

攝影：林韋廷

臺灣能源工程模型：住服部門

2021 年 8 月

郭瑾璋、溫珮伶、徐昕煒、周裕豐、李孟穎

工研院 綠能與環境研究所

臺灣能源工程模型：住服部門

2021 年 8 月

內容

一、前言.....	2
二、住服部門能源服務需求推估模式	2
(一) 空調能源服務需求	3
(二) 照明能源服務需求	5
(三) 熱水能源服務需求	6
(四) 烹調能源服務需求	6
(五) 冰箱能源服務需求	7
(六) 其他插電設備	7
(七) 其他燃料設備	7
三、住服部門技術資料庫	8
(一) 空調技術資料庫.....	10
(二) 照明技術資料庫.....	14
(三) 熱水技術資料庫.....	17
(四) 烹調技術資料庫.....	20
(五) 冰箱技術資料庫.....	21
參考文獻.....	23

一、前言

臺灣 TIMES 能源工程模型是在滿足能源服務需求下，以最低成本進行規劃之能源供需系統。因此，能源服務需求為 TIMES 模型重要的外生參數，亦為模型規劃未來長期能源供需展望的主要驅動力。

能源服務需求 (Energy Service Demand; ESD) 的定義係指對於能源服務之需求，亦為能源所能提供之服務。在臺灣 TIMES 能源工程模型中，將能源服務需求區分為三大部門：工業部門、住宅與服務業部門及運輸部門。由於模型技術資料庫相當龐大且複雜，本文將 (1) 依住服部門技術別說明能源服務需求之推估模式、(2) 介紹 TIMES 模型住服部門技術資料庫的技術設定。

二、住服部門能源服務需求推估模式

住服部門能源服務需求，主要受到國家經濟發展程度與建築物空間影響 (IEA, 2012)。檢視我國服務業部門與人口、經濟活動之關係，服務業能源消費自 2000 年到 2014 年年平均成長率為 2.22%，而服務業 GDP 年平均成長率亦為 2.55%，可得知服務業能源消費量與 GDP 呈現正向相關。住宅部門之能源服務需求，則與家庭型態及住宅使用空間有關。簡單的說，應可藉由人們的活動場域來推算住服部門的能源耗用。

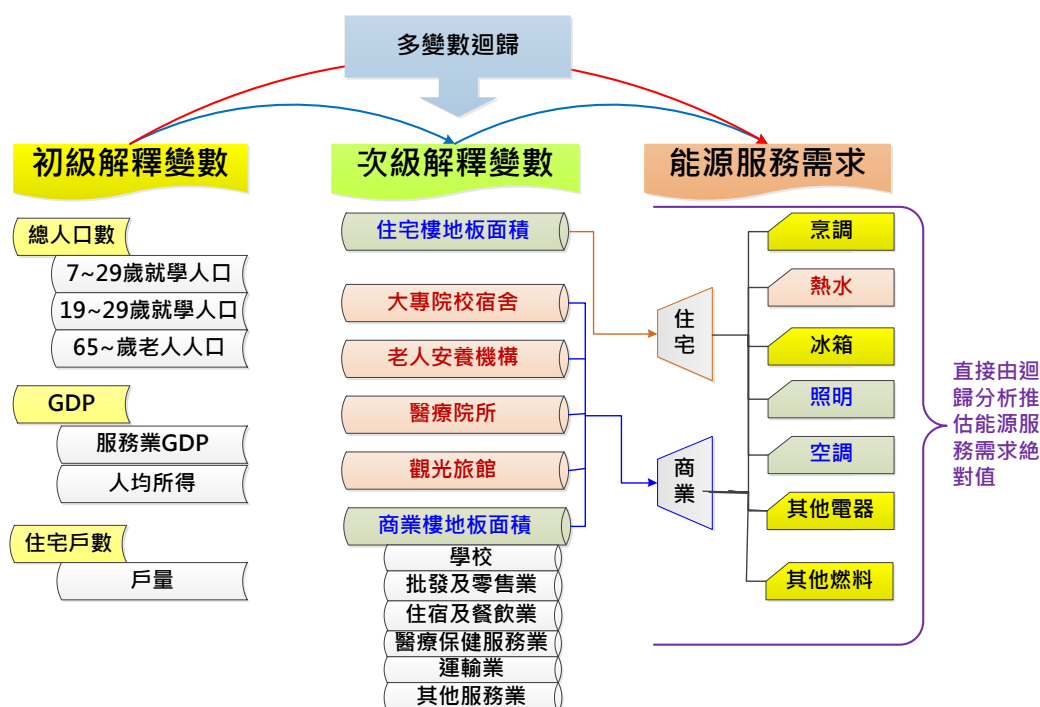


圖 1、住服部門能源服務需求推估示意圖

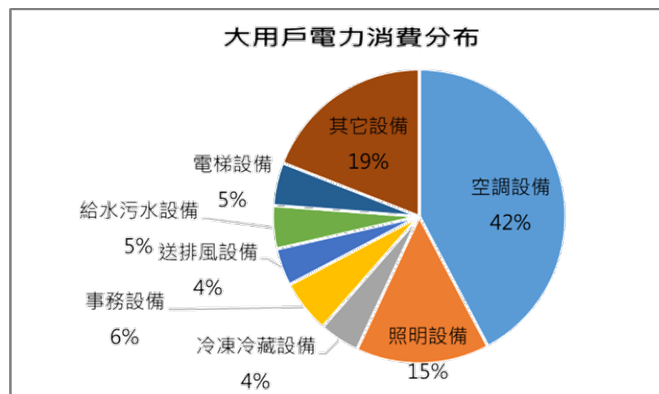
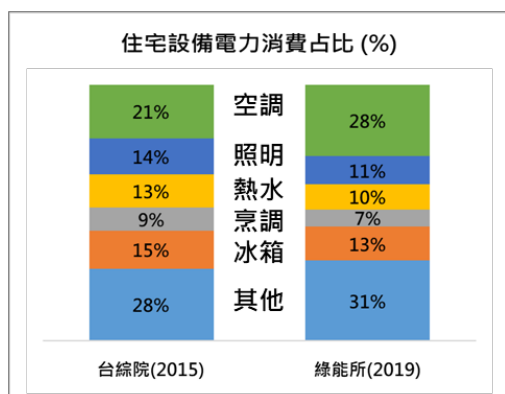
表 1、住服部門能源服務需求定義與範疇

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(lmh)	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	烹调用熱(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)	主要為公共行政業之航空燃油及煤油需求

為反應國內住宅與服務業部門能源使用狀況，本團隊除蒐集國際能源工程模型之住宅與服務業能源服務需求分類，亦以我國研究機構與學者對住服部門能源消費調查與研究 (台灣綠色生產力基金會，2009-2019；楊開翔，2009；顧孝偉，2003) 為基礎，建立「臺灣 TIMES 能源工程模型」的住服部門能源服務需求推估模式，圖 1 列出所使用的計量模式及納入考量之變數。如圖 1 所示，住服部門之能源服務需求依主要耗能設備，分為空調、照明、熱水、烹調等電器或燃料設備，ESD 定義與範疇詳參表 1。由於能源服務需求為 TIMES 模型重要的外生變數，本研究團隊會依據我國最新社經統計資料持續更新輸入參數 (Input parameters)，以反應國內現實狀況。後續依表 1 各項能源服務需求之推估模式分別進行說明。

(一) 空調能源服務需求

人們對於生活品質舒適度要求的提升，建築物耗能耗電量也漸次升高。自二十世紀初以來，電力能源之普及與空調冷氣被引入建築物後，空調能源服務需求成為建築物主要能耗之一。近年來，服務業部門空調能源消費約占建築物四成能耗，住宅部門亦約佔二成能耗 (如圖 2)。



資料來源：住宅設備電力消費占比考台灣綜合研究院 (2015)與工研院綠能所(2019)；大用戶電力消費分布取自台灣綠色生產力基金會 (2019)。

圖 2、建築物能耗占比

空調能源服務需求，係考量醫療保健、住宿餐飲、一般辦公/服務、批發零售、學校和住宅等空間功能所需之空調需求。我國每一坪空間所需的冷房能力大約是 450Kcal/h (台灣綠色生產力基金會，2009)，各場域的空調使用時間則依據季節因素(夏月/非夏月)、營業時間和居民在家時間進行推算，所以，樓板面積成為空調 ESD 的關鍵影響因素。空調能源服務需求模型，即依據各分類之樓地板面積、未來樓板面積成長率、單位面積冷度需求與空調平均使用時間，進而推算各服務業場域所需之空調需求。空調 ESD 推估邏輯如下：

$$\text{場域空調能源服務需求} = \text{場域樓板面積} \times \text{冷房負荷} \times \text{場域年使用時間}。$$

其中，冷房負荷係提供冷氣機運轉 1 小時所能吸收之熱能(冷凍能力)Kcal 值，冷房負荷於模型設定為 450 kcal/h/坪。年使用時間依據營業時間與季節因素推算，以批發零售業為例，假設 10：00-24：00 為批發零售業營業時間，夏月設備使用率 100% (夏月時間定義依據台電公司為 6 月至 9 月)，非夏月使用率則假設為 20%。營業用場域空調年使用時間評估約 2300~2800 小時，學校空調年使用時間約 865 小時，住宅空調年使用時間約 450 小時。

表 2、樓板面積成長趨勢推估方程式

解釋變數	樓板面積推估函數
<ul style="list-style-type: none"> • 7-29 歲人口數 • 服務業 GDP • 人均所得 • 戶數 	<ul style="list-style-type: none"> • 學校樓地板面積 = f(前期, 7-29 歲人口數) • 批發零售業樓板面積 = f(服務業 GDP, 人均所得) • 住宿餐飲業樓板面積 = f(人均所得) • 醫療保健業樓板面積 = f(服務業 GDP) • 運輸業樓板面積 = f(服務業 GDP) • 其他服務業樓板面積 = f(服務業 GDP) • 住宅樓地板面積 = f(戶數)

因此，在推估未來各場域空調 ESD 之前，需評估未來各場域樓板面積可能趨勢。根據各場域特質，選擇可能影響其需求型態之變數，表 2 羅列各場域樓板面積推估方程式。推估模式之合宜性則適當下社經背景或參考文獻推估邏輯。

(二) 照明能源服務需求

我國服務業部門照明能耗占比約 25%，住宅部門為 16% (請參圖 2)，僅次於空調能源消費。照明能源服務需求亦係考量醫療保健、住宿餐飲、一般辦公/服務、批發零售及學校等空間功能所需之照明需求。我國每一坪空間所需的照度需求與年使用時間。如同空調需求，主要是各場域樓板面積會影響未來照明 ESD 趨勢。照明服務需求模型，依據各分類之樓地板面積、未來樓板面積成長率、單位面積照度需求與照明平均使用時間，進而推算場域所需之照明需求。照明 ESD 推估邏輯如下：

$$\text{場域照明能源服務需求} = \text{樓板面積} \times \text{照度需求} \times \text{年使用時間}。$$

物體或被照面上被光源照射所呈現的光亮程度，稱為照度。單位為每平方公尺上的平均流明數(lumen/m²)，簡稱為勒克斯(Lux)。依照工作需求所需的最低照度，可參照國家標準(CNS12112)或國際的照度基準。依蔡尤溪等(2003)、郭柏巖(2004)、國家標準(CNS12112)，照度需求設定介於 300~760 lm/m²。年使用時間依據營業時間推算，以批發零售業為例，假設 10：00-24：00 為批發零售業營業時間，設備使用率 100%。營業用場域照明年使用時間評估約 5100~5900 小時，學校空調年使用時間約 2100 小時，住宅空調年使用時間約 1000 小時。

在推估各場域照明 ESD 前，須估算未來年各場域樓板面積。因此，根據各場域特質，選擇可能影響其需求型態之變數，採用之推估方程式羅列於表 3。本年度亦在更新歷史資料後進行係數估計。

表 3、服務業照明能源服務需求推估方程式

解釋變數	樓板面積推估函數
<ul style="list-style-type: none"> • 服務業 GDP • 就學人口數 • 人均所得 • 戶數 	學校樓地板面積= f(前期, 7-29 人口數) 批發零售業樓板面積= f(服務業 GDP, 人均所得) 住宿餐飲業樓板面積= f(人均所得) 醫療保健業樓板面積= f(服務業 GDP) 運輸業樓板面積= f(服務業 GDP) 其他服務業樓板面積= f(服務業 GDP) 住宅樓地板面積= f(戶數)

(三) 熱水能源服務需求

表 4 整理出服務業場域的熱水能源服務需求成長驅動因子，主要包括有住宿需求的大專校院住宿學生、居於老人安養機構的老人、因醫療需要住院人次及國內觀光住宿需求人次。這些長期或短期住宿需求都將反應在服務業的熱水需求上，推估模式如下：

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)。

至於住宅熱水能源服務需求，人口數為關鍵變數，以國發會的人口中推計為解釋變數，推估模式為：

住宅熱水能源服務需求 = f(我國人口中推計)。

表 4、服務業熱水能源服務需求推估方程式

解釋變數	人次推估函數
大專院校就學人口數	大專院校住宿人數 = f(19-29 歲人口, 服務業 GDP)
65 歲以上老年人口數	老人安養機構住宿人數 = f(65 歲以上人口)
服務業 GDP	醫療院所住院人次 = f(65 歲以上人口)
人均所得	觀光旅館住宿人次 = f(人均所得)

說明：因資料限制，目前醫療院所與觀光都僅計人次。

(四) 烹調能源服務需求

烹調能源服務需求主要來自住宿餐飲業，而住宿餐飲業 GDP 的成長趨勢，則藉由服務業 GDP 為關鍵變數來推估，估算模式如下：

第一階段推估：住宿餐飲業 GDP = f(服務業 GDP)

第二階段推估：服務業烹調能源服務需求 = f(住宿餐飲業 GDP)。

至於住宅烹調能源服務需求，過去曾進行多種計量模式進行推估，皆有若干不合理處，簡要陳述如下：嘗試以 GDP、人口數、住宅戶數、戶量、人均所得等解釋變數回歸推估住服烹調燃氣能源服務需求，除人口數及戶數外，其餘變數至 2030 年將呈發散型態成長。由於解釋變數中以人口數推估結果較為合理，故以未來總人口數作為住宅烹調需求未來成長驅動因子，未來人口數則是依據國發會發布的人口中推計，推估模式如下：

住宅烹調能源服務需求 = f(人口數)。

(五) 冰箱能源服務需求

住宅冰箱屬於家戶普及之大型電器設備，其能源使用類型全數為電力。根據台綜院 104 年度「住商部門能源消費調查」報告，冰箱(包冷凍冰箱、冷藏冰箱與綜合冰箱)以於 103 年度全年電力消費量為 1,478 千公秉油當量，占住宅部門總能源使用之 14.4%。

本研究團隊曾考量以人口數、GDP 去推估未來電冰箱銷售量，再由電冰箱使用量與平均每台電冰箱等效內容積推估未來冰箱能源服務需求。然其結果並不顯著，且冷藏能源服務需求易隨 GDP 成長而發散。因此，不選擇以電冰箱數量進行推導，而直接以冷凍冷藏需求作為住宅冰箱之能源服務需求，其推估方程式如下：

$$\text{冰箱冷藏需求} = f(\text{戶數})$$

主要是考量一戶至少擁有一台電冰箱。惟此方程式較難呈現各戶因戶量(每戶人數)不同造成之冰箱容量需求差異。

(六) 其他插電設備

服務業其他插電設備實績年用量之計算，為能平表服務業部門電力用量減去照明、空調、冰箱的用電設備所需之能源服務需求。據回歸模型判斷該項能源使用需求與服務業 GDP 攸關，故以服務業 GDP 成長趨勢去推估未來其他插電設備能源需求。推估方程式以服務業 GDP 推估，其推估模式如下：

$$\text{其他插電設備能源需求} = f(\text{服務業 GDP})$$

至於住宅其他插電設備多為家庭共同空間使用，判斷其電力需求與戶數攸關。模型以戶數成長趨勢去推估未來住宅部門其他插電設備用電需求，其推估模式如下：

$$\text{其他插電設備用電} = f(\text{戶數})$$

住宅其他插電設備考量每戶都有電視機/家庭娛樂、洗衣機、烘碗機等共同使用插電設備。惟此方程式較難呈現各戶因可用坪數不同造成之用電需求差異。

(七) 其他燃料設備

服務業其他燃料設備包括政府部門的車用汽油、航空燃料及扣除熱水、烹調的燃料設備所需。實績年之計算，為能平表服務業部門燃料用量減去熱水、烹調能源服務需求。據回歸模型判斷該項能源使用需求與服務業 GDP 攸關，故以服務業 GDP 成長趨勢去推估未來其他燃料設備能源需求。推估方程式以服務業 GDP 推估，其推估方程式如下：

$$\text{其他燃料設備能源需求} = f(\text{服務業 GDP})。$$

上述各項能源服務需求之推估模式皆以回歸方程式表現，應用 EViews 軟體進行估算。

三、住服部門技術資料庫

在 TIMES 模型，能源服務需求由煤炭、石油、天然氣、水力、核能及再生能源等初級能源滿足。初級能源經過不同的處理及轉換技術，以提供部門內的各設備類別所需要的能源型態(包括熱能、電能)，進而滿足部門的能源服務需求。圖 3 為能源與能源服務需求間之關聯圖，左方列出的是能源服務需求項目，指最終能源消費者所要的服務需求，如多少照度的照明需求，其是透過各種耗能設備技術作聯結，由模型篩選滿足能源服務需求下之最小成本技術組合，並以技術組合之技術效率估算能源投入(即最終能源消費)。因此，能源服務需求可說是整體模型資料庫的基礎。每項需求技術資料庫所需參數包括工程參數(技術容量、技術效率、使用年限等)、經濟參數(投資成本、運維成本及折現率等)等。

臺灣 TIMES 能源工程模型自建立至今，陸續調整並擴增住宅與服務業部門能源需求分類，現行資料庫分類如圖 4 所示，住宅部門能源服務需求分為烹調、熱水、空調、照明及其他住宅用電設備；服務業部門能源服務需求分為熱水、空調、照明、其他服務業用電設備、服務業其他燃料設備。為使模型整體分類架構能更為完善，除了工研院內技術團隊協助檢視外，亦定期(約四年一次)或不定期(有重大技術變革時)辦理專家諮詢會，邀請相關技術專家群共同檢覈住服部門既有能源需求技術分類與技術參數維護更新成果之合理性(請參圖 5)。後續章節將依技術別說明模型技術資料庫設定。

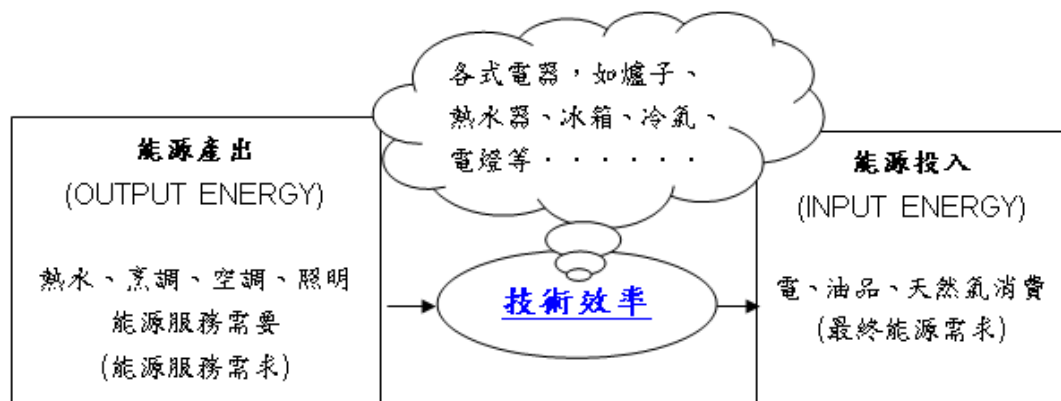


圖 3、住服部門能源投入與能源服務需求關聯圖

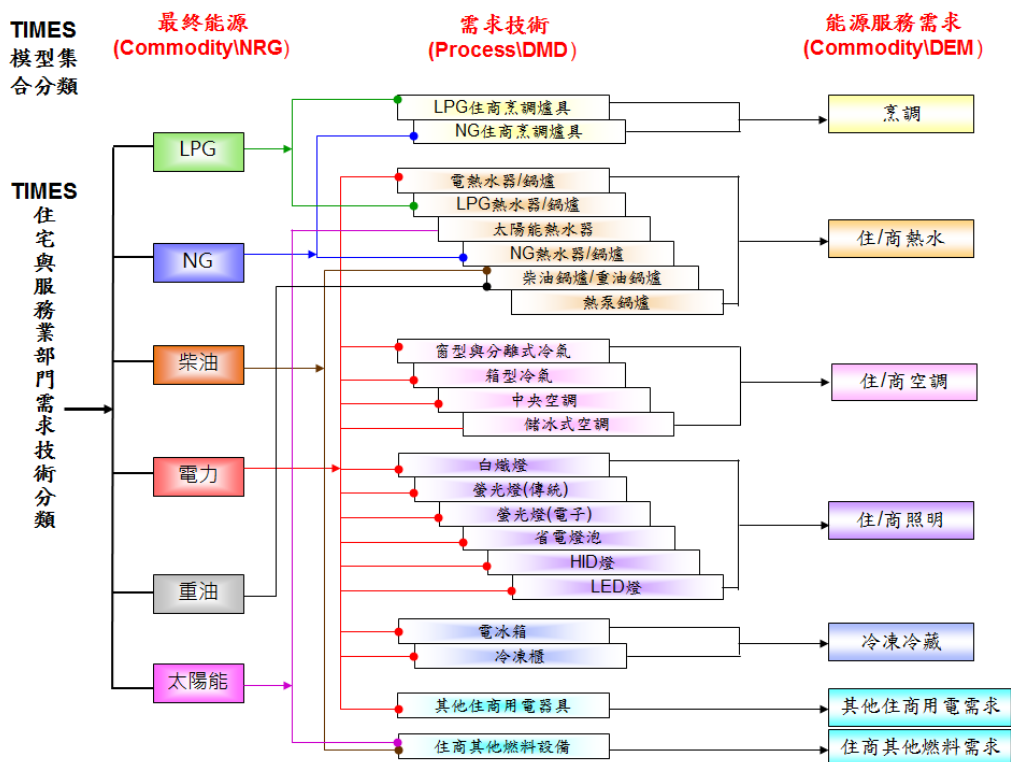


圖 4、臺灣 TIMES 能源工程模型住服部門分類架構



說明：與會專家有台灣區冷凍空調工程工業同業公會總幹事洪資勝、台灣區照明燈具輸出業同業公會理事長馮松陽、台灣區照明燈具輸出業同業公會主任陳宗麟、財團法人台灣燃氣器具研發中心總幹事黃銘濃、財團法人台灣燃氣器具研發中心專員許潔心、台灣科技大學電機工程系教授蕭鈞毓助理教授、工研院綠能所智慧節能系統技術組技術組長江旭政、工研院綠能所住商節能推廣室副總監傅孟臺。感謝以上專家撥冗與會並提供寶貴觀點，亦感謝能源局綜企組林大景專委擔任會議主持人。

圖 5、2020 年 10 月 30 日住服部門技術資料庫專家諮詢會實況

(一) 空調技術資料庫

近年來變頻空調技術逐漸成熟，產品能夠依據外氣環境變化，而改變其壓縮機轉速，亦即改變冷媒流量與瞬時的冷氣能力。有鑑於此，現行空調機「能源效率比」(Energy Efficiency Ratio; EER)的能效標準已不適用，面對變頻空調時代，經濟部能源局在完成修訂適用於我國的空調機「冷氣季節性能因數」(Cooling Seasonal Performance Factor; CSPF)辦法後，於 2017 年全面取代 EER。變頻空調具有隨著屋內冷氣量需求之多寡而改變冷氣機運轉條件的特色；當屋內熱負載大時，變頻空調可快速運轉，在短時間內達到使用者設定溫度。

CSPF 計算程序較為複雜，牽涉到許多空調系統與熱負載原理，其與 EER 數值之實際轉換數值需視不同氣候條件與外氣溫度而定。然在模型中仍可以代表轉換數值做假設，定頻空調 CSPF 數值約當於 EER 數值的 1.05 倍，變頻空調 CSPF 約當於 EER 的 1.2 倍。表 5 展示我國對冷氣機 CSPF)的最低容許能源效率規範，市場銷售各種機型之技術效率不得低於該值；表 6 則呈現目前能效分級規範。其中，窗型與分離式冷氣機之 MEPS 相當於 CSPF 能效分級第五級(如表 5 與表 6)。

表 5、冷氣機 CSPF 容許耗用能源基準

機種		額定冷氣能力分類(kW)	CSPF (kWh/kWh)
氣冷式	單體式	2.2 以下	3.40
		高於 2.2 ・ 4.0 以下	3.45
		高於 4.0 ・ 7.1 以下	3.25
		高於 7.1 ・ 71.0 以下	3.15
	分離式	4.0 以下	3.90
		高於 4.0 ・ 7.1 以下	3.60
		高於 7.1 ・ 10.0 以下	3.45
		高於 10.0 ・ 71.0 以下	3.40
水冷式		全機種(71.0 以下)	5.58

說明：經濟部民國 105 年 12 月 28 日公告實施。

資料來源：經濟部(2016)，無風管空氣調節機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式。

表 6、冷氣機 CSPF 分級效率

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

資料來源：經濟部(2016)，無風管空氣調節機容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式。

冷氣機 CSPF 效率基準與分級標示於 2017 年全面導入，模型設定以現行 MEPS 與能效分級作為效率基準年設定。表 7 為模型中空調技術效率、設備購買成本、使用年限等參數設定值。

表 7、住宅部門空調機技術參數

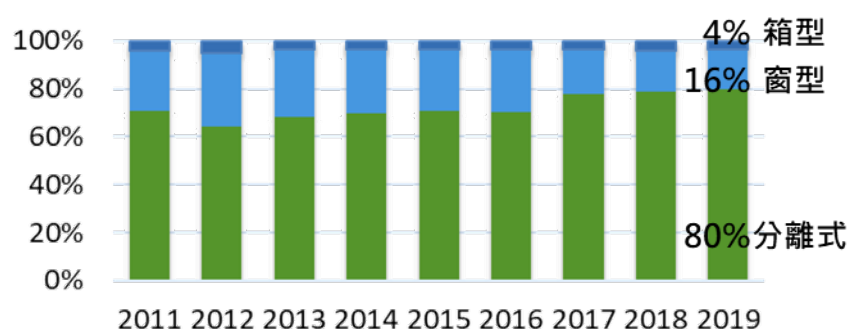
空調技術		效率	現行 能效等級	設備購買成本 (萬元/台)	使用年限 (yr)	設備 使用率
窗型冷氣機	CSPF	3.45	5 級	2	10	12.6%
分離式冷氣機	CSPF	3.90	5 級	3	10	
分離式冷氣機_高效率	CSPF	4.73	1&2 級			
箱型冷氣機	CSPF	3.15	5 級	10	15	
箱型冷氣機_高效率	CSPF	4.03	1&2 級			

說明：臺灣 TIMES 模型基準情境參數設定值。

家用空調設備有窗型、分離式及箱型冷氣機，其設備購置成本與使用年整理在表 7。空調設備成本主要蒐集網路銷售通路(MOMO 購物與 PCHOME)知名代表廠商(如日立、國際、東元、聲寶、禾聯等)銷售價格而定，窗型機種平均每台 2 萬元，分離式機種平均每台 3 萬元，箱型機種每台約 10 萬元。使用年限設定，窗型冷氣機為 10 年，分離式 10 年，箱型 15 年。

住宅部門空調設備使用率計算，假設夏月每天使用冷氣平均時數為 8.478 小時，非夏月每天使用平均時數為 0.273 小時，年平均操作時數約 1,100 小時，得設備使用率 0.126 (=1,100/8,760)。

近年因炎熱夏季，近 5 年冷氣機年銷售量約為 135-145 萬台左右。其中，因國人愈來愈重視生活品質，窗型機種較有噪音，消費者採購新機時大多選擇購買分離式機種；至於箱型冷氣機銷售量，則維持 4% 的占比(如圖 6 示)。依小型冷氣機歷史銷售趨勢，基準情境設定時分離式冷氣機銷售每年以 1% 遞增，故分離式市場銷售占有率將會從 2020 年 80% 持續上升至 2035 年 95%，窗型冷氣機銷售占比則從 16% 下降至 2035 年 1%，箱型冷氣機銷售占比則維持 4% (請參表 8)。



資料來源：經濟部，工業產銷存統計資料庫。

圖 6、冷氣機銷售趨勢

表 8、住宅空調技術市場占有率推估

空調種類(銷售占比)	2020	2025	2030	2035
窗型冷氣機	16%	11%	6%	1%
分離式冷氣機	80%	85%	90%	95%
箱型冷氣機	4%	4%	4%	4%

說明：臺灣 TIMES 模型基準情境參數設定值。

服務業部門依場域不同，使用之空調機有窗型、分離式、箱型及中央空調等種類，相關技術參數羅列於表 10。由於住宅部門已說明窗型、分離式及箱型技術參數，本小節主要敘述中央空調技術參數。

「空調系統冰水主機能源效率標準」於 2019 年修正，名稱更為「蒸氣壓縮式冰水機組容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項方法及檢查方式」，冰水主機新能效分級與基準(表 9 中第 3 級即為能效基準)於 2020 年 7 月 1 日生效。

空調系統冰水主機技術效率係依水冷式機種第 3 級分級基準加權平均(COP 5.25)進行設定。服務業空調設備使用率計算，一般商用空調考量新型態之便利商店，合理運轉時間應在 2,500~3,000 小時/年。本研究取其平均值 2,800 小時/年，故設備使用率 $0.32(=2,800/8,760)$ 。空調設備成本主要蒐集網路購物平台(BIGGO、蝦皮購物等)銷售價格，80 冷凍噸空調系統每套約在 53 萬元；使用年限則設定 20 年。

表 9、水冷式冰水主機能源效率分級基準

冰水機組類型		標示額定製冷能力	製冷能源效率分級基準		
			性能係數(COP)		
			3 級	2 級	1 級
水冷式	容積式	< 528kW	4.45	4.80	5.15
		$\geq 528\text{kW}$ <1758kW	4.90	5.30	5.70
		$\geq 1758\text{kW}$	5.50	5.90	6.35
	離心式	<528kW	5.00	5.40	5.80
		$\geq 528\text{kW}$ <1055kW	5.55	5.95	6.40
		$\geq 1055\text{kW}$	6.10	6.60	7.10

資料來源：經濟部能源局(2019)，蒸氣壓縮式冰水機組容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項方法及檢查方式。

表 10、空調系統技術參數

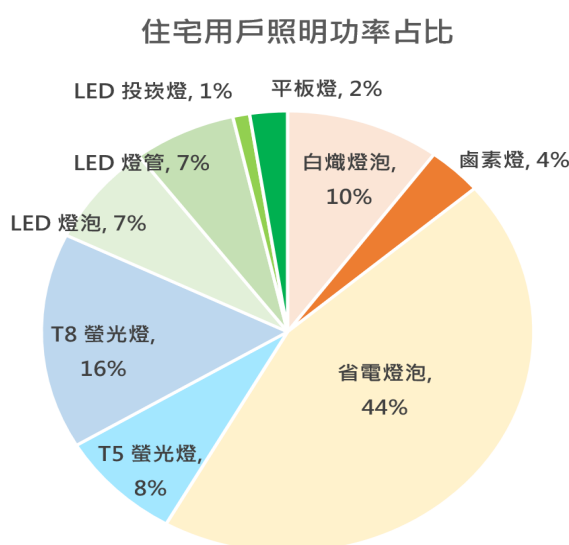
空調技術		效率	現行 能效等級	設備購買成本 (萬元/台)	使用年限 (yr)	設 使用率
窗型冷氣機	CSPF	3.45	5 級	2	10	32%
分離式冷氣機	CSPF	3.90	5 級	3	10	
分離式冷氣機_高效率	CSPF	4.73	1&2 級			
箱型冷氣機	CSPF	3.15	5 級	10	15	
箱型冷氣機_高效率	CSPF	4.03	1&2 級			
空調系統	COP	5.25	3 級	53	20	

說明：臺灣 TIMES 模型基準情境參數設定值。

(二) 照明技術資料庫

我國住宅部門照明產品包括鹵素燈、螢光燈、省電燈泡、HID 燈、LED 光源等。若依照明設備功率觀察住宅的存量占比(請參圖 7)，目前以省電燈泡最高，其次為螢光燈。另外，從廖文華等(2020)調查，得知住宅使用燈具種類(以顆數計算)，2019 年 LED 比例已達 37%，首次高於省電燈泡的 35%，顯示 LED 光源技術已相當成熟，與其價格為一般民眾所接受。

由於國內照明廠商之研發能力持續精進，市售照明產品能效幾乎優於現行最低容許能源消耗基準，所以 TIMES 模型設定之照明技術效率，係調查市售產品(如：飛利浦、歐司朗、東亞、億光等品牌)平均效率設定(請參表 11)。



說明：1. 圖餅圖資料來源係參考台電 106 年家用電器普及調查報告數據，自行估算。

2. 各照明設備功率占比係以台電報告每百戶設備擁有顆數乘代表性規格(W)計算。

資料來源：台電公司(2019)，106 年家用電器普及狀況調查報告。

圖 7、住宅照明設備能源消耗占比

本研究參考台綜院(2015)住商調查報告中照明設備別使用時數進行設定，照明設備使用率則是以一年總時數為 8,760 小時為分母進行計算，以省電燈泡為例，每年使用約 1,997 小時，設備使用率為 0.228 (=1,977 小時/8,760 小時)，其他照明設備使用時數請參表 11。

表 11 的照明設備成本與使用壽命小時係調查市售產品資訊得來。鹵素燈依市售資訊設定 NT\$80；螢光燈以市售 14W 到 28W 為代表規格進行調查，螢光燈成本為 60 元/支，使用壽命為 9,000 到 20,000 小時；省電燈泡 23W 市售約在 NT\$100 與 NT\$140 之間；至於 LED 燈市售價格，7W 的 LED 燈泡約 110 元，20W 的 LED 燈管約 260 元。以及，本研究發現當前市售 LED 光源產品壽命標示多為於 15,000 到 20,000 小時，較 4 年前業界標示 30,000 到 50,000 小時，有所差異。根據台灣區照明燈具輸出業同業公會馮松陽理事長回應，LED 產品經過數年的實測使用，業者已將早期實驗室數據下修，目前標示 15,000 到 20,000 小時使用壽命才屬合理區間。

表 11、住宅部門照明技術效率參數

照明技術	代表性規格 (W)	光源效率 (lm/W)	光源壽命 (hrs)	住宅設備使用率 (%)	單位售價 (元/支(顆))
非 T5 螢光燈-瞬時啟動	18	69	9,000	24.6%	60
螢光燈標章(CNS691)	18	83	9,000	24.6%	60
非 T5 螢光燈-預熱啟動	18	74	9,000	24.6%	60
螢光燈標章(CNS13755)	18	90.5	9,000	24.6%	60
T5 螢光燈	14	91	20,000	24.6%	60
鹵素燈	28	25	2,000	26.6%	80
省電燈泡	23	60	5,000	22.8%	100
省電燈泡-標章	23	65	5,000	22.8%	140
LED 燈泡	7	100	20,000	26.6%	110
LED 燈管	20	100	15,000	27.3%	260
HID 燈	35	90	15,000	30.2%	690

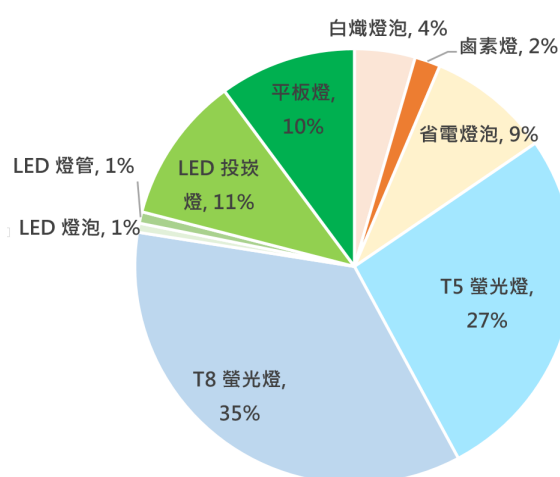
說明：1.設備使用時數參考台綜院(2015)住商調查報告，設備使用率=設備全年使用時數/8,760 小時。

2.代表設備性規格為本研究蒐研文獻整理進行設定。

3.光源效率與壽命係參考 2017 家庭節能應用技術手冊及市售商品規格。

4.單位售價係整理各網路通路照明設備銷售價格。

營業用戶照明功率占比



說明：1. 圖餅圖資料來源係參考台電 106 年家用電器普及調查報告數據，自行估算。

2. 各照明設備功率占比係以台電報告每百戶設備擁有顆數乘代表性規格(W)計算。

資料來源：台電公司(2019)，106 年家用電器普及調查報告。

圖 8、服務業照明設備能源消耗占比

服務業部門照明產品包括鹵素燈、螢光燈、省電燈泡、HID 燈、LED 光源等。若依照明設備功率觀察服務業的存量占比(請參圖 8)，目前以螢光燈最高，其次是 LED 崁燈及平板燈。這些照明產品代表性規格、技術效率、光源效率、照明設備使用率及單位價格，請參考表 12。關於照明設備使用時數，本研究參考台綜院(2015)住商調查報告進行設定，並據以計算照明設備使用率。假設一年總時數為 8,760 時，服務業的省電燈泡年使用約 3,279 小時，設備使用率為 0.374 (=3,279 小時/8,760 小時)，並假定未來使用率不變。

表 12、服務業部門照明技術效率參數

照明技術	代表性規格(W)	光源效率(lm/W)	光源壽命(hrs)	住宅設備使用率(%)	單位售價(元/支(顆))
非 T5 螢光燈-瞬時啟動	36	80	9,000	45.9%	80
螢光燈標章(CNS691)	36	89	9,000	45.9%	80
非 T5 螢光燈-預熱啟動	36	87	9,000	45.9%	80
螢光燈標章(CNS13755)	36	98	9,000	45.9%	80
T5 螢光燈	28	98	20,000	45.9%	100
鹵素燈	42	25	2,000	36.2%	80
省電燈泡	23	60	5,000	37.4%	100
省電燈泡-標章	23	65	5,000	37.4%	140
LED 燈泡	10	110	20,000	36.2%	140
LED 燈管	20	100	15,000	52.7%	260
HID 燈	150	90	15,000	25.0%	440

說明：1.設備使用時數參考台綜院(2015)住商調查報告，設備使用率=設備全年使用時數/8760 小時。

2.代表設備性規格為本研究蒐研文獻整理進行設定。

3.光源效率與壽命係參考 2017 家庭節能應用技術手冊及市售商品規格。

4.單位售價係整理各網路通路照明設備銷售價格。

(三) 熱水技術資料庫

住宅熱水器依使用之燃料可分為液化石油氣(LPG)熱水器、天然氣(NG)熱水器、電熱水器、太陽能熱水器與小型熱泵熱水器。TIMES 模型熱水技術料庫現已建置 LPG 熱水器、NG 熱水器、電熱水器、太陽能熱水器與熱泵熱水器技術，今(2020)年主要係針對各項技術之參數(效率、設備使用率、使用年限、設備成本與存量滲透率)。

表 13 為 TIMES 模型住宅部門熱水技術效率假設，而來各年度效率提昇則本研究自行設定。表 14 整理住宅與服務業熱水技術設備使用率、購買成本及使用年限。住宅熱水器設備使用率主要係假設每日每人淋浴時間為 15 分鐘計算。設備購買成本則係參考目前市售價格，使用年限於住宅熱水器約為 10 年。

由於近年民眾節能意識提昇，政府亦持續推廣高效率燃氣熱水器，近年燃氣熱水器(包括 LPG 與 NG)市場銷售以能效分級第 2 級機種為主，2016 年更是市場銷售占比超過 90%(圖 9)。考量未來銷售以高效率燃氣熱水器(分級 1 與分級 2)為主，假設住宅熱水技術存量將燃氣熱水器將由高效率機種取代，以 10 年的使用年限，計算市場存量，推估住宅熱水技術未來存量占比，如表 15 所示。

表 13、住宅部門熱水技術效率參數

熱水設備種類	單位	2018 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
LPG 熱水器	PJ/PJ	0.79	0.79	0.80	0.81	0.82
高效率 LPG 熱水器(ER1&2)	PJ/PJ	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
NG 熱水器	PJ/PJ	0.79	0.79	0.80	0.81	0.82
高效率 NG 熱水器(ER1&2)	PJ/PJ	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
電熱水器	PJ/PJ	0.90	0.91	0.92	0.94	0.96
太陽能熱水器	PJ/PJ	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
小型熱泵熱水器	COP	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60

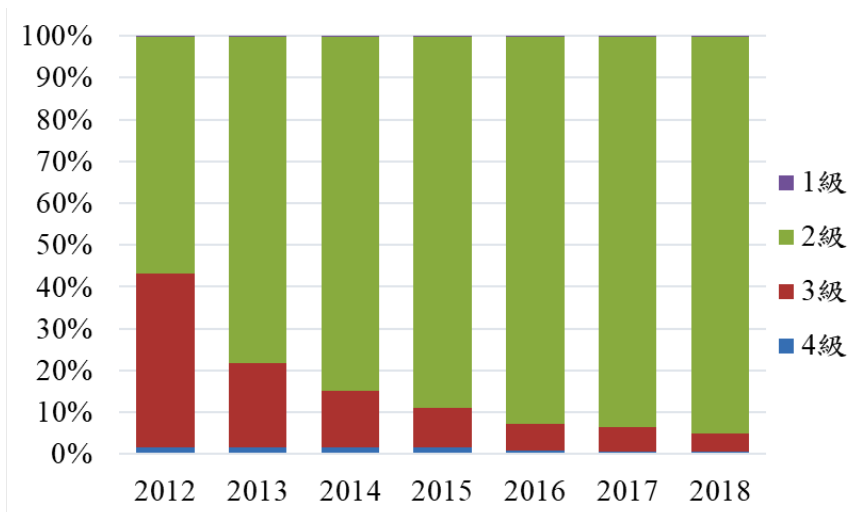
說明：住宅熱水效率值參考即熱式燃氣熱水器能源效率分級基準表、已核准登錄之能效分級平均效率、【台灣綠色生產力基金會，熱泵熱水系統 Q&A-節能技術手冊】。效率進步幅度為本研究假設，另參考專諮會專家建議，設定 NG 與 LPG 熱水器效率上限為 0.83。

表 14、熱水技術設備使用率、購買成本及使用年限

技術參數 住宅熱水設備,	設備使用率 (%)	設備購買成本 (萬元/台)	使用年限 (年)
液化石油氣熱水器	3.13%	1.3	10
天然氣熱水器	3.13%	1.3	10
電熱水器	3.13%	0.5	10
太陽能熱水器	3.13%	5	10
熱泵熱水器	8.33%	7.7	10

說明：

1. 假設一般家庭人口每戶為 3 人，每日每人淋浴時間為 15 分鐘，故設備使用率為 $(3 \times 15 / 60) \times 365 / 8,760 = 0.0313$ 。模型假設未來使用率不變。
2. 住宅熱水設備成本參考目前市售價格。
3. 住宅熱水器使用年限模型假設均為 10 年。



資料來源：經濟部能源局(2019)，使用能源設備及器具效率管理政策執行與基準訂定研究(3/4)。

圖 9、燃氣熱水器各能效等級市場銷售占比變化

表 15、住宅熱水技術存量占比推估

	2018 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
電熱水器	26%	26%	26%	26%	26%
LPG 熱水器	17%	15%	10%	8%	6%
LPG 熱水器 ER1,2	16%	19%	23%	26%	27%
NG 熱水器	18%	16%	11%	8%	6%
NG 熱水器 ER1,2	17%	20%	25%	28%	29%
太陽能熱水器	5%	5%	5%	5%	5%

說明：

1. 國內燃氣熱水器市場年需求量約 49.5 萬台(參考台灣櫻花公司法說會簡報瓦斯熱水器市場銷售量統計)，以 10 年的使用年限，計算市場存量。
2. 參考文獻資料與能源效率分級年銷售占比，估算各類熱水器年市場占有率。

服務業因熱水需求量大，主要是安裝熱水鍋爐，包括電熱鍋爐、柴油鍋爐、液化石油氣鍋爐與天然氣鍋爐、中大型熱泵等設備。表 16 與表 17 呈現 TIMES 模型服務業熱水技術參數設定，包括技術效率、設備使用率、使用年限、設備成本等。

各燃料別鍋爐 2018 年技術效率參數係參考台灣綠色生產力基金會熱泵節能技術手冊，而 2020 年至 2035 年自發性能源效率每 5 年提昇 1%進行設定。服務業熱水假定使用時間為夜間 7 點至 12 點，計 5 小時/天×365 天=1,840 小時，設備使用率為 0.213 (=1,840/8,760)。設備購買成本則係參考目前市售價格，使用年限於服務業熱水鍋爐約為 15 年。

表 16、服務業熱水技術效率參數

熱水設備種類	單位	2018 年	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年
電熱鍋爐	PJ/PJ	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
柴油鍋爐	PJ/PJ	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88
液化石油氣鍋爐	PJ/PJ	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88
天然氣鍋爐	PJ/PJ	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88
重油鍋爐	PJ/PJ	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88
熱泵鍋爐	PJ/PJ	3.60	3.67	3.75	3.82	3.90

資料來源：本研究彙整

表 17、熱水技術設備使用率、購買成本及使用年限

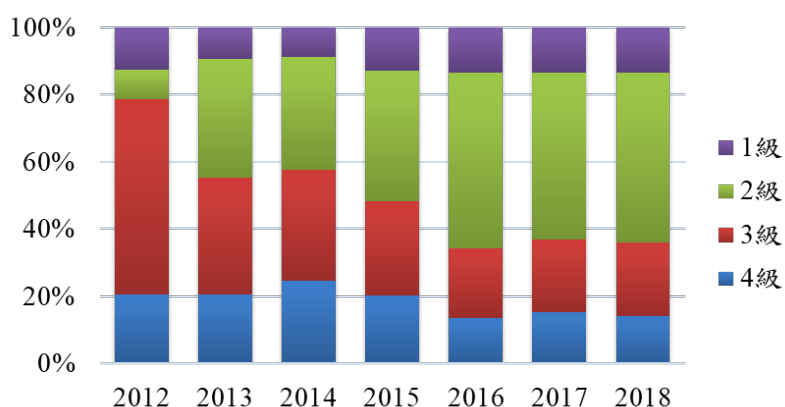
技術參數 服務業熱水設備,	設備使用率 (%)	設備購買成本 (萬元/台)	使用年限 (年)
電熱鍋爐	2.13%	112.5	15
柴油鍋爐	2.13%	112.5	15
液化石油氣鍋爐	2.13%	112.5	15
天然氣鍋爐	2.13%	112.5	15
重油鍋爐	2.13%	112.5	15
熱泵鍋爐	2.13%	45	20

說明：

1. 商業部門假設熱水使用時間為 19：00~24：00，計 5 小時/天 *365 天 = 1,840 小時，設備使用率為 0.213。模型假設未來使用率不變。
2. 商業熱水設備成本參考【台灣綠色生產力基金會，熱泵熱水系統 Q&A-節能技術手冊，2006 年】，其以 600 人使用為例，模型會依每日產出熱水量進行單位轉換。
3. 商業熱水設備使用年限模型假設為 15 年。

(四) 烹調技術資料庫

目前國內針對燃氣台爐設有自願性的節能標章制度與強制性的能源效率分級標示，藉以引導廠商廠商生產高效率產品。2013 年節能補助政策讓銷售產品的效率結構由 3 級轉移至 2 級，2015 年節能補助政策更是讓 1、2 級機種市場銷售占比超過 50%，近年燃氣台爐銷售以 2 級機種為主(如圖 10 所示)。2006 年燃氣台爐節能標章實測熱效率需大於或等於 45%，而 2011 年 9 月新公告之效率標準值為 49%。2012 年 8 月訂定「燃氣台爐能源耗用量與其能源效率分級標示事項、方法及檢查方式」，1 級能源效率等級熱效率需達 52.0%以上，2 級能源效率等級熱效率需達 49.0%以上，52.0%以下。表 18 呈現各項烹調技術參數，包括技術效率、設備成本、設備使用率及使用年限等。燃氣台爐技術效率依現行能源分級基準 4 級、2 級與 1 級進行設定。設備成本係查詢網路通路(如 MOMO、PCHOME、買東西、蝦皮商城等)燃氣台爐(品牌有櫻花、莊頭北、喜特麗、豪士多及林內等知名品卑)雙口爐售價，影響售價有安全、功能、美觀等因素，銷售價格落在 4,00-10,000 元，本研究依各能源分級之銷售價格平均值進行設定。設備使用率假設每日使用時間為 60 分鐘，年使用率設定為 4.2%。參考經濟部能源局(2019b)家庭用電消費習慣調查結果，我國燃氣台爐使用 5 年以內的家庭約 21%，6~10 年有 28%，11~20 年占 40%，超過 21 年以上有 11%，本研究使用年數設定為 10 年。



資料來源：經濟部能源局(2019)·使用能源設備及器具效率管理政策執行與基準訂定研究(3/4)。

圖 10、燃氣台爐各能效等級市場銷售占比變化

表 18、烹調技術參數

烹調爐具種類		效率 (PJ/PJ)	現行 能效等級	設備購買成本 (NT\$)	使用率 (%)	使用年限 (yr)
LPG	2006 節能標章	0.45	4 級	5,500	4.2%	10
	2011 節能標章	0.49	2 級	6,000	4.2%	10
	2012 能效分級	0.52	1 級	6,750	4.2%	10
NG	2006 節能標章	0.45	4 級	5,500	4.2%	10
	2011 節能標章	0.49	2 級	6,000	4.2%	10
	2012 能效分級	0.52	1 級	6,750	4.2%	10

說明：

1. 燃氣台爐 LPG 消耗量代表規格為 8.7kW，NG 為 8.9kW。
2. 熱效率分別為 2006 年與 2012 年公布燃氣台爐節能標章實測熱效率值，及 2012 年修訂之能效 1 級效率值。
3. 設備成本係查詢網路商城賣場燃氣台爐雙口爐售價。
4. 設備使用率假設每日使用時間為 60 分鐘，年使用率為 365hr/8,760hr=0.042。
5. 依近年燃氣台爐銷售情形假設 LPG, NG 市場占比各半。

(五) 冰箱技術資料庫

電冰箱依製冷方式的不同可分為風扇式與直冷式，另冰箱依冷藏溫度又分為冷凍與冷藏二類。電冰箱容許耗能基準(MEPS)第一階段始於 2000 年 7 月 1 日公告，第二階段自 2003 年 1 月 1 日起實施，而為因應國內節能減碳目標與技術發展趨勢，能源局於 2011 年 1 月 1 日實施第三階段標準，較前一階段效率提升 50~70%，其中 400 公升以上 EF 值調高約 71%、400 公升以下調高約 57%。除 MEPS 外，能源局於 2001 年 12 月底開始推動電冰箱節能標章認證，2011 年節能標章效率值為 2011 年 MEPS 的 1.14 倍。而我國電冰箱於 2010 年 7 月 1 日亦開始實施能源效率分級標示，以低於 2011 年

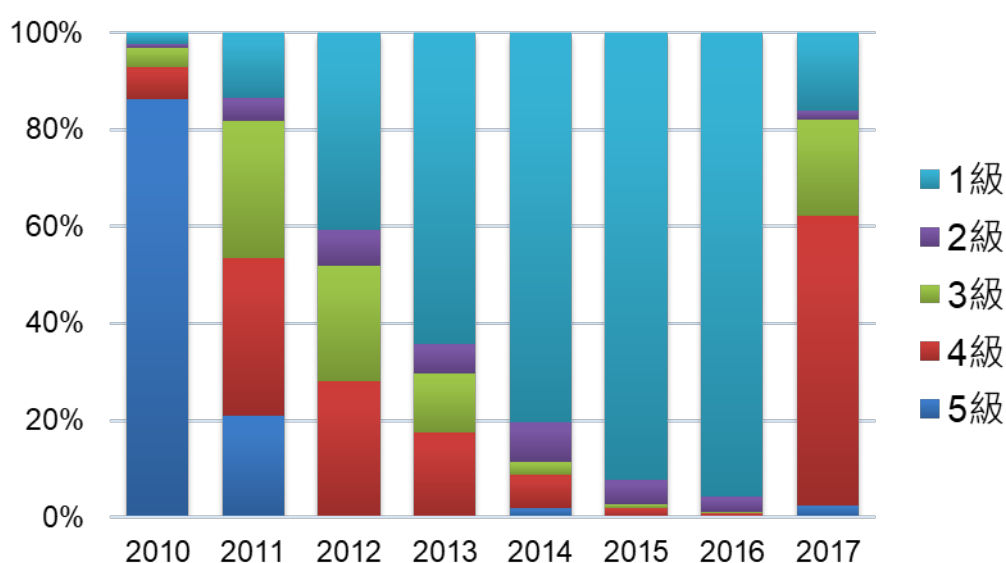
MEPS 為第 5 級，各分級級距採 7%。由於近年來 1、2 級產品市占率逐年提升，2016 年 1、2 級產品市場銷售占比更是高於 99%(如圖 11)。於是，經濟部能源局 2017 年修訂電冰箱能源效率分級標示，重新調整各類型冰箱的級距，其中風扇式冷凍冷藏電冰箱與直冷式冷凍冷藏電冰箱級距 15%，冷藏式電冰箱級距 18%，於 2018 年 1 月 1 日正式實施。表 19 為本計畫整理我國現行電冰箱能源因數值基準與分級標示效率值。

表 19、冰箱能效基準與分級標示

冰箱分類	等效內容積 V (公升)	代表性 V	市場占比	能源因數值 (E.F.) 公升/千瓦小時/月				
				2003 年	2011 年		2017 年	
				MEPS	MEPS (分級 5)	分級 1	MEPS (分級 5)	分級 1
風扇式	低於 400	310	25%	8.67	10.49	11.09	13.87	15.17
	400 公升以上	555	56%	14.53	17.58	18.59	23.24	25.42
直冷式	低於 400	310	2%	10.36	12.53	13.26	16.57	18.13
	400 公升以上	555	0%	16.77	20.29	21.47	26.83	29.35
冷藏式		400	17%	13.79	16.69	17.66	23.72	26.21

說明：

1. 市場占比係參考 2016 年 9 月經濟部能源局「電冰箱能源效率標示修訂草案」說明會資料。風扇式冷凍冷藏電冰箱小於 400L 的占 25%，400L 以上的占 56%，二者合計已占冰箱銷售量的 81%，其次則為冷藏式電冰箱，約占 17%，而直冷式則占比不到 2%。
2. 依經濟部能源局 2006 年公告的「電冰箱能源因數值標準(民國 100 年 1 月 1 日生效)」、2010 年公告之「電冰箱能源耗用與其能源效率分級標示事項、方法(民國 100 年 1 月 1 日生效)」，及 2017 年 5 月經濟部能源局公告「電冰箱容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項、方法及檢查方式(民國 107 年 1 月 1 日生效)」。



資料來源：經濟部能源局(2019)，使用能源設備及器具效率管理政策執行與基準訂定研究(3/4)。

圖 11、電冰箱各能效等級市場銷售占比變化

表 20 呈現 TIMES 模型電冰箱技術參數設定，主要是依技術效率進行分類，將技術分為既有技術、2011 年 MEPS、現行節能標章(EL)、與現行能效分級 1&2 產品。其中，技術效率的設定則係依表 19 中各類型冰箱的市占率進行加權計算；設備成本係蒐集賣場代表性產品資料估算；由於電冰箱每日 24 小時運轉，年使用率以 100%設定，使用年限則參考冰箱一般平均使用年為 10~15 年，取中間值為 12 年進行設定。

表 20、冰箱技術參數

冰箱技術		E.F. (L/kWh/月)	設備購買成本 (NT\$)	使用率 (%)	使用年限 (yr)
電冰箱	~2011 既有技術	8.8	23,000	100%	12
	2011MEPS	12.9	30,274		
	2017 節能標章	17.8	37,507		
	2017 能效分級(1,2 級產品)	21.8	42,934		

說明：

1. 技術代表性 E.F.值依容許耗用能源基準公式，考量市售各類電冰箱代表性容積與各類電冰箱市場占比加權計算。
2. 節能標章產品以能效分級 3、4 級產品代表。
3. 設備成本係蒐集賣場代表性產品資料估算。
4. 冰箱使用年限約 10-15 年，模型假設為 12 年。

參考文獻

International Energy Agency (IEA) (2012), Energy Technology Perspectives 2012.

工研院(2016)，能源局委辦計畫「強制性能源效率分級標示產品登錄管理」期中報告。

工研院綠能所 (2019)，108 年家庭用電消費習慣調查。

中華民國國家標準 CNS12112，照度標準。

台綜院(2015)，104 年度「能源供需關聯知識庫整合加值應用與住商部門能源消費調查分析」期末報告。

台灣綠色生產力基金會 (2009)，家庭節約能源手冊。

台灣綠色生產力基金會(2006)，熱泵熱水系統 Q&A-節能技術手冊。

台灣綠色生產力基金會 (2009-2019)，非生產性質行業能源查核年報。

郭柏巖、林憲德、顧孝偉，住宅生活模式與耗電特性解析，建築學報 50 期，2004。

楊開翔 (2009) , 服務業用電型態：高耗能辦公大樓耗能因子解析之研究。

蔡尤溪、李魁鵬、李文興，建築空調與照明節能技術規範之研究，2003。

顧孝偉 (2003) , 住宅用電量監測與解析之研究，未出版碩士論文，臺南：成功大學建築學系碩博士班。