

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

鋼鐵爐渣礦化應用於煙道氣二氧化碳 捕捉與封存研究

材化所/先進陶瓷與無機半導體材料研究組

劉瓊芳 博士

112年10月13日



簡報大綱

- 1.碳盤查國際認證標準
- 2.全球二氧化碳排放盤點與分析
- 3.國內企業二氧化碳盤查
- 4.國內各類溫室氣體排放佔比
- 5.高溫產業碳排分析評估
- 6.國際減碳策略概述
- 7.國發會減碳路徑與策略
- 8.碳捕存利用技術-化學品合成
- 9.碳捕存利用潛力發展技術-二氧化碳礦化
- 10.工研院-電爐副產物閉循環減碳技術
- 11.結語

1. 碳盤查國際認證標準

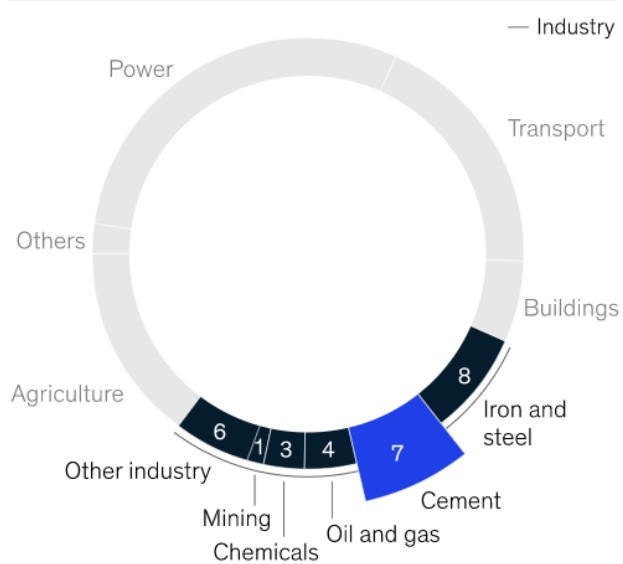


Source: https://www.gsscloud.com/tw/vital-netzero?gad=1&gclid=Cj0KCQjwiIOMBhDjARIsAP6YhSUjEYvbj3k5b21AWg0EQGyHBASgNJJaEMjYtsz9nZrTQNt0pp EVs8aAqdxEALw_wcB

2. 全球CO₂排放盤點與分析

Cement production is a major source of global CO₂ emissions and also generates the most emissions per revenue dollar.

Share of global CO₂ emissions, % in 2017



kg of CO₂ per \$

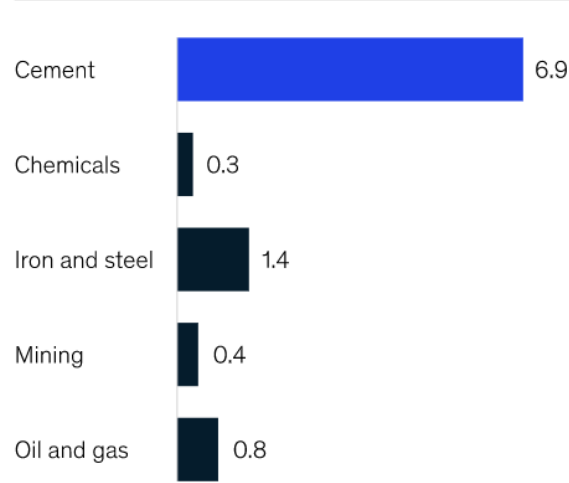


Table 1. Large CO₂ Point Sources Worldwide

source	number of sources ³	emissions 10 ⁶ tonnes/yr ³	average source size 10 ⁶ tonnes/yr ³	average CO ₂ concentration (mol %)
electric power plants	4940	10540	2.1	12–15%
cement production	1180	930	0.8	20–30%
refineries	640	800	1.3	30–40%
iron and steel plants	270	650	2.4	20–30%
petrochemical	470	380	0.8	5–10%

其餘氣體：

H₂O 8-20% ,

O₂ 2-5% ,

N₂ 67-77%

NO_x, SO₂

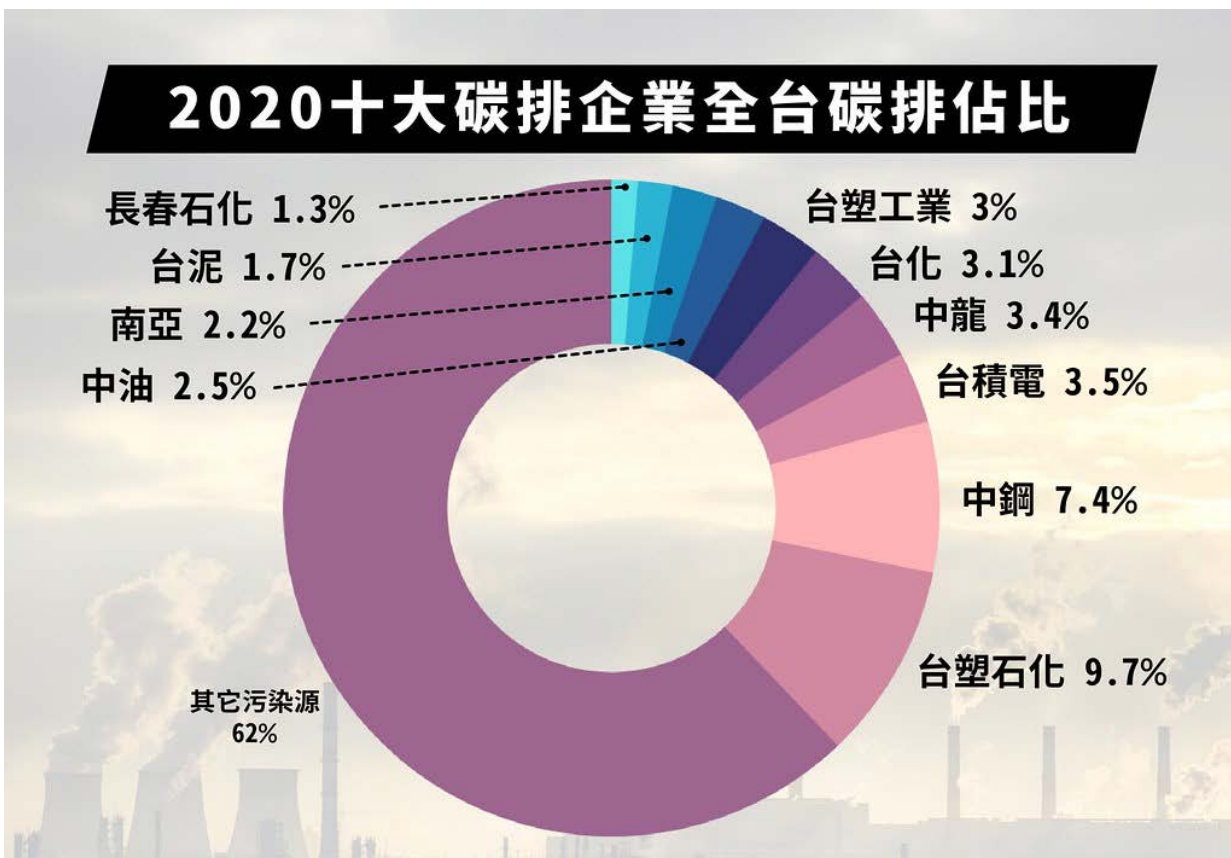
天然氣發電廠：CO₂ 8-10%

Ref. Ind. Eng. Chem. Res. 2018, 57, 15963–15970

Ref: <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals>



3. 國內企業CO₂排放盤點



圖片來源：綠色公民行動聯盟(2022.05.12. 今周刊)

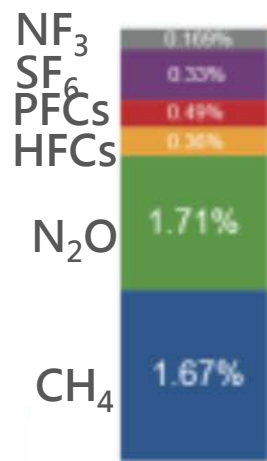
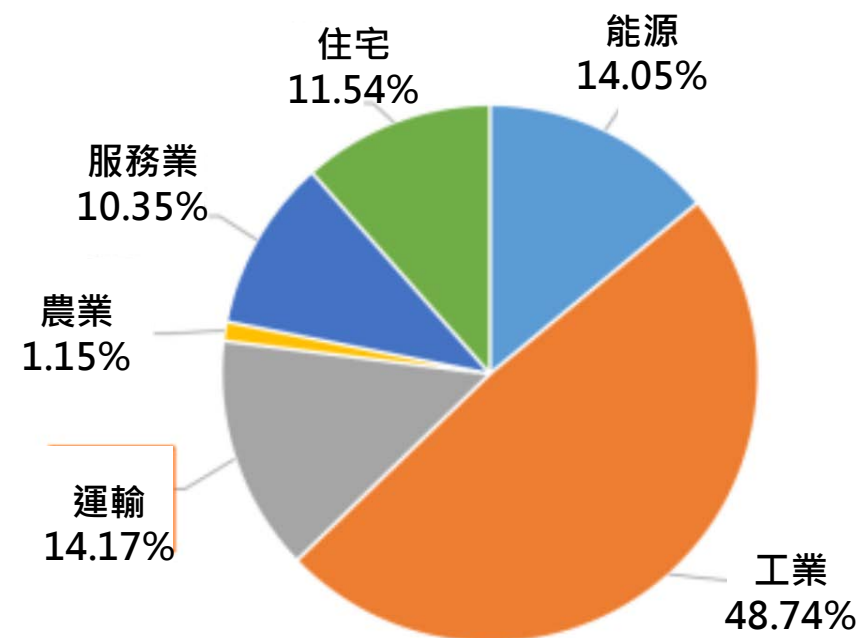
4. 國內各類溫室氣體排放占比

溫室氣體二氧化碳當量由1990年137.78百萬公噸，增加至2019年287.06百萬公噸公噸



行政院環境保護署

Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan)



其他 4.72%

各類溫室氣體
排放佔比

95.28%

● 工業製程 ● 農業 ● 廢棄物

0.01% 0.07%

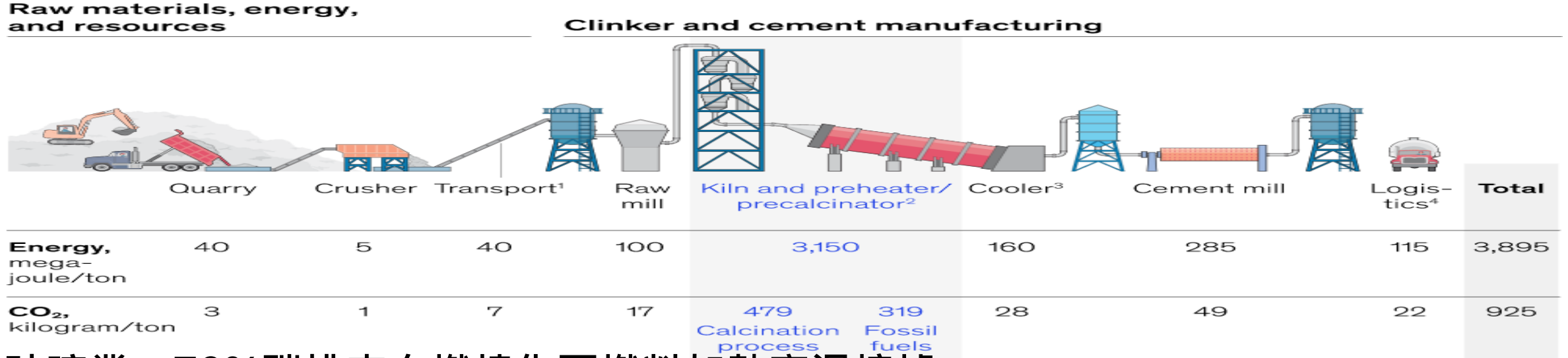
能源燃料燃燒
90.13%



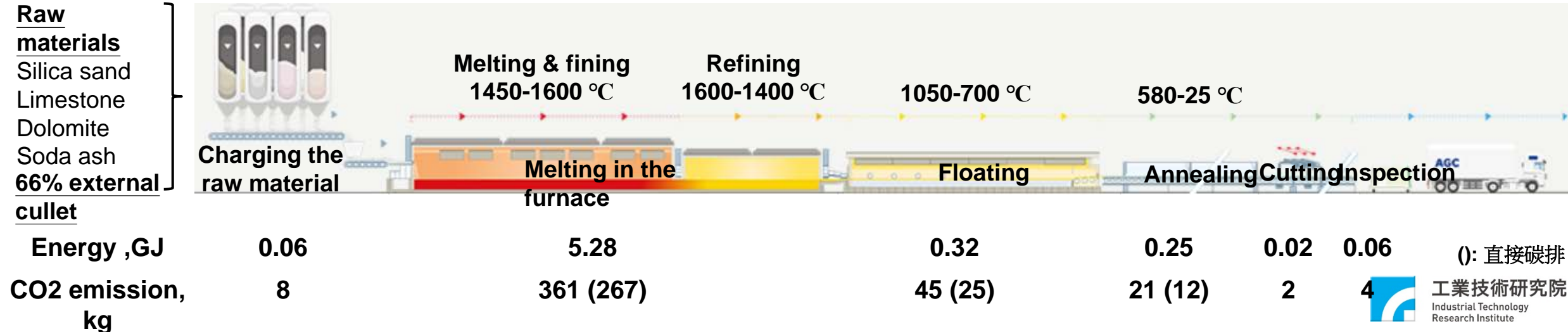
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

5. 高溫產業碳排分析評估-水泥業、玻璃業

◆ 水泥業：90%以上碳排放來自生料煅燒，其中60%來自石灰石煅燒

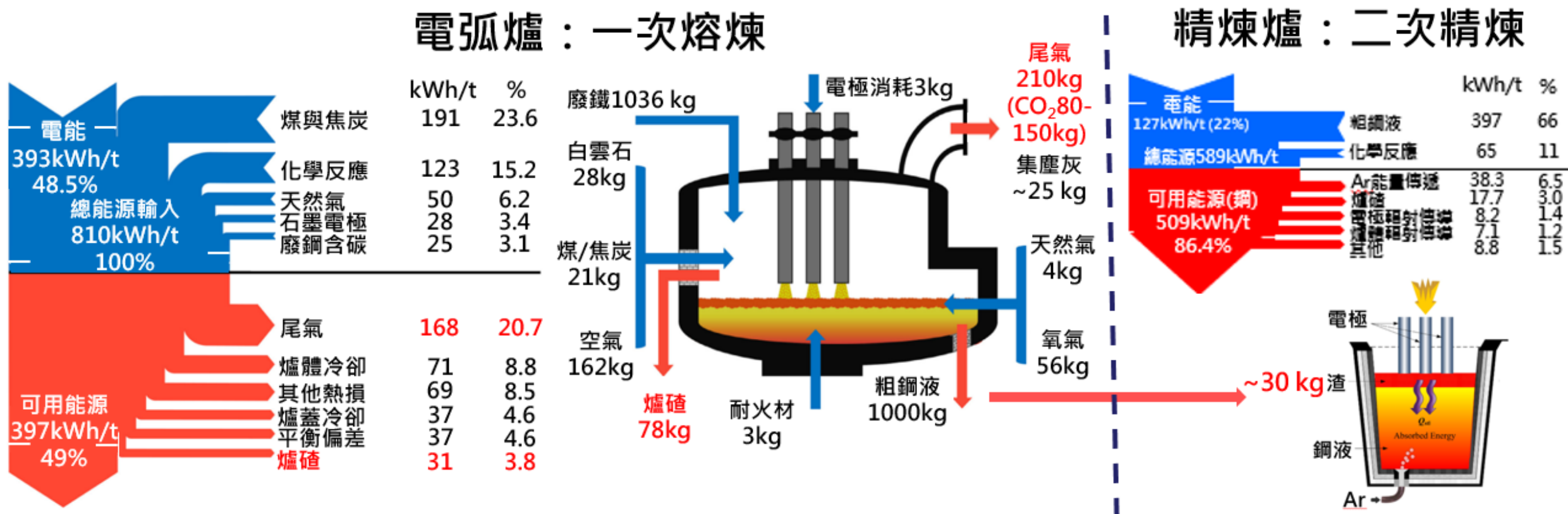


◆ 玻璃業：70%碳排來自燃燒化石燃料加熱高溫熔爐



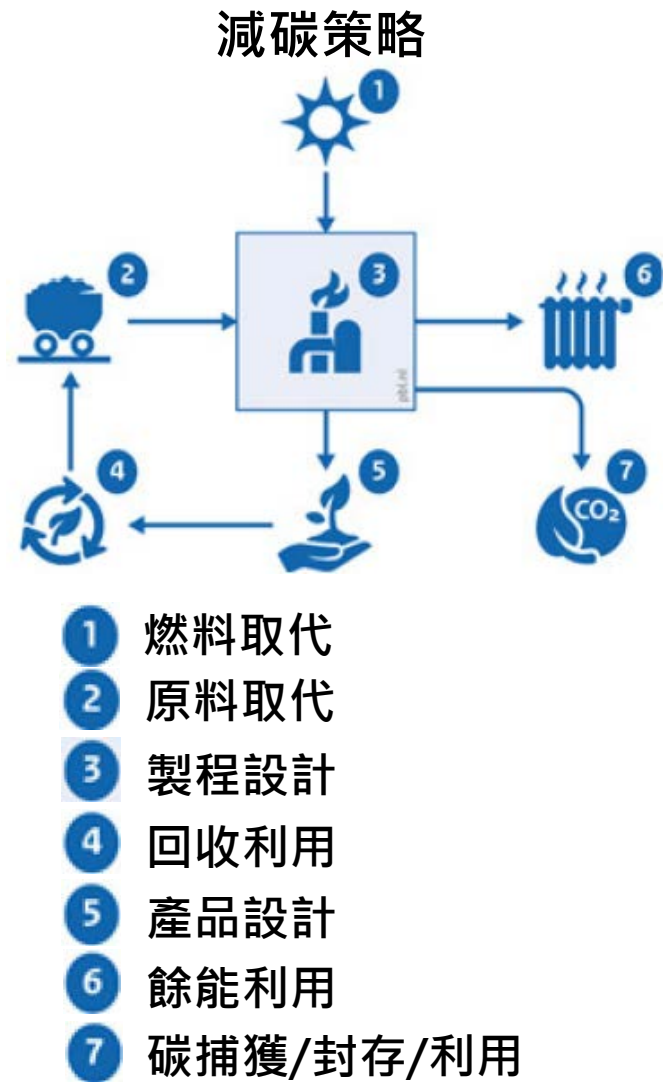
5. 高溫產業碳排分析評估-鋼鐵冶煉業

- 電弧爐業生產1噸鋼液，伴隨產生約80~150公斤CO₂排放(直接)。
- 製程添加石灰作為助熔劑，去除S、P與Si等雜質，純化鋼鐵品質，產生大量副產物。

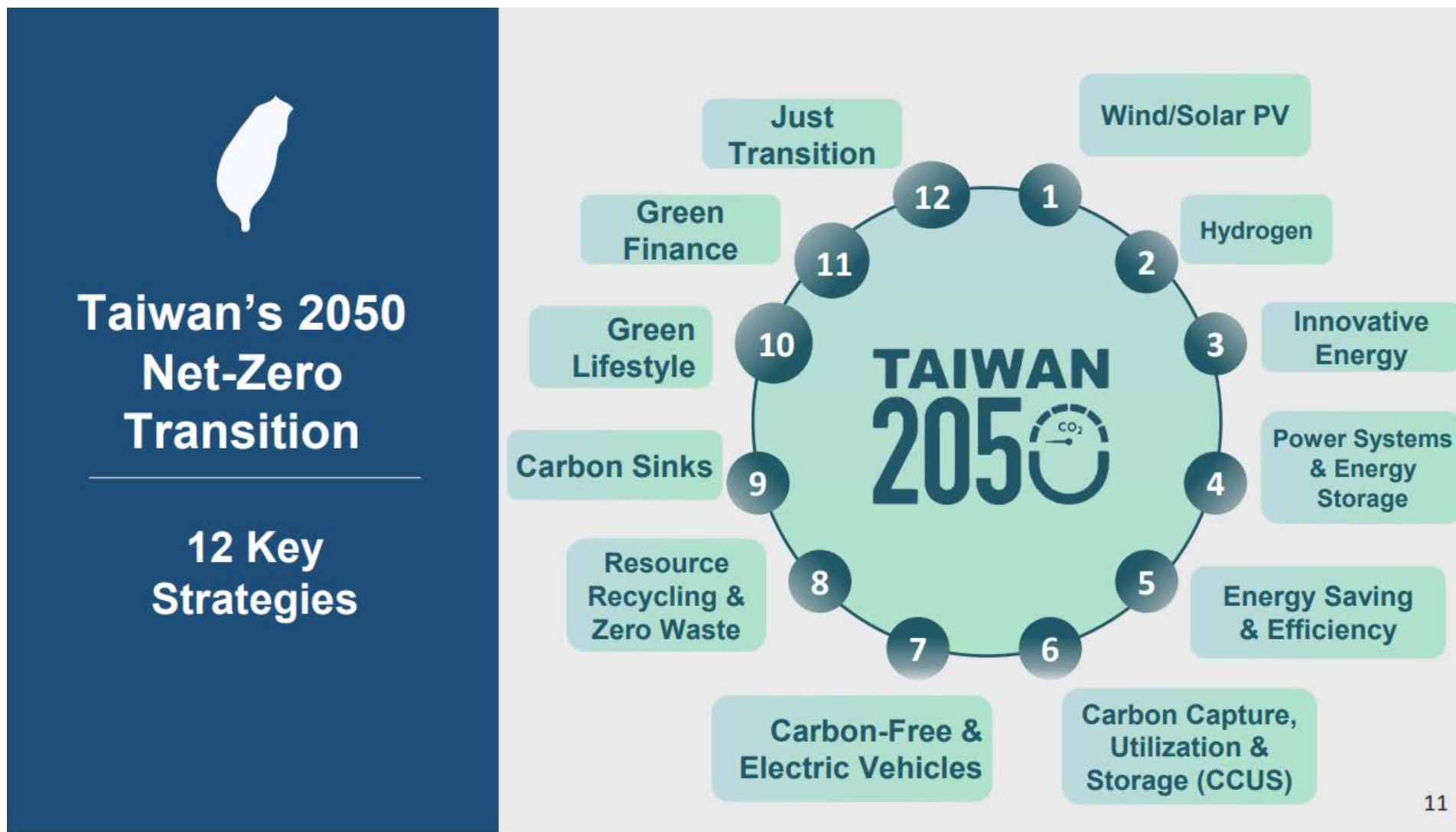


6. 國際減碳路徑與策略概述

減碳路徑	TRL	市場投入	減碳效益,%	節能效益,%	Ref.
1. 化石燃料替代					
1.1 全電氣化	6-7	2030	100	15-25	1
1.2 綠色氣體取代天然氣	8	2020	100	-	1, 2
1.3 氫氣燃燒	4	-	75-84	-	3
2. 製造流程優化					
2.1 電爐取代燃燒爐	7	2030	100	15-25	2, 4, 5
2.2 富氧燃燒爐	9	目前	8-10	-	6, 7
2.3 低碳原料取代	9	目前	15	10-20	2, 8
2.4 最適化製程設計	7	2025	15-25	15-20	9
3. 剩餘能源利用					
3.1 建築供暖	8	2020	1-2	1-2	2, 10
3.2 區域供熱	8	2020	-	-	11, 12
4. 碳捕獲、封存與利用	5-7	2030	75	-	1, 2, 13

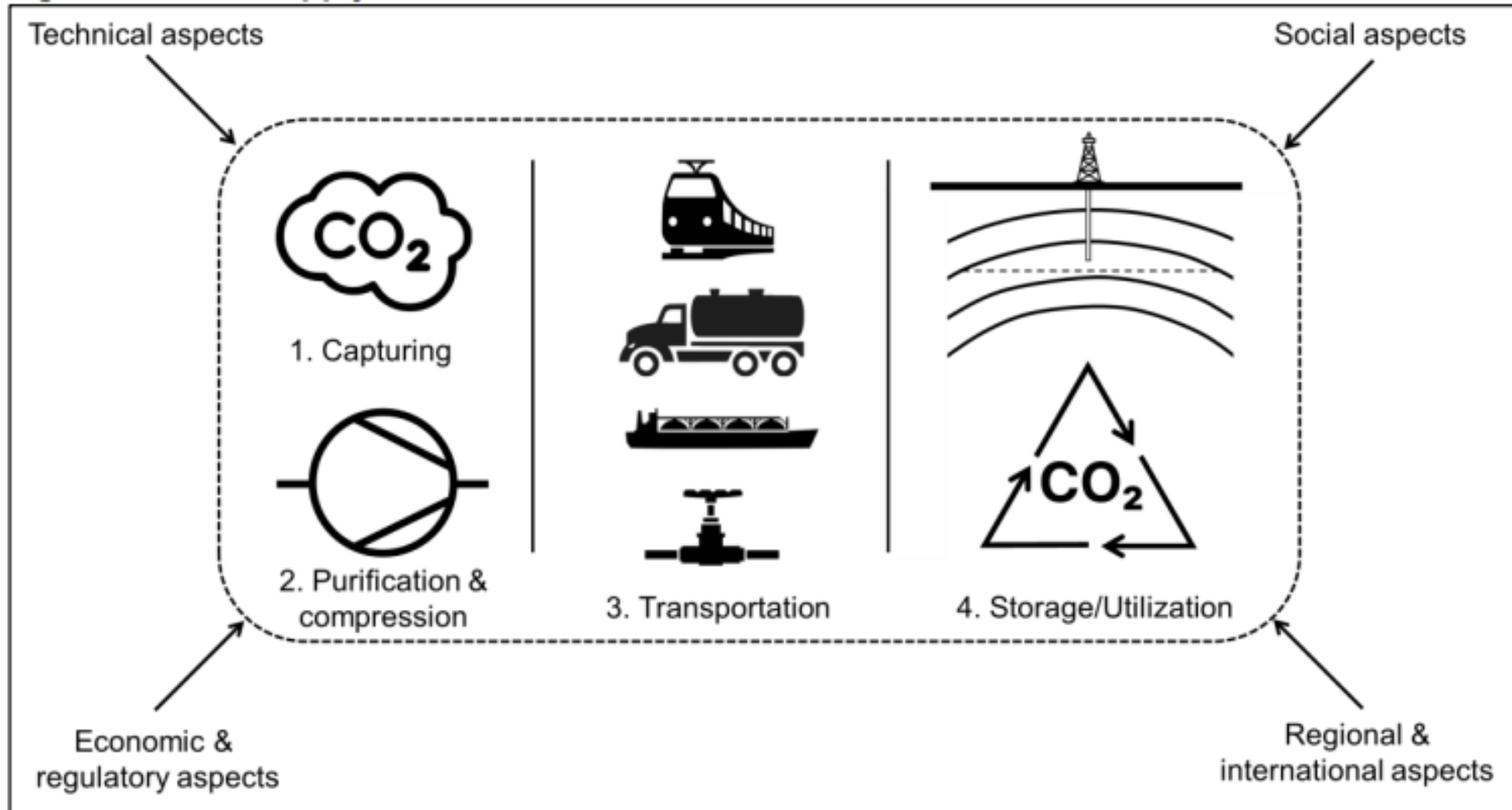


7. 國發會減碳路徑與策略概述



Ref: Phased Goals and Actions Toward Net-Zero Transition, 2022.12.28

8. 碳捕存利用產業鏈

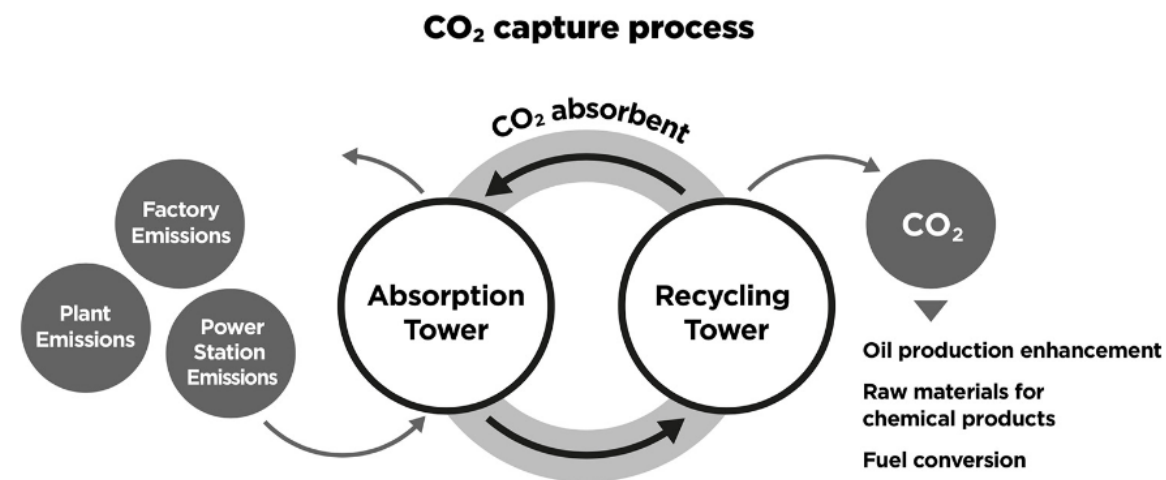
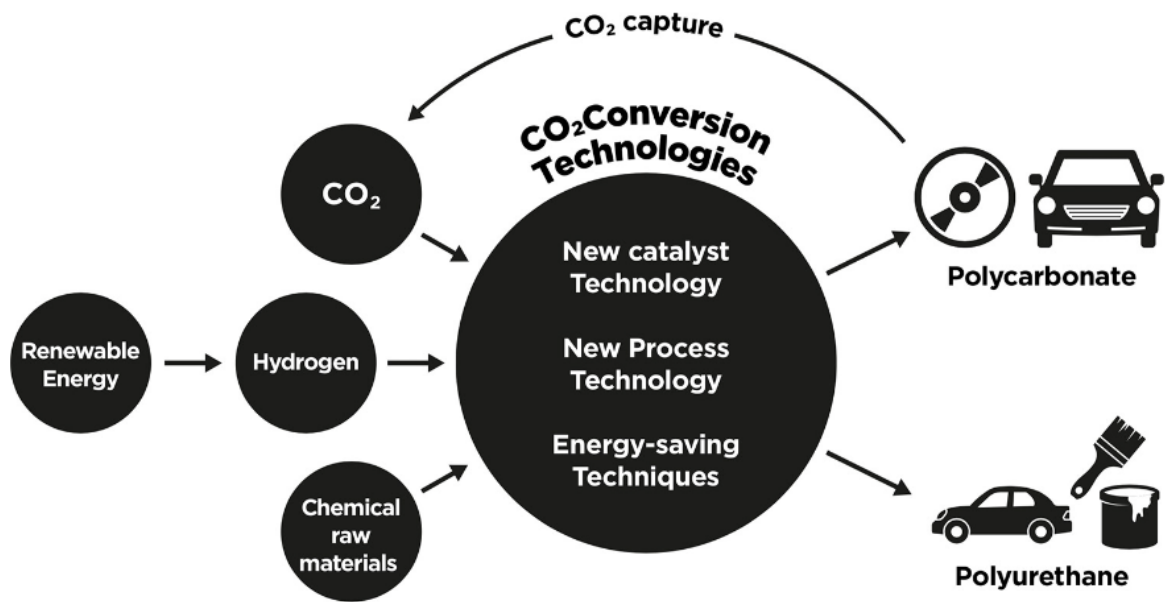


Source: The role of CCUS in decarbonizing the cement industry. 2022,05

碳捕存利用案例-化學品合成

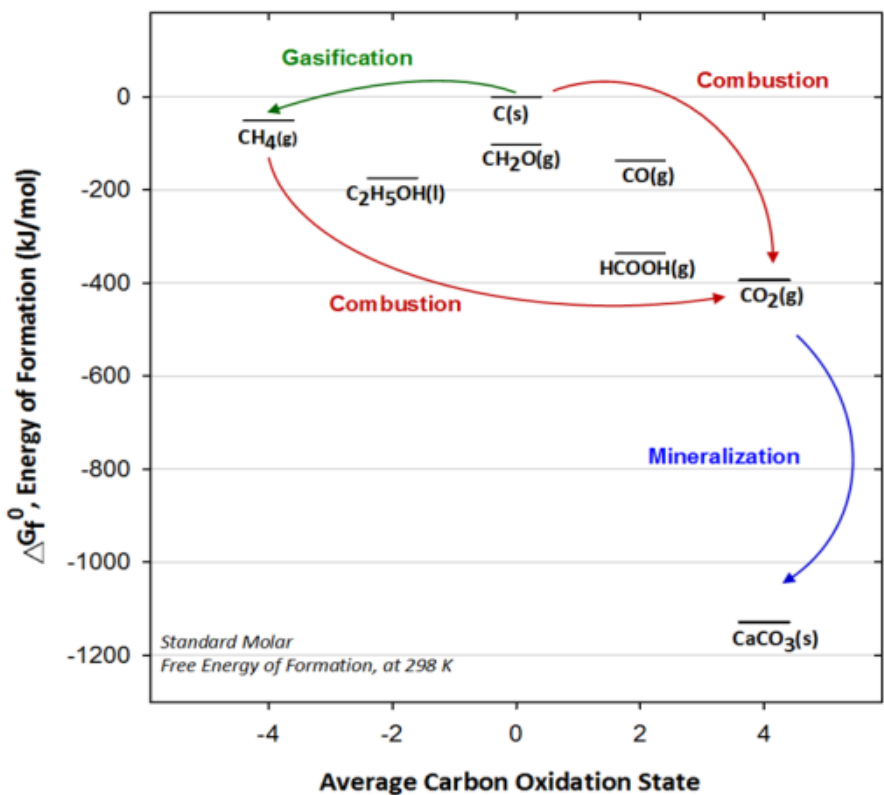
2002年旭化成推動綠氫氫化二氧化碳生產聚碳酸酯技術，2016年產量達76萬噸，佔全球聚碳酸酯16%市場。

英國Drax聯手日本三菱重工，發展生質能結合碳捕存技術，預計2027年商轉。



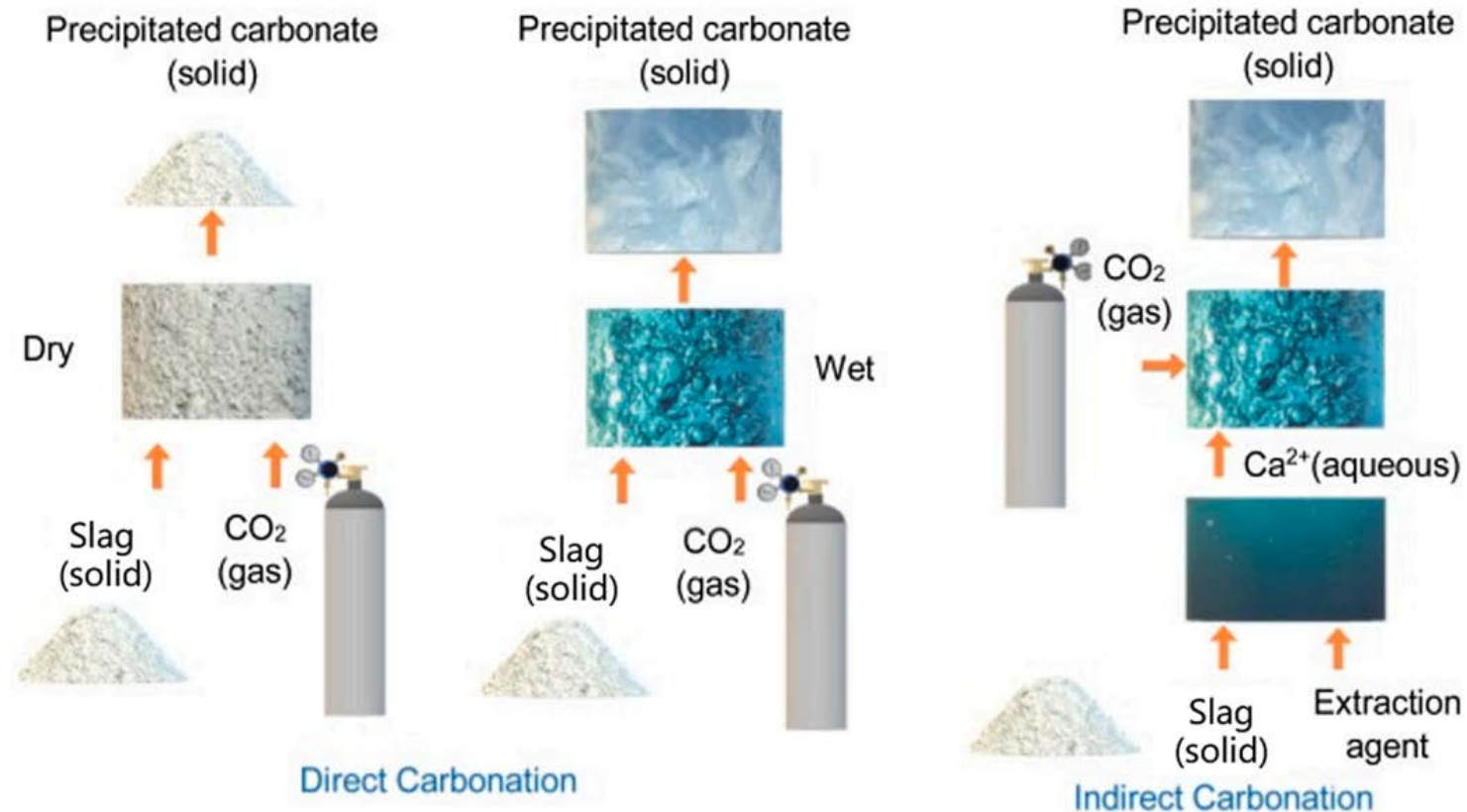
Source: https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/roadmap/innovation/ccus.html

9. 碳捕存利用潛力發展技術-二氧化碳礦化



Standard molar free energy of formation for several carbon-related substance at 298 K.

Source: Pan et al., Aerosol and Air Quality Research, 15: 1072–1091, 2015



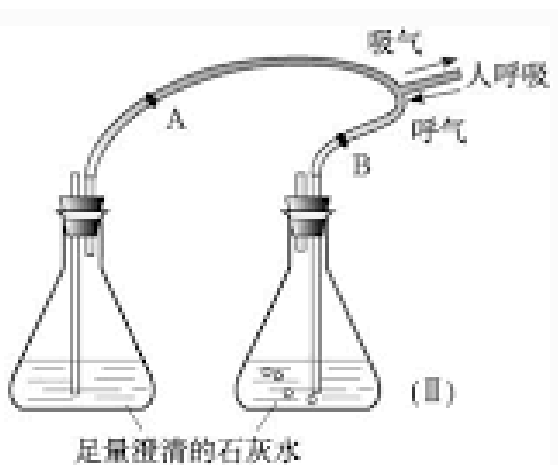
Different carbonation routes of slag. (Ca/Mg content materials)

Source: Tan et al., J. Co2 Util. 42 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101333>, 101333.

二氧化碳礦化反應機制

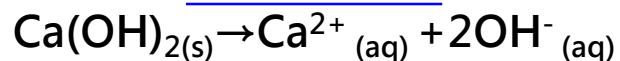
資料來源：十二年國教自然與生活科技領域(五年級教材、七年級教材)

課程內容：澄清石灰水檢驗二氧化碳存在



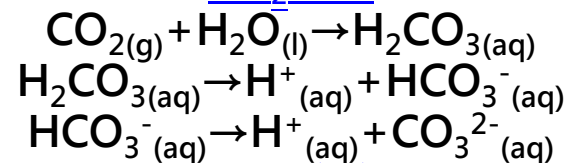
澄清石灰水，呈鹼性

氫氧化鈣溶解

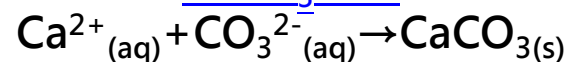


通入二氧化碳,產生白色沉澱

CO₂溶解

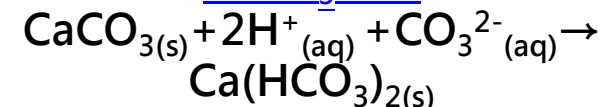


CaCO₃沉澱

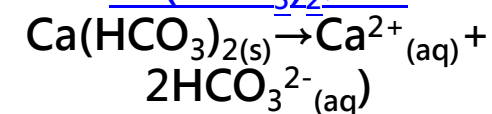


持續通入二氧化碳，
白色沉澱溶解

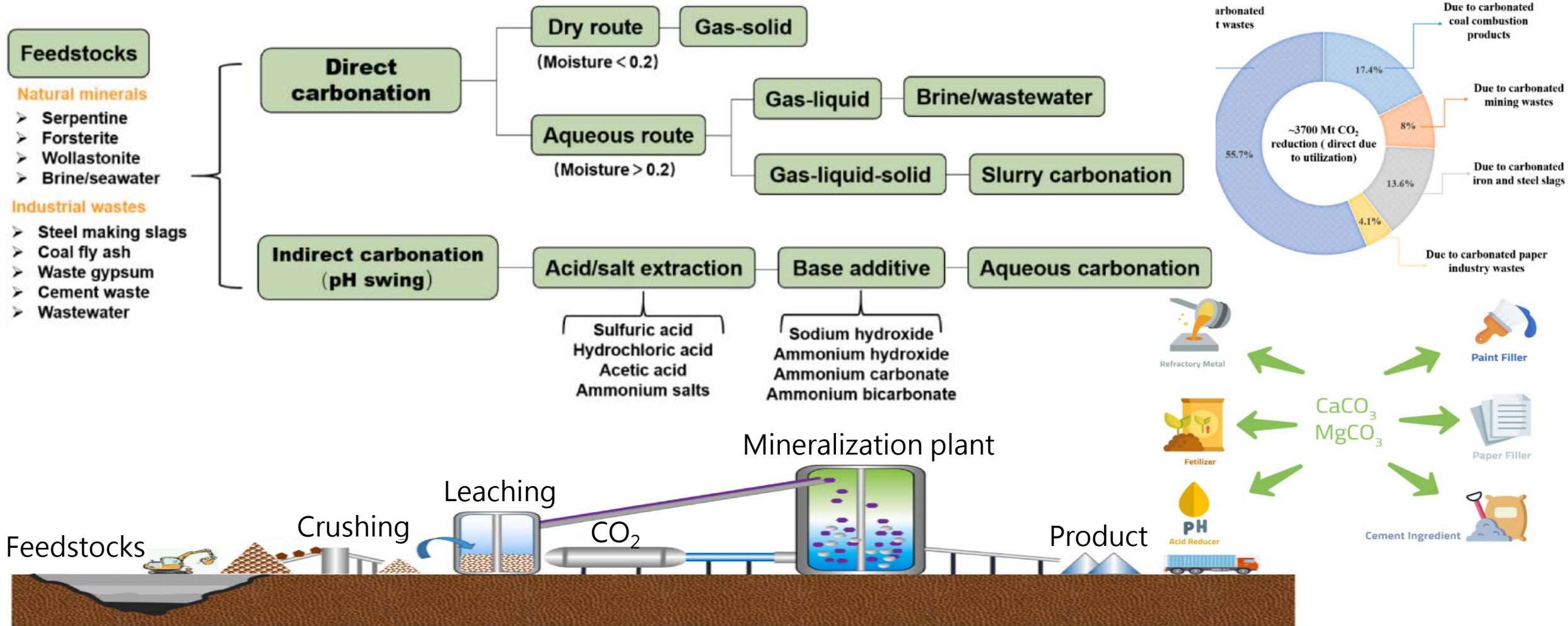
CaCO₃溶解



Ca(HCO₃)₂溶解

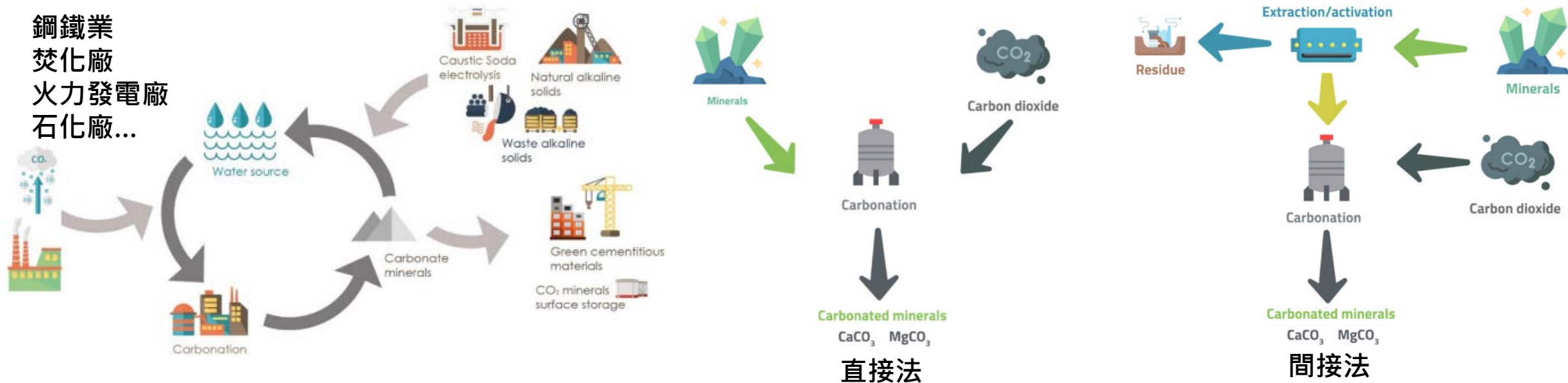
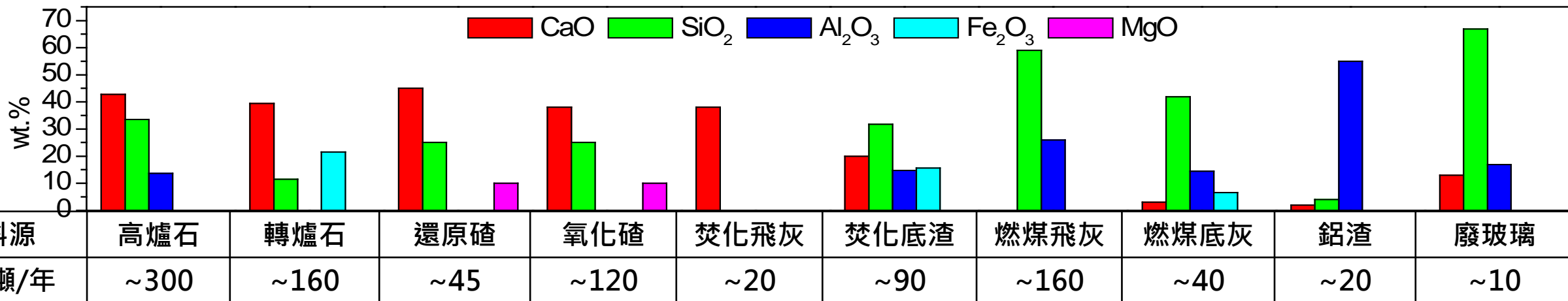


二氧化碳礦化方法與路徑



Source: Liu et al., Chemical Engineering Journal 416 (2021) 129093.

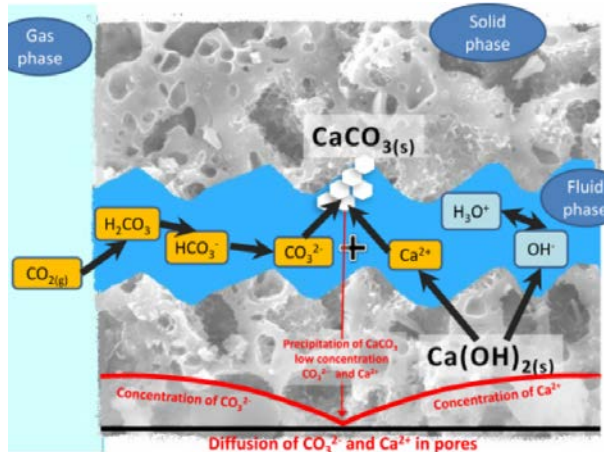
國內潛力碳礦化料源盤點



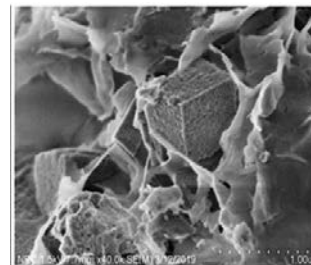
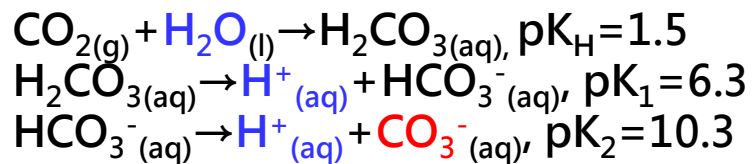
Source: <https://waste.epa.gov.tw/RWD/Statistics/?page=Year1> , 工研院整理

直接二氧化碳礦化方法

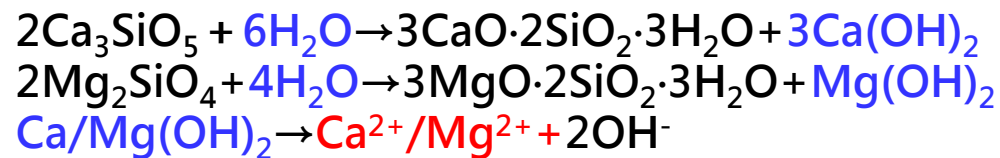
鋼渣碳酸化機制



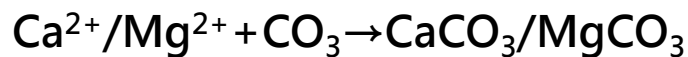
Step 1. CO₂溶解



Step 2. Ca²⁺/Mg²⁺溶出



Step 3. 沉澱



試驗場

地點：日本

原料：混凝土污泥

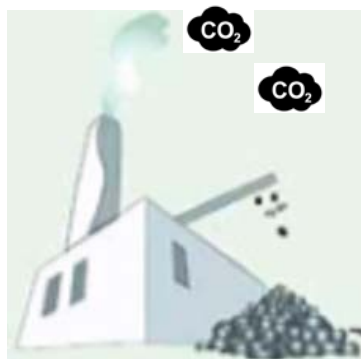
漿料配比：液/固=1

碳礦化時間：1週

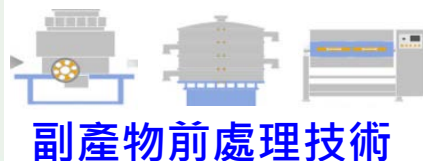
產品：356.7噸碳酸化混凝土

固碳能力：118 kg

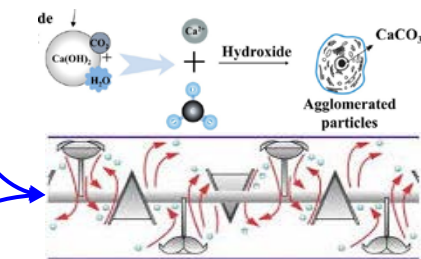
突破策略/解決方案



爐氣組成整合技術



副產物前處理技術



副產物礦化減碳技術

減碳產物應用



混凝土



骨材



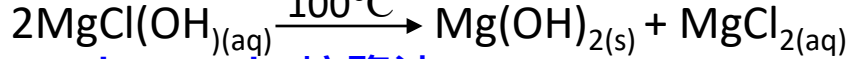
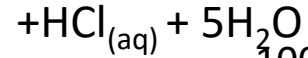
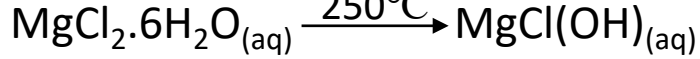
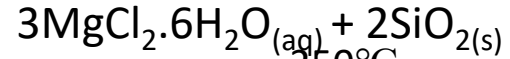
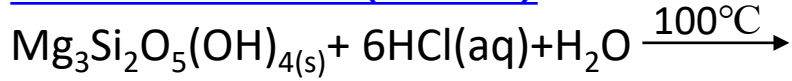
建材

碳酸鈣

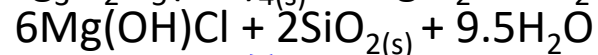
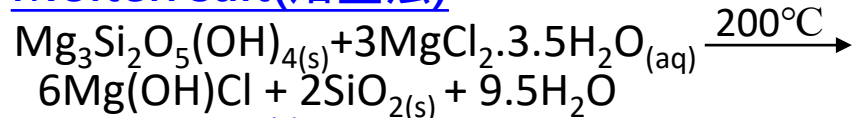


間接二氧化碳礦化方法

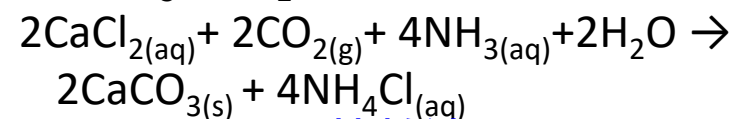
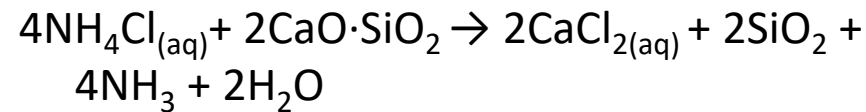
Acid extraction(酸萃取)



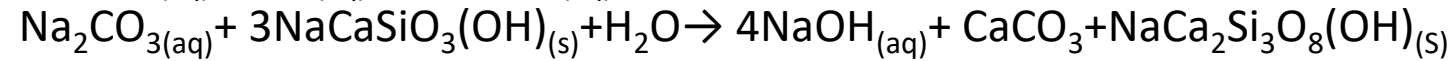
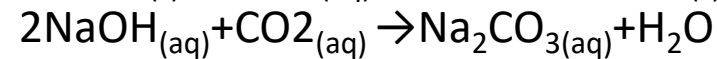
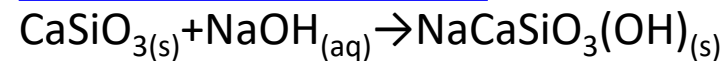
Molten salt(熔鹽法)



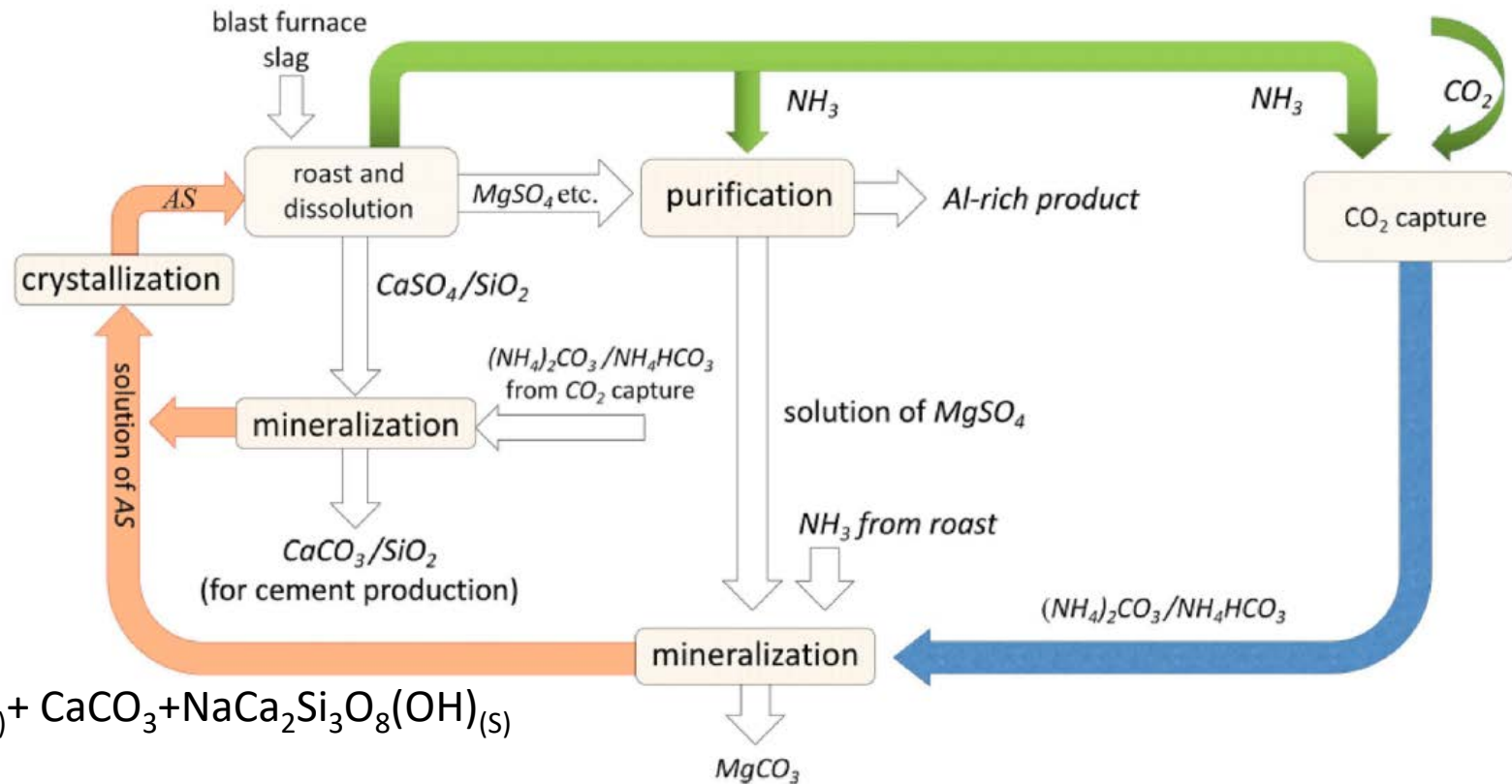
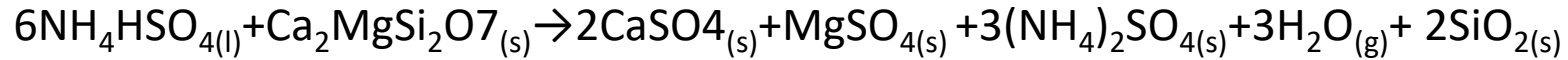
Ammonia(銨萃取)



Caustic soda(燒鹼法)



其他

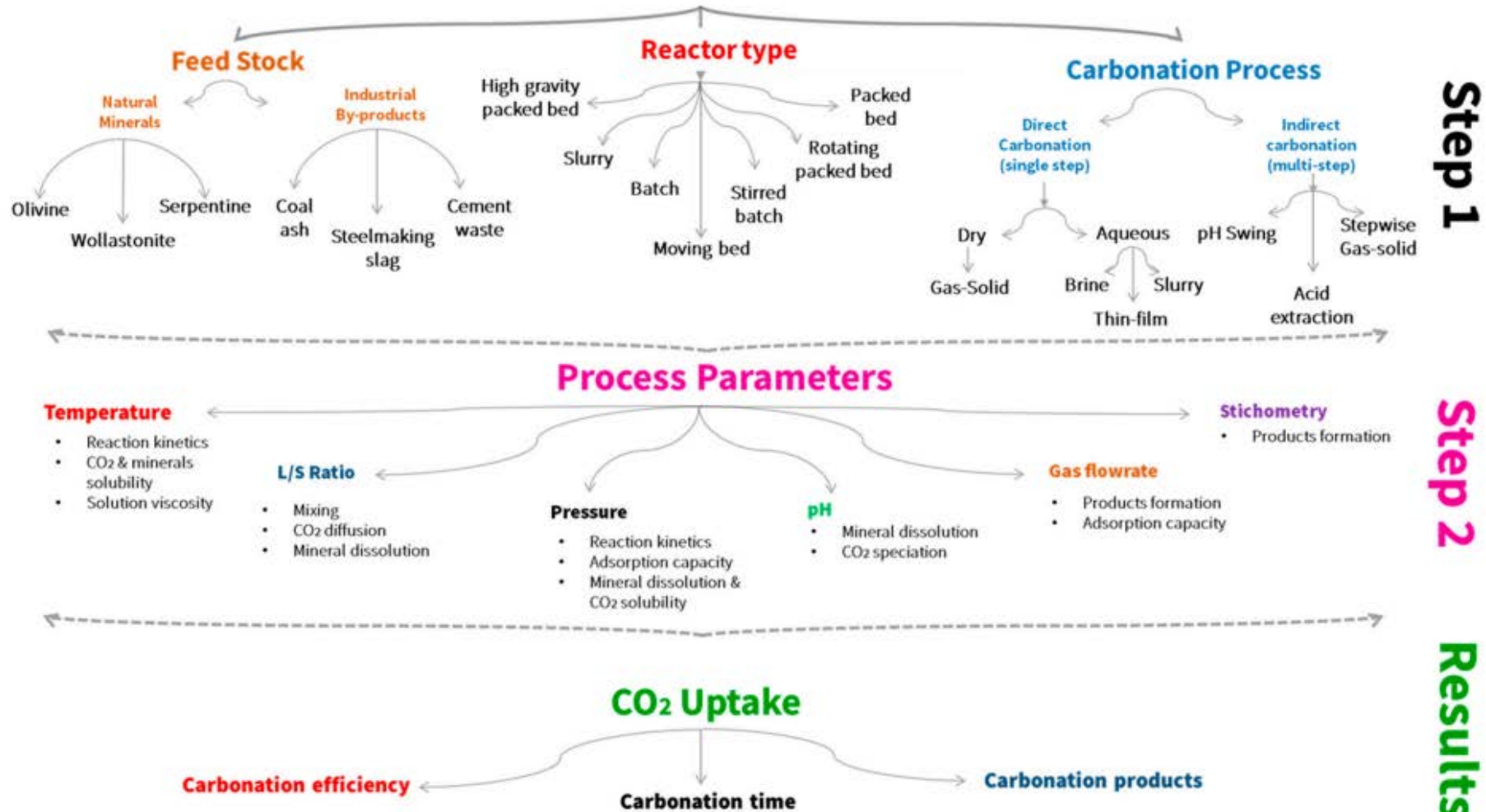


Source: Liu et al., Journal of Energy Chemistry 26 (5) (2017) 927–935.

Liu et al., Journal of Alloys and Compounds 774 (2019) 1151–1159

二氧化碳礦化技術發展

Ex-situ Mineral Carbonation



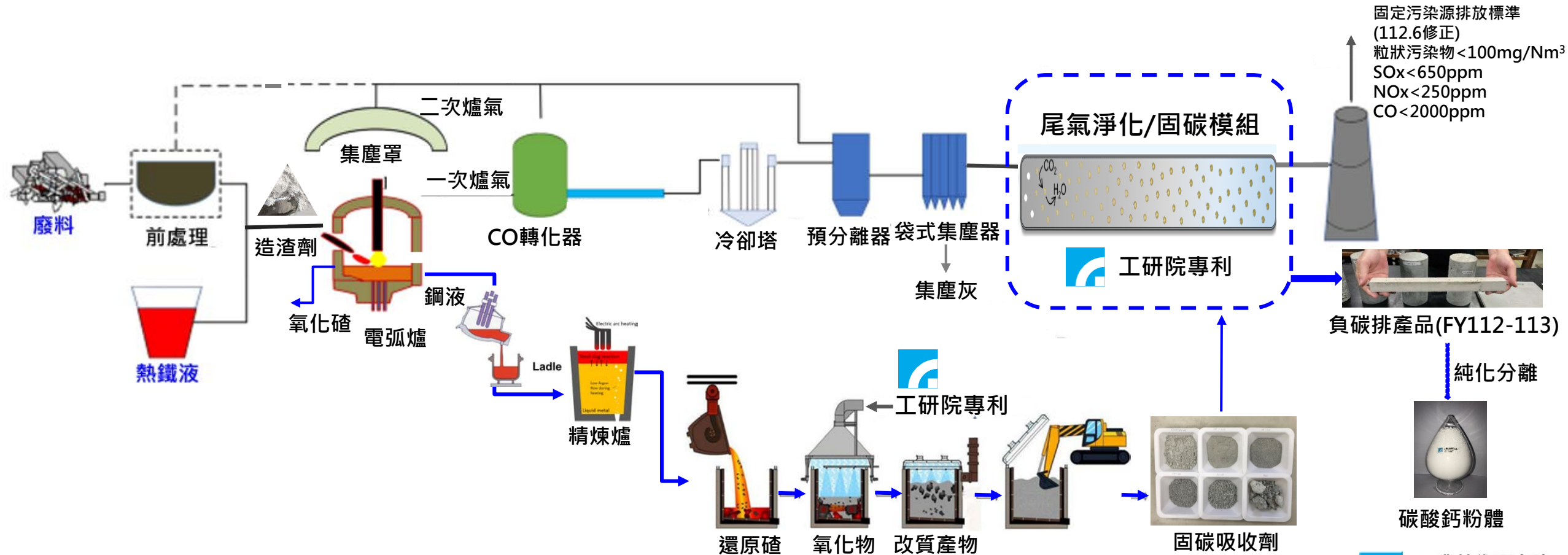
Source: Chen et al., Journal of CO₂ Utilization 54 (2021) 101738

工研院-電爐副產物閉循環減碳技術

現況：爐氣除灰/淨化達標準後排放(粒狀汙染物/Nox/SOx等)，**直接碳排減量技術開發中**。

佈局：盤點鋼鐵冶煉製程**副產資源**，進行**產業內減碳技術佈局**，協助達成企業**減碳目標**

分析：轉爐石與還原渣年產量分別為160萬噸與40萬噸，每噸**富鹼爐渣**具**30-200kgCO₂**減碳潛力，有助於產業內碳排之減量。



固定污染源排放標準
(112.6修正)
粒狀汙染物 < 100mg/Nm³
SOx < 650ppm
NOx < 250ppm
CO < 2000ppm

負碳排產品(FY112-113)

純化分離



碳酸鈣粉體

總結

淨零碳排與循環經濟雙議題，帶動鋼鐵副產物應用於廠內二氧化碳固化

研發動能，關鍵挑戰如下：

- 副產物化性深度解析
- 促進副鈣鎂溶出與抑制重金屬溶出配方設計
- 分散式高氣量低濃度二氧化碳礦化技術
- 高效率礦化反應器設計
- 碳礦化產物方法建立
- 碳礦化產物產物效率驗證

THANK YOU