



鋼廠動態

1. CBAM 實施重塑市場 促使全球綠鋼轉型 1
2. 歐盟低碳鋼鐵專案受阻綠色轉型面臨嚴峻挑戰 3
3. 基於歐盟碳市場免費配額分配機制的鋼鐵產品
CBAM 免費配額與碳關稅預測 4
4. 汽車業驅動綠鋼市場預計 2036 年突破一兆美元 5
5. 日本鋼鐵業可透過進口 HBI 強化綠色競爭力 5
6. 2026 年 CCUS 產業發展的五大觀察重點 6
7. 美國發布 CCS 抵稅政策指引提升申報靈活性與程
序確定性 7
8. 浦項製鐵獲韓國政府低價氫能支援加速氫能煉鐵
技術商轉 7
9. 寶鋼湛江百萬噸級近零碳全流程產線正式投產 8
10. 中天鋼鐵近零碳電爐精品鋼專案動工綠電比例將
近 100% 9
11. TSR 供應 thyssenkrupp 再生廢鋼以生產減碳鋼材 9
12. 安賽樂米塔爾擴大再生能源項目 10

技術/生產資訊

- | | |
|---|----|
| 1. 高爐高比例球結礦冶煉研究現狀及展望 | 11 |
| 2. 210t 轉爐 CO ₂ 頂底復吹工藝應用與碳排放分析 | 12 |
| 3. 基於多標準對比的廢鋼利用減碳效益評估與路徑優化 | 13 |
| 4. 現代製鐵申請大廢鋼比熱軋 FB 鋼專利 | 14 |
| 5. 韓國電氣化熱處理技術 減少排放量達 98%以上 | 15 |

技術專欄

- | | |
|-----------------------------------|----|
| ※日本製鐵低碳高爐、大型電爐及 CCUS 脫碳技術
研發進展 | 16 |
|-----------------------------------|----|

1. CBAM 實施重塑市場 促使全球綠鋼轉型

隨著歐盟碳邊境調整機制 (CBAM) 於 2026 年 1 月正式啟動，全球鋼鐵貿易流向與成本結構預計將迎來巨大震盪。產業專家直言，CBAM 並非單純的環保規範，而是一場針對高碳製程鋼鐵業的結構性清算。未能即時完成體質革新的鋼鐵企業，將面臨被全球高端市場與供應鏈排除的高度風險。

以韓國鋼鐵龍頭浦項 (POSCO) 為例，即便擁有汽車鋼板、電磁鋼等高附加值產品，在價格與品質上具備國際競爭力，仍難在 CBAM 制度下全身而退，關鍵原因在於長期以高爐為主的生產結構，碳排強度過高。若以歐盟碳價約 78 歐元計算，浦項將面臨高達 156 歐元的碳成本負擔，年化潛在碳成本高達 4.68 億歐元，足以動搖出口獲利根基。

在碳成本壓力逼近下，浦項已被迫加速轉型，包括於光陽製鐵所啟用年產 250 萬噸電爐 (EAF)，逐步替代高爐產能；同時於既有高爐製程中導入替代原料與減碳技術，以降低單位排放。此外，其原材料採購體系也全面轉向低碳化，以回應 CBAM 對原材料端逐級碳足跡核算的嚴格要求。

在歐洲，CBAM 的實施迫使生產商與進口商必須精確量化碳排放，過往模糊的綠色品牌行銷已難以持續。為了建立可信度，業界正積極推動如「LESS」或「ResponsibleSteel」等認證標準，預期認證數據將取代行銷口號，成為汽車與建築業等機構買家的採購基準。然而，轉型過程依然艱辛，高昂的電價與基礎設施落後，已導致包含安賽樂米塔爾與蒂森克虜伯在內的多家鋼廠修正或延後其去碳化計畫。

中東與北非地區則處於特殊的發展地位，該地區幾乎百分之百採用電弧爐 (EAF) 產線，碳排放量低於每噸鋼 1 噸二氧化碳，遠低於全球平均的 1.9 噸。

儘管擁有低碳優勢與豐富的綠氫潛力，由於該區主要生產長材，而歐洲進口需求有 90%以上集中在板材，加上歐盟即將實施更嚴格的貿易配額，使得該區難以完全發揮其低碳競爭力。

中國在綠色鋼鐵的生產與出口方面則顯現出技術能力，許多鋼廠已能將排放量較傳統製程降低 30%至 40%，且部分產品已符合 CBAM 基準。雖然中國擁有龐大的綠電供應與國家碳交易系統支持，但由於歐盟設定的高預設排放值（熱軋捲板達 3.187 噸二氧化碳），預計每噸將面臨高達 145.46 歐元的負擔，這將在短期內大幅減弱中國綠鋼在歐洲的競爭力。

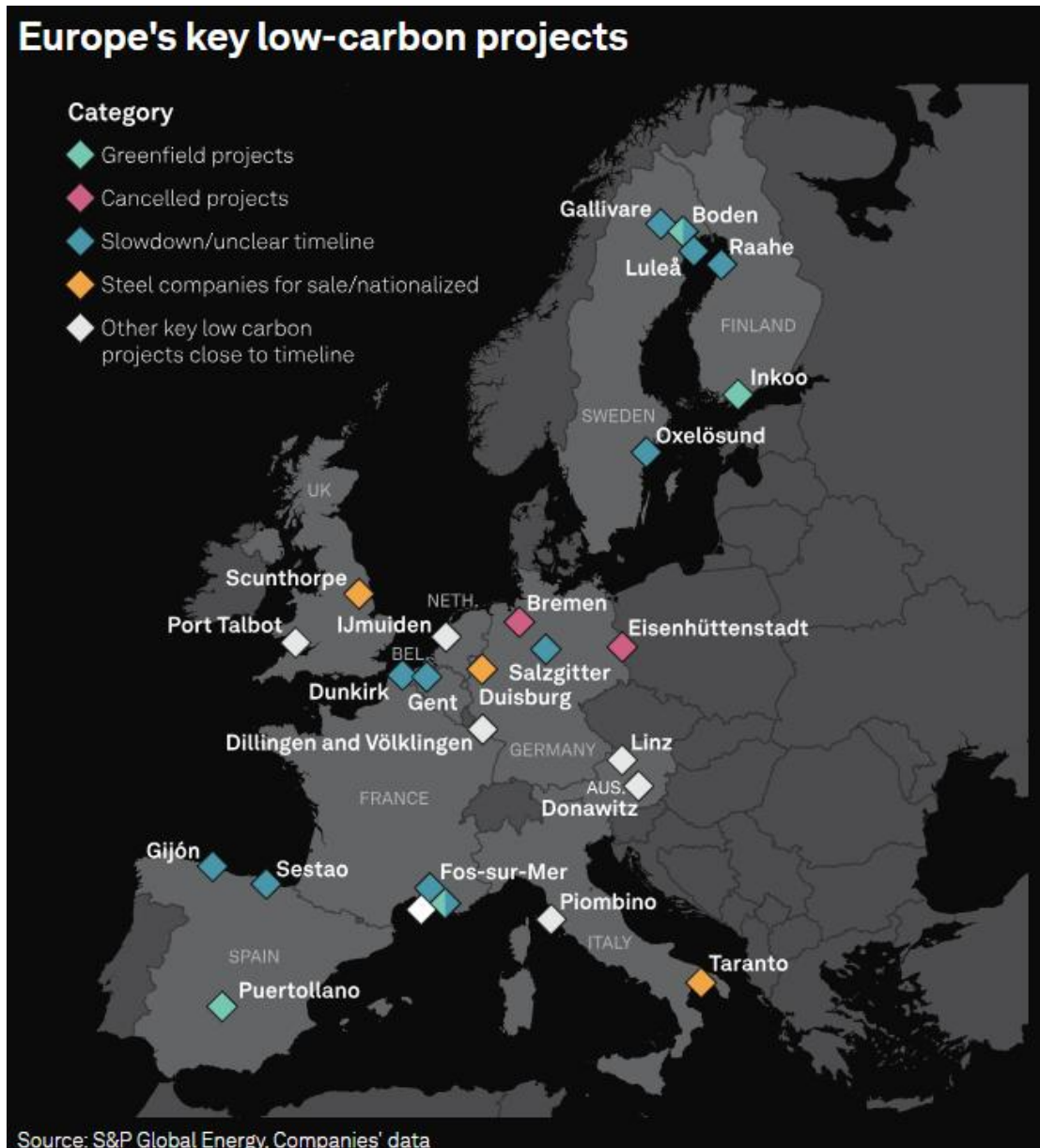
專家強調，CBAM 的真正殺傷力，不在於碳價本身，而在於制度迫使整條價值鏈同步承擔碳責任。隨著歐盟要求產品碳排必須可追溯、可驗證，韓國鋼鐵企業正加快與上游礦商及原料供應商建立碳數據聯動與即時回傳系統，確保其產品能以「綠色鋼鐵」身分持續進入歐洲市場。

CBAM 不是短期成本上升，而是全球鋼鐵業競爭規則的改寫。在碳排成為顯學時代，鋼鐵企業需改變傳統產量與價格思維。針對台灣鋼鐵業，專家指出 CBAM 並非「是否出口歐盟」的選擇題，而是「是否被全球供應鏈承認」的生存題。即使鋼材不直接銷往歐洲，中下游產品如機械、車用零組件仍屬 CBAM 管制範圍，整體供應鏈勢必依歐盟制度回溯計算碳足跡。未來，中下游業者將優先向具備碳數據、能配合 CBAM 核算的上游鋼廠採購，市場將自行淘汰無法配合者。

（摘自：SNN 環宇鋼鐵網 2026-01-08、SNN 環宇鋼鐵網 2026-01-09）

2. 歐盟低碳鋼鐵專案進程受阻綠色轉型正面臨嚴峻挑戰

歐洲鋼鐵業的綠色轉型在 2025 年正面臨嚴峻挑戰，下圖為歐盟低碳鋼鐵專案路線圖，其中 2 案確定取消、12 案暫緩，另 7 項已接近專案規劃時程但仍具不確定性。



圖一、歐盟低碳鋼鐵專案路線圖

儘管獲得政府數十億歐元的資金支持，但受限於宏觀經濟不景氣與高昂成本，鋼廠被迫縮減計畫。目前歐洲轉型面臨的三大瓶頸包括：

(1)能源成本高昂：缺乏可負擔的綠色能源使氫基專案失去競爭力。

(2)政策框架不明：極需更清晰的法規與更強勁的市場需求支撐。

(3)專案停滯：路線圖顯示多個計畫已遭取消、延遲或面臨時程不明確的困境。

為應對危機，歐盟正討論相關應對措施，包含推動「購買歐洲貨」準則、強化貿易防禦措施以取代現有的保障措施，並著手降低能源成本。2026 年被視為決定性的一年，歐洲必須證明其具備將去碳化雄心轉化為經濟可行性的能力，否則低碳鋼鐵將僅淪為口號。

(摘自：S&P Global 2025-12-12)

3. 基於歐盟碳市場免費配額分配機制的鋼鐵產品

CBAM 免費配額與碳關稅預測

寶鋼中央研究院整理了歐盟排放交易體系 (EU ETS) 鋼鐵行業免費配額分配機制，提出在歐盟碳邊境調節機制 (CBAM) 框架下套用 EU ETS 免費配額分配機制需要解決的工序與產品間轉換邏輯、計量口徑切換與工序間產品混合計算方法的問題。在此基礎上，本研究基於 EU ETS 免費配額分配機制提出了一套可行的 CBAM 免費配額分配機制，並估算高爐—轉爐、全廢鋼電爐、全氫能 DRI 電爐、廢鋼/氫能 DRI—電爐 (廢鋼：氫能 DRI=7:3) 4 種鋼鐵生產工藝路線下粗鋼產品的噸鋼免費配額，分別為 1.644、0.053、2.081、0.636 EUA，最終導致 2034 年中國鋼鐵出口產品的噸鋼碳成本增加 151 歐元以上。基於核算結果並結合其國內產業結構分析，研究建議中國鋼鐵業透過重點開展高爐—轉爐低碳冶金工藝研究、逐步發展 DRI—EAF 工藝，並促進綠電與全廢鋼電爐的共同發展，有效應對歐盟 CBAM 機制並推動產業轉型。

(摘自：寶鋼技術(CNKI) 2025-10-30)

4. 汽車產業將驅動綠鋼市場規模於 2036 年突破一兆美元

最新產業報告預測，全球綠鋼市場價值將從 2026 年的 5,729.7 億美元 (約 18.02 兆新台幣)，於 2036 年攀升至 1 兆 447 億美元 (約 32.85 兆新台幣)。市場成長原因主要受惠於建築與汽車產業對低碳生產技術的強勁需求，其中，汽車產業將成為綠色鋼鐵最大的終端應用市場，預計 2026 年占比 38%，反映車廠在供應鏈減排壓力下，積極與鋼廠簽訂長期低碳鋼材供應協議的趨勢。

在生產技術方面，電爐憑藉成熟的**廢鋼回收能力與再生能源整合優勢**，預計在 2026 年占據 54% 的市場份額，成為主導技術。此外，氫能 DRI 雖然面臨高資本支出與基礎設施限制，但仍被視為實現淨零目標的關鍵路徑，尤其在歐洲與北美地區正加速推展相關專案。

(摘自：[Fact.MR 2025-12-18](#))

5. 日本鋼鐵業可透過進口 HBI 強化綠色競爭力

雖然氫基直接還原鐵技術已成為產業去碳化的核心關鍵，但日本國內氫氣生產成本高昂，且進口氫氣也存在困難，使得日本鋼鐵業減碳進程正面臨挑戰。

為此，日本自然能源研究所 (REI) 與德國智庫 Agora Industry 聯合發表研究報告，建議日本鋼鐵業將氫還原製程與後續煉鋼工序「脫鉤」，轉向從再生能源與鐵礦砂豐富的國家進口熱壓鐵 (HBI)。

報告強調，像日本這樣能源成本較高的國家，應透過參與建構國際綠色鋼鐵供應鏈，強化其鋼鐵在全球低碳市場中的競爭力。

(摘自：[自然能源研究所 2025-12-15](#))

6. 2026 年 CCUS 產業發展的五大觀察重點

2026 年被視為碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 產業發展的關鍵分水嶺，產業正從政策規畫轉向實質建設，以下為五大觀察重點：

(1)規模擴大但大型專案延遲：西北歐與地中海地區多個樞紐專案將達成最終投資決策，如荷蘭 Aramis 與英國 HyNet。然而，全球 30 個規模超過 10 Mtpa 的大型項目 (Mega-projects) 因面臨高昂成本、許可挑戰及需求風險，預計會出現延遲。例如，美國 Summit 項目與加拿大 Pathways 預計推遲至 2027 或 2028 年。

(2)碳捕捉技術多元化：全球碳捕捉能力預計在 2026 年底增長至 136 Mtpa。技術應用正從傳統工業擴散至低碳氫能與化石燃料電廠。值得注意的是，美國人工智慧 (AI) 數據中心對穩定電力的高度需求，正推動科技巨頭 (如 Google) 投資天然氣發電結合 CCS 的項目，以確保低碳電力的穩定供應。

(3)二氧化碳運輸勢頭強勁：繼 Northern Lights 啟動後，二氧化碳航運將向全球擴張。丹麥 Greensand 項目預計於 2026 年啟動第一階段注儲。同時，日本正測試低溫低壓航運技術，這對亞太地區長距離、跨國界的 CCS 協作相當重要，能有效降低運輸成本。

(4)亞洲正從監管轉向融資，而美國和歐洲則面臨政策阻力：亞洲國家 (如日本、新加坡、印度) 正從法規制定轉向直接資金補貼與激勵機制。相比之下，歐美面臨政策阻力：美國面臨 45Q 稅收抵免的法律不確定性，歐盟則因《淨零工業法案》的封存目標分配引發羅馬尼亞生產商的訴訟。

(5)在合規碳市場中日益受到關注：CCUS 將正式整合進合規碳市場。英國與歐盟正研議將 BECCS 與 DACCS 納入其排放交易體系。同時，印度與日本的碳市場將於 2026 年進入合規階段，並認可 CCUS 信用額度用於國際貿易。

(摘自：Wood Mackenzie 2026-01-02)

7. 美國發布 CCS 抵稅政策指引 提升申報靈活性與程序確定性

2025 年 12 月，美國財政部與國稅局 (IRS) 於《One, Big, Beautiful Bill》(OBBB) 法案中擴大修訂碳捕捉與封存 (CCS) 稅收抵免政策，並發布 Notice 2026-01 指引，主要針對在 2025 年進行碳捕捉並安全地質儲存的企業提供「安全港」(Safe Harbor) 機制。

根據指引，若美國環境保護署 (EPA) 的電子溫室氣體申報工具 (e-GGRT) 未能於 2026 年 6 月前針對 2025 申報年度啟動，企業可採取替代方案。納稅人可編製年度報告並提交給具備資格的獨立工程師或地質師進行審核。

在正式法規公佈前，企業可完全依循 Notice 2026-01 指引進行稅額扣抵規劃。對於正積極布局綠色轉型、擬領取碳抵免額度的鋼鐵企業而言，這項指引大幅降低因政府系統延遲而產生的合規風險。

(摘自：美國國稅局 2025-12-19)

8. 浦項製鐵獲韓國政府低價氫能支援 加速氫能煉鐵技術商轉

韓國政府正研擬專案計畫，將以每公斤約 54.3 元新台幣的優惠價向浦項製鐵的氫能開發計畫供應氫氣，價格僅為當前韓國氫氣市價的四分之一。此舉可助韓國實現 2030 年減碳 50% 的目標，並強化產業競爭力。

根據韓國鋼鐵協會數據，每生產 1 噸生鐵需約 90 公斤氫氣作為還原劑。業界普遍認為，氫氣成本需降至每公斤 2 美元 (約 62.8 元新台幣) 以下，氫能煉

鐵才具備經濟可行性。

浦項製鐵則預計於 2028 年啟動年產 30 萬噸的 HyREX 示範設施，政府屆時每年需供應約 2.7 萬噸氫氣。若以四分之一價格供應，相當於每年提供約 2,000 億韓元(約 43.4 億新台幣)的實質補貼。相較於美國提供每公斤 3 美元(約 94.2 元新台幣)的清潔氫稅額抵減，以及歐洲投入 123 億歐元(約 4,539.6 億新台幣)建構氫能價值鏈，韓國政府正積極縮短與歐美補貼政策的差距。

(摘自：Chosun Biz 2025-12-23)

9. 寶鋼湛江百萬噸級近零碳全流程產線正式投產

寶鋼湛江 2025 年 12 月宣佈中國首條百萬噸級近零碳鋼鐵產線正式全線貫通，該產線應用寶武「氫冶金電熔煉工藝」(Hydrogen Metallurgy Electric Smelting Process, HyRESP)，整合已投運的百萬噸級氫基豎爐與新建的高效電爐，形成「氫基豎爐還原—高效電爐冶煉—低碳軋製生產」的完整產線。

湛江鋼鐵將以「氫基豎爐直接還原鐵 (DRI) + 廢鋼」為主要原料，取代傳統高爐的焦炭還原過程，從源頭大幅削減化石能源消耗，對比同等規模的傳統高爐製程，該產線預計可實現降碳 50%至 80%，每年減少二氧化碳排放量超過 314 萬噸。

(摘自：人民網南方日報 2025-12-23)

10. 中天鋼鐵近零碳電爐精品鋼專案動工綠電比例將近 100%

2025 年 12 月，中天鋼鐵正式啟動「近零碳電爐精品鋼專案」建設，目標透過尖端工藝與能源管理系統的結合，實現能源結構的徹底轉型。專案總投資超過 30 億元人民幣（約 134.7 億新台幣），預計於 2026 年完工投產。

該專案採用全球領先的電爐裝備與先進工藝，並配套「風光儲」一體化智慧能源系統，透過太陽能發電、自有風電以及儲能系統的最優調配，綠電使用比例將接近 100%。電爐專案達產後，將形成「綠色製造+清潔能源」深度融合的示範模式，可做為業界低碳轉型的參考。

（摘自：冶金信息網 2025-12-29）

11. TSR 供應 thyssenkrupp 再生廢鋼以生產減碳鋼材

TSR 集團（TSR Group GmbH & Co. KG）與 thyssenkrupp 簽署了一項長期供應協議，持續推動工業去碳化與循環經濟發展。根據協議，TSR 集團將供應其開發的創新再生產品「TSR40」，該產品已於 2023 年在杜伊斯堡（Duisburg）工廠實現工業化規模生產，並於 2024 年擴展至漢堡（Hamburg）及阿姆斯特丹（Amsterdam）工廠。TSR40 完全由報廢車輛或混合廢鋼等消費後廢料製成，具備高品質的材料規格，能直接投入蒂森克虜伯的高爐中使用，這正是生產「bluemint® recycled」減碳扁鋼的關鍵原料。

此項合作取得的具體成果在於，使用 TSR40 能有效降低高爐生產過程中的二氧化碳排放。透過「bluemint® recycled」品牌所生產的鋼材，除了其特定的低碳排放特性外，機械性能與傳統生產的鋼種並無二致，能廣泛應用於汽車、包裝、家電、變壓器、風力發電機及電動車等多元產業場景。蒂森克虜伯鋼鐵財務

長 Philipp Conze 強調，TSR40 是公司去碳化策略的重要組成，可協助客戶大幅減少範疇三排放，並滿足市場對提高產品中再生材料比例的需求。TSR 集團營運長 Denis Reuter 認為，此協議是支持鋼鐵產業轉型的重要步驟，雙方透過密切合作確保高品質回收原料的供應安全，同時減少對不穩定供應鏈的依賴。這項合作不僅加速了低碳鋼鐵生產的進程，也展示了鋼鐵業邁向 2045 年氣候中和目標的實踐力。

(摘自：thyssenkrupp 2025-12-28)

12. 安賽樂米塔爾擴大再生能源項目

安賽樂米塔爾將於印度啟動三個新的再生能源項目，涵蓋太陽能 and 風能設施。工程完成後，安賽樂米塔爾在印度的再生能源裝置容量將翻倍達到 2GW。三個項目分別位於 Maharashtra(36MW 太陽能)、Rajasthan(400MW 太陽能)、Gujarat(250MW 風電與 300MW 太陽能)，每年減少 159 萬噸二氧化碳。預期於 2027 年上半年與 2028 上半年完成，總資本支出預計為 9 億美元。所發的電力將供應給 AMNS India，當安賽樂米塔爾於印度所有項目皆完成後，可為 AMNS India 提供 35%電力需求。

除此之外，AMNS India 也有開發自己的再生能源項目，同樣位於 Gujarat，規模也類似，涵蓋 300MW 太陽能與 250MW 風電，可減少每年 90 萬噸二氧化碳排放。

(摘自：ArcelorMittal 2025-12-22)

1. 高爐高比例球結礦冶煉研究現狀及展望

高爐使用高比例球結礦替代燒結礦，因其具有顯著環保優勢與冶煉效能，成為低碳技術革新的核心方向。球結工藝在生產能耗上優於燒結，主因在於燒結需配入大量焦粉或煤粉（約 45~55 kg/t），而球結僅在乾燥與焙燒環節需少量噴煤（約 20~35 kg/t），使得球結的二氧化碳排放量僅約燒結的 40%，且粉塵與氮氧化物等污染物排放也顯著降低。在冶煉成效方面，球結礦具備鐵品位高、粒度均勻及還原性能優良等特性。研究指出，鐵礦石品位每提高 1.0%，高爐焦比可降低約 1.5%，產量增加 2.0%。瑞典鋼鐵 Luleå 廠 3 號高爐已實現近 100% 球結礦冶煉，維持渣比僅 165 kg/t 的高效運行；首鋼京唐亦成功將鹼性球結比例穩定在 55% 以上，單座高爐最高突破 70%，實現了焦比降至 257 kg/t、利用係數達 2.62 的優異指標。

技術實踐上，研發高矽鎂質熔劑性球結礦是提升入爐比例的關鍵。高矽球結礦可增加資源選擇並降低成本，而添加 MgO 則能改善爐渣流動性並增強脫硫能力。研究發現，SiO₂ 含量對球結冶金性能影響顯著，隨其含量增加，抗壓強度呈先增後降趨勢，在 5.0% 時達到較優值；同時，適量 MgO 可有效抑制還原膨脹，但過量會形成高熔點相，導致還原率下降。此外，鹼度的精準調控對球結強度與還原性相當重要，將鹼度維持在 1.0 左右能獲得最佳抗壓強度。在焙燒工藝中，水分控制在 8.0% 及分段預熱技術能確保生球強度並防止爆裂。

高比例球結礦冶煉也面臨諸多挑戰，由於球結礦粒度均勻且具高滾動性，易向爐喉邊緣與中心偏析，形成「平台+漏斗」狀料面，導致料柱透氣性惡化。應對措施包括動態調整溜槽傾角（球結比例每增 10%，傾角提高約 2°）及適度提升中心焦炭比例（15%~20%）以維持氣流穩定。在軟熔帶特性方面，球結礦比例增加會使軟化溫度下降且軟熔區間擴大，干擾煤氣分布；但當比例超過 70% 後，

因熔化區間變窄，熔滴性能反而有所改善。針對渣系變化，由於球結冶煉常伴隨低渣比，會導致脫硫能力下降與排鹼矛盾。技術上需嚴格控制 $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 質量比在 0.60~0.70，並維持二元鹼度在 1.20~1.30，以兼顧爐渣流動性與脫硫效率。未來研究將聚焦於優化球結分級混合技術、創新爐料結構設計，並透過配入適量燒結礦促進高矽球結礦化，進一步提升高爐在超高球結比例下的運行穩定性。

(摘自：鋼鐵研究學報(CNKI) 2025-12-04)

2. 210t 轉爐 CO_2 頂底復吹工藝應用與碳排放分析

北京科技大學與山東鋼鐵集團合作，深入探討將 CO_2 引入 210 噸大型轉爐煉鋼製程的技術可行性與環保效益，透過熱力學計算與 484 爐次的工業試驗，證實了 CO_2 作為弱氧化劑在轉爐冶煉中的多重優勢。

與純氧冶煉相比， CO_2 與碳、鐵的反應屬於吸熱反應，這種特性使其表現出弱氧化性，能有效減緩熔池升溫速度，進而有利於延長脫磷反應時間並提高脫磷效率。在動力學方面，1 莫耳的 CO_2 與碳反應可產生 2 莫耳的 CO 氣體，這種氣泡增值現象顯著增強了熔池的攪拌能，改善了鋼液與鋼渣界面的反應動力學條件。此外，由於 CO_2 在常溫下的密度高於氧氣，混合噴吹增加了射流的軸向動壓力與衝擊力，優化了熔池內的物質傳遞。

研究結果顯示，噴吹 CO_2 能有效提升脫磷效果，脫磷率較常規工藝最佳可提高 1.25%，終點磷質量分數降低了 25 ppm。在終點控制上，由於攪拌能增加提高了氧化劑與碳的接觸效率，各試驗模式的碳氧積均有所下降，最佳可降低 1.16×10^{-4} ，有利於減少後期脫氧劑用量並提升鋼水純淨度。此外，該技術還顯著減少了固體廢棄物的產生，噸鋼粗灰產量較常規製程減少 0.45 kg，下降幅度達 8.57%。

在資源回收與減碳成效方面 CO₂ 的引入增加了轉爐煤氣的生成量與熱值。噴吹後，噸鋼煤氣回收量增加了 7.43 立方公尺，CO 體積分數較常規爐次高出 0.58 個百分點。透過全生命周期理論計算，CO₂ 頂底複吹工藝能顯著降低工序碳排放，降幅介於 8.47%至 11.58%之間。總體而言，增加 CO₂ 噴吹比例不僅優化了冶煉指標，更透過提高煤氣回收量實現了顯著的碳抵扣。

(摘自：煉鋼(CNKI) 2025-08-25)

3. 基於多標準對比的廢鋼利用減碳效益評估與路徑優化

本論文由河鋼集團戰略研究所及河鋼採購總公司合作進行，聚焦於鋼鐵行業提升廢鋼利用比例的碳減排路徑，透過多標準對比與模型構建，尋求減碳與經濟效益的平衡點。研究首先對比世界鋼鐵協會 LCI、負責任鋼鐵(Responsible Steel)、德國 LESS 及中國鋼鐵工業協會《低碳排放鋼評價方法》四大標準，發現各國標準在廢鋼定義與核算邊界上存在顯著差異。其中《低碳排放鋼評價方法》因引入「鑄胚收得率」等本土化參數，更符合中國以轉爐煉鋼為主的生產特性。

在技術層面上，研究建立熱平衡與物料平衡優化模型，量化補熱措施對提升廢鋼比的效果。在基準鐵水條件下，轉爐煉鋼的理論廢鋼比上限為 19.8%。若要進一步突破，廢鋼預熱被評為最優技術路徑，可使廢鋼比提升約 9%，且對鋼液品質影響最小。此外，添加焦炭作為碳質補熱劑可提升廢鋼比約 7%，其反應產生的轉爐煤氣具備碳抵扣潛力；而矽鐵補熱受限於熱效率較低且需額外配加石灰，對廢鋼比的提升幅度僅約 1%。若採用廢鋼預熱結合補熱劑的複合方案，總廢鋼比最高可提升至 37.6%。

關於物料平衡的成效分析顯示，廢鋼收得率(廢鋼品質)是維持生產穩定與經濟效益的核心保障。當廢鋼收得率由 92%降至 85%時，為維持產量所需的鐵水補償量顯著增加，物料平衡波動加劇。在碳減排成效上，每增加 1 噸廢鋼利用可

減少約 1.42 噸二氧化碳排放。然而，補熱措施產生的能源消耗會抵消部分減排收益。在《低碳排放鋼評價方法》下，由於未計入轉爐煤氣的碳抵扣，廢鋼預熱因表觀減碳量最高而具備投資優勢。

最後，本研究認為當鐵水與廢鋼的價差超過特定閾值（LCI 方法為 1361 元新台幣/t，低碳鋼評價方法為 454 元新台幣/t）時，提高廢鋼比能同時達成減碳與降本的「雙贏」目標。企業應根據品質要求、生產節奏與現有設備，動態優化補熱路徑，並加強廢鋼精細化管理與預處理，以在經濟可行的範圍內實現碳中和目標。

（摘自：冶金信息網 2025-11-13）

4. 現代製鐵申請大廢鋼比熱軋 FB 鋼專利

本發明致力於解決電爐煉鋼製程中，因大量使用廢鋼導致鋼材中銅（Cu）與錫（Sn）等殘留元素過高，引發熱脆性及表面品質劣化的問題。本案旨在提供一種能有效控制不純物含量，同時確保高強度、優異表面品質與成形性的熱軋 FB 鋼及其製造方法，以滿足車用結構件對輕量化與安全性的需求。

本發明的核心技術特徵在於優化煉鋼原料配比與微觀組織控制。在製程上，採用「高爐鐵水」（20%~60%）、「直接還原鐵/DRI」（10%~40%）與「廢鋼」（20%~60%）進行混合冶煉。實施例顯示，藉由控制鐵水比例（如 30%-60%）與 DRI 的添加，能有效稀釋廢鋼帶來的雜質，將 Cu 控制在 0.12% 以下、Sn 控制在 0.012% 以下，顯著優於比較例（Cu 高達 0.17%）。

（摘自：日本專利 JP2025540946 2025-12-17）

5. 韓國電氣化熱處理技術 減少排放量達 98%以上

韓國能源研究所 (KIER) 近期發表一項突破性的電氣化熱處理技術，解決汽車與家電用鍍鋅鋼帶生產過程中，傳統退火製程所產生的高額排放問題。

該技術透過創新電爐設計，在保留原有耐火結構與鋼帶輸送機制的前提下，於加熱爐上下部安裝電加熱元件。透過精密控制加熱元件與鋼帶間的距離，利用高溫輻射熱實現快速且均勻的升溫，可最大程度減少爐牆熱損耗。

實驗顯示，新電氣化技術相較傳統燃燒爐產出之產品品質相當，並可減少超過 98% 的排放量。此外，因電氣化退火爐不再需要燃料供應系統、燃燒器及廢氣排放設施，整體資本支出與安裝空間均縮減約 40%。若進一步結合綠電，即可達成完全零碳的熱處理流程。未來 KIER 計畫開發 AI 智慧設計系統，根據鋼帶寬度、厚度與傳輸速度，自動推薦最佳加熱元件配置。

(摘自：SteelOrbis 2026-01-02)

※日本製鐵低碳高爐、大型電爐及 CCUS 脫碳技術研發進展

撰稿人 T41 黃俊傑

一、日本製鐵的低碳政策與研究進展

在全球氣候變遷日益嚴峻的背景下，鋼鐵業作為碳排放強度最高的產業之一，其脫碳進程關乎日本國家綠色轉型戰略的成敗。日本製鐵於 2021 年發布了「2050 年碳中和願景」，明確提出以「多元並行」的技術路徑推進轉型，主要包含 COURSE50 與 Super COURSE50 高爐氫還原技術、大型電爐製造高級鋼品、以及 CCUS 技術，如下圖 1。

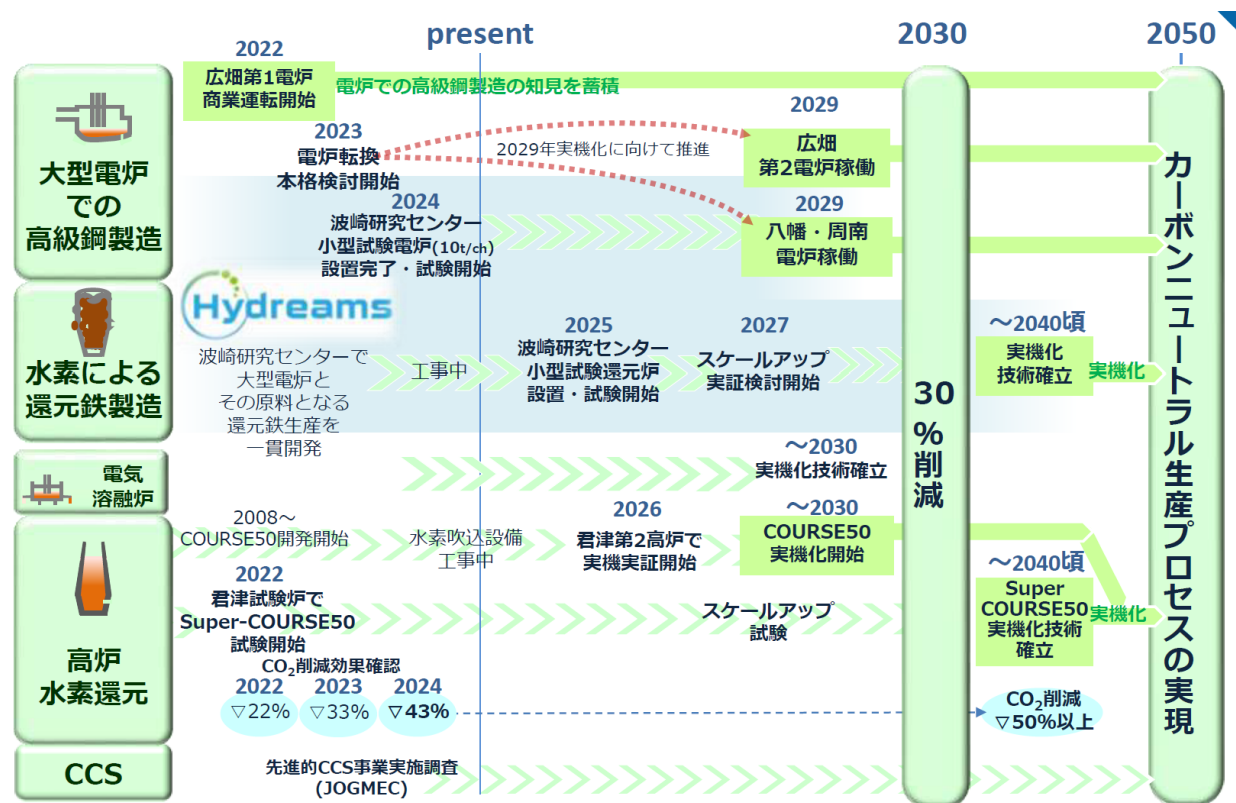


圖 1、日本製鐵 2050 年碳中和路線圖

為支持革新技術的開發，日鐵積極尋求政策支援，其中綠色創新基金(Green Innovation Fund)「鋼鐵製程中氫氣利用」專案的總補貼金額達到 4,499 億日圓 (約 923 億元新台幣)。日本製鐵將脫碳技術視為提升全球競爭力的核心之一，企

圖在 2030 年達成削減 30% 碳排放(較 2013 年基準)，並支撐其「1 億噸年產能、1 兆日圓實力利潤」的長期經營願景，以下將簡介其重要技術。

1. COURSE50 高爐富氫噴吹

COURSE50 於 2008 年啟動旨在利用鋼廠內部產生之焦爐氣(COG)取代部分焦炭，達成減碳 10% 成效，並透過捕集高爐煤氣中的 CO_2 以減少 20% 的碳排放。日本製鐵利用君津廠 12m^3 試驗高爐進行研究，於 2017 年達成 10% 的碳排放削減。為進一步最佳化 CO_2 減排技術，2018 年開始使用氣態富氫氣體作為高爐還原劑進行試驗。2018-2020 年間共進行了 5 組試驗，在試驗高爐中噴入高含量的 H_2 。隨著 H_2 輸入量的增加， CO_2 減排量呈線性增長的趨勢，當 H_2 噴入量為 $359\text{ m}^3/\text{t}$ 時， CO_2 減排約為 16%。2026 年初日鐵將於君津廠 2 號 4500m^3 高爐開始進行注入常溫鋼廠副產煤氣的實證試驗，並計畫在 2030 年前實際應用。COURSE50 高爐研究演進如下圖 2。

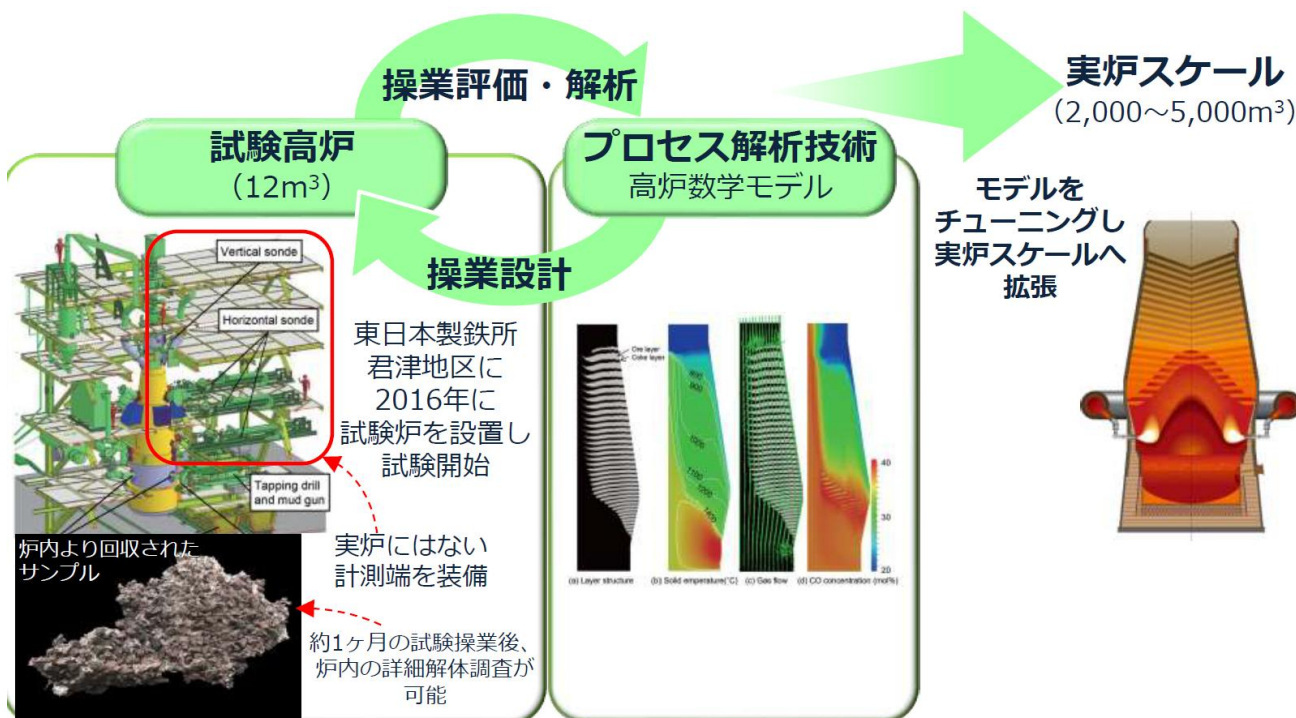
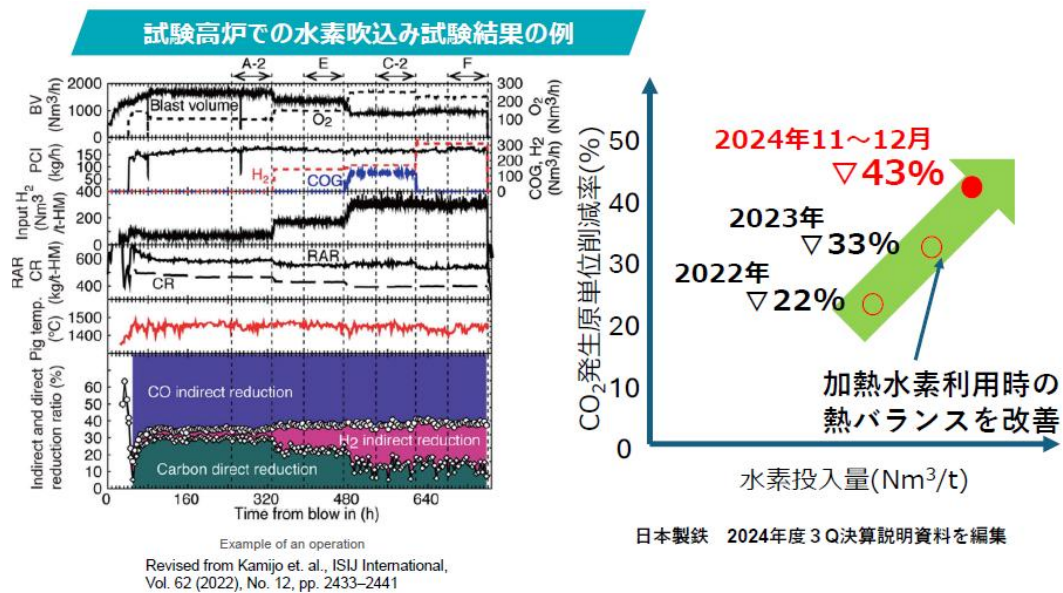


圖 2、日鐵歷時 18 年將高爐富氫噴吹由試驗高爐推進至大型高爐試驗

2. Super COURSE50 高爐氫氣噴吹

隨著全球對淨零排放共識的達成，日本製鐵在 COURSE50 的基礎上啟動了更先進的 Super COURSE50 計畫，目標是將高爐內部的排放削減幅度提升至 50% 以上。與 COURSE50 不同，Super COURSE50 預期未來社會將具備充足的氫氣供應，因此設計為直接使用外部採購的大量氫氣。

為了維持高爐熱平衡，Super COURSE50 開發了**加熱氫氣**噴吹技術，將預熱後的氫氣注入爐內以補足氫還原反應產生的吸熱缺口。日本製鐵在君津廠實驗高爐上的測試數據不斷刷新紀錄，從 2022 年的 22%、2023 年的 33%，到 2024 年底成功達到 43% 的減排紀錄，其目標為在 2040 年前確立實機化技術。Super COURSE50 氫氣噴吹試驗結果及試驗高爐如下圖 3。



Super COURSE50 試驗高爐

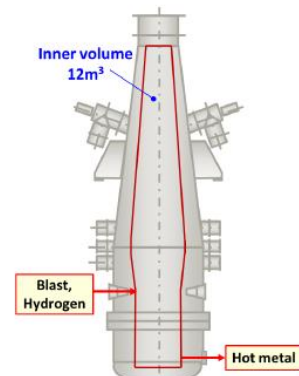


圖 3、Super COURSE50 氫氣噴吹試驗結果及試驗高爐外觀。

創紀錄的試驗中是透過熱交換進行加熱氫氣，但未來邁向實用化時，將採取燃燒部分供給的氫氣來提升溫度等手段，並開發新的氫氣間接加熱技術，確保加熱過程中的 CO₂ 排放量為零。創紀錄的背後原因亦包含了提升**氫氣相關模擬技術**的精確度。由於高爐必須持續運轉，無法直接觀察爐內狀況，因此模擬技術對於控制高爐十分重要。根據其 2030 中長期經營計畫，日本製鐵透過世界最大高爐線下試驗裝置開發**高爐數學模型**。

3. 大型電爐將於 2029 年投用兼顧減碳及高級鋼種生產

日本製鐵在脫碳戰略中採取雙軌制，除高爐製程減碳外，「高爐轉電爐」是另一項重大轉向。電爐製程不使用焦炭還原鐵礦石，其排放強度僅為高爐路徑的約 25%。2025 年 5 月，日鐵宣布了一項獲政府綠色轉型推進法框架支援的三座電爐建設投資案(如下表一)，總額高達 8,687 億日圓(約 1782 億元新台幣)。其中八幡地區新電爐預計於 2029 年投用，年產能 200 萬噸，爐容量達到 340 公噸，可投入高比例的生鐵以生產高品質鋼品，八幡地區 5000m³ 高爐則將於 2030 年上半年暫停運作。

表 1、日本製鐵 2025 年宣布投資三座電爐進行減碳

建設場所	九州製鉄所 八幡地区	瀬戸内製鉄所 広畑地区	山口製鉄所 (周南)	合計
投資内容	電炉 1 基新設	電炉 1 基増設	電炉 1 基 改造・再稼働	電炉 3 基 新設/増設/ 改造・再稼働 等
	高級鋼製造対策、物流対策、電源対策、 下工程エネルギー対策等を含めた付帯・関連設備			
投資額	6,302 億円	1,400 億円	985 億円	8,687 億円
政府支援額(上限額)	1,799 億円	428 億円	287 億円	2,514 億円
生産能力	約 200 万 t/年	約 50 万 t/年	約 40 万 t/年	約 290 万 t/年
生産開始	2029 年度下期	2029 年度下期	2028 年度下期	～2029 年度

為了克服品質瓶頸，日本製鐵亦在波崎研發中心建設了 HyDreams 小型試驗電爐（10 噸規模），並於 2024 年 12 月開始進行大型電爐生產高級鋼及氫氣直接還原鐵（H-DRI）技術的相關試驗。

針對使用氫能 DRI 的電爐製程，研究重點在於雜質去除與高品質鋼材的生產。研發團隊計畫利用試驗電爐，開發高效的脫磷與脫氮技術，目標是將鋼中的磷濃度控制在 150ppm 以下，氮濃度控制在 40ppm 以下，以確保產出的鋼材能達到汽車外板所需的高級鋼等級。

此外，為了進一步提升生產效率，製程中導入了「直接還原鐵-電氣熔融爐-轉爐」的一貫化生產模式，期能實現每小時 100 噸以上的生產效率，使其具備替代傳統高爐製程的能力。

在商業應用驗證方面，已於神戶製鋼所高砂製作所的 20t 商用電爐中，實施還原鐵配合比率高達 80% 的實裝測試。透過覆蓋渣 (Cover Slag) 控制與攪拌動力提升，成功確認了低氮化與低磷化的效果，目前正研發如何進一步提升還原鐵高速熔解與精煉效率的技術。

4. 推動 CCUS 相關研究計畫

日本製鐵積極推動 CCUS 技術全方位開發，尋求透過技術創新達成鋼鐵產業的深度減碳。

在分離與回收領域，日鐵工程公司商品化的 ESCAP[®] 化學吸收製程已在北日本製鐵所室蘭地區等兩處場址成功運轉，展現出極高的實用性與能源效率。相較於一般通用的分離技術，ESCAP[®] 具備顯著的節能優勢，其熱消耗量可大幅削減 40% 以上。此外，該技術配置獨家開發的不純物去除設備，即使面對組成複雜的原始廢氣，仍能穩定回收純度高達 99.9% 以上的 CO₂。

針對更具挑戰性的低濃度廢氣回收，日本製鐵與大分大學及 Resonac 等企業機構合作，研發重點鎖定在大氣壓且 CO₂ 濃度低於 10% 的低壓廢氣環境。研究團隊正著手開發「構造柔軟型 PCP (多孔配位聚合物) 」作為新型分離材。與傳統的沸石相比，這種新材料具備更優異的 CO₂ 選擇性，僅需微小的壓力變化即

可實現高效的吸附與脫附循環，有望解決低濃度廢氣回收成本過高的技術痛點。

在「運輸與封存」方面，日鐵積極構建完整的價值鏈。運輸方面，日鐵與伊藤忠商事等夥伴合作，推動船舶一貫輸送系統的研發。封存領域則與 JOGMEC（日本金屬和能源安全組織）合作，深入參與「日本海側東北地方」、「首都圈」及「大洋州」三大先進 CCS 事業。日本製鐵在其中不僅負責儲存潛力的評估，更主導 CO₂ 液化與出貨基地設施的設計，目標是透過整體產業鏈的整合，提早實現 CCS 的實際應用。

至於 CO₂ 的運用，日鐵朝向高附加價值的綠色化學品發展。自 2023 年起，與大阪公立大學等機構投入「聚碳酸酯二元醇」的一段式合成工藝研究。聚碳酸酯二元醇是高性能聚氨酯的重要原料，過去的生產過程環境負荷極高，而新技術旨在直接利用 CO₂ 取代 CO，開發出高收率且低能耗的生產路徑。此外，日鐵亦利用轉爐石開發海洋用施肥材料，藉由營造海藻床（藍碳生態系）實現生物固碳。

二、結論

日本製鐵的「2050 年碳中和願景」展現了脫碳轉型的雄心與現實路徑，面對全球淨零排放共識與氣候變遷的緊迫要求，日本製鐵採取「多元並行」的技術策略，體現了產業務實與前瞻的結合。結合 COURSE50 高爐及新電爐投用、CCUS 技術持續發展，日鐵將有望達成 2030 年達成減碳 30% 的目標，以下將針對幾項重要技術進行總結。

1. 前瞻技術

Super COURSE50 及 HyDreams 試驗設施的後續成果有待觀察，Super COURSE50 已於 2024 年底達成 43% 的減排紀錄，逼近 50% 的目標，預期 2040 年前實現商業化應用；HyDreams 試驗電爐則正在進行大型電爐生產高級鋼品及氫氣直接還原鐵（H-DRI）的技術開發，這些突破對於確保高品質鋼品供應與低

碳排電爐路線的順利推進相當關鍵。

然而，氫氣供應的穩定性與成本、電爐產能的有效銜接，以及 CCUS 商業化的經濟可行性，仍為重大挑戰。日本製鐵透過政府綠色創新基金的有力支持與產學合作，逐步強化技術與產業鏈的韌性，其脫碳路線可為鋼鐵業的綠色轉型提供參考。

2. 高爐製程革新與開啟電爐路線

COURSE50 與 Super COURSE50 技術路線的演進成果斐然，經歷 18 年的研發，從試驗高爐到 4500m³大型高爐的跨越，證明了富氫噴吹技術的可行性。特別是 Super COURSE50 在 2024 年底達成 43% 的減排紀錄，距離 50% 以上的目標已近在咫尺，預期在 2040 年前實現商業化應用，此舉亦代表日本製鐵已取得在全球低碳競爭中的領先地位。

電爐路線的開啟提供了另一條關鍵路徑。2029 年即將投用的大型電爐將實現年產 200 萬噸的高品質鋼品生產，其 25% 的排放強度相較高爐製程具有絕對優勢。結合 HyDreams 試驗設施對氫氣直接還原鐵 (H-DRI) 的探索，日本製鐵正逐步建構從原料端到製造端的完整低碳體系。這與傳統高爐的漸進式改進形成互補，使脫碳目標的達成更具保障。

3. 循環經濟與價值鏈佈局 (CCUS)

CCUS 技術的全方位布局體現循環經濟思維，ESCAP[®]製程在實際廠區的成功運轉證明了工業化可行性，而與大分大學、Resonac 等機構合作開發的新型吸附材料，則為低濃度廢氣回收的難點提供了創新解決方案。更具戰略意義的是，日本製鐵透過與日本 CCS 調查公司、JOGMEC 等單位的合作，積極構建「分離-運輸-封存-利用」的完整價值鏈，並將 CO₂ 轉化為高附加價值的綠色化學品，實現從被動減排到主動增值的轉變。

4. 政策支持與未來風險評估

政府的綠色創新基金支援至關重要。4,499 億日圓的補貼規模充分反映了日本對鋼鐵業脫碳的戰略重視，亦體現了產業政策與企業創新的良性互動。

展望未來，日本製鐵 2030 年削減 30% 碳排放的目標以及「1 億噸年產能、1 兆日圓實力利潤」的長期願景，面臨著氫氣供應穩定性、電爐產能擴充、CCS 成本控制等多重挑戰。然而，其多元技術並行的策略、在關鍵節點的持續投資，以及對模擬技術與基礎研究的重視，均為這些挑戰的克服奠定了基礎。日本製鐵的脫碳之路不僅關乎企業競爭力，更為全球鋼鐵業提供了可借鑒的轉型藍圖。

三、參考資料

1. Nippon Steel's Green Transformation (GX) Initiatives
https://www.nipponsteel.com/en/ir/library/pdf/20250313_100.pdf
2. 日本製鐵カーボンニュートラルビジョン 2050
<https://www.nipponsteel.com/carbon-neutral/zerocarbon.html>
3. 日本製鐵革新的技術開発による CO2 削減
<https://www.nipponsteel.com/sustainability/env/climate/future.html>
4. NEDO 製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト
<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/utilization-hydrogen-steelmaking/scheme/>
5. グリーンイノベーション基金事業 / 製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト 2025 年度 WG 報告資料
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/028_04_00.pdf
6. 日本鋼鐵業正積極通過氫冶金技術革新推進低碳轉型——中國鋼鐵新聞網
http://www.csteelnews.com/xwzx/djbd/202503/t20250321_98226.html