

計畫編號：10915B0013

內政部建築研究所
創新循環綠建築環境科技計畫及智慧化居住空間
整合應用人工智慧科技發展推廣計畫協同研究計畫
「建築溫室氣體排放預測及減量措施之分析」
資料蒐集分析報告

研究主持人：羅時麒 組長

協同主持人：黃國倉 博士

研究員：黃瑞隆

研究助理：簡裕恒、龔宇彥、黃彥碩

研究期程：中華民國 109 年 3 月至 109 年 12 月

研究經費：新臺幣：88.766 萬元

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 109 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
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起.....	1
第二節 研究內容.....	1
第二章 國內外文獻回顧與評析.....	3
第一節 國外住商部門溫室氣體推估相關文獻回顧.....	3
2.1.1 聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)之推估法.....	3
2.1.2 日本的案例.....	4
2.1.3 南韓的案例.....	6
2.1.4 加拿大的案例.....	8
2.1.5 歐盟的案例.....	9
2.1.6 印度的案例.....	10
第二節 國內能源部門未來溫室氣體推估方式文獻回顧.....	11
第三章 研究方法.....	19
第一節 研究流程.....	19
3.1.1 氣象資料之製備.....	19
3.1.2 各項能源之溫室氣體排放係數.....	21
第二節 住宅部門溫室氣體推估理論.....	21
3.2.1 住宅空調耗能推估.....	24
3.2.2 住宅照明耗能推估.....	29
3.2.3 住宅家電耗能推估.....	30
3.2.4 住宅熱水耗能推估.....	32
3.2.5 住宅使用水量之推估.....	32
3.2.6 住宅烹飪耗能推估.....	33
3.2.7 住宅總耗能推估.....	33
第三節 商辦建築溫室氣體推估理論.....	34
3.3.1 商辦空調耗能之推估.....	34
3.3.2 商辦照明耗能之推估.....	41
3.3.3 商辦事務設備耗能之推估.....	43
3.3.4 商辦它項設備與總耗能量之推估.....	44
3.3.5 商辦耗水量之推估.....	45
3.3.6 商辦瓦斯與汽柴油碳排量之推估.....	45

3.3.7 商辦總耗能.....	46
第四節 住商部門建築溫室氣體排放量推估之校正.....	46
3.4.1 我國耗能統計資料架構.....	46
3.4.2 住宅溫室氣體排放推估模式之校正法.....	48
3.4.3 商業建築溫室氣體排放推估模式之校正法.....	49
3.4.4 商業部門非電力耗能項目之未來溫室氣體排放推估方法.....	52
第四章 住商部門溫室氣體排放量預測與滾動式修正.....	59
第一節 住宅溫室氣體排放量預測結果.....	59
第二節 商辦溫室氣體排放量預測結果.....	64
第五章 建築減碳途徑與溫室氣體第二期階段管制目標建議.....	67
第一節 住宅部門既有之減碳措施及其效益.....	67
5.1.1 住宅外殼調適之減碳效益.....	67
5.1.2 空調調適之減碳效益.....	68
5.1.3 家電調適之減碳效益.....	70
5.1.4 照明調適之減碳效益.....	71
5.1.5 其他政府可行之政策.....	73
第二節 建築外殼減碳策略路徑模擬與效益評估.....	73
5.2.1 商辦外殼調適之減碳效益.....	73
5.2.2 商辦照明調適之減碳效益.....	74
5.2.3 商辦空調調適之減碳效益.....	75
第三節 我國溫室氣體第二期階段管制目標住商部門核配分析.....	76
第六章 結論與建議.....	81
第一節 結論.....	81
第二節 建議.....	83
附錄一：期初審查意見回覆表.....	84
附錄二：期中審查意見回覆表.....	85
附錄三：專家諮詢會議意見回覆表.....	87
附錄四：期末審查意見回覆表.....	88
參考書目	90

表次

表 2-1 日本 INDC 對於能源消耗產生的溫室氣體排放減量承諾	4
表 2-2 南韓推估之未來 BAU 基準	7
表 2-3 住服部門能源服務需求定義與範疇	16
表 2-4 七種能源服務需求的推估方式中採用的次級解釋變數，以及影響次級 解釋變數的初級解釋變數	17
表 3-1 各項能源之排放係數	21
表 3-2 住宅建築外殼與室內發散熱參數設定	24
表 3-3 各縣市人均居住面積	26
表 3-4 我國未來 GDP 成長推估	28
表 3-5 未來逐年年末人口數推估值（單位：千人）	29
表 3-6 各空間照明密度及時間	29
表 3-7 住宅平面格局抽樣調查資料	30
表 3-8 不同格局對應之廳室面積比例 R_{Aij}	30
表 3-9 單台家電全年耗能（單位：kWh）	30
表 3-10 戶均擁有家電台數	31
表 3-11 未來戶數及低度用戶推估	31
表 3-12 各類熱水器耗能與普及率	32
表 3-13 大台北地區家戶年食物處理能源消費概況（樣本數=661 戶）	33
表 3-14 EnergyPlus 模擬案例數	35
表 3-15 商辦建築外殼參數設定	36
表 3-16 商辦建築室內發散熱設定	37
表 3-17 商辦大樓空調系統設定	39
表 3-18 商辦及住宅歷年核發建築物使用執照面積	40
表 3-19 商辦大樓電力流向	45
表 3-20 商辦大樓各項能源消費量及占比	46
表 3-21 經濟部能源局能源平衡表（節錄）	47
表 3-22 行業別分類系統表	47
表 3-23 全國低度使用（用電）住宅統計表	48
表 3-24 商業建築用電推估時採用之資料來源整理	49
表 3-25 屬服務業類別之各建築別逐年用電歷史與推估資料	51
表 3-26 經濟部能源局 2018 年公告之能源平衡表之部分節錄	52
表 5-1 歷年與未來逐年住商部門之預估總碳排放量一覽表	78

圖次

圖 2-1 日本溫室氣體排放歷史資料以及未來的溫室氣體減量預測.....	5
圖 2-2 1971 年~2011 年日本部門別的二氧化碳排碳量趨勢.....	5
圖 2-3 左圖為日本住宅部門使用的能源類別.....	5
圖 2-4 南韓的溫室氣體排放歷史資料以及未來的溫室氣體減量預測.....	7
圖 2-5 加拿大的溫室氣體排放歷史資料與推估.....	8
圖 2-6 歐洲建築物能源性能法規 (EPBD) 的減碳潛力預估.....	10
圖 2-7 印度歷年住宅部門使用的能源類別與趨勢.....	11
圖 2-8 能源部門與能源產業的邊界示意圖.....	12
圖 2-9 各電業於溫管法架構下所應承擔減量之溫室氣體排放量.....	13
圖 2-10 工研院 TIMES 模型能源系統架構圖.....	15
圖 2-11 TIMES 模型電力系統架構.....	15
圖 2-12 TIMES 模型能源消費推估流程.....	16
圖 2-13 臺灣 TIMES 模型中住服部門能源推估模型流程示意圖.....	17
圖 3-1 研究流程圖.....	20
圖 3-2 全國住宅空調耗能推估模型.....	22
圖 3-3 全國住宅照明耗能推估模型.....	22
圖 3-4 住宅家電、熱水與烹飪耗能推估模型.....	23
圖 3-5 全國住宅部門二氧化碳排放計算與修正流程圖.....	23
圖 3-6 住宅平面配置圖.....	25
圖 3-7 人均居住面積與人均 GDP 之關係.....	27
圖 3-8 全球與國內人均居住面積之比較.....	28
圖 3-9 全國商辦建築空調耗能推估模型.....	35
圖 3-10 商辦大樓照明密度分布參考圖.....	37
圖 3-11 各設備之負荷率及運轉時程.....	37
圖 3-12 總樓地板面積(TFA)與空調總噸數之關係.....	38
圖 3-13 商辦空調 EUI 分布示意圖(以 2020 年為例).....	39
圖 3-14 全國商辦建築照明與事務設備耗能推估模型.....	42
圖 3-15 商辦照明 EUI 分布圖.....	42
圖 3-16 商辦事務設備 EUI 分布圖.....	44
圖 3-17 模擬與真實溫室氣體排放量變化率比較.....	48
圖 3-18 各建築類別用電量佔所有住商部門用電量之比例(以 2018 年為例)....	50
圖 3-19 液化石油氣的歷史消耗數據以及使用預測效果.....	53
圖 3-20 車用汽油(無鉛汽油)的歷史消耗數據與預測效果.....	53
圖 3-21 航空燃油—煤油的歷史消耗數據以及預測效果.....	54
圖 3-22 煤油的歷史消耗數據以及預測效果.....	55
圖 3-23 柴油的歷史消耗數據以及預測效果。.....	55

圖 3-24 燃料油的歷史消耗數據以及預測效果.....	56
圖 3-25 自產天然氣之歷史消耗數據以及三次多項式之迴歸結果.....	57
圖 3-26 進口液化天然氣之歷史消耗數據以及預測效果.....	57
圖 4-1 未來逐年全年冷房度時增長之趨勢.....	59
圖 4-2 人均 GDP 成長趨勢.....	60
圖 4-3 國家未來人口中推估.....	60
圖 4-4 各區住宅面積推估圖（以人口中推估計算）.....	60
圖 4-5 全國未來戶數推估.....	61
圖 4-6 住宅各耗電項目耗電量未來推估.....	62
圖 4-7 全國住宅瓦斯與自來水耗能量與溫室氣體排放趨勢.....	62
圖 4-8 電力碳排係數成長趨勢.....	63
圖 4-9 全國住宅部門逐年溫室氣體排放量推估.....	63
圖 4-10 住宅溫室氣體推估.....	64
圖 4-11 住宅各耗能項目溫室氣體排放量占比（以氣候中推估計算）.....	64
圖 4-12 逐年商辦建築樓地板面積推估.....	65
圖 4-13 商辦空調、照明、事務設備及其餘設備耗電量推估.....	65
圖 4-14 商辦建築各耗能項目溫室氣體排放占比.....	66
圖 4-15 商辦建築逐年溫室氣體排放量推估.....	66
圖 5-1 目前法規於不同更新率下所貢獻的溫室氣體減量.....	68
圖 5-2 目前空調能效法規在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量.....	69
圖 5-3 空調能效法規趨嚴 20%在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量效益.....	69
圖 5-4 目前家電能源效率在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量效益.....	70
圖 5-5 家電能源效率趨嚴 20%在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量.....	71
圖 5-6 目前照明設備能源效率在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量效益.....	72
圖 5-7 照明設備能源效率趨嚴 20%所貢獻的溫室氣體減量效益.....	72
圖 5-8 商辦溫室氣體在有無建築外殼改善策略下的排放量預估.....	74
圖 5-9 商辦溫室氣體在有無照明改善策略下的排放量預估.....	75
圖 5-10 商辦溫室氣體在有無空調改善策略下的排放量預估.....	76
圖 5-11 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.....	78

摘要

關鍵詞：建築溫室氣體排放基線、建築耗能、住商部門減碳路徑

一、研究緣起

我國之「溫室氣體減量及管理法」自 2015 年正式上路，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%，並每五年滾動檢討之，為了有效訂立住商部門之溫室氣體減量措施與碳排管理，則需仰賴精準之未來住商能源消費預測，以瞭解各項碳排之來源與組成，俾利進行減量措施之效益評估。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，並基於未來氣象資料，結合不確定性分析，進行未來住宅與商業部門能源消費分析及預測，建立溫室氣體排放基線（Business As Usual, BAU），並分析相關減碳途徑，嘗試建立各式減碳策略之減碳效益，期作為政府作為提出住商部門減碳政策之參考及其減碳效益評估。

二、研究方法及過程

本計畫分成三大部分：(1)國內有關建築溫室氣體排放預測方法之文獻蒐集；(2)建立我國住商部門碳排放基線預測模式；以及(3)建立各種可操作之建築策略之減碳效益推估模型，並在考量各種減碳策略之擴散效率下，整合未來社會與經濟情況推估未來逐年之減碳量。在溫室氣體排放量推估之方法上，本研究採用由下而上之方法，依各建築類型中不同之能源耗用項目，逐項建立其逐年之耗能與碳排放量推估模型，透過與歷史耗能數據進行校正後，建立我國住商部門總體溫室氣體排放量推估與未來之預測模型。

三、重要發現

1. 本研究完成國內外建築溫室氣體排放預測方法之文獻蒐集分析，確立本研究以由下而上之方式，透過各最終能源使用項目逐一建立其碳排推估方法，以建立住商部門溫室氣體未來排放量之基線。
2. 完成確立並建立住宅與商辦類建築各項能源使用模式與全年溫室氣體排放之全國推估模型，所建立之模型可做為未來減碳效益計算之參考。
3. 透過蒙地卡羅方法建立大量商辦建築樣本，模擬過去至未來 2035 年逐年之空調、照明、設備等各能源耗用分項之能耗推估，完成發展住宅與商業部門溫室氣體排放量預測模型基線(BAU)。

4. 研究發現，雖隨著我國能源結構轉型，電力之二氧化碳排放係數下降，但由於隨未來我國經濟 GDP 成長以及建築樓地板面積增加之趨勢下，住商之溫室氣體排放近期雖呈現下降之趨勢，但自 2026 以後加上氣候變遷之影響逐漸明顯，整體溫室氣體之排放量將呈微幅上升。
5. 本計畫提出在我國能源結構不改變以及朝綠色能源發展等二種情境下我國住商部門溫室氣體排放趨勢之逐年變化至 2035，同時完成我國住商部門第二階段溫室氣體排放管制目標之建議，以 2035 年排放住商之總量為 52.0 百萬公噸碳當量，相當於對比於 2005 年時再降低 9.5% 為目標。
6. 根據現行溫室氣體管制目標，住商部門在 2025 年時的溫室氣體排放量需減少至 43,714 千公噸碳當量，依照本研究的 BAU 推估結果顯示至 2025 年時住商部門的溫室氣體排放為 48,857 千公噸碳當量，其中仍有近 5,143 千公噸碳當量之減碳幅度差距。

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

本研究提出我國第二階段住商部門溫室氣體管制之建議，在經濟與民生持續成長以及全球氣候變遷氣候溫暖化之影響下，住商部門之溫室氣體排放量減碳幅度不如原先第一期之預估樂觀。建議應重新檢討住商部門溫室氣體減碳之分配額度，將更符合實際之情況，使我國之減碳政策更為務實。

主辦機關：行政院環保署

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

建議二

本研究建立了住商部門未來溫室氣體排放之基線預測模型，以及基於建築能源動態解析之理論透過大量模擬之方式建構了住宅與商辦建築之全國能耗模型。因此，建議未來可進一步利用本研究所建立之模型，針對內政部既有之政策工具，分析可行之建築減碳策略並進行其減碳策略之效益分析，以評估住商部門未來可能之減碳潛力，俾利作為擬定溫室氣體減量策略之政策參考與基礎。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

第一章 緒論

第一節 研究緣起

我國「溫室氣體減量及管理法」自 2015 年正式上路，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%，並於每五年滾動檢討之。依國家減碳量之目標規劃，109 年需較基準年減少 2%，114 年較基準年減少 10%，而於 119 年需較基準年減少 20%。各部門需據此訂立短中長期減碳目標與提出減碳措施。其中本部負責建築溫室氣體減量部分，並由本所協助本部營建署辦理碳排放預測與減量策略之推估。另住商部門溫室氣體排放來源包括住宅及服務部門，涉及經濟部、交通部、教育部及本部等相關部會，為了有效訂立住商部門之溫室氣體減量措施與碳排管理，需仰賴精準之未來住商能源消費預測，以瞭解各項碳排之來源與組成，俾利進行減量措施之效益評估。

● 本計畫所欲達成之預期目標如下：

1. 完成國內外建築溫室氣體排放預測方法之文獻蒐集。
2. 完成住商部門碳排放預測模式之滾動檢討。
3. 完成住商部門減碳潛力之分析及減碳路徑之推估。

第二節 研究內容

本研究透過國內外文獻蒐集建築溫室氣體排放預測方法及模式，配合我國國情建立本土化之未來建築耗能預測模式，提出近未來至中長期之碳排放量預測。此外，為達成部門溫室氣體之減量目標，本計畫擬研究各項建築減碳策略，評估其可行性及概估各減碳策略之減碳效益並持續滾動檢討，以作為擬定未來建築節能管理政策擬定與推行之參考依據。

● 本計畫研究內容如下：

- (一) 建築溫室氣體排放預測模式之文獻蒐集，並配合實際碳排資料針對預測模式進行滾動式檢討修正。
- (二) 盤點住宅部門既有之減碳措施及減碳效益。
- (三) 配合溫室氣體減量及管理法，針對第二期階段管制目標之各部門核配減碳量進行分析。
- (四) 研擬未來可行之建築溫室氣體減量策略，並概估其量化效益，供相關部門參考。

第二章 國內外文獻回顧與評析

第一節 國外住商部門溫室氣體推估相關文獻回顧

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 (International Energy Agency & United Nations Environment Programme, 2019)，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%，而發電燃料主要使用煤和天然氣，可見尋找乾淨的替代能源以及可再生能源的重要性與日俱增，除此之外被動式設計和低耗能設計也必須被重視。2017-2018 年，暖氣的耗能下降了 2%，照明也下降了 1.4%，冷氣的耗能則上升 2.7%，其餘如熱水、烹調、電器大致維持不變，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。

2.1.1 聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)之推估法

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，佔了 2010 年全球總溫室氣體排放量的 19% (European Commission, 2013; International Energy Agency, 2012)，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，建築佔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。

雖然已開發國家的空調能源使用量在世界佔據了最多的能源消耗量，但是成長幅度小，影響不明顯，相對於開發中國家的空調能源使用量，雖然目前佔比不大，但是未來的成長趨勢不容小覷，空調能源通常從建築能源中獨立出來計算，住宅部門的空調能源可從以下式子中估算：

$$energy_{residential} = h \cdot \frac{p}{h} \cdot \frac{area}{p} \cdot \frac{energy}{area}$$

其中， $energy_{residential}$ 為總住宅部門空調能源需求(kWh)； h 為戶數； p 代表人數； $area$ 為樓地板面積 (m^2)； $energy$ 代表能源需求 (kWh)。

而商業部門的空調能源則以各國之 GDP 透過下式估算：

$$energy_{commercial} = GDP \cdot \frac{area}{GDP} \cdot \frac{energy}{area}$$

其中， $energy_{commercial}$ 為總商業部門空調能源需求(kWh)；GDP 為國內生產毛額；area 代表樓地板面積(m^2)；energy 為能源需求量(kWh)。

除了空調耗能之外，另外還有家電耗能，此處的家電耗能泛指非空調耗能且使用電能的電器，包含照明及資通設備(ICT)之耗能。傳統大型家電如冰箱、洗衣機佔住宅家電耗能的大部分(International Energy Agency, 2012b)，雖然近年來科技的進展導致通訊 3C 產品的耗能逐漸提升，甚至在許多國家的住宅中佔有 20% 以上的比例(Harvey, 2008)。家電的耗能可被簡化成以下式子(Cabeza, Urge-Vorsatz, McNeil, Barreneche, & Serrano, 2014)：

$$energy_{equipment} = \sum_a h \cdot \frac{n}{h} \cdot \frac{energy}{n}$$

其中， Σ_a = 所有電器耗能之和； h = 戶數； n/h = 每戶擁有的電器 a 數量； $energy/n$ = 每個電器每年之耗能(kWh/yr)

2.1.2 日本的案例

根據日本提交的國家自主決定預期貢獻 (INDC)，在 2030 年度以前，預計會比 2013 年度減少 26% 的溫室氣體排放，相當於減少 10.42 億噸的二氧化碳當量。日本亦採用由下而上 (bottom-up) 的方式據以估算未來透過政府規範的修訂以及政策的推廣，評估減少的溫室氣體排放量。圖 2-1 顯示了該國在溫室氣體排放量上之歷史變化與預測。根據日本提交的 INDC 報告的附錄指出，有大約 90% 溫室氣體排放是源自於能源消耗過程產生的二氧化碳 (energy-originated CO_2)，而根據不同類別使用的能源消耗產生的二氧化碳，又可以將其細分為五個類別，包括：工業、商辦與其他、住宅、運輸與能源轉換等五個類別，如下表 2-1 所示。

日本是世界第三大經濟體，也是第五大的溫室氣體排放國，溫室氣體排放量佔全世界總排放量的 3% (Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Abd. Majid, 2015)，而從時間上的變化來看，也可以發現日本從 1971 到 2011 這 40 年間的二氧化碳排放量增加了 50%，如圖 2-2。就部門別而言區分為電力、再生能源、天然氣以及用油等大類，以電力消耗為最多，其中排碳量又以「工業部門」以及「交通部門」佔了大宗約 51%；而住宅部門則大約佔了 15% 左右的最終排碳量，商業部門則大約佔 21%，如圖 2-3 所示。

表 2-1 日本 INDC 對於能源消耗產生的溫室氣體排放減量承諾

類別	2030 排放量 (Mt- CO_2e)	2030 各部門 的碳排占比	2013 排放量 (Mt- CO_2e)	2030 跟各自部門 相比減少的比例
工業	401	43%	429	-7%
商辦與其他	168	18%	279	-40%
住宅	122	13%	201	-39%
運輸	163	18%	225	-28%
能量轉換	73	8%	101	-28%
能源消耗之總碳排	927	-	1235	-25%

(資料來源：(Ministry of Foreign Affairs of Japan, 2015))

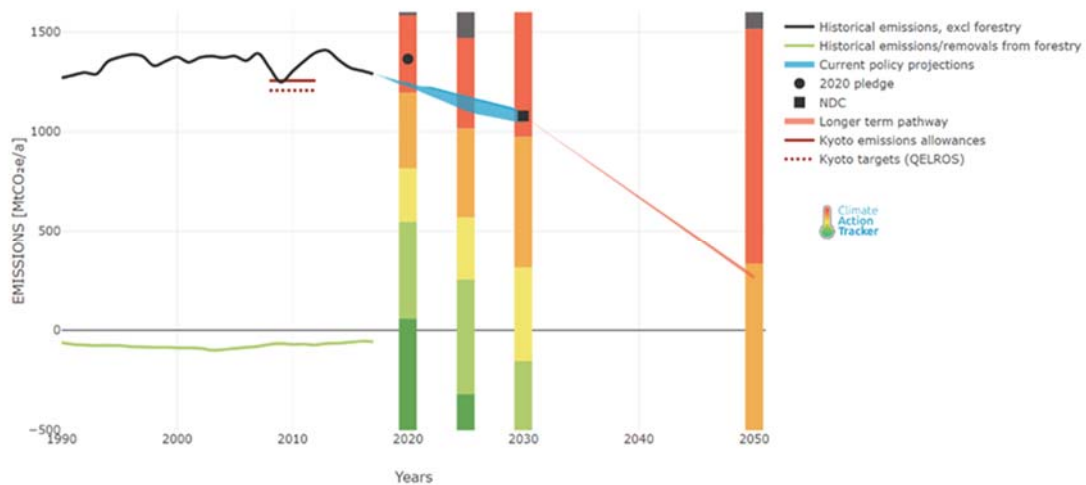


圖 2-1 日本溫室氣體排放歷史資料以及未來的溫室氣體減量預測

(資料來源：Climate Action Tracker)

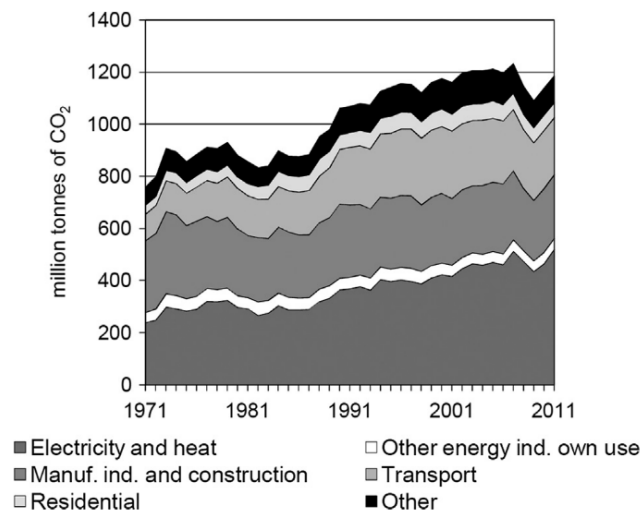


圖 2-2 1971 年～2011 年日本部門別的二氧化碳排碳量趨勢

(資料來源：(Nejat et al., 2015))

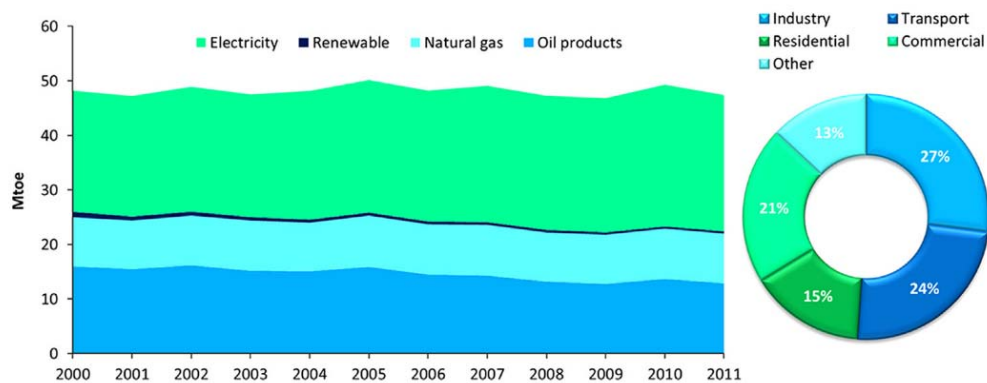


圖 2-3 左圖為日本住宅部門使用的能源類別

(資料來源：(Nejat et al., 2015))

就住宅部門的能源消耗量來看，從 2000 年起，到 2011 年為止，住宅部門的能源耗用量從 2000 年的 50 百萬油當量降到 2011 年的 47.5 百萬油當量，降幅約 2.4%。而住宅部門也是所有部門中二氧化碳排放量增長最少的，與 1990 年的排放量比較，到 2011 年前只成長了 4.3%。

在估算住宅部門的溫室氣體排放量預測的研究中，Shimoda 等人設計了一個模型用以預估多元複雜的住宅部門的溫室氣體排放以及能源使用量。住宅部門的能源預估的困難之處在於會因為家庭人數的多寡、住宅的種類、住宅的大小以及電器的能源效率而有很大的不同。其中由於電器的耗能主要取決於使用人數以及生活方式，故在城市尺度或者國家尺度上，不同的減碳調適策略造成的溫室氣體減量效果將難以估計(Shimoda, Yamaguchi, Okamura, Taniguchi, & Yamaguchi, 2010)。Shimoda 等人利用過去在模擬大阪的住宅部門能源消耗時創建由下而上的模型，推估日本在 2025 年以前住宅部門的能源消耗以及二氧化碳排放基線 (BAU)。此外，也在該模型中加入一些調適選項，如加強電器能源效率標準、強化建築隔熱、減少待機用電、提高熱水器效率、增加使用者的能源效率行為以及太陽能板採用的擴散效果，呈現這些調適策略對減少能源消耗以及溫室氣體排放的效益。根據 Shimoda 等人的研究顯示，在 2025 年時，日本住宅部門的二氧化碳排放基線 (BAU) 將會較 1990 年的數據降低 7%。

Shimoda 沿用過去預估大阪城市尺度的住宅部門能源消耗量的研究方法，將建築分門別類，19 種住宅平面類型以及 12 種建築形式 (6 種獨棟住宅以及 6 種公寓形式)，並採由下而上的方式計算各種住宅類型的標準建築耗能，搭住宅之人員使用時程資料，據以加總計算都市尺度的住宅部門能源消耗。由於建築外殼的標準易影響空調負荷，Shimoda 等人將沒有隔熱標準、1980、1992、1999 年共四種建築外殼標準納入模擬中，並採用全日本 17 個區域中適用於該時期建築外殼標準各有多少比例的數據，藉此模擬住宅部門在空調使用上面的能耗。

2.1.3 南韓的案例

南韓屬於高能源密集度的國家，使用的化石燃料全球排名第 11，然而其絕大部分的燃料都是由國外進口，根據統計，南韓是第五大石油進口國，更是第二大的液化天然氣 (Liquefied Natural gas, LNG) 的進口國。南韓在 1990 年到 2014 年間，其溫室氣體排放量是倍增的，甚至比兩倍還要多，尤其在 1990 年代早期增加幅度更為驚人，但在之後的成長速度有逐漸放緩的趨勢。在 2010 年至 2014 年實際的溫室氣體排放量比第三次國家傳播會議 (Third National Communication) 上提出的 BAU 預估排放量還來的多 (Climate Action Tracker, 2019)。

根據該國的國家自主決定預期貢獻，計劃在 2030 年以前減少溫室氣體排放量的 37% (相當於 850.6 Mt 的二氧化碳當量)。圖 2-4 為溫室氣體排放歷史資料以及未來的溫室氣體減量預測趨勢。其全國之整體能源使用基線 BAU (Business-As-Usual) 情境是由 KEEI-EGMS (the Korea Energy Economics Institute Energy and GHG Modeling System) 模擬系統進行推估，其將許多關鍵的經濟變量納入其中，

如人口、國內生產總值、工業設施與石油價格，據以預估未來的 BAU 情境。根據模擬結果，在不同階段 BAU 模擬結果如下表 2-2 所示。

表 2-2 南韓推估之未來 BAU 基準

年份	2020	2025	2030
能耗基線 BAU (單位：MtCO ₂ eq)	782.5	809.7	850.6

(資料來源：(Government of Republic of Korea, 2015))

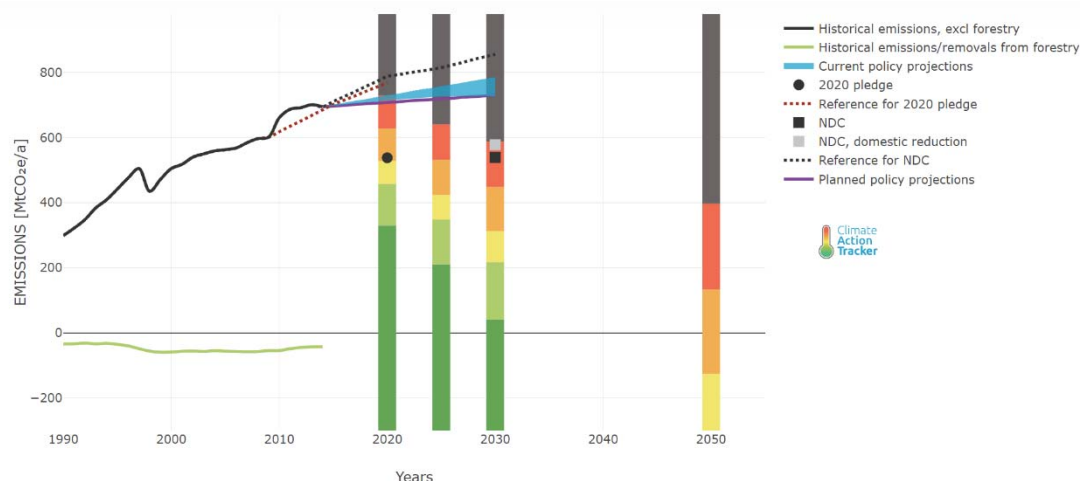


圖 2-4 南韓的溫室氣體排放歷史資料以及未來的溫室氣體減量預測

(資料來源：(Climate Action Tracker, 2019))

在住商部門的能源使用方面，住商部門的最終能源消耗量 (Total Final Consumption, TFC) 占了南韓全國的 24%，其中住宅以及商業部門各佔了一半，而住宅部門的能源使用主要依賴天然氣、電力以及石油，根據 2011 年的數據，三種能源使用各佔了 TFC 的 45%、26%、16%。由於南韓的快速發展導致能源需求急遽的增加，是全球第七大的二氧化碳排放國，但是住宅部門的直接碳排放相比於其他部門的占比是下降的，且因為住宅部門的能源來源從過去的燃煤逐漸改為天然氣，二氧化碳的排放量也從 1990 年的 40.7 Mt 降為 2010 年的 32.9 Mt (Nejat et al., 2015)。

根據該國最新修正的 2030 溫室氣體路徑圖 (2030 GHG roadmap)，已經提出各部門的具體減量目標以及具體的政策作為。在建築部門方面，將會提高新建建築的節能核可標準、促進綠色裝修 (green renovation)、創建新的循環商業模式 (circular business models) 以及擴大可再生能源的供給 (Climate Action Tracker, 2019)。此舉預計在住商部門減少 27% 的溫室氣體排放，而此減碳量預計將由既有建築、新建建築以及使用者行為等面向著手進行，包括許多強制以及自願性措施，如建築能源標示 (building energy labeling)、綠建築認證計畫 (Green Building Certification program) 以及提供經濟誘因等方式。在建築能源法規 (Building Energy Code, BEC) 方面，南韓政府已經將建築隔熱性能的修正、LED 燈具的裝設以及再生能源設備的引入等增訂至法規中，同時預計在 2025 年前所有的新建建築都將能達到零耗能 (zero-energy) 的目標。在工業部門方面，則將著重在能

源效率以及工業製程的提升，和提高更加環境友善的原物料供給(Nejat et al., 2015)。

2.1.4 加拿大的案例

加拿大擁有全球第二大的化石燃料庫存，非常仰賴天然氣以及石油，導致該國能源市場上主要以這兩種能源為主，而住宅部門之能源使用也一樣以化石燃料為主。住宅部門的能源消耗在過去 10 年間增長了 6%，大約佔了最終能源消耗量的 16%(Nejat et al., 2015)。下圖 2-5 為該國的溫室氣體排放歷史資料，預估 2016 年後若不採取任何措施的溫室氣體排放量預測途徑如圖中最上方之紅線；而採取 PCF (pan-Canadian Framework)後的溫室氣體減量預測（如中間之藍線）；以及加拿大的國家自主決定預期貢獻(INDC)的減量目標(如最下方綠線所示)。

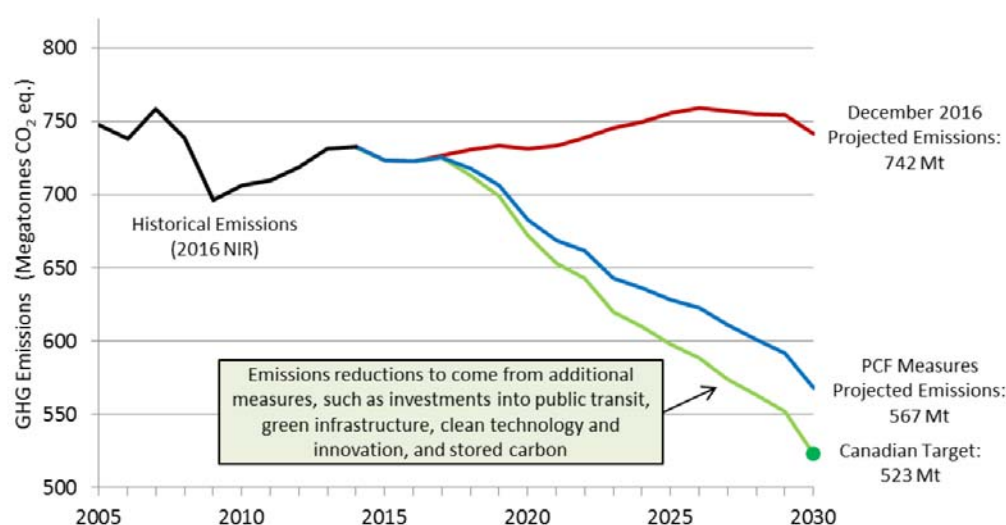


圖 2-5 加拿大的溫室氣體排放歷史資料與推估

(資料來源：(Government of Canada, 2018))

加拿大政府預計在 2020 年以前相較於 2005 年的基準減少 17% 的溫室氣體排放，同時提高 20% 的能源使用效率。採行的具體措施包括更新建築能源法規、提供稅率優惠作為誘因，以及訂定高耗能產品 (energy-intensive products) 的管理法規。此外，一切有關建築能源相關的法規都統一規定於國家建築能源法規 (The Model National Energy Code of Canada for Buildings, MNECB) 中，內容涵蓋了各類型建築，住宅以及商業建築也包括在內。修法後的 MNECB 要求所有新建住宅的能源效率將比既有住宅提升 25%(Nejat et al., 2015)。

在未來溫室氣體排放預估的研究上，加拿大環境與氣候變遷組織 (Environment and Climate Change Canada) 採用由上而下的觀點 (top-down perspective)，使用經公認的「能源與總體經濟學模擬架構」以預估國家碳排放量與經濟活動間的交互關係，同時透過該國的經濟模型 (Economy Model for Canada, E3MC) 作為建立碳排放量基線。E3MC 有兩個部分，其一為 Energy 2020，包含加拿大的能源供給以及能源需求結構，另一個為加拿大的總體經濟學模型。每一

年 ECCC 都會使用最新的歷史資料更新模型。該預測也基於一些最新的能源與經濟數據進行修正，包括能源價格、石油與天然氣的產量、大尺度的能源預測以及經濟成長與人口成長的預測等(Government of Canada, 2018)。

針對住商部門未來溫室氣體排放的預測方面，Swan 採取由下而上的觀點 (bottom-up perspective)，利用名為「加拿大複合式住宅耗能和溫室氣體排放模型 (Canadian Hybrid Residential End-Use Energy and Greenhouse Gas Emissions Model, CHREM)」藉由類神經網絡模型 (Neural Network Model) 預估全國住宅部門的能源消耗量。由於住宅部門的能源消耗量主要來自於冷暖空調、電器與照明 (A&L) 以及熱水器 (DHW)，而影響 A&L 與 DHW 則是使用者行為、每戶電器數量、人口分布情形與入住率/空屋率的函數，故可利用由下而上的統計模型，配合計算冷暖空調的物理模型，以 17,000 種各種型態的建築作為基礎資料，估計全國之能源消耗(Swan, Ugursal, & Beausoleil-Morrison, 2011)。根據 CHREM 的預測，加拿大全國的獨棟住宅 (single-detached) 以及連棟式住宅 (double/row houses) 的 AL 以及 DHW 的總能源消耗分別為 248PJ 以及 201PJ；若換算成每戶的能源消耗量的話則為 27.8(GJ/戶)以及 22.5GJ(GJ/戶)；若以每人為單位的話則為 9.0(GJ/人)與 7.3(GJ/人)。

2.1.5 歐盟的案例

歐洲環境署 (European Environmental Agency, EEA) 在 2019 年公布了一份有關溫室氣體排放量趨勢的報告，根據其初步估計歐盟的溫室氣體排放量在 2018 年的降幅與 1990 年相比下降 23%，提前達到 2020 年的目標 20%，歐盟成員國也在 2014 年的高峰會中同意在 2030 年將溫室氣體排放量減至 40%，2040 年減至 60%，並以 2050 年減至 80%為長期目標 (與 1990 年相比)。

溫室氣體排放量是以 EEA 各成員國的溫室氣體清冊以及按照 Monitoring Mechanism Regulation (MMR) 中的規定所估計的溫室氣體排放量為基礎所計算得。而歐盟根據聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)所統計的溫室氣體清冊也是以此資料為基礎。各國在準備清冊時是依據 2006 年 IPCC 的指導建議，並按照既有的格式將溫室氣體排放量分為六個部分(能源、工業製程及產品使用、農業、土地利用變遷及林業、廢棄物和其他)。在預估溫室氣體排放量的時候，各成員國採用 MMR 中的方法並分為兩種情境：(1)With existing measures (WEM)，此情境包含現存的氣候政策及措施；以及(2)With additional measures (WAM)，此情境考慮各國提出的減緩措施及其所帶來的額外效果。

在 2002 年正值歐盟的新建築能源法規—歐洲建築物能源性能法規 (The European Directive on Energy Performance of Buildings) 上路，並且正式在歐盟成員國的法律體系之中立法。法規除了針對新建建築物有所規定外，也針對大型的既有建築物訂立了相關節能規範。建築部門大約佔了歐洲整體 40% 的能源消耗量，當時的目標是在 2010 年之前，要比 1990 年的基準減少 8%。為了預估這新法令產生的減碳效益，Petersdorf (2006) 等人採用 BEAM (Built Environment

Analysis Model) 模型，將歐洲複雜的建築形態簡化為五種標準建築，搭配八種外殼隔熱標準以及寒帶、溫帶以及溫和帶等三種氣候帶，評估新法令的暖房能源節約效果以及根據歐洲規範 (European Norm) EN 832 得出的減碳效益。該研究發現表明，如果能確實針對所有既有建築物以及非住宅部門立刻實行法規中所有的改造措施，減碳效益可以達每年 82Mt；而若又針對多家庭的住宅(200-1,000m²) 以及小於 1,000m² 的非住宅建築改造，則可以再增加 69(Mt/年)的減碳效益。圖 2-6 顯示了歐洲建築物能源性能法規 (EPBD) 的減碳潛力預估。故可知採用建築的調適策略可以大大地減少歐洲國家的碳排放量。

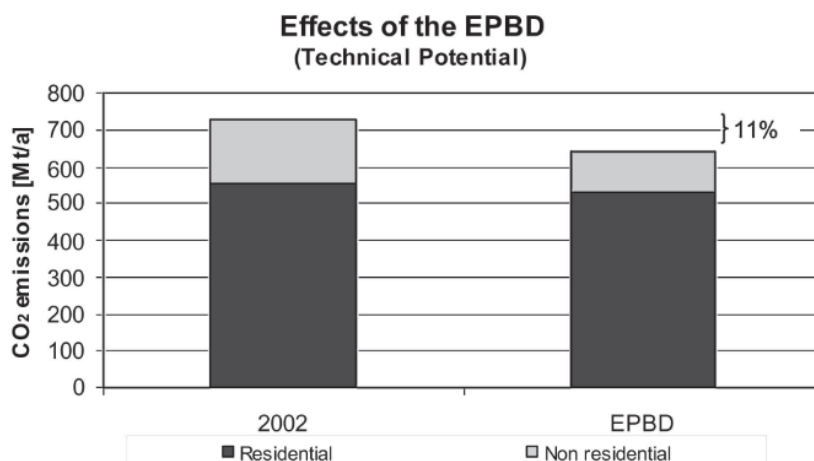


圖 2-6 歐洲建築物能源性能法規 (EPBD) 的減碳潛力預估

(圖片來源：(Petersdorff, Boermans, & Harnisch, 2006))

2.1.6 印度的案例

印度是全世界第四大的原油 (crude oil) 以及天然氣的交易市場，擁有豐富的天然資源，但是仍然有 80% 的原油以及天然氣是從國外進口的。印度在過去的 20 年間快速發展，無論是就僅次於中國經濟發展速度，或者就人口數量的增長，造成各個部門的能源使用量有顯著的提升，其中的住宅部門占了最終能源使用量的 36%，是所有的部門當中占比最高的部門，從西元 2000 年到 2010 年為止，成長率高達 23%，能源消耗量增加了 178.5 百萬油當量。另外在能源使用方面，由於印度的各個城市發展程度不均，並不是所有的國民都能使用電器以及石油產品，故在鄉村地區，能源使用主要以傳統的生物質 (Traditional biomass) 作為燃料來源，包括：柴火、牛糞、以及農產品廢棄物，而在都市地區則主要以電力作為主要消耗能源。圖 2-7 為印度住宅部門使用的能源類別分析，其中以生質能與廢棄物為大宗；圖中右側為印度 2011 年的部門別排碳量占比，住宅部門占比最高，佔了 36%，第二高的則為工業部門。

開發中國家比起已開發國家在推估住宅能源消耗方面更加困難，因為一些社經因素如收入以及家戶住宅面積的差異更加明顯，另外，能源需求來源的轉換 (生物質燃料→電氣化) 也是推估住宅能源消耗的主要考量因素之一。根據預測，在 2050 年前，電力消耗將會成長八成，且大多是由生物質能源轉換而來的。van

Ruijven 等人(van Ruijven et al., 2011)創建了一個住宅部門能源使用模型，從五個終端能源消耗(end-use function)端出發，包含：烹飪、生活熱水(water heating)、暖房(space heating)、照明及電器，並且將都市與鄉村的社經階級差異以及影響電氣化程度的區域發展不均現象等開發中國家特有的現狀納入模型之中，除了考量到一些外部因子，如：人口數量、住宅面積大小、收入以及戶外氣溫之外，也將社會經濟因子劃分為都市與鄉村，並以五分位的收入級距來表示。

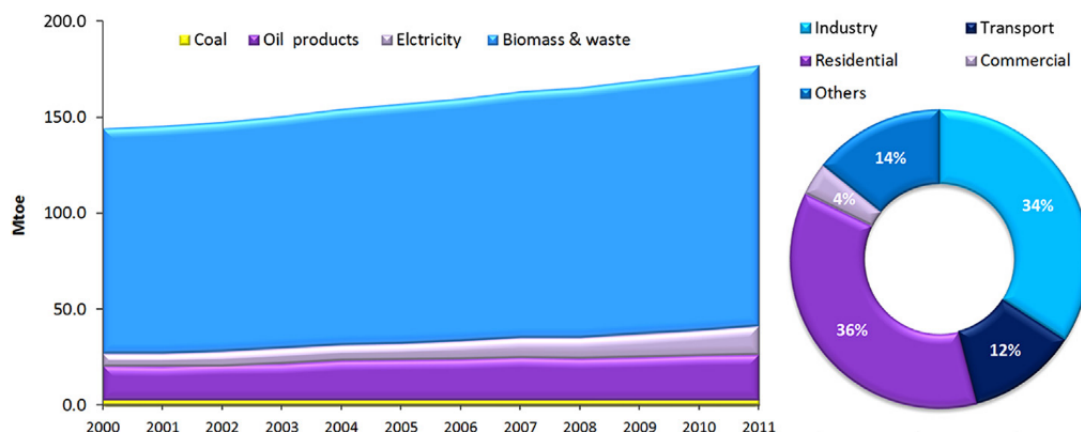


圖 2-7 印度歷年住宅部門使用的能源類別與趨勢

(圖片來源：(Nejat et al., 2015))

目前印度的住宅部門的能源來源主要以傳統的燃料為主，並且以烹飪、燃油燈為消耗大宗，而空調的使用目前在印度仍屬於奢侈品並不普及也非主要的耗能來源。推測至 2050 年時，印度的住宅部門的能源使用量將比 2005 年時成長 65~75% 左右，二氧化碳排放量則將會成長 9~10 倍之多。根據作者的研究，雖然減少貧富差距以及農村的電氣化會有助於促成現代化能源的轉型以及減少貧窮，但由於需要與增加的電力使用，因而造成更高的二氧化碳排放量結果，二者之間將有所權衡。綜合 van Ruijven 的研究可以發現，在推估住宅部門的能源消耗量以及二氧化碳排放量的時候，外部的社會以及經濟因素也會連帶影響到排放量的估算，但因為台灣的經濟發展程度高，不如印度國家內部發展差距嚴重，故將只考量總體的社經因子，不考量都市地區以及鄉村地區的差異。

第二節 國內能源部門未來溫室氣體推估方式文獻回顧

依據《溫室氣體減量及管理法》(簡稱溫管法)第 9 條第 3 項「國家能源、製造、運輸、住商及農業等各部門之中央目的事業主管機關應依前項推動方案，訂定所屬部門溫室氣體排放管制行動方案(以下簡稱行動方案)，其內容包括該部門溫室氣體排放管制目標、期程及具經濟誘因之措施」，可以得知能源部門的中央目的事業主管機關須訂定能源部門的減量行動方案，政府機關部門及排放源均有減量責任，故能源部門之減量責任部分透過總量管制的方式由能源產業承擔。而能源部門以及能源產業的範疇在減碳責任的歸屬以前要優先釐清，根據能源局「我國燃料燃燒二氧化碳排放統計」的計算方式，電業、煉油業、氣體供應業、

汽電共生鍋爐、一貫式煉鋼廠之高爐及轉爐等製程、焚化爐等均屬於為能源產業邊界內（如圖 2-8 所示），但並不表示上述的產業與工廠都歸類為能源產業，因為部分汽電共生廠、一貫式煉鋼廠產出的能源可能無法與廠內的其他溫室氣體排放來源分離；另外，焚化爐的中央目的事業主管機關為環保署，是否為能源產業應另外明確定義。

由溫管法第 3 條第 24 款「核配排放額度（以下簡稱核配額）：指中央主管機關會同中央目的事業主管機關核配排放源於一定期間之直接與間接排放二氧化碳當量的額度」、以及第 20 條第 3 項「中央主管機關於核配予公用事業之核配額，應扣除其提供排放源能源消費所產生之間接排放二氧化碳當量之額度」可知，溫室氣體總量管制的對象除了直接排放以外，亦涵蓋間接排放，而公用事業的溫室氣體排放計算方式又有別於一般產業的排放量，故應釐清發電業是否為公用事業。若將其視為公用事業，並將產電之減量責任分配予使用者，排放的計算方式與《國家綠能低碳總行動方案》之計算方式相似。在能源部門的溫室氣體推估過程中是否將其視為公用事業之所以重要，是由於會影響到其他使用電力部門的碳排計算，而計算結果的差異是非常巨大的，故釐清發電業的範疇是計算溫室氣體排放以及減碳責任前的重要功課。不過由於溫管法在訂立的時候就已經將台電公司適用於公用事業，故發電業的溫室氣體排放歸屬以及減碳責任可以就此定義下來。

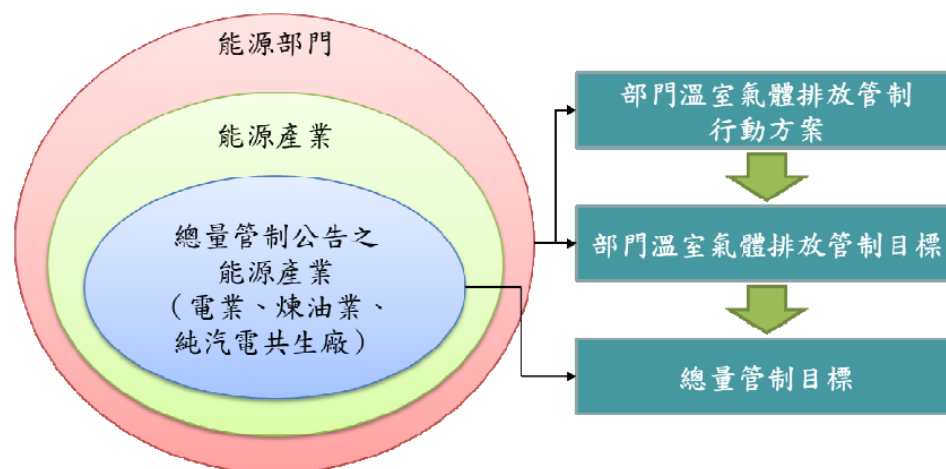


圖 2-8 能源部門與能源產業的邊界示意圖

（圖片來源：(林家弘 & 許淑麗, 2015)）

發電業為公用事業之溫室氣體排放量計算標準流程，以電廠溫室氣體排放清冊為計算標準，屬於固定排放的「鍋爐發電程序」占了總排放量佔比的 99.9% 以上，其次排放量佔比較大的項目為外購電力占比，約佔 0.05%，與鍋爐發電程序的佔比差異極大。

依溫管法第 20 條第 3 項「中央主管機關於核配予公用事業之核配額，應扣除其提供排放源能源消費所產生之間接排放二氧化碳當量之額度」，經鍋爐發電程序產生的電力並非完全供應自消費者端，根據能源局 103 年發布的能源統計年報以及台電公司之公司治理經營實績等資料揭露顯示，我國 103 年總毛發電

量為 260,026.7 百萬度（含台電、民營電廠、汽電共生廠），而全國售電量為 205,956.0 百萬度，兩者之間的差距為 54,070.7 百萬度，主要為廠內用電、自用電及輸配送電時產生的線損，故於計算公用事業排放量時，不可將鍋爐發電程序之發電量直接扣除，應釐清排放量的歸屬，哪些屬於能源部門，哪些屬於消費者端。

民營電廠、汽電共生廠將自身的毛發電量，扣除廠內自用後，以躉售的方式售給台電，而所有的電廠（包含民營電廠、汽電共生廠以及台電）供給的電量總和，扣除路線損失後，共同併網之總電量為台電的銷售電量，故廠內用電、自用電量、線損電量之溫室氣體排放量理應由發電業承擔，不應轉嫁至能源消費端。而目前能源局計算電力排放係數時，所採用之計算公式亦排除廠內用電、自用電量、線損電量之溫室氣體排放量。綜上所述，能源部門的溫室氣體排放量可以由台電公司（事業）、民營電廠（各廠）、汽電共生廠（各廠）的應承擔排放量累計而得，完整的計算方式如圖 2-9 所示。

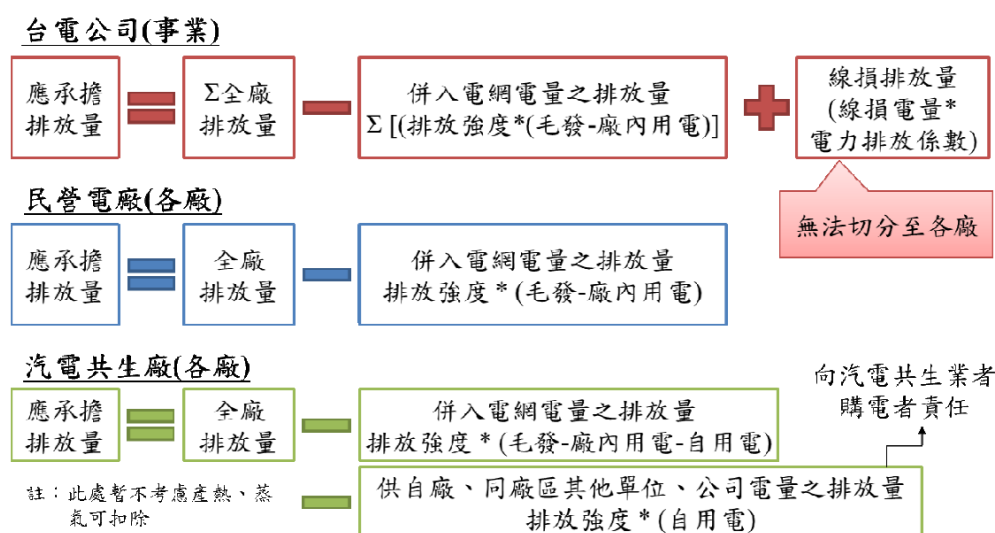


圖 2-9 各電業於溫管法架構下所應承擔減量之溫室氣體排放量

（圖片來源：(林家弘 & 許淑麗, 2015)）

由於影響電力負載的因素相當複雜，包括生活習性、用電行為、氣候變化等影響，且由於國家整體的能源政策導入再生能源，隨之而來的儲能技術的發展以及節能政策的推型等，電力供需規劃日漸複雜。為預測未來臺灣整體的能源供需情況，工研院綠能與環境研究所(郭瑾璋, 周裕豐, 洪明龍, & 劉子衡, 2015)應用 TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) 模型，發揮 TIMES 結合電力負載與供給面燃料別機組發電的季節性、每日及每小時間的特性，用以作為未來國家規劃發電結構以及政府政策擬定節能措施的依據。

在國際上，電力負載以及電源開發的規劃之分析模式主要分為兩種方式，一種為「由上而下 (Top-down)」的方法，利用時間序列以及回歸分析的方式用以預測未來電力負載量，另外一種為「由下而上 (Bottom-up)」的方式，利用最終消費模式以及能源工程模型等工具，以具體的耗電設備為基礎單位，獲得更完

整的用電資料，以預測未來的電力附載。而工研院採用的 TIMES 模型為 Bottom-up 的方式，以能源技術為基礎，透過多項目之間彼此的投入產出關係，考量能源系統發展的可能與限制，在總能源系統成本最小化的目標下，滿足未來的能源服務需求（Energy Service Demand, ESD）。圖 2-10 為工研院 TIMES 模型的能源供需架構圖，從最初的能源開採以及進口開始，經過煉油、發電等能源轉換程序，再經由電網的輸配送等程序給各部門的終端設備，以滿足最終的能源服務需求，每個過程背後皆有完整的資料庫以及模型支持。

圖 2-11 以輸入、輸出的方式呈現 TIMES 模型的電力系統架構。未來的電力供需可以藉由需求端外生的能源服務需求以及模型規劃的電力需求技術配比（如螢光等與省電燈泡）來計算所需的電力需求量，在供應端則以各燃料發電機組特性以及資源供應限制等資料模擬滿足電力需求所需要的電源開發案、供電結構與供電量等。另外，除了能源的技術參數以外，模型中也包括經濟參數、環境參數等資料，用以計算整體能源系統所需的最小成本。TIMES 模型中的電力需求依照能源服務需求分為兩類，一類為需電量不因時段而有所差異，如冰箱等，另一類為因時段不同而有不同的占比的，如空調與照明等。

應用 TIMES 模型推估未來的電力負載主要可以分為下列步驟(郭瑾瑋 et al., 2015)：

1. 依據台灣未來的社經展望（人口、產業發展與經濟成長趨勢）等，利用計量模型與運輸規劃模型推估未來台灣各部門的能源服務需求。
2. 應用 TIMES 模型技術資料庫（包括製程、設備及運具的技術效率、可用率、成本等，及各能源服務需求的時段分類），並且搭配 GAMS 軟體求出滿足各部門需求的能源供給組合，以及未來台灣年平均顛力消費量與時段別電力消費量基線。
3. TIMES 模型的技術資料庫中亦能模擬各部門的節能措施，藉此描述節能情境。
4. 可將能源服務需求轉為時段別電力消費負載量。

TIMES 能源工程模型中的部門主要可以分為三個：工業部門、住服部門以及運輸部門，如圖 2-12 所示，其中的住服部門的能源需求涵蓋包括烹調、熱水、空調、照明、冷凍、其他家電等能源服務需求項目，共計有 80 種技術項目，而在評估方面，則是採用 Eviews 軟體以指數迴歸方式進行評估，其中考量的變數包括人口成長率、人口結構、戶數、住宅樓地板面積、服務業 GDP、服務業主要場域的樓地板面積等，依照設備型態的不同而有不同的迴歸方程式。下面簡單呈現兩個 Eviews 在推估能源需求的過程中採用的迴歸方程式：

$$\text{服務業烹調需求} = -12.37 + 1.08 * \log(\text{住宿餐飲業 GDP})$$

$$\text{住宅烹調需求} = -37.71 + 2.39 * \log(\text{人口數})$$

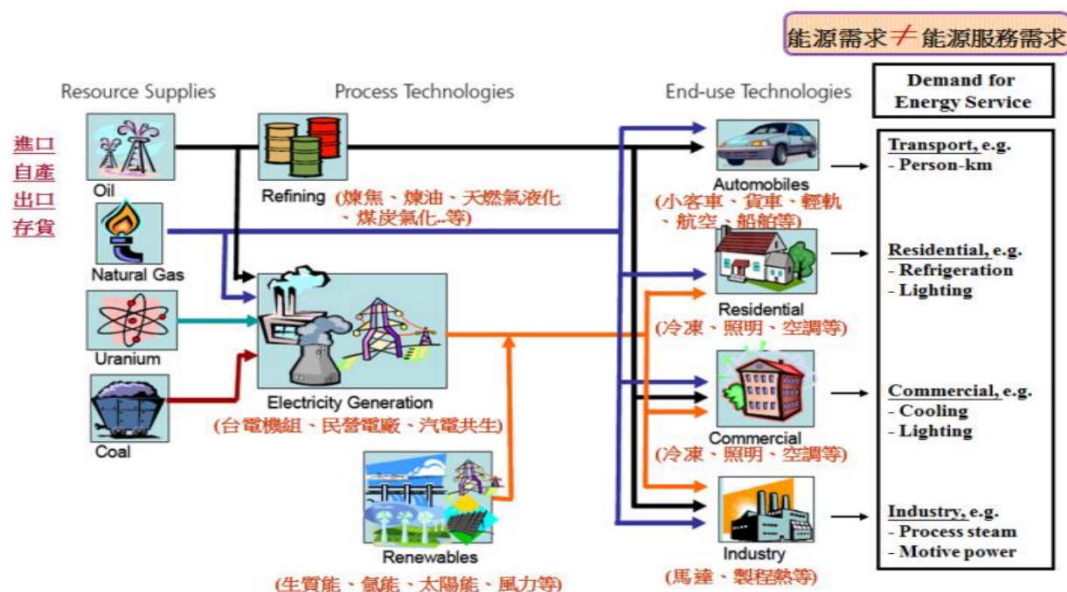


圖 2-10 工研院 TIMES 模型能源系統架構圖

(圖片來源：(郭瑾瑋 et al., 2015))

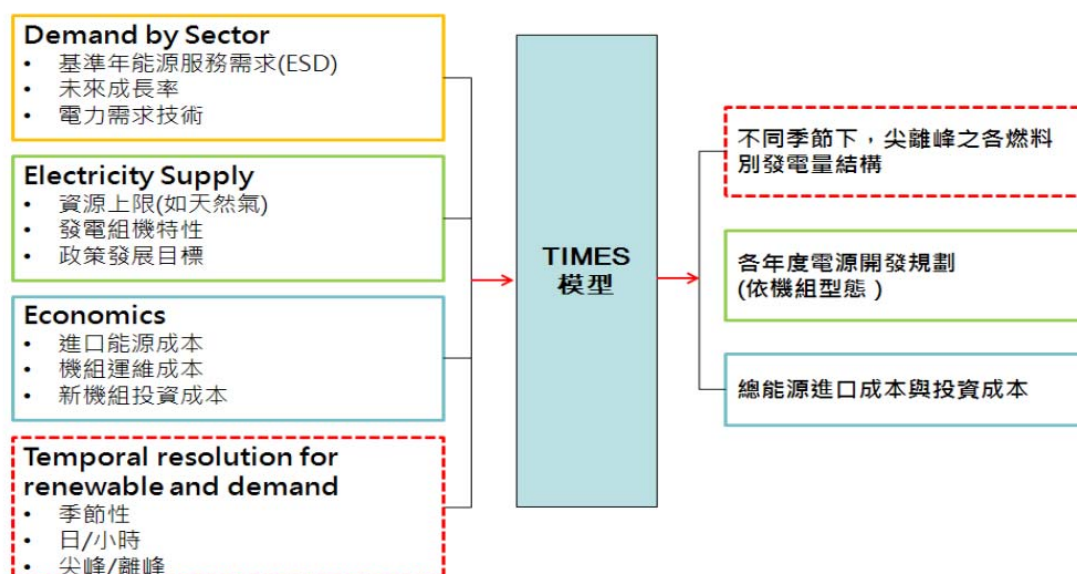
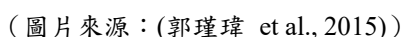


圖 2-11 TIMES 模型電力系統架構

(圖片來源：(郭瑾瑋 et al., 2015))

TIMES 模型中的住服部門與本研究的關聯度較高，故在文獻回顧的部分特別將住服部門的模型拆解，以了解 TIMES 模型中是如何推估未來該部門的能源服務需求。TIMES 模型是透過 Bottom-up 的方式建構出住商部門的能源需求，以這些能源服務需求作為 TIMES 模型的外生變數，並且持續更新台灣最新的社經統計參數，以反映真實的能源耗用現況，如圖 2-13 所示，TIMES 模型中以社經因子（如：人口數、GDP、住宅戶數等）作為初級解釋變數，藉此影響次級解釋變數（如：住宅以及商業的樓地板面積），進而以迴歸分析的方式推估住服部



項目	能源服務需求定義	範疇
1. 空調	冷度需求 (kcal)	商業場所用之窗型、箱型、分離式冷氣機及中央空調 住宅用之窗型、箱型、分離式冷氣機及中央空調
2. 照明	照度需求	服務業場所用之照明 住宅場所用之照明
3. 熱水	熱水的熱能需求 (kcal)	服務業場所用之熱水 住宅場所用之熱水
4. 烹調	烹調用熱 (kcal)	服務業用之燃氣烹調需求 (天然氣及液化石油氣瓦斯爐) 住宅用之燃氣烹調需求 (天然氣及液化石油氣瓦斯爐)
5. 冰箱	冷藏需求 (公升)	住宅用冰箱
6. 其他用電器具	電力需求 (kWh)	影印機、傳真機、電腦等辦公設備電扶梯、升降梯等升降設備排風扇等通風設備
7. 其他燃料設備	能源需求 (kcal)	主要為住服部門中之公共行政業航空燃油及煤油需求

16

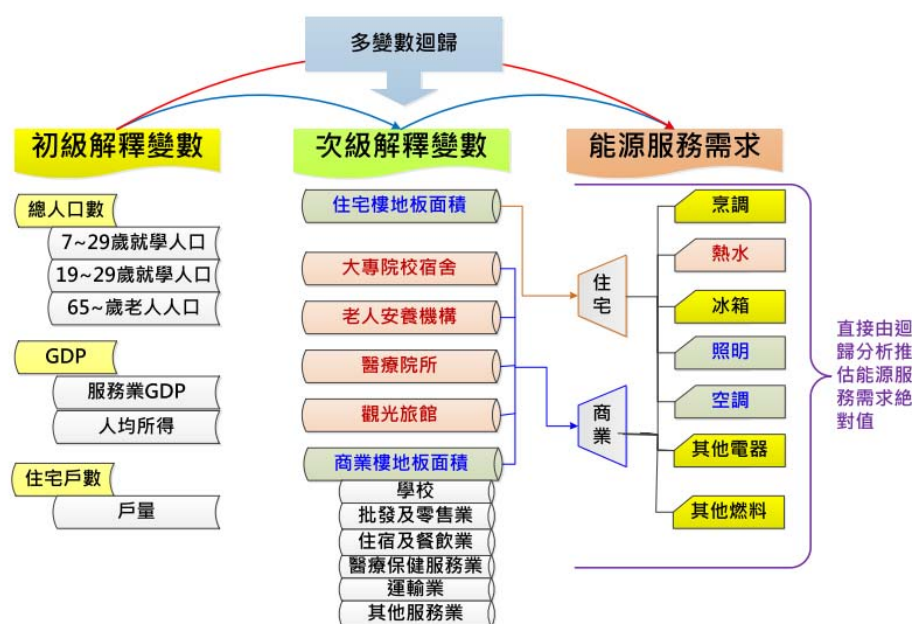


圖 2-13 臺灣 TIMES 模型中住服部門能源推估模型流程示意圖

(圖片來源：(郭瑾瑋 et al., 2017))

在各個住商部門的能源服務需求中，分別有影響其需求的解釋變數，而有些解釋變數會受到社經影響，因此而有次級解釋變數以及初級解釋變數之別。表 2-4 以表格的方式呈現各個能源服務需求中對應到的次級解釋變數以及初級解釋變數的關係。

表 2-4 七種能源服務需求的推估方式中採用的次級解釋變數，以及影響次級解釋變數的初級解釋變數

項目	推估方式	次級解釋變數	初級解釋變數
1. 空調	場域空調能源服務需求=場域樓板面積 x 冷房負荷 x 場域年使用時間 其中，冷房負荷採定值計算=450Kcal/h，場域年使用時間則根據場域使用目的以及季節因素等進行推算，樓地板面積為關鍵的影響因素	樓地板面積	1. 7~29 歲人口數 2. 服務業 GDP 3. 人均所得 4. 戶數
2. 照明	場域照明能源服務需求=樓板面積 x 照度需求 x 年使用時間 其中，照度需求參考國家標準 (CNS12112)，將照度需求界定於 300~760 lx 之間，年使用時間則依照營業時間進行推算	樓地板面積	1. 服務業 GDP 2. 就學人口數 3. 人均所得 4. 戶數

3. 熱水	服務業熱水能源服務需求=f(大專院校住宿人數，老人安養機構住宿人數，醫療院所住院人次，觀光旅館住宿人次) 住宅熱水能源服務需求=f(我國人口中推計)	人次	1. 大專院校就學人口數 2. 65歲以上老年人口數 3. 服務業 GDP 4. 人均所得
4. 烹調	服務業烹調能源服務需求=f(住宿餐飲業 GDP=f(服務業 GDP)) 住宅烹調能源服務需求=f(人口數)	無	1. 服務業 GDP 2. 住宿餐飲業 GDP 3. 人口數
5. 冰箱	冰箱冷藏需求=f(戶數) 以戶為推估基礎主要考量是一戶至少有一台電冰箱，只是這樣的方式較難預測因戶量不同造成的冰箱容量需求差異	無	戶數
6. 其他用電器具	服務業其他插電設備能源需求=f(服務業 GDP) 住宅其他插電設備用電=f(戶數)	無	服務業 GDP 戶數
7. 其他燃料設備	服務業其他燃料設備能源需求=f(服務業 GDP)	無	服務業 GDP

(資料來源：(郭瑾瑋 et al., 2017))

其餘國內溫管法下減碳部門的未來溫室氣體排放量預估之文獻回顧可以參考附錄三，其中包含運輸部門、農業部門、製造部門的文獻回顧，以及在推估未來社經參數時經常使用的可計算一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) 模型簡介，作為本研究的參考依據。

第三章 研究方法

透過前節之文獻蒐集回顧後發現，整體建築溫室氣體之預估方法大致可分為由上而下(Top-down)和由下而上(Bottom-up)，由上而下之分析法由於推估之方式往往為透過全國之能源平衡表透過時間序列分析等方法推估，此方法之缺點為未來不易評估節能減碳策略之效益，誤差往往會較大。因此，本研究以較為精確之由下而上之方法進行推估。然而，由下而上之推估模式需大量仰賴詳細之各項能源消耗量統計以及各種基礎調查資料，例如各類建築類型之樓地板面積、人均使用樓地板面積、能源使用密度、建築或設備運轉時間等變因，而影響了推估之不確定性。本研究因此導入蒙地卡羅方法(Monte-Carlo Method)中之拉丁超立方抽樣 LHS (Latin Hypercube Sampling)方法，以綜合考量上述建築外殼、使用密度與時程、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。

第一節 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。本計畫整體研究流程如圖 3-1 所示。

3.1.1 氣象資料之製備

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、南氣候區進行模擬。在已發生的歷史年份中，模擬上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)。

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。本研究團隊過去曾建立未來氣候之逐時氣象資料(Huang & 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 & 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，由於 RCP4.5 與 RCP6.0 兩種情境的相似性高，因此本研究選定 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 三種氣候變遷情境分別作為低、中、高三種情境。此外，為確保未來氣候資料之可靠度，本研究嘗試建立 AMY 與未來氣象年同期距下之擬合函數作為修正未來之氣候資料，以增進未來氣象年之準確度與當地氣候之代表性。

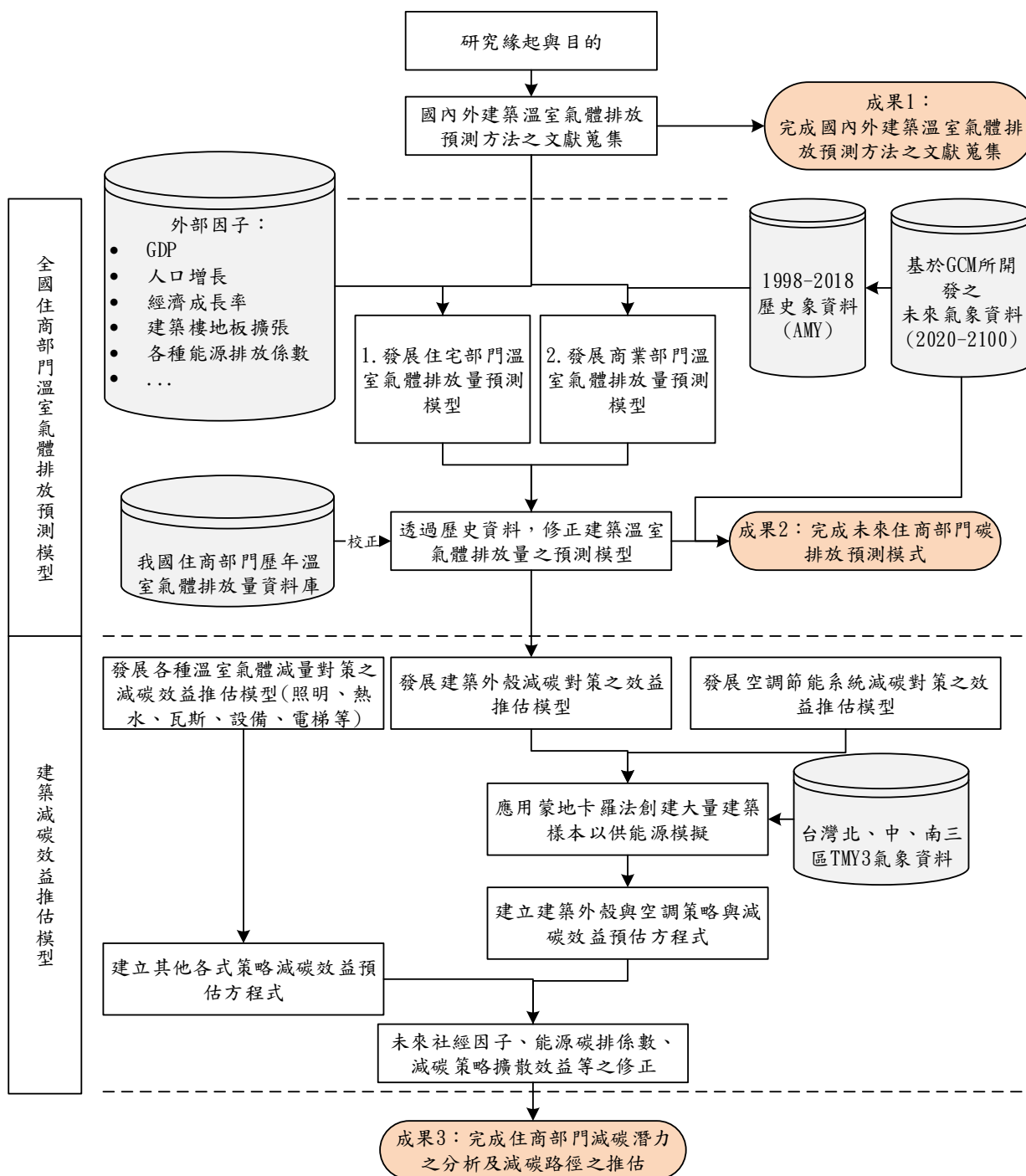


圖 3-1 研究流程圖

(資料來源：本研究整理)

3.1.2 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 3-1)，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，如僅只有單一公告值者，則以僅能援以該數據進行未來逐年之推估，在此合先敘明。

表 3-1 各項能源之排放係數

年	電力碳排放係數 (β_1)	液化石油氣排放係數 (kgCO ₂ e/度) (β_2)	天然氣排放係數 (kgCO ₂ e/度) (β_3)	自來水排放係數 (kgCO ₂ e/度) (β_4)	
				臺北自來水事業處	台灣自來水股份有限公司
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)	0.0633	--
2006	0.562				--
2007	0.558				--
2008	0.555				--
2009	0.543				0.167
2010	0.534				0.169
2011	0.534				0.167
2012	0.529				0.164
2013	0.519				0.156
2014	0.518				0.155
2015	0.525				0.154
2016	0.530				0.152
2017	0.554				0.162
2018	0.533				0.160

(資料來源：(經濟部能源局, 2019a)、(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))

第二節 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 3-4 至圖 3-5 所示。其中，全國戶數、氣候、台灣各地區之戶均人口數、人均 GDP 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。

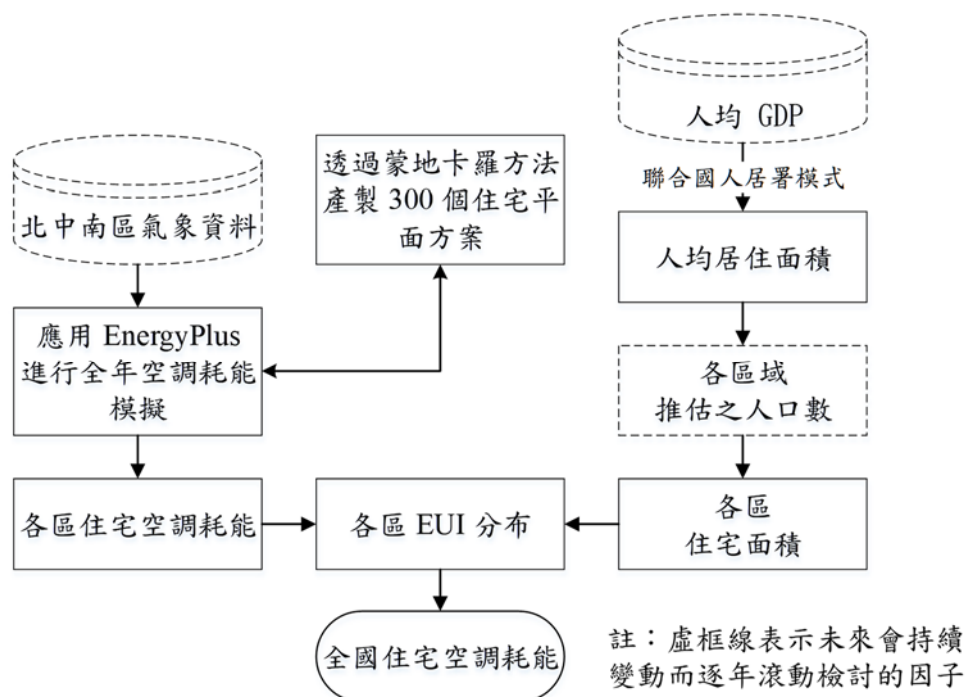


圖 3-2 全國住宅空調耗能推估模型

（資料來源：本研究整理）

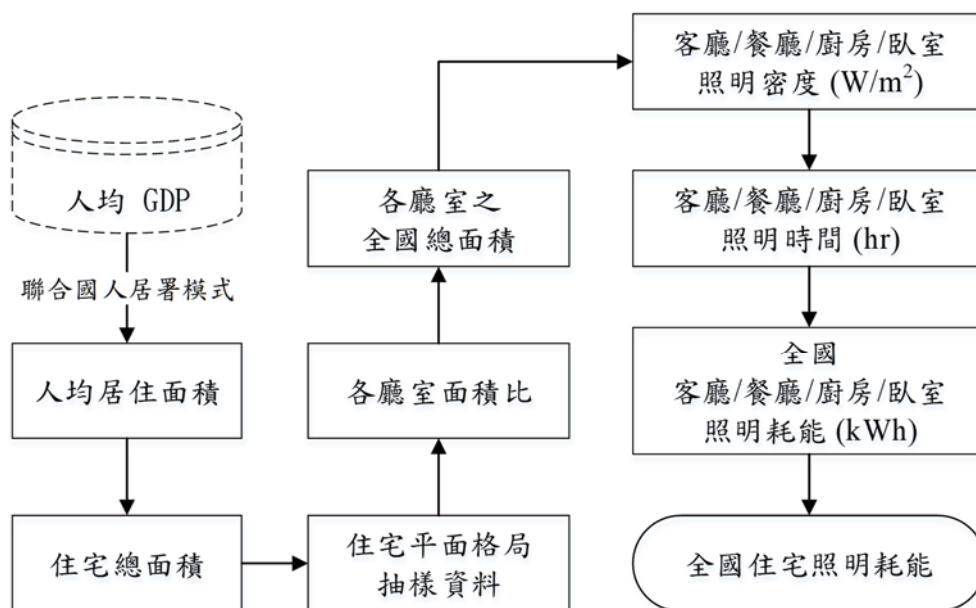


圖 3-3 全國住宅照明耗能推估模型

（資料來源：本研究整理）

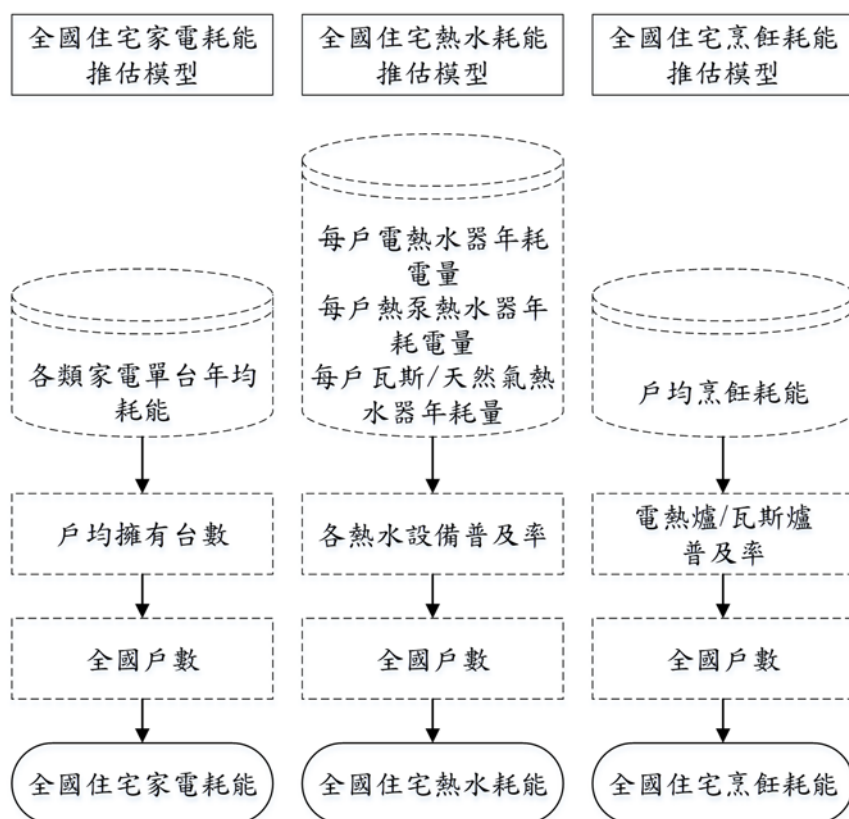


圖 3-4 住宅家電、熱水與烹飪耗能推估模型

(資料來源：本研究繪製)

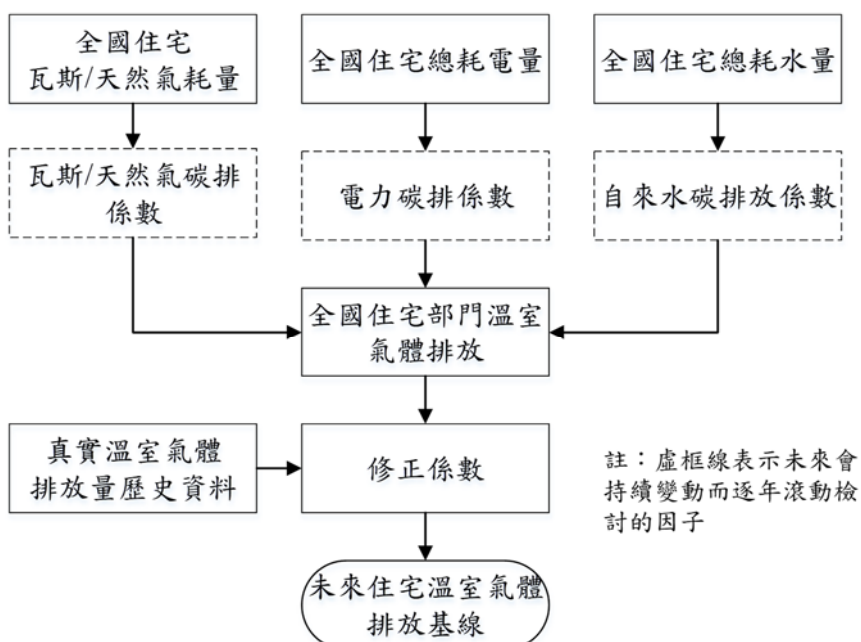


圖 3-5 全國住宅部門二氧化碳排放計算與修正流程圖

(資料來源：本研究繪製)

● 住宅耗能基線之推估

3.2.1 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, & 黃國倉, 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，設計 300 個住宅案例進行市場上可能之案例分布模擬。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 300 個案例，並以國內常見的住宅平面圖作為基準，如圖 3-6，其中 L 代表客餐廳等公共空間，B 代表臥室，相關參數設定如表 3-2 所示：

表 3-2 住宅建築外殼與室內發散熱參數設定

變因	最小值	最大值	備註
每戶樓地板面積分配	92.56		m ²
窗牆比 (WWR)	0.1	0.6	-
玻璃熱傳透率 (U 值)	1.5	6.0	W/m ² -K
玻璃日射透過率 (SHGC)	0.20	0.85	-
外遮陽深度比	0	2.0	格子遮陽
外牆熱傳透率 (U 值)	0.5	3.5	W/m ² -K
建築方位	八方位等機率模擬		
每戶人員數	4		人
客餐廳燈光密度	12.0		W/m ²
客餐廳設備密度	10.8		W/m ²
臥室燈光密度	9.6		W/m ²
臥室設備密度	4.8		W/m ²

(資料來源：(羅時麒 et al., 2017))



圖 3-6 住宅平面配置圖

(資料來源：(羅時麒 et al., 2017))

(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，如式 3-1 所示，而 80% 的舒適範圍上界為 $T_{oc}+3.5^{\circ}\text{C}$ 。

$$T_{oc} = 0.31 \times T_{om} + 17.8 \quad \text{式 3-1}$$

(四) 住宅空調耗能計算

住宅空調耗能採用 EnergyPlus 模擬，將 300 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 300 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 $E_{res,HVAC,yr} = \sum_{region} (EUI_{res,region,HVAC,yr} \times A_{res,region,yr})$ 式 3-2

$$E_{res,HVAC,yr} = \sum_{region} (EUI_{res,region,HVAC,yr} \times A_{res,region,yr}) \quad \text{式 3-2}$$

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 3-3，再根據各縣市歷年人口估算該縣市的住宅面積，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之間，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 99 年的調查結果作為每年的人均居住面積值，各縣市住宅面積計算公式如各區域住宅面積_{yr}(分北、中、南區，m²)=各區域人均居住面積_{yr}(m²/人)×各區域人口 P_{zone, yr}(人) 式 3-3。

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

式 3-3

表 3-3 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))

住宅面積影響空調耗能，因此在推估未來空調耗能時也須考慮住宅面積的變化，由於無法精確掌握未來全國住宅樓地板面積之變化，因此在未來住宅面積推估上擬採用聯合國人居署全球城市指標數據庫和歐洲統計局城市審計歐洲統計數據庫所統計的模式推估住宅面積成長率，此模式描述了全球人均居住面積與人均 GDP 之間的關係，如圖 3-7。式 3-4 為人均 GDP 與人均居住面積的關係式，可由表 3-4 中的未來人均 GDP 代入式 3-4 得到未來的人均居住面積，搭配表 3-5 進一步推求未來逐年的住宅面積及成長率(ζ)，再利用成長率與各區域住宅面積 y_r (分北、中、南區, m^2)=各區域人均居住面積 $y_r(m^2/\text{人}) \times$ 各區域人口 $P_{\text{zone}, yr}$ (人) 式 3-3 求得的住宅面積推估未來全國各縣市的住宅面積 FA。

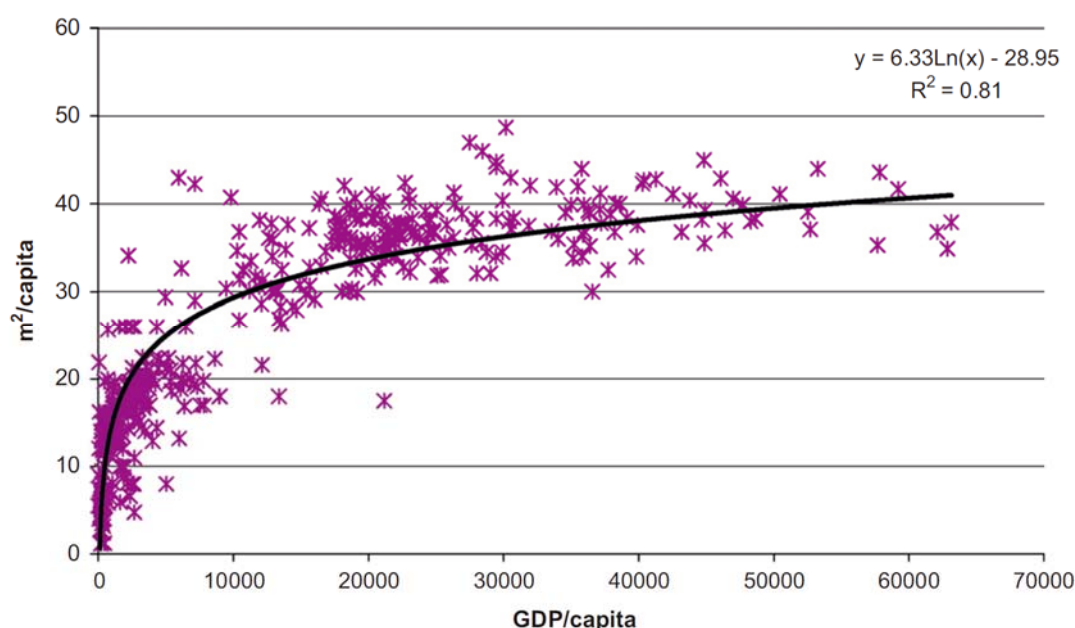


圖 3-7 人均居住面積與人均 GDP 之關係

(資料來源：(Isaac & Van Vuuren, 2009))

$$y_{yr} = 6.33 \ln(x_{yr}) - 28.95 \quad \text{式 3-4}$$

$$\text{未來各區域住宅面積}(FA_{yr, \text{zone}}) = FA_{yr-1, \text{zone}} \times \zeta_{yr, \text{zone}} \quad \text{式 3-5}$$

$$\zeta_{yr, \text{zone}} = (y_{yr} \times P_{yr, \text{zone}} / y_{yr-1} \times P_{yr-1, \text{zone}}) \quad \text{式 3-6}$$

其中 y 代表人均居住面積； x 代表人均 GDP (參考表 3-4 中華民國統計資訊網中我國未來 GDP 成長推估)；下標 yr 為未來某一年份； ζ 代表住宅樓地板面積之成長率。

而在使用聯合國人居署的模式之前，為了確保世界的趨勢與國內的趨勢相近，因次將民國 79 年、89 年與 99 年的全國人均居住面積(行政院主計總處, 2010)和人均 GDP (中華民國統計資訊網) 的真實資料與聯合國人居署的模式做比較，比較結果顯示，除了民國 79 年的人均居住面積低於全球趨勢外，民國 89 年與 99 年的人均居住面積皆與世界趨勢相近，如圖 3-8，而由於本研究的推估起始點

為民國 89 年（西元 2000 年），因此民國 79 年的資料將會被捨棄，並採用符合國內近況的聯合國人居署模式推估未來每一年的住宅面積及成長率。

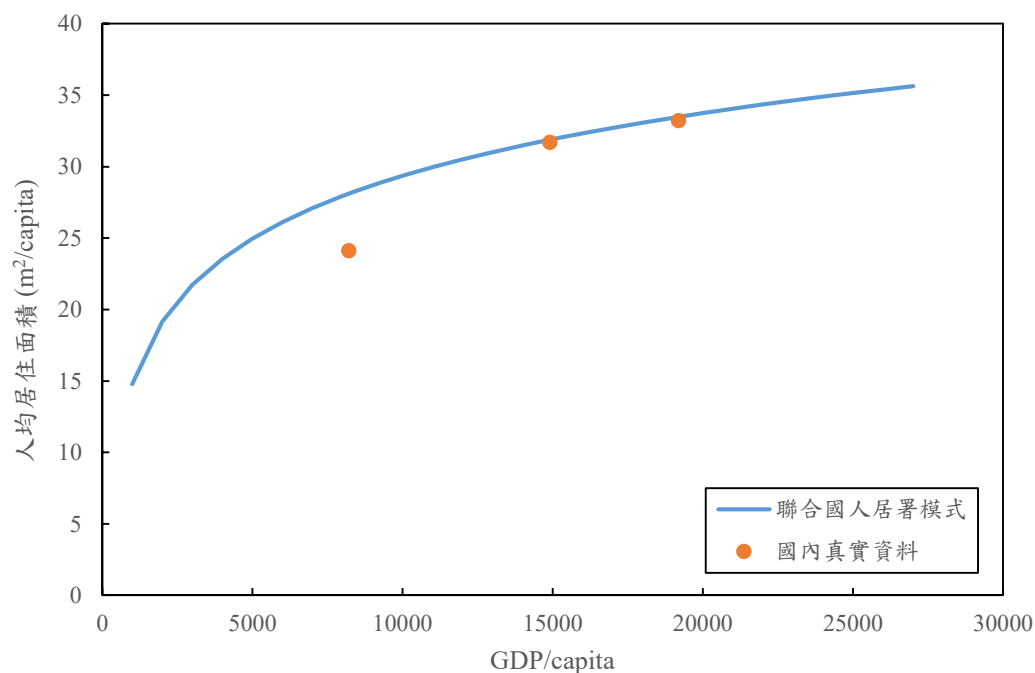


圖 3-8 全球與國內人均居住面積之比較

（資料來源：(Isaac & Van Vuuren, 2009; 中華民國統計資訊網; 行政院主計總處, 2010)）

表 3-4 我國未來 GDP 成長推估

年	(1) GDP 成長率 (%)	(2) GDP (百萬美元) $(2)_{yr} = (2)_{yr-1} \times [1 + (1)]$	(3) 人均 GDP (美元/人)* $(3) = (2) / \text{總人口}$
2018	2.00	608186	25783
2019	3.03	611255	25898
2020	2.40	625925	26511
2021	2.50	641573	27169
2022	2.60	658254	27876
2023	2.60	675369	28606
2024	2.70	693604	29391
2025	2.70	712331	30203
2026	2.60	730852	31013
2027	2.50	749123	31821
2028	2.50	767851	32659
2029	2.50	787047	33531
2030	2.50	806723	34437
2031	2.40	826085	35348
2032	2.40	845911	36294
2033	2.30	865367	37246
2034	2.30	885270	38237
2035	2.30	905631	39275

*人均 GDP 以未來人口中推估計算

（資料來源：(中華民國統計資訊網; 陳政弘, 2018)、）

表 3-5 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
2020	23,620	23,610	23,599
2021	23,638	23,614	23,594
2022	23,660	23,614	23,580
2023	23,680	23,609	23,559
2024	23,695	23,599	23,530
2025	23,706	23,585	23,493
2026	23,713	23,566	23,449
2027	23,715	23,542	23,398
2028	23,711	23,511	23,338
2029	23,700	23,472	23,270
2030	23,682	23,426	23,193
2031	23,656	23,370	23,107
2032	23,621	23,307	23,012
2033	23,577	23,234	22,907
2034	23,525	23,152	22,793
2035	23,463	23,059	22,669

（資料來源：（國家發展委員會, 2018））

3.2.2 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 3-7。

$$E_{\text{res,light}} = \sum_i (A_{\text{res},i} \times I_{\text{res,light},i} \times t_{\text{res,light},i} \times 365) \quad \text{式 3-7}$$

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 3-6。

表 3-6 各空間照明密度及時間

空間	住宅照明密度 $I_{\text{res,light},i}$ (W/m^2)	平均每日照明使用時間 $t_{\text{res,light},i}$ (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 $A_{\text{res},i}$ 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 3-7，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 3-8，利用 式 3-8 即可概略求得各廳室之全國總面積。

$$A_{res,i} = A_{res} \times \sum_j (R_{Aj} \times R_{Ai,j}) \quad \text{式 3-8}$$

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 3-7 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 3-8 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。

3.2.3 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 3-9：

$$E_{res,app,yr} = \sum_k (\text{家電}_k \text{ 全年耗能} \times \text{戶均擁有家電}_k \text{ 台數} \times \text{戶數}_{yr}) \quad \text{式 3-9}$$

其中， $E_{res,app}$ 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 3-9，戶均擁有台數參考下表 3-10。

表 3-9 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 & 林志勳, 2017))

表 3-10 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式 3-10：

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

式 3-10

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

住宅用戶之未來戶數推估步驟參考台電調查報告(梁世武, 2019)之方法，推估 2019-2033 年住宅用戶戶數，迴歸式如下 式 3-11：

$$H_{yr} = 0.3135 p_{yr} + 1.9827 H_{yr-1} - 0.9859 H_{yr-2} + \varepsilon_{yr}$$

式 3-11

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 3-11 未來戶數及低度用戶推估

年	戶數	低度用戶比例(%)	調整後戶數
2019	8,813,092	10.3	7,905,520
2020	8,884,632	10.3	7,973,282
2021	8,949,077	10.2	8,031,876
2022	9,006,408	10.2	8,085,147
2023	9,056,424	10.2	8,129,885
2024	9,098,835	10.3	8,165,942
2025	9,133,763	10.2	8,198,114
2026	9,161,104	10.2	8,222,906
2027	9,180,686	10.2	8,240,629
2028	9,192,002	10.2	8,250,593
2029	9,194,776	10.2	8,252,882

2030	9,188,963	10.2	8,247,832
2031	9,174,475	10.2	8,234,862
2032	9,151,316	10.2	8,214,066
2033	9,119,513	10.2	8,185,480
2034*	9,074,971	10.2	8,149,324
2035*	9,014,041	10.2	8,094,609

*原文獻僅推估到 2033 年，此處假設低度用戶比例與前一年相同，並按照推估公式補推 2034 至 2035 年。

(資料來源：(梁世武, 2019))

3.2.4 住宅熱水耗能推估

住宅熱水耗能主要來自沐浴熱水之耗能，其計算假定每人每次沐浴使用水量訂為 40 L，水溫設定為 39°C，熱水出水溫度為 55°C (李孟杰, 2006)，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(林憲德, 2018)與其住宅用戶之普及率(梁世武, 2019)整理成下表 3-12。因此，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，分由下式 3-12 與式 3-13 計算而得。

表 3-12 各類熱水器耗能與普及率

熱水器種類	每戶耗能量	碳排係數	住宅用戶普及率
電熱水器	1378.6 kWh/yr	依能源局最新公告	24.3 %
熱泵熱水器	459.5 kWh/yr	依能源局最新公告	4.3 %
瓦斯熱水器	149.9 m ³ /yr	2.09 kgCO ₂ e/m ³	53.3 %

(資料來源：(林憲德, 2018)、(梁世武, 2019))

$$E_{res,DHW,elec,yr} = \sum_w (\text{熱水器}_w \text{ 戶均熱水年耗能} \times \text{戶數}_{yr} \times \text{熱水器}_w \text{ 普及率}) \quad \text{式 3-12}$$

$$E_{res,DHW,gas,yr} = \text{戶均熱水年耗瓦斯量} \times \text{戶數}_{yr} \times \text{瓦斯熱水器普及率} \quad \text{式 3-13}$$

其中，下標 w 為熱水器種類，未來的戶數估計，與上一步驟 H_{yr} 推估模型相同。

而針對熱水耗能之未來耗能基線(BAU_{DHW})推估方面，根據過去之研究，其採取實際案例監控的方式，針對各住戶的用熱水量、耗電量、進水量、用熱水溫以及室外溫度進行分析，結果發現每日用熱水行為與氣候的相關性不大(鄭凱文, 2004)，且使用熱水行為並不會影響耗電量，因此本研究在住宅熱水耗能的部分在不考慮氣候變遷之影響與假設各式熱水器的普及率不變下，未來的熱水耗能僅與全國戶數變化有關。至於全國戶數之推估則參考表 3-11。

3.2.5 住宅使用水量之推估

住宅耗水推估參考建築產業碳足跡(林憲德, 2018)，將每人年用水量定為 98.6 m³/人，藉此推得全國住宅之用水量如下式 3-14。而全國住宅用水之溫室氣體排放量，則再乘上依自來水公司每年公告之處理自來水之溫室氣體排放係數而得。

$$\text{住宅部門用水量 } E_{\text{res,water,yr}} (\text{m}^3/\text{年}) = 98.6 (\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}) \times \text{人口數 (人)} \quad \text{式 3-14}$$

3.2.6 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 (m^3)，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 3-13 所示。

表 3-13 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 ($\text{m}^3/\text{戶}$)
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：

$$E_{\text{res,cook,elec,yr}} = \text{食物處理耗電量} \times \text{電熱爐普及率} \times \text{戶數}_{\text{yr}} \quad \text{式 3-15}$$

$$E_{\text{res,cook,gas,yr}} = \text{食物處理耗瓦斯量} \times (1 - \text{電熱爐普及率}) \times \text{戶數}_{\text{yr}} \quad \text{式 3-16}$$

其中，各項耗能參考表 3-13，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。

3.2.7 住宅總耗能推估

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、住宅年耗瓦斯量及住宅年耗水量，如式 3-17、式 3-18、式 3-20 與式 3-21，將耗電量、瓦斯耗量及耗水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＝

$$E_{\text{res,elec,yr}}(\text{kW/yr}) = E_{\text{res,HVAC,yr}} + E_{\text{res,light,yr}} + E_{\text{res,app,yr}} + E_{\text{res,DHW,e,yr}} + E_{\text{res,cook,e,yr}} \quad \text{式 3-17}$$

$$\text{住宅部門耗瓦斯量 } E_{\text{res,gas,yr}}(\text{m}^3/\text{年}) = E_{\text{res,DHW,gas,yr}} + E_{\text{res,cook,gas,yr}} \quad \text{式 3-18}$$

在住宅耗水方面，由於台北市以及新北市部分行政區是由臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）供給水源，其餘縣市皆為台灣自來水股份有限公司（以下

簡稱台水公司)提供,根據最新資料,北水處的排放係數為 0.0633 kgCO₂e/度(臺北自來水事業處),台水公司的自來水排放係數為 0.160 kgCO₂e/度(台灣自來水全球資訊網),因此在計算溫室氣體排放時需分開代入計算。由於北水處在新北市提供約 38% 的人口用水,因此本研究將全臺北市及新北市人口的 38% 計入北水處用水,其餘縣市人口用水則計入台水公司用水,如式 3-20、式 3-21。

北水處耗水量(m³/年)=98.6(m³/人.年)×(台北市人口數+新北市 38%人口)式 3-20

台水公司耗水量(m³/年)=98.6(m³/人.年)×(新北市 62%人口+其餘縣市人口)式 3-21

住宅部門第 yr 年總溫室氣體排放量推估值 GHG'_{res,total,yr} (kgCO₂e/yr)=

住宅部門耗電量 E_{res,elec,yr}×電力碳排係數(β_{1,yr})+住宅部門瓦斯耗量 E_{res,gas,yr}×桶裝瓦斯占比×桶裝瓦斯碳排係數(β_{2,yr})+住宅部門瓦斯耗量 E_{res,gas,yr}×天然氣占比×天然氣碳排係數(β_{3,yr})+住宅部門用水量 E_{res,water,yr}×自來水碳排係數(β_{4,yr}) 式 3-22

其中 GHG' 代表溫室氣體,β₁ 為電力碳排係數,引自經濟部能源局(經濟部能源局, 2019a),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 β₂,此處以 1.7529 (kgCO₂/m³) 代入,天然氣碳排係數 β₃ 以 1.8790 (kgCO₂/m³) 代入(行政院環境保護署, 2019),自來水排放係數(β₄)則引自自來水公司網站,區分北水與台水分別有各自之碳排係數(台灣自來水全球資訊網;臺北自來水事業處),再依此節之計算方法區分為北水處與台水公司之碳排係數計算;下標 yr 為未來某一年份,「GHG'」表示只經由本研究的模式推估,尚未考量修正係數的結果。

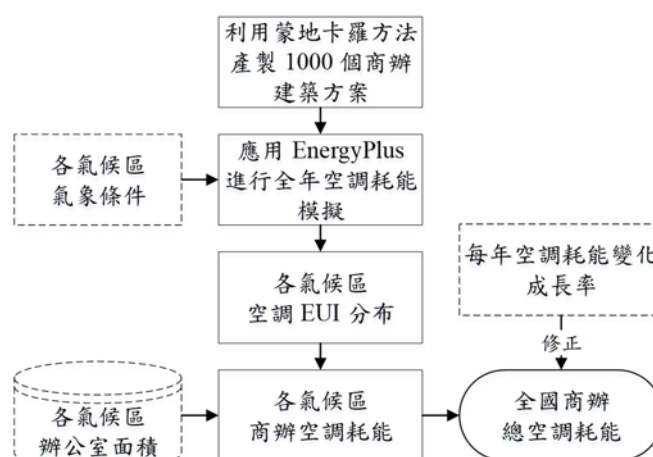
第三節 商辦建築溫室氣體推估理論

本節探討商辦大樓之耗能推估方法,以商辦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辦大樓溫室氣體之排放量。商辦大樓之溫室氣體推估擬先由商辦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碳排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, 2018b)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。

3.3.1 商辦空調耗能之推估

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辦大樓之空調耗能量。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辦建築之各種樣態。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 全國商辦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辦大樓建築樣態。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 3-14 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。因此，在商辦建築之耗能模擬上，將進行 264,000 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。

表 3-14 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	RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5
GCM 模式	歷史年分 (2000 年至 2019 年)	20	以 RCP4.5 模擬
	未來年分 (2020 年至 2035 年)	16	區分為以 RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 三種情境模擬
真實氣候年分		20	採台北、台中、高雄三城市之歷史

(2000 年至 2019 年)		氣象資料
建築案例(個)	1,000	以蒙地卡羅法之 LHS 生成
總模擬次數(個)	264,000	$=[(20*3*1)+(16*3*3)+20*3*1]*1000$

(資料來源：本研究整理)

1. 建築模型外殼熱性能之模擬設定

本節所模擬之商辦大樓單層樓高為 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，則耗能表現愈易受到外界氣象影響。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佔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。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 3-15。

表 3-15 商辦建築外殼參數設定

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	均佈
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)	2.0	6.0	均布
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)

2. 室內發散熱之模擬設定

商辦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辦大樓採用 LED 燈具，其照明密度較低的緣故，因此假定照明密度為偏斜常態分布(Azzalini, 1985)，偏斜常態是常態分布之一種變形，具有一些常態分布之性質，本研究假定照明密度之分佈為左偏分布，如圖 3-10，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 3-16 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 3-11。

表 3-16 商辦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	13	以平均數為 8，標準差為 2.3 之常態分佈(圖 3-10)
事務設備密度 (W/m ²)	5	10	均布

(資料來源：本研究整理)

圖 3-10 商辦大樓照明密度分布參考圖

(參考資料：本研究繪製)

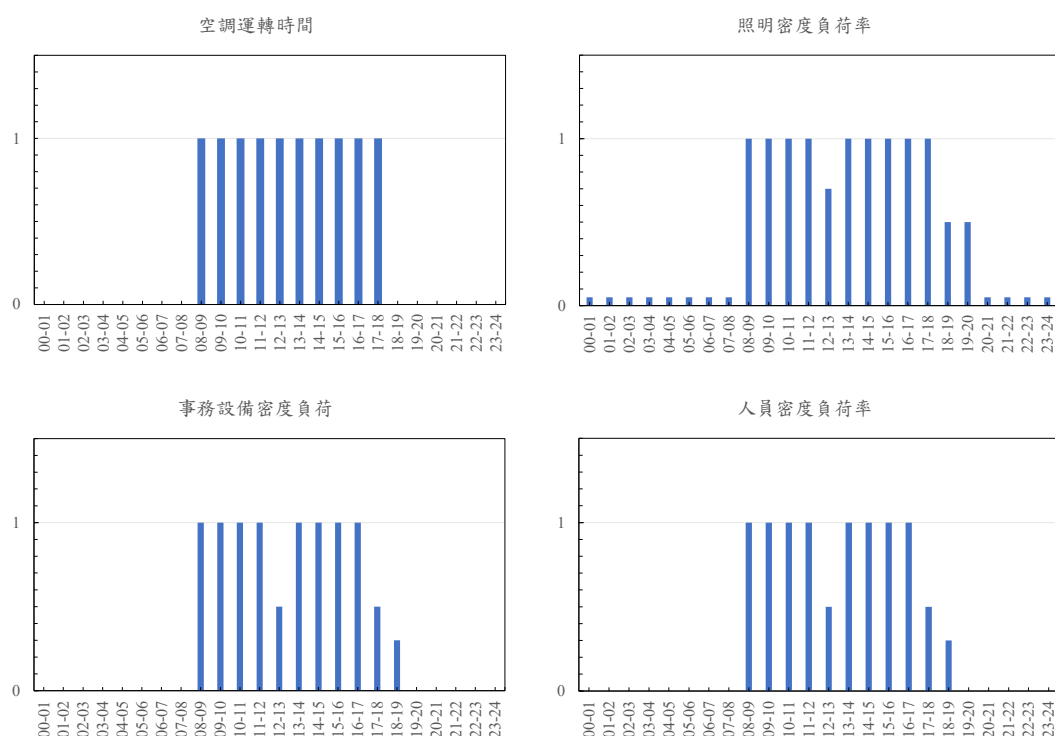


圖 3-11 各設備之負荷率及運轉時程

(參考資料：本研究繪製)

3. 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 & 賴柏亨, 2010)，既有商辦

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。圖 3-12 為 EnergyPlus 利用 1000 個案例及台北 TMY3 的氣象資料模擬數次後反覆修正得到的結果，由圖中可知當總樓地板面積愈大時，空調的噸數也會隨之增加，根據迴歸分析的結果，空調總噸數可透過案例之總樓地板面積依下式 3-22 推求估計，以選用合理之 COP 範圍。

$$\text{空調總噸數} = 0.0209 \times \text{TFA} + 46.031 \quad \text{式 3-22}$$

根據式 3-23，當空調總噸數<150 USRT 時，總樓地板面積 $\text{TFA} < 4975$ ；而當空調總噸數>300 時，總樓地板面積 $\text{TFA} > 12152$ ，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 3-17 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，一個空間中有多少體積之氣體被外氣置換亦影響空調負荷量之多寡，此於進出空間時開關門及門窗的間隙因素都是影響此參數的變因，此參數的大小端看空間的規劃及使用習慣，因此外氣換氣量同樣採蒙地卡羅隨機模擬的方式處理，以描述不同建築間相異的外氣換氣量，詳細之範圍如表 3-17。

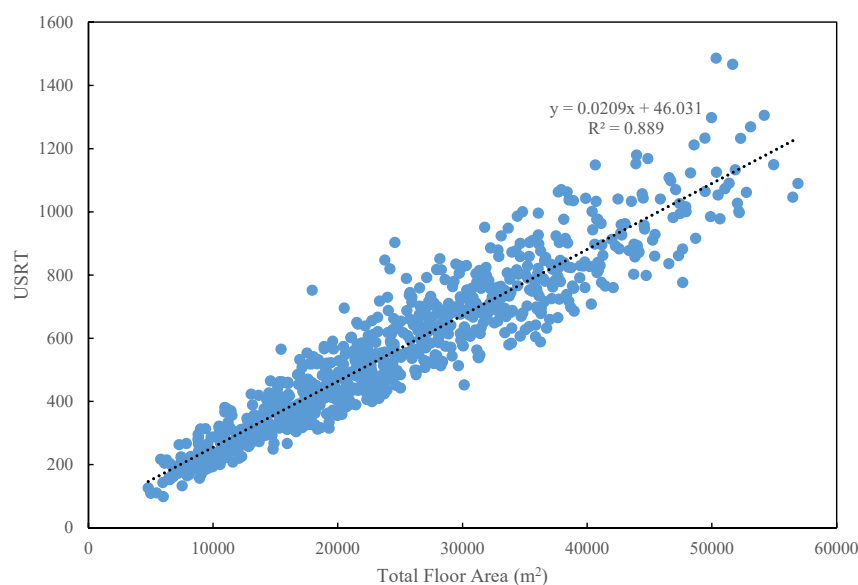


圖 3-12 總樓地板面積(TFA)與空調總噸數之關係

(資料來源：本研究繪製)

表 3-17 商辦大樓空調系統設定

空調系統		COP 最小值	COP 最大值	備註
CAV + VWV	USRT < 150	4.00	5.50	市占約 86.8%
	150 < USRT < 300	4.55	6.05	
	USRT > 300	5.10	6.60	
氣冷式 VRF		2.95	3.85	市占約 13.2 %
空調溫度設定		最低溫：22°C	最高溫：26°C	均勻分布
外氣換氣量(ACH)		最小值：0.1	最大值：0.5	均勻分布

(資料來源：本研究整理)

待所有參數設定完畢及透過 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，此 1000 個案例所呈現的當年 EUI 分布情形，如圖 3-13 所示是以 2019 年為例所呈現這 1000 個樣本之全年空調耗能量分佈，在有效面積內將每一塊樓地板面積依照此分布賦予其一 EUI 值，最後再將所有的 EUI 耗能總加即可推得商辦大樓空調耗能，如下式 3-23：

$$E_{com,HVAC,yr} = \sum_{region} (EUI_{com,region,HVAC,yr} \times A_{com,region,yr} \times \delta) \quad \text{式 3-23}$$

其中，下標 u 為每單位樓地板面積，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 3-15）；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。

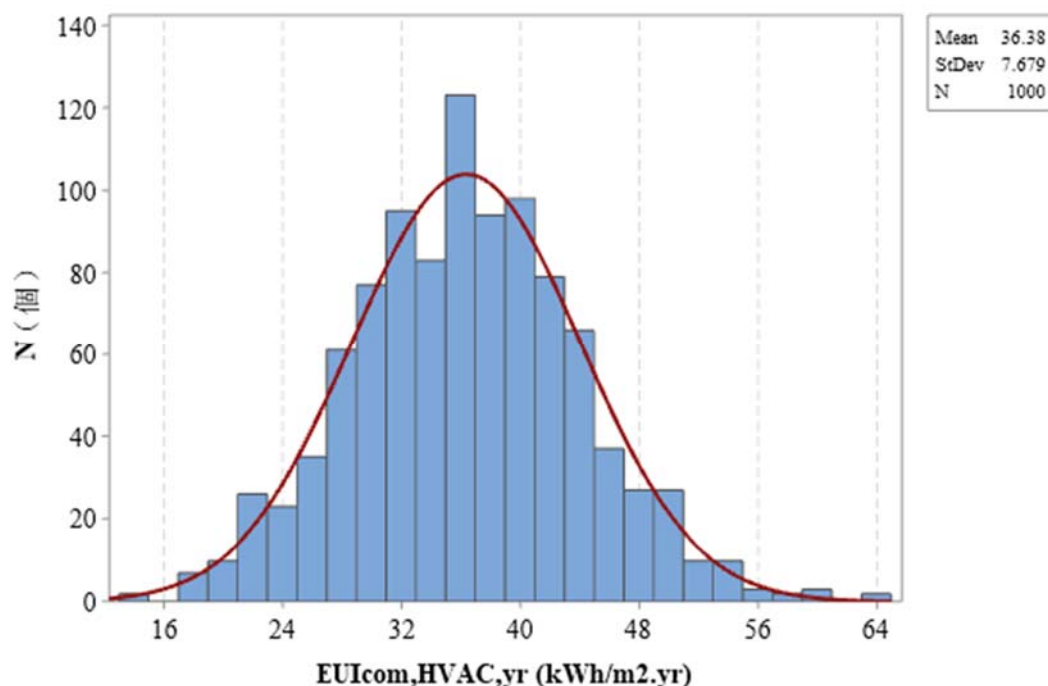


圖 3-13 商辦空調 EUI 分布示意圖(以 2020 年為例)

(資料來源：本研究繪製)

為確保一致性，商辦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，但由於 GCM 產製的氣象年未必與國內真實氣象吻合，因此需同時以真實氣象年模擬這 1000 個案例，之後再將兩者所模擬的結果比較修正，本研究以 2000 年至 2019 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 2000-2019 年間之變化量。發現台北、台中、高雄的 GCM 模擬結果平均比真實年低了 1.03 倍，因此需再將以 GCM 產製之未來氣象資料的模擬結果乘上 1.03 才能更近似於真實的模擬結果，以排除 GCM 推估與真實發生年份間之預測偏差之現象。

● 商辦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，並無全國商辦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辦樓地板之總面積，因此本研究利用住宅與商辦大樓之面積比值推求全國既存商辦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辦新建樓地板面積如下表 3-18。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辦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辦數量不一之情況。經比較兩者間的比例關係，可發現長期以來北部、中部與南部商辦面積平均約是各區住宅面積的 15.8%、9.9%與 8.2%，本研究乃援用此比例進以推求全國三個氣候區的商辦總樓地板面積。

表 3-18 商辦及住宅歷年核發建築物使用執照面積

民國	當年商辦新建面積(m ²)	累積商辦面積(m ²)	當年住宅新建面積(m ²)	累積住宅面積(m ²)	商辦面積佔住宅面積之比例
71	1,652,519	1,652,519	13,435,474	13,435,474	12.3%
72	1,669,206	3,321,725	13,354,217	26,789,691	12.4%
73	2,086,211	5,407,936	14,118,905	40,908,596	13.2%
74	2,068,138	7,476,074	13,994,242	54,902,838	13.6%
75	2,144,045	9,620,119	13,290,689	68,193,527	14.1%
76	1,679,917	11,300,036	12,361,737	80,555,264	14.0%
77	1,611,075	12,911,111	14,465,778	95,021,042	13.6%
78	2,235,944	15,147,055	14,527,690	109,548,732	13.8%
79	1,867,864	17,014,919	12,059,109	121,607,841	14.0%
80	2,500,075	19,514,994	13,112,880	134,720,721	14.5%
81	2,508,465	22,023,459	16,721,810	151,442,531	14.5%
82	2,376,622	24,400,081	23,035,824	174,478,355	14.0%
83	2,163,748	26,563,829	29,990,737	204,469,092	13.0%
84	2,290,260	28,854,089	27,791,923	232,261,015	12.4%
85	2,486,399	31,340,488	21,779,131	254,040,146	12.3%

86	2,902,472	34,242,960	15,634,945	269,675,091	12.7%
87	2,467,355	36,710,315	14,821,070	284,496,161	12.9%
88	4,088,783	40,799,098	14,564,635	299,060,796	13.6%
89	3,042,080	43,841,178	11,292,174	310,352,970	14.1%
90	2,425,365	46,266,543	9,127,718	319,480,688	14.5%
91	1,769,308	48,035,851	8,532,831	328,013,519	14.6%
92	2,656,023	50,691,874	10,659,082	338,672,601	15.0%
93	1,437,657	52,129,531	12,330,189	351,002,790	14.9%
94	1,324,176	53,453,707	13,972,174	364,974,964	14.6%
95	2,310,545	55,764,252	20,802,938	385,777,902	14.5%
96	2,772,328	58,536,580	21,578,032	407,355,934	14.4%
97	3,549,581	62,086,161	18,414,605	425,770,539	14.6%
98	2,582,687	64,668,848	13,517,972	439,288,511	14.7%
99	2,076,337	66,745,185	13,315,090	452,603,601	14.7%
100	1,329,646	68,074,831	13,253,304	465,856,905	14.6%
101	1,932,119	70,006,950	15,743,721	481,600,626	14.5%
102	1,946,248	71,953,198	16,887,729	498,488,355	14.4%
103	1,922,403	73,875,601	18,109,432	516,597,787	14.3%
104	2,260,022	76,135,623	18,981,866	535,579,653	14.2%
105	1,412,637	77,548,260	17,646,434	553,226,087	14.0%
106	1,865,504	79,413,764	15,462,618	568,688,705	14.0%
107	1,661,154	81,074,918	16,451,813	585,140,518	13.9%
108	1,435,210	82,510,128	14,786,505	599,927,023	13.8%

註：民國 95 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))

3.3.2 商辦照明耗能之推估

由於照明耗能較不受地區氣候影響，因此無必要以全國地理氣候區域討論。其推估流程如圖 3-14 耗能由全年照明 EUI 與照明面積決定，而全年照明 EUI 由照明密度、照明時間所決定。單位面積照明密度參考表 3-16，上下界設定參考過去經驗及國內現況，採用偏斜常態分布(Azzalini, 1985)，偏斜常態涵蓋常態分布，且具有常態分布之性質，本研究所假定之偏斜常態分布如圖 3-12 所示，產生 1000 個商辦大樓模型中的照明密度值($I_{com,light}$)。由於不同商辦大樓的照明使用時間不同，因此照明使用時間隨機自 7 至 10 小時間以均佈取值進行計算。以全年上班天數 254 日，全年運轉時間約會介於 1778 小時至 2540 小時之間，照明全年耗能量之計算如下式 3-25 所示。

$$EUI_{com,light} = \sum d (I_{com,light,d} \times t_{com,light} / 1000) \quad \text{式 3-25}$$

$$EUI'_{com,light} = 5.5 \times t_{com,light} / 1000 \quad \text{式 3-26}$$

其中，下標 light 代表照明設備系統， $EUI_{com,light}$ 為全年商辦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 $5.5 W/m^2 \cdot yr$)。

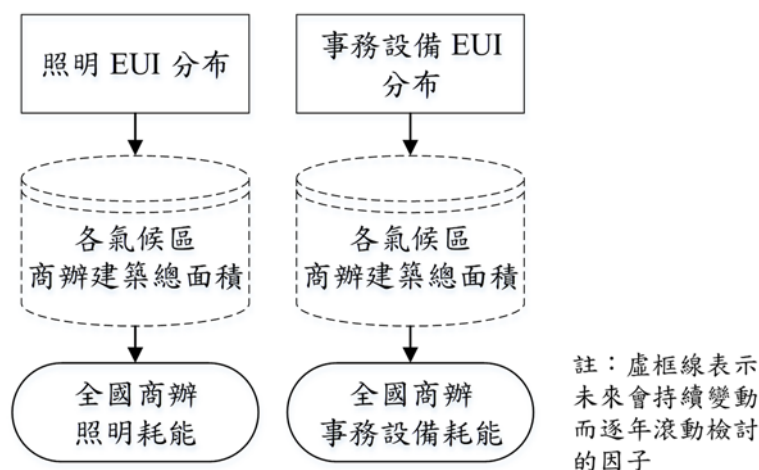


圖 3-14 全國商辦建築照明與事務設備耗能推估模型

（資料來源：本研究繪製）

由 式 3-25 可得到全年照明 EUI 的分布如下圖 3-15：

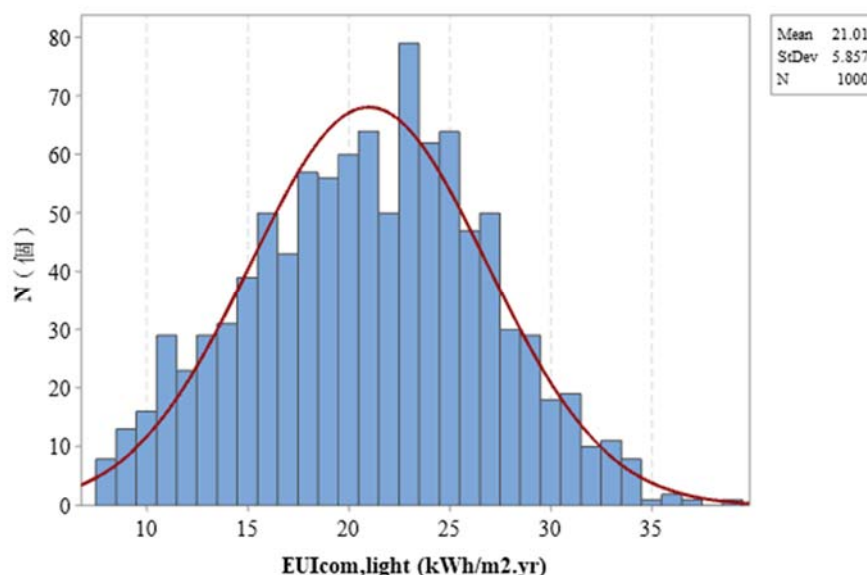


圖 3-15 商辦照明 EUI 分布圖

（資料來源：本研究繪製）

參考圖 3-15 作為照明 EUI 的機率分布，將全國商辦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辦大樓照明耗能，計算如式 3-27：

$$E_{\text{com,light,yr}} = A_{\text{com,yr}} \times \delta \times \rho_{\text{light}} \times \text{EUI}_{\text{com,light}} + A_{\text{com,yr}} \times (1 - \delta) \times \text{EUI}'_{\text{com,light}} \quad \text{式 3-26}$$

其中， A_{com} 為全國商辦大樓樓地板面積(m^2)； $\text{EUI}'_{\text{com,light}}$ 為非有效面積之年照明 EUI(本研究取 $5.5 \text{ W/m}^2.\text{yr}$)； δ 為有效面積比(為變動值)； ρ_{light} 為同步開燈率，本研究取 0.8。

● 商辦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，商辦大樓照明密度不變與現況具相同之分佈，未來之商辦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辦大樓面積即可推得照明耗能。未來商辦面積可透過前一節的方法透過住宅面積的比例推估。

3.3.3 商辦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，全年商辦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($I_{com,eqp}$)與事務設備運轉時間($t_{com,eqp}$)所決定。事務設備密度($I_{com,eqp}$)參考表 3-16，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($t_{com,eqp}$)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 1778 小時至 2540 小時之間，由此可得事務設備 EUI 之計算式如下式 3-28：

$$EUI_{com,eqp} = I_{com,eqp} \times t_{com,eqp} \times \rho_{eqp} / 1000 \quad \text{式 3-27}$$

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 1778 小時至 2540 小時之間)； ρ_{eqp} 為事務設備同時負荷率，本研究取 0.7。

由式 3-28，可得到事務設備之 EUI 分布圖，如下圖 3-16，依照此 EUI 的分布賦予每單位商辦大樓有效樓地板面積一事務設備 EUI 值，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。計算式如下 式 3-28：

$$E_{com,eqp,yr} = A_{com,yr} \times \delta \times EUI_{com,eqp} \quad \text{式 3-28}$$

$E_{com,eqp,yr}$ 為第 yr 年全國商辦事務設備之用電量 (kWh/yr)；下標 eqp 代表事務設備。

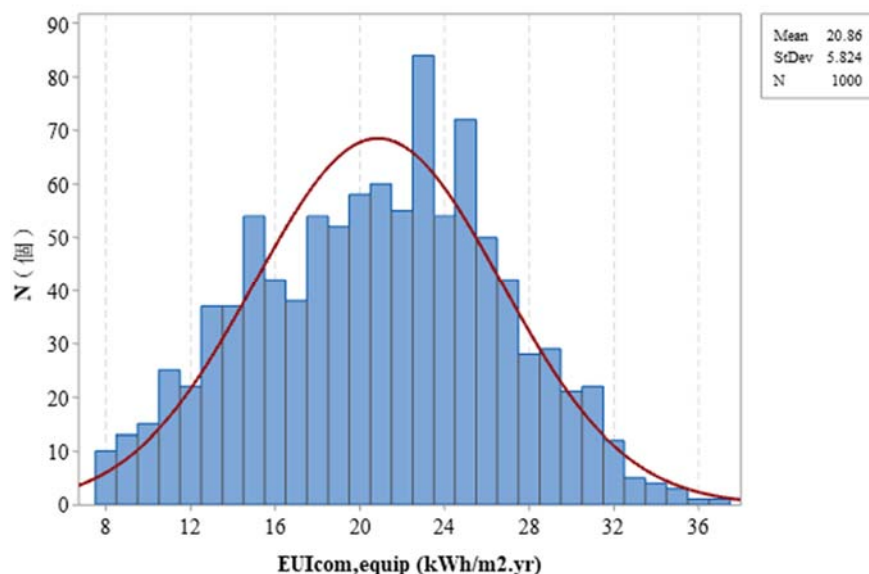


圖 3-16 商辦事務設備 EUI 分布圖

(資料來源：本研究繪製)

● 商辦建築事務設備耗能基線之推估法

假設商辦大樓事務設備密度不變，未來之商辦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辦大樓面積即可推得事務設備耗能。未來商辦面積可透過前一節的方法透過住宅面積的比例推估。

3.3.4 商辦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 3-19 可知，在 2018 年時，此三項耗能平均已占商辦大樓總耗能之 78.48 %，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。有鑑於此部分比例佔比較小，這些耗能採以比例推估。因此，商辦之電力總耗能基線計算如下式 3-30 所示。

$$E_{com,total,yr} = E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr} + E_{com,elev,yr} + E_{com,pump,yr} + E_{com,vent,yr} + E_{com,refri,yr} + E_{com,other,yr}$$

式 3-30

其中，

$$E_{com,elev,yr} = r_{elev,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr})/0.78$$

$$E_{com,pump,yr} = r_{pump,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr})/0.78$$

$$E_{com,vent,yr} = r_{vent,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr})/0.78$$

$$E_{com,refri,yr} = r_{refri,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr})/0.78$$

$$E_{com,other,yr} = r_{other,yr} \times (E_{com,HVAC,yr} + E_{com,light,yr} + E_{com,eqp,yr})/0.78$$

$E_{com,elev,yr}$ 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 3-19 所決定該項目之耗電量占總耗電量之百分比。

表 3-19 商辦大樓電力流向

單位：%

年	空調 rHVAC	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

(資料來源：(經濟部能源局, 2019b))

3.3.5 商辦耗水量之推估

商辦大樓之耗水量採用人均年用水量推估，本研究參考「建築產業碳足跡」一書中的設定，取 10 小時行政辦公類空間每人年用水量訂為 25.4 m³/人(林憲德, 2018)，而商辦大樓的使用人數將從表 3-16 之平均值 0.1 人/m²，從商辦大樓的有效面積中，推得使用人數，計算式如下式 3-31，再由使用人數推得商辦大樓年用水量，如式 3-32。

$$p_{com,yr} = A_{com,yr} \times \delta \times 0.1 \quad \text{式 3-31}$$

$$E_{com,water,yr} = 25.4 \times p_{com,yr} \times p_{ri,com} \quad \text{式 3-32}$$

其中， $E_{com,water,yr}$ 為全國總用水量(m³)， p_{com} 為商辦大樓使用人數(人)； $p_{ri,com}$ 為人員使用率(取 0.7)； $A_{com,yr}$ 為第 yr 年商辦大樓總面積(查營建署逐年樓地板面積統計資料)； δ 為有效面積比(取值自蒙地卡羅樣本生成時有效面積比之平均數)；25.4 (m³/人.年)為辦公空間每人每年單位用水量，參考自(林憲德, 2018)。0.1 為辦公類建築人員密度之平均值，單位為(人/m²)。

3.3.6 商辦瓦斯與汽柴油碳排量之推估

由 2019 年非生產性質行業能源查核年報(經濟部能源局, 2019b)，商辦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 99.40%，如表 3-20，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比例進行推估，如 式 3-33：

$$GHG_{com,other,yr} = (GHG_{com,elec,yr} / d_e) \times (d_{NG} + d_{gas} + d_{diesel}) \quad \text{式 3-33}$$

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

表 3-20 商辦大樓各項能源消費量及占比

能源項目	消費量	排放係數	CO ₂ 排放量	比例(d)
電力	1,317,640(kWh)	0.533 kgCO ₂ /kWh	702,302,120	99.40%
天然氣 NG	2,002,000 (m ³)	1.879 kgCO ₂ /m ³	3,761,758	0.53%
汽油 gas	1031 (公秉)	2.263 kgCO ₂ /L	233,089	0.03%
柴油 diesel	105 (公秉)	2.606 kgCO ₂ /L	273,630	0.04%

(資料來源：(經濟部能源局, 2019b))

3.3.7 商辦總耗能

綜合前幾節之推估，商辦大樓之總溫室氣體排放量計算式如下。

$$GHG_{com,elec,yr} = E_{com,total,yr} \times \beta_{l,yr} \quad \text{式 3-34}$$

$$GHG_{com,water,yr} = E_{com,water,yr} \times \beta_{4,yr} \quad \text{式 3-35}$$

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

其中， $GHG_{com,elec}$ 為商辦大樓電力使用所排放的溫室氣體量； $GHG_{com,total,yr}$ 為第 yr 年商辦大樓總溫室氣體排放量， β_l 為電力排放係數， β_4 為自來水排放係數，依台北自來水公司與台灣自來水公司所公告之碳排放係數分區計算， $GHG_{com,other,yr}$ 為其他能源別 A.至 I.項各項之推估總和，如下 0 所示。

第四節 住商部門建築溫室氣體排放量推估之校正

3.4.1 我國耗能統計資料架構

由於歷年由經濟部能源局公告之「能源平衡表」其分類項目是依「行業別」做區分，該能源平衡表之統計以服務業部門為例，其項下包括批發及零售業、住宿及餐飲業、運輸服務業、倉儲業等，如表 3-21 所示為以 2018 年為例之電力消耗統計資料。而各行業大類內之細類行業別，依行政院主計處之分類則如表 3-22 內之各行業別組成。然而，在研究建築溫室氣體排放時常以「建築使用類別」為分類依據，此乃由於建築的耗能特性與其建築使用類別更為相關，而建築管理上亦是以建築類別為依歸。因此在以歷史真實耗能資料與本研究所建立之推估模式進行校正時，可能會有因分類不同而導致耗能資料對應歸屬上的問題，例如該行業尚不在某類之建築物中時，其耗能依舊會被計入到該行業內，而無法由能源平衡表之行業別分項內區別之，導致難以確知某類建築之全國總耗能量。此為本研究所遇到之困境，容易造成與真實耗能資料校正時之誤差，也是本研究之限制。

表 3-21 經濟部能源局能源平衡表（節錄）

行業項目		電力消耗（單位：公秉油當量）
服務業部門	批發及零售業	1,186,507
	住宿及餐飲業	684,161
	運輸服務業	192,809
	倉儲業	71,998
	通信業	228,670
	金融保險及不動產業	324,972
	工商服務業	205,716
	社會服務及個人服務業	863,177
	公共行政業	376,840
	其他	369,423
住宅部門		4,481,402

（資料來源：（經濟部能源局, 2018a））

表 3-22 行業別分類系統表

大類	細類
批發及零售業	商品批發經紀業、綜合商品批發業、農產原料及活動物批發業、綜合商品零售業、食品、飲料及菸草製品零售業、布疋及服飾品零售業、.....
住宿及餐飲業	短期住宿業、其他住宿業、餐食業、外燴及團膳承包業、飲料業、.....
運輸服務業	鐵路運輸業、大眾捷運系統運輸業、報關業、船務代理業、郵政業、快遞業、.....
倉儲業	普通倉儲業、冷凍冷藏倉儲業
通信業	資料處理、主機及網站代管服務業、新聞出版業、影片及電視節目製作業、廣播業、有線電信業.....
金融保險及不動產業	貨幣中介業、控股業、信託基金及類似金融實體、人身保險業、財產保險業、再保險業、證券業、期貨業.....
工商服務業	律師事務服務業、企業總管理機構、管理顧問業、工程服務及相關技術顧問業、環境檢測服務業、綜合研究發展服務業、廣告業、市場研究及民意調查業.....
社會服務及個人服務業	醫院、診所、居住型照顧服務業、藝術表演業、汽車維修及美容業、洗衣業、美髮及美容美體業、殯葬及相關服務業、.....
公共行政業	國際組織及外國機構、公共行政、國防事務、強制性社會安全事務.....
其他	宗教組織、職業團體.....

（資料來源：（行政院主計總處, 2016））

3.4.2 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})。人均 GDP 參考表 3-4，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 3-23，未來空屋率則參考表 3-11。

表 3-23 全國低度使用（用電）住宅統計表

年份	全國低用電戶數量(戶)	佔全國總戶數比例
2009	900,431	11.49%
2010	884,978	11.17%
2011	813,925	10.15%
2012	863,083	10.63%
2013	856,924	10.50%
2014	849,869	10.30%
2015	862,682	10.35%
2016	862,965	10.22%
2017	864,835	10.12%
2018	916,383	10.56%

（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 2000 年至 2018 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，如圖 3-17 所示，自 2001 至 2018 年共 18 年期間模擬推估之平均年變化率為 1.56%，而真實的平均年變化率為 1.20%，平均差了 1.30 倍，因此，欲將模擬的成長率應用到真實情況時需再除以 1.30 以減小誤差。

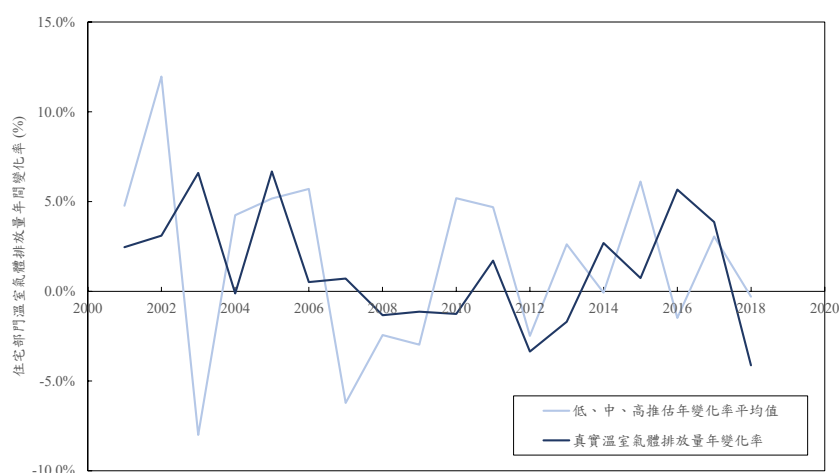


圖 3-17 模擬與真實溫室氣體排放量變化率比較

（資料來源：本研究繪製）

由於推估出來的溫室氣體排放量在歷史的部分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：

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

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：

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

3.4.3 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。本研究業已建立商辦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，其中除了商辦大樓以外，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 3-24 之分類依據分別統計其歷年用電量，以作為校正之依據。

表 3-24 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	
商辦類	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所推估之商辦建築用電後而得
-----	----------------------------------

(資料來源：本研究整理與(台灣電力公司, 2018))

以 2018 年為例，不同建築類別之用電比例如下圖 3-18 所示，住宅、商辦、旅館、百貨商場、學校、醫院與其他類建築之用電量各佔整個住商部門全年用電量的 48.5%、9.2%、2.0%、4.3%、3.1%、3.2%與 28.1%。

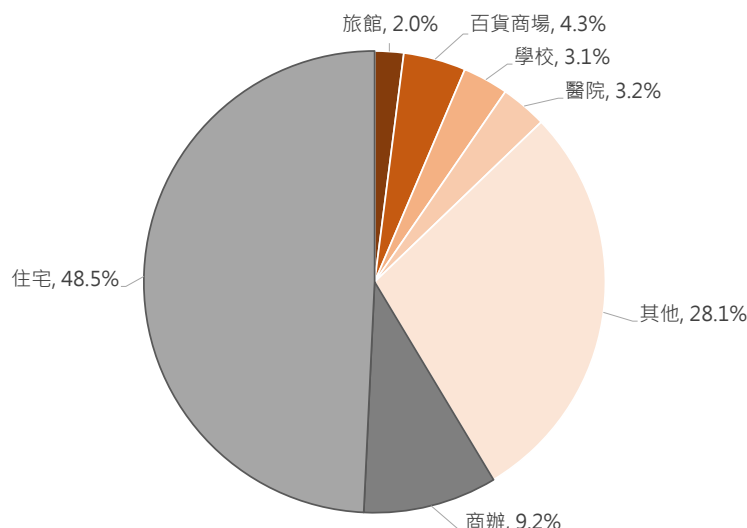


圖 3-18 各建築類別用電量佔所有住商部門用電量之比例(以 2018 年為例)

(資料來源：本研究繪製)

由第三節所建立之蒙地卡羅推估商辦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。在模擬推估與真實溫室氣體排放量盤查資料之校準上，由於基於由下而上發展之推估模型中，暫先忽略了社會經濟的發展對建築耗能之影響，這些社會經濟或其他非建築變因等因素往往是造成與真實耗能情況誤差之來源，因此必須將模式模擬得的耗能量與現實狀況進行比對修正以考量社經因子變動之影響，才能使推估模式更貼近於反應真實耗能之變化。其校正方式採用 2009 年至 2018 年由台電公司依行業別所統計得之商辦建築歷年實際用電資料(台灣電力公司, 2018)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 代表商辦建築；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：

$$\delta_{yr} = 0.009435 \cdot yr - 18.2 \quad (R^2 = 0.684) \quad \text{式 3-40}$$

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辦建築之年變化率相同之幅度成長推估其用電量，如下：

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

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

其中， $GHG_{商業部門,elec,yr}$ 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 3-25。

表 3-25 屬服務業類別之各建築別逐年用電歷史與推估資料

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	1391.2	4690.7	3242.5	2779.0	5927.0	26121.5
2010	1494.6	4629.6	3220.7	2884.0	6412.0	27256.0
2011	1534.2	4485.8	3176.2	2830.0	6207.1	27537.4
2012	1552.2	4424.2	3113.0	2848.0	6307.0	27486.7
2013	1608.6	4366.0	3115.1	2899.3	6522.8	27341.5
2014	1678.5	4300.4	3084.8	2915.4	6756.9	27719.2
2015	1765.9	4308.1	3083.5	2976.9	7006.2	27996.8
2016	1861.3	4350.7	3105.2	3062.4	7132.7	28445.6
2017	1899.5	4264.1	3049.3	3077.9	7439.4	28587.3
2018	1933.6	4162.0	3033.7	3096.2	7705.3	27185.0
2019	1898.3	4086.1	2978.4	3039.8	7564.8	28623.3
2020(f)	1938.7	4173.0	3041.7	3104.3	7725.5	28938.2
2021(f)	1972.7	4246.1	3095.0	3158.8	7861.0	29253.2
2022(f)	2010.4	4327.4	3154.2	3219.2	8011.4	29568.2
2023(f)	2019.6	4347.2	3168.7	3234.0	8048.2	29883.1
2024(f)	2064.3	4443.4	3238.8	3305.6	8226.3	30198.1
2025(f)	2087.9	4494.2	3275.8	3343.3	8320.3	30513.1
2026(f)	2118.5	4560.1	3323.9	3392.4	8442.3	30828.0
2027(f)	2163.0	4655.9	3393.7	3463.6	8619.7	31143.0
2028(f)	2190.5	4715.0	3436.7	3507.5	8728.9	31458.0
2029(f)	2224.7	4788.6	3490.4	3562.3	8865.2	31772.9
2030(f)	2246.5	4835.6	3524.7	3597.3	8952.2	32087.9
2031(f)	2275.5	4898.1	3570.2	3643.8	9067.9	32402.9
2032(f)	2294.7	4939.4	3600.4	3674.5	9144.5	32717.8
2033(f)	2336.6	5029.6	3666.1	3741.6	9311.4	33032.8
2034(f)	2368.3	5097.7	3715.7	3792.3	9437.5	33347.8

2035(f)	2351.6	5061.8	3689.6	3765.6	9371.1	33662.7
---------	--------	--------	--------	--------	--------	---------

註：(f)代表預測年份

(資料來源：本研究整理)

3.4.4 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（節錄如下表表 3-28），分別以迴歸分析的方式推估商業部門各項能源之消耗，其中，電力的部分採用本研究推估之結果之年變化率，由於本研究推估之結果並不完全等於全國服務業部門的溫室氣體排放量，因此僅採用研究成果每一年與其前一年的年變化率，來推估整體商業部門未來的溫室氣體排放量；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（Autoregressive 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」(Autoregressive)，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。以下分別以《能源平衡表》中的能源順序條列各個能源消耗項目的推估方式。

表 3-26 經濟部能源局 2018 年公告之能源平衡表之部分節錄

項目		13	18	22
		原油及石油產品合計	液化石油氣	車用汽油
83	服務業部門	960386	107694	33998
84	批發及零售業	-	-	-
85	住宿及餐飲業	442397	107504	-
86	運輸服務業	2753	-	-
87	倉儲業	10107	-	-
88	通信業	9111	-	7390
89	金融保險與不動產業	4731	87	2923
90	工商服務業	-	-	-
91	社會服務及個人服務業	0	-	-
92	公共行政業	372238	-	21790
93	其他	119050	103	1895

A. 液化石油氣

利用 ARIMA(2,0,0)進行液化石油氣之未來消耗量的預測，圖 3-19 為液化石油氣的歷史數據以及預測未來消耗量之結果，其中預測結果包含 95%信心水準之下的預測範圍，以空心的三角形圖標表示。預測結果如下所示，該預測式殘差之 Ljung-Box 之卡方檢定之 p-value 為 $0.720 > 0.05$ ，顯示模型合理。

$$X_y = 1.600 \times X_{y-1} - 0.601 \times X_{y-2} + \varepsilon_y \quad \text{式 3-42}$$

其中，X 表示液化石油氣預估之消耗量，單位為公升，y-1 表示前一期，y-2 表示前兩期，末項 ε 表示殘差值，表示預估式與實際值之間的誤差，由於 $p\text{-value} \geq 0.05$ ，故平均而言 ε 之值會趨近於 0。

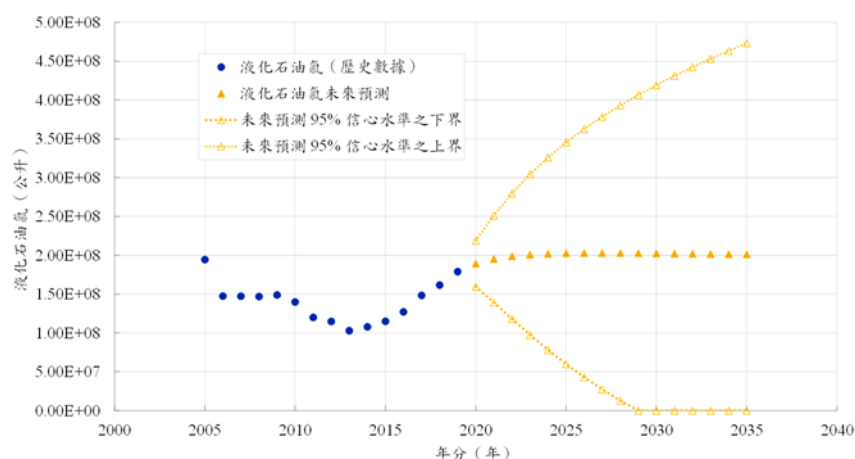


圖 3-19 液化石油氣的歷史消耗數據以及使用 ARIMA(2,0,0)之預測效果

(資料來源：本研究整理)

B. 車用汽油（無鉛汽油）

利用 ARIMA(2,0,0)進行車用汽油(無鉛汽油)之未來消耗量的預測，圖 3-20 為車用汽油（無鉛汽油）的歷史數據以及使用 ARIMA(2,0,0)預測未來消耗量之結果。其結果若以參數表示則如下所示，以及該預測式殘差之 Ljung-Box 之卡方檢定之 p-value 為 0.147。

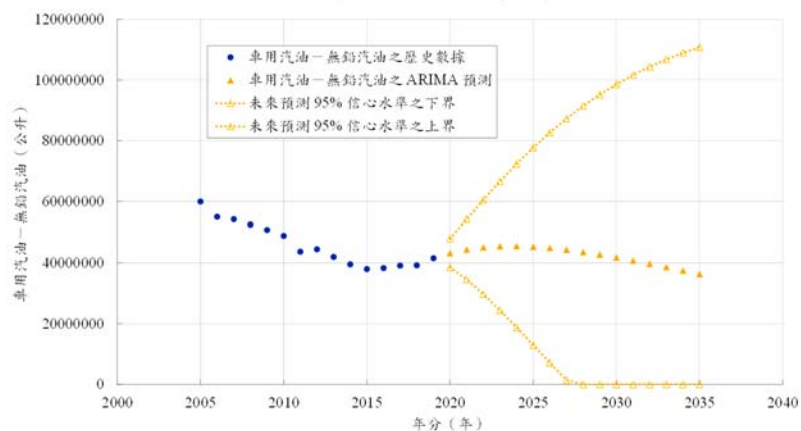


圖 3-20 車用汽油(無鉛汽油)的歷史消耗數據與使用 ARIMA(2,0,0)之預測效果

(資料來源：本研究整理)

$$X_y = 1.826 \times X_{y-1} - 0.831 \times X_{y-2} + \varepsilon_y \quad \text{式 3-43}$$

其中，X 表示車用汽油（無鉛汽油）預估之消耗量，單位為公升，y-1 表示前一期，y-2 表示前兩期，末項 ε 表示殘差值，表示預估式與實際值之間的誤差，由於 $p\text{-value} \geq 0.05$ ，故平均而言 ε 之值會趨近於 0。

C. 航空燃油—汽油型

航空燃油—汽油型的能源消耗歷史數據在 2007 年以後都為 0，故航空燃油—汽油型能源消耗項目中，假設未來都為 0。

D. 航空燃油—煤油型

利用 ARIMA(3,0,0) 進行航空燃油—煤油型之未來消耗量的預測，圖 3-21 為航空燃油—煤油型的歷史數據以及使預測未來消耗量之結果，其中預測結果包含 95% 信心水準之下的預測範圍，以空心的三角形圖標表示。預測結果若以參數表示則如下所示，以及該預測式殘差之 Ljung-Box 之卡方檢定之 $p\text{-value}$ 為 0.342：

$$X_y = 1.033 \times X_{y-1} + 0.414 \times X_{y-2} - 0.446 \times X_{y-3} + \varepsilon_y \quad \text{式 3-44}$$

其中，X 表示航空燃油—煤油型預估之消耗量，單位為公升，y-1 表示前一期，y-2 表示前兩期，y-3 表示前三期，末項 ε 表示殘差值，表示預估式與實際值之間的誤差，由於 $p\text{-value} \geq 0.05$ ，故平均而言 ε 之值會趨近於 0。

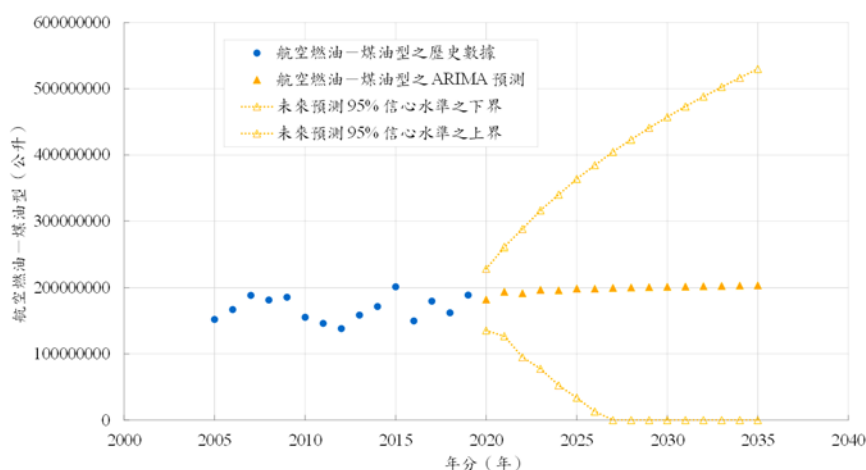


圖 3-21 航空燃油—煤油的歷史消耗數據以及使用 ARIMA(3,0,0)之預測效果
(資料來源：本研究整理)

E. 煤油

利用 ARIMA(3,0,0) 進行煤油之未來消耗量的預測，圖 3-21 為煤油的歷史數據以及預測未來消耗量之結果，其中預測結果包含 95% 信心水準之下的預測範圍，以空心的三角形圖標表示。若以參數表示則如下所示，以及該預測式殘差之 Ljung-Box 之卡方檢定之 $p\text{-value}$ 為 0.166：

$$X_y = 0.770 \times X_{y-1} + 0.962 \times X_{y-2} - 0.778 \times X_{y-3} + \varepsilon_y \quad \text{式 3-45}$$

其中，X 表示煤油預估之消耗量，單位為公升，y-1 表示前一期，y-2 表示前兩期，y-3 表示前三期，末項 ε 表示殘差值，表示預估式與實際值之間的誤差，由於 $p\text{-value} \geq 0.05$ ，故平均而言 ε 之值會趨近於 0。

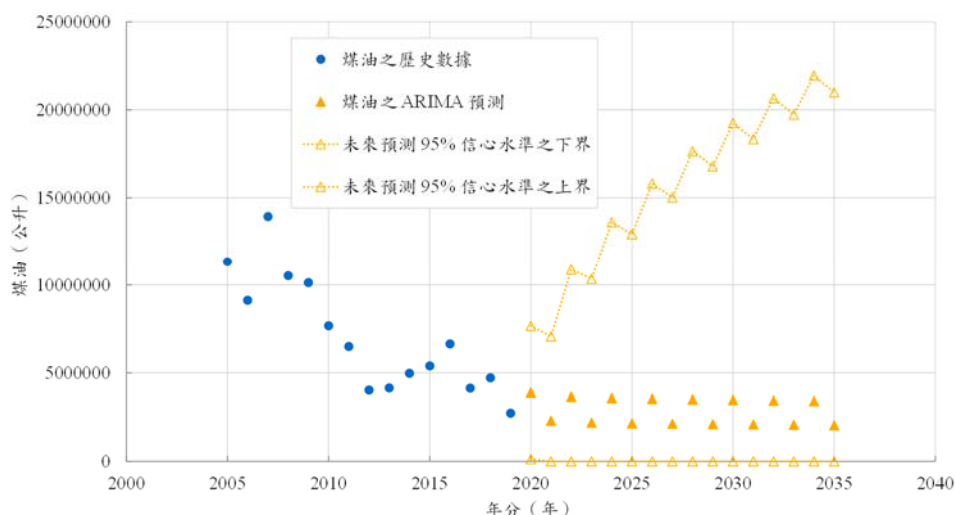


圖 3-22 煤油的歷史消耗數據以及使用 ARIMA(3,0,0)之預測效果

(資料來源：本研究整理)

F. 柴油

利用 ARIMA(3,0,0)進行柴油之未來消耗量的預測，如圖 3-23 其中預測結果包含 95%信心水準之下的預測範圍，以空心的三角形圖標表示。預測結果若以參數表示則如下所示，以及該預測式殘差之 Ljung-Box 之卡方檢定之 p-value 為 0.372。

$$X_y = 1.313 \times X_{y-1} + 0.310 \times X_{y-2} - 0.624 \times X_{y-3} + \varepsilon_y \quad \text{式 3-46}$$

其中，X 表示柴油預估之消耗量，單位為公升，y-1 表示前一期，y-2 表示前兩期，y-3 表示前三期，末項 ε 表示殘差值，表示預估式與實際值之間的誤差，由於 $p\text{-value} \geq 0.05$ ，故平均而言 ε 之值會趨近於 0。

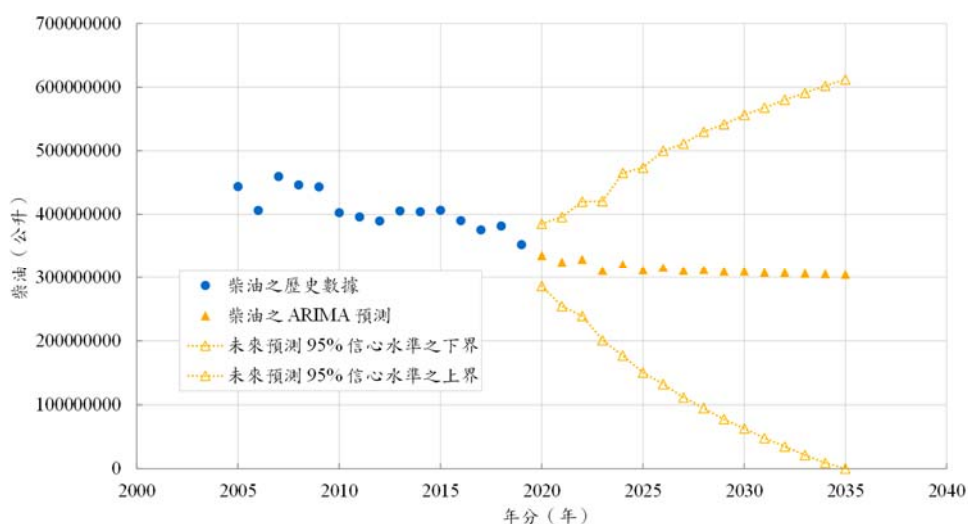


圖 3-23 柴油的歷史消耗數據以及使用 ARIMA(3,0,0)之預測效果。

(資料來源：本研究整理)

G. 燃料油

利用 ARIMA(3,0,0)進行燃料油之未來消耗量的預測，圖 3-24 為燃料油的歷史數據以及使用 ARIMA(3,0,0)預測未來消耗量之結果，其中預測結果包含

95%信心水準之下的預測範圍，以空心的三角形圖標表示。使用 ARIMA(3,0,0)之預測結果若以參數表示則如下所示，以及該預測式殘差之 Ljung-Box 之卡方檢定之 p-value 為 0.192：

$$X_y = 1.561 \times X_{y-1} - 1.001 \times X_{y-2} + 1.194 \times X_{y-3} - 0.797 \times X_{y-4} + \varepsilon_y \quad \text{當 } y > 2021 \text{ 時 } X_y = 0 \quad \text{式 3-47}$$

其中，X 表示燃料油預估之消耗量，單位為公升，y-1 表示前一期，y-2 表示前兩期，y-3 表示前三期，y-4 表示前四期，末項 ε 表示殘差值，表示預估式與實際值之間的誤差，由於 p-value ≥ 0.05 ，故平均而言 ε 之值會趨近於 0。

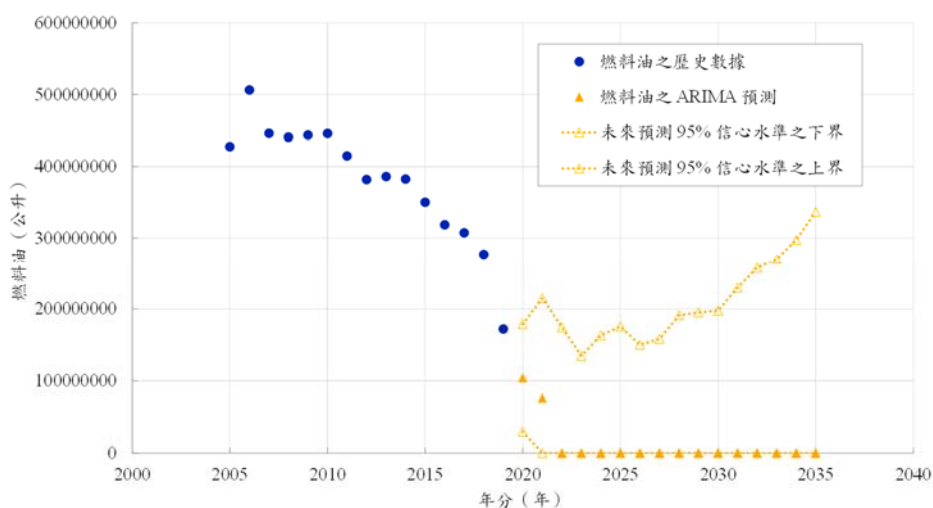


圖 3-24 燃料油的歷史消耗數據以及使用 ARIMA(4,0,0)之預測效果

(資料來源：本研究整理)

H. (自產) 天然氣

自產天然氣使用 ARIMA 進行未來消耗量之預測的成效不佳，故在該項能源別的推估上，改採多項次迴歸的方式進行，又因為歷史消耗數據非常符合三次多項式圖形的特性，故採三次多項式進行迴歸，其中該迴歸式之 R^2 高達 0.99。

$$X_y = -234337.79y^3 + 1414308012.41y^2 - 2845254533569.27y + 1907979780814570$$

其中，X 表示自產天然氣預估之消耗量，單位為公升，y 表示年份。

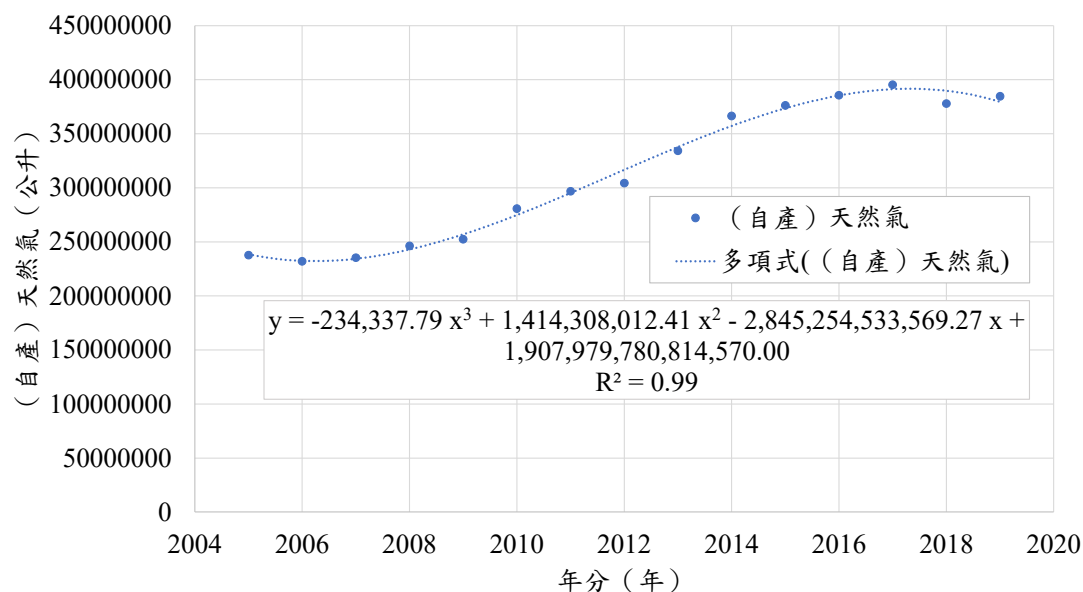


圖 3-25 自產天然氣之歷史消耗數據以及三次多項式之迴歸結果

(資料來源：本研究整理)

I. 進口液化天然氣

利用 ARIMA(2,0,0)進行進口液化天然氣之未來消耗量的預測，如圖 3-26 為進口液化天然氣的歷史數據以及預測未來消耗量之結果，其中用來預測之歷史數據為 2012 年之後的數據，因 2012 年以前數據的趨勢與 2012 年之後的趨勢相差甚大。預測結果包含 95%信心水準之下的預測範圍，以空心的三角形圖標表示。預測結果若以參數表示則如下所示：

$$X_y = 1.92 \times X_{y-1} - 0.494 \times X_{y-2} + \varepsilon_y \quad \text{式 3-48}$$

其中，X 表示進口液化石油氣預估之消耗量，單位為公升，y-1 表示前一期，y-2 表示前兩期，末項 ε 表示殘差值，表示預估式與實際值之間的誤差，由於 $p\text{-value} \geq 0.05$ ，故平均而言 ε 之值會趨近於 0。

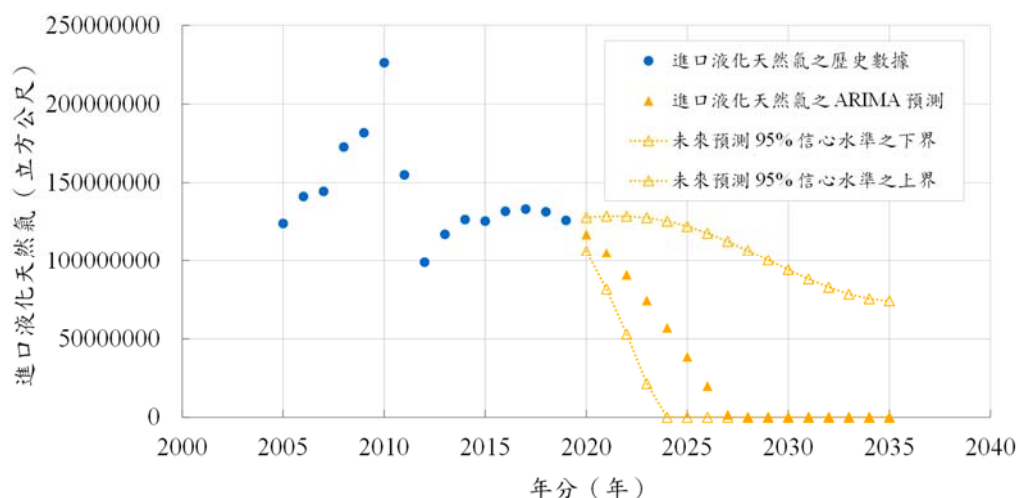


圖 3-26 進口液化天然氣之歷史消耗數據以及使用 ARIMA(2,0,0)之預測效果

(資料來源：本研究整理)

第四章 住商部門溫室氣體排放量預測與滾動式修正

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辦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，本研究依第 3.1.1 小節之方法利用國際上之大氣環流模式(GCM)，搭配台灣本土之標準氣象年(TMY3)進行未來氣候之降尺度，藉以推估並製作未來之氣候資料，以供模擬計算空調耗能之變化趨勢。其結果，在圖 4-1 中顯示了單純由歷史與未來逐年氣候資料所計算得的全年冷房度時 CDH_{23} (起算溫度 23°C) 逐年的變化趨勢，可不知論北、中、南氣候區，隨著氣候變遷的影響下逐年的 CDH_{23} 平均將以全台每年約 $117.31 (^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr})$ 微幅增加，或平均而言 2035 年之 CDH_{23} 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。

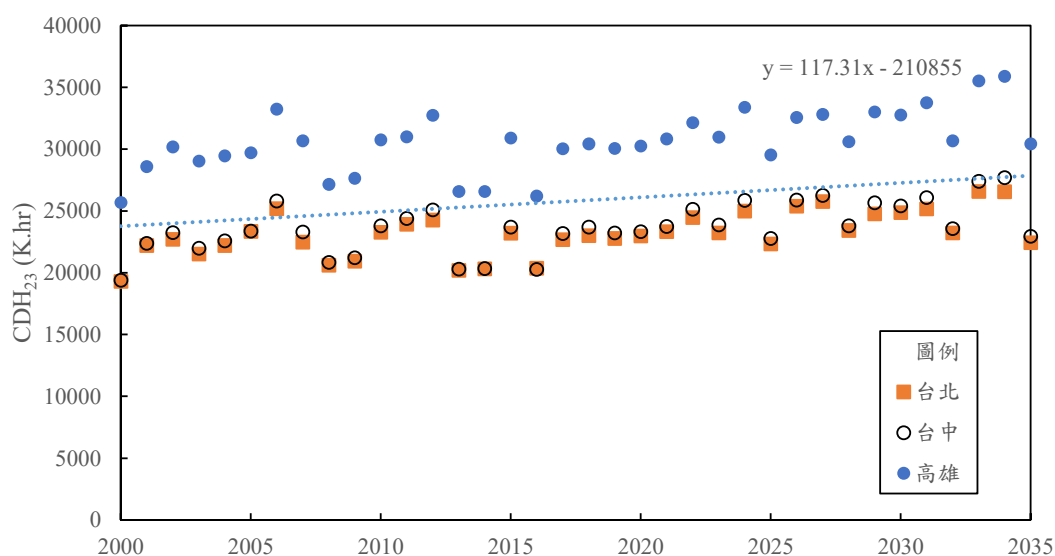


圖 4-1 未來逐年全年冷房度時增長之趨勢

(資料來源：本研究整理)

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將住宅的面積估算出來，由 3.2.1 節的推估方法，本研究透過未來人均 GDP 及聯合國人居署全所統計的模式推得人均居住面積，再配合國發會的人口推估即可得之未來住宅面積的成長趨勢，由圖 4-2 可知未來人均 GDP 不斷上升，導致未來人均居住面積增加，本研究在未來人口的推估上採用國發會的中推估，中推估情境之全國人口於 2021 年至 2022 年達到高峰(圖 4-3)，即便人口數在 2022 年之後開始下降，由於人均 GDP 的上升導致住宅面積推估仍呈增加之趨勢，如圖 4-4 所示。

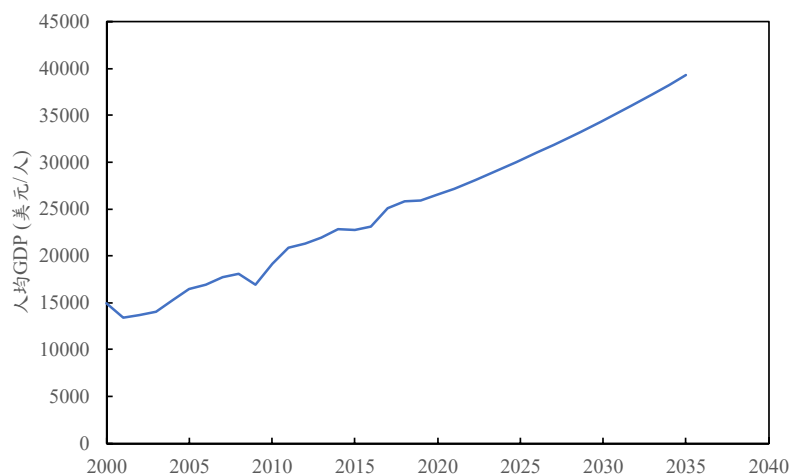


圖 4-2 人均 GDP 成長趨勢

(資料來源：(中華民國統計資訊網; 陳政弘, 2018))

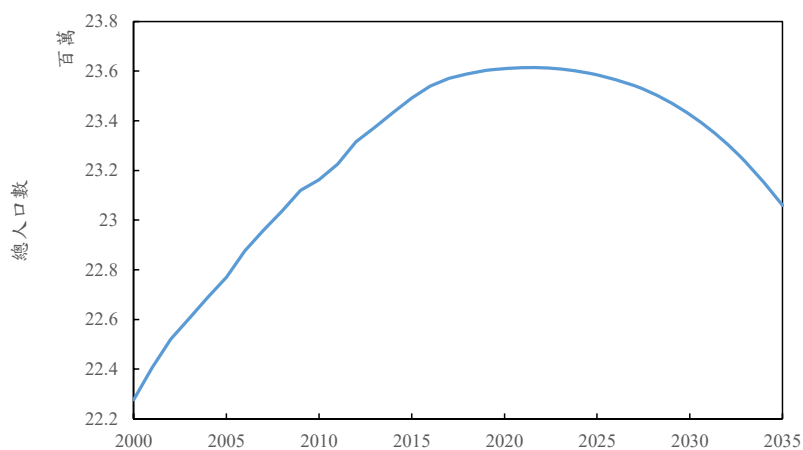


圖 4-3 國家未來人口中推估

(資料來源：(內政部戶政司全球資訊網; 國家發展委員會, 2018))

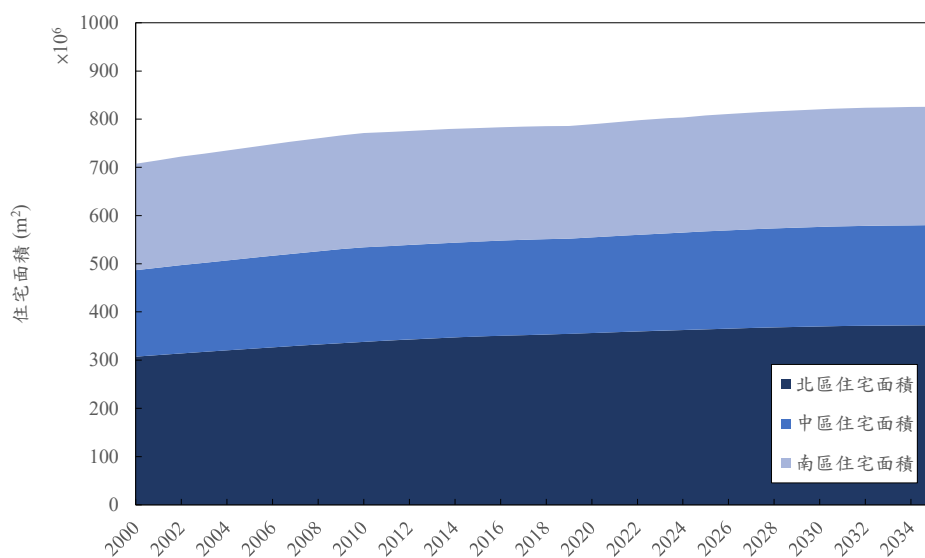


圖 4-4 各區住宅面積推估圖 (以人口中推估計算)

(資料來源：本研究繪製)

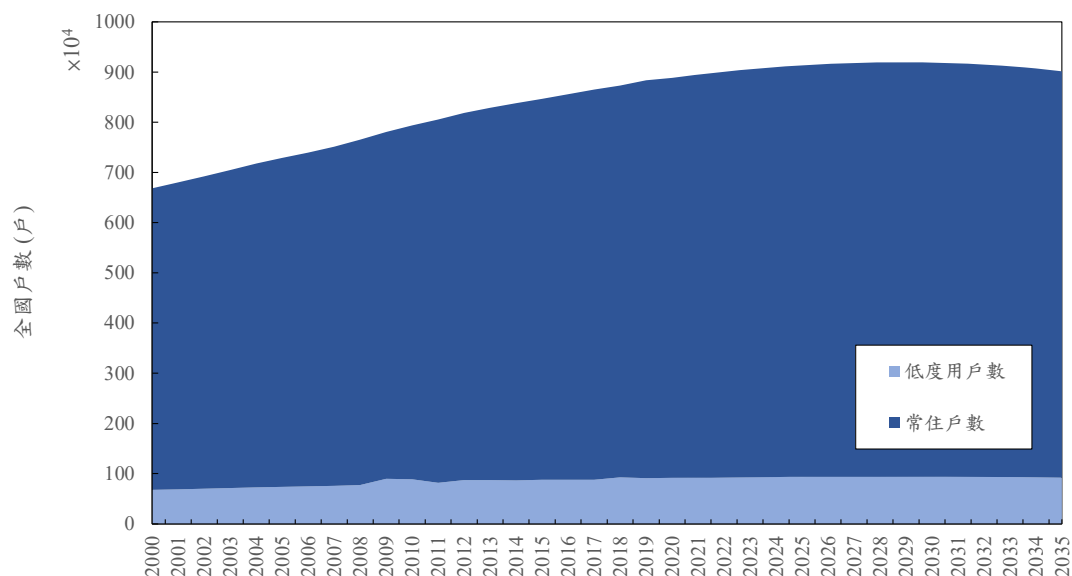


圖 4-5 全國未來戶數推估

（資料來源：本研究繪製）

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，再利用第三章第二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下圖 4-6。基本上全國之住宅總體耗能量是向上增長的，平均每年以 4.7×10^8 (kWh/yr) 或相當於每年以 1.0% 之幅度增加。圖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 2000 年至 2035 年的成長趨勢為約 56.5%，其中，空調耗電量成長了 82.1%，照明耗電成長了 15.7%，家電耗電成長了 77.4%，熱水耗電成長了 14.8%，烹飪耗電成長了 36.3%。

而全國的瓦斯及自來水的成長趨勢如圖 4-7 所示，由於未來人口數在 2020 年至 2027 年達到最高峰，也就是說在 2028 年以後國家人口逐漸減少，造成瓦斯與自來水的使用人數逐漸減少，直接影響住宅部門在瓦斯與自來水的消耗量，由圖中可知，來自自來水之碳排放在 2022 年達到使用高峰，而使用瓦斯之碳排放則在 2029 年才達到使用高峰。

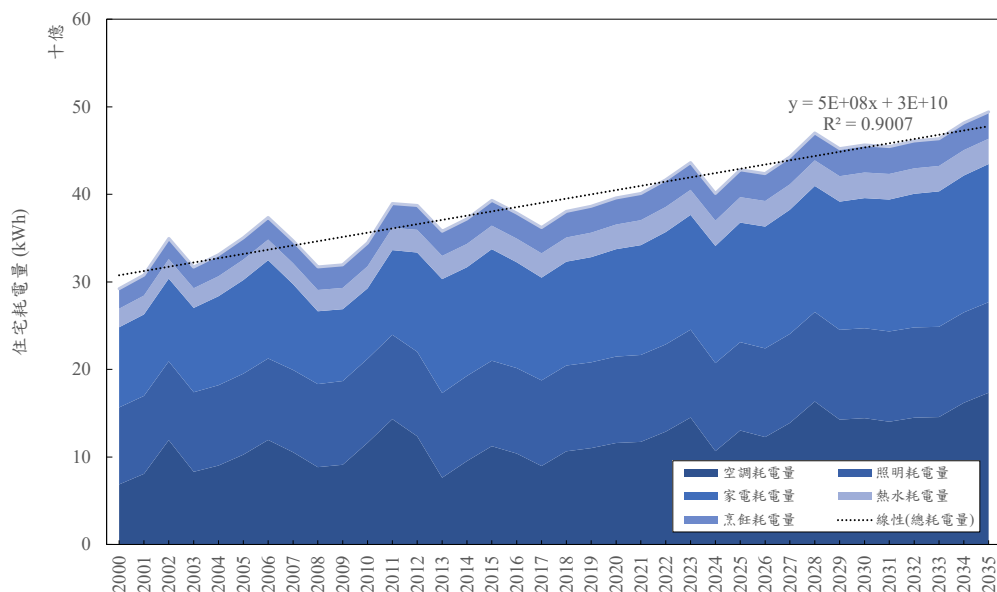


圖 4-6 住宅各耗電項目耗電量未來推估

(資料來源：本研究繪製)

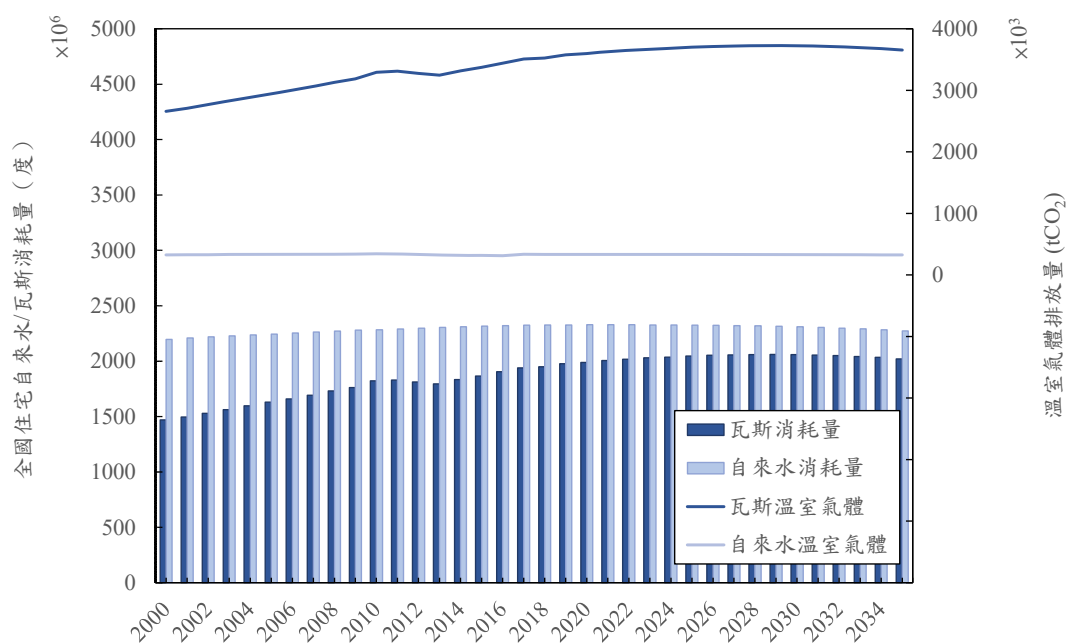


圖 4-7 全國住宅瓦斯與自來水耗能量與溫室氣體排放趨勢

(資料來源：本研究繪製)

由於住宅部門主要使用的能源為電力，因此在評估住宅部門溫室氣體排放時，須考慮電力碳排係數，此係數參考經濟部能源局的公告，而最新的資料顯示民國 107 年度的電力碳排係數為 0.533 kgCO₂e/度(經濟部能源局, 2019a)，此後推估由於發電結構之改變預測之電力碳排係數將逐年降低，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 4-8。

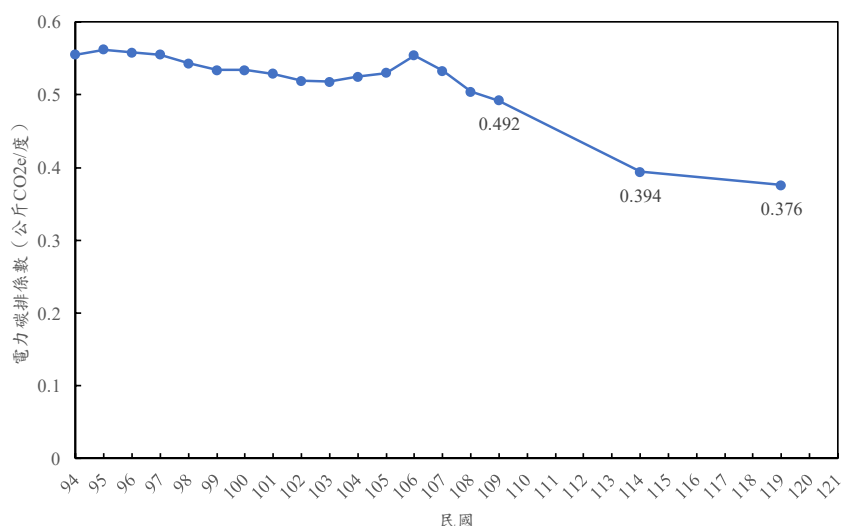


圖 4-8 電力碳排係數成長趨勢

（參考資料：(經濟部, 2018; 經濟部能源局, 2019a)）

今以能源局所預測在台灣未來發電結構改變後之電力碳排係數，以及人口數變化依國發會之中推估計未來住宅部門之逐年溫室氣體排放量，其結果如圖 4-9 所示。圖中在未來氣候之部分，分別以氣候變遷情境 RCP2.6、RCP4.5 與 RCP8.5 分別代表未來氣候之低、中、高推估來表示。發現無論是哪一未來氣候情境下，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。如果，在不考慮未來發電結構改變對未來電力碳排放係數之影響，以現今最新 2018 年所公告之電力碳排係數為 0.533 (kgCO₂e/度)計算時，其結果如圖 4-10，未來住宅部門之溫室氣體排放則呈現增加之趨勢。

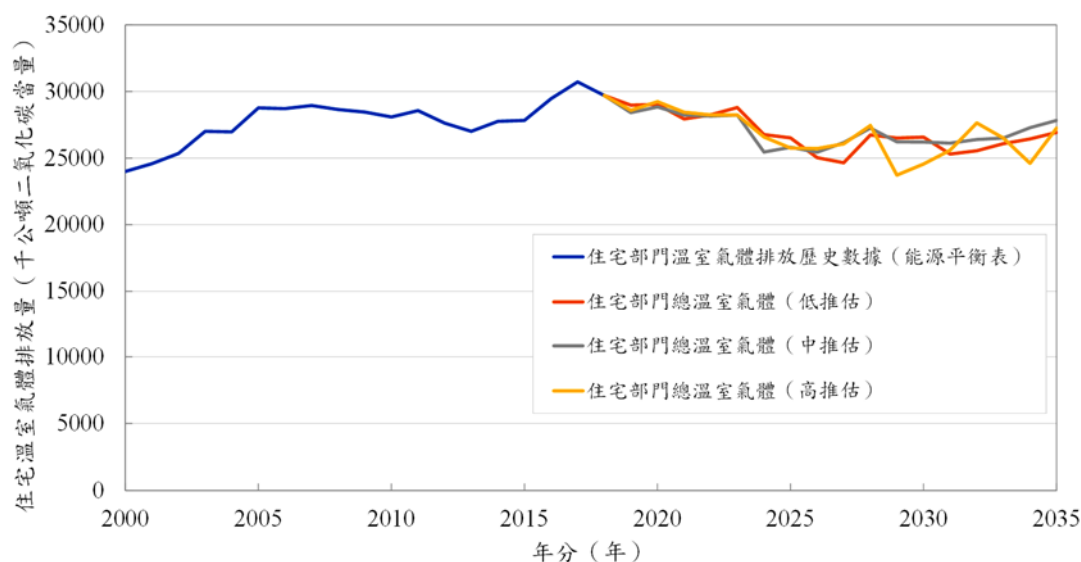


圖 4-9 全國住宅部門逐年溫室氣體排放量推估(未來以人口中推估且考量能源結構改變之情境)

(資料來源：本研究繪製)

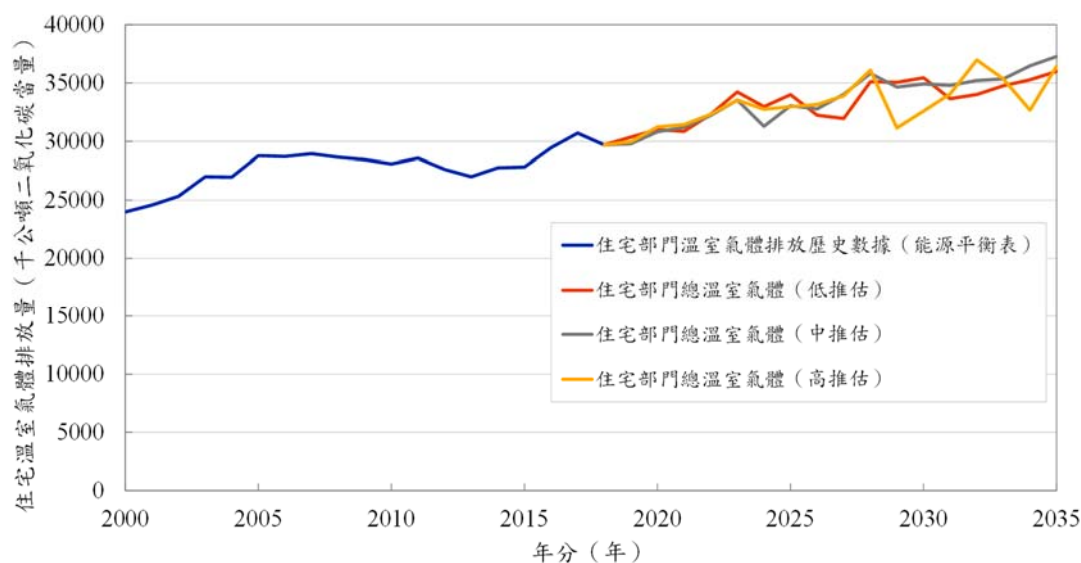


圖 4-10 住宅溫室氣體推估 (未來以人口中推估且考量能源結構不變之情境)

(資料來源：本研究整理)

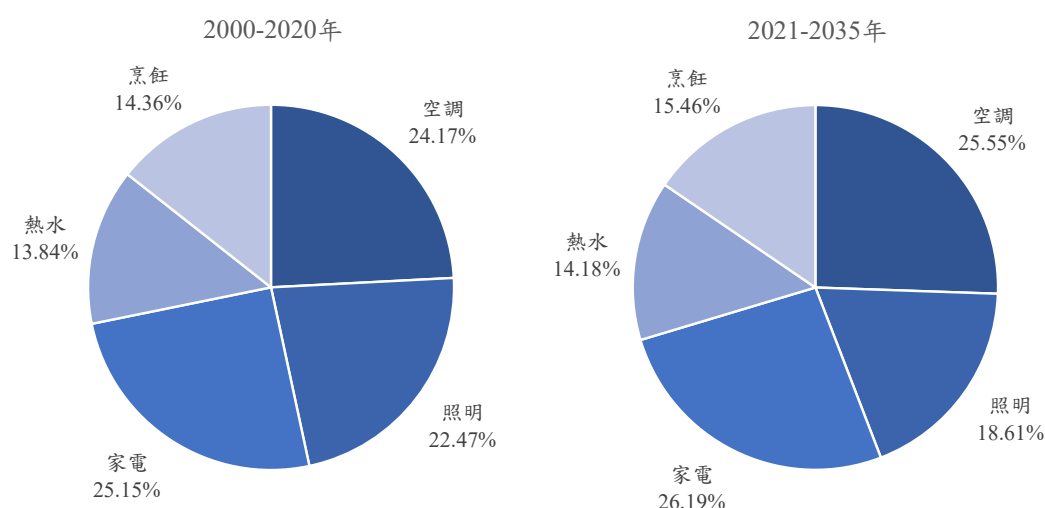


圖 4-11 住宅各耗能項目溫室氣體排放量占比 (以氣候中推估計算)

(資料來源：本研究繪製)

第二節 商辦溫室氣體排放量預測結果

藉由第三章的方法，可以得到商辦建築空調、照明與事務設備系統三項之主要逐年耗能量，再利用商辦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辦大樓的溫室氣體排放量，電力碳排係數參考表 3-1 和圖 4-8，自來水用水之溫室氣體排放係數則參考台灣自來水公司公告之排放係數計算。未來商辦面積則依與住宅全國面積一定之比例推估其樓地板面積增加率，如圖 4-12。

圖 4-13 為氣候變遷中推估下的商辦未來耗電量推估堆疊圖，由圖可得自從 2000 年至 2035 年，商辦大樓之總耗電量增加了 25.40%，其中空調設備增加了 19.9%，照明設備增加了 18.06%，事務設備 18.06%，其餘設備則增加了 18.06%。

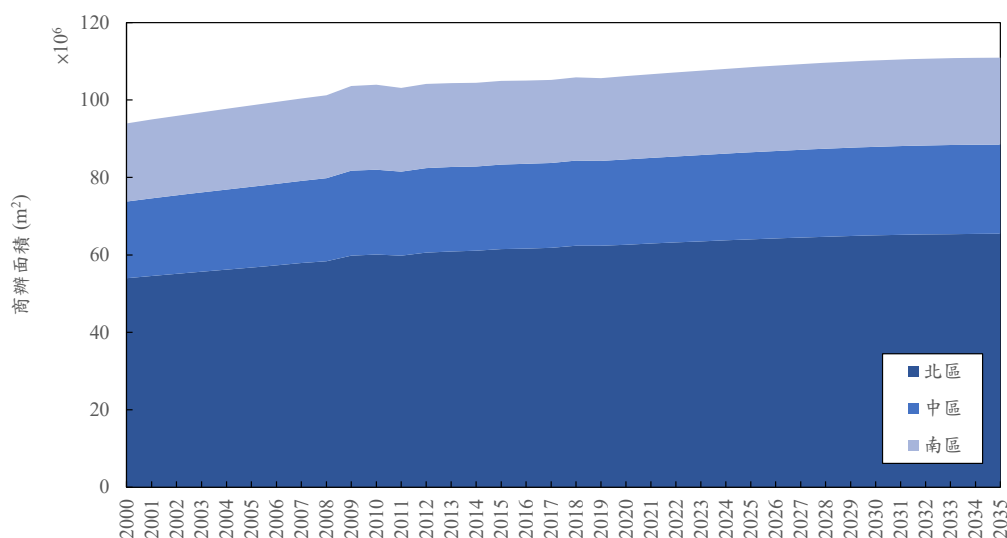


圖 4-12 逐年商辦建築樓地板面積推估

(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。則全國商辦之逐年溫室氣體排放趨勢如圖 4-15 中下方曲線所示，呈現下降之趨勢。倘不考慮未來我國之發電結構改變導致電力碳排係數下降之情況，則整體商辦建築逐年之溫室氣體排放量則如圖 4-15 中上方曲線所示，未來逐年呈現緩步上升之趨勢。

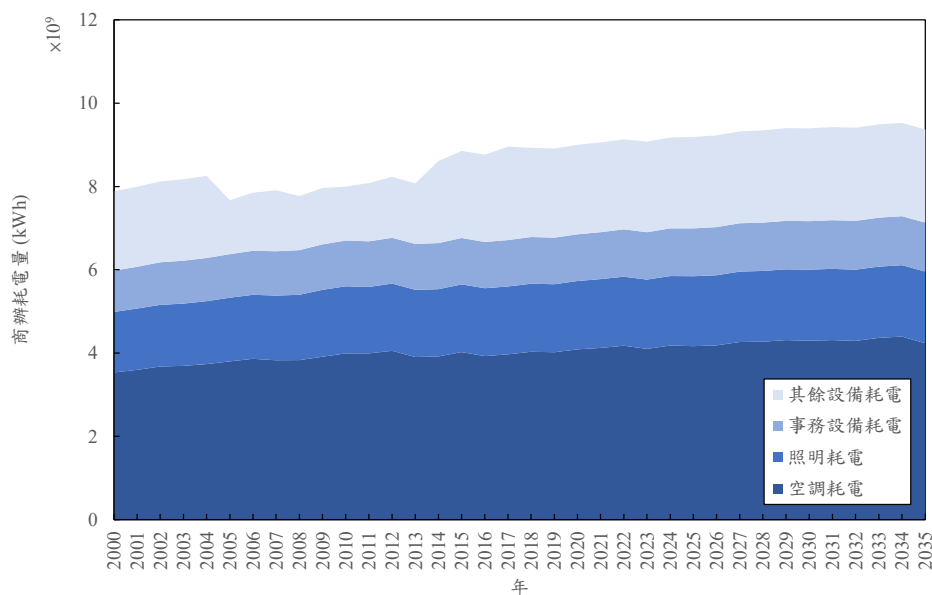


圖 4-13 商辦空調、照明、事務設備及其餘設備耗電量推估

(資料來源：本研究整理)

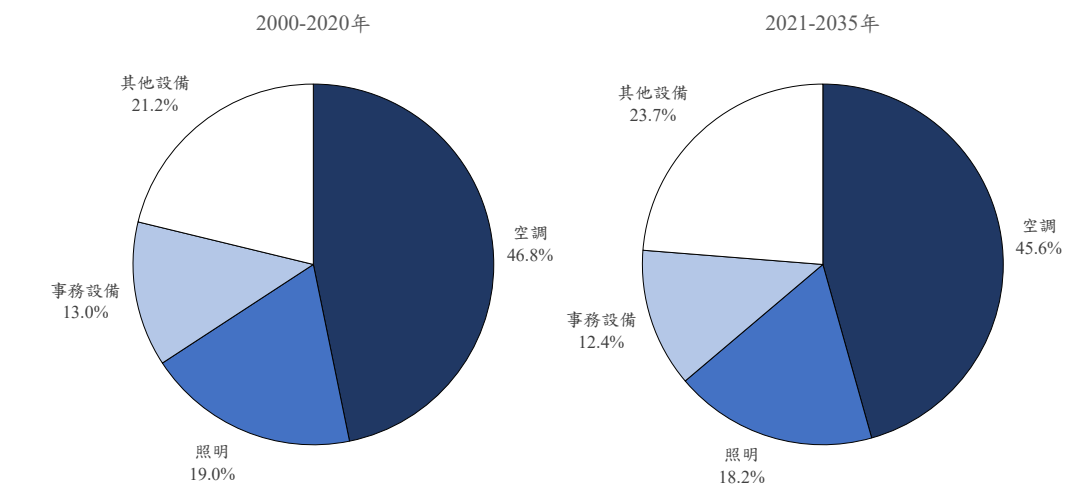


圖 4-14 商辦建築各耗能項目溫室氣體排放占比

(資料來源：本研究整理)

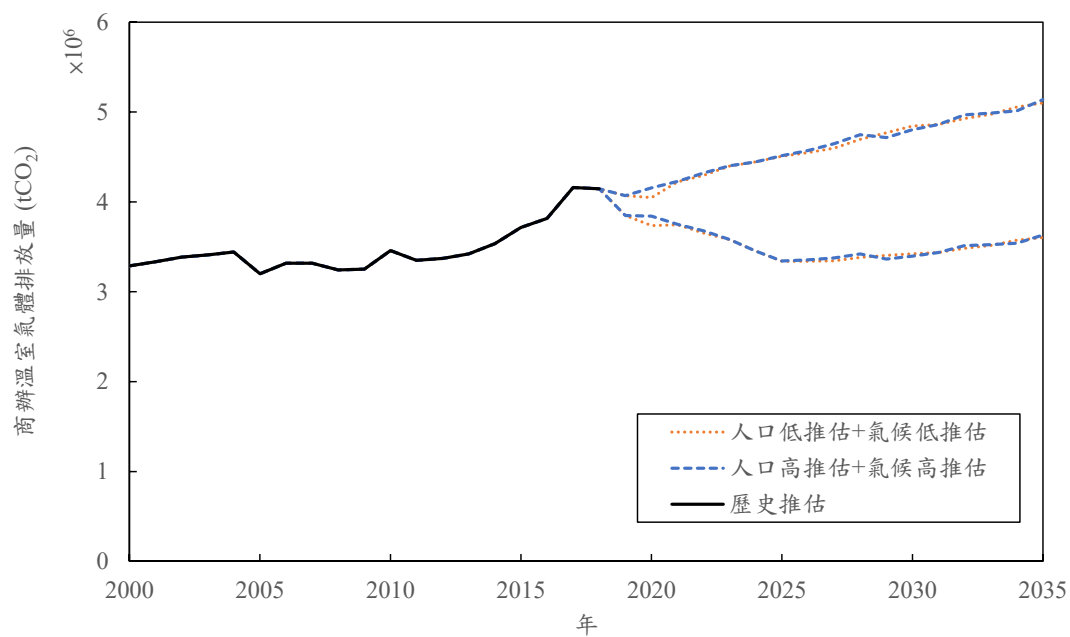


圖 4-15 商辦建築逐年溫室氣體排放量推估

(資料來源：本研究整理)

第五章 建築減碳途徑與溫室氣體第二期階段管制目標建議

第一節 住宅部門既有之減碳措施及其效益

《溫室氣體減量及管理法》規定，我國應每五年檢討一次國家的溫室氣體的排放目標，以讓國家的總體溫室氣體排放得以符合全世界的減碳趨勢，而第一階段的管制目標為 2020 年較基準年減碳 2%，亦即在 2020 年全國的溫室氣體排放必須降至 260.717 百萬噸碳當量。而根據經濟部能源局二氧化碳排放清冊等資料，住宅部門的碳排放量約占我國溫室氣體之 11.49%，而商業部門則占了 11.96%。而住宅部門的溫室氣體排放又以電力為大宗，根據 107 年度我國的燃料燃燒二氧化碳排放統計，電力排放約佔 84.72%，故政策規劃上應須以節約用電作為主要的減排措施。

根據我國經濟部能源局的規劃，未來的電力排放係數會逐年下降，故在未採取任何措施的情況下，住宅部門之溫室氣體排放因為整體國家能源政策的導向而受益。然而除了電力排放係數的下降之外，有關單位的政府部門應該採取更積極的行動以展現政府正面回應全球暖化問題的決心。根據過去內政部建築研究所的研究報告(王安強 & 黃瑞隆, 2018)，報告當中蒐集國內外相關的住宅部門的獎勵措施，經國內專家諮詢商討後所提出之獎勵措施建議，包括：建築外殼隔熱改善低利率貸款、獎勵金、建築設計規則修訂（趨嚴）；空調設備汰舊換新補助、貸款、能效法規趨嚴；耗電設備汰舊換新補助、低利率貸款、減稅措施，其中耗電設備包含：乾衣機、洗衣機、熱水器；照明設備更新補助、貸款；家電設備效率法規修訂（趨嚴）等各種政府政策，目的皆為了提升家用設備之更新率以及建築的翻新率以達到住宅部門減排的效益。

5.1.1 住宅外殼調適之減碳效益

建築外殼之節能設計可以降低通過建築外殼傳輸到室內空間的平均傳遞熱，而平均傳遞熱主要由三個熱源組成：(1) 通過不透光外牆之傳導熱、(2) 通過開窗之傳導熱、(3) 通過開窗之太陽輻射熱。而這些傳遞熱主要與建築外殼的設計與熱性能有關，其中外殼的熱性能可以透過以下幾種物理參數呈現，包括：窗牆比 (WWR)、外牆的平均熱傳透過率 (U_w) 玻璃的平均熱傳透過率 (U_f)、玻璃日射透過率 (SHGC)、外遮陽係數 (K) 和方位等 6 個變數。我國的建築技術規則中也有明定建築外殼的熱性能之標準。

而無論是外殼隔熱改善的補貼、低利率貸款、建築性能認證等相關獎勵措施，皆是為了提升既有建築翻新率或是更新率，以讓既有建築的外殼性能得以提升，進而減少熱傳進室內的比率，進而減少空調負荷達到減碳之效益，若單純只有法規趨嚴只能規範到新建的建築物，對於既存之建築物沒有約束力，故須搭配其他獎勵措施才能讓佔絕大多數比例之既有建築物達到更新的效果。而在過去建研所之研究，假定政府的政策不變、獎勵措施之更新率為 0.25-1% 不等，在不同

的更新率下對於住宅部門之減碳效益如圖 5-1 所示，至 2030 年建築更新率在 0.25-1%不等之情況下，可以分別達到 6.11、12.25、18.33、24.46 萬公噸之減碳效益，而若搭配法規趨嚴中鎖定立之 Uw、Uf 和 SF 基準值之調整，則可以達到更多的減碳效益。

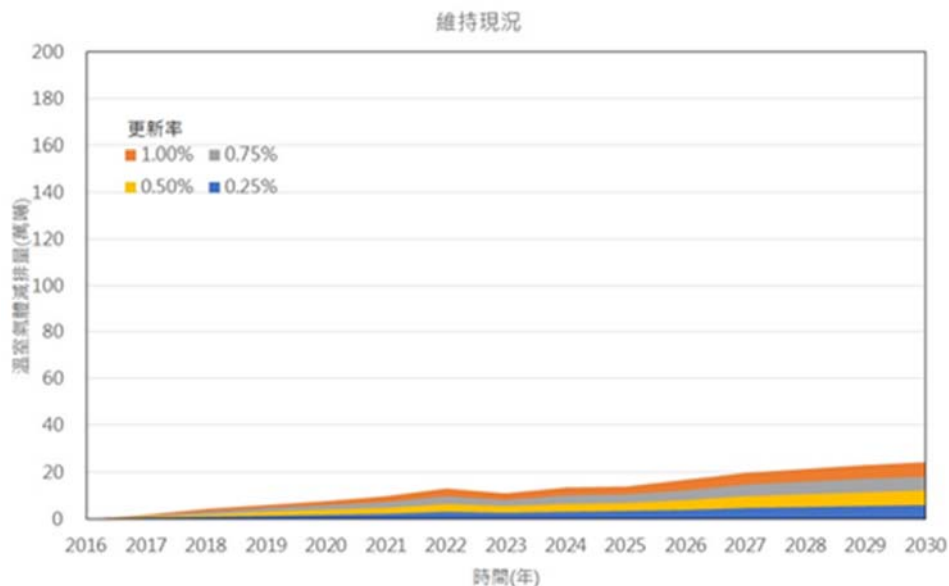


圖 5-1 目前法規於不同更新率下所貢獻的溫室氣體減量

(資料來源：(王安強 & 黃瑞隆, 2018))

5.1.2 空調調適之減碳效益

老舊之空調的能源效率比較低，然而空調幾乎是每個家戶必備之家電，也是住宅耗電之大宗，故空調之調適效益有必要納入研究的討論中。過去經常採取的作法，包括：空調汰舊換新的補貼、低利率貸款、減稅措施、折舊獎金等相關獎勵措施，皆是為了提升老舊空調的更新率，將老舊空調汰換為能源效率較佳之新型空調，但在能效法規趨嚴、空調設備沒有更新的情況下，對溫室氣體的減量並無太大的助益。

研究中假定因獎勵措施以及自主汰換的空調設備更新率為 0.25-1%不等，在空調能效法規無更新的情況下，不同更新率可以達到之減碳效益，如圖 5-2 所示，針對一級與二級效率空調提供汰舊換新補助可以達到之減碳量為 31.62、63.25、94.87、126.49 萬噸。能源效率提升表示空調可以消耗更少的電力達到同樣的室內環境舒適程度。

而若考慮未來科技技術之提升，研究中參考 Taiwan 2050 Calculator 針對空調能效提升之調適策略，如逐 5 年提升國內小型空調機能效維持現行最低容許耗用能源基準(MEPS 值)10%等措施，空調能效在趨嚴 10%、20%、30%，且整體更新率達 0.25-1%，在 2030 年以前可以分別貢獻 32.91-131.65、33.9-135.94、34.9-139.58 萬噸的溫室氣體排放，以空調能效趨嚴 20%為例，其溫室氣體之逐年減排趨勢如圖 5-3 所示。從前面的數據可以觀察到，若更新率上升 0.25%，

約可以提升溫室氣體減排效益約 35 萬噸，而若是法規趨嚴 10%則約只可提升 1-5 萬噸不等之減碳效益，故在政策推動上，應優先以空調設備之更新為首要目標，而該研究成果也如國際上其他國家之政策相似。

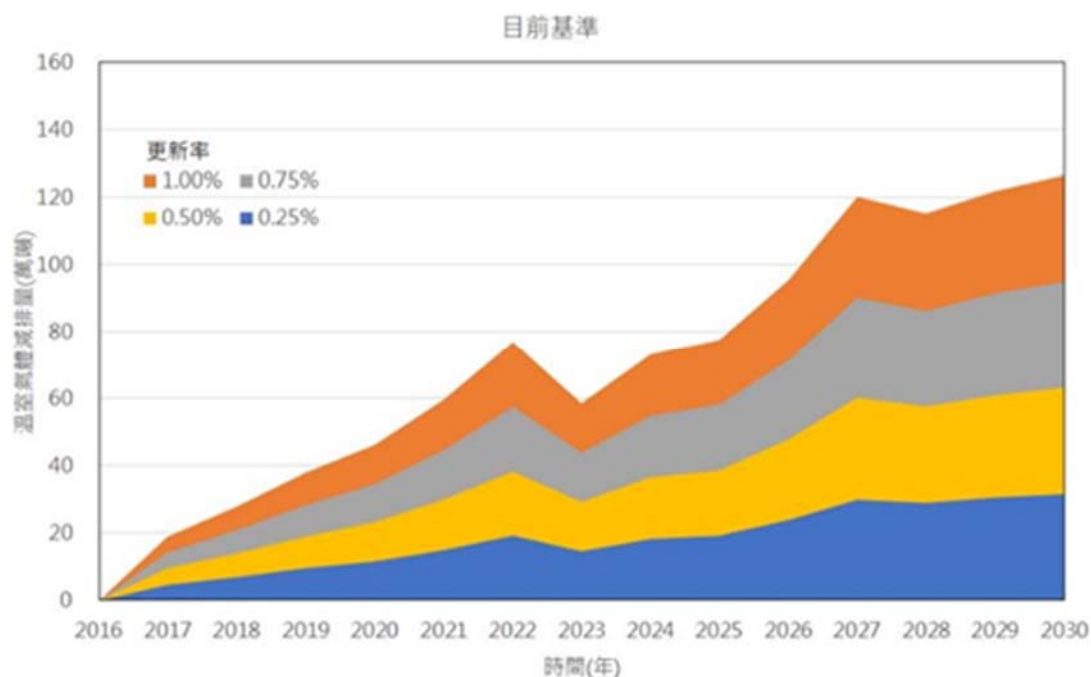


圖 5-2 目前空調能效法規在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量

(資料來源：(王安強 & 黃瑞隆, 2018))

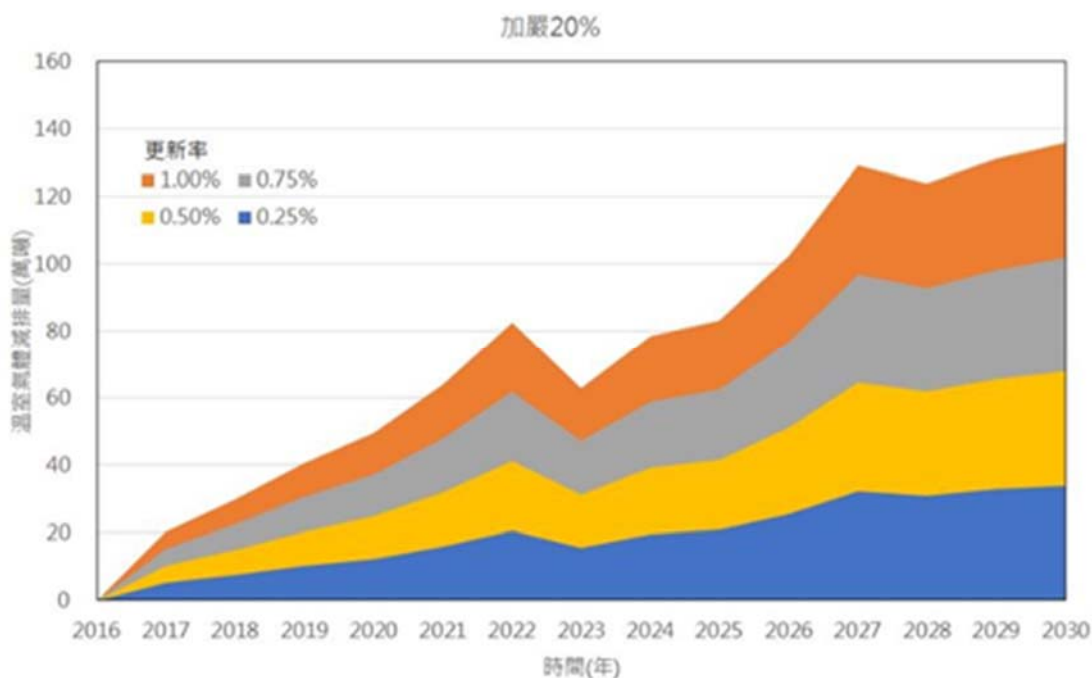


圖 5-3 空調能效法規趨嚴 20%在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量效益

(資料來源：(王安強 & 黃瑞隆, 2018))

5.1.3 家電調適之減碳效益

家電之耗能亦會使用電力，最終會反應到住宅部門之溫室氣體排放量，參考郭柏嚴（2005）針對家電設備之耗電研究，家電設備之耗電密度約為 21.91kWh/m².yr。家電種類多元，然而在現行的補助政策之下，除了空調以外，僅有補助冰箱的汰舊換新，若未來政府的家電設備更新政策納入更多種類的家電，如：洗衣機、除濕機，提升更多種家電種類之更新，而不僅僅限於冰箱，在未來有望隨著科技進步達到的效率更新，達到更顯著之住宅部門減碳效益。以冰箱為例，一台約 560 公升的電冰箱，若是一級能效的電冰箱比起第五集的電冰箱可以節能約 40%，相當於每年可以節省約 304kWh 的用電量。

若假定能效維持現在之科技水準，並且以冰箱為例，在政府政策維持不變之條件下，我國政策只補助一級與二級能效之冰箱，並以 0.25-1% 的更新率下進行減碳效益之評估，可以達到的減碳效益分別為：為 41.36、82.71、124.07、165.43 萬噸，如圖 5-4 所示。

若再考量到未來科技技術之提升，家電有關之法規趨嚴 10%、20%、30% 並且確保獎勵措施可以讓整體更新率達 0.25-1%，到 2030 年為止，分別可以貢獻 43.13-175.52、44.90-179.62、46.68-186.71 萬噸的溫室氣體減排效益，以家電法規趨嚴 20% 為例，其溫室氣體減排幅度將如圖 5-5 所示。若將更新率以及能效趨嚴的政策作法進行比較，更新率每上升 0.25% 約可讓住宅部門之溫室氣體排放量降低約 44 萬噸，而能效趨嚴 10% 只可提升 2-7 萬噸不等，故與前述之空調政策相同，政策目標應著重更新率。

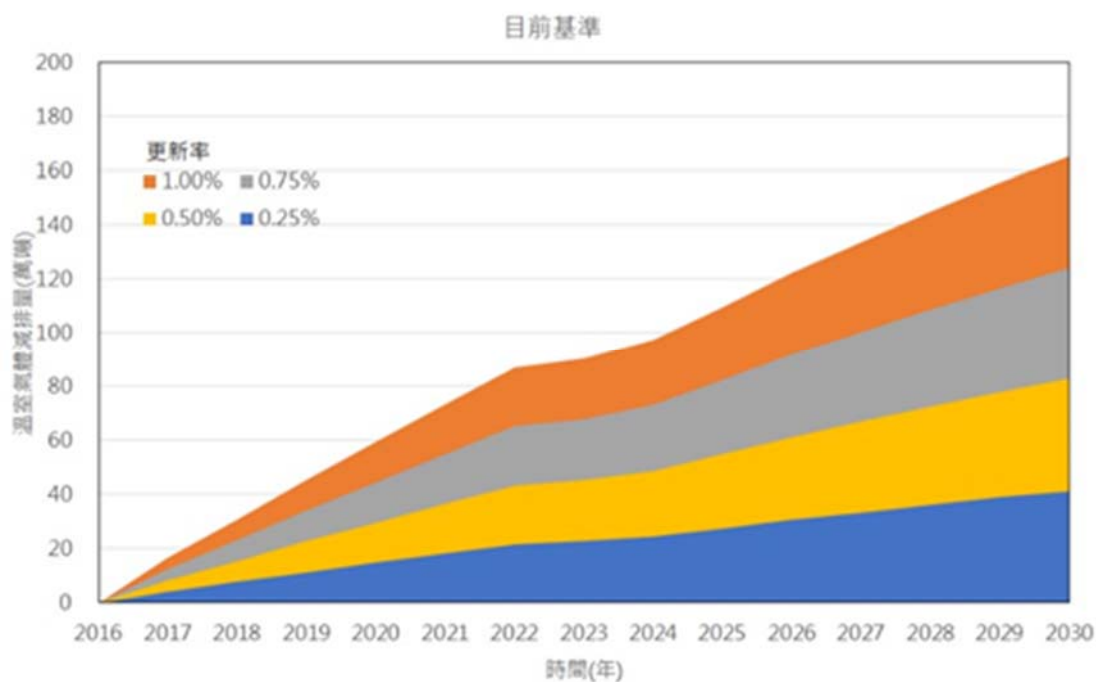


圖 5-4 目前家電能源效率在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量效益

(資料來源：(王安強 & 黃瑞隆, 2018))

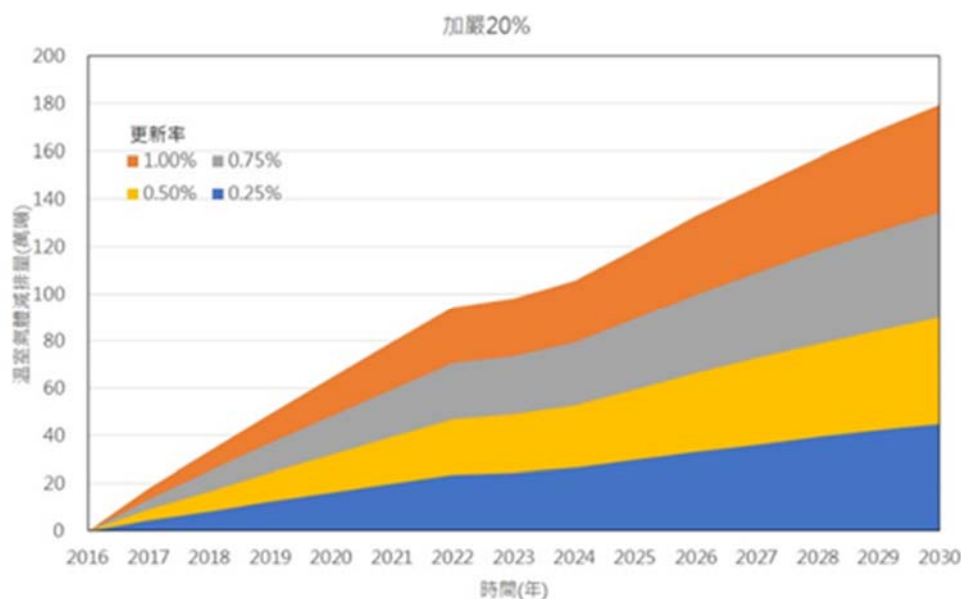


圖 5-5 家電能源效率趨嚴 20%在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量

(資料來源：(王安強 & 黃瑞隆, 2018))

5.1.4 照明調適之減碳效益

照明之耗能亦會使用電力，最終會反應到住宅部門之溫室氣體排放量，參考郭柏嚴（2005）針對住宅照明設備之耗電研究，照明設備之耗電密度約為 13.02kWh/m².yr。目前台灣的法律並無針對照明設備之更新提供相關補助，但在國際上已經有許多國家針對高效能的電燈進行補貼，若在未來政府亦針對傳統燈具進行補貼，在未來有望隨著科技進步達到的效率更新，達到更顯著之住宅部門減碳效益。以家庭燈具之一般 23W 省電燈泡為例，使用一級之省電燈泡 4 顆相當於使用五級之省電燈泡 6 顆，經過計算後約可以省下 33%之耗電量。

若假定能效維持現在之科技水準，並且以上述之省電燈泡為例，在政府政策維持不變之條件下，並以 0.25-1%的更新率下進行減碳效益之評估，可以達到的減碳效益分別為：為 24.60、49.19、73.79、98.38 萬噸，如圖 5-6 所示。

若再考量到未來科技與技術之提升，照明設備能效趨嚴 10%、20%、30%並且確保獎勵措施可以讓整體更新率達 0.25-1%，到 2030 年為止，分別可以貢獻 25.65-102.59、26.70-106.80、27.75-111.01 萬噸的溫室氣體減排效益。以照明設備能效趨嚴 20%為例，其溫室氣體減排之趨勢將如圖 5-7 所示。若將更新率以及能效趨嚴的政策作法進行比較，更新率每上升 0.25%約可讓住宅部門之溫室氣體排放量降低約 26 萬噸，而能效趨嚴 10%只可提升 1-5 萬噸不等。

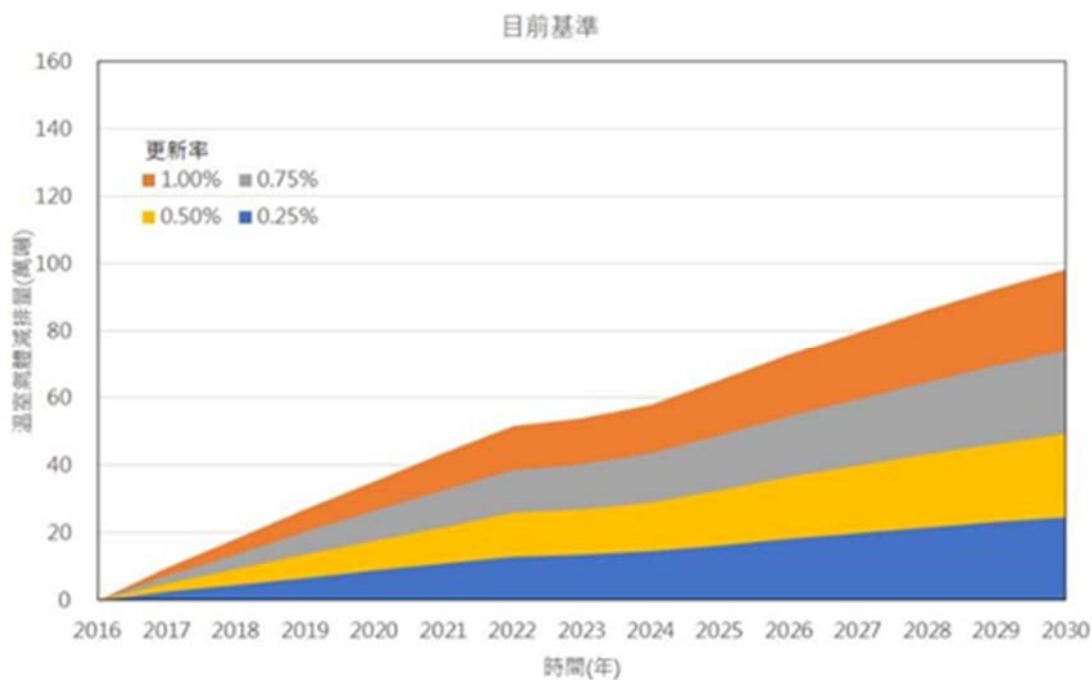


圖 5-6 目前照明設備能源效率在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量效益

(資料來源：(王安強 & 黃瑞隆, 2018))

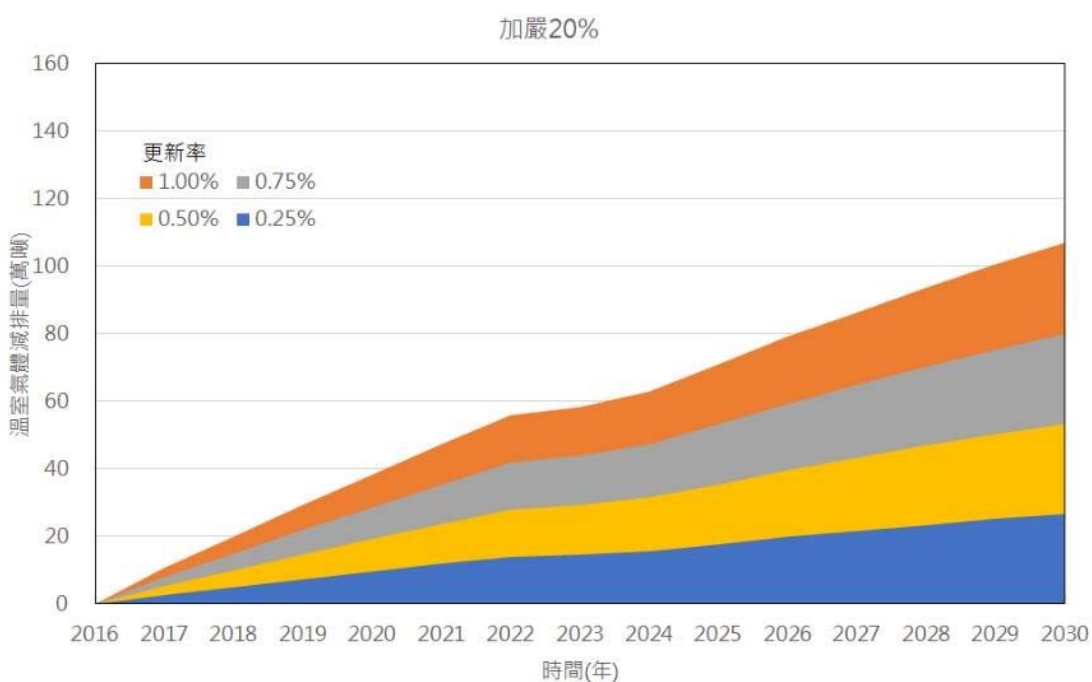


圖 5-7 照明設備能源效率趨嚴 20%在不同更新率所貢獻的溫室氣體減量效益

(資料來源：(王安強 & 黃瑞隆, 2018))

住宅部門溫室氣體排放之主管機關可以就前述之不同減碳策略，組合出最利於住宅部門減排之組合策略，並搭配適合之獎勵措施，以提高耗電設備之更新率，由前述也可以得知設備之更新率應為政府部門的政策目標，而更新設備

非常仰賴政府提供之獎勵或者補助，待有關單位擬定相關政策措施以達到我國之減碳目標。

5.1.5 其他政府可行之政策

除了上述針對住宅設備的汰換以及建築外殼之更新外，有關單位亦可採取其他政策以達住宅部門的減碳目標。例如：可以從候選綠建築證書以及綠建築標章著手，透過容積獎勵或者其他獎勵的方式促使建商更加願意以綠建築的設計方法建造新建建築物，若每年新增之綠建築證書以及綠建築標章逐年增加，將有助於住宅部門的溫室氣體減量。前述之綠建築作為僅限於新建建築而言，針對既有建築物的管理，有關單位亦可以提出相關政策，如：規劃建築物外殼耗能資訊透明機制，盤點既有建築物外殼之熱性能，作為建築熱性能評等之依據，將既有建築物依其熱性能分級，並讓政策效力首重於那些評級較低之建築物，以提高政策的減碳效力。而政府單位也可以針對住宅社區進行能耗診隊並提供輔導的資源，以每年數個住宅社區作為目標，提供節能診斷的服務並提供改善建議。

第二節 建築外殼減碳策略路徑模擬與效益評估

從前面的章節內容可以用由上而下的方法推估未來住宅與服務業的未來溫室氣體排放基線，然而，為了達到我國「溫室氣體減量及管理法」的減量目標，即我國的減碳長期目標為 2050 年碳排放減量至 2005 基準年的 50%，而短期內的目標則為 109 年需較基準年減少 2%，114 年較基準年減少 10%，而於 119 年需較基準年減少 20%。而政府機關的有關單位為了達成法定的目標，各自有其減碳配額，會定期研擬各個部門應承擔的減碳責任，而住宅與商業部門皆屬內政部營建署管轄，為了達到減碳目標，應規劃一些政策上的減碳策略以達成減碳效益，而本章則先針對商辦建築的減碳效益進行評估。本研究針對商辦建築擬定的減碳策略主要針對建築外殼、照明以及空調的改善為主，包含提升建築的外牆 U 值以及窗玻璃的玻璃日射透過率 (SHGC)、改善照明效率以及改善空調主機之 COP 值。

5.2.1 商辦外殼調適之減碳效益

首先，政府的改善策略並非針對所有的建築而言，因為有些近年晚期才興建之建築物在設計之初因循較為嚴苛之建築外殼節能規範設計，即有一定的節能效果，如採用較高的外牆或屋頂 U 值或者 SHGC 數值較高的玻璃等。然而就政策面而言，應首先針對能源使用效率較差的既有老舊建築著手，故在模擬政策效益時，首先針對建築外牆之隔熱性能較差者，如外牆構造 U 值 $> 2.75 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 以及在開口率 > 0.4 下且窗玻璃之 SHGC > 0.6 之案例進行節能改善，將這些建築的外殼優化至外牆的 $U = 2.75 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 且 SHGC = 0.6 之節能水準。經以本研究所建立之模擬樣本篩選，符合上述屬於優先改善的全國建築總樓地板面積約為

48,828,935m²，占比約為現今我國總樓地板面積之 46%，並假設政府的政策執行效率以及政策之擴散率可在 10 年之內改善完成，意即每年約改善 5%之全國樓地板面積，相當於 6,114,922 (m²/年)之商辦面積（以民國 109 年之商辦樓地板面積進行計算）。

若在年限之內將上述符合改善條件之 46%樓地板面積改善完畢，最終可達到與該年 BAU 相比約 5.24%的減碳效益。在發電結構不變的條件下，若不執行上述的改善策略，2035 年之排放量將比 2005 年上升 57.38%，若執行改善，則只會上升 49.11%；而若未來的發電結構與能源局的規劃相符合，即便不執行改善策略，2035 年將比 2005 年上升 11.23%，主要是受惠於電力碳排放係數的改善，而若執行改善策略，則僅上升約 5.40%，如圖 5-8 所示。

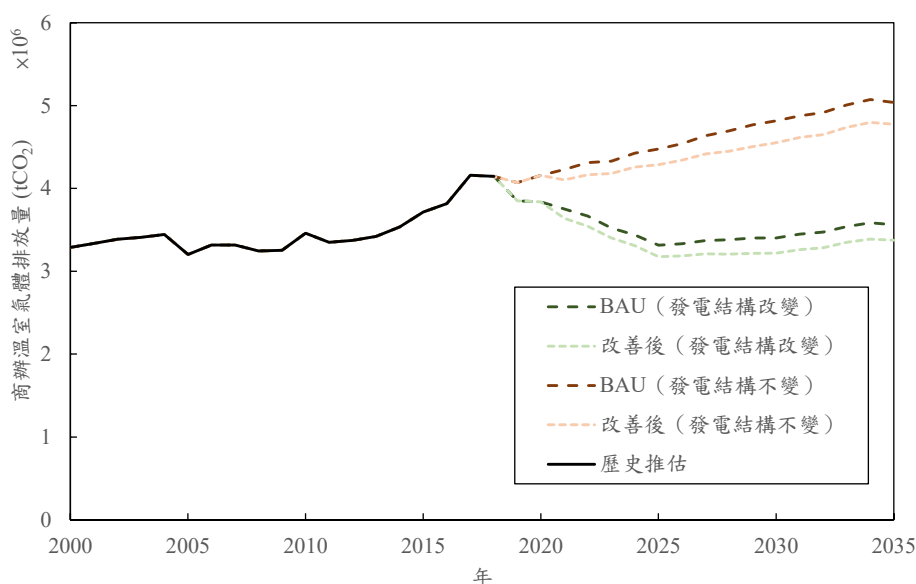


圖 5-8 商辦溫室氣體在發電結構改變與不變之情境在有無建築外殼改善策略下的排放量預估

(資料來源：本研究整理)

5.2.2 商辦照明調適之減碳效益

如同上一節之描述，研究假定的改善策略亦從既有條件較差之建築改善起，而商辦照明之調適策略選定的建築為原照明密度>8.0W/m²者，其照明效率再提升 10%，每年以需改善總數的 10%實施減碳策略，共計改善 10 年，並假定 2021 年開始該改善策略開始擴散，計算至 2035 年。經以本研究所建立之模擬樣本篩選，符合上述屬於優先改善的全國建築總樓地板面積約為 78,550,895m²，占比約為現今我國總樓地板面積之 74%，並假設政府的政策執行效率以及政策之擴散率可在 10 年之內改善完成，意即每年約改善 7.4%之全國樓地板面積，相當於 7,855,089 (m²/年)之商辦面積（以民國 109 年之商辦樓地板面積進行計算）。

若在年限之內將上述符合改善條件之 74%樓地板面積改善完畢，最終可達到與該年 BAU 相比約 1.53%的減碳效益。在發電結構不變的條件下，若不執行

上述的改善策略，2035 年之排放量將比 2005 年上升 56.42%，若執行改善，則只會上升 54.06%；而若未來的發電結構與能源局的規劃相符合，即便不執行改善策略，2035 年將比 2005 年上升 10.55%，主要是受惠於電力碳排放係數的改善，而若執行改善策略，則僅上升約 8.89%，如圖 5-9 所示。

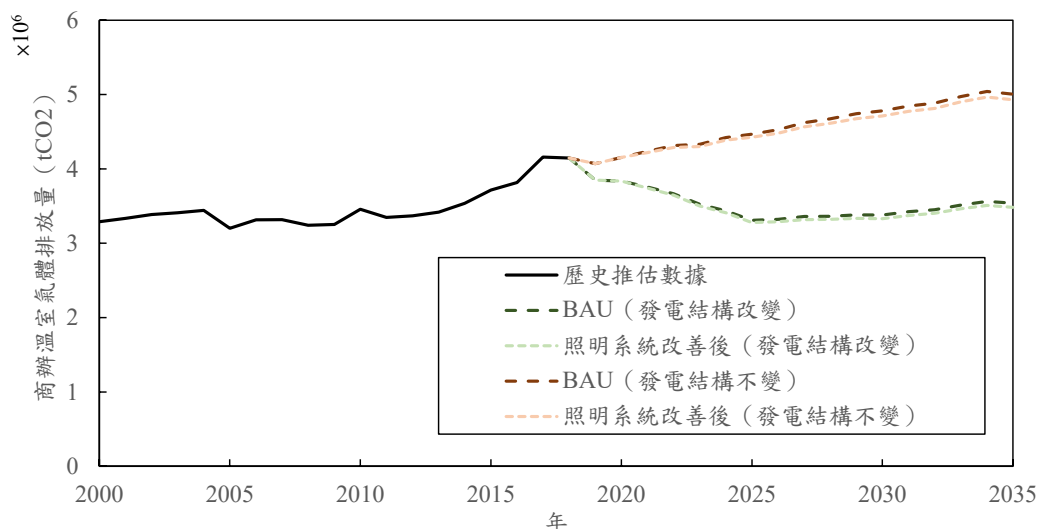


圖 5-9 商辦溫室氣體在發電結構改變與不變之情境在有無照明改善策略下的排放量預估

(資料來源：本研究整理)

5.2.3 商辦空調調適之減碳效益

如同上一節之描述，研究假定的改善策略亦從既有條件較差之建築改善起，而商辦空調之調適策略選定的建築為原主機 COP $\leq$ 5.5 者，其 COP 再提升 10%，每年以需改善總數的 10% 實施減碳策略，共計改善 10 年，並假定 2021 年開始該改善策略開始擴散，計算至 2035 年。經以本研究所建立之模擬樣本篩選，符合上述屬於優先改善的全國建築總樓地板面積約為 42,270,746m²，占比約為現今我國總樓地板面積之 40%，並假設政府的政策執行效率以及政策之擴散率可在 10 年之內改善完成，意即每年約改善 4% 之全國樓地板面積，相當於 4,227,074 (m²/年) 之商辦面積（以民國 109 年之商辦樓地板面積進行計算）。

若在年限之內將上述符合改善條件之 40% 樓地板面積改善完畢，最終可達到與該年 BAU 相比約 1.4% 的減碳效益。在發電結構不變的條件下，若不執行上述的改善策略，2035 年之排放量將比 2005 年上升 56.42%，若執行改善，則只會上升 54.23%；而若未來的發電結構與能源局的規劃相符合，即便不執行改善策略，2035 年將比 2005 年上升 10.55%，主要是受惠於電力碳排放係數的改善，而若執行改善策略，則僅上升約 9.01%，如圖 5-10 所示。

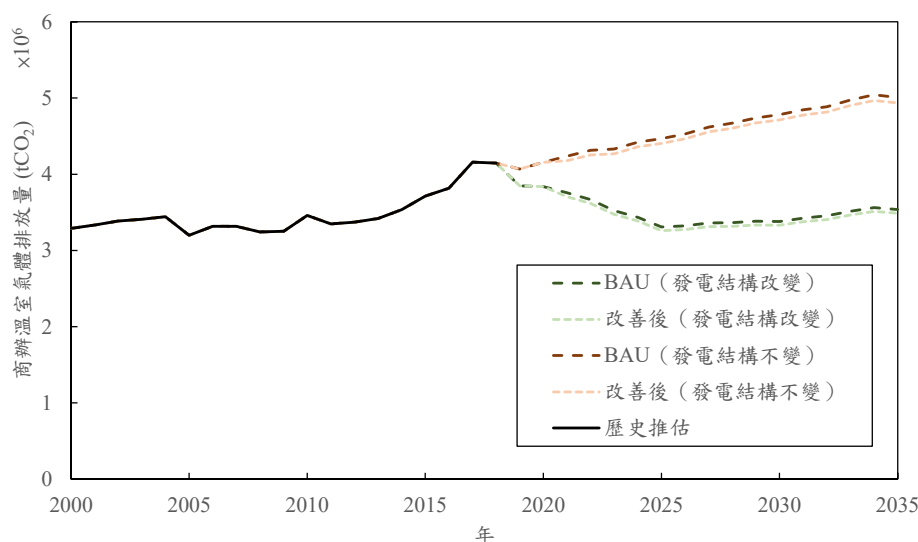


圖 5-10 商辦溫室氣體在發電結構改變與不變之情境在有無空調改善策略下的排放量預估

(資料來源：本研究整理)

第三節 我國溫室氣體第二期階段管制目標住商部門核配分析

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%，而短期內的目標則為 109 年需較基準年減少 2%，而今年已屆民國 109 年，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。

在此之上，本研究分別針對住宅部門以及商業部門進行推估，以下以簡述的方式說明推估方式以利理解本研究的研究方法以及科學根據。

步驟一：統計歷史能源消耗量。

參考 2005-2019 服務業部門與住宅部門之能源平衡表，其中能源消耗項目包含液化石油氣、車用汽油、航空燃油、煤油、柴油、燃料油、天然氣、液化天然氣、電力。

步驟二：推估未來能源消耗量。

除電力外，均參考步驟一之歷史資料以時間序列迴歸分析，未來電力消耗量之推估則參考服務業與住宅部門年耗電量變化率之趨勢修正後推得。由於透過「能源平衡表」以逐項能源消耗量合計得之溫室氣體排放數據與由能源局公告之「我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析」統計資料比對後，發現略有微小差異，因此本研究依下點所述之方式進行修正，以推估未來之溫室氣體排放量，更符合真實排放之情況。

步驟三：計算未來溫室氣體排放變化率。

將以上之各項能源依照其各自之排放係數換算溫室氣體排放量。其中，電力排放係數方面區分為二種情境來推估：其一為假設發電結構於未來改變下（改變之數值採用能源局所公告之預估數據），導致電力排放係數逐年下降之情境；其二為發電結構維持現況下，電力排放係數以 2018 年之值據以推估至未來。依上述二情境，分別計算未來溫室氣體之年變化率，以推估未來之溫室氣體排放量。

步驟四：推估未來溫室氣體排放量。

以經濟部能源局「我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析」之歷史統計資料為基礎，參考步驟三之未來溫室氣體年變化率，推算出未來服務業與住宅部門之溫室氣體排放量。

本研究針對住商部門的溫室氣體排放量的推估結果如圖 5-11 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。2018 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，如步驟三所述，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下的情境。而虛線則表示依照核配額度住商部門的減碳目標，109 年住商部門的減碳目標為 2.5%，而根據第二期管制目標之規劃住商部門因主要受惠於電力係數的下降而被核配 24%之減碳額度，換算成二氧化碳排放當量則為 43,714 千公噸碳當量，意即住商部門在 2025 年時的溫室氣體排放量需減少至 43,714 千公噸碳當量。然而，依照現行的 BAU 推估結果顯示，預估至 2025 年時住商部門的溫室氣體排放為 48,857 千公噸碳當量，其中有將近 5,143 千公噸碳當量之缺口，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或者與其他行政院下轄包含能源、製造、運輸、住商、農業等各與「溫室氣體減量與管理法」中央目的事業主管機關政府部門持續協商核配額度。

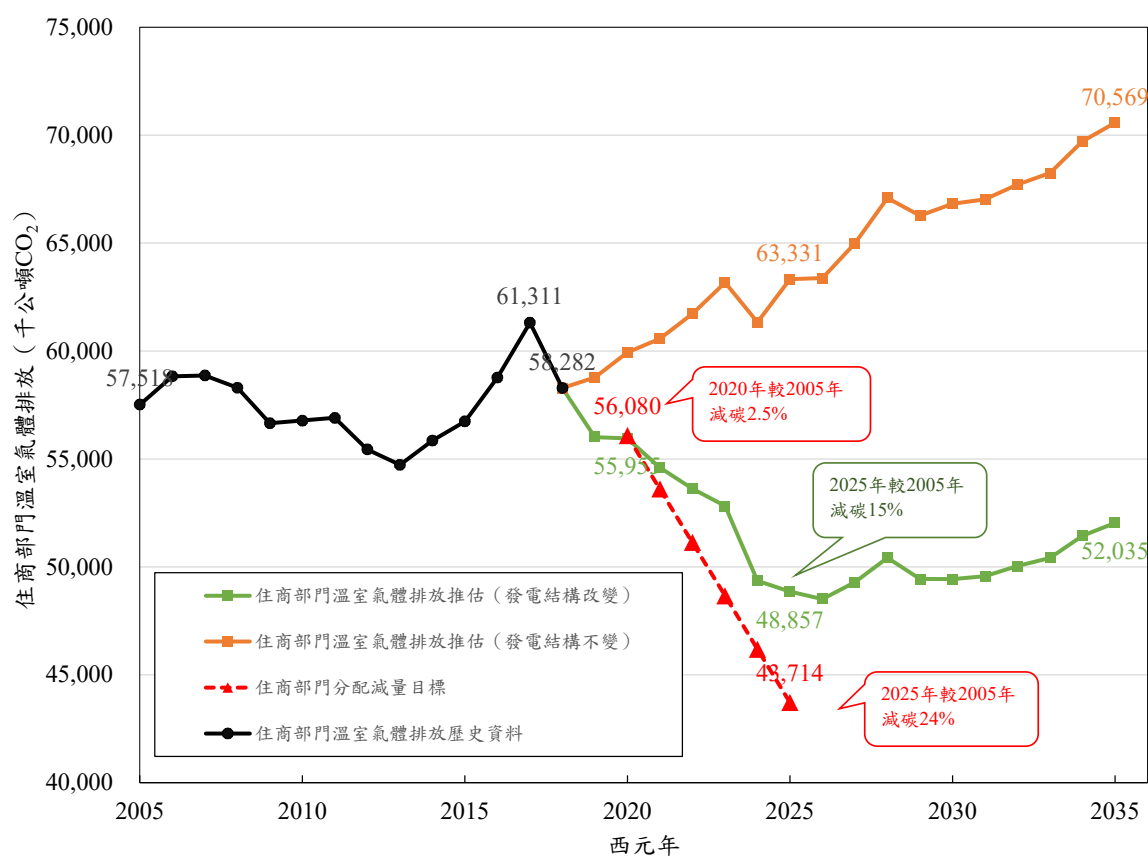


表 5-1 歷年與未來逐年住商部門之預估總碳排放量一覽表

年份	溫室氣體排放推估					
	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	28.773		28.745		57.518	
2006	28.921		29.906		58.827	
2007	29.124		29.745		58.869	
2008	28.736		29.561		58.297	
2009	28.411		28.242		56.653	
2010	28.052		28.725		56.777	
2011	28.530		28.370		56.900	
2012	27.573		27.868		55.441	
2013	27.104		27.625		54.729	
2014	27.833		28.022		55.855	
2015	28.038		28.702		56.739	

2016	29.626		29.147		58.773	
2017	30.769		30.542		61.311	
2018	29.500		28.783		58.282	
2019(f)	28.418	29.785	27.597	28.994	56.015	58.779
2020(f)	28.843	30.819	27.112	29.117	55.955	59.936
2021(f)	28.241	31.200	26.365	29.370	54.607	60.570
2022(f)	28.161	32.225	25.458	29.491	53.619	61.717
2023(f)	28.239	33.538	24.578	29.638	52.817	63.176
2024(f)	25.454	31.284	23.897	30.044	49.351	61.327
2025(f)	25.812	33.053	23.046	30.278	48.857	63.331
2026(f)	25.435	32.790	23.077	30.587	48.513	63.377
2027(f)	26.160	34.040	23.132	30.945	49.292	64.984
2028(f)	27.249	35.822	23.171	31.266	50.420	67.087
2029(f)	26.217	34.661	23.219	31.610	49.436	66.271
2030(f)	26.204	34.926	23.227	31.901	49.432	66.826
2031(f)	26.117	34.804	23.449	32.218	49.565	67.023
2032(f)	26.399	35.210	23.642	32.493	50.041	67.703
2033(f)	26.498	35.358	23.914	32.882	50.412	68.240
2034(f)	27.287	36.488	24.155	33.223	51.442	69.711
2035(f)	27.834	37.278	24.201	33.292	52.035	70.569

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估計)

第六章 結論與建議

第二節 結論

本研究整合過去住宅溫室氣體排放之相關研究同時以商辦類建築為主軸，建立住商部門未來溫室氣體排放基線(BAU)之推估架構與預測方法，同時獲致以下結論：

1. 完成國內外建築溫室氣體排放預測方法之文獻蒐集分析，確立本研究以由下而上之方式，透過各最終能源使用項目逐一建立其碳排推估方法，以建立住商部門溫室氣體未來排放量之基線。其開發之模型預計可作為未來評估住商減碳策略下之量化效益。
2. 完成確立並建立住宅與商辦類建築各項能源使用模式與全年溫室氣體排放之全國推估模型，所建立之模型可做為未來減碳效益計算之參考。
3. 透過蒙地卡羅方法建立大量商辦建築樣本，模擬過去至未來 2035 年逐年之空調、照明、設備等各能源耗用分項之能耗推估，完成發展住宅與商業部門溫室氣體排放量預測模型基線(BAU)。研究發現，雖隨著我國能源結構轉型，電力之二氧化碳排放係數下降，但由於隨未來我國經濟 GDP 成長以及建築樓地板面積增加之趨勢下，住商之溫室氣體排放近期雖呈現下降之趨勢，但自 2026 以後再加上氣候變遷之影響，整體溫室氣體之排放量趨勢將呈微幅上升。
4. 本計畫提出在我國能源結構不改變以及朝綠色能源發展等二種情境下我國住商部門溫室氣體排放趨勢之逐年變化至 2035，同時完成我國住商部門第二階段溫室氣體排放管制目標之建議。如以較為樂觀之情況，未來我國之能源結構朝既定之目標發展導致用電碳排係數逐漸下降之前提下，至 2035 年排放住商溫室氣體排放之預估總量將為 52.0 百萬公噸碳當量，相當對比於 2005 年時需再透過各種節能減碳策略降低 9.5% 為目標。
5. 根據現行溫室氣體管制目標，住商部門在 2025 年時的溫室氣體排放量需減少至 43,714 千公噸碳當量，依照本研究的 BAU 推估結果顯示，至 2025 年時住商部門的溫室氣體排放為 48,857 千公噸碳當量，其中有將近 5,143 千公噸碳當量之差距。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或者與其他行政院下轄包含能源、製造、運輸、住商、農業等各與「溫室氣體減量與管理法」中央目的事業主管機關政府部門持續協商核配額度。

6. 本研究初步針對商辦建築提出未來之減碳策略以符合未來國家的減碳目標，而本研究擬定之減碳策略包括建築外殼之改善（提升建築的外牆 U 值以及窗玻璃的玻璃日射透過率）、照明效率之改善以及空調主機 COP 值之改善：
- (1) 建築外殼之改善策略方面：主要針對建築外牆之隔熱性能較差者，如 U 值 >2.75 (W/m^2) 以及在開口率 >0.4 下且窗玻璃之 SHGC >0.6 之案例進行節能改善，將這些建築的外殼優化至外牆的 $U=2.75$ (W/m^2) 且 SHGC $=0.6$ 之節能水準，並假定政策擴散率為 10% 之情形下未來商辦建築之溫室氣體排放，至 2035 年時與當年之 BAU 相比約可減量 5.24%。
 - (2) 商辦照明之調適策略方面：原建築照明密度 $>8.0\text{W}/\text{m}^2$ 者，改善對策為將其照明效率再提升 10%，每年以需改善總數的 10% 實施減碳策略下，至 2035 年時與當年之 BAU 相比約可減量 1.53%。
 - (3) 商辦空調之調適策略方面：篩選原建築主機效率 $\text{COP}\leq 5.5$ 者，其 COP 再改善提升 10%，每年以需改善總數的 10% 實施減碳策略，至 2035 年時將與當年之 BAU 相比約可減量 1.4%。

第二節 建議

建議一

檢討住商部門溫室氣體第二階段減碳量之分配額度：立即可行建議

主辦機關：行政院環保署

協辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

本研究提出我國第二階段住商部門溫室氣體管制之建議，在經濟與民生持續成長以及全球氣候變遷氣候溫暖化之影響下，住商部門之溫室氣體排放量減碳幅度不如原先第一期之預估樂觀。建議應重新檢討住商部門溫室氣體減碳之分配額度，將更符合實際之情況，使我國之減碳政策更為務實。

建議二

研究基於內政部可行之減碳政策分析住商部門潛在之減碳量：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

本研究建立了住商部門未來溫室氣體排放之基線預測模型，以及基於建築能源動態解析之理論透過大量模擬之方式建構了住宅與商辦建築之全國能耗模型。因此，建議未來可進一步利用本研究所建立之模型，針對內政部既有之政策工具，分析可行之建築減碳策略並進行其減碳策略之效益分析，以評估住商部門未來可能之減碳潛力，俾利作為擬定溫室氣體減量策略之政策參考與基礎。

附錄一：期初審查意見回覆表

項次	評選委員意見	廠商回應
1	請具體說明前期住宅碳排研究成果及本案結束時預期研究成果之差異。	過去研究已完成住宅之排放基線預測，今年度增加除住商碳排放預測外，另增加減碳效益評估。
2	有關商業建築四種建築型態(醫院、旅館、商場百貨、辦公建築)應採用傳統中央空調或分離式空調系統，較符合國際趨勢?請於研究成果中提出具體建議	本研究考量住宅與商業建築採用不同的空調系統進行探討，以符合我國建築空調的使用情況。
3	建議國內外案例、文獻應涵蓋熱帶、亞熱帶區域國家，如佛羅里達州、新加坡，氣候環境與台灣地區較為相近。	本研究將盡量蒐集亞熱帶或熱帶地區之文獻。
4	照明、瓦斯、設備等項減量亦會降低空調負荷，是否考量此影響？	照明等室內發散熱之部分，擬將作為模擬之變因之一，以考量此對空調系統耗能之影響。
5	烹飪耗能推估引用國外文獻，但中西式烹飪方式相異，直接引用是否恰當？	本研究盡量查找是否有國內之數據或模式可供應用，倘我國尚無相關研究時再引用國外之文獻俾便計算全年總碳排放量。
6	空調節能效益推估採用綠建築評估手冊中所列節能技術，是否考量能源局對空調主機效能標準 CSPF、COP 提升產生的影響？	感謝委員建議，本研究將考量空調主機效率於減碳策略中。
7	有關住商部門的溫室氣體排放，需與環保署及能源局發布之歷年數據對接，以此為基礎再預估未來預測值，請問將如此整合相關單位之數據？	本研究擬以過去十幾年間之能源數據對所開發之碳排預測模式進行校正比對，以期更符合真實住商部門耗能之情況。
8	如何提出可行之建築溫室氣體減量策略為本案之重點，請說明在您盤點各國可供參考之措施中，哪些值得供我國參考？	本研究未來將參考國際之減碳措施，提出適合於我國可行之建築減碳路徑。
9	請說明未來人口與樓地板面積成長如何影響建築之碳排。	本研究預計透過我國歷史之能源數據資料與相關社會經濟因子等建立修正模式，以反應人口與建築樓地板面積未來消長對耗能之影響。

附錄二：期中審查意見回覆表

項次	評選委員意見	廠商回應
1	本案有助於政府推動溫室氣體減量政策，具有研究價值。	感謝委員肯定
2	建議碳排基線推估應予滾動檢討，並考量未來電力行為改變（例如電動車）對碳排放量的推估影響，避免低估。另外，對於增量部分應再予補充，以讓各界了解其困難。	本研究碳排基線將依未來逐年進行滾動檢討。
3	對於第二階段住商部門分配比例應如何分配才合理，建議考量實務推動困難。	本計畫將提出第二階段住商部門之減碳建議。
4	建議未來對於減量措施能予考量改善效益，如果可能，希望能與其他部門一併比較其成本效益。	本計畫擬於期末評估商辦建築外殼改善可能產生之減碳效益。
5	本案對於政府部門為推動溫室氣體減量及管理法的耗能預測及減量目標，為重要的依據參考。	感謝委員肯定
6	建議本案對於減量措施的效益推估，亦能給予模擬分析，以協助政府實施部門減量分配策略時，可以更明確地掌握具體目標。尤其是很多工商發展，均在住商部門的建築物中完成，造成住商部門的耗能一直上升，以致降低了建築部門減碳措施的成效，建議本研究亦能予以分析。	本計畫擬於期末初步評估商辦建築外殼改善可能產生之減碳效益。
8	為達成我國「溫室氣體減量與管理法」之 2050 年減量目標，行政院下轄包含能源、製造、運輸、住商、農業等各中央目的事業主管機關皆須推動「部門溫室氣體排放管制行動方案」，本計畫係針對我國住商部門溫室氣體排放量建立排放基線，並評估相關減碳方法與策略之效益，為我國住商部門溫室氣體減量規劃之重要依據。	感謝委員肯定
10	本案之研究成果有助於提供營建部門之節能政策決策參考。	感謝委員肯定
11	建議預測模式可納入未來可採用節能措施對於減量之成效分析。	本計畫擬於期末評估商辦建築外殼改善可能產生之減碳效益。
12	據了解，過內除本研究採用之建研所建立之 TMY3 氣象資料外，尚有台達電及工研院各自建立其氣象資料，是否有比較其使用特性。	本研究將台灣之氣候分區分為北、中、南三區分開評估其未來之空調耗能量，因此採用建

		研所之 TMY3 氣象資料精度已足以。
13	台水、北水的供水區與行政區並不一致，可能要注意	本研究將實際由台水與北水之供給區域，分區域計算其用水碳排放量。
14	建築物（住宅）的用電如電梯、電扶梯、停車場周圍停車設備等是否有納入評估範圍內。商辦部門有其他設備，但住宅部門好像沒提及	住宅的電梯等設備數量，由於無公寓大廈之統計資料，因此無法知道其全國設備總數量。目前的作法僅能以本研究所推估之預估值與實際值進行修正。
15	本研究蒐集國內外建築溫室氣體排放之預測、資料、文獻齊全完備。	感謝委員肯定
16	從未來之戶政推估、住宅部門商辦部門商辦減碳效益評估研析、推估甚具有施政之參考	感謝委員肯定
17	住商部門為環保署的用詞，所內負責住宅及部分的商業，但簡報中出現住宅部門、商業部門，引用文獻中又出現「服務業部門」，請釐清各個名詞，另外「商辦」之範疇為何，說明商業部門之預估量範圍。	本研究「商辦」意指商業辦公大樓而言。本計畫在住商溫室氣體之推估，仍以整個住宅與服務業為主。
18	環保署分配住商部門之減碳貢獻量為以民國 94 年為基準減少 24%，重新檢討當初 BAU 之推估。	本計畫預計重新檢討住商之 BAU，將於期末報告中呈現。
19	提醒研究團隊在推估溫室氣體排放量時，由於這兩年的電力碳排係數並未明顯下降，若直接引用能源局公告之碳排係數並寫入具體成果成為未來的目標值，會變成住商部門的承諾，可能請研究團隊評估電力碳排係數的推估值是否符合現在的趨勢。	電力碳排係數的推估值是經由能源局就台灣之能源政策推估後公告之預測值。評估此預測值是否符合趨勢並非本研究之範圍。

附錄三：專家諮詢會議意見回覆表

- 一、時間：109 年 10 月 12 日(一)下午 3 時 00 分
- 二、地點：內政部建築研究所 13 樓簡報室
- 三、主席：黃國倉 副教授
- 四、出席者：張效通教授、陳海曙教授、陳希立教授、王婉芝副執行長、內政部建築研究所徐虎嘯、姚志廷、林俊賢
- 五、專家意見與回覆：

次	專家諮詢意見	回應內容
1	建築溫室氣體排放預測之參數，包括 GDP、全國戶數、住宅總面積等之取捨說明須詳細補充。	感謝委員建議，擬將清楚補充於報告書中。
2	減量措施除了考慮外殼變因外，建議要將空調節能措施、照明措施、熱水措施納入評估。	本年度計畫內容主要在於建立未來住商溫室氣體排放之基線之推估模式。
3	商辦部門之空調系統以中央空調為主，建議耗能模擬將 COP 或 EUI 以系統之用電量 kW/RT (包括冰水主機、泵、風機) 等。	感謝委員建議。然而，本研究係透過建築能源模擬之方式建立空調系統之耗能預測，而非直接以 COP 或 EUI 進行預測。
4	減碳策略效益評估，建議可再增加其他之耗能、空調系統。	本年度計畫內容主要在於建立未來住商溫室氣體排放之基線之推估模式。減碳策略初步已完成建築外殼改善之策略效益模擬。
5	住商部門第二階段管制目標建議之減碳目標為 20%與前面研究之關聯性，如建築溫室氣體排放預測與減碳措施分析。	第二階段管制目標之建議以相較於 2005 年達 20%之減碳幅度，乃基於建築外殼節能改善同時考量政策擴散效果後，權衡而提出之建議。
6	研究細緻、資料量大，值得肯定	感謝委員肯定。
8	擬應再研究緒論說明研究之方法論。為何住宅用 EUI？而為何商辦用蒙地卡羅？兩者之分析決果有何不同，差異為何？	事實上，住宅與商辦之空調預測方式皆同樣採用蒙地卡羅方法進行，預測邏輯是一致的。
10	採預測模式，與真實耗電量之差異？真實耗電量如何取得？	預測與真實的平均誤差約為 5%左右，因此需與實際值進行校正，以使預測模式更為精確。
11	若以目標導向的策略規劃？有何不同？	目標導向的策略規劃比較適合於減碳目標之政策擬定。而本研究採用由下而上之推估方法，可清楚瞭解每一耗能來源之組成，因此可進一步透過各能源發生源之節能改善措施，進一步量化分析其預期的減碳量，有助於研訂為達成住商部門減碳路徑之減碳策略。

附錄四：期末審查意見回覆表

項次	評選委員意見	廠商回應
1	簡報 p.3 是整體行業別的統計，若改以單位面積的用電可能較容易那些途徑較容易進入	簡報 p.3 用意在分析各種建築類型之溫室氣體排放量之佔比，以作為推估全國住商之溫室氣體排放總量。
2	燃油部分推估模式中，有考慮電動車數量增加的影響嗎？屆時由減少但用電又增加，這部分的上升是併到運輸還是住宅部門	有關電動車之影響，本團隊擬再透過文獻查找相關研究或模式，以評估納入計算之可行性。
3	本案符合預期成果需求	感謝委員肯定。
4	建議未來可進一步分析政府部門，對於建築減碳策略，及減碳效益分析以作為溫室氣體減量之政策參考	本研究業已提出針對建築外殼開口部與外牆節能改善策略之效益模擬。而單就政府部門而言，目前由於在建築樓地板面積之統計上，無法確實區分出政府部門，因此不易評估單就政府部門之減碳效益。
5	數據收集完整值得肯定	感謝委員肯定。
6	列舉各國溫室氣體減量之承諾，建議比較我國與他國之作法，那些國家的做法是值得我國借鏡的？	各國之溫室氣體減量政策，已補充說明於第二章文獻回顧一節中。
7	表 3-25 屬服務業類別之各建築別逐年用電歷史與推估資料係逐年增加，尤其是商辦類從 2009 年的 5927GWh 但 2019 年增至 7524GWh（75 億度），顯然與溫減承諾相差太遠，不易達標。可說明原因及提出建議供政府相關部門參考。另從表 5-1 溫室氣體排放量逐年數據顯示 2005-2019 年變化不大，二者似乎矛盾如何解釋？	表 3-25 係以用電量呈現；而表 5-1 是再加上我國電力之碳排放係數隨我國用電結構在未來轉型為趨向綠能之狀態下預估計算而得，因此二者間趨勢是不同地，倘若電力碳排放係數在未來維持今日之水準，則兩表之預估趨勢則趨一致。
8	溫室效應玻璃帷幕外牆有光線公害太陽能穿透問題慢慢被屏棄不用，磁磚及石材外牆慢慢被普遍使用，但石磚剝落問題又糾纏問題。這方向在研究建議可否著墨？	感謝委員建議，然此議題已超出本研究範圍。
9	建議後續研究著重於住商部門節能減碳潛力，同時	感謝委員建議，本計畫今年度

	也可以與其他部門一併分析	著重於建立住商之 BAU 預測模式，至住商部門減碳潛力則建議納入未來之研究課題。
10	第二階段目前對於住商部門分配減碳排仍有調整，對於減排缺口如何在住商部門分配調整，有利於本部之分配，並補充建議策略。	減排缺口與額度在住商間之分配問題，需先由住商各自之減碳潛力分析再依改善潛力之差異，加上考量住宅與商業部門在未來建築樓地板面積發展之規模等因素以計算出各自應負擔之減碳量。此則需仰賴未來進一步研究分析。
11	本案有無評估未來建築增建問題，其所造成影響與論述	本研究已有考量建築未來發展導致樓地板面積增加之情況。
12	本計畫如期完成各工作項目，符合預期成果。本計畫有助於政府推動溫室氣體減量政策。	感謝委員肯定。
13	簡報 23 頁有提到商辦建築的蒙地卡羅變因分佈，希望住宅部門的表也可以呈現。	將於修正之期末報告中呈現住宅所使用之變因表。
14	環保署要求各部會成立智庫，因為是國家長期的議題，目前已經做了三年，未來也會持續做，尤其用電使用行為會持續改變，包括電動車的崛起，是否會計入住宅用電？未來或許充電樁會單獨紀錄，不納入住宅部門，但若在家裡充電應屬於住宅部門，所以電動車的增長對於住宅部門的影響應該要有相關數據。	電動車耗用住宅用電之問題屬交通運輸部門之議題，非本研究團隊之專長。擬尋找相關文獻是否有電動車耗能之推估模式，再評估能否加入本計畫所開發之推估模型內。
15	商業部門以及商辦建築之間的關係須多加說明	將於修正的期末報告中補充說明商業部門與商辦建築間之關係。
16	報告中的減量措施的部分研究團隊需要再多花點時間，商辦減量等該內容只有外殼的減量措施，會導致誤會以為只有外殼的減量措施。	感謝委員建議，擬再擬定商辦建築之其他減碳策略，模擬分析其效益。

參考書目

- [1] Azzalini, A. (1985). A Class of Distributions Which Includes the Normal Ones. *Scandinavian Journal of Statistics*, 12(2), 171-178. Retrieved from www.jstor.org/stable/4615982
- [2] Cabeza, L. F., Urge-Vorsatz, D., McNeil, M. A., Barreneche, C., & Serrano, S. (2014). Investigating greenhouse challenge from growing trends of electricity consumption through home appliances in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 188-193.
- [3] California Energy Commission. (2019). California Titled 24 Alternative Calculation Method Manual. In.
- [4] Climate Action Tracker. (2019). Current Policy Projections of South Korea. <https://climateactiontracker.org/countries/south-korea/current-policy-projections/>(Accessed date: 2020.03.01).
- [5] 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>.
- [6] Government of Canada. (2018). Modelling of greenhouse gas projections. <https://www.canada.ca/en/services/environment.html>(Accessed date: 2020.03.01).
- [7] Government of Republic of Korea. (2015). Submission by the Republic of Korea Intended Nationally Determined Contribution. <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC>(Accessed date: 2020.03.01).
- [8] Harvey, L. D. (2008). *Energy savings by treating buildings as systems*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- [9] Huang, K.-T., & Hwang, R.-L. (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. doi:10.1016/j.apenergy.2015.11.008
- [10] International Energy Agency. (2012). CO2 Emissions from Fuel Combustion. Beyond 2020 Online Database. Available at: <http://data.iea.org>.
- [11] International Energy Agency. (2012b). Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a Clean Energy System.
- [12] International Energy Agency. (2013). IEA Online Data Services. Available at <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>.
- [13] International Energy Agency, & United Nations Environment Programme. (2019). 2019 Global Status Report for Buildings and Construction.
- [14] Isaac, M., & Van Vuuren, D. P. (2009). Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. *Energy Policy*, 37(2), 507-521.
- [15] Ministry of Foreign Affairs of Japan. (2015). Submission of Japan's Intended Nationally Determined Contribution (INDC). <https://www.mofa.go.jp/files/000090898.pdf>.
- [16] Nejat, P., Jomehzadeh, F., Taheri, M. M., Gohari, M., & Abd. Majid, M. Z. (2015). A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843-862. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>
- [17] Petersdorff, C., Boermans, T., & Harnisch, J. (2006). Mitigation of CO2 emissions from the EU-15 building stock. beyond the EU directive on the energy

- performance of buildings (9 pp). *Environmental Science and Pollution Research*, 13(5), 350-358.
- [18] Shimoda, Y., Yamaguchi, Y., Okamura, T., Taniguchi, A., & Yamaguchi, Y. (2010). Prediction of greenhouse gas reduction potential in Japanese residential sector by residential energy end-use model. *Applied Energy*, 87(6), 1944-1952. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.021>
- [19] Swan, L. G., Ugursal, V. I., & Beausoleil-Morrison, I. (2011). Occupant related household energy consumption in Canada: Estimation using a bottom-up neural-network technique. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 326-337.
- [20] 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*.
- [21] van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., De Vries, B. J., Isaac, M., van der Sluijs, J. P., Lucas, P. L., & Balachandra, P. (2011). Model projections for household energy use in India. *Energy Policy*, 39(12), 7747-7761.
- [22] 中華民國統計資訊網. 國民所得及經濟成長統計資料庫. Retrieved from <http://statdb.dgbas.gov.tw/pxweb/Dialog/NL.asp?mp=4>
- [23] 內政部不動產資訊平台. 低度及待售住宅. Retrieved from <https://pip.moi.gov.tw/V3/E/SCRE0104.aspx>
- [24] 內政部戶政司全球資訊網. 人口統計資料庫. Retrieved from <https://www.ris.gov.tw/app/portal/674>
- [25] 內政部建築研究所. (2014). *綠建築評估手冊-基本型* (2015 ed.).
- [26] 內政部營建署. (2006). *臺閩地區住宅狀況調查*. Retrieved from
- [27] 王安強, & 黃瑞隆. (2018). 住宅部門溫室氣體減量調適措施與衝擊評估之研究. *內政部建築研究所協同研究期末報告*.
- [28] 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 from <https://www.water.gov.tw/ch/Subject/Detail/2269?nodeId=813>
- [29] 台灣電力公司. (2018). 電力行業別用電(98~107 年資料).
- [30] 行政院主計總處. (2010). *人口及住宅普查*. Retrieved from
- [31] 行政院主計總處. (2016). *行業標準分類*.
- [32] 行政院環境保護署. (2019). *溫室氣體排放係數管理表*. Retrieved from
- [33] 何明錦, & 黃國倉. (2013). 臺灣建築能源模擬解析用逐時標準氣象資料 TMY3 之建置與研究. *內政部建築研究所協同研究報告*.
- [34] 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*.
- [35] 林家弘, & 許淑麗. (2015). 「能源部門溫室氣體減量管理策略與機制」計畫. *經濟部能源局*.
- [36] 林素琴, & 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.
- [37] 林憲德. (2018). 建築產業碳足跡.
- [38] 林憲德, & 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.
- [39] 國家發展委員會. (2018). *中華民國人口推估 (2018 至 2065 年)*. Retrieved from
- [40] 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*.
- [41] 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。

- [42] 郭瑾瑋, 周裕豐, 洪明龍, & 劉子衡. (2015). 應用臺灣 TIMES 模型進行我國長期電力供需規劃. *臺灣能源期刊*, 第 2 卷第 4 期.
- [43] 郭瑾瑋, 溫珮伶, 徐昕煒, 周裕豐, & 李孟穎. (2017). 臺灣能源工程模型：住服部門. *工研院綠能與環境研究所*.
- [44] 陳政弘. (2018). 溫室氣體階段管制目標中長期社經參數推估. *國家發展委員會*.
- [45] 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.
- [46] 經濟部能源局. (2018a). 107 年 (2018) 能源平衡表.
- [47] 經濟部能源局. (2018b). 2018 非生產性質行業能源查核年報.
- [48] 經濟部能源局. (2019a). 107 年度電力碳排係數. Retrieved from
- [49] 經濟部能源局. (2019b). 2019 非生產性質行業能源查核年報. Retrieved from
- [50] 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 from https://www.water.gov.taipei/News_Content.aspx?n=30E4EDA27F6D9953&sms=87415A8B9CE81B16&s=A82FC62D5CECBA69
- [51] 鄭凱文. (2004). 家用太陽能熱水器輔助電熱器耗能因子分析. (碩士). 國立成功大學, 台南市. Retrieved from <https://hdl.handle.net/11296/7a79cf>
- [52] 羅時麒, 黃瑞隆, & 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*.
- [53] 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.

建築溫室氣體排放預測及減量措施之分析

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：羅時麒、黃國倉、黃瑞隆、簡裕恒、龔宇彥、黃彥碩

出版年月：109年12月

版次：第1版

ISBN：