

台灣低碳能源採購挑戰與解方

國際半導體產業協會能源合作組織白皮書

中文版



前言

能源合作組織(Energy Collaborative, 以下簡稱EC)是由全球電子與半導體產業鏈的3000多家企業所組成的國際半導體產業協會(SEMI)以及全球半導體氣候聯盟(Semiconductor Climate Consortium)共同發起的倡議組織,其宗旨是降低全球半導體生態圈的碳排放,致力於洞悉與排除亞太地區低碳能源¹發展上法規與市場面的阻礙,並針對優先事項提供綜合觀點。此外,為了催化短期內可推動的變化,EC選擇著重於2030年之前可能影響低碳能源部署與採購的挑戰與行動,並稍加著墨2030年之前需採取的行動,以利2030年之後的進一步創新。

EC的成員將奠定EC組織與亞太地區半導體與潔淨能源生態圈各方的合作。此外,潔淨能源買家聯盟(Clean Energy Buyers Association)也是EC的合作夥伴。本白皮書匯集各方資料,包括麥肯錫公司的基礎事實分析,並藉此研究資料基礎,總結並建議低碳能源的優先事項和所需行動。

本白皮書旨在剖析目前台灣低碳能源發展與採購的挑戰,並為政策制定者、低碳能源開發商與半導體業者提出潛在的解決方案,以進一步加速與擴大低碳能源的普及。

¹ 本文中的「低碳能源」係指運行時產生較少或不產生溫室氣體的發電技術—包括但不限於太陽光電、風電、水力、地熱、生物質與生質燃料、潮汐能、波浪能與核能技術,以及潔淨氫氣及其衍生物。

報告摘要

全球半導體產業鏈面臨客戶對減碳的強烈期盼，其中約83%的碳排放來自用電²，因而使低碳能源³ 扮演關鍵角色。無法達到客戶減排目標的企業，其聲譽與競爭力將可能受損，更或波及臺灣這一核心產業的全球競爭力。

半導體產業約佔台灣國內生產毛額(GDP)的18%。業者除了回應客戶的減碳期望，也有自己設定的減碳目標，因此面臨取得低碳能源的挑戰。受限於低碳能源的供應量、價格和採購機制，台灣RE100成員2022年的總電力需求中，只有4%取自再生能源，而同期的全球平均則為49%⁴。以台灣的發電組合而言，由於核能發電逐漸退役，但再生能源增速緩慢，低碳能源佔比於2019年開始便停滯於16-17%。如果低碳能源的供給量不能提高，或者市場不能提供更多元的採購機制，台灣的企業電力用戶將只能達成2030年企業低碳能源使用目標的50-70%。

為了填補2030年低碳能源目標的缺口，台灣半導體產業、能源產業和政府需通力合作，以克服低碳能源採購機制、離岸風電與太陽光電開發的障礙。

於此，EC提出四個方向的七個參考行動方針：

- 1. 擴大企業採購低碳能源的機制。**綠能購售電合約(Power Purchase Agreement, PPA)是企業在自用發電之外，唯一的採購選項。全球其他市場普遍認可且容易取得的綠色電價方案和電證分離的能源屬性憑證(Energy Attribute Certificate, EAC)⁵等機制，在台灣並不常見。開放這些機制可以讓採購綠電的台灣企業和全球競爭者站在同一立足點。此外，綠色電價方案可以針對各類型能源用戶的需求設計，提供價格長期穩定的綠電，也能藉此為所有能源用戶開拓一條支持低碳能源發展的路徑，對於開展發電量大又有季節性差異的離岸風電尤其重要。
- 2. 合理化離岸風電競標中的國產化要求。**雖然刺激台灣經濟及確保供應鏈韌性的立意甚佳，但台灣離岸風場招標中的國產化要求已取代發電成本和開發商的執行能力，成為招標結果的唯一決定性因素。再加上近年來由俄烏戰爭引發的能源危機和全球供應鏈短缺的影響，專案預算直線攀升。截至2024年6月，3-1期離岸風場標案的PPA報價已較前期上漲了30-40%，比工業用電大戶的一般電價高出50-70%。這導致開發商找不到承購方，供應商和開發商因此必須延後投資決策，台灣整體的再生能源目標便有無法達標的風險。雖然在政府主導的再生能源招標案中，國產化要求並不罕見，但通常只是作為資格審查的標準，或是多個遴選標準之一，在日本和南韓僅佔總分不到20%。如果離岸風場無法順利發展，推動地方經濟的美好立意也就無法實現。因此，要在地方經濟發展、發電成本和離岸風電產能的適時提升之間取得平衡，台灣可考慮合理化其離岸風電競標中的國產化要求。

² SEMI – “Transparency, Ambition, and Collaboration: Advancing the Climate Agenda of the Semiconductor Value Chain”

³ 本文中的「低碳能源」係指在運行時產生的溫室氣體較低或為零的技術—包括但不限於太陽光電、風電、水力、地熱、生物質與生質燃料、潮汐能、波浪能與核能技術，以及潔淨氫氣及其衍生物。

⁴ RE100, 2023年度報告, 2024年3月。

⁵ 台灣理論上允許、並且現行有部分的綠電交易是透過電證分離的能源屬性憑證交易，但該憑證只能透過有限的自用發電設備所取得，而這部分電量在2023年所有用於企業交易的再生能源總量中，占比不足1%（用於交易的再生能源也僅佔再生能源總發電量的7%）。因此，本文認為此電證分離的能源屬性憑證，目前在台灣並非有效的綠電採購手段。

3. 加強授信風險擔保並重新探討PPA的餘電回購機制。愈來愈多綠電開發案逐漸轉向靠PPA建立營收來源,以確保專案融資,但是銀行和企業承購方都認為PPA存在風險。以離岸風電開發案而言,銀行要求企業承購方的信用評等就連大型國際投資級企業也未必能達到。此外,太陽光電和離岸風電的承購方也面臨財務不確定性,因為如果PPA所交付的電力超出所需,他們就必須以躉購費率將剩餘電力賣回給台電,而躉購費率通常低於PPA簽約價格。

為減輕銀行承受的信用風險,並幫助更多企業承購離岸風電:

- a. 政府可考慮加強近期提出的離岸風電PPA綠電信用擔保機制,將原本保障違約情況之合約價值的擔保期,從一年半的上限再加以延長。參考歐洲國家類似的信保機制,不論合約剩餘期間長短,均可擔保剩餘合約金額的80%。
- b. 半導體企業等用電大戶可以繼續和離岸風電開發商及銀行合作,解決離岸風電PPA團購合約在台灣面臨的挑戰,或可減輕單一承購方不履約對銀行造成的信用風險。

為減輕太陽光電與離岸風電供給過剩對PPA承購方的風險:

- c. 台電可重新探討離岸風電的餘電回購機制,設定合理的餘電回購價格,以反映承購方的PPA成本和綠電的環境價值。

4. 強化政府在指定綠電推廣區和協助社區溝通中所扮演的角色,並簡化與加速審核流程。台灣地面型太陽光電的成本遠高於國際市場。2023年台灣新設的地面型太陽光電計畫,其躉購費率是每度3.8-4.3元,遠高於日本同期的躉購費率每度2.1-2.2元。為減少土地取得成本、時程和取得土地及社區溝通的不確定性,台灣政府已開始指定適合再生能源發展的推廣區。政府可考慮以下兩個作法協助推廣區成功:

- a. 在驗證土地狀況及地主/地方社區溝通的過程中扮演更積極的角色,並簡化與加速審核流程。
- b. 設立回饋金適用對象資格條件及回饋額度等相關辦法。

這些加速台灣低碳能源發展和採用的行動方案,需要政府與產業通力合作;同時,低碳能源投資也能刺激台灣的經濟成長,在日益重視潔淨生產的全球經濟下,支撐台灣產業維持競爭力,並因減少對進口化石燃料的依賴,而提高能源安全。

低碳能源對台灣產業至關重要

製造業出口占台灣GDP的六成⁶，對經濟至關重要，同時世界各國政府為了吸引製造業生產遷移至本國境內也採取各種政策優惠，台灣也越發需要與全球市場競爭。如今，全球市場又向台灣出口業提出了一項全新挑戰：降低碳足跡並使用低碳能源。這種風向也逐漸反映在各國和區域貿易組織制定的規範裡，其中歐盟將率先於2026年開始，針對鋼鐵與水泥為首的碳密集型產品徵收關稅。取得低碳能源將是台灣核心產業維持國際競爭力的必要因素。

在面臨客戶要求而須減碳的產業中，以半導體產業最為重要，占台灣GDP的18%^{7,8}，在全球諸多產業中扮演戰略供應的角色，同時在減碳風潮中更是首當其衝。全球科技巨擘與相關企業紛紛宣布供應鏈的淨零排放目標，例如蘋果公司訂定了2030年供應鏈須使用100%綠能的目標⁹、谷歌制定了供應鏈2030年淨零目標¹⁰，在台營運的公司也紛紛制定了採用低碳能源的目標。RE100是一個匯聚全球企業，倡導使用100%再生能源的倡議組織，有130個成員企業在台營運，其中25個將總部設在台灣¹¹。台灣半導體製造龍頭台積電，也已設定2030年使用再生能源比例達到60%的目標，並將於2040年「全球營運100%使用再生能源」¹²。

我們的分析顯示，根據台灣公司所公布的低碳能源採用目標，2030年的相關需求將達530-750億度¹³。此外，許多半導體業者為了更貼近巴黎協定的1.5°C路徑，表示計劃加速採用低碳能源的時程，即2030年的低碳能源使用佔比需達到75-100%¹⁴。若所有半導體與電子製造業者皆採用符合1.5°C路徑的低碳能源使用目標，全台企業的2030年低碳能源需求將再增加190-310億度，總需求將達到720-1060億度。

低碳能源的發展並不只是為了滿足企業的需求，也是為了台灣能實現2050年淨零排放的承諾，激發未來經濟活力。根據國際貨幣基金組織的數據，100萬美元的再生能源投資可以帶來1.1至1.5倍的經濟產出，而化石燃料只能轉化0.5至0.6倍的經濟效益¹⁵。麻州大學阿默斯特分校的研究顯示，該筆100萬美元的投資在再生能源可創造7.49至7.72個全新的工作機會，而在化石燃料僅能創造2.65個工作機會¹⁶。

⁶ 行政院主計總處，[經社指標](#)，2024。

⁷ 資料來源同上。

⁸ TSIA台灣半導體協會，[2023全年台灣IC產業營運成果出爐](#)，2024年2月18日。

⁹ 蘋果公司，[蘋果加大投資全球潔淨能源與水源](#)，2024年4月17日。

¹⁰ 谷歌永續，[淨零碳排](#)，2022。

¹¹ RE100，[2023年度報告](#)，2024年3月。

¹² 台積電，[加速採用再生能源 台積公司宣布RE100目標時程提前至2040年](#)，2023年9月15日。

¹³ 根據台灣2030總電力需求預測、各產業電力需求歷年成長、與各產業業者所公開的2030低碳能源採用目標進行估算。

¹⁴ 根據國際能源總署的2050年淨零排放情境，2030年全球發電組合中須有約75%的低碳能源。根據科學基礎減碳目標 (Science Based Targets initiative) 的倡議，2030年的低碳能源使用占比須為100%。

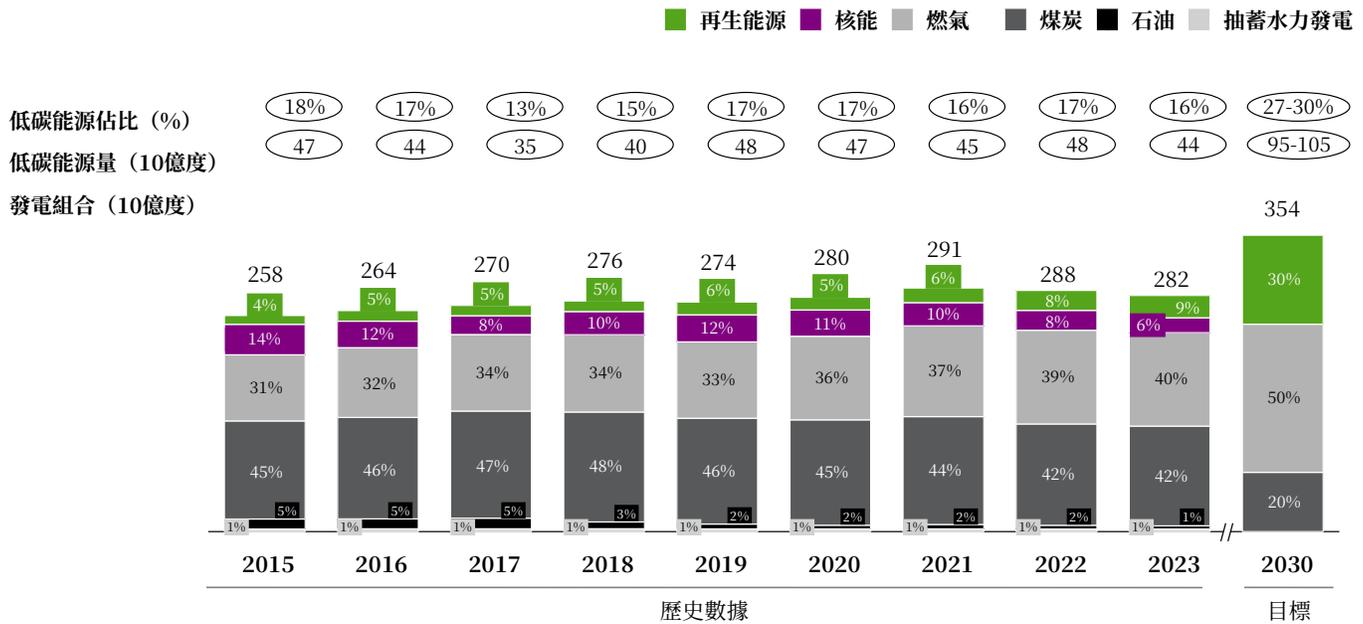
¹⁵ Nicoletta Batini, Mario Di Serio, Matteo Fragetta, Giovanni Melina, and Anthony Waldron, [Building Back Better: How Big Are Green Spending Multipliers](#) [重建更美好未來：綠色支出的乘數有多大]，國際貨幣基金組織，2021年3月19日。

¹⁶ Heidi Garrett-Peltier, [Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model](#) [綠棕對比：利用投入產出模型，比較能源效率、再生能源與化石燃料的就業影響]，2017。

然而低碳能源的供應和採購機制存在缺口

台灣電力部門的碳排係數比世界平均高出13%^{17,18}，2023年化石燃料佔台灣總發電量的82%（燃氣發電佔40%、燃煤發電佔42%：圖1）¹⁹。再生能源的佔比從2015年的4%逐步提升至2023年的9%，但同時由於核能電廠的除役，抵銷了再生能源的增長，使低碳能源總佔比在過去五年一直停滯在16-17%。

圖1:台灣歷年發電組合與目標



資料來源：經濟部，111年度全國電力資源供需報告，2024年1月22日。
經濟部，經濟部淨零關鍵戰略厚植產業綠色成長力 擘劃2030年電力配比願景，2022年12月28日。

台灣目標2030年將發電組合中低碳能源的佔比提升至30%，即低碳能源發電量須成長超過一倍，增至950-1050億度^{20,21}。鑒於「非核家園」政策，所有核電廠將於2025年除役，低碳能源的成長將主要藉由太陽光電與離岸風電落實。

如果確實能有950-1050億度的綠電可供企業採購，企業的減碳需求將迎刃而解。然而，綠能的發電目標能否達成並提供企業採購，都存在不確定性。

首先，提升綠電裝置容量的進度由於種種挑戰而延宕。按照目前的進度，太陽光電將無法達成2025年的中期目標，將短缺約4百萬瓩。政府同時宣布，離岸風電專案的交付時程預計將延後一年，相當於約150萬瓩的發電產能。若狀況不進一步惡化，台灣2030年的綠能發電量將減少約100億度²²。

¹⁷ Malgorzata Wiatros-Motyka, *Global Electricity Review 2023* [2023年全球電力檢視], Ember Climate, 2023年4月12日。

¹⁸ 經濟部，111年度電力排碳係數，2024年3月7日。

¹⁹ 經濟部，111年度全國電力資源供需報告，2024年1月22日。

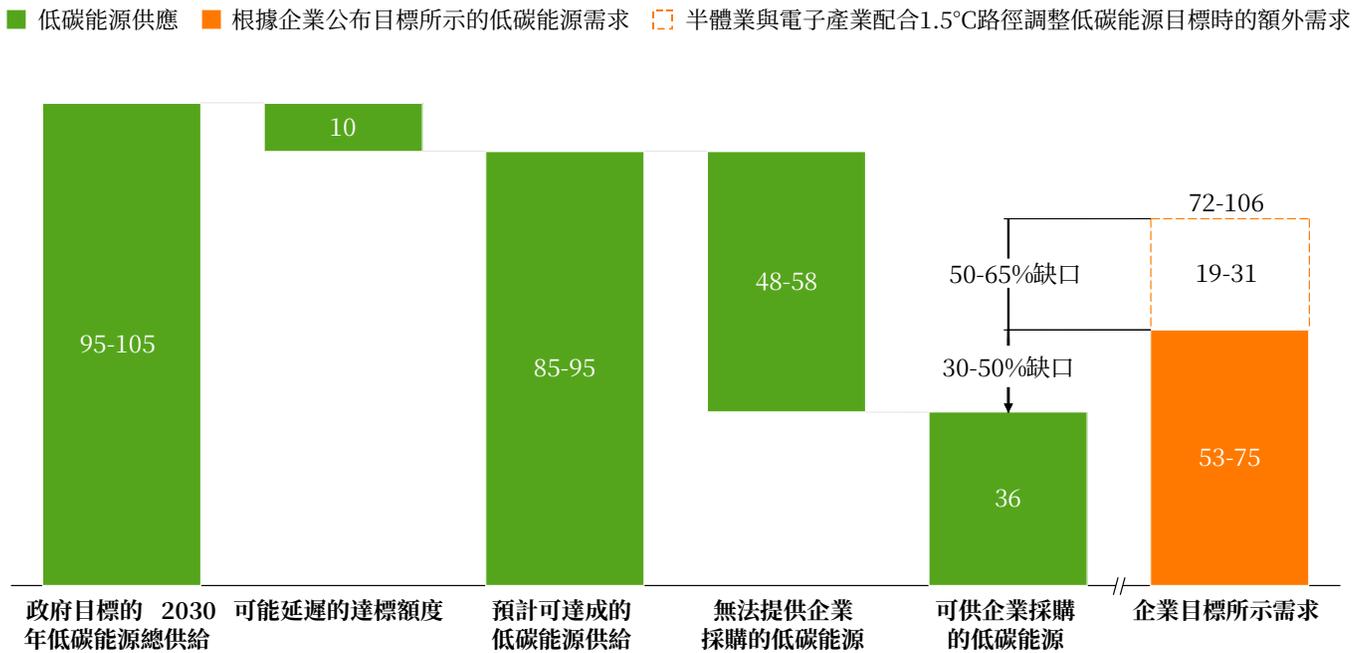
²⁰ 2030年估算的總發電量約3600億度，出自國發會淨零路徑圖。資料來源：國發會，臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明，2022年3月30日。

²¹ 再生能源27-30%的佔比目標為經濟部公布目標。資料來源：經濟部，經濟部淨零關鍵戰略厚植產業綠色成長力 擘劃2030年電力配比願景，2022年12月28日。

²² 假設太陽光電容量因數為11%，離岸風電容量因數為45%，分別將4百萬瓩太陽光電裝置電容和150萬瓩離岸風電裝置電容換算為40億度與60億度。

即便綠電的裝置容量按照計畫提升,有效購買綠電的問題仍亟需解決。由於再生能源成本高以及購電機制有限等綜合因素,2023年全台灣的再生能源僅7%由企業直接購買^{23,24,25},雖然該比例近年有所提升,但我們預計如果維持現有的趨勢,2030年該比例將只能提升至約35%²⁶,即企業能夠直接採購的再生能源只有360億度(圖2)。對比企業目標,這意味著170-390億度(30-50%)的缺口;若半導體業與電子業配合1.5°C路徑調整目標,缺口將擴大至360-700億度(50-65%)。

圖2:2030年台灣低碳能源的供需平衡(10億度/年)



除部署延宕和採購方式受限之外,台灣太陽光電與離岸風力發電的成本仍居高不下。台灣2023年的地面型太陽光電躉購費率是每度3.8-4.3元²⁷,同期日本的躉購費率是每度2.1-2.2元²⁸,南韓類似價格則為每度3.7元²⁹。此外,離岸風力3-1期於2023年進行競標專案的PPA報價據聞已提高到每度5.5-6元,甚或更高³⁰,而南韓2023年最近期的離岸風力最高競標價僅為每度4.0-4.1元³¹。太陽光電與離岸風電的價格須有效下降,才能讓用電企業安心地大規模採購,而不需要犧牲他們在全球市場上的成本競爭力。

²³ 7%是根據2023年核發的再生能源憑證數量及同期再生能源總發電量所計算。

²⁴ 國家再生能源憑證中心,成交紀錄,2024。

²⁵ 經濟部,能源統計月報,2024。

²⁶ 假設過去躉購轉PPA的趨勢維持不變,預計2030年將有4百萬瓩太陽光電躉售PPA,換算為約40億度發電量(容量因數11%)。預計1百萬瓩陸域風電全部躉售PPA,換算為20億度發電量(容量因數24%)。預計3-1期及以後的約770萬瓩離岸風電均躉售PPA,換算為300億度發電量(容量因數45%)。其他(水力與生物質)則維持2023年可取得的量。

²⁷ 經濟部,112年度再生能源躉購費率正式公告,2023年1月6日。

²⁸ 每度9.28-10日圓,以1日圓=台幣0.22元的匯率換算。日本經濟產業省,FIT制度・FIP制度における2023年度以降の買取価格[2023年躉購與溢價補貼價格],2024。

²⁹ 每度0.12-10美元以1美元=台幣31元的匯率換算。每度0.12美元為2023年上半年南韓太陽光電長期固定價格合約的決標價格。資料來源:再生能源機構, South Korea: Low renewable energy ambitions result in high nuclear and fossil power dependencies [南韓:再生能源野心不足導致對核能與化石能源的高度依賴],2023年6月。

³⁰ 離岸風電開發商訪談,2024年3月12日。

³¹ 167,778-173,395韓圓/度換算為台幣的匯率為1韓圓=台幣0.0239元。資料來源:韓國新能源暨再生能源中心,2023년 풍력 고정가격계약 경쟁입찰 사업자 선정 결과 [2023年風力發電固定價格合約的競標結果],2023年12月20日。

加速台灣採用低碳能源的四大行動方針

面對設定了產業鏈減碳目標的國內外客戶，在台灣營運的半導體企業需要採取行動才能維持其全球競爭力。由於台灣的「非核家園」政策，若要達到2030年的產業鏈減碳目標，需要靠最成熟、最具擴充性的太陽光電與離岸風力發電加速發展，並且採購機制也需更加多元，才能填補低碳能源的供應缺口。對此，EC提出以下四個方向的七項行動。

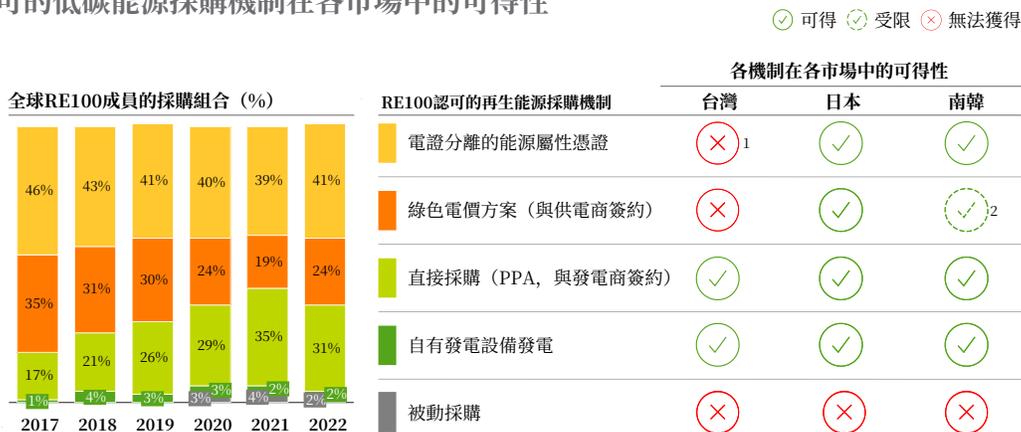
1. 擴大企業採購低碳能源的機制

由於再生能源成本高以及購電機制有限等綜合因素，2023年台灣只有9%的電力來自再生能源，其中只有7%是企業透過PPA直接採購的。由於自用發電設備方式受空間條件限制，PPA是絕大多數企業在台灣採購低碳能源的唯一通用機制³²。然而，簽訂PPA的門檻很高，承購方不僅信用評等要高，用電量也必須大到足以吸收再生能源發電量的波動性。此外，由於PPA通常高度客製化，承購方還需要大量電力市場知識與企業資源，才能妥善評估與協商相關條款與風險，令許多企業可望而不可及。

但除了PPA以外，還有在全球多個市場普遍認可且能夠取得的其他低碳能源採購機制，也都可以考慮導入台灣。例如，RE100認可電證分離的能源屬性憑證和綠色電價方案，此類機制在全球RE100成員的低碳能源採購量中佔比超過60%（圖3）³³，並且也存在於日本和南韓³⁴等亞洲同業市場。透過更多元化的機制，讓企業能更便利地採購低碳能源，將有助於在台營運的企業與全球其他業者公平競爭。

綠色電價方案尤其有潛力為廣大類型的能源用戶解鎖取得低碳能源的機會，同時也能支持新的再生能源開發。綠色電價方案讓電力公司可以整合眾多各類型的小型電力用戶的綠電需求，以搭配離岸風電這類大規模綠電發電廠的變動發電量。透過一套長期穩定的定價機制，綠色電價方案也有機會支援新綠電開發案的專案融資。

圖3: RE100認可的低碳能源採購機制在各市場中的可得性



1. 台灣理論上允許，並且現行有電證分離的再生能源憑證交易，但其憑證只限由自用發電設備的剩餘電力產生，在2023年台灣總再生電力交易量中僅佔不到1%而再生能源的交易量僅佔再生能源總發電量的7%。因此本文不認為這種電證分離的再生能源憑證是對企業有實質意義的低碳電力採購機制。
2. 南韓在分類為「受限」是因為其綠色電價機制存在重複計算等種種疑慮，有待改進。此外，這是南韓唯一的綠色電價方案，市場仍有空間容納更多綠色電價方案（例如有長期定價機制的電價方案與外加性較高的電價方案），以滿足不同綠電用戶的需求。

資料來源：RE100, RE100 2023 Annual Disclosure Report [RE100 2023年年度揭露報告], 2024。

³² 台灣理論上允許，並且現行有部分的綠電交易是透過電證分離的能源屬性憑證交易，但該憑證只能透過有限的自用發電設備所取得，而這部分電量在2023年所有用於企業交易的再生能源總量中，占比不足1%（用於交易的再生能源也僅佔再生能源總發電量的7%）。因此，本文認為此電證分離的能源屬性憑證，目前在台灣並非有效的綠電採購手段。

³³ RE100, RE100 2023 Annual Disclosure Report [RE100 2023年年度揭露報告], 2024。

³⁴ 南韓的綠色電價機制存在重複計算等種種疑慮，有待改進。此外，這是南韓唯一的綠色電價方案，市場仍有空間容納更多綠色電價方案（例如有長期定價機制的電價方案與外加性較高的電價方案），以滿足不同綠電用戶的需求。

2. 合理化離岸風電競標中的國產化規範

零組件生產與風電建設服務的國產化，是台灣離岸風電競標中的一個評估指標。台灣政府透過國產化規範打造完整本土供應鏈、實現本地經濟效益，並增強供應鏈韌性³⁵，計劃到2025年離岸風電產業能帶動台幣2,000億的年產值並創造2萬個就業機會³⁶。然而，其發展卻並未達到社會期望。國產化要求已成為決定離岸風電競標結果的唯一因素，而忽視了成本與項目執行能力等其他重要因素。與此同時，國產供應鏈仍處於發展初期，交付的可靠度與即時性、以及成本競爭力等，還遠不能支撐離岸風電發展的切實需求。

進入區塊開發階段以來，政府設定的投標價格上限遠低於離岸風電的成本，為提升得標機率，開發商便選擇0元競標³⁷，價格同分的開發商通過供應鏈評分再排序，於是供應鏈評分/國產化率成為競標結果的決標條件³⁸。但成本與執行能力等重要因素卻只在資格審查階段呈現。因此，也不難理解為什麼開發商無不積極提高國產化比例，以求在競標中勝出。

然而，本地供應鏈仍處於發展初期，但國產化要求導致開發商在關鍵零組件上受限於少數本地供應商，而面臨供應鏈斷鏈、或因缺乏競爭而價格飆升的風險³⁹，例如離岸風電水下基礎和風機安裝船在台灣分別只有1-2家供應商。另外，本地供應商提高其供應能力所需的時間可能超過開發商要求的交期，例如彰化風場訂購的111座基座只有6座準時交貨，就是受到生產品管等問題的影響^{40、41}。

在國產化、全球供應鏈短缺與通膨等宏觀經濟不利因素之下，離岸風電的成本大幅攀升。台灣於2016年首次設定離岸風電躉購費率，當時價格為每度5.7元。其後隨著從躉購模式轉為競標模式，在2018年競標的「潛力」開發階段中PPA的價格也據說下滑至約每度4.1元⁴²。然而，近期競標(3-1期)專案的預估價格據說已提高到每度5.5-6元或更高⁴³，而這已經超過台灣用電大戶工業電價大約5-7成。同時價格的快速飆升也部分導致了開發商找不到願意簽訂的承購商，這又進一步拖延了項目協商進度，讓成本更受通膨影響持續上升。截至2024年8月底，3-1期得標的五案都還沒有達成最終投資決定，其中一案據說已被擱置⁴⁴，只有一案報告了近期簽署水下基礎安裝和運維船合約的進展情況。

此一僵局也導致若干離岸風電產業鏈中的業者開始重新評估台灣市場的吸引力。例如全球風機製造龍頭維特斯(Vestas)已停止向3-2期的標案進行報價，並表示「目前要求的國產化程度對產業是行不通的」⁴⁵。伊比德羅拉(Iberdrola)⁴⁶、台亞風能及韋能能源(Vena Energy)⁴⁷等離岸風電開發商也決定不參與3-2期競標。

³⁵ InfoLink, 台灣離岸風電國產化: 供應鏈韌性與效率, 2023年9月8日。

³⁶ 經濟部, 離岸風電推動現況與展望, 2019年5月16日。

³⁷ 中國時報, 離岸風電0元競標 10風場搶下門票, 2022年12月15日。

³⁸ 經濟部, 經濟部啟動離岸風電區塊開發選商機制, 2021年8月19日。

³⁹ 經濟日報, 十年離岸風電政策總體檢, 2023年7月1日。

⁴⁰ 監察院, 離岸風電國產化案糾正文, 2022年。

⁴¹ 經濟日報, 十年離岸風電政策總體檢, 2023年7月1日。

⁴² 離岸風電開發商訪談, 2024年3月12日。

⁴³ 資料來源同上。

⁴⁴ Angelica Oung, 領英貼文, 2024年6月4日。

⁴⁵ Angelica Oung, 專訪: Vestas亞太區總裁 Purvin Patel, 2024年4月13日。

⁴⁶ 江睿智, 離岸風電3-2期標案 西國電力集團退出, 經濟日報, 2024年4月4日。

⁴⁷ 陳映璇, 台灣風場「棄標潮」怎麼回事, 2024年4月11日。

離岸風電競標的遴選標準中包含國產化要求, 在其他離岸風電市場並不罕見, 但通常只會是眾多遴選條件之一(圖4), 而非單一決定因素。例如英國價差合約競標就以本地貢獻作為資格審查的一個條件, 而以價格為合格專案最終是否得標的決定因素^{48,49}。在最近的日本離岸風電第二輪競標中, 本地貢獻也僅佔標書評分的不到20%, 其他則是看價格與執行能力⁵⁰。而在南韓2023年的離岸風電競標中, 與國產化相關的「產業與經濟效益」在滿分100的評分當中則僅佔16分⁵¹, 其餘的評分則會看價格、過往實績及協助穩定電網的技術設計等因素。

圖4:離岸風電競標中的國產化要求比較

	台灣 (3-2期)	英國 (第4輪價差合約) ¹	日本 (第2輪)	南韓 (2023年)
遴選時的國產化佔比	100%	0%	17%	16%
	由於廠商出價 0 元競標, 國產化成為平手情況下的決定因素	國產化僅是資格審查的條件。一旦合格, 則根據價格遴選	本地貢獻要求在總分 240 當中佔 40 分	本地產業與經濟效益在總分 100 當中佔 16 分
國產化定義的靈活性	本地生產是廠商符合計分資格的先決條件	本地生產為考量因素之一, 其他考量因素包括對英國供應商有公平的採購流程、與本地社區的互動	對本地經濟整體貢獻的綜合定性評估	本地生產為考量因素之一, 其他考量因素包括研發中心地點及技術移轉協議

1. 根據2021年進行的第4輪價差合約競標 (Allocation Round (AR) 4 Contract-for-Difference (CfD) Auction)。在歐盟對世界貿易組織申訴英國國產化要求違反自由貿易後, 英國已撤銷離岸風電競標中對本地貢獻的明確要求。

資料來源: 經濟部, 經濟部啟動離岸風電區塊開發選商機制, 2021年8月19日。英國政府, 第四輪價差合約, 2022年11月24日。日本經濟產業省, 再エネ海域利用法に基づく洋上風力発電事業者の公募 [根據海洋再生能源法的離岸風電業者遴選], 2022年8月28日。韓國新能源暨再生能源中心, 2023년 풍력 고정가격계약 경쟁입찰 공고 [2023年風電長期固定價格合約的競標結果公告], 2023年10月12日。

透過發展離岸風電創造本地經濟效益的重要性是不言而喻, 但若連興建離岸風場的計劃都無法執行, 那麼這些效益也會消失於無形。為了確保長期效益, 台灣可以考慮修訂競標的遴選程序, 將國產化要求列為資格審查或得標的眾多指標之一。2024年7月歐盟向世界貿易組織提出, 要求台灣針對離岸風電供應鏈國產化政策進行爭端解決諮商⁵²。同年7月的媒體訪談中, 台灣經濟部長也首度表示放鬆國產化政策的可能性⁵³。這種放鬆何時以及如何發生還有待觀察。鑑於離岸風電專案的開發週期較長, 需要儘早做出改變才能影響 2030 年前交付的離岸風電裝置容量。

⁴⁸ 根據2021年進行的第4輪價差合約競標 (Allocation Round (AR) 4 Contract-for-Difference (CfD) Auction)。在歐盟對世界貿易組織申訴英國國產化要求違反自由貿易後, 英國已撤銷離岸風電競標中對本地貢獻的明確要求。

⁴⁹ 英國政府, 第四輪價差合約, 2022年11月24日。

⁵⁰ 供電安全、區域經濟效益、國家經濟效益被視為是與本地貢獻相關的條件, 在240的總分中佔40分。資料來源: 日本經濟產業省, 再エネ海域利用法に基づく洋上風力発電事業者の公募 [根據海洋再生能源法的離岸風電業者遴選], 2022年8月28日。

⁵¹ 韓國新能源暨再生能源中心, 2023년 풍력 고정가격계약 경쟁입찰 공고 [2023年風電長期固定價格合約的競標結果公告], 2023年10月12日。

⁵² 歐盟執委會, EU challenges Taiwan's discriminatory rules on offshore wind projects [歐盟挑戰台灣對離岸風電計畫的歧視性規定], 2024年7月26日。

⁵³ 潘羿菁, 風電國產化有解 經長鬆口開放: 溫室花朵能保護多久, 中央通訊社, 2024年7月24日。

3. 降低PPA中放款方及企業的風險, 以擴大其可行性

愈來愈多綠電開發計畫需要仰賴企業PPA來建立足以吸引專案融資的營收流。在台灣, 新的離岸風電開發案仰賴PPA則是因為躉購費率低於成本。隨著躉購費率降低, 以及企業因近期的由俄烏戰爭引發的能源危機而更願意購買綠電, 透過PPA出售電力的太陽光電專案佔比也日漸提高。然而, 銀行與企業承購方眼見相關風險, 融資銀行要求企業須滿足高信評才願意融資給離岸風電專案, 即使信用評等為投資等級的國際企業也未必能滿足銀行的要求, 企業承購方也面臨太陽光電和離岸風電PPA的餘電所帶來的財損風險。

透過政府承保的信保機制、團購機制和綠色電價方案來降低信用風險

銀行對台灣離岸風電承購方的高信用要求未必全然不合理。由於台灣沒有電力交易市場, 在承購方違約的情況下, 銀行和開發商不容易找到替代的報酬來源。即使能夠找到替代的企業承購方, 因為離岸風電的價格較高, 也不一定能以初始合約價來簽訂。

減輕信用風險的方法之一, 是由政府提供信用擔保。2023年台灣政府與八家公股行庫合作構建企業PPA綠電信保機制, 在承購方違約時, 由此機制代償最高一年半的離岸風電PPA金額, 預估可讓44家企業受惠⁵⁴。但相較於離岸風電PPA一般至少長達15-20年, 這一年半的覆蓋期似乎顯得太短。西班牙、法國及挪威的類似國家信保機制, 不論合約剩餘時間長短, 都可代償PPA剩餘合約價值的80%⁵⁵。目前新的政府信保機制下, 已有第一批PPA在協商當中, 其效益仍有待觀察, 並須考慮是否延長信保涵蓋期限。

另一種降低信用風險的可能方案是離岸風電團購合約, 即由多家承購方共同簽訂PPA。在團購合約中, 參與的承購方可在合約中約定, 一家企業違約時, 剩餘的承購方需購買違約方的電力, 進而降低銀行面對各單一企業的風險。台灣已有由一家領頭企業承購的綠電團購合約(anchored aggregated PPA)的成功案例, 例如台積電簽訂了每年10億度、為期20年的綠電團購合約, 其中一部分由台積電認購, 一部分由其供應商共同認購⁵⁶; 但要實現多家企業同時承購的團購合約(unanchored aggregated PPA), 仍存在挑戰。大型用電企業如半導體企業需持續與離岸風電開發商及銀行合作, 試行一套為台灣量身訂做的PPA團購合約。

最後, 如同「擴大企業採購低碳能源的機制」一節中所提, 擁有長期穩定定價機制的綠色電價方案也有可能支援離岸風電的融資。國營的台電信用可靠, 可擔任承購方, 減輕銀行的信用曝險; 同時可以用長期穩定的溢價將離岸風電分售給眾多企業用電戶, 如此不但可以確保長期的回本, 也能分散自己的信用風險。

⁵⁴ 江睿智、李珣瑛, 綠電信保機制44企業受惠 由八大行庫提供購售電合約擔保, 經濟日報, 2023年11月27日。

⁵⁵ PEXAPARK, *European PPA Market Outlook 2024* [2024歐洲購電合約市場前景], 2024。

⁵⁶ 台積電, 台積公司與誠新電力簽訂200億度再生能源聯合採購合約, 2023年4月21日

完善餘電購買機制, 以降低承購方的風險

PPA也會為承購方帶來龐大風險。PPA一般要求承購方購買售電方所有的電能產出, 即使發電量超過承購方的需求電量, 也必須支付剩餘電力的費用。雖然現在承購方可以將餘電賣回給台電⁵⁷, 但台電只需支付承購方低於PPA成本的價格。以離岸風電而言, 台電付的價格是該離岸風電專案競標時的結標價⁵⁸, 即每度電0元; 對於太陽光電, 台電則支付低於PPA成本的躉購費率, 因而提高承購方的風險。離岸風電的風險尤其嚴峻, 因為每個專案的裝置容量都很大, 且發電量有很大的季節性差異。此外, 餘電的風險對中小用電量企業更加顯著, 降低了離岸風電PPA對他們的可行性。為了促成更多的PPA, 台電與經濟部應考慮重新界定餘電購買機制, 以合理反映承購方的成本及綠電的環境價值。

4. 擴大太陽光電可用土地、加速土地協商、簡化並加速審核流程

台灣太陽光電的土地取得和社區回饋金成本大幅高出其他市場, 例如台灣土地取得成本約佔整體太陽能開發成本的約20%, 在德國僅佔3%; 而台灣的社區回饋金支出則另外佔整體成本的5-10%⁵⁹。

隨著最利於太陽光電開發的土地已被利用, 且地主意識到其中可獲取的經濟價值, 自2020年以來, 地面型太陽光電的土地租金價格已上漲約十倍⁶⁰。此外, 台灣土地所有權高度分散且複雜, 開發商必須與諸多持有小塊土地的地主協商, 以整合他們的持分, 因此開發商通常會仰賴地方土地仲介主導此一流程。然而仲介費有時可能與土地租賃成本一樣高, 仲介甚至有時也可能會囤地哄抬價格⁶¹。

獲得地主和當地社區同意也是開發中的重要一環, 對此開發商需要釐清盤根錯節的地方利害關係, 以制定合適的回饋金額, 而每個縣市的情況不盡相同; 此外, 社區回饋款項採逐案協商, 這又對開發商造成成本上的不確定性。同樣的挑戰也存在於審核流程中, 各縣市可能會要求提供不同單位核發的不同許可證, 對影響評估的標準也鬆緊不一。開發商往往無法及早地完全掌握他們要疏通的政府單位、意見領袖、環保團體、甚至關係疏遠的利害關係人, 做到面面俱到。

確立有效的再生能源推廣區域

為有效推動土地取得與社區協商, 指定再生能源發展的專門區域是常見的做法, 在其他市場不乏成功案例。台灣經濟部自2016年起嘗試類似做法, 其中一個例子是與農業部合作, 指定約2,100公頃的「不利耕作區」作為地面型太陽能開發的推廣區⁶²。該片土地有140萬瓩⁶³的太陽光電發電潛能, 但2023年3月最近一次的報告指出, 實際開發的設備容量不及40萬瓩⁶⁴。政府在設立此「不利耕作區」時, 主要通過其土壤品質及土地登記作為標準, 卻忽略了其他開發所需因素, 例如地主的出租意願、土地形狀、坡度和地形是否適合, 以及周邊的饋線容量。開發商可能會發現指定地的這些條件並不能支持太陽光電開發, 甚至實際狀況可能與公布數據不符, 而必須花費更多的時間和金錢與土地仲介驗證、談判和整合土地。

⁵⁷ 只有在30天期間的電力供應多於時間電價的需求時, 才會認定為餘電。

⁵⁸ 台灣電力公司, 餘電購售契約(風力發電離岸系統), 2024。

⁵⁹ 太陽能光電開發商訪談, 2024年3月4日。

⁶⁰ 資料來源同上。

⁶¹ 洪榮志、程炳璋、王莫昀, 綠能高利弊病叢生 光電場恐爛尾, 中國時報, 2023年2月28日。

⁶² 農業部, 修正「嚴重地層下陷地區內不利農業經營得設置綠能設施之農業用地範圍」, 2018年3月16日。

⁶³ 假設1.5公頃土地相當於1百萬瓩的太陽能潛力。

⁶⁴ 黃浩珉, 8年併網面積僅18%「不利耕作區」推動難關揭台灣地面型光電困局, 報導者, 2024年5月13日。

為了克服這些問題，建議政府在公布推廣區域前，更加深入調查、並考量更多因素。政府也可舉辦地方公共論壇，以提升透明度、增進社區理解。這些做法在他國相當常見，例如在丹麥，政府會先實地勘查、確認土地使用資料、評估對環境與人體的潛在影響，才會指定「能源園區」(Energy Park)⁶⁵。丹麥政府也會設置教育計畫，促進社群認同，並增進社區回饋金的透明度。南韓也在第十期長期電力供需基本計畫中，針對其「土地計畫系統」提出類似的程序⁶⁶。

簡化並加速審核流程

為加速審核，台灣應考慮建立一套原則來協調各縣市的審核流程與標準，並由單一中央或地方政府單位提供一站式服務。全球已有愈來愈多市場提供再生能源的一站式審核，尤其針對再生能源推廣區內的專案，例如南韓提出的「土地計畫系統」就是要讓主要的能源部會成為一站式審核的協調單位；日本的「低碳示範區」，則是由地方政府單位擔此責任。

制定社區回饋辦法

為了增進專案投資的確定性，並縮短開發商與社區協商的時間，台灣可考慮就社區回饋款項的適用資格和金額設立相關辦法。在德國，超過1百萬瓦裝置容量的陸域風電專案可向半徑2.5公里範圍內的社區提供每度電最高0.002歐元的回饋，以及參股發電廠和電費調降等福利⁶⁷。在丹麥，以風力發電機高度六至八倍為半徑的距離內，或太陽能發電站200公尺內的社區，專案會給予相當於年發電收益最高1.5%的回饋⁶⁸。

這些措施或可降低土地取得成本，提升太陽光電專案開發成本與時程的確定性，同時也可減輕公共財政透過躉購費率支持太陽光電發展的負擔。

⁶⁵ 丹麥規劃暨農村發展署, *Statsligt udpegede energiparker på land* [國家指定的能源公園土地], 2024。

⁶⁶ 韓國產業通商暨資源部, *제10차 전력수급기본계획 주요 내용* [第十期長期電力供需基本計畫], 2023年01月13日。

⁶⁷ Rödl & Partner, *The amendment of the Renewable Energy Sources Act 2021: Innovations in the wind sector* [2021年再生能源法案修正案: 風力產業創新], 2021年2月19日。

⁶⁸ 丹麥鄉鎮與教會部, *Bekendtgørelse om planlægning for lokalplanpligtige solcelleanlæg i det åbne land* [地方計畫命令: 原野地區太陽能電池裝置規範], 2024年3月5日。

結語

台灣對全球半導體與科技產業鏈達成脫碳目標至關重要。2022年,台灣生產了全球超過60%的半導體,以及超過70%的次7奈米高階晶片⁶⁹。隨著全球對高階晶片的需求不斷增長,台灣的重要性將持續提升,同時也會加大其產業者脫碳的壓力。

半導體產業的參與也能帶動台灣的能源轉型。2023年,半導體製造業占台灣總用電量的14%⁷⁰,將來預計這一比例還會上升。半導體產業對大規模採購低碳能源的積極承諾,不僅能增強投資者信心,促進經濟成長,也能推動減少台灣對進口化石燃料的依賴。

隨著台灣逐步除役核電,太陽光電與離岸風電將在2030年及以後成為滿足低碳能源需求的主要力量。而如碳捕捉與儲存、低碳氫與氨、海洋能源以及長期能源儲存等目前仍在發展的技術,可能會在長遠的未來發揮貢獻。

與此同時,太陽光電和離岸風電的開發與採購尚面臨諸多挑戰。以目前趨勢,台灣的企業電力用戶將只能達成2030年低碳能源採用目標的50-70%。如果這些挑戰無法克服,台灣與全球的科技巨頭都將無法實現其脫碳目標。EC希望本報告中提出的挑戰與潛在對策,能加速推動所需的進展。

⁶⁹ Chen-Yuan Tung, “Taiwan and the global semiconductor supply chain” [台灣與全球半導體供應鏈], 駐新加坡臺北代表處, 2024年2月。

⁷⁰ 台灣電力公司, 112年電業年報, 2024年3月。