



鋼廠動態

1. 印度工商聯合會尋求國家預算為 DRI 提供激勵補助 1
2. IEA 預計到 2050 年 CCUS 的貢獻將微乎其微 2
3. 歐盟 CBAM 落地中國鋼廠加速氫冶金與低碳轉型 3
4. 河鋼兩項 CCUS 工業展示專案成功在唐鋼新廠投產 4
5. 塔塔鋼鐵將在詹謝布爾廠部署兩項新型綠鋼技術 4
6. 安賽樂米塔爾開發低品質廢鋼升級與金屬回收技術 5
7. 中國 2026 下半年全面實施 12 項 CCUS 國家標準 5
8. 柳鋼成功生產超 40%廢鋼比低碳汽車板 6
9. 攀鋼 50%以上高廢鋼比生產 2,000MPa 熱成形鋼 6
10. 低碳鋼鐵新里程碑：ISO/TR 25088 正式發布 7
11. 美國新創公司 Nx25 燃燒增強技術助鋼廠即刻脫碳 7
12. 現代鋼鐵開始量產碳減排 20%的低碳排鋼板 8
13. 安賽樂米塔爾與 SADA 合作在巴西打造汽車廢鋼回收中心 9
14. JFE 綠色鋼材 JGreeX[®]獲日產汽車新車型採用 10
15. 沙鋼開發電爐低碳排精細鋼簾線盤條製備技術 10
16. Tenova 將為日本製鐵提供年產能 200 萬噸大型電爐 10
17. 中國政府推出方案目標 2030 回收 3 億噸廢鋼 11

技術/生產資訊

1. 首鋼遷鋼 2650m³ 高爐噴吹焦爐煤氣對綜合爐料還原反應研究 15
2. 高爐噴吹焦爐煤氣對煤粉燃燒及冶煉過程的影響 15
3. 流化床氫冶金研究進展 17
4. 富氫高爐煉鐵系統的經濟與環境影響分析 18
5. 日本製鐵二氧化碳吸附劑 實現高效率的氣體分離 19
6. JFE 鋼鐵申請直接還原製鐵原料及其製造方法專利 19

技術專欄

- ※「能源結構轉型工作小組第 32 回會議綜整報告：日本 CCUS 技術的最新進展」 21
- ※2025 年鋼廠低碳轉型發展動態回顧 26

1. 印度工商聯合會尋求國家預算為 DRI 提供激勵補助

印度工商聯合會 (Assocham) 於 2026 年 1 月 12 日正式向政府提交備忘錄，強烈建議引入具針對性的激勵機制，重點支持氫基直接還原鐵的生產，並提供優惠的綠色金融專案，以協助本土鋼鐵產業向低碳製造轉型。該協會呼籲，相關措施應納入 2026-27 年度的國家預算案，並提交議會審議。

此外，備忘錄強調推動廢熱回收系統與再生能源自備電廠的建設，對於減少鋼鐵生產排放至關重要，藉由及時的政策引導，將加速永續生產的步伐。

該協會倡導應積極激勵廢料收集與循環利用，並透過技能培訓計畫強化國內回收基礎設施，不僅能提升資源效率，更能有效減少對進口原料的依賴。儘管印度目前穩坐全球第二大鋼鐵生產國，並維持 8-9% 的穩健成長，但該行業正面臨多重壓力，包括高昂的投入成本、盧比貶值挑戰，以及因國內可開採儲量有限而對進口煉焦煤產生的深度依賴。

自印度通過《2022 年節能修正案》後，政府建立碳信用交易制度 (Carbon Credit Trading Scheme, CCTS) 的法律依據。2023 年 6 月建立一個體制框架，確立管理機構、技術委員會和其他利害關係人的角色和職責。2024 年 7 月，政府通過 CCTS 合規機制的詳細規定，該機制將採用基於強度的基準和信用體系，初期涵蓋鋼鐵、水泥等九個能源密集型工業部門，管制對象將獲得六年期的排放強度目標 (每單位產品的 tCO_2e)，且每三年會重新設定一次目標。若實體排放表現優於目標，將獲發碳信用證明 (Carbon Credit Certificate, CCC)，未達標者則須透過購買或繳回 CCC 證明以達成法律合規。

(摘自：SteelOrbis、International Carbon Action Partnership 2026-01-12)

2. IEA 預計到 2050 年 CCUS 的貢獻將微乎其微

根據國際能源總署 (IEA) 對 2050 年淨零排放情境的最新預測，再生能源技術、能源效率提升與電氣化將成為全球去碳化的主導力量。屆時，太陽能與風能發電量預計佔比將達 73%，水力與核能則各佔 9%。在二氧化碳減排貢獻度方面，IEA 預測 CCUS 發揮相對有限，於所有應用領域中僅貢獻約 4.9% 的減排量，這反映出再生能源市場因成本優勢而產生的急劇擴張；單就 2025 年，全球再生能源裝置容量將新增 793GW，其中中國市場表現尤為突出，該年新增裝機量即達 342GW。

CCUS 技術的支持者強調，該產業急需穩定且健全的政策環境，並輔以直接補貼或稅收抵免，以抵銷涵蓋捕集、運輸及永久封存各環節所產生的龐大成本。2025 年歐洲議會報告指出，歐盟處置每噸二氧化碳的端到端成本介於 105 至 280 歐元。若缺乏直接補貼，歐盟排放交易體系 (ETS) 的碳價必須持續高於各產業 CCUS 的完全處置成本，該技術才具備商業誘因。然而，105 歐元的最低處置成本已觸及 ETS 的歷史最高價位 (2025 年平均價格僅為 75 歐元)。IEA 認為，若無對應水平的碳稅或政策支持，CCUS 的高昂成本將使專案難以持續推動。

CCUS 面臨兩大挑戰，導致成本始終居高不下：首先是專案設計的「高度客製化」特性。二氧化碳分離系統必須根據排放源 (如燃煤電廠與乙醇廠) 的特定煙道氣特性量身打造，無法透過標準化生產降低成本。其次，設備與材料投入極易受到通貨膨脹的影響。CCUS 系統包含大量泵浦、閥門等鋼構組件，且處理過程中伴隨複雜的化學反應，必須使用昂貴的特殊合金鋼材。市場價格波動、勞動成本上升與材料通膨，均會顯著增加 CCUS 設施的建置費用。

(摘自：IEEFA 2026-01-22)

3. 歐盟 CBAM 落地中國鋼廠加速氫冶金與低碳轉型

歐盟碳邊境調節機制 (CBAM) 過渡期於 2026 年 1 月 1 日正式結束，鋼鐵業作為首波受影響的行業，正面臨長期的結構性挑戰。雖然中國鋼鐵出口至歐盟的比例低於 1%，對整體影響有限，但長期將涉及產業全球競爭力與經濟安全等深層議題。為了降低成本溢價風險，中國鋼鐵業的首要策略是**夯實碳數據基礎**，避免因數據品質不足而必須套用高昂的預設值，藉此建立第一道防線。

對 CBAM 與全球碳成本挑戰，中國鋼鐵業正**加速深度脫碳與技術轉型**。

以梅山鋼鐵為例，透過高爐熔渣餘熱回收、BMC 多功能轉爐、扁鋼胚直裝直軋及低成本二氧化碳捕獲等技術，已完成階段性減碳目標，並規劃 2035 年減碳 30%。寶武集團則提出碳中和冶金技術路線圖，包括富氫碳循環高爐-轉爐製程及氫基豎爐氫冶金製程，並建置零碳示範廠與百萬噸級氫基豎爐工程，逐步由天然氣與焦爐煤氣轉向綠電與綠氫。河鋼集團積極布局氫冶金，探索綠色產品產業生態圈，而鞍鋼集團則建成全球首套綠電綠氫氫冶金中試線，金屬化率達 95%。中國山東臨沂的氫多穩態豎爐示範工程實現 96%以上氫還原海綿鐵金屬化率，推動氫冶金技術提升。

鋼鐵業的去碳化涉及整個供應鏈的能源共生。

- 短期內，可透過**高爐-轉爐長流程的綜合能效提升及餘熱回收**實現碳達峰；
- 中長期則需推動長流程向電爐鋼及廢鋼還原鐵製程轉變，並攻克氫基還原與熔融氧化物電解等革新技術；
- 最終目標是建構以綠氫、綠電、CCUS 及鋼化聯產升級為核心的近零碳能源循環系統。

低碳供熱、廢鋼回收利用、綠氫與綠電應用，將是推動綠鋼轉型的關鍵支持。

(摘自：[SNN 環宇鋼鐵網 2026-01-21](#))

4. 河鋼兩項 CCUS 工業展示專案成功在唐鋼新廠投產

河鋼集團兩項碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 工業展示專案，已正式於唐鋼新廠運行。兩項技術結合構建的產業鏈命名為 CarbXRock，將傳統鋼鐵製造過程中的碳源或廢棄物轉化為價值鏈的來源，若在鋼鐵業廣泛應用，年固碳量有望達千萬噸，專案簡介如下：

- (1) 高爐氣體碳捕捉結合微生物碳固定用於蛋白質生產專案：利用高性能多壓吸附材料，結合餘熱餘壓技術捕捉高爐煤氣，使二氧化碳濃度提升至 95% 以上。此外，該專案將捕捉的二氧化碳轉化為超過 70% 濃度的細菌蛋白質，並可進一步加工為高價值的蛋白質飼料。
- (2) 鋼爐渣煙氣碳化資源利用專案：利用低濃度二氧化碳煙霧與塵埃及鋼爐渣，生產高性能綠色建築材料，能固定 20% 碳，抗壓強度達 30MPa。

(摘自：HIBS 2026-01-06)

5. 塔塔鋼鐵將在詹謝布爾廠部署兩項新型綠鋼技術

塔塔鋼鐵與賈坎德邦政府在達沃斯舉行的世界經濟論壇 (WEF) 年會期間正式簽署合作協議，計畫投資約 12.2 億美元 (約新台幣 385 億元)，在其詹謝布爾 (Jamshedpur) 廠部署兩項具備高度技術創新性的鐵礦還原與熔煉技術：

- (1) HISARNA 技術：在結合碳捕捉系統後，能夠使用印度本國煤炭和低品位鐵礦石，同時顯著減少碳排放。在荷蘭成功進行試點試驗後，塔塔鋼鐵計畫在 2030 年前在詹謝布爾建立年產約 100 萬噸的商業化設施。
- (2) EASyMelt 技術：電輔助合成氣熔煉技術 (Electrically Assisted Syngas Melter, EASyMelt) 為全球首創的解決方案，透過利用合成氣減少焦炭消耗，預計可降低高達 50% 的二氧化碳排放。

(摘自：SteelOrbis 2026-01-20)

6. 安賽樂米塔爾開發低品質廢鋼升級與金屬回收技術

安賽樂米塔爾西班牙開發低品質廢鋼升級與金屬回收技術 FRICHATEAF，旨在透過機械摩擦處理(Mechanical Friction Processing)技術提升鋼鐵廢料的品質與價值。專案已獲西班牙戰略恢復與韌性計畫(Perte) 資金支持，是安賽樂米塔爾脫碳戰略中關鍵的技術環節。

FRICHATEAF 專案將用途受限的低品質廢鋼，轉化為生產高附加價值鋼材的優質原料，並銜接電爐煉鋼製程，以降低對鐵礦砂的依賴，亦包含分離並回收銅、鋁、鉻等有價金屬及有機材料，以供其他工業循環再利用。

(摘自：EuroMetal 2026-01-15)

7. 中國 2026 下半年全面實施 12 項 CCUS 國家標準

中國國家市場監督管理總局發布 12 項關於二氧化碳捕捉、利用與封存(CCUS) 的國家標準，預計於 2026 年 7 月 1 日起全面實施。這批標準將推動中國 CCUS 產業從「技術探索」邁向「產業規模化應用」，為鋼鐵、石化等高降碳需求的重工業提供標準化的技術指南，解決 CCUS 產業長期以來面臨的評估標準不一、數據孤島等問題。此次發布的標準體系實現全生命週期的覆蓋，主要分為四大核心板塊：

- (1) **捕捉環節**：明確燃燒後捕捉系統的分類、組成和技術要求，統一性能評估指標，降低企業技術研發的試錯成本。
- (2) **輸送環節**：從源頭規範介質品質與取樣方法，保障大規模跨區域運輸的安全運作。
- (3) **封存環節**：規範封存場地的篩選、評估與注入作業風險管理，確保減排效果具備公信力，為碳交易市場提供數據依據。
- (4) **共通性基礎**：統一產業術語並明確溫室氣體減排量的核算規則，讓企業的綠色成果能轉化為精準的商業價值。

(摘自：祥雲網 2026-01-10)

8. 柳鋼成功生產超 40%廢鋼比低碳汽車板

柳鋼集團首批超 40%廢鋼比低碳汽車板系列產品成功生產，各項性能指標均達到高端汽車板要求，實現噸鋼碳排放量顯著降低，且生產成本控制良好。

此前，柳鋼轉爐煉鋼以鐵水為主原料，受限於冶煉熱量不足，只能配加少量廢鋼。為此，柳鋼深入分析不同廢鋼種類、塊度及加入時機對轉爐熔池行為的影響，及鐵水配加廢鋼後的成分變化規律，並透過大量理論推算與工藝模擬，制定不同廢鋼比例的冶煉工藝方案，為低碳冶煉打下基礎。

(摘自：冶金信息網 2026-01-18)

9. 攀鋼 50%以上高廢鋼比生產 2,000MPa 熱成形鋼

由於氫能煉鋼技術尚未完全成熟，提高廢鋼比例已成為現階段實現綠鋼生產的核心路徑。近日，鞍鋼攀鋼達成重大技術突破，首次利用含鈰鐵水以高廢鋼比工藝，成功冶煉出 2,000MPa 級熱成形鋼。

含鈰鐵水經過提鈰處理後，通常因碳含量低、溫度低、熱源不足等先天條件，導致高廢鋼比冶煉極具挑戰。為此，攀鋼開發熱源精細化管控等關鍵技術，成功實現單爐廢鋼消耗量超過 110 噸，將廢鋼比例提升至 50% 以上。該技術在確保鈰資源有效提取的同時，能精準控制鋼種成分與品質。

經熱衝壓成形測試顯示，透過該技術生產的 2,000MPa 級熱成形鋼所製成的零部件性能全數達標，且無回彈或延遲開裂現象，已能實現產品大規模生產。

(摘自：國資委 2026-01-23)

10. 低碳鋼鐵新里程碑：ISO/TR 25088 正式發布

2026 年 1 月 23 日，由中國主導並匯集美、日、德及世界鋼協共識的首項鋼鐵綠色低碳國際標準 ISO/TR 25088《鋼鐵企業低碳技術應用指南》正式問世。這份指南為全球鋼鐵業提供全製程的減碳路線圖，對正值轉型關鍵期的鋼鐵業具備高度參考價值。

ISO/TR 25088 為全球鋼鐵工業提供一套覆蓋全工藝流程的創新路線圖，其關鍵領域包括：

- (1)突破性冶煉工藝：聚焦氫基直接還原與低碳高爐煉鐵等脫離傳統約束的技術。
- (2)資源循環利用：針對生產過程中產生的固、液、氣態廢棄物進行高效回收。
- (3)工藝優化創新：透過調整原料結構與能源消耗比例，提升傳統設備效率。
- (4)碳捕捉與利用(CCUS)：提供從排放源分離二氧化碳並進行資源化利用的方法。

對台灣而言，可將此標準視為接軌 CBAM 的重要參考。可以此對標自身的「短中長程減碳路徑」，尤其在電爐煉鋼優化與鋼化聯產領域，利用此指南降低技術辨識與轉型成本，確保在綠色供應鏈中的國際競爭力。

(摘自：我的鋼鐵網 2026-01-26、ISO 2026-01-23)

11. 美國新創公司 Nx25 燃燒增強技術助鋼廠即刻脫碳

面對 CBAM 與能源價格上漲的雙重壓力，美國新創公司 Rivotto 推出其獨有的「Nx25」技術，透過無碳液體燃料導入燃燒區，提升燃料的燃燒動力學。若引入該技術，鋼鐵業無需苦等氫能技術成熟，即可利用現有設備實現減排。

Nx25 技術是一種基於物理原理的燃燒增強技術，以無碳液體燃料的形式，透過噴射或霧化直接引入燃燒區。Nx25 在火焰中作為一種新燃料，釋放出高能粒子，這些粒子不僅增加能量，還能重塑煤炭等主要燃料的燃燒動力學，促使燃燒更完全、更高效。關鍵在於，Nx25 不會改變主要燃料的化學成分，這一點對於法規兼容性和工廠風險管理至關重要。

根據北達科他大學能源與環境研究中心 (EERC) 的測試數據顯示，採用 Nx25 技術後，煤炭消耗量可減少 6-14%，直接二氧化碳排放量相應減少 6-14%，而氮氧化物 (NO_x) 排放量的降幅更可達 30%。

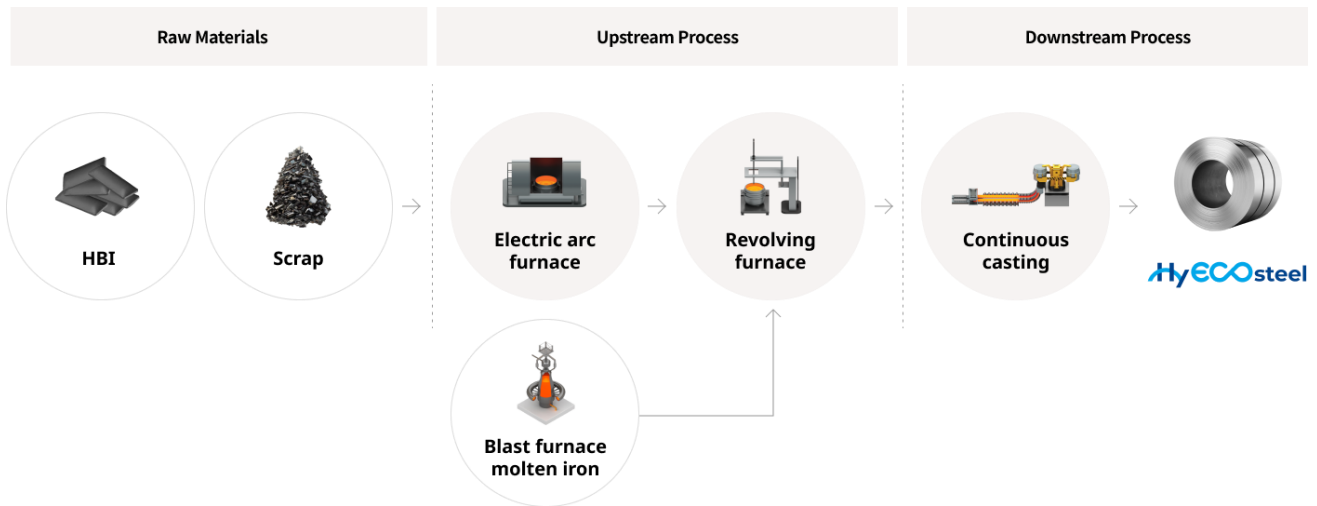
對於年耗煤量約 100 萬噸的綜合鋼廠，Nx25 每年可節省數百萬歐元的運營成本。此外，該技術完全符合歐盟第 2018/2066 號法規，鋼廠可直接將減少的燃料量轉化為可申報的碳減排量，無需更改現有的監測計劃。這項技術將成為連接當前運營與未來氫能轉型之間的關鍵橋樑。

(摘自：SNN 環宇鋼鐵網 2026-01-29)

12. 現代鋼鐵開始量產碳減排 20% 的低碳排鋼板

現代鋼鐵正式量產減碳達 20% 的低碳鋼板，隸屬旗下綠色品牌 HyECOsteel。該產品核心在於獨家的「電爐 - 高爐混合工法」，將熔融熱壓鐵 (HBI) 與廢鋼熔煉之鐵水，與傳統高爐鐵水混銑，確保維持高階鋼品性能，同時達成大幅實質減碳。

目前，現代鋼鐵已取得 25 項鋼種認證，預計今年內擴至 53 項。該系列低碳鋼材將優先導入現代汽車 (Hyundai) 與起亞 (Kia) 於韓、歐之量產車型，協助供應鏈達成碳中和路徑目標。



圖一、現代鋼鐵電爐 - 高爐混合工法示意圖

(摘自：Chosun Biz 2026-02-03)

13. 安賽樂米塔爾與 SADA 合作在巴西打造汽車廢鋼回收中心

安賽樂米塔爾巴西公司與 SADA 集團子公司 IGAR 簽署協議，針對金屬廢料的加工與回收展開深度合作。該合約內容涵蓋廢鋼處理、專用儲存設施的建設，以及裝卸基礎設施的佈署，旨在強化巴西鋼鐵價值鏈中的循環經濟。

IGAR 工廠位於米納斯吉拉斯州的伊加拉佩 (Igarapé)，預計 2026 年 2 月正式啟用，該設施專為大規模回收與廢鋼再利用而設計，投產後將成為巴西最大的汽車廢鋼回收中心，並為全國廢鋼處理提供技術參考。該專案也與巴西國家固體廢棄物政策 (PNRS) 和 Mover 計劃相呼應，兩者皆推動廢棄物減少、回收及將次級原料重新整合進工業生產循環。

(摘自：SteelOrbis 2026-02-04)

14. JFE 綠色鋼材 JGreeX[®]獲日產汽車新車型採用

日產汽車 (Nissan) 目標在 2050 年實現企業活動及車輛全生命週期的碳中和，並規劃在日本市場擴大採用可減少製造端二氧化碳排放的低碳排鋼材。

日產選用 JFE 鋼鐵之綠色品牌 JGreeX[®]，首要導入新型電動車 LEAF 之零組件，強化純電動車 (EV) 材料端的低碳競爭力。JGreeX[®]採用「質量平衡法」將 JFE 研發的溫室氣體減排技術所創造的削減量，分配至特定鋼材中，進而大幅降低該產品在製造過程中的碳足跡。

(摘自：JFE Steel 2026-01-29)

15. 沙鋼開發電爐低碳排精細鋼簾線盤條製備技術

沙鋼集團開發的「低碳排精細鋼簾線用盤條關鍵製備技術及應用」專案，採用「電爐小方胚」短流程工藝，成功開發從電爐冶煉、小方胚連鑄到盤條軋製的全流程技術。並克服在高廢鋼比條件下生產高端簾線鋼的技術挑戰，確保產品品質穩定，同時顯著降低碳排放量。

目前，沙鋼電爐鋼盤條已實現穩定量產，並計畫在未來將此「電爐小方胚」創新技術拓展至冷鐓鋼、彈簧鋼及鋼絞線等更多高端線材品種。

(摘自：沙鋼集團 2026-01-30)

16. Tenova 將提供日鐵年產能 200 萬噸大型電爐

Tenova 與 GE Vernova 合作，將向日本製鐵九州地區八幡製鐵所供應全球最大的 Consteel 電爐，年產能 200 萬噸，爐容量達到 340 公噸，可投入高比例的生鐵(如 DRI)以生產高品質鋼品。GE Vernova 將提供 Direct Feed 供電系統，確保在高度電力需求的環境下依然能維持卓越的電網品質

與製程穩定。

該電爐投資金額約 6302 億日圓(約 1261 億新台幣)，政府補助約 360 億元新台幣，預計於 2029 年下半年投產，預計可比高爐減少四分之一的碳排放，目前運作中的八幡地區 5000m³ 高爐預計於 2030 年上半年暫停運作。

此外，JFE 也積極推動在西日本製鋼所的倉敷地區引進大型電爐，年產能約為 200 萬噸，預計 2028 年內投產。雖然改用電爐預期將帶來顯著的減碳成效，但需要龐大的投資。如何在最終產品價格中反映綠色鋼品的環境價值，將是未來的重大議題。

(摘自：AIST 2026-02-05)

17. 中國政府推出方案目標 2030 回收 3 億噸廢鋼

中國政府近期正式推出首個專門針對再生材料應用推廣的政策文件「國家發展和改革委員會再生材料應用推廣行動方案」，欲透過完善廢棄物循環利用體系保障資源安全並推動低碳轉型。中國政府已訂定 2030 年前應達到的目標與擬進行的實際作為，並規定相關監督單位。

(1)再生資源回收現狀與 2030 年發展目標

中國國家發展改革委表示，2024 年中國十大品種再生資源回收總量已超過 4 億噸。其中廢鋼鐵和廢紙等關鍵原料為生產環節提供的原料佔比，分別約 21%和 70%。又根據百度《經濟日報》官方帳號，若細分產業產量，廢鋼鐵年加工能力達 1.8 億噸；再生紙漿年產量突破 6,300 萬噸；再生塑料年產量約 1,640 萬噸；主要再生有色金屬年產量約 1,915 萬噸。因應保障國家資源安全、增強產業鏈供應鏈韌性與完善廢棄物循環利用體系的需要，中國政府設定定量目標如下表 1，要求 2030 年實現回收與產量指標。

表 1、中國政府設定的定量目標要求 2030 年實現以下回收與產量指標

再生材料種類	2030 年目標產量/回收利用量
廢鋼鐵	年回收利用量超過 3 億噸
廢紙	年回收利用量超過 8,000 萬噸
再生有色金屬	年產量超過 2,500 萬噸
再生塑料	年產量超過 1,950 萬噸

(2)政府擬進行的四大實際作為(如圖 2)



圖 2、再生材料應用推廣政策檔出臺(由中國經營報整理)

① 提升再生材料供給保障能力

政府將從源頭提升再生材料的品質與供應穩定性：

- **再生鋼鐵**：在電爐鋼產能集中區建設大型廢鋼加工配送中心；推動鋼鐵企業進行工藝改造，發展**全廢鋼電弧爐短流程煉鋼**。
- **再生有色金屬**：支持企業升級技術裝備，建立精細化分選加工體系；研發關鍵零部件精細化拆解與稀有金屬綠色分離技術。
- **再生塑料**：加快構建廢舊塑料高值循環利用體系；支持龍頭企業開展廢塑料**化學循環產業化應用**。
- **其他材料**：建設廢紙分揀加工中心，推廣高效疏解技術；在廢玻璃與廢舊紡織品領域建立區域性分選加工與分類利用體系。

- **回收體系**：深入推進報廢汽車、廢舊動力電池、風電太陽能設備等精細化拆解，推動修訂《再生資源回收管理辦法》。

② 提昇重點產品再生材料應用力道

政府鼓勵製造業提高再生材料的使用比例：

- **汽車製造**：在車架、車身、玻璃、輪轂等部件中提高再生金屬與玻璃應用比例，在內外飾件中率先實現再生塑料規模化應用。
- **電器電子產品**：在非運動部件、結構件及包裝中加大再生塑料、銅、鋁及稀有金屬的使用。
- **電池生產**：推動鉛蓄電池生產中高比例使用再生鉛；鼓勵動力電池與儲能電池在殼體生產中使用再生金屬和塑料。
- **紡織與包裝**：鼓勵輕紡產品、隔音及保溫材料使用再生纖維；推動包裝袋、紙箱等非食品接觸包裝物提高再生材料比例。

③ 健全使用管理與溯源制度

- **標準與認證**：完善再生材料質量標準，研究制定汽車、電池等重點產品的應用標準；鼓勵認證機構開展**再生材料產品認證**，並研究碳足跡核算標準。
- **數據溯源**：探索建設再生材料數據溯源平台，對應用推廣全流程進行信息化管理。

④ 完善應用推廣激勵政策

- **市場化機制**：研究將再生材料供給項目納入全國溫室氣體自願減排交易市場。
- **政府採購**：適時推動將通過認證的再生材料產品納入**政府及公共機構綠色採購範圍**。
- **國際合作**：完善再生有色金屬、稀有金屬原料進口政策；鼓勵國內資源

回收利用企業「走出去」，構建全球資源循環體系。

(3) 相關監督措施

國家發展改革委將會同工業和信息化部、生態環境部等 7 個部門，加強追蹤調度與進展評估。在品質管理方面，政府將嚴厲打擊假冒偽劣、以次充好等違法違規行為，確保再生材料應用的安全性。同時，透過新媒體等渠道加強宣傳，提高企業參與度與公眾認可度。

(摘自：[Rare Earth Exchanges 2026-01-20](#))

1. 首鋼遷鋼 2650m³ 高爐噴吹焦爐煤氣對綜合爐料還原反應研究

本研究由首鋼及中冶賽迪聯合進行，為準確評量首鋼 2650m³ 高爐噴吹焦爐煤氣對綜合爐料還原行為影響，實驗根據現場生產數據並參照國家標準鐵礦石還原性測定方法，綜合爐料下碳氫比、爐料結構、裝料方式及還原溫度對高爐富氫還原行為的影響。

研究結果顯示，當還原氣體中的 H₂ 比例從 7% 增加至 23%，球結礦和塊礦的還原度顯著提升至 94.48% 和 94.47%，然而燒結礦卻因析碳反應由導致游離碳進入多孔結構，由 91.50% 降低至 88.36%；綜合爐料配比變化對還原度影響較小，整體還原度穩定在 88% 左右；另隨著溫度從 700°C 升至 1100°C，還原度顯著提高，其中球結礦表現最佳 (76.57% 提升至 91.09%)，燒結礦次之 (75.83% 提升至 90.23%)，塊礦略低 (75.4% 提升至 90%)，綜合爐料的還原度最高達 91.7%；鹼性球結在 900°C 下結構穩定、還原性能優異，1000°C 時表面開始粘結，1100°C 時黏結和裂紋加劇導致強度和性能顯著下降；礦焦礦裝料方式的還原效率最高，綜合爐料還原度達 92.43%，顯著優於焦礦焦 (86.61%) 和焦礦混合 (89.76%)。

(摘自：冶金自動化(CNKI) 2025-11-25)

2. 高爐噴吹焦爐煤氣對煤粉燃燒及冶煉過程的影響

高爐富氫噴吹技術被視為現階段實現低碳冶金的關鍵路徑，然而煤粉與富氫氣體在風口回旋區共存時，會產生「競爭燃燒」現象，影響煤粉燃燒率並導致現有數學模型在評估冶煉指標與碳排放時出現偏差。為準確評估焦爐煤氣(COG) 噴吹對冶煉的影響，本研究透過高溫模擬燃燒試驗與耦合動態燃燒率的富氫高

爐數學模型，深入分析焦爐煤氣噴吹對高爐冶煉過程的技術影響與減排成效。

技術分析顯示，隨 COG 噴吹量增加，煤粉燃燒率呈現非線性下降趨勢。當噴吹量從 0 增至 $60\text{m}^3/\text{t}$ 時，由於焦爐煤氣中的 H_2 與 CO 等組分優先消耗氧氣，抑制作為燃燒速率控制步驟的半焦非均相表面反應，導致煤粉燃燒率由 72.0% 降低至 64.2%。此競爭燃燒效應直接影響燃料結構與熱量供給，使得風口區釋熱減少，未燃煤粉增加。在熱制度方面，大規模噴吹焦爐煤氣會導致理論燃燒溫度顯著下降，由 2207.7°C 降低至 2085.7°C ，主因是煤氣中甲烷裂解吸熱與低溫煤氣吸收熱量。同時，因爐腹煤氣量與熱容增加，更多顯熱被傳遞至上部，使爐頂煤氣溫度由 197.4°C 升高至 213.9°C ，可能超出穩定運行區間。

儘管存在競爭燃燒的負面影響，噴吹焦爐煤氣在改善冶煉指標方面仍具顯著成效。隨噴吹量增加，高爐直接還原度由 0.454 降低至 0.387，直接還原耗碳量亦同步減少，顯示氫作為高效還原劑強化間接還原過程。在節焦效果上，噴吹 $60\text{m}^3/\text{t}$ 焦爐煤氣可使焦比由 377.5 kg/t 降低至 353.5 kg/t ，總降幅達 24kg/t 。為維持爐缸與爐頂熱平衡穩定，本研究構建富氧率與噴吹量的協同操作窗口，確認在 $60\text{m}^3/\text{t}$ 噴吹量下，需將富氧率調控至 5.70%~13.19%。

在減排成效評估方面，噸鐵折算直接碳排放由 1199.3 kg/t 下降至 1168.6 kg/t ，減排率達 2.56%，總降幅為 30.7 kg/t 。平均每噴吹 1 m^3 焦爐煤氣，可帶來約 0.51 kg 的碳減排。

(摘自：鋼鐵(CNKI) 2026-01-16)

3. 流化床氫冶金研究進展

流化床直接還原技術因可直接利用鐵礦粉、具備高氣固傳質速率及良好混合特性，被視為實現「碳中和」的氫基煉鐵技術。然而，該技術在實際應用中面臨顆粒黏結導致的「失流」現象、能耗偏高以及工程放大風險等核心挑戰。

為了解決高溫還原過程中新生金屬鐵引起的顆粒黏結問題，研究者提出表面黏性調控與顆粒尺寸最佳化兩大策略。在表面改性方面，透過添加 MgO 或 CaO 等非黏性氧化物可形成物理或化學屏障，有效抑制鐵須晶生長。例如，MgO 僅需 0.5%至 2.0%的添加量即可顯著緩解黏結。在尺寸調控方面，透過人工造粒或利用顆粒自發團聚形成的「團聚體流化」模式，能平衡顆粒間黏附力與破壞力，確保在高溫高氣速下維持穩定運作。近年提出的「研磨-造粒-改性」一體化策略，更成功提升原料的流化性能與還原動力學活性。

在提升能效方面，流化床氫冶金需克服氣泡導致的傳質不均及固體全混流帶來的顆粒停留時間不一等問題。透過多級流化床串聯(如 Finmet 或 Circored 技術)，可使氣固兩相趨近於逆流平推流模式，有效提高氫氣利用率。此外，透過內構件設置最佳化寬粒徑顆粒的停留時間分布，可實現不同大小的礦粉均能達到同步轉化，進而強化系統整體熱效率。

在工程放大與示範成效上，中國科學院過程工程研究所與鞍鋼集團合作開發的全球首套「萬噸級流化床綠氫直接還原示範裝置」，已於 2025 年 8 月達成全流程穩定運行，該裝置在 10 分鐘的還原時間內即可產出金屬化率達 95%的直接還原鐵，並規劃建設年產 50 萬 t 直接還原鐵的流化床綠氫直接還原系統。此外，POSCO 於 2024 年在浦項廠進行 HyREX 試驗裝置首次試運行，每小時可生產 1t 鐵水，噸鐵二氧化碳排放量為 400 kg。POSCO 計畫在 2027 年建成 HyREX 氫還原工廠，每小時計畫生產 36 t 鐵水。最終目標是到 2030 年成功實現 HyREX 工藝商業化，並預計於 2050 年將浦項廠和光陽廠全部轉換為 HyREX 製程。

(摘自：鋼鐵(CNKI) 2026-01-16)

4. 富氫高爐煉鐵系統的經濟與環境影響分析

針對中國鋼鐵業面臨的脫碳壓力，本研究深入探討高爐富氫噴吹技術的應用潛力。為了尋求最佳轉型路徑，研究團隊建立了 H_2 -BF 模型，在一致的邊界條件下對四種技術路線進行量化分析，包含焦爐煤氣(COG)、重整焦爐煤氣(RCOG)、天然氣(NG)及純氫(H_2)等路徑。

在技術參數設定方面，模型要求氫氣噴吹溫度需維持在 1100°C ，風口火焰溫度不低於 2000°C ，並將最低焦炭比設定為 250 kg/tHM 。實驗數據顯示，噴吹不同氣體對焦炭替代率(CRR)有顯著影響。天然氣(NG)路徑由於碳氫含量高，展現出最強的焦炭替代能力，CRR 達到 $0.98\text{ kg coke / Nm}^3$ ；焦爐煤氣(COG)路徑次之，CRR 為 $0.53\text{ kg coke / Nm}^3$ ；而純氫路徑的 CRR 僅為 $0.18\text{ kg coke / Nm}^3$ 。值得注意的是，若考慮熱補償需求（如提高富氧量以維持爐溫）時，各路徑的替代效率均會有所下降。

在環境與能源成效上，RCOG 路徑在最大噴吹量 $260\text{ Nm}^3/\text{tHM}$ 時，具備最高的高爐減碳潛力，可減少 186.07 kg/tHM 的排放。然而，若從整個煉鐵系統的角度來看，焦爐煤氣(COG)路徑在能源結構與減排效率間取得最佳平衡。COG 路徑可使的能源消耗降低 1.83% ，且在高爐實現 101.40 kg/tHM 的碳減排量。相較之下，雖然純氫路徑碳排低，但其昂貴的生產成本與較低的熱效率使其在現階段的經濟可行性較差。

研究最後以能耗、碳排放及製造成本進行綜合評分，由焦爐煤氣(COG)路徑成為最具實踐價值的低碳轉型路徑，天然氣路徑分排名第二，主要歸功於其成熟的噴吹技術與較低的資源成本。這項分析證實焦爐煤氣(COG)路徑在無需額外昂貴投資（如 RCOG 重整設備）的情況下，能有效提升煤氣利用率並最佳化能源結構，是目前推進中國煉鐵系統低碳化最均衡的選擇。

（摘自：國際氫能期刊 2025-12-08）

5. 日本製鐵二氧化碳吸附劑實現高效率的氣體分離

傳統的氣體分離技術 (如 PSA) 主要依賴沸石或活性碳等現有材料，這些材料的吸附等溫線通常呈現單調增加。這導致在既定的「壓力擺動範圍」內，吸附劑的有效吸附量差 (Working Capacity) 有限，限制分離效率。為獲得足夠的處理量，往往需要巨大的壓力差，而增加系統能耗。本專利技術的課題在於克服現有材料的限制，透過使用具特殊特性的新型材料，在較小的壓力變動下實現高效率的氣體分離。

本專利的核心技術特徵在於採用彈性層狀金屬有機骨架 (ELM) 或多孔配位聚合物 (PCP) 作為吸附劑。與傳統材料不同，如 ELM 材料具有 S 型的吸附等溫線，存在一個明確的「吸附開始壓力」，當氣體分壓超過此臨界值時，吸附量會急劇上升。具體的技術手段是控制變壓吸附 (PSA) 過程中的操作條件，使原料氣體中目標氣體 (如 CO_2) 的「吸附分壓」與材料的「吸附開始閘門壓力」保持特定的比值關係。實施例數據顯示，當該比值設定在大於 1 (如 1.22 至 5.73) 時，能有效利用材料特性，使得在吸附步驟時吸附量最大化，而在脫附步驟時殘留量最小化。

(摘自：日本專利 JP7789306 2025-12-22)

6. JFE 鋼鐵申請直接還原製鐵原料及其製造方法專利

技術背景與課題：在全球減碳趨勢下，利用氫氣進行直接還原製鐵成為關鍵技術。然當氫氣比例增加時，因氫擴散進入原料內部產生微細裂紋，容易加劇「還原粉化」現象，導致豎爐內壓損增加及荷下困難。此外，高溫還原過程中的「黏結 (Clustering)」現象會阻礙原料下降，嚴重降低操作性。現有技術雖有包覆層開發，但仍難以兼顧耐還原粉化性與耐黏結性，特別是在高氫氣環境下的穩定性。

技術特徵與功效：本技術核心在於對氧化鐵原料表面進行高均一性的粒子包覆。該包覆層由金屬氧化物、金屬水酸化物（如鈣、鋁、鎂系列）或水泥組成。

(1)**關鍵參數控制**：被覆率需達 50%以上，且被覆率的標準偏差須嚴格控制在 15%以下，厚度則介於 5.0 μm 至 40.0 μm 之間。

(2)**物理機制**：均一的包覆層能延緩還原氣體向內部擴散，使原料表面優先生成強韌的「金屬鐵殼 (Shell)」，有效抑制因碰撞或摩耗產生的粉化。

(3)**製造方法**：採用浸漬法將粒子懸浮於水的漿料包覆於原料表面，再經加熱脫水形成緻密層，能有效降低標準偏差並提升附著力。實驗證明，符合上述條件的原料在耐還原粉化率與耐黏結性評估中均獲得優異評價。

(摘自：日本專利 JP7800694 2026-01-16)

「能源結構轉型工作小組第 32 回會議綜整報告：日本 CCUS 技術的最新進展」

撰稿人 T41 曾柏修

一、前言

本報告綜整自日本經濟產業界「能源結構轉型工作小組」針對「綠色創新基金 (GI 基金)」之第 32 次的會議資料，計畫旨在建立具備國際競爭力的 CCS 技術，以應對 IEA 預測 2035 年全球需達到 4.5 億噸 CO₂ 回收量的巨大需求。此專案由 NEDO 管理，透過國家與產業以及學術單位合作，構建完整的脫碳產業技術。

二、會議內容重點：各公司專案技術開發與進程

能源結構轉型工作小組會議簡述 CCUS 領域的趨勢，並著重於低濃度二氧化碳捕捉技術開發 (如：固體吸附劑、膜分離法以及電化學分離法)，涵蓋設施場域極廣，幾乎涉及全日本的工業二氧化碳排放來源，並由專案的主導公司報告技術的開發進度。

1. 主要專案開發：

- (1) 大型來源捕捉 (千代田化工)：聚焦天然氣發電廠排氣，開發大規模低成本 PCC(Post-Combustion Capture 燃燒後捕捉)系統。
- (2) 中大型來源捕捉 (日本製鐵/Crasus)：聚焦鋼鐵及重工業排放，應用新型 PCP(Porous Coordination Polymers 多孔性金屬聚合物)材料。
- (3) 中小型來源捕捉 (電裝 DENSO)：聚焦一般工廠分散排放，開發裝置小型化技術。
- (4) LNG 場域(東邦瓦斯)：聚焦自家 LNG 基地與週邊工業區之鄰近工廠，開發 Cryo-Capture®技術，利用天然氣未利用之冷能進行碳捕捉。

2.嚴格的監管機制(資料 2):

(1)引進「StageGate (階段性審查)」與「中止/返還」機制。若研發進度不符預期或經營者承諾不足，工作小組有權建議中止專案或要求返還部分補助。

(2)根據目標達成度調整國家與企業的支出負擔比例，強化企業的責任與積極度。

3.產業利用與實施調查 (資料 4):

NEDO 啟動「回收 CO2 利用需求調查」，協助碳捕捉技術與下游應用，以利捕捉後的二氧化碳去化，包含了工業用氣體(液態二氧化碳)以及礦化和封存的需求。

表一、各專案核心開發進度一覽

年度	重要里程碑與進度重點
2024-2025	關鍵技術驗證期： 1. 各專案皆已通過 SG1(Stage Gate1)，進入 SG2。 2. Crasus 化學於二氧化碳捕捉方面進行分離劑量產技術開發以及化學品、觸媒開發。 3. 日本製鐵改良分離劑性能。 4. 千代田化工與 JERA 的 PCC 試驗裝置建造與運行、考慮商業應用。
2025	1. 社會展示：於 2025 大阪關西萬博進行實證運轉展示（如空氣液化與住友化學之實證報告）。 2. 千代田化工目前正在建造之桌上型試驗裝置，預計將於 2025 財年末投入使用
2026	規模化實證期： 各專案進入大型驗證設備運行階段。 1. 千代田於發電廠實測。 2. 東邦瓦斯於 LNG 基地進行試驗機性能與耐久評估。 3. 電裝持續進行電界式 CO ₂ 回收技術的開發，重點在於材料（吸附材）與系統的進步。
2027-2030	1. 日本製鐵進行碳捕捉製程開發，建立最佳分離條件（PSA 操作條件）、製程設計，包括廢氣預處理、設計試驗。

年度	重要里程碑與進度重點
	2. 日本製鐵進行大規模生產技術開發，PCP 原料、PCP 製造和成型製造方法的建立。 3. 千代田、RITE、JERA 實際燃氣試驗裝置的建造與運行。
2030	GI 基金計畫結束：完成規劃之所有技術開發指標（如低能耗、高回收率），並達成 NEDO 設定之商業化評估基準。
2031	社會實施關鍵年：日本製鐵須完成首台「社會試驗 1 號機」的最終投資決策（FID）。

三、產業應用與各公司的角色配合體系表

根據 GI 基金專案結構，各參與單位依其技術方法與實施場域分工如下：

表二、各專案之負責公司、核心技術與實施場所

主導專案/ 目標場景	主導公司	主要技術開發 公司/學校	碳捕捉技術	實施場所
大型排放源/ 發電廠	千代田化工 (CYD)	RITE	新式固體吸附法 (化學吸附劑負載 在固體材料上)	JERA (火力發電廠實 地測試)
中大型排放 源/鋼鐵業	日本製鐵	Crasus 化學/ 京都大學	物理吸附法 (PCP 法)	日本製鐵 (內部生產線實 測)
中小型排放 源/工廠	電裝 (DENSO)	京都大學 /SOKEN	電化學二氧化碳 捕捉	電裝(DENSO) (自有工廠測試)
LNG 場域	東邦瓦斯	東邦瓦斯/ 名古屋大學	化學吸附法 (Cryo- Capture® 冷能 低溫回收)	自有 LNG 基地 (知多市)
其他	住友化學 (SumitomoC)	住友化學/ OOYOO/	膜分離法 (胺基聚合物)	住友愛媛工廠、 浮島市廢棄物

主導專案/ 目標場景	主導公司	主要技術開發 公司/學校	碳捕捉技術	實施場所
	hemical)	JFE Engineering		處理園區(焚化 廠)
資料來源：資料 1(2)、1(3)-1(8)、資料 2-5				

四、標準化策略與專利布局

為因應世界各國在碳捕捉領域的競爭，日本採取的標準化與智權戰略：

1. **技術保護**：千代田在關鍵技術部分，如分離劑的配方、量產製程及核心運轉參數採專利保護或作為秘密封存，另 Crasus 及日本製鐵也正在佈局國際專利。

2. **標準整合**：推動系統構成的開放與國際標準化。日本製鐵側重 ISO 體系的標準制定，而針對歐盟規章，千代田考慮在歐洲尋找合作夥伴以應對其委員會的規制討論，確保日本技術能銜接國際法規。

五、結論

綜合各份會議文件分析，日本在能源結構轉型工作小組的指導下，已建立起一套由產學界雙方技術合作的多向分進合擊策略，由千代田化工、日本製鐵/Crasus、電裝及東邦瓦斯分別主導針對「大型、中大型、小型」排放源的分頭開發體系。

透過嚴格的專案監測機制（NEDO 管理）與最終投資決策（FID）的時間點前移，日本正結合深入研究與多場域實施，試圖在國際碳捕捉市場中建立深層的技術護城河，以上的技術推展與開發不僅是為了達成 2030 年的目標，更是為了建立一套具備商業自我營利能力、足以服務全球的脫碳技術體系。

六、資料來源：

1. 第 32 回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 エネルギー構造転換分野ワーキンググループ（METI/経済産業省）

- (1) 會議資料 2：グリーンイノベーション基金事業におけるモニタリングの実施について
 - (2) 會議資料 3：CO₂分離回収プロジェクトを取り巻く環境変化・社会実装に向けた支援の状況等
 - (3) 會議資料 4：グリーンイノベーション基金事業 / CO₂の分離回収等技術開発プロジェクト 2025 年度 WG 報告資料 (NEDO)
 - (4) 會議資料 5：説明資料 クラサスケミカル株式会社
 - (5) 會議資料 6：説明資料 日本製鉄株式会社
 - (6) 會議資料 7：説明資料 東邦瓦斯株式会社
 - (7) 會議資料 8：説明資料 千代田化工建設株式会社
 - (8) 會議資料 9：説明資料 株式会社デンソー
-
- 2. [Toho Gas Pioneers Synthetic Methane Production From CO2 and Hydrogen in Japan](#)
 - 3. [Sumitomo Chemical and JFE Engineering to Start Demonstration Test for CO₂ Recovery Using Membrane Separation Technology The First Attempt in Japan to Recover CO₂ from a Waste to Energy Plant by Membrane Separation](#)
 - 4. [Japan' s Sumitomo trials methanol from CO2 production](#)
 - 5. [Sumitomo Chemical and OOOO's Joint Project to Develop and Demonstrate CO2 Separation and Capture System from Factory Exhaust Gas Using Separation Membrane Selected as a NEDO Green Innovation Fund Project](#)

2025 年鋼廠低碳轉型發展動態回顧

撰稿人 T41 余佳杭、黃俊傑

一、前言

在全球應對氣候變遷與追求「2050 淨零排放」的背景下，鋼鐵產業作為高耗能與高碳排的重工業代表，正迎來史無前例的技術變革與產業洗牌。當前的轉型不僅是單純的製程改良，更是一場涵蓋技術路徑競爭、供應鏈重組、政策法規框架建立以及綠鋼市場定義的全面化運動。

本文回顧 2025 年全球鋼鐵業在脫碳技術上的多軌化發展，包括從傳統高爐的低碳優化、氫基直接還原的試驗與挑戰，以及電爐轉型的商業化實踐。同時，觀察到綠色 HBI 與廢鋼循環體系的崛起，正改變全球原材料的貿易格局。在政策面，隨著歐盟 CBAM 的調整與亞洲各國碳市場的啟動，綠色競爭力已成為企業生存的核心關鍵。本篇將綜整全球綠鋼市場從汽車業領航擴散至建築與電力基礎設施的最新趨勢。

二、脫碳技術發展動態

1. 高爐製程的低碳改良與過度技術

在全面轉向氫能之前，各大鋼廠積極開發針對現有高爐的減碳技術，以延長資產壽命並降低初期排放：

- **序列脈衝噴吹技術(SIP)**：普銳特與蒂森克虜伯合作，透過爐身直接噴吹氫氣，可減少約 20% 的二氧化碳排放。此技術在德國杜伊斯堡試行，投資回收期不到 12 個月，且每噸鐵水成本可降低 8.5 歐元(約 312 元新台幣)。
- **碳循環高爐**：JFE 在日本千葉展開試驗，將高爐排放的二氧化碳結合氫氣製成甲烷，再回送爐內作為還原劑，目標減碳 50% 以上。

- **智慧餘熱回收**：河鋼唐鋼與張宣科技開發智慧解耦控制與「梯級發電」技術，優化燒結與電爐蒸汽餘熱回收，大幅提升發電效率與系統穩定性。

2. 氫基直接還原鐵 (H₂-DRI) 與熔煉技術

氫能被視為達成近零排放的終極方案，但受限於綠氫成本與基礎設施，目前正處於示範與商業化初期：

- **氫基流體化床(HyREX)**：浦項製鐵與普銳特合作開發 HyREX 技術，可直接使用鐵礦砂粉進行氫還原，無需球團化預處理，預計 2028 年投運示範工廠，年產能 100 萬噸。
- **工業規模綠氫供應**：印度 JSW 能源啟動該國最大綠氫工廠，直接供應其 DRI 設施生產低碳鋼。瑞典 HYBRIT 則成功驗證大規模氫氣儲存技術，可節省 25%-40% 的生產變動成本。
- **技術挑戰與逆轉**：由於綠氫成本過高且基礎設施不足，美國 Cleveland-Cliffs 於 2025 年宣布放棄氫能項目，重回化石燃料與高爐現代化路線。安賽樂米塔爾亦因德國能源成本過高，放棄部分 DRI-EAF 計畫。

3. 電爐轉型與短流程工藝

電爐轉型是目前減碳效果最顯著的商業化路徑，特別是結合廢鋼與高品質 DRI 原料：

- **大規模「棄高投電」**：日本製鐵獲得日本政府支持，投資約 60 億美元將三座高爐製程轉換為大型電爐，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；塔塔鋼鐵於英國塔爾博特港興建兩座年產 300 萬噸的電爐，預計 2027 年投產，可減少該廠 90% 的二氧化碳排放。

- **近零碳短流程**：河鋼集團張宣科技打造全球首條「**氫基 DRI+電爐**」近零碳產線，並成功研發六大系列低碳汽車板材料。

4. 前瞻性脫碳與電氣化技術

除了主流路徑，許多創新技術正試圖打破能源利用的瓶頸：

- **無電製氫技術(H2Gen)**：Utility Global 成功於鋼廠利用高爐尾氣直接生產 99% 純度的氫氣，無需消耗外部電力。
- **低溫電解煉鐵**：美國新創公司 Electra 開發無碳煉鐵技術，不使用煤炭或高溫，而是透過電力將鐵礦石溶解並沉積出 99%的純鐵。
- **熱能電氣化 (JHTB)**：安賽樂米塔爾投資 Electrified Thermal 的熱電池系統，利用耐火磚將綠電儲存為高達 1700°C 的熱能，取代化石燃料燃燒。
- **RotoDynamic Heater (RDH)**：Tenova 與 Coolbrook 合作，利用超音速衝擊波技術產生高溫氣體，取代工業製程中的化石燃料加熱。

三、綠色供應鏈發展動態

1. 綠色鐵素與低碳料源的興起

- **氫基綠色鐵 (Green Iron/HBI) 開發**：澳洲福德士河 (Fortescue) 推動「綠色鐵素」專案，利用可再生能源電解氫將鐵礦石還原為純度約 95%的物質。浦項製鐵亦在西澳黑德蘭港投資 40 億澳元建設 HBI 工廠，計畫 2050 年實現完全可再生能源供電；阿曼憑藉豐富的再生能源與既有工業基礎，正轉型為全球綠色鐵供應樞紐，新興公司計畫混合使用天然氣與氫氣生產 DRI。
- **新型球團技術**：德國 Salzgitter 與英國 Binding Solutions 合作試驗「冷燒結球團 (CAP)」，該技術無需高溫燒結，可減 80%能效消耗與 70% 碳排放。

2. 廢鋼循環體系的正規化與閉環合作

- **跨產業閉環回收：**Volvo 與 SSAB、Salzgitter 建立封閉回收體系，將汽車生產過程中的高品質廢鋼重新投入電爐生產，實現價值鏈脫碳；安賽樂米塔爾與瑞典交通管理局合作，將舊鐵軌運回波蘭工廠再製成新鐵軌。
- **提升廢鋼替代比率：**中國首鋼與武鋼均成功實現轉爐 50% 以上的高廢鋼比生產；印度 AM/NS India 投資 35 億盧比建設廢鋼處理廠，旨在將廢鋼供應鏈正規化，目標 2047 年將廢鋼佔比提升至 50%。

3. 能源供應的結構性轉型

- **大規模可再生能源布局：**安賽樂米塔爾在印度、阿根廷等地密集投資 1GW 級的風光混合發電專案，並搭配水力抽蓄儲能，以確保鋼鐵廠獲得 24 小時穩定電力。
- **生物能源替代化石燃料：**印度鋼鐵公司 (SAIL) 試驗以「竹生物炭」替代 10%-20% 的焦炭，預計每噸粗鋼可減碳 15%-20%。
- **綠氫生產設施：**德國 Salzgitter 建設 100MW 綠氫工廠，預計 2026 年投產，年產 9,000 噸綠氫用於低碳煉鋼。

4. 基礎設施材料與技術標準的建立

- **產學研整合標準化：**日本東京大學攜手日本製鐵、JFE 等企業啟動 MEIT 計畫，針對液氫、液氨、高壓二氧化碳儲槽與管道建立關鍵材料標準，以強化全球競爭力。
- **技術脫鉤建議：**由於日本本土能源成本高昂，研究報告建議日本鋼鐵業將「氫還原製程」與「煉鋼工序」脫鉤，轉向進口海外生產的熱壓鐵 (HBI)。

四、 低碳政策發展動態

1. 政策與法規框架的重塑

- **歐盟 CBAM 正式實施：**CBAM 於 2026 年 1 月 1 日正式實施，納管產品的進口商則需自 2027 年起繳交 CBAM 憑證。此外，歐盟也提出自 2028 年起欲將 CBAM 適用範圍擴大至部分下游產品，並加強對規避履行 CBAM 義務行為的管理。依目前申報進展，僅能證明此複雜碳管制政策仍可確切落地，但其實質管制效力，是否可所預期的 2030 全球減量達到 3,800 萬噸的成效，則仍需依據其在預設值以及碳價抵減機制設計而定。自 2028 年開始，歐盟預計將引入多項新措施，包括擴大 CBAM 的適用範圍，減緩鋼鐵和鋁價值鏈下游產品所面臨的碳洩漏風險，是否擴及其他部門仍有待討論。
- **亞洲國家加速碳市場建設：**中國 2025 年 3 月正式將鋼鐵業納入碳排放交易市場，並設立「過渡期（2024-2026）」與「深化期」兩階段政策；日本將於 2026 年 4 月 1 日起實施全國性強制碳排放交易體系（ETS），涵蓋高爐鋼鐵等九大高耗能產業；越南啟動 ETS 試行（至 2029 年），首波納管對象包含鋼鐵業。
- **貿易防禦與產業保護：**歐洲鋼鐵業因面臨不公平競爭與能源高成本，強烈要求強化貿易防禦、改革 CBAM 以防止碳洩漏，並推動「購買歐洲貨」與「鋼鐵與金屬行動計畫」。

2. 技術路徑轉型標準建立與相關補助

- **申請高爐轉電爐資金補助：**日本製鐵、JFE 等日本鋼廠積極申請政府補助，計畫將傳統高爐轉換為可生產高品質鋼材的大型電弧爐，目標在 2030-2050 年間淘汰高爐。
- **氫基直接還原鐵規範建立：**印度、韓國、中國均將「DRI+氫氣」視為綠色煉鋼的關鍵路徑。中國發布《氫基豎爐直接還原工藝設計規範》，將氫冶金技術從企業探索提升至行業規範。

- **碳捕捉與封存技術補貼：**德國、美國與中國均強化對 CCS 技術的支持。德國首次將 CCS 納入氣候保護契約補貼範圍；美國則修訂稅收抵免政策，提供 CCS 專案「安全港」機制。

3. 區域競爭力與投資布局

- **中東與北非 (MENA) 潛力崛起：**憑藉低成本的再生能源與現有的 DRI 生產基礎，MENA 地區正轉型為全球綠色鋼鐵的供應中心。
- **各國大規模資金補貼競爭：**德國啟動 60 億歐元的脫碳資助計畫；澳洲設立 10 億澳元的「綠鐵投資基金」及「氫能起步計畫」；韓國政府與企業計畫投入超過 8,000 億韓元研發氫直接還原技術。
- **歐洲專案面臨停滯危機：**受限於高能源成本與經濟不景氣，2025 年歐洲多個低碳鋼鐵專案出現取消或暫緩跡象。

4. 低碳標準與市場機制建立

- **綠色鋼鐵評級制度：**印度計畫於 2026-2027 年推出綠色鋼鐵分類，根據排放強度給予三星至五星評級。
- **跨國標準統一化：**安賽樂米塔爾等歐洲鋼廠積極推動「低排放鋼鐵標準 (LESS) 」，試圖建立統一的低碳鋼計算指南與分類方法。
- **需求端訊號建立：**日本與歐盟正研議透過公共採購、低碳鋼標準與標籤制度，建立綠色鋼材的市場激勵機制。

五、綠鋼市場發展動態

1. 市場規模與終端應用擴張

- **市場價值倍增：**全球綠色鋼鐵市場預計從 2026 年的 5,729.7 億美元，成長至 2036 年的 1.04 兆美元。

- **汽車業為最大推手：**汽車產業預計在 2026 年占綠色鋼鐵終端需求的 38%，主因是車廠在供應鏈減排壓力下，積極簽訂長期低碳鋼材供應協議。
- **建築與電力基礎設施需求成長：**建築業與大型工業設備（如變壓器）對綠色鋼材的需求顯著增加，應用範圍從旗艦店建築、鋼骨結構到大型工業變壓器。

2. 鋼廠品牌化與國際標準對接

各國鋼廠積極推出綠色產品品牌，並強化認證的公信力：

- **品牌化競爭：**JSW 推出 GreenEdge 品牌，提供具驗證減排證書的鋼材，並與國際標準（如 ISO 22095）掛鉤。EMSTEEL 發布 TrueGreen™，碳排放強度僅 0.67 噸 CO₂/噸鋼，並配有環境產品聲（EPD）。首鋼發布 SOGREECO 系列產品，明確定義多個降碳等級（降幅 30%至 70%）。
- **質量平衡法的普及：**日本鋼廠普遍採用此方法，將製程減排成果分配給特定產品，成功使其綠色鋼品（如 JGreeX、Kobenable）獲得豐田汽車等大廠採用。

3. 跨產業「互為用戶」與閉環回收模式

- **供應鏈深層協作：**寶鋼與日立能源（Hitachi Energy）建立「互為用戶」模式。寶鋼提供高品質電磁鋼（方向性電磁鋼），日立能源則將其製成超大型電弧爐變壓器，回供給寶鋼的零碳工廠使用。
- **量產車型的實質導入：**Volvo Cars 成為首家在量產車型（如純電動 EX60 SUV）中使用 SSAB Zero™（近零碳回收鋼）的汽車製造商，並預計於 2025 年開始交付。
- **創新綠色產品開發：**安賽樂米塔爾推出整合太陽能電池的 Helioroof® 低碳鋼製屋頂，較傳統屋頂減少 25%碳足跡。

4. 政策導向與市場機制建立

- **GX (綠色轉型) 市場化**：日本政府推動《GX 2040 願景》，透過「新技術資訊系統 (NETIS)」登錄綠色技術。凡採用登錄技術 (如日本製鐵的 NSCarbolex® Neutral) 的企業，在公共工程標案中可獲得加分。
- **碳定價縮小成本差距**：各國正研究透過碳定價機制降低 GX 產品 (較貴) 與傳統產品之間的採購價差，並推動 GX 價值可視化 (如揭露綠色材料採購比率)。

六、結論

綜合 2025 年技術、供應鏈、政策及市場四大維度的動態觀測，全球鋼鐵產業的脫碳之路呈現出以下三大核心特徵：

- 1. 路徑多元化與務實轉型**：儘管氫能被視為終極方案，但受限於高昂成本與基礎設施缺口，產業目前呈現「高爐改良、電爐轉型、氫能示範」並進的態勢。部分地區 (如美國與歐洲) 在面對高能源成本時，出現技術路徑的回調或專案暫緩，顯示出轉型過程中的經濟性挑戰。
- 2. 供應鏈與市場的深度協作**：綠鋼轉型已突破單一工廠的範疇，演變為跨產業的「閉環回收」與「互為用戶」模式。特別是汽車產業作為綠鋼的最大推手，透過長期協議與品質平衡法，正引領綠色鋼鐵從實驗室走向大規模商業化量產。
- 3. 政策引導與區域佈局重塑**：碳定價、政府補貼及綠色採購標準正逐步縮小綠色溢價的差距。與此同時，中東與北非等具備廉價再生能源優勢的地區，正藉由綠色鐵素生產挑戰傳統鋼鐵強國，預示著全球鋼鐵供應鏈格局的重新分配。

展望未來，鋼鐵企業若要在 2036 年產值預計破兆美元的綠鋼市場中脫穎而出，必須靈活運用多元技術組合，並積極與下游客戶建立深層的綠色價值鏈鏈結。

七、參考來源

1. https://m.sohu.com/a/844955098_313737?scm=10001.325_13-109000.0.0.5_32&spm=smwp.channel_247.block2_307_epwR4p_1_fd.6.1736121559627jhl3bjY_324
2. http://www.csteelnews.com/qypd/qydt/202501/t20250103_96155.html
3. <https://epjournal.csee.org.cn/zgdjgxcb/cn/article/pdf/preview/10.13334/j.0258-8013.pcsee.200605.pdf>
4. https://www.primetals.cn/cn/%E6%96%B0%E9%97%BB%E6%8A%A5%E9%81%93/%E6%96%B0%E9%97%BB?tx_seamnews_news%5Baction%5D=show&tx_seamnews_news%5Bcontroller%5D=News&tx_seamnews_news%5Bnews%5D=3524&cHash=cb348da071d4afdae209662f9c28229c#
5. <https://www.primetals.cn/landing-pages/blast-furnace-minimize-operating-costs#>
6. <http://www.worldmetals.com.cn/viscms/xingyeyaowen3686/266608.jhtml>
7. <https://gmcenter/en/news/a-third-of-the-eu-steel-industry-is-at-risk-of-shutting-down-arcelormittal-france/>
8. <https://www.jfe-steel.co.jp/release/2025/02/250203.html>
9. http://www.metalinfo.cn/news/f681ef7bd4ae11ef97c3f0d4e2e842a6.html?rtype=r_news&columnId=4de50205386c41af94409fdf8d2e1118
10. <https://www.reuters.com/sustainability/thyssenkrupp-says-3-bln-green-steel-plan-not-wholly-reliant-hydrogen-2025-01-14/>
11. <https://steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2187>
12. https://www.steelactionplan.eu/assets/Uploads/A-European-Steel-Plan-Online_C_P_F.pdf
13. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2199>
14. <https://www.aist.org/ieefa-mena-capable-of-leading-green-iron-and-steel-transition>
15. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2234>
16. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2236>
17. <https://finance.sina.com.cn/money/future/indu/2025-02-21/doc-inemezhn3874894.shtml>
18. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=235242>

19. <https://www.recessary.com/zh-tw/news/world-regulation/eu-may-postpone-full-implementation-cbam-until-2027>
20. http://www.csteelnews.com/qypd/jnhb/202502/t20250220_97302.html
21. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2211>
22. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2242>
23. <https://steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2253>
24. <https://www.prnewswire.com/news-releases/utility-achieves-industry-first-hydrogen-production-using-steel-manufacturing-off-gases-302396432.html>
25. <https://www.utilityglobal.com/products-h2gen-systems>
26. <https://www.aist.org/primetals-technologies,-voestalpine-partner-on-new-iron-plant>
27. <https://www.thyssenkrupp.com/en/newsroom/press-releases/pressdetailpage/mopco-to-enhance-sustainable-urea-and-ammonia-production-with-thyssenkrupp-uhde's-carbon-capture-and-green-ammonia-solutions-295087>
28. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=235694>
29. <https://firstindia.co.in/news/press-releases/amns-india-commissions-first-dedicated-scrap-processing-facility>
30. <https://www.amns.in/press-releases?press-release=am-ns-india-well-prepared-for-introduction-of-ministry-of-steel-s-green-steel-taxonomy>
31. <https://www.steel.gov.in/green-steel-initiative>
32. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2299>
33. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/us-based-electra-raises-168-million-to-advance-clean-iron-production-technology-1389675.htm>
34. <https://carboncredits.com/iron-reimagined-electra-raises-186-million-to-advance-cleaner-steel-carbon-emission/>
35. <https://www.seoul.co.kr/news/economy/industry/2025/05/08/20250508019001>
36. <https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/powering-cleaner-steelmaking-in-india-electricity-from-arcelormittal-s-1gw-renewable-energy-project-starts-flowing-to-its-indian-steelmaking-jv/>
37. <https://tenova.com/newsroom/latest-tenova/tenova-and-coolbrook-co2-free-metals-production>

38. <https://www.thechemicalengineer.com/news/coolbrook-primed-for-industry-use-after-rotodynamic-heater-pilot-tests-reach-over-1-000-c/>
39. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2372>
40. <https://www.t.u-tokyo.ac.jp/en/press/pr2025-05-19-001>
41. <https://www.reccessary.com/zh-tw/research/tracking-global-low-carbon-policies-in-steel-industry>
42. https://www.nipponsteel.com/en/news/20250521_100.html
43. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2401>
44. <https://fuelcellsworks.com/2025/06/04/energy-policy/hydrogen-based-steel-plan-at-cleveland-cliffs-officially-abandoned>
45. <https://steelindustry.news/cleveland-cliffs-cancels-500-million-green-steel-project/>
46. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=236624>
47. <https://www.offshore-energy.biz/uniper-and-thyssenkrupp-uhde-unite-to-scale-ammonia-cracking-technology/>
48. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/indias-jsw-steel-launches-greenedge-brand-steel-to-help-customers-cut-emissions-1393615.htm>
49. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/salzgitter-opens-two-new-tenders-to-secure-energy-supply-1395346.htm>
50. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2417>
51. <https://www.ssab.com/en/news/2025/06/ssab-and-volvo-cars-sign-ssab-zero-supply-agreement-for-serial-production>
52. <https://www.ssab.com/en/news/2025/06/ssab-and-volvo-cars-partner-to-advance-decarbonized-steel-production>
53. <https://steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2415>
54. <https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/arcelormittal-europe-urges-faster-implementation-of-steel-and-metals-action-plan>
55. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/arcelormittal-drops-plans-green-steel-germany-due-high-energy-costs-2025-06-19/>
56. http://www.metalinfo.cn/news/9cf438e3845643238baec4b6ba1577e6.html?rtype=r_news&columnId=4de50205386c41af94409fdf8d2e1118

57. <https://www.ssab.com/en/news/2025/06/ssab-and-polmotors-start-partnership-for-fossilfree-steel-structural-automotive-components>
58. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/australian-consortium-secures-funding-for-ambitious-low-carbon-ironmaking-project-1396160.htm>
59. <https://api.argusmedia.com/articles/2699693>
60. <https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2438>
61. <https://www.metalinfo.ru/ru/news/173999>
62. <https://www.metalbulletin.ru/news/black/10187395/>
63. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=237721>
64. http://www.csteelnews.com/qypd/ywjx/202507/t20250714_101950.html
65. <https://www.resonac.com/jp/news/2025/06/13/3530.html>
66. <https://www.jfe-eng.co.jp/news/2025/20250627.html>
67. <https://gmcenter.com/en/news/salzgitter-to-test-new-green-pellet-technology-in-collaboration-with-binding-solutions/>
68. <https://www.canadianmanufacturing.com/manufacturing/pyrogenesis-inc-announces-completion-of-project-for-tata-steel-310865/>
69. <https://steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2521>
70. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/arcelormittal-acindar-commissions-argentinass-first-hybrid-energy-park-1401324.htm>
71. <https://i.xpaper.net/baowu/news/9900/55948/299276-1.shtml>
72. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/salzgitter-to-trial-cold-agglomerated-pellets-in-bf-and-dr-operations-1402672.htm>
73. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=238269>
74. http://www.metalinfo.cn/news/addf521341c1465e8f0de8ff5979194e.html?rtype=r_news&columnId=4de50205386c41af94409fdf8d2e1118
75. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/global-steel-leaders-launch-pre-feasibility-study-to-accelerate-decarbonization-in-asia-1404798.htm>
76. https://www.csm.org.cn/col/col6371/art/2025/art_1828436159.html
77. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/bhp-leads-global-steelmakers-group-study-asian-carbon-capture-hubs-2025-08-11/>
78. <https://project.nikkeibp.co.jp/ESG/atcl/column/00005/081200529/>

79. <https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/arcelormittal-s-xcarb-innovation-fund-invests-in-electrified-thermal-solutions#>
80. <https://electrifiedthermal.com/technology/>
81. <https://www.thyssenkrupp-nucera.com/pgs-selects-thyssenkrupp-nucera-as-preferred-supplier-for-1-4-gw-electrolyzer-for-flagship-green-iron-project-in-australia/>
82. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/germany-approves-carbon-storage-law-to-secure-climate-neutrality-and-industry-1405962.htm>
83. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/norwegian-hydrogen-and-swedens-greeniron-strengthen-partnership-to-increase-fossil-free-metal-output-1405963.htm>
84. <https://www.metalbulletin.ru/news/black/10188679/>
85. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/swiss-steel-tests-hydrogen-in-furnaces-without-impacting-steel-quality-1406627.htm>
86. https://www.nipponsteel.com/news/20250901_100.html
87. <https://www.japanmetal.com/news-t20250902145464.html>
88. <https://www.jfe-eng.co.jp/en/news/2025/20250819.html>
89. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=238763>
90. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=238916>
91. https://news.futunn.com/post/61788055?level=1&data_ticket=1734310467892186
92. <https://www.jfe-steel.co.jp/release/2025/09/250925.html>
93. <https://www.voestalpine.com/group/en/media/press-releases/2025-07-29-voestalpine-hy4smelt-construction-on-Austrias-largest-climate-action-research-project-starts-at-the-voestalpine-site-in-Linz/>
94. https://www.nipponsteel.com/news/20250911_100.html
95. <https://www.metalbulletin.ru/news/black/10189330/>
96. <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/spains-sarralle-completes-green-hydrogen-steel-project-at-arcelormittal-olaberria-1413577.htm>
97. <https://steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2691>
98. <http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=239643>

- 99.<https://ieefa.org/resources/australias-steel-sector-too-focused-replacing-one-fossil-fuel-another>
- 100.<http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=239600>
- 101.<http://www.tncsteel.com/show.php?contentid=239448>
- 102.<https://www.emsteel.com/emsteel-launches-truegreen-a-landmark-value-proposition-empowering-sustainable-construction/>
- 103.<https://www.metalbulletin.ru/news/black/10189763/>
- 104.<https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/arcelormittal-launches-heliroof-a-revolutionary-low-carbon-all-in-one-insulated-steel-roof-integrating-solar-cells>
- 105.http://www.metalinfo.cn/news/450d330df05e4b969b2ef1cddfcdded4d.html?rtype=r_news&columnId=4de50205386c41af94409fdf8d2e1118
- 106.<https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/arcelormittal-poland-and-trafikverket-launch-closed-loop-rail-recycling-project-1416850.htm>
- 107.<https://www.aist.org/bhp,-posco-to-collaborate-on-direct-reduction-tech>
- 108.<https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/bhp-and-posco-partner-to-advance-hyrex-ironmaking-technology-for-near-zero-emissions-production-1417172.htm>
- 109.<https://steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2777>
- 110.<https://www.aist.org/u-s-steel-to-build-dri-plant-on-big-river-steel-works-campus>
- 111.<https://talkbusiness.net/2025/11/new-steel-mill-slated-for-big-river-steel-works-campus/>
- 112.<https://www.aist.org/ieefa-oman-a-frontrunner-in-the-green-steel-transition>
- 113.<https://newsroom.posco.com/en/from-ccus-to-hyrex-the-full-lineup-of-posco-groups-decarbonization-strategies-for-a-sustainable-steel-industry/>
- 114.<https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2779>
- 115.<https://www.steelnews.com.tw/esg/n/content?id=2780>
- 116.<https://newsroom.posco.com/en/posco-international-strengthens-its-partnership-for-energy-mix-transition-with-equinor-of-norway/>
- 117.https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA3MTEyNzg3OA==&mid=2650977345&idx=2&sn=310600c6f50318a7d538bd2a043d57ed

118. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAxMTQ5NzUwNQ==&mid=2653229651&idx=2&sn=e131e4b2470bddd866319def8a77d280
119. <https://www.seaisi.org/details/27525?type=news-rooms>
120. <https://www.ssab.com/en/news/2025/11/ssab-enters-partnership-with-eab-on-fossilfree-steel>
121. <https://www.jfe-steel.co.jp/release/2025/11/251111.html>
122. https://www.kobelco.co.jp/releases/2025/1218574_18562.html
123. <https://www.jfe-eng.co.jp/news/2025/20251112.html>
124. http://www.metalinfo.cn/news/d4d17eb1b3be4a35b726d9c888c1f931.html?rtype=r_news&columnId=4de50205386c41af94409fdf8d2e1118
125. <https://www.seaisi.org/details/27515?type=news-rooms>
126. <https://www.163.com/dy/article/KF50F96E05565R3L.html>
127. https://www.cnfeol.com/gangtie/n_083216424839.aspx
128. <http://www.news.cn/energy/20251125/5f8acc1b8da44b54aa833a515f055135/c.html>
129. <https://worldsteel.org/climate-action/breakthrough-technology/>
130. <https://carbonherald.com/dutch-ccs-quintet-advances-major-cross-border-co2-network/>
131. <https://ceenergynews.com/climate/greece-introduce-bill-on-ccs/>
132. <https://www.koreaherald.com/article/10627182>
133. <https://biz.chosun.com/en/en-industry/2025/12/01/MHI4PID7VNAQ3NGE5BP24VAERM/>
134. https://www.cs.com.cn/esg/202512/t20251201_6525883.html
135. <https://asianews.network/japans-steelmakers-turn-to-hydrogen-in-decarbonisation-efforts-but-high-costs-hinder-progress/>
136. <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/newsroom/press-releases/co2-reduced-steel-tsr-group-supplies-tsr40-for-bluemint-steel-by-thyssenkrupp-steel.html>
137. <https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-expands-its-portfolio-of-renewable-energy-projects#>
138. <https://www.spglobal.com/energy/en/news-research/latest-news/metals/121225-roadmap-of-europe-low-carbon-steel-production-projects>

139.<https://www.renewable-ei.org/en/activities/reports/20251215.php>

140.<https://www.factmr.com/report/green-steel-market>

141.<https://www.irs.gov/newsroom/treasury-irs-provide-safe-harbor-for-taxpayers-claiming-the-carbon-capture-credit>

142.<https://tcan2050.org.tw/20260121/>