

碳管理政策對鋼廠之影響-以歐洲、日本、韓國為例

一、前言

2024 年至 2025 年標誌著全球鋼鐵產業從「碳中和願景」邁入「碳有價化」的關鍵分水嶺，過去數十年以產能擴張和成本優化為核心的競爭模式，正迅速被「碳競爭力」核心取代，隨歐盟碳定價機制進入關鍵推進階段，相關規範已成為影響國際鋼鐵市場的重要變數，未來的競爭力將取決於「政策紅利（政府補貼）」與「原料溢價的掌控力」。

本報告將從歐盟、日本與韓國等積極推出碳管理政策的地區、國家切入，概述其碳管理政策與推動方式，而後聚焦蒂森克虜伯（Thyssenkrupp）、安賽樂米塔爾（ArcelorMittal）、日本製鐵（Nippon Steel）、JFE 鋼鐵（JFE Steel）與浦項鋼鐵（POSCO）等五家指標鋼廠，探討其如何在「減碳成本過高」與「高品質原料短缺」的雙重夾擊下，制定出務實且具防禦性的生存策略。

二、世界整體減碳趨勢與產業挑戰

1. 全球碳排放現狀與技術瓶頸¹

儘管全球主要鋼廠皆已宣示 2050 碳中和目標，但從 2024-2025 年的實際數據來看，產業整體的實際排碳量居高不下，呈現明顯的「高原期」特徵。根據世界鋼鐵協會（worldsteel）發布的最新統計，全球平均每噸粗鋼的二氧化碳排放強度在過去三年間（2023-2025）仍持續維持在 1.92 噸（涵蓋範疇 1、2 及部分範疇 3）的水準。這意味著在現有的高爐-轉爐（BF-BOF）製程架構下，若無結構性的製程革命，碳排放總量難以顯著下降。

此外，產業面臨著嚴峻的「原料品質瓶頸」。隨著歐洲大量興建氫能直接還原鐵（H2-DRI）豎爐，全球對於鐵含量高（>67%）、雜質低的「DR 級鐵礦球團」需求呈現指數級成長。然而，全球鐵礦石供應中僅有不到 5%符合此標準。若無新技術突破，預計 2030 年 DR 級球團將面臨嚴重的供給缺口，這將導致原料價格飆升，進一步墊高綠色鋼材的生產成本。

2. 「綠色溢價」的成本壓力²

儘管汽車與建築業對低碳鋼材有明確需求，但 2025 年的市場顯示「綠色溢價」仍不足以覆蓋生產成本的暴增。根據 Global Efficiency Intelligence 的分析，使用綠氫生產的鋼材成本較傳統高爐鋼材高出約 40%-50%。在缺乏政府

鉅額補貼的情況下，鋼廠若貿然進行全氫能轉型，將面臨「賣一噸賠一噸」的財務困境。這也導致 2025 年出現明顯的「歐洲、亞洲的策略分歧」，歐洲鋼廠因能源成本過高而放緩氫能投資，轉而採取更務實的電爐與廢鋼策略；而亞洲鋼廠則在政府明確的補貼政策下，加速佈局過渡性技術。

三、 主要國家碳管理政策分析

1. 歐盟 (EU)：EU ETS 免費配額削減與 CBAM 的雙重夾擊^{3 4}

歐盟在 2024-2025 年間確立了全球最為嚴格的碳管理架構，其核心邏輯是透過「內部成本化」與「外部邊境調節」同步推進，以防止碳洩漏並迫使產業轉型。

最關鍵的政策變動在於歐盟排放交易體系 (EU ETS) 的免費配額削減計畫。歐盟已確認將從 2026 年起開始削減鋼鐵業的免費碳權配額，削減幅度將逐年擴大，並預計於 2034 年完全歸零。以 2025 年歐盟最低碳價約 65 歐元/噸 (約 2,223 元新台幣) 為例進行計算，若無免費配額，會直接影響鋼鐵等進口產品的相關成本。

與此同時，碳邊境調整機制 (CBAM) 將於 2026 年正式進入收費期。歐盟要求進口商必須購買 CBAM 憑證，以支付進口產品中隱含碳排放的費用，且該費用將與歐盟 ETS 碳價掛鉤。這項政策實際上為歐洲鋼鐵市場築起一道綠色壁壘，迫使出口國 (如韓國、日本、台灣) 必須建立具備同等效力的碳定價機制，否則其出口產品將在邊境被徵收高額稅費，且這筆資金將流入歐盟財政而非留在出口國國內，如圖 1。

CBAM何時上路?



圖 1 CBAM 進程

2. 日本（Japan）：綠色創新基金與 GX-ETS 的雙軌驅動^{5 6}

日本政府採取與歐盟截然不同的策略，強調在保護工業基礎的前提下進行轉型。針對鋼鐵業的政策重心從單純的碳稅轉向更具針對性的產業扶植與總量管制。

日本政府並未急於實施高額碳稅，而是透過新能源產業技術綜合開發機構（NEDO）設立的「綠色創新基金」（Green Innovation Fund），向鋼鐵業提供鉅額的研發與設備補貼。這項基金規模高達 2 兆日圓（約 4,400 億元新台幣），專門用於支持氫能煉鐵、碳循環高爐等前瞻技術的實證，例如：JFE 鋼鐵在倉敷地區的大型電爐計畫，以及日本製鐵的 Super COURSE50 高爐改造計畫等。這種「國家分擔資本支出（Capex）」的模式，有效緩解鋼廠在技術轉型初期的財務壓力，如圖 2。

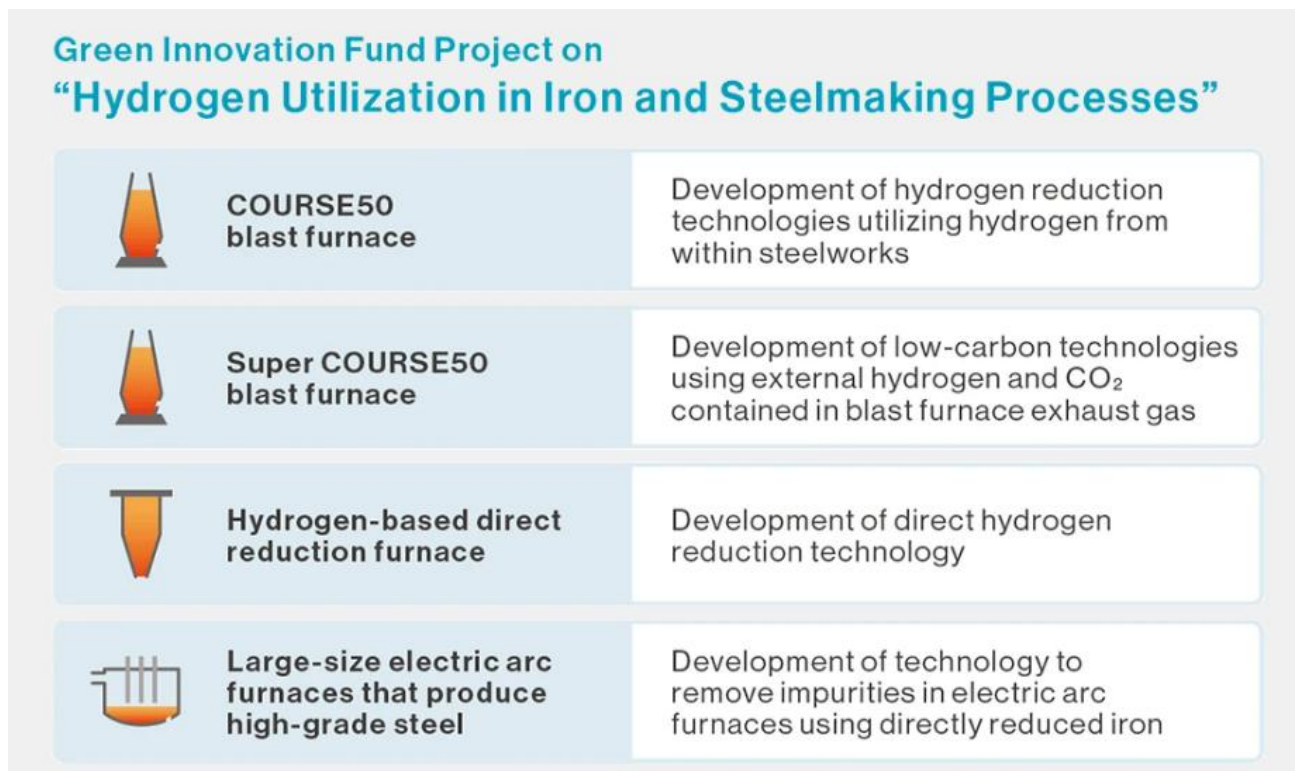


圖 2 日本綠色創新基金的「鋼鐵製程中的氫氣利用」相關計畫

在碳定價方面，日本推動 GX-ETS（綠色轉型排放交易體系）。目前該體系處於第一階段（2023-2025 年），以「GX 聯盟」的形式運作，企業自願設定減排目標。然而，日本政府已規劃於 2026 年啟動第二階段，屆時將對高排放產業實施強制性的排放總量管制（Cap-and-Trade）。這代表日本將結束長期的自願減排時代，進入強制合規時代，為鋼鐵業設定明確的減排時間表。

3. 韓國（Korea）：K-ETS 第四階段的戰略保護與技術扶植⁷

韓國政府在 2025 年底定案了 K-ETS 第四階段計畫（2026-2030），其政策核心在於「保出口、促轉型」，在嚴格的總量管制下給予鋼鐵業特殊待遇。

儘管韓國整體的排放總量上限在第四階段被縮減至 25.37 億噸 CO₂e，但針對鋼鐵等「貿易密集型（EITE）」產業，韓國政府決定維持 100%免費配額分配。這一決策顯示出韓國政府在面對歐盟 CBAM 壓力時的戰略考量：優先保護本國鋼廠的現金流，使其能將資金用於技術研發（如 HyREX 流體化床技術），而非消耗在繳納碳稅上。協助浦項鋼鐵（POSCO）在 2030 年前完成自有技術的商業化驗證，在根本上解決碳排放問題，而非僅僅透過付費來合規。

彙整歐盟、日本與韓國之碳管理政策如表 1 所示。

表 1 主要國家碳管理政策比較分析

比較	歐盟	日本	韓國
核心機制	ETS(強制交易)&CBAM	GX-ETS(強制總量)&創新基金	K-ETS(強制總量)&戰略技術指定
碳價(2025)	65-80 歐元 NT\$2,223-2,736	GX-ETS 價格形成中	1.5-2.5 萬韓元 NT\$345-575
對鋼鐵業手段	削減免費配額(2026起每年遞減)	提供鉅額補貼(綠色創新基金)	維持免費配額(100%保護出口產業)
2025 年關鍵變動	CBAM 過渡期結束，強制要求實際數據申報	GX-ETS 準備進入強制期，R&D 補貼落地	K-ETS 第四階段定案，確立對鋼鐵業保護
戰略邏輯	以高碳價逼迫轉型，並建立貿易壁壘	政府分擔研發風險，漸進式引入碳價	國家隊模式，保護現金流以支持技術突破

四、 國際先進鋼廠技術路徑與應對策略

1. Thyssenkrupp：DRI + 熔煉爐(Melter)的技術⁸

德國蒂森克虜伯（ThyssenKrupp）在 2024-2025 年間推進了其核心專案 tkH2Steel。面對高品質廢鋼不足與傳統高爐必須淘汰的壓力，ThyssenKrupp

選擇一條獨特的技術路徑：建設氫能直接還原鐵（DRI）豎爐，並在其後端串接創新的「電熔煉爐」（Melter），如圖 3。

這項技術的價值在於解決原料適應性的問題，傳統的電爐（EAF）需要高品質的廢鋼或低雜質的 DRI 才能生產汽車用高級鋼，而 Melter 的功能類似於一座電氣化的高爐，能將 DRI 熔化成液態鐵水（Hot Metal）並有效去除爐渣。使得鋼廠可以繼續使用全球供應充足且價格較低的普通高爐級球團，而不必依賴昂貴且稀缺的 DR 級球團。此外，產出的鐵水可直接送入現有的轉爐（BOF）煉鋼流程，保留後端的高品質產線。該項目獲得德國政府約 20 億歐元（約 684 億元新台幣）的鉅額補貼，這是其能夠啟動的關鍵因素。

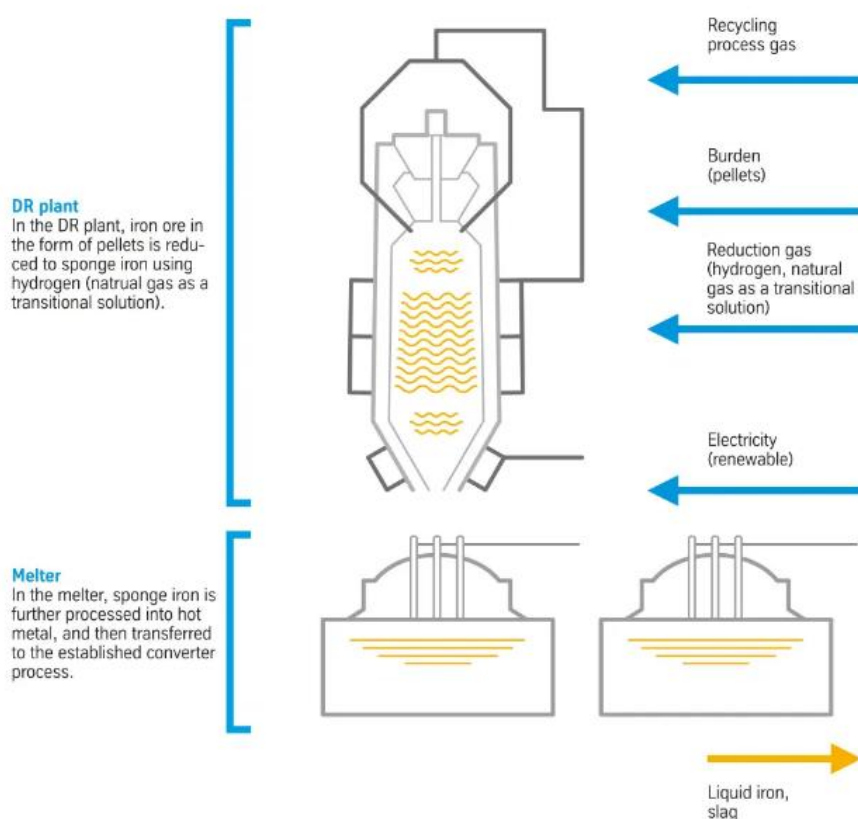
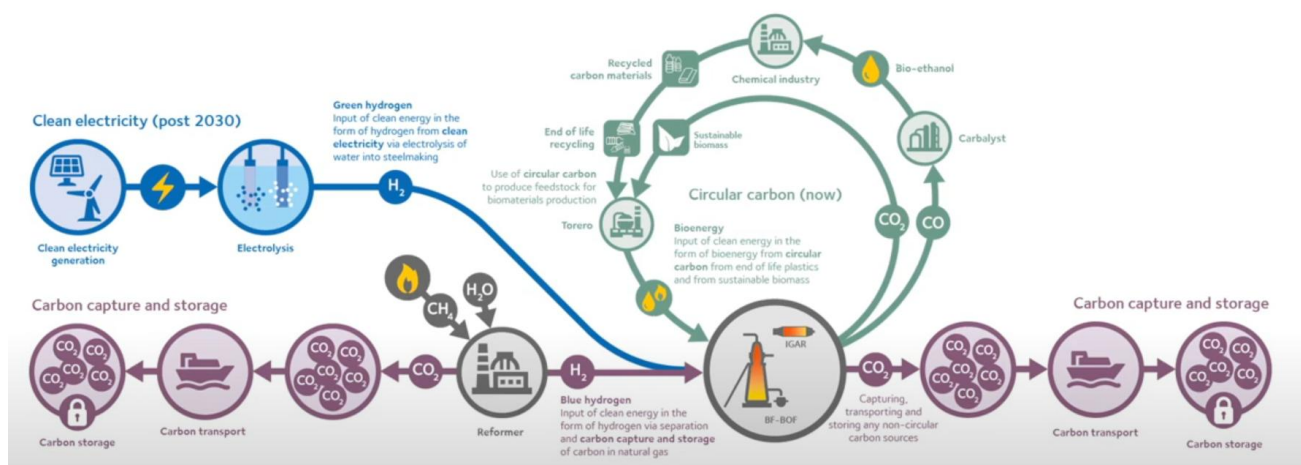


圖 3 tkH2Steel®:DRI+MELTER

2. ArcelorMittal：戰略性收縮與靈活配置^{9 10}

安賽樂米塔爾（ArcelorMittal）在 2025 年的策略展現出高度的務實與靈活性，財務報告指出其在 2025 年的資本支出雖然高達 45-50 億美元（約 1,463-1,625 億元新台幣），但分配給脫碳專案的金額僅約 3-4 億美元（約 98-130 億元新台幣）。

安賽樂米塔爾明確表示由於歐洲能源價格（特別是電力與氫氣）過高，加上綠氫基礎設施建設滯後，將無限期推遲部分歐洲的氫能 DRI 項目。取而代之的是「Smart Carbon」策略，即在現有高爐中注入生質碳或廢棄塑膠，並結合



碳捕捉技術（CCUS）來達成短期減排。同時，將戰略重心移往擁有能源成本優勢的地區，如西班牙與加拿大，利用當地的廢鋼資源與電爐生產 XCarb® 品牌低碳鋼，並積極開拓印度等新興市場，以分散歐洲政策帶來的經營風險，如圖 4。

圖 4 Smart Carbon

3. 日本製鐵：高爐精進與質量平衡法¹¹

日本製鐵（Nippon Steel）採取與 JFE 不同的策略，致力於極大化現有高爐資產的價值。其核心技術 Super COURSE50 旨在透過向高爐風口注入加熱的氫氣，部分替代焦炭作為還原劑。2025 年的測試數據顯示，該技術已能減少 33% 的二氧化碳排放，未來的目標是結合碳捕捉技術達到 50% 以上的減排，如圖 5。

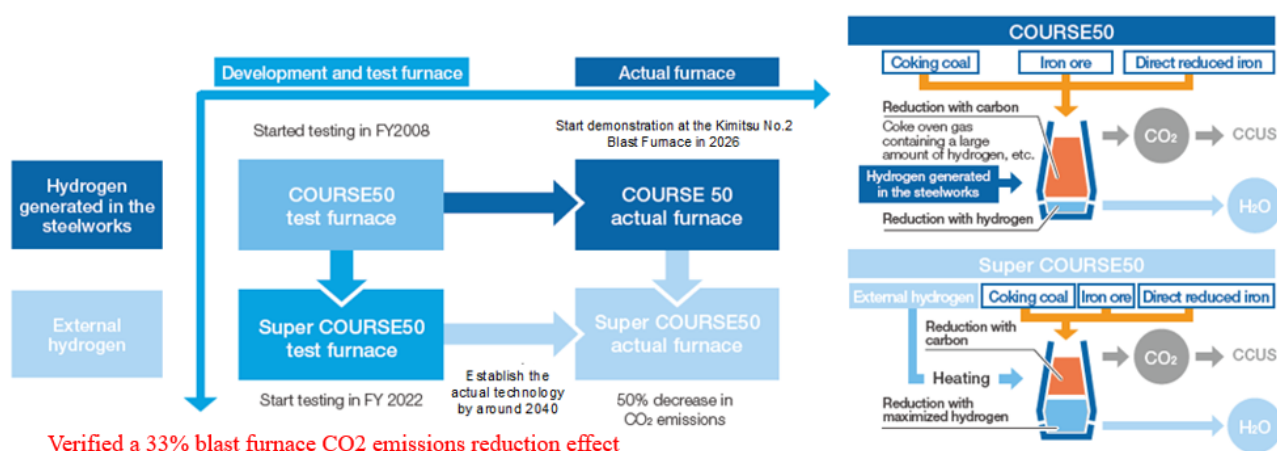
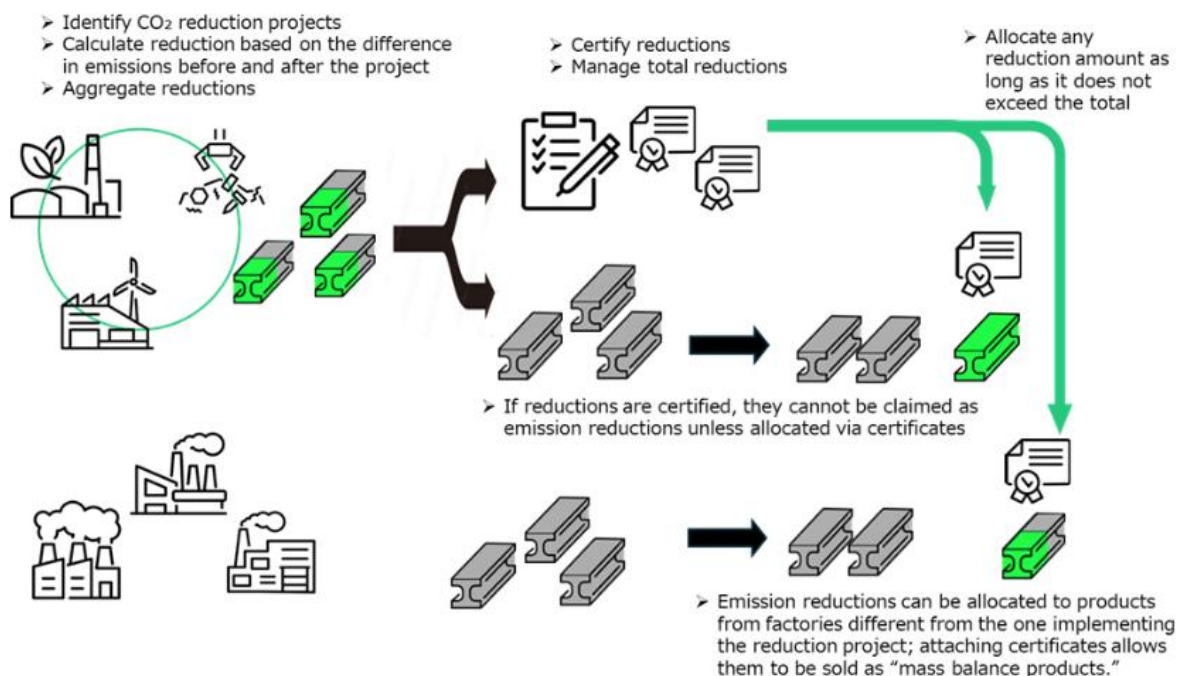


圖 5 Super COURSE50 技術

在商業模式上，日本製鐵廣泛推廣其「NS Carbolex Neutral」品牌。該品

牌利用日本鋼鐵聯盟（JISF）認可的「質量平衡法」（Mass Balance Approach），如圖 6，將整個廠區的減排效益集中分配給特定批次的鋼材。這使得車廠等客戶能夠在物理減排技術尚未完全普及前，採購到帳面上「碳中和」

Figure 1. Concept of JISF Mass Balance Steel



的鋼材，以滿足其供應鏈的範疇 3 減排目標，這是一種在過渡時期極具商業價值的策略，有效連接技術研發與市場需求，JFE 的 JGreeneX[®]，亦是利用「質量平衡法」的綠鋼產品。

圖 6 質量平衡法概念

4. JFE Steel：利用 GX 補貼的結構性轉型¹²

JFE 鋼鐵在 2024-2025 年間做出日本鋼鐵業最具指標性的決策：關閉倉敷地區（Kurashiki）的一座大型高爐，並將其置換為年產 200 萬噸的高效電爐。這項計畫總投資額約 3,294 億日圓（約 725 億元新台幣），其中成功爭取到日本政府 GX 基金補助 1,045 億日圓（約 230 億元新台幣），補貼比例高達 32%。

JFE 的策略核心在於供應鏈的重構，其計畫從阿聯酋進口低碳的熱壓鐵塊（HBI）作為電爐的主要原料，確立「海外生產低碳鐵源+國內電爐煉鋼」的新商業模式，利用中東豐富的天然氣資源生產低碳原料，再運回日本進行高附加價值的鋼材生產，有效規避日本本土缺乏廉價還原劑（氫氣/天然氣）的劣勢，是日本鋼廠應對脫碳挑戰的務實解。

5. POSCO：HyREX 流體化床技術的獨有技術路線^{13 14}

浦項鋼鐵（POSCO）選擇一條技術難度最高、但潛在回報也最大的路徑：HyREX。這是一種基於其獨有 FINEX 製程改良而來的氫還原技術。與歐洲主流的豎爐技術不同，HyREX 使用流體化床反應器，可以直接使用粉狀的鐵礦（Fines），而無需經過昂貴且高排放的造球（Pelletizing）製程。

這項技術若能成功商業化，將賦予 POSCO 巨大的成本優勢。由於粉礦的價格遠低於球團礦，HyREX 預計每噸鋼材可節省約 20-30 美元（約 650-975 元新台幣）的原料成本。POSCO 已於 2025 年正式啟動年產 30 萬噸的示範工廠建設，並獲得韓國政府將其指定為「國家戰略技術」的支持，享有研發稅收抵免與行政加速等優惠。這顯示韓國鋼鐵業試圖通過技術突破，解決未來原料短缺與成本上升的根本性問題，如圖 7。

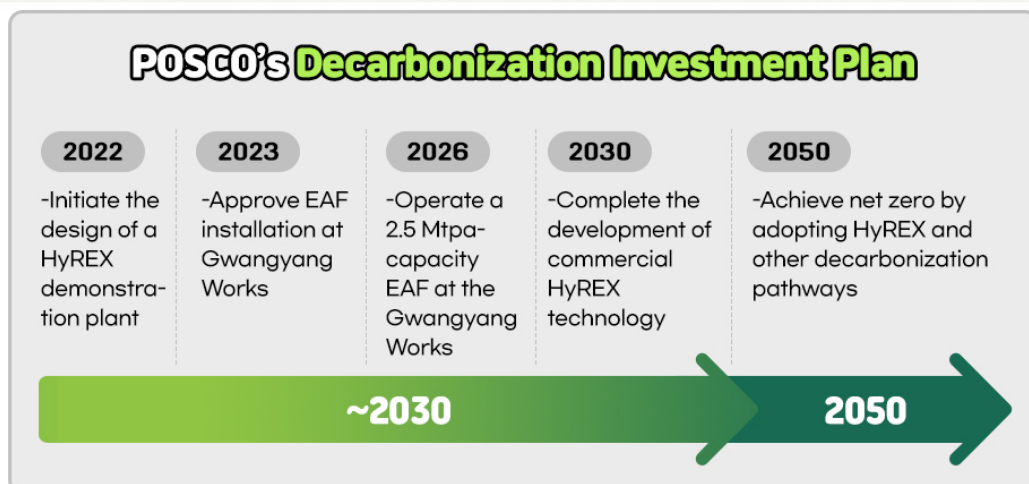
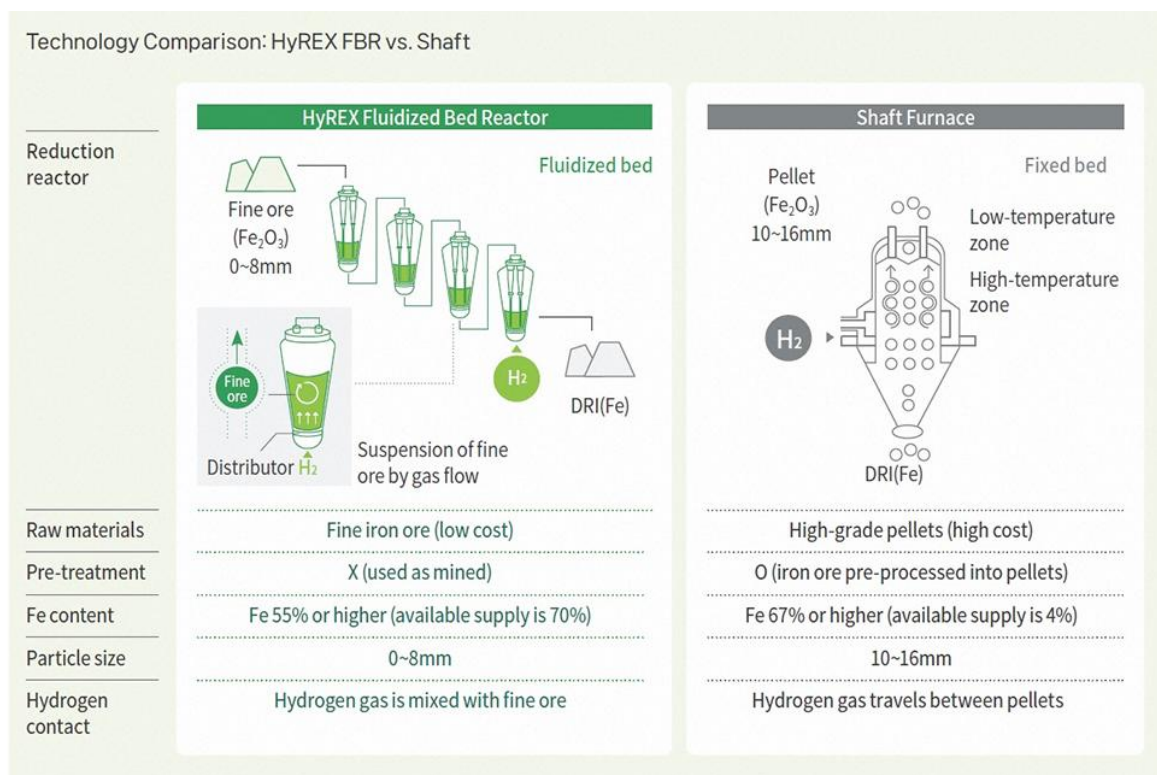


圖 7 HyREX 技術與進程

表 2 為各鋼廠應對減碳趨勢所採取的技術路徑以及資金政策，由表中可以發現政府補貼對鋼廠施行低碳轉型的策略影響卓著。

表 2 國際先進鋼廠技術路徑與應對策略彙整

鋼廠	核心技術	原料策略	資金政策	2025 年 關鍵動向
Thyssenkrupp	DRI + Melter	可用普通高爐 級球團	獲 20 億歐元 補貼	推進杜伊斯 堡項目，解 決原料品質 瓶頸
ArcelorMittal	Smart Carbon / 電爐	廢鋼為主，高 爐生質能替代	依賴能源價格 (因高成本推 遲氫能)	放緩歐洲氫 能投資，轉 向美/加電 爐
JFE	大型電爐置換 (倉敷)	進口低碳 HBI + 廢鋼	獲 1,045 億日 圓 補貼	利用政府基 金進行資產 置換，重構 供應鏈
日本製鐵	Super COURSE50	傳統原料 + 氫氣注入	R&D 補貼 + 質 量平衡	測試達成 33%減排， 推廣 NS Carbolex 品牌
POSCO	HyREX	直接使用粉礦	國家戰略技術 支持	啟動 30 萬 噸示範廠， 鎖定長期原 料成本優勢

五、 結論

近兩年國際鋼鐵業的脫碳進程呈現出鮮明的地緣政治與經濟特徵，歐洲鋼

廠在 CBAM 與 ETS 的高壓下，因能源成本過高而被迫採取防禦性收縮策略，暫緩激進的氫能投資；而日韓鋼廠則在政府「國家資本」的保護傘下，利用補貼與免費配額爭取到技術試錯的時間與空間，積極佈局電爐置換與自有技術研發。

鋼鐵業的脫碳路徑已從單一的技術競賽，演變為一場結合政策、資本與原料戰略的複雜博弈。

1. **政策決定技術速度：**歐洲的高碳價（ETS/CBAM）雖意在逼迫轉型，但在缺乏足夠補貼與廉價能源下，反而導致企業投資縮手（如 ArcelorMittal）。相反，日韓透過「補貼先行（如綠色創新基金）」與「配額保護」，成功誘導企業進行結構性投資（如 JFE 電爐、POSCO HyREX）。
2. **原料是新戰場：**Thyssenkrupp 的 Melter 技術與 POSCO 的 HyREX 技術，本質上都是為了突破「高品質鐵礦短缺」的困境。誰能掌握使用低品位原料生產低碳鋼的技術，誰就能在 2030 年後的市場佔據成本優勢。
3. **政府角色越加吃重：**鋼鐵業的低碳轉型涉及鉅額的資本支出，這已非單一企業所能獨力承擔，從 2025 年的產業動態可見，凡是獲得政府強力介入的案例（如德國政府補貼 Thyssenkrupp、日本政府設立綠色創新基金資助 JFE 與日本製鐵、韓國政府保護 POSCO 現金流），其技術推進速度明顯快於僅依賴市場機制調節的區域。相對證明在「綠色溢價」尚未被市場完全接受的過渡期，政府的角色必須從單純的「監管者（制定碳價）」轉變為積極的「投資合夥人（分擔 Capex）」。唯有透過公私部門協力（Public-Private-Partnership, PPP）模式結合政府與民間資源合作推動企業技術轉型，企業才敢於投入如氫能煉鐵等革命性技術，否則極易陷入如部分歐洲鋼廠因成本過高而必須策略性收縮的困境。

六、 參考資源

1. [Sustainability Indicators Report 2025](#)
2. [Green Steel Economics](#)
3. [歐盟 CBAM 正式上路倒數：申報、憑證怎麼算？ 五大重點看懂](#)
4. [CBAM regulation report: navigating the EU' s new carbon border rules for metals](#)
5. [GX Policy Achieving Decarbonization and Economic Growth Together](#)
6. [JFE Steel Selected for National Project Targeting Carbon-neutral Steelmaking](#)
7. [Korea approves Phase 4 K-ETS allocation plan for 2026 - 2030](#)
8. [tkH2Steel®: With hydrogen to carbon-neutral steel production](#)

9. [ArcelorMittal is today providing an update on its decarbonization plans in Europe](#)
10. [ArcelorMittal 4q24-earnings-release](#)
11. [Verified the World's Highest Level of CO2 Emissions Reduction at 33% by Heated Hydrogen Injection in the Super COURSE50 Test Furnace](#)
12. [Remaining Challenges for Mass Balance Products](#)
13. [From CCUS to HyREX: The Full Lineup of POSCO Group's Decarbonization Strategies for a Sustainable Steel Industry](#)
14. [BHP and POSCO partner to advance hydrogen-based ironmaking technology](#)