

研究報告書

綠電100:

台灣100%再生能源
電力系統的必要性與可能性

研究摘要

能源轉型政策必須持續溝通， 並有更長遠的規劃

儘管我們生活與能源息息相關，但長期以來，能源的選擇卻因為技術門檻，以及高度敏感的政治性，使大眾對深入理解能源議題，總是興致缺缺。民間缺乏共識的情況下，政府竟也不願提出政治承諾和更長遠的能源目標。最後的結果，是在去年(2018)的公投以來，我們看見許多人在對於能源始終缺乏概念的情況下，投下了神聖的選票，而公投的結果是，民眾對於再生能源發展方向的理解和分歧，反而在公投後更加擴大。

我們不得不承認，複雜的技術議題就像是拒馬，拒退了大眾參與能源政策的願景和對台灣永續發展的想像。而今，甚至衍生出「不是專業背景，就沒有資格談論能源」的說法——這是高舉民主價值的台灣所不應樂見的。350 台灣始終追求「快速且公平正義的邁向 100% 再生能源願景」，並相信公民社會「由下而上」實質參與決定「長期能源政策」的重要性。因此，我們決定開啟本次研究，探討再生能源究竟有多少發電潛力。透過評估的結果，建立大眾對再生能源的基礎認識和信任，從而相信再生能源有潛能成為台灣主要電力來源。

生生不息的天然資源該如何盤點？

為了回答「全臺灣再生能源一年可發多少電」，並進一步回答「這些電能滿足多少比例的台灣用電需求」我們分別分

析了太陽能、風力和地熱。而為了要能計算太陽能和風力之發電潛量，本報告整合了：(1) 政府的土地資料，探討有多少土地資源可用作再生能源建置；以及(2) 氣象數據，將天氣對再生能源發電影響的因素整合，計算再生能源發電潛量。

我們希望能透過精簡過後的算式，引領讀者思考再生能源是否有機會作為主要電力來源，並理解台灣有本錢發展出 100% 再生能源的電力系統的原因；更期待，能藉此督促政府勇於作出政治承諾，提出 2025、2030 之後的「長期能源政策」。

台灣再生能源發電潛量： 足供 2 個台灣使用

參考了許多再生能源模型後，我們認為為讓大眾理解台灣再生能源發電潛力，我們盡量精簡、合併變數，最後將再生能源發展模型簡化如下式，並依此計算出太陽能、風力和地熱三種再生能源的總發電潛量：

1. 太陽能

依據目前政策與常見設置類別，大致可分為「屋頂型」與「地面型」太陽光電兩大類型。本次研究依全台可供發展此兩種類型太陽光電的土地與建地面積進行盤點，統計出共 67,000 公頃的潛力建設面積，包含現已建造太陽光電電廠的建物或土地面積。同時，此數據已考慮各類型土地建蔽率，以及經驗法則上的遮蔭面積排除，並以經濟部於 2014 年公告的各縣市太陽光電年度日平均發電量估算：

再生能源發電潛量公式簡述

$$[\text{再生能源可發展面積} \times \text{天氣因素} \times \text{電力轉換係數} = \text{發電潛量}]$$

太陽能發電潛量計算方式

$$[\text{再生能源可發展面積} \times \text{天氣因素} \times \text{電力轉換係數} = \text{發電潛量}]$$

	屋頂型太陽光電	地面型太陽光電
可發展面積	都市用地：全台灣住宅區、工業區和商業區建地。非都市用地：甲乙丙丁四種建地。	經濟部太陽光電單一窗口公告民國109年以前可建設地面型太陽光電的土地面積總和。
未列入盤點項目	生態及環境敏感區域：自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、國家公園、國家自然公園及自然保護區等。 都市用地：行政區、文教區、公共設施用地、特定專用區等土地或建地。 非都市用地：農牧、林業、養殖、鹽業、礦業、窯業等土地或建地。	

可發展面積(公頃)	全台裝置容量潛量 (GW)
67,063.01	125.74
以衛星資料推估發電(億度)	以經濟部公告各縣市平均發電(億度)
1169.87	1467.07

太陽能可發展空間土地盤點

在此土地面積的盤點基礎上，本研究進一步區分出兩種物理潛量計算方式：「衛星資料推估發電」和「經濟部公告各縣市平均發電」。前者以太陽能電廠發電資料為基礎，並對比天氣衛星資料進行分析，從而得出全台太陽能發電潛力；後者則以2014年經濟部公告縣市容量因數(即年度日平均發電量)為基礎進行計算。依據此兩種計算方法，均可發現太陽能在位處亞熱帶的台灣能提供多可觀的發電潛力。

2. 風力

依據目前政策與常見設置類別，大致可分為「離岸型」與「陸域型」兩大類型。與太陽能對應到「土地面積」不同，風力必須依據「風場」大小，並進一步算出「受風面積」。而本文分別盤點了離岸與陸域兩種風力的受風面積，並透過風速資料計算發電總量。

由於目前可用做陸域風力發電之國土大抵飽和，以當前陸域發電而言全年約可發電16.96億度；至於離岸風電，本研究同時考慮「積極情境(886.84億度)」與「保守情境(369.86億度)」兩種情境。最後，可知目前最大發電總量為903.80億度(積極情境)或386.82億度(保守情境)。

受風面積	40.01平方公里 (保守情境)	101.22平方公里 (積極情形)
裝置容量潛量 (GW)	17.99	45.52
陸域風電發電總潛量 (億度)	16.96	
年發電總潛量 (億度)	386.82	903.80

依據「保守情境」和「積極情境」推估風能全年發電量

3. 地熱

相比於風力和太陽能，目前地熱在台實踐尚且不足，僅能透過目前普遍被接受之學術研究、外國已商轉技術水準和當前已得之台灣地探勘成果。由於天氣並非影響地熱之重要因素，故進行地熱總量評估時，本研究並無納入天氣因素。目前經約75%的轉換係數計算後可發電總量為2312.64億度：

風力發電潛力計算方式

$$[\text{風場面積} \times \text{單位面積可鋪設數量} \times \text{現行可商轉風機之繞掃面積} = \text{受風面積}]$$

$$[\text{受風面積} \times \text{貝茲極限假設(40\%)} = \text{全年發電潛量}]$$

	可發展面積 (km ²)	裝置容量 潛量 (GW)	發電總潛量 (億度)
宜蘭 地熱區	532	6.24	411.45
大屯 火山群區	88	2.89	190.45
花東 地熱區	5403	25.75	1699.52
南投廬山 地熱區	954	0.17	11.22
<u>地熱可發電總潛量</u>			2312.64

依據全台灣四大地熱區所提出地熱發電潛量

4. 總和

綜合上述，臺灣再生能源年度總發電潛量可達 4683.51 億度，而在離岸風力發展保守的情境下，全台再生能源亦有潛力可發 4166.02 億度的電。

而相比於 2018 年總用電量 2191 億度，總供給潛量超出總需求達約 2492 億度。目前再生能源總發電潛量少則可滿足 1.76 個台灣的需求，多則足讓 2.14 個台灣使用。而且，本研究在技術面的假設為「依據目前可商轉技術」而定出之評估總量，可發展空間尚且完全除去所有可能涉及生態、社會敏感之土地。易言之，目前的評估總發電潛量仍屬保守。

太陽能 (億度)	1169.87	1467
風力 (億度)	386.82	903.8
地熱 (億度)	2312.64	
總和 (億度)	3869.33	4683.51

太陽能、風力與地熱之發電總潛量

政策是改革的指引， 沒有長期目標社會就不會前進

目前政府唯一的長期能源政策為「2025 非核家園」，以及依據「非核家園」政策所衍生的 2030 目標。依據「2025 非核家園」政策所設定之「裝置容量目標」，僅能發出 483.6 億度的電量，即便加上 2030 的能源目標(再生能源達 25%)，也只是十年期的中短期規劃，與各國紛紛提出 2050 以後的減碳、能源目標相比，相去甚遠。相比於 2018 年甫創新高 2,191 億度的用電量，2025 的非核家園政策下再生能源僅可滿足 22% 的全國用電需求。

當前2025「非核家園」政策下，各類再生能源的裝置容量目標為：	根據107至108年，由經濟部能源局公告的容量因數進一步推算，年發電潛量：
<ul style="list-style-type: none"> · 太陽能:20GW · 離岸風:5.5GW · 陸域風:1.2GW 	<ul style="list-style-type: none"> · 太陽能:250億度電 · 離岸風力:206億度電 · 陸域風力:27.6億度電

當前2025「非核家園」政策下裝置與發電量目標

事實上，全球已經有超過 50 個國家的上百個城市、地區承諾以各種方式邁向 100% 再生能源發電目標，例如日本的福島，其目標即在 2040 年前達到 100% 再生能源發電；其中，更有許多國家提出 100% 願景再生能源目標，例如蘇格蘭希望在 2020 年達到 100% 再生能源用電；此外，更有無數公司所使用的電力全數來自再生能源，並基此近一步要求其供應鏈必須使用 100% 再生能源，如：Google、蘋果等。

而台灣自從提出了非核家園的能源政策後，能源政策似乎即停滯不前。為了達到更長遠的減碳目標，我們呼籲政府應儘速提出更長期的能源目標，並依此目標逐步落實相關政策、強化社會溝通。我們期待，能透過這份報告達到拋磚引玉的效果，促進各界在再生能源長期發展上建設性的討論與辯論，終而形塑社會共識、走向「快速且公平正義的邁向 100% 再生能源願景」。

目錄

壹、背景與動機	1
貳、能源現況盤點	8
參、台灣再生能源物理潛力推估	28
第參章附錄、總電量計算方法	41
肆、研究未來展望與限制	48

壹、背景與動機

「能源轉型(Energy Transition)」這個概念，近幾年在台灣喊得震天價響，自公投以來，減煤、反核、太陽能、離岸風電等，各式各樣的能源論述隨著能源的激辯彼此碰撞。就能源轉型而言，台灣絕不孤單，全球每一個國家都積極地走向再生能源，並逐步汰換掉傳統能源。

但是為什麼能源轉型的概念近幾年對各國如此重要？從工業革命以來超過兩百餘年的歷史，人類的能源從木材轉變為木炭，從鯨魚油轉變為石油，能源轉型似乎總隨著自然資源耗盡，以及經濟活動對能源的高度需求而自然地演進著，卻從未出現如此大規模、由政府推動的能源轉型。

當前促使全球邁向更急遽、積極的能源轉型，除化石燃料(煤、石油及天然氣)即將告罄外，氣候危機的進逼才是讓世界各國無一例外地加速推動能源轉型的原因。以下，本章將揭示聯合國中各國如何看待氣候變遷對能源議題的影響，以及為什麼邁向 100% 再生能源對台灣而言至關必要的原因。

一、因應氣候變遷— 減少溫室氣體排放

絕大多數的國家已有共識，氣候變遷是人類在 21 世紀所面臨的最大環境挑戰。2015 年，聯合國 197 個國家於第 21 屆聯合國氣候變化綱要公約締約國大會 (UNFCCC COP21) 通過《巴黎協定》，同時邀請聯合國政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 於 2018 年提供一份特別報告，闡述相對於工業革命前的全球平均溫度，地球暖化 1.5°C 後可能產生的影響及氣候變遷情況。

(一) 溫室氣體對氣候及環境的影響

依據聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC)，國際間認為應受規範的溫室氣體有 7 種，包括：二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)、全氟碳化物 (PFCs)、氫氟碳化物 (HFCs)、六氟化硫 (SF₆)，以及三氟化氮 (NF₃)。不同的溫室氣體所造成的溫室效應程度也不同，舉例來說，甲烷造成的溫室效應程度是二氧化碳的 34 倍，氧化亞氮為 206 倍，氟氯碳化物則為數千倍到一萬多倍。然而，由於大氣中溫室氣體含量以二氧化碳為最大宗，且其佔比遠大於其他氣體在大氣中的含量，因此二氧化碳在全球造成的溫室效應仍是最大的，也是國際間規範溫室氣體的主要管制對象。

除了造成溫室效應，使全球溫度升高，溫室氣體的另一個特性是它們在大氣中停留的時間即生命期相當地長，二氧化碳的生命期為 50 至 200 年，氧化亞氮約 120 年，甲烷 12 至 17 年，且溫室氣體一旦進入大氣，幾乎無法靠人為方式回收，只能自然逐漸消失，因此溫室氣體的影響是長久的，而大氣層的流動性也使得溫室氣體的影響具全球性，從地球任一角落排放至大氣的二氧化碳分子，在它長達 100 年的生命期中，有機會遨遊世界各地，影響各地的氣候。即使人類立刻停止所有人為活動導致的溫室氣體排放，從工業革命後累積的溫室氣體仍將繼續發揮它們的溫室效應，影響地球的氣候。

(二) 升溫 1.5°C 可能在十年後到來

為了解人類活動所造成、累積的溫室氣體將如何影響地球的氣候及環境，IPCC 於 2016 年 4 月接受 UNFCCC 締約國的邀請，決定以「加強全球應對氣候變遷威脅、永續發展和努力消除貧困」為背景，著手準備特別報告，推估地球若較工業革命前平均氣溫升高 1.5°C 後可能產生的

影響，亦就人類活動現況及未來情境推估，模擬全球溫室氣體排放的路徑。2018年10月，IPCC整理特別報告的關鍵結果，出版《全球1.5°C特別報告決策者摘要》，其中包括根據與地球暖化1.5°C相關之現有科學、技術與社會經濟等文獻評估，並針對全球升溫1.5°C和2°C等不同升溫情境提出氣候變遷衝擊結果的比較。

本報告援引台達電子文教基金會發佈的《IPCC全球1.5°C特別報告決策者摘要》全文翻譯及關鍵解讀簡報，摘錄全球升溫1.5°C對於地球環境及人類社會將造成的重大影響。首先，IPCC報告在呈現科學證據及評估結果時，會使用特定用語以表達報告對其論述的證據程度，以「科學證據信心」來說，信心程度由高到低的表達分別事極高信心、高信心、中信心、低信心及極低信心；以「評估結果的代表意涵」來說，可分為13個不同機率的評估意涵。

因此，解讀IPCC報告時，須對照IPCC相關用語，以了解相關證據可信程度及評估結果意涵。

信心程度	極高信心	very high confidence
	高信心	high confidence
	中信心	medium confidence
	低信心	low confidence
	極低信心	very low confidence

表 1-1 IPCC的科學證據信心程度用語

報告用語	中文翻譯	代表之評估意涵
virtually certain	幾乎確定	99-100%
extremely likely	幾乎確定	95-100%
very likely	非常可能	90-100%
likely	可能	66-100%
more likely than not	比較可能	50-100%
about as likely as not	有些可能	33-66%
likely range	可能的範圍	17-83%
very likely range	非常可能的範圍	5-95%
more unlikely than not	比較不可能	0-49.9%
unlikely	不太可能	0-33%
very unlikely	非常不可能	0-10%
extremely unlikely	極不可能	0-5%
exceptionally unlikely	幾乎不可能	0-1%

表 1-2 IPCC的評估結果代表意涵

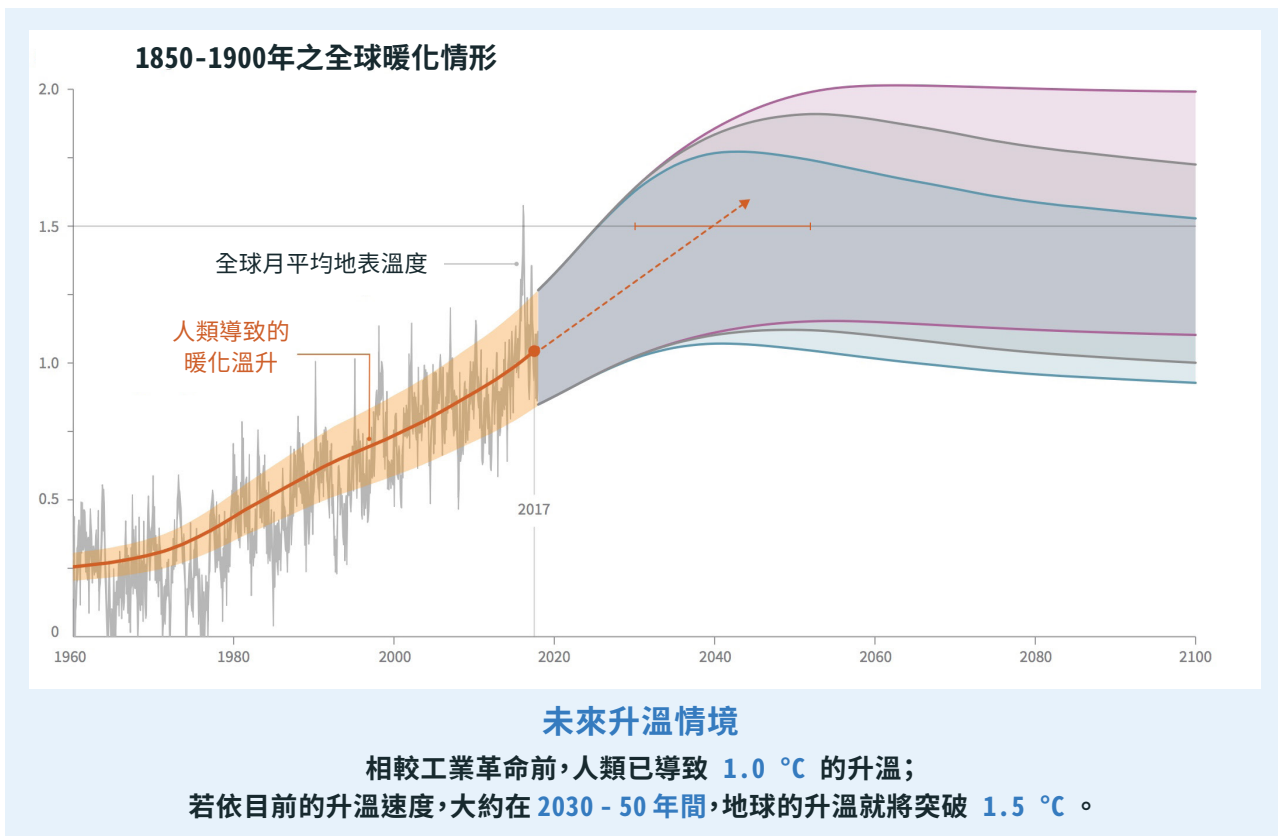


圖1-1 圖片名稱: IPCC 推估全球升溫1.5°C的路徑圖
資料來源: IPCC《全球1.5°C特別報告決策者》

依據IPCC估計，人類活動所導致的地球暖化，已高出前工業革命水準約 1.0°C，可能的範圍為 0.8 °C 至 1.2 °C 之間。若以目前暖化速度持續增加，可能在 2030 年到 2052 年之間，地球暖化便會達到 1.5°C（高信心）。

1. 全球暖化 1.5°C 下，陸地區域的極端高溫等同再增加一倍

其次，根據多個氣候模型推估所得之可靠結果顯示，現今溫度與地球暖化 1.5°C 之間，及 1.5°C 到 2°C 之間，兩者的區域氣候特性存在



差異，包含多數陸地與海洋區域的平均溫度增加（高信心）、多數居住區域的極端熱天氣增加（中信心）、數個地區的高降水量增加（中信心），以及某些地區旱災及降水不足的機率增加（中信心）。舉例而言，中緯度地區的極端熱天，在地球暖化 1.5°C 時升溫可高達約 3°C、在地球暖化 2°C 時可高達約 4°C（高信心）。

2. 全球暖化 1.5°C 下，90% 珊瑚礁將白化死亡

在生物多樣性方面，地球暖化 1.5°C 預估會改變許多海洋物種的分布範圍，移動至更高緯度地區，且會增加對多種生態系統的破壞，也預期會迫使沿岸資源的流失，並減少漁業和水產養殖的生產力（特別在低緯度地區）。氣候引發的衝擊風險預估，在地球暖化 2°C 下，比 1.5°C 還高（高信心）。舉例來說，預估珊瑚礁在 1.5°C 下，會再減少 70~90%（高信心），而在 2°C 下的損失則更大（> 99%）（極高信心）。許多海洋及沿岸生態系統會隨著全球暖化，特別在 2°C 以上時，所導致不可恢復之損失風險增加（高信心）。



3. 全球暖化 1.5°C 下， 全球一億多人面臨用水危機

對健康、生活、糧食安全、水供應、人類安全及經濟成長等氣候相關的風險，預估在地球暖化 1.5°C 下會增加，並在 2°C 下增加更多。任何全球暖化的上升，預估皆會影響人類健康，主要導致負面的後果（高信心）。舉例而言，相較於將地球暖化控制在 2°C 以內，控制升溫在 1.5°C 內可能使多達一半的世界人口可免於暴露在氣候變遷所導致的缺水風險，即使不同地區之間在用水危機的變化性極大（中信心）。在暖化 1.5°C 情境之下，全球將有一億多人有用水危機，2°C 情境將會達到近兩億人面臨無水可用或缺水。



二、碳排最大咖： 電力系統轉型再生能源

根據國際能源總署 (IEA) 發佈的 2018 年《全球能源及二氧化碳現況報告》，由於全球經濟自金融危機中漸漸復甦，全球電力需求於 2018 年提升了 4%，成長速度是自 2010 年以來最快的一年。其中，來自煤炭及天然氣等傳統火力發電廠的電力需求有顯著的成長，因其增加發電而產生的二氧化碳排放量佔了能源部門總碳排放量的 2.5%。全球於 2018 年因發電而產生的二氧化碳排放量為 130 億公噸，佔能源使用所產生的二氧化碳總排放量 331 億公噸的 38%，回顧 2017 年，2018 年的能源需求成長約有一半來自於電力系統，此乃為回應全球的高電力消耗。

根據台灣 2018 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告所統計的 2016 年數據，我國能源部門當年的二氧化碳排放量為 262,660 千公噸二氧化碳當量，全國總排放量則為 279,216 千公噸二氧化碳當量。依據中華經濟研究院的資料彙整，若僅計算台電燃油、燃氣、燃煤及民

營燃煤為產生電力而排放的二氧化碳量，總計為 109,730 千公噸二氧化碳當量，佔能源部門排放量約 41%，佔全國總排放量約 39%，與全球佔比相近。光是電力系統的碳排放量，便佔了台灣全年二氧化碳排放總量的 40% 左右，該如何降低電力系統產生的碳排放量，不僅是全球正在積極轉型，也是台灣應該積極面對的。

全球依據能源的使用，將能源系統分為加熱 (heating)、製冷 (cooling)、運輸 (transport)、電力 (electricity) 及其他能源的消耗，本報告想探討的，即為台灣的電力系統轉型為 100% 再生能源的潛力。再生能源 (Renewable Energy) 的特別之處，在於其「原料」是大自然提供的連續能源，並且可以重複使用，取得能源的方式不再需要依靠燃燒化石燃料，也不會伴隨高碳排放量。

再生能源的原料直接來自大自然的包括太陽光、風、水、海洋、地底岩漿與氫氣等，間接來源者例如生質能，生質能資源主要是人類活動後產生的，包括農林廢棄物、都市有機垃圾及沼氣等。全球目前已商轉或正在研發當中的五種主要再生能源，包括太陽能、風力能、地熱能、生質能及水力能 (其中包括海洋、河川、潮汐等)，各類型再生能源介紹請參見本報告第貳章。

本報告參考國際間對於再生能源的定義，排除仍有爭議的大型水力發電、核能發電，以太陽能、風力發電及地熱發電等台灣已有實際併網的能源為標的，推估最大發電潛量，盼能呼籲公民社會關注台灣電力系統產生的碳排議題，共同檢視綠電 100 在台灣的物理潛力。

三、100% 綠電？

全球所需要的積極減碳行動

(一) 為控制升溫 1.5°C：

每種情境再生能源皆需大幅成長

IPCC在《全球 1.5°C 特別報告》第二章中，運用「整合性評估模型」(Integrated Assess-

ment Models, IAMs) 作為減緩路徑的評估基礎，以符合許多全球量化情境文獻所採行的方法。IAMs 在單一架構下，結合多元領域的洞見，推導出綜合能源—經濟—土地—氣候系統的互動式論述，以涵蓋來自不同部門的人為溫室氣體排放量。特別報告中除了基於全面的要素，評估控制升溫 1.5°C 的整合性路徑，也運用 IAMs 於特定領域的轉型，例如能源、建築或運輸，甚至是特定國家或區域。

IPCC 指出，近年來全球提出 100% 再生能源情境的文獻有長足地增加。隨著再生能源的資源增加與潛力提升，IPCC 自第五次評估報告 (AR5) 以來即在 IAMs 當中持續更新「科技成本」與「系統整合」的要件，也在許多案例中導引出更高的再生能源部屬佔比，即使如此，目前仍尚未有 IAM 的情境將 100% 再生能源方案列為全球能源系統當中成本有效的減緩路徑。不過，IPCC 已在其補充文件的情境資料庫中納入 2050 年前轉型為 100% 再生能源的研究分析與文獻，並指出相關研究探討了大量減少溫室氣體排放的細節選項，可做為全球控溫 1.5°C 目標過程中的重要參考。

在 IPCC 蒐集的情境資料庫、相關文獻、補充資料及附加研究當中，所有的論述談及控制暖化在 1.5°C 以內與能源之間的關聯，皆指出在人類所使用的能源中，再生能源的佔比須提高，而煤炭的佔比必須下降。IPCC 報告本文則提出全球科學家提出的能源佔比模擬情境最大公約數，若要達成控制升溫 1.5°C 的目標，在 2050 年，全球能源供給中必須有 52% 至 67% 來自太陽、風、水、生物等再生能源；結合碳捕捉與封存技術，煤炭佔比須下降至 1% 至 7%。

(二) 為控制升溫 1.5°C：

2050 年電力之再生能源須達 97%

除了急劇提升再生能源的使用，IPCC 提出，達成控制升溫 1.5°C 的目標也包含使電力碳排放係數急劇下降，以及增加能源電氣化。燃燒化石燃料是人為溫室氣體排放的主要原因，而全

球電力將近 80% 來自於此，電力碳排放係數下降意味著發電的來源必須是低碳排能源，再生能源則在此扮演重要角色。IPCC 特別報告推估，若要有效控制升溫在 1.5°C 之內，電力系統中的再生能源供給佔比必須從 2015 年的 23% 增加到 2050 年前的 59% 至 97%，煤炭則降低至 0% 至 25%；其中，在 2030 年前就大量降低電力碳排放係數的路徑展現出更高的機率能控制暖化。

(三) 台灣能源使用碳排佔全球 0.8%， 能源人均碳排全球第 19

根據國際能源總署 (IEA) 的統計資料，2018 年全球於能源使用所產生的二氧化碳排放量為 331 億公噸。為瞭解台灣一年在能源使用產生的二氧化碳排放量佔全球排放量多少比例，本研究查詢台灣最新公告之 2018 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告所統計的 2016 年數據，能源部門產生的二氧化碳排放量為 2.62 億公噸，佔 IEA 2016 年全球能源使用所產生的二氧化碳排放量 320 億公噸的 0.8%，而台灣 2016 年能源使用的人均碳排量排名為世界第 19 名。由此可見，台灣能源使用產生的二氧化碳排放量對全球產生重要影響，在全球轉型為低碳甚至零碳能源的路徑上，台灣不可置身事外，必須善盡地球公民的義務，積極轉型。

四、綠電 100 之路— 轉型必將發生，但正義未必

本研究提出「綠電 100」的倡議，希望回應的思維即：人類在使用能源與電力的過程，必須考慮到對全球環境與生物所造成的影響，以及人類族群的永續。隨著氣候變遷對地球環境及人類社會造成的負面影響愈來愈嚴重，化石燃料的使用必將轉型為再生能源，以減少不必要的碳排放。「轉型必然發生，但正義未必」——我們對於再生能源在台灣電力系統達成百分之百的佔比有堅定的期望，也發現台灣的地理環境及經濟條件確實有極大潛力可將再

生能源做為電力系統的主要能源來源。

本報告透過盤點台灣的公開土地資料、分析氣象資料等，推估出「全台灣再生能源裝置容量潛量」，進一步計算出「全台灣再生能源一年有多少發電潛量」，並回答「這些發電潛量能滿足多少比例的台灣用電需求」。透過簡白的算式，引領讀者思考再生能源是否有機會作為主要電力來源，乃至於台灣是否有機會發展出 100% 再生能源的電力系統。更期待，能藉此要求各界作出政治承諾，提出 2025 之後的「長期能源政策」。

我們期待符合氣候正義的能源轉型，在盤點太陽能可發展面積時，考量到可能涉及環境或社會負面衝擊的土地類型，本報告予以排除，未納入計算，包括生態及環境敏感區域、都市用地中特定類別，及非都市用地中農牧、林業、養殖、鹽業、礦業、窯業等可能涵蓋自然資源的區域；此外，計算風力發電潛力發展面積時，亦提出積極開發與保守開發等不同推估情境。雖本報告目標僅估算太陽能、風能及地熱發電的最大潛力總量，不涉及路徑討論，仍希望在環境生態上盡可能顧及氣候正義，惟經濟發展的轉型正義因編輯團隊的研究限制，未能納入，也期許後續研究開啟相關討論。

參考文獻

1. IEA, Energy, Climate Change and Environment 2016 Insights, 2016
2. IEA, Getting Wind and Sun onto the Grid: A Manual for Policy Makers, 2017
3. IEA, Key Electricity Trends 2018 (OECD), April 2019
4. IEA, Status of Power System Transformation 2018, May 2018
5. IEA, Sustainable Development Scenario
6. IRENA (2019), Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
7. REN21 Renewables 2018 Global Status Report
8. Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, and M.V. Vilariño, 2018: Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
9. Roy, J., P. Tschakert, H. Waisman, S. Abdul Halim, P. Antwi-Agyei, P. Dasgupta, B. Hayward, M. Kanninen, D. Liverman, C. Okereke, P.F. Pinho, K. Riahi, and A.G. Suarez Rodriguez, 2018: Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
10. 趙家緯, 系統轉型守住1.5°C防線 -- 核電與IPCC《全球升溫1.5°C特別報告》, 2018.11
11. 台達電子文教基金會張楊乾、高宜凡、王振益、詹詒絜、陳柏維, IPCC 地球暖化 1.5°C 特別報告 -- 決策者摘要全文翻譯, 2018.10
12. 台達電子文教基金會, 解讀IPCC特別報告《Global Warming of 1.5 °C》簡報, 2018.10

貳、能源現況盤點

能源轉型的過程中，社會大眾對於能源議題的普遍認識與接受，是轉型中最重要基石。然而，台灣民眾似對於相關議題認識不足，無論是當前台灣的電力使用情形，或各類能源選項之本質與可比較的參考。在缺乏社會共識的情況下，任何轉型政策都難以推動，產業也難以發展，只因在前行的過程中必然遭遇對造方的反抗。

電力就如同一個市場，包含了市場的需求、供給，以及市場規則與環境。因此，本章將盤點當前台灣總體電力的「需求面」、「供給面」與「政策現況」，以期給予讀者對台灣能源而全盤的基礎認識：

- 「需求面」：本節將盤點台灣各部門總用電量狀況，並透過台電與政府公開數據，了解尖峰用電與各地區用電情形；
- 「供給面」：針對介紹台灣當前各種能源之發電現況、社會爭議以及解決方式，為讀者建立對於台灣目前各種能源選項的基礎認識；
- 「政策現況」：最後於第三節介紹當前能源政策下，台灣再生能源當前之規劃潛量、技術面上的障礙，以及電業轉型過程中的法規障礙。

一、需求面：用電量

誠如上述，本節首先將釐清「經濟發展程度」與「節電」的關係。在本段將揭露台灣長期與近期發電總量與趨勢，並盤點重點國家、彙整國際趨勢，用以指出台灣不願節電的真相。第二段，則將展現各部門對於能源的需求，並指出住商部門為台灣用電緊迫的最主要因素。第三段，則按地理分布分析用電情形，觀察全台灣北、中、南、東各區電力使用狀況，以釐清台灣全國電網下各區域之間的平衡關係，以及我們如何看待「送電」議題。

(一) 已開發國家需求： 經濟發展不是阻礙節電的理由

台灣每年電力使用幾乎連年創新高，根據台電售電資料，自 1951 年以來僅 4 年電力為負成長，第一次在 1981 年，而後分別為歷經金融海嘯的 2008、2009 年，以及歷經 20% 電價漲幅 2012 年——自 1951 年來平均成長率為

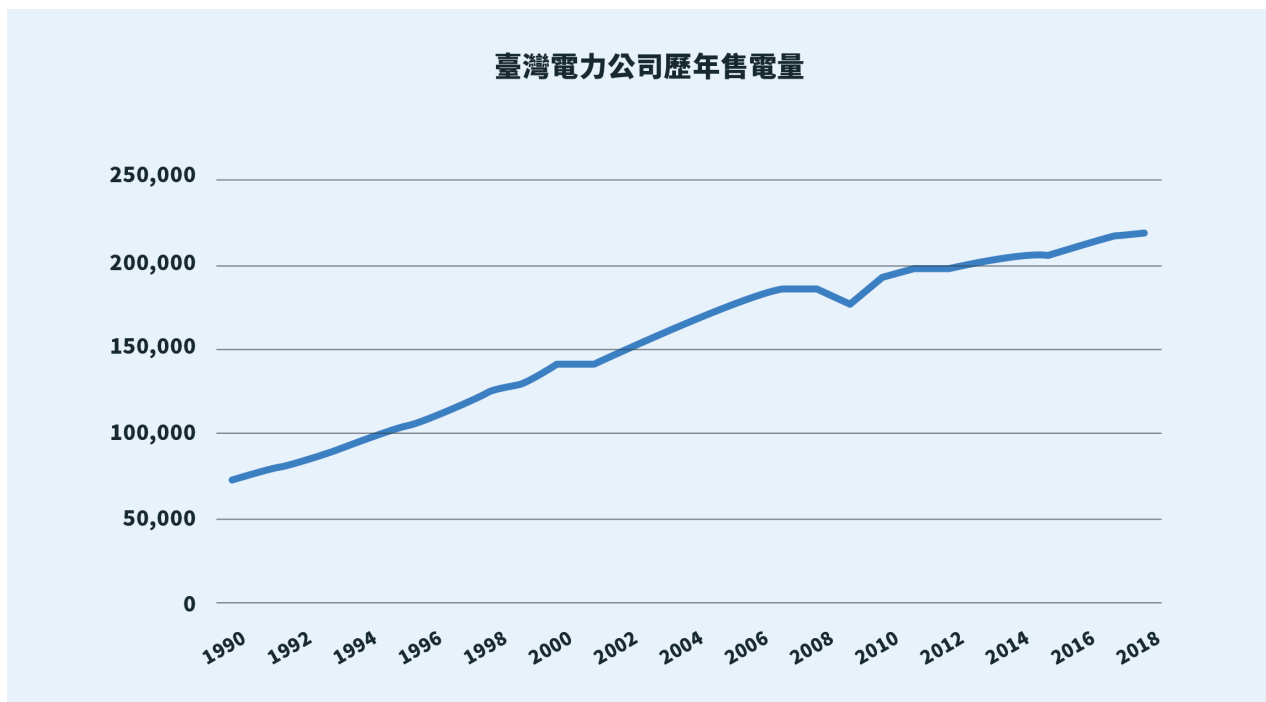


圖 2-1 台灣電力公司歷年售電量，2018 年售電總量來到 2191.08 億度。
(圖片來源：參考政府資料開放平台中「用電統計資料」自行整理)

8.32%，就算自 2000 至 2018 年用電量計算，亦達 2.71%。近 5 年來，亦屢創新高，至 2018 年來到我國史上最高用電 2191 億度。

長期以來，論及「缺電危機」時，我們多在思考如何建構更多的發電廠與發電設施，但這樣的思維即「開源而不節流」。固然用電與產業發展有一定的連結，本報告亦不否認以製造、貨品出口為導向的台灣，擺脫用電量持續上漲的困境有其難度。然而，若以跨國尺度觀察，卻不免顯得台灣在節電的努力上，表現欠佳。

當台灣與周邊國家比較(圖 2-2)，可發現與經濟成長趨勢相近的國家相比，台灣人均用電相對較高，更早已成為全亞洲用電量最高的國家。相比而言，周邊已開發國家幾乎均呈現人均用電下滑的趨勢，唯獨與台灣一起用電成長的韓國，自 1997 年亞洲金融海嘯後持續成長，最後超過台灣人均 GDP，成長速度可觀但截至 2017 年為止，其人均用電卻從未仍低於台灣。

而若與經濟體質較為穩健、開發程度較高的國家例如美國、德國、澳洲相比，可發現上述國家近年人均用電皆逐年下降，顯示已開發國家已紛紛針對節電採取相關計畫。其中，德國以高昂的電價做為節電誘因，並且設立嚴格的建築節能標準，使節電成為人民生活習慣；澳洲近年來耗電產業持續減少，並且鼓勵家戶安裝節電器與光電板，以多種提升能源效率的節能策略提高節電量；美國近年則持續推動電力公司能源效率計畫，不僅降低能源消耗，更持續提高節電量，成績顯著(圖 2-3)。

成為用電量「亞洲第一」的台灣，相比而言經濟卻未有相應的表現，對此我們似乎難以再宣稱經濟成長與用電必然的關聯，作為拒絕節電的理由。另一方面，各國透過節能標章或電費反映實際電價等機制，讓電力價格反映市場現況，減少不效率的「用電補助」，不僅創造節能產業，更讓整個國家整體用電下滑。台灣目前仍有九成以上的能源仰賴進口，除了發展再生能源促進能源自主外，也應發揮節能潛力，從供給與需求雙管齊下，才是永續解決之道。

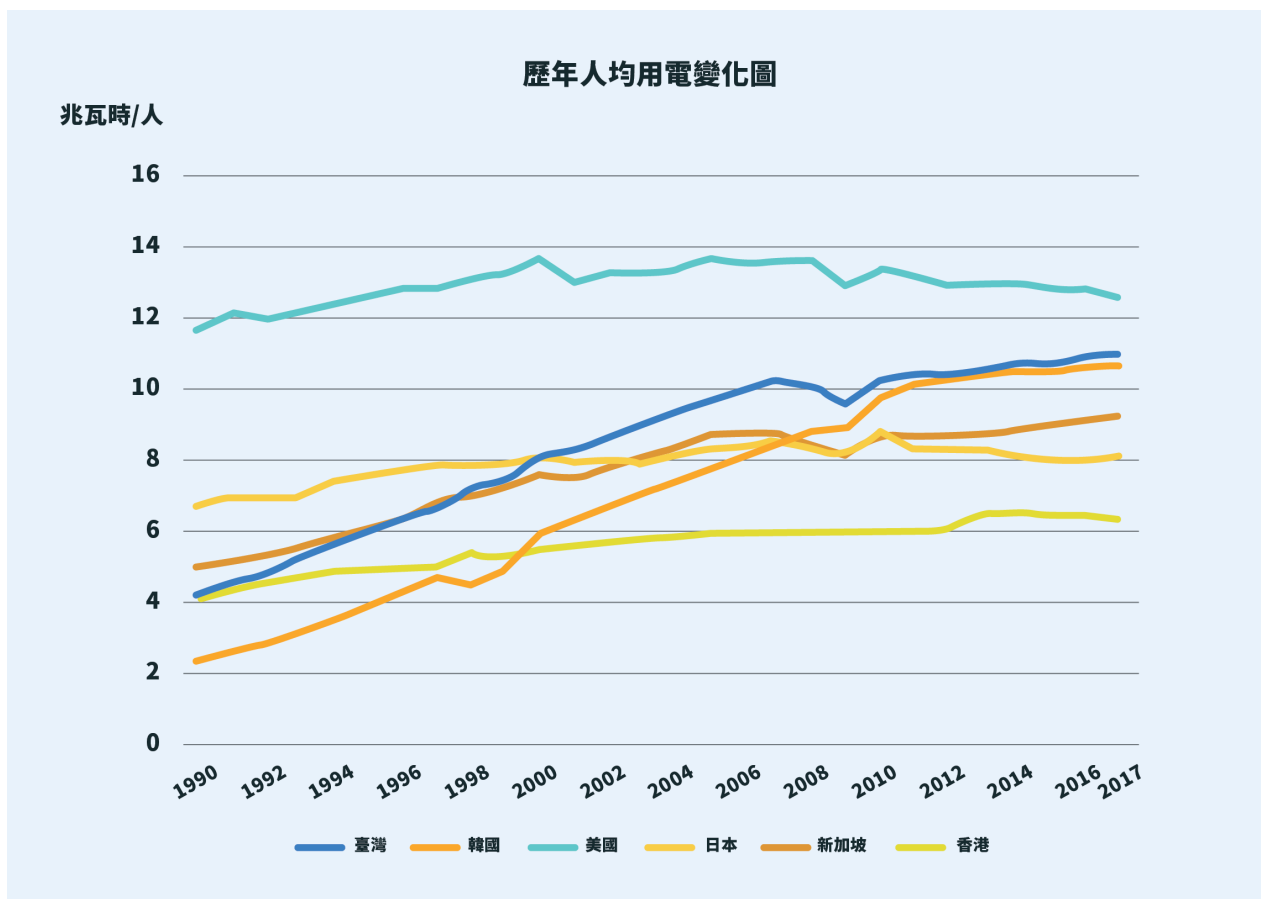


圖 2-2 歷年人均用電變化圖(資料來源: IEA, 2017)

美國歷年節電量



圖 2-3 美國歷年節電量

(資料來源: American Council for an Energy-Efficient Economy, The State Energy Efficiency Scorecard, 2015)

(二) 臺灣案例：

如何面對停電問題?請關注節電策略

目前的台灣是否正面臨缺電風險?思考這個問題的同時,必須先了解珍貴的電力用去了哪裡。透過經濟部能源局公開資料可得知,目前的售電對象部門可分成工業、服務業、住宅、能源部門、農業、運輸等 6 類,且總用電呈現上升趨勢。台灣歷年用電需求中,占比最大的類別來自工業部門,以 107 年而言,工業部門占整體達 54.5%,遠多於住宅用電與服務業用電(圖 2-4),並且持續成長。然而,根據台電資料,造成尖峰用電瞬時飆升超過可負荷之總電量,進而導致停電的主要用戶並非來自用電量較大工業部門(高壓用戶),而是住宅與服務業(低壓用戶),且來自夏季空調需求。

針對住宅與服務業用電,國際能源署(International Energy Agency, IEA) 表示,逐漸增加的住商空調的需求,可能成為未來提高全球用電需求的主要原因之一;為解決住商所帶來的龐大用電壓力,其呼籲各國制訂法規要求冷氣廠牌提高節能效率,同時鼓勵購買高效節能冷氣機等措施。以位處副熱帶的台灣個案而言,燥熱的夏天與大量的冷氣使用,亦為住商部門節電的關鍵。

2018 年各類別售電量百分比

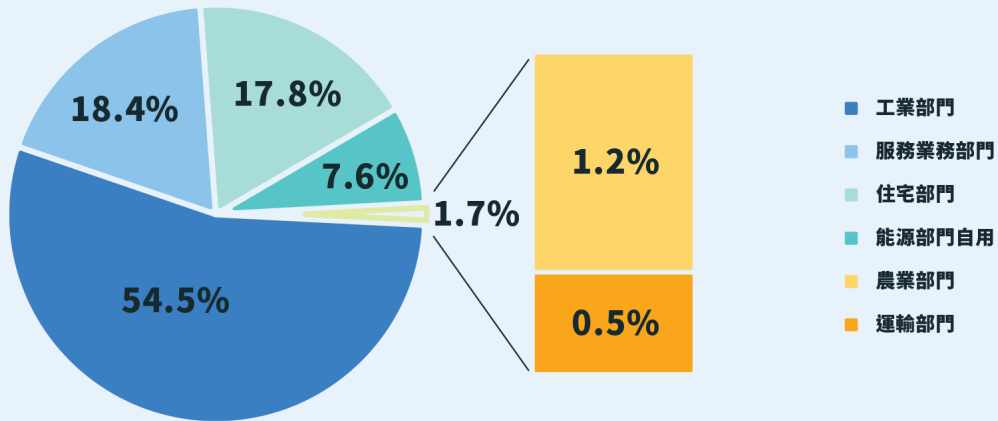


圖 2-4 2018 年台灣各類別用電量百分比 (資料來源: 台電公司統計資料)

以2015年7月2日為例: 低壓用電佔尖載達51.63%

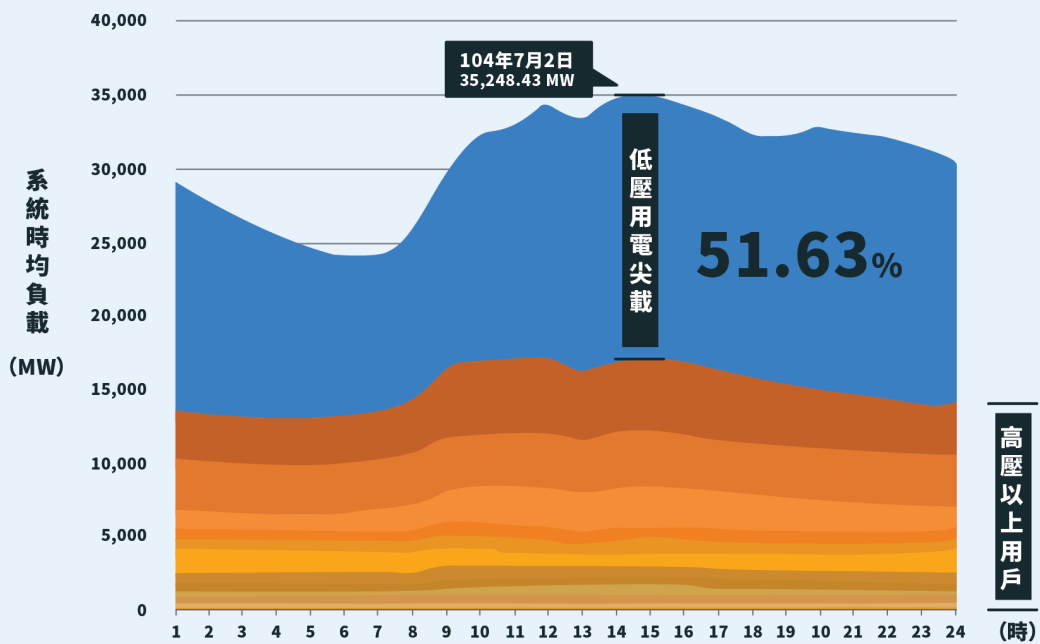


圖 2-5 以 2015 年 7 月 2 日為例, 低壓用電佔尖載達 51.63% (資料來源: 陳群元、台電月刊)

(三) 用電量分布圖：

南電總是北送？其實全台電力互相依存

台電統計資料顯示，可得知目前的台灣供電系統可分為北、中、南、東等地區。其中，售電量佔

比最高的區域為北部，以 107 年而言，北部佔總售電量 42.18% (圖 2-6)；若將北、中、南等區年度供電與用電情況列入考慮 (圖 2-7)，則北部為用電缺口最大的地區，因此多有南電北調、中電北調等爭議。

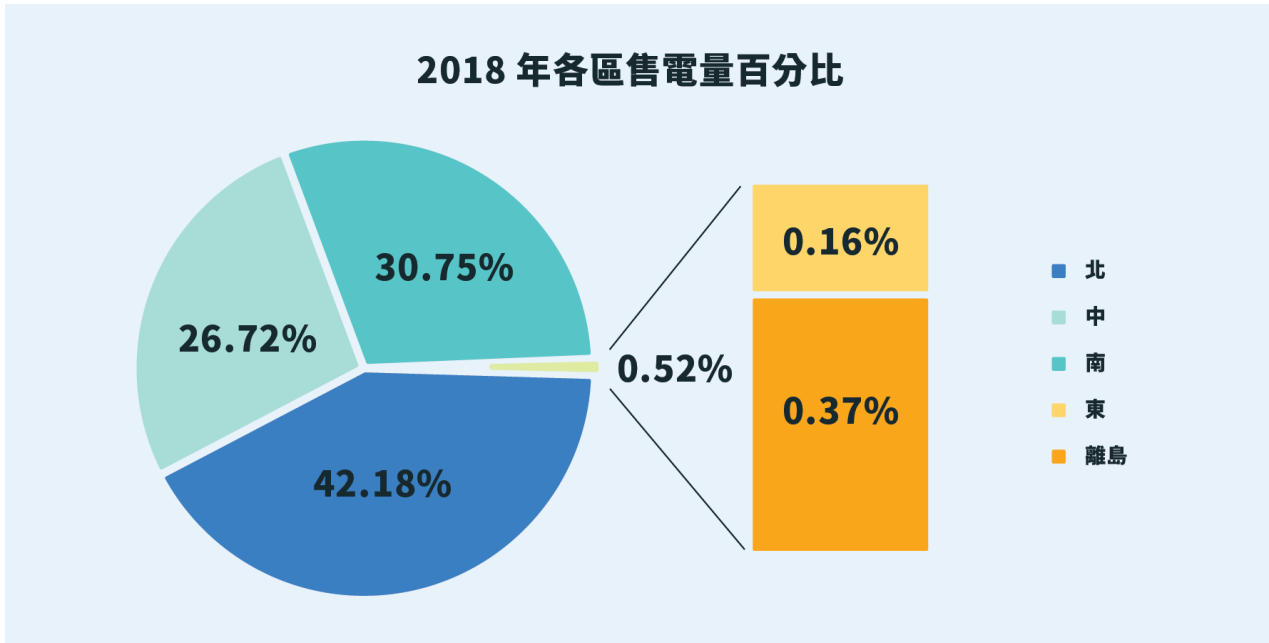


圖 2-6 2018 年台灣各區售電量百分比 (資料來源：台電公司統計資料)

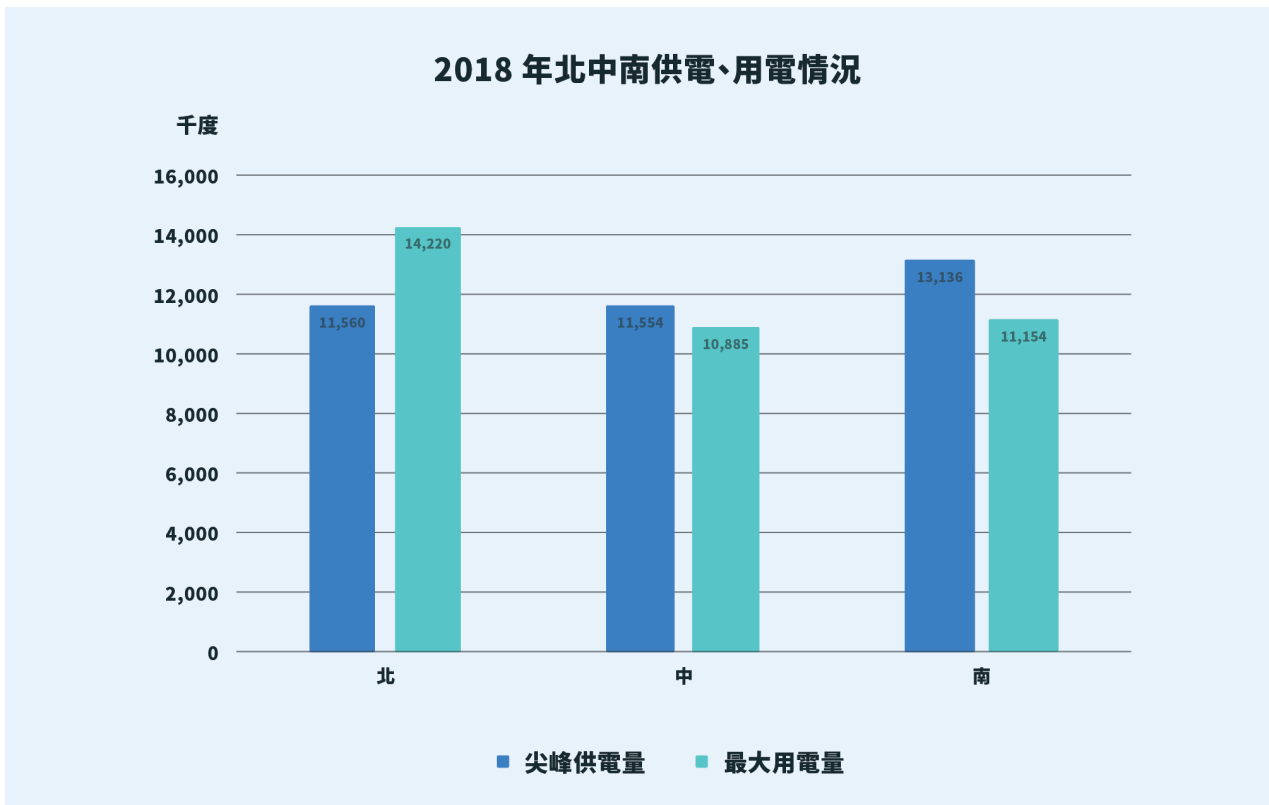


圖 2-7 2018 年北中南供電、用電情況 (資料來源：台電公司統計資料)

然而，根據工研院「懂能源」團隊研究，如將時間尺度以每小時、每天、每週、每季切分，可發現電力調度與機組調度、維修、空污降載或季節等眾多因素有關，為維持穩定的供電系統，各區電力其實是依循著中央電網相互依賴，並非只有「北調」（圖 2-8）。當然，北、中、南、東四區的供需比例亦明顯有別落差，我們也不諱言，儘管北電南調或中調的趨勢存在，依據總量而言，北部依然是淨需求大於其他地區的。但這裡亦必須闡明，在電業法中關於輸配電業尚未開放以前，中央電網即是短距離直接供電或自發自用唯一的選擇。

就本報告而言，與其計較發電過程中所產生的污染留在哪區，倒不如溯本求源地尋求如何能讓「發電過程中不製造或製造最少量污染」。選取對於發電設備影響所及之居民與環境生態相對友善的發電方式，才是找到對於整體社會來說，利益最大的解決方式。

二、發電量

認識台灣電力使用狀況後，可以發現電力供需與國家發展、人民生活可說是息息相關，僅僅只是夏季空調的使用，都有可能對社會、產業帶來影響。然而，我們日常所用的電力究竟從哪裡來？從設置、運轉到發電過程中，各種能源分別可能產生哪些影響？誠如上文所論及，「發電過程中不製造或製造最少量污染」是能源轉型的核心目標之一，當我們享用電力帶來的便利同時，不同的發電方式所產生的成本與代價，將如何衝擊生態環境與社會？

本節將先簡介台灣能源發電概況，接著從不同的能源，簡介其衍生之爭議與可能解決方式。第三段，則將針對不同的能源從其完整的生命週期，分別探討發電成本與碳排放，讓各界能逐步釐清，從氣候變遷的角度而言，為何某些能源在應對氣候變遷時會成為全球各國之首選，進而能回頭觀察台灣未來面對氣候變遷之策略。

（一）發電配比（歷史資料一覽）

想了解台灣電力系統，必須先釐清各能源類型所佔的發電量。以 107 年各能源發電配比來看（圖 2-9），目前燃氣及燃煤依然是發電主力，佔發電總量約 80%，其次是核能發電，約佔 10%，再來則是為水力、太陽能、風力等再生能源，目前佔總發電量將近 5%，最後是燃油，僅占了約 3% 左右。

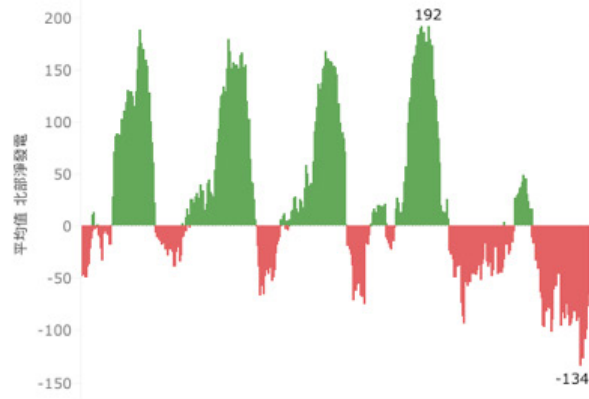
為響應全球能源轉型趨勢，經濟部能源局已規劃於 2025 年將再生能源發電占比提升至 20%、燃氣配比提高至 50%、燃煤降至 27%、核能降至 1%，可以看見政府正逐步增加能源供給方式，並透過風力、太陽光電等再生能源發電替代化石能源與核能，此一趨勢從民國 97 年至 107 年燃煤、燃氣、核能、再生能源發電量配比（圖 2-10）可見一斑，其中核能發電量逐漸下降，而再生能源發電量則逐年緩緩成長，其中以太陽光電成長速度最快（圖 2-11）。

值得注意的是，再生能源發電表現因天氣條件不同，瞬時總發電可能產生極佳表現。根據過往台灣電力公司即時發電數據，以 108 年 9 月 11 日太陽能的表現為例，當日中午太陽光電瞬時發電量曾高達 2049 MW，不僅超越核二廠發電表現，更占整體發電量 6.051%。隨著再生能源裝置容量逐漸提升，未來在電力供需扮演的重要性也將逐步提高。長期而言，更因為政府政策的方向，必然導致比例發生長期性的消長，因此我們不必囿於現狀，而應更勇於拋出問題，尋找我們心目中理想的能源配比。

（二）各種能源的現況與前景

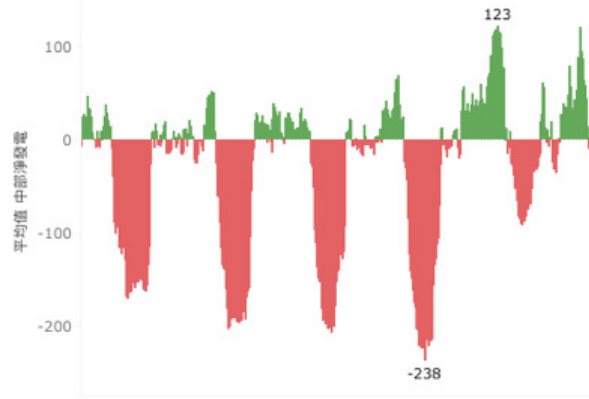
建立理想電力系統的困難之一，在於如何做選擇，如果今天眼前的能源選項，分別具有成本最低廉、碳排最少，或是對於環境

北部淨發電



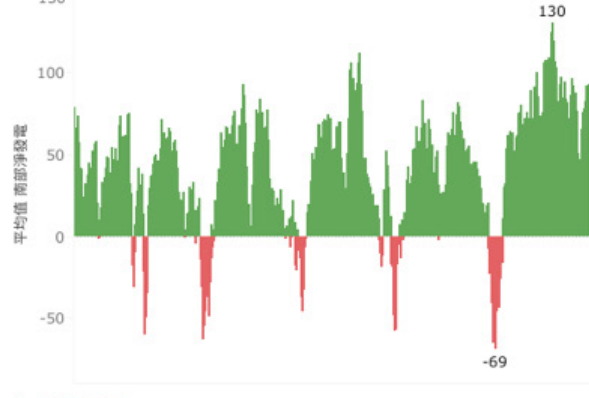
		發電 > 用電, 52%				發電 < 用電, 48%	
時間 小时	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	
0		84	105	107	100	-12	
1		91	126	128	152	-17	
2		116	156	146	171	15	
3		125	151	155	188	33	
4		114	149	153	176	40	
5		171	157	149	179	23	
6		159	136	107	134	2	
7		137	75	81	86	-20	
8		81	20	-2	13	-33	
9		-3	-18	-29	13	-70	
10		-12	-58	-65	-25	-90	
11		-16	-47	-50	-43	-67	
12		-18	-38	-62	-38	-84	
13		-21	-39	-33	-73	-59	
14		-21	-13	-9	-51	-44	
15		-40	-15	7	9	-40	
16		-47	3	0	13	-43	
17		-37	14	8	16	-40	
18		-2	22	20	10	-21	
19		-2	23	15	-15	-26	
20		-19	20	15	-15	-38	
21		-5	26	44	13	-24	
22		-10	26	35	10	-37	
23		38	57	57	35	-31	

中部淨發電



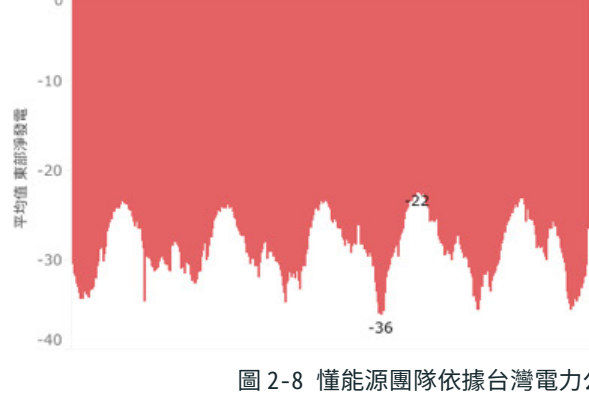
		發電 > 用電, 49%				發電 < 用電, 51%	
時間 小时	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	
0		-95	-83	-123	-98	2	
1		-112	-141	-147	-158	-12	
2		-149	-184	-182	-200	-44	
3		-158	-190	-198	-216	-79	
4		-151	-188	-196	-218	-85	
5		-139	-189	-183	-214	-60	
6		-156	-178	-130	-151	-50	
7		-138	-120	-117	-103	-33	
8		-12	-5	1	-3	-20	
9		4	21	7	-10	28	
10		-2	20	-5	-5	23	
11		7	9	-8	7	2	
12		-13	3	-14	-10	3	
13		1	31	3	40	-25	
14		-1	23	-5	29	-7	
15		-5	-9	5	-10	36	
16		17	5	17	-1	35	
17		33	9	22	13	43	
18		12	-10	8	34	32	
19		0	-10	16	22	49	
20		0	0	23	24	72	
21		26	35	15	56	111	
22		12	43	4	33	115	
23		-52	-6	-46	-5	73	

南部淨發電



		發電 > 用電, 87%				發電 < 用電, 13%	
時間 小时	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	
0		37	5	41	23	37	
1		47	40	44	30	55	
2		57	53	60	52	53	
3		57	62	67	51	69	
4		60	64	66	65	68	
5		-7	57	58	58	62	
6		23	68	48	42	73	
7		28	73	63	42	79	
8		-40	13	28	17	81	
9		28	27	50	25	70	
10		45	68	99	59	96	
11		40	69	85	65	95	
12		61	63	103	75	108	
13		58	37	58	61	110	
14		52	19	42	51	79	
15		74	51	18	30	86	
16		62	21	13	18	87	
17		37	8	3	5	65	
18		24	19	4	-8	83	
19		36	18	1	28	76	
20		52	12	-8	23	-3	
21		11	-30	-27	-39	-54	
22		27	-40	-9	-15	-48	
23		43	-23	17	-2	-14	

東部淨發電



		發電 < 用電, 100%					
時間 小时	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	
0		-26	-26	-26	-25	-27	
1		-25	-25	-24	-24	-25	
2		-24	-24	-24	-23	-24	
3		-24	-24	-24	-23	-23	
4		-24	-24	-23	-23	-23	
5		-24	-25	-24	-24	-25	
6		-26	-27	-25	-25	-25	
7		-26	-27	-26	-25	-26	
8		-29	-29	-27	-27	-28	
9		-29	-30	-28	-29	-29	
10		-31	-30	-28	-29	-29	
11		-31	-30	-28	-29	-29	
12		-30	-28	-27	-27	-27	
13		-30	-29	-27	-28	-27	
14		-30	-29	-28	-30	-27	
15		-29	-28	-30	-29	-28	
16		-31	-28	-31	-30	-30	
17		-33	-31	-33	-34	-34	
18		-34	-31	-32	-36	-35	
19		-34	-32	-32	-35	-34	
20		-33	-32	-31	-31	-32	
21		-32	-31	-31	-29	-32	
22		-29	-28	-31	-28	-31	
23		-29	-29	-28	-27	-28	

圖 2-8 懂能源團隊依據台灣電力公司公布的用電曲線資料製作圖表，其中發電大於用電以綠色呈現；用電大於發電則以紅色呈現。
(圖片來源:懂能源,電力資訊一覽, 2019)

2018 年發電量配比

(總佔比由大而小排列)

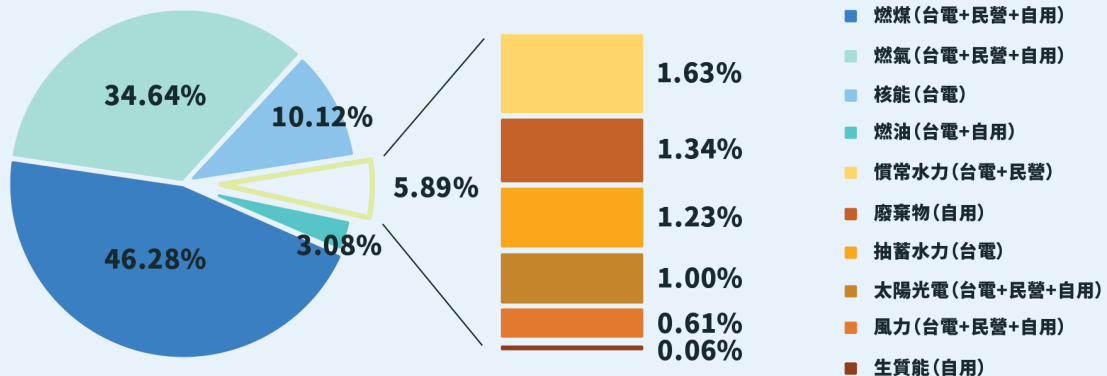


圖 2-9 107 年發電量配比

(圖片來源:參考經濟部能源局「統計能源月報」並自行再製)

燃煤、燃氣、核能、再生能源發電量比較

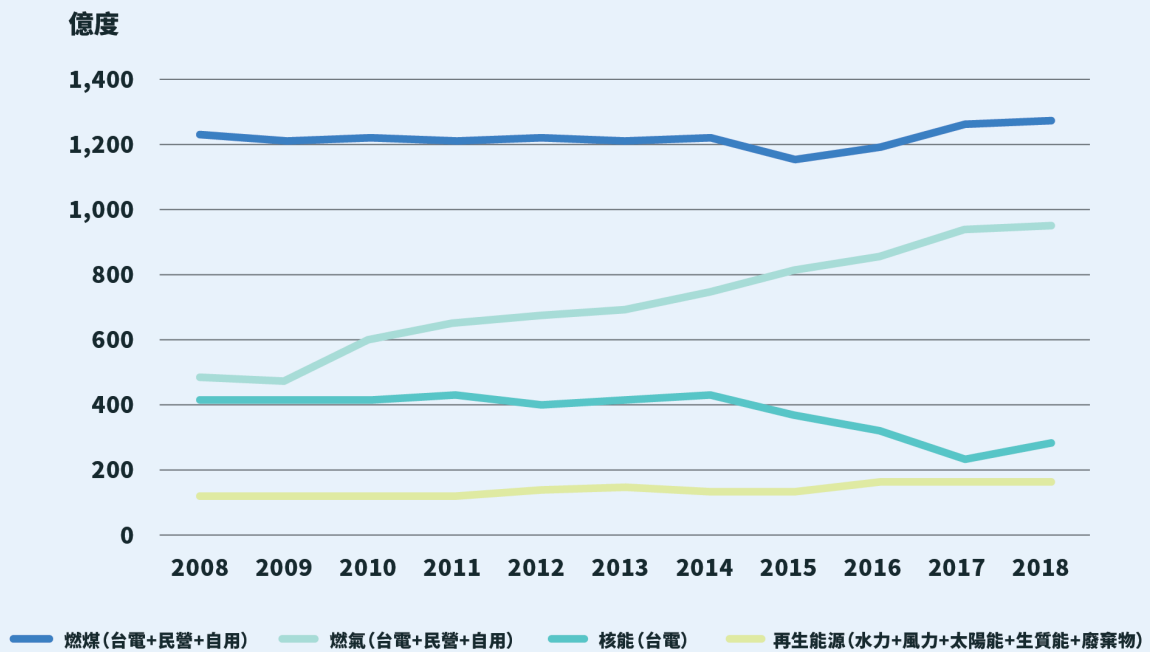


圖 2-10 燃煤、燃氣、核能、再生能源歷年發電量配比

(圖片來源:參考經濟部能源局「統計能源月報」並自行再製)

各類別再生能源發電量

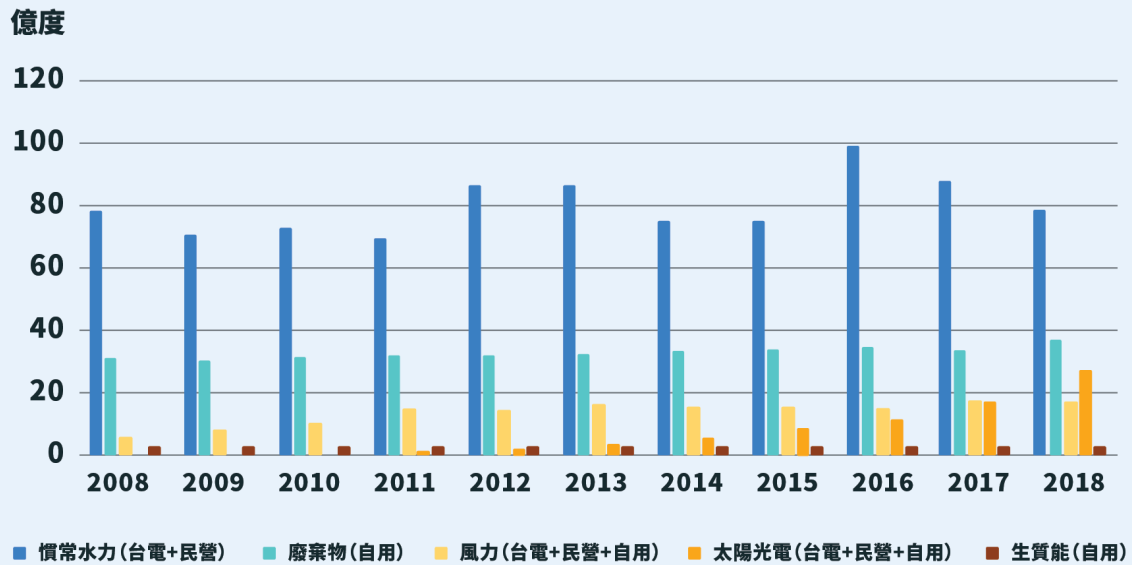


圖 2-11 各類再生能源發電量成長
(圖片來源:參考經濟部能源局「統計能源月報」並自行再製)

相對永續等優點，甚至不同能源之間各自具有替代關係時，我們應該如何取舍？這是個無論任何國家都須面對的大哉問，因其涉及面向之廣，時間尺度之長，因而留下無數的變數，隨著總體經濟、國際情勢，以及環境的變遷，都會導致預測失準。

但至少，我們能對當前台灣的各種能源選項有更明確的認識。接下來的段落中，本報告將以發電表現為基礎，盤點台灣目前發電占比超過5%或具極高發電潛力的能源之優缺點與常見爭議，建立對於當前各種能源選項的基礎認識，使讀者能進一步了解發展長期能源政策過程中，必須面對的困難、限制與機會。

1. 燃煤：便宜卻可怕的环境殺手

燃煤是台灣電力目前占比最高的能源選項，目前每年燃煤用量約為 3,000 萬公噸，若完全燃燒，足以產生 8,580 萬公噸的二氧化碳當量。以 107 年來說，燃煤發電量占總發電量約 46.28%，不僅成本低廉，還能提供 24 小時穩定運轉，是目前的主力發電來源。

然而，燃煤對於環境及人民健康卻會產生巨大的傷害，不僅產生的二氧化碳可能帶來嚴重溫室效應，發電過程所排放的 PM2.5 懸浮微粒，更含有多種重金屬與化學物質。台灣大量使用燃煤形同將人民暴露在致癌與各種慢性病的風險下。而發電廠排放的廢水也會污染鄰近海域，不僅影響海洋生態，也造成引海水養殖業的水溫過高無法養殖，進而嚴重影響當地養殖產業。因此，部分國家已針對燃煤採取減少污染之措施，甚至指定關閉燃煤電廠，舉例來說，英國政府於 2015 年宣布預計於 2025 年前結束燃煤發電；同時，隨著環境法規的限制愈趨嚴格、其他能源的成本逐漸降低，許多國家均已紛紛遠離燃煤發電，包含美國在內。於此同時，亞洲仍然為最主要的燃煤電廠建造區域(圖 2-12)，出資者多則多為中國，以私人金融機構投資而言，則以日本為首。

2. 燃氣：空汙較少，但成本較高

燃氣和燃煤相比，碳排相對較低(圖 2-14)，能 24 小時穩定運轉，也能相對快速地啟動，支應尖峰用電需求。缺點是發電成本較為高昂(

運轉中: 2,024,100 MW (2018)

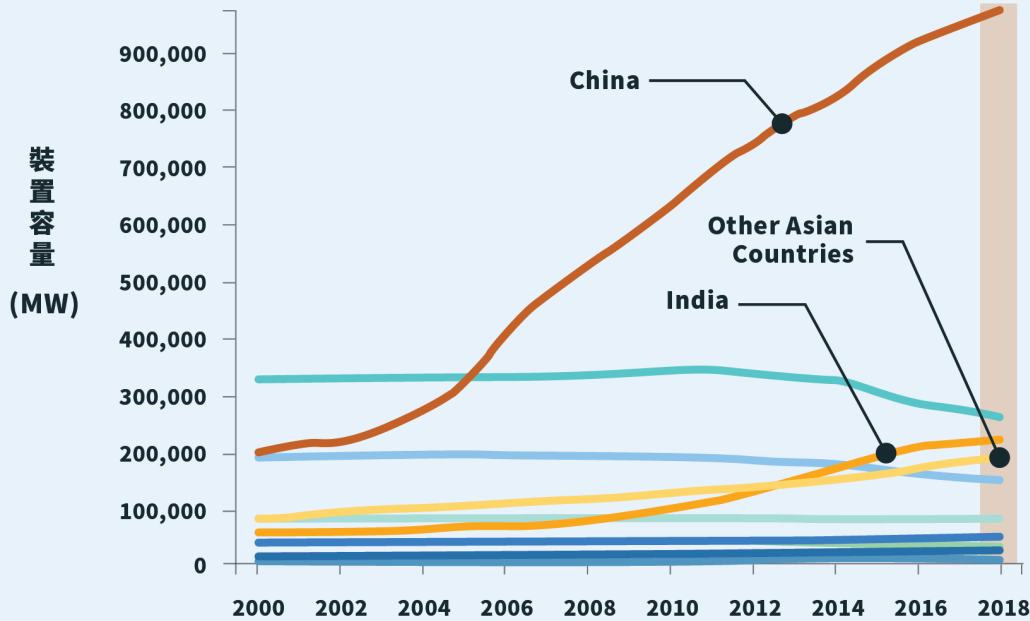


圖 2-12 各國、各區域自 2000 年以來燃煤電廠發展趨勢
(圖片來源:修改自 Carbon Brief)

圖 2-15)。107 年燃氣機組發電量占總發電量 34.64%，為了配合能源結構轉型，預期未來天然氣需求量將逐年增加，台電公司已作好擴大天然氣發電相關執行計畫；目前預計 2025 年，台灣的天然氣發電將超過核一、二、三廠及核四廠之發電設置容量。

雖然隨著燃氣逐步取代燃煤成為轉型過程中的主要電力來源，空污與碳排問題都有機會獲得改善。但就碳排總量而言，燃氣產生的空氣污染還是比太陽能或核能高，且運送、接收、儲存都需要特別的設備，否則將有外洩的風險。有鑑於此，相關開發案在選址上造成不少環境爭議。例如，台電第三座燃氣機組的設立位於溼地，可能嚴重影響候鳥的生存空間；中油預計新建的天然氣接收站位於大潭藻礁區，可能因此破壞該區域豐富的藻礁生態，應重新調整時程，以台北港或其他港口作為替代方案；而位於西拉雅風景區、鄰近考古遺址的民營燃氣電廠，也因與當地民眾溝通不足造成環境保護與開發與

否的二元對立。

3. 核能: 必要之惡? 當擁核與廢核各執一詞

台灣目前有核一、核二及核三廠共 3 座核電廠運轉發電中，核四則依政府指示進行封存。儘管位列傳統能源，核能發電仍有其他傳統能源所不具的優點，例如從建置到除役整體生命週期之單位碳排較低，因而常被歸類於「低碳能源」，在某些國家仍可見到其考慮以核能作為能源轉型路徑上的過渡能源。

然若站在永續和安全的觀點上思考，核能發電最大的疑慮莫過於輻射污染以及核廢料處理問題。以核一廠為例，除役後需要長達 25 年才能完成建物拆除和土地復原；且位於地震帶上的台灣是否合適建置核電廠也應該計入風險一併考量；另一方面，核能發電時效率不彰，只有 1/3 的熱能會轉換為電能，其餘 2/3 的廢熱，則須仰賴大量的海水循環冷卻，循環過程中無論吸入海洋生物與微生物，或是因為廢熱與高溫

熱水的排放造成當地海洋生態升溫、珊瑚白化等問題。而由於上述問題在台灣尚未凝聚共識，使得核能的存廢向來具有極大爭議。

此外，近期其亦常被批評無助於氣候變遷的解決，理由包括：核電廠興建時間長、成本高昂（成本效益不彰）、核武擴散危機、熔毀風險、開採工人的肺癌風險、二氧化碳當量排放和空氣污染與核廢料風險。據Mark Jacobson 所稱，新核能每度（kWh）的成本為陸域風電的 2.3 到 7.4 倍；與再生能源相比，規劃和運營間需要多出 5 到 17 年的時間；此外，平均每單位發電時所產生的碳排放量與再生能源相比，高出 9 至 37 倍。

4. 太陽光電：陽光+屋頂，就能種出電力

太陽光電是一種再生能源，最大的優點是發電過程不會排放有害於環境與健康的廢氣、廢熱。且若將製造、設置、發電到回收整個生命週期的碳排列入考慮，太陽光電比起傳統發電方式包含燃煤、燃氣都更加環境友善（圖 2-14），且發電過程中毋需提供燃煤或鈾棒等燃料，因此能讓台灣毋須仰賴能源進口，是實現能源自主的重要發電方式。

台灣太陽光電設置情形近年來發展快速（圖 2-12），在裝置容量較高的縣市，例如台南

市、雲林縣、彰化縣等日照充足的地區，已經可以看見不少工廠、公有機關、農業設施屋頂布滿光電板。若按照政府能源政策持續推動，根據經濟部能源局報告，預計 2025 年全台太陽光電總累積裝置容量將達到 20 GW、帶動的總投資額將達到新臺幣 1 兆 2,000 億元。

然而太陽光電在發展上也不是毫無困難。台灣地狹人稠，為了提高裝置容量，除了在工業廠房、公有廳舍、農業設施、住宅等建物上發展屋頂型太陽光電之外，也需要大量土地設置地面型太陽光電，但地面型太陽光電往往涉及土地利用變更與地價炒作甚至風水等問題，因此選址過程中曾引起地方居民反彈；另一方面，由於太陽光電發電情形與天氣條件息息相關，即使依照政策推動方向提高總裝置容量，單就太陽能發電裝置若不搭配儲電系統，則一旦入夜，白日累積的電能也都將無法貯存，或甚至因為電力設施超過饋線所能負荷，而使得發的電白白浪費。

其他與太陽光電有關的爭議，包含製造晶圓過程產生的矽污泥可能導致廢水、土壤汙染，以及汰換下來的光電板該如何妥善處理。由於目前已有成熟矽污泥處理技術，若能確定生產過程符合標準，即可有效避免因矽污泥處理不當所產生的汙染問題。至於模組回收議題，目前

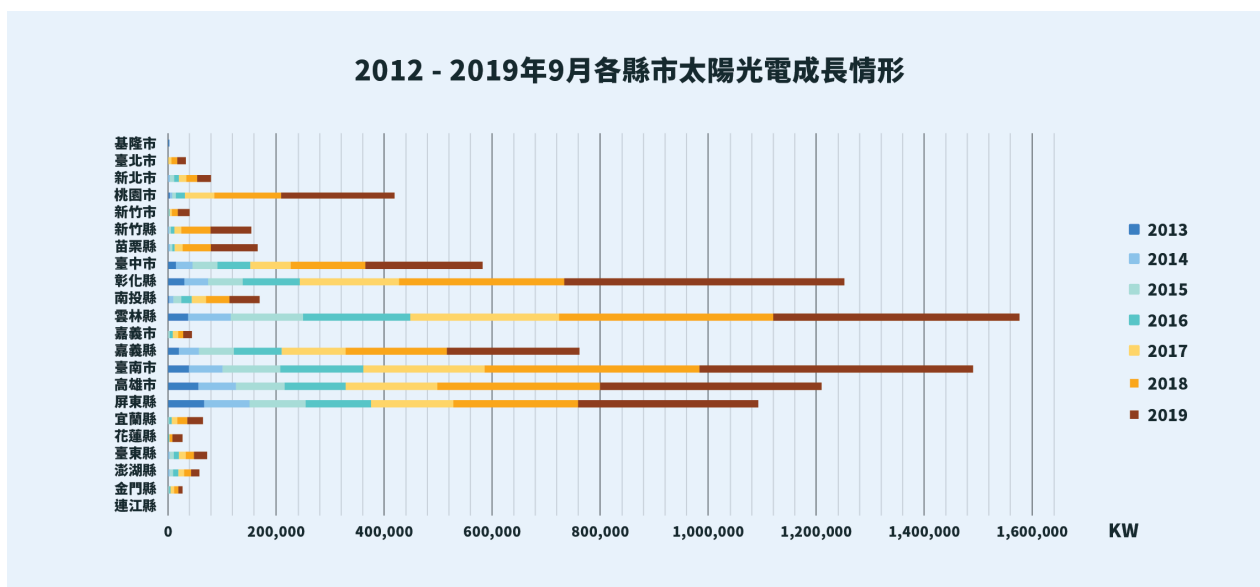


圖 2-13 2012-2019 年 9 月各縣市太陽光電成長情形
(資料來源：台電公開資訊)

能源局與環保署已研議回收制度，相關機制預計將於 2020 年實施。由於國際間已有成熟的光電板模組回收處理技術，若台灣能建立完善回收機制，不僅能解決環境問題，也可望進一步創造循環經濟產業鏈。

太陽能模組回收處理技術簡介

主要可分為兩階段：

- 第一階段：將太陽光電模組進行拆解，去除鋁框與接線盒等物件，再燃燒除去EVA及背板
- 第二階段：玻璃板及鍍錫銅帶均可回收再製，太陽能電池則須透過化學程序進行分離，最後將剩下矽晶片廢料。矽晶片廢料可做為鋼鐵冶煉的添加材料，也可回收精煉成為矽晶棒產製之原料。

5. 風力發電：

沿海風機是迷人風景，還是生態威脅？

風力發電和太陽光電一樣屬於再生能源，發電過程中幾乎不會產生污染，至 108 年 6 月底止，台灣已建置 349 部風力發電機組，總裝置容量為 711 MW，若配合政策「千架海陸風力機計畫」目標，預計於 2020 年台灣將設置超過 1,000 架風力機，總裝置容量將達 4,200 MW，約可占再生能源設置目標 33 % 以上。

然而，風力發電也和太陽光電一樣，由於高度仰賴天氣條件，許多人擔憂以台灣的天氣條件而言，風力發電是否會因為夏季風力不足而無法發電，因此風力發電效益不彰等焦慮。對此，本報告將在第三章節破除迷思。

較為值得注意的是，許多保育團體擔心風力發電——尤其是近期快速發展的離岸風機，在開發及運轉過程中可能對生態環境產生負面影響，包含威脅候鳥、蝙蝠和白海豚的生存條件。但是，若依據「美國風力能源協會(AWEA)」過去的研究可看出，風力發電的運轉與噪音對於鳥類生態其實相對輕微，和溫室氣體持續增加進

而傷害下一代身體健康，並且導致 2050 年後 100 萬種生物恐怕消失等威脅相比，傳統能源對於生態的破壞恐怕更加嚴重。當然，即便如此，在選址過程中，仍均應考量生態熱點，以儘可能避免任何對生態系的嚴重破壞。

此外，國外離岸風場可觀察到風機基座有類似人工魚礁的聚魚效果，會吸引底棲生物、魚類和其他海洋生物聚集棲息，不僅豐富原先的生態系，也能與海水養殖設施共構，或甚至開放部分區域結合海洋休憩，成為漁業轉型的契機。即便如此，也應顧及當地漁民與相關航運的適當補償，透過社區溝通的完善，發展與當地社區更友善、永續結合的互利共生商業模式。

6. 地熱發電：能夠24小時穩定運轉的再生能源

地熱發電和太陽光電與風力發電等再生能源不同，發電過程可不受天候影響、對於地震颱風具有良好的抵抗能力，是一種相對穩定、唯一可兼顧基載及殘載的再生能源，與火力發電、核能發電及所有再生能源相比，地熱更具有低污染、高土地使用效益等優點；發展限制主要來自開發成本高昂，其次，在缺乏相應技術及完善管理辦法的情況下，可能因過度開採而產生地熱資源衰竭問題。

根據工研院初步評估結果，台灣具開發地熱潛能區蘊藏量預計約有 32 GW，科技部國家能源計畫評估的規模更高達 159.6 GW。目前台灣的地熱能目標是 2025 年地熱發電累積設置容量將達 200 MW，若能持續增加地熱能源之開發利用，將有機會提升台灣自主能源的穩定性。然而統計至108年六月底，台灣已完成併聯運轉之地熱發電，僅有台東泓泉溫泉渡假村 30 kW、清水地熱 BOT + ROT 案 300 kW、清水地熱宜蘭大學產學合作案 150 kW 等三處。

儘管台灣本身具備充沛的地熱發展潛力，政府亦於 107 年修訂《地熱能發電系統示範獎勵辦法》，設法降低開發限制和風險，至 108 年六月已經有 6 件地熱開發案通過審查，且能源局在偏鄉及原鄉的再生能源推廣計畫中受到重視；2018 年 4 月「開發行為應實施環境影響

評估」修法將 0.5MW 的地熱電廠環評門檻上修至 10MW 後，許多民間案場獲得商業開發的必要條件，未來地熱探勘及電廠籌設申請案可望增加。但當前地熱舊有探勘資料仍顯不足，若與太陽光電與離岸風力比較，技術與產業發展明顯更為緩慢，若依據 108 年度第 5 次再生能源電能躉購費率審定會資料來看，離岸風電初期建置成本採用 174,500 元/kWp 計算，政府願意以 5.5160 元/度長期躉購，相較之下，地熱建置成本以 278,600 元/kWp 計算，將近風力發電之兩倍，但躉購費率價格卻只有 5.1956 元/度，對於產業投資吸引力有限，將戕害產業初期的發展條件。顯示政府應加強編列地熱探勘預算，且相關探勘報告與潛能評估資料應該更為公開透明，並且思考如何扶植台灣地熱能開發本土技術和經驗的產生。

7. 水力發電：即將成為生力軍的小水力發電

傳統多認為，水力發電是一種環保的再生能源，然而近年來大型水力發電計畫飽受批評，幾乎完全除名於「再生能源」之列。其不僅影響灌溉用水和農民權益，集水區過度開發也可能導致水壩淤積進而縮短水庫壽命，此外，建造水壩對於河流生態也造成巨大傷害。然而，利用水循環所帶來的位能與動能轉換，作為在能源仍是充滿潛力的，台灣雖地狹人稠，但卻因過去農業社會留下的渠道與埤圳，加諸台灣的多川地形，使其充滿發展潛力。有鑑於此，各界對於小型水力發電的期待反而水漲船高。近年政府更召開小型水利發電設施之說明會，可見後續在台灣持續推動小型水利設施建設與發展的機會。

至 108 年 6 月底，台灣目前已建置完成之慣常水力發電廠總裝置容量 209.15 萬 kW，統計至 6 月底，累計總發電量為 28 億 840 萬度。若配合政府政策，2030 年水力開發目標預計將達 220 萬 kW。由於大型水力發電計畫選址不易，更對周遭生態、人文環境擁有負面影響，為了加速開發水力資源，同時增加民間企業投資管道，台灣未來水力開發的重點之一將聚焦於自然河川中較為環境友善小水力計畫。

8. 其他再生能源：生質能、海洋能

除了上述再生能源以外，台灣未來可發展的選項還有生質能發電與海洋能發電。生質能發電主要分為廢棄物發電及沼氣發電，其中，廢棄物發電因環保署推動垃圾分類與回收政策已達飽和，但畜牧業相對發達，可利用養殖過程的糞便與尿液進行厭氧消化產生沼氣，並轉化成電力，因此也有機會透過生質能發電來穩定電網供電。

相較於生質能發電，海洋能發電目前仍屬於研發測試階段，相關技術包含波浪發電、溫差發電、海流發電、潮汐發電等等。根據工研院 2018 年提出之海洋能研究報告，台灣目前針對海洋能高潛能區已完成初步評估，其中，波浪發電潛能預計約有 2.4 GW、溫差發電潛能預計約有 2.8 GW，海流發電潛能預計約有 4 GW。未來政府將進一步投入場址調查，建立完善資料庫(GIS)以確定實際開發量，但機組實際發電效益、建置成本與可用率仍待驗證。

9. 結論

綜合以上盤點可發現，台灣當前再生能源政策主軸仍以太陽光電與離岸風電為主要發展項目，其他再生能源包含地熱能、海洋能等發電技術之公開資料、發展經費、政策誘因相對較少，建議政府當局應將地熱與海洋能列入產業發展鼓勵之列。

發電方式	燃料	比例	優點	限制或爭議 (常見但不限於以下爭議)
燃煤	煤	46.28%	成本低 穩定	空汙嚴重 生態爭議
燃氣	天然氣	34.64%	可快速啟動 穩定	成本高 仍會產生空汙 選址困難 生態爭議
燃氣	天然氣	34.64%	可快速啟動 穩定	成本高 仍會產生空汙 選址困難 生態爭議
核能	鈾-235 鈾-239	10.12%	燃料成本低 穩定	除役成本高 核廢料問題 核輻射問題 生態爭議 核安問題
太陽光電	無	1%	再生能源 能源自主	不穩定 用地爭議 回收問題
風力發電	無	0.6%	再生能源 能源自主	不穩定 生態爭議 耐力疑慮
地熱發電	無	將近 0%	再生能源 能源自主 穩定	探勘資料不足 政府躉購方案缺乏誘因
大型水力發電	無	2.86%	再生能源 能源自主 技術成熟	生態問題 社區問題

表 2-1 當前再生能源優缺點摘要簡介

(三) 跨能源比較： 我們如何找到最適合台灣的能源？

能源轉型的目的之一是打造更為「潔淨」的電力系統，然而在討論的過程中，常誤將某種特定能源選項作為萬靈丹，而不同能源立場的人各據一詞，卻並未提出如何較為客觀地比較這些能源選項。本報告想藉此釐清，世上沒有所謂的「完美能源」——無論傳統電力或再生能源都有其優缺點，所有的能源均有碳排與建置成本，在選擇、創造理想的電力系統時，應先就不同能源單位碳排放量與建造成本進行評估。

1. 各種能源碳排放

針對各種能源進行評比，若以每種能源從生產到廢棄的完整生命週期裡，平均每度電的碳排放做計算，依據丹麥科技大學 (Technical University of Denmark) 於 2013 年提出的

報告，可得知太陽光電、風力、水力、生質能與核能發電的碳排，皆遠低於燃煤、燃氣等發電方式 (圖 2-14)。

從圖表中可發現，由於碳排放的計算依據環境條件、假設條件、技術先進等因素有所不同，得出的結果也會有所差異，因此計算結果往往不是單一數字，而是一個範圍。值得注意的是，在估算核能生命週期碳排時，由於其中有關「除役」與「廢棄物處理」階段的參考經驗有限，此份研究會因為估算不易所以忽略不計，此會低估核能可能產生的碳排放；而燃料製成階段則依據鈾礦中原鈾濃度的高低影響，也可能使計算結果產生不小的落差。

2. 各能源單位發電成本比較

若以各能源發電均化成本 (Levelised Cost of Electricity, LCOE) 進行評比，依據

平均每度電碳排放量 = 生產到廢棄的過程中造成的碳排放 / 整個生命週期的發電總量

各能源單位發電碳排放

	能源	二氧化碳當量	氮氧化物	二氧化硫
發電量 (kg/MWh _{out})	無菸煤	660-1050	0.3-3.9	0.03-6.7
	褐煤	800-1300	0.2-1.7	0.6-7
	天然氣	380-1000	0.2-3.8	0.01-0.32
	燃油	530-900	0.5-1.5	0.85-8
	核能	3-35	0.01-0.04	0.003-0.038
	生質燃料	8.5-130	0.08-1.7	0.03-0.94
	水力	2-20	0.004-0.06	0.001-0.03
	太陽能	13-190	0.15-0.40	0.12-0.29
	風力	3-41	0.02-0.11	0.02-0.09
投入燃油 (kg/G _{Lin})	無菸煤	46-125	0.028-0.356	0.003-0.596
	褐煤	91-141	0.025-0.161	0.047-0.753
	天然氣	57-85	0.037-0.277	0.0002-0.044
	燃油	75-94	0.081-0.298	0.112-0.698
	生質燃料	0.1-10	0.007-0.128	0.004-0.094

圖 2-14 各能源單位發電碳排放 (圖片來源:Roberto Turconi)

美國國內未補貼發電均化成本(單位:美金)

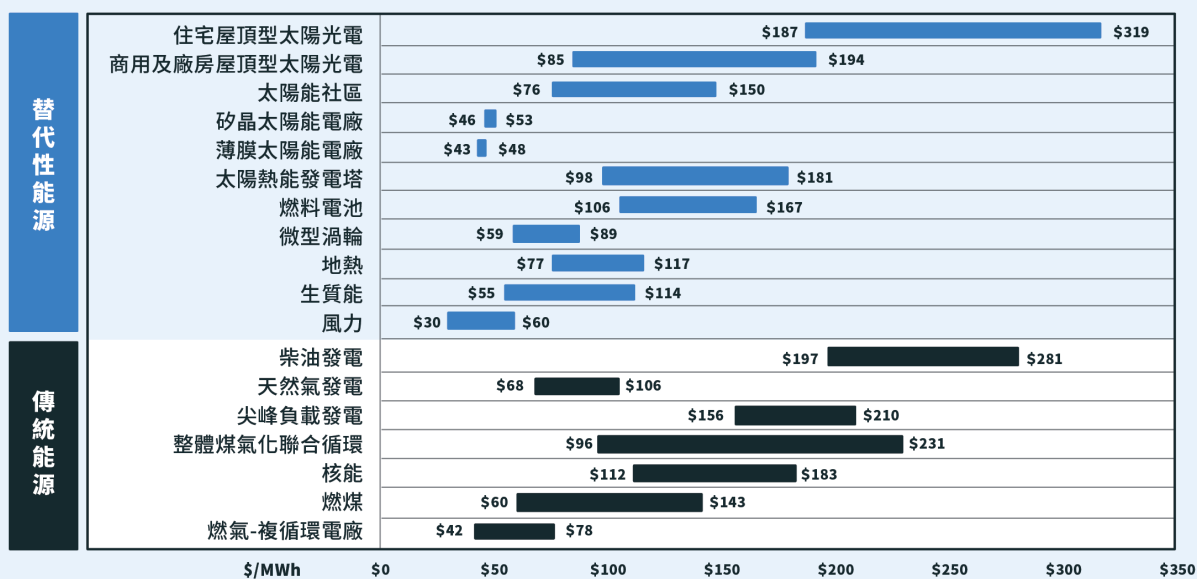


圖 2-15 各能源單位發電成本,以美國為例
(圖片來源:Lazard)

拉扎德銀行(Lazard Ltd)於2017年針對美國各種能源發電方式提出的統計報告,可發現風力發電、大型太陽光電等發電方式與核能、燃煤、然氣相比,已經開始具有價格競爭力。

值得注意的是,美國的建置成本雖可作為參考,但各國自然、政策條件不同,且目前各類能源相關技術正在快速演進,依據製造成本和各地的安裝成本有所不同,也導致均化成本計算結果差距甚大,個案仍須依據實際個案而定。

三、當前能源政策下,增加再生能源發電量之限制與潛力

透過上一節的能源現況盤點,本研究已介紹各種能源的優缺點與現況,然而若配合現行能源政策推動目標,台灣未來的能源路徑又將走向何方?政府的能源目標必須具有野心,才能引導整個社會溝通與前行。

接下來,本節將以當前政府提出的能源政策為基礎,將帶領讀者認識再生能源在台灣的發展限制與潛力。首先將透過政府公開資料,推估在現行政策下,再生能源在台灣發電潛力。接著進一步從技術面著手,介紹台灣如何利用智慧電網系統的彈性調度,協助解決再生能源發電的不穩定特性。最後回歸政策面向,討論從法規面而言,再生能源的推動未來將有哪些展望。

(一) 政策盤點: 2025 非核家園目標發電總量

針對現行政府所提出2025非核家園政策目標「再生能源發電占比增加至20%,燃氣增加至50%,燃煤降低至30%」下,究竟有多少再生能源發電量呢?本研究將依據政府所公告之規劃裝置容量,提出具體發電數據,計算台灣再生能源包括太陽能、陸域和離岸風力等發電方式之最大發電潛力,計算方式為:

$$\text{發電量計算:最大總裝置容量 (kWp)} * \text{年發電量 (度/kWp)}$$

1. 容量因數(Capacity Factor)定義:機組全年總發電量 / (裝置容量 x 全年時數)
2. 太陽光電年發電 1,250 度/kWp 採用全年各縣市發電量計算,因機組設置時間不一、發電效益不一,各地日照情形不一,故計算結果與實際情形可能略有不同。
3. 離岸風力年發電量 3,750 度/kWp 主要參考8 MW機組計算,但未來機組發電量預計增加,故計算結果應與實際運轉情形略有不同。

其中,依據能源局統計,台灣太陽能年發電量為 1,250 度/kWp (即「容量因數」14%)、陸域風力年發電量為 2,300 度/kWp、離岸風力年發電量為 3,750 度/kWp。

若配合推廣目標,太陽光電方面,依據各部會於全台縣市土地的盤點結果,預期屋頂型與地面型累積裝置容量可達 20GW;陸域風力方面,預計累積裝置容量可達 1.2GW;離岸風力方面,若排除相關法規及敏感地區,初步研究顯示台灣總開發潛能概估約可達 23GW。綜合上述資料計算太陽光電、離岸風力、陸域風力的發電度數(kWh)每年最高可達到 1140.1 億度電,與107年台灣年售電量 2,191 億度比較,佔總售電量 52.03%,計算方式如下:

太陽光電:20000000kWp * 1,250 度/kWp = 250 億度電
 離岸風力:23000000kWp * 3,750 度/kWp = 862.5 億度電
 陸域風力:1200000kWp * 2,300 度/kWp = 27.6 億度電

總發電潛量: 1140.1 億度,佔總售電 52.03%

值得注意的是,上述的「離岸風電年發電量」是參考竹南外海機組以及 8 MW 機組進行推估,無法確實反映大型案場發電效率,且離岸風力的躉購費率考量財務控管目前採取「打折制」,對於離岸風電業者而言鼓勵效果有限。

· 108離岸風力躉購費率簡介

經濟部能源局針對離岸風電躉購費率,設定年發電量以 3,750 度/kWp 作為「獲利基礎」;超過的部分,以 2 種折扣方式控管開發商獲利:

- **第一階段:**年發電量超過 4,200 度/kWp、未滿 4,500 度/kWp,將打 75 折,每度電由 5.5160 元降為 4.1370 元;
- **第二階段:**若年發電量超過 4,500 度/kWp,則打 5 折,每度電由 5.5160 元電降為 2.7580 元。

若相關政策與潛力場址持續進行盤點檢討,並將發電技術成熟、效能逐漸提高等因素列入計算,太陽光電、風力發電能支應將近 60% 的台灣用電。若配合美國學者 Mark Jacobson 所提出之研究建議,除了太陽光電與風力發電之外,台灣若能善用本身地熱資源與海洋能資源等,再生能源將有機會 100% 的台灣用電。

(二) 彈性調度: 智慧電網與智慧電表

儘管再生能源發電總量在現行政策的規劃下已相當可觀。而隨著再生能源設置量逐漸提高,用戶可將所發之電力賣回電力公司,逐漸改變原先電力流從電力公司單方向輸送到用戶的模式,未來隨著售電業的開放,甚至可將再生能源,未來乃至不同電力透過直供、代輸或轉售的方式提供給不同的需用單位。但如前文所述,由於太陽光電、風力發電等再生能源容易受天候環境影響,發電情形難以準確預測,而在傳統電網架構下,電力公司不易掌控由用戶端輸送的電力,因此部分地區常有同時段再生能源發電量與負載需求量不一致,例如離峰負載時段的再生能源發電量過剩等問題,顯示缺乏彈性的傳統電網已無法滿足再生能源發展需求。

為了解決上述問題,近年來許多國家因而紛紛著手推動「智慧電網」相關政策,期許將現有的電網進行改造

離岸風力年發電量 4,500 度/kWp 為參考丹麥能源署模擬技術計算而來，考量設置場址發電條件不一，若裝置容量 5.5GW 以內採用 3,750 度/kWp 計算，超過 5.5GW 至 23GW 之裝置容量採用 4,500 度/kWp 計算，年發電度數總計為：

太陽光電：20,000,000kWp * 1,250 度/kWp = 250 億度電

離岸風力：5,500,000kWp * 3,750 度/kWp = 206.25 億度電

17,500,000kWp * 4,500 度/kWp = 787.5 億度電

陸域風力：1,200,000kWp * 2,300 度/kWp = 27.6 億度電

共計為 1,271.35 億度電，與 107 年售電量 2,191 億度比較，佔約 58%

升級。身處這個時代，相信不少人對於智慧家居、物聯網等技術並不陌生，而所謂「智慧電網」，正是透過資訊與自動化科技，建置智慧化的整合性電網，透過蒐集大量的數據資料以及應用管理程式，幫助電力公司進行更加即時、準確的氣象預測，並且對再生能源和儲能裝置進行監控、管理等措施，不僅能減緩再生能源發電量與負載需求量不一致的問題，也能協助用戶端進行再生能源的管理，使再生能源的獲得更高的使用效率。

目前來說，日本是全球智慧電網技術的領導國家，充足的相關建設使日本電力網路具有很高的可靠性，以中部電力管轄區域為例，每戶住宅之年平均停電時間可壓低至 4 分鐘，遠遠短於美國的 23 分鐘、法國的 62 分鐘、英國的 82 分鐘，未來更朝向能克服新能源系統穩定性問題的微電網技術積極發展。

然而，在建置智慧電網過程中，首先必須克服新舊系統之間的整合以及設備規格不一等問題，若電力公司能與有相關成功經驗的業者合作，利用相關實務經驗進行軟、硬體整合，將有助於能降低建置風險，並且使系統測試與整合能更加完善。而在建置智慧電網之後，由於智慧電網上會以較快的速度傳遞大量且多樣化的資訊至電力公司，系統可能產生無法分辨資料正確性，或甚至無法處理如此龐大的資料庫等問題。因此，電力公司應針對智慧電網所需功能，

以合適的擷取速度來蒐集電網的關鍵資料，避免系統處理過多非必要的資料。

另外，發展智慧電網也需要智慧電表系統 (Advanced Metering Infrastructure, AMI) 輔助。智慧電表不僅能讓用戶清楚了解用电量，也能使電力公司掌握即時用電狀態。按照政策規劃，自 106 年開始至 113 年，台灣預計完成安裝 300 萬戶智慧電表，除了能平衡電網供需之外，也能達到抑低尖峰用電的效果。也許不遠的將來，民眾能透過行動裝置操控耗電量高的家電，也能在電價較低的時段使用耗能產品，不僅能夠節省電費，也能協助擴大在再生能源的應用。

(三) 法規與電業轉型： 法規如何協助推動再生能源

除了以科技創造具有彈性的硬體環境，政府政策的配套也不可或缺。在台灣，再生能源共有幾種出路：由台灣電力公司以固定費率保證長期躉購、在再生能源自由市場進行憑證交易，或是發電者自發自用。

然而，過去法規曾規定經由台灣電力躉購的電力不能同時申請再生能源憑證。由於躉購費率價格且市場穩定，且發展初期的綠電大多綁在躉購合約，進而造成再生能源電力自由市場量能不足。

固定躉購費率制度 (Feed-in Tariff, 簡稱FIT)

台灣 2009 年開始施行的「固定躉購費率制度」,透過台灣電力公司以優惠費率長期躉購,鼓勵設置者興建再生能源發電廠。

再生能源憑證制度 (Taiwan Renewable Energy Certificate, 簡稱T-REC)

台灣於 2017 年實施再生能源憑證制度,提供憑證,將再生能源電力證券化,以自由市場機制鼓勵再生能源技術。

為了解決上述問題, 108 年所通過的《再生能源發展條例》修正案,開放躉購和去自由市場的綠電還可以互換,且躉購費率追溯回設備首次提供電能時的公告費率,藉此鼓勵綠電自由,讓法制面也能更有彈性。

另外,為了加速推動再生能源,《再生能源發展條例》修正案也規定用電契約在一定容量以上的「用電大戶」,包含像是大立光、裕隆汽車、鴻海精密等等,必須設置一定裝置容量的再生能源或儲能設備;無法配合設置的用電大戶,應以購買再生能源憑證或繳納代金的方式代替。

修正案同時也補助儲能、再生能源資源盤點等研發或技術(第 7、11 條),更鼓勵公民參與能源事務,包含綠電合作社、社區公民電廠,都納入補助行列(第 9、11 條),各種政策上的措施,都是能源轉型過程中的助力和機會。

除了投注與整合資源,鼓勵再生能源發展外,汰換化石燃料補貼也是當前刻不容緩的問題。「再生能源不靠政府補貼根本無法和傳統能源競爭!」是許多執著於傳統能源簇擁聽到再生能源的直覺反應。但這種評論忽略了政府對傳統能源「化石燃料」給予了多少補貼才造成化石燃料「便宜」的錯覺。根據 2015 年IMF的研究指出, 2015 年全球化石燃料公司每年獲得全球 5.3 兆美元補貼,占全球 GDP 的 6.5%。台灣在同年包含交叉補貼在內,就補貼了 1 兆 203.5 億新台幣在化石燃料上,將近當年 GDP 的 14% —— 相比我國當年 GDP 約為 1 兆 770 億,明顯高於國際平均。

這些補貼嚴重地消耗了國家資源,並加劇了財政赤字。在某些國家,化石燃料補貼佔政府資源的很大比例——有些國家在化石燃料補貼方面的支出,遠高於在健康或教育方面的支出,這不禁讓人好奇,出於什麼邏輯或利益導致了政府採取這種補貼模式?取消這種補貼不僅能減少貧富差距,也可以大幅改善財政赤字,讓政府投資於衛生、教育或氣候融資等領域。

全球正在過去的十餘年間,形成對化石燃料撤除補貼的共識。2009 年的 20 大經濟體(G20)峰會及亞太經濟合作會議(APEC),首次共同倡議移除無效率的化石燃料補貼,而後的 2012 年里約永續高峰會(Rio+20),和 2015 年聯合國制定 17 項永續發展目標(sustainable development goals)時,化石燃料補貼都屢屢被列為首要國際議題。台灣卻在 2015、2017 年陸續被 IMF、APEC 分別指責在化石燃料投注過多、缺乏效率的補貼資源,至今卻未見作為。這些縱容與漠視,導致我國化石燃料的補貼始終沒有斷絕或減少的跡象。此情況不僅與國際趨勢背道而馳,更是濫用稅金在對社會缺乏效益的補助標地上,阻礙我國永續轉型的機會。

四、結論

綜上所述，縱然目前無論從事場面、政策面都還不利於再生能源發展，其潛力卻有目共睹。隨著國際資本對再生能源的信心引導著投資加入再生能源，台灣和全球許多國家，其再生能源不僅在生命週期的碳排都優於傳統能源，成本在全球亦有逐漸超越傳統能源的態勢，或甚至早已取代傳統能源，成為主流電力選項。

面對氣候變遷以及台灣社會對於永續發展的需求，以及國際趨勢所揭露的發展機會，我們沒有回頭尋求傳統能源的可能與必要性。然而，即便如有助於長期減碳的再生能源，仍可能對環境面造成衝擊，甚至因為天氣變化，導致發電量波動較大。如何能在不忤逆國際趨勢的情況下，與全球共同找到發展再生能源的方式，才是當今的台灣所應面對的課題。

參考文獻

1. Langhamer, O. (2012). Artificial Reef Effect in relation to Offshore Renewable Energy Conversion: State of the Art. <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2012/386713/>
2. IEA (2017), Electricity consumption per capita
<https://www.iea.org/statistics/?country=GERMANY&year=2016&category=Electricity&indicator=ElecConsPerCapita&mode=chart&dataTable=INDICATORS>
3. 王守誠 (2016), 我國地熱能環境效益潛能及近年國際成功策略比較, p. 479
4. 宋聖榮 (2015), 臺灣地熱能源發展 的現況、展望與困境, p. 8
5. Lazard Ltd, Levelized Cost of Energy 2017
<https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-2017/>
6. Turconi, Roberto (2013), Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, Comparability and Limitations
7. 經濟部能源局, 台灣能源轉型展望與落實做法
<https://drive.google.com/file/d/16TSnqr9F5-yyWKCygNGa7CVr8JE6gjcX/view?usp=sharing>
8. 台灣能源期刊 (2013), 智慧電網及推動再生能源面臨的挑戰
<https://drive.google.com/file/d/1bJartlm-RWigvLtY7TNwtjQ3QEuiWgrd/view?usp=sharing>
9. 財團法人工業技術研究院 (2018), 智慧電網政策推動與應用研究計畫
<https://drive.google.com/file/d/1LxRa0JBd7AwzSEzuSnxJ1rwJYLsdSau6/view?usp=sharing>

參、台灣再生能源物理潛力推估

一、台灣再生能源推估發電潛量

台灣的電力系統所需能源百分之百由再生能源提供，是否有可能？當我們提出這個願景，並進一步向公民社會及國家政府提出倡議，我們不免自問實現願景的可能性？台灣的自然環境、物理條件是否適合發展再生能源？再生能源的物理潛量足夠支持台灣的用電需求嗎？再生能源科技的發展及應用是否到位？台灣的公民社會對再生能源的認同有多高？產業的能力是否已建構完成？種種因素，都是我們必須考量的。

事實上，截至 2018 年底，全球超過 200 個城市提出了電力系統百分之百再生能源的目標。在國際能源總署 (IRENA)《邁向百分之百再生能源：現況、趨勢與經驗》(Towards 100% Renewable Energy: Status, Trends And Lessons Learned) 報告中，則是彙整了截至 2018 年底全球 53 個國家在國家電力、運輸等部門所提出的 100% 再生能源目標。

隨著氣候變遷對地球環境及人類社會造成的負面影響愈來愈嚴重，化石燃料的使用必將轉型為再生能源，以減少不必要的碳排放。「轉型必然發生，但正義未必」——我們對於再生能源在台灣電力系統達成百分之百的佔比有堅定的期望，也發現台灣的地理環境及經濟條件確實有極大潛力可將再生能源做為電力系統的主要能源來源。

本章透過盤點台灣的公開土地資料、分析氣象資料等，推估出「全台灣再生能源裝置容量潛量」，進一步計算出「全台灣再生能源一年的總發電潛量」，並回答「這些發電潛量能滿足多少比例的台灣用電需求」。本研究盤點之再生能源物理潛力不等於實際開發量，目的係透過簡白的算式，引領讀者思考再生能源是否有機會作為主要電力來源，乃至於台灣是否有機會發展出 100% 再生能源的電力系統。更期待，能藉此要求各界作出政治承諾，提出 2025 之後的「長期能源政策」。

(一) 太陽光電

依據目前台灣政策與常見設置類別，太陽光電可分為「屋頂型」與「地面型」兩大類型。本次研究就上述兩種光電類型，盤點全台可供發展土地與建地面積，統計出共 6 萬 7 千公頃的潛力建設面積，現已建造太陽能電廠的建物或土地面積亦含括在此統計數據當中。此數據已考慮各類型土地之建蔽率，依據經驗法則排除遮蔭面積。在此土地面積的盤點基礎上，本研究進一步區分出兩種物理潛量計算方式：「衛星資料推估發電」和「經濟部公告各縣市平均發電」，前者以太陽能電廠發電資料為基礎，並對比天氣衛星資料進行分析，從而得出全台太陽能發電潛力；後者則以 2014 年經濟部公告縣市容量因數 (即年度日平均發電量) 為基礎進行計算。目前的推估結果的差異源自資料不齊全，迴歸方程所依據的實際發電資料僅能取得位於部分縣市的電廠，而非實際上位於 22 縣市的太陽光電廠，未來若能依據更精確的資料庫進行推估，或可得到更相近的推估結果對照。

可發展面積(公頃)	67,063.01
裝置容量潛量(GW)	125.74
以衛星資料推估發電(億度)	1169.87
以經濟部公告各縣市平均發電(億度)	1467.07

1. 可發展土地類型

本研究盤點全台 22 縣市的「建地」及「土地」面積，估算在此面積下可建設屋頂型及地面型太陽光電的太陽能模組數量，進一

步推估全台太陽光電裝置容量的潛力總量（以峰瓦計kWp）。「建地」面積納入了都市用地與非都市用地的部分建地類別，都市用地包括各縣市公告的 106 年住宅區、工業區及商業區等建地面積，非都市用地則包括各縣市提交至內政部的 107 年非都市用地甲、乙、丙、丁種建地統計數據；「土地」面積數據，則引用經濟部太陽光電單一窗口所公告，民國 109 年以前各縣市可建設地面型太陽光電的土地面積總和。

為了解台灣可發展太陽光電的最大物理潛力，本研究在全台 22 縣市的住宅區建地盤點中假設建物屋主設置太陽光電廠的意願為 100%。以台灣實際狀況來說，住宅區屋頂型太陽光電的設置遭遇的阻力包括屋頂違建、公寓大廈共有、成本考量等情形，雖修法後部分違建屋頂符合特定條件者已可鋪設太陽光電板，仍須評估建築安全後才能進行適合的搭建。另外，公寓大廈的屋頂多為住戶共有，如何在共有產權下協調共識，進而設置太陽光電廠，實乃一大挑戰，儘管如此，仍有社區完成協調並設置電廠。住宅區屋頂的設置潛力可觀，但設置挑戰在將來仍須一一克服。

秉持著「轉型必然發生，但正義未必」的理念，我們期待符合氣候正義的能源轉型。太陽能可發展面積涉及多種土地類型，但並非所有土地都適合建設電廠，因而在本報告中未納入計算，因其可能涉及嚴重環境或社會負面衝擊。但我們也必須指出，本報告所排除的土地類別中，並非必然不適合作為再生能源發電，而是在該土地類型中之個案，較適宜依個案評估。此外，我們亦排除明顯難以計算土地面積的項目。目前排除的土地類別包括：

- 生態及環境敏感區域，如自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、國家公園、國家自然公園及自然保護區等土地；
- 都市用地中特定類別，包括行政區、文教區、公共設施用地，因特定專用區等土地大多包含綠地範圍，且其建物四周須留較大空

間作為公眾活動區域，建物實際面積難估算，故亦未列入可發展面積盤點；

- 非都市用地中農牧、林業、養殖、鹽業、礦業、窯業等區域涵蓋自然資源，考量建設太陽光電廠在其周遭可能造成的生態風險與環境影響，除經濟部太陽光電單一窗口所公告之土地外，亦不列入可發展面積盤點。

須特別說明者，在經濟部太陽光電單一窗口公告的土地中，可能也包含具較高的生態風險與環境影響，屬於上述列舉排除的土地類別者，須經過「環境與社會檢核」才能再進一步排除。由於目前尚欠缺「環境與社會檢核」機制，本研究於現階段仍將經濟部公告的土地納入盤點，後續若因檢核而排除，可能產生地面型太陽光電可發展面積多估算的情況。

	屋頂型太陽光電	地面型太陽光電
可發展面積	都市用地：全台灣住宅區、工業區和商業區建地。非都市用地：甲乙丙丁四種建地。	經濟部太陽光電單一窗口公告民國 109 年以前可建設地面型太陽光電的土地面積總和。
未列入盤點項目	生態及環境敏感區域：自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、國家公園、國家自然公園及自然保護區等。 都市用地：行政區、文教區、公共設施用地、特定專用區等土地或建地。 非都市用地：農牧、林業、養殖、鹽業、礦業、窯業等土地或建地。	

2. 可發電潛量

太陽光電的發電表現主要受日照影響，若日照時數較多，平均發電量也會較高。台灣各地天氣狀況不同，隨著四季氣候變化，不同地區在不同季節及月份的日照表現各異，太陽光電的發電表現也會有所差異。

為了解本報告盤點出的可發展面積在實際建設太陽光電廠後，於不同天氣條件下的平均發電表現為何，本研究分析台電 15 個非試運轉中

何謂社會與環境評估與檢核機制？

再生能源開發案必然涉及生態熱點評估資訊、原民土地、當地社區參與等議題，並會進一步影響再生能源可設置總面積。但是，在再生能源開發過程中，這些課題卻常未必被辨識出來，究其原因包含可作為評估基礎的自然與社會科學調查資料不完整、欠缺納入環境與社會檢核的選址機制、各機關各自為政，缺乏整體規劃、與環境可承受之再生能源發展總量評估。在此情形下，導致政府盤點出來的潛力場址不精確，民間參與面臨高度不透明環境，研究機構難以全盤評估，開發商更須面對財務風險與不確定性。政府應積極面對、回應爭議，再生能源與永續發展應並行不悖，若缺乏良好的社會與環境評估機制，徒增溝通成本，亦難持續推動能源轉型。

(文字由「地球公民基金會」提供)

之自有太陽光電廠資料，並取其自 2015 年 8 月 1 日至 2019 年 7 月 31 日期間的逐時發電資料，對應電廠所在地經緯度的向日葵衛星，反演算地表輻射量，最後以一次線型迴歸比對，歸納出太陽能電廠實際發電表現與衛星資料之間的關係。

由於此操作方式須以電廠實際發電數據作為基礎，進行迴歸，本團隊初始規劃係於全台 22 個縣市各參採一個太陽光電廠資料，惟全台太陽光電廠多屬私有，其發電資料涉及營業秘密，因此選擇台電自有太陽光電廠作為資料來

源。雖非 22 縣市都有代表電廠，但仍衡量縣市地理與天氣條件，擇定較為合適的電廠作為迴歸依據。

本研究將迴歸結果套用於全台 22 縣市所盤點出的可發展面積，各縣市選取鄰近或氣候條件相似之台電太陽光電廠迴歸方程，推估逐時平均發電總潛量，最後再將各縣市逐時、逐月推估發電潛量加總，得出全台可發展面積 67,063.01 公頃，每年太陽能發電總潛量可達 1169.87 億度，公式如下：

$$\sum_{i,m,h} E_i^{hM} = \sum_i \sum_M \sum_h (H_{e_i}^{hM} \times A_i \times m + b \times \frac{A_i}{A_n^i})$$

E_i^{hM} ：各縣市月平均逐時發電潛量， i 為各縣市， h_M 為 M 月份平均時資料

$H_{e_i}^{hM}$ ：衛星地表輻射量， i 為各縣市， h_M 為 M 月份平均時資料

A_i ：各縣市潛力發電面積， i 為各縣市

m ：迴歸方程斜率

b ：迴歸方程截距

A_n^i ： i 縣市迴歸計算所選取電廠 n 之潛力發電面積

月份	各縣市當月每天平均發電 潛量加總 (百萬度)	當月天數	當月各縣市 發電潛量加總 (億度)
1 月	195	31	60.47
2 月	255	28	71.28
3 月	260	31	80.63
4 月	337	30	101.25
5 月	370	31	114.55
6 月	383	30	114.77
7 月	406	31	125.85
8 月	334	31	103.46
9 月	387	30	115.95
10 月	342	31	106.04
11 月	319	30	95.82
12 月	257	31	79.79
全年太陽能電廠推估發電量 (億度)			1,169.87

此外，本研究亦提供另一參考推估值，依據經濟部於 2014 年公告之全台 22 縣市太陽光電的年度日平均發電量，得出各縣市建設的太陽能模組每日每瓦可產生的平均發電量 (kWh/day/kWp)，依各縣市數據推估，得出全台可發展面積 67,063.01 公頃，每年共可產生 1467.07 億度的發電潛量。

(二) 風力發電

依據目前政策與常見設置類別，大致可分為「離岸型」與「陸域型」兩大類型。風力發電的「可發展面積」與太陽能的「土地面積」不同，必須以「風場」大小計算，並進一步透過計算可設置

之風機數量、風輪繞掃面積大小，計算出「受風面積」。本文分別盤點了離岸與陸域兩種風力的受風面積，並透過風速資料計算發電總潛量。

陸域風力方面，由於台灣缺乏沿海的廣大腹地，陸域風機發電多被認為大抵飽和，因此本報告並未進一步詳究陸域風力後續發電潛力，而目前統計全台陸域風機總發電潛量，約可發電 16.96 億度；至於離岸風電方面，本研究同時考慮「積極情境」與「保守情境」兩種計算方式，下一段我們將再進一步解釋情境設定。依據上述規劃，目前本報告計算出之最大發電總潛量為 903.87 億度 (積極情境) 或 387.05 億度 (保守情境)。

風力發電可發展面積 (受風面積) 計算方式

$$[\text{風場面積} \times \text{單位面積可鋪設數量} \times \text{擇定風機機型之繞掃面積} = \text{受風面積}]$$

縣市	可發展面積 (公頃)	裝置容量潛量 (kWp)	年度日平均發電量 (kWh/day/kWp)	年發電總潛量 (億度)
臺北市*	1,148.59	2,153,612	2.44	19.18
新北市	4,055.71	7,604,453	2.61	72.44
基隆市	677.58	1,270,462	2.61	12.10
新竹市	855.33	1,603,750	2.85	16.68
桃園市	6,524.61	12,233,652	2.77	123.68
新竹縣	1,966.53	3,687,248	2.85	38.35
宜蘭縣	1,837.93	3,446,123	2.51	31.57
臺中市	6,573.19	12,324,732	3.34	150.25
苗栗縣	2,449.66	4,593,117	3.13	52.47
彰化縣	7,372.30	13,823,053	3.59	181.11
南投縣	1,910.45	3,582,096	3.23	42.23
雲林縣	6,852.13	12,847,746	3.47	162.72
高雄市	6,248.11	11,715,207	3.42	146.24
臺南市	7,872.38	14,760,707	3.54	190.72
嘉義市*	664.77	1,246,442	3.42	15.55
嘉義縣	3,168.93	5,941,749	3.42	74.17
屏東縣	3,634.00	6,813,757	3.12	77.59
澎湖縣	395.11	740,826	3.40	9.19
花蓮縣	1,599.88	2,999,781	2.32	25.40
臺東縣	1,104.53	2,071,001	2.91	21.99,
金門縣*	121.01	226,893	3.35	2.70
連江縣*	30.26	56,742	2.83	0.58
合計	67,063.01	125,743,149		1,467.07

受風面積(保守情境)	裝置容量潛量 (GW)	年發電總量(億度)
43.49平方公里	19.55	370.09

受風面積(積極情境)	裝置容量潛量 (GW)	年發電總量(億度)
102.91平方公里	46.28	886.91

1. 可發展空間與機組數量

透過經濟部已公告之36處潛力場址座標、場址面積大小，以及已確定之規劃裝置容量，計算出風輪繞掃面積總面積。在風力發電潛力總面積的基礎上，再利用衛星資料下的風速資料進行計算，依據不同機組配置情境推估發電總潛量。

在保守情境下，假設全台36處潛力場址皆以相同方式配置風機，透過已公開規劃裝置容量之場址風機分佈比例為基礎，以 MHI Vestas 9.5MW 作為代表型號，進一步回推各場址機組數量與繞掃面積；未確定規劃容量之場址，則依據當前已規劃場址之鋪設比例，按場址面積等比例計算；積極情境中，除了已公開規劃容量之場址，其餘尚未確定規劃容量之場址，均假設以均質方式鋪設，在不考慮海床與其他航

道和漁權等問題的情況下，依風輪直徑計算，即左右間隔 2 倍風輪直徑、前後間隔 8 倍風輪直徑之方式進行配置，從而計算出目前風場中，最高密度情境下之機組數量與繞掃面積。

2. 可發電潛量

風力發電主要表現與風速條件呈正向關係，風速較強，風力發電總量亦會較高，風速與發電量關係可參考下式。由於目前政府公開資料並未提供潛力場址完整輪廓，無法進一步取得各場址之風速機率分布，計算結果可能產生落差。本研究透過已公開之場址經緯度座標取得各場址年平均風速資料，假設標準大氣下空氣密度為常數 1.293kg/m^3 ，並搭配機組數量進一步估算離岸風電年發電總潛量。在保守情況下，年發電總潛量預估約有 370.09 億度，在積極情境下，年發電總潛量預估約有 886.91 億度。

離岸風電發電潛量計算方式

$$[\frac{1}{2} \times \text{空氣密度} \times \text{繞掃面積} \times \text{風速}^3 \times 40\%]$$

場址編號 ³	場址面積(km ²)	機組數量	年平均風速(m/s)	年發電總潛量(億度)
1	26.2	64	8.22062	6.98
* 2	50.2	26	9.03881	3.77
3	22.2	60	8.92503	8.37
* 4	31.6	43	7.93968	4.22
*5&6	55.5	77	9.66934	13.66
7	36.8	95	9.24757	14.74
8	112.5	297	10.3152	63.96
9	120.7	306	10.4160	67.85
10	122	306	10.3916	67.37
* 11	128.6	77	10.2467	16.25
* 12	117.4	63	10.3311	13.63
* 13	111.8	60	10.2964	12.85
* 14	126.3	68	10.2438	14.34
* 15	120.4	65	10.2055	13.56

場址編號3	場址面積(km2)	機組數量	年平均風速(m/s)	年發電總潛量(億度)
* 16	131.1	80	10.1411	16.37
* 17	122.5	80	10.1013	16.18
* 18	85.2	54	10.0144	10.64
* 19	100.5	73	9.94554	14.09
20	109.7	248	10.2698	52.71
21	112.6	297	10.1767	61.42
22	86.7	232	10.0818	46.65
23	88.6	232	9.99078	45.39
24	86.2	232	9.86332	43.68
25	93.3	240	9.74732	43.61
* 26	118.6	85	9.70523	15.25
* 27	92.7	50	9.67651	8.89
* 28	98.3	53	9.52057	8.97
* 29	98.3	47	9.32116	7.47
30	117.8	306	9.34742	49.04
31	114.3	297	9.30489	46.95
32	93.2	240	9.14520	36.02
33	57.3	144	7.56430	12.23
34	38.8	95	6.08754	4.21
35	32.5	90	6.08653	3.98
36	32.5	90	4.52164	1.63
合計				886.91

(三)地熱發電

相比於風力和太陽能，目前地熱在台實踐尚且不足，僅能透過目前普遍被接受之學術研究、外國已商轉技術水準和當前已得之台灣地探勘成果，此實為本研究之限制。

地熱的特色是，與天氣較不相關，反而與地表下地熱分佈與總量有關。因此，故進行地熱總量評估時，本研究並無納入天氣因素，反而是以當前全台地熱藏量，並依據國際目前可達之轉換率進行計算。

當前，台灣地熱群主要分佈為宜蘭地熱區、花東地熱區、大屯火山群地熱區、及廬山地熱區，在深度4公里以內約具有 159GW (159,606 MWe)之潛在發電容量。

值得注意的是，目前此一能源類型發展速度的確相對較慢，且是短期幾年內都尚難成為主要電力來源的能源選項。台灣相關技術、人才、資源配置和法規等，至今都仍待補足。不過，若假設配合政府政策目標，台灣於 2025 前完成開發 200MW，並參考美國能源部公布的地

	宜蘭地熱區	大屯火山群區	花東地熱區	南投廬山地熱區
可發展面積 (km ²)	532	88	5403	954
裝置容量潛量 (GW)	6.24	2.89	25.75	0.17
發電總量 (億度)	411.45	190.45	1699.52	11.22

熱模擬器 GeoVision Analysis，往後每年開發達 1G，且每隔十年調高目標值一倍以上，預計 2055 年後將完成開發 35.2G 地熱能。參考工業技術研究院李伯亨博士研究，將地熱的轉換係數約為 75%，推估後每年可發電總潛量為 2312.64 億度。

考量到其可觀的潛力，雖然技術尚未成熟，但長期而言，若放眼 2050 年後，此一能源選項勢必將成為達到碳中和、永續轉型不可或缺的能源類別。

二、解惑再生能源：讓數字說話

本節將透過研究所使用的數據回應太陽能與風力的部分爭議，包括「台灣地狹人稠無法供太陽能發電」、「太陽能潛力有限，無法成為主要電力來源」，和「離岸風力發電夏季無風，必然停擺」等指責，我們將用實際數據，讓大家看見這些責難缺乏邏輯的原因。

(一) 太陽能： 台灣地狹人稠，太陽能潛量不足？

臺灣之土地資源大致可劃分為三大部分，即平地、山坡地與高山林地。若與太陽光電發展所需的土地資源相對應，山坡地與高山林地等自然資源及生態豐富的區域普遍為國人、環境保護團體與各方專家認為不應開發的地形，因此須集中利用平地的土地資源。然而，臺灣之平地除供為從事農業生產之耕地外，其餘皆為都市工商住宅、工業區、交通及水利等公共事業用地，是否有足夠的空間供太陽光電發展？根據本研究的盤點，太陽光電廠所需的土地資源可完全避開生態敏感地，僅需集中建設於各縣市的

都市地區及部分非都市地區，便可供應 2018 年全台年用電量 53.35%~66.95% 的電力需求。

為了解盤點後的太陽光電可發展面積在各縣市總土地面積中的佔比狀況，本研究亦彙整表格，其中佔比最高者為嘉義市，若將潛力空間皆建設太陽光電廠，其所需的建地及土地面積總和約佔全市土地的 11.07%；第二高者為新竹市，潛力空間的太陽光電廠所需建地及土地面積總和約佔全市土地的 8.21%；其他各縣市可發展空間佔縣市土地面積約 0.3% 至 7% 不等。

值得注意的是，根據本研究所盤點建地主要為都市地區住、商、工業及非都市地區甲乙丙丁種建地。中、小型的太陽光電廠若直接建造於這些人口聚集區，未來搭配儲能及電網技術的發展與擴散，發電或許可直接供都市住、商、工業使用。誠如本報告第二章所述，目前台灣之尖峰用電主要以住商為主，其中又以夏季尤甚。就此面向而言，地狹人稠對於台灣的太陽能發展或許不再是劣勢，而是具有彈性調度、低建造時間及低成本的能源選項，極具經濟效益，且過程中，能讓公民參與度提高，有助全民對於能源轉型形塑共識。

(二) 太陽能：太陽能電廠的供電無法取代傳統發電設施？

為了解本報告盤點出的可發展面積在實際建設太陽光電廠後，於不同天氣條件下的平均發電表現為何，本節推估全台 22 縣市基於各月的平均天氣條件，在其潛力發電面積下的逐時平均發電總潛量，發現其逐時平均發電總潛量已可超越台電於 2018 年使用傳統發電設施的供電狀況，一日當中的 5~8 小時，太陽光電的發電潛量已超越 2018 年台電全台機組在不同時

縣市	可發展面積 (公頃)	各縣市總面積 (公頃)	太陽能發展面積占 縣市土地面積 (%)
臺北市*	1,148.59	27,180	4.23%
新北市	4,055.71	205,257	1.98%
基隆市	677.58	13,276	5.10%
新竹市	855.33	10,415	8.21%
桃園市	6,524.61	122,095	5.34%
新竹縣	1,966.53	142,754	1.38%
宜蘭縣	1,837.93	214,363	0.86%
臺中市	6,573.19	221,490	2.97%
苗栗縣	2,449.66	182,031	1.35%
彰化縣	7,372.30	107,440	6.86%
南投縣	1,910.45	410,644	0.47%
雲林縣	6,852.13	129,083	5.31%
高雄市	6,248.11	295,185	2.12%
臺南市	7,872.38	219,165	3.59%
嘉義市*	664.77	6,003	11.07%
嘉義縣	3,168.93	190,364	1.66%
屏東縣	3,634.00	277,560	1.31%
澎湖縣	395.11	12,686	3.11%
花蓮縣	1,599.88	462,857	0.35%
臺東縣	1,104.53	351,525	0.31%
金門縣*	121.01	15,166	0.80%
連江縣*	30.26	2,880	1.05%
合計	67,063.01	3,619,419	1.85%

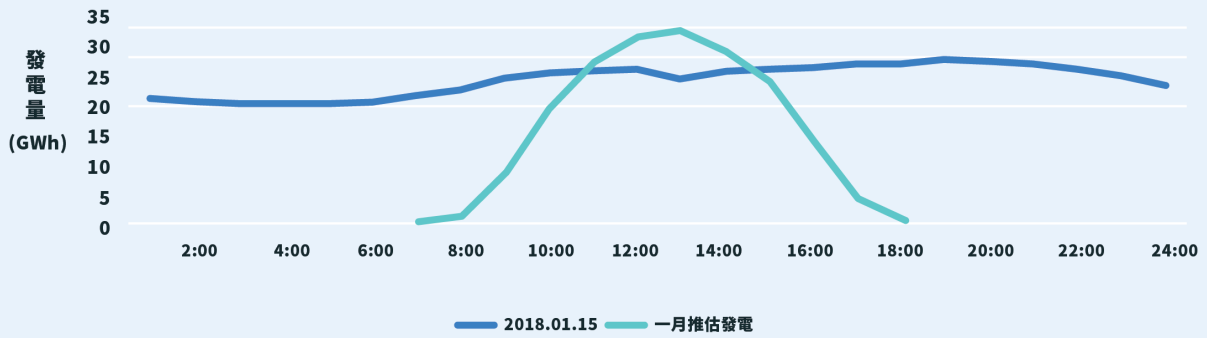
期逐時發電量。

太陽光電主要依據所設置地區的日照量決定發電效率，因全台各地的日照條件皆不相同。本研究分析台電 15 個非試運轉中之自有太陽光電廠資料，並取其自 2015 年 8 月 1 日至 2019 年 7 月 31 日期間的逐時發電資料，對應電廠所在地經緯度的向日葵衛星，反演算地表輻射量，最後以一次線型迴歸比對，歸納出太陽能電廠實際發電表現與衛星資料之間的關係。接著，將此結果套用於全台 22 縣市所盤點出的

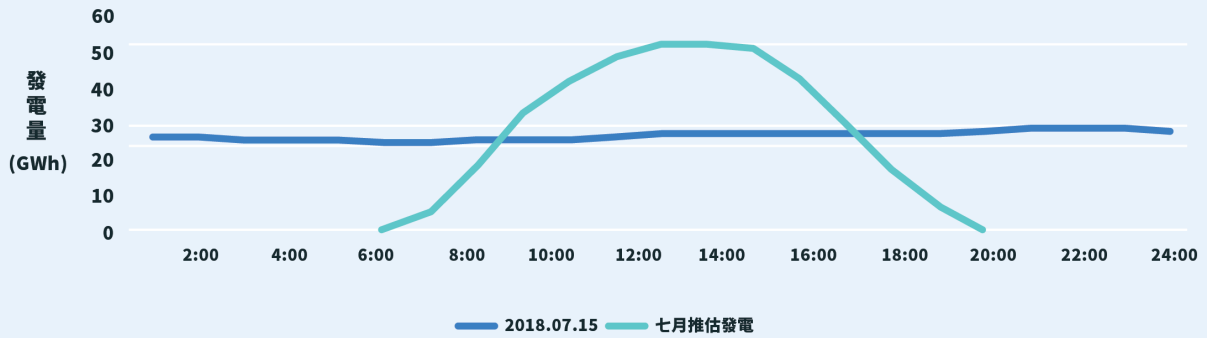
可發展面積，各縣市選取鄰近或氣候條件相似之台電太陽光電廠迴歸方程，推估逐時平均發電總潛量。相比 2018 年的台電實際供電量，不難發現推估的逐時發電潛量在一日當中的特定小時已超越 2018 年的逐時供電。

透過本研究的推估，全台可發展面積若皆建設太陽光電廠，其逐時發電潛量足以支應 2018 年一日實際 5~8 小時供電，若搭配儲能設備，逐時平均發電總潛量的每日總和發電潛量相當於 2018 年一日實際供電量的 25%~39%。

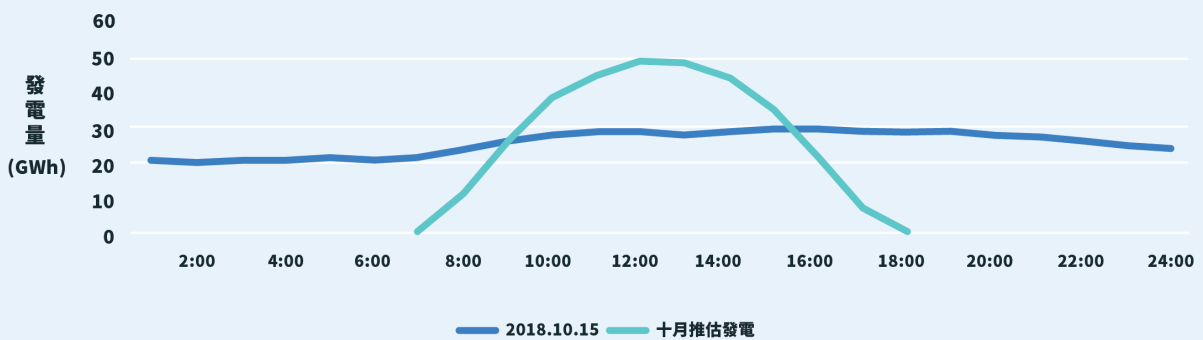
1月每日平均發電推估曲線比對 2018.01.15 一日台電全機組發電曲線



7月每日平均發電推估曲線比對 2018.07.15 一日台電全機組發電曲線

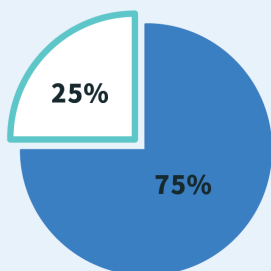


10月每日平均發電推估曲線比對 2018.10.15 一日台電全機組發電曲線



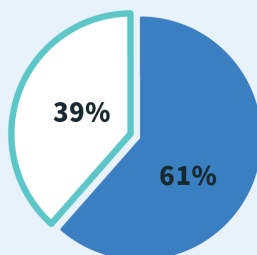
2018.01.15/一月推估

— 一日總用電數 — 推估一日發電度數



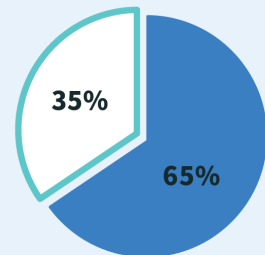
2018.07.15/七月推估

— 一日總用電數 — 推估一日發電度數



2018.10.15/十月推估

— 一日總用電數 — 推估一日發電度數

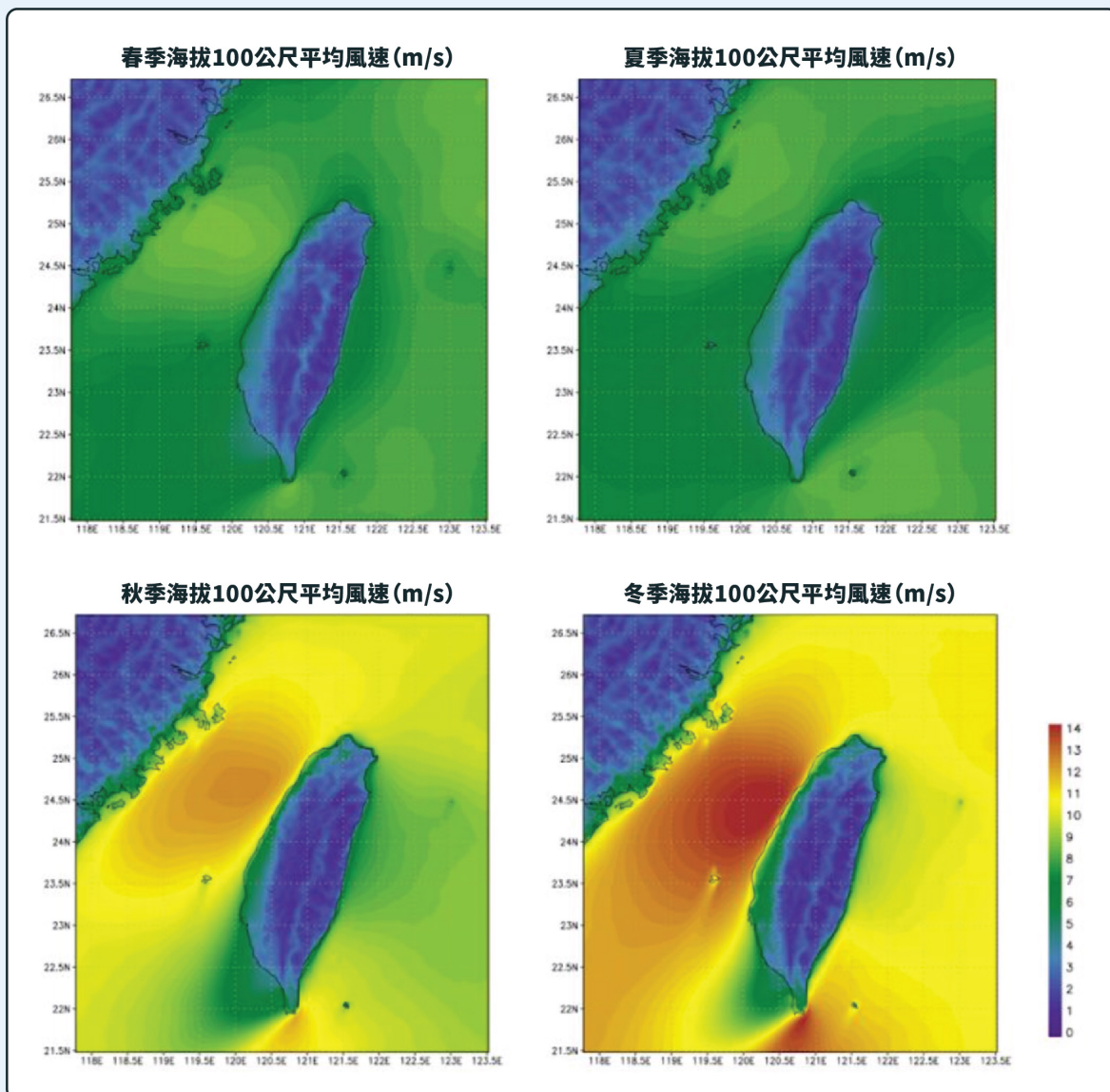


(三) 風力發電：台灣一年四季有風

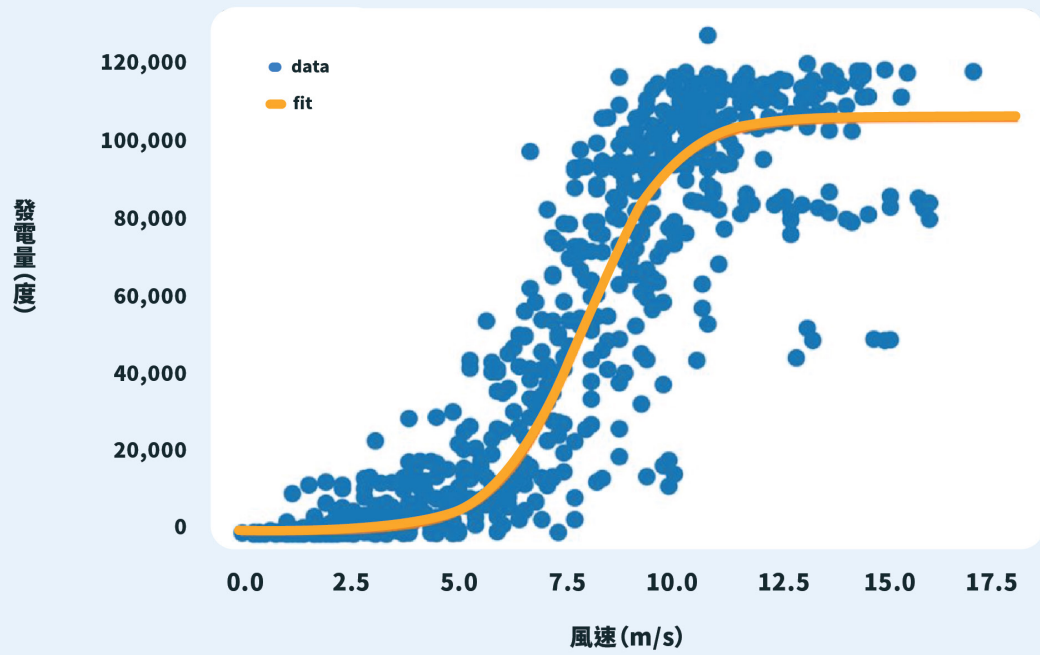
風力發電表現與風速息息相關，由於台灣地處亞熱帶季風區，四季風速條件不同，透過台灣四季全域風速比較，可發現春、夏兩季盛行西南季風，平均風速相對較弱，離岸風速約可達到 4-7m/s；秋、冬兩季盛行東北季風，平均風速相對較強，西南部地區離岸風速可達到 6m/s 以上，其餘離岸風速則可達到 10m/s 以上。

透過冬夏兩季發電狀況比較，可了解風不同季節與風力條件下之風力發電情形，以台中地區陸域風機為例，透過該風機 2018 年 2 月與 2019 年 7 月發電總量曲線，可發現風速條件較佳的 2 月，總發電量可達到 10 萬至 11 萬度；於風速條件較弱之 7 月，總發電量亦可達到 3 萬至 4 萬度左右，約為冬季的 30-40%，顯示即使在夏季，風力機組依舊能順利商轉，並無「台灣夏季無風」，使風機無法運轉的問題。

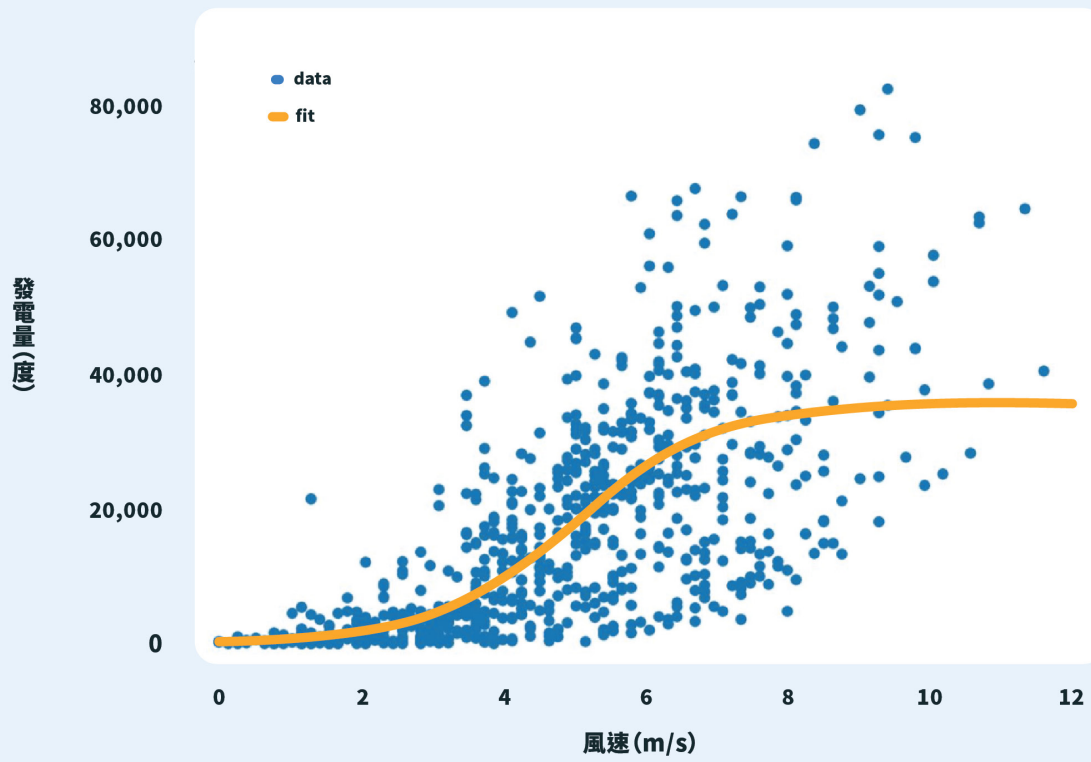
臺灣四季全域風速



台中地區2018年2月之風力發電曲線



台中地區2019年7月之風力發電曲線



三、結論：再生能源

具有供給 2 個台灣用電的潛力

透過本章發電數據的分析，太陽光電全年發電總潛量可達 1169.87 億度；風力發電保守情境全年發電總潛量可達 370.09 億度、積極情境全年發電總潛量可達 886.91 億度；地熱發電全年發電總潛量可達 2312.64 億度。加總此三項再生能源的供電潛力，風電保守情境全年總發電潛量為 3852.6 億度，風電積極情境全年總發電潛量為 4369.42 億度。若以 2018 年全台總用電量 2191 億度為基礎，此供電潛力可因應台灣 2018 年用電情境 1.75 個台灣，積極情境將可提供約至 2 個台灣的用電需求。

儘管目前仍有評論將「再生能源發電量因天氣而波動」的本質，視作一場電力系統的災難，並指稱基此再生能源不應作為主要發電選項。再生能源的發電量因天氣狀況而有所彈性波動有目共睹，但透過結合台灣的實際天氣數據、計算出發電潛量，從而得到可觀的發電總潛量數據時，我們仍然不信任再生能源嗎？抑或著我們應該質疑的是基礎設施什麼時候能獲得足夠的投資和支持，為因應再生能源的特質而翻修，從而將綠電送到每個家戶手中？

再生能源的發電表現就如同台灣的降雨，極為豐沛卻也分配不均。台灣的降雨隨著季風、颱風與強烈的熱對流，時而豪雨成災，時而連月不雨造成乾旱，而我們深知必須在危機中看見機會，將水資源最大限度地留下，無論透過水利設施、用水習慣改變，或是各類創新的商業模式與技術，提升水資源的使用——但面對能源，我們卻願意讓再生能源隨著時間流逝而浪費，並和能源匱乏的台灣擦肩而過嗎？

再生能源可以被視作一種新的技術、產業，對我們來說，它更是一個全新的生活模式和社會形態的轉型契機。而溝通與理解，是社會轉型的基礎，我們希望能透過數據與淺白的說明，逐步建立能源轉型溝通的基礎，以降低各界對於再生能源的不安。再生能源並非萬靈丹，在發電過程中有許多缺失值得逐步改善，但唯有逐漸理解，才能合理地檢視與監督。我們期望各界能因為理解而不再恐懼，最後一同引領台灣邁向永續的能源環境。

第參章附錄、總電量計算方法

一、太陽能可發展面積、裝置容量潛量、年發電總潛量估算

(一) 計算公式

1. 全台裝置容量潛量 (kWp) 推估 = 22縣市可裝設太陽能板片數 × 0.3kWp
 - 假設 1: 每片太陽能板規格皆為 0.3kWp、每片太陽能板面積為 1.6 平方公尺
 - 假設 2: 建物及土地所有權人設置意願皆為 100%
 - 假設 3: 依據22縣市土地利用情況, 假設遮蔭佔可建太陽能板發展面積的 30%~50%
2. 全台年發電量總潛量 (度) 推估 = 全台22縣市裝置容量潛量 (kWp) × 各縣市年度日平均發電量

縣市	可發展面積 (公頃)	裝置容量潛量 (kWp)	年度日平均發電量 (kWh/day/kWp)	年發電總潛量 (億度)
臺北市*	1,148.59	2,153,612	2.44	19.18
新北市	4,055.71	7,604,453	2.61	72.44
基隆市	677.58	1,270,462	2.61	12.10
新竹市	855.33	1,603,750	2.85	16.68
桃園市	6,524.61	12,233,652	2.77	123.68
新竹縣	1,966.53	3,687,248	2.85	38.35
宜蘭縣	1,837.93	3,446,123	2.51	31.57
臺中市	6,573.19	12,324,732	3.34	150.25
苗栗縣	2,449.66	4,593,117	3.13	52.47
彰化縣	7,372.30	13,823,053	3.59	181.11
南投縣	1,910.45	3,582,096	3.23	42.23
雲林縣	6,852.13	12,847,746	3.47	162.72
高雄市	6,248.11	11,715,207	3.42	146.24
臺南市	7,872.38	14,760,707	3.54	190.72
嘉義市*	664.77	1,246,442	3.42	15.55
嘉義縣	3,168.93	5,941,749	3.42	74.17
屏東縣	3,634.00	6,813,757	3.12	77.59
澎湖縣	395.11	740,826	3.40	9.19
花蓮縣	1,599.88	2,999,781	2.32	25.40
臺東縣	1,104.53	2,071,001	2.91	21.99,
金門縣*	121.01	226,893	3.35	2.70
連江縣*	30.26	56,742	2.83	0.58
合計	67,063.01	125,743,149		1,467.07

(二) 數據表單

1. 都市區域可發展面積計算

· 住宅區：各地方政府又將住宅區分為住一～住 X 類型，建蔽率依縣市別自定，本研究取各類型建蔽率中位數

· 商業區：各地方政府又將商業區分為商一～商 X 類型，建蔽率依縣市別自定，本研究取各類型建蔽率中位數

縣市別	住宅區面積 (公頃)	建蔽率
臺北市	3,789.97	40%
新北市	7,221.49	60%
基隆市	1,406.71	50%
新竹市	1,133.56	60%
桃園市	4,892.39	50%
新竹縣	1,202.92	55%
宜蘭縣	1,343.74	55%
臺中市	9,434.56	55%
苗栗縣	1,565.00	60%
彰化縣	3,269.58	60%
南投縣	1,558.46	60%
雲林縣	2,124.30	60%
高雄市	8,726.62	50%
臺南市	8,155.07	55%
嘉義市	1,137.67	60%
嘉義縣	2,096.65	60%
屏東縣	2,710.56	60%
澎湖縣	175.92	60%
花蓮縣	1,370.45	60%
臺東縣	1,224.99	60%
金門縣	121.26	60%
連江縣	60.72	60%

縣市別	商業區面積 (公頃)	建蔽率
臺北市	883.92	65%
新北市	794.56	80%
基隆市	118.92	65%
新竹市	194.06	80%
桃園市	480.36	80%
新竹縣	153.43	60%
宜蘭縣	177.00	60%
臺中市	959.29	70%
苗栗縣	165.48	80%
彰化縣	332.41	70%
南投縣	172.90	80%
雲林縣	242.48	80%
高雄市	1,551.30	55%
臺南市	828.45	70%
嘉義市	172.14	70%
嘉義縣	189.12	80%
屏東縣	227.69	70%
澎湖縣	37.02	70%
花蓮縣	211.29	80%
臺東縣	103.74	80%
金門縣	39.05	80%
連江縣	8.50	80%

· 工業區：各地方政府又將商業區分為工一～工 X 類型，建蔽率依縣市別自定，本研究取各類型建蔽率中位數

縣市別	工業區面積 (公頃)	建蔽率
臺北市	409.30	50%
新北市	2,630.65	70%
基隆市	236.78	60%
新竹市	176.83	70%
桃園市	2,996.14	70%
新竹縣	753.18	65%
宜蘭縣	535.73	60%
臺中市	2,596.79	65%
苗栗縣	631.23	70%
彰化縣	692.14	65%
南投縣	311.19	70%
雲林縣	441.83	70%
高雄市	3,126.51	50%
臺南市	3,678.08	50%
嘉義市	235.85	60%
嘉義縣	559.46	70%
屏東縣	647.38	60%
澎湖縣	39.49	70%
花蓮縣	513.47	65%
臺東縣	146.20	65%
金門縣	137.75	50%
連江縣	N/A	N/A

註：N/A 資料不適用

(二) 數據表單

2. 非都市區域及地面型太陽光電可發展面積計算

· 非都市用地：各縣市甲、乙、丙、丁種建地面積總和

· 地面型太陽光電可發展面積：經濟部公告民國 109 年前可建置太陽光電廠的大規模土地

縣市別	甲乙丙丁種 建地 (公頃)	土地面積 (公頃)
臺北市	N/E	2.00
新北市	1,240.88	60.54
基隆市	35.25	10.00
新竹市	259.02	3.72
桃園市	4,378.68	14.42
新竹縣	1,548.60	17.50
宜蘭縣	1,439.01	19.91
臺中市	1,806.35	35.50
苗栗縣	1,953.01	33.26
彰化縣	6,313.88	1,573.64
南投縣	1,431.82	6.17
雲林縣	6,329.74	1,681.17
高雄市	2,086.09	60.00
臺南市	3,478.58	863.43
嘉義市	N/E	5.06
嘉義縣	2,402.71	323.43
屏東縣	2,875.96	141.33
澎湖縣	353.01	52.32
花蓮縣	953.96	6.53
臺東縣	664.23	0.66
金門縣	N/E	N/A
連江縣	N/E	N/A

註：N/A 資料不適用

註：N/E 資料未計算

3. 各縣市假設遮蔭比例、排除遮蔭後可發展面積及所能建設之太陽能板片數

縣市別	都市、非都市、地面型建地及土地合計面積 (公頃)	假設遮蔭比例	排除遮蔭後可發展面積 (公頃)	太陽能板片數	裝置容量潛量 (kWp)
臺北市	2,297.19	50%	1,148.59	7,178,706	2,153,612
新北市	8,111.42	50%	4,055.71	25,348,178	7,604,453
基隆市	967.97	30%	677.58	4,234,873	1,270,462
新竹市	1,221.91	30%	855.33	5,345,834	1,603,750
桃園市	9,320.88	30%	6,524.61	40,778,840	12,233,652
新竹縣	2,809.33	30%	1,966.53	12,290,826	3,687,248
宜蘭縣	2,625.62	30%	1,837.93	11,487,078	3,446,123
臺中市	9,390.27	30%	6,573.19	41,082,439	12,324,732
苗栗縣	3,499.52	30%	2,449.66	15,310,390	4,593,117
彰化縣	10,531.85	30%	7,372.30	46,076,844	13,823,053
南投縣	2,729.22	30%	1,910.45	11,940,320	3,582,096
雲林縣	9,788.76	30%	6,852.13	42,825,820	12,847,746
高雄市	8,925.87	30%	6,248.11	39,050,691	11,715,207
臺南市	11,246.25	30%	7,872.38	49,202,355	14,760,707
嘉義市	949.67	30%	664.77	4,154,806	1,246,442
嘉義縣	4,527.05	30%	3,168.93	19,805,829	5,941,749
屏東縣	5,191.43	30%	3,634.00	22,712,522	6,813,757
澎湖縣	564.44	30%	395.11	2,469,420	740,826
花蓮縣	2,285.55	30%	1,599.88	9,999,270	2,999,781
臺東縣	1,577.91	30%	1,104.53	6,903,338	2,071,001
金門縣	172.87	30%	121.01	756,310	226,893
連江縣	43.23	30%	30.26	189,140	56,742
	98,778.19		67,063.01	419,143,829	125,743,149

二、透過衛星地表輻射量資料及現有電廠 發電量推估未來太陽能逐時發電表現

(一) 計算公式

$$E_i^{h_M} = H_{e_i}^{h_M} \times A_i \times m + b \times \frac{A_i}{A_n^i}$$

$E_i^{h_M}$ ：各縣市月平均逐時發電潛量， i 為各縣市， h_M 為 M 月份平均時資料

$H_{e_i}^{h_M}$ ：衛星地表輻射量， i 為各縣市， h_M 為 M 月份平均時資料。以各縣市行政中心為中心，方圓10公里平均值

A_i ：各縣市潛力發電面積， i 為各縣市

m ：迴歸方程斜率

b ：迴歸方程截距

A_n^i ： i 縣市迴歸計算所選取電廠 n 之潛力發電面積

(二) 數據表單

縣市別	代表經緯度	排除遮蔭後 可發展面積 (公頃)	迴歸依據 (台電自有電廠)
臺北市	25.037882, 121.564465	1,148.59	中大S
新北市	25.013148, 121.465124	4,055.71	中大S
基隆市	25.131756, 121.744618	677.58	中大S
新竹市	24.806767, 120.968841	855.33	中大S
桃園市	24.993166, 121.301024	6,524.61	中大S
新竹縣	24.826991, 121.012910	1,966.53	中大S
宜蘭縣	24.730841, 121.763122	1,837.93	中大S
臺中市	24.162494, 120.646834	6,573.19	龍井S
苗栗縣	24.564905, 120.820743	2,449.66	中部儲運S
彰化縣	24.075553, 120.544685	7,372.30	龍井S
南投縣	23.902632, 120.690506	1,910.45	新伯公S
雲林縣	23.699190, 120.526331	6,852.13	民雄S
高雄市	22.620923, 120.311867	6,248.11	路北S
臺南市	22.992338, 120.185054	7,872.38	路北S
嘉義市	23.481339, 120.453595	664.77	民雄S
嘉義縣	23.458758, 120.292981	3,168.93	民雄S

屏東縣	22.683242, 120.487940	3,634.00	路北S
澎湖縣	23.570246, 119.566381	395.11	澎湖S
花蓮縣	23.991826, 121.619851	1,599.88	龍井S
臺東縣	22.755545, 121.150543	1,104.53	路北S
金門縣	24.436852, 118.318684	121.01	金門S
連江縣	26.158017, 119.951799	30.26	金門S

三、風力發電可發展面積、年發電潛量估算

(一) 計算公式

離岸風電發電潛量計算方式：

$$\text{離岸風電發電量} = 1/2 \times \text{空氣密度} \times \text{繞掃面積} \times [\text{風速}]^3 \times 40\%$$

- 假設標準大氣下空氣密度為常數1.293kg/m³
- 繞掃面積 (swept area) 採用MHI Vestas 9.5MW 規格為計算基礎，單一繞掃面積為21,125平方公尺。
- 機組數量推估方式，採用保守情境與積極兩種情境：
 1. **保守情境**：已確定規劃量之場址以單一機組裝置容量(9.5MW)回推場址機組數量，並按照場址面積按比例推估尚未確定規劃容量之場址發電量。
 2. **積極情境**：尚未確定規劃容量之場址，以風輪直徑(164公尺)作為基礎，假設以左右間隔2倍風輪直徑、前後間隔8倍風輪直徑之方式進行配置。

(二) 數據表單

風場面積與相對應機組數量，以及該風場之平均風速，藉此可對應出年發電總量。

場址編號 ³	場址面積(km ²)	機組數量	年平均風速(m/s)	年發電總潛量(億度)
1	26.2	64	8.22062	6.98
* 2	50.2	26	9.03881	3.77
3	22.2	60	8.92503	8.37
* 4	31.6	43	7.93968	4.22
*5&6	55.5	77	9.66934	13.66
7	36.8	95	9.24757	14.74
8	112.5	297	10.3152	63.96

場址編號3	場址面積(km2)	機組數量	年平均風速(m/s)	年發電總潛量(億度)
9	120.7	306	10.4160	67.85
10	122	306	10.3916	67.37
* 11	128.6	77	10.2467	16.25
* 12	117.4	63	10.3311	13.63
* 13	111.8	60	10.2964	12.85
* 14	126.3	68	10.2438	14.34
* 15	120.4	65	10.2055	13.56
* 16	131.1	80	10.1411	16.37
* 17	122.5	80	10.1013	16.18
* 18	85.2	54	10.0144	10.64
* 19	100.5	73	9.94554	14.09
20	109.7	248	10.2698	52.71
21	112.6	297	10.1767	61.42
22	86.7	232	10.0818	46.65
23	88.6	232	9.99078	45.39
24	86.2	232	9.86332	43.68
25	93.3	240	9.74732	43.61
* 26	118.6	85	9.70523	15.25
* 27	92.7	50	9.67651	8.89
* 28	98.3	53	9.52057	8.97
* 29	98.3	47	9.32116	7.47
30	117.8	306	9.34742	49.04
31	114.3	297	9.30489	46.95
32	93.2	240	9.14520	36.02
33	57.3	144	7.56430	12.23
34	38.8	95	6.08754	4.21
35	32.5	90	6.08653	3.98
36	32.5	90	4.52164	1.63
合計				886.91

其他離岸風電相關試算表請見下方連結：<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ZV0p-Czv4edgWwoJjMpJPuti4UxkNttax5vvxQRKl7lA/edit?usp=sharing>

肆、研究未來展望與限制

一、未來展望

本報告最終目的在於降低能源議題的討論門檻，並促進再生能源的溝通，呼籲各界共同推動 100% 再生能源的能源轉型，並令政府提出更長期的總體能源目標。此倡議方向道阻且長，本報告僅開啟了第一步，期待後續有各方促進再生能源發展的夥伴持續投入相關研究、建立典範，並一齊改變體制：

1. 「能源轉型」並不僅限於「電力系統」，更應包括各類產業逐步將當前使用之能源轉型為再生能源（例如：交通），此外能源轉型還包括經濟成長與產業結構的調整，要規劃更完善的轉型路徑，勢必需要完成相關總體經濟之規劃；
2. 其次，在「電力系統」中，還有許多未竟之處，包括輸電、配電、售電市場的研析，未來在轉型的過程中如何影響到我們的生活與社會；
3. 再者，就「發電」而言，任何案場的建立並不能考量財務與工程面的問題，無論是本文所論及之太陽能、風能、地熱，還是任何其他類型的再生能源，其選址、建造、發電與除役過程中，對環境與生態之保護、對社區之溝通，都有待各界持續推動最佳個案，持續在發展與永續間尋求平衡；
4. 最後，就「發電潛量」來說，本次研究僅透過天氣資料，結合政府所公告的土地資訊，整合出台灣的再生能源發電潛力，尚應在有更多具體資料後，持續加入不同環境對於發電設備可能造成之折舊、熱損耗等不同因素——發電總潛量對於民眾理解能源政策之正當性、業者對於未來能源發展的信心，都至關重要。

350 台灣以「**快速且公平地邁向 100% 再生能源願景**」作為組織核心目標之一，隨著氣候變遷持續發展，落實這個願景的焦慮就愈發明顯。透過這份報告，我們僅能拋磚引玉，希望能有助於能源的溝通，並讓更多人看見再生能源在台灣發展的潛力與可能性。

二、研究限制：資訊不足與模型侷限

再生能源在台灣的發展儘管已二十餘載，但由於有關單位對相關的資訊揭露與溝通，到近年才逐漸受到重視，過程中仍可發現有諸多政府公開資料資訊不足之處：

· 土地資料不完整

部分地方政府在建地、土地使用資料未逐年更新，或甚至未公開，導致資料殘缺、不連貫。地方政府在推動再生能源方案時，除了公開補助在能源或完善環評流程等工作外，應亦有義務將相關資訊和數據持續公開、透明化，鼓勵民間參與、促進溝通。

· 社會與環境評估資訊不足

儘管再生能源開發案必然涉及生態熱點評估資訊、原民土地、當地社區參與等議題，並會進一步影響再生能源可設置總面積。但是，目前資料顯仍不完整。此類資訊固然為近期快速發展再生能源時才受到重視，缺乏相關資料蒐集可以理解，然而一旦缺乏完整評估或可參考指標，民間參與面臨高度不透明環境，研究機構難以全盤評估，開發商更須面對財務風險與不確定性。政府應積極面對、回應爭議，再生能源與永續發展應並行不悖，若缺乏良好的社會與環境評估機制，徒增溝通成本，亦難持續推動能源轉型。

除上述重大資訊闕漏之外，部分資訊諸如天氣監測資料不足、風電與地熱產業新興缺乏可參考數據等問題，均使得研究計畫在推估總發電潛量的過程中只能尋找替代資料使用。我們期待未來透過相關資訊的補足，或是各界的協助，持續完善模型。

扣除資料不足衍生的限制，本研究在能源潛量評估方法的設定上亦有所侷限。儘管，電力市場至少可分為「發電」、「輸電」、「配電」、「售電」，本研究僅著眼於「發電」端，探討再生能源如陽光、風力、地熱等自然資源，能轉換成多少電能，

並未完整評估過程中的耗損，以及發電本身的折舊、熱損失、人為和天災可能衍生的損害等。

此外，國際上普遍常用、足以作為政策指引的能源轉型模型，並不僅限於電力市場，還包含儲電系統、節能服務等，甚至應納入產業趨勢、總體經濟與國際政治等因素。但我們深知完美預測未來的模型團隊本身力有未逮，且隨著模型納入的變數越多，將越難理解，恐無助於大眾溝通、凝聚共識。

研究案設立初衷僅為建立溝通橋樑，啟發促進大眾理解台灣社會所處的環境、對再生能源的理解，進而促成建設性的長期能源政策溝通。若有未竟之處，還有賴各界回饋，以期在未來補足。

三、給政府： 台灣什麼時候能提出長期能源目標？

最後，我們知道任何長期的再生能源目標都無法一蹴可幾，也可以理解未來情況多變，具有高度不確定性。但是任何決策都伴隨風險，無所作為更形同認同與滿足現狀。無論任何政黨、中央或地方政府領袖，面對重大議題都始終不願提出長期政治承諾，如何引領社會走向漫長而艱辛的轉型？如何促進社會的共識？

面對氣候變遷的進逼和國際趨勢，台灣沒有時間猶豫，無論走向何方，我們不需要更多短淺、懦弱，以吸引選票的政治口號。台灣的公民社會需要的是著眼於長期願景，並勇於領導、規劃與落實的政治領袖，需要的是在長期目標下溝通出社會共識。

我們呼籲所有政治領袖，均應積極回應：

· 長期再生能源發展政策規劃

提出邁向 100% 再生能源的目標與具體路徑，承諾長遠的能源政策。

· 長期政策應長期開放民間參與

持續與能源政策溝通平台、非政府組織網絡、和各民間組織妥善溝通，促進社會共識。

· 強化資訊揭露

為促進再生能源社會共識，持續更新並公開與再生能源相關數據和資訊，應包含但不限於可用做再生能源發展之土地、場址天氣資料，並在不侵害商業利益或隱私權的前提下，提供更完善的發/用電資訊等。

「綠電 100 :台灣 100% 再生能源電力系統的必要性與可能性」

350 台灣, 2019 年 11 月 10 日

350 台灣研究團隊——李建歡、黃品涵、Yuan Sung

技術顧問——莊鎮豪、吳政勳

共同支持夥伴——

主婦聯盟環境保護基金會台中分會、台灣再生能源推動聯盟、台灣健康空氣行動聯盟、
地球公民基金會、國際氣候發展智庫、媽媽監督核電廠聯盟、綠色公民行動聯盟、綠色和平

台灣地熱資源發展協會王守誠秘書長、台灣環境資訊協會陳瑞賓秘書長、
逢甲大學綠能中心賴奇厚教授、觀察家生態顧問股份有限公司黃于玻總經理

(依組織-個人, 並依筆畫順序排列, 持續歡迎夥伴加入與合作)

視覺設計——高怡瑄

350
TAIWAN