

因應二氧化碳捕捉與封存技術衝擊的 我國能源政策考量

沈世宏

景文技術學院 環境與物業管理系 副教授兼總務長

九十五年七月十八日

簡報題綱

- 壹、前言
- 貳、全球能源問題
- 參、全球能源科技研發趨勢
- 肆、我國能源問題
- 伍、我國因應CO₂減量之能源政策規劃檢討
- 陸、因應國際CO₂封存技術衝擊之政策建議
- 柒、結語



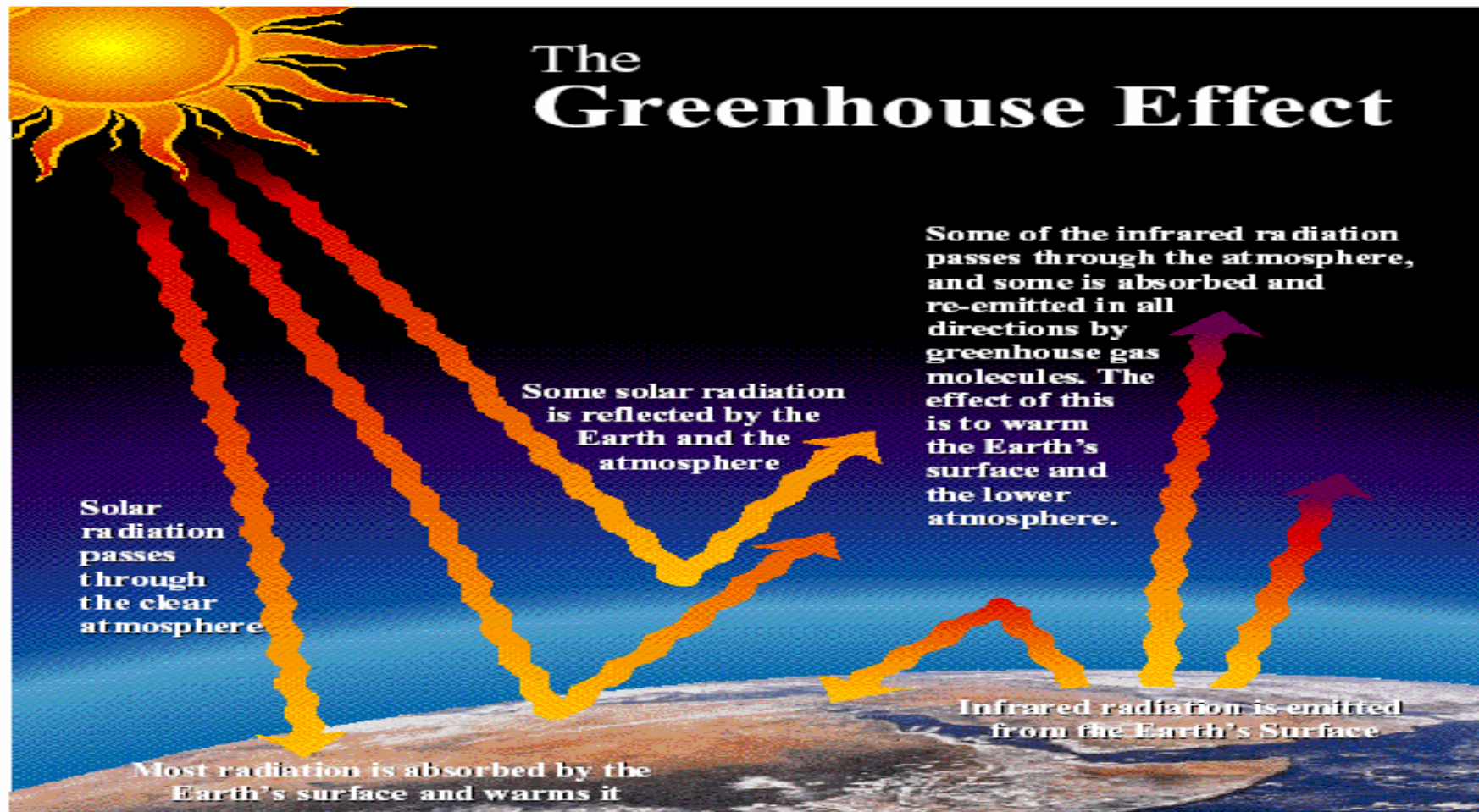
壹、前言

- 比較第二次全國能源會議決議及95年全國永續發展會議因應國際公約要求下CO₂減量之能源政策與先進國家之能源政策。

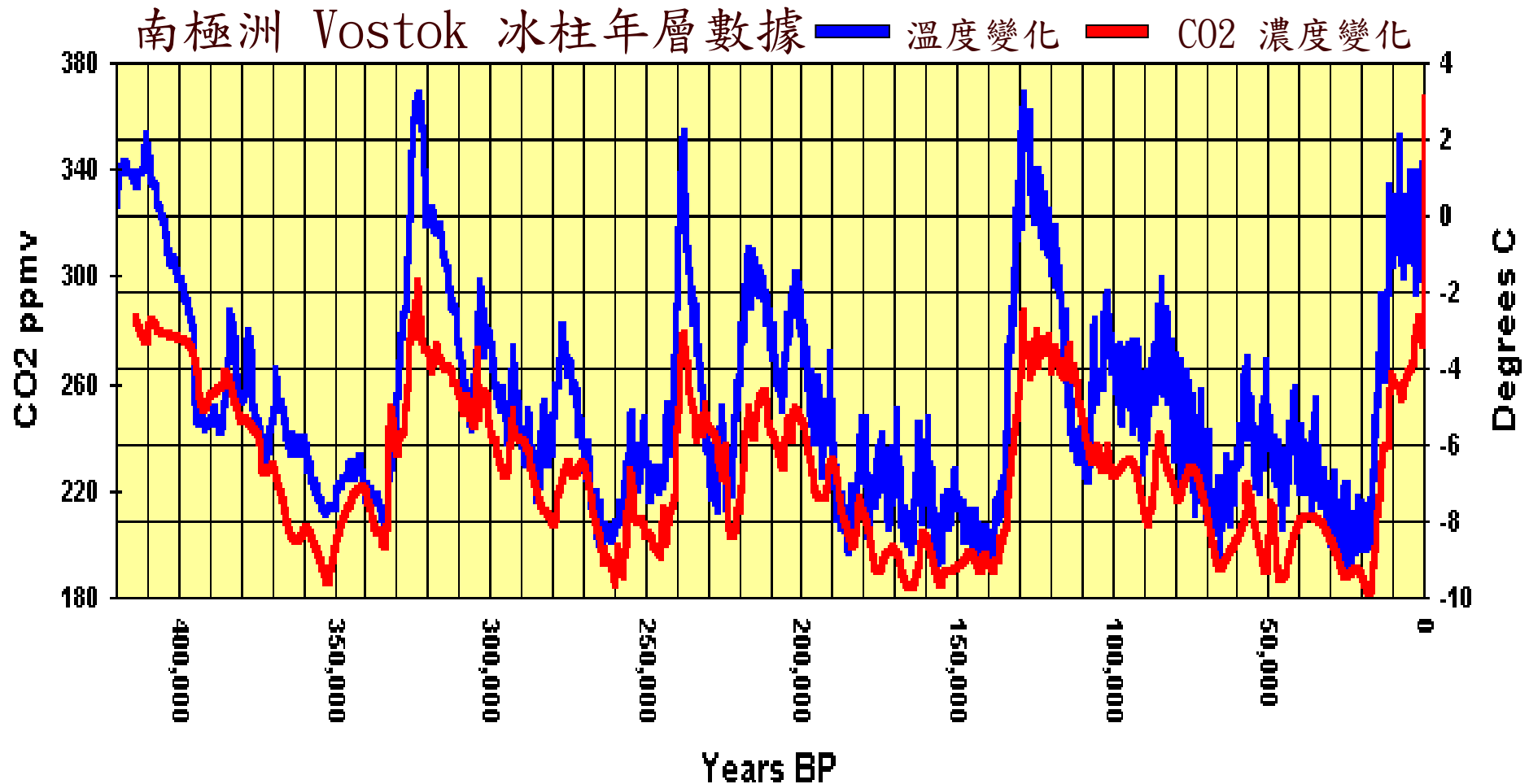
貳、全球能源問題

- 一、全球石油蘊藏量日益減少，燃油仍是動力機械的主要能源。
- 二、人口數量龐大的國家經濟成長快速，能源新需求使市場競爭激烈。
- 三、石油輸出組織國家運作下，石油價格日益高漲，一再破紀錄。
- 四、全球重大核安事件強化反核運動與核能安全提升的需求。
- 五、國際公約訂出化石能源排放二氧化碳(CO₂)溫室氣體的減量時間表。

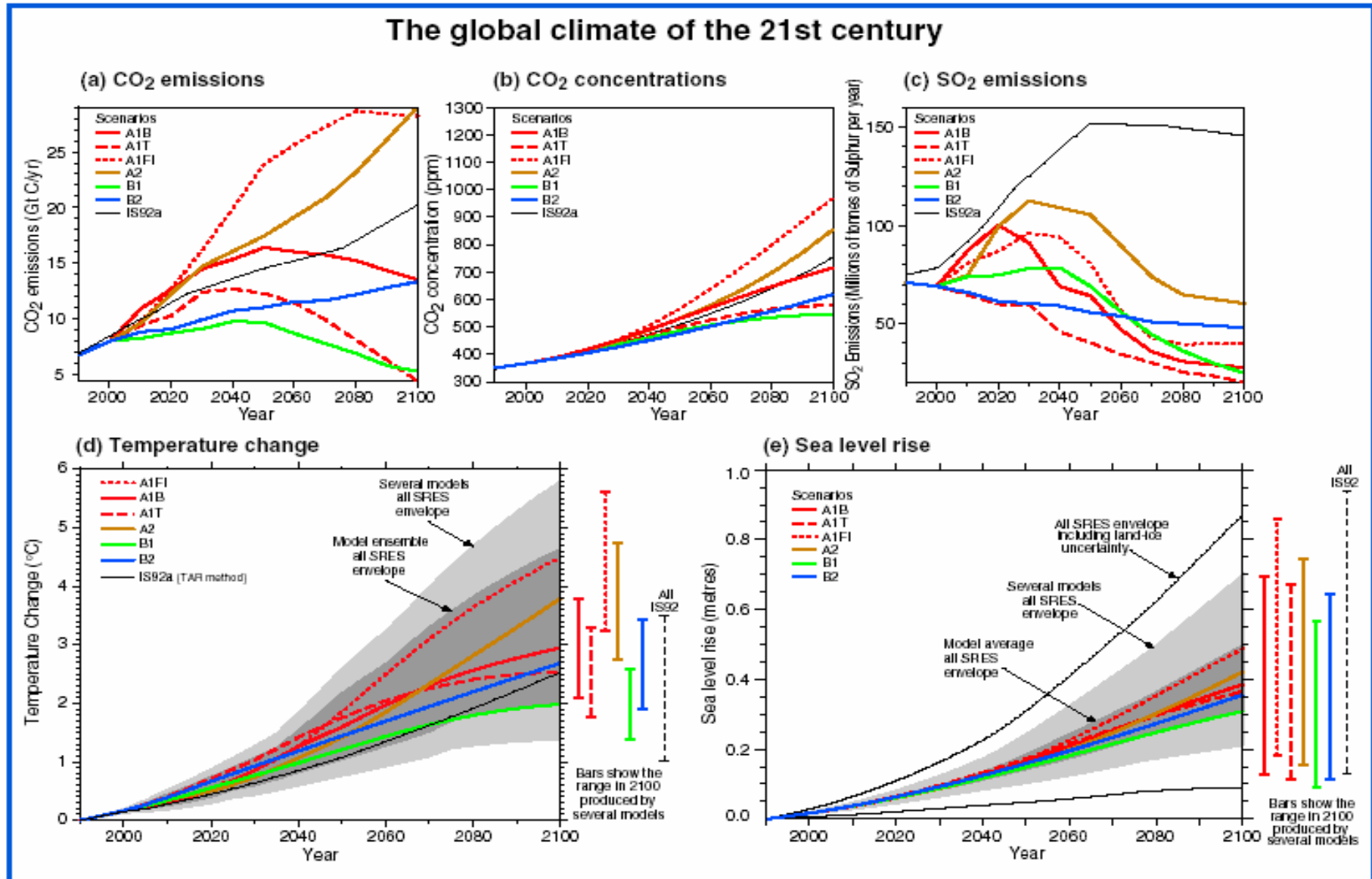
貳、全球能源問題



貳、全球能源問題



二十一世紀全球氣溫預測 (UNFCCC IPCC)



全球CO₂減量水準與時機規劃 (UNFCCC IPCC)

CO ₂ 濃度 (ppm)	累積排放量(GtC) (2001~2100)	全球排放高峰 年度	全球排放減量 年度
450	365-735	2005-2015	<2000-2040
550	590-1135	2020-2030	2030-2100
650	735-1370	2030-2045	2055-2145
750	820-1500	2040-2060	2080-2180
1000	905-1620	2065-2090	2135-2270

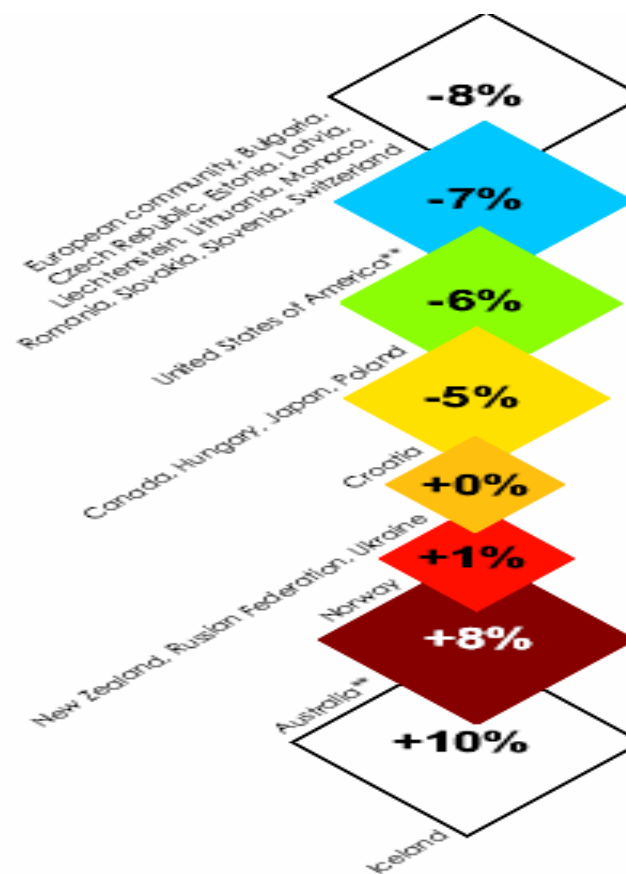
聯合國氣候綱要公約(UNFCCC)

京都議定書

- 1997 CoP3 在日本京都會議協議
減少六種溫室氣體之排放
- 附件一工業國於2008-2012年間
較1990年減少5%排放
- 開發中國家不受限制

各國減量配額

- 歐盟國家 減 8%
- 美國 減 7%
- 加拿大 匈牙利
日本 波蘭 減 6%
- 克勞埃西亞 減 5%
- 紐西蘭 蘇聯
烏克蘭 減 0%
- 挪威 增 1%
- 澳洲 增 8%
- 冰島 增 10%
- 平均 減 5%



* The base year is flexible in the case of EIT countries (see page 17)
 ** Countries which have declared their intention not to ratify the Protocol

溫室氣體減量的推動策略

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change

- (1) 減量技術的開發應用，著重於各排放部門之節約能源、提升能源效率及推廣再生能源；其無碳及可在生替代能源技術的發展是成功的根本與關鍵因數。
- (2) 建立經濟誘因制度，包括建立市場機制、減少市場供需失靈及增加財稅誘因制度以提升替代能源的價格競爭力等；
- (3) 改變社會體制，包括個人消費行為、生活形態社會結構和體制的改變以減少能源的消耗。

京都議定書執行成效

- 全球1990年到2003年間各地區燃燒化石燃料的CO₂排放由207億公噸增加至250億公噸，上升20.5%。
- 附件一成員國CO₂排放在1990年佔全球排放的68.6%，2003年比例降至56.3%，13年來CO₂排放量平均增加3.6%，增加幅度小的原因為前蘇聯與其友邦等經濟轉型國(EIT)CO₂排放較1990年下降約30%；

京都議定書執行成效

- 亞洲及中東地區是CO₂排放量增加最快速的地區，各國增加在64%到100%之間。

(“CO₂ Emissions from Fuel Combustion”, IEA, 2005)

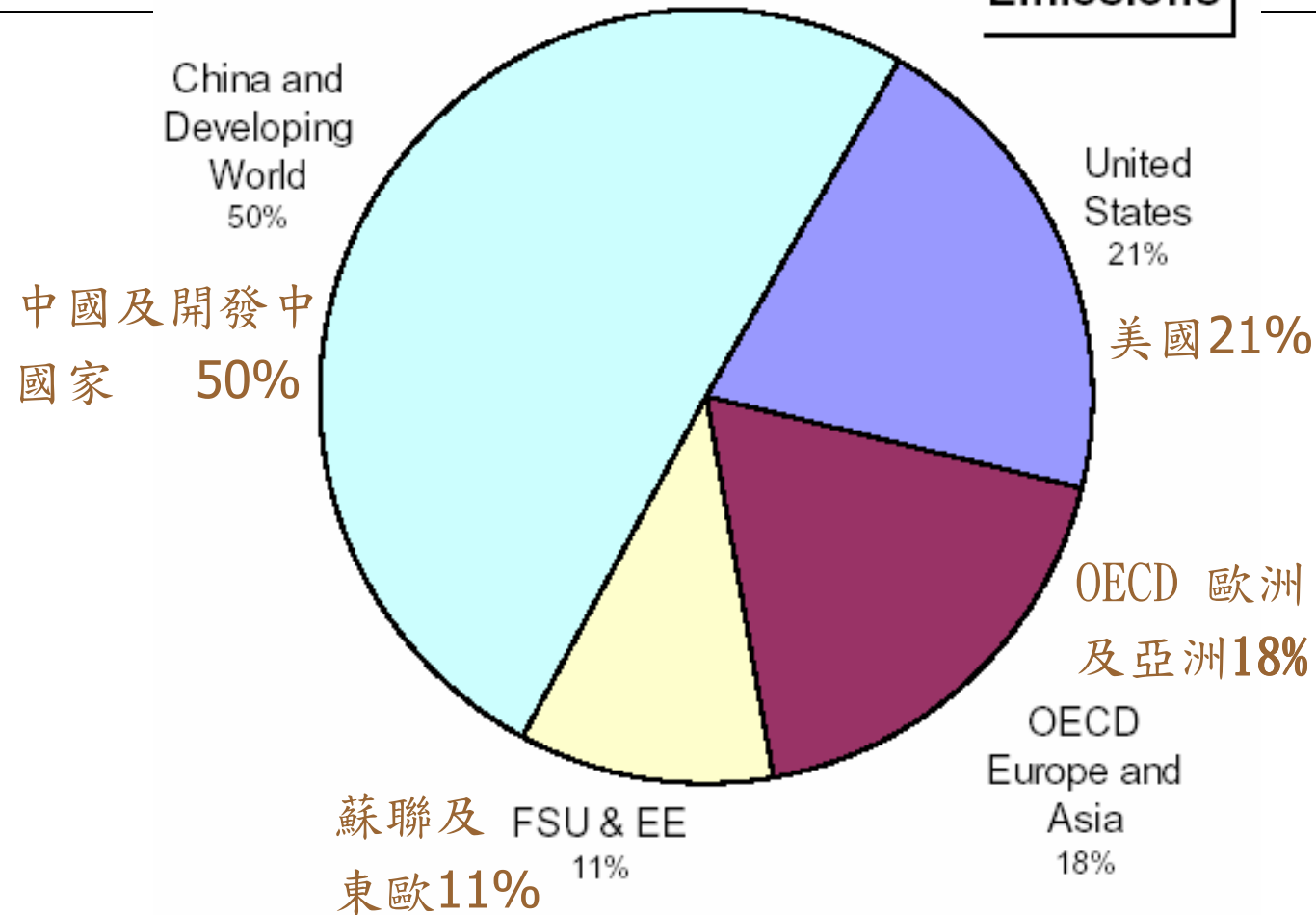
- 其他的附件一成員國平均增加15%。2003年CO₂排放量與1990年比較，西班牙與葡萄牙增加最多，均超過45%；

- 較1990年排放少的國家除了瑞典、英國、德國及盧森堡外，均為經濟轉型國，其中以波羅地海四小國及白俄羅斯、烏克蘭及保加利亞減量幅度最大。

(Key GHG Data, UNFCCC, 2006)

2020全球碳排放比例

Carbon Emissions



美國的CO₂減量規劃

- (1) 逐年降低二氧化碳排放密集度(每單位GDP排放的二氧化碳數量)，2012年較2003年減少18%；
- (2) 二氧化碳的排放總量仍將持續成長，到2012年開始減少；
- (3) 2050年回到2001年二氧化碳排放總量的水準。

美國的CO₂減量策略

- 加強科技、減量技術、衝擊調適之研究
 - 執行氣候變遷科學及技術兩項計畫
 - 研究議題包括能源、運輸、建築、農林業等項目
- 推動產業自願減量
 - Climate Leaders (氣候領導者)計畫：
 - 建立環保署與工業界自願減量夥伴關係
 - 規劃產業溫室氣體清冊規範、登錄制度
- 鼓勵產業參與京都機制
- 推動The Climate Stewardship Act

全球能源資源蘊藏量

(Statistical Review of World Energy 2005, BP, 2005)

- 如果繼續以現在每年消費量使用化石燃料，2004年底世界原油蘊藏量預估約可開採40.5年；天然氣蘊藏量預估約可開採66.7年；煤炭蘊藏量預估約可開採164年。
- 據此估計，所有已知的化石燃料蘊藏量，將在約100年後使用殆盡(假設石油用盡後，原石油用戶全部轉用天然氣，則天然氣約在50年後用盡；再假設天然氣用盡後，天然氣用戶全部轉用煤炭，則煤炭約在100年後用盡)。
- 上述計算未計入未來化石燃料消耗量的快速成長，事實上，除非另有新的能源蘊藏量持續發現(例如深海中的甲烷水合物)並可安全開採及使用，化石燃料的供應年限將大幅縮短而少於100年。
- 易言之，在本世紀結束前，能源結構需逐漸轉變為不完全依賴化石燃料的型態，因此，
- **二十一世紀是能源結構大轉型的世紀。**

貳、全球能源問題

- 最大挑戰來自國際公約要求的二氧化碳排放減量措施及能源結構轉型的需求。
- 二者均需要可再生的生質能、風能與太陽能、安全核能、化石燃料二氧化碳零排放燃燒與氫能利用的技術及工程，得到突破性的研發成果與穩健的推廣應用，則能源供應與需求的問題可以得到解決。

參、全球能源科技研發趨勢

能源大轉型所需科技研發分為五大主軸：

- 一、能源效率提升
- 二、再生能源開發
- 三、能源轉換
- 四、二氧化碳捕、捉封存及
- 五、氫能利用

CO₂捕捉與封存或碳隔離技術

(CCS or CS, Carbon Dioxide Capture and Storage or Carbon Sequestration)

- 各種減量技術方案中，最近逐漸獲得各國重視，是未來最具有決定性影響及效果的方案。
- 既然CO₂排入大氣是溫室效應的罪魁禍首，完全阻絕化石燃料燃燒後的CO₂排入大氣，就不會有溫室效應的問題，也不會因為不能使用化石燃料，而提早造成能源缺乏的問題。
- 政府間氣候變遷專家小組(IPCC)在UNFCCC的要求下，於2005年10月出版「二氧化碳捕捉與封存特別報告」一書，詳述世界各國在CCS技術發展的進展，包括未來二氧化碳封存地下或海洋後，關於洩漏的量度、監測、驗證、環境影響和風險及法律方面的問題。

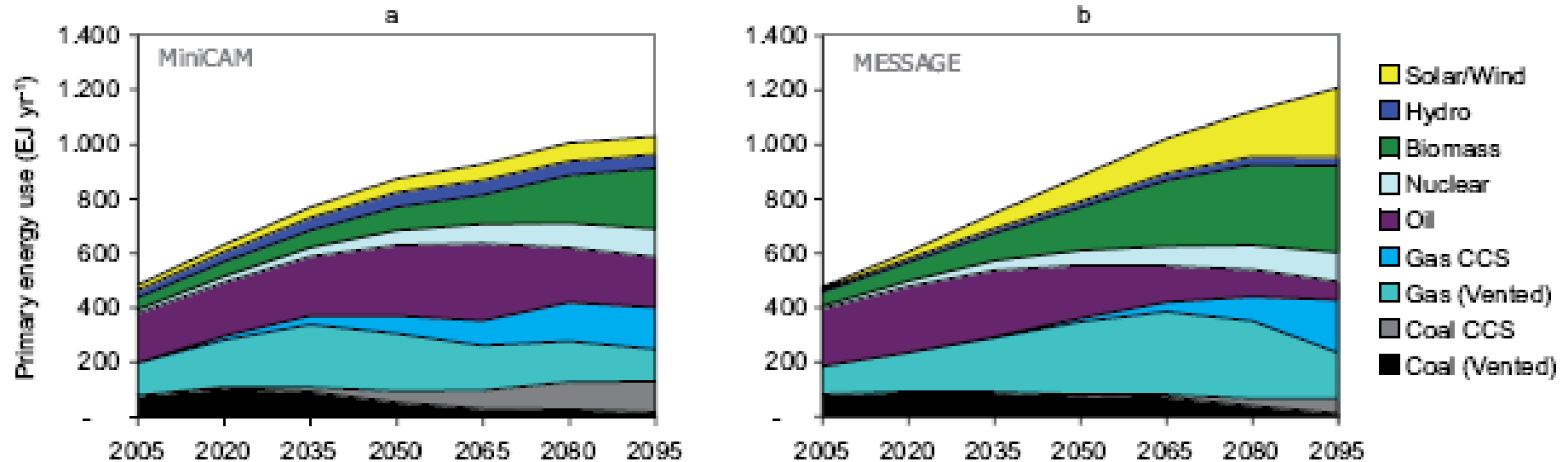
國際能源總署預測

(Key World Energy Statistics 2005, IEA, 2005)

- 全球2030年再生能源使用比率仍與2003年相同，佔總能源供應量的13.5%；
- 此期間再生能源供應量的成長率與總能源供應量的成長率相同，即增加56.4%。
- 估計在未來百年或至少未來五十年內，化石能源仍是能源供應的主力，這種情形突顯了應用CO₂捕捉與封存(CCS)技術，將化石燃料燃燒排放的CO₂捕捉與封存的重要性。

21世紀能源消耗結構變化

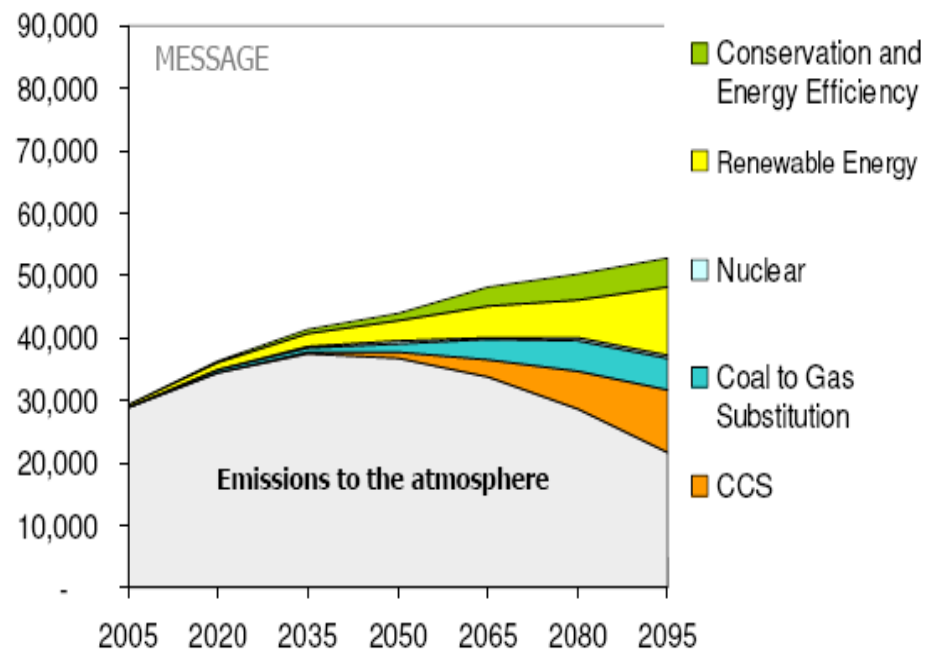
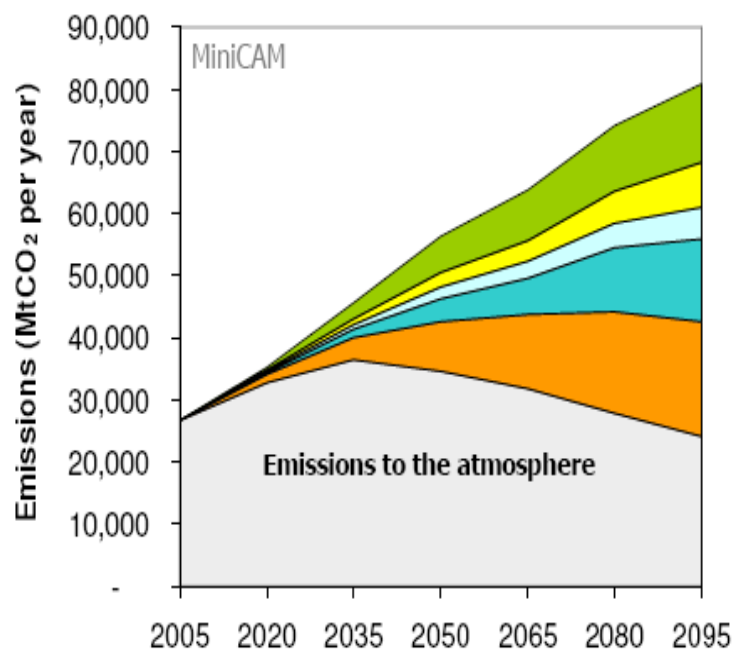
IPCC Special Report Carbon Dioxide Capture and Storage 2005



全球二氧化碳排放、減量與捕捉封存量推估

IPCC Special Report Carbon Dioxide Capture and Storage 2005

二氧化碳排放(灰色)、減量(彩色)與捕捉封存量(橘色)



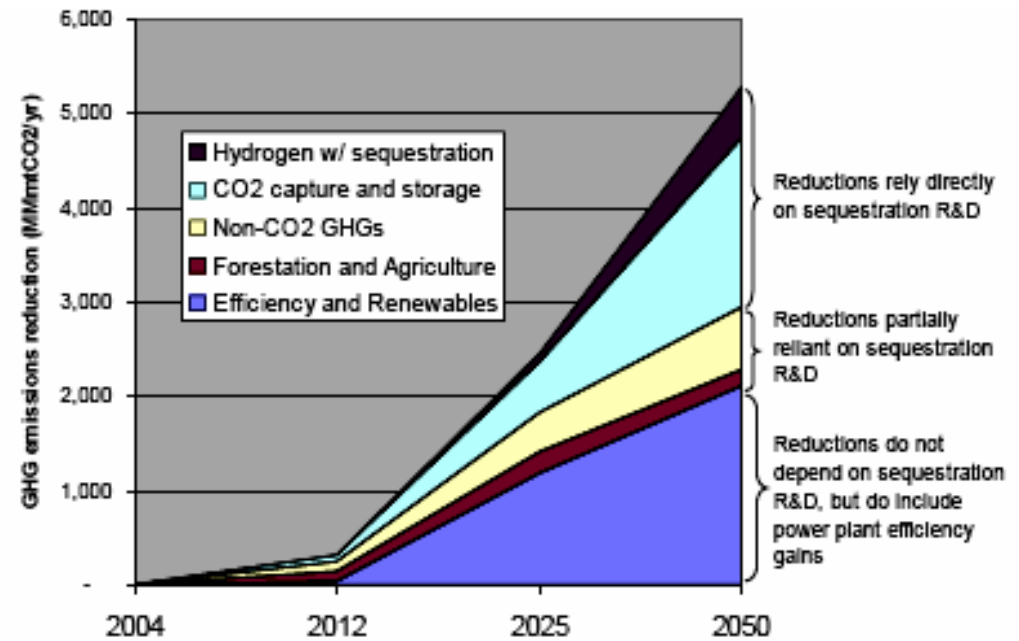
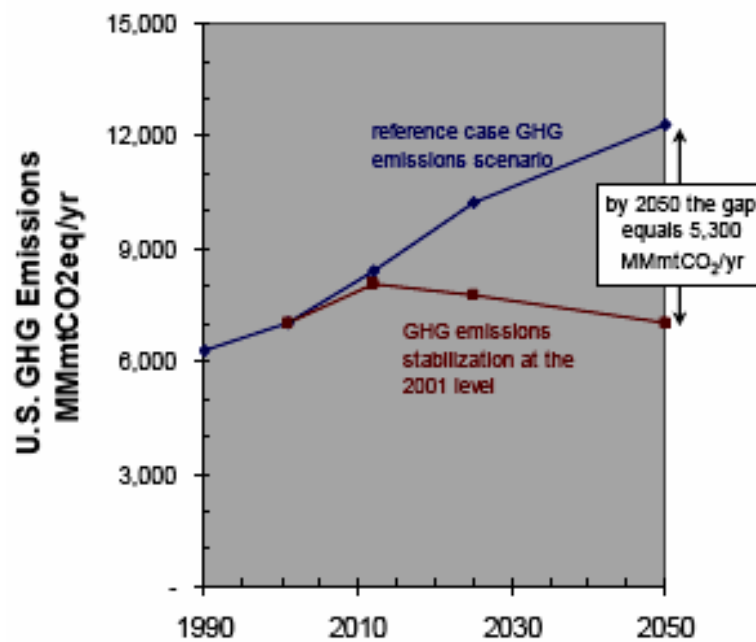
美國能源部預測

2006年2月出版「2006年能源展望」

- 美國在2030年的能源消費量較2003年成長36.5%，化石燃料使用量比率由2003年的86.0%增加為86.4%，同期間再生能源用量從5.83%增加到6.77%
- 能源部2005年5月出版「2005碳隔離技術路徑圖與方案計畫書」，規劃在2050年回歸2001年的CO₂排放量時，其減量需求中有45%，以先進的CCS技術捕捉與封存化石燃料排放的CO₂達成，
- 另有15%的減量需以陸地生態系隔離CO₂及其他非CO₂溫室氣體的隔離技術達成，
- 剩餘40%的減量靠節約能源、提高能源效率及新的再生能源完成。

美國溫室氣體減量情境及技術分析

Carbon Sequestration, National Energy Technology Laboratory, USDOE 2005



碳隔離領袖論壇

(Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF)

- CCS技術之主要國際推動組織
- 2003年6月25日成立於美國華盛頓特區。
- 目前共有21個會員，包括澳大利亞、巴西、加拿大、中國、哥倫比亞、丹麥、歐盟、法國、德國、印度、義大利、日本、墨西哥、荷蘭、挪威、俄國、南非、英國、美國、南韓、沙烏地阿拉伯。

目前CCS系統組件之成本範圍

CCS 系統組件	成本範圍	備註
自一個煤或天然氣發電廠捕捉二氧化碳	US\$15~75 /t-CO ₂ 淨捕捉量	與同一座工廠不具二氧化碳捕捉時比較，捕捉二氧化碳之淨成本
自氫與氨生產或天然氣處理廠捕捉二氧化碳	US\$5~55 /t-CO ₂ 淨捕捉量	適用於需要簡單、乾燥與壓縮之高純度來源
自其他工業來源捕捉二氧化碳	US\$25~115 /t-CO ₂ 捕捉量	範圍反映所使用之多項不同技術與燃料
運輸	US\$1~8 /t-CO ₂ 淨捕捉量	對於流量為 5~40 Mt 二氧化碳/年之管線或船舶運輸 250 公里時
地質儲存	US\$ 0.5~8 /t-CO ₂ 注射量	排除來自 EOR 或 ECBM 之潛在收益時
地質儲存:監督與查證	US\$0.1~0.3/t-CO ₂ 注射量	涵蓋注射前、注射時與注射後之監督且視法規要求事項而定
海洋儲存	US\$5-30/t-CO ₂ 注射量	包括 100~500 公里之外海運輸，但排除監督與查證
碳酸鹽礦物化	US\$50-100/t-CO ₂ 淨礦物化量	包括研究過之最佳案例範圍，包括使用於碳酸鹽化之額外能源使用。

(資料來源：IPCC CCS 報告，2005 年 9 月)

二氧化碳捕捉封存經濟潛能分析

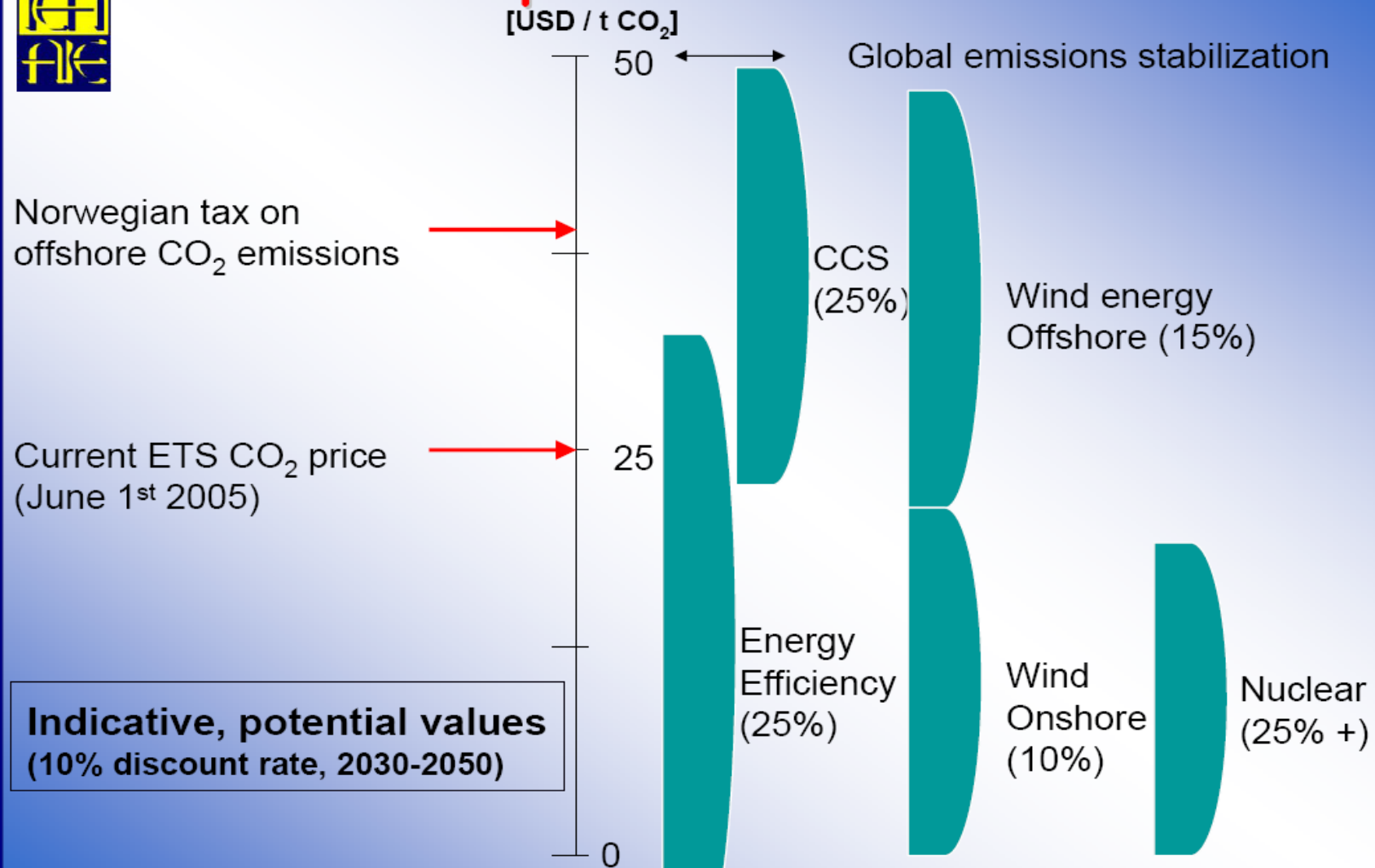
IPCC Special Report Carbon Dioxide Capture and Storage 2005

- 多數CCS系統，二氧化碳之捕捉(包括壓縮)是總體CCS成本之最大部分。因為工廠位置、二氧化碳來源、運輸與儲存情況等之不同，CCS系統各部份之成本差異極大。
- 在未來十年內，二氧化碳之捕捉成本可能因為目前尚在研究階段的新技術之發展成熟與廣泛應用而減少20-30%。二氧化碳之未來運輸與儲存成本，亦將因為技術成熟與經濟規模增加而緩慢下降。

*Most modelling as assessed in this report suggests that **CCS systems begin to deploy at a significant level when CO₂ prices begin to reach approximately 25 - 30 US\$/tCO₂.***



At what CO₂ price are alternatives viable?



二氧化碳捕捉封存經濟潛能分析

IPCC Special Report Carbon Dioxide Capture and Storage 2005

- Different baseline scenarios, 450 - 750 ppmv stabilization, cost assumptions
- 220 - 2,200 GtCO₂ cumulatively up to 2100
- 15 to 55% of the cumulative mitigation effort worldwide until 2100
- Cost reduction of stabilization: 30% or more

CSLF 擬訂之 CCS 技術發展路徑圖 (2004-2014)

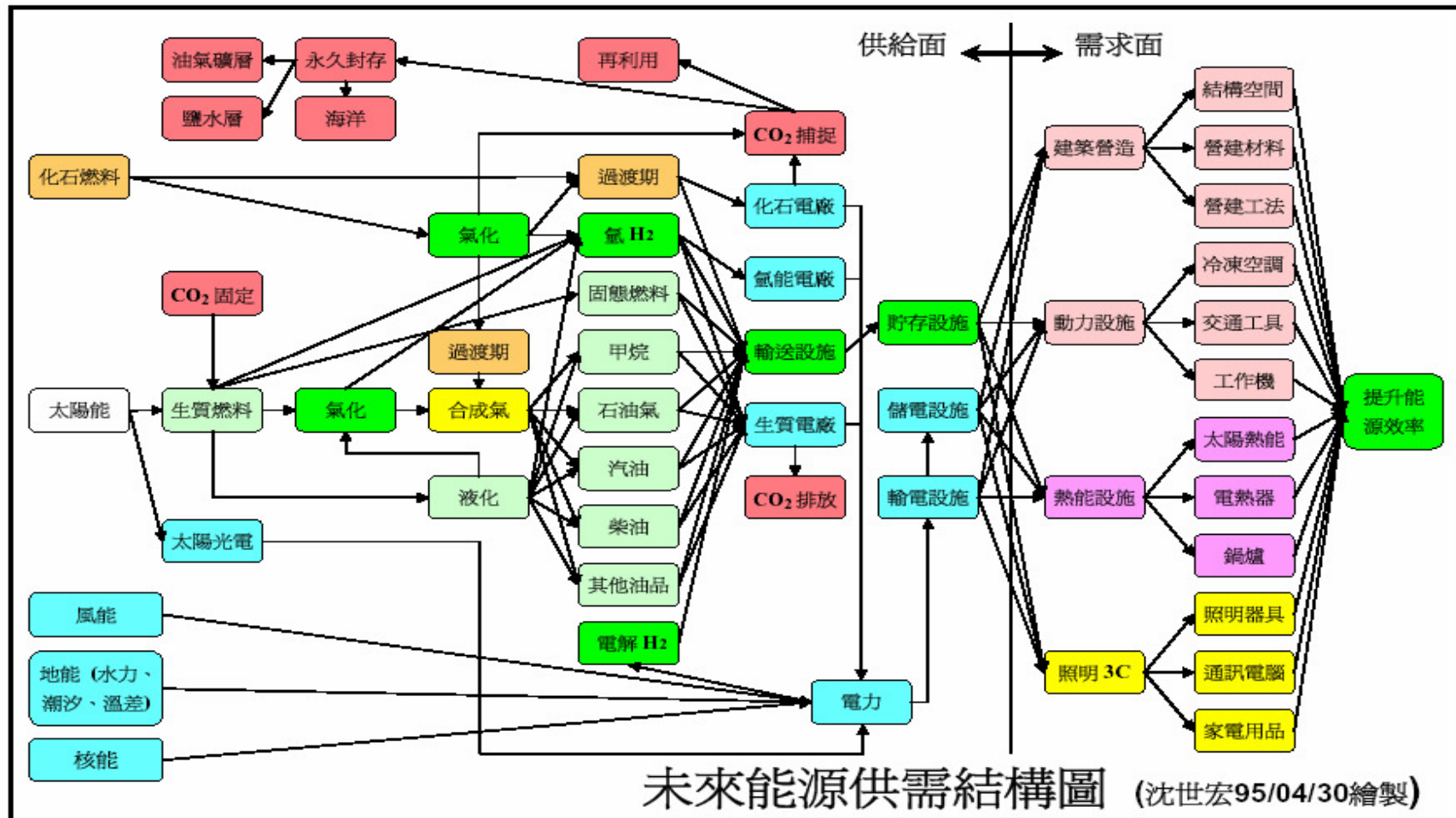
題目/期間	2004-2008	2009-2013	2014+
降低成本	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 鑑別最具希望之路徑 ◆ 設定終極成本目標 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 針對最具希望路徑開始試行或示範計畫 	達到成本目標
確保儲存處	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 開始現場試驗 ◆ 鑑別最具希望儲存處 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 擬定儲存處篩選準則 ◆ 估計全球儲存處存量 	大規模實施
監督與查證技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 鑑別需求 ◆ 評估潛在方案 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 現場測試 	可商業取得技術

資料來源： CLSF Technology Roadmap, 2005.

CCS技術氫經濟時代來臨

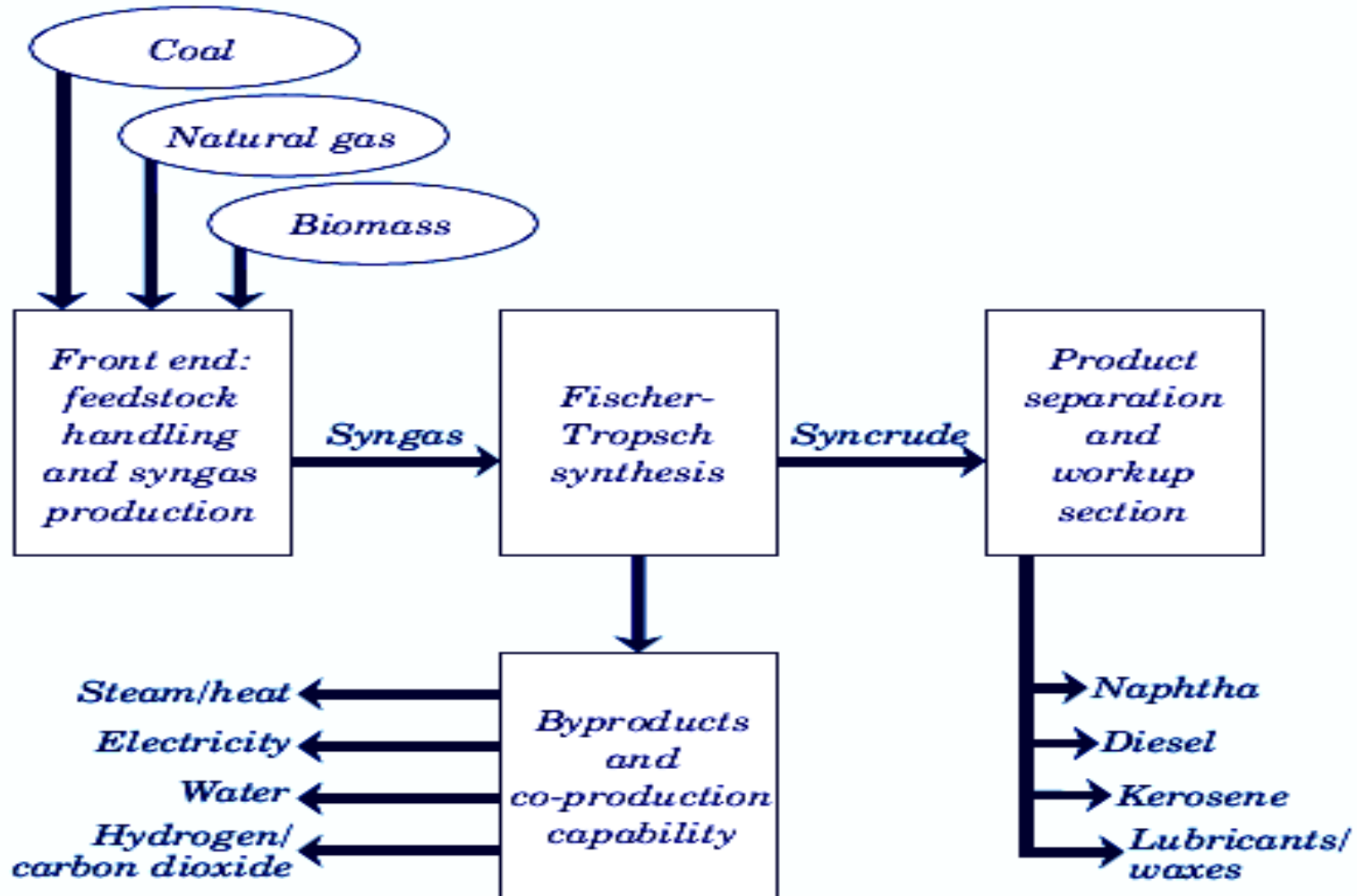
- 值得特別注意的是，化石燃料使用CCS技術後，輸出的能源型態只有熱能、電力與氫氣三種，供應下游使用。
- 基於使用電力的能源成本較高，因此CCS技術的成熟，將加速氫經濟時代的來臨。

未來能源供需架構



各種原料合成燃油之製造流程圖

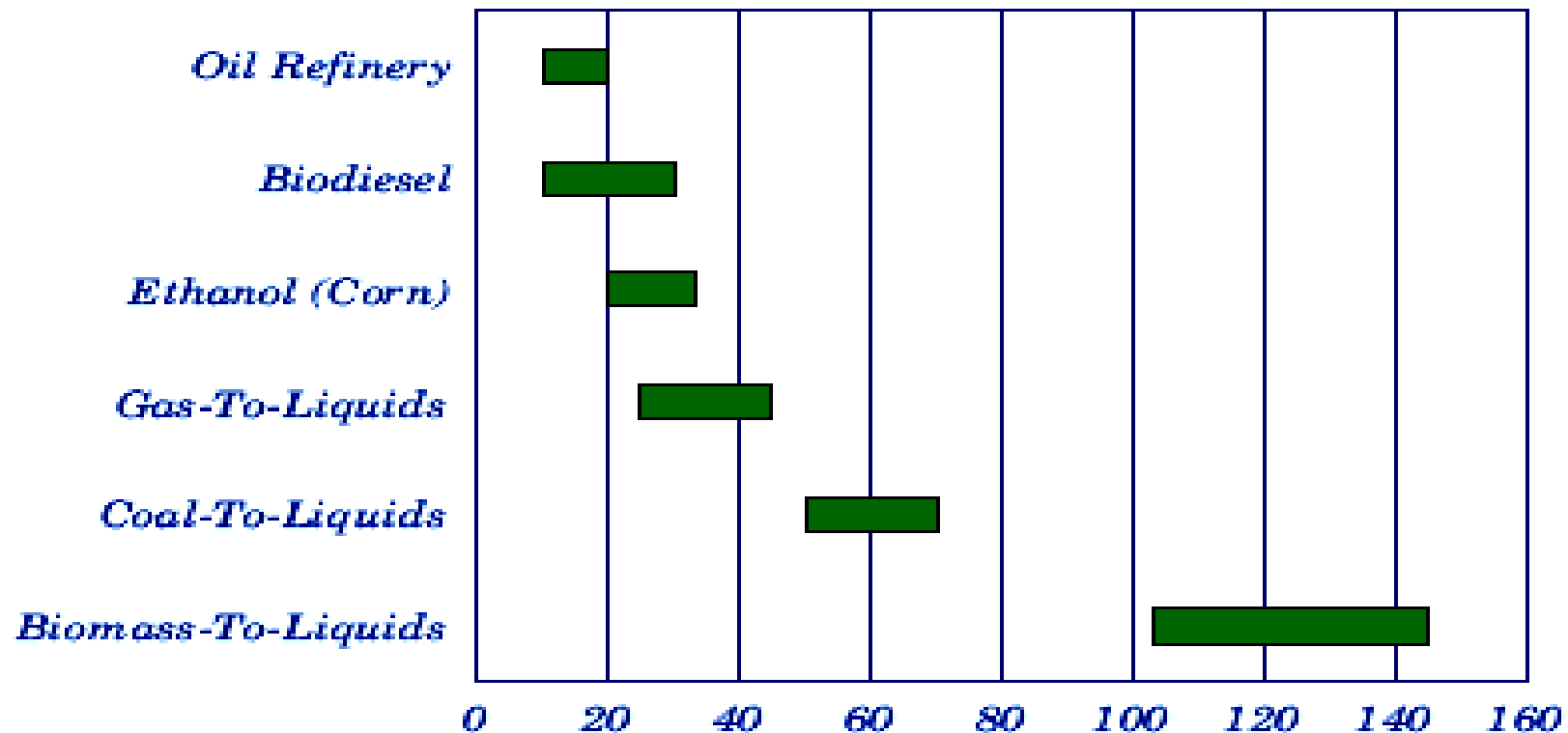
Annual Energy Outlook 2006 USDOE



各種原料合成燃油投資成本比較

Annual Energy Out Look 2006 USDOE

Range of capital investment costs for synthetic fuel facilities (thousand 2004 dollars per daily barrel of capacity)



CCS催生氫經濟時代的來臨

- CCS技術應用在化石燃料的能源供應時，具有經濟效益的方式，是將化石燃料的能源形式轉換設施大型化，且設在接近二氧化碳封存地點。
- 上述條件將使得應用CCS技術供應的化石燃料能源，送到遠處終端用戶時，只有電力及氫氣兩種能源載體的選擇。
- 因此CCS技術的成熟，將昭示加速氫經濟時代的來臨。

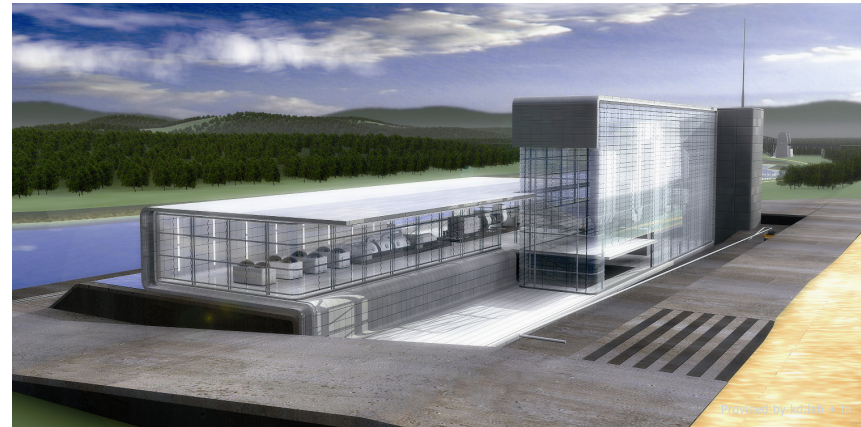
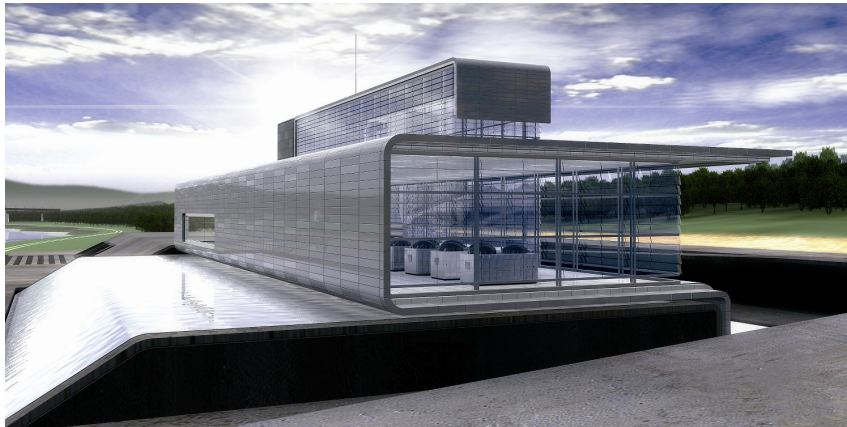
US DOE FutureGen Project

Project Features



- Commercial-scale 275-MWe Plant
- 1 million tons/year CO₂ captured and sequestered
- Co-production of H₂ and electricity
- “Living laboratory” to test and validate cutting-edge technologies
- Public-private partnership
- Stakeholder involvement
- International participation
- On-line 2012

FutureGen Images - Artist Concepts



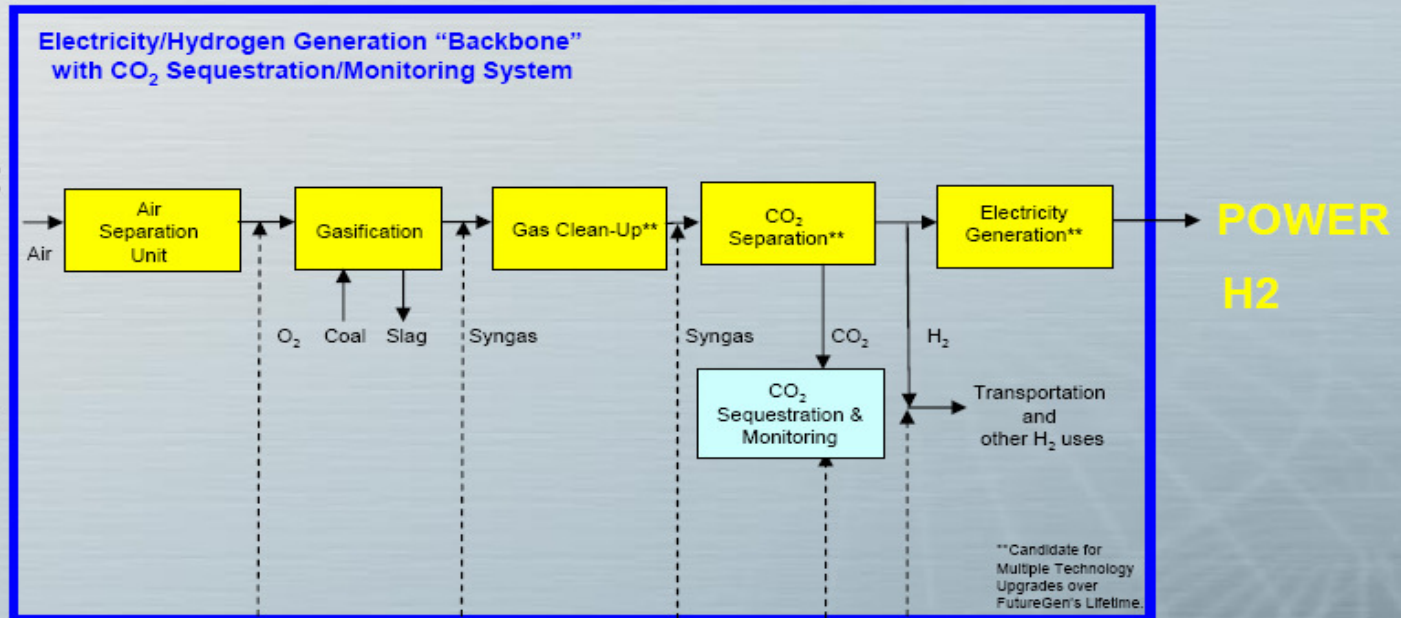
“Technology offers great promise to significantly reduce greenhouse gas emissions, especially carbon capture, storage, and sequestration technologies.”

President George W. Bush

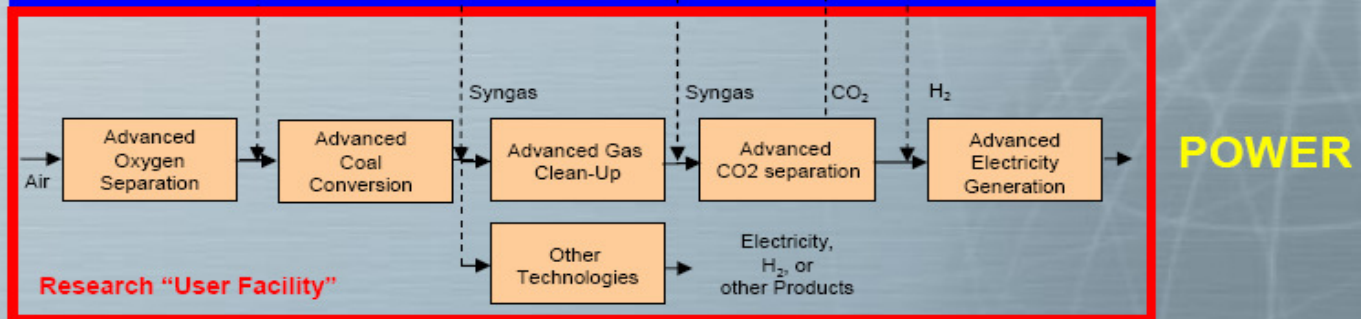
FutureGen Industry's View of the Facility

“State-of-the-Art
Gasification
Technology”

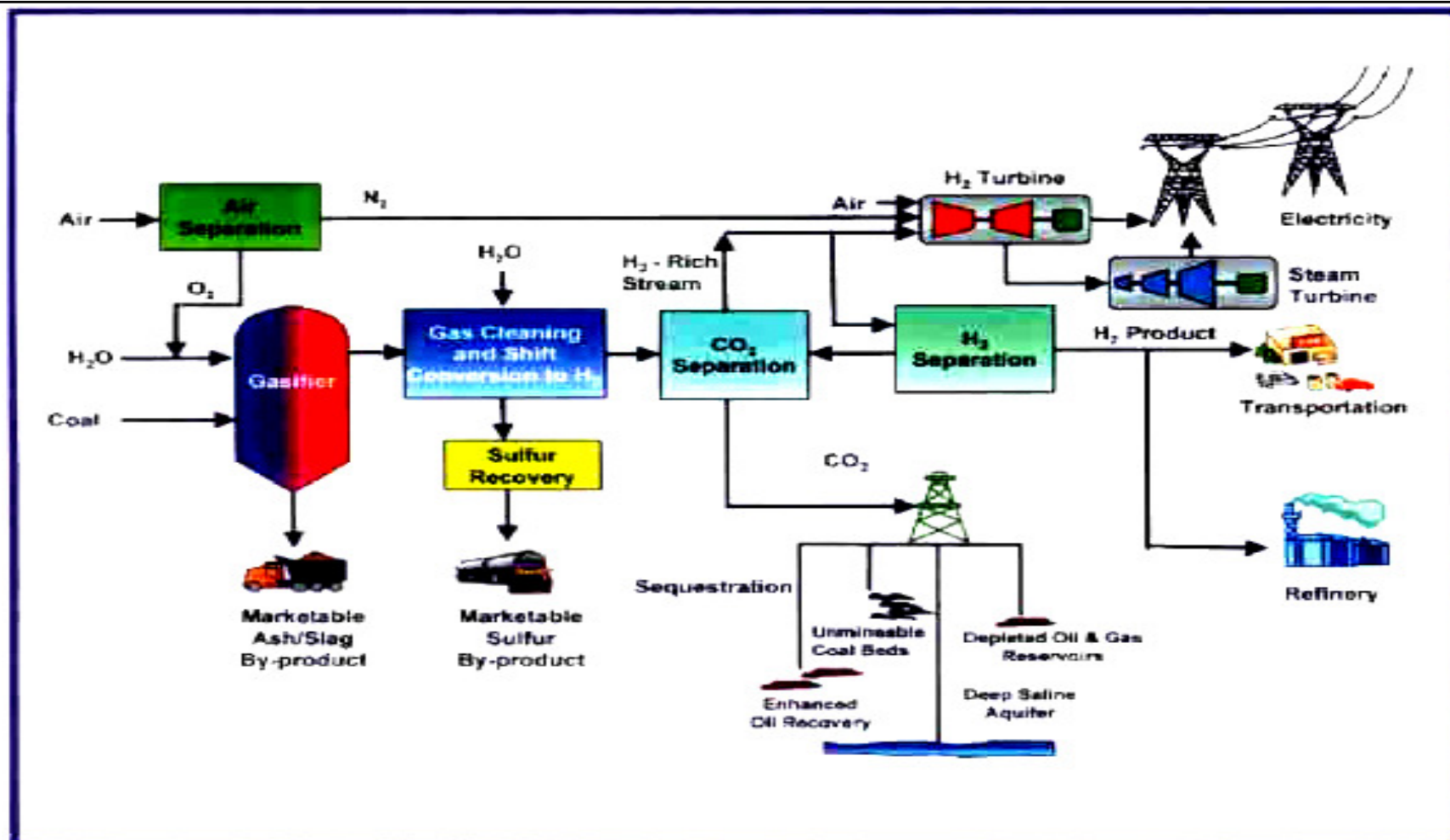
“Sequestration”



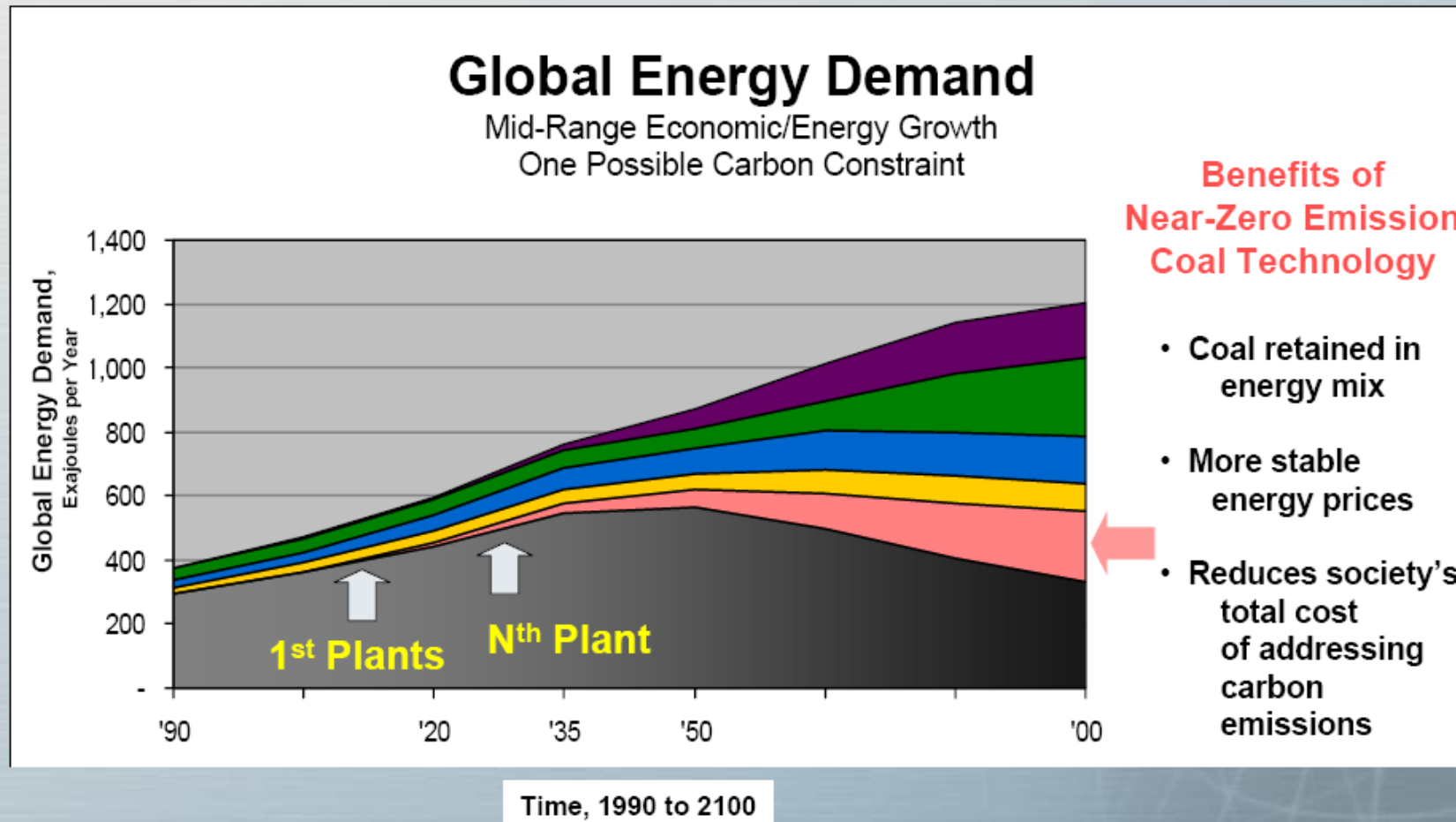
“Research
User Facility”



US DOE FutureGen Project



One Possible Energy Future With Near-Zero Emission Coal Technology

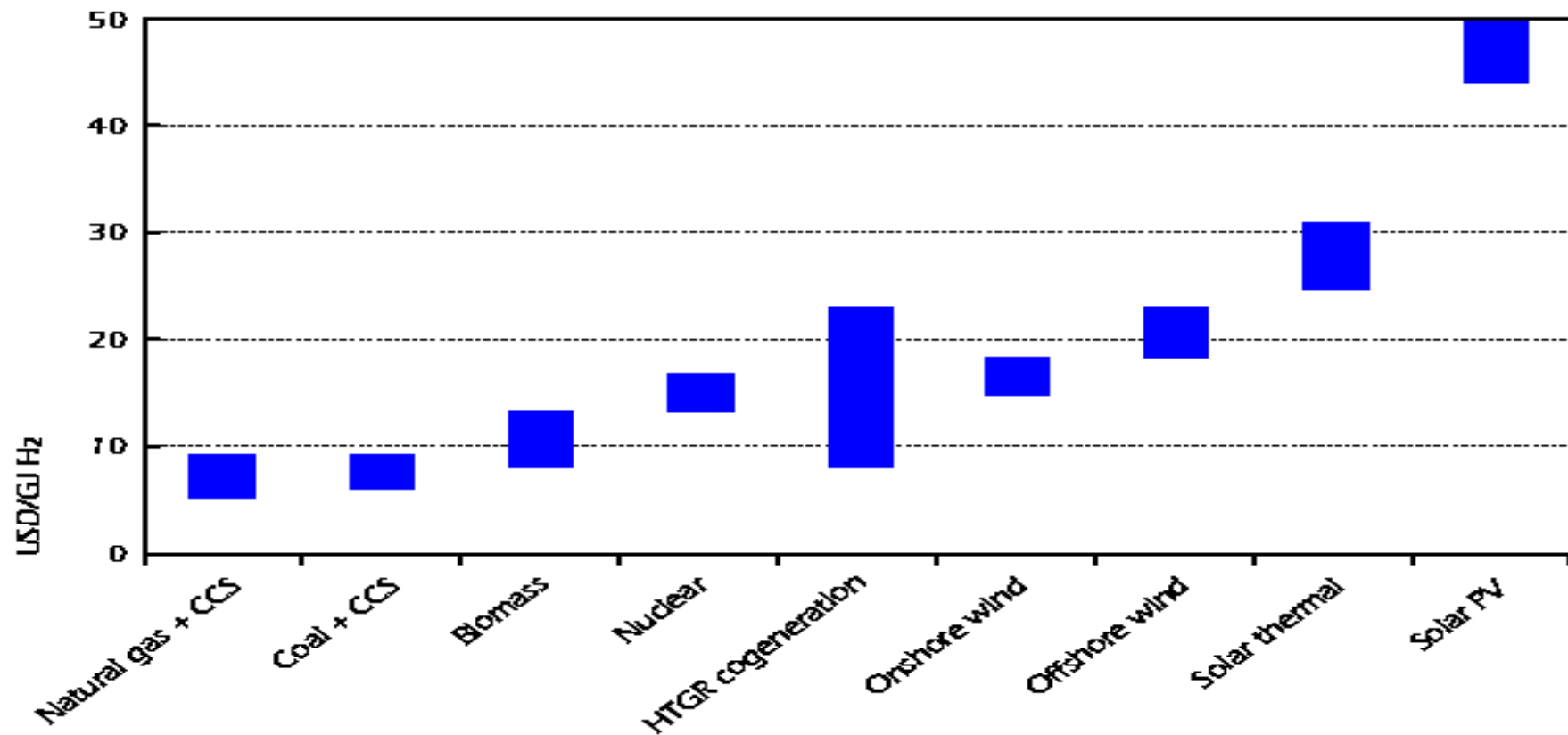


產氫技術

- 以乾淨方式利用化石燃料，氫能成為電力以外的最佳能源載體。
- 事實上，氫氣可以從化石能源及生質能源生產，或用水力、風能、太陽光電及核能產生的電力電解水生產，
- 但是一直到2030年，以化石燃料重組反應產氫，還是最便宜的生產方式，成本最高的是用太陽光電產氫。

Hydrogen production cost for a fully developed supply system

Key point: Producing hydrogen from fossil fuels with CCS is less costly than doing so using nuclear or renewable energy



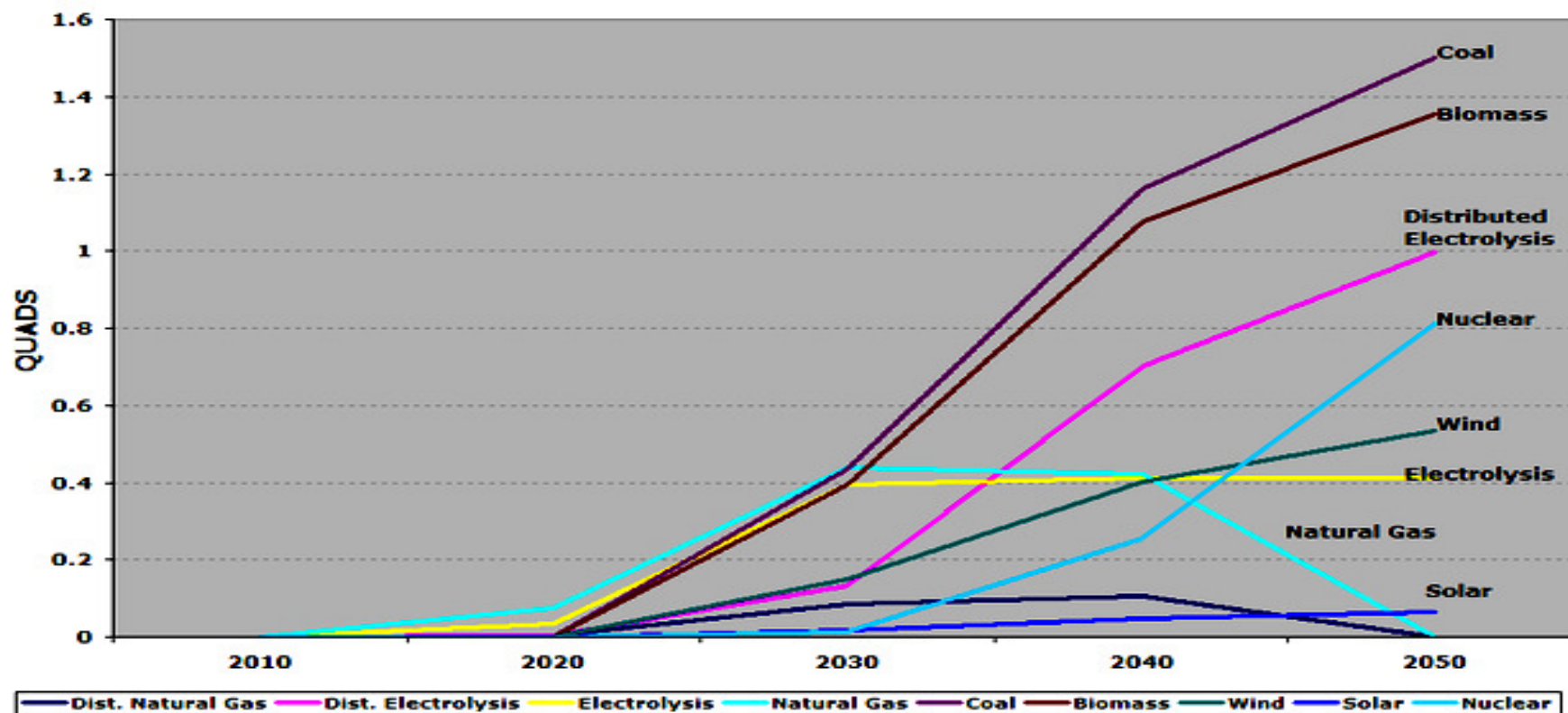
HTGR – High Temperature Gas-cooled (nuclear) Reactor.

美國DOE估計未來氫氣來源

Hydrogen Demand, Production, and Cost by Region to 2050

Argonne National Laborator

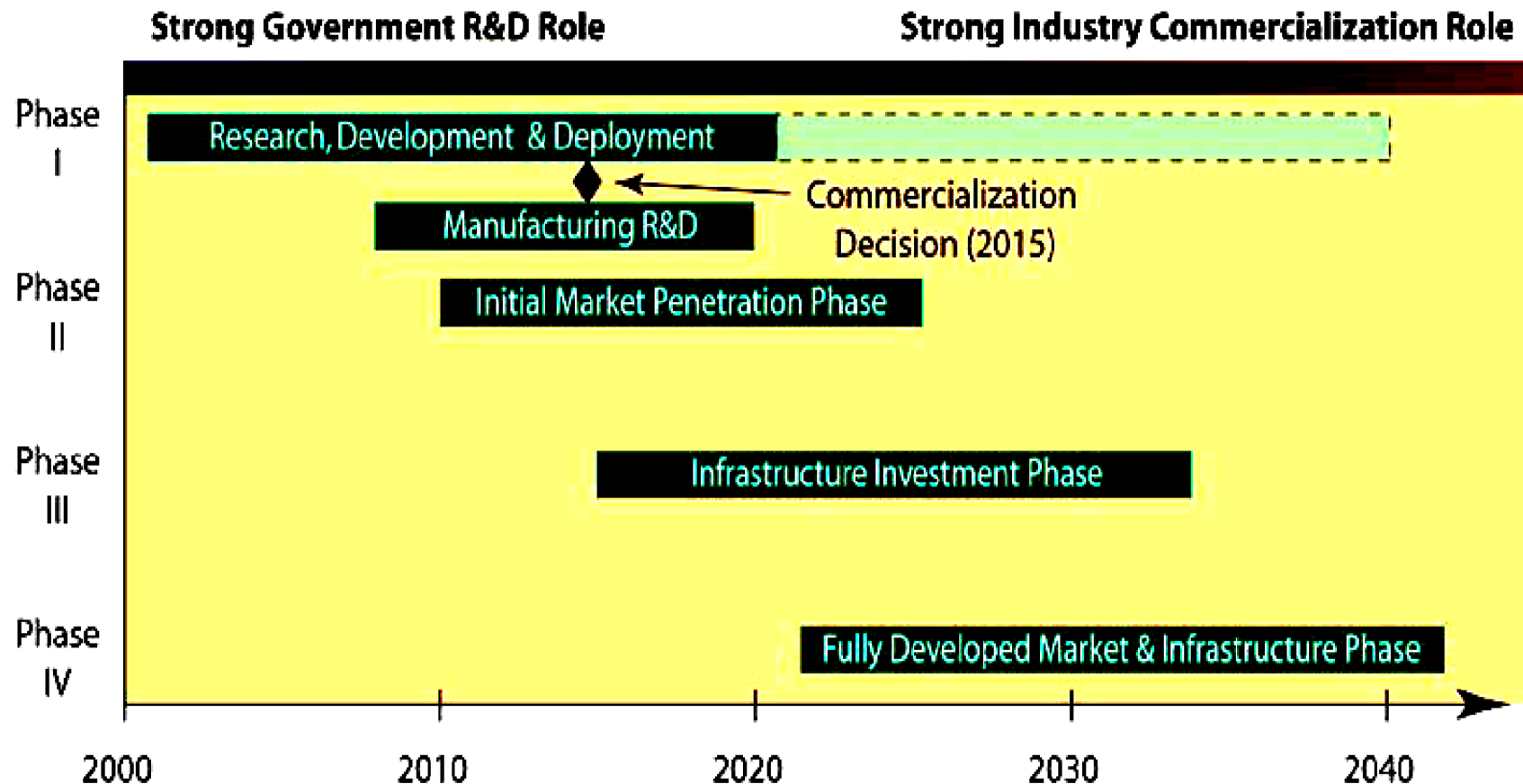
Estimate of H2 Production by Source in US



氫燃料電池車及加氣站發展路徑圖

Hydrogen Demand, Production, and Cost by Region to 2050

Argonne National Laboratory



產氫成本路徑圖

Manufacturing R&D for the Hydrogen Economy, USDOE 2005

DRAFT FOR STAKEHOLDER/PUBLIC COMMENT

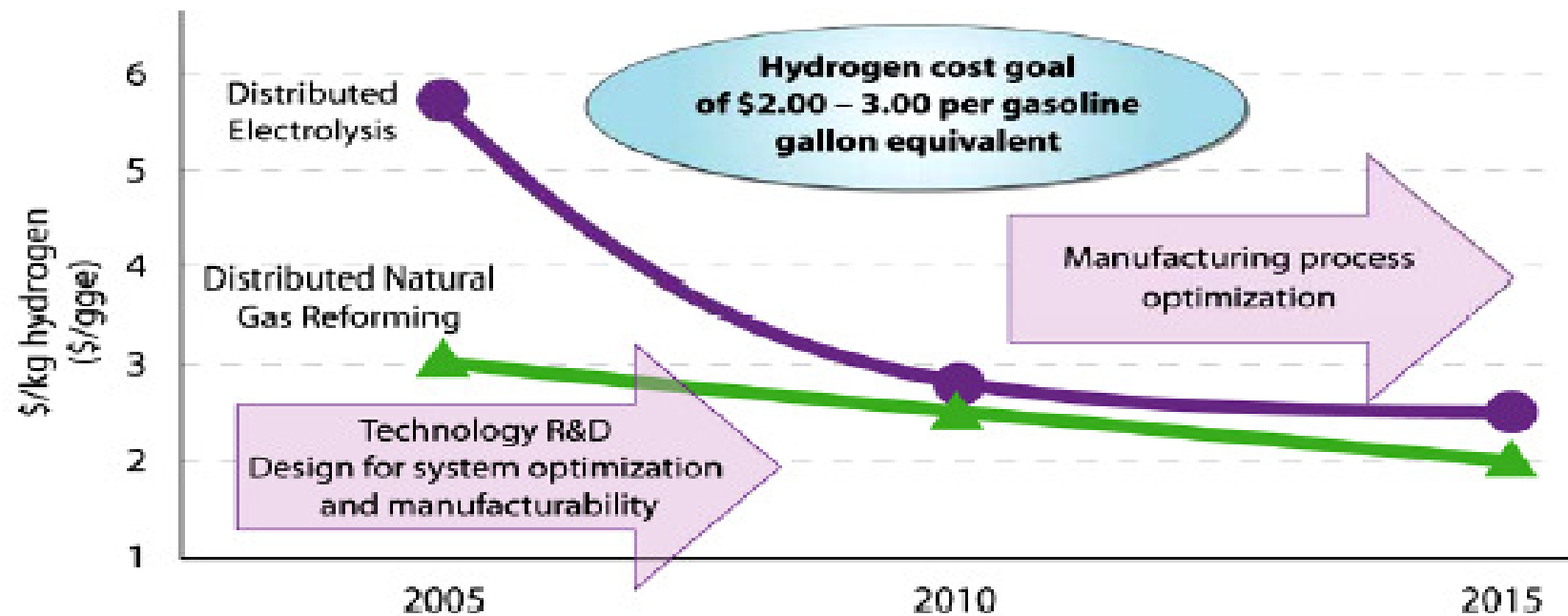


Figure 7: Cost goal for hydrogen will be realized through technology development coupled to manufacturing R&D.³⁶

氫儲存成本路徑圖

Manufacturing R&D for the Hydrogen Economy, USDOE 2005

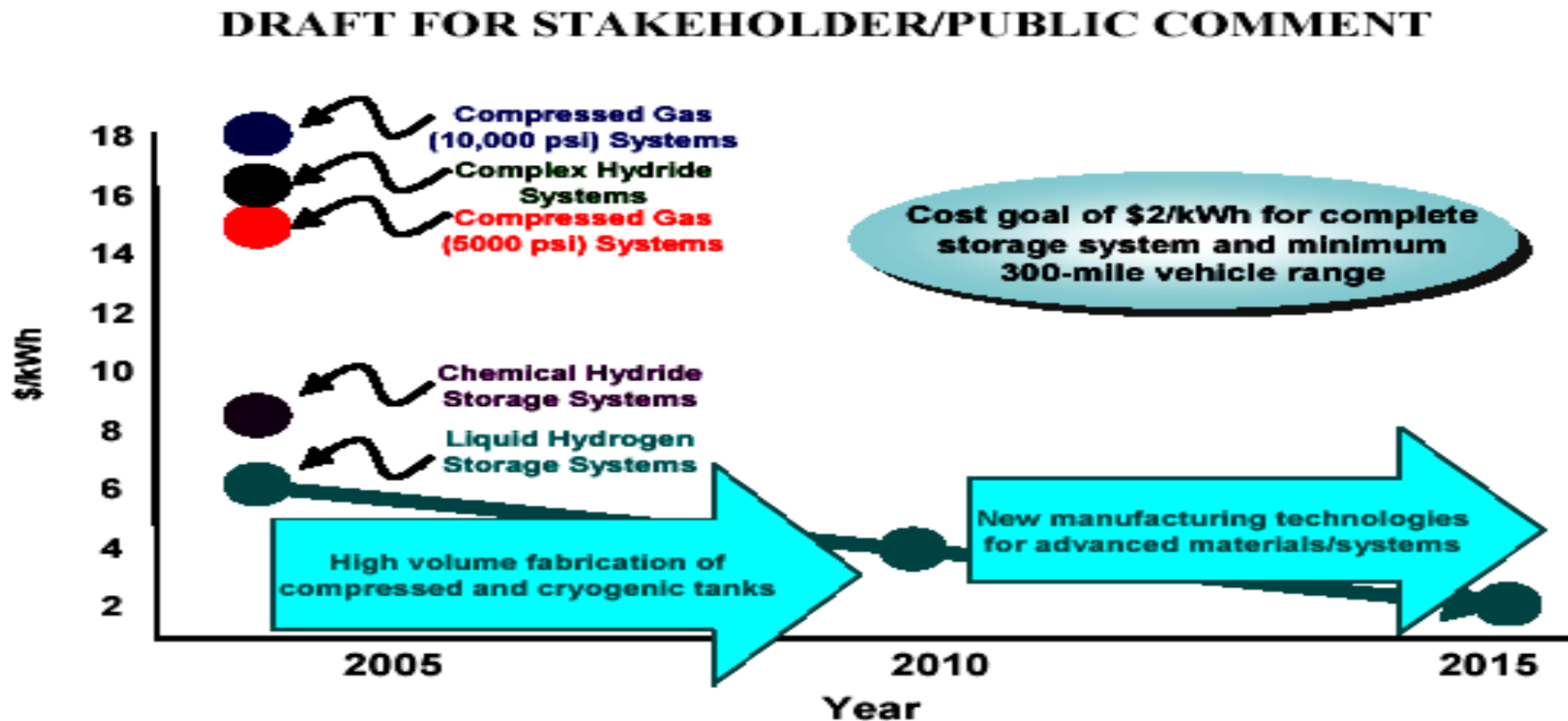


Figure 10: Hydrogen storage cost will be reduced by a combination of technology development and manufacturing R&D.⁴¹

質子交換膜燃料電池成本路徑圖

Manufacturing R&D for the Hydrogen Economy, USDOE 2005

DRAFT FOR STAKEHOLDER/PUBLIC COMMENT

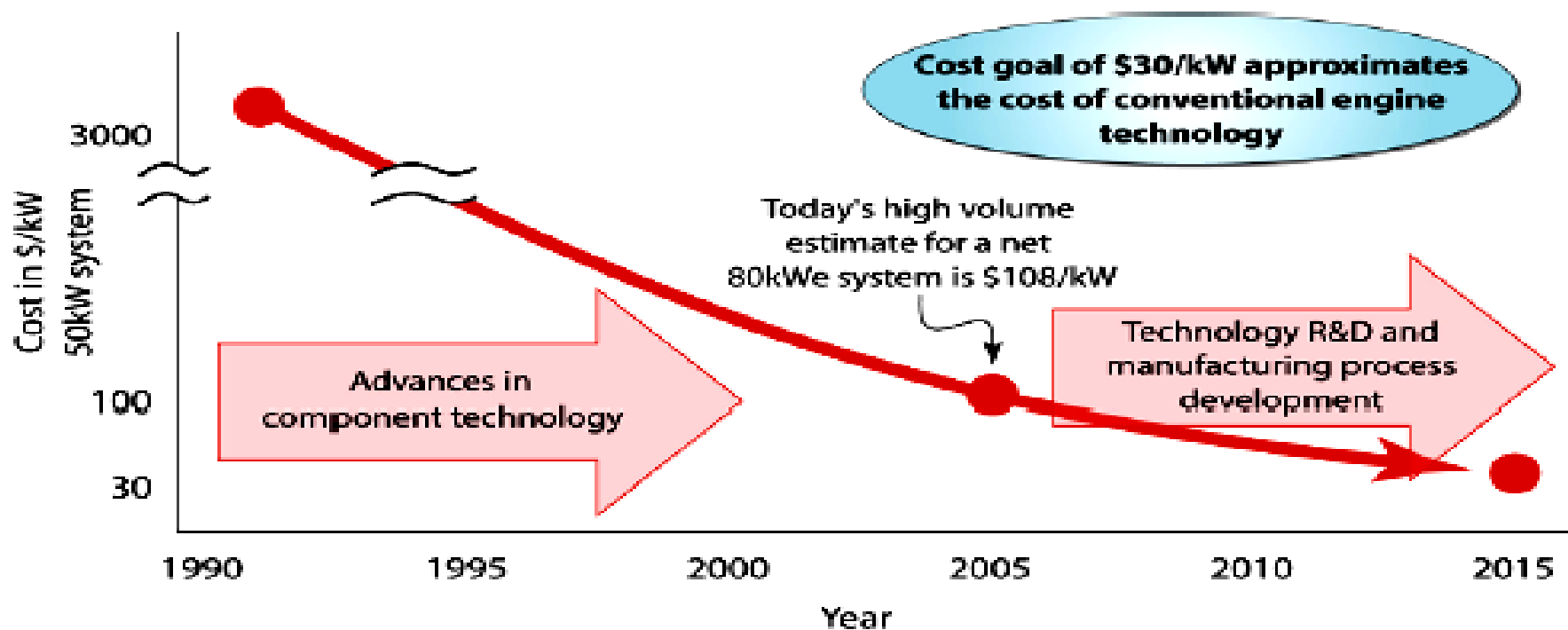


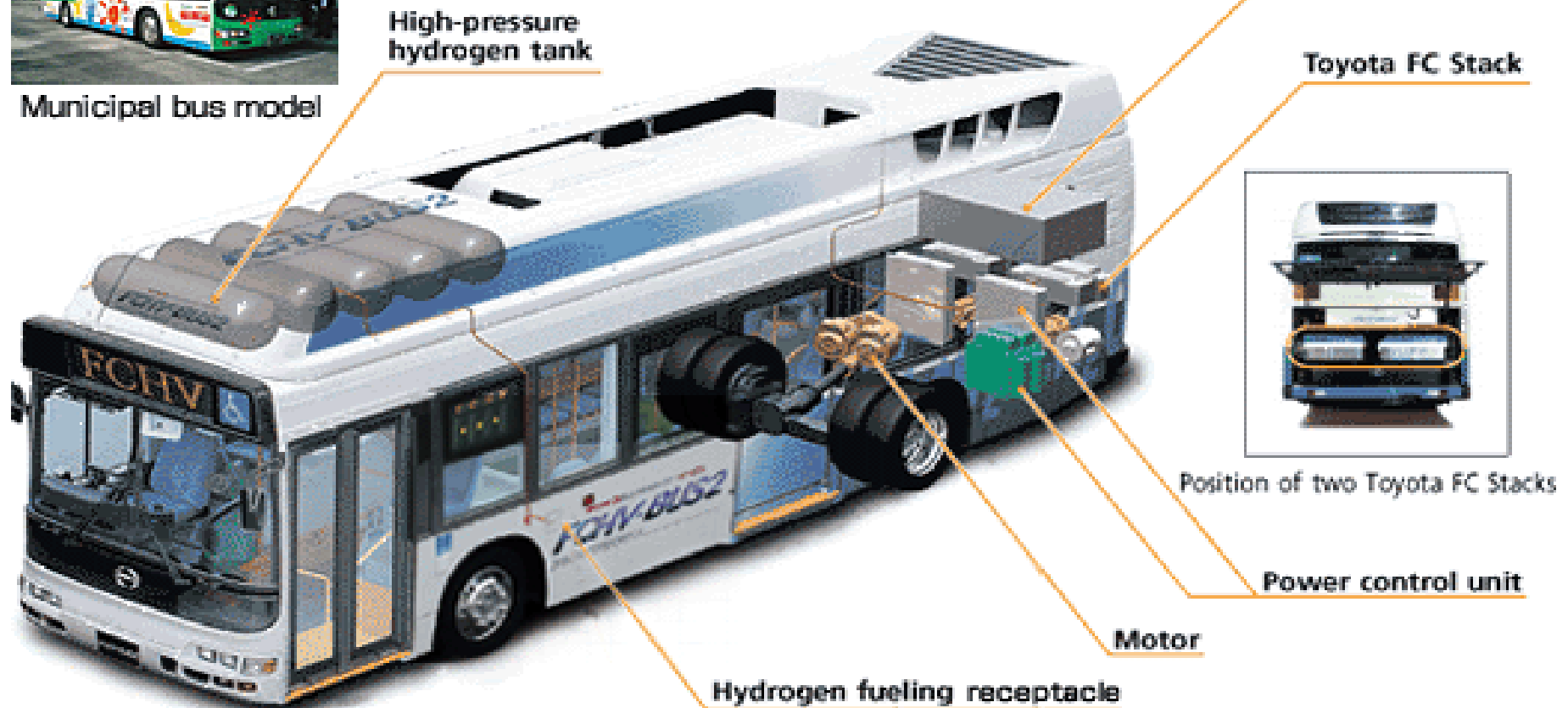
Figure 2: Cost reduction for PEM fuel cells will be realized through technology development coupled to manufacturing R&D.²³

氫燃料電池汽車

Toyota-Hino FCHV-BUS2



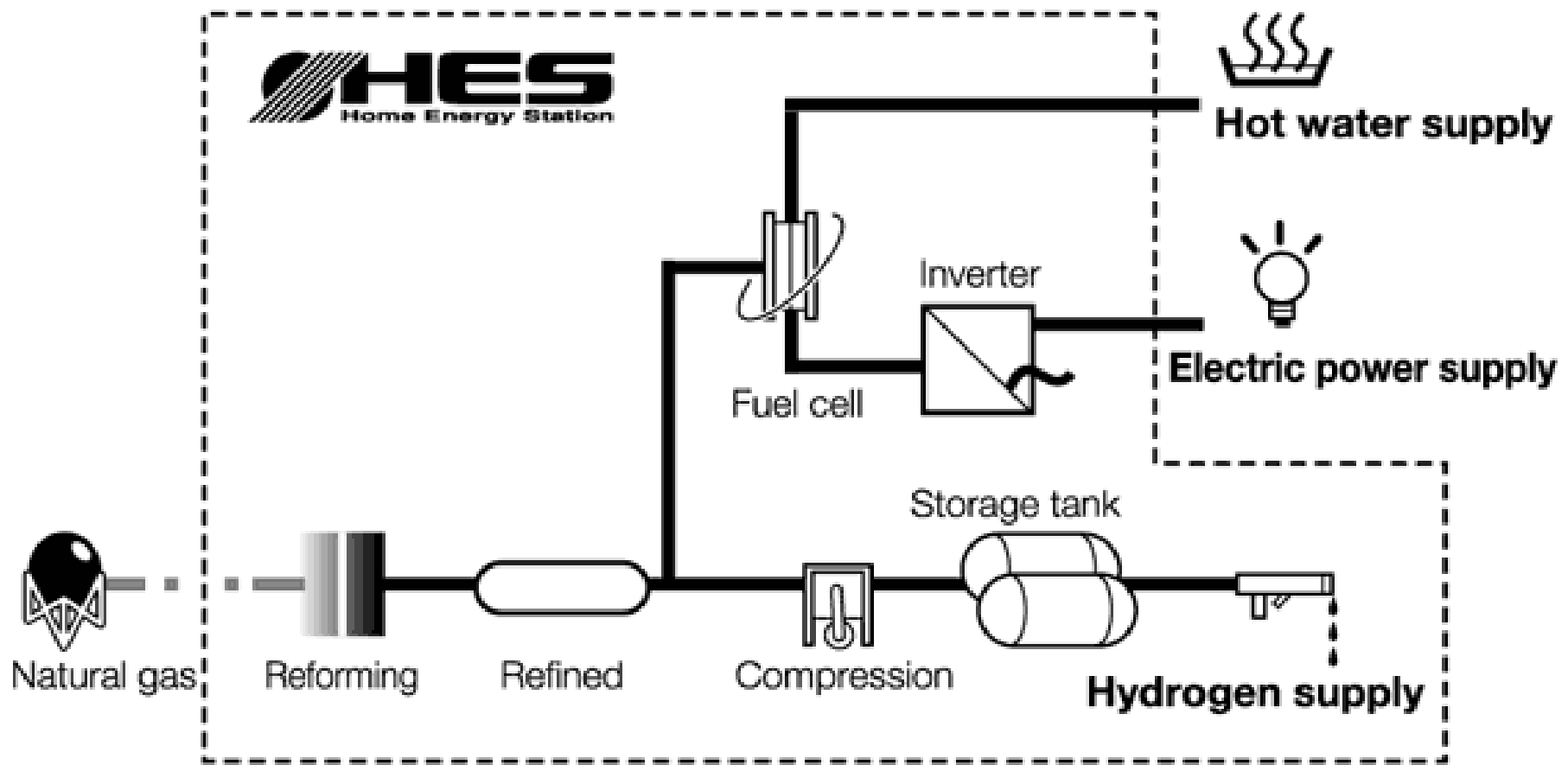
Municipal bus model



Honda Hydrogen FCX in 3-4y



Honda Home Energy System



Honda Hydrogen FCX and Home refueling system





CCS催生氫經濟時代的來臨

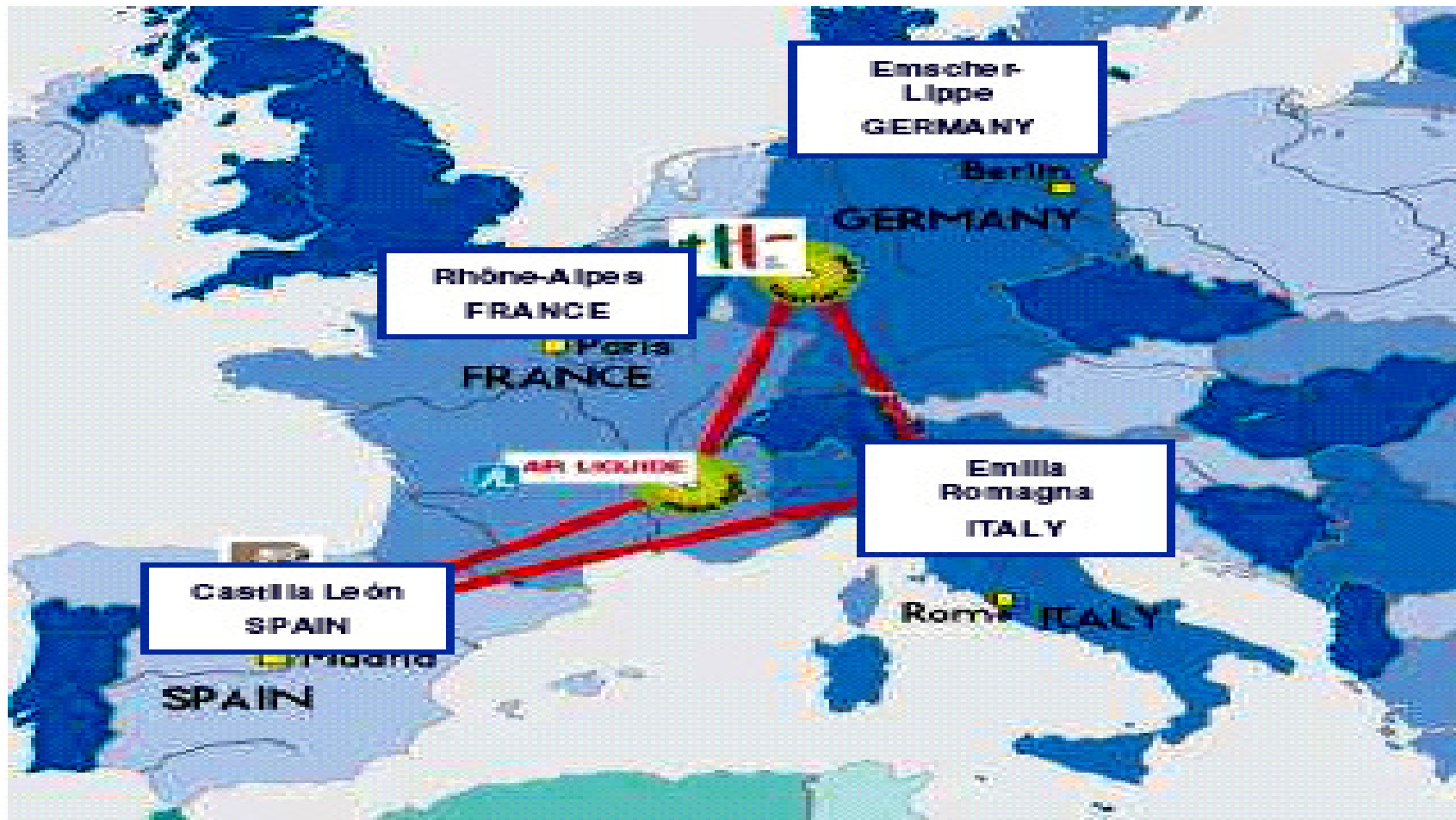
- 至本世紀末，化石燃料仍然是世界的主流能源，亦是CO₂排放的主要來源。
- 化石燃料排放CO₂的捕捉與地質封存技術，是目前國際間認為最具有潛力的CO₂減量方法。
- 併同此技術帶來氫經濟時代降臨所需之氫氣輸送、貯存與利用技術，當前研究重點

CCS催生氫經濟時代的來臨

- 固定性或移動性貯存技術與設施、高壓管線或液氫輸送技術、氫燃料電池等技術研發是未來極重要的課題。
- 歐洲建立一條馬德里到巴黎，柏林再到羅馬的氫廊道公路，供燃料電池車行走，
- 日本普設置可同時供應氫氣、天然氣、生質油料的加油站Eco-Station，
- 而美國的綠廊道公路，在連接舊金山到聖荷西及拉斯維加斯的高速公路沿線設置液化天然氣LNG加油站，也是因為將來可以容易由LNG供應系統轉為氫氣供應系統。LNG是通往氫能源的橋樑。

Hydrogen Corridor

4 European Regions, 150 H₂ Vehicles, 5 Years Project



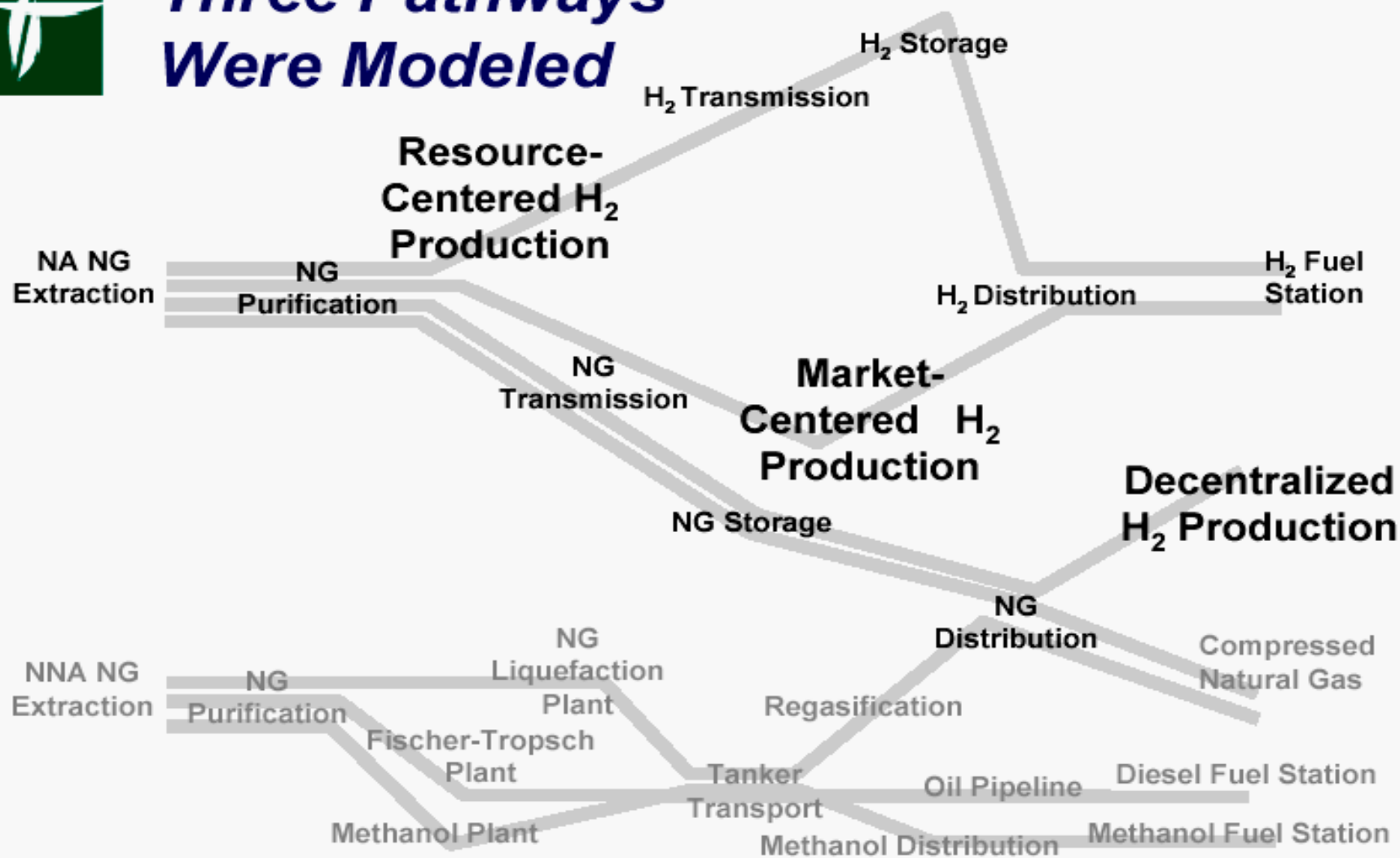


The Bridge to Hydrogen

- Natural gas vehicle and fuelling technologies provide the bridge in the inevitable transition of transportation away from petroleum to hydrogen.
- Using natural gas or HCNG in commercial vehicle fleets—including transit buses, refuse collection trucks, shuttle buses and city work vehicles provides a vital first step in the transition to hydrogen.
- Natural gas vehicles today can be upgraded to operate on HCNG or pure hydrogen. The existing network of natural gas refuelling stations infrastructure can also be adapted to dispense HCNG or pure hydrogen.
- Like hydrogen, natural gas is a gaseous fuel requiring storage, transport, and delivery technologies that are very different from liquid fuels. Natural gas and hydrogen employ similar : Fuel storage, Fuelling Station, siting Codes and standards, Training Facilities, Public acceptability.



Three Pathways Were Modeled

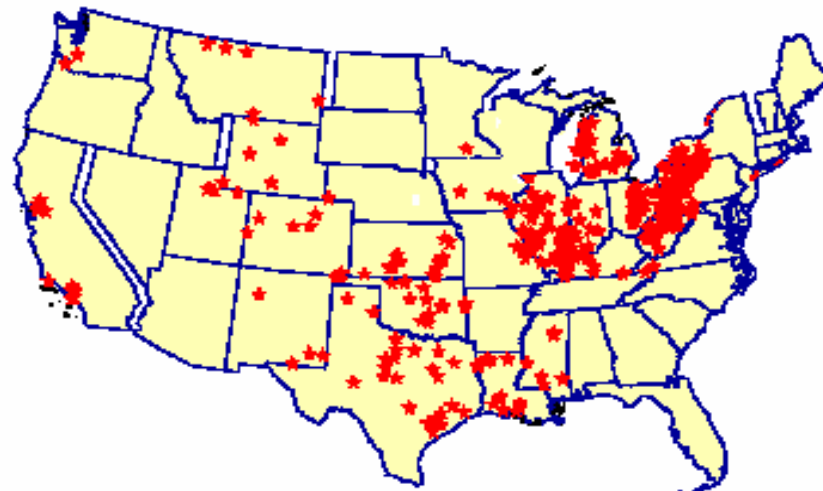


Argonne National Laboratory
Transportation Technology R&D Center



All Pathways Include Underground Storage

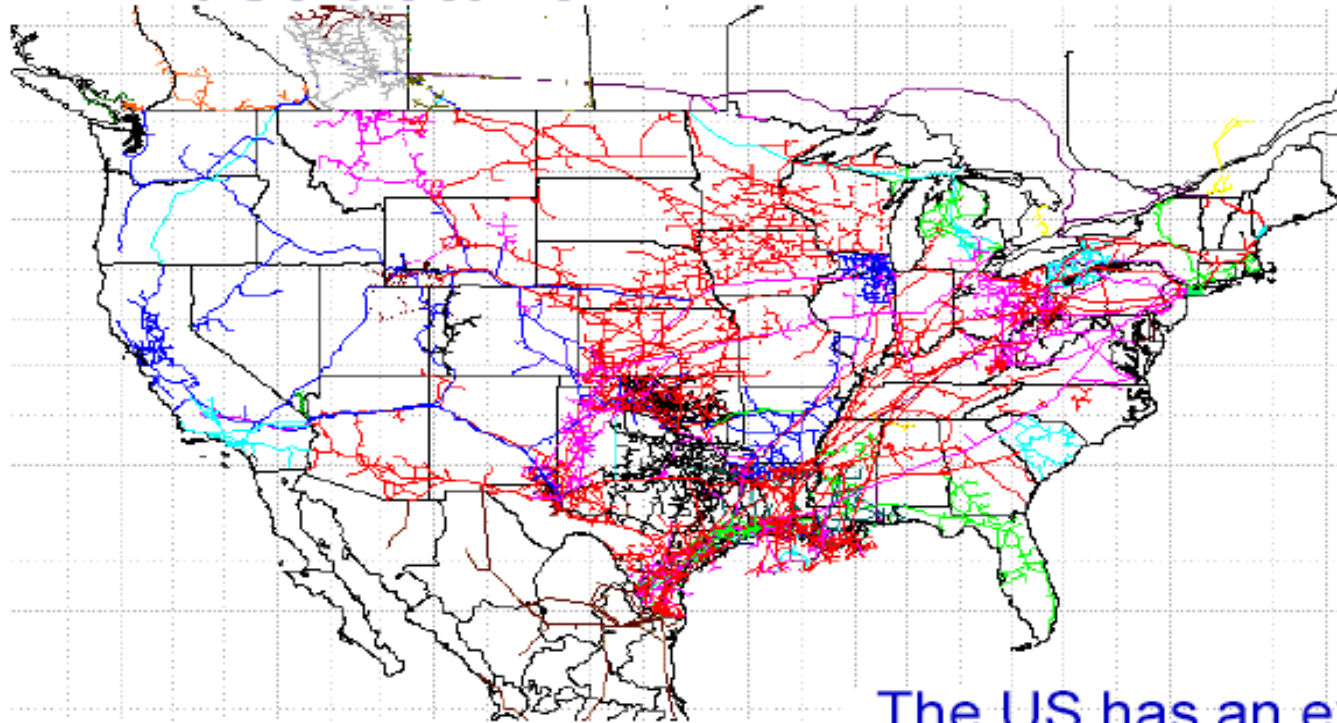
At the end of 1998 there were 410 underground natural gas storage sites in the U.S.



With 76 Bcf per day of Withdrawal Capability and 3,933 Bcf of Working Gas Capacity



All Pathways Require Additions to the Existing Natural Gas Transmission Infrastructure



The US has an extensive in-place NG transmission infrastructure



Some Conclusions:

- With current technologies, on a well-to-tank basis, hydrogen is likely to be at least twice as costly as gasoline.
- With current technologies, the hydrogen delivery infrastructure to serve 40% of the light duty fleet is likely to cost over \$500 billion.
- For up to 7.5 bln GJ (7 Q) of cumulative hydrogen production, the decentralized path is lowest cost.
- For more than 13.6 bln GJ (13 Q), of cumulative production, the resource-centered path is lowest.



Conclusions (cont'd)

- With current technologies, scale economies are large for centralized options; small for decentralized
- Of the central production options, the resource-centered path is consistently lower cost (economies of scale).
- H₂ transport and production are the largest cost components of all paths examined, hence appropriate focus for cost reduction.
- Pipeline costs may be overestimated in the literature due to improvements in excavation/installation technologies.

參、我國能源問題

- 一、能源幾乎完全依賴進口，能源結構的變遷受制於國際能源價格影響。
- 二、過去十五年能源消費倍增，石油與煤炭占總供應量的八成以上。
- 三、工業部門能源消費占五成左右，產品的國際競爭影響國內能源定價。
- 四、非核家園已列為國家政策，仍然受到持續的挑戰與質疑。
- 五、因應國際公約的CO₂減量規範，需準備承接新能源技術的基礎建設。

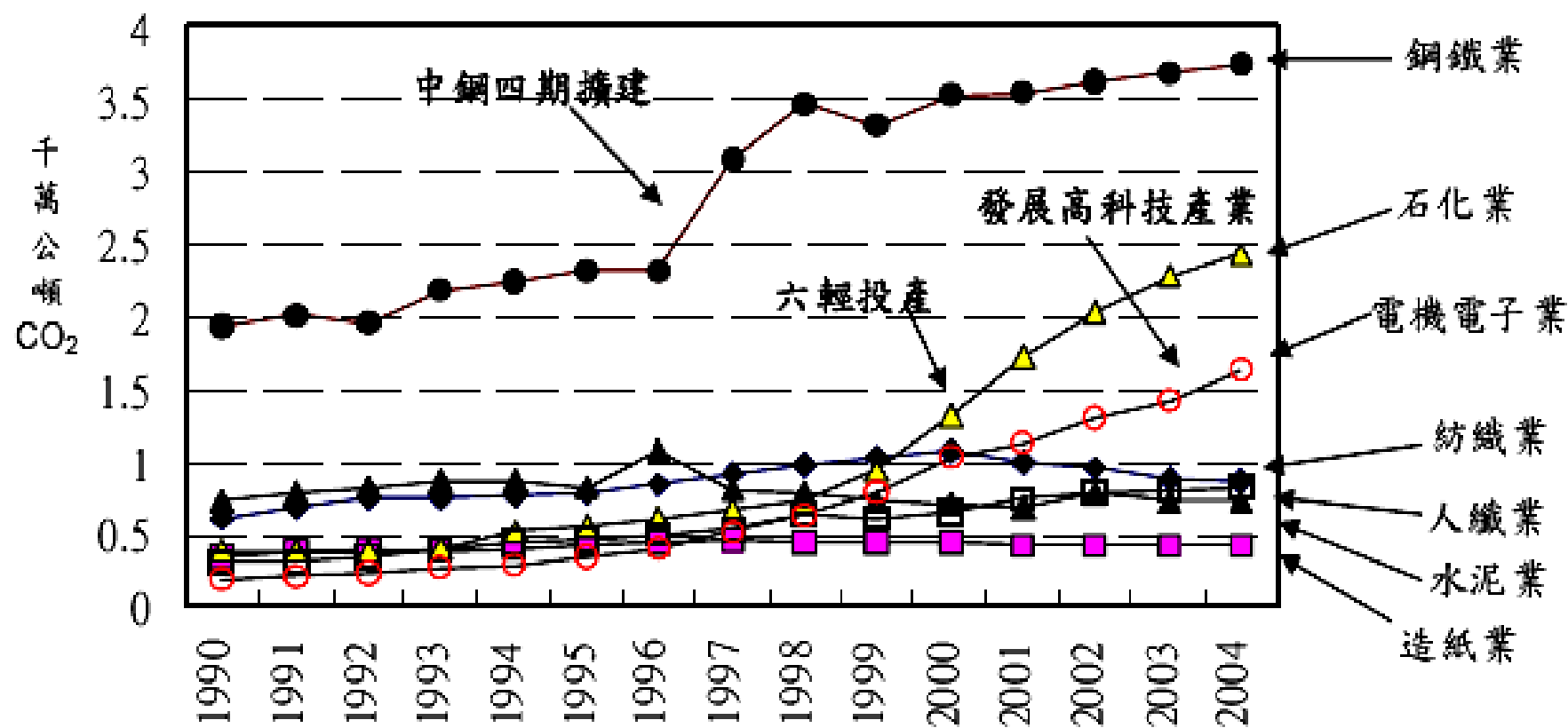
二氧化碳溫室氣體排放量

(工研院能資所)

- 1990年我國溫室氣體之總排放量為1.48億公噸，其中因能源使用而排放CO₂約為1.21億公噸，占82%，平均每人CO₂排放量為5.9公噸。
- 2002年每人CO₂排放量約為10.8公噸，較1990年增加約83%。
- 各部門所排放之CO₂，以工業部門排放比例最高，歷年來維持在53%以上，其次為運輸部門，再其次為住宅部門。
- 在2004年，此三部門排放的CO₂所占比例分別為53.6%、14.6%與11.8%。其中發電部門約占三分之一。

能源密集產業CO₂排放量

(95年全國永續會議 陳昭義)



資料來源：93年能源統計年報。

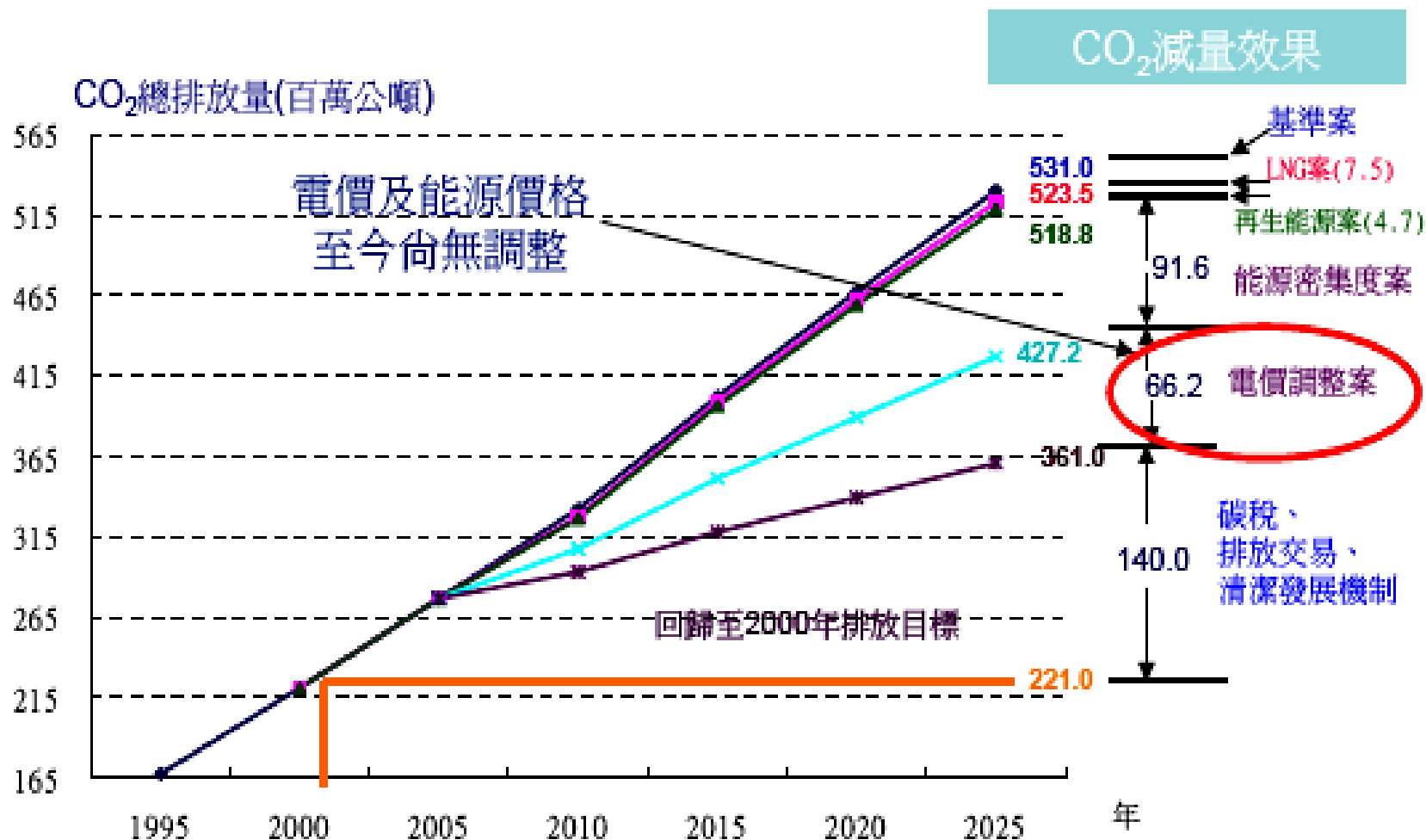
能源密集產業CO₂排放量

(95年全國永續會議)

- 新增重大投資所推估CO₂增量，亦應考量產業關聯效果所可能增加之溫室氣體排放。
- 濱南案七輕與燁隆大煉鋼廠的CO₂年排放量，工業局估計為0.33億公噸，占我國1990年排放量的29%；
- 環保聯盟估計中油八輕與台塑大煉鋼廠的CO₂年排放量0.54億公噸及0.17億公噸，
- 合計將超過目前總排放量的20%。

2005全國能源會議政府承諾溫室氣體減量目標及策略

(95年全國永續會議 楊之遠)



環保團體代表減量目標建議

(95年全國永續會議 徐光蓉)

- 1. 建立合理的電價計價機制，調整電價
縮短民生與工業用電價格差距，以提高產業用能效率。
- 2. 縮小燃煤與燃氣之成本差距
提高燃氣機組之裝置容量，燃煤發電比例不應提高。
- 3. 調整產業結構
排除政府措施中對高污染、高耗能產業的獎勵或補助。
- 4. 實施碳稅
考慮碳稅或以總量管制配合交易制度，提高無碳及低碳燃料競爭力。
- 5. 發展再生能源產業

能源局推估2020年台灣能源結構

- 台灣的初級能源總供給為148.0百萬公秉油當量，較2003年增加43.1%。
- 結構仍以石油為主，但比率已自50%降為占37%，其次為煤，比率自33%增為占37%，天然氣由6%增加為占13%，核能由8.0%降為占7%，水力發電維持1%，新能源由1%增加為占4%。
- 能源消費則以電力為主，占47%，其次為石油，占38%。
- 上述推估已將2005年全國能源會議各部會承諾削減能源部門二氧化碳排放量所採取措施納入考量。



潔淨化石能源科技研發

- 2005年全國能源會議所形成的共識，在科技研發方面
- 研擬節約能源主要策略及措施之共識中，也包括了推動淨煤發電研究，分離與封存CO₂技術研發，以降低CO₂排放量。



二氧化碳捕捉技術研發

台電公司投入之相關研究與經費包括：

- (1) 二氧化碳攫取與減少釋放技術研究(86~91年度)
- (2) 溫室氣體固定化處理技術之研究(92~95年度)
- (3) 二氧化碳回收與再利用研究(96-99年)

二氧化碳封存技術研發

- 中油公司現有鐵砧山儲氣窖運轉中，中油公司探採事業部曾進行台灣地區舊氣田可能封存地層深度及已生產量的評估，國內舊氣田約可封存500萬噸以上CO₂。封存地層除原生產層外，尚可擴及上、下水層（仍須進行相關研究及測試），因此可封存量應遠大於過去產量。

國內可能封存舊氣田之已生產氣量

(中油公司)

構造名稱	地層	地層深度 (公尺)	已生產氣量 (億立方公尺)	可封存CO ₂ 量(萬噸)
牛山構造	六重溪層	1,160-1,237	2.17	39
小梅構造	卓蘭層	2,144-2,238	-	
八卦山構造	卓蘭層	2,110-3,568	-	
出磺坑構造	木山層、 五指山層	2,294-4,390	108.37	1970
錦水構造	打鹿砂岩	2,137-4,692	73.43	1335
永和山構造	打鹿砂岩	3,155-3,489	9.11	501

註：錦水構造含打鹿砂岩、北寮砂層、出磺坑層、木山層、五指山層等

封存場址調查及封存技術研發(中油公司)

- 根據中油公司資料，國內地質封存CO₂考量之優先順序為(1)舊氣田，(2)舊氣田上、下水層(仍需進行部份研究、測試、開發等工作)，(3)其他構造水層(需依序進行測勘、鑽探、開發等工作，費時多年)。
- 封存構造調查及其潛能評估需耗費數年之久，宜仿照國土規劃，全面調查台灣及其鄰近海域可供封存CO₂之地下構造，適時引進並改進回收、純化技術，選擇具潛能構造進行一步鑽探以推估地下構造封存潛能，作為未來能源政策規劃之依據。
- 「雲林石化科技園區合資計畫」在煉製結構、園區規劃、設備與製程上，均已考慮CO₂排放問題，地下封存尚無迫切須要；但在二期擴建時計劃興建2座電廠，屆時可配合設計，將CO₂收集並純化後注入地下封存。並可先行進行相關研發。



肆、我國因應CO₂減量之能源政策規劃檢討

- 比較我國第二次全國能源會議決議及95年全國永續發展會議因應CO₂減量之能源政策與先進國家之能源政策

我國與先進國家能源政策比較

一、相同者

- (一)增加使用天然氣之用量，降低使用其他化石燃料之單位燃料CO₂排放量。
- (二)增加太陽能、風能、生物柴油及生物酒精等再生能源之使用量。
- (三)規劃採用電價調整、排放權交易、排放總量管制及碳稅等經濟誘因措施。
- (四)化石燃料使用比率於2025年以前仍占87%以上，煤之比率持續上升。
- (五)建立上述策略之CO₂減量目標值及目標年。

政策規劃差異影響分析

- 二、不同者
- (一)除再生能源及天然氣用量增加為技術層次具體可見的CO₂排放減量規劃外，其餘減量規劃均為誘因規劃，此部分未將擬採用的各種能源技術及成本與規劃CO₂排放減量的效果建立關連。
- (二)未全面規劃配合CO₂排放減量規劃所需技術的成本、研發與基礎建設。
- (三)未規劃CO₂捕捉、封存及再利用技術研發成功對CO₂排放減量的貢獻。
- (四)未評估CO₂捕捉、封存及再利用技術未能引進國內時的衝擊。
- (五)尚未規劃迎接氫能源時代於2010年後來臨需要的基礎建設與配合措施。

政策規劃差異影響分析

上述差異所呈現的問題包括：

- 一、CO₂減量誘因政策，必須在已有成熟之替代技術，供使用者選擇的前提下，才能發生效力。在現有技術條件下，我國規劃之電價調整策略或碳稅與排放權交易政策，僅能促成現有能源用戶節約能源及未來新能源用戶使用現有最有效率製程(BACT)或最佳可行技術(BAT)，其減量效果有限，是否能達成預期目標，是有爭議的。

政策規劃差異影響分析

- 二、未全面規劃配合CO₂排放減量規劃所需技術的成本及其研發與基礎建設需求，使各種替代方案可行性失去理性討論的基礎。間接造成對於新設具有經濟貢獻的大型能源用戶，是否應予核准的爭議。

政策規劃差異影響分析

- 三、在技術市場與成本競爭限制下，化石能源仍然是本世紀最可能之主流能源。而最可能維持化石能源主流地位，兼顧CO₂排放減量需求的CO₂捕捉、封存及再利用技術，迄今未進入我國CO₂排放減量政策與相關技術研發與基礎建設之規劃中。欠缺此項因素考量，嚴重影響我國能源政策決策基礎之適當性。

政策規劃差異影響分析

- 四、我國是否具有承接CO₂捕捉及封存地質條件，是先進國家CO₂捕捉、封存及再利用技術成功後，我國因應策略的最重要考量因素。我國具有承接CO₂捕捉及封存地質條件，或不具有承接CO₂捕捉及封存地質條件，其因應之策略迥異，相關技術研發與決策關鍵因素需及早規劃。但無論我國是否具有承接CO₂捕捉及封存地質條件，先進國家CO₂捕捉、封存及再利用技術的成功，均代表氫能源經濟時代的來臨，相關技術研發、引進及基礎建設之規劃，均不可避免地需要及早進行。

CO₂封存及驗證技術對

能源使用結構與政策之影響

試想CO₂捕捉、封存及驗證技術發展成功後，對於世界能源使用結構的影響，有下列幾種可能的狀況：

- 一、未來使用化石燃料，必須同時使用CO₂捕捉與封存的技術。
- 二、化石燃料的終端用戶，只能以電能及氫能兩種方式使用。
- 三、終端用戶使用汽油、柴油等液體燃料時，只能使用生質能源所生產者。
- 四、為促進化石燃料CO₂的零排放，國際公約要求各國接受全球性碳稅及國際性CO₂排放交易制度成為可能。

CO₂封存及驗證技術對

能源使用結構與政策之影響

- 五、生質能轉換之液態燃料與化石燃料轉換之氫氣及電力成為交通工具能源市場之競爭主力。
- 六、在國際公約約束下，各國CO₂減量配額的決定過程，無地質條件封存CO₂的國家，須向有地質條件封存CO₂的國家爭取，應負擔減量配額的差別待遇。配額確定後，無地質條件封存CO₂的國家，須在國際CO₂交易市場中，尋找最佳交易價格；無法購足CO₂減量配額的國家，則須繳納減量配額不足部分碳稅。

CO₂封存及驗證技術對

能源使用結構與政策之影響

- 七、無地質條件封存CO₂的國家，如果不在國際CO₂交易市場購買減量配額，亦不希望繳納碳稅，就需尋求CO₂封存的替代技術。例如與具備地質條件封存CO₂的國家合作，於該合作國建造化石燃料電廠，封存CO₂後，將產生的電力及氫氣長程輸送至其國內使用。
- 八、各國需進行各種氫氣利用之技術研發，並逐步建立氫能源經濟所需之基礎建設。

伍、因應國際CO₂封存技術衝擊之我國政策建議

- 無論我國是否具有足以接受CO₂封存技術的地質條件，基於產業發展放眼全球的角度，及我國中油公司在鐵鈷山天然氣地下貯氣窖之操作實務經驗，CO₂捕捉、封存及再利用技術仍是我國需要積極投入研發的領域。
- 具備此項技術，也是我國未來在全球CO₂排放減量國際談判與履行義務時的重要倚靠，可以使得我國與其他附件一國家享有同等之權利與義務，參與「京都議定書」之彈性減量機制，在國內產業無法符合減量目標時，透過產業參與及清潔發展機制與共同減量，取得所需排放權，於國際排放權交易市場進行排放權交易。

伍、因應國際CO₂封存技術衝擊之我國政策建議

CO₂捕捉、封存及再利用技術的研發，建立技術路徑圖：

- 一、CO₂地質封存（地下氣田、油田或鹽水層）容量調查與封存技術研發。運用國內已具備之基礎調查與評估能力（油氣探採及深地層特性調查與評估經驗），以國內外深層煤層枯竭油氣田、深層地下含水層（鹹水）場址為調查與評估對象，建立封存潛能調查與功能評估技術、封存功能監測與驗證技術、封存設施建構技術、封存設施開發規範，進行CO₂地質封存前導試驗與驗證及CO₂地質封存經濟可行性評估。
- 二、CO₂海洋封存、礦化封存、環境影響評估與CO₂再利用技術研發。

伍、因應國際CO₂封存技術衝擊之我國政策建議

- 三、化石燃料燃燒排放CO₂捕捉（分離、固定）及轉換為氫能的技術研發。特別是發電效率高的燃煤整合與氣化複循環及CO₂捕捉封存機組(IGCC+CCS)技術。
- 四、氫氣輸送、貯存之基礎建設與各種終端用戶利用相關技術研發，包括氫氣燃燒技術及燃料電池技術在加熱、發電及引擎動力供應方面的應用。
- 五、擴大國內液化天然氣於使用交通工具及終端用戶之基礎建設與技術研發，以建立銜接氫能源利用之先驅環境。

伍、因應國際CO₂封存技術衝擊之我國政策建議

- 六、國際合作CO₂地質封存場址及容量調查、先進發電產氫廠之建設及氫氣長程輸送系統建設。
- 七、政府與國內主要能源利用大戶，如中油、台電、中鋼及石化業者，建立CO₂地質封存研發聯盟之伙伴關係，並積極參與世界CO₂地質封存研發聯誼組織(例如：碳隔離領袖論壇CSLF, Carbon Sequestration Leadership Forum)活動。

伍、因應國際CO₂封存技術衝擊之我國政策建議

技術研發期程建議

- 一、近、中程(2015年以前)以煤氣化與CO₂捕捉技術、燃燒改善技術及二氧化碳再利用技術為研發方向。進行國內外地質封存潛能調查與評估，以取得後續封存地點及潛能規劃之重要資訊。擴大使用天然氣及基礎建設，進行氫氣輸送、貯存及利用技術研發與使用示範計畫。
- 二、中、長程(2020年以前)將捕捉技術所獲得之二氧化碳，藉由CO₂地質封存方式，封存產業所產生之CO₂，以提高國內產業競爭力。並藉聯合國氣候綱要公約下的清潔發展機制(CDM)，進行國際合作於國外進行CO₂地質封存，取得CO₂排放權或進口所產生之氫氣，逐步建立國內氫氣使用之基礎建設。近程並應擴大天然氣之使用與基礎建設，作為過渡至氫經濟時代的技術與市場橋樑。

陸、結語

- 過去十年，台電公司已投入上億元經費進行CO₂捕捉的相關的研究發展，但國內迄未投入資源進行CO₂地質封存相關之研發。
- 為避免國際公約減量要求對國內產業造成衝擊，並影響我國經濟穩定發展，未來我國應大力投入此方面之研發，建立其技術發展路徑圖與我國未來CO₂排放減量的關係，並應持續了解國際CO₂捕捉與地質封存的發展，積極參與國際合作，掌握最新的趨勢與技術。