

水泥業能源效率分析

報告人：黃啟峰

工業技術研究院

2021/08/06

承辦單位：財團法人工業技術研究院

協辦單位：台灣區水泥工業同業公會



目錄

- 一、產業發展趨勢
- 二、能源效率分析
- 三、產業節能效益
- 四、原料/燃料替代
- 五、低碳時代的來臨
- 六、結語

一、產業發展趨勢

1. 產業現況-1

• 產業範疇

- 108年水泥製造業廠家數為37家，提供2,677人就業機會，年營收344億元，每位員工創造年營收1,2867萬元。

• 產業特性

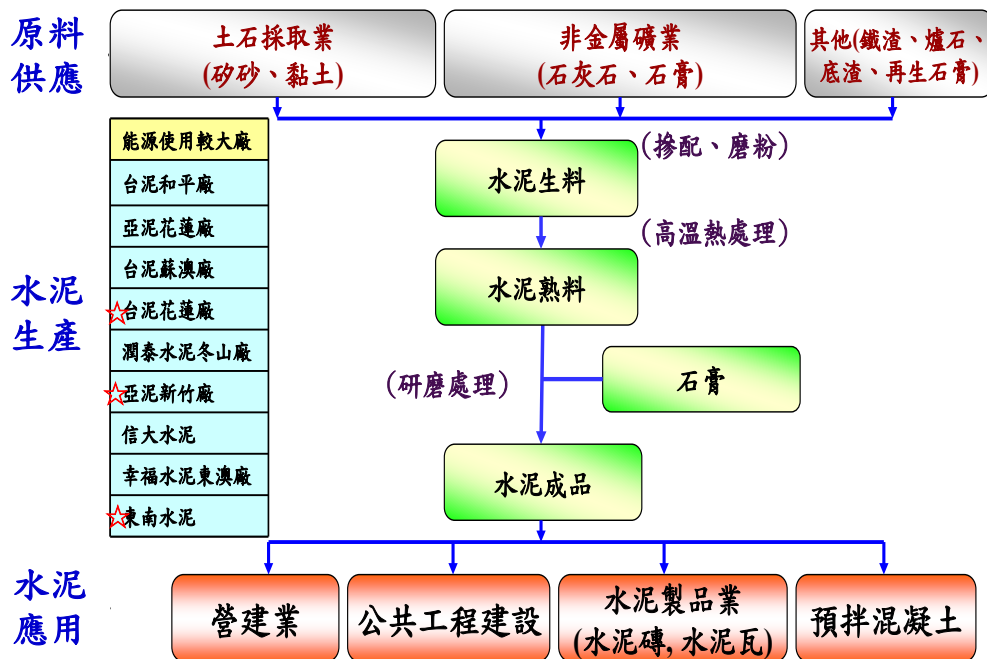
- 為內需型傳統產業、高度技術與資本密集、生產彈性小、能源耗用量大，製程CO₂排放大。

• 主要耗能製程：

- 生料磨系統：生料破碎、研磨、均化、及靜電除塵等耗電。
- 旋窯系統：生料預熱、熟料燒成、熟料冷卻。
- 水泥磨系統：水泥預磨與粉磨。

• 水泥產業關聯圖與主要生產廠商如右圖所示。

- **原料供應**：砂砂、黏土、及石灰石之採礦，鐵渣、爐石、底渣、及再生石膏等之生產。
- **水泥生產**：生料研磨、熟料燒成、及水泥研磨等。
- **水泥應用**：使用水泥之預拌混泥土廠、營建與公共工程等營造、及生產水泥磚板等業者。



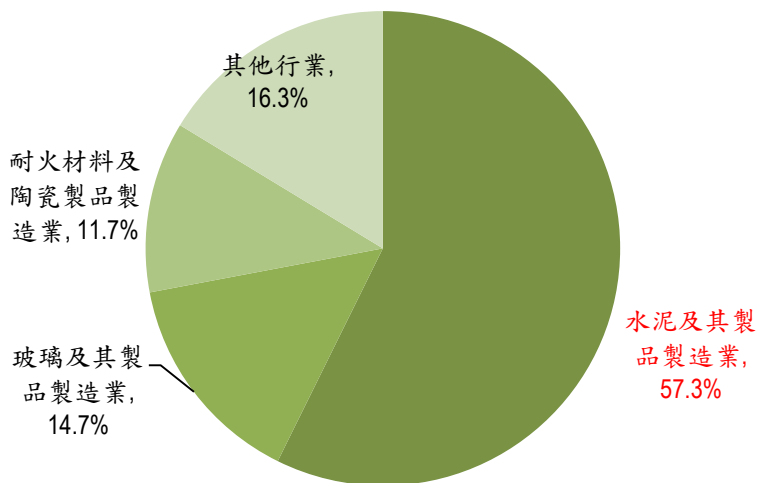
專業水泥磨廠：晉瑜、和桐、鼎泰、餘慶堂、及寶虹等公司。

☆：旋窯已停止生產(另有環球與欣欣停窯多時)。

1.產業現況-2

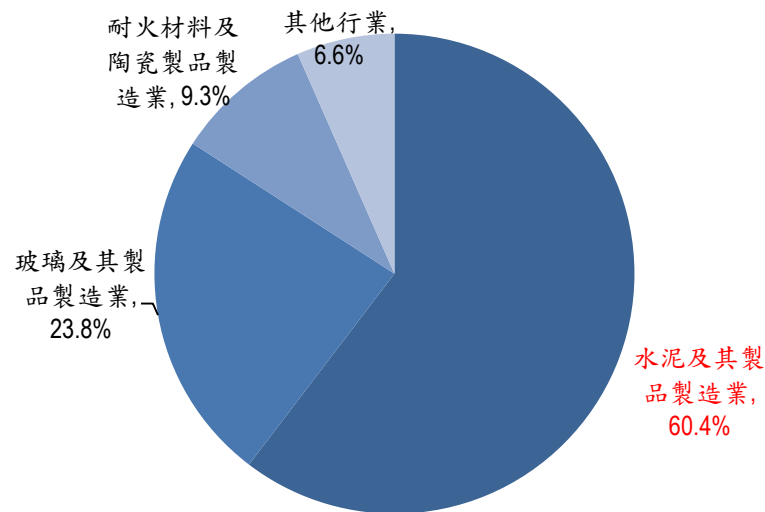
- **產值**：2020年非金屬礦物製品製造業產值為2,189億元(占工業產值1.6%)，「**水泥及其製品製造業**」占比最大為**57.3%**(其中水泥製造業僅占**10.8%**)，其次「**玻璃及其製品製造業**」為**14.7%**，「**耐火/黏土建築材料及陶瓷製品製造業**」為**11.7%**，其餘占**16.3%**。
- **能源消費**：2020年非金屬礦物製品製造業能源消費為209萬KLOE(占工業能源消費7.8%)，「**水泥及其製品製造業**」占比最大為**60.4%**，其次「**玻璃及其製品製造業**」為**23.8%**，「**耐火/黏土建築材料及陶瓷製品製造業**」為**9.3%**，其餘占**6.6%**。

2020年非金屬礦物製品製造業產值占比



資料來源：經濟部統計處(2021) · 工業生產調查資料庫。

2020年非金屬礦物製品製造業能源消費占比



資料來源：經濟部能源局(2021) · 2020年能源平衡表。

2.全球發展趨勢

• 全球生產占比

- **中國主導全球市場**：2020年全球水泥產量41億公噸，中國占53.7%(22億公噸)為全球第一，印度第二占8.3%，越南占2.3%。

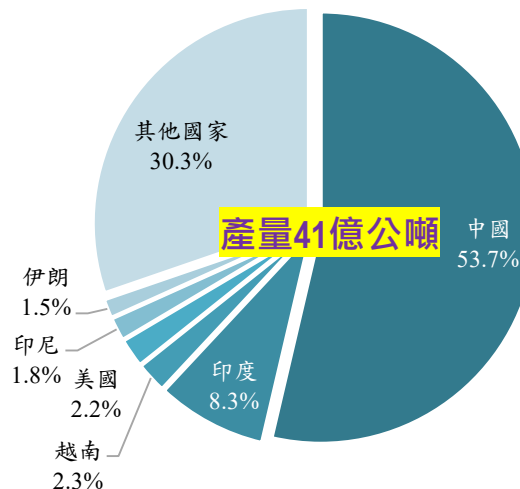
• 台灣水泥業地位

- **我國產量全球占比低**：2020年我國水泥產量僅1,179萬公噸，比前一年回升了4.7%，產量占全球不到0.3%。

• 全球水泥業之挑戰

- **替代競爭品**：混凝土替代品(瀝青、磚、爐渣)與水泥替代品(爐石粉、煤灰)。
- **永續轉型**：循環經濟→生態知識園區→在地文化共生。
- **淨零排放壓力**：2050產業淨零排放或碳中和已為全球產業追求的目標與趨勢。

2020年全球水泥主要生產國產量占比



全球水泥產量成長趨勢

單位：百萬噸

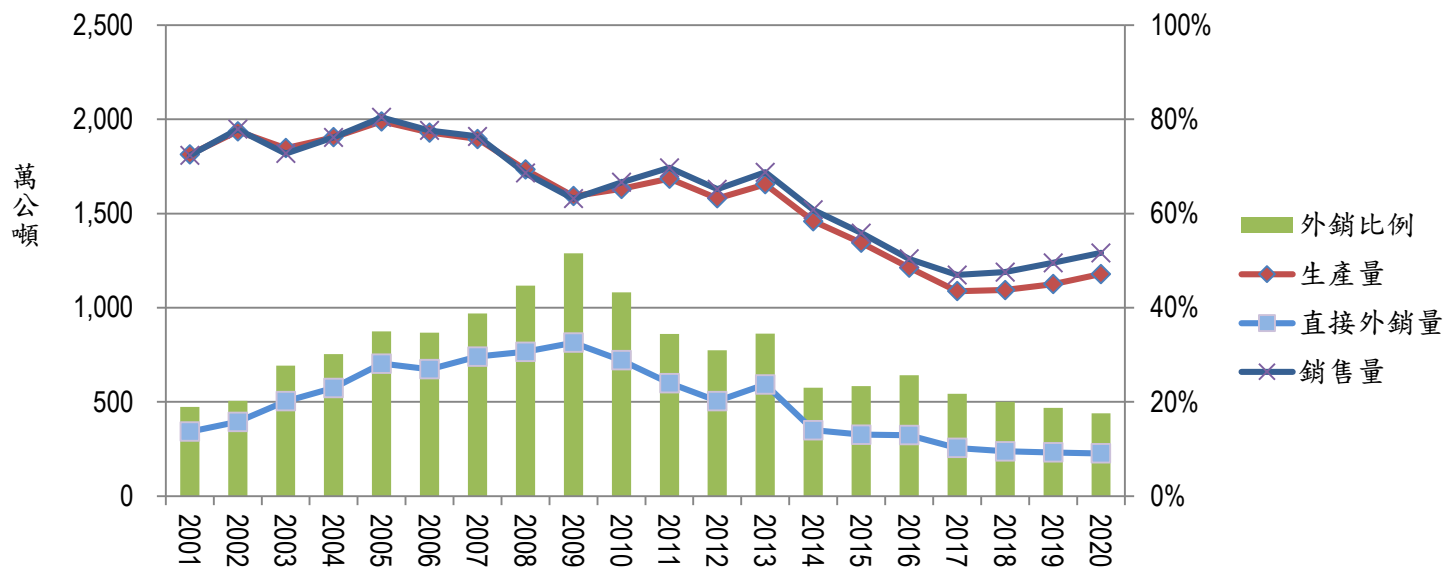
	2010	2015	2019	2020	2020 成長率	2010-2020 年均成長率
中國	1,880	2,350	2,300	2,200	-4.3%	1.8%
印度	210	300	340	340	0.0%	5.5%
越南	50	67.4	97	96	-1.0%	7.5%
美國	67.2	84.3	89	90	1.1%	3.3%
印尼	22	58	70	73	4.3%	14.3%
伊朗	50	58.6	60	60	0.0%	2.0%
巴西	59.1	65.3	54	57	5.6%	-0.4%
俄羅斯	50.4	62.1	56	56	0.0%	1.2%
埃及	48	55	47	50	6.4%	0.5%
南韓	47.2	51.7	50	50	0.0%	0.6%
其他國家	826	948	937	1,028	9.7%	2.5%
總計	3,310	4,100	4,100	4,100	0.0%	2.4%

資料來源：USGS (2021), Mineral Commodity Summaries 2020, page 43.

3. 國內產銷趨勢

- **產量微幅上升**：2017年產量1,088萬公噸為歷年低點，2020年1,179萬公噸，產量微幅上升。
- **國內需求近年呈平穩**：2001年內需量1,465萬公噸，內需量逐年下滑，至2009年為765萬公噸，近年國內需求呈平穩，2020年內需量為1,064萬公噸。
- **外銷比例降至20%以下**：2009年外銷比例達到52%，隨著市場因素與老舊旋窯關閉，至2020年外銷比例已降為18%。

我國水泥歷年產銷趨勢



資料來源：經濟部統計處(2020)，工業生產調查資料庫。

4. 運轉中的旋窯

- **生產家數少**：運轉中旋窯有**5家公司6個廠**，總共**9座旋窯**，均為乾式**4-5級(階)**之懸浮預熱器旋窯。
- **產能利用率**：2020年運轉中旋窯產能利用率為**76%**。運轉中旋窯產能**1,425萬公噸**，**台泥占50%、亞泥占28%**，其餘占**22%**。
- **實際產量**：2020年熟料實際產量**1,090萬公噸**，**台泥占49%、亞泥占32%**，其餘占**19%**。

國內各水泥廠旋窯產能利用率

公司	工廠	各旋窯年產能 (萬噸熟料)			產能合計 (萬噸熟料)		產能 占比	各旋窯實際產量 (萬噸熟料)			產量合計 (萬噸熟料)		產量 占比
台泥	蘇澳廠	0	158.4		158.4	11%	0	142.2			142.2	13%	
	和平廠	280	280		560	39%	183.1	212.8			395.9	36%	
	花蓮廠	0			0	0%	0				0	0%	
亞泥	新竹廠	0			0	0%	0				0	0%	
	花蓮廠	105.6	138	158.4	402	28%	95.7	118.9	134.4		349	32%	
東南	高雄廠	0			0	0%	0				0	0%	
信大	南聖湖廠	0	85		85	6%	0	69			69	6%	
幸福	東澳廠	120			120	8%	71				71	7%	
潤泰	冬山廠	100			100	7%	63.1				63.1	6%	
合計(6家9廠)		共9條			1,425	100%					1,090	100%	

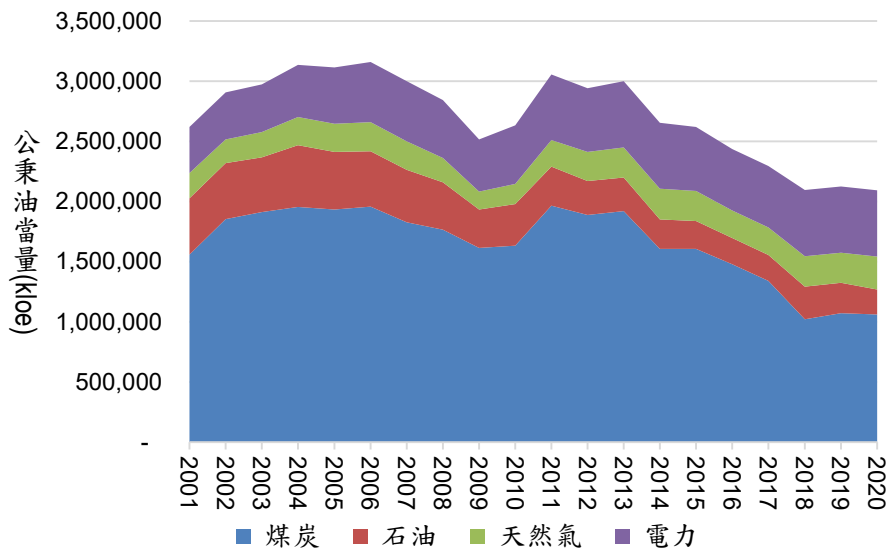
資料來源：工研院綠能所(2021)·水泥業能源效率申報資料。

二、能源效率分析

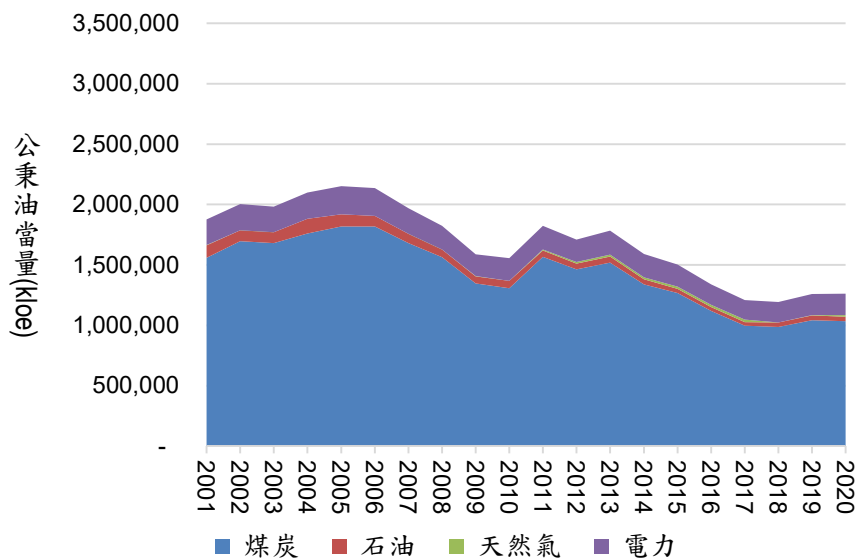
1.能源消費趨勢

- **非金屬礦物製造業能源消費呈波浪下降趨勢**：煤炭和電力是主要能源消費，分別占51%與26%(2020年)。2011年後逐年降低，2001與2020年能源消費分別為262萬KLOE與209KLOE，2020年為18年來最低水準。水泥業2020年的能源消費占60%，玻璃業占24%，陶瓷業占9%。
- **水泥業能源消費呈下降趨勢**：煤炭是主要能源消費，2020年占82%，電力為次占14%。2001年與2020年能源消費分別為188萬公秉油當與126萬公秉油當，下降33%。

非金屬礦物製造業能源消費趨勢



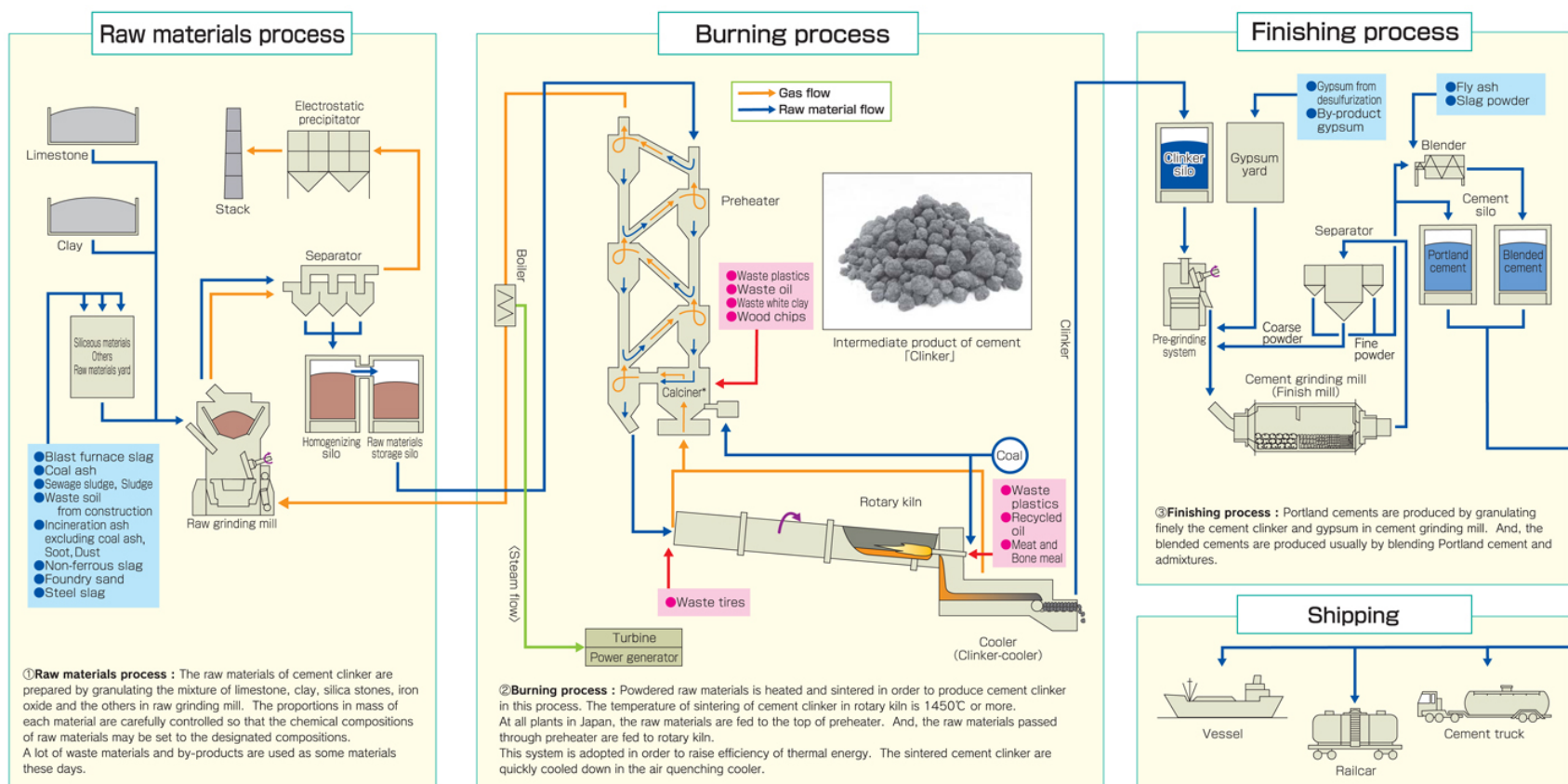
水泥及其製品製造業能源消費趨勢



資料來源：經濟部能源局(2021) · 2020年能源平衡表。

2.製程能源消費-1

- **水泥廠製程**：主要包括(1)生料磨系統；(2)旋窯系統；(3)水泥磨系統。
- **能源使用**：使用的主要能源為燃煤、電力及油等3種，**燃煤**主要供熟料燒成加熱時之燃料，**電力**則供應生料磨、水泥磨、熟料動力系統等用電所需，**燃油**用於旋窯點火及機器設備潤滑等。

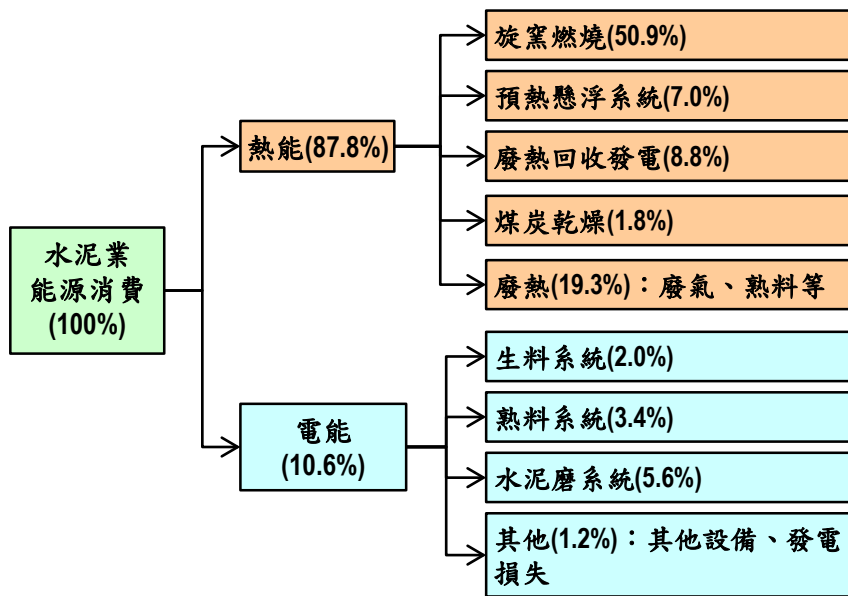


資料來源：Japan Cement Association(2021), Sustainability, accessed at http://www.jcassoc.or.jp/cement/2eng/e_01a.html

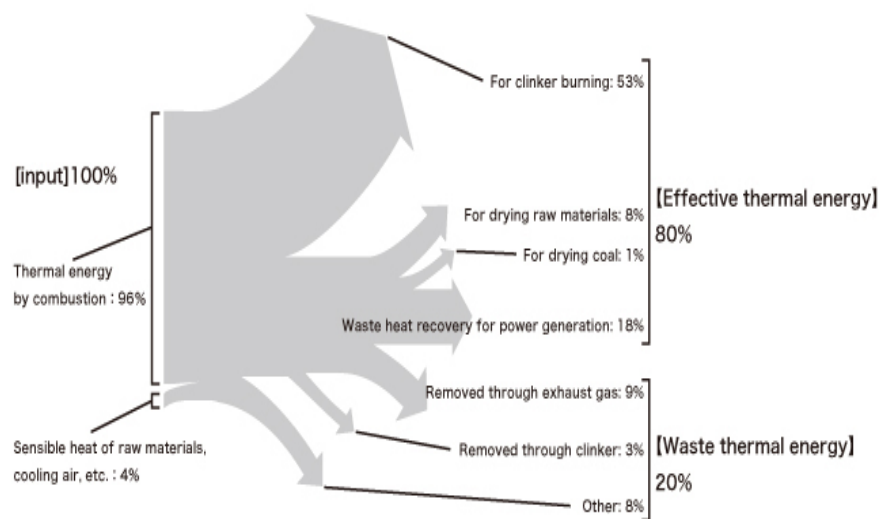
2.製程能源消費-2

- **能源消費以熱能原主**：2020年我國水泥業熱能約占87.8%(以煤炭為主)，電能約占12.2%。
- **熱能消耗**：旋窯熟料燃燒占50.9%，預熱懸浮系統約占7.0%，廢熱回收發電約占8.8%，排出廢熱與廢氣約19.3%。
- **電力使用**：生料磨系統約占2.0%，熟料(旋窯)系統約占3.4%，水泥磨系統約占5.6%。

我國水泥業能源消費分布圖



水泥業熱能消費分布圖

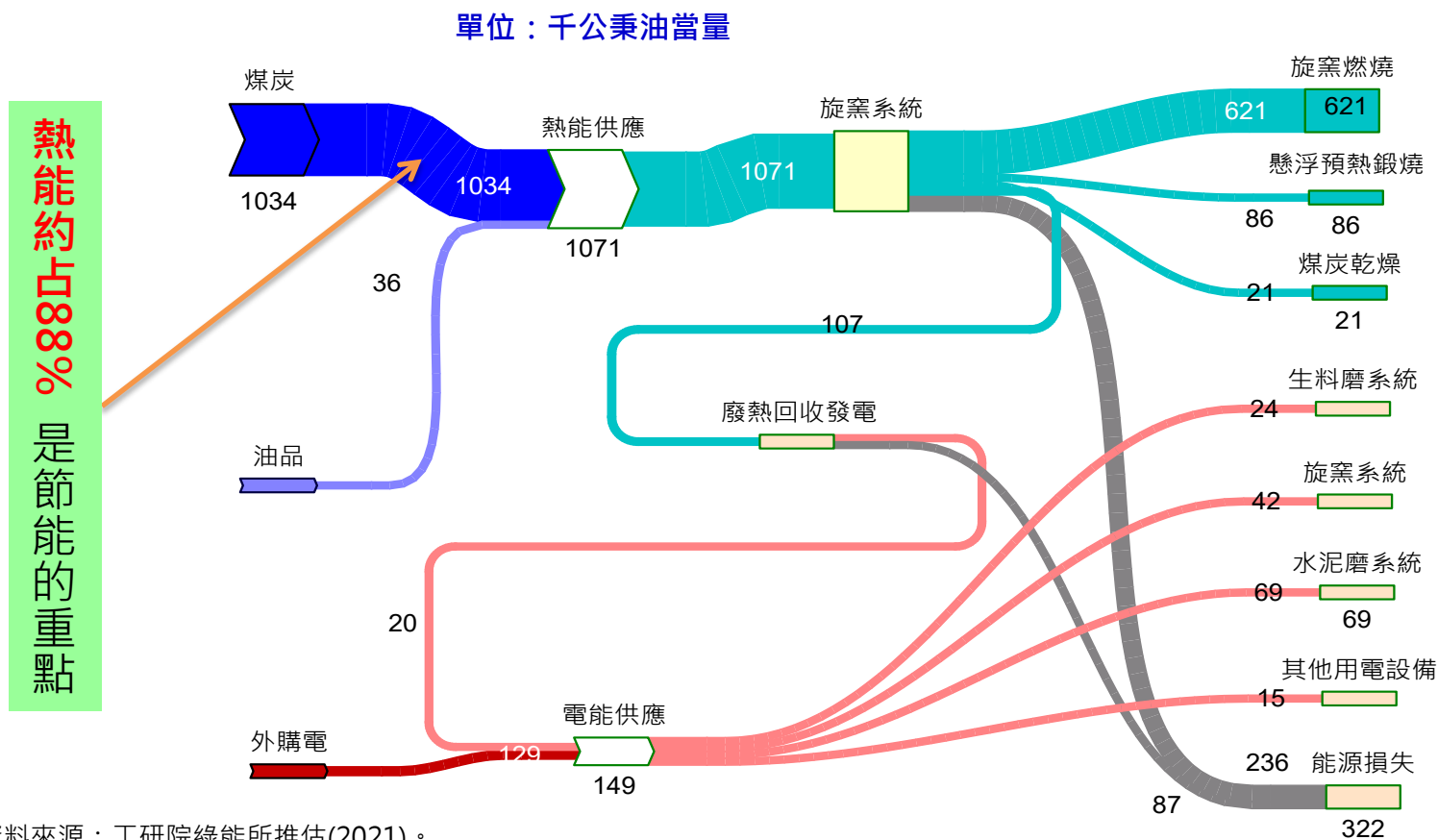


資料來源：Japan Cement Association(2019), Sustainability, accessed at https://www.jcassoc.or.jp/cement/2eng/e_01a.html

資料來源：工研院綠能所推估(2021)。

2.製程能源消費-3

- **能源流向分析**：以Sankey Diagram分析2020年水泥製品製造業能源流向，可掌握顯著性能源與流向，亦可看出廢熱回收發電與熱能損失的大小，藉此掌握節能重點。

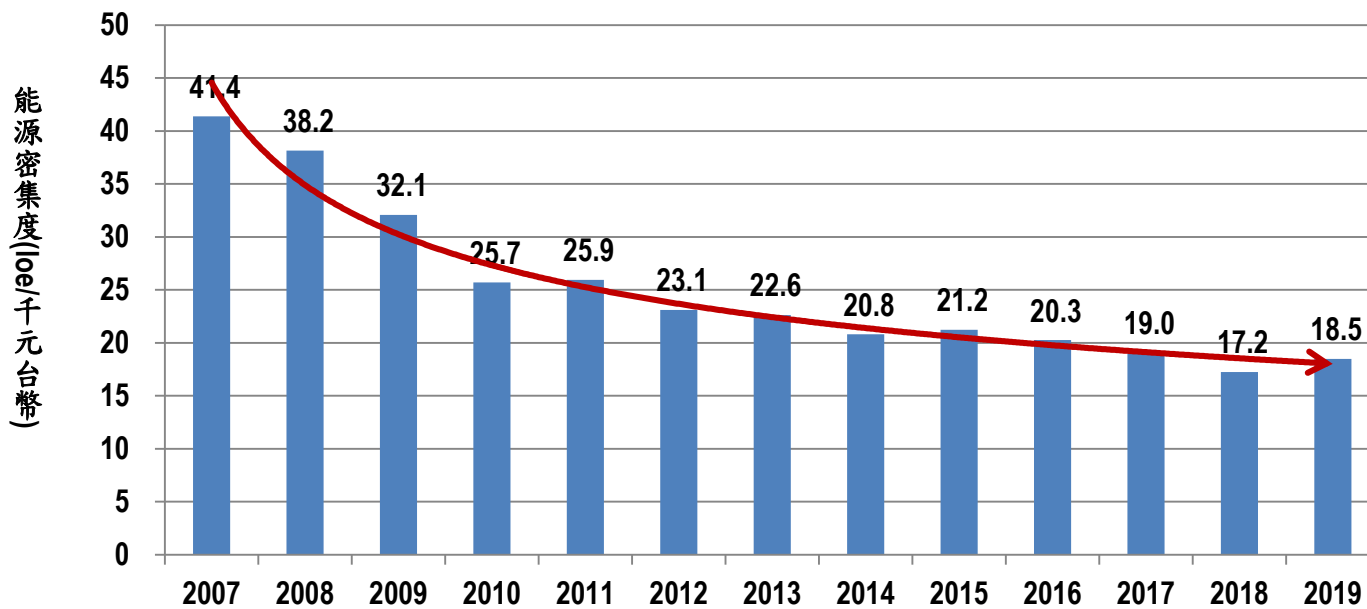


資料來源：工研院綠能所推估(2021)。

3.能源集中度分析

- **能源集中度呈下降趨勢**：由2007年為41.4 loe/1000 NT，之後逐年下降，2019年為18.5 loe/1000 NT，降幅達55%，年均成長率下降6.5%。
- **下降原因**：2007年至2019年主要產品原物料躉售物價大幅下滑，致GDP年均成長3.9%，而能源消費年均下降2.8%，此為能源集中度下降主要原因。

非金屬礦物製造業能源集中度趨勢

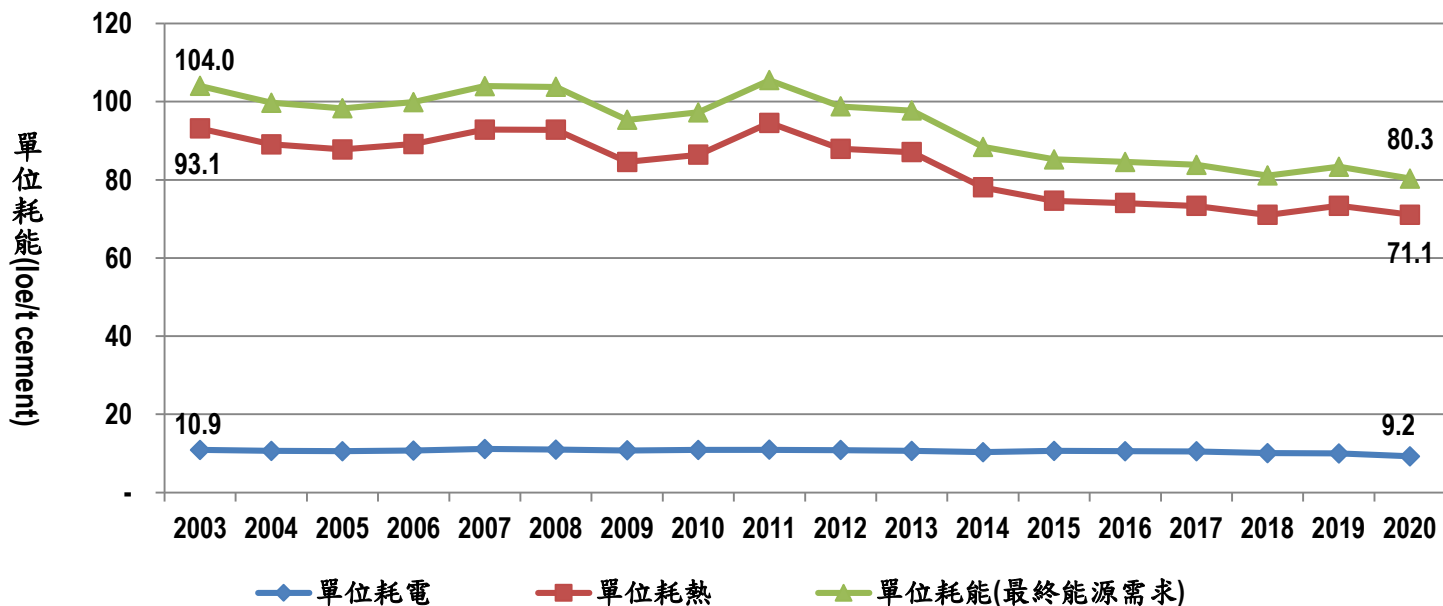


資料來源：經濟部能源局(2021)·2020年能源平衡表；行政院主計處(2020)·國內各業生產毛額(2008SNA)。

4.單位耗能分析-1

- **水泥單位耗能呈下降趨勢**：2003年至2020年我國水泥生產之單位耗能從104.0 loe/t-cement 下降至 80.3 loe/t-cement，下降了22.8%，年均下降1.5%。
- **下降原因**：水泥業致力節能改善之成效，為製程廢熱回收改善與廢熱回收利用(包含汽電共生發電、生料乾燥等)，另外老舊無效率旋窯陸續停產也是主因。

我國水泥生產單位耗能趨勢



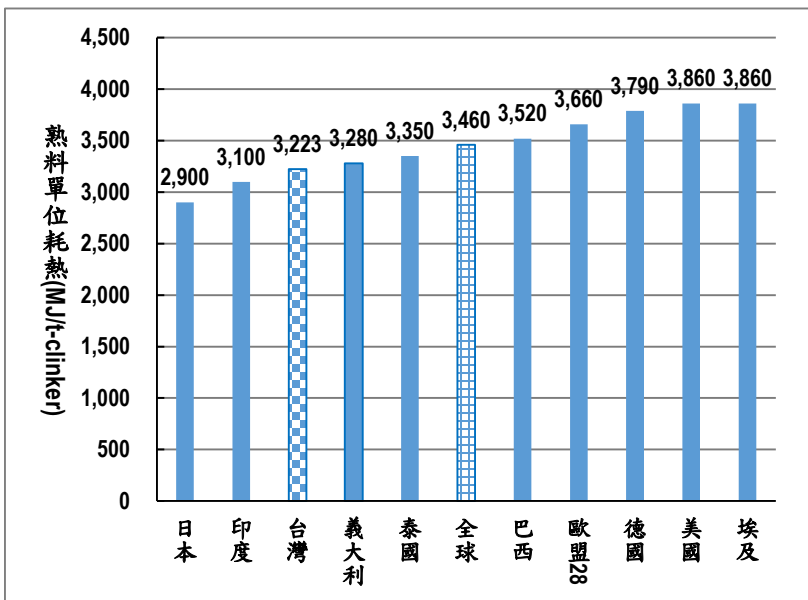
資料來源：工研院(2021)，生產性質能源查核申報資料。

4.單位耗能分析-2

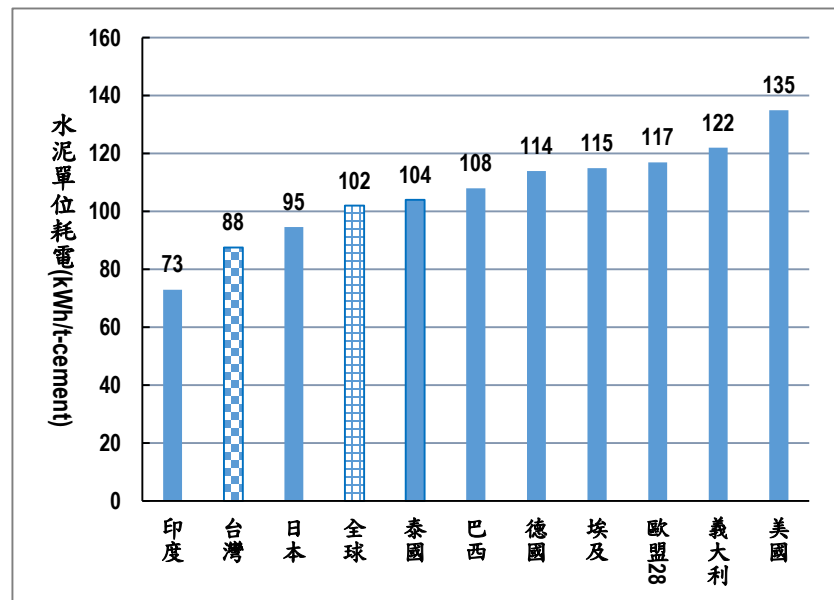
• 單位耗能優於全球與歐盟：

- 熟料單位耗熱僅次於日本、印度，這是由於我國在熟料燒成過程中，所有旋窯都有廢熱回收，與日本一樣並採4-5級懸浮預熱氣旋窯，比較節能。
- 水泥單位耗電僅次於印度。日本與歐盟水泥因為使用大量廢棄物替代燃料，需先做前處理電力消費會增加。

熟料單位耗熱國際比較



水泥單位耗電國際比較



說明：我國單位耗能數據為2020年，其餘國家為2019數據。

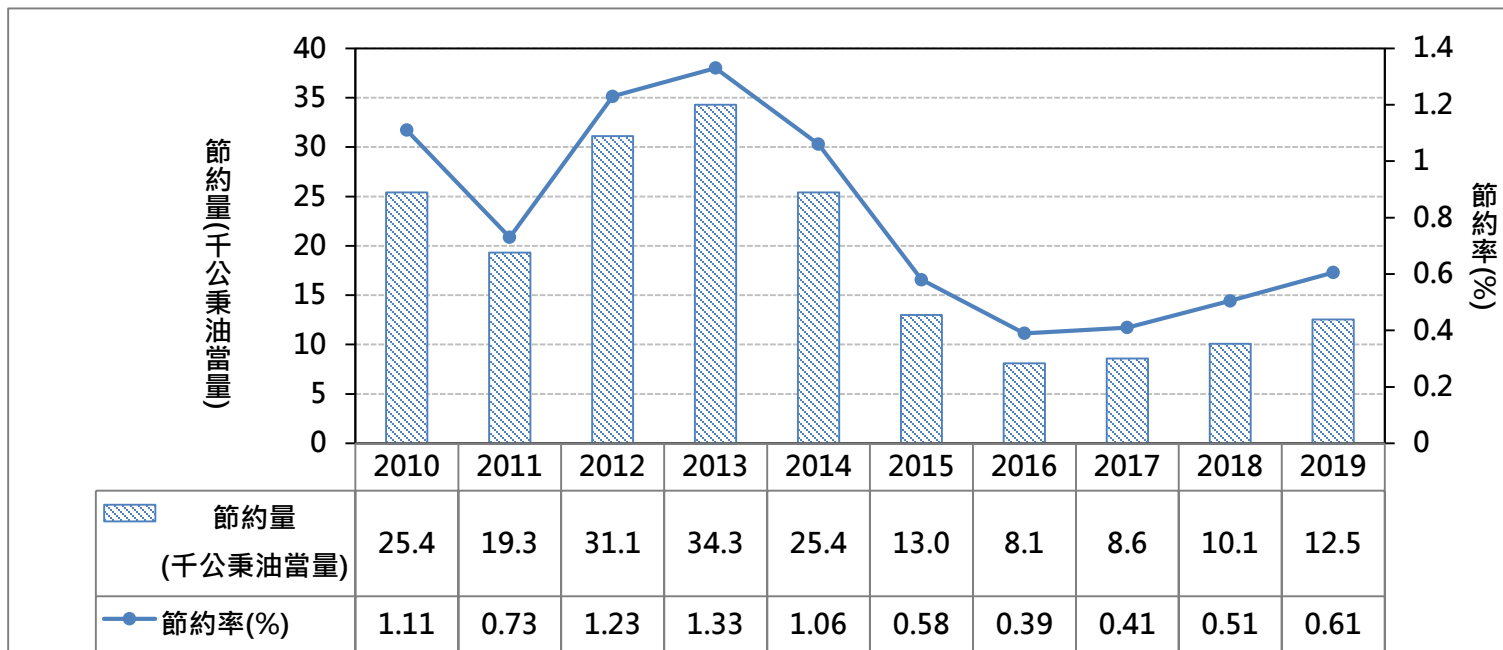
資料來源：1.GCCA(2021), GNR Database；2.Japan Cement Association (2021)；3.工研院(2021)，生產性質能源查核申報資料。

三、產業節能效益

1. 歷年節能改善

- 節約量與節約率**：依據生產性質能源查核申報資料，近幾年節能率逐漸提升，2019年節能量約1.25萬KLOE，年節能率約0.61%。2010年為強制性標準訂定期間，各廠已知管制項目，而投入製程節能改善較大。

非金屬礦物製造業歷年節能成效



資料來源：工研院綠能所(2020)，生產性質能源查核申報資料。

2.廢熱回收發電

- **廢熱來源與發電**：水泥廠的旋窯預分解爐與熟料冷卻系統所產生之廢熱，溫度大約200–400°C，透過汽電共生，一般可達到發電量20-45kWh/t-clinker。
- **我國現況**：我國運轉中旋窯之水泥廠共有6廠，有廢熱回收發電者3廠(台泥與亞泥)，2020年總發電量2億1,200萬度，占所有水泥廠總用電量的15%。

2020年我國水泥廠廢熱回收發電情形

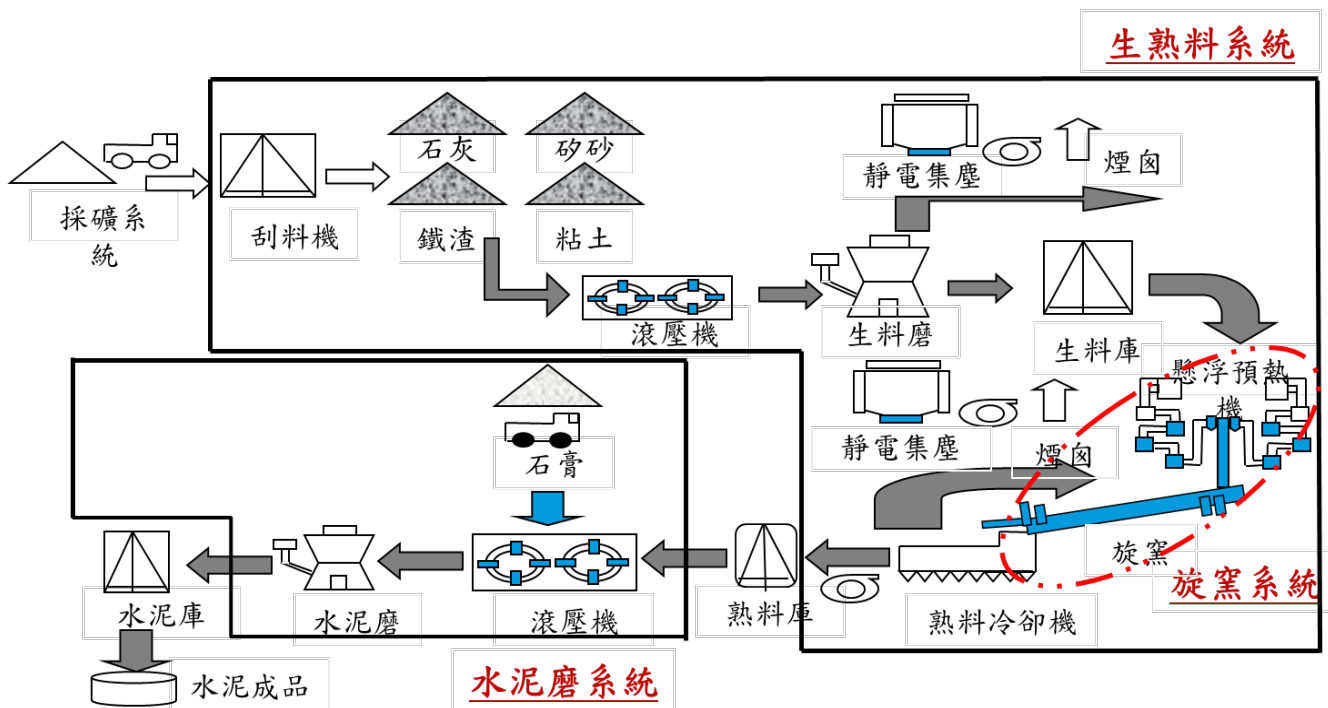
	汽電共生發電 (萬度)	占比	熟料產量 (萬噸)	熟料廢熱發電 (kWh/t clinker)
台泥和平廠	9,624	45%	395.9	24.31
台泥蘇澳廠	2,279	11%	142.2	16.03
亞泥花蓮廠	9,297	44%	349.0	26.64
信大南聖湖廠			69.3	
幸福東澳廠			71.0	
潤泰冬山廠			63.1	
合計	21,200	100%	1,090.4	19.44
水泥業總用電量	139,586	15%		

資料來源：工研院綠能所(2021)，生產性質能源查核申報資料與水泥業能源效率申報資料。

4. 實施能源效率強制規定

- **強制性規定**：2015年1/1起實施「水泥製造業應遵行之節約能源與能源效率指標規定」。
- 生產卜特蘭普通水泥能源使用效率規定：

旋窯系統 (Mcal/t-熟料)	生熟料系統 (kWh/t-熟料)	水泥磨系統 (kWh/t-水泥)
893	74	46

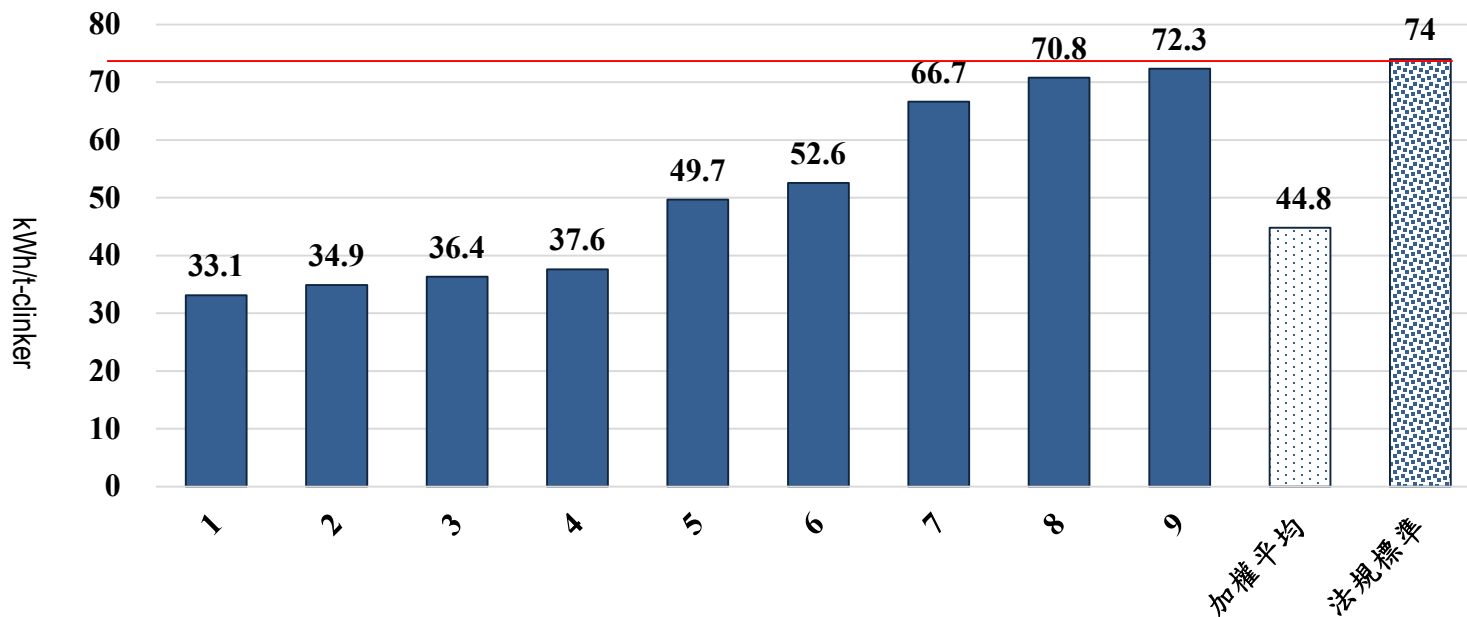


資料來源：經濟部能源局(2012)·水泥製造業應遵行之節約能源與能源效率指標規定。

5.生熟料系統效率

- **生料磨使用現況**：2020年我國水泥業運轉中的9條生熟料系統，其中豎磨有4座，其餘5座為球磨(其中1座有加輥壓機)。一般採「豎磨」或「球磨加輥壓機」單位耗能較低。
- **生熟料系統耗電指標**：9條生熟料系統中全部已達標準，平均效率達44.8 kWh/t-clinker。

2018年我國水泥業生熟料系統能源效率達成現況

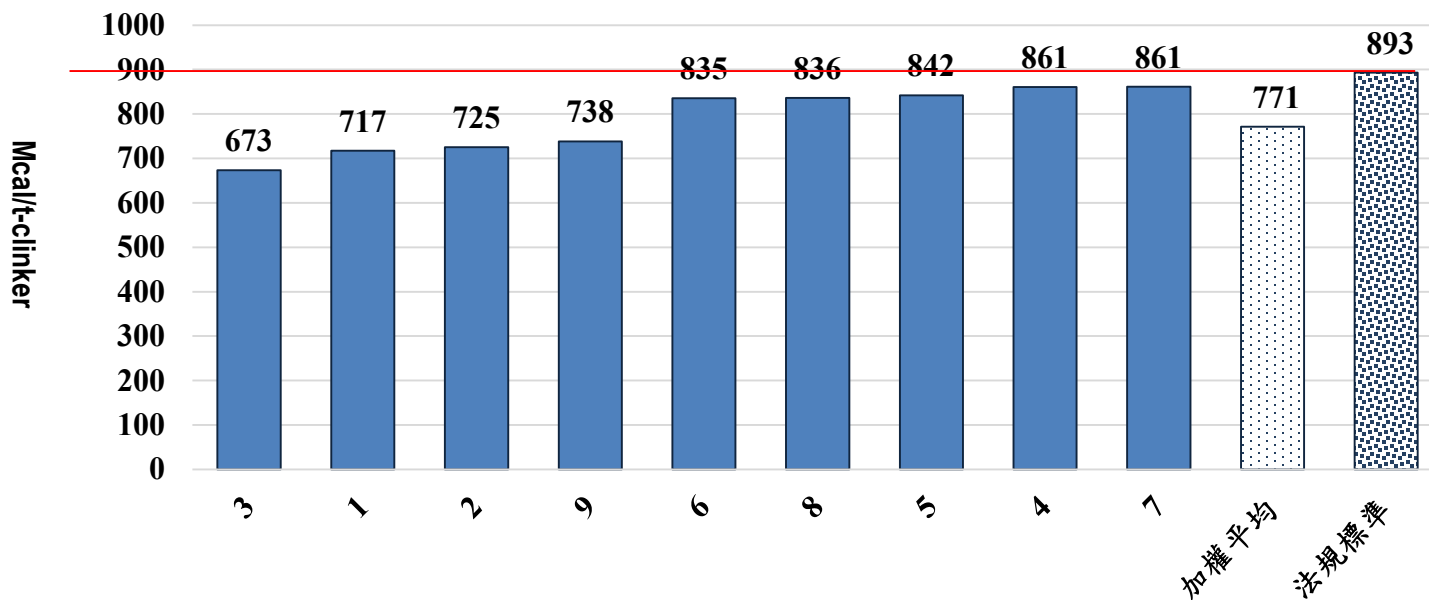


資料來源：工研院綠能所(2021)，水泥業能源效率申報資料。

6. 旋窯系統效率

- **旋窯使用現況**：2020年我國運轉中旋窯共有9座，均採用乾式製程4-5級之懸浮預熱旋窯，在短期旋窯之改善投資較保守。
- **旋窯系統耗熱指標**：9座旋窯全部達標準，平均效率達771 Mcal/t-clinker。

2018年我國水泥業旋窯系統能源效率達成現況

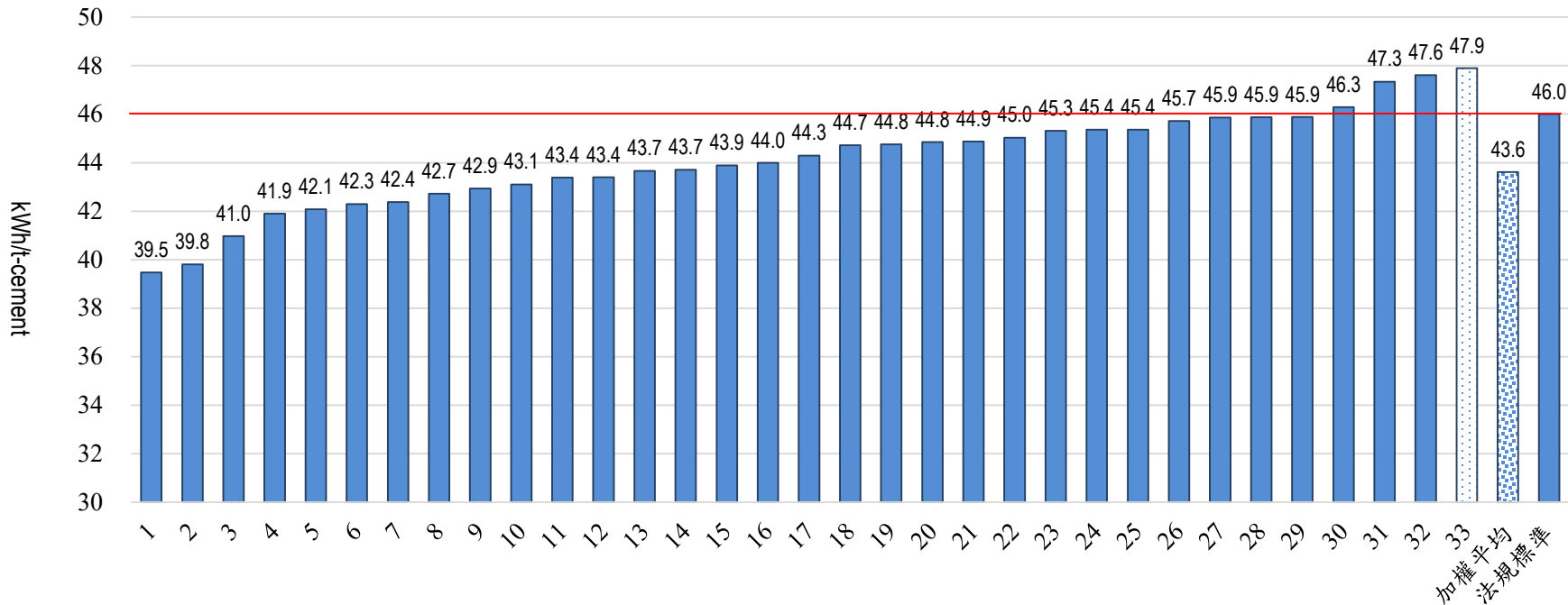


資料來源：工研院綠能所(2021)·水泥業能源效率申報資料。

7.水泥磨系統效率

- **水泥磨使用現況**：2020年我國受管制之**水泥磨系統**目前有**33條(38座)**，大多採用球磨系統，有一部分有附加輥壓機。採「豎磨」或「球磨加輥壓機」單位耗能較低，另外水泥細度越高，水泥磨越耗電，近年市場要求水泥細度高之趨勢。
- **水泥磨系統效率指標**：2020年**33條水泥磨系統**有三條未達規定標準，平均效率達**43.6kWh/t-cement**。

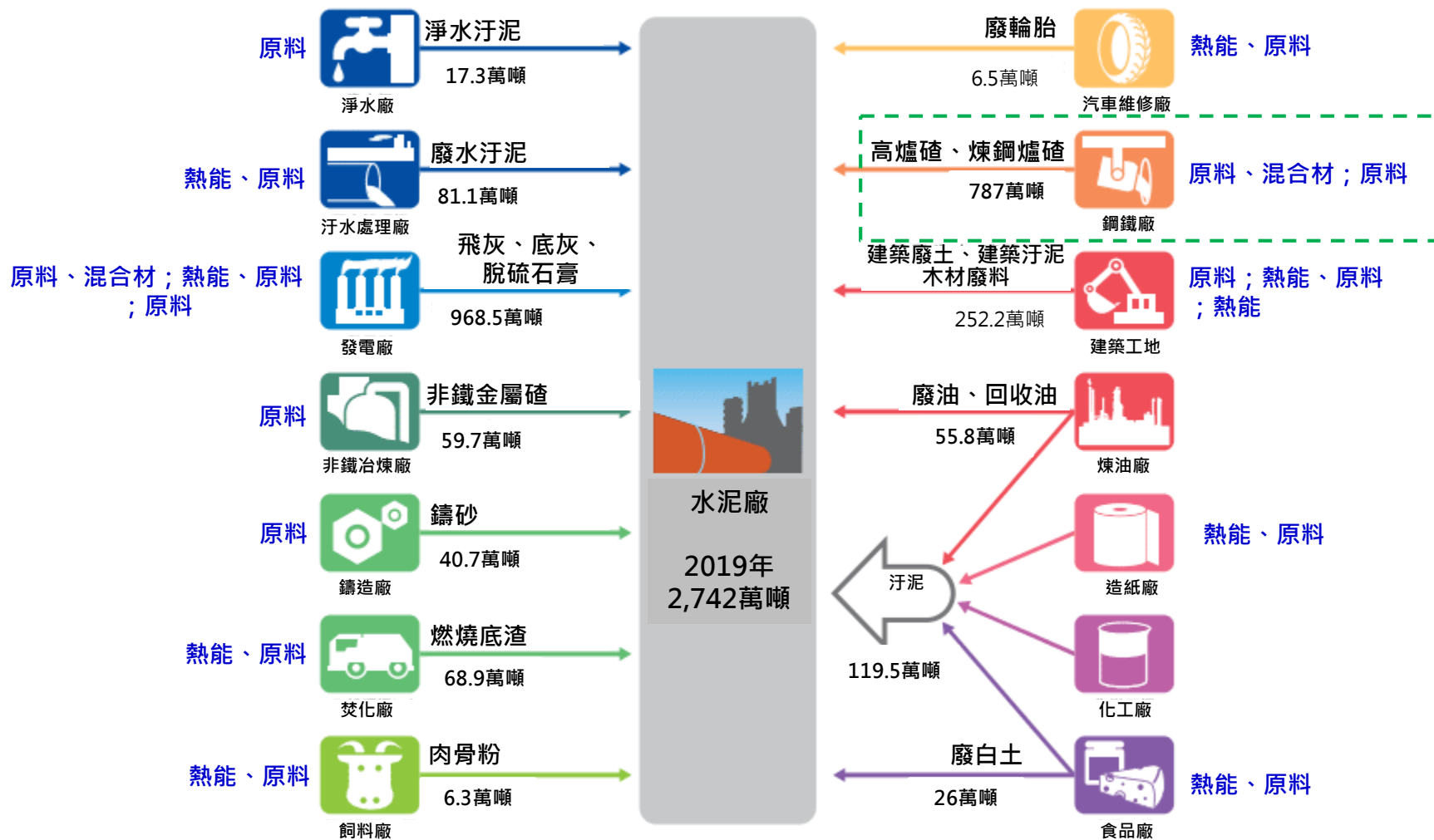
2020年我國水泥業水泥磨系統能源效率達成現況



資料來源：工研院綠能所(2021)·水泥業能源效率申報資料。

四、原料/燃料替代

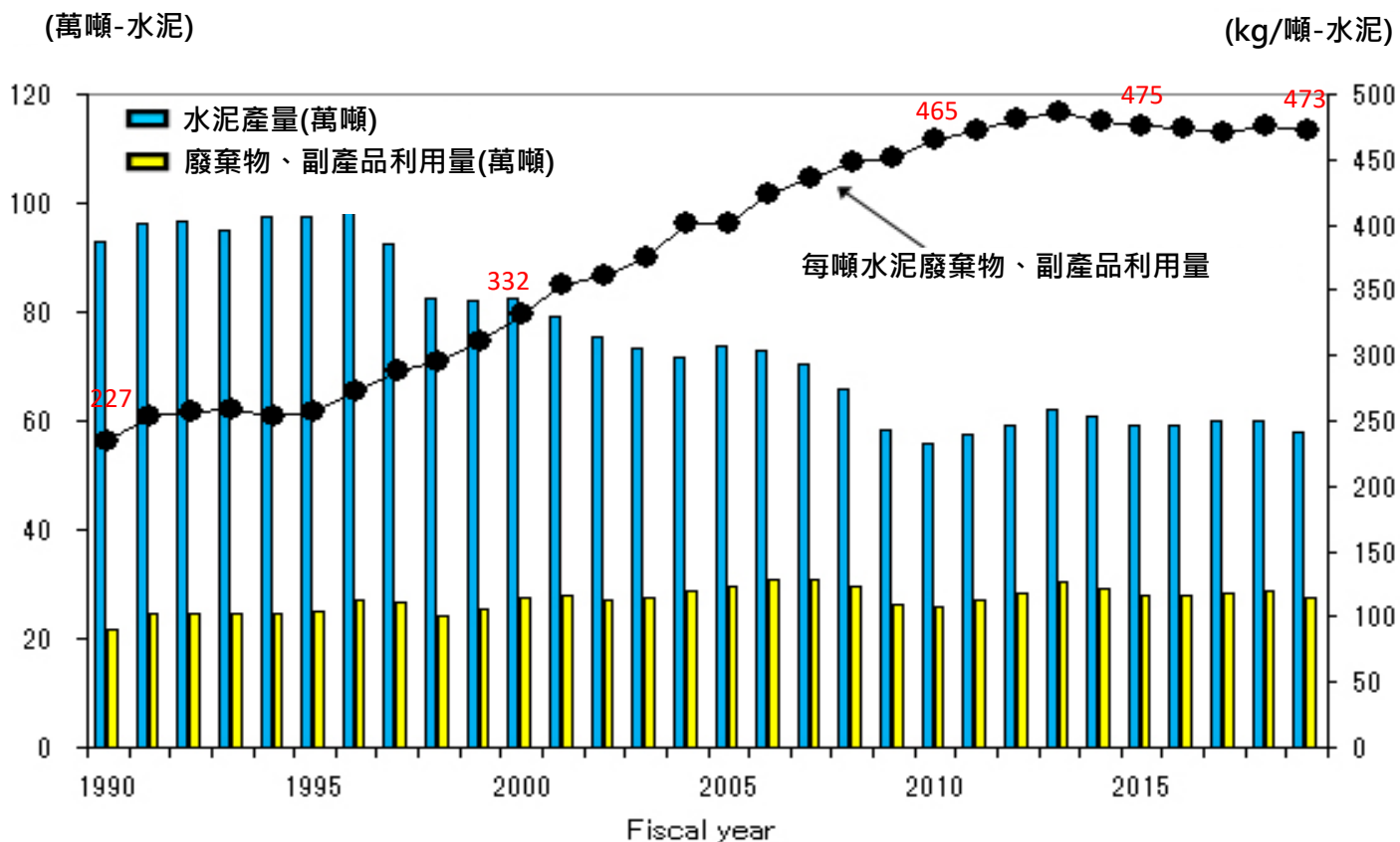
1. 日本水泥廠的廢棄物與副產物的利用



資料來源：JCA(2021)・循環型社会構築に向けた取り組み-廃棄物・副産物の有効利用・網址：
<http://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html>

日本水泥業的廢棄物利用

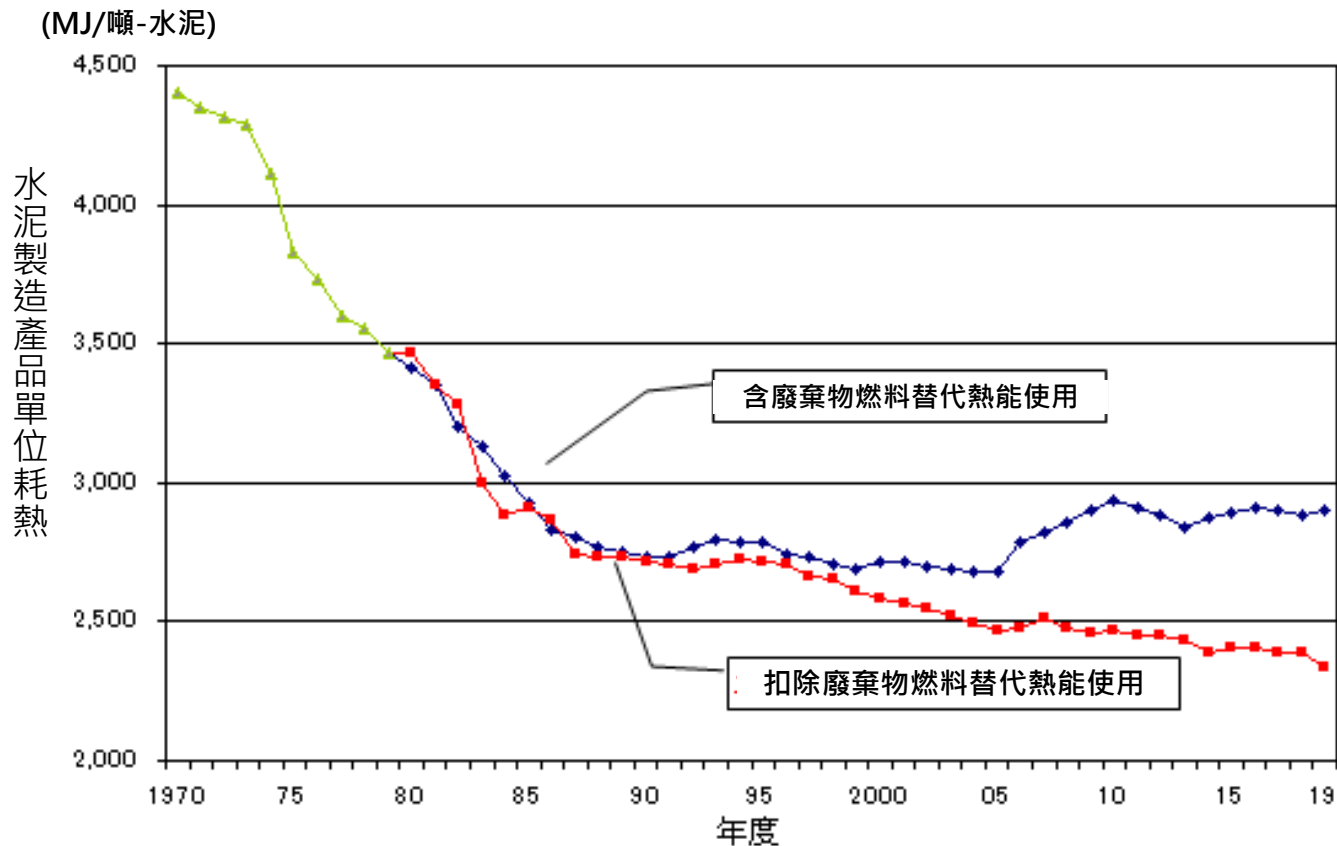
日本水泥產量與廢棄物利用趨勢圖



資料來源：JCA(2021)・循環型社会構築に向けた取り組み-有効利用量の推移・網址：
<http://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan01/seisan01a.html>

日本水泥廠燃料替代趨勢

日本水泥業廢棄物替代燃料利用單位熱能趨勢圖

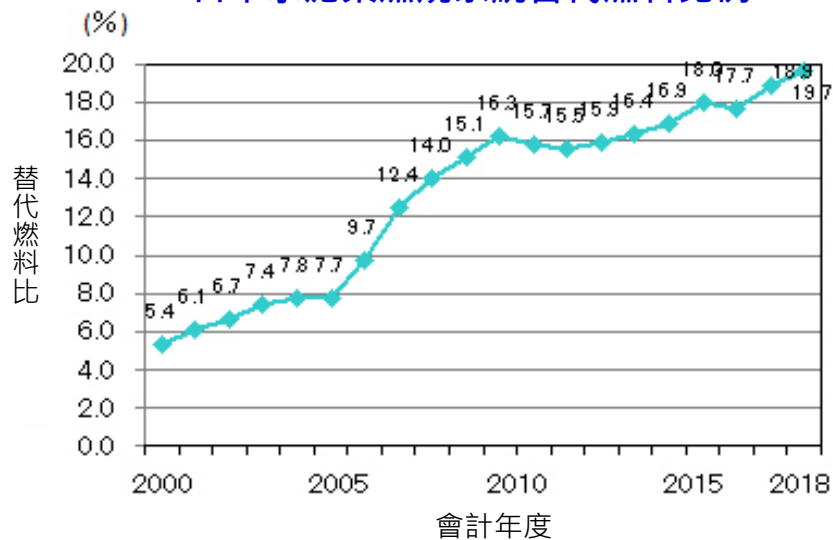


資料來源：JCA(2021)・低炭素社会の実現に向けた取り組み-省エネルギー対策・網址：
<http://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan02/seisan02a.html>

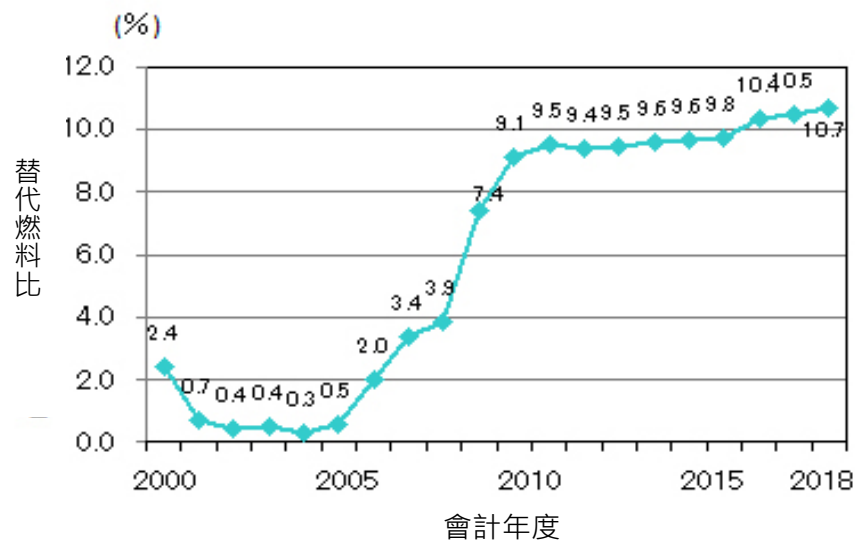
日本水泥廠燃料替代趨勢

- **日本旋窯燃燒系統使用之替代燃料**：木屑，廢塑料，廢油等。近幾年燃燒過程替代熱能的比例，**2019年已經接近20%**。
- **餘熱發電使用之替代燃料**：木屑和其他廢物作為廠內發電的替代熱能。廠內餘熱發電的替代熱能比例已接近**10.7%**。
- **使用替代熱能有助於保護自然資源，延長現有掩埋場的使用壽命。**

日本水泥業燃燒系統替代燃料比例



日本水泥業餘熱發電替代燃料比例

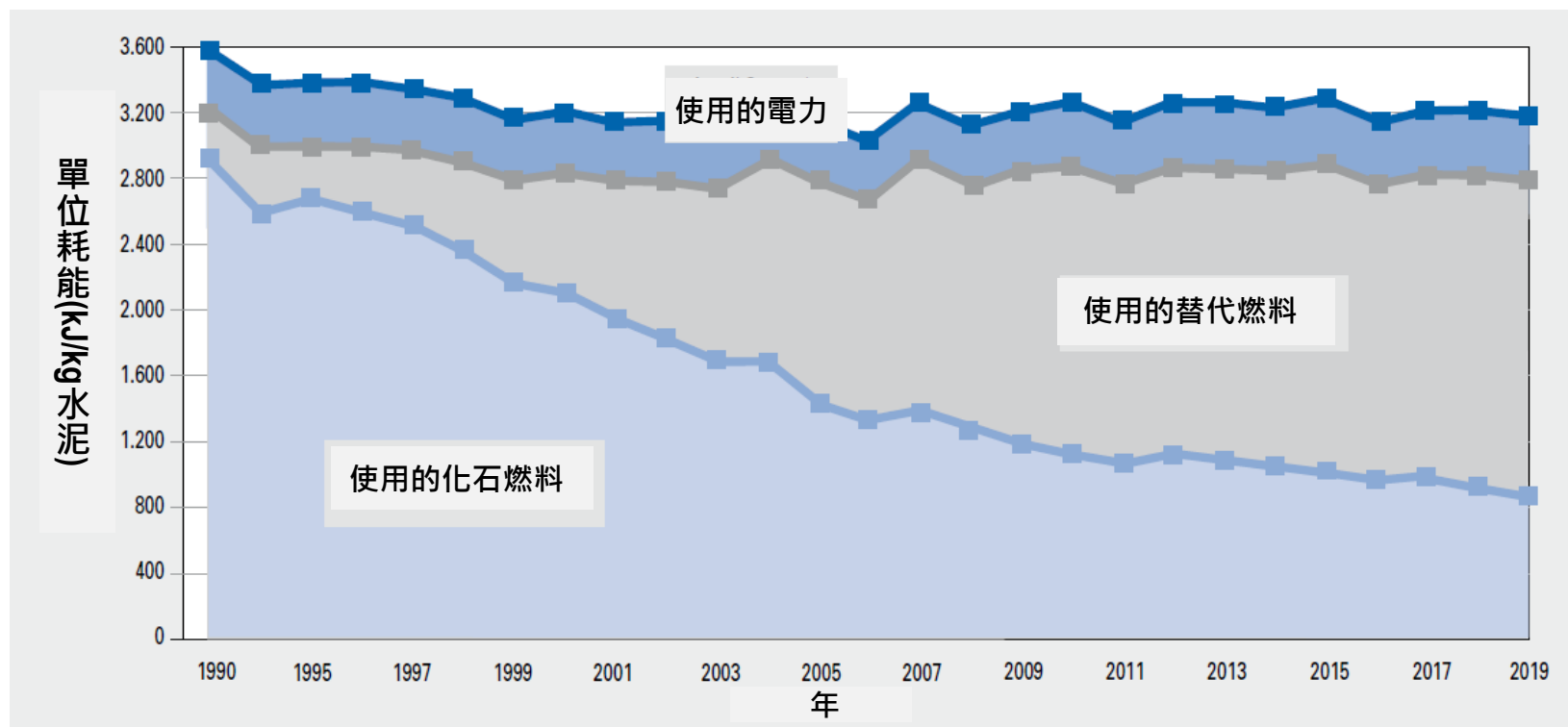


資料來源：JCA(2021) · Use of wastes and by-products · 網址：http://www.jcassoc.or.jp/cement/2eng/e_01d.html

德國水泥業替代燃料利用現況

- **單位耗能**：2019年德國的水泥業每噸水泥平均消耗**2,772MJ** 的燃料與**111.9kWh**的電力：
- **替代燃料占比**：2019年替代燃料占德國水泥業燃料熱能需求的**68.9%**。

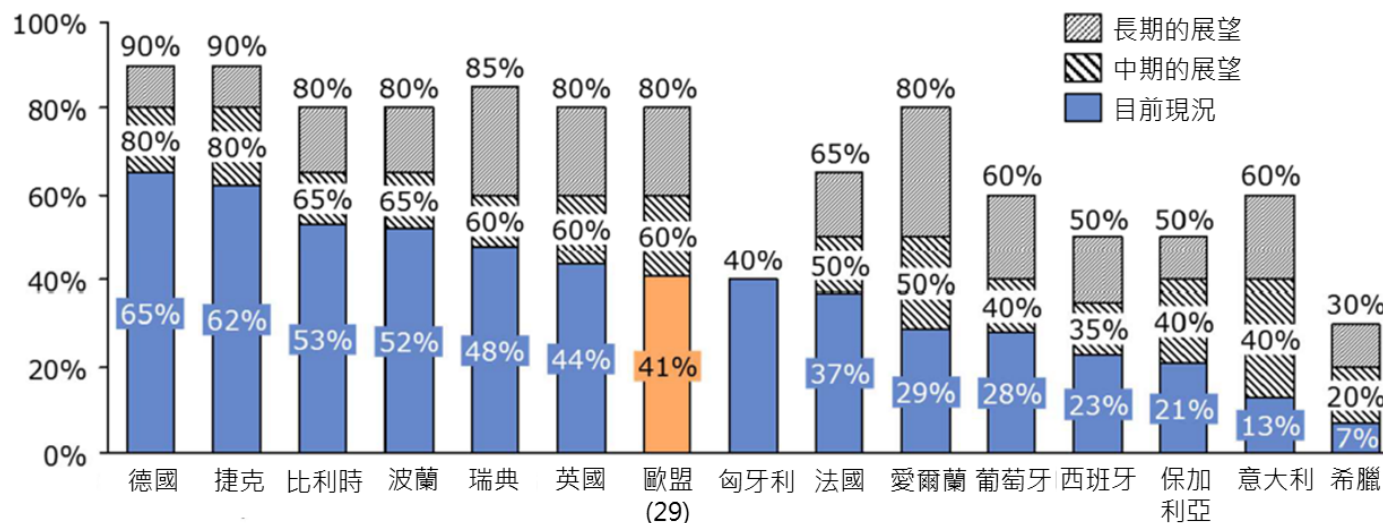
德國水泥業單位耗能的趨勢與替代能源之貢獻



歐盟廢棄物協同處理率現況與潛力

- **2014年，歐盟的水泥業廢棄物平均共同處理率為41%**。各國之間共同處理率差別很大，影響因素非常廣泛。
- 不到一半國家的處理率達到歐盟的平均水平以上，六個國家（愛爾蘭，葡萄牙，西班牙，保加利亞，意大利和希臘）比歐盟平均水平低出百分之十以上。

歐盟各國水泥業廢棄物協同處理率現況與展望



說明：中期展望為5-10年。

資料來源：Ecofys(2017), Status and prospects of coprocessing of waste in EU cement plants.



全球水泥業的熱能替代率

2016年全球水泥業協同處理替代燃料(Alternative fuel, AF)的熱能替代率

Region	Thermal energy substituted by AF			
	1990	2000	2010	2016
World	2.0%	5.2%	12.1%	16.7%
Europe	2.7%	9.3%	30.4%	44.2%
North America	3.9%	7.3%	12.7%	15.8%
Latin America	2.1%	4.8%	11.8%	14.2%
Asia Oceania	0.7%	3.6%	4.3%	9.0%
Africa Middle East	0.0%	0.0%	2.1%	6.3%
CIS-Countries	0.0%	0.0%	0.6%	1.8%

資料來源：GIZ(2020), Guidelines on Pre- and Co-processing of Waste in Cement Production Use of waste as alternative fuel and raw material.

五、低碳時代的來臨

1. IEA 2050淨零排放

- **IEA淨零排放：**
2021年5月18日，國際能源署（IEA）正式發佈了其年度重磅報告《**2050年淨零排放：全球能源行業路線圖**》（Net Zero by 2050 · A Roadmap for the Global Energy Sector）。這份報告被IEA署長Fatih Birol稱為是「五十年來最重要的報告之一」。
- **「拉法基」淨零排放承諾：**
2020年9月21日，全球最大水泥製造業者拉法基（LafargeHolcim）21日承諾，**在2030年前啟動首座淨零碳排的工廠**，進一步降低碳排放量，盼能成為第一家實現「淨零」碳排的水泥業者。
- **台泥與亞泥設定碳中和目標：**
台泥與亞泥2020年加入全球水泥及混凝土協會GCCA，共同發起2050年氣候願景，**共同承諾2050年水泥及混凝土達到碳中和的願景目標**。



2050年台泥混凝土產品達成
碳中和，提供GCCA
台灣水泥產業
脫碳可能路徑

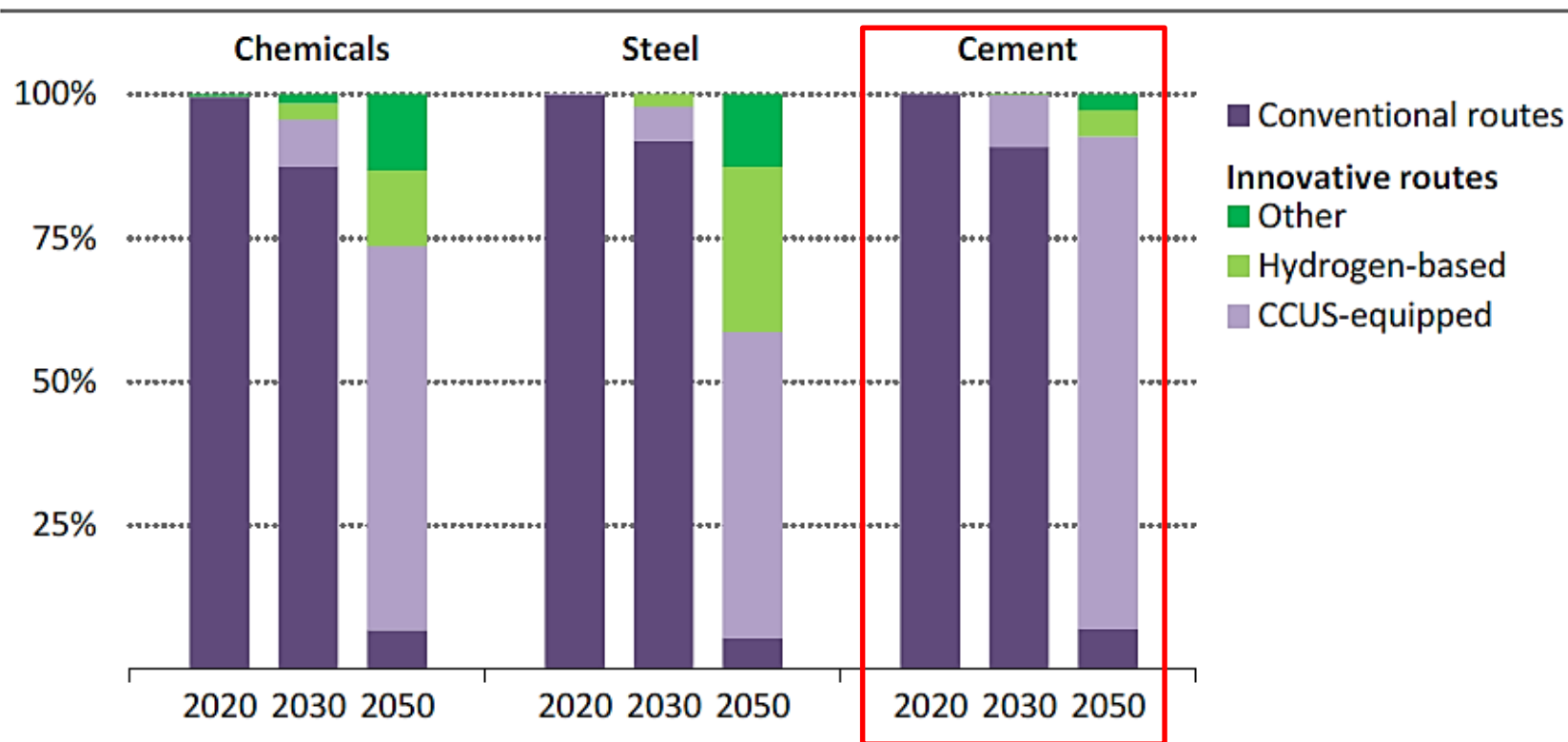


▶ 亞泥承諾執行碳揭露
CDP專案、SBT科學
減量、落實TCFD、建
立內部碳定價管理機
制、推動水泥及混凝
土2050淨零碳排放。



2. 全球散裝材料淨零排放生產路徑

- IEA的報告指出，到 2050 年，近零排放路徑將主導水泥、初級鋼鐵和化學品的生產，CCUS 和以氫為基礎的技術將扮演主要的角色。



資料來源：IEA(2021), Net Zero by 2050-A Roadmap for the Global Energy Sector.

3.水泥業低碳關鍵里程碑和決策點

- 與 2020 年相比，更多的替代材料混合到水泥中以取代部分熟料、水泥需求的降低、及能源效率措施的實施，可達 2030 年的減量 40%。熟料/水泥比從 2020 年的 0.71 下降到 2050 年的 0.57。
- 在 2030 年之後，大部分減量來自當前開發中的技術，CCUS 最重要占 2050 年減量的 55%。
- 到 2050 年，水泥生產將不再使用煤炭，天然氣占熱能的 40%，生質能和可再生的廢棄物占 35%，氫和直接電氣化僅約 15%。
- 水泥窯直接電氣化目前處於小型原型階段，在 2040 年後開始小規模部署。從 2040 年代開始，氫氣提供約水泥窯中 10% 的熱能，儘管有少量混合提前開始。

Category

Heavy industry • 2035: virtually, all capacity additions are innovative low-emissions routes.

Industrial motors • 2035: all electric motors sales are best in class.

Category	2020	2030	2050
Cement			
Clinker to cement ratio	0.71	0.65	0.57
Hydrogen demand (Mt H ₂)	0	2	12
Share of production via innovative routes	0%	9%	93%
CO ₂ captured (Mt CO ₂)	0	215	1 355

資料來源：IEA(2021), Net Zero by 2050-A Roadmap for the Global Energy Sector.



六、結語-1

- **能源效率持續改善，節能減碳貢獻大**
 - **能源效率提升**：能源密集度與熱能效率持續持續改善，致使單位耗能年平均下降**1.5%**；強制性能源效率指標規定實施，大都業者均符合規定。
 - **單位耗能國際比較**：在熟料的單位耗熱與水泥的單位耗電國際比較，均名列在能效較好國家的行列之中。
- **燃料替代極具潛力**
 - **燃料替代仍很少**：水泥業目前大多以原料替代為主，**目前燃料替代很少**，台泥廢棄物協同處理環評已過，**透過業者與政府合作**，燃料替代是邁向**低碳未來的路徑之一**。
 - **持續化解廢棄物處理的存疑**：我國水泥廠過去有使用廢輪胎、汙泥、溶劑油等等來替代燃料，然而基於環保抗爭與圍廠因素，水泥廠不太敢用，或是低調使用，應持續化解當地居民與環團之存疑。

六、結語-2

- **碳中和或淨零排放已是全球趨勢**
 - **國際組織的行動**：IEA已發布《2050年淨零排放：全球能源行業路線圖》，其中對全球水泥業提出邁向2050年淨零排放生產路徑。
 - **水泥公司的行動**：「拉法基」淨零排放承諾、台泥與亞泥設定2050碳中和與淨零排放目標等行動，為國內外水泥業因應低碳的未來開啟先鋒。
- **當前的課題與努力方向**
 - **協同處理是水泥業節能減碳的挑戰**：2003年至2019年我國水泥生產之單位耗下降約20%，若未來配合減碳政策，逐年提升燃料替代比，可達節能減碳與降低成本之效益。
 - **強化永續發展社會形象**：政府應協同產業共同推動永續發展策略，以提升能源效率、提高資源再生利用、及加速減碳技術發展，鼓勵各水泥公司推動**CSR**與淨零排放承諾，強化水泥製造永續發展社會形象。