

# 高效率空調市場滲透率內生化評估與誘因機制研析 —以住宅部門為例

劉家宏<sup>1</sup> 李堅明<sup>2\*</sup> 洪悅容<sup>3</sup>

## 摘要

高效率空調的市場擴散與提高市場滲透率，已成為國家落實溫室氣體減量目標的最重要政策與措施。本研究首先應用世代Bass技術擴散模型，評估我國高效率空調的技術擴散(或市場規模)，以及內生市場滲透率。研究結果顯示，我國住宅部門空調市場規模約11.4百萬台，高效率(變頻)空調取代定頻空調滲透率的彈性值為-1.40。據此，估算2019年，變頻空調市場滲透產生的累計節電量約946.3百萬度電，以及481,684.3噸CO<sub>2</sub>e的減排量。本研究進一步，建立滲透率誘因設計的理論模型，探討不同誘因機制設計的影響效果。本研究結果，顯示，(1)補貼對象：中游(零售商)、下游(消費者)補貼，相較於上游補貼(生產者)，對促進高效率產品較具確定性及較佳效果。(2)補貼工具型態：價格補貼優於所得定額補貼；成本補貼優於利潤補貼。本研究結果，具有高度政策與市場行銷意涵，可以提供政府施政與產業產品推廣策略之參考。

關鍵詞：高效率空調，Bass模型，滲透率，2SLS

JEL分類：Q21, Q25, Q28

## 1. 前言

能源效率(energy efficiency)已成為全球落實《巴黎協定》與脫碳(decarbonization)的最優先能源轉型(energy transition)策略(International Energy Agency, IEA, 2018)。IEA (2017)估計，全球若欲於2060年達到碳中和(carbon neutral)，「能源效率」需要貢獻34%(約300億噸二氧化碳當量)的減排量。我國住宅部門年用電量約471億度(2019)，約占全國總電力消費量(2,650億度)的17.7%(經濟部能源局，2019)，空調

耗電量約占住宅部門耗電量28%，是住宅部門的最主要耗電源(林素琴與林志勳，2017)。我國近十年(2000-2019)空調年累積的銷售量約7,068,742台，其中定頻空調累積銷售量約2,196,396台(約占31.1%)，變頻空調累積銷售量約4,872,346台(約占68.9%)(Growth from Knowledge, Gfk, 2020)，由於高效率空調設備/技術約可提高16%用電效率(柯明村，2018)，因此，評估住宅部門高效率空調市場規模與滲透率(penetration rate)<sup>1</sup>，將是評估住宅部門引入高效率空調設備(本研究以變頻空調代表)節能與

<sup>1</sup> 臺灣綜合研究院 高級助理研究員

<sup>2</sup> 國立臺北大學自然資源與環境管理研究所 教授

<sup>3</sup> 國立臺灣科技大學資訊管理研究所 博士生

\*通訊作者，電話：02-86741111#67335，電郵：cmlee@mail.ntpu.edu.tw

收到日期: 2022年02月15日

修正日期: 2022年07月08日

接受日期: 2022年08月05日

<sup>1</sup> 市場滲透率係指市場銷售量占市場規模比例。

減碳潛力的關鍵因子，以及提供政府推動高效率空調市場擴散相關政策規劃的參考。

節能技術擴散係指一項新節能技術(或設備)的被採用與普及的現象(Moglia *et al.*, 2017)，易言之，節能技術擴散(energy saving technology diffusion)將是能源效率提升的最佳體現，亦是落實國家減碳目標的最優先策略，已成為國際先進國家最重要的能源轉型政策。然而，如何評估節能技術擴散率？以及確實掌握節能擴散率影響因子？將是評估國家節能潛力及研擬節能技術擴散政策的重要課題。Rogers在1962年最早提出技術擴散與社會行為有關，引發後續相關文獻探討，包括技術擴散如流行病學(epidemic model)的S曲線(Gupta & Jain, 2012)最為典型，以及邏輯斯模型(logistics model) (Gruber & Verboven, 2001)與Bass模型(Bass model) (Bass, 1969；Rao & Kishore, 2010)，並強調應於不同技術擴散階段，導入適當的政策工具，形成技術擴散的拉力與推力效果，加速技術擴散效果<sup>2</sup>。

Rogers (1962)最早提出技術擴散與社會行為(模仿者與創新者)有關，引發後續相關文獻探討，其中，Bass模型(Bass model) (Bass, 1969)最被廣為應用，且陸續提出針對跨世代高效率設備的BSGM (Bass Successive Generation Model, BSGM) (Norton and Bass, 1987)，以及討論政策變數的GBM (Generalized Bass Model, GBM) (Bass *et al.*, 1994)，充實Bass模型的應用性。然而，Bass模型較缺乏探討市場滲透率及相關促進市場滲透的誘因機制，這是Bass技術擴散模式較不足之處。

有關經濟個體購買新高設備的一般性原因，過去亦有相當多文獻討論(Moglia *et al.*,

2017)，包括：(1)社會規範與他人影響(social norm and influence of others) (Hall *et al.*, 2013；Hicks & Theis, 2014；Noonan *et al.*, 2013；Rosenberg, 2011；Wilson *et al.*, 2015)；(2)貨幣因子(購買成本與營運成本等) (monetary factors: purchase cost, operating cost, cost benefits, lifecycle) (Hall *et al.*, 2013；Rosenberg, 2011)；(3)節能與相關環境效益(energy saving and associated environment benefits on reduced greenhouse gas emissions) (Hall *et al.*, 2013；Liu *et al.*, 2013；Newton & Meyer, 2013)；(4)節能知識(knowledge of how to achieve energy savings) (Hall *et al.*, 2013)；(4)資本可獲得性(availability of capital) (Wilson *et al.*, 2015)及技術升級(breakdown of the previous system)。可知，經濟個體購買新高節能設備的原因眾多，例如社會規範與他人影響，亦即當社會大多人已採用該技術，則經濟個體容易受到社會壓力影響，從而，提高購買該效率設備的誘因與行動。

Lund (2006)首開新能源技術產品的市場滲透率研究先河，蒐集與分析全球20項高效率設備/技術的市場滲透率，指出市場滲透率將隨時間及市場占有率提高而下降，且政府補貼及公共政策(例如效率標章)將是促進高效率設備/技術市場滲透率的最重要政策措施。Du Can *et al.* (2014)研究全球高效率能源設備/技術的市場滲透率誘因計畫(incentive program)，歸納出，一個好的誘因計畫應包括效率水準目標、誘因金額的決定、受益者、誘因工具的型態、具體準則及是否包括回收等。由於受益者在不同的供應鏈(supply chain)階段(例如生產者、零售商或消費者)，將具不同的誘因效果與不確定性，成為政府誘因計畫設計的關鍵，可見誘因制度設

<sup>2</sup>由於技術擴散模型呈現S型或Logistic曲線，因此，一般通稱為流行病學模型(epidemic model)，為非線性最小平方法(nonlinear least squares)。Bass模型(1969)是最早與應用最廣模型，只要蒐集市場銷售與累積量，再應用銷售資料的累積機率分配函數，即可推估估計三個參數，創新係數、模仿係數、及市場銷售潛量等，這是本研究選擇Bass模型的主因。

計將是促進市場滲透率的重要政策工具。

綜整技術擴散文獻發現，Bass模型強調高效率設備/技術的市場規模(以20年為例，亦即推估市場20內汰換所有老舊設備的總量)，以及市場銷售峰值與期程。然而，較缺乏探討影響技術擴散S曲線的斜率(亦即市場滲透率)。爰此，本研究將以住宅高效率空調設備/技術(例如變頻空調)為例，應用BSGM及GBM推估高效率空調市場規模(market scale)(10-20年)，及市場滲透率，作為評估高效率空調的節能與減碳潛力。進而，再研擬提高市場滲透率的誘因機制，作為政府規劃相關政策的參考，這就構成本研究主要目的。本文內容安排如後：第一節為研究背景與目的；第二節為Bass技術擴散模型介紹；第三節為住宅部門高效率空調市場規模、滲透率及節電減碳潛力推估；第四節為促進高效率設備市場滲透率誘因機制設計研析；第五節為結語。

## 2. Bass技術擴散模型

### 2.1 單代設備技術擴散模型

Bass *et al.* (1969)技術擴散模型的理論基礎是建立在將「危害函數」(Hazard Function)機率密度函數與累積分配函數上(Kiefer, 1988)，定義在T時間點尚未採用新高效率產品機率：

$$f(T)/(1-F(T)) = p + qF(T) \quad (1)$$

其中， $f(T)$ 為產品銷售的機率密度函數(possibility density function)； $F(T)$ 為累積密度函數(accumulation density function)； $p$ 為創新係數， $q$ 為模仿係數。將式(1)給項整理，可以獲得：

$$f(T) = dF(T)/dt = p + (q-p)F(T) - qF(T)^2 \quad (2)$$

假設 $F(0) = 0$ ，則上式微分方程式可以求解出， $F(T) = (1 - e^{-(p+q)T}) / [1 + (q/p)e^{-(p+q)T}]$ ，以及  $f(T) = [(p+q)^2/p]e^{-(p+q)T} / [1 + (p+q)e^{-(p+q)T}]^2$ 。假設  $m$  為市場銷售潛力(最大銷售量)，且假設每人僅購買一件，則第  $T$  期市場銷售量 ( $S(T)$ ) 可定義為  $S(T) = mF(T)$ ，且定義  $Y(T-1)$  為第  $T-1$  之市場累積銷售量，則  $Y(T-1) = mF(T-1)$ ，代入式(2)，可獲得市場銷售量函數：

$$S(T) = pm + (q-p)Y(T-1) - (q/m)Y(T-1)^2 \quad (3)$$

上式經濟意義為： $pm$  代表第  $T$  期之代表創新者購買數量； $(q-p)Y(T-1)$  代表模仿者尚未購買數量； $(q/m)Y(T-1)^2$  代表模仿者已購買數量。式(3)即為Bass技術擴散模型的迴歸方程式。若將  $F(T) = (1 - e^{-(p+q)T}) / [1 + (q/p)e^{-(p+q)T}]$  代入式(2)，則第  $T$  期銷售量函數亦可表示為：

$$S(T) = (m(p+q)^2) / p [e^{-(p+q)T} / (q/p e^{-(p+q)T} + 1)^2] \quad (4)$$

式(4)對時間微分，並令為零，可以求解銷售量最大(峰值)之時點( $T^*$ )方程式：

$$T^* = -1 / (p+q) \text{Ln}(p/q) = 1 / (p+q) \text{Ln}(q/p) \quad (5)$$

再將式(5)代入式(4)，可獲得最大銷售量(峰值)方程式。

$$S(T^*) = m(p+q)^2 / 4q \quad (6)$$

綜上可知，透過式(3)或式(4)迴歸方程式<sup>3</sup>，可以獲得  $p, q, m$  迴歸係數，即可代入式(5)及式(6)，找到最大銷售量及時點。

### 2.2 世代新技術的Bass技術擴散模型

Norton and Bass (1987)針對世代(successive

<sup>3</sup> 式(3)可用線性最小平方法(Ordinary Least Square, OLS)進行迴歸分析；式(4)則需要用非線性最小平方方法(Non-linear Least Square, NLS)進行迴歸分析。

generation)高科技產品的動態銷售行為，例如高效率馬達、通訊技術及空調等，提出納入替代效果(substitution effect) (新技術取代舊技術)的Bass技術擴散模型(BSGM)。Norton and Bass (1987)指出具有世代特性的高效率技術的銷售受到兩個需求效果影響：(1)產能擴充(expanding effect) (產能增加及舊世代設備已到耐用年限)及(2)取代舊技術效果。

Norton and Bass (1987)建立BSGM技術擴散模式如下式(兩代產品為例)：

$$S_1(t) = F(t)m_1[1 - F(t - \tau_2)] \quad (7)$$

$$S_2(t) = F(t - \tau_2)[m_2 + F(t)m_1][1 - F(t - \tau_3)] \quad (8)$$

其中， $F(t) = [(1 - e^{-bt}) / (1 + ae^{-bt})]$ ，第  $t$  時點銷售量累積機率分配函數，且  $a = q/p$ ,  $b = p + q$ ；下標 1 代表第 1 代產品銷售量，其餘類推； $\tau$  為新世代產品進入市場時間，因此，當新世代產品進入市場，即會取代舊世代產品，例如當第 2 代產品進入市場時，會取代第 1 代產品的銷售量為  $F(t - \tau_2)(m_1F(t))$ ，亦即，新世代會增加  $F(t - \tau_2)(m_1F(t))$  的銷售量，總銷售量為  $F(t - \tau_2)(m_2 + m_1F(t))$ ，依此類推。

上述方程式組即是 BSGM 技術擴散迴歸方程式，如果假設  $p, q$  固定(跨代不變)，可簡化推估參數，以兩代為例，需要推估 4 個參數，包括  $p, q, m_1, m_2$  等。統計方法可應用 SAS (Statistical Analysis System, SAS) 的二階段最小平方法(two-stage least square, 2SLS)非線性迴歸法(SYSLIN)。

### 3. 住宅部門高效率空調設備技術擴散與節能潛力評估

## 3.1 住宅部門空調市場規模推估

### 3.1.1 我國住宅部門市場銷售現況分析

本計畫向德商 GfK (Growth from Knowledge) 公司購買我國空調(包括定頻與變頻)近 10 年(2010-2019)的市場銷售調查資料<sup>4</sup>，如表 1 所示。由表 1 可以發現，近 10 年來，定頻空調的年銷售量逐年減少，由 2010 年的 370,411 台/年，下降至 2019 年的 64,122 台/年，約下降 82.7%；反觀變頻空調的年銷售量則逐年增加，由 2010 年的 245,063 台/年，增加至 2019 年的 800,249 台/年，約增長 226.5%。

上述空調市場銷售量變化顯示，變頻空調正快速取代定頻空調，隱含變頻空調的市場滲透率將影響定頻空調市場滲透率的現象。此外，由合計的市場銷售總量(包括定頻與變頻)變化可知，隨著人口增加與生活品質提升，市場銷售量呈現穩定增加趨勢。

### 3.1.2 空調市場規模推估—應用世代 Bass 技術擴散模型

本計畫進一步，再引入 Norton and Bass (1987) 提出的世代(successive generation)技術擴散模型，詳如式(4)–式(8)所示，進行迴歸分析。主要目的是確認前文傳統 Bass 技術模型推估的變頻空調市場規模的合理性。

在迴歸方法上，本文應用工具變數法(instrument variables, IVs)及二階段最小平方法(two stage least square, 2SLS)，推估定頻與變頻的市場規模，以及創新與模仿係數。本計畫以近 10 年(2010-2019) 的住宅部門用電與人均 GDP (Gross Domestic Product) 為工具變數，另考量空調使用可能包含部分商業及服務業使用，因

<sup>4</sup> GfK 的市場調查包括獨立家電行、連鎖 3C 通路、連鎖賣場、百貨公司、及網路平台，但是不包括政府機關採購、房屋建案採購、二手商品銷售及房屋裝潢專案銷售等。

表1 我國空調銷售資料

年	定頻銷售(台)	變頻銷售(台)	市場總銷售量(台)	定頻累積銷售(台)	變頻累積銷售(台)
2010	370,411	245,063	615,474	370,411	245,063
2011	325,254	302,258	627,512	695,665	547,321
2012	239,472	365,569	605,041	935,137	912,890
2013	238,241	412,032	650,273	1,173,379	1,324,921
2014	234,431	481,524	719,955	1,407,810	1,806,445
2015	219,492	493,526	713,018	1,627,302	2,299,971
2016	216,772	540,387	757,109	1,844,075	2,840,358
2017	173,398	585,456	758,854	2,017,472	3,425,814
2018	114,802	646,283	761,085	2,132,275	4,072,097
2019	64,122	800,249	864,371	2,196,396	4,872,346

註1：包括窗型與分離式

此本計畫另有參考服務部門之用電數據做為工具變數的參數之一，數據詳見表2。表2顯示，我國人均GDP由2010年的607,596(百萬元/人)，增加至2019年的801,037(百萬元/人)，10年來，約成長31.8%；住宅部門用電由2010年的43,427,513(千度)，增加至2019年的47,178,021

(千度)，10年來用電成長約8.64%；而服務部門用電10年內成長約1.68%；我國住宅總樓地板面積由2010年的101,600,811 m<sup>2</sup>，增加至2019年的248,924,233 m<sup>2</sup>，10年來，約成長145.0%。

工具變數迴歸結果如下所示：

表2 住宅、服務部門用電與人均GDP歷年資料

年	人均GDP(百萬元/人)	住宅部門用電(千度)	服務部門用電(千度)
2010	607,596	43,427,513	45,896,849
2011	614,922	44,418,406	45,769,646
2012	630,749	43,231,623	45,734,565
2013	654,142	43,572,772	45,855,738
2014	694,680	45,180,940	46,457,822
2015	726,895	44,880,605	47,124,541
2016	746,526	47,329,942	47,938,518
2017	763,445	47,608,639	48,290,311
2018	777,898	46,872,848	47,077,129
2019	801,037	47,178,021	46,667,551

資料來源：主計總處，2020；經濟部能源局，2020。

$$CFAC_a = -4953167.7656 + 9.1129GDP_p - 0.0309POWER_t + 0.0300POWER_c \quad (9)$$

其中， $CFAC_a$  為定頻空調累積銷售量(台)； $GDP_p$  為人均GDP(百萬元/人)； $POWER_t$  為住宅部門用電(千度)； $POWER_c$  為服務部門用電(千度)。表3顯示， $R^2 = 0.984$  值相當高，表示全國住宅部門用電、服務部門用電與人均GDP(百萬元/人)對定頻空調累積銷售量(台)變化的解釋能力相當高，且Variance Inflation Factor (VIF)皆小於10，均通過共線性診斷(Miles, J., 2005)<sup>5</sup>；然，迴歸係數並不顯著。

獲得上述工具變數之估計結果後，再將此迴歸結果帶入跨世代技術擴散模型當中，替換原本定頻空調累計銷售，獲得世代Bass技術擴散模型迴歸方程式如下：

$$CFAC_a = m_1 F_1 - (CFAC_c \text{ Instrument}) F_2 (t - \tau_2) \quad (10)$$

$$VFAC_a = F_2 (t - \tau_2) (m_2 + m_1 F_1) \quad (11)$$

其中， $CFAC_a$  Instrument為定頻空調累積銷售量的工具變數迴歸結果； $VFAC_a$  為變頻空調累積銷售量； $F_i(t)$  為空調銷售累計機率密度函數， $F_i(t) = [1 - \exp(-(p+q)t)] / [1 + (p/q)\exp(1 - (p+q)t)]$ ，其餘符號，已在前文定義，不再贅述。

本文應用2SLS方法，迴歸結果詳見表4(迴歸程式詳見附件一)。表4顯示，定頻空調銷售潛力( $m_1$ )為5,373,119台；變頻空調銷售潛力( $m_2$ )為6,083,281台；創新係數( $p$ )為0.056027，模仿係數( $q$ )為0.094727，兩者皆小於1，屬於合理範圍；迴歸參數均呈現1%顯著性(或99%可信賴)，符合Bass技術擴散模型的文獻經驗結果。

研究結果顯示，定頻空調市場規模約5,373,119台，變頻空調市場規模約6,083,281台，兩者銷售潛力差異不大，顯示，我國住宅空調的購買行為，在有限時間內，並不會完全以變頻空調取代定頻空調，易言之，定頻空調

表3 定頻累積銷售量工具變數迴歸分析結果

迴歸變數	迴歸值	t 值	P 值	VIF	R <sup>2</sup>
截距	-4953167.765	-1.591	0.1628	-	0.984
$GDP_p$	9.1129	6.0591	0.0009	5.6406	
$POWER_t$	-0.0309	-0.4016	0.7018	3.8672	
$POWER_c$	0.0300	0.3101	0.7669	8.7508	

表4 定頻與變頻空調市場累積銷售量工具變數迴歸分析結果

迴歸參數	迴歸值	t 值	P 值
$m_1$	5,373,119***	16.83	<0.0001
$p$	0.056027***	20.16	<0.0001
$q$	0.094727***	4.02	0.0038
$m_2$	6,083,281***	8.97	<0.0001

註：「\*\*\*」表示1%顯著性。

<sup>5</sup> 依據Miles (2005)研究，當執行共線性(collinearity)診斷，變異數膨脹係數(VIF)不大於10時，代表自變數之間共線性低，即通過共線性診斷。

仍然會持續在市場銷售。據此，將定頻與變頻空調市場規模加總，大約可以推估我國住宅部門空調市場規模潛力約11,456,400台，這是本計畫的重要發現之一。

### 3.2 定頻與變頻空調滲透率評估

滲透率是衡量高效率設備市場擴散的另一個重要指標，爰此，進一步，利用近10年(2010-2019)住宅定頻與變頻空調市場調查資料，如表5所示，可以分別計算定頻與變頻的市場累積銷售量為2,196,396台及4,872,346台。從而，可以計算定頻與變頻空調歷年的市場滲透率，詳見表5。表5顯示，定頻空調的市場滲透率逐年下降趨勢，然而，變頻空調市場滲透率則逐年增加趨勢，顯示，定頻空調逐年被變頻空調取代的現象。此外，定頻空調近10年的滲透率介於3-16%/年，變頻空調市場滲透率介於5-16%/年，大致符合文獻(Lund, 2006)市場滲透率約介於4-40%/年。

由於定頻與變頻空調市場滲透會互相影響，亦即互為影響因子，因此，本計畫利用2SLS聯立方程式，進行迴歸分析。此外，本計

畫擴大滲透率地被解釋力，再將住宅部門用電(POWER<sub>t</sub>)與人均GDP(GDP<sub>p</sub>)納入解釋變數，目的在提高滲透率迴歸方程式的解釋力。本計畫定頻與變頻空調滲透率聯立方程式設定如下：

$$b_1 = d_0 + d_1 \text{POWER}_t + d_2 \text{GDP}_p + d_3 b_2 \quad (12)$$

$$b_2 = f_0 + f_1 \text{POWER}_t + f_2 \text{GDP}_p + f_3 b_1 \quad (13)$$

迴歸分析結果(迴歸程式詳見附件二)，詳如表6所示。由表6可以發現，變頻對定頻空調滲透率的迴歸係數為 $d_3 = -1.40009$ ，且呈現1%的顯著水準，且定頻對變頻空調滲透率的迴歸係數為 $f_3 = -0.49549$ ，也呈現1%的顯著水準。上述結果，符合經濟直覺，亦即，就2010-2019年的市場銷售變化而言，的確呈現變頻空調取代定頻空調的現象。實證量化結果顯示，變頻市場滲透率增加1%，定頻市場滲透率將減少1.4%。

上述分析結果，驗證市場經驗法則，變頻空調會取代定頻空調的銷售量，以及獲得具體

表5 住宅部門定頻與變頻空調市場滲透率

年	定頻空調市場滲透率(b1)	變頻空調市場滲透率(b2)
2010	0.1686	0.0503
2011	0.1481	0.0620
2012	0.1090	0.0750
2013	0.1085	0.0846
2014	0.1067	0.0988
2015	0.0999	0.1013
2016	0.0987	0.1109
2017	0.0789	0.1202
2018	0.0523	0.1326
2019	0.0292	0.1642

資料來源：本研究。

表6 定頻與變頻空調累積銷售量工具變數迴歸分析結果

迴歸參數	迴歸值	t 值	P 值
d <sub>0</sub>	-0.03874	-0.27	0.7955
d <sub>1</sub>	6.342E-9	1.32	0.2339
d <sub>2</sub>	-1.27E-8	-0.05	0.9592
d <sub>3</sub>	-1.40009***	-3.69	0.0102
f <sub>0</sub>	-0.04792	-0.58	0.5859
f <sub>1</sub>	-1.819E-9	0.58	0.5850
f <sub>2</sub>	-1.638E-7	1.31	0.2369
f <sub>3</sub>	-0.49549***	-3.69	0.0102

註：「\*\*\*」表示1%顯著性。

的實證數據，這是本計畫的另一個重要發現。

### 3.3 變頻空調市場滲透率之節能減碳能力推估

住宅部門年用電量約471億度(2019)，約占全國總電力消費量(2,650億度)的17.7%(經濟部能源局，2019)，其中，平均每戶空調持有量約2.2台/戶，空調耗電量約占住宅部門耗電量28%，是住宅部門的最主要耗電源(林素琴與林志勳，2017)。易言之，2019年我國住宅部門空調總耗電量約為131.9億度。

依據本研究表4，推估我國住宅部門整體空調市場存量約11,456,400台(定頻為5,373,119台；變頻6,083,281台)，如果高效率空調設備/技術約可提高16%用電效率(柯明村，2018)，則2019年每台平均定頻耗電量(X)的計算公式如下：

$$131.9 \text{ 億度} = 5,373,119 \text{ 台} \times X + 6,083,281 \text{ 台} \times (1 - 0.16)^6 \times X$$

上式解出，定頻空調的耗電量(2019年)約為1,258度/年台，進而，可計算出定頻空調

總耗電量為6,759.5百萬度。利用表6，計算近10年(2010-2019)變頻空調平均市場滲透率約10%，依據本計畫推估的變頻空調滲透率彈性(-1.4)，可以獲得平均每年可取代定頻空調數量為14.0%。可計算高效率空調設備/技術滲透的節電與減碳量：

$$\text{節電量} = 6,759.5 \text{ 百萬度} \times 0.140 = 946.3 \text{ 百萬度}$$

$$\text{減碳量} = 946.3 \text{ 百萬度} \times 0.509 \text{ 公斤 CO}_2\text{e} \div 1000 = 481,684.3 \text{ 噸 CO}_2\text{e}$$

綜合可知，住宅部門變頻空調滲透的節電與減碳量分別為節能潛力(2019年)為946.3百萬度，以2019年我國電力排碳係數0.509公斤CO<sub>2</sub>e計算，可獲得減碳潛力(2019年)為481,684.3噸CO<sub>2</sub>e。

## 4. 促進高效率技術/設備市場滲透率誘因機制設計

Du Can, *et al.*, (2014)比較全球高效率能源設備/技術的市場滲透率誘因計畫(incentive

<sup>6</sup> 高效率空調設備/技術約可提高16%用電效率(柯明村，2018)。



program)，歸納出，一個好的誘因計畫應包括效率水準目標(efficiency level target)、誘因金額的決定(amount of incentive offered)、受益者(the incentive beneficiaries)、誘因工具的型態(the form of incentive instrument)、具體準則(eligible criteria)及是否包括回收(whether the program includes a recycling component)等。由於受益者在不同的供應鏈(supply chain)階段(例如生產者、零售商或消費者)，將具不同的誘因效果與不確定性，成為政府誘因計畫設計的關鍵。然而，我國現行補貼政策主要針對下游的消費者，政策較缺乏靈活性，降低政策有效性，不易創造與帶動高效率設備器具的市場擴散率。因此，本文分析結果，將具有高度政策意含與價值。

本節內容安排上，將分別針對影響誘因政策的關鍵因子，例如效率目標、受益者、誘因工具型態及誘因金額，建立理論模型，探討誘因政策的影響效果，提供政府施政參考。

## 4.1 受益者模型

### 4.1.1 中、下游受益模型

假設代表性消費者購買高效率產品(X)及使用電力(E)，提升生活品質。如果誘因機制的受益者為消費者(下游)或零售商(中游)，則代表性消費者的最適化問題如下：

$$\begin{aligned} & \text{Max } U(X, E) \\ & \text{s.t. } (P_X - s + \sigma)X + P_E(1 - e_0)E = I \end{aligned} \quad (14)$$

其中， $U(X, E)$ 為代表性經濟個體的效用函數， $X$ 為高效率能源設備(例如變頻空調)， $E$ 為

能源(或)電力消費(或稱維運成本)，且假設效用函數為準凹函數(quasi concave function)，

亦即  $U_X = \partial U / \partial X > 0$ ， $U_E = \partial U / \partial E > 0$ ， $U_{XX} = \partial^2 U / \partial X^2 < 0$ ， $U_{EE} = \partial^2 U / \partial E^2 < 0$ ； $P_X$  為  $X$  商品價格； $s$  為政府對  $X$  商品購買的單位補貼額(下游誘因機制)； $\sigma$  為購買或使用  $X$  商品的交易成本(transaction cost)，例如零售店數量與服務<sup>7</sup>，易言之，如果政府補貼零售商，則  $\sigma$  愈低，因此， $\sigma$  可做為零售商補貼的代理變數； $P_E$  為  $E$  商品價格； $e_0 > 0$  為能效率因子，反應使用高效率設備，可降低能源使用成本； $I$  為消費者所得。

由於高效率設備( $X$ )與電力消費( $E$ )為完全互補(perfect complementary)，因此，假設效用函數為 Leontief 函數型態，亦即  $U(X, Y) = \text{Min}(\alpha X, \beta E)$ ，表示，高效率設備( $X$ )與電力消費( $E$ )以一定比例( $\beta/\alpha$ )型態共同消費，亦即  $E/X = \alpha/\beta$ ，抑或  $E = \alpha X/\beta$ ，可獲得  $X$  的最適解：

$$X^* = \frac{I}{P_X - s + \sigma + P_E(1 - e_0)\alpha/\beta} \quad (15)$$

進一步，討論外生條件改變，對  $X$  (高效率設備/技術)購買的影響。分述如下：

#### 1. 高效率產品補貼( $s$ ) (下游補貼)

當存在下游或消費者補貼時， $s > 0$ ，相較於沒有補貼時， $s = 0$ ，則由式(15)可知，有補貼時，式(15)的分母較小，表示  $X$  購買量增加。 $X$  購買量與  $s$  呈正向變化關係，亦即  $s$  愈大，則  $X$  購買量愈高。

#### 2. 購買高效率產品交易成本( $\sigma$ ) (中游補貼) (零售商補貼)

當政府對零售商補貼，表示零售店愈多，消費者愈容易買得到，消費者的交易成

<sup>7</sup> 零售店愈多，消費者愈容易買得到，消費者的交易成本愈低；零售店的庫存愈多，消費者愈容易買得到，消費者的交易成本愈低；店員的解說或服務愈好，消費者認知提高，交易成本愈小。零售商的售後服務愈好，消費者的交易成本愈小。

本愈低；零售店的庫存愈多，消費者愈容易買得到，消費者的交易成本愈低；店員的解說或服務愈好，消費者認知提高；或零售商的售後服務愈好，消費者的交易成本愈小。則由式(15)可知， $\sigma$ 愈小，式(15)的分母較小，表示購買量增加。購買量與 $\sigma$ 呈反向變化關係，亦即 $\sigma$ 愈小，則購買量愈高。

### 3. 高效率產品品質(或效率目標)( $e_0$ )

由式(15)可知， $e_0$ 愈大，式(15)的分母較小，表示X購買量增加。X購買量與 $e_0$ 呈反向變化關係。經濟意義指出，經由專業認證，且資訊公開透明，容易檢視，將容易獲得經濟個體的信賴，該資訊即成為其決定的參考依據(Renn & Levine, 1991; Poortinga & Pidgeon, 2003)。政策意含指出，政府應透過專業的機構，公開認證的節能設備，較容易獲得經濟個體的信賴，從而，產生購買的誘因與行動。

綜上分析可知，中、下游補貼的確可促進高效率設備/技術的市場擴散或滲透，此外，政府搭配效率目標，亦即設定高效率設備等級，且高效率產品經由專業認證，且資訊公開透明，容易檢視，將容易獲得經濟個體的信賴，有助高效率產品的市場擴散與滲透。

#### 4.1.2 上游誘因模型

假設代表性生產者(或廠商)，生產高效率產品(X)及非高效率產品(Y)。如果誘因機制的受益者為生產者(上游)，則代表性生產者的最適化問題如下：

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \pi(X, Y) \\ \text{s.t.} \quad & \pi = \text{TR}(X) + \text{TR}(Y) - (1-s)C(X) - C(Y) \end{aligned} \quad (16)$$

其中， $\pi(X, Y)$ 為代表性廠商的利潤函數，

X為高效率能源設備(例如變頻空調)，Y為非高效率產品，且假設利潤函數為準凹函數(quasi concave function)，亦即 $\pi_X = \partial\pi / \partial X > 0$ ， $\pi_Y = \partial\pi / \partial Y > 0$ ， $\pi_{XX} = \partial^2\pi / \partial X^2 < 0$ ， $\pi_{YY} = \partial^2\pi / \partial Y^2 < 0$ ；TR(X)為X商品的銷售收入(total revenue)；TR(Y)為Y商品的總收入；s為政府對X商品購買的單位補貼額，抑或對生產成本補貼；C(X)。假設 $X > 0$ ， $Y > 0$ ，則上述問題之一階條件如下：

$$\frac{\partial\pi}{\partial X} = 0 \Rightarrow \text{MR}_X = (1-s)\text{MC}_X \quad (17)$$

$$\frac{\partial\pi}{\partial Y} = 0 \Rightarrow \text{MR}_Y = \text{MC}_Y \quad (18)$$

式(17)經濟意含指出，高效率產品(X)的最適生產量決定於邊際收益(marginal revenue, MR)與淨邊際成本(marginal cost) (邊際成本扣除補貼 $((1-s)\text{MC}_X)$ )。由式(17)可以看出，如果政府沒有對生產者進行補貼， $s=0$ ，則會提高廠商的邊際成本， $\text{MC}_X > (1-s)\text{MC}_X$ ，亦即廠商會增加高效率產品(X)的生產量，顯示，上游補貼的確會提高高效率產品的生產量。然而，廠商是否會將政府的成本補貼反映至產品的售價上，將攸關政府補貼政策的有效性。以下區分兩種情況探討之：

#### 情況一：產品市場為完全競爭

如果產品市場為完全競爭市場(perfect competition)，則式(17)將修改為：

$$\text{MR}_X = P_X = (1-s)\text{MC}_X \quad (17a)$$

式(17a)經濟意義指出，在完全競爭市場下，廠商為價格接受者(price taker)，沒有決定價格能力，因此，政府的成本補貼，雖然會降低生產成本，增加生產量，但是不會降低價

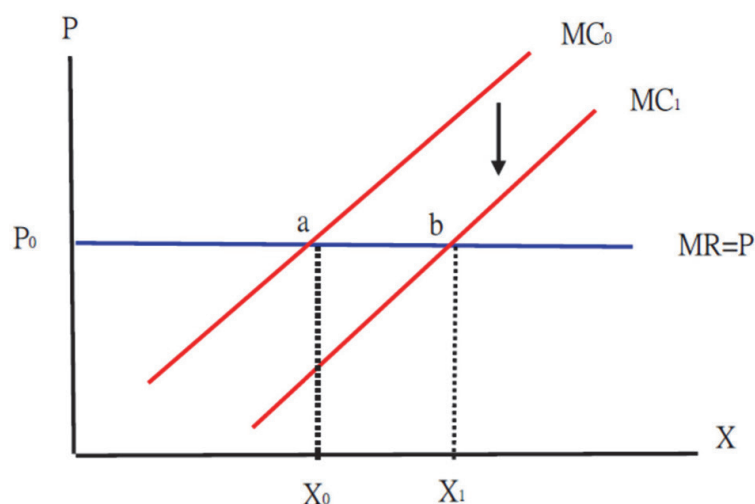


圖1 完全競爭市場之政府補貼對價格沒有影響

格。圖1顯示，如果政府沒有成本補貼，則廠商的邊際成本為 $MC_0$ ，在完全競爭市場下， $MR_X = P_X$ ，因此，廠商最適生產量為 $X_0$ ，定價為 $P_0$ ，如均衡點 a 所示。政府如果給予成本補貼，則廠商邊際成本下降至 $MC_1$ ，最適生產量由 $X_0$ 增加至 $X_1$ ，然而，售價仍維持在 $P_0$ ，如均衡點 b 所示。

## 情況二：產品市場為不完全競爭

如果產品市場為不完全競爭市場，則式(17)將修改為：

$$MR_X = P_X \cdot (1 - 1/\epsilon^D) = (1-s)MC_X \quad (17b)$$

其中， $\epsilon^D$  為價格需求彈性絕對值<sup>8</sup>，式(17b)之經濟意義指出，在不完全競爭市場下，廠商為價格決定者(price maker)，具有決定價格能力，因此，政府的成本補貼，會降低生產成本，增加生產量，且會降低價格。圖2顯示，如果政府沒有成本補貼，則廠商的邊際成本為 $MC_0$ ，在完全競爭市場下， $MR_X = P_X$ ，因此，廠商最適生產量為 $X_0$ ，定價為 $P_0$ ，如均衡點 a 所示。政府如果給予成本補貼，則廠商邊際成本下降至 $MC_1$ ，最適生產量由 $X_0$ 增加至 $X_1$ ，且

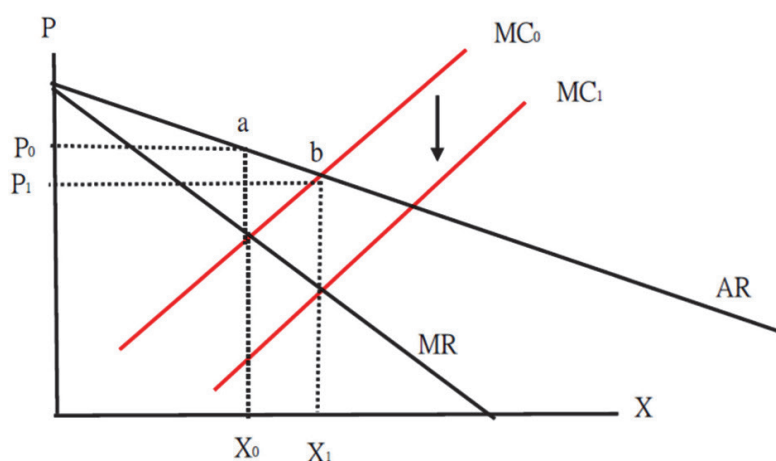


圖2 不完全競爭市場之政府補貼對價格影響

<sup>8</sup> 價格需求彈性係指當價格變動1%時，需求量之變動百分比。

價格會降至  $P_1$ ，如均衡點  $b$  所示。

若進一步比較價格調降幅度，則由式(17b)可知，將受到價格需求彈性值( $\epsilon^D$ )的影響，且  $\epsilon^D$  愈大，則調降幅度愈小；反之，且  $\epsilon^D$  愈小，則調降幅度愈大。

## 4.2 誘因工具型態

### 4.2.1 下游補貼模型

如果政府對高效率產品的補貼為一個總額補貼，亦即為所得補貼，則代表性消費者的最適化問題如下：

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & U(X, E) \\ \text{s.t.} \quad & (P_X + \sigma)X + P_E(1 - e_0)E = I + S_0 \end{aligned} \quad (19)$$

其中， $S_0$  為政府的定額補貼總額，其餘符號經濟意義，均與前文相同，不再贅述。則  $X$  的最適解如下：

$$\hat{X} = \frac{I + S_0}{P_X + \sigma + P_E(1 - e_0)\alpha/\beta} \quad (20)$$

比較式(20)與式(15)如下：

$$\hat{X} - X^* = \frac{I + S_0}{P_X + \sigma + P_E(1 - e_0)\alpha/\beta} - \frac{I}{P_X - s + \sigma + P_E(1 - e_0)\alpha/\beta} \quad (21)$$

如果  $S_0 = sX^*$ ，則式(8)將等於零，亦即只要補貼金額相等，則無論是採購買量補貼，抑或定額補貼，對消費者購買高效率產品，具有等值效果。易言之，本文驗證補貼金額規模是決定高效率產品市場滲透率的關鍵因子(Du Can, *et al.*, 2014)，無關補貼型態。

然而，從行為經濟學的角度，經濟個體具有較重視損失的偏好(相較於利得)，因此，政府如果採行價格補貼，經濟個體會認為是利

得，然而，如果是所得(或定額)補貼，當經濟個體購買商品時，會感受是一種損失。可知，在政策實務推動上，對特定產品補貼具有直接激勵效果；反觀定額補貼，並無法確保消費者會購買高效率產品。簡言之，購買量補貼的效果較明確。

### 4.2.2 上游補貼模型

假設補貼型態為利潤補貼，例如加速折舊或投資抵減等，則式(16)將修改為：

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \pi'(X, Y) \\ \text{s.t.} \quad & \pi' = (1 - s)[TR(X) + TR(Y) - C(X) - C(Y)] \end{aligned} \quad (22)$$

相關變數意義相同，不再贅述。假設  $X > 0$ ， $Y > 0$ ，則上述問題之一階條件如下：

$$\frac{\partial \pi'}{\partial X} = 0 \Rightarrow MR_X = MC_X \quad (23)$$

$$\frac{\partial \pi'}{\partial Y} = 0 \Rightarrow MR_Y = MC_Y \quad (24)$$

比較式(17)與式(23)可知，利潤補貼並不會影響代表性生產者的生產決策，易言之，廠商不會有生產成本下降的感受。可知，利潤補貼相較於成本補貼，生產量較少，同時，也不會產生調降價格的行為，因此，政府的補貼政策較無助高效率產品的市場擴散。

## 5. 結 語

高效率空調的市場擴散與提高市場滲透率，已成為國家落實溫室氣體減量目標的最重要政策與措施。本研究首先應用世代Bass技術擴散模型，評估我國高效率空調的技術擴散(或市場規模)，以及市場滲透率。研究結果顯

示，我國住宅部門空調市場規模約11.4百萬台，高效率(變頻)空調取代定頻空調滲透率彈性為-1.4。據此，估算2019年，變頻空調市場滲透產生的累計節電量約946.3百萬度電，以及481,684.3噸CO<sub>2</sub>e的減排量。

本研究進一步，建立滲透率誘因設計的理論模型，探討不同誘因機制設計的影響效果。本研究結果，顯示，(1)補貼對象：中游(零售商)、下游(消費者)補貼，相較於上游補貼(生產者)，對促進高效率產品較具確定性及較佳效果。(2)補貼工具型態：價格補貼優於所得定額補貼；成本補貼優於利潤補貼。本研究結果，具有高度政策與市場行銷意涵，可以提供政府施政與產業產品推廣策略之參考。然而，最適補貼率如何決定，是後續可深入研究課題。此外，經濟個體購買高效率設備的關鍵因子及推力設計，是未來深化高效率設備市場滲透率提升的優先課題。上游市場的寡占均衡模型，亦可作為本文延伸的研究課題。

## 謝 誌

本研究感謝財團法人工業研究院提供研究經費。作者感謝黃宗煌教授與林師模教授對本文研究方法提供寶貴意見。

## 參考文獻

行政院主計總處，2020。國民所得及經濟成長，行政院主計總處。  
林素琴與林志勳，2017。我國住宅部門電力使用研究，臺灣能源刊，第四卷(第三期)，285-302。  
柯明村 2018。空調系統節能與實務案例，國立臺北科技大學上課講義。  
經濟部能源局，2019。107年能源統計手冊修訂

版，經濟部能源局。

經濟部能源局，2020。中華民國109年能源統計手冊，經濟部能源局。  
Bass, F. M., 1969. A new product growth for model consumer durables. *Management science*, 15(5), 215-227.  
Bass, F. M., T. V. Krishnan & D. C. Jain, 1994. Why the Bass model fits without decision variables. *Marketing science*, 13(3), 203-223.  
Du Can, S. de la R., G. Leventis, A. Phadke & A. Gopal, 2014. Design of incentive programs for accelerating penetration of energy-efficient appliances. *Energy Policy*, 72, 56-66.  
Growth from Knowledge (Gfk), 2020. GfK Air Conditioner Sell-out Data - Taiwan 2020-2019.  
Gruber, H. & F. Verboven, 2001. The diffusion of mobile telecommunications services in the European Union—ScienceDirect.  
Gupta, R. & K. Jain, 2012. Diffusion of mobile telephony in India: An empirical study. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(4), 709-715.  
Hall, N., L. Romanach, S. Cook & S. Meikle, 2013. Increasing energy-saving actions in low income households to achieve sustainability. *Sustainability*, 5(11), 4561-4577.  
Hicks, A. L. & T. I. Theis, 2014. An agent based approach to the potential for rebound resulting from evolution of residential lighting technologies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(2), 370-376.  
IEA, 2017. Market Report Series Energy Efficiency 2017, International Energy Agency.  
IEA, 2018. Market Report Series Energy Efficiency 2018, International Energy Agency.

- Liu, J.-L., P.-I., Chang & S.-J. Den, 2013. Consumer willingness to pay for energy conservation: A comparison between revealed and stated preference method. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 620-629.
- Lund, P., 2006. Market penetration rates of new energy technologies. *Energy Policy*, 34(17), 3317-3326.
- Miles, J., 2005. Tolerance and Variance Inflation Factor. *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*.
- Moglia, M., S. Cook & J. McGregor, 2017. A review of Agent-Based Modelling of technology diffusion with special reference to residential energy efficiency. *Sustainable Cities and Society*, 31, 173-182.
- Newton, P. & D. Meyer, 2013. Exploring the attitudes-action gap in household resource consumption: Does “environmental lifestyle” segmentation align with consumer behaviour? *Sustainability*, 5(3), 1211-1233.
- Noonan, D. S., L.-H. C., Hsieh & D. Matisoff, 2013. Spatial effects in energy-efficient residential HVAC technology adoption. *Environment and Behavior*, 45(4), 476-503.
- Norton, J. A. & F. M. Bass, 1987. A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products. *Management science*, 33(9), 1069-1086.
- Poortinga, W. & N. F. Pidgeon, 2003. Exploring the dimensionality of trust in risk regulation. *Risk Analysis: An International Journal*, 23(5), 961-972.
- Rao, K. U. & V. Kishore, 2010. A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(3), 1070-1078.
- Renn, O. & D. Levine, 1991. Credibility and trust in risk communication. *Communicating risks to the public* (Page 175-217). Springer.
- Rogers, E. M., 1962. Diffusion of innovations. *Diffusion of innovations*.
- Rosenberg, B. C., 2011. Home improvement: Domestic taste, DIY, and the property market. *Home Cultures*, 8(1), 5-23.
- Wilson, C., L. Crane & G. Chryssochoidis, 2015. Why do homeowners renovate energy efficiently? Contrasting perspectives and implications for policy. *Energy Research & Social Science*, 7, 12-22.

# Air Conditioning Market Penetration Endogenous Assessment and Incentive Mechanism Analysis – A Case of Residential Sector

Jia-Hong Liu<sup>1</sup> Chien-Ming Lee<sup>2\*</sup> Yue-Rong Hong<sup>3</sup>

## ABSTRACT

The market penetration of high-efficiency air conditioners have become the most important policies and measures to respond to greenhouse gas emissions target in Residential sector in Taiwan. This study used the successive-generation Bass model to assess the market scale and penetration rate. Furthermore, this article established a theoretic model to discuss how the incentive for facilitating the penetration rate of high-efficiency air conditioners in Taiwan. The key results presents that the elasticity of the inverter air conditioners to substitute to the fixed-frequency air conditioners is -1.4. This could be estimated that the total electricity savings was about 946.3 million kWh in 2019, and then the total greenhouse gas emissions reduction is about 481,684.3 tons CO<sub>2</sub>e. The normative model indicated that: (1) Midstream (retailers) as well as downstream (consumer) subsidies, compared to upstream subsidies (producers), are more attractiveness. (2) Price and cost subsidies are more effective than lump-sum and profit subsidies respectively.

**Keywords:** High-efficiency air condition, Bass model, Penetration rate, 2SLS.

**JEL classification:** Q21, Q25, Q28

---

<sup>1</sup> Assistant Researcher, Taiwan Research Institute.

<sup>2</sup> Professor, Institute of Natural Resource and Environmental Management, National Taipei University.

<sup>3</sup> PhD student, Department of Information Management, National Taiwan University of Science and Technology.

\*Corresponding Author, Phone: +886-2-86741111#67335, E-mail: [cmlee@mail.nptu.edu.tw](mailto:cmlee@mail.nptu.edu.tw)

Received Date: February 15, 2022

Revised Date: July 8, 2022

Accepted Date: August 5, 2022