

臺灣發展二氧化碳地質封存之 優勢、機會與策略

譚志豪* 劉浙仁** 冀樹勇***

摘要

二氧化碳捕獲與封存 (Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS) 是國際公認最有效的減碳技術方案之一。臺灣具有良好的二氧化碳地質封存條件，西部濱海深部鹽水層具有百億噸以上龐大封存潛能，若能適當開發，至少可滿足我國至 2100 年之減碳需求。由於國內目前尚無法令規範 CCS 技術發展，政府亦無專責單位主導 CCS 推動，致使發展進度遲緩，且國內 CCS 發展起步較晚、自有技術不足，暫需透過國際合作引進技術以研發適用於本土條件之各項關鍵技術。本文建議結合主要排碳源齊力開發「低碳園區」以促使 CCS 產業聚落成形。另建請政府儘速將 CCS 納入我國減碳政策及低碳能源選項，加速制訂政策與法規，提供產業界適當協助並鼓勵民間參與，一同推動我國大規模淨煤減碳工程。

關鍵字：CCS、二氧化碳、地質封存、淨煤、減碳

一、前言

全球氣候極端化之不利效應已於世界各地顯現，熱浪、酷寒、強降雨及乾旱等氣候極端異常現象陸續產生，造成生態平衡破壞、災害規模擴大且發生頻率增高。根據 IPCC (2013) 最新研究顯示，本世紀末全球平均增溫最高恐達 4.8°C，屆時將為全球帶來毀滅性的災難。2011 年，聯合國氣候變遷綱要公約締約國大會於南非德班 (Durban) 召開第 17 次締約國會議。大會雖然決議暫時延長《京都議定書》之執行期限，然而全球致力減少溫室氣體排放以因應極端氣候問題這個大趨勢仍持續不斷地進行。我國雖非締約國成員，但面對日益惡化的氣候環境，實有責任與義務在全球減碳浪潮中盡一分心力。

二、國際 CCS 發展趨勢與現況

二氧化碳捕獲與封存 (Carbon Capture and Storage, CCS) 之目的係將人類工業活動所製造之二氧化碳 (CO₂) 經由捕獲後，運輸至適當地點，儲存於地質構造內以減少二氧化碳排放量。二氧化碳地質封存技術雖在持續發展階段，但所涉及之相關技術早已存在於石油工業中，例如提高石油採收 (EOR)、提高天然氣採收 (EGR)、提高煤層氣採收 (ECBM) 等技術皆與將 CO₂ 注入於地質構造中有關。

考量鹽水層相對具有龐大的封存潛能，目前國際間正積極評估深部鹽水層之封存效益，例如：美國、巴西、歐盟、澳洲、日本等皆已完成或持續進行全國封存量評估，而中國、印度等國也正處於起步階段。

* 中興工程顧問社大地工程研究中心水文地質模擬組組長

** 中興工程顧問社大地工程研究中心助理研究員

*** 中興工程顧問社大地工程研究中心、防災科技研究中心主任

聯合國氣候變遷綱要公約（UNFCCC）於1997年制定之《京都議定書》自2005年正式生效，要求各簽署國須於2008年至2012年間達成減碳承諾，目前共有192個國家或區域組織參與。UNFCCC以定期召開締約國大會（The Conference of the Parties, COP）方式達成協議，並召開「協助執行《京都議定書》的締約國會議（The COP Serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol, CMP）」，共同為穩定大氣中溫室氣體濃度而努力。《京都議定書》中明定3種國家間的減碳合作機制，包括：聯合履行（Joint Implementation, JI）、清潔發展機制（Clean Development Mechanism, CDM）及排放交易（Emissions Trading, ET）。其中與臺灣較相關的平台是清潔發展機制（CDM），係已開發國家協助開發中國家減碳之彈性合作機制，藉以獲得減碳額度。

2009年12月哥本哈根會議（COP15）提出哥本哈根協議（Copenhagen Accord），初步達成應控制全球溫度上升不能高過2°C，並要求於2010年1月31日前，《京都議定書》附件一國家應提出其於2020年的量化減量目標，非附件一國家則需提出國家適當減排行動（NAMAs），自此溫室氣體減量已蔚為成為全球趨勢。惟基於全球暖化、極端氣候日趨嚴重，2011年於南非德班（Durban）會議中確認CCS相關技術議題已獲得解決（COP17/CMP.7），因此正式通過將碳捕獲與地質封存的模式與程序納入CDM以加速推動國際間合作減碳。由於UNFCCC具有國際領導地位，其所認可之技術具有國際公信價值。換言之，二氧化碳地質封存經由多年的討論、評估與確認，已獲得國際肯定，可為兼具安全與減碳應用價值之重要技術。

根據Global CCS Institute（2013）之統計資料，2013年國際間大規模二氧化碳捕獲與封存整合計畫計有65個。有鑑於CCS技術商業化的急迫性，先進國家多投入資源支持技術產業化所需的商轉等級示範應用，例如歐盟NER300所支持

的12個CCS應用計畫；美國能源部推動的7個區域夥伴聯盟（Regional Partnerships）之CCS示範試驗，投入4.5億美元進行CCS示範試驗，目前邁入第3階段的區域夥伴聯盟計畫已有數個大規模的地質封存注儲試驗正在進行；澳洲亦投入約20億美元於CCS旗艦計畫，預計興建2至4個整合型CCS示範廠。澳洲政府特別成立CO2CRC組織，結合產學研的力量一齊推動CCS的技術發展與應用；日本則已完成小規模地質封存前導計畫（Nagaoka Project），近期則策動產業共同成立「Japan CCS Company」來進行大規模的CCS整合計畫，其中苫小牧（Tomakomai）計畫即有超過2億美元的挹注，預計將鋼鐵廠所捕獲下來的二氧化碳注儲到海床下地層，另在監測及數值模擬技術亦投入約1.5億美元；南韓則於2010年7月宣布未來10年內將投入19.2億美元於CCS的技術發展；中國大陸「863計畫」在2008-2010年對於CCS技術的投入約0.5億美元扶植CCS產業，亦積極與美、歐、日、澳等國家合作發展CCS技術。中國最大的煤礦生產商神華集團在內蒙鄂爾多斯建立煤液化工廠，待其正式運轉後，預計每年灌注1百萬噸的二氧化碳至深部鹽水層。上述案例可作為我國發展CCS技術與產業之範本與基石。

三、我國減碳現況與挑戰

（一）國內排碳現況與減碳缺口

依據國際能源總署IEA（2012）之能源使用二氧化碳排放量統計資料顯示，我國2010年二氧化碳排放總量為270.2百萬公噸，占全球排放總量的0.89%，為全球排名第20位，至於每人平均排放量則為11.66公噸，全球排名第19位。另根據國際碳監測行動組織（Carbon Monitoring for Action, CARMA）2009年統計資料顯示，就單一電廠而言，我國台中電廠碳排放量為世界第一、麥寮電廠則為世界第八。以上數據均顯示我國為全球高排碳量之國家。

《京都議定書》要求聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC) 之附件一國家，以 2008 至 2012 年為減量時程，將溫室氣體排放總量減至比 1990 年時少 5.2% (平均值)，未遵守規範國家，即便不是簽約國 (如臺灣)，後續也可能遭受貿易制裁，近年聯合國甚至醞釀未來以碳稅來經濟制裁二氧化碳排放過高之國家。為避免未來受國際課徵碳稅，甚至遭受經濟制裁而影響國內經濟發展，故必須對二氧化碳之排放採取必要的因應措施。

行政院為推動節能減碳，於民國 97 年 6 月 5 日核定「永續能源政策綱領」，同年 9 月 4 日通過「永續能源政策綱領－節能減碳行動方案」。續於民國 98 年底通過《國家節能減碳總計畫》及其十大標竿方案、35 項標竿型計畫，據以推動我國節能減碳方案。根據《國家節能減碳總計畫》訂定之減碳目標：「全國二氧化碳排放減量，於 2020 年回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量」。研究指出，2020 年我國二氧化碳基線排放量將達 390~433 百萬噸，

若要回到 2005 年之排放水準 (即 244 百萬噸)，仍有巨額減碳缺口 (即 146~189 百萬噸)。

綜觀國內減碳技術現況，再生能源之太陽能及風能的推廣利用除穩定性受限，無法作為基載能源外，相關儲能技術亦仍待突破；至於地熱發電、潮汐發電之實務應用研究目前仍在進行；而提高能源利用效率等技術亦仍處研發萌芽階段，短期內均恐無法補足減碳缺口。此外，2011 年日本福島核災後，核能是否繼續沿用已成為爭議話題。國際間德國已宣布將於 2022 年廢止核電；我國亦有穩健減核政策主張，加上目前國際原油價格居高不下、我國液化天然氣採購成本仍偏高等條件下，須另覓穩定且有效的減碳方案。根據 IEA 能源技術展望 (2012) 指出，各種減碳方案中，以二氧化碳捕獲與封存為單一技術方案中減碳貢獻最高者，2050 年可達 17%，自今累積至 2050 年則為整體貢獻之 14%。據評估，我國擁有龐大的二氧化碳地質封存潛能，若能適當規劃運用，可迅速補足我國減碳缺口。

表 1 國內發展 CCS 可能面臨之關鍵議題及解決對策

關鍵問題	問題描述	解決對策
CCS 定位問題	二氧化碳地質封存是否安全、是否影響環境、相關責任歸屬等問題	國際間針對 CCS 已有共識。UNFCCC 締約國大會於 2010 年墨西哥坎昆會議 (COP16/CMP.6) 提出將二氧化碳捕獲與地質封存納入清潔發展機制 (CDM) 考量。2011 年南非德班會議 (COP17/CMP.7) 則正式認定 CCS 已可有效確保：1.非永久性逸漏、2.進行測量報告與驗證、3.環境衝擊評估、4.計畫範圍確認、5.合乎國際法、6.明訂法律責任、7.評估不利結果的可能性、8.安全確保、9.因滲漏造成損害之保險賠償等議題，故決議將二氧化碳捕獲與地質封存正式納入 CDM 項目。
政策法規尚未完備	目前國內 CCS 政策未具體，且相關法規亦未完備，缺少相關法令規範 CCS 技術之發展與推動	儘速將 CCS 技術納入「國家節能減碳總計畫」及「我國最適減緩行動方案 (NAMAs)」之政策選項，以作為實質減碳措施之一。另由於 CCS 技術發展初期之先導試驗研究並未涉開發行為，不應以嚴格的環評法規限制，否則將嚴重延宕我國 CCS 發展進程。建議透過既有法規之解釋或修訂，先將 CCS 先導試驗納入管理，以便由執行過程中獲取後續商轉所需經驗。若 CCS 專法之立法進度能配合技術發展進程，則預期於 2015 年後即可針對 CCS 示範及商轉計畫予以監督管制。
民眾諮商	國光石化、核廢料處置場調查等民眾抗爭事件顯示，民眾對健康與環保等議題十分重視	透過正面表述方式強調 CCS 對減緩全球暖化、極端氣候及改善空氣污染之貢獻，並進行全國教育宣傳提升民眾對 CCS 基本認知。另參酌審議式民主理論，讓民眾經由透明、開放的管道，進行理性、自由、平等的討論，共同尋求符合公共利益的作法以作為政府決策參考。至於民眾溝通時，應區分對象族群，採用不同的溝通目標與策略，以增進溝通成效。
不確定因素 (如天災等)	福島核災、墨西哥灣漏油等事件皆顯示任何活動均有其不確定因素與風險	以先導試驗及示範計畫先行確保並驗證 CCS 各項技術的可行性與安全性。再透過詳細的模擬分析、監測驗證與風險評估管理等技術，確保二氧化碳安全的封存於深部地層。另備妥相關作業規範與緊急應變對策，阻止風險事件發生及降低可能造成的危害，期能達「零損」目標。

(二) CCS 之挑戰與機會

因 CCS 技術具有強烈的場址地域性、高技術門檻性及高資金需求性，故我國欲全面推動 CCS 技術與產業化，除面臨安全、風險等技術層面問題外，諸如民眾是否支持、政策法令是否完備、及資金是否充裕等非技術性問題均必須面對與克服。相關問題與解決對策摘錄如前頁表 1。

四、我國二氧化碳地質封存潛能

對於二氧化碳場址封存量評估方式，國際間已有諸多單位提出評估方法，如美國能源部 (US DOE)、碳封存領袖論壇 (CSLF)、澳洲溫室氣體科技合作研究中心 (CO2CRC) 以及日本地球環境產業技術研究機構 (RITE) 等。各封存量評估方式雖然依不同尺度考量而有不同的算法，但基本原則不外乎考慮：封存層體積、地層孔隙率、超臨界二氧化碳流體密度性質、地層可儲存效率等因子，予以乘積，即可得場址之封存量。基本上，上述各機構的封存量評估公式可由以下公式涵蓋其主要內容：

$$\text{封存量} = \text{可封存體積} \times \text{二氧化碳密度} \times \text{封存效率} \quad (1)$$

經濟部 CCS 研發聯盟針對臺灣封存潛能評估之相關研究結果顯示，西北部與西南部海域之鹽水層構造之理論封存量初估介於 90~680 億噸之間。林殿順 (2011) 研究亦指出西部近岸 50 公里範圍之鹽水層封存潛能估可達 459 億噸。

財團法人中興工程顧問社 (2013) 整合中油、台電及工研院等單位相關研究成果，利用 GIS 地質單元網格法，評估全臺 18 處較適合作為二氧化碳地質封存場址之封存量，包括：4 處濱海深部鹽水層系統與 14 處陸域油氣田構造，初估 18 處潛在場址之總封存量可達 198.6 億噸 (詳圖 1)。

其中以深部鹽水層所占封存量比例最高，可提供 176.6 億噸封存潛能，搭配國內主要排碳源所處位置，為商轉級 CCS 計畫的主要考量目

標。此 4 處深部鹽水層之潛在封存量分別為北臺灣桂竹林-錦水系統之 75.5 億噸、中臺灣桂竹林-錦水系統之 38.1 億噸、及中臺灣北寮-打鹿系統之 41.5 億噸、及中臺灣木山-碧靈系統之 21.5 億噸。補充說明，中臺灣 3 處深部鹽水層系統隸屬不同深度，約介於地表下 1,500~3,500 m，可配置不同深度的灌注系統將 CO₂ 封存於內。

至於陸域構造所能封存的容量較小，介於 0.1~6.4 億噸，14 處陸域構造共可提供約 22 億噸之封存量，較適合與陸域較小規模排碳源配對，進行單一捕獲端與封存端間的二氧化碳地質封存計畫。

考量國內能源與工業部門燃料燃燒之 CO₂ 排放量及後續捕獲效能，我國二氧化碳封存總量遠大於目前的減排需求，除可確保 CCS 這個次世代新能源的過度技術在 2100 年前可提供充裕的減排能量外，配合封存場址所處地理位置，周邊甚至極具發展 CCS 產業聚落之潛力，可創造出龐大的經濟效益。



圖 1 我國二氧化碳地質封存之潛在場址與各封存系統之封存潛能

五、二氧化碳地質封存產業化策略

(一) 產業效益初步評析

國際間開發二氧化碳地質封存場址主要活動及所占成本之比例分別為：行銷 1%、規劃設計 9%、建造 50%、運轉 30%（含輸送、灌注）及關閉場址 10%。其中，建造階段占成本最高，主要工作包含建置注入井、監測井、灌注系統、管線系統、監測系統等軟體設備，因此花費較高，但可藉由國際合作方式培養國內技術與人才，提升國內專業能力，以降低後續新建場址的成本。此外，相關鑽井、井測設備與技術可另應用於地熱發電等需要深井鑽探的產業，具附加價值。

倘若以整合性氣化複循環（IGCC）技術進行 CCS，每一度電可比天然氣發電節省 0.7~1.2 元，並減少排放 CO₂ 約 0.2 kg（核能研究所，2012），故無論就發電成本或減碳效益觀之，CCS 技術於國內市場中極具發展價值。

根據臺灣經濟研究院（2012）研究，以 CGE 模型進行二氧化碳地質封存產業經濟分析，於特定情境條件下，配合二氧化碳地質封存產業商轉時程，於 2018 年開始將提供每年 100 萬噸 CO₂ 封存量，並於 2020 年起每年增加 500 萬噸，此時每年 GDP 約可提升 0.0024%；迄 2030 年後每年將增加 1,000 萬噸封存量，GDP 年增量可達 0.004%；至 2050 年達到年封存量最大值。若依此產業規模，單就二氧化碳地質封存相關產業，預估於 2020 年後，每年可創造的就業人口數約為 250 人，於 2030 年後更可提供每年約 750 個就業機會，意即 2050 年以前，地質封存相關產業約可提供 2 萬就業人口。

參考國際碳交易價格，推估未來 CO₂ 均價為 15 美元/噸（低案）、IEA 預估為 30 美元/噸（中案）、歐盟較樂觀，認為未來碳價可達 60 美元/噸（高案）。單就封存價格評估，參考 IPCC（2005）CCS 各項成本，設定封存為整體 CCS 價格之 6%，則可推估未來地質封存之市場規模如表 2 所

示。若以低案保守估計，至 2050 年單就封存產業之市場規模可達 1 千億新台幣，反推得整體 CCS 產業之規模可達 1 兆 7 千 5 百億新台幣。

表 2 我國未來二氧化碳地質封存市場規模概估

時程 (西元年)	期間 總封存量 (百萬噸)	市場規模 (億美元)		
		低案 (0.95 美元/噸)	中案 (1.90 美元/噸)	高案 (3.79 美元/噸)
2018~2020	8	0.08	0.15	0.30
2021~2030	340	3.22	6.45	12.90
2031~2040	1,160	11.00	22.00	44.00
2041~2050	2,160	20.48	40.96	81.93

(二) 二氧化碳地質封存產業之 SWOT 分析

針對我國二氧化碳地質封存技術及產業化策略現況進行 SWOT 分析，以較深入角度評估地質封存產業之內在與外在條件，包括：內部條件分析（優勢 S、劣勢 W）及外在衝擊分析（機會 O、威脅 T）。SWOT 分析成果整理如表 3 所示，可作為國內相關產業發展與投資之參考。

(三) 二氧化碳地質封存產業之 PEST+EL 分析

1. 政治面 (Political)

我國雖非 UNFCCC 締約之會員國，但為避免未來遭到國際制裁，並利用此機會向國際宣示臺灣為減緩氣候變遷的決心和努力，行政院宣布臺灣溫室氣體減量目標與期程：「全國二氧化碳排放量於 2020 年回到 2005 年之水準，並於 2025 年降至 2000 年之水準」。依此減量目標，環保署提出了「國家節能減碳總計畫」，整併經濟部「節能減碳推動會」、經建會「永續能源政策行動方案」，並新增環保署「國家溫室氣體適當減量行動」。為突顯國家節能減碳重點項目，特規劃「十大標竿方案」涵蓋我國節能減碳各個面向，並以「35 項標竿型計畫」強調各方案政策導向及執行主軸。可惜於標竿型計畫重點推動項目中，僅將 CCS 列為考慮選項之一，但未具體明

訂相關措施。

以國際減碳技術發展趨勢觀之，CCS 技術已確定作為主要減碳手段。然而，國內政策現階段僅重視 CCS 技術的研究發展，尚未將 CCS 正式

納入減碳技術項目。以我國優異的地質封存環境與條件，政策面未能跟上國際腳步殊為可惜，急須各界凝聚共識，建言政府以落實 CCS 減碳技術與產業發展之決心。

表 3 我國二氧化碳封存產業之 SWOT 分析結果

優勢 (Strength)	劣勢 (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> 我國擁有豐厚的二氧化碳地質封存潛能，目前保守估計全臺海、陸域潛在封存場址之封存潛能約為 200 億噸，若以商轉規模平均每年封存 1.5 億噸（高案）概估，則已遠超過我國至 2100 年之減碳需求。 國內過去針對油氣、煤礦、地熱、溫泉等探勘作業已累積深層地質調查能力。 我國產官學研之研發能力厚實，目前已有 CCS 研發策略聯盟、CCS 策略聯盟及國科會淨煤主軸計畫等團隊開始進行 CCS 技術引進與研發。 中油公司、台電公司均已初步挹注投入場址調查評估工作（例如鐵崧山、永和山、彰濱等案例），奠定我國 CCS 技術與產業化基礎。 國內 CCS 上網電價略低於 LNG 上網電價，具有經濟潛力優勢。 民間業者積極尋求進入國際 CCS 市場之契機以獲取龐大商機。 	<ul style="list-style-type: none"> 國內 CCS 發展起步較晚，自有技術尚嫌不足，需透過國際合作引進技術進而學習並研發適用於本土 CCS 條件之各項關鍵技術。 臺灣地質條件複雜，颱風與地震等天然災害較多，因此潛在封存場址之風險因子相對較多，需謹慎評估。 國內電價過低，抑制新能源技術引入。 國內碳封存專屬法規尚未健全，民眾接受度有待考驗。 國內 CCS 政策及各項管制與獎勵措施均尚在研議，降低民間企業參與意願。 國內 CCS 宣導及教育推廣正值起步階段，民眾認知普遍不足，特別是針對爭議性較高之公共工程建設，民眾對政府的信任度偏低。 國內廠商經驗不足，主導示範計畫能力較為不足，但若全靠引進國際設備與技術，又恐不利國內 CCS 產業生根。
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
<ul style="list-style-type: none"> 近期 LNG 亞洲進口價格不受北美頁岩氣開發而降低，反而因日韓減核使燃氣發電需求大增而飆漲 1.9~3.8 倍（經濟日報 2013/12/17），我國推動燃煤+CCS 相較 LNG 發電已有顯著利基。 2011 年日本福島核災後，臺灣在穩健減核政策下，核一至核三廠恐於 2025 年前後除役，若核四也放棄運轉，則原規劃核能減碳之缺口須有替代方案，CCS 可望成為優先選項。 2011 年南非德班會議已將 CCS 正式納入清潔發展機制（CDM），有助於全球推展 CCS 產業。 根據經濟模式分析指出，當碳交易價格達 25~30 美元/噸以上，CCS 效益將顯著提升。 我國環保署於 2012 年 5 月將《京都議定書》管制的二氧化碳等六種溫室氣體公告為「空氣污染物」，往後可據此管制企業排碳量及課徵空汙稅或能源稅等，有利後續推動，我國成為全球第三個將溫室氣體列為污染物之國家。 	<ul style="list-style-type: none"> 國內若無良好公眾溝通機制將引起民眾負面觀感甚至阻力，對我國 CCS 發展不利。 亞洲鄰國於 CCS 產業競爭，包括中國大陸、日本與南韓均以其國家龐大資金挹注 CCS 技術向外擴展，威脅我國技術出口。 南韓已於 2012 年 5 月由國會通過「碳排放交易制度法案」，決議由 2015 年開始啟動碳交易。此舉將加速推動國際採行「碳足跡」等貿易限制措施。 我國雖非《京都議定書》締約國，但臺灣出口占 GDP 比率達 75.74%（主計處，2011），若出口因減碳議題而受國際的貿易制裁，臺灣經濟勢必遭受重大打擊。 其他減碳方案（如再生能源）之技術提升與成本下降所造成的排擠效應。

2. 經濟面 (Economic)

目前京都議定書中雖無訂定貿易制裁的罰則，但依據 WTO 關於貿易障礙的規定，可基於環保考量而對進出口品課徵環保稅，且歐盟的三大環保指令 (WEEE、RoHS 及 EUP) 在能源使用方面也要求產品需滿足生態設計 (EUP)，否則可對其進口加以設限。我國 2010 年輸出與輸入占國內生產毛額比例分別為 73.53% 和 66.46%，貿易依存度高，若出口貿易受到國際制裁，將重創臺灣經濟體系，故以長遠角度思考，進行減碳行動應屬較為謹慎保守的作法。

國內目前並沒有課徵碳稅亦無碳額交易市場，因此對於發展二氧化碳地質封存產業而言無經濟上的誘因，但相較於液化天然氣 (LNG) 發電，若 CCS 結合替代天然氣 (SNG) 技術或整合性氣化複循環 (IGCC) 技術，則每一度電可比天然氣發電成本約低 0.7~1.2 元，並減少排放 CO₂ 約 0.2 kg。此結果顯示 CCS 技術極具發展潛力與優勢，且我國確實具備推動 CCS 商轉計畫的經濟條件。

3. 社會面 (Social)

經由 IPCC 的努力，國際社會已普遍認同溫室氣體為全球暖化的肇因，透過有效的減碳措施才能減緩全球暖化造成之極端氣候威脅，而 CCS 技術為減碳措施中必要的過渡手段。聯合國氣候變遷綱要公約 (UNFCCC) 第 17 次締約國會議 (COP17) 已正式將 CCS 技術納入清潔發展機制 (CDM)，證明 CCS 為安全的減碳選項，可支持 CCS 產業的發展。

然而根據各國案例資料統計 (如荷蘭 Barendrecht、美國 Carson 和 Greenville、德國 Schwarze Pumpe 等計畫)，國外大型開發計畫經常因民眾抗爭而取消。由 IPCC 研究結果顯示，一般公眾對於 CO₂ 捕獲與封存沒有充分的瞭解，迄今為止的個別研究也發現，即使提供相關資訊教育民眾，但與其他對抗氣候變遷的方案一起討論時，CCS 並沒有像其他方案 (如提高能源效率和使用非石化能源) 同樣受到公眾的認同。因此

民眾溝通必須及早進行，讓 CCS 技術有充裕時間讓民眾了解並取得認同，而溝通的過程應透明、詳實，儘量以正面表述方式陳述 CCS 之優勢，以避免民眾誤解與疑慮而對 CCS 推動所造成之負面影響。

目前國內民眾對於 CCS 技術認知度尚低，並普遍存在技術安全、衝擊綠能發展、電價上漲、補償方式與責任歸屬的疑慮，但若採適當的溝通方式與策略，並強調人為引起的全球氣候變化為相對嚴重的問題，且必須大量減少 CO₂ 排放以降低全球氣候變遷的威脅，經「早期溝通」、「透明處理」後，應可爭取到一般民眾的支持與認同。隨著臺灣民主發展與人權地位的提升，公眾接受度對 CCS 產業成敗將占有決定性的影響。

4. 科技面 (Technological)

國際上關於二氧化碳地質封存技術的發展已相當成熟，根據 Global CCS Institute 統計，迄 2013 年已有 6 項年封存量達百萬噸級以上的商轉計畫正在運作。重要關鍵技術包含 CO₂ 與地下資源影響評估、CO₂ 團塊移棲模擬、封存層與井體的監測、風險評估與管理、及封存量評估等。

國內業已有經濟部 CCS 研發聯盟、環保署 CCS 策略聯盟及國科會淨煤主軸計畫針對 CCS 展開先期基礎研究。其中，經濟部 CCS 研發聯盟主要成員包括：經濟部、能源局、中央地質調查所、臺灣電力公司、臺灣中油公司、中鋼公司等單位。初期規劃於 2012~2014 年建立小規模 CCS 示範試驗場，於 2016~2018 年建立中尺度 CCS 示範試驗場，於 2020~2021 年完成一座全流程大尺度地質封存場；最終於 2025 年起逐步達成全國 CCS 商轉。

環保署 CCS 策略聯盟則由產官學研各界共同組成，主要成員包括：經建會、國科會、能源局、工業局、礦務局、臺灣電力公司、臺灣中油公司及中鋼公司等。初期規劃於 2015 年開始執行 1 萬噸封存量的小規模試行計畫開始，逐步擴大示範計畫，最終期望於 2020 年後達成商業運轉目標。

國科會淨煤主軸計畫由產官學研共同組成，發展策略以「技術產業化」為中心思想，結合產、學、研各界資源，由國科會主導共同規劃二氧化碳捕獲與封存及再利用（CCS&U）之技術規範及產業化策略。短期以建發展 CCS 法規、地質封存相關作業技術、監測驗證、風險評估及民眾溝通等關鍵技術，進而啟動國內 CCS 示範計畫為目標，同時籌組「CCS 產業聚落發展策略聯誼會」，透過產、學、研之合作力量，推動政府將 CCS 納入減碳及低碳之相關政策，並協助示範計畫的推動執行。中期則推動「高效率分散型發電系統」之先導試驗，落實技術擴散至產業之規劃。長期則布局「零排放高效率分散型發電系統」核心技術，並加強二氧化碳大規模再利用之相關研發工作與建置示範設施。

5. 環境面 (Environmental)

二氧化碳地質封存對於環境的影響性可分為長期和短期的影響，長期影響主要為改變地下水與土壤的物化性質；短期影響為增加地層應力及發生意外洩漏時，高通量 CO₂ 可能會造成動植物的傷亡（如非洲西部 Nyos Lake、美國加州之 Horseshoe Lake 等自然界案例，皆與 CCS 無關）。

然而二氧化碳地質封存場址皆須通過嚴格的調查與篩選過程，並經第三方公正機構驗證，確認達安全標準後才可能取得開發許可，且於整個灌注過程乃至關場後階段，皆有嚴密的環境監控與風險管控流程，故灌注過程乃至關場後發生洩漏的風險是微乎其微的。另由國外 EOR 數十年的長期經驗顯示，透過良好的監測與風險管理技術可避免輸送及注入的過程中發生逸漏，同時確保場址關閉後封存構造之完整性。因此，聯合國氣候變遷綱要公約（UNFCCC）已接受二氧化碳地質封存為安全可行之減碳技術，並將其納入清潔發展機制（CDM）。基本上，在良好的選址作業與管理作為下，封存場址發生逸漏的潛在風險極低，處於安全範圍內。

6. 法律面 (Legal)

國際上推動減碳的有效法源為《京都議定書》，其採用總量管制策略，依各會員國同意的排放權與排放量配額，作為各國減碳目標，惟排放量配額可於碳交易市場進行買賣，而已開發國家亦可透過 CDM 機制獲得減碳額度，目前二氧化碳地質封存技術已列入 CDM 機制，惟詳細實施辦法仍在制定中。

臺灣雖非京都議定書的締約國，不受其規範管制，但身為排碳量相對較高之國家，應有道德義務力行減碳。目前國內《溫室氣體減量法》仍處於起草審議階段，法案內除進行溫室氣體總量管制外，更要求主管機關應輔導事業進行排放源排放量之盤查、登錄、查證、自願減量及參與國際合作減量，並得獎勵或補助之，同時開放碳額交易機制，鼓勵事業主動執行溫室氣體減量，惟草案內尚未納入碳捕獲與地質封存項目，但由立法目的觀之，降低溫室氣體排放乃是該法最主要的目標，加上碳捕獲與地質封存技術已受到 UNFCCC 肯定而納入清潔發展機制，於國內低碳能源選項中具有競爭優勢，為兼具成本效益與低成本之技術。因此建請將二氧化碳捕獲與地質封存技術納入《溫室氣體減量法草案》及《空氣污染防治法》，或修改相關既有法令予以規範並獎勵推動。

（四）產業聚落規劃建議

臺灣陸域構造多分布在西部麓山帶，因為舊油氣田經過多年的探勘、開發及生產，已累積相當完整的地質、構造形貌、儲氣層及蓋岩層特性等資料，可行性及安全性均高，惟其封存量較鹽水層小，且地理位置與國內主要排碳源諸如火力電廠、煉油廠或石化廠，多有段距離，後續運輸成本恐較高。至於濱海深部鹽水層，若存在蓋層的阻隔效果，配合足夠的側向延展性，則具有較大的封存潛力，惟需要投入較多的資源進行特性調查與可行性評估。

封存場址先期規劃階段應就最大排碳源進行考量，例如西部海濱燃煤火力電廠。火力電廠普遍設有專用卸煤碼頭，因此封存場址開發初期已具備簡單的碼頭與外廓設施，具發展港埠的條件，若進一步規劃海埔新生地提供工業建廠使用，則可形成「低碳園區」，並發揮群聚效應。

由於形成產業聚落需要長時間的演變，為了加快減碳腳步，建議以濱海「低碳園區」的方式，預先開發封存場址，並為未來可能進駐的廠商預留空間（詳圖 2）。園區內主要廠商可為燃煤電廠、煉油廠、煉鋼廠、化工廠等碳排工業，規劃外廓設施、碼頭與海埔新生地，建置道路、電力、弱電、給水、排水、汙水處理、行政服務等主要公共設施。低碳園區將提供最小 CO₂ 管線輸送成本、公共基礎設施、原物料進貨碼頭等誘因，加上未來《溫室氣體減量法》通過後，更會驅使廠商於低碳園區內設廠。上述廠商將所捕獲的 CO₂，夠過園區內統一建置之主要運輸管線，可大幅降低 CCS 的運輸費用。此外，因輸送管線皆設於低碳園區內，可大幅縮減意外洩漏風險的影響範圍，緊急處置的反應相對能較迅速有效，並配合園區充足的資源與人力，能有效降低風險後果的影響範圍與程度。

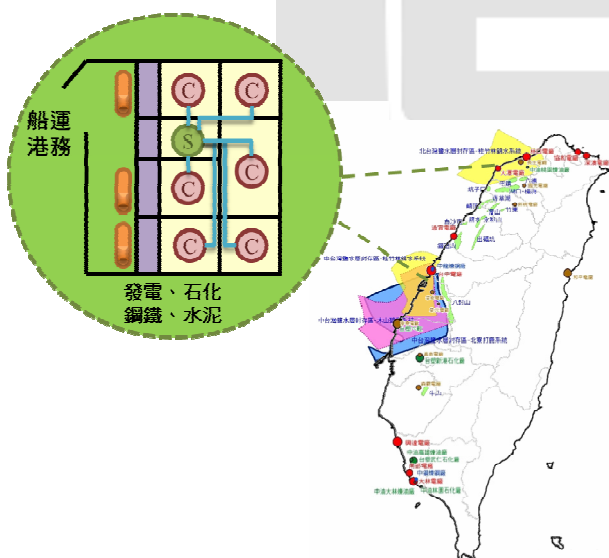


圖 2 我國二氧化碳地質封存產業聚落規劃構想

六、結論與建議

1. CCS 已被國際間公認為最有效的減碳技術，臺灣具豐厚的二氧化碳地質封存潛能，若能妥善利用，足可提供我國至 2100 年之減碳需求。然而我國 CCS 推動遠落後國際，若以目前的進展恐無法於 2020 年達成減碳目標。為貫徹施政方針，建請儘速將 CCS 技術納入「國家節能減碳總計畫」及「我國最適減緩行動方案」之選項作為實質減碳措施之一並落實推動，而非停留在可行性研究。
2. 目前我國 CCS 相關業務分屬多個部會，組織分工與定位不明、資源分散未能整合，導致 CCS 業務推動緩慢，國際競爭力日漸流失。建請政府成立行政院層級之 CCS 任務小組，責成副院長或政務委員負責協調相關部會儘速推動 CCS 計畫，並於民間籌組 CCS 專責協會推動執行。
3. 環保署已將溫室效應氣體公告為空氣汙染物，碳稅機制儼然成行，而俟「溫室氣體減量法」經立法院三讀通過後，國內亦可實施碳額交易市場機制。後續政府若籌措相關能源基金或研擬融資優惠措施後，建議能資助 CCS 場址初期建置，以避免初期建置成本偏高而形成廠商投資障礙，並研擬政策與法規獎勵促進民間投資開發封存場址，以利形成 CCS 產業聚落。
4. 目前我國 CCS 技術落後國際，技術缺口包括：深井鑽探與井測調查、監測驗證、模擬分析、風險分析管理及民眾溝通等關鍵技術。建議透過國際合作將國際 CCS 關鍵技術引進國內，從案例實作中學習經驗，逐步建立我國自主技術以降低成本；另可培植國內 CCS 技術人才，以因應未來商轉階段所需之大量技術服務與人力需求。另加強投入二氧化碳候選封存場址之調查研究能量，並建立第三方驗證機制，以確保各項數據資料之公正性與準確性。

5. 目前國內並無專法規範 CCS 技術之發展，顧及 CCS 專法制訂恐緩不濟急，故建議先以既有法令解釋修訂方式協助推動先導試驗與示範計畫，待從中獲取經驗後，再針對後續商轉階段研修相關法令予以監督管制。可行的措施包括：建請增修《溫室氣體減量法（草案）》或《空氣污染防治法》，將 CCS 技術納入最佳可行控制技術（BACT）；增修《開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準》，比照再生能源，增列 CCS 項目納入管理；制訂 CCS 相關《試驗性計畫申請作業要點》，以支持 CCS 技術研發得以繼續推動不致中止。
6. 由於 CCS 技術發展初期之先導試驗調查研究階段並未涉開發行為，建議不應以環評法規限制，否則將嚴重延宕我國 CCS 技術發展進程。建議透過既有法規之解釋或修訂，先將 CCS 先導試驗及示範計畫納入管理，以便由計畫執行過程獲取後續商轉所需之知識與經驗。
7. 由於目前國內推動 CCS 技術並無礦業之直接收益（例如 EOR、EGR），若僅依賴中國大陸 EOR 選項，恐不利國內 CCS 產業發展。故須透過立法以增強 CCS 產業發展的誘因（例如租稅優惠）及驅動力（例如碳稅、碳額交易），方能促進產業發展。建議政府應立法提供適當的補助與優惠政策，例如：擴大解釋《能源管理法》第 5 條「能源研究發展特種基金」可適用於 CCS 技術研發、擴大解釋《石油管理法》第 36 條石油基金之用途包含 CCS 技術，後續再於《空氣污染防治法》增列獎懲機制等，以籌備經費挹注 CCS 示範計畫，加速促進 CCS 產業形成。
8. 綜觀國內減碳方案，再生能源技術雖較能被民眾接受，但其推展仍待成本降低與儲能技術突破方能有所進展。此外，日本福島核災後，我

國在穩健減碳政策下，原規劃之核電減碳額度恐形成缺口。CCS 技術相對具有安全穩定、對減少空汙及減緩溫室效應具正面積極的改善作用，應能被民眾所接受，建議政府政策應朝正面表述方式加強民眾宣導，以利政策推動。

謝 誌

感謝國科會能源國家型科技計畫（編號：NSC 101-3113-P-301-006）與財團法人臺灣經濟研究院提供計畫經費及各項協助。另對參與本案的同仁及各方協助一併致上最誠摯謝忱。

參考文獻

- CO2CRC (2013) Available: <http://www.co2crc.com.au/>
- Global CCS Institute (2013) The Global Status of CCS: 2013
- IPCC (2005) Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis
- 能源國家型淨煤主軸專案計畫（2012）臺灣發展二氧化碳地質封存技術藍圖暨產業化策略之芻議，行政院原子能委員會核能研究所
- 能源國家型淨煤主軸專案計畫（2012）臺灣二氧化碳地質封存潛能評估，行政院原子能委員會核能研究所
- 行政院節能減碳推動會秘書處（2010）國家節能減碳總計畫
- 經濟部能源局（2011）我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析
- 中興工程顧問社（2013）二氧化碳地質封存關鍵技術建立與應用研究，專案研究報告，財團法人台灣經濟研究院委託計畫
- 臺灣電力公司（2013）二氧化碳地質封存試驗場址調查規劃與研究，專案計畫成果報告
- 呂明達，宣大衡，黃雲津，范振暉（2008）臺灣陸上二氧化碳地質封存潛能推估，鑛冶，第五十二卷，第三期，第 154-161 頁
- 林殿順（2011）臺灣二氧化碳地質封存研究—子計畫一：濱海區封存潛能之研究，國科會專題研究計畫，計畫編號 NSC100-3113-E-008-002