

本月專題

我國能源系統去碳化研析-發電裝置篇

鄭景鴻¹

摘要

能源的淨零轉型是全球是否達成 2050 淨零排放目標的關鍵。依據我國規劃，2050 年淨零下，再生能源發電占比需達 60-70%，並應輔以無碳火力發電使能源系統去碳。想像全國太陽光電鋪設將達一個台北市面積、沿海裝滿離岸風機、在穩定電力的火力發電機組建置與去碳設備、儲能系統設置等情景。然而，每一項能源技術都具有極其專業的關鍵技術與布局重點，縱使透過專家學者的對話討論，在不同角度上，各類能源都會有其布建的不同觀點與方向，較少有透過整體系統性的論述來看待，因此若以在此刻去擘劃 30 年後的能源樣貌，藉以提出各類發電裝置在 2050 年的建置情景，本研究就再生能源發電裝置空間競合、透過區域經濟整合方式布建能源基礎設施、輔助性質的火力發電在無碳化過程中的可能途徑等，如何在科學理論與現實面之所面臨的課題，探究可能的解決方向，提供當局者或相關利害關係人可用的參考依據。

一、淨零目標下國際能源系統發展趨勢

IEA 於 2021 年 5 月發布的全球能源部門 2050 淨零排放路徑報告(Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)所提供的淨零排放情境分析結果指出，2050 年是否達到淨零排放，取決於 2030 年前既有的減量技術能否大規模應用，而創新且潔淨的能源技術必須在 2030 年取得重大進展，並確保這些技術可即時進入市場並大規模應用，並列舉包含行為改變、能源效率提升、發展氫能、電氣化、再生能源、燃料轉換與碳捕集再利用等七大

¹ 財團法人台灣綜合研究院 專案研究員

關鍵減量措施。在 IEA 預估的淨零路徑下，至 2030 年全球經濟將較現行成長達 40%，且透過大幅的能源效率改善，年均能源密集度下降幅度將達 4%，為過去 20 年平均的 3 倍，然而此必須透過所有可行減量技術的佈建，至 2030 年太陽光電每年增加 630GW、風力 390GW，相當於 2020 年甫創下的全球再生能源新增量的 4 倍，其他再生能源(如水力、生質能)亦在淨零轉型路上扮演重要的基礎，而在未來針對各項能源技術的創新不僅需要研發與示範，更需要大規模的基礎設施建設，以促進低碳技術的推展擴散，此外依據此報告的研究亦就 2040 年全球電力系統需達到淨零設定目標，而包含美國、歐盟等減碳大國，亦以此作為國家淨零路徑目標。

二、臺灣去碳能源裝置發展願景

臺灣政府於 2022 年 3 月公布「臺灣 2050 淨零排放路徑與措施總說明」，其中針對能源轉型，提出打造零碳能源系統、提升能源系統韌性與開創綠色成長三大策略，將以最大化再生能源、零碳火力發電與建構零碳燃料供應系統等方式，布局去碳能源。為可實際落實去碳化能源轉型，臺灣於 12 月底由國家發展委員會發布「淨零轉型之階段目標及行動」，其中就針對 2030 年中期能源轉型目標，分別就風/光、前瞻能源、氫能、電力系統與儲能、節能等關鍵戰略提出行動計畫，藉以朝能源系統去碳化之目標邁進。

在能源系統去碳化的情境下，我國政府估計至 2050 年我國再生能源發電量需達到發電結構的 60-70%，保留有 20-27%的天然氣發電用以於再生能源不穩定時(如無光與風力輸出低)所需電力需求，另外尚有約 9-12%的氫能發電，係以再生能源有餘裕時透過電解製氫儲存後於需要時調度使用，作為輔助電力的一部分，以下就我國去碳能源裝置發展願景進行說明：

(一)太陽光電/離岸風電

太陽光電與離岸風電是目前技術相對成熟的再生能源發電裝置，也是我國與全球 2030 年前去碳發電裝置發展的主力項目。我國目前規劃 2030 年太陽光電裝置容量將達 30GW，相較 2020 年的 5.8GW，預計將增加 4 倍以上的裝設量；離岸風電部分，政府已盤點臺灣海峽風場，並已透過選商

與競標確定至 2027 年風場開發量，預估於 2030 年離岸風電裝置容量將達 13.1GW，總體風力發電開發量目標將達 13.9GW，相較 2020 年的 0.9GW，預計將增加 12 倍。

依據國發會公布的「淨零轉型之階段目標及行動」報告，我國 2050 年風光裝置容量合計需達到 100GW 以上才能使我國電力系統排放歸零，依照未來能源需求與技術發展情境的不同，太陽光電估計設置量為 40~80GW，離岸風電設置量為 40~55GW。

太陽光電技術部分，目前市面上裝設的太陽能板以單晶太陽能模組為主，光轉換效率約 16-20%，換算 1kW 模組面積約 1.7m×1.0m，而政府已就技術發展部分，布局鈣鈦礦堆疊太陽能模組，預估 2035 年單模組光轉換效率可突破 26% 瓶頸，既有模組逐步汰換後可降低約 1/3-1/2 的設置面積。

離岸風電技術部分，我國目前已完成 3 座大型離岸風電場域建置，普遍使用離岸風電模組為單座 8MW 機組，而目前國際技術，固定式離岸風電模組可發展置 15MW，未來超過 50m 深海風機則可達 15~25MW，亦規劃為國內未來離岸風電的研發主力。

(二) 前瞻(地熱、海洋能)

臺灣四面環海，且位處環太平洋火環帶上，在這種地理與環境條件下，潛藏豐沛的海洋能與地熱能尚待開發。

依據經濟部中央地質調查所以及中油公司，針對我國淺層地熱探勘結果，可開發地熱裝置量達 56.8MW，共 9 處 24 個案場，包含台北大屯火山區的 7 案；宜蘭縣的清水地熱、仁澤 4 案；台東縣的紅葉、綠島、知本、金崙、金峰計 17 案；以及花蓮的瑞穗 2 案，我國經濟部已就針對相關開發時程，給出 2030 年將開發 45MW 的目標，而對於尚未取得資訊的深層地熱潛勢，也已透過法規解禁土地資源使用與資訊公開方式提高民間投入探勘的誘因。

我國可開發的海洋能為波浪能、溫差與海流發電，惟現行海洋能技術多處於實驗室或示範案場階段，且臺灣周邊海域水文與海域監測資料有限，

因此政府短期僅打算於現行離岸風電場址，透過風力/波浪共構方式開發海洋能，長期則待水文資料與法規面完善後，透過引進國際與研發方式，投入海流、溫差發電關鍵技術與機組開發，逐步導入海洋能發電。

(三)火力

依據能源局公布的能源統計結果，2022 年臺灣火力發電總裝置量惟 42GW，其中燃煤火力發電裝置量 21GW、燃氣火力發電 19GW，另有 2GW 的燃油發電機組，依我國能源淨零轉型政策，未來火力發電機組除了燃氣發電外，將不再建置燃煤火力發電機組，因此燃煤火力發電機組將隨屆臨後逐步汰除。

燃煤火力發電機組壽齡通常以 40 年為限，依據台電公司 110 年電源開發計畫，2020-2030 年間將陸續屆齡的燃煤有台電的興達電廠、民營的麥寮與和平電廠，2030-2040 年間屬亞臨界燃煤機組的台中電廠亦將逐步退役，至 2050 年僅剩分別於 2016-2019 年商轉的林口、大林等 5 部 800MW 的超超臨界燃煤機組未屆臨，惟依據我國淨零轉型路徑，2050 年燃煤機組將以國家安全考量不提前除役，將以備而不用的方式保留。

燃氣發電的溫室氣體排放量約為燃煤發電的一半，同時可以在 30 分鐘內快速啟停，剛好可作為太陽光電因日落快速下降時可即時調度的電力，因此國際上視天然氣為達成淨零排放重要的過渡能源。我國能源轉型以 2025 年燃氣發電達 50% 為目標，將是 2025 年後我國發電主力，依據經濟部能源局於 110 年公告「全國電力資源供需報告」，2022-2028 年我國天然氣發電裝置淨增加 16.9GW，估計至 2030 年裝置量將增設至上看 40GW，已接近目前國家火力發電總裝置量。預期至 2050 年燃氣發電仍為我國發電的主力之一，政府亦規劃燃氣發電機組搭配碳捕捉封存 (Carbon Capture Storage, CCS) 設備，進一步使其低/無碳。

汽電共生是利用燃料或處理廢棄物同時產生有效熱能及電能之系統，依據目前能源統計，我國汽電共生裝置量約 7.8GW，其中 6.3GW 使用燃煤做原料、0.5GW 燃油、0.4GW 為天然氣，另有約 0.6GW 為廢棄物，依

據我國汽電共生系統實施法，汽電共生業者除了違反相關線路設置規定或違反併聯規範，公用售電業得收購汽電共生電力，不得拒絕，因此汽電共生亦為我國目前電力系統中重要的排放源。在我國淨零排放路徑規劃中，汽電共生將以燃料轉換方式自煤轉換為天然氣，惟至 2050 年汽電共生存廢或如何淨零，則仍有待討論。

(四) 氫能

氫在環境中是含量最豐富的元素，而氫的分子結構中不含碳，易燃、高熱值，於燃燒後產生熱與水，以目前國際淨零氛圍中，氫被視為終極的潔淨能源。依據我國淨零路徑規劃，氫將作為火力發電機組的部分替代燃料，例如台電公司規劃 2025 前在興達火力發電廠之燃氣機組試行混燒 5% 氫氣，於林口燃煤火力發電機組試行混燒氫的化合物氫，以降低火力發電排放，未來則逐步的提升混燒比例，最終以開發燃氫發電機組使之無碳化，至 2050 年我國電力系統規劃約有 9-12% 的氫發電。除了氫氣混燒與專燒外，透過電化學發電的氫燃料電池也是未來發電裝置的選項之一。

氫氣的產生可由重組的化石燃料而來，亦可透過電解生產，前述重組過程中會釋放出二氧化碳，在淨零排放前提下並非最佳解方，而在未來再生能源充沛的條件下，透過後者電解產氫則為不排碳的氫能製成。在未來，再生能源在有餘裕的情況下可以電解水產氫，儲存起來的氫氣可直接供應作為其他用途的燃料，或是在小區域內透過氫燃料電池發電，作為負載調頻之電力裝置用，亦或在大電網下透過燃氫發電機組供應電網使用，用途極為廣泛。

(五) 電力系統

電力系統是電力自發電端、輸配與調度，最後送至使用端，這中間過程的軟硬體設施的總稱，目前電力系統的在發電調度過程，可分為迅速負載變動供電的「尖載電力」及負責基礎電力供應的「基載電力」，傳統上的尖、基載電力都是人為可控的發電裝置，但是當光電、風電等變動性再生能源大量併網後，調度邏輯則轉變為由再生能源為主並搭配調度傳統電力，

以滿足使用端的負載需求。此外，未來因為再生能源的布建，發電裝置將從目前的集中式轉變為分散式，因此電力系統中的升降壓設備、變電站、開關站等地布建，也將配合不同裝置規模的發電設施需進行調整，而更複雜的調度系統，如需結合需量反應、再生能源預測與區域調度等智慧化系統，都將隨著未來淨零目標而有不同的樣貌。

三、去碳能源布建系統化思維

在傳統的電力系統架構下，發電廠的概念都是大型集中式的發電裝置，各類型發電裝置量動輒 100MW 起跳，而在太陽光電與風力發電裝置成為發展主軸的如今，這種集中式的發電系統將發生革命性的轉變，隨之而來將面對的就是轉型過程中將遭遇跟

如前述，2050 年後我國的發電系統中將有 40~80GW 的太陽光電系統、40-55GW 的風力發電裝置，首要面臨的是土地與空間的競合問題；由於兩者裝置量為目前火力發電的 1~2 倍，太陽光電又廣泛的分布在陸地與建築物上，風電則廣布於海面上，電力系統的基礎設施的規劃與分區配置情勢必需大幅調整；在大量再生能源併網後，輔助穩定電力供應的措施將變的複雜，要控制溫室氣體排放又具調度彈性的發電裝置設置，需要總體系統化的思維與布局。

(一)土地與空間的競合

與傳統集中式電源裝置不同的地方，再生能源發電裝置，尤其是太陽光電與風力發電，開發布建所需的土地與空間面積驚人。

1.太陽光電

如同前述我國太陽光電 2050 年設置目標的 40-80GW 而言，以目前技術 1kW 的太陽能板占地面積約 1.7m²，單布建置目標裝置量所需的土地或建物空照面積為 6,800~13,600 公頃，而周邊設施、通道或支架以 1.5 倍計；若以 110 年我國全國都市計畫面積 475,913 公頃，扣除約 40%的道路用地、河川與保護區、2.6 成的公園綠地與學校露天空間，再以建蔽率 50%計算，僅 80,905 公頃的可使用建築面積，估計 2050 年

每 4-5 棟房屋就需要有 1 棟房屋裝設太陽能板，縱使將 1/5 的太陽光電設置於非都市發展區，都市內近 1/7-1/10 的房屋需裝設太陽能板。而非都市計畫區，而地面型光電設置面積將達台北市土地面積的 6-15% 之多，相當於 81-163 座大安森林公園面積。

土地與建物空間取得將是太陽能光電設置上棘手的問題，縱使政府以相當優惠的躉購費率、低成本的建置誘因，在都市內仍既存建築與土地空間飽和的情況下，產權協調的問題亟待解決，若規範新建築全面強制安裝太陽能光電，則 30 年內 1/10 以上的房屋將進行改/增建，以目前全國 860 萬戶以上的住宅數，估計近百萬戶的住宅需進行改/增建，這可能是一場不可能的任務。若將開發場域大幅改置閒置土地、農地、漁業養殖區等，則又將會有生態、農糧與河川、森林等保護區間的競合問題，就算透過上位的國土規劃著手，亦非易事。

2. 離岸風電

依據經濟部盤點的離岸風電設置空間，至 2030 年達 13.1GW 的設置量所需面積約已占小於 50m 深的海域風場面積的 1/3，將遍及臺灣西部沿海，若要達 2050 年 40-55GW 的目標設置量，勢必將設置區域將延伸至大於水深 50m 的海域，如此情況下，只要從台灣西部各港口出海，或是從陸地面向海面眺望，將看見海面上佈滿了離岸風力機。

海域空間的取得，因沒有土地產權的問題，因此較太陽光電的開發來的容易些，但近幾年，離岸風電在開發過程中，衍生出的船舶航道、漁業、飛航干擾以及軍事雷達干擾所涉及的國家安全等問題，勢必將經過更大量的政府內跨局處溝通，應由農業、國防、海事與飛航等主責單位在可用的開發空間與技術選項下，共同找出可落實的對策。此外，對於離岸風電產業的技術侷限性，未來在大量布建時的運維設備與人才問題，亦需要進一步的深入思考與布局。

(二) 基礎設施與區域規劃布局

估計將在 2025-2030 年間，再生能源發電占比超過 20% 逐步朝 30% 擴

增時，因分散式再生能源已達一定規模，電力現地現用，並擺脫傳統大型電網的調度思維，推動電力市場自由化的同時，區域電網與公民電廠的概念需要變成重要的科普常識，而相關發電裝置與輔助裝置的建設與規劃布局也必須順應此時勢，提早布局。

1.區域經濟發展與光電案場的結合

由於電力的轉換牽涉到電流(I)大小、電壓(V)高低的轉換，而電流在傳導媒介上的運動方向不同又分為交流(AC)與直流(DC)，在現行電網運作下，太陽光電產生的直流電在進入電網前，必須先透過逆變器轉變為交流電，且視光照強度造成的電壓變化，對比送電節點處的額定電壓差異進行升降壓，平衡後再行併網，在每個節點的調整過程中都會產生能源損失，也就是說，在太陽光電逐漸普及至各區域時，若仍以總體大型電網的思維方式來運作，電力輸配的效率會降低，且影響電力供給品質。

如果太陽光電案場多建設於都市建築物的屋頂，基於太陽光電如此分散供電的特性，對電力系統最有效率的做法，就是將在當地發出的電力，直接於當地使用掉，如此將可免除多次升降壓的系統損失。此外，太陽光電產電依據太陽運行時間而變化，因此送電模式若能與社會運作、人類的作息的變化取得平衡，將可大幅提升供電效益。舉例而言，住宅屋頂的小型太陽能案場，在白天直接供應給附近商業辦公區域使用，大型的光電案場則將電力送至附近的工廠使用，可獲得最大的供電效益。總而言之，太陽光電的案場布建，除了前述空間的取得問題外，亦將同步思考光電優勢區域的產業發展規劃，或是都市計畫的重新分配，從當地可裝設的太陽能裝置強度，配合當地區域發展情形，做最適的調配。

2.離岸風電海上集成設施與電纜上岸點規劃

離岸風電的送電方式與太陽光電不同，比較類似傳統的大型火力發電機組。因為風場位於海上，我國以區塊方式進行風場開發，除了

受風力強弱影響頻率所需進行交-直-交變頻轉換需在海上完成外，每個風場產生的電力在海上匯集後，要透過海底電纜連接至陸地上的節點，也就是說每個連接至陸地上的節點，都可視為一個大型的發電廠送電站，因此海底電纜的上岸點的規劃，除了考量風場與上岸點的距離外，亦同步考量上岸區域的用電特性，以最短距離供應最需要電力的區域，達到最佳的配電效果。

此外，2050 年離岸風電的總體裝置量相當於目前國內大電網下火力發電機組的總體裝置量，我們可以想像，這種情況就如同目前臺灣陸地上看到高壓電輸送的各種大型基礎設施，全部搬至海上，將如何有效率的進行運維？各風場間的電纜集成、變電站的設置、船舶數量、中繼站與人才的培訓等，這些將是 2025-2030 年間，當離岸風電裝置量突破 10GW 之後將面臨的重要課題，在這 1-2 年內，政府就必須要能給出具體的規劃結果。

3.輔助電力

除了區域發展外，因應太陽光電大量併網的情況下，我國電力的用電尖峰將從日中午挪移至夜間，當太陽光電發電因日照結束迅速消退的時候，此時需要有輔助電力的適時提供。台電公司在電力系統與儲能關鍵戰略(草案)中，提出在 2030 年於發電端規劃 2.5GW 的光儲能系統，降低電力消退速率，彌補大型電力裝置升載與太陽光電消退過程，一增一減之間進行緩衝。

然而此問題在導入前述區域電網的概念下，每個區域電網中都需要準備足夠量的輔助電力，才可以確保大電力的銜接過程達到平衡，不致系統崩潰，因此一些小型的火力輔助電力，則需要被考慮納入到區域電力的選項中，例如奇異公司所發展的航改型燃氣渦輪發電機組的使用。

(三)無碳火力發電裝置

我國於 2050 年至少有 40GW 的燃氣火力發電裝置，作為補充變動性

再生能源供電缺口之備載電力。這些燃氣火力發電的設置邏輯，基本上與目前傳統上的規劃並無不一致，係因增氣減煤階段就必需規劃這麼多的發電裝置滿足電力需求，其次是燃氣發電本身就可作為尖載電力進行彈性調控。然而，不同的是，在高再生能源環境下，需要保持多少的備轉量、這些大型電廠如何銜接區域電網的快速變動特性，以及如何讓這些火力系統排放歸零。

1. 備轉量與系統慣量維持

發電機(火力為主)是電力系統同步慣量的主要來源，在電力系統中，系統慣量的高低，影響當系統事故初期的電力頻率變化率，當慣量越高，在電力系統發生事故時可以維持頻率變化，減少系統受擾動的影響程度越小、延長觸動低頻電驛所需的時間，讓各種電力頻率控制措施與服務器能有足夠的反應時間。

在我國 2050 年電力供給結構的規劃下，燃氣與氫能發電是僅 2 提供系統慣量的發電裝置；然而，2050 的高再生能源情境下於離峰時段，再生能源可全數滿足電力負載，此時就必須考量保持部分燃氣的備轉量，並與多餘的再生能源之間做取捨，例如透過儲能或其他的手段使電力轉移，減少棄電的發生。而前述燃氣發電的操作方式，會使其維持在低容量因數運轉情況，因此燃氣系統的運轉年限與投資折舊攤提計算，就必須進行調整。

2. 迅速啟停特性

能快速響應再生能源的瞬時變動，適時補足供電缺口，變成是未來火力發電機組的主要功能，若依燃氣發電機組 30 年操作年限來計，自現在起往後將新設的燃氣發電機組，都必需能具備迅速調度的功能，亦或是未來必需保留可增設相關可更新的設備空間。

在全面進入分散式區域電網供電情況下，響應再生能源供電變化的第一步驟，在目前台電公司的規劃為透過光電儲能系統直接從發電端進行調度，第二階段則為電網端的儲能系統反應，此階段若燃氣發

電機組的啟動上線速率可在小時內或是數十分鐘內完成，則可部分的扮演同樣的角色。目前奇異公司與台電公司合作於通霄火力發電廠建設模組化的「航改型燃氣渦輪機」，單一機組裝置量 18MW，此機組是利用航空器發動機為基礎改良，可在 8 分鐘內完成停機到滿載運轉，且機組為可移動式模組，只要能解決空氣污染(NO_x 與 CO)過高的問題，勢必將為高再生能源環境下分散式區域電網中提供穩定電力調度的一大利器。

3. 碳捕捉、封存與再利用 CCUS

火力發電無碳化的唯一解方，是於其廢氣管末加裝碳捕捉設備，國內目前碳捕捉已有成熟技術，如政府已進行示範場域的化學吸收與鈣迴路技術等，僅要透過技術精進與商轉驗證，並取得運轉參數，以及完成相關法規與標準的制定，即可進行商轉。然而，捕捉碳的去化為我國後續需持續發展的重要關鍵。碳的去化方式分為封存與再利用，再利用的方式，是將高純度的碳當作石化產品原料、加壓生產乾冰或是養殖高價值的藻類用，然而依據國際報告研究，碳再利用在整體碳去化中僅占約 6.5%，93.5%需透過封存方式處理，依據財團法人工業技術研究院對我國碳封存廠址的盤點，我國除了深海鹽水層可進行封存外，並無陸域下封閉地質構造或激勵採油廠址可應用，因此在解決碳封存問題之前，建構無碳火力發電系統尚有一段路要走。

(四) 氫/儲能發電

氫能發電裝置包含燃氫氣渦輪發電機與燃料電池，前述奇異公司發展的航改型燃氣渦輪機已具備可純氫發電的功能，或可在不久的將來直接應用在電網的電力調控上。然而，氫氣的來源是目前技術上的瓶頸，這部分包含氫氣的生產、運輸與儲存，這同時也是各國爭相策略聯盟欲解決的問題，我國可就此課題，提升與國際主要氫能發展國家或企業的緊密關係，適時的引進或投資，已取得氣源與具有本土優勢的技術，布建我國氫能發電系統。

四、結語

我國雖已於 2022 年 3 月發布我國淨零排放路徑與措施，並於同年 12 月提出包含風光、氫能、前瞻能源、電力系統與儲能等與電力系統有關的關鍵戰略行動計畫(草案)，以作為我國落實淨零排放的工作策略，然而，每一項能源技術都具有極其專業的關鍵技術與布局重點，縱使透過專家學者的對話討論，在不同角度上，各類能源都會有其布建的不同觀點與方向，較少有透過整體系統性的論述來看待，如何透過這麼多的技術選項，找出適合我國發展至 2050 年的電力系統雛形與願景。本專題研究以在此刻去擘劃 30 年後的能源樣貌，提出各類發電裝置在 2050 年的建置情景，就再生能源發電裝置空間競合、透過區域經濟整合方式布建能源基礎設施、輔助性質的火力發電在無碳化過程中的可能途徑等，就如何在科學理論與現實面之所面臨的課題，探究可能的解決方向，提供當局者或相關利害關係人可用的參考依據。

參考文獻

1. International Energy Agency 網站：<https://www.iea.org/>
2. IEA (2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, Revised version, October 2021 (4th revision), IEA Publications.
3. 行政院國家發展委員會，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明，網站：https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76
4. 行政院國家發展委員會，臺灣 2050 年淨零排放路徑十二項關鍵戰略，網站：https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=6BA5CC3D71A1BF6F
5. 內政部，中華民國內政部統計年報，2021 年 12 月。
6. 經濟部中央地質調查所「地熱資料查詢平台」，網址：<https://www.geothermal-taiwan.org.tw/GIS>
7. 歐陽湘、廖啟雯，由二氧化碳減排看二氧化碳捕獲與封存技術發展，經濟前瞻的 132 期：趨勢前瞻與創新思維，2010.11，中華經濟研究院。
8. 黃怡碩，電力系統慣量評估方式，工業技術研究院，2019 年 9 月。
9. International Energy Agency, CCUS in Clean Energy Transitions, Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage. 2020.9.