

CCUS之淨零路徑及發展方向

馬小康

臺灣碳捕存再利用協會(TCCSUA)理事長
台灣大學機械系榮譽退休教授

TRI高峰論壇-淨零與低碳研討會

台大醫院國際會議中心301室
113年3月19日（星期二）

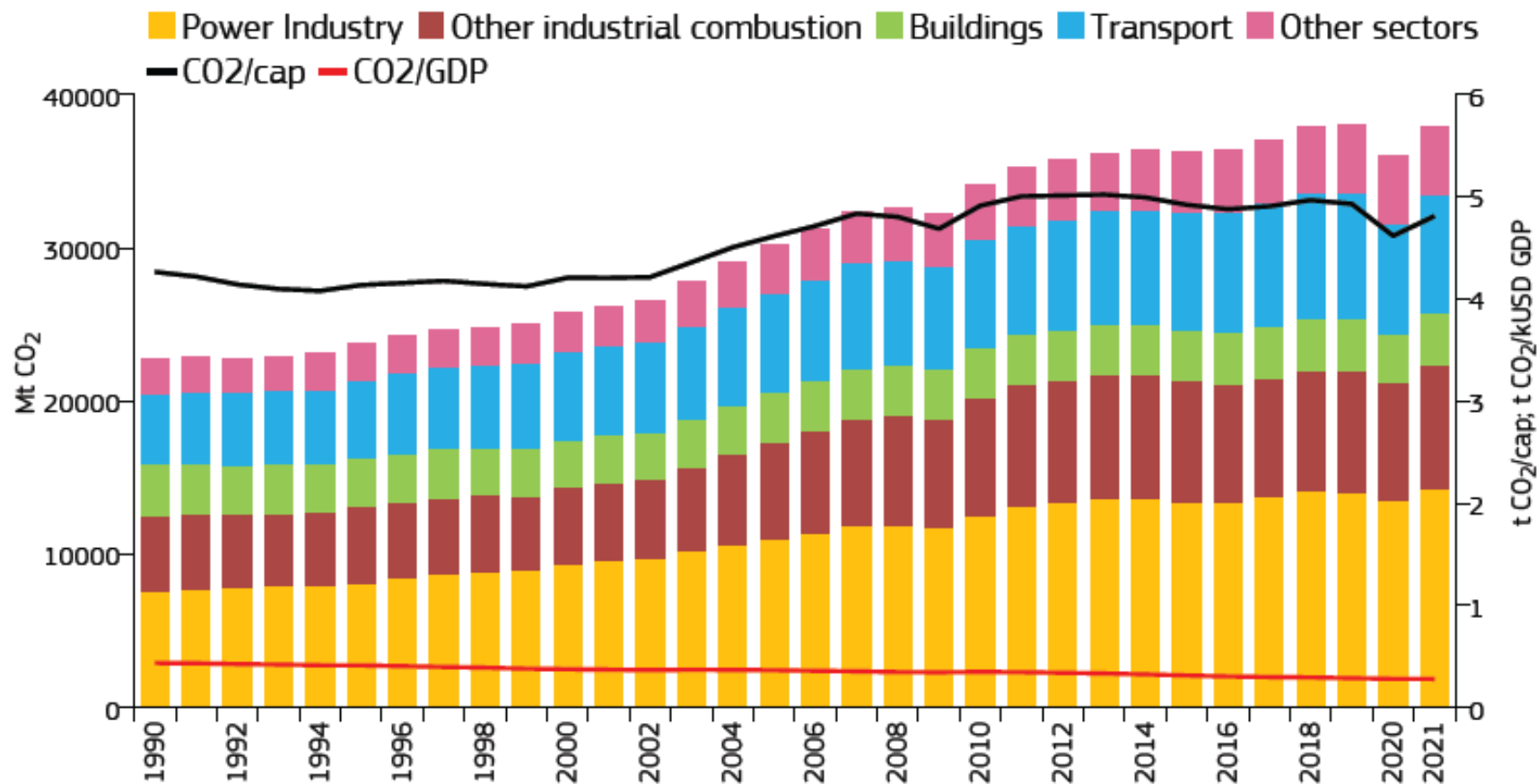
內容

- 前言-面臨2050淨零排放及國際碳邊境稅
- 氫、氨及其他低碳燃料與CCUS之關聯性
- **Hydrogen/CCUS Energy Hub**
- 台灣產業推動負碳技術發展概況



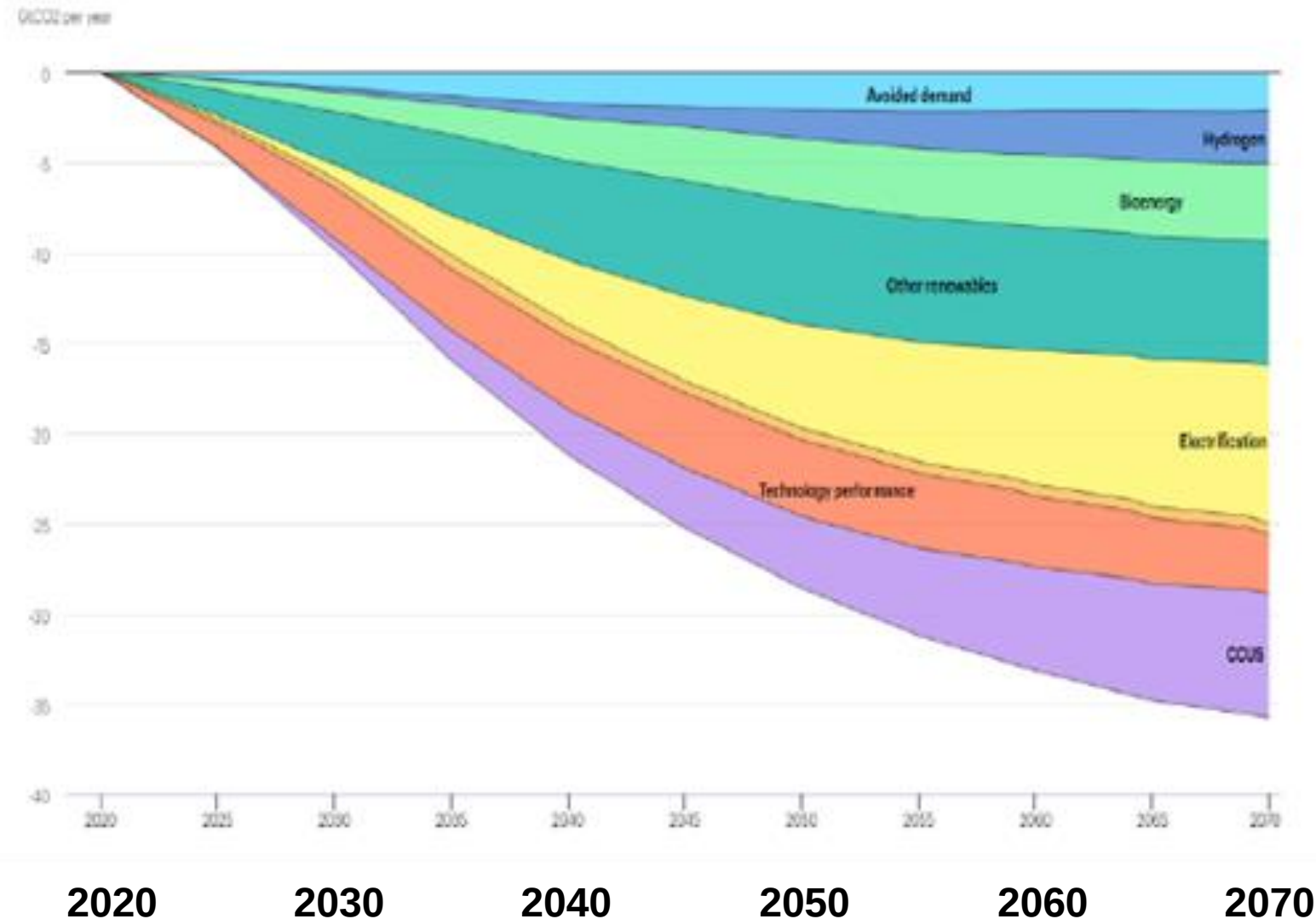
主題一：前言
-面臨2050淨零排放及
國際碳邊境稅

World Fossil CO2 emissions by sector



Year	CO ₂ emissions Mt CO ₂ /yr	CO ₂ emissions per capita t CO ₂ /cap/yr	CO ₂ emissions per unit of GDP PPP t CO ₂ /kUSD/yr	Population
2021	37857.576	4.811	0.282	7.869G
2020	35960.674	4.618	0.283	7.787G
2005	30161.575	4.614	0.367	6.537G
1990	22717.732	4.264	0.438	5.328G

IEA Carbon Reduction Road Map in 2020-2070



Avoided Demand

Hydrogen

Bioenergy

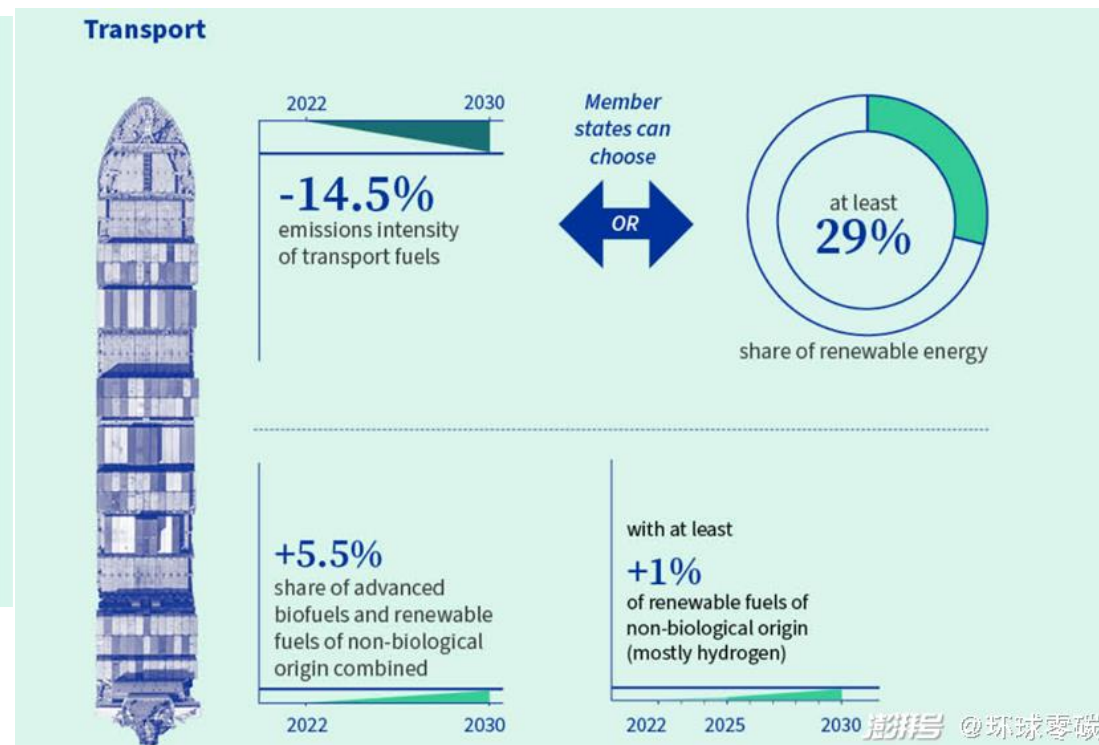
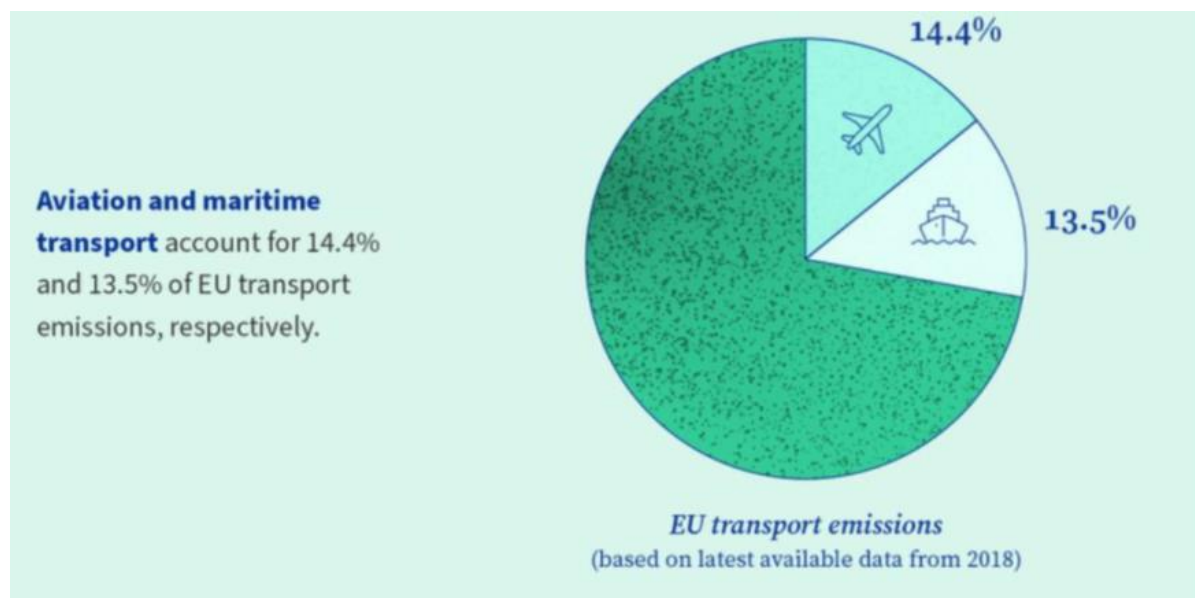
Other Renewable

Electrification

Technology Performance

CCUS

歐盟 可再生能源指令(運輸部門)



- 會員國可以在以下**兩個方面**做出選擇：
 - 1、具有約束力的目標，即到 2030 年，通過使用**可再生能源**，將**交通領域**的溫室氣體密度降低 **14.5%**；
 - 2、或到 **2030** 年**可再生能源**在交通部門的最終能源消耗中所占的比例至少達到 **29%** 的約束性目標。
- 新的規則為先進生物燃料（一般來自非食品原料）和非生物來源的可再生燃料（主要是**可再生氫能和氫基合成燃料**）設定了一個具有約束力的綜合性子一級目標。

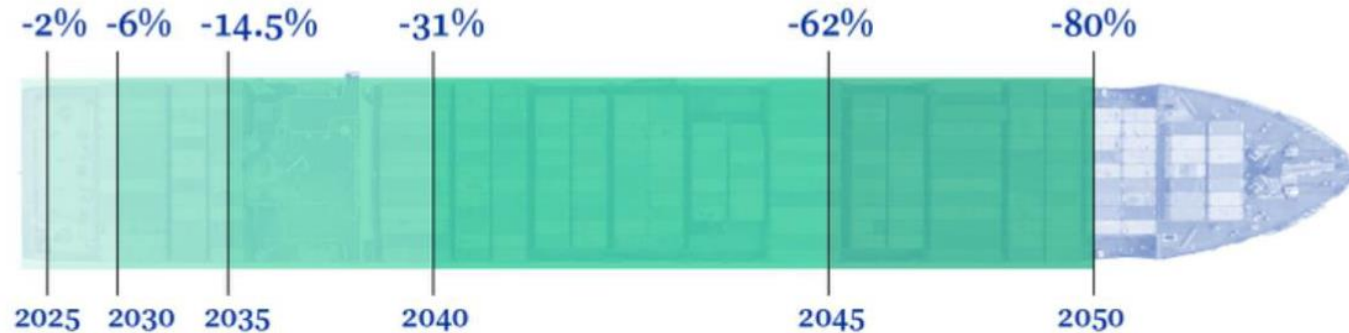
歐盟 Maritime New Regulation



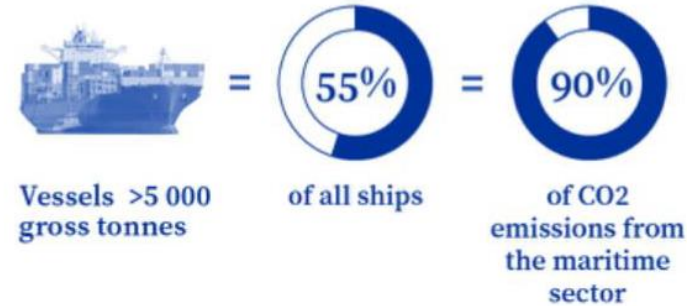
The FuelEU maritime regulation will oblige vessels above 5000 gross tonnes calling at European ports (with exceptions such as fishing ships):

→ to reduce the greenhouse gas intensity of the energy used on board as follows

Annual average carbon intensity reduction compared to the average in 2020



→ to connect to onshore power supply for their electrical power needs while moored at the quayside, unless they use another zero-emission technology



CBAM及CCA碳邊境稅

■ 歐盟碳邊境稅(CBAM)

歐盟正式批准了全球首個碳邊境調節機制（CBAM），計畫在**2023年10月正式運行**，針對進口產品的絕對碳排放的碳價差徵稅。

- ✓ CBAM要求出口歐盟的商品根據其碳排放強度**繳納與歐盟企業同等水準的碳成本**
- ✓ **CBAM碳邊境稅=進口產品的碳排放×進出口國的碳排放價差**。

■ 美國碳邊境稅(CCA)

- ✓ 美國CCA與歐盟CBAM最大的區別在於，歐盟針對進口商品的全部碳排放按當前碳價徵稅，而CCA將只對**超過美國平均水準的排放量部分徵收費用，按固定碳價徵收**。
- ✓ **CCA碳邊境稅=（進口產品碳強度-美國產品平均碳強度）×產品品質或數量×固定碳價（目前為55美元）**。

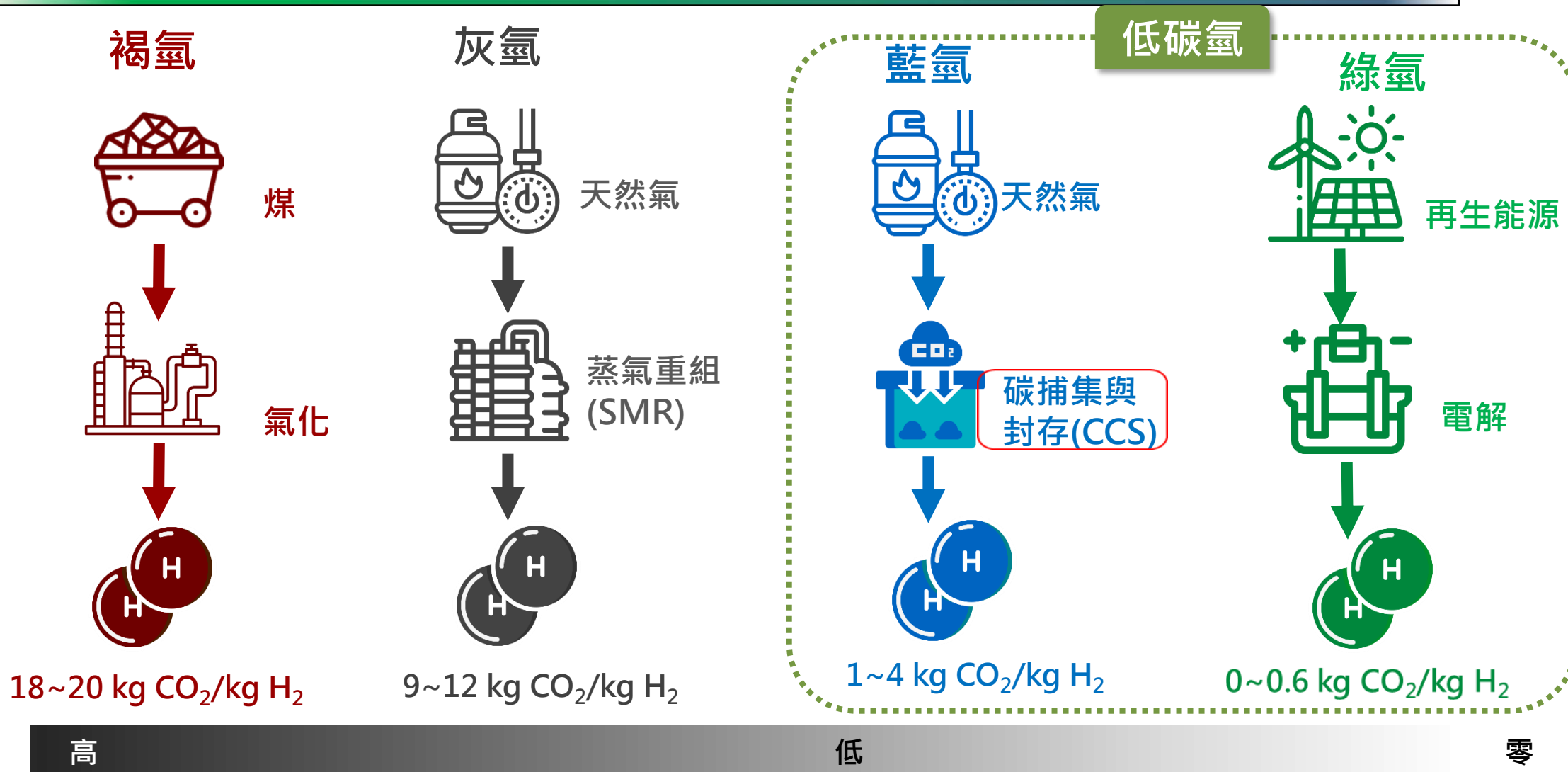


主題二：
氫、氨及其他低碳
燃料與CCUS之關聯性

幾種燃料燃燒特性方面的比較

性能指標	氨	氫	CNG	乙醇	汽油	柴油
化學分子式	NH3	H2	CH4	C2H5OH	C8H18	C12H26
壓力(25 C)/MPa	1.03	70	25	0.1	0.1	0.1
辛烷值	130	130	120	89.7	85	-
能量密度(GJ/m3)	11.8	3.0	9.4	21.2	32.2	35.4
LHV(MJ/kg)	18.8	121	50.0	26.9	43.8	42.5
理論空燃比	6.14	34.8	14.4	6.52	15.4	15.14
最小點火能量(MJ)	8	0.02	0.30	0.14	0.29	-
火焰速度(cm/s)	6	300	41	39	40	33

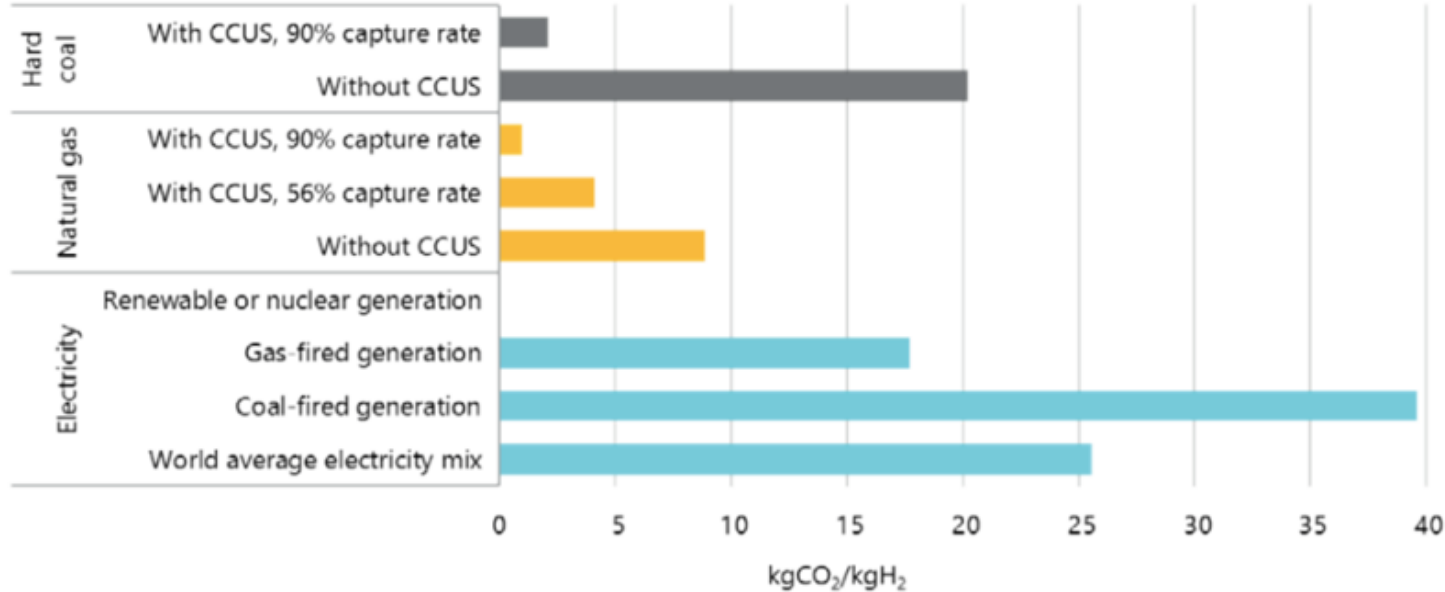
褐氫、灰氫、藍氫、綠氫產製方式



溫室氣體排放量、製成燃料氫後的發電量

低熱值可產33.33 kwh/kg H₂；高熱值可產39.47 kwh/ kg H₂

Various Hydrogen: CO2 Emissions



□ Average CO₂ intensity of production using SMR → CO₂ emission = 9.3 kgCO₂/kgH₂ (without CCUS)

□ SMR with CO₂ Recovery Unit
→ CO₂ emission = 4.5 kg CO₂/kg H₂ (with CCUS)

□ H₂ electrolysis (Non-Renewable Energy):

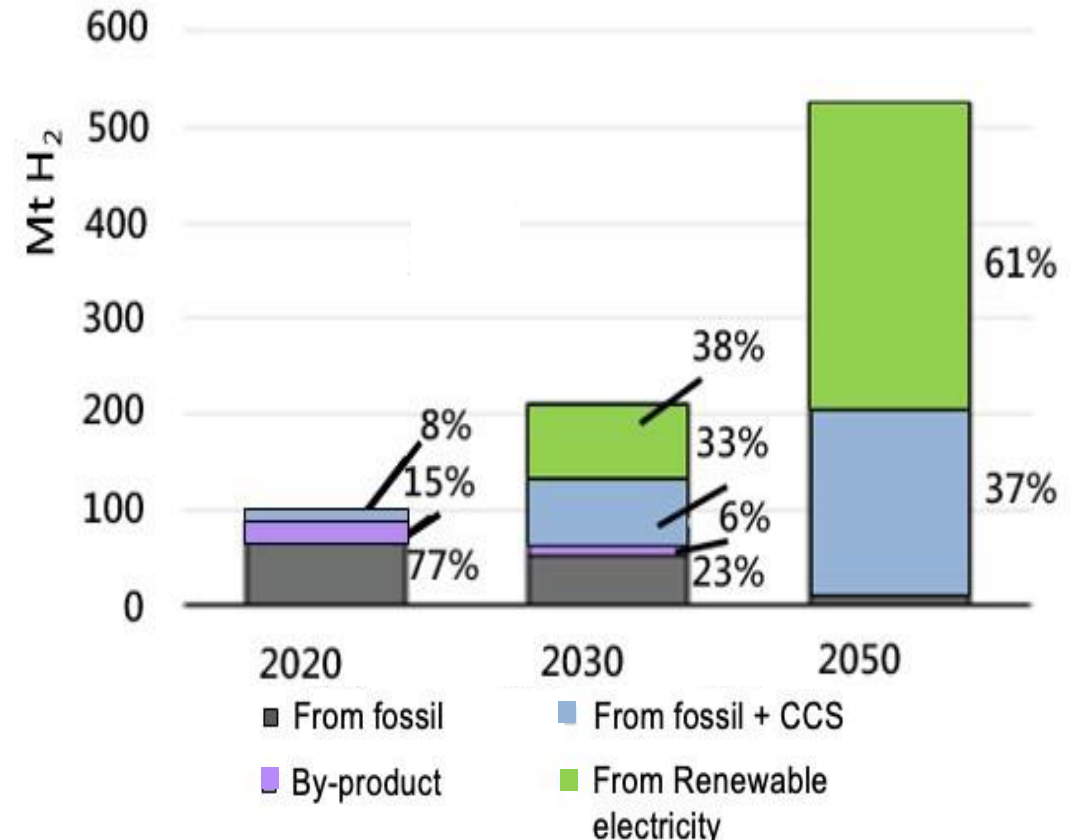
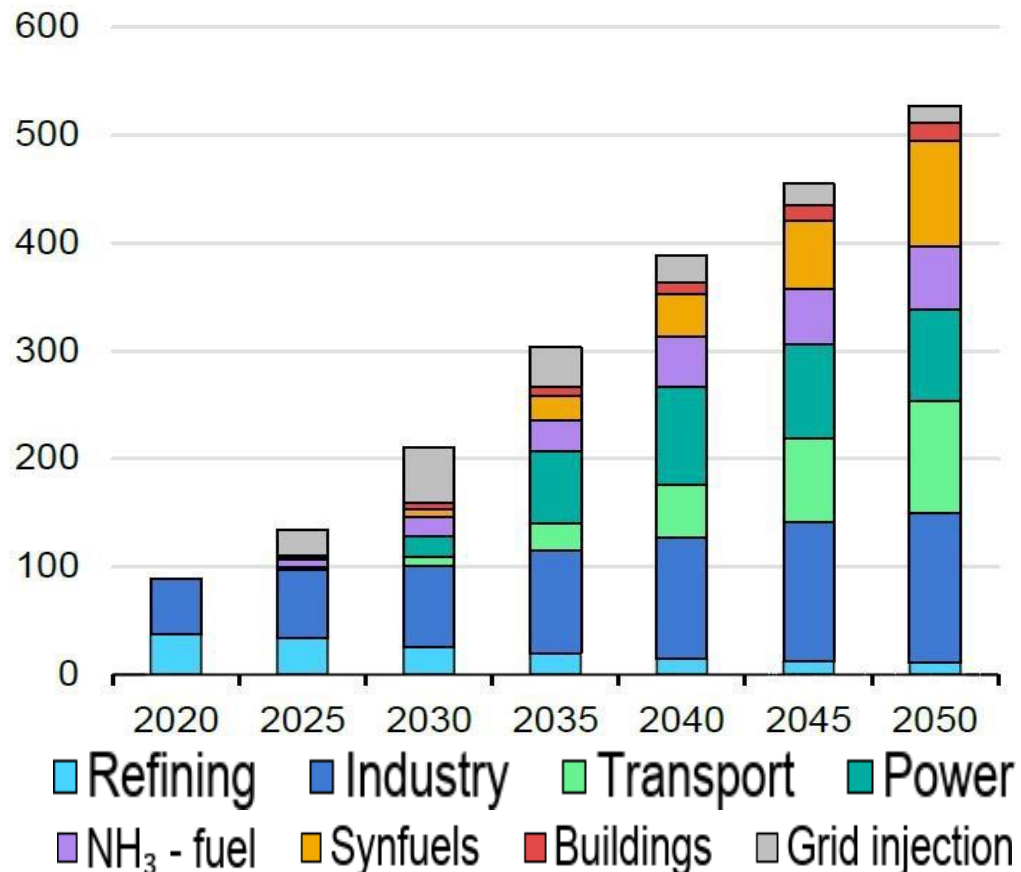
- Average spec power = 5.5 kWh/Nm³
- TPC CO₂-eq per kWh grid power = 0.502 kg
- CO₂ emission = 30.9kg CO₂/kg H₂

CO₂ intensity of H₂ production (IEA 2019)

- If electricity does not come from renewable sources, H₂ electrolysis is producing more CO₂ emission than SMR
- CO₂ emission from H₂ electrolysis is more than 6 times of SMR + CO₂ recovery
- Low Carbon Hydrogen plays an important role before the fully development of Green Hydrogen

Global Trend- H2 Application and Generation

- Hydrogen energy is an important option for countries to achieve a vision of **NZE or carbon neutrality**
- Global demand for H₂ by 2050 is estimated over **530 million tons** (IEA, 2021) [470 million tons, IEA, 2023]
- Hydrogen applications will centre at **industry (Iron / Steel / Petrochemical, etc.) , transportation, and power generation**
- The supply of green H₂ (from RE electrolysis)** is expected to increase dramatically after 2040



綠氫+CO₂: 製甲醇

- 2023年，國際海事組織設定了到**2030年實現5%~10%的零碳航運燃料**使用比例目標，同時歐盟也即將開始對船舶領域徵收碳稅。
- 在此背景下，國際各大航運公司開始考慮多種低碳替代燃料方案，其中，**綠氫制取的甲醇以成本相對較低、合成及利用技術基本成熟等優勢**，成為了現階段最具規模化應用潛力的方案之一。
- “綠氫+CO₂”技術利用工業**尾氣捕集CO₂**提供碳源、並配合綠氫合成甲醇。首先以“碳捕集”技術收集來自化工廠、燃煤電廠等尾氣中的二氧化碳；之後引入綠氫，以“二氧化碳加氫”技術實現二氧化碳與綠氫反應合成制甲醇。
- “綠氫+CO₂”技術工藝流程短、原料成分簡單，其原料配比也相對固定，每生產**1噸**甲醇約需綠氫**0.19噸**。
- 從碳排放來看，**“綠氫+CO₂”可滿足歐盟標準，但取決於其反應過程中的供熱來源等**。
- 全生命週期中，碳捕集得到的二氧化碳原料按淨零計算（此處僅限未參與過碳認證或未計算過減碳量的來源），碳排放主要來自於生產過程中化石燃料燃燒供熱等；
- 加上運輸等過程碳排後，**“綠氫+CO₂”甲醇燃料全生命週期碳排放約0.12 t~0.94 tCO₂/噸甲醇**。若採用綠電、綠氫、生物質供熱等低碳方式進行供熱，全生命週期碳排理論上可降至約**0.12 kgCO₂/kg甲醇**，滿足歐盟標準。

氨的特性

- 氫和氨可以用不同的「顏色」描述，如生產符合碳中和燃料標準的「綠氫」或「綠氨」，就是使用再生能源電解、非化石燃料製造(褐氨、灰氨、藍氨)。
- 氨比氫更具有運輸和儲存等優勢，有較佳的經濟可行性。氨在常壓下可被輕易地液化，凝結溫度僅為 -33.4°C ，與液化石油氣 (liquefied petroleum gas, LPG) 主要成分丙烷 (propane) 的凝結溫度 -42.1°C 相近，因此可使用經防腐蝕處理的液化石油氣設備來運輸液氨。
- 在常溫下，氨氣約於10大氣壓即可被液化。相比之下，氫氣的凝結溫度為 -252.8°C ，因此液氫極不易運輸和儲存，成本遠高於液氨。
- 氨是世界上大量生產的化學品之一，過去主要使用哈伯法 (Haber-Bosch process) 製造，生產時高度依賴化石燃料，其中產物80%用於化學肥料工業。哈伯法製氨需要高溫高壓環境，可藉由太陽能熱能，或是使用再生燃料的壓縮機來供給與維持，以提高整體氨轉化效率。
- 氨由於它具有無碳的化學優勢、高氫含量、低成本的儲存，以及運輸有機會與現有設備整合的強大可行性，因此以氨作為燃料展現了很大的應用潛力。
- 藉由再生能源電力空氣分離氮氣，再將綠氫和氮組合為「綠氨」。
- 催化劑讓合成氨的反應能夠在較溫和條件包括低壓和寬廣溫度範圍下進行十分重要；高效且長壽命的合成催化劑，例如鈷 (cobalt, Co) 基和鈳 (ruthenium, Ru) 基的催化劑，是目前研發的重點。

韓國及中國大陸超大型氨運輸船（VLAC）

- **韓國**造船與海洋工程公司（KSOE）與韓華海洋近日都在新興類別中收到額外訂單。韓國造船業者掌握全球約**70%**的液化天然氣運輸船（VLGC）訂單，並將利用氨在內的新技術在**超大型氨運輸船（VLAC）**的新興市場建立**領先地位**。
- ✓ KSOE於2024年報告已收到兩艘VLAC的訂單，每艘VLAC的運輸能力為**八萬八千立方公尺**。他們強調，這些船舶將能通過巴拿馬運河原來的船閘，並將採用**液化石油氣雙燃料推動發動機**建造。該訂單預計於2027年上半年交付，價值約二點三七億美元。
- **中國大陸**2023年5月「中國船舶集團」（CSSC）旗下**江南造船與中船貿易**聯合舉行與新加坡航運公司EPS簽署四艘**93,000立方米**超大型液氨運輸船（Very Large Ammonia Carrier，VLAC）建造合約儀式。該船型是目前**世界最大的液氨運輸船**，不僅是**綠氨**長途運輸的首選船型，而且可以滿載丙烷、丁烷等液化石油氣體，亦是中國大陸造船史全球最大型首筆VLAC訂單。
- ✓ 該型船**總長230.0米，型寬36.6米，型深22.5米，結構吃水13.0米**。在設計時考慮到**無水液氨較常規液化石油氣的密度大，對液艙設計作了特別加強**，同時採用獨立自主研发的新一代低阻線型，使其在滿載、壓載和不同比重的液貨裝載工況下都能有出色、均衡的性能表現。
- ✓ 目前江南造船的**VLGC**訂單累計達到52艘，在VLGC船領域全球市場佔有率達**23%**。
- ✓ 採用國際海事組織（IMO）頒佈《國際散裝液化氣規則》（IGC）中規定的**A型液貨艙**，由耐受低至**-55°C**的低溫鋼製成，液艙外板上噴塗有一定厚度的聚氨酯發泡材料作為隔熱層。

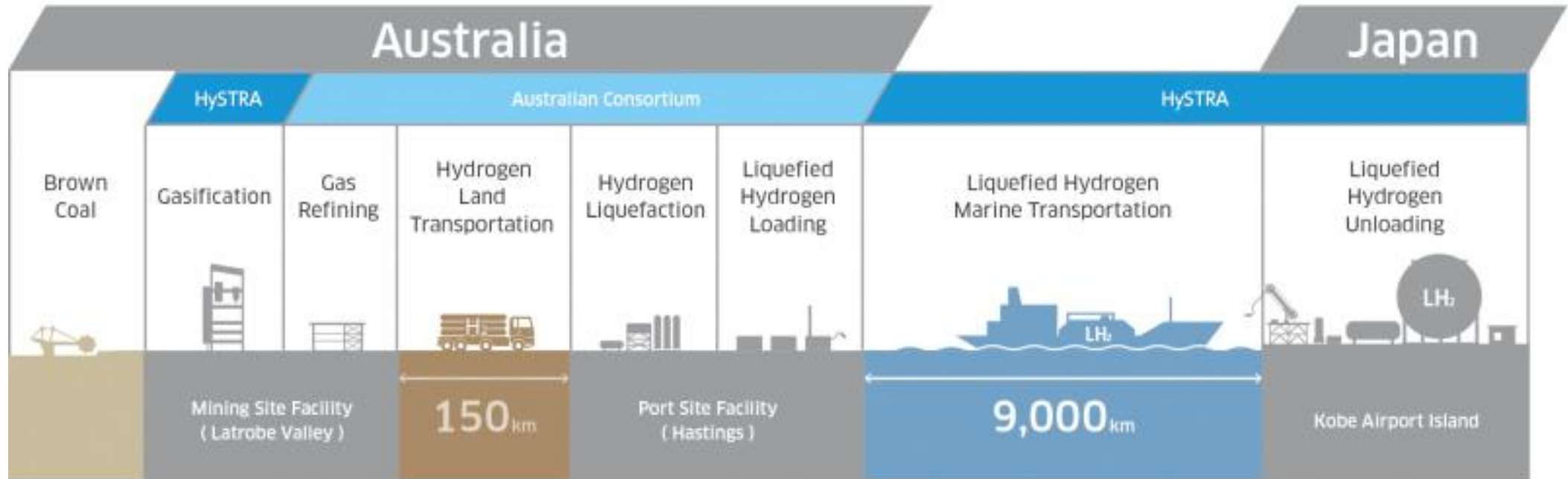
liquid Ammonia/Methanol/CO2 carrier

- Japanese shipowner Kumiai Navigation has ordered a LPG and **liquefied ammonia gas** (NH₃) carrier powered by LPG fuel from shipbuilder Kawasaki Heavy Industries (KHI) in 2022. The vessel will have a capacity of **86,700 cbm**. It has **separate** cargo tanks designed to carry **LPG and ammonia** at the same time.
- Japanese heavyweights Mitsubishi Shipbuilding Co., Ltd. and Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK Line) have secured an Approval in Principle (AiP) for their jointly developed **ammonia and liquefied CO₂** (LCO₂) carrier.
- Jiangnan Shipyard unveils **ammonia-fuelled** CO₂ carrier design in 2021. The Vessel is fitted with a **3,500 cbm** Ammonia fuel tank enabling the use of the ZERO-emission fuel.
- Orders for **methanol fuel ships** have increased this year, and there is a tendency to catch up. Using **natural gas** as fuel, **carbon emissions** can be reduced by **20%**, and using existing **gray or brown methanol**, carbon emissions can only be reduced by **8%**.



川崎重工 (Kawasaki) 發展方向

- 日澳政府共計投入5億澳幣（約103億新台幣），進行國際液化氫航運(160,000 m³)示範。2022年2月已由澳洲載回首批液化氫返日本。
- 川崎重工發展方向: 液氫卸收碼頭、大型液氫儲槽、低溫氫氣壓縮機、液化氫增壓 Pump。



The **160,000 m³** liquefied hydrogen carrier

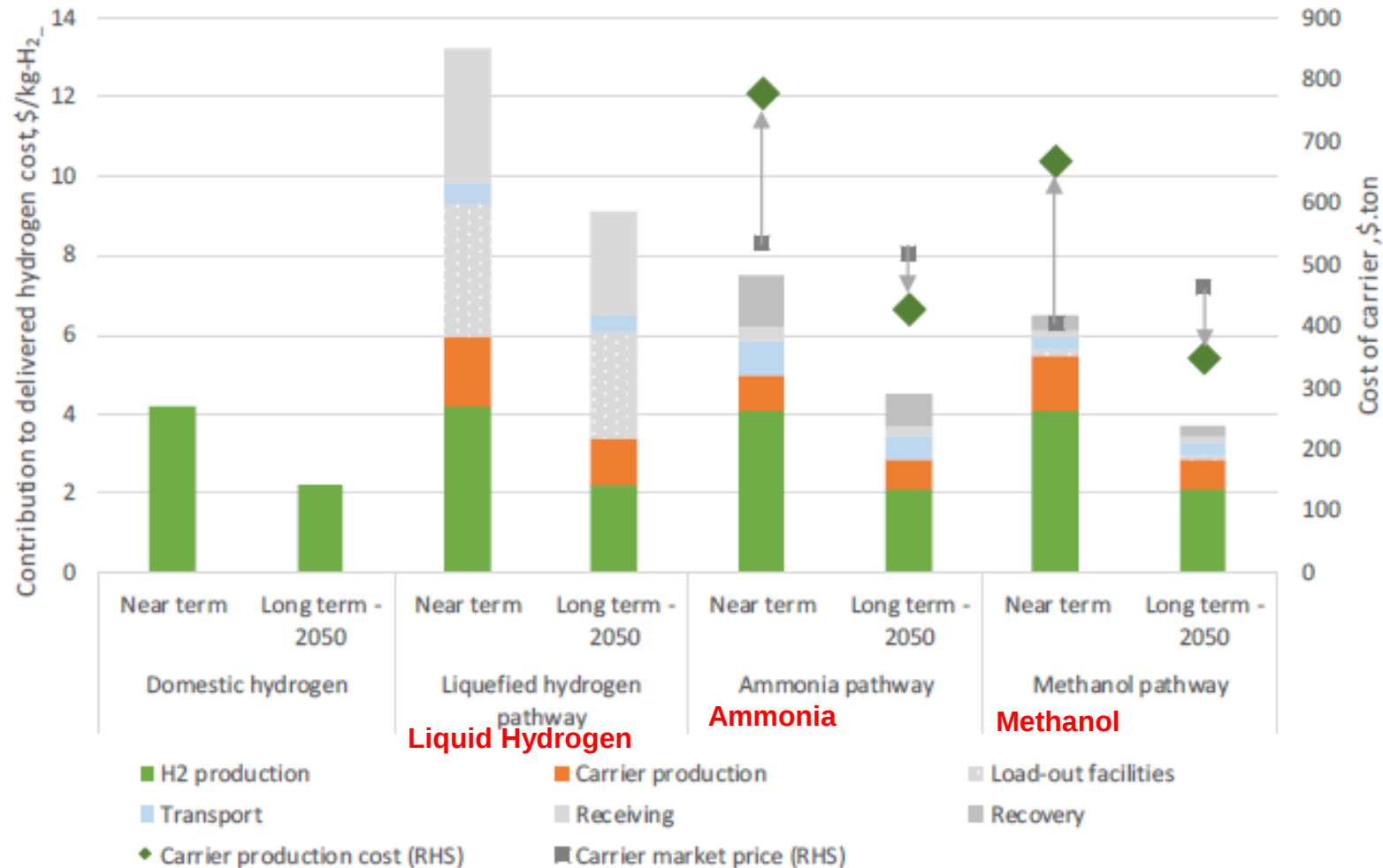
The World's first liquid hydrogen carrier

- The **Suiso Frontier**, the **world's first hydrogen carrier**, built by Japan's Kawasaki Heavy Industries, is pictured upon its arrival from Kobe, Japan at the Port of Hastings in Victoria, Australia January 20, **2022**.
- The Suiso Frontier is much like a small LNG carrier. It has gross tonnage of 7,849 tons, is 116 metres in length and 19 metres across the beam. The ship's containment system has a capacity of **1,250 cbm**. As one cubic metre of liquified hydrogen weighs 70kg, it can carry **87.5 tons of hydrogen fully laden**.
- The liquefaction plant uses the same technology employed in the LNG sector to **cool the hydrogen to - 253°C** (substantially colder than **LNG's - 162°C**), which reduces it to one eight-hundredth of its original volume.
- The liquid hydrogen** is held in storage tanks made by KHI, which also built the tanks used to store hydrogen rocket fuel at the Japan Aerospace Exploration Agency.



Forecast cost of delivered green hydrogen in Japan

Figure 1-6 – Forecast cost of delivered green hydrogen in Japan



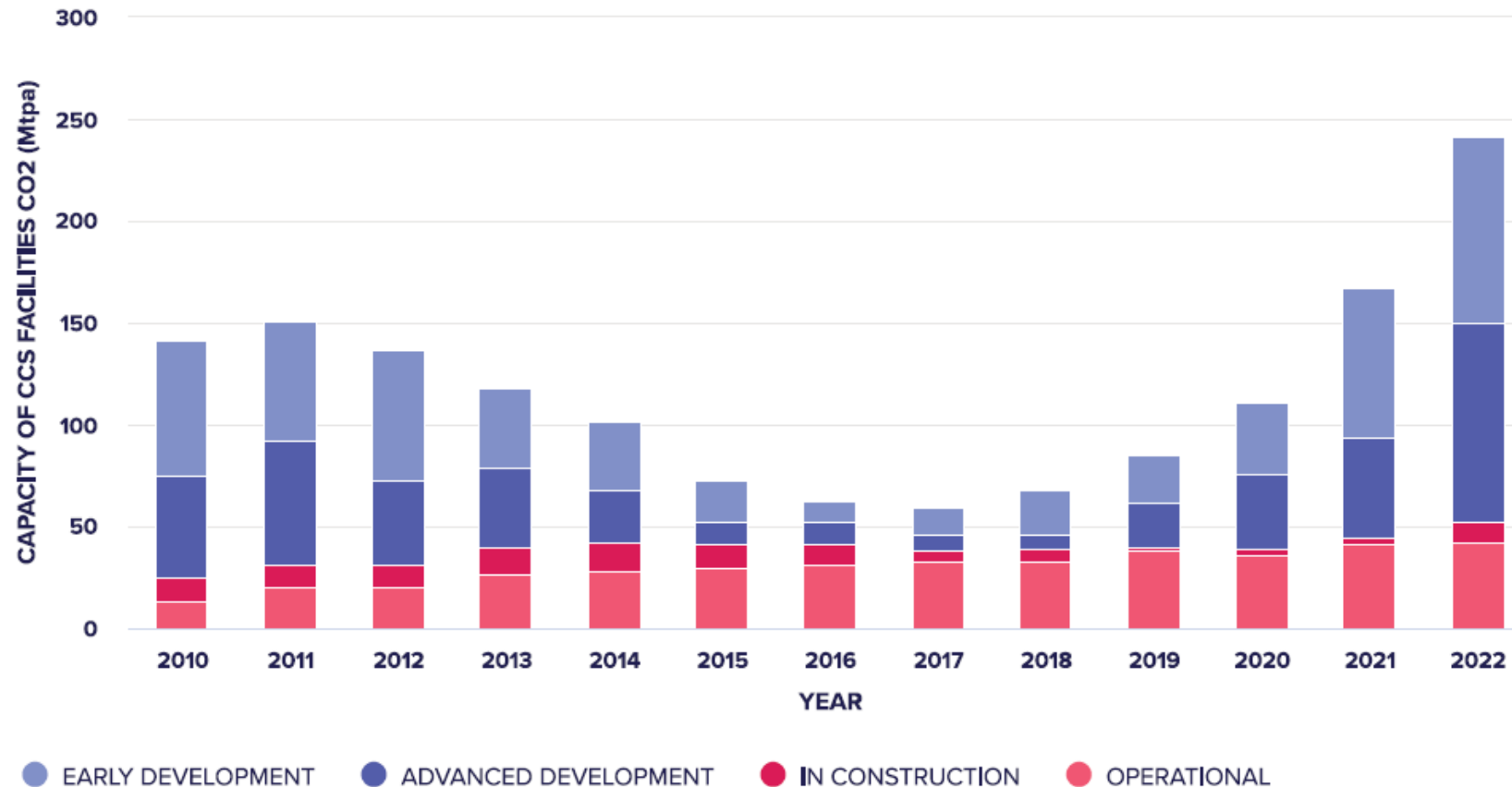
From Report: Australian hydrogen market study - Sector analysis summary (24 May 2021)

By: Advisian Pty Ltd. (Advisian) for the Clean Energy Finance Corporation

Renewable energy cost is 25 AUD/MWh (approx. 0.5 NTD/kWh) to 40 AUD/MWh (approx. 0.8 NTD/kWh) in the report

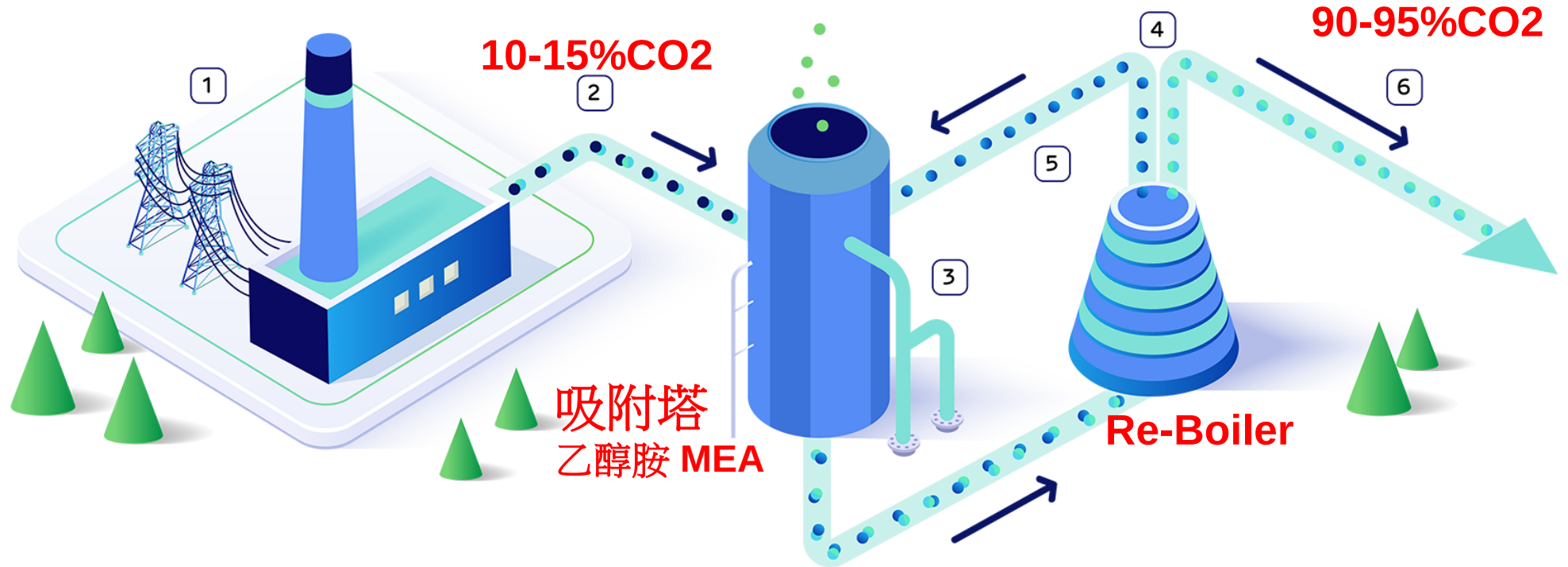
CCS projects from 2010 until Sep. 2022

- The increase in the capacity of CCS projects from 2010 until September 2022.



Drax Power Station的 CC設施

How carbon is captured from an emissions source



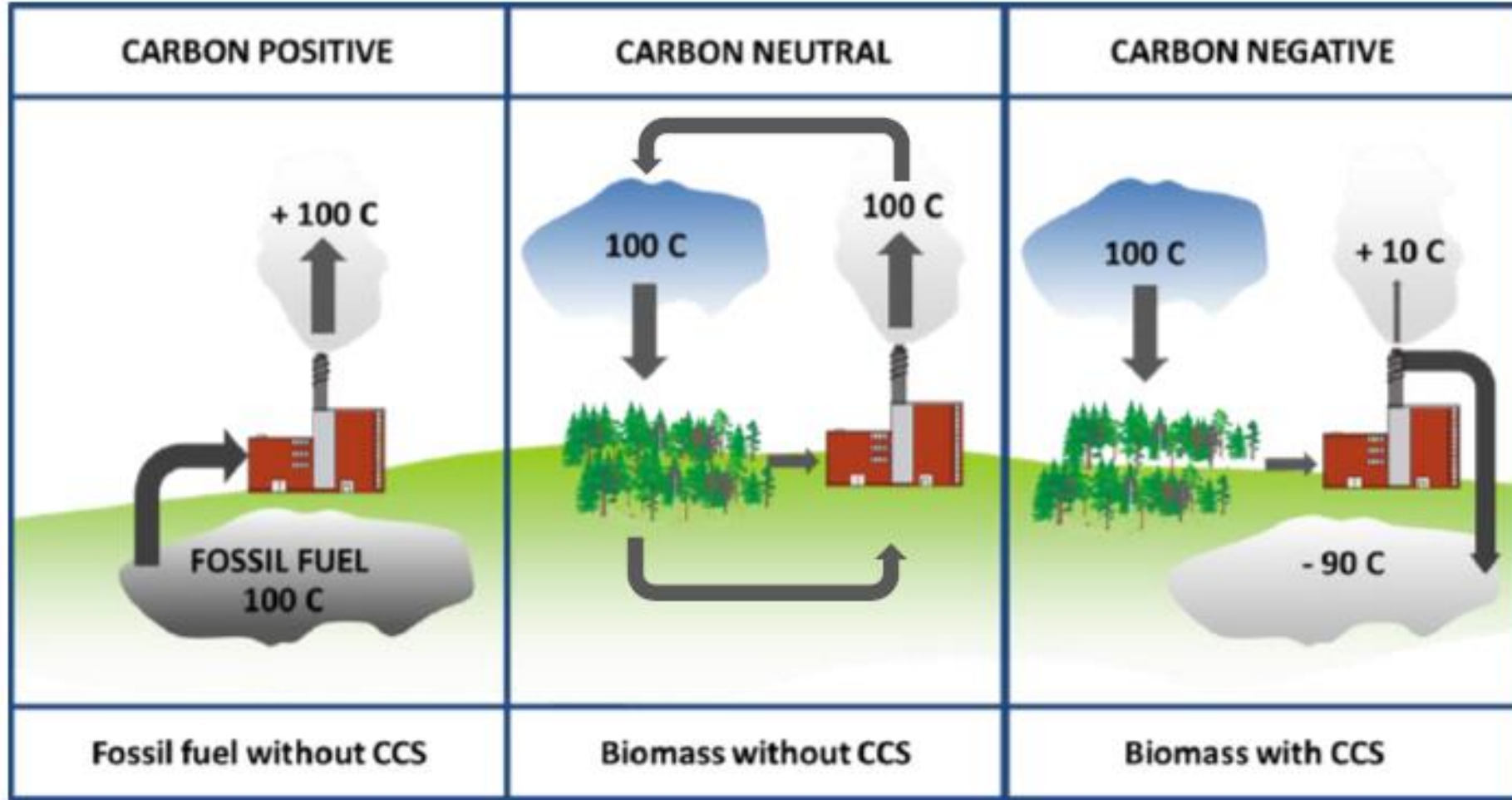
KEY

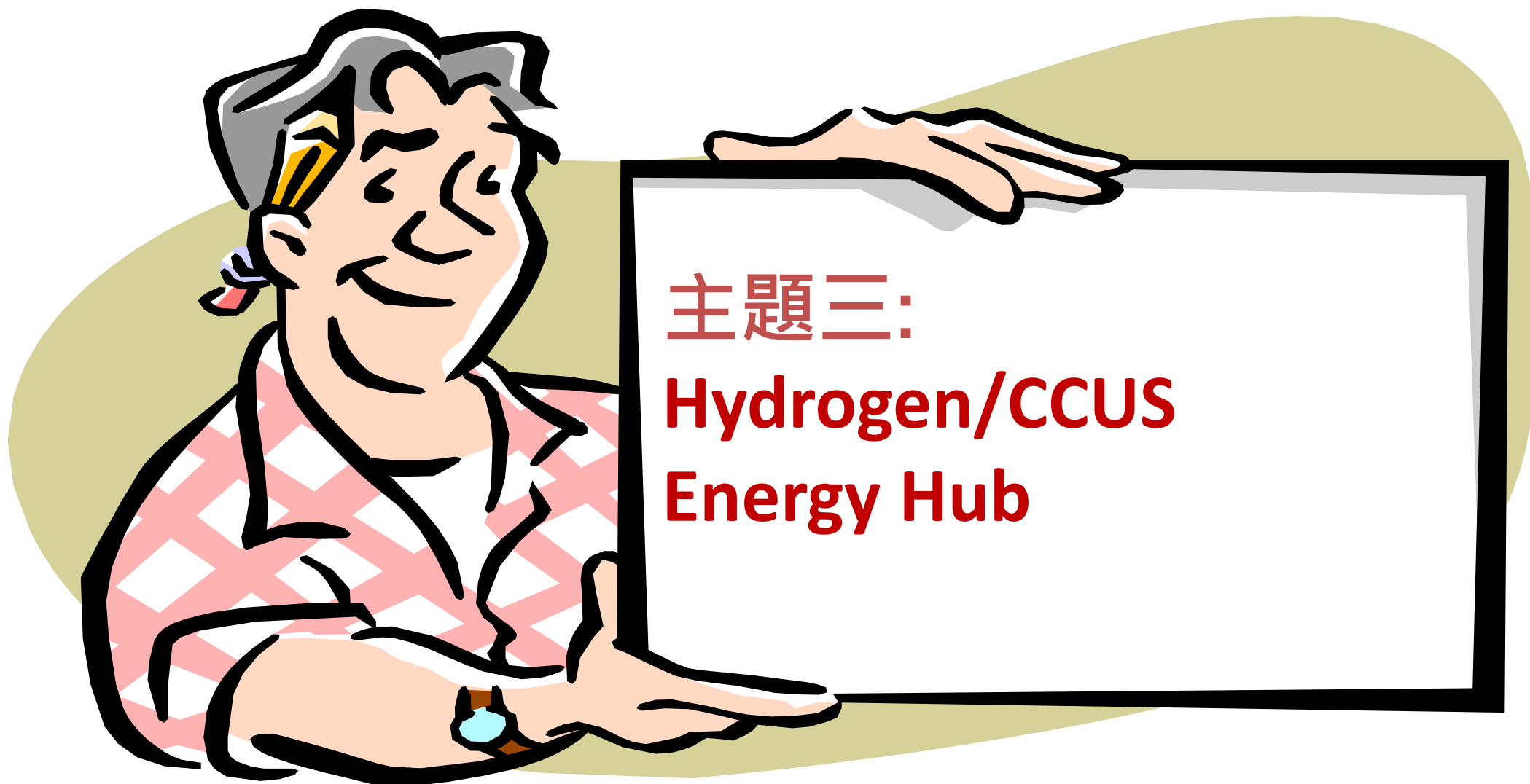
- Flue gasses
- Solvent
- CO₂

- 1 Flue gas containing CO₂ leaves the power production process
- 2 The flue gas is cooled and treated before entering an absorption tower
- 3 Inside the absorption tower, a chemical reaction takes place which extracts CO₂ from the flue gas. CO₂ depleted flue gas is released to the atmosphere
- 4 The solvent containing the CO₂ is heated in a re-boiler, which reverses the chemical reaction separating the CO₂ from the solvent
- 5 The solvent is then re-circulated back into the carbon capture system
- 6 The now pure stream of CO₂ is transported via pipeline for permanent storage under the southern North Sea

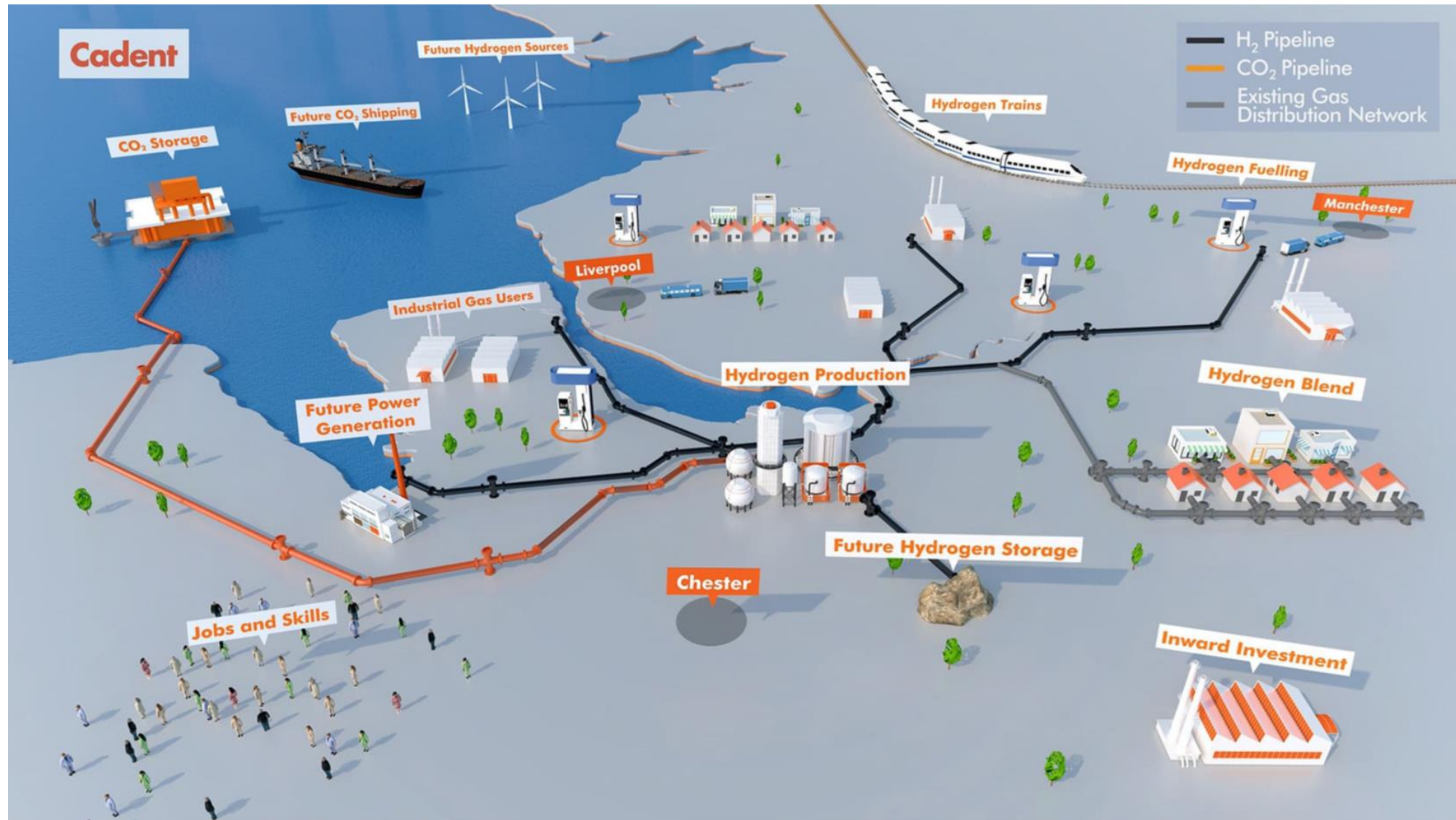
台電公司規畫之商業捕碳設施

Bio-CCS → negative CO₂ emissions





Liverpool: The HyNet project



Liverpool: The HyNet project

Protect local industry and create a new hydrogen industry, cost-effectively.

Step 1

CCS decarbonizes and protects existing industry

Step 2

Blue hydrogen uses CCS infrastructure

Step 3

Hydrogen **attracts new industry**

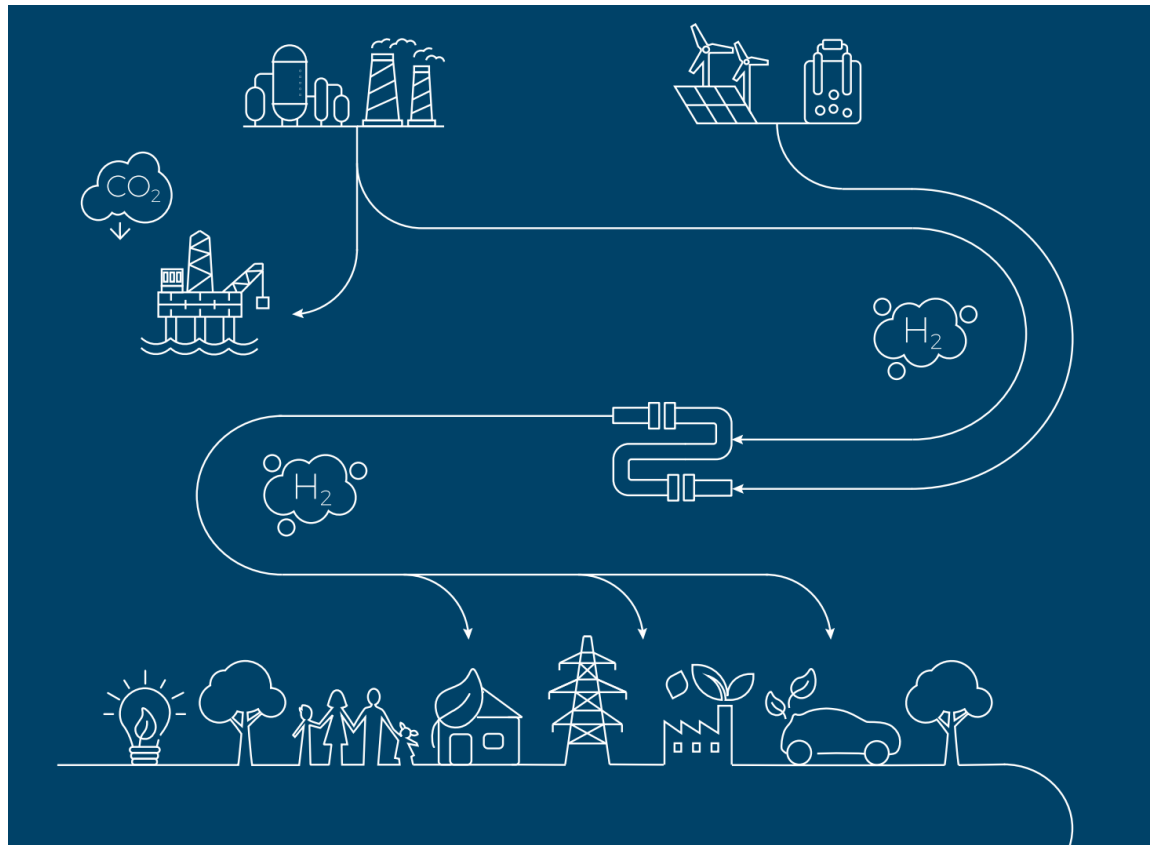
Step 4

Green hydrogen has a new market

HyNet North West

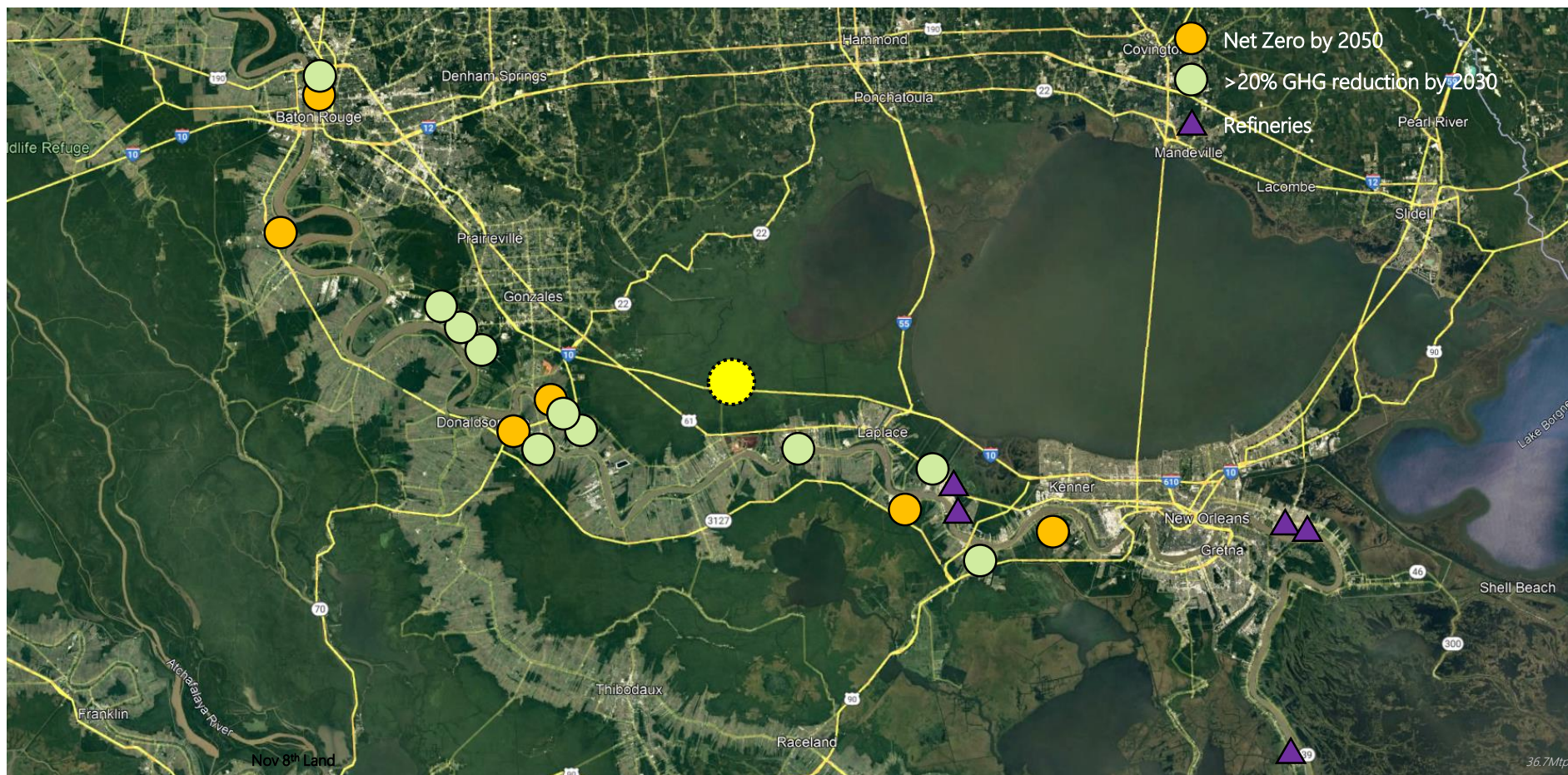
What are the different types of hydrogen?

Low-carbon hydrogen is generally described as either 'green' or 'blue'. HyNet will initially be based on blue hydrogen due to its far lower cost, but will subsequently accept green hydrogen into the network as costs fall.



USA Louisiana: Cancer alley

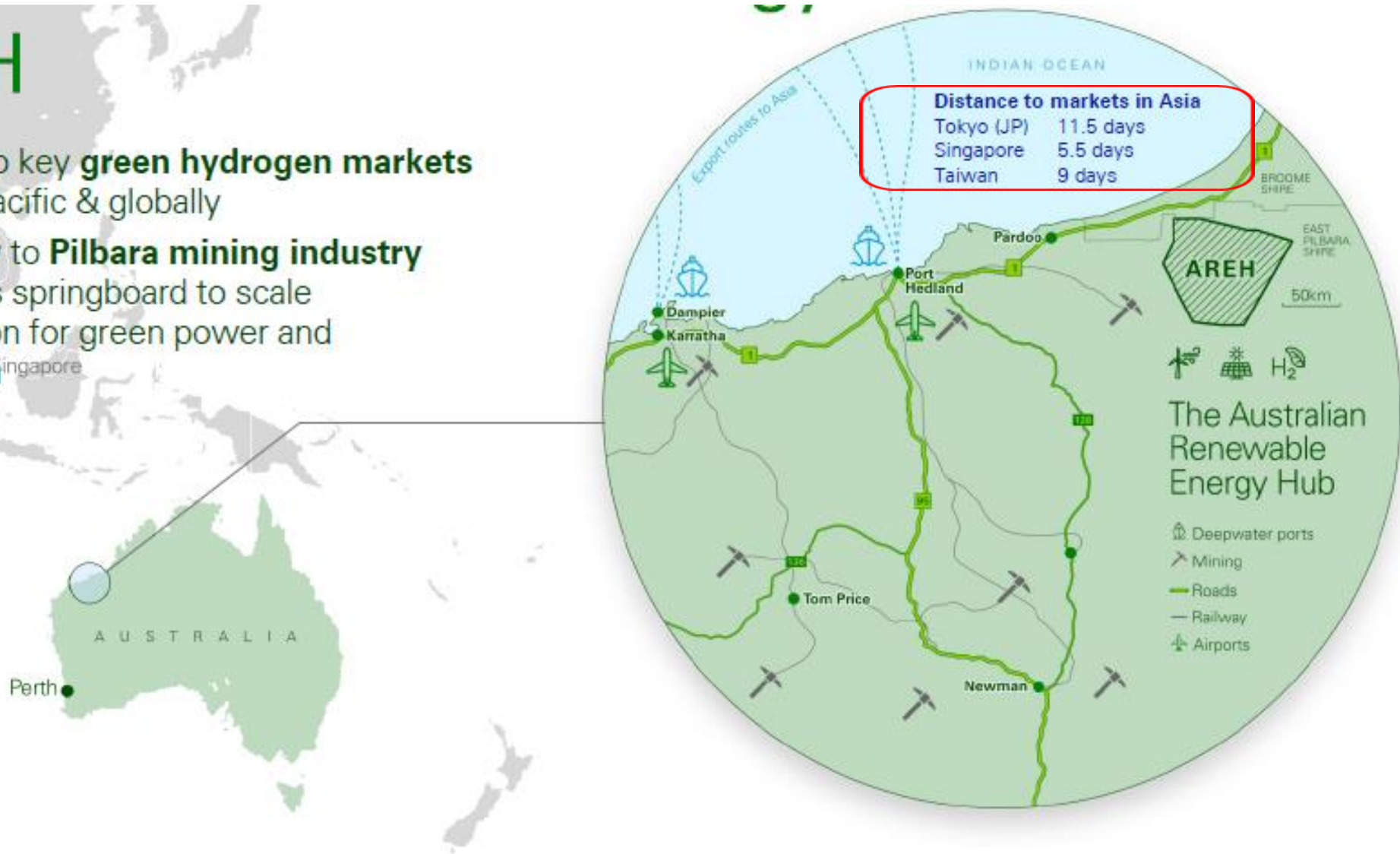
Historic industrial area with political will for the energy transition.



Australian Renewable Energy Hub

AREH

- Access to key **green hydrogen** markets in Asia Pacific & globally
- Proximity to **Pilbara mining industry** serves as springboard to scale production for green power and hydrogen





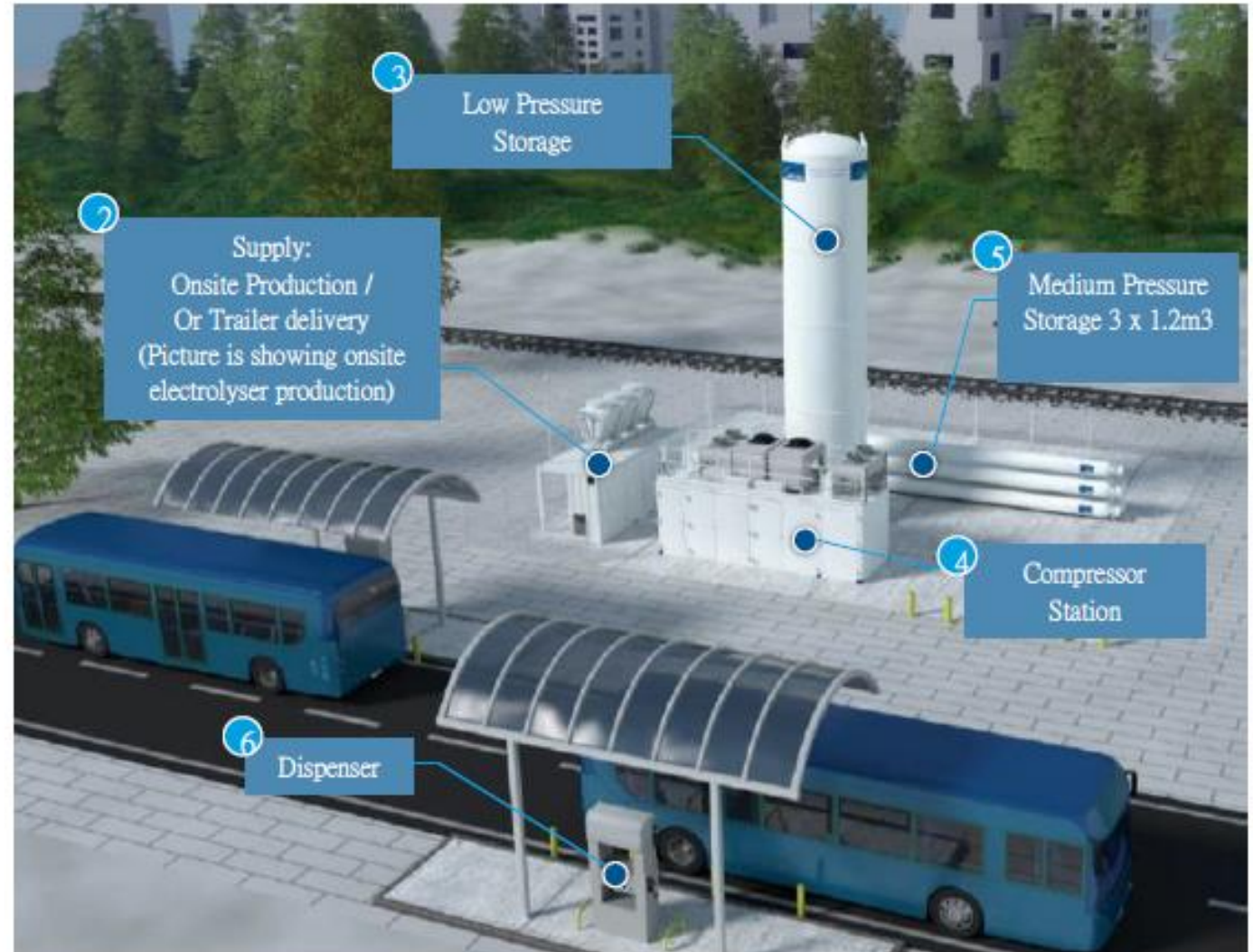
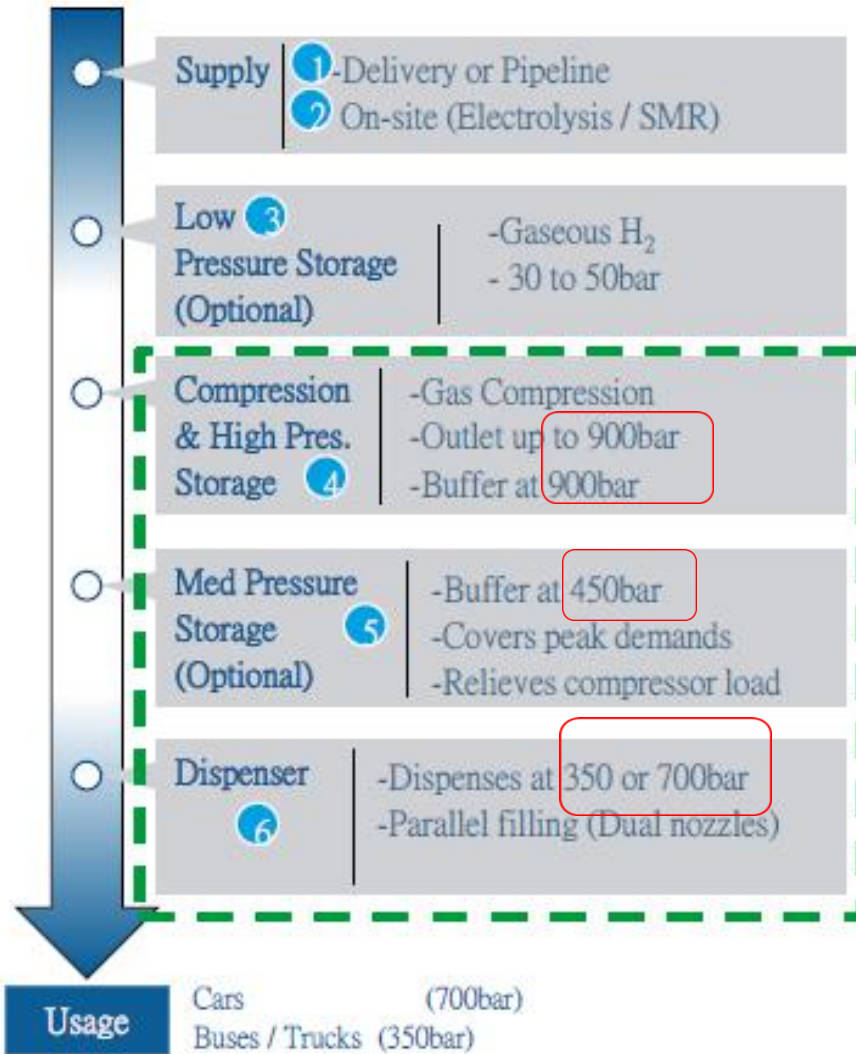
主題四：
台灣產業推動負碳技術
發展概況

中油公司氫能發展

- 中油目前已具備製造**灰氫技術**，採取「**先藍後綠**」發展策略，逐漸降低製氫產生的碳排；中油正評估小型製氫工廠，搭配二氧化碳封存計畫，以**天然氣為進料，透過重組製程產製藍氫**。
- 國際氫能技術發展，主要有**3大**供應方式，分別為**液氫**、**液氨**和**MCH（甲基環己烷）**。
- 規劃引進**可移動式加氫站**，在基礎建設和輸儲設備等供應鏈上須克服低溫運送等技術挑戰。
- 台灣中油已完成**加氫示範站**建置評估，在**2024**年於高雄引進國內首座可移動式加氫站設備，其佔地面積小，每日的供氫量為至少**60 公斤**，約可服務兩臺大型巴士或十輛乘用車，未來可配合政府氫能運具示範運行。
- 氫能發展有**3大挑戰**，包含**氫能專法**、**合適土地**、**社會溝通**等層面，但也是能源轉型必經之路。

Components of a Hydrogen Refueling Station

(1)/(2)/(3) are options of H₂ supply. For example, HRS can be supplied with (1) only. Or it can be supply with (2) + (3). The supply option is depending on H₂ consumption and station location



台肥公司氨能發展

- 台肥公司近日正式將企業總部遷至全新落成的A級商辦「TFC南港經貿大樓」，藉著喬遷之喜、新氣象，宣示打造「**氨能**」**事業體**的決心，要用台肥昔日的製肥原料「液氨」跨入乾淨能源產業。
- 「氨能」是計畫配合政府「淨零」政策，在**燃煤火力發電的過程中加入氨混燒**，以減少燃煤用量、降低碳排放。
- 台肥**2023年6月**自沙烏地阿拉伯**SABIC AN**公司進口全台第一批低碳氨，是所謂的「**藍氨**」，也就是在液氨製程中針對二氧化碳進行回收、封存與再利用，讓碳排大幅降低。
- 未來除了藍氨，台肥也考慮擴大引進「**綠氨**」，亦即以綠色能源生產的液氨。伴隨儲運需求加大，台肥配合政府政策預計投入**30億元**，多興建**2座**液氨儲槽。
- 台肥在台中港目前擁有液氨儲槽二座，規劃作為**藍氨儲槽**，總容量達**4萬公噸**。另規劃新建二座儲槽，已經通過環差、環評，完工後作為**綠氨儲槽**，總容量將達**8萬公噸**。

鋼化聯產發展

- 中鋼聯合周邊石化產業，打造「鋼化聯產」實驗先導線，將鍊鋼產生的一氧化碳、二氧化碳，直接送進化工廠，進而製造化學品，跨業合作，不儘達到減碳效果，還可以創造經濟產值。
- 鋼化聯產碳循環計畫的首部曲，該項計畫分為 3 個階段：
 - **第一階段**是建立先導產線，將煉鋼的副產燃氣轉換為化學品，預計於 2023 年之前達成年減碳量 4,900 噸；
 - **第二階段**是建立示範工場，中鋼將再投入 10 億元，與臨海工業區當地的石化業夥伴合作，包括中油、大連、長春、聯成化科等，將先導工場所產出的甲醇及甲烷，再製為 EVA 等樹脂材料；
 - **第三階段**則是正式商轉量產；以一、二階段成果為基礎，配合新材料循環產業園區的建置，讓鋼化聯產的碳循環具備商業規模，預估每年可減碳 290 萬噸，相當於 7,450 座大安森林公園的二氧化碳吸納量。

台電混氫發電示範廠

台電與西門子能源公司簽署「混氫技術合作備忘錄 (MOU) 」率先啟動混氫發電技術合作，後續將落實打造零碳能源系統，同時提升能源系統韌性，目標2025年達成興達電廠氣渦輪機混氫5%發電示範，2040年達到混氫20%發電。

供給面	電網面	需求面
短期透過能源轉型逐步降低碳排 長期導入前瞻技術達成排放歸零	配合再生能源大量併網 投入各項電網轉型工程	透過需求面管理措施 減緩用電需求與平抑負載變動
結構調整:擴大展綠以氣代煤	脫碳化:加強電力網工程、 友善併網措施	節約能源:創新節電方案、能源技術服務、數位智慧服務
燃料替代: 以氫混煤、以氫混氣、以氫代氣	智慧化 :大量布建AMI、智慧電網、分散式電網	需量反應 :抑低尖峰負載、拉高離峰負載、轉移系統負載
固碳技術:碳捕集封存再利用	儲能化:輔助服務採購、電力交易平台、 新建抽蓄水力、綠電製氫	

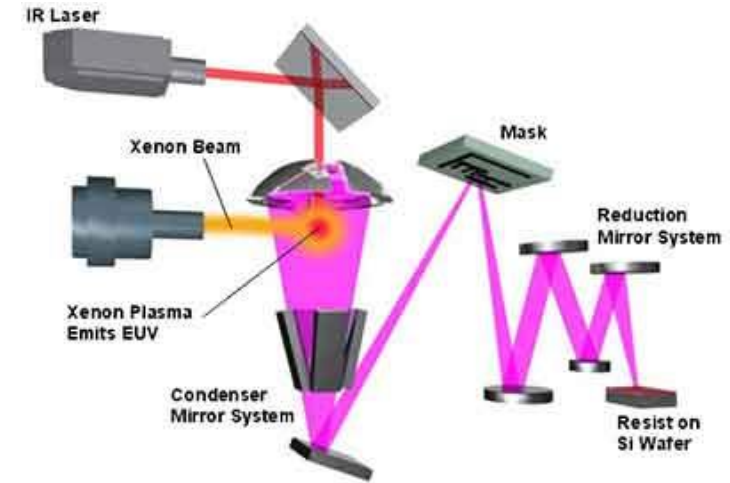
台電減碳行動計畫			
方法	運用	機型	內容
混氫	興達電廠	燃氣複循環	95%天然氣+ 5%氫氣混燒降低碳排
混氫	林口電廠	燃煤機組	年底推出示範計畫
碳捕捉	台中電廠	燃煤機組	捕捉發電產生二氧化碳後加工供產業使用



資料來源：<https://e-info.org.tw/node/233941?msclkid=ce0b3dbfd0c711ecb1a6dc0059fe9734>

TSMC Hydrogen Consumption in EUV Process

- TSMC, the leading wafer foundry, takes the lead in the global industry. It has become the first semiconductor factory to **adopt the extreme ultraviolet (EUV) lithography process** in the 7nm and 5nm processes, surpassing Intel and Samsung. During the EUV mirror manufacturing process, **hydrogen gas** is needed to assist in the **cleaning of impurities generated during the process**.
- EUV light is generated by bombarding liquid tin with 50,000 laser beams per second. During the process, the tin is vaporized and easily deposited on the EUV mirror to cause fogging, which affects the manufacturing process. Hydrogen is therefore injected, **combines with tin to form gaseous tin hydride**, and is then pumped out of the cavity.
- As TSMC enters the **2-3nm process**, the demand for hydrogen will increase from **15,000 tons/year** to **25,000-30,000 tons/year**, and the purity of hydrogen will also increase from **6N (99.9999%)** to **9N (99.9999999%)**.



未來目標:

- ✓ 採取「**藍氫**」
- ✓ **回收製程廢氫**



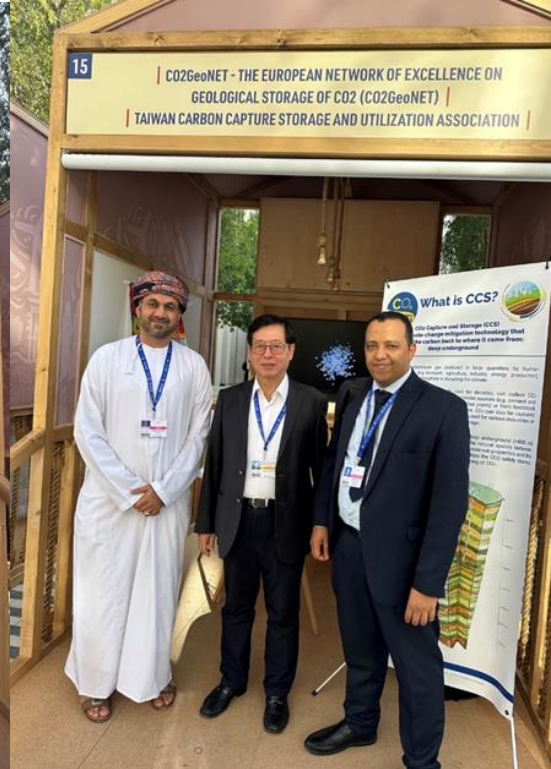
協會會員二氧化碳捕獲及再利用

- **台電**於2023年通過在**台中發電廠**設置二氧化碳封存試驗場址，碳封存試驗期程為15年，每年灌注約**2000公噸**，**總灌注量為3萬公噸**；主要來源為電廠內碳技術園區所捕捉的二氧化碳。
- **台灣中油**於2023年在**苗栗通霄鐵砧山**地區啟動的碳封存試驗，苗栗鐵砧山預計花費10個月時間完成地面灌注設施工程後，開始為期3年，共**30萬噸**的二氧化碳封存量。
- **台泥**2024年日宣布，與**德國**thyssenkrupp Polysius（簡稱**tkPOL**）簽訂碳捕獲項目合作意向書（MOU），將以花蓮和平廠一號窯做為碳捕獲技術場域，共同開發**第三代純氧燃燒製程與技術**，透過水泥煅燒過程加入純氧，使製程中捕獲的**二氧化碳濃度提升至90%以上**。目標於2030年前掌握商轉核心技術，二氧化碳捕獲量達**每年10萬噸**。除提供工業焊接、化工業、食品加工等跨產業服務外，配合政府政策評估進行封存及碳權可行性。
- **冷研科技**提供電子、醫療、工業等相關客戶所需之高純度氣體，並將產品延伸至民生應用及二氧化碳應用解決方案。



臺灣碳補存再利用協會2023年國際交流活動

- 與RITE簽署合作備忘錄:原簽訂五年已在2022年到期，持續建立合作管道2023年4月赴日本簽訂持續合作
- 2023年8月拜訪美國Illinois ICCS (The Industrial Carbon Capture and Storage) 計畫
- 2023年12月參加UNFCCC COP 28大會，並於會場與CO2GeoNet合辦展攤





臺灣碳補存再利用協會2024年活動規畫

■ 參與法制研商

- － 推動氣候變遷因應法明列鼓勵負碳技術
- － CCS抵換專案方法學建置

■ CNS標準研擬

- － 編擬二氧化碳捕集系統、技術和製程國家標準

■ 加強民眾溝通

- － 協助推動民眾溝通與宣導(能源局)
- － 規畫邀請關鍵代表訪問日本苫小牧

■ 參與國際合作活動

- － CO₂GeoNet及JCCS活動，建立長期合作管道
- － CCS場址參訪
- － 參加UNFCCC COP 29大會，並於會場展攤

Thanks for your attention!



壓電式燃料
電池雙電池組



PEM Fuel Cell
Forklift