



鋼廠動態

1. JFE 與愛媛大學開發高溫鋼渣 CO₂固定與熱回收技術 1
2. 日本製鐵綠色鋼品將用於公共工程應用 2
3. 薩爾茨吉特將 Salcos 氫基煉鋼專案推遲三年 2
4. 安賽樂米塔爾成功在西班牙部署綠氫燃燒系統 3
5. 波士頓金屬公司啟用 MOE 工業電解槽 3
6. 普銳特冶金技術將與三菱商事、奧鋼聯和力拓共建氫基煉鐵廠 4

技術/生產資訊

1. 中冶賽迪申請長流程鋼化聯產專利，聚焦碳捕捉利用與封存 6
2. 減少鋼廠碳排方案和能源效率研究 7
3. 極低排放下的高效低碳燒結技術創新與應用 9
4. 鋼鐵業邁向碳中和之路(上) 10
5. 綠鋼在歐盟汽車工業中的應用潛力 11
6. 利用流化床開發廢塑膠氣化技術的研究 12

-
- | | |
|---------------------------|----|
| 7. 鐵礦石球團化過程中用麥芽生物碳替代礦物煤研究 | 13 |
| 8. 環保型低碳錳鐵合金清潔冶煉技術 | 14 |
| 9. 清潔燃料氨對碳中和的作用及價值鏈的構築 | 15 |
-

技術專欄

- | | |
|-------------|----|
| ※日韓鋼廠藍碳應用案例 | 17 |
|-------------|----|
-

1. JFE 與愛媛大學開發高溫鋼渣 CO₂固定與熱回收技術

JFE 與國立大學法人愛媛大學合作「透過高速、大容量碳化鋼渣進行創新性二氧化碳固定技術」項目，已在千葉地區建成設施並啟動實證試驗，旨在加速技術的社會應用。

該技術利用鋼鐵生產副產品高溫煉鋼渣中的氧化鈣成分，透過注入 CO₂使其快速大量地碳化固定二氧化碳，同時還能回收高溫煉鋼渣的熱能，以提高能源效率並最大化 CO₂的固定與減排總量，如圖 1。目前將透過實證驗證熔渣凝固、熱破碎、碳化、熱回收等工藝的最佳操作條件、熱回收量與 CO₂減量效果，並分析實施問題。

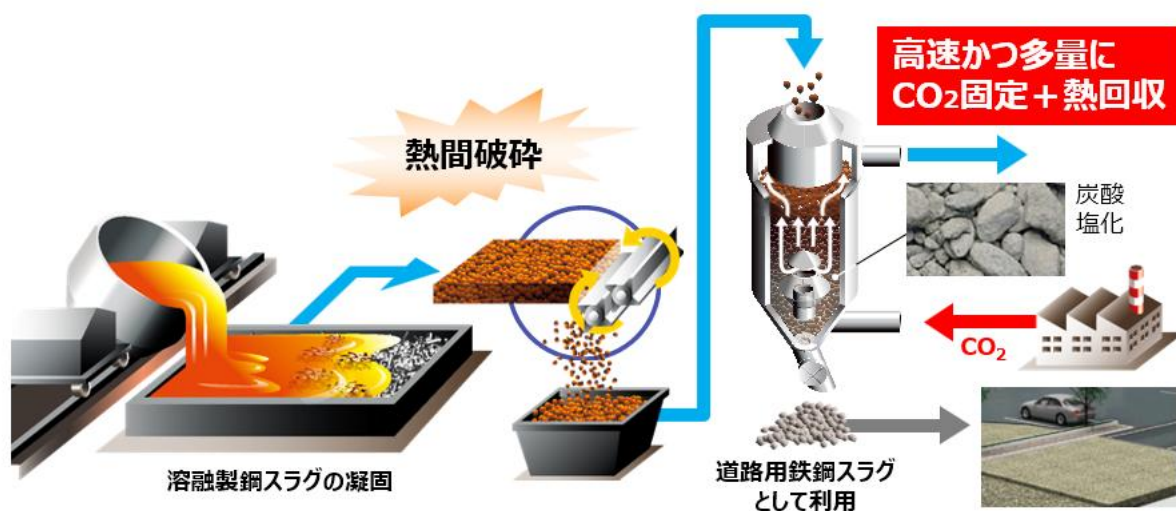


圖 1、鋼鐵爐渣高速大量碳酸化之創新性 CO₂固定技術流程

(摘自：JFE 2025-09-25)

2. 日本製鐵綠色鋼品將用於公共工程應用

日本製鐵的 NSCarbolex® Neutral 綠色鋼品已於 2025 年 9 月，正式以註冊號 KK-250042-A 登錄至日本國土交通省的「新技術資訊系統 (NETIS)」。該系統旨在推動民間企業開發的新技術於公共工程中廣泛應用，凡登錄於該系統的技術，在公共工程的綜合評估招標中可獲得加分。

NSCarbolex® Neutral 先前已有公共工程採用案例，預期此次的註冊將更進一步提高其知名度，亦代表產品受到政府認證，符合日本政府鼓勵在公共工程中積極採用綠色鋼鐵等綠色建材的「GX 2040 願景」。

(摘自：Nippon Steel 2025-09-05)

3. 薩爾茨吉特將 Salcos 氫基煉鋼專案推遲三年

由於經濟和政治監管條件顯著惡化，薩爾茨吉特 (Salzgitter) 已決定將其價值 25 億歐元 (約合 891.13 億新台幣) 的 Salcos 氫能煉鋼專案後續階段推遲約三年。

Salcos 專案旨在逐步過渡到氫基煉鋼，目標於 2033 年前減少約 95% 的碳排放。第一階段涉及直接還原裝置、電爐和電解廠，仍按原計畫於 2027 年啟動，但原定於 2026 年進行第二、三階段投資決定，將推遲至 2028-2029 年。

薩爾茨吉特呼籲德國政府兌現承諾，透過確保負擔得起的可靠能源供應、加速氫氣市場啟動及維護貿易保護等方式來支援鋼鐵業。這次推遲反映歐洲鋼鐵製造商在需求疲軟、能源價格高企和進口競爭下，普遍面臨脫碳專案的挑戰。

(摘自：MetalBulletin 2025-09-25)

4. 安賽樂米塔爾成功在西班牙部署綠氫燃燒系統

安賽樂米塔爾位於西班牙奧拉貝裡亞(Olaberria)的鋼鐵廠已完成綠氫燃燒系統的建置，該裝置由 Sarralle 及 Nippon gas 共同開發，以氫氣基富氧燃料燃燒器取代傳統的空氣-天然氣燃燒器。此專案驗證以氫氣為基礎的燃燒技術，已具備工業規模部署的能力。

再加熱爐通常佔鋼廠總燃料消耗高達 80%，新燃燒裝置結合純氧和再生氫氣進行燃燒，大幅提升熱效率，同時確保更清潔的煙氣，實現零碳再加熱作業。

(摘自：SteelOrbis 2025-10-08)

5. 波士頓金屬公司啟用 MOE 工業電解槽

美國波士頓金屬公司近日成功啟用多惰性陽極熔融氧化物電解(MOE)工業電解槽，並在馬薩諸塞州沃本工廠投入運行，代表綠色鋼鐵商業化生產的可行性得到驗證。

該公司已實現噸級鋼鐵產出，這是綠色鋼鐵道路上的重大里程碑。MOE 是一種高效技術，能將各品位鐵礦石轉化為高品質鐵水。其核心是惰性陽極，能在高溫高腐蝕環境下工作，實現純鐵水規模化生產且不排放任何碳(只排放氧氣)。若使用再生能源電力，能有效減少鋼鐵生產的氣候影響。

MOE 技術源於麻省理工學院，波士頓金屬公司於 2013 年開始將其商業化。在 2025 年 2 月，該公司成功提取約 1 噸粗鋼。新啟用的多惰性陽極電解槽已驗證技術可行性，公司計劃於 2026 年部署首間示範工廠，以具成本競爭力的模組化技術，提供一步式煉鐵工藝，避開優質礦石稀缺性，並消除傳統鋼廠中的焦化、燒結、高爐等工序。

波士頓金屬公司也同時在巴西開展業務，利用 MOE 技術從採礦廢料中回收金屬，並規劃在美國建立鉻金屬工廠，以確保 MOE 工藝供應鏈。MOE 為鋼鐵脫碳提供了最直接且可擴展的途徑。

(摘自：世界金屬導報 N.2715 B01 2025-04-15)

6. 普銳特冶金技術將與三菱商事、奧鋼聯和力拓共建氫基煉鐵廠

普銳特冶金技術 (Primetals Technologies) 近日宣佈，與三菱商事、力拓集團及奧鋼聯 (voestalpine) 簽署合作協議，共同在奧地利林茨建立一座工業規模的氫基煉鐵原型工廠。旨在開發可實現淨零排放的煉鐵新工藝，計畫於 2027 年中期投產，設計產能約每小時 3 噸鐵水。此技術結合了普銳特開發的 HYFOR (Hydrogen-based Fine Ore Reduction) 氫基直接還原技術與 Smelter 熔分系統，被認為是未來低碳煉鐵的重要突破。

HYFOR 是全球首個可直接利用鐵礦粉、無需造球或燒結的直接還原技術，早在 2021 年已於奧鋼聯多納維茨中試工廠完成多次成功試驗。Smelter 則採用可再生能源，將直接還原鐵 (DRI) 熔化並最終還原為液態鐵水。兩項技術的結合將使氫基還原實現連續化生產，顯著提升效率與減碳潛力，業界認為其影響可與當年 LD 轉爐革命相提並論。

奧鋼聯指出，該項目是其「greentec steel」戰略的重要組成部分。公司計畫 2027 年起在林茨與多納維茨分別建設使用綠電的電弧爐，至 2029 年整體碳排放量較 2019 年下降 30%，相當於奧地利全國排放量的 5%。長期目標則是以綠氫實現碳中和鋼鐵生產。

力拓集團將為原型廠提供約 70% 的鐵礦資源，並利用其在粉礦品質與製備領域的技術優勢推動流化床煉鐵技術發展。三菱商事則作為普銳特戰略夥伴，

負責推動低碳金屬技術的商業化與供應鏈整合。

該項目獲得歐盟「清潔鋼鐵合作 (CSP)」與「氫穀」等多項計畫及奧地利政府「雙重轉型」計畫資助，被視為歐洲鋼鐵業向氫能與零碳冶金轉型的重要里程碑，將對全球綠色煉鐵技術格局產生深遠影響。

(摘自：世界金屬導報 N.2723 B01 2025-06-17)

1. 中冶賽迪申請長流程鋼化聯產專利，聚焦碳捕捉利用與封存

鋼鐵業為實現碳中和目標，除開發氫冶金等前瞻技術外，如何將現有長流程高爐的碳排放資源化、高值化，亦是關鍵路徑。本專利之技術旨在整合鋼鐵冶煉與化工生產，將冶金過程中產生的副產氣體由傳統的低附加價值燃料，轉化為高價值的化工原料，實現碳捕捉利用與封存目標；如圖 2 所示，本專利由三大核心技术組成：

(1)高爐煤氣脫碳與循環

高爐煤氣採用變壓吸附技術將煤氣分離為富含 CO_2 的「解吸氣」與富含 CO 、 H_2 等還原性氣體的「脫碳氣體」。其中，大部分(約 80%以上)的脫碳氣體經加熱後，作為還原劑循環回噴高爐，藉此提高還原效率、降低焦碳與煤粉的消耗，從源頭減少碳排放。

(2) CO_2 捕獲與產品化

自高爐煤氣中分離出的「解吸氣」，經加壓、乾燥、深冷液化與精餾提純等一系列程式後，可獲得高純度的液態 CO_2 產品。這些液態 CO_2 不僅可直接用於地質封存或油田驅油，更可作為化工原料，例如與再生能源電解產生的「綠氫」反應合成甲醇。

(3)鋼化聯產合成乙二醇

剩餘約 20%的脫碳氣體，與經過淨化的轉爐氣、輕烴轉化處理後的焦爐氣混合，前述混合氣再經過低溫甲醇洗、變溫吸附等深度淨化製程，去除硫化物與雜質。最終，透過兩段式變壓吸附系統，分離出用於合成乙二醇的 $\text{CO}+\text{N}_2$ 與 H_2 。

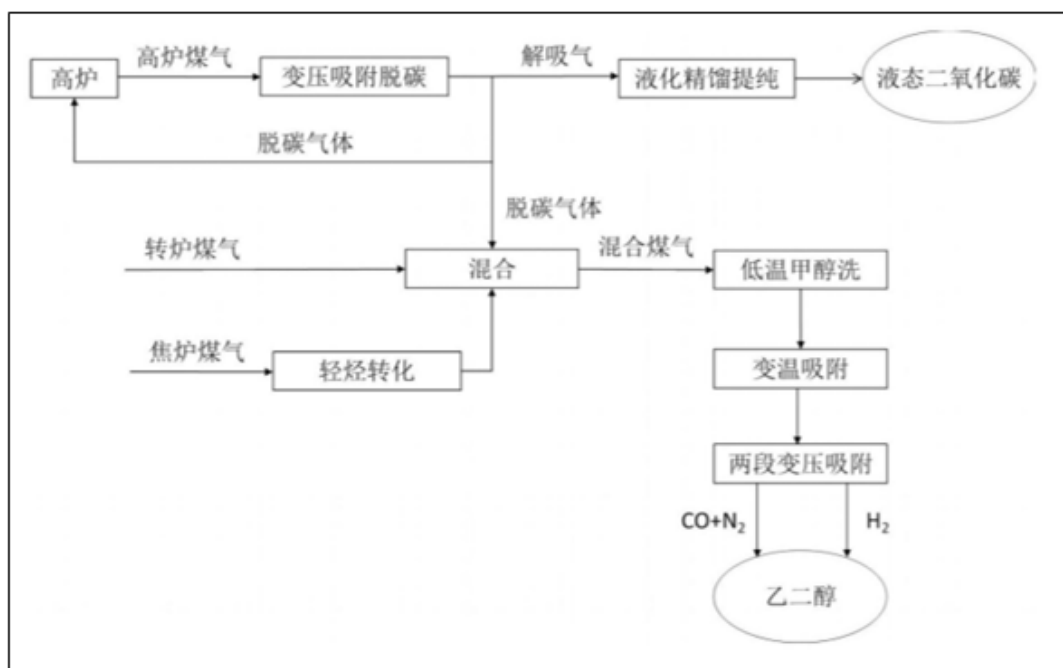


圖 2、中冶賽迪申請長流程鋼化聯產專利

(摘自：CN 專利 CN116397062 2025-09-12)

2. 減少鋼廠碳排方案和能源效率研究

在全球致力於 2050 年實現碳中和以應對氣候變遷的背景下，排碳量大的鋼鐵業面臨著嚴峻的減排挑戰。多數鋼鐵業已設定中期目標，期望在 2030 年前將碳排放量減少 30%。為此，業界正積極探索採用綠色電力、綠色氫能、生物質能及碳捕集、利用與封存 (CCUS) 等多種技術路徑，但這些方案普遍伴隨著高昂的資本支出、龐大的基礎設施需求與顯著增加的能源消耗。因此，提升能源效率成為未來鋼鐵業可持續發展的關鍵。

鋼鐵業在推動減碳時，面臨多重障礙。首先，從傳統的高爐-轉爐 (BF-BOF) 煉鋼工藝轉向直接還原鐵-電弧爐 (DRI-EAF) 等低碳路徑，需要巨額的投資，在許多地區缺乏經濟可行性，亟需政府的資金支持。其次，關鍵的減碳技術，例如氫能直接還原鐵、CCUS 等，其技術成熟度與商業化水準不一。再者，生產綠色氫氣的成本高昂且來源有限，其生產過程亦是高度能源密集型，這將導致鋼鐵生

產的電力需求和運營成本大幅上升。此外，配套的基礎設施，包括綠色電力供應、氫氣的生產與儲運，以及二氧化碳的封存與運輸管線，均需大規模建設。管理層與基層員工對碳排放的認知有限，也為減排策略的推動帶來挑戰。

該研究評估了六種主要的二氧化碳減排方案：

(1)現有流程優化：此方案專注於透過改善操作實踐、採用最佳可行技術、減少製程損失來提升營運效率。這被視為短期內最應優先推動的策略，不僅能減少碳排放，還能降低營運支出，是實現一流績效水準的第一步。

(2)上游煉鐵製程重大變革：採用 Corex、Finex 等替代性煉鐵技術，但多數此類技術的能耗與碳排反而高於傳統高爐，因此並非理想選項。

(3)上下游製程全面革新：以天然氣為基礎的直接還原鐵 (DRI) 製程結合電爐(EAF)煉鋼，可望減少 50-60%的二氧化碳排放和 20-30%的能耗，但前提是需要有穩定的高品位鐵礦砂與低成本天然氣供應。

(4)整合 CCUS 技術：在維持現有製程的基礎上，加裝碳捕集設施。此方案減排潛力巨大，但能源消耗也將顯著增加。以一個年產百萬噸的熱軋鋼廠估算，其資本支出高達 9.5 億美元，且需解決二氧化碳運輸與地質封存的難題。

(5)導入氫能煉鋼：在現有或改進的工廠配置中，以綠色氫氣替代天然氣或焦炭作為燃料與還原劑。此方案雖能減碳，但對能源消耗可能增加，其資本支出與運營成本變高，最主要的關鍵仍是綠色氫氣的普及性與高單位成本的綠色電力。

(6)採用生物質能：在高爐中有限度地使用木炭替代化石燃料，但大規模應用受限於木炭的供應量，且必須結合永續的植樹造林計畫。若僅考量購買木炭，不能將使用木炭作為減少二氧化碳排放的一種方案。

面對複雜的技術選項與高昂的成本，鋼鐵企業應制定一套循序漸進的戰略路線圖。研究建議，企業應在短期內，透過實施低成本甚至零成本的營運改善措施，達成較容易的目標，有望達成 10-25%的減排潛力。在中期，可借助中等資本支

出的項目，進一步減排 10-25%。而長期的深度減排 (30-50%) 則需仰賴 CCUS 和綠色氫能等突破性技術，但這些技術的商業可行性高度依賴政府的激勵政策與資金支持。

總結而言，鋼鐵行業的淨零排放之路充滿挑戰，需要政府、發電企業、金融機構與鋼鐵業者自身的協同努力。短期內，提升能源效率與營運績效是效益最高的策略；而長遠來看，儘管綠色技術帶來了高昂的成本，但持續的技術創新與完善的政策配套將是實現最終減排目標的唯一途徑。

(摘自：世界金屬導報 N.2723 B14-B15 2025-06-17)

3. 極低排放下的高效低碳燒結技術創新與應用

中國鋼鐵生產以高爐-轉爐長流程為主，其中燒結是高爐原料的主要來源，也是污染物和碳排放的重點環節。在中國減碳戰略推動下，燒結面臨三大技術挑戰：如何穩定生產優質燒結礦、環冷機中低溫廢氣缺乏回收利用技術導致熱量浪費、以及超低排放後煙氣中 CO 濃度仍高達 5000mg/m³以上的問題。

首鋼以「高效、低碳、極低排放」為目標，研發低碳燒結系統性技術創新。在高效生產方面，透過研究原料潤濕特性、石灰消化特性等，開發強化制粒技術；針對環冷機廢氣，建立合理冷卻制度並優化燒結機與環冷機的風量匹配，實現廢氣全量消納與餘熱回收；針對高濃度 CO 問題，採用催化氧化技術協同煙氣再利用實現 CO 轉化；同時開發智能配料、一鍵換台車等自動化技術保障生產穩定性。

項目取得四大創新成果：

(1)透過返礦分流、延長消化時間等強化製粒技術，使混合料平均細微性提高 10.93%、利用係數提高 4.89%；

(2)首次實現 30%煙氣內外循環條件下環冷機廢氣零排放，冷卻新風減少 50%、餘熱蒸汽提升 39.10%、固體燃耗降低 0.63kg/t；

(3)透過 CO 綜合治理技術實現 CO 減排 38.66%、脫硝煤氣消耗降低 66.63%、外排 CO 濃度低於 2800mg/m³；

(4)開發智能配料系統實現 TFe±0.5 穩定率 100%，並實現 5 分鐘快速換台車及關鍵裝置自動清潔。

該技術已在首鋼 360m²燒結機應用並取得顯著成果，料厚從 744.1mm 提升至 839.2mm 同時維持 1.4t/(m²·h)高利用係數，自返率從 22.76%降至 16.26%，燒結礦轉鼓強度提升至 85.14%、FeO 含量降至 8.20%。環保效果突出，實現環冷機廢氣零排放，顆粒物、SO₂、NO_x排放濃度分別低至 2.3、3.3、20.6mg/m³，遠優於國家標準。能耗方面，固體燃耗最低達 43.16kg/t、蒸汽回收最高 109.42kg/t、工序能耗最低 38.06kgce/t。

(摘自：世界金屬導報 2025-06-19)

4. 鋼鐵業邁向碳中和之路(上)

在全球鋼鐵業邁向碳中和的進程中，利用氫氣直接還原鐵礦石(DRI)已確立為低碳鋼鐵技術的主流方向之一。該技術以氫氣替代傳統焦炭，若進一步使用綠氫，能實現幾乎零碳排。截至 2024 年，歐盟已宣佈其 DRI 總產能達到 3,300 萬噸/年，佔高爐產能的 27%，主要集中在安賽樂米塔爾、薩爾茨吉特等企業。

然而，氫基 DRI 技術的大規模商業化仍面臨多重挑戰。核心挑戰在於綠氫的低成本穩定供應。目前氫基 DRI 的能耗(約 13.7GJ/t)高於天然氣基 DRI(約 11.3 GJ/t)。根據 2023 年歐洲市場評估，若無碳稅調節，當綠氫價格達到 4 美元/kg 時，氫基 DRI 成本會比傳統高爐-轉爐(BF-BOF)高出 58%，綠氫價格須降至約 1.7 美元/kg 以下才具備市場競爭力。此外，從現有天然氣基 DRI 轉向純氫基 DRI 絕非易事，這涉及反應熱力學、傳質與熱平衡的顯著變化，並對現有還原爐的材料抗氫腐蝕與氫脆性提出更高要求。

為加速突破，人工智慧 (AI) 賦能成為關鍵路徑。AI 可應用於多個環節，包括：透過 AI 驅動的催化劑篩選平臺優化還原動力學，利用計算流體力學與強化學習實時優化還原爐內的氣流組織與噴射模式，以及開發集成氣象與電價預測的「風光氫-電網協同優化平臺」以降低綠氫成本。

展望未來，氫基 DRI 技術將持續成熟，預計到 2030 年，全球綠氫供應量將可勉強滿足鋼鐵業 DR 轉型。在保持戰略定力的同時，行業需在技術研發、能源結構與經濟可行性等方面持續協同，才能實現行業碳中和的目標。

(摘自：世界金屬導報 N.2720 B14-16 2025-05-27)

5. 綠鋼在歐盟汽車工業中的應用潛力

綠鋼作為汽車業脫碳的關鍵途徑，同時也正成為歐洲鋼鐵業低碳轉型的核心。截至 2022 年，歐盟汽車行業鋼材需求達 2370 萬噸，占歐盟總需求的 17%，成為建築業之後的第二大鋼材消費行業。面對 2050 年碳中和目標，歐盟 33 家鋼廠已宣佈新增低碳排放鋼產能 1.07 億噸/年，其中 65% 來自綠色氫基直接還原鐵-電爐工藝 (H₂-DRI-EAF)。當前歐盟低碳排放鋼生產主要路線包括：廢鋼電爐路線實現 80%-85% 減排，但面臨廢鋼雜質含量限制；天然氣直接還原鐵 (NG-DRI) 成本相對較低但減排潛力有限，為過渡技術；氫基直接還原鐵 (H₂-DRI) 是最具前景的技術，特別是綠氫方案，減排潛力可達 90%-93%。

然而，隨著綠氫成本下降和電網脫碳，到 2040 年低碳鋼成本將低於傳統鋼，到 2050 年實現負減排成本。消費者層面，綠色 H-DR 鋼在乘用車上的零售價格溢價預計到 2025 年為 1%-1.5%，到 2030 年降至 0.1%，到 2040 年歸零。歐盟碳排放配額價格維持在 150 歐元/噸二氧化碳當量以上，將確保具有成本競爭力。

截至 2023 年，已有 26 家歐盟汽車整車廠與低碳排放鋼生產商簽訂協議，承諾到 2030 年供應 180 萬噸低碳排放鋼材，占預計汽車用鋼需求的 9%。其中使用綠氫直接還原鐵路線的鋼材供應量預計達 130 萬噸，占總供應量 72%。此外，輕量化趨勢亦影響鋼材需求，乘用車用鋼量預計從 2020 年的 700 千克降至 2050 年的 240 千克以下。為確保汽車業大規模採購低碳排放鋼，歐盟需提高碳定價政策和強制性低碳排放鋼最低使用目標，同時加強綠氫供應設施，方能實現未來脫碳目標。

(摘自：世界金屬導報 N.2721 A06-07 2025-06-03)

6. 利用流化床開發廢塑膠氣化技術的研究

本研究透過開發一種利用熱解廢塑膠進行氣化，以生成高熱值氣體 (目標為 5000 kcal/Nm^3 以上)的技術，解決廢塑膠污染問題並將其作為能源利用，其核心技術與機制之重點如下：

- **低溫氣化與產物控制**：為獲得高熱值的輕烴 (C1-C4)，研究將分解溫度控制在 700 度以下，實驗選擇 550 度、600 度和 650 度。此溫度範圍旨在讓熱解過程停止在生成輕烴氣體的階段，抑制生成熱值較低的 CO 和 H_2 。
- **氣化劑改性**：採用鋼鐵廠副產氣體轉爐煤氣 (LDG) 作為氣化劑的基礎，並事先通過與水蒸氣進行重整反應($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$)來提高 H_2 濃度。實驗結果證實 H_2 能有效提高氣相產物的輕烴含量，進而提升熱值。
- **催化劑與流化介質**：在流化床反應器中，除了常用的矽砂外，還選用可低價獲得的鋼鐵廠副產物 OG 粉塵 gamma-氧化鋁作為流化介質。
- **OG 粉塵**：實驗結果顯示，在 600 度下使用 OG 粉塵產生了 5000 kcal/Nm^3 以上的高熱值氣體。OG 粉塵的主要成分為氧化鐵，在高溫蒸汽下具有催化分解塑膠的作用，機理涉及晶格氧消耗與水分子分解產生的氧的交替過程，並

推測生成的氫促進了輕烴的生成。

- **催化活性提升方向：**研究推測 OG 粉塵表面存在 CaCO_3 外殼，降低了催化活性，因此去除外殼有望進一步提高催化效果和氣化率。gamma-氧化鋁因其高比表面積(200 公尺平方)和優異的焦油接觸效率，在氣化率方面表現更佳。

本研究證實，在流化床中，以 OG 粉塵為催化劑，並通入經重整改性的氣化劑，將分解溫度控制在 600-650 度範圍內，能夠成功生產出高熱值氣體。未來的研究重點將是提高 OG 粉塵的催化性能以及開發流化介質的高效循環和加熱方法，以實現技術的商業化。

(摘自：世界金屬導報 N.2722 B14-15 2025-06-10)

7. 鐵礦石球團化過程中用麥芽生物炭替代礦物煤研究

本研究探討使用麥芽渣(一種釀造業副產品)製備的生物炭部分替代礦物煤，對鐵礦石球結礦強度及品質指標的影響，有助於推動鋼鐵業的清潔生產，並促進啤酒業和鐵礦石行業之間的循環經濟。

麥芽生物炭由 20.10wt.%的揮發性物質、66.79wt.%的固定碳和 13.11wt.%的灰分組成。相比之下，礦物煤含有 20wt.%的揮發性物質、34wt.%的固定碳和 46wt.%的灰分。生物炭灰的主要成分為二氧化矽 (49.37wt.%) 和三氧化二鐵 (24.17wt.%)。細微性分析表明，麥芽生物炭的平均粒徑為 $5.48\mu\text{m}$ ，比礦物煤的平均粒徑 $17.78\mu\text{m}$ 小得多，生物炭的比表面積為 $3.17\text{m}^2/\text{g}$ 。

試驗採用 2+2 因數設計，研究麥芽生物炭對礦物煤的替代率(10%-30%)、二元鹼度 (CaO/SiO_2 在 0.15 -0.45 之間變化) 和固定碳含量 (0.5%-1.1%) 的影響。球結礦在造球盤上生產，然後進行熱處理：以 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 升溫至 1300°C 並保溫 10 分鐘。

球結礦測試指標包括：

- (1) 跌落次數 (生球結礦)：評估球結礦的初期機械強度。
- (2) 轉鼓試驗 (燒結球結礦)：衡量球結礦的抗磨損和抗破碎能力。
- (3) 機械抗壓強度 (乾球結礦和燒結球結礦)：衡量球結礦承受壓力的極限。
- (4) 孔隙率 (燒結球結礦)。

本研究證實，在鐵礦石球結化過程中，用麥芽生物炭替代礦物煤是可行的，並且有助於減少溫室氣體排放。在所有球結礦質量測試中，含有麥芽生物炭的配方表現優於或等同於不含替代品的配方。根據實驗結果，理想的麥芽生物炭替代比例區間為 10%-20%。特別是 B0.45-C1.1-S10 成分 (10%替代率) 在乾球結礦和燒結球結礦的機械強度方面表現最佳。此外，二元鹼度的增加與燒結球結礦機械強度的提高密切相關。

(摘自：世界金屬導報 N.2723 B08-09 2025-06-17)

8. 環保型低碳錳鐵合金清潔冶煉技術

本研究是一種高效率的低碳錳鐵(LC-FeMn)一步生產技術，透過利用熱化學模擬和電弧爐(EAF)的冶煉試驗進行開發，傳統矽熱還原技術的能耗高達約 2000kWh/t，且未經處理的原生錳礦石難以生產出符合標準規範的 LC-FeMn 合金。

核心創新技術是採用預還原錳礦石進行一步矽熱還原，透過熱化學模擬顯示，將鹼度(CaO/SiO_2)調整至 CaO/SiO_2 約等於 1.77 對於降低氧化錳 (MnO) 和氧化鐵 (FeO) 含量以及提高矽的利用率是最有效的。

實驗的結果證明，預先還原錳礦石優於未還原的礦石，在最佳條件下 (例如 Mn/Si 比為 3.1，鹼度 1.65)，新技術的能耗範圍為 410-880kWh/t，相比傳統

方法降低約 70%的錳回收率。

而從環境效益來看，新技術節省了 19% 的矽錳礦石消耗，並減少約 1560kg/t 二氧化碳當量的排放。這種在電弧爐中同時進行熔化和熔煉的單步生產法，為高品質 LC-FeMn 的生產提供了一種經濟高效且環境友好的解決方案。

(摘自：世界金屬導報 N.2724 B08-09 2025-06-24)

9. 清潔燃料氨對碳中和的作用及價值鏈的構築

面對全球邁向碳中和的積極趨勢，日本將氨視為達成碳中和目標的關鍵能源，並正在積極推動相關能源政策與價值鏈的構築。日本的燃料氨相關政策動向始於 2020 年 3 月的新國際資源戰略，其中確立擴大燃料氨的利用。隨後，燃料氨在 2020 年 12 月被定位為綠色成長戰略的重點領域之一。在 2021 年 10 月的第六次能源基本計畫中，更要求 2030 年的電源構成中，約 1%的發電量由氫與氨發電承擔，成為大力推進的動力。此外，日本於 2023 年提出氫基本戰略(草案)，為加快實現氫、氨社會，設定 2030 年氫和氨合計最高引進 300 萬噸/年，2050 年 2000 萬噸/年的目標。

為了促進低碳氫等的供給和利用，2024 年 1 月公佈了包含價值差異支援、基地建設與保安合理化等在內的支援政策中期彙總，並於同年 5 月通過了《氫社會推進法》。該法規將低碳氫的 CO₂ 當量排放值定為 0.87kg-CO₂e/kg - NH₃ 以下，要求相較於傳統化石燃料製取的「灰色」氫或氨，CO₂ 排放量需削減約七成。

氨作為氫能載體具有顯著優勢，根據國際能源署 (IEA) 的分析，若將海外製造的氫載體供給日本，目前在經濟上氨更具優勢，其主要特點包括:氨可直接利用，有助於抑制成本；燃燒時不排放 CO₂，可直接為碳中和化做出貢獻。此外，氨作為海上運輸的原料在世界範圍內流通，供應鏈已確立，成本結構明確。因次預期在發電廠和化工廠等受管理的地區運用時，技術和成本方面的難度較低。

在氨的利用技術方面，日本的直接燃燒技術方面領先於世界，並期望將此技

術推廣至國際。氨的製造、運輸和儲存技術已基本確立，因此，面向碳中和的價值鏈構築中，利用技術的確立成為重要課題。利用技術的展開預計以燃煤發電燃料轉換為開端，逐步擴展到中型燃氣輪機、大型燃氣輪機聯合循環、船舶發動機和工業爐等領域。

在燃煤發電領域，2024 年 4 月，JERA（捷熱能源公司）在碧南火力發電廠實施了世界首台大型商用燃煤發電機組的燃料氨 20%轉換大規模實證試驗，其額定輸出功率為 100 萬瓩。結果顯示 NOx 排放與轉換前同等或更低，SOx 減少約 20%，證明在大型商用機組上利用氨燃料的可行性。在燃氣輪機方面，IHI 和三菱重工正開發 2MW 級和 40MW 級的氨專燒系統，目標在 2025 年後實用化。在工業爐方面，AGC、大陽日酸等公司已成功進行世界首項採用玻璃熔煉爐的氨專燒實證試驗。在船舶發動機領域，日本郵船打造之世界首艘商業用氨燃料船已於 2024 年 8 月完工，氨運輸船則計畫於 2026 年竣工。

為應對燃煤發電燃料轉換所帶來的巨大清潔燃料氨需求，構築新的供應鏈至關重要。全球正在研究多個向日本輸送清潔燃料氨的製造和輸送項目，其中許多以 2030 年之前實現為目標。在日本，政府正在支援構建燃料氨的供應基地，例如在苫小牧、中部、泉北、周南和相馬等地區，都在研究建設氨的接收、儲存和供給基地，並推動區域性的廣域供應鏈構想。

總結來說，燃料氨是面向碳中和的有效、現實且可早期利用的能源。日本在全球率先起步引入清潔燃料氨，透過政府支援、低碳供應鏈的引進以及技術開發的進展，燃料氨的實際應用期待正在提高。未來，確保安全和共用資訊亦是關鍵，日本清潔燃料氨協會（CFAA）將加速推進各項工作，以解決燃料氨引入面臨的各種課題，並期望能引領亞洲、太平洋地區燃料氨市場的形成。

（摘自：世界金屬導報 N.2724 B14-15 2025-06-24）

※日韓鋼廠藍碳應用案例

撰稿人 T41 余佳杭、曾柏修

一、藍碳機制與自然碳匯

自然碳匯 (Natural Carbon Sinks) 係指透過生態系統的光合作用，將大氣中的二氧化碳等溫室氣體吸收並儲存回大自然中的過程。自然碳匯主要包含三大天然儲碳庫，統稱為三色碳：

- **藍碳 (Blue Carbon)** : 儲存於紅樹林、海草床、潮汐鹽沼等海洋生態系統。
- **綠碳 (Green Carbon)** : 儲存於森林、竹林等植物。
- **黃碳 (Yellow Carbon)** : 儲存於農田、黑土、永凍土、旱地等土壤。

根據圖 3^[1]所示，藍碳在總儲碳量和吸碳速率方面均表現為第一名，效益最優。儘管目前碳捕捉技術仍在發展中且成本較高，自然碳匯仍是當前碳移除市場的主流。這些新增的自然碳匯額度可轉換為碳權，在國際市場中進行交易，供國家或企業抵銷自身的碳排放量。



圖 3、天然儲碳庫(三色碳)比較

植樹造林、涵養土壤、保護海洋，這類長期被歸為愛地球的 ESG 永續作為，未來可直接轉化為關乎企業利益的有效碳中和策略。近年研究發現，海洋沿岸大量生長的海藻，具備可透過多種不同方式進行碳吸存的生態功能，海藻在藍碳的貢獻也日漸受重視。

目前雖有利用微藻來固碳並增值化的應用技術研究，如工研院使用來自產業排放的二氧化碳進行微藻固碳，再從微藻中提煉出生質燃料及高值化的產品。也有學者提出，海草每平方公里可吸收森林 2 倍的固碳量，若是取用綠藻中的微藻雨生紅球藻，則有植樹固碳的 21 倍效果，非常值得研究。不過，利用藻類固碳技術尚未成熟，因此目前還無法直接計入碳匯額度^[2]。

二、日韓鋼廠海藻藍碳應用實例

1. 日本製鐵：爐渣資源化與海洋微量元素補充

日本具有廣泛距離的海岸線，總長約 3.5 萬公里，擴大「藍碳」範圍的潛力十足，日本國內亦陸續展開相關行動。然而，日本沿海存在所謂的「磯燒」(rocky-shore denudation)問題，泛指原本海藻茂密生長的沿岸海域，海藻逐漸減少，導致海洋生態「沙漠化」的現象。「磯燒」的成因有很多，像是日照減少、工程破壞、海膽和魚類等生物吃掉太多海藻等；同時，由於陸地森林面積減少，河川中流入大海的腐植土(腐植酸)與二價鐵離子也會減少，進而影響海藻的發育^[3]。

日本製鐵為解決海域「缺鐵」的問題，利用製鐵過程中的副產品：含鐵成份高的爐渣(二價鐵離子)和人工腐植土(腐植酸)，混成給海洋的「肥料」，並將肥料包投放到沿岸海域，復育豐沛的海藻，成果頗為可觀。經過研究證實，有施肥海域的較海藻生育量沒施肥者者多達百倍^[4]。



圖 4、日本製鐵的海藻復育肥料包「Beverly Unit bag」

爐渣也可以單獨做成人工石材，成為海藻等海洋生物附生的基座，用來復育海藻或漁場。用於海域的爐渣肥料與石材，由於很少溶出鹼，可以讓生物容易附著其上。也因為人工石材的原料來自鋼鐵製程，不需要再耗用天然原料，相較於水泥製品，最多可以減少 75% 的碳排。

此外，著重於海藻在碳吸存的潛力，已有企業與大學教授於 2017 年成立「藍碳研究會」。由於日本已揭示 2050 年前溫室氣體排放量削減 80% 的長期目標，而經過「藍碳研究會」的試算，未來日本國內最多約有 1% (910 萬噸) 的二氧化碳排放量將可望由藍碳來因應。

2. 韓國浦項製鐵：Triton[®]鋼渣基人工魚礁專案

韓國海岸同樣面臨「磯燒」問題，為解決爐渣去化與磯燒問題，韓國政府與企業從 2009 年起就開始合作打造由海藻類植物組成的海洋林，以期貢獻於國家碳中和目標。慶尚北道與浦項市政府為培育海洋林，已將浦項虎尾串一帶海域指定為海洋生態系保護區，並著手申請藍碳國際認證，目標是到 2030 年創造 54,000 公頃的海生森林。浦項市長李康得表示，未來會設置環東海藍碳中心，專門進行利用海藻實現碳中和的相關研究^[5]。

而浦項製鐵海底森林則為其中一項專案，該公司與研究機構工業科技技術研究院 (RIST) 合作，開發名為 Triton[®]的鋼渣基人工魚礁，Triton[®]人工魚礁其成分為 85%的礦渣骨材、15%的礦渣水泥以及水和外加劑^[6]。鋼渣內富含的鈣和鐵等礦物質可有效促進海藻生長與光合作用。亦因其高重力和強度，能夠抵禦颱風和海嘯，並具有強大的抗海水腐蝕能力。

研究顯示，每公頃 Triton[®]海洋林每年可捕捉 15.7 至 16.6 噸的 CO₂，Triton[®]人工魚礁不只提供海藻良好的生長環境，亦成為了魚類、貝類等海洋生物的棲息地和產卵場，培養良好的沿海生態系統，進而增加該地的魚類捕撈量。最初，浦項製鐵免費提供爐渣給當地漁礁製造商，使其可以合理價格生產品質穩定的人工魚礁，而後將該技術轉移。Triton[®]的鋼渣基人工魚礁專案提供固碳、爐渣去化、海洋環境改善等一系列永續效益^[7]。

三、結論

日韓鋼廠將製鐵副產品應用於藍碳復育，展現循環經濟與氣候行動的典範。日本製鐵利用含鐵爐渣製成海洋「肥料包」，成功復育海藻，並用爐渣生產人工石材，減少 CO₂ 排放。浦項製鐵則開發 Triton[®]鋼渣基人工魚礁，不僅去化鋼渣，魚礁富含的礦物質亦能有效促進海藻生長與光合作用，成為海洋生物的棲息地，帶來固碳、去化、生態改善的多重永續效益。

這些案例有力地證明，鋼鐵業作為高耗能產業，能透過創新技術和副產品資源化，將其生產鏈中的廢棄物轉化為國家實現碳中和目標的積極貢獻。對於台灣鋼鐵產業而言，此趨勢提供了在在地化副產品去化、海洋生態保育與未來碳權佈局上值得借鑑的戰略方向。

四、參考資料

[1] 藍碳、綠碳、黃碳是什麼？挖掘台灣碳金庫，將自然碳匯變碳權

[2] 遠古綠藻大變身 以台灣為基地走向世界

[3] 以海藻養殖削減二氧化碳，日本「藍碳」行動陸續展開

[4] 陸地森林減少導致「海的森林」流失，日本鋼鐵公司用爐渣復育海藻

[5] 韓海水部推導入海洋碳權交易制 活用海藻減碳

[6] POSCO: Triton Sea Forestation Project

[7] Steel industry' s innovative use of co-products supports marine regeneration