

# 我國住宅部門電力消費關鍵影響因素分析

黃韻勳<sup>1\*</sup>

## 摘 要

建築部門為全球最大的最終能源使用部門，而住宅部門約占全球建築部門能源耗用的75%，顯示若欲控制增溫在2度C內，須減緩住宅部門能源需求之成長。以臺灣而言，2017年住宅部門之電力消費為476.12億度，占全國總電力消費量的18.21%；此外，住宅部門為近五年來用電成長率最高的主要部門。為有效降低住宅部門電力消費，有必要確認出影響住宅部門電力消費的關鍵因素，以進一步釐清各項因素對電力消費量之影響程度。本文以歐盟ODYSSEE-MURE (Mesures d'Utilisation Rationnelle de l'Energie)的分解架構為基礎，並進一步結合對數平均數迪式指數分解法，建構我國住宅部門因素分解模式。此模式將我國住宅部門電力消費量之變動因素拆解出氣候效果、戶數變化效果、家電設備擁有效果、家電設備使用時間效果、節能效果、家戶面積變化效果等更多元之因素，分析2014~2017年間我國住宅部門電力消費變化量，藉以了解各項效果對電力消費量之影響程度。最後依據模式分析結果提出三點政策建議，以供住宅部門未來研擬節能政策之參考。

**關鍵詞：**住宅部門，電力消費，因素分解，對數平均數迪式指數分解法

## 1. 前 言

以全球最終能源消費量而言，建築部門(住宅與商業)在2014年耗用了超過123EJ的能源，占全球最終能源消費的30%以上，為最大的終端使用部門；其中，住宅部門約占全球建築部門能源耗用的75% (IEA, 2017)。若以變化趨勢來看，全球住宅部門能源消費在過去20多年間(1990年至2014年)增加了約30%，倘若未進行能源效率改善，在非OECD國家中的住宅部門能源消費預計至2050年時將會再增加77%，其中51%的增加主要來自新興經濟體國家，增加之主要驅動力為戶數成長、住宅樓地板面積及各類家電設備的擁有率增加等。因此若欲控制增溫在2度C內，須藉由各類節能減碳措施的導

入，以減緩住宅部門能源需求的成長幅度。

以我國而言，2017年能源消費約8,526.34萬公秉油當量；其中，住宅部門的能源消費為659.27萬公秉油當量，占全國總能源消費量的7.73%，僅次於工業部門(31.97%)與運輸部門(16.13%)。以電力消費而言，2017年我國電力消費約2,613.93億度；其中，住宅部門的電力消費為476.12億度，占全國總電力消費量的18.21%，亦僅次於工業部門(53.98%)與服務業部門(18.49%)(經濟部能源局，2018)。若從近五年(2013-2017年)趨勢來看，我國電力消費除於2015年因景氣趨緩微幅減少外，各年用電量均持續穩定成長，2017年增至2,613.93億度，創歷年新高，平均每年用電增加1.6%。以部門別而言，近五年住宅部門平均每年用電增加2.2%，

<sup>1</sup> 工業技術研究院產業科技國際策略發展所 研究員  
\*通訊作者電話: 03-5914745, E-mail: [abshung@itri.org.tw](mailto:abshung@itri.org.tw)

收到日期: 2018年08月29日  
修正日期: 2018年10月31日  
接受日期: 2018年11月08日

工業部門平均增加1.5%，服務業部門平均增加1.3%，顯示住宅部門為近五年電力消費增加的主要部門。在我國電廠逐年除役與大型電廠開發不易導致電力供給無法大幅度增加的情況下，由需求面抑低電力消費不僅可降低新電廠開發與興建輸配電設施，同時也可減少發電所需的進口能源。故未來在研擬節電計畫時，須先瞭解近年住宅部門電力增加的主要原因，為掌握住宅部門電力消費特性，有必要針對住宅部門電力消費的驅動力進行分析，以進一步釐清各項因素對電力消費量之影響程度。

在分析影響能源消費(或電力消費)的影響因素方面，最常使用的研究方法可分為兩大類型，分別為因素分解法(Index Decomposition Analysis, IDA)與投入產出結構分解法(Input-Output Structural Decomposition Analysis, I-OSDA)。其中，投入產出結構分解法須結合產業關聯表，所需資料較複雜，然而產業關聯表在每個國家並非皆為每年發行，有些國家甚至三或五年才會出版一次。而因素分解法具有易於操作、資料需求相對較少、與適於跨國比較等特色，且其涵義明確，實務分析應用性高，對於衡量一國或單一部門之能源消費影響因素，為一相當實用之方法，而各項因素相對效果的釐清，亦有助於政策研擬，故在電力消費拆解的相關研究多採因素分解法為分析工具。

基此，本文使用因素分解法作為研究方法，並主要參考歐盟ODYSSEE-MURE之分解架構及住宅部門因素分解的國內外文獻，將我國住宅部門電力消費量變化拆解為多項效果，藉以了解各項效果對電力消費量之影響程度，並進一步釐清各項因素之相對效果，以作為政府研擬節能政策時之參考。全文共分為六節，除第一節為前言外；第二節為文獻回顧；第三節說明歐盟主要採用的ODYSSEE-MURE之因素分解架構，及本研究所採用的因素分解模式；第四節為資料來源及處理；第五節為我國住宅部門電力消費關鍵影響因素分析結果；最後則提出本研究之結論與建議。

## 2. 文獻回顧

由於因素分解法易於操作且所需資料較少之特性，故在實務分析之應用性相當高，過去已被廣泛應用於能源與環境領域，主要藉由影響因素的拆解，探討全國、工業、住宅、服務業、運輸、發電部門能源消費及溫室氣體排放背後之驅動力，可提供多面向的政策思考空間。由於本文旨在探討住宅部門的電力消費影響因素，故此處主要彙整過往文獻於住宅部門能源消費之主要拆解因素與其內涵，文獻彙整結果分別如表1所示。

由表1顯示過往文獻在探討能源消費變動時，一般可拆解為活動效果、結構效果與密集度效果等三項，以瞭解影響能源消費變化之驅動因素。不過與工業部門或運輸部門不同，住宅部門對於活動效果並沒有明確的定義，而活動效果的選擇，將會影響結構效果與密集度效果的意涵。但從文獻彙整中顯示，最常使用的兩種活動效果分別為「人口數(P)」與「家戶數(N)」。若以人口數為活動效果，相對應的結構效果則為每人擁有的各類型器具數量，密集度效果代表著各類型器具的能源耗用量。若以家戶數作為活動效果，相對應的結構效果為不同家庭(房屋)類型的占比，密集度效果則為各類家庭(房屋)類型的能源耗用量。

而在我國既有的因素分解文獻方面，著重於我國能源密集度變化趨勢分析(洪瑋嶸與葛復光，2016)、減碳目標之可行性分析(張志瑋等，2016)、工業部門能源與二氧化碳排放因素分析(呂鴻彬，2015)、金屬基本工業能源消費變動因素分析(黃啟峰等，2013)、鋼鐵業能源消費與二氧化碳排放因素分析(鍾欣妤，2012)、造紙業能源消費因素分析(黃啟峰等，2010)等，但較少探討住宅部門能源消費因素分解，目前僅見林唐裕與曾禹傑(2011)以家戶數為活動效果，並分別拆解為每戶人口數與每戶樓地板面積的兩種分解模式，以探討影響住宅部門的能源消費與二氧化碳排放之關鍵因素，

表1 住宅部門能源消費之主要拆解因素與其內涵(本研究整理)

文獻	活動效果 (Activity)	結構效果 (Structure)	密集度效果 (Intensity)	其他效果 (Others)
Schipper <i>et al.</i> (1997)	P	$A_j/P$	$E_j/A_j$	—
Shorrocks (2000)	N	—	$E/N$	—
Greening <i>et al.</i> (2001)	P	$A_j/P$	$E_j/A_j$	—
Unander <i>et al.</i> (2004)	P	$A_j/P$	$E_j/A_j$	—
Bosseboeuf <i>et al.</i> (2007)	N	$A_j/N$	$E_j/A_j$	—
IEA (2007)	P	$A_j/P$	$E_j/A_j$	—
Achão and Schaeffer (2009)	P	$P_r/P$	$E_r/P_r$	—
Zha <i>et al.</i> (2010)	P	—	$E/Y$	$Y/P$
Chung <i>et al.</i> (2011)	N	$N_i/N$	$E_i/N_i$	—
OEE (2011)	N	$N_i/N$	$E_{ij}/A_{ij}$	$A_{ij}/N_i$
林唐裕與曾禹傑(2011)	N	—	$E/F$	$F/N$
林唐裕與曾禹傑(2011)	N	—	$E/P$	$P/N$
EERE (2012)	N	$N_i/N$	$E_i/F_i$	$F_i/N_i$
Hojjati and Wade (2012)	N	$N_r/N$	$E_i/F_i$	$F_i/N_r$
Rogan <i>et al.</i> (2012)	P	—	$E_i/N_i$	$N_i/P$
Fan <i>et al.</i> (2013)	P	$A_j/P$	$E_j/A_j$	—
Fraunhofer ISI (2014)	P	—	$E'_i/F_i$	$N_i/P$ 、 $F_i/N_i$
IEA (2016)	P	$A_j/P$	$E_j/A_j$	—
ODYSSEE- MURE (2017)	N	$N_i/N$	$E'_{ij}/A_{ij}$	$A_{ij}/N_i$

符號註解：下標  $i$  表示房屋或家庭類型、下標  $j$  表示各種終端使用的類別、下標  $r$  表示區域或所得類型、 $E$  表示能源消費量、 $E'$  表示經氣溫修正後的能源消費量、 $Y$  表示附加價值(GDP)、 $P$  表示人口數、 $N$  表示家戶數、 $F$  表示樓地板面積、 $A$  表示由各種終端使用所驅動的能源服務，如：用於空調的樓地板面積、各種終端使用的器具數量。

不過在探討能源消費變動時，該研究主要的拆解因素仍僅有三項，並未考量近年來氣候變化與生活型態改變對住宅部門能源消費所產生之影響。

此外，由表1顯示最常見的能源消費因素分解模式僅著重於探討活動、結構與密集度三項主要效果，但為進一步探討是否有其他因素仍會影響能源消費，近年來能源領域的研究者或研究機構開始擴展因素分解法的拆解因素。經比對上述國際文獻後，顯示歐盟ODYSSEE-MURE於住宅部門之拆解因素所涵蓋的範圍最為廣泛，除探討上述三項主要效果外，可將住宅部門能源消費量進一步分解為：

1. 生活型態效果(Lifestyles effect)：更多器具(建

築物)及更大的住宅，包含：更多家電設備、住宅數量或面積改變等造成的影響。

2. 氣候效果(Climate effect)：氣溫改變造成的影響。

3. 其他效果(Other effects)：家計行為改變等造成的影響。

此顯示歐盟ODYSSEE-MURE的住宅部門因素分解模式之優點在於可拆解出更多樣的效果，希望藉由更多因素的拆解，以提供住宅部門更多的政策意涵。基此，本文主要參考歐盟ODYSSEE-MURE的分解架構，以Bottom-up方式針對各類家電設備的用電量進行拆解，再將各類家電設備的各變動因素加總即可得到住宅部門電力消費之總變化量。有別於國內既有



文獻僅從總家戶數、每戶人口數、每戶的樓地板等總體面資料進行住宅部門能源消費因素分解，本研究可清楚瞭解各項變動因素係由何種家電設備所造成的，有利於後續住宅部門節電政策之研擬規劃。此外，本文亦為國內第一篇將電力消費量之變動因素拆解出氣候效果、家電擁有率效果、使用時間效果等更多元之因素，藉以了解近年來氣候變化與生活型態改變對住宅部門電力消費量所產生之影響。

### 3. 因素分解模式

如前所述，本文主要參考歐盟ODYSSEE-MURE的分解架構，惟ODYSSEE-MURE的因素分解會產生其他效果而難以進行解釋，且部分效果之計算公式在其公開報告與論文中皆未明確定義。故本文以歐盟ODYSSEE-MURE的分解因素為基礎，進一步結合對數平均數迪式指數分解法(Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI)，此方法不論在理論基礎、計算便利性與結果解釋方面，皆優於其他拆解法，且可達到完全分解而不會產生其他效果。故以下首先介紹ODYSSEE-MURE的住宅部門因素分解模式，接著說明本文所採用的對數平均數迪式指數分解法。

#### 3.1 ODYSSEE-MURE之住宅部門因素分解模式

歐盟ODYSSEE-MURE住宅部門因素分解架構可彙整如圖1所示，針對住宅部門能源消費，共界定了6項影響因素(ODYSSEE-MURE,

2017)：

1. 氣候效果：兩期間的氣候差異造成的影響，以冷房度日(或暖房度日)進行氣候效果之計算。
2. 人口統計效果：兩期間的住宅數量變化造成的影響，此亦為文獻中常使用的活動效果。
3. 每戶的家電設備變化效果：兩期間每戶的家電設備數量變化造成的影響。
4. 房屋面積變化效果：兩期間住宅之樓地板面積變化造成的影響。
5. 節能效果：兩期間的ODEX指標變化造成的影響；其中，ODEX係指ODYSSEE energy efficiency index，用以衡量各部門的能源效率進展。相對於傳統的密集度效果(能源消費/GDP)，ODYSSEE的能源效率指標係從物理量出發，更能反映出該部門的能源效率進展。
6. 其他效果(Other effects)：未涵蓋在上述五項效果的其他效果，主要為使用者行為變化造成的影響。

由於歐盟ODYSSEE-MURE之公開報告中僅說明部分效果之計算公式，因此以下就這些效果加以說明；其中，氣候效果之計算公式如式(1)所示：

$$AC = AC_n * (CDD / CDD_n) \quad (1)$$

針對冷氣(或暖氣)設備之能源消耗，ODYSSEE-MURE因素分解工具採用線性的方式，以冷房度日(或暖房度日)進行氣候修正。以冷氣(Air Conditioners, AC)為例，式(1)中的AC為原始的冷氣能源消費量(未經過氣候修

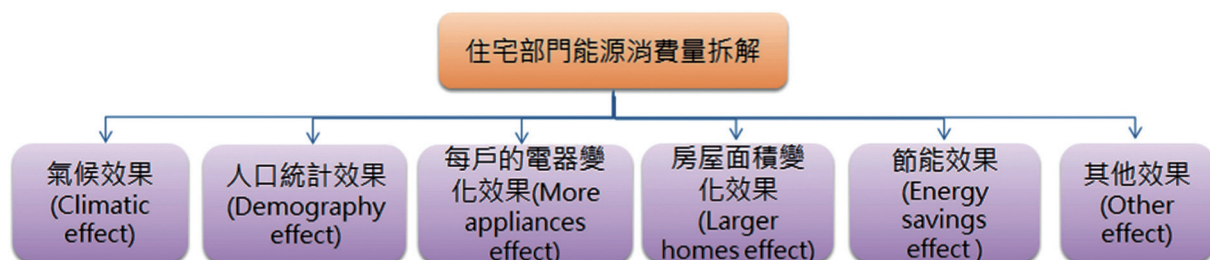


圖1 ODYSSEE-MURE之住宅部門因素分解架構(本研究繪製)

正)， $AC_n$  為正常氣候下的冷氣能源消費量(經過氣候修正)。此處以冷房度日進行氣候修正，故CDD (Cooling Degree Day)為當年度的冷房度日， $CDD_n$  則為正常的氣候下的冷房度日(一般會取過去20年冷房度日的平均值)。其中， $AC$  與 $AC_n$  的差距即代表氣候效果。

人口統計效果(Demographic Effect, DEH)的計算公式可表示如式(2)所示：

$$DEH_{t/t_0} = \Delta n_{pr_{t/t_0}} * CU_{t_0} \quad (2)$$

其中， $n_{pr_{t/t_0}}$  為住宅數量， $CU$  為經氣候修正的每戶能源消費量， $t$  為第  $t$  年， $t_0$  為基準年，而 $\Delta n_{pr_{t/t_0}}$  而表示第  $t$  年與第  $t_0$  間住宅數量之變化。

節能效果(Energy Savings, ESI)係由ODEX 指標衡量，計算公式可表示如式(3)所示：

$$ESI = C_t * ((\frac{100}{ODEX}) - 1) \quad (3)$$

其中，以ODEX衡量各部門的能源效率進展。以住宅部門為例，可分為許多家電設備，故須先計算出各家電設備的單位耗電量(kWh/appliance)，其次以各家電設備耗電量占住宅部門總耗電量的比率作為權重，最後將單位耗電乘上權重後，再把所有家電設備加總後即可得到住宅部門的能源效率衡量指標(ODEX)。

### 3.2 我國住宅部門之因素分解模式

在因素分解過程中，由於基期選擇的不同，一般常區分為拉氏指數法(Laspeyres)、裴氏指數法(Paasche)及迪氏指數法(Divisia)三類。其中，拉氏指數與裴氏指數皆採用固定權數，拉氏指數係指當某一因素變動時，其他因素固定於前期，裴氏則是將其他因素固定於當期，以檢視該因素之變動效果，此兩種方法的優點為各項因素間含義明確且計算方便，但主要缺點為所產生的交叉效果大，有時候拆解出的交叉效果甚至比分解效果大，故並不容易針對交叉效果進行解釋。而迪氏指數則是採用變動權數，各因素可隨時間的變化而變動，較能充分

反應出各因素間變動的內容，其優點為產生之交叉效果相對於前兩種方法來得小，主要原因是為迪氏指數將交叉效果分配至各個組成因素之故，但缺點是計算較為繁複。

而在此三種指數法下又可細分為不同的拆解方法；其中，裴氏指數法又可進一步細分為修正型的費雪理想指標分解法(Modified Fisher ideal index)與Shapley/Sun分解法；而迪氏指數法亦可細分為算數平均數迪氏指數分解法(Arithmetic Mean Divisia Index, AMDI)與對數平均數迪氏指數分解法。雖然每種分解法都有其特性，但若使用一些指標以檢視這些分解方法的優劣，可得到對數平均數迪氏指數分解法(LMDI)不但可完全分解(不遺留殘差項)、且可通過Time-reversal測試、計算方便(並不會隨拆解項多寡，而使公式更加複雜)、具有關聯性可轉換加法型和乘法型之結果；因此，不論在理論基礎、計算便利性與結果解釋方面，皆優於其他拆解法，故本文以上述歐盟ODYSSEE-MURE的分解因素為基礎，進一步結合對數平均數迪氏指數分解法，針對住宅電力消費量進行拆解。

由於家電設備的種類不同，影響電力消費之驅動力亦有所差異，參照國外文獻首先將家電設備分為兩大類(Xu & Ang, 2014)，第一類為冷氣與照明，主要的電力消費驅動力包含：戶數、每戶冷氣(或照明)使用面積、單位面積擁有台數、能源使用密度及年使用時數，其電力消費量(Electricity, E)的拆解公式如(4)所示：

$$\begin{aligned} E^1 &= \sum_i N * (F_i / N) * (A_i / F_i) * (W_i / A_i) * H_i \\ &= \sum_i N * f_i * a_i * w_i * H_i \end{aligned} \quad (4)$$

其中，上標1表示第一類家電設備；下標*i*表示家電設備種類； $E$ 為電力消費量； $N$ 為家戶數； $F$ 為冷氣(或照明)使用面積； $A$ 為家電設備台數； $W$ 為家電設備的功率(瓦數)； $H$ 為家電設備年使用時數； $f_i$ 為每戶冷氣(或照明)使用面積/總戶數)； $a_i$ 為單位面積家電擁有台數(家電台數/使用面積)； $w_i$ 為單台家電的功率。值得

注意的是，針對冷氣設備之電力消耗，本文採用ODYSSEE-MURE的方式進行氣候修正(如式(1))，因此在式(4)中所使用的冷氣設備之電力消費量係經過氣候修正<sup>1</sup>，其他設備則不需進行此調整。

若欲計算兩個年度間(0至T)電力消費量之變化，可透過兩期電力消費量相減，如式(5)所示：

$$\Delta E^1 = E^{1,T} - E^{1,0} = \sum_i N^T * f_i^T * a_i^T * w_i^T * H_i^T - \sum_i N^0 * f_i^0 * a_i^0 * w_i^0 * H_i^0 = \Delta E_{\text{household}}^1 + \Delta E_{\text{area}}^1 + \Delta E_{\text{ownership}}^1 + \Delta E_{\text{power}}^1 + \Delta E_{\text{hour}}^1 \quad (5)$$

式(5)將第一類家電設備的電力消費量拆解為5種驅動力，第1項( $\Delta E_{\text{household}}^1$ )表示戶數變化造成的影響；第2項( $\Delta E_{\text{area}}^1$ )表示使用面積變化造成的影響；第3項( $\Delta E_{\text{ownership}}^1$ )表示家電設備擁有台數變化造成的影響；第4項( $\Delta E_{\text{power}}^1$ )表示家電設備功率變化造成的影響；第5項( $\Delta E_{\text{hour}}^1$ )表示家電設備使用時數變化造成的影響。

最後使用對數平均數迪式指數分解法之加法型一般式，上述5項效果的計算公式分別可表示如式(6)至式(10)所示

$$\Delta E_{\text{household}}^1 = \sum_i L(E_i^{1,T}, E_i^{1,0}) \ln(N^T/N^0) \quad (6)$$

$$\Delta E_{\text{area}}^1 = \sum_i L(E_i^{1,T}, E_i^{1,0}) \ln((f_i^T)/(f_i^0)) \quad (7)$$

$$\Delta E_{\text{ownership}}^1 = \sum_i L(E_i^{1,T}, E_i^{1,0}) \ln((a_i^T)/(a_i^0)) \quad (8)$$

$$\Delta E_{\text{power}}^1 = \sum_i L(E_i^{1,T}, E_i^{1,0}) \ln((w_i^T)/(w_i^0)) \quad (9)$$

$$\Delta E_{\text{hour}}^1 = \sum_i L(E_i^{1,T}, E_i^{1,0}) \ln((H_i^T)/(H_i^0)) \quad (10)$$

其中， $L(a,b) = (a-b) / \ln(a/b)$ 表示a與b的對數平均數，當定義b趨近a時， $L(a,b)$ 的極限值為 $L(a,a) = a$ ；而根據Törnqvist *et al.* (1985)指出：a與b必須為正數，當a不等於b時， $L(a,b)$ 的範圍介於其幾何平均數與算數平均數之間，即 $(ab)^{1/2}$

$< L(ab) < (a+b)/2$ ，且其權數功能具對稱性，即 $L(a,b) = L(b,a)$ 。Ang and Choi (1997)進一步將此對數平均數的概念應用至因素分解上，以對數平均數做為權數，可得到完全分解的效果。

第二類家電設備為不包含冷氣與照明的其他家電，如：電扇、冰箱、電熱水器、電視、電腦、洗衣機、電鍋、飲水機、除溼機、電熱水瓶等。由於第一類的冷氣與照明設備會受到住宅面積的大小所影響，若住宅面積大則需要裝設更多台冷氣或更多盞電燈，因此驅動力包含每戶冷氣(或照明)使用面積。但在第二類家電設備較不會受到住宅面積之影響，故主要的電力消費驅動力僅包含：戶數、每戶擁有台數、能源使用密度及年使用時數，並無使用面積效果，電力消費量的拆解公式如(11)所示：

$$E^2 = \sum_i N * (A_i/N) * (W_i/A_i) * H_i = \sum_i N * a_i * w_i * H_i \quad (11)$$

其中，上標2表示第二類家電設備； $a_i$ 為每戶的家電擁有台數(家電台數/戶數)。

同樣若欲計算兩個年度間(0至T)電力消費量之變化，可透過兩期電力消費量相減，如式(12)所示：

$$\Delta E^2 = E^{2,T} - E^{2,0} = \sum_i N^T * a_i^T * w_i^T * H_i^T - \sum_i N^0 * a_i^0 * w_i^0 * H_i^0 = \Delta E_{\text{household}}^2 + \Delta E_{\text{ownership}}^2 + \Delta E_{\text{power}}^2 + \Delta E_{\text{hour}}^2 \quad (12)$$

式(12)將第二類家電設備的電力消費量拆解為4種驅動力，第1項( $\Delta E_{\text{household}}^2$ )表示戶數變化造成的影響；第2項( $\Delta E_{\text{ownership}}^2$ )表示家電設備擁有台數變化造成的影響；第3項( $\Delta E_{\text{power}}^2$ )表示家電設備功率變化造成的影響；第4項( $\Delta E_{\text{hour}}^2$ )表示家電使用時數變化造成的影響。

同樣使用對數平均數迪式指數分解法之加法型一般式，上述4項效果的計算公式分別可表示如式(13)至式(16)所示

$$\Delta E_{\text{household}}^2 = \sum_i L(E_i^{2,T}, E_i^{2,0}) \ln(N^T/N^0) \quad (13)$$

<sup>1</sup> 未經氣候修正與經過氣候修正電力消費量之差距即為氣候效果。



$$\Delta E_{\text{ownership}}^2 = \sum_i L(E_i^{2,T}, E_i^{2,0}) \ln((a_i^T)/(a_i^0)) \quad (14)$$

$$\Delta E_{\text{power}}^2 = \sum_i L(E_i^{2,T}, E_i^{2,0}) \ln((w_i^T)/(w_i^0)) \quad (15)$$

$$\Delta E_{\text{hour}}^2 = \sum_i L(E_i^{2,T}, E_i^{2,0}) \ln((H_i^T)/(H_i^0)) \quad (16)$$

最後將第一類家電設備的電力消費量變化與第二類家電設備的電力消費量變化加總後，即可得到兩個年度間住宅部門的總電力消費變化量，如式(17)所示。

$$\Delta E = \Delta E^1 + \Delta E^2 \quad (17)$$

## 4. 資料來源及處理

由於本文參考歐盟ODYSSEE-MURE的因素分解架構，以Bottom-up方式針對各類家電設備的用電量進行拆解，最後將各類家電設備的各變動因素加總後得到住宅部門的電力消費總變化量。採取Bottom-up方式雖然可得到更細緻的結果，惟須更為精細的資料才可計算出電力消費之影響因素。因此，本計畫使用工研院產科國際所(原產經中心)於2014年至2017年所進行的我國住宅部門能源消費調查資料，此資料係採用問卷調查方式，以全國家戶為對象，依據內政部不動產資訊平台之住宅存量做為樣本配置依據，並兼顧各縣市之居住建築類型，按比例抽樣進行。問卷調查內容包括：1.家電設備擁有量(每戶擁有台數)；2.區分夏季以及非夏季家電設備使用時數；3.家電設備能耗參數，除功率因素外，針對個別家電也進行其它參數之調查，如：電冰箱公升數、冷氣噸數，以及電視吋吋以及洗衣機公斤數等；4.其它條件調查，包括家電設備取得時間、是否具備節能標章、每戶空調使用面積等(林素琴與林志勳，2017)。

由這些所調查的參數，可推算出各類家電設備於2014至2017年的年用電量。在本文所建構的因素分解模式中，將電器種類分為18類，包含：窗型冷氣、分離式冷氣、白熾燈、螢

光燈、省電燈泡、LED (Light Emitting Diode) 燈泡、電扇、冰箱、熱水、CRT (Cathode-Ray Tube) 電視、LCD (Liquid-Crystal-Display) 電視、電腦、洗衣機、電鍋、飲水機、除溼機、電熱水瓶、其他電器等，以下僅從問卷結果中摘錄出因素分解模式中所採用的關鍵參數，如：家電設備每戶擁有台數(表2)、年使用時數(表3)。此外，每戶住宅面積係依據問卷調查資料，從2014年的42.45671坪小幅降至2017年的41.8197坪，詳細的問卷調查說明與結果可參照林素琴與林志勳(2017)。

除使用問卷調查資料外，某些參數係來自於總體面資料，如：家戶數來自於行政院主計處所發布的人口靜態統計資料，2014至2017年的我國總戶數分別為8,382,699、8,468,978、8,561,383及8,649,000戶，另依據行政院主計處2010年住宅人口普查結果，空閒及無人經常居住的比率為23.95%，本研究以此作為空屋率，扣除空屋率後的戶數即為本研究所使用的家戶數。冷房度日資料則來自於中央氣象局及內政部統計處，彙整如表4所示，資料包含全國及北、中、南、東、離島地區的冷房度日，本研究僅採用全國的冷房度日，並以1996~2017約20年的平均冷房度日作為正常的氣候下的冷房度日，以進行後續的氣候修正。

## 5. 住宅部門電力消費關鍵影響因素分析結果

將所需的參數進行設定後，即可使用因素分解模式拆解我國住宅部門電力消費的關鍵影響因素，茲將分析結果說明如下：

圖2彙整2014至2017年間影響我國住宅部門電力消費之各項關鍵因素。住宅部門的電力消費量在2014年為451.74億度，除於2015年因景氣趨緩微幅減少至448.82億度外，其餘各年用電量均持續成長，至2017年增加至476.12億度，創住宅部門歷年來新高，此期間的電力消費共增加了24.38億度。由圖2顯示此期間內最

表2 2014-2017年我國住宅部門各式家電設備家戶平均擁有量(本研究彙整)

單位：(台/個/根)/戶

電器設備項目	2014年	2015年	2016年	2017年
1. 窗型冷氣	1.11	1.13	0.96	1.04
2. 分離式冷氣	1.67	1.67	1.73	1.69
3. 白熾燈	1.70	1.58	2.06	1.41
4. 螢光燈	6.91	6.79	6.79	7.26
5. 省電燈泡	11.45	12.68	10.61	11.67
6. LED燈泡	1.97	2.74	3.19	4.02
7. 電扇	4.03	3.89	3.94	3.81
8. 冰箱	1.12	1.08	1.09	1.07
9. 電熱水器	0.22	0.23	0.17	0.11
10. CRT電視	0.50	0.28	0.23	0.20
11. LCD電視	1.12	1.26	1.32	1.37
12. 電腦	1.27	1.21	1.31	1.35
13. 洗衣機	1.03	1.01	1.02	1.00
14. 電鍋	1.23	1.21	1.16	1.14
15. 飲水機	0.47	0.53	0.48	0.47
16. 除溼機	0.38	0.39	0.42	0.43
17. 電熱水瓶	0.40	0.34	0.38	0.31

表3 2014-2017年我國住宅部門各式家電設備年使用時間(本研究彙整)

單位：小時

電器設備項目	2014年	2015年	2016年	2017年
1. 窗型冷氣	314	291	244	303
2. 分離式冷氣	453	458	552	471
3. 白熾燈	784	863	496	256
4. 螢光燈	1,342	1,526	1,262	1,154
5. 省電燈泡	1,460	1,892	1,447	1,280
6. LED燈泡	523	889	763	922
7. 電扇	1,810	1,766	1,773	1,879
8. 冰箱	8,724	8,757	8,701	8,731
9. 電熱水器	641	702	685	1,017
10. CRT電視	679	368	317	131
11. LCD電視	1,681	1,869	1,800	1,424
12. 電腦	1,336	1,261	1,148	1,248
13. 洗衣機	265	257	288	268
14. 電鍋	706	731	654	660
15. 飲水機	3,821	4,449	3,596	3,925
16. 除溼機	303	424	369	394
17. 電熱水瓶	2,804	2,227	2,413	2,265



表4 我國年均冷房度日(本研究彙整)

單位：度日

年份	全國(加權平均值)	高雄	臺北	臺中	澎湖	花蓮
1996	290	343	281	249	278	215
1997	185	256	159	153	200	110
1998	352	425	332	305	342	259
1999	250	279	265	196	196	179
2000	264	293	277	213	201	181
2001	289	306	318	226	269	190
2002	329	372	351	254	204	200
2003	370	403	388	313	250	239
2004	308	395	309	223	185	156
2005	338	389	370	241	253	151
2006	318	355	360	217	232	141
2007	325	375	329	268	278	218
2008	308	348	326	240	222	190
2009	374	398	394	318	292	239
2010	362	414	373	296	255	210
2011	347	380	355	306	236	181
2012	322	362	353	230	195	170
2013	362	455	372	253	256	179
2014	435	491	437	377	323	310
2015	416	520	400	351	251	232
2016	475	572	473	385	323	264
2017	506	628	504	396	421	323

註：1. 冷房度日 =  $\sum(T_i - 26^\circ\text{C})$ , if  $T > 28^\circ\text{C}$ ,  $T_i$  = 每日均溫。本項資料為溫度加總，數值愈大表示冷氣開機日數越多。

2. 加權平均值依北中南東及離島地區各區年底人口計算。

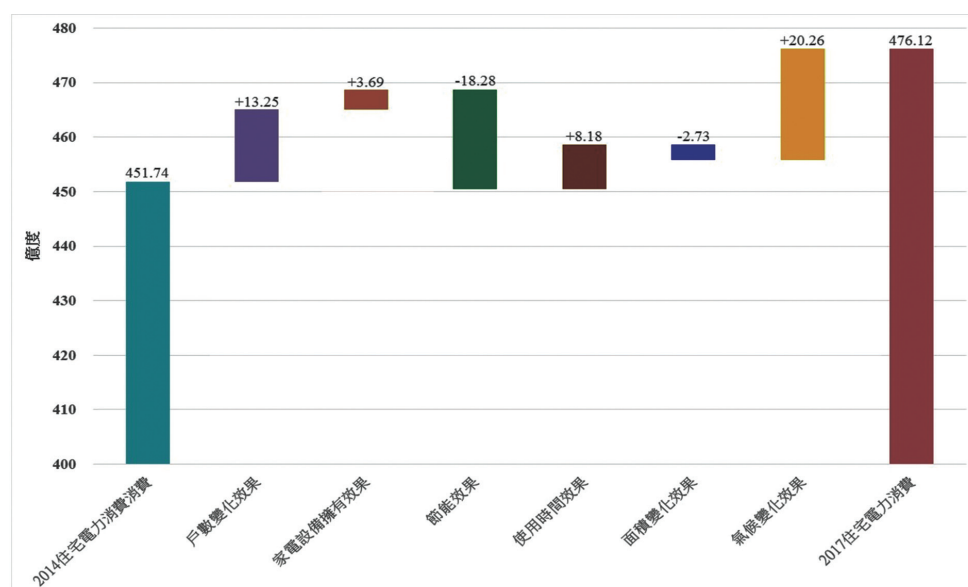


圖2 我國住宅部門電力消費因素分解之結果(本研究整理繪製)

主要的增量效果為氣候效果，約造成電力消費增加20.26億度，此係由於依據我國冷房度日資料(參見表4)，2017年全國年均冷房度日高達506度日，但過去20年(1996年~2017年)平均的冷房度日僅為342度日，顯示近年來的氣候炎熱導致年均冷房度日大幅成長，遠高於過去20年之平均值。另外加上冷氣用電量約占住宅部門總用電量的3成，因此依據公式(1)計算後，氣候修正的效果相當高，反映出相對於過去20年的平均氣溫，近年的氣候暖化因素造成住宅部門冷氣用電量顯著增加。戶數變化效果(活動效果)為另一個主要的增量效果，於此期間內增加住宅部門13.25億度的電力耗用，反映全國家戶數的持續上升(由2014年的838.27萬戶，逐年增加至2017年的864.9萬戶)，亦進一步帶動住宅部門用電量的上升。

另兩個次要的增量效果分別為家電設備擁有效果及使用時間效果，造成住宅部門用電量分別上升3.69及8.18億度。其中，大部分的家電設備擁有台數在此期間內呈現上升趨勢，如：分離式冷氣、螢光燈、省電燈泡、LED燈泡、LCD電視、電腦、除濕機等，但少部分家電設備之擁有台數呈現下降趨勢，如：低能源效率的白熾燈、窗型冷氣、CRT電視以及電扇、電熱水瓶等，故兩者效果相互抵銷後仍造成住宅電力消費增加3.69億度。在使用時間方面，大部分的電器之使用時間均成長，但少部分低能源效率的家電設備(如：窗型冷氣、白熾燈、CRT電視、電熱水瓶等)之使用時間減少，因此兩者效果相互抵銷後，仍導致住宅部門增加8.18億度的電力耗用。

節能效果(家電設備功率變化效果)與住宅面積變化效果則造成住宅部門用電量的下降，分別降低18.28億度與2.73億度；其中，節能效果為住宅部門的主要減量效果，亦為抑制住宅部門電力消費增加的主要原因。此顯示近年來政府積極推動家庭設備能源效率管理，包含：強制性最低容許耗用能源效率標準(Minimum Energy Performance Standard (MEPS)，已實施

MEPS之家電設備占住宅部門夏季用電量的83.0%)、強制性能源效率分級標示(已實施分級標示之家電設備占住宅部門夏季用電量的81.3%)、自願性節能標章制度(已實施節能標章之家電設備占住宅部門夏季用電量的95.2%)。其中，電冰箱及無風管空氣調節機之MEPS為全球首例；亦於2014年開始推動LED燈泡MEPS管制，為亞洲第一個實施的國家。此外，推動學校節能教育，結合社會NGO團體以推廣及落實各種居家節電手法，提升能源素養及節電意識，以促成用電行為改變。近年來結合各地方縣市推動住宅部門節電診斷服務、鼓勵採購節電產品，同時辦理夏月節電競賽，培訓節電志工及民眾透過網路督工等多元管道，鼓勵民眾參與節電。此外，住宅面積變化效果亦造成住宅部門用電量小幅減少2.73億度，依據問卷調查資料，每戶住宅面積從2014年的42.45671坪小幅降至2017年的41.8197坪，因此造成住宅部門用電量之減緩。

綜合上述因素分解模式之分析結果，造成我國2014~2017年住宅部門電力需求持續增加的主要因素來自於氣候趨於炎熱、家戶數持續上升、生活型態變化(如：家電設備擁有數量變化、使用時間變化)。而政府積極推動家庭設備能源效率管理，已有效提高住宅部門整體節電量，家庭結構小型化造成的住宅面積減少亦造成用電量降低。基此，未來若要進一步減少住宅部門的電力消費，則需進一步減緩這些增量效果之成長，並加強減量因素效果，本文依據模式分析結果提出三點政策建議，以供未來研擬規劃住宅部門節能政策之參考，茲分別說明如下：

1. 由因素分解結果顯示，近年的氣候炎熱因素為造成住宅部門冷氣用電量顯著增加的主因。而依據美國能源部之統計，住宅的建築物約有50%的熱負載，皆由外殼(如：牆壁、地基及屋頂等)流入建築物，因此若能降低外殼的傳熱量則可有效減少室內所需冷(熱)負荷，並降低能源使用(DOE, 2015)。換言

之，住宅建築可透過新增屋頂與牆面的反射塗層、玻璃隔熱塗層、外格柵遮陽、低輻射率的節能玻璃等方式，以降低建築物內的空調使用。目前我國住宅建築物中使用這些隔熱、低輻射率玻璃技術之比例相當低，仍以示範性公共建築為主。故在2018年修正的最新建築技術規則中，建築能源設計條文已針對新建建築物的「屋頂隔熱」、「窗戶熱傳導」等建築外殼項目，進行節能標準規範。但此部分僅針對新建物設有節能規範，建議未來可朝既有住宅建築的節能改造進行精進，以降低冷氣耗電量。為提高民眾採用隔熱、低輻射率玻璃技術之意願，可參考先進國家(如：德國)作法對於進行既有建築物改善提供稅額抵減、獎勵補助或低率貸款等經濟誘因，甚至進一步結合能源服務業，協助節能改善並由電費償還等彈性方式，以提高民眾針對建築進行節能改善之意願。

2. 由因素分解結果顯示，家電設備擁有效果及使用時間效果皆造成住宅部門用電量增加，顯示未來更多新型態的家電設備，將會持續導致住宅用電上升。但對一般住宅民眾而言，最大困擾仍在於不知家中電器設備之電力使用分布狀況。換言之，民眾只能在每兩個月收到電費帳單時得知總用電量，即使想要配合調整用電方式，於有限資訊下也不知道從何著手，進而影響節電意願。基此，未來可考量開發雲端化住宅建築能耗分析平台，整合現有住宅部門能源統計資訊以及運用雲端化平台，建立一個開放式住宅能源分析工具。此工具可結合住宅建築能耗分析評估及住宅建築能源分析流程最佳化，使民眾能藉由簡易操作的平台系統，快速評估並測試各種可能導入的節能措施組合所產生節能成效，找出最佳化的整合方案，進而誘發節約用電之行為。
3. 由因素分解結果顯示，節能效果(家電設備功率變化效果)為住宅部門的主要減量效果，為抑制住宅部門電力消費增加的主要原因。此

係由於我國對於家電設備多年來持續推動強制性最低容許耗用能源效率標準、能效分級標示及節能標章等家庭設備能源效率管理，這些管理措施不僅可提升新電器設備最低容許的能源效率，亦可讓民眾購買時可辨識不同能源效率之產品，以購買能效等級更高之產品。但由工研院產科國際所進行的我國住宅部門能源消費調查資料顯示(林素琴與林志勳，2017)，能源耗用量大(如：冷氣、冰箱)且購買時間為2000年以前的電器設備產品占有一定比例，顯示除了管理新購買的家電設備外，如何加速汰換老舊低效率的家電設備為進一步提高住宅部門能源效率之關鍵。未來可考量針對部分能耗高的產品優先給予獎勵補助，且列為汰舊換新的首要對象，並搭配執行舊有產品回收，以換購新品的配套措施，確保老舊低效率家電設備不會在市場上流通，有助於進一步擴大住宅部門之節電量。

## 6. 結 論

以全球最終能源消費量而言，建築部門為最大的終端使用部門(能源消費占比超過30%)；其中，住宅部門約占全球建築部門能源耗用的75%。若欲控制增溫在2度C內，須導入各類節能減碳措施，以減緩住宅部門能源需求之成長。以我國而言，2017年住宅部門之電力消費為476.12億度，占全國總電力消費量的18.21%，僅次於工業與服務業部門；若以近五年趨勢來看，住宅部門為平均年用電成長率最高的部門。為有效降低住宅部門電力消費，故有必要確認出影響住宅部門電力消費的關鍵因素，以進一步釐清各項因素對電力消費量之影響程度。

有別於ODYSSEE-MURE的評估方法，本文參考歐盟ODYSSEE-MURE的分解架構，並進一步結合對數平均數迪式指數分解法，以建構我國住宅部門因素分解模式。此模式係以

Bottom-up方式針對各類家電設備的用電量進行拆解，有別於國內既有文獻僅從總家戶數、每戶人口數、每戶樓地板等總體面資料進行住宅部門電力消費因素分解，亦為國內第一篇將電力消費量之變動因素拆解出氣候效果、家電擁有率效果、使用時間效果等更多元之因素。分析結果顯示，2014至2017年間我國電力消費共增加了24.38億度，最主要的增量效果為氣候效果，造成電力消費增加20.26億度；另一個主要的增量效果則為戶數變化效果，於此期間內增加13.25億度的電力耗用。另外兩個次要的增量效果分別為家電設備擁有效果及使用時間效果，造成住宅部門用電量分別上升3.69及8.18億度，顯示造成住宅部門電力消費增加的關鍵因素來自於氣候趨於炎熱、家戶數持續上升、生活型態變化(如：家電設備擁有數量變化、使用時間變化)。此外，節能效果為抑制住宅部門電力消費增加的最主要原因，降低18.28億度的電力消費，家庭結構小型化造成的住宅面積減少亦造成用電量小幅降低2.73億度。

未來若欲進一步減少住宅部門之電力消費，須進一步減緩這些增量因素並增強減量因素，本文依據模式分析結果提出三點政策建議，以供住宅部門未來研擬節能政策之參考，包含：1. 提供建築物外殼節能改善(如：隔熱、低輻射率玻璃技術)之誘因：可參考先進國家作法，針對既有建築物能源效率改善提供稅額抵減、獎勵補助或低率貸款等經濟誘因，或進一步結合能源服務業，協助節能改善並由電費償還等彈性方式，以提高民眾進行改善之意願，降低我國建築物內的冷氣耗電量。2. 開發雲端化住宅建築能耗分析工具：讓民眾可藉由簡易操作的分析工具瞭解自家電力消費分布及各類可能導入的節能措施，增加自主節能之意識。3. 執行大能耗老舊家電汰舊換新：可考量針對部分能耗高的產品優先給予獎勵補助進行汰舊換新，並搭配執行舊有產品回收，以換購新品的配套措施，確保老舊低效率家電設備不會在市場上流通及導入更高能效之產品，以進一步

擴大住宅部門之節電量。

## 誌 謝

本研究承能源局能專經費之支持，特此致謝，不勝感激。

## 參考文獻

- 呂鴻彬，2015。工業部門能源與二氧化碳排放因素分解及綜合發展指標系統之分析，國立成功大學環境工程學系碩士論文，臺南市。
- 張志瑋、葛復光、柴蕙質與吳雨寰，2016。以KAYA恆等式分析我國2025年減碳目標之能源結構策略可行性，臺灣能源期刊，V3(3)，259-275。
- 林唐裕與曾禹傑，2011。住宅部門之能源效率與二氧化碳排強度關聯性探討—臺灣地區實證研究，第4屆海峽兩岸能源經濟學術研討會。
- 林素琴與林志勳，2017。我國住宅部門電力使用研究，臺灣能源期刊，V4(3)，285-302。
- 洪瑋嶸與葛復光，2016。臺灣能源密集度變化趨勢分析-多層級因素分解應用，臺灣能源期刊，V3(3)，293-310。
- 經濟部能源局，2018。中華民國106年能源統計手冊。
- 鍾欣妤，2012。臺灣地區鋼鐵業能源消費與CO<sub>2</sub>排放及相關污染物之關聯分析，成功大學環境工程學系碩士論文，臺南市。
- 黃啟峰、詹益亮與劉子衙，2010。造紙業能源消費因素分析，臺灣銀行季刊，63(4)，71-96。
- 黃啟峰、黃一德與劉子衙，2013。金屬基本工業能源消費變動因素分析，臺灣能源期刊，V1(1)，105-118。
- Achão, C. & R. Schaeffer, 2009. Decomposition



- analysis of the variations in residential electricity consumption in Brazil for the 1980-2007 period: measuring the activity, intensity and structure effects. *Energy Policy*, 37(12), 5208-5220.
- Ang, B. & K.-H. Choi, 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *The Energy Journal*, 59-73.
- Bosseboeuf, D., B. Lapillonne, W. Eichhammer & P. Boonekamp, 2007. Evaluation of Energy Efficiency in the EU-15: Indicators and Policies.
- Chung, W., M. Kam & C. Ip, 2011. A study of residential energy use in Hong Kong by decomposition analysis, 1990-2007. *Applied Energy*, 88(12), 5180-5187.
- DOE, Department of Energy, 2015. Quadrennial Technology Review 2015. Retrieved from <http://energy.gov/quadrennial-technology-review-2015>.
- EERE, Energy Efficiency & Renewable Energy, 2012. Energy Intensity Indicators: Residential Buildings Delivered Energy.
- Fan, J.-L., H. Liao, Q.-M. Liang, H. Tatano, C.-F. Liu & Y.-M. Wei, 2013. Residential carbon emission evolutions in urban-rural divided China: an end-use and behavior analysis. *Applied Energy*, 101, 323-332.
- Fraunhofer ISI, 2014. Study Evaluating the Current Energy Efficiency Policy Framework in the EU and Providing Orientation on Policy Options for Realising the Cost-Effective Energy Efficiency/Saving Potential until 2020 and Beyond.
- Greening, L. A., M. Ting & T. J. Krackler, 2001. Effects of changes in residential end-uses and behavior on aggregate carbon intensity: comparison of 10 OECD countries for the period 1970 through 1993. *Energy Economics*, 23(2), 153-178.
- Hojjati, B. & S. H. Wade, 2012. US household energy consumption and intensity trends: a decomposition approach. *Energy Policy*, 48, 304-314.
- IEA, International Energy Agency, 2007. Energy Use in the New Millennium: Trends in IEA countries.
- IEA, International Energy Agency, 2016. Energy Efficiency Market Report 2016.
- IEA, International Energy Agency, 2017. Energy Technology Perspectives 2017. Retrieved from <http://www.iea.org/etp/etp2017/>.
- ODYSSEE- MURE, 2017. Understanding Variation in Energy Consumption-Methodological Report.
- OEE, Office of Energy Efficiency, 2011. Energy Efficiency Trends in Canada, 1990 to 2009.
- Rogan, F., C. J. Cahill & B. P. Ó. Gallachóir, 2012. Decomposition analysis of gas consumption in the residential sector in Ireland. *Energy Policy*, 42, 19-36.
- Schipper, L., M. Ting, M. Khrushch & W. Golove, 1997. The evolution of carbon dioxide emissions from energy use in industrialized countries: an end-use analysis. *Energy Policy*, 25(7-9), 651-672.
- Shorrock, L., 2000. Identifying the individual components of United Kingdom domestic sector carbon emission changes between 1990 and 2000. *Energy Policy*, 28(3), 193-200.
- Törnqvist, L., P. Vartia & Y. O. Vartia, 1985. How should relative changes be measured? *The American Statistician*, 39(1), 43-46.
- Unander, F., I. Ettestøl, M. Ting & L. Schipper, 2004. Residential energy use: an international perspective on long-term trends in Denmark, Norway and Sweden. *Energy Policy*, 32(12),

- 1395-1404.
- Xu, X. Y. & B. W. Ang, 2014. Analysing residential energy consumption using index decomposition analysis. *Applied Energy*, 113, 342-351.
- Zha, D., D. Zhou & P. Zhou, 2010. Driving forces of residential CO<sub>2</sub> emissions in urban and rural China: an index decomposition analysis. *Energy Policy*, 38(7), 3377-3383.

# Determinants of Electricity Consumption in Taiwan's Residential Sector - A Decomposition Analysis

Yun-Hsun Huang<sup>1\*</sup>

## ABSTRACT

The building sector is the biggest final energy user globally, and the residential sector absorbs most of the energy consumption of the building sector (around 75 percent). The residential sector has a considerable role to keep global temperature within 2°C. In terms of Taiwan, the electricity consumption of the residential sector in 2017 was 47.612 billion kWh, accounting for 18.21% of total electricity consumption. In addition, the residential sector has the highest growth rate of electricity use in the past five years (2013~2017). It is therefore essential to understand the driving forces behind the changes in residential electricity consumption in Taiwan. Based on the decomposition structure of the energy consumption for households of EU ODYSSEE-MURE, this paper further combines Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) to formulate our decomposition analysis model. The model is then used to explore the impacts of six factors on electricity consumption from residential sector in Taiwan during 2014-2017. Electricity consumption can be decomposed into climatic effect, household effect, more appliances effect, usage time effect, energy savings effect and larger homes effect. Finally, three policy implications are proposed on the basis of our decomposition analysis results.

**Keywords:** Residential sector, Electricity consumption, Decomposition analysis, Logarithmic Mean Divisia Index

---

<sup>1</sup> Researcher, Industry, Science and Technology International Strategy Center (ISTI), Industrial Technology Research Institute.

\*Corresponding Author, Phone: +886-3-5914745, E-mail: [abshung@itri.org.tw](mailto:abshung@itri.org.tw)

Received Date: August 29, 2018

Revised Date: October 31, 2018

Accepted Date: November 8, 2018