在能源與設備效率變化因子方面，包括各項使用能源之碳排放係數、住商能源平衡表、商業大樓電力流向、屬服務業類別之各建築別逐年建築數量統計、占比及平均 EUI 統計資料等將一併更新。此外，能源局每年發布非生產性質行業能源查核年報，此年報中還包括各行業類別、各式設備使用能源等統計資訊，亦將更新後與本研究所建立之溫室氣體推估模式進行重新校正，以使預估模型更契合實際之能源消耗，提高未來預測之精確度。

表 3-1 溫室氣體排放量推估模型預計滾動更新之項目

更新類別	預計更新項目	說明	參考文獻
人口變化因子	各縣市歷年人口	為內政部戶政司逐年逐月統計，已滾動更新至民國 110 年。本研究會將此數據逐年統計，並將其與人均居住面積相乘，以求得各縣市的住宅居住面積，以供 EUI 計算。	(內政部戶政司全球資訊網)
	台灣未來逐年人口數低中高推估值	國家發展委員會會公布台灣未來的人口數推估值，根據未來人口變化程度的不同，會公布 3 種人口數的推估值，今年已更新至最新數據，以供計算推未來 EUI 耗能計算。	(國家發展委員會 2020)
	全國戶數	家電設備的耗能量是由統計戶均電扇、電視、電腦等設備的擁有台數、每個設備的年均耗能功率(kWh/yr)以及全國戶數的乘積計算的，因此需逐年滾動更新全國戶數，今年已彙整戶政司的數據更新至 110 年的全國戶數 9,006,580 戶。	(內政部戶政司全球資訊網 2021)
	全國低度數量(戶)與佔比	低度用戶比例需逐年滾動更新，今年已更新民國 110 年低度用戶比例為 9.13%，相較於 108 年的 10.17% 與 109 年 9.96%，有逐年降低的趨勢。將低度用戶佔比與全國戶數相乘，即可求得低度用戶戶數。在計算耗能時，要將全國總戶數減掉低度用戶戶數，以讓整體歷年以及未來耗能計算更為準確。	(內政部不動產資訊平台 2022/1)
住商建築面積變化因子	我國 GDP 成長	為了預測未來住宅居住面積，本研究參考採用聯合國人居署所提出的全球人均居住面積與人均 GDP 間的關係。因此需逐年滾動更新我國人均 GDP。	(中華民國統計資訊網)
	商業及住宅歷年核發建築物使用執照樓地板面積	每年會按建築類型更新住宅、辦公服務類、宿舍安養類、商業類、休閒及文教類、衛生與福利類以及公共集會類的建築使用面積	(內政部營建署 2022)
	商業及住宅未來建築物使用執照樓地板面積推估	未來住商建築地板面積是由歷年建築樓地板面積做模型推估的，因此本計畫逐年更新完歷年資料後，會同步更改推估模型。	(本研究室計算)
能源與設備效率變化因子	各項能源之排放係數	電力排碳係數、液化石油氣排放係數、天然氣排放係數以及自來水排放係數逐年統計。	(經濟部能源局 2021)
	住宅能源平衡表	逐年更新液化石油氣、(自產)天然氣和(進口)液化天然氣的公秉油當量	(經濟部能源局 2021)
	商辦能源平衡表	逐年更新液化石油氣、車用汽油(無鉛汽油)、航空燃油-煤油型、煤油、柴油、燃料油、(自產)天然氣和(進口)液化天然氣的公秉油當量	(經濟部能源局 2021)
	商業大樓電力	本研究室會更新空調、照明、冷凍冷藏、事務設備、送排	(經濟部能

	流向	風、給水汗水及電梯等的電力流向，已更新至最新民國 109 年的最新數據。	源局 2021)
	各建築類別存量與能源統計	旅館類、百貨商場類、學校教育類、醫院類及商辦大樓類等，依據用戶分類所統計的數據。(包括各建築別逐年建築數量統計、占比及平均 EUI 統計資料)	(經濟部能源局 2021)
能源與溫室氣體推估模擬因子	蒙地卡羅方法之因子分布	空調系統 COP、外氣量、各空調系統之市佔率、空調設備量之安全係數、空調設定溫度等之分布與因子變距	
	逐年商辦部門之預估總碳排放量	根據滾動分析歷年電力排碳係數及電力流向，包含空調、照明、冷凍冷藏、事務設備、送排風和電梯等，來統計溫室氣體逐年排放量。	
	逐年住宅部門之預估總碳排放量	根據滾動分析歷年電力排碳係數及空調、照明、家電、熱烹飪等耗能，統計溫室氣體逐年排放量	
	更新我國最新之能源統計數據以計算模型之校正係數		

第二節 研究流程

本計畫區分為二階段，第一階段建立各類建築之溫室氣體排放量推估模式；第二階段擬定可行之減碳路徑評估其減碳潛力。在第一階段建立全國總體住商溫室氣體排放量預測方面，本研究採用蒙地卡羅方法配合各種影響建築耗能之因子，以建立足以代表全國建築樣本特性之資料庫，同時透過整合未來氣候資料與基於大量之建築耗能模擬下，建構全國建築耗能資料庫。此方法之優點在於方便未來第二階段擬定節能減碳政策或調適路徑時，得以量化分析各項減碳對策潛在的減碳潛力。

3.2.1 空調能源推估用氣象資料

空調耗能主要受到當地氣候條件影響，因此必須依地理氣候區分區討論，本研究將台灣分為北、中、南三區討論，並分別以台北、台中、高雄之氣象條件分別代表台灣北、中、南三大氣候區進行模擬。在已發生的歷史年份中，採用各區域實際之歷史氣象資料進行模擬，各區之歷史氣象資料取自中央氣象局之局屬一級測站，分別製作真實氣象年 AMY (Actual Meteorological Year)。這些歷年真實發生之氣象資料是為了作為本計畫所開發之建築能源推估模型與真實之建築能源耗用統計值比對驗證用途，藉以修正能源預測模型，以更精確預測未來之建築能耗已換算未來的碳排放量。

此外，為了推估在未來氣候變遷影響下空調耗能量之變化，需要以未來氣候作為建築耗能之模擬。首先需製作台北、台中與高雄之未來氣候資料。國際上有關未來氣候之推估，常依聯合國氣候變遷委員會(IPCC)所公告之各國大氣環流模式 GCM (General Circulation Model)為依據，依當地氣候進行空間與時間之降尺度後以產製的逐時之未來氣象年做模擬。此部分，本計畫採用團隊過去所曾建立未來氣候之逐時氣象資料(Huang and Hwang 2016)，此資料是依 CanESM 大氣環流模式透過型態轉換法(Morphing method)配合台灣當地之平均氣象年(TMY3)(何明錦 and 黃國倉 2013)降尺度而得台北、台中及高雄自 2000 至 2100 年間各年逐時之氣候變化資料，在未來氣候變遷的情境選擇上，本計畫選用中氣候變遷情境 RCP4.5 來進行能源模擬。

3.2.2 各項能源之溫室氣體排放係數

由於建築內使用之能源種類除電力外，尚有烹飪與熱水供應使用之瓦斯、天然氣以及自來水用水等不同之能源使用型態。本研究參考經濟部能源局、行政院環保署以及自來水公司等之公告資料，以各種能源之溫室氣體排放係數(如下表 3-2)，藉以將各種能源使用型態統一換算為二氧化碳排放當量表示。此類排放係數之公告數值，如為逐年公告者，則依實際值計算總體排探量。

表 3-2 各項能源之排放係數

年	電力排碳係數 (β_1)	液化石油氣碳排放係數 ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{度}$) (β_2)	天然氣碳排放係數 ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{度}$) (β_3)
2005	0.555	1.7529 (行政院環境保護署 2019)	1.8790 (行政院環境保護署 2019)
2006	0.562		
2007	0.558		
2008	0.555		
2009	0.543		
2010	0.534		
2011	0.534		
2012	0.529		
2013	0.519		
2014	0.518		
2015	0.525		
2016	0.530		
2017	0.554		
2018	0.533		
2019	0.509		
2020	0.502		

(資料來源：(經濟部能源局 2019)、(行政院環境保護署 2019)、(臺北自來水事業處)、(台灣自來水全球資訊網))

第三節 住宅部門溫室氣體推估理論

住宅能源需求項目可區分為空調、照明、家電、熱水、烹飪等五大類別，而能源使用型態以電力與瓦斯二者為主要。在未來溫室氣體排放量推估上，在無進一步節能措施介入下之未來耗能情況稱為耗能基線(Business as usual, BAU)，此一耗能基線受到人口變化、經濟情況、氣候變遷等而逐年而異，因此住商溫室氣體排放之推估首要需先推估在未來社會經濟條件以及氣候變遷影響下，耗能基線之變化趨勢，以作為任何溫室氣體減量措施或政策之不可控因素，其次再評估在推行不同節能策略與調適路徑下其可能之溫室氣體減碳效益。整個住宅部門溫室氣體排放基線(BAU)之推估流程如圖 3-3 至圖 3-4 所示。其中，全國戶數、氣候、台灣各地區之戶均人口數、住宅建築樓地板面積以及外來逐年之溫室氣體排放係數等會隨時間而變化，應此有必要以逐年滾動檢討之方式進行推估，以逐年修正之方式更能接近於真實之情況。以下各節分述住宅各耗能項目之耗能 BAU 推估模式。

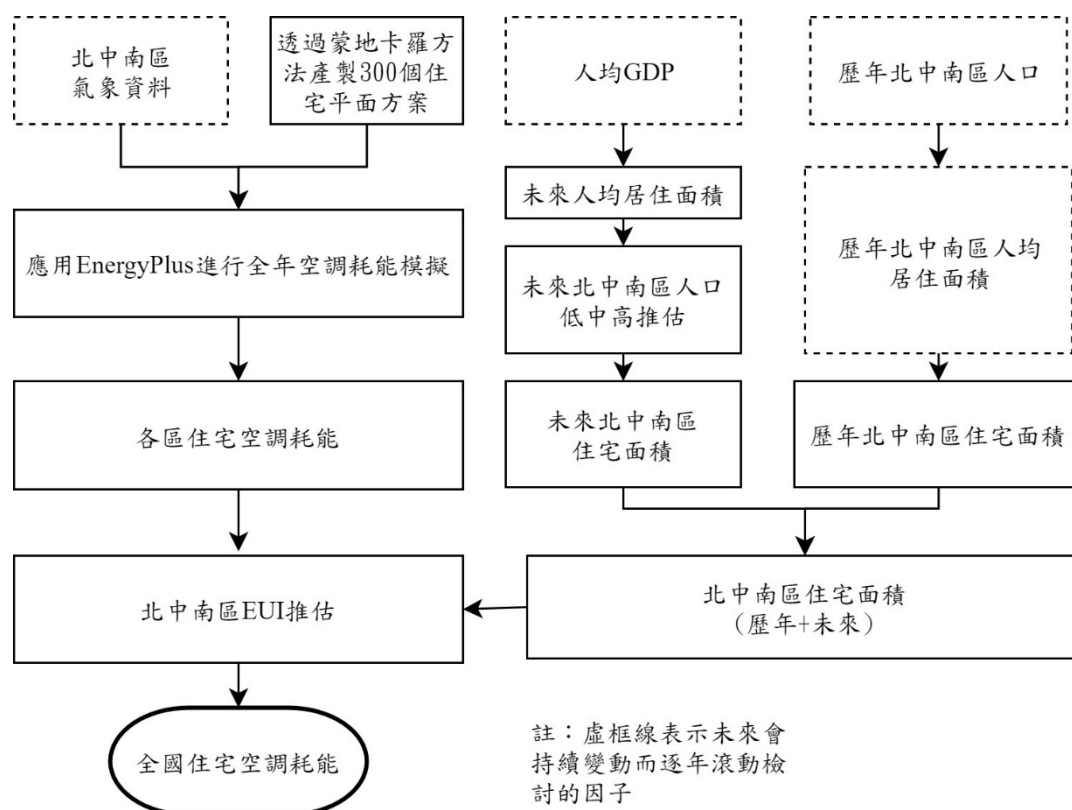
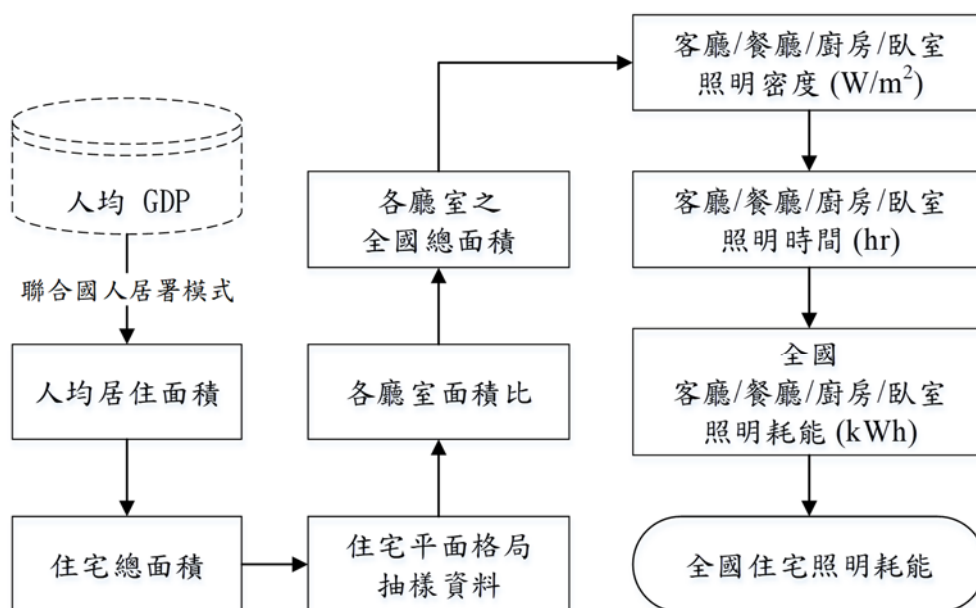


圖 3-1 全國住宅空調耗能推估模型

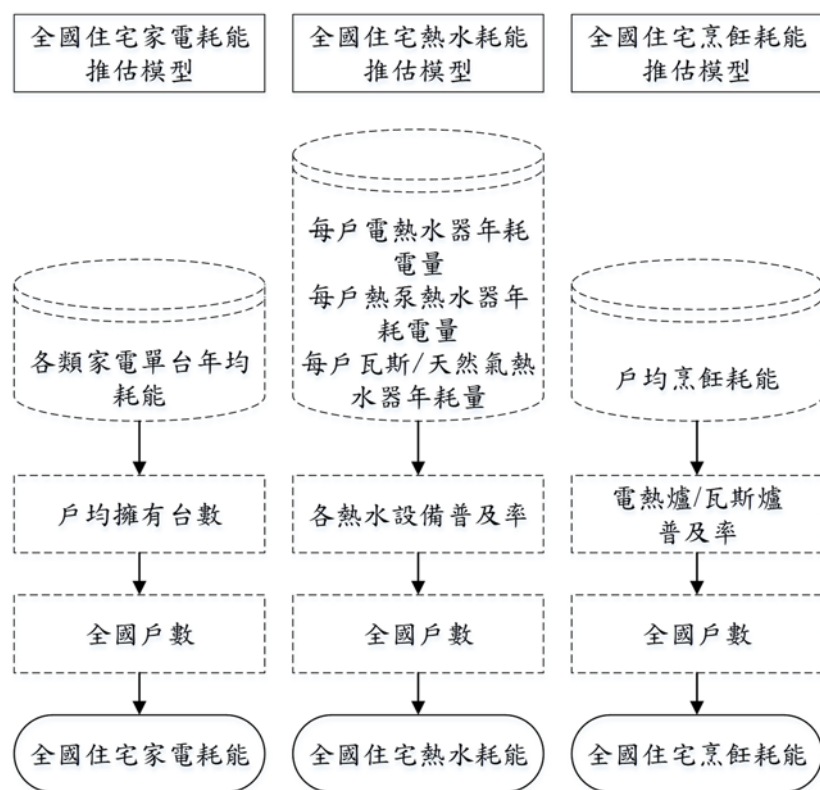
(資料來源：本研究整理)



註：虛框線表示未來會持續變動而逐年滾動檢討的因子

圖 3-2 全國住宅照明耗能推估模型

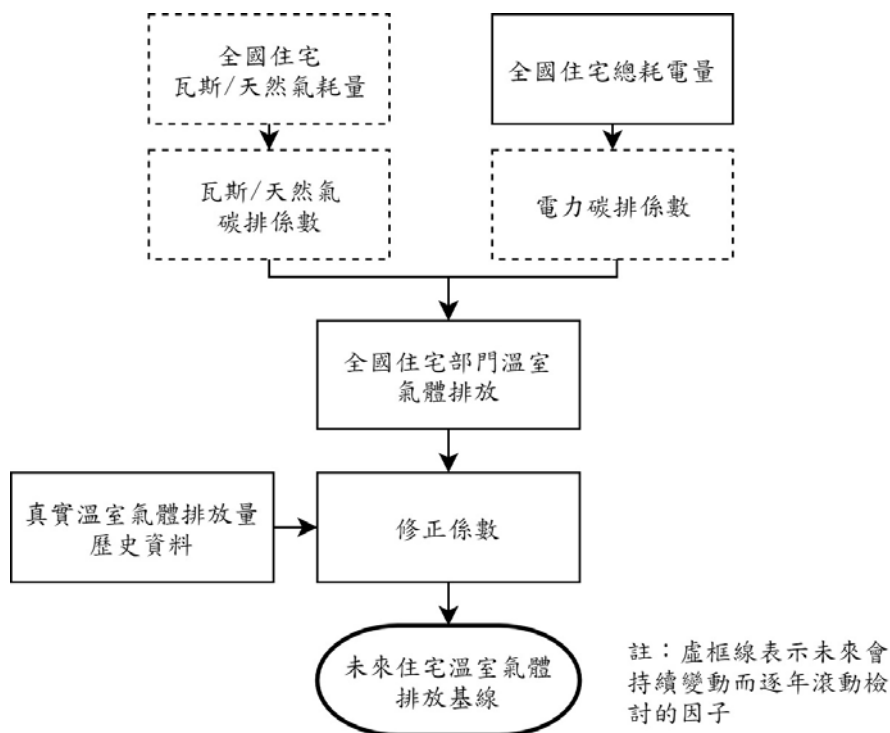
(資料來源：本研究整理)



註：虛框線表示未來會持續變動而逐年滾動檢討的因子

圖 3-3 住宅家電、熱水與烹飪耗能推估模型

(資料來源：本研究整理)



註：虛框線表示未來會持續變動而逐年滾動檢討的因子

圖 3-4 全國住宅部門二氧化碳排放計算與修正流程圖

(資料來源：本研究整理)

● 住宅耗能基線之推估

3.3.1 住宅空調耗能推估

影響住宅空調耗能的因素複雜，包含建築外殼、氣候、空調系統、室內發散熱等等，由於住宅建築在類型上與熱學性質上的多樣性，使得模擬過程存在著高度的不確定性，因此本研究參考所內過去之研究(羅時麒, 黃瑞隆 et al. 2017)，透過全域的模擬方法-蒙地卡羅法中之拉丁超立方取樣法進行樣本生成，以模擬市場上可能之案例分布情形。蒙地卡羅法為一種隨機分布的模擬方法，透過大量的案例來掌握實際的情況，而各個參數之範圍則參考過去的經驗及文獻設定。其步驟如下：

(一) 住宅建築外殼與室內發散熱參數設定

由於空調受到氣候、建築外殼及設備影響，為了涵蓋國內大部分的住宅建築性質，空調耗能採用較保守的蒙地卡羅法設計 1000 個案例，並以國內常見的住宅平面圖作為基準，相關參數設定如表 3-3 所示：

表 3-3 住宅建築外殼與室內發散熱參數設定

變因	最小值	最大值	單位	分布型態	平均值	標準差
每戶樓地板面積分配	47.8	129.3	m ²		90.42	-
窗牆比(WWR)	0.2	0.65	-	截斷的常態分佈	0.425	0.075
玻璃熱傳透率(U 值)	3.5	6.8	W/m ² K	截斷的常態分佈	5.15	0.55
玻璃日射透過率(SHGC)	0.5	0.85	-	截斷的常態分佈	0.675	0.058 $\bar{3}$
外遮陽深度比	0	2	格子遮陽	截斷的常態分佈	1	0. $\bar{3}$
外牆熱傳透率(U 值)	0.5	3.5	W/m ² K	截斷的常態分佈	2	0.5
外牆熱傳透率(PS 板厚度)	0	0.05	m	$f_X(x) = -8x + 40$ x: PS 板厚度(cm) $f_X(x)$: 機率密度函數(%)	-	-
建築方位	八方位等機率模擬			均佈	-	-
人員密度	1	7	人	截斷的常態分佈	4	1
客餐廳照明密度	4	16	W/m ²	截斷的常態分佈	10	2
客餐廳設備密度	3.6	14.4	W/m ²	截斷的常態分佈	9	1.8
臥室照明密度	3.2	12.8	W/m ²	截斷的常態分佈	8	1.6

臥室設備密度	1.6	6.4	W/m ²	截斷的常態分佈	4	0.8
空調設備效率 (COP)	2.73	3.00	-	均佈	-	-

(資料來源：本研究室整理)

表 3-4 六種住宅模擬平面

	房型 1	房型 2	房型 3	房型 4	房型 5	房型 6
格局	1 房 1 廳	2 房 1 廳	3 房 1 廳	3 房 1 廳	3 房 1 廳	3 房 1 廳
面積(m ²)	47.87	76.86	84.66	87.06	115.34	129.31
數量(個)	190	130	120	200	200	160

(資料來源：本研究室整理)

(三) 空調運轉模式

台灣住宅多以小型分離式冷氣為主，運轉模式為當室內過熱時才啟動空調運轉，否則平時多以自然通風為主，是否開啟空調視室內有無過熱而定，為了判斷住宅空調的啟閉時間，本研究採用 ASHRAE Standard 55 所提出的熱適應舒適模型作為評斷標準，當室內操作溫度超過該模型 80% 的熱舒適上限時則開啟空調，該模型的最佳室內操作溫度(T_{oc})為外氣均溫(T_{om})的函數，如所示，而 80% 的舒適範圍上界為 $T_{oc}+3.5^{\circ}\text{C}$ 。

$$T_{oc} = 0.31 \times T_{om} + 17.8$$

式 3-1

(四) 住宅空調耗能計算

住宅空調耗能採用 EnergyPlus 模擬，將 1000 個住宅案例與北、中、南三區之氣象條件輸入至 EnergyPlus 後將會計算出每個住宅案例在不同的氣象條件下全年的空調耗能，將全年的空調耗能除以空調面積即求得空調的能源使用密度 (Energy Use Intensity, EUI)，繪製 1000 個案例的 EUI 分布，作為該氣候條件下之住宅空調 EUI 表現，再將此分布乘上住宅面積即可求得住宅空調耗能，計算公式如下式 3-2 所示。

$$E_{res,HVAC,yr} = \sum_{region} (EUI_{res,region,HVAC,yr} \times A_{res,region,yr})$$

式 3-2

其中， $E_{res,HVAC}$ 代表住宅空調耗能， $EUI_{res,HVAC}$ 代表住宅空調 EUI (由分布中取值)， A_{res} 代表住宅面積，下標 res 代表住宅部門，下標 region 代表北、中、南三種不同之區域，下標 yr 代表某一年份。

(五) 住宅樓地板面積變遷之推估法

住宅樓地板面積可由民國 89、99 年普查得知全國各縣市的人均居住面積，如表 3-5，再根據各縣市歷年人口估算該縣市的歷年住宅既存面積，各縣市歷年人口資料取自內政部戶政司的人口統計資料庫(內政部戶政司全球資訊網)。

由於人均居住面積為每十年調查一次，因此在未調查的年份間採用線性內插的方式將每一年各縣市的人均居住面積計算出來，而民國 99 年之後的年份由

於尚未取得民國 109 年的資料，因此取民國 89 和 99 年的調查結果作線性推估，發現這 10 年間人均居住面積以 18% 的趨勢增長，因此 99 年之後的年份就以此成長趨勢推估未來逐年的人均居住面積，並加上未來逐年年末人口數推估(國家發展委員會 2022)，則可計算出各年度全國住宅樓地板面積，未來人口推估呈現於表 3-6。各縣市住宅面積計算公式如下式。

$$\text{各區域住宅面積}_{yr}(\text{分北、中、南區, m}^2) = \text{各區域人均居住面積}_{yr}(\text{m}^2/\text{人}) \times \text{各區域人口 } P_{\text{zone, yr}}(\text{人})$$

式 3-3

表 3-5 各縣市人均居住面積

單位：m²/人

氣候分區	縣市	民國 79 年	民國 89 年	民國 99 年
北區	臺北市	24.8	26.1	27.9
	新北市	22.7	26.8	27.1
	基隆市	20.1	27.9	30.0
	新竹市	26.0	37.6	35.2
	桃園市	26.2	36.1	35.3
	新竹縣	26.8	35.3	37.2
	宜蘭縣	23.8	35.2	38.6
	苗栗縣	26.1	37.4	39.1
	金門縣	29.0	44.7	36.8
	連江縣	19.6	28.6	32.9
中區	臺中市	25.9	34.9	35.7
	彰化縣	22.0	32.1	33.5
	南投縣	25.2	34.9	37.0
	雲林縣	22.0	28.3	35.5
	花蓮縣	23.7	32.1	36.7
南區	高雄市	24.3	32.2	34.5
	臺南市	24.1	36.4	37.1
	嘉義市	22.6	31.1	35.3
	嘉義縣	21.5	28.8	34.4
	屏東縣	23.6	32.7	36.6
	澎湖縣	21.4	36.6	35.9
	臺東縣	21.6	34.5	35.8
全國平均		24.1	31.7	33.2

(資料來源：(行政院主計總處 2010))

表 3-6 未來逐年年末人口數推估值 (單位：千人)

年	高推估	中推估	低推估
2022	23,522	23,515	23,504
2023	23,501	23,489	23,470
2024	23,492	23,473	23,444
2025	23,466	23,439	23,397

2026	23,441	23,404	23,348
2027	23,411	23,363	23,290
2028	23,378	23,316	23,223
2029	23,340	23,263	23,149
2030	23,300	23,205	23,065
2031	23,256	23,140	22,974
2032	23,208	23,069	22,874
2033	23,155	22,990	22,765
2034	23,082	22,891	22,639
2035	23,008	22,790	22,508

(資料來源：(國家發展委員會 2022))

透過人均居住面積與各縣市歷年人口資料後，即可得到台灣各區歷年住宅面積，然而此面積僅為住宅既存面積，還需加上各年度所新增的住宅面積，因此透過內政部發布的各年度核發建築物使用執照按使用分區別分資料(內政部 2022)，統計出住宅歷年各年度新增之樓地板面積，如下表 3-7。

表 3-7 住宅逐年之新增樓地板面積 (單位：m²)

年	北區	中區	低區
2006	10,747,169	2,420,385	4,292,964
2007	12,329,176	2,971,380	3,577,855
2008	11,308,200	2,269,796	2,531,793
2009	9,020,523	2,338,207	2,159,242
2010	7,276,971	2,939,887	3,098,232
2011	7,060,244	2,443,911	3,199,423
2012	8,436,459	2,810,155	3,797,646
2013	8,676,531	3,649,427	3,794,341
2014	8,649,361	4,206,703	4,451,226
2015	9,227,750	4,552,873	4,441,098
2016	9,880,939	3,816,174	3,309,471
2017	7,955,465	3,456,547	3,555,380
2018	7,994,051	3,656,672	4,454,171
2019	7,905,948	3,650,917	3,172,821
2020	6,963,372	4,138,829	4,631,690
2021	7,351,159	4,027,792	4,241,324
2022	7,633,999	3,786,151	4,011,077

(資料來源：(內政部 2022))

由上表可以看出台灣北中南區的住宅面積成長趨勢皆不盡相同，北區從 2006 年開始整體呈現逐年減少的趨勢，中區新增面積相對增加，南區則無明顯的增加或減少的趨勢，因此在做住宅樓逐年新增之樓地板面積推估時，本研究將

北中南區的歷年住宅新增樓地板面積分別做線性推估，其呈現的結果如表 3-8。因此未來住宅樓地板面積則由既該年度的前一年建築暨存面積與新增樓地板面積相加成得。

表 3-8 住宅未來新增樓地板面積推估（單位：m²）

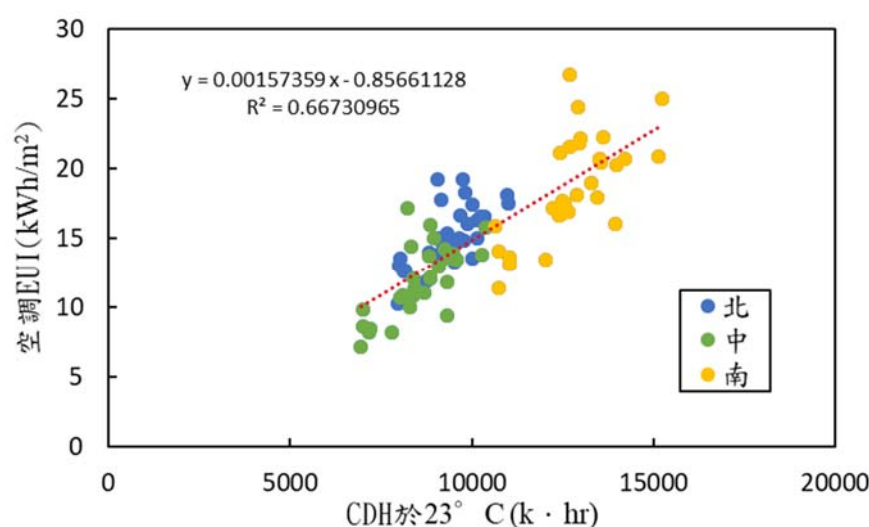
年	北區	中區	低區
2022	10,747,169	2,420,385	4,292,964
2023	12,329,176	2,971,380	3,577,855
2024	11,308,200	2,269,796	2,531,793
2025	9,020,523	2,338,207	2,159,242
2026	7,276,971	2,939,887	3,098,232
2027	7,060,244	2,443,911	3,199,423
2028	8,436,459	2,810,155	3,797,646
2029	8,676,531	3,649,427	3,794,341
2030	8,649,361	4,206,703	4,451,226
2031	9,227,750	4,552,873	4,441,098
2032	9,880,939	3,816,174	3,309,471
2033	7,955,465	3,456,547	3,555,380
2034	7,994,051	3,656,672	4,454,171
2035	7,905,948	3,650,917	3,172,821
2036	6,963,372	4,138,829	4,631,690
2037	7,351,159	4,027,792	4,241,324
2038	7,633,999	3,786,151	4,011,077
2039	7,706,158	4,351,793	4,267,750
2040	7,647,620	4,461,889	4,332,011
2041	7,589,081	4,571,986	4,396,272
2042	7,530,543	4,682,082	4,460,533
2043	7,472,004	4,792,178	4,524,794
2044	7,413,465	4,902,275	4,589,055
2045	7,354,927	5,012,371	4,653,316
2046	7,296,388	5,122,467	4,717,577
2047	7,237,849	5,232,563	4,781,838
2048	7,179,311	5,342,660	4,846,099
2049	7,120,772	5,452,756	4,910,360
2050	7,062,234	5,562,852	4,974,621
2039	7,003,695	5,672,949	5,038,882
2040	6,945,156	5,783,045	5,103,143
2041	6,886,618	5,893,141	5,167,404

2042	6,828,079	6,003,238	5,231,665
2043	6,769,541	6,113,334	5,295,926
2044	6,711,002	6,223,430	5,360,187
2045	6,652,463	6,333,527	5,424,448
2046	6,593,925	6,443,623	5,488,709
2047	6,535,386	6,553,719	5,552,970
2048	6,476,848	6,663,816	5,617,231
2049	6,418,309	6,773,912	5,681,492
2050	6,359,770	6,884,008	5,745,753

(資料來源：本研究室整理)

(六) 2036 至 2050 年住宅空調耗能之推估法

過去之預測模型在空調耗能方面目前僅模擬至 2035 年，為推估至 2050 年，本研究使用北、中、南的總冷房度時(CDH)於 23 °C 以下時間與該年氣候變遷之中情境(RCP4.5)的空調耗能密度取散佈圖並找出趨勢線，如下圖 3-5，暫先推估由 2036 至 2050 年間之空調耗能量，待期末全部完成透過蒙地卡羅方法與未來氣候之大量模擬結果後，再與更新。

**圖 3-5 北中南冷房度時與鮮對應的空調 EUI 散佈圖**

(資料來源：本研究整理)

利用該線性趨勢線與未來 2036 至 2050 年已知的各區總冷房度時 23 °C 以下時間推估出未來各地區之空調耗能密度，如表 3-9。

表 3-9 2036 至 2050 年中情境空調耗能密度推估

年	北部(kWh/m²)	中部(kWh/m²)	南部(kWh/m²)
2036	16.04	14.85	21.43
2037	15.94	14.66	21.30
2038	17.90	17.06	24.66
2039	17.22	16.57	24.88

2040	15.87	14.78	22.20
2041	16.79	16.02	23.89
2042	16.57	15.54	23.66
2043	15.35	14.02	21.45
2044	16.50	15.46	23.50
2045	15.88	14.84	22.45
2046	15.44	14.40	22.00
2047	15.89	14.72	22.46
2048	16.88	15.63	22.80
2049	16.10	15.15	23.28
2050	15.92	14.98	22.86

(資料來源：本研究整理)

年	北部(kWh/m ²)	中部(kWh/m ²)	南部(kWh/m ²)
2036	39.42	43.83	54.94
2037	38.07	43.11	54.80
2038	43.37	49.30	62.33
2039	42.02	48.74	64.33
2040	38.72	44.32	56.60
2041	40.49	46.75	60.45
2042	40.17	45.30	61.49
2043	39.25	43.23	57.03
2044	40.23	45.40	60.15
2045	39.60	44.40	58.04
2046	37.69	42.18	56.02
2047	38.23	42.43	56.65
2048	40.99	45.85	58.61
2049	39.05	44.16	59.02
2050	38.61	44.14	59.39

(資料來源：本研究整理)

3.3.2 住宅照明耗能推估

一般照明耗能受到氣候的影響較小。因此僅須考慮住宅中各個空間所需的照明密度、空間面積以及全年的使用時數，即可計算出全年照明耗能，照明耗能計算公式如下式。

$$E_{\text{res,light}} = \sum_i (A_{\text{res},i} \times I_{\text{res,light},i} \times t_{\text{res,light},i} \times 365) \quad \text{式 3-4}$$

其中， i 下標代表住宅中不同廳室空間， A 為面積， $I_{\text{res,light}}$ 為住宅照明密度， $t_{\text{res,light}}$ 為每日照明時間，各空間之照明密度及時間設定如下表 3-10。

表 3-10 各空間照明密度及時間

空間	住宅照明密度 $I_{res,light,i}$ (W/m ²)	平均每日照明使用時間 $t_{res,light,i}$ (hr)
客廳	11.30	6.0
餐廳	7.50	2.5
廚房	7.50	2.5
臥室	8.36	4.0
衛浴	7.97	1.5
陽台	5.93	0.5

資料來源：(郭柏巖 2005)

各廳室面積 $A_{res,i}$ 則由全國住宅總面積乘上各廳室空間之比例，各空間之面積比例則參考內政部營建署於民國 95 年所做的調查研究報告，報告中統計了不同平面配置的住宅數量，如表 3-11，本研究參考市面常見的住宅平面圖平均計算各廳室之面積比，如表 3-12，利用下式即可概略求得各廳室之全國總面積。

$$A_{res,i} = A_{res} \times \sum_j (R_{Aj} \times R_{Ai,j}) \quad \text{式 3-5}$$

其中，A 代表面積，下標 i 代表不同廳室，下標 j 代表不同的格局， R_{Aj} 為格局 j 之比例， $R_{Ai,j}$ 代表在格局 j 之下廳室 i 之面積比例

表 3-11 住宅平面格局抽樣調查資料

平面格局	宅數 (戶)	比例 R_{Aj}
兩房以下	1,203,262	19%
三房	2,860,518	45%
四房以上	2,315,056	36%

(資料來源：(內政部營建署 2006))

表 3-12 不同格局對應之廳室面積比例 $R_{Ai,j}$

廳室\格局	兩房以下	三房	四房以上
客廳	17%	26%	27%
餐廳	16%	12%	11%
廚房	10%	8%	9%
臥室	36%	35%	38%
衛浴	7%	9%	7%
陽台	14%	10%	8%

(資料來源：本研究整理)

在未來照明基線耗能(BAU_{lighting})之推估上，假設未來國民生活水準大致變動不大之前提下，全年照明使用時間應大致不變。而未來人口消長導致的住宅樓地板面積之增加或減少是影響照明耗能之因子之一。其變動的因子為未來之樓地板面積成長率，其推估則依照上一節的方式，參考主計總處之人均居住面積、人均 GDP、國發會之人口推估及聯合國人居署之研究計算。

3.3.3 住宅家電耗能推估

為了避免重複計算，此節的家電項目須扣除冷氣、照明設備、熱水器等項目，並以「戶」為單位推估，由於每戶住宅所擁有的電器種類及台數不盡相同，因此需考慮「家電戶均台數」的問題，家電戶均台數定義為「每戶平均所擁有的各種電器設備數量」。住宅家電耗能計算公式如下式：

$$\text{過去家電耗能 } E_{\text{res,app,yr}} = \sum_k (\text{家電 } k \text{ 全年耗能} \times \text{戶均擁有家電 } k \text{ 台數} \times \text{戶數}_{\text{yr}}) \quad \text{式 3-6}$$

其中， $E_{\text{res,app}}$ 為住宅家電耗能，下標 k 代表不同種類的家電設備；各種家電年均耗能則參考下表 3-13，戶均擁有台數參考下表 3-14。

表 3-13 單台家電全年耗能（單位：kWh）

家電設備	2014 單台年耗量	2015 單台年耗量	2016 單台年耗量
電扇	78	75	73
電視	281	326	303
電腦	65	62	63
洗衣機	41	41	43
除濕機	50	74	86
電冰箱	403	401	396

（資料來源：(林素琴 and 林志勳 2017)）

表 3-14 戶均擁有家電台數

家電設備種類	(1) 每百戶擁有台數 (台)	(2) 戶均擁有台數 (2)=(1)/100
電扇	353.4	3.53
電視	183.1	1.83
電腦	77.8	0.78
洗衣機	107.2	1.07
除濕機	46.6	0.47
電冰箱	129.7	1.30
洗/烘碗機	54.7	0.55

（資料來源：(梁世武 2019)）

未來隨著人口增加、戶數成長，購買之家電亦會日益增加，且隨著人均 GDP 的上升，國民購買之家電數量也會跟著成長，將導致家電設備之耗能隨之上升。在未來住宅家電設備基線耗能(BAU_{equip})之推估上，假定未來家電設備之能源效率技術維持 2018 年的水準之一般情境下，未來家用電器耗能每年以 1.6 %之速率成長(梁世武 2019)，計算未來某一年份之家電設備耗能量如下：

$$E_{\text{res,app,yr}} = \sum_k (\text{家電 } k \text{ 年均耗能} \times \text{戶均擁有家電 } k \text{ 的台數}) \times \text{戶數}_{\text{yr}} \times (1.016)^{\text{yr}-2018} \quad \text{式 3-7}$$

其中 yr 代表未來某一年， $\text{yr} \geq 2018$ ，而戶數_{yr}之推估則如下說明。

為了推估家電設備耗能量，在戶數推估方面，本研究將歷年住宅面積與歷年人口相除則可得出人住宅用戶之未來戶數推估，如表 3-15 所示，其步驟參考

台電調查報告(梁世武 2019)之方法，並將低度用戶屬改成 2021 年最新數據 9.13%，以推估 2022 至 2033 年住宅用戶戶數，迴歸式如下：

$$H_{yr} = 0.3135 p_{yr} + 1.9827 H_{yr-1} - 0.9859 H_{yr-2} + \varepsilon_{yr} \quad \text{式 3-8}$$

其中， H_{yr} ：第 yr 年之戶數推估值； H_{yr-1} ：前一期戶數； H_{yr-2} ：前兩期戶數； p_{yr} ：當期總人口數； ε_{yr} ：殘差項。

表 3-15 未來戶數及低度用戶推估

年份	戶數(戶)	低度用戶比例(%)	調整後全國總戶數(戶)
2022	8,184,123	9.13	822,285
2023	8,229,572	9.13	826,852
2024	8,268,111	9.13	830,724
2025	8,299,850	9.13	833,913
2026	8,324,695	9.13	836,409
2027	8,342,489	9.13	838,197
2028	8,352,772	9.13	839,230
2029	8,355,293	9.13	839,483
2030	8,350,011	9.13	838,952
2031	8,336,845	9.13	837,630
2032	8,315,801	9.13	835,515
2033	8,286,901	9.13	832,612

*原文獻僅推估到 2033 年

(資料來源：本研究室整理)

由於有關未來全國總戶數變化之文獻上僅推估到 2033 年，本研究利用各年總居住面積以及戶均居住面積重新推估全國戶數之變化，但 2005 至 2021 年之戶數與總居住面積之成長率皆有浮動，如圖 3-6，因此最終先暫用 2033 年戶均居住面積推估後 17 年之戶數。其做法首先從人均居住面積與未來逐年年末人口推估值以及低度用戶比例 9.13% 計算後，可得到 2033 年的全國住宅居住面積，最後除以 2033 年的戶數，就可求得 2033 年的戶均居住面積為 88.75 m^2 。如圖 3-7，而 2033 年後之總住宅面積與戶數推估則呈現在表 3-16。

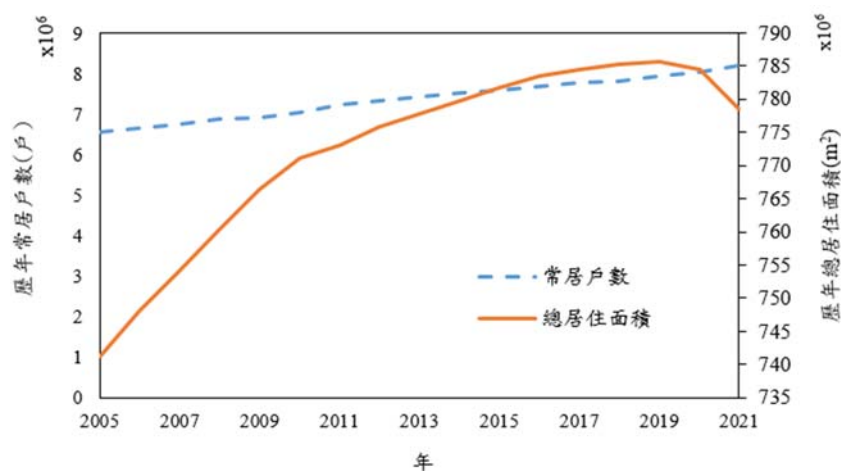


圖 3-6 2005 至 2021 年歷年總居住面積及全國戶數統計

(參考資料：(內政部戶政司 2021, 內政部戶政司全球資訊網 2021))

$$\text{人均居住面積}_{yr} = A_{res,yr} / p_{yr} \quad \text{式 3-9}$$

$$H_{yr} = \text{戶均居住面積}_{2033} \times A_{res,yr} \quad \text{式 3-10}$$

其中， p_{yr} ：當期總人口數； H_{yr} ：第 yr 年之戶數推估值； $A_{res,yr}$ ：第 yr 年之總居住面積；戶均居住面積 2033：2033 年戶均居住面積，為 $89.95\text{m}^2/\text{人}$ 。

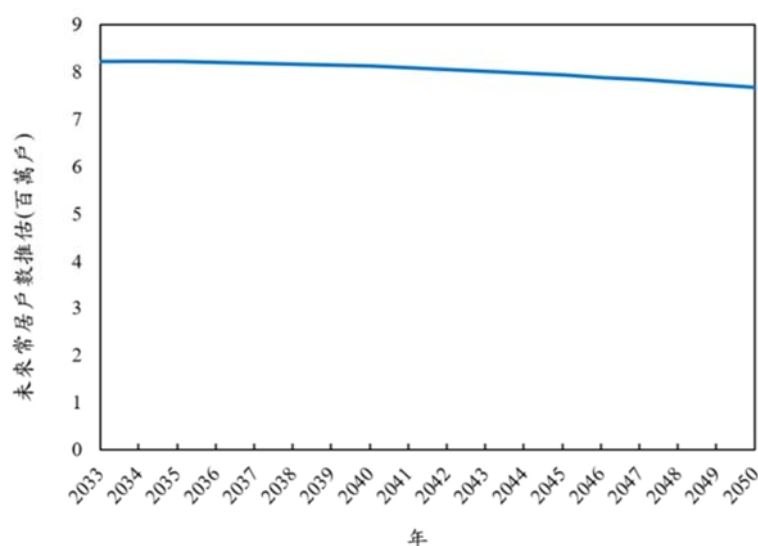


圖 3-7 2034 至 2050 年未來戶數推估

(參考資料：本研究整理)

表 3-16 利用 2033 年戶均居住面積推估之未來戶數

年	總居住面積(m^2)	戶數(戶)	調整後戶數(戶)
2034	809,468,779	9,121,243	8,288,474
2035	809,281,548	9,119,133	8,286,556
2036	808,226,585	9,107,246	8,275,754
2037	806,748,567	9,090,591	8,260,620
2038	804,882,125	9,069,560	8,241,509
2039	802,662,295	9,044,546	8,218,779
2040	800,017,623	9,014,746	8,191,699
2041	797,018,729	8,980,954	8,160,993
2042	793,701,194	8,943,571	8,127,023
2043	790,029,116	8,902,193	8,089,423
2044	786,074,235	8,857,629	8,048,927
2045	781,836,799	8,809,881	8,005,539
2046	777,280,819	8,758,543	7,958,888
2047	772,478,790	8,704,433	7,909,718
2048	767,358,369	8,646,735	7,857,288
2049	762,028,828	8,586,681	7,802,717
2050	756,454,231	8,523,865	7,745,636

(參考資料：本研究整理)

3.3.4 住宅熱水耗能推估

住宅熱水耗能主要來自於沐浴熱水之耗能，根據自來水用水統計資料顯示(經濟部水利署 2017)，每人每日「生活用水水量」為 289 公升，而「生活用水水量」有可分為「家庭用水」與「非家庭用水」，家庭用水主要包含洗澡、洗衣和沖廁等，約佔「生活用水水量」的 70%，因此家庭每人每日用水約為 204 公升；家庭用水主要包含學校、旅館、公司和百貨公司等營業用途之機關用水。根據 2007 年經濟部水利署依照家庭用水用途之比例做出調查，結果顯示出清潔或其他用途 (17%)、水龍頭 (15%)、洗澡 (20%)、洗衣 (21%) 以及沖廁 (27%)。(經濟部水利署 2007)。然而由於隨著人口結構、氣候以及其他等因素的變化，每人每日沐浴熱水用量會根據年份的增長而有所改變，如公式 3-11 計算至 2021 年時為 61.7 公升/人次，並假設 2021 年以後之每人每日沐浴熱水用量固定為 61.7 公升/人次計算，如圖 3-8 所示。因此，最終可由公式 3-12 計算出全國年沐浴熱水總用水量。

$$\text{全國年沐浴熱水總用水量(L/yr)} = \text{每人每日沐浴熱水用量(L/人日)} \times 365 (\text{日}) \times \text{全國人數 (人)} \quad \text{式 3-11}$$

$$\text{每人每日沐浴熱水用量(L/人日)} = 1.2143 \times \text{西元年分} - 2392.4 (\text{L/人次}) \quad \text{式 3-12}$$

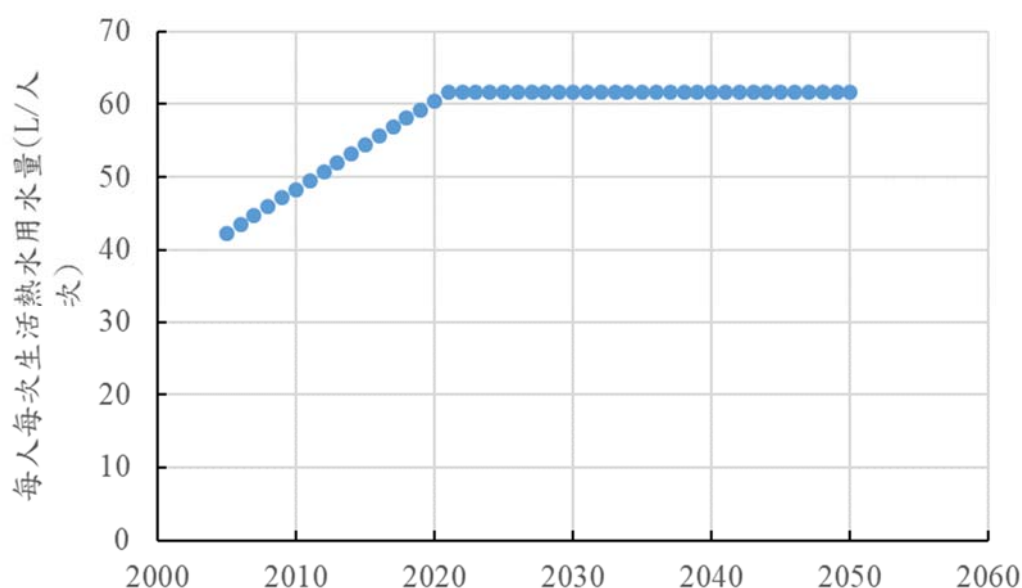


圖 3-8 模式推估未來逐年每人每日生活熱水之用水量

而不同的熱水器，耗能也不相同，因此本研究參考「建築產業碳足跡」一書中之計算標準，將不同種類的熱水器耗能、平均熱效率以及產出熱值(經濟部能源局 2016)整理成下表 3-17，並將各式熱水器於住宅用戶之普及率彙整至表 3-18(工研院綠能所 2018, 經濟部能源局 2019)。住宅之全國年熱水耗能量($E_{res,DHW}$)之計算，依使用能源區分為用電與瓦斯熱水，分由公式 3-19 與公式 3-20 計算而得。

表 3-17 各類熱水器耗能與普及率

熱水器種類	耗熱值	平均熱效率(COP)	產出熱值
大型儲熱型電熱水器	860 kcal/kWh	0.36	3096 kcal/kWh
小型儲熱型電熱水器	860 kcal/kWh	0.26	2236 kcal/kWh
電熱水器即熱型	860 kcal/kWh	0.90	774 kcal/kWh
天然瓦斯熱水器	8942 kcal/度 瓦斯	0.75	6707 kcal/度瓦斯(m ³)
液化瓦斯熱水器	12000 kcal/度 瓦斯	0.75	9000 kcal/度瓦斯(L)

(資料來源：(經濟部能源局 2016))

表 3-18 各類熱水器普及率

熱水器種類	住宅用戶普及率	熱水器種類	住宅用戶普及率
大型儲熱型電熱水器	15.9%	液化瓦斯熱水器	29.8%
小型儲熱型電熱水器		太陽能熱水器	5.1 %
電熱水器即熱型	21.3 %	熱泵熱水器	3.3%
天然瓦斯熱水器	23.4%	其他(儲備型燃器熱水器)	2.9%

(資料來源：(工研院綠能所 2018, 經濟部能源局 2019))

熱水加熱溫度變化量的計算設定最初由全國平均溫度為 22°C (臺北自來水事業處水質科 2022)開始加熱，設定溫度為 39°C，由表 3-17 所顯示的熱水器種類中除了電熱水器以外，其他種類之熱水器皆要考慮到熱損失，因此其出水溫度設定 55°C(李孟杰 2006)。而熱水器的熱損大致可分為兩種，第一為儲熱型熱水器的儲熱桶貯備熱損失，其次為熱水輸水管之散熱量，因此本研究以下會針對兩點熱損失分別說明。

由於儲熱型熱水器的儲熱桶會根據能源效率分級以及內桶容量而成非線性的變化，根據經濟部能源局 (2014)的統計計算，將以貯備型電熱水器的內桶容量 60 公升為準，並統整能源效率分級 1 到 5 級每 24 小時標準化貯備熱損失 $E_{st,24}$ ，其中第 1 極為效能最佳，第 5 級為效能最差。本研究以貯備熱損失最差的 5 級作計算，如表 3-19 所示，意即以最保守的方式評估全國熱水耗能。

此外，熱水傳輸管多會外加保溫材，需再考慮其熱水輸水管之散熱能量。熱水管管材、熱水傳輸耗能量與各規格管材之普及率呈現於表 3-20，其中各熱水器之普及率是根據李孟杰在其博士論文中所調查之電熱水器配管方式使用現況反推而得(李孟杰 2006)，儲熱型電熱水器之管線熱損失耗電量(kWh)如公式 3-13。本研究假設每人每日沐浴 1 次，全年共 365 次沐浴次數以此計算。然而，表

3-20 主要為針對電熱水器之評估，瓦斯熱水器也會有管線散熱熱傳產生，因此本研究透過表 3-17 計算電熱水器與瓦斯熱水器之平均熱效率之比值，並透過瓦斯熱水器產出熱值(表 3-20)來將熱水器管線熱損失單位從電換算成度瓦斯，如公式 3-14。

表 3-19 貯備型電熱水器能源效率分級基準表

能源效率等級	每 24 小時標準化備用損失 $E_{st,24}$ (kWh)	
	內桶容量 $V < 60$ 公升	內桶容量 $V \geq 60$ 公升
1 級	$E_{st,24} \leq 0.0715 + 0.0304 \times V^{2/3}$	$E_{st,24} \leq 0.11 + 0.0281 \times V^{2/3}$
2 級	$0.0715 + 0.0304 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.0845 + 0.0359 \times V^{2/3}$	$0.11 + 0.0281 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.13 + 0.0332 \times V^{2/3}$
3 級	$0.0845 + 0.0359 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.0975 + 0.0415 \times V^{2/3}$	$0.13 + 0.0332 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.15 + 0.0383 \times V^{2/3}$
4 級	$0.0975 + 0.0415 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.1105 + 0.0470 \times V^{2/3}$	$0.15 + 0.0383 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.17 + 0.0434 \times V^{2/3}$
5 級	$0.1105 + 0.0470 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.1235 + 0.0525 \times V^{2/3}$	$0.17 + 0.0434 \times V^{2/3} < E_{st,24} \leq 0.19 + 0.0485 \times V^{2/3}$

(資料來源：(經濟部能源局 2014))

表 3-20 居家熱水傳輸管散熱耗能量

配管條件	13mm 裸管	13mm 保溫管	19mm 裸管	19mm 保溫管
耗能量(kWh/人次)	0.0096	0.0054	0.0126	0.0047
各種配管普及率(%)	63	19	15	3

(資料來源：(李孟杰 2006)、本研究室整理)

儲熱型電熱水器之管線熱損失耗電量(kWh) = $\sum_k$ (管線_k耗能量(kWh/人次) × 管線_k普及率(%) × 每人全年沐浴次數(次) × 全國人口(人) × 儲熱型電熱水器之住宅用戶普及率(%))

式 3-13

瓦斯熱水器之管線熱損失耗電量(度瓦斯) = $\sum_k$ (((瓦斯熱水器平均熱效率/儲熱型電熱水器平均熱效率) × 管線_k耗能量(kWh/人次) × 管線_k普及率(%) × 每人全年沐浴次數(次) × 全國人口(人) × 860.42 (kcal/kWh)/ 瓦斯熱水器產出熱值(kcal/度瓦斯)) × 瓦斯熱水器之住宅用戶普及率(%))

式 3-14

其中，每人全年沐浴次數(次)：本研究假設每人每日沐浴一次，所以每人每天會沐浴 365 次

最終，電熱水器中除了即熱型電熱水器，儲熱型電熱水器皆有考量到儲熱桶熱損失加熱用電量以及熱水管線之輸送熱損失，計算方式呈現於公式 3-15 及公式 3-16。而天然瓦斯以及液化瓦斯熱水器則只需考量熱水管線之熱損失量，計算方式如公式 3-17 及公式 3-18。最後將所有電熱水器之耗能量加總即可計算出全國電熱水器耗能量，如公式 3-19 呈現，全國瓦斯熱水器耗能量則透過公式 3-20 計算。

$$E_{\text{res 即熱型}}(\text{kWh/yr}) = [(\text{全國年洗澡熱水總用水量}(\text{L/yr}) \times \text{水的比熱}(\text{kcal/kg} \cdot \text{K}) \times \text{水的密度}(\text{kg/m}^3) \times \text{溫度變化量}(\text{K}) \times \text{即熱型電熱水器普及率}) / (\text{產出熱值}(\text{kcal/kWh}))] / 1000$$

式 3-15

$$E_{\text{res 儲熱型}}(\text{kWh/yr}) = [(\text{全國年洗澡熱水總用水量}(\text{L/yr}) \times \text{水的比熱}(\text{kcal/kg} \cdot \text{K}) \times \text{水的密度}(\text{kg/m}^3) \times \text{溫度變化量}(\text{K}) \times \text{儲熱型電熱水器普及率}) / (\text{產出熱值}(\text{kcal/kWh}))] / 1000 + \text{每戶平均儲熱桶熱損失加熱用電量}(\text{kWh/戶}) \times \text{全國戶數}(\text{戶})$$

式 3-16

$$E_{\text{res 天然瓦斯}}(\text{度瓦斯}(\text{m}^3)) = [(\text{全國年洗澡熱水總用水量}(\text{L/yr}) \times \text{水的比熱}(\text{kcal/kg} \cdot \text{K}) \times \text{水的密度}(\text{kg/m}^3) \times \text{溫度變化量}(\text{K}) \times \text{天然瓦斯熱水器普及率}) / (\text{產出熱值}(\text{kcal/度瓦斯}))] / 1000 + \text{天然瓦斯熱水器之管線熱損失耗電量}(\text{度瓦斯})$$

式 3-17

$$E_{\text{res 液化瓦斯}}(\text{度瓦斯}(\text{公升})) = [(\text{全國年洗澡熱水總用水量}(\text{L/yr}) \times \text{水的比熱}(\text{kcal/kg} \cdot \text{K}) \times \text{水的密度}(\text{kg/m}^3) \times \text{溫度變化量}(\text{K}) \times \text{液化瓦斯熱水器普及率}) / (\text{產出熱值}(\text{kcal/度瓦斯}))] / 1000 + \text{液化瓦斯熱水器之管線熱損失耗電量}(\text{度瓦斯})$$

式 3-18

$$\text{全國電熱水器耗能量 } E_{\text{res,DHW,elec,yr}} = E_{\text{res 儲熱型}}(\text{kWh/yr}) + E_{\text{res 即熱型}}(\text{kWh/yr})$$

式 3-19

$$\text{全國瓦斯熱水器耗能量 } E_{\text{res,DHW,gas,yr}} = E_{\text{res 天然瓦斯}}(\text{度瓦斯}) + E_{\text{res 液化瓦斯}}(\text{度瓦斯})$$

式 3-20

其中，水的比熱：1 (kcal/kg·K)；溫度變化量(°C)：全國平均溫度為 22°C(臺北自來水事業處水質科 2022)，設定溫度為 40°C，出水溫度為 55°C(李孟杰 2006)；每戶平均熱損失加熱用電量為 478 kWh/戶；單位能源產出熱值(Kcal/度電)：為耗熱值(kcal/kg)與平均熱效率 COP，不同熱水器種類之為耗熱值(kcal/kg)與平均效率 COP 如表 3-17 所示。

3.3.5 住宅烹飪耗能推估

全年戶均烹飪耗能部分則引用蘇育弘之碩士論文，其研究調查大台北地區家戶內有關處理食物之能源消耗，以台北市及新北市的高中生為調查對象，透過問卷紀錄家中食物相關設備之情形以及每日的使用狀況，其調查結果顯示，在食物處理（烹飪）上，每戶家庭每年約消耗 6674.57 MJ (蘇育弘 2018)，因此本研究將引用此結果作為每戶每年住宅烹飪的耗能。

由於在計算溫室氣體排放量時，皆從耗電量或瓦斯耗量推算，因此在推估住宅烹調溫室氣體排放量時必須先將 MJ 的單位換算成電的單位 (kWh) 與瓦斯的單位 (m³)，假設電力與瓦斯在烹飪時無能量損失，電力的熱值以 860 千卡/度計算，瓦斯的熱值以 8900 千卡/度計算，換算結果如下表 3-21 所示。

表 3-21 大台北地區家戶年食物處理能源消費概況 (樣本數=661 戶)

年能源消費量項目	每戶每年能源消費量 (MJ/戶)	單位換算結果	
		每戶年耗電量 (kWh/戶)	每戶年耗瓦斯量 (m ³ /戶)
食物處理 (烹飪)	6674.57	1854 kWh	179.2 m ³

(資料來源：(蘇育弘 2018))

住宅烹飪耗能即可以下二式推估：

$$E_{\text{res,cook,elec,yr}} = \text{食物處理耗電量} \times \text{電熱爐普及率} \times \text{戶數}_{\text{yr}} \quad \text{式 3-21}$$

$$E_{\text{res,cook,gas,yr}} = \text{食物處理耗瓦斯量} \times (1 - \text{電熱爐普及率}) \times \text{戶數}_{\text{yr}} \quad \text{式 3-22}$$

其中，各項耗能參考表 3-21，電熱爐普及率參考台電 106 年之調查報告(梁世武 2019)，調查結果顯示電熱爐普及率為 20.5%，且假設其餘用戶皆使用瓦斯爐；未來的戶數估計與上一步驟 H_{yr} 推估模型相同。

3.3.6 住宅總溫室氣體排放量之推估

將以上各節之住宅各分項年耗能量推估依能源種類加總，即可分別得到住宅年耗電量與住宅年耗瓦斯量，如式 3-23 與式 3-24，將耗電量及瓦斯耗量分別乘上碳排係數即可得知住宅部門之年溫室氣體排放量(GHG_{res})，以每年之二氧化碳碳排放當量表示其單位為 $\text{kgCO}_2\text{e/yr}$ 。

住宅部門第 yr 年之耗電量＝

$$E_{\text{res,elec,yr}}(\text{kW/yr}) = E_{\text{res,HVAC,yr}} + E_{\text{res,light,yr}} + E_{\text{res,app,yr}} + E_{\text{res,DHW,elec,e,yr}} + E_{\text{res,cook,e,yr}} \quad \text{式 3-23}$$

$$\text{住宅部門耗瓦斯量 } E_{\text{res,gas,yr}}(\text{m}^3/\text{年}) = E_{\text{res,DHW,gas,yr}} + E_{\text{res,cook,gas,yr}} \quad \text{式 3-24}$$

$$\text{住宅部門第 yr 年總溫室氣體排放量推估值 } \text{GHG}'_{\text{res,total,yr}}(\text{kgCO}_2\text{e/yr}) =$$

$$\begin{aligned} & \text{住宅部門耗電量 } E_{\text{res,elec,yr}} \times \text{電力排碳係數}(\beta_{1,\text{yr}}) + \text{住宅部門瓦斯耗量} \\ & E_{\text{res,gas,yr}} \times \text{桶裝瓦斯占比} \times \text{桶裝瓦斯碳排係數}(\beta_{2,\text{yr}}) + \text{住宅部門瓦斯耗量} \\ & E_{\text{res,gas,yr}} \times \text{天然氣占比} \times \text{天然氣碳排係數}(\beta_{3,\text{yr}}) \end{aligned} \quad \text{式 3-25}$$

其中 GHG 代表溫室氣體， β_1 為電力排碳係數，引自經濟部能源局(經濟部能源局 2019)，桶裝瓦斯占比取 0.56，天然氣占比取 0.44，桶裝瓦斯碳排係數 β_2 ，此處以 $1.7529 (\text{kgCO}_2/\text{m}^3)$ 代入，天然氣碳排係數 β_3 以 $1.8790 (\text{kgCO}_2/\text{m}^3)$ 代入(行政院環境保護署 2019)；下標 yr 為未來某一年份，「 GHG' 」表示只經由本研究之模式推估，尚未考量修正係數的結果。

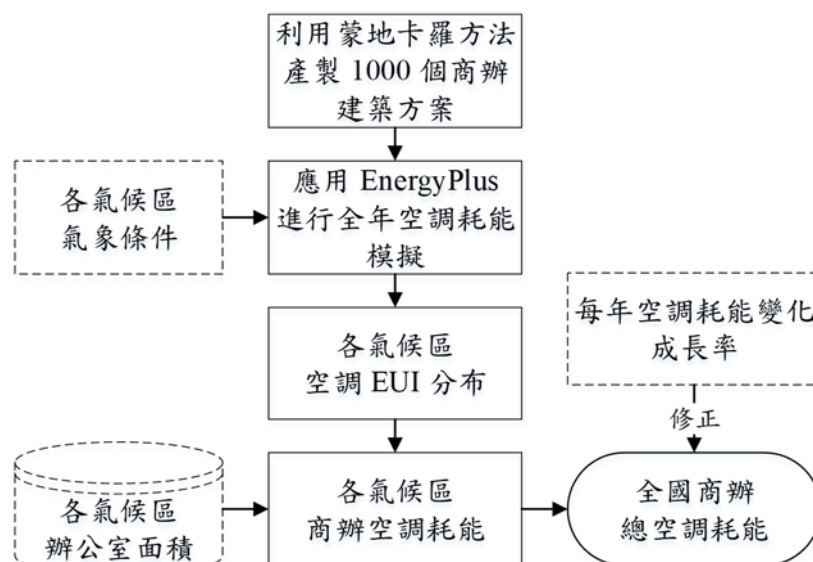
第四節 商業部門溫室氣體推估理論

本節探討商業建築之耗能推估方法，以商業大樓作為建築耗能模擬的代表建築，期透過能源模型的建立預估未來商業大樓溫室氣體之排放量。商業大樓之溫室氣體推估擬先由商業大樓之各項耗能設備推估起，區分為空調、照明與事務設備，再根據經濟部能源局公布的逐年電力排碳係數以及行政院環保署與自來水公司所公布的排放係數計算溫室氣體排放量。而電梯、給水汙水設備、送排風等它項設備耗能，則根據各年之大用電戶之能源查核年報資料(經濟部能源局 2018)納入計算，以推估總耗能量。以下將分項介紹各耗能的推估方法。

3.4.1 商業建築空調耗能之推估

本研究藉由 EnergyPlus 以全年動態模擬搭配各年之逐時氣象年來推估商業大樓之空調耗能量。而在模擬之假設上，需先決定建築物的外殼構造、熱學性質、室內發散熱、空調系統及效能。空調耗能之來源，包括室內發散熱(室內人員、

照明、事務機器設備所產生之熱負荷)、建築外殼構造之熱學性能、室內外氣換氣之需求以及空調系統效能等因素之影響,因此,為了涵蓋我國各種可能之建築型態組合,採用與住宅溫室氣體推估同樣之方法,應用蒙地卡羅方法以推估整體我國商業建築之各種樣態。其流程如圖 3-9。



註：虛框線表示未來會持續變動而逐年滾動檢討的因子

圖 3-9 全國商業建築空調耗能推估模型

(資料來源：本研究繪製)

本研究將建築外殼熱性能分解成以下影響因子：窗牆比(WWR)、玻璃熱傳透率(U 值)、玻璃日射透過率(Solar heat gain coefficient, SHGC)、外遮陽深度比、外牆熱傳透率 (U 值)、屋頂熱傳透率 (U 值)、建築方位。將上述因子以蒙地卡羅法搭配拉丁超立方抽樣(LHS)生成 1000 個建築案例,以求涵蓋國內大部分可能之商業大樓建築樣態。同時在空調方面,以 CAV+VWV 與 VRF 兩種空調系統做為模擬基準,模擬的氣象條件則採用台北、台中、高雄之真實氣象資料與新產製之未來氣象資料以分別代表台灣北、中、南三個相異之氣候區,來求得未來之空調耗能量變化。由於空調耗能主要受到當地氣候影響,且各年的氣候狀況也不盡相同,因此必須根據不同年份與地區分批模擬,耗能模擬之數量估計如下表 3-22 所示。此外,為考量未來氣候變化之不確定性,將同時考量氣候變遷推估上三種不同的變化情境(RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5),以分別代表未來人類發展將趨向為溫室氣體低排放、中排放與高排放下之情境,但本研究針對 2036 至 2050 年年之模型只考慮 RCP4.5 中排放情境。因此,在商業建築之耗能模擬上,將進行 294,000 次之模擬數量,以同時考量多樣的建築外殼、使用強度與空調系統效率組合與未來氣候變化上之不確定性,另外針對更長遠之未來則暫時考慮中排放即可。

表 3-22 EnergyPlus 模擬案例數

項目	數量	備註
----	----	----

地區	3	台北、台中、高雄
未來情境	3	以 RCP4.5 情境模擬
GCM 模式	歷史年份 (2005 年至 2021 年)	17 以 RCP4.5 模擬
	未來年份 (2022 年至 2050 年)	29*3 以 RCP4.5 情境模擬
真實氣候年份 (2005 年至 2020 年)	16	採台北、台中、高雄三城市之歷史氣象資料(校正用資料)
建築案例(個)	1,000	以蒙地卡羅法之 LHS 生成
總模擬次數(個)	158,000	$= [(17*3*1)_{\text{未來氣候歷史年 RCP45(2005-2021)}} + (29*3*1)_{\text{未來氣候 RCP45(2022-2050)}} + (17*3*1)_{\text{真實氣候 AMY(2005-2021)}}] * 1000 = 158,000$

(資料來源：本研究整理)

(一) 建築模型外殼熱性能之模擬設定

本節所模擬之商業大樓單層樓高為 3.5m，外牆及屋頂之 RC 樓版厚度為 15cm，同時藉由調整 PS 隔熱板的厚度以決定外牆及屋頂的構造熱傳透率(U 值)。此外，建築面向方位、建築平面之長寬比皆會影響室內熱負荷取得之多寡進而影響空調耗能，因此將建築物可能的四個坐向也考慮到模型之中。建築物的長寬比主要影響著外周區之面積大小，若外周區面積愈大，則空調耗能表現愈易受到外界氣象影響，因此該隨機分佈使用 Gamma 分佈型態，並在使其高峰值落於 1.4 至 1.5 之間，示意圖可見下圖 3-10。地面層上樓層數則以常見的 6 樓至 20 樓為模擬基準。一般而言，非辦公區域的空調密度、照明密度、事務設備密度皆比辦公區域的密度還低，因此需分開討論，本研究以「空調空間面積比」與「空間有效面積比」來分別代表建築內有空調之空間面積比例以及有效樓地板面積占整棟大樓樓地板面積的比值。

與窗戶開口部有關之外殼熱性能，如窗牆比(WWR)、窗玻璃 U 值及窗玻璃日射透過率(SHGC)，皆依台灣常見之水準設定。尤其 U 值的分布型態在正常情況並非是均佈的，故本研究以 Gampertz 分布型態定義玻璃 U 值之分佈，真實情形玻璃之隔熱性能大多分佈於 4.5 至 6.0 為準，如下圖 3-11。外遮陽以水平遮陽之方式透過描述遮陽板深度與窗高之比值之「深度比(x/y)」定義建築開口部之外遮陽性能，相關參數之設定範圍參見下表 3-23。

表 3-23 商業建築外殼參數設定

變因	最小值	最大值	分佈型態
長邊面向方位	N-S, W-E, NE-SW, SE-NW		四方位均佈
建築平面長寬比	1.1	3.5	Gamma 分佈
單層樓地板面積(m ²)	800	3000	均佈
地面上總樓層數	6	20	均佈
空調空間面積比($\delta_{A/C}$)	0.8	0.95	均布

空間有效面積比(δ)	0.6	0.85	均布
窗牆比(WWR)	0.35	0.85	均布
玻璃熱傳透率(U 值)	2.5	6.2	Gompertz
玻璃日射透過率(SHGC)	0.25	0.85	均布
外遮陽深度比(x/y)	0.0	0.5	均布(但當 WWR>0.5 時, x 須小於 0.2)
外牆隔熱材 PS 版厚度 (cm)	0.0	1.25	均布
屋頂隔熱材 PS 版厚度 (cm)	1	5.0	均布

(資料來源：本研究整理)

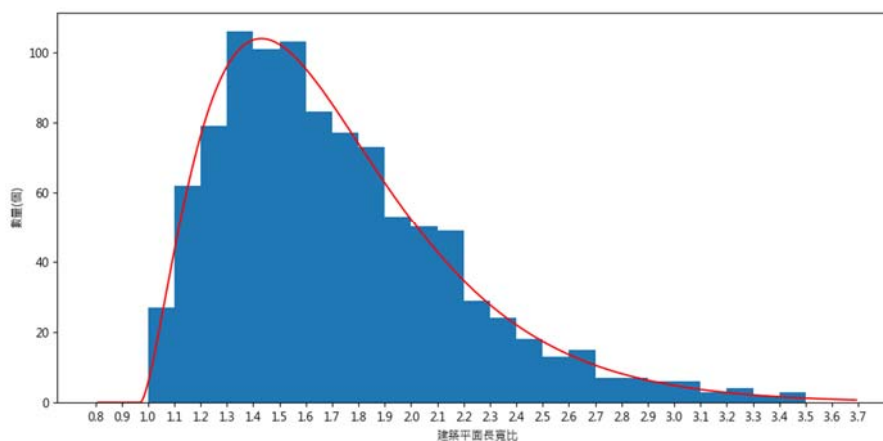


圖 3-10 建築長寬比 Gamma 分佈示意圖

(資料來源：本研究整理)

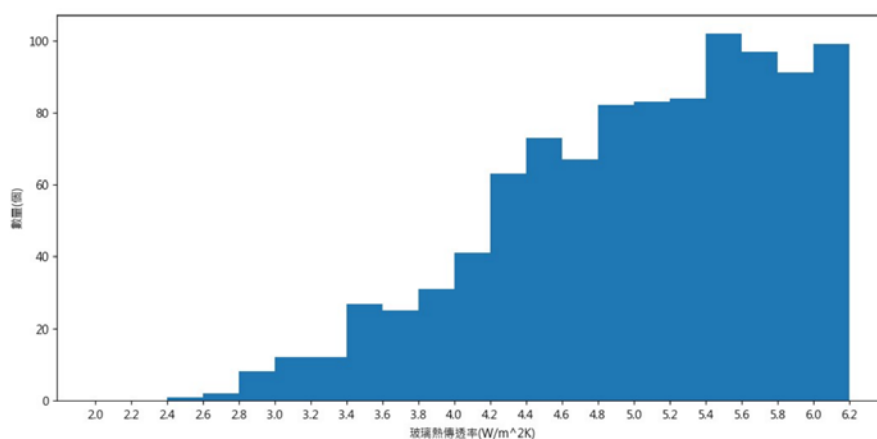


圖 3-11 玻璃 U 值 Gompertz 分佈示意圖

(資料來源：本研究整理)

(二) 室內發散熱之模擬設定

商業大樓室內發散熱之假定則參考自「綠建築解說與評估手冊」(內政部建築研究所 2014)以及符合市面上之經驗，分別設定人員密度、照明密度以及事務設備密度。考量國內已有部分商業大樓採用 LED 燈具，其照明密度較低的緣故，因此本研究假定照明密度之分佈為常態分布，如圖 3-12，之情況下進行 LHS 抽樣。而人員密度及事務設備密度則皆採隨機均勻分布。各因子之上下界設定與假

定之分佈如下表 3-24 所示。此外，在時程方面同樣參考「綠建築解說與評估手冊」及修正部分數值而得，其中空調、照明、人員分佈與事務設備之運轉時程如下圖 3-13。

表 3-24 商業建築室內發散熱設定

變因	最小值	最大值	分佈型態
人員密度 (人/m ²)	0.05	0.15	均布
照明密度 (W/m ²)	3.02	12.95	以平均數為 8，標準差為 2.3 之常態分佈(圖 3-12)
事務設備密度 (W/m ²)	5.0	10.0	均布

(資料來源：本研究整理)

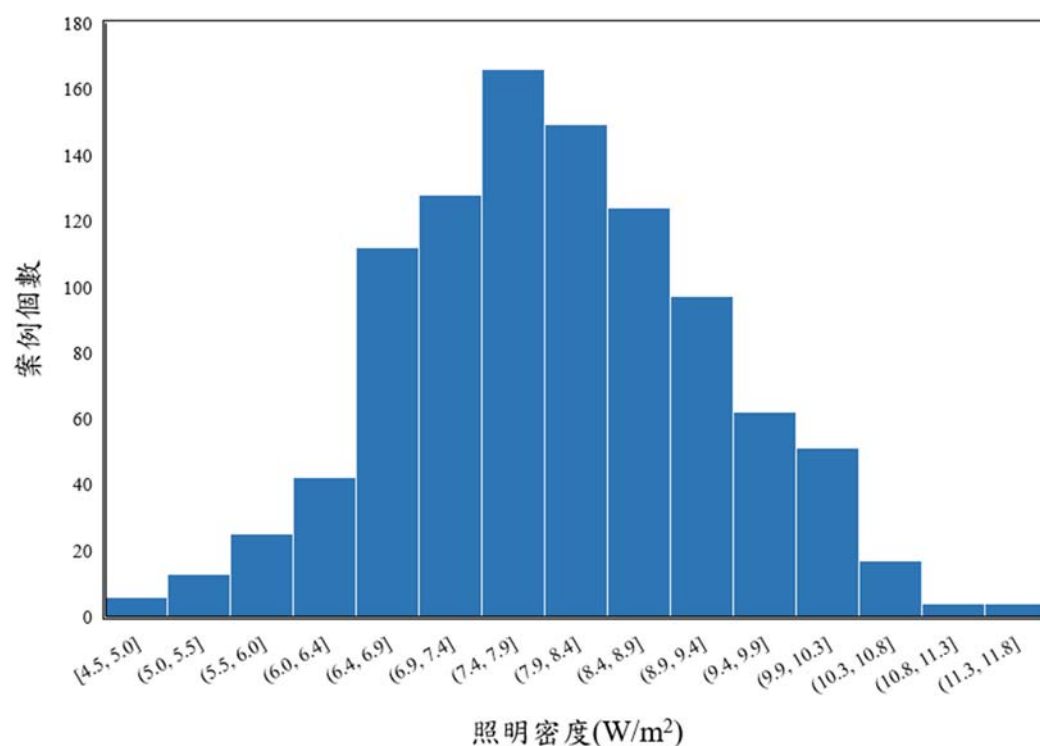
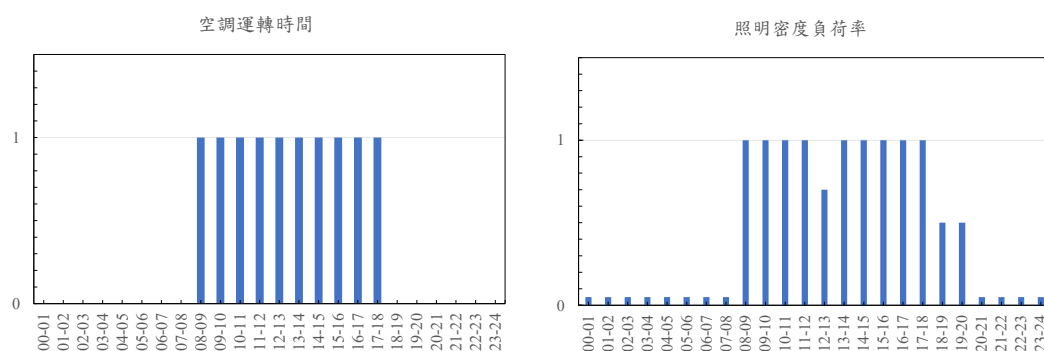


圖 3-12 商業大樓照明密度分布參考圖

(參考資料：本研究繪製)



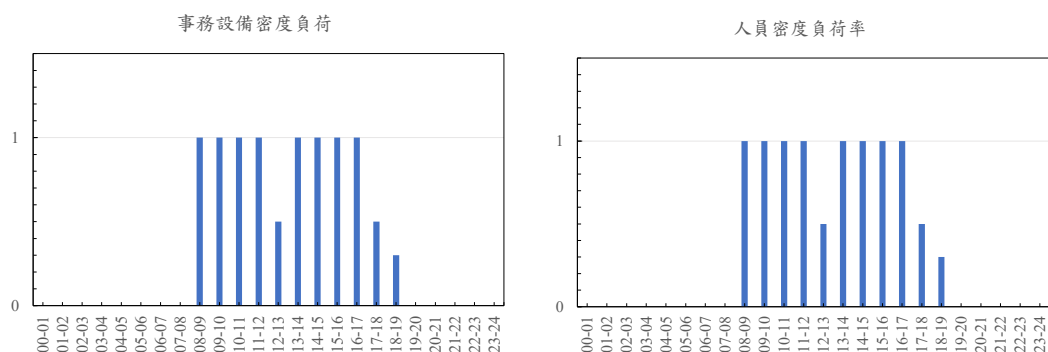


圖 3-13 各設備之負荷率及運轉時程

(參考資料：本研究繪製)

(三) 空調系統之模擬設定

空調系統的設定分為二次側定風量(CAV)搭配水側變流量(VWV)系統與氣冷式 VRF 系統，根據一篇建築學報之研究(林憲德 and 賴柏亨 2010)，既有商業建築約有 86.8 % 為 CAV+VWV 系統，13.2% 為氣冷式 VRF 系統，因此本研究將 1000 個案例依照此比例分配為 CAV+VWV 系統與氣冷式 VRF 系統。

在 CAV+VWV 空調主機效能(coefficient of performance, COP)的設定上，由於不同噸數大小的主機其合理的 COP 區間範圍亦不同，但礙於模擬上的限制，無法直接指定空調主機的噸數，因此需事先建立空調主機噸數(USRT)與總樓地板面積(Total Floor Area, TFA)的關係，以便未來直接利用生成案例之樓地板面積概估空調主機總容量，並分別訂定不同的 COP 變化範圍，將更能趨近真實之情況。本研究沿用去年之計畫成果(羅時麒，黃國倉 et al. 2020)，依式 3-26 來預估每個模擬案例可能的空調主機容量，藉以套用合理之 COP 範圍回模擬案例中，已進行全年空調耗能之計算。

$$\text{空調總噸數} = 0.0209 \times \text{TFA} + 46.031 \quad \text{式 3-26}$$

根據式 3-22，當空調總噸數<150 USRT 時，總樓地板面積 $\text{TFA} < 4,975 \text{ m}^2$ ；而當空調總噸數>300 USRT 時，總樓地板面積 $\text{TFA} > 12,152 \text{ m}^2$ ，藉由兩者之間的關係，即可將此蒙地卡羅方法所生成之 1000 個案例做適當的 COP 分派，詳細之 COP 上下界如下表 3-25 表 3-25 商業建築空調系統設定(2005 年基準)

空調系統		主機		整個空調系統效率 (含空氣側)		備註
		COP 最小值	COP 最大值	最佳值 KW/RT (COP)	最差值 KW/RT (COP)	
冰水機系統	USRT<15	4.07	4.45	1.58(2.23)	1.72(2.04)	2005 年市占約 95%
	150<USRT<300	4.19	4.90	1.44(2.45)	1.67(2.1)	
	USRT>300	4.65	5.50	1.28(2.75)	1.51(2.33)	

空調機(分離式)	2.73	3.00		2005 年市占約 5%
外氣量	0.0 lps/人~5.0 lps/人			
空調溫度規定	常態分佈(平均值 25 °C、標準差=2.0 °C)			
主機容量超量係數	常態分佈(平均值=1.5、標準差=0.3、最小值=1.0)			

備註：

1. 主機 2010 年 COP 值為上值乘 1.05 倍，2020 年上值 1.1 倍，2030 年上值乘 1.15 倍。
2. 空調系統 COP 值為 2010 年 COP 值為上值乘 1.05 倍，2020 年上值 1.15 倍，2030 年上值乘 1.2 倍。
3. 空調機 2010 年為上值乘 1.25 倍，2016 年 CSPF 值為 2010 年之 COP 值 1.14 倍，最大與最小差到 1.4 倍。

所示。

此外，本研究為考量各建築使用時室內空調設定溫度之差異所致之空調耗能變化，因此將空調設定溫度納為變數之一。此外，新鮮外氣亦是影響空調耗能之因子，因此外氣量與空調主機容量超量係數同樣依常態分布以隨機模擬的方式處理，藉以描述不同建築間相異的外氣換氣量，詳細之範圍如表 3-25。

表 3-25 商業建築空調系統設定(2005 年基準)

空調系統		主機		整個空調系統效率 (含空氣側)		備註
		COP 最小值	COP 最大值	最佳值 KW/RT (COP)	最差值 KW/RT (COP)	
冰水機系統	USRT<15	4.07	4.45	1.58(2.23)	1.72(2.04)	2005 年市占約 95%
	150<USRT<300	4.19	4.90	1.44(2.45)	1.67(2.1)	
	USRT>300	4.65	5.50	1.28(2.75)	1.51(2.33)	
空調機(分離式)		2.73	3.00			2005 年市占約 5%
外氣量		0.0 lps/人~5.0 lps/人				
空調溫度規定		常態分佈(平均值 25 °C、標準差=2.0 °C)				
主機容量超量係數		常態分佈(平均值=1.5、標準差=0.3、最小值=1.0)				

備註：

4. 主機 2010 年 COP 值為上值乘 1.05 倍，2020 年上值 1.1 倍，2030 年上值乘 1.15 倍。
5. 空調系統 COP 值為 2010 年 COP 值為上值乘 1.05 倍，2020 年上值 1.15 倍，2030 年上值乘 1.2 倍。
6. 空調機 2010 年為上值乘 1.25 倍，2016 年 CSPF 值為 2010 年之 COP 值 1.14 倍，最大與最小差到 1.4 倍。

待所透過 EnergyPlus 配合各年之氣象資料模擬完成後，即可得到在不同地區氣候條件下逐年空調耗能之情形。在有效空調樓地板面積內將所有的空調耗能總加即可推得商業大樓空調耗能，如下式 3-27 式：

$$E_{com,HVAC,yr} = \sum_{region} (EUI_{com,region,HVAC,yr} \times A_{com,region,yr} \times \delta) \quad \text{式 3-27}$$

其中，下標 u 為每單位樓板面積， $region$ 為北、中、南三個區域， com 為商業部門， δ 為空間有效面積比，本參數為變動值係透過蒙地卡羅方法 LHS 取值（取值範圍參見研究報告之表 3-23）；而 $EUI_{com,region,HVAC,yr}$ 為透過 EnergyPlus 搭配未來逐年氣候（依 RCP4.5 情境）分台灣北、中、南三氣候區模擬而得。

為確保一致性，商業建築空調的歷史與未來耗能推估模擬皆採用 GCM 模型所產製的未來氣象年模擬，因此需以 GCM 產製的氣象年模擬結果對真實之歷史氣象模擬結果進行校正。本研究以 2005 年至 2020 年台北、台中及高雄三地的真實氣象資料產製真實氣象年，與 GCM 模型之中推估(RCP4.5)所產製的氣象年相互比較其 2005-2020 年間之變化量。發現 GCM 模擬結果比真實年低 10.86%，因此需再將以 GCM 產製之未來氣象資料的模擬結果乘上各自的校正倍數始能更近似於真實的耗能，以排除 GCM 推估與真實發生年份間之預測偏差之現象。

● 商業建築空調系統耗能基線之推估法

在耗能基線之推估上，假設未來之建築外殼熱性能、室內發散熱、空調系統等均維持現狀不變，改變的僅有外界氣候條件及未來樓地板面積之增減。本研究未來氣候以 CanESM2 之 GCM 模式所產生的未來逐時氣象年進行模擬，未來氣象分為高、中、低推估，分別代表三種不同情境的未來氣候，區分為台北、台中、高雄三地區進行模擬。

經過文獻蒐集分析後，並無全國商業建築樓地板面積既存量之統計資料，僅有每年核發之建照資料，由於無法完全精確掌握國內商業樓地板之總面積，因此本研究利用住宅與商業大樓之面積比值推求全國既存商業大樓可能的樓地板面積。根據營建署的統計，歷年核發的住宅與商業新建樓地板面積如下表 3-26。其資料最早僅可溯源至民國 71 年，且民國 94 年以前之面積資料並無各縣市之統計值，因此本研究取民國 95 年後之累積樓地板面積資料進行商業與住宅樓地板面積之比例計算，並將各縣市核發之建築樓地板面積分別依北、中、南三區加總，以反應台灣各區域商業建築數量不一之情況。經比較兩者間的比例關係，可發現長期以來北部、中部與南部商業建築樓地板面積平均約是各區住宅面積的 16.0%、5.2%與 3.1%，本研究乃援用此比例進以推求全國三個氣候區的商業總樓地板面積。

表 3-26 商業及住宅歷年核發建築物使用執照樓地板面積

民國	當年商業建築 新建面積(m ²)	累積商業建築 面積(m ²)	當年住宅新建 面積(m ²)	累積住宅面積 (m ²)	商業建築面積占 住宅面積之比例
2006	7,510,355	308,526,038	17,460,518	748,086,974	41.2%
2007	6,042,372	311,228,908	18,878,411	754,254,107	41.3%
2008	7,194,119	313,888,840	16,109,789	760,281,972	41.3%
2009	6,426,630	321,566,623	13,517,972	766,487,923	42.0%
2010	4,418,250	322,676,868	13,315,090	771,149,680	41.8%
2011	3,738,199	320,574,730	12,703,578	773,011,816	41.5%
2012	4,614,018	324,240,444	15,044,260	775,919,587	41.8%
2013	4,520,418	325,166,162	16,120,299	777,772,750	41.8%
2014	5,845,620	325,859,453	17,307,290	779,735,299	41.8%

2015	5,785,187	327,559,995	18,221,721	781,750,845	41.9%
2016	4,148,408	328,306,283	17,006,584	783,426,899	41.9%
2017	5,045,124	328,927,212	14,967,392	784,562,661	41.9%
2018	4,633,881	331,292,164	16,104,894	785,218,051	42.2%
2019	4,084,717	330,574,959	14,729,686	785,704,199	42.1%
2020	4,689,138	329,605,491	15,733,891	784,439,591	42.0%
2021	4,018,806	324,114,696	15,620,275	778,635,022	41.6%

註：2006 年後始有各縣市樓地板面積之統計值

（資料來源：(內政部營建署 2006, 內政部營建署 2006 至 2020)、本研究室整理）

3.4.2 商業建築照明耗能之推估

建築照明之全年耗能量推估流程如圖 3-14 所示，其耗能由照明 EUI 與樓地板面積決定，而全年照明 EUI 則再由照明密度與照明使用時間求得。單位面積照明密度則由表 3-24 經蒙地卡羅方法取樣後而得，其取樣後產生 1000 個商業大樓模型中的照明密度值($I_{com,light}$)之分布如圖 3-12 所示。由於不同商業大樓的照明使用時間不同，因此照明使用時間同樣以隨機以每日使用 7 至 10 小時間以均佈取值進行計算。如假設全年上班日數為 254 日，因此全年之建築照明運轉時間約介於 1778 小時至 3048 小時之間，照明全年耗能量之計算如下式 3-28 所示，區分為居室($EUI_{com,light}$)與非居室($EUI'_{com,light}$)之照明用電量密度計算，最後再依各氣候區之商業建築樓地板面積比例累計台灣各氣候區之全年總照明用電量。而全國之全年照明 EUI 的分布如下圖 3-15：

$$EUI_{com,light} = \sum_d (I_{com,light,d} \times t_{com,light} / 1000) \quad \text{式 3-28}$$

$$EUI'_{com,light} = 5.5 \times t_{com,light} / 1000 \quad \text{式 3-29}$$

其中，下標 light 代表照明設備系統， $EUI_{com,light}$ 為全年商業有效面積內之照明能源使用密度 ($kWh/m^2 \cdot yr$)， I 為有效面積內單位面積照明密度 (W/m^2)，而非有效面積內之照明密度本研究取 5.5 (W/m^2)，下標 d 為如下圖之分布之每一取樣點； t 為全年運轉時數，為變動值（本研究取值自 1778 小時至 3048 小時之間）， $EUI'_{com,light}$ 為非有效面積之年照明 EUI（本研究取 5.5 $W/m^2 \cdot yr$ ）。

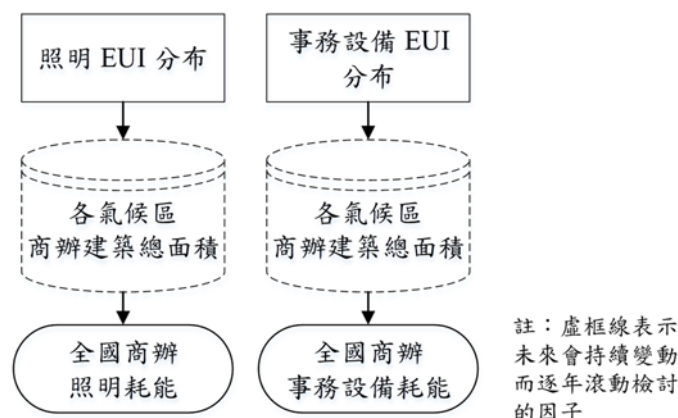


圖 3-14 全國商業建築照明與事務設備耗能推估模型

（資料來源：本研究繪製）

參考圖 3-15 作為照明 EUI 的機率分布，將全國商業大樓之有效樓地板面積依照此 EUI 的機率分布賦予每單位面積一個照明 EUI 值，由於並非所有辦公空間內之照明設備皆同時開啟，因此屬於有效樓地板面積內之居室空間另需考慮同步開燈率(本研究取 0.8)。非有效樓地板面積之區域則賦予其一最低照明密度，

本研究設定為梯間 5.5 W/m^2 (California Energy Commission 2019)，最後將所有的 EUI 值相加即為該年度的商業大樓照明耗能，計算如式 3-30：

$$E_{\text{com,light,yr}} = A_{\text{com,yr}} \times \delta \times p_{\text{light}} \times \text{EUI}_{\text{com,light}} + A_{\text{com,yr}} \times (1 - \delta) \times \text{EUI}'_{\text{com,light}} \quad \text{式 3-30}$$

其中， A_{com} 為全國商業大樓樓地板面積(m^2)； $\text{EUI}'_{\text{com,light}}$ 為非有效面積之年照明 EUI(本研究取 $5.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{yr}$)； δ 為有效面積比(為變動值，本研究假設各案例依 0.6 至 0.85 均布之方式計算)； p_{light} 為同步開燈率，本研究假設各案例依 0.8 至 0.95 均布之方式計算。

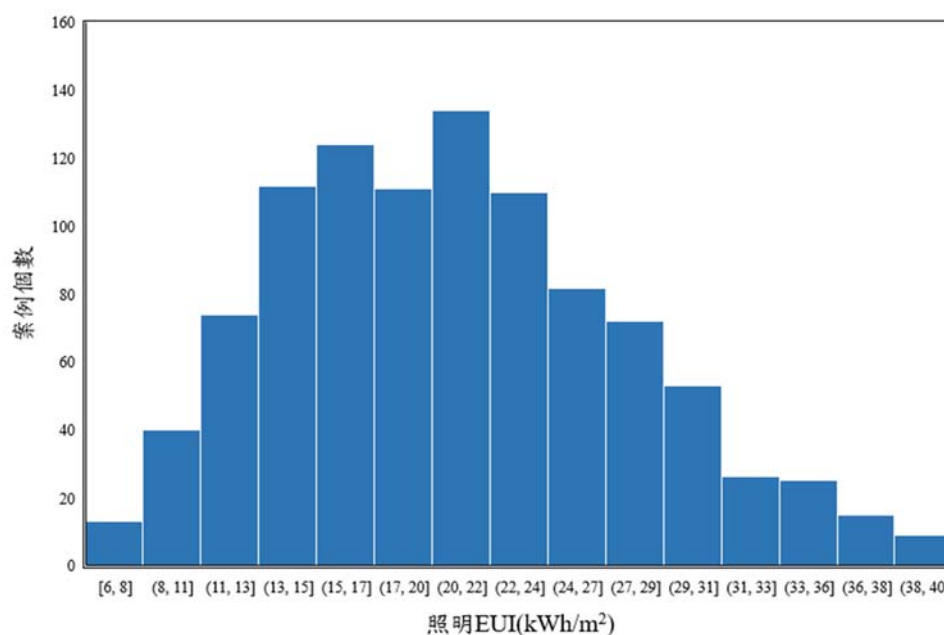


圖 3-15 商業建築照明 EUI 分布圖

(資料來源：本研究繪製)

● 商業建築照明系統耗能基線之推估法

在照明耗能基線的假設上，商業大樓照明密度不變與現況具相同之分佈，未來之商業大樓照明耗能則僅隨樓地板面積增加而增加，因此只需推估未來的商業大樓面積即可推得照明耗能。未來商業面積可透過前一節的方法透過住宅面積的比例推估。

3.4.3 商業事務設備耗能之推估

由於事務設備耗能亦不受地區氣候影響，同樣不分地理區域討論，全年商業之事務設備耗能由全年事務設備 EUI 與樓地板面積決定，而全年事務設備 EUI 由事務設備密度($I_{\text{com,eqp}}$)與事務設備運轉時間($t_{\text{com,eqp}}$)所決定。事務設備密度($I_{\text{com,eqp}}$)參考表 3-24，上下界設定參考過去經驗及國內現況，採用隨機均勻分布設定，事務設備運轉時間($t_{\text{com,eqp}}$)則同樣參考照明使用時間之分佈同步變動，然而所有室內之設備亦非全時同步運作，需再考慮事務設備同步使用率(本研究取 0.7)，才更符合真實之情況。以全年上班天數 254 日為計算基準，每日運轉 7 至 10 小時，相當於全年運轉 1827 小時至 3756 小時之間，由此可得事務設備 EUI 之計算式如下式 3-31：

$$EUI_{com,eqp} = I_{com,eqp} \times t_{com,eqp} \times \rho_{eqp} / 1000 \quad \text{式 3-31}$$

其中， $EUI_{com,eqp}$ 為事務設備之單位面積用電量($kWh/m^2.yr$)； $I_{com,eqp}$ 參考下表事務設備密度一欄內之範圍取值， $t_{com,eqp}$ 則與照明時間範圍相同(取值自 1827 小時至 3756 小時之間)； ρ_{eqp} 為事務設備同時負荷率，本研究取 0.8 至 0.95。

事務設備用電量之推估方面在非有效樓地板面積之區域如梯廳、走道等區域則無事務設備以 $0 W/m^2$ 計。因此事務設備之總用電量計算式如下式 3-32:

$$E_{com,eqp,yr} = A_{com,yr} \times \delta \times EUI_{com,eqp} \quad \text{式 3-32}$$

$E_{com,eqp,yr}$ 為第 yr 年全國商業事務設備之用電量 (kWh/yr)；下標 eqp 代表事務設備。 δ 為有效面積比(為變動值)

● 商業建築事務設備耗能基線之推估法

由於目前文獻上未有針對商業建築事務設備密度變化趨勢之報告，故本研究暫先假設其事務設備密度未來大致不變，未來之商業事務設備耗能僅因為樓地板面積增加而增加，因此僅需推估未來的商業大樓面積即可推得事務設備耗能。而其樓地板面積則可透過前一節的方法依與住宅面積的比例推估。

3.4.4 商業它項設備與總耗能量之推估

由前面的推估步驟可求得空調、照明及事務設備的耗能，由表 3-27 可知，在 2020 年時，此三項耗能平均已占商業大樓總耗能之 79.57%，其餘剩下約二成之耗能，則分由電梯耗能($E_{com,elev,yr}$)、給水汙水設備耗能($E_{com,pump,yr}$)、送排風耗能($E_{com,vent,yr}$)、冷凍冷藏設備耗能($E_{com,refri,yr}$)及其他非歸則於上述分類之設備耗能($E_{com,other,yr}$)等組成。有鑑於此部分比例占比較小，這些耗能採以比例推估。因此，商業之電力總耗能基線計算如下式 3-33 所示。

$$E_{com,total,yr} = E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr} + E_{com,elev,yr} + E_{com,pump,yr} + E_{com,vent,yr} + E_{com,refri,yr} + E_{com,other,yr} \quad \text{式 3-33}$$

其中，

$$E_{com,elev,yr} = r_{elev,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr}) / 0.796$$

$$E_{com,pump,yr} = r_{pump,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr}) / 0.796$$

$$E_{com,vent,yr} = r_{vent,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr}) / 0.796$$

$$E_{com,refri,yr} = r_{refri,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr}) / 0.796$$

$$E_{com,other,yr} = r_{other,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr}) / 0.796$$

$E_{com,elev,yr}$ 為電梯耗能； $E_{com,pump,yr}$ 為給水汙水設備耗能； $E_{com,vent,yr}$ 為送排風設備耗能； $E_{com,refri,yr}$ 為冷凍冷藏設備耗能；以及 $E_{com,other,yr}$ 為其他非歸則於上述分類之設備耗能。 r 為根據下表 3-27 所決定該項目之耗電量占總耗電量之百分比。

表 3-27 商業大樓電力流向

單位：%

年	空調 r_{HVAC}	照明 r_{light}	冷凍冷藏 r_{refri}	事務設備 r_{equip}	送排風 r_{vent}	給水汙水 r_{pump}	電梯 r_{elev}	其他 r_{other}
2004	42	28	30					

2005	44.6	27.2	0.5	9.6	3.3	3.5	7.1	4.2
2006	42.5	26.2	0.4	11.1	4.2	3.6	8.2	3.7
2007	44.5	24.6	0.2	10.9	4.2	3.6	7.4	4.5
2008	45.5	24.0	0.2	12.5	3.6	3.3	6.6	4.3
2009	42.7	24.6	0.3	13.6	3.6	3.2	6.3	5.7
2010	43.7	24.8	0.3	13.3	3.6	3.1	6.2	5.0
2011	46.1	23.3	0.3	12.1	3.5	3.2	6.4	5.1
2012	46.05	22.98	0.34	12.09	3.41	3.22	6.39	5.51
2013	45.17	23.01	0.31	12.71	3.51	3.23	6.43	5.63
2014	48.30	20.51	1.13	9.46	4.39	3.22	6.76	6.23
2015	47.90	19.55	0.76	9.93	4.27	3.38	6.85	7.35
2016	50.48	17.49	0.77	10.55	4.28	3.79	6.53	6.11
2017	51.39	16.10	0.75	10.63	4.62	3.38	6.75	6.38
2018	50.73	16.66	0.94	11.09	4.23	3.41	7.14	5.80
2019	52.80	14.78	0.90	10.37	4.56	3.56	7.44	5.59
2020	56.42	13.34	0.50	9.81	4.05	3.43	7.25	5.20
平均值	47.43	21.20	0.54	11.23	3.96	3.38	6.86	5.39

(資料來源：(經濟部能源局 2020, 經濟部能源局 2021))

3.4.5 商業瓦斯與汽柴油碳排量之推估

由 2021 年非生產性質行業能源查核年報(經濟部能源局 2021)之辦公大樓內取得。商業大樓主要的溫室氣體排放源為電力，其二氧化碳排放量占了所有能源項目的 99.52%，如表 3-28，因此除了電力以外的能源將使用相對於使用電力之碳排百分比進行推估，如式 3-34：

$$GHG_{com,other,yr} = (GHG_{com,elec,yr} / d_e) \times (d_{NG} + d_{gas} + d_{diesel}) \quad \text{式 3-34}$$

其中， $GHG_{com,gas,yr}$ 為某年 yr 商業大樓使用天然氣及汽柴油所排放之溫室氣體總量， $GHG_{com,elec,yr}$ 為某年 yr 商業大樓使用電力所排放之溫室氣體； d_e 為商業大樓電力使用排放溫室氣體占商業大樓總溫室氣體排放量之比例； d_{NG} 、 d_{gas} 與 d_{diesel} 分別為商業大樓天然氣、汽油與柴油占商業大樓總溫室氣體排放量之比例。

表 3-28 商業大樓各項能源消費量及占比

能源項目	消費量	排碳係數	CO ₂ 排放量 (kgCO ₂ e)	比例(d)
電力	1,323,205(MWh)	0.509 kgCO ₂ e/kWh	664,248,910	99.66%
天然氣 NG	1,054,000 (m ³)	1.890 kgCO ₂ /m ³	1,980,466	0.30%
汽油 gas	60 (公秉)	2.2631 kgCO ₂ /L	135,780	0.02%
柴油 diesel	69 (公秉)	2.6060 kgCO ₂ /L	179,814	0.03%

(資料來源：(經濟部能源局 2021))

3.4.6 商業部門總溫室氣體排放量之推估

綜合前幾節之推估，商業大樓之總溫室氣體排放量計算式如下。

$$GHG_{com,elec,yr} = E_{com,total,yr} \times \beta_{l,yr} \quad \text{式 3-35}$$

$$GHG_{com,total,yr} = GHG_{com,elec,yr} + GHG_{com,other,yr} \quad \text{式 3-36}$$

其中， $GHG_{com,elec}$ 為商業大樓電力使用所排放的溫室氣體量； $GHG_{com,total,yr}$ 為第 yr 年商業大樓總溫室氣體排放量， β_l 為電力排放係數， $GHG_{com,other,yr}$ 為其他能源別。

第五節 住商部門建築溫室氣體排放量推估之校正

3.5.1 住宅溫室氣體排放推估模式之校正法

住宅部門溫室氣體排放量之推估值係依由下而上將每一耗能設備分項計算而得，亟需仰賴統計資料之完整性與正確性，本研究盡量蒐集目前可獲得之本土統計數據進行推算各分項之耗能量。然而仍有許多非可控因子影響真正之耗能情形，與真實之耗能情況尚有許多無法掌握之變數，需進一步與真實耗能數據進行修正，以提升模型之準確度及可信度。我國每年針對住宅部門溫室氣體的排放皆有詳細之統計資料，因此直接得以作為與模擬推估值進行模型的校正。本研究擬透過與真實耗能資料，透過導入修正係數之概念，考慮社會經濟情況，包含人均 GDP、空屋率等因子計算修正率(γ_{res})。歷史空屋率參考內政部不動產資訊平台之低度使用（用電）住宅統計，如下表 3-29，未來空屋率則參考表 3-15。

表 3-29 全國低度使用（用電）住宅統計表

年份	全國低用電戶數量(戶)	占全國總戶數比例
2009	896,890	11.49%
2010	886,566	11.17%
2011	817,863	10.15%
2012	870,218	10.63%
2013	870,057	10.50%
2014	863,418	10.30%
2015	876,539	10.35%
2016	874,973	10.22%
2017	875,279	10.12%
2018	922,361	10.56%
2019	898,290	10.17%
2020	889,808	9.96%
2021	822,301	9.13%

（資料來源：（內政部不動產資訊平台））

為了將模擬推估的結果與真實的情況進行校準，分別計算 2005 年至 2020 年低推估、中推估及高推估溫室氣體排放量的年平均變化率，與真實溫室氣體排放量的年變化率進行比較後修正之，其修正之 γ_{res} 為 1.053。由於推估出來的溫室氣體排放量在歷史的部分可能仍與真實統計資料有所出入，為了與能源局統計之溫室氣體排放量接軌，在歷史資料的部分直接引用經濟部能源局「我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析」之統計值，而在未來的推估上則參考本研究之推估結果，並以每年與前一年的變化率推估未來的排放量。推估值之修正計算方式：

$$\gamma_{res} = \frac{\sum_{yr=2008}^{2018} \frac{E_{res,actual,yr} - E_{res,actual,yr-1}}{E_{res,est,yr} - E_{res,est,yr-1}}}{2005 - 2020} \quad \text{式 3-37}$$

下標 est 為模型推估值；下標 actual 為實際值

經修正的住宅部門第 yr 年之總溫室氣體排放量($GHG_{res,total,yr}$)則可由推估的住宅溫室氣體排放量($GHG'_{res,total,yr}$)乘上修正係數 γ_{res} 後而得：

$$GHG_{res,total,yr} (kgCO_2e/yr) = GHG'_{res,total,yr} \times (1 + \gamma_{res}) \quad \text{式 3-38}$$

3.5.2 商業建築溫室氣體排放推估模式之校正法

我國之耗能統計資料是依台電行業別之分類而製作，但以建築管理之立場是以建築類別為依歸。本研究業已建立商業類建築與住宅建築之溫室氣體排放之基線預測模型，其他商業建築(服務業)部分尚包括如旅館、百貨商場、學校、醫院以及其他非能以特定建築類別歸納之行業別。如第 3.4.1 節所述有關我國商業服務部門之能源統計係依行業別進行彙整。依經濟部能源局對商業部門之定義即為服務業，其中除了商業大樓以外，尚有學校、醫院、旅館、百貨公司等建築類型混雜其中，關於這四類的建築溫室氣體推估方式則以(台灣電力公司 2018)之歷年行業別用電統計資料，依上述四大類建築物以下表 3-30 之分類依據分別統計其歷年用電量，以作為校正之依據。

表 3-30 商業建築用電推估時採用之資料來源整理

建築種類	對應產業別	對應台電歷年行業別(98-107)用電資料之代號	附註
旅館類	旅館住宿業	88.旅館業	資料來源：台電歷年行業別(98-107)用電量
百貨商場類	零售業	53.54.55.零售業合計	
學校類	教育業	821.教育訓練服務業	
醫院類	醫療保健業	823.醫療保健服務業	
商業類	服務業	56.國際貿易	
		H.金融、保險及不動產業	
		I.工商服務業	
		911.公務機關	
		92.國際機構及外國駐在機構	
		94.其他不能歸類之行業	
其他類	商業用電資料扣除上述建築產業別與本研究推估之商業建築用電後而得		

(資料來源：本研究整理與(台灣電力公司 2018))

表 3-31 各商業建築類別之既有存量分析

主類別	用戶分類-次類別	數量	占比	平均 EUI (kWh/m ²)	比例加權後的 EUI (kWh/m ²)	台電 2021 年真實總耗電量 (kWh)	總樓地板面積 (m ²)
百貨商場類	百貨(百貨公司)	46	24%	239.1	219.7	4,580,698,582	81,028,674
	百貨(購物中心)	33	17%	205.6			

	量販(量販店(無冷凍冷藏))	3	2%	146.7			
	量販(量販店)	82	42%	217.2			
	複合式商場	29	15%	219.3			
旅館類	旅館(一般旅館)	14	17%	172.0	181.2	1,882,763,867	81,028,674
	旅館(一般觀光旅館)	15	18%	181.5			
	旅館(國際觀光旅館)	54	65%	183.5			
學校類	學校(一般大學(專))	67	40%	76.6	67.1	2,946,989,685	81,028,674
	學校(工商職業學校)	11	7%	52.4			
	學校(科技大學(專))	55	33%	63.3			
	學校(高級中學)	35	21%	59.4			
辦公大樓類	辦公大樓	113	100%	152.6	152.6	7,826,895,945	81,028,674
醫院類	醫院(地區醫院)	32	27%	156.1	195.9	2,977,641,785	81,028,674
	醫院(區域醫院)	69	58%	202.8			
	醫院(醫學中心)	19	16%	238.0			
住宅*							778,635,022

*住宅部分為本研究統計（資料來源：經濟部能源局、非生產性質行業能源查核年報）

以 2021 年為例，不同建築類別之用電比例，住宅、辦公大樓、醫院、旅館、百貨商場與學校類建築之用電量各占整個住商部門全年用電量的 56.22%、10.1%、3.85%、2.43%、5.92%與 3.81%。

由第三節所建立之蒙地卡羅推估商業建築之理論耗能模式，需再與實際發生之歷年用電資料校正，始可讓預測模式更為準確。其商業建築耗能之校正方式採用 2009 年至 2021 年由台電公司依行業別所統計得之商業建築歷年實際用電資料(台灣電力公司 2021)作為基礎，依各年份中實際值與推估值之比例差異建立逐年修正係數 δ 之預測模型。

$$\delta_{yr} = \frac{E_{actual,com,yr}}{E_{estimate,com,yr}} \quad \text{式 3-39}$$

其中，下標 yr 為預估之年份(西元年)； δ 修正係數，E 為全年用電量(kWh)；下標 actual 為實際用電量；下標 com 代表商業建築；下標 estimate 為本研究預估模型產出之預估用電量。

而所建立之修正係數預估模型為：

$$\delta_{yr} = 0.020911 \cdot yr - 41.168 \quad (R^2 = 0.8258) \quad \text{式 3-40}$$

其他商業部門內之各類建築類別則以歷史資料逐年假設與商業建築之年變化率相同之幅度成長推估其用電量，如下：

$$E_{estimate,i類建築,yr} = E_{estimate,i類建築,yr-1} \times \frac{E_{estimate,com,yr}}{E_{estimate,com,yr-1}} \quad \text{式 3-41}$$

$$GHG_{商業部門,elec,yr} = \sum E_{estimate,i類建築,yr} \times \beta_{1,yr} \quad \text{式 3-42}$$

GHG_{商業部門,elec,yr} 表示第 yr 年商業部門用電部分之溫室氣體排放量； β_1 為逐年之用電碳排放係數

不同建築類別逐年推估之結果以及歷史真實用電統計如下表 3-32。

表 3-32 屬服務業類別之各建築別逐年歷史用電

年份	旅館類	百貨商場 (零售業)	學校教育 類	醫院類	商辦類	其他
單位	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
2009	1,391.2	4,690.7	3,242.5	2,779.0	5,927.0	26,121.5
2010	1,494.6	4,629.6	3,220.7	2,884.0	6,412.0	27,256.0
2011	1,534.2	4,485.8	3,176.2	2,830.0	6,207.1	27,537.4
2012	1,552.2	4,424.2	3,113.0	2,848.0	6,307.0	27,486.7
2013	1,608.6	4,366.0	3,115.1	2,899.3	6,522.8	27,341.5
2014	1,678.5	4,300.4	3,084.8	2,915.4	6,756.9	27,719.2
2015	1,765.9	4,308.1	3,083.5	2,976.9	7,006.2	27,996.8
2016	1,861.3	4,350.7	3,105.2	3,062.4	7,132.7	28,445.6
2017	1,899.5	4,264.1	3,049.3	3,077.9	7,439.4	28,587.3
2018	1,933.6	4,162.0	3,033.7	3,096.2	7,705.3	27,185.0
2019	2,078.9	4,946.6	3,282.4	2,914.3	7,720.7	25,777.7
2020	2,028.6	4,815.1	3,190.4	2,977.6	7,697.8	25,506.5
2021	1,882.8	4,580.7	2,947.0	2,977.6	12,388.1	7,826.9

(資料來源：(台灣電力公司 2021))

3.5.3 商業部門非電力耗能項目之未來溫室氣體排放推估方法

為了與國家溫室氣體排放量接軌，本研究參考經濟部能源局所公告之能源平衡表，分別以迴歸分析的方式推估商業部門各項能源之消耗；而其餘非電力消費的排放，參考《能源平衡表》中的資料，以多項式迴歸分析的方法以及具有時間序列特性 ARIMA 模型 (Auto regressive Integrated Moving Average model)，又稱差分整合移動平均自迴歸模型。ARIMA 模型的精神在於利用時間序列以及使用自身的歷史數據以推估未來自身情況藉以預測未來的趨勢，在只有過去歷史數據的單變數的情形下，使用 ARIMA 模型需使用三種參數，可以表示為 ARIMA (p, d, q)，其中 AR 表示「自回歸」(Auto regressive)，p 為自回歸項數；MA 為「移動平均」(Moving Average Model)，q 為移動平均項數，d 為使之成為平穩序列所做的差分次數 (階數)。其中不同能源類別會依據能源消費的統計特性採取不同的預估方式，如液化石油氣採用 ARIMA 模型進行預估，而煤油則採用二次多項式迴歸分析，以求可以符合真實的現況。此部分非電力耗能項目之推估模型由於今年變動不若電力來得大，本計畫直接採用過去所建立之模式(羅時麒, 黃國倉 et al. 2020)，其推估模型整理如下表 3-33 所示。

表 3-33 其他各能源耗用別之消耗量推估模式

能源耗用類別	消耗量推估模式
液化石油氣	$X_y = 1.600 \times X_{y-1} - 0.601 \times X_{y-2} + \varepsilon_y$
車用無鉛汽油汽油	$X_y = 1.826 \times X_{y-1} - 0.831 \times X_{y-2} + \varepsilon_y$
航空燃油煤油型	$X_y = 1.033 \times X_{y-1} + 0.414 \times X_{y-2} - 0.446 \times X_{y-3} + \varepsilon_y$
煤油	$X_y = 0.770 \times X_{y-1} + 0.962 \times X_{y-2} - 0.778 \times X_{y-3} + \varepsilon_y$

柴油	$X_y = 1.313 \times X_{y-1} + 0.310 \times X_{y-2} - 0.624 \times X_{y-3} + \varepsilon_y$
燃料油	$X_y = 1.561 \times X_{y-1} - 1.001 \times X_{y-2} + 1.194 \times X_{y-3} - 0.797 \times X_{y-4} + \varepsilon_y$ 當 $y > 2021$ 時 $X_y = 0$
自產天然氣	$X_y = 1.82627 \times X_{y-1} - 0.82884 \times X_{y-2}$
進口液化天然氣	$X_y = 1.92 \times X_{y-1} - 0.494 \times X_{y-2} + \varepsilon_y$
其中：X 表為各能源耗用別之消耗量，單位為公升，下標 y-1 表示前一期，下標 y-2 表示前兩期，末項 ε 表示殘差值，下標 y 為當年度。	

(資料來源：(羅時麒, 黃國倉 et al. 2020))

第4章 住商部門溫室氣體排放量基線預測

本章藉由第三章所建立之推估法，分別推估與探討住宅與商業部門之溫室氣體排放量。由於空調系統之耗能受外界氣候之影響，由去年之研究成果得知在氣候變遷下，不論北、中、南氣候區，隨著氣候變遷的影響下逐年的全年冷房度時(CDH₂₃)平均將以全台每年約 117.31 (°C·hr)微幅增加，或平均而言 2035 年之 CDH₂₃ 會較 2000 年時多約 17.3%，意味著未來空調耗能量亦將隨之成長。以下分別說明住宅與商業建築溫室氣體排放量基線之推估結果與變化趨勢。

第一節 住宅溫室氣體排放量預測結果

由於在進行住宅部門的溫室氣體的推估之前必須先得知全國住宅存量的總樓地板面積。本研究首先透過歷年全國各縣市的人均居住面積(表 3-5)，以及各縣市歷年人口(內政部戶政司全球資訊網)估算該縣市的歷年住宅既存面積，而後加上內政部統計出住宅歷年各年度新增之樓地板面積(內政部 2022)，如表 3-7，即可得出歷年住宅樓地板面積。未來住宅樓地板面積方面，本研究將北中南區的歷年住宅新增樓地板面積分別做線性推估，其呈現的結果如表 3-8，因此，透過將該年度的前一年建築暨存面積與新增樓地板面積相加成得未來住宅樓地板面積，再加上未來人口中推估資料(國家發展委員會 2022)與人均居住面積之乘積，最終可以得出各區域之住宅總樓地板面積之推估圖，如圖 4-2 所示。

其中從 2002 年至 2050 年未來人口中推估如圖 4-1 所示，由以上的住宅面積以及過去和未來的氣象資料，利用 EnergyPlus 電腦動態模擬計算出之各區域逐年空調耗能量，再利用第三章第三節提到的各項耗能項目的計算公式，可得到各耗能項目的耗電分布如圖 4-4。

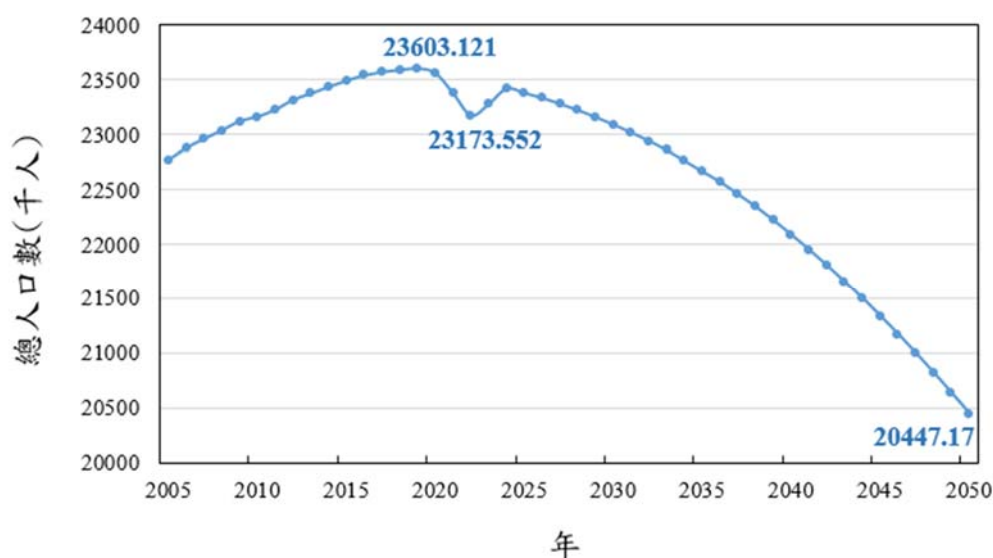


圖 4-1 國家未來人口中推估

(資料來源：(國家發展委員會 2022))

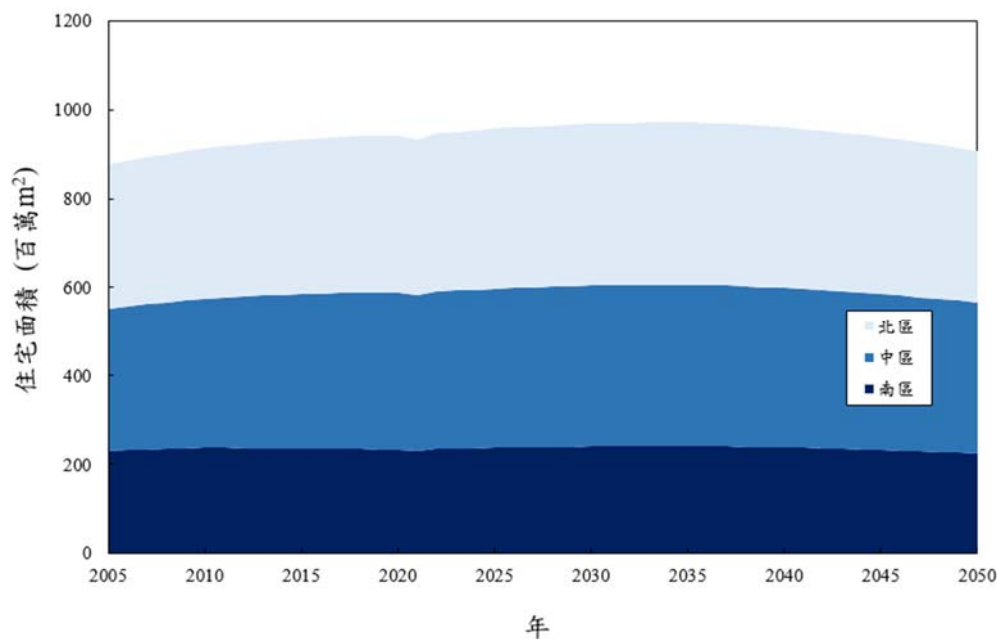


圖 4-2 各區住宅樓地板面積推估圖（以人口中推估計算）

（資料來源：本研究繪製）

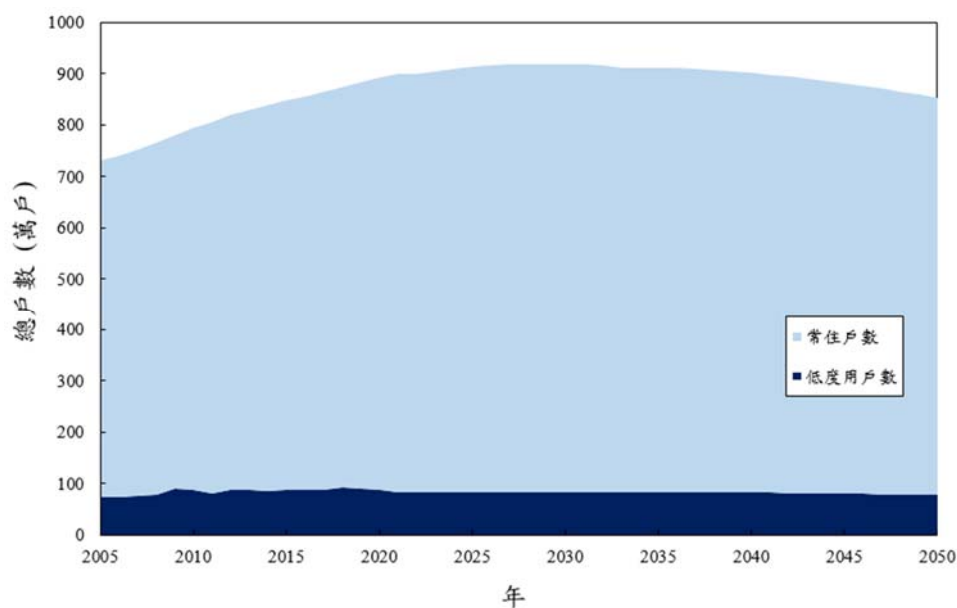


圖 4-3 全國未來戶數推估

（資料來源：本研究繪製）

基本上全國之住宅總體耗能量是向上增長的，平均每年以 3×10^8 (kWh/yr) 或相當於每年以 1.7 % 之幅度增加。圖 4-4 中住宅中各耗能項目的耗電量占比（不含瓦斯、天然氣），顯示住宅部門中最耗電的項目為空調及照明，由於每年的氣候條件不盡相同，因此空調也會隨著氣候條件起伏，因此有時照明耗電會略高於空調耗電，而隨著住宅面積增加，整體住宅的耗電量為逐年上升，從 2005 年至 2035 年的成長趨勢為約 20.0%，其中，空調耗電量成長了 11.1%，照明耗電成長了 9.2%，家電耗電成長了 31.6%，熱水耗電成長了 42.0%，烹飪耗電成長了 26.4%。

至 2050 年時之住宅總耗能成長趨勢為約 30.1%，其中，空調耗電量成長了 25.7%，照明耗電成長了 2.1%，家電耗電成長了 73.3%，熱水耗電成長了 28.8%，烹飪耗電成長了 18.1%，其中家電耗能成長率最高，其原因是因為根據文獻統計，家電耗能以每年 1.6% 之速度成長(梁世武 2019)。

而全國的液化瓦斯及天然氣的成長趨勢如圖 4-5 所示，其中液化瓦斯及天然瓦斯之消耗量與溫室氣體排放量呈現於表 4-1。由於未來人口數在 2021 年至 2024 年達到最高峰(國家發展委員會 2022)，也就是說在 2024 年以後國家人口逐漸減少，造成液化瓦斯及天然氣的使用人數逐漸減少，直接影響住宅部門的總瓦斯消耗量，由圖中可知，來自瓦斯之碳排在 2021 年達到使用高峰，隨後便逐年趨緩，此趨勢與圖 4-1 人口變化相當，可看出人口變化之趨勢與瓦斯消耗量之間有相當直接的影響。

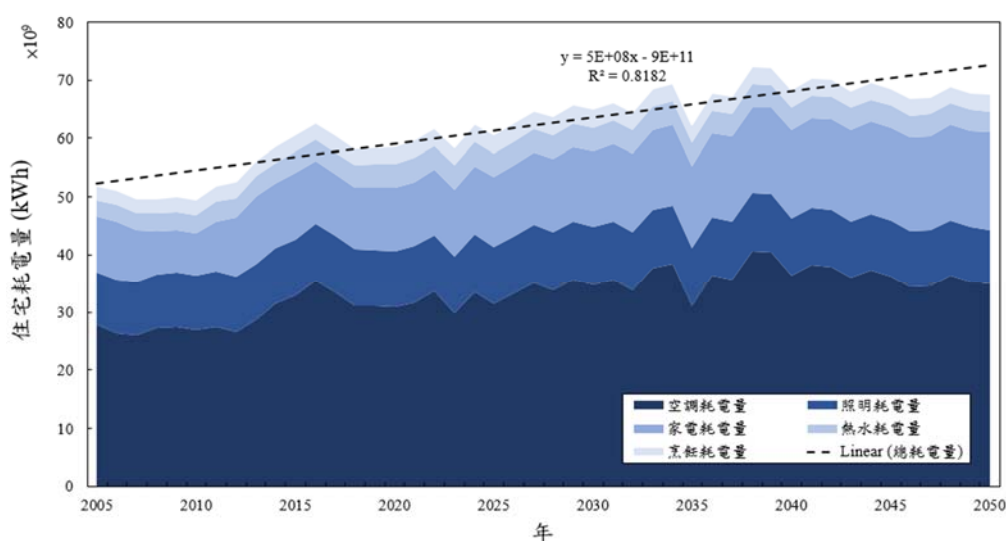


圖 4-4 住宅各耗電項目耗電量未來推估

(資料來源：本研究繪製)

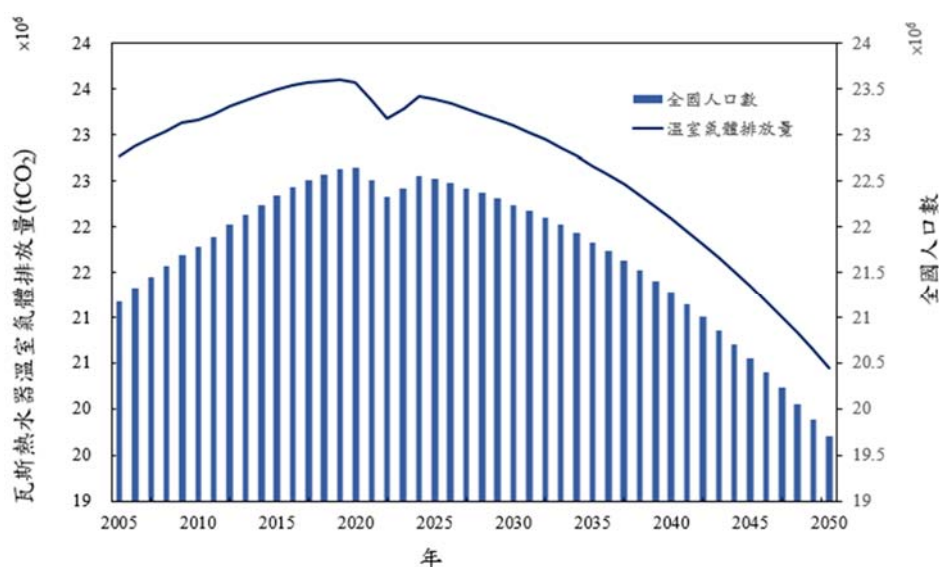


圖 4-5 全國住宅生活熱水瓦斯溫室氣體排放量與全國人口數之趨勢

(資料來源：本研究繪製)

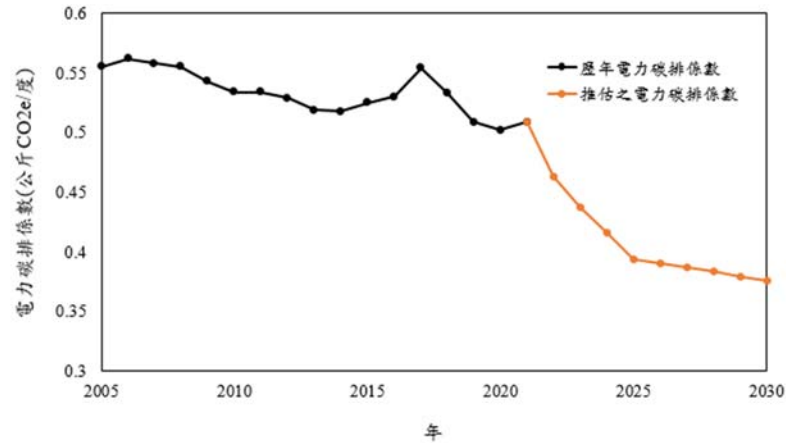
表 4-1 全國住宅熱水液化瓦斯與天然瓦斯消耗量與溫室氣體排放量推估

年份	液化瓦斯 消耗量	液化瓦斯 溫室氣體	天然瓦斯 消耗量	天然瓦斯 溫室氣體
單位	度	tCO ₂	度	tCO ₂
2005	5,484,844	9,614,382	5,782,866	10,866,004
2006	5,529,071	9,691,909	5,829,496	10,953,624
2007	5,570,057	9,763,753	5,872,709	11,034,821
2008	5,603,379	9,822,164	5,907,842	11,100,835
2009	5,636,993	9,881,085	5,943,282	11,167,428
2010	5,669,877	9,938,727	5,977,953	11,232,574
2011	5,709,061	10,007,413	6,019,266	11,310,201
2012	5,742,283	10,065,648	6,054,293	11,376,017
2013	5,774,804	10,122,653	6,088,581	11,440,444
2014	5,808,435	10,181,605	6,124,039	11,507,069
2015	5,831,988	10,222,891	6,148,872	11,553,731
2016	5,860,746	10,273,301	6,179,193	11,610,703
2017	5,896,686	10,336,300	6,217,085	11,681,903
2018	5,924,308	10,384,720	6,246,209	11,736,626
2019	5,952,641	10,434,384	6,276,081	11,792,755
2020	5,980,552	10,483,310	6,305,509	11,848,052
2021	6,005,830	10,527,620	6,332,161	11,898,130
2022(f)	6,026,986	10,564,704	6,354,465	11,940,041
2023(f)	6,044,664	10,595,692	6,373,104	11,975,063
2024(f)	6,061,459	10,625,132	6,390,812	12,008,336
2025(f)	6,063,839	10,629,303	6,393,321	12,013,050
2026(f)	6,029,021	10,568,271	6,356,611	11,944,073
2027(f)	5,976,982	10,477,052	6,301,745	11,840,978
2028(f)	6,004,087	10,524,564	6,330,323	11,894,676
2029(f)	6,040,332	10,588,098	6,368,537	11,966,481
2030(f)	6,029,899	10,569,811	6,357,537	11,945,813
2031(f)	6,018,268	10,549,421	6,345,273	11,922,769
2032(f)	6,004,535	10,525,350	6,330,795	11,895,564
2033(f)	5,989,514	10,499,018	6,314,957	11,865,804
2034(f)	5,973,154	10,470,341	6,297,708	11,833,394
2035(f)	5,955,547	10,439,479	6,279,145	11,798,514
2036(f)	5,936,749	10,406,526	6,259,325	11,761,272
2037(f)	5,916,759	10,371,487	6,238,249	11,721,671
2038(f)	5,895,446	10,334,128	6,215,779	11,679,448
2039(f)	5,870,785	10,290,899	6,189,777	11,630,592
2040(f)	5,845,500	10,246,578	6,163,119	11,580,500
2041(f)	5,821,251	10,204,071	6,137,552	11,532,460
2042(f)	5,792,395	10,153,489	6,107,128	11,475,293
2043(f)	5,762,881	10,101,755	6,076,011	11,416,824
2044(f)	5,730,842	10,045,594	6,042,231	11,353,352
2045(f)	5,696,941	9,986,168	6,006,488	11,286,190
2046(f)	5,661,201	9,923,520	5,968,806	11,215,386
2047(f)	5,624,027	9,858,358	5,929,612	11,141,741
2048(f)	5,585,304	9,790,479	5,888,784	11,065,026
2049(f)	5,545,052	9,719,921	5,846,345	10,985,283
2050(f)	5,503,433	9,646,968	5,802,465	10,902,832

(資料來源：本研究整理)

住宅部門主要使用的能源為電力，在評估住宅部門溫室氣體排放時，須考慮電

力排碳係數，此係數參考經濟部能源局的公告，而最新的資料顯示民國 110 年度的電力排碳係數為 $0.509\text{kgCO}_2\text{e/度}$ (經濟部能源局 2019, 經濟部能源局 2022)，此後由於我國之發電結構改變，電力排碳係數將預期逐年降低，參考能源部門溫室氣體排放管制行動方案(第一期階段)核定本(經濟部 2018)的資料，



如下
圖 4-6。

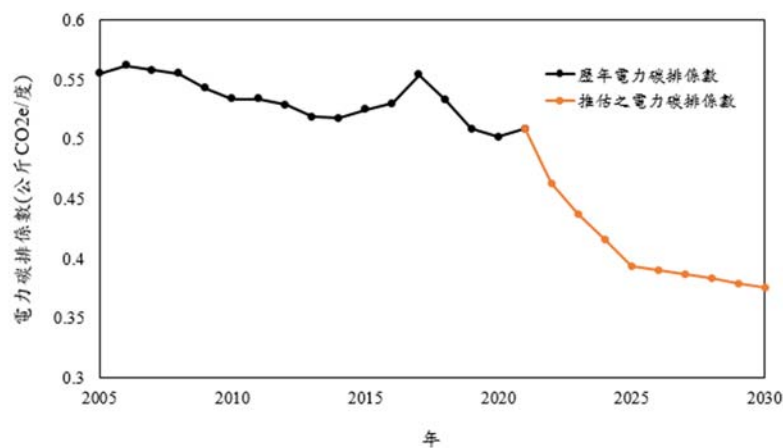


圖 4-6 電力碳排係數成長趨勢

(參考資料：(經濟部能源局 2019, 經濟部能源局 2022))

今以能源局所預測在台灣未來發電結構改變後之電力排碳係數，以及人口數變化依國發會之中推估計算未來住宅部門之逐年溫室氣體排放量，其結果如圖 4-7 所示。圖中在未來氣候之部分，以氣候變遷情境為 RCP4.5，此代表未來氣候之中推估來。發現雖總耗能增加，但電力發電結構改變下，總體溫室氣體排放量呈微幅下降之趨勢。未來以人口中推估且考量能源結構改變以及不變之情境二種情境下推估住宅部門之碳排基線如圖 4-7 所示，圖中 2022 年以後上方之基線預測係以現今最新 2022 年所公告之電力排碳係數為 $0.509(\text{kgCO}_2\text{e/度})$ 計算之情形。圖中顯示未來住宅部門之溫室氣體排放基線將呈現逐年增加之趨勢。

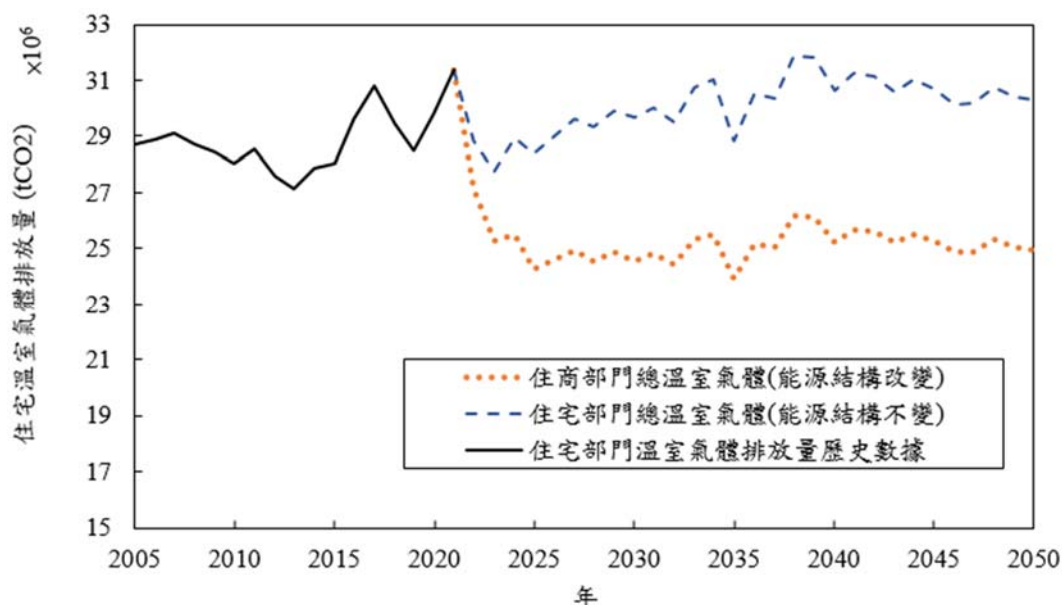


圖 4-7 住宅部門逐年溫室氣體排放基線之推估

(資料來源：本研究繪製)

第二節 商業部門溫室氣體排放量預測結果

藉由第三章的方法，可以得到商業建築空調、照明與事務設備系統三項之主要逐年耗能量，再利用商業大樓各耗能項目的比例，推得其餘耗電項目的耗電量。最後再將各能源分別乘上溫室氣體排放係數即可得到商業大樓的溫室氣體排放量，電力排碳係數參考表 3-2 和圖 4-6。

未來商業面積以 2012 年至 2021 年之平均商業樓地板面積與全國住宅面積之比例推估來推估，如圖 4-8。其中，目前可取得歷年辦公面積只能追溯到 2006 年，因此 2000 年至 2005 年之商業樓地板面積使用 2006 年之比例。圖 4-9 為氣候變遷中推估下的商業未來耗電量推估堆疊圖，圖中顯示自 2005 年至 2035 年，商業部門之總耗電量增加了 39.8%，其中空調設備增加了 17.5%，事務設備 10.3%，其餘設備則增加了 40.6%，而照明設備則減少了 44.8%，另外，由於未來商業部門樓地板面積漸少，2005 年至 2050 年間商業部門之總耗電量增加了 30.8%。

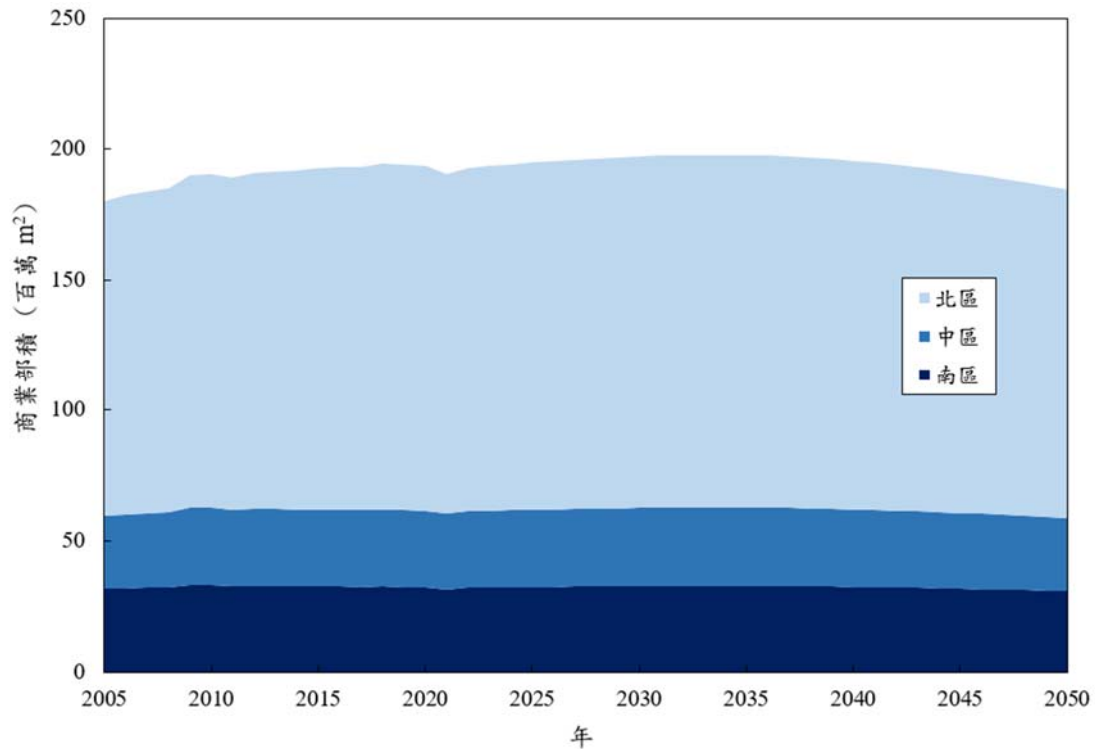


圖 4-8 逐年商業建築樓地板面積推估

(資料來源：本研究繪製)

而逐年溫室氣體排放量推估方面，如未來人口之成長以中推估估計，且同時考量國家發電結構改變之情境下，未來逐年之電力碳排放係數逐年降低。全國商業之逐年溫室氣體排放趨勢如圖 4-10 中下方曲線所示，呈現下降之趨勢。值得注意的是，去年(2021 年)住商部門用電大幅下降之緣故。倘不考慮未來我國之發電結構改變導致電力排碳係數下降之情況，則整體商業建築逐年之溫室氣體排放量則如圖 4-10 中上方曲線所示，未來逐年呈現緩步上升。

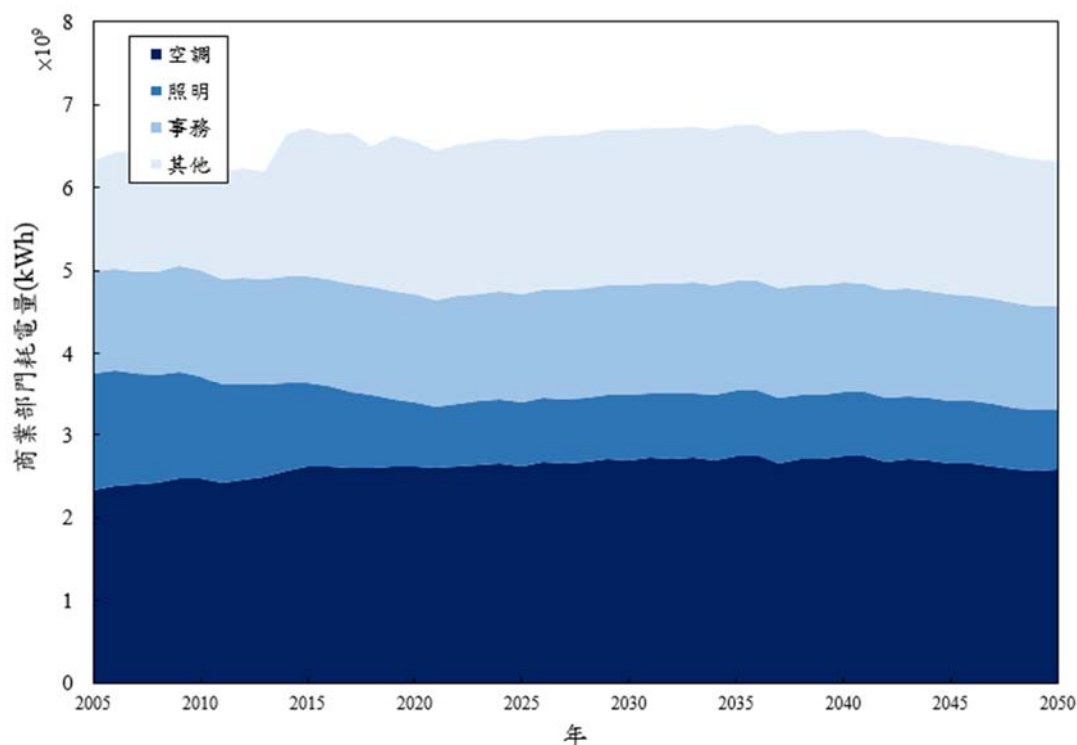


圖 4-9 商業空調、照明、事務設備及其餘設備耗電量推估

(資料來源：本研究整理)

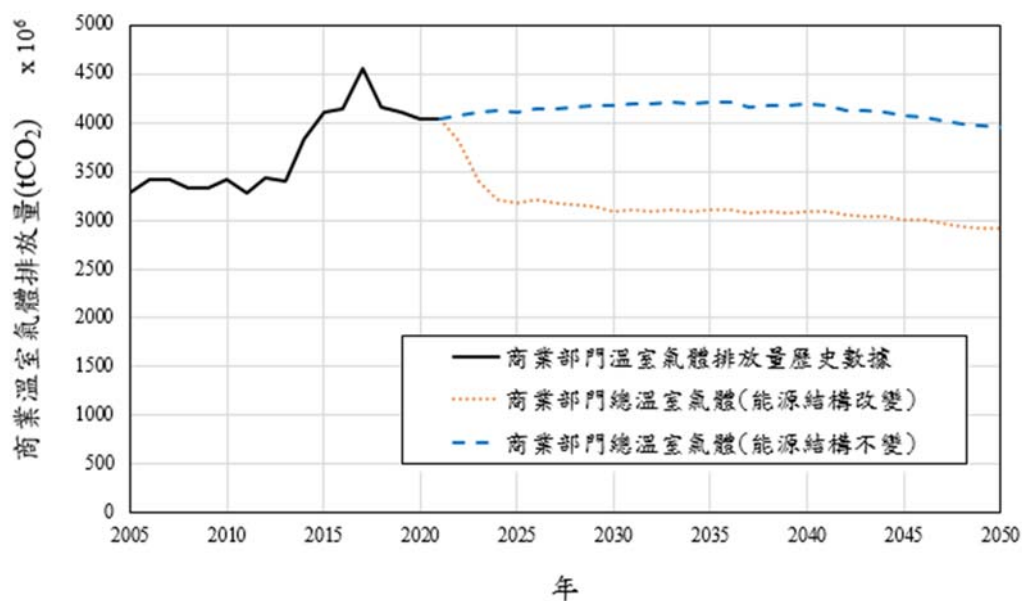


圖 4-10 商業部門逐年溫室氣體排放基線之推估

(資料來源：本研究整理)

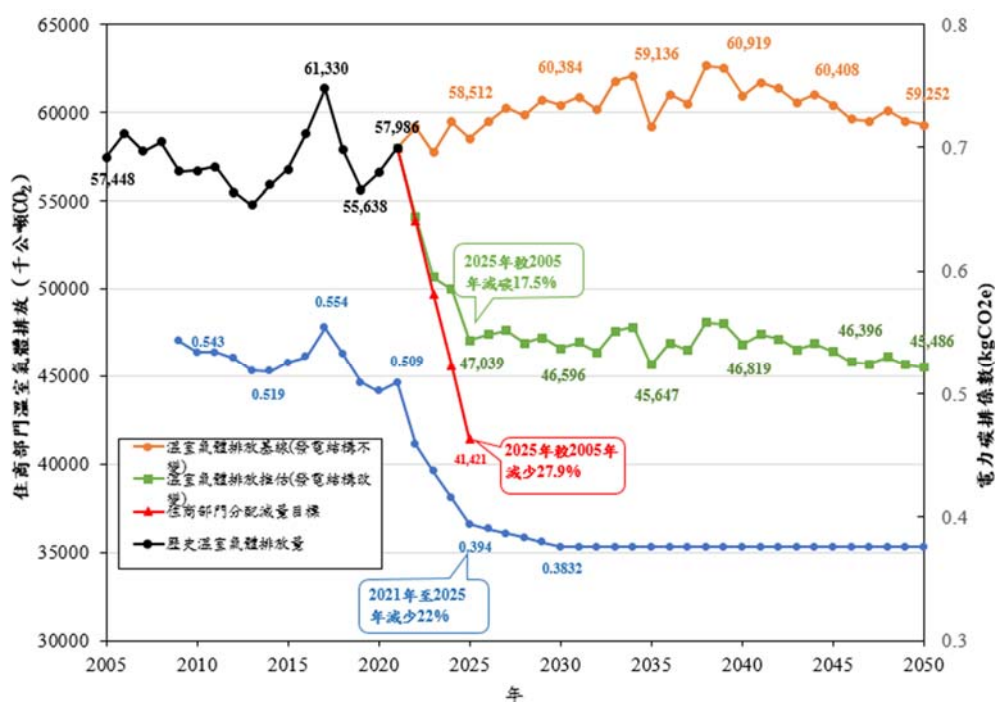
第三節 我國住商部門減碳基線分析

我國「溫室氣體減量及管理法」的減量目標中定立長期目標為 2050 年碳排放減量至 2005 基準年的 50%，政府部門亦應開始檢討過去的減碳目標成效以及訂立下一期的溫室氣體減量目標以及減碳額度的核配。政府部門間的核配額度訂

立應以具有科學根據的溫室氣體排放量預估作為基礎，本研究的研究目的之一即為利用國際能源總署提出的「由下而上」的推估方式進行住商部門未來幾年之內溫室氣體排放量的預測，以作為未來減碳額度在各個政府部門之間協調的基礎。

本研究針對住商部門的溫室氣體排放量經去年(110 年)所公告之溫室氣體排放實際值修正後的碳排基線推估結果如圖 4-11 所示，其中縱軸表示二氧化碳排放當量，以千公噸碳當量為單位。2020 年以前之排放量數據參考「我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析」之統計數據，而未來之溫室氣體排放量預估分為兩種情境，較高的預估歷線為發電結構不變的情形下之溫室氣體排放量，而較低的預估歷線則為電力排放係數依照能源局之規畫預測下的情境。而虛線則表示依照既有住商部門的減碳目標，依照該核配之減碳額度，至 2025 年時需減碳至 41,421 千公噸碳當量，相當於需較 2005 年減碳 27.9%。

今年度則滾動更新了基線之預測量，如圖 4-11。由於 2021 年依公告所統計得之住商部門年總溫室氣體總量為 57,986 千公噸碳當量，相較於前一年度(2020 年)之 56,585 千公噸碳當量(如圖 4-12)則提升了 2.4%，因此往後各年之排碳推估 BAU 亦隨之調整，至 2025 年時，依電力碳排放係數在維持不變以 0.509 kgCO₂e/kWh(110 年度最新公告值)推算以及隨我國發電結構逐漸轉型分別推算下，預估住商部門之總溫室氣體排放量將分別降為 58,512 與 47,039 千公噸碳當量。與現階段所訂的第二階段管制目標至 2025 年之分配排放額度分別仍有 17,091 與 5,618 千公噸碳當量之減碳缺口，尚須進一步分別再減碳 29.2 與 11.9%¹。意即排除電力碳排放係數下降所導致之溫室氣體減少量外，額外住商部門本身需再減量 11.9%，有待住商部門之主管機關在未來提出更具積極性的減碳策略。



¹ 比例之計算係各依於 2025 年當年度之溫室氣體基線換算。

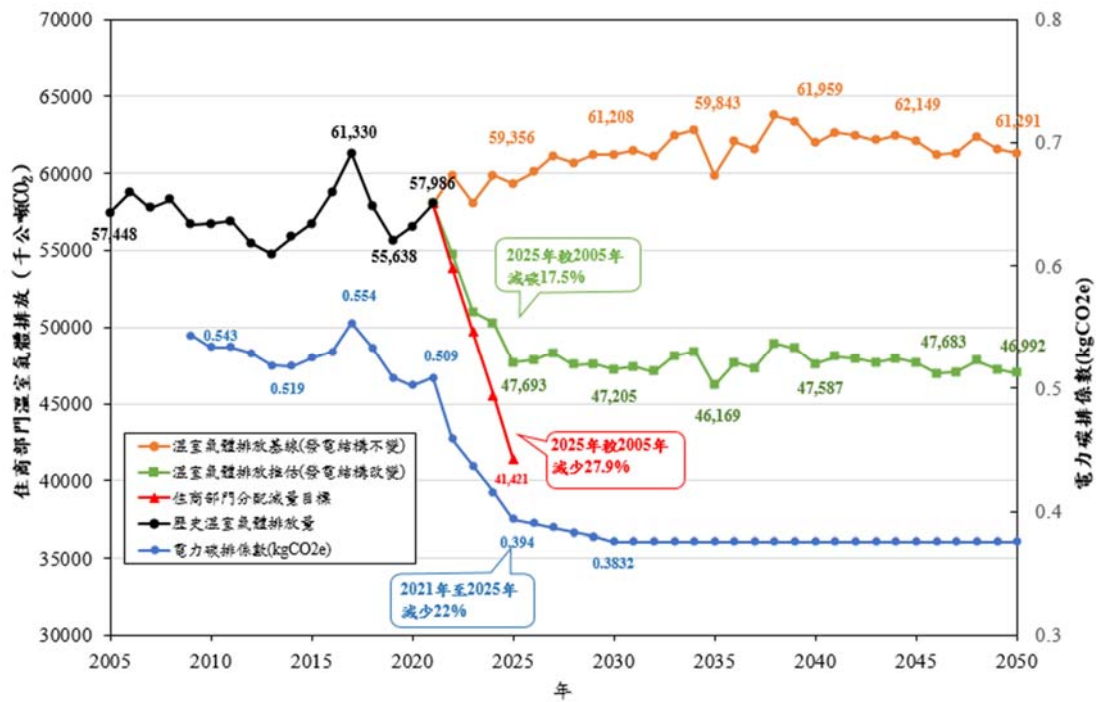


圖 4-11 住商部門溫室氣體未來排放基線預測與核配減碳目標之比較
(資料來源：本研究整理)

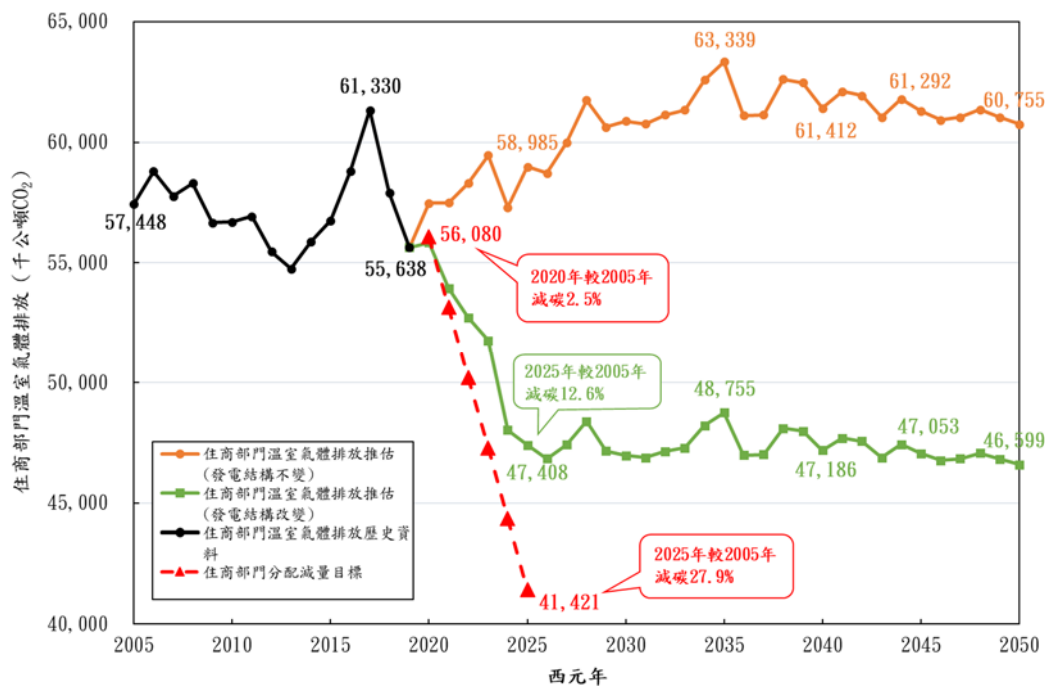


圖 4-12 去年(109 年度)住商部門溫室氣體未來排放基線預估值
(資料來源：(羅時麒, 黃國倉 et al. 2020))

表 4-2 歷年與未來逐年住商部門之預估總碳排放量一覽表

年份	住宅部門 (發電結構改變)	住宅部門 (發電結構不變)	商業部門 (發電結構改變)	商業部門 (發電結構不變)	住商部門 (發電結構改變)	住商部門 (發電結構不變)
單位	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂	MtCO ₂

2005	23.386		23.974		57.448	
2006	23.190		24.509		58.792	
2007	23.720		24.442		57.769	
2008	22.870		24.192		58.307	
2009	22.615		23.798		56.662	
2010	23.405		24.064		56.698	
2011	23.563		24.747		56.921	
2012	25.086		25.418		55.462	
2013	26.377		26.768		54.753	
2014	24.987		25.113		55.880	
2015	24.019		23.781		56.756	
2016	25.204		23.200		58.791	
2017	24.996		25.317		61.330	
2018	23.386		23.974		57.900	
2019	23.190		24.509		55.638	
2020	23.720		24.442		56.585	
2021	22.870		24.192		57.986	
2022(f)	25.884	23.331	25.419	22.912	51.30	46.24
2023(f)	24.450	21.001	25.465	21.873	49.92	42.87
2024(f)	26.137	21.341	25.523	20.839	51.66	42.18
2025(f)	25.370	19.638	25.410	19.669	50.78	39.31
2026(f)	26.220	20.111	25.523	19.576	51.74	39.69
2027(f)	27.111	20.602	25.470	19.355	52.58	39.96
2028(f)	26.678	20.084	25.486	19.187	52.16	39.27
2029(f)	27.508	20.515	25.584	19.080	53.09	39.59
2030(f)	27.217	20.106	25.549	18.873	52.77	38.98
2031(f)	27.692	20.457	25.592	18.905	53.28	39.36
2032(f)	27.014	19.955	25.538	18.865	52.55	38.82
2033(f)	28.690	21.193	25.548	18.872	54.24	40.07
2034(f)	29.060	21.467	25.467	18.812	54.53	40.28
2035(f)	26.064	19.253	25.561	18.882	51.62	38.14
2036(f)	28.409	20.986	25.553	18.876	53.96	39.86
2037(f)	28.167	20.807	25.280	18.675	53.45	39.48
2038(f)	30.277	22.366	25.340	18.719	55.62	41.08
2039(f)	30.236	22.335	25.322	18.706	55.56	41.04
2040(f)	28.592	21.121	25.371	18.742	53.96	39.86
2041(f)	29.435	21.744	25.338	18.717	54.77	40.46
2042(f)	29.342	21.675	25.120	18.556	54.46	40.23
2043(f)	28.559	21.097	25.124	18.559	53.68	39.66
2044(f)	29.146	21.531	25.034	18.493	54.18	40.02
2045(f)	28.713	21.210	24.910	18.401	53.62	39.61
2046(f)	27.990	20.677	24.864	18.367	52.85	39.04
2047(f)	28.082	20.744	24.716	18.258	52.80	39.00
2048(f)	28.864	21.322	24.559	18.142	53.42	39.46
2049(f)	28.394	20.975	24.474	18.079	52.87	39.05
2050(f)	28.265	20.879	24.420	18.039	51.30	46.24

註：(f)代表預測的年份

(資料來源：歷史資料來源為能源局、未來推估資料為本研究推估)

第5章 導入建築能效標示制度減碳情境之效益評估

第一節 我國建築能效標示制度評估簡介之建築類型整理

BERS 對於建築的評估法有計算評估法和能源單據評估法，前者只以標準化理論評估來反映設計節能技術敏感度的耗能預估，但能源單據評估法為了反映能掌握實際電費的真實感以符合市場的耗能時撞，因此必須納入使用行為、營運時程、設備效率的評估，且須契合建築市場實際電費統計分布的驗證。其中，對於新建建築的能效評估只採用簡單的計算評估法，但對於既有建築則結合以上兩種方法並用。TBER 系統的分類與適用對象如表 5-1 所示，包含住宅建築專用的 R-BERS(Building Energy-Efficiency Rating System for Residential Buildings)和非住宅建築專用的 BERS(Building Energy-Efficiency Rating System for Non-Residential Buildings)。其中，R-BERS 系統只適用在單一住宅類建築，因此直接被寫入在 EEWH-RS 中。而非住宅專用的 BERS，因適用於多樣的非住宅類建築物，依據建築使用目的的不同又分為新建建築能效評估系統 BERSn、既有建築能效評估系統 BERSe、機構建築能效評估系統 BERSi 和便利商店能效評估系統 BDFSc。其中 BERSn 為針對新建建築所做的能源評估系統，而 BERSe、BERSi 和 BDFSc 皆屬於既有建築類的評估系統，兩者的能效標示如圖 5-1 所示。

表 5-1 TBER 的系統分類

主系統	次系統		評估依據	適用對象
建築能效評估系統 BERS (非住宅類建築專用)	新建建築能效評估系統 BERSn		建築外殼節能設計效率 EEV、空調系統設計效率 EAC、照明節能設計效率 EL	6 類 12 組新建建築之設計能效揭露
	既有建築能效評估系統	既有建築能效評估系統 BERSe	建築營運條件、建築圖說修正電費單資料	6 類 12 組既有建築之設計能效揭露
		機構建築能效評估系統 BERSi	機構建築母體 EUI 統計，建築營運條件、建築圖說修正電費單資料	辦公、旅館、百貨商場、醫院等四類建築群組機構組織對旗下既有建築之營運能效揭露
		便利商店能效評估系統 BERSc	連鎖便利商店母體 EUI 統計修正電費單資料	連鎖超商對旗下便利商店分店之營運能效揭露(與其他分區混用之便利商店案應適用 BERSe)
住宅能效評估系統 R-BERS (只適用於新建住宅建築)			建築外殼節能設計效率 EEV、8 項固定設備系統設計效率	另見住宿類建築評估手冊 EEWH-RS(2022)

(資料來源：內政部建築研究所)

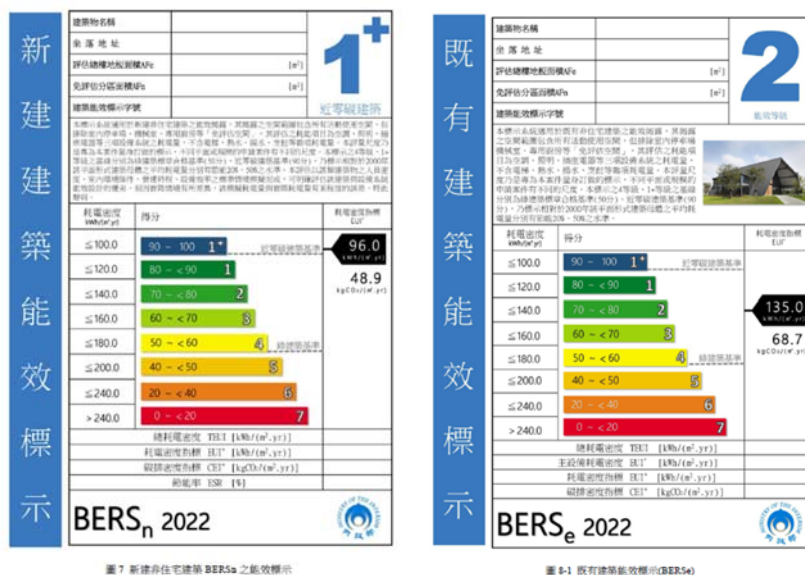


圖 5-1 新建非住宅建築 BERSn 與既有建築能效 BERSe 標示

(資料來源：內政部建築研究所)

51.1 BERS 的適用對象

建築能效評估系統 BERS 是提供多種非住宅類建築的能源效率、評估及標示等方法。而在建築所已使用的綠建築家族評估體系中，已根據建築使用目的，建立了六大建築評估系統，分別是基本型(EETH-BC)、社區類(EETH-EC)、住宅類(EETH-RS)、廠房類(EETH-GF)、舊建築改善類(EETH-RN)及境外版(EETH-OS)，且以上這些評估皆被編列在 BERS 手冊中。BERS 中對評估對象的適用範圍，其中海拔需低於八百公尺，且使用特性較規律的部分非住宅建築。而 BERS 依據不同建築使用類型設有相應的評估方法，包括新建建築能效評估系統 BERSn、既有建築能效評估系統 BERSe、既有機構建築能效評估系統 BERSi 與既有便利商店能效評估系統 BERSc。意即新建建築能效評估系統和既有建築能效評估系統可適用於以下 6 類共 12 組之建築類型：

- (1) A-1(集會表演)：供集會、表演、社交，且有建設觀眾席及舞台之場所。
- (2) B-1(娛樂場所)：供娛樂消費，如視聽歌唱場所、理髮院等，且處於封閉或半封閉的場所。
- (3) B-2(商場百貨)：百貨公司、市場、量販店、批發場等類似場所，和樓地板面積在五百平方公尺以上的店舖、一般零售場所、日常用品零售等場所。
- (4) B-3(餐飲場所)：飲酒店、小吃街等，和樓地板面積在三百平方公尺以上的餐廳、飲料店等類似場所。
- (5) B-4(旅館)：觀光旅館(飯店)、旅社、賓館等，和樓地板面積在五百平方公尺以上的招待所、供香客住宿等類似場所。
- (6) D-1(健身休閒)：供低人員使用密度的運動休閒之場所。有保齡球館、室內溜冰場、室內游泳池、健身房、公共浴室等。
- (7) D-2(文教設施)：會議廳、博物館、美術館、圖書館等供參觀、閱覽和會議之場所。和觀眾席面積未達二百平方公尺的體育館、音樂廳及社區活動中心等類似場所。
- (8) F-1(醫療照護)：設有十床病床以上的醫院和療養院，和樓地板面積在一千平方公尺以上之診所，以及樓地板面積在五百平方公尺以上的護理之家、長照中心等類似場所。

- (9) G-1(金融證券)：金融機構、證券交易場所、銀行、郵局等營業場所。
- (10) G-2(辦公場所)：不含營業廳的金融機構、證券交易場所、銀行、郵局等，以及政府機關、旅遊及運輸業之辦公室，或提供場地供人閱讀之下列場所如 K 書中心、小說漫畫出租中心等。
- (11) H-1(宿舍安養)：供特定人士短期住宿的場所。有民宿（客房數六間以上）宿舍、護理之家以及長照中心等場所。
- (12) H-2(住宅)：供特定人士長期住宿的場所，不含集合住宅。有小型安養中心及小型社區式身心障礙者日間服務中心等場所

而既有機構建築能效評估系統(BERSi)則適用於辦公、旅館、百貨商場、醫院等四類場所，而既有便利商店能效評估系統(BERSc)只適用於 G-3 建築類型的場所。BERSn 所接受評估的申請對象必須以全建照範圍來評估及標示。

5.1.2 BERS 應排除的免評估分區

建築能效評估系統 BERS 關注建築的是能源熱點操作效率，也就是針對空調、照明與電器這三項主要設備的耗電量進行能效標示，而揚水、輸送及加熱等雜項用較小的用電量，以及有一些特殊功能空間具有固定耗能特性但毫無節能操作潛力，皆排除在能效標示範圍外。因此 BERS 在進行能效評估時，首先需要排出以上這些因素，以防止整體建築能效評估的敏感度。具體而言，BERS 定義了 12 類免評估分區，分別為專用廚房、專用洗衣空間、室內停車場、專用儲藏、人員進出行專用冷藏室、人員進出行專用冷凍室、休閒設施烤箱或蒸氣室、電腦及電信機房、屋突面積與閒置未使用空間等這 10 項，再加上不在第 5.1.1 節所列舉的 6 類 12 組 BERS 建築使用分類的分區，尚有如超高耗能設備空間等特殊功能空間免予評估。

第二節 取得各建築能效標示等級之節能率計算方法

既有建築之建築能效評估包括 BERSe(通用型)、BERSi (機構型)與 BERSc(便利超商型)等三種，後二者由於皆以企業或機構本身之建築母體樣本之實際耗能數據以建立各自之建築能效基線以為比較分級之基礎，與群體建築為基線不同，其目的是作為機構組織對旗下建築物之能效揭露與管理之用。因此本研究不予討論申請 BERSi 機構型或 BERSc 便利超商型之建築能效標示，而視這些企業型之既有建築皆以 BERSe 法進行評估以預測其節能量。

依目前現行之建築能效標示其分級評估之評分尺度如圖 5-2 所示。分為七個等級外加一「1+」等級，其中達 1+等級者相當於我國所定義之近零碳建築。其中各級之節能率是依各建築類別在 2000 年之全國市場 EUI 母體分布所定義。評分尺度中之中位數可代表當年度(2000 年)基線下之總體平均耗能水準，同時定義為第 5 級。由於其評分尺度之設計是參照既有全國市場各類建築之平均水準而訂立，而本系列研究在有關住商部門碳排基線之推估上係依蒙地卡羅方法所創建之虛擬樣本進行總體耗能之推估，因此需進一步依現行 BERS 之評估尺度分布與虛擬樣本之分布二者接軌，始能真正反應各建築能效等級間之節能量換算。其方法係以評估尺度各等級所佔總母體樣本數量之百分比，將虛擬樣本中同等級之案例分群，並藉此計算各等級(分群)之平均耗能量藉以換算各等級之理論節

能率。依此定義，同時假設未來新建建築在依當代建築節能法規規範下其建築能效水準為第 5 級下，分別計算提升至第 1+、1、2、3、與 4 等級能效分級者之平均節能量預估值，區分為住宅類與空調型建築類別如表 5-2 所示。

此外，為了推估未來在導入建築節能標示後之節能量，首先必須事先假定未來逐年中獲得各等級之建築數量，並假設在每一等級區間內，其數量呈均勻之分布狀態進行推估。意即，本研究實際上是以每一等級內各案例假設呈均布狀態下依亂數決定其能效水準，以考量未來申請案例上同等級內節能水準分布之不確定性。

表 5-2 我國建築能效評估系統分級尺度下之由第五等級提升至各等級之預估節能率(ζ_k)

建築類型	等級	第 1+ 等級	第 1 等級	第 2 等級	第 3 等級	第 4 等級
住宅類	平均節能率	25.5%	20.4%	17.1%	11.7%	6.5%
空調型建築	平均節能率	37.9%	29.0%	22.7%	15.6%	9.5%

(資料來源：本研究室整理)

鑑於 BERS 評估制度之設計是基於對建築能源之有效性與可掌握原則所開發，在考量實務上執行簡化與可行下，並非鉅細靡遺地將建築之耗能量逐一計算。但是，本研究所建立之住商溫室氣體排放基線係基於建築物之最終能源之消耗量並據以換算為碳排放當量。因此，為了將 BERS 內各等級節能率應用至對整體減碳量推估時，必須事先釐清哪些項目是 BERS 內有納入評估者，何者是未予以評估者，才能精確估計導入 BERS 建築的實際節能率以與目前的減碳模型接軌。依 BERS 手冊之定義，僅評估空調系統耗能、照明系統耗能與部分設備用電等大項。因此，在計算節能效益上本研究依下式計算節電量。在節能量(ΔE)之計算上，為求在溫室氣體排放預估模型與 BERS 內之節能率計算範圍相同，因此在計算上取未經有效面積與實際耗能數據修正前，原始樣本經蒙地卡羅生成後之模擬值，即採用最原始僅有空調、照明與設備耗能量乘以 BERS 節能率以求得真實之節電量。值得注意的是，由於現行 BERS 有適用之建築種類與範圍，因此本研究在計算減碳量時，亦僅考量可適用 BERS 評估之建築。

$$\Delta E_{i,k,yr} = (E_{i,AC,yr} + E_{i,Light,yr} + 0.074 \times E_{i,equip,yr}) \times \zeta_k \quad \text{式 5-1}$$

$$\Sigma E_{yr} = \Delta E_{i,k,yr} \times (N_{公有,yr} \times \phi_{公有,yr}) + \Delta E_{i,k,yr} \times (N_{私有,yr} \times \phi_{私有,yr}) \quad \text{式 5-2}$$

其中， ΔE 為節能量(kWh)； E_{AC} 為溫室氣體模型中之空調用電量預估值(kWh)； E_{Light} 為溫室氣體模型中之照明用電量預估值(kWh)； E_{equip} 為溫室氣體模型中之設備用電量預估值(kWh)，其係數 0.074 代表待機用電佔設備用電之比例(參考自工研院數據)； ζ_k 為取得不同建築能效等級 k 下之節能率；下標 i 為建築類型、下標 yr 為年份；N 為當年份可評估 BERS 之新建建築數量； ϕ 為逐年新建建築 BERS 應達成之比率，如表 5-3。

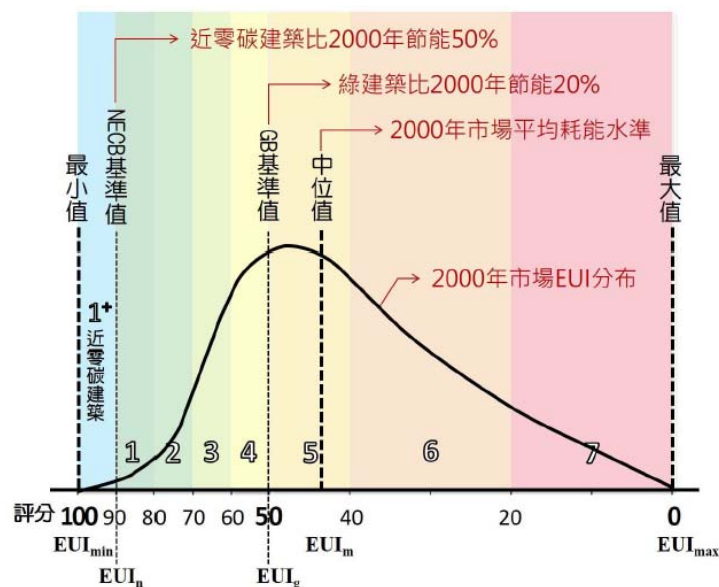


圖 5-2 現行建築能效標示系統之分級評分尺度

第三節 導入建築能效標示之情境假設

我國建築能效標示制度是一種針對建築能源使用的揭露計算法，而實際之減碳量則必須透過標示後的減碳行動才具有減碳之實質效果。另一方面，本研究所建立之建築溫室氣體排放基線預測模型是基於 2005 年市場上當下不同的建築節能等級組合而成，而對於未來的新建建築則依當下符合節能法規最低限之水準推算。因此，對於未來新建的建築可直接透過 BERS 的等級換算減碳量。但若為評估既有建築導入 BERS 之減碳效益，則必須進行情境架設，考量申請獲得 BERS 之建築僅有部分比例進一步付諸實際之節能改善與減碳行動，以及假設節能改善至何種建築能效等級，才可換算減碳量以應用於本研究所建立之減碳模型中。

住商建築總體之減碳量估算還必須考量有哪些建築類型導入 BERS 標示，其中，依目前之住商部門減碳路徑規劃，預計至 2030 年所有公有新建建築物達建築能效 1 級或近零碳建築；至 2040 年時 50%既有建築物更新為建築能效 1 級或近零碳建築。依據上述所規劃之減碳路徑，反推求自明年(2023 年)開始至 2050 年間未來逐年所需之 BERS 政策實施普及率之假設情境路徑應如下圖 5-3 與表 5-3，而住宅與商業部門未來逐年需達 1 級與 1+級之總樓地板面積如表 5-4 表 5-5 所示，以為未來逐年之施政目標。

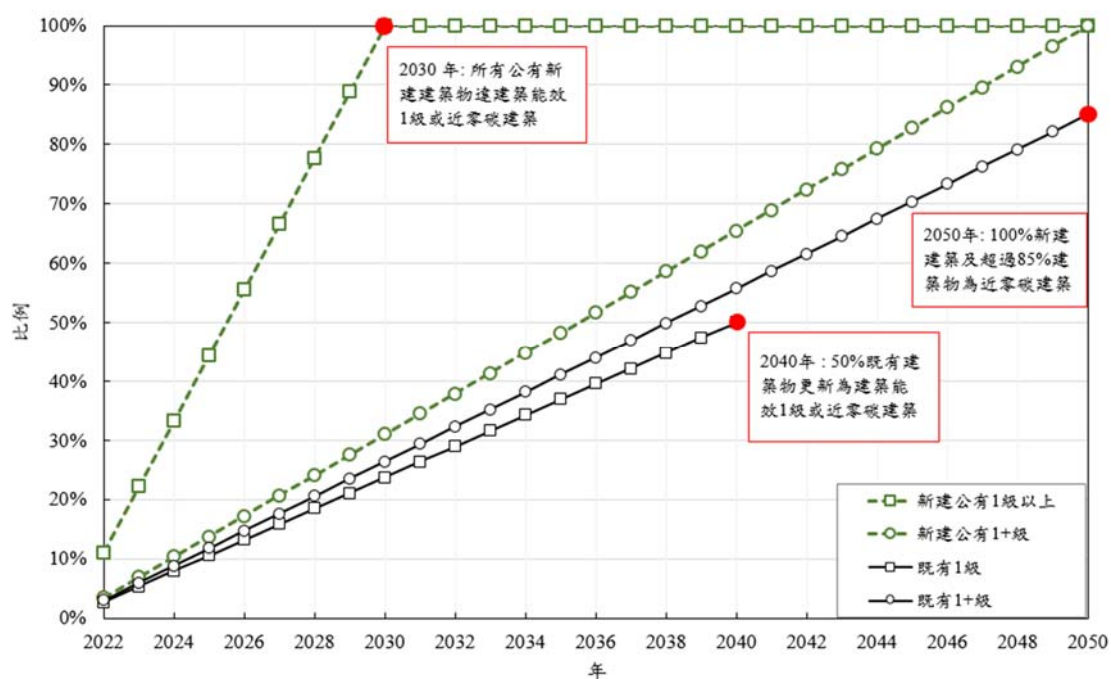


圖 5-3 新建建築在未來逐年取得 BERS 比例之路徑

(資料來源：本研究整理)

表 5-3 為達成我國近零碳建築減碳路徑所需之逐年新建建築 BERS 達成比率

年份	新建建築		既有建築	
	公有 1 級	1+級	既有 1 級	既有 1+級
2022	7.66%	3.4%	2.6%	2.9%
2023	15.33%	6.9%	5.3%	5.9%
2024	22.99%	10.3%	7.9%	8.8%
2025	30.65%	13.8%	10.5%	11.7%
2026	38.31%	17.2%	13.2%	14.7%
2027	45.98%	20.7%	15.8%	17.6%
2028	53.64%	24.1%	18.4%	20.5%
2029	61.30%	27.6%	21.1%	23.4%
2030	69.0%	31.0%	23.7%	26.4%
2031	65.5%	34.5%	26.3%	29.3%
2032	62.1%	37.9%	28.9%	32.2%
2033	58.6%	41.4%	31.6%	35.2%
2034	55.2%	44.8%	34.2%	38.1%
2035	51.7%	48.3%	36.8%	41.0%
2036	48.3%	51.7%	39.5%	44.0%
2037	44.8%	55.2%	42.1%	46.9%
2038	41.4%	58.6%	44.7%	49.8%
2039	37.9%	62.1%	47.4%	52.8%
2040	34.5%	65.5%	50.0%	55.7%
2041	31.0%	69.0%	-	58.6%
2042	27.6%	72.4%	-	61.6%
2043	24.1%	75.9%	-	64.5%
2044	20.7%	79.3%	-	67.4%
2045	17.2%	82.8%	-	70.3%
2046	13.8%	86.2%	-	73.3%
2047	10.3%	89.7%	-	76.2%
2048	6.9%	93.1%	-	79.1%
2049	3.4%	96.6%	-	82.1%
2050	0.0%	100.0%	-	85.0%

註：粗體字為 2040、2050 目標年所需之達成目標

(資料來源：本研究整理)

表 5-4 住宅建築未來逐年需達 1 級與 1+級之總樓地板面積

年份	逐年所有新建樓地板面積(m ²)	逐年公有新建建築樓地板面積 1 級(m ²)	逐年新建建築樓地板面積 1+級(m ²)
2022	2,343,935	26,942	80,825
2023	70,463,265	1,619,845	4,859,536
2024	70,703,609	2,438,055	7,314,166
2025	70,934,613	3,261,361	9,784,084
2026	71,143,724	4,088,720	12,266,159
2027	71,330,668	4,919,356	14,758,069
2028	71,499,858	5,752,862	17,258,586
2029	71,648,453	6,588,364	19,765,091
2030	71,778,826	7,425,396	22,276,187
2031	71,872,875	7,063,369	24,783,750
2032	71,948,148	6,698,621	27,290,677
2033	71,986,458	6,329,844	29,787,500
2034	72,000,114	5,958,630	32,275,913
2035	71,983,461	5,584,924	34,750,636
2036	71,889,625	5,205,800	37,184,289
2037	71,758,159	4,825,118	39,590,708
2038	71,592,144	4,443,650	41,967,808
2039	71,394,696	4,062,112	44,313,949
2040	71,159,459	3,680,662	46,621,714
2041	70,892,715	3,300,178	48,891,528
2042	70,597,629	2,921,281	51,122,421
2043	70,271,008	2,544,295	53,309,040
2044	69,919,231	2,169,907	55,453,184
2045	69,542,323	1,798,508	57,552,267
2046	69,137,080	1,430,422	59,600,931
2047	68,709,952	1,066,189	61,602,026
2048	68,254,504	706,081	63,547,297
2049	67,780,456	350,589	65,443,199
2050	67,284,610	-	67,284,610

註：粗體字為 2040、2050 目標年所需之達成目標

(資料來源：本研究整理)

表 5-5 商業建築未來逐年需達 1 級與 1+級之總樓地板面積

年份	新建建築		既有建築	
	公有 1 級(m ²)	1+級(m ²)	1 級(m ²)	1+級(m ²)
2022	26,942	80,825	5,627,545	6,267,921
2023	1,619,845	4,859,536	11,293,947	12,579,121
2024	2,438,055	7,314,166	16,998,705	18,933,041
2025	3,261,361	9,784,084	22,738,991	25,326,532
2026	4,088,720	12,266,159	28,507,531	31,751,491
2027	4,919,356	14,758,069	34,298,928	38,201,909
2028	5,752,862	17,258,586	40,110,329	44,674,608
2029	6,588,364	19,765,091	45,935,644	51,162,803
2030	7,425,396	22,276,187	51,771,633	57,662,888
2031	7,063,369	24,783,750	57,599,408	64,153,824
2032	6,698,621	27,290,677	63,425,706	70,643,113
2033	6,329,844	29,787,500	69,228,521	77,106,249
2034	5,958,630	32,275,913	75,011,792	83,547,617
2035	5,584,924	34,750,636	80,763,245	89,953,545
2036	5,205,800	37,184,289	86,419,247	96,253,161
2037	4,825,118	39,590,708	92,011,958	102,482,284
2038	4,443,650	41,967,808	97,536,527	108,635,512

2039	4,062,112	44,313,949	102,989,145	114,708,600
2040	3,680,662	46,621,714	108,352,576	120,682,352
2041	3,300,178	48,891,528	-	126,557,863
2042	2,921,281	51,122,421	-	132,332,628
2043	2,544,295	53,309,040	-	137,992,788
2044	2,169,907	55,453,184	-	143,542,996
2045	1,798,508	57,552,267	-	148,976,566
2046	1,430,422	59,600,931	-	154,279,623
2047	1,066,189	61,602,026	-	159,459,546
2048	706,081	63,547,297	-	164,494,965
2049	350,589	65,443,199	-	169,402,589
2050	-	67,284,610	-	174,169,163

註：粗體字為 2040、2050 目標年所需之達成目標

(資料來源：本研究整理)

既有建築方面，既有住宿類建築尚無法評估，或非 BERS 表列中之評估範圍之建築類型，亦無法受惠於導入建築能效標示政策後之減碳量，而既有商業類建築，包含辦公、旅館、百貨商場、醫院等四類建築群則有針對旗下建築之營運能效揭露，此部分本研究將實際估計符合 BERS 適用範圍之建築存量，以作為改善之總樣本數母體，再透過假設各類建築逐年申請標示之數量(或比例)以模擬未來逐年 BERS 政策實施在不同擴散率下之各種情境。因此，本研究假定既有公私有商業類建築在 2050 年達一級能效之比例皆為 30%，而其從 2022 至 2050 年之改善逐年改善比例與公私有建築面積彙整於圖 5-3 與表 5-5。

住商建築總體之減碳量估算還必須考量有哪些建築類型導入 BERS 標示，其中，依目前之住商部門減碳路徑規劃，預計至 2030 年所有公有新建建築物達建築能效 1 級或近零碳建築；至 2040 年時 50%既有建築物更新為建築能效 1 級或近零碳建築；而至。依據上述所規劃之減碳路徑，反推求自明年(2023 年)開始至 2050 年間未來逐年所需之 BERS 政策實施普及率之假設情境路徑應如下圖 5-3 與表 5-3，而住宅與商業部門未來逐年需達 1 級與 1+級之總樓地板面積如表 5-4 表 5-5 所示，以為未來逐年之施政目標。

本研究首先依照現行之住商部門減碳路徑規劃，統計出住商部門新建與既有建築物之逐年改善面積比例與樓地板面積；最終，將以上新建與既有住商部門建築之逐年節能改善量依達不同能效等級下之節能率分別換算為溫室氣體排放量，即可統計出住商部門在導入 BERS 系統後之未來溫室氣體排放路徑，如圖 5-4 所示。圖中顯示出幾點現象，首先在住商部門新建建築方面，不管是在未來能源結構不變與改變的情況下，其相較於溫室氣體排放基線(綠線)之減碳量較小，在 2022 年之減碳比例分別為 0.00573%與 0.00565%，其溫室氣體排放量分別為 59,145 與 54,085 千公噸 CO₂，至 2050 年之減碳比例則提升至分別為 0.15568%與 0.14980%，其溫室氣體排放量分別為 59,160 與 45,418 千公噸 CO₂，其可歸因於隨著時代演化，全國人口之變化會逐漸減少，如圖 4-1 所示(國家發展委員會 2022)，因此住商部門之樓地板面積新增量對於國家整體溫室氣體改善比例也隨之降低。

在既有建築方面，國發會規範之至 2040 年時 50%既有建築物更新為建築能效 1 級或近零碳建築；本研究依據上述所規劃之減碳路徑，反推求自明年(2023 年)開始至 2050 年間未來逐年所需之 BERS 政策實施普及率之假設情境路徑。本研究在同時考慮新建和既有建築檢套效應中，在未來能源結構不變與改變的兩種情況下，在 2022 年之改善比例分別為 0.173%與 0.171%，其溫室氣體排放量分別為 59,046 與 53,996 千公噸 CO₂，在 2050 年之改善比例則提升至分別為 4.78%與 4.60%，其溫室氣體排放量分別為 56,420 與 43,394 千公噸 CO₂，由此可發現從 2022 年至 2050 年其相較於溫室氣體排放基線之改善量也逐漸上升，且改善幅度明顯高於新建建築，此原因為台灣既有建築占整體面積之比例高，改善幅度也會隨之提升。如未來將既有建築改善之等級進一步提升至 1+等級，同時提高所需進行能效提升之建築改善比例，則其全國住商溫室氣體減碳量將可望再進一步提高。

綜上，依照目前國發會所擬定之住商部門有關導入建築能效標示制度下之減碳路徑以及假設至 2050 年時有三成之既有非住宅類建築同時提升其建築能效至第 1 等級水準下，未來各期距下之減碳量及其減碳比例如表 5-6 所示。

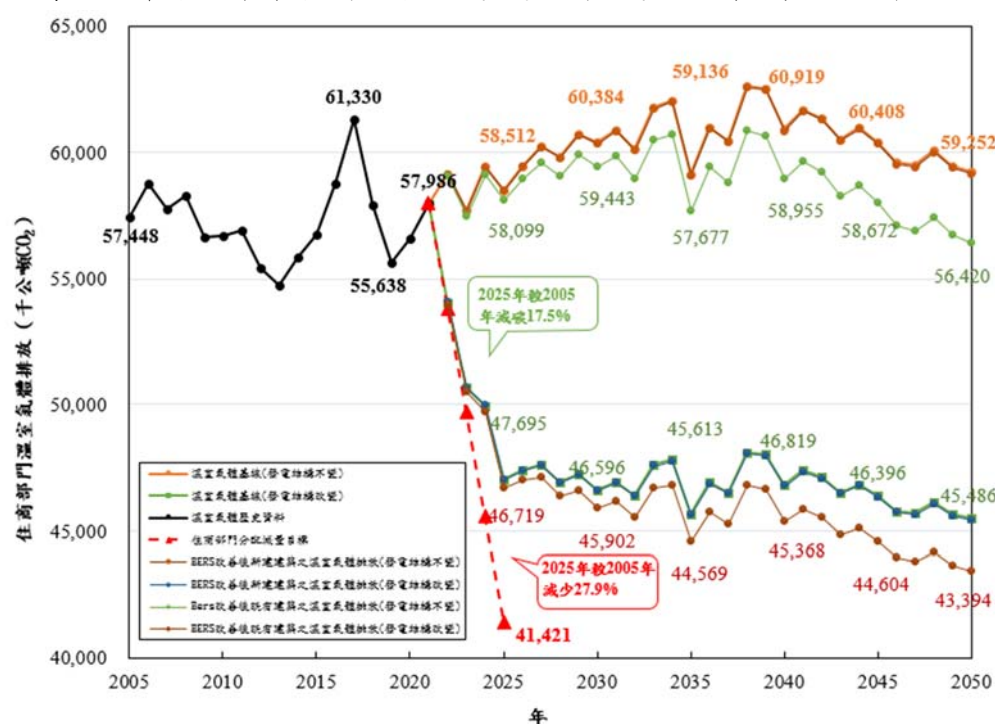


圖 5-4 住商部門導入建築能效標示減碳後之溫室氣體排放推估

(資料來源：本研究整理)

表 5-6 未來各期距下之預估減碳量

年份	新建建築減碳路徑下之減碳量 (千噸 CO ₂ e)	既有建築減碳路徑下之減碳量 (千噸 CO ₂ e)	總減碳量 (千噸 CO ₂ e)	對比於當年基線之減碳比例 (%)
2025	10.86	309.25	413.54	0.71%
2030	23.90	670.88	940.55	1.56%

2035	34.23	1,043.71	1459.23	2.47%
2040	45.12	1,405.99	1964.40	3.22%
2045	56.52	1,735.69	2426.16	4.02%
2050	68.14	2,024.26	2832.53	4.78%

註：本表之推估值係基於假設未來電力排碳係數依能源局預估逐年降低之情境下計算

(資料來源：本研究整理)

第四節 建築溫室氣體減量經濟誘因機制之建議

由前述各節之分析可知，透過建築節能標示制度之實施以有效達實質之建築溫室氣體減量，不論是針對新建建築或既有建築皆須仰賴制度推行之強度增加政策之擴散率，以提高實施建築能效標示達第 1 級或第 1+ 等級之建築物數量。此則有賴於提出具經濟誘因之機制以利制度之推動。本節彙整第一章國外之經驗同時考量我國之情況初步提出可行之機制建議。

在我國 2050 年達淨零能源之國家戰略架構下，國發會於今年(2022 年)初針對公有與私有新建建築擬定了不同的達成淨零碳排之路徑，依目前之住商部門減碳路徑規劃，預計至 2030 年所有公有新建建築物達建築能效 1 級或近零碳建築；至 2040 年時 50%既有建築物更新為建築能效 1 級或近零碳建築；而至 2050 年 100%新建建築及超過 85%建築物為近零碳建築。據此，茲初擬可行之推動機制建議如下：

1. 第一階段之推動建議(2030 年以前)：2025 年以前，私有新建建築初期以鼓勵之方式推廣能效達 1 級水準之建築設計，依能源使用密集高之中央空調型建築(如；醫院類、百貨類、旅館類、辦公類等)優先強制需達 1 級能效；而公有新建建築初期則以一定規模以上(大於 5000m² 以上樓地板面積)之新建建築需達建築能效第 1 等級。自 2025 年起至 2030 年，公有建築 1000m² 樓地板面積規模以上之建築皆須符合第 1 等級之建築能效；私有建築 1000m² 樓地板面積以上之建築則最遲於 2030 年以前達第 1 級能效水準。
2. 第二階段之推動建議(2031 年至 2050 年)：2031 年起大於 5000m² 以上樓地板面積之公有新建建築需達第 1+ 等級近零能源建築之水準，而至 2040 年起逐漸擴及至 1000m² 以上樓地板面積之建築達第 1+ 等級能效；至於私有新建建築部分，2031 年後逐年擴大管制規模至 2050 年達所有大於 1000m² 之建築皆須達第 1 級建築能效。
3. 針對建築設計者之經濟誘因：初期針對取得不同等級認證之建築能效標示案例者(建議以取得能效標示第 3 級以上者始給予獎補助)，針對建築設計業者提供不同程度的獎補助措施，藉以推動我國之建築能效標示制度。
4. 針對建築開發業者之經濟誘因：對一定規模以上且承諾達到第 1 級或第 1+ 級建築能效之新建建築，對建築開發者給予不同程度之低利貸款。
5. 建議建立全國建築能源揭露網路平台，將取得不同等級能效標示之建築揭露於網路平台上，以促進透過同儕比較以自我提升建築能效之自發機制。可借

鏡之作法類似如第一章中所述及日本之建築耗能揭露制度，需於 SII 網站上公布各建築之耗能水準。

6. 2040 年起公有建築為了達到淨零碳排建築之目標，除新建建築需取得第 1+ 級之近零碳排認證外，為了進一步達到淨零碳排，另建議可仿效國外以設立能源基金之方式，針對已取得建築能效 1+ 等級者於規劃基地內建置再生能源等創能設施(含儲能裝置)之初期成本補助至少 50% 以上，同時依建築規模設置每案之補助上限。以鼓勵取得近零碳排之建築進一步達成淨零碳排之目標。

第6章 結論與建議

第一節 結論

本計畫完成之工作項目與獲致之結論如下：

1. 彙整我國建築能效標示系統 BERS 的評估標準、適用對象與評估方法。確立評估我國導入建築能效評估制度後之影響規模，以供後續估計潛在減碳量。
2. 彙整加拿大、日本、韓國、英國、德國、歐盟及中國大陸等各國推動淨零能耗建築的政策、各項獎鼓勵措施以及分析其所面臨的困境。
3. 透過內政部不動產資訊平台，以最新之統計資料更新全國低用電戶數量與佔比、以及各縣市人口數，以進行未來住宅部分之碳排基線更新預估值。
4. 滾動更新國家發展委員會根據近幾年人口變化，所重新計算未來台灣人口在低、中、高發展情境下之未來人口預估值，同時一併更新我國 110 年的人均 GDP 與成長比，以做為預測未來住宅居住面積規模，以作為推估未來住商部門耗能量的推算基礎。
5. 以最新內政部營建署之統計資料，更新 110 年核發住宅與商業之建築使用執照樓地板面積，作為推算未來住商部門建築之成長趨勢。
6. 蒐集我國經濟部能源局、環保署、台電等有關去年或前年之各項能源統計資料，更新住商溫室氣體排放量估算之計算模型。
7. 滾動更新能源局公告之最新電力排碳係數、液化石油氣排碳係數、天然氣排碳係數等，以供換算住商碳排基線之計算基礎。
8. 依照能源局最新統計之空調、照明、冷凍冷藏、事務設備等商業大樓電力流向比例資料，更新 2021 年始以及未來至 2050 年之建築耗能組成比例，作為推估商業建築各耗能來源之推算基礎。
9. 透過能源局新公告之能源平衡表，滾動更新住商建築之歷史電力、液化石油氣、(自產)天然氣和(進口)液化天然氣用量等能源使用資訊，據以修正預測模型。
10. 有關於以蒙地卡羅方法作為推估未來建築耗能之模型，依去年期末審查委員所建議之項目，重新更新定義變數之範圍與增加模擬之變數，並結合未來氣候重新大量更新模擬以建立新的排碳基線預測模式，擴大模型之使用彈性，以進一步作為計畫下半年度以該模型作為評估導入建築能效制度後評估其減碳效益。
11. 依照重新建立之住商碳排基線模型與滾動更新新的各項統計資料後，發現 2021 年住商部門年總溫室氣體總量為 57,986 千公噸碳當量，相較於前一年度(2020 年)之 56,585 千公噸碳當量提升了 2.4%。因此往後各年之排碳推估基線亦隨之調整，至 2025 年時預估住商部門之總溫室氣體排放量依發電結構不變與改變下，將分別變為 58,512 與 47,039 千公噸碳當量。與現階段所訂的第二階段管制目標至 2025 年之分配排放額度分別仍有 17,091 與 5,618

千公噸碳當量之減碳缺口，尚須進一步分別再減碳 29.2%與 11.9%。意即排除電力碳排放係數下降所導致之溫室氣體減少量外，額外住商部門本身需再減量 11.9%。

12. 完成導入建築能效標示制度後，未來逐年之減碳效益分析。若依國發會所公布之減碳路徑，在未來能源結構不變之情況，至 2050 年時之減碳比例 4.78%，其溫室氣體排放量減為 56,420 千公噸 CO₂，相當於減碳 2832.53 千公噸 CO₂，在未來能源結構改變之情況，至 2050 年時之減碳比例為 4.60%其溫室氣體排放量則減為 43,394 千公噸 CO₂，相當於減碳 2092.40 千公噸 CO₂。

第二節 建議

建議一

評估我國導入不同情境下針對既有建築能效標示制度之減碳效益：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心

本研究顯示在國發會所擬定針對未來新建建築之建築能效提升減碳路徑，由於新建之樓地板面積相較於龐大之既有建築而言相對所佔之比例甚小，在減碳效益上對比於全國住商之全年總溫室氣體排放量而言亦較明顯。有鑑於既存大量的建築效能提升才能有顯著之減碳效果，因此建議評估針對既有建築導入建築能效標示，在擬定不同的減碳路徑下評估其潛在的減碳效益，將更具實質減碳效益，同時作為政策推動方向之參考。

附錄一：期初審查意見回覆表

附錄一：期初審查意見回覆表

項次	委員意見	回應
1.	計畫書圖2提到有關我國6大部門溫室氣體排放現況，但能源局提出的是7大部門，請問兩者那個才是正確？	環保署之分類是6大部門，本研究將會在兩者間之差異再做釐清。
2.	將台灣產業初步分為產業部門、交通部門及建築部門，其中建築部門會面臨到的建築物會越來越多，貢獻的碳排也會增加，因此要求建築部門快速的減量較困難，請問要如何解決？	由於建築部門占總碳排約二成，同時每年其樓地板面積亦呈現成長之趨勢，本計畫將提出建築部門可能之潛在減碳情境提出在2030、2040和2050年的減碳目標。
3.	計畫書圖1為台灣 BAU 趨勢，BAU 不管是逐年增加還是下降都只會呈現一條趨勢線，但計畫書上在未來年則分叉成3條趨勢線，請問這樣呈現的意思為何？	本研究在圖1中為了要考量未來氣候之不確定性，因此採用 IPCC 所假設的未來氣候三種變化情境，從氣候變化最劇烈到平緩。因此圖1顯示的是 BAU 在3種未來氣候變化趨勢下的表現。
4.	國際上都在推動近零建築及減少建造碳排等，因此本案「住商部門溫室氣體減量策略成本效益之研究」有其研究的必要性。	感謝委員的指教。
5.	計畫書第5也有明確寫到台灣在2030、2040和2050年各別要達到的近零能源標準，然而此標準達到難度很高，是否能以分期的方式執行並分別對各階段的進度進行評估？	本研究以2030、2040和2050作為推動近零能源目標之分期，並針對各階段推動近零能耗建築提供其所需採取的措施建議，以提升推動的可行性。
6.	建築要達到近零標準除了建築本身的節能外，如果該計畫再配合基地綠化，會更為有效的達到減碳效果，因此該計畫是否能多加考量基地綠化的部分？	感謝委員建議。基地綠化本身的固碳量依現行溫管法之計算架構上恐無法直接反映在建築的減碳量上。然而，基地綠化對基地微氣候之改善進而減少建築之空調耗能則實際上有減碳效益的，然而，此一量化效益需有嚴謹之研究支持，本計畫暫無法將此量化評估。建議作為未來之研究課題。
7.	此研究計畫考量住商兩部分，但住宅目前由建築所負責，但商辦大樓則由經濟部負責，如果此計畫要推動涵蓋到兩個主管機關，這樣執行是否可執行？	感謝委員建議。本計畫研究成果所提出之措施建議，擬盡量區分出其權責機關。
8.	國內在針對商辦建築的碳排量有許多統計，然而各個主管機關的統計數據卻有很大的差異，建議要將這些數據釐清，以防在做評估計畫時有作物評估。	本計畫將會進一步檢視並釐清碳排數據的來源以確保研究的正確與一致性，感謝委員提醒。
9.	雖然推動近零能耗很重要，但其減少範圍有限，是否能多加考量能源結構這部分，提高更多的減碳效益？	感謝委員建議。國家能源結構之組成對碳排之減碳影響的確佔關鍵因素，然而此課題恐非本計畫所能掌

		握，亦超出本計畫之研究範圍。
10.	此研究所提到的溫減法似乎已改為氣候變遷因應法，這方面是否有涉略？	目前該法案仍未正式公布，未來公布實施後本計畫將同步進行修正調整。
11.	雖然推動減碳建築很重要，但減碳節能的過程是否考量到人的健康及舒適度這方面？	本研究在推估未來之耗能基線上之基本假設皆以室內需符合人體熱舒適、室內換氣量等標準下進行推估其衍生之耗能與碳排放量。
12.	本部(建研所)為住商部門的總窗口，有關未來住商部門能源及溫室氣體排放量的推估方法，涉及跨部會整合，尤其是環保署及經濟部，請問本案的推估方法是否與其他部會方法相觸？	感謝委員提醒，本研究擬將進一步蒐集瞭解相關部會之推估方式，再行補充。然而，不論何種推估法皆需要隨時與已發生之實際能源使用情形進行滾動式校正，才能確保其預估之正確性。本計畫所提之方法係為了易作為評估建築外殼性能提升、建築設備效率提升等策略導入後之減碳效益所需而設計。
13.	有關溫管法政修法中，其中碳權、碳費及基金等經濟誘因涉及各部門之推動，請參考國際住商部門作法推出近零建築的需求，善用基金之補助款以利近零建築的推動。	感謝委員建議，遵照辦理。
14.	目前行政院(參考 IEA)制定的近零建築目標很高，建築技術規則之節能規定及綠建築標章推動效益良好，本所111年推出能效評估系統，請問本案將如何推估相關情境之績效？	本計畫擬將以行政院設定之目標，應用過去所建立之建築能源預測模型，反推在各項策略(如建築能效標示)推動下，所需之推動策略及其所需之推動強度，以達其目標。

附錄二：期中審查意見回覆表

項次	委員意見	回應
1.	依據摘要說明，溫管法依六大部門，分為能源、工業、運輸、農業、服務與住宅部門，但環保署分類為能源、製造、農業、運輸、住商與環境部門，且住商主辦是內政部與經濟部主辦，其中內政部與經濟部對建築之減碳分工是如何辦理？內政部負責住宅部門與服務部門，指的是住宅減碳為由內政部負責？	感謝委員意見。有關權責問題乃屬政府運作分工之範疇，恐非本研究所能代為回答。然為求有效管理以達淨零目標，建議建築能效標示制度、建築外殼、空調系統節能設計、照明系統節能設計等項由內政部負責；經濟部負責家電設備、設備機器之能效管理、既有建築之節能改善等項目。
2.	Page 43 頁，表3-3所呈現的住宅建築外殼與室內發散熱參數設定中，無提及住宅外氣量或外氣間隙風，請問模擬時是否有提此及空調運轉模式，有無將相對濕度列入模擬或運轉空調的因素，因為濕度高是要開空調的主要原因？EnergyPlus 模擬對於各別空調的空調機效率是如何算的？因為廠牌不同耗店不同（應不是只有分級不同而已？）	本計畫針對住宅進行能源模擬時，使用的是複合通風模式，也就是以自然通風為主空調為輔的模式，而建築在使用自然通風時是會引入一定的外氣量，而當溫度或濕度過高而不符合 ASHRAE 所建議的熱適應模型時，則會開啟空調。而 EnergyPlus 中對空調設備設計參數訂定，本計畫並非直接選用特定廠牌的空調機來進行能源模擬，而是參考多家廠牌的空調設計性能，以及去年期末報告時審查委員的建議，來進行空調 COP 等參數設定，以做未來建築能耗推估。
3.	商業空調模擬共有1000個案例，該計畫中的表3-20的室內發熱是設定全部相同嗎？以及有依照建築類別區分嗎？商業空調的定義？辦公/醫院/百貨/旅館等四類或含學校/服務業，但不含餐廳？	本計畫對商業建築的能源模擬，首先是使用蒙地卡羅法，根據表3-19與表3-20的建築外殼設計參數與室內發散熱，來進行取樣後得出1000個建築案例，其中室內發散熱是以均布分布來取樣的，因此1000個建築案例的室內發散熱設定皆不盡相同。而不同種類之建築擬也依相對應的空間進行發散熱之模擬。
4.	住商部門淨零排設策略: Page 77 頁住商部門減碳路徑規劃所敘述與國發會公布似乎不同？ 預計在2030年達到所有新建建築(含公有與私有建築)需具建築能校第1級之水準；而2040年三成之公有新建建築須達1+近零碳建築等級；最終至2050年100%公有新建建築達淨零碳排建築。亦即2050年除所有公有新建建築需取得建築能校之第1+等級外，尚須透過再生能源已實現碳中和。	感謝委員提醒。擬將與國發會之路徑比對修正。
5.	針對建築溫室氣體空氣體減量抵減碳費獲核發減產額度之誘因，建議是否可針對特定建築物，制定實際耗電(需有燈具、空調)與模擬耗電計算比較，並針對真實已領有建築能效標示建築物，根	感謝委員建議。有關已領有建築能效標示之建築物，根據其實際使用狀況，製作一個簡單的估算法等，此部分已超出本研究內容之範疇，

	據其實際使用狀況，製作一個簡單的估算法。其中對於特定建築可以現有三種不同空調系統為主，具契約容量達800KW 以上(經濟部能源局有列管者)。	建議列為後續研究課題。
6.	建築溫室氣體減量抵減碳費或核發減產額度之誘因，以長期計畫可建立每年耗電量減少1%以上時的給予相應補助。此外，可由政府給予節能補助費用之研究。	感謝委員建議。
7.	研究蒐集各國住商部門淨零能源政策獎勵機制及溫室氣體減量措施等，資量豐富龐雜，彙整成果極具分量，可供未來淨零政策推動級促進溫室氣體減量之參考。	感謝委員肯定。
8.	在該研究的文獻回顧中，有提到德國1977年的新建建築物之耗能標準為330 kWh/(m ² .a)，其中 a 的意義為何？另外 P73便利商店 BERSc 和 P74廠房，文字有誤，請修正。	單位 kWh/(m ² .a)中的 a 表示年的意思，未來本計畫會以 yr 來表示。而文字錯誤的部分，本研究將據以修正，感謝委員提醒。
9.	本研究目的之一為推估住商部門至2050年溫室氣體排放量及能源需求量(P3)，有關本計畫之推估模型或方法論，建議與環保署或經濟部採用之推估模式再確認，如能爭取以本計畫成果作為國家住商溫室氣體推估模型，將是一重大貢獻。	感謝委員意見。將在專家會議時與各單位間進行溝通協調，爭取協助國家進行住商部門溫室氣體推估。
10.	有關推估模型以建築外殼、空調、照明等既有節能技術為情境(P40~41、P56~59)，是否有考量新型技術的導入、建築儲能或綠電種類(再生能源、核能)等應用。	感謝委員意見。本研究目的在建立建築物之碳排基線，並以建築設計界可操作之變數作為推估因子，建築儲能或綠電等，非本計畫所能掌握之因素。
11.	本案研究，期中成果內容充實豐富，符合預期成果需求。	感謝委員肯定。
12.	期中報告中有關住宅建築熱水耗能評估引用文獻偏舊，引用推估參數數據偏低，根據更新文獻資料之推估結果差異頗大，建議審慎更新引用文獻，調整修正推估參數為宜。	感謝委員提醒。本研究擬蒐集近期的文獻，藉以作為熱水之設計參數。
13.	住宅熱水耗能推估，熱水器設備種類線取三類，恐有過於粗略之虞，電熱熱水器宜分貯熱型與瞬間型，兩者耗能差異不小，太陽能熱水器目前台灣之普及率也不小，分類中也應該納入為宜。	感謝委員建議。本研究擬將查找各類型熱水設備之普及率，包括太陽能熱水器以及電熱水器等，同時分別確立其每戶耗能量，以提升住宅熱水能耗推估準確度。
14.	住宅耗能幾乎都是馬達造成，應考慮利用率以達到節能減碳。	感謝委員建議。本計畫將查找相關統計或基礎資料之有無，再評估建立馬達耗能推估模型之可行性。
15.	建議思考商用建築蒸氣的運用，例如運用於暖氣系統等。	感謝委員建議。蒸氣應用於暖氣之佔比，以台灣之氣候相較於傳統冷房佔比相對小很多，因此併入空調耗能之計算中。
16.	本研究係為配合本部辦理住商部門溫室氣體減量工作，後續如有重要之跨部會研商會議，請配合	全力配合。

	陪同參加並協助相關幕僚作業。	
17.	請儘速完成相關預定工作，並協助本部檢討2025年預估之減碳量。	遵照辦理。
18.	依據摘要說明，溫管法依六大部門，分為能源、工業、運輸、農業、服務與住宅部門，但環保署分類為能源、製造、農業、運輸、住商與環境部門，且住商主辦是內政部與經濟部主辦，其中內政部與經濟部對建築之減碳分工是如何辦理？內政部負責住宅部門與服務部門，指的是住宅減碳為由內政部負責？	感謝委員意見。有關權責問題乃屬政府運作分工之範疇，恐非本研究所能代為回答。然為求有效管理以達淨零目標，建議建築能效標示制度、建築外殼、空調系統節能設計、照明系統節能設計等項由內政部負責；經濟部負責家電設備、設備機器之能效管理、既有建築之節能改善等項目。

附錄三：期末審查意見回覆表

項次	委員意見	回應
1.	陳前所長瑞鈴： - 本研究第五章導入建築能效標示制度之減碳情境及效益評估，所規劃之減碳路徑與國發會2050淨零路徑，不盡相同。導致所獲減碳效益，會有高估(如2030年增估100%私有新建建築達1級能效之效益)或低估(如2040年及2050年既有商業建築僅19.66%及30%達1級能效)情形，建議參照2050淨零路徑修正評估，以利政策研擬之重要參考。 - 由於既有建築占台灣整體建築面積比例極高，故由既有建築著手提升能源效率，減碳效益自會明顯高於新建建築。惟既有建築之能效改善須挹注龐大汰舊換新之費用，且私有住宅或商業建築產權極為分散整合不易，何況不論建築管理或能源管理目前均無相關法令可據以執行既有建築之能效改善，故本研究於研擬建議時，宜充分闡述其執行障礙或研擬配套措施。另外，主辦機管應非建研所可獨力承擔。	- 感謝委員提醒，本計畫擬改以最新國發會2050淨零路徑進行評估。 - 有關既有建築推行能效改善所面臨之困境問題，擬補充於報告中。
2.	鄭教授政利： - 本案研究對於國家淨零排放路徑的實施有重要參考，研究成果充實詳實，符合成果需求。 - 有關住宅熱水耗能評估部分，引用文獻資料稍舊相關數據偏低，建請適度調整評估，以利推估計算之精確。 - 住宅熱水設備，電熱儲熱設備耗能及熱損偏高，建請納入節能改善策略檢討。	- 感謝委員肯定。 - 感謝委員之建議。目前每人生活用水量之推估法已改為依年代線性推估，自2022年起之未來年其用水量以提高至61.7 L/人次，未來各年亦以此值進行推估。 - 本計畫今年課題主要著重於導入建築能效制度後之潛在減碳效益，至於電熱儲熱設備之節能策略建議未來可再納入檢討。
3.	營建署： 109年討論住商部門分配比例會議此結論略以「為有效降低溫室氣體排放量，建議盤點各部門減碳措施之可行性、執行效益與回收年限等因素，以減碳潛力分配減碳量才能有效推動溫室氣體減量。因目前無相關研究報告，原則上仍以經濟部商業司提出之燃料燃燒 CO₂排放量分配住宅部門與商業部門比例為50.23%：49.77%，後續如有減碳潛力估算	- 本研究將依初步之住商減碳潛力，分別提出合理減碳分配量之建議。 - 疫情對住商部門排碳量之影響會於次年反應於實際之耗能數據，而影響未來住商耗能基線之變化。對於減碳策略與效益上之影響長期而言影響不大。 - 謝謝提醒，已更新圖文。

	或其他合宜分配方式之相關研究報告，再據以滾動調整分配比例。」，本研究意見如下： 1. 依上開結論研議住商分別減碳潛力之計算，提出建議調整住商合理分配量之數據。 2. 補充疫情對住商部門減碳之影響，提出調整住商分配量之建議。 2019至2021年用電年均成長2.2%，住宅用電年均成長3.8%；2020年整體用電量成長2.1%，服務業用電卻減少1.1%、住宅用電增加6.4%。 2021年住宅用電(成長 5.1%)。 3. P.92圖示文字不清楚	
4.	工研院綠能所林奉怡： 1. 住宅與商業建築達能效1級/1+級之總地板面積預估統計中，2022年之數據是否為實際取得1級以上之數據？若不是，建議改以實際取得之面積數據做為基準並以此假設未來需達標面積。	有關建築樓地板面積增量之數據，2022年係仍採用推估值，其原因乃由於今年之新增面積尚未公布，無法取得數據。
5.	周理事長瑞法： 1. page42(圖3-3)：住宅熱水耗能及住宅烹飪耗能推估模型，應各分為耗電及(瓦斯/天然氣)兩大類，因為各自的普及率變化不同，其CO₂排放計算之基準也會不同，進而造成統計數據上的差異；像是表3-17和表3-18的普及率就應隨年度不同而有所變化。 2. 依據國發會路徑規劃： 2030年公有新建建築均要一級以上，如表5-3，達1級86%(公有)、14%達1+級(公有)，其中私有亦要100%嗎？ 2040年：50%既有建築物更新為建築能效1級或近零碳建築。則住宅及商業建築的面積各要達18525811m²(住宅)、5515398 m²(商業)嗎？住商是以此為目標？ 2050年新建建築100%達能效1級(以上)，是指當年所有新建案？超過85%建築物為近零碳建築又是？是以當年已完成的樓地板面積計算？	1. 住宅熱水耗能與烹飪耗能之推估，在本研究內即是區分為瓦斯與天然氣各自有其計算模型分開推估的，因此也會反應在CO₂排放量的數據上。 2. 依國發會路徑之規劃是區分為公有建築與私有建築分開訂定其達成之目標率。依最新之住商部門減碳路徑規劃，預計至2030年所有公有新建建築物達建築能效1級或近零碳建築；至2040年時50%既有建築物更新為建築能效1級或近零碳建築；而至2050年100%新建建築及超過85%建築物為近零碳建築。因此按其定義，新建建築係指當年度所新增的建築比例而言，但針對既有建築則其達成比例之意義，是相對於所有全國之既存建築總量而言。
6.	張建築師矩庸： 1. 本案內容豐富紮實、成果豐碩，預測推估工作量極大。 2. p.54.表3-17及表3-18分別提到大型、	1. 感謝委員肯定。 2. 大小型儲熱型電熱水器之定義是以儲水容量60公升為分界，大於60升以上儲水容量者歸為

	小型儲熱型電熱水器，所謂大型、小型的定義為何？可否說明，是否為表3-19之60公升為分界？ 3. 對於住宅部門以及商業部門的用電推估，是否已將電動車輛充電的需求成長評估在內，請說明。 4. 我國主要使用液化石油氣和天然氣瓦斯進行熱水與烹飪加熱，但歐美許多國家在推的熱泵熱水器，究竟適不適合台灣地區使用？為何無法發展？ 5. p.88表5-3為何公有的新建建築達1級能效者，在2030年達到86%後，就一直下降至2050年的7%？不是新建的建築都必須維持在1級能效以上嗎？ 6. 預期成果中的經濟誘因機制，建議說明對設計者和開發商的獎勵；此外，案中所述之獎勵措施可能只對新建建築有效，對既有建築物需有其他手段。	大型儲熱型電熱水器。 3. 電動車之評估業已於去年之研究中予以呈現，非本年度之研究內容。 4. 熱泵熱水器更適合應用於建築使用時同時且等量具有冷房與熱水需求之建築類型，善加利用冷房廢熱回收較具節能效益。 5. 表5-3之規劃是以最為保守之路徑推估每年所需改善的總量，因此當部分原屬第1級能效者已提升至更嚴苛之第1+等級時，在維持所預定之最保守目標下，則自然第1等級者數量會同步減少。 6. 感謝委員建議，針對既有建築之推動的確不易，尤其建築能效標示之節能改造重點在於外殼、空調系統等，改造成本大且牽涉使用產權、法規等諸多問題，僅以部分經濟上之補助恐誘因不大。此需尚待未來深入研究。
--	---	---

參考書目

1. American Society of Heating, R., and Air-Conditioning Engineers. (ASHRAE) (2016). ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA, USA.
2. Audit, C. E. (2022). "Canada greener homes grant."
3. BPIE (2014). ENERGY PERFORMANCE CERTIFICATES ACROSS THE EU, BPIE.
4. California Energy Commission (2019). California Titled 24 Alternative Calculation Method Manual.
5. Canada, N. R. (2020). "Green Infrastructure Phase II, Energy Efficient Buildings Program, 3rd Request for Expressions of Interest."
6. Cohen, R., W. Bordass and J. Field (2006). EP Label: a graduated response procedure for producing a building energy certificate based on an operational rating. Building Performance Congress. Pg.
7. Concerted Action EPBD (2016). "Implementation the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD): Featuring Country Reports; ADENE: Lisboa, Portugal, 2015; p. 594."
8. Cui, C. and J. J. Niu (2011). "Energy-saving technology strategy 2011 and Enlightenment to us." Energy China.
9. Danish Transport and Construction Agency (2015). Danish Building Regulations 2015, 2015.12. Copenhagen, Denmark,.
10. Deutsche Energie-Agentur "zukunft haus." <https://www.zukunft-haus.info/start/> (Accessed date: 2021.02.15).
11. ECCC (2022). "GREENHOUSE GAS EMISSIONS."
12. Energie-Agentur, D. ""zukunft haus.""
13. European Commission, J. R. C. J., PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, (2013). "Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), Release Version 4.2 FT2010." <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>.
14. Feist, W. (2015). Lernzielkatalog "Zertifizierter PassivhausPlaner";. Passive Haus Institute: Darmstadt, Germany.
15. Field, J. and P. Efficiency (2020). "Implementation of EPBD Article 7.3 in Germany and the UK: Comparison of Methodologies and Procedures."
16. Healy, D. (2013). Asset Ratings and Operational Ratings-The relationship between different energy certificate types for UK buildings. Liverpool, UK: CIBSE Technical Symposium, Liverpool John Moores University.
17. Huang, K.-T. and R.-L. Hwang (2016). "Future trends of residential building cooling energy and passive adaptation measures to counteract climate change: The case of Taiwan." Applied Energy **184**: 1230-1240.
18. International Energy Agency (2008). Building Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings. Paris, France.
19. International Energy Agency (2012). "CO2 Emissions from Fuel Combustion. Beyond 2020 Online Database." Available at: <http://data.iea.org>.
20. International Energy Agency (2013). "IEA Online Data Services." <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>.
21. International Energy Agency (2020). "Tracking Building Envelopes 2020."
22. International Energy Agency (2022). Roadmap for Energy-Efficient Buildings and Construction in ASEAN. France.
23. KfW (2021). "The efficiency house levels for a new building." <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Das-Effizienzhaus/>.
24. Korea, t. G. o. t. R. o. (2020). "2050 CARBON NEUTRAL STRATEGY OF THE REPUBLIC OF KOREA."
25. Seiko Instruments Inc (2022). "SII 網站."
26. The IPCC Working Group III (2014). "Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Climate Change 2014 Mitigation of

- Climate Change.
27. The Ministry of Land, I. a. T. (2018). "Certification Standards of Building Energy Efficiency Rating and Zero Energy Building, Annexed Table 2."
 28. Y. Li, W. Gao, X. Zhang, Y. Ruan, Y. Ushifusa and F. Hiroatsu (2020). "Techno-economic performance analysis of zero energy house applications with home energy management system in Japan." Energy Build.
 29. Yeweon Kim and K.-H. Yu (2020). "Study on the Certification Policy of Zero-Energy Buildings in Korea." Sustainability.
 30. 工研院綠能所 (2018). "節能標章與能源效率分級標示季刊."
 31. 中國建築科學研究院 (2022). "中國建築科學研究院網站."
 32. 中華民國統計資訊網. "國民所得及經濟成長統計資料庫." Retrieved 6/21, 2020, from <http://statdb.dgbas.gov.tw/pxweb/Dialog/Nl.asp?mp=4>.
 33. 內政部 (2022). "核發建築物使用執照按使用分區別分."
 34. 內政部不動產資訊平台. "低度及待售住宅." Retrieved 6/11, 2020, from <https://pip.moi.gov.tw/V3/E/SCRE0104.aspx>.
 35. 內政部不動產資訊平台 (2022/1). "110 年上半年低度使用(用電)住宅暨 110 年第 1 季、第 2 季新建餘屋(待售)住宅." <https://pip.moi.gov.tw/V3/E/SCRE0104.aspx>.
 36. 內政部戶政司 (2021). "縣市戶口數按戶別." <https://www.ris.gov.tw/app/portal/346>.
 37. 內政部戶政司全球資訊網. "人口統計資料庫." Retrieved 6/18, 2020, from <https://www.ris.gov.tw/app/portal/674>.
 38. 內政部戶政司全球資訊網 (2021). "人口統計資料庫." <https://www.ris.gov.tw/app/portal/674>.
 39. 內政部建築研究所 (2014). 綠建築評估手冊-基本型.
 40. 內政部營建署 (2006). 臺閩地區住宅狀況調查.
 41. 內政部營建署 (2006 至 2020). 2006-2020 縣市建造核發及使用執照概況.
 42. 內政部營建署 (2022). "內政部統計月報."
 43. 日本建築研究所. (2022). "<https://www.kenken.go.jp/english/index.html>." from <https://www.kenken.go.jp/english/index.html>.
 44. 台灣自來水全球資訊網. "每度用水排放二氧化碳(CO₂)約當量." Retrieved 6/18, 2020, from <https://www.water.gov.tw/ch/Subject/Detail/2269?nodeId=813>.
 45. 台灣電力公司 (2018). "電力行業別用電(98~107 年資料)."
 46. 台灣電力公司 (2021). "電力行業別用電(108-110 年資料)."
 47. 行政院主計總處 (2010). 人口及住宅普查.
 48. 行政院環境保護署 (2019). 溫室氣體排放係數管理表.
 49. 何明錦 and 黃國倉 (2013). "臺灣建築能源模擬解析用逐時標準氣象資料 TMY3 之建置與研究." 內政部建築研究所協同研究報告.
 50. 李孟杰 (2006). "住宅生活熱水使用耗能評估與節能方法之研究." 國立臺灣科技大學博士論文.
 51. 林素琴 and 林志勳 (2017). "我國住宅部門電力使用." 臺灣能源期刊 第四卷第三期: pp.285-302.
 52. 林憲德 (2018). "建築碳足跡."
 53. 林憲德 and 賴柏亨 (2010). "辦公大樓空調形式與耗能特性之研究." 建築學報(74): 27-44.
 54. 國家發展委員會 (2020). "中華民國人口推估 (2020 至 2070 年)."
 55. 國家發展委員會 (2022). "未來台灣總人口數中推估."
 56. 梁世武 (2019). "106 年家用電器普及狀況調查." 台灣電力股份有限公司綜合研究所委託研究.
 57. 郭柏巖 (2005). "住宅耗電實測解析與評估系統之研究." 國立成功大學建築研究所博士論文.
 58. 陳麒任 (2017). "推動既有建築節能改善策略與效益之研究." 內政部建築研究所自行研究報告.
 59. 經濟部 (2018). "能源部門溫室氣體排放管制行動方案(第一期階段)核定本."

60. 經濟部水利署 (2007). "節水用水技術手冊-家庭用水."
61. 經濟部水利署 (2017). "自來水生活用水量統計."
62. 經濟部能源局 (2014). "貯備型電熱水器容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式."
63. 經濟部能源局 (2016). "熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊."
64. 經濟部能源局 (2018). "2018 非生產性質行業能源查核年報."
65. 經濟部能源局 (2019). 107 年度電力碳排係數.
66. 經濟部能源局 (2019). "我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析."
67. 經濟部能源局 (2019). "油價資訊管理與分析系統."
68. 經濟部能源局 (2020). "2020 年非生產性值行業能源查核年報."
69. 經濟部能源局 (2021). "2021 年非生產性值行業能源查核年報."
70. 經濟部能源局 (2022). "110 年度我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析."
71. 經濟部能源局 (2022). "110 年度電力排碳係數."
72. 臺北自來水事業處. "每度水排放二氧化碳約當量及計算公式." Retrieved 6/18, 2020, from https://www.water.gov.taipei/News_Content.aspx?n=30E4EDA27F6D9953&sms=87415A8B9CE81B16&s=A82FC62D5CECBA69.
73. 臺北自來水事業處水質科 (2022). "水處各淨水場清水水質(移動年平均值)."
74. 韓國環境部 (2021). "韓國 2021 碳中和執行計畫."
75. 羅時麒, 黃國倉 and 黃瑞隆 (2020). "建築溫室氣體排放預測及減量措施之分析." 內政部建築研究所協同研究期末報告.
76. 羅時麒, 黃國倉, 黃瑞隆, 簡裕恒, 龔宇彥 and 黃彥碩 (2020). 建築溫室氣體排放預測及減量措施之分析. 台北, 內政部建築研究所.
77. 羅時麒, 黃瑞隆 and 黃國倉 (2017). "基於未來氣候的住宅溫室氣體排放趨勢預測與調適策略." 內政部建築研究所協同研究期末報告.
78. 蘇育弘 (2018). "大台北地區家戶食物能源消費之探討." 臺灣師範大學地理學系學位論文: 1-91.

住商部門淨零排放策略及減碳潛力之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王榮進、黃國倉、黃瑞隆、姚志廷、呂文弘、陳麒任

出版年月：111年12月

版次：第1版

ISBN：