
由循環經濟邁向淨零排放



臺北科技大學環境工程與管理研究所

簡報者：張添晉 特聘教授

日期：2023年 5 月 31日



簡歷



- 國立臺北科技大學環境工程研究所 特聘教授
- 國立臺北科技大學環境工程研究所 所長
- 國立臺北科技大學工學院 院長
- 循環型環境研究中心 主任 (since 2002)
- 臺灣水環境再生協會 理事長
- 中華民國環境工程學會 理事長
- 臺灣電力公司 常務董事
- 第一銀行文教基金會 董事
- 台灣資源再生協會 理事長
- 行政院國家永續發展委員會 委員
- 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、國際環境議題

貳、淨零轉型關鍵

參、循環經濟內涵

肆、循環經濟策略

伍、資源循環未來

國際環境議題



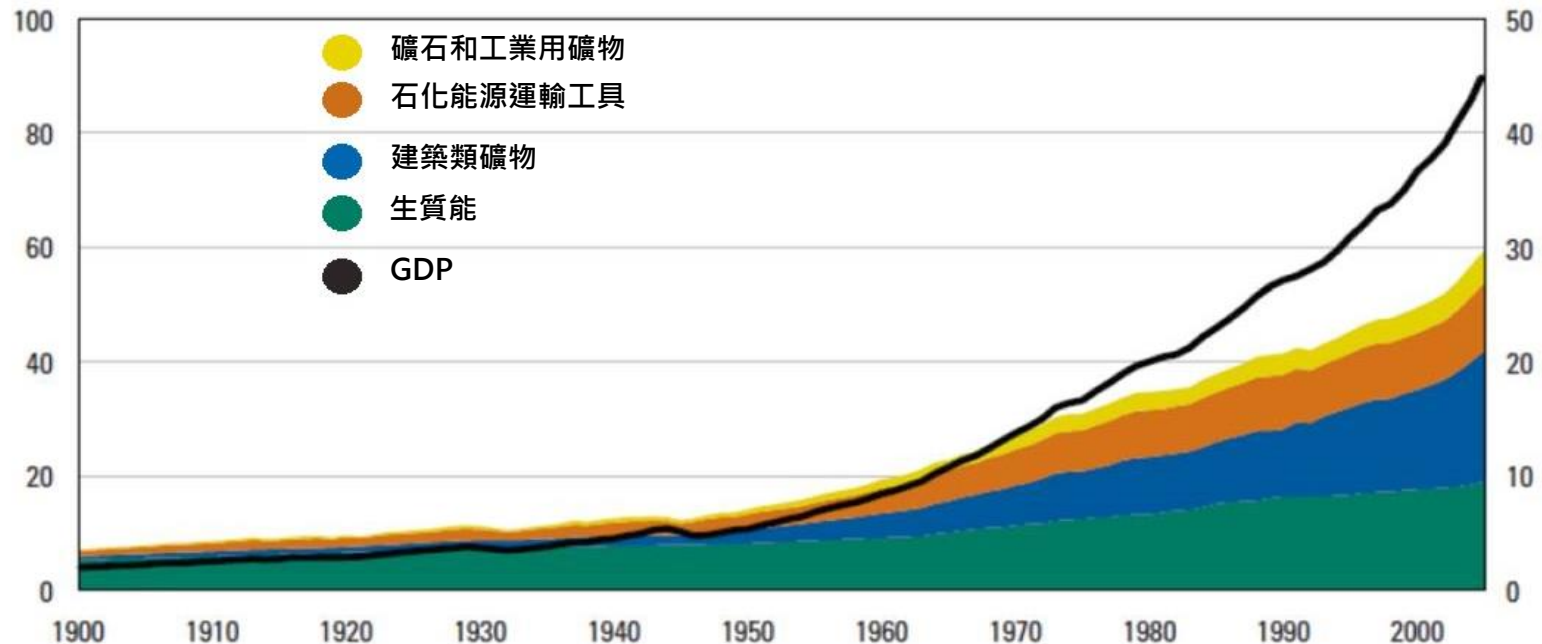
全球資源使用量持續上升

- 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

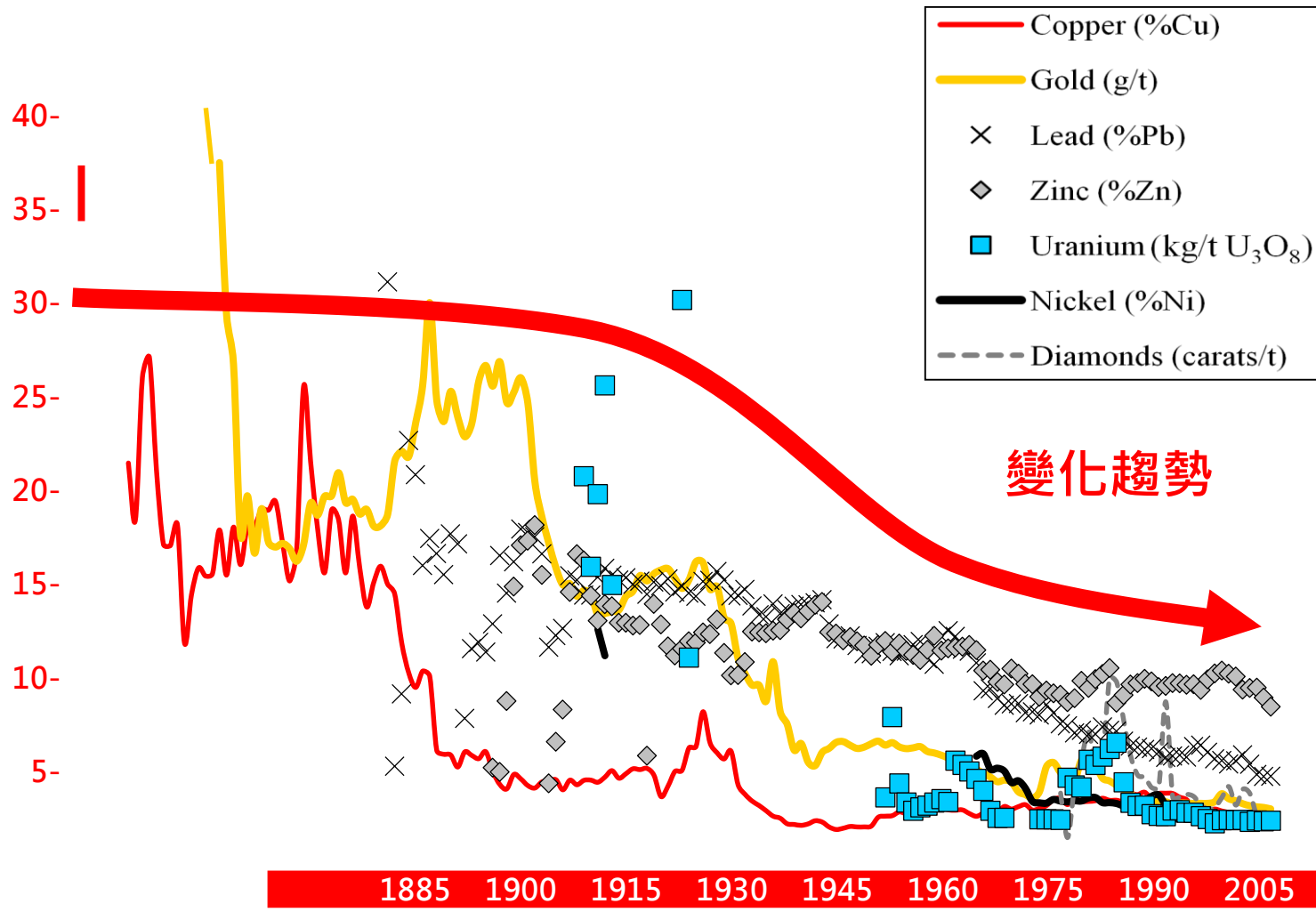
十億噸

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

天然資源日益下降



氣候變遷(1/4)



氣候變遷(2/4)

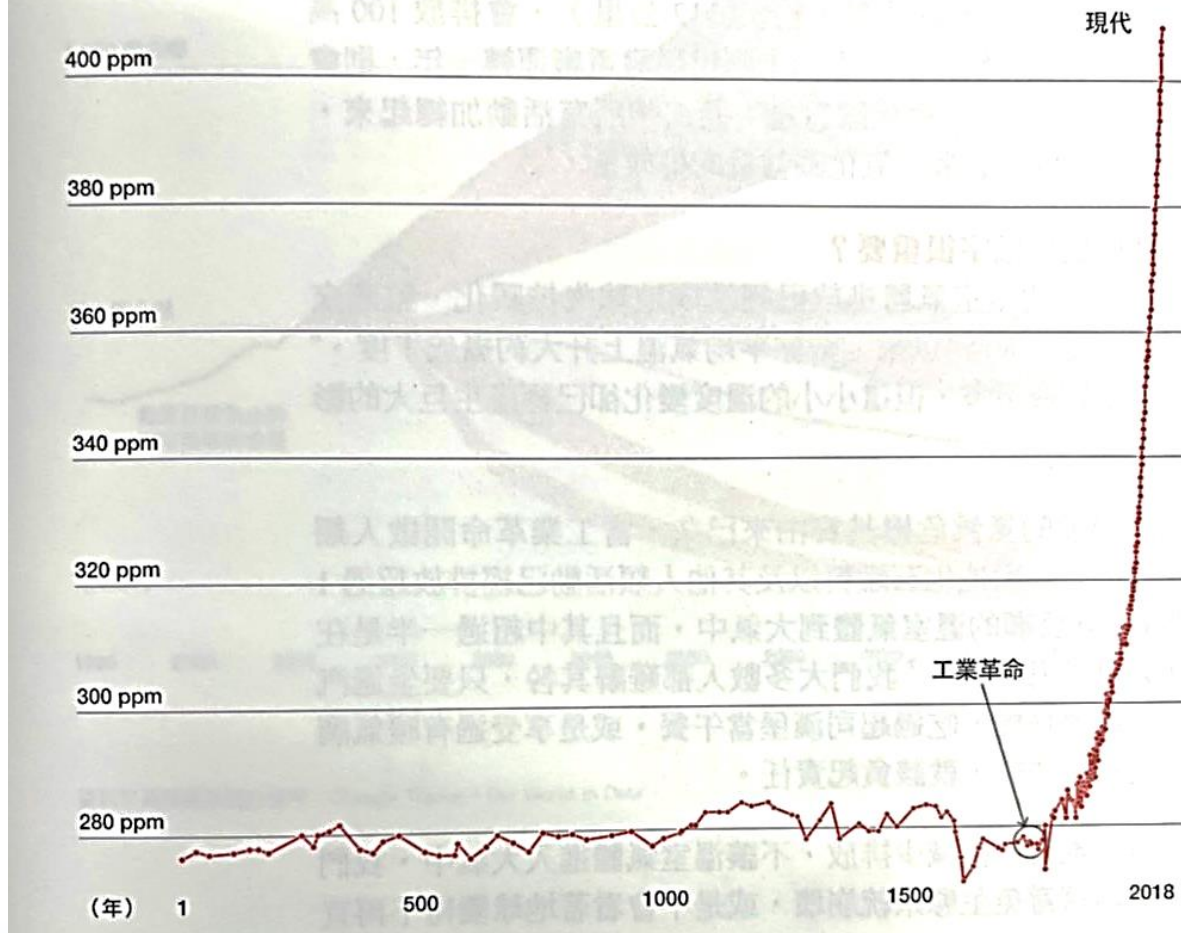
大氣中的二氧化碳在過去200年間急劇增加
年度二氧化碳濃度
以百萬分點 (ppm) 為單位

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



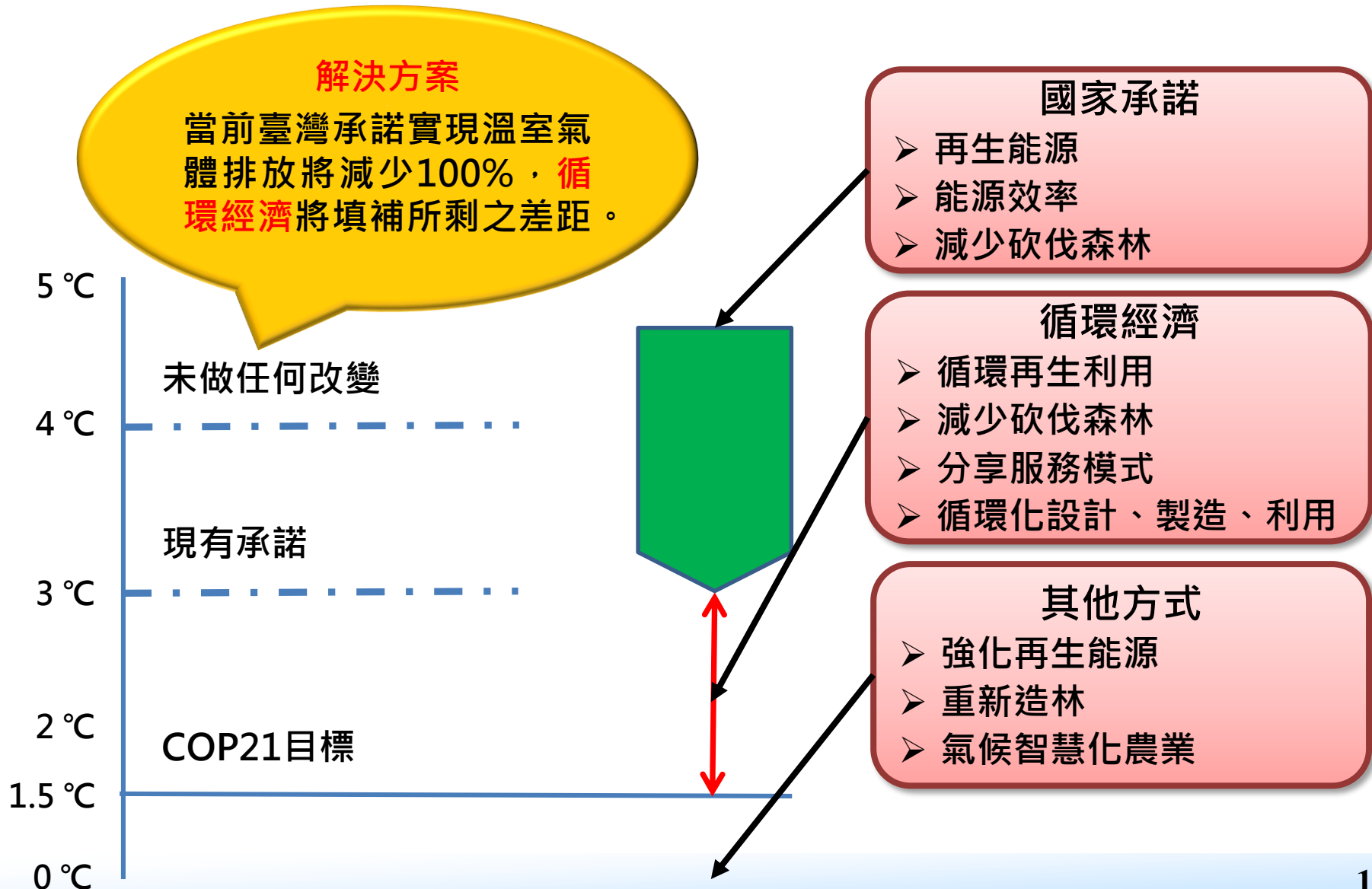
氣候變遷(3/4)

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(4/4)

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



簡報大綱

壹、國際環境議題

貳、淨零轉型關鍵

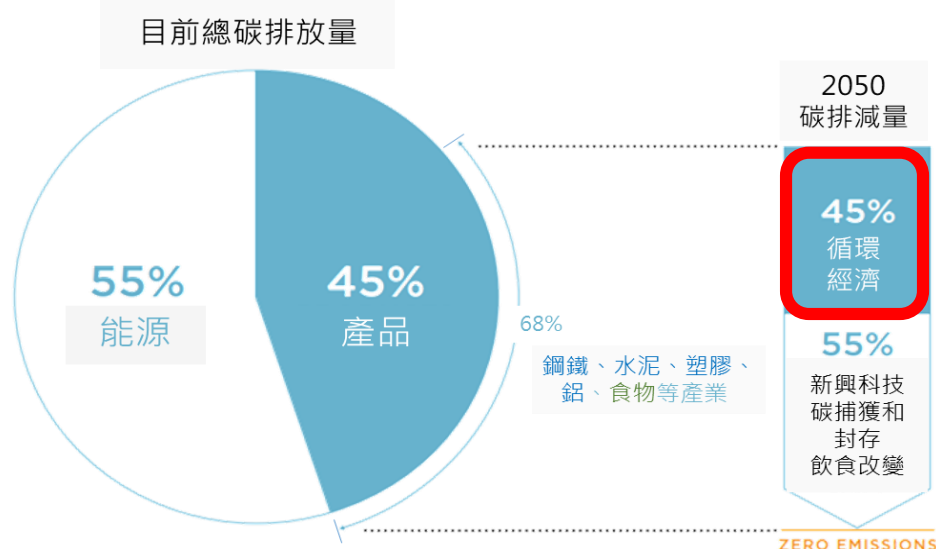
參、循環經濟內涵

肆、循環經濟策略

伍、資源循環未來

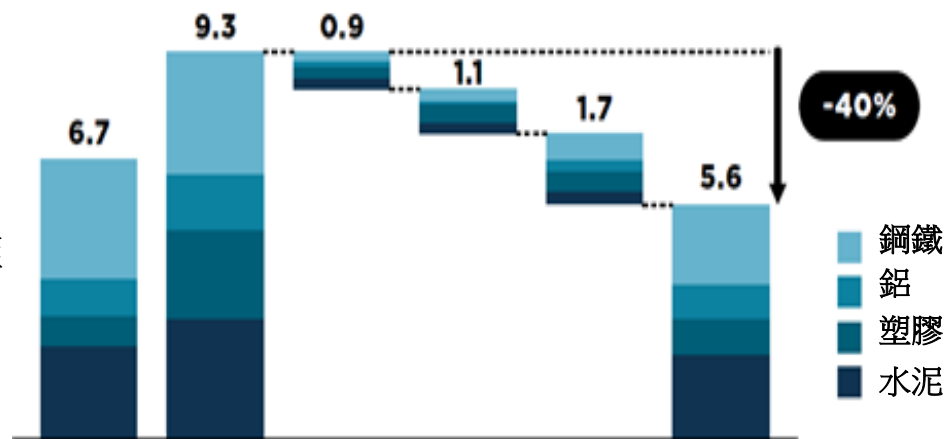
艾倫麥克阿瑟基金會淨零排放策略

- 碳排放總量**55%**來自**能源**，**45%**與**產品製造**有關。
- 產品製造相關項目中，食物、鋼鐵、水泥、塑膠、鋁等5 類產品碳排占 **68%**比例，透過新興技術等方法可減少**55%**碳排放。
- 其餘**45%**則須仰賴**循環經濟**得以達淨零排放。
- 採取的策略（鋼鐵、鋁、塑膠、水泥）
- **減少**生產過程中的**廢棄物產生**。
- 以**租賃**、**共享**方式重複使用產品並通過維修延長產品壽命。
- 使用**再生材料**替代**原生材料**。



鋼鐵、鋁、塑膠與水泥減少約40 %碳排放

CO₂e (十億公噸/年)



目前 2050預估值 減少廢棄物 產品再利用 材料再循環 循環後預估值

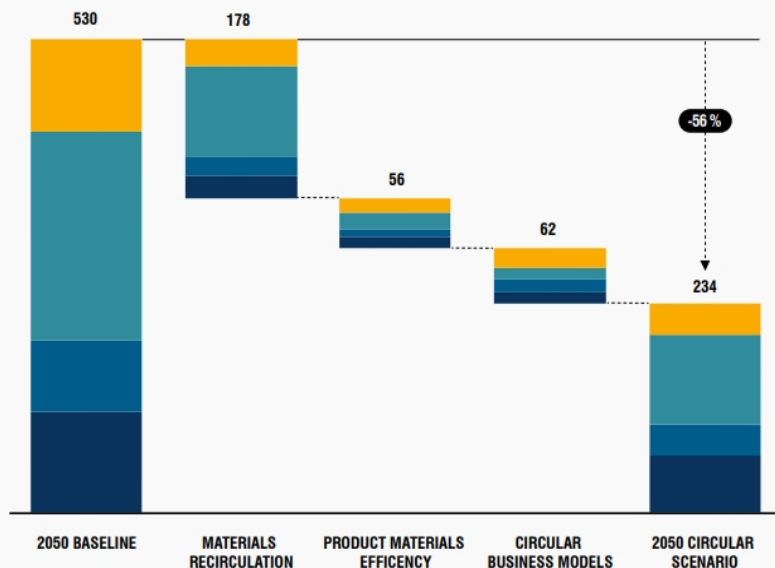
國際力行循環經濟之績效

循環經濟為2050年 達成淨零排放目標之關鍵

根據估算，循環經濟將協助歐盟重工業在**2050年之前削減56 %之碳排放量**。

EU EMISSIONS REDUCTIONS POTENTIAL FROM A MORE CIRCULAR ECONOMY, 2050
MT OF CARBON DIOXIDE PER YEAR

STEEL PLASTICS ALUMINIUM CEMENT



創新商業模式有效提高 資源使用效率並發生減碳效果

產品及服務(PaaS, Product as a Service)

全球空調消耗電力相當於760個燃煤電廠發電量，透過**冷風服務(CaaS, Cooling as a Service)**可節省**45 %能源消耗**。



我國長期減量目標與路徑評估

2020

既有技術大規模應用
+ 政策有效支持

2030

乾淨能源技術創新
+ 未市場化技術大規模應用

2050

邁向淨零的關鍵策略

再生能源

氢能

能源效率

CCUS

循環經濟

電氣化

行為改變

碳匯

諮詢委員
(中研院、工研院)

行政院

跨部會協調小組

環保署、經濟部、科技部、交通部、內政部、農委會

利害關係共識討論

願景組

科學基礎技術推估

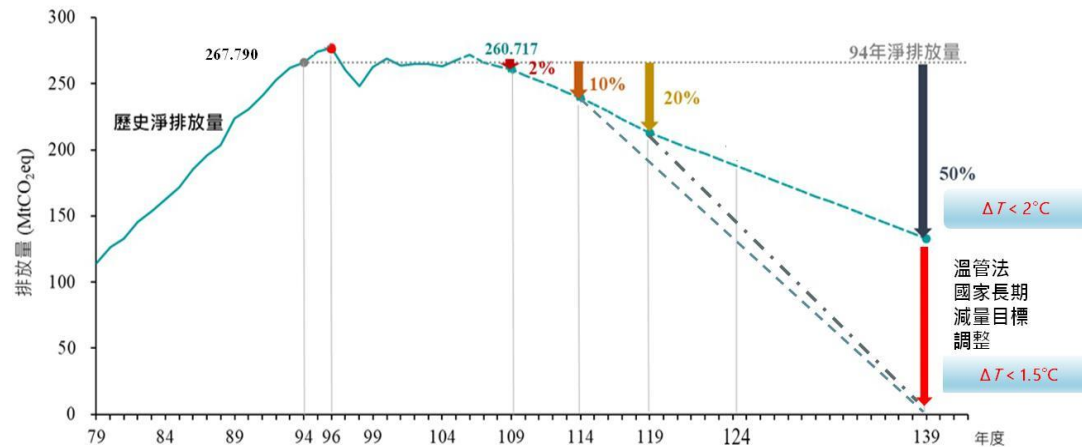
模型組

去碳能源
工作圈

產業及
能源效率
工作圈

綠運輸及
運具電氣化
工作圈

負碳技術
工作圈



資料來源：行政院環保署環管處

臺灣 淨零轉型-12項關鍵計畫



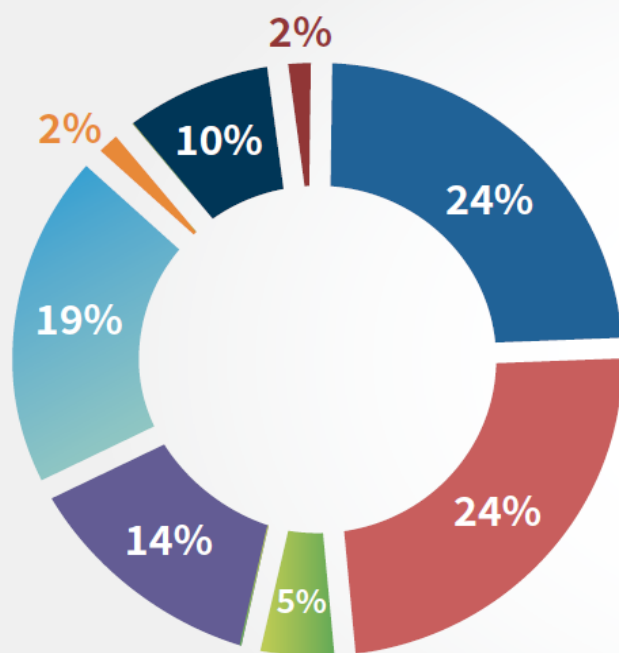
臺灣2050 淨零轉型

十二項關鍵計畫

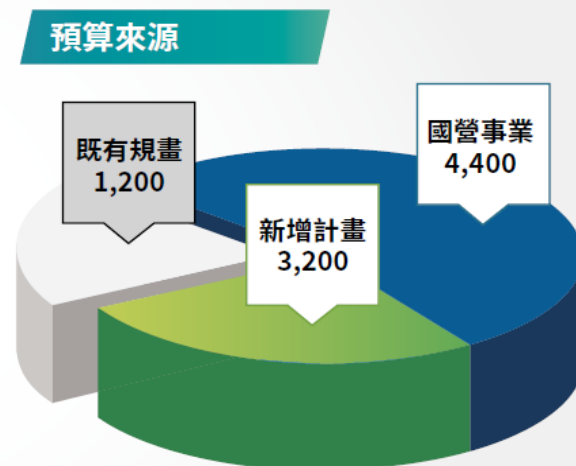


2050淨零轉型預算規劃

至2030年預算近9,000億元



- 再生能源及氫能 2,107億
- 電網及儲能 2,078億
- 低碳及負碳技術 415億
- 節能及鍋爐汰換 1,280億
- 運具電動化 1,683億
- 資源循環 217億
- 森林碳匯 847億
- 淨零生活 210億



2050淨零轉型

促進經濟成長・帶動民間投資・創造綠色就業

能源轉型
更加**安全**

產業轉型
更具**競爭**

生活轉型
更具**永續**

社會轉型
更有**韌性**

- 翻轉高進口能源依賴風險
- 產業轉型並創造綠色成長動能
- 政府投入帶動民間投資
- 減少溫室氣體及空氣污染

由2021年97.4%，2050年降至50%以下

至2030年帶動民間投資約4兆元以上

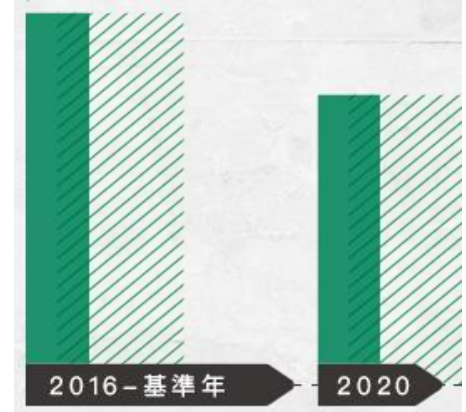
至2030年約減少2019年之空污量約三成

臺灣產業之因應

● CO₂七大減碳技術



累計減碳79,738公噸
約664萬顆樹



產業轉型

製造部門 3大面向 11 項措施

製程改善

- 設備汰舊更新
- 節能(數位化)
- 氫氣技術開發
- 含氟氣體削減

能源轉換

- 擴大使用天然氣
- 擴大使用生質能
- 使用綠電/氫能

循環經濟

- 原料替代
- 廢棄物衍生燃料
- 能資源整合
- CCU技術

循環經濟所施行策略包括原料替代、廢棄物衍生燃料、能資源整合及CCU相關技術。

簡報大綱

壹、國際環境議題

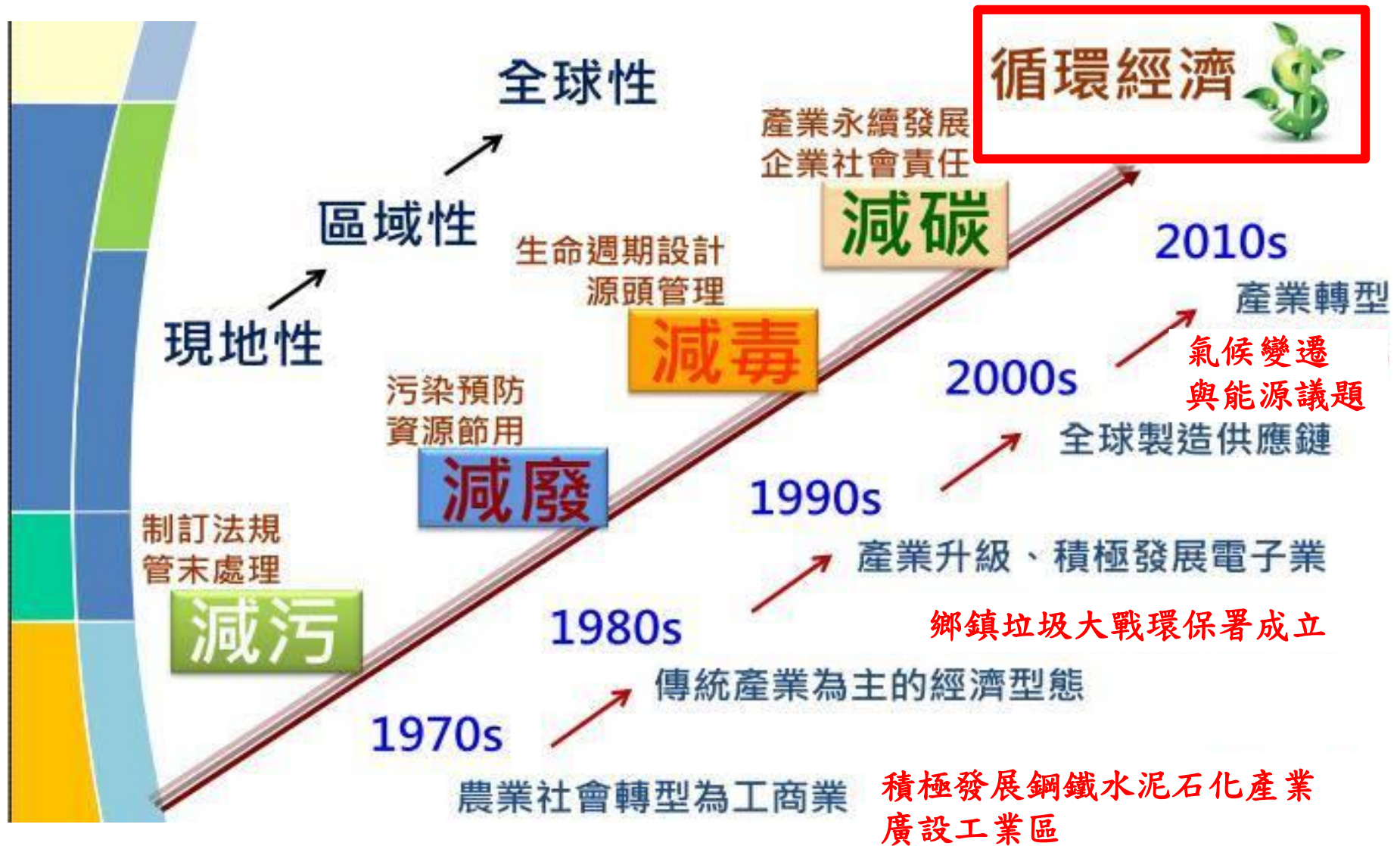
貳、淨零轉型關鍵

參、循環經濟內涵

肆、循環經濟策略

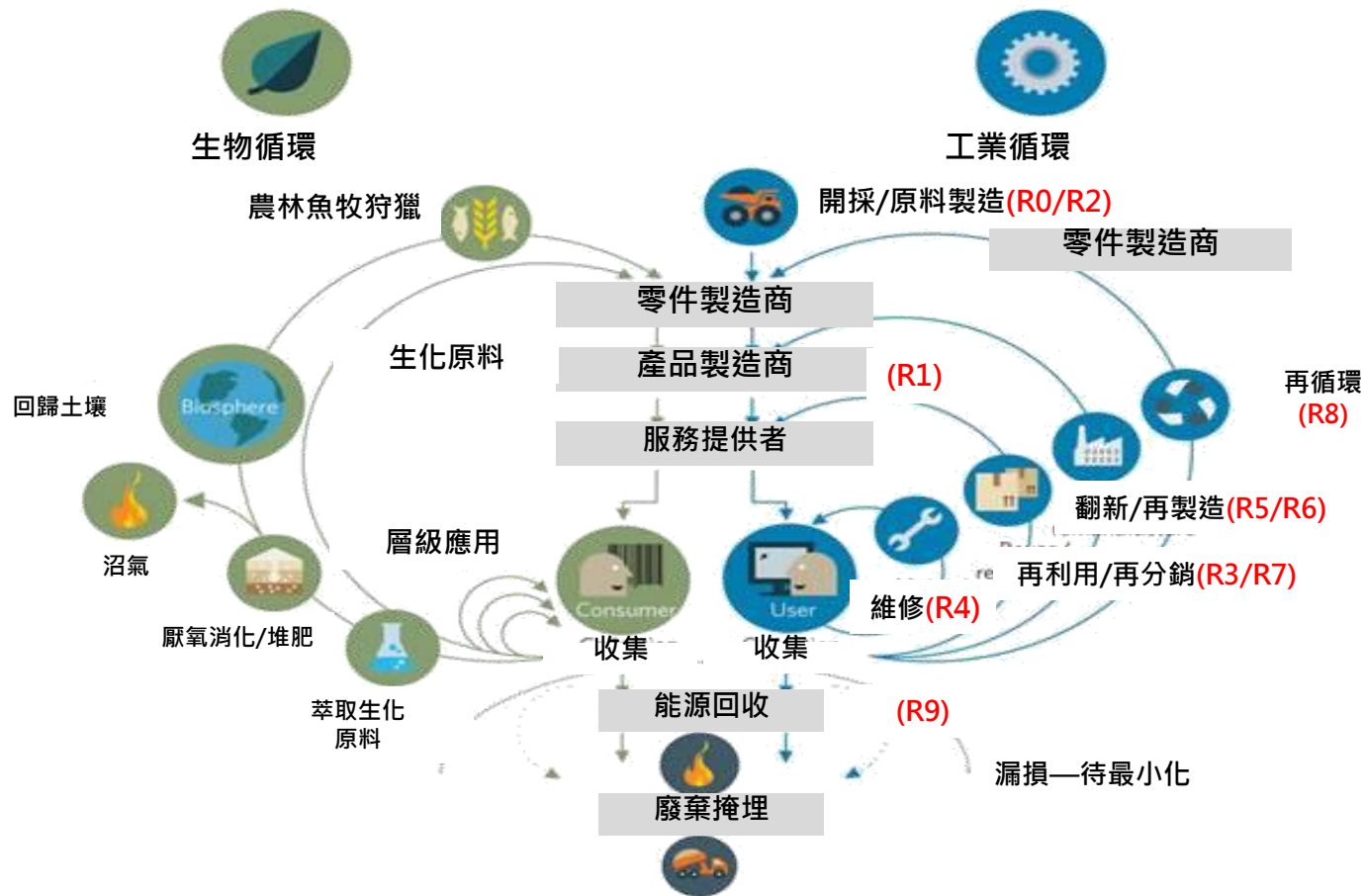
伍、資源循環未來

產業發展軌跡



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」

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

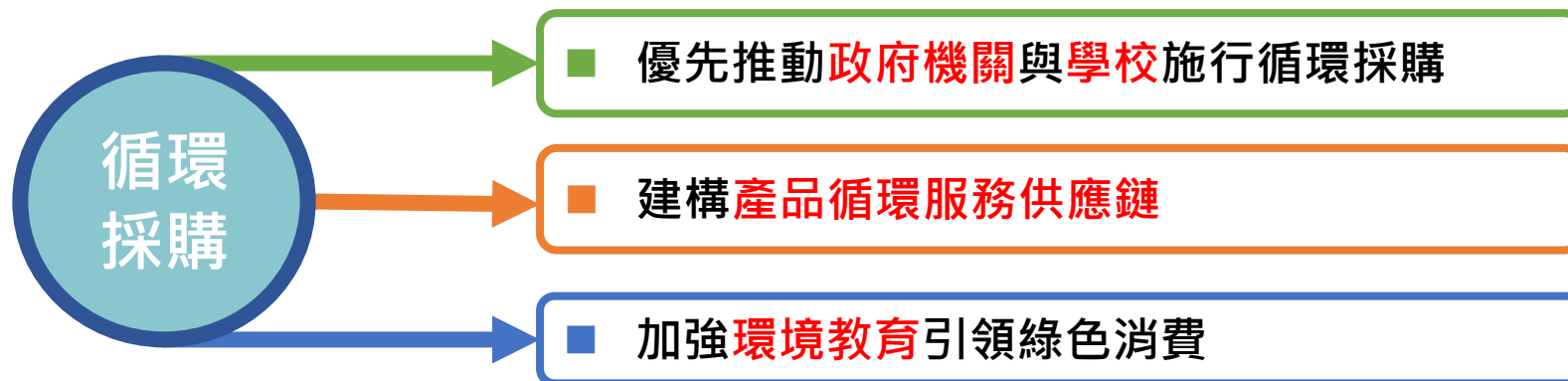
3. 產品級別

- 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



循環經濟

增加循環性

線性經濟

0.零廢棄

將不需要之資源淘汰或
利用於其他產品之供應鏈

1.新思維

加強產品的使用
(如共享產品)

2.減量化

可透過消耗少量的資源和材料
提高產品製造或使用效率

3.再使用

將消費者丟棄之產品
保持原功能的狀態後再利用

4.維修

維修及保養有缺陷的產品
而原功能可同時使用

5.翻新

恢復並更新舊產品

6.再製造

可使用部分廢棄產品做具有相同功能的新產品

7.重新定義

新產品功能中使用廢棄產品或零件

8.再循環

以相同物料或較低物質轉換

9.能源回收

物料燃燒回收能量

廢棄物產能技術(WtE)



簡報大綱

壹、國際環境議題

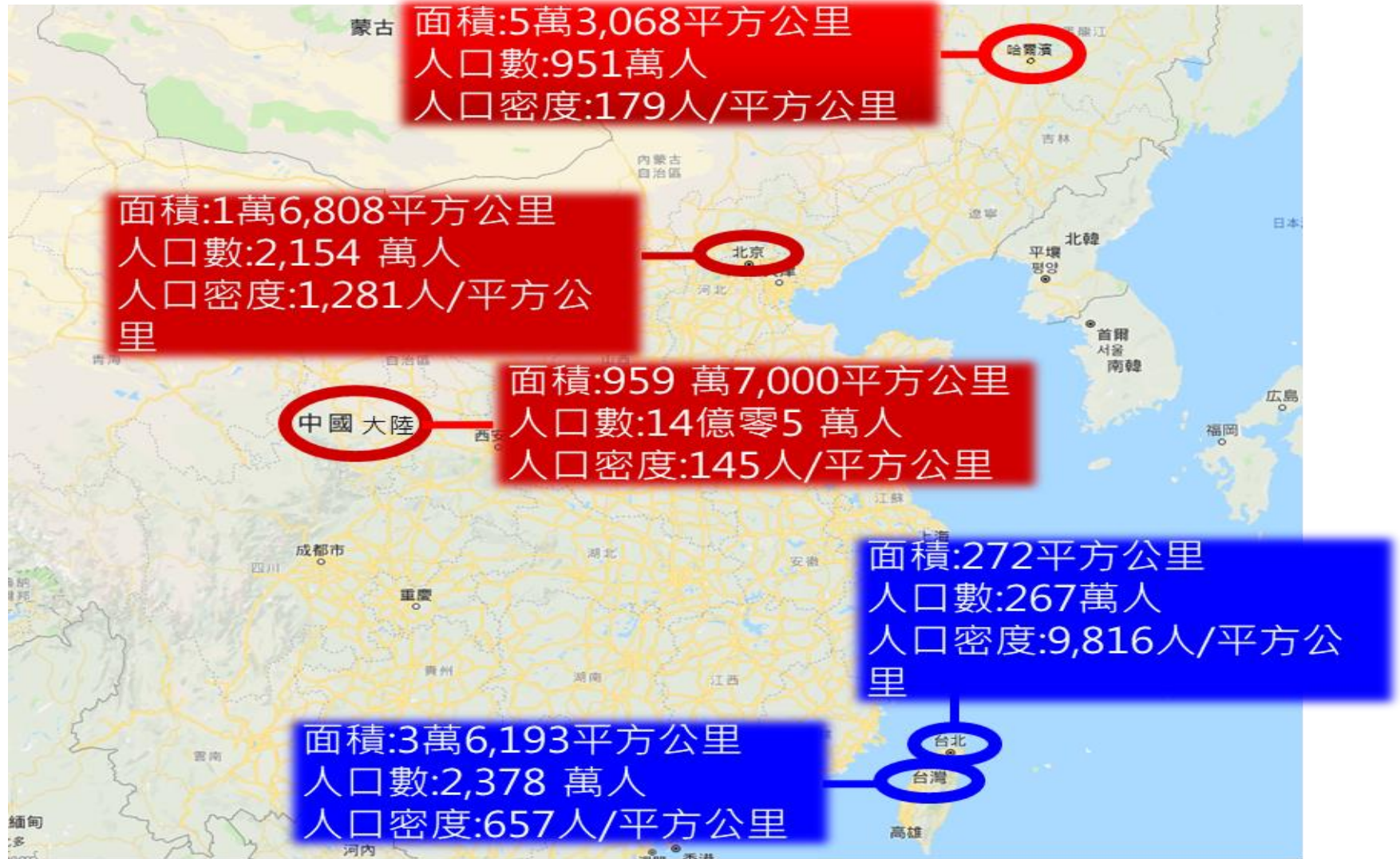
貳、淨零轉型關鍵

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



臺灣焚化爐存在之壓力



八里焚化爐



內湖焚化爐



木柵焚化爐



北投焚化爐

垃圾衛生掩埋場之永續性



巨大廢棄物之走向



1. 廢家具 Bulk Waste



2. 廢自行車 Waste Bicycle



3. 修繕整理 Repairing



4. 再生家具 Reuse



5. 再生自行車 Bicycle



6. 跳蚤市場 Garage Sale

資源廢棄物之宿命



1. 資源垃圾
Recyclable Waste



2. 回收點
Community Recycling Spot



3. 清潔隊
Garage Collecting Team



4. 回收商
Recycling Plant



5. 處理廠
Treatment Plant



6. 二次料
Recycled Material

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

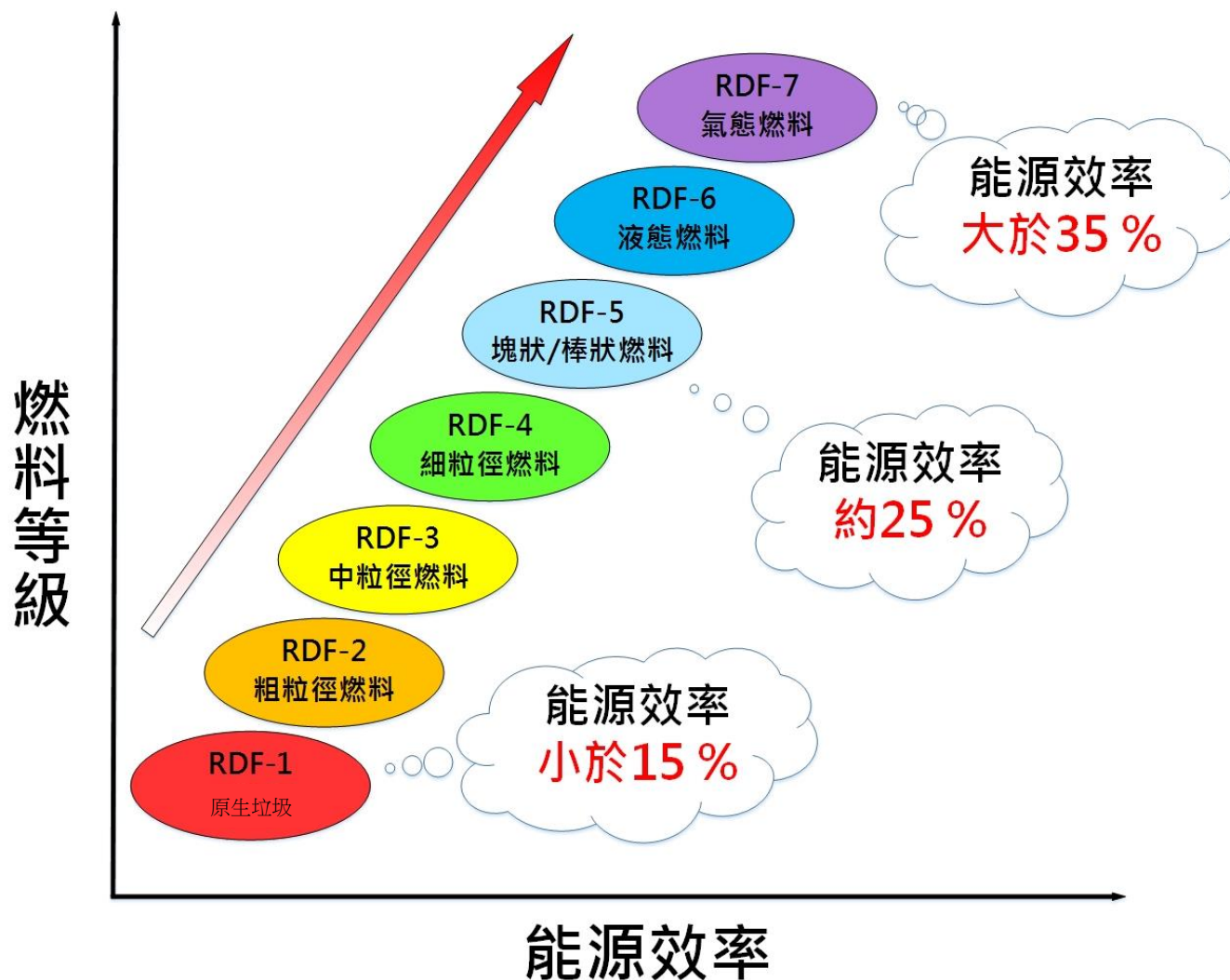


整體而言，廢棄物前處理做得越少，成本將越低，但是燃料效率也越低。反之，燃料等級隨數字越大而越高，因此RDF-7等級最高，而其能源效率也隨數字愈大而代表能源效率愈高。一般而言，RDF-1的能源效益小於15%，而RDF-7氣體燃料的效率則大於35%為最高。

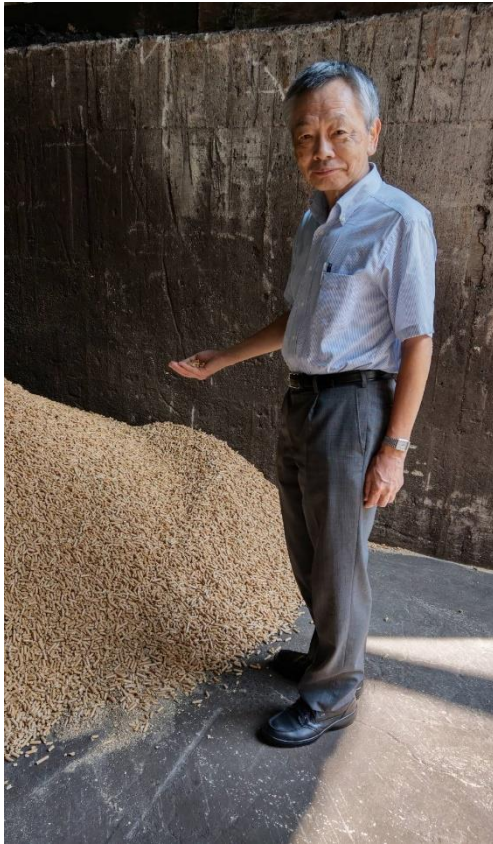
廢棄資源衍生燃料(2/4)

- 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)



固體生質燃料(SRF)

木顆粒 (Wood pellet)	棕櫚殼 (Palm kernel shells, PKS)	木片 (Wood chips)
		
<ul style="list-style-type: none">來源：乾淨木材廠邊材、人造林砍伐後殘枝、疏林伐木、老化之經濟作物(ex:橡膠木)。木料產地及加工地製造。	<ul style="list-style-type: none">來源：棕櫚油產業之副產物。棕櫚油產地產出。	<ul style="list-style-type: none">來源：木材加工製程剩餘邊料、紙漿製程剩餘邊料疏林伐木、事業廢棄物等。本地產出及進口

使用生質燃料與化石燃料比較

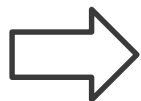
➤ 各種發電技術的溫室氣體排放量(OECD/NEA)

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

春池玻璃回收結合工藝美學(1/2)

➤ 藝品玻璃產品



春池藝品
玻璃展示櫃



春池玻璃回收結合工藝美學(2/2)

➤ 藝品玻璃產品



塑膠處理技術

➤ PET容器經再生處理後製成產品



假髮



手提袋



衣服

➤ PVC、PE、PP、PS容器經再生處理後製成產品



PVC做成之
電線覆皮



PP做成之
工具箱



PS做成之
拍立得外殼

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)



廢棄電子產品回收(1/2)



廢棄電子產品回收(2/2)



簡報大綱

壹、國際環境議題

貳、淨零轉型關鍵

參、循環經濟內涵

肆、循環經濟策略

伍、資源循環未來

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

我國產業挑戰與省思

1. 能資源整合考量

2. 再生能源之轉型

3. 綠色金融之因應

4. 環境溝通之強化

動脈靜脈大結合，
能源資源要整合，
循環經濟創永續，
淨零排放碳中和。

資源永續之哲學先知



老子・道德經27章

常善救人
故無棄人
常善救物
故無棄物



孟子・梁惠王篇

不違農時，穀不可勝食也；數罟不入洿池，魚鼈不可勝食也；斧斤以時入山林，材木不可勝用也。穀與魚鼈不可勝食，材木不可勝用，是使民養生喪死無憾也。養生喪死無憾，王道之始也。



波托契尼克

1. 最關鍵的三個要點為：企業利潤須納入環境及健康之外部成本、各國之共識及政策改善。
2. 循環經濟物落入資源循環之迷思



成大 張祖恩教授

1. 廢棄物是放錯位置的資源
2. 推動環保科技園區績效卓著

山河萬古壯，
今夕盡歸空。

唐.鄭丹.明皇挽歌

企業萬古壯，守舊不創新，
趨勢未掌握，三代盡歸空。