



行政院 2007 年產業科技策略會議

前瞻能源科技—二氧化碳減量科技

行政院國家科學委員會
經濟部能源局

2007 年 11 月 21 日

簡報內容

- 一、CO₂ 排放概況及減量策略
- 二、CO₂ 減量科技發展
- 三、我國 CO₂ 減量科技研發與產業化期程
- 四、CO₂ 減量科技發展具體行動方案
- 五、結語
- 六、討論題綱

一、CO₂ 排放概況及減量策略

CO₂ 減量之國際觀點

- **IEA 估計：**
 - 在未來 25 年全球二氧化碳排放之年平均成長率為 1.8 %
- **G8 高峰會議之共識：**
 - 提高能源生產和使用效率
 - 發展再生能源及替代化石燃料之新能源
 - 重新考量核能發展
 - **開發二氧化碳捕獲與封存技術 (CCS)**
- **歐盟採取之措施：**
 - **2015 年前，完成 12 座商業化化石燃料之永續能源示範廠**
 - **2020 年前，將二氧化碳捕獲與封存技術實際應用於新化石燃料電廠**
 - 開發高效率發電技術與清潔化石燃料技術
- **美國 DOE 採取的措施：**
 - **2011 年，至少完成一處大規模二氧化碳地質封存示範廠 (每年 1 百萬噸以上)**
 - **2012 年技術研發指標 (CCS 技術捕獲率達 90 %、封存率達 99 %、增加能源成本低於 10%)**

資料來源：(1) IEA, World Energy Outlook 2006; (2) G8, Report to G8 Summit in Heiligendamm (2007); (3) Brussels European Council Presidency Conclusion (March 2007); (4) USDOE/NTEL - Carbon Sequestration Technology Roadmap & Program Plan 2007



國際 CO₂ 減量科技策略

• 能源效能提升科技

-- 節約能源及增進能源使用效能

(清潔生產、永續經營、材料更新、物質回收再利用、發電效率提升等)

-- 改變能源結構 (使用低碳燃料與新及再生能源)

• 直接減量科技

-- CO₂ 捕獲

-- CO₂ 再利用

-- CO₂ 固定及封存

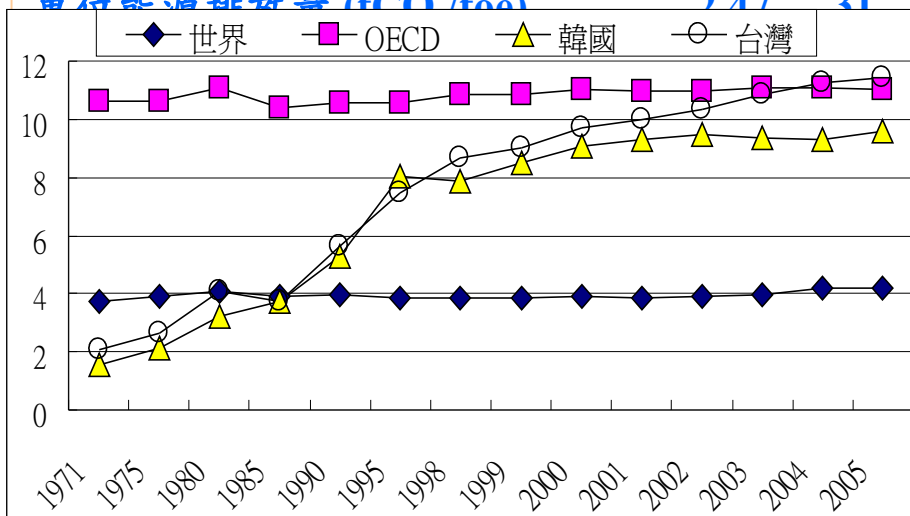
-- 碳匯 (植物、生物、土壤)

我國 CO₂ 排放概況

2005 年我國 CO₂ 排放指標

指標	我國	排名
排放總量 (百萬公噸 CO ₂)	261.28	22
人均排放量 (公噸 CO ₂ /人)	11.41	16
單位 GDP 排放量 (公斤 CO ₂ /美元)	0.46	51
單位能源排放量 (tCO ₂ /tpe)	2.47	31

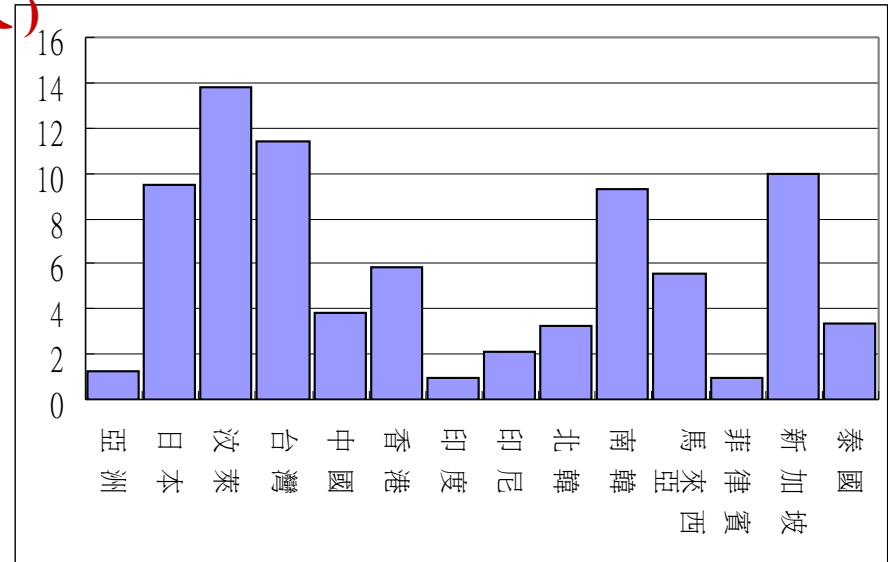
各國 CO₂ 人均排放量比較



我國 CO₂ 排放概況

1980	6,750 萬公噸	2000	21,449 萬公噸
1990	11,063 萬公噸	2005	26,128 萬公噸
1997	17,659 萬公噸	2006	26,528 萬公噸

2005 年亞洲地區 CO₂ 人均排放量 (公噸 CO₂/人)



資料來源：1. 國際能源總署「CO₂ Emission from Fuel Combustion (1971-2002) - 2004 年版」。2. 國際能源總署「KEY WORLD ENERGY STATISTICS」, 2007。3. 我國能源有關排放統計與分析, 工研院能環所, 2007

我國 CO₂ 減量之背景和急迫性

- **產業發展週期長**

- 能源結構與產業政策之調整約需 10 至 15 年時間，
我國應即早因應以降低對經濟發展之衝擊。

- **化石燃料是主要目標**

- 化石燃料，特別是煤炭，在 2040 年前應仍是能源主要的來源。要能
有效降低 CO₂ 排放， CO₂ 捕獲、封存及再利用是必要的做法。

- **由政府帶動主導**

- 我國係以中小企業為經濟發展主幹，產業規模限制技術的發展，
欲建立自主性之 CO₂ 減量技術與產業，宜由政府帶動主導。

- **工業排放超過全國總排放量 55 % 的二氧化碳**

- 各產業未來必會受到減量排放之要求。
-- 2005.12.26 全國工業總會與鋼鐵、石化、人纖、造紙、棉布印染、

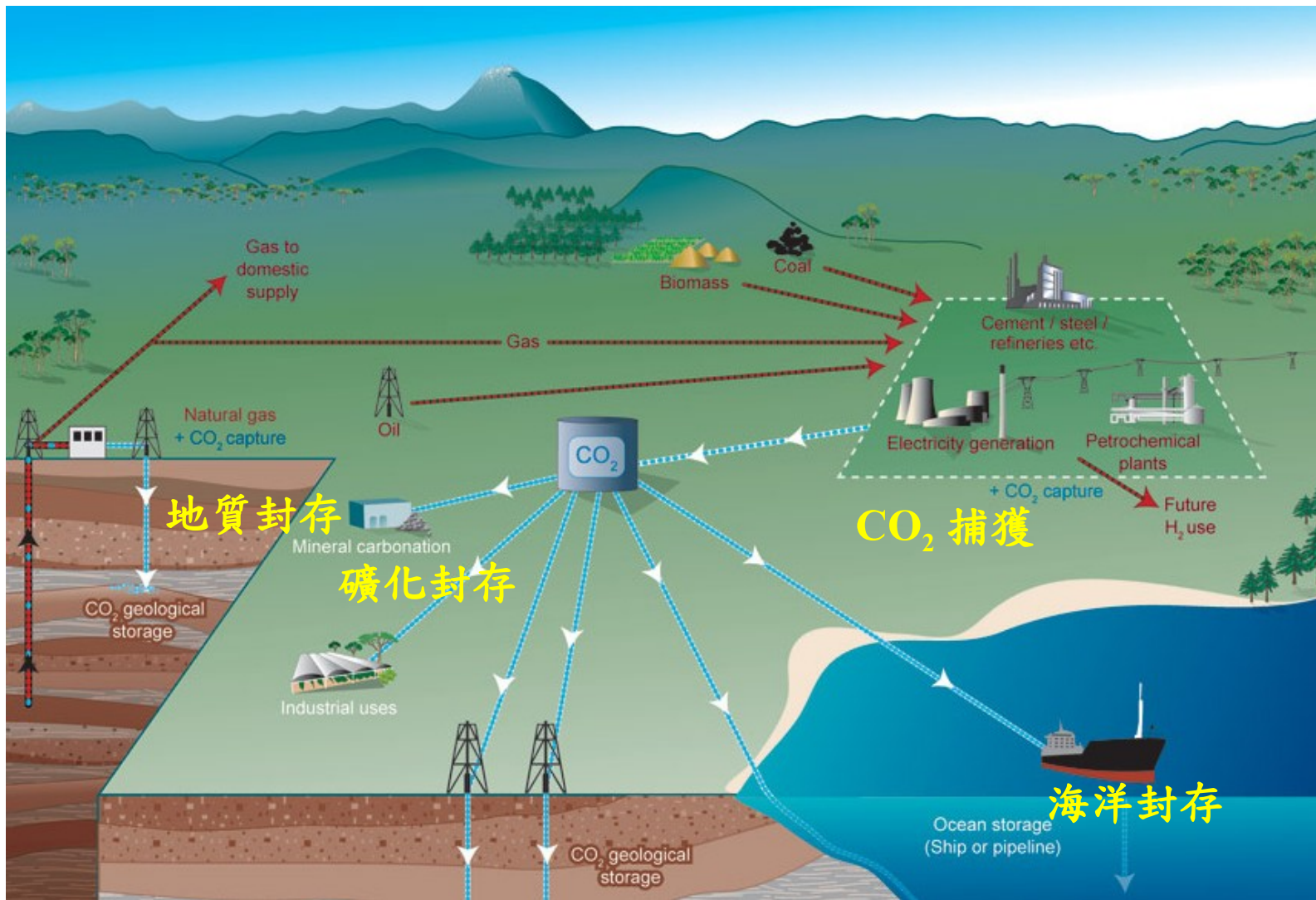
我國 CO₂ 減量策略

- **降低能源密集度 (E/GDP, Energy Intensity)**
 - 節約能源及提昇化石燃料使用效率
 - 推動高效率的運輸工具和家電用品
 - 強化系統設計，降低能源需求
- **降低碳排放密集度 (C/E , Carbon Intensity)**
 - 提昇能源生產之效率
 - 使用低碳及再生能源
 - 採用脫碳技術
- **拓展固碳及再利用效益**
 - 開發 CO₂ 捕獲、封存與再利用技術
 - 提昇海洋、森林及土壤吸收 CO₂ 之效率
- **推動產業減量**
 - 立法並推動自發性減量策略聯盟，提昇減量誘因

黑色字表示國內已在持續進行中，紅色字表示國內須積極推動

二、CO₂ 減量科技發展

CO₂ 排放、捕獲及封存示意圖



CO₂ 排放與捕獲科技發展項目

- **Pre Combustion (例如 IGCC):**
煤氣化排放氣體中溫度、壓力及組成與 Post Combustion 不同，處理方式也有所不同。
- **Industrial Processes:**
如水泥、氧化及燃燒製程，CO₂ 排放量遠低於發電廠
- **Post Combustion:**
處理燃煤 / 燃油 / 天然氣發電廠之排放氣體，其中 CO₂ 含量 3-15% ，氧氣 3-5% ，另含有 SO_x 及 NO_x 。
- **Oxyfuel:**
含氧量高，可減少用於加熱氮氣之熱能，可降低 NO_x

CO₂ 捕獲技術

- 已近產業化之技術

- 物理吸收 國外已有用於 Pre Combustion 之示範性工廠

- 化學吸收 國外已有用於 Post Combustion 之示範性工廠

- 物理吸附 國外正開發不同性能的吸附劑及再生方式

- 薄膜分離 國外已有用於 Post Combustion 示範性工廠，

另正開發用於 Pre Combustion 中之

技術

- 吸收與薄膜混成技術

- 前瞻技術

- 吸收與吸附混成技術

- 二氧化碳水合物

- Sorbent Energy Transfer Systems

紅色字表示國內已具研發基礎；綠色字表國內正建立研發能量中

CO₂ 封存與再利用技術之分析

CO₂ 封存技術

- 生物固定 (Biological CO₂ Fixation)
- 地質封存 (Geologic Storage)
- 海洋封存 (Ocean Storage)
- 礦化固定 (Mineral Carbonation)

CO₂ 再利用

- 直接利用：**碳酸飲料、食品包裝、殺菌劑、滅火劑、焊接劑、萃取及反應溶劑、推進劑**等
- 轉化利用
 - 化學產品：**尿素、水楊酸、碳酸酯、聚碳酸酯**等
 - 能源產品：**甲烷、甲醇、碳酸二甲酯、二甲基醚**等

紅色字表示國內已具研發基礎，可收立竿見影之效；

綠色字表國內正建立研發能量中。

三、我國 CO₂ 減量科技研發 與產業化期程

國內研發單位之現況檢視

● Pre Combustion

針對燃燒前捕獲中之氣化複循環發電系統 (IGCC)，目前有兩項研究計畫正在進行中。工研院著重於建立多元進料氣化技術及合成氣淨化技術開發，核研所則主要著重於 IGCC 發電系統整合設計及模擬驗證。

● Post Combustion

現有兩項計畫均屬學術性研究，研究內容包括以化學吸收、物理吸附及薄膜捕獲 CO₂，以金屬碳酸化封存 CO₂，利用光觸媒產生碳氫化合物以再利用 CO₂。目前尚無任何先導試驗工場。

● 能源產業

國內東聯化學年產 4 萬噸以二氧化碳與環氧乙烷製得之乙基碳酸，雖為世界上第一座生產工廠，但技術來自國外。

● 地質封存之調查

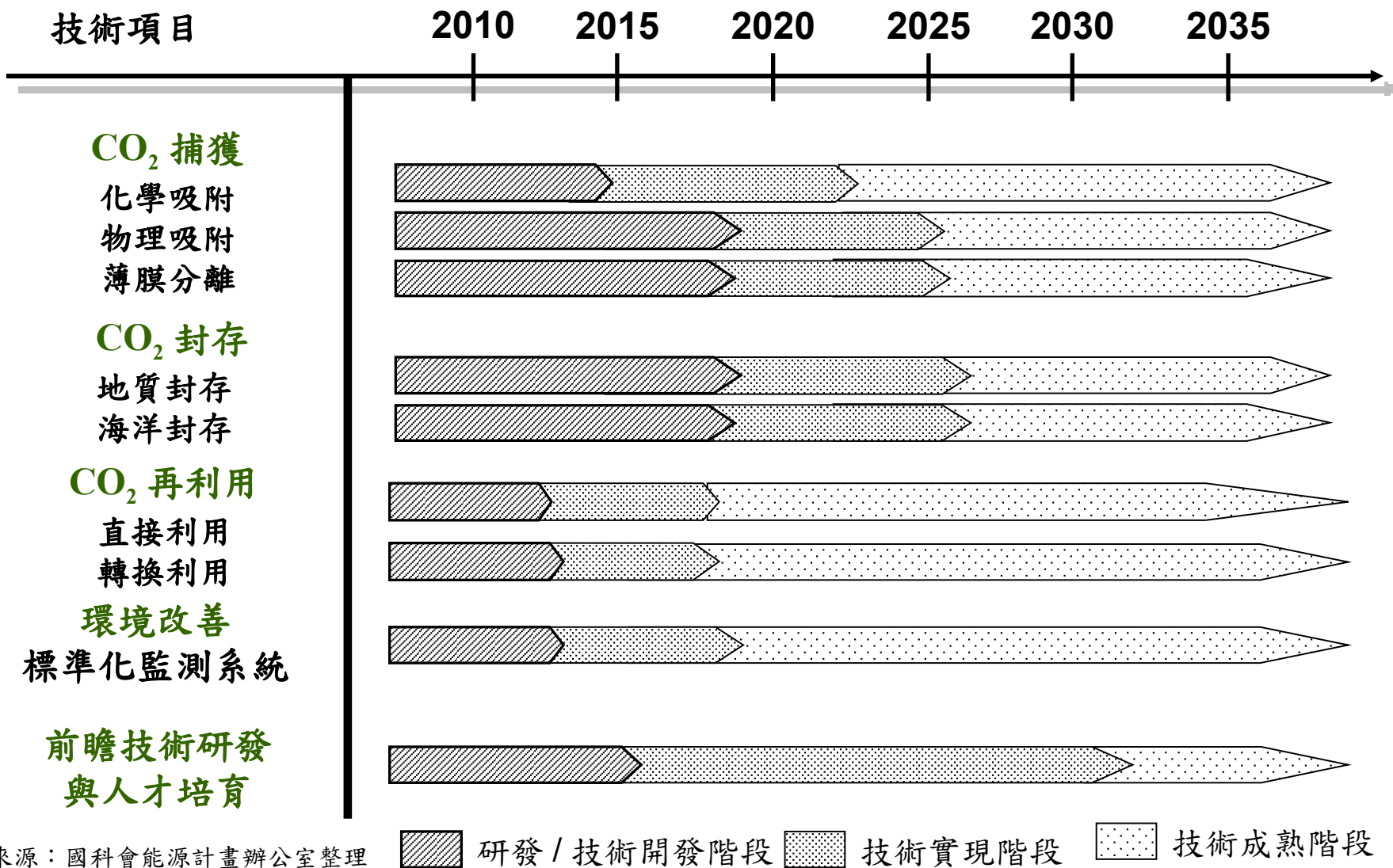
投入經費不高；基本及調查資料不足，目前正由能源局進行潛能調查及初步評估工作。

CO₂ 捕獲、封存及再利用技術發展

技術	國際科技發展重點	國內科技發展現況
CO ₂ 捕獲	物理吸收、化學吸收、物理吸附、薄膜分離、Hybrid Absorption and Adsorption process、Hybrid Absorption and Membrane process、CO ₂ Hydrates、Sorbent Energy Transfer Systems	Post Combustion 中物理吸收、化學吸收、物理吸附、薄膜分離等；IGCC 中捕獲技術則在規劃階段
CO ₂ 封存	生物固定、地質封存、海洋封存、礦化固定	礦化固定、地質封存
CO ₂ 再利用	直接利用：碳酸飲料、食品包裝、殺菌劑、滅火劑、焊接劑、萃取及反應溶劑、推進劑等 轉化利用：尿素、水楊酸、碳酸脂、聚碳酸脂、甲烷、甲醇、碳酸二甲脂、二甲基醚等	直接利用：碳酸飲料、食品包裝、殺菌劑、滅火劑、焊接劑、萃取溶劑等 轉化利用：尿素、水楊酸、碳酸脂、聚碳酸脂等

四、CO₂ 減量科技發展 具體行動方案

台灣 CO₂ 減量科技發展藍圖



資料來源：國科會能源計畫辦公室整理

研發 / 技術開發階段

 技術實現階段

 技術成熟階段

Post Combustion 行動方案

- **建立標準化的溫室氣體量測和監測方式：**
 - 提供日後排放量管制、交易制度建立及產業與能源結構調整之
基準。
- **Post Combustion:**
 - 結合國內產學研界，成立二氧化碳減量技術研發平台，整合上
中下游研發能量，推動 CO₂ 減量技術。
 - 積極推動 CO₂ 捕獲技術之研發，重點為新穎材料如吸收劑、吸
附劑、薄膜等之開發，以及符合製程強化之操作及再生
技術。

Pre Combustion 研發行動方案

- **Pre Combustion :**

- IGCC 仍在規劃階段，地質封存在 2020 前應還無法產業化。
- 技術發展指標以建立基礎及前瞻性 CO₂ 捕獲和封存之技術能量。

- **前瞻技術研發與人才培育：**

- 經由評估後決定 post 及 pre combustions 中適合在國內進行研發的項目。
- 積極參與國際研發聯盟及先導型研發計畫，加強國際合作及提升前瞻技術研發能量，積極培養前瞻研究及減碳產業人才，鼓勵至國外進修及引進國外技術人才。

- **協助產業進行 CO₂ 減量：**

- 成立二氧化碳減量技術研發平台。
- 針對各產業特性，協助產業進行 CO₂ 之減量排放。

五、結語

• 減量策略：

- 化石燃料在未來幾十年中仍可能是能源主要的來源，台灣在此一領域處於啟動階段，除了加強節約能源、增進能源使用效率及改變能源結構外，人為的 CO₂ 捕獲、封存與再利用技術是有效且必行的做法。

• CO₂ 減量技術發展：

- 以國內已具研發能量之 post combustion 技術為基礎，積極進行 CO₂ 捕獲科技之研究
- 以國內之研發基礎開發再利用的新技術。以 CO₂ 製造能源產品如甲醇、碳酸二甲酯、二甲基醚等，是值得發展的方向之一。

• 國際合作與人才培育：

- 借助 CDM 機制。
- 尋求各種途徑，積極參加國際性研發計畫，以培育減碳技術人才及產業

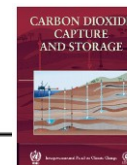
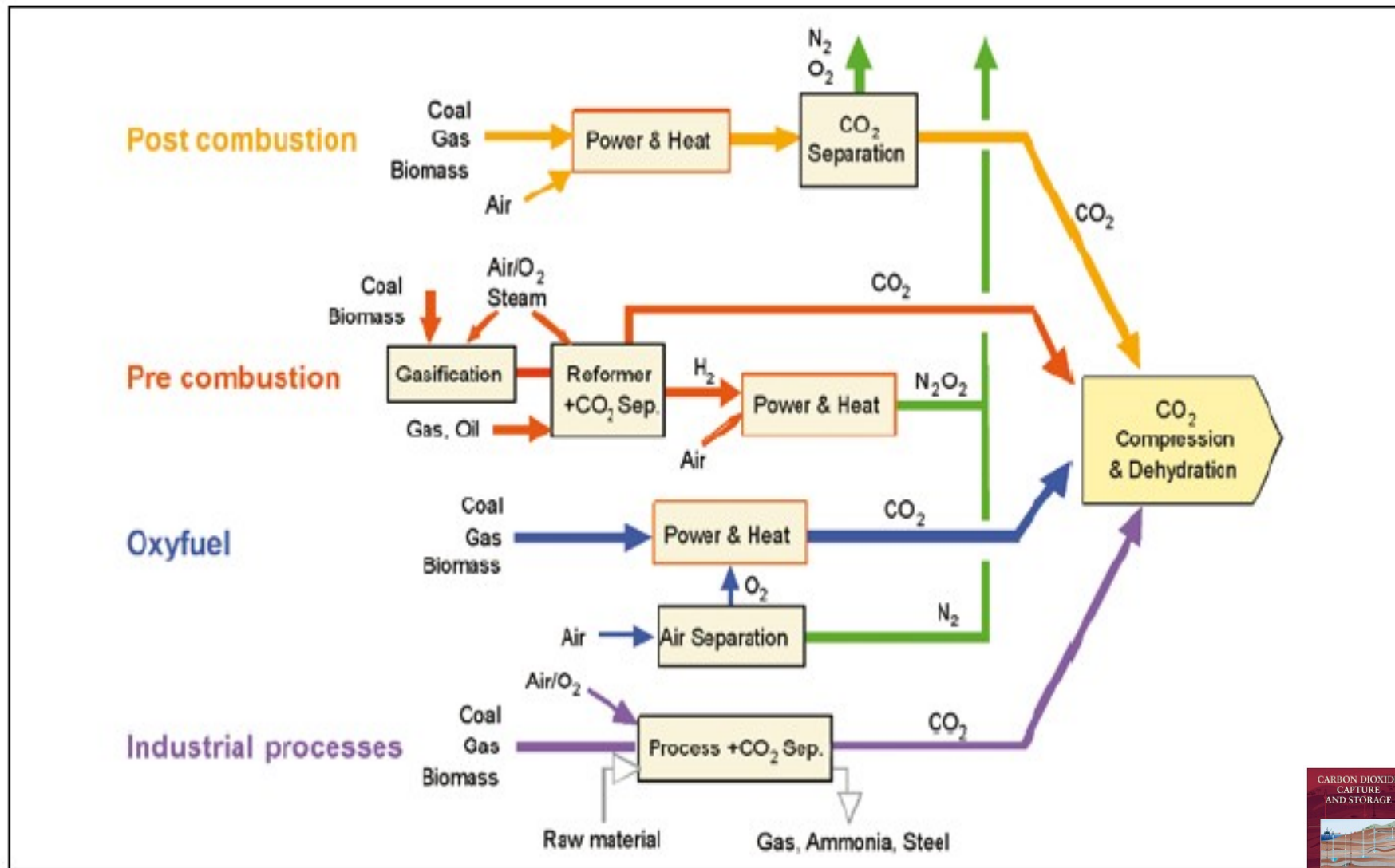
發展能量。

六、討論題綱

-
- 一、目前規劃推動 CO₂ 減量科技策略藍圖 (短期內優先推動 CO₂ 減量科技，中長期推動 CO₂ 封存及再利用) 及優先推動項目是否適宜，請討論。
 - 二、Post combustion 技術之研發項目，依國內現況國際合作與自行發展之比例分配及優先推動關鍵研發項目，請討論。
 - 三、推展 IGCC 技術研發優先規劃 / 推動項目，請討論。
 - 四、CO₂ 減量科技結合 CDM 機制，進行國際合作及人才培育，規劃方式是否合宜，請討論。
 - 五、CO₂ 再利用技術與封存技術方面，國內尚在萌芽階段，以 CO₂ 製造能源產品等項目，發展方向是否適宜，請討論。

附件

CO₂ 排放與捕獲



國際 CO₂ 捕獲技術發展 -USDOE 例

來源	目前技術狀態	研發機會		目標	支持之研發計畫
		Pathway-specific	Cross-cutting		
Pre-combustion De-carbonization	氣化合成氣主要為 CO ₂ 與 H ₂ 壓力約 400~800psi，以 Glycol 溶劑捕獲 CO ₂ 及再生，可產生純 CO ₂ 壓力約在 15~25psi	<ul style="list-style-type: none"> • 先進 Amine 吸收技術 • 發展先進物理或化學吸收技術 • 改善 CO₂/H₂ 分離薄膜 	<ul style="list-style-type: none"> • 加熱/加壓與其他系統整合應用 	2007 年較 2002 年減少 CO ₂ 捕獲設置成本與能源耗用達 75%	<ul style="list-style-type: none"> • 選擇性陶瓷薄膜 • CO₂ Hydrate Process • 高溫聚合物薄膜
Oxygen-fired combustion	目前尚無富氧燃燒 PC 機組商業化運轉。目前最小循環是每 lb 煤進料約 5lb CO ₂ ，可由鍋爐產生 90% CO ₂ 。燃燒所需氧約高於氣化系統 3 倍/kWh	<ul style="list-style-type: none"> • O₂ 選擇性薄膜 • 先進冷卻循環 • 整合鍋爐與渦輪機使能操作在高溫、高壓 	<ul style="list-style-type: none"> • 結合 CO₂ 捕獲、SO₂、NO_x 與 Hg 控制技術 • 複合富氧/燃燒後 CO₂ 捕獲技術 	2004 年先導型驗證減少 75% CO ₂ 循環的需要	<ul style="list-style-type: none"> • 先進富氧燃燒鍋爐設計
Post-combustion Capture	煙氣由 PC 鍋爐排放在 10~15psi 約含 12~18% CO ₂ 。採用 Amine 吸收塔並將 CO ₂ 壓縮至 1200psi 約需 2000US\$/kW，同時約減少電廠淨輸出 12.5%。	<ul style="list-style-type: none"> • 先進 Amine 吸收技術 • 物理吸收劑 • CO₂ 選擇性薄膜 • 吸收劑/薄膜 • 先進氣/液接觸器 	<ul style="list-style-type: none"> • 整合 CO₂ 捕獲與儲存 	2004 年先導型驗證較 2002 年 Amine 技術減少 30% 蒸汽	<ul style="list-style-type: none"> • Na/Mg 基材化學吸收劑 • 電化學 Pump • 富含 Amine 吸附劑 • Carbonate-based CO₂ 捕獲

Reference: Carbon Sequestration Project Portfolio FY 2004, NETL/DOE, July, 2004

CO₂ 捕獲及再利用技術發展分工建議

技術項目	學術單位	研究單位	產業單位
化學吸收	<ul style="list-style-type: none"> • 吸收劑開發 • 吸收劑測試 • 最適參數 (機制、動力學、溫度、吸收劑再生)	<ul style="list-style-type: none"> • 吸收塔設計 • 最佳吸收 / 再生系統模廠測試 • 吸收 / 再生系統 (含週邊) 測試 • 改進 (克服腐蝕、含氧量、SO_x) • 吸收系統經濟能源效益評估 • 降低操作成本及能源消耗 	<ul style="list-style-type: none"> • 吸收 / 再生系統模廠與大型化測試 • 吸收 / 再生系統 (含週邊) 測試改進 (降低成本、能源消耗) • 最佳操作及成本管控 • 吸收系統經濟能源效益評估
吸附	<ul style="list-style-type: none"> • 吸附材開發及改質 • 吸附材測試 • 最適參數 (機制、動力學、溫度、吸收材再生、CO ₂ 選擇性)	<ul style="list-style-type: none"> • 吸附塔設計 • 最佳吸附 / 脫附系統模廠測試 • 吸附系統 / 脫附 (含週邊) 測試 • 改進 • 吸附系統經濟能源效益評估 • 降低操作成本及能源消耗 	
薄膜	<ul style="list-style-type: none"> • 薄膜材開發及改質 • 最適參數 (機制、動力學、溫度、擴散及選擇性)	<ul style="list-style-type: none"> • 模廠測試 • 系統經濟能源效益評估 • 降低操作成本及能源消耗 	
再利用	<ul style="list-style-type: none"> • 開發觸媒技術 • 單碳化學合成 • 光觸媒催化反應 	<ul style="list-style-type: none"> • 反應器與系統技術 • 模廠測試 • 系統經濟能源效益評估 • 降低操作成本及能源消耗 	

CO₂ 地質封存技術發展

二氧化碳地質封存技術發展	近程	中程	遠程
	2007~2015	2015~2023	2023~2030
封存潛能	針對西部沉積岩層地質封存潛能初步評估，建議後續優先調查地區	針對優先調查地區進行地質封存潛能調查與評估，掌握地質封存潛能之空間分布特性	評選地質封存技術示範地點，針對示範地點進行封存潛能詳細調查與評估
調查試驗	西部沉積岩層大地電磁探測及震測調查，深地層孔內調查技術研析	深地層孔內調查關鍵技術發展，提升調查深度至 1000m，掌握潛在封存地層環境特性	地質封存設施建構技術發展，針對封存示範地點展開全尺度地質封存前導試驗
功能評估	CO ₂ 地化評估模式及傳輸模式評選，蛇紋岩與 CO ₂ 可能反應特性模擬，頁岩與 CO ₂ 可能反應特性模擬	建立本土化地質封存評估模擬技術，針對特定封存地層環境特性進行功能評估	利用全尺度地質封存前導試驗獲得之現地資訊，驗證及修正功能評估使用之特性參數及評估模式
監測驗證	地質封存監測技術資訊蒐集與研析，天然 CO ₂ 儲氣層特性現地特性調查技術建立	震測、地電阻測勘監測技術發展，封存誘發地震監測技術發展，CO ₂ 洩漏監測遙測技術發展	地質封存安全性監測技術實作，以全尺度地質封存前導試驗進行驗證
溝通平台	天然類比案例建立，技術發展與宣導溝通平台建置與規劃，提升民眾接受度及技術開發可行性	建置技術發展與溝通平台，提供技術可行性驗證及公眾展示，推動公眾溝通以利全尺度地質封存前導試驗	利用全尺度地質封存前導試驗進行公眾溝通，並作為地質封存商業運轉之技術基礎

CO₂ 地質封存技術發展分工建議

技術項目	學術單位	研究單位	產業單位
封存潛能	<ul style="list-style-type: none"> • 封存潛能地區地質環境綜合評估 • 本土地質封存潛能評估理論模式發展 • 優先調查地區及封存示範地點評選條件研擬 	<ul style="list-style-type: none"> • 深層地下含水層之 CO₂ 封存潛能調查評估技術發展 • 地質封存環境概念模式發展 • 優先調查地區評選及潛能評估 • 封存示範地點評選及潛能評估 	<ul style="list-style-type: none"> • 枯竭油氣田之 CO₂ 封存潛能調查評估技術發展 • 地質封存調查 / 評估 / 監測技術發展 • 地質封存設施建構技術引進、發展及實作
調查試驗	<ul style="list-style-type: none"> • 地質封存地層物理 / 化學 / 工程特性參數示內試驗 • 地表及孔內調查資料聯合解析模式發展 • 地質封存前導試驗規範研擬 	<ul style="list-style-type: none"> • 大地電磁及震波測勘法實作 • 深層地質孔內調查技術提升至 1000m • 地質封存設施建構技術發展規劃 	
功能評估	<ul style="list-style-type: none"> • 地質封存評估模式研析，參數處理技術發展 	<ul style="list-style-type: none"> • 地質封存評估模擬技術發展、驗證及實作 	
監測驗證	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ 天然儲氣層現地特性調查技術建立 • 封存誘發地震監測技術發展 	<ul style="list-style-type: none"> • 震測、地電阻測勘監測技術發展及實作 • CO₂ 洩漏監測遙測技術發展 	
溝通平台	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ 天然類比案例建立 • 技術發展與宣導溝通平台 	<ul style="list-style-type: none"> • 技術發展與宣導溝通平台規劃 • 全尺度地質封存前導試驗規劃 	

CO₂ 減量科技發展時程

- CO₂ 減量前瞻科技發展規劃

- 專責單位負責整合、推動及追蹤。

- 加速扶植建立產業

- 2008-2015 針對 **Post Combustion** 進行化學吸收捕獲技術之研發，並於 2016 進行一示範性工廠之運轉。

- 2008-2015 進行 CO₂ **直接利用** 及以 CO₂ 製造**化學產品**之研發及產業化

- 前瞻研發之推動：

- Post and Pre Combustion 中前瞻性 CO₂ 捕獲技術研究。

- 以 CO₂ 製造**能源產品**之前瞻性研究。

- 國內**地質封存**研究，並於 2020 建立一地質封存先導試驗場。

- CO₂ **海洋封存及礦化固定**之前瞻性研究。