

# 碳捕捉與封存技術(CCS)發展現況與未來趨勢

台綜院研一所

## 【摘要】

為減緩全球氣候變遷，巴黎協定(Paris Agreement)訂定控制全球平均溫升低於 2°C，努力控制溫升在 1.5°C 以內的氣候目標，並進一步在本世紀下半葉，實現排放源和碳匯的平衡(即淨零碳排放(Net Zero Carbon Emission))。而 CCS 技術為重要溫室氣體減量策略之一，亦為解決現有電力部門基礎設施跟工業部門碳鎖定<sup>1</sup>的關鍵技術。

依據全球碳捕捉與封存研究所(Global CCS Institute, GCCSI)於最新發布之「2016 年全球碳捕捉與封存發展現況報告(The Global Status Of CCS 2016)」，在 2017 年底全球預計將共有 21 個大型 CCS 大型綜合專案(Large-Scale Integrated Projects, LSIP)專案已經營運，二氧化碳捕捉量接近 4,000 萬噸/年，採行 CCS 產業包括電廠、鋼鐵業、石化業、化工業、肥料廠及生物乙醇工廠等多種不同產業，報告顯示 CCS 技術可有效減少來自各種電力和工業生產過程的碳排放。然受限於缺乏政府立法及政策的支持、發展再生能源的資金排擠、公眾反對募集資金困難等諸多因素，全球大型 CCS 計畫發展趨緩。因此，各國應該改變對 CCS 技術的認知，明確宣示 CCS 為值得投資的低排放技術，在政治層面公平的協助推動 CCS 技術發展，並加強法律和監管發展、推廣 CCS 教育和宣傳，才能確保 CCS 技術至 2050 年能夠實際發揮減量潛力，否則將產生嚴重的減量缺口。

另外，我國發電結構高度仰賴化石能源，即使推動非核家園、積極擴大再生能源使用，未來電力結構仍以再生能源 20%、天然氣 50%、燃煤 30%為目標，化石能源占比仍達 80%，面對「溫室氣體減量與管理法」所訂 2050 年溫室氣體排放量降至 2005 年以下目標，仍將有電力部門基礎設施碳鎖定問題。因此，建議政府在政策面上宣示積極推動 CCS 發展方向，並加強法律和監管發展、推廣 CCS 教育和

---

1 碳鎖定係指自工業革命以來對於化石能源系統高度依賴的技術，政治、經濟、社會與其結成一“技術-制度綜合體”，並不斷為此技術尋找商業化應用之正當性。結果形成了一種共生的系統內在慣性，導致技術的鎖定且阻礙替代技術(零碳或低碳技術)的發展。

宣傳，以做為我國 CCS 技術發展應用的基礎。

**關鍵字：碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)；巴黎協定(Paris Agreement)；淨零碳排放(Net Zero Carbon Emission)**

## 壹、前言

為減緩全球氣候變遷，於 2016 年生效的巴黎協定(Paris Agreement)明確訂定全球挑戰的氣候目標，儘快達到全球排放峰值，控制全球平均溫升低於 2°C，努力控制溫升在 1.5°C 以內，並進一步在本世紀下半葉，實現排放源和碳匯的平衡(即淨零碳排放(Net Zero Carbon Emission))。而全球溫室氣體排放要達到這些目標的程度，政府間氣候變化專業委員會(IPCC)和國際能源總署(IEA)強調必須把碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)作為一項極其重要的溫室氣體減量技術。有鑑於此，本文將說明 CCS 發展現況，並分析 CCS 技術對巴黎協定目標的重要性、遭受困難及其發展方向，俾作為能源局研提能源部門溫室氣體減量策略及作法之參酌基礎。

## 貳、CCS 發展現況

依據全球碳捕捉與封存研究所(Global CCS Institute, GCCSI)最新發布之「2016 年全球碳捕捉與封存發展現況報告(The Global Status Of CCS 2016)」，至 2016 年下半年全球共有 15 個大型 CCS 大型綜合專案(Large-Scale Integrated Projects, LSIP)專案已經營運，二氧化碳捕捉量接近 3,000 萬噸/年，另 2017 年底預計將增加為 21 個大型 CCS 專案，如表 1 所示，二氧化碳捕捉量提高到 4,000 萬噸/年，如圖 1 所示。進一步分析 21 個已營運及預定營運專案，碳封存方式其中有 16 個採行增強石油產能技術(Enhanced oil recovery, EOR)，其餘 5 個專案封存於陸地或海洋深層鹽水層，顯示現階段應用仍以 EOR 技術為主。另外，採行 CCS 產業包括電廠、鋼鐵業、石化業、化工業、肥料廠及生物乙醇工廠等多種不同產業，顯示 CCS 技術可有效減少來自各種電力和工業生產過程的碳排放。

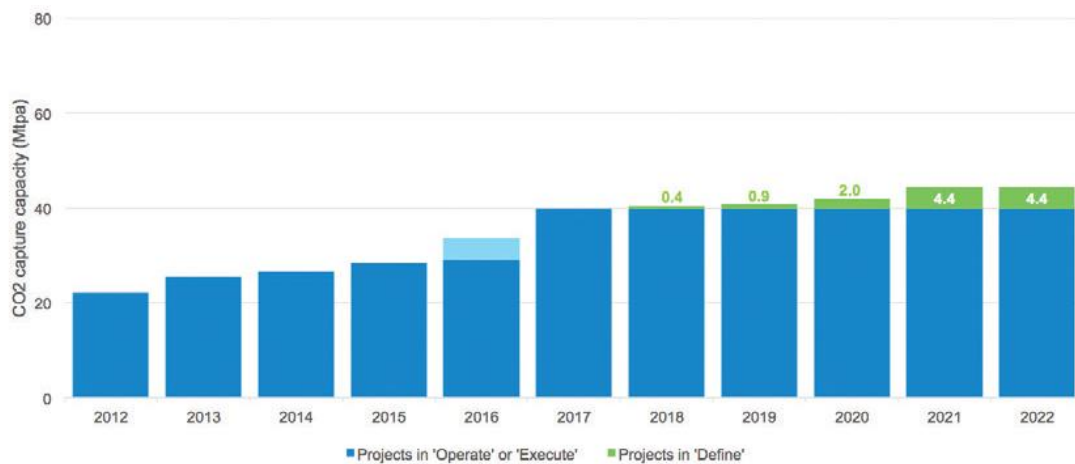
表 1、商轉及 2017 年底前預定營運的大規模 CCS 專案

計畫名稱	國別	年別	階段	部門別	技術別	規模 (百萬噸/年)	運輸方式	封存 方式
Val Verde Natural Gas Plants	United States	1972	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	1.3	管線	EOR
Enid Fertilizer CO <sub>2</sub> -EOR Project	United States	1982	商轉	化肥生產	工業分離	0.7	管線	EOR
Shute Creek Gas Processing Facility	United States	1986	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	7	管線	EOR
Sleipner CO <sub>2</sub> Storage Project	Norway	1996	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.9	無需輸運 (直接注入)	地層 封存
Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale Project	Canada	2000	商轉	天然氣合成	燃燒前 (gasification)	3	管線	EOR
Snøhvit CO <sub>2</sub> Storage Project	Norway	2008	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.7	管線	地層 封存
Century Plant	United States	2010	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	8.4	管線	EOR
Air Products Steam Methane Reformer EOR Project	United States	2013	商轉	氫氣生產	工業分離	1	管線	EOR
Coffeyville Gasification Plant	United States	2013	商轉	化肥生產	工業分離	1	管線	EOR
Lost Cabin Gas Plant	United States	2013	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.9	管線	EOR
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field CCS Project	Brazil	2013	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	1	無需輸運 (直接注入)	EOR
Boundary Dam Carbon Capture and Storage Project	Canada	2014	商轉	電廠	燃燒後	1	管線	EOR
Quest	Canada	2015	商轉	氫氣生產	工業分離	1	管線	地層 封存
Uthmaniyah CO <sub>2</sub> -EOR Demonstration Project	Saudi Arabia	2015	商轉	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	0.8	管線	EOR
Abu Dhabi CCS Project (Phase 1 being Emirates Steel Industries (ESI) CCS Project)	United Arab Emirates	2016	商轉	鋼鐵業	工業分離	0.8	管線	EOR
Petra Nova Carbon Capture Project	United States	2017	商轉	電廠	燃燒後	1.4	管線	EOR
Alberta Carbon Trunk Line ("ACTL") with Agrium CO <sub>2</sub> Stream	Canada	2017	執行	化肥生產	工業分離	0.3 - 0.6	管線	EOR
Alberta Carbon Trunk Line ("ACTL") with North West Sturgeon Refinery CO <sub>2</sub> Stream	Canada	2017	執行	石化業	工業分離	1.2 - 1.4	管線	EOR

計畫名稱	國別	年別	階段	部門別	技術別	規模 (百萬噸/年)	運輸方式	封存 方式
Gorgon Carbon Dioxide Injection Project	Australia	2017	執行	天然氣加工	燃燒前 (天然氣加工)	3.4 - 4.0	管線	地層 封存
Illinois Industrial Carbon Capture and Storage Project	United States	2017	執行	化工業	工業分離	1	管線	地層 封存
Kemper County Energy Facility	United States	2017	執行	電廠	燃燒前 (氣化)	3	管線	EOR

註：增強石油產能技術(Enhanced oil recovery, EOR)：指將二氧化碳注入油田，提高石油采收率並能封存二氧化碳的技術。

資料來源：整理自 The Global CCS Institute(2017),Large Scale CCS Projects Database.



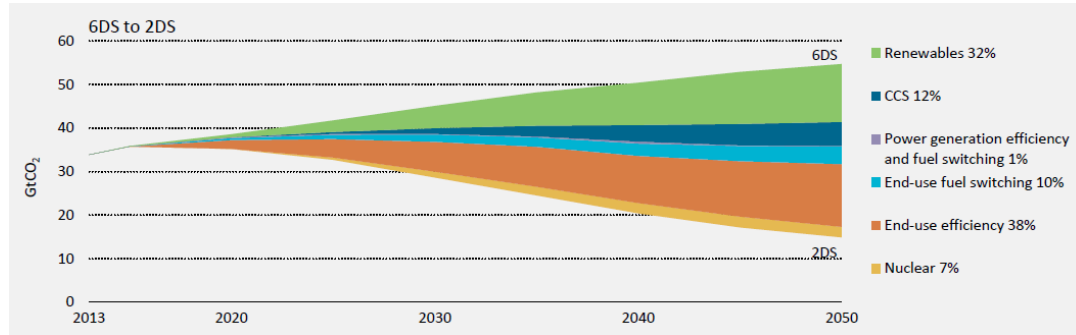
資料來源：Global CCS Institute(2016), 2016 The Global Status Of CCS.

圖1、大規模CCS專案二氧化碳捕捉能力

### 參、巴黎協定目標下之 CCS 重要性

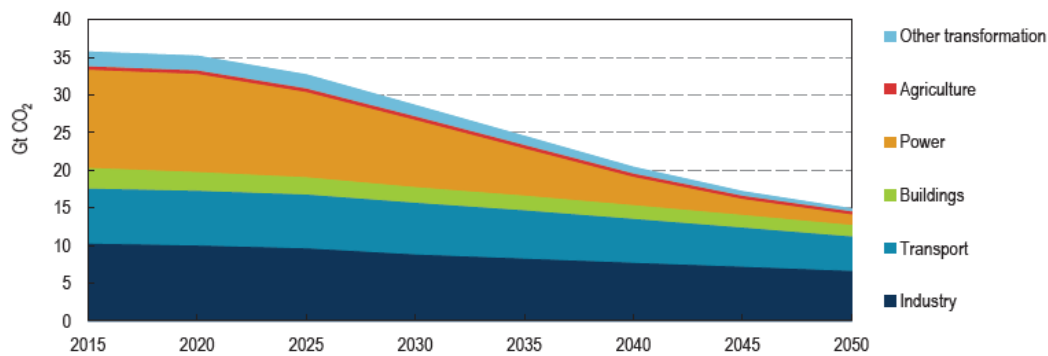
為達巴黎協定全球平均溫升低於 $2^{\circ}\text{C}$ 目標並朝向 $1.5^{\circ}\text{C}$ 目標邁進，全球能源系統需要大量部署低碳技術，以實現低碳能源結構轉型。依據 IEA(2016)能源科技展望報告指出，全球 2050 年由 $6^{\circ}\text{C}$  情境(6DS) 溫室氣體排放水準減量至 $2^{\circ}\text{C}$  情境(2DS)目標，未來減碳關鍵技術包括終端用戶的能源效率提升(38%)、再生能源(32%)及第三位之 CCS(12%)等技術，如圖 2 所示。以部門別排放量而言，電力部門幾乎完全脫碳，除了再生能源應用外，全球約 75%的燃煤發電設施將採行 CCS 技術，未能減排之電廠則以低容量因數運轉，單位發電排放強度從 $500\text{gCO}_2/\text{度}$ 降到 2050 年的 $40\text{gCO}_2/\text{度}$ 。工業部門成為最大的單一排放源，約占總排放量的 45%，其次為運輸業，如圖 3 所示。此統計顯示，提高工業部門能源效率跟使用再生能源雖能減緩排放，但

無助於減少石化、鋼鐵和水泥等工業部門使用碳基燃料需要的排放，導入工業應用 CCS 技術將是現行已知的可行大量減少工業部門排放的策略。



資料來源：IEA (2016), Energy Technology Perspectives 2016.

圖2、2DS情境至2050年全球CO<sub>2</sub>減量技術潛能推估

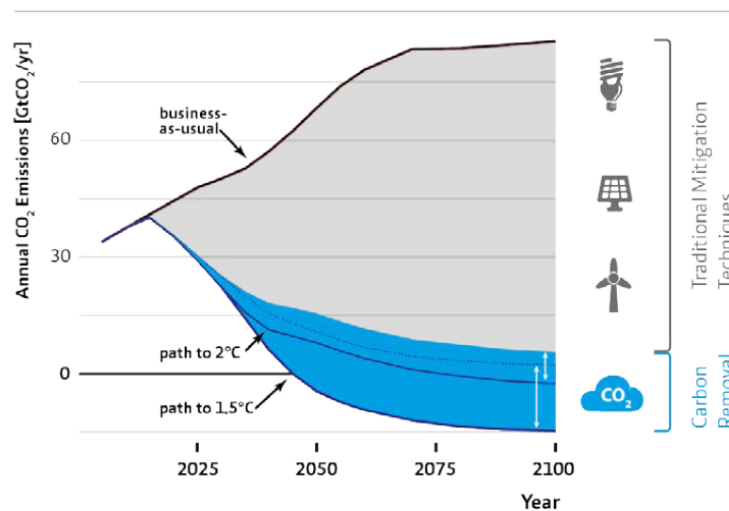


資料來源：IEA (2016), Energy Technology Perspectives 2016.

圖3、2DS情境至2050年各部門溫室氣體排放

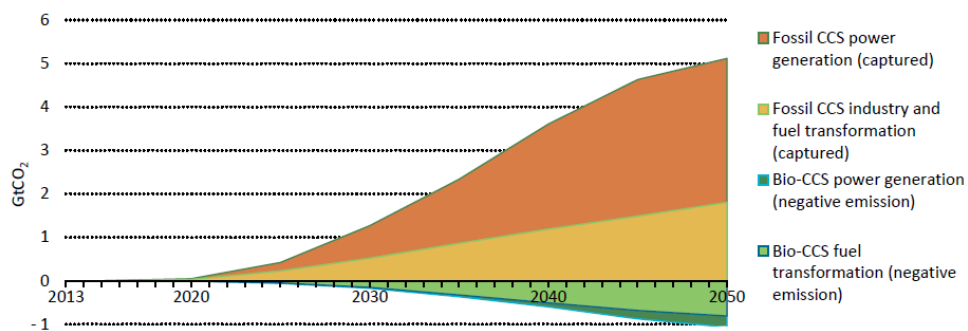
此外，要實現巴黎協定全球溫升 1.5°C 目標，在下半世紀達成淨零碳排放，甚至負排放(如圖 4 所示)，則電力部門需要再降低單位元發電排放強度至 40g CO<sub>2</sub>/度以下，此電力結構使得無減量技術之火力電廠沒有生存的空間，即使燃氣電廠也需要採取減量技術。長期來看，對部署 CCS 技術的火電廠也提出挑戰。另依據政府間氣候變化專業委員會(IPCC)、全球碳捕捉與封存研究所(GCCSI)、墨卡托研究所(Mercator Research Institute)等機構研究結果，生物能源與碳捕捉和封存(Bio-energy with carbon capture and storage, BECCS)為生物能源和碳捕捉與封存相結合(BECCS)的工藝，BECCS 是能夠實現負排放的重要關鍵技術之一，如圖 5 所示。預定於 2017 年商轉的美國伊利諾

斯工業項目 (Illinois Industrial Project) 即是一生產乙醇的大規模 BECCS 專案。



資料來源：IEA (2016), 20 Years of Carbon Capture and Storage.

圖4、負排放在巴黎協定目標的重要性



資料來源：IEA (2016), 20 Years of Carbon Capture and Storage.

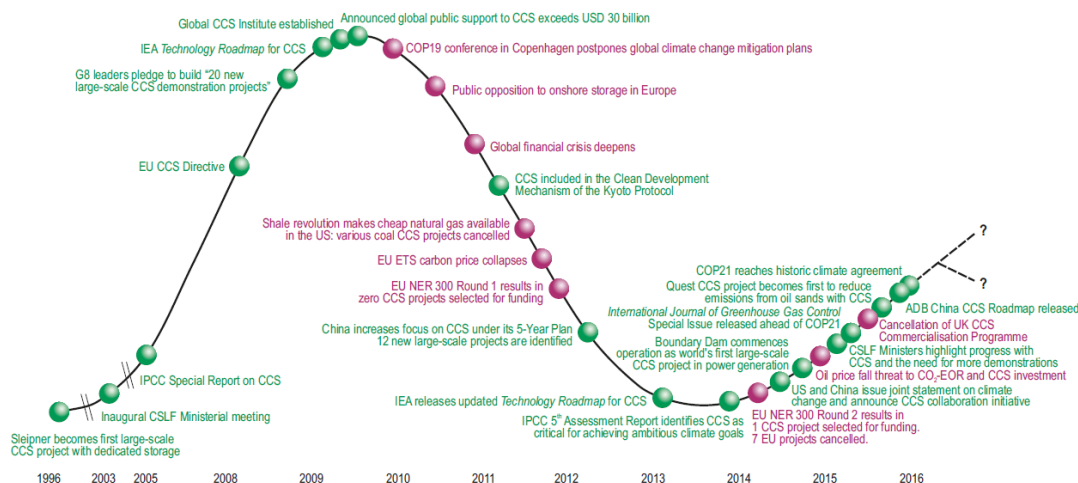
圖5、2DS情境的負排放推估結果

另外，從電力系統穩定角度而言，搭配 CCS 的火力電廠能夠提供穩定、可調度的基載電力和尖峰電力，將是良好的低排放替代方案。

## 肆、CCS 遭遇問題

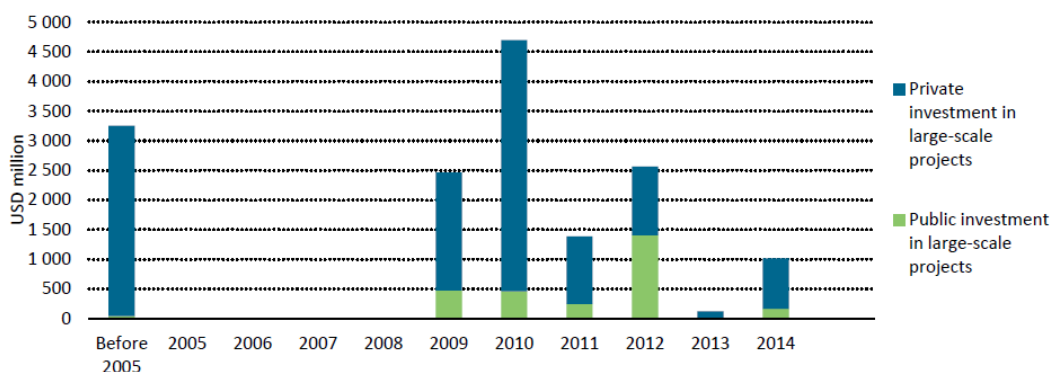
自 2005 年 IPCC 發表「二氧化碳捕捉與封存特別報告(Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage)」後，CCS 被視為重要的二氧化碳減量技術，各國開始發展 CCS 技術，G8 高峰更承諾在 2020

年之前部署 20 個大型 CCS 專案。目前，大型 CCS 專案已有重大進展，至 2017 年底將有 21 個大型 CCS 專案運轉，顯示 CCS 技術並無無法突破的障礙，但 CCS 氣候政策和財政激勵措施起伏不定，缺乏長期穩定支持，不但影響大規模 CCS 專案的投資金額，也形成未來 CCS 技術發展的風險和障礙，如圖 6 及圖 7 所示。



資料來源：IEA (2016), 20 Years of Carbon Capture and Storage.

圖6、CCS氣候政策和財政激勵措施



資料來源：IEA (2016), 20 Years of Carbon Capture and Storage.

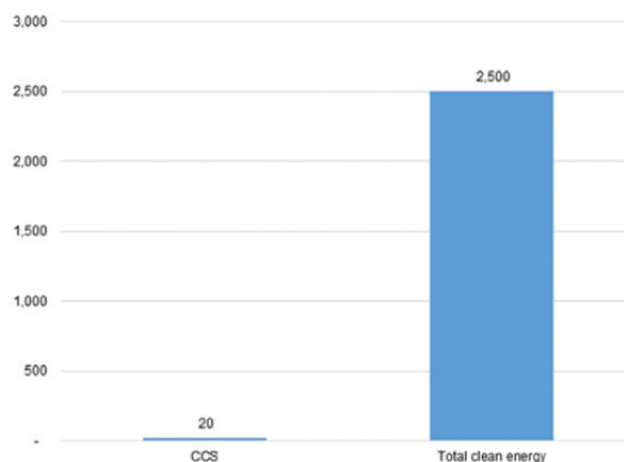
圖7、大規模CCS專案投資金額

本文歸納 IEA(2016)、GCCSI(2016)對 CCS 發展障礙分析如下：

1. 政府高層對 CCS 技術政策支持度不足：各國領袖和能源產業主管機關的普遍觀點為 CCS 技術尚在研發之中，現階段耗時持久且成本昂貴，影響發展意願。此外，2009 年哥本哈根氣候談判未能達成新議定書，2008 年金融海嘯的資金排擠，均

影響各國對 CCS 技術的重要性排序。

2. 發展再生能源的資金排擠：蓬勃發展的再生能源吸引絕大多數的目光，並爭取到大量持續性政府補貼，導致再生能源技術發展迅速且單價持續快速降低，明顯的政策成效又進一步激勵政府高層和支持者。相對於成效不明顯的 CCS 專案，兩者投資金額差距龐大，依據 GCCSI(2016)報告，從本世紀初到 2014 年間，全球對再生能源的累積投資近 2 萬億美元，對 CCS 技術的投資額僅為 200 億美元，相差約百倍，如圖 8 所示。倘未來仍不夠重視 CCS 技術的投資，將影響降低化石燃料排放的關鍵技術發展，進而威脅全球應對氣候挑戰的能力。
3. 公眾反對繼續使用燃煤：環保團體及一般民眾普遍反對使用燃煤，認為 CCS 只是延長燃煤使用壽命，影響政府發展 CCS 技術的意願。



資料來源：Global CCS Institute(2016), 2016 The Global Status Of CCS.

圖8、大規模CCS專案和清潔能源投資金額比較

## 伍、CCS 未來政策方向

CCS 面臨的挑戰眾所周知，然實現巴黎協定的氣候目標需要加速 CCS 的發展和應用，對此，本文參考 IEA(2016)、GCCSI(2016)內容，提出對 CCS 未來發展建議如下：

以下新方法和新思路將有助於推動 CCS 的發展：①政府和行業



應利用改良 CCS 的機會。CCS 具有獨一無二的能力，可解決現有基礎設施中鎖定的碳。②政府應在提高石油採收率技術(Enhanced oil recovery, EOR)中整合監控 CO<sub>2</sub> 的封存(EOR+)。做出相對較小的調整，EOR 即可產生淨減排效應，並能開展可核查的碳封存。③CCS 可大幅降低主要建築和其他產品的碳足跡。政府應採取措施來為低 CO<sub>2</sub> 含量的清潔產品創造市場。④鑒於許多氣候模型中實現控溫 2°C 甚至低於 2°C 的目標都要依賴於生物質結合碳捕捉和封存(BECCS) 技術，促進達成未來負排放目標需要儘早部署 BECCS。⑤碳捕集、運輸和封存的的不同商業模型可解決已營運及預定營運專案所面臨的挑戰，行業和政府應探索新方法來為 CCS 項目融資。

再生能源和節能在現今國際清潔能源議題中日益受到重視，而碳捕捉與封存相關議題也需更進一步的討論，其要點如下：

1. 改變對 CCS 技術的認知：CCS 可解決現有電力部門基礎設施跟工業部門碳鎖定的技術，政府和行業應認知 CCS 技術在長期氣候減量目標的減量潛力，並明確宣示 CCS 為值得投資的低排放技術，作為國家減量貢獻(NDC)的重要組成策略。
2. 研訂公平的政府政策：在政策擬定上逐步強化，以給予 CCS 與其它低碳技術相等水準的關注、認可和支援，使之達到與長期氣候目標相應水準的能力。
3. 加強法律和監管發展：持續加強 CCS 法律和監管架構，這對能夠安全和永久封存二氧化碳至關重要。這意味著需要設計和實行為 CCS 技術及其生命週期階段特別量身訂定的支持措施，同時制定合適的法律與監管框架。
4. 推廣 CCS 教育和宣傳：儘管專家長期重視 CCS 在實現全球減排目標的價值，但政府高層及公眾對 CCS 技術的認識程度偏低。透過社區教育和宣傳、反覆的積極互動，加深公眾參與的程度以建立彼此信任關係，並支持 CCS 教育工作，擴大教育範圍和解決誤解，將有利於 CCS 技術推廣。

## 陸、結語

CCS 技術是達成巴黎協定長期目標及淨零排放的重要組成策略之一，亦為解決現有電力部門基礎設施跟工業部門碳鎖定的關鍵技術。然受限於缺乏政府立法及政策的支持、發展再生能源的資金排擠、公眾反對募集資金困難等諸多因素，全球大型 CCS 計畫發展趨緩。因此，各國應該改變對 CCS 技術的認知，明確宣示 CCS 為值得投資的低排放技術，在政治層面公平的協助推動 CCS 技術發展，並加強法律和監管發展、推廣 CCS 教育和宣傳，才能確保 CCS 技術至 2050 年能夠實際發揮減量潛力，否則將產生嚴重的減量缺口。

另外，我國發電結構高度仰賴化石能源，即使推動非核家園、積極擴大再生能源使用，未來電力結構仍以再生能源 20%、天然氣 50%、燃煤 30% 為目標，化石能源占比仍達 80%，面對「溫室氣體減量與管理法」所訂 2050 年溫室氣體排放量降至 2005 年以下目標，仍將有電力部門基礎設施碳鎖定問題。因此，建議政府在政策面上宣示積極推動 CCS 發展方向，並加強法律和監管發展、推廣 CCS 教育和宣傳，以做為我國 CCS 技術發展應用的基礎。

## 柒、參考資料

1. Global CCS Institute(2016), 2016 The Global Status Of CCS.
2. Global CCS Institute(2017), Large Scale CCS Projects Database.
3. IEA(2016), 20 Years of Carbon Capture and Storage.