

中國鑛冶工程學會112年年會

中鋼公司低碳高爐煉鐵技術開發路徑

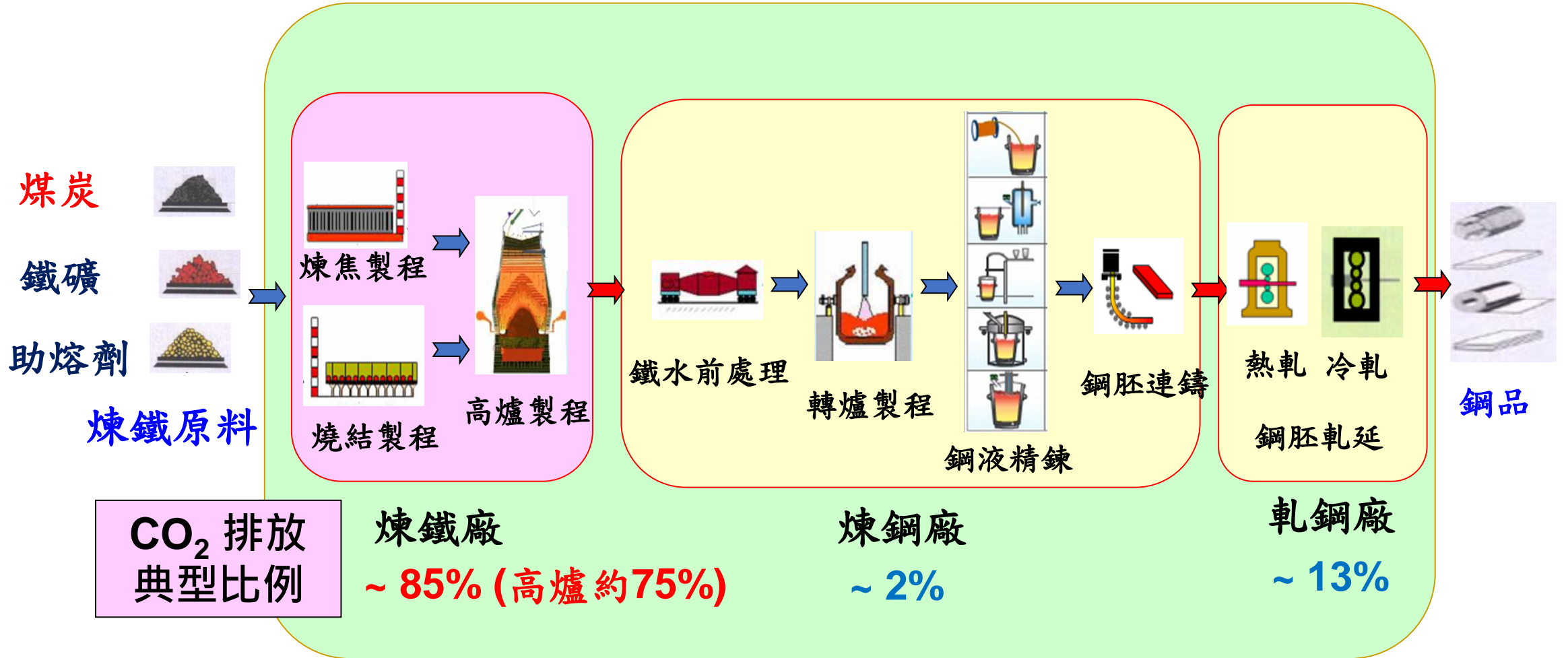
- 一貫化鋼廠製程排碳特性
- 低碳高爐技術發展進路
- 減碳技術發展規劃與進度
- 結語

中鋼鋼鐵研究發展處煉鐵製程組

杜憲文

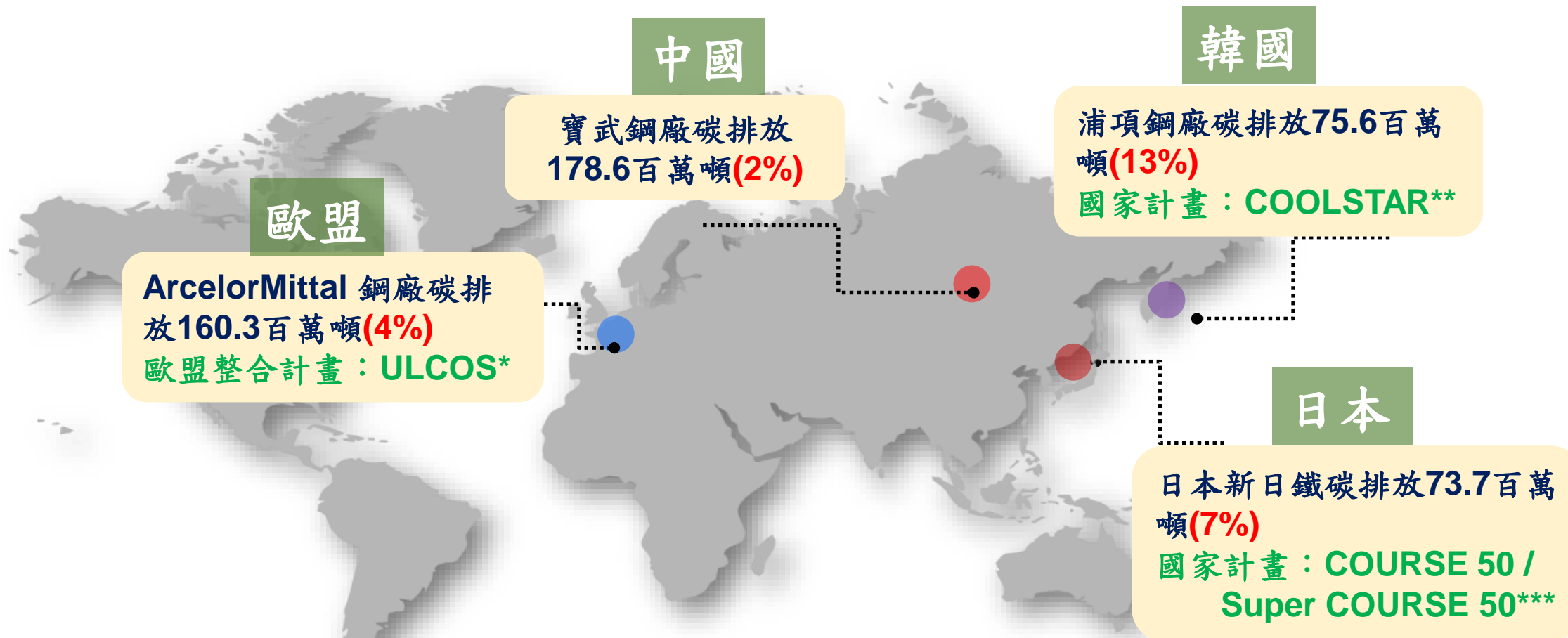


1. 一貫化鋼廠製程排碳特性



■ 高爐提供鋼廠所需的鐵水，能耗最大且是煤基操作，為鋼廠CO₂主要排放源

國外重要鋼廠排碳狀況



■ 鋼鐵業為高排碳產業，為善盡社會責任，節能減排已成為重要的技術發展目標

參考資料：[CO₂ Emissions | Global Carbon Atlas 2020](#)

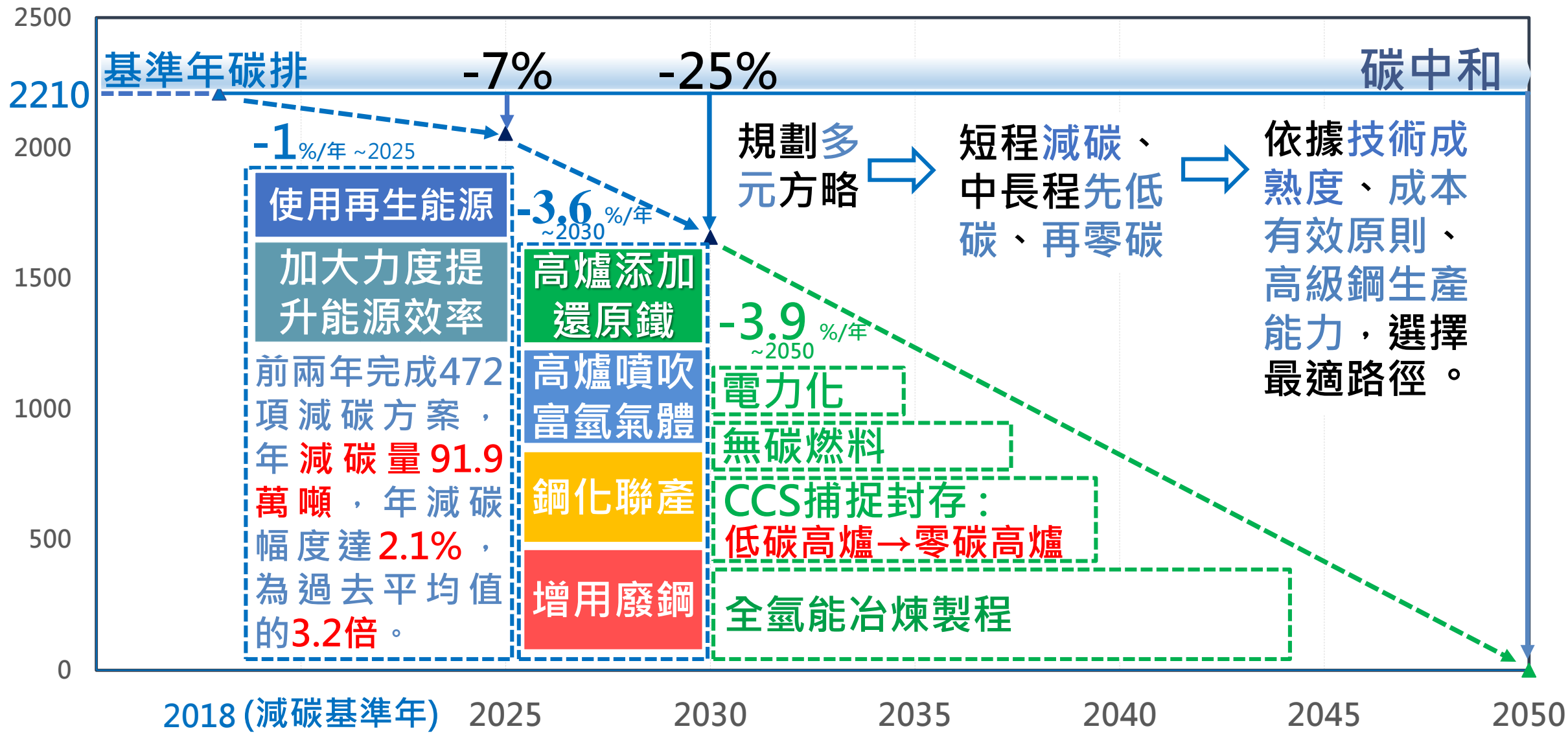
* <https://cordis.europa.eu/project/id/515960>

** <https://kknews.cc/zh-tw/finance/xglxjl8.html>

*** <https://www.course50.com/en/>

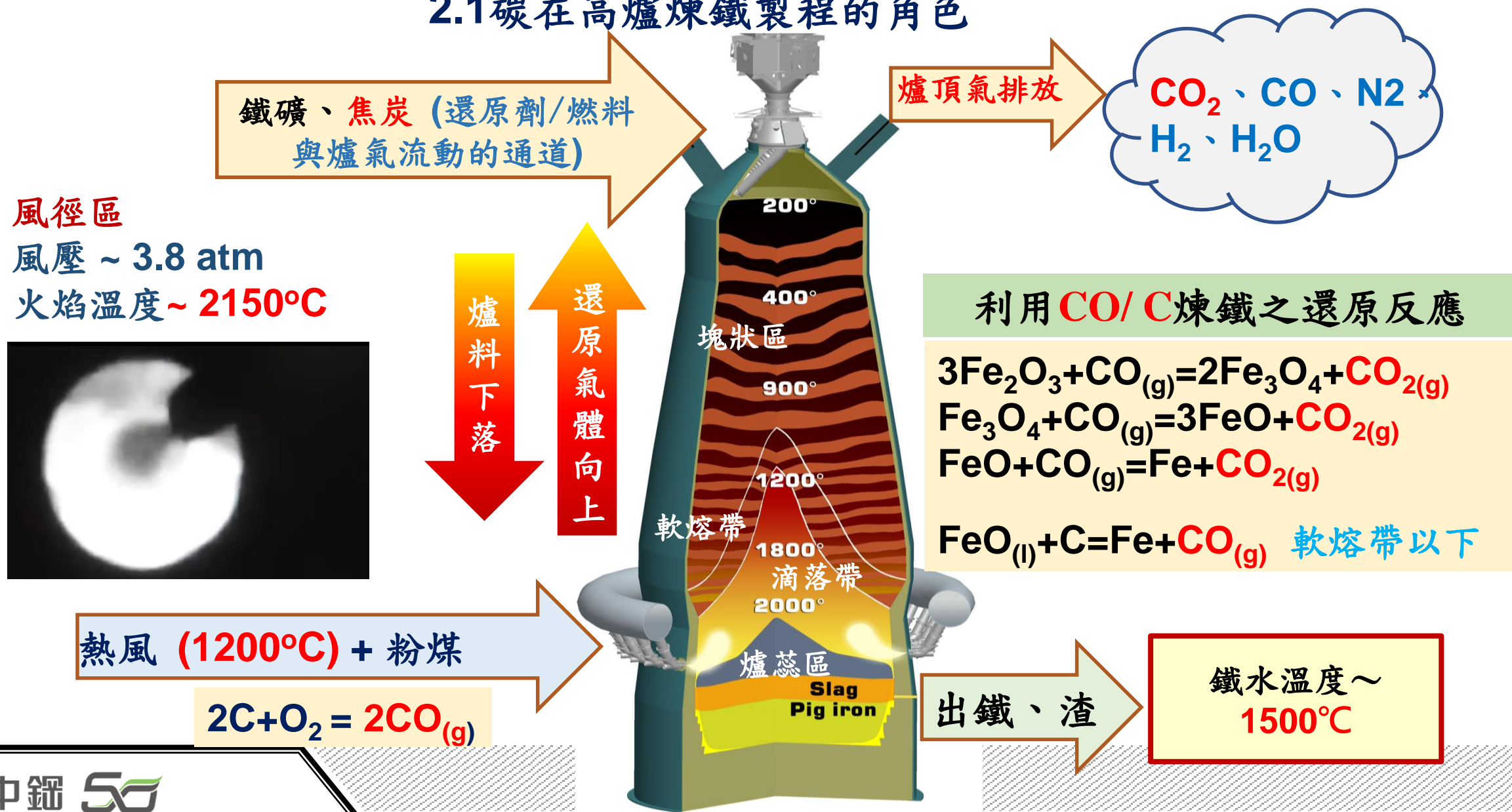
中鋼短程減碳、中長程邁向碳中和路徑規劃

排碳量 (萬噸)



2. 低碳高爐技術發展進路

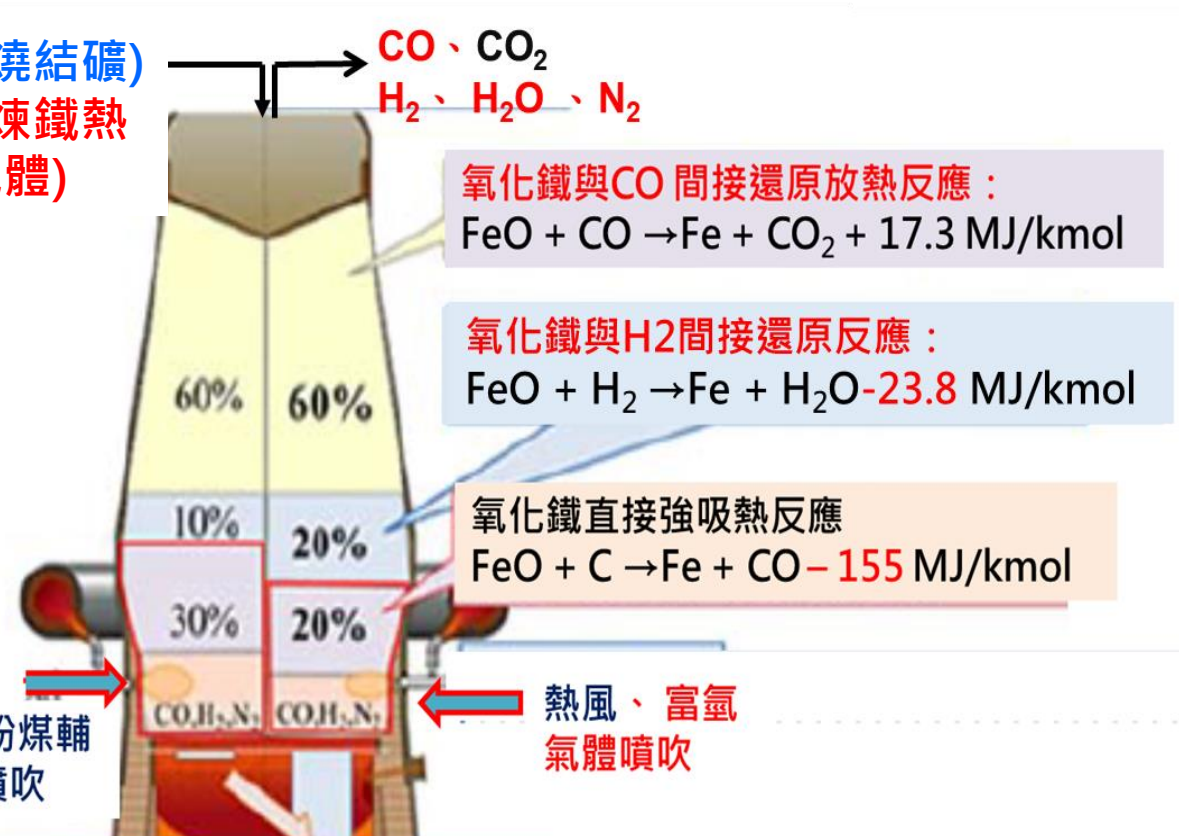
2.1 碳在高爐煉鐵製程的角色



2.2 高爐低碳煉鐵可行技術

傳統高爐 富氫噴吹高爐

含鐵原料 (燒結礦)
焦炭 (供應煉鐵熱能與還原氣體)



- 以氫代碳減少碳基還原劑負擔與熱量消耗
- 降低10% CO₂排放

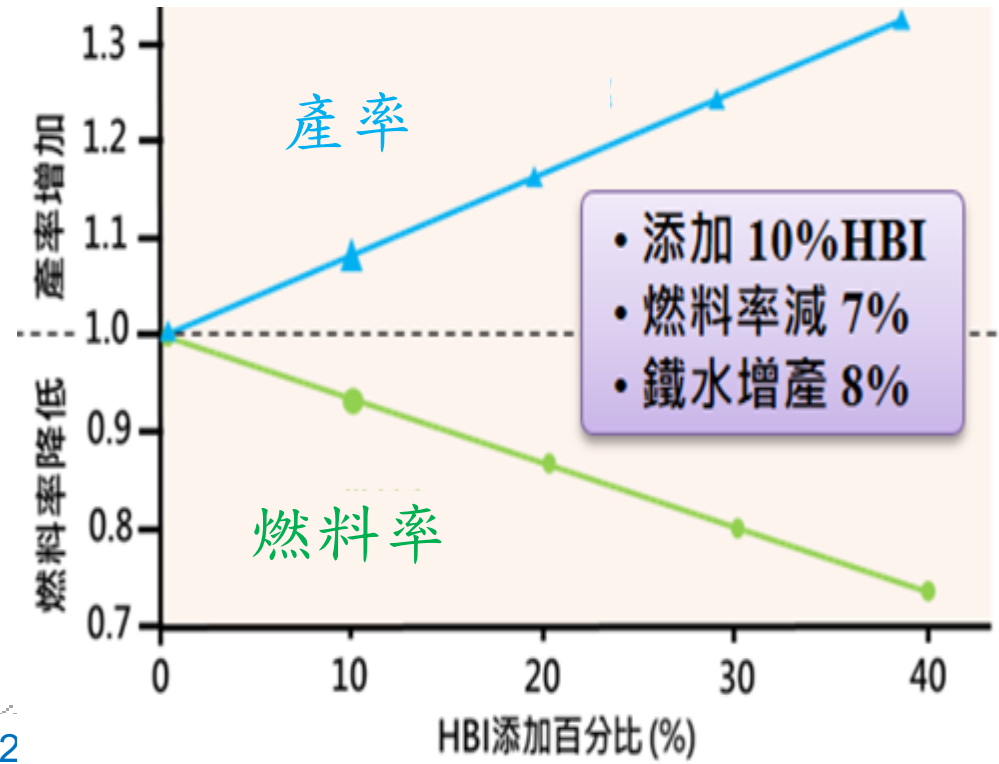
低碳排還原鐵塊添加

↓

取代燒結礦，降低
燒結製程排碳

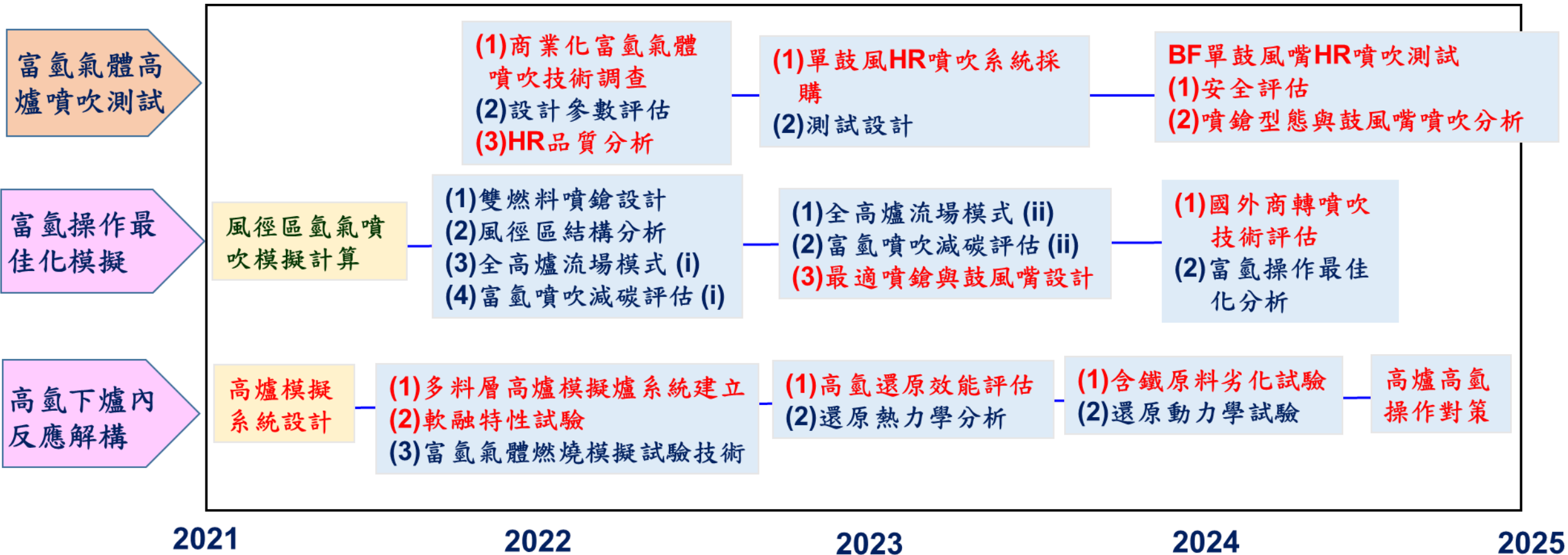
↓

- (1) 減少還原劑之需求
- (2) 增產



3. 減碳技術發展規劃與進度

3.1 高爐富氫噴吹之研究進路



3.2 前瞻技術產學合作計畫 高爐低碳煉鐵技術開發

- 於110年5月成立**前瞻技術產學合作計畫**團隊，經過超過**90**次會議與讀書會，完成**20**多位參與教授定位，組成**低碳排爐料添加**、**富氫噴吹**與**爐頂氣提濃改質回噴**三個核心小組，於111年11月獲得國科會審核通過，展開計畫的執行
- 執行過程中定期進行各分項研究計畫之進度報告與討論



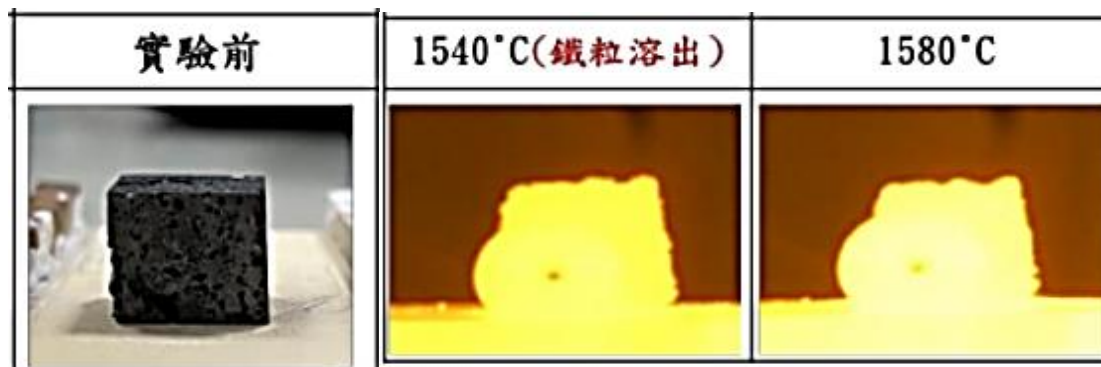
3.3 研究結果

高鹽基度燒結礦與HBI軟熔試驗

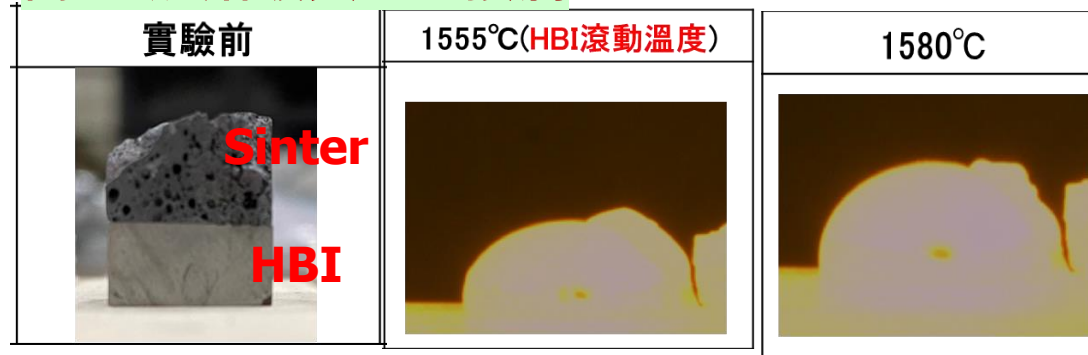


利用燒結錒進行配料計算目標所需高鹽基度燒結礦製備

高溫軟熔型態分析試驗：高B2燒結礦



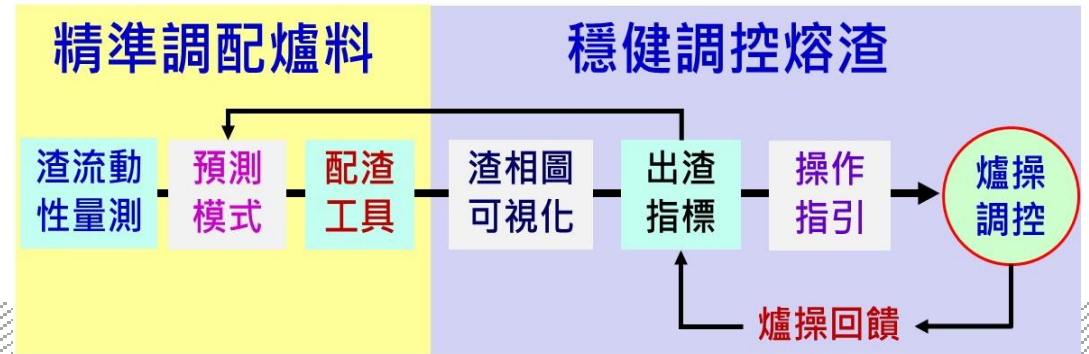
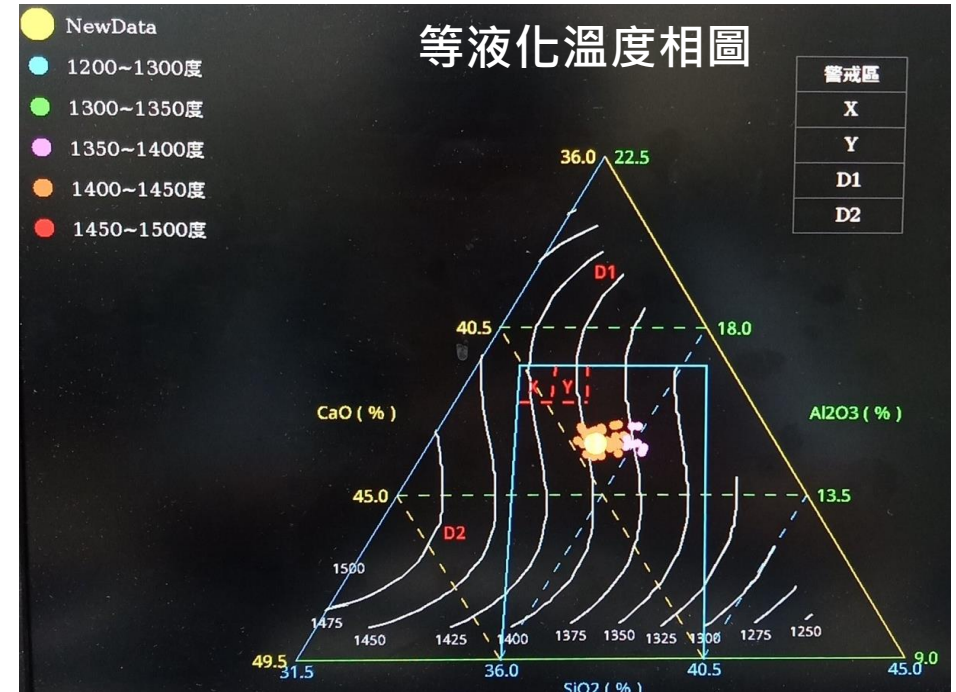
高B2燒結礦與HBI接觸



- 單獨高B2燒結礦升溫至1580°C時，雖有液相產生但尚有固態脈石存在，當與HBI接觸加溫至1555°C時，試片完全液化呈橢圓球型，顯示混料有助於熔渣的形成，因此建議高爐採混料操作維持穩定的爐況。

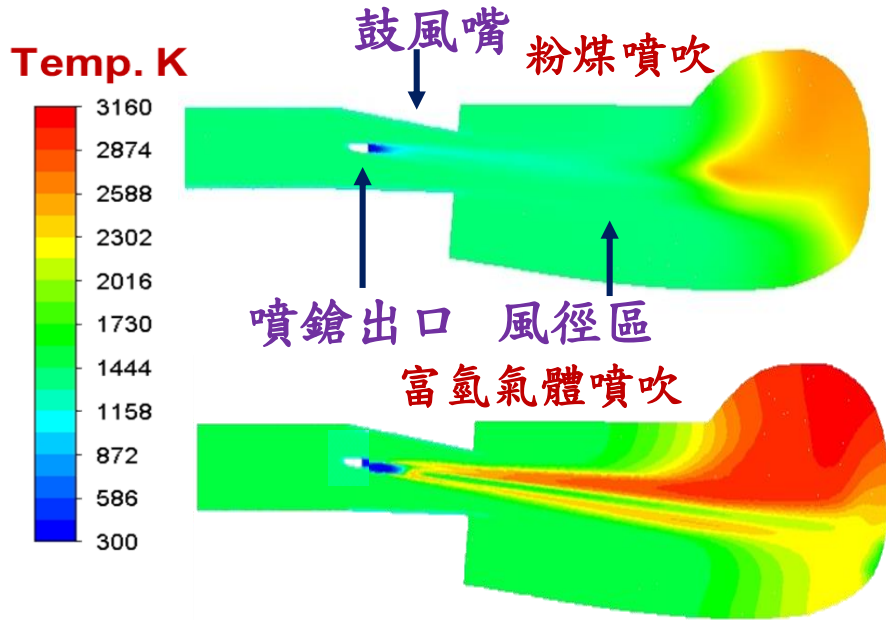
智慧平台上之配渣模組

- ❑ 爐渣流動性預測模式，計算出爐渣黏度與液化溫度
- ❑ 快速配渣計算模組，作為設計燒結礦鹽基度的依據
- ❑ 渣相圖可視化，掌握爐渣渣性是否在操作區間
- ❑ 操作指引

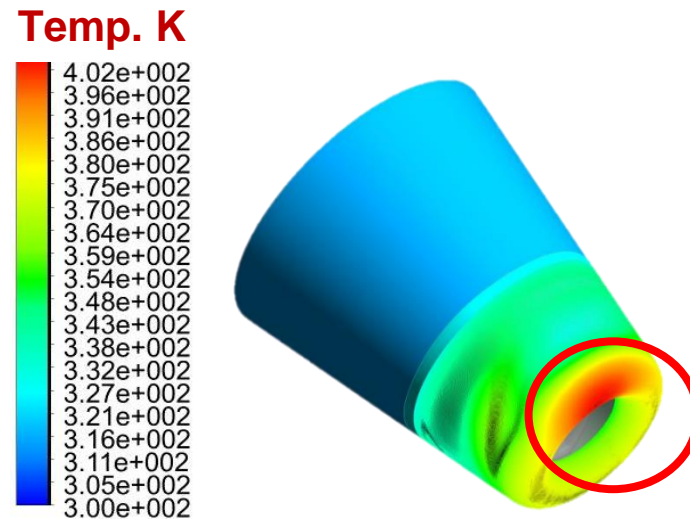


富氫氣體噴吹爐下部操作特性模擬計算

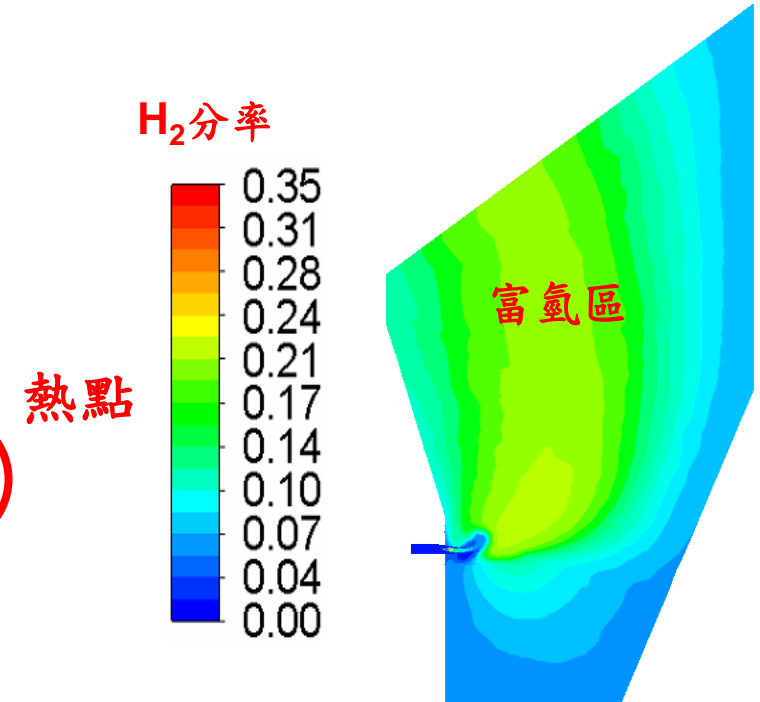
高爐燃燒區溫度分布



水冷鼓風嘴熱面溫度分布



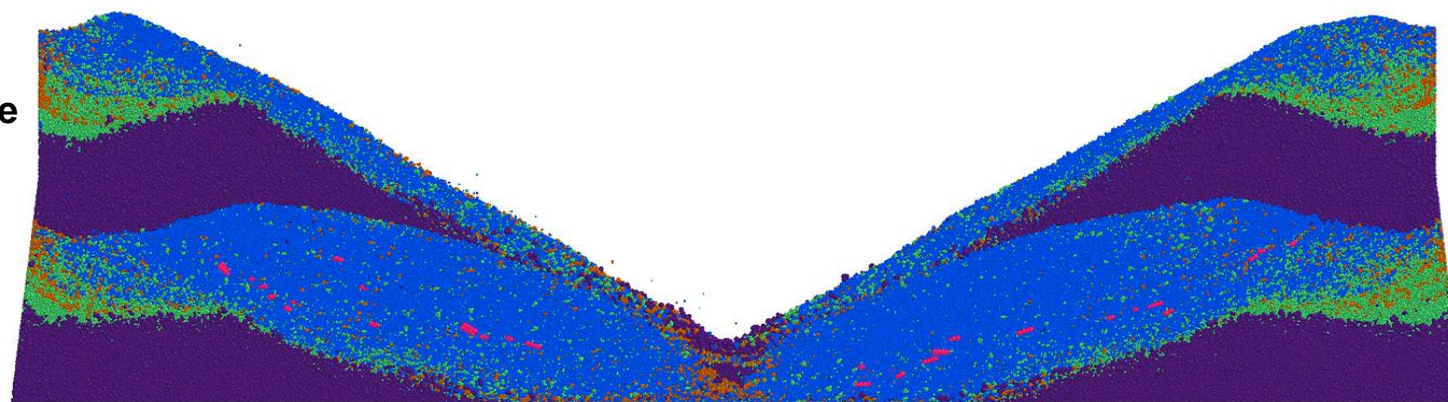
富氫噴吹爐下部氫氣分布



- 富氫噴吹點火位置接近噴鎗出口，對噴鎗壽命是一大挑戰。
- 鼓風嘴出口處出現熱點值得注意。
- 富氫噴吹操作提高爐下部氫氣濃度，有助於還原反應減少碳耗。

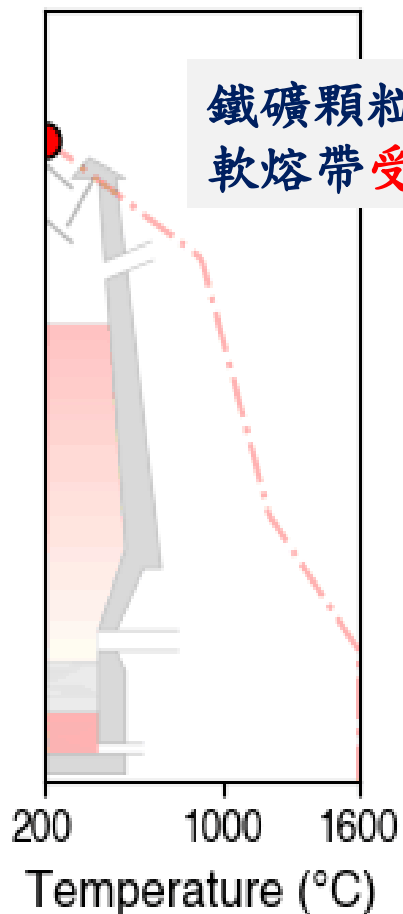
離散元素法模擬高爐布料操作

- 富氫噴吹時爐腹氣體積增加，加上焦炭率走低爐內透氣空間變小，可能引起氣流不順，爐壓變高。必須藉由佈料的調整建構出適當的料層結構，確保爐況的穩定。
- 與英國Altair公司合作，導入離散元素法(DEM)，模擬高爐布料操作掌握料層之結構，是富氫噴吹穩定高爐操作的重要關鍵。

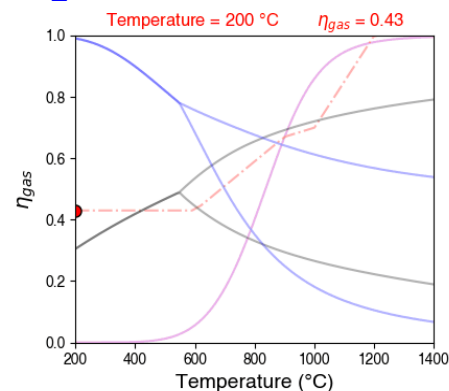


高爐鐵礦還原特性評估與履歷可視化

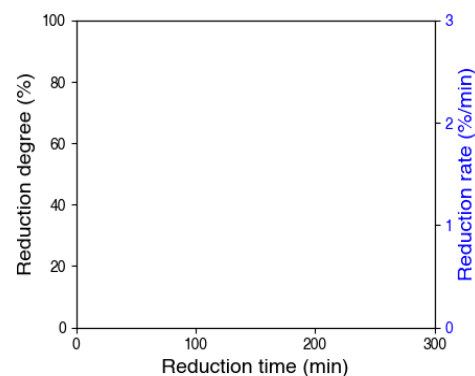
- ◆ 藉由**熱力學**與**動力學**軟體，建構出計算模組，實時計算各條件下之氣相與固相熱力學平衡條件，結合還原動力學模型，顯示出爐料**受熱**與**還原**的過程，可作為富氫下提升減排效能之工具。



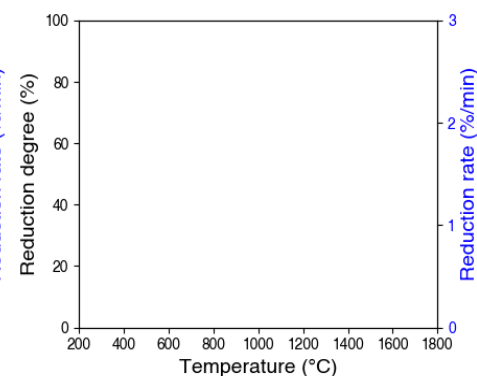
H₂與CO氣體操作線



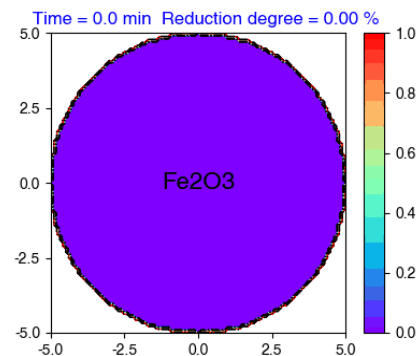
還原率與時間關係



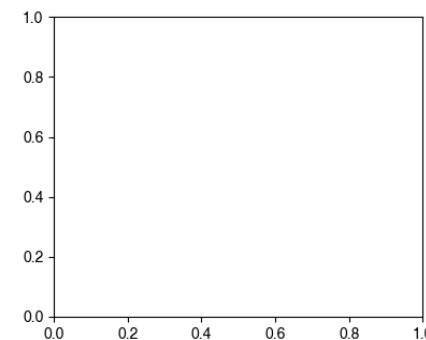
還原率與溫度關係



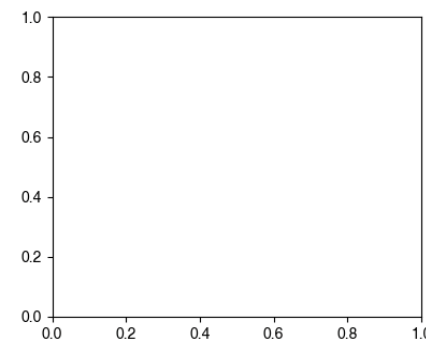
鐵礦還原趨勢



鐵礦受熱趨勢



鐵礦內部氣體利用率



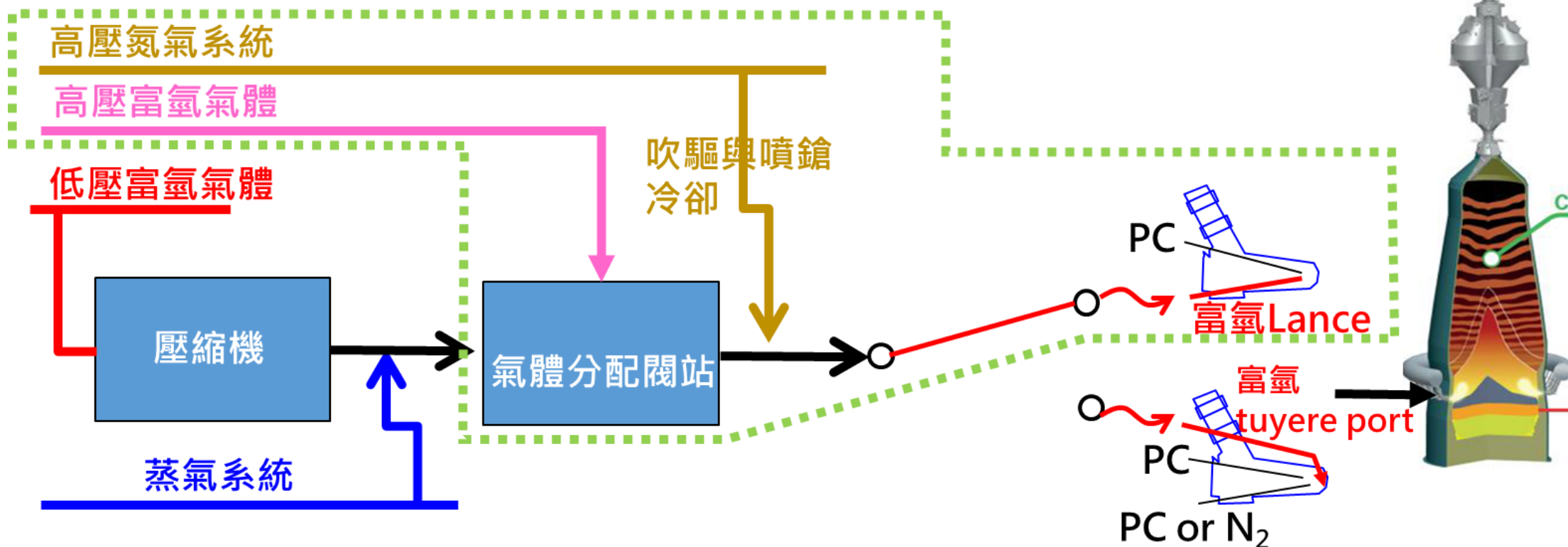
Initial condition of iron ore

Initial radius : $r_0 = 5.00 \text{ mm}$
 Density : $d_0 = 0.50 \text{ g/mm}^3$
 Kappa : $k = 0.45$
 Effective diffusion coefficient = D_e
 Effective thermal conductivity = k_e

Composition of iron ore

$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 80.84 \%$
 $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 0.00 \%$
 $\text{FeO} = 0.00 \%$
 $\text{Fe} = 0.00 \%$
 $\text{SiO}_2 = 5.14 \%$
 $\text{MgO} = 1.89 \%$
 $\text{CaO} = 10.43 \%$
 $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.70 \%$

富氫氣體噴吹測試規劃



- 完成系統規範與採購，113年進行測試。
- 製程連鎖安全設計與鼓風操作數據收集為測試重點。

爐頂氣改質回噴技術開發

□ 爐頂氣之 CO_2 與 COG 進行乾式重組反應，產出富含 CO/H_2 氣體回噴高爐



□ 若可獲得綠氫，可與高爐爐頂氣中之 CO_2 進行逆水氣轉移反應產出 CO 回噴高爐



德國 Dillingen 乾式重組反應示範系統

轉化率: 98%

處理後爐頂氣

COG 氣體

整合
重組反應

富含 CO/H_2 之還原氣

高爐

- ✓ 重組觸媒開發
- ✓ 最適化重組條件建立



Ref: <https://www.paulwurth.com/en/pilot-dry-reforming-plant-commissioned-in-dillingen-in-success-for-paul-wurth/>

4. 結語

- 高爐煉鐵為高碳排製程，為達到各階段減碳的承諾，中鋼高爐低碳煉鐵技術的開發成為重要的手段。低碳高爐技術包含低碳排爐料的添加，富氫氣體噴吹與爐頂氣提濃改質回噴。112年已成功地完成低碳排爐料添加第一階段的測試，113年將進行單鼓風嘴富氫氣體噴吹測試。
- 中鋼已積極開發與測試所訂定之核心技術，以期達到高爐減碳目標，惟無法確定實施所需資源（如低碳排爐料與綠氫）能否以**低價**與**足量**取得，是相關技術是否落實的重要關鍵。