

資源循環於淨零排放 之重要趨勢



中原大學 環境工程學系

簡報者：張添晉 講座教授

日期：2024 年 05 月 14 日

簡歷



- 1.國立臺北科技大學環境工程研究所 特聘教授
- 2.國立臺北科技大學環境工程研究所 所長
- 3.國立臺北科技大學工學院 院長
- 4.循環型環境研究中心 主任(since 2002)
- 5.臺灣水環境再生協會 理事長
- 6.中華民國環境工程學會 理事長
- 7.臺灣電力公司 常務董事
- 8.第一銀行文教基金會 董事
- 9.台灣資源再生協會 理事長
- 10.行政院國家永續發展委員會 委員
- 11.國立中央大學傑出校友

➤專長：

資源循環、資源流布、循環經濟、環境經理

簡報大綱

- 壹、氣候環境議題
- 貳、全球淨零轉型
- 參、循環經濟內涵
- 肆、循環經濟策略
- 伍、資源循環未來

簡報大綱

壹、氣候環境議題

貳、全球淨零轉型

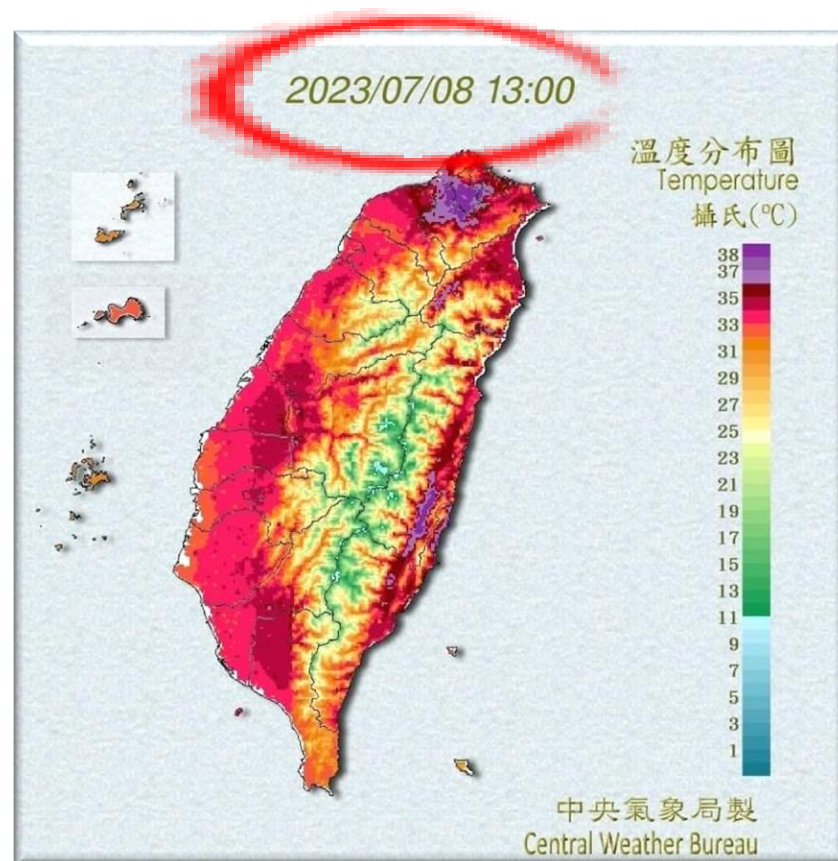
參、循環經濟內涵

肆、循環經濟策略

伍、資源循環未來

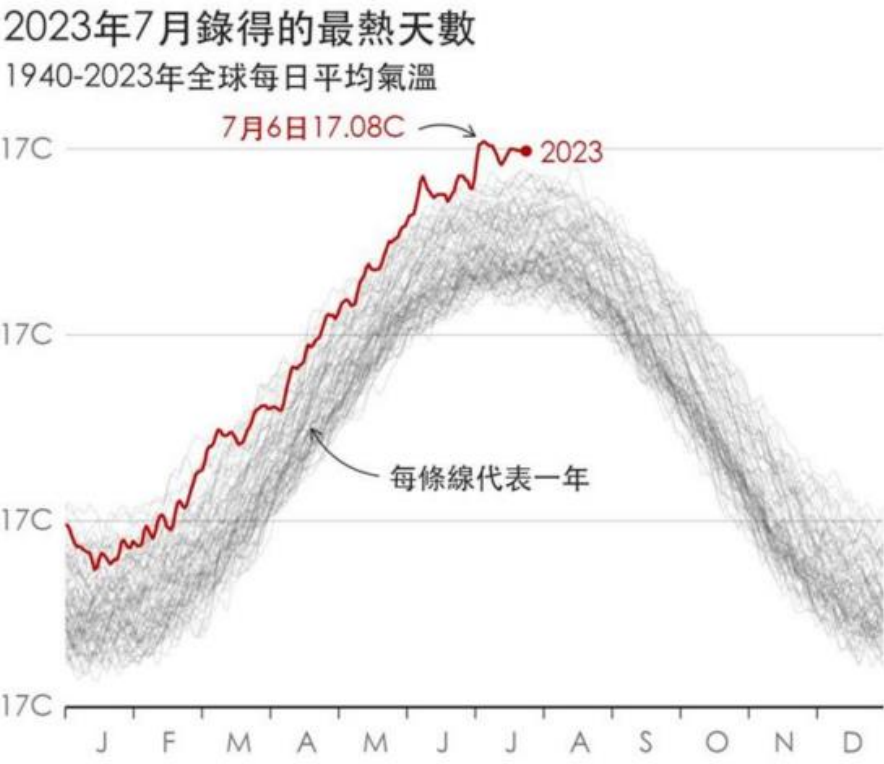
氣候環境議題

地球正遭遇
「10萬年來」最高氣溫
本週連3度刷新高溫紀錄！



2023 年 6 月是有記錄以來最熱的 6 月

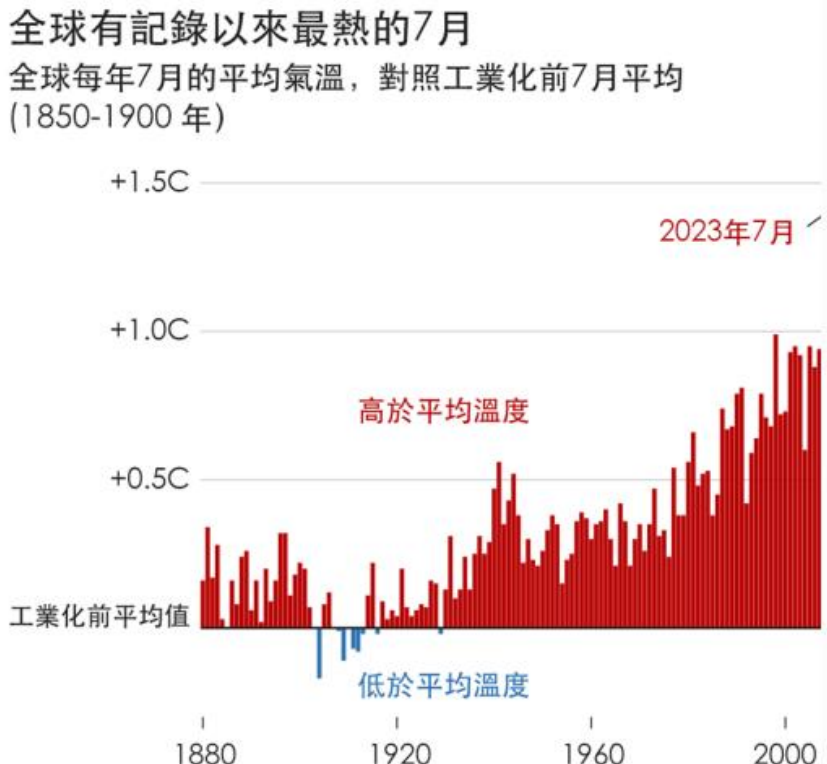
NASA : 2023 年 7 月 為全球有記錄以來最熱月份



註：2023年7月25日之氣溫為初步數據

資料來源：ERA5, C3S/ECMWF

BBC



2023年7月氣溫是根據NCEP/GFS分析的臨時數據

資料來源：NASA GISTEMP

氣候災變



冰川融化



海平面上升



森林大火



乾旱災害

2023 July Shopping Malls & MTR Stations Flood As Hong Kong Hit By Worst Rainfall Since 1884



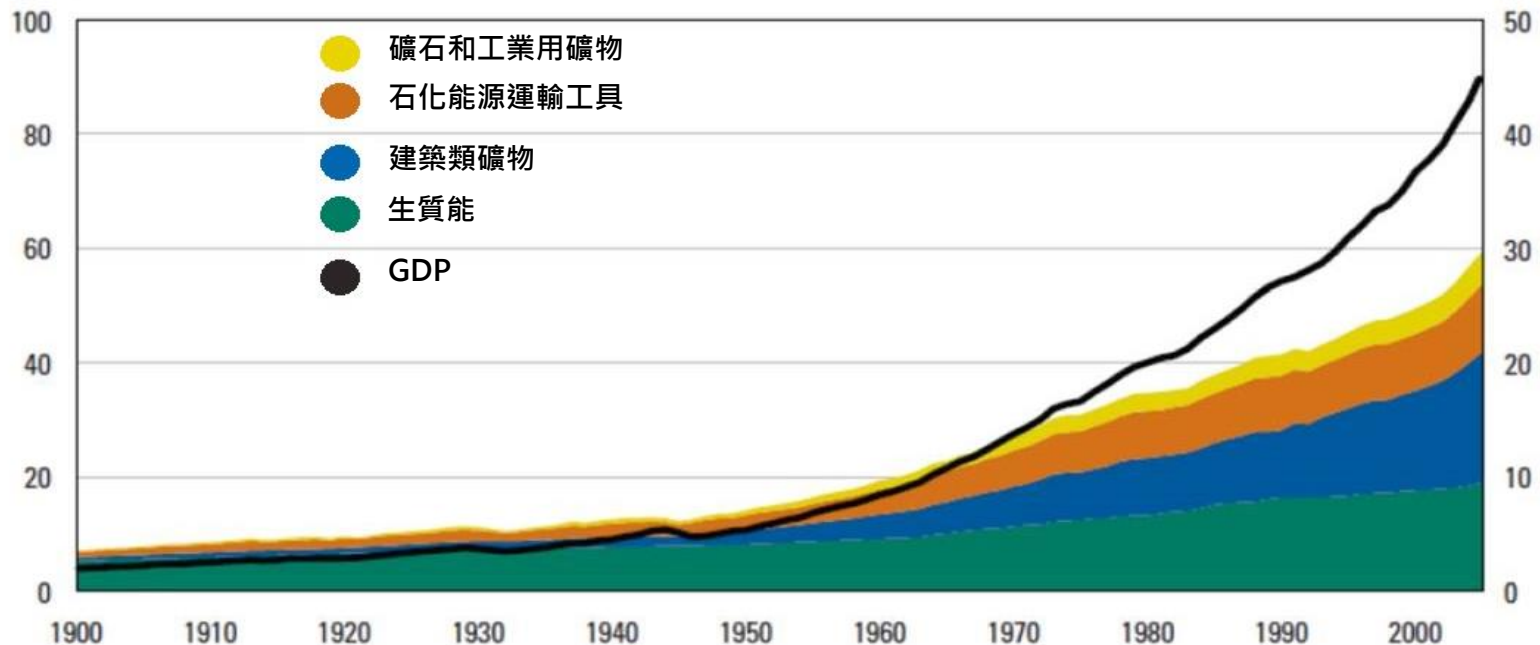
全球資源使用量持續上升

- ▶ 自1970年至今，全球人口數成長為2倍，GDP則成長為4倍，**全球資源使用量已成長3倍以上**。
- ▶ 依此趨勢，至**2050年**全球資源使用量將持續提升為**目前使用量之2倍**。

材料開採量

十億噸

國內生產總值 (GDP)
兆 (10¹²) 國際元



資料來源：聯合國；圖片來源：循環台灣基金會

氣候變遷(1/3)



氣候變遷(2/3)

度數變化	溫度變化	CO ₂ 濃度 指標	環境變化
一度	0.1-1.0 °C	350 ppm	北極圈有半年處於無冰的狀態
二度	1.1-2.0 °C	400 ppm	冰河融化，珊瑚礁逐漸絕跡
三度	2.1-3.0 °C	450 ppm	亞馬遜雨林逐漸消失
四度	3.1-4.0 °C	550 ppm	海平面上升淹沒城市(6億人)，倫敦夏天45 °C
五度	4.1-5.0 °C	650 ppm	人類文明因劇烈氣候變遷開始瓦解， 海洋中大量物種滅絕
六度	5.1-5.8 °C	800 ppm	除細菌之外，幾乎沒有生物能存活， 高達95 %的物種滅絕

氣候變遷(3/3)

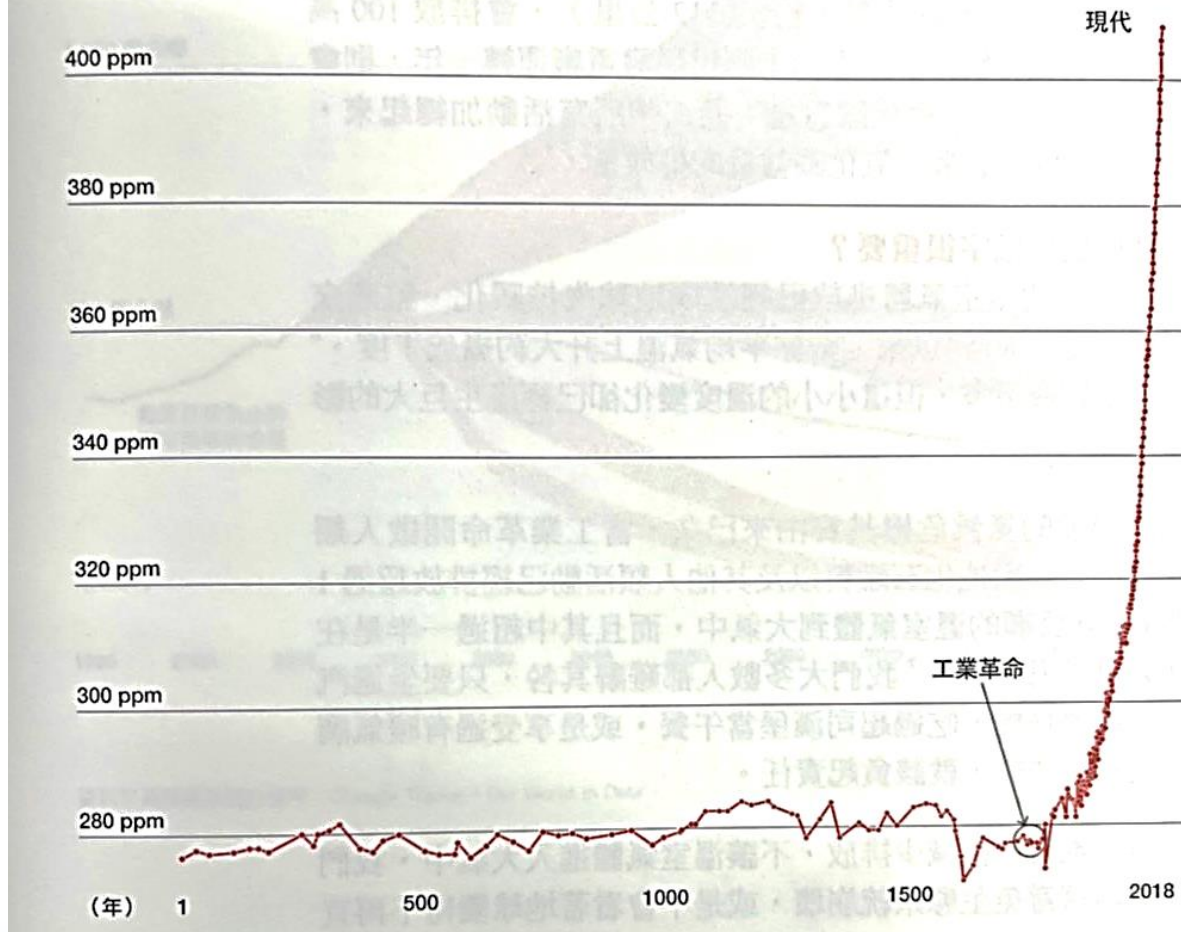
大氣中的二氧化碳在過去200年間急劇增加
年度二氧化碳濃度
以百萬分點 (ppm) 為單位

全球二氧化碳
濃度持續上升

July 2021: 416.96 ppm

July 2020: 414.62 ppm

Last updated: August 5, 2021



國際環境議題



二氧化碳排放之危與機

- 工業革命排碳淨增至今(1850~2023年)，全球共排**2兆5,000億噸CO₂**，即 $250 \times 10^{10} \text{tCO}_2$ ，並使均溫上升 1.2°C
- 而二氧化碳由280ppm上升至430ppm，即增加150ppm

<A> 每降1ppmCO₂須減少CO₂為

$$(250 \times 10^{10}) / 150 = 1.67 \times 10^{10} \text{t CO}_2 / \text{ppmCO}_2 \\ = \text{167億t CO}_2 / \text{ppmCO}_2$$

 每降1°C須減20,800億t CO₂/°C

$$(25 \times 10^{11} \text{tCO}_2) / 1.2^\circ\text{C} = \text{208} \times 10^{10} \text{t CO}_2 / ^\circ\text{C}$$

<C> 若停止全球經濟及人類活動之排碳，則達碳中和年限

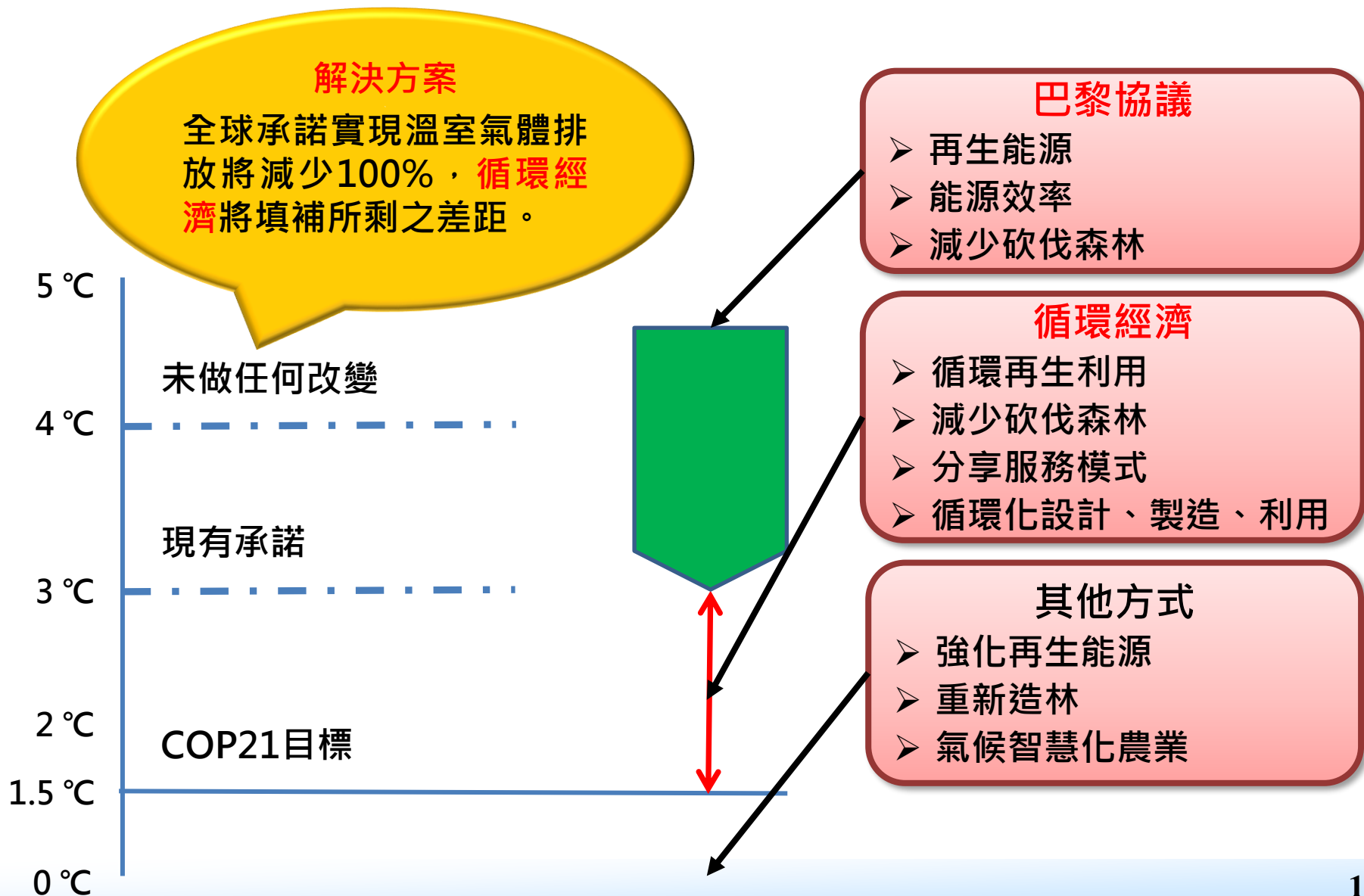
全球年排460億t CO₂/年

$$20,800 \text{億t CO}_2 / 460 \text{億/年} = \text{45年(?)}$$

氣候變遷政策目標(1/2)

1. 把全球平均氣溫升幅控制在工業革命前均溫 2°C 內，並努力將氣溫升幅限制在工業化前均溫 1.5°C 內。
2. 提高適應氣候變化不利影響的能力並以不威脅糧食生產方式增強氣候抗禦力和溫室氣體低排放發展。
3. 使資金流動符合溫室氣體低排放和氣候適應型發展的路徑。

氣候變遷政策目標(2/2)

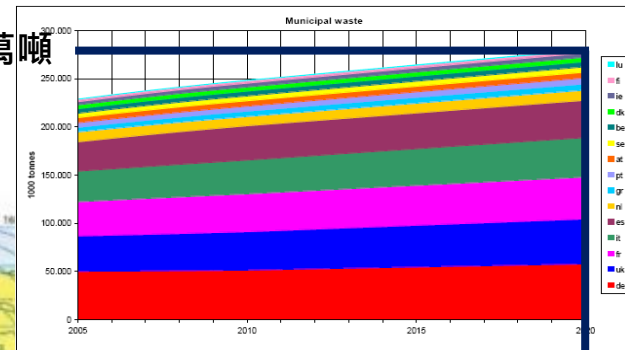


全球廢棄物量快速增加

全球廢棄物量
快速增加

歐盟 EU-15之廢棄物產生量
逐漸上升，2025年將達
25,000萬噸，如右圖所示

25,000萬噸



2025年

美國國家安全委員會估計2007年有
1.5億台舊電腦等
待報廢

巴西2007年每日產生14萬多噸之都市
固體廢棄物

亞洲一些大城市平均
每天製造76萬噸固體
廢棄物，預估至
2025年，將達每日
180萬噸

中國大陸2007年電
視、冰箱、洗衣機、
空調、電腦等五項
電器報廢量高達1.5
億台

全球每年丟棄之電子廢棄物達5,000萬噸，根據聯合國預估

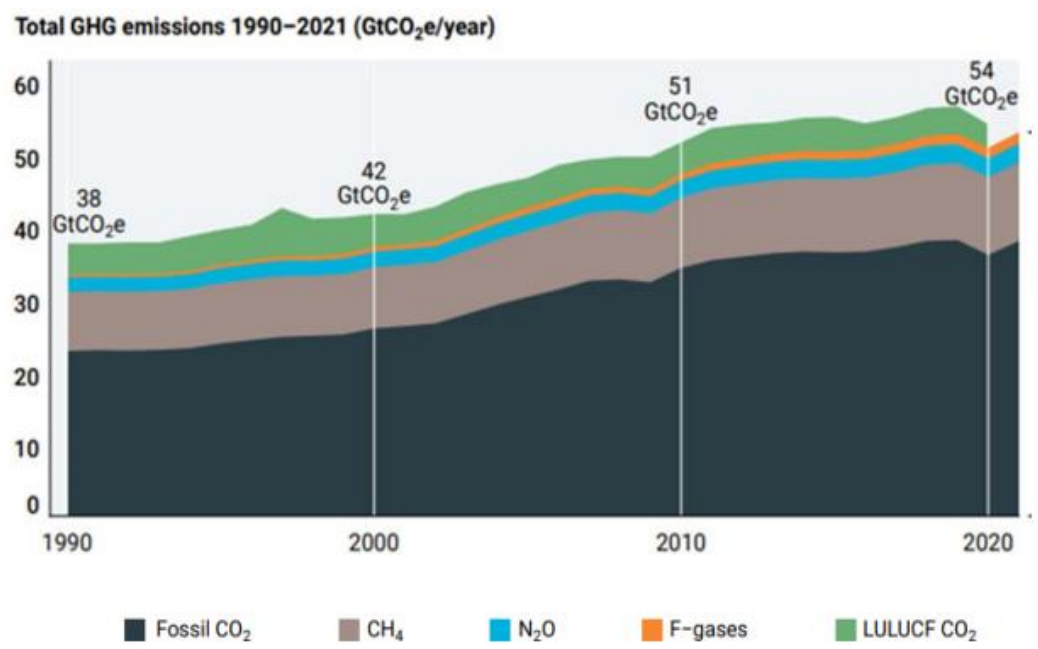
全球廢棄物量至2020年時將暴增為1980年之2倍，成長速度比人口還快

簡報大綱

- 壹、氣候環境議題
- 貳、全球淨零轉型**
- 參、循環經濟內涵
- 肆、循環經濟策略
- 伍、資源循環未來

全球溫室氣體排放仍呈上升趨勢

超過135個國家宣示 淨零排放目標時程



RACE TO ZERO

全球
135+
個國家宣示

目標
淨零
排放

Source: Net Zero Tracker 2023/03/06查詢

246+
個城市宣布

邁向
淨零

資料來源：Emissions Gap Report 2022

資料來源：行政院國家永續發展委員會網站,淨零專區

碳中和與淨零排放

- 為達巴黎協定目標，期望於2100年全球平均升溫控制**2°C**內，已有許多國家提出**淨零排放**目標，意旨透過各部門分別減少或停止碳排，並經過**低碳能源**、**植樹**等消除方式正負抵消，以達**碳中和**。
- **碳中和**即將組織或產品產生之碳足跡透過**自我減量**及**外部抵換**，以抵銷碳足跡達成**淨零碳排放**，滿足特定期間二氧化碳排放量及移除量得以**平衡**。
- 淨零排放涵蓋所有**溫室氣體**，盡可能使溫室氣體排放量接近為零。



碳中和與淨零行動

透過減碳手段，將二氧化碳排放量實現**正負抵銷**。

減少所有**溫室氣體**排放。

減少之二氧化碳，遠**超過**所排放之二氧化碳量。

氣候危機 行動目標

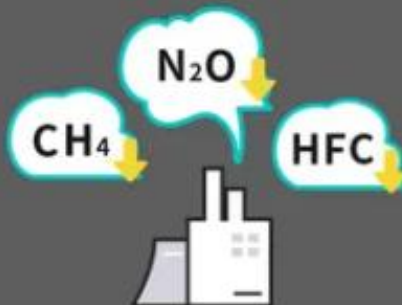
碳中和

carbon neutral



淨零

net zero



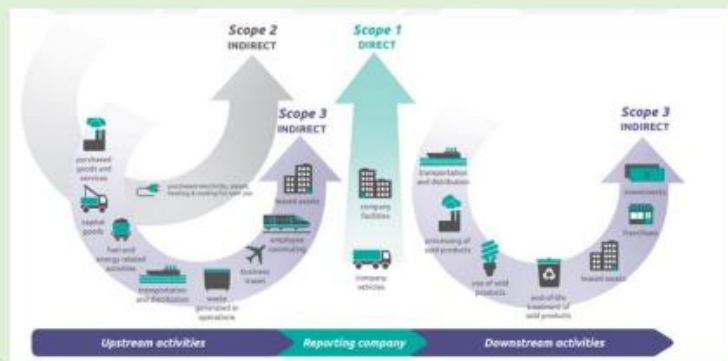
負碳排

carbon negative



企業面臨的挑戰

供應鏈加大減碳力道



ESG

- 上市上櫃公司編製與申報永續報告書



S1永續相關財務資訊一般揭露
S2氣候相關揭露

歐盟碳邊境調整機制

- 2023年10月1日起過渡期：進口商要**申報**產品碳含量
- 2026年起，進口商必須在每年5月31日前申報並繳納與產品中所含溫室氣體排放量相對應的CBAM憑證數量
- 公平的**碳定價**：非歐盟之生產商，該產品在生產國已**實際支付碳價**(ETS, Tax, Levy, Fee)，可提出證明文件予以扣除

初期管制產品



2050淨零路徑推動歷程

TAIWAN 2050 里程碑



臺灣2050淨零轉型

2023.2.15氣候變遷因應法公布施行

2023.4.21行政院核定12項關鍵戰略

臺灣2050淨零轉型

四大策略 兩大基礎

轉型策略

能源轉型

- 01 風電/光電
- 02 氫能
- 03 前瞻能源
- 04 電力系統與儲能

產業轉型

- 07 運具電動化及無碳化
- 08 資源循環零廢棄
- 05 節能

生活轉型

- 10 淨零綠生活
- 05 節能

社會轉型

- 12 公正轉型

治理基礎

科技研發

- 09 自然碳匯
- 06 碳捕捉利用及封存

氣候法制

- 氣候變遷因應法
- 11 綠色金融

臺灣 淨零轉型-12項關鍵戰略



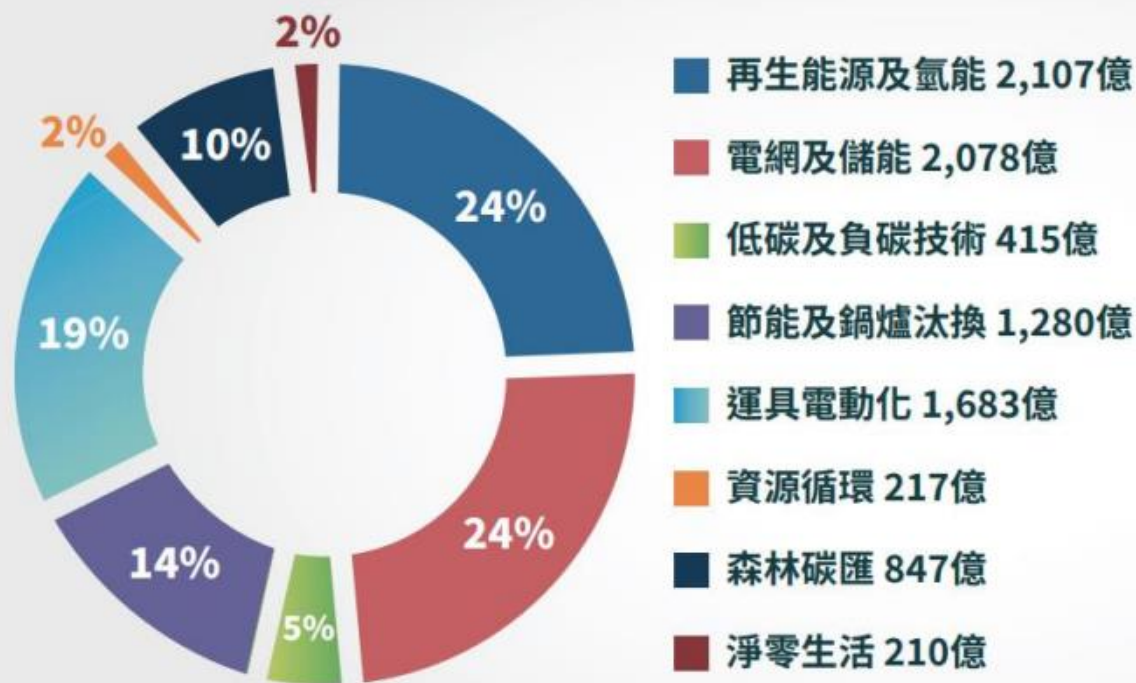
臺灣2050 淨零轉型

十二項關鍵戰略



2050淨零轉型主要計畫 至2030年預算近9千億

2023年總預算淨零轉型相關經費編列445億元，加計前瞻基礎建設計畫第4期特別預算編列48億元、營業與非營業特種基金編列189億元，合計共**682億元**



2024年編列 964 億元



我國淨零科技方案策略

投入五大淨零科技領域



聚焦四項核心重點

以人為本

- 人文社會系統面引導科技投入
- 結合民間力量推動淨零新生活

以終為始

- 串連科技研發與落地實踐
- 促進產業全生命週期發展

布局未來

- 投入高減碳效益潛力科技
- 探索突破式創新研發

比肩國際

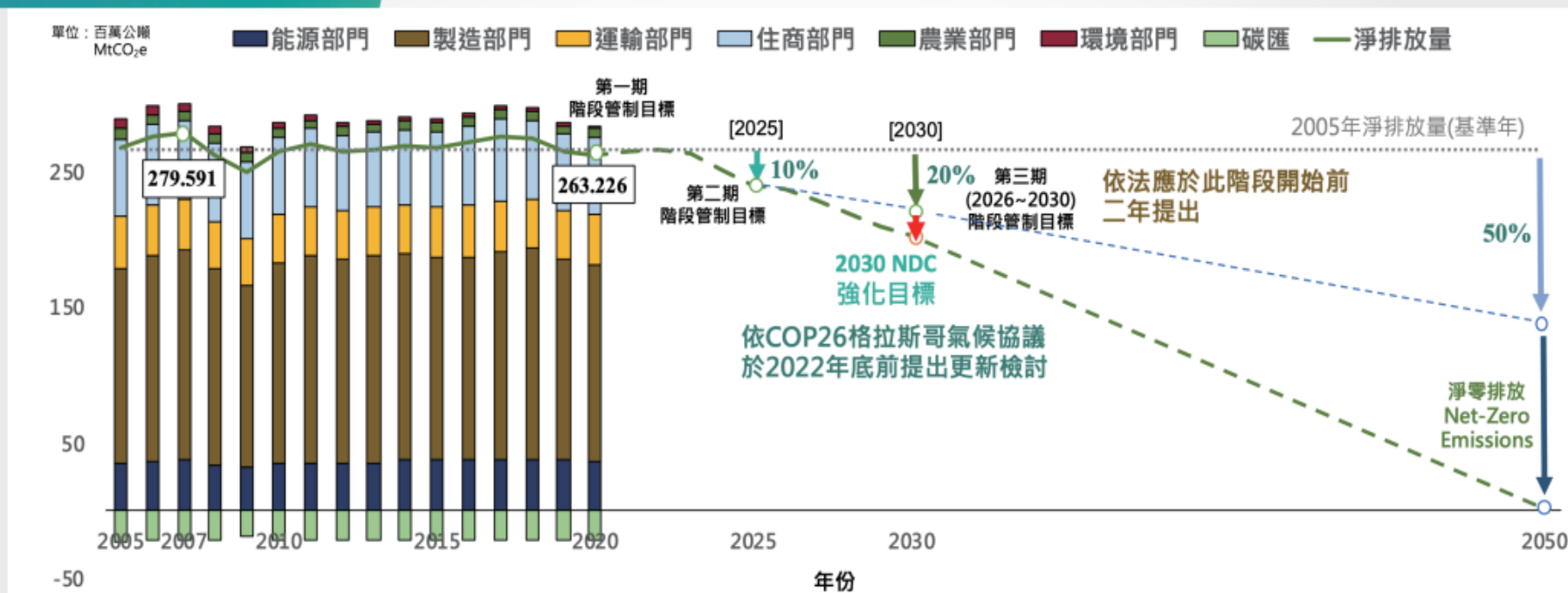
- 策略性與全球指標性機構合作
- 掌握具國際領先之關鍵科技

國家長期管制目標：減量路徑規劃

依溫室氣體減量及管理法，訂定五年為一期階段管制目標：

- 第一期 (2020年) 較基準年 (2005年) 減量 **2%** (2018/1 核定)
- 第二期 (2025年) 減量 **10%** (2021/9 核定)

溫室氣體淨排放量



2030 NDC 強化目標

整合推動**12**項關鍵戰略
拓展中央/地方/公私協力及國際合作
加大減碳力道，厚植負碳潛能

國家自定貢獻 (2030 NDC) 強化關鍵作為

- **整體再生能源** ▶ 裝置容量自 2020 年 9.6 GW 大增至 2030 年 **45.46 - 46.12 GW**
(離岸風電 13.1 GW、太陽光電 31 GW)
- **節能** ▶ 增加節電 **345.7 億度**
▶ 節熱量**227.3**萬公秉油當量
- **運具電動化** ▶ 市區公車及公務車全面電動化
▶ 電動小客車及電動機車市售比
▶ 分別提升至 30% 及 35%
- **碳匯及負排放** ▶ 自然碳匯(森林/土壤/海洋)：**1.4 MtCO₂e**
技術發展應用 ▶ 碳捕捉利用及封存CCUS：**4.6 MtCO₂e**
- **減碳國際合作** ▶ 呼應巴黎協定第六條，推動國合境外減碳

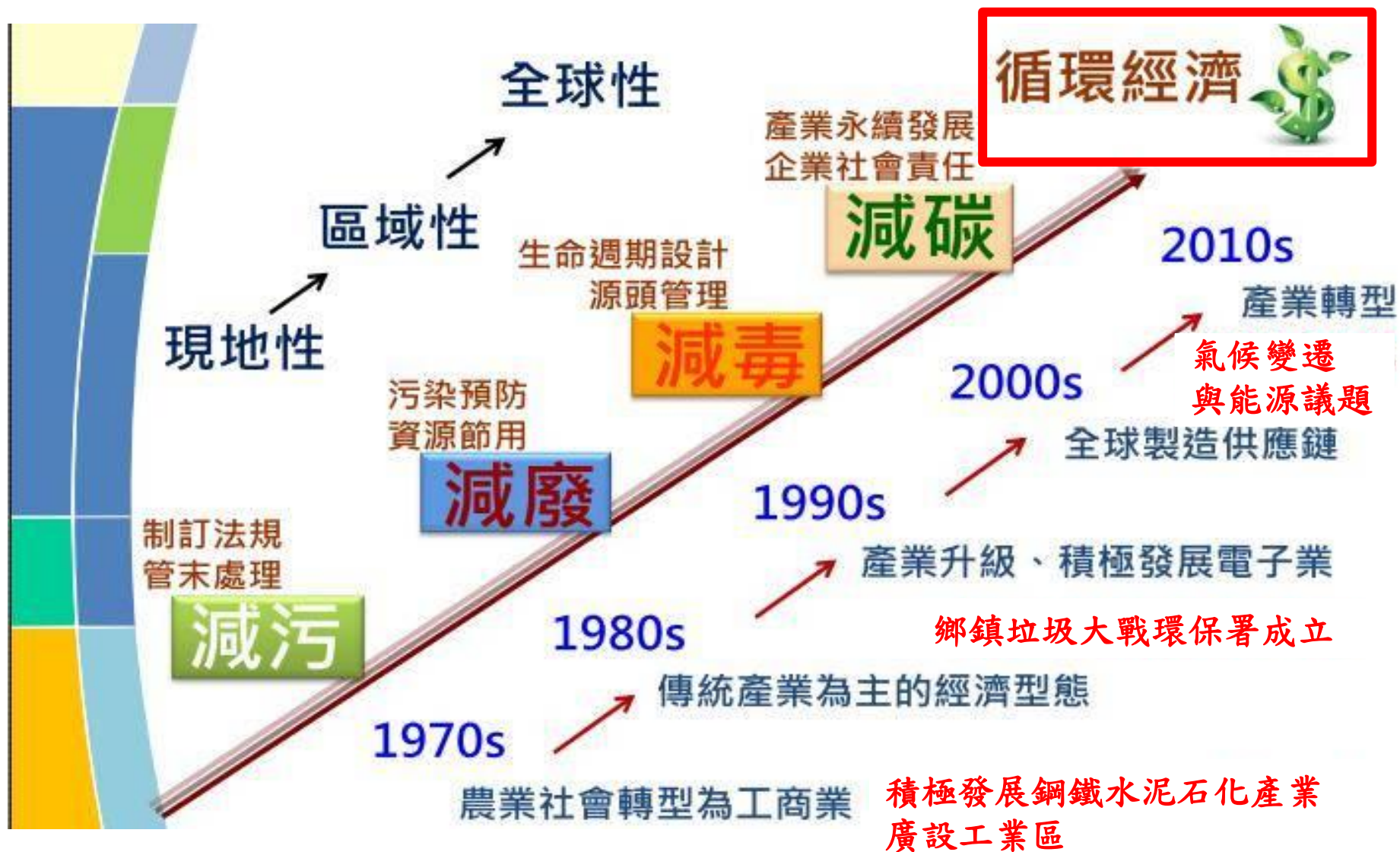


➤ 相當於2020年排碳量**29%**

簡報大綱

- 壹、氣候環境議題
- 貳、全球淨零轉型
- 參、循環經濟內涵**
- 肆、循環經濟策略
- 伍、資源循環未來

產業發展軌跡



改變思維、改變作為、創造價值

- **改變思維**-從線性經濟到循環經濟
- **改變作為**-以創新之作法重新思考設計
- **創造價值**-以資源循環創造經濟價值

線性經濟



循環經濟



(資料來源：艾倫•麥克阿瑟基金會)

❖ 價值保存 Value preservation

在生產過程和最終產品中，保持投入物料之最大價值。

❖ 資源最適 Resource optimization

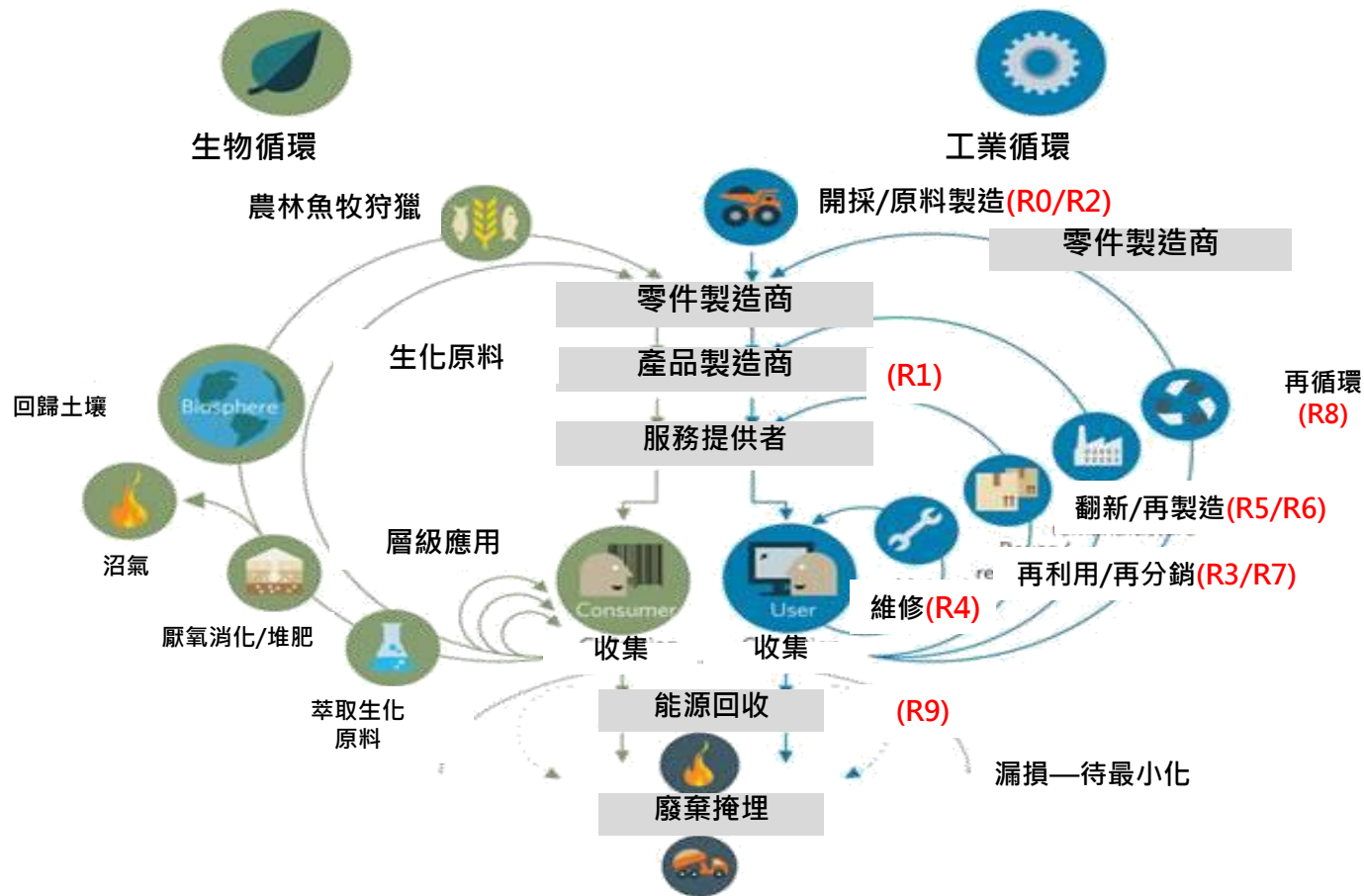
有效、節制地使用現行主流能資源，搭配廢棄物收集與能資源回收之精進，並使用再生能源。

❖ 系統效益 System effectiveness

減少生產及消費循環過程中，對民眾有用之系統（如食物、住所、健康、教育等）所產生的資源浪費，及相關外部成本。

循環經濟之內涵

■ 循環經濟：透過「資源循環」創造「經濟發展」



循環經濟三大原則「減量化」、「再使用」、「再循環」

循環經濟五大商業模式

□ 循環供應 Circular supply models

以可完全再生、可回收的資源為基礎，取代線性的資源利用方式，逐步降低傳統原生物料的利用。

□ 資源循環 Resource recovery models

在產品生命週期將結束時，將廢棄品轉換為再生物料，此模式可減少最終處置量，同時取代原始自然資源的開採及加工。

□ 產品生命延續 Product life extension models

企業延長其產品的生命週期，以減緩商品所含物料的流動率，此模式可降低原生資源開採率，並減少廢棄物的產生。

□ 共享平台 Sharing platform models

透過建置連結了產品用戶的協作平台，推廣使用率較低的產品，可減少使用新產品，進一步減少製造新產品所需物料。

□ 產品即服務 Product service system models

透過租賃與付費使用的方式，取代傳統「買即擁有」的觀念，亦提供廠商開發長壽商品的誘因。



循環採購定義及範疇

- 歐盟將循環採購定義為可促進能資源於供應鏈中達封閉循環之工程、產品及服務，並盡可能避免整體生命週期中產生負面環境影響及廢棄物，或是將其減到最小之採購。
- 循環採購可包括產品設計時考量模組化、提升耐用度，以及提供產品延長保固、維修服務，以延長產品壽命。

■ 循環採購模式

1. 系統級別

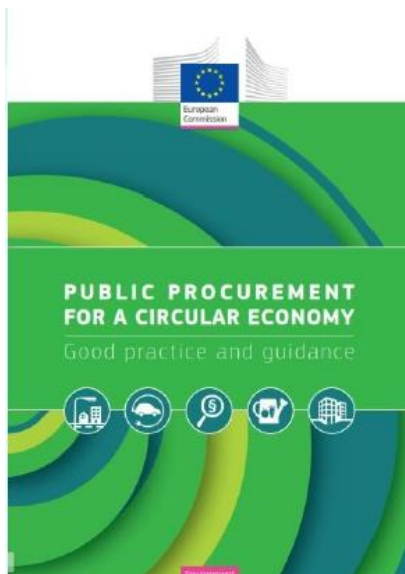
- 產品服務體系
- 公司合作
- 與其他組織於共享和重用方面合作
- 出租/租賃
- 供應商回收系統，包括再利用、回收、翻新及再製造

2. 供應商級別

- 供應商回收系統
- 設計到拆卸
- 標準產品之可修復性
- 產品外部再利用/銷售
- 產品內部再利用

3. 產品級別

- 可識別產品中材料
- 產品使用後可自行拆卸
- 可回收材料
- 資源效率及總擁有成本
- 再生材料



我國循環採購推動策略

- 政府為促進我國發展循環採購，參考北歐國家提出之四執行層面，進而逐步推動循環採購。



將循環條件加入現有採購規定	採購創新之循環產品及服務	採用支持循環經濟之商業模式	促進產業共榮及循環生態系統之採購模式
將循環度及再生料等標準納入採購產品要求	藉由公共採購需求發展創新及具循環原則之產品	產品服務化、租賃、共享、按使用計費、賣回供應商等服務	運用投資促進循環生態系發展
達品質更優良之產品	創新產品	新商業理念	循環生態系

已採取以租代買品項

以租代買品項(已採取)



影印機

*部會辦理數最多



公務車

(國防部、交通部、科技部)



飲水機

(交通部、農委會)



電腦設備

(經濟部、教育部)



電話桌機

(科技部)

建立租賃服務管道



政府電子採購網

租賃服務業者及規格

參考
蒐集

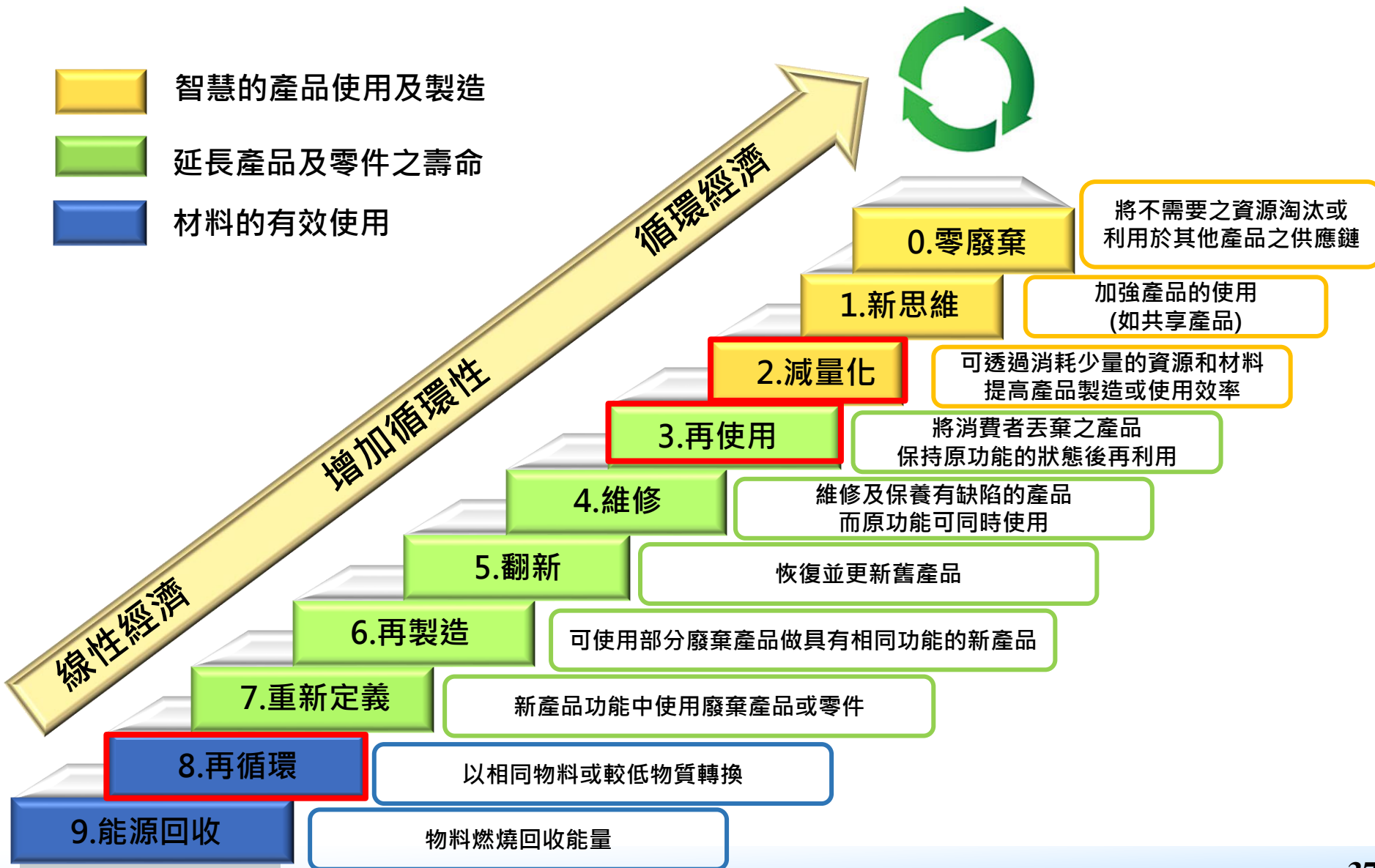


項目

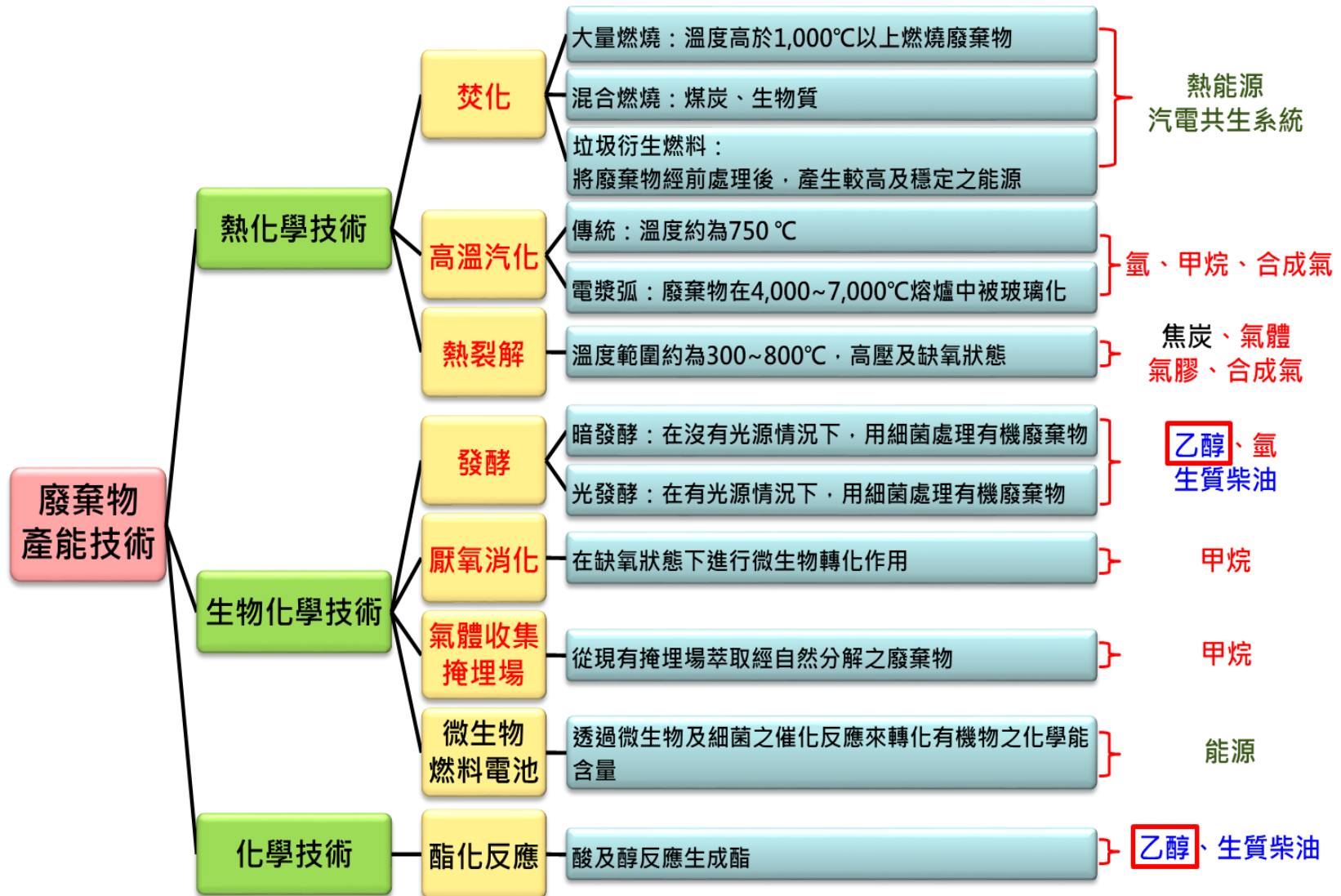
- 已蒐集業者及規格：
 - 筆電(環保署、交通部)
 - 事務機(交通部)
 - 傳真機(衛福部)
- 提供管道：辦公室(科技部)

資源循環未來發展趨勢

- 智慧的產品使用及製造
- 延長產品及零件之壽命
- 材料的有效使用



廢棄物產能技術(WtE)



國際推動產業永續發展機制

■ 國際大廠透過供應鏈推展循環經濟



簡報大綱

壹、氣候環境議題

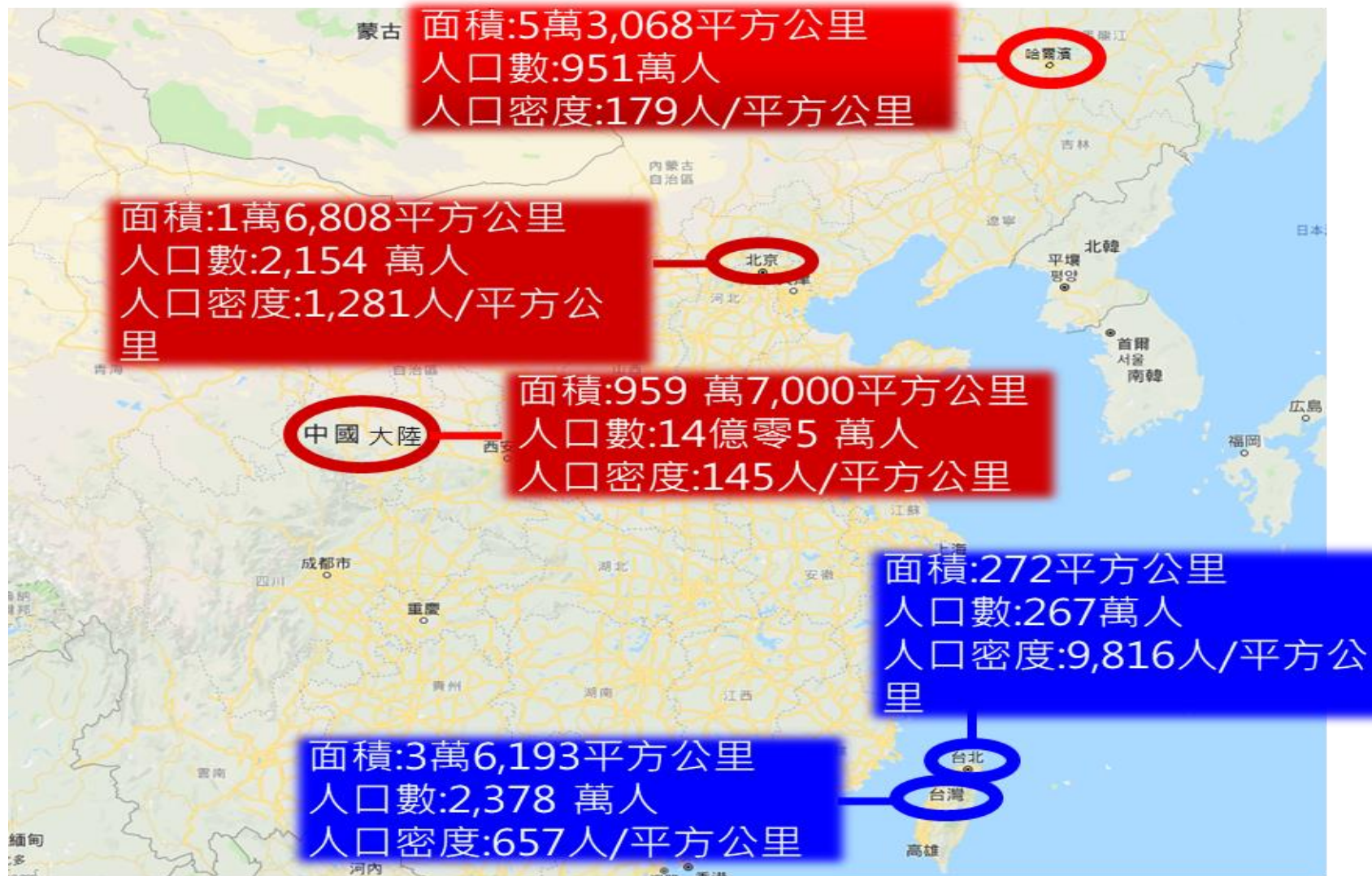
貳、全球淨零轉型

參、循環經濟內涵

肆、循環經濟策略

伍、資源循環未來

環境負荷比較圖



無機廢棄物材料化

國內主要無機廢棄物 來源與數量

轉爐石：160萬公噸/年
氧化碓：110萬公噸/年
還原碓：30萬公噸/年

底渣：90萬公噸/年

煤灰：540萬公噸/年
污泥：250萬公噸/年

總年產量
1,210萬公噸



循環經濟
廢棄物轉換為再生資源

道路工程

可摻配之廢棄物
瀝青混凝土(AC)

- 轉爐石、氧化碓-粒料
- 廢輪胎-橡膠瀝青
- 年需求量：1,000萬公噸

道路基底層

- 氧化碓、底渣
- 需求量：視新設道路需求

回填料

控制性低強度材料(CLSM)

- 氧化/還原碓、底渣、污泥
- 年需求量250萬公噸

水泥廠

水泥廠水泥生料

- 還原碓、底渣、煤灰
- 水泥年產量1,920萬公噸

直接用於填地材料 - 31萬公噸/年

應用於港區工程

廢棄物衍生燃料(1/4)

RDF-5之外觀

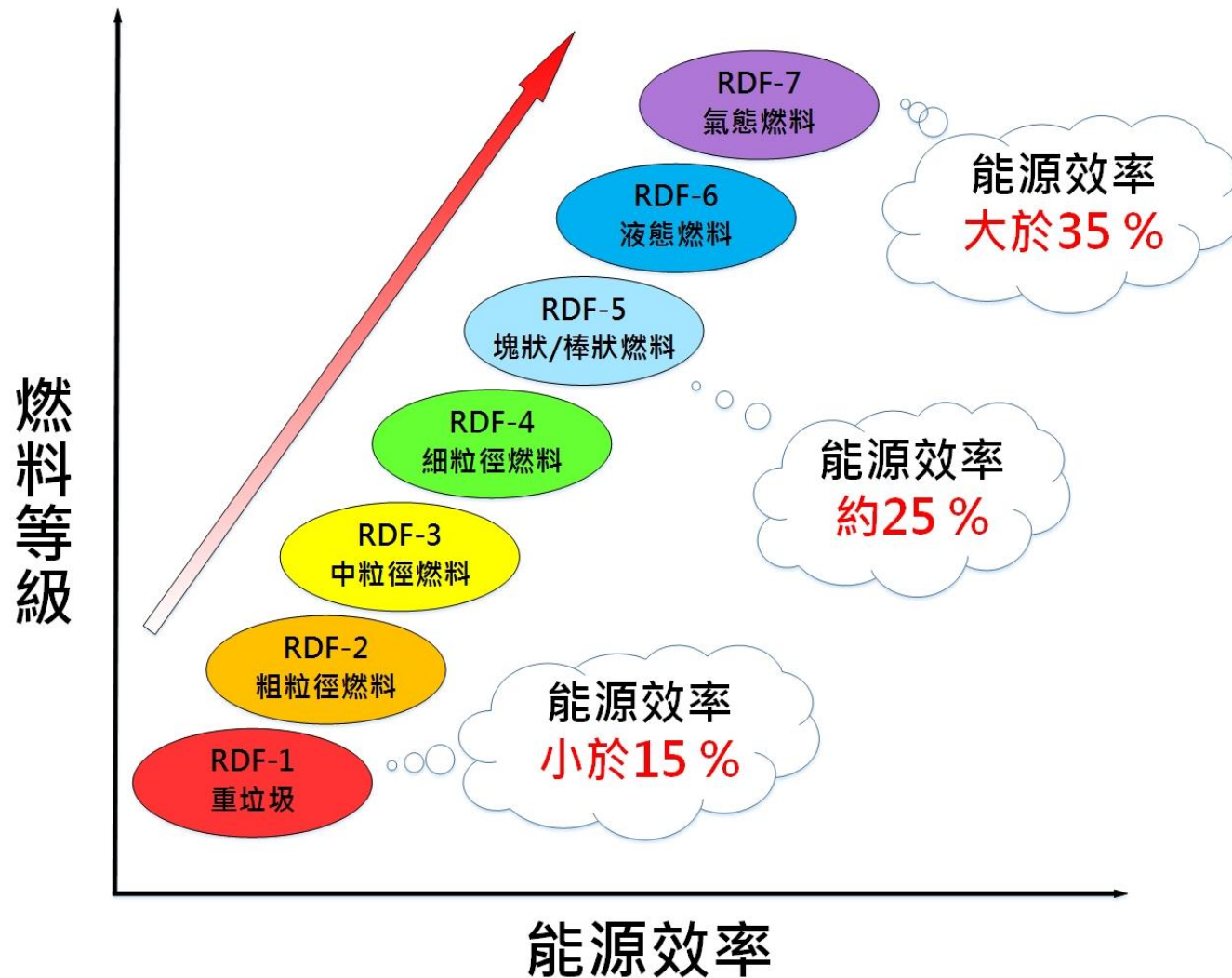


整體而言，廢棄物前處理做得越少，成本將越低，但是燃料效率也越低。反之，燃料等級隨數字越大而越高，因此RDF-7等級最高，而其能源效率也隨數字愈大而代表能源效率愈高。一般而言，RDF-1的能源效益小於15%，而RDF-7氣體燃料的效率則大於35%為最高。

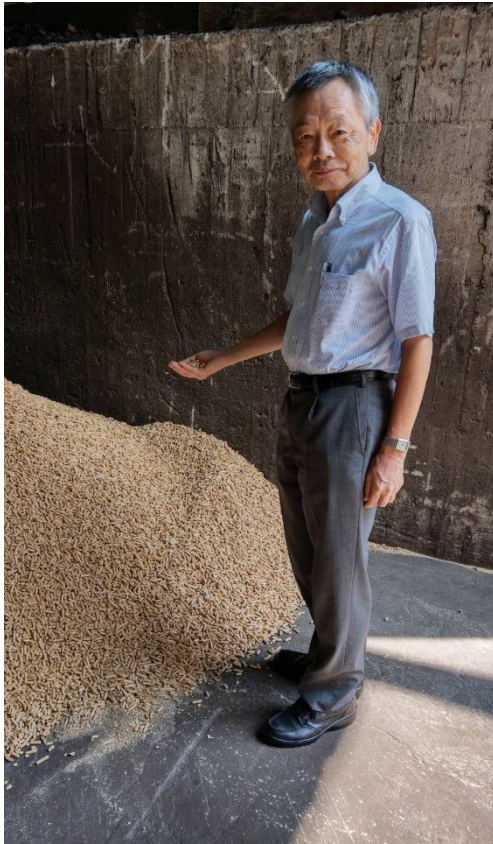
廢棄資源衍生燃料(2/4)

- 美國ASTM(American Society of Testing Materials) 將垃圾衍生燃料製品分類成7種：
 1. **RDF-1**：以廢棄燃料型態使用之廢棄物。
 2. RDF-2：前處理成一定粗粒徑之廢棄物。
 3. RDF-3：將都市垃圾除去金屬、玻璃及其他無機物後製成之燃料，95%重量通過2英吋角篩之廢棄物。
 4. RDF-4：粉碎加工，製成95%重量能通過10號篩之廢棄物。
 5. **RDF-5**：壓縮成塊狀、棒狀等成型之可燃物。
 6. RDF-6：加工成液態燃料之可燃物。
 7. **RDF-7**：加工成氣態燃料之可燃物。

廢棄物衍生燃料(3/4)



廢棄物衍生燃料(4/4)



使用生質燃料與化石燃料比較

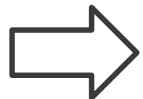
➤ 各種發電技術的溫室氣體排放量(OECD/NEA)

發電技術	全生命週期溫室氣體排放量 · g-CO ₂ eq/kWh		
	平均	低標	高標
燃煤(褐煤)	1,054	790	1,372
燃煤	888	756	1,310
燃油	733	547	935
燃氣(天然氣)	499	362	891
生質能	45	10	101
太陽光電	85	13	731
核能	29	2	130
水力	26	2	237
風力	26	6	124

資料來源：[The Role of Nuclear Energy in a Low-carbon Energy Future, NEA, 2012](#)。

*OECD: 經濟合作暨發展組織 · Organisation for Economic Co-operation and Development

NEA: 國際能源署 · [National Environment Agency](#)。



**使用天然氣取代燃煤與核能造成
碳排放增加，無法達成減碳目標**

使用天然氣做為燃料
未來仍須依【溫室氣體減量及管理法】第五條規定繳交碳稅。

使用生質燃料之優勢

- 固態生質燃料為**碳中性燃料**(無溫室氣體排放)，為**低硫分**、**灰份**與**低燃點**燃料，其為環境友善之清潔燃料。
- 生質燃料為再生能源，為世界能源使用之發展趨勢。

	生質燃料	燃煤	天然氣	燃油
燃料價格	低	最低	次高	最高
溫室氣體排放	極低	高碳排放	高碳排放	高碳排放
空污費	低	高	低	中等
碳稅	極低	高	中等	高
灰份產量	<5 wt%	約10 wt%	無	無

塑膠產品之策略目標

指標企業

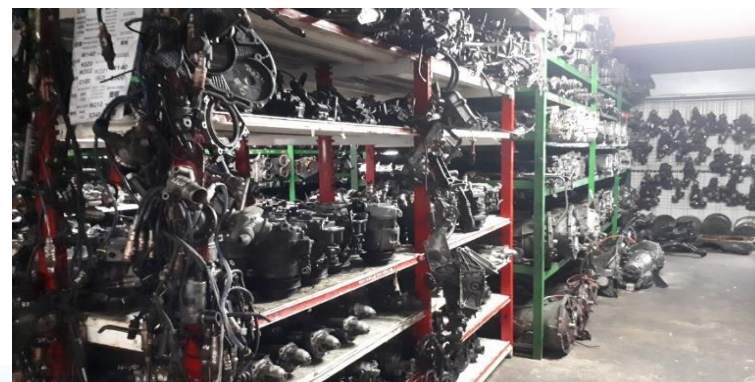
目標制定	雀巢	可口可樂	聯合利華	麥當勞	百事	家樂福	Cisco	施耐德電機	Hp
容器包裝可重複使用、可回收或可堆肥	2025年100%	2025年100%	2025年100%	2025年包裝100%由可回收、再生或是經過認證的原料製成	2030年100%可回收、堆肥或生物分解	2025年100%	-	100%物流用紙箱及棧板使用再生或永續來源	達到75%的產品及包裝循環度
包裝減少原生塑膠使用	2025年減少1/3	-	減少1/3包材重量		2025年減少35%	2025年減少1萬公噸包材使用	2019減少75%包裝中的發泡材料	100%一級與次級包裝不使用一次性塑膠	-
塑膠使用再生材料	2025年30%	2030年50%	2025年25%	-	2025年增加25%	-	2025減少原生塑膠使用20%	-	-
包裝回收率	-	2030年100%	-	2025年100%	-	-	-	-	-

來源：Loop Industries, Inc.、循環台灣基金會、雀巢公司、可口可樂公司、百事公司、聯合利華公司

廢棄汽車回收(1/2)



廢棄汽車回收(2/2)



簡報大綱

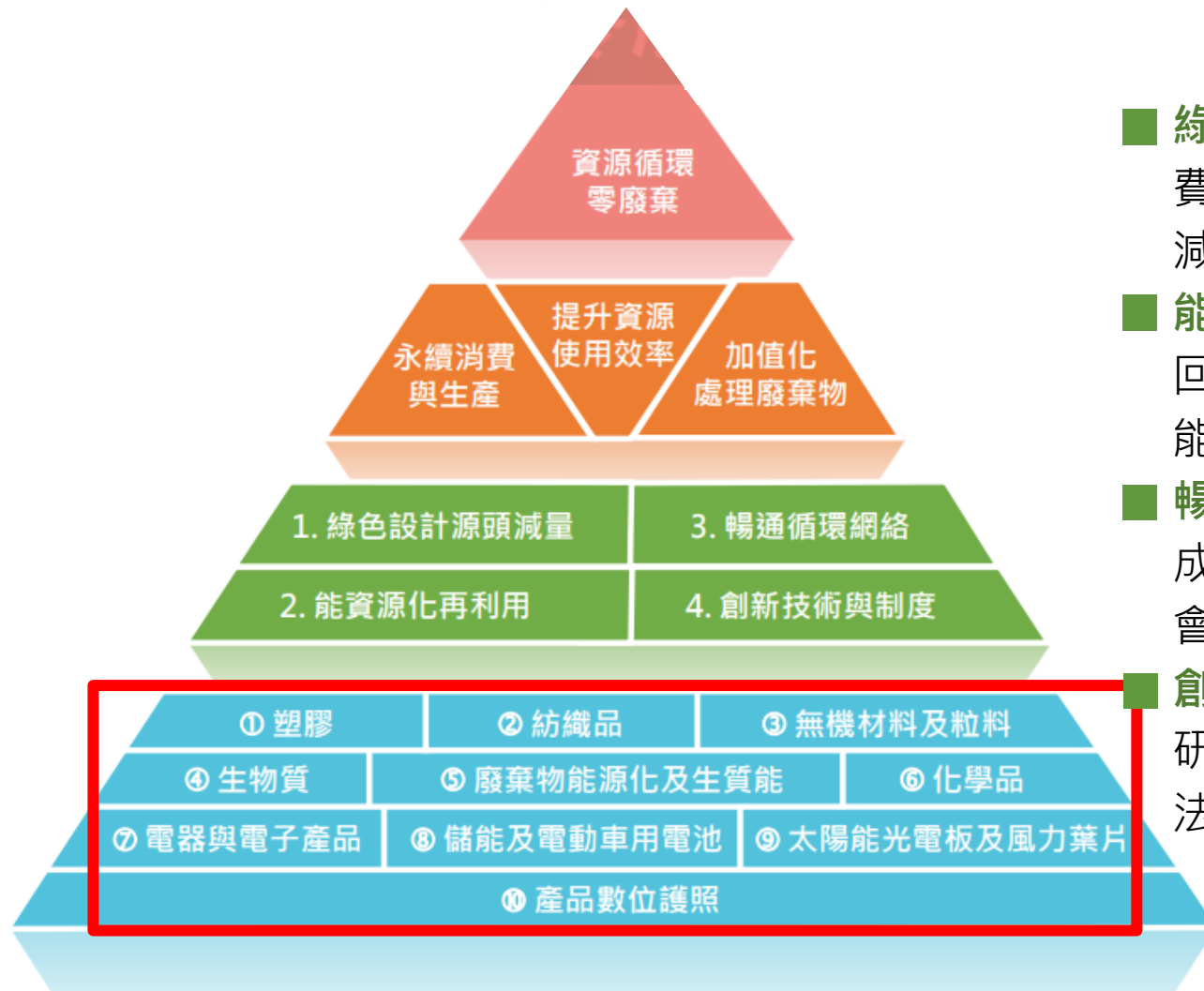
- 壹、氣候環境議題
- 貳、全球淨零轉型
- 參、循環經濟內涵
- 肆、循環經濟策略
- 伍、資源循環未來**

資源循環產業標的

1. 飛灰及污泥(含粒料循環)
2. 固體衍生燃料(SRF)最適化分析
3. 汽車粉碎殘餘物(ASR)
4. 廢電池循環經濟路徑分析
5. 廢太陽能板及風機葉片循環利用
6. 廢棄物轉能(WtE)之推廣應用

資源循環零廢棄

推動策略



- **綠色設計源頭減量**，賦權消費者，建立循環商業模式，減少一次用產品
- **能資源化再利用**，鼓勵升級回收再利用，推動廢棄資源能資源化
- **暢通循環網絡**，鏈結產業形成資源循環產業鏈，加強社會溝通
- **創新技術與制度**，創新技術研發推動高值化應用，革新法令與制度

12項關鍵戰略-碳捕捉利用及封存(1/2)

目標及效益

目標 2030年CCUS減碳目標為**176-460萬噸**

技術面

- ✓ 提升捕捉及利用量，增加減碳效益
- ✓ 開發新技術，以提升效能
- ✓ 降低技術實際應用成本

法規面

- ✓ 建立碳捕捉封存評估指引及管理機制
- ✓ 完善CCUS相關法規
- ✓ 建立鼓勵補助措施

學術面

- ✓ 建構本土碳封存數據資料庫
- ✓ 培育研究團隊
- ✓ 評估碳封存場址潛能
- ✓ 建立探勘與監測技術

經濟面

- ✓ 帶動產業建構4項以上示範場域製程技術
- ✓ 帶動9家以上相關廠商
- ✓ 20億以上研發資源投入

公正轉型面

- ✓ 擬定公正轉型之政策配套措施
- ✓ 建立溝通平台
- ✓ 資訊透明化

2025年前啟動2案 CCS 示範驗證計畫

12項關鍵戰略-碳捕捉利用及封存(2/2)

具體策略

布局CCUS關鍵技術研發，完善相關法規配套，落實公正轉型精神

科技研發

前瞻技術開發

- 2030年前，尚需開發尚未成熟的概念與原型技術，以達到2050淨零排放目標
- 持續提升科技研發能量

技術研發

國科會、中研院

產業技術精進落實

- 開發低成本的CO₂捕捉創新技術
- 推動CO₂捕捉利用轉化為低碳化學品的創新技術
- 建立可運行的CO₂封存場域
- 推動CCUS成功經驗複製擴散

示範驗證

經濟部、國/民營事業

法制、政策、治理

完善法規配套

- 淨零路徑減量效益整合評估
- CCS法規架構調整、減量方法學及查驗證機制建置

政策推動

環保署

鏈結國際合作

- 鏈結國際機構及企業，提升我國CCUS研發能量與培育國際人才
- 鏈結國外技術及經驗，評估引介來臺合作示範驗證

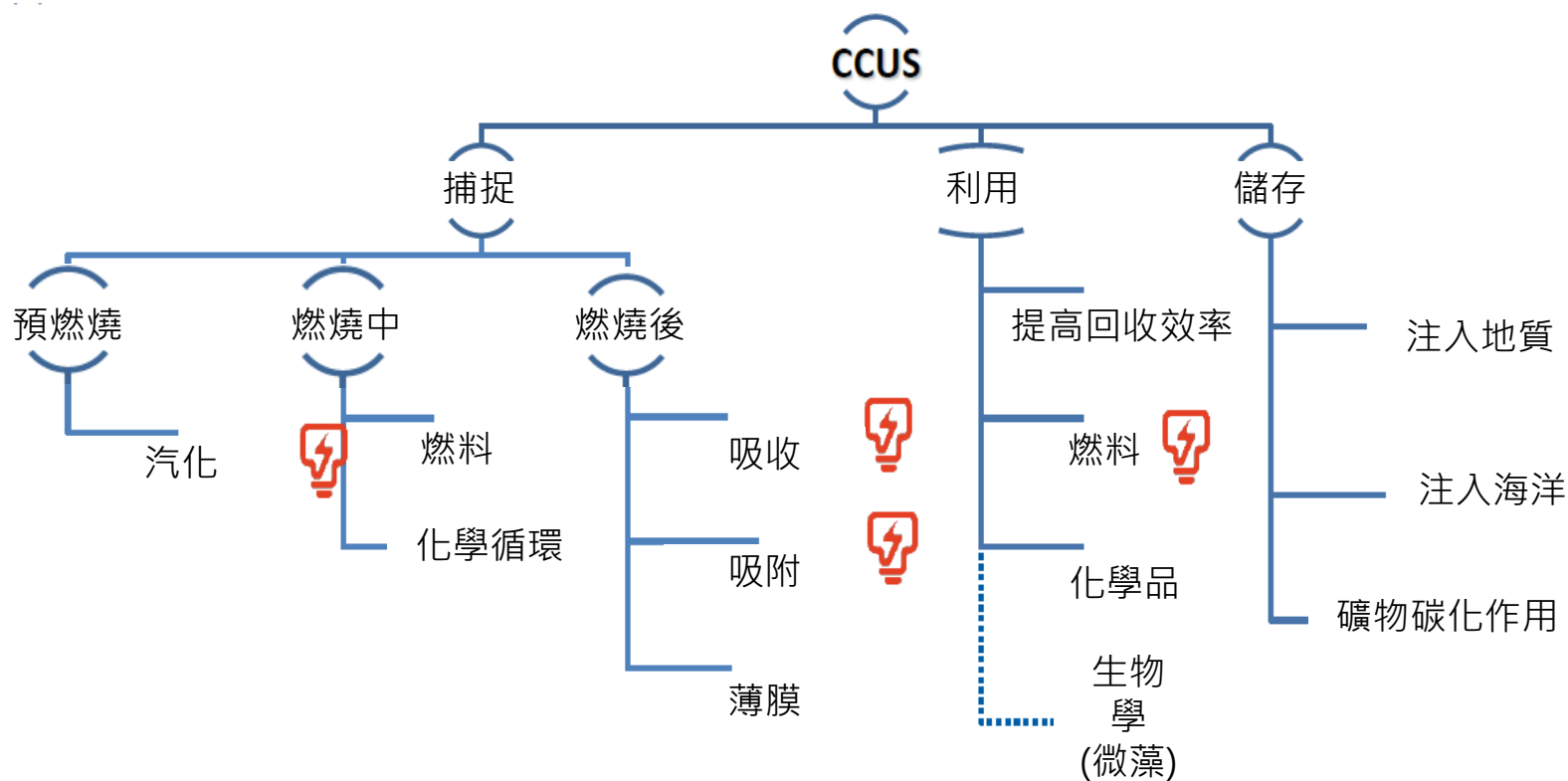
部會協作

國科會・經濟部
環保署・中研院

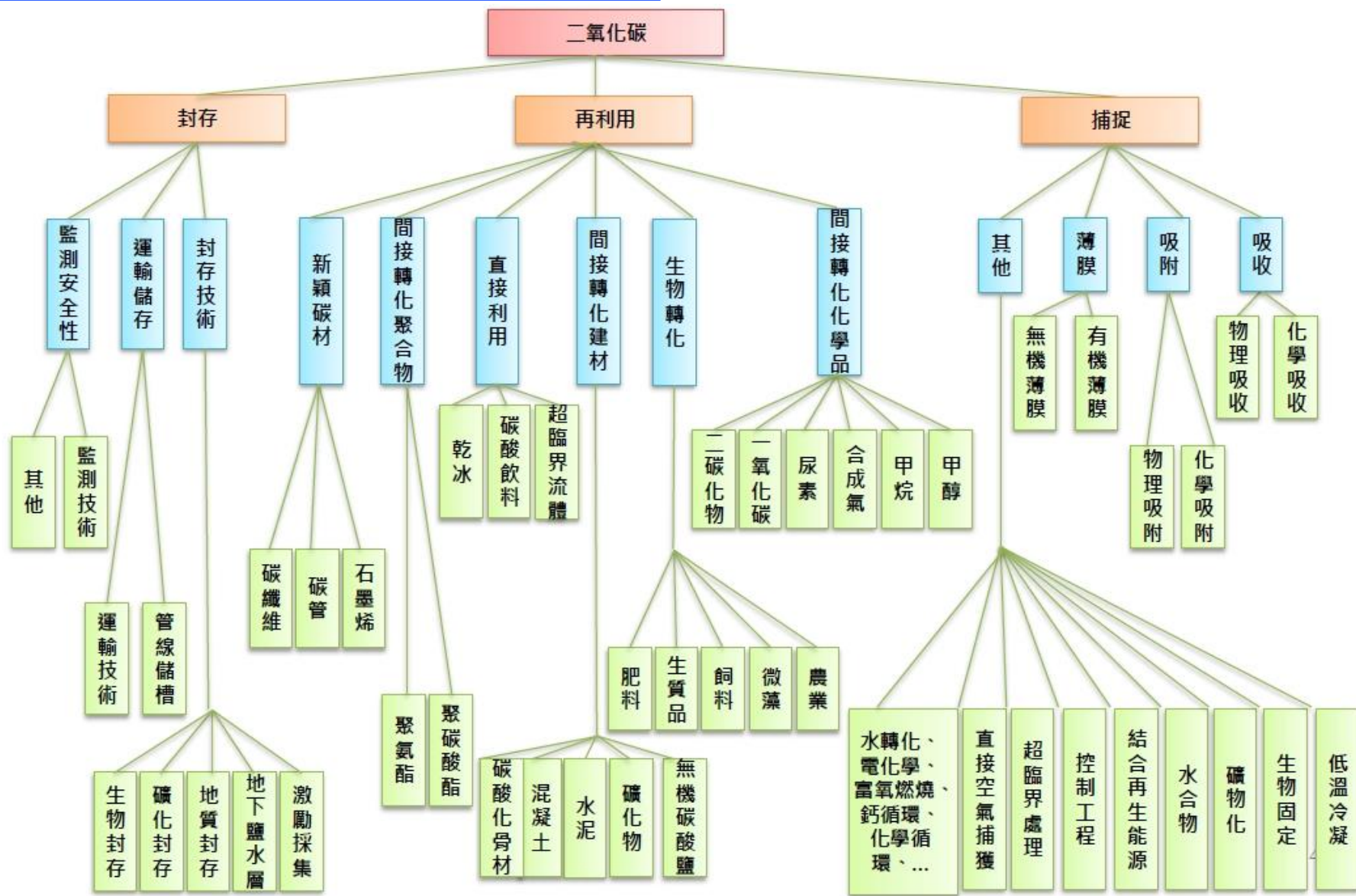
公正轉型 國發會(其他部會協辦)

碳捕捉、利用及儲存技術(CCUS)

循環經濟之概念下，應積極管理發電廠所產生之二氧化碳，CCUS是一套減少二氧化碳排放的重要技術，而如何將這一套技術整合並加以利用為關鍵之課題。



國際碳捕捉專利佈局分析



我國動脈產業之挑戰

1. 原物料資源日益昂貴之因應
2. 排放溫室氣體收費趨勢之因應
3. 節能創能及對能源自給率要求之因應
4. 能資源整合與資源使用效率提高(10R)之因應
5. 國際環保公約及綠色議題之因應
6. 環境議題創新研發動力之因應

我國靜脈產業之挑戰

1. 經濟規模小，資金不足
2. 技術未能創新突破
3. 風險與管理無法與時俱進
4. 遵守法令意識不足
5. 仰賴補助心態未能調整
6. 對市場變動應變能力不足

簡報結束
敬請指教

