



發展無碳電力憑證以支持全球火力電廠淨零轉型為碳捕存電廠

左峻德・陳映蓉・尤晴韻・許中駿

因應全球淨零排放與減碳壓力，許多國家立法推動再生能源、氫能及CCS技術，邁向2050無碳目標。CCS是IEA建議的關鍵淨零技術，促進能源由化石燃料轉向清潔能源，而結合CCS與火力電廠，透過無碳電力憑證佐證環境效益，可減輕初期成本壓力，並支援企業在再生能源不足時供應無碳電力，實現24/7全時使用無碳能源的目標。推動CCS火力電廠作為無碳備援電力，除能穩定供電，亦可助力淨零轉型與經濟永續發展，繼而減少碳邊境稅壓力。

2050年淨零排放已是國際長期共識，為有效降低全球暖化及氣候變遷危機，各國政府紛紛宣告減碳目標與要求，政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)和國際能源總署(International Energy Agency, IEA)皆指出碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)是任何長期減排戰略中不可或缺的關鍵技術，亦是建構全球電力系統轉型所需最低成本的技術組合，在支持能源安全和氣候目標中發揮至關重要的作用。

本研究將探討以無碳電力憑證支持全球火力電廠淨零轉型為CCS電廠，藉由介紹電力部門淨零轉型與CCS發展趨勢、國際現行能源屬性憑證與CCS相關方法學，進而說明CCS火力電廠及其相關無碳電力憑證制度，以擴大無碳能源市場供應，形成CCS火力電廠產業生態系，滿足企業追求24/7全時使用無碳電力之需求，同時支援電力部門達成全時碳中和與電力系統去碳化目標。

目前加拿大與美國皆有燃煤電廠配備CCS技術，加、美分別投資15億及10億美元，並已達到商業化運轉的實際案例，英國則投注15億英鎊，規劃以新建的燃氣電廠配備CCS技術，希冀解決火力電廠未來發展或去碳化問題。



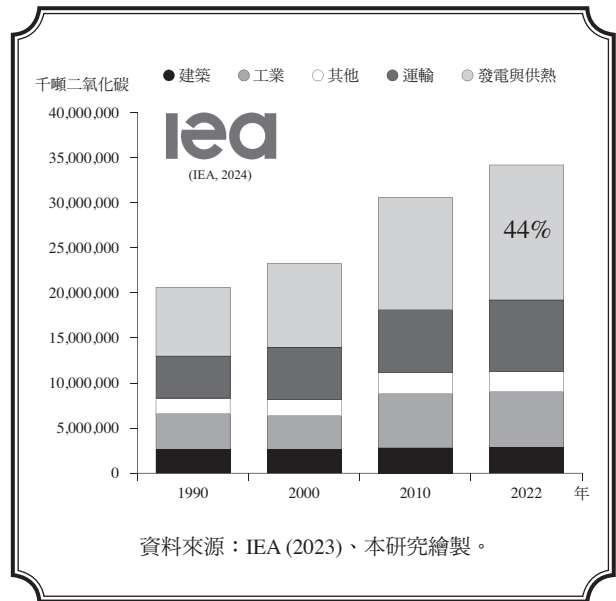
電力部門淨零轉型與CCS發展趨勢

隨著國際對淨零發展的共識不斷加強，各國相繼承諾實現淨零目標，對再生能源的需求亦將持續增加，但可供應的再生能源將面臨供給不足的挑戰，因其發電特性的不穩定、地理限制和儲能能力等，將影響電力用戶在特定時段達成使用再生能源的可能性，無法100%使用再生能源電力，達成全時碳中和目標。在此現況下，化石燃料仍是目前能源供應的主要來源之一，且其相關轉化為能源的技術相對成熟，短期內此傳統能源仍將占據全球能源供應的主要地位。

為應對日益增長的電力需求及推動全球清潔能源發展，國際已有許多針對化石燃料且對環境影響小的橋接技術研究，但2023年IEA以能源數據資料探討溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG)排放，顯示儘管全球努力對電力部門去碳化，但2022年發電和供熱的排放量仍占燃燒化石燃料產生的碳排放量近44%（圖1），其中又以燃燒燃煤等燃料發電的排放量占73%為最大宗。而2024年全球能源監測(Global Energy Monitor)統計全球108個國家的火力電廠之機組數量、裝置容量、發電量和燃料類型等資訊，約有8,330座化石燃料火力電廠，包含2,973座燃煤、5,357座燃氣及燃油電廠（圖2）。由此顯示，化石燃料火力電廠的減碳作為已是刻不容緩。

2023年聯合國氣候變化綱要公約第28次締約方大會(28th Conference of the Parties, COP 28)

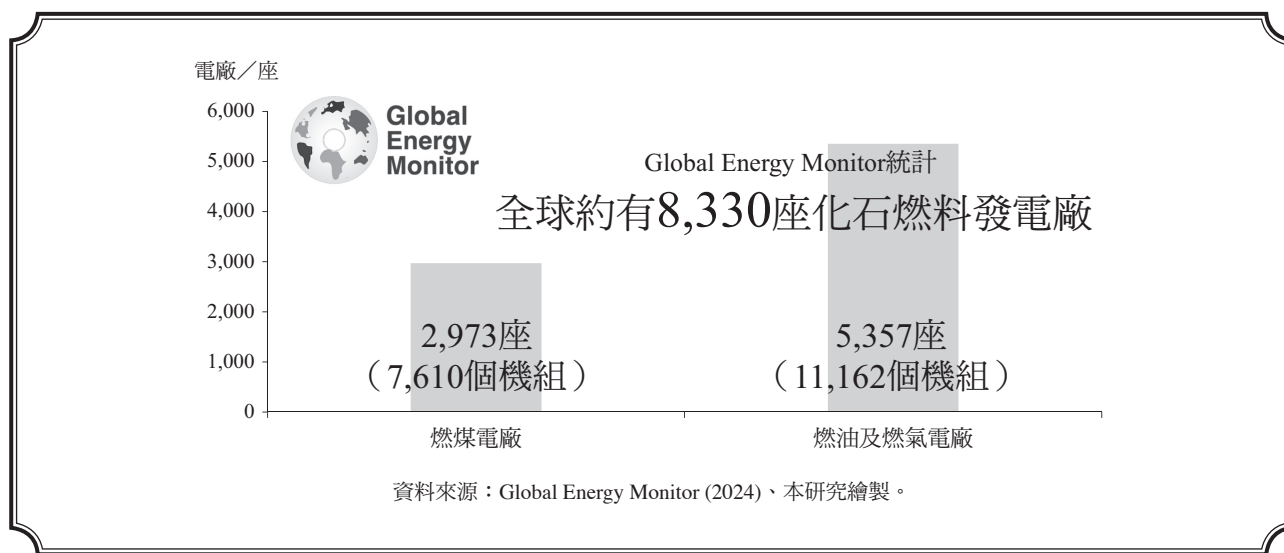
圖1 全球燃燒化石燃料供應不同部門發電與供熱之二氧化碳排放量



中，亦更明確指出全球脫離化石燃料之發展方向，該大會決議加速減少未加裝減排設施之燃煤發電，目標2030年減排43%，2035年減排60%，以利2050年達到淨零目標，亦呼籲2030年全球再生能源之產能需增加兩倍，以減少煤炭使用，同時加快CCS技術發展，協助難以減排的產業實現去碳化目標。

2021年聯合國能源組織(UN-Energy)提出「24/7無碳能源」(24/7 Carbon-Free Energy Compact)倡議，旨將全球電網改造透過推進24/7無碳能源實現「淨零」，使人人享有每小時、每天、無處不在的清潔能源。依據其2024年定義無碳能源技術，分為：(1)再生能源：太陽能、風能、地熱、永續生質能與水力發電等；(2)非再生能源：儲能、低碳氫能、核能及

圖2 全球化石燃料火力電廠統計資料



碳捕捉與封存(CCS)技術等。此外，美國國家環境保護局(US EPA)亦將「來自化石燃料發電並符合要求進行碳捕捉與封存」者，定義為「無碳電力」(Carbon pollution-free electricity, CFE)的一種形式。由國際趨勢顯示，火力電廠導入CCS技術不僅有助於大幅減少電力部門的碳排放，亦能確保穩定的電力供應，滿足企業對低碳或無碳電力的需求。透過CCS技術，火力電廠可在未來的淨零過渡期中發揮關鍵作用，推動能源轉型目標的實現。

火力電廠導入CCS技術之現況與趨勢

依據2020年IEA提出「CCUS在低碳電力系統中的角色」報告，對於仰賴化石燃料發電的國家而言，碳捕捉、利用與封存(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)技術可能因其現有基礎設施或國內豐富的石化資源而更具重要

價值。而其他能源技術可能會受到限制，例如太陽光電與風電等再生能源因發電時間或季節的差異性和不確定性，或相關設備的土地可用性有限，風能和太陽能發電廠比配備CCUS的電廠占地更大，可能會導致選址受到限制。綜上所述，透過CCUS可解決以化石燃料為來源之火力電廠未來發展或去碳化問題。

近年來各國積極投入CCS技術發展，依全球碳捕捉與封存研究所(Global CCS Institute, GCCSI)之「2024全球CCS概況」報告指出，全球CCS設施截至2024年已達到628座，其包含50座營運中、44座興建中、247座設計中及287座規劃中，總捕捉量約達416百萬噸。而目前國際有加拿大與美國皆有燃煤電廠配備CCS技術，並達到商業化運轉的實際案例，英國則規劃以新建的燃氣電廠配備CCS技術，依據各計畫所提出之相關報告顯示(圖3)，CCS火力電廠的



圖3 國際指標性CCS火力電廠案例



初期投資金額皆相當高昂，相關介紹如後。

（一）加拿大Boundary Dam CCS燃煤電廠

加拿大Boundary Dam是一座由SaskPower電力公司在位於薩斯喀徹溫省營運的燃煤電廠，其總裝置容量為824百萬瓦(MW)，廠內共有六組機組，其中兩個機組已退役，而為支持加拿大的低碳電力系統發展，該電廠的第三號機組於2014年進行鍋爐改建、汽機更換並導入CCS設備，成為史上第一座整合商轉燃煤電廠的大型CCS計畫，該機組原總裝置容量為139百萬瓦，經改造後升級至160百萬瓦，以提供CCS設施額外用電需求。

該計畫營運至2024年6月，已累計捕捉約626

萬噸二氧化碳，捕捉的二氧化碳約有90%透過管線輸送至Weyburn油田進行強化採油回收(Enhanced Oil Recovery, EOR)，其餘10%則輸送至距離電廠三公里外的Aquistore碳封存場址進行永久封存。Boundary Dam CCS計畫總成本為15億美元。

（二）美國Petra Nova CCS燃煤電廠

美國德州的Petra Nova CCS計畫是目前全球最大的規模的商轉燃煤電廠碳捕捉示範場，由美國NRG能源公司(NRG Energy)及日本JX石油天然氣探勘公司(JX Nippon Oil & Gas Exploration)於2014年共同開發，並於2017年開始營運，目前由JX石油天然氣探勘公司作為獨立營運商。

Petra Nova CCS計畫每日捕捉W.A.Parish燃煤電廠八號機組（240百萬瓦）所產煙道氣中約4,776公噸二氧化碳，捕捉後的二氧化碳經壓縮並透過約130公里管線運輸至West Ranch油田進行EOR，營運至2021年間已累計捕存超過380萬噸二氧化碳。Petra Nova計畫總投資為10億美元。

（三）英國NZT Power CCS天然氣電廠

NZT Power係為英國特茲河畔米德爾斯堡的大型氫能源與CCS計畫，其位於英國Teesside去碳工業區的減碳中心，將成為世界上首個新設商業級規模的燃氣電廠配備CCS技術，計畫由英國石油公司bp和挪威國營石油公司(Equinor)合資企業投入，bp作為營運商，預計2027年開始營運。

NZT計畫將新建860百萬瓦複循環發電機組(Combined Cycle Gas-Turbine, CCGT)，每年將為多達130萬戶家庭供電，捕捉後的二氧化碳將透過管線運送至北海145公里外海域封存場址(Northern Endurance)封存於地底深一公里，預計年捕存量將達200萬噸。NZT Power計畫總投資預估為15億英鎊。

目前國際上尚無針對CCS的無碳電力憑證制度，現有憑證僅認可再生能源。澳洲和美國加州的計量方法學僅計算碳捕存量，CCS火力電廠的無碳電力不符合現有憑證範疇，無法證明環境效益；因此，需建立無碳電力憑證及其國際標準。

國內外既有能源屬性憑證制度與CCS相關方法學

對於用電消費者而言，從具有認證追蹤制度的能源屬性憑證(Energy Attribute Certificate, EAC)系統可得知電力的生產方式與來源，若使用之電力屬於無碳電力，該憑證是作為電力消費者宣告使用無碳電力之證明，其將電力的環境效益價值化。本研究為探討可證明CCS火力電廠之環境效益的憑證制度，以下將介紹國內外既有能源屬性憑證制度及CCS相關計量方法學。

（一）國內外既有能源屬性憑證制度

1.歐洲電力來源保證

歐盟的原產地保證(Guarantee of Origin, GO)是使用綠電的認證制度，該制度是在2001/77/EC號指令(Directive 2001/77/EC)下，2005年由發證機構協會(Association of Issuing Bodies, AIB)發布歐洲能源憑證制度(European Energy Certificate System, EECS)的規則，接續歐洲標準委員會(European Committee for Standardization, CEN)參考EECS的規則，於2013年制定歐洲標準(European Normalisation, EN) - CEN EN 16325，整合現有的相關指令及自願性憑證計畫，並建立GO的標準化及確保所有國家的GO可靠性，爾後EECS再將此標準納入修訂規則中，並據此核發憑證，作為用於跨國能源憑證交易的標準化系統，以促進歐洲國家間的再生能源和能源來源的交易和相互認可。

2.再生能源憑證



I-REC係由國際再生能源憑證標準基金會(International Renewable Energy Certificate Foundation, I-REC Standard)所提出的再生能源憑證系統，其為電證分離系統，亦是國際通用的EAC。I-REC具備克服再生能源發電業與終端消費者間的物理距離障礙，進而達成綠電交易之優勢。運作方式為發電商向I-REC發行單位(I-REC Standard委託經銷商)繳交發電商基本資料、註冊發電設備、申請再生能源憑證發行，發電商取得憑證後，可將再生能源憑證交易並轉移至交易者帳戶，再轉移至電力供應商帳戶，一旦完成所有轉移程序至電力使用終端消費者，憑證即會從系統中註銷。憑證追蹤單位為各國國家電網營運商、國家監管機構或公共機構。

3. 非化石能源證書

日本的《能源供給結構高度化法》規定零售電力業者在2030年供應非化石電源比率應達44%以上，故於2018年創設非化石價值交易市場，以利於零售電力業者可透過購買非化石能源證書(Non-Fossil Certificate, NFC)實現該目標。NFC分為FiT NFC和non-FiT NFC。FiT NFC將再生能源躉購費率制度(Feed-in Tariff, FiT)的電力賦予綠電證書，可在市場進行拍賣交易。non-FiT NFC的供應來自結束躉購及後躉購(與政府簽約後十年)計畫的案場，其亦有對應的NFC。NFC證書上記載電源種類和發電設備等相關的可追溯性資訊，並記載電源的屬性資訊，以彰顯電力的環境價值。在這個市場上，日本限定只有零售電力業者才可以購買非化石

證書，用戶必須透過零售電力業者購買，NFC推動上採取先行推動再生能源的FiT非化石證書交易，於2020年度開始擴大實施包括核能的全部非化石證書交易。

4. 台灣再生能源憑證

台灣再生能源憑證(Taiwan Renewable Energy Certification, T-REC)主要確認電力源自於再生能源設備，可將該電力視為綠色電力，並得據此進行相應的環境效益使用、宣告。為確保再生能源憑證正確地反映再生能源電力發電量，且不會重複計算，故以智慧電表紀錄每15分鐘及相關時間電價時段發電與用電量，建立再生能源發用電的實體連結(Physical Link)，以確保「電證合一」符合電力交易市場環境效益要求。

(二) 國際CCS相關方法學

1. 澳洲碳信用額(碳匯農業倡議——CCS)量測方法學

澳洲工業、能源和減排部(Ministry for Energy and Emissions Reduction)於2021年提出「碳信用額(碳匯農業倡議——碳捕捉與封存)量測方法學」，針對CCS計畫的封存活動進行GHG量測、估計和計算，以核算CCS專案的淨減排量。其適用計畫包含：(1)從單／多個捕捉點捕捉GHG；(2)將GHG輸送到單／多個封存場址；(3)於單／多個注入點將GHG永久注入封存場址；(4)預期符合條件的碳減排量。但其排除EOR、強化採氣回收(Enhanced Gas Recovery, EGR)及直接空氣捕捉(Direct Air Capture, DAC)等計畫。

2.美國加州低碳燃料標準下的碳捕捉和封存協議

2018年美國加州空氣資源局(California Air Resources Board, CARB)發布「低碳燃料標準下的碳捕捉和封存協議」，其適用於捕捉二氧化碳並將其封存到陸域、含鹽或耗竭油氣田或用於EOR之計畫。其以CCS的會計要求，界定系統邊界涵蓋CCS計畫中所有二氧化碳來源、匯和儲集層(Sources, Sinks, and Reservoirs, SSR)，在量化二氧化碳封存的減排量時，系統邊界內的所有SSR都須納入考慮，也因CCS計畫類型不同，故為運作CCS計畫所產生的額外能耗亦需計算。

以無碳電力憑證機制擴大企業達成全時碳中和選項

既有能源屬性憑證主要用以證明電力來自再生能源，使企業得據此綠色電力進行相應的環境效益使用與宣告。淨零轉型目標下，各國積極推動再生能源、儲能和氫能等淨零科技，但由於自然資源的不穩定性，再生能源受限於不同年、季、時的發電特性，進而影響用戶達成特定再生能源電量使用比例之目標，亦導致部分用戶需支付額外費用卻無法取得能源屬性憑證的課題。

為滿足企業達成全時碳中和的需求，且CCS為聯合國定義之無碳能源技術，透過CCS可解決以化石燃料為來源之火力電廠去碳化問題，且其電力可補足企業於特定再生能源不穩定時段時的無碳電力需求，當火力電廠裝設CCS設備，將電廠排放之二氧化碳捕捉後永久封存，

可依實際捕捉及封存的二氧化碳規模，配合科學量化方式，認列為無碳電力(Carbon-Free Electricity, CFE)，核發相對應規模之憑證制度，透過將其環境效益市場價值化，使用戶可具體化宣告使用此類型無碳排發電設備電力的環境效益，且亦有機會鼓勵能源消費者按其偏好或需求，選擇使用環境友善或對環境影響較少的無碳能源來源。

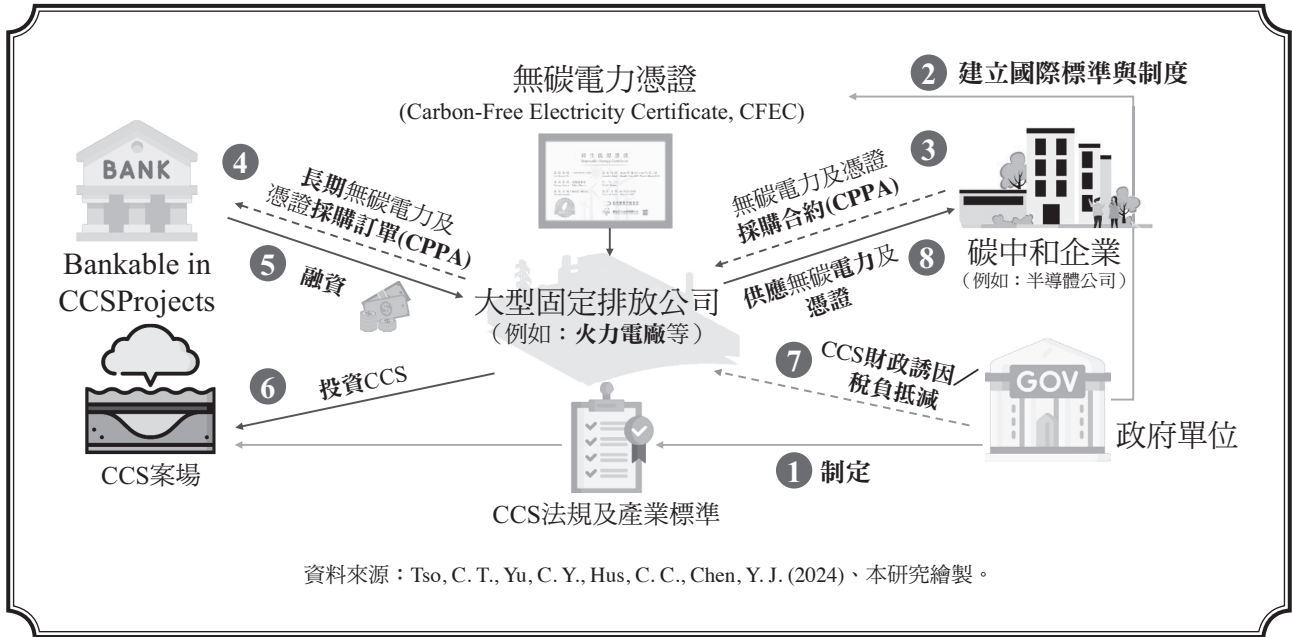
然而，目前國際上並未有CCS相關無碳電力憑證制度及其核算標準，既有的能源屬性憑證制度皆是認可再生能源設施之電力。至於CCS相關的計量方法學方面，澳洲與美國加州均有提出和CCS相關的方法學，但相關方法學皆僅計算碳捕存的量。而現階段CCS導入火力電廠所發出的無碳電力並不符合上述憑證制度認可之範疇，且電力部門導入CCS所發出來的無碳電力，目前國際並無一個核算方法或憑證可證實其環境效益。由此顯示，現行的憑證制度與方法學間尚有可證明CCS火力電廠之無碳電力環境效益的缺口，故實有發展及建構無碳電力憑證及其國際標準的必要性。未來若建立可適用於CCS火力電廠的憑證，其可稱為「無碳電力憑證」(Carbon-Free Electricity Certificate, CFEC)，是代表特定無碳能源的能源屬性之證明工具。以下將進一步介紹以CFEC建構CCS火力電廠生態系及其所需之國際標準技術規範的概念。

(一) 無碳電力憑證建構碳捕捉與封存電廠生態系之概念

無碳電力憑證可被視為能源屬性憑證，旨



圖4 碳捕捉與封存電廠生態系



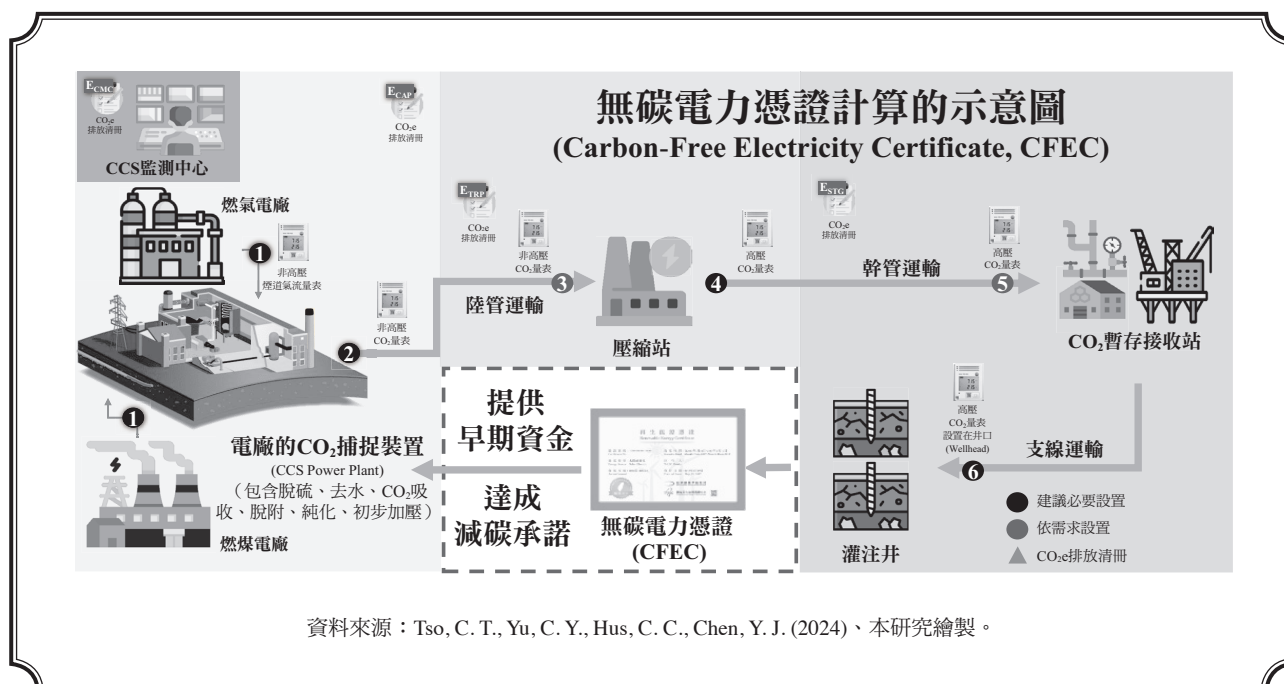
將火力電廠導入CCS後所產生之環境效益市場價值化，作為電力消費者宣告使用無碳電力的關鍵工具，碳中和企業可藉由購售電合約(Corporate Power Purchase Agreement, CPPA)參與CCS早期推動計畫，以減輕高排放電廠設置CCS設備之資金壓力，加速電廠的淨零轉型。因此，CFEC是傳統火力電廠面對淨零轉型的重要幫手，亦是建構CCS火力電廠產業生態系(圖4)關鍵。

政府制定完善的CCS法規與產業標準，並建立相關憑證制度後，便可證明CCS火力電廠的無碳電力具環境效益，以作為支持企業宣告其產品使用無碳電力生產的證明，並符合如歐盟《碳邊境調整機制》(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)及美國《清潔競爭法案》

(Clean Competition Act, CCA)等國際綠色貿易規範，以及碳揭露計畫(Carbon Disclosure Project, CDP)與再生能源倡議(RE100)的要求。此外，此憑證制度可仿效台灣的T-REC，將CCS火力電廠的碳捕存量計算方式科學化、標準化並憑證化，以促進無碳電力交易市場運作。

當無碳電力憑證制度完善，碳中和企業可與大型固定排放公司(例如：火力電廠)簽訂長期CPPA以取得穩定的無碳電力供應。火力電廠則可憑藉此商業模式，以與企業簽訂之CPPA作為還款依據，向銀行進行融資貸款，或使政府更有餘裕地提供補助與資金支持，以減輕設置CCS設備的投資資金壓力，加速電廠的淨零轉型。最終，待CCS計畫完全落地實行後，大型固定排放公司便可將其所發出之無碳電力及其

圖5 無碳電力憑證計算的示意圖



環境效益，透過無碳電力憑證以電證合一的模式轉移給碳中和企業，使企業得以宣告使用無碳能源。

(二) 無碳電力憑證所需之國際標準技術規範

有鑑於CFEC是擴大企業達成24/7全時碳中和的新選項，以科學量化方法計算CCS火力電廠之無碳電力發電量，有建立其國際標準規範之必要性。在2023年即由台灣、美國、英國、日本、德國、法國、加拿大與澳洲等八個國家共20家CCS領導企業（包含：國際電廠營運商、油氣產業領導公司、CCS技術服務公司、工程顧問公司與CCS研究組織等）發起CFEC概念，並與英國標準協會(British Standards Institution, BSI)合作建立「二氧化碳捕捉、運

輸及封存——無碳電力之監測與核算規範」(PAS 247: Carbon-free electricity - Monitoring and quantification for carbon capture, transportation and storage - Specification)，旨在規範化石燃料火力電廠配備CCS設施後的監測與核算無碳當量電力之方法。

無碳電力的核算要素相當廣泛（圖5），在化石燃料火力發電廠經由CCS過程後，可透過CCS流程中所設置之二氧化碳量表可測得捕存當量，將總封存當量扣除為運作CCS設施所產生的外加性能耗之二氧化碳當量後，即為二氧化碳淨捕存當量(Net CO₂e Storage)，進而轉換成電力當量，則稱為無碳電力(CFE)。透過該標準技術規範之CCS量表設置及監測規範，將真



實反映實際無碳電力及其憑證發生之事實。

結論與建議

因應全球淨零排放趨勢及供應鏈減碳壓力，許多國家已立法推動淨零轉型，以再生能源、氫能、火力發電加裝CCS等技術邁向2050無碳目標。其中，CCS技術是IEA建議的重要淨零路徑，也是能源從化石燃料過渡到清潔能源的代表性技術。

過去既有再生能源憑證制度促進再生能源市場的發展，未來若結合CCS與火力電廠，並以CFEC證明環境效益，將有助於減輕高排放電廠設置CCS設備的初期資金壓力，而建構與形成CCS火力電廠產業生態系，將協助企業以CCS電廠提供之無碳電力，補足於特定再生能源不穩定時段時的用電需求，達成多贏局面。此外，推動CCS火力電廠作為無碳電力備援，可確保供電穩定，支援國家達成淨零轉型及經濟永續發展。同時，建立CFEC制度與制定其所需之國際標準規範，將擴大企業採購無碳電力的選項，支持其24/7全時使用無碳能源的目標，提升出口產品的競爭力，並減少碳邊境稅的壓力。

（作者為台灣經濟研究院副院長、助理研究員、研究一所副所長、副研究員）

■ 參考文獻

1.24/7 Carbon-Free Energy Compact, "Frequently Asked Questions - What does Carbon-Free Energy include? & What Carbon-Free Energy

technologies and resources are available today?", <https://reurl.cc/rvn7Xy>

2.AIB (2023), "EECS® Rules", <https://www.aib-net.org/eecs/eecsr-rules>

3.BSI (2015), "Guarantees of Origin related to energy - Guarantees of Origin for Electricity (BS EN 16325:2013+A 1:2015)".

4.BSI (2024), "PAS 247: 2025 Carbon-free electricity – Monitoring and quantification for carbon capture, transportation and storage - Specification (Draft)".

5.California Air Resources Board (2018), "Carbon Capture and Sequestration Protocol under the Low Carbon Fuel Standard".

6.Carbon Capture Journal (2020), "Petra Nova's Carbon Capture System works - and has proved its worth", <https://reurl.cc/E6aAra>

7.East Coast Cluster, <https://eastcoastcluster.co.uk/#timeline>

8.EPA (2023), "Carbon Pollution-Free Electricity at EPA", <https://reurl.cc/vv8Mpe>

9.GCCSI (2024), "Global Status of CCS 2024".

10.IEA (2023), "Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer", <https://reurl.cc/vv8Mka>

11.IEA (2021), "Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector".

12.IEA (2020), "The role of CCUS in low-carbon power systems".

13.IPCC (2024), "Carbon Dioxide Removal and Carbon Capture Utilisation and Storage in AR6

- WGIII", <https://reurl.cc/WNVnD5>
- 14.JX Nippon Oil & Gas Exploration (2023), "Decarbonization Business JX Nippon".
 - 15.Ministry for Energy and Emissions Reduction (2021), "Carbon Credits (Carbon Farming Initiative-Carbon Capture and Storage) Methodology Determination 2021".
 - 16.National Renewable Energy Certification Center, <https://www.trec.org.tw/en>
 - 17.NET Power, "Delivering a Net Zero Teesside", <https://reurl.cc/kyQ6X9>
 - 18.NET Power (2020), "System Value to UK Power Market of Carbon Capture and Storage June 2020"
 - 19.Nuria S. B., Robert S., Holger R. (2021), "Methane Pyrolysis for Zero-Emission Hydrogen Production: A Potential Bridge Technology from Fossil Fuels to a Renewable and Sustainable Hydrogen Economy", Ind. Eng. Chem. Res. 60, pp.11855~11881.
 - 20.Reitenbach, G., "SaskPower's Boundary Dam Carbon Capture Project Wins POWER's Highest Award", <https://reurl.cc/eyZrdm>
 - 21.Renewable Energy Institute (2023), "Renewable Electricity Procurement Guidebook", <https://reurl.cc/ZVzmyg>
 - 22.SaskPower (2024), "BD3 Status Update: Q2 2024", <https://reurl.cc/93QI7v>
 - 23.Texier, M. (2021), "A timely new approach to certifying clean energy", <https://reurl.cc/7dWa01>
 - 24.Tso, C. T., Yu, C. Y., Hus, C. C., Chen, Y. J. (2024), "Developing CFEC to Support Global Net Zero Transition of Thermal Power Plants to CCS Power Plants", The 19th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems.
 - 25.U.S. DOE (2020), "Petra Nova-Final Scientific/Technical Report".
 - 26.UN, "24/7 Carbon-Free Energy Compact", <https://reurl.cc/Gpl1pp>
 - 27.Volcovici, V., Dickie, G., James, W. (2023), "Nations strike deal at COP28 to transition away from fossil fuels", <https://reurl.cc/xvkRpz>
 - 28.左峻德、尤晴韻、陳映蓉、鄭允勝、陳柏誼、于子嵐、林軒如，「臺灣推動碳捕捉與封存技術對淨零碳排之影響」，臺灣能源期刊，第10卷第3期，頁189~212，2013年9月。
 - 29.左峻德、陳彥豪、尤晴韻、陳映蓉、鄭允勝，「化石燃料電廠淨零轉型策略芻議」，台電工程月刊，第886期，頁1~14，2022年6月。
 - 30.Global Energy Monitor (2024), Global Coal Plant Tracker.
 - 31.Global Energy Monitor (2024), Global Oil and Gas Plant Tracker.