

臺灣能源密集度變化趨勢分析-多層級因素分解應用

洪瑋嶸^{1*} 葛復光²

摘要

過去臺灣能源密集度的趨勢研究著重於應用單階層的因素分解，探討總產業結構效果及總密集度效果變化趨勢，多以製造業為主，少有不同層級及部門間產業的密集度效果與結構效果的比較。故本研究利用多層級因素分解法(Multilevel Index Decomposition Analysis)，分析臺灣的產業結構轉型，克服了傳統單階層分解法只能得到不同層級結構效果互相抵銷後的結果，而難以細究不同層級間的產業轉型的影響，也探討各產業能源密集度變動的幅度對總能源密集度變化的貢獻度，並納入住宅部門與近年來大幅興起的三角貿易的影響。實證結果發現在2002年到2014年之間，我國能源密集度持續改善，主要改善原因是來自於各產業自身能源密集度的改善，以部門別區分，依序為工業、運輸與住宅部門；在工業部門內，尤其以電子零組件業、基本金屬以及石油及煤製品製造業貢獻最大。而產業結構朝向高科技產業轉型與三角貿易大幅擴張對臺灣整體的能源密集度改善貢獻有限，最後在密集度效果邊際效益分析中，發現未來短期改善化學材料製造業、陸上運輸業以及住宅的能源密集度，對我國整體能源密集度改善有重大的影響，建議可重點式的加強改善，長期而言要減緩對能源密集產業的依賴，才可進一步達成政策目標。

關鍵詞：能源密集度、多層級因素分解、產業結構

1. 緒 論

1.1 引言

根據IEA (International Energy Agency) (2015)能源技術展望中指出未來要控制全球上升溫度在2°C以內，能源效率提升占總減量貢獻38%，高於促進再生能源發展(30%)及發展CCS (Carbon Capture and Storage) (13%)等其他方式，代表改善能源效率極為重要。此外，根據2014年能源局的統計資料顯示臺灣高達98%能源使用量來自於進口(經濟部能源局，2015)，

且支付在能源進口的花費占全臺GDP (Gross Domestic Product) 12%，所以對臺灣而言能源是稀少又昂貴的資源，因此提升能源使用效率就更顯得重要。而臺灣也早於2008年時，即通過「永續能源政策綱領」，政策目標明定要提高能源效率，未來8年每年提高能源效率2%以上，使能源密集度於2015年較2005年下降20%以上；並藉由技術突破及配套措施，2025年下降50%以上；另外在2012年時，提出「能源發展綱領」，再次宣示政策效率目標：要逐步降低能源密集度，提升能源使用質的成長及降低量的成長，提升國家競爭力。而研究長期的能

¹行政院原子能委員會核能研究所能源經濟暨策略研究中心 研究助理

²行政院原子能委員會核能研究所能源經濟暨策略研究中心 副主任

*通訊作者, 電話: 03-4711400#2726, Email: Charlie@iner.gov.tw

收到日期: 2016年01月04日

修正日期: 2016年05月04日

接受日期: 2016年05月29日

源效率變動趨勢，是檢視政策達成率的重點指標之一。一般而言，能源效率定義為「生產過程的有效產出/能源投入」，代表每投入單位能源，可得到多少單位的有效產出，但又常因不同的用途而須使用不同的單位，進而衍生出熱力學指標、物理-熱力學指標、經濟-熱力學指標及經濟學指標等四類，其中最常用的經濟-熱力學指標，以能源密集度表示，定義為能源效率的倒數(柏雲昌等，2010)。此外，探討能源效率常採取的方式有兩種，其一是由下而上，挑定一種產業或一家公司，從技術層面下去分析，研究每種技術因子(例如馬達)可以提升的效率，最後經過統整可得到整個產業的能源效率改善情況，常採用熱力學指標、物理-熱力學指標，優點是可以真實反映出各生產要素最佳能源使用效率，也知道效率改善的原因(楊晴

雯，2012；黃啟峰等，2013)，但是缺點是每個產業使用的技術因子不同，沒辦法綜觀分析比較，而且如果產業技術大幅革新轉型的話，就難以跟基期的資料做比較，產業能源改善效率趨勢難以建立；另一種方式是由上而下，先取得總體的能源密集度指標，再透過因素分解的方法，了解各產業對能源效率改善的貢獻度，這個方法可以長期追蹤並比較各產業的能源效率改善的成果，但背後改善的原因，難以得知，而且又因常用經濟-熱力學指標，故容易受到物價及匯率影響。

本研究為了評估長期的能源效率變化趨勢，故採取由上而下的研究方式，由圖1觀察近年臺灣整體能源密集度變化可發現，整體能源密集度呈現逐漸改善態勢，近12年年均變化率達-2.29%，且2014年已提前達到2015年的政策

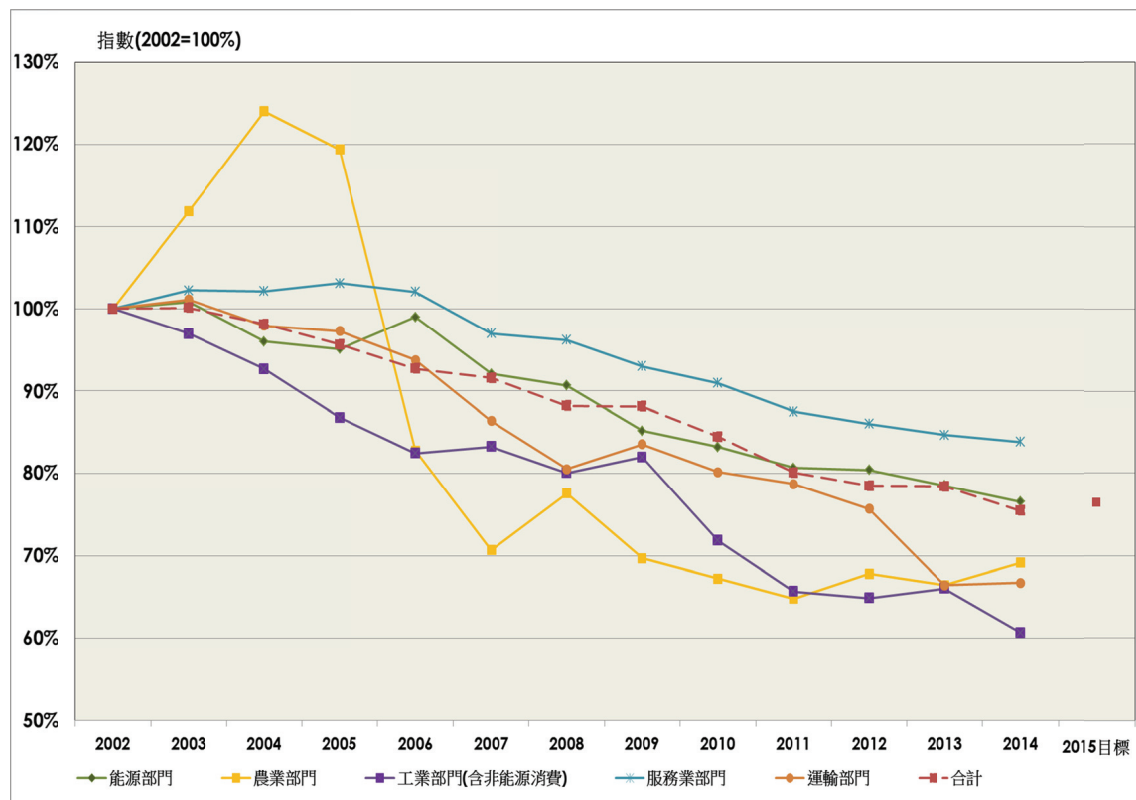


圖1 臺灣2002~2014各部門別之能源密集度變化-累積效果

資料來源：1. 主計總處(2014&2015)歷年國內各業生產與平減指數

2. 經濟部能源局(2015)能源平衡表

3. 本研究整理

註1：各部門能源密集度 = 各部門能源消費量/各部門實質國民生產毛額

註2：非能源消費併入工業部門

目標。進一步觀察各部門之表現，則可發現農業、運輸及工業部門能源密集度改善率凌駕於其他部門之上，(如圖1所示，此三部門之能源密集度成長遠低於整體平均)，過去12年年均變化率分別達-3.03%、-3.32%及-4.07%。

然而農業、運輸及工業部門的能源密集度雖然有大幅改善，但是其產值僅占臺灣GDP四成左右而已，是否真的為臺灣能源密集度改善的主因？各產業對臺灣總體能源密集度改善的影響程度為何？近年來，產業變動的幅度亦大，對我國能源密集度影響是否為正向？以及未來我國該加強對哪些產業的能源效率提升？本研究將試圖運用因素分解法探討這些問題。此外，因住宅部門的產值難以估算，故過去的總體能源密集度分析常將住宅部門排除於外，改採用物理-熱力學指標獨立研究(李堅明及曾瓊瑤，2003；黃群達及林素貞，2006)，但住宅部門的能源消費量一直以來占國內消費總量11%上下，不應被忽略，且也有研究利用因素分解連結物理-熱力學指標與經濟-熱力學指標之間的關係(Ang & Xu, 2013)，因此本研究也運用因素分解將住宅部門能源效率變化的趨勢納入總體能源密集度的分析中。最後我國從2006到2011年外銷訂單激增，製造業三角貿易¹總銷售金額從4.8兆攀升至9.5兆，利潤也從3,558億增加至3,983億(主計總處，2013)。三角貿易透過海外生產，消耗國外的能源，而GDP卻計入臺灣，這種生產模式在臺灣耗能極低，卻帶來大量的GDP，常被質疑是否為臺灣工業密集度大幅改善的主因，本研究也首次運用因素分解方法解釋三角貿易對能源密集度改善的影響程度。綜合以上的問題，本研究希望運用因素分解提出一些建議與思考面向，使未來能源效率持續提升的政策可更容易落實。

1.2 研究目的

¹指一國常住居民購買非常住居民商品，未經通過海關而轉賣給另一非常住居民的經濟行為，即臺灣接單，海外生產，貨物不經我國通關，直接運送至國外買方，過程中一買一賣所形成的差價(淨收入)稱為三角貿易服務輸出，GDP統計納計三角貿易服務輸出之意旨，在於廠商從事三角貿易，提供了規劃、調度、財務、管理、行銷、專利及其他技術等服務，其皆屬國內之生產，並透過三角貿易運作模式輸出國外。

為了評估臺灣長期的能源效率變化趨勢，並更細膩的研究不同部門與產業間的產業移轉效果與密集度效果變化對總體能源密集度的貢獻，本研究採取由上而下的研究方式，應用主計總處的歷年國內生產毛額資料以及能源局的能源消費量資料，透過易理解的改良式加法型拉式指數(Shapley/Sun法)來進行多層級因素分解。此外為了分析住宅部門實際的能源效率變化與鉅額的三角貿易對總體能源密集度改善的貢獻，本研究也應用因素分解並結合物理-熱力學指標與經濟-熱力學指標，納入人均GDP以及人均住宅面積等多種因子進行趨勢剖析。最後為了評估臺灣未來持續改善能源密集度可著重的方向，本研究應用敏感度分析來了解改善各產業能源密集度以及調整臺灣產業結構的邊際效益，以提出未來可供參考的長短期具體建議。

2. 文獻回顧

Hoekstra & Bergh (2003)提到由上而下的能源密集度分析主要有兩種方法：指標型因素分解分析(Index Decomposition Analysis, IDA)與結構型因素分解分析(Structural Decomposition Analysis, SDA)。SDA需要投入產出表的資料，因此可以研究直接能源需求與間接能源需求，不像IDA只有辦法研究直接的需求。不過投入產出若干年才更新一次，而且所需的資料比較複雜，有時不易取得，因本研究著重於連續趨勢變化，所以採用IDA。

早期透過IDA，由上而下的研究能源效率改善指標時，在處理母部門跟子部門能源密集度變化之間的關係時，常會遇到殘差項，不易解釋(Ang, 1995)，所以部分研究是直接將我國能源密集度較高的產業整理出來，探討其增減幅(林麗貞，2008)，主觀認定能源密集度高的

產業對臺灣總體能源密集度應該影響較大，但結論的爭議性比較大。

IDA有許多不同的數學方法，主要可分成兩類-拉氏及迪氏指數，各有優缺點，兩種指數的計算方法都有加法型與乘法型，視不同目的而有不同的應用，但拉式指數因具有時間不可逆性以及不易解釋的殘差項，故許多學者提出改良式的拉式指數(Refined Laspeyres Index)。其中加法型的改良版，由Shapley跟Sun提出，因此也被稱為Shapley/Sun法。改良型的拉式指數雖然在公式的形成上(Ease of formulation)較為困難，導致數學表達形式複雜，不過透明性(transparency)與可調適性(adaptability)都遠較於迪氏指數來得佳，也代表著改良型的拉式指數較為直觀易懂且比較不會受制於特殊的數據，因此可視情況來選擇應用何種指數。不過根據研究顯示，即使應用不同的指數方法皆能得到相似的結論(Granel & Ang, 2003；Ang, 2004)。

其中的數種方法已於過去臺灣能源密集度分析研究所使用。胥愛琦及許志義(1992)運用迪氏指數分解以及拉氏指數分解分析1961-1990年間臺灣全國以及各部門、以及各產業能源消費量變動與能源密集度變動情形，探討這段時期全國以及工業部門能源密集度變動原因。第一次石油危機(1973年)之前能源密集度逐漸惡化主因來自於結構效果(產業轉型)快速惡化，因為臺灣產業朝向能源密集產業集中，但第二次石油危機(1979年)後密集度效果持續大幅改善，而結構效果微幅惡化，使得整體能源密集度逐漸改善，不過無法比較跨部門產業的密集度變化效果。

王京明及黃大薇(1996)應用迪氏指數分解法分析1981-1993年間臺灣製造業能源密集度變動情形，也是透過分析各產業能源消費量變動與能源密集度變動，並再加上全要素生產力分析，得到的結論與胥愛琦及許志義(1992)類似。吳銘峰及張四立(2003)比較各種不同的拉氏與迪氏指數方法，分析1981-2001年間臺灣製造業能源密集度變動情形，發現使用不同指數

方法得到的結果類似，並驗證如果殘差項的誤差過大，會大幅影響分析結果的正確性，此外也發現這段期間整體的能源密集度仍然持續下降，結構效果雖微幅上升但影響不大。

柏雲昌等(2010)應用多層次因素分解法，對臺灣產業進行分層垂直拆解，分析1992-2008年間能源密集度變化，並採取特殊貢獻權數，避免殘差項的發生，確立了跨部門產業間密集度效果的比較基礎。不過其中的數學公式過於複雜，無法直觀了解其中的經濟意涵，也無法探討產業結構轉型對能源密集度變化的影響。研究結果顯示這段期間，因為工業部門的化學材料業能源效率嚴重惡化，導致臺灣能源密集度持續惡化，此結果與上述研究結果非常不同，與資料來源有相當大的關係。此研究並非採用實質生產毛額，而是用物價指數將名目生產毛額做調整，因為臺灣過去物價指數與平減指數的變化趨勢幾乎相反，導致該研究在計算能源密集度的過程中，所採用的生產毛額偏低，而顯現出能源密集度持續惡化。

黃鈺愷等(2014)應用對數平均迪氏指數分解法，分析臺灣在1962-2012年間，能源消費量變動與能源密集度變動情形，並加上經濟成長與能源消費的脫鉤分析，發現與上述研究結果相似。臺灣於石油危機之後，能源密集度就持續下降，主因來自於密集度效果的改善，而結構效果只有微幅下降，影響不大。黃韻勳(2015)應用對數平均數迪氏指數分解法，分析臺灣在2007-2013年間，結構效果與各產業之能源密集度效果對臺灣總體能源密集度的影響，主要來自於密集度效果的改善，而結構效果影響不大。

總結以上研究，臺灣過去能源密集度改善原因來自於總密集度效果，尤其是工業部門的改善效果影響最大，但攸關於產業轉型的結構效果只有微幅起伏。事實上，臺灣過去產業的變動很大，為何產業結構效果起伏不大，過去的研究較少探討，也少有不同層級間產業的密集度效果的探討。Xu & Ang (2013)完整提

出了以拉式及迪式指數處理多層級因素分解的架構與方法，調整了各項指數方法的數學計算並比較其優劣勢，其中在加法型多層級垂直(multilevel-hierarchical)因素分解的架構下，只有拉氏指數才可以直接適用(Directly feasible)於此架構，而不須進行任何數學上的轉換。此外，Shapley/Sun分解法的計算式複雜性也會因此大幅降低。故本研究也依據其架構，採用Shapley/Sun法，對臺灣過去的能源密集度進行加法型多層級垂直因素分解，克服了過去研究無法細膩探討不同部門與產業間的結構效果與密集度效果變化的缺點。

3. 因素分解分析

3.1 垂直因素分解之理論架構

本研究運用因素分解法探討多層級內各部門能源效率變化、實質住宅部門能源效率變化與鉅額的三角貿易對總體能源密集度改善的貢獻，共3個分析案例。因符號較繁複，故先列表做簡要說明(如表1)，以下各小節再進行較詳盡的推導以及意涵的詮釋。

為了探討臺灣的總能源密集度變化跟各產業能源密集度變化關係，本研究將臺灣產業做垂直分類(如表2)，第一層分成農業部門、工

業部門、服務業部門、運輸部門以及住宅部門五個部門；再將各部門往下細分，如工業部門細分成第二層的製造業、營造業等六行業；第三層則是將製造業繼續細分成化學工業等四大工業；最後再細分四大工業成為第四層產業後(如圖2)，透過IDA-Shapley/Sun法，將上層產業能源密集度變化效果，分解成下層產業的能源密集度變化效果以及產業結構轉型效果，透過層層拆解，本研究試圖釐清這幾年我國各產業能源密集度變化對總體能源密集度變化的貢獻度。

本研究定義

$$\text{子部門能源密集度} = \frac{\text{子部門能耗}}{\text{子部門 GDP}} = A_i \quad (1)$$

$$\text{母部門內部產業 GDP 占比} = \frac{\text{子部門 GDP}}{\text{母部門 GDP}} = B_i \quad (2)$$

$$\text{母部門能源密集度} = I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n A_i B_i \quad (3)$$

$$I_i = \frac{\text{子部門能耗}}{\text{母部門 GDP}} \quad (4)$$

當時間由0改變至T時，母部門能源密集度改變量 ΔI 可以表示成

$$\begin{aligned} \Delta I &= I^T - I^0 = \sum_{i=1}^n (I_i^T - I_i^0) = \sum_{i=1}^n (A_i^T B_i^T - A_i^0 B_i^0) \\ &= \sum_{i=1}^n ((A_i^0 + \Delta A_i) (B_i^0 + \Delta B_i) - A_i^0 B_i^0) = \sum_{i=1}^n (\Delta A_i B_i^0 + \Delta B_i A_i^0 + \Delta A_i \Delta B_i) \\ &= \sum_{i=1}^n ((B_i^0 \Delta A_i + 1/2 \Delta A_i \Delta B_i) + (A_i^0 \end{aligned}$$

表1 各項因素分解研究所使用的重要變數與意義一覽表

項目	符號	意義
垂直因素分解	$\Delta I_{int,i}$	子部門密集度效果-第i部門能源密集度變化對整體能源密集度的影響
	ΔI_{str}	結構效果-產業結構變化對整體能源密集度的影響
	$\Delta I_{sub-int,ij}$	次子部門密集度效果-第i部門中的第j部門能源密集度變化對整體能源密集度的影響
	$\Delta I_{sub-str,i}$	子部門結構效果-第i部門內部產業結構變化對整體能源密集度的影響
住宅部門因素分解	$\Delta I_{住宅}$	住宅能源密集度效果-住宅部門能源密集度變化對整體能源密集度的影響
	$\Delta I_{實質}$	實質住宅能源密集度效果-實質住宅能源密集度變化對整體能源密集度的影響
	$\Delta I_{面積}$	人均居住面積效果-人均居住面積變化對整體能源密集度的影響
	ΔI_{GDP}	人均GDP效果-人均GDP變化對整體能源密集度的影響
三角貿易因素分解	$\Delta I_{int,1}$	密集度效果-第1部門(耗能部門)能源密集度變化對整體能源密集度的影響
	ΔI_{str}	三角貿易效果(結構轉型效果)-三角貿易多寡對整體能源密集度的影響

資料來源：本研究分析

表2 2014年臺灣產業垂直分層能源密集度變化因素分解-密集度效果與結構效果-以2002年為基期

台灣總體能源密集度變化 (-24.25%)	農業部門 (-0.38%)	農牧及林業(0.13%)				
		漁業(-0.8%)				
		農業內部結構效果(0.29%)				
	工業部門 (-27.74%)	氣體燃料供應業(-0.08%)				
		電力供應業(-1.02%)				
		礦業及土石採取業(0.06%)				
		用水供應業及汙染整治(-0.14%)				
		營造業(-0.08%)				
		民生工業 (-2.28%)	食品飲料及菸草業(-0.32%)			
			紡織成衣及服飾業(-0.7%)			
			木竹及家具業(0%)			
			非金屬礦物製品製造業(-1.03%)			
			其他製造業(-0.07%)			
			民生工業內部結構效果(-0.16%)			
			化學工業 (-0.25%)	皮革及毛皮業(0.01%)		
				紙漿、紙及紙製品業(-0.18%)		
				印刷業(-0.03%)		
				化學材料製造業(-1.25%)		
		石油及煤製品製造業(-1.63%)				
		化學製品製造業(-0.52%)				
		橡膠製品製造業(-0.06%)				
		塑膠製品製造業(0.19%)				
		金屬機電工業 (-0.71%)	藥品製造業(-0.1%)			
			化學工業內部結構效果(3.31%)			
			基本金屬製造業(-2.44%)			
			金屬製品製造業(0.31%)			
			機械設備製造業(-0.21%)			
			運輸工具製造業(0.21%)			
		資訊電子工業 (-6.3%)	電力設備製造業(-0.02%)			
			金屬機電工業內部結構效果(1.42%)			
			電腦、電子產品及光學製品製造業(-1.29%)			
		製造業內部結構效果 (-20.79%)	電子零組件製造業(-3.84%)			
			資訊電子工業內部結構效果(-1.17%)			
			工業內部結構效果(3.85%)			
		服務業部門 (-1.7%)	批發及零售業(-0.49%)			
	住宿及餐飲業(0.15%)					
	運輸服務及倉儲業(0.06%)					
	資訊及通訊傳播業(-0.13%)					
	金融保險及不動產業(-0.09%)					
	公共行政業(-0.09%)					
	工商社會及個人服務與其他(-0.88%)					
	服務業內部結構效果(-0.23%)					
	運輸部門 (-4.48%)	國內航空(-0.22%)				
		陸上運輸業(-3.26%)				
		國內水運(-0.43%)				
		運輸部門內部結構效果(-0.57%)				
	住宅部門 (-3.61%)					
	部門結構效果 (13.67%)					

資料來源：本研究分析

$$\Delta B_i + 1/2\Delta A_i \Delta B_i) = \sum_{i=1}^n (\Delta A_i (B_i^0 + 1/2\Delta B_i) + \Delta B_i (A_i^0 + 1/2\Delta A_i)) = (\sum_{i=1}^n \Delta I_{int, i}) + (\Delta I_{str}) \quad (5)$$

$$\text{其中 } \Delta I_{int, i} = \Delta A_i (B_i^0 + 1/2\Delta B_i) \quad (6)$$

從(5)式中，第二列可發現母部門的能源密

集度變化 ΔI 受到子部門能源密集度變化 ΔA_i 、母部門內部產業占比改變 ΔB_i ，以及交互作用項 $\Delta A_i \Delta B_i$ 所共同影響。套用Shapley/Sun法，直觀的認定交互作用項應相等的分配在所有因素上，因此第三列將 $\Delta A_i \Delta B_i$ 項平均分給兩要素

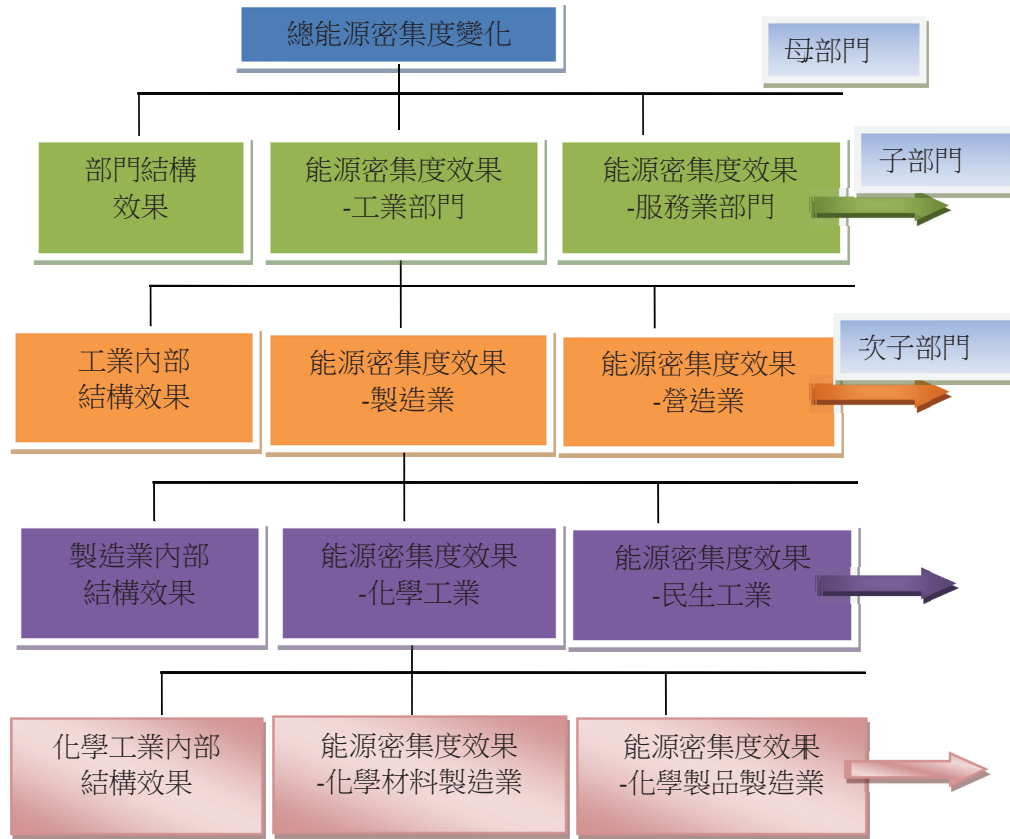


圖2 臺灣產業垂直分層示意圖

資料來源：本研究自行繪製

ΔA_i 及 ΔB_i ，而這兩要素代表的就是各子部門的能源密集度變化效果 $\Delta I_{int, i}$ 以及母部門內部產業結構轉型的效果 ΔI_{str} 。若將我國總體當成母部門，工業、農業、服務業等當作子部門時，代入式(5)就完成單層因素分解的計算。若將子部門能源密集度變化 ΔA_i 仿照式(5)，可以再拆成次子部門能源密集度變化 Δa_j 、子部門內部產業占比改變 Δb_j ，

$$\Delta A_i = \sum_{j=1}^m (\Delta a_j (b_j^0 + 1/2 \Delta b_j) + \Delta b_j (a_j^0 + 1/2 \Delta a_j)) = (\sum_{j=1}^m \Delta I_{sub-int, j}) + (\Delta I_{sub-str}) \quad (7)$$

此時的子部門能源密集度變化 ΔA_i ，就是次子部門能源密集度變化效果 $\Delta I_{sub-int, j}$ 以及子部門內部產業結構轉型的效果 $\Delta I_{sub-str}$ 的總和，是另一層單層的因素分解，就像是工業部門能源密集度變化，可以再拆解為製造業、營造業等能源密集度變化，以及工業部門內部產業結構轉型的影響，若想知道次子部門對母部門的貢

獻，只要將式(6)與式(7)合併

$$\begin{aligned} \Delta I_{int, i} &= \Delta A_i (B_i^0 + 1/2 \Delta B_i) = (\sum_{j=1}^m (\Delta a_j (b_j^0 + 1/2 \Delta b_j) + \Delta b_j (a_j^0 + 1/2 \Delta a_j))) (B_i^0 + 1/2 \Delta B_i) \\ &= ((\sum_{j=1}^m \Delta I_{sub-int, j}) + (\Delta I_{sub-str})) (B_i^0 + 1/2 \Delta B_i) \\ &= (\sum_{j=1}^m \Delta I_{sub-int, ij}) + (\Delta I_{sub-str, i}) \quad (8) \end{aligned}$$

$$\text{其中 } \Delta I_{sub-int, ij} = \Delta I_{sub-int, j} (B_i^0 + 1/2 \Delta B_i) \quad (9)$$

子部門能源密集度變化效果 $\Delta I_{int, i}$ 就是次子部門能源密集度變化加權效果 $\Delta I_{sub-int, ij}$ 以及子部門內部產業結構轉型的加權效果 $\Delta I_{sub-str, i}$ 的總和，因為要連結母部門以及次子部門，所以需要多乘上一個加權因子，來完成多層的因素分解。綜合上述討論，母部門的能源密集度變化，等同於所有子部門的能源密集度變化效果以及母部門內部產業結構轉型效果總和；而子部門的能源密集度變化效果又等同於所有次子部門能源密集度變化加權效果和子部門內部產

業結構轉型加權效果總和；依此推論若次子部門底下還有第三層的部門的話，還可以依照相同方法拆解下去，直到最下層，達到完全的多層因素分解。

3.2 住宅部門因素分解之理論架構

前面談到母部門的能源密集度變化 ΔI 受到子部門能源密集度變化 ΔA_i 、母部門內部產業占比改變 ΔB_i 兩要素所影響，但對於住宅部門而言，只有能耗，卻沒有直接對應的GDP，沒辦法定義 ΔA 住宅部門，因此在本研究中直接套用(4)式

$$I_{住宅} = \frac{\text{住宅部門能耗}}{\text{總體部門 GDP}} \equiv \text{住宅的能源密集度} \quad (10)$$

在此定義下，不用重新改寫(5)式，也不須要去定義 $\Delta A_{住宅部門}$ 、 $\Delta B_{住宅部門}$ 。而整體能源密集度變化，針對住宅部門的部分，簡單來說，就只跟住宅的能源密集度變化有關，而沒有住宅部門的結構轉型效果，因此可以將此新定義的住宅能源密集度理解為全體人民下班回住宅後，消耗能源以享用上班時創造的GDP，不過一般傳統在評估住宅能源效率，常用的還是物理-熱力學指標，也就是實質住宅能源密集度，常見的定義為

$$\text{實質住宅的能源密集度} \equiv i_{住宅} = \frac{\text{住宅部門能耗}}{\text{樓地板面積}} \quad (11)$$

因此由(10)式跟(11)式，可得

$$\begin{aligned} I_{住宅} &= \frac{\text{住宅部門能耗}}{\text{總體部門 GDP}} \\ &= \frac{\text{住宅部門能耗}}{\text{樓地板面積}} \times \frac{\text{樓地板面積}}{\text{人口}} \\ &\quad \times \frac{\text{人口}}{\text{總體部門 GDP}} = i_{住宅} \times h \times g \quad (12) \end{aligned}$$

$$h \equiv \frac{\text{樓地板面積}}{\text{人口}}, \quad g \equiv \frac{\text{人口}}{\text{總體部門 GDP}} \quad (13)$$

其中 h 可視為人均居住面積，而 g 為人均GDP的倒數，所以當人均GDP成長，人均居住

面積減少，實質的住宅能源密集度改善，都會造成住宅能源密集度改善，進而改善我國的能源密集度。套用因素分解的方法可得

$$\begin{aligned} \Delta I_{住宅} &= (I_{住宅}^T - I_{住宅}^0) = i_{住宅}^T \times h^T \times g^T - i_{住宅}^0 \times h^0 \times g^0 \\ &= (i_{住宅}^0 + \Delta i_{住宅}) \times (h^0 + \Delta h) \times (g^0 + \Delta g) - i_{住宅}^0 \times h^0 \times g^0 \\ &= \Delta i_{住宅} h^0 g^0 + \Delta h i_{住宅}^0 g^0 + \Delta g i_{住宅}^0 h^0 + \dots + \Delta i_{住宅} \Delta h \Delta g = \Delta I_{實質} + \Delta I_{面積} + \Delta I_{GDP} \quad (14) \end{aligned}$$

$$\Delta I_{實質} = \Delta i_{住宅} h^0 g^0 + 1/2 \Delta i_{住宅} \Delta h g^0 + 1/2 \Delta i_{住宅} \Delta h g^0 + 1/3 \Delta i_{住宅} \Delta h \Delta g \quad (15)$$

$$\Delta I_{面積} = \Delta h i_{住宅}^0 g^0 + 1/2 \Delta h \Delta i_{住宅} g^0 + 1/2 \Delta h \Delta g i_{住宅}^0 + 1/3 \Delta h \Delta i_{住宅} \Delta g \quad (16)$$

$$\Delta I_{GDP} = \Delta g i_{住宅}^0 h^0 + 1/2 \Delta g \Delta i_{住宅} h^0 + 1/2 \Delta g \Delta h i_{住宅}^0 + 1/3 \Delta g \Delta i_{住宅} \Delta h \quad (17)$$

由(14)式，可得知住宅能源密集度變化 $\Delta I_{住宅}$ ，由實質住宅能源密集度變化 $\Delta i_{住宅}$ 、人均居住面積變化 Δh 以及人均GDP變化 Δg 三要素所構成，由於Shapley/Sun法，認定交互作用項應相等的分配在所有因素上，故實質住宅能源密集度變化效果 $\Delta I_{實質}$ ，是集合了所有含有 $\Delta i_{住宅}$ 的項目，但是 $(\Delta i_{住宅} \Delta h)$ 牽扯到兩要素的變化，故平均分配下，係數只能取得1/2， $(\Delta i_{住宅} \Delta h \Delta g)$ 涵蓋三要素的交互作用，係數只能取得1/3。同理可類推得人均居住面積變化效果 $\Delta I_{面積}$ (16式)以及人均GDP變化效果 ΔI_{GDP} (17式)。

3.3 三角貿易因素分解之理論架構

為了要釐清能源密集度改善，是否與從事服務導向的三角貿易大幅增長有關，必須將三角貿易對能源密集度變化的效果分解出來。因此假設產業F有進行三角貿易，概念上可將F產業拆為兩個部門，其中一部門為正常耗能以獲得GDP的1號部門，另一部門為從事三角貿易，藉由轉賣服務以獲取GDP的2號部門，而不耗費任何能源。套用(5)式

$$\begin{aligned}
\Delta I_F &= I_F^T - I_F^0 = \sum_{i=1}^2 (I_i^T - I_i^0) = \sum_{i=1}^2 (A_i^T B_i^T - A_i^0 B_i^0) \\
&= \sum_{i=1}^2 ((A_i^0 + \Delta A_i) (B_i^0 + \Delta B_i) - A_i^0 B_i^0) = \sum_{i=1}^2 (\Delta A_i (B_i^0 + 1/2 \Delta B_i) + \Delta B_i (A_i^0 + 1/2 \Delta A_i)) = \\
&= (\sum_{i=1}^2 \Delta I_{int,i}) + (\Delta I_{str}) \quad (18)
\end{aligned}$$

因為2號部門不耗能，所以能源密集度相關的 ΔA_2 及 A_2^0 皆為0，故(18)式可繼續推導為

$$\begin{aligned}
\Delta I_F &= \Delta A_1 (B_1^0 + 1/2 \Delta B_1) + \Delta B_1 (A_1^0 + 1/2 \Delta A_1) \\
&= (\Delta I_{int,1}) + (\Delta I_{str}) \quad (19)
\end{aligned}$$

F產業的能源密集度變化，乍看之下，似乎只跟1號部門自身的能源密集度變化效果 $\Delta I_{int,1}$ ，以及產業內部的結構轉型效果 ΔI_{str} 有關，若更進一步的探究顯示，如果當1號部門持續地往2號轉型的話，代表三角貿易的行為變多，能源密集度就應該會下降，反映至數學式子上，就是 ΔB_1 為負，也就是1號部門的結構占比減少，造成 ΔI_F 也是負的，所以可以把 ΔI_{str} 視為三角貿易行為多寡的效果，因此F產業的能源密集度變化，就可分解為純的密集度變化效果以及三角貿易變化效果。

4. 資料來源及處理方法

本研究資料有實質國內生產毛額、實質人均GDP、人均居住面積、國內能源消費量、三角貿易的實質GDP及電燈電價。實質國內生產毛額(GDP)(SNA93)來自主計總處(2014)的歷年國內各業生產與平減指數，是按95年價格的實質生產毛額，不過從2014年底，臺灣GDP統計改依聯合國2008年版國民經濟會計制度(簡稱2008SNA)編布，但根據主計總處出具2012的報告主計總處，2012指出，新的編制方法由定基法改採連鎖法，會使得實質產出不具可加性，所以已經不適合做實質結構分析的研究，受限於此，本研究針對2012年以前(含2012年)的資料仍採舊的編制方法(SNA93)，而2013-2014年的實質GDP資料則採用這兩年各行業的實質經濟成長率(主計總處，2015)，再乘上2012年

的各行業的實質GDP加總而得，故本研究的所採用的實質GDP資料與主計總處公布的最新資料會有些許的出入。實質人均GDP則使用實質GDP除以人口數(主計總處,2015,國民所得統計常用資料)。人均居住面積來自主計總處「家庭收支調查報告」(2014)，國內能源消費量來自能源局的能源平衡表(2015)，三角貿易的GDP來自100年工商及服務業普查資料，電燈電價來自台電公司的統計資料-歷年平均電價(台灣電力股份有限公司，2014)。總體能源密集度採用能源統計手冊的定義(經濟部能源局，2014)，為

國內能源消費量/實質國民生產毛額，

各部門能源密集度 = 各部門能源消費量/各部門實質國民生產毛額

國內能源消費 = 能源部門自用+最終消費

最終消費 = 工業部門 + 運輸部門 + 農業部門 + 服務業部門 + 住宅部門 + 非能源消費

非能源消費中的石化原料歸類在化學材料製造業，非能源消費中的其他則按照工業部門各產業能源消費總量，依比例分配至各產業。本研究在能源密集度的計算中，都是以2002年為基期，將各年度與2002年相比，計算出能源密集度改變多少比率，也就是說

$$\text{能源密集度變化率} = \frac{\Delta I}{I^{2002}} = \frac{I^T - I^{2002}}{I^{2002}} \quad (20)$$

處理三角貿易的GDP時，將普查資料的當期價格資料，透過各產業的平減指數，轉換成按95年價格計算的實質GDP，也就是

$$\text{三角貿易實質 GDP} = \frac{\text{三角貿易名目 GDP}}{\text{平減指數}} \quad (21)$$

5. 結果與討論

5.1 臺灣總體能源密集度變化

首先應用式(5)，以2002年為比較基準，算出2014年時臺灣能源密集度變化率並得到各產業密集度效果與不同層級的結構轉型效果的貢獻程度(如表2)，臺灣過去12年間總體

能源密集度平均年改善率為2.29%與政策每年2%的目標相符。整體而言，若只看第一層的部門拆解，研究發現臺灣能源密集度改善主因來自工業部門(-27.7%)、運輸部門(-4.5%)與住宅部門(-3.6%)的密集度效果下降，反而臺灣近年來的部門結構轉型效果，會造成能源密集度嚴重惡化(13.7%)，但進一步拆解，發現工業部門密集度改善來自於製造業的密集度效果改善(-30.3%)，而製造業密集度改善主因卻來自於製造業內部產業結構效果(-20.8%)。若將所有的結構效果加總，總結構效果只有-0.38%，這意味著雖然部門間結構轉型不利於密集度改善，但幸好製造業內部的結構調整，使得臺灣產業結構轉型對整體的能源密集度影響有限。在純密集度效果中(如表2)，研究發現陸上運輸業、電子零組件、基本金屬與石油及煤製品製造業對臺灣過去12年來的能源密集度改善貢獻

最大，而所有產業的總密集度效果為-23.9%²，也代表臺灣這幾年的能源密集度改善，主要來自於密集度效果的改善，與前人的研究成果相符。當進一步觀察歷年的變化趨勢(如圖3)，各部門的純密集度效果幾乎是逐年改善，導致臺灣的能源密集度逐年下降，也使得2015年的能源密集度改善的政策目標提早達成，就總結構效果而言，從2002年至2014年總是起起伏伏，代表臺灣儘管有致力於產業轉型，但對能源密集度改善影響有限，也與過去研究成果相符。

5.2 產業結構轉型對能源密集度影響

上述提到臺灣近幾年部門結構效果惡化，由圖4顯示原因主要來自於工業部門占比成長對能源密集度的貢獻大於服務業部門的消退，雖然工業部門的GDP占比提升(總共增加8.8%)，與服務業占比下降(總共減少7.6%)比例相當，

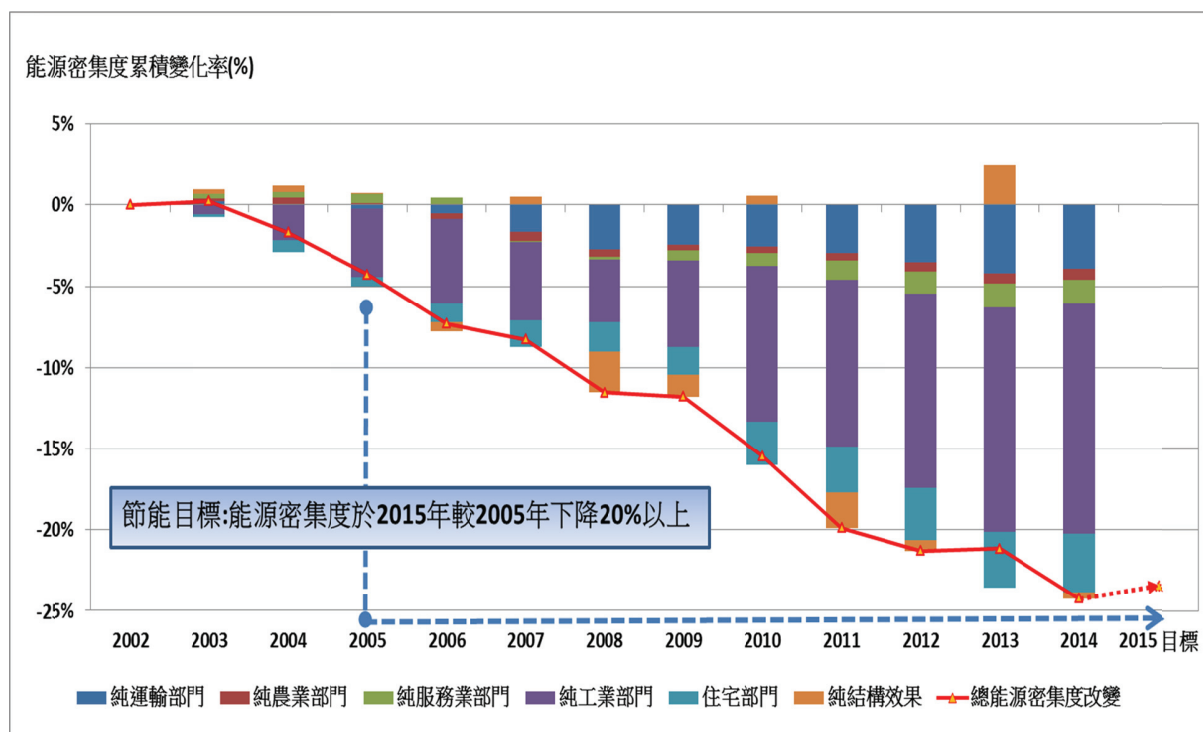


圖3 臺灣總能源密集度因素分解變化趨勢

註1：圖中各部門的純密集度效果，已經扣除了部門內部的結構效果

註2：純結構效果為表2中所有結構效果的加總

資料來源：本研究分析

² 為所有子產業的純密集度效果之總和，也就是總能源密集度改變扣除總結構效果而得的結果。

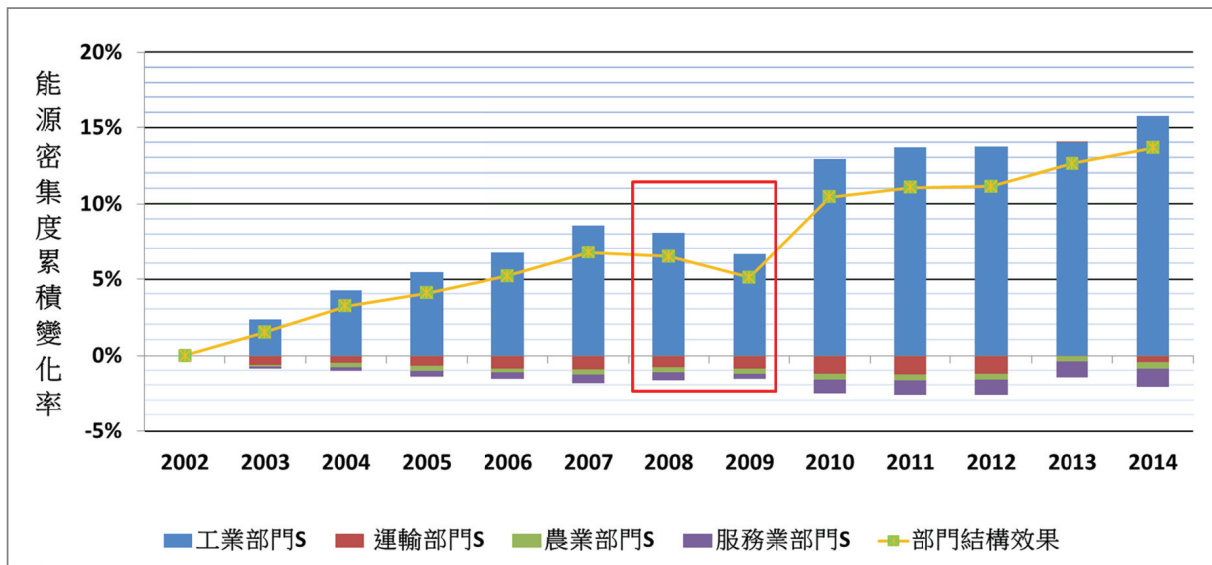


圖4 各部門結構逐年消長對能源密集度影響

資料來源：本研究分析

但工業的能源密集度高於服務業，使得工業部門的消漲對能源密集度影響遠大於服務業，因此朝工業轉型會使得總體能源密集度上升，除了2008-2009年間因為遇到金融海嘯，出口大幅減少，而臺灣大部分外銷產品源自於工業部門，所以那兩年工業部門的GDP占比稍稍下降，連帶使部門結構效果跟著下降，不過整體而言，臺灣這幾年GDP成長仍以出口為主，

所以工業的重要性逐漸提升，使部門結構效果變化趨勢對總體能源密集度的影響是負向的。

另一方面，就製造業內部結構效果而言(如圖5)，因2002-2014年間資訊電子工業的GDP在製造業內占比大幅增加(共33.5%)，而其他的製造業相對於資訊電子工業是高能源密集產業，所以當其他製造業轉型至資訊電子工業，會使得總體能源密集度大幅下降。此外2008年油價

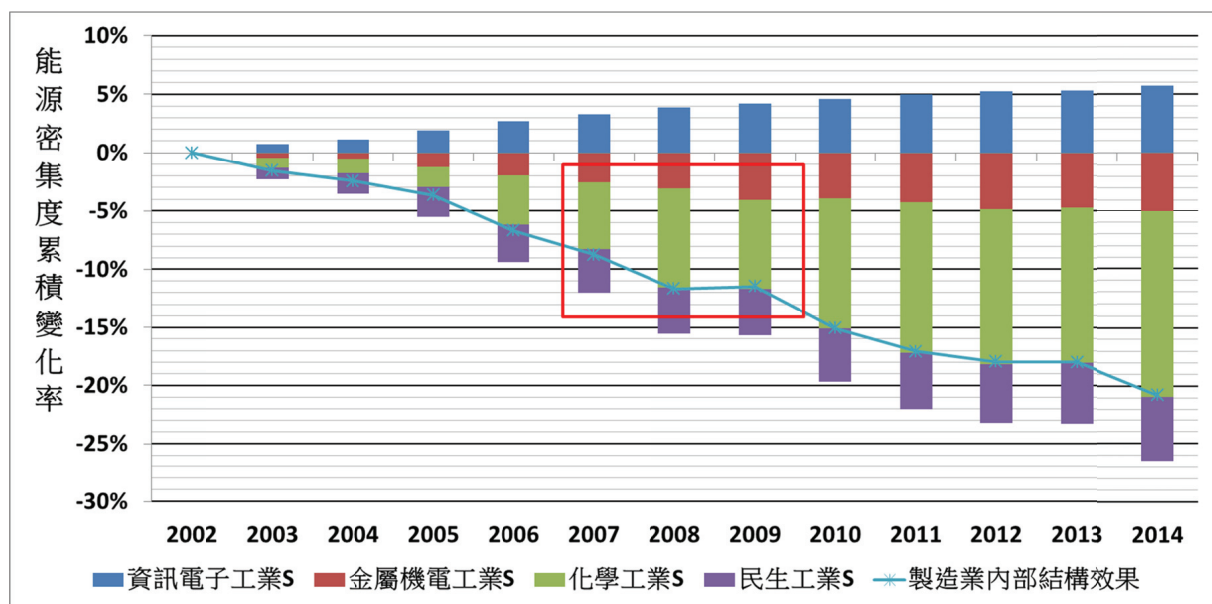


圖5 製造業內部產業結構逐年消長對能源密集度影響

資料來源：本研究分析

大漲，頁岩氣開始大量開採，而其副產品是更便宜的化學原料，使我國的化學材料製造業競爭力下降，化學工業GDP在製造業占比大幅下降，因此當年的結構效果比前後一年都來得低。總結而言，臺灣這幾年採取高科技產業出口導向政策，使得產業類型高度集中，能源密集度較高的工業部門占比逐年攀升，不過是逐漸由傳統的製造業轉向能源密集度較低的資訊電子工業，在這一來一往中，即便產業發展有大幅度的變動，對能源密集度變化的影響卻相互抵銷，因此這幾年臺灣純粹的結構效果，總是起起伏伏，對總體能源密集度變化的影響也不大。

5.3 住宅部門能源密集度變化

由圖3可發現本研究所定義的住宅能源密集度變化，在過去12年間對總體能源密集度變化影響著實不小，實在無法如過往的研究一般，忽略不計。進一步因素分解後，本研究發現造成我國住宅能源密集度改善最大的原因來自於人均GDP幾乎逐年上升造成的影響

(-4.28%)(如圖6)，雖然人均住宅面積逐年成長使密集度逐步惡化(2.07%)，相對於人均GDP的效果來說，影響不是很大。不過從另一個角度來看，若將實質住宅能源密集度改善(-1.4%)與表2中其他部門的子產業來比，對總體能源密集度的貢獻可以排進前五名，代表住宅內部實質能源使用效率相較於其他產業確實有明顯的提升，可能與政府2006年起致力於推動節能標章，鼓勵一般家戶購買較節能的家電有關。另外電價應該可能也是一重要因素，圖6中可發現2002-2005年間電燈電價平穩，實質能源密集度的就沒有甚麼改善，但隨著2005-2014年電燈電價劇烈上升，住宅能源使用效率就大幅改善，不過2015年電價回跌，後續可持續追蹤能源使用效率變動的情形。

5.4 三角貿易對能源密集度改善的影響

在2006-2011年間臺灣製造業海外生產占比大幅增加了11%，而海外生產之中，三角貿易在海外生產的占比又增加了4.38%，所以三角

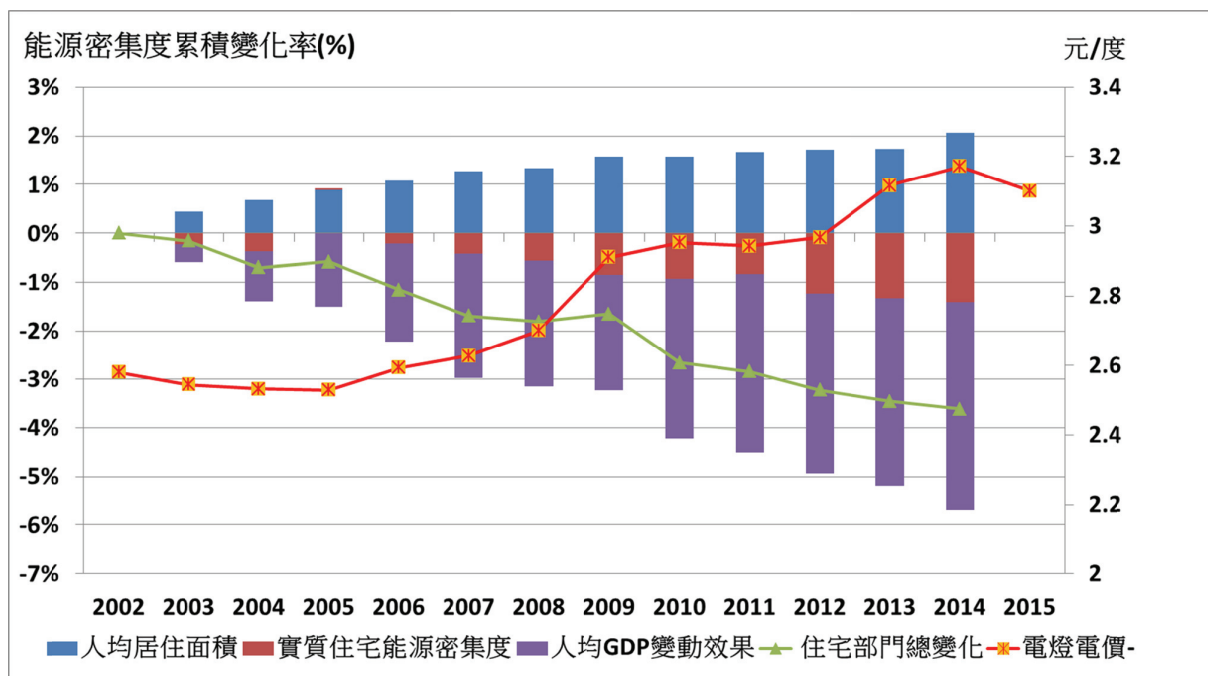


圖6 住宅部門能源密集度因素分解變化趨勢
資料來源：本研究分析

貿易在製造業營業收入占比總共增加了11.6% (主計總處，2013)，其中在資訊電子營業收入占比增加了19.2%、金屬機電2.2%、民生工業0.6%及化學工業0.2%，所以三角貿易的增加主要集中在資訊電子工業。不過由圖7可知，除了金屬機電工業外，三角貿易的增加幾乎對各產業密集度效果貢獻有限。而在金屬機電工業中實質的密集度效果惡化0.36%，內部三角貿易的效果-0.28%，所以整體金屬機電工業密集度效果只惡化0.08%，此代表不耗能的三角貿易增加確實造成了金屬機電工業密集度的改善。不過在資訊電子工業或其他產業卻沒有相同的效果，原因是這些資訊電子工業雖然三角貿易的營業收入佔比大幅上升，但資訊電子工業三角貿易的毛利率下降，反而造成三角貿易所貢獻的GDP占比由22.68%降至22.66%，未有顯著變化，而金屬機電工業三角貿易額占比，雖未明顯上升，但毛利率上升，使得三角貿易貢獻的GDP占比由3.2%上升至6.2%，所以對總體

能源密集度改善的效果比較明顯。綜結以上，2006-2011年間臺灣總能源密集度下降13.6%，而三角貿易的總效果只讓密集度下降0.3%，三角貿易的擴張，對這5年間的能源密集度下降，影響不大。不過目前資訊電子工業中的三角貿易GDP占比已經不低，未來若海外生產情形不如預期，或移回國內生產，使得三角貿易GDP占比大幅下降的話，可能會造成資訊電子工業能源密集度大幅惡化。

5.5 邊際效益分析

5.5.1 密集度效果邊際效益分析

上述的研究分析都是為了找出造成過去臺灣能源密集度下降可能的原因，但本研究仍進一步去檢視臺灣能源密集度未來若想要持續往下降，那些產業可能會扮演著舉足輕重的角色。為了探討未來短期內我國能源密集度改善的潛力，可進行密集度效果邊際效益分析，假

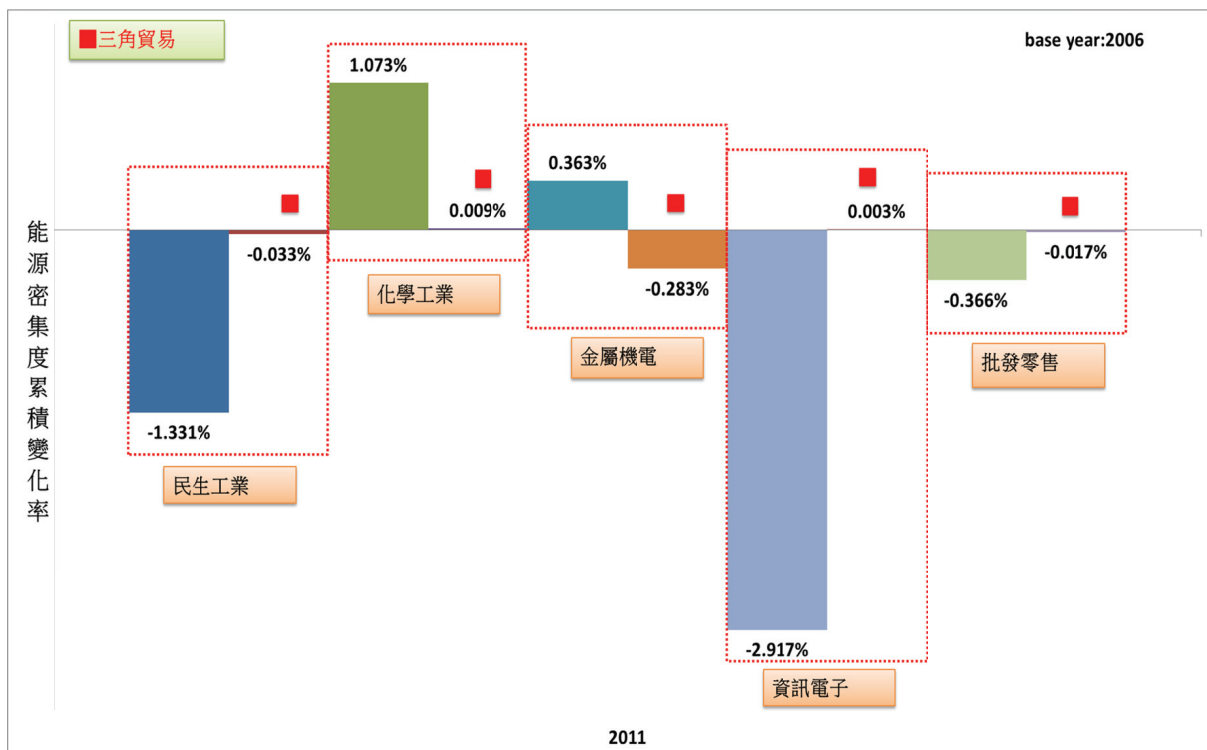


圖7 各產業的純密集度效果與三角貿易效果

註：圖中各產業的純密集度效果，已經扣除了部門內部的三角貿易效果
資料來源：本研究分析

設短期間內產業結構維持不變，若各產業的能源密集度皆下降1%，評估對總體能源密集度下降幅度的貢獻。由表3可看出在2014年的產業結構下，改善化學材料製造業、陸上運輸業與住宅的能源密集度是影響最大。另外也發現除了傳統上認知的高能源密集產業(如化材、基本金屬、非金屬製造業)能源密集度變化對總體能源密集度衝擊高外，一些低能源密集產業(如電子零組件、電腦電子產品及光學製品製造業)影響也不小，原因是他們能源密集度雖低，但GDP占比相當高，所以是高耗能產業，一旦密集度有所變化，對總體能源密集度的衝擊也不小。

5.5.2 結構效果邊際效益分析

除了產業本身的密集度變化邊際效果，另一方面也可評估產業結構本身的邊際效果，有助於思考長期下，產業轉型該往哪個方向前進。假設各產業能源密集度固定不變，維持在

2014年的水準，若各產業GDP占比上升1%，觀察各產業對總體能源密集度變化的貢獻。由表4的結果，揭露出極端不對稱的現象，低能源密集度產業GDP占比提升1%，整體的能源密集度只有微幅改善，但相對的，如果是能源密集產業的GDP占比提升，總體能源密集度就嚴重惡化，尤其化學材料製造業，甚至可使臺灣能源密集度惡化高達18%，遠大於政策訂立的每年改善2%的目標。此結果暗示著產業轉型的方向對臺灣未來能源密集度的變化有著深遠的影響，與其專注於擴大發展低能源密集度產業，倒不如減緩能源密集產業的發展或改生產高附加價值產品，以有效降低總體能源密集度，

6. 結論與建議

本研究透過因素分解，解析臺灣過去12年來能源密集度持續改善的可能原因，研究結果

表3 各產業密集度效果邊際效益

產業	貢獻比例	產業	貢獻比例
化學材料製造業	0.298%	漁業	0.005%
陸上運輸業	0.114%	機械設備製造業	0.005%
住宅部門	0.108%	運輸服務及倉儲業	0.004%
基本金屬製造業	0.064%	農牧及林業	0.004%
電子零組件製造業	0.063%	橡膠製品製造業	0.003%
工商社會及個人服務+其他	0.058%	資訊及通訊傳播業	0.003%
電腦、電子產品及光學製品製造業	0.033%	用水供應業及汙染整治	0.003%
石油及煤製品製造業	0.032%	金融保險及不動產業	0.002%
電力供應業	0.032%	營造業	0.002%
非金屬礦物製品製造業	0.029%	國內水運	0.001%
住宿及餐飲業	0.016%	礦業及土石採取業	0.001%
金屬製品製造業	0.016%	印刷業	0.001%
公共行政業	0.016%	其他製造業	0.001%
紡織成衣及服飾業	0.015%	電力設備製造業	0.001%
紙漿、紙及紙製品業	0.013%	藥品製造業	0.001%
塑膠製品製造業	0.013%	氣體燃料供應業	0.001%
運輸工具製造業	0.011%	木竹及家具業	0.001%
食品飲料及菸草業	0.011%	國內航空	0.001%
批發及零售業	0.010%	皮革及毛皮業	0.001%
化學製品製造業	0.008%	總計	1.000%

資料來源：本研究分析

表4 各產業結構效果邊際效益

產業	貢獻比例	產業	貢獻比例
化學材料製造業	18.376%	藥品製造業	-0.362%
陸上運輸業	7.845%	木竹及家具業	-0.390%
非金屬礦物製品製造業	4.732%	印刷業	-0.430%
紙漿、紙及紙製品業	4.078%	用水供應業及汙染整治	-0.555%
基本金屬製造業	2.381%	國內水運	-0.557%
塑膠製品製造業	2.320%	機械設備製造業	-0.567%
電力供應業	2.202%	礦業及土石採取業	-0.567%
石油及煤製品製造業	2.193%	運輸服務及倉儲業	-0.596%
紡織成衣及服飾業	1.802%	農牧及林業	-0.618%
化學製品製造業	1.007%	工商社會及個人服務+其他	-0.664%
漁業	0.877%	電子零組件製造業	-0.759%
橡膠製品製造業	0.764%	國內航空	-0.766%
氣體燃料供應業	0.338%	公共行政業	-0.779%
金屬製品製造業	0.287%	其他製造業	-0.791%
皮革及毛皮業	0.188%	電力設備製造業	-0.811%
運輸工具製造業	0.104%	營造業	-0.925%
電腦、電子產品及光學製品製造業	0.101%	資訊及通訊傳播業	-0.956%
食品飲料及菸草業	-0.020%	批發及零售業	-1.127%
住宿及餐飲業	-0.169%	金融保險及不動產業	-1.152%

資料來源：本研究分析

顯示密集度效果的改善是主因，更深入檢視，發現過去陸上運輸業、電子零組件、基本金屬與石油及煤製品製造業的能源密集度改善對密集度效果貢獻最多；而純結構效果起起伏伏，影響不大，與前人的研究成果相符，但經本研究仔細研究下發現，其實是因為一方面我國工業GDP的占比逐漸增加，服務業減少，原本這應該會導致能源密集度惡化，但另一方面幸好工業內部產業結構轉為以資訊電子業等較低能源密集產業，使得我國整體產業轉型對整體能源密集度的影響總是正負相抵，反映在純結構效果上，就是起起伏伏，此現象或許也反映出臺灣過去幾年致力於推動出口導向的高科技產業政策。

此外本研究也突破過往的研究，將耗能不小的住宅部門納入研究範疇，發現住宅部門的密集度效果影響臺灣整體能源密集度顯著。進一步將住宅密集度效果應用因素分解分析，發現人均GDP逐年增長的效果大於實質住宅密集

度改善效果與人均居住面積增長效果。另外在探討實質住宅密集度與總體能源密集度之間的關聯性時，也發現過去住宅部門實質的密集度改善效果相較於其他產業，對臺灣總體能源密集度改善的貢獻顯著，這也代表政府過去推動的住商節能政策，頗具成效。

政府將能源密集產業納入強制節能對象外，並大力推動節能標章以及對能源大用戶實施能源查核制度外可能是造成過去12年來密集度效果快速下降的原因之一，但研究也發現在電價的快速上揚的期間，實質住宅密集度效果有顯著的改善。所以除了政府政策外，電價可能也是影響能源密集度的重要因素之一。

同時，透過實證研究中發現，雖然2006-2011年間幾乎不耗能的三角貿易大幅興起，但因為毛利率下降所以並未造成GDP大幅增長，以至於三角貿易增長的效果，對臺灣這段期間能源密集度的改善貢獻微乎其微。不過受限於三角貿易近十年才大幅興起且相關的資料只能

從每五年一次的工商業普查取得，資料量少，無法做長期的趨勢追蹤，因此本研究只針對2006年至2011年間做初步的探討，後續有更新的資料出來，可持續追蹤，但無法進一步得知2006之前，三角貿易的興起是否為造成能源密集度改善的重要因素之一。

雖然過去12年來陸上運輸業、電子零組件、基本金屬與石油及煤製品製造業對臺灣整體的能源密集度改善的貢獻最多，但基於密集度效果邊際效益分析，未來短期內，若化學材料製造業、陸上運輸業與住宅能源密集度能持續改善，對臺灣未來總體密集度變化影響最為重大，建議可考慮列入重點改善目標；本研究的分析結果也發現除了傳統的能源密集產業外，高耗能(如電子零組件)產業的密集度的變化，對未來臺灣能源密集度也影響重大，此結果也與2015年召開的全國能源會議的共同決議-新增電子及紡織納入強制節能對象可相互呼應。不過本研究的密集度效果邊際效益分析，只分析在各產業能源密集度改善率相同下，對臺灣總體能源密集度影響程度，並未將各產業能源效率改善所需的成本以及效率改善的難易度納入考量，而且分析結果會隨著時空環境的遷移而不同，所以此結果只能作為政府後續篩選能源效率重點管制對象的參考指標之一。

雖然經過政府多年來的努力，已於2014年提早達成2015年的能源密集度目標，但長期而言，除了過往政策須持續推行外，還是得同時調整產業結構。建議可持續透過結構效果邊際效益分析，找出關鍵產業，依本研究的結果顯示，臺灣仍須減少對能源密集產業(如化學材料製造業)的依賴，或協助其轉型，持續以工業服務化或發展客製化及多元化產品以提升產品附加價值為策略方針，以逐漸改善其能源密集度以及臺灣總體能源密集度的結構效果，協助臺灣達到2025年的能源密集度政策目標。

此外儘管本研究可以探究何種產業的密集度效果對臺灣能源密集度改善貢獻最大，可是受限於資料取得困難，本研究沒有繼續將各產

業細分至公司層級，因此無法得到更細部的結構效果，也就無法確認各產業密集度效果改善是來自於公司本身實質的能源使用效率提升，還是產業內部的結構效果造成的。同時本研究的實質GDP採舊的編制方法及間接推估而得，也不易直接與政府公布的資料相對應。而運輸部門也應設法將無GDP產值的私人運輸能源使用量拆出討論，以更合理的評估運輸部門與私人運輸的能源密集度變化情形，以上種種限制皆為後續研究可持續努力的方向。

參考文獻

- 王京明、黃大薇，1996，臺灣製造業能源消費因素分解暨全要素生產力分析，財團法人中華經濟研究院，臺北市。
- 台灣電力股份有限公司，2014，歷年平均電價，<http://www.taipower.com.tw/content/govern/images/%E6%AD%B7%E5%B9%B4%E5%B9%B3%E5%9D%87%E9%9B%BB%E5%83%B9.pdf>。
- 主計總處綜合統計處國民所得科，2012，統計專題研究報告-以連鎖法衡量經濟成長率，<https://www.dgbas.gov.tw/public/Attachment/412291641585LG6LH5T.pdf>。
- 主計總處，2013，工商及服務業普查，<http://www.dgbas.gov.tw/public/data/dgbas04/bc2/12-nnnnnn.html>。
- 主計總處，2014，歷年國內各業生產與平減指數(SNA93)。
- 主計總處，2014，家庭收支調查報告。
- 主計總處，2015，歷年國內各業生產與平減指數(2008SNA)。
- 主計總處，2015，國民所得統計常用資料。
- 李堅明、曾瓊瑤，2003，淺論住商與運輸部門能源效率分析，能源資訊網/節能專家園地(<http://emis.erl.iti.org.tw/searea/sepro/list.asp>)。
- 吳銘峰、張四立，2003，製造業能源效率指標

- 的臺灣實證研究，國立臺北大學資源管理研究所碩士論文。
- 林麗貞，2008，臺灣中期經濟成長、結構轉型與節能減廢計量分析，綜合規劃研究：96及97年，國家發展委員會，臺北市，pp. 133-164。
- 胥愛琦、許志義，1992，臺灣能源密集度變動之因素分解，國立政治大學經濟學系研究所碩士論文。
- 柏雲昌、李翊綸、陳玟綺，2010，我國終端面能源效率之追蹤分析，中華民國能源經濟學會九十九年年會暨學術研討會論文集，中華民國能源經濟學會，臺北。
- 黃群達、林素貞，2006，住宅與商業部門能源消費及二氧化碳排放特性與趨勢變動分析，國立成功大學環境工程研究所碩士論文。
- 黃啟峰、黃一德、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，第一卷，第一期，pp. 105-118。
- 黃鈺愷、孫立群、許志義，2014，臺灣經濟發展各階段之能源消費與密集度變動之分析，中華民國能源經濟學會優秀碩士論文。
- 黃韻勳，2015，影響我國能源密集度之關鍵因素，工研院產經中心：節約能源與效率提升發展策略研究計畫(1/3)。
- 楊晴雯，2012，能源效率之衡量及其與環境政策工具的關聯，經濟研究(Taipei Economic Inquiry)，臺北大學經濟學系，48: 2，pp. 287-317。
- 經濟部能源局，2014，103年能源統計手冊。
- 經濟部能源局，2015，104年能源平衡表。
- 經濟部能源局，2015，能源統計月報。
- Ang, B.W., 1995, Multilevel decomposition of industrial energy consumption, *Energy Economics*, Volume 17, Issue 1, Pages 39-51.
- Ang, B.W., 2004, Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, Volume 32, Issue 9, Pages 1131-1139.
- Ang, B.W., X.Y. Xu, 2013, Tracking industrial energy efficiency trends using index decomposition analysis, *Energy Economics*, Volume 40, Pages 1014-1021.
- Granel, Frédéric, B.W. Ang, 2003, A comparative analysis of index decomposition methods, Department Industrial and Systems Engineering, National University of Singapore.
- Hoekstra, Rutger, Jeroen J.C.J.M. van der Bergh, 2003, Comparing structural and index decomposition analysis, *Energy Economics*, Volume 25, Issue 1, Pages 39-64.
- International Energy Agency (IEA), 2015, *Energy Technology Perspectives 2015*.
- Xu, X.Y., B.W. Ang, 2013, Index decomposition analysis of energy consumption and carbon emissions: some methodological issues, Department Industrial and Systems Engineering, National University of Singapore.

Taiwan's Changing Energy Intensity Trend - A Multilevel Index Decomposition Analysis

Wei-Hong Hong^{1*} Fu-Kuang Ko²

ABSTRACT

There are many studies focusing on tracking Taiwan energy intensity from top-down in the past, but almost all the studies lacked of finer comparison among different level due to using single-level decomposition. Therefore, in order to elaborately research structure effect and intensity effect at different level, this study uses multilevel-hierarchical index decomposition analysis based on Shapley/Sun method to analyze the trend of Taiwan's changing energy intensity (EI) from 2002 to 2014. The influence of Residential Sector and triangular trade on the total EI trend is also included in the study. The results show that total EI decreasing over the past few years in Taiwan is mainly due to the effect of “pure EI change” excluding the structure effect, including Industrial Sector, Transport Sector, Residential Sector and etc. We also find that Electronic Parts Manufacturing, Basic Metal Industries, Petroleum and Coal Products Manufacturing are major subsectors contributed to the pure industrial EI change. However, triangular trade and structural change effect make little contribution to the total EI change due to high-tech oriented policy. In the sensitivity analysis, the study found that government should not only focus on improving energy efficiency of high energy-consuming industry but also keep tracking high-EI industry and supervising its energy efficiency improvement. In addition, the GDP structure should be transformed from Industry Sector to Service Sector, Service-oriented Manufacturing Industry and other low-EI industry, so that the total EI will continue to improve to meet the policy target.

Keywords: Multilevel Index Decomposition Analysis, Energy Intensity, Industry Structure

¹ Research Assistant, Center of Energy Economics and Strategy Research, Institute of Nuclear Energy Research.

² Researcher and Deputy Director of Center of Energy Economics and Strategy Research, INER.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-4711400#2726, E-mail: Charlie@iner.gov.tw

Received Date: January 4, 2016

Revised Date: May 4, 2016

Accepted Date: May 29, 2016