

能源屬性憑證制度之國際發展與無碳電力憑證建構之初探

International Developments in Energy Attribute Certificate Systems and a Preliminary
Exploration of Carbon-Free Electricity Certificates

陳映蓉*
Chen, Ying-Jung

左峻德**
Tso, Chunto

林軒如**
Lin, Hsuan-Ju

尤晴韻**
Yu, Ching-Yun

許中駿**
Hsu, Chung-Chun

郭婷瑋***
Kuo, Ting-Wei

劉雅瑄*
Liou, Ya-Hsuan

摘 要

為因應全球淨零轉型趨勢，能源屬性憑證制度已成為各國推動電力減碳與環境資訊揭露之核心機制。目前多數制度僅涵蓋再生能源電力，對於導入碳捕存技術之火力電廠所產生之去碳電力，尚缺乏明確之核算與認證架構。本文首先研析歐盟、美國、澳洲、日本及臺灣現行能源屬性憑證制度設計，解析其對電力來源分類、環境屬性標示及交易機制之運作方式，進一步以碳捕存去碳電力之國際標準為基礎，本文分析去碳電力之計量邊界、碳捕捉量與外加性排放量之核算邏輯，並說明其如何作為建置無碳電力憑證制度之技術依據。透過導入標準化計量與第三方查驗機制，該制度可強化無碳電力之可驗證性與交易透明度。若能進一步結合企業長期購電合約與綠色金融工具，將有助於降低碳捕存電廠之初期資本投資風險，提升專案可行性，並補足再生能源供電間歇性限制，健全我國未來多元去碳電力供應架構。

Abstract

With the accelerating global shift toward net-zero emissions, Energy Attribute Certificate (EAC) systems have become a central mechanism for facilitating electricity-sector decarbonization and enhancing transparency in environmental disclosures. Most existing EAC schemes focus exclusively on renewable electricity and lack a clear accounting and certification framework for carbon-abated electricity produced by fossil-fuel power plants equipped with carbon capture and storage (CCS) technologies.

This study first analyzes the design and operational features of EAC systems in the European Union, the United States, Australia, Japan, and Taiwan, including electricity-source classification, environmental attribute labeling, and market transaction mechanisms. Building on emerging international standards for CCS-based carbon-abated electricity, the paper further examines the accounting logic for defining measurement boundaries, quantifying captured CO₂, and determining

*國立臺灣大學地質科學研究所

**財團法人台灣經濟研究院

***台灣電力公司綜合研究所

additional emissions. It then explains how these technical elements can serve as the foundation for constructing a Carbon-Free Electricity Certificate (CFEC) system.

By introducing standardized measurement methodologies and third-party verification processes, a CFEC framework can strengthen the verifiability and market transparency of carbon-abated electricity. When integrated with corporate power purchase agreements (CPPAs) and green financial instruments, such a system may help reduce the upfront capital risks of CCS deployment, enhance project feasibility, and mitigate the intermittency limitations of renewable energy, ultimately supporting a more diversified and resilient carbon-abated electricity supply structure for Taiwan.

關鍵詞(Key Words)：淨零排放(Net Zero Emissions)、碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)、能源屬性憑證制度(Energy Attribute Certificate, EAC)、無碳電力憑證(Carbon-Free Electricity Certificates, CFEC)。

壹、前言

在全球推動淨零排放的趨勢下，如何建構穩定、可驗證且具環境效益的電力市場，已成為能源政策與產業轉型的關鍵課題。為強化再生能源推動與電力來源揭露，各國紛紛建立與導入能源屬性憑證(Energy Attribute Certificate，以下簡稱 EAC)制度，透過數據揭露與制度化管理，賦予綠電環境價值，並作為企業達成百分之百使用再生能源(以下簡稱 RE100)、科學基礎減量目標倡議(Science Based Targets initiative，以下簡稱 SBTi)及環境、社會與治理(Environmental, Social and Governance，以下簡稱 ESG)揭露等永續承諾之依據。目前全球主流 EAC 制度如歐盟的原產地保證(Guarantee of Origin，以下簡稱 GO)、美國的再生能源憑證(Renewable Energy Certificate，以下簡稱 REC)、日本的非化石憑證(Non-Fossil Certificate，以下簡稱 NFC)及我國的臺灣再生能源憑證(Taiwan Renewable Energy Certificate，以下簡稱 T-REC)等，皆以再生能源為主要認列對象。

然而，隨著人工智慧(Artificial Intelligence，以下簡稱 AI)、半導體及資料中心等高耗能產業快速崛起，用電企業對於「24/7 無碳電力」(24/7 Carbon-Free Electricity)的穩定供應需求日益明

確，僅依賴間歇性再生能源已難以因應。近年聯合國、Google 與 Microsoft 等國際機構紛紛倡議推動「全時無碳能源」概念，強調需於每小時供電對應無碳來源，提升減碳效益的時間與空間一致性。在此背景下，碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage，以下簡稱 CCS)技術逐漸被視為補足再生能源不足的關鍵技術路徑。

因此，本文擬從國內外 EAC 制度出發，探討其制度設計與運作現況，並進一步分析導入 CCS 發電設施後所產生之去碳電力，其納入憑證制度之可能性與發展方向。期望藉由建立「無碳電力憑證」(Carbon-Free Electricity Certificate，以下簡稱 CFEC)機制，作為未來臺灣能源轉型與碳管理制度之配套措施。

貳、探討各國既有能源屬性憑證制度

依據國際能源署(The International Energy Agency，以下簡稱 IEA)發布「2024 年再生能源分析及 2030 年預測」(Renewables 2024 Analysis and forecast to 2030)報告指出^[1]，歐洲、美國等國家的再生能源發展相對領先，因此其對應的能源屬性憑證制度亦較完備。此外，經濟部依據「能源發展綱領」落實機制，於 2020 年訂定「能源轉型白皮書」^[2]，提出能源轉型目標，積

極推動再生能源發展，並由經濟部標準檢驗局建立「再生能源憑證」(T-REC)制度。

以下將針對歐洲、美國、澳洲、日本及臺灣等國家所推動的能源屬性憑證制度進行探討，探討各國制度的運作模式與交易機制，作為未來制度發展的參考。

一、歐洲國家

(一) 運作模式

歐盟自 2001 年起，即透過再生能源指令(Renewable Energy Directive，以下簡稱 RED)，建立 GO 憑證制度，作為提升能源市場透明度與促進再生能源發展的重要工具。GO 制度的設計宗旨在於提供消費者對於能源來源的明確資訊，藉此鼓勵再生能源之使用與投資，供消費者能夠在不同能源類型中作出選擇。

依據 2023 年修訂的 RED III 條文，歐盟明訂各會員國應針對發電、氣體、氫氣、熱能與冷能等能源類型^[3]，建立 GO 憑證制度。此制度具有自願性質，能源生產者可依照其營運策略申請 GO 憑證，並用於揭露能源來源。相較以往制度按年度核發，RED III 推動憑證逐步朝向按小時核發，強化用電與產電時間的同步性^[4]。

此外，GO 憑證的法規基礎由 RED 第 19 條詳細規定，其涵蓋十一項核心規範，包含憑證定義、發放與使用條件、監理單位設置與職責、憑證資料內容要求、交易與資訊揭露準則等。為強化制度一致性與技術實務性，歐洲標準委員會(European Committee for Standardization，以下簡稱 CEN)另制定 EN 16325 標準，作為各會員國實施 GO 制度之最低標準要求，並確保憑證核發與管理過程具備可追溯性與可驗證性^[5]。

為落實一致性並支援 GO 憑證跨境流通，歐洲各國共同參與發證機構協會(Association of Issuing Bodies，以下簡稱 AIB)所建立之歐洲能源憑證系統(European Energy Certificate System，以下簡稱 EECS)。EECS 規則(EECS

Rules)以 EN 16325 為基礎，發展出一套標準化的憑證作業流程與規範，支援成員國間之資訊互通與憑證互認。EECS 所涵蓋之 GO 憑證記載內容包括：能源來源、生產地點、能源產生時間段、發電機組名稱、裝置容量、設施啟用日期、發行日期與國家等資訊，供用電端可查證其電力來源是否為再生能源^[6]。

目前，EECS 平台支援 1 MWh 為單位的憑證核發與轉移，且每一張 GO 憑證具有對應之識別碼，避免重複計算與虛假標示之疑慮^[7]。由此可見，歐盟 GO 制度結合法規、技術標準與跨國機制三大面向，建構出完整之再生能源電力來源揭露框架。

(二) 市場交易機制

GO 憑證的市場交易主要透過國內外電力供應商、再生能源開發商、企業用電戶與中介平台之間進行。其市場價值來自於消費者對綠電揭露之需求，以及為企業減碳揭露、ESG 評比與 RE100 承諾等永續政策所驅動。憑證交易通常與電力實體分離進行，即企業可選擇購買 GO 憑證以搭配一般電網電力，用以證明其電力使用來自再生能源。

GO 憑證可藉由 AIB 所設置之交易中心(Hub)進行跨國轉移與註銷，強化其在國際市場中的流通性。依據 EECS 憑證生命週期設計，每一張 GO 憑證可經歷四種狀態：發行(Issued)、轉移(Transferred)、註銷(Cancelled)、過期(Expired)^[8]。註銷行為代表用電者已使用該憑證，並於憑證平台上完成登錄，憑證隨即退出市場，以避免重複使用(如圖 1)。

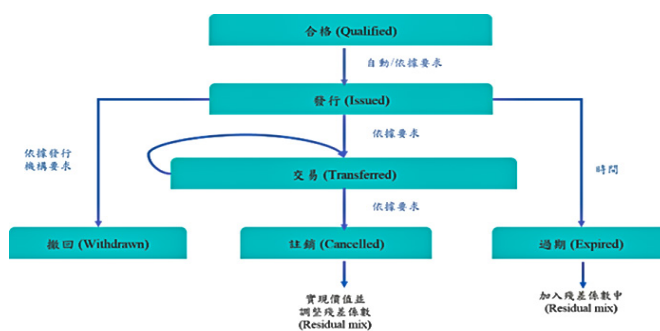


圖 1 EECS 憑證的狀態轉換流程^[7]

GO 憑證有效期為一年，最多可展延至一年半，逾期未註銷者將計入殘差係數(Residual Mix)之計算，以反映整體未揭露之電力來源組成，並維持系統完整性^[9]。交易者與供應商間之憑證轉移多以批量方式進行，並輔以自動化平台達成資訊同步。

在實務運作上，各國依其能源政策設計不同的交易激勵與補貼機制。整體而言，GO 制度不僅提供消費者與企業辨識能源來源的工具，更促進再生能源在市場中的價值。其交易機制結合自願參與及政策支持，支援國際流通、跨國企業採購與國家能源政策整合，成為推動歐洲能源轉型與淨零願景的重要基礎制度。

歐盟 GO 制度在透明性、互認性與制度基礎方面具國際領先地位，特別是在標準制定與跨國交易平台方面建立了高度一致性。然而，現行制度仍僅涵蓋可再生能源，對於以 CCS 等方式生產之去碳電力，尚未納入認列範疇，也未建立技術中立的憑證分級制度。隨著歐盟推動淨零電力市場與提升電網韌性的政策需求日益迫切，未來若能擴大技術涵蓋範圍，GO 制度可望成為多元減碳電力來源的統一揭露平台。

二、美國

(一) 運作模式

美國的再生能源憑證(REC)制度為北美地區主要的能源屬性憑證系統，具有標準化的電力來源追蹤與環境效益認證功能，當再生能源發電機組每生產 1 MWh 的電力，即可對應產生一張 REC，代表該電力所產生之環境效益^[10] (如圖 2)。

REC 制度由非營利組織資源解決方案中心(Center for Resource Solutions，以下簡稱 CRS)所管理，並依循其制定之 Green-e 標準進行第三方驗證。Green-e 標準是北美地區最具公信力的再生能源認證標準，廣泛應用於美國與加拿大等地區，目的在於確保再生能源憑證資訊正確，並避免因重複計算而產生碳揭露或減排爭議^[12]。該標準規定每張 REC 需記載包含：再生能源類型、電廠設施位置、建置日期、發電與核發期間、追蹤系統編碼、憑證 ID、是否符合法規如再生能源配額制度(Renewable Portfolio Standard，以下簡稱 RPS)合規性等屬性資訊。

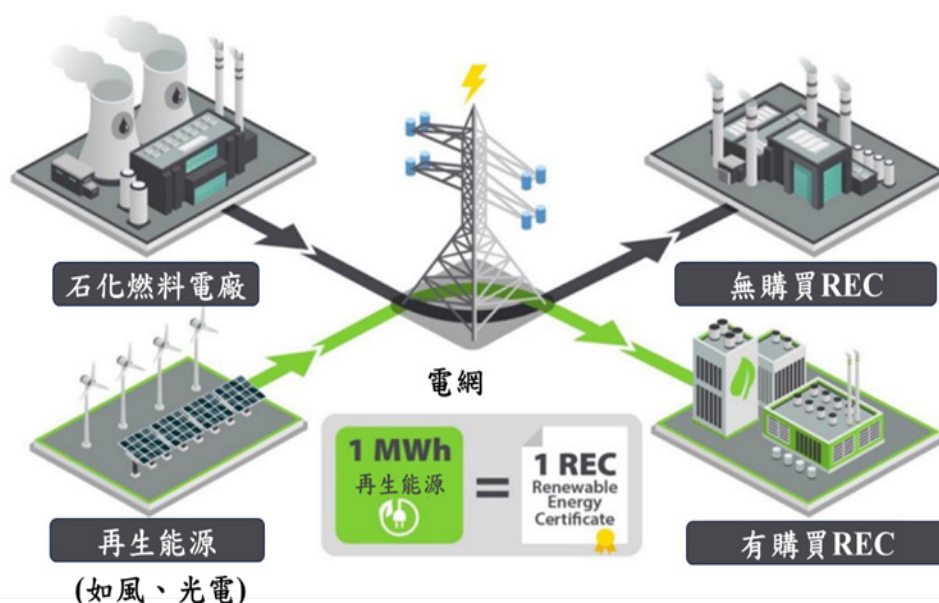


圖 2 再生能源憑證(REC)運作模式^[11]

CRS 亦負責推動「Green-e 認證」制度，該制度要求被認證的供應商或企業每年定期提交使用紀錄與來源文件，並接受第三方審查，以確保再生能源使用資訊的真實性與準確性。美國多數要求碳揭露與永續報告的企業，皆以 Green-e 作為憑證認定依據。

此外，為管理與驗證大量 REC 資料的流通與交易資訊，美國各州發展出 10 個區域性再生能源追蹤系統(Renewable Energy Certificate Tracking Systems)，例如：ERCOT、MIRECS、PJM-GATS、M-RETS 等^[13]。這些系統以電子化平台形式運作，負責追蹤發電機組所產生之 REC，提供包括憑證發行、轉移、註銷等完整生命週期的操作功能。

再生能源發電業者透過註冊帳戶可提交發電量資料並申請核發 REC。憑證核發後由追蹤系統賦予唯一識別碼，確保每單位電力對應唯一環境屬性，並防止重複計算。當企業或電力服務商進行購買後，系統即會更新其帳戶中之憑證資訊，並於完成使用後辦理註銷，實現完整透明的流通機制。

然而，REC 雖具環境效益證明功能，但其與碳抵換(Carbon Offset)不同，兩者在適用目的與交易規範上有所區隔。REC 屬於能源屬性憑證，僅可用於電力來源碳揭露與範疇二排放報告，不得混用於抵換其他非能源類型的排放量^[11]。

(二) 市場交易機制

美國的 REC 交易市場依據政策導向可區分為兩大類型：義務性再生能源交易市場(Mandatory/Compliance Markets)與自願性再生能源交易市場(Voluntary Markets)。義務性市場源自於各州法定的 RPS，規定電力零售商、服務業者或大型用電戶需於特定年度達成一定比例的再生能源使用目標。例如：加州法律要求 2030 年再生能源需占總發電量 60%；而紐約州則規劃至 2040 年達到 100%清潔電力。這些政策驅動下，企業需購買足額的 REC 以證明其符合配額目標，否則須支付替代合規費用

(Alternative Compliance Payment，以下簡稱 ACP)，ACP 的價格也形成 REC 交易價格的上限區間^[14]。

在義務性市場中，交易對象多為受法規拘束之電力業者與能源零售商，憑證可依照州別選擇以「電證合一」(Bundled REC)或「電證分離」(Unbundled REC)模式進行。前者將實體電力與 REC 綁定交易，後者則允許單獨購買 REC 以供碳揭露與合規使用^[15]。

自願性市場則不具法律強制性，而是由企業、機關、學校、城市等用電者出於永續策略、品牌形象或碳揭露需求，自行選擇採購 REC 以實現碳中和目標。此市場的參與者廣泛，包括 Google、Apple、Amazon 等科技企業，以及眾多院校與非營利組織。為確保電力來源與減碳成效一致，自願市場多採用與再生能源發電商簽署長期購電合約(Power Purchase Agreement，以下簡稱 PPA)形式。根據合約型態可分為：

1. 實體電力型購電合約(Physical Power Purchase Agreements, Physical PPA)：企業直接向再生能源電廠購電與取得 REC，電力由特定線路輸送至用戶。
2. 金融型購電合約(Virtual or Financial Power Purchase Agreements, Virtual or Financial PPA)：企業與發電商約定固定價格，將電力銷售於批發市場後再進行價格差額結算，實體用電仍由本地電網供應，但環境效益與 REC 則由簽約企業取得。

這些合約不僅提供長期電力價格穩定性，也讓企業可透過鎖定價格與減碳效益管理財務風險。由於再生能源電價較傳統電力低或具補貼政策，自願市場的 REC 價格波動相對較小，交易也更具彈性。

REC 的轉移與註銷作業皆透過電子化追蹤系統進行，類似電子銀行轉帳方式。每張 REC 一旦註銷，即表示該環境效益已被特定用戶使用，不可重複計入其他組織之碳足跡揭露^[16]。此制度設計大幅強化市場的信任機制，並促進

投資者與消費者對綠電市場的參與信心。

整體而言，美國的 REC 制度在法規支持、市場靈活性與資訊透明度三方面皆具高度成熟度，不僅支援各州再生能源政策的推動，也為企業邁向淨零目標提供清晰且可行的操作工具。隨著 Green-e 認證與追蹤系統日益完善，加上企業對 24/7 無碳電力供應需求的提升，REC 市場有望持續成長並擴大其政策與商業應用潛能。

三、澳洲

(一) 運作模式

澳洲為推動電力部門減碳與促進再生能源發展，自 2001 年起施行再生能源目標 (Renewable Energy Target，以下簡稱 RET)^[17]，該制度為澳洲聯邦政府依據「再生能源(電力)法 2000」所設立，並由清潔能源監管機構 (Clean Energy Regulator，以下簡稱 CER) 負責執行與管理。RET 制度下區分為兩個子計畫：大型再生能源目標 (Large-scale Renewable Energy Target，以下簡稱 LRET) 與小型再生能源計畫 (Small-scale Renewable Energy Scheme，以下簡稱 SRES)，分別對應兩種能源屬性憑證，即大規模

發電憑證 (Large-scale Generation Certificate，以下簡稱 LGC) 與小規模技術憑證 (Small-scale Technology Certificate，以下簡稱 STC)。

LGC 主要針對大型再生能源電廠 (例如：太陽能、風力、水力及潮汐發電廠等)，並規範合格設施須透過 CER 認證後，方可核發 LGC^[18]。每 1 MWh 合格再生能源電力可核發 1 張 LGC。申請者須將發電數據、電表紀錄、輔助電力消耗與非再生能源占比等資訊上傳至「REC 登記系統」，並透過審查 (需約 28 天) 後完成註冊^[19-20]。

LGC 的核發數量計算需納入多項調整因子，例如：使用非再生能源比例、邊際損耗因子與輔助用電等，並由澳洲能源市場營運商 (Australian Energy Market Operator, AEMO) 協助提供相關電網數據參數^[21]。

另一方面，STC 則聚焦於家庭與小型商業用戶，其適用設備包括太陽光電系統、太陽能熱水器、空氣源熱泵、水力與小型風力發電機等 (如圖 3)。安裝完成後，系統業主可依預估發電量與使用年限向 CER 申請 STC。每 1 MWh 對應核發 1 張 STC，STC 數量亦會隨著計畫即將於 2030 年終止而逐年遞減^[22]。

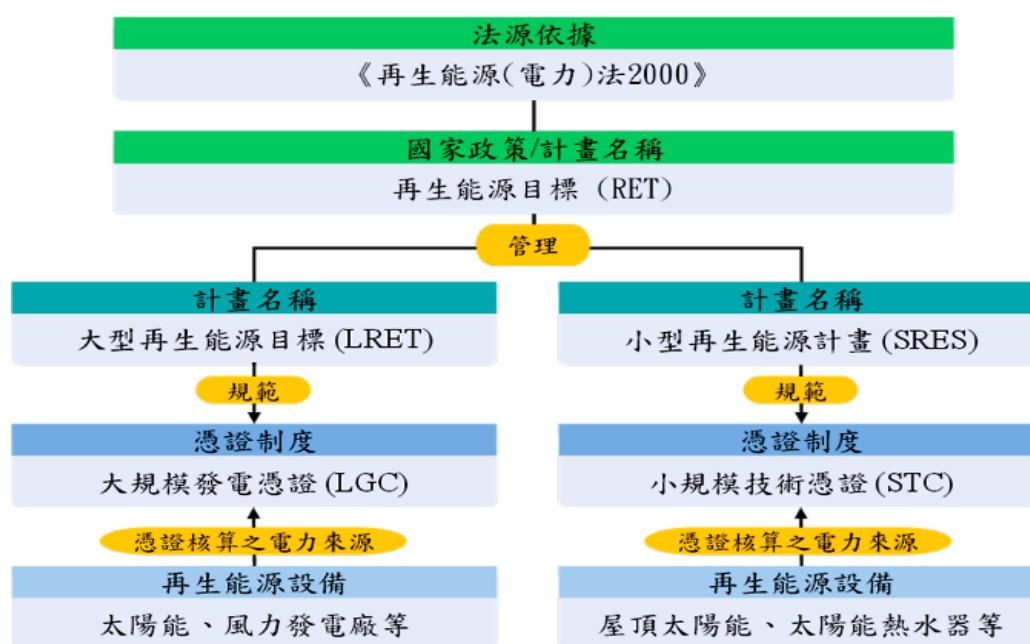


圖 3 澳洲再生能源目標(RET)旗下計畫與對應憑證關係示意圖^[17]

多數小規模設備由註冊代理人(Registered Agent)代為處理申請與交易流程，業主可於安裝階段將 STC 轉讓予代理人以折抵設備購置成本，此舉亦降低一般消費者進入憑證市場之門檻。STC 交易得以透過兩種平台進行，分別為公開市場與 STC 清算所，後者由 CER 管理並提供固定價格保障^[23-24]。

(二) 市場交易機制

澳洲 LGC 與 STC 憑證皆可作為履行法定再生能源義務之工具，亦可用於自願性市場的碳中和宣告。其市場參與者主要分為兩類：具義務之責任實體(Liable Entities)與自願參與者。依據 CER 官方說明，所有負有義務的責任實體必須每年或每季透過 REC 登記系統提交足額的 LGC 或 STC 憑證數量，以達成其對政府所定義之再生能源比例要求。

LGC 交易主要發生於責任實體與再生能源發電商之間，透過二級市場或 PPA 進行。責任實體每年應購買 LGC 數量，係由其年度電力銷售量乘以政府公告之再生能源比例(Renewable Power Percentage，以下簡稱 RPP)決定。若未足額提交，則須補繳短缺費用並另行繳納高額罰金，而該罰金額遠高於市場價格^[25]。

STC 方面，責任實體須依據小型技術比例(Small-scale Technology Percentage，以下簡稱 STP)每季提交足額憑證。若未履行，則同樣面臨短缺費用與罰則處分，每張未提交 STC 最高可達 130 澳元(約新台幣 2,770 元)之罰金^[26]。

在自願性市場上，企業可透過購買 LGC/STC 達成 ESG 目標，特別是綠電認證與碳揭露。企業可選擇透過 PPA 模式取得 LGC，鎖定長期綠電來源與憑證來源一致性，或於清算所購買 STC 以平衡碳足跡。此外，澳洲市場允許 STC 於多次轉手後仍可註銷並主張其環境效益，惟首次註銷後即視為「已使用」不可重複宣告。

交易流程方面，LGC 於「REC 登記系統」上以帳戶間轉移進行，類似數位資產交易。價

格由雙方議定，CER 不涉入交易內容與支付流程。STC 則可選擇固定價格的 STC 清算所平台，簡化交易程序與風險。

總體而言，澳洲憑證制度設計兼具政策導向與市場彈性。透過 LGC 鼓勵大型發電投資，並藉由 STC 推動小規模系統普及，涵蓋從家庭、企業至電力公司的再生能源推動體系。CER 之監管與平台建置亦提升了憑證核發、轉讓、註銷的透明性與效率，為其他國家提供建立綠電憑證制度之參考。

四、日本

(一) 運作模式

2018 年由日本經濟產業省(Ministry of Economy, Trade and Industry，以下簡稱 METI)推動設立「非化石價值交易市場」，以解決既有躉購費率制度(Feed-in Tariff，以下簡稱 FIT)下再生能源雖具有環境效益卻無法由最終用戶主張去碳電力來源的問題。由於再生能源併入電網後與其他來源電力混合，環境效益被平均計入整體電力碳排基準，導致購電者無法針對其所使用電力提出環境屬性聲明，因此設立 NFC 制度，目的在於建立再生能源電力的環境價值單獨交易與追蹤機制。

NFC 制度目前涵蓋兩類主要憑證：FIT NFC 與 non-FIT NFC。FIT NFC 係針對仍受躉購費率制度保障之再生能源發電設施所核發，常見於太陽能與風力電廠，占再生能源整體供給量約九成。non-FIT NFC 則涵蓋已脫離 FIT 制度保障、進入市場自由競爭的再生能源發電設施。

FIT NFC 的發行與管理由 METI 主導，並透過日本電力交易所(Japan Electric Power Exchange，以下簡稱 JEPX)辦理拍賣。拍賣所得由政府收回再分配給再生能源發電者，作為持續投資激勵。該憑證代表 1 MWh 相當之非化石價值，於 2021 年 11 月起改版納入可選擇性資訊，例如：發電技術類型與設施編號，但仍非

全面具備屬性資訊，造成部份國際倡議組織多不接受 FIT NFC 作為合規依據。

為強化 NFC 的可追溯性與可信度，METI 正對系統進行優化，預計自 2024 財政年度起，所有 FIT NFC 將全面具備能源屬性資訊，期望提升其國際市場認可。該制度升級後，將有助於企業在使用 FIT 支援電力時，能同時滿足永續報告與供應鏈碳揭露需求。

而 non-FIT NFC 主要對應已無政府收購保障之電力交易，具備完整屬性及可溯性。non-FIT NFC 可登錄發電來源、能源類型與地理位置，符合 RE100 之合規標準，是日本企業達成 RE100 承諾的主流工具。non-FIT 發電業者常與電力零售商或大型用電戶簽訂企業購售電合約 (Corporate Power Purchase Agreement，以下簡稱 CPPA)，透過長期價格協議提升投資可預期性並穩定用電成本^[27-28]。

(二) 市場交易機制

日本 NFC 市場採分級參與架構，僅限持有零售電力業者資格者可直接參與 JEPX 拍賣與 NFC 交易，終端用戶須透過電力供應商(零售業者)間接購得 NFC，類似「間接綠電」模式。依據再生能源產業協會 (Renewable Energy Institute, REI) 於 2023 年發表之「再生電力採購指南」(Renewable Electricity Procurement Guidebook)^[29]，NFC 分為「憑證合一」與「憑證分離」兩類供應模式。

FIT NFC 市場主要透過 JEPX 平台進行年度與季拍賣，由 METI 設立保底價格與標準競價機制。電力零售業者取得 FIT NFC 後，可搭配對應之再生電力推出綠電商品，供用戶選擇。拍賣所得為政府補貼回收機制之一，拍賣價格因供需關係浮動。

然而，由於 FIT NFC 屬性不完整且無法指定電源種類，目前 RE100 不接受 FIT NFC 作為符合條件之憑證類型，因此國際企業多傾向使用 non-FIT NFC 搭配 CPPA 模式，確保憑證與綠電來源一致性。non-FIT NFC 可在自由市場

中透過雙邊合約簽署，亦可由電力零售業者整合再銷，交易價格較 FIT NFC 高，反映其透明度與合規性。

CPPA 機制在 NFC 市場中扮演關鍵的角色。用戶與發電商簽署長期合約後，電力輸送與憑證發行分開進行，並依市場電價差進行結算，保障供電價格穩定性與環境效益明確性。透過 CPPA 所配對之 non-FIT NFC，通常於憑證平台(例如：JEPX 或第三方機構)註銷後，即可作為環境報告之依據，並納入碳揭露專案 (Carbon Disclosure Project, CDP) 與 SBTi 等國際揭露系統。

整體而言，日本 NFC 制度係結合 FIT 與市場化設計，兼顧政策推動與國際對應。未來隨制度改版與數位資訊平台完善，NFC 預計可作為亞太區域推進 24/7 無碳電力追蹤之制度基礎之一^[30-32]。

五、臺灣

(一) 運作模式

為達成 2025 年再生能源發電的能源政策目標，臺灣自 2017 年修正「電業法」以來，積極推動再生能源自由市場化。為健全綠電交易與環境效益揭露機制，行政院指派經濟部標準檢驗局(以下簡稱標準局)建置「再生能源憑證」(T-REC)制度。T-REC 由「國家再生能源憑證中心」負責管理與核發，結合智慧電表與區塊鏈等資訊技術，提供完整、可追溯的綠電環境價值認證^[34]。

同時，T-REC 亦強調憑證制度與國際接軌，以確保其在國際間的公信力，其已與國際永續發展評比機制證明標準一致性，並於 2021 年與蘋果供應鏈及能源與環境設計領導認證 (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) 完成鏈結。T-REC 內容包含能源種類、發電設備資料、時段電價與碳排放係數等，對企業碳盤查與 ESG 揭露具重要功能，亦為臺灣對外拓展再生能源憑證的關鍵。

申請 T-REC 需依循六大步驟，包括設備查核、查核報告核發、發電量登錄、電子憑證核發、交易登記與憑證使用或宣告。每 1,000 度 (kWh) 發電量可申請 1 張 T-REC 憑證，並於憑證平台登記與發行。符合資格之單位包含再生能源發電業者、自用發電設備設置者及再生能源售電業者，但參與 FIT 或碳抵換專案則不得重複申請^[35-37]。

為確保數據準確性，發電業者須每月 3 日前上傳發電量與交易單據。系統以每 15 分鐘傳輸一筆電表資料。所有憑證經中心核實後進入可交易狀態，後續僅能移轉一次，避免環境效益重複主張。

(二) 市場交易機制

T-REC 制度提供多元交易機制，依據「電力」與「憑證」的移轉關係，主要可區分為「電證合一」與「電證分離」兩種交易形式；而在實務的綠電取得與供給方式上，則包含直供、轉供、售電業供應與自發自用等四大類，靈活滿足企業能源管理需求^[38]。

在電證合一形式中，再生能源發電業者將綠電與 T-REC 一併銷售，憑證於簽約同時轉移至買方。該形式可直接作為碳盤查範疇二減排依據，也符合用電大戶綠電義務與各類 ESG 要求。「轉供」方式則透過輸配電業者轉送綠電與憑證，實現跨區綠電交易(如圖 4)。

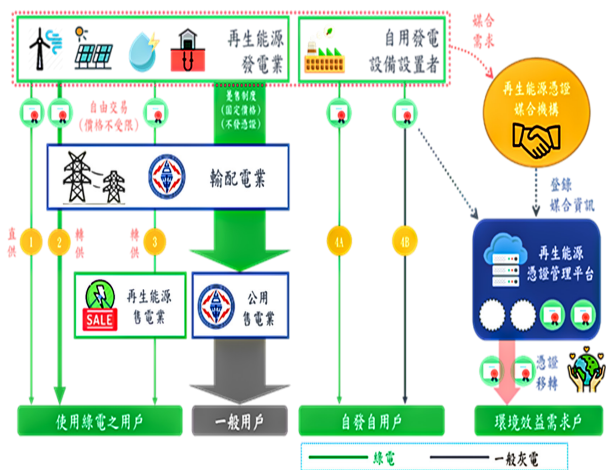


圖 4 T-REC 市場運作機制^[35]

在「售電業供應」方式下，售電業者自發電業者取得電力與憑證後再供應予用電端，雙方可於平台上依約完成 T-REC 轉移。「自發自用」方式則允許業者取得 T-REC 後選擇直接揭露或轉讓給第三方。轉讓行為需透過 T-REC 平台完成並由中心認可。

T-REC 交易可透過「標售競標」或「自由市場交易」方式進行。競標交易由賣方登錄基本資訊與底價，買方填寫採購需求與意圖，再由中心公告競標時程。得標者應於公告日起 6 個月內完成交易程序，並於平台上完成憑證轉移登錄。自由市場交易則允許雙方協議價格與條件，惟最終仍須回歸平台登錄，以確保憑證的唯一性與流通紀錄完整。

T-REC 使用後可選擇「使用」或「宣告」兩種方式。使用者須於兩個月內上傳佐證資料並完成登記，否則視同未完成宣告。使用通常指將憑證應用在強制性的管理要求上(例如：用電大戶的再生能源義務、溫室氣體盤查)，宣告則適用於自願揭露(例如：永續獎項評比或企業社會責任報告)。

整體而言，T-REC 制度透過電力來源資訊揭露與環境價值的獨立交易機制，已逐步成為臺灣推動綠電市場發展與企業碳管理的重要工具。未來，T-REC 亦有望發展為具有區域交易潛力的再生能源市場支柱。

六、國內外能源屬性憑證制度現況綜整

綜整歐盟、美國、澳洲、日本與臺灣等國能源屬性憑證制度觀察可發現，雖各制度已具備完整之發證、註銷與交易機制，且多已結合區域性平台與追蹤系統以提升市場透明度，但在技術涵蓋面向、資訊完整度及與碳管理政策整合程度等方面，仍存在顯著差異。

首先，在技術認列對象方面，五國制度均以再生能源為核心，未涵蓋 CCS 等非再生能源減碳技術。究其未納入之背景，主因係現行各

國憑證制度之原始政策目的，皆在於扶植再生能源產業發展，藉由市場機制解決其初期成本高昂問題，而非廣泛針對所有低碳技術。此外，CCS 技術之減碳效益在國際上多被歸類於碳權或碳排放交易系統(ETS)之範疇，且其涉及較複雜的二氧化碳捕捉率監測、報告與驗證(MRV)程序；若將其直接整合於以發電量(MWh)為計量單位的能源屬性憑證中，恐引發環境效益在電力市場與碳市場間重複計算(Double Counting)之疑慮。因此，歐盟 GO 憑證、美國 REC 與日本 NFC 等制度目前皆尚未建立涵蓋火力電廠減碳成效的機制，亦未針對 24/7 無碳電力供電需求提供制度支持。

其次，在資訊揭露與市場應用方面，歐盟制度具備較高透明度與國際互認潛力，美國與澳洲則擁有成熟的第三方認證與價格誘因機制。日本制度雖開始強化 NFC 屬性資訊揭露，但因憑證資訊不完整，導致 FIT NFC 在國際採購上的適用性受限。臺灣 T-REC 制度已建構完善平台與管理規範，具備國際接軌基礎，惟目前仍限再生能源，尚無拓展低碳電力之規劃。

此外，在與氣候政策的整合度方面，澳洲與美國在義務市場中已將憑證納入配額制度，臺灣與日本則主要應用於自願性市場與永續報告，與碳費或碳交易等政策尚無直接連結，制度整合潛力有待進一步開發。

整體而言，未來全球能源屬性憑證制度將朝向「擴大技術涵蓋範圍」、「強化時段與地點標示」、「提升查驗透明度」與「加強與碳政策整合」等方向發展。臺灣如欲強化企業對穩定無碳電力之取得能力，建議可在 T-REC 既有基礎上，另行規劃涵蓋 CCS 減碳技術的「無碳電力憑證」(CFEC)制度，不僅呼應至全球供應鏈淨零責任，也有助於打造更具韌性的電力系統，支援能源轉型與產業升級。

為清楚呈現各制度間的異同，以下整理各國在法規基礎、發證機關、交易模式、憑證屬性與追溯性等面向的比較表(表 1)。未來若欲推動無碳電力憑證制度，亦可透過分析歐洲、美國、澳洲及日本等國能源屬性憑證制度之優劣作為借鏡，進而發展出最適合我國國情之制度架構。

表 1 國內外能源屬性憑證制度異同分析比較表

分類	項目	歐洲國家	美國	澳洲	日本	臺灣
能源屬性憑證		原產地保證(GO)憑證	再生能源憑證(REC)	小規模技術憑證(STC)、大規模發電憑證(LGC)	非化石憑證(NFC)	臺灣再生能源憑證(T-REC)
法規及標準依據	法規單位	歐盟委員會的能源總司(DG ENER)與其成員國的經濟或能源相關政府部門	美國各州政府及聯邦政府的再生能源政策主要由能源部主導，並由環保署及農業部共同推動。	澳洲清潔能源監管機構(CER)	日本經濟產業省(METI)	經濟部標準檢驗局
	法規依據	再生能源指令(REDII)	美國州際及聯邦法	監管機構依據可再生能源目標(RET)相關法規，例如：Renewable Energy (Electricity) Act 2000、Renewable Energy (Electricity) (Small-scale Technology Shortfall Charge) Act 2010、Renewable Energy	能源供給結構高度化法、促進非化石能源利用和化石能源材料有效利用的能源供應業者法、全球暖化對策法	再生能源發展條例、再生能源憑證實施辦法

分類	項目	歐洲國家	美國	澳洲	日本	臺灣
				(Electricity) (Large-scale Generation Shortfall Charge) Act 2000、Renewable Energy (Electricity) Regulations 2001 ^[39] ，監督 RET 計畫的運作		
	標準依據	EECS、CEN EN16325 (REDII 下之法定標準)	北美再生能源驗證國家標準 (Greene Energy National Standard)	小型再生能源計畫(SRES)、大型再生能源目標(LRET)	由 METI 和其他政府部門所訂定的相關法規和指導方針	再生能源憑證實施辦法
運作模式	發證單位	發證機構協會(AIB)、各歐盟成員國政府或其授權機構	資源解決方案中心(CRS)	澳洲清潔能源監管機構(CER)	日本經濟產業省(METI)	國家再生能源憑證中心 (T-REC)
	使用對象	為自願性購買之憑證，任何企業或個人皆可購買。	再生能源電力需求企業如 RE100	企業或個人可自願性購買；責任實體如電力零售商則需每年義務購買規定量之 STC 與 LGC	每年售電量達 5 億度以上的零售電力業者	再生能源發電業、再生能源售電業或自用發電設備設置者，但採躉購制度者與溫室氣體排放額度抵換專案減量額度者除外。
	憑證面值	1 MWh	1 MWh	1 MWh	1 MWh	1 MWh
	環境效益	可轉讓	可轉讓	可轉讓	可轉讓	可轉讓
	追溯性	有追蹤系統，故可追溯。	有追蹤系統，故可追溯。	有追蹤系統，故可追溯。	有追蹤系統，故可追溯。	有追蹤系統，故可追溯。
	運作方式	包含合格設備申請、憑證發行、持有、交易以及跨境轉移等多個環節。憑證價值於使用宣告後註銷；其環境效益亦無效。	再生能源發電業申請憑證並在追蹤系統登入發電量及再生能源種類等，即可申請一個憑證帳號，追蹤系統給予每張 REC 一個專屬編號，買方取得 REC 後，需要於系統將其「註銷」，才可宣告使用其環境效益，並避免重複宣告情形。	依據再生能源系統的裝置容量與年發電量設立 STC(鼓勵屋主裝設小規模再生能源系統)與 LGC(鼓勵興建大型電廠)。運作方式包含合格設備申請、憑證發行、持有、交易與義務提交數量等環節。此兩憑證預計執行至 2030 年止。	電力零售業者可於非化石價值交易市場向再生能源發電業者購入 NFC，證明其電力來源係使用再生能源，而非化石燃料，確保再生能源電力的環境價值，藉以向有再生能源需求之用戶行銷。	再生能源發電業者或自用發電設備設置者，可向國家再生能源憑證中心申請設備查證，經核定後獲得綠電憑證，並於憑證交易平台交易或註銷。

分類	項目	歐洲國家	美國	澳洲	日本	臺灣
市場交易機制	交易單位	AIB、各歐盟成員國政府或其授權機構	CRS 及各區域所屬再生能源追蹤系統	澳洲清潔能源監管機構(CER)	日本電力交易所(JEPX)	國家再生能源憑證中心
	市場交易模式	歐盟各國有不同交易系統與模式，就交易而言，平台以媒合為主，主要仍須私下議價。	採用電證合一或電證分離模式，透過 PPA 交易機制進行能源及其憑證交易。	STC 透過公開市場交易或由 STC 清算所交易；LGC 透過再生能源憑證註冊系統媒合，並與系統外議價議約。	再生能源發電依類型或政策區分 FIT 和 non-FIT，並透過 CPPA 簽訂進行市場交易拍賣。	採用電證合一模式，透過 T-REC 平台的「綠電競價媒合專區」，可進行商品上架、競標與簽約，完成後開始供電並核發憑證；私下議約則可由雙方自由協商條件。
	交易價格	2024 年 1 月，受市場波動影響，交易價格約為每張 6 歐元 ^[40] (約新臺幣 208 元/張，即 0.21 元/度)。	REC 價格受市場波動、ACP 規費、交易方案、能源類型或各州規範等多重因素影響，呈現差異化定價。	STC 與 LGC 價格均隨市場波動變化，其中 STC 透過清算所交易憑證價格為每張 40 澳元 (約新臺幣 860 元/張，即 0.86 元/度)。	2024 年財政年度交易價格為 0.4-0.61 日圓/度 (約新臺幣 0.084-0.13 元/度)。	目前憑證無固定售價，價格由買賣雙方自行決議。

資料來源：本計畫整理。

參、擴大能源屬性憑證制度發展之機會

如前述章節介紹，目前國際既有的 EAC 制度多以再生能源作為電力來源的認定依據。然而，由於再生能源受限於發電不穩定性、地理條件及儲能技術瓶頸等，使得用電企業難以達成全時段穩定使用再生能源的目標。此外，隨著各國用電需求持續成長，加上人 AI 產業快速崛起，用電企業對穩定無碳電力的需求將更加迫切。

而隨著全球邁向淨零排放的步伐加快，如何有效減少化石燃料發電對環境的影響成為各國共同挑戰。聯合國於 2021 年提出「全時無碳能源合約」(24/7 Carbon-Free Energy Compact) 的概念^[41]，以響應驅動全球經濟快速去碳化迫切需要，由能源採購者、能源供應商、政府、系

統運營商、解決方案提供商、投資者和其他組織聯合組成，藉由推進全時無碳能源(24/7 CFE)，加速電網去碳化。此外，其定義無碳能源技術分為再生能源(包含：太陽能、風能、地熱、永續生質能與水力發電等)以及非再生能源(包含：儲能、低碳氢能、核能及碳捕捉與封存(CCS)技術等)^[42]。

隨後，美國拜登前總統發布第 14057 號行政命令旨在促進美國清潔能源產業和就業，透過聯邦永續性和隨附的聯邦永續發展計畫(統稱聯邦永續發展計畫)，描繪了用 100%無碳污染電力(Carbon Pollution-free Electricity, CFE)為聯邦設施供電的雄心路徑，包括 2030 達成每週 7 天、每天 24 小時(24/7) 50%的全時用電^[43]。而美國國家環境保護署(US EPA)、Google^[44]、Microsoft^[45]等單位也相繼提出無碳電力倡議，

其中即包含透過 CCS 技術應用於化石燃料發電廠。除了上述單位以外，發起 RE100 的國際氣候組織 Climate Group 也於 2024 年 9 月在紐約所辦理的 Climate Week 中宣布推動 24/7 無碳聯盟(24/7 Carbon-Free Coalition)，意味著該組織及支持此行動的企業，皆逐步轉向追求全天候—每週七天、每天 24 小時、100%使用在地供應的無碳電力，以用電時間與地點，將電力需求與無碳發電進行配對^[46]。

此外，依據 IEA「碳捕捉、利用及封存(CCUS)在低碳電力系統中的角色」(The role of CCUS in Low-Carbon Power Systems)技術報告指出^[47]，CCS 技術目前是應用於火力發電廠中最具經濟效益且有效的減碳措施之一，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。未來，當火力電廠導入 CCS 技術後，其所產生的低碳或去碳電力，應有機會透過憑證制度獲得環境效益的認證。

然而，氫能與氨能混燒或專燒技術亦被視為未來電力去碳化的重要路徑，惟考量目前氫/氨燃料之國際供應鏈尚未完全成熟、發電成本相對高昂，且針對氫氨發電之碳排放核算與憑證方法學，國際間尚處於初期研擬階段。相較之下，CCS 技術可直接應用於既有火力機組，技術成熟度(TRL)較高，且已有具體國際標準可供參照，具備較明確的監測與驗證基礎。

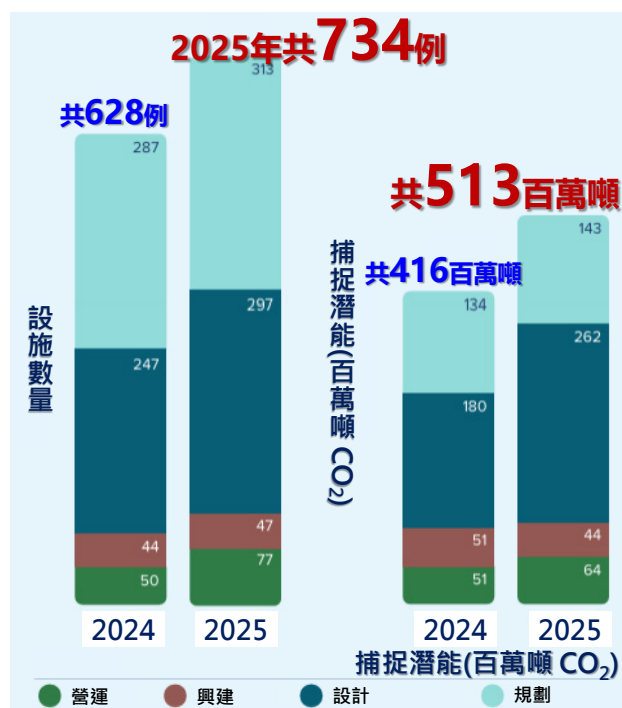
因此，本章節將優先以 CCS 技術應用於火力電廠為主要探討對象，分析其技術與市場發展現況，並進一步研析未來建立相關憑證制度的可行性與方向，以作為未來擴大納入氫、氨等其他去碳電力技術之制度參考範本。

一、全球 CCS 發展趨勢

CCS 技術在全球淨零轉型的過程中扮演關鍵角色。依據 IEA 與全球碳捕捉與封存研究所(Global CCS Institute，以下簡稱 GCCSI)等單位

近年報告皆指出，CCS 技術特別適用於電力、鋼鐵、石化、水泥等難以減碳的產業中，並被聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)與聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)認定為必要的減碳技術途徑。

截至 2025 年 7 月，全球共有 734 個 CCS 計畫，較 2020 年顯著增加，在目前的整體設施中，共有 77 座已投入營運，另有 47 座興建中的設施，其餘則有 297 座進入前端工程設計(Front-End Engineering Design, FEED)階段，另有 313 座仍處於規劃階段，且目前全球 CCS 設施的總捕捉潛能達到每年 513 百萬噸(Mtpa)(如圖 5)。在各國案例中，其中以美國為全球 CCS 發展最為積極之國家，受惠於 2022 年「通膨削減法案」(Inflation Reduction Act, IRA)中提高的 45Q 碳捕捉稅賦優惠，使美國國內 CCS 投資案件迅速增加^[48]。



資料來源：GCCSI (2025), Global Status of CCS 2025。本研究彙整。

圖 5 全球 CCS 設施數量與總捕捉潛能^[48]

IEA (2021)提出的「全球能源部門 2050 淨零排放路徑」(Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)指出^[49]，若要實現全球 1.5°C 的升溫控制目標，至 2050 年應捕捉近 76 億噸二氧化碳，而火力發電占其中 20%以上。為達此目標，CCS 需快速擴展。

然而，CCS 發展亦面臨挑戰，包括初期投資高昂成本、社會接受度、長期監測責任與法規門檻等。為降低投資門檻與提高誘因，各國政府逐步透過補助、碳定價、憑證制度等方式建立經濟誘因，例如：歐盟排放交易體系(European Union Emissions trading scheme, EU ETS)、加拿大的 CCUS 投資稅收抵免(CCUS Investment Tax Credit, ITC)政策、美國的 45Q 稅賦抵免，以及英國的差價合約機制(Contracts for Difference, CfD)制度等皆為具代表性的支持政策工具。

二、國際 CCS 電廠指標性案例

如前述說明，CCS 技術不僅能夠協助化石燃料發電廠達到去碳化，亦可補足再生能源的不足以及增加電力調度之靈活性，更使電力部門逐步實現淨零轉型。而現階段國際已有電廠實際導入 CCS 技術之成功案例，包括加拿大 Boundary Dam 電廠、美國 W.A.Parish 電廠以及英國 Net Zero Teesside Power 電廠，各電廠運作狀況將分述於後。而這些電廠案例顯示 CCS 發電之技術成熟度與環境效益具備高度潛力，未來的火力發電廠導入 CCS，若可藉由國家政策支持與國際憑證制度整合，將有助於推進 CCS 之實質商業應用。

(一) 加拿大 Boundary Dam 電廠(如圖 6)

位於加拿大薩斯喀徹溫省的 Boundary Dam 電廠，是全球第一座將 CCS 技術商業化應用於燃煤電廠的案例，具有高度示範意義。該電廠由 SaskPower 營運，共有四組燃煤機組，其中第 3 號機組在 2014 年完成大規模改造，成為該計畫的核心。此機組引進 Shell 開發的

CANSOLV 胺類吸收劑系統，可有效捕捉煙氣中約九成的二氧化碳，並同步改善鍋爐與渦輪設備，提升整體運轉效能^[50-51]。

雖然碳捕捉系統需消耗部分電力，使 3 號機組的裝置容量從原先的 160 MW 下降至 110 MW，但仍能穩定供應當地大約十萬戶家庭用電。捕捉後的二氧化碳經分類處理後，分別運輸往兩個不同應用端，包含高達 9 成的二氧化碳是輸送至 70 公里外的 Weyburn 油田，進行由 Cenovus Energy 營運的強化採油回收(Enhanced Oil Recovery，以下簡稱 EOR)；其餘則注入 3 公里外的 Aquistore 地質封存場，該場址由石油技術研究中心(Petroleum Technology Research Centre，以下簡稱 PTRC)管理^[52]，封存層為位於 3,400 公尺深的 Deadwood 砂岩層。

該計畫從 2014 年開始營運至 2025 年第 2 季，已累積捕捉超過 685.8 萬噸二氧化碳^[53]，其中 Aquistore 地質封存部分約達 58.5 萬噸^[54-55]。此一實績突顯燃煤電廠結合 CCS 技術之減碳潛力，並為後續政策與技術部署提供寶貴經驗^[56]。



圖 6 加拿大 Boundary Dam 電廠^[51]

(二) 美國 W.A.Parish 電廠

美國德州 W.A. Parish 發電廠由 NRG Energy 公司營運，是一座結合燃煤與燃氣的綜合型發電設施。2017 年，該廠啟動 Petra Nova CCS 計畫，成為全球當時規模最大的燃煤電廠

CCS 示範工程。該計畫由 NRG 與日本 ENEOS Xplora Inc. 公司 (前 JX Nippon Oil & Gas Exploration) 共同投資開發, 針對第 8 號機組 (一座 240 MW 燃煤機組) 安裝先進的二氧化碳捕捉設備。

Petra Nova 計畫採用的是由三菱重工與關西電力公司共同研發的 KM CDR 技術, 屬於醇胺吸收法, 設計捕捉效率達 92.4%。在全面運作狀態下, 該系統每日可處理約 5,200 公噸的 CO₂, 年捕捉潛能高達 140 萬噸^[57] (如圖 7)。捕捉後的二氧化碳經由長達 130 公里的管線, 輸送至 Jackson County 的 West Ranch 油田, 進行 EOR 用途。透過注入二氧化碳以提升原油開採率, 該油田在計畫實施期間每日平均可額外生產約 6,000 桶石油。



圖 7 美國 Petra Nova 碳捕捉設施^[61]

截至 2025 年初, Petra Nova 計畫已成功累積捕捉超過 500 萬噸二氧化碳, 相當於每年減少約 120 萬輛乘用車的碳排放量^[58]。捕捉的二氧化碳經輸送至 West Ranch 油田進行 EOR, 累計增產原油超過 420 萬桶。儘管該設施曾於 2020 年 9 月因 COVID-19 疫情期間油價大跌而暫停運作^[59], 日本 ENEOS Xplora Inc. 公司於 2023 年全面接手後, 致力於重新啟動並優化該系統^[60]。該設施已於 2023 年底恢復捕捉作業, 並穩定持續運轉至今。

Petra Nova 的重啟不僅強化技術驗證與商

業應用成果, 也顯示大型燃煤電廠導入 CCS 技術在經濟與環境效益兼顧下的可行性與彈性, 對全球低碳轉型政策具重要參考價值。

(三) 英國 Net Zero Teesside Power

位於英國米德爾斯堡 (Middlesbrough) 的 Net Zero Teesside Power (以下簡稱 NZT Power) 計畫, 是全球首個採用 CCS 技術的商業規模燃氣發電廠, 象徵著低碳電力在天然氣發電領域邁出關鍵一步。該項目由 BP 與 Equinor 共同成立的合資公司推動, 並獲能源安全和淨零排放部 (Department for Energy Security and Net Zero, DESNZ) 資助支持, 旨在打造一座能兼顧調度靈活性與減碳效益的新世代電廠。

NZT Power 預計裝置一座聯合循環燃氣渦輪機組 (Combined Cycle Gas Turbine, CCGT), 搭配燃燒後胺吸收碳捕捉系統, 整體裝置容量可達 860 MW (如圖 8), 預估每年可捕捉約 200 萬噸二氧化碳^[62]。此一配置不僅可穩定供電、補足間歇性再生能源不足, 也具備快速調節能力以因應電力市場波動。

在技術開發階段, 該計畫採取雙軌前端工程設計 (Front End Engineering Design, FEED) 競賽模式, 分別由 Technip Energies 聯手 GE Vernova, 以及 Aker Solutions 與 Siemens Energy 組成設計團隊競爭。最終於 2024 年 3 月確定選用 Technip Energies 與 GE Vernova 作為陸域發電與捕捉設施承包商, 並採用 Shell 技術作為捕捉系統核心; Saipem 與 TechnipFMC 則負責海底管線與注入設施的工程設計與建設^[63]。

為實現捕捉後二氧化碳的永久封存, BP、Equinor 與 TotalEnergies 亦共組 Northern Endurance Partnership (以下簡稱 NEP), 專責規劃與建設從 Teesside 輸送往北海封存場的運輸與灌注系統。NEP 預計於 2027 年正式投入營運, 每年將處理約 400 萬噸二氧化碳, 不僅服務 NZT Power, 也將成為未來英國東岸集群 (East Coast Cluster) (如圖 9) 各工業設施減碳的重要基礎建設^[64]。

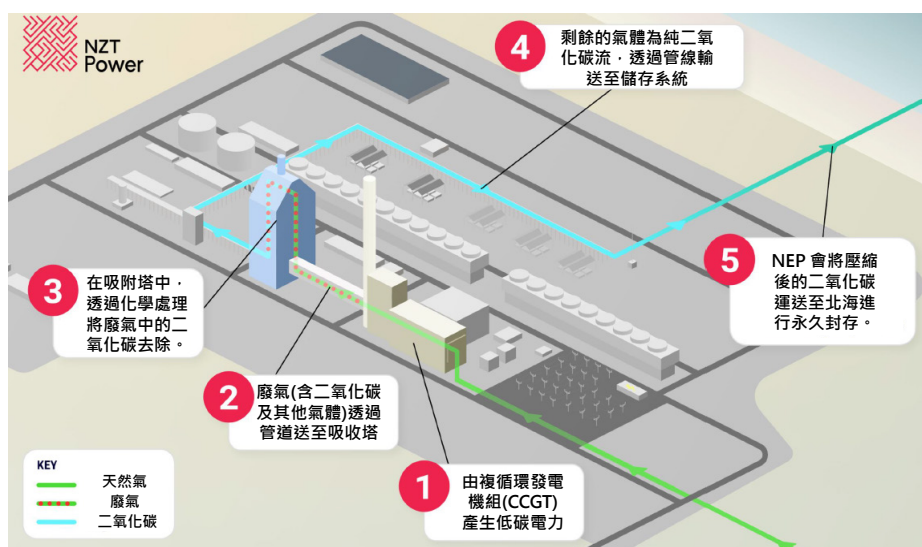


圖 8 Net Zero Teesside Power 電廠概念圖^[64]

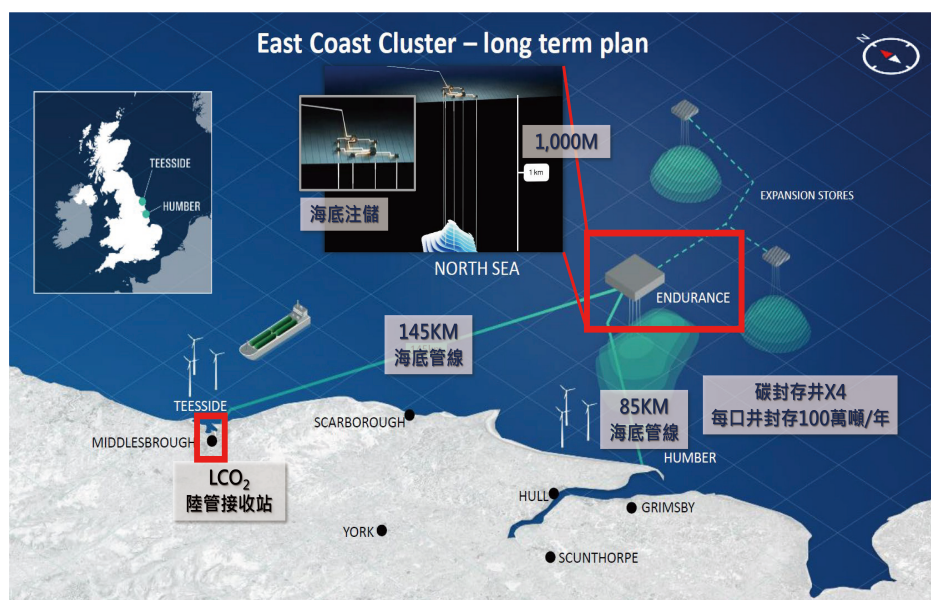


圖 9 東岸集群(East Coast Cluster) CCS 計畫^[65]

三、探討以能源屬性憑證制度賦予 CCS 去碳電力之環境效益證明與產業應用

隨著國際淨零碳排目標推動，各國企業與政府對於低碳與去碳電力的需求快速成長，EAC 成為驅動綠色電力市場發展的重要工具。目前全球主流的 EAC 制度皆以再生能源為主要電力來源基礎，強調透過追蹤電力來源與環境效益的方式，實現企業減碳承諾與永續治理揭露。惟現行制度尚未全面涵蓋具備顯著減碳

效益的非再生能源技術，例如配置 CCS 設施之火力發電廠，形成制度應用上的缺口。

火力電廠透過 CCS 技術將燃燒過程中產生的二氧化碳有效捕捉並永久封存於地層，可實質降低電力生命週期中的溫室氣體排放，並成為再生能源之外，提供穩定無碳電力供應的新解方。隨著「24/7 無碳電力」目標逐步受到國際企業與倡議組織的支持，以及臺灣政府的淨零轉型政策路徑也將 CCS 納入減碳技術發展選

項中，以確保供電穩定與電力去碳化，由此顯示，未來若將 CCS 電力納入能源屬性憑證架構，不僅是實現全天候碳中和供電的關鍵途徑，也有助於驅動新型無碳電力市場的誕生。

然而，目前多數能源屬性憑證與碳權制度所依循之方法學，尚未建立針對火力電廠導入 CCS 技術後所產生去碳電力環境效益之完整核算架構。以澳洲的碳捕存方法學與加州「低碳燃料標準下的碳捕捉和封存協議」(Carbon Capture and Sequestration Protocol under the Low Carbon Fuel Standard, LCFS)為例，其核算範圍主要聚焦於捕捉與封存的碳量本身，並未擴展至「去碳電力」的轉換與認證。因此，若擬建立一套完整且具信賴性的「無碳電力憑證」(CFEC)制度，必須先奠定技術計量與驗證之標準基礎，以使其成為電力交易市場的新選項。

有鑑於此需求，我國由多家國營及民營企業與美國、英國、日本、德國、法國與加拿大等 7 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)共同與英國標準協會(British Standards Institution, 以下簡稱 BSI)合作，建立「二氧化碳捕捉、運輸及封存-去碳電力之監測與核算規範」(PAS 247: Carbon-abated electricity - Monitoring and quantification for carbon capture, transportation and storage - Specification)之國際標準(以下簡稱 PAS 247 標準)^[66]。

依據 BSI 於 2025 年 10 月正式發布的 PAS 247 國際標準文件所示，該標準主要針對配置 CCS 設施之火力電廠，建構完整之去碳電力(Carbon-Abated Electricity, 以下簡稱 CAE)核算與監測規範。標準中明定核算範疇與技術定義，並涵蓋淨發電量、二氧化碳灌注量、外加性二氧化碳排放當量、CCS 設施前機組二氧化碳排放當量等關鍵參數之計算(如公式 1)。同時，標準中亦設計嚴謹的量表設置類型及其規範位置、數據品質管理與查驗證等要求規範，以期

提供可信且可查驗證的核算基礎。

$$\text{去碳電力}(kWh) = \text{淨發電量}(kWh) \times \frac{\text{CO}_2\text{灌注量}(t\text{ CO}_2) - \text{外加性 CO}_2\text{排放當量}(t\text{ CO}_2e)}{\text{CCS 設施前機組 CO}_2\text{排放當量}(t\text{ CO}_2e)} \quad (1)$$

其中，PAS 247 標準定義「外加性二氧化碳排放當量」係指由 CCS 營運商經參考 ISO 14064-1 中的排放範疇(Scope)與排放類別(Category)定義，將其為運作 CCS 設施所需的能耗(例如：電力)轉換為二氧化碳當量後加總所得知。但是，該標準亦考量到部份電廠設置 CCS 之情境可能有所不同，例如：CCS 設施所需之用電，若來自由原核算 CAE 的發電機組所供應，則設置於電廠開關場(Switch Yard)內的售電計量電表(Meter of Feed, MOF)所測得之淨發電量數值，同等於已將 CCS 設施的用電量扣除，則在該情境下，該 CCS 設施的能耗，就不須再重複計算於「外加性二氧化碳排放當量」中。

在量表設置規範方面，PAS 247 標準規範二氧化碳灌注量及 CCS 設施前機組二氧化碳排放當量之數值，應分別於電廠的煙道氣管道、灌注井前設置流量計並搭配氣體分析儀所測得，而 CCS 設施前機組二氧化碳排放當量亦可透過燃料進料量及其燃料碳強度(Carbon Intensity, CI)或燃料熱值推估。除此之外，溫度計、壓力表、水含量量表等也應視實際操作需求及/或適用之國家法規設置。

然而，PAS 247 標準之範疇並未涉及憑證相關之發行或交易議題，惟其量測邊界、量表配置與計算邏輯等，可作為日後建立 CFEC 制度之技術參考。依據該標準所導出之 CAE 數據，未來若結合各國所制定運作 CFEC 制度所需的法規與相關管理辦法，即可作為憑證發行與市場應用之基礎依據(如圖 10)。

從市場端角度觀察，隨著高耗能產業面對碳費、碳權與供應鏈減碳責任等壓力，對全時穩定無碳電力之需求日益增加。資料中心、半

導體產業、高科技製造業等皆指出，僅依賴再生能源難以支應全年無碳電力供電，使混合採購綠電與無碳電力之雙軌策略已被視為可行策略。

未來在 CFEC 制度建立方面，建議政府應優先考量由具公信力之機構建置 CFEC 管理系統，發行具唯一性與可追蹤性之憑證，作為滿足企業對無碳電力需求的支持機制。CFEC 亦可比照 T-REC 制度設計電證合一機制，確保碳減排效益與實際用電行為相符，進而強化企業減碳揭露與 ESG 報告基礎。同時，CFEC 制度將有如 T-REC 認列不同樣態的再生能源設施發電來設計。未來 CFEC 制度可透過於憑證中顯示「能源來源」與「技術類型」之屬性標籤。如

此一來，無論是 CCS 或混燒燃料等技術導入火力發電廠，皆可在統一的 CFEC 交易架構下，透過屬性標示明確區分其電力來源與減碳貢獻，既能滿足多元去碳技術的認證需求，亦確保市場資訊之清晰度。

此外，透過導入 CCS 去碳電力的 CPPA 及綠色金融(Green Finance)機制，將有助於強化 CCS 導入火力發電廠計畫於初期開發階段之投資誘因，提升資金可得性與財務可行性。用電企業透過簽訂 CFEC 之 CPPA，可確保中長期電力來源與碳減排效益，亦為金融機構提供投資風險可預測之依據，進而促使憑證價值轉化為 CCS 技術之資本支出的金融誘因(如圖 11)。



圖 10 無碳電力憑證之概念示意圖

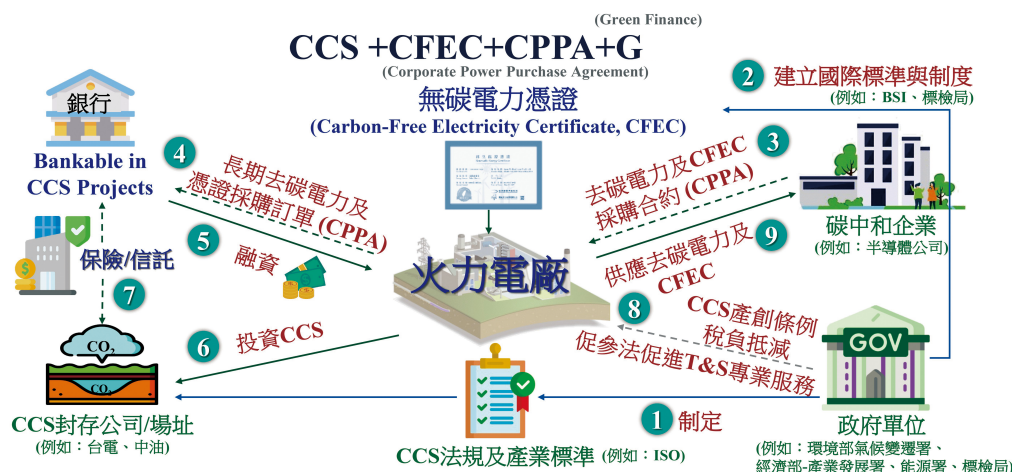


圖 11 CCS 無碳電力憑證市場之制度設計與金融誘因整合架構示意圖

隨著 CFEC 制度之建置與落實，將可與既有再生能源憑證(例如：T-REC)、碳費制度及自願性碳權市場形成多軌整合之碳管理工具體系，為企業提供更具彈性且可驗證之去碳電力選項。對電力系統而言，CFEC 制度將提升電網彈性與低碳韌性，亦有助於實現我國 2050 年淨零排放願景，邁向全時無碳供電之目標。

肆、結論與建議

本研究透過系統性比較歐盟、美國、澳洲、日本與臺灣等主要經濟體的能源屬性憑證制度，發現當前全球主流制度設計多聚焦於再生能源電力，涵蓋項目以太陽能、風能、水力等為主，並透過數據揭露與市場交易方式，協助企業達成碳盤查、RE100 與 ESG 等永續目標。整體制度已具備高度成熟性與透明性，特別在憑證發放、註銷、屬性標示及資訊追蹤等環節均已建構明確規範，對促進綠電流通與市場信心發揮關鍵作用。

然而，隨著 AI、高科技製造、資料中心等高耗能產業迅速發展，企業對「全時穩定供應的無碳電力」需求日益增加。單憑再生能源的間歇性與不確定性，難以滿足長時間、連續供電的商業需求，亦限制了再生能源憑證在實際應用中的減碳效益。因此，未來能源屬性憑證制度如欲呼應到更高標準的氣候行動與淨零轉型目標，勢必需擴大其技術涵蓋範圍，將 CCS 等具備顯著減碳效益的非再生能源技術所生產之電力納入制度認列。

我國已與國際共同推動制定 PAS 247 國際標準，作為全球首個針對配置 CCS 設施之電廠的去碳電力核算與監測規範，明確界定去碳電力核算邏輯。未來若能再借鏡我國既有之 T-REC 憑證制度，將有助加速建立無碳電力憑證(CFEC)制度，為高耗能企業提供除綠電之外、具第三方查驗基礎的去碳電力選項。建議我國推動 CFEC 制度時，可聚焦以下方向：

一、建立 CFEC 法源與技術範疇定義，明確制度定位

目前我國再生能源憑證制度聚焦在再生能源電力，對 CCS 電力尚無法規依據與技術歸屬。建議由能源主管機關制定無碳電力認定原則，界定其適用設備類型與核發條件，並同步推動法規及行政作業程序，為 CFEC 制度建立清晰且具操作性的法律基礎。

二、整合 CFEC 與綠電交易平台與企業購電機制

建議比照 T-REC 發展經驗，設計 CFEC 之「電證合一」交易模式，並納入既有電力交易平台，開放企業透過 CPPA 形式針對特定時段採購 CFEC 所對應的去碳電力，以支持 24/7 碳中和策略與用電排碳揭露。

三、建構公開查驗證制度，強化公信力

以 PAS 247 國際標準作為技術依據，建立 CFEC 量測、申報、第三方查驗與註銷機制，並發展憑證交易所需相關平台，以記錄完整核算與交易路徑，並杜絕重複認列、漂綠爭議，確保制度透明與可信度。

四、以 CFEC 作為 CCS 投資誘因，建立財務連結機制

建議將 CFEC 憑證納入綠色融資與碳費抵減計算邏輯，協助火力電廠導入 CCS 技術時取得投資誘因。同時，火力電廠可藉 CFEC 主張碳減排成效，並搭配 CPPA 作為向銀行進行綠色融資之還款依據，加速形成以環境效益為本的去碳能源經濟。

總體而言，面對 2050 年淨零排放願景與電力供應韌性需求，臺灣亟須擴大能源屬性憑證制度涵蓋範圍，強化多元再生能源、去碳電力來源的認證發展。因應我國 2050 年淨零目標與能源安全挑戰，透過 T-REC 與 CFEC 雙軌制度，整合再生能源與 CCS 去碳電力來源，不僅

可提升企業碳管理彈性與產業競爭力，更有助我國建立具國際銜接性之電力減碳架構，加速邁向穩健、韌性兼具的永續能源體系。

伍、誌謝

感謝台灣電力股份有限公司 2024-2025 年委託研究計畫「零碳電力憑證之碳捕捉端規範研擬計畫」支持，使本期刊論文可順利完成。

陸、參考文獻

- [1] IEA, “Renewables Analysis and forecast to 2030,” 2024, [Online]. Available: [extension://e faidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/ https://iea.blob.core.windows.net/assets/17033b62-07a5-4144-8dd0-651cdb6caa24/Renewables2024.pdf](https://www.iea.org/analysis/renewables-analysis-and-forecast-to-2030).
- [2] 經濟部，「能源轉型白皮書(核定本)」，2020 年。
- [3] European Union (n.d.), “Renewable energy,” [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy_en.
- [4] Renewable, “How changing EU regulatory frameworks will impact the market for GOs,” 2024, [Online]. Available: <https://www.renewable.com/post/how-changing-eu-regulatory-frameworks-will-impact-the-market-for-gos>.
- [5] AIB, “The Association of Issuing Bodies (AIB) operating EECS,” 2023, [Online]. Available: <https://www.aib-net.org/sites/default/files/assets/homepage/AIB-2023-AIB%20The%20European%20Energy%20Certificate%20System%20-%20generic%20presentation%20website%20-%20112023.pdf>.
- [6] AIB, “AIB and EECS,” 2022, [Online]. Available: <https://www.aib-net.org/sites/default/files/assets/homepage/AIB-2022-AIB-01%20AIB%20and%20EECS%20-%202028062022.pdf>.
- [7] AIB (n.d.), “Life cycle,” [Online]. Available: <https://www.aib-net.org/certification/introduction/life-cycle>.
- [8] AIB, “The Association of Issuing Bodies (AIB) operating EECS,” 2023, [Online]. Available: <https://www.aib-net.org/sites/default/files/assets/homepage/AIB-2023-AIB%20The%20European%20Energy%20Certificate%20System%20-%20generic%20presentation%20website%20-%20112023.pdf>.
- [9] AIB (n.d.), “European Residual Mix,” [Online]. Available: <https://www.aib-net.org/facts/european-residual-mix>.
- [10] U.S. Environmental Protection Agency, “Renewable Energy Certificates (REC),” 2024, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/green-power-markets/renewable-energy-certificates-REC>.
- [11] U.S. Department of Energy, “Renewable Energy Certificates Overview,” 2024, [Online]. Available: https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/RECs_Overview.pdf.
- [12] Center for Resource Solutions, “Green-e® certification,” 2024, [Online]. Available: <https://resource-solutions.org/>.
- [13] U.S. Environmental Protection Agency, “Renewable, Energy Tracking Systems,” 2024, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/green-power-markets/renewable-energy-tracking-systems>.
- [14] Energy Technologies Area, Berkeley Lab, “U.S. Renewables Portfolio Standards 2021 Status Update: Early Release,” 2021, [Online]. Available: <https://emp.lbl.gov/publications/us-renewables-portfolio-standards-3>.
- [15] New York Power Authority, “NYPA Renewables Strategic Plan Public Comment Draft,” 2024.
- [16] EPA, “Renewable Energy Tracking Systems,” 2024, [Online]. Available: <https://www.epa.gov/green-power-markets/renewable-energy-tracking-systems>.
- [17] Australian Government Clean Energy Regulator, “Renewable Energy Target,” 2024, [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target>.
- [18] Australian Government Clean Energy Regulator, “Eligibility for the Renewable Energy Target,” 2024, [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target/eligibility-renewable-energy-target#large-scale-renewable-energy-target-eligibility>.
- [19] Australian Government Clean Energy Regulator, “Large-scale generation certificates,” 2024,

- [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target/large-scale-renewable-energy-target/large-scale-generation-2>.
- [20] Australian Government Clean Energy Regulator, “*Certificate shortfall*,” 2024, [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target/renewable-energy-target-liability-and-exemptions/certificate-0#small-scale-technology-shortfall>.
- [21] Australian Government Clean Energy Regulator, “*Calculate large-scale generation certificate entitlements*,” 2024, [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target/large-scale-renewable-energy-target/large-scale-generation-1>.
- [22] Australian Government Clean Energy Regulator, “*Calculate small-scale technology certificate entitlements*,” 2024, [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target/small-scale-renewable-energy-scheme/small-scale-technology-certificates/calculate-small-scale-technology-certificate-entitlements>.
- [23] Australian Government Clean Energy Regulator, “*Buy and sell small-scale technology certificates*,” 2024.
- [24] Australian Government Clean Energy Regulator, “*Renewable energy certificates*,” 2024.
- [25] Australian Government Clean Energy Regulator, “*Renewable power percentage*,” 2024, [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target/renewable-energy-target-liability-and-exemptions/renewable-power-percentage>.
- [26] Australian Government Clean Energy Regulator, “*Certificate shortfall*,” 2024, [Online]. Available: <https://cer.gov.au/schemes/renewable-energy-target/renewable-energy-target-liability-and-exemptions/certificate-0#small-scale-technology-shortfall>.
- [27] Renewable Energy Institute, “*Renewable electricity procurement guidebook*,” 2023, [Online]. Available: https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/RE_Procurement_Guidebook_EN_2023.pdf.
- [28] 3Degrees, “*Japan NFCs: Are they right for your organization?*,” 2024, [Online]. Available: <https://3degreesinc.com/insights/japan-nfcs-are-they-right-for-your-organization>.
- [29] Renewable Energy Institute, “*Renewable Electricity Procurement Guidebook*, 2023,” [Online]. Available: https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/RE_Procurement_Guidebook_EN_2023.pdf. [Accessed: 5-March-2024]
- [30] Renewable Energy Institute, “*Renewable Electricity Procurement Guidebook*,” 2023, [Online]. Available: https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/RE_Procurement_Guidebook_EN_2024.pdf?utm_source=chatgpt.com.
- [31] 3Degrees, “*Japan NFCs: Are they right for your organization?*,” 2024, [Online]. Available: https://3degreesinc.com/insights/japan-nfcs-are-they-right-for-your-organization/?utm_source=chatgpt.com.
- [32] Institute of Energy Economics, Japan, “*Study on Renewable Electricity Procurement in Japan*,” 2022, [Online]. Available: https://eneken.ieej.or.jp/registration/member_login.php?url=%2Fdata%2F10515.pdf%3Futm_source%3Dchatgpt.com.
- [33] 經濟部(n.d.), 「推動能源轉型「展綠、增氣、減煤、非核」」, https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/Policy/Policy.aspx?menu_id=32800&policy_id=9.
- [34] 國家再生能源憑證中心, 「109 年年報」, 2022 年, <https://www.trec.org.tw/epaper2/download/4202ca26-b855-4145-a05a-6dad4551db5e>.
- [35] 國家再生能源憑證中心, 「再生能源憑證制度及綠電交易介紹」, 2024 年, <https://www.trec.org.tw/documents/81.pdf>.
- [36] 國家再生能源憑證中心, 「再生能源憑證申請及管理作業程序」, 2022 年, <https://www.trec.org.tw/page/%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90%E6%86%91%E8%AD%89%E7%94%B3%E8%AB%8B%E5%8F%8A%E7%AE%A1%E7%90%86%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E7%A8%8B%E5%BA%8F>.
- [37] 國家再生能源憑證中心, 「再生能源電力及憑證媒合服務作業程序」, 2020 年, <https://www.trec.org.tw/page/%E5%86%8D%E7%94%9F%E8%83%BD%E6%BA%90%E9%9B%BB%E5%8A%9B%E5%8F%8A%E6%86%91%E8%AD%89%E5%AA%92%E5%90%88%E6%9C%8D%E5%8B>.

- %99%E4%BD%9C%E6%A5%AD%E7%A8%8B
%E5%BA%8F.
- [38] 台灣電力公司(n.d.), 「電能轉直供服務資訊公開」, <https://service.taipower.com.tw/power-wheeling/static/faq.html>.
- [39] Australian Government Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water (n.d.), “Renewable Energy Target scheme,” [Online]. Available: <https://www.dcceew.gov.au/energy/renewable/target-scheme>.
- [40] McKinsey & Company, “Guarantees of origin: Playing a vital role in decarbonization,” 2024, [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/guarantees-of-origin-playing-a-vital-role-in-decarbonization>.
- [41] United Nations, “24/7 Carbon-Free Energy Compact,” [Online]. Available: <https://www.un.org/en/energy-compacts/page/compact-247-carbon-free-energy>.
- [42] 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?,” [Online]. Available: <https://gocarbon-free247.com/frequently-asked-questions/>.
- [43] Office of the Federal Chief Sustainability Officer, n.d., “100% Carbon Pollution-Free Electricity on a Net Annual Basis by 2030, Including 50% on a 24/7 Basis,” [Online]. Available: <https://www.sustainability.gov/archive/biden46/federalsustainabilityplan/carbon.html>.
- [44] Google, “24/7 Carbon-Free Energy: Methodologies and Metrics,” 2021, [Online]. Available: www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/24x7-carbon-free-energy-methodologies-metrics.pdf.
- [45] Microsoft, “Microsoft Consumer Devices Life Cycle Assessment Methodology Overview,” 2024, [Online]. Available: https://makersite.io/wp-content/uploads/2023/01/Microsoft_Device_LCA_Methodology_v2.1_Executive_Summary-1.pdf.
- [46] Climate Group, “International businesses back new initiative to boost carbon-free power across the world,” 2024, [Online]. Available: <https://www.theclimategroup.org/247-coalition-launch>.
- [47] IEA, “The role of CCUS in low-carbon power systems,” 2020, [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-ccus-in-low-carbon-power-systems/how-carbon-capture-technologies-support-the-power-transition>.
- [48] GCCSI, “Global Status of CCS 2025,” 2025.
- [49] IEA, “Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, 3rd revision,” 2021.
- [50] Toby Lockwood, “Carbon capture and storage: What can we learn from the project track record?,” 2024, [Online]. Available: <https://www.catf.us/resource/carbon-capture-storage-what-can-learn-from-project-track-record/>.
- [51] International CCS Knowledge Centre, “Boundary Dam 3 Carbon Capture and Storage (CCS) Facility,” 2024, [Online]. Available: <https://ccsknowledge.com/our-services/expertise/bd3-ccs-facility>.
- [52] MIT Carbon Capture & Sequestration Technologies, “Boundary Dam Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project,” 2016, [Online]. Available: https://sequestration.mit.edu/tools/projects/boundary_dam.html.
- [53] Saskpower, “BD3 Status Update: Q2 2025,” 2024, [Online]. Available: <https://www.saskpower.com/about-us/our-company/blog/2025/bd3-status-update-q2-2025>.
- [54] PTRC, “Aquistore Project Reaches +500,000 Tonnes of CO2 Stored,” 2023, [Online]. Available: <https://ptrc.ca/media/whats-new/aquistore-co2-storage-project-reached-+500000-tonnes-stored>.
- [55] Petroleum Technology Research Centre (PTRC), “Aquistore project: Lessons learned in three key areas - operations, reservoir monitoring and solids precipitation, 17th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies GHGT-17, 20th-24th October 2024, Calgary Canada,” 2024, [Online]. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5068058.
- [56] International Energy Agency (IEA), “CCUS in Power - Analysis,” 2021.
- [57] Clean Air Task Force, “Carbon capture and storage: What can we learn from the project track

- record?,” 2024, [Online]. Available: <https://www.catf.us/resource/carbon-capture-storage-what-can-learn-from-project-track-record/>.
- [58] ENEOS Xplora Inc., “*Petra Nova Captures More Than Five Million Tons of Carbon Dioxide-Carbon reduction equivalent to removing approximately 1.2 million passenger cars from American roads for a year--*,” 2025, [Online]. Available: https://www.eneos-xplora.com/english/newsrelease/upload_files/Xplora20250217EN.pdf?utm_.
- [59] DOE、NETL, “*Final Scientific/Technical Report Petra Nova*,” 2020, [Online]. Available: https://www.osti.gov/servlets/purl/1608572_.
- [60] JX Nippon Oil & Gas Exploration, “*Restart of the large-scale Petra Nova Carbon Capture Facility in the U.S.*,” 2023, [Online]. Available: https://www.nex.jx-group.co.jp/english/newsrelease/upload_files/20230913EN.pdf_.
- [61] Net Zero Teesside, “*Net Zero Teesside Power*,” 2024, [Online]. Available: <https://www.netzero.teesside.co.uk/project/>.
- [62] Andrew Fawthrop, “*Learning from Petra Nova: What are the lessons for carbon capture technology?*,” 2020.
- [63] Net Zero Teesside, “*Net Zero Teesside Power and the Northern Endurance Partnership select contractors for c.£4bn construction contracts*,” 2024, [Online]. Available: <https://www.netzero.teesside.co.uk/news/net-zero-teesside-power-and-the-northern-endurance-partnership-select-contr actors-for-c-4bn-construction-contracts/>.
- [64] Equinor, “*Net Zero Teesside Power and Northern Endurance Partnership awarded development consent by UK Government*,” 2024, [Online]. Available: https://www.equinor.com/news/uk/nzt-power-and-nep-awarded-dco-by-uk-government_.
- [65] BP, “*Net Zero Teesside Power*,” 2024.
- [66] The British Standards Institution, “*PAS 247, Carbon-abated electricity - Monitoring and quantification for carbon capture, transportation and storage - Specification, Draft for Public Consultation*,” 2025.