

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

2022潔淨能源技術發展進程追蹤 摘要分析

工研院TIMES團隊

111.10.06

目錄

壹 背景說明

貳 歷年進程追蹤結果比較

參 與能源局主責五大關鍵戰略相關技術進程追蹤結果

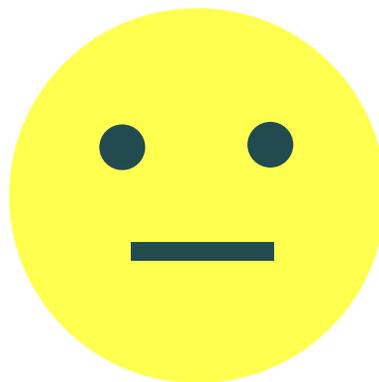
- 3.1 風電/光電
- 3.2 氫能
- 3.3 前瞻能源
- 3.4 電力系統與儲能
- 3.5 節能

壹、背景說明

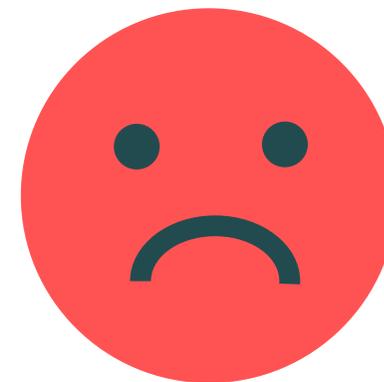
1. **目的**：潔淨能源發展進程追蹤報告(TCEP)為IEA定期出版之報告，目的在於檢視關鍵減碳技術的發展趨勢，過往主要是探討各技術是否符合IEA永續發展情境(Sustainable Development Scenario, SDS)所需趨勢；今年(2022年)則因應全球淨零排放，係針對55項對潔淨能源轉型至關重要的技術探討是否符合IEA淨零路徑規劃軌跡(Net Zero Emission Scenario, NZE)，並就如何“走上正軌”提供建議。
2. **評等方式**：評估內容包括部門與次部門、技術、基礎設施、跨領域策略等，並依據淨零路徑發展軌跡給予評等，分為符合進程(綠燈)、需再更努力(黃燈)、不符進程(紅燈)



綠燈
(符合進程)



黃燈
(需再更努力)



紅燈
(不符進程)

貳、歷年進程追蹤結果比較

符合進程

需更多努力

不符進程

以2022年分類為依據

部門/技術類別		2019	2020	2021	2022
能源系統	能源效率				
	行為改變				
	電氣化				
	再生能源				
	生質能				
	氫能				
	CCUS				
	潔淨技術創新				
	國際合作				
	數位化				

跨領域技術 與基礎設施	CO ₂ 輸送與封存				
	CO ₂ 捕獲與再利用				
	生質能與碳捕獲、封存				
	直接空氣捕捉				
	電解槽				
	區域供暖				
	資料中心與傳輸網絡				

油氣供應	甲烷溢漏				
	廢氣燃燒排放				

低碳燃料供應	氫能供應				
	生質燃料				

部門/技術類別		2019	2020	2021	2022
電力部門	再生能源發電				
	燃煤發電				
	燃氣發電				
	太陽光電				
	風力發電				
	水力發電				
	核能發電				
	需量反應				
	電網儲能				

工業部門	化材業				
	鋼鐵業				
	水泥業				
	造紙業				
	鋁金屬業				
	輕工業				

運輸部門	汽車與廂型車(燃油效率)				
	貨車與公車				
	軌道運輸				
	航空				
	國際航運				
	電動車				

建築部門	供暖				
	冷氣				
	照明				
	家電設備				
	建築外殼				
	熱泵				

參、能源系統進程追蹤結果 – 再生能源

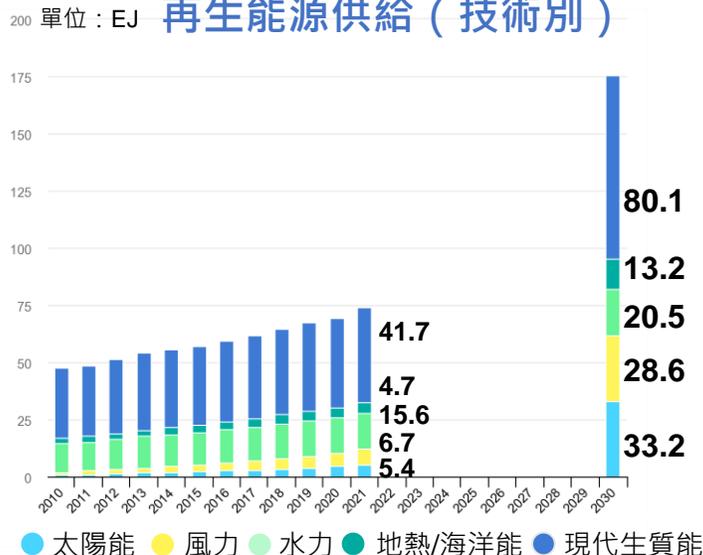
近年狀況

- 能源供給：2021年太陽能、風力、水力、地熱、海洋能佔總能源供給5.2%，現代生質能佔總能源供給6.7%。
- 電力：2021年再生能源發電量增加522TWh、約成長7%，其中90%為風力與太陽能。然而，2021全球再生能源發電占比28.7%。僅較去年成長0.4個百分點，主因是疫情後的經濟復甦使電力需求破紀錄，且乾旱致水力發電量降低。
- 2021年全球增加的再生能源發電量中，中國貢獻了超過50%，歐盟與美國各貢獻8%。
- 2022年再生能源裝置量再締紀錄，預期可新增340GW。

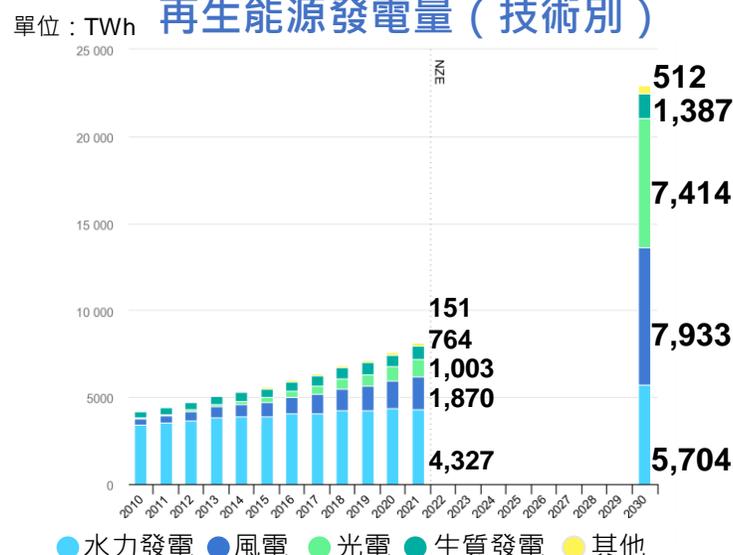
淨零目標所需進程

- 能源供給：再生能源於能源供給之占比須從5%提高至2030年17%；即2022-2030間需以每年13%的速度成長，是2019-2021的兩倍。
- 電力：再生能源發電量占比須從29%提高至2030年60%；即2022-2030間需以每年12%的速度成長，是2019-2021的兩倍。

淨零情境下2010-2030
再生能源供給 (技術別)



淨零情境下2010-2030
再生能源發電量 (技術別)



風電與光電已加速佈建，但欲達成淨零目標仍需再努力：

- 風電：貢獻約占一半的再生能源增加量，主要來自中國。部分歐洲風場因夏秋季低風速期變長，致發電量不彰。
- 光電：貢獻約1/3的再生能源增加量，主要來自中國、歐盟、美國。
- 水力發電：受到巴西、美國、土耳其、中國、印度、加拿大等地區乾旱影響，水力發電量下降0.4%，為20年來第一次。

參、能源系統進程追蹤結果 – 再生能源

2021至2022年各國政策皆朝正面發展，包含：

- 中國2022年6月的十四五計畫，設定2025年再生能源發電量達33%之目標。
- 美國2022年8月的削減通膨法案，提出未來十年透過租稅減免和其他措施以支持再生能源。
- 歐盟2022年5月的REPowerEU計畫，提高2030年再生能源占比目標至40%。
- 印度2021年11月宣布2030年500GW非化石燃料裝置量與50%的再生能源占比。

對政策制定者的建議：

- **確保再生能源政策持續且可預測：**設定長期目標與政策穩定性是維持投資人信心和持續成長的關鍵。政策須因應市場狀況調整使技術具有成本競爭性、使再生能源順利整合至能源系統。
- **注重能源系統觀點：**綠氫使用、建築供暖系統、電動車輛等需要不同能源技術的整合，政策制定者應專注於實施整體經濟部門脫碳的長期計劃，並實施符合各經濟部門要求的激勵措施。
- **健全競標政策工具：**支持再生能源的政策工具包括躉售費率或差額補貼、配比義務、配額、交易憑證、淨計量、退稅和資本補助。近年再生能源集中競標拍賣越發普遍，有助於許多國家確定再生能源價格和控制政策成本，尤其是太陽能 and 風能。然而，此類政策能否成功達到目標，取決於其設計及是否能吸引投資和競爭。
- **政策設計須納入多種再生能源：**應確保投資型式的彈性，並提供需求面管理解方、支持儲能、改善電網建設。
- **處理個別技術挑戰：**部分再生能源技術相對昂貴。為加快部署聚光式太陽能、抽蓄和水庫式水力發電，需要提高儲能市場價值之報酬。為進一步降低離岸風電的成本，需要及時併網並實施激勵競爭的政策。
- **促進新案場的許可程序：**冗長而複雜的許可程序正阻礙新的再生能源的部署，特別是在歐洲，開發期程需長達 10 年的時間。政策制定者應考慮建立一站式服務，為開發商提供明確的指導、並確保選址時有充分公眾參與。

參(3.1)、風電/光電進程追蹤結果-風力發電

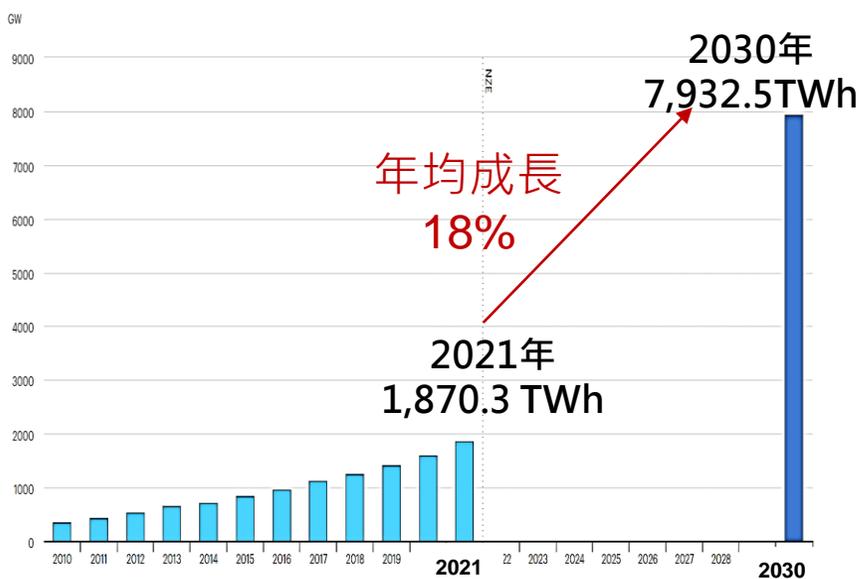
近年狀況

- 2021年風力發電裝置新增量創新高，增加273TWh (較2020增加17%)，總發電量超過 1,870TWh，是所有再生能源技術發電量最大的
- 2021年，中國占風力發電新增量近70%、其次是美國占14%、巴西占7%。
- 由於中國、美國政府再生能源補助政策期限終止影響，2020年新增容量達113GW，但至2021年則受中國、美國風電減少影響，全球總新增量降為94GW，總裝置量超過830GW。

淨零目標所需進程

- 為達淨零目標，預估至2030年風力發電量需增加至7,900TWh，2022-2030發電量年均成長18%，每年新增近253GW
- 預估在2020-2021年裝置量大幅增加後的幾年將呈現穩定成長的狀態，顯示達到淨零需大力推動才能符合軌跡，發展重點為促進許可、協助確定合適開發場址、降低成本與縮短風場建置時間。
- 陸域風力技術創新重點在提高技術生產力(更長的葉片、更高塔架)，而離岸風力則在設計更大渦輪機，降低成本，並發展浮動式風場。

淨零情境中風力發電量趨勢(TWh)



淨零情境中風力裝置量趨勢(GW)



- 2021年風力總裝置量830GW，93%為陸域風力，其餘7%為離岸風力。較2020年新增裝置量為94GW，其中22%為離岸風力。
- 陸域風力為成熟技術，預期未來幾年保持穩定成長，而離岸風力正處於擴張階段，預期未來幾年離岸風電在歐盟、中國、台灣、日本等國家推動下，將持續增加。

參(3.1)、風電/光電進程追蹤結果-風力發電

對政策制定者的建議

- 1. 促進許可：**冗長而複雜的許可程序是加快風力發電部署的主要挑戰之一。建立一站式的行政服務機構，為開發商申請建設許可證制定明確的規則與途徑，並確定嚴格的申請處理時間框架，以及公共部門參與陸域及海上風場投資地點的確認，可以顯著快速風電裝置量的增加。
- 2. 協助發展浮動式風力發電機，深挖海上風能資源：**最豐富的海上風能資源位於深水區，應用浮動式基礎設施，可減少基礎材料的需求，並簡化超過 50 m 至 60 m 水深風場的安裝與實現風能的潛力。
- 3. 支持先進風電併網解決方案：**風力發電因變動性、不確定性以及分佈式特性，對電網與電力系統帶來了眾所周知的挑戰。儘管風力發電為併網已進行相關技術升級，但仍需藉由更新法規與電網規範、更具創新的解決方案以提供輔助服務和其他可調度服務，以增加併網量使風電發展符合淨零情境。
- 4. 改善資源評估與空間規劃：**陸域與海上風場規劃都需要加強對周圍環境的敏感性評估，以確保渦輪機長期效率與具吸引力的投資回收。公眾參與確認合適的投資場址，以及制定明確的海事開發計劃，可顯著加快風場開發進程與裝置量增加。

參(3.1)、風電/光電進程追蹤結果-太陽光電

近年狀況

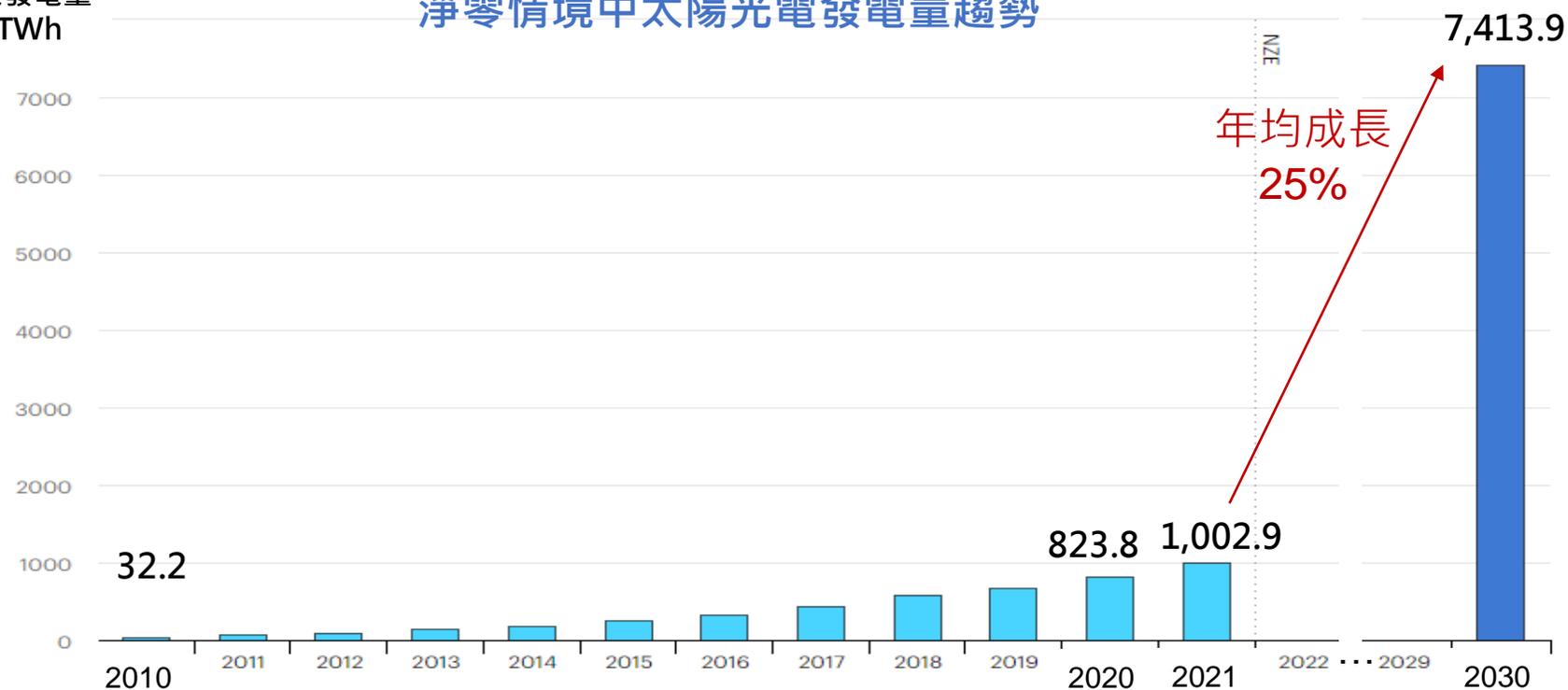
- 2021年發電量增加22%(+179TWh)，總發電量超過1000 TWh
- 2021年全球電力占比3.6%，再生能源發電中僅次於水力和風力。
- 由於中國、美國、歐盟政府再生能源政策激勵，其2021年太陽光電新增容量皆創新高。

淨零目標所需進程

- 2022-2030發電量年均成長25%，每年新增近600GW
- 需要重視電網整合調適策略、以及管制與融資挑戰。

太陽光電發電量
單位：TWh

淨零情境中太陽光電發電量趨勢

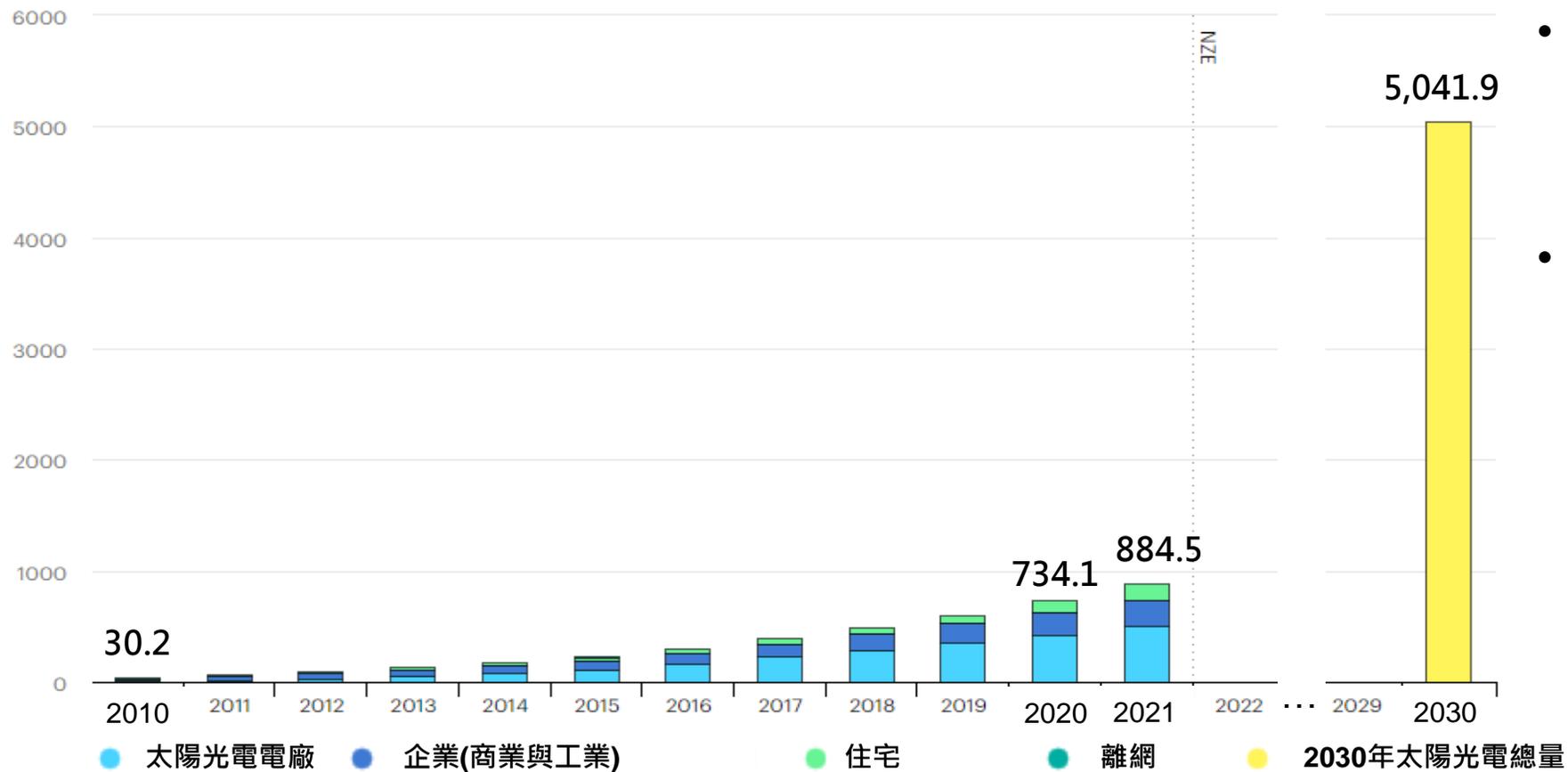


- 在所有再生能源技術絕對發電量增長速度中，太陽光電排名第二，僅次於風力。由於太陽光電發電成本低，是大部分國家/地區的主要選擇，預計持續推動未來幾年的太陽光電投資。

參(3.1)、風電/光電進程追蹤結果-太陽光電

太陽光電裝置量
單位：GW

淨零情境中太陽光電裝置量趨勢



- 2021年全球新增裝置量，52%為太陽光電電廠，其次是住宅28%，企業(含商業、工業)19%。
- 在世界大部分國家/地區，各類太陽光電中，太陽光電電廠仍然是最具競爭力；然而，大規模的太陽光電電廠由於缺乏合適場域，使得興建變得越來越具挑戰性。

參(3.1)、風電/光電進程追蹤結果-太陽光電

對政策制定者的建議

1. **簡化太陽光電電廠申設許可程序**：開發商常面對漫長且複雜的申設程序，建議建立行政一站式服務中心、制訂明確的規則與程序、提供合適投資的土地等。
2. **為分散式太陽光電提供平衡的(balanced)政策環境**：為減少對電力系統的影響，應進行費率改革和適當的政策，在分散式太陽光電日益擴大的同時，確保收入能支付固定電網資產、消費者能負擔。
3. **支持離網電力系統**：離網的分散式電力，在偏遠地區能提供電力(fill the energy access gap)，在市區若電網不穩定則能提供支援(back-up)
4. **保持太陽光電成本降低趨勢**：為邁向淨零，仍需太陽光電的技術研發投資進一步提高效率 and 降低成本。
5. **開發智能逆變器系統以降低系統平衡成本**：太陽光電占比愈高，更需要使用智能的逆變器來管理電力系統、降低系統平衡成本(含逆變器)。智能逆變器系統約占太陽光電電廠投資成本的40-60%(視地區)，應是研發重點。

參(3.2)、氫能進程追蹤結果-氫能整體

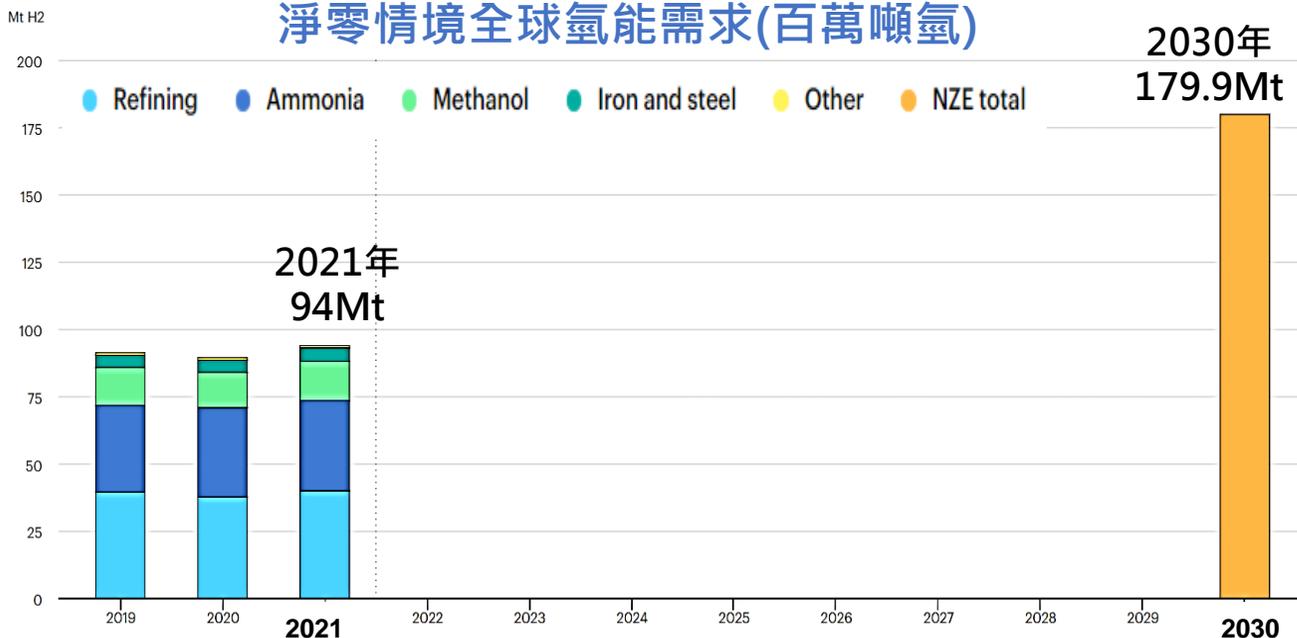
近年狀況

- 2021年全球氫需求為94萬公噸，較2020年增加5%，但大部分需求來自未減排的化石燃料製氫，目前氫主要用於化工業與石化業，氫生產造成的CO2排放量超過900萬噸，當務之急是推動這些行業改使用低排放氫。
- 氫能新應用需求已開始顯示成長的跡象，如燃料電池電動車(FCEV)、鋼鐵業電解氫直接還原鐵、工業高溫供熱等，僅占全球需求0.04%。
- 2021年全球氫生產主要為化石燃料產氫技術，低排放氫生產占總產量不到1%。

淨零目標所需進程

- 為達淨零目標，在氫能需求須做出重大改變，尤其是在新應用領域，預估至2030年氫需求量達180萬噸，其中近半成來自新應用，特別是在重工業、發電與氫合成燃料生產等。
- 淨零情境下，低排放氫產量約95萬噸，超過全球產氫量的五成。

淨零情境全球氫能需求(百萬噸氫)



- 2021年全球氫需求為94萬公噸，主要集中在化工業與煉油業。
- 2021年能在新應用仍有限，新應用需求在2021年僅4萬噸左右，占全球氫需求0.04%，大部分集中在公路運輸。

參(3.2)、氫能進程追蹤結果-氫能整體

對政策制定者的建議

- 1. 創造綉因鼓勵低排放氫的使用，以取代未減排化石燃料氫能：**低排放氫需求明顯低於淨零情境規劃。可透過碳定價縮小低排放氫與化石燃料產氫的成本差距，除此之外，建議透過其他政策工具與碳定價結合，如拍賣、強制要求、配額、要求公共採購特定氫能要求等，可有效降低產業投資風險，並提高低排放氫的經濟可行性。
- 2. 推動氫生產設備、基礎設施與工廠的投資：**刺激需求或許可以促進相關領域的投資，但若缺乏進一步的政策行動，將無法符合淨零情境所需的發展情勢。針對擇定且準備就緒的旗艦計畫提供量身定制的政策支援，可促使低碳氫規模擴大，並開發基礎設施與製造產能，以利後續計畫從中獲益。
- 3. 為創新提供有力的政策支持，確保關鍵技術儘早實現商業化：**為實現2030年CO₂減量所需的規模，驗證氫能關鍵技術為當務之急，以確保技術可儘早實現商業化。未來十年應致力於示範驗證，以開發氫能在重工業、長途公路運輸、航空與航運等氫應用的潛在需求。
- 4. 建立適當的認證與標準化機制，並調整監管制度：**採用氫作為能源載體將導致新價值鏈的發展。因此需要修改當前的管制架構與以及標準與認證制度的定義，以消除廣泛應用可能面臨的障礙。此外，需要氫氣生產碳足跡計算方法達成國際協議，以確保氫生產真正實現低排放，並協助全球氫能市場發展。

參(3.2)、氫能進程追蹤結果-氫電解槽

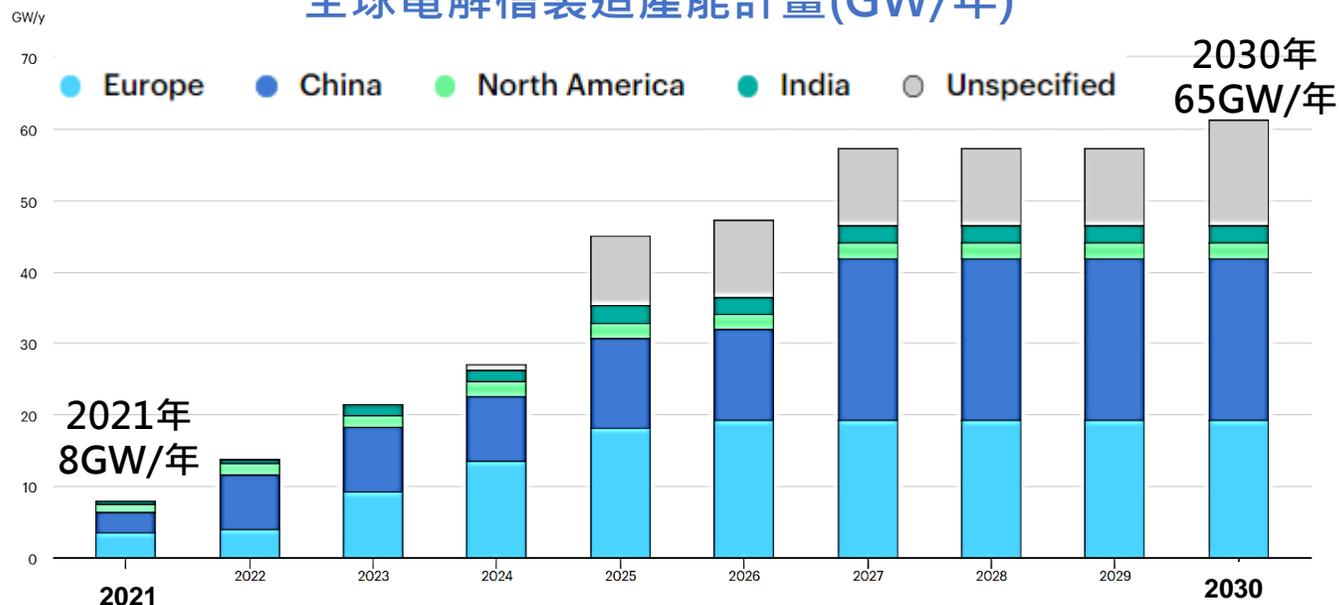
近年狀況

- 電解槽是利用再生能源或核電生產低排放氫的關鍵技術。2021年電解槽新增裝置創歷史紀錄，新增量超過200MW，總裝置量達0.5GW(較2020年增加近70%，新增量3/4來自中國寧夏太陽能電解氫計畫)。相關投資也創新高，達15億美元。
- 根據目前發展中的計畫，預估至2022年底電解槽裝置量可達1.4GW，若在建計畫都完工後，至2030年可達134-240GW。
- 2021年全球電解槽製造產能為8GW/年，歐洲與中國占全球產能的80%。

淨零目標所需進程

- 在淨零情境規劃下，全球電解槽裝置量需擴大至700GW以上。
- 基於對未來需求增加的預期，製造商已開始擴大產能，預估至2030年可達65GW/年。

全球電解槽製造產能計畫(GW/年)



- 2021年全球電解槽製造產能為8GW/年，以歐洲與中國為主，占全球製造產能的80%。相比電解槽的實際裝置量，顯示產能尚未被充分利用。
- 因應為來市場需求的增加，製造商規劃擴大產能，預估至2030年全球電解槽產能為65GW/年，歐洲與中國仍領先。在技術面，2/3為應用於鹼性電解(AE)，1/5為質子交換膜電解(PEM)。
- 目前鹼性電解槽 CAPEX 約500-1400 美元/kWe，PEM 電解槽為 1100-1800 美元/kWe，而固體氧化物電解槽 (SOEC) 為 2800-5600美元/kWe。預期未來隨產量增加將使成本下降。

參(3.2)、氫能進程追蹤結果 – 氫電解槽

對政策制定者的建議

1. 推動氫生產設備與電解槽製造業的相關投資：

- 產氫用電解槽的大規模部署，取決於大型計畫發展與製造能力提升，因而使電解槽享有規模經濟與學習曲線的效果。
- 刺激需求可促進相關領域的投資，但若無進一步政策行動，將無法實現氣候目標所需的發展進程。針對擇定且準備就緒的旗艦計畫提供量身定制的政策支援，可推動必要的投資，並促使低碳氫規模擴大。此外，也有助於製造商更清楚瞭解未來電解槽需求與投資決策，以擴大製造能力。

2. 為創新提供有力的政策支持，降低技術商業化成本，並促進發展較慢的電解槽設計達商業化：

電解槽技術創新對於確保該技術在向淨零轉型發揮作用至關重要。儘管鹼性電解與 PEM 電解已達商業化，但若沒有政策支持將無法與傳統製氫技術競爭。因此，對於氫產業的相關創新有助於更快地實現淨零目標，如效率提昇、增強抗衰退能力與減少材料需求等，將顯著降低製造電解槽成本與產氫成本。此外，支持尚未商業化技術(SOEC 和 AEM)發展，可加速技術實現商業化。

參(3.2)、氫能進程追蹤結果-氫能供應

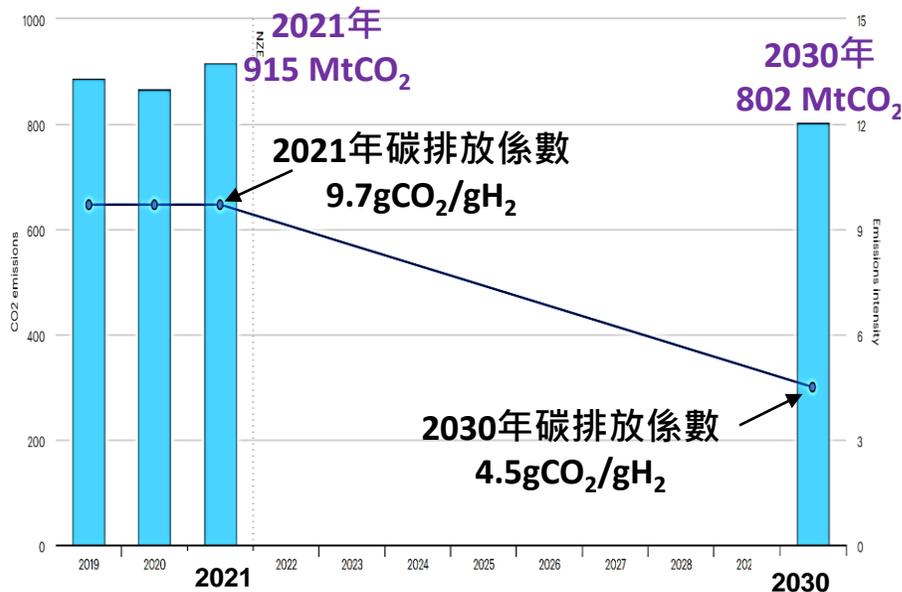
近年狀況

- 2021年氫能供應幾乎全是由無減碳措施的化石燃料製氫滿足，其中約1/6是工業副產物，主要是來自石化業設備與製程，而低排放氫則僅約0.6百萬噸，不到全球總供應量的1%。
- 2021年氫生產造成的CO₂排放量約915百萬噸，較2020年增加約6%，主要原因是製氫的技術與燃料結構幾乎相同，製氫單位排放係數為9.7gCO₂/gH₂。

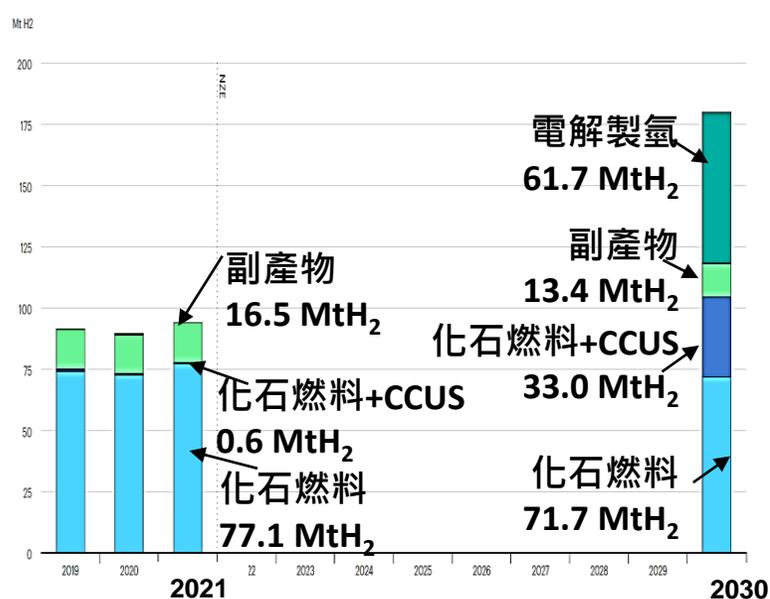
淨零目標所需進程

- 在淨零情境規劃下，與氫生產相關的CO₂排放量需降至800百萬噸左右(較目前減少13%)。顯示，在未來氫生產增加下，全球的製氫單位排放係數需降至4.5gCO₂/gH₂。此意謂未來十年所有新的低碳氫生產都需要啟用，且部分既有化石燃料製氫要改建為CCUS。
- 淨零情境，2030年全球低排放氫產量約為95百萬噸，超過全球氫生產量的一半，其中2/3為電解製氫，1/3為化石燃料加CCUS產氫。
- 2030年氫電解槽裝置量需超過700GW，使用化石燃料加CCUS製氫的產能為37百萬噸/年。

淨零情境氫生產總排放量與單位排放係數



淨零情境氫生產來源與生產量



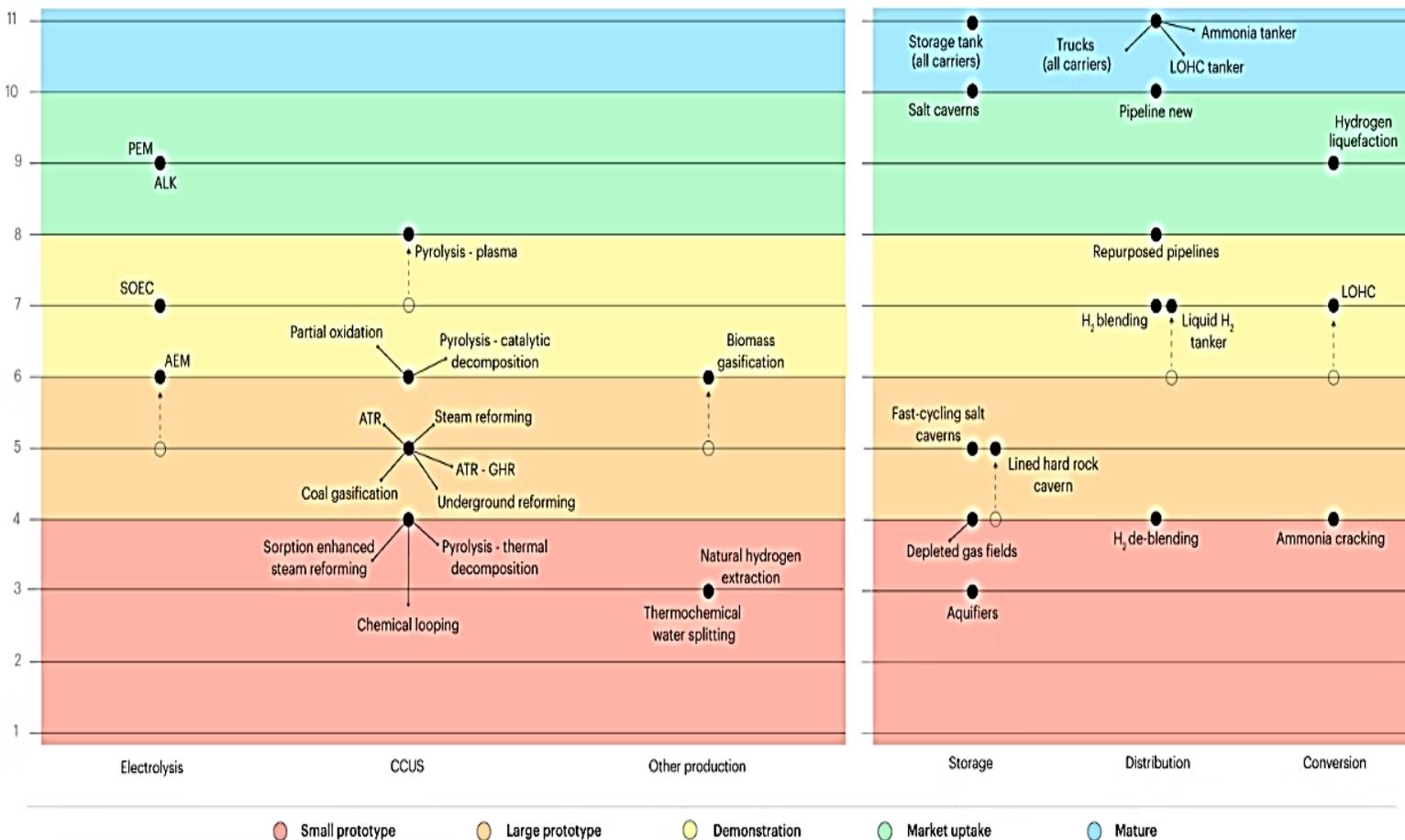
- 2021年超過99%氫生產來自化石燃料，主要是天然氣重組(占70%)、煤氣化(占30%)，不到1%來自於化石燃料加CCUS，而電力與生質能製氫僅占0.2%。
- 至2030年，電力約占全球氫生產能源需求的40%，約需使用2700TWh再生能源電解製氫，顯示需大量部署用於製氫所需的再生能源及對應需強化的電網。

參(3.2)、氫能進程追蹤結果 – 氫能供應

氫能價值鏈技術發展成熟度

Technology readiness level - low-carbon hydrogen production

Technology readiness level - infrastructure



- 低排放氫生產的相關技術正處於不同的發展階段，目前鹼性電解(AE)與質子交換膜電解(PEM)已商業可行(TRL9)，但仍無法與未減排的化石燃料製氫技術競爭；而固體氧化物電解(SOEC)則在示範階段，而陰離子交換膜電解技術(AEM)尚在原型階段(TRL6)。
- 在使用CCUS化石燃料製氫方面，約60%的捕獲技術已商業化，但低排放產氫仍需更高的捕獲率，相關技術仍處於示範階段，而以生質能為基礎的產氫相較其他低碳氫的技術發展較慢，但也有重大進展，如日本、法國。
- 氫基礎設施相關技術的發展比價值鏈中其他技術來的更好，已有幾種技術達完全商業化，如管線、散裝的加壓罐和鹽穴儲存等，但後續仍要致力其他關鍵技術商業化
- 2022年2月日本川崎重工開發的液氫油輪已完成澳洲與日本間的首次運輸。

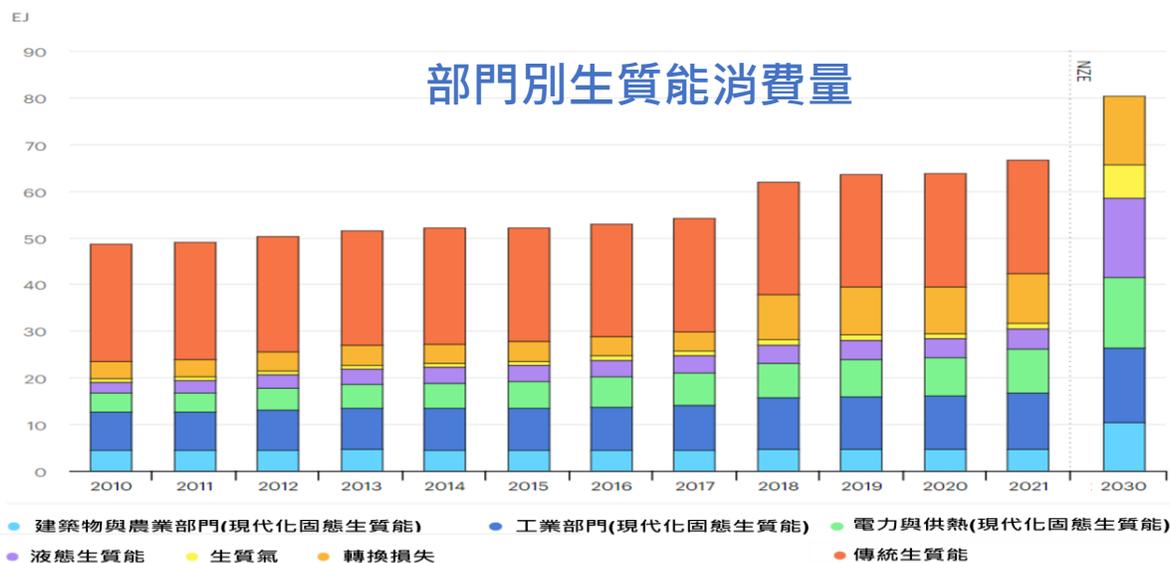
參(3.2)、氫能進程追蹤結果 – 氫能供應

對政策制定者的建議

- 1. 推動氫生產設備、基礎設施與工廠的投資：**刺激需求或許可以促進相關領域的投資，但若缺乏進一步的政策行動，將無法符合淨零情境所需的發展情勢。針對擇定且準備就緒的旗艦計畫提供量身定制的政策支援，可促使低碳氫規模擴大，並開發基礎設施與製造產能，以利後續計畫從中獲益。
- 2. 建立適當的認證與標準化機制，並調整監管制度：**
 - 採用氫作為能源載體將導致新價值鏈的發展。因此需要修改當前的管制架構與以及標準與認證制度的定義，以消除廣泛應用可能面臨的障礙。
 - 須加速制定標準，以確定氫氣生產的碳足跡，確保氫生產真正實現低排放，並有助於全球氫氣市場的發展。
 - 各國政府應共同合作，盡可能協調認證制度與管制中所定義的相關評估方法與門檻，以確保不同標準與認證不會成為國際貿易發展的障礙。

參(3.3)、前瞻能源進程追蹤結果 – 生質能

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 從2010年到2021年每年平均增加約7%，並維持上升趨勢。 	<ul style="list-style-type: none"> 至2030每年平均需增加10%，同時確保生質能生產過程不會對於社會與環境產生負面的後果。 需要擴大更多的應用面： <ul style="list-style-type: none"> 發電量增加近一倍，從2021年約7,500億度電(約占總需求的2.5%)到2030年的 13,500億度電(約占總需求的3.5%)。 善用可調度的低排放生質能電力，輔助再生能源電力的變動性。 工業部門大幅增加使用生質能，從2021年約大於11EJ增加至2030年的17EJ以上，主要用於水泥、紙漿和造紙以及輕工業。 BECCS在2021年捕獲並儲存了2百萬公噸二氧化碳，至2030年需增加到約250百萬公噸二氧化碳，用以抵消最難減排部門的排放量。



- 不僅需增加現代化生質能，還要逐步淘汰傳統生質能
 - 到2030年傳統生質能的使用量將降至零，以實現聯合國永續發展目標第7項「可負擔的潔淨能源」。現代化生質能使用量(不包括傳統生質能)幾乎翻倍，從2021年約42EJ增加到2030年的80EJ。
 - 農村地區使用的傳統生質能被沼氣、生質酒精與現代化爐具所取代，到2030年為超過3.5億戶家庭提供清潔烹飪。
 - 自2016年以來傳統生質能使用量沒有下降趨勢，需要透過更多的方式逐步淘汰傳統生質能。

參(3.3)、前瞻能源進程追蹤結果 – 生質能

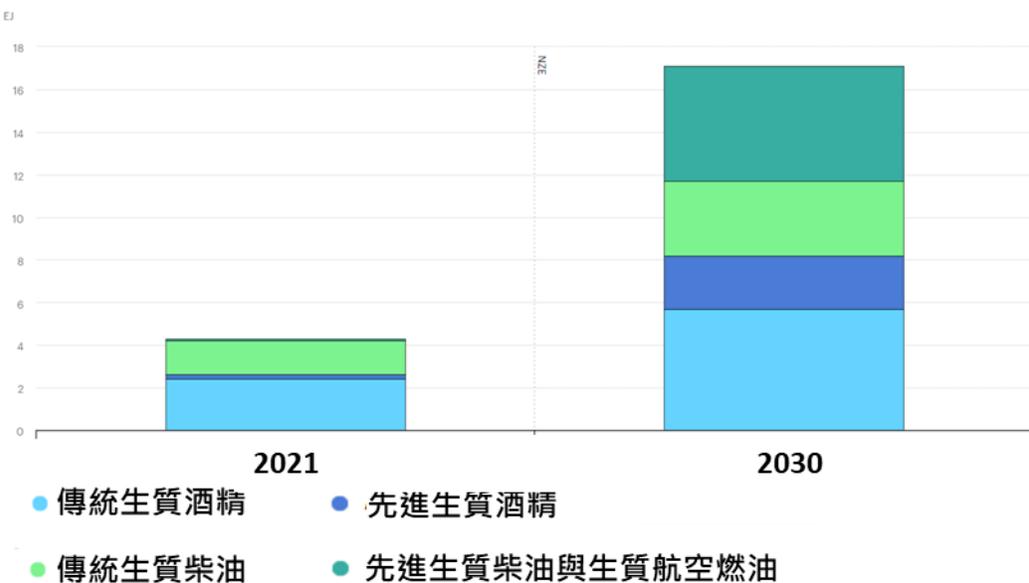
對政策制定者的建議：

- 1. 以永續發展為前提：**為實現淨零情境而增加使用的生質能不能對生物多樣性、水源、糧食供應或人類生活產生負面影響。歐盟、美國、巴西已建立架構來明文規定如何達成永續生產。除此之外，還應採用監測、報告和驗證來解決使用生質能發電的碳排放計算問題，特別是BECCS的負排放問題。
- 2. 實施鼓勵使用生質能達成減排的政策：**各國政府可以透過法規、低碳燃料標準及溫室氣體排放密集度目標等管理措施來鼓勵現代化生質能的使用。這些政策應在更大的減排架構下實施，如碳定價以確保政策達成減排的效果，而不是僅僅只是增加生質能需求。
- 3. 應善用生質能的優缺點來設計政策：**生質能對於減排有高度的靈活性，能夠在各種情況下替代化石燃料，但卻又同時受限於土地使用、社會與環境外部性，使其無法廣泛使用。因此，生質能政策設計應善用優勢，如可通用於既有的基礎設施、如可應用於長途運輸的高密度燃料、如具有可調度性可輔助其他變動性再生能源電力併入電網，以及有助於實現其他更廣泛的政策目標，例如環境面廢棄物管理與農村發展。

參(3.3)、前瞻能源進程追蹤結果 – 生質燃料

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 2021年生質燃料需求量為4EJ(約1,592億公升)，回到Covid-19之前的需求量。 2021年生質燃料占全球交通運輸能源需求的3.6%，主要用於公路運輸。 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年生質燃料需求量需15EJ，平均每年增加約16%。 2030年生質燃料占交通運輸能源需求比例將增加四倍，達到15%。 生質航空燃料為至2030年為各項生質燃料中成長最多的，從2021年占航空燃料需求的0.1%增加到2030年的5%以上。 為避免與糧食爭地，由不會跟糧食作物相互競爭的廢棄物、殘渣及專用作物(如土地邊緣地帶種植的作物)生產的生質燃料約占2030年生質燃料的50%，高於2021年的8%。

生產液態生質燃料料源與技術別



- 生質燃料生產技術需多樣化，並永續利用現有的廢棄物與殘渣原料
 - 目前生質燃料多屬傳統原料生產，如甘蔗、玉米和大豆。然而，重要的是要確保土地使用、食品與飼料價格及其他環境因素的影響最小化。
 - 新技術需商業化以擴大以非糧食作物作為原料的生質燃料，如纖維素乙醇(cellulosic ethanol)與生質能費托合成(biomass-based Fischer-Tropsch, bio-FT)技術。
 - 雖此類生質燃料的平均生產成本仍是化石燃料的兩倍至三倍，但預計在未來十年內可能下降多達27%，另外也可以藉由鼓勵生產與消費的政策來彌補成本差異。

參(3.3)、前瞻能源進程追蹤結果 – 生質燃料

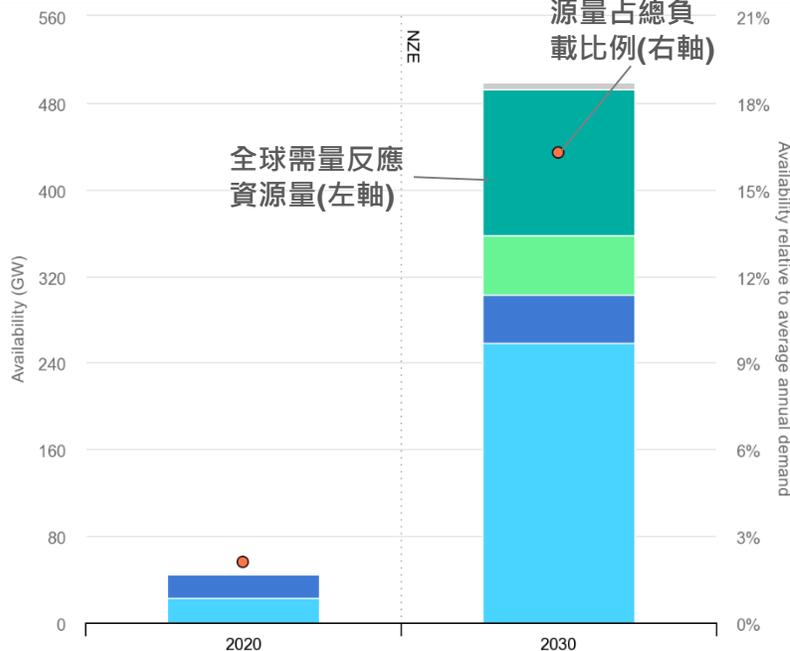
對政策制定者的建議：

- 1. 以永續發展為前提：**在消費更多生質燃料下，需同時能確保達成社會面、經濟面及環境面效益。政策制定者必須建立在永續發展的前提下，確保只有滿足永續發展的生質燃料方可獲得政策支持。建置第三方認證機制來驗證是否遵守永續發展前提。
- 2. 需求面政策要與淨零排放目標一致：**各國政府可透過多種監管措施，如法規、降低溫室氣體排放密集度(或低碳燃料標準)及碳定價與財務激勵措施，來鼓勵增加使用生質燃料。而前述監管措施必須與淨零目標保持一致，才能進一步鼓勵投資。
- 3. 支持技術創新，尤其是廢棄物與殘渣為料源：**淨零情境需要擴大以廢棄物與殘渣為料源的生質燃料，另外發展生質能碳捕獲與封存(BECCS)技術也很重要。採行的相關政策包括各類可降低風險的措施，如貸款擔保與特定生質燃料配額制度。另外，歐洲議會於 2022 年 7 月正式通過了生質航空燃油混摻目標，希望能擴大生質燃料的市場。

參(3.4)、電力系統與儲能進程追蹤結果 – 需量反應

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 全球需量反應資源量約50GW(占總負載比例約2%)，以工業與建築部門為主 	<ul style="list-style-type: none"> 至2030年全球需量反應資源量(小時級負載變動)須達到500GW，來源包含建築(250GW)、運輸(50GW)、工業、氫能生產部門等。全球需量反應占總負載比例將提升至約16.5%。 至2030年需量反應與電池儲能共將貢獻1/4系統彈性資源需求量(2050年比例增加至一半)

2020與2030年需量反應資源來源與總負載占比



需量反應關鍵終端技術全球布建趨勢

需量反應發展仰賴數位化科技在各類關鍵終端使用設備中擴大布建

技術別	2020	2030 (NZE情境)
住商儲能系統	3.7GW	510GW
智慧溫控器	3千萬台	2.3億台
家用能源管理系統	4百萬台	3.3千萬台
住宅空調系統	19億台	26億台
熱泵	1.8億台	6億台
住宅電動車智慧充電設施	11.7萬座	2.87千萬座

需量反應技術創新與推動主軸：

- 創新技術包括V2G、互通式(interoperable)需量反應、虛擬電廠等技術，多仍於示範階段。
- 去年度各國重要推動措施包括相關市場機制與多元資源方案推動、智慧電表布建、大用戶強制性方案等。

參(3.4)、電力系統與儲能進程追蹤結果 – 需量反應

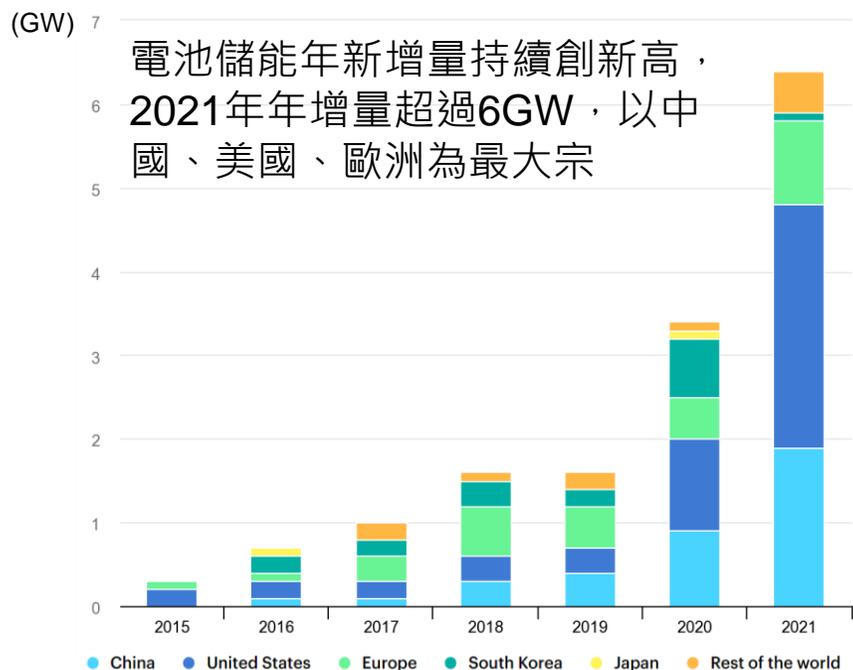
對政策制定者的建議：

- 1. 利用現階段能源危機情勢，加速建立需求面彈性資源政策框架：**包括建立獎勵機制與確保市場公平性，並透過溝通與教育，促使更多需求端資源參與提供彈性資源，並確保通訊安全與參與者隱私、確保公平與可負擔性。
- 2. 鼓勵創新，加速擴散新技術、方案與商業模式：**政府應透過沙盒試驗等方式測試新技術、方案與商業模式。此外應深入分析消費者行為資訊以擴大參與。支持布建智慧電表與控制系統等技術，並確保相關資訊(如用電負載紀錄)可及性同時保護消費者利益。
- 3. 加速布建可反應電網即時需求的高耗能設備：**包括空調、供熱系統、熱泵、熱水器、電動車充電樁等，應透過能效標準等規範，要求設備與電力系統的連結性與智慧化反應功能，同時也促進私人電動車充電導入V2G功能。政府須確保相關技術與設備的供應鏈，並評估可能的推動風險(如關鍵礦物供應問題)。
- 4. 加強建立資訊交換與協調平台：**藉由國家數位化發展策略，建立消費者、輸配電業者與資源聚合商之間的資訊交換協調平台。政府應建立框架，給予各參與者明確的角色與責任義務，確保分散式資源的有效運用。

參(3.4)、電力系統與儲能進程追蹤結果 – 電網級儲能

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 以抽蓄水力為最大宗，2021年全球裝置量達160GW，儲能容量達8,500GWh，占全球90%儲能量 電池儲能(主要為鋰電池)最具擴展潛力，2021年全球裝置量達16GW，近年逐年新增量持續增加(2021年即新增6GW)，以美國、中國、歐洲為最大市場。 除鋰電池外，液流電池具發展潛力。2022年7月全球最大的鈦液流電池(100MW/400MWh)在中國試運轉。 	<ul style="list-style-type: none"> 因應高再生能源占比趨勢，電網強化、需量反應、電網級電池儲能和抽蓄水力為主要彈性資源需求來源。 其中電網級電池儲能至2030年裝置量需較2021年成長44倍至680GW，平均每年需新增80GW。

2015-2021全球電池儲能新增量



鋰電池成本是否可穩定下降，取決於關鍵原料的可取得性：

- 鋰金屬的供應鏈價格自2021年初起即持續上升
- 俄羅斯為鎳與鈷(電池陽極材料)與石墨(電池陰極材料)的主要生產國之一，烏俄戰爭嚴重影響電池原料市場與電池價格。

2021年全球儲能投資以鋰電池為主，其次為抽蓄水力：

- 全球電池儲能金額達100億美金，其中超過70%於電網級儲能，且90%為鋰電池，預計2022年投資金額會創新高達到200億美金。
- 抽蓄水力儲能投資以中國為主，自2015年起占全球投資額的80%。且約50GW抽蓄水力裝置正在興建中。

參(3.4)、電力系統與儲能進程追蹤結果 – 電網級儲能

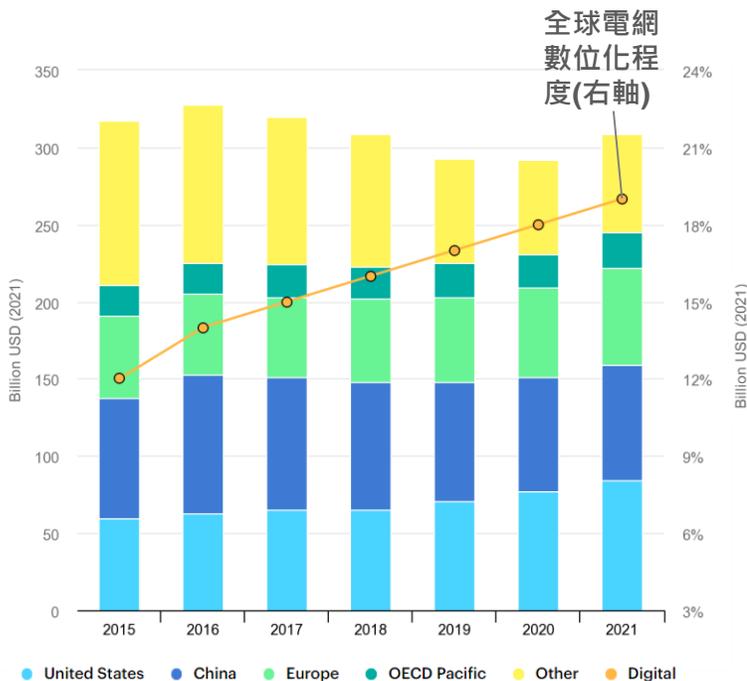
對政策制定者的建議：

- 1. 在長期能源發展規劃中將儲能推動納入考量：**政府應全面探討擴大再生能源所需的彈性資源規模與種類，抽蓄水力與電網級電池儲能應被納入長期規劃中。其中抽蓄水力因建置期長與營運風險，在自由化市場中難以競爭，可設計儲存容量競標等市場機制促進儲能資源發展。
- 2. 持續調整規範框架以降低儲能導入障礙：**因應彈性資源的特性與應用面向，政府應持續更新規範框架以確保各類資源可公平競爭。
- 3. 調整電力市場設計以提供彈性資源發展誘因：**包括縮短結算週期以利快速反應資源投入、更新市場規則與規範，便於儲能提供輔助服務商品。
- 4. 調整政策方向以鼓勵電池回收：**因應材料短缺風險，透過最低回收要求、回收憑證交易機制、原始材料稅課徵等政策措施以鼓勵電池回收產業。

參(3.4)、電力系統與儲能進程追蹤結果 – 智慧電網

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 全球電網投資於2021年約3000億美元，較2020年成長6%，以美國、中國與歐洲為最大宗。 新興經濟體與開發中國家投資額近年持平，約為600億美元，但低於其2015-2016年每年1000億美元的投資水準。 	<ul style="list-style-type: none"> 全球電網投資金額每年需達6000億美元，是目前水準的2倍。新興經濟體與開發中國家投資額更需成長至現況的3倍。 因應淨零排放，輸配電網的投資占電力部門總投資額比例將持續提升。然而部分地區的電網投資並未跟上再生能源布建需求速度。

2015-2021全球電網投資金額與數位化程度



全球電網數位化投資於2021年約達550億美元，其中約75%用於配電線路：

- 配電網路數位化設備包含智慧電表、變電站與饋線自動化、彈性服務資源、配電端儲能系統等。
- 輸電網路數位化包含變壓器數位化、變電站自動化、交流輸電系統、先進感測器等，以增進對電網的控制、監測與優化。
- 電動車公共充電座的投資2021年提升20%，但仍占配電線路總投資額不到5%的比例。

大規模連網是輸電線路主要投資重點：

- 歐洲、中國、北美、印度、澳洲透過跨區連網平衡各區域資源
- 透過跨國連網促進國際電力交易，使跨區資源互補(如西非電力池)

參(3.4)、電力系統與儲能進程追蹤結果 – 智慧電網

對政策制定者的建議：

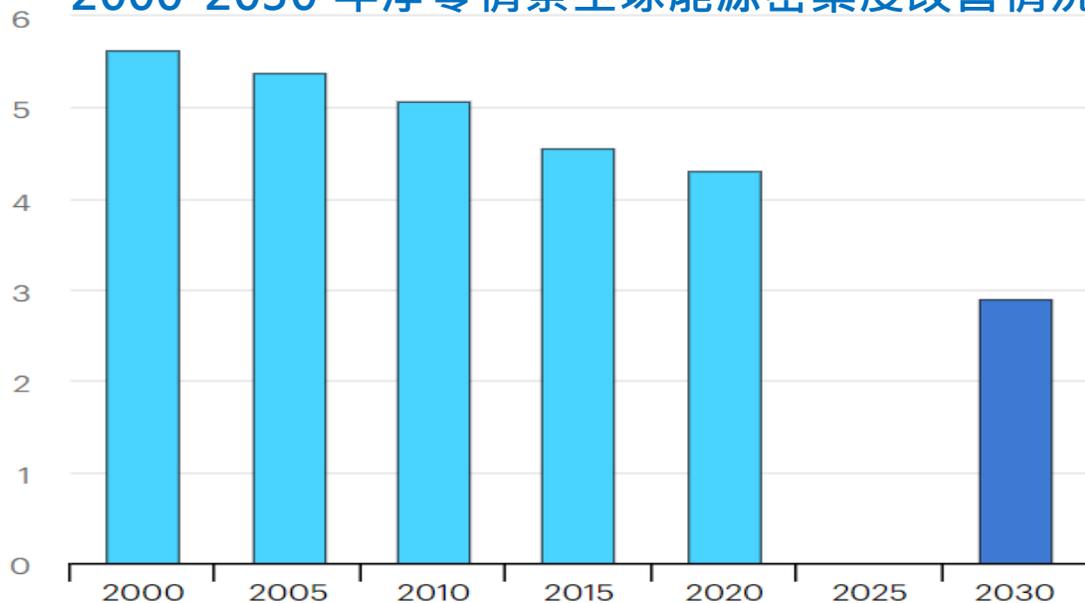
- **加速新興經濟體與已開發國家的電網投資**：政府應設計合適的投資框架、評估並建立最小成本系統設計、設定合適的費率機制，並善用國際合作以促進技術與資金的導入。
- **建立合適的回饋機制並加速電網許可流程**：透過程序改善與利害關係人溝通，使電網建設速度可跟上再生能源發展腳步。此外應藉由法規與管制框架，建立系統整合評估程序，並建立合適的回饋誘因，鼓勵智慧電網的布建。

參(3.5)、節能進程追蹤結果 – 能源效率

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 2010 年至 2020 年期間能源密集度每年改善1.7% 	<ul style="list-style-type: none"> 全球能源密集度的改善速度需比歷史趨勢加快2到3倍，並在 2020 年至 2030 年間每年改善略高於 4%。
<ul style="list-style-type: none"> 強制性能校標準籤涵蓋全球 80% 以上用於空間冷卻、製冷和照明等主要電器能源消耗。 全球超過 50% 電動機和車輛能效標準未被任何計劃覆蓋。 	<ul style="list-style-type: none"> 與 2020 年相比，2030 年的平均電器消耗能源須減少 25%。

MJ per USD of 2021 GDP PPP

2000-2030 年淨零情景全球能源密集度改善情況



- 2000-2020年全球能源密集度持續改善，惟改善速度無法達成2030年所需幅度，預計需再加速能源密集度改善幅度

參(3.5)、節能進程追蹤結果 – 能源效率

對政策制定者的建議

1. **擴大能源效率法規範疇，強化能源效率標準**：將性能最差設備排除在市場之外、提高平均能效水準、以及製定能源效率衡量規範。
2. **提供節能資訊以刺激消費者購買高效設備**：提供清晰易懂的能源效率資訊，幫助消費者有效率使用能源。
3. 使用**獎勵計劃**來推動**能源效率市場**，同時保護最弱勢群體免受**高能源價格的影響**：激勵措施加快了**電器、建築物和車輛**的升級和更換。雖高能源價格為提高效率提供了強大的動力，可透過**安裝高效設備**來減少高能源價格對家庭的影響。

參(3.5)、節能進程追蹤結果 – 工業部門

1. 鋼鐵業:

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 過去十年鋼鐵需求帶動碳排放。全球粗鋼產量持續成長，2021年成長 3.8%。 	<ul style="list-style-type: none"> 2030 年的鋼鐵需求遵循當前趨勢的基線情景低 7% 左右。
<ul style="list-style-type: none"> 過去十年電解氫、電弧爐、電氣化水平僅成長 1%。 	<ul style="list-style-type: none"> 到 2030 年，電解氫和電弧爐，電氣化水平將提高 5 %以上
<ul style="list-style-type: none"> 缺少創新技術 	<ul style="list-style-type: none"> 2030 年配備 CCUS 鋼鐵生產捕獲近 50 Mt CO₂ 電解氫需求達到約 4 Mt

2. 化材業:

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 2021 年初級化學品的直接 CO₂排放量為 925 公噸，比前一年增加 5% 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂排放量在未來幾年開始與生產脫鉤，儘管產量有所增加，但到 2030 年與 2021 年相比，CO₂排放量減少 17%。
<ul style="list-style-type: none"> 2021 年煤炭在初級化工生產中占36% 	<ul style="list-style-type: none"> 2030 年煤炭使用量必須下降約 26%，才能實現淨零情景里程碑。
<ul style="list-style-type: none"> 許多政府已經提出工業減量政策 	<ul style="list-style-type: none"> 法國化學工業制定新的脫碳路線，2030 年排放量降低 31% 新目標。英國和德國在 2015 年和 2019 年制定了類似路線。 許多國家正在投入大量資金來改進塑料回收技術並確保其得到廣泛應用，包括奧地利、丹麥、芬蘭、日本和瑞典。

參(3.5)、節能進程追蹤結果 – 工業部門

3. 水泥業:

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 水泥生產之熱能和電力密集度在過去幾十年中逐漸下降，乾法窯取代了濕法窯，並且越來越多高效研磨設備。過去五年，全球熟料的熱能強度估計保持相對平穩，為 3.4-3.5 GJ/t。 	<ul style="list-style-type: none"> 熟料生產的熱能密集度每年下降 1%，2030 年全球平均水平在 3.3 GJ/t 左右，水泥業之電力密集度整體下降到不到 95 kWh/t (目前約 105 kWh/t)
<ul style="list-style-type: none"> 水泥行業使用大量化石燃料，2021 年生質能和廢棄物僅占熱能使用的 4% 左右。 	<ul style="list-style-type: none"> 到 2030 年生質能與可再生廢物的份額將大幅成長至 14%。 生產所產生廢棄物 (如塑料、廢油和化石基工業廢物) 在燃料使用量中的占比仍保持在 5% 左右，與 2021 年大致相同。
<ul style="list-style-type: none"> 熟料是水泥的主要成分，其用量與排放量成正比 2015 年到 2020 年，全球熟料占水泥比率平均每年成長 1.6%。 	<ul style="list-style-type: none"> 到 2030 年熟料占水泥比率每年下降 1.0%。

4. 紙漿與造紙業:

近年狀況	淨零目標所需進程
<ul style="list-style-type: none"> 2018 年以來，化石燃料提供的能源份額一直保持在 30% 左右。 2021 年生質能占能源結構 43% 	<ul style="list-style-type: none"> 2030 年生質能占能源結構近 50%。
<ul style="list-style-type: none"> 造紙非常耗能，因此需提高能源效率。最有可能提高效率的領域是乾燥過程，目前約占製漿和造紙能源的 70% 	<ul style="list-style-type: none"> 完全回收熱蒸汽，用於後續製成，從而節省大量能源。挑戰在於將蒸汽冷凝系統與濕紙/水蒸汽系統結合起來，需要先進的蒸汽技術與做法來防止蒸汽從系統中洩漏。 去除水分避免蒸發過程，將避免乾燥過程中最耗能的部分，從而在乾燥過程中節省高達 90% 的能源。 無水造紙降低熱量使用。挑戰在於在不損壞纖維情況下須獲得纖維間的粘合度。

參(3.5)、節能進程追蹤結果 – 工業部門

對政策制定者的建議

1. **提高材料效率，促進更高比例的再生材料生產**：改善回收和分類方法，增加廢料收集和回收。關注目前收集率較低的最終用途（例如鋼筋和包裝）。政策應考慮產品未來對再製造、翻新、材料再利用和最終材料可回收性的適用性，促進設計以減少污染（尤其是銅污染）。
2. **創造對趨近零排放鋼鐵的需求**
3. **擴大國際合作，制定低碳煉鋼通用標準**：低排放和趨近零排放鋼鐵的共同定義和標準可以成為區分產品市場、建立綠色公共採購協議和其他要素，以創造趨近零排放鋼鐵市場以及促進自由貿易的基礎。
4. **採取措施提高塑料回收率，減少塑料垃圾**：提高塑料回收將減少新塑料生產對化石燃料的需求
5. **推進積極政策框架**，以減少行業排放。
6. **提升能源效率並擴大纖維回收**
7. **透過增加使用替代燃料**，特別是**生質能**來擺脫化石燃料
8. **提高紙漿和造紙業能源效率、CO₂排放統計數據收集正確性、以及提高透明度**將促進研究、監管和監測。

參(3.5)、節能進程追蹤結果— 建築部門

近年狀況

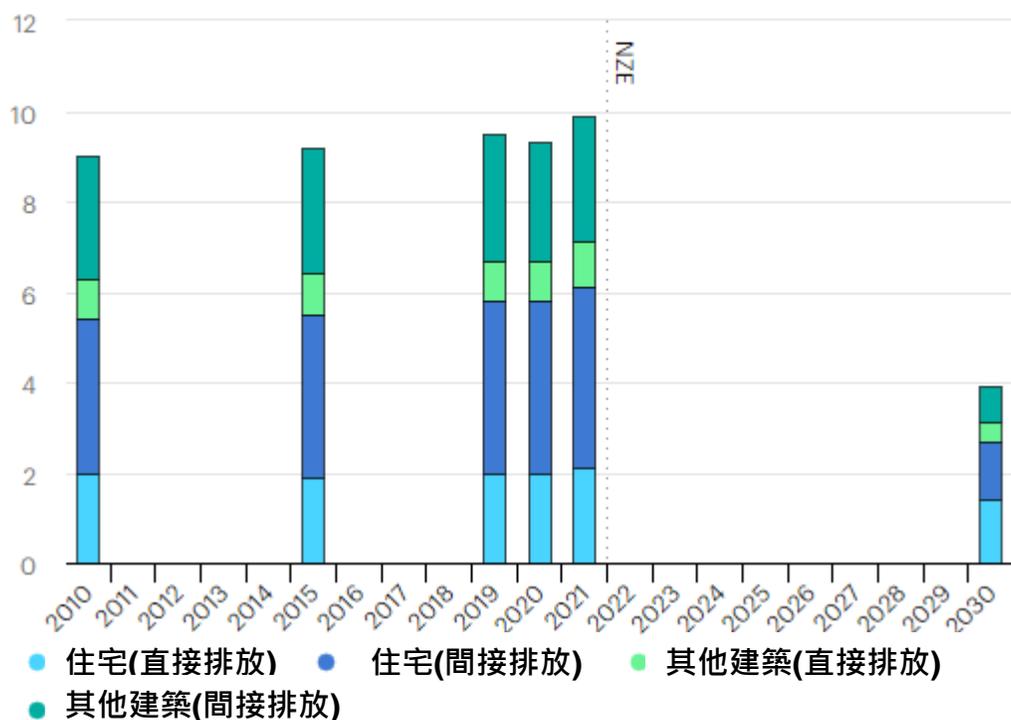
- 2021 年建築部門占全球最終能源消費約30%，占能源部門總排放量27% (其中8%為直接排放，19%為使用電力與熱能產生的間接排放)。
- 除照明是符合進程外，其餘如供熱、空調供冷、家電與設備、熱泵則需更加努力，而建築外殼則不符合進程。

淨零目標所需進程

- 2030 年所有新建物、20%的既有建物應達到淨零準備 (zero-carbon-ready)。
- 為擴大能源效率的節能貢獻，2030年所有市場都需要快速轉向最佳可用技術(best available technologies)。

淨零情境中建築部門的排放趨勢

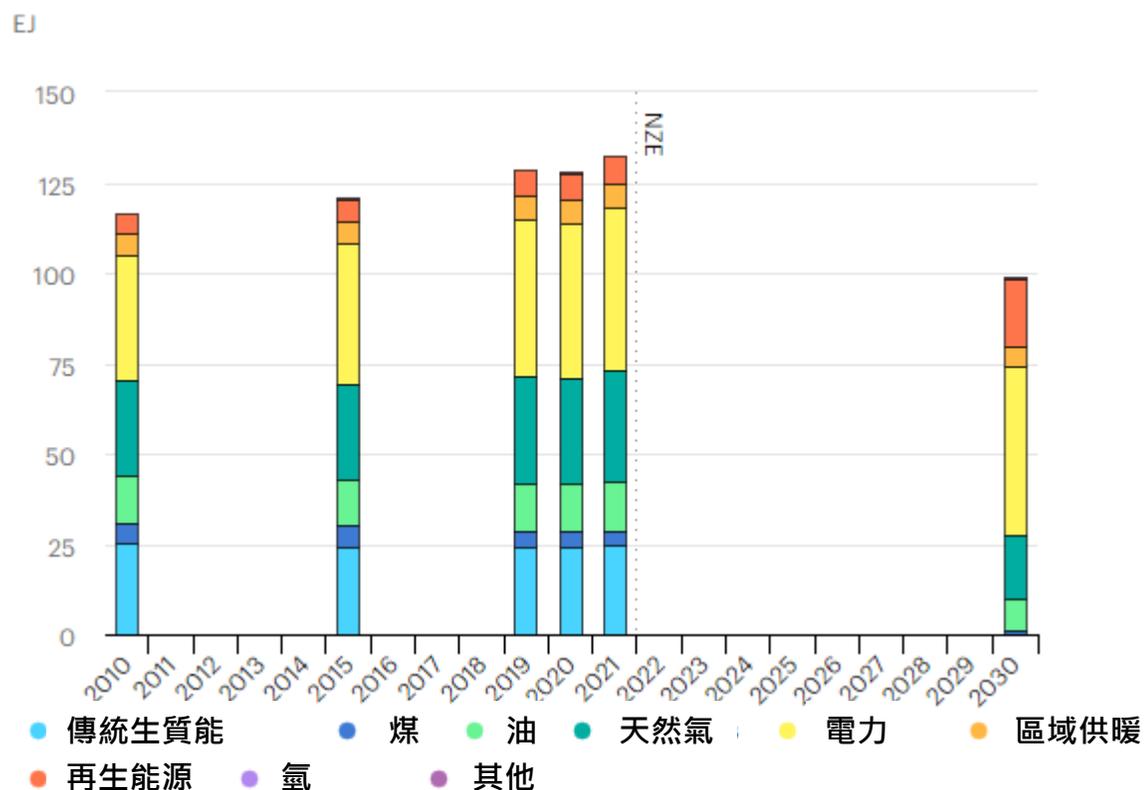
Gt CO₂



- 考慮到直接和間接排放，建築部門的碳足跡非常大。
- 2021年建築部門的直接和間接排放反彈到 10 Gt CO₂ (較2019年增加2%，較2020年高5%)，8%來自建築內使使化石燃料，19%來自電力與供暖，6%來自建造時使用的水泥、鋼鐵和鋁材。
- 為與淨零情景保持一致，2030年建築的碳排放量需要減少一半以上。主要透過改善建築外殼以減少空調需求，採用最佳可行的電器設備，區域能源中心等，也包括利用行為改變的潛力(改變空調溫度設定)

參(3.5)、節能進程追蹤結果— 建築部門

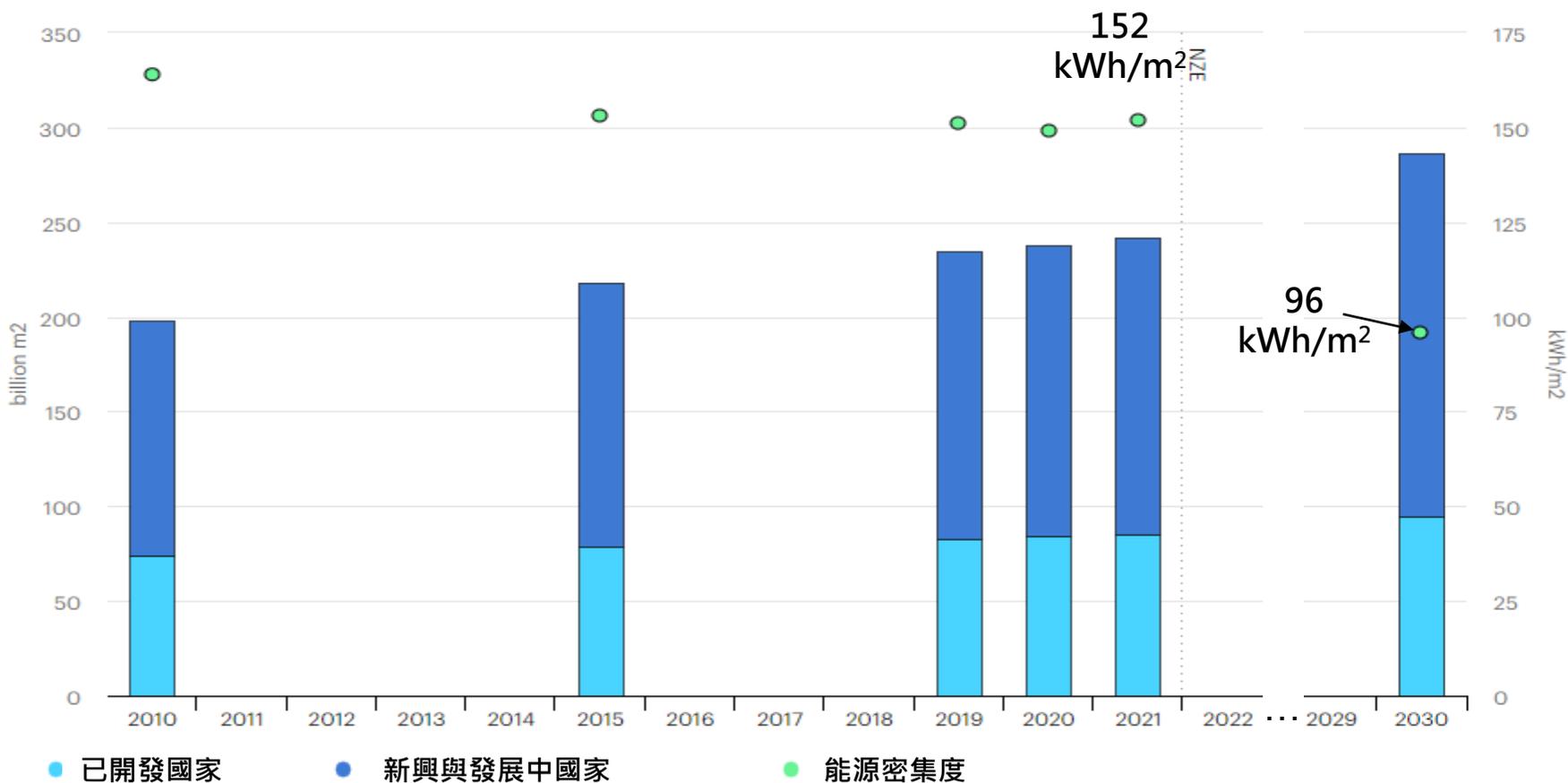
淨零情境中建築部門能源消費趨勢



- 建築能源消費2021年為 135 EJ (2010年為 115 EJ)，占全球最終能源消費 30%。若包括與建造時使用的水泥、鋼鐵和鋁材生產相關的最終能源使用，占比增加到 34%。
- 2021年建築部門能源需求較2020年增長近 4% (較2019年增長 3%)，為過去十年來最大的年度增幅。
- 2021年電力占建築能源消費量約 35% (2010年 30%)，特別是冷氣機的能源需求增幅最大，較2020年增加 6.5%。
- 為與淨零情景保持一致，2030年建築部門能源消費要較現在下降 25%，化石燃料使用量下降 40% 以上，以及不再使用污染嚴重的傳統生物質能 (同時實現2030年能源普及——聯合國可持續發展目標7——轉向使用沼氣、現代固態生物質能、電力和液化石油氣)。

參(3.5)、節能進程追蹤結果—建築部門

淨零情境中建築能源密集度(單位樓地板面積的能源使用)趨勢



- 2030 年建築面積預計將增加 20%。超過 80% 的新增面積需求來自新興和發展中國家。
- 為符合淨零目標，建築部門能源密集度在未來十年內要較過去十年快近五倍的速度下降。即 2030 年每平方公尺的能源消耗必須比 2021 年至少減少 35%。

參(3.5)、節能進程追蹤結果— 建築部門

對政策制定者的建議

1. **建立能提高最佳可用產品可負擔性的相關金融和市場機制，特別是針對弱勢族群：**為加快建築部門的潔淨能源轉型，需要藉由金融和市場機制減少障礙，從而吸引投資及刺激行動，如改善融資管道、降低潔淨能源投資風險、擴大市場工具的可用性。
2. **建築部門要達到淨零需要國際合作：**建築相對是比較本地化的產業，但建築材料、電器和設備的生產價值鏈日益全球化。藉助國際合作，建築物中使用的能源消費設備的最低能效標準與能效分級制度，也包括建築本身，可以逐步建立一致性的標準，從而提供強烈訊號，促使廠商改善產品，使其與淨零目標一致。