

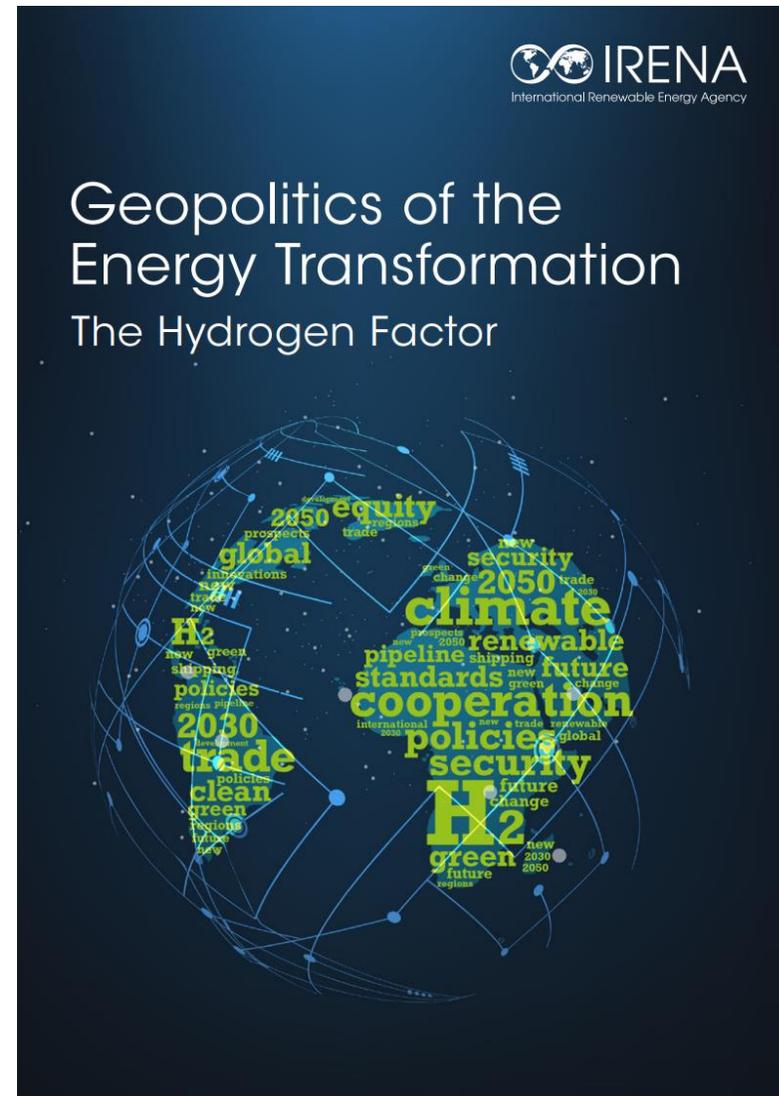
全球淨零趨勢下之 氫能發展戰略探討

工研院綠能所 產業發展推動組
能源與淨零策略研究室

李孟穎

mengying.lee@itri.org.tw

2022.03.30

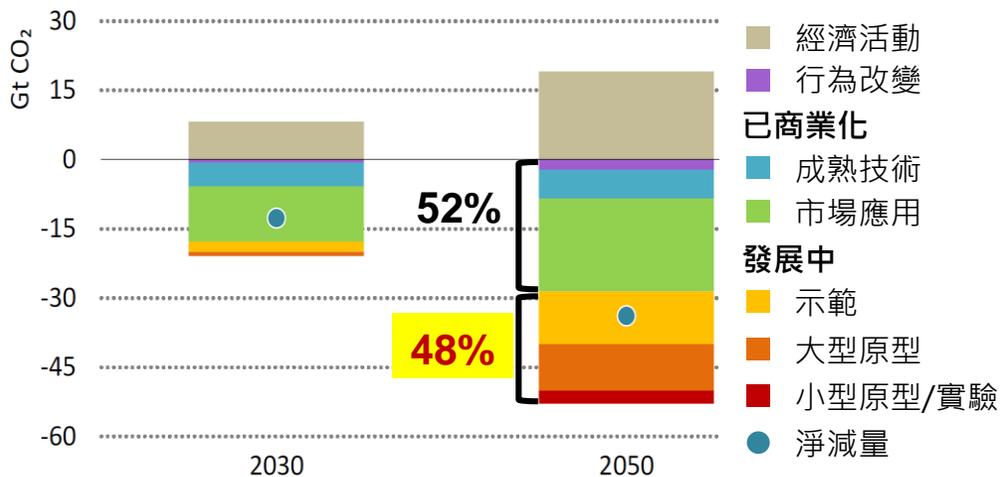


- 氫能在全全球淨零路徑的角色
- 因應氫能需求下的全球能源轉型地理戰略
- 氫能發展之政策建議

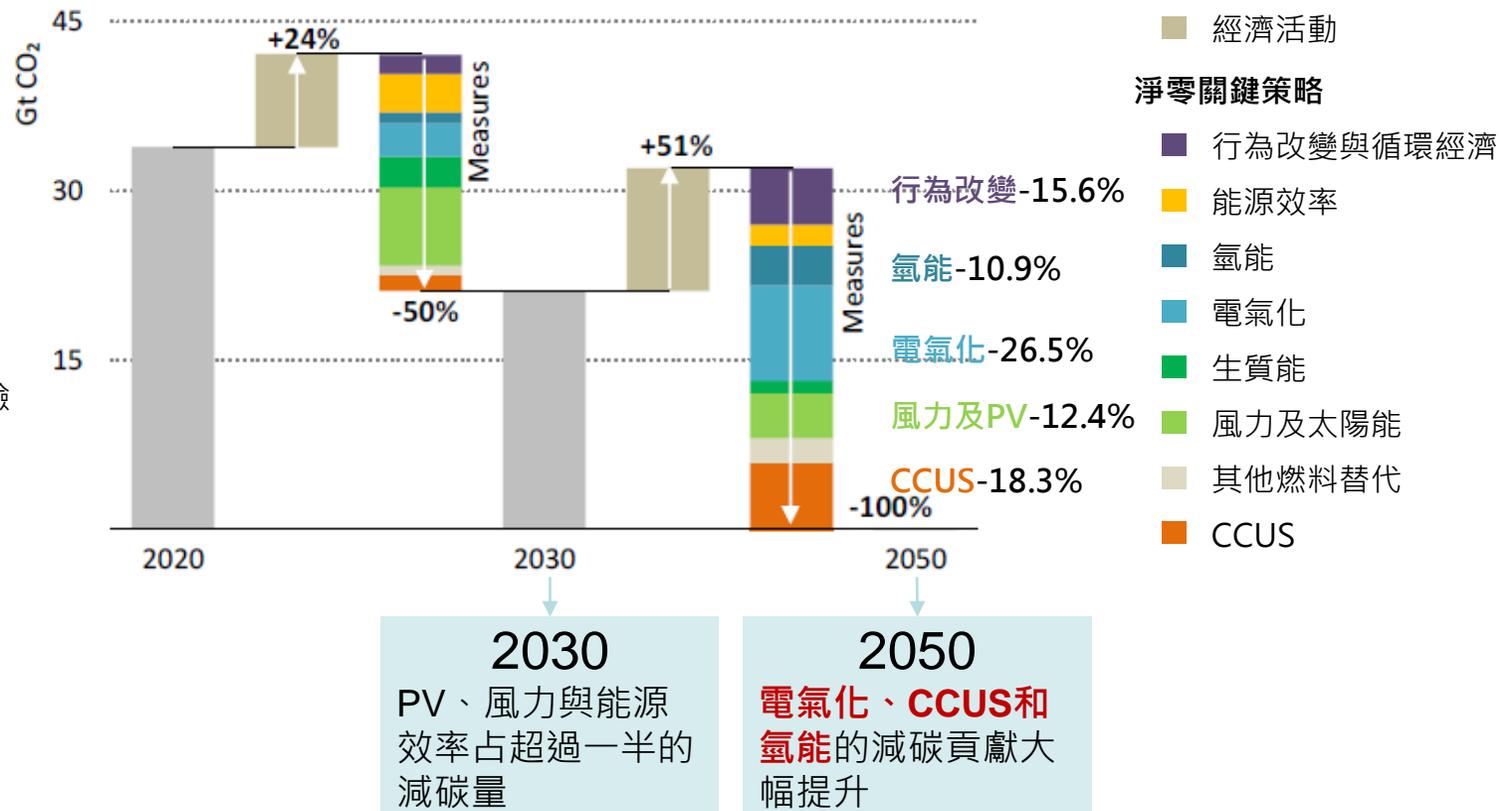
IEA WEO2021之淨零路徑評估

- 達到2050淨零目標，2030年以前主要仰賴既有技術；2050的減碳量則有約一半來自於現階段仍在示範、原型、實驗階段的技術，包括各類電氣化技術、CCUS、氫能等。

IEA淨零情境下不同技術成熟度減量貢獻

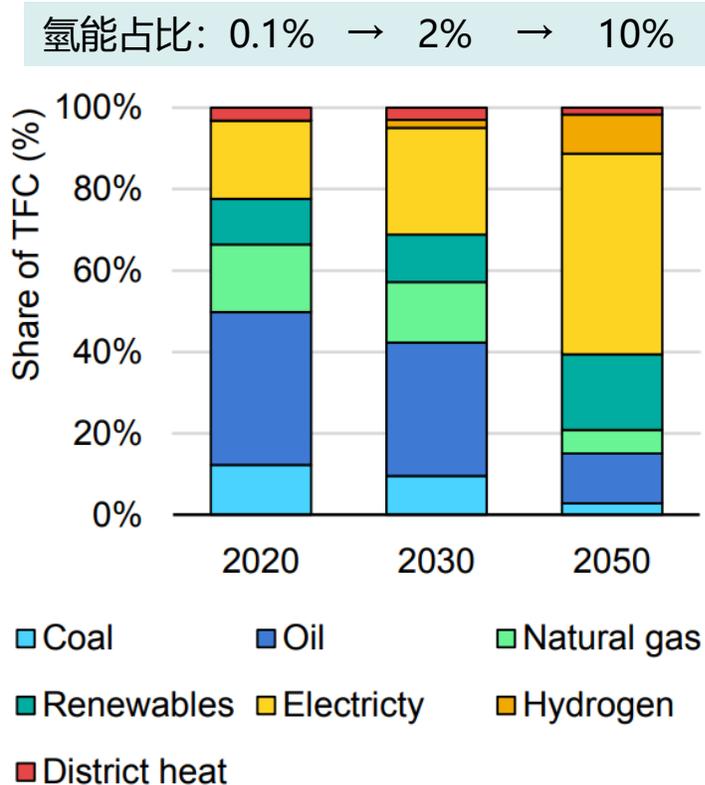


IEA淨零情境下各階段之關鍵策略

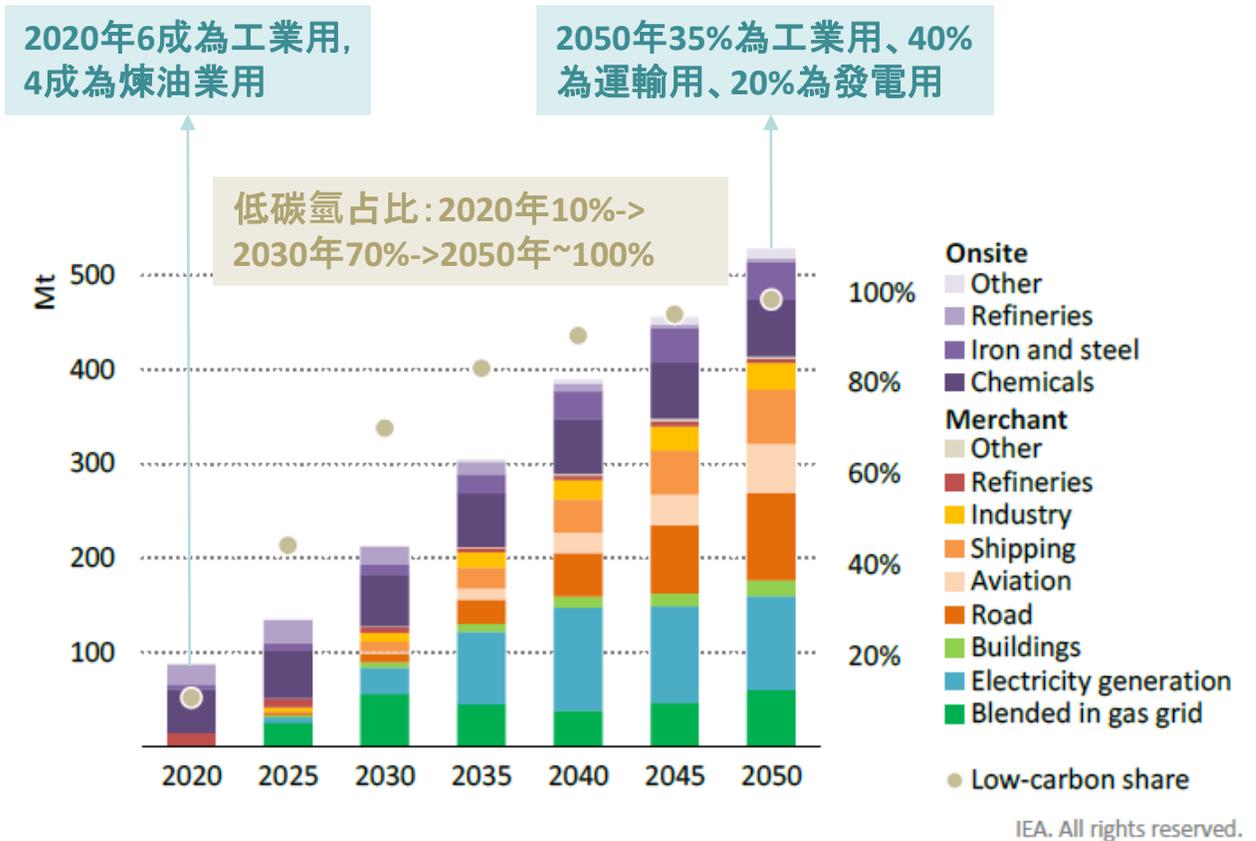


資料來源: IEA(2021), Net Zero by 2050 – A roadmap for the global energy sector

IEA淨零情境下氫能占最終能源消費比例



IEA淨零情境下氫能應用趨勢



The initial focus for hydrogen is to convert existing uses to low-carbon hydrogen; hydrogen and hydrogen-based fuels then expand across all end-uses

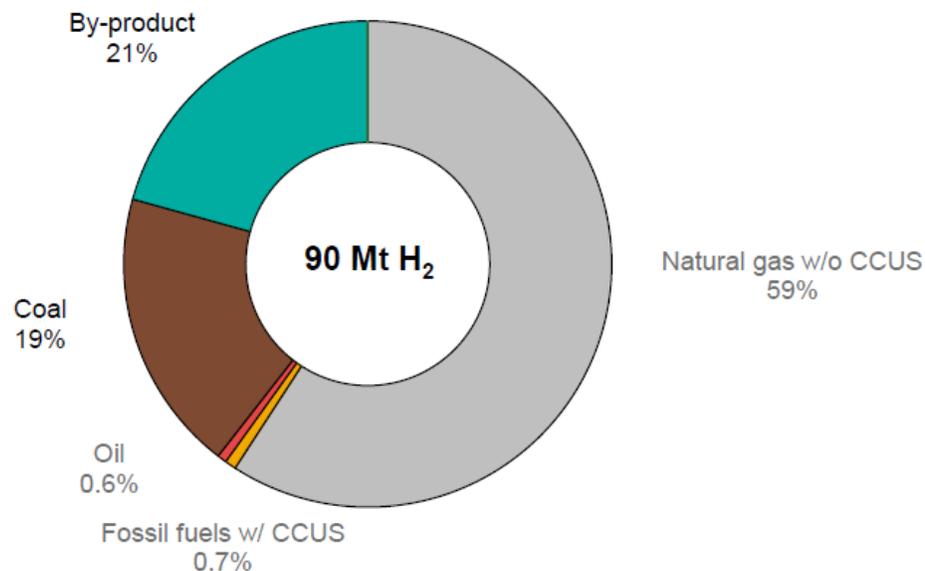
Note: Includes hydrogen and hydrogen contained in ammonia and synthetic fuels.

資料來源: IEA(2021), Net Zero by 2050 – A roadmap for the global energy sector; IEA(2021), Global Hydrogen Review 2021

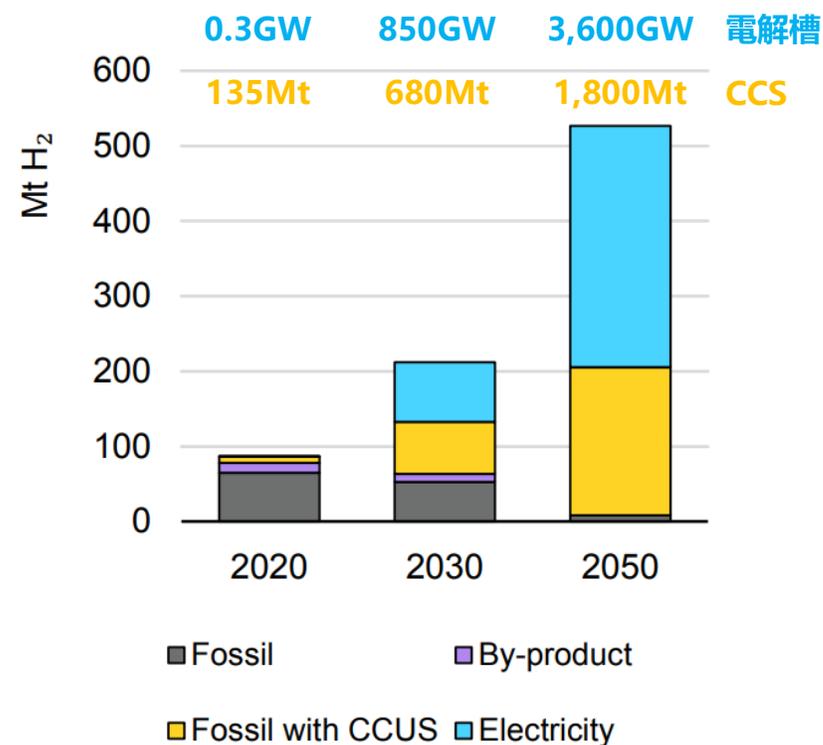
IEA WEO2021之淨零路徑評估 – 氫能來源與技術布建需求

- 2020年全球氫生產來源以化石燃料及工業餘氫為主，低碳氫僅占0.7%。
- 淨零情境下，2050年電解槽需求量達3,600GW；氫生產之CCS需求達1,800Mt。

2020年氫能供給來源結構

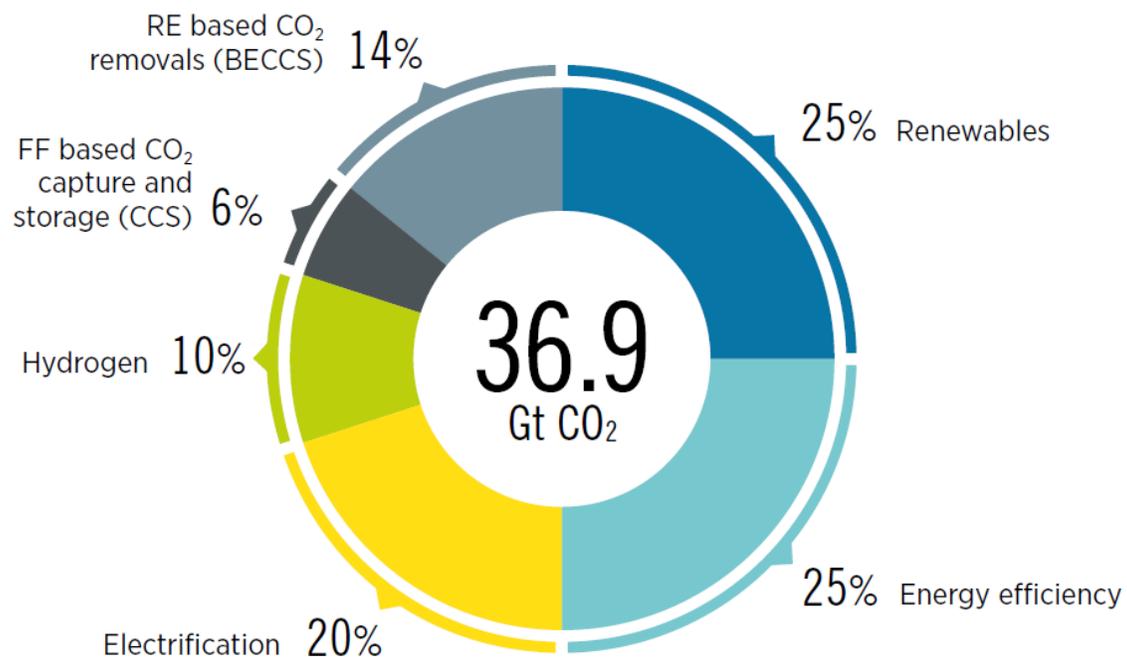


IEA淨零路徑下氫能供給結構



資料來源：IEA(2021), Global Hydrogen Review 2021

IRENA 1.5°C情境2050年6大措施減量貢獻



- 低碳氫年生產量：
0.8Mt/年(2020) → 154Mt/年(2030) → 614Mt/年(2050)
- 2050年氫能及其衍生物占最終能源消費的12%。主要在鋼鐵、化工、長途運輸、航運、航空等難減部門發揮作用。
- 2050年將有2/3的氫能為綠氫、1/3為藍氫。因應綠氫生產，需要5,000GW的電解槽容量建置。
- 清潔氫氣的基礎設施投資需求在2050年達到1160億美元/年

各展望報告推估淨零情境下的氫能需求

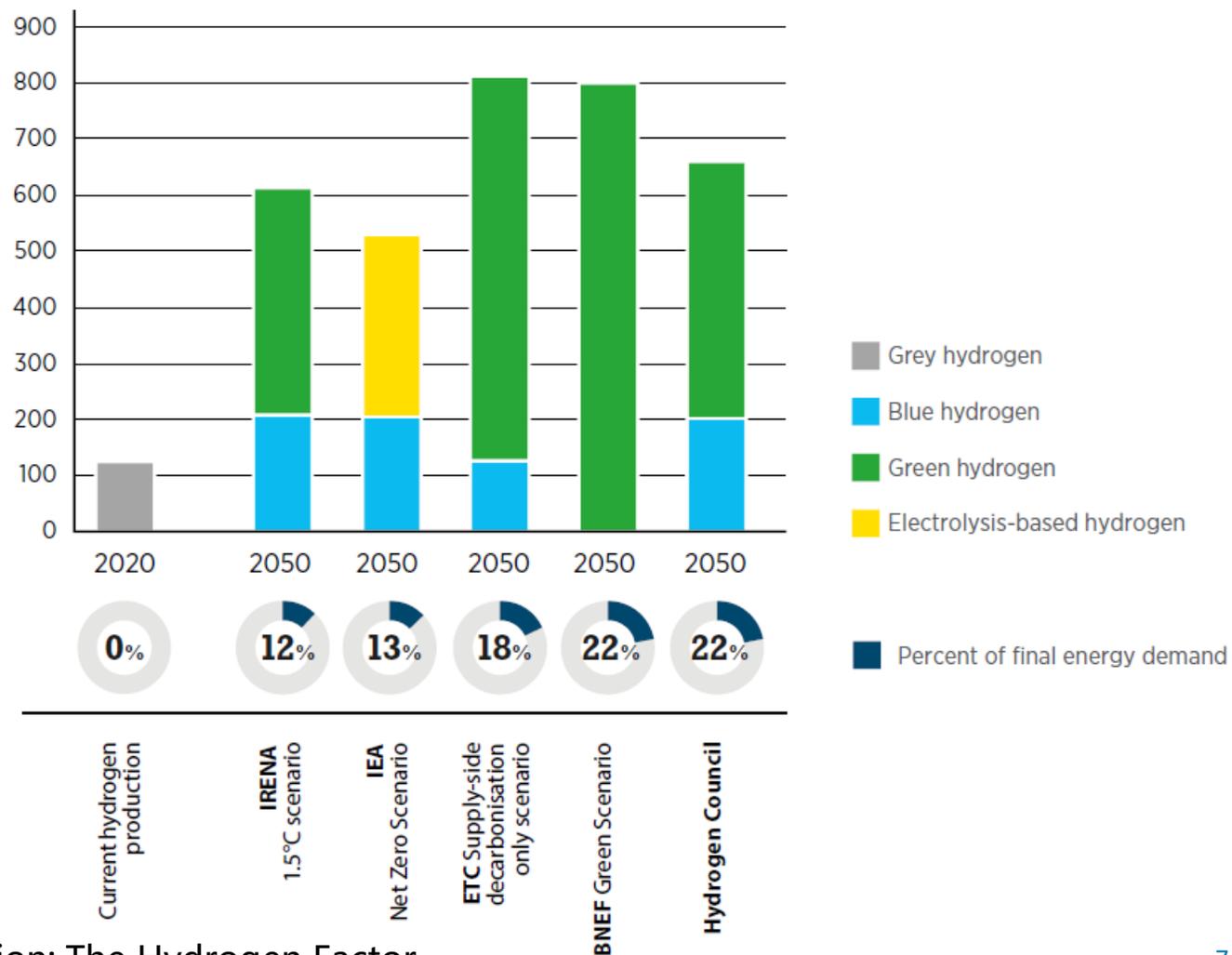
- 灰氫: 化石燃料透過重組或氣化產生氫
- 藍氫: 灰氫產生過程中利用CCUS移除碳排放 (仍有少量碳與甲烷洩漏)
- 綠氫: 利用再生能源電解水產氫

	GREY HYDROGEN	BLUE HYDROGEN	GREEN HYDROGEN
Process	Reforming or gasification	Reforming or gasification with carbon capture	Electrolysis
Energy source	Fossil fuels	Fossil fuels	Renewable electricity
Estimated emissions from the production process ^a	Reforming: 9 – 11 ^b Gasification: 18 – 20	0.4-4.5 ^c	0

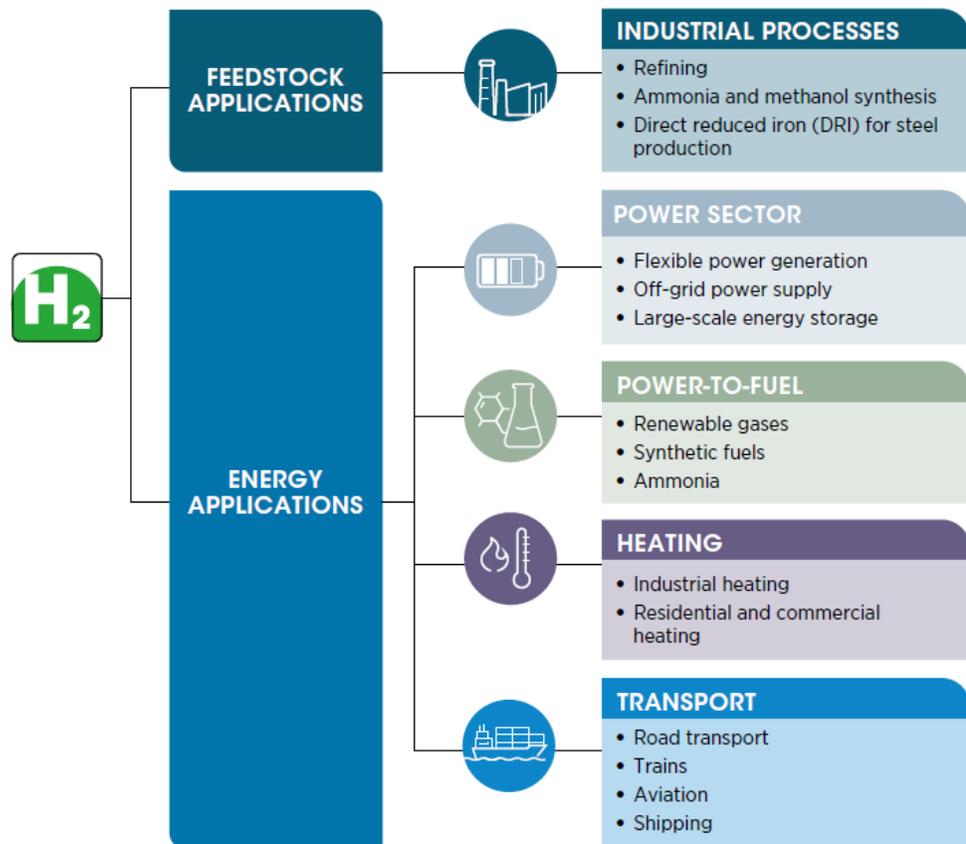
Note: a) CO_{2-eq}/kg = carbon dioxide equivalent per kilogramme; b) For grey hydrogen, 2 kg CO_{2-eq}/kg assumed for methane leakage from the steam methane reforming process. c) Emissions for blue hydrogen assume a range of 98% and 68% carbon capture rate and 0.2% and 1.5% of methane leakage.

主要展望報告淨零情境下的氫能生產量與結構

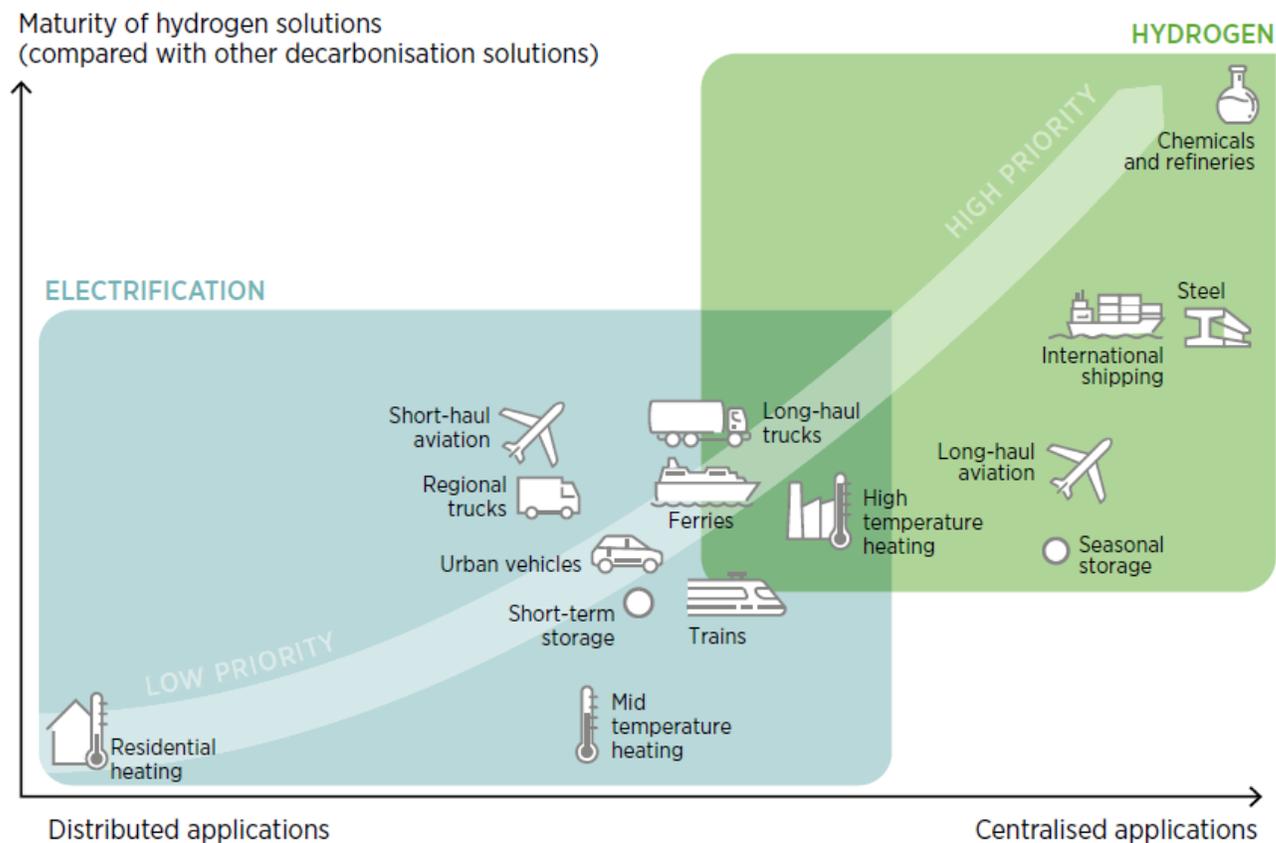
Hydrogen production (Million tonnes)



氫能主要應用範疇



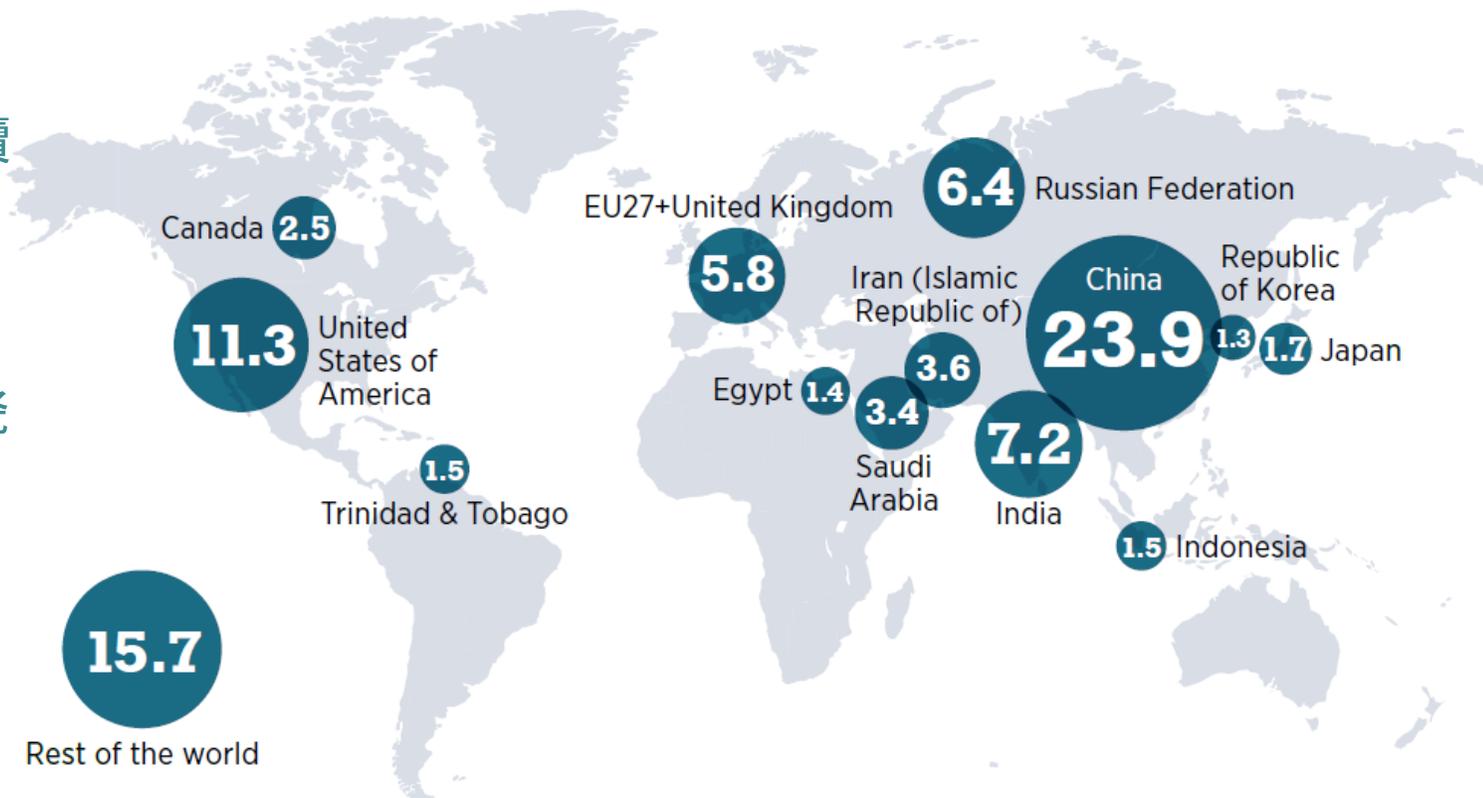
去碳策略(電氣化與氫能)的推動優先順序



現階段氫能需求情形與主要推動挑戰

- 2020年全球每年90Mt的氫能需求(煉油與其他工業應用為主)幾乎全部來自化石燃料生產。
- 應用國家以中國氫能應用範圍近年持續擴大至燃料電池車(韓國、美國、中國和日本為主), 過去4年間已成長6倍, 且由小客車擴展至公車與貨車。
- 工業運用近年在煉鋼、製氫、水泥、陶瓷或玻璃製造等製程皆有示範項目開發。
- 現階段氫能推動主要問題:
 - 成本
 - 技術成熟度
 - 氫生產與轉換效率
 - 再生能源需求
 - 政策與規範不確定性
 - 缺乏標準與驗證機制
 - 基礎設施布建與需求提升誰先誰後

2020年全球氫能使用量(百萬噸/年)



資料來源: IRENA (2022), Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor

各國2030年氫能發展目標與優先應用範疇

- 2017年日本首先提出氫能發展策略；至今已有超過30個國家提出或著手規劃其氫能發展策略

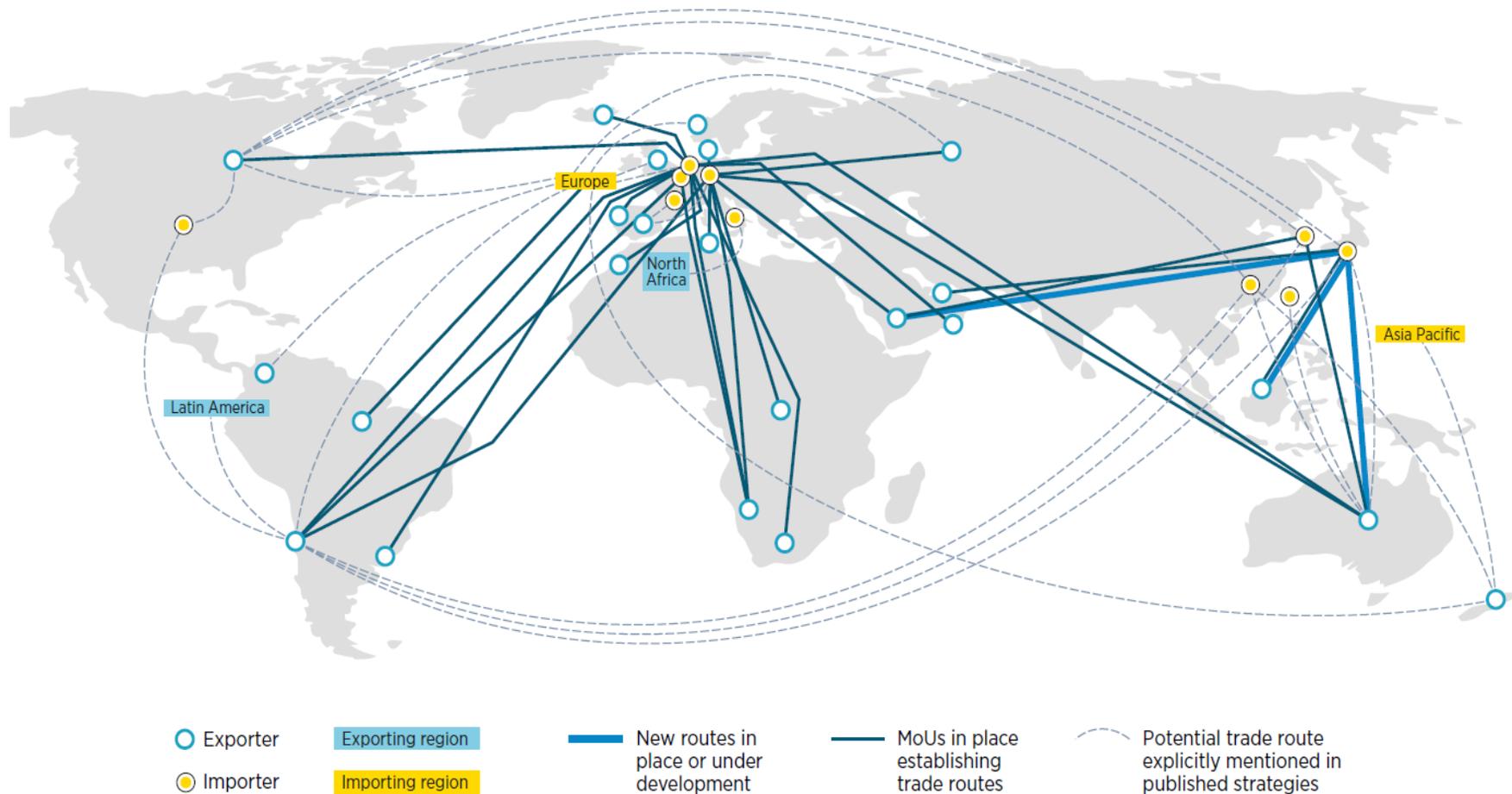
國家	目標 (2030)	應用範疇											
		生產	建築	電力	出口	工業	化工	鋼鐵	開採	煉油	航運	陸運	空運
澳洲	氫生產成本低於\$2/kg												
加拿大	年使用量4 Mt，占6.2%最終能源消費												
智利	建置25GW電解能力												
捷克	氫年使用量達97 kt												
歐盟	建置40GW電解能力；達到5Mt綠氫生產(+進口10Mt綠氫)												
法國	(2028)6.5GW電解能力 20-40%工業用氫去碳化 2-5萬輛氫能小型車+800-2000輛氫能重型車+400-1000座加氫站												
德國	建置5GW電解能力												
匈牙利	製造：每年20kt低碳氫/16kt零碳氫；240MW電解能力 使用：每年34kt低碳氫；4,800輛氫能車+20座加氫站												
日本	製造：420kt低碳氫 使用：每年3Mt氫+3Mt氨需求；80萬輛氫能車+1200輛氫能公車+1萬輛氫能堆高車+900座加氫站												
韓國	(2040)每年5.26Mt氫消費；2.9百萬氫能車(+3.3百萬輛出口)+8萬輛氫能計程車+4萬輛氫能巴士+3萬輛氫能貨車；8GW定置型燃料電池(+7GW出口)+2.1GW建築用燃料電池；												
荷蘭	(2025)3-4GW電解能力；30萬輛氫能小型車+3千輛氫能重型車												
挪威	-												
葡萄牙	2-2.25GW電解能力；1.5-2%最終能源消費(占公路運輸的1-5%+工業的2-5%+10-15%天然氣管線混摻+航運的3-5%)；50-100座加氫站												
俄羅斯	氫能年出口量達2Mt												
西班牙	4GW電解能力；25%工業用氫去碳化；5000-7500輛氫能車+150-200輛氫能公車+100-150座加氫站												
英國	5GW低碳氫生產能力												

資料來源：IEA(2021), Global Hydrogen Review 2021

全球氫能潛在進出口布局情形

- 非洲、美洲、中東與大洋洲具最大綠氫生產技術優勢
 - 技術潛力(再生能源潛力、既有基礎設施、現行發電結構、本土技術成本與成熟度、水源條件)
 - 輔助條件: 政府支持度、投資環境與政治穩定度
- 預計至2050年全球1/3的氫能使用來自進出口。

各國已規劃之氫能貿易路線或MOU簽定

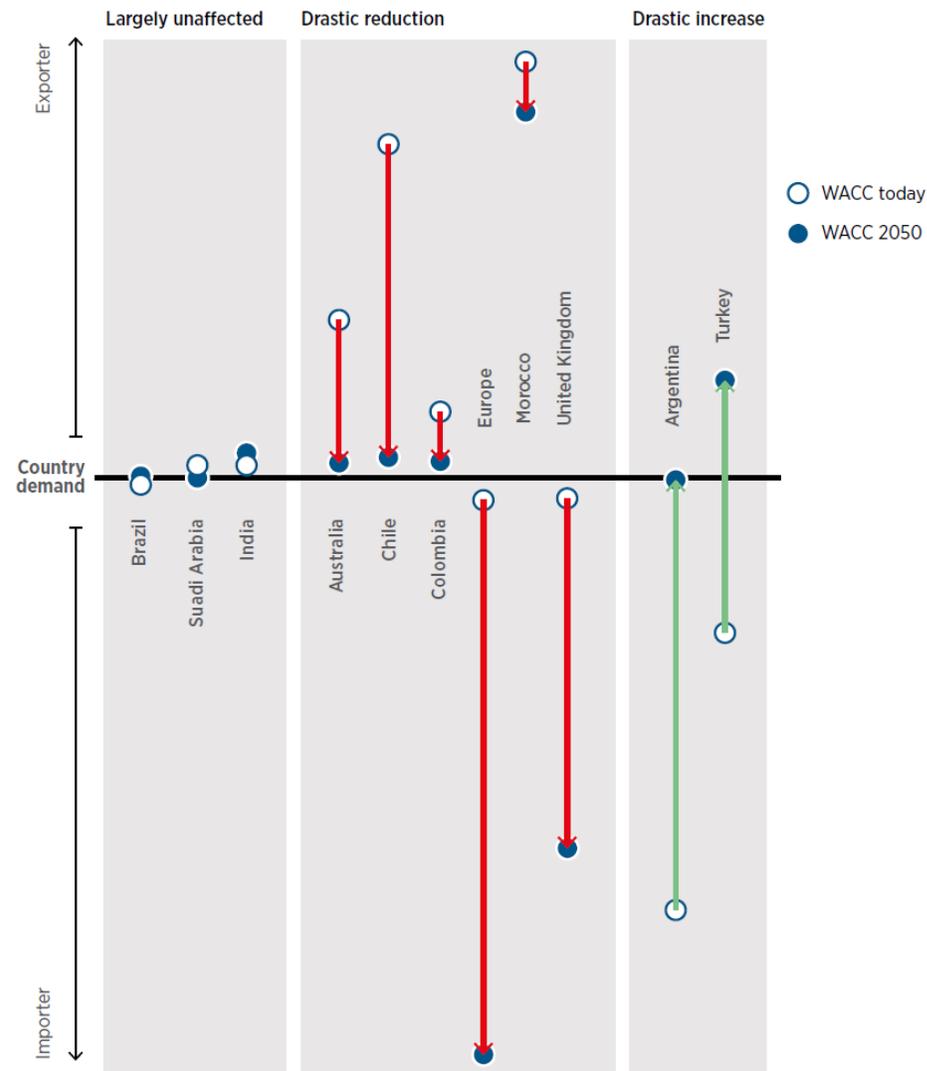
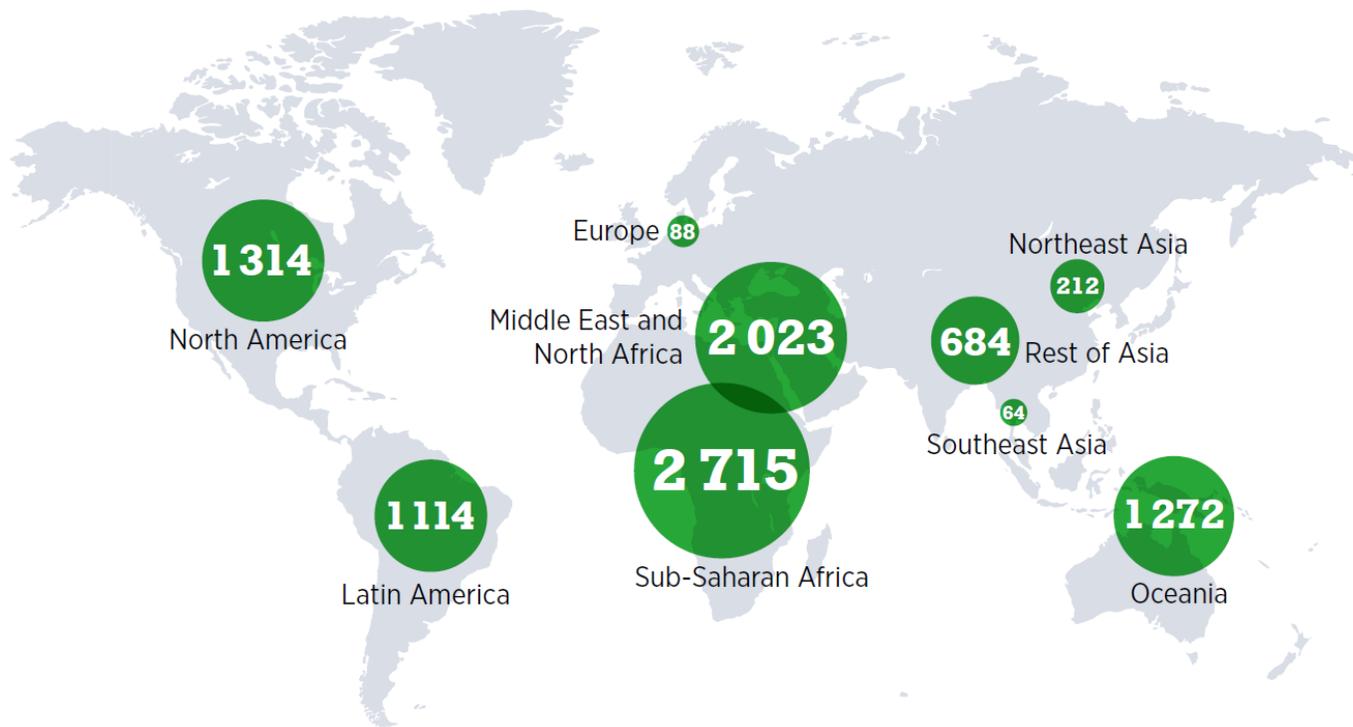


全球氫能潛在進出口布局情形 – 再生能源成本變動的影響

- 未來氫能進出口情勢主要受再生能源成本影響。
- 綜合考量各地區再生能源成本變動趨勢、各國氫能需求量與氫能進口成本，顯示至2050年，現階段的主要出口國，其出口優勢都將顯著削弱。

再生能源成本變動對未來氫能進出口情勢的影響

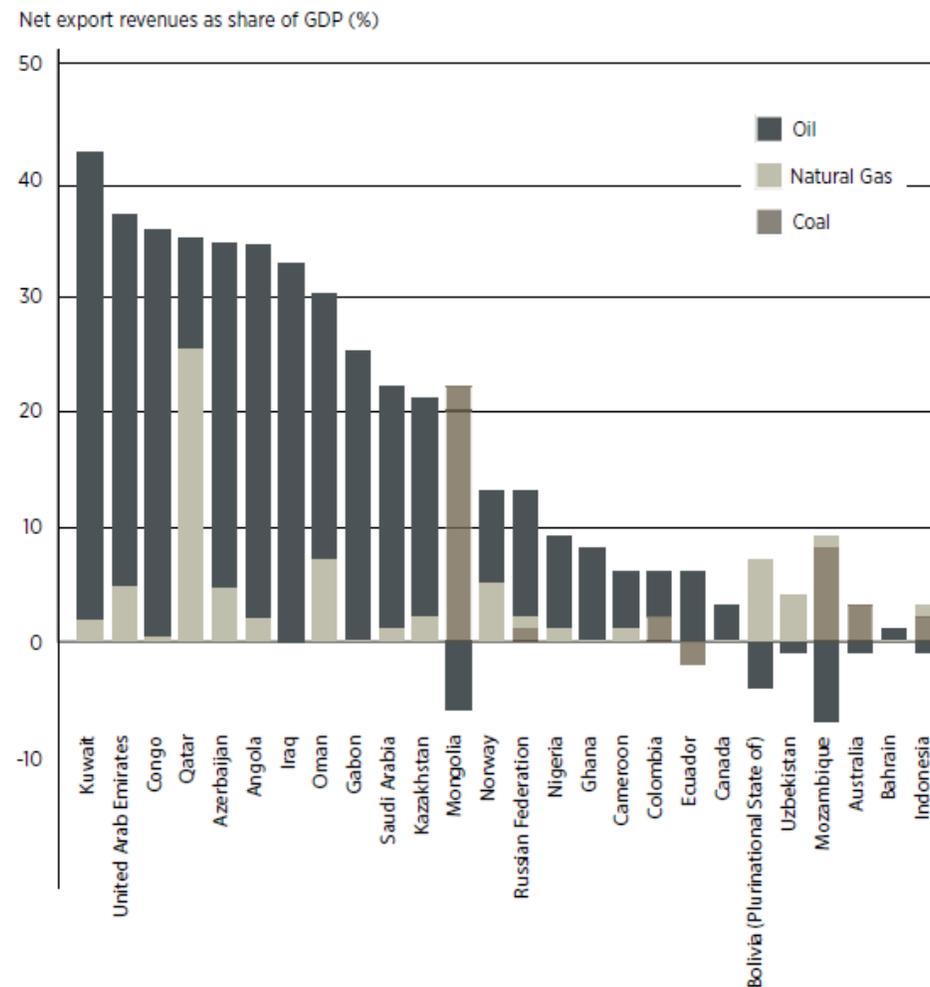
至2050年綠氫生產成本低於USD 1.5/kg的潛力量(EJ)



全球氫能潛在進出口布局情形 – 化石燃料出口國的轉型

- 主要化石燃料出口國將遭遇不同程度的擱淺資產 (stranded asset) 風險。
- 化石燃料出口國轉型為低/零碳燃料出口國的優勢：
 - 既有能源出口設施(港口、管線、儲槽等)
 - 能源技術人力
 - 既有的能源貿易關係
- 相較石油與天然氣，未來氫能貿易市場將更為競爭、市場參與者更多，且估計最終不會達到石油與天然氣的市場收入規模。

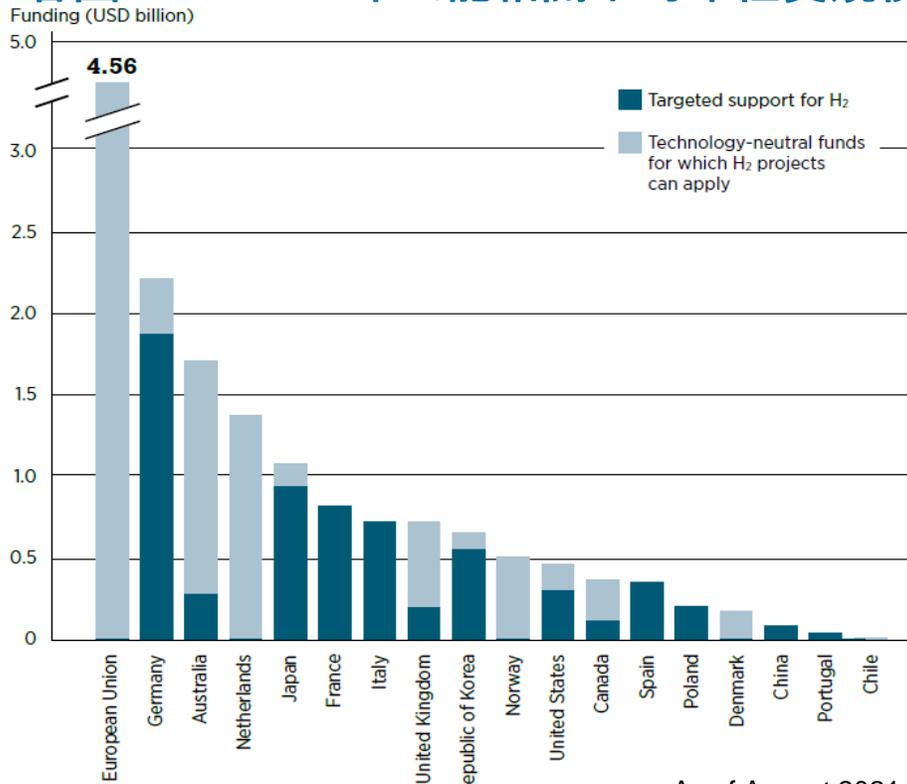
主要化石燃料出口國之能源出口價值



全球氫能相關技術研發與資源投入情形

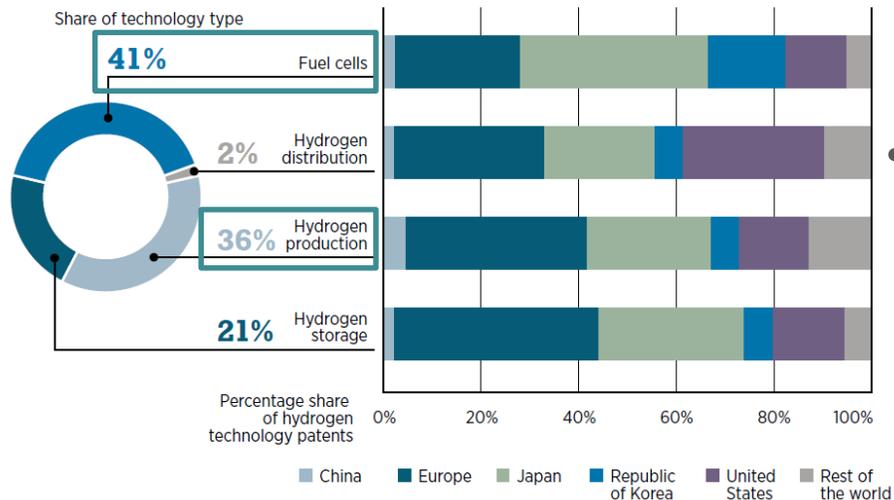
- 潔淨能源投資額以歐盟最高
- 針對氫能的投資目前以德國、日本、法國最高
- 至2030年的氫能投資有一半以上針對綠氫生產

各國2021-2030年氫能相關平均年經費規模



As of August 2021

資料來源: IRENA (2022), Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor

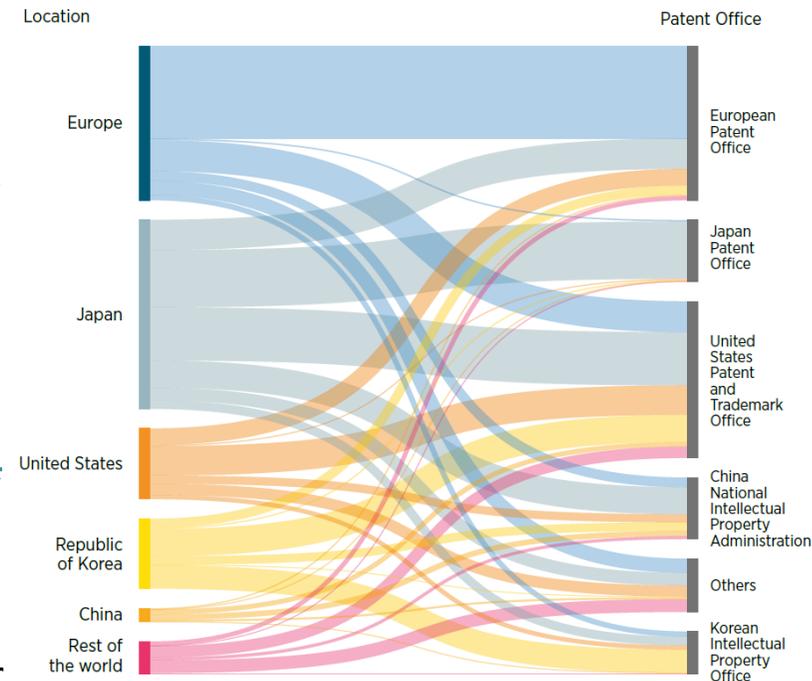


氫能專利結構

- 專利數占比以燃料電池占41%(日本為主)、氫生產占36%(歐盟為主)

氫能技術研發應用流向

- 日本開發專利數多, 但受國外保護之專利少, 顯示其技術含量高但市場機會少; 中國為相反趨勢。
- 日本為技術領導者與氫能淨進口者。

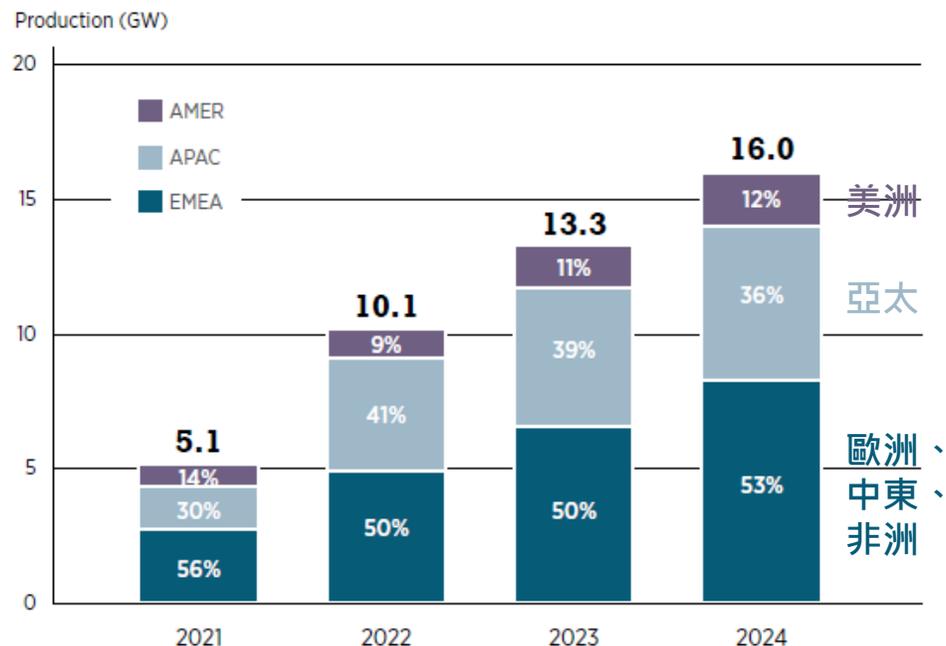


電解槽與燃料電池區域發展情形

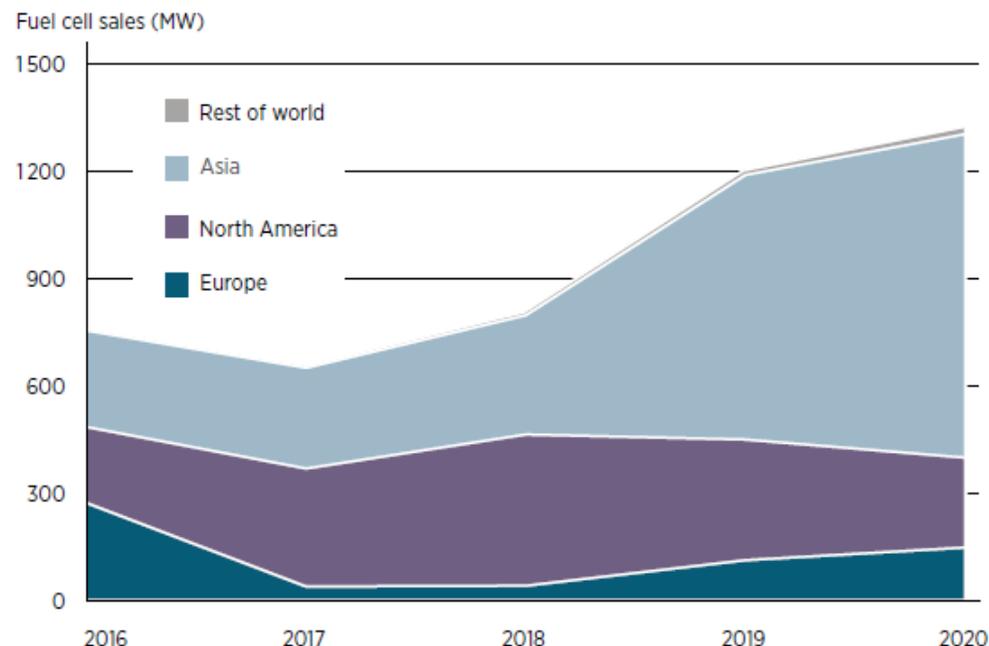
- 歐洲具有全球最大電解槽生產能力，約半數製造商位於歐洲，以歐洲內銷為主。
- 中國具有最大出貨量，其相同容量的電解槽成本比歐洲便宜75%。

- 目前應用以燃料電池車為主，2020年達1.3GW
- 中國規劃2030年FCEV達1百萬輛；日本規劃2030年家用燃料電池達530萬(目前有40萬)；韓國規劃2040年15GW燃料電池應用於發電。

2021-2024電解槽製造能力



2016-2020燃料電池銷售量



潔淨能源潛力影響工業發展聚落

- 淨零排放目標下，潔淨能源的可取得性，將影響未來工業聚落區域。
- 再生能源成本持續下降，而能源運輸成本(電力、氫能)仍相對高，而產品運輸成本相對較低。
- 鋁、氨、鐵、航空燃油、甲醇等產品，預計其減少能源傳輸的效益，會大於增加產品運送的成本。

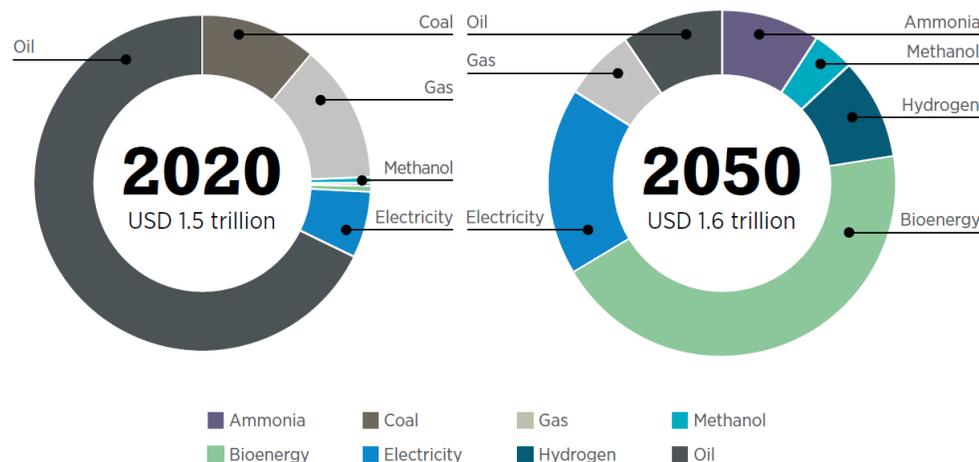
各類工業產品潛在的區域發展優勢分析

	World production, 2021 (Mt/yr)	Product price (USD/t)	Green product price 2030 (USD/t)	Shipping cost (indicative) (USD/t)	Energy cost benefit of relocation (USD/t)
Primary aluminium	65	2500	2500	70-100	425
Ammonia	200	250-400	600	100	340
Cement	2900	20	100	50	20
Iron	1389	300-500	400-600	15-50	115
Jet fuel	250	300-500	1000	50	600
Methanol	100	410-520	600	100	375
Hydrogen	120	800	1500	1500	1500

淨零轉型下的能源貿易變動 – 能源流的改變

- 預計至2050年電力、氫能與生質能的貿易量會大幅提升
 - 再生能源: 透過電纜輸送
 - 氫能: 透過管線運輸與其他液體燃料航運方式輸送氫能
- 既有天然氣管線可望翻新為氫能傳輸管線; 高氫能潛力的非洲地區基礎設施相對缺乏。
- 新興潛在跨區域合作: 北非與歐洲、澳洲與印度太平洋區域、非洲大陸跨區傳輸等。
- 沿海工業區可望協助擴大氫能使用規模, 進而成為氫能進出口樞紐。

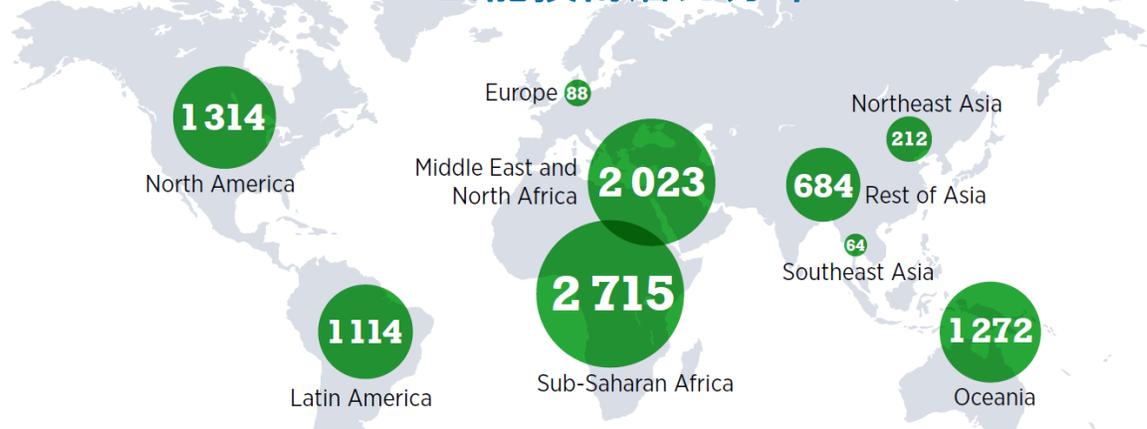
能源貿易結構變化



天然氣管線分布現況



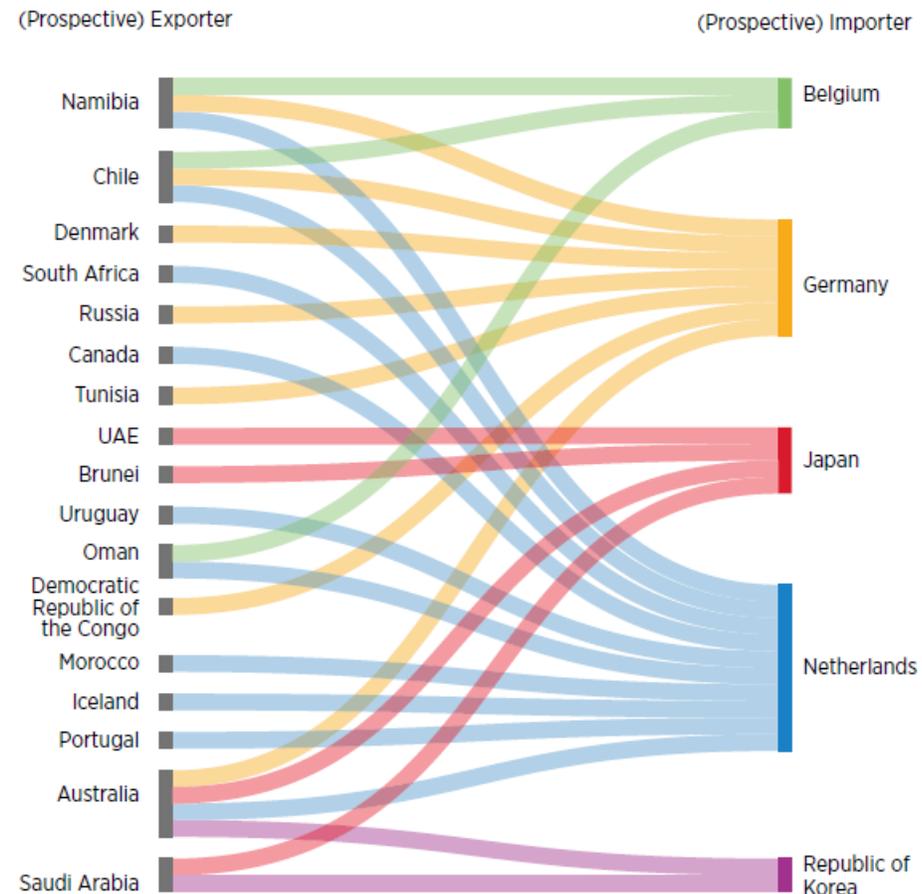
氫能技術潛力分布



淨零轉型下的能源貿易變動 – 新規則與新外交

- 目前缺乏一致、可靠與透明的規則，包括永續認定標準、排放量邊界認定、排放量測量方法、貨幣計價、合約類型等。
- 新外交與貿易關係建立與重組：
 - 部分國家著手雙邊交易或協議。可能基於既有貿易關係(如日本與沙烏地阿拉伯的藍氫貿易)，也有新的潛在貿易路線產生，日本和德國是其中的先驅。
 - 德國：設立氫外交辦公室與各國大使館直接連結
 - 日本：確保進口流量，同時出口低碳技術
 - 荷蘭：首個任命氫氣特使的國家
 - 能源貿易關係重組，相較化石燃料，潛在氫能出口國增加，透過技術、知識與資本合作關係，協助高氫生產潛力開發中國家的產業鏈與就業。

氫能貿易關係



淨零轉型下的能源貿易變動 – 貿易風險和脆弱性

- 投資成本回收風險：氫能生產與輸儲之投資成本高，生產國須確保買方與價格，同時須承擔大型設施布建的時程拖延。
- 設備故障與政治問題：安全性議題、以控制貿易作為控制手段(然氫氣出口國多且分散)
- 原料取得問題：製造電解槽、燃料電池、再生能源設備所需原料，大多集中在少數國家

全球主要氫生產計畫

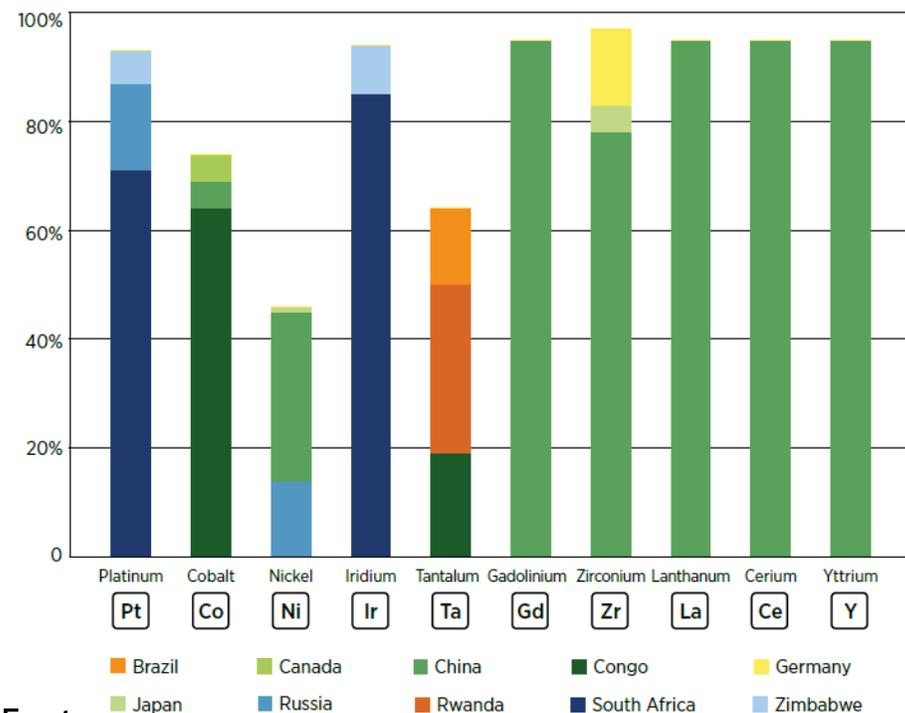


1	HyDeal Ambition (67GW)	Western Europe
2	Unnamed (30GW)	Kazakhstan
3	Western Green Energy Hub (28GW)	Australia
4	AMAN (16GW) ^a	Mauritania
5	Asian Renewable Energy Hub (14GW)	Australia
6	Oman Green Energy Hub (14GW) ^a	Oman
7	AquaVentus (10GW)	Germany
8	North2 (10GW)	Netherlands
9	H2 Magallanes (8GW)	Chile
10	Beijing Jingneng (5GW)	China
11	Project Nour (5GW) ^a	Mauritania
12	HyEnergy Zero Carbon Hydrogen (4GW) ^a	Australia
13	Pacific solar Hydrogen (3.6GW)	Australia
14	Green Marlin (3.2GW)	Ireland
15	H2-Hub Gladstone (3GW)	Australia
16	Moolawatana Renewable Hydrogen Project (3GW) ^a	Australia
17	Murchison Renewable Hydrogen Project (3GW)	Australia
18	Unnamed (3GW)	Namibia
19	Base One (2GW) ^a	Brazil
20	Helios green Fuels Project (2GW)	Saudi Arabia

Note: Size refers to electrolyser capacity. Information based on announced plans.
a. Estimated electrolyser capacity based on a comparison with similar-sized schemes.

電解槽主要原料礦產來源

Fraction of global mining supply (%)



氫能發展的衍生議題

社會公正轉型議題：

- IRENA估計自2030年起，單就電解槽發展即可創造200萬個就業機會
- 雖然藍氫被認為可降低化石燃料生產國資產擱淺風險，但預估多數國家在2030年以前綠氫生產成本就會低於藍氫
- 工業部門設備(通常壽齡30-40年)與基礎設施的投資造成碳鎖定

各國綠氫生產成本低於藍氫的時間點

以氫為解的公正過渡方案：

- 西班牙煤礦鎮轉型為工業用綠氫工廠
- 鹿特丹港由化石燃料樞紐轉為潔淨氫氣樞紐(連結北海風場與進口設施)



考量各國電解槽預估成本、再生能源、燃氣與CCS成本

環境衍生議題：

• 氣候變遷：

- 藍氫仍存在甲烷洩漏問題
- 需藉由CCS捕捉率規範、氫氣生產來源的管理與追蹤，確保洩漏問題被妥善管理

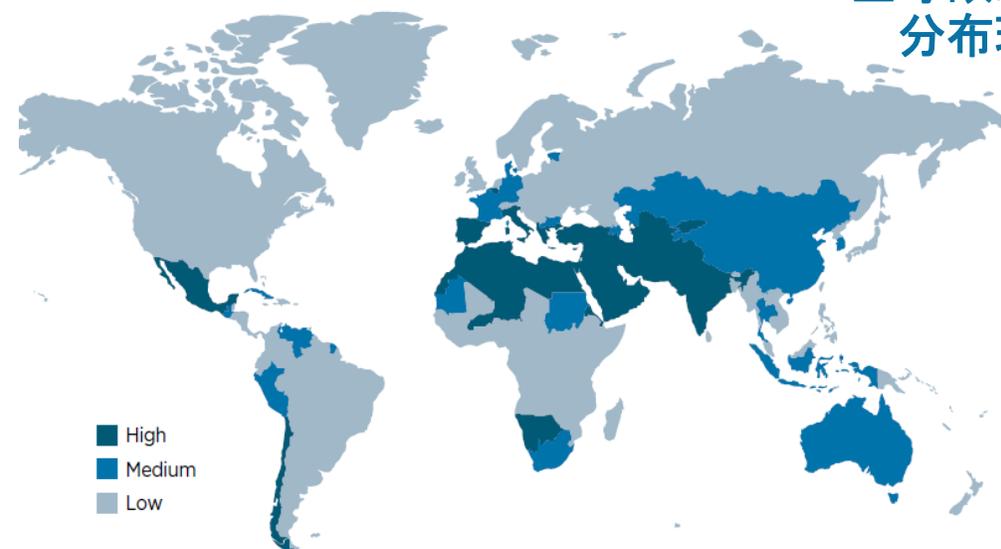
• 水資源問題：

- 電解氫需大量純水，目前70%規劃之電解廠可能面臨地區缺水壓力；80%電解廠需海水淨化系統，可能造成區域水資源壓力。
- 藉由電解氫衍生大量海水淨化需求，可望促進海水淨化規模，提供農業與小型工業使用。

• 土地與糧食議題：

- 氨為製造合成肥料主要成分，主要由氫產製，現階段尚無替代原料
- 潔淨氫氣可以促進全球食品供應鏈去碳，並降低食物生產的價格波動，強化食物供應安全。
- 再生能源存在與糧爭地問題，可藉由沙漠地區光電與海上風電設置來減緩。

全球缺水壓力
分布現況



IRENA對氫能發展之政策建議

- 氫能發展規畫應併同國家淨零發展整體考量，從而尋求最適合的能源發展組合，並納入長期發展時序，審慎評估基礎設施投資。
- 應考量國家情勢，規劃氫能使用優先順序，據以設定目標並規劃進出口布局。一味追求綠氫自產，可能反而造成更多化石燃料的發電與排放。
- 一致性、透明的規則、標準和規範對於促進全球氫能穩定發展相當重要，不僅是地區間的競爭，更是達到確實邁向深度減碳的必要條件。
- 應透過國際合作，藉由技術、知識與資本合作關係，協助高氫生產潛力開發中國家的產業鏈與就業，亦有益於降低全球供應鏈風險，提升能源安全。
- 除了燃料替代，亦應藉由能源使用效率提升與循環經濟等手段，降低實質能源使用，促進資源永續使用。
- 政策制定者應廣泛考量氫能發展下的多面向影響，包括氫能布建的水資源、土地競合問題等，避免能源發展對環境、社會的負面衝擊，進而影響地緣政治的穩定。

- IRENA (2022), Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor
- IEA(2021), Net Zero by 2050 – A roadmap for the global energy sector
- IEA(2021), Global Hydrogen Review 2021
- 李孟穎(2021), IEA發布「全球氫能報告」, 認為近年全球氫能布建進展仍遠不及達到淨零目標規劃, 應致力投資降低製氫成本與擴大應用
能源知識庫 https://km.twenergy.org.tw/Data/db_more?id=6916