國家再生能源憑證中心

National Renewable Energy Certification Center

109年 年報

發行所
國家再生能源憑證中心

發行人
國家再生能源憑證中心主任 黃志文

地址
100 台北市中正區濟南路一段 4 號

電話
02-2343-1850

案場名稱 彰苑風力發電股份有限公司
富威電力提供

目錄

序言 ---------- **P3**

憑證未來 ---------- **P4**

以 T–REC 支持淨零轉型構想 P5

我國再生能源憑證規費繳費系統電子化服務介紹 P9

憑證市場概況 ---------- **P11**

台灣再生能源憑證市場與發展趨勢介紹 P12

台灣再生能源憑證市場調查介紹 P21

攜手企業邁向永續發展 國家企業環保獎 P27

健全憑證市場 ---------- **P29**

政府協助企業多元使用綠電、取得憑證:以單一電號多用戶示範計畫為例 P30

2020 能源科技論文與再生能源憑證應用國際研討會:銜接國際–擴大我國再生能源憑證市場與應用 P32

TASS 2020 專家齊聚研討打造綠色永續家園 P35

沼氣綠電憑證申設示範案例說明-台糖大響營第一畜殖場案場 P38

知識充電站 ---------- **P47**

智慧變流器通訊安全傳輸機制探討與實務 P48

不同安裝方式對於於太陽光電模組發電性能研究 P64

以非線性模型風況分析暨發電量評估 P79

憑證里程碑 ---------- **P90**

能源轉型里程碑！完成綠電年交易量達 8 億度 P91

結語 ---------- **P93**

序言

自 2017 年正式啟動再生能源憑證制度建立與推動計畫至今，在業界全力支持與能源局及台電公司等單位協助輔導下，已成功啟動國內再生能源轉供案例，並於 2020 年繳出年交易量 8 億度的好成績，共有 24 家企業參與，觀察綠電買家已從傳統的電子業擴及到生技業、美妝業、法律服務業及商辦大樓等，不僅開啟我國再生能源發展新篇章，更為我國再生能源交易注入全新成長動力。

除了努力擴大綠電交易規模外，本局在深化國際鏈結也不遺餘力，我國再生能源憑證已獲得國際知名的環境資料揭露申報系統(CDP)、美國電子產品環境影響評估工具(EPEAT)與再生能源使用倡議組織(RE100)認可，有助於台灣企業提高自身環境、社會與公司治理(ESG)指標的競爭力，增進企業使用再生能源於永續投資之價值，俾接軌國際綠色供應鏈。此外，本局於 APEC 所研提之「利用再生能源憑證促進亞太地區綠能發展」提案亦獲得 APEC 正式支持，未來將建構亞太再生能源憑證與市場交流倡議平台，作為建構常態性交流機制。

隨著永續發展成為主流價值，企業也逐漸意識到重視環境永續亦是其可持續發展的重要基礎，截至 2021 年 7 月為止，我國已有 10 家企業加入倡議使用 100%綠電的 RE100 組織，產業範疇涵蓋生技業、半導體業、紡織業及科技業，這現象代表企業已逐漸落實永續經營理念，同時採取使用綠電等具體行動，給予下一代更好的永續生活環境。

經濟部標準檢驗局在促進我國綠電交易上則扮演著樞紐的角色，協助開創我國自願性綠電交易市場，推動能源轉型，未來也將持續拓展再生能源憑證應用領域，協助企業落實碳中和及提升再生能源使用目標，進而支持臺灣發展成為亞太綠能中心。

經濟部標準檢驗局局長: 連錦漳

憑證未來

- 以 T-REC 支持淨零轉型構想介紹
- 我國再生能源憑證規費繳費系統電子化服務介紹

案場名稱 鹿威-彰濱風場
再生能源憑證中心提供

以 T-REC 支持淨零轉型構想介紹

文/台灣經濟研究院 陳冠婷助理研究員

一、淨零排放介紹

隨著全球暖化日益嚴重，國際上許多國家或城市，近期也紛紛宣布將氣候變遷升級為氣候緊急狀態(Climate Emergency)，然而為免除極端氣候衝擊，全球需於 2030 年前使溫室氣體排放量減半，並在本世紀中葉達成淨零排放(Net-zero Emissions)。(如圖 1 及圖 2)。

淨零排放意旨溫室氣體排放為零，全世界目前倡議追求淨零目標包含全世界 61%的排放，經濟規模達 68%，全世界 56%的人口都含括在 2050 達到淨零目標的承諾框架下，可知未來全世界的經濟都會往淨零方向發展，是人類長期追求的目標。

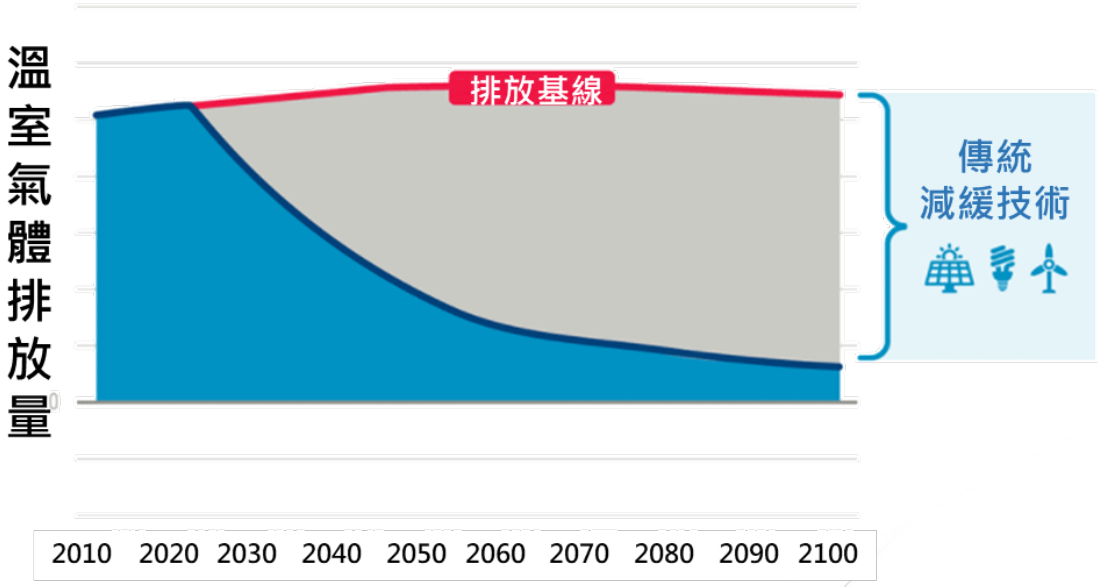


圖 1、傳統低碳經濟示意圖

資料來源：WRI

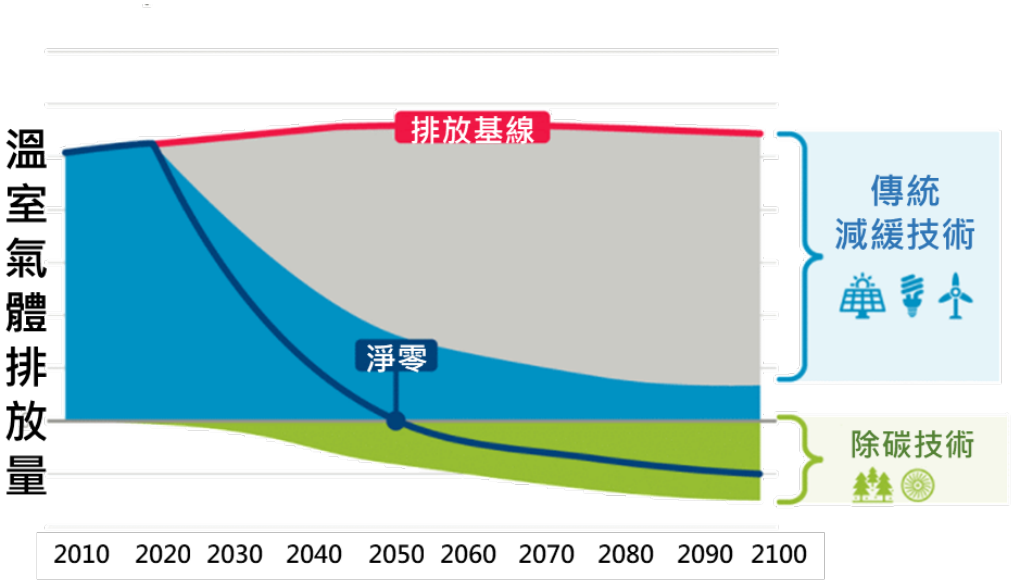


圖 2、達到淨零排放示意圖

資料來源：WRI

然而世界上有諸多的企業和當地政府領導人透過聯合國高級氣候領導者「向零競逐」(Race To Zero Campaign)活動來支持強大的國家氣候野心。此活動號召 471 座城市、23 個區域、1675 家企業、85 家大型投資者組成引領淨零倡議，承諾最遲在 2050 前達成淨零排碳。

向零競逐有 4 個準則，分別為宣誓、計畫、前進及揭露，代表組織高層需於 2040 年前或更早，或最晚在本世紀中達成淨零誓言，並說明朝向達成淨零採取之步驟，特別針對短期與中期，設定每個十年的過程目標，緊接著立即採取行動朝向達成淨零承諾，和達到過程目標有一致性，最後承諾至少每年公佈執行進步，以平台填入聯合國氣候變遷綱要公約全球氣候行動入口。

全球倡議設計淨零目標的最低原則為要求各地區、城市、企業、投資者和公民社會承諾於 2050 年實現淨零排放，並在 2021 年的聯合國氣候峰會前提交計畫。此外，聯合國秘書長邀請各國提出淨零目標，也越來越多國家加入氣候雄心聯盟（Climate Ambition Alliance），希冀藉此實現淨零排放願景。

二、全球重要國家氣候與綠能政策

近期許多國家，例如：美國、歐盟、日本、韓國、新加坡皆不約而同開始承諾追求達成碳中和或氣候中和，實行能源轉型政策，在面對新冠肺炎所造成的經濟衝擊時，選擇以保護氣候為核心，推出新的綠色新政，刺激經濟產業。

以美國為例，美國總統當選人拜登(Joe Biden)選舉時提出「綠色新政」，承諾於 2035 年讓美國用風力或太陽能取代煤發電廠，達成無碳發電，並在 2050 年禁止化石燃料使用，讓美國成為 100%採用再生能源的經濟體。推動再生能源最積極的歐洲，2020 年底承諾 2050 年實現氣候中和，並將這此目標納入歐洲氣候法，期望讓歐洲成為溫室氣體排放量為零的經濟體。日本首相菅義偉承諾日本 2050 年達到「碳中和」，並將發展綠能，帶動工業結構及經濟社會轉型，促進經濟成長。然而全球暖化是這個時代的課題，臺灣不能夠置身事外，蔡英文總統也於 2021 年 4 月 22 日世界地球日宣布，台灣將於 2050 年達成淨零排放目標，因此我們可以知道淨零不僅是全球的共識也是台灣的目標。

三、以 T-REC 支持碳中和再生能源新世界

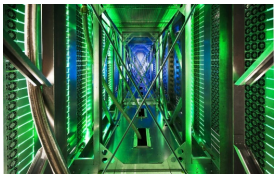
台灣在完成《電業法》及《再生能源發展條例》修正後，行政院以綠電先行為原則，電業劃分中新增再生能源發電業及綠能售電業，開放綠電直供及轉供，以及再生能源售電業自由買賣。隨後公布施行「再生能源憑證實施辦法」，經濟部標準檢驗局(以下簡稱標準局)於 2017 年建立台灣再生能源憑證(以下簡稱 T-REC)制度，T-REC 為再生能源電力的身分證，係指再生能源發電對有利於環境屬性的產權，是電力消費者具體化再生電力使用宣告的必要工具。

此外，標準局為使再生能源憑證可應於不同領域(如圖 3)，除已於 2020 年所推動的單一電號多用戶示範計畫，提供非單一電號持有者可以順利取得再生能源電能及憑證之途徑，目前也正規劃將再生能源憑證應用於再生能源資訊產品、再生能源高鐵票、再生能源資料中心雲端服務、再生能源電動車及綠氫，協助企業減少範疇一、範疇二與範疇三溫室氣體排放，進而達成碳中和目標。

再生能源商業大樓

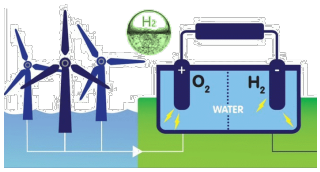
再生能源資訊產品

再生能源高鐵票



再生能源資料中心
雲端服務

再生能源電動車



綠氫零碳排

圖 3、再生能源憑證應用於不同領域構想

資料來源:台灣經濟研究院

四、結論

隨著全球支持再生能源已逐漸形成共識，人們對再生能源可提供如：環境效益、價格穩定、改善公共健康、減少能源貧困與創造就業機會等各式各樣的價值與利益的認同感不斷提高，可觀察到再生能源已逐漸擴散。未來在我們的世界未來將會有更多的再生能源商業大樓、再生能源資訊產品、再生能源運輸或雲端服務、再生能源電動車、綠氫等商品可供選擇，讓企業或個人可以感受再生能源在氣候、健康與經濟等方面為我們帶來多樣經濟環境或生活。

我國再生能源憑證規費繳費系統電子化服務介紹

文/財團法人台灣商品檢測驗證中心 游家林、黃凱斌

國家再生能源憑證中心(以下簡稱憑證中心)自 2020 年 7 月 1 日起，依「商品檢驗規費收費辦法」第 19 條之 5 計收相關規費，其規費項目及金額如下：

1. 審查費：申請再生能源憑證，每張憑證新臺幣三元。
2. 服務費：受讓再生能源憑證，每張憑證新臺幣零點五元。
3. 評鑑費：憑證案場查核，每人每天新臺幣八千元。但評鑑時間未達四小時者，減半計收。

目前相關規費從繳費單建立到完成繳費其相關說明如下：

1. 首先由憑證中心人員整理需要繳納費用之廠商並建立繳費清單。
2. 憑證中心人員產生對應之繳費單再發信寄予相關之廠商。
3. 廠商收到繳費通知信件後，可選擇至臨櫃繳費或是匯款的方式進行繳費。
4. 繳費完成後再將繳費收據提供給憑證中心。
5. 憑證中心收到繳費收據後再委由相關人員依據繳費單編號進行比對是否
6. 繳費完成。
7. 確認該筆繳費單確實進行繳費後再依據繳費單內容進行憑證的發放/移轉或憑證案場查核後續作業。

這些作業過程許多步驟都需要人工的方式處理，如建立繳費清單、產生繳費單、發信通知廠商進行繳費、比對確認繳費單是否已完成繳費等，亦增加不少作業時間，因此憑證中心規劃建置繳費系統與相關自動化功能，以期節省人力工時，並加速整個繳費作業流程之進行。

首先以資訊安全考量，繳費系統將是一個獨立運作系統，而非於現有之再生能源憑證系統上進行擴充開發，但仍有必要之資訊需要相互同步，如需繳納之規費是否已完成繳費才能於再生能源憑證系統上進行憑證發放/移轉或憑證案場查核後續作業，因此繳費系統與再生能源憑證系統間將以 Web API 方式傳遞相關必要之資訊，並以白名單方式控管兩系統之連結以降低資安風險。

有了這些相關必要資訊的傳遞同步，即可依據再生能源憑證系統上之勾稽比

對於繳費系統上自動產生對應之繳費單，再自動寄送繳費通知信件給相關廠商進行繳費。

當廠商收到繳費通知後，可至繳費平台進行繳費金額確認，確認完成後，系統將自動生成虛擬帳號予該繳費單，廠商即可進行繳費(可使用匯款或臨櫃繳費)。

若廠商使用匯款至虛擬帳號方式完成繳費，僅需由相關人員進行入帳確認；若廠商使用臨櫃繳費的方式則需自行登入繳費系統並上傳繳費收據，最後再由相關人員進行入帳確認。

當入帳確認完成後，系統將自動同步相關規費繳納狀態到再生能源憑證繳費系統上，並自動進行再生能源憑證的發放/移轉與憑證案場查核後續作業，相關繳費作業關聯圖請見圖 4。

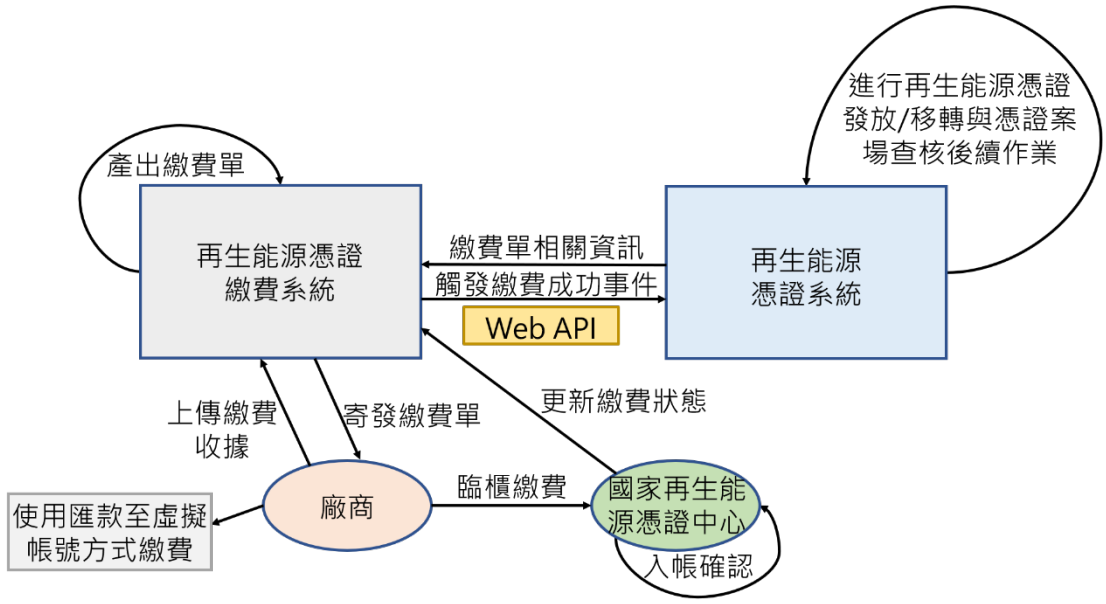


圖 4、繳費作業關聯圖

憑證市場概況

- 台灣再生能源憑證市場與發展趨勢介紹
- 台灣再生能源憑證市場調查介紹
- 攜手企業邁向永續發展-國家企業環保獎

日月潭 水溢吐 日月潭
國家風景區管理處提供

台灣再生能源憑證市場與發展趨勢介紹

文/台灣經濟研究院 陳冠婷、陳彥豪、馬雲琅、左峻德

摘要

綠色電力係指在生產過程中為環境帶來的衝擊相對較小，具有環境外部效益。由於物理電流不具方向性，故當綠電併入電網後使用者無法區分電力來源與計算綠電實際使用比例，因此，藉由再生能源憑證將再生能源電能所代表的環境效益具體呈現，使得環境效益無須經過綠電物理鏈結即可實現讓與轉移。我國自願性再生能源憑證制度自 2017 年開始規劃發展至今，國內接續完成第一波與第二波再生能源轉供交易，共有 50 家企業以上參與再生能源憑證市場，預計年交易量高達 8 億度以上。本文將介紹 T-REC 制度發展及相關法規、再生能源憑證移轉模式介紹、再生能源憑證交易與市場概況、T-REC 創新讓與模式及台灣再生能源自由市場憑證供需預測，供規劃進入國內再生能源憑證市場參與者參考。

一、T-REC 制度發展及相關法規

由於電力是電子的流動，因此無法知道特定電子來自於何處，例如源自於哪座太陽能或天然氣發電廠。再生能源憑證藉由給定再生能源電力所有權並建構再生能源產生與使用追蹤系統。再生能源憑證代表再生能源發電對有利於環境屬性的產權，係電力消費者具體化再生電力使用宣告的必要工具，如圖 5。再生能源憑證可以在市場上購買或出售。在簽訂再生能源購售電合約(PPA)時，需一起簽定再生能源憑證的所有權。

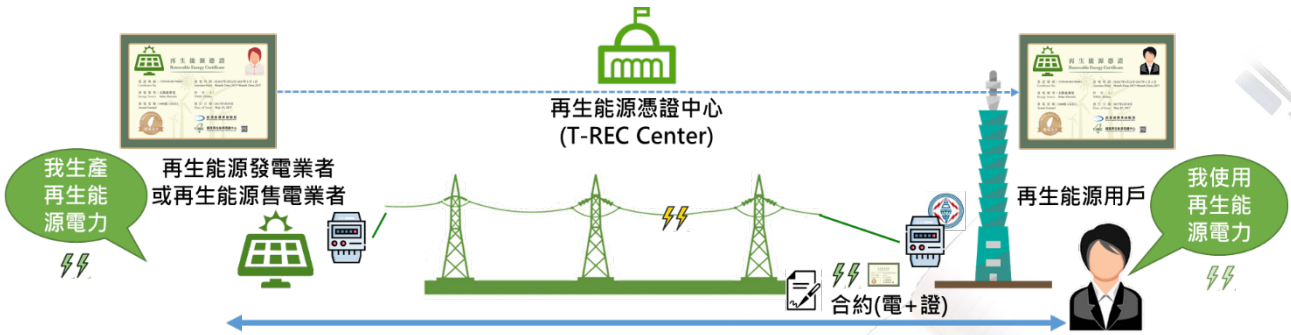


圖 5、利用再生能源憑證宣告使用再生能源示意圖

資料來源：本研究

因應國家能源轉型與企業對再生能源採購需求日增情勢，我國修正透過電業法及再生能源發展條例健全再生能源電市場發展。根據《再生能源發展條例》第3條第13項「再生能源憑證：指核發單位辦理再生能源發電設備查核及發電量查證後所核發之憑證。」標準局於2017年公布施行《自願性再生能源憑證實施辦法》建立T-REC制度，並於2017年12日成立「憑證中心」與「再生能源資訊管理平台」，接受「再生能源發電業」或「再生能源自用發電設備設置者」申請發行T-REC，惟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。依據《再生能源發電業申請直供審查規則》第12條「再生能源發電業依本規則直供電能於用戶者，得交付用戶與電度表所載電量相等且由標準檢驗主管機關核發之再生能源憑證。併網型直供者與公用售電業於第四條第四項之合約中，得約定交付公用售電業與銷售電量相等且由標準檢驗主管機關核發之再生能源憑證。」另依據《電力調度原則綱要》第17條「輸配電業依再生能源發電業申請進行轉供電能後，得要求再生能源發電業出具與轉供電量相符且由標準檢驗主管機關核發之再生能源憑證，以供查核。」

配合再生能源發展條例修法後，新增用電大戶綠電義務規定，標準局於2020年公布施行《再生能源憑證實施辦法》，將憑證應用從自願性擴展到義務性再生能源使用。T-REC已與RE100再生能源倡議組織、CDP環境資料揭露申報系統、EPEAT永續商品及綠色商品採購評比系統、國家溫室氣體登錄平台連結、政府機關綠色採購、台灣公司治理評鑑、綠建築標章、綠色工廠標章、第二類環保標章、企業環保獎完成連結工作。前述各項企業永續發展環境構面價值體系與再生能源使用連結，將可有效彰顯企業使用再生能源支持其經濟活動的價值，進而鼓勵更多企業響應，讓自由化的再生能源市場進一步推升再生能源發展。

二、再生能源憑證移轉模式介紹

台灣現行再生能源憑證移轉主要分為「電證合一」及「電證分離」等兩種方式。電證合一係指憑證伴隨電力交易移轉至再生能源用戶，而用戶取得電力及憑證；電證分離的移轉模式則是將再生能源實體電力與其環境效益區分開來，其中再生能源發電設備所生產之電力被視為一般電力，而再生能源電力之環境效益則隨著憑證交易移轉至環境效益需求戶。目前在台灣企業已可採取(一)再生能源購

售電契約附加憑證；(二)直接採購再生能源憑證的方式作法，達成企業使用再生能源之承諾或環評要求。每一張再生能源憑證代表 1MWh 再生能源電力，目前以電證合一方式銷售為主，自用發電設置者之自發自用綠電可向憑證中心申請電證分離憑證，依據《再生能源憑證實施辦法》第七條「採自發自用者，得將其未經使用或宣告之憑證讓與其他受讓人。」，電證分離僅針對自用發電設備設置者將憑證轉賣移轉。再生能源電力及憑證交易價格由雙方買賣合約訂之。

三、再生能源憑證交易與市場概況

標準局於 2017 年成立憑證中心，負責「憑證申請與管理」、「登錄憑證媒合資訊」、「憑證追蹤及稽查」以及「國內推廣及國際認可」等業務。統計至 2020 年 12 月 31 日，已發行憑證 180,964 張 (代表再生能源電 18,096.4 萬度)，其中風力發電憑證 79,579 張，太陽光電憑證 101,226 張，生質能憑證 159 張。2017 年 7 月開始推動國內再生能源憑證市場交易輔導示範計畫，邀集有意願參與國內再生能源憑證市場之供給者、需求者、媒合機構等，參與示範再生能源憑證之市場交易及移轉管理機制，並測試國內再生能源憑證市場性。自 2020 年 5 月以來國內接續完成第一波與第二波再生能源轉供交易，共有 24 家企業參與，8 家綠電用戶、12 家綠電發電業與 4 家綠電售電業，總裝置容量近 372 MW，預計年交易量達 8 億度以上。統計至 2020 年 12 月底，共完成 271 筆交易，累計 58,848 張憑證移轉(如圖 6)。分析目前國內採購再生能源產業包含電腦通信及電子產品製造業、電信服務業、金融壽險業、紡織業、生技業、美妝業等為主。

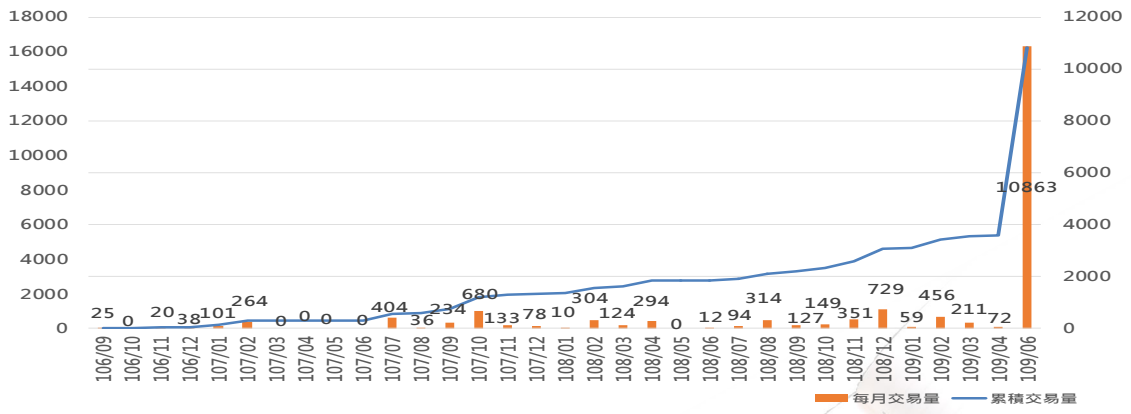


圖 6、T-REC 交易情形

資料來源：憑證中心

Google、Apple、Lululemon、Nike 等國際級企業承諾使用 100%再生能源，同時要求供應商使用再生能源，帶動國際綠色供應鏈。企業為提升企業形象及國際能見度，加入 RE100 倡議例如台積電等，承諾於 2050 年前使用 100%再生能源。金管會推動公司治理 3.0，提升企業永續發展，營造健全永續發展環境社會及公司治理(Environmental, Social, Governance,以下簡稱 ESG)生態體系。另外部分使用一定容量以上電力用戶規劃採行購買再生能源電力及憑證，履行設置再生能源義務。前述因素是驅動國內企業採購再生能源主要驅動力。

四、T-REC 創新讓與模式

金融業、資訊業、零售業及商業品牌較少生產基地，主要經濟活動多發生於租賃商辦，無足夠空間設置再生能源發電設備。過去再生能源轉供憑證移轉，僅依據台電公司電表採計轉供電量讓與商業大樓，因此如何讓大樓承租企業獲得再生能源憑證用於企業社會責任宣告，成為企業國內外金融業、資訊及商業品牌等企業所面臨之課題。租賃商辦承租戶多採設置參考電表或以租用地坪比例分攤電費。為了使商辦大樓內無獨立電表企業，可以順利取得再生能源電能及憑證，標準局於 2020 年 11 月推出再生能源憑證單一電號多用戶交易輔導示範計畫，擬邀集有意願參與之再生能源供需雙方，試行單一電號多用戶採購再生能源電能及憑證之模式。

該計畫依據租用標準局檢驗合格電表，採計場所用電量及該戶分攤公共用電量，認定「受讓人用電量」。依據租用標準局檢驗合格電表，採計場所用電量及該戶分攤公共用電量，認定「受讓人用電量」。配合企業年度社會責任報告與溫

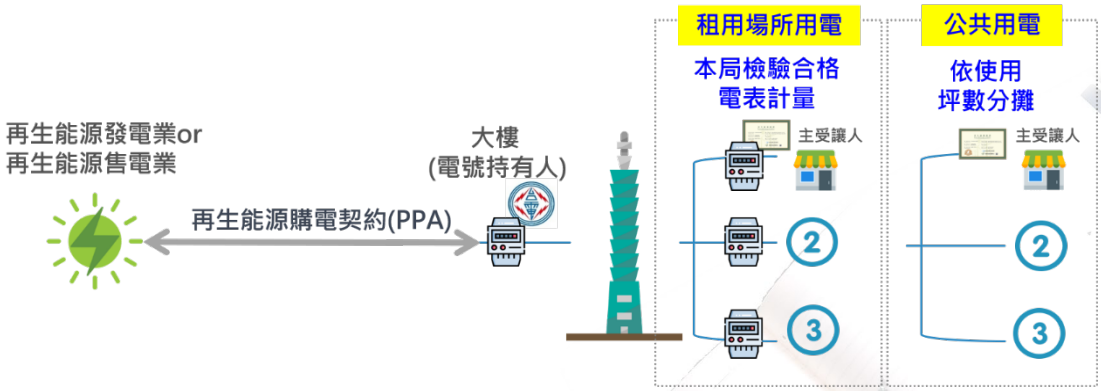


圖 7、單一電號多用戶再生能源憑證移轉示意圖

資料來源：本研究

室氣體盤查，及鼓勵再生能源使用，建議再生能源憑證讓與依據「再生能源購售電合約」，讓與不超過「年間」「受讓人用電量」之再生能源憑證，如圖 7。台灣萊雅及其所在辦公大樓的台北 101 再生能源售電公司瓦特先生的協助下建立該方案首次成功範例，該模式將是我國未來推動低碳商業大樓的重要機制。

五、T-REC 交易平台商品設計

綜合分析國際間再生能源交易大約可分為以下三種方式：(1)賣方公開憑證定價，由買方自行接洽購買；(2)透過仲介商促成交易；(3)透過媒合平台媒合買賣雙方，並由買賣雙方自行議定購售電契約方式交易憑證。我國目前再生能源交易平台可進行再生能源憑證交易媒合，目前正在規劃再生能源購售合約媒合功能。分析國內再生能源憑證需求，購買再生能源電力及憑證潛在需求者主要分為：(1)符合用電大戶認定條件的企業。(2)綠色供應鏈企業。(3)環評承諾使用再生能源的企業，配合再生能源專案開發融資需求，這些潛在需求者可配合不同再生能源發電成本變化趨勢與供應期程，採多年期再生能源購售電合約滿足再生能源電力需求。

依據《一定契約容量以上之電力用戶應設置再生能源發電設備管理辦法》第 9 條：再生能源義務用戶以購買再生能源電力及憑證履行義務，因不可歸責因素致無法於期限內達成義務裝置容量者，得於次年度二月底前補足購買額度。由於風力、太陽能、水力發電量受氣候影響具不確定性，影響再生能源購售電合約可獲取電力及憑證數量。採取長期再生能源購售電合約履行使用再生能源義務，若該年度發生氣候變異，用戶可能會發生無法達成規劃取得再生能源憑證數量情形。「快速搓合短約電力及再生能源憑證商品」可作為再生能源電力用戶在面對採購再生能源來源年間實際發電量與預測發電量發生偏差時，短期取得所需再生能源電力及憑證的方案。「快速搓合短約再生能源憑證商品」可能為 1 個月、2 個月、3 個月、4 個月、5 個月或半年期，可在 1 個月內完成簽署開始送電的再生能源購售電合約。此類型商品短期可協助企業免除因氣候因素所造成再生能源取得不如預期風險，長期也可成為穩定國內再生能源電力及憑證市場價格的工具。

六、台灣再生能源自由市場憑證供需預測

(一)、2050 年低碳能源配比發展情境設定

隨著技術進步及市場競爭激烈，自 2010 年以來，太陽光電、太陽熱能發電、陸域及離岸風電成本已急遽下降，其發電成本可與化石燃料相互競爭，例如在中國、歐盟、印度及美國，興建新的風力和太陽能電廠之成本比經營現有燃煤發電廠更具成本效益，再生能源逐漸成為成本最低的新電力來源。臺灣推行非核家園，新設燃煤電廠不易，若臺灣持續朝向廢核減煤方向發展，隨再生能源與天然氣發電持續開發。假設台灣電力需求年均成長率介於 0.5%-1%之間，所有核能電廠依年限除役，不再新設燃煤機組，以再生能源、天然氣機組滿足供電需求，預測發電量將從 2018 年的 2756 億度持續成長，2050 年將介於 3343-3929 億度之間，配比將達到再生能源 35-40%、煤 5%、天然氣 55-60%。2050 年發電裝置容量與發電量如表 1。

(二)、2050 年義務性採購再生能源電力及憑證需求推測

在義務性採購再生能源電力及憑證需求方面，假設契約容量 5000kW 以上用戶 2021 年開始每年增加契約容量 2%對應每瓩每年採購再生能源電力及憑證 2500 度要求逐年增加。契約容量 800kW 以上用戶 2026 年開始每年增加契約容量 2%對應每瓩每年採購再生能源電力及憑證 2500 度要求逐年增加。且用戶每年電力需求量以 1%成長，並以用戶年用電量 = (台電電力系統年供電/電力系統年尖峰容量) *用戶契約容量模式，轉換用戶契約容量計用電量，如此可推估 2025 年義務綠電總需求量約 42 億度。

(三)、2050 年再生能源電力及憑證自由市場供應推測

在再生能源電力及憑證供應方面，(1)假設太陽光發電至 2025 年裝置容量達 20GW，至 2055 年裝置容量達約 25GW，2020 年開始進入自由市場，2020 至 2027 年太陽光電新增裝置容量進入自由市場年發電量比例逐漸上升至 100%。(2) 陸上風力發電至 2025 年裝置容量達 1.2GW，2026 年不再新增陸上風電設置，自 2020 年開始既設發電設備提前進入自由市場，新設設備至 2025 年進入自由市場比例逐年提高至 100%。(3)離岸風力發電至 2025 年裝置容量達 5GW

表 1、2050 年發電裝置容量與發電量

類型	推估 2050 年發電裝置容量與發電量						依 2018 年台電或民營電廠資料推估	
	假設電力需求年均成長率 1.0%			假設電力需求年均成長率 0.5%				
	發電量		裝置容量 (GW)	發電量		裝置容量 (GW)	單位發電量 (億度)	單位裝置容量 (GW)
	電量 (億度)	占比 (%)		電量 (億度)	占比 (%)			
總計	3,861	100.0%	88	3,334	100.0%	79	321	-
煤	180	4.7%	2	180	5.4%	2	75	1
天然氣	2,129	55.1%	33	1,950	58.5%	30	65	1
再生能源	1,552	40.2%	53	1,204	36.1%	46	181	-
太陽光電	275	7.1%	25	275	8.2%	25	11	1
陸上風力發電	23	0.6%	1	23	0.7%	1	23	1
離岸風力發電	800	20.7%	20	600	18.0%	15	40	1
小水力	54	1.4%	2	54	1.6%	2	27	1
地熱	400	10.4%	5	252	7.6%	3	80	1

資料來源:本研究

2030 年裝置容量達 10GW，而後設置量持續增加至 2055 年達到 20GW。自 2026 年開始既設發電設備提前進入自由市場，新設設備至 2030 年進入自由市場比例逐年提高至 100%。離岸風力發電容量因素 45%。(4)小水力發電 2024 年裝置容量新增 40MW，而後設置量持續每年增加 1MW，自 2024 年開始既設發電設備提前進入自由市場。新設設備都先進進入躉購市場，20 年到期再進入自由市場。(5)地熱發電至 2025 年完成 200MW 設置，而後設置量持續每年增加 80MW，至 2055 年總裝置容量達 2.5GW。自 2031 年開始設置發電設備全數進入自由市場。進入躉購市場設備者，20 年到期再進入自由市場。地熱發電容量因素 75%。如此預估參與自由市場再生能源電力電量為 33 億度，每年參與自由市場之再生能源供給電量與義務使用再生能源電力需求如圖 8。

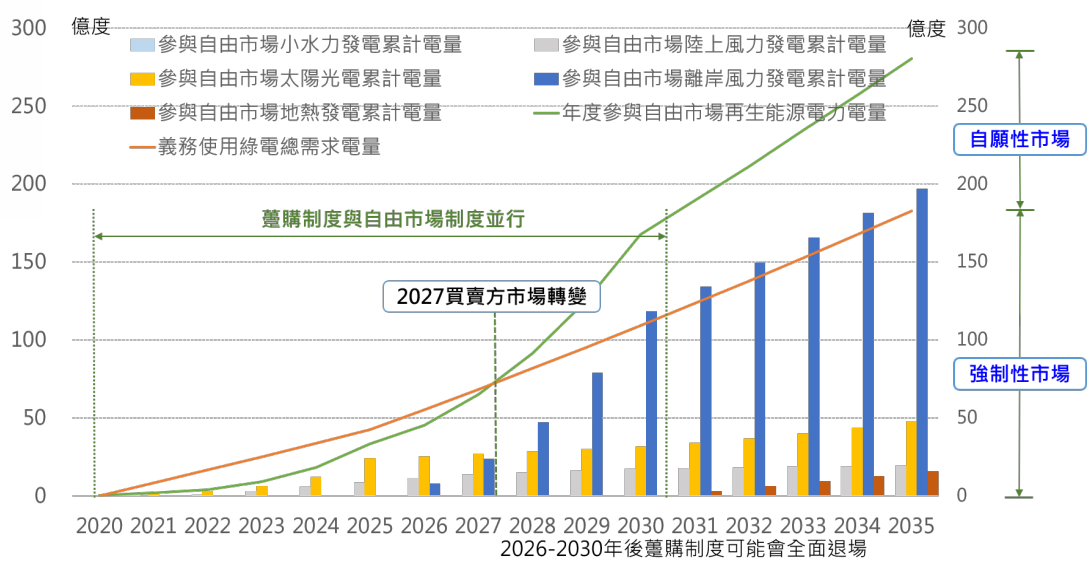


圖 8、2020-2035 再生能源電力市場供需推測

資料來源：本研究

大體而言影響再生能源買賣方市場主要因素為(1) 離岸風電進入自由市場時間，(2)能源局的用電大戶使用再生能源管制強度。在目前政府設定再生能源發展目標和管制強度下，至 2027 年為賣方市場，之後會逐漸轉換為買方市場。未來躉購退場後，長期而言強制性市場約占總再生能源市場的一半，另一半需由自願性市場支持。整體而言用電大戶為符合早鳥優惠資格，將紛紛湧入採購再生能源電力行列，短期間將造成再生能源市場呈現供不應求狀態，導致再生能源電力價格上揚。長期而言，隨著 2026 年後離岸風電陸續併網，再生能源自由市場供應有機會大量增加，可緩解綠色供應鏈廠商、具規模電力用戶及追求 RE100 企業對綠電需求，惟再生能源交易市場存在許多不穩定因素，仍需持續維持價格穩定及資訊透明之交易環境，以利再生能源電力市場發展。

七、結論

鑑於全球正處在能源轉型的關鍵時代，各國政府積極推動再生能源發展，以促進能源多元化及自主供應，打造綠能低碳環境為目標，國際再生能源倡議組織亦鼓勵企業選擇綠色電力作為生產要素，再生能源將是未來驅動經濟發展的新引擎，可有效促進環境永續及社會公平。

我國自願性再生能源憑證制度自 2016 年開始規劃發展至今，因應再生能源憑證納入再生能源發展條例中，作為滿足用電大戶建置一定比例之再生能源發電

裝置替代選項，未來憑證制度應思考配合政府能源政策及相關法規，研擬憑證應用於義務性再生能源市場之可行作法，並順應國際趨勢，促進我國憑證與溫室氣體管理制度緊密連接。建議相關制度與市場發展短期目標為擴大再生能源憑證參與單位及市場規模，多元化再生能源憑證商業模式與應用，促進國內再生能源市場發展，強化憑證國際鏈結；長期建議可擴大再生能源憑證於追求永續發展影響力，多元化再生能源憑證標準商品，強化國際交流，支持我國成為亞太綠能中心。

台灣再生能源憑證市場調查介紹

文/台灣經濟研究院 黃冠維助理研究員

一、背景

標準局於 2017 年建立 T-REC 制度，台經院團隊自 2019 年開始便接受標準局委託，每年以問卷及深度訪談形式針對市場供需雙方進行市場調查，本篇文章彙整了供需雙方理想交易模式、再生能源市場關注議題分析及再生能源市場供需障礙分析，為提供最新資訊，本篇文章將著重呈現 2020 年調查結果。

本研究發放再生能源供給者問卷共 46 份，實際回收問卷共 29 份，有效問卷 29 份，有效問卷率 100%。發放再生能源售電業者問卷共 8 份，實際回收問卷共 3 份，有效問卷共 3 份，有效問卷率 100%。再生能源採購者問卷則發放 35 份，實際回收問卷共 18 份，有效問卷數 18 份，有效問卷率 100%。

婉拒填答問卷或受訪的供給者大多因問卷及訪談內容涉及公司營運機密，採購者婉拒填答問卷之理由除因問卷內容涉及公司商業機密外，公司規定不得任意對外發表公開意見亦是常見於金融業及保險業的婉拒理由。

(一)、再生能源供需雙方理想交易模式

本研究透過問卷調查及深度訪談，彙整受訪的再生能源電力及憑證供需雙方理想的商業模式，呈現當前多數積極參與再生能源自由市場的供需雙方之意向。如表 2，再生能源供需雙方對再生能源類型的偏好是一致的，而在交易模式上，則同樣最偏好透過轉供、再生能源售電業的模式銷售或採購再生能源電力，採購者另亦偏好僅採購再生能源憑證作為達成企業社會責任的手段。供需雙方對於期待價格則有部分落差。最後，針對交易合約期長，供給者絕大多數皆希望簽署 11 年以上之合約，然而採購者則大多僅希望簽署 2 至 5 年的合約。

表 2、再生能源供需雙方理想商業模式

	供給者	採購者
再生能源類型	太陽能、陸域風力、離岸風力	太陽能、陸域風力、離岸風力
交易模式	1.轉供模式 2.再生能源售電業	1.轉供模式 2.再生能源售電業 3.僅採購再生能源憑證
預期價格	約 4 元 / 度至 5 元 / 度	3 元 / 度至 4.5 元 / 度
交易合約期長	11 年以上	2 至 5 年

資料來源：本研究整理。

二、關注議題分析

(一)、供需雙方共同關注議題

調查結果顯示，「再生能源電力及憑證市場價格是否透明」在供給者及需求者的關注程度有最大的落差，分別是供給者 41%及需求者 83%，如圖 9。部分供給者及採購者表示，現在市場的供給量不足，使得供給者有較優勢的議價條件，若有透明的市場價格作為參考，則可使採購者在價格談判時有參考依據，進而縮短議價時程。但亦有持相反意見的問卷填答者表示因為市場機制會自動調整出供需雙方皆合意的再生能源價格，故不需要過度揭露再生能源的價格資訊。

在「市電價格的變化」方面，供需雙方皆表達大約相同的關注程度，市電價格變化會直接影響採購者採購再生能源電力的意願。

與市電價格的變化獲得相同關注程度的議題為「相關法規是否完善」，因採購者在獲取再生能源電力及憑證時面臨了各式各樣的情況，如轉供自用的憑證核發與否及在單一電號的商辦大樓中，用戶如何獲取再生能源電力及憑證等議題，故若能有更明確的法規及成功的示範案例，則能使業者更容易規劃公司營運方向。

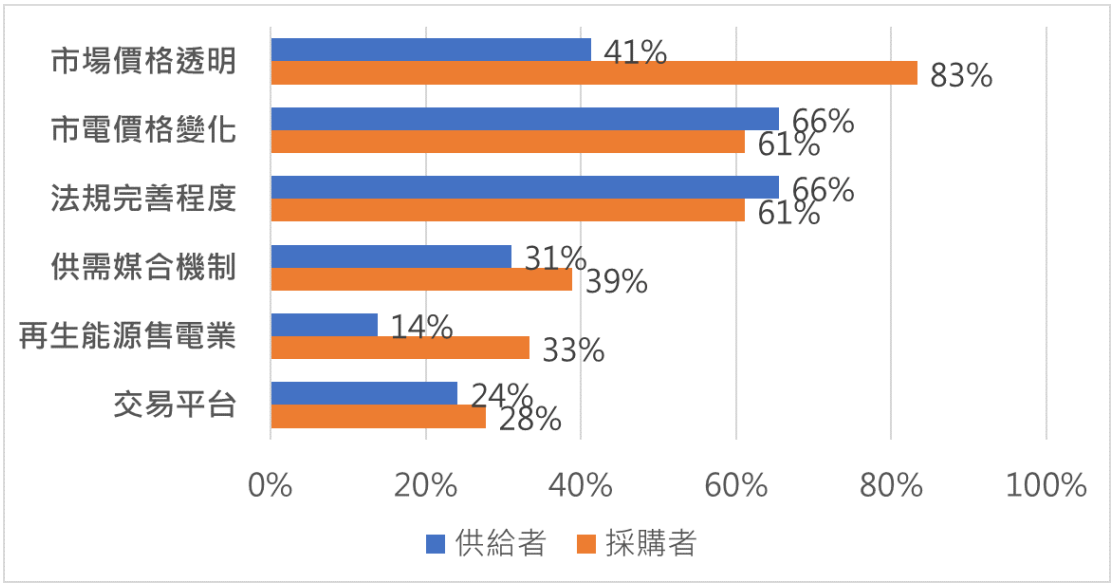


圖 9、再生能源供給者與採購者共同關注議題

資料來源：本研究

針對「再生能源電力及憑證市場缺乏供需雙方媒合機制」此議題，供需雙方關注程度，相較 2019 年的供給者 39%、採購者 55%下降到了供給者 31%及採購者 39%，顯示辦理推廣再生能源憑證相關的說明會、研討會、工作坊等活動發揮了一定的成效。

而針對「再生能源電力及憑證市場是否存在再生能源售電業」，供給者的關注比例從 2019 年的 29%下降到 14%，採購者的關注比例則從 2019 年的 40%下降到 33%，供給者的關注程度相對與採購者有較大的下降幅度。

(二)、供給者關注之議題

再生能源供給者除關注前述議題外，有高達 66%填答問卷的再生能源供給者關注「再生能源躉購價格與市電價格的變化」，另外也關注「台灣電力公司進入再生能源電力及憑證市場」。

(三)、採購者關注之議題

採購者除前述供需雙方共同關注的議題外，有 68%的採購者關注「再生能源憑證是否可應用於自願性溫室氣體盤查」，如圖 10。有 63%的採購者將再生能源憑證應用於 ISO 14064-1:2018 組織層級溫室氣體排放與移除之量化及報

告附指引之規範，為最多採購者採取的再生能源憑證應用管道。另有 47%填答問卷的採購者關注「再生能源憑證是否可應用於國家溫室氣體盤查」。

而「再生能源憑證與生態環保標籤（例如:Green-e、EKOenergy 等）的連結」及「再生能源憑證是否可滿足用電大戶再生能源使用義務」兩項議題則皆有37%填答問卷的採購者關注，對於再生能源用電大戶條款的關注隨著草案公布，從 2019 年的 75%降至 37%。

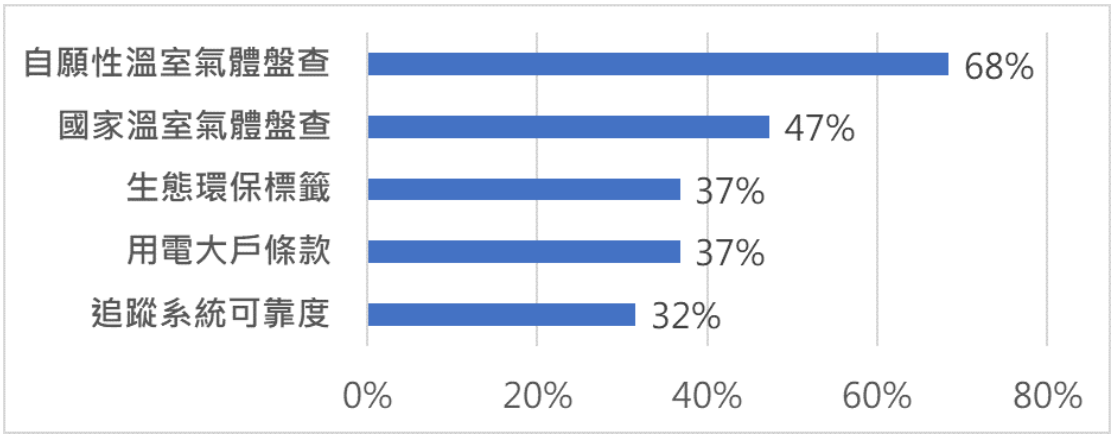


圖 10、再生能源採購者關注議題

資料來源：本研究

三、再生能源市場進入障礙分析

(一)、供需雙方共同面臨障礙之分析

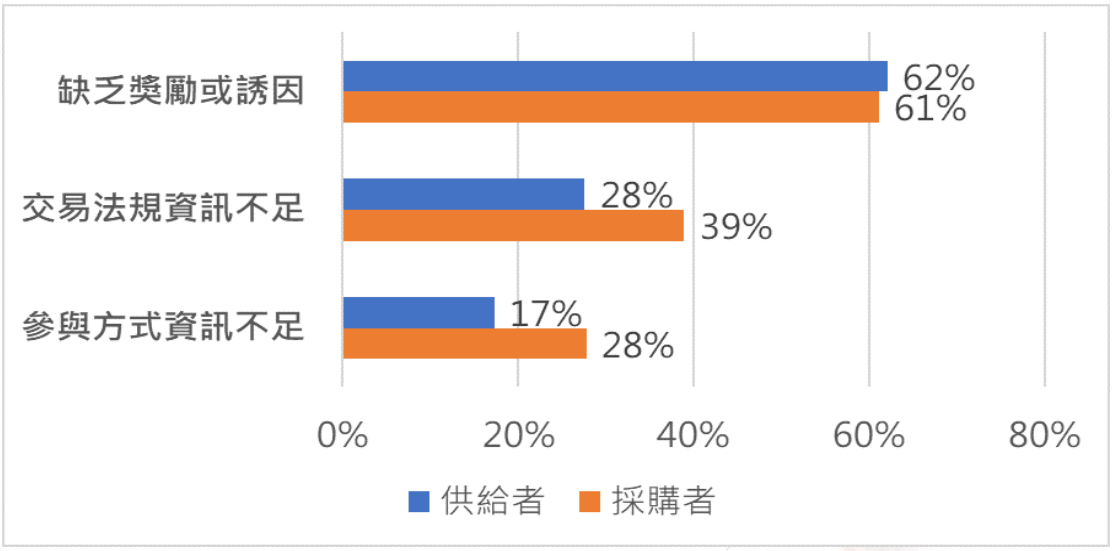


圖 11、供需雙方再生能源自由市場共同之障礙

資料來源：本研究

研究結果顯示，超過 60%填答問卷的供給者、售電業者與採購者，皆認為「缺乏參與再生能源電力及憑證市場的獎勵或誘因機制」是當前進入再生能源自由市場的障礙，如圖 11。

除此之外，供給者及採購者認定「再生能源電力及憑證交易相關法規資訊不明」為當前進入再生能源自由市場障礙的比例，從去年的高於 50%下降到了 28%及 39%，顯示推廣再生能源憑證及完成我國第一波轉供案例有助於供需雙方更加了解再生能源電力及憑證交易相關法規。

另外，有 17%的供給者及 28%的採購者認為「再生能源電力及憑證市場參與方式資訊不足」是進入再生能源自由市場的障礙。

(二)、供給者面臨之障礙

根據圖 12 顯示，有 62%填答問卷的再生能源供給者認為當前進入市場的障礙為「再生能源案場開發困難」，且受訪結果顯示案場開發困難的問題影響業者進入市場的程度是非常嚴重。案場開發困難包含環境影響評估、土地取得不易、居民抗爭、融資困難等。業者大多表示此部分的成本通常是不可控制、預估困難，是造成案場開發嚴重延遲的關鍵。

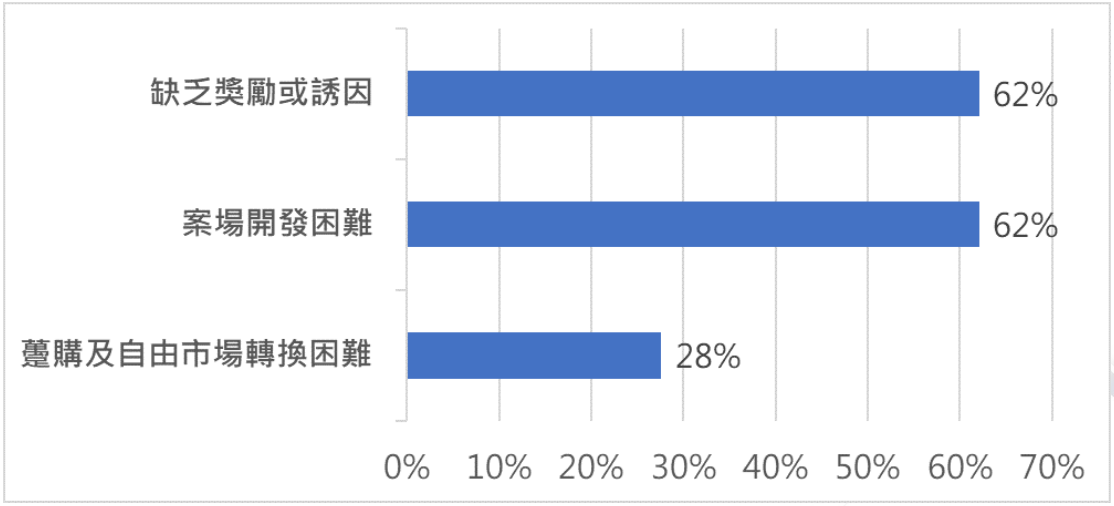


圖 12、再生能源供給者進入自由市場之障礙

資料來源：本研究

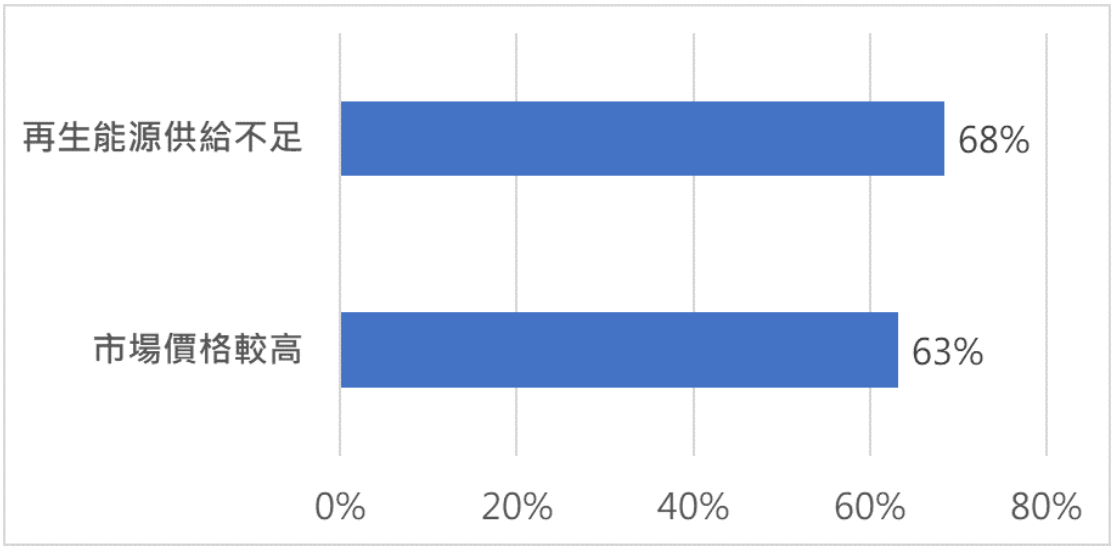


圖 13、再生能源採購者進入自由市場之障礙

資料來源：本研究

除「再生能源案場開發困難」為供給者進入市場的嚴重障礙外，亦有 62%填答問卷的再生能源供給者認為「缺乏參與再生能源電力及憑證市場的獎勵或誘因機制」是當前進入市場之障礙（如圖 13）。

另外，認為「再生能源躉購機制轉換至再生能源自由市場困難」是進入自由市場之障礙的再生能源供給者，由於相關規則的公布，由 2019 年的 50%降至 28%。

(三)、採購者面臨之障礙

根據圖 13 顯示，有 68%填答問卷的再生能源採購者認為「再生能源電力及憑證供給不足」是當前進入市場之障礙，另有 63%的採購者認為「再生能源電力與憑證的市場價格較高」是市場進入障礙，透過訪談分析後，再生能源採購者大多認為再生能源供給量不足導致價格過高，對於進入市場的影響程度是相當嚴重。

四、結語

從本研究結果可知，再生能源自由市場之供需雙方在能源類型及交易模式方面相當吻合，但對於價格、合約期長則有一定程度的落差。而因為我國「用電大戶條款」實施、國際供應鏈的要求及案場開發困難等條件，我國再生能源市場再生能源不具價格競爭力的狀態，由此可見，目前我國積極參與再生能源自由市場之供需雙方各自期待的商業模式仍有落差，需政策協助以利雙方達成共識。

攜手企業邁向永續發展 — 國家企業環保獎

文/國家再生能源憑證中心 林怡辰專員

再生能源憑證作為綠電身分證，協助企業佐證綠電使用及環境效益，已與國內許多獎項及國際倡議組織完成鏈結，提供企業多種應用再生能源憑證的方式。至 2020 年止，行政院環保署連續 29 年辦理企業環保獎評選，鼓勵企業善盡企業社會責任，共同推動環境保護工作，迄今累計獲獎企業達 511 家，2019 年自中華企業環保獎改制國家企業環保獎，2020 年參選企業歷經初選、複選分組審查、實地現勘及決選等階段，遴選出獲獎企業共 47 家，其中企業可將再生能源憑證應用於企業環保獎，作為參與環境保護的績效證明。

國家企業環保獎評選項目「能資源節用貢獻」部分，企業可以購買或產生再生能源憑證展現推動績效，2020 年報名參選企業總計購買再生能源憑證 982 張，減碳量總計達 21.3 萬公噸（相當 548 座大安森林公園一年吸碳量）、設置太陽能設施發電量達 2,142 萬度（可提供約 7.2 萬戶家庭 1 個月的用電量）；在能資源節用面向，節電達 2.7 億多度（可提供約 90 萬戶家庭 1 個月的用電量）、節水 745.7 萬度、雨水回收量達 80 萬多公噸（合計可供應約 33 萬戶家庭 1 個

圖 14、 第 1 屆國家企業環保獎獲獎企業代表晉見前副總統

月用水量); 此外，配合政府政策推動及環境參與，綠色採購金額達 34.3 億元，認養 18 座公廁及 23 公里的海岸，並有 1 萬 7,187 人次參與淨灘活動。

主辦單位特別感謝每家企業與環保專責及技術人員對於環境保護工作的支持與付出，國家的進步不僅靠政府努力，更需要企業及民眾共同來參與，並期望藉由獲獎企業優良環保事蹟，也促進其他企業以得獎者為楷模，成為進步共好的動力。憑證中心亦希望，持有憑證的企業能主動報名獎項並持續發揮影響力，帶動更多企業投入環保工作及憑證市場，創造產官雙贏。

健全憑證市場

- 政府協助企業多元使用綠電、取得憑證:以單一電號多用戶示範激化為例
- 2020 能源科技論文與再生能源憑證應用國際研討會:銜接國際-擴大我國再生能源憑證市場與應用
- TASS 2020 專家齊聚研討打造綠色永續家園
- 沼氣綠電憑證申設示範案例說明-台糖大響營第一畜殖場案場

政府協助企業多元使用綠電、取得憑證：以單一電號多用戶示範計畫為例

文/台灣經濟研究院 陳冠婷助理研究員

隨著國際間對永續發展的重視，國內外企業為因應國際綠色供應鏈鼓勵使用再生能源趨勢及朝向綠色企業邁進，對於再生能源憑證的需求日益漸增，鑒於金融業、資訊業、零售業及商業品牌較少生產基地，主要經濟活動多發生於租賃商辦，因此如何讓大樓承租企業獲得再生能源憑證用於企業社會責任宣告、提升企業與各品牌大廠齊頭地位之國際形象，成為企業國內外金融業、資訊及商業品牌等企業所面臨之課題。

為了使商辦大樓內無獨立電表企業，可以順利取得再生能源電能及憑證，標準局已於 2020 年 11 月推出再生能源憑證單一電號多用戶交易輔導示範計畫(以下簡稱示範計畫)，擬邀集有意願參與之再生能源供需雙方，試行單一電號多用戶採購再生能源電能及憑證之模式，測試相關作法之可行性，作為未來訂定相關法規之參考。

示範計畫自實施日起至 2021 年 12 月 31 日止，參與本示範計畫之憑證供給者(以下簡稱供給者)為再生能源發電業或再生能源售電業，其發電設備應登錄為憑證設備；憑證需求者(以下簡稱需求者)亦指具有憑證購買意願之法人、獨資或合夥之商號，可為商辦大樓、百貨公司、倉儲物流或同類型集合式租用建築之電號持有人或使用人。爰使用人應取得電號持有者同意參與本計畫，且由電號持有者向台灣電力股份有限公司辦理再生能源電能轉供相關事宜。單一電號多用戶再生能源憑證移轉模式，如圖 15 所示。

首先，欲參與示範計畫之供給者與需求者皆應先行註冊憑證中心平台帳號，以利後續進行憑證核發、讓與、使用與宣告相關作業。接著由供給者應向憑證中心申請讓與憑證，並檢附再生能源憑證讓與申請書、讓與文件、示範計畫申請書

及台電公司再生能源電能轉供契約封面，若需求者非單一電號多用戶之電號持有人時，應另檢附單一電號多用戶之電號持有人與需求者間使用關係之契約節本，其應記載雙方使用關係及公共用電之計算方式。經憑證中心審查符合者，依再生能源憑證實施辦法及相關作業程序進行憑證讓與作業，供給者至少應每三個月向憑證中心提交需求者前三個月之用電度數資訊，憑證電量累計以每年 12 月 31 日為截止日。

單一電號多用戶示範計畫是我國推動低碳商業大樓的重要機制，期許未來有更多再生能源憑證潛在市場參與者的投入，擴大再生能源市場，並使其相關發展環境及應用服務更臻完善。然而，未來標準局也將推出更多憑證多元應用，例如：綠色雲端服務、再生能源電動車、再生能源資通訊產品及等等可供選擇，讓企業或個人可以感受到再生能源可以為我們帶來更多樣的經濟活動與生活體驗。

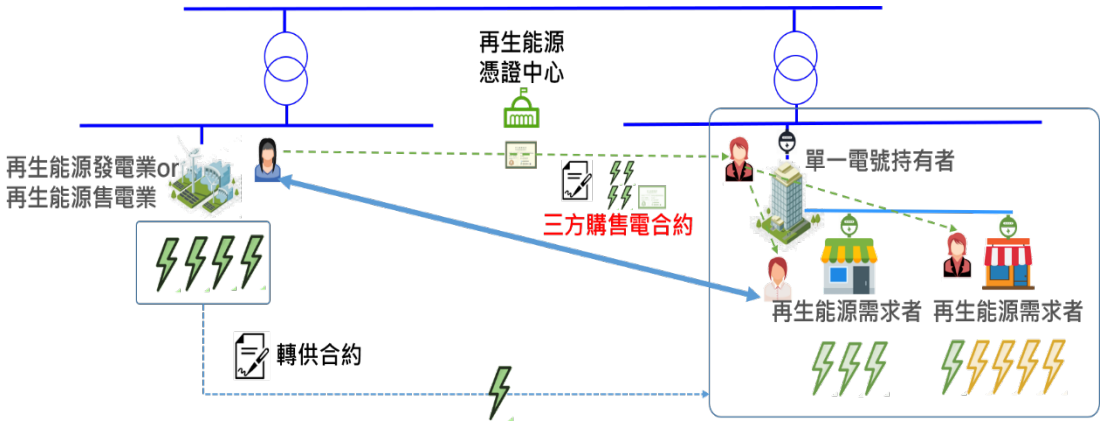


圖 15、單一電號多用戶再生能源憑證移轉示意圖

2020 能源科技論文與再生能源憑證應用國際研討會

銜接國際 擴大我國再生能源憑證市場與應用

文/台灣經濟研究院 陳冠婷助理研究員

台灣經濟研究院於 2020 年 10 月 15 日假南港展覽館一館舉辦「2020 能源科技論文與再生能源憑證應用國際研討會」已圓滿落幕，並與台灣再生能源憑證產業發展與推廣協會、財團法人台灣商品檢測驗證中心協同舉行。

本次高峰會特邀請憑證中心、北美資源解決方案中心(Center for Resource Solutions)、美國綠色建築委員會(U.S. Green Building Council)及國立台灣大學等國內外關注再生能源發展的各界先進一同參與並擔任講者，分享我國再生能源憑證市場現況、國際再生能源生態標籤、建築使用再生能源評比介紹及我國離岸風力發電產學研發現況。

由於再生能源可彰顯對環境友善之效益，並展現企業領導力，全球興起購買再生能源的風潮，國際上許多企業亦提出增加使用再生能源承諾與目標。隨著《電業法》與《再生能源發展條例》相繼修正完成，行政院以綠電先行為原則，啟動一連串國家能源轉型政策，其中，全面開放再生能源透過直供、轉供及再生能源售電業自由買賣，是我國能源轉型重要里程碑，更為再生能源發展寫下新篇章。

T-REC 自推行以來，陸續完成與國內外許多應用的鏈結，以彰顯 T-REC 所代表的在地環境友善價值，本次會議由行政院能源及減碳辦公室林子倫副執行長、標準局連錦漳局長、憑證中心黃志文主任、臺灣證券交易所陳麗卿副總經理、台灣金融研訓院陳鴻達院務委員、遠見雜誌林珮萱副主編及天下雜誌熊毅晰總監，共同倡議以 T-REC 作為企業面對氣候保護及資源使用方面責任的新社會契約工具，進而鼓勵更多企業響應使用再生能源。

能源科技論文與再生能源憑證應用國際研討會上半場首先由國立台灣大學工程科學及海洋工程學系江茂雄教授以「我國離岸風力發電產學研發現況及展望」為題分享國內離岸風力發電發展、國內外產業在國產化合作、離岸風電人才培育

作法。接著由國家再生能源憑證中心黃志文主任以「綠電先行，再生能源憑證大未來」為題介紹 T-REC 制度、市場供需現況及對於再生能源憑證發展的展望。

在國際邀請演講方面，本次大會首先由北美資源解決方案中心(CRS)的國際計畫主任 Orrin Cook 介紹 Green-e 認證方案及應用於台灣的示範構想。接著由美國綠建築協會(USGBC)的專案經理 Emma Hughes，以建築使用再生能源評估為題分享美國綠建築協會對建築使用再生能源評估的觀點。Green-e 能源驗證由非營利組織資源解決方案中心(CRS)負責管理，是一嚴格的再生能源消費者保護方案，透過明確的指導方針及資訊揭露標準，在新興及不受監管的自願性再生能源市場提供驗證服務，確保消費者和企業的電力使用可減少對環境的影響。美國綠建築協會持續升級 LEED 評分系統，最新的版本為 4.1 版，與上一版本相比最關鍵的改變包含更新再生能源使用的標準，此更新反映了市場進步、科技革新與新的財務布局，能源屬性憑證與碳抵換的合約須確保所有再生能源資源和碳抵換都是來自已經啟用或在近 15 年建置的專案。

為協助國內企業了解再生能源憑證交易與市場運作方式，本此研討會邀請元太科技吳俊欣副理、台灣萊雅陳家祥總監、台積電孫讀文經理、瓦特先生楊青晏創辦人、韋能能源張為策執行董事、曄恆能源王文蔚總監、台灣經濟研究院研究一所陳彥豪副所長等已有實際參與再生能源憑證市場者，分享企業設定再生能源目標及獲取再生能源相關經驗。

綜合與談階段，憑證中心黃志文主任從憑證制度發展觀點，分享促進企業更容易或更有機會利用再生能源憑證，實現企業使用再生能源、追求碳中和的機會。台灣經濟研究院研究一所陳彥豪副所長，分享後躉購時代再生能源憑證的功能與重要性。

元太科技過去曾連續三年為憑證持有數企業之第一名，更是首批綠電轉供交易的參與者之一，元太科技吳俊欣副理分享元太科技如何將使用再生能源連結到企業經營之上。萊雅作為全球主要美妝企業，集團已完成再生能源全球化布局策略，近期與瓦特先生合作推動「萊雅商辦綠電模式」，台灣萊雅股份有限公司陳家祥總監分享萊雅如何倡議企業追求環境永續發展。

台積電在國內外扮演半導體產業領頭羊的角色，對臺灣成為全球最重要的半導體產業聚落深具貢獻。近期台積電非常積極地希望能使用再生能源電力，以追求企業成長與環境共榮為願景，也設定 100%使用再生能源的目標。台積電孫讀文經理則分享台積電推動參與 RE100 的經驗。

韋能能源鄭成芳總監及曄恆能源王文蔚總監則從太陽光電發電業者觀點，分享對台灣未來再生能源市場發展看法，並對自願性使用再生能源或有義務性需求的企業，提供相關建議。瓦特先生楊青晏創辦人，則從分享再生能源售電業在目前再生能源市場的角色及瓦特先生如何為企業提供更多服務、創造多元價值。

本次活動為 2020 能源科技論文與再生能源憑證應用國際研討會議程，齊聚我國再生能源領域專家展開跨界討論，除各界演講及與談貴賓外，本次研討會約有來自國內外之 30 多個企業與非政府單位及 100 餘位嘉賓與會反應熱烈。隨著國內的再生能源交易持續熱絡，可預期再生能源憑證市場發展後續可期。

TASS 2020 專家齊聚研討 打造綠色永續家園

文/台灣經濟研究院 陳冠婷助理研究員

由台灣永續供應協會、日月光文教基金會、台灣經濟研究院、台灣再生能源憑證產業發展與推廣協會共同舉辦的「TASS 2020 永續能源論壇」已於 2020 年 12 月 4 日圓滿落幕。本次活動齊聚我國再生能源領域專家展開跨界討論，除各界演講及與談貴賓外，約有來自國內外的 50 多個企業與非政府單位，150 餘位嘉賓與會，論壇的內容受到與會者熱烈迴響。

圖 16、TASS 永續能源論壇貴賓合影

宏碁專案經理何森元(左起)、工研院資深研究員黃奕儒、國立高雄大學連興隆教授、南方電力董事長黃坤元、台積電經理孫讀文、標準局組長暨憑證中心主任黃志文、標準局局長連錦漳、台灣永續供應協會理事長賴樹鑫、台經院副院長左峻德、台灣區電機電子公會南區副會長吳照麟董事長、台汽電綠能副總經理何信毅、台達電子專案經理劉惠綺、日月光半導體製造處長蘇炳碩、台經院副所長陳彥豪。資料來源:台經院提供

今年國內完成 8 億度再生能源轉供交易，綠電買家已從傳統的製造業擴及到生技業、美妝業、法律服務業及商辦大樓等，不僅開啟我國再生能源發展新篇章，更為我國再生能源交易注入全新成長動力，期許未來有更多企業單位投入綠電交易市場，支持國內再生能源發展。

TASS 2020 永續能源論壇特別邀請標局長連錦漳、經濟部能源局組長吳志偉、憑證中心主任黃志文、美麗家園基金會董事賀陳旦、台積電經理孫讀文、台達電專案經理劉惠綺、宏碁專案經理何森元、台汽電綠能副總經理何信毅、南方電力董事長黃坤元、寶島陽光再生能源總監王文蔚、能元科技總經理薛人禎、台灣經濟研究院副院長左峻德與副所長陳彥豪、工業技術研究院資深研究員黃奕儒、國立高雄大學教授連興隆與台灣永續供應協會理事長賴樹鑫以及國內眾多參與再生能源自願性市場的企業領導者、政策制定者與綠電供應商與會，以共創綠色永續家園為目標，鼓勵企業選擇再生能源，共同為潔淨永續的生活環境投注一份心力。

這次論壇首先由台經院副所長陳彥豪及台積電經理孫讀文分別就「企業、綠電、新選擇」、與「台積電再生能源目標、策略與初步成果」發表大會演講。為促進國內再生能源市場發展，使企業對再生能源自由市場資訊有更進一步的掌握，會議內容則聚焦「我國再生能源市場法規」、「綠電交易媒合平台介紹」、「再生能源生態標籤介紹」、「售電業綠電交易實務經驗」、「企業進入自願性再生能源策略分享」、「企業追求再生能源永續發展經驗分享」等議題。

台經院副所長陳彥豪指出，全球重要國家紛紛推出綠色新政，訂定國家碳中和目標，加上企業承諾朝向 100%使用綠能已成為國際趨勢，期許未來企業可以創意每個再生能源選擇，促成再生能源新經濟。

台積電經理孫讀文分享該公司以強化環保為使命，致力於環境永續，並設定 2050 年底前全球據點 100%使用再生能源目標，透過積極洽購再生能源支持政府政策，以實際行動因應氣候變遷，降低環境衝擊。

專題演講一「企業再生能源電力及憑證商品設計」：

工研院資深研究員黃奕儒針對我國綠電直轉供交易模式、制度設計及用電大戶條款內容加以介紹。憑證中心主任黃志文介紹 T-REC 制度發展概況，以及綠電交易媒合平台運作，使憑證交易能夠更為便利。高雄大學教授連興隆分享推動台灣教育力綠電品質證明標章機會及挑戰，提供其他有意申請的企業更多資訊。再生能源售電業者南方電力則依據實際開發案例及公司未來綠電銷售規劃進行分享。

宏碁經理何森元表示，作為國內電子龍頭品牌公司，將以嚴謹的態度檢視與推動重要永續議題，在落實企業社會責任的努力上也獲得國際重要永續發展指標認可，不僅連續 7 年入選為道瓊永續指數（DJSI）新興市場指數，更獲得 MSCI ESG 永續指數成分股 AA 成績，面對低碳經濟時代來臨，宏碁持續推動節能減碳措施外，更持續提高再生能源使用比率。

專題演講二「企業採購再生能源規劃與實務」：

台達電子專案經理劉惠綺表示，該公司秉持「環保、節能、愛地球」的經營使命，持續關注氣候變遷議題，台達落實企業社會責任表現更是備受肯定，在 2020 年道瓊永續指數更連續 3 年、第 5 度脫穎而出獲得產業領導者殊榮，未來將持續以具體行動提升再生能源使用，追求永續發展。

寶島陽光再生能源總監王文蔚，針對台灣用電和再生能源使用和發展趨勢，及再生能源發電設施進行分享。能元科技總經理薛人禎綜觀各國再生能源與儲能發展趨勢，並介紹儲電系統於電力系統中的應用。台汽電綠能副總經理何信毅分享再生能源售電業發展現況、發展契機及未來展望。

綜合與談階段在美麗家園基金會董事賀陳旦及能源局組長吳志偉的引領下，與各個與談人進行對談，共同交流我國綠電未來發展、企業提升再生能源使用之目標、規劃及策略，及售電業者如何為企業提供更多服務與創造多元價值，期待激發企業以積極作為與行動建構永續環境。

沼氣綠電憑證申設示範案例說明-台糖大響營第一畜殖場案場

文/工業技術研究院綠能所 陳嘉元、鄭捷倫、李伯亨

一、憑證運轉示範案例說明

為達成標準局擴大再生能源憑證來源與供應政策目標，自 2017 年 7 月起積極鼓勵及輔導台糖公司大響營第一畜殖場沼氣發電案場，促成該案場申請再生能源憑證，加入自願性再生能源市場。在通過案場查核程序後，於 2019 年 1 月 11 日獲得我國首批生質能再生能源憑證，統計至 2020 年 9 月，已取得憑證 133 張(代表綠電 13.3 萬度)。並於 2019 年 5 月開始依據國內再生能源憑證市場交易輔導示範計畫，參與憑證中心平台之再生能源憑證之市場交易及移轉管理機制示範，統計至 2020 年 9 月，已促成 11 筆交易，共計 101 張憑證轉移，完成國內首件生質能憑證完整運轉示範案例，也驗證生質能再生能源憑證之市場性。

本項憑證運轉案例示範說明，係按照台糖公司大響營第一畜殖場沼氣發電憑證案場實際開發的時間(如圖 17)，彙整說明本計畫依據標準局公告之「自願性再生能源憑證實施辦法」及再生能源憑證市場交易輔導示範計畫內容，協助案場瞭解國內再生能源憑證制度、參與憑證申請、設備查核及憑證交易之活動歷程及紀錄(憑證申請、查核、核發及交易轉移等)，建立憑證供給與需求之完整示範運轉案例，以驗證國內再生能源憑證市場性，提供相關案場參考。

(一)、沼氣發電系統設置與案場發電設備現勘

台糖公司大響營第一畜殖場案場位於屏東縣枋寮鄉，豬隻養殖規模為 19,000 頭。2014 年依「經濟部沼氣發電系統推廣計畫助作業要點」申請補助計畫，經審查核定為補助示範案場，沼氣發電系統於 2017 年 5 月完成設置，裝置容量為 65kW，並已取得再生能源發電設備登記，發電併內線供養豬場內自用。

為達成生質能憑證發證期程大幅提前之目標，團隊積極連絡有可能提出生質能憑證申請之沼氣發電案場，透過能源局補助計畫協助，聯繫台糖公司位於屏東

圖 17、台糖公司生質能憑證運轉示範案例重要歷程

縣的大響營第一畜殖場，於 2017 年 7 月 20 日赴案場訪談及進行案場發電設備現勘，完成「國內再生能源憑證制度及申請」說明，推廣生質能憑證政策。並於 2017 年 8 月 25 日由標準局謝翰璋主秘率同仁及憑證中心人員，再次拜訪屏東縣台糖公司大響營第一畜殖場，宣導再生能源憑證制度，勘查沼氣發電設施，並與台糖公司畜殖事業部人員討論沼氣發電申請憑證意願。

(二)、申請文件及計量電表裝設

依據自願性再生能源憑證申請作業程序，發電設備登記函為憑證申請之必要文件，故案場必須依序完成發電設備之併聯審查及同意備案申請程序後，取得設備登記等申請文件 (行政程序及檢附文件如表 3)，方可至憑證中心網站填寫申請表單。

由於大響營第一畜殖場案場 2014 年即參與「經濟部沼氣發電系統推廣計畫助作業要點」補助計畫申請，並於 2017 年 5 月完成沼氣發電系統設置，取得再生能源發電設備登記，核撥設置費補助款。

但因案場沼氣發電為併內線自用，並未裝設電表，為協助該案場順利完成申請再生能源憑證之內部簽核程序，團隊即協助台糖公司畜殖事業部與發電資訊自動回傳系統承裝公司(大同公司)人員於 2018 年 4 月赴案場現勘(圖 18)，檢查發電系統配電盤配置，彙成電表及自動回傳系統裝設場勘資料(表 4) ，提供案場參考。並陸續協助雙方進行智慧電表及發電資訊自動回傳系統安裝之技術規格溝通

與協調，亦依大響營第一畜殖場需求估算自動回傳系統安裝成本，供畜殖事業部依程序進行該案場申請再生能源憑證之內部簽核。電量自動回傳電表在 2018 年 8 月完成裝設，智慧電表採用大同公司 EBA-43A 型電表，增設於案場既有併聯點分電箱內。

表 3、無售電再生能源發電設備之申請行政程序及檢附文件

行政流程	檢附文件
併聯審查 （台電公司）	**檢附書表** 1. 併聯審查申請表。 2. 地籍圖影本。 3. 使用執照影本(需包括發電設備)。 4. 系統衝擊分析報告(視需要)。 5. 發電機配置圖及系統圖。 6. 發電機型錄、測試報告及認證資料影本。 7. 厭氧消化設備證明文件影本。
申請同意備案 (經濟部能源局/直轄市或縣（市）主管機關)	**檢附書表(第三型)** 1. 申請表。 2. 申請人身分證明文件。 3. 設置場址使用說明。 4. 設置場址及位置照片。 5. 輸配電業核發之併網審查意見書。 6. 地政機關意見書。 7. 其他經中央主管機關指定之文件。 8. 其他應檢附文書 (1)生質能發電設備：發電設備所使用燃料來源，應為百分之百農林植物、沼氣或經處理之國內有機廢棄物之切結書。
申請設備登記 (經濟部能源局/直轄市或縣（市）主管機關)	**檢附書表** 1. 設備登記申請表。 2. 原核發之再生能源發電設備同意備案文件影本。 3. 完工照片及平面配置圖。 4. 支出憑證（統一發票或收據）。 5. 裝置容量證明文件及產品型錄。 6. 發電設備產品認證文件。 7. 竣工試驗報告。 8. 免建照或雜照備查函。 9. 併聯通知函或免併聯證明文件。 10.其他經中央主管機關指定之文件。

圖 18、發電機電表及配電盤檢視

表 4、智慧電表自動回傳裝設場勘資料

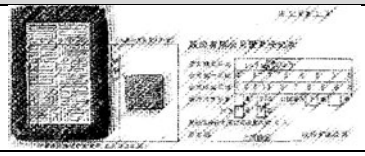
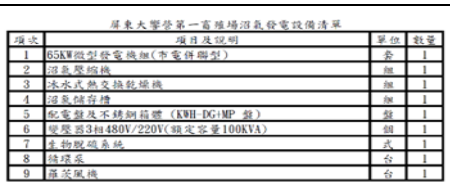
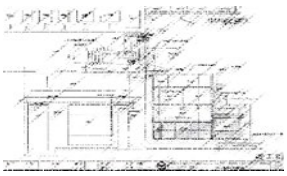
案場 : 台灣糖業股份有限公司大響營第一畜殖場畜殖	沼氣發電設置容量 : 65 kWp	
並聯點電力單線圖	■ 提供	□ 未提供
並聯點分電箱電壓 : 220V Vac	■3φ3 W	□ 1φ2W
責任分界點開關規格(若有)(AT 值)	75A ，預計更換至 150A	
沼氣發電專用的電表 (既設)	型號 :無	
電表裝設位置	現有配電箱 □ 內 □ 外 ■增設表箱內	
電表裝設位置手機信號格數(1~5)	5	
CT : ■ 增設 □ 既設	規格: 150 A/5 A, _____ VA	
CT 數量	0 個 □ 2 個 □ 3 個	
通訊轉換器電源	□ 110Vac ■ 220Vac	
資料回傳通訊方式	■ 4G SIM 卡	□ 內部網路 □ 額外鑽孔
額外天線	■ 不需要	□ 需要:____米 □ 額外鑽孔

(三)、憑證申請

在沼氣發電案場憑證申請作業流程方面，依序進行憑證制度說明及申請意願徵詢、案場現勘與申請程序說明等工作，確認大響營第一畜殖場為符合憑證申請資格案場，即輔導案場準備憑證申請必要文件，包括：申請人證明文件、設備所有權人證明文件、發電設備說明文件、電路配置說明文件、設備平面配置文件、能源局設備登記文件及設備外觀照片等，於 2018 年 9 月 20 日備齊所有文件(表 5)上憑證中心網站(www.trec.org.tw)線上系統註冊申請帳號後，再提出申請憑證。

憑證中心在接獲申請後，依據「自願性再生能源憑證申請作業程序」完成書面審查，並配合該沼氣案場壓縮機更換時程，於 11 月 20 日進行現場查核，完成憑證申請程序，開始累積發電量核發憑證。

表 5、台糖公司大響營第一畜殖場憑證申請文件及檢附證明

申請文件項目	檢附證明	
申請人身分證明文件	公司變更登記表 (2018 年 7 月 9 日經授商字第 0701077380)	
設備所有權人	能源局設備登記函 (能技字第 10600056880 號)	
發電設備說明文件	沼氣發電設備清單	
電路配置說明文件	發電機組單線圖	
設備平面配置文件	案場設施平面配置圖	
能源局設備登記文件	能源局設備登記函 (能技字第 10600056880 號)	
設備外觀	案場全景、設備全景及近景 共 3 張照片	

(四)、現場查核

依據「自願性再生能源憑證申請作業程序」，憑證中心在完成書面審查後，配合該沼氣案場壓縮機更換時程，由憑證中心指派本計畫人員填寫現場設備查核計畫書，述明查核時程及檢查內容，與案場約定 2018 年 11 月 22 日上午 10：30 進行現場設備查核，經大響營第一畜殖場案場管理單位確認後，依計畫書內容辦理設備查核。

現場設備查核作業，依據現場查核程序(圖 19)，依序執行查核業務，包括：與案場確認查核時間、現場確認發電設備規範之設備與結構、發電設備實際運轉情形、支援發電設備之輔助設備或第三方電力使用情形、發電設備維護運作規範及保養文件、相關基本資料查核等。詳細記錄設備查核內容，並至憑證中心平台填報入 TC-02 發電設備現場查核紀錄表。

圖 19、生質能(沼氣)發電廠現場查核程序

查核摘要彙整如下：

■沼氣發電流程：豬糞尿廢水→厭氧池→脫硫塔→壓縮機→沼氣發電機→併內線自用。

■發電機為 Capstone C65R 型 65kW 微渦輪發電機，平面及電路配置與申請資料一致。

■發電機運作正常，發電機組操作維護委託中礦公司負責，並留有記錄。

■電錶計量正常，變比器 150A/5A，變比率 30。

■發電機使用沼氣為燃料，未混其他非生質燃料；沼氣使用量已每月上能源局-能源資料平台申報。

發電設備現場查核紀錄表經憑證中心審核通過，於 2018 年 12 月 4 日核發台糖公司大響營第一畜殖場沼氣發電案場現場查核報告(圖 20)，記載包括報告編號、申請人、設備設置地點、設備編號、能源類別、設備裝置容量、查核種類、查核日期及核發日期等項目，完成憑證申請及現場查核程序，成為我國生質能憑證發行首例。

經濟部標準檢驗局再生能源發電設備查核報告
Report of Factory Inspection

報告號碼：A1801[redacted]
Report No.

申請人：台灣糖業股份有限公司
Registrant Name：Taiwan Sugar Corporation

設備設置場所地點：屏東縣枋寮鄉農場路110號
Address：No.110, Nongchang Rd., Fangliao Township, Pingtung County 940, Taiwan (R.O.C.)

設備編號：[redacted]
Device No.

發電類別：生質能發電系統
Technology for Devices：Biopower generation

裝置容量：65.00 kW
Capacity

檢查種類：■初次檢查 □後續檢查
Inspection Mode　Initial Inspection　Follow-up Inspection

查核日期：民國107年11月22日
Date of Inspection：Nov 22, 2018

查核結果符合經濟部標準檢驗局自願性再生能源憑證核發作業程序
Summary of Results for Units Inspection:
The operation and processes within the above-mentioned production devices have shown the conformance to the requirements regulated by the BSMI.

國家再生能源憑證中心主任 黃志文　簽發日期：民國107年12月04日
Date of Issue：Dec 4, 2018

授權簽發
Authorized Signatury

圖 20、大響營第一畜殖場沼氣發電設備查核報告

二、憑證運轉案例示範效益

標準局擴大再生能源憑證來源與供應，積極鼓勵及輔導台糖公司大響營第一畜殖場沼氣發電案場參與憑證制度，依據「自願性再生能源憑證實施辦法」及再生能源憑證市場交易輔導示範計畫，依序完成憑證申請、設備查核及憑證交易等程序，成為國內首件生質能憑證完整運轉示範案例，也驗證生質能再生能源憑證之市場性。各階段憑證運轉成果，亦經由媒體報導，達到憑證運轉案例示範效益。

台糖公司除了大響營第一畜殖場外，另位於屏東縣之四林畜殖場亦由本計畫輔導，於 2019 年完成沼氣發電案場憑證申請及現場查核程序，核發憑證，成為我國第 2 個生質能憑證案場，目前已獲核發 23 張憑證。該公司指出，畜殖場利用豬糞尿資源產生沼氣能源發電，不僅可有效解決養豬場的環保問題，更可協助綠電發展，未來台糖仍會持續發展沼氣發電，並投入綠電市場。

知識充電站

- 智慧變流器通訊安全傳輸機制探討與實務
- 不同安裝方式對於於太陽光電模組發電性能之研究
- 以非線性模型風況分析暨發電量評估

大江生醫屏東廠房 大江生醫提供

智慧變流器通訊安全傳輸機制探討與實務

文/ 財團法人電信技術中心 董勁吾、邱瑞源、郭作麟
盈正豫順電子股份有限公司 郭顯智
國立中興大學資訊科學與工程學系 林哲宇
國立交通大學資訊管理與財務金融學系 游家牧

摘要

隨分散式能源系統發展，電網中電力電子元件種類愈發繁多，資通技術已被利用於偵測或調節電網狀況，以降低損耗、優化效能與保障電網穩定。資通技術雖讓能源管理更為便利，卻也伴隨資安隱憂。其中，太陽能光電系統中之變流器也被開發出自主調控與遠端通訊等功能，謂之「智慧變流器」。不論是電力傳輸或資訊流向，智慧變流器均處於太陽能光電系統之中樞位置，對智慧變流器之通訊，宜以安全傳輸機制加以保護，以防資安罅隙。

本研究首先依國內之太陽能光電系統之電力與資訊傳輸現況勾勒模型，並對國際上智慧變流器相關通訊協定與資安標準說明簡介，以闡述安全傳輸機制之應用域與重要性；接續介紹 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016) 之安全機制剖繪。除以上探討外，研究團隊於市售智慧變流器通訊介面上開發了支援傳送層安全 (transport layer security, TLS) 技術之程式，在本地伺服與變流器通訊模組之間可實踐符合 IEC 62351-3 規範之安全傳輸。程式以常見之 python 語言所撰寫，易於轉移至其他相容之伺服環境，祈為智慧變流器及相關監控系統開發者提供導入安全傳輸機制之參考。

關鍵詞：智慧變流器、資訊安全、安全傳輸機制、IEC 62351

一、緒論

隨著再生能源的發展，太陽光電發電系統早已不是鎖在象牙塔中的技術，而普遍存在於生活之中。大至百萬瓩級的大型電站，小至家戶屋頂上的一方太陽能棚架，在我們電力網中，已有約 6,000 百萬瓩的光電裝置容量，每年約可供應 250 萬家庭年用電量，且逐年都有向上成長的趨勢。

太陽能發電系統的環境效益與優點是無庸置疑的，然而它其實是一種難以駕馭的電力來源。畢竟傳統的能源要發多少電都操之於人，太陽光電卻需要看天吃飯。當晴空飄過流雲而造成光電系統發電驟降，那麼損失了發電量還是小事，就怕讓電網一時供需失衡，而影響了電網的穩定性(2020 年 6 月 26 日發生天文奇景日環食時，太陽光電一時間大降 169 萬瓩，相當 2 部通霄機組發電量)。

因為太陽能板產出的直流電力，而電網則是交流電，因此太陽能系統所發電力在併入電網前，需要經過一個直交流轉換的設備。「變流器」就是肩負此重責大任的電力設備。新一代之變流器除了基本的直/交流轉換功能外，也被要求要具備電力調適功能，以在突發狀況時能保護太陽能系統與電網之安全。如美國之《IEEE 1547 標準》[1]及國際電工委員會之《IEC 61727 標準》[2]與我國之《CNS 15382 太陽光電系統 - 電力傳輸網界面之特性要求》標準[3]等，都有在變流器之市電系統相容性、過/低電壓頻率保護、孤島效應保護等自主調控功能做要求。

除自上述的主調控功能外，現在許多變流器也能直接或間接地連上網路了。變流器連網可讓用戶、變流器設備商及電網運營者及時掌握設備運行狀況與太陽能系統發電情況。且不僅於單向監視變流器數據，電網運營者會希望透過遠端控制指令操作太陽能併網設備，以進行相關調節與電力調度。如日本九州電力公司規定，自 2015 年起太陽能變流器若要併入該公司運營之電網，則該變流器應可接受遠端指令，俾遂行輸出抑制之功能[4]；美國加州公共設施委員會之電力第 21 號規則(Electric Rule 21)[5]與夏威夷電力公司之第 14 號規則[6]，也對變流器之遠端控制有所要求。我國《台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點》中，亦規範「引接於特高壓系統且裝置容量大於 100,000 瓩者，應裝設遙控監視設備並接受台電公司安全調度」[7]。變流器遠端控制或遠端設定之功能亦為太陽能系統業者或變流器設備商追尋之目標，祈此功能可降低運維成本。比方說，

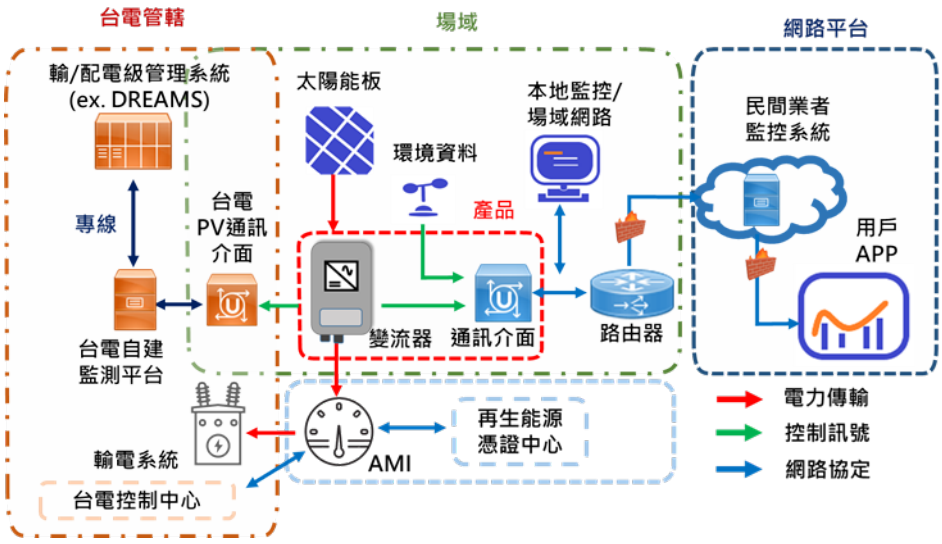


圖 21、太陽能光電系統之電力與資訊傳輸模型

在監視到變流器故障訊號時，若能透過遠端下達重啟指令將故障排除，則人員就無需出勤；某些變流器產品可於收指令後，對連結其上之太陽能光電陣列進行電壓電流曲線分析，以診斷系統之運作狀況[8]；亦有變流器設備之韌體或補丁，可透過遠端進行更新，如 2015 年時，Enphase Energy 公司就透過遠端操作，於一天內更新了 800,000 台變流器之韌體，其建置量達百萬瓦等級[9]。

圖 21 展示國內太陽能光電系統之電力與資訊傳輸模型，可見不論是電力傳輸或資訊之流向，變流器均處於模型之樞紐位置。變流器遠端監視及控制功能之發展，能有效地提升電場運營管理之效率，然而，將此等可影響電網穩定性之關鍵元件與網路相連，勢必產生資訊安全方面之隱憂[10, 11]，故智慧變流器之通訊應採用安全之傳輸機制，除將資訊加密保護外，透過雜湊技術的使用，可確保資訊之完整性，而合宜的金鑰交換與認證機制，可做為資訊安全驗證(authentication)、授權(authorization)及審計(accounting)之基礎，以落實系統資安管理，降低資安風險。

二、智慧變流器相關通訊標準與傳輸安全機制簡介

太陽能光電系統除了被歸類於再生能源外，亦被視為分散式能源(distributed energy resource, DER)之一環，有別於傳統集中式發電站，分散式能源一般較靠近電力需求端，可降低輸電損失，且多點供電，能提升電網之可靠

度(reliability)與彈性(resiliency)。然而分散式能源亦因據點眾多，運維管理不易，且來源多屬不穩定之發電源，故能源管理系統已逐步導入自動化及物聯網等技術，以構建智慧化之電網，方可駕馭分散式能源系統帶來的改變。於此情境下，智慧變流器之通訊宜依循一定之通訊協定，以達資訊互通之需求。國際上，可運用於智慧變流器通訊之協定如《IEEE 1815》[12]、《IEC 61850》[13]與《IEEE 2030.5》[14]等。其中《IEEE 1815》之前身為分佈式網路協議(distributed network protocol 3.0, DNP3)，後為電機電子工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)採納，DNP3 已發展逾 20 餘年，發展之初主要應於用變電站自動化之領域，早期採用串列協定與主/從模式，此等模式於高度動態之智慧電網架構中，可能不敷使用，故 DNP3 歷經多次修訂，至今 DNP3 仍被變電站自動化領域廣為採納，且於《DNP3 Application Note AN2013-001》文件中，擴充了可將 DNP3 應用於光電與儲能系統之資料格式。而國際電工委員會之《IEC 61850》標準，在發展之初即導入了物件導向(objective-orientation)與信息模型(information model)等概念，更利於智慧電網中裝置相互操作之應用情境，故成為智慧電網通訊協定之後起之秀。此系列標準中之《IEC 61850-90-7》子標準，係規範分散式電力轉換裝置之信息物件模型，適用裝置涵蓋直流轉交流之智慧變流器、直、交流轉直流之儲能系統或電動車充電樁等等。有別於《IEEE 1815》及《IEC 61850》係由電網端之設備互通性角度出發，《IEEE 2030.5》則為整合家用網路(home area networks, HANs)內之智慧能源裝置所發展出之通訊協定標準，家戶設置太陽能發電系統中之智慧變流器，自然成為《IEEE 2030.5》所涵蓋之設備。

於上述之通訊協定標準中，《IEEE 1815》及《IEC 61850》兩者本身未著墨於資訊傳輸時之安全要求，而是以另外之標準以為規範。如國際電工委員會之《IEC 62351 電力系統管理暨訊息交換相關之資通訊安全標準》即對包含《IEC 61850》在內之諸多電網通訊協定，提出安全傳輸之要求；另對應於《IEEE 1815》，尚有《DNP3 安全鑑別》(DNP3 Security authentication version 5, DNP3-SA v.5)要求；而《IEEE 2030.5》標準本身即有對訊息傳輸之加密方式做說明，美國加州的電力第 21 號規則，把《IEEE 2030.5》視為智慧變流器通訊之預設協定，並由通用智慧變流器剖繪(Common Smart Inverter Profile, CSIP)文件規範加州

併網變流器應採用之加密套件。一般而言，若智慧變流器之訊息係採用 TCP/IP 做為傳輸層協定，則上述之資安標準中，均要求應/宜透過傳送層安全(transport layer security, TLS) 技術對訊息進行加/解密，並對 TLS 公開金鑰加諸憑證(certification)要求，以確保其可信賴性。對於此等通訊協定之安全傳輸與加密要求，整理如表 6。由於 IEC 61850 係台灣電力公司架構智慧電網會採用之協定，本文將對其資安標準中有關安全傳輸之 IEC 62351-3 子標準做進一步之說明與介紹。

表 6、智慧變流器通訊協定與相關安全傳輸要求

通訊協定/資安標準	安全傳輸/加密要求	公開金鑰憑證
IEC 61850/ IEC 62351	IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)要求透過 TLS v1.2 以上傳輸；非對稱金鑰應至少具有 RSA 或 DSS 演算法簽署、金鑰長度 2,048 位元，橢圓曲線演算法可為選項；於對稱加密採用之演算法及金鑰強度並未限定、對雜湊函數亦未限定[15]。	採用 X.509 憑證
IEEE 1815/ DNP3-SA	DNP3-SA v.5 要求透過 TLS v1.2 以上傳輸、非對稱金鑰建議採用 RSA 演算法；對稱加密最小應為 AES-128；雜湊函數之要求為 SHA-256，並應向下支援 SHA-1[16]。	採用 X.509 憑證
IEEE 2030.5/ CSIP	IEEE 2030.5/CSIP 要求透過 TLS v1.2 以上傳輸。用戶端應採用特定之加密套件為 TLS-ECDHE- ECDSA-WITH-AES-128-CCM-8；伺服端除採用上述套件外，亦應支援 TLS-RSA-WITH-AES-256- CBC-SHA256 加密套件[17]。	採用 X.509 憑證

三、IEC 62351-3 安全機制剖繪

IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016) 主旨在於定義通訊網路及系統安全(Communication Network and System Security)。從再生能源網路系統安全的術語來說，即是定義了 DER client 與 DER server 之間的通訊安全。在考量 DER client 與 DER server 之間的通訊安全時，可以假設將會面對以下幾種具體的惡意攻擊。

(一) 竊聽 (eavesdropping)：DER client 與 DER server 之間的通訊內容將被惡意攻擊者得知。

(二) 重演 (replay)：DER client 與 DER server 之間的通訊內容將被惡意攻擊者蒐集之後重複使用。

(三) 中間人 (man-in-the-middle)：惡意攻擊者介入於 DER client 與 DER server 之間的通訊，使得 DER client (DER server) 誤以為正在與 DER server (DER client) 進行通訊但實則不然。

而目前主流的 DER client 與 DER server 之間的主流通訊協定為 TCP/IP，因此 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)也採用目前網路網路通訊當中主流的 TLS (Transport Layer Security，傳輸層安全)機制進行保護。而 TLS 所能提供的通訊安全主要可以陳述如下：

(一) 透過對訊息之加密，對抗未經授權之存取或是盜取資訊。可以被理解為抵抗上述之竊聽攻擊。

(二) 透過訊息認證與完整性保護，對抗未經授權修改或是插入訊息，也對抗已識別要求機密性保護之資訊。可以被理解為抵抗上述之重演與中間人攻擊。

由於 TLS 已經被大量地用於網際網路上的通訊安全保護，以下我們將對 TLS (由於 TLS 有多個版本，下面以目前最廣泛使用的 TLS 1.2 進行剖繪) 進行一般性地描述，並適時加入 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016) 對 TLS 的特有規範。

TLS 是在 client-server 的架構下進行通訊安全的保護。基本上 client 與 server 若要進行安全通訊，則 client 可以藉由如 AES (Advanced Encryption Standard)這樣的對稱性加密演算法 (symmetric key encryption) 對訊息進行加密後傳給 server。但是這樣的機制雖然簡單，但是有幾項限制如下：

(一) 對稱性加密演算法僅只保護了通訊資料的秘密性，但是考量上述惡意攻擊者可能對通訊資料進行竄改，對稱性加密演算法恐無法給予安全保證。

(二) 對稱性加密演算法需要通訊的雙方共同持有一個加解密金鑰 (以下稱 AES 金鑰)，這在一般網路購物的情境不見得成立，於再生能源系統的情境下 DER

client 與 DER server 之間也不見得都能事先共同持有一個加解密金鑰。

針對上述的限制 A 來說，可以利用建立於如 SHA-1 之類的安全雜湊函數 (secure hash function) 的訊息驗證碼 (Message Authentication Code，MAC) 來保護傳輸的訊息不被竄改. 若換言之，也就是 DER client 與 DER server 之間交換的訊息必定為真確的 (authentic)，常見的訊息驗證碼有 HMAC 與 CBC-MAC 等。

針對上述的限制 B 來說，則是可以藉由金鑰交換機制 (key exchange mechanism) 或是非對稱性加密演算法 (asymmetric key encryption) 讓互相沒有共同金鑰的雙方(如 DER client 與 DER server)在 AES 金鑰不被竊聽的安全保證之下建立出 AES 金鑰。其中，最廣為使用的金鑰交換機制為 Diffie-Hellman key exchange. 其流程大致可被理解成雙方共同擁有 g、 p 等公開訊息. 而一方(如 DER client)建立秘密的 x 並計算與送出 $g^x \bmod p$，另一方(如 DER server)建立秘密的 y 並計算與送出 $g^y \bmod p$。則一方(如 DER client)在收到另一方傳送的數值之後，可以計算出 $g^{xy}=(g^y)^x \bmod p$；相似地，另一方(如 DER server)也可以計算出 $g^{xy}=(g^x)^y \bmod p$，可以看出雙方已經建立出 AES 金鑰 $g^{xy} \bmod p$。而在使用非對稱性加密演算法方面，最廣為使用的機制是 RSA。RSA 內有公開金鑰 (public key) 與秘密金鑰 (private key) 兩種金鑰，其中公開金鑰僅能做訊息加密之用，而秘密金鑰僅能做訊息解密之用。因此，若雙方想建立共同的 AES 金鑰，則一方(如 DER client)在拿取另一方(如 DER server)的 RSA 公開金鑰之後，用 RSA 公開金鑰將 AES 金鑰加密並傳遞給另一方，另一方則以 RSA 秘密金鑰解開並獲取 AES 金鑰即可。透過以上的機制，可簡單地建立起雙方的安全通道進行安全通訊。

以上機制雖然貌似可行，但是僅只能抵抗被動式攻擊者 (passive attacker), 而無法抵抗主動式攻擊者 (active attacker)。因為已經介入於雙方的通訊當中而不是被動地竊聽而已，其中上述提到的中間人攻擊即被歸屬於主動式攻擊者的一種、重演攻擊也是一種主動式攻擊。譬如考慮中間人攻擊如何攻擊上述的 Diffie-Hellman key exchange 與 RSA： 以 Diffie-Hellman key exchange 來說，中間人攻擊可以向 DER client 扮演 DER server，而向 DER server 扮演 DER client，

藉此讓雙方都以為正常通訊，並獲取 AES 金鑰；而以 RSA 來說，在 DER server 廣播 RSA 公開金鑰時，中間人可以攔截此 RSA 公開金鑰並改為送出中間人的 RSA 公開金鑰給 DER client，藉此讓 DER client 使用中間人的 RSA 公開金鑰對 AES 金鑰進行加密，最終中間人即可成功使用中間人的 RSA 秘密金鑰解出 AES 金鑰。

為了解決以上議題，憑證 (certificate) 與憑證頒發機構 (certificate authority，CA) 的概念就被提出來。以 RSA 為例，方才的問題在於「如何使 DER client 確認得到且宣稱為 DER server 的 RSA 公開金鑰真的是 DER server 的 RSA 公開金鑰」。因此 DER server 需要在建立自己的 RSA 公開金鑰與秘密金鑰配對之後，立刻前往憑證頒發機構申請一份 DER server 的 RSA 公開金鑰之憑證。憑證的用途類似於現實世界中的國民身分證；也就是說，現實世界中的國民身分證用來確認一個自然人是否真的是他宣稱的那位自然人，而憑證的用途也在於確認一個宣稱為 DER server 的 RSA 公開金鑰真的是 DER server 的 RSA 公開金鑰。因此，從這個論述出發，需要對憑證與憑證頒發機構做以下幾個觀察與論述：

(一) 相似於現實世界中的國民身分證必須得有防偽措施，憑證也必須有防偽措施，否則包含惡意攻擊者在內的任意人將可以隨意偽造憑證來論證並非 DER server 的 RSA 公開金鑰為 DER server 的 RSA 公開金鑰。在現行通行的憑證當中，幾乎都使用數位簽章 (digital signature) 來完成這項任務。目前最廣為人用的數位簽章演算法則為 DSS。

(二) 相似於現實世界中的國民身分證上面具有照片、有效期間、身份證號碼以及人名等資訊，憑證上至少會有 RSA 公開金鑰、憑證頒發機構名稱、有效期間等資訊。除此之外，為了驗證憑證的可信任性，也必須事先知道採用的數位簽章演算法為何。

(三) 在使用上，DER server 需要在建立自己的 RSA 公開金鑰與秘密金鑰配對之後，立刻前往憑證頒發機構申請一份 DER server 的 RSA 公開金鑰之憑證。由於憑證經過數位簽章，因此除了憑證頒發機構之外的任何均無法改變。此時考慮 DER client 向 DER server 索取 DER server 的 RSA 公開金鑰，則

DER server 將 RSA 公開金鑰連同其憑證傳送給 DER client。DER client 利用事先協調的數位簽章演算法等資訊，即可驗證憑證之正確性，從而得知並確認 DER server 的 RSA 公開金鑰，上述之流程可見圖 22。

(四) 目前憑證頒發機構眾多，包含 Symantec、COMODO、digicert 與 GoDaddy 等皆為大型的憑證頒發機構。臺灣也有本土的臺灣網路認證股份有限公司 (TWCA)。

(五) 相似於現實世界中的國民身分證會有固定格式，目前通用的憑證格式為 ITU 規範的 X. 509。X. 509 經過多次改版，常見之版本為 X. 509 v3。另外在 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)當中，則又額外規範憑證大小不得超過 8,192 bytes。

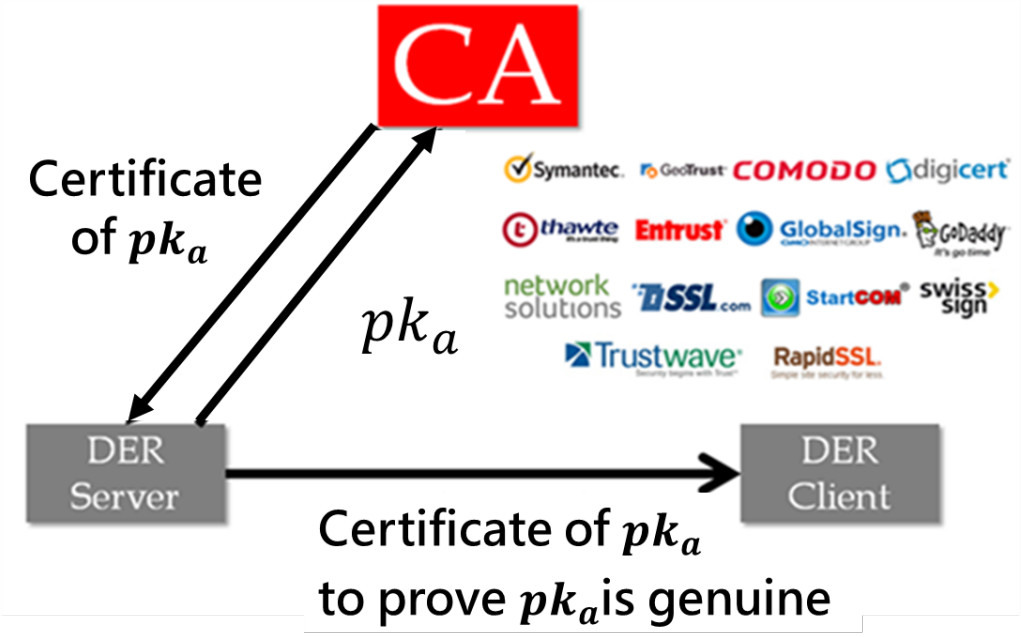


圖 22、憑證與憑證頒發機構作業流程圖

TLS 協定步驟繁複，但是所謂的一次 TLS 交握 (TLS handshake) 但仍可簡單理解成一套固定的機制自動完成上述金鑰交換，藉由 certificate 驗證身份，並以 AES 金鑰進行加密通訊的過程。換言之，一次的 TLS 交握即可建立一套加解密套件 (cipher suite)，而建立在如此加解密套件之下的網路通訊可以被稱為是一次的 TLS 會談 (TLS session)。 如前所述，IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016) 預設將使用 TLS 1.2 為範本進行安全通訊。 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016) 內的 TLS 又將保留或是持有以下特徵：

(一) 管理者領域外之通訊不得使用加密為空值 (NULL) 的任何加解密套件。

(二) 在實作上，IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016) 應也支援 TLS 1.0 與 TLS 1.1 支援往前相容性。

(三) 憑證可能因為諸如時間到期或是使用者單方面想更換金鑰等因素而需要撤銷 (revoke)。因此，憑證頒發機構將會定期廣播內含所有已經被撤銷的憑證之憑證撤銷清單 (certificate revocation list, CRL)。一旦任何人收到憑證，除了利用數位簽章演算法驗證憑證合法性之外，也應當確認憑證是否出現於憑證撤銷清單當中。如果有的話，即使數位簽章演算法已經驗證憑證合法性，該憑證也被認為是非法。憑證撤銷清單的機制受限於憑證頒發機構乃是定期或是不定期地廣播憑證撤銷清單。因此，現行有另一套被稱為線上憑證狀態協定 (online certificate status protocol, OCSP) 的方法，讓獲取憑證的使用者可以即時性地動態詢問憑證頒發機構其憑證之合法性，消彌了憑證撤銷清單的時間延遲。

(四) 支援會談再續 (session resumption)：允許新的 TLS 會談利用過往進行的加解密套件搭配 session ID 來重新使用過往進行的加解密套件，這樣將可以最小化 TLS 交握帶來的效能損耗。但若 TLS 會談已經持續超過 24 小時，則不建議進行會談再續。而若來往的憑證頒發機構使用憑證撤銷清單的話，也應注意會談再續的期間是否對準於憑證撤銷清單廣播的時間。

(五) 支援會談重新協商：會談重新協商與會談再續基本上可以被認為是目的相反的過程，如上所述，會談再續是想避免過多的 TLS 交握所以沿用原本的加解

密套件，但是會談重新協商則是在 TLS 會談當中，即便 TLS 會談尚未結束，也可以藉由會談重新協商重新獲得一份加解密套件。

(六) 由於 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)要求 TLS 1.2 進行雙向的憑證認證，因此是否檢驗方是否具有認證方的 root certificate 即可能產生問題，這樣潛在的問題可以讓 DES client 一開始即送出受信賴 CA 指示 (Trusted CA indication)給 DER server 來盡可能避免。換言之，受信賴 CA 指示內含 DER client 偏好的憑證頒發機構，讓 DER server 能夠選擇 DER client 偏好的憑證頒發機構。

(七) IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)要求 TLS 1.2 至少支援 RSA 與 DSS 演算法進行數位簽章。在 RSA 演算法進行數位簽章時，除非是為了往前相容性而只考慮 1024 bit，否則金鑰長度必須得是 2048 bits。對應的橢圓曲線版本數位簽章演算法，也就是 ECDSA 或是 ECGDSA (請見 ISO/IEC 15946-2)也應當支援，而 ECDSA 或是 ECGDSA 的金鑰長度最少得為 256 bits，且 ECDSA 使用的橢圓曲線應為 secp256r1。

(八) IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)要求 TLS 1.2 至少支援 Diffie-Hellman key exchange 與 ephemeral Diffie-Hellman key exchange 且都是 2048 bits 金鑰。

四、智慧變流器導入 62351-3 安全傳輸機制之實務

以下我們以盈正豫順電子股份有公司(以下簡稱盈正豫順)所提供的 aggregator 並且利用 Raspberry PI 進行 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)當中 TLS 1.2 client-server 之間安全通訊的實驗。因為盈正豫順所提供的 aggregator 以及 Raspberry PI 均可以支援 python 程式，因此我們選用 python 程式來完成。程式分成 TLS_server.py 和 TLS_client.py 兩個，程式一樣使用 raw socket 的做法，私有金鑰、憑證皆使用 mbedTLS 的測試檔案，大部分參數都是因應安全性需求再做調整即可。

首先，圖 23 當中，line 6~8 指定憑證，私有金鑰的檔名。在 line 20 的 context.set_ciphers()可以設定加解密套件，能選的加解密套件和憑證私鑰類型

有關。Server 和 Client 可以個別設定自己支援的加解密套件, 但是如果想要進行 TLS 通訊，至少要有一個加解密套件是相同的。Line 22~23 讀取前面指定的憑證與私有金鑰，Line 26 之後就是做 socket 通訊。雖然下圖中是用本地端做通訊，不過拿到其他平台充當 DER server 也是可行的。

```
1import socket
2import ssl
3
4class server_ssl:
5    def build_listen(self):
6        CA_FILE = "ca.crt"
7        KEY_FILE = "server_test_ec.key"
8        CERT_FILE = "server_test_ec.crt"
9        context = ssl.SSLContext(ssl.PROTOCOL_TLS)
10
11       context.verify_mode = ssl.CERT_REQUIRED
12
13       # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1
14       # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1_1
15       # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1_2
16       # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1_3
17
18       # print(context.get_ciphers())
19
20       context.set_ciphers('ECDHE-ECDSA-AES256-SHA384:ECDHE-ECDSA-AES256-GCM-S
21
22       context.load_verify_locations(CA_FILE)
23       context.load_cert_chain(certfile=CERT_FILE, keyfile=KEY_FILE)
24       context.verify_mode = ssl.CERT_REQUIRED
25
26       with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM, 0) as sock:
27           with context.wrap_socket(sock, server_side=True) as ssock:
28               ssock.bind(('127.0.0.1', 5678))
29               ssock.listen(1)
30               while True:
31                   client_socket, addr = ssock.accept()
32                   msg = client_socket.recv(1024).decode("utf-8")
33                   print("receive msg from client {" + addr + "}：" + msg)
34                   msg = "Server: I am Server\r\n".encode("utf-8")
35                   client_socket.send(msg)
36                   client_socket.close()
37
38
39server = server_ssl()
40server.build_listen()
```

圖 23、智慧變流器導入 62351-3 安全傳輸機制 Server 端程式

```python
import socket
import ssl

class client_ssl:
    def send_hello(self,):
        CA_FILE = "ca.crt"
        KEY_FILE = "client_test_ec.key"
        CERT_FILE = "client_test_ec.crt"

        context = ssl.SSLContext(ssl.PROTOCOL_TLS)

        context.verify_mode = ssl.CERT_REQUIRED

        # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1
        # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1_1
        # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1_2
        # context.options |= ssl.OP_NO_TLSv1_3

        # print(context.get_ciphers())

        context.set_ciphers('ECDHE-ECDSA-AES256-SHA384:ECDHE-ECDSA-AES256-GCM-S

        context.check_hostname = False
        context.load_cert_chain(certfile=CERT_FILE, keyfile=KEY_FILE)
        context.load_verify_locations(CA_FILE)
        context.verify_mode = ssl.CERT_REQUIRED

        with socket.socket() as sock:
            with context.wrap_socket(sock, server_side=False) as ssock:
                ssock.connect(('127.0.0.1', 5678))
                msg = "Client: I am Client".encode("utf-8")
                ssock.send(msg)
                msg = ssock.recv(1024).decode("utf-8")
                print("receive msg from server : " + msg)
                ssock.close()


client = client_ssl()
client.send_hello()
```

圖 24、智慧變流器導入 62351-3 安全傳輸機制 Clinet 端程式

圖 24 可以看出由於 Server 和 Client 兩個程式的架構大致上一致，因此本論文不再行細項解釋。

以上的程式執行起來則可以獲得如下圖 25 般的結果，成功地建立起符合 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016)的 TLS 1.2 會談。而會談再續與會談再協商被視為是 TLS 交握的精簡版，其執行順序仍與上述大致相同，因此不特別額外呈現實驗結果。

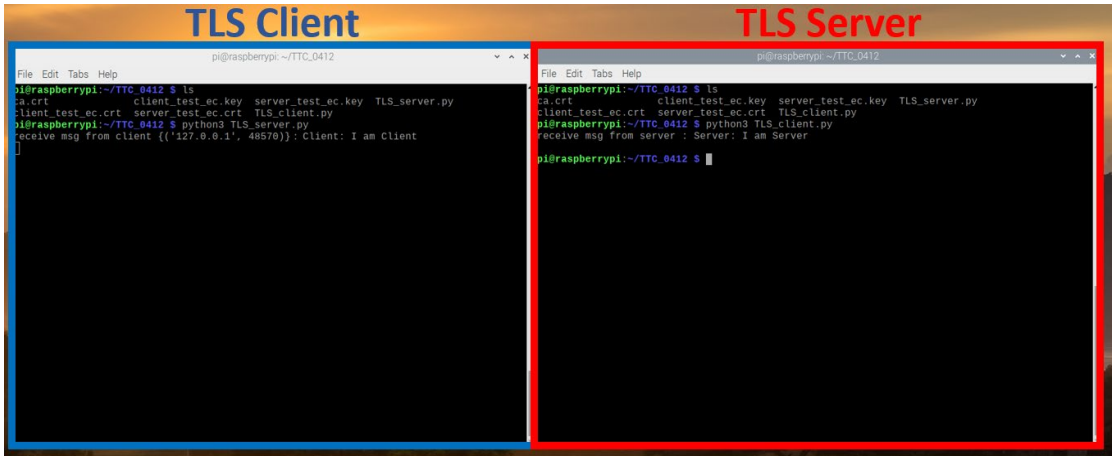


圖 25、智慧變流器導入 62351-3 安全傳輸機制示範

五、結論

網路帶給人們便利，卻也開闢了從事網路犯罪行為的新天地。任何連上網的設備，都可能成為駭客想入侵的目標，能源產業當然不會是例外，稍加 google 就可查詢到許多案例，在此不一一細數。連上網路之變流器如果被攻擊，可能造成太陽能發電停擺，其影響不可謂不大。

要保護連網變流器之資訊安全，有方方面面的各種要求，其中，資料加密算是基礎要件。未加密的訊息在網路上傳輸，一旦被截取，資訊全被看光光，且訊息若帶有帳號、密碼等資訊，駭客可輕易盜取帳號。採用安全性不足之加密，在高手面前，解開密文可能也是時間早晚的問題。故國際標準會規定何種傳輸機制才夠安全，可防止資訊被惡意人士竊聽或被以重演或中間人等方式攻擊。然而，越安全的傳輸機制往往也需要更好的電腦資源，許多變流器通訊採用之開發基板的計算資源遠不如一般電腦，要如何做出小而美的安全傳輸套件適用於這些開發基板，因此成為挑戰。

本研究剖析 IEC 62351-3(CNS 15874-3:2016) 之安全機制，並說明為何採用此等安全機制得以防範上述之攻擊手段，此外也分析了 IEC 62351-3 (CNS 15874-3:2016) 預設使用 TLS 1.2 為範本外之其他特徵與要求。團隊更成功地建立了智慧變流器導入 IEC 62351-3(CNS 15874-3:2016)安全傳輸機制之案例，所開發之程式可擴充至其他相容平台，祈為智慧變流器及相關監控系統開發者提供導入安全傳輸機制之示範與參考。

致謝

本研究由標準局「2020 年再生能源憑證平台資安管理與檢測計畫」之專案經費支持執行，特此致謝。

參考文獻

[1] IEEE Standard Association. (2018). "IEEE Std. 1547-2018. Standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources with associated electric power systems interfaces", IEEE standard.

[2] 經濟部標準檢驗局 (民 107 年)，CNS15382 太陽光電系統 - 電力傳輸網界面之特性要求，CNS 國家標準。

[3] International Electrotechnical Commission (2004). "IEC 61727:2004. Photovoltaic (PV) systems-characteristics of the utily interface". IEC standard.

[4] Smart Japan (2015)，太陽光発電が急増する九州で、出力制御の実証事業を開始。檢自: https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1506/10/news037.html

[5] Gas, P. (2018). Electric Company (PG&E): "Electric Rule No. 21—Generating Facility Interconnections—", PG&E's regulations.

[6] Hawaiian Electric Company Inc. (2015), "Rule No. 14, Service Connection and Facilities on Customer's Premise", D&O No. 33258.

[7] 台灣電力公司(民 107 年)，台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點。檢自:https://www.pv-magazine.com/2020/05/14/a-new-device-to-detect-pv-panel-failure/

[8] Daisy Chuang (民 109 年)，省下 80%太陽能維運成本，盈正智慧變流器發展 I-V 曲線技術即時檢知異常，Energy Trend。檢自: https://www.energytrend.com.tw/interview/20200609-14318004.html

[9] P. Fairley (2015), "800,000 MicroInverters Remotely Restrofitted on Oahu – in One day", IEEE Spectrum. Retrieved from:

https://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/solar/in-one-day-800000-microinverters-remotely-retrofitted-on-oahu.

[10] Jacobs, N., Hossain-McKenzie, S., Jose, D., Saleem, D., Lai, C., Cordeiro, P., ... & Howerter, C. (2019). Analysis of system and interoperability impact from securing communications for distributed energy resources. In 2019 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI) (pp. 1-8). IEEE.

[11] Carter, C., Onunkwo, I., Cordeiro, P., & Johnson, J. (2017). Cyber security assessment of distributed energy resources. In 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC) (pp. 2135-2140). IEEE.

[12] IEEE Standard Association. (2012). "IEEE Std. 1815-2012. Standard for Electric Power Systems Communications-Distributed Network Protocol (DNP3)", IEEE standard.

[13] International Electrotechnical Commission (2020). "IEC 61850-2020 SER Series. Communication networks and systems for power utility automation - ALL PARTS". IEC standard.

[14] IEEE Standard Association. (2018). "IEEE Std. 2030.5-2018. Standard for Smart Energy Profile Application Protocol", IEEE standard.

[15] 經濟部標準檢驗局 (民 105 年)，CNS15874-3 電力系統管理及關聯資訊交換-資料及通訊安全-第 3 部：通訊網路及系統安全-包括 TCP/IP 之剖繪，CNS 國家標準。

[16] DNP SA (2011), "Further Information Regarding the Release of DNP3-Secure Authentication Version 5 (SAv5)", Distributed Network Protocol.

[17] CSIP WG. (2018). "Common Smart Inverter Profile-IEEE 2030.5 Implementation Guide for Smart Inverters, v.2.", Common Smart Inverter Profile Working Group.

不同安裝方式對於太陽光電模組發電性能之研究

文/財團法人台灣大電力研究試驗中心 陳明旺、林俊宏

摘要

隨著太陽光電模組大量鋪設，對於太陽光電系統之發電性能逐漸重要，相關太陽光電模組研究更表明，模組之發電性能與照射度、光譜和模組溫度密切相關。本研究透過蒐集不同安裝條件之太陽光電模組現場數據，並利用基於密度的聚類算法（DBSCAN）來挖掘太陽光電模組重要資訊數據，並重構模組之發電性能特性。實驗結果顯示，相同型號之模組，因為工作條件不同，導致發電性能也不進相同，可供未來太陽光電案場建置前之評估使用，協助太陽光電系統獲得最大輸出電量。

關鍵詞：太陽光電、發電性能、性能衰減、可靠度研究。

一、簡介

近年來隨著太陽光電模組設置容量逐年提升，對於太陽光電系統之發電性能衰減課題日益重要。太陽光電模組的發電性能衰減情況可能因模組使用地點或是運轉條件不同有所落差，相關研究成果更表明模組發電運轉條件不同有所落差，相關研究成果更顯示模組發電性能易受到模組照射度、工作溫度或是其他因素，導致整體發電性能降低。

A. Sinha[1]於 2020 年提出一種改進的 Arrhenius 方程預測不同氣候下密封劑變色的衰減率，並利用現場與加速紫外線測試衰減數據、現場氣象數據來確定密封劑褐變的加速因子。Y. R. Golive[2]等人於 2020 年透過調查 2018 年度印度

[1] A. Sinha, H. Gopalakrishna, A. B. Subramaniyan, D. Jain, J. Oh, D. Jordan, and G.S. TamizhMani, "Prediction of climate-specific degradation rate for photovoltaic encapsulate discoloration," *IEEE Journal of Photovoltaics*, Vol. 10, No. 4, 2020.

[2] Y. R. Golive, S. Zachariah, R. Dubey, S. Chattopadhyay, S. Bhaduri, H. K. Singh, B. Bora, S. Kumar, A. K. Tripathi, A. Kottantharayil, J. Vasi, and N. Shiradkar, "Analysis of field degradation rates observed in all-India survey of photovoltaic module reliability 2018," Vol. 10, No. 2, pp. 560-567, 2020.

使用 c-Si 技術之太陽光電模組進行發電性能遞減分析，更表明太陽光電模組遞減速度與模塊壽命、系統大小、安裝配置及安裝環境息息相關。T. Ishii[3]等人於 2018 年提出一基於三個參數表示亞熱帶沿海氣候條件下，六種類型在標準測試條件（Standard Test Condition，STC）下測量的晶體矽（c-Si）PV 年衰減率及年度發電量，太陽輻照條件下的性能比以及功率輸出。

二、主要內容

(一)太陽光電模組之 I-V 特性修正方法

為使得太陽電池模組之效能評比有所依據，標準局於 2012 年 11 月公布 CNS 15600 國家標準(IEC 60891)「太陽光電裝置-量測 I-V 特性之溫度與照射度修正程序」應用於量測太陽電池之半導體 I-V 特性，規定量測 I-V 修正參數時，所需遵循之標準化程序及修正相關因數的計算之參考依據[4], [5]。

模組有三種修正程序適用於其他溫度及日照條件下，可修正所量測之 I-V 特性於標準測試條件（Standard Testing Condition, STC）。第一種為透過 CNS 15600 第一版標準公式；第二種為代數修正替換法，在較大照射度修正(>20%)時，其修正結果較佳；其中此兩種均需要已知 PV 之修正參數。而第三種為內插法，其無須已知修正參數作為輸入項，可以涵蓋應用修正法的溫度及照射度範圍之至少 3 條 I-V 曲線來修正。

通常照射度 G 應依 CNS 13059-2 定義之 PV 基準裝置所量測短路電流(I_{RC})及在 STC 之校正值($I_{RC,STC}$)計算得知，其修正基準應為 25°C 及 1,000W/m^2 時之特定溫度係數(α_{RC}，其單位為 1/°C)計算基準裝置溫度(T_{RC})。

$$G = \frac{1000\,\mathrm{Wm}^{-2} I_{RC}}{I_{RC,STC}}\left[1 - \alpha_{RC}(T_{RC} - 25^{\circ}\mathrm{C})\right] \qquad (1)$$

---

[3] T. Ishii, S. Choi, R. Sato, Y. Chiba, and A. Masuda, "Annual degradation rates of recent c-Si PV modules under subtropical coastal climate conditions," in *Proceeding of 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion* (WCPEC), 2018.

[4] CNS 15600，太陽光電裝置 - 量測 I-V 特性之溫度與照射度修正程序，2012 年。

[5] IEC 60891:2009, Photovoltaic devices - Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics, 2009.

若 PV 基準裝置與測試樣品具有光譜匹配，否則應依 CNS 13059-7 針對光譜部分進行修正，本研究暫不考量光譜響應之影響。

$$I_2 = I_1 + \left(\frac{G_2}{G_1} - 1\right) + \alpha(T_2 - T_1) \quad (2)$$

$$V_2 = I_1 - R_s(I_1 - I_2) - KI_2(T_2 - T_1) + \beta(T_2 - T_1) \quad (3)$$

其中，I_1 及 V_1：量測特性點座標；I_2 及 V_2：所修正特性對應點座標；G_1：基準裝置量測之照射度；G_2：STC 照射度，即 1,000W/m^2；T_1：基準裝置量測之模組溫度；T_2：STC 模組溫度，即 25°C；I_{SC}：測試樣品在 G_1 及 T_1 量測短路電流；α、β：電流及電壓之溫度係數，其中 α 通常為正值，β 通常為負值；Rs：測試樣品之串聯內阻；K：曲線修正函數。

太陽光電模組之衰減率可使用加速老化測試方法、實地比對驗證方法或其他有效方法。加速老化測試方法是利用環境試驗箱模擬戶外實際運轉之照射度、溫度、濕度等環境條件，並對相關參數進行加倍或加嚴等控制，實現短時間內組件老化衰減目的。實地比對方法是自模組運轉日起，根據項目設置容量抽取足夠數量的樣品，按照 GB/T 6495.1 標準規定，測試其初始最大輸出功率後，與同批次生產的其他組件安裝在同一環境下正常運轉發電，運轉日起一年後再次測量其最大輸出功率。

$$P_{\text{degradation}} = \frac{P_{\text{max_install}} - P_{\text{max_operation}}}{P_{\text{max_install}}} \times 100\% \quad (4)$$

其中，$P_{\text{degrdation}}$：太陽光電模組衰減率；$P_{max_install}$：太陽光電模組運轉日之最大輸出功率；$P_{max_operation}$：太陽光電模組運轉一段時間後之最大輸出功率。

(二)基於密度聚類演算法

DBSCAN (Density Based Spatial Clustering of Application with Noise) 演算法[6]是一種密度分群演算法，其優勢在於不需事先指定分群數即可對資料點自動分群，且集群形狀為任意大小可使用於任意資料點分布，其具備不受資料讀取先後順序而改變分群後結果。

[6] Z. Zhu, X. F. Bai1, W. Zhang, R. Liu, and Y. Xu, "Identifying Equivalent Load Model of Power Systems With Wind Power Integration," *2016 UKACC 11th International Conference on Control* (CONTROL), 2016.

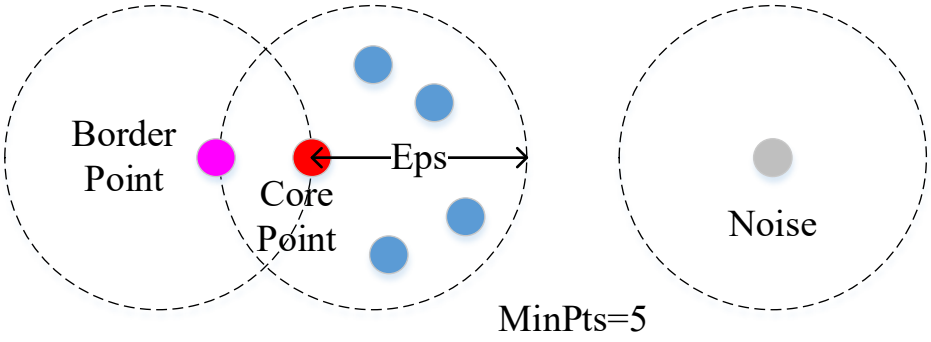


圖 26、DBSCAN 分群概念

DBSCAN 演算法僅有兩個輸入參數，即鄰近半徑 *Eps*(ε-Neighborhood)及群數最小數量(MinPts)，其可因各自分析需求進行調整，其可表示為式(5)及(6)，而 DBSCAN 分群概念如圖 26 所示。

$$N_{Eps}(p) = \{q \in D \mid dist(p,q) \le Eps\} \quad (5)$$

$$\left|N_{Eps}(p)\right| \ge MinPts \quad (6)$$

DBSCAN 演算法流程如下：

step1. 找出尚未分群之資料點 *p*，若資料點同時滿足判斷式(1)及(2)，*Eps*(*p*)視為新集群 C_{Di}且 *p* 為 C_{Di}之核心點(Core Point)，並放入候選集合 *seeds*，若無法滿足判斷式(1)及(2)則資料點 *p* 標記為雜訊(Noise)，找尋下一個尚未分群之資料點並重複 step1。

step2. 若資料點 *p* 為之 C_{Di} 核心點且資料點 $q \in C_{Di}$，從候選集合 *seeds* 取出 *q*，若滿足判斷式(1)及(2)，資料點 *p* 視為 C_{Di}之核心點並將 $N_{Eps}(q)$內所有未分類資料點存入候選集合中，並從候選集合 *seeds* 刪除資料點 *q*。

step3. 若資料點無法同時滿足判斷式(1)及(2)，資料點 *q* 視為邊緣點(Border Point)，雖 $q \in C_{Di}$ 但 $N_{Eps}(q)$不被視為與 C_{Di}同一集群且 $N_{Eps}(q)$內全未分群之元素不存放至候選集合 *seeds*。

step4. 從候選集合 *seeds* 內取一元素重複 step2 及 step3 直到候選集合 *seeds* 內沒有任何元素。

step5. 重複 step1，直到資料點內全元素被分群過。

三、研究成果

本文分析之臺北及臺中實證場域系統架構圖如 27 及圖 28 所示。臺北場域共使用 19 種太陽光電模組，總裝置容量為 14.2kW，臺中場域共使用 11 種太陽光電模組，總裝置容量為 14.19kW。數據蒐集部分均以每 5 分鐘量測一次 I-V Curve，量測時間自每日上午 6 點至下午 7 點，量測數據模式包含日射量、模組溫度、開路電壓、短路電流、最大輸出電壓、最大輸出電流、最大輸出功率及填充因子等，臺北 48 片模組均有量測，臺中僅有 32 片進行量測。安裝方式臺北實證場域模組下方處於通風狀態，而臺中實證場域模組下方裝設鐵皮，模擬模組運轉於不易散熱條件，觀察其發電性能。

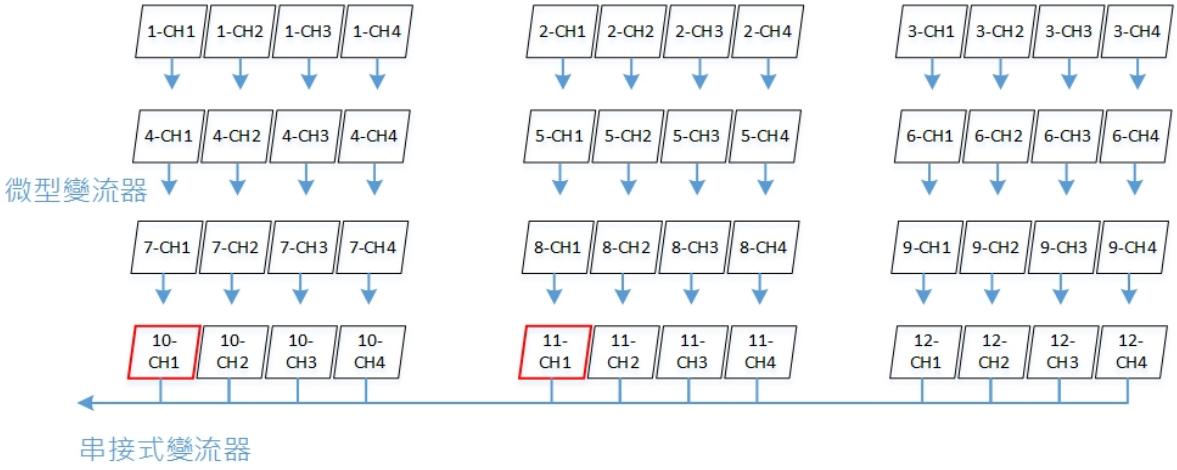


圖 27、臺北實證場域之系統架構圖

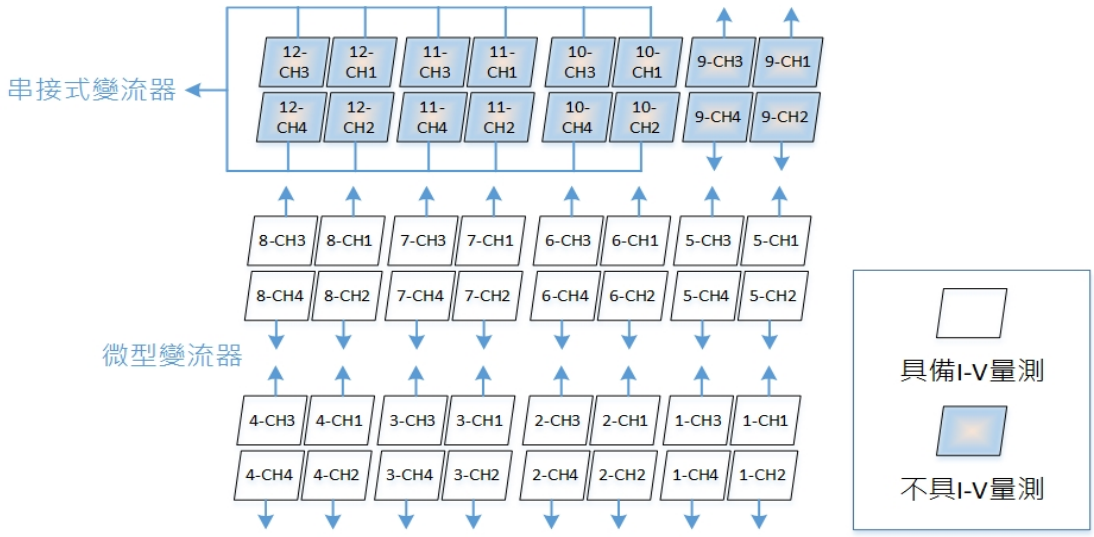


圖 28、臺中實證場域之系統架構圖

太陽光電模組因製程不同，對於模組相關之性能特性參數亦不同，本文以相互兩鄰近之模組進行分析，探討將模組運轉於正常情形下所量測之模組發電特性修正之標準測試條件，並與送至實驗室於標準測試條件下，所量測之所量測之模組發電特性等兩個數據進行探討，觀察可能之影響發電性能分析原因，並根據長期蒐集之發電性能數據分析及驗證模組衰減情況是否與實驗室測得方式比對之差異相似，以協助後續評估模組使用上之參考依據，其中相互比對之模組為設備編號 11-CH1 及 10-CH1，其相關之模組參數可藉由各廠商之模組規格書中查詢，其中短路電流溫度係數 α，開路電壓溫度係數為 β，最大輸出功率溫度係數 γ，本文分析之模組各項參數數值如表 7 所示。

表 7、相互比對之模組參數表

		型號一	型號二
對應位置	臺北	11-CH1~11-CH2	10-CH1~10-CH4
	臺中	1-CH1、3-CH1、3-CH3、4-CH2	6-CH3~6-CH4
最大輸出功率(W)		300	295
最大輸出電壓(V)		34.08	31.69
最大輸出電流(A)		8.82	9.31
開路電壓(V)		40.02	38.87
短路電流(A)		9.55	9.92
最大輸出功率溫度係數(1/°C)		-0.45%	-0.44%
開路電壓溫度係數(V/°C)		-7.43%	-0.33%
短路電流溫度係數(A/°C)		0.47%	0.07%

(一)各實證場域之數據統計分析

透過蒐集自 2020 年 1 月至 10 月之臺北、臺中實證場域各月之數據進行分析。，數據篩選部分，僅考量該日較有完整照度下之該日數據，其需涵蓋至 1,000W/m^2 數據，並利用 CNS 15600（IEC 60891）標準將所篩選後之資料進行修正至 STC，並透過線性回歸工具找出最大輸出功率對日照量之關係圖，而各實證場域蒐集及分析數據量如表 8 所示。

表 8、各實證場域分析數據統計情況

	臺北場域		臺中場域		臺南場域	
	原始資料	篩選資料	原始資料	篩選資料	原始資料	篩選資料
1 月	4,868	1,257	4,868	988	4,868	1,322
2 月	4,552	953	4,552	1,153	4,552	1,574
3 月	4,846	680	4,846	1,320	4,846	1,118
4 月	4,726	735	4,726	952	4,726	1,453
5 月	4,846	895	4,654	653	4,846	1,512
6 月	4,726	953	4,726	950	4,726	1,460
7 月	4,846	985	4,846	1,032	4,846	1,440
8 月	4,846	1,013	4,846	980	4,846	1,520
9 月	4,726	895	4,726	960	4,726	1,320
10 月	4,746	934	4,756	1,100	4,656	1,250

各實證場域各月之數據進行分析，其統計結果如表 9 至表 10 所示，其中每月累計日照量為該實證場域統計該月每日總日照量後計算得資訊，單位為 kWh/m^2。每月總發電量為為該實證場域之太陽光電模組總發電量，單位為 kWh。每月平均模組溫度為該實證場域之每片太陽光電模組平均溫度，每月平均環境溫度代表該實證場域量測之環境周圍溫度，兩者單位均為 °C。

表 9、臺北實證場域各月統計情形

	每月累計日照量(kWh/m^2)	每月總發電量(kWh)	平均每月模組溫度(°C)	平均每月周圍溫度(°C)	平均風速(m/s)
1 月	67.7	725	29.8	20.1	1.3
2 月	69.5	708	30.1	21.2	1.5
3 月	80.6	754	30.4	22	1.4
4 月	83.7	847	35.4	27.2	1.4
5 月	89	913	36	28	1.3
6 月	95.2	999	41.5	29.9	1.3
7 月	102.5	1014	45.9	32.3	1.5
8 月	103.1	1216	46.5	31.8	1.6
9 月	97.7	908	41.6	28.2	1.5
10 月	93.2	850	33.8	27.9	1.5

表 10、臺中實證場域各月統計情形

	每月累計日照量(kWh/m^2)	每月總發電量(kWh)	平均每月模組溫度(°C)	平均每月周圍溫度(°C)	平均風速(m/s)
1 月	74.5	594	35	25	1.3
2 月	74.2	557	36.2	25.9	1.3
3 月	97.6	763	37	28.4	1.4
4 月	98.9	795	45.3	29.8	1.5
5 月	99.8	734	41.8	30.2	1.4
6 月	106.3	668	53.4	33.1	1.4
7 月	110.1	795	56.1	35.2	1.3
8 月	116.5	717	57.4	34.7	1.3
9 月	110.7	647	52.5	33.6	1.4
10 月	98.5	616	42.8	31.8	1.5

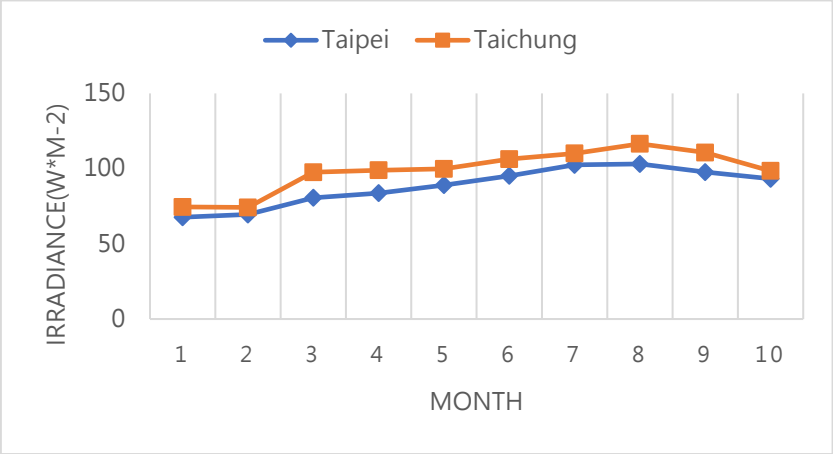


圖 29、各實證場域每月累計日照量

由圖 29 觀察可知，每月累計日照量臺北實證場域最低、臺中實證場域次之、臺南實證場域最高，符合地理條件。根據統計結果可知，臺北實證場域 8 月份每月累計日照量最高，其統計數據為 132.1kWh/m^2，而 1 月份每月累計日照量最低，其統計數據為 67.7kWh/m^2；臺中實證場域 8 月份每月累計日照量最高，其統計數據為 136.1kWh/m^2，而 2 月份每月累計日照量最低，其統計數據為 74.2kWh/m^2。

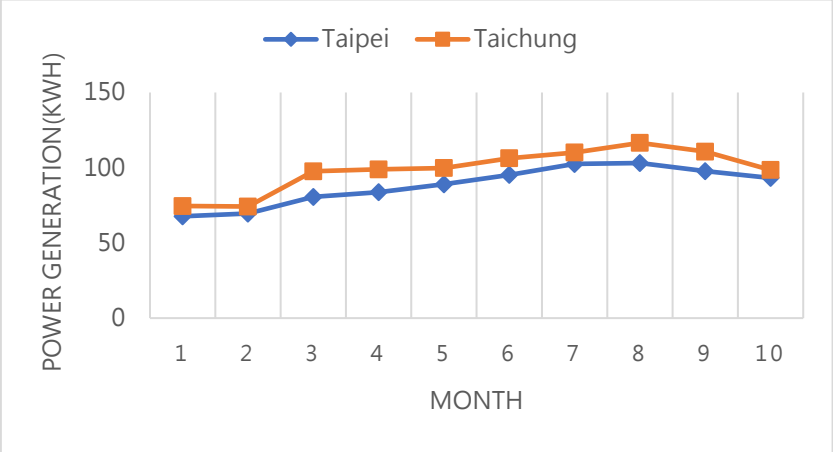


圖 30、各實證場域每月總發電量

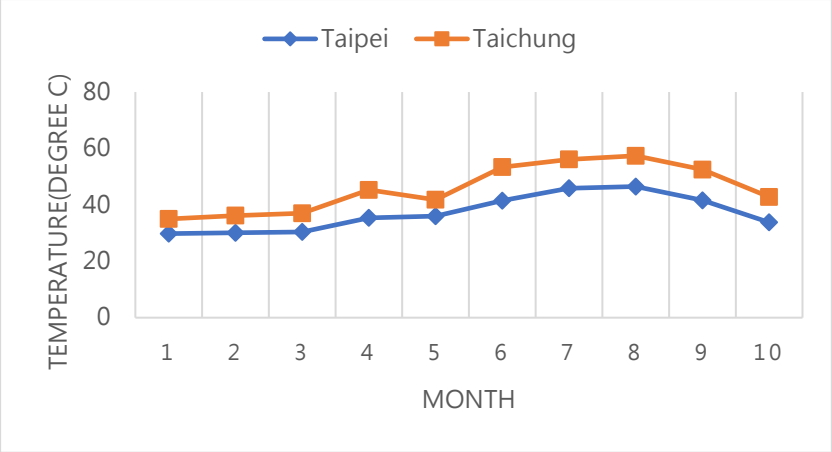


圖 31、各實證場域平均每月模組溫度

由圖 30 觀察每月總發電量可知，臺北實證場域比臺中實證場域統計數據高，考量各實證場域之每日平均日照量原因，應為臺中實證場域比臺北實證場域高，經研判可能與模組溫度有關，後面細部探討。

由圖 31 觀察平均每月模組溫度可知，臺北實證場域比臺中實證場域統計數據低，經研判可能是臺中實證場域之太陽光電模組架設於斜屋頂，散熱較差之安裝條件，導致該實證場域之總發電量受模組溫度影響。根據統計結果可知，臺北實證場域 8 月份平均每月模組溫度最高，其統計數據為 46.5°C，而 1 月份平均每月模組溫度最低，其統計數據為 29.8°C；臺中實證場域 7 月份平均每月模組溫度最高，其統計數據為 57.4°C，而 1 月份平均每月模組溫度最低，其統計數據為 35°C。

由上述分析觀察結果可得知，根據安裝地點不同發電量大至小應為臺中>臺北，但數據蒐集結果顯示，臺中場域總發電量較低，臺北場域較高，雖然臺中日照度較臺北高，但因臺中模組長期運轉於散熱較不易條件，導致發電量較低。

(二)標準測試條件下之比較

在相關檢測實驗室中，可以將太陽光電模組之發電特性調整為標準測試條件，以利觀察模組是否以發生衰減情況。透過經線性回歸計算後之最大輸出功率平均數值，以日照度於 1,000W/m^2，帶入經線性回歸後方程式後數據，可得該月模組之最大輸出功率統計之數值。透過此方式可進行模組之發電性能研究分析，分

析項目標包含不同型號太陽光電模組使用於相同地點分析及不同地點之數據分析。透過各實證場域之模組統計結果與模組於標準測試條件下量測之最大輸出功率相互比較，觀察模組型號 TS60-6M3-295(Type1)及 TYNS60610300(Type2)，各實證場域統計結果如表 11 與表 12 所示，其比對情況如圖 32 及圖 33 所示。

表 11、臺北實證場域安裝模組計算後之最大輸出功率數值表

模組編號 / 月份	MP10-1	MP10-2	MP10-3	MP10-4	MP11-1	MP11-2
模組型號	Type1	Type1	Type1	Type1	Type2	Type2
Pmax	295	295	295	295	300	300
1 月	284.4	277.4	279.5	283.1	269.8	265.4
2 月	280.2	270.1	278.3	284.9	267.4	263.4
3 月	282.3	273.5	278.1	280.4	270.1	266.8
4 月	283.6	276.4	280.3	281.5	268.4	266.1
5 月	285.1	275.8	279.4	282.1	269.3	264.2
6 月	283.1	274.6	279.1	282.4	269	265.2
7 月	283.4	275.6	279.6	281.4	269.6	265.1
8 月	284	277.5	280.1	281.6	269.5	265.2
9 月	284.1	276.5	279.9	282	268.9	264.9
10 月	285	276.9	279.5	282	268.5	265.8
Pmax_average	283.52	275.43	279.38	282.14	269.05	265.21
Pmax_stc_1st	297.7	298.5	299.1	298.2	293	292.8
Pmax_stc_2nd	297.1	297.8	297.7	297.3	292	291.2

表 12、臺中實證場域安裝模組計算後之最大輸出功率數值表

模組編號 / 月份	MP1-1	MP3-1	MP3-3	MP4-2	MP6-3	MP6-4
模組型號	Type2	Type2	Type2	Type2	Type1	Type1
Pmax	300	300	300	300	295	295
1 月	268.8	273.9	273.7	274.8	282.7	283.8
2 月	267	274.9	272.5	274	280.5	280.8
3 月	268.2	275.8	273.1	275.9	281.4	281.1
4 月	271.4	275.1	274.2	277.1	281.2	283.2
5 月	266.5	273.9	275.3	274.8	283.1	284.9
6 月	268.4	274.7	273.8	275.3	281.8	282.8
7 月	269.5	275.1	274.1	276.2	280.1	283.1
8 月	267.9	274.5	274.6	276.2	281.9	283.4
9 月	267.5	273.9	274.9	277	282.4	282.9
10 月	288.4	274.1	275.1	275.9	282.3	281.9
Pmax_average	270.36	274.59	274.13	275.72	281.74	282.79
Pmax_stc_1st	297.7	298.5	299.1	298.2	293	292.8
Pmax_stc_2nd	295.3	297.2	297.4	299.2	296.5	295.3

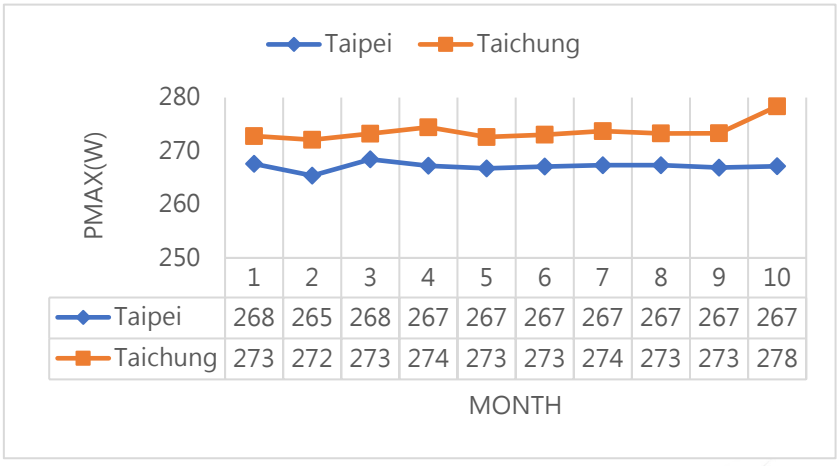


圖 32、各實證場域之 Type1 模組統計數據比對情形

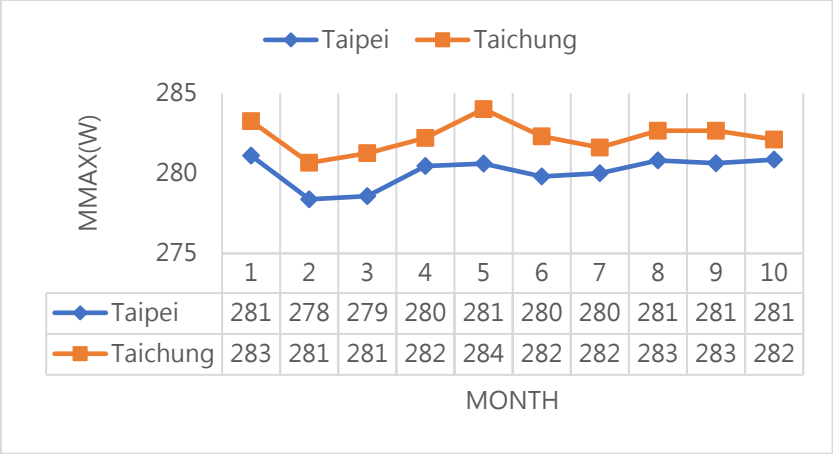


圖 33、各實證場域之 Type2 模組統計數據比對情形

透過上述分析比對情況，考量實證場域之 2018 年至 2020 年度之發電性能比對，其中因臺中實證場域於 2018 年下半年底才完成建置，故無整年度蒐集資料，若將目前統計數據量之量測數據整理後並修正至標準測試條件後進行探討，如表 13 所示。由觀察圖 34 發現臺北實證場域之 Type1 模組統計後之模組平均最大輸出功率減少約 1.2W，Type2 模組統計後之模組平均最大輸出功率減少約 3.41W；而觀察圖 35 臺中實證場域之 Type1 模組統計後之模組平均最大輸出功率減少約 1.43W，Type2 模組統計後之模組平均最大輸出功率減少約 2.6W，因該兩區域僅有約 2 年統計之平均數據較難判定其衰減情況，僅可得知有降低情況，建議未來仍可持續觀察方能得知較完整的衰減情況。

表 13 臺北及臺中實證場域近兩年統計數據統計比較表

	臺北實證場域		衰減率		臺中實證場域		衰減率	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Pmax_stc_2018	282.15	275.12	-	-	-	-	-	-
Pmax_stc_2019	281.32	270.54	0.29%	1.66%	284.87	275.13	-	-
Pmax_stc_2020	280.12	267.13	0.43%	1.26%	282.27	273.7	0.17%	0.44%

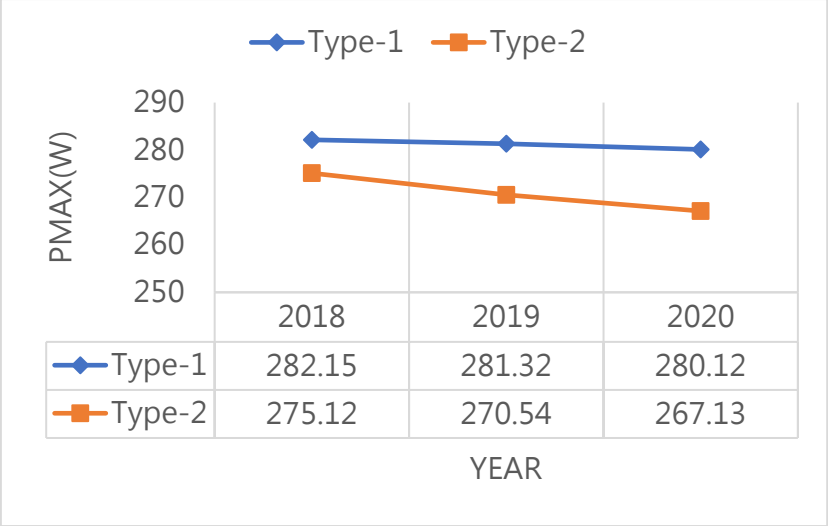


圖 34、臺北實證場域之模組發電性能比較圖

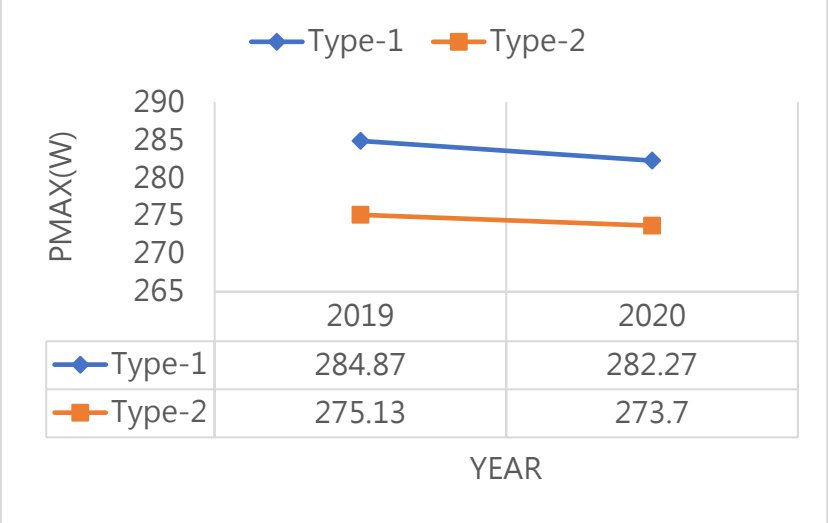


圖 35、臺中實證場域之模組發電性能比較圖

四、結論

本研究透過觀察臺北實證場域裝設之太陽光電模組自 2020 年 1 月至 10 月所量測之之模組數據發現，使用相同型號之模組運作於不同條件下，模組發電性能研究亦不同，可能因模組本身工作點與運轉環境的不一樣。由實驗結果顯示，因模組設計製程的不同在不同工作環境條件下，導致所觀察之太陽光電模組未能達到理想值，在不同型號下衰減情況也不盡相同，發電性能衰減情況較低，初步研判環境無惡劣情況（天候劇烈變化），透過此方式合理評估，若後續評估太陽光電系統使用之模組時，可能使用該型號會有較低發電量，後續將持

續觀察其長期發電性能變化情況，方能得到更準確成果。最後，根據本研究成果可協助太陽光電系統評估系統發電量工具，以利未來相關使用太陽光電系統建置前評估使用之模組挑選參考方式。

以非線性模型風況分析暨發電量評估

文/財團法人金屬工業研究發展中心 劉家安

摘要

再生能源憑證因為有用電大戶、綠色生產鏈或企業社會責任需求者，致使憑證產生價值，當現在已有市場的出現，就會有被檢視的可能，再生能源設備的發電量屬重要發證依據，因此需要審慎評估，一旦發電量有疑慮產生，將必須透過外部條件藉以評估是否合宜，對於風力機而言，主要的外部條件就是風速，風速量測需使用風速計等儀器，而目前全台有設置風速計且資訊為公開的即為中央氣象局，但氣象局觀測站的位置往往量測的數值較無法切合風力機現地的氣象條件。

透過風資源模擬軟體 MASCOT（Microclimate Analysis System for Complex Terrain）可用來預測複雜地形上的局部風況，因此可以透過該軟體以歷史氣象資訊計算風力機與觀測站之轉換係數，預期透過轉換係數得以運用觀測站之風速換算取得風力機現地風況，並計算其發電量，也能提供預測平台提高預測的精準度。

關鍵詞：風力發電、數值模擬、風況分析、發電量比對。

一、簡介

發電量估算對於風場開發而言是個很重要的過程，面臨資源缺乏的時代，台灣現在正積極建設風場，有鑑於國內陸域風場有限，且位於世界級離岸風場資源旁，風資源評估便是有效計算風場成本與收入的關鍵程序，也是主要判斷風場電力容量的方法。

再生能源憑證，使再生能源所擁有的環境效益與電獨立出來計算，再生能源(風力、太陽能)之電力排放係數皆為零，也就表示發電過程不會排放二氧化碳，對於部分受政府單位管制之用電大戶，或使用再生能源提升企業形象之公司，兩者皆有再生能源憑證之需求，使得再生能源憑證會有其價值存在，而成為一有價物品。目前由於電業法修正，眾多風場將投入再生能源憑證，設備容量皆相當龐大，因此核發所需確認數量變為十分重要，所以則需要透過外部量測資訊，藉以

計算分析確認發電量之正確性。

本文以案場風能估算為主軸，因為風力發電最主要評估的氣象參數為風速，而往往風力機周圍不一定有符合量測條件之氣象觀測塔，觀測塔需要在待評估之風力機上風處，氣象觀測塔與風力機之間需為平坦地形，然而氣象觀測塔不如日照計架設的簡易，對於高度及方位皆有特別的要求，建置的成本也較高。本研究將透過數值分析軟體，以非線性模型計算現有氣象塔及風力機位置之間的風速關係，藉以評估案場風力機發電量，減少所需建置氣象塔之成本。

二、背景

由於氣象塔與風力機相隔距離超過國際規範中所制定之距離，因此評估透過CFD(Computational Fluid Dynamics)數值模擬方式克服現實上之限制，MASCOT（Microclimate Analysis System for Complex Terrain）可用來預測複雜地形上的局部風況，並利用區域氣象模型 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System)及非線性模型 MASCOT 與實際結果比對驗證該預測有效性，因此地形上較無限制，但仍需特別注意有山坡等地形高度變化的區域，有可能風吹過該地形時會產生紊流造成風速及風向改變。

三、研究方法

(一)風力機參數

本研究採用 Vestas 公司所生產型號 V47 的陸域大型水平軸風力機如下圖 36，裝設於雲林縣麥寮的台朔公司廠區，其額定功率為 660 kW，風機輪轂高度為 55 公尺，將 55 公尺設定為光達量測的主要高度；切入風速為 4 m/s，切出風速為 25 m/s，額定風速則為 15 m/s，切入及切出風速影響評估的風速區間；以上為評估發電量時所需要的重要參數。

圖 36、Vestas-V47 型風力機

風力機功率曲線於原廠出廠時會進行量測，風力機於各個風速下所能對應之發電功率，藉以評估其發電量，風力機製造商在公開網站上所提供之功率曲線皆為風速與功率的關係圖如下圖 37。

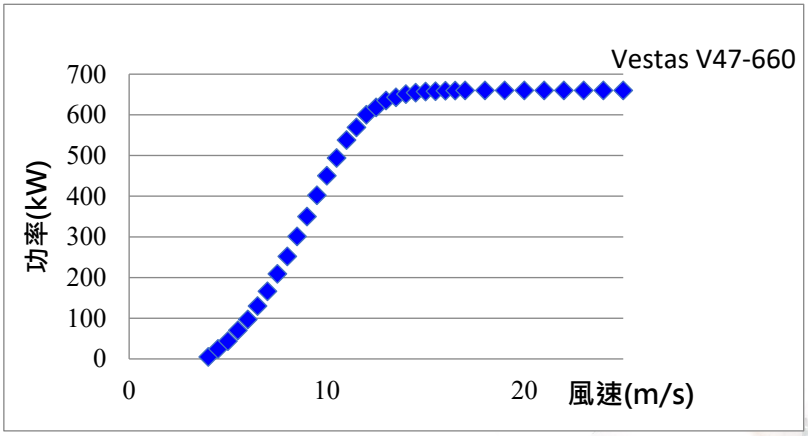


圖 37、Vestas-V47 原廠功率曲線

(二)MASCOT 軟體

MASCOT（Microclimate Analysis System for Complex Terrain）可用來預測複雜地形上的局部風況，並利用區域氣象模型 RAMS 及非線性模型 MASCOT 與實際結果比對驗證該預測有效性，因此地形上較無限制，但仍需特別注意有山坡等地形高度變化的區域，有可能風吹過該地形時會產生紊流造成風速及風向的改變，MASCOT 的八個特點可以排除複雜地形及計算問題，流程圖如圖 38。

MASCOT（Micro-wind-climate Analysis System for Complex Terrain）是基於流體力學的基礎方程式之質量守恆和動量守恆公式，基於有限體積法進行數值的解析，尋找流場的數值解析。針對亂流模式是以 k-ε模式來稱呼。

針對非壓縮的流動，是以垂直座標系的質量及動量的雷諾(Reynolds)方程式所給予的方程式。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial \rho \overline{u}_j}{\partial x_j}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \rho \overline{u}_i}{\partial t}+\frac{\partial \rho \overline{u}_j \overline{u}_i}{\partial x_j}=-\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}(\mu \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j}-\rho \overline{u_i' u_j'}) \tag{2}$$

在此，$\overline{u}_i$ 和 u_i' 是以物理空間的 x_i 方向的速度成分之平均值和變動值來表現，$\overline{p}$ 代表壓力，ρ 代表流體的密度，μ 代表黏性係數、雷諾茲應力 $\rho\overline{u_i' u_j'}$ 是基於線形渦粘性型模式導出近似值，如下所示。

$$\rho \overline{u_i' u_j'}=\frac{2}{3}\rho k \delta_{ij}-\mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \tag{3}$$

在此，μ_t 代表亂流粘性係數，基於亂流能源 k 和亂流能源散逸率，以如下方程式表現。

$$\mu_t=C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{4}$$

使用標準 $k-\varepsilon$ 模式時，C_μ 的值是 0.09。

1. 在模擬上單一網格可對應多個任意傾斜角，可在水平方向上採非均勻網格進行計算，並可在選定特定區域網格加密計算。

2. 採用傳統流體力學計算的有限容積法(滿足質量及動量守恆)，數值解方法採用高度穩定的 SIMPLE（Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations）。

3. 利用 K-epsilon (k-ε) turbulence model 紊流模型計算在複雜地形產生的紊流流動特性。

4. 為預測複雜地形中的局部風況，開發一種新的邊界處理方法，以最小化邊界處理對內部區域的影響。

5. 提出一種高速穩定求解大規模線性聯立方程的方法，可以用一台電腦在一小時內用一百萬網格分析 10 平方公里的風況。

6. 該計算方法背後具有高度（50 米解析度）和水平（100 米解析度）的數據庫，輸入緯度和經度，可以獲得該地風力條件。

7. 如果取得目標區域的一個地點的風速、風速、氣象預測中獲得了數據（觀測或氣象預測），則可以獲得平均風速、平均風速的平均變化或平均風速的韋伯分布。

8. 配有圖形用戶界面和流動能力可視化工具，在分析開始之前，目標點的高程，表面粗糙度，用於分析的網格和錨點可以確定風力機的位置。此外，可以透過諸如等值線和風速向量的可視化輪廓來查看分析結果。

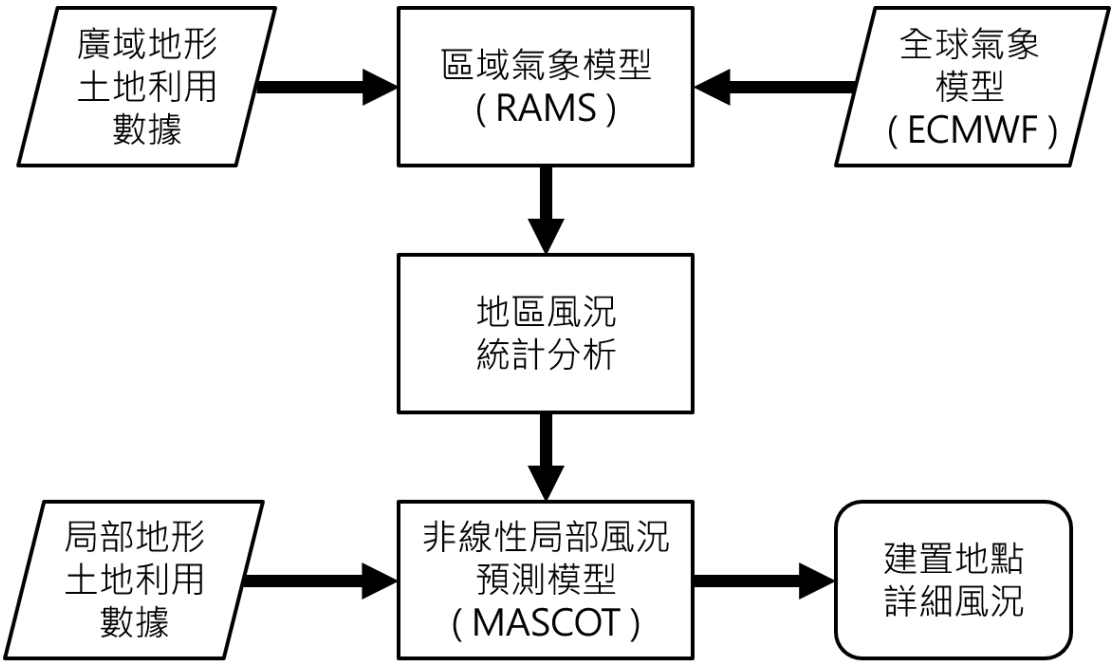


圖 38、預測及模擬分析流程圖

資料來源：A Nonlinear Wind Prediction Model MASCOT : Development and Application，石原孟，2003。

(三)計算模型建立

由於台朔重工公司周圍之氣象觀測站，距離最近為麥寮觀測站，但該觀測站未有紀錄之功能，僅能於線上顯示即時資訊，故改為選用台西觀測站，距離台朔公司 13 公里，氣象設備高度為海拔 12 公尺，本研究使用 MASCOT 軟體，設定模型之計算範圍，中心點為北緯 23° 50’，東經 120° 15’ ，台朔風場與台西觀測站之中心點，減少其計算範圍，南北向及東西向總長範圍皆為 10 公里，網格水平方向 250 公尺一格，垂直方向則為 5 公尺，計算領域範圍台西觀測站及台朔風場兩地(如下圖 39)，並初步分析該領域各風向收斂狀況皆良好。

決定計算模型後，輸入參數為台西氣象站之氣象資料，此風場已為憑證案場，在案場設立初期，已經為該案場裝設一顆數位電表，即將 4 台風力機的發電量彙整，進行發電量量測，電表也經過第三方單位校正，並裝設 4G 模組，每 5 分鐘會將實際發電電量回傳至憑證中心，故可以取得每 5 分鐘的總發電量。

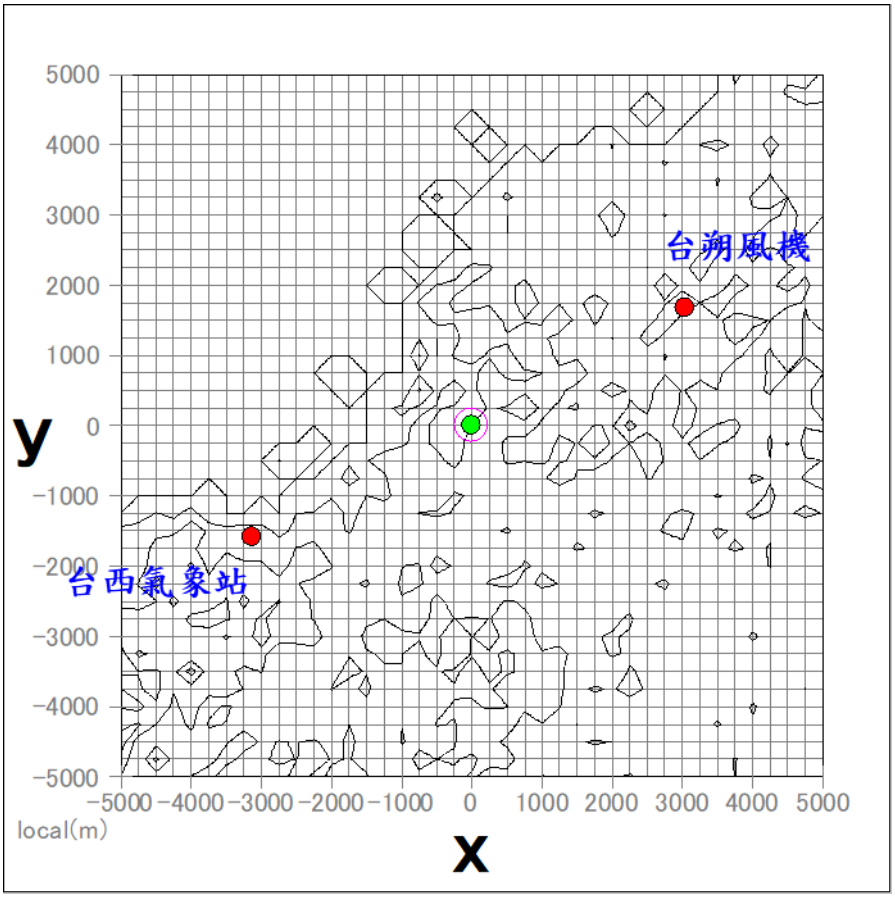


圖 39、MASCOT 計算領域

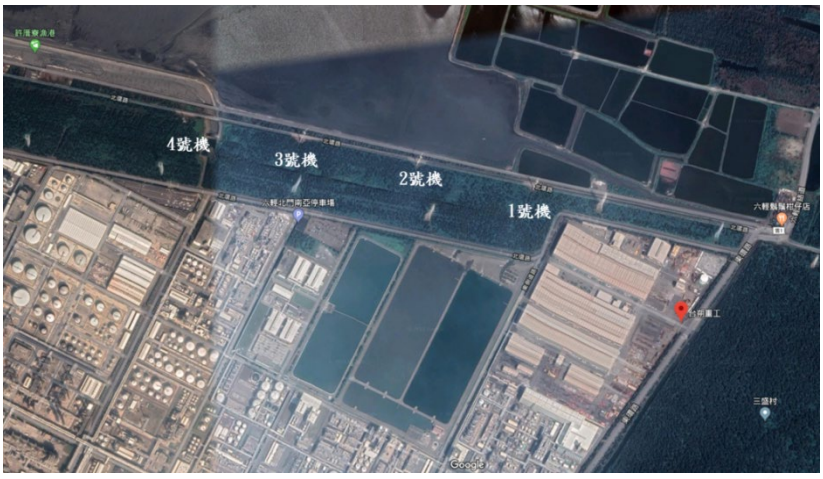


圖 40、GOOGLE 地圖照片

圖 41、綜合電表照片

(四)計算結果

將台西觀測站 1995 年至 2015 年間的每小時資訊匯入後，以 20 年之歷史資訊計算得台朔風場每年在正常情況下平均情況如下圖 42，圖 42 左上圖為年度風花圖，可了解台朔風向狀況如台灣常見之狀況，多屬東北季風，風向偏向北風及北北東，右上圖為年度風速發生機率，平均風速落在 3.5- 4 m/s，左下為每月平均風速，右下則為當日每小時平均風速。

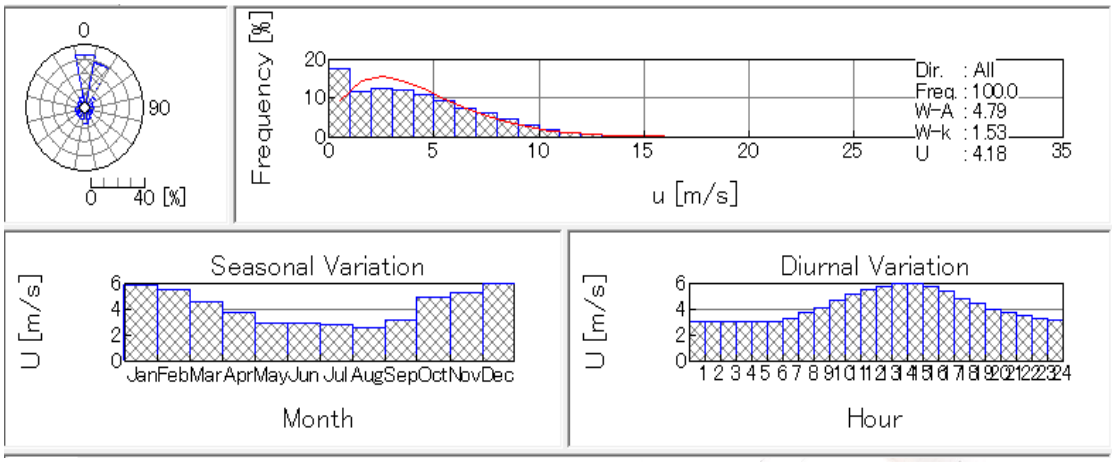


圖 42、台朔風場計算風況

本研究利用 MASCOT 裡面的模組功能，計算台西觀測站及台朔風場之間的轉換係數，未來得以利用台西觀測站量測之資料，帶入公式後作為台朔風場現地風速計算使用，計算發電量之合理性，Etv 分別為台西及台朔風場間轉換係數，360 度分為 16 個區間進行分類，V 則為風速，如下式:

$$V_{台朔} = (\frac{V_{台西}}{EtV_{台西}}) \times EtV_{台朔} \quad (5)$$

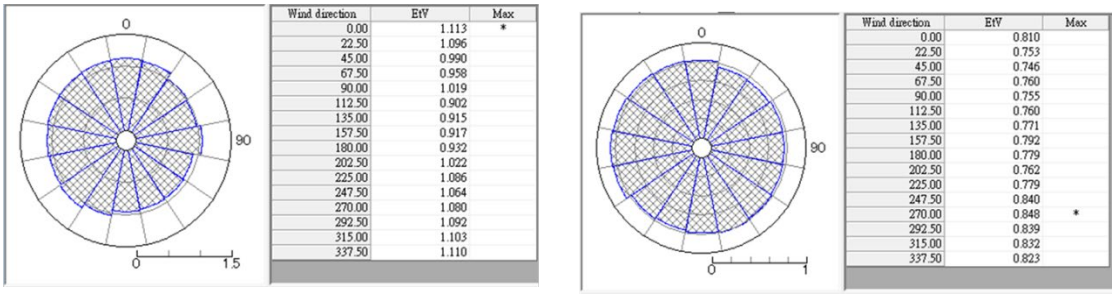


圖 43、風速轉換係數(左，台朔風場；右，台西觀測站)

表 14、台朔風場發電量比較表

	台朔重工發電量					
月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
實際發電量(電表回傳)	826,532.00	663,900.00	514,599	333,363	264,340	139,172
計算發電量(台西測站)	587,206.28 (誤差率 29.0%)	290,450.62 (56.3%)	162,853.54 (68.4%)	116,778.59 (65.0%)	85,358.62 (67.7%)	46,883.66 (66.3%)
計算發電量*1 (MASCOT 轉換測站風速)	531,660.10 (35.7%)	253,209.37 (61.9%)	134,946.98 (73.8%)	92,636.18 (72.2%)	67,657.81 (74.4%)	31,374.88 (77.5%)

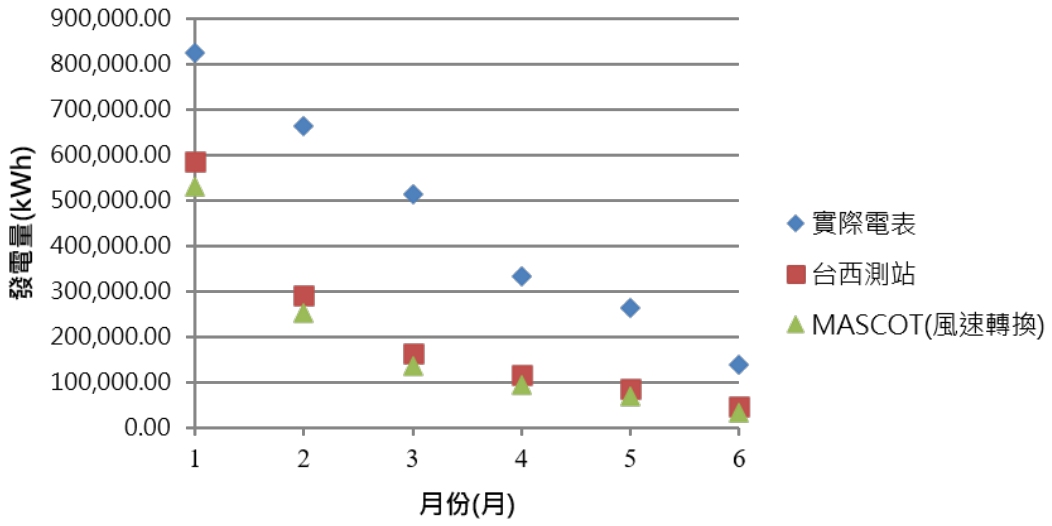


圖 44、發電量比較

計算結果如上表 14 及圖 44，分別為 2019 年 1 月至 6 月之電量，第一列為實際發電量，利用月底回傳之智慧電表累計數值扣除前一個月底之數值，第二列為計算所得之發電量，使用台西觀測站量測之風速，每小時一筆，將風速經過風剖面高度換算後，帶入風力機原廠功率曲線，所得之發電量，第三列則為 MASCOT 計算而得之風速轉換係數，換算台朔風場的風速後，帶入原廠功率曲線，所得之發電量，下方之括號則為各欄位與實際量之誤差率計算，其中可以看到發電量誤差皆超過 30%以上，討論其發電量之狀況，初步判斷台西觀測站因屬防災使用，風速計位置較低，接近台西市區中心點，容易受周遭之建築物影響，因此量測資訊已受地形地貌之影響，再加上模擬軟體計算後，又有數值計算上的誤差累加，造成反而誤差率提高之狀況發生。

四、結論

再生能源憑證因為有環境、綠色生產鏈或企業社會責任需求者，所以才會使憑證屬於有價值的物品，再生能源設備的發電量又是最重要的發證依據，因此需要格外的審慎評估，一旦發電量有疑慮產生，將必須透過外部條件藉以評估是否合宜。

對於風力機而言，主要的外部條件就是風速，所以想藉由外在條件來推估風力案場的發電量時，應先量測當地風速，而目前全台有設置風速計且資訊為公開

的即為中央氣象局，但氣象局觀測站的位置往往量測的數值較無法切合風力機現**地的氣象條件。故本次期望藉由模擬軟體的計算，未來得以直接採用觀測站之資**訊，經過簡單的換算即可作為發電量評估的資料來源，目前經過分析後得知，雖然模擬軟體得以計算地形影響，但計算模型建置時仍無法考量建築物之分布狀況，加上氣象局觀測站的高度位置，無法迴避建築物之影響，造成在輸入前風速狀況即已受影響，反倒會增加計算的誤差率，預計後續精進方式，將選用其他觀測站或評估是否可使用多個觀測站，進而提高資料來源之品質，或透過其他數值計算方式(如類神經網路等 AI 計算)提高其計算之準確率。

本研究僅為案場發電量評估確認，實際仍需以標準電表實際數值為主，但未來可針對有 SCADA 系統的中大型風力機，在憑證查驗上，要求風場擁有者須定期提供部分或全部的 SCADA 數據，來作為發電量的查核確認依據，確保再生能源憑證的公平性。

參考文獻

[1] IEC 61400-12-1:2017 Wind energy generation systems - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

憑證里程碑

- **能源轉型里程碑！**
  完成綠電年交易量達 8 億度

能源轉型里程碑！

完成綠電年交易量達 8 億度

文/國家再生能源憑證中心 林怡辰專員

為滿足國內綠色供應鏈與企業擴大使用再生能源需求，標準局積極輔導再生能源市場參與者，持續推動再生能源直、轉供交易案例，於 2020 年 5 月促成第一批綠電交易，共有台積電、正崴精密、元太科技、大江生醫、正信不動產、台灣艾貴能源、曄恆能源、富崴能源、得禾能源、鴻元工程、南方電力、瓦特先生及富威電力 13 家再生能源需求、供給及售電業者參與其中，估算年交易量逾 1.1 億度以上，啟動國內第一波再生能源轉供案例，開啟我國再生能源發展新篇章。

同年 11 月時，標準局公布第二批綠電交易成果，共有大江生醫、元太科技、台積電、台灣萊雅、台北 101、博仲法律事務所、得禾能源、富崴能源、苗栗風力、達德能源(中威風力、鹿威風力、安威風力、崎威風力、通威風力與清風風力)、台汽綠能、瓦特先生及富威電力 18 家再生能源需求、供給及售電業者一同參與，估算年交易量高達 7 億度以上，更具代表性的是，這亦是首次陸域風電參與轉供交易模式。在能源業者、綠電需求企業的全力支持下，加上能源局及台電公司的協助，2020 年完成 2 波的再生能源電力及憑證轉供交易，預估累積年交易量已超過 8 億度，相當於 80 萬張憑證的規模，是我國綠能產業的重要里程碑！

標準局推動之 T-REC 不僅可讓具環境永續發展使命的企業與用戶，藉由購買再生能源憑證降低企業的排碳量及對環境產生的衝擊，同時可將綠能對環境友善的價值具體化。T-REC 已獲得國際知名的環境資料揭露申報系統(CDP)、美國電子產品環境影響評估工具(EPEAT)與再生能源使用倡議組織(RE100)認可，有助於台灣企業提高自身環境、ESG 指標的競爭力，增進企業使用再生能源於永續投資之價值，進而爭取國際綠色供應鏈發展先機。

2020 年是國內再生能源市場發展關鍵的一年，從參與再生能源轉供案業者名單中，我們看見台灣綠電需求已經從製造業供應鏈擴展到生技醫療業、法律業

以及零售業等產業。顯見國內企業對永續發展的重視程度日漸增加，企業購買再生能源已經是全球性的趨勢，標準局持續推動綠電交易與精進再生能源憑證制度，除了於憑證中心網站上，協助媒合再生能源供需雙方，亦推出『再生能源憑證單一電號多用戶交易示範計畫』，提供商辦大樓無獨立電表的企業買到綠電的解決方案，期待未來有更多的產業一起投入再生能源電力市場，支持我國發展成為亞太綠能中心。

結語

國家再生能源憑證中心自 2017 年設置以來，已陸續完成再生能源憑證實施辦法、自願性再生能源憑證申請作業程序等各項法規的配套修訂，積極與國際再生能源憑證管理單位合作，確保我國再生能源憑證制度與國際接軌，同時亦與國內許多獎項、國外的倡議組織完成鏈結，擴展我國再生能源憑證之應用，協助企業佐證綠電使用及環境效益，達成國際減碳承諾，更能增加其競爭優勢，進而爭取綠色供應鏈發展先機。

在憑證中心團隊的努力下，截至 2020 年底已核發了 367,672 張再生能源憑證，且申請再生能源憑證的案場數逐年成長，目前審核通過的案場已突破百家，更完成了再生能源轉供年預估發電量超過 8 億度的交易。隨著國內憑證案場數與發證量的大幅增加，亦可看到各種產業對於再生能源的需求愈來愈多，為確立我國憑證可靠度，憑證中心建立嚴謹的追蹤系統，使核發的每張憑證，從電力種類、發電時間、移轉歷程、使用宣告等相關資訊皆可被追蹤，並於憑證中心平台上，提供自發自用憑證交易的線上競標功能，以及電證合一綠電媒合交易專區公版購售電合約的服務，協助再生能源供需雙方，為企業創造公開安全的交易環境，以有效降低買賣雙方的交易成本。

憑證中心持續推廣我國再生能源憑證制度，於 2020 年度間辦理了 43 場次的對外說明會，協助企業充分瞭解再生能源憑證法規及綠電交易的資訊，此外，為滿足企業對再生能源的多元需求，亦推出『再生能源憑證單一電號多用戶交易示範計畫』，提供商辦大樓無獨立電表的企業買到綠電的解決方案，期待未來會有更多產業一同加入，活絡再生能源市場。

隨著國際之間對於永續發展愈發重視，企業的 ESG 成為重要評價指標，憑證中心會持續完善與精進我國再生能源憑證制度，擴大綠電交易規模，並推廣再生能源憑證制度與國際鏈結，協助國內企業達成其綠電使用目標，成為國際認可之綠色供應鏈，進一步推動國家能源轉型以及綠能產業之發展。

國家再生能源憑證中心主任:

T-REC