

# 水泥窯替代燃料使用與實務

台泥研究室 陳光熙 協理/張耀元 副理

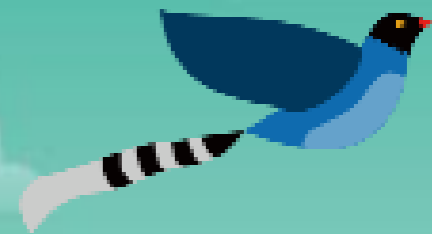
2021/07/11



**Total Climate Commitment** 、 **Total Care Commitment**



# 目錄



□ 2050氣候願景

□ 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

□ 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

□ 總結



# 2050氣候願景-GCCA (Global Cement and Concrete Association)



2020年9月1日，全球40家水泥和混凝土龍頭企業共同發佈了《水泥和混凝土行業2050氣候目標聲明》，表明全球水泥和混凝土行業正致力於在2050年實現全球混凝土的碳中和目標。

**GCCA members commit to continue to drive down the CO<sub>2</sub> footprint of their operations and products, and aspire to deliver society with carbon neutral concrete by 2050.**  
**GCCA will work across the built environment value chain to deliver this aspiration in a circular economy, whole life context.**



# 2050氣候願景-GCCA (Global Cement and Concrete Association)

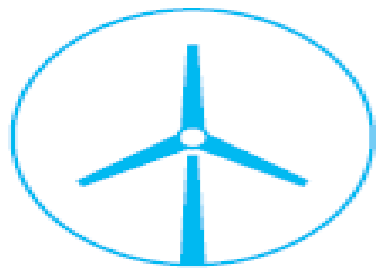
- 自1990年以來，每噸膠凝材料的二氧化碳排放量減少了19.2%，用於替代傳統化石燃料的替代性燃料使用量增加了9倍多。
- 減少工藝流程的排放量需要進行重大的技術創新，包括首先在生產過程中減少排放，以及運用碳捕獲技術。
- 未來幾年，實現混凝土碳中和的方式包括以下幾種：



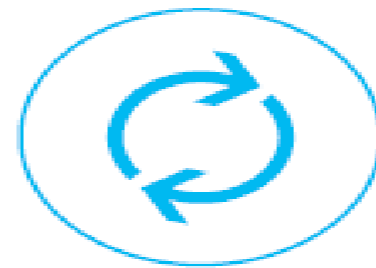
- Eliminating our direct energy-related emissions and maximising the co-processing of waste from other industries, which substitutes the use of fossil fuels involved in cement manufacture



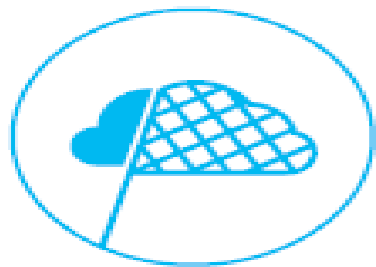
- Reducing the content of both clinker in cement and cement in concrete, as well as more efficient use of concrete in buildings and infrastructure



- Reducing and eliminating indirect energy emissions through renewable electricity sources where available



- Reprocessing concrete from construction and demolition waste to produce recycled aggregates to be used in concrete manufacturing



- Reducing process emissions through new technologies and deployment of carbon capture at scale



- Quantifying and enhancing the level of CO<sub>2</sub> uptake of concrete through re-carbonation and enhanced re-carbonation in a circular economy, whole life context

# 目錄

□ 2050氣候願景

□ 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

□ 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

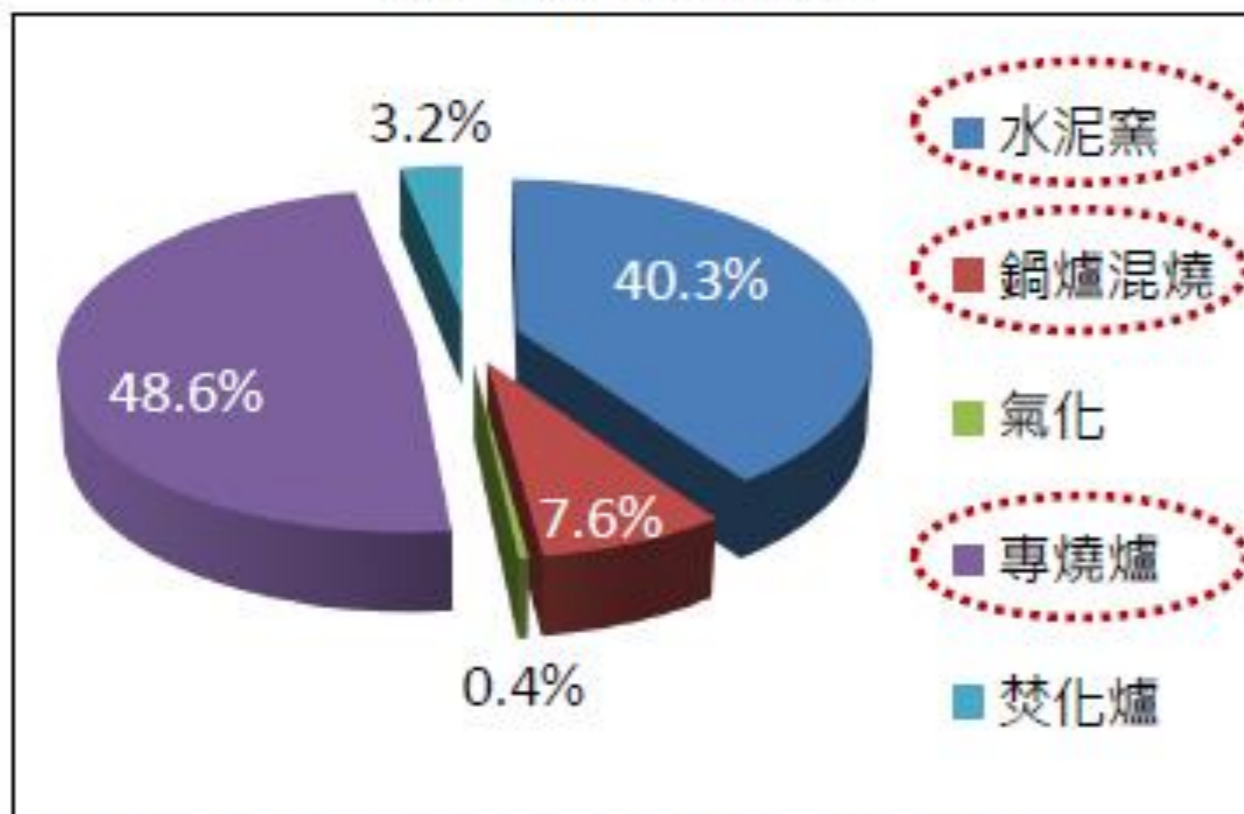
□ 總結

# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

## 歐盟 SRF 使用情形：

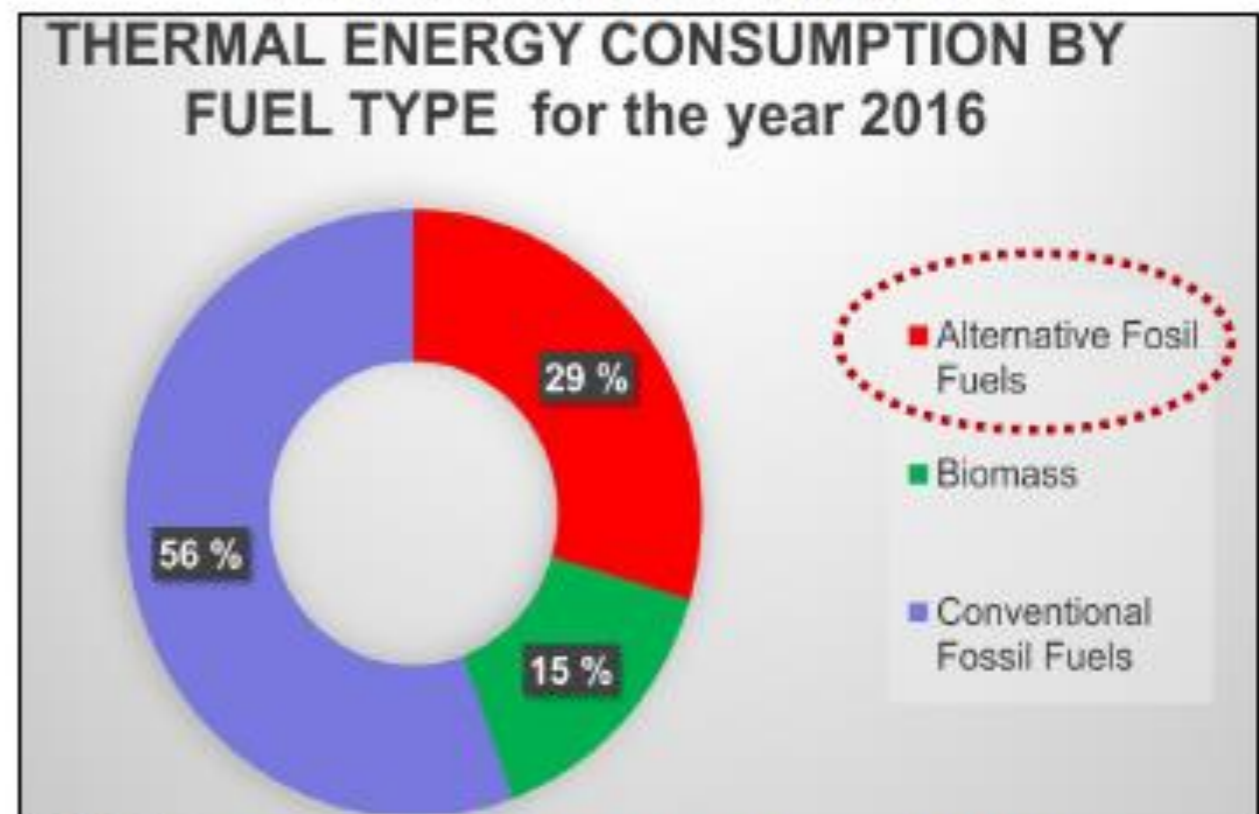
- 歐盟國家SRF主要用於專燒爐 48.6%、水泥窯 40.3%或與鍋爐其他燃料混燒 7.6%。
- 歐盟國家水泥製造業使用替代燃料 44%中，回收石化製品廢棄物製成燃料占29%，生質燃料占15%。

歐盟SRF使用情形



資料來源: IEA Bioenergy Conference 2015, Berlin 27-28 October 2015

歐盟水泥製造業之燃料組成

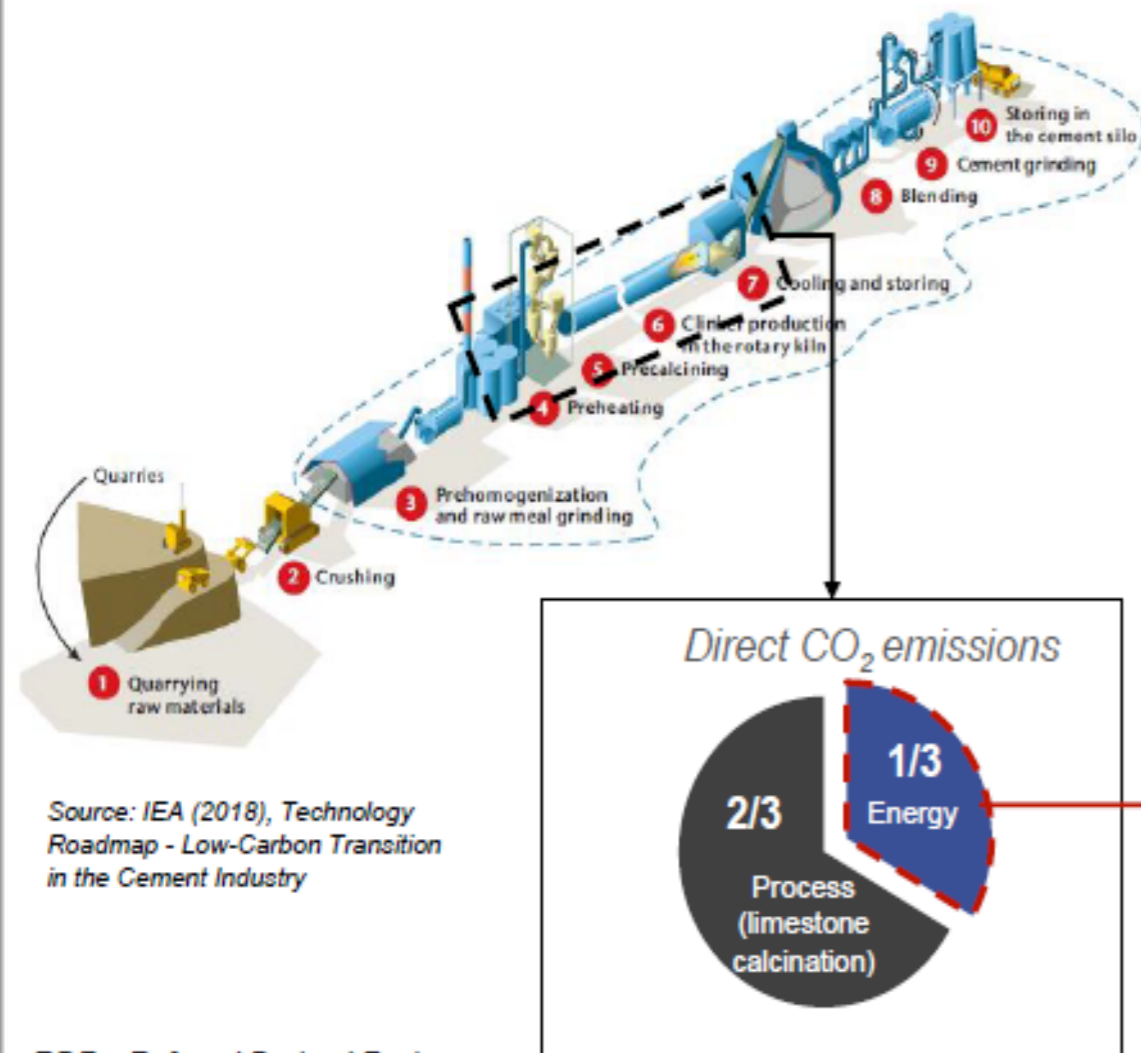


資料來源: Koen Coppenhelle (2018), "THE CEMENT & CONCRETE INDUSTRY: READY FOR FUTURE CHALLENGES !!!", Finnish Concrete Industry Association.

# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

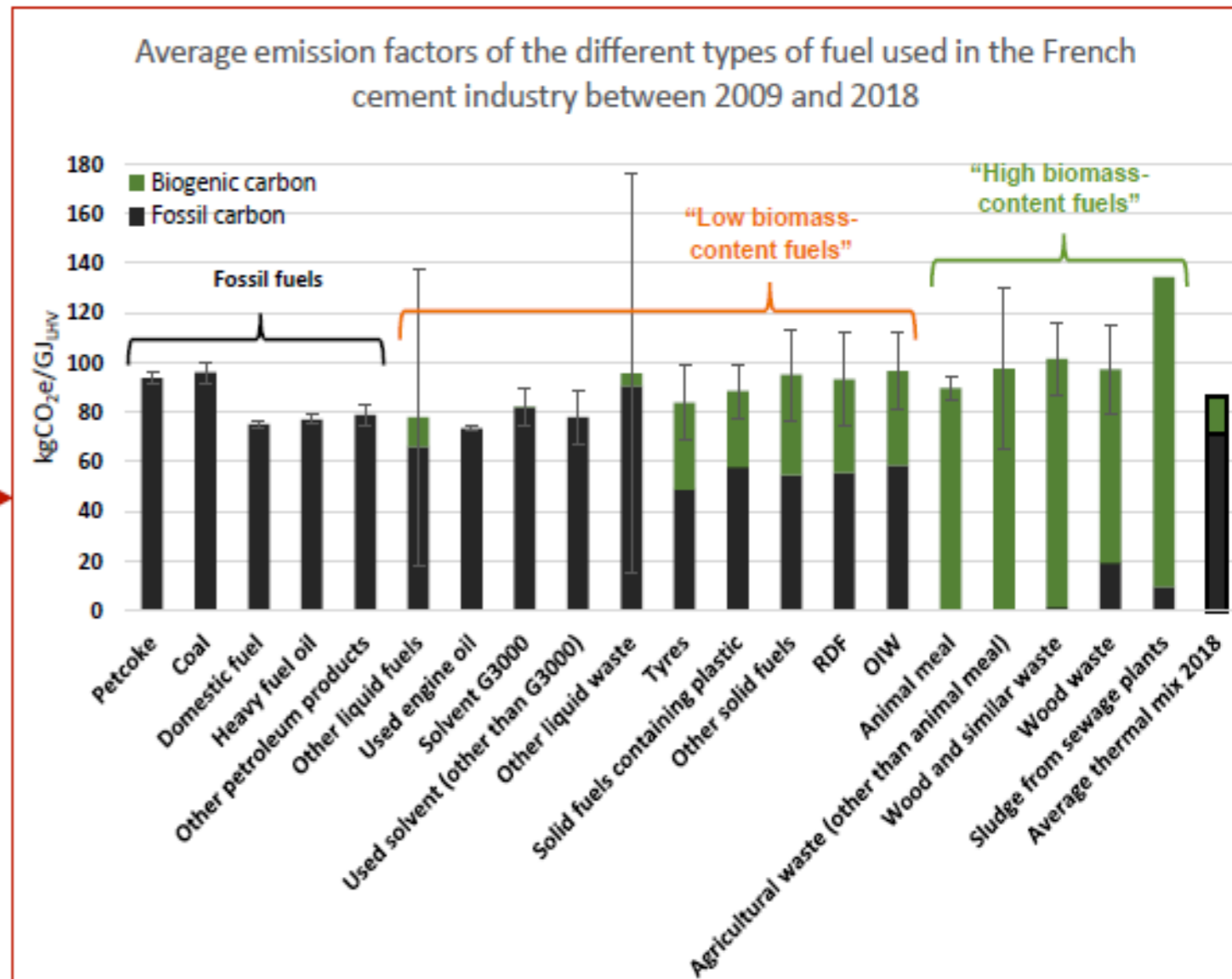
IEA的資料，提到不同替代燃料的碳排放因數，其中低生物質種類有：輪胎、固體燃料、RDF(SRF)；高生物質種類有：木材、農業資材及污水廠污泥。

## The use of biomass in the cement production process



Source: IEA (2018), Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry

RDF = Refused Derived Fuel  
OIW = Ordinary Industrial Waste



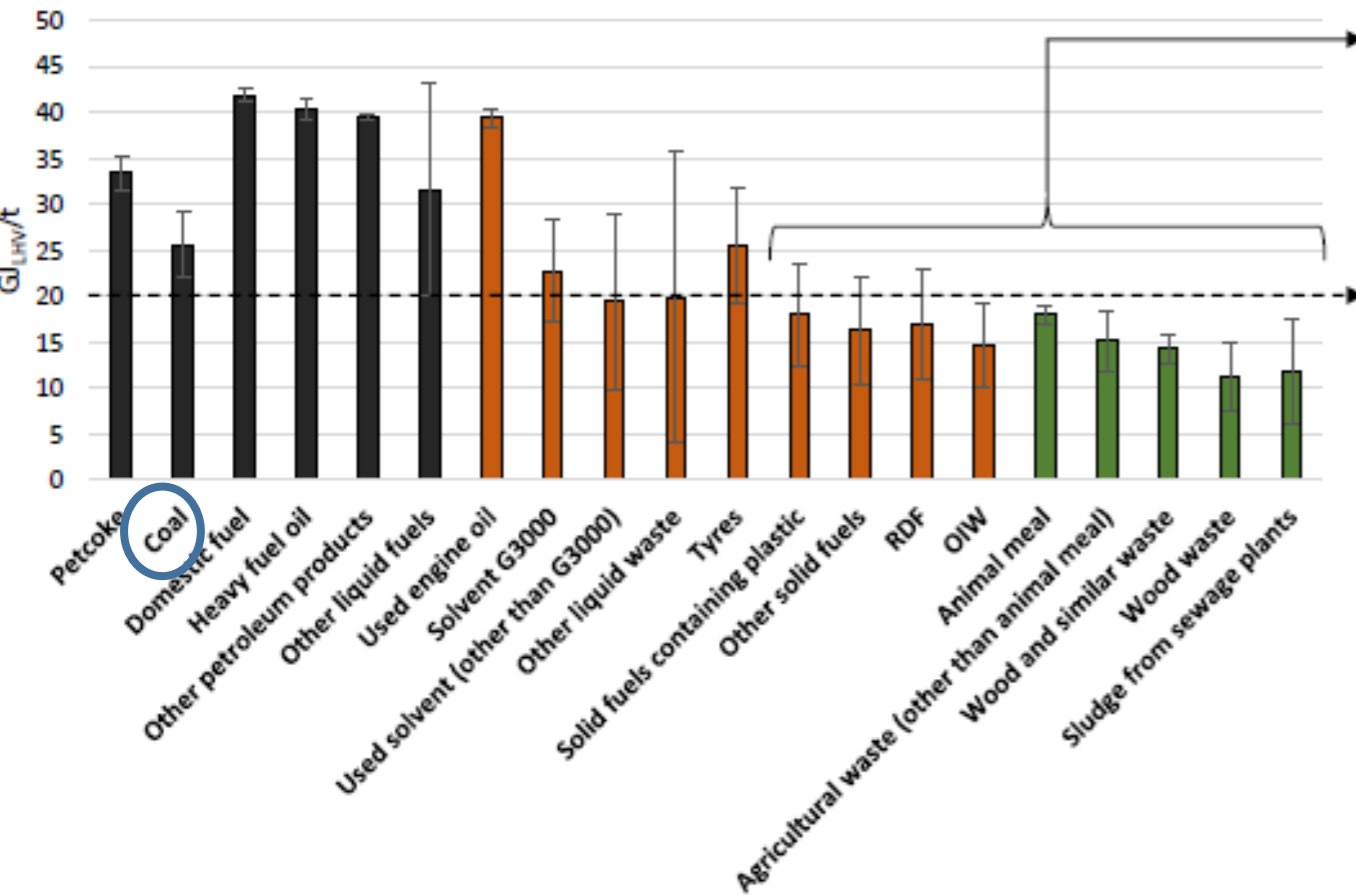
# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

## 什麼原因會限制替代燃料的使用？

1. 替代燃料的品質及需要多幾道處理手續。
2. 某些廢棄物中含較大量的：氯、硫和堊。

## What constrains the use of substitution fuels?

Average Low Heating Value (LHV) of the main fuels used in the French cement industry between 2009 and 2018



- Most substitution fuels are of poorer quality than traditional fuels and require additional preparation steps.
- Certain types of waste contain chlorine, sulphur and alkalis that can cause coating formation and damage the kiln and the preheater in the long term if not filtered.

Average energy content required for the production process

### Example of fuels



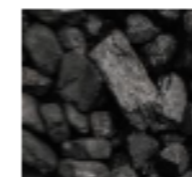
Petcoke



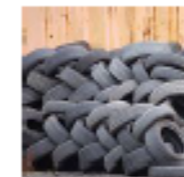
Refused Derived Fuel



Wood waste



Coal



Shredded tyres



Animal meal

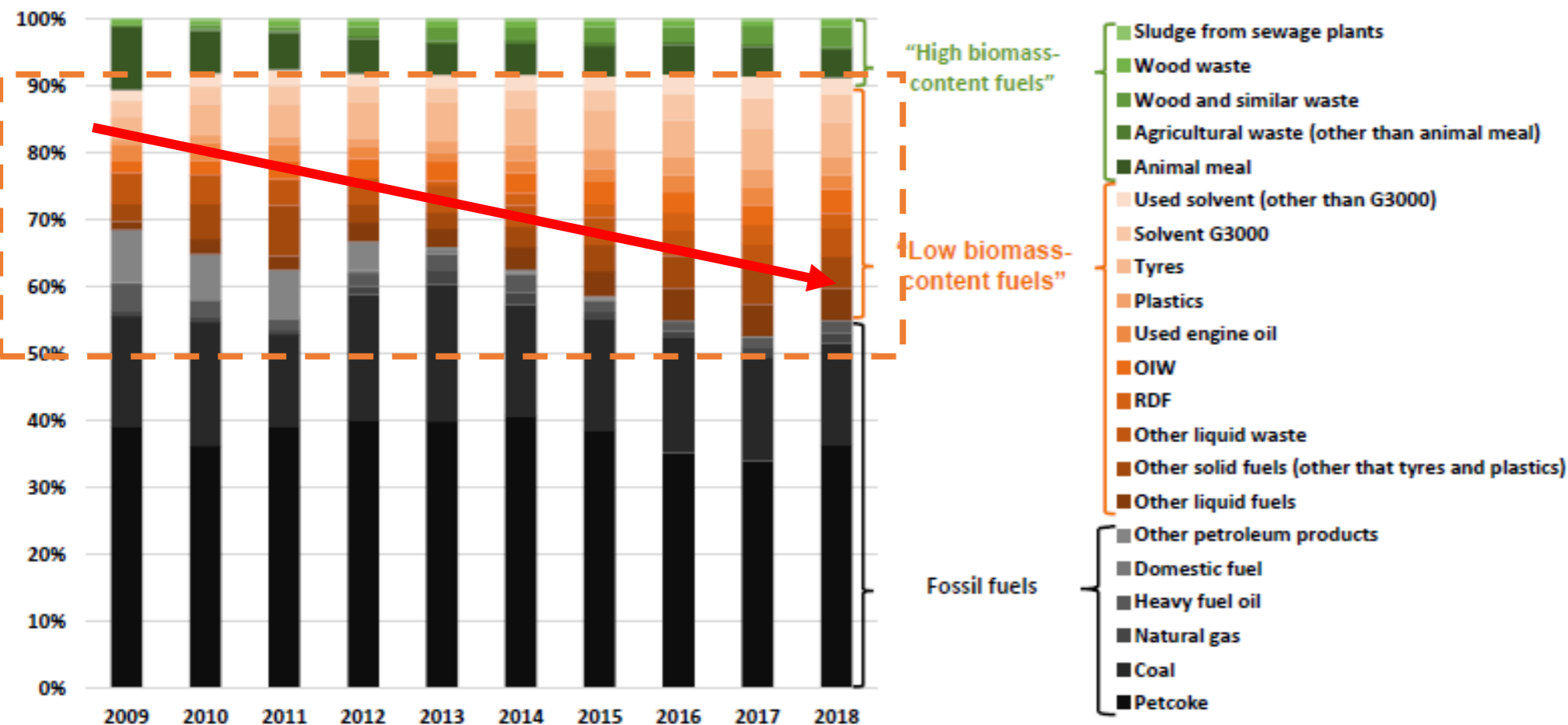
# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

## 替代燃料的演變趨勢：

1. 生物質含量高的燃料很難找到或對水泥行業來說不具經濟效益。
2. 統計這10年，低生物質含量燃料的使用穩步增加，而高生物質含量燃料的使用一直持平

## Thermal mix evolution: a trend illustrating a competitive advantage

Thermal mix of the French cement fleet – Evolution (2009 to 2018)



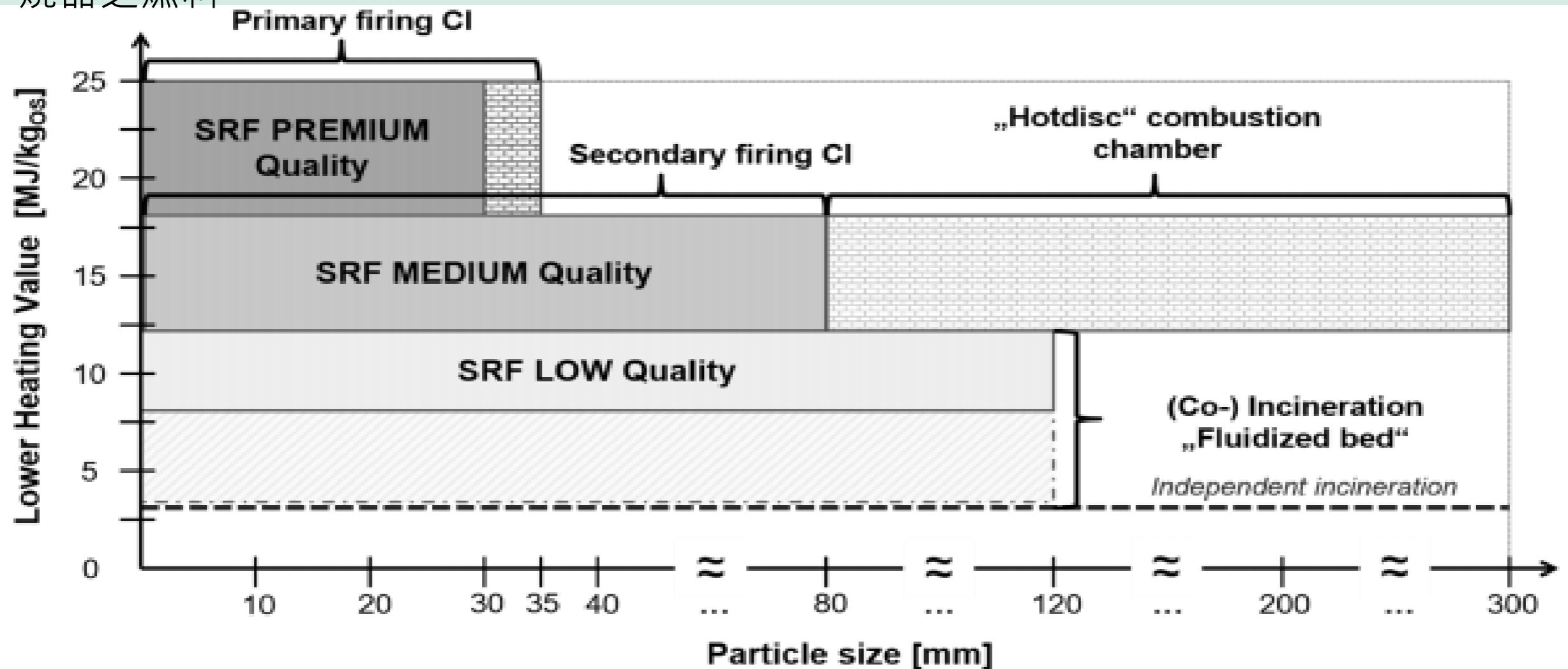
Good-quality fuels with a high share of biomass are hard to find or uneconomical for the cement industry



The use of **low biomass-content fuels** has been steadily increasing over the past 10 years unlike **high biomass-content fuels** which has remained flat

# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

- **SRF品質與粒徑適用範圍：**
  - **SRF 低品質：**熱值8 到 12 MJ/kg，粒徑高達 120 mm的細微性，應用於流體化床之燃料。
  - **SRF 中等品質：**熱值12 到 18 MJ/kg，在水泥窯中，適用於二次燃燒室(煨燒爐、窯入口或熱盤)之燃料。在煨燒爐或窯入口處使用時，細微性範圍可達 80 mm，而在熱盤式燃燒室中，細微性範圍可達 300 毫米。
  - **SRF 高品質：**熱值18 到 25 MJ/kg，顆粒尺寸小於 35 mm，在水泥窯中，適用於當主要燃燒器之燃料。



# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

- 水泥窯的特性：3T
- SRF灰份成分的分佈

## An option for high-temperature waste treatment

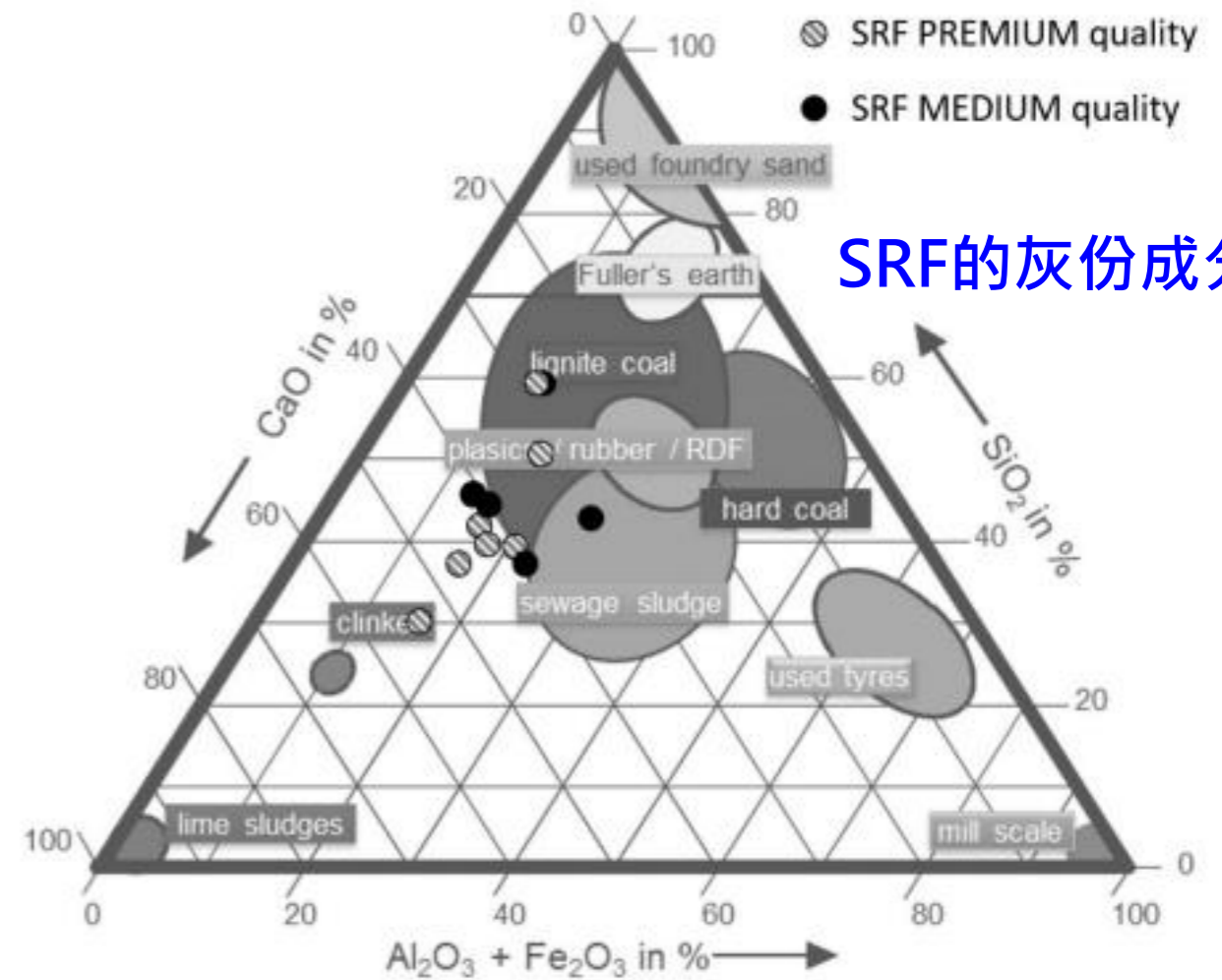
The cement production process has perfect features for processing all types of waste (even hazardous waste):

- High temperature (flame of 2000°C)
- Long exposure and retention time in the kiln
- Most ashes and residues are recycled into the raw meal and incorporated into the clinker matrix

### 旋窯的3T：

- ◆ Temperature
- ◆ Retention Time
- ◆ Turbulent

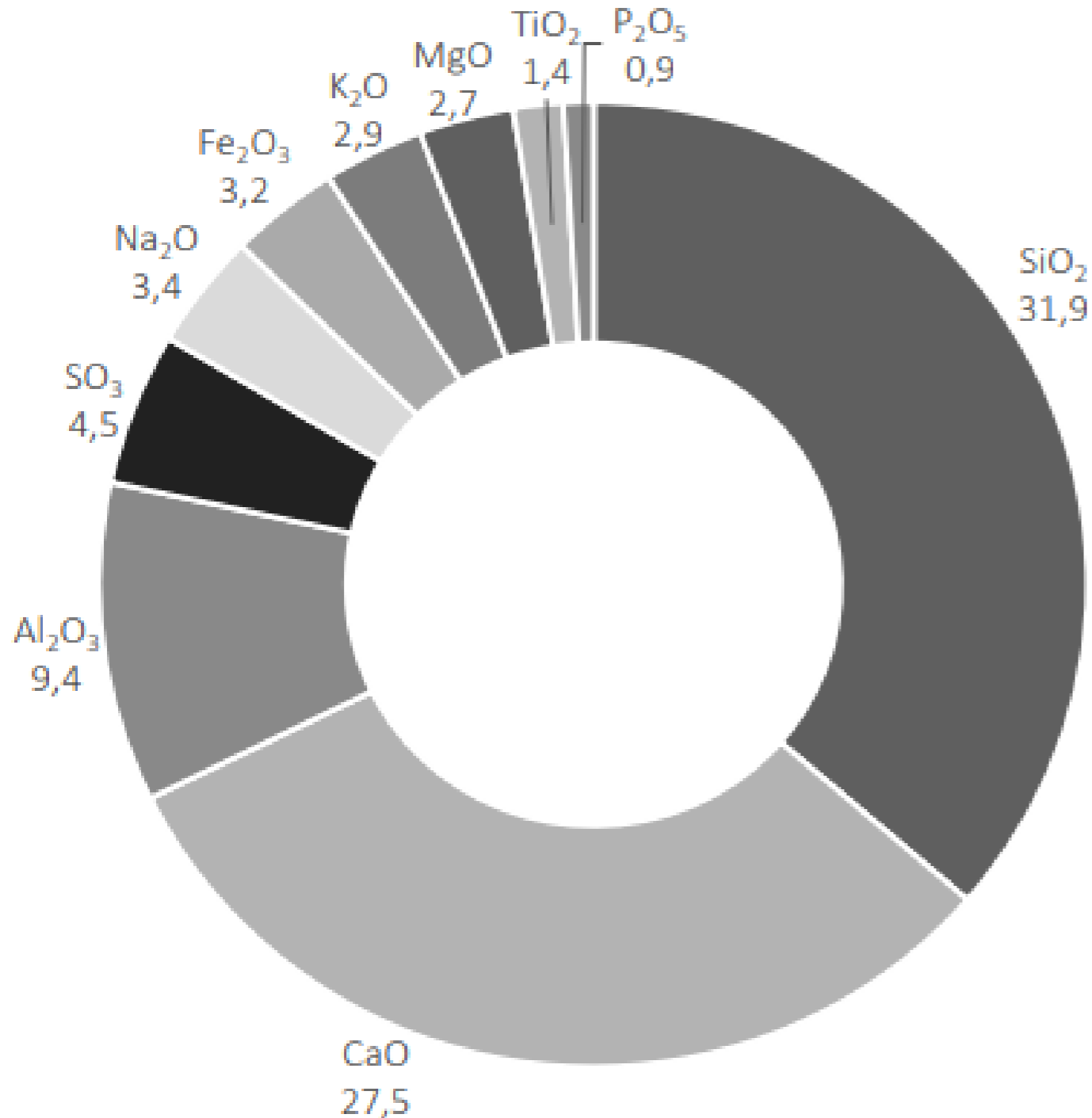
SRF的灰份成分



Source: S.A. Viczek & al. (2019) – Analytical determination of recycling quota through SRF co-processing in the cement industry

# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

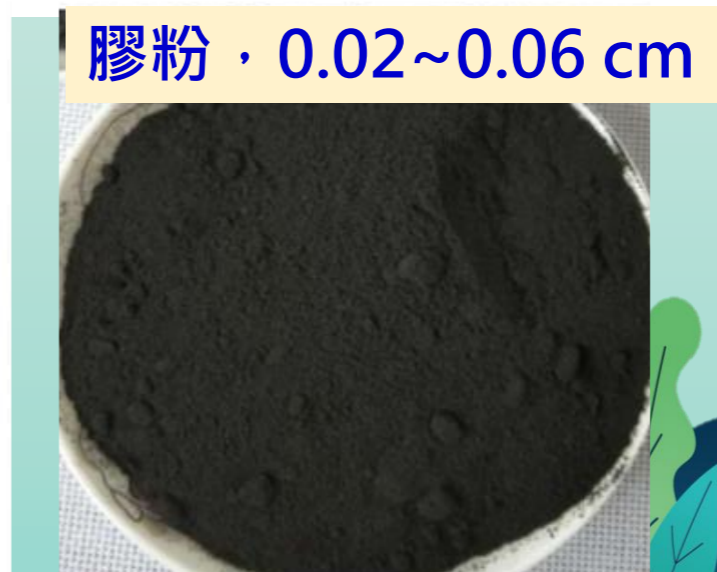
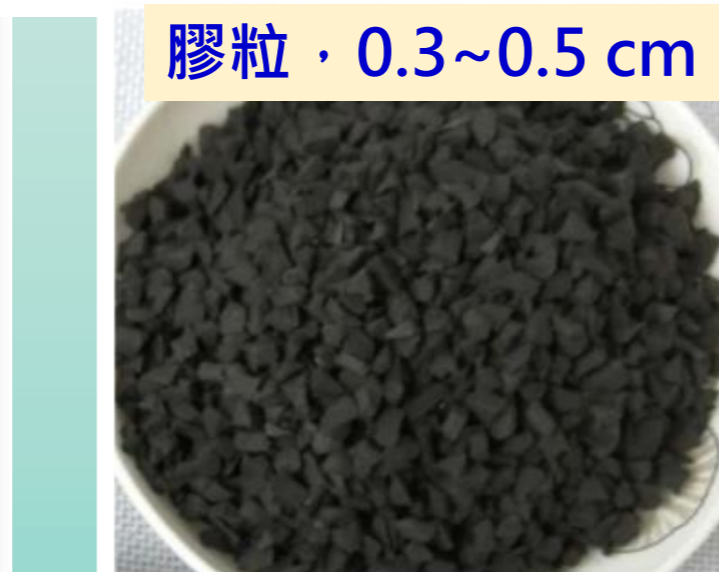
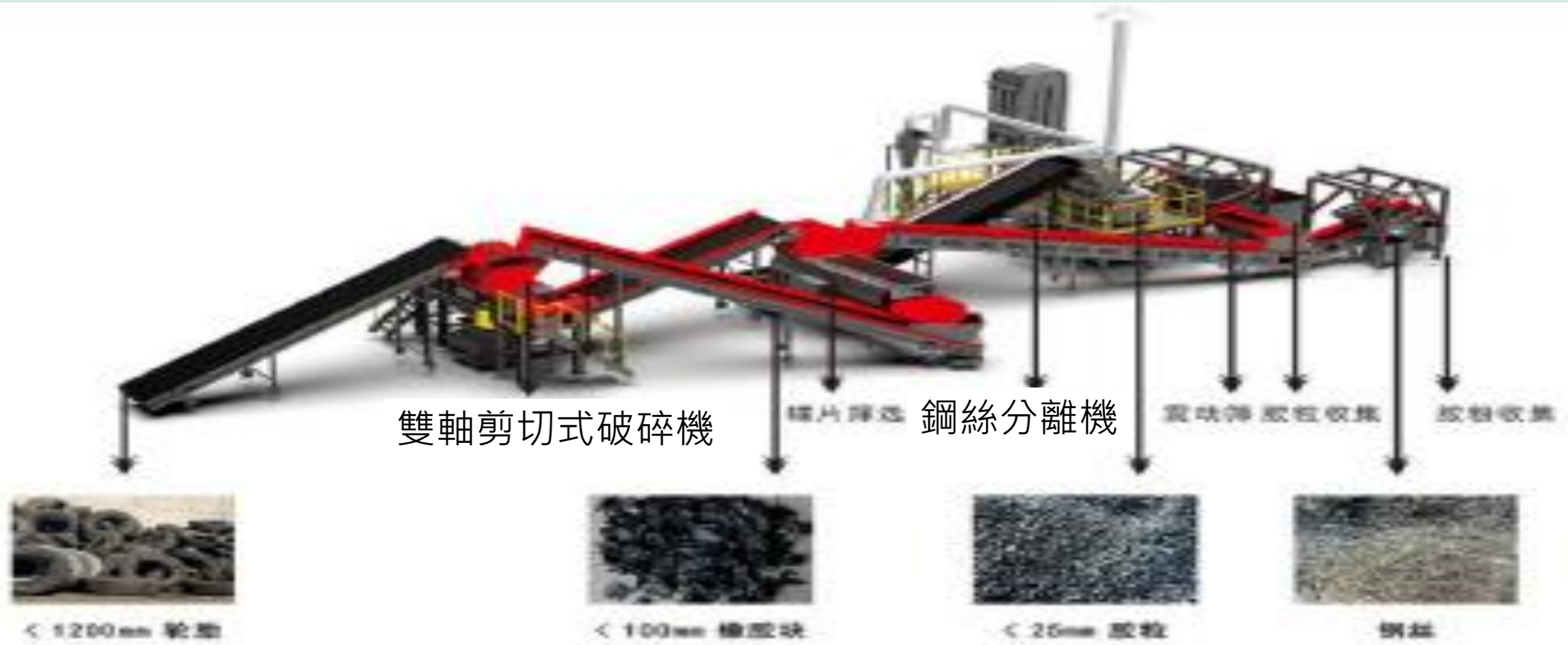
- SRF灰份成分的分佈



- 除了關注SRF灰份中的水泥配料主要成分外，**碱含量和硫份**也是要多加留意。

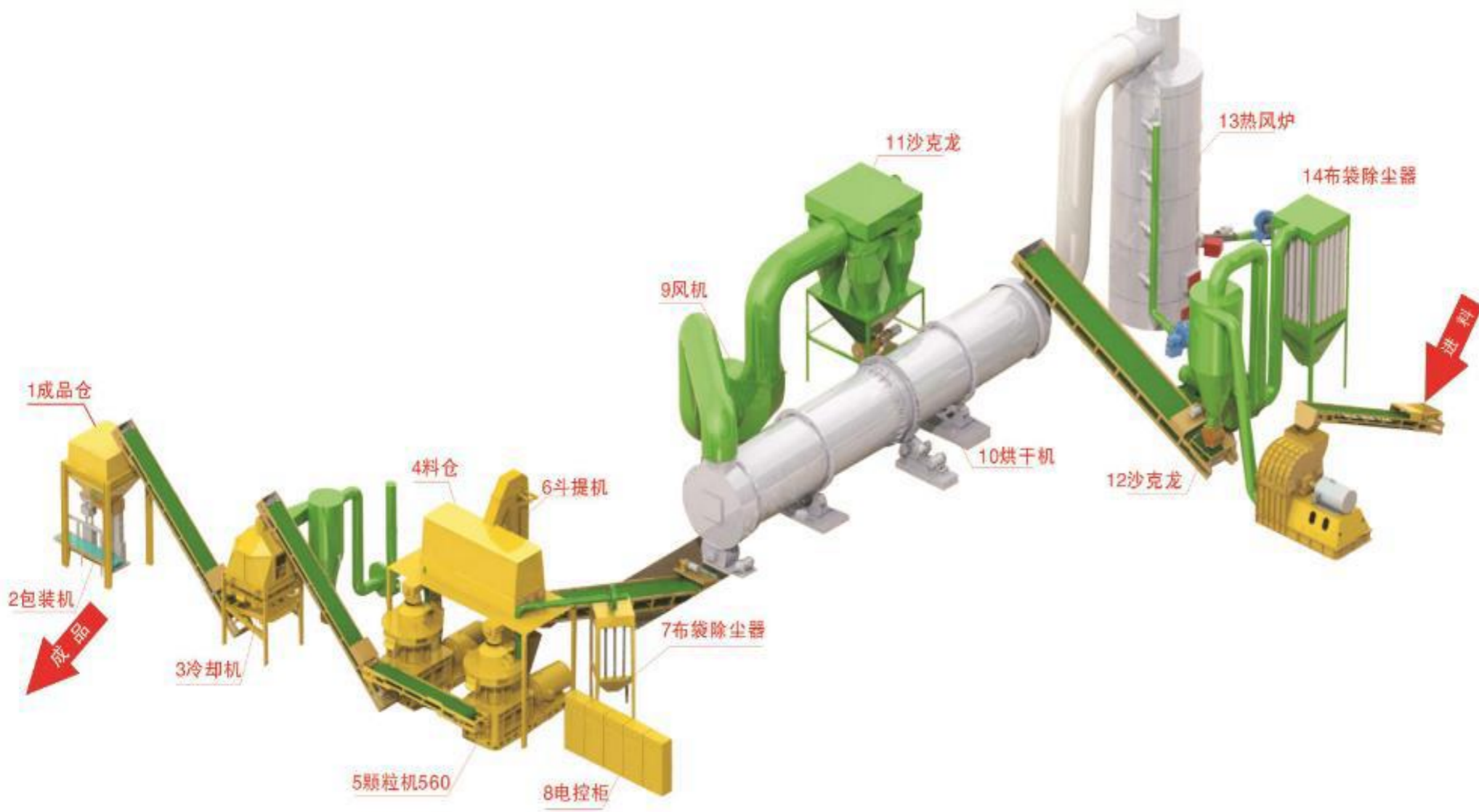
# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

- 替代燃料的使用案例：廢輪胎



# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

## • 替代燃料的使用案例：生物質燃料



原生生物質：  
150~2000 mm



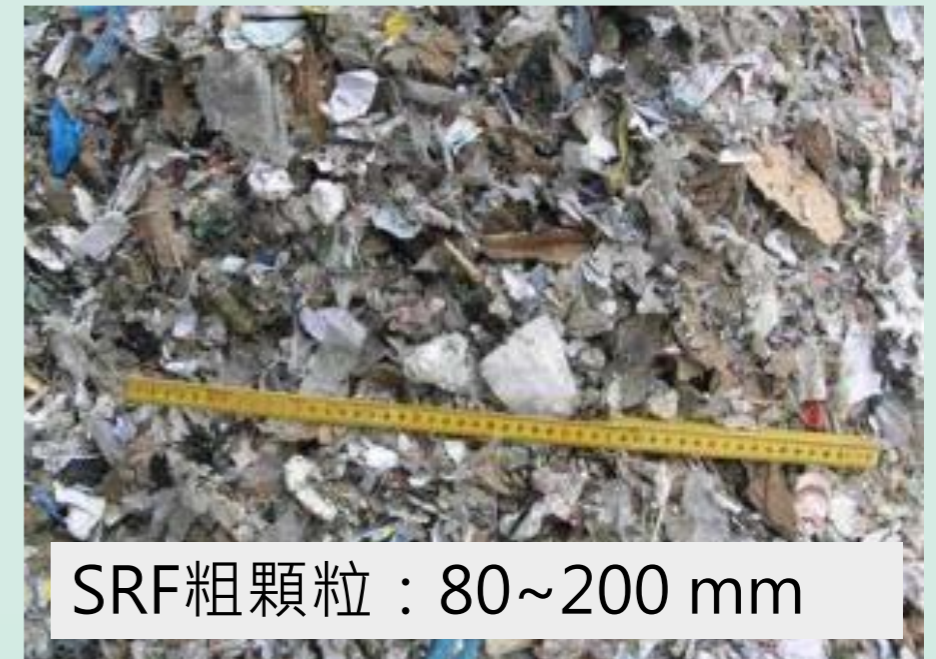
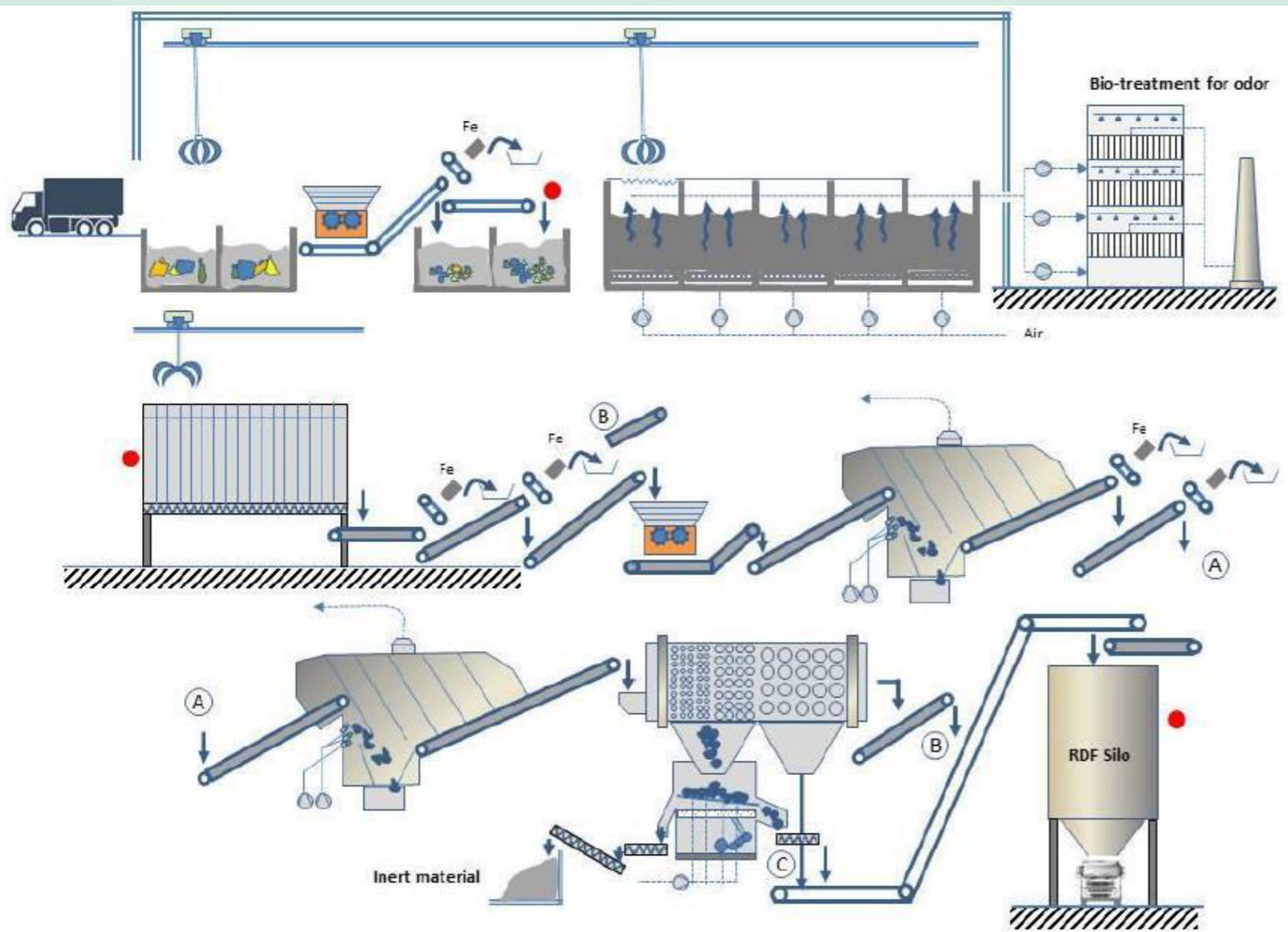
生物質顆粒：  
150~2000 mm

- 農業廢棄物：稻草、玉米杆、烤煙杆秸稈、甘蔗渣、稻糠等
- 林業廢棄物：木材加工點鋸末，邊角料、木屑、廢棄木板等。
- 園林廢棄物：枝桠10公分以下雜木、灌木等。
- 漂浮物：河流木質漂浮物。



# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

- 替代燃料的使用案例：生活垃圾SRF



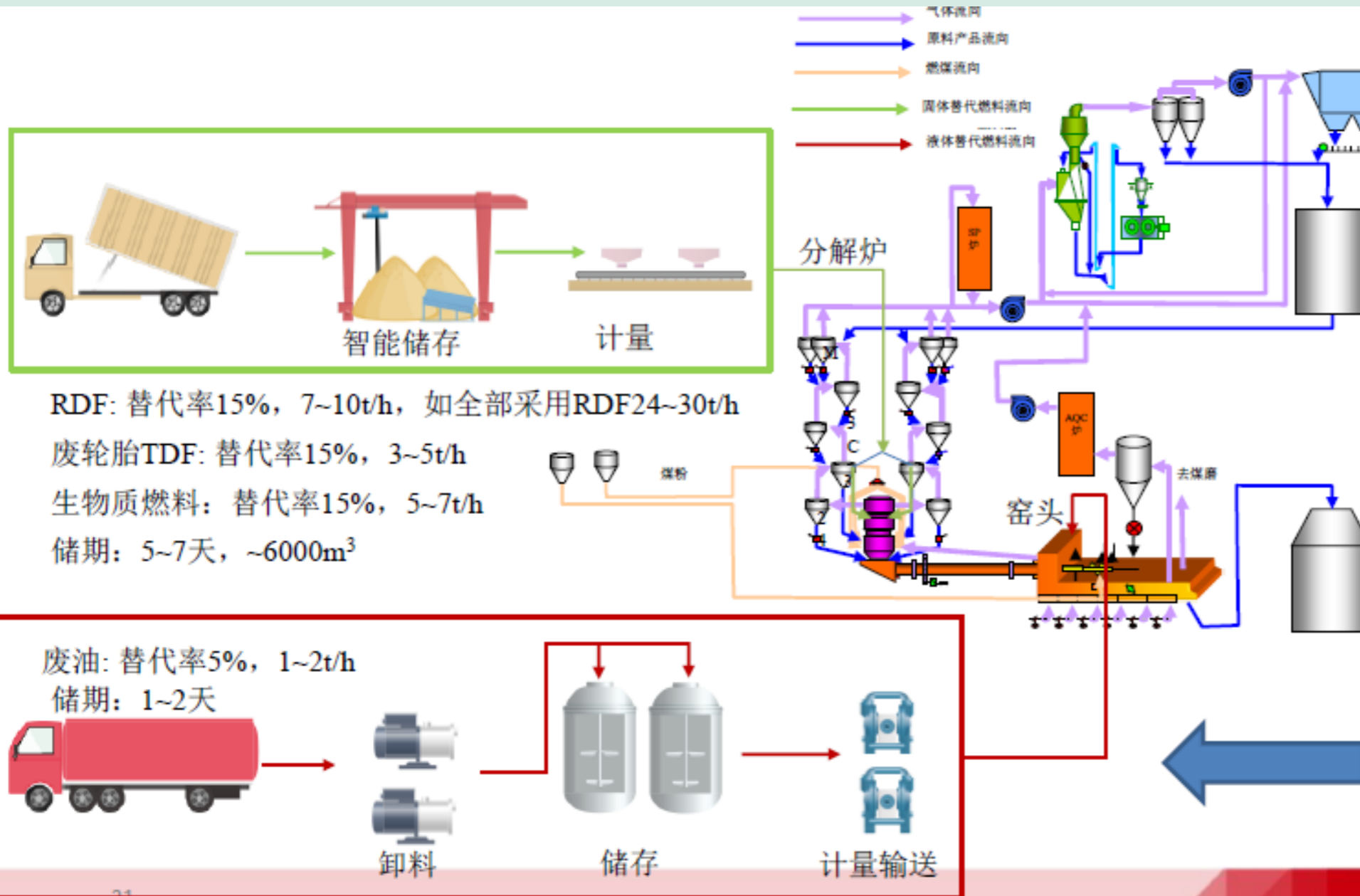
SRF粗顆粒：80~200 mm



SRF細顆粒：25~40 mm

# 國際上水泥窯使用替代燃料的現況

## • 範例：替代燃料50%之技術要求



RDF: 替代率15%, 7~10t/h, 如全部采用RDF24~30t/h  
 废轮胎TDF: 替代率15%, 3~5t/h  
 生物质燃料: 替代率15%, 5~7t/h  
 储期: 5~7天, ~6000m<sup>3</sup>

废油: 替代率5%, 1~2t/h  
 储期: 1~2天

### 技術難點：

1. 保障替代燃料品質及來源
2. 替代燃料順暢輸送及準確計量
3. 投加區域無結皮堵塞、不影響穩定生產
4. 降低燃料消耗但綜合熱耗增加

### 技術措施：

1. 加強進廠品質監測，多種替代燃料混合使用
2. 適應易堵料、易纏繞、含水率高物料的輸送設備
3. 適應含水率高、容重輕物料的計量設備
4. 優化投加區域及分解爐結構

# 目錄

- 2050氣候願景
- 國際上水泥窯使用替代燃料的現況
- 臺灣水泥業使用替代燃料的情況
- 總結

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

- 固體再生燃料(Solid recovered fuel, SRF)的定義：
- 以具適燃性之廢棄物做為燃料，並須符合附表一固體再生燃料品質標準者，稱為 SRF(Solid recovered fuel)。
- SRF產源：指產出適燃性廢棄物之事業。
- SRF製造者：指以適燃性廢棄物製造 SRF之處理或再利用機構，或以自廠廢棄物或同一法人之其他分廠（場）廢棄物轉制 SRF之事業。

附表一、固體再生燃料(SRF)品質標準

品質項目	單位		檢測方法	標準值
淨熱值 (NCV)	kcal/kg (到達狀態)	平均值	BS EN 15400	≥ 2,392
氯含量 (Cl)	% (乾基)	平均值	BS EN 15408	≤ 3
汞含量 (Hg)	mg/kg (乾基)	平均值	BS EN 15411	≤ 5
鉛含量 (Pb)	mg/kg (乾基)	平均值	BS EN 15411	≤ 150
鎘含量 (Cd)	mg/kg (乾基)	平均值	BS EN 15411	≤ 5

1. 到達狀態 (as received)：即用風乾試樣或恆濕試樣分析所得結果(%)或測定之發熱量(熱值)，換算能成為當時分批交貨狀態之基準之表示法，即含有總水分之狀態。

2. 乾基 (dry based)：乾燥狀態。

3. 淨熱值、氯含量及汞含量標準值參考歐盟 SRF 品質標準 (EN 15359: Solid recovered fuels. Specifications and classes)；鉛含量及鎘含量標準值參考韓國環境部 SRF 品質標準。

資料來源：事業廢棄物清理計畫書審查作業參考指引附件四「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

- 廢棄物產源應依廢棄物主要成分特性分類貯存，其中具可燃性之廢棄物，可直接或經處理後製造為 SRF 之廢棄物種類、名稱、適用項目如下表：

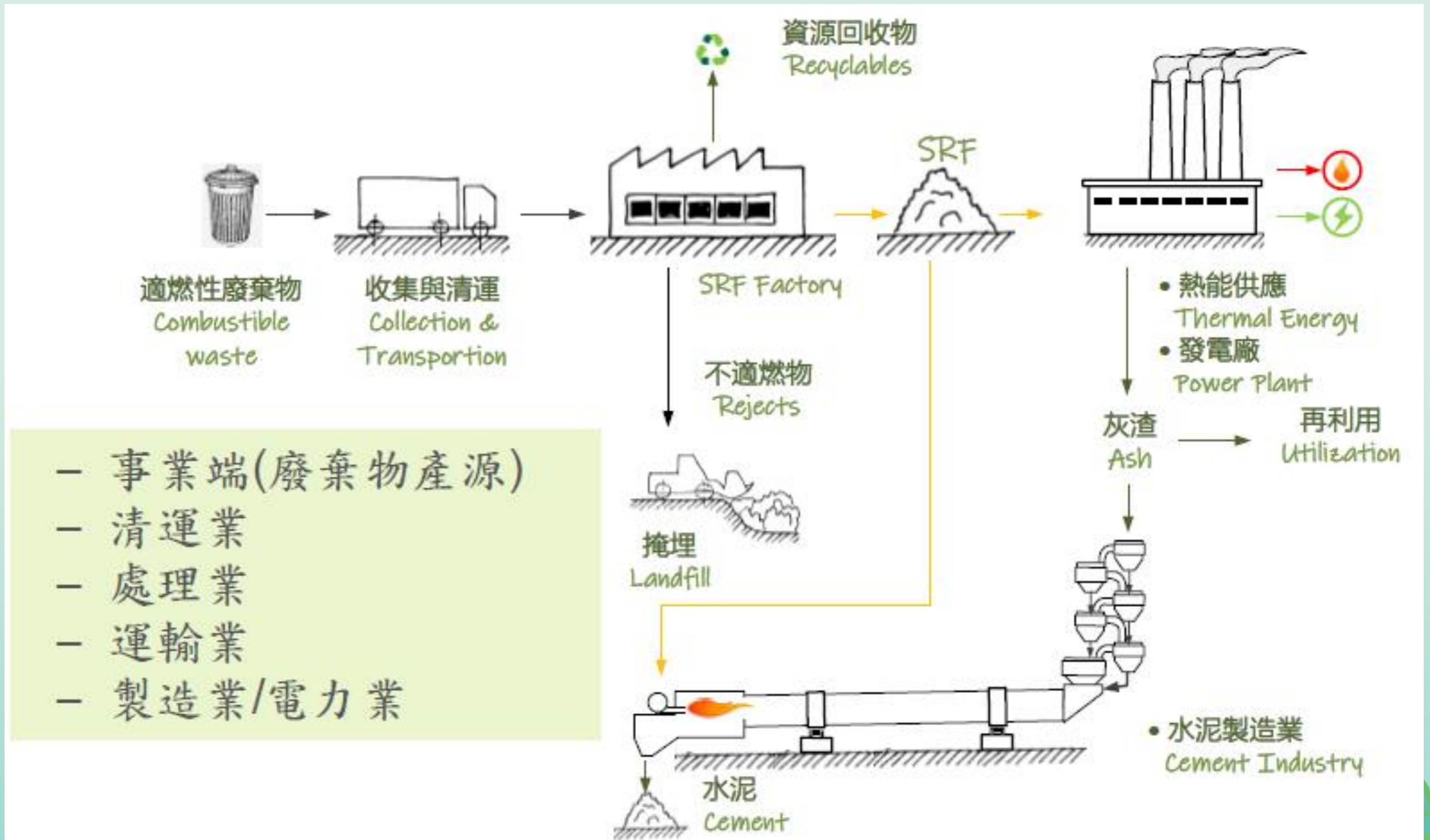
廢棄物種類	名稱	適用項目
廢塑膠	廢樹脂	非有害之樹脂如黏著劑等(D-0202)。
	廢塑膠混合物	非屬公告應回收或再利用廢塑膠或其混合物 (D-0299)。
	廢塑膠	依中央主管機關公告可直接再利用之廢塑膠 (共通性、內政部)或廢塑膠(容器)(交通部、通傳會)(R-0201)。
	廢塑膠容器(PET)	公告應回收廢棄物。PET瓶(軟飲料、酒類容器)、地毯、服飾等(R-0202)
	廢塑膠容器(PE)	公告應回收廢棄物。包裝膜(包裝材料)、購物袋、鋁蒸發紙、可重複使用的運輸紙箱(乙烯基箱、零件箱等)(R-0204)。
	廢塑膠容器(PP)	公告應回收廢棄物。可回收的盒子、網綁繩、糖果包裝袋、鋁蒸發紙 (R-0205)。
	廢塑膠容器(PS發泡)	公告應回收廢棄物。電視機、音響設備、鋁蒸發紙、食品托盤、聚苯乙烯泡沫塑料、玩具外殼等家用電器外殼 (R-0206)。
	廢塑膠容器(PS未發泡)	公告應回收廢棄物(R-0207)。
	廢塑膠容器(其他塑膠)	公告應回收廢棄物(R-0208)。
	廢生質塑膠容器(PLA)	公告應回收廢棄物(R-0211)。
廢橡膠	廢橡膠混合物	非屬公告應回收或再利用廢橡膠或其混合物 (D-0399)。
	廢橡膠	依中央主管機關公告可直接再利用之廢橡膠 (經濟部、內政部)(R-0301)。
廢紙	廢紙混合物	非屬公告應回收或再利用廢紙或其混合物(D-0699)。
	廢紙	依中央主管機關公告可直接再利用之廢紙(共通性、交通部)(R-0601)。
廢木材	廢木材棧板	指廢棄之木質棧板(D-0701)。
	廢木材混合物	非屬公告應回收或再利用廢木材或其混合物 (D-0799)。
	廢木材	依中央主管機關公告可直接再利用之廢木材(板、屑)(交通部、內政部)或廢木材(板、屑、木質電桿、木質橫擔或枕木)(經濟部、通傳會)(R-0701)

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

廢棄物種類	名稱	適用項目
廢纖維	廢纖維	指廢棄之纖維材質廢棄物(D-0801)。
	廢棉屑	指廢棄之含棉屑材質廢棄物(D-0802)。
	廢布	指廢棄布類廢棄物(D-0803)。
	廢纖維或其他棉、布等混合物	指無法分類之廢纖維、棉屑、布或其混合物(D-0899)。
	廢人造纖維	依中央主管機關公告可直接再利用之廢人造纖維 (經濟部)(R-0801)。
	紡織殘料	依中央主管機關公告可直接再利用之紡織殘料 (經濟部)(R-0802)。
污泥	漿紙污泥	依中央主管機關公告可直接再利用之漿紙污泥 (紙漿、紙及紙製品製造業在廢水處理設備產生之污泥)(經濟部)(R-0904)。
	紡織污泥	依中央主管機關公告可直接再利用之紡織污泥(紡織業與塑膠原料製造業及人造纖維製造業於人造纖維製程所產生廢水在廢水處理設備產生之污泥或生產製程產生之污泥)(經濟部)(R-0906)。
動植物性廢棄物	蔗渣	依中央主管機關公告可直接再利用之蔗渣(製糖業在製糖製程產生之蔗渣)(經濟部)(R-0102)。
垃圾	事業活動產生之一般性垃圾	事業活動(含營業活動)所產生與一般垃圾性質相近且非屬其他事業廢棄物種類之廢棄物。須經機械分選設備 (Mechanical Treatment, MT)或機械生物處理程序(Mechanical Biological Treatment, MBT)分選後之適燃性廢棄物，方可作為SRF原料。(D-1801)
	一般垃圾	指家戶或其他非事業產生源所產生之日常生活廢棄物。須經機械分選設備 (Mechanical Treatment, MT)或機械生物處理程序 (Mechanical Biological Treatment, MBT)分選後之適燃性廢棄物，方可作為SRF原料 (H-0001)。
	事業員工生活垃圾	指事業員工(不包括營業活動與生產製程)所產生之一般廢棄物。須經機械分選設備(Mechanical Treatment, MT)或機械生物處理程序 (Mechanical Biological Treatment, MBT)分選後之適燃性廢棄物，方可作為SRF原料 (H-0002)。

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 廢棄物能源化產業鏈：



- 事業端(廢棄物產源)
- 清運業
- 處理業
- 運輸業
- 製造業/電力業

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 固體回收燃料(SRF)型式：



顆粒狀(pellets)



錠狀(briquettes)



薄片(flakes)



碎片(chips)



粉末(powder)

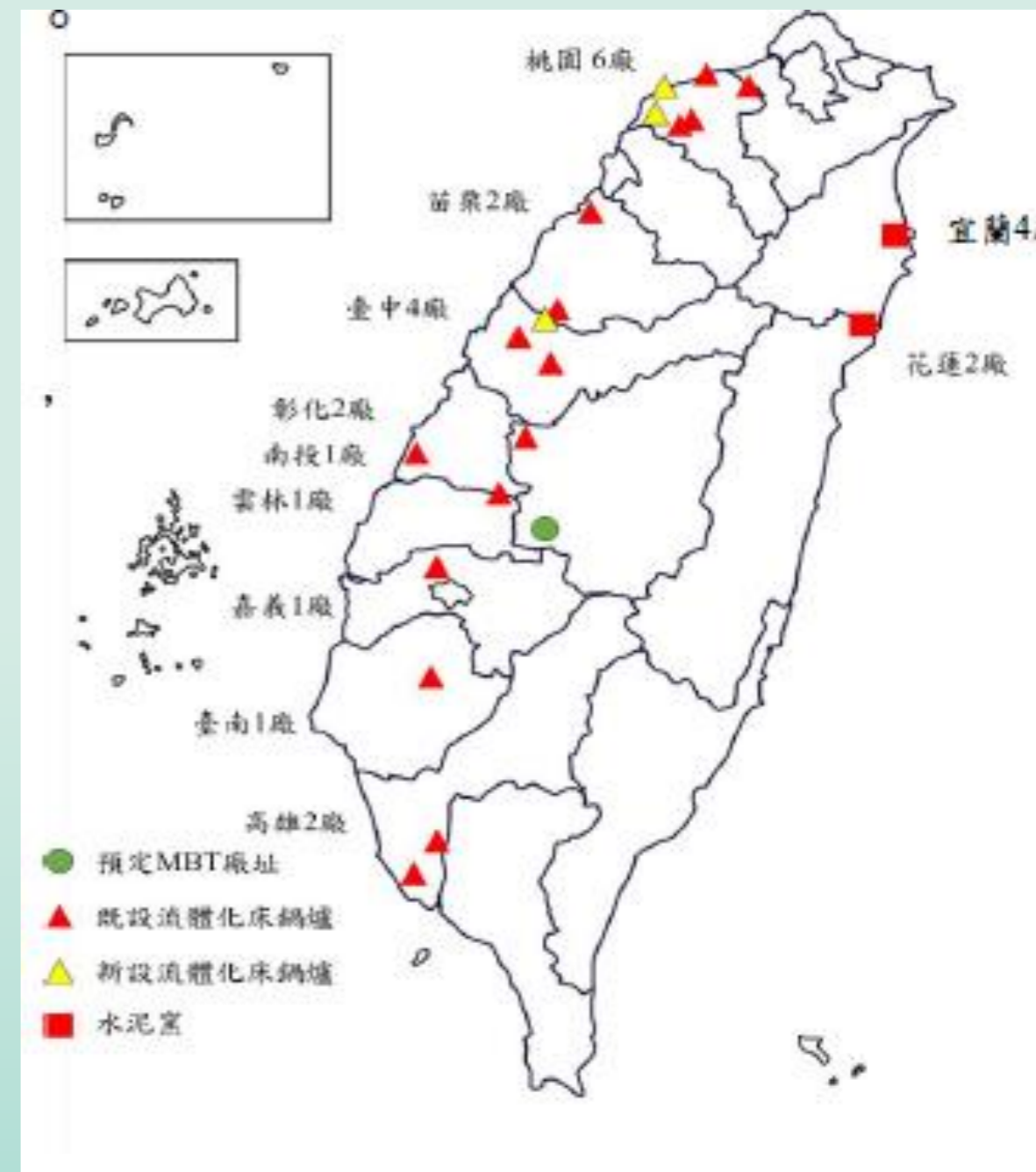


蓬鬆狀(fluff)

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 臺灣燃料化推動的現況：正在起步

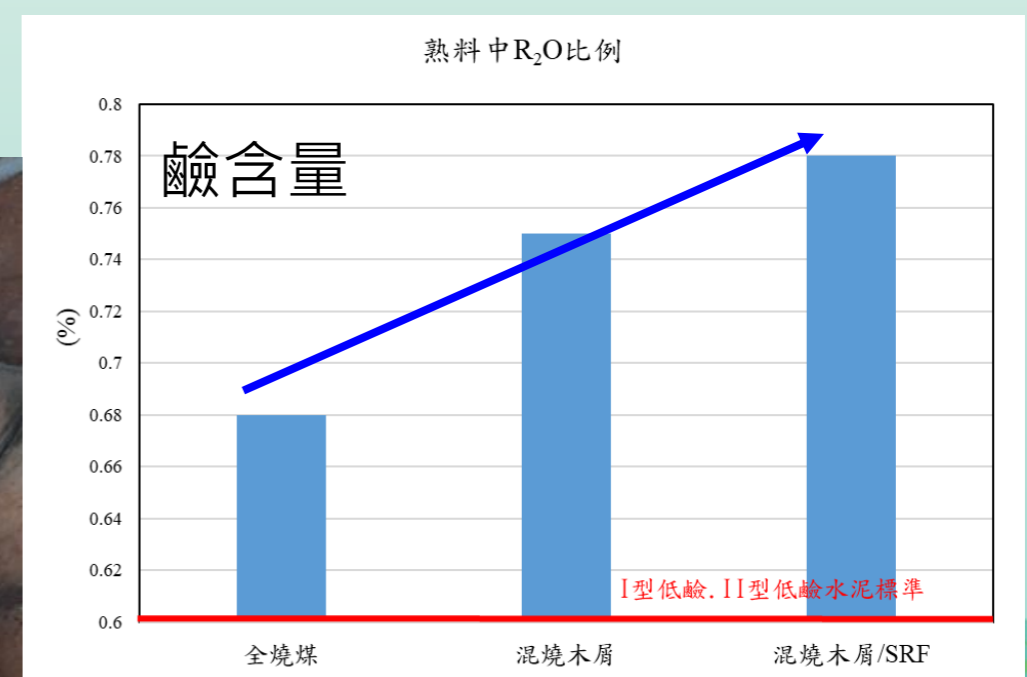
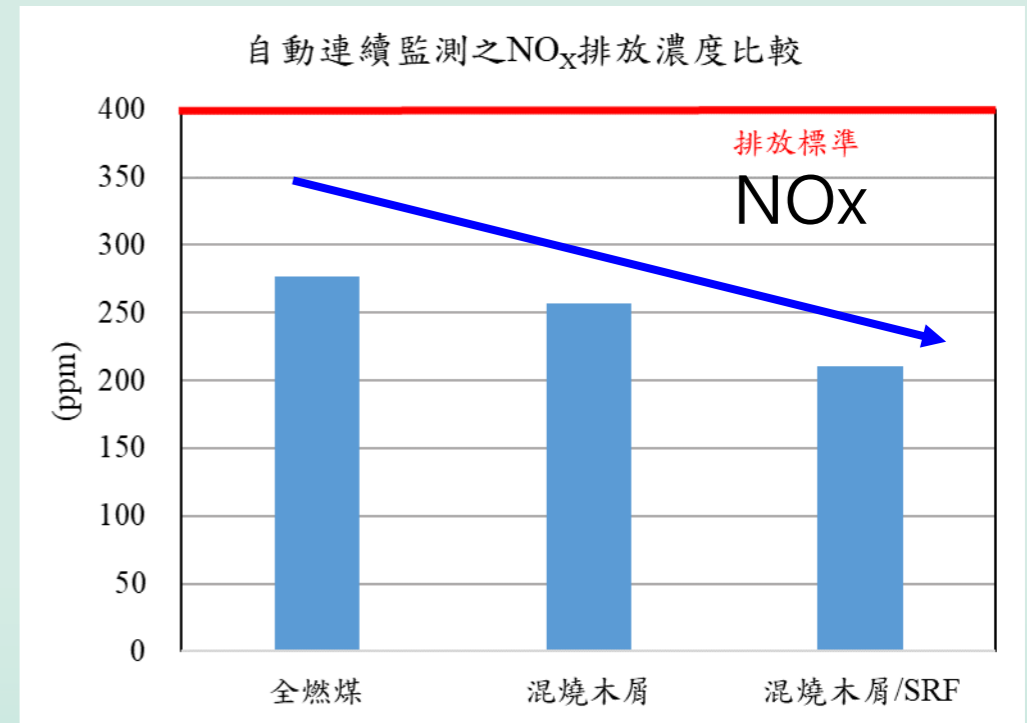
- 可供燃料化廢棄物種類及數量全國一般可燃事廢產生量推估約 **190 萬公噸/年**，其中可做為 SRF 的事業廢棄物推估約 **77 萬公噸/年**。
- SRF 潛在使用者分佈及現況：國內既設流體化床鍋爐事業以北部地方 9 家為最多 其次為中部地區共 6 家、南部地區共 4 家、東部地區 1 家。水泥窯業則皆位於東部地區共 6 家。



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥<蘇澳>使用SRF的情況

使用SRF後：NO<sub>x</sub>下降，熟料鹼含量上升



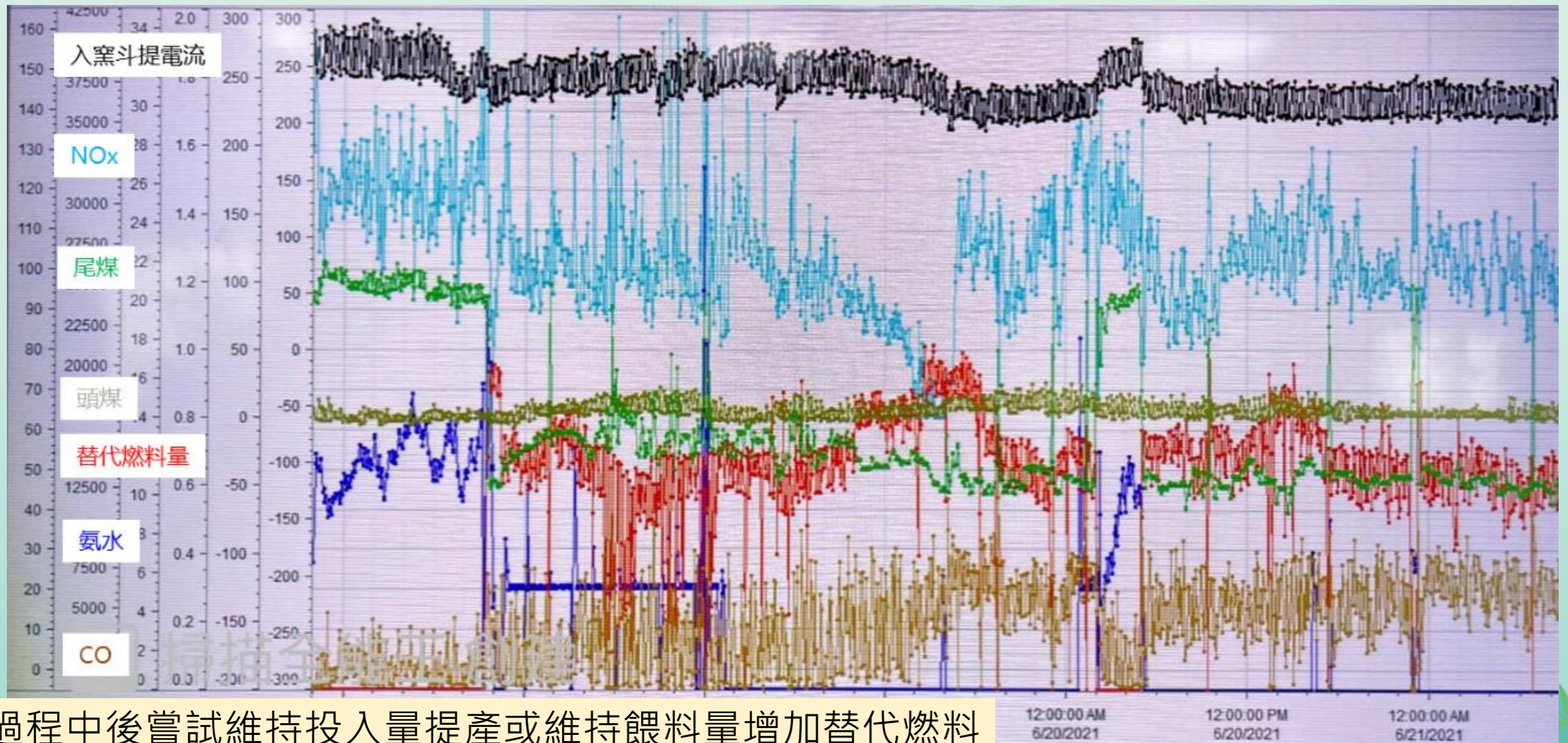
# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥<大陸廠>使用SRF的情況-生物質顆粒

熱值：3400~4200 kcal/kg

投料量：12~16 t/h

中控曲線



過程中後嘗試維持投入量提產或維持餵料量增加替代燃料投入量皆因CO高，窯電流低無法有效維持。

12:00:00 AM  
6/20/2021

12:00:00 PM  
6/20/2021

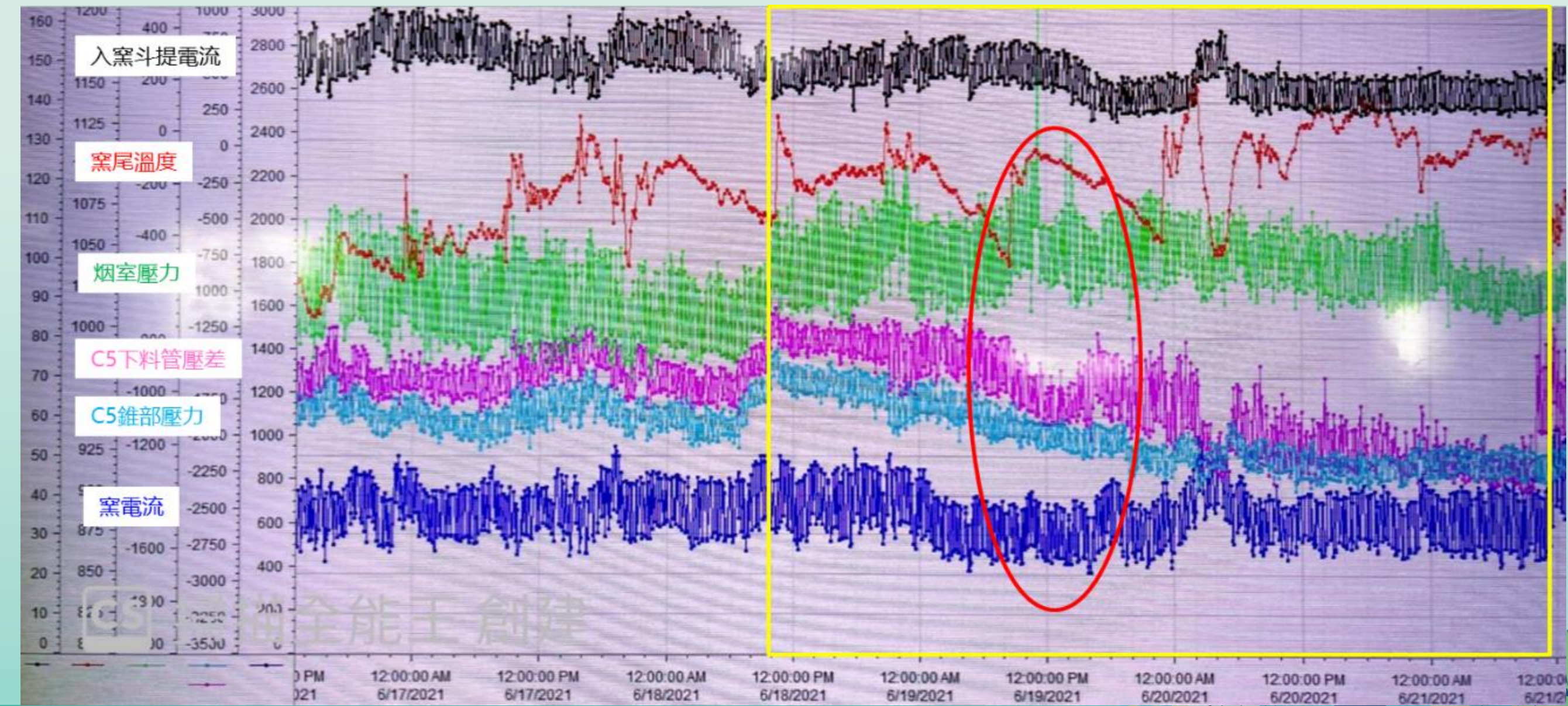
12:00:00 AM  
6/21/2021

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥〈大陸廠〉使用SRF的情況-生物質顆粒

1. 窯餵料量降低，CO高，窯電流不穩
2. 煙室溫度上升，替代燃料有落入煙室燃燒狀況
3. 煙室負壓下降，結皮點與以往有所差異，主要為側牆與縮口上方
4. C5錐部負壓與下料管壓差增大，存在結皮風險。
5. 部分數據於停燒後恢復正常。

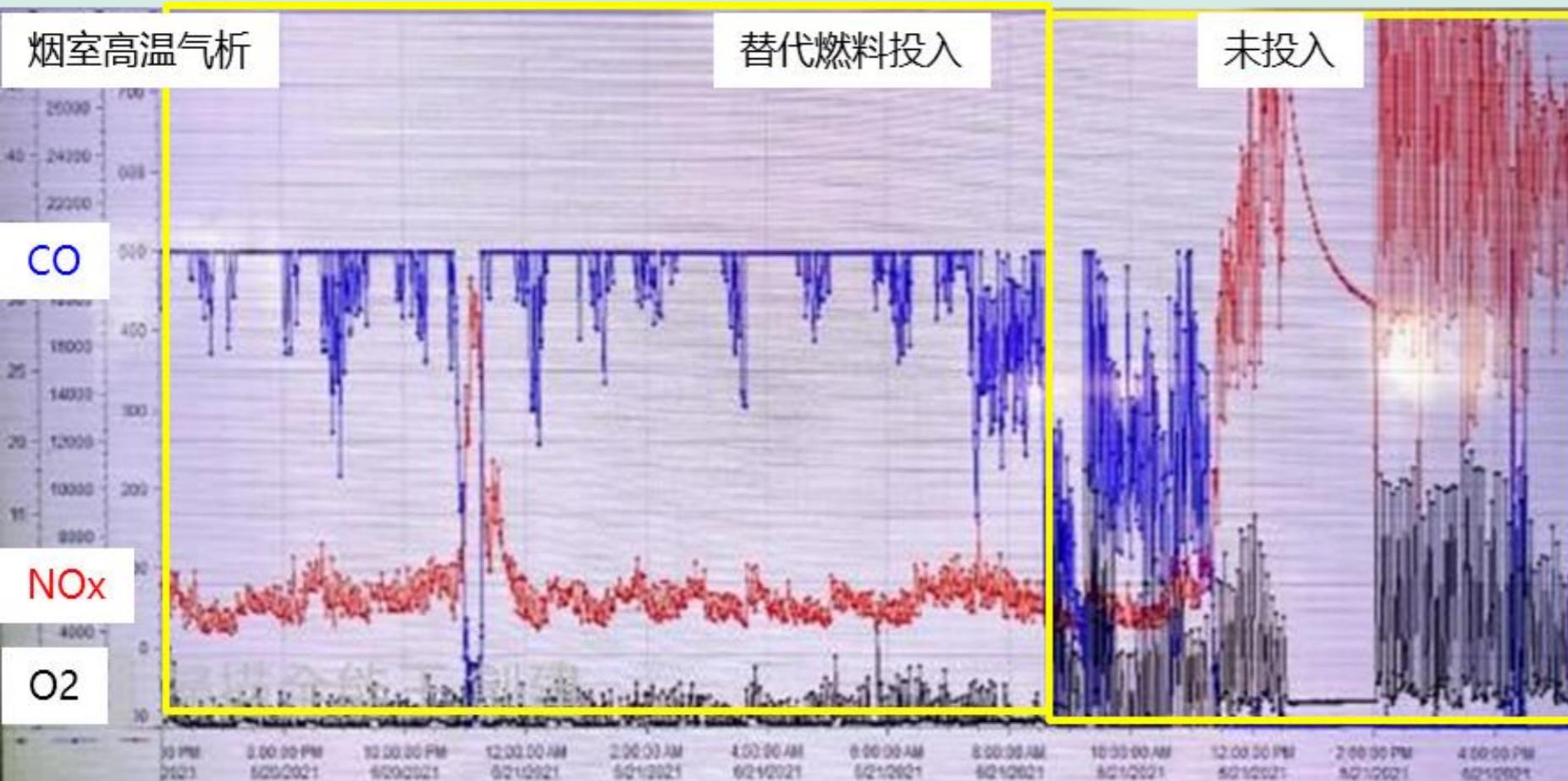
### 窯況分析：



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥<大陸廠>使用SRF的情況-生物質顆粒

1. 生物質顆粒餵料12t/h，不噴氨水，NO<sub>x</sub>控制<150mg/ Nm<sup>3</sup>
2. 顆粒料會落入煙室燃燒，煙室還原氣氛重，結皮量大，成長速度快，初期投用約減產10~15 t/h，提升替代燃料投入量，結皮嚴重後減產30~40 t/h，短暫出現還原熟料。
3. 該廠高溫氣析屬深入式測窯內煙氣，投放替代燃料時，煙室CO多為滿量程(20000 ppm)，氧含量<0.5%，NO<sub>x</sub><100 ppm，可推測替代燃料已入窯預熱帶，產生大量CO還原窯內NO<sub>x</sub>



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥〈大陸廠〉使用SRF的情況-廢紡

- 處理廢紡替代燃料時，設備所存在的問題：
  1. 燃燒廢紡板喂機下料口架空及異物卡死處理時間長。
  2. 廢紡於絞刀卡死超載。
- 改進方案：
  1. 絞刀更換為短皮帶，板喂機下料口新增絲杆調節閥及活動閘板。
  2. 目前現狀：**a.**廢紡成型料不卡死; **b.**廢紡(布碎)下料改善可餵料4-6T/H; **c.**板喂機卡異物處理時間大幅縮短



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥<大陸廠>使用SRF的情況-甘蔗渣

甘蔗經過破碎後，將甘蔗汁壓榨出來制糖，所得的渣。



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥〈大陸廠〉使用SRF的情況-甘蔗渣

- 外觀呈絮狀（殘渣狀）



# 三、替代燃料试用报告---蔗渣

- 工業分析：

名稱	水分(%)	揮發份(%)	灰份(%)	濕基低位熱值(kcal/kg)	硫份(%)	起始溫度	燃盡溫度	溫差
煤炭	9.3	30.1	18.2	5504	0.99	440	547	107
甘蔗渣	31	72.7	2.0	2770	0	317	357	40

- 灰份成分：

名稱	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO(%)	MgO(%)	Cl <sup>-</sup> (ppm)
煤炭	45.6	36.1	4.5	5.8	0.8	850
甘蔗渣	63.5	4.8	8.4	4.5	2.9	410



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

案例分享：台泥歐洲合資公司使用SRF的情況

## 土耳其-OYAK GROUP



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥歐洲合資公司使用SRF的情況

RDF/SRF which is produced in OYAK Cement Plants:

熱替代率已達55%以上

According to the Waste Acceptance Criteria of OYAK Cement Group, Industrial Zones and Industries are visited and waste inventory created for all regions.

Waste Acceptance Criteria	Base Criteria	Reject Criteria
Waste Content	Plastic (PE; PP, PET, PS, HDPE, LDPE), Textile, Paper / Cardboard, Packaging Waste Recycling Wastes, Contaminated Wastes	PVC
Specific Heat (kCal/kg waste) (As received)	Plastic: 4500 - 6000 Textile: 3500 - 6000 Paper / Cardboard: 3500 - 4500	< 2500
Water Content (%)	10	>15
Cl (%)	0,3	>1
Total Heavy Metals (ppm)	< 2500	>2500

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥歐洲合資公司使用SRF的情況 AF & ARM Process Basic Flow Chart：



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥歐洲合資公司使用SRF的情況

AF and ARM are using all plants of OYAK Cement.

### Alternative Fuels;

1. Ready AF (RDF, SRF, Dried Sludge, Liquid Wastes, ELT etc.)
2. RDF/SRF which is produced in OYAK Cement Plants)



### Alternative Raw Materials;

1. Waste Water Treatment Sludges
2. Contaminated Soils



# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥歐洲合資公司使用SRF的情況

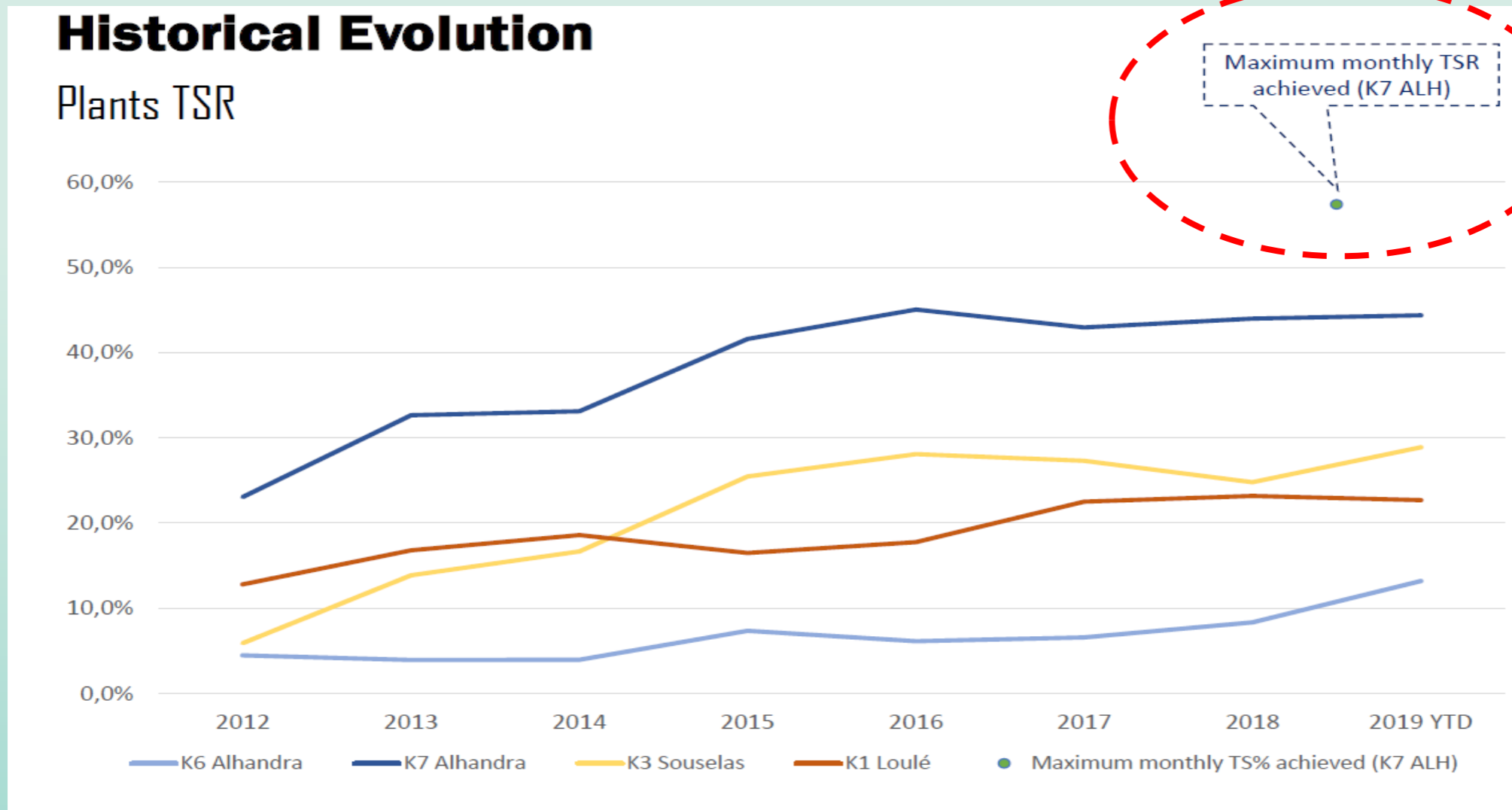


葡萄牙-CIMPOR GROUP

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

## 案例分享：台泥歐洲合資公司使用SRF的情況

- Cimpor Cement Plants:原燃料替代率平均**約30%**，**單窯最大替代率接近60%**。(Alhandra, Souselas, Loule)
- 技改後，熱替代率將提升到**60%**。



Comment: All kilns in activity are co-processing (except SOU K1 and K2).  
 Good evolution, special in ALH K7 & SOU K3.

# 臺灣水泥業使用替代燃料的情況

案例分享：台泥歐洲合資公司使用SRF的情況

Cimpor Cement Plants: 使用替代原燃料之過程

## Waste Process Preparation



## Alternative Fuel Process



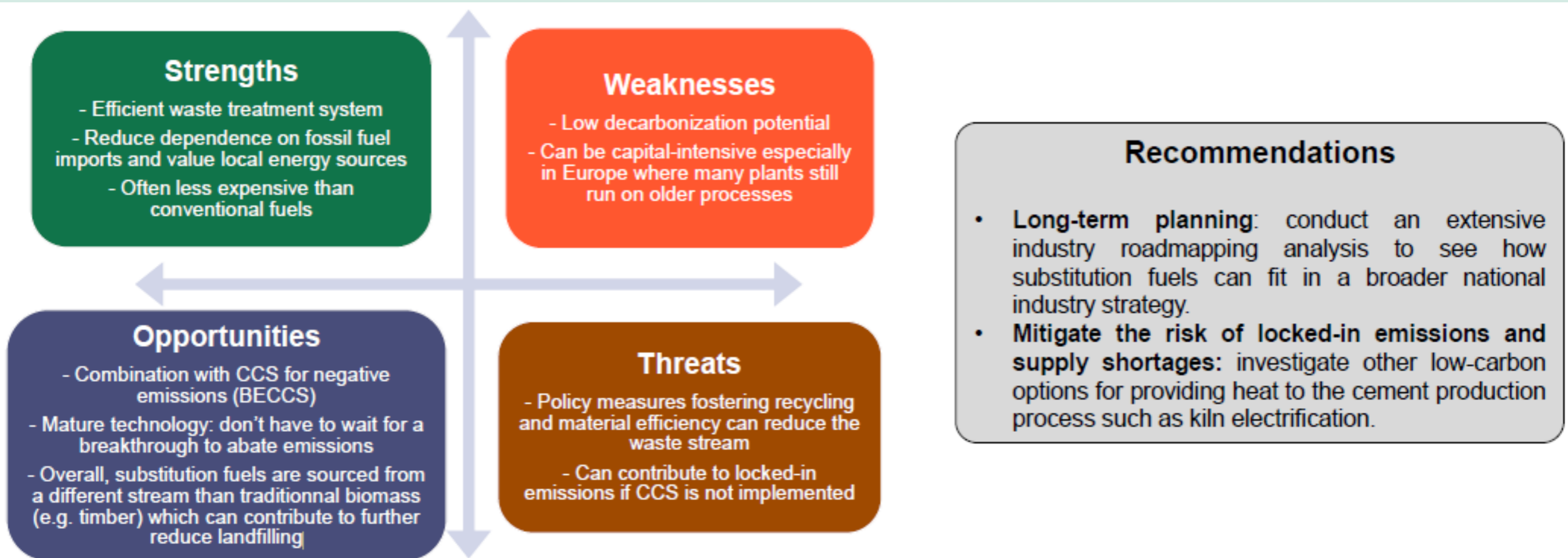
# 目錄

- 2050氣候願景
- 國際上水泥窯使用替代燃料的現況
- 臺灣水泥業使用替代燃料的情況
- 總結

# 總結

## 水泥行業替代燃料使用情況總結建議：

1. 台灣水泥業對使用替代燃料正開始起步，用量上還有進步空間，相對在設備、規範上仍須逐步調整。
2. 須長期規劃進行廣泛的行業路線圖分析，來瞭解替代燃料如何讓適應性更廣泛。
3. 降低排放和供應短缺的風險研究，為水泥生產過程提供熱量的其他低碳選擇。





Thank you

