

能源效率標準之成本與效益評估：以電冰箱為例

林師模^{1*} 林晉勗² 邱駿朋³

摘要

本文引進CLASP與美國柏克萊大學勞倫斯國家實驗室所發展之政策分析模型系統(PAMS)，探討我國實施電冰箱能效標準政策對個別消費者生命週期成本，以及對整體經濟成本、效益及二氧化碳排放量減少之影響。研究結果顯示，不同之電冰箱設計由於有不同之購買成本及能源效率，因此其生命週期成本也有明顯的不同。所有的設計中，可以使能源效率提升較高的設計因為其購買成本較高，將會使消費者之生命週期成本增加，政策上可能需要有其他的配套以說服消費者採用較高能效標準之冰箱。電價之敏感度分析結果也發現當電價上漲，所有設計之生命週期成本都會上升，惟高能效標準之設計因電價上漲所增加的成本，相對於基準情況則會降低，顯示當電價越高的時候，提高能效標準愈能夠達到預期的效果，對消費者也較具說服力。整體經濟方面，研究結果顯示，在沒有計入CO₂減量的效益下，能效標準較高的設計其益本比都小於1，不過，CO₂排放減少量則會明顯高於其他設計。此外，政策愈晚實施，成本及效益都會相對減少，而益本比也會隨著實施年度的延後而略微下降。敏感度分析方面，電價愈高，整體經濟的益本比也愈高，折現率愈高，益本比則愈低。

關鍵詞：容許耗用能源基準、電冰箱、政策分析模型系統

1. 前言

過去二十年來，我國能源消費成長快速，而根據「家庭用電模式與節能減碳策略之探討」(林紓蓁，2011)，自2011年2月到2012年1月，在空調、照明與家電三大類共18項產品中，年耗電量最高的前三項依序為：電冰箱、冷氣、電視。因家用電冰箱的普及率高達九成以上，且因其使用具有持續性，故長久下來其年耗電量相當可觀，因此在探討節能標章之能源效率管理成效時可以將電冰箱作為一個研究指標。

我國自2000年開始實施電冰箱容許耗用能源基準(Minimum Energy Performance Standard, MEPS)管制以來，曾分別在2003年及2011年修訂過能源效率因數值(E.F.)基準(能源局，2015)，而電冰箱因屬高耗能產品，因此先以MEPS管制之後再實施自願性節能標章制度。

本文以CLASP (The Collaborative Labeling and Appliance Standards Program)與美國柏克萊大學勞倫斯國家實驗室(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)共同開發之政策分析模型系統(Policy Analysis Modeling System, PAMS)為基礎，建構一套完整的評估架構，以

¹ 中原大學國際經營與貿易系教授暨應用經濟模型研究中心主任；中央大學臺灣經濟發展研究中心兼任研究員

² 中原大學國際經營與貿易系副教授

³ 工業技術研究院綠能與環境研究所副研究員

*通訊作者，電話：03-2655207，E-mail: shihmolin@gmail.com

收到日期: 2015年11月25日

修正日期: 2016年07月26日

接受日期: 2016年08月10日

進行臺灣強制性能源管理政策的績效評估，此一架構考慮(各級)能源效率(基準)、國內電價、耗電量、銷售價格、銷售量、產品存量、外在效益、國民所得趨勢等因素，並可驗證在不同政策參數及假設下分析的敏感度(sensitivity)，且可隨數據的增加而不斷更新分析結果。

過去國內外探討實施電器之能效標準對消費者及整體經濟影響的相關文獻可說是少之又少，其中，Zhou *et al.* (2013)曾針對中國大陸實施電器能效標準及標章制度做過初步的經濟影響評估，而在我國到目前為止則是仍付之闕如。本文希望填補相關文獻不足的缺憾，針對我國電冰箱實施MEPS對個別消費者生命週期成本，以及對整體經濟之成本、效益及CO₂排放量之影響進行探討，研究成果將可提供一般消費者、業者及主管機關之參考。本文全文共分四節，除前言外，第二節介紹本文之研究方法及所需之資料，主要為PAMS及系統中所需建置之臺灣電冰箱相關資料；第三節說明模擬及敏感度分析之結果及政策涵義；第四節則為結論與建議。

2. 研究方法及資料

2.1 研究方法

PAMS 為一電器能效標準及標示制度 (labelling programs) 之成本及效益評估系統，其採用由下而上的估計方法，利用特定電器之技術資料即可估計該電器因加入節能設計後消費者所增加之使用成本 (CLASP, 2015a & 2015b)。而除了估計增加之財務成本結果，系統也可以估計出國家層級(整體經濟)之能源節約量及所減少之碳排放量。此外，若欲得到較精確的估計結果，使用者也可自行輸入可信度較高的資料。

過去國外應用PAMS於電器之MEPS政策績效評估方面已著有成效(Zhou *et al.*, 2012; CLASP, 2013)，惟見諸文獻者並不多，其中，

McNeil and Iyer (2007)即曾以CLASP之PAMS架構為基礎，針對印度之室內空調效率標準草案進行技術經濟分析，而其成本效益之評估結果顯示，草案所擬定之MEPS對家計及商業部門是具成本有效性。

通常消費者購買及使用一電器產品時，並不會有足夠的資訊得知使用該電器之生命週期成本(能源及環境成本)。理論上，一個規劃完整的能效標準制度將可以確保消費者所購買的電器產品不會對環境產生額外的負面效應，而這些資訊不只對消費者有用，對政府在制定及檢討能效標準也將具有相當的重要性。通常在制定能效標準時，最困難的是評估特定標準在許多不同條件及情境下之成本與效益，因此，若能發展出一套分析架構，將會對政策制定有相當大的助益。

2.1.1 模型介紹

PAMS設計的理念是能夠進行各式的情境分析，因此允許使用者可以輸入總體面的預測資料。整個模型可以分成幾個模組(component models)，各自產生的結果將可用於最終之總體成本及效益計算。

PAMS的分析基準是最低能效標準(MEPS)，因此當政策生效後，市場上所有產品都假設至少符合該標準。當計算成本及效益時，PAMS主要從以下兩個不同但相關的觀點切入：

消費者觀點：針對一般個別的家計單位及企業，計算結果稱為「生命週期成本」(Life-Cycle Cost, LCC)。

國家觀點：預估整體國家之成本及效益，包括財務效益、能源節約及環境效益。計算結果稱為「國家節能量」(National Energy Savings, NES)及「淨現值」(Net Present Value, NPV)。

(1) 生命週期成本

包含購買及使用所衍生的成本，即設備成本及操作成本。設備成本是購買時之零售價格，操作成本則是能源成本(電費)。計算公式如下：

$$LCC = EC + \sum_{n=1}^L \frac{OC_n}{(1 + DR)^n} \quad (1)$$

其中，EC是設備價格，n是購買年(即：已購買年數)， OC_n 是每年操作成本，總操作成本指的是設備使用年限L期間的總操作成本。每年操作成本之計算方式是將每年之能源使用量(UEC)乘以單位能源的價格(P)，即

$$OC = UEC \times P \quad (2)$$

PAMS假設每年操作成本及每年之單位能源價格為固定不變。生命週期成本係以現值表示，因此，未來年度之成本需要以折現因子DR折現為現值，PAMS中之DR數值採用Human Development Index建議之數值。

PAMS計算兩種LCC，一為電器能效改善後的LCC (政策情境)，另一則為未改善前的LCC (基準情境)。兩種情境的LCC結果都會出現在總結頁面(Summary)。根據此一結果，消費者將可以得知能效提升後所需增加的購買成本，以及可以節省的能源支出為何。而綜合起來將可以得知政策的施行到底會讓消費者增加或減少其財務成本。

每種產品可以有許多不同的能源效率值，代表不同的產品設計選擇，也反映不同的政策設計，而LCC計算時也會有不同購買價格，因此透過LCC的計算，將可以得知何種能效標準較為可行，或是生命週期成本較低。

影響LCC計算結果最重要的因素是隨能效標準提升，製造成本提高的幅度。當廠商要提升產品的能效標準時，需要加入節能設計，而其所增加的成本即會反映在產品的製造成本。PAMS假設此一增加的成本會轉嫁給消費者，而轉嫁的比例或是成本會增加的比例是可以自行設定，也可以參考其他國家的數據。CLASP蒐集了許多國家的技術數據，可供參考。

(2) 國家整體能源節約(NES)

國家整體能源節約量(National Energy Savings, NES)為政策情境與基準情境間初級能源投入量之差。整體經濟影響不只是個別家戶

或是企業影響的加總或放大，其也牽涉到時間因素。MEPS通常只影響新產品，既有產品將不會受到影響。因此，政策剛開始執行的第一年節能量將會很小，但隨著時間演變，整個受影響的存量將越來越大。整體節能量(NES)的計算會考量產品存量的變化，因此也會產生成本與效益隨時間變化的狀況。

(a) 存量預測：Ownership Model (擁有率模型)

電器產品的存量及最終消費量主要是受到人口成長及電器擁有率發展趨勢的影響。在已開發國家，電器市場已飽和，擁有率的成長非常有限，在開發中國家，就算是非常基本的電器，其擁有率是呈動態變化，而且與家庭所得水準、都市化及電氣化程度有關。至於經濟快速發展的國家，電器擁有率的變化通常也是非常動態的。PAMS中，電器最終消費量及可能節能量之預測是基於一個將擁有率與家庭所得、電氣化及都市化程度連結在一起的模型，利用人口預測結合所得模型，再透過計量估計，以得到每個年度擁有率的預測結果。

擁有率模型的一般式如下：

$$Sat = (K \times I(y))^{\lambda_a} \times [1 - e^{-(bE(y)^{\lambda_b} + cU(y)^{\lambda_c})}]^a \quad (3)$$

其中，

Sat 為電器飽和率

I 每月家計所得

U 為都市化比例

E 為電氣化比例

y 為衡量飽和率的年度

都市化及電氣化變數的數值是介於0與1之間，而根據上式，對比較富有的國家而言，其擁有率或飽和率(Sat)有可能會超過100%。

在實際應用於我國電冰箱市場之分析時，飽和率上限的設定如根據系統設定及產生的結果，我國電冰箱很快即會達到系統設定之130%飽和率，惟根據我國實際之歷史資料，我國電冰箱的飽和率在系統中設定的上限應僅約90%左右，因此本研究將同時分析在兩種不同飽和率上限(130%及90%)設定下的分析結果。

都市化預測是來自聯合國，而電氣化程度之歷史資料(至2002)是取自IEA的World Energy Outlook，並採用經濟成長變數來預測電氣化程度的成長，相關方程式如下：

$$Growth_{ELEC}(y) = (-4.32 \times E(y-1) + 4.46) \times Growth_{ECON} \quad (4)$$

根據上式，電氣化程度(E)與經濟成長間的關係是取決於發展程度，而經濟成長率則是假設為固定。惟雖然如此，經濟成長可以有幾種情境之選擇：目前狀況、低度、中度及高度成長預測。經濟成長預測數據取自IPCC。

(b) 銷售量模型及存貨計算(Shipments Model and Stock Accounting)

由於只有在能效標準生效後銷售之電器產品才能夠提供節能的效果，因此銷售量的估算相當重要。銷售量模型因此將決定未來每項產品每年會受到能效標準制度影響的比例。

銷售量(出貨量)主要受到幾個因素的影響，包括家庭單位數的增加及汰換舊電器。在已開發國家，擁有率已接近飽和，汰換因素扮演的角色較為重要。因擁有率增加所導致的銷售量(即初次購買)增加可以下式估計：

$$FP(y) = \frac{Pop(y) \times Sat(y)}{HHSIZE(y)} - \frac{Pop(y-1) \times Sat(y-1)}{HHSIZE(y-1)} \quad (5)$$

其中，FP是初次購買量，Pop(y)/HHSIZE(y)為年度之家庭戶數。

汰換量的估計與年度淘汰機率有關，而此一機率(累積汰換機率)則為電器設備年齡的函數，估計如下：

$$P_R(age) = \frac{1}{1 + e^{(age - age_0)/D_{age}}} \quad (6)$$

其中， $P_R(age)$ 為電器使用年數為age時的汰換機率， age_0 為該電器之平均使用壽命， D_{age} 是使用年數與平均壽命間差距的平均值，通常假設為2。每年的汰換量為

$$REP(y) = \sum_{age=1}^L Stock(y-1, age) \times P_R(age) \quad (7)$$

其中， $Stock(y, age)$ 是電器使用年數為age在y年度的存量數。總出貨量為

$$Shipment(y) = S(y) = FP(y) + REP(y) \quad (8)$$

存量則為

$$Stock(y, age) = Stock(y-1, age-1) \times (1 - P_R(age-1)) \quad (9)$$

(c) 國家節能量(National Energy Savings, NES)計算

PAMS比較所欲探討電器在基準情況(Base)及政策情況(Policy)下的能源消費量，即可得到節能量，如下所示：

$$NES = NEC_{Base} - NEC_{Policy} \quad (10)$$

其中，y年的能源消費量為

$$NEC(y) = \sum_{age} Stock(y, age) \times UEC(y-age) \quad (11)$$

其中，電器之單位能源消耗量UEC是與其購買年度(y-age)有關，而UEC在政策施行後，其基準情況與政策情況的數值會不相同，主要是因為兩種情況下電器的能源效率不同，並可由下式決定：

$$UEC = UEC_{Base} \times Eff_{Base} / Eff_{Policy} \quad (12)$$

一般而言，就算是在基準情況，能源使用效率也可能會逐年提升，主要是因為(1)資料之歷史趨勢顯示如此，及(2)來自政府及經濟體系的期待與壓力，促使能源使用效率必須逐漸提升。因此，y年度的能源效率為

$$Eff(y) = Eff_0 \times (1 + R_{eff})^{(y-y_0)} \quad (13)$$

其中， Eff_0 為該電器在參考年 y_0 之能源效率， R_{eff} 是每年的改善率。基準情況及政策情況下都會有自然提升的情況，惟針對政策情況，當能效標準政策施行後，電器之能源效率將先以政策標準為主，一直到基準情況下的自然成長趕上政策標準後，才由自然成長接手。之後，基

準情況及政策情況之能效改善速率將會相等。

在整體經濟的環境影響方面，主要會牽涉到初級能源的使用量。初級能源的節約量(PES)主要是依據能源節約量(NES)再同時考量發電之技術組合情況，以及電力傳輸過程中可能的線路損失而定，公式如下：

$$PES = \frac{NES}{1 + TD} \times HR \quad (14)$$

其中，TD為線路損失率，資料主要來自IEA，HR是熱量比例(Heat Rate)，主要是發電過程使用化石能源(含核能)產生之電力相對於使用其他能源發電產生電力之比例，資料同樣主要來自IEA。

最後，二氧化碳排放減少量(CES)可以根據能源節約量及二氧化碳排放係數(CF)來計算，公式如下：

$$CES = \frac{NES}{1 + TD} \times CF \quad (15)$$

其中，CF的數值主要是根據發電技術組合狀況來計算得到。

2.2 資料

本節說明如何以臺灣電冰箱技術資料及總體、社會經濟相關資料，建置入PAMS系統以進行各種分析。以下說明我國電冰箱技術資料之內容。

我國電冰箱不同設計之技術及成本資料如表1及表2所示。表1中，代表性規格(Baseline)之容積為560公升，等效容積為664公升，表2則將各種不同設計相對於代表性規格所增加的成本做進一步的分析。

表1及表2電冰箱不同設計之技術及成本、價格資料之詳細說明如下。

通常提升電冰箱能源效率可以從三個方向著手：(1) 增加門的絕緣，(2) 優化壓縮機與搭配新型冷媒，(3) 改善絕緣隔間，若改善以上能效需要額外多付出設計成本與製造成本，將直接影響產品的售價。各種冰箱設計所可能增加的成本及導致售價的變動方面，說明如下：

- (1) 若未改善能效的原型電冰箱原售價為18,000元，門的絕緣加厚1公分，估計可提升效率10%，但PU材料需要增加24%，因此製造商需要增加的成本為PU材600元/台*0.24+模具2,000萬元/5萬台/3年攤提+50元(其他材料增加) = 327元/台，若廠商須維持利潤前提下，消費者須額外多付出提高成本3倍的價格，因此售價為18,000 + 327*3 = 18,981元。
- (2) 門的絕緣加厚2公分，估計可提升效率18%，PU材料需要增加50%，因此製造商需要增加的成本為PU材600元/台*0.5+模具2,000萬元/5萬台/3年攤提 + 100元(其他材

表1 我國電冰箱技術資料

Design Number	Design Option	efficiency improvement	Price Increase	Purchase Price	Electricity consumption
		%	\$	\$	kWh/yr
0	Baseline(V=560L、Veq=664L)	0%	-	18,000	813
1	Baseline+decreased door leakage	5%	100	18,300	774
2	Baseline+ increased wall insul.(+10mm)	10%	327	18,981	739
3	Baseline+ increased wall insul.(+20mm)	18%	533	19,599	689
4	0+AC R600a Compressor	10%	120	18,360	739
5	0+high efficiency AC compressor	15%	240	18,720	707
6	0+high efficiency AC R600a compressor	25%	300	18,900	650
7	0+DC compressor+inverter	30%	1,360	22,080	625
8	0+DC R600a compressor+inverter	40%	1,450	22,350	581
9	0+VIP * 2 walls	15%	1,400	22,200	707
10	0+VIP * 3 walls & VIP Door	25%	2,800	26,400	650
11	8+10	65%	4,250	30,750	493
12	3+8+10	83%	4,783	32,349	444

資料來源：工研院綠能所，2015。

表2 我國電冰箱不同設計之成本變動分析

Design Number	Design Option	成本變動說明
2	Baseline + increased wall insul. (+10mm)	厚度增加1 cm，PU材增加24%：PU600元/台*0.24 + 模具 2,000萬元/5萬台/3年攤提 + 50元(其他材料增加)=327元/台
3	Baseline + increased wall insul. (+20 mm)	厚度增加2 cm，PU材增加50%：PU600元/台*0.5 + 模具 2,000萬元/5萬台/3年攤提 + 100元(其他材料增加) = 533元/台
4	0 + AC R600a Compressor	600元/AC R134a壓縮機*20% = 120元
5	0 + high efficiency AC compressor	600元/AC R134a壓縮機*40%
6	0 + high efficiency AC R600a compressor	600元/AC R134a壓縮機*50%
7	0 + DC compressor + inverter	600元/AC R134a壓縮機*60%+變頻器 1,000元 = 1,360元
8	0 + DC R600a compressor + inverter	600元/AC R134a壓縮機*75%+變頻器 1,000元 = 1,450元
9	0 + VIP * 2 walls	700元/片(含施工費)*2 = 1,400
10	0 + VIP * 3 walls & VIP Door	700元/片(含施工費)*4 = 2,800

資料來源：工研院綠能所，2015。

- 料增加) = 533元/台，因此售價為18,000 + 533*3 = 19,599元。
- (3) 若搭配R600a冷媒將可提升10%效率，成本提高120元；若搭配高效率壓縮機效率可提升15%，成本提高240元；搭配高效率壓縮機及R600a冷媒可提升25%效率，成本提高300元，因此售價分別為18,360、18,720及18,900元。
- (4) 若改換變頻壓縮機可提升30%效率，但成本會提高1,360元；變頻壓縮機搭配R600a冷媒可提升40%效率；成本會提高1,450元。因此售價分別為22,080及22,350元。
- (5) 增加2片VIP材質絕緣隔間，可提升15%效率，每片700元(含施工費)，因此售價為18,000 + 700*2*3 = 22,200元。
- (6) 增加3片VIP材質絕緣隔間及1片絕緣門，可提升25%效率，每片700元(含施工費)，因此售價為18,000 + 700*4*3 = 26,400元。

技術資料之外，在基準分析情境中我們設定電價為每度2.85元，折現率為5.5，模擬分析年(analysis year)均為2015年，而分析終止年均為2030年。其中，模擬分析年指的是開始分析

的年度，政策年指的是施行政策的年度，而分析終止年則是指資料分析及呈現的最後一個年度。

3. 模擬及敏感度分析結果

本節說明本文政策模擬及敏感度分析之設計，以及分析所得結果之意義，其中區分個別消費者及國家整體的部分。

3.1 政策模擬及敏感度分析之設計

本文在政策模擬方面，主要從幾個面向思考。首先，能效標準提升的政策年度(policy year)可能不同，因此須比較在不同年度實施所可能產生的效果；其次，能效標準提升政策可能反映在特定設計所能夠提升的能源效率上，因此在能效標準提升的政策內容尚未明確前，比較不同設計所可能衍生的成本及效益，有其政策評估上的需要。

至於在敏感度分析方面，由於電價是影響電冰箱能源成本最關鍵的因素，因此不同電價下所可能產生結果的不同，有必要加以分析。

此外，折現率設定的不同也有可能會影響到最後的結果，因此針對折現率之敏感度分析也有必要。如前所述，在基準分析情境中，我們設定電價為每度2.85元，而在敏感度分析時，我們設定電價上漲為每度3.0元；至於折現率方面，基準情境之設定為5.5，而在敏感度分析時則設定為7.0。

另外，所有的模擬分析年(analysis year)均為2015年，而分析終止年均為2030年。本研究模擬及敏感度分析之情境內容整理如表3所示。

3.2 分析結果

本文分析結果分兩部分呈現，一為個別消費者部分，另一則為整體經濟部分，分別說明如下。

3.2.1 個別消費者

個別消費者的分析結果與政策實施年度無關，也與飽和率無關，僅與產品的壽命有關。以下分別呈現政策模擬與敏感度分析的結果。

(1) 政策模擬結果

如前所述，個別消費者的模擬結果與政策年度無關，也與飽和率無關，因此我們僅呈現飽和率為90%下的結果，模擬結果如表4所示。

由表4可以發現，不同之電冰箱設計由於有不同之購買成本及能源效率，因此其生命週期成本也有明顯的不同。所有的設計中，設計12的生命週期成本最高，設計6的成本最低。不過，設計6的能源效率提升相對於基本設計僅有25%，恐無法達到我國政策上擬提升之標準。另外，表4也顯示，對消費者而言，設計1~8將可達到消費者節省成本的目的，但設計9~12則會使消費者之生命週期成本增加，政策上在說服消費者採用較高能效標準之冰箱上將可能面

表3 模擬及敏感度分析情境設計

飽和率上限	政策模擬	敏感度分析 (政策年 = 2017)	
	不同政策年度及不同冰箱設計	電價	折現率
90%	P-1	S-1	S-3
130%	P-2	S-2	S-4

資料來源：本研究。

表4 政策模擬結果

飽和度	設計	購買價格 (元)	單位能源 成本(元)	電費 (元)	生命週期 成本(元)	效率提 升%	回收年數	節省成本 (元)
90% (P-1)	0	\$18,000	813	\$2,317.05	\$41,258			
	1	\$18,300	774	\$2,206.71	\$40,450	5%	2.72	\$808
	2	\$18,981	739	\$2,106.41	\$40,124	10%	4.66	\$1,133
	3	\$19,599	689	\$1,963.60	\$39,309	18%	4.52	\$1,949
	4	\$18,360	739	\$2,106.41	\$39,503	10%	1.71	\$1,754
	5	\$18,720	707	\$2,014.83	\$38,944	15%	2.38	\$2,314
	6	\$18,900	650	\$1,853.64	\$37,506	25%	1.94	\$3,752
	7	\$22,080	625	\$1,782.35	\$39,970	30%	7.63	\$1,287
	8	\$22,350	581	\$1,655.04	\$38,963	40%	6.57	\$2,295
	9	\$22,200	707	\$2,014.83	\$42,424	15%	13.90	-\$1,166
	10	\$26,400	650	\$1,853.64	\$45,006	25%	18.13	-\$3,748
	11	\$30,750	493	\$1,404.27	\$44,846	65%	13.97	-\$3,588
	12	\$32,349	444	\$1,266.15	\$45,058	83%	13.65	-\$3,800

資料來源：本研究。

臨阻力。

(2) 敏感度分析結果

在個別消費者的敏感度分析方面，我們進行兩種分析，一為電價變動的影響，另一為不同折現率設定下的結果。如前所述，基準情境之電價為每度2.85元，而在敏感度分析時，我們設定電價上漲為每度3.0元，而折現率在基準情境之設定為5.5，在敏感度分析時則設定為7.0。

電價上漲之敏感度分析結果如表5所示，而折現率不同之敏感度分析結果則呈現於表6。比較表5及表4的結果，可以發現當電價上漲，所有設計情況下之生命週期成本都會上升，而對設計1~8而言，電價上漲則成本節省將更為明顯，且對設計9~12來說，其因電價上漲所增加的成本相對於基準情況也會降低。這樣的結果顯示，當電價越高的時候，提高能效標準愈能夠達到預期的效果，對消費者也較具說服力。惟當能效標準提高超過一定程度，消費者所須付出的代價可能會過高，導致其配合的意願下降。

比較表6及表4的結果，可以發現當折現率較高時，所有設計情況下之生命週期成本都會下降，而對設計1~8而言，折現率較高則成本節省將會縮減，且對設計9~12來說，其因電價上漲所增加的成本也會減少。

將表4、5及6中生命週期成本的結果彙整比較可以繪成圖1，而三種情況下各設計之生命週期成本與基準設計間之差距則是彙整於圖2。

3.2.2 整體經濟

有別於個別消費者的分析結果，整體經濟的分析結果會受到政策年度及飽和率的影響，因此有關於整體經濟的結果部分，將呈現不同政策年度及不同飽和率下的結果。以下先說明政策模擬結果，接著再說明敏感度分析的結果。

(1) 政策模擬結果

表7及表8分別整理飽和率為90%及130%下的結果，而主要呈現的數據結果為成本、效益、益本比及CO₂排放的減少量¹。這些數值均是自分析起始年至分析終止年之累積數值，由

表5 不同電價(電價 = 3.0)之敏感度分析

電價	設計	購買價格 (元)	單位能源 成本(元)	電費 (元)	生命週期 成本(元)	效率提 升%	回收年數	節省成本 (元)
(S-1： 飽和度 =90%)	0	\$18,000	813	\$2,439.00	\$42,482			
	1	\$18,300	774	\$2,322.86	\$41,616	5%	2.58	\$866
	2	\$18,981	739	\$2,217.27	\$41,237	10%	4.42	\$1,245
	3	\$19,599	689	\$2,066.95	\$40,346	18%	4.30	\$2,135
	4	\$18,360	739	\$2,217.27	\$40,616	10%	1.62	\$1,866
	5	\$18,720	707	\$2,120.87	\$40,008	15%	2.26	\$2,473
	6	\$18,900	650	\$1,951.20	\$38,485	25%	1.85	\$3,996
	7	\$22,080	625	\$1,876.15	\$40,912	30%	7.25	\$1,570
	8	\$22,350	581	\$1,742.14	\$39,837	40%	6.24	\$2,645
	9	\$22,200	707	\$2,120.87	\$43,488	15%	13.20	-\$1,007
	10	\$26,400	650	\$1,951.20	\$45,985	25%	17.22	-\$3,504
	11	\$30,750	493	\$1,478.18	\$45,587	65%	13.27	-\$3,106
	12	\$32,349	444	\$1,332.79	\$45,727	83%	12.97	-\$3,245

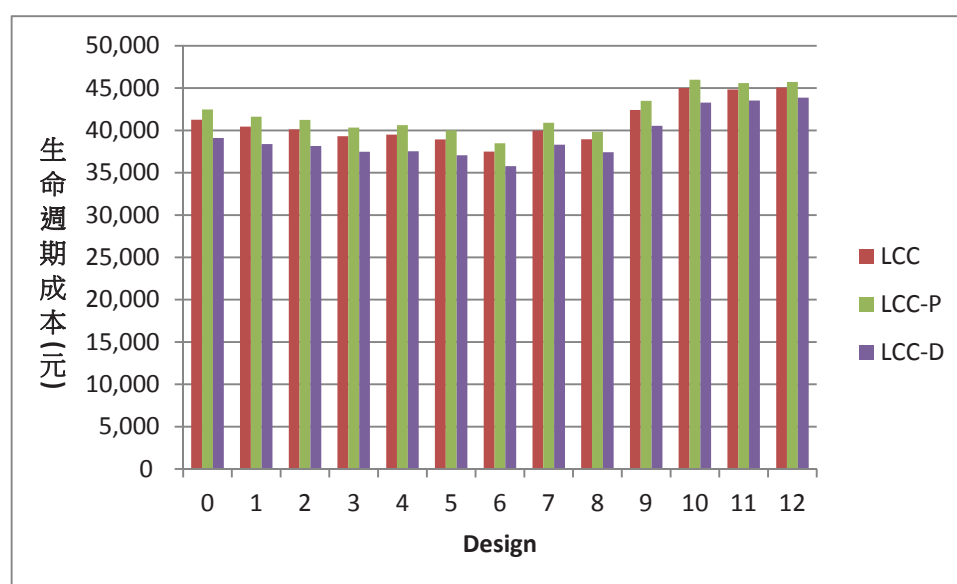
資料來源：本研究。

¹成本、效益及CO₂減排量均為累積至2030年的結果，成本及效益的單位為新臺幣元，而CO₂減排量的單位為百萬噸。

表6 不同折現率(折現率 = 7.0)之敏感度分析

折現率	設計	購買價格 (元)	單位能源 成本(元)	電費 (元)	生命週期 成本(元)	效率提 升%	回收年數	節省成本 (元)
(S-3： 飽和度 =90%)	0	\$18,000	813	\$2,317.05	\$39,103			
	1	\$18,300	774	\$2,206.71	\$38,399	5%	2.72	\$705
	2	\$18,981	739	\$2,106.41	\$38,166	10%	4.66	\$937
	3	\$19,599	689	\$1,963.60	\$37,483	18%	4.52	\$1,620
	4	\$18,360	739	\$2,106.41	\$37,545	10%	1.71	\$1,558
	5	\$18,720	707	\$2,014.83	\$37,071	15%	2.38	\$2,033
	6	\$18,900	650	\$1,853.64	\$35,783	25%	1.94	\$3,321
	7	\$22,080	625	\$1,782.35	\$38,313	30%	7.63	\$790
	8	\$22,350	581	\$1,655.04	\$37,424	40%	6.57	\$1,680
	9	\$22,200	707	\$2,014.83	\$40,551	15%	13.90	-\$1,447
	10	\$26,400	650	\$1,853.64	\$43,283	25%	18.13	-\$4,179
	11	\$30,750	493	\$1,404.27	\$43,540	65%	13.97	-\$4,437
	12	\$32,349	444	\$1,266.15	\$43,881	83%	13.65	-\$4,777

資料來源：本研究。



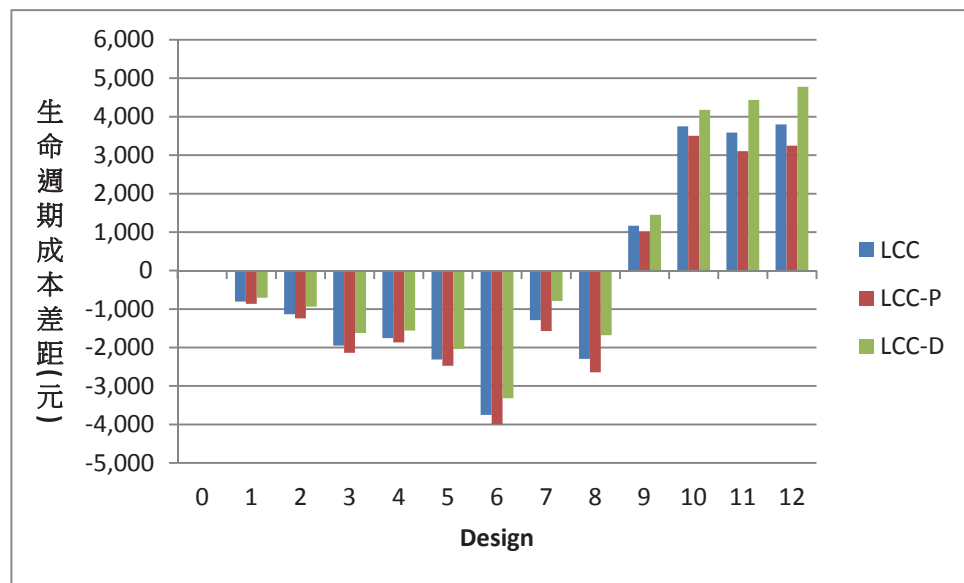
資料來源：本研究。

圖1 生命週期成本比較圖

表7及表8可以看出，設計9~12的益本比都小於1，不過，設計11及12的CO₂排放減少量要明顯高於其他設計。此外，就政策實施年度而言，愈晚實施，成本及效益都會相對減少，而益本比也會隨著實施年度的延後而略微下降。這樣

的結果部分與我們在模擬的時候將分析終止年均設為2030年有關。我們之所以將分析終止年均設為同一年度有以下的理由：首先，PAMS原內設之終止分析年度為2030年²，且在2030年的折現因子(discount factor)會將殘值納入考

²也就是說，此一分析終止年的設定其實是與電冰箱之壽命無關，在我們的分析中，電冰箱之壽命均設定為15年。分析終止年指的是針對整體經濟，資料分析及呈現的最後一個年度，並非所謂的政策終止年，政策事實上是假設會一直延伸至未來，而每個年度都會有既存及新購的冰箱，因此，每個年度中均存在許多具有不同使用年數的冰箱，而它們的殘存壽命均不相同。



資料來源：本研究。

圖2 生命週期成本差距圖

表7 飽和率90%下之模擬結果

項目	年度	設計											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
成本 (元)	2017	1,238	4,048	6,597	1,485	2,971	3,713	16,834	17,948	17,329	34,658	52,606	59,203
	2018	1,115	3,647	5,944	1,338	2,676	3,346	15,166	16,170	15,612	31,225	47,394	53,338
	2019	998	3,264	5,320	1,198	2,395	2,994	13,574	14,472	13,973	27,947	42,419	47,739
	2020	886	2,897	4,722	1,063	2,126	2,658	12,047	12,845	12,402	24,804	37,648	42,370
效益 (元)	2017	4,323	8,252	13,847	8,252	11,840	18,155	20,948	25,936	11,840	18,155	35,760	41,171
	2018	3,805	7,265	12,190	7,265	10,423	15,983	18,441	22,832	10,423	15,983	31,481	36,245
	2019	3,320	6,339	10,636	6,339	9,094	13,945	16,090	19,921	9,094	13,945	27,467	31,623
	2020	2,866	5,472	9,182	5,472	7,851	12,038	13,890	17,197	7,851	12,038	23,711	27,300
益本 比	2017	3.49	2.04	2.10	5.56	3.99	4.89	1.24	1.45	0.68	0.52	0.68	0.70
	2018	3.41	1.99	2.05	5.43	3.89	4.78	1.22	1.41	0.67	0.51	0.66	0.68
	2019	3.33	1.94	2.00	5.29	3.80	4.66	1.19	1.38	0.65	0.50	0.65	0.66
	2020	3.24	1.89	1.94	5.15	3.69	4.53	1.15	1.34	0.63	0.49	0.63	0.64
CO ₂ 減 排量	2017	0.94	1.79	3.00	1.79	2.57	3.93	4.54	5.62	2.57	3.93	7.75	8.92
	2018	0.81	1.55	2.60	1.55	2.22	3.40	3.93	4.86	2.22	3.40	6.70	7.72
	2019	0.69	1.32	2.22	1.32	1.90	2.91	3.35	4.15	1.90	2.91	5.73	6.59
	2020	0.58	1.11	1.87	1.11	1.59	2.45	2.82	3.49	1.59	2.45	4.82	5.55

資料來源：本研究；CO₂減排量單位為：百萬噸。

慮，因此若不加計2030年的結果將會導致整個分析結果有很大的不同。例如，在比較2017年及2018年實施的結果時，若要維持實施期間相同以有共同的比較基準時，2017年政策的分析終止年可能設為2029年，而2018年政策之終止年則設為2030年，然而這樣的設法將會產生如

前述的問題，導致兩個年度的成本及效益均有很顯著的不同。至於第二個理由則是，如果就政策效果的比較而言，政府希望在一個特定年度，如2030年，比較政策到底是先實施還是晚一點實施之效果比較顯著時，則目前的分析方式(終止年均設為2030年)還是可以被接受的。

表8 飽和率130%下之模擬結果

項目	年度	設計											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
成本 (元)	2017	1,788	5,846	9,530	2,146	4,291	5,364	24,315	25,925	25,031	50,061	75,986	85,515
	2018	3,886	5,226	9,022	8,561	11,190	18,254	4,731	9,624	22,551	45,102	68,459	77,044
	2019	3,354	4,441	7,679	7,426	9,676	15,817	3,634	7,870	20,184	40,368	61,272	68,956
	2020	2,861	3,720	6,442	6,368	8,269	13,550	2,662	6,287	17,914	35,827	54,381	61,201
效益 (元)	2017	6,244	11,920	20,001	11,920	17,103	26,224	30,258	37,463	17,103	26,224	51,653	59,470
	2018	5,497	10,494	17,608	10,494	15,056	23,086	26,638	32,980	15,056	23,086	45,472	52,353
	2019	4,796	9,156	15,363	9,156	13,136	20,142	23,241	28,775	13,136	20,142	39,675	45,678
	2020	4,140	7,904	13,262	7,904	11,340	17,388	20,064	24,841	11,340	17,388	34,250	39,433
益本 比	2017	3.49	2.04	2.10	5.56	3.99	4.89	1.24	1.45	0.68	0.52	0.68	0.70
	2018	3.41	1.99	2.05	5.43	3.89	4.78	1.22	1.41	0.67	0.51	0.66	0.68
	2019	3.33	1.94	2.00	5.29	3.80	4.66	1.19	1.38	0.65	0.50	0.65	0.66
	2020	3.24	1.89	1.94	5.15	3.69	4.53	1.15	1.34	0.63	0.49	0.63	0.64
CO ₂ 減 排量	2017	1.35	2.58	4.33	2.58	3.71	5.68	6.56	8.12	3.71	5.68	11.19	12.89
	2018	1.17	2.23	3.75	2.23	3.21	4.92	5.67	7.02	3.21	4.92	9.68	11.15
	2019	1.00	1.91	3.20	1.91	2.74	4.20	4.85	6.00	2.74	4.20	8.27	9.52
	2020	0.84	1.61	2.69	1.61	2.30	3.53	4.08	5.05	2.30	3.53	6.96	8.01

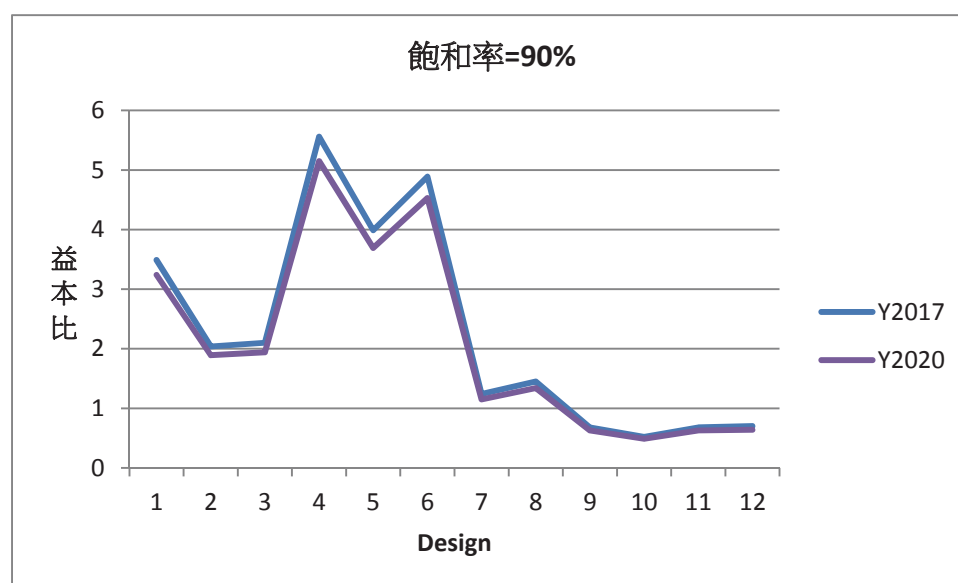
資料來源：本研究；CO₂減排量單位為：百萬噸。

我們將不同政策年度下不同設計之益本比較繪於圖3。圖3顯示的是飽和率90%下的結果，至於飽和率130%下的結果則是大同小異，基本上呈現相同的型態及趨勢。

圖4及圖5繪出飽和率90%及130%下，不

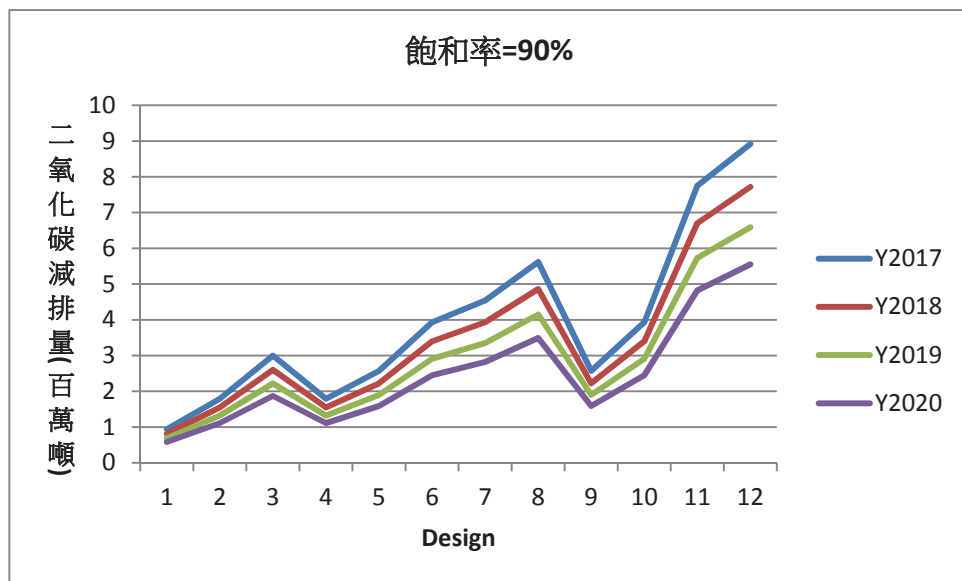
同政策年度之CO₂減排量。兩個圖的型態及趨勢基本上非常類似，唯一不同的是減排量的大小，飽和率130%下CO₂減排量要較90%下來得大了許多。

(2) 敏感度分析結果



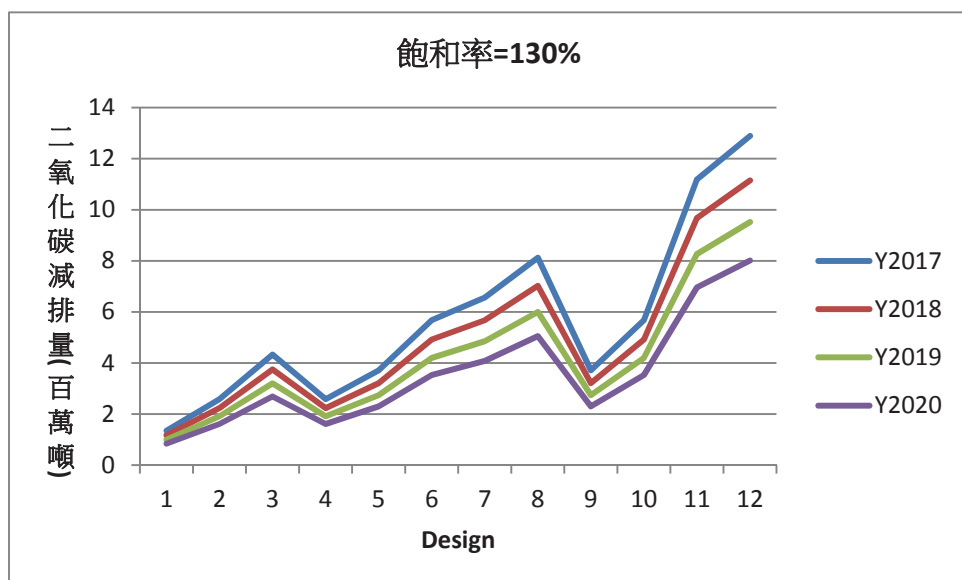
資料來源：本研究。

圖3 飽和率90%下不同年度之益本比較



資料來源：本研究。

圖4 飽和率90%下不同年度之CO₂減排量比較



資料來源：本研究。

圖5 飽和率130%下不同年度之CO₂減排量比較

整體經濟下的敏感度分析主要也是針對電價及折現率。由於不同飽和率下的結果大同小異，我們僅呈現90%下的結果(表9、10及圖6、7)。

圖6中的益本比差距指的是與電價為每度2.85元時之益本比間的差距，由圖中的結果可以看出，電價愈高，整體經濟的益本比也愈高，而其中又以設計4及6之增加幅度最為明

顯。至於圖7中的益本比差距指的是與折現率為5.5下益本比之差距。由圖7之結果可以看出，折現率愈高，益本比愈低。

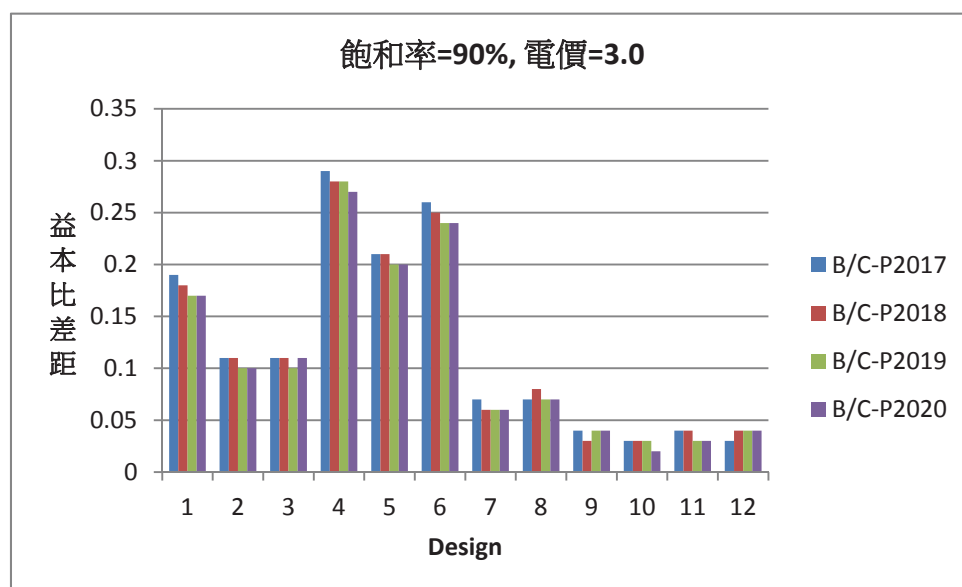
4. 結論與建議

本文引進CLASP所發展之PAMS系統，探討我國實施電冰箱能效標準政策對個別消費者

表9 電價 = 3.0，飽和率90%

項目	年度	設計											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
成本 (元)	2017	1,238	4,048	6,597	1,485	2,971	3,713	16,834	17,948	17,329	34,658	52,606	59,203
	2018	1,115	3,647	5,944	1,338	2,676	3,346	15,166	16,170	15,612	31,225	47,394	53,338
	2019	998	3,264	5,320	1,198	2,395	2,994	13,574	14,472	13,973	27,947	42,419	47,739
	2020	886	2,897	4,722	1,063	2,126	2,658	12,047	12,845	12,402	24,804	37,648	42,370
效益 (元)	2017	4,550	8,687	14,576	8,687	12,463	19,111	22,051	27,301	12,463	19,111	37,642	43,338
	2018	4,006	7,647	12,832	7,647	10,972	16,824	19,412	24,034	10,972	16,824	33,138	38,152
	2019	3,495	6,672	11,196	6,672	9,573	14,679	16,937	20,970	9,573	14,679	28,913	33,288
	2020	3,017	5,760	9,665	5,760	8,264	12,672	14,621	18,102	8,264	12,672	24,959	28,736
益本 比	2017	3.68	2.15	2.21	5.85	4.20	5.15	1.31	1.52	0.72	0.55	0.72	0.73
	2018	3.59	2.10	2.16	5.71	4.10	5.03	1.28	1.49	0.70	0.54	0.70	0.72
	2019	3.50	2.04	2.10	5.57	4.00	4.90	1.25	1.45	0.69	0.53	0.68	0.70
	2020	3.41	1.99	2.05	5.42	3.89	4.77	1.21	1.41	0.67	0.51	0.66	0.68
CO ₂ 減 排量	2017	0.94	1.79	3.00	1.79	2.57	3.93	4.54	5.62	2.57	3.93	7.75	8.92
	2018	0.81	1.55	2.60	1.55	2.22	3.40	3.93	4.86	2.22	3.40	6.70	7.72
	2019	0.69	1.32	2.22	1.32	1.90	2.91	3.35	4.15	1.90	2.91	5.73	6.59
	2020	0.58	1.11	1.87	1.11	1.59	2.45	2.82	3.49	1.59	2.45	4.82	5.55

資料來源：本研究；CO₂減排量單位為：百萬噸。



資料來源：本研究。

圖6 電價上漲之益本比差距變化

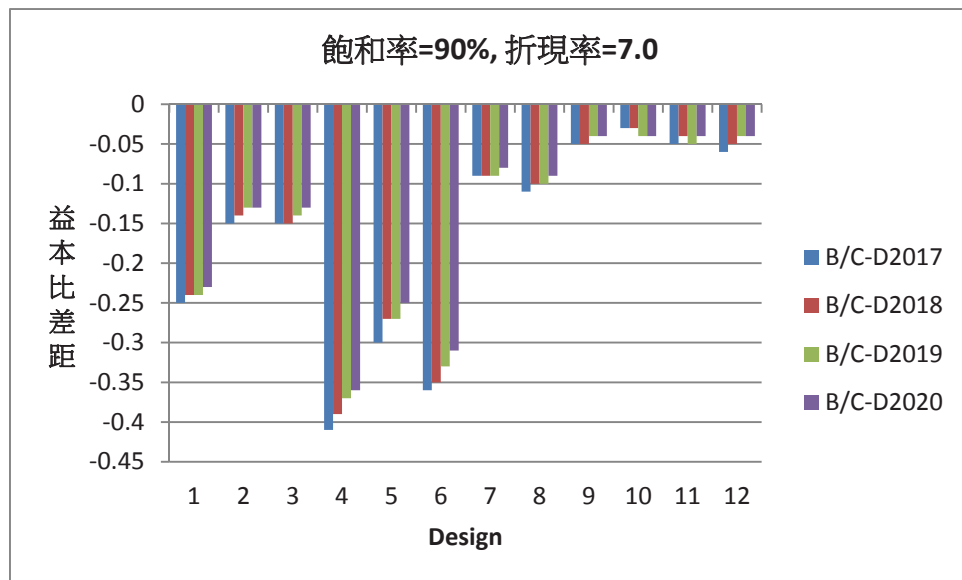
生命週期成本，以及對整體經濟成本、效益及二氧化碳排放量減少之影響。研究結果顯示，不同之電冰箱設計由於有不同之購買成本及能源效率，因此其生命週期成本也有明顯的不同。所有的設計中，設計12的生命週期成本最

高，設計6的成本最低。不過，設計6的能源效率提升相對於基本設計僅有25%。設計1~8將可達到消費者節省成本的目的，但設計9~12則會使消費者之生命週期成本增加，政策上在說服消費者採用較高能效標準之冰箱上將可能

表10 折現率 = 7.0，飽和率90%

項目	年度	設計											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
成本 (元)	2017	1,102	3,602	5,871	1,322	2,644	3,304	14,980	15,971	15,421	30,841	46,812	52,683
	2018	984	3,218	5,244	1,181	2,361	2,952	13,382	14,267	13,775	27,550	41,817	47,062
	2019	873	2,856	4,655	1,048	2,096	2,620	11,877	12,663	12,226	24,452	37,115	41,770
	2020	769	2,514	4,097	922	1,845	2,306	10,454	11,146	10,762	21,523	32,670	36,767
效益 (元)	2017	3,565	6,807	11,421	6,807	9,766	14,975	17,278	21,392	9,766	14,975	29,496	33,959
	2018	3,117	5,950	9,984	5,950	8,537	13,090	15,104	18,701	8,537	13,090	25,784	29,686
	2019	2,701	5,157	8,652	5,157	7,399	11,344	13,090	16,206	7,399	11,344	22,345	25,726
	2020	2,317	4,422	7,421	4,422	6,345	9,729	11,226	13,899	6,345	9,729	19,163	22,063
益本 比	2017	3.24	1.89	1.95	5.15	3.69	4.53	1.15	1.34	0.63	0.49	0.63	0.64
	2018	3.17	1.85	1.90	5.04	3.62	4.43	1.13	1.31	0.62	0.48	0.62	0.63
	2019	3.09	1.81	1.86	4.92	3.53	4.33	1.10	1.28	0.61	0.46	0.60	0.62
	2020	3.01	1.76	1.81	4.79	3.44	4.22	1.07	1.25	0.59	0.45	0.59	0.60
CO ₂ 減 排量	2017	0.94	1.79	3.00	1.79	2.57	3.93	4.54	5.62	2.57	3.93	7.75	8.92
	2018	0.81	1.55	2.60	1.55	2.22	3.40	3.93	4.86	2.22	3.40	6.70	7.72
	2019	0.69	1.32	2.22	1.32	1.90	2.91	3.35	4.15	1.90	2.91	5.73	6.59
	2020	0.58	1.11	1.87	1.11	1.59	2.45	2.82	3.49	1.59	2.45	4.82	5.55

資料來源：本研究；CO₂減排量單位為：百萬噸。



資料來源：本研究。

圖7 折現率7.0之益本比差距變化

面臨阻力。電價之敏感度分析結果發現當電價上漲，所有設計情況下之生命週期成本都會上升，而對設計1~8而言，電價上漲則成本節省將更為明顯，設計9~12因電價上漲所增加的成本也會降低，顯示當電價越高的時候，提高

能效標準愈能夠達到預期的效果，對消費者也較具說服力。折現率方面，當折現率較高時，所有設計之生命週期成本都會下降，而對設計1~8而言，折現率較高則成本節省將會縮減，但設計9~12因電價上漲所增加的成本也會減

少。

整體經濟方面，本文結果顯示，設計9~12的益本比都小於1，不過，設計11及12的CO₂排放減少量要明顯高於其他設計，以設計11為例，政策年為2017時，累積至2030年之整體減排量將達到7.75百萬噸。此外，政策愈晚實施，成本及效益都會相對減少，而益本比也會隨著實施年度的延後而略微下降。敏感度分析方面，電價愈高，整體經濟的益本比也愈高，其中又以設計4及6之增加幅度最為明顯；此外，折現率愈高，益本比則愈低。

參考文獻

- 工研院綠能所，2015，「我國電冰箱不同設計之技術及成本資料」，工研院綠能所內部參考資料。
- 林妤蓁，2011，「家庭用電模式與節能減碳策略之探討」，碩士論文，康寧大學休閒資源暨綠色產業學系。
- 能源局，2015，電冰箱能源因數值基準，http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1045
- CLASP, 2013，中國家電產品能效狀況市場分析
- 項目政策建議，CLASP與瑞士Top 10節能中心合作計畫成果。
- CLASP, 2015a, *Methodology Description for the Policy Analysis Modeling System (PAMS)*.
- CLASP, 2015b, *User Instructions for the CLASP Policy Analysis Modeling System (PAMS)*.
- McNeil, Michael A. and Maithili Iyer, 2007, “Techno-Economic Analysis of Indian Draft Standard Levels for Room Air Conditioners,” Energy Analysis Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Zhou, Nan, John Romankiewicz, Edward Vine, Nina Khanna, and David Fridley, 2012, *International Review of Frameworks for Impact Evaluation of Appliance Standards, Labeling, and Incentives*, Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-6003E.
- Zhou, Nan, Nina Zheng Khanna, David Fridley and John Romankiewicz, 2013 *Development and implementation of energy efficiency standards and labeling programs in China: Progress and challenges*, US/DOE report.

Cost and Benefit Analysis of Energy Efficiency Standard Policy: The Case of Refrigerator

Shih-Mo Lin^{1*} Jin-Xu Lin² Chun-Peng Chiu³

ABSTRACT

This paper applies the Policy Analysis and Modeling System (PAMS) developed jointly by CLASP and the Lawrence Lab of the University of California, Berkeley, to assess the life cycle cost (LCC) of individual consumer and the aggregate economic cost, benefit and CO₂ emissions of implementing a minimum energy efficiency standard policy for refrigerator in Taiwan. Our results indicate that refrigerator designs with higher energy efficiency standard usually have higher LCC. As such, accompanying measures will be needed to encourage consumers to purchase them. Furthermore, sensitivity analysis results reveal that high electricity price will encourage consumers to pursue high energy efficiency refrigerator. The results on aggregate economy reveal that refrigerator designs with higher energy efficiency standard will have a benefit/cost ratio which is less than 1. However, the reduction of CO₂ emissions will also be high. In addition, high electricity price will lead to a higher benefit/cost ratio.

Keywords: Minimum energy performance standard, Refrigerator, Policy Analysis and Modeling System (PAMS)

¹ Professor, Department of International Business & Director, Center for Applied Economic Modeling, Chung Yuan Christian University; Researcher, The Research Center for Taiwan Economic Development (RCTED), National Central University.

² Associate Professor, Department of International Business, Chung Yuan Christian University.

³ Associate Researcher, Green Energy and Environment Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-2655207, E-mail: shihmolin@gmail.com

Received Date: November 25, 2015

Revised Date: July 26, 2016

Accepted Date: August 10, 2016