



產業動態

- | | |
|------------------------------------|----|
| 1. 寶鋼 2025 可持續發展報告：碳排強度較基準年降 8% | 1 |
| 2. 酒鋼宏興推進 5 萬噸二氧化碳捕捉並導入轉爐煉鋼 | 1 |
| 3. 浦項年產 250 萬噸電爐完工將搭配高爐鐵水混合精煉 | 2 |
| 4. 神戶製鋼研擬導入廢鋼熔煉爐並推遲大型電爐計畫 | 2 |
| 5. 日本製鐵參與之離岸碳封存計畫開始進行鑽井試驗 | 4 |
| 6. 日本鋼鐵行業實現碳中和的措施 | 6 |
| 7. 美鋼大河鋼廠將新建 250 萬噸 MIDREX 直接還原鐵設施 | 8 |
| 8. 奧鋼聯將追加投資一億歐元擴建 Donawitz 廠電爐設施 | 8 |
| 9. 薩爾茨吉特簽署首份綠氫長約推進 SALCOS 脫碳專案 | 9 |
| 10. 塔塔鋼鐵英國電爐專案因綠電基建受阻延宕半年以上 | 9 |
| 11. JSW 投資六百億新建年產 200 萬噸 DRI 電爐鋼廠 | 10 |
| 12. 微波化學公司利用微波技術降低鐵礦石碳排放 | 10 |

技術/生產資訊

- | | |
|--------------------------|----|
| 1. 浦項製鐵改善變壓吸附法提升碳捕捉系統能效 | 12 |
| 2. 塔塔鋼鐵利用轉爐石鋼渣人工砂開發綠色混凝土 | 12 |
| 3. 高廢鋼比轉爐冶煉過程廢鋼熔化研究進展 | 13 |
| 4. 日本製鐵申請混凝土組成物及其製造方法專利 | 14 |

技術/生產資訊

5. 日本製鐵申請水處理裝置專利	15
6. JFE 申請冷鐵源使用方法專利	15

技術專欄

※主要鋼廠 CCUS 技術發展現況	17
※Carbon Clean RPB 捕碳設備導入評估報告	31

1. 寶鋼 2025 可持續發展報告：碳排強度較基準年降 8%

寶鋼股份發佈 2025 年度可持續發展報告，指出 2025 年寶鋼碳排強度已降至 1.96 噸 CO₂/噸鋼，較 2020 基準年下降 8%，順利完成「十四五」(2021-2025 年)規劃階段性目標。公司全年投入高達 32 億人民幣 (約 149.32 億新台幣) 於節能低碳領域，透過技術改造、流程改善及綠電替代等手段，實現年度減碳超過 200 萬噸。

在核心技術方面，寶鋼股份的百萬噸級氫基豎爐近零碳產線已全線貫通，成功打造「氫基豎爐+電爐短流程」近零碳示範線。同時，企業引進 AI 技術落地數百個應用場景以提升能效，並透過自主研發的智慧碳資料平台 iCD，推動碳核算與 CBAM 應對的全流程數位化管控。

目前，寶鋼四大基地已全面完成超低排放改造，並建成行業最大的分散式太陽能集群，湛江鋼鐵的分散式風電場專案也已正式宣佈全面商運投用，年消納綠電超過 17 億度，進一步實踐工業與自然生態的平衡發展。

(摘自：中國證券報 2026-06-05)

2. 酒鋼宏興推進 5 萬噸二氧化碳捕捉並導入轉爐煉鋼

酒鋼宏興推進 5 萬噸二氧化碳捕捉利用一體化專案，以宏晟電熱公司 60MW 燃氣鍋爐的尾部煙氣為原料，採用改良胺法脫碳技術，設計年捕捉、提純及輸送工業級二氧化碳達 5 萬噸。

專案建設涵蓋增壓、洗滌、吸收、再生等全流程設備，並配套建設輸送管道通往宏博新材料、宏宇新材料及不銹鋼分公司。最終將產出純度≥99.5%的工業級二氧化碳，用於轉爐底吹及頂底混吹煉鋼，替代部分氬氣與氮氣。

此專案是酒鋼與北京科技大學合作研發成果的產業化落地，該資源化利用技術已應用於酒鋼三座 120 噸轉爐，在控制終點氮含量、強化攪拌脫磷等指標上表現優異。

(摘自：冶金信息網 2026-06-23)

3. 浦項年產 250 萬噸電爐完工將搭配高爐鐵水混合精煉

POSCO 光陽製鐵所年產能 250 萬噸的超大型電爐於 6 月完工，此專案總投資額達 6000 億韓元(約新臺幣 129.47 億元)，導入 Tenova 專利的 Consteel 廢鋼連續加料及預熱系統，並搭載由 Tenova 與 ABB 共同開發的 Consteerr 電磁攪拌技術，藉此提升電爐內部的熔煉效率與製程穩定度，相較於傳統高爐製程可減少達 75% 的碳排放。在產能全開狀況下，每年預計可減下 350 萬噸的碳排放。

該電爐並非是傳統長流程生產方式的簡單替代，而是在設計之初便被規劃為與浦項現有高爐體系共同運作。為了克服傳統電爐鋼材雜質較高、難以生產高階鋼材的瓶頸，浦項正同步推進名為「Haptang」(合湯)的鐵水混合精煉技術研發。該技術透過將電爐與高爐-轉爐產出的鐵水混合精煉，不僅能大幅降低二氧化碳排放，更能精確控制製程成分。面對 CBAM 及全球車廠對低碳鋼材的嚴格要求，浦項計畫透過掌握廢鋼篩選分類與精煉核心技術，在 2030 年實現汽車板與電磁鋼等高級鋼的大規模量產，並已將「電爐高級鋼」列為公司八大戰略產品。這項混合煉鋼路線為傳統長流程鋼廠提供了一條兼具生產連續性及可行性的碳中和過渡路徑，同時協助浦項朝向其終極無碳「HyREX」氫能冶金製技術過渡。

此外，光陽製鐵所也於同日啟用副產氣體回收的高純度稀有氣體生產工廠，將年產 13 萬立方公尺的氬氣、氮氣與氖氣，不僅能供應韓國半導體產業約 52% 的稀有氣體需求，亦為鋼鐵副產品的循環經濟與高附加價值化開創了全新的收益模式。

(摘自：環宇鋼鐵網 2026-07-13、BigGo 財經 2026-06-18)

4. 神戶製鋼研擬導入廢鋼熔煉爐 並推遲大型電爐計畫

神戶製鋼為加速鐵鋼事業的階段性脫碳，已啟動於加古川製鐵所引進「廢鋼

熔煉爐」的具體評估計畫。該專案預估投資金額高達 1,000 億日圓 (約 198 億元新台幣)，規劃年產能 70 萬噸，預計於 2027 年進行最終決策，並以 2030 年代初期正式投產為目標，預計可減少鋼鐵業務年 CO₂ 排放量約 5%。

為實現製鐵過程的全面減碳，神戶製鋼正採取「雙軌並行」的戰略。除了現行的「高爐減碳」(如投入大量 HBI 減碳 25%) 及「基礎節能技術」外，中長期也同步規劃利用大型創新電爐製造高級鋼材。然而，考量到政府對綠色轉型的補助政策、市場上綠鋼的普及進度，以及客戶對於循環經濟與減碳的急迫需求，神戶製鋼認為，必須在維持單一核心基地穩定運作的同時，採取「階段性」的生產體制變革，以確保投資回收的可預測性。

本次擬引進的廢鋼熔煉爐，其核心優勢在於能與高爐鐵水進行混合精煉 (合湯 Haptang 方式，如下圖 1)。此工法將廢鋼熔煉爐製造的液態鋼水，與高爐鐵水在轉爐中進行混合。相較於傳統的高爐-轉爐製程，該技術可將廢鋼比提升到 50%，進而減少高爐鐵水的使用量，顯著降低碳排放。此外，透過轉爐的精煉技術，可確保最終產出的鋼材維持與純高爐材同等的頂級品位與性能，滿足汽車等高階客戶對品質與資源循環的雙重需求。

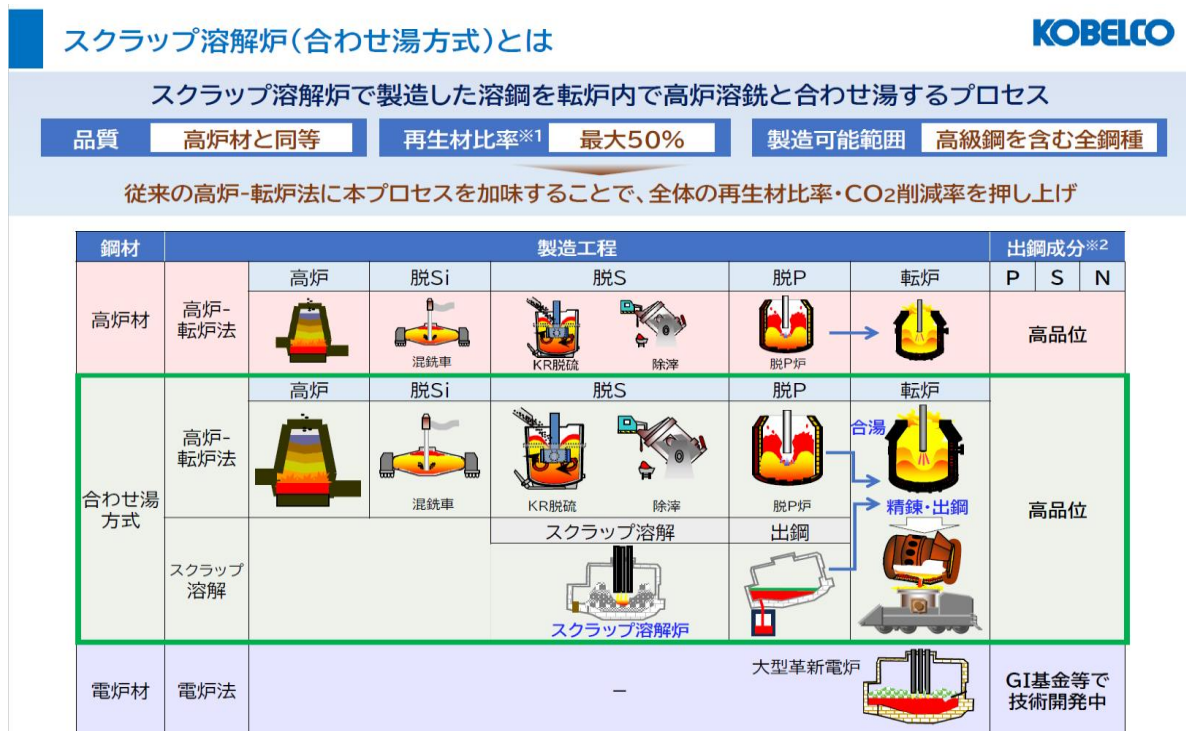


圖 1、合湯 Haptang(合わせ湯)方式

神戶製鋼強調，相較於直接進行大規模製程創新極端方案，引進廢鋼熔煉爐與廠區現有設備的親和性極高。在投資規模與生產成本上，更利於公司根據綠色鋼鐵的市場需求與自身事業規模靈活調整，屬於兼顧風險控制與效益的戰略性選擇。

神戶製鋼過去曾表示將在 2030 年代內確認是否導入大型創新電爐，而該決策預計將延後至 2040 年。日本製鐵及 JFE 則採取較為積極的態度，日鐵投入 8,687 億日圓（約 1,720 億新台幣），在九州製鐵所八幡地區等 3 個據點，新設年產能總計達 300 萬噸的電爐，預計於 2028-2029 年投運。JFE 則斥資 3,294 億日圓（約 652 億元新台幣），將西日本製鐵所倉敷地區的高爐，轉型為年產能 200 萬噸規模的大型電爐，並預計於 2028 年投運。

（摘自：神戶製鋼官網 2026-05-18、日本經濟新聞 2026-05-18）

5. 日本製鐵參與之離岸碳封存計畫開始進行鑽井試驗

「首都圈 CCS 事業」(MCCS)是由日本製鐵、INPEX 及關東天然瓦斯開發等企業協作推進的國家專案(概要如下圖 2)，計畫建置一條自日本製鐵東日本製鐵所君津地區等臨海工業帶出發，延伸至外房海域的完整離岸碳封存體系。此專案預計鋪設長度約 80 公里(路線如下圖 3)、初期規劃年回收能力 120 萬公噸，最大輸送能力達每年 500 萬公噸的陸上氣體二氧化碳幹線管道。自排放源分離回收的氣體二氧化碳，經由昇壓設備轉化為高密度的超臨界狀態後，再透過海底管道壓入地下深層。

首都圈CCS事業の概要



大都市圏の千葉・京葉臨海コンビナートから複数産業を排出源とするCO₂を回収
パイプライン*で輸送の上、同一県内の千葉県外房沖の海域に貯留する地産地消CCS事業

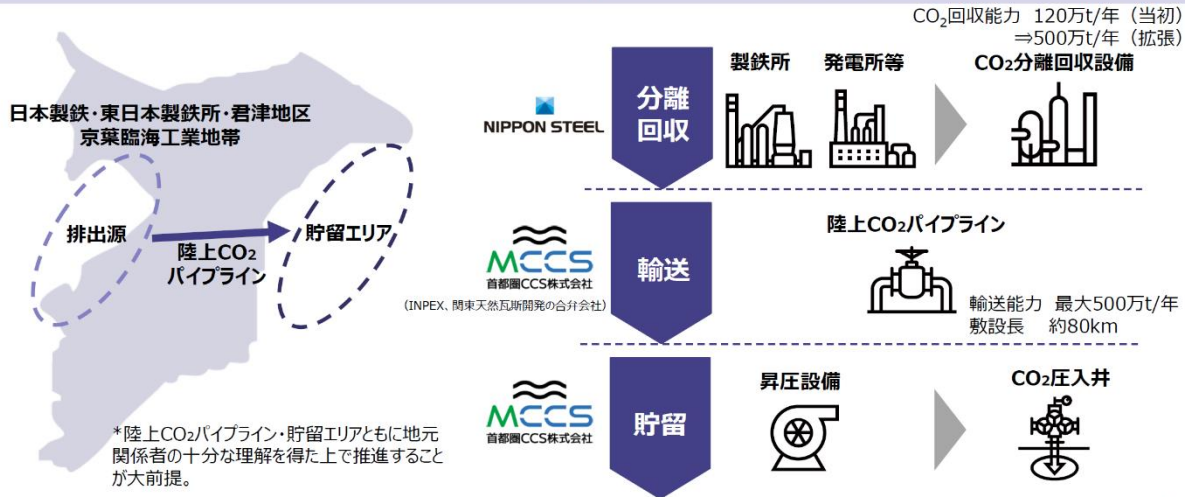


圖 2、首都圈 CCS 事業概要

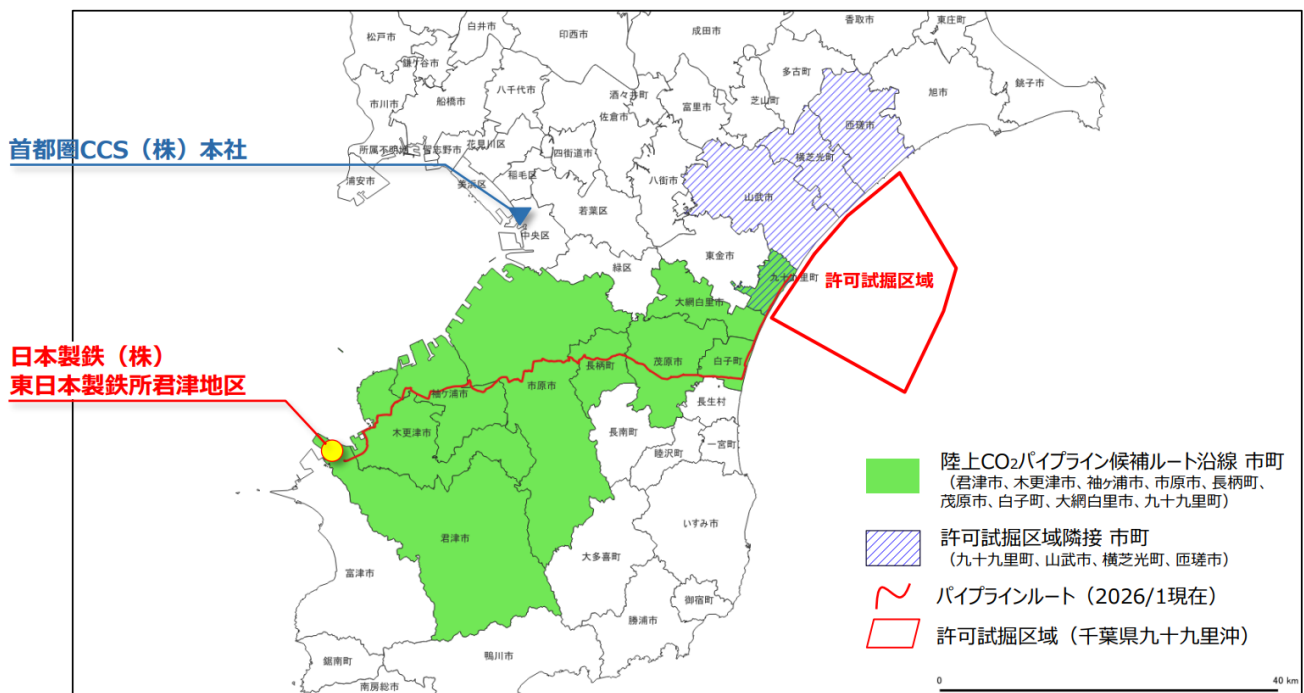


圖 3、路線圖

MCCS 在千葉縣九十九里町外海 5 公里處的首口試驗鑽井作業已於 7 月 6 日啟動，計畫利用著底式鑽井塔，向下掘進至地下深達約 1900 公尺的特定地層，進行岩心採樣、地層壓力測試及滲透率等關鍵地質參數的量化評估。完成此一階

段測試後，團隊預計將作業向外海延伸，在外海約 13 公里處進行第二階段的試掘作業。此次試掘的目的在於驗證深部鹽水層等儲集層的覆蓋岩層是否足夠緻密，以確保未來二氧化碳注入後不會發生洩漏，達成安全貯留的工程目標。根據評估結果，「首都圈 CCS 事業」預計於 1 至 2 年內決定是否過渡至開發階段，並爭取於 2030 年代初期正式投入商業貯留運轉。

日本政府於已於 2023 與 2024 年度分別投入國費 35 億日圓（約新臺幣 7.4 億元）與 188 億日圓（約新臺幣 39.73 億元）進行 CCS 開發專案補助，但超臨界二氧化碳高壓輸送管線的長期維護，以及維持海底封存穩定性的監測系統，均面臨極高的長期運維成本。此外，有媒體指出該專案尚未進行環境影響評估，且高爐鋼品在國際市場上可能面臨難以取得綠色溢價的風險，顯示該專案目前仍須克服龐大的技術不確定性與社會溝通障礙。

（摘自：[INPEX 官網 2026-07-07](#)、[千葉縣官網\(首都圈 CCS 事業說明\)2026-05-29](#)）

6. 日本鋼鐵行業實現碳中和的推動措施

在全球鋼鐵產業面臨脫碳轉型的浪潮下，由於鋼鐵在功能、價格與生產規模上具有不可替代性，如何在維持經濟發展與龐大鋼材需求的同時推動減碳成為各國關鍵。相較於歐美等國普遍轉向電爐與直接還原鐵路徑，日本以國家級項目為核心，研發新技術為基於傳統高爐的氫氣還原煉鐵。日本結合全球首創的高爐氫還原與二氧化碳分離回收技術，推動了「COURSE50」以及隨後的「Super COURSE50」計畫，目標是在高爐內以氫氣替代部分焦炭作為還原劑，將傳統高爐煉鐵的二氧化碳排放量大幅削減 50% 以上。

然而，日本鋼鐵業在推動高爐氫還原技術時，面臨著三大嚴峻的外部與技術挑戰。首先是廉價綠氫的供應問題，日本年產 7500 萬至 8000 萬噸生鐵需要約 700 萬噸氫氣（價格在 8 日圓/Nm³ 以下），但日本國內氫能基本戰略預估的供給

量遠遠不足，且預期價格遠高於與焦炭競爭所需的每立方米 8 日圓，導致鋼鐵業必須高度依賴成本高昂的海外進口氫，削弱國際競爭力。其次是二氧化碳捕捉與封存 (CCS) 的限制，由於高爐無法實現絕對零碳排，必須依賴 CCS，但日本缺乏開採過的油田與適宜的地層封存區，國內封存成本極高且開發進度落後，需轉向海外封存。最後是原料品質問題，氫還原低品位鐵礦石易引發粉化與黏結，極度依賴海外高品位 DR 級鐵礦石球團的穩定供應。

為了化解過度依賴單一技術或 CCS 的風險，日本採取靈活的多元技術策略。在碳循環利用 (CCR) 方面，日本正研究利用綠電或新型催化劑 (如英國專利雙鈣鈦礦)，將高爐回收的二氧化碳還原為一氧化碳 (CO) 重新注入高爐作為還原劑，藉此降低對 CCS 的依存度。在廢鋼循環方面，廢鋼再利用能大幅降低能耗與碳排，但老舊廢鋼常混入如代表性的雜質 (Cu 等雜質)，導致高階鋼材熱脆化；對此，日本企業引入人工智慧圖像解析系統，精準判讀廢鋼等級並剔除雜質，以確保電爐能順利生產高品質鋼材。

在產業生態系與政策層面，日本積極促進臨海工業區的跨行業協作，將鋼鐵業產生的高濃度二氧化碳供給化學工業作為原料，用以製造甲醇或聚碳酸酯樹脂，並相互利用廢熱。同時，日本政府於 2023 年批准《GX 推進法》，規劃發行 GX 轉型債券並導入成長型碳定價機制，預期在十年內帶動 150 兆日圓 (約 30 兆新台幣) 的官民投資，為鋼鐵業轉型提供法制與資金後盾。總體而言，日本鋼鐵業正透過高爐氫還原、碳循環、廢鋼精準利用及跨產業協同的多軌策略，在確保國家產業競爭力的同時，穩步邁向碳中和目標。

(摘自：世界金屬導報 2026-05-19)

7. 美鋼大河鋼廠將新建 250 萬噸 MIDREX 直接還原鐵設施

美國鋼鐵已選定直接還原技術開發商 Midrex，為其位於阿肯色州奧西奧拉的大河鋼廠新建一座年產能 250 萬噸的 MIDREX[®]直接還原鐵 (DRI) 設施。專案總投資額達 19 億美元 (約 600 億新台幣)，預計於 2029 年投產。該專案結合 DRI 設施與電爐煉鋼，並首度整合美國本土「還原級球團」(DR-grade pellet) 供應鏈。

該廠將採用 MIDREX Flex[®]技術，除了向鄰近的電爐直接供應高溫直接還原鐵 (HDRI) 外，亦能生產熱壓塊鐵 (HBI) 用於商業銷售及全球出口。技術層面上，將高溫 HDRI 直接投入電爐中進行冶煉，預計將大幅降低能源消耗與碳排放強度，同時能有效提升鋼廠生產力並降低營運成本。

(摘自：SteelOrbis 2026-06-17)

8. 奧鋼聯將追加投資一億歐元擴建 Donawitz 廠電爐設施

奧鋼聯(Voestalpine)宣布將進一步擴展其 Donawitz 廠的「greentec steel」氣候保護計畫。根據原先規劃，該廠將於 2027 年啟用一座電爐，並於 2029 年關閉一座高爐。結合傳統高爐與綠電電氣化煉鋼，將年產 85 萬噸的低碳優質鋼材，相較 2019 基準年，到 2029 年實現減碳 30%效益。

而本次宣布的第二階段擴建規劃，預計於 2030 年前追加 1 億歐元投資 (約 36.14 億新台幣)，用於強化供電系統、增設第三條二次冶金線及擴充廢鋼物流。屆時 Donawitz 廠內兩座高爐與燒結廠都將正式退役，並在 2030 年全面轉型為電氣化生產，年產 150 萬噸的低碳優質鋼材，相較 2019 基準年，到 2030 年實現減碳超過 90%效益。

(摘自：Voestalpine 2026-06-18)

9. 薩爾茨吉特簽署首份綠氫長約推進 SALCOS 脫碳專案

薩爾茨吉特旗下子公司 Salzgitter Flachstahl GmbH 與德國能源公司 EWE 簽署一項每年 1 萬噸的長期綠氫供應協議，這是該集團首筆大規模外部氫氣採購案。綠氫將產自 EWE 興建中之 320MW 埃姆登 (Emden) 電解製氫廠，自 2030 年起，透過德國氫能核心網絡配輸，初步合約期為期七年。

這批綠氫將注入薩爾茨吉特的 SALCOS[®] (Salzgitter Low CO₂ Steelmaking) 脫碳專案中，該專案旨在以低碳的直接還原技術取代傳統的高爐煉鋼。本次合約採購的 1 萬噸綠氫，預計可滿足 SALCOS[®] 專案初期約 6.5% 的氫氣需求。

薩爾茨吉特的直接還原廠以天然氣取代煤炭與焦炭進行冶煉，已可降低約 60% 的碳排放，其最終目標是全面過渡至綠氫冶金。當 SALCOS[®] 直接還原設施完全開發後，氫氣總需求量將高達每年 15 萬噸。該公司雖已計劃於廠區內自建 100MW 電解槽，年產約 9,000 噸綠氫以供應部分所需，但未來絕大部分的氫氣仍須仰賴外部供應。

國家補助方面，德國聯邦政府已撥款 9.25 億歐元 (約 339.25 億新台幣) 資助薩爾茨吉特的 SALCOS[®] 專案；同時，EWE 於埃姆登的綠氫生產專案也獲得 2.67 億歐元 (約 97.92 億新台幣) 的補助。

(摘自：SteelOrbis 2026-06-10)

10. 塔塔鋼鐵英國電爐專案因綠電基建受阻延宕半年以上

塔塔鋼鐵英國公司塔爾伯特港的電爐轉型計劃近期面臨挑戰，這項英國政府資助 5 億英鎊 (約 212.24 億新台幣)，總投資額達 12.5 億英鎊 (約 530.59 億新台幣) 的專案，旨在建造一座年產能 320 萬噸的新型電爐，預期每年可削減 500 萬噸、約九成的碳排放量。

然而，由於英國國家電網高壓電力接引工程延期，導致此專案在獲取關鍵的「高功率電力供應」上面臨阻礙。儘管目前廠區的大型拆除工程已完成，且相關設備正加速製造與交付，但受限於電力基礎設施的延誤，整體投產時程預計將被迫推遲 6 至 8 個月，甚至可能更久。目前塔塔鋼鐵正與國家網絡、國家能源系統營運商及英國政府密切協商，試圖改善後續工程排程以降低延誤衝擊。

(摘自：[Economic Times 2026-06-07](#))

11.JSW 投資六百億新建年產 200 萬噸 DRI 電爐鋼廠

JSW 於 7 月初宣佈，其位於印度安得拉邦拉亞拉西馬地區的 DRI-EAF 鋼廠正式啟動開發活動。一期工程將投資 450 億盧比 (約 176 億元新台幣)，建設一座年產能 100 萬噸的綜合鋼鐵廠，主要生產低碳鋼產品。二期工程將追加投資高達 1185 億盧比 (約 462 億元新台幣)，使產能擴大至 200 萬噸。

JSW 表示，該廠將採用電爐技術，以廢鋼和高品位 DRI 為主要原料，製造最先進的低碳排結構用鋼，以符合當地都市化和基礎設施增長之需求。

透過結合高效能製程、更廣泛使用回收原料以及增加可再生的電力整合，該廠預計將大幅降低噸鋼碳排放強度，成為 JSW 旗下最具備永續發展指標的綠色鋼廠。

(摘自：[JSW 官網 2026-07-03](#))

12.微波化學公司利用微波技術降低鐵礦石碳排放

微波化學公司利用旋轉爐床爐型的試驗設備，成功完成了鐵礦石的還原。於大阪完工的試驗設備，能將傳統燃燒化石燃料的程序替換為「微波加熱」的升溫裝置。該設備在 1000°C 的高溫條件下也能連續運轉，可處理各式各樣的礦石，應用於礦石的鍛燒 (Calcination)、焙燒 (Roasting)、還原 (Reduction)、乾燥

等多道程序。

相較於使用傳統化石燃料，微波加熱預期能有效降低二氧化碳。微波能夠直接加熱目標物，加上鐵礦石本身具備容易吸收微波的特性，因此利用微波還原鐵礦石的技術，極具降低能源消耗與 CO₂ 排放量的潛力。此外，公司的技術也可應用於以氫氣或生質能作為還原劑的煉鋼製程。

(摘自：日經 XTECH 2026-06-09)

1. 浦項製鐵改善變壓吸附法提升碳捕捉系統能效

現有煉鋼製程多採用變壓吸附法 (PSA) 來去除廢氣中的二氧化碳。但在將廢氣輸入 PSA 製程前，必須使用壓縮機進行加壓，這會導致不必要的氣體 (如一氧化碳、氫氣等) 也被壓縮而產生過載與耗能問題。此外，分配給 PSA 的氣體量增加會導致 TRP (爐頂廢氣回收發電設備) 的發電量降低。同時，傳統濕式集塵器的冷卻過程會造成顯熱浪費，導致系統無法充分利用熱能。

浦項製鐵提出一種新型系統，透過第二熱交換器從中溫廢氣中回收熱能以產生中溫蒸汽，並將其輸送至碳捕捉系統的再生器，利用該蒸汽熱能從吸收二氧化碳的氨水溶液中將二氧化碳分離出來。此系統設計能在碳捕捉過程中回收並再利用原本會浪費的廢氣餘熱，大幅提升經濟效益。

此外，系統架構允許將更高溫、高壓且更大流量的廢氣供應給 TRP，進而確保並最大化電力生產量。同時，藉由減少需進入壓縮機的廢氣流量，大幅降低壓縮機的能源消耗，並透過氨水溶液取代 PSA，實現高濃度的二氧化碳捕捉與整體製程成本的最佳化。

(摘自：WIPO 專利 WO2026134685 2026-06-25)

2. 塔塔鋼鐵利用轉爐石鋼渣人工砂開發綠色混凝土

塔塔鋼鐵宣布成功利用轉爐石鋼渣，開發出環保的綠色混凝土。透過將轉爐石鋼渣轉化為具備高附加價值應用的人工砂 (M-sand)，並深入評估人工砂生產混凝土的適用性，成功設計出符合印度標準 IS 10262 和 IS 456 的 M15、M20 和 M25 等級混凝土配比，實現煉鋼副產品的有效再利用。

在實務應用上，每立方米新開發的混凝土將使用近一噸基於轉爐石鋼渣的人工砂，大幅減少建築業對天然砂的依賴，顯著降低傳統混凝土的碳足跡。

(摘自：SteelOrbis 2026-06-29)

3. 高廢鋼比轉爐冶煉過程廢鋼熔化研究進展

轉爐提高廢鋼占比是實現綠色低碳轉型的關鍵製程。研究顯示，元素氧化熱約占廢鋼熔化熱量的 68%。熔池溫度每升高 10K，傳熱係數平均增加 0.183 kW/(m²·K)；在特定溫度範圍內，碳傳質係數亦隨溫度升高而增大。元素成分方面，高碳熔池能加速凝鋼層熔化並縮短滲碳時間，但矽含量過高（大於 1.5%）易生成高熔點 SiO₂ 夾雜物而延緩熔化速率，故製程中熔池矽含量宜控制在 0.30%至 0.60%。此外，界面邊界層特性與廢鋼自身屬性亦為關鍵，強烈攪拌能減薄熱與濃度邊界層；廢鋼比表面積增大可提高對流換熱效率，將堆積孔隙率從 0.60 提升至 0.84 可使熔化時間縮短 25%至 30%，而表面氧化膜、油污或鏽蝕則會增加界面熱阻，降低 10%至 15%的換熱效率。

為了補足高廢鋼比帶來的熱量資源限制，目前主流技術包含四大路徑：

(1) **廢鋼預熱**：將廢鋼預熱至 400 至 600°C 可減少 30%至 40%的熔化時間，如天鋼聯合特鋼配合盛銑桶與爐後料倉預熱，將廢鋼比由 3.7%提升至 32.5%，每噸鋼二氧化碳排放降低 28.6%。

(2) **二次燃燒**：利用 CO 氧化為 CO₂ 釋放的二次燃燒熱（達 23.567 kJ/kg），其比率每提高 10%可提升 3.4%至 4.0%的廢鋼比，最佳參數為主副氧孔間距 0.5 至 1.5 公尺、副氧孔擴張角 30°至 40°、副氧比例 10%至 30%，操作極限約為 30%。

(3) **添加補熱劑**：分為碳質（焦碳、煤粉）與金屬類（矽鐵、碳化矽），從爐底噴入燃料的熱效率可達 70%以上，如 Jet Process 技術配合頂吹高溫富氧熱風與底吹煤粉，可將廢鋼比最高提升至 50%。

(4) **強化熔池攪拌**：配備強底吹攪拌的 KOBM 轉爐可實現 30%的廢鋼比，採差異化底吹可使混勻時間縮短 30%至 35%；近年引入 CO₂ 作為攪拌介質，利用氣泡增殖效應強化攪拌並具精煉功能，優化底吹參數（如透氣磚夾角、中心

距) 能使熔池死區面積減少 44%。

本研究認為，高廢鋼比轉爐冶煉的實施成效與技術挑戰總結如下：

(1) 轉爐高廢鋼比冶煉製程的核心限制在於冷源增加引發之熔池整體熱量失衡，必須仰賴外加驅動熱量或殘餘顯熱補償。

(2) 製程熱力學上低溫雖利於脫磷，但高廢鋼比導致的低溫會提高爐渣黏度、減弱碳氧反應，惡化脫磷動力學條件並阻礙造渣劑熔解，進而降低脫磷效率。

(3) 隨著廢鋼占比提高與提溫劑的加入，鋼液容易富集殘餘元素(如銅、錫、銻)及硫、氮等雜質，且碳氧反應減弱會降低氣體對雜質的脫除能力，對鋼液純淨度控制帶來挑戰。

(4) 物理上面臨重型廢鋼裝料對爐襯的機械衝擊，化學上則因前期成渣困難、爐渣鹼度偏低而加劇對鹼性耐火材料的化學侵蝕，顯著縮短轉爐爐襯壽命。

(5) 廢鋼熔化規律與開吹點火製程動態變化大，導致終點鋼水溫度與碳含量預測難度增加，終點命中率與控制精度因而下降。

(摘自：煉鋼(CNKI) 2026-06-24)

4. 日本製鐵申請混凝土組成物及其製造方法專利

傳統混凝土因大量使用水泥而產生高額二氧化碳排放，對環境造成沉重負擔。如何在維持混凝土強度與工作性能(如坍度與流動度)的同時，降低其二氧化碳排出量，並提升製鋼副產物的再利用價值，成為綠色建材領域的關鍵課題。

本技術完全不使用傳統水泥，改以高爐石粉搭配經二氧化碳固定處理的製鋼副產物(含粉末、細及粗骨材)。實驗顯示，碳酸化製鋼副產物之二氧化碳排放原單位可達負值(如粉末為-75.49 kg-CO₂/t)。此配比不僅能使混凝土 28 天抗壓強度維持在 21.9 至 33.6 MPa 並具良好流動性，還能將每立方米混凝土的 CO₂

排放量降至 7.8 至 27.9 公斤，遠低於傳統水泥混凝土的 200 至 400 公斤以上，兼具卓越的減碳與資源化功效。

(摘自：日本專利 JP2026-109588 2026-07-01)

5. 日本製鐵申請水處理裝置專利

焦爐廢水含高濃度氨及硫氰酸等 COD 成分。活性污泥法處理時若過度曝氣，氨易被氧化為亞硝酸，導致處理水 COD 上升並降低細菌活性。且亞硝酸在缺氧下會引發脫氮反應產生氮氣，造成固液分離設備中的污泥浮上與流失。因此，如何抑制亞硝酸生成並穩定處理 COD 為核心課題。

系統配置生物處理槽、曝氣裝置、測定部與控制部。測定部量測處理水的銨、亞硝酸或硝酸濃度；控制部依據進出水銨濃度差或處理水亞硝酸等指標值調控曝氣風量。如將亞硝酸目標設在 30mg-N/L 以下，超標時減風抑制氨氧化，正常時維持風量確保硫氰酸分解。本技術採 P 或 PI 控制自動化運作，免除額外脫氮工程即可將亞硝酸抑制於低位，兼顧 COD 處理穩定度。

(摘自：日本專利 JP2026-104130 2026-07-25)

6. JFE 申請冷鐵源使用方法專利

在擁有高爐的煉鋼廠中，會將鐵水裝入運輸容器以送往下一道製程。為了有效利用容器散發至大氣中的熱量，業界常在接收鐵水前，先於容器內放置冷鐵源（廢鋼）進行預熱。然而現有方法仍面臨技術挑戰：不僅需要進一步提升容器內熱能的回收效率，且在預置冷鐵源的狀態下接收鐵水時，容易產生鐵水飛濺的危險。

本專利提出一種改良的冷鐵源使用方法，其核心特徵在於將投入運輸容器內

的冷鐵源，其堆疊的最大高度控制在容器內部底面至上端總高度的 70% 以下。研發團隊發現，若堆疊高度超過此比例，接收鐵水時的飛濺狀況會顯著加劇。為在安全高度限制內最大化投入量，專利將冷鐵源分為厚度 100mm 以下的小型冷鐵源，以及厚度介於 100mm 至 150mm 之間的大型冷鐵源。投入時採分層放置，先於容器底部放入小型冷鐵源，隨後再將大型冷鐵源堆疊於其上。此設計不僅能在不造成飛濺的前提下更有效率地回收容器內部熱能，同時也能減少後續製程中冷鐵源未完全熔化的殘留問題，大幅提升整體作業的安全性與效率。

(摘自：日本專利 JP2026-91651 2026-06-04)

主要鋼廠 CCUS 技術發展現況

撰稿人 T41 鄭百傑、洪慧清、郭寶騰

一、前言

面對全球氣候變遷與區域碳邊境調整機制(如歐盟 CBAM)的實施壓力，鋼鐵產業作為高碳排重工業，正處於資產重置與製程轉型的劇烈變革期。世界鋼鐵協會與國際能源總署(IEA)指出，單靠能效提升與傳統減碳手段無法滿足 2050 淨零排放目標。儘管氫能冶金(H-DRI)與高廢鋼比電爐(EAF)被視為終極減碳方案，但受限於再生能源缺乏導致綠氫成本高昂、高品位鐵礦石與高品質廢鋼供應緊缺等瓶頸，短期內難以全面規模化。這使得傳統一貫作業製鐵所必須在「高爐資產提前報廢」或「導入 CCUS 技術延續設備壽命」之間作出戰略抉擇。

(一)重工業減碳缺口嚴峻：以中國為例，電力與鋼鐵等重工業碳排放占全國 60%–75%，即便全力發展氫能與能效提升，仍存在 35%–40%的減排缺口需仰賴 CCUS 補足。

(二)地區資源稟賦決定路線差異：再生能源與廢鋼充沛區域可快速推進電爐；而以高爐設備為資產主體的區域，CCUS 則是避免資產過早淘汰與減損的戰略護城河。

(三)跨國法規與補貼風險增高：全球 CCUS 專案高度依賴政府補貼與法規支持，如塔塔鋼鐵荷蘭廠因當地環保刑事訴訟，導致高達 20 億歐元的政府補貼面臨變數，大幅增加中長期投資的不確定性。

全球主要鋼廠在 CCUS 的推動上呈現顯著的區域特色與戰略分化，涵蓋了「鋼化聯產/高值化利用(CCU)」與「地質封存/跨國運輸(CCS)」的雙軌探索。歐美側重商業化推動與基礎建設連結，中國著重規模示範與資源化利用，日韓則發展國家級跨國封存價值鏈，以下將簡述各國發展重點。

二、中國鋼廠：規模示範與多軌資源化利用

中國的電力與鋼鐵等重工業碳排高達全國 60-75%，即使鋼廠全力推行氫能煉鋼或製程能效提升，距減排目標仍有 35%-40% 的缺口。目前鋼廠以高爐氣體脫除、鋼渣礦化及生物轉化為核心，試圖將碳排放轉化為高值化產品。中國主要鋼廠 CCUS 專案推展近況如下：

- (一) **寶武集團**：八鋼 2500m³ HyCROF (富氫碳循環氧氣高爐) 透過全氧冶煉與變壓吸附/化學吸收法，實現鐵水碳排放強度下降 21% 以上；同時聯合中石化、殼牌與巴斯夫籌建華東開放式千萬噸級 CCUS 平台。
- (二) **包鋼集團**：推進 200 萬噸 CCUS 專案 (一期 50 萬噸已投運)，捕集石灰窯及熱風爐煙氣，部分用於鋼渣固化，部分壓縮液化後用於油氣田增產 (EOR) 地質封存。
- (三) **河鋼集團與首鋼**：河鋼唐鋼推動高爐煤氣碳捕集耦合微生物發酵生產菌體蛋白飼料 (CO₂ 提純至 95% 以上)，以及鋼渣煙氣碳化做為負碳綠色建材；首鋼朗澤則利用轉爐氣生物發酵生產無水乙醇與微生物蛋白，累計產能達 21 萬噸乙醇。

從上述案例來看，中國鋼廠的 CCUS 發展雖尚未大規模商業化，卻呈現多元化路徑，如著重於捕集規模與基礎設施 (如寶鋼、包鋼)，或聚焦於鋼渣碳化及支援下游製程 (如河鋼、建龍)，亦有結合生物轉化與新材料應用的探索 (如首鋼)。多數專案皆以「二氧化碳捕集與再利用」為核心，而封存目前仍處研究階段。

三、歐美鋼廠：商業化跨步與基礎建設依賴

歐美鋼鐵業面臨高昂碳價 (如歐盟 ETS) 與 CBAM 的雙重壓力，雖然廢鋼增用、DRI 與氫能冶金是其長期主流轉型路線，但短期內仍以傳統高爐為主力，CCUS 亦為其渡過碳費危機與實現淨零的關鍵技術。歐美主要鋼廠 CCUS 專案推

展近況如下：

- (一)安賽樂米塔爾 (ArcelorMittal)：比利時 Gent 廠商轉高爐氣轉化生質乙醇；法國 Dunkirk 廠驗證 DMX™ 碳捕集技術，規劃每年捕集 100 萬噸並船運至挪威 Northern Lights 進行海底封存。
- (二)美國鋼鐵 (U.S. Steel)：與 CarbonFree 合作投資 1.5 億美元於 Gary Works 廠區建置 SkyCycle 專案，利用 SkyCycle 技術結合高爐 CO₂ 與鋼渣生成沉澱碳酸鈣與小蘇打，預計 2026 年商轉。
- (三)蒂森克虜伯 (thyssenkrupp)：推動 Carbon2Chem[®] 計畫，將高爐/轉爐廢氣轉化為氨、甲醇等化工原料，已純化 460 萬 Nm³ 鋼廠廢氣並邁入第三階段工業級規模化。

歐美各大鋼廠正加速將 CCUS 從先期試點推向商業化 (如美國鋼鐵 2026 年商轉、蒂森克虜伯邁向第三階段擴建)。然而，其推動面臨三大實務困境：首先是高昂的初期成本，如美國鋼鐵僅 5 萬噸規模即需耗資 1.5 億美元。其次，極度依賴外部基礎建設，例如仰賴北海封存網路的跨國管線與儲存設施。最後是技術路線更迭的風險，若鋼廠轉型電爐或氫能 (如塔塔鋼鐵)，將淘汰傳統高爐，使既有 CCUS 投資面臨擱置。

四、日韓 CCUS 專案

日韓兩國皆積極佈局 CCUS 技術，日本由政府主導，透過經濟產業省、JOGMEC 與 NEDO 的明確分工，從政策制定、專案推動到技術研發，建構嚴謹且完整的國家級支援體系。南韓則確立明確的 2030 年減碳量化目標，並以指標性企業 (如 POSCO) 的技術整合，積極探索封存場址與碳利用的商業潛力，以下將分別詳述兩國的具體佈局。

(一)日本：設定 2030 年每年封存 600 萬–1200 萬噸 CO₂目標，日本製鐵與 JFE 分別參與東北西海岸與東南亞（馬來西亞、砂拉越）等跨國 CCS 專案。

(二)南韓：POSCO 規劃 2030 年達成 480 萬噸/年捕集封存量，技術涵蓋加壓液化（-51°C, 5.5 bar），並積極與印尼、馬來西亞及澳洲洽談枯竭油氣田封存合作。

日本憑藉完善的長期路線圖與強力的政府統籌，結合產業界的捕捉技術，穩步推動 CCS 大型專案；南韓則積極佈局儲存地點與將二氧化碳轉化為高附加價值化學品。值得注意的是，受限於國內封存的開發成本與地質條件，日韓皆向海外（如東南亞、澳洲）尋求更具經濟效益的封存場址。這種「國內研發捕捉、跨國合作封存」的務實模式，正成為兩國推動 CCUS 產業鏈的共同趨勢。

上述各國家與鋼廠之發展細節如附錄所示，另彙整各廠 CCUS 專案如表一：

表一、主要鋼廠 CCUS 專案彙整

鋼廠名稱	捕集規模/年	應用方向	目前進度
寶鋼	規劃千萬噸級	高碳排產業集成平台，以槽船及短管道輸送，最終陸上/海上封存。	可行性研究階段
包鋼	200 萬噸/年(三期：50+50+100 萬噸)	固化於鋼渣或液化後輸送至油氣田封存。	第一期 50 萬噸已投運
河鋼	千噸級	鋼渣碳化資源化、高爐煤氣/熱風爐捕集、二氧化碳高值化(菌體蛋白)。	已投運
建龍鋼鐵	5 萬噸/年	● 化學吸收法捕集，二氧化碳提純後用於煉鋼製程。	已投運

鋼廠名稱	捕集規模/年	應用方向	目前進度
首鋼	5 萬噸/年; 生物轉化可固定 0.5 噸 CO ₂ /噸乙醇	● 捕集後應用於轉爐噴吹、鋼渣固化、乙醇與蛋白生產。	已投運
ArcelorMittal	100 萬噸/年	● 比利時 Gent 廠捕集後用於生產乙醇。 ● 捕集高爐的二氧化碳與廢氫轉化為合成氣，再重新注入高爐作為還原氣體。	已投運
Ternium	28 萬噸/年	將直接還原鐵高濃度製程廢氣中的二氧化碳捕集並純化，並評估深層地下封存的可行性。	已投運
U.S. Steel	5 萬噸/年	採用 SkyCycle 技術，將高爐排放二氧化碳與鋼渣結合，轉化為沉澱碳酸鈣與小蘇打。	已投運
thyssenkrupp	示範階段成功純化 6000-6400 噸鋼廠廢氣	捕集後應用於化學工業原料生產。	示範廠區已投運
TATA Steel	荷蘭廠: 540-720 萬噸/年 印度廠: 約 1825 噸/年	荷蘭廠: 捕集後應用於化學工業原料生產，並透過管線運輸，將二氧化碳封存於北海的枯竭氣田。 印度 Jamshedpur 廠: 在廠內進行現場再利用，	荷蘭廠: 規劃中 印度廠: 已投運

鋼廠名稱	捕集規模/年	應用方向	目前進度
		去除碳後的廢氣則送回廠區燃氣網路提高熱值。	
日本	2030 年: 600-1200 萬噸 2050 年: 1.2-2.4 億噸	連接多地點二氧化碳源，儲存於油田或其他區域，或資源再利用；建立跨國 CCS 價值鏈	技術研發中 NEDO: 低能耗固體吸收捕捉
韓國	2030 年:480 萬噸	儲存於廢棄油田或轉化為其他商業化學品	與印尼、馬來西亞、澳洲討論封存的合作

五、結論

全球鋼鐵業的低碳轉型需採取多元並進策略，綠氫技術雖具備巨大減碳潛力，但受限於現階段產量與基礎設施的普及速度；此時 CCUS 仍是處理因應高爐-轉爐製程、降低過渡時期碳排的重要技術。技術的布局應因地制宜，在再生能源充沛的區域可加速推動綠氫電爐，但在高爐為主的區域，CCUS 則是避免資產過早淘汰的選擇，部署於難以減排的特定製程節點，或結合廢氣再利用 (CCU)，在確保經濟效益的前提下發揮最大價值。

借鏡上述經驗同時考量台灣在地條件，中鋼未來若要推動規模化，可持續深化技術應用、推動跨產業合作以及預先布局新興鋼材等三個佈局面向供參，簡述如下：

- (一) **深化技術應用**：除基礎的捕集技術，應評估並發展如鋼渣碳化與生物轉化等高值化技術，將碳排放轉化為有價值的副產品，創造新的經濟效益。
- (二) **推動跨產業合作**：參考寶鋼「開放式千萬噸級 CCUS 項目」的模式，與高雄在地的石化、水泥、電力等高碳排產業共同合作，建立區域性的碳捕集

與運輸平台，分攤巨大的資本與營運支出。

(三)預先佈局新興鋼材：應趁早佈局 CCUS 供應鏈所需的新興綠色鋼材市場，如二氧化碳輸送管道用鋼，發揮研發優勢，建立新的產品護城河，搶佔市場先機。

總體而言，CCUS 雖面臨捕捉效率與建置成本的挑戰，但這並不否定其作為減碳路徑圖一環的必要性。面對碳中和壓力，鋼鐵業的轉型仍需多元布局、動態調整。依據自身的資產週期與區域能源結構，靈活調配技術藍圖，將 CCUS 從單純的減碳技術轉化為強化產業競爭力、開拓新興市場的重要途徑，藉此在綠色浪潮中，走出一條最合適的轉型道路。

六、參考資料

- [1] CCUS in Clean Energy Transitions – Analysis - IEA
- [2] Net-Zero Industry Tracker 2024 | World Economic Forum
- [3] “中國加速邁向碳中和” 之七：碳捕集利用與封存技術(CCUS) – McKinsey Greater China
- [4] 八钢 2500 立方米 HyCROF 商业示范项目全线打通
- [5] Steelie-Awards-winners-2024-1.pdf
- [6] 我国首个开放式千万吨级 CCUS(二氧化碳捕集、利用与封存)项目启动—中国钢铁新闻网
- [7] 壳牌与中国石化、中国宝武、巴斯夫合作寻求在中国建设开放式碳捕集、利用与封存项目的机会-美通社 PR-Newswire
- [8] 包钢有序推进 CCUS 全产业链示范项目工程建设_二氧化碳_重点_进度
- [9] “捕碳制蛋白、矿化变建材” →河钢实现 CCUS 从“碳减排”到“价值创造”历史性跨越—中国钢铁新闻网
- [10] 以“氢”驭“碳” 张宣科技开辟绿色发展“快车道” —中国钢铁新闻网
- [11] 山西建龍 5 萬噸二氧化碳捕集專案建成 年可創效 900 餘萬元
- [12] 首钢朗泽：以 CCUS 技术赋能工业绿色未来
- [13] 首钢朗泽万吨级含二氧化碳工业尾气生物合成无水乙醇项目调试成功
- [14] 二氧化碳回收幹嘛用？ 國內鋼鐵行業 CCUS 碳捕集回收利用大起底

- [15] <https://www.csreurope.org/newsbundle-articles/arcelor-mittal-providing-an-update-on-its-decarbonization-plans-in-europe>
- [16] Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry
- [17] Sustainable steel and environmental investing | Ternium
- [18] U.S. Steel Carbon Capture 2026, \$150M Gary Works Project
- [19] U. S. Steel and CarbonFree Sign Definitive Agreement to Capture Carbon Dioxide Emissions at One of the Largest North American Integrated Steel Mills - www.ussteel.com
- [20] thyssenkrupp Carbon2Chem® - Transforming Blast Furnace Gases into Valuable Chemicals for a Sustainable Future
- [21] 10 years of Carbon2Chem®, 10 years of research for a climate-friendly industry - Fraunhofer UMSICHT
- [22] Tata Steel seeks Dutch deal as emission rules squeeze IJmuiden - PRESS Insider | India' s global voice
- [23] Tata Steel commissions India' s first plant for CO2 capture from Blast Furnace gas at Jamshedpur - Renewable Carbon News
- [24] Carbon Clean provides India's first blast furnace carbon capture plant
- [25] €2bn subsidy for Tata Steel hangs in balance after prosecution - DutchNews.nl
- [26] 日本碳捕捉後封存(CCS)政策交流
- [27] Advanced Efforts for Commercialization of CCS
- [28] 臺日攜手交流淨零關鍵力 碳捕捉後封存 CCS 國際論壇圓滿成功
- [29] Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) in South Korea: The Future of Industrial Decarbonization
- [30] POSCO Decarbonization Roadmap
- [31] POSCO Sustainability Reports 2025
- [32] Korea and Malaysia discuss energy cooperation in LNG, hydrogen, and CCS
- [33] Korea and Australia discuss cooperation in critical minerals, natural gas and CCS
- [34] Indonesia, South Korea Strengthen Partnership with Rp173 Trillion in Business Investments

附錄：全球主要鋼廠 CCUS 專案詳細進度說明

一、中國主要鋼廠 CCUS 專案

(一)寶武集團

寶武集團開發的 HyCROF (富氫碳循環氧氣高爐) 技術，透過 100%全氧冶煉及採用變壓吸附法及化學吸收法脫除高爐煤氣中的二氧化碳，將富含氫與一氧化碳的還原性氣體回吹循環利用。於 2023 年在八鋼成功建置全球首座 2500m³大型 HyCROF 高爐，投產後實現固體燃料消耗降低 30%、鐵水碳排放強度下降 21%以上，該技術因具備高效的「二氧化碳脫除裝置」，為後續的 CCUS 及鋼化聯產技術預留對接空間。

寶武集團於 2022 年 11 月聯合中國石化、殼牌及巴斯夫三家公司簽署合作備忘錄，目標建置位於華東地區的首個「開放式千萬噸級 CCUS 項目」，其「開放式」的定位，係為建構一個區域性的公共基礎設施平台，為長江中下游經濟帶的鋼鐵、化工、電力、水泥等多個高碳排行業，提供一體化的二氧化碳減排方案。將利用槽船或管線運輸等方式集中來自不同企業的碳源，匯集到二氧化碳接收站後，再通過短途管道輸送至陸上或海上的永久封存點，目前仍處於可行性研究階段。

(二)包鋼

包鋼於 2022 年 6 月開展 200 萬噸 CCUS 專案建設，分為三期 (50+50+100)建設，主要捕集廠內石灰窯及熱風爐廢煙氣，目前第一期 50 萬噸示範案已完成主體建設，並於 2026 年 1 月通過竣工驗收，三期建成後預計每年可減排二氧化碳 36.53 萬噸。捕獲的二氧化碳，一部分用於包鋼碳化法鋼渣綜合項目固化利用，另一部分經過壓縮液化後，送

至油氣田進行壓裂等油氣田增產服務，實現二氧化碳永久地質封存。

(三)河鋼集團

河鋼唐鋼於 2026 年 1 月完成「高爐煤氣碳捕集耦合微生物固碳產蛋白」與「鋼渣煙氣碳化資源化」兩大千噸級工業示範項目。生物轉化方面，於 2025 年 12 月投運該國首套高爐煤氣變壓吸附 (PSA) 裝置，將二氧化碳提純至 95% 以上，並導入微生物發酵系統，將工業碳源轉化為蛋白含量達 70% 的菌體蛋白飼料；在固廢礦化方面，其宣稱突破低濃度煙氣與鹼性鋼渣固化瓶頸，於特定操作條件下免除高昂的二次提純成本，使負碳綠色建材的固碳量高達 20wt% (即每噸建材永久固定約 20% 質量的二氧化碳)，且抗壓強度超過 30MPa，並獲 CarbXRock 國際商標授權。然該製程之長期維護成本、鋼渣品質變異對固碳率之影響，仍待常態營運階段之動態數據驗證

張宣科技「氫冶金豎爐 CCUS 項目」於 2025 年底實現商用。將氫基豎爐排出的混合氣純化精製轉為食品級高純度液態二氧化碳，廣泛應用於冷鏈與焊接市場，目前銷量達 1.1 萬噸/年。

(四)建龍鋼鐵

建龍鋼鐵 2025 年建成 5 萬噸二氧化碳捕集專案，以煙氣作為氣源，採化學吸收法對二氧化碳進行捕集，相較傳統變壓吸附法，生產每噸二氧化碳所需要的原料煙氣、電、循環冷卻水均節省約 30%，且所需蒸汽品質低，消耗試劑少。配套建設的二氧化碳提純裝置可將氣態產品純度提升至 99.5% 以上，液態產品純度提升至 99.8% 以上。後續將用於煉鋼製程，年可創造經濟效益 900 餘萬人民幣 (約新台幣 3800 萬元)。

(五)首鋼

首鋼京唐於 2023 年投運首套石灰窯煙氣二氧化碳捕集系統，年捕集規模達 5 萬噸，產出的二氧化碳純度可達 99.8%以上，可用於轉爐噴吹、鋼渣碳酸化固化及對外銷售，累計捕集量已超過 12 萬噸。

首鋼朗澤自開發尾氣生物發酵中試裝置，將轉爐氣轉化為燃料乙醇和微生物蛋白。2024 年 11 月，首座年產 1.5 萬噸無水乙醇及 750 噸微生物蛋白的示範項目啟動，並於 2026 年 6 月投產，可實現生產每噸乙醇減排 0.5 噸的二氧化碳。首鋼朗澤已在河北、寧夏、貴州等地建置四套規模化裝置，生物乙醇與微生物蛋白的產能分別累計達到 21 萬噸和 2.3 萬噸。

二、歐美主要鋼廠 CCUS 專案

(一)安賽樂米塔爾(ArcelorMittal)

安賽樂米塔爾將 CCUS 視為 2030 年後規模化減碳的核心支柱。在 CCU 方面，比利時 Gent 廠已將工業級設施投入商轉，成功把高爐氣轉化為生質乙醇；法國 Dunkirk 廠的 IGAR 試點專案則透過電漿火炬進行乾式重組，將高爐二氧化碳與廢氫轉為合成氣注回高爐，最高可減排 20%。在 CCS 方面，規劃規模達每年 100 萬噸，法國 Dunkirk 廠已完成 DMX™ 碳捕集示範專案的技術驗證，未來計畫將捕集的二氧化碳船運至挪威 Northern Lights 計畫進行海底永久封存。

(二)特爾尼翁(Ternium)

特爾尼翁目前的捕碳規模約為每年 28 萬噸。其 CCU 應用主要針對直接還原鐵製程產生的高濃度廢氣進行捕集與純化，轉作商業化學品與食品

級用途；同時，CCS 方面正積極進行深層地下封存的前期可行性研究。為達成 2030 年減碳 15% 的目標，公司目前正擴大墨西哥 DRI 廠區的碳捕集能力，並配合 Techint 集團，針對新型、低成本的甲烷熱解技術進行試點開發與副產品後續應用的測試評估。

(三)美國鋼鐵(U.S. Steel)

美國鋼鐵 CCUS 專案處於試點階段，捕碳規模約為每年 5 萬噸。公司於 2024 年與 CarbonFree 公司簽署備忘錄，將在印第安那州的 Gary Works 廠區推動一項耗資 1.5 億美元的碳捕捉再利用專案。該計畫採用 SkyCycle 技術，將高爐排放的二氧化碳與鋼渣結合，轉化為沉澱碳酸鈣與小蘇打，應用於高值化建材與化工品，專案原訂於 2026 年正式投入商業運轉，受日鐵收購、環境等因素影響而延宕。

(四)蒂森克虜伯(thyssenkrupp)

蒂森克虜伯處於研發示範階段，已成功純化約 6000 至 6400 噸的鋼廠廢氣，其核心 Carbon2Chem[®]計畫(獲德國政府 1.44 億歐元資助)，將高爐與轉爐廢氣中的二氧化碳與 CO 轉化為氨、甲醇或塑料等高價值化學原料。截至 2026 年，已生產超過 9 噸甲醇。該專案自 2016 年起已在杜伊斯堡鋼廠完成技術驗證，已於 2025 正式邁入第三階段的工業級規模化推動與建置。

(五)塔塔鋼鐵(TATA Steel)

塔塔鋼鐵集團近年面臨製程根本性轉變，荷蘭廠將改採氫能直接還原鐵(H-DRI)路線，英國廠則將改為電爐。塔塔鋼鐵的 CCUS 佈局涵蓋荷蘭與印度兩地。

荷蘭廠採取的策略是「漸進式製程替代 + 碳封存」，規劃的捕碳量達每年 540-720 萬噸，第一階段計畫拆除其中一座燃煤高爐與焦爐，改建為初期運作天然氣、中後期轉銜綠氫的直接還原鐵 (DRI) 設施，DRI 製程的二氧化碳轉為化學原料，過渡期間透過管線將二氧化碳運輸至北海枯竭氣田進行永久封存。然而，根據 2026 年 7 月的最新法規進展，高達 20 億歐元的荷蘭政府補貼因該廠面臨當地的環保刑事訴訟而存在變數，荷蘭內閣預計於 2026 年 9 月 30 日前做出最終定奪。

自 2021 年起，印度 Jamshedpur 廠則具備每年 1825 噸的碳捕集量，提取的二氧化碳將 100% 在廠內現場再利用，剩餘廢氣則送回燃氣網路提高熱值。

三、日韓 CCUS 專案

(一)日本

日本碳捕捉的推動，主要由日本政府領導，內部針對 CCS 的推動，有著明確的角色分工：

1. 日本經濟產業省 (METI) 負責制定國家能源政策、產業技術發展等重要領域的核心角色，於 CCS 領域主導政策、法規、商業模式等。
2. 日本能源金屬礦物資源機構 (JOGMEC) 為 METI 轄下的獨立行政法人，於 CCS 領域接受政府撥款，執行全國性地質勘驗、評估潛在封存場址、促進國際產業合作與推動先進 CCS 計畫，共選出 9 個代表性專案，涵蓋日本國內與海外的二氧化碳運輸和封存。
3. 新能源產業技術綜合開發機構 (NEDO) 為 METI 旗下的資助機構，也是日本最大的公立研究管理機構，在 CCS 領域中，專注於前瞻技術的研發與驗證，促使成本降低為目標。

JOGMEC 選出的九個專案中，五個計畫在日本國內儲存，四個在亞太地區儲存。日本製鐵與 JFE 分別參與不同的專案內，例如日本製鐵參與東北地區西海岸 CCS、Metropolitan CCS，JFE 參與馬來西亞北部 CCS、砂拉越近海 CCS。

九個專案各有不同的儲存計畫，由日本制定 CCS 長期路線圖，顯示整體目標於 2030 年達成每年封存 600 萬~1200 萬噸二氧化碳，並於 2050 年達成每年封存 1.2 億~2.4 億噸二氧化碳。

三菱重工 (MHI) 與關西電力共同開發的胺基溶劑捕獲技術(KM CDR Process®)有不少市佔率，其胺基技術適用於 CO₂ 濃度 3-25%的煙氣，僅需依據煙氣特性調整吸收塔規模與前處理流程，技術通用性高。NEDO 則致力於成本下降目標，例如研究低能耗固體吸收劑捕獲技術等。日本雖然擁有眾多近海封存能力，但初期開發成本高昂，利用海外枯竭油田進行封存，現階段更具有經濟可行性。

(二)南韓

韓國政府計劃在 2030 年每年捕捉並封存 480 萬噸二氧化碳，同時支持工業 CCUS 的發展。POSCO 利用現有的商業技術(如吸收、吸附、膜分離和低溫技術)捕捉二氧化碳，並透過加壓、液化為適合運輸與儲存的條件 (-51°C, 5.5 bar, 99.9%純度以上)，計畫將注入廢棄的油田或深層的鹽水層封存。目前仍在探索潛在儲存地點，包含韓國東海地區、印尼、東南亞其他地區以及澳洲西北部。

另外，POSCO 也在研究 CCU 的利用性，例如二氧化碳注入焦爐噴吹，能提高 COG 熱值，或是與 LG 化學、韓國化學研究院組成 CCU 聯盟，計畫每年自 POSCO 捕捉 16,000 噸二氧化碳，轉化為合成氣與甲醇。

Carbon Clean RPB 捕碳設備導入評估報告

撰稿 T41 整理提供

一、前言

傳統碳捕捉系統因依賴重力傳質的化學吸收塔，面臨設備體積龐大、占地廣且建設成本高昂等痛點，嚴重限制老舊廠區的改造彈性。為此，英國 Carbon Clean 公司開發出創新技術 CycloneCC，透過旋轉填料床 (RPB) 產生的超重力離心力，大幅加速質傳效率，實現設備微型化與全模組化。

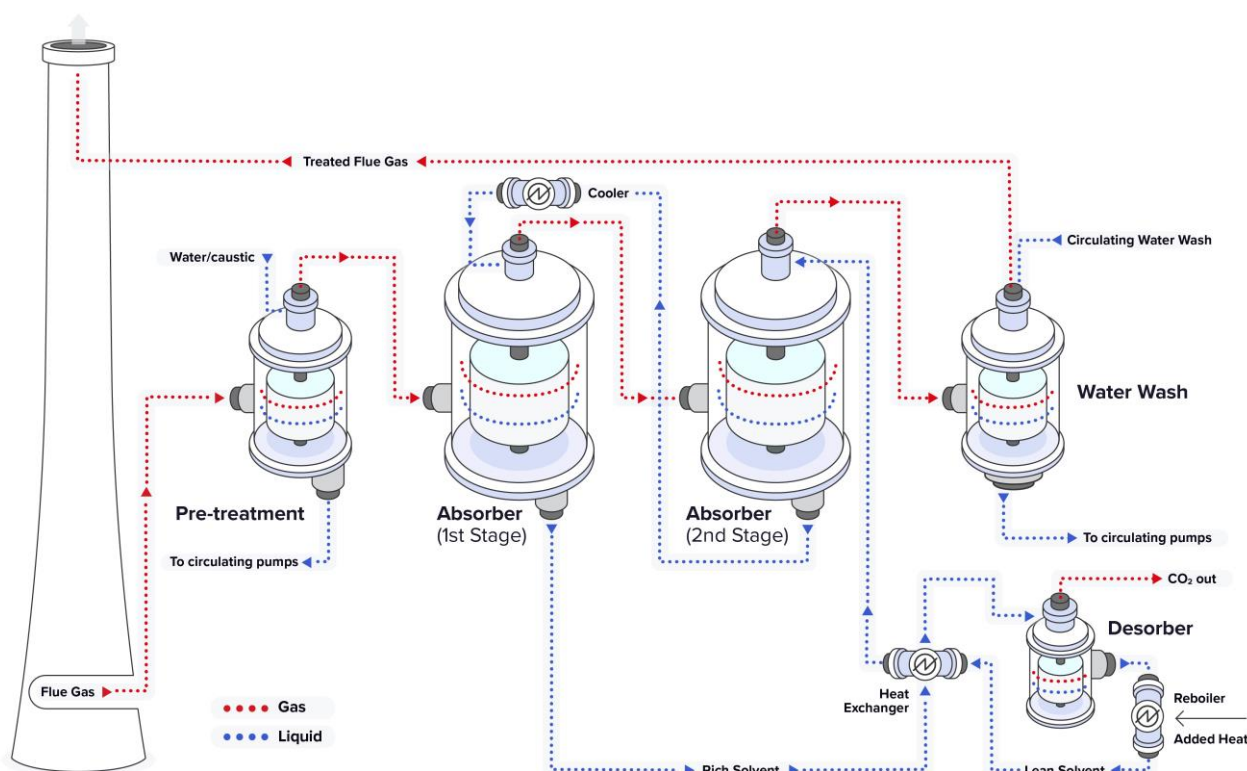
本文目的在於探討 CycloneCC 技術的核心優勢，並深入分析該技術在印度塔塔鋼鐵及 JSW 等鋼廠的實際應用案例，評估其面對高爐煙氣複雜環境的適應力，並評估「分散捕捉、統一再生」新型機制的可行性，為重工業的脫碳路徑提供具體的技術實踐與策略參考。

二、CycloneCC 旋轉填料床 (RPB) 技術

傳統的碳捕捉塔依賴重力讓溶劑向下流動，設備體積龐大，常高達數十公尺。英國 Carbon Clean 公司的 CycloneCC 是結合旋轉填料床 (Rotating Packed Bed, RPB) 與專利 APBS-CDRMax 溶劑的突破性技術，縮小設備尺寸並大幅減少占地面積。RPB 內部包含旋轉的填料盤，能產生遠大於重力的離心力，藉此製造出更細小的液滴與溶劑薄膜，大幅增加表面積並加速質傳，有效提升 CO₂ 吸收率。

- 1. 設計優勢：**無柱式、全模組化的設計，成功取代傳統碳捕捉廠的吸收塔，使設備高度降低 70%、用鋼量減少 35%、總佔地面積減少達 50%，最大設備尺寸更縮小 10 倍。此外，透過採用「樂高積木式、隨插即用」的預製滑車模組，能由卡車運送並在幾週內完成現場安裝，大幅削減運輸與整地費用，將設備總安裝成本降低達 50%。

- 2. 溶劑效能：**搭配的高效能 APBS-CDRMax 溶劑表現優於業界標準，能降低 10% 至 25% 的能源需求，腐蝕率降低 20 倍，降解率降低 10 倍，且使用壽命是傳統溶劑的 5 倍。
- 3. 捕捉規模：**採用 100% 預製模組化設計，可根據客戶的脫碳策略逐步擴展。2021 年最早的 CycloneCC 試驗機組每天僅能捕捉 1 噸的二氧化碳；而 2025 年推出針對中大型排放源的 CycloneCC C1 系列，每天可捕捉 75 至 855 噸二氧化碳。
- 4. 實際應用穩定性：**該技術目前已達到技術就緒指數 7 (TRL 7)。此外，系統還整合 AI 人工智慧技術，由操作員執行 AI 建議，進一步提升設備的可靠性與溶劑效能。



圖一、CycloneCC™ 碳捕捉技術運作流程圖



Carbon Clean's columnless CycloneCC C1 Series

圖二、Carbon Clean 無柱碳捕捉系列 CycloneCC C 1

三、CycloneCC 技術在鋼廠的應用案例評估

為了解 CycloneCC 技術的可行性，從印度塔塔鋼鐵、JSW 等明確公布引入 CycloneCC 技術的鋼廠案例下手，塔塔鋼鐵 Jamshedpur 廠專案始於 2021 年 9 月，是全球首個在實際高爐製程中成功落地運行的旋轉填料床（RPB）碳捕捉示範案例，成功證明 RPB 技術接入高爐氣的物理與化學原理可行性；JSW 在 2024 年 10 月簽約的 Vijayanagar 廠專案，是全球最大規模鋼廠 RPB 落地可行性評估案，年捕捉量預計達 10 萬噸，後續需觀察規模放大後，機械與填料結構在鋼廠是否能長期穩定運行。

表一、塔塔鋼鐵與 JSW 碳捕捉案例比較

鋼廠	塔塔鋼鐵（Jamshedpur）	JSW（Vijayanagar）
案例說明	1. 全球首個高爐煙氣 RPB 落地示範案。 2. 直接接入營運中的高爐煙道氣，驗證超重力旋轉床在重工	1. 全球最大規模鋼廠 RPB 落地可行性評估案。 2. 針對整合型高爐鋼廠點源排放，評估大規模導入

	業現場的抗震、動平衡與耐受度。	CycloneCC 系統的落地性與商業化可行性。
合作單位	Carbon Clean、印度科學工業研究理事會 (CSIR) 。	必和必拓 (BHP) 、Carbon Clean 。
啟用/評估時間	2021 年 9 月正式啟用運轉。	2024 年 10 月簽署聯合研究協議，2026 年完成深度可行性評估。
設計規模	小規模工業示範級：每日 5 噸，年捕捉量約 1,800 噸。	商業化規模：年捕捉量 10 萬噸。
應用/評估成效	1. 大幅節省空間：設備高度縮減 70%、佔地減少 50%，成功塞入老舊廠區碎裂空地。 2. 創造循環經濟：提取高爐氣中約 90%的 CO₂ 回收利用；移除非燃性 CO₂ 後的「貧碳高爐氣」熱值顯著提升，回流鋼廠管網作為高效燃料。 3. 動態應變能力：驗證 RPB 可透過調整轉速，快速適應高爐氣流量與濃度的劇烈起伏。	1. 規模化評估：正在驗證最新 C1 系列 RPB (放大 20 倍以上) 在傳統高爐廠環境下的運作極限。 2. 供應鏈綜效：結合 BHP 的資源，共同評估高爐鋼廠透過模組化 CCS 達成範疇一實質減碳。後續規劃將捕捉的 CO₂ 液化後供當地銷售。

四、其他 CycloneCC 商業運作案例

1. 肥料廠 CycloneCC 案例：阿布達比 Fertiglobe 氮肥廠專案

本案始於 2024 年，阿布達比 Fertiglobe 氮肥廠機組在不到一週的時間內即完成現場安裝，從重組爐煙囪每日捕捉 10 噸 CO₂，並用於尿素生產。設備已達成在 6 個月內連續運轉約 4,000 小時的里程碑，穩定產出符合高純度要求的 CO₂。

2. 肥料廠與鋼鐵廠運行條件差異

- (1) **肥料廠**：煙氣中的 CO₂ 濃度通常較高 (15%至 25%以上)，且氣體相對乾淨，雜質 (如硫化物、氮氧化物、粉塵) 極少，RPB 在此環境下運轉非常穩定。
- (2) **鋼鐵廠**：高爐氣、轉爐氣或熱風爐煙氣的 CO₂ 濃度變動大(部分製程僅 5%至 10%)，且含有高濃度的粉塵、焦油、微量重金屬與硫化物。這會加速 APBS 溶劑的劣化，並大幅增加 RPB 高速旋轉填料的堵塞與清洗頻率。相較肥料廠專案，建議在合約中要求供應商針對鋼廠煙氣設計高規格的前處理 (降溫、除塵、脫硫) 模組。

五、「分散捕捉、統一再生」機制應用評估

1. 「分散捕捉」的極高可行性

CycloneCC C1 採用 100%預製、滑車安裝，如同「樂高積木」般的隨插即用模組化設計。該節省空間的設計非常適合目標在「多個煙氣排放源」部署碳捕捉設備的排放企業，在硬體與空間規劃上完美契合「分散捕捉」的需求。

2. 「統一再生」需再評估

目前無相關鋼廠應用先例，需要再進行額外評估，關鍵在於輸送管道及再生熱源集中部署：

- (1)**富液、貧液的輸送管道**：鋼廠各點源距離遙遠，富液 (含二氧化碳) 與貧液 (再生後) 需要雙向管網傳輸，需評估黏度、泵浦能耗及管線保溫，避免富液在低溫下提早釋出氣體或結晶。
- (2)**再生熱源的集中化**：建議將再生塔蓋在汽電共生廠或有大量低壓廢熱的區域，大幅降低再生能耗。

六、結論

CycloneCC 技術憑藉其高效的 APBS 專利溶劑與旋轉填料床 (RPB) 的超重力優勢，成功推翻傳統碳捕捉塔高聳龐大的限制，以降低 70%高度與 50%占地

面積的無塔式設計，大幅優化空間與經濟效益。

雖然該技術已在阿布達比氮肥廠展現優異的商用穩定性，且在塔塔鋼鐵成功驗證了高爐氣現場運行的物理可行性與動態應變力，但面對鋼鐵廠煙氣低濃度、高粉塵及多雜質的嚴苛條件，未來規模化應用時，高規格的前處理模組與防堵清洗設計仍是不可或缺的關鍵。

此外，CycloneCC 的「隨插即用」模組化特點在「分散捕捉」端展現極高的可行性，唯「統一再生」機制仍缺乏鋼廠先例，後續需針對富貧液管網輸送能耗與廠區廢熱集中部署進行深度評估。整體而言，CycloneCC 為重工業減碳提供創新實用的解決方案，其商業化與規模化發展值得持續關注。

七、參考連結

1. Carbon Clean announces successful completion of world's first industrial deployment of CycloneCC
2. Revolutionising industrial carbon capture
3. CycloneCC™ Modular Technology Meet the next generation of carbon capture
4. Carbon Clean launches CycloneCC C1 series
5. Carbon Clean introduces CycloneCC C1 series
6. Carbon Clean launches columnless carbon capture series 'CycloneCC C1'
7. CTO Blog: Revolutionising carbon capture: What does it take?
8. A rotating revolution
9. Innovative carbon capture for the steel industry
10. BHP, Carbon Clean, and JSW Steel sign agreement to explore Carbon Clean's CycloneCC technology
11. MODEC and Carbon Clean enter MOU to Accelerate Development and Deployment of Offshore Carbon Capture Technology