

出國報告（出國類別：洽公）

JP-TPC 碳中和技術交流委員會 暨與日本 IHI、MHI 及住友公司 技術交流

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：

鄭慶鴻	胡克鴻	徐豪傑	吳政宏	李泰成	林忠憲	林邦駿	余書銘
總經理/副 總經理室	開發處	企劃處	環保處	綜研所	興達電廠	開發處	開發處
副總	處長	副處長	副處長	研究專員	主辦	主管	專員

派赴國家/地區：日本

出國期間：113 年 5 月 26 日至 113 年 5 月 31 日

報告日期：113 年 7 月 15 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：JP-TPC 碳中和技術交流委員會暨與日本 IHI、MHI 及住友公司技術交流

頁數 28 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

鄭慶鴻/台灣電力公司/副總經理室/副總經理/(02)2366-6265

胡克鴻/台灣電力公司/電源開發處/處長/(02)2366-6850

徐豪傑/台灣電力公司/企劃處/副處長/(02)2366-6442

吳政宏/台灣電力公司/環境保護處/副處長/(02)2366-7202

李泰成/台灣電力公司/綜合研究所/資深研究專員/(02)8078-2453

林忠憲/台灣電力公司/興達發電廠/主辦/((07)6912811#3692

林邦駿/台灣電力公司/電源開發處/課長/(02)2366-6214

余書銘/台灣電力公司/電源開發處/專員/(02)2366-7637

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113 年 5 月 26 日至 113 年 5 月 31 日

派赴國家/地區：日本

報告日期：113 年 7 月 15 日

關鍵詞：淨零排放(Net-Zero Emissions)、氫(Hydrogen)、氨(Ammonia)

內容摘要：

為了往 2050 年淨零排放目標邁進，台電公司持續學習及導入新興能源技術，於 2021 年與日本 J-POWER 公司簽署合作備忘錄約定雙方定期進行碳中和科技交流，2022 及 2024 年分別與三菱重工、IHI 及住友商事簽署技術合作備忘錄規劃於燃煤機組合作推動混氨示範計畫。

今(113)年由台電公司前往日本拜訪 J-POWER 公司進行碳中和技術交流分享，另一併拜訪三菱重工、IHI 及住友商事進行淨零技術交流，以瞭解國際減碳技術發展現況及未來展望。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

壹、 出國目的.....	5
貳、 出國行程.....	6
參、 技術交流紀要.....	7
一、 JP-TPC 碳中和科技倡議委員會(CTIC)第 3 次會議.....	8
二、 株式會社 IHI 及住友商事株式會社之氫氨議題交流	17
三、 三菱重工業株式會社之製氫及應用技術.....	23
肆、 心得及建議.....	27

圖目錄

圖 1：能源轉型議題三大面向.....	7
圖 2：參訪 J-POWER 總管理大樓.....	8
圖 3：J Blue Concrete 成分.....	9
圖 4：J Blue Concrete 置於水深處大型海藻生長情況.....	9
圖 5：J Blue Concrete 消波塊表面形狀.....	10
圖 6：Osaki CoolGen 計畫的三個階段.....	10
圖 7：第一階段 IGCC 程序.....	11
圖 8：第二階段 IGCC 增設二氧化碳捕捉程序.....	12
圖 9：第三階段 IGFC 程序.....	13
圖 10：氣渦輪機燃燒高濃度氫氣之驗證.....	14
圖 11：氣渦輪機燃燒氫氣對於氫氣濃度波動之驗證.....	15
圖 12：DAC 的基本流程.....	15
圖 13：日本神奈川和加拿大魁北克的 DAC 裝置.....	16
圖 14：DAC 與工業排氣的二氧化碳捕捉之比較.....	16
圖 15：參訪 IHI 相生工廠.....	17
圖 16：燃燒器模型.....	17
圖 17：100%燃氫氣渦輪機.....	18
圖 18：合成甲烷模組.....	18
圖 19：日本中部圈產業氫能轉型概念圖.....	20
圖 20：參訪住友商事中部支社及 TOYOTA 本社.....	21
圖 21：廢氫回收罐.....	21
圖 22：TOYOTA 氫能燃料電池導入分散式電網概念.....	22
圖 23：參訪 MHI 高砂工廠.....	23
圖 24：高砂工廠氫能源區配置圖.....	23
圖 25：三種型式的氣渦輪機燃氫燃燒器.....	24
圖 26：固態氧化物電解槽(SOEC).....	25
圖 27：甲烷裂解法.....	26

表目錄

表格 1：出國行程表.....	6
表格 2：第一階段 IGCC 測試目標及成果	11
表格 3：第二階段測試目標及成果.....	13
表格 4：第三階段測試目標及成果.....	14
表格 5：吹氧 IGCC 系統實際應用二氧化碳捕捉之驗證	14

壹、出國目的

我國已宣布於 2050 年達成淨零排放，台電公司責無旁貸，積極關注國外減碳技術發展，並與國際廠家簽署技術合作備忘錄，希望能將相關技術導入電廠推動減碳以達成淨零目標，

本公司與 J-POWER 公司於 2021 年 12 月 16 日簽署 MOU 成立《碳中和科技倡議委員會(CTIC)》，雙方定期召開研討會分享導入碳中和科技的成果，希望透過持續性的技術交流分享電力公司如何導入減碳技術。迄今已辦理 2 次會議分享雙方減碳成果，按雙方簽署 MOU 之共識，2024 年由 J-POWER 公司於日本東京舉辦第 3 次委員會議，本次將由台電公司組團前往日本出席會議。

本公司、株式會社 IHI 及住友商事株式會社於 2024 年簽署混氫技術合作 MOU，三方一起規劃 2030 年前於大林電廠燃煤機組進行 5%以上混氫燃燒示範計畫。株式會社 IHI 為日本開發燃煤機組混氫燃燒技術之先驅，並已與日本 JERA 公司合作 2024 年於碧南電廠的 4 號燃煤機組進行 20%混氫燃燒試驗，為全世界於火力電廠商用機組燃燒氫氣的首例。住友商事株式會社為日本五大商社之一，旗下有多種投資事業，亦包含氫/氨供應鏈、氫/氨生產技術的投資。因燃氫為燃煤電廠轉型的潛力技術之一，本次應對方邀請，將一同拜訪前述 2 間公司交流燃煤機組混氫實績以及氫氨供應鏈技術發展。

三菱重工業株式會社為全球重要機械製造商，亦為燃氣複循環機組的國際製造大廠，為日本發展火力機組燃氫技術的重要廠家，我國苗栗通霄電廠一期更新改建計畫採用的便是其所製造的 M501J 型燃氣複循環機組。旗下高砂工廠採用商用型火力機組進行混氫燃燒示範計畫，並宣稱廠內已具備成熟的製氫及應用能力，邀請台電現場參觀其開發的新興減碳科技，故本次將一併前往高砂工廠進行氫能相關技術交流。

貳、出國行程

本次出國計畫共 6 天(含交通時間)，出國地點包含日本姬路、東京及名古屋，姬路鄰近有 IHI 相生工廠及 MHI 高砂工廠，東京有 J-POWER 總管理大樓，名古屋有住友商事中部支社及 TOYOTA 本社，行程如表格 1：

表格 1：出國行程表

日期	地點	機構	主題
5/26	去程		
5/27	姬路	IHI 相生工廠	燃煤機組混氫技術發展
5/28		MHI 高砂工廠	氣渦輪機混氫技術發展
5/29	東京	J-POWER 總管理大樓	「碳中和科技倡議委員會」第 3 次會議
5/30	名古屋	住友商事 中部支社	國際氫氨供應鏈發展
		TOYOTA 本社	氫能運用端及系統整合之規劃
5/31	回程		

參、技術交流紀要

本次出國洽公係起因於台電公司為推動電力產業淨零轉型，已陸續與日本火力機組廠家及電力產業簽署技術合作備忘錄，雙方共同合作於我國電廠推動火力機組混燒示範計畫及交流台日能源轉型方向，台電想請教日方的轉型議題(圖 1)可分為三大面向，分別為：(1)技術可行性、(2)佈局與策略及(3)減碳技術的空污排放、廢棄物去化等環保議題。

向日本企業取經的三大面向

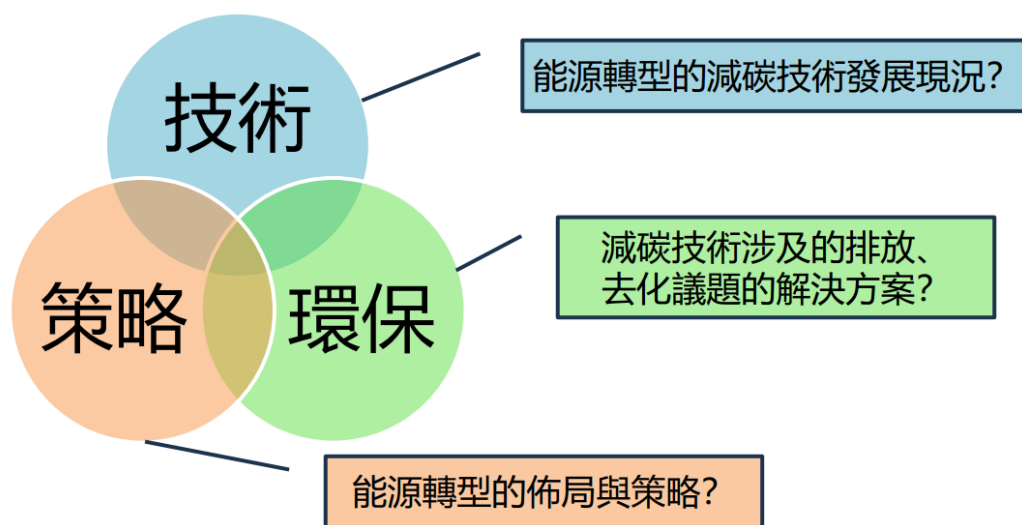


圖 1：能源轉型議題三大面向

日本內閣會議於 2024 年 2 月 13 日批准《氫能社會推動法案》及《CCS 業務法案》並已提交國會，積極推動本土產業導入減碳技術的補貼措施，本次拜訪的日商，包含設備商、貿易業、製造業及電力產業。

日本宣稱 2050 年達成碳中和，2050 年乍看尚有時間可以逐步達成其目標，惟其本土產業均已受到衝擊：火力機組廠家需要投入減碳技術的開發，尤其是燃煤機組如無法搭配減碳工具則將面臨無法運轉的困境；貿易商積極投入國際氫氨供應鏈的建置，惟恐無法及時切入未來新能源市場；製造業需要考量在產品製程中節約能源及降低碳排放。

雙方同為島國，地理位置鄰近且氣候及地理環境相似，能源轉型需要克服的困難亦類似，故藉由持續性的技術交流可以借鑑彼此適合的淨零路徑。

一、 JP-TPC 碳中和科技倡議委員會(CTIC)第 3 次會議

Electric Power Development Co., Ltd.(EPDC)為 J-POWER 公司前身，於 1952 年 9 月 16 日由日本政府出資成立，為售電範圍遍及日本全國之唯一「躉售型電力公司」，成立目的為克服日本戰後電力短缺的問題。自 2002 年 4 月起，EPDC 將公司名稱改為 J-POWER，以表示對於民營化之承諾與決心。

J-POWER 發展初期以水力發電為主，1956 年商轉之佐久間水力電廠(350MW)，為其首座運轉之電廠，70 年代開始發展以自產煤炭為燃料的火力電廠，80 年代後由於石油危機造成的影響，致有「能源來源多樣化」之需求，煤炭來源轉為由國外進口，該公司於 1981 年間設立全國第一座採用進口煤之火力電廠(松島發電廠)。90 年代後，發展重點放在提高能源效率和環境問題。日本政府於 1997 年決定將 J-POWER 民營化，2004 年 10 月 J-POWER 股票掛牌上市後全面民營化。

台電與 J-Power 於 2021 年 12 月 16 日簽署為期 5 年 MOU，延續雙方所成立的「淨煤技術發展委員會」，並為跟隨國際 2050 年淨零排放宣言更改為「碳中和科技倡議委員會」，交流項目改以碳中和科技為主(圖 2)。本次日方分享的主題包含：(1)J Blue Concrete；(2)日本大崎電廠應用 IGCC 褐煤製氫的成果(Osaki CoolGen)；(3)直接空氣碳捕捉設備(DAC)。



圖 2：參訪 J-POWER 總管理大樓

(一) J Blue Concrete

「藍碳生態系」是指海洋及沿岸生態系吸收二氧化碳的現象，也被稱為海洋碳匯。其中，沿岸藍碳生態系由紅樹林、海草床和鹽沼等三大典型海岸生態所構成。這些生態系具有高生產力，能夠減緩土壤有機碳的分解，並累積巨大的儲碳量，是對抗氣候變遷的友善環境自然碳匯方案。

J Blue Concrete(圖 3)是一種以粉煤灰和銅渣為原料開發的混凝土替代材，不僅透過使其更緻密集增加其體積重量來改善一般基礎設施的功能，而且還增強了海藻床創建的效果。其成分由銅渣、煤灰、水泥、海水所組成，銅渣是銅冶煉的副產品，煤灰則是燃煤發電廠的副產品。其重量比一般混凝土重約 20%，材料產生的 CO₂ 排放強度(90 kgCO₂e/m³)低於一般混凝土(270 kgCO₂e/m³)。

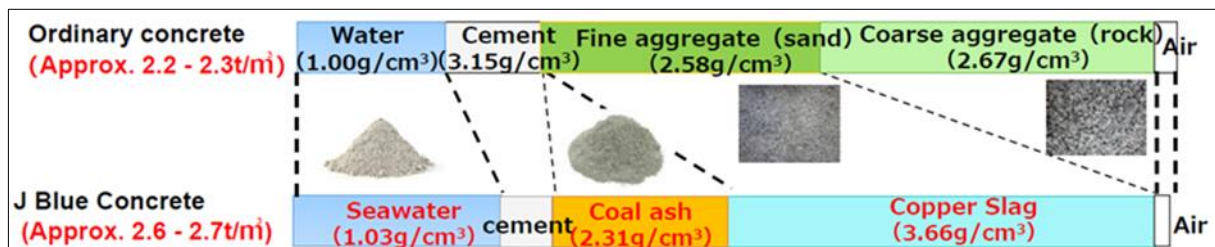


圖 3：J Blue Concrete 成分

2017 年 3 月在北九州進行海藻附著效果研究，研究結果顯示，經過 4 年後，淺水區消波塊之附著海藻有明顯增加良好成果；且超過 10m 深度之消波塊，其海藻附著生長效果也得到證實(圖 4)，有持續增加變大之成效。



圖 4：J Blue Concrete 置於水深處大型海藻生長情況

J-POWER 公司與港口和機場研究所合作進行研究，製作 J Blue Concrete 測試樣本，透過改善消波塊表面形狀來進一步提高海藻附着性能，製作測試標本表面形狀分成光滑表面、凹面及凸面(圖 5)，並放置於港灣海洋中進行觀察；且除了製作測試樣本外，並製作 2.0 噸級之消波塊，於 2023 年 8 月放置於港灣海洋中。



圖 5：J Blue Concrete 消波塊表面形狀

J-POWER 公司向日本藍色經濟協會申請 J Blue Credit 認證，並於 2021 年及 2022 年分別取得 15.6 及 10.5 噸 CO₂/年之額度。J Blue Credits 為日本藍色經濟協會(Japan Blue Economy Association, JBE)所核發之減量額度。惟 J Blue Credits 不屬於日本官方的 J-credit 系統，故額度尚無法作為法遵用途。

(二) 日本大崎電廠應用 IGCC 褐煤製氫的成果(Osaki CoolGen)

Osaki CoolGen 計畫為 166 MW 的吹氧式 IGCC 示範機組，由 J-Power 公司與日本中國電力公司共同出資，已分三階段完成示範工作(圖 6)，各階段分述如下：

Fiscal Year	FY2012	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022
First Step Oxygen-blown IGCC	Detailed design and construction				Demonstration		Detailed design and construction				
Second Step Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture (Include CO ₂ capture and liquefaction process)						Detailed design and construction			Demonstration		Demonstration
Third Step Oxygen-blown IGFC with CO ₂ Capture								Detailed design and construction			

圖 6：Osaki CoolGen 計畫的三個階段

第一階段吹氧式 IGCC 系統(圖 7)係將煤氣化之合成氣經淨化設備淨化成 CO 和 H₂ 為主之氣體，再到複循環發電機組作為氣渦輪機燃料進行發電，此階段主要係測試 IGCC 基礎運轉效能、特性及大型化後發電之經濟性。在第一階段已達成 5,119 小時的長期耐久性測試，且持續操作達 2,168 小時之測試結果如表格 2。

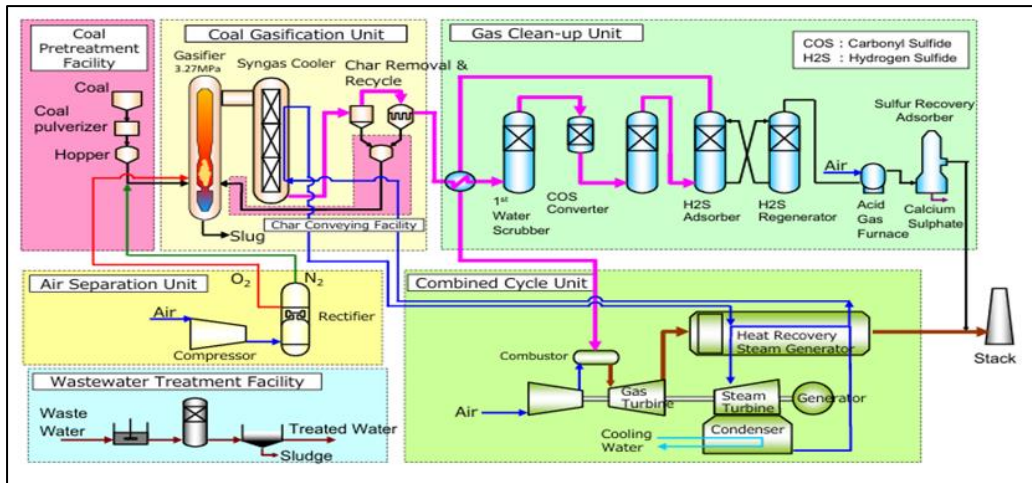


圖 7：第一階段 IGCC 程序

表格 2：第一階段 IGCC 測試目標及成果

項目	目標	結果
運轉效率	淨發電效率 40.5% (HHV)	於第一階段已達到淨發電效率 40.8% (HHV)
排放特性	SOx: 8 ppm NOx: 5 ppm PM: 3 mg/m ³ N (O ₂ : 16% conversion)	已達到 SOx < 8 ppm NOx < 5 ppm PM < 3 mg/m ³ N (O ₂ : 16% conversion)
燃料相容性	驗證多種不同煤質	已測試 4 種煤質能穩定實驗，並且可於實驗過程中更換煤種
運轉可靠度	5,000 小時之運轉 可靠度達 70%以上	於第一階段已達成 長期耐久性測試: 5,119 小時 持續操作: 2,168 小時
運轉特性	負載變化率: 1~3%/min	已達成可安全的緊急停止測試 輸出變動率: ~16%/min 在淨輸出 0 MW 下可穩定運轉
經濟性	IGCC 之均化發電成本相當或低於 PCF	IGCC 之均化發電成本相當於 PCF

第二階段係在吹氧式 IGCC 系統上增設二氧化碳捕捉設備(圖 8)，將第一階段取得的 CO 和 H₂ 為主之合成氣，先經轉換反應器與蒸汽一起轉化為二氧化碳和氫氣，再經增設的二氧化碳捕捉設備成為以氫氣為主的富氫氣體，然後送往氣渦輪機燃燒。此階段主要係測試吹氧式 IGCC 增設二氧化碳捕捉設備後，是否能穩定且有效率地從煙氣中捕捉二氧化碳，測試項目與結果如表格 3。

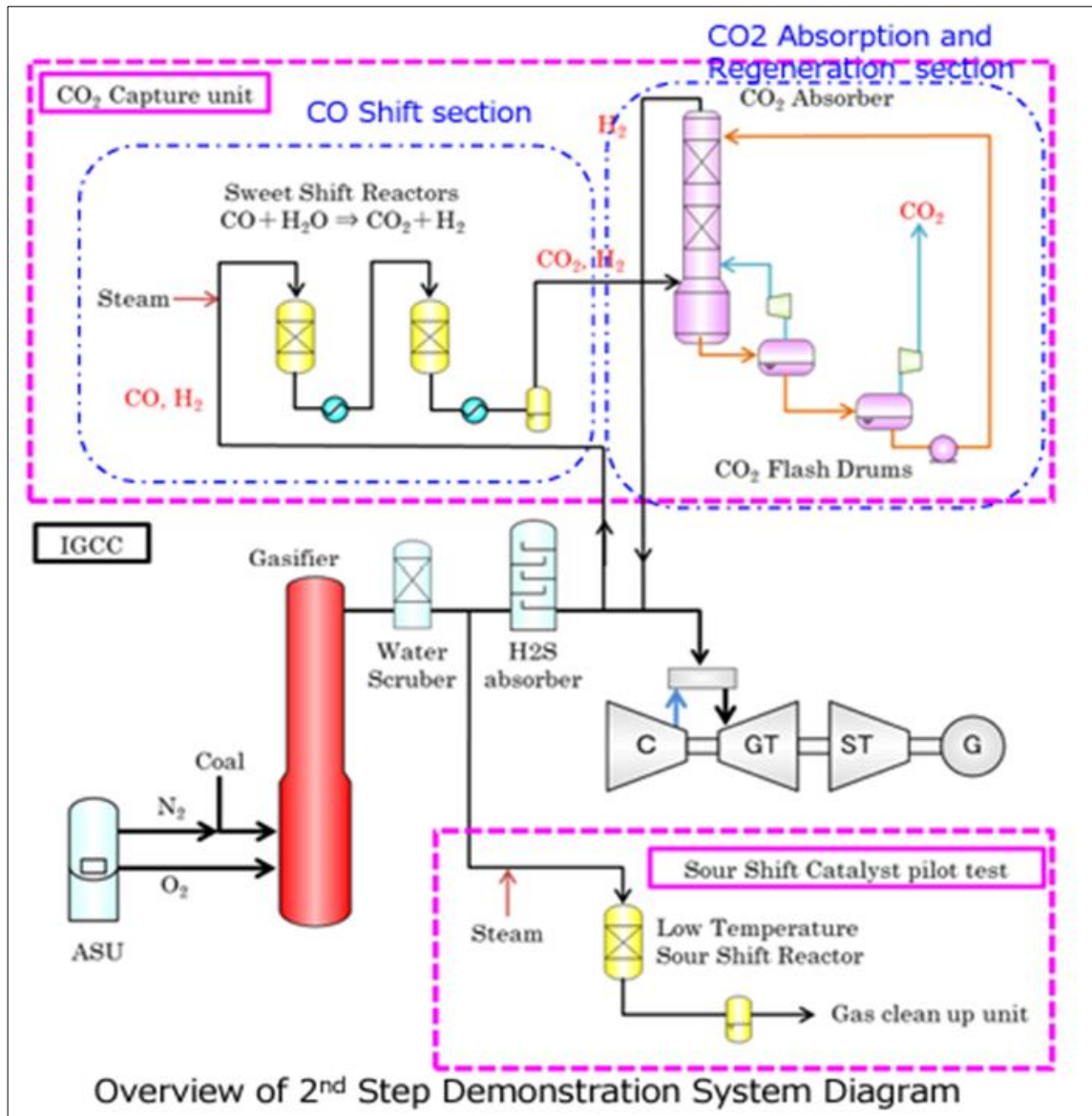


圖 8：第二階段 IGCC 增設二氧化碳捕捉程序

表格 3：第二階段測試目標及成果

項目	目標	結果
二氧化碳回收率和純度	<ul style="list-style-type: none"> ● 二氧化碳回收率:90%以上 ● 捕捉二氧化碳的純度:99%以上 	<ul style="list-style-type: none"> ● 二氧化碳回收率:90%以上
發電效率	<p>在新建的商用 IGCC 發電廠(1500°C 等級)，目標在捕捉 90%二氧化碳的條件下，有 40%淨發電效率(HHV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 40.3%淨發電效率(HHV) ● 捕捉二氧化碳的純度:99%以上
可控性和可靠性	<p>建立 CO₂ 分離/回收裝置的操作程序，以追蹤負載波動</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 建立 IGCC 的二氧化碳捕捉可操作 ●
經濟性	<p>實現商業化 IGCC 工廠回收二氧化碳的目標成本</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 確認不同性質煤種基礎特徵 ● 二氧化碳回收費用: 大約 520~630 台幣/噸 CO₂

三階段係增設 2 組 600 kW 的固體氧化物燃料電池(SOFC)(圖 9)，將第二階段捕捉二氧化碳後的富氫氣體送至固體氧化物燃料電池作為燃料，稱之為 IGFC。此階段主要係對 IGFC 在捕捉二氧化碳的情形下之淨輸出效率進行測試，測試項目與結果如表格 4。

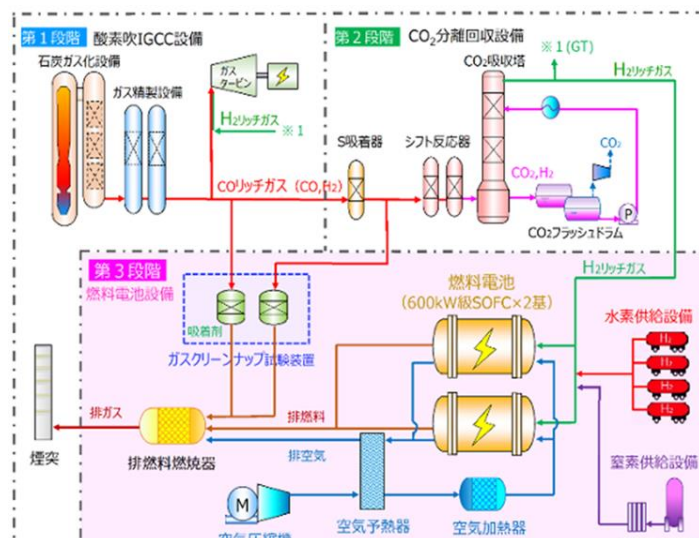


圖 9：第三階段 IGFC 程序

表格 4：第三階段測試目標及成果

項目	目標	結果
運轉效率	評估利用 IGFC (500MW class)，在捕捉 90%二氧化碳的情形下，有 47%的淨輸出效率	透過測試和模擬結果推斷 47%淨輸出效率是可達成的

由吹氧 IGCC 系統實際應用二氧化碳捕捉設備的基本特性測試證實，CO₂ 回收率可達 90%，捕捉每噸 CO₂ 的能耗約 0.9 GJ，然而經參數最佳化後，可將捕捉每噸 CO₂ 的能耗降至 0.79 GJ(表格 5)。

表格 5：吹氧 IGCC 系統實際應用二氧化碳捕捉之驗證

項目	目標	結果
二氧化碳回收率	90%以上	90.00%
二氧化碳總回收量	-	16.8 t/h
二氧化碳回收能耗	-	13.2 GJ/h
二氧化碳捕捉強度	約 0.9 GJ/tCO ₂	0.79 GJ/tCO ₂

達上述目標後，為因應增加二氧化碳回收量的需求，目標是再驗證氣渦輪機可燃燒高濃度氫氣和其對於氫氣濃度波動的反應(圖 10)，結果顯示於氣渦輪機進口處之氫氣濃度由 0 增加至最大 40.26%，氣渦輪機組件之金屬溫度和燃燒擾動均無異常，確認可以穩定運轉。

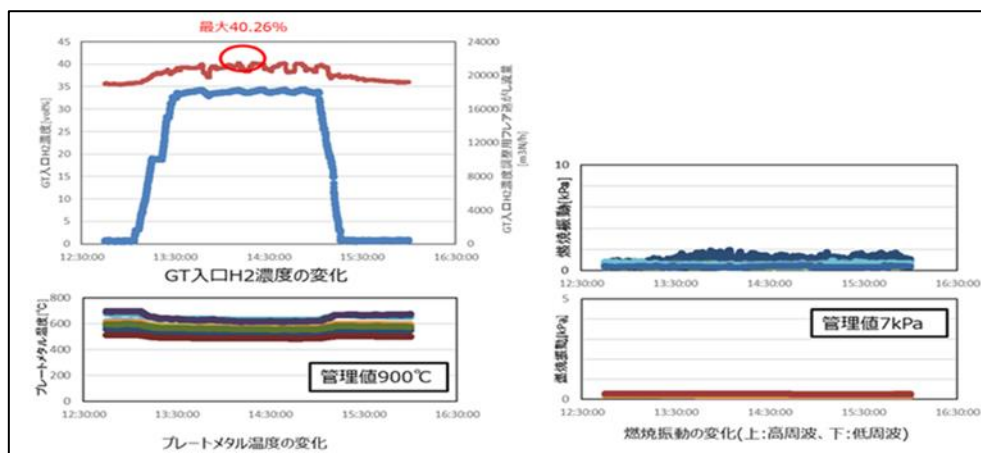


圖 10：氣渦輪機燃燒高濃度氫氣之驗證

測試氫氣的濃度變化率於每分鐘最大增加 2.6%及每分鐘最大減少 3%(圖 11)，氣渦輪機均可穩定操作。

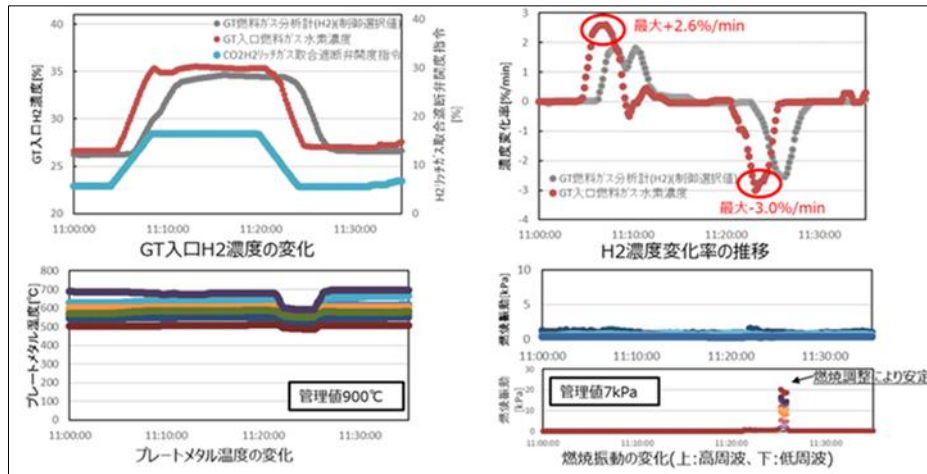


圖 11：氣渦輪機燃燒氫氣對於氫氣濃度波動之驗證

(三) 直接空氣碳捕捉設備(DAC)

DAC 為 Direct Air Capture 的縮寫，中文名稱為直接空氣捕捉，是直接捕捉大氣中二氧化碳的技術。需要這個技術的原因是目前大氣中的二氧化碳含量日趨增加，若不減少二氧化碳的濃度則全球暖化日趨嚴重，因此除了減少或停止排放二氧化碳外，還需要主動降低大氣中的二氧化碳濃度，因此促成 DAC 的技術發展。另外，減少或停止排放二氧化碳的相關措施，只能在有排放二氧化碳的場所進行，然而 DAC 只要滿足基礎條件即可進行。

DAC 的基本流程包含二氧化碳的吸附(捕捉)、脫附和壓縮(圖 12)。將空氣通過可吸附二氧化碳的過濾裝置，再將過濾裝置加熱讓二氧化碳釋放出來，最後將釋放出來的二氧化碳壓縮存放到儲藏區。

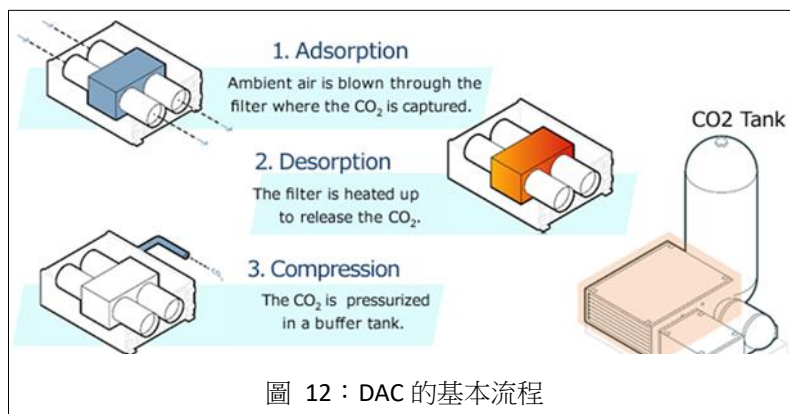


圖 12：DAC 的基本流程

ENEOS 公司在日本神奈川安裝 Climeworks 的 DAC 設備自 2023 年 12 月開始示範運轉，每天約可捕捉 75 kg 二氧化碳，而 Deep sky 與 Recarbn 加拿大魁北克的部署 DAC 裝置，預計 2024 年安裝，期望每年捕捉量可達 50 噸(圖 13)。

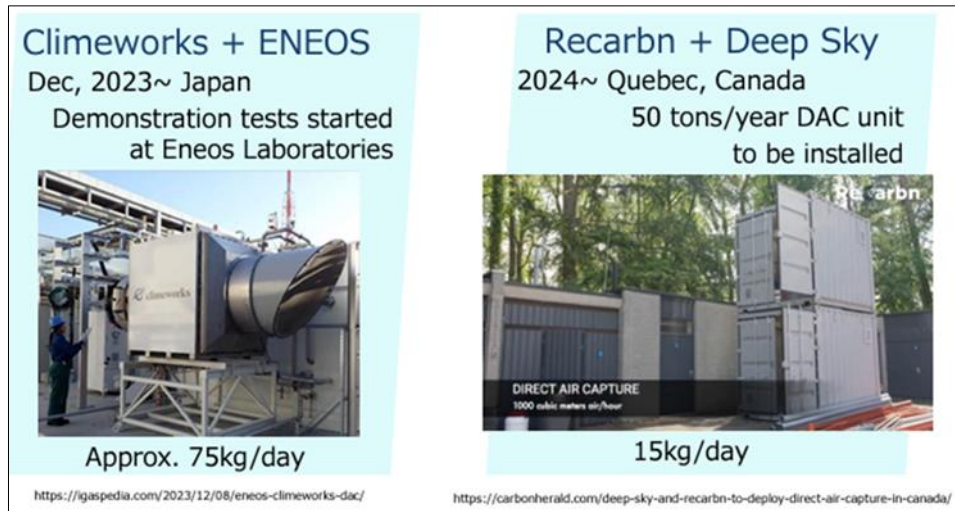


圖 13：日本神奈川和加拿大魁北克的 DAC 裝置

有關 DAC 與工業排氣的二氧化碳捕捉之比較(圖 14)，DAC 捕捉的二氧化碳投資回收成本每噸約為 40 美金，而工業排氣捕捉的二氧化碳投資回收成本每噸約為 400~500 美金，代表投資 DAC 的獲利約只有投資工業排氣捕捉二氧化碳的十分之一左右。當然，這個比例會隨著 DAC 的技術進步而提高，但還是會有滿大的差距。因此，需要為 DAC 想出額外的商業模式及價值，才能讓業界願意導入 DAC。

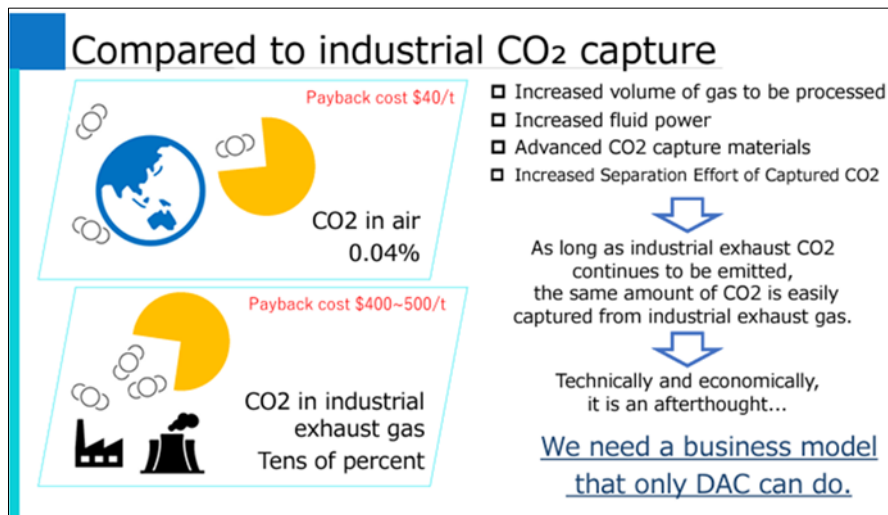


圖 14：DAC 與工業排氣的二氧化碳捕捉之比較

二、 株式會社 IHI 及住友商事株式會社之氫氨議題交流

(一) IHI 相生工廠

IHI 相生工廠中的 D&D Park 全名為 Development and Demonstration Park，意旨該廠 IHI 公司中負責進行前瞻技術以及示範驗證的場域，已發展出高效率及友善環境的鍋爐販售至全球超過了半個世紀，目前正在開發生質燃料燃燒器及氨燃燒器作為火力機組的減碳手段。



圖 15：參訪 IHI 相生工廠

目前 IHI 與日本 JERA 公司合作 2024 年於碧南電廠的 4 號燃煤機組(1000MW) 進行 20%混氨燃燒。2024 年 2 月 29 日 IHI 偕同住友商事與本公司簽署混氨技術合作備忘錄，預計 2030 年前於大林電廠燃煤機組進行 5%以上混氨燃燒示範計畫。

IHI 說明大林電廠的鍋爐有 6 排燃燒器(6 個/排)(圖 16)，更改 1 排混氨燃燒器可達成 4%混氨燃燒比例，初步評估更改 2 排燃燒器可達成 5%以上混氨燃燒比例。

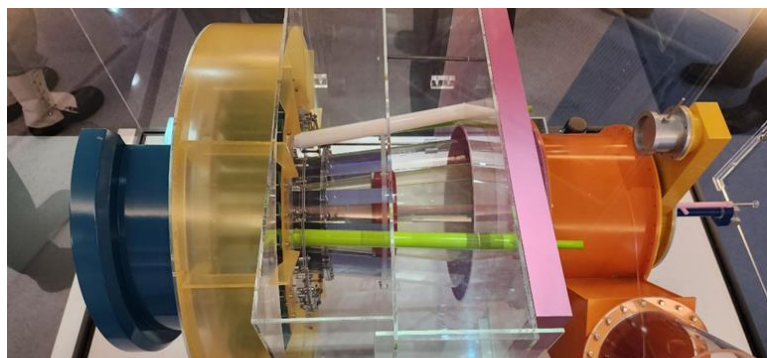


圖 16：燃燒器模型

2022年6月 IHI 成功在一台 2MW 級的燃氣渦輪機中燃燒 100%液態氨(圖 17)，減少了超過 99%的溫室氣體排放，實現了真正的二氧化碳零排放發電。



圖 17：100%燃氨氣渦輪機

由於氨不含碳，因此可用作現有發電設施中的燃料，作為燃燒時不排放 CO₂ 的燃料。IHI 首創的燃燒方法是將液態氨直接噴入燃氣渦輪機燃燒室，該方法簡化了從儲槽到渦輪機的液態氨燃料供應系統，並提高了可控性。

IHI 研發的甲烷合成模組(e-methane)(圖 18)，說明此碳回收裝置利用加氫來轉化二氧化碳並合成每小時 8.21 公斤的甲烷。該模組特點是可以快速安裝，並且可以透過設置多個裝置來擴大甲烷產量。其可以沿用既有天然氣設施進行運輸，且該模組可以一輛卡車運輸，國際上已經有客戶購買該模組搭配碳捕捉設施加氫來生產合成甲烷，因無須等待其他潔淨氫載體的技术發展成熟(如 MCH、氨等)後再興建新的儲存設施，使用上有其潛力。



圖 18：合成甲烷模組

(二) 住友商事株式會社

住友商事株式會社於 1919 年成立，總部位於日本東京，屬於住友集團，是日本最大的綜合商社之一，主要經營貿易事業。住友商事已挹注資金於國際氫氨供應鏈、氫氨生產技術及有關氫氨技術的新創公司，本次進行交流內容係瞭解國際貿易公司對於潔淨氫氨佈局的見解，當天介紹的一些案例如下：

- 澳洲 Gladstone 的氫能生產先導計畫：該地規劃太陽能電解水生產氫氣提供煉鋁廠及氫能載具使用以降低碳排放，2030 年盤點當地氫氣需求進行相關產業轉型，未來將以大規模出口為目標向國際販售氫氣。
- 英國 Bacton 瓦斯接收站的碳中和計畫：該地預計興建海域風電生產綠氫，並利用既有的石油、瓦斯鑽井平台搭配 CCS 生產藍氫，並將前述潔淨氫運送至陸地的接收站輸送至當地氫能轉型需求產業。
- 馬來西亞 Sarawak 的氫能生產計畫：當地擁有豐富的水力資源，預計以水力作為綠能生產綠氫後，再轉換為 MCH 出口至海外，該計畫主導的廠家為日本石油公司 ENENOS 及當地能源公司 SEDC Energy，將沿用既有的煉油廠設備製造 MCH。
- 智利的綠氨生產計畫：2020 年 11 月，智利政府宣佈推動「綠氫國家策略」，目標為 2030 年生產全球最便宜的綠氫，並於 2040 年成為全球前三便宜的綠氫出口國家。Colbun 是智利領先的能源公司，在智利和秘魯擁有 27 座各種類型的發電廠，預計利用智利北部的太陽光電及南部的風電以電解水的方式生產綠氫，並將綠氫轉化為綠氨後出口至國外。
- 馬來西亞國家石油公司 PETRONAS 與日本 TOKYO GAS 合作開發合成甲烷為利用既有天然氣設備運輸綠氫，馬來西亞 PETRONAS 與日本 TOKYO GAS 合作開發合成甲烷生產技術，預計將當地接收站之碳排放與綠氫合成生產甲烷後運輸至國外。
- 「中部圈氫能利用協議會」：住友商事、三井住友銀行及豐田汽車為首成立的協會，預計於日本中部地區導入氫氨能相關技術，與政府合作以推動地方產業轉型減碳，相關規劃內容將於後面詳述。

日本中部圈係指岐阜縣、愛知縣、三重縣，為日本之製造業中心(圖 19)，除了以豐田汽車為首的汽車產業外，亦包含鐵鋼、化學、半導體等產業。該地區擁有日本頂尖的港口和火力發電廠，其中名古屋港貨物吞吐量位居第一，且占日本國內出貨量的 1/4，另 JERA 新名古屋火力發電站裝置占比超過 23GW，上述原因造成中部地區二氧化碳排放量集中在愛知縣、三重縣北部，當地產業的轉型包含：



圖 19：日本中部圈產業氫能轉型概念圖

1. 發電業：JERA 制定淨零排放目標，從 2021 年碧南火力電廠 5 號機組已進行 0.02cal%小規模的氨混燒試驗，2024 年 4 月在碧南 4 號機組(1GW)進行氨混燒 20%示範測試。下一步是將碧南電廠氨混燒率提升至 50%，然後再擴大應用在其他燃煤電廠。
2. 鋼鐵製造業：兩座高爐預計每年粗鋼產量達 600 萬噸，未來規劃使用零碳鋼鐵，如:以綠氫還原成直接還原鐵 DRI。
3. 石化廠：未來將通過國內船舶與氨氣管線，運送氨或氨裂解產氫送至廠區。
4. 工廠：以 TOYOTA 為例，工廠實現碳中和除了節能及使用再生能源，亦包含電氣化(低溫應用)，能使用工業加熱器、熱泵和電鍋爐取代傳統燃煤和燃氣設備；另氫能(高溫應用)可應用於鋼鐵冶煉製程。

(三) TOYOTA 本社

本次參觀 TOYOTA 本社的氫能相關設備為住友商事投資事業之一，包含氫能燃料電池、液氫儲槽、廢氫回收系統及氫氣渦輪機，其特點為相當完整的氫能使用端之系統性整合，於氫氣相當昂貴的情形下，仍尋思如何善用廢氫；另將分散式電網的概念用於推廣氫能車。



圖 20：參訪住友商事中部支社及 TOYOTA 本社

鑒於約 17%所採購氫未被使用，一部分來自於生產製程灌注時所排出的廢氫(62,000-Nm³/年)，一部分來自於氫儲槽因外部高溫導致蒸發排出的廢氫(144,000-Nm³/年)，因回收後其廢氫純度不能應用於燃料電池，故將餘氫回收至廢氫回收罐(圖 21)後可應用於氫混燒發電機，進而於未來將氫混燒技術應用於既有發電機。



圖 21：廢氫回收罐

為推廣氫能車普及社會大眾，TOYOTA 說明氫能車除可做為交通載具外，可在當地發生在害時提供電力，幫助當地社區災後快速恢復。啟動緊急發電機，供電予 Honsya 液化氫儲槽及加氫站運轉，進而為燃料電池車及巴士加氫，送往豐田市緊急庇護所(如初級學校等共有 115 處)作為緊急電源使用。例如，氫用量 5 公斤的 MIRAI 可提供 60 度電，而氫用量 25 公斤 SORA 巴士可提供 240 度電。TOYOTA 曾於 2021 年 3 月時於豐田市進行緊急災害應變演練，將氫能燃料電池運送至各緊急庇護所(如初級學校等共有 115 處)作為緊急電源使用。

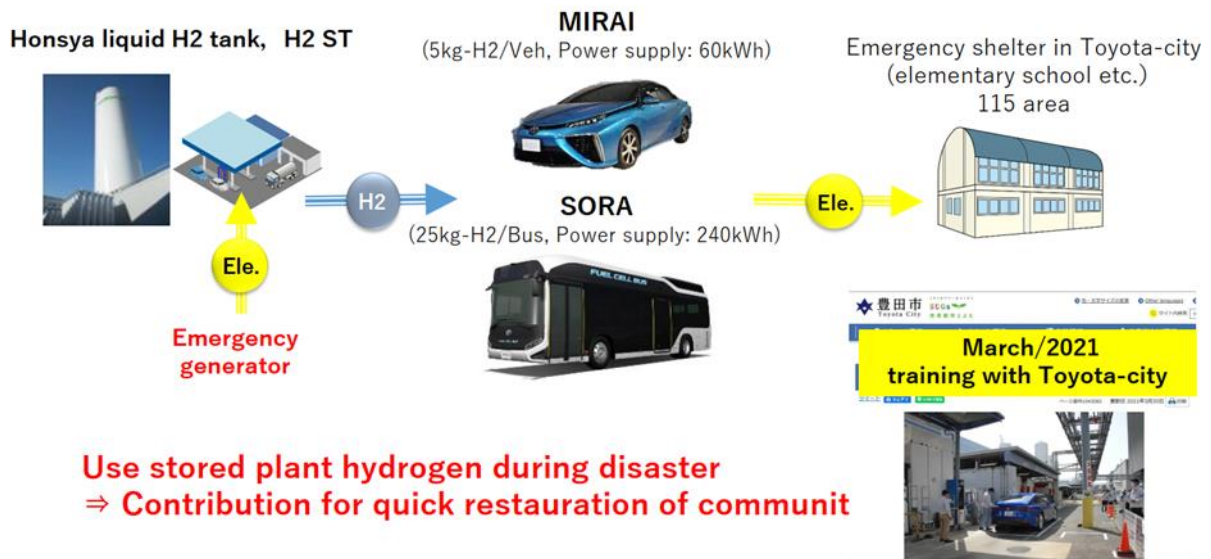


圖 22：TOYOTA 氫能燃料電池導入分散式電網概念

三、 三菱重工業株式會社之製氫及應用技術

三菱重工業株式會社是日本綜合機械製造商，也是日本最大的國防工業承包商，為三菱集團的旗艦企業之一。本次拜訪的高砂工廠設立於 1962 年，係三菱重工大型火力機組的生產工廠，製造的設備包含氣渦輪機、汽輪機等相關產品，隨著國際淨零趨勢的發展，高砂工廠亦投入複循環機組燃燒氫的示範驗證計畫中。



圖 23：參訪 MHI 高砂工廠

高砂氫能示範園區(圖 24)通過修改和擴建現有的驗證設施 T-Point 2，是世界上第一個可以驗證氫氣生產、儲存和發電的完整價值鏈的綜合設施。三菱在 T-Point 2 係採用「商用型火力機組(M501JAC)」於離峰時段進行混氫燃燒示範，其所使用的氫氣為廠內生產，且該工廠與當地電網相連，可以識別潛在風險並及時解決。



圖 24：高砂工廠氫能源區配置圖

燃氣渦輪機的風險之一是「回火」，指的是燃燒器中的火焰在燃燒過程中回到燃料混合區。以氫為燃料時，由於氫氣的火焰傳播速度比天然氣快，更容易發生回火，增加燃燒器及燃氣渦輪機的損壞風險。因此需要在燃燒器測試設施驗證回火風險，並驗證燃燒壓力波動和氮氧化物(NOx)排放量，以提高產品可靠性。

三菱重工開發出氣渦輪機燃燒器燃用氫設計主要可以分成三種型式：Type 1 擴散型燃燒器、Type 2 多噴嘴式燃燒器及 Type 3 多簇型燃燒器(圖 25)。而燃用氫設計則採 Type 1 擴散型燃燒器。其中，本公司大潭及通霄 M501 系列燃燒器屬 Type 2 多噴嘴式，不經改裝可混燒氫氣體積比 20%，若經改裝於噴嘴中央通入高壓空氣防止回火情形的發生，其最高可混燒之氫氣體積比為 30%。

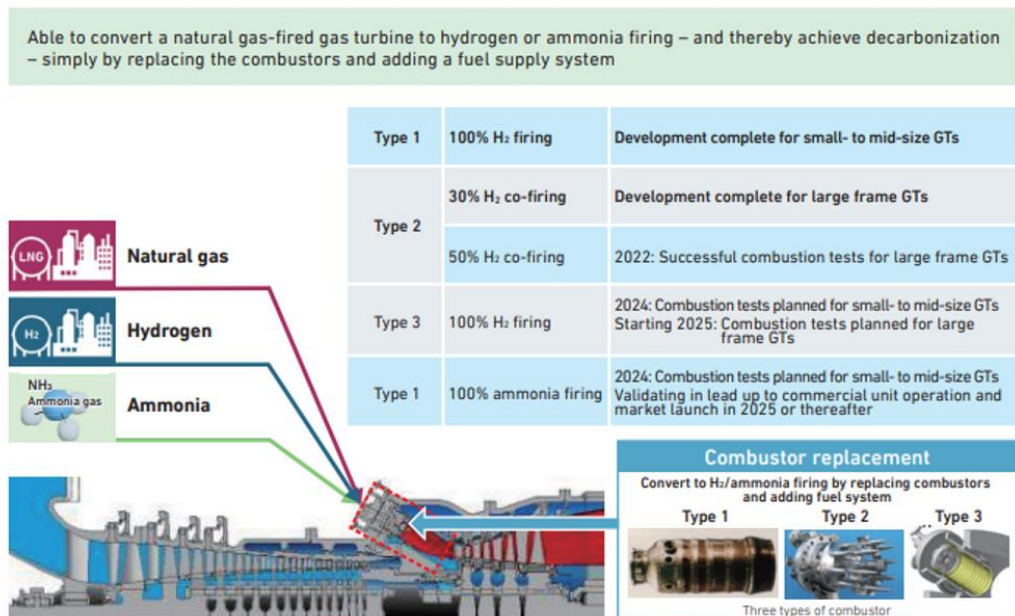


圖 25：三種型式的氣渦輪機燃氫燃燒器

資料來源：MHI REPORT 2023 https://www.mhi.com/finance/library/annual/pdf/report_2023.pdf

三菱重工混氫試驗之機組為 M501JAC 燃氣渦輪機，1650°C 等級、採用空氣冷卻系統及 Type 2 多噴嘴式燃燒器，單軸式 1 對 1 複循環發電量達 566MW，其電力實際供應到電網中，在尖峰季節可提供電力；離峰季節則進行燃燒驗證。2023 年 11 月 20 日完成 30%氫氣混燒運轉，其氫氣使用量為每小時 30,000 立方米。

中小型燃氣渦輪機是利用 H-25 燃氣渦輪機進行驗證，其裝置容量為 41MW，正在開發使用 Type 3 多簇型燃燒器。H-25 同時也用來驅動燃燒器測試設施的空氣壓縮機，用以對燃燒器進行燃燒驗證，包括氫氣混燒、純氫燃燒和純氨燃燒。

製氫設備部分，三菱重工說明所有具潛力的製氫技術都有投入開發，故除了向挪威 HydrogenPro 購買鹼性電解槽(AE)外，亦投入自行開發固態氧化物電解槽(SOEC)、陰離子交換膜電解槽(AEM)及甲烷裂解法並申請專利，以下茲就廠內各產氫設備進行介紹：

- 鹼性電解槽(AE)：2023年9月高砂工廠導入挪威 HydrogenPro 生產的鹼性電解槽投入生產氫氣，該電解槽擁有商用最大規模的氫氣生產能力，為每小時 1,100 立方米，該技術現階段為最成熟的製氫技術。
- 固態氧化物電解槽(SOEC) (圖 26)：被認為適合應用於大型工廠，因為過去 MHI 已研發並大量生產固態氧化物燃料電池(SOFC)，兩者的原理相似，反應路徑相反，具有優越的效率，但需要在高溫下操作。目前 400kW 容量的 SOEC 已於 2024 年進行示範運轉。

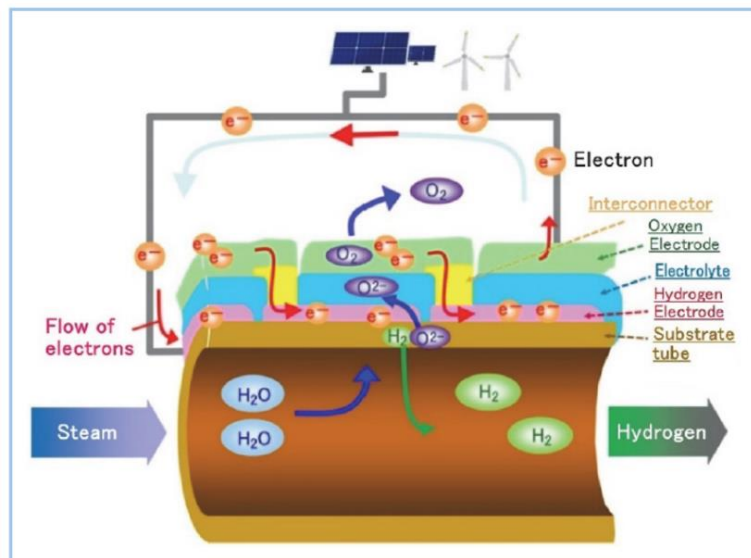


圖 26：固態氧化物電解槽(SOEC)

資料來源：Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 61 No. 1 (March 2024)
<http://w-techportal.mhi.co.jp/TechnicalReview/pdf/e611/e611030.pdf>

- 陰離子交換膜電解槽(AEM)：與廣泛使用的鹼性電解槽(AE)相比，質子交換膜電解槽(PEM)水電解可以在更高的電流密度運作，且僅需要較小的電解槽。由於含有許多氫離子的 PEM 是強酸性的，因此需要大量使用貴金屬和鈦金屬。AEM 具有前述兩者優勢，可以進行類似於 PEM 的高電流密度運作，且可以在鹼性水溶液中使用不含貴金屬之低成本材料進行，因此有望降低成本。三菱重工預計 2025 年以後建置 AEM 電解槽。

- 甲烷裂解法(圖 27)：通過甲烷的熱裂解反應產生氫氣，是一種在高溫下將甲烷分解為氫氣和固態碳的技術，類似我國中研院開發中的去碳燃氫技術。由於天然氣基礎設施已經廣泛建立，因此只需在天然氣供應鏈上或天然氣生產商，安裝甲烷熱裂解設備即可產生氫氣。其副產品是固態的碳，比起在常壓和常溫下為氣態的二氧化碳，更容易固定和儲存。該設備所使用的觸媒為三菱重工獨家專利技術，可有效提高轉化效率，預計 2026 年完成開發。

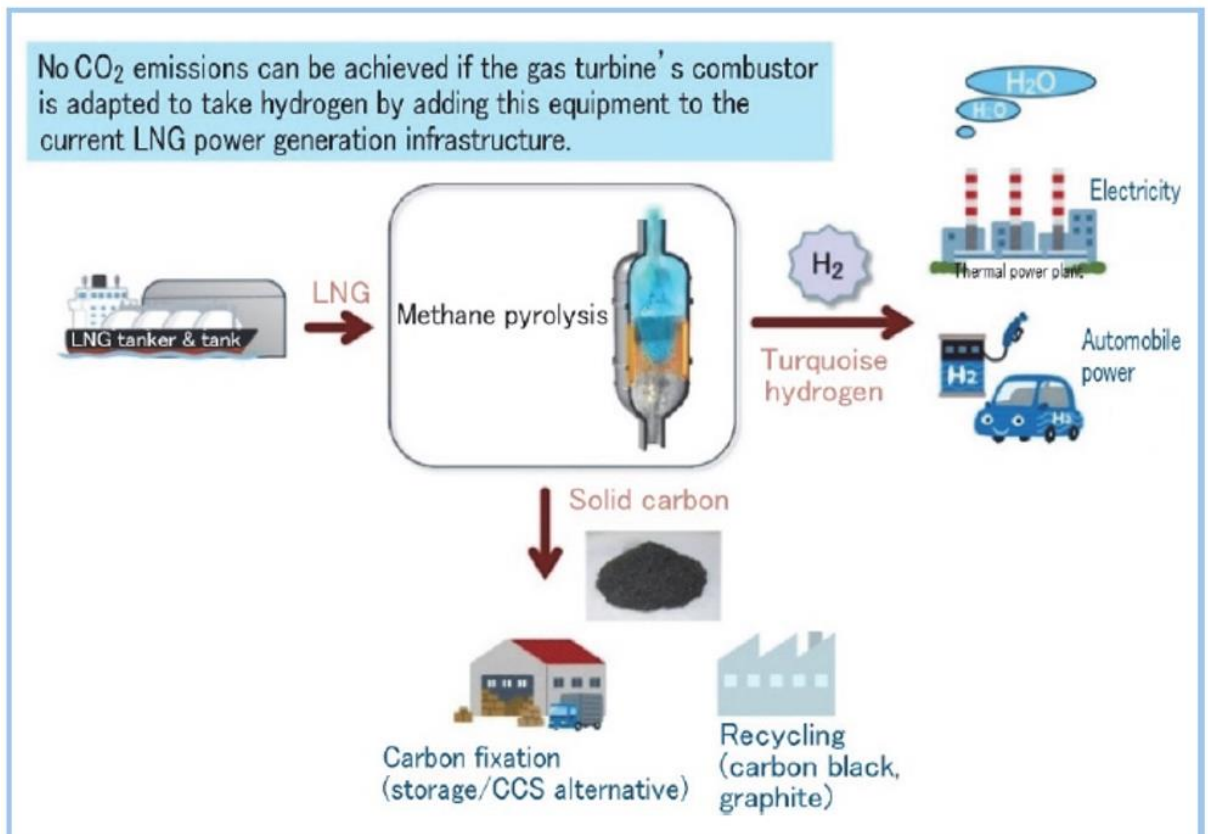


圖 27：甲烷裂解法

資料來源：Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 61 No. 1 (March 2024)
<http://w-techportal.mhi.co.jp/TechnicalReview/pdf/e611/e611030.pdf>

肆、心得及建議

- 一、現階段如何達成淨零排放，對所有電力公司而言都相當難以掌握，所以各國都尚在摸索中，提出的轉型策略是否可行，還需要視國際技術發展情形進行驗證，故藉由與 J-POWER 公司成立「碳中和科技倡議委員會(CTIC)」定期召開研討會，持續地進行技術交流，雙方可以不斷檢視並調整出適合個別達到淨零目標的減碳方法。
- 二、減碳方式並非僅侷限於以火力機組導入減碳技術降低排放，J-POWER 公司也嘗試從工程端導入廢棄物再利用及植藻固碳，未來本公司海事工程可參考相關概念。
- 三、IHI 為鍋爐製造商，其所生產的燃煤機組鍋爐在淨零排放的要求下須搭配減碳技術方能符合趨勢，目前其燃煤機組改裝燃燒器後最高可混氫至 20%，未來將嘗試提升至 50%，惟考量氫氫供應市場尚未成熟，且氫本身不易燃燒，再提高混燒比例是否具備效益還須評估，亦同步投入開發氣渦輪機燒氫及合成甲烷的技術。因氫做為綠氫載體的技術較液化氫成熟許多，故從國外進口綠氫的可能性比綠氫高，或許我國燃氣複循環機組改裝混燒氫也是可能的選項；合成甲烷可以利用既有的天然氣設施而無須新建其他綠氫載體儲槽(如 MCH)，也是相當有潛力的綠氫載體。
- 四、短期內的氫氫供應鏈以氫做為綠氫載體較具備發展潛力，故住友商事在推動中部圈的淨零轉型時，係評估該如何從國外進口液氫以提供當地氫能需求，先以槽車為主要運輸方式，再逐步導向以管輸方式供應；為達到使用氫的經濟規模，當地成立「中部圈氫能利用協議會」，希望以企業組成聯盟大規模進口液氫並合力推動中部圈淨零轉型。未來我國可參考其概念，以能源使用需求為核心，進行產業整合。
- 五、三菱重工高砂工廠在製氫技術的開發中，並未限縮於投入單一製氫技術，反而是多方發展，不排斥引進其他廠商的製氫設備，同時開發獨家專利製氫技術；至於氣渦輪機混燒氫器部分，三菱重工已經著手投入新型燃燒器開發，並且在大型火力機組未改裝的情況下可將混氫燃燒比率提升至 20%，改裝後可達到 30%，中小型火力機組已經可以更換燃燒器專燒氫。
- 六、國際已經在積極發展相關減碳技術，唯有透過持續的新能源技術交流，方能接軌世界淨零技術之潮流，即使是在變遷快速的環境下，以下三項原則仍需要接續推動及發展：

- 發展與環境共生的新興技術：發展促進生態永續經營的科技，與自然生態共生共榮，如同興達電廠對於我國發電業最重要的貢獻，不只是因為它穩定供應了南台灣的電力，也不只是因為它是我國第一個混燒氫氣的示範場域，還是因為興達電廠積極保育的永安溼地是許多稀有鳥類的棲息地，實現了電廠能與大自然共存的典範。
- 持續用各種方式減碳：不管是氫、氨、CCS、IGCC，還是直接碳捕捉設備，共同點都是以減碳為最終目標，從燃料端使用乾淨的能源、或是發展負碳的科技，各種可能性都需要投入研發資源並接續進行國際交流。
- 提供經濟發展的所需電力：從本次與日本諸多廠家技術交流的心得，可以了解到科技的發展並非只有對環境產生破壞，其實是朝向必須兼顧環境保育及經濟發展，全世界都希望在最大化利用既有設備的前提下尋思減碳的方法，既有的燃煤機組並非被時代所淘汰，而是需要搭配如混氨或 CCS 的減碳手段以降低碳排放，燃氣複循環機組可使用再生能源製造之綠氫，一方面發電時不排碳，另一方面可將氫做為能量儲存之載體，因此，燃氣複循環機組確為淨零轉型的關鍵橋接能源。