

全球再生能源展望對臺灣能源安全的意涵

—為了讓能源系統順利轉型，需要建構更創新的投資環境與政策

周桂蘭

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

從全球再生能源展望中，發現目前太陽光電及風力發電已經大幅改善與傳統化石能源的成本競爭力，再生能源佈局對國家經濟發展及產業結構轉型具有顯著效益，但是需要有更創新的投資環境與政策。為了讓能源系統順利轉型，國際主要研究機構或國家紛紛提出因應策略，本研究從再生能源發電因應策略與能源三難指標之間的關聯性分析，提出未來我國再生能源政策需要強化及改善的建議：(1)我國低碳市場環境亟待建立反應外部成本的市場機制，並進行化石能源補貼的改革，才能創造再生能源發展的有利空間及更大的競爭力，吸引更多的創新科技投入；(2)未來政策需要鼓勵私人資金參與投資及創新的綠色信貸機制，才能創造有競爭力的綠能產業供應鏈；(3)可變動再生能源併網穩定供應的決策目標應該綜合考量併網相關配套措施及評估相關併網成本，避免所得分配不公平，造成納稅人的賦稅負擔。

關鍵詞：再生能源

一、前言

2015 年在巴黎召開的聯合國氣候綱要公約(UNFCCC)第 21 次締約國大會(COP21)是再生能源發展的重要關鍵時刻，與會國家及企業領袖再次確認再生能源快速轉型是達成能源永續發展與避免氣候變遷惡化的實際可行途徑。全球推動再生能源的獎勵政策型態呈現多樣化，包括設備直接補助、電價補助或租稅減免等。其中，以德國於 1999 年採用的固定電價收購機制(Feed-in tariff, FIT)帶動了再生能源快速發展，目前已成為各國推動再生能源的政策主流，估計約有近 80 個

國家採用 FIT 制度。隨著再生能源成本下降趨勢，為了因應市電同價 (grid parity) 的來臨及避免過度不公平的補助，近幾年競標機制及淨電量制呈現快速上升趨勢。另外，為了擴大再生能源應用的範圍，已有 20 多個國家制定再生能源熱冷利用政策；60 多個國家實行生質燃油義務或強制摻配機制。(錯誤！找不到參照來源。)

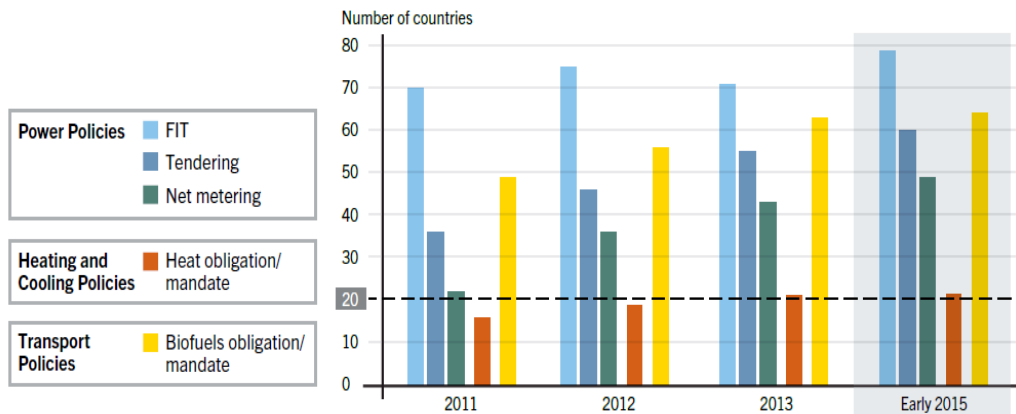


圖 1、全球再生能源政策型態趨勢(2011~2015 年)錯誤！找不到參照來源。]

本研究蒐集主要國際機構的研究報告，進行全球再生能源展望深入分析，主要的研究目的有三大項：(1)分析再生能源發展需要突破的瓶頸及因應策略；(2)探討再生能源高占比發電目標與執行措施對我國能源安全的意涵。再生能源對達成溫室氣體排放控制目標及國家能源安全目標，被國際間賦予極大的期望，因此，本研究成果將有助於我國未來再生能源發電朝向高占比目標邁進時，擬定穩健及全面性的政策推動措施。

二、 再生能源展望

根據 IRENA 對再生能源發展的經濟性評估錯誤！找不到參照來源。], 2030 年全球 GDP 變動將因為再生能源發展而上升在 0.6~1.1% 範圍。透過再生能源佈局，帶動再生能源設備製造業興起，進而產生更多的產品及服務業的投資，將影響產業結構的變動，化石燃料部門的產業結構占比將下降 2.8~3.7%，再生能源製造業部門占比將提升

1.3~2.4%。為避免產生非永續性能源系統的投資鎖住效果(Lock-In)，尤其是電力部門，應該要加速擴大導入再生能源，才能實現上述的GDP正面效益。因此，對於再生能源未來展望，包括電源結構占比、均化發電成本，詳述如下。

(一) 再生能源發電占比

不同國際機構對再生能源占比(占初級能源供給或總發電量的比例)，提出不同的展望趨勢。**錯誤! 找不到參照來源。**比較不同國際機構的再生能源發展基準情境及積極情境下的再生能源發電占比未來展望。再生能源發電占比展望(2030~2040 年)，國際能源總署(IEA)**錯誤! 找不到參照來源。**及國際再生能源總署(IRENA)**錯誤! 找不到參照來源。**的基準情境估計約在 33~34%，但是積極情境可達到 48~53%。將臺灣的能源開發政策(非核及中度電力需求情境)估計的發電結構占比與 IEA 全球發電結構占比作一個比較，如圖 3 所示，可發現臺灣在非核家園及溫室氣體減量的願景下，2035 年核能發電占比為零，燃煤發電顯著下降 10%，燃氣發電顯著大幅提升 21%，以彌補核能及燃煤發電的缺口。另外，2035 年非水力的再生能源發電占比相對於 2014 年，將成長 5.4 倍。臺灣的燃煤與非水力再生能源發電結構占比展望與全球趨勢接近一致。

再生能源發電占比推估

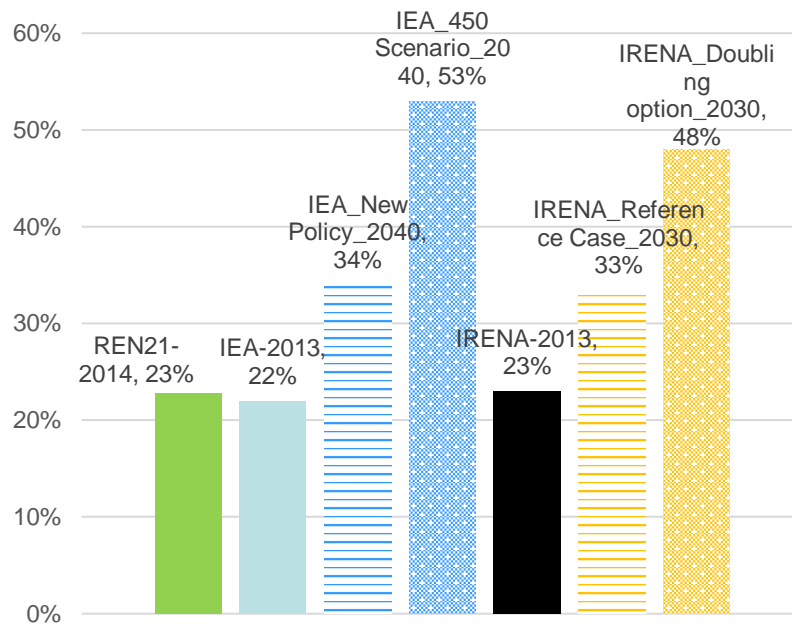
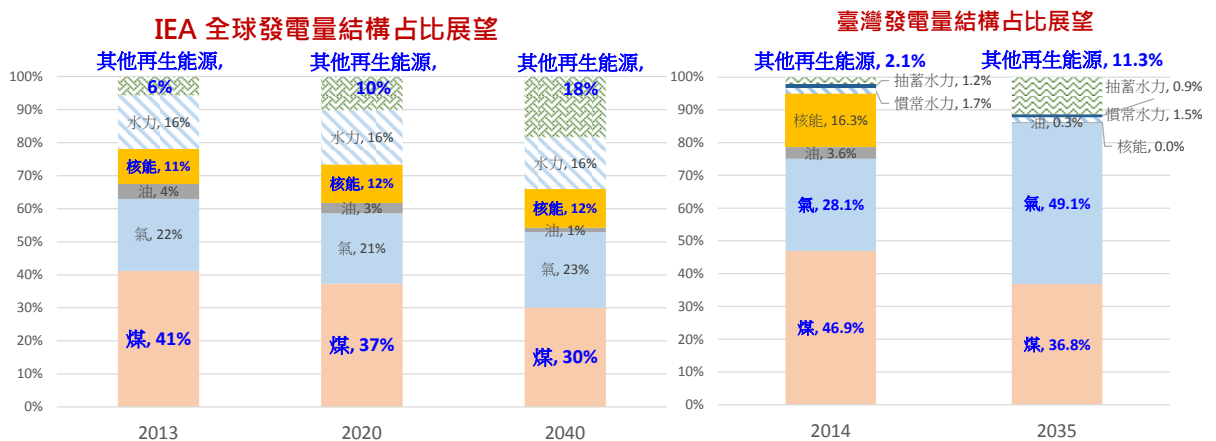


圖 2、再生能源占總初級能源供給趨勢推估錯誤！找不到參照來源。[錯誤！找不到參照來源。]



說明：臺灣_M：能源開發政策，中度需求情境，GDP 長期樂觀且積極推動節電措施，需電量年成長率規劃為 1.5%。IEA：New Policies Scenario

圖 3、臺灣與 IEA 的發電結構占比展望(基準情境)錯誤！找不到參照來源。[錯誤！找不到參照來源。]

(二) 均化發電成本

隨著各區域地理條件差異，均化發電成本也有不同的差距。錯誤！

找不到參照來源。顯示 2014 年各區域的太陽光電均化發電成本約 0.1~0.3 美元/kWh，其中，北美及南美地區的平均太陽光電均化發電成本已落在化石燃料的發電成本範圍內。各區域陸域風力平均的均化發電成本皆已落在化石燃料的發電成本範圍內。顯示目前有些區域在太陽光電及風力發電已達到市電同價(Grid-parity)，邁向市場競爭。

隨著太陽光電投資快速成長，透過技術學習效應，日本產業技術總合開發機構(NEDO)錯誤！找不到參照來源。]為了實現太陽光電發電成本下降目標(2020 年降到 14 日元/度(約新台幣 4.2 元/kWh))，實施開發太陽光電系統下一代高性能技術，實現晶矽太陽光電電池 25.1%的世界最高轉換效率水準。另外，為了降低製造成本，日本開發低成本的單晶矽晶體生長方法及 100 微米(μm)厚度的高效切片技術，成功降低 2/3 的切片損失，研發以價格較低的銅膠電極取代銀膠電極。日本能源環境技術長期革新戰略草案設定 2030 年太陽光電發電成本目標為 7 日元/度(約新台幣 2.1 元/kWh)錯誤！找不到參照來源。]，國際太陽光電發電成本下降趨勢逐漸低於臺灣的燃氣複循環發電成本(新台幣 2.7~3.3 元/kWh，2015 年)。未來臺灣的陸域風力及太陽光電均化發電成本有可能在 20 年內達成市電同價。

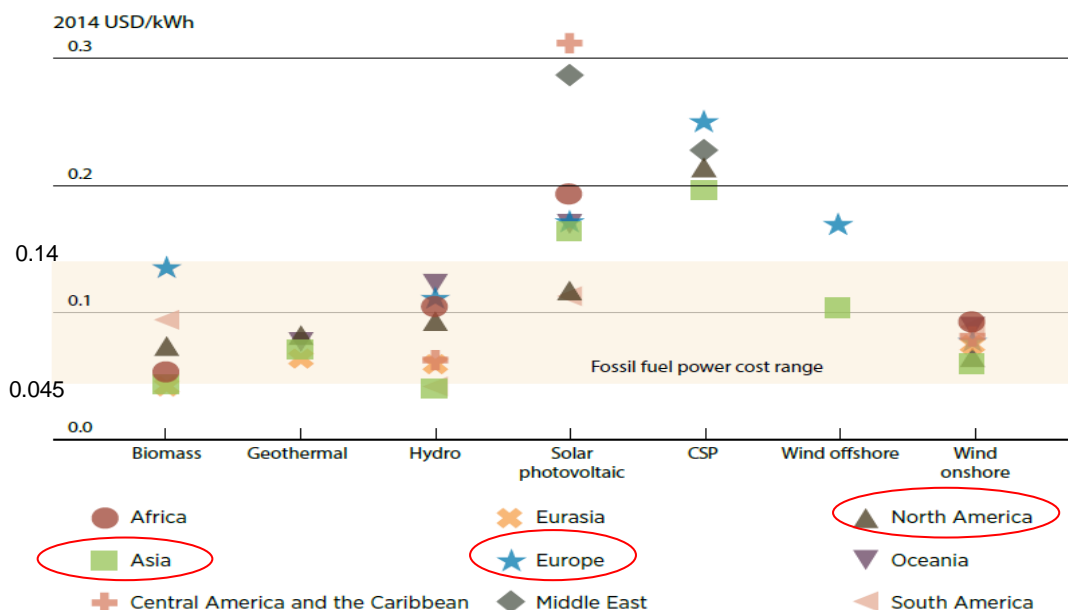


圖 4、2014 年不同地區再生能源電廠級均化發電成本比較錯誤！找

不到參照來源。]

三、再生能源發展的問題與策略

錯誤！找不到參照來源。顯示 2013 年變動性再生能源發電占比超過 10% 的國家：丹麥、德國及義大利，2030 年的 REmap 情境(目前推動政策再加上額外新增的再生能源技術與政策推動)下，約有 20 個國家的變動性再生能源發電占比超過 25%。臺灣目前政策規劃再生能源發電占比目標，2025~2030 年約 9.5~12.6%，其中，屬於變動性再生能源(太陽光電及風力)占比約 5.7~8.5%。民進黨的再生能源政策論述朝向提高再生能源發電占比的積極開發與改革的方向，規劃提前至 2025 年達成再生能源發電占比至 20%，其中變動性再生能源發電占比將達到 12.3%**錯誤！找不到參照來源。**]，屬於 IRENA 定義的中度變動型再生能源發電滲透，同時也超過 IRENA 設定的變動型再生能源發電占比超過 10%，產生不穩定電網的問題。

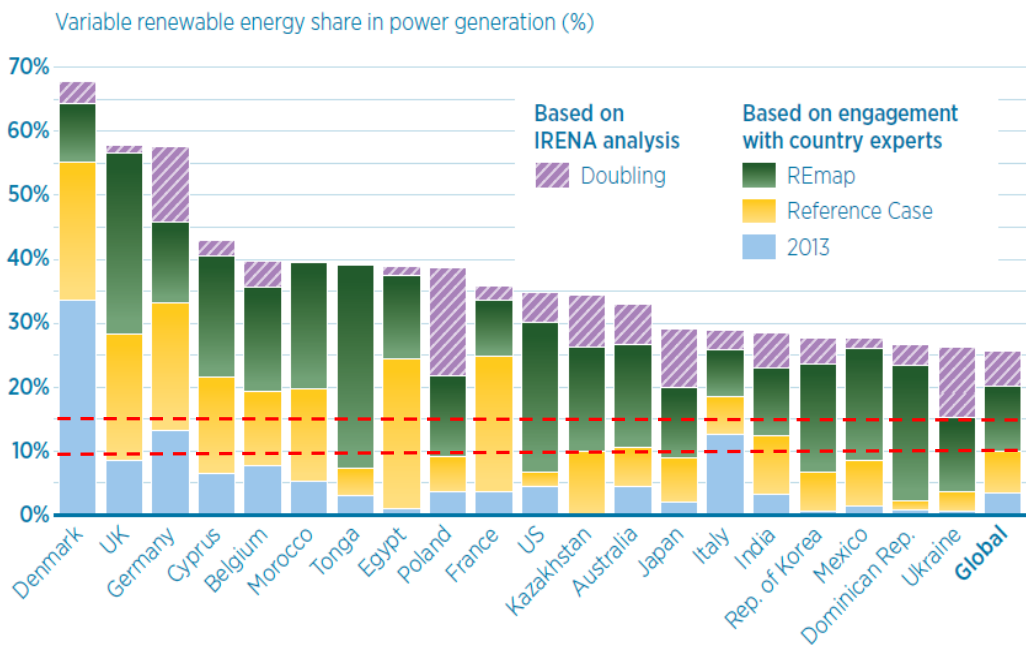


圖 5、全球變動型再生能源發電占比展望**錯誤！找不到參照來源。**]

再生能源發展一直是國際間認為解決能源永續發展的重要路徑，尤其是電力部門，如何達成再生能源發電高占比目標，除了技術面的

考量外，更重要的是市場及制度面是否有完整的配套措施。因此，本研究從三個構面-「低碳市場環境建置」、「加速再生能源投資」、「可變動再生能源與電網整合」，探討當再生能源發電朝向積極情境發展時，需要面對的問題及因應策略。

(一) 低碳市場環境建置

為了解決現在再生能源發電需要突破的障礙及問題，必需建置低碳的市場環境，確保能源市場真實反應碳排放的衝擊，如表 1 所示。目前許多國家已經設計不同反應碳價的市場機制，可以提供公司較明確的規劃及執行零碳資源的轉型。另外，再生能源補助需要有合理的管理機制設計，才能降低國民賦稅的沉重負擔，及電價不合理轉嫁，提供可靠及可負擔得起的無碳能源，同時避免氣候變遷惡化。

表 1、再生能源發電高占比之問題與策略—低碳市場環境建置[5]

低碳市場環境建置		
問題	策略	行動方案
<ul style="list-style-type: none"> ■ 現行市場機制，高碳能源的外部成本很難評估與內部化。 ■ 再生能源補助機制合理性及國民賦稅負擔沉重。 	管制與市場機制設計	<ul style="list-style-type: none"> ■ 針對特定固定源及移動源的設備，實施空氣污染排放管制。 ■ 設定國家及部門別減碳目標。 ■ 再生能源競標機制設計。 ■ 碳價/排放交易或能源稅/碳稅政策設計，包括碳稅收入對低所得家庭能源支出增加的補償機制。 ■ 降低對化石能源補貼。

(二) 加速再生能源投資

綠色信貸是指對環境友好企業，提供優惠性的低利貸款，是綠能產業發展重要的催化劑，如表 2 所示。然而，銀行專案融資首要關注的是收入來源的穩定性，由於大型再生能源常常涉及相當程度的環境與社會風險，在沒有適當的信用保證機制下，融資金額大且風險較高，使得民間商業銀行對於大型再生能源開發產生遲疑而怯步。目前主要

再生能源發展國家針對綠色信貸推動較積極的國家包括德國復興銀行(KfW)、英國綠色投資銀行(GIB)、日本政策金融公庫(JFC)、美國聯邦政府及州政府循環基金。這些銀行的資產及淨值相對較高，因此，設置大型政策性金融機構整合，部分國家搭配信保機制，提供較高貸款額度。

我國目前再生能源專案融資規模小，有些銀行要求搭配中小企業信用保證，大額度的電廠融資需由母公司或經理人連帶擔保。國泰世華銀行於 2016 年 3 月引進國際環境融資規範—赤道原則，促成臺灣在地首宗符合赤道原則的離岸風力融資，將對大型再生能源開發案融資產生領頭羊作用。因此，建議我國積極引進赤道原則，研究制定基於環境及社會問題與風險的綠色信貸指南，建立我國“綠色信貸”政策體系。

表 2、再生能源發電高占比之問題與策略—加速再生能源投資[5]

加速再生能源投資		
問題	策略	行動方案
<ul style="list-style-type: none"> ■ 大型再生能源存在許多不確定風險，包括總體經濟、匯率、併網穩定性。 ■ 目前國內行庫不願承作再生能源系統專案，主要考量仍在於認定融資風險過高，債權無法獲得適當擔保。 	創造可運作的商業環境	<ul style="list-style-type: none"> ■ 不同層級政府之間的政策調和及簡化管制架構。 ■ 國際融資機構催化私人投資。 ■ 透過現有的避險工具及公部門保證，減緩風險，透過公私部門夥伴關係，吸引私人投資，提高再生能源風險資本的取得。 ■ 推動結構化融資機制(structured-finance mechanisms)，降低專案投資的應盡審查責任(due diligence)及交易成本。

(三) 可變動再生能源與電網整合

當變動性再生能源占比愈高，電網整合的壓力就愈大，不適當的

電網基礎措施將導致再生能源區域容量不平衡及電網平衡成本上升，如表 3 所示。根據 IRENA 定義變動性再生能源占比指標(占全電力系統比例)，低滲透： $<5\%$ ；中滲透： $5\sim 20\%$ ；高滲透： $>20\%$ ，超過 10%，若沒有充分的電網基礎設施，有可能產生棄電現象**錯誤！找不到參照來源。**，同時不完備的基礎設施規劃，除了增加成本外，長期也會影響投資者的信心。

目前因應變動型再生能源併網平衡的方法有四種：強化電網連結、快速啟停電廠調度、需量反應及儲能。強化電網連結及快速啟停電廠調度目前技術皆可行，根據國外研究報告顯示，「強化電網成本」與「電力平衡調度成本」，依不同再生能源型式，估計約介於 0.5~37 歐分/度(約新台幣 0.18~1.36 元/度)，如**錯誤！找不到參照來源。**所示。未來變動性再生能源發電高占比的情況下，不管是「電網成本」、「電力平衡成本」及「替代傳統能源成本」，最終都將轉嫁給非再生能源電力使用者，系統業者需要建立併網的管理機制。

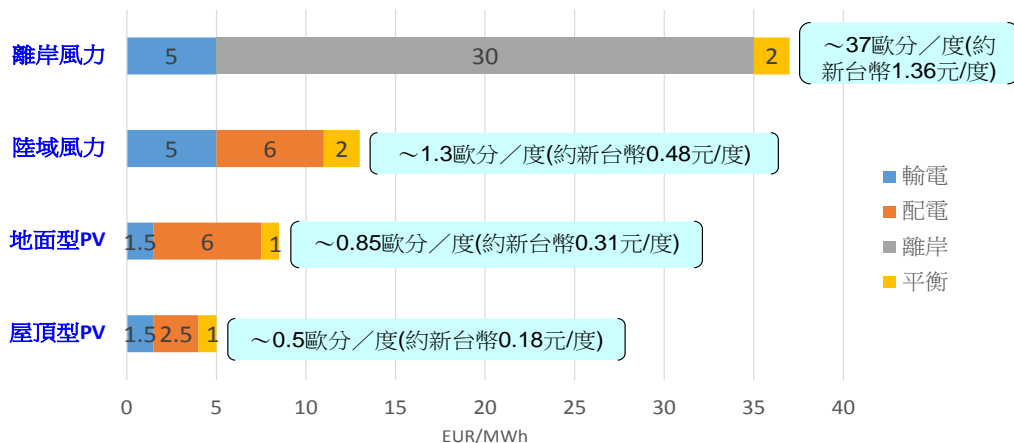


圖 6、風能與太陽能進入電力系統之併網成本分析**錯誤！找不到參照來源。**

表 3、再生能源發電高占比之問題與策略—可變動再生能源整合[5]

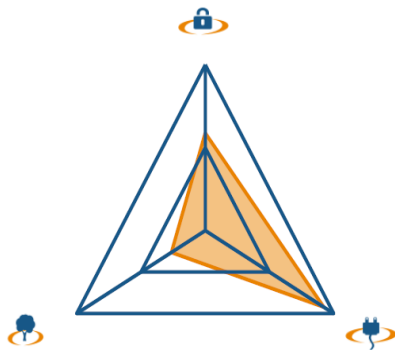
可變動再生能源整合		
問題	策略	行動方案
<ul style="list-style-type: none"> ■ 可變動再生能源發電占比 5~10%，對電網操作不確定性有顯著影響。 ■ 超過 10% 占比，若沒有充分的電網基礎設施，有可能產生棄電現象。 ■ 超過 15% 占比以上，需要採取特別的電網操作措施。 ■ 發電業者面臨非再生能源發電與變動性再生能源發電即時平衡供需負載的操作難度。 ■ 併網成本計算及分攤。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 確保穩定的併網基礎設施。 ■ 再生能源與能源效率合作協力。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 強化電網連結： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 特高壓直流傳輸電纜(U-HVDC)佈線。 ✓ 智慧電網(Smart-grid)建構，降低電網資料蒐集及管理的成本。 ✓ 建立儲備容量市場電網(Power pool)。 ✓ 跨區域超級電網佈建。 ■ 彈性發電： <ul style="list-style-type: none"> 以非變動性再生能源(例如：生質能及大型水庫式水力)及燃氣發電機組作為彈性調度發電。 ■ 需求面管理： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 利用智慧電表或設定價格誘因，讓終端使用者極大化使用風力或太陽光電發電。 ✓ 將再生能源與區域熱電系統(例如：熱泵技術)或運輸電力聯結運用(Grid to Vehicle)，創造另一個使用再生能源的彈性空間。 ■ 儲能： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 再生能源加裝電池儲能供現場使用，降低輸配電損失及成本。 ✓ 電動車提供儲能容量的另一個選擇方案(Vehicle to Grid)。

四、 再生能源發展對能源安全的意涵

2015 年世界能源理事會(WEC)發布能源三難指標 (Energy Trilemma Index：能源安全(Energy Security)、能源公平(Energy Equity)、環境永續性(Environmental Sustainability))，將 130 個國家依 GDP 分為四大類比較族群，臺灣被歸類在高 GDP 國家，臺灣在這個族群的整體三難指標排名第 30 名，優於日本(第 32 名)及韓國(第 54 名)。從

三個指標細項來看，能源安全指標有改善趨勢，而能源公平性指標在國際評比列為較優的 A 等級的原因是國內油價及電價偏低，滿足能源可負擔性指標。但是，我國的環境永續性指標相對於高所得集團國家而言，持續在惡化中，如**錯誤！找不到參照來源。**。

TRILEMMA BALANCE



INDEX RANKINGS AND BALANCE SCORE

	2013	2014	2015	Trend	Score
Energy performance	41	54	45	→	
Energy security	71	75	54	↑	B
Energy equity	22	14	12	→	A
Environmental sustainability	59	86	96	↓	C
Contextual performance	11	15	14	→	
Political strength	23	22	23	→	
Societal strength	22	24	23	→	
Economic strength	5	9	6	→	
Overall rank and balance score	27	34	30	→	ABC

圖 7、臺灣能源三難指標之國際評比**錯誤！找不到參照來源。**]

本研究分析再生能源發電高占比的因應策略對能源三難指標的關聯性，提出達成再生能源發電高占比之未來我國能源政策需要強化相關建議。

(一) 低碳市場環境建置

目前臺灣低碳市場環境建置的政策推動大致符合國際趨勢，滿足能源三難指標構面的發展。然而，在碳價或碳稅/能源稅政策及降低化石能源補貼的政策思維，仍需要再進一步積極推動。民進黨能源政策論述可能進行能源類別的貨物稅改革，油氣貨物現在是依重量課稅，擬改依排碳量的課稅基準**錯誤！找不到參照來源。**]。因此，強化推動碳價或碳稅/能源稅的政策設計，導向更直接的市場價格訊號，可提供公司或私人投資較明確的零碳資源的轉型規劃及執行。我國對化石燃料的補貼反應在長期油電價格的扭曲爭議，為顧及產業競爭力，而壓制了再生能源的發展空間，因此，未來若要朝向再生能源發電高占比目標前進，勢必需要同時考量碳稅/能源稅及化石能源補貼之間的平

衡問題，如何反應在現行的油電定價公式中，而不致於產生政策的矛盾性。

(二)加速再生能源投資

由於大型再生能源常常涉及相當程度的環境與社會風險，在沒有適當的信用保證機制下，融資金額大且風險較高，使得民間商業銀行對於大型再生能源開發產生遲疑而怯步。我國目前再生能源專案融資規模小，有些銀行要求搭配中小企業信用保證，大額度的電廠融資需由母公司或經理人連帶擔保。然而，大型 PV 電廠及離岸風電的融資需求動則新台幣上百億元，若無法解決資金來源，在缺乏金融系統的支援下，很難達成國內再生能源大規模發展及海外綠能產業輸出等佈局目標。國泰世華銀行於 2016 年 3 月促成臺灣在地首宗符合國際環境融資規範—赤道原則的離岸風力融資，將對大型再生能源開發案融資產生領頭羊作用。臺灣的大型綠色融資機制尚未建全，未來政策需要鼓勵私人資金參與投資及創新的綠色信貸機制，提高再生能源風險資本的取得，才能創造有競爭力的綠能產業供應鏈。因此，建議我國積極引進赤道原則，研究制定符合環境及社會問題與風險的綠色信貸指南，建立我國“綠色信貸”政策體系。

(三)可變動再生能源與電網整合

隨著全球太陽光電及風力發電的快速成長，也連帶突顯出變動性再生能源穩定供應的問題。目前因應變動型再生能源併網平衡的方法有四種：國家或區域電網連結、快速啟停電廠平衡調度、需量反應及儲能。短期的低度再生能源發電占比的解決方案主要是饋線及高壓傳輸電纜佈線及電壓變動率調整，中期面對中度再生能源發電占比的解決方案可以燃氣機組快速啟停的特性，作為穩定可變動再生能源發電的平衡調度策略選項，但是，會增加燃氣機組每單位的維護成本及降低燃氣機組的操作壽命。長期的高度再生能源發電占比的解決方案則需要更積極的因應措施，包括透過智慧電網技術的需量反應管理(demand response management)、搭配先進的電池儲能技術、跨國的電

網互聯合作。

大規模再生能源導入電網產生的量化成本包括電廠內成本及電網成本，但相關資料取得有相當的困難及不確定性。電廠內成本是指再生能源併聯後取代傳統電廠部分輸出對總供電成本的影響；電網成本包括備用成本(Back-up cost)、平衡成本(Balancing costs)、電網連接成本(Grid connection costs)及電網強化與延伸成本(Grid Reinforcement and Extension costs)。因此，解決大規模可變動再生能源併網穩定供應的決策目標，應該綜合考量併網相關配套措施及評估相關併聯成本。

五、結論與建議

從全球再生能源展望中，發現目前的太陽光電及風力發電已經大幅改善與傳統化石能源的成本競爭力，再生能源佈局對國家經濟發展及產業結構轉型具有顯著效益，但是，需要有更創新的投資環境。為了讓能源系統順利轉型，國際主要研究機構或國家/組織紛紛提出因應策略，本研究從再生能源發電因應策略與能源三難指標之間的關聯性分析，提出未來我國再生能源政策需要強化及改善的建議：

- (一) 我國目前低碳市場環境亟待建立反應外部成本的市場機制，並進行化石能源補貼的改革，創造再生能源發展的有利空間及更大的競爭力，吸引更多的創新科技投入。
- (二) 未來政策需要鼓勵私人資金參與投資及創新的綠色信貸機制，才能創造有競爭力的綠能產業供應鏈，積極引進國際環境融資規範—赤道原則，制定符合環境及社會問題與風險的綠色信貸指南，建立我國“綠色信貸”政策體系。
- (三) 可變動再生能源併網穩定供應的決策目標，應該綜合考量併網相關配套措施及評估相關併網成本，避免所得分配不公平，造成納稅人的賦稅負擔。

六、參考文獻

- [1] IEA, 2015 World Energy Outlook, 2015.11.

- [2] IRENA, "Adapting Renewable Energy Policies to Dynamic Market Conditions " , 2014.05.
- [3] IRENA, Renewable power generation costs in 2014, 2015.01.
- [4] IRENA, Renewable energy benefits: Measuring the economics, 2016.01.
- [5] IRENA, Roadmap for a renewable energy future, 2016.03.
- [6] REN21, Renewables 2015_ Global status report, 2015.
- [7] The Integration Costs of Wind and Solar Power, http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/integrationskosten-wind-pv/Agora_Integration_Cost_Wind_PV_web.pdf
- [8] WEC, 2015 Energy Trilemma Index, 2015.10.30.
- [9] 工研院，能源開發政策—TIMES 模擬值，2015。
- [10] 高宜凡，新政府最重要的官員人選，遠見官網。
http://www.gvm.com.tw/webonly_content_8732_1.html
- [11] 臺灣金融研訓院，以政策措施提升銀行再生能源產業融資意願，再生能源產業發展會議，2014。
- [12] 日經 BP 清潔技術研究所，2016.04.13。
http://big5.nikkeibp.com.cn/mega-solar/news_4721-201604111308.html?ref=ML
- [13] 聯合報，油氣貨物稅擬改依排碳量課徵，2016.04.18。
- [14] 日本 NEDO 下一代高性能太陽電池研究取得系列進展，
<http://casisd.ac.cn/achievement/monitor-bulletin/achievement-detail.html?id=7af40747-8465-4757-a89b-023432348ff0>

