

電力排放係數與再生能源憑證之關係

連興隆／國立高雄大學土木與環境工程學系教授
莊昇勳／石門山綠資產有限公司總監兼I-REC共同創辦人

一、前言

根據能源局2016年度我國燃料燃燒所致的溫室氣體排放量統計，我國2015年工業部門的範疇二溫室氣體總排放量為11,984萬公噸二氧化碳當量，佔所有部門溫室氣體總排放量的47.84%，其中因電力使用所排放之溫室氣體為7,991萬公噸二氧化碳當量，佔工業部門溫室氣體

總排放量66.68%（如圖1）[1]。這部分電力的使用主要是台灣半導體、面板、電子業等高科技產業生產所需，其產能很重要的一大部分是需要靠電力來做支撐。由於台灣的發電主要是以火力發電為主，故以使用電力為主的製造業其範疇二溫室氣體成為主要之排碳來源。

因此政府積極推動再生能源的使

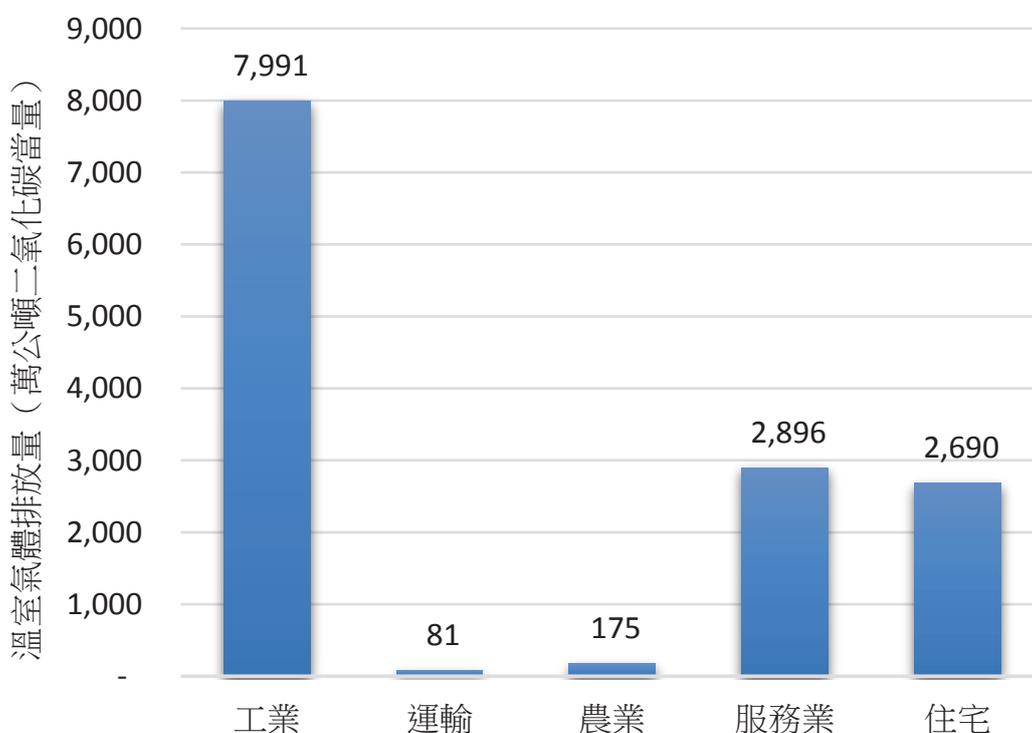


圖1 各類別範疇二之CO₂排放量[1]

表1 自願性綠色電價認購數量[2]

年	2014年	2015年	2016年
公告認購數量	4,345,000度	784,000,000度	1,000,000,000度
實際認購數量	4,241,865度	156,369,100度	270,280,400度

用，訂定了再生能源發展條例，希望有效的利用再生能源改善環境品質，達成2025年再生能源發電占比20%的目標。從民國98年開始政府開始推廣FIT（Feed-in Tariff）的躉購電價制度、103年的自願性綠色電價認購以及106年再生能源憑證制度，希望藉由這些制度性誘因發展再生能源，讓能源轉型隨著電力改革蓬勃發展，解決台灣工業部門因外購電力所排放之大量溫室氣體。

經濟部於103年7月推行為期3年的「自願性綠色電價制度試辦」，103年~105年度期間的公告認購數量與實際認購數量如表1所示[2]。

自願性綠色電價認購試辦三年，認購度數逐年上升達2.7億度，這些工業部門的認購除了彰顯其企業社會責任的價值外，也希望能降低製造過程因電力所排放之溫室氣體量。然而，台電公司核發之綠電購買證書並不具市場可交易性及無法與國際接軌的問題[3]，造成在執行溫室氣體盤查作業時，這些認購的綠色電力不能抵換範疇二的排放。

我國為了加速綠色產業鏈及再生能源發電達到總發電量20%的目標，於106

年5月發行第一張再生能源憑證（Taiwan Renewable Energy Certificate，以下簡稱T-REC）。T-REC與國際上發行的憑證有一個重要的共通點，就是使用追蹤系統（tracking system）。在自願性綠色電價認購試辦期間，因為無法得知使用的電力為「純綠電」，因此一些外國企業對在台購買綠色電力有所遲疑。然而T-REC解決了無法追溯來源的問題，根據自願性再生能源憑證實施辦法指出，申請核發憑證前須辦理發電設備查核及發電量查證[5]，這表示未來使用的綠色電力是可以利用追蹤系統得知使用的電力來自於哪個再生能源發電案場及發電設備。對於範疇二溫室氣體盤查，環保署也已同意標準檢驗局核發之再生能源憑證可作為我國溫室氣體盤查之用電端間接排放量之計算工具，當持有憑證的企業進行溫室氣體排放盤查時，可以國家公告之再生能源排放係數計算持有之憑證相對電量的溫室氣體排碳量。而能源局於今年公布的105年電力排放係數，業已採註記方式公布再生能源的排放係數，即「本計算水力發電、太陽光電、風力發電、地熱發電之再生能源發電設備於發

電過程未使用化石燃料，爰無溫室氣體排放」。因此，再生能源憑證可證明企業使用之電力為再生能源，與相對應之溫室氣體減量效益[6]。

減碳是政策引導（Policy-driven）的結果，雖然仍是有以社會責任自許的企業存在，然而政府的法規搭配卻更重要，如果因為部會間的介面未能整合，或是法規無法引導減碳的作為，例如，綠電認購無法讓企業擁有再生能源所具有的環境效益，電力排放係數限制再生能源的推動，那只會事倍功半，也令企業縱使有心，也無力以對。本文，主要探討在電業法修正通過“綠電先行”的政策指引之後，我國目前最新推動的再生能源憑證制度所面臨的挑戰與機會。在第一階段以推動再生能源自發自用為主的T-REC，如何面對既有的相關法規，如：溫室氣體減量及管理辦法（排放額度與溫室氣體減量額度）、再生能源發展條例（躉購電價）、電業法、電力排放係數計算標準作業程序（電力排放係數）等等，透過介面的整合達到憑證最初設立的目的。本文在此將提出確實可行的操作步驟與時程建議，冀盼政府在推動此一政策時，起步就在正確軌道上運作與國際接軌，成為推動企業減碳的助力。由於憑證制度的成功關鍵與電力排放係數息息相關，因此，本文以情境

分析，指出再生能源憑證制度須有合適的電力排放係數（我們稱剩餘混合電力排放係數residual mix emission factor）做配套的必要性。

二、再生能源憑證對電力排放係數之影響

電力排放係數係依據聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）發布之2006年版國家溫室氣體清冊指南及第四次評估報告所列，主要是提供一個國家每生產一度電力所相對應產生的溫室氣體排放量，以台灣為例，能源局公告106年的電力排放係數是0.554公斤二氧化碳當量/度。極端而言，如果一個國家的電力皆由再生能源所供應，將沒有範疇二因電力使用造成的溫室氣體排放量，如此，它的電力排放係數將是零。一般而言，一個國家的電力排放係數的下降，往往也意味著再生能源使用率的提升。電力排放係數的主要功能是，提供該國企業計算其使用電力所造成的範疇二間接排放溫室氣體總量。電力排放係數正式公式可參考經濟部能源局提供資料[7]，本文為求簡化數學計算，以相對簡單的方式表示如下：

$$\text{電力排放係數} = \frac{\text{溫室氣體排放量}}{\text{銷售電量}} \quad (1)$$

其中，銷售電量 = 當年度銷售之發電量總和，包括火力、核能、再生能源等。

為簡化問題，我們將以情境模擬進行分析，並做以下之假設。同時，利用無因次分析概念 (dimensionless analysis) 消除單位的困擾，協助讀者專注於數字的變動與其代表之意義：

假設一：在2025年非核家園達到之後，核能發電為 0，總發電量 = 火力發電 + 再生能源發電。

假設二：台灣的總發電量是由 80 % 火力發電與 20 % 再生能源發電所組成。為簡化計算上的問題，我們設定每 1 單位火力發電會產生

相當於 1 單位溫室氣體排放量，再生能源溫室氣體排放量為 0。

假設三：為簡化計算上的問題，我們設定再生能源發電產生的每 1 單位電力，相當於 1 單位之再生能源憑證發行量 (以下簡稱 REC)。

假設四：台灣的年總發電量為 100 個電力單位，則總溫室氣體排放量及總 REC 發行量可彙整如表 2。

假設五：台灣的總發電量都提供給 5 家企業，A、B、C、D、E，做生產之用，每家企業用電量皆一樣，分別使用 20 單位。

以下將針對三種情境進行模擬與分

表2 情境分析之基本參數設定

	單位發電量	溫室氣體排放當量	可提供之REC發行量
80 %火電	80	80	0
20 %再生	20	0	20
總計	100	80	20

表3 情境一之模擬，各企業之碳排量分析

公司	單位用電量 (A)	電力排放係數 (B)	溫室氣體排放當量 (C = AxB)
A	20	0.8	16
B	20	0.8	16
C	20	0.8	16
D	20	0.8	16
E	20	0.8	16
總計	100		80

析，分別是：情境一、台灣不實施再生能源憑證制度，REC發行量為0；情境二、台灣實施再生能源憑證制度；情境三、有關T-REC採用自發自用之問題探討。

情境一、台灣不實施再生能源憑證制度，REC 發行量= 0

由公式（1）及表一可計算台灣的電力排放係數為0.8：

$$\text{電力排放係數} = \frac{\text{溫室氣體排放量}}{\text{銷售電量}} = \frac{80}{100} = 0.8$$

因此，每家企業的溫室氣體排放量就是各別用電量乘上電力排放係數，如表3所示：

雖然台灣剛實施了再生能源憑證制度，但實際效應尚未顯現（情境分析三將進一步說明），因此，情境一這種情形與台灣現況仍頗為近似，也就是所有企業皆使用相同的電力排放係數，至於再生能源所產生之20單位電力的減碳效果，也讓各企業雨露均霑的給平分了。這其中的幾個問題需要思考：第一、主要的再生能源電力從何而來？是依躉購電價由台電購入的平均相對高成本的綠色電力，換言之，這些減碳效果是由納稅義務人去補貼的，企業未盡任何努力即平白獲得減碳的好處，是否公允？另一方面，綠色電價的本意是要使企業透過購買綠電來證明其使用之電力為再生

能源所出，作為折抵企業溫室氣體排放量的依據，其實是回應上述不公允的一種作法。

情境二、台灣實施再生能源憑證制度

再生能源憑證代表使用再生能源電力之證明，透過“持有”與“未持有”憑證達到對溫室氣體減排量重分配的依據。所以持有者可依再生能源電力排放係數計算範疇二溫室氣體排放量，因此，在計算總發電量時，必須先扣除企業購入之REC發行量，此一概念在GHG Protocol Scope 2 Guidance稱之為「剩餘混合」（Residual mix）[8]，也就是在電網上沒被分配到具體終端客戶的，以及其他使用再生能源客戶“用剩”的電力。如果客戶所購電力的來源未得到可靠追蹤證書的再生能源認證或專屬之購電合約（power purchase agreement, PPA），該客戶買到的電力就是剩餘混合中的電力[8]：

$$\text{剩餘混合} = \text{銷售電量} - \text{再生電力憑證 (REC) 使用電量} \quad (2)$$

因此，當考量再生能源憑證擁有自己的電力排放係數後（以太陽能、風力為例，其係數為零），在其他非再生能源的電力排放係數的計算上需做調整，我們稱之為“剩餘混合”電力排放係數

(Residual mix factor) [9-10]：

$$\text{剩餘混合電力排放係數} = \frac{\text{溫室氣體排放量}}{\text{剩餘混合}} \quad (3)$$

由公式(3)及表2可計算台灣的剩餘混合電力電力排放係數，這個計算會在年度結算時得出。

$$\text{剩餘混合} = 100 - 20 = 80$$

$$\text{剩餘混合電力排放係數} = \frac{\text{溫室氣體排放量}}{\text{剩餘混合}} = \frac{80}{80} = 1.0$$

此一結果顯示，當有REC存在且被企業持有時，剩餘混合電力排放係數值會提高，因為持有者已經取得該REC所擁有之零碳排電力排放係數，未持有者自然須分擔火力發電之碳排放。

假設A企業購買了所有的20單位的REC，依前述假設三，“再生能源發電產生的每1單位電力，相當於1單位之再生能源憑證發行量”，則每家企業的溫

室氣體排放量就是各別用電量乘上剩餘混合電力排放係數再扣除REC值，如表4所示：

比較情境一與情境二之結果，我們可以發現：

1. 溫室氣體排放總量是物理的事實，不會因為制度設計（有REC或沒有REC）而不同，所以總排放量都是80二氧化碳當量。
2. 制度的設計影響的是電力排放係數的大小。有REC制度，可實質反映火力發電的二氧化碳排放量；沒有REC制度，電力排放係數被再生能源的零碳排稀釋，無法準確的反映火力發電的實質減碳作為（意思是火力發電本身亦可以透過適當的減量技術或能源效率的提升來達到二氧化碳減量效果，這部分除非扣除再生能源的貢獻，否則無法在電力排放係數中直接看

表4 情境二之模擬，各企業之碳排放分析

公司	原始用電量 (A)	REC數 (B)	調整後剩餘混合用電量 (C, C=A-B)	剩餘混合電力係數 (D)	再生能源電力係數 (E)	溫室氣體排放當量 (F= B×E + C×D)
A	20	20	0	1	0	0
B	20	0	20	1	0	20
C	20	0	20	1	0	20
D	20	0	20	1	0	20
E	20	0	20	1	0	20
總計	100	20	80			80

表5 當台電電網之外，另存一個獨立電力系統之情境分析的基本參數設定

台電總量	單位發電量	溫室氣體排放當量	可提供之REC發行量
80 %火電	80	80	0
20 %再生	20	0	20
總計	100	80	20
B企業，自發自用	10	0	10

出)。

3. 透過REC制度，可以看出哪些企業願意在減碳上做出貢獻，而非吃大鍋飯。
4. 在沒有實施REC制度時，再生能源電力的量越多，電力排放係數就越低。就企業而言，越低的電力排放係數對其碳揭露報告越有利。但就現階段的政府與繳稅金的納稅者而言，再生電力越多，代表的是躉購制度的補貼越多，是全民買單的概念。對企業而言，它們享受具環境效益的電力，但不用負擔再生電力的補貼成本。這種相對的不公平的現象我們稱之為搭便車者效應 (Free Rider Effect)。
5. 比較相對公平的作法是，政府不需補貼再生能源，改採使用者付費。換言之，透過REC，使用者購入REC，宣告其使用再生電力；未購入者（不願意負擔環境效益成本者），仍使用扣除再生能源電力之剩餘混合電力排放係數計算其碳排放量。透過較高的係數，實質反映其碳排放量，故在相同

條件下，使用綠電者，碳揭露報告值較低，非使用綠電者，報告值較高，合理反映實際情形。

情境三、有關T-REC採用自發自用之問題探討

我國目前推動的再生能源憑證制度 (T-REC) 主要是採再發自用方式或未獲躉購電價補貼之電力，也就是企業因為電力需求，自行建置之再生能源設施所產生之電力，將其轉化為憑證。這樣的電力來源，顯示該企業產生之再生能源電力並未併入台電電網中，故未被記入台電（台灣）的總發電量之內，屬獨立的電力系統。在此，我們假設B企業具備自發自用之電力系統，發電量為10個電力單位，因此可產生10單位的REC（未免生混淆，以下將註明「自發自用REC」），如表5所示。

由於自發自用的電量不在台電的總量範圍內，因為剩餘混合電力電力排放係數的計算數據並未計入自發自用的部分：

$$\text{剩餘電力混合電力排放係數} = \frac{\text{溫室氣體排放量}}{\text{剩餘混合}} = \frac{80}{100-20} = 1.0$$

今假設B企業將其「自發自用REC」的10個單位賣給C企業，則此時各企業間的碳排放量將如表6所示，B企業的REC數歸零，而C企業因為購入B企業的「自發自用REC」，故使碳排放量得以因為使用REC作為盤查依據，適用再生能源排放係數的計算。

當該企業把減碳的效益轉換成REC時，就表示該企業的減排環境效益（相

對火電）將隨它的REC交易出去時，同時交給了購入者。因此，碳平衡分析應如表六所示，它原本再生能源自發自用產生的電力，將被視為是火電電力（表6、「B自發自用」欄位所示）。另一方面，如果B企業把它的「自發自用REC」保留不賣出，自然，它的環境效益仍為B企業所有，故在碳揭露申報上，此部分之電量的排碳就是0，如表7「B自發自用」欄位所示之結果。

由表6與表7的分析，我們可歸納出

表6 情境三之模擬，各企業之碳排放分析：假設B企業把「自發自用REC」賣給C企業

公司	原始用電量 (A)	REC數 (B)	調整後剩餘混合用電量 (C=A-B)	剩餘混合電力係數 (D)	再生能源電力係數 (E)	溫室氣體排放當量 (F=BxE+CxD)
A	20	20	0	1	0	0
B	20*	0	20	1	0	20
B (自發自用)	10	0	10	1	0	10
C	20	10	10	1	0	10
D	20	0	20	1	0	20
E	20	0	20	1	0	20
總計	110	30	80			80

表7 情境三之模擬，各企業之碳排放分析：假設B企業把「自發自用REC」保留不賣出

公司	單位用電量 (A)	REC數 (B)	調整後剩餘混合用電量 (C, C=A-B)	剩餘混合電力係數 (D)	再生能源電力係數 (E)	溫室氣體排放當量 (F=BxE+CxD)
A	20	20	0	1	0	0
B	20*	0	20	1	0	20
B (自發自用)	10	10	0	1	0	0
C	20	0	20	1	0	20
D	20	0	20	1	0	20
E	20	0	20	1	0	20
總計	110	30	80			80

以下重點：

1. 本分析是建立在預知台電電網系統外，仍存在自發自用的獨立電力系統的前提下，才可以得到的正確分析，也就是說，再生能源憑證發證單位如何與計算電力排放係數的主管單位相互勾稽，是重要關鍵。
2. 企業自發自用的原始目的如果是減碳為主，也就是要達成再生能源發電之環境效益。如此，自發自用的T-REC「願意交易性」將非常低，或者說，可預期的未來，在市場上的流動性將非常低，因為，企業好不容易減下來的碳排放量，自身使用都不足，怎會想要賣出？這種情形的原始持有者（自發自用業主），不但使用其電力，也保有其環境效益，他本身擁有的T-REC其實就是「個人專屬的」bundle的再生能源憑證。
3. 如果原始持有者（自發自用業主），願意售出其T-REC，則這種情形是他使用了再生能源產生之電力，但放棄其環境效益，此時的T-REC就是典型的unbundle的再生能源憑證。
4. 要創造市場上T-REC的流通性，必須是來源端本身不需要保留其環境效益。如果來源端是製造業，它本身就需要再生能源的環境效益，即使它能產生T-REC，願意提供交易的意願將非常

低。因此，這類不需要保留其環境效益的來源端，其實不是製造業，而是能源業者為主。現階段最容易推動的能源業者是未享受躉購電價補貼或補貼低於現行平均電價的發電業主。

5. 現階段T-REC採自發自用，不影響電力排放係數之計算，換言之，不須牽涉到剩餘混合的問題。自發自用的T-REC在交易上雖然可行（即使流通性非常低），但應該在T-REC的交易紀錄與環保署（溫室氣體主管機關）建立勾稽制度，須避免外來者效應之誤導，造成全國總量計算上的重複計算。

其中，現階段T-REC採自發自用，不影響電力排放係數之計算（就是現行排放係數值將與剩餘混合電力排放係數相同），簡單說明如下：

當勾稽制度存在時，能源局可預知自發自用的發電量與憑證發售量，因此，剩餘混合電力排放係數的計算如下：

$$\text{剩餘混合電力排放係數} = \frac{\text{溫室氣體排放量}}{\text{剩餘混合}} = \frac{80}{110-30} = 1.0$$

其結果與不考慮自發自用的情形完全相同。這其實不難理解，因為再生能源自發自用的電力未計入台電總電量，所以在計算電力排放係數上，分母的總電量的增加量為0，同時，因為沒有碳排放，所以分子的二氧化碳總排放量的增

加量亦為0，故電力排放係數完全不受自發自用者的影響。

三、台灣再生能源憑證推動步驟建議

由於再生能源憑證牽涉到電力排放係數的計算，需進化到剩餘混合電力排放係數，以及後續企業在申報碳抵換所需之介面整合，因此，我們在此提出T-REC在台灣推動的三個進程與步驟之建議：

步驟一、（已完成）自發自用。這是一個好的起手式，進入障礙最低，確實可行，重點是宣示與教育，讓大家相信政府是確實在落實推動再生能源政策，也透過整個過程，教育大家REC的使用與目的。優點包括：不影響電力排放係數，阻力最小；也是Bundle與unbundle再生能源憑證類別的絕佳示範。但無論如何，售出與購入需有可以勾稽的平台，缺點則是市場的流通性不足。

步驟二、選擇可創造市場流動性的再生能源標的來進行T-REC認證。要創造市場上T-REC的流通性，必須是來源端本身不需保留其環境效益，如果來源端是製造業，它本身就需要減碳量，即

使能產生T-REC，願意提供交易的意願將非常低。這類不需要保留其環境效益的來源端，其實就是能源業者為主。現階段最容易推動的能源業者是未享受躉購電價或補貼低於現行平均電價的發電業主。透過認證此類發電產生電力之REC，一方面為發電業者帶來業外營收，也提供市場流動性高的T-REC。這個階段的目的是活絡再生能源憑證市場，邁向成熟化的市場過渡期。

步驟三、透過憑證市場的建立與穩定發展，逐步引導並推動躉購電價機制退場，使搭便車者效應能被排除。就現階段的躉購制度，再生電力越多，代表的是FIT的補貼越多，是全民買單的概念。對企業而言，它們享受具環境效益的電力，但不用負擔再生電力的補貼成本，對政府與繳稅金的納稅者而言，這是一種相對的不公平。因此，當憑證市場成熟後，政府應透過憑證價格的市場機制，去取代補貼得躉購電價，此時，台灣的電力自由化才算完成其中一塊拼圖。

四、參考文獻

1. 我國燃料燃燒二氧化碳排放統計，105，經濟部能源局。
2. 經濟部自願性綠色電價制度試辦計畫，103、104、105年度自願揭露綠電認購名單。
3. 台灣經濟研究院，106，經濟評論。
《電業法》修法後，自願性綠色電價制度何去何從，取自<http://www.tier.org.tw/comment/tiermon201706.aspx>
4. 經濟部自願性綠色電價制度計畫，民國106年。
5. 自願性再生能源憑證試行要點，106，經濟部標準檢驗局。
6. 連興隆、莊昇勳，淺談再生能源憑證與品質標籤，106，再生能源憑證中心，取自<https://www.trec.org.tw/news/2017-07-14%2012-49-46>
7. 106 年度電力排放係數，107，經濟部能源局。
8. Mary Sotos, GHG Protocol Scope 2 Guidance. World Resources Institute, 2015.
9. Öko-Institut e.V. Final Report from the project “Reliable Disclosure Systems for Europe (RE-DISS) – Phase II” , pp 47, Nov., 2015.
10. USEPA, Greenhouse Gas Inventory Guidance Indirect Emissions from Purchased Electricity, pp8-9, Nov., 2016.