

全球鋼廠鋼化聯產現況與實例

一、前言

在全球推動碳中和的趨勢下，傳統高爐轉爐製程因伴隨高能耗與大量碳排放，使鋼鐵業成為典型的「難減排」產業。如何在維持產能與競爭力的前提下實現深度減碳，已成為全球鋼鐵企業必須正面回應的關鍵課題。

在此背景下，「鋼化聯產」作為一種結合鋼鐵業與化工產業的跨產業減碳策略，逐漸受到重視。透過後端處理與轉化，鋼廠可將副產氣體轉化為供石化產業利用的原料，不僅有助於降低鋼鐵生產的直接碳排放，也可減少石化產業對化石原料的依賴，形成跨產業的碳循環供應鏈。

本報告蒐集並整理截至 2025 年全球鋼鐵企業在鋼化聯產的技術路徑、策略佈局及實際應用案例，涵蓋日本、韓國、歐洲與中國等，期望提供中鋼具參考價值的國際趨勢整理，作為未來評估鋼化聯產合作策略之基礎。

二、鋼化聯產技術簡介與檢索建議

(一)背景與氣體特性

鋼鐵生產過程中會產生大量富含一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)與氫氣(H₂)的副產氣體，主要包括高爐還原鐵礦煉製鐵水時產生之高爐氣 (Blast Furnace Gas, BFG)、煉焦爐乾餾焦炭所產生之焦爐氣 (Coke Oven Gas, COG)，以及轉爐吹煉鋼液時產生之轉爐氣 (Basic Oxygen Furnace Gas, BOFG)。排放量比例依序為 6：3：1，其中高爐氣占比最高，亦是鋼化聯產發展中最具潛力、技術挑戰性最高的氣體來源。

過去，副產氣體多被視為低價值能源，主要用於廠內發電或直接燃燒，轉換效率有限，亦未能充分發揮其碳資源潛力。相對而言，石化產業在傳統製程中亦需進行原料裂解反應產生 CO 與 CO₂，作為合成各式化工產品的重要中間物，顯示鋼鐵與化工產業在碳源取得與利用方式上，存在可進一步整合的空間。

故鋼化聯產是將生產鋼鐵的副產氣體，透過提取及純化等步驟轉化為原料，用於生產甲醇(Methanol)、甲酸、醋酸或乙二醇等各式化工產品，藉此提升副產氣體的資源價值，並降低整體製程碳排放。各類副產氣體因成分(表一)不同，其利用方式與技術難度亦有所差異，概述如下：

1.高爐氣

主要成分為 CO 及 N₂，然因兩者之沸點與分子直徑等物理性質皆十分相近，目前仍缺乏具成本效益的分離純化技術，使其高值化利用受到限制，成為鋼化聯產發展中的主要技術瓶頸。

2.焦爐氣

主要成分為 H₂ 及 CH₄，具備較高的能源與化工應用價值。其中 CH₄ 可加工為天然

氣，或透過甲烷化（Methanation）反應來製備甲醇；H₂則可於提純後作為灰氫的重要來源，可供汽車燃料電池使用

3.轉爐氣

主要成分為 CO，可透過與焦爐氣中的 H₂ 結合來生產乙醇或甲酸等產品，在鋼化聯產中具有應用彈性。

表一、高爐轉爐製程副產物氣體成分表

名稱	成分(體積百分比)/%							熱值(kJ/M3)
	H ₂	CH ₄	CO	C _m H _n	CO ₂	N ₂	O ₂	
高爐氣	1.5-3.0	0.2-0.5	23-27	-	15-19	55-60	0.2-0.4	3200-3800
轉爐氣	0.5-2.0	-	50-70	0.2-0.6	10-25	10-20	0.3-0.8	6500-7500
焦爐氣	55-60	23-27	5-8	2-4	1.5-3.0	3-7	0.3-0.8	17000-19000

(二)鋼化聯產檢索建議

在國際學術文獻與產業實務中，全球主要鋼鐵企業與研究機構，將依其技術重點與策略定位，採用不同的術語來界定此類技術路徑。

首先，日本鋼鐵企業以「碳循環（Carbon Recycling）」作為核心概念，強調鋼鐵製程中所排放碳源的再利用與循環。安賽樂米塔爾與日本積水化學的合作計畫，亦將相關技術定位為煉鋼循環碳解決方案。其次，在歐洲與韓國較常見的使用「碳捕捉與利用（Carbon Capture and Utilization, CCU）」，包含蒂森克虜伯的 Carbon2Chem®計畫，以及韓國浦項製鐵參與之國家級計畫「CCU Mega Project」。此外，亦常以「工業共生（Industrial Symbiosis）」或「產業耦合（Industrial Coupling）」來描述鋼化聯產模式，特別是在安賽樂米塔爾 Steel2Chemicals 等計畫中，強調鋼鐵與化工產業間跨國、跨部門的合作。中國鋼鐵企業則多以「一體化」或「產業耦合」等名詞，突顯鋼鐵、化工與能源的系統整合。

基於上述差異，若欲進行鋼化聯產國際資訊蒐集與文獻回顧，建議搭配使用 CCU、CCUS、Carbon Recycling、Steel to Chemical、Carbon to Chemical 等關鍵字，並視研究重點延伸至甲烷化（Methanation）等專業術語，以掌握更完整的技術發展脈絡。

三、全球鋼廠鋼化聯產現況調查

(一)日本製鐵

日本製鐵集團子公司新日鐵化學材料(NIPPON STEEL Chemical & Material Co., Ltd.)於 2018 年更名成立，專責化學與新材料業務。強調有效再利用煉鐵過程中產生的煤瀝青與焦爐氣中的化學原料，實現資源不浪費與價值最大化。雖尚未見具體鋼化聯產的實績，但其在碳循環與副產品轉換領域擁有深厚技術基礎，具備未來延伸應用的潛力。

自 2019 年起，日本製鐵與商船三井、JFE Steel、日立造船等九家企業組成「CCR 研究會船舶碳循環工作小組」，推動以國內鋼廠產出的 CO₂ 分離、回收後，與氫氣合成甲烷的甲烷化技術，供船舶作為低碳燃料使用，是鋼廠與航運業低碳供應鏈轉型的重要示範。

(二)JFE

JFE 於 2022 年 7 月受日本新能源和產業技術綜合開發機構（NEDO）的委託，於 JFE 廣島縣福山市西日本製造所開發甲醇合成設備，期有效利用 CO₂ 合成甲醇，並考慮對外銷售。同年 12 月，JFE 再度宣布向 IHI 株式會社採購全球最大規模的甲烷合成設備，該設備預計每日可回收 24 噸 CO₂，並產生每小時 500 Nm³的甲烷。

2025 年 3 月，JFE 與三菱天然氣化工、三菱化學宣布將合作於岡山縣倉敷市水島廠區啟動鋼鐵副產物氣體生產甲醇，並進一步將其用於生產塑膠的重要原料丙烯，預定 2026 年正式啟動，將鋼廠餘氣導入化工鏈。

(三)浦項製鐵（POSCO）

韓國政府於 2024 年啟動「碳捕捉大型計畫」（CCU Mega Project），浦項製鐵被選為主要示範基地之一，目標是將煉鐵過程中產生的 CO₂ 用於生產船舶環保燃料用低碳甲醇和合成氣。儘管目前仍面臨經濟可行性的挑戰，但韓國政府高度重視該計畫的戰略意涵，期望透過國內成功案例引領全球碳循環技術的市場趨勢。

(四)安賽樂米塔爾（ArcelorMittal）

2018 年由 ArcelorMittal、荷蘭塔塔鋼鐵、陶氏化學(DOW)及研究機構合作推動的四年期試點 Steel2Chemicals 計畫，旨在探索將煉鋼過程中產生的副產氣體轉化為化工原料的可行性。該計畫以 ArcelorMittal 根特工廠為示範，透過費托合成（Fischer-Tropsch）技術，將含碳氣體與氫氣反應，製成可供化工廠使用的石腦油(Naphtha)，進一步生產塑膠等產品。示範工廠運作近兩年已成功證明碳循環鏈的技術可行性，然而鋼廠廢氣中含有大量氮氣，影響轉化效率，且大規模建廠仍面臨技術、空間與經濟挑戰。儘管如此，此計畫提供了寶貴的實證數據與跨產業合作經驗。

ArcelorMittal 與日本積水化學工業(Sekisui Chemical)自 2021 年起在 NEDO 支持下，展開為期三年的「煉鋼循環碳 CCU 國際合作」。此計畫於 ArcelorMittal 位於西班牙阿斯圖里亞斯的鋼廠測試，以積水化學獨有的化學循環技術為核心，將煉鋼過程中產生的 CO₂ 轉換為 CO 和氫氣混合的合成氣（Syngas），再次導入高爐取代傳統焦炭，構築鋼廠內部的碳循環系統。於 2023 年初步成果為 CO₂ 轉換率達 90%，氫氣轉換率達 75%，皆優於原先設定 CO₂ 大於 85%與氫氣大於 60%的目標。後續雙方計畫進行長期與高效反應測試，進一步評估技術放大與商業化的可能性，目標是在 2030 年度實現該技術的商業化。

此外，ArcelorMittal 與碳回收技術公司 LanzaTech 合作，採用 LanzaTech 專利生物循環技術，將 ArcelorMittal 比利時根特工廠的高爐所排放的富碳氣體轉化為乙醇，預計每年可生產 8000 萬公升，約占比利時目前需求的一半。此乙醇可直接用於燃料市場，也可進一步提純或轉化為包裝材料、服裝，甚至化妝品香料等消費品原料。

(五)蒂森克虜伯 (Thyssenkrupp)

蒂森克虜伯參與 2016 年由德國聯邦教育與研究部 (BMBF) 資助並結合企業和研究機構組成的 Carbon2Chem® 計畫，以捕捉和利用各種工業製程中的 CO 和 CO₂，轉化為化學原料如甲醇、氨與高價化學品。該計畫分為三個階段，第一階段(2016~2020 年)專注於開發和研究合適的製程和技術，並在杜伊斯堡建立測試中心，該中心與蒂森克虜伯系統相連。第二階段(2020~2024 年)進行長期試驗，並在工業規模上擴大和整合這些技術。目前正在籌備第三階段(2025~2028 年)將先前研究成果應用於各個工業領域，旨在透過在實際應用中驗證解決方案來應對不斷變化的條件。

(六)首鋼

首鋼京唐以轉爐氣為原料，輸送至首鋼朗澤，利用添加乙醇梭菌來生產乙醇，再將菌體分離乾燥後得到飼料蛋白，目前可達乙醇年產能 21 萬噸、飼料蛋白年產能 2.5 萬噸。

(七)鞍鋼

鞍鋼以焦爐氣為來源，進行製氫聯產液化天然氣，每年預計可減排 47 萬噸二氧化碳、174 噸二氧化硫及 1344 噸氮氧化物，目前具備 1.5 萬噸氫氣的年產量，液化天然氣年產量 12.5 萬噸。

(八)晉南鋼鐵

晉南鋼鐵於 2017 年成立山西沃能化工科技有限公司，使用焦爐氣及轉爐氣為來源建置乙二醇聯產液化天然氣生產線，於 2020 年投產，乙二醇年產量達 30 萬噸，液化天然氣年產量達 15 萬噸，目前除將鋼鐵製程副產氣體用於生產化工製品外，製程中所產出的氫氣可回送至煉鐵製程中再利用。

(九)石橫特鋼

石橫特鋼與山東阿斯德科技有限公司合作，以副產轉爐氣為原料合成甲酸及草酸，年產量分別為 20 萬噸及 5 萬噸，於 2018 年投產，預估每年可每年減少煤炭用量 102 萬噸、廢水排放 47 萬噸及二氧化碳排放 32 萬噸。

(十)達鋼

達鋼與四川達興能源有限公司合作，自 2007 年即利用焦爐氣及轉爐氣為原料來生產甲醇，並逐步擴增產能與生產種類，目前可達到甲醇年產量 50 萬噸及二甲醚年產量 20 萬噸。

(十一)建龍鋼鐵

2011 年達成甲醇年產量 20 萬噸，2022 年 4 月與吉林省吉林市政府與簽署《鋼化新材料產業園專案投資框架協定》，規劃於吉林建設鋼化聯產，積極推動副產品與生產廢料再利用。

四、結論與未來展望

綜合全球鋼廠實例顯示(表二)，儘管各國在技術路徑、政策環境與產業結構上有所差異，鋼化聯產已逐漸成為鋼鐵產業實現深度脫碳與副產物高值化的重要策略。相較於單純將副產氣體用於發電或燃燒，鋼化聯產可將鋼鐵製程中所產生的碳資源導入化工與能源體系，兼顧減碳效益與經濟價值，並促進鋼鐵、石化、能源與交通等跨產業碳循環技術的發展與商業模式創新。即使在技術成熟度、經濟性與法規支持等方面仍面臨挑戰，這些示範計畫已為未來鋼化聯產的大規模應用奠定關鍵基礎。

從技術與經濟觀察，現階段全球鋼化聯產計畫多仍處於示範或初期商業化階段，其推動普遍面臨經濟性與技術成熟度的雙重挑戰。一方面，高昂的初期投資與營運成本，使新製化學品須與成本相對低廉的傳統石化產品競爭，而目前多數地區的碳定價機制尚不足以完全反映減碳價值，限制了商業化推展速度；另一方面，氣體淨化與分離、催化劑長期穩定性，以及製程由示範規模擴大至工業規模的可行性，仍是亟待精進的關鍵技術課題。

從合作型態觀察，鋼廠在推動碳循環與資源價值最大化的過程中，已不再侷限於與化工企業合作，亦積極拓展至能源、航運等多元領域，形塑跨產業碳利用的創新生態系。

中鋼身為台灣具代表性的鋼鐵企業，已將鋼化聯產定位為重要減排手段之一，並完成先導工場建置。展望未來，除強化與化工廠既有合作基礎之餘，亦可參考國際案例進一步拓展與能源公司、物流船運業等策略合作，搶先布局未來碳中和及循環經濟所需之產業鏈整合機會。

表二、全球鋼化聯產實例彙整

鋼廠	合作對象	合作計畫名稱	目標產品	實施進度
Nippon Steel	新日鐵化學材料 (子公司)	-	-	尚未具體商業實績
	商船三井、JFE Steel、日立造船等 9 家企業	CCR 研究會船舶碳循環工作小組	船用燃料甲烷	技術研發與示範階段
JFE	IHI、NEDO	-	甲烷、甲烷	每日可回收 24 噸 CO ₂ ，並產生每小時 500 Nm ³ 的甲烷

鋼廠	合作對象	合作計畫名稱	目標產品	實施進度
	三菱瓦斯化學、三菱化學	—	甲醇、丙烯 (塑膠原料)	2026 年正式啟動示範設備
POSCO	韓國政府、GS Caltex、韓羅水泥等多家企業	CCU Mega Project	船用燃料、合成氣、基本化學品、多元醇等	2026 年正式啟動示範
ArcelorMittal	LanzaTech	—	乙醇	每年可生產 8000 萬公升，已應用船舶燃料
	日本積水化學、NEDO	煉鋼循環碳 CCU 國際合作	合成氣	2023 年轉化率 90%，預計 2030 年商業化
	陶氏化學、塔塔鋼鐵及研究機構等	Steel2Chemicals	石腦油、塑膠	已完成試點階段，研擬規模化
Thyssenkrupp	由 BMBF 資助，20 多個來自科學界和工業界合作夥伴參與	Carbon2Chem®	甲醇、氨與高價化學品	2018 年起示範，目前籌備第三階段
首鋼京唐	朗澤科技	鋼鐵工業尾氣生物發酵 轉爐氣生物轉化乙醇計畫	乙醇、飼料蛋白	2018 年首條生產線運行，2024 年啟動二代 CO2 直接轉化技術
鞍鋼	鞍鋼中集新能源科技有限公司	焦爐氣制氫聯產 LNG	氫氣、液化天然氣	2024 年 9 月於遼寧正式投產
晉南鋼鐵	山西沃能化工	鋼焦化氫電一體化	乙二醇、液化天然氣	2020 年投產，具備年產 30 萬噸乙二醇能力
石橫特鋼	山東阿斯德科技有限公司	轉爐煤氣提純制甲酸	甲酸、草酸	2018 年正式投產，已穩定運行超過五年
達鋼	四川達興能源	焦爐氣與轉爐氣制甲醇	甲醇、二甲醚	2007 年投產，是中國早期鋼化聯產的成功案例
建龍鋼鐵	吉林市政府	鋼化新材料產業園	甲醇	既有產能運轉中，產業園規劃推動中

五、參考來源

1. 日本製鐵等 9 家企業著手推動二氧化碳再利用之船舶用燃料實用化，材料世界網，2020。
2. NIPPON STEEL Chemical & Material Co., Ltd.
3. IHI Group to Contribute Further to Carbon Dioxide Recycling from Exhaust Gases through New JFE Steel Order for World's Largest Methanation Unit
4. JFE、製鉄の排出 CO2 有効利用へ現場試験 千葉と広島で，日本經濟新聞，2022。
5. Japan's MGC, JFE to recycle CO2 to produce methanol
6. 韓國擬進行碳捕集與利用超大型項目，世界金屬導報，2024
7. S2C – Steel2Chemicals
8. Steel2Chemicals
9. SEKISUI CHEMICAL begins survey on scale-up of chemical looping technology for CO2 to CO conversion and the suitability of demonstration requirements for application to CCU
10. ArcelorMittal and LanzaTech Announce Ethanol Production Milestone and Shipment of First Barge from Flagship Steelanol Facility in Belgium
11. Thyssenkrupp Carbon2Chem®: Carbon Capture, Storage and Utilization
12. 郭玉華、周繼程，中國鋼化聯產發展現狀與前景展望，中國冶金，2020。
13. 淺析鋼化聯產與鋼鐵行業降碳減排，北大先鋒，2022。
14. 閔俊榮，晉南鋼鐵：開創「鋼焦化氫電」一體化耦合降碳先河，中國化工報，2023。
15. 李東周，鋼化聯產向“春”來，中國化工報，2023。
16. 石書軍，前沿|關於在鋼鐵企業中實施“以化固碳鋼化聯產低碳冶金”幾個前沿技術問題的思考，東北大學學術報告，2020。
17. 樊三彩，鋼鐵產業「鏈」動未來，中國冶金報，2022。
18. 宋霞，吃掉工業尾氣產出乙醇、蛋白質 首鋼朗澤讓鋼鐵廠尾氣變廢為寶，北京青年報，2024。
19. 潘福達、鄧偉，鋼鐵廠工業尾氣變廢為寶，首鋼朗澤最新生產線開工，北京日報，2024。
20. 鞍鋼中集焦爐氣制氫聯產 LNG 專案順利投產，國際氫能網，2024。