

出國報告（出國類別：開會）

參加第 23 屆 IERE 常會&新加坡論壇

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：張志聲 副所長

林恆安 課長

派赴國家：新加坡

出國期間：中華民國 112 年 11 月 21 日~112 年 11 月 24 日

報告日期：中華民國 113 年 01 月 18 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加第 23 屆 IERE 常會&新加坡論壇

頁數 72 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/人力資源處/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張志聲/台灣電力公司/綜合研究所/副所長/ (02)2360-1007

林恆安/台灣電力公司/綜合研究所/檢修課長/ (02)2360-1133

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：112 年 11 月 21-24 日

派赴國家/地區：新加坡/新加坡

報告日期：113 年 01 月 18 日

關鍵詞：碳中和(Carbon Neutral)、能源轉型(Energy Transition)、氣候變遷(Climate Change)、再生能源(Renewable Energy)、能源管理系統(Energy Management Systems)、儲能系統(Energy Storage System)、微電網(Microgrid)、微電網控制器(Microgrid Controller)。

內容摘要：(二百至三百字)

1. 日本國際電力技術交流組織(IERE)係設立於 1968 年之非營利組織，其宗旨在結合全球性合作，利用國際性資料交換及合作活動提昇研發成效，解決電力產業的中長期問題，本公司為 IERE 會員，受邀參加其於 112 年 11 月 21 至 24 日在新加坡舉行之第 23 屆常會及論壇，主題為「Accelerating the Carbon-Neutral Energy Transition for Industry and Territories」，討論議題包含能源系統彈性、再生能源、能源效率與資產循環、電力監管機制等。
2. 透過會議之參與，進行電力研究發展議題經驗交流與分享，獲得國外電力機構之經驗，並展現本公司研究發展成果、提升國際知名度。本次會議本所也發表微電網相關議題並進行技術交流，進一步建立交流管道，對本公司未來相關研究計畫有所助益。此次出國之心得及建議詳如本出國報告之心得與建議。

目錄

一、背景及目的說明.....	1
二、會議議程及內容.....	1
(一) 會議總表.....	1
(二) 研討會內容.....	7
(三) TPRI Shulin Microgrid integration and application	7
(四) The role of low carbon power generation in support of a just Energy Transition [3].....	17
(五) Introduction to the Market-online Hardware-in-the-loop Simulation Experimental Environment Established by Sino- Europe Cooperation [4]	21
(六) The Current State of the Balancing Services Market in Japan and Our (ENIC Division's) Pilot Projects to Integrate DSR into the Grid [5].....	27
(七) PV technology overview its position in the energy mix and the role of R&D [6]	33
(八) Electrolyzer Performance Modeling and Simulation [7]	38
(九) Investigation of green hydrogen production with using geothermal energy and potential hydrogen demand in Kumamoto prefecture [8].....	42
(十) Disruptive Technologies in the 2030s (TF2023) [9]	47
(十一) Development of innovative and environment-friendly solutions for the treatment and recycling of components in the transition to net-zero [10]	51
(十二) Development of Energy Management System for Microgrid in	

Chubu EPCO [11].....	55
(十三) Multi-purpose ESS operation technologies for NTAs (Non-Transmission Alternatives) [12].....	62
三、心得及建議.....	68
四、參考文獻	72

圖目錄

圖 1 本所於 IERE 研討會發表研究成果	8
圖 2 綜合研究所樹林微電網.....	9
圖 3 綜合研究所樹林所區場域.....	9
圖 4 綜合研究所樹林所區微電網架構	10
圖 5 微電網設計根據 IEEE2030.7	10
圖 6 樹林微電網通訊架構.....	11
圖 7 樹林所區負載分析.....	11
圖 8 微電網驗證場域詳細規劃	12
圖 9 情境產生器與受測的微電網控制系統	12
圖 10 VCB7 轄下子微電網試驗.....	13
圖 11 情境 1-SMB 非計畫性跳脫-全黑啟動.....	14
圖 12 情境 2-計畫性孤島-無縫切換	15
圖 13 情境 2-計畫性孤島-無縫切換(續).....	15
圖 14 情境 3-升級儲能系統(BESS-1)計畫性孤島-無縫切換	16
圖 15 永續能源與能源困境.....	17
圖 16 2020 年氫消耗量.....	18
圖 17 非能源材料	19
圖 18 低碳發電支持公正能源轉型結論	19
圖 19 需打造新的電力系統環境.....	21

圖 20 為彈性市場做好準備.....	21
圖 21 合作契機.....	22
圖 22 合作目標.....	23
圖 23 閉迴路測試環境.....	24
圖 24 CEPRI 與 R&D NESTER 進行項目.....	24
圖 25 未來遠景.....	25
圖 26 按國家/地區劃分的 VRE 在發電量中所佔比例.....	27
圖 27 VRE 滲透率 6 階段.....	28
圖 28 日本電力平衡市場產品分級.....	29
圖 29 商用電動送貨卡車的能源管理.....	30
圖 30 零碳排放植物工廠.....	30
圖 31 宮古島上利用再生能源和綠氫.....	31
圖 32 模組和元件設計的改進.....	33
圖 33 提升效率的方法.....	34
圖 34 增長最快的領域-太陽能.....	35
圖 35 因應未來的挑戰.....	36
圖 36 背景與目標.....	38
圖 37 整體系統架構圖.....	39
圖 38 半經驗模型電解槽.....	39
圖 39 模擬結果與結論.....	40

圖 40 潛在氫氣需求調查背景	42
圖 41 小國町豐富的地熱能資源	43
圖 42 未開發的地熱能可用量調查	43
圖 43 設備布局	44
圖 44 小國町周圍潛在氫氣需求調查	45
圖 45 估算半導體製造的氫氣需求	45
圖 46 6 個主要類別的 100 項入圍技術	47
圖 47 高影響力的前 20 名技術	48
圖 48 能源研究所-能源系統、電網系統、城市解決方案	51
圖 49 從材料到系統	52
圖 50 處理電池廢料的方法	53
圖 51 微電網能源管理系統開發背景	55
圖 52 微電網能源管理系統開發	55
圖 53 MGEMS 的功能	56
圖 54 MGEMS 第 1 種模式	58
圖 55 MGEMS 第 2 種模式	59
圖 56 MGEMS 第 3 種模式	59
圖 57 MGEMS 第 4 種模式	60
圖 58 MGEMS 第 5 種模式	60
圖 59 非傳輸替代方案	62

圖 60 濟州島儲能計劃.....	62
圖 61 最佳工作點計算.....	63
圖 62 找出 ESS 最佳 SOC.....	63
圖 63 案例及情境.....	64
圖 64 春天傍晚分析.....	64
圖 65 提高濟州島再生能源滲透率限制.....	65
圖 66 未來韓國本島 NTAS ESS 營運策略.....	66
圖 67 KEPCO 儲能發展經驗分享簡報.....	71
圖 68 KEPCO 參訪本所樹林所區相關設備.....	71
圖 69 第 23 屆 IERE 常會&新加坡論壇會議與會人員合照.....	71

一、背景及目的說明

本公司為 IERE(日本國際電力技術交流組織)會員，受邀參加於 112 年 11 月 21 至 24 日在新加坡舉行之第 23 屆常會及論壇，主題為「Accelerating the Carbon-Neutral Energy Transition for Industry and Territories(加速工業和地區的碳中和能源轉型)」。該組織為非營利組織設立於 1968 年，其宗旨在結合全球性合作，利用國際性資料交換及合作活動提昇研發成效，解決電力產業的中長期問題，本次會議探討議題共五大主題:新型電業市場、監管和公眾接受度、綠色能源、能源效率與資產循環、能源系統的彈性。

此次會議由綜研所張副所長及林課長出席，並由林課長在能源系統的彈性議題下進行簡報，簡報題目為:「TPRI Shulin Microgrid integration and application(綜合研究所樹林所區微電網整合及應用)」。透過本次相關議題之經驗交流與分享，本公司成功加強與各國技術交流，並瞭解各會員國(日本、法國、新加坡、英國、德國、中國、比利時、芬蘭、加拿大、紐西蘭、南非、南韓)在能源轉型及潔淨能源下技術之研發趨勢，相關成果可作為研發策略規劃及技術發展之參考，以提升本公司研發成果。

二、會議議程及內容

(一) 會議總表

日期	地點	工作內容
11/21	去程 (台北—新加坡)	18:30-19:00 - Registration 19:00-21:00 - Welcome Reception

11/22	新加坡	<p>08:30–09:05</p> <p>Opening Address: IERE Chair & Welcome Speech: ENGIE</p>
		<p>09:05–10:40 - HOW in APAC</p> <p>11:10–12:10 - Session A – Theme: Making Business Out of It</p> <p>Chair Person:Caroline GUYOT (Managing Director, ENGIE Factory Asia-Pacific, Singapore)</p> <p>11:10–11:30 The role of low carbon power generation in support of a just Energy Transition</p> <p>Andrew Minchener, OBE (General Manager, The International Centre for Sustainable Carbon, UK)</p> <p>11:30–11:50 EnBW - a utility on the path to sustainability</p> <p>Wolfram Münch (Director Research&Delevopment, EnBW Energie Baden-Württemberg AG Karlsruhe, Germany)</p> <p>11:50–12:10 Introduction to the Market-online Hardware-in-the-loop Simulation Experimental Environment Established by Sino-Europe Cooperation</p> <p>YUAN Hao (Senior Engineer, China Electric Power Research Institute, China)</p> <p>12:10–13:30 Lunch</p> <p>13:30–15:10 - Session B- Theme: Regulatory & Public Acceptance & How to Accelerate Learning by Doing?</p> <p>Chair Person:Gregory TOSEN (IERE Advising Chair Emeritus, South Africa)</p> <p>13:30–13:50 The Current State of the Balancing Services Market in Japan and Our Pilot Projects to Integrate DSR into the Grid</p> <p>YAMADA Tomoyuki (Research Scientist, Grid Innovation Research Laboratory, CRIEPI, Japan)</p> <p>13:50–14:10Collaborative Research as an effective tool to speed up industrial transitions - ENGIE Laborelec’s return on experience</p> <p>Jean-Pierre KEUSTERMANS (Research Partnership Manager, ENGIE Laborelec, Belgium)</p> <p>14:10–14:30 How to accelerate learning by real scale system testing in harsh environments? The role of climatic validation testing of energy transition technologies operating in demanding worldwide markets</p> <p>Pieter Jan JORDAENS</p>

		<p>(Program Manager On & Offshore Wind Manager Energy Transition, Department Energy Transition, Sirris, Belgium)</p> <p>14:30–14:50 REIDS-SPORE: Forging the Path to Sustainable Energy and Innovation</p> <p>Arifeen Md WAHED (Program Manager, ENGIE Lab Singapore, Singapore)</p> <p>Abhiruchi GADGIL (Program Manager, Integration and Energy Management, ENGIE Lab Singapore, Singapore)</p> <p>14:50–15:10 PV technology overview, its position in the energy mix and the role of R&D</p> <p>Angelo RODRIGUEZ GARCIA (Project Manager, Renewables and Urban Department, ENGIE Laborelec, Belgium)</p> <p>15:10–15:40 Coffee Break</p> <p>13:40–18:00 - Session C - Theme: Green Molecules</p> <p>Chair Person:Jan MERTENS (Chief Science Officer, ENGIE Research, France)</p> <p>15:40–16:00 Challenges of explosion protection in hydrogen electrolysis plants</p> <p>Svenja KOWALZICK (Project Engineer, Process Engineering, RWE TI, Germany)</p> <p>16:00–16:20 Online gas analysis in carbon neutral energy production</p> <p>Antti HEIKKILA (Product Manager, Industrial Instruments, Vaisala Oyj, Finland)</p> <p>16:20–16:40 Electrolyzer Performance Modeling and Simulation</p> <p>Oscar FRAPPEREAU (R&D Process Engineer at Hydrogen Lab, Vulcain Engineering, consultant at ENGIE Lab CRIGEN, France)</p> <p>16:40–17:00 Hydrogen Heavy Duty Applications and Testing</p> <p>Ben SKILLINGS (Division Manager, Hydrogen Industry Technology & Testing, Powertech Labs, Canada)</p> <p>17:00–17:20 Investigation of green hydrogen production with using geothermal energy and potential hydrogen demand in Kumamoto prefecture</p> <p>KOJO Gen</p>
--	--	--

		<p>(Hydrogen Business Strategy Division, Kansai EPCO, Japan)</p> <p>17:20–17:40 C2FUEL: Demonstrating E-Chemical Production in an Industrial Environment</p> <p>Bérenger WEGMAN</p> <p>(Doctoral Candidate, Lab Hydrogen, ENGIE Lab CRIGEN, France–Sustainable Process Engineering, TU/e, Netherlands)</p> <p>17:40–18:00 Impacts of CCS and Electro-hydrogen on Decarbonization Path of Power System</p> <p>QIN Xiaohui</p> <p>(Director of Division of New Type Power System Strategic Planning, Power System Carbon Neutrality Research Center, China Electric Power Research Institute, China)</p> <p>19:30–23:30 - Official Dinner</p>
11/23	新加坡	<p>08:30–10:00 – IERE General Meeting</p> <p>The report of IERE activities by IERE Chair and IERE Central Office</p> <p>MINO Yoshiaki</p> <p>(IERE Chair)</p> <p>TAKEI Katsuhito</p> <p>(IERE Secretary General)</p> <p>The report of IERE R&D Projects</p> <p>Katharina DILCHERT</p> <p>(International Research Coordinator, E.ON Group Innovation GmhB, Germany)</p> <p>OIRASE Masaya</p> <p>(Researcher, Advanced Research & Innovation Center, Chubu EPCO, Japan)</p> <p>The report of IERE Technology Foresight 2023</p> <p>Subbu BETTADAPURA</p> <p>(Senior Director, Growth Advisory, Frost & Sullivan)</p> <p>10:30–11:10 – Technologies of the Future</p> <p>Emerging trends around carbon capture technologies</p> <p>Jan MERTENS</p> <p>(Chief Science Officer, ENGIE Research, France)</p> <p>Alvin LEE</p> <p>(Regional Head, APAC, Puro.earth)</p> <p>Sylvia LOW</p>

		<p>(Director Business Development, 1PointFive)</p> <p>Development of innovative and environment-friendly solutions for the treatment and recycling of components in the transition to net-zero</p> <p>Niels DE BOER</p> <p>(COO, ERI@N, Nanyang Technological University)</p> <p>11:10–11:40 - Special Lecture</p> <p>Geo-political changes over the last decades resulting in systemic consequences for electricity utilities</p> <p>Gregory TOSEN</p> <p>(IERE Advising Chair Emeritus, South Africa)</p> <p>11:40–13:00 – Lunch</p> <p>13:00–16:50 - Session D - Theme: Transversal Enablers & Circularity & Energy Efficiency</p> <p>13:00–13:20 Modeling and simulation of the valorization of waste heat from hydrogen production in industrial applications</p> <p>Sanae BOUAICHI</p> <p>(R&D Project Manager, ENGIE Lab CRIGEN, France)</p> <p>13:20–13:40 Economically Rational CO₂ Reduction Potential in the Japanese Hot Water Sector considering Lock-in Issues: Future Analysis using Micro Data of Survey on Carbon Dioxide Emissions from Residential Sector</p> <p>YAMADA Manaka</p> <p>(Researcher, Socio-Economic Research Center, CRIEPI, Japan)</p> <p>13:40–14:00 FUREC: from waste to feedstock</p> <p>Ingo BIRNKRAUT</p> <p>(CEO & Managing Director, RWE Technology International GmbH, Germany)</p> <p>14:00–14:20 Development of Energy Management System for Microgrid in Chubu EPCO</p> <p>YAMAGUCHI Ryo</p> <p>(Electric Power Research & Development Center, Chubu EPCO, Japan)</p> <p>14:20–14:50 Coffee Break</p> <p>14:50–16:50 - Session E -Theme: Renewable Energy & Electrification & Flexibility of the Energy System</p> <p>Chair Person: Jean-Pierre KEUSTERMANS</p> <p>(Research Partnership Manager, ENGIE Laborelec, Belgium)</p> <p>14:50–15:10 Control, Flexibility and Inertia Technologies for Achieving</p>
--	--	--

		<p>NDC 2030 and Net Zero 2050 in Korea</p> <p>Jeonghoon SHIN (Director General, Head of Future Grid Research Center, KEPCO Research Institute, South Korea)</p> <p>15:10–15:30 TPRI Shulin Microgrid integration and application</p> <p>Heng-An LIN (Electrical Engineer, Measuring Instrument Section, Taiwan Power Research Institute, Taiwan)</p> <p>15:30–15:50 Mixing data and knowledge for modeling and control of building energy systems</p> <p>Benoit DELINCHANT (Full Professor at Grenoble INP & Researcher at Grenoble Electrical Engineering Lab, Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, Grenoble, France)</p> <p>15:50–16:10 Impact of Household Electrification on the Investment Drivers of PV-Battery Systems</p> <p>Jolien DESPEGHEL (PhD researcher, Department of Electrical Engineering, KU Leuven, Belgium)</p> <p>16:10–16:30 Multi-purpose ESS operation technologies for NTAs(Non-Transmission Alternatives)</p> <p>Woongjae JEON (Senior Researcher, Future Grid Research Center, KEPCO Research Institute, South Korea)</p> <p>16:30–16:50 Offshore Energy-Islands</p> <p>Fiona BUCKLEY (Senior Expert and Senior Project Manager, Renewables and Urban Department, ENGIE Laborelec, Belgium)</p> <p>16:50–17:00 - Closing Remarks</p> <p>17:30–23:00 - Social Event</p> <p>Visiting Cloud Forest and Flower Dome with Dinner at Jumbo Shrimp Restaurant</p>
11/24	<p>回程 (新加坡--台北)</p>	<p>行程</p>

(二) 研討會內容

本次會議議題包括：新型電業市場、監管和公眾接受度、綠色能源、能源效率與資產循環、能源系統彈性等五大主題。本所除全程參與各國專家之簡報及討論，並本所由林課長進行簡報分享。針對各國簡報，經挑選與本公司目前關聯性較大的主題，進行進一步的研析後整理如下，相關內容及建議可作為本公司或本所目前及未來研究之參考。

(三) TPRI Shulin Microgrid integration and application

本所在 IERE 所發表的題目為「TPRI Shulin Microgrid integration and application(綜合研究所樹林所區微電網整合及應用)」。微電網為本所重點研發項目之一，是一種小規模、分散式資源系統，由多種再生能源、儲能、飛輪、同步調相機以及負載組成，可獨立運作或併入傳統電網，具有多項優勢如下：

1. 降低輸配電損失：微電網的發電設備通常位於靠近用戶的區域，因此可減少電力在傳輸過程的電力損失。
2. 提升供電穩定性：微電網可透過儲能設備調節再生能源，進而提升供電穩定性。例如，在太陽能(Photovoltaics,PV)、風力發電量過多時(包含系統面或傳輸瓶頸因素)，儲能可儲存多餘電力，等電力供應相對較欠缺時，儲能可釋放電力來滿足用電需求，亦即削峰填谷、能量轉移。
3. 促進再生能源發展：微電網可為再生能源提供更直接的應用場域，進而促進再生能源的發展。例如，在偏遠地區或離島，微電網可使用太陽能或風力發電來提供電力，並降低柴油發電機的使用，降低碳排。
4. 提升用戶控制權：微電網可讓用戶參與電力的生產和消費，進而提升用戶

控制權。例如，用戶除可透過微電網來自給自足，亦可將多餘電力賣給電網。

如上述，微電網俱備相當多優點，但許多微電網未依標準規劃、設計與建置，恐導致對電力系統及電力品質造成影響，例如：在併網運轉時產生電壓和電流諧波、電壓驟降、電壓驟升、閃爍；孤島運轉時如未規劃建置接地源，孤島運轉時無對地參考點，對設備與人員安全均有疑慮；且變流器型資源(Inverter Based Resource,IBR)故障電流低，保護電驛偵測不易，如未與配電網保護協調，當微電網故障時可能會危害配電網；微電網在配電網故障時因不具備低電壓、低頻率穿越(持續運轉)等能力，微電網立即斷網，無法協助配電網運轉；再者配電網停電時，若微電網不具正常孤島運轉能力，將無法發揮分散電源能力，也無法確保關鍵負載用電。

因此本所依循國際標準規定微電網對配電網的權利與義務建置樹林所區微電網，並於大會進行簡報，發表本所於微電網的研究成果(圖 1)。



圖 1 本所於 IERE 研討會發表研究成果

樹林所區微電網為第一個在台灣依據 IEEE 2030^{[1][2]}標準進行設計，規劃可參與電力輔助服務，具備 24 小時計畫性孤島運轉，整合多種能源低碳運轉，所區內分散

式能源通訊協議符合 IEC-61850 及 IEEE1547。並於未來將建置符合 IEEE2030.8 微電網驗證測試場域，具備 2MW 容量多情境測試的能力，可進行微電網控制器、儲能系統(Energy Storage System, ESS)、功率調節器、太陽能逆變器之性能驗證，同時搭配負載模擬器、飛輪、同步調相機等進行相關測試(圖 2)。

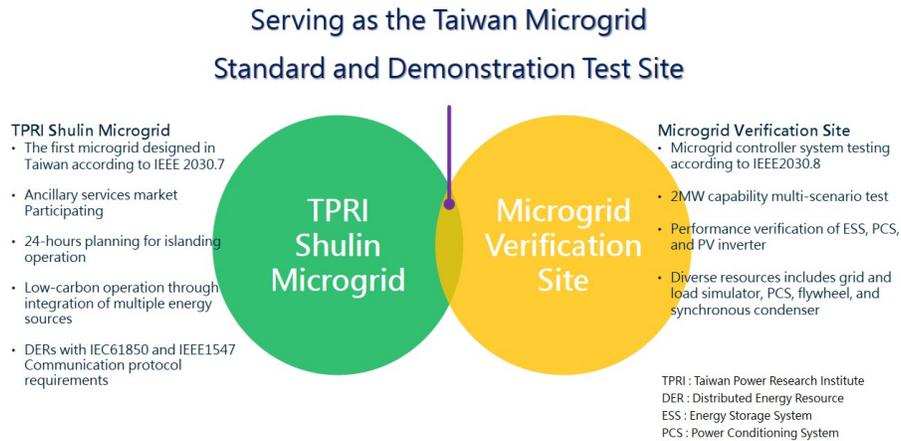


圖 2 綜合研究所樹林微電網

樹林所區為長 220 公尺，寬 300 公尺場域，目前已完成第一期微電網建置，在 VCB7 下之微電網可與配電網聯網或進行孤島運轉；第二期目標在擴展至整個樹林所區(圖 3)。



圖 3 綜合研究所樹林所區場域

圖 4 為樹林所區詳細架構圖，整個所區有 8 條饋線，從 VCB1~VCB8，其中包

含 848kW PV 和 210kW 燃料電池，目前已經完成第一期在 VCB7 下面的全黑啟動和無縫孤島運轉，如圖 4 的綠色部分。未來驗證測試場域將建置在 VCB8，具備 2MW 容量之多情境試驗能力，設備包含負載箱、高壓配電盤、儲能系統、柴油發電機且符合 IEEE2030 標準。

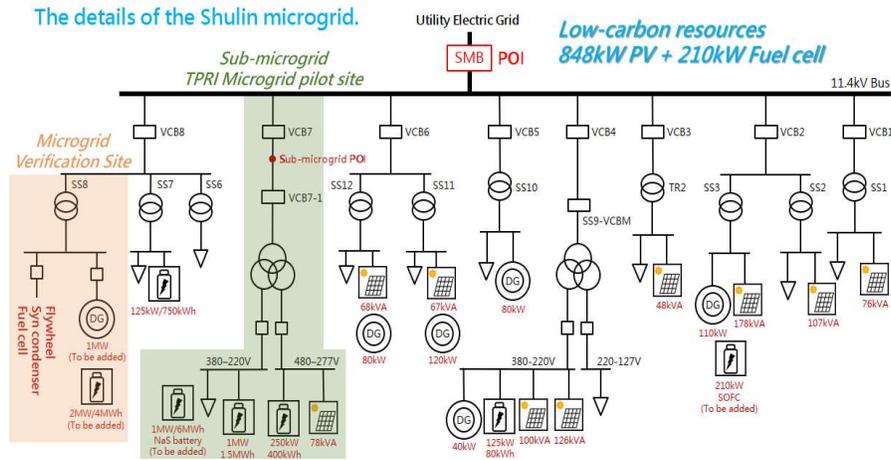


圖 4 綜合研究所樹林所區微電網架構

依據 IEEE2030.7，微電網內微電網控制器運作應涵蓋穩態和轉態，穩態又區分為穩態併網和穩態孤島運轉，可參與電力市場、控制分散式能源實功率/虛功率、發電和負載預測、負載管理、太陽能削減(Curtailment)等。轉態區分為計劃性孤島、非計劃性孤島、全黑啟動、無縫重新併網等(圖 5)。

Designed According to IEEE2030.7

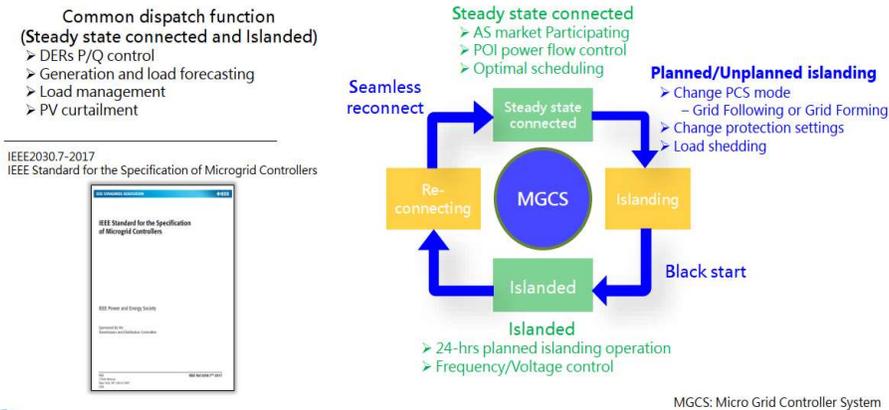


圖 5 微電網設計根據 IEEE2030.7

樹林微電網具有多種通訊協議，包括：IEC-61850、MODBUS、DNP3.0 及 C37.118，透過這些通訊協議整合整個場域，未來可以應不同應用需求進行擴充(圖 6)。



圖 6 樹林微電網通訊架構

樹林所區 AMI 2021 年 9 月至 2022 年 9 月的電量曲線，顯示了重載情況下的兩個峰值，和太陽能供電的情況。在夏季的平日最大負載為 1.8MW，平均負載為 1MW。在假日最大負載為 0.9MW，平均負載為 0.3MW(圖 7)。

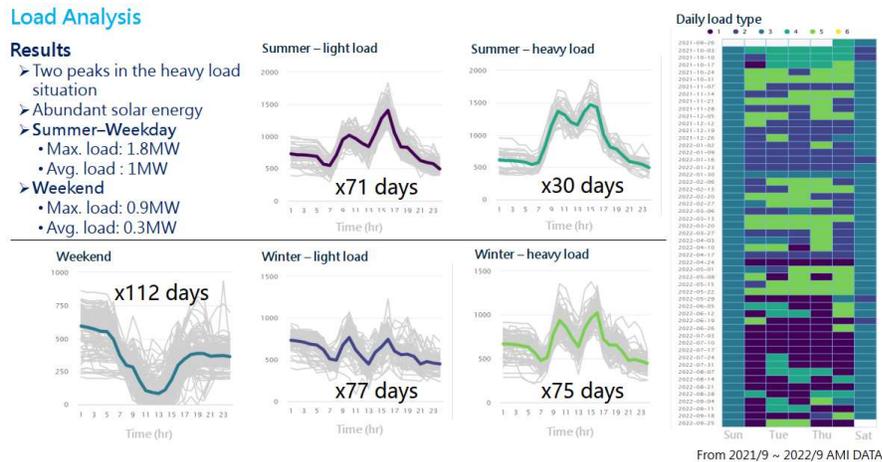


圖 7 樹林所區負載分析

微電網驗證場域將符合 IEEE2030 所規定標準來打造，經過隔離開關與斷路器後，再分為兩迴路，一迴送至左側匯流排，另一迴則送至電網模擬器與轄下匯流排。右側匯流排主要進行微電網設備驗證，廠商可送兩套儲能系統與微電網控制器至此

進行驗證。該場域能夠進行高達 2MW 容量的各種不同情境的測試，目的是確保微電網相關設備於該場域完成測試後再至現場建置。本場域可以驗證微電網控制器和相關設備及設施，例如:能源管理系統、功率調節器、太陽能逆變器，並且可搭配負載模擬器、儲能系統、飛輪、同步調相機和具有 IEEE C37.118 同步相量功能的設備 (圖 8)。

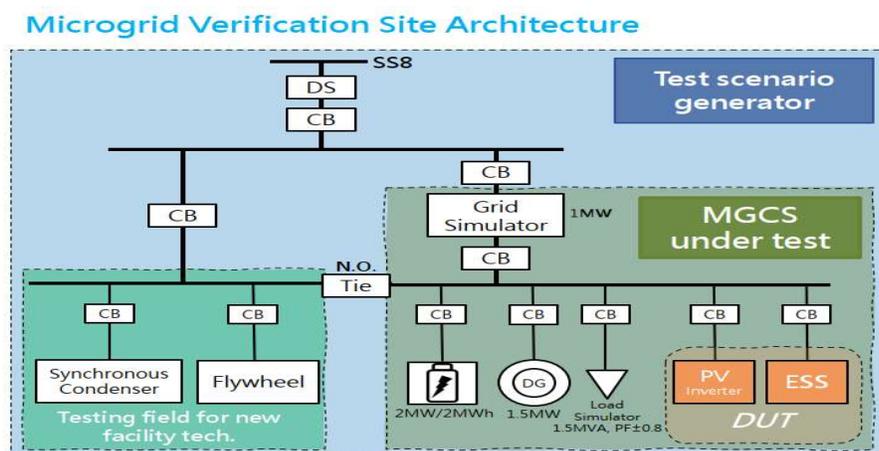


圖 8 微電網驗證場域詳細規劃

因此驗證場域可產生各種類型的情境，角色就像考官一樣，可以監視和控制每個設備，包括開/關或操作狀態，並可以自動產生一系列事件。而微電網控制系統在面對各種不同情境之下需做出反應，角色就如考生一樣接受測試，在場域也可以監視和控制必要的設備，包括開/關或操作狀態，並根據場域系統事件來控制相關設備 (圖 9)。

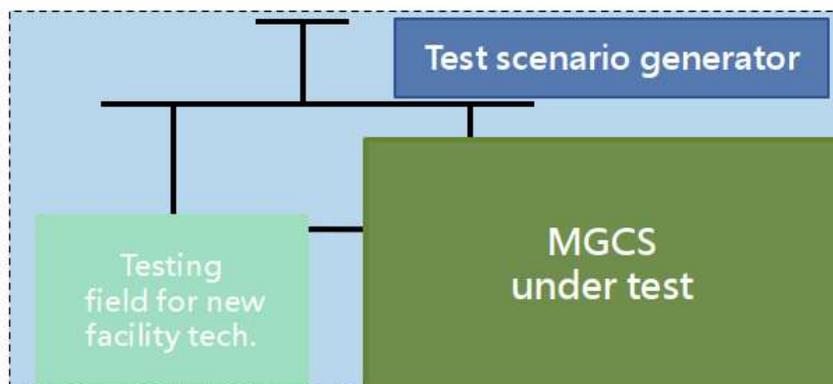


圖 9 情境產生器與受測的微電網控制系統

本所也依照 IEEE2030.7 調度功能試驗和轉態/調度功能試驗的標準下，在樹林所區的 VCB7 轄下子微電網進行了 3 次情境試驗及量測。子微電網下面有 2 套儲能及 1 套太陽能系統，量測點分別位於 MP38 及 MP48。3 次的情境試驗分別為非計畫性孤島-全黑啟動、計畫性孤島-無縫切換以及升級儲能系統(BESS-1)後計畫性孤島-無縫切換。在升級儲能系統(BESS-1)後在沒有切換 VCB7 的情況下進行試驗主要是要觀察儲能系統從電網追隨模式(Grid-Following) 轉換到電網形成模式(Grid-Forming) 以及切換回電網追隨模式的電性變化(圖 10)。

1. 非計畫性孤島-全黑啟動情境:

SMB 斷路器非計畫性跳脫，儲能系統 BESS-1、BESS-2 為放電中電網追隨模式，太陽能系統和負載啟動中。

2. 計畫性孤島-無縫切換情境:

儲能系統 BESS-1 在電網追隨模式下，BESS-2 為放電中電網追隨模式，太陽能系統和負載啟動中。

3. 升級儲能系統(BESS-1)計畫性孤島-無縫切換:

VCB7 在整測試期間處於閉合狀態，該情境試驗我們的目的在於觀察在情境 2 試驗碰到的一些情況是否可以改善。

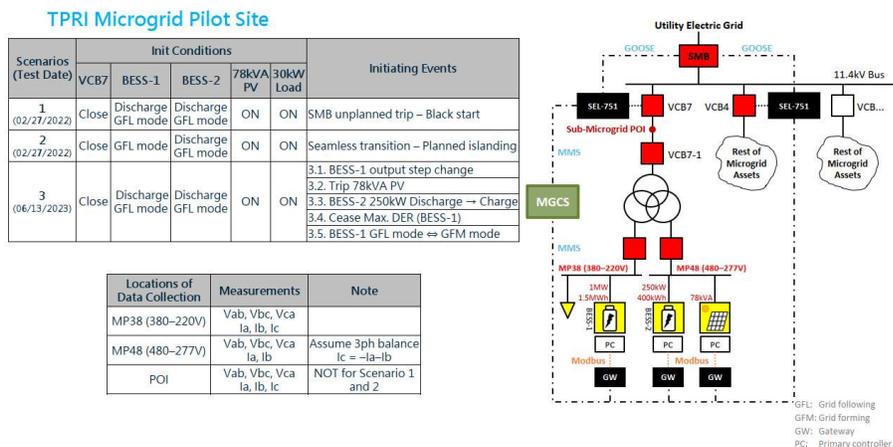


圖 10 VCB7 轄下子微電網試驗

4. 情境 1-SMB 非計畫性跳脫-全黑啟動，整個流程為：

SMB 跳脫後發送 IEC-61850 GOOSE 去跳脫所有 VCB，隨即儲能系統 BESS-1 啟動電網形成模式，BESS-2 和太陽能系統重新連接，之後 VCB7 閉合，VCB4 也接著閉合，最終完成孤島運轉模式。

從量測波形可以看出儲能系統 BESS-1 在 BESS-2 和太陽能系統重新連接期間的輸出功率變化，然後 VCB7 閉合，接著由波形看出 VCB4 閉合瞬間暫態現象(圖 11)。

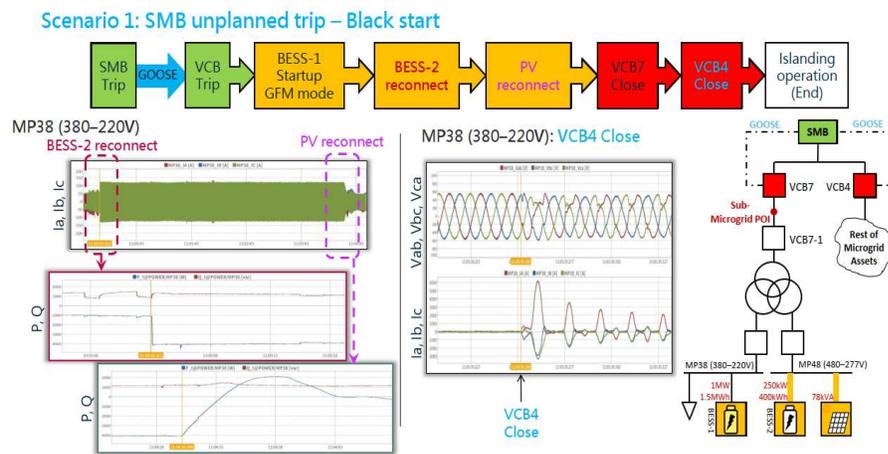


圖 11 情境 1-SMB 非計畫性跳脫-全黑啟動

5. 情境 2-計畫性孤島-無縫切換，整個流程為：

SMB 處於閉合，儲能系統 BESS-1 由電網追隨模式切換至電網形成模式，隨後 VCB7 斷開進行孤島運轉；再由孤島運轉下進行重新連接，VCB7 閉合，儲能系統 BESS-1 由電網形成模式切回電網追隨模式。

根據波形顯示，當儲能系統 BESS-1 由電網追隨模式切換至電網形成模式，因為儲能系統 BESS-1 和電網的電壓及頻率不同步，導致功率有大幅的振盪，隨後 VCB7 斷開，儲能系統 BESS-1 與電網隔離開，就使得輸出穩定(圖 12)。

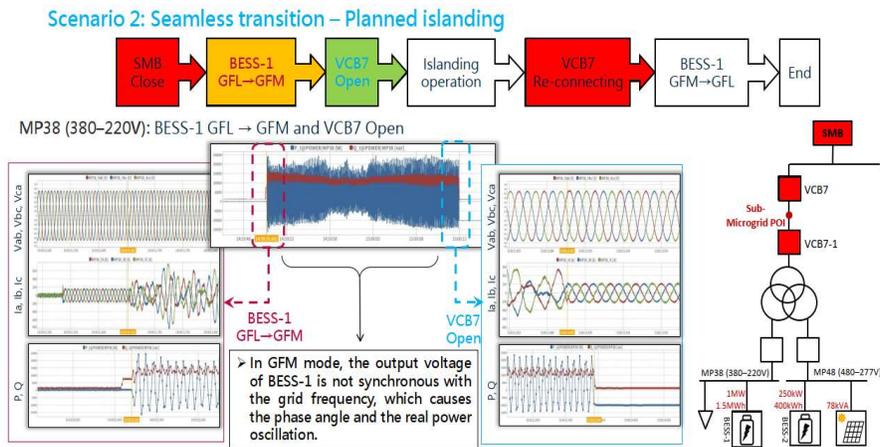


圖 12 情境 2-計畫性孤島-無縫切換

當 VCB7 重新連接時，儲能系統 BESS-1 於電網形成模式下併回電網時功率同樣產生震盪，隨後我們切換至電網追隨模式後儲能系統 BESS-1 輸出功率穩定無振盪發生(圖 13)。

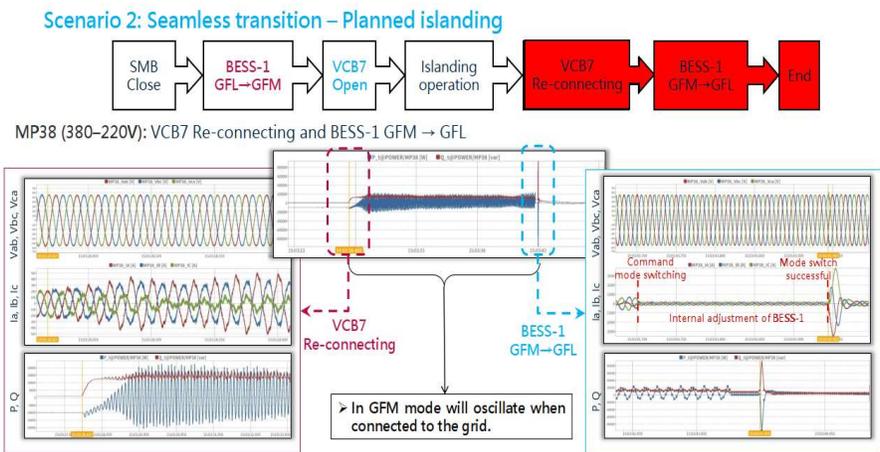


圖 13 情境 2-計畫性孤島-無縫切換(續)

6. 情境 3-升級儲能系統(BESS-1)計畫性孤島-無縫切換:

測試儲能系統 BESS-1 韌體升級後在電網追隨模式和電網形成模式相互切換，是否可以改善情境 2 的功率振盪現象。

由波形顯示，韌體升級後，電網追隨模式可以切換到電網形成模式後並未發生功率震盪情形，也就是儲能系統 BESS-1 視為虛擬同步發電機(VSG)。

同樣地，可以看到從電網形成模式切換到電網追隨模式也沒有產生功率振盪現象(圖 14)。

Scenario 3.5: BESS-1 GFL mode ↔ GFM mode

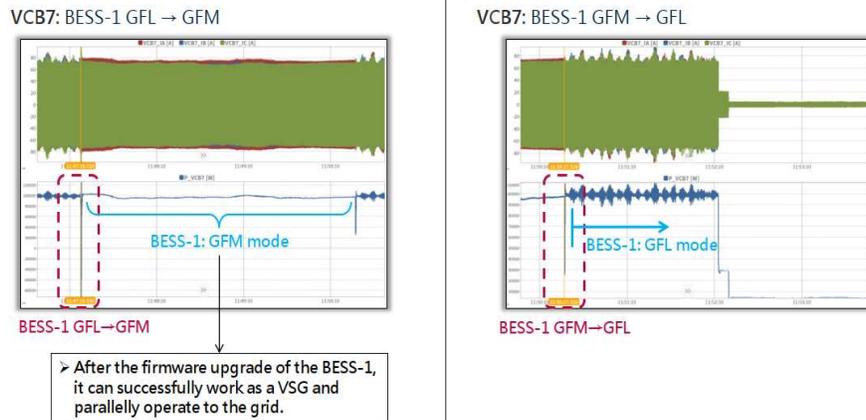


圖 14 情境 3-升級儲能系統(BESS-1)計畫性孤島-無縫切換

小結:

1. 樹林微電網兩期規劃，第一期目前已完成，第二期將擴大到整個樹林所區。
2. 當樹林微電網與配電網併聯時可以參與電力交易平台，提供輔助服務。
3. 制定了整個所區平日和假日孤島運轉策略。
4. 微電網驗證測試場域可測試單一設備，以及微電網控制器功能與各設備的相互協調性，更可進一步試驗新技術和完整的整合性試驗。

(四) The role of low carbon power generation in support of a just Energy Transition [3]

本篇主要說明低碳發電在支持公正能源轉型中所扮演的角色，簡報者為 INTERNATIONAL CENTRE FOR SUSTAINABLE CARBON(ICSC)內的總經理。ICSC 為國際能源署(International Energy Agency,IEA)和企業組織共同贊助的組織，該組織主要分析各種材料並提供獨立的資訊，以協助聯合國永續發展目標及滿足 2050 年實現淨零排碳的需要。

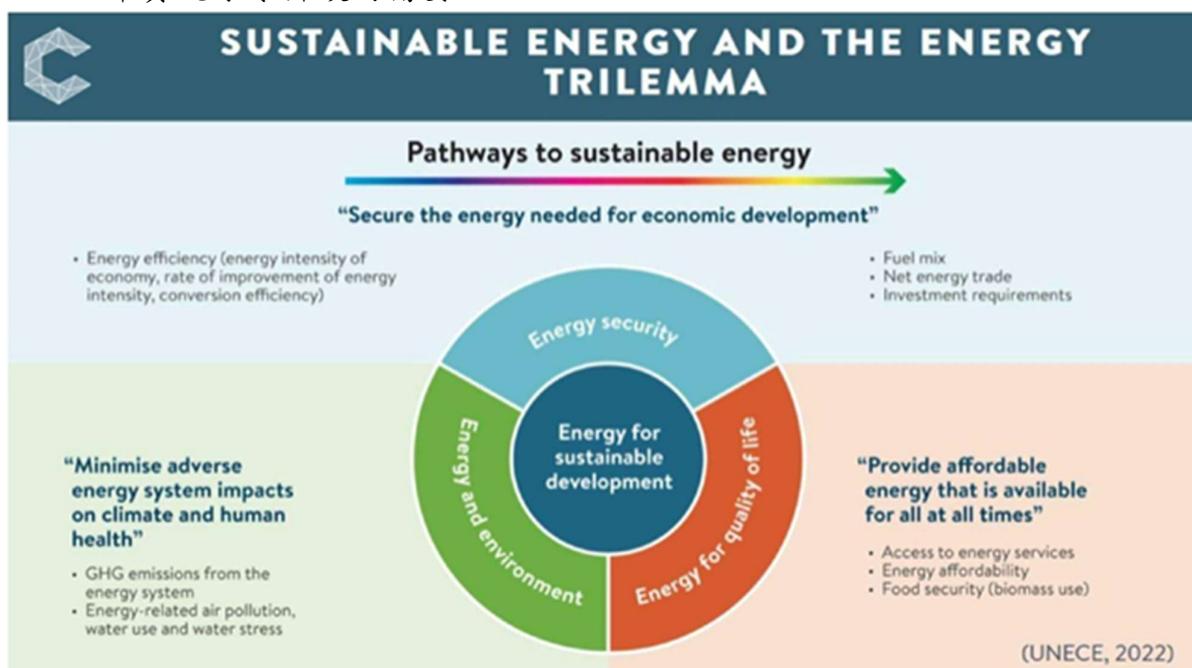


圖 15 永續能源與能源困境

目前可持續能源存在三個困境，分別是能源安全、可持續發展和負擔的起的能源，在可持續能源議題上必須在上面三個困境中取得妥協。目前已有 140 個國家已宣布或正在考慮碳中和，大部分都是在 2050 年之前實現，但中國發表聲明說將在 2060 年實現碳中和，印度則稱將在 2070 年實現碳中和。所以全球想要在 2050 年達到碳中和這是相當困難的，因為這兩個國家人口數為 28 億，碳排放量達到總排放

量的 35%以上，且自工業化以後全球平均氣溫已上升 1.1 度，這表示需要採取更多積極的行動(圖 15)。

而中國雖然是排碳大國，但由華能建造了一個 10GW 的發電廠，預定在 2023 年投入運轉，包含 8GW 的變動性再生能源(Variable renewable energy, VRE)和 2GW 的超超臨界的煤炭發電機組並採用碳捕捉、再利用及封存技術(Carbon Capture Utilisation and Storage, CCUS)，這是一個很好的範例，將這兩種技術結合在一起，同時提供穩定性和可用性。

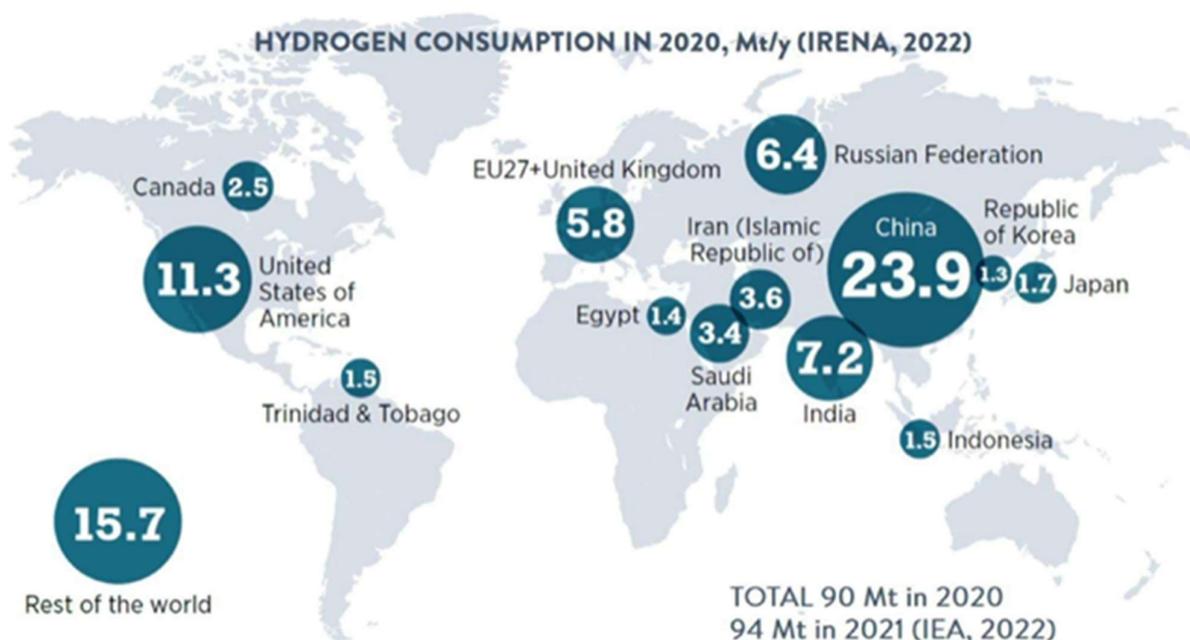


圖 16 2020 年氫消耗量

各國目前在 2020 年使用氫氣的占比，消費量最大的國家是中國，其次是美國、印度、俄羅斯。中國主導了 2020 年的消耗，是全球最大的氫氣消費國。氫在 2020 年全世界消耗了 9000 萬噸，到 2021 年已經增加到 9400 萬噸，而且仍在穩定增長，這是一種清潔能源，具有零排放的特性，未來氫氣的應用將會更加廣泛(圖 16)。

氫對於日本實現淨零排碳也具有舉足輕重的角色，他們的目標是使其與天然氣的價格相當。到 2030 年，日本計劃擁有 80 萬噸的燃料電池汽車，超過 500 萬個的

用戶使用燃料電池，到 2050 年，日本的電力將由可再生能源 (50-60%)、核電和熱電廠 (30-40%) 以及氫和氨 (10%) 組成，於實現 2050 年碳中和。



圖 17 非能源材料

稀土，它作為全球性的戰略物資，有很多高科技的產品需要它，但是對環境影響相當巨大，目前也可從煤的廢棄物及尾礦中提取稀土元素，亦即為洗礦過程，但因技術不同，提取的稀土成分差異很大，且提取的過程也相當不容易，但不失為未來努力的方向(圖 17)。

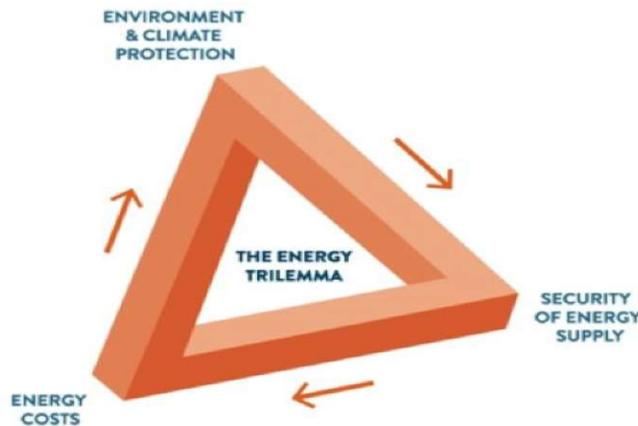


圖 18 低碳發電支持公正能源轉型結論

隨著可再生能源的發展，燃煤發電的使用量正在逐漸減少。然而，燃煤發電仍然是世界上最重要的發電方式之一，同時煤的需求也存在於水泥製造、煉鋼、化學品及氫氣等相關產業。隨著未來科技的發展，在不會增加二氧化碳的排放量下，運用煤碳生產之高附加價值產品深具潛力，因此在不放棄任何種能源下來達到淨零排碳，才可以符合當前能源的困境(圖 18)。

小結:

台灣是海島型國家，能源資源匱乏，能源進口依賴度高，能源安全面臨挑戰。目前，台灣的能源結構以化石能源為主，導致碳排放量高，對環境造成了嚴重影響。根據經濟部能源局的資料，2022 年台灣的煤炭發電占比為 42.07%，是台灣電力的主要來源。煤炭發電具有成本低、發電效率高的優點，但現今存在碳排放量高、空氣污染嚴重等缺點。在國際趨勢下，台灣進行能源轉型，兼顧能源安全、可持續發展和負擔得起的能源。然而，台灣的煤炭發電占比仍高，這對能源轉型帶來了挑戰。為改善煤炭發電占比過高的問題，可以採取以下措施：

1. 持續開發再生能源：台灣的太陽能、風能等再生能源資源豐富，逐年持續提高再生能源在能源結構中的占比。
2. 持續發展智慧電網：智慧電網可以有效整合可再生能源，提高電網的穩定性和可靠性。
3. 持續推動能源效率提升：推廣節能措施、提高能源使用效率，以減少能源消耗，降低碳排放。
4. 加強國際合作：透過國際合作，交流及分享淨零碳排的相關技術，達到碳中和的目標。

(五) Introduction to the Market-online Hardware-in-the-loop Simulation Experimental Environment Established by Sino-Europe Cooperation

[4]

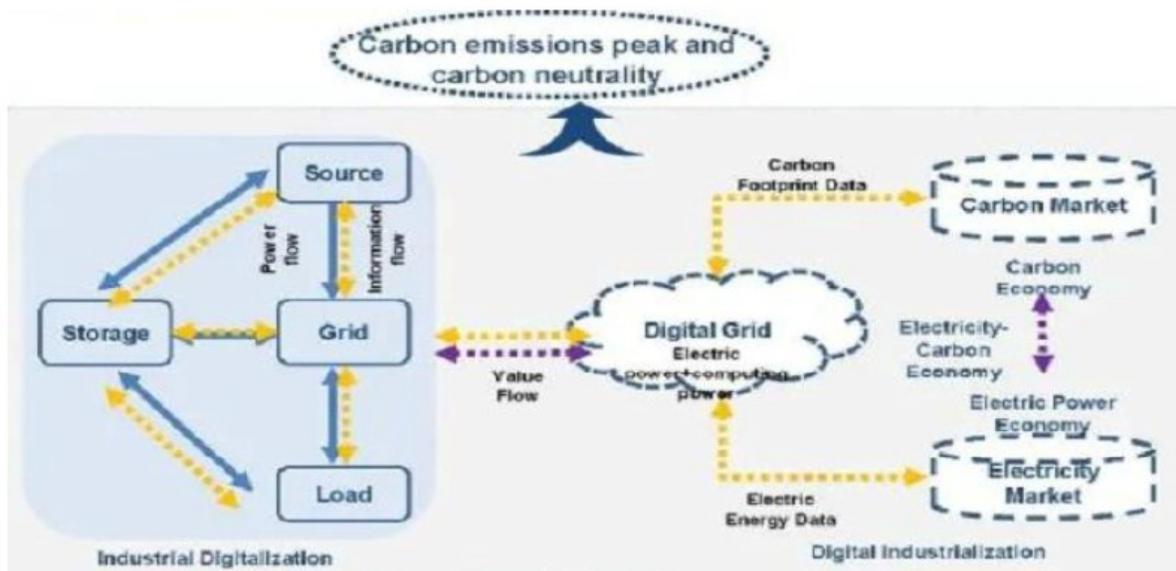
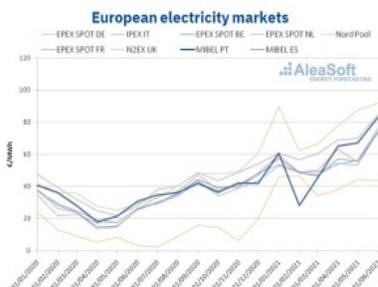


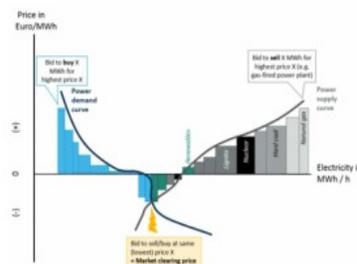
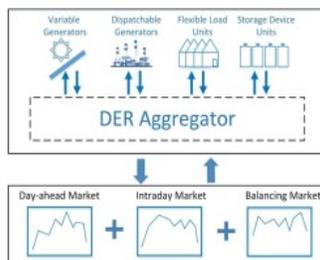
圖 19 需打造新的電力系統環境

Preparing for a flexibility marketplace



Utility customers around the world spend roughly ~\$140B (USD) on rooftop solar, storage, building controls, smart appliances, and electric vehicles.

There are growing trends toward dynamic retail tariffs, local electricity markets, exposing retail customers to wholesale markets, and even “peer-to-peer” or other types of transactive energy markets that clear from the bottom up.



With this context, there is a clear and urgent need to transition customers—and their assets—from being a passive “end point” in a complex supply chain to becoming active participants in a dynamic energy system.

圖 20 為彈性市場做好準備

本篇為中國與葡萄牙共同合作建置即時硬體閉迴路(Hardware-In-Loop, HIL)模

擬市場實驗環境簡介，簡報者為中國電力科學研究院(CEPRI)南京分院研究員。中國未來因應碳中和需要打造新的電力系統環境，但再生能源的波動性、隨機性和不穩定性也增加了電網運作的難度，因此需要利用分散式能源要接受電網的控制，可以有效的維持電網穩定的運作(圖 19)。全球的電力市場也正在發生變化，動態電價、區域型電力市場、零售商電力市場，甚至點對點的方式由下而上的交易型電力市場的趨勢日益明顯。全球用戶在屋頂型太陽能、儲能、智慧家庭設備和電動汽機車等方面每年支出約 1400 億美元。在這種背景下，迫切需要將用戶及其資產從複雜供應鏈中的被動最末端，轉變為動態電力市場中的積極參與者(圖 20)。

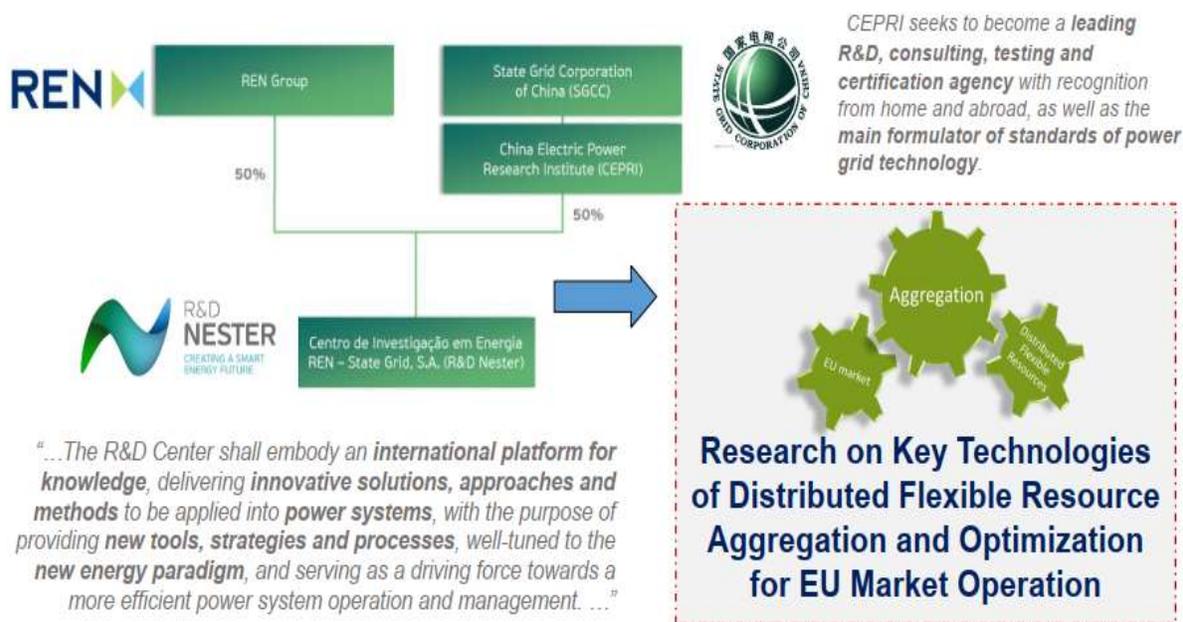


圖 21 合作契機

在電力市場快速的變化下，歐洲已經建立了一個公平、標準、開放、經濟的用戶端能源生態鏈，並有健全的法律和政策體制。因此中國電力科學研究院和葡萄牙電網公司進行合作，成立了 R&D NESTER 研究中心，透過中國發展電網和能源建設的相關經驗，搭配歐洲健全的法律和政策下，兩者可以有互補的關係，於

是在葡萄牙 R&D NESTER 實驗室建置該平台環境，將歐洲市場機制和資源特色，與中國電網結構和終端產品進行整合(圖 21)。

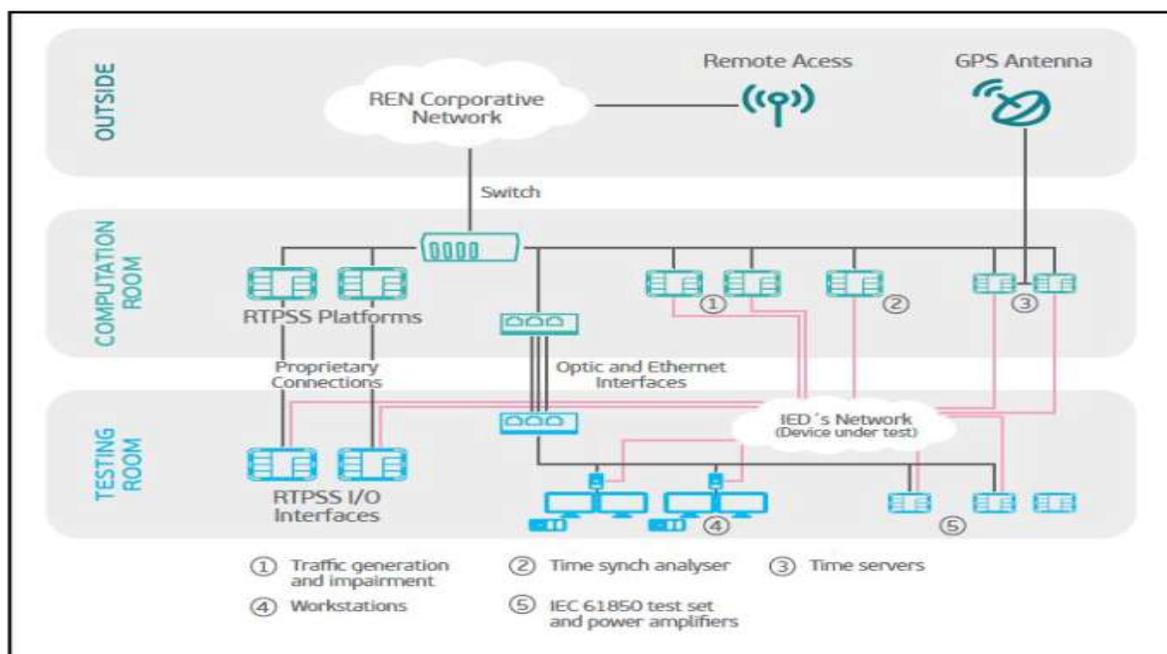


圖 22 合作目標

如圖 22，在兩國合作之下將達成 3 個任務：

1. 分散式能源整合分析與終端設備開發：社區型再生能源組合研究、歐盟市場數據存取模型及通訊技術研究、整合控制功能與演算法研究、彈性的分散式能源硬體開發。
2. 基於歐盟市場整合應用及最佳化：整合應用研究、整合預測訊息進行模型建置研究、對於生產者和消費者市場機制的研究、歐盟市場下整合最佳化運作技術的研究。
3. 彈性分散式能源最佳化模擬與驗證：彈性分散式能源模擬研究、整合終端控制功能，進行開迴路模擬研究、整合彈性再生能源最佳化模擬技術研究、研究即時市場閉迴路硬體模擬實驗方法研究。

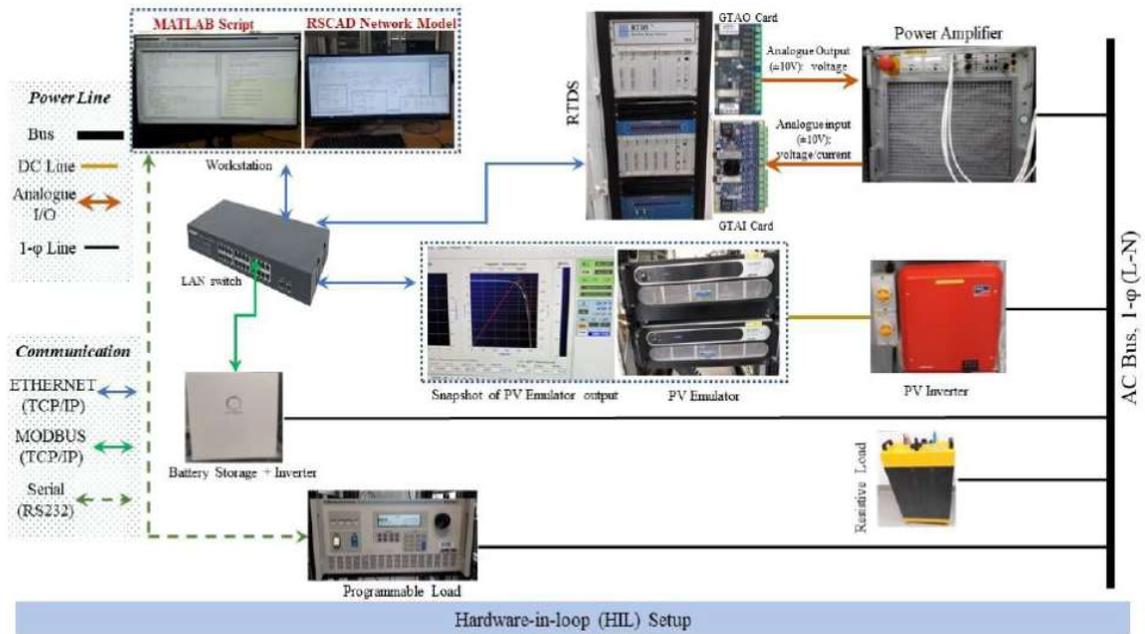


圖 23 閉迴路測試環境

如圖 23，為閉迴路測試環境，AC-BUS(交流匯流排)上有 RTDS(即時數位動態模擬器)作為風力發電機模型、PV inverter(太陽能逆變器)與電池儲能系統及電阻性負載、可調式負載，透過 Matlab 數值分析模擬軟體做數據收集及進行最佳化排程及調度。

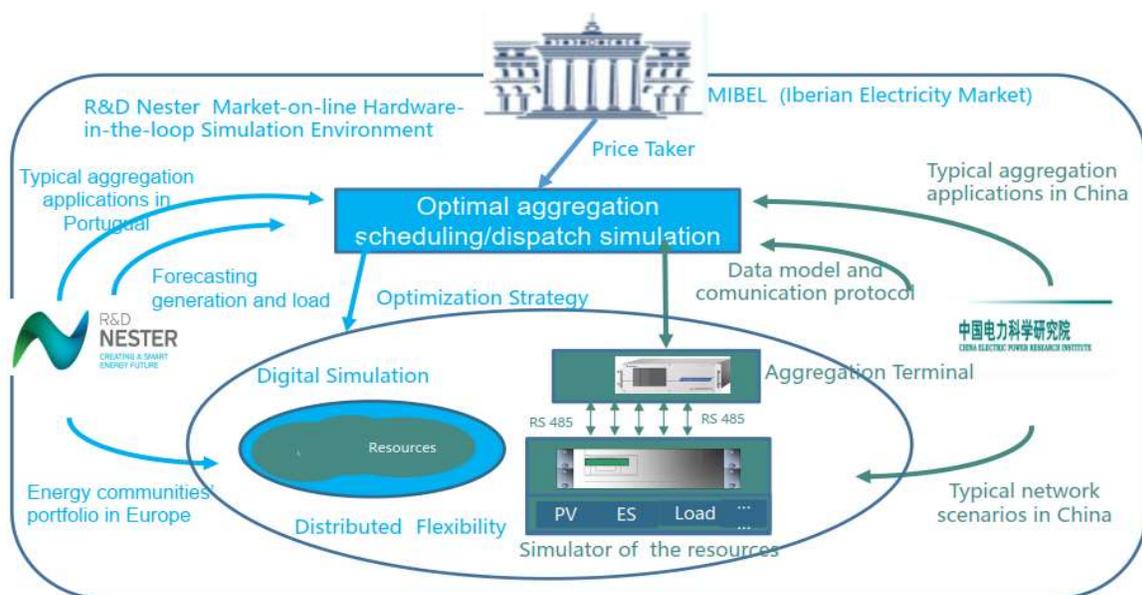


圖 24 CEPRI 與 R&D NESTER 進行項目

整個 R&D NESTER 實驗室平台環境，分為兩大部分。淺藍色為葡萄牙負責，從伊比利亞電力市場(MIBEL)獲取市場價格資訊、預測發電量及負載量、社區型再生能源組合、彈性分散式能源、進行最佳化排程及調度模擬產生策略，偏向策略執行面。草綠色部分由中國電力科學研究院負責，有數據模型和通訊協議、網路整合、終端設備整合、相關再生能源與儲能系統及負載模型整合，偏向軟硬體及資源整合(圖 24)。

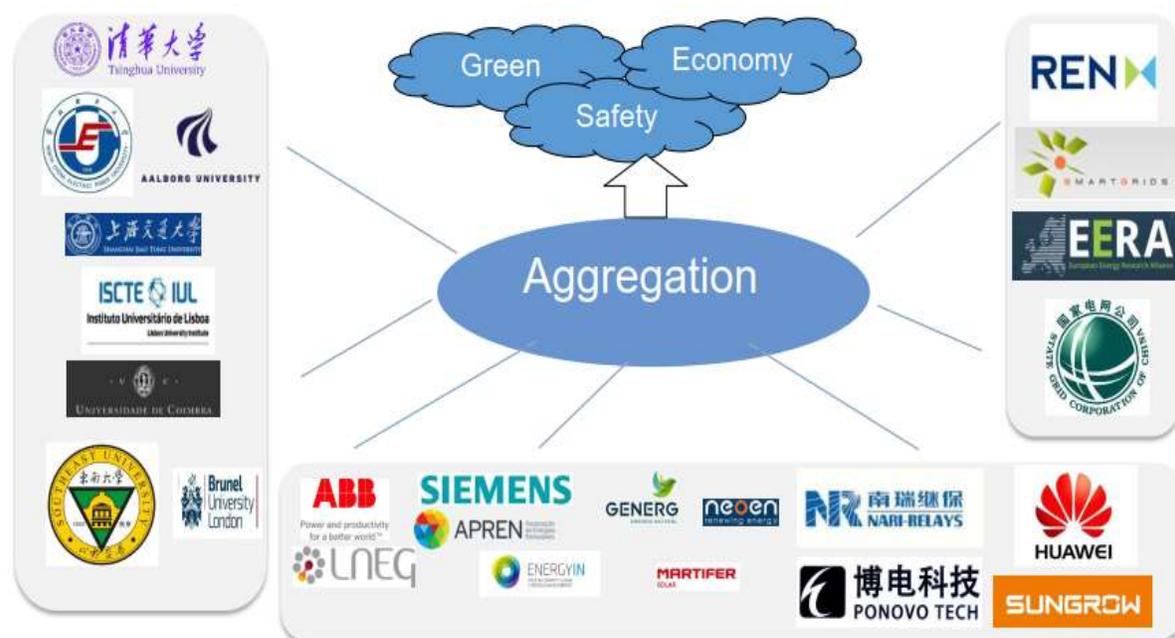


圖 25 未來遠景

該項目目前已完成分散式能源整合分析與終端設備開發，及基於歐盟市場整合應用及最佳化，預計於 2024 年底完成最佳化模擬與驗證，待日後與各學術機關及中國國內、外知名企業一同合作，目標使中國達成安全、經濟、碳中和的未來(圖 25)。

小結：

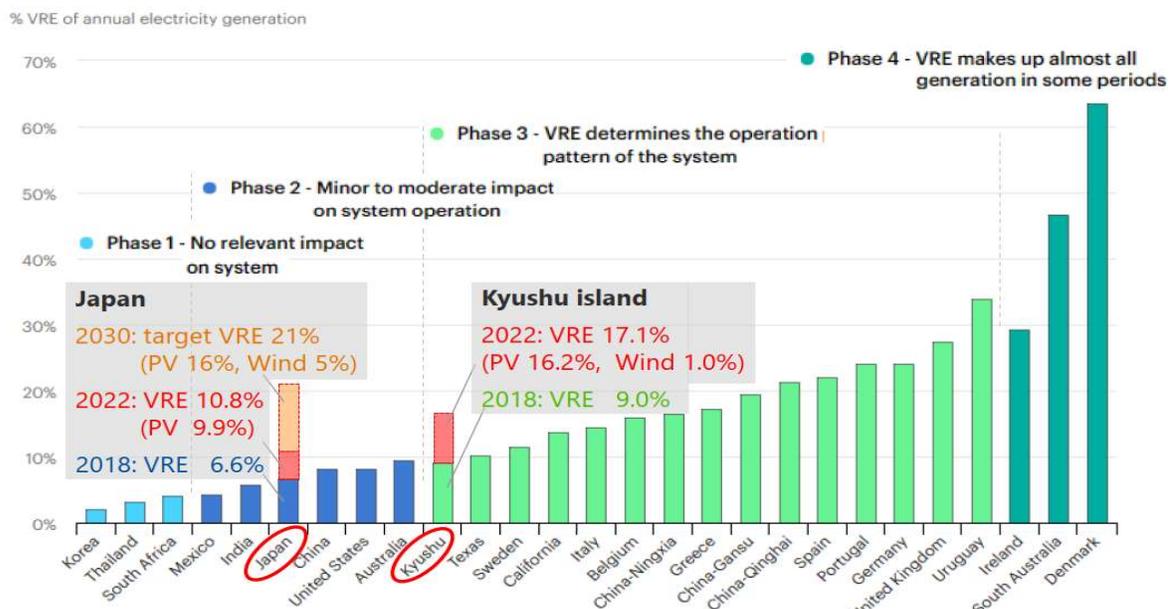
該篇可見中國與葡萄牙各發揮所長，中國在軟硬體及資源整合上較有經驗，葡萄牙在策略執行及政策上較有彈性，對於台灣具有啟發性意義：

1. 推動分散式能源整合研究與發展：可以考慮加強對分散式能源的整合研究，特別

是在社區層面。鼓勵並支持太陽能、風能等再生能源在社區內的整合，以提高能源的使用效率和環境可持續性。

2. 建立公平、標準、開放的電力市場：可以參考歐洲的經驗，致力於建立一個公平、標準、開放的電力市場。這包括制定相應的法律和政策體制，以促進市場的競爭，讓生產者和消費者能夠更有效參與市場交易。
3. 促進用戶參與電力市場：可以考慮促進用戶參與電力市場，將用戶從被動的最末端轉變為動態電力市場的積極參與者。這可能包括鼓勵屋頂型太陽能、儲能系統、智慧家庭設備等的使用，並提供相應的激勵措施。
4. 建立國際合作平台：可以考慮與其他國家進行類似的國際合作，特別是那些在能源技術和市場發展方面有豐富經驗的國家，如同為海島型國家的日本，有助於分享知識、技術，以推動能源轉型。
5. 加強數據模型和通訊技術研究：加強數據模型和通訊技術的研究，透過即時市場閉迴路硬體模擬實驗，以確保未來系統的穩定運作。
6. 注重能源安全、經濟性和碳中和：台灣亦須與國際同步注重安全性、經濟性和碳中和目標，這包括投資新能源技術、提高能源效率，以及積極參與全球碳中和。

(六) The Current State of the Balancing Services Market in Japan and Our (ENIC Division’s) Pilot Projects to Integrate DSR into the Grid [5]



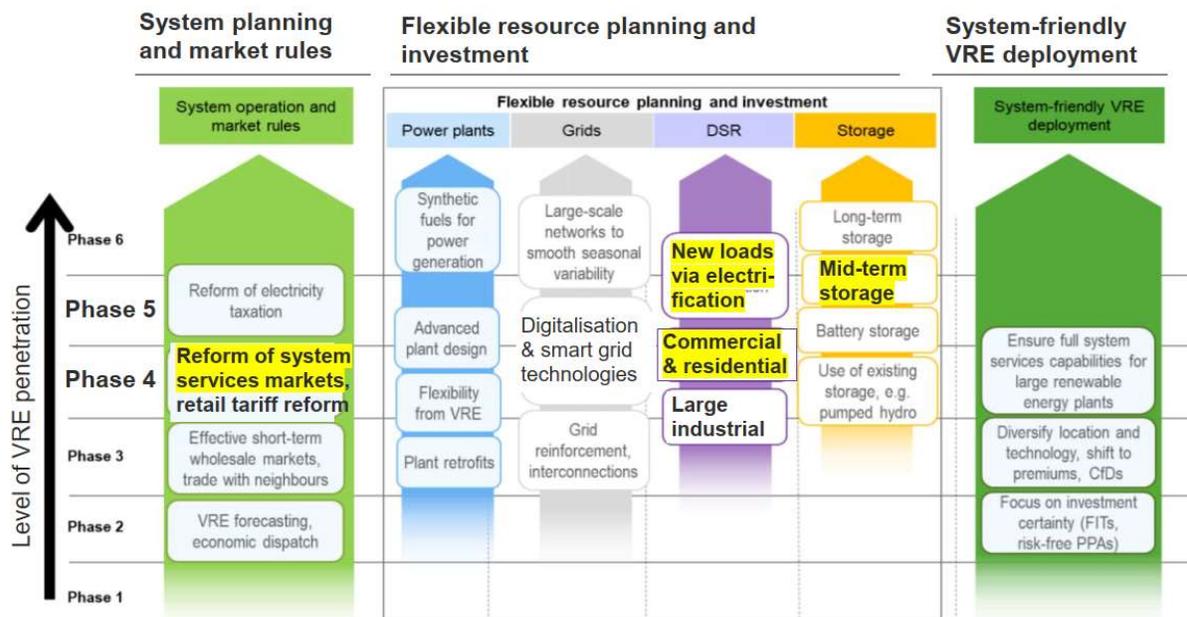
[1] chart: IEA, [Annual variable renewable energy share and corresponding system integration phase in selected countries/regions](#), 2018, IEA, Paris, IEA. Licence: CC BY 4.0
 [2] VRE share in 2022: Institute for Sustainable Energy Policies, [2022 Share of Electricity from Renewable Energy Sources in Japan \(Preliminary\)](#), April 14, 2023
 [3] VRE share in 2030: Ministry of Economy, Trade and Industry, [「今後の再生可能エネルギー政策について」](#), April 7, 2022

圖 26 按國家/地區劃分的 VRE 在發電量中所佔比例

本篇主要說明日本電力平衡服務市場現況與先導型需量反應計畫，簡報者為日本電力中央研究院(Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI)電網創新研究室的研究員。日本需導入大量間歇性可再生能源(Variable Renewable Energy, VRE)以實現電力供應的碳中和，但為了保持電力系統的穩定性，電力系統的靈活性是不可或缺。

如圖 26，國際能源總署(International Energy Agency, IEA)[13]，在 2018 年公布了 20 個國家的 VRE 占比，日本本島 VRE 需求從 2018 年的 6.6%預計在 2030 年增長到 21%，其中太陽能越來越高；同樣九州島從 2018 年 9%至 2022 年增長至 17.1%，太陽能占比最高，有 16.2%。IEA，將 VRE 的占比分成了 4 個階段，分別是第 1 階段：對系統沒有影響，第 2 階段：對系統有輕微到中度的影響，第 3 階段：VRE 決

定系統的運作模式，第4階段：VRE 幾乎是某些時期的所有發電。可以看見日本本島於2030年將成為第3階段。

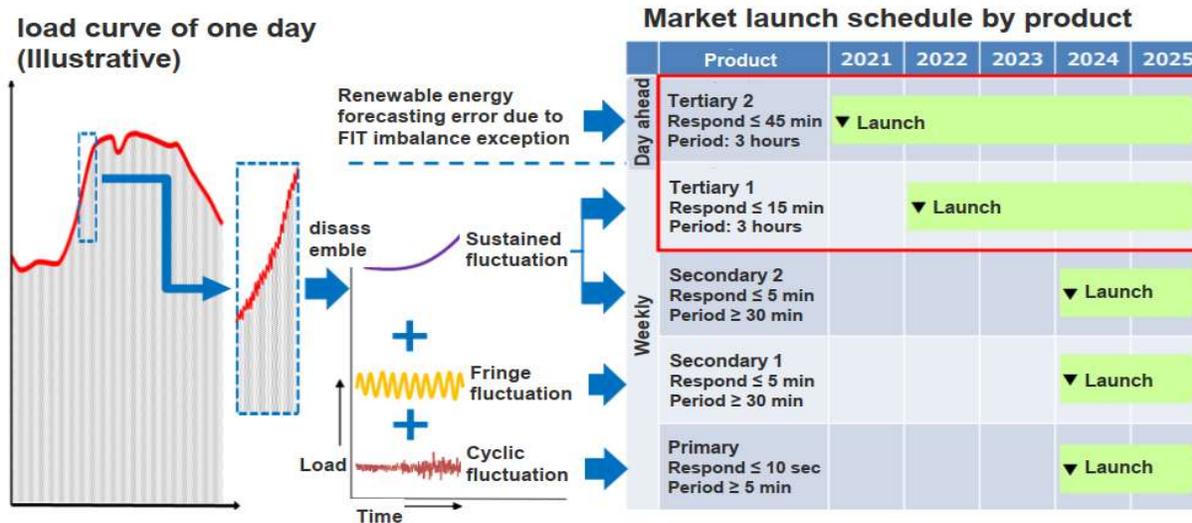


Source: IEA "Renewable Electricity Markets & Policies An IEA Perspective" on METI Sub-Committee, Tokyo, 10 June 2019.

圖 27 VRE 滲透率 6 階段

如圖 27，六個階段中的每個階段都有其相對應需要發展的技術或對策，包括從系統規劃、市場機制、各種資源規劃投資及再生能源友善的併網等面向。例如在第2階段，進行再生能源發電預測。在第3階段，推行短期批發市場、電網強韌工程。在第4階段，改革電力系統服務市場、數位化及智慧電網、建置儲能。在第5階段，進行電力稅制改革、建置中效型儲能。在第6階段，建置長效型儲能、建置大型、密集電網以舒緩季節性負載及再生能源對系統造成的變動。

*Official name: “需給調整市場: supply and demand adjustment market”

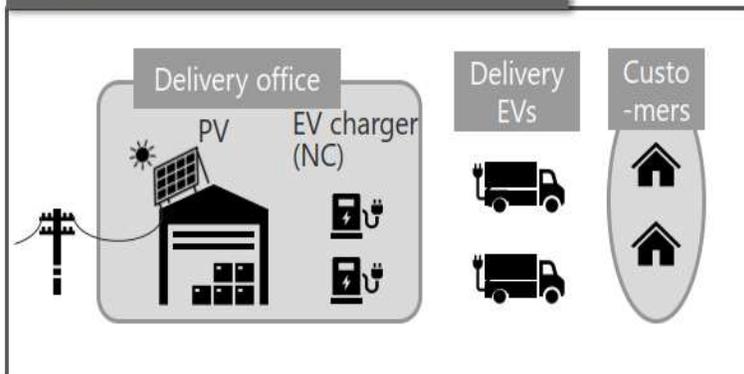


Source: Ministry of Economy, Trade and Industry, “第83回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 制度検討作業部会 資料3”, July 31, 2023

圖 28 日本電力平衡市場產品分級

如圖 28，目前日本剛建立電力平衡需求市場，並陸續推出相關產品，分成第 1 級、第 2 級與第 3 級等 3 級反應。以一整天的負載曲線來去判斷需要的電力平衡服務。針對短時間的變動需求，需要初級的反應，此反應的時間小於 10 秒，持續時間大於 5 分鐘，預計於 2024 年發布。第 2 級反應分為 2 階段，有針對比較大的變動負載與長時間的負載變化，必須要有 5 分鐘內的反應時間，持續時間大於 30 分鐘，同樣預計在 2024 年發布。第 3 級同樣分為 2 種機制，針對比較大的變動負載和再生能源預測失準時必須要有因應作為，第 1 個 3 級反應需在 15 分鐘內，第 2 個需要在 45 分鐘內反應，持續時間皆是 3 小時，已經分別在 2022 年及 2021 年發布。

Simple delivery operator's office model

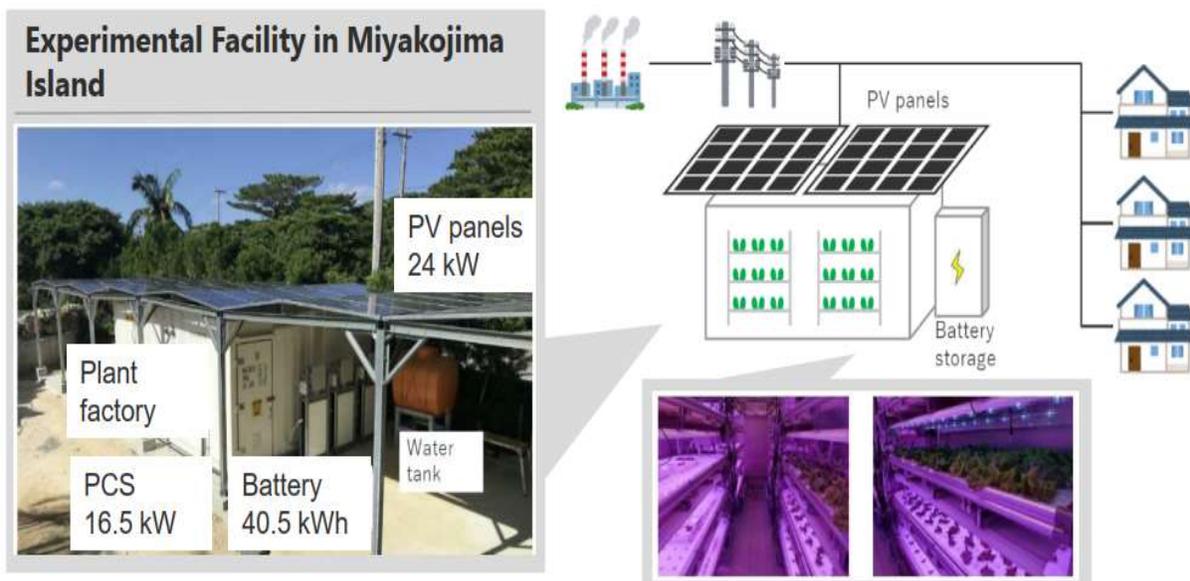


Co-optimization of
 - delivery demand
 - EV charging under promoting

Condition:
 - promote PV self-consumption
 - do not interfere with current delivery operations when replacing ICV trucks with EVs.

Source: NEDO, "グリーンイノベーション基金事業/スマートモビリティ社会の構築" (2022~)

圖 29 商用電動送貨卡車的能源管理



* project team: CRIEPI, NEXTEMS, Okinawa Electric Power Company, Saga University

Source: NEDO: "先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導研究プログラム/植物工場向けDR・生育維持システムの基礎技術開発" (2023)

圖 30 零碳排放植物工廠

為了整合需求端資源(DSR)進入市場，進行了3個先導型計畫做為示範。

第1個項目是商用電動送貨卡車的能源管理。商用電動送貨卡車可以充分利用電動車的優勢，因為它們具有較高的車輛利用率和比燃油車更低的運行成本，且由於其行駛路線相對固定，所以因充電據點導致電能不足的风险相對較小。但初期建置成本較高，所以目前正在研究改使用電動車又不會影響現有送貨流程、採用太陽

能進行電動車充電、增加儲能設備及調整送貨時間及流程等之能源管理系統，以降低整體成本(圖 29)。

第二個項目是在宮古島建設需量反應的零碳排放植物工廠。由於該島時常遭受颱風的侵襲，因此日本的目標是實現一個全島利用再生能源自給自足發電，利用太陽能板和電池儲能，供應植物工廠內所有電力需求。同時透過調控相關設備，例如照明和空調、循環水馬達的電力消耗量，在不影響蔬菜生長前提下，回應電網運營商的“需量反應請求”，為偏遠島嶼的電網穩定運行做出貢獻(圖 30)。

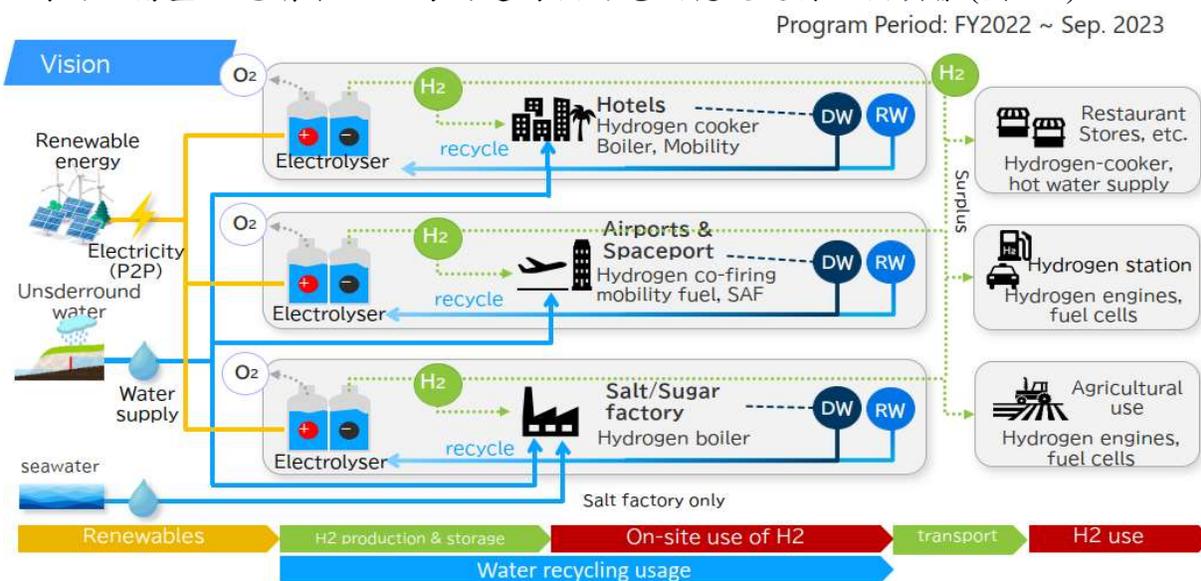


圖 31 宮古島上利用再生能源和綠氫

第三個項目是在宮古島上建立能源自主、增強系統韌性及環境友善的能源系統。由於島上電力供需的規模太小，宮古島面臨再生能源增加速度太快時，導致影響電網穩定度的問題。因此，日本正在進行一項可行性研究，該研究結合了使用再生能源來電解雨水與海水生產的綠氫，所產生的綠氫優先給當地工廠、機場、飯店、農業、燃料電池使用，多餘的氫會透過運輸方式給其他地區的農業、加氫站及餐廳等使用(圖 31)。

本篇說明日本電力平衡服務市場及 3 個依照 IEA 定義 VRE 滲透率階段 4 及 5 所提對策研究的先導計畫，相關對策包括：系統服務市場、商業和住宅需量反應、新能源消耗改為使用電力，及採用中效型儲能。

小結：

台灣的再生能源發展也面臨 VRE 滲透率增加的問題，可以參考日本的經驗，進行以下事項：

1. 發展電力平衡服務市場：台電目前電力交易平台是日前輔助服務市場，產品包括：調頻備轉(Regulation Reserve, dReg and sReg)、能量轉移動態調頻備轉(Energy-shifting with Dynamic Regulating Function Reserve, E-dReg)、即時備轉(Spinning Reserve)及補充備轉(Supplemental Reserve)，可參加之資源包括：發電機組、儲能系統、需量反應及自備發電機設備。需量反應除可參加電力交易平台，亦可參加計劃型需量反應、臨時型需量反應及需量競價等。台灣短期內亦將會推動電力平衡服務市場。
2. 發展綠氫技術：本所目前正在進行電解氫等相關研究，為未來推動綠氫預作準備。
3. 加強電網靈活性：針對未來台灣高再生能源滲透率的電力系統，必須強化電網靈活性，涉及技術非常多，包括：儲能、智慧變流器、同步調相機、微電網、智慧電網、再生能源發電預測、輔助服務等，台電公司也正進行上述相關研究。
4. 建立國際合作平台：台電公司也積極與國外各電業及相關研究機構進行相關研究。

(七) PV technology overview its position in the energy mix and the role of

R&D [6]

本篇主要說明太陽能技術概述，講者為 ENGIE 內 Laborelc 實驗室經驗豐富的再生能源專案經理，擁有建置許多 MW 等級的太陽能廠經歷。面對的客戶總是要求最高效率的太陽光電板，但是不願承受相應的風險，例如：以建置太陽能廠的角度來看在沙漠或是靠近海邊是最好的，但卻因環境具挑戰性的，客戶往往不希望在這些地方建置，但又希望獲得最高效率的發電，因此產生了許多理論和實務中的問題。

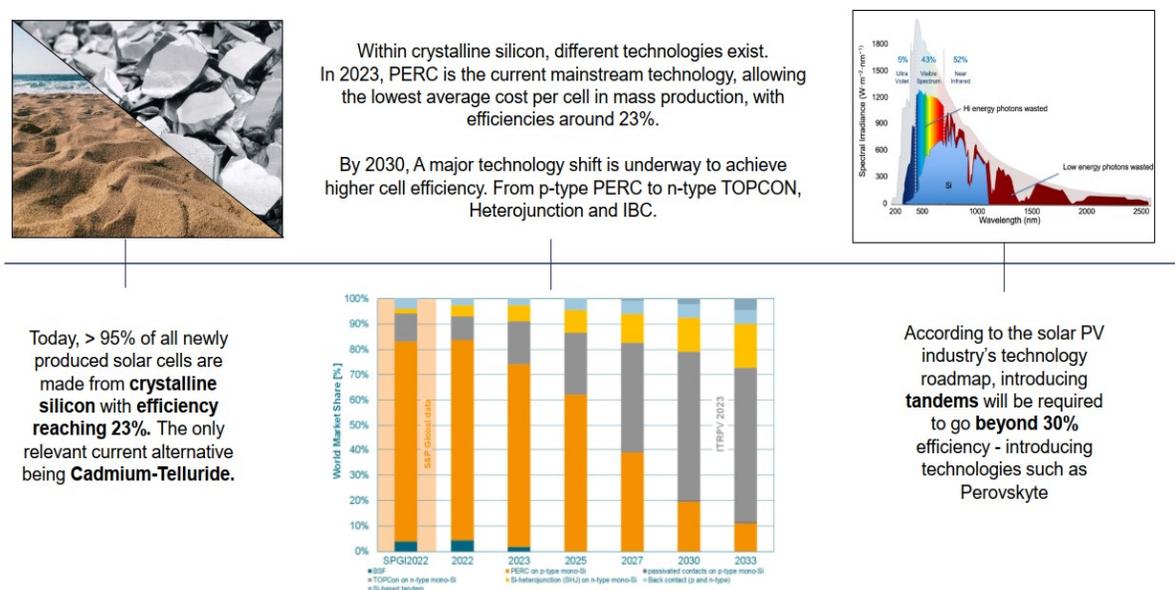


圖 32 模組和元件設計的改進

在過去幾十年中，太陽能發電的技術發展快速，每個模塊效率每年以 0.5% 的方式提升，效率的提升歸功於元件技術及模組設的改善。模組設計上目前主流為鈍化射極與背接觸(passivated emitter and rear contact, PERC)，為目前成本最低的方式，效率約 23%，然而現在技術正在轉變中，從 PERC 將轉變成效率更高的穿隧型鈍化接觸元件(Tunnel Oxide Passivated Contact, TOPCON)、矽異質接面太陽能元件 (Heterojunction Solar Cells with Intrinsic Thin Layer, HIT) 及交趾式背接觸太陽能元

件(interdigitated back contact solar cells, IBC)，但即使技術上有所改進，我們也正在接近矽轉換效率上的物理極限(圖 32)。

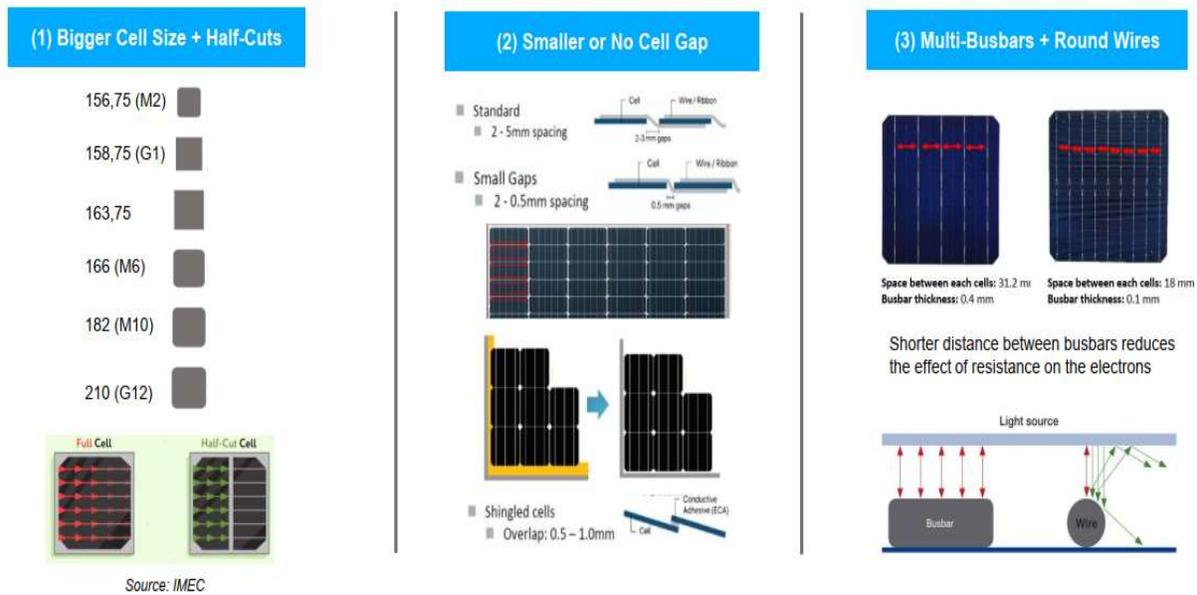
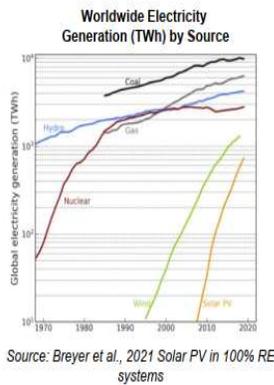
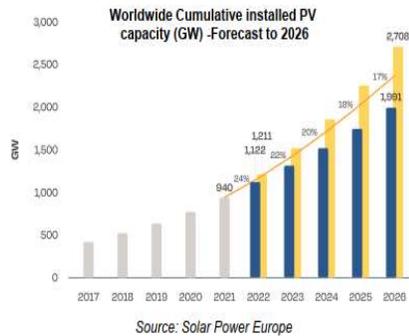


圖 33 提升效率的方法

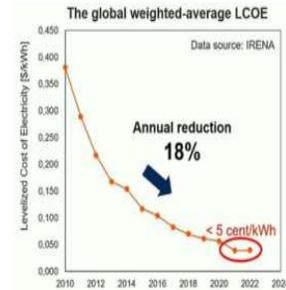
於是開始不得不尋求其他方式提升效率，於是轉向新的太陽能元件技術，例如串聯(tandem)以實現超過 30%的效率和使用鈣鈦礦太陽能元件。串聯元件是將兩個或多個太陽能元件串聯起來的元件，效率可以通過增加元件的數量來提高。鈣鈦礦太陽能元件，可以比矽獲得高能量的光子或者短波長的光子。目前來看太陽能光電技術透過元件的串聯、材料不同以及模塊間隙擺放方式，應該還會持續幾年的增長(圖 33)。



Worldwide Cumulative Solar Photovoltaics Capacity has exceeded 1 TW and is today's strongest grower of all energy generation technologies.



Global solar capacity additions may have been well over 200 GW in 2022, says BNEF. ~70% is utility-scale, according to IEA and its total capacity could be as high as 2.7 TW by 2026 according to Solar Power Europe.



The global weighted average LCOE of utility-scale PV plants declined by 88% between 2010 and 2021 and is now below 50 €/MWh. Together with wind power, they have become the cheapest sources of power generation.

圖 34 增長最快的領域-太陽能

彭博新能源財經(BNEF)表示在 2022 年全球新增的太陽能光電容量超過 200 GW，其中 70%是屬於公共事業等級，而歐洲太陽能產業協會預估在 2026 年全球太陽能光電容量將達到 2.7TW。全球公共事業等級的太陽能發電廠的均化能源成本 (Levelized Cost Of Energy, LCOE)在 2021 年較 2010 年降低了 88%，太陽能再搭配風力發電，已成為最便宜的發電來源之一。太陽能發電一直是所有能源發電技術中最強勁的成長者，有賴於成本的下降、政府的支持及公眾的意識提高這些優勢，將使太陽能發電容量不斷成長(圖 34)。

1. Be competitive when bidding for new PV plants



2. Improve Operational Performance of existing PV fleet



3. Tackle Land scarcity



4. Anticipate Sustainability issues

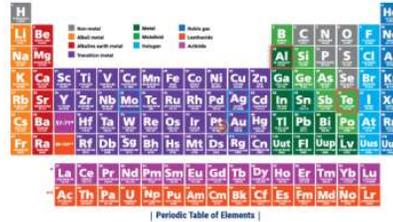


圖 35 因應未來的挑戰

ENGIE 將不斷透過研發持續保持競爭優勢，並處理以下 4 項未來的挑戰(圖 35):

1. 在太陽能光電標案具有競爭力：持續研發提升太陽能效率及降低成本的技術，例如：太陽能板具備機器人自動清洗功能、屋頂型太陽能板具備電壓電流曲線 (IV curve) 自動追蹤功能、具備動態光線調整的高效率太陽光電元件(效率 30%) 及重量輕的太陽能板。
2. 改善現有太陽能光電廠的運營績效：藉由各個次系統的運作資訊、系統效能資訊、洩漏電流、現場實際的回饋等運轉及維護資訊，建置太陽能廠的資產管理系統，可進行各項分析及預防診斷等，以提升太陽能光電廠的運營績效。
3. 解決土地稀缺問題：主要著重在離岸漂浮式太陽能系統的技術。第一個離岸示範案場已在 2023 年夏天於比利時建置，ENGIE 公司負責該案場監控系統之安裝及竣工加入測試工作。
4. 預測可持續性問題：積極主動地識別和瞭解與可持續性相關的潛在問題或挑戰，例如針對未來材料稀缺之風險，可採用提高太陽能和模組的效率，或回收再利用汰除太陽能模組來因應。

小結:

台灣近年積極發展再生能源，其中太陽光電為主力，但受限於台灣地狹人稠土地不足等問題，可考慮以下幾個方向:

1. 多元化太陽能技術投資：由於目前太陽能技術仍在快速發展，又必要關注太陽能領域新技術的研發，例如串聯元件和鈣鈦礦太陽能元件。這將有助於提高發電效率，降低成本。
2. 土地稀缺問題：台灣是一個地小人稠的地區，土地資源相對有限，離岸漂浮太陽能平台應是重要選項，但對於離岸漂浮太陽能平台，仍需要在技術上克服海浪等挑戰。
3. 太陽能光電廠運營績效：本所能源研究室、高壓研究室及資通研究室正進行太陽能光電廠預測性維護及影像健診等相關研究，可評估是否與 ENGIE 進行交流或合作。
4. 可持續性問題：本所能源研究室有進行太陽能回收再利用之相關研究，可針對此主題，評估是否與 ENGIE 進行交流或合作。

(八) Electrolyzer Performance Modeling and Simulation [7]

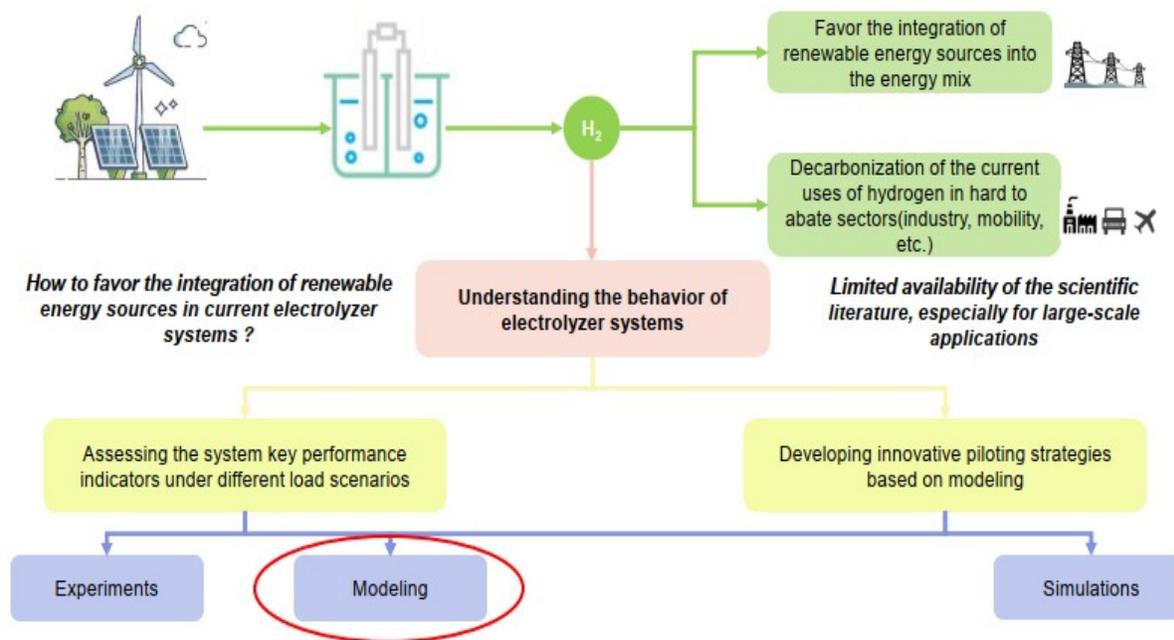


圖 36 背景與目標

本篇為電解槽性能模擬與建模，由法國能源 ENGIE 公司內 Lab CRIGEN 研究室的模型建置工程師進行簡報。氫能在能源轉型中扮演了一個不可或缺的角色，可作為化石燃料的潔淨能源替代方案。而電解製氫目前面臨一些挑戰，如何透過設計相關的營運策略來最佳化其效率變得相當重要。此外，由於間歇性再生能源的變動性，將影響電解槽的性能，也須深入進行研究。因此，利用 Dymola(動態建模實驗室軟體)來建製模型、評估電解槽的性能，在不同負載情況下系統的關鍵績效指標 (KPI)，評估間歇性再生能源的影響，並進行整體測試。目前，幾乎沒有文獻可以解決這類型的問題，系統模型較少，尤其是在大規模的應用(圖 36)。

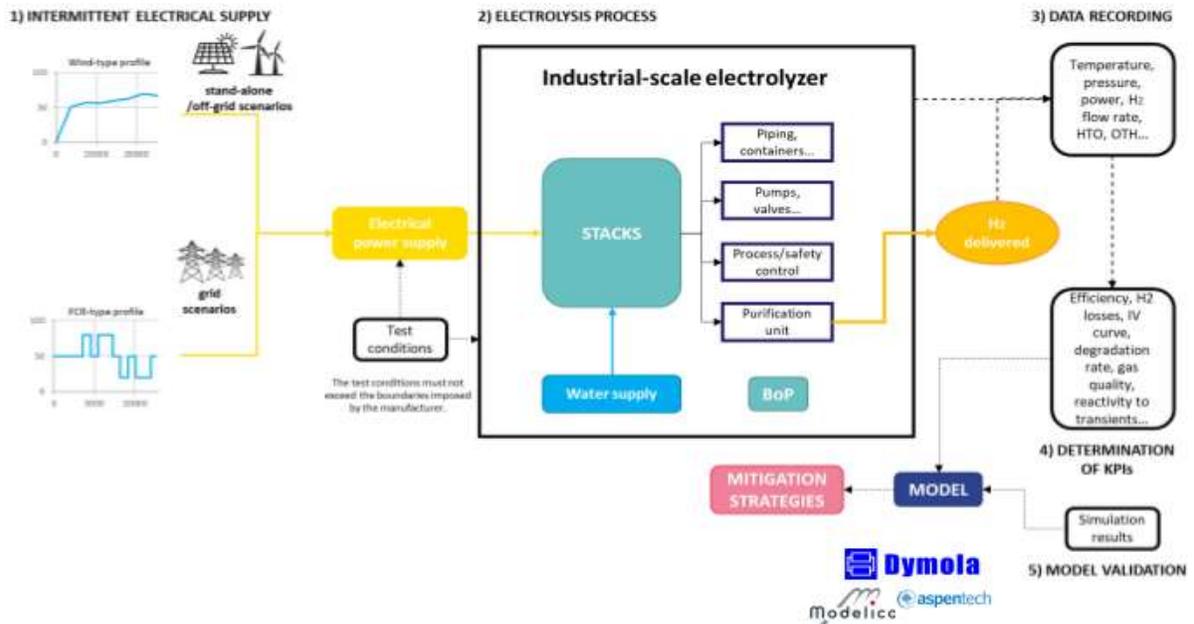


圖 37 整體系統架構圖

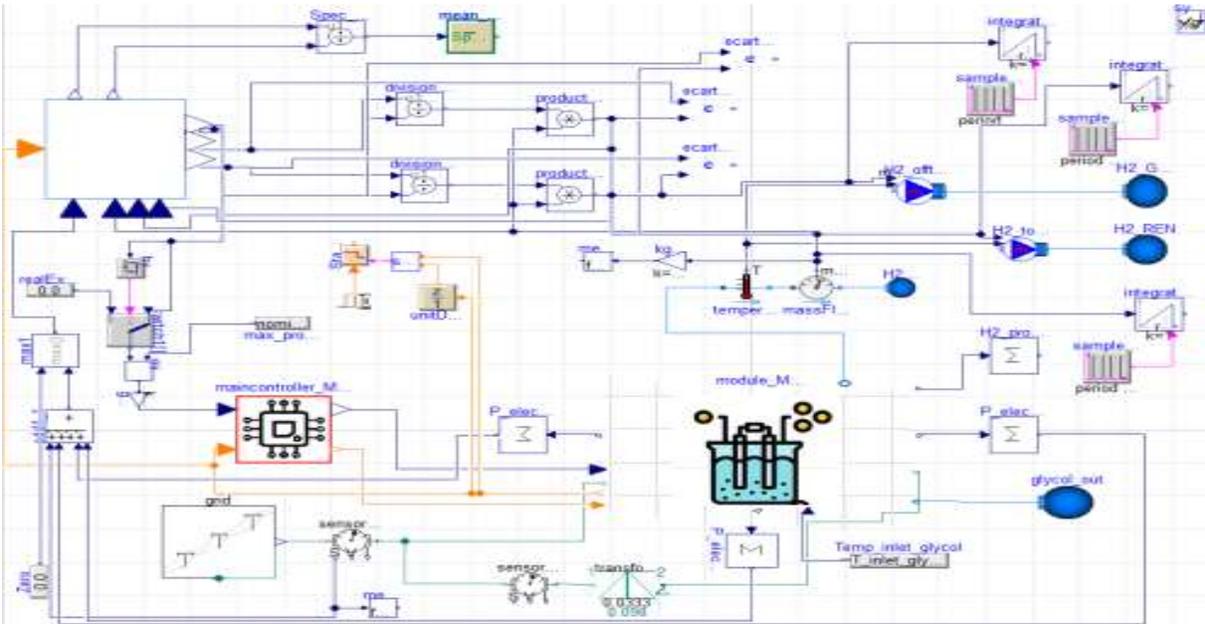
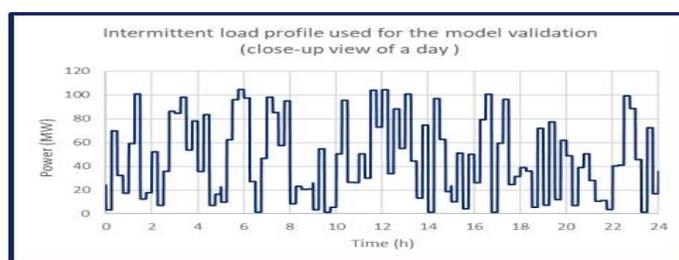


圖 38 半經驗模型電解槽

該實驗室已經開發了一個半經驗模型的電解槽系統，整合了不同的控制策略來建置，模型結合了電化學、熱平衡及質量守恆的模式，也整合所有不同的相關現象，從而了解整個電解槽的行為，也考慮到操作期間電解堆性能下降的情況(圖 37、圖 38)。



Key performance indicator	Unit	Value
Mean stack temperature	°C	74.9
Mean site specific consumption	kWh/kgH ₂	53.6
Site operating time	h	7774
Overall load factor	%	52.8
Total H ₂ production	ton	7892
Mean power consumption	MW	50.7

Key performance indicators over the one-year period

圖 39 模擬結果與結論

為了評估模型的性能，使用了 1 年期的太陽能 and 風能組合的間歇性負載，來模擬加壓鹼性電解槽，所獲得出的關鍵績效指標(平均電解槽堆溫度、電解槽平均能耗、電解槽系統運行時間、總負載率、氫總產量、平均功率消耗)，與製造商的基準規格具有良好的一致性(圖 39)，運行中的電解槽行為特性方程式在多個實驗中於參數上也有進行校正，該模型能夠適應其他系統並用於其他應用。即使缺乏相似的模型可以做為比較，所得到的結果也具有參考性。

未來將創造一個資料庫，收集長期模擬間歇性再生能源對電解製氫操作的影響，測試相關先進的操作策略，同時評估運作期間性能的下降。該模型規劃被複製並應用於 ENGIE 集團使用的其他工業電解製氫器。

小結:

目前電解產氫的技術包含鹼性電解、質子交換膜電解、固態汽化電解，該篇所使用的鹼性電解發展性十分成熟，已應用在大規模工業上，為大型產氫主要的方式，但在低載運轉時內部氣體雜質較高，當雜質達到上限時會處於安全緊急狀態。另外，間歇性再生能源的波動性也會影響電解堆和其他零件的壽命，在電解槽的溫度反覆變化下同時影響品質，在停止運轉時會產生反向的電流，導致較大的電位變化，也會影響性能，因此在電壓、電流、電解槽溫度、氣體壓力、氣體純度、所產生氣體

這些因素下皆有影響，並且電解槽有最低運轉功率，若低於最低運轉功率，須停止製氫，在停止期間再生能源就無法使用，將大大降低整體能源的利用率。因此，利用建置模型來分析間歇性再生能源對電解槽的影響，預期可大幅減少實際運行時會碰的問題，因此有以下建議：

1. 持續電解製氫技術研究：由於氫能在能源轉型中扮演關鍵角色，本所化環研究室也進行電解製氫技術相關研究，可評估是否與 ENGIE 進行交流或合作。另，電解技術與再生能源及電網搭配之研究部分，本所高壓研究室係採用 RTDS 建模分析與化環研究室合作，後續也可評估是否與 ENGIE 進行交流或合作。
2. 建立氫能資料庫：本篇所提未來將建立一個資料庫，收集長期模擬間歇性再生能源對電解製氫操作的影響。台灣可評估建立類似的資料庫，收集並分享氫能相關的運行數據和性能信息，這對氫能產業的發展和技術提升將有所助益。
3. 適應其他系統和應用：本篇提到的模型具有適應其他系統和應用的能力，台灣可進一步評估後續如何推廣。

(九) Investigation of green hydrogen production with using geothermal energy and potential hydrogen demand in Kumamoto prefecture [8]

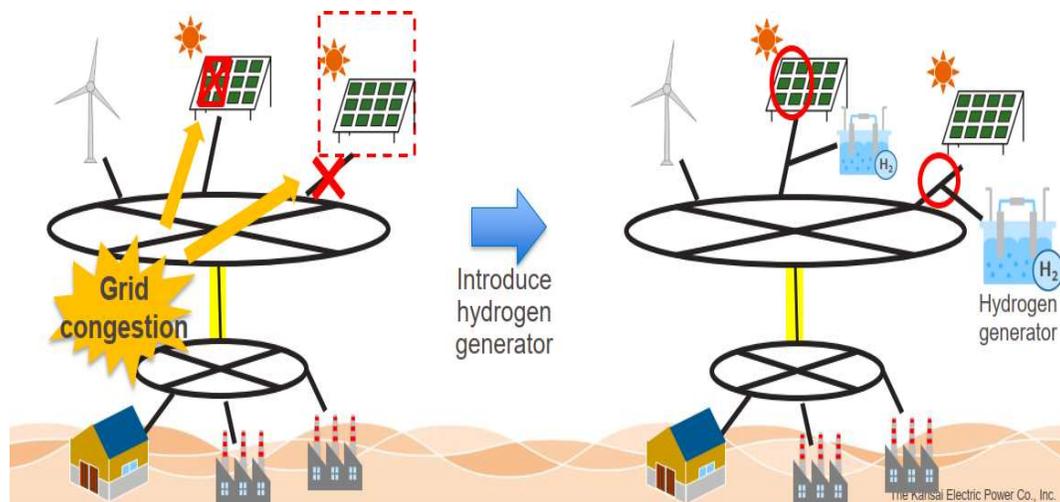


圖 40 潛在氫氣需求調查背景

本篇是熊本縣地熱能綠氫生產與潛在氫氣需求調查，由日本關西電力(KEPCO)的工程師來簡報分享。

研究背景說明(圖 40):

1. 電網容量是決定是否可導入再生能源的重要因素。
2. 如果某地具有巨大的再生能源潛力，但也需有足夠的電網容量來搭配，否則再生能源無法導入，或必須減少再生能源容量。
3. 解決電網壅塞的一種方法是建設新的電網設施，但建設成本也非常高。
4. 另一種解決方案是將再生能源轉換為氫能。也就是將未開發的再生能源轉化為氫能，再將氫能運輸並運用在位於遠處的發電廠。
5. 因此本案將進行運用未開發區域的再生能源轉換為氫能研究。

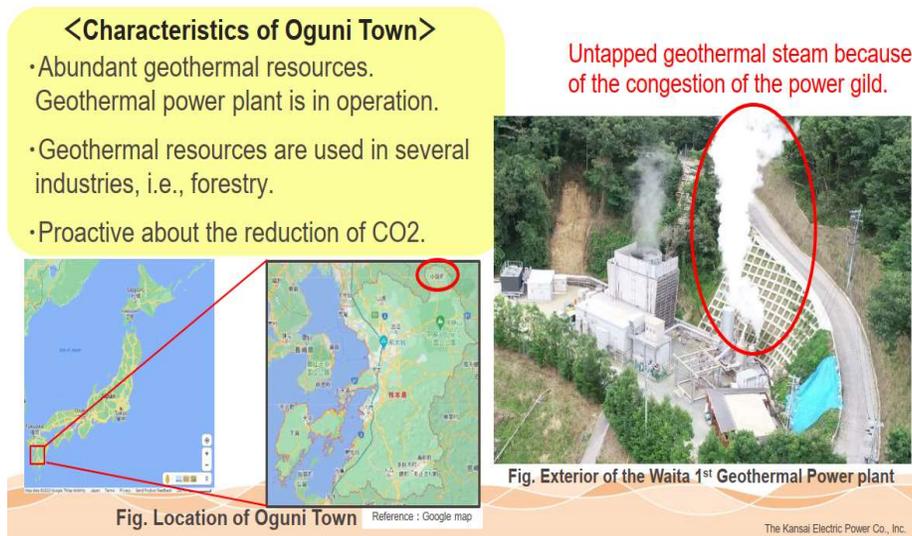


圖 41 小國町豐富的地熱能資源

經由這些背景挑選熊本縣內的小國町。該地擁有豐富的地熱能資源，這裡有一個持續建造的 Waita 地熱發電廠，但由於電網壅塞的情況尚存在未開發的地熱能，因此研究使用這種未開發的地熱來製造氫氣的生產成本，如果能夠以低成本製造氫氣，就可以運輸到其他地方再使用，這項研究得到了日本新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)的支持(圖 41)。

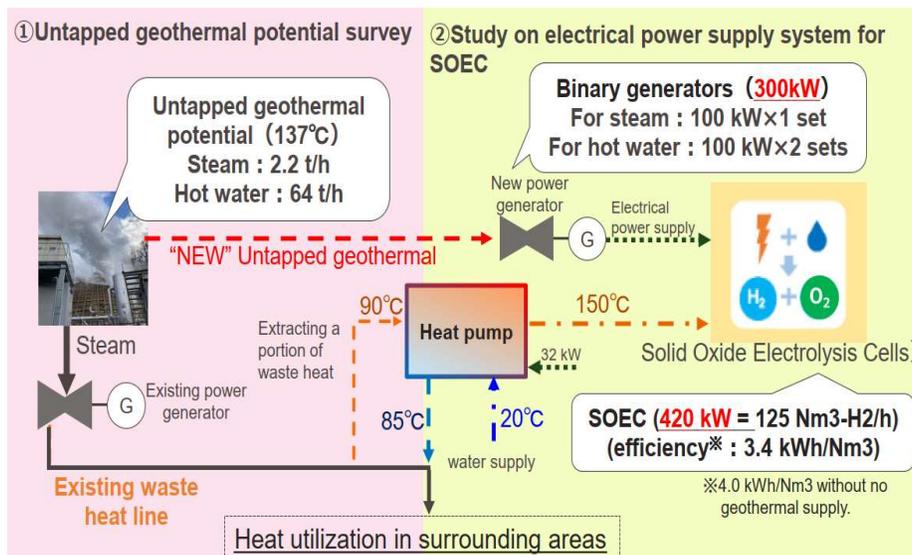


圖 42 未開發的地熱能可用量調查

對未開發的地熱能可用量進行調查，結果顯示未開發的地熱能溫度為 137 度，每小時蒸汽產量為 2.2 噸，每小時熱水產量為 64 噸。接著進行氫氣生產過程評估，

未開發的地熱能被引入 1 台蒸氣發電機及 2 台熱水發電機，合計發電量 300kW 提供給固態氧化物電解法(Solid Oxide Electrolyzer Cell, SOEC)。在用於發電後，蒸汽以熱水的形式排放，成為周圍地區的熱源。同時利用現有生產線中的廢熱水進行加熱至攝氏 150 度提供給 SOEC，可產生每小時 2.3 公斤的氫氣，每年可產生約 20.148 噸。然而，SOEC 的運行需要 555kW 的電力，而從未開發的地熱能獲取的電力被限制為 300kW，因此還需要從電網供應 255kW(圖 42)。

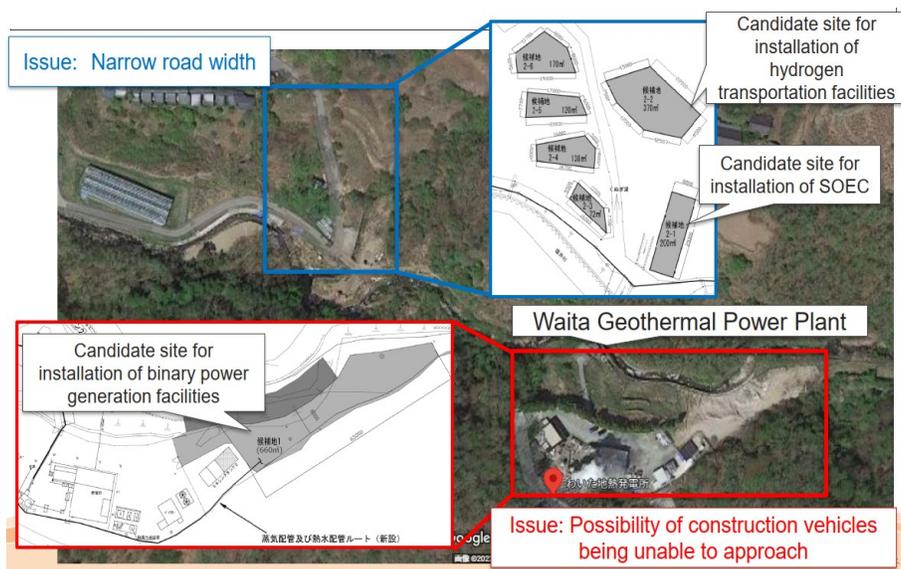


圖 43 設備布局

雖然未開發地熱能產生的功率與運行 SOEC 所需的功率之間存在差異，但已進行了對未開發的地熱能中獲取的效率和氫氣生產成本的計算。還對設備布局進行了研究，設備包括壓縮機、儲罐和運輸用的氣瓶。這些設備安裝所需的預估面積約為 600 平方米。但山區的空間有限，儘管這些設施的安裝本身似乎是可行的，但另一個問題也出現了，狹窄的道路可能會阻礙建設車輛進入這個地點，為了解決這個問題，有必要考慮在發電廠附近尋找較寬敞的土地續進行發展(圖 43)。

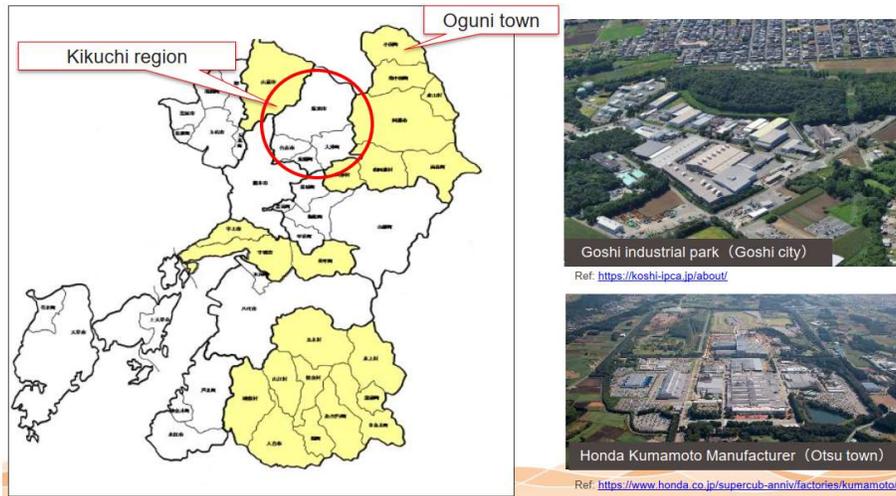


圖 44 小國町周圍潛在氫氣需求調查

接下來對小國町周圍潛在氫氣需求的調查結果，聚焦於位於小國町附近的菊池地區。在菊池地區，製造業一直繁榮，如圖片所示，像台積電這樣的許多半導體行業都在菊池地區建立新工廠，因此也預期在半導體製造過程中對氫氣的需求(圖 44)。

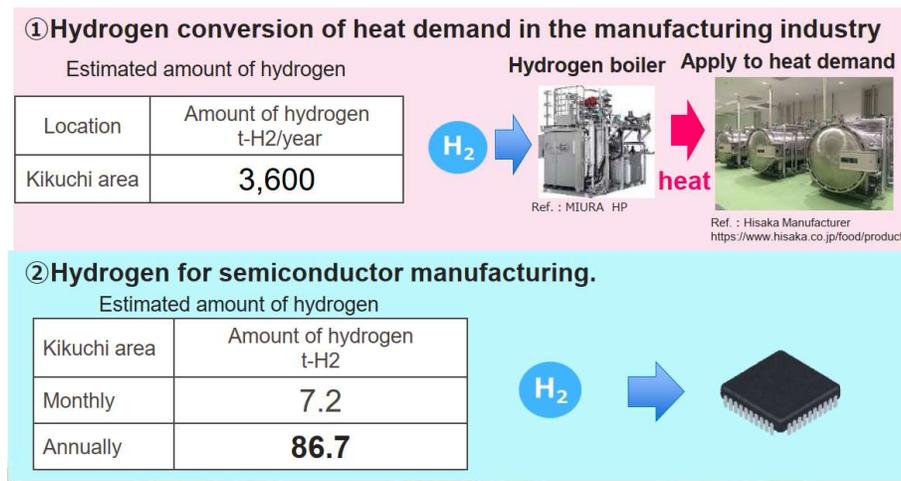


圖 45 估算半導體製造的氫氣需求

製造業熱能對氫氣需求估計為每年 3600 噸，而半導體製造的氫氣需求為每年 86.7 噸(圖 45)。

經由上述調查及潛在製造業對氫氣需求估算的結論如下：

1. 經評估在熊本縣的小田町以未開發的地熱能來產製綠氫氣為可行，且有充足的潛在氫氣需求客戶。

2. 下一步將評估運輸成本及精算產製氫氣的成本。
3. 經成本比較，針對未來再生能源加速布建的作法，規劃採用將多餘電力轉換為氫氣，而非採用加強電力網方式。

小結:

針對台灣地熱資源，可進行以下評估:

1. 地熱能資源的充分利用：搭配台灣對地熱的調查及評估未開發的潛在量和成本，進行後續計畫。
2. 地熱能轉換：地熱能除發電併入電網，另針對電網壅塞地區，可考慮將多餘的可再生能源轉換為綠氫以利後續運用。
3. 氫氣需求的調查：當然各地及各產業對氫氣需求的調查也是必要的課題，以利整體資源運用。
4. 技術評估：進行相關技術評估，例如：固態氧化物電解法（SOEC）進行氫氣生產的技術。
5. 協同合作：各級政府、產業及學術界的合作，以共同推動氫能源領域的發展運用，包括政策、技術、需求及基礎設施等。

(十) Disruptive Technologies in the 2030s (TF2023) [9]

該主題為 2030 年的技術前瞻，其目的在確定 2030 年電力產業實際應用的新興創新技術，簡報者為 Frost & Sullivan 資深顧問總監。該公司主要評估具有顛覆性潛力且對電力產業有重大影響且可行的技術。先提出 193 項技術，再從中篩選出 100 項技術入圍，最後由 IERE 成員提出意見進行深入研究後，確定了具有高影響力的前 20 名技術，之後提出詳細的報告，但報告只對 IERE 的會員開放。

Shortlist of 100 Technologies Across the Six Categories

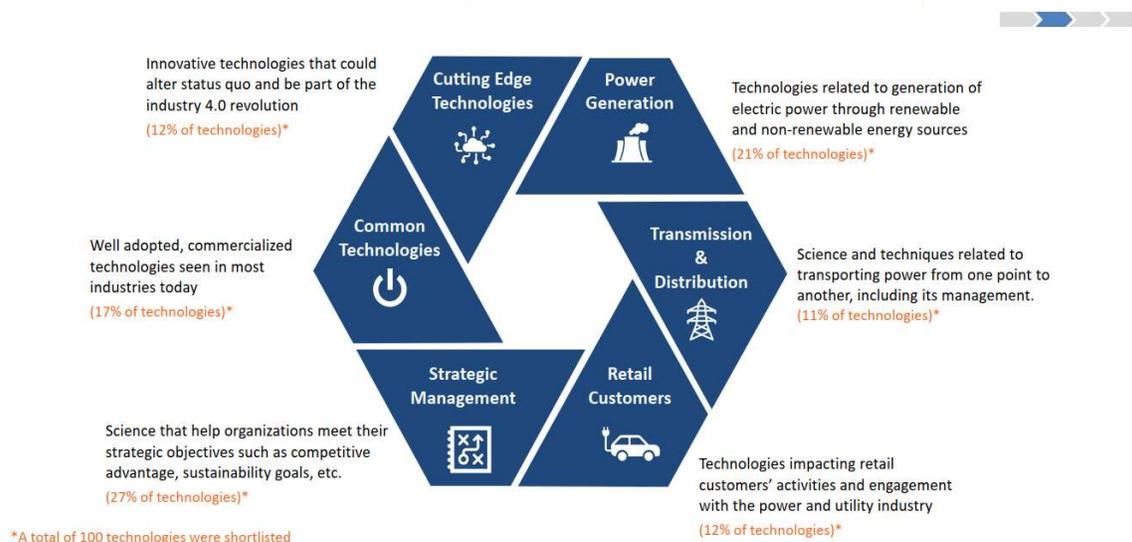


圖 46 6 個主要類別的 100 項入圍技術

這 100 項入圍的技術包含 6 個主要類別(圖 46):

1. 發電:電力產業的起源，再生和不可再生能源產生的技術占 21%。
2. 輸配電:將電力輸送相關的技術及管理占 11%。
3. 零售客戶:影響零售客戶活動以及客戶與電力和公用事業互動的技術占 12%。
4. 管理策略:幫助組織實現策略目標，如競爭優勢、永續發展目標占 27%。
5. 一般技術:多數行業中，已經被廣泛採用和商業化的技術占 17%。
6. 尖端技術:可以改變現狀並成為工業 4.0 革命一部分的創新技術占 12%。

The Selected Top 20 Technologies

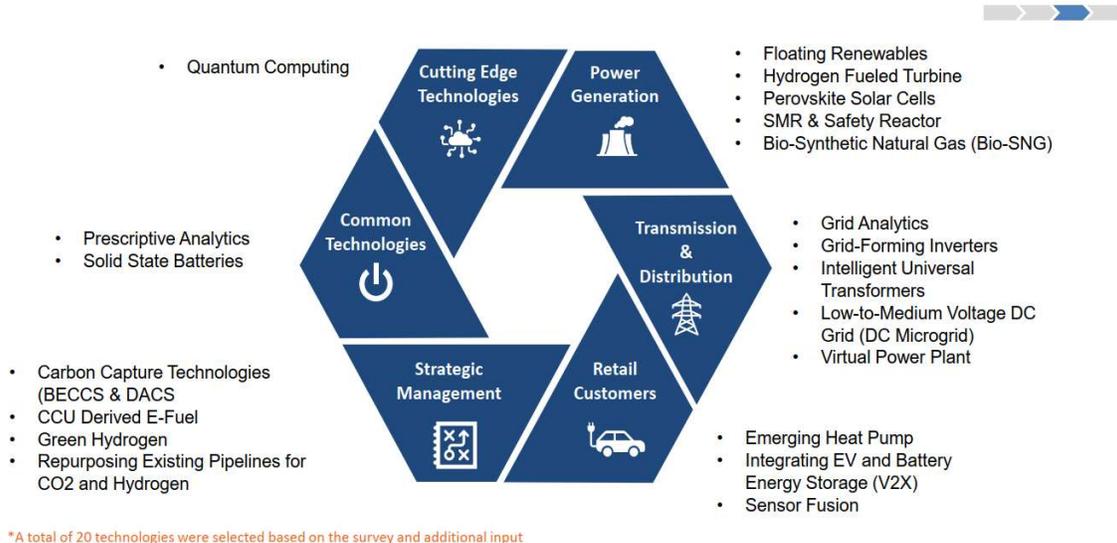


圖 47 高影響力的前 20 名技術

具最高影響力的前 20 名技術(圖 47):

1. 浮動再生能源:浮動再生能源利用海上和內陸水域來擴充土地使用限制，提供不間斷的能源。這項技術特別適合土地寶貴的國家或城市。
2. 氫渦輪機:氫渦輪機提供了一種清潔能源的發電替代方案，利用氫氣作為燃料，燃燒時僅排放水蒸氣。該技術適用於尖載和基載發電。
3. 鈣鈦礦太陽能元件:與傳統矽基太陽能元件相比，鈣鈦礦元件具有更高的效率和更低的製造成本，正在徹底改變太陽能發電。在外形和應用方面也更加通用。
4. 小型核反應爐和安全核反應爐:小型核反應爐(SMR)提供了一種更安全、更可擴展的核能方法。先進安全和模組化結構可實現更快的部署和更輕鬆的可擴充性。
5. 生物合成天然氣:利用生物原料合成製成的天然氣技術。該技術提供了化石天然氣的可再生替代品，應用範圍從供暖到供電。
6. 電網分析:採用先進的演算法和大數據技術來優化電網營運、改善故障檢測並提高能源效率，使電網更加智慧及可靠。
7. 電網形成逆變器:透過模仿傳統發電機的特性，使再生能源能夠有效地融入電網，

從而提高電網的穩定性和可靠性。

8. 智慧型通用變壓器:透過動態調整電壓等級來優化能源分配，從而提高電網效率並實現多種能源的整合。
9. 直流微電網:與傳統交流電網相比，直流微電網改善能源效率，更容易整合再生能源。
10. 虛擬電廠:整合太陽能 and 電池儲能等分散式能源，如同單一的靈活發電廠運行，從而優化能源供應和需求。
11. 新興熱泵:先進的熱泵利用環境溫度，在供暖和製冷方面都提供高效率，明顯降低能量消耗。
12. 整合電動車和電池儲能(V2X):車聯網整合使電動車既可以從電網獲取能源，也可以向電網供應能源，從而增強電網穩定性並促進再生能源的使用。
13. 感測器整合:整合多種感測器的數據，建置更全面及更準確的數據匯集，改善系統監控和控制。
14. 碳捕捉技術-生質能與碳捕捉和封存(Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, BECCS)和直接空氣捕捉與封存(Direct Air Capture Storage, DACS): 此兩項二氧化碳捕捉及封存技術是緩解氣候變遷的前瞻技術。
15. 利用碳捕捉衍生的發電燃料:將捕捉的二氧化碳轉化為合成燃料，為各種應用提供可再生燃料選擇。
16. 綠氫:是利用再生能源製成的潔淨燃料，提供永續及多用性的能源載體來滿足各種應用需求，例如燃料電池及工業應用。
17. 重新利用現有的管道進行二氧化碳和氫氣運輸:該技術改造既有的化石燃料管道，用來運輸二氧化碳進行儲存或運輸氫氣於能源運用，以優化基礎設施的投資效益。

18. 更精準的預測性分析:該分析超越了預測分析，為處理未來潛在場景的方法提供具體建議，優化營運效率。
19. 固態電池:與液態電池相比，固態電池具有更高的能量密度和更高的安全特性，成為電動車等應用的理想選擇。
20. 量子計算:利用量子力學以遠快於一般電腦的速度執行複雜計算，有望在各種科學和商業應用中取得突破。

小結:

1. 未來必須有能力來滿足指數級增長的電力需求：包括電氣化、電動車、大數據、區塊鏈及人工智慧等用電需求。
2. 加速再生能源和分散式能源的整合：由於去碳、低碳及無碳的趨勢，必須加速推動再生能源和分散式能源。
3. 升級基礎能源設施，使電網更加智慧，產生有價值的數據並可遠端操作，使電網變得更安全、更有效率。
4. 投資有助於減少碳足跡的技術：不僅遵守法規，還可以贏得消費者的好感，甚至獲得正面的回報。
5. 以上都是台灣未來可參考進行的重要關鍵技術。

(十一) Development of innovative and environment-friendly solutions for the treatment and recycling of components in the transition to net-zero [10]



圖 48 能源研究所-能源系統、電網系統、城市解決方案

本篇為邁向淨零排放而開發創新及環保的零件處理及回收解決方案，簡報者為新加坡南洋理工大學能源研究所主管，主要著重在三個地方：能源系統、電網系統、城市解決方案。大約五年前，開始了一項廢棄物回收計畫，其中一個關鍵項目是將電池研究與循環經濟連結起來(圖 48)。

生態校園：

透過以下技術達到降低 35% 資源、廢棄物及二氧化碳，相關技術包括：建築物外牆、熱帶空調、智慧照明、能源資料分析、永續城市交通、水及廢棄物的降低及再利用、分散式發電、智慧電網、再生能源、消費者行為等。

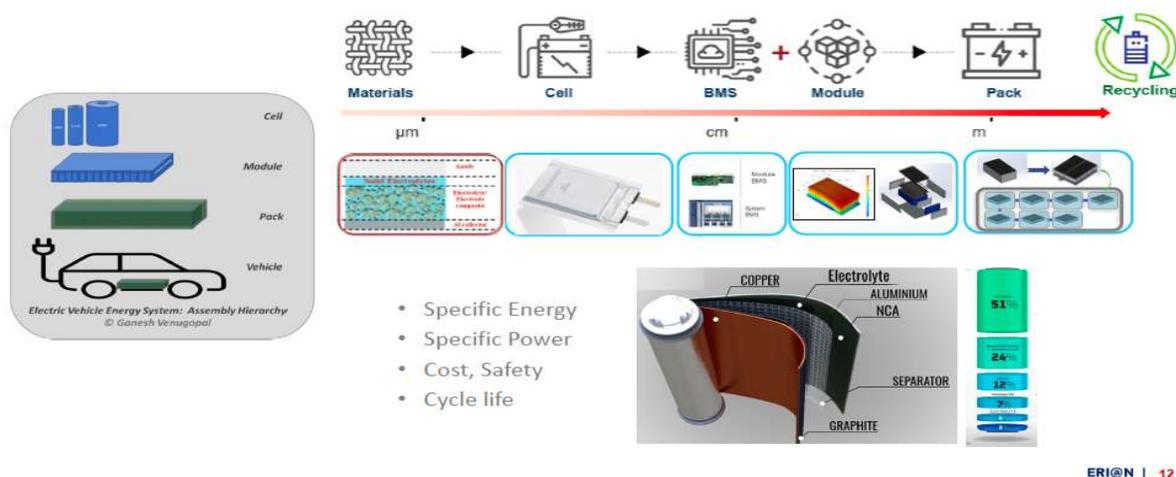


圖 49 從材料到系統

從基礎材料開始，在小型電池中測試所有這些材料，並與產業合作夥伴 Dura Power 一起製造更大的電池，進行電池管理系統(Battery Management System, BMS)大規模的研究，並測試相關應用。與 Dura Power 合作，將實驗室中開發的電池，由 Dura Power 放入電池模組中，在汽車上進行測試效能，測試有效的技術將會投入商業化生產。同時著重研究與電網整合及對電網的幫助。

電池回收目前也正在進行的事情，但尚未取得重大進展。正在研究下一代電池，其中最有趣的是多元化電池，它們是基於鋅的電池，使用水性電解質。在實驗室中表現得很好，在循環次數方面相當優秀，因水性的電解質具有安全不易燃燒的特性，且成本低廉，唯一缺點就是能量密度不夠高，所以目前無法使用在汽車和手機這樣的設備，但目標是先建造少於一千瓦小時、如冰箱大小的儲能設備進行試驗(圖 49)。

在 2018 年啟動了 SCARES 計畫，最初用於太陽能板回收的技術，將其應用於電子廢料。最初，有四個領域：鋰離子電池的回收、太陽能板的回收，以及印刷電路板的回收，最後一個是電子廢棄物中的塑料回收。第一階段為期五年，由新加坡國家環境局提供 2000 萬資金支持，於 2022 年完成。目前放棄第四個領域，因為研

究經費因素以及電子廢棄物中存在太多的污染，使得塑料回收難度非常高。但其他三個領域仍在繼續，並預期獲得另外 2000 萬的資金支持，主要用於商業化和實際應用。

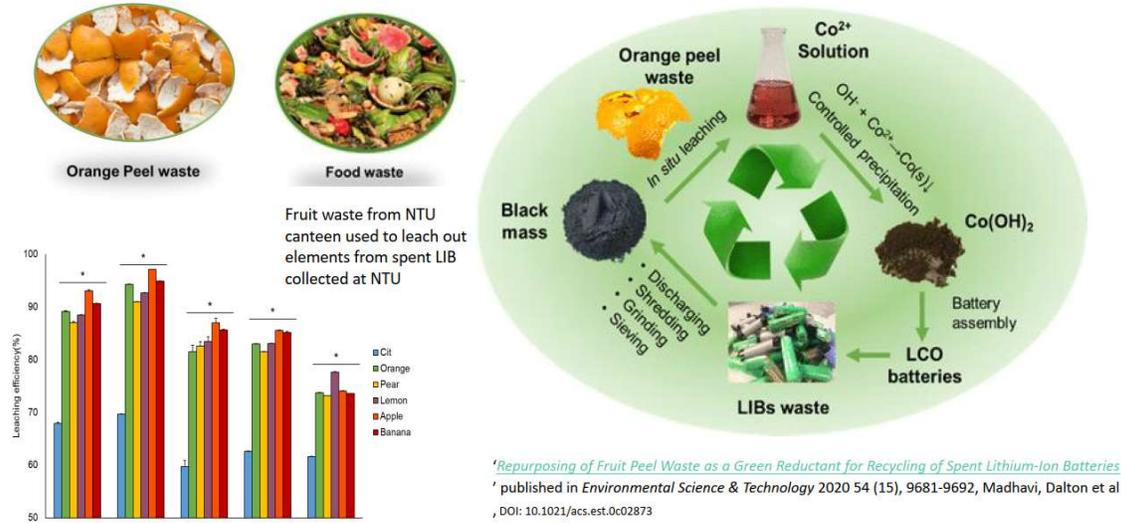


圖 50 處理電池廢料的方法

鋰離子電池回收是三個領域中最成功的項目，而且從商業上來看，它的潛力最大，可在早期實現盈利。但回收並不是一件完全環保，目前鋰提取的金屬解析法和水浸法兩種方法都不環保，因此目前正試著將提取鋰變得環保。嘗試從舊的電池中提取鋰，使用橙皮的效果相當好，主要是橙皮裡面所含的檸檬酸的效用(圖 50)。

目前已經使用回收的材料來製造電池，製造出的電池的性能與全新的電池相同。但面臨的問題是，經過一定數量的充放電週期後，性能會變差，而且在回收材料中還是有太多的污染物，後續還需要投入時間和不同方法將這些污染物去除。

小結:

新加坡南洋理工大學能源研究所，在電池研究上具有領先地位，但由於目前回收後獲得鋰的方式並不環保，也還在找方法解決，因此可以借鑒該所目前成果進行以下事項:

1. 投資電池回收技術：本所能源研究室已進行太陽能面板回收研究，後續可參考本篇報告所提橙皮提取鋰技術，評估是否進行鋰離子電池回收技術研究。
2. 多元化電池技術研究：本所化環研究室已進行多年電池技術研究，包括：鋅空氣及鋅金屬燃料電池研究，安全性高，但能量密度部分還待突破，可評估是否與新加坡南洋理工大學進行交流或合作。

(十二) Development of Energy Management System for Microgrid in

Chubu EPCO [11]

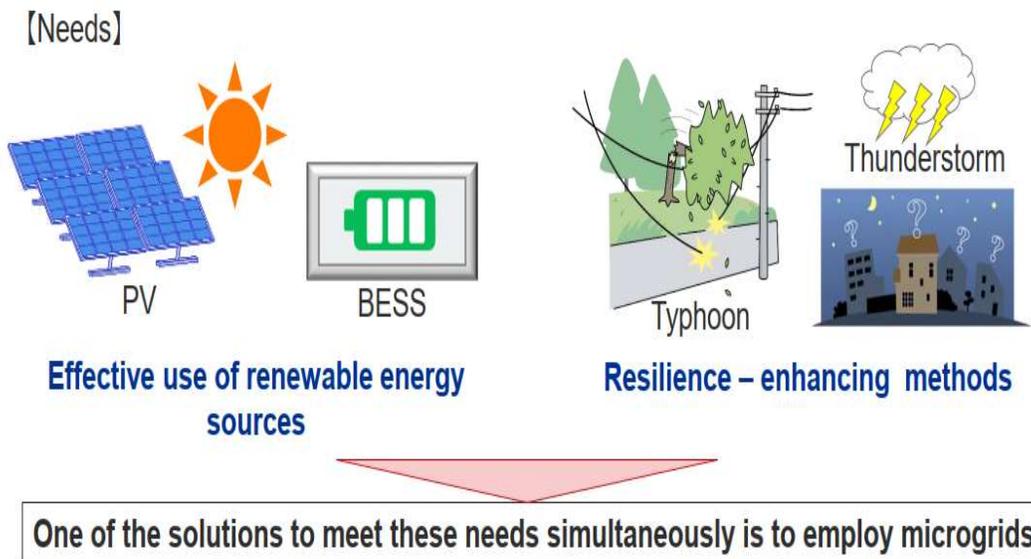


圖 51 微電網能源管理系統開發背景

Subcommittee on Building Sustainable Electricity Systems (2019.11)

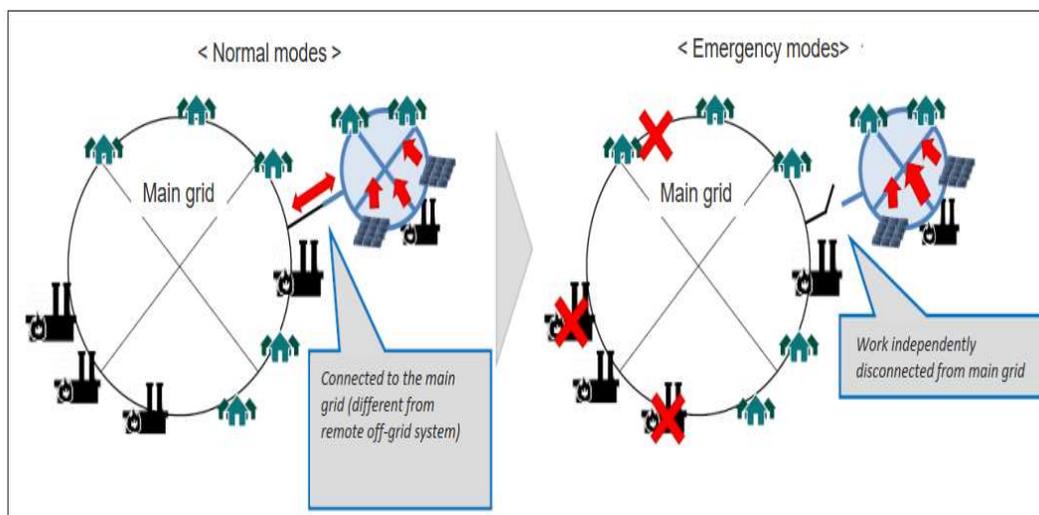


圖 52 微電網能源管理系統開發

本篇為微電網能源管理系統開發，簡報者為日本中部電力(Chubu EPCO)研發部工程師。為了實現低碳和循環經濟社會，全球需要有效利用太陽能發電、風力發電及電池儲能系統等分散式能源。此外，在颱風、暴雨、雷擊和地震引起的停電期間，

需要有更快速的從自然災害中快速復電的方法。解決這些需求的一種方法是實施微電網(圖 51)。在這項研究中，Chubu EPCO 將微電網定義為一個電網，通過使用當地分散式能源，可以在正常模式下向主電網供電。在災害和主電網出現問題期間，可以在緊急情況下供電。針對不同區域，微電網可以根據用電標準和運營目標進行調整。這個計劃是在易受供電影響的區域建立微電網，以提高其抵抗停電和風災等損害的能力。該地區有充足的太陽能，可達到 MW 等級的發電，以滿足當地的能源需求。此外，正在開發微電網能源管理系統(Microgrid Energy Management System, MGEMS)用以監測、預測發電量及用電需求，且透過加入 BESS(電池儲能系統)，為微電網提供更具彈性的調節能力(圖 52)。

該 MGEMS 藉由調控 BESS 達成以下 5 個目標(圖 52):

1. 透過微電網本身自給自足，盡可能最小化由配電網對微電網之供電。
2. 通過平衡市場套利，最大化再生能源擁有者的利潤。
3. 藉由參與頻率市場，最大化微電網操作者的利潤。
4. 在電網過載和過電壓時控制微電網併接點電力潮流，最小化對微電網設施的投資。
5. 利用 BESS 和再生能源，在緊急情況下仍確保微電網韌性。

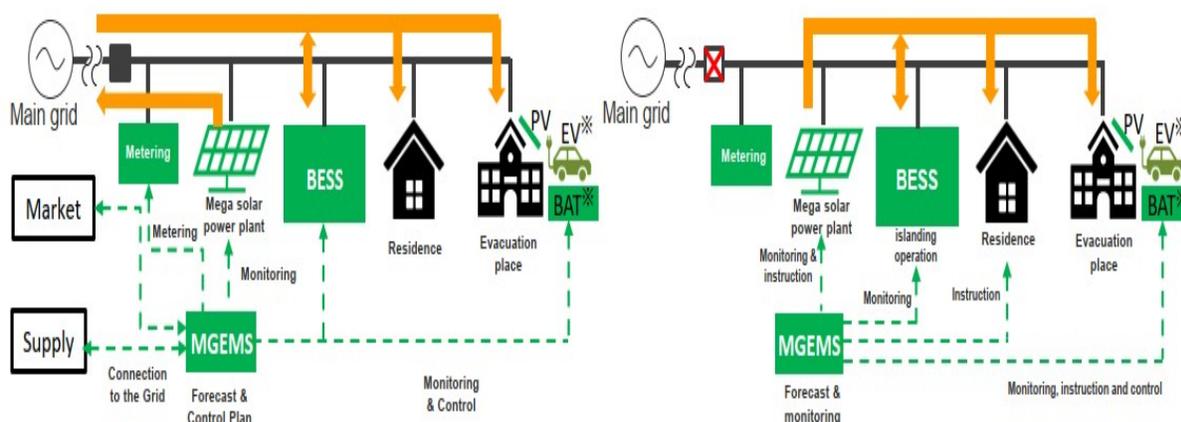


圖 53 MGEMS 的功能

MGEMS 會收集微電網內的各種設備和系統的數據，相關數據從太陽能發電廠、BESS、併接點、客戶端及監控設備取得，並可依據天氣預報預測再生能源發電和用電需求，進行 BESS 的操作和其他系統的資源控制。

在正常情況下，資源控制計劃是根據選擇不同的目標而進行計算。例如：MGEMS 會依電力系統運營商（TSO）的指令來調整電網併接點電力潮流，以緩解電力系統擁塞問題。

在緊急情況下，MGEMS 會藉由監控電網併接點的電壓和電流來檢測電網中斷，向 BESS 發送命令，啟動孤島運轉模式，進行微電網內部的供需調節，並在孤島運轉期間繼續監控微電網內的設備狀態，調整 BESS 的充放電，以確保微電網安全且長期的穩定孤島運轉。

在 MGEMS 運行計劃包含 5 個目標，即衍生出 5 種控制方式：

1. 微電網本身自給自足。
2. 最大化可再生能源運營商收益。
3. 提供調頻市場服務。
4. 災害準備。
5. 緊急情況下確保安全的孤島運轉。

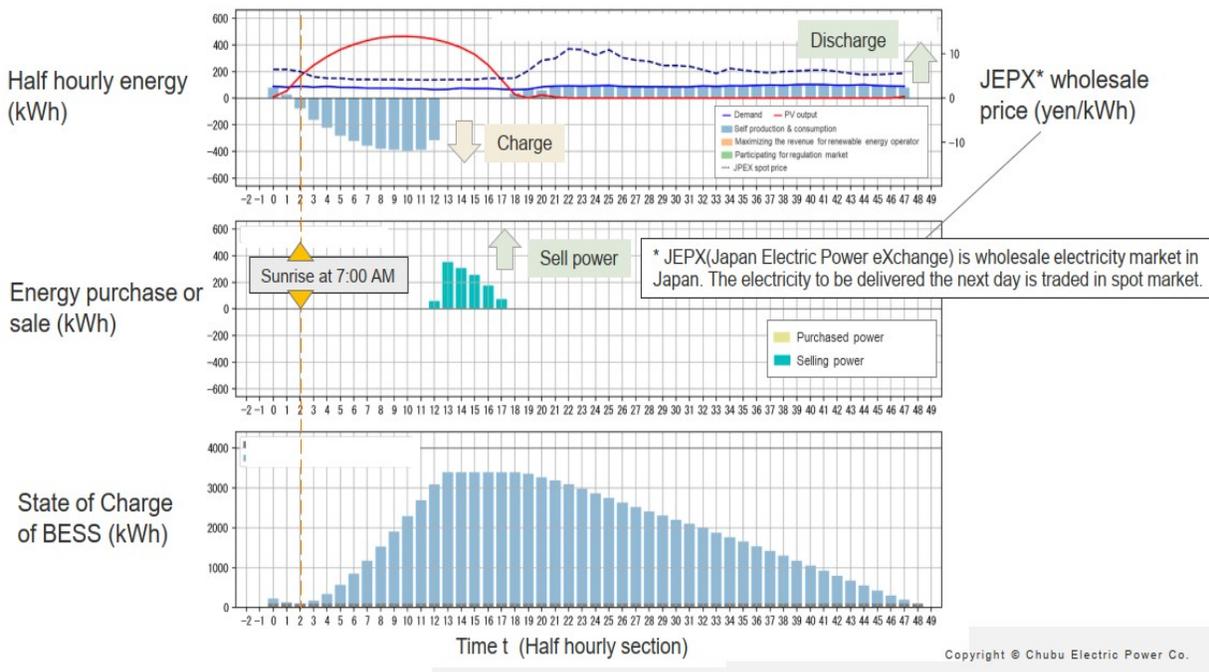


圖 54 MGEMS 第 1 種模式

第 1 種(微電網本身自給自足)下運作時，重點是最佳化從日出到隔天日出的 BESS 的充放電，紅線顯示微電網內的 PV 輸出，藍線顯示微電網的需求，虛線顯示電力市場價格，淺藍色柱狀顯示 BESS 的充放電。在 Energy purchase or sale(kWh)圖中，它顯示微電網通過併接點購買和出售的電量。在 State of Charge of BESS(kWh)圖中，顯示 BESS 的充電狀態。當白天太陽能發電超過需求時，BESS 進行充電。一旦充電至容量足夠，微電網開始售電。在太陽下山後，BESS 放電以滿足微電網內的電力供應需求，該目標促進了微電網自給自足，甚至有餘電可以出售給日本電力交易所(Japan Electric Power Exchange, JEPX)，最小化購電成本(圖 54)。

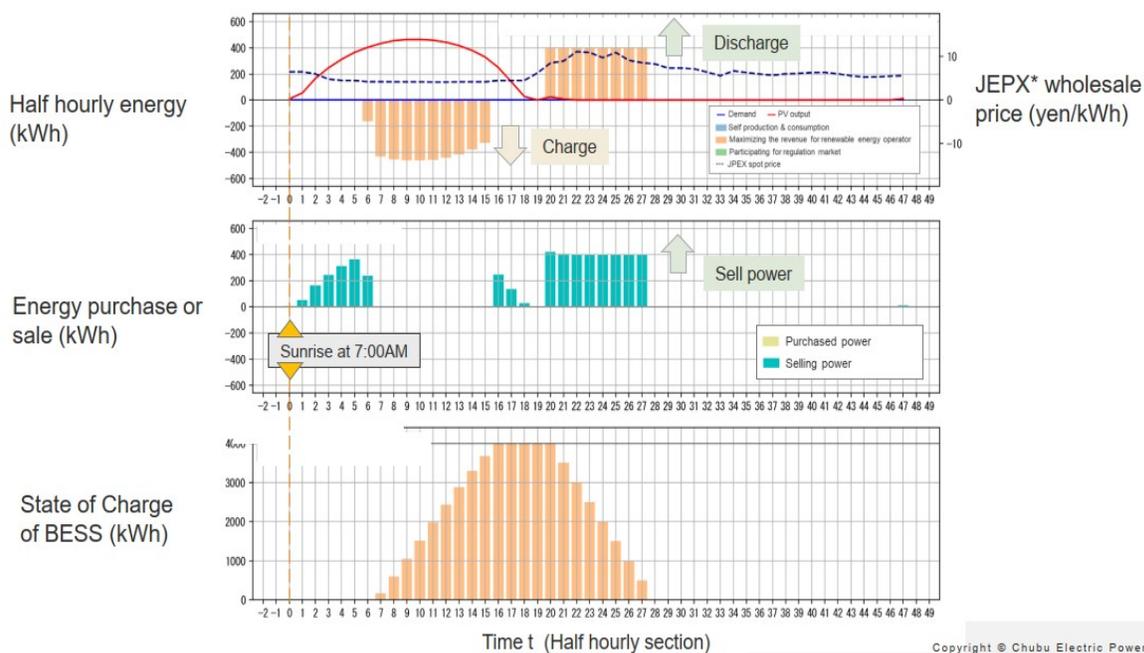


圖 55 MGEMS 第 2 種模式

在第 2 種(最大化可再生能源運營商收益)下運作時，目標是依據日本電力交易所價格和其他預測指標最佳化 BESS 的充放電計劃。BESS 依據交易所價格充放電，電價高時放電，電價下降時充電。當市場價格高時放電，這種模式的目標是最大化再生能源公司出售的電力價格(圖 55)。

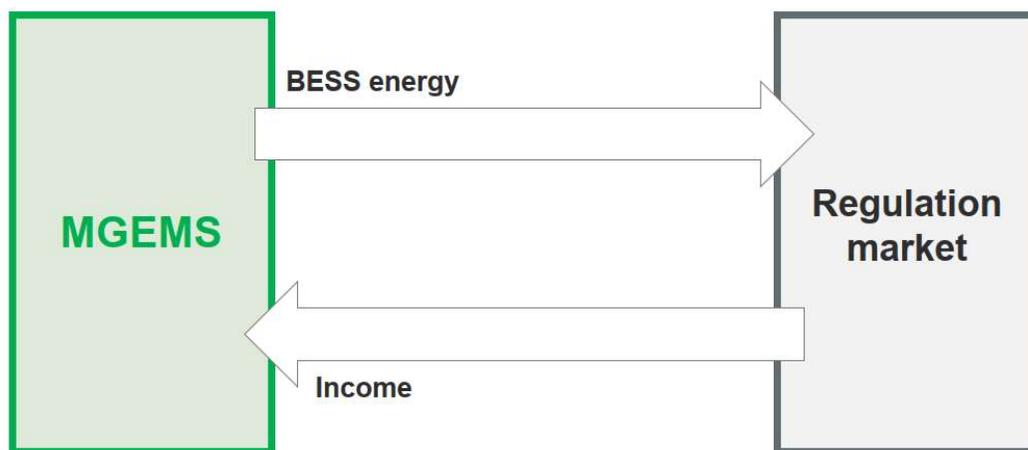


圖 56 MGEMS 第 3 種模式

在第 3 種(提供調頻市場服務)下運作時，BESS 向調頻市場提供的充放電量是依

據微電網內的需求和 PV 輸出預測來確定；如果與市場簽約，BESS 則是根據電力系統運營商指示 MGEMS 進行充放電，目的皆是最大化微電網運營商從調頻市場獲得的收益(圖 56)。

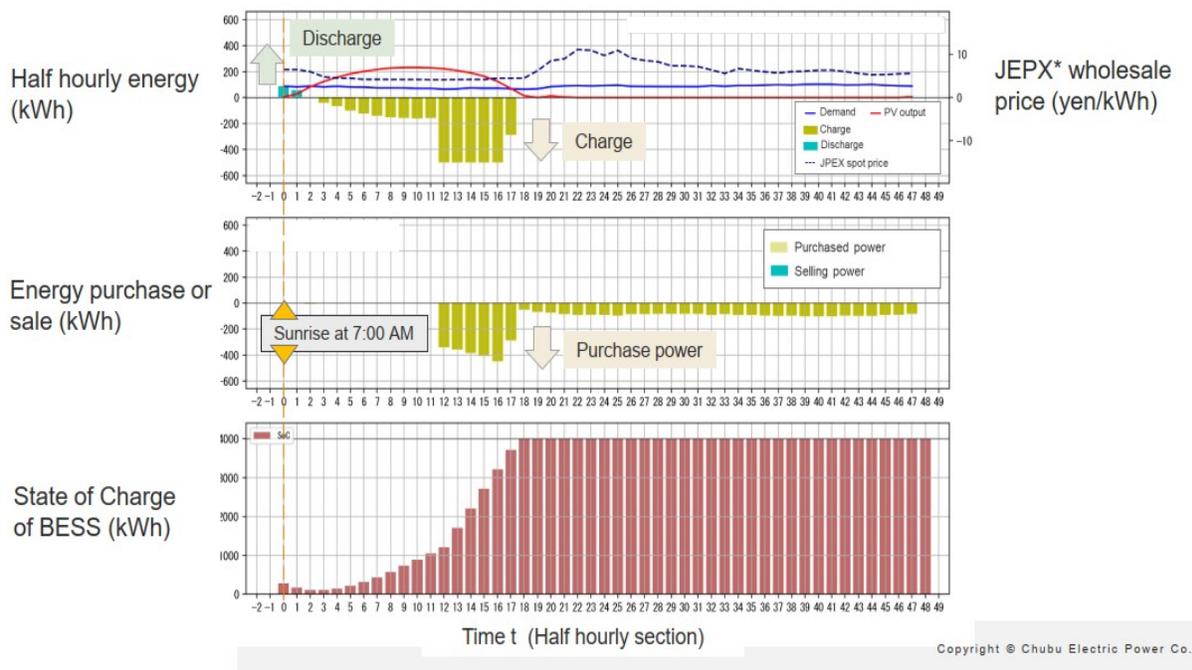


圖 57 MGEMS 第 4 種模式

在第 4 種(災害準備)下運作時，如果預期會發生停電，比如颱風即將來襲，則事先對儲能電池進行充電，針對可能的災害預作準備。圖表中顯示的 1 點到 3 點半的時段，儲能電池盡可能由多餘的 PV 輸出或從主電網購電充電至最滿容量(圖 57)。

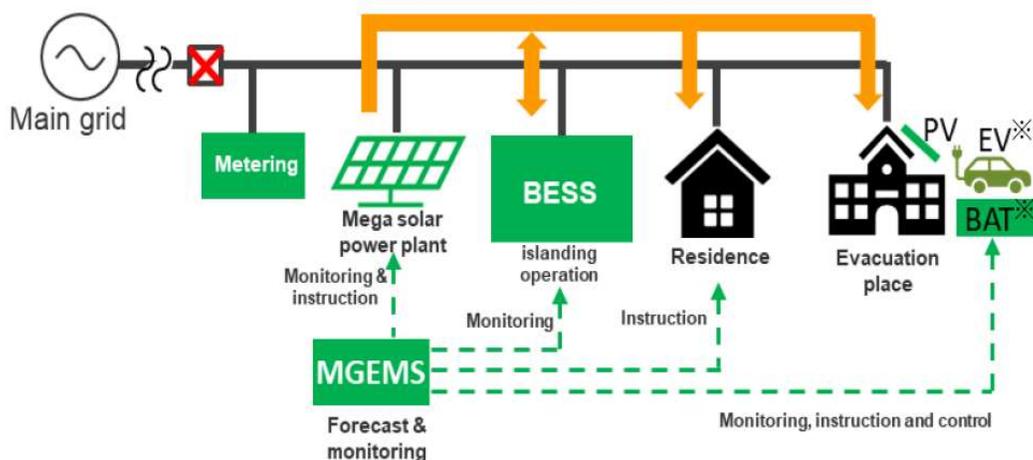


圖 58 MGEMS 第 5 種模式

在第 5 種(緊急情況下確保安全的孤島運轉)下運作時，微電網的供給將由具有 CVCF 功能（定電壓定頻率功能，等同於電網形成模式）的儲能電池進行調節；如果有需要，將對大型太陽能發電廠發出適當的限制輸出指令，同時鼓勵居民在必要時節約用電，目的皆是要確保緊急情況下的供電韌性(圖 58)。

由以上可看出：

1. 該研究中，開發的微電網能源管理系統（MGEMS）經模擬驗證在正常和緊急狀況下的有效性。
2. 微電網及 MGEMS 尚在開發中，為充分發揮儲能電池的能力，將同時實現多種模式的組合，計劃在完成相關測試和評估後，預計於 2025 年 3 月投入運營。

小結：

此次會議本所分享的微電網整合及應用，與日本中部電力最終目標是相同的，皆在開發微電網控制器，本所目前在開發微電網控制器上依循 IEEE2030.8 進行研究中，已有初步成果，未來微電網驗證測試場域期望帶領台灣朝國際趨勢發展。可參考本篇進行以下事項：

1. 參與電力市場：參與電力市場，最大化本所的收益，包括：考慮負載需求、用電預測、再生能源發電預測、儲能充放電計劃、價格等，最大化微電網的利潤。
2. 提升孤島運轉能力：考慮強化抗災能力，例如：臨近颱風等災害事前進行儲能電池的充電，確保在災害期間微電網的可靠運行。
3. 低碳無碳運轉：藉由各種資源之整體運用，由低碳朝無碳化運轉。
4. 加速技術轉移和實施：辦理本公司各單位、相關企業和學術機構之技術交流和導入相關技術，並將微電網及微電網控制器的研究成果進行推廣運用。

(十三) Multi-purpose ESS operation technologies for NTAs (Non-Transmission Alternatives) [12]

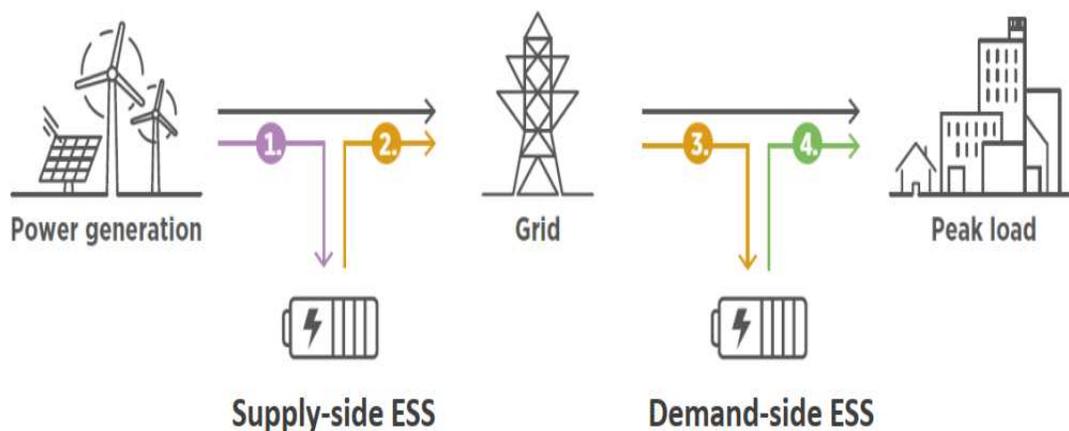


圖 59 非傳輸替代方案

本篇介紹非傳輸線路的替代方案-多用途能源儲存系統運營技術，簡報者為韓國電力公司(KEPCO)未來電網研究中心的資深研究員。NTAs 是一種推遲輸電線路建設的技術。由於社會接受度及建置成本的原因，在南韓幾乎不可能建設新的大規模電力輸電線路，在其他國家也是類似的情況(圖 59)。相關可參考的技術包括:儲能系統(ESS)、彈性交流輸電系統(Flexible Alternating Current Transmission Systems, FACTS)、高壓直流傳輸(High Voltage Direct Current, HVDC)。棄光棄風及需量反應等。本簡報將著重在儲能系統(ESS)的應用方式。

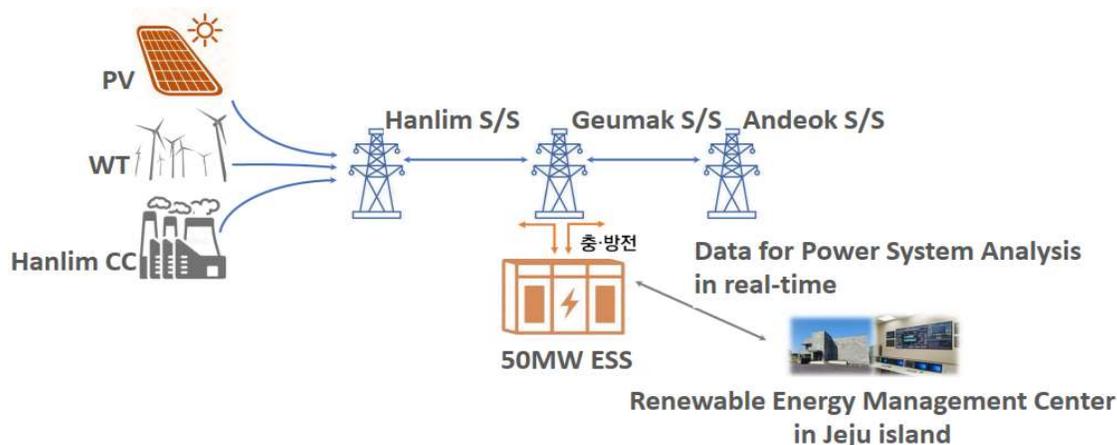


圖 60 濟州島儲能計劃

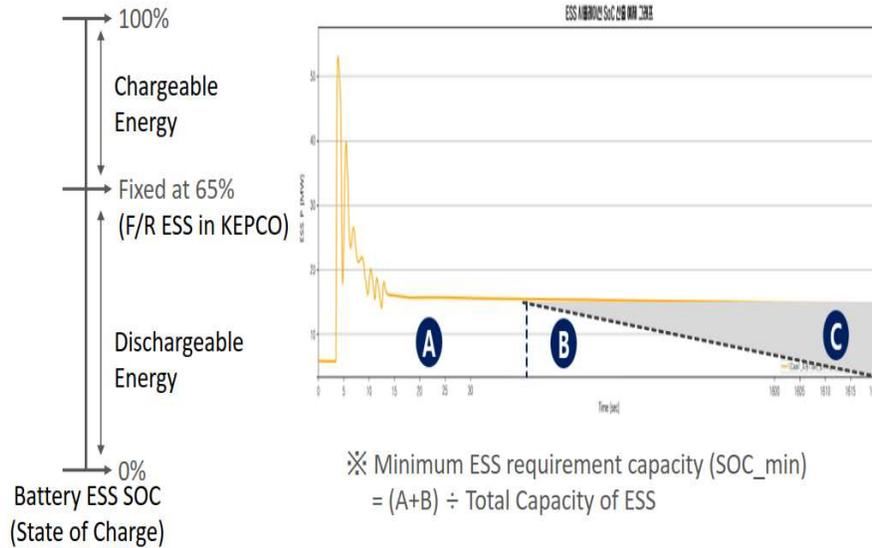


圖 61 最佳工作點計算

KEPCO 開發的 NATs 與 ESS 應用其目的在整合和提高電網的韌性，今年會安裝 50MW 的 ESS 在濟州島的 Geumak 變電所當作示範，來測試開發的演算法和系統的性能，分析其影響及效益(圖 60)。在考慮頻率穩定度下，分析即時電網資料獲得最低的儲能需求。動態調整儲能的工作點(SOC)以提供系統充電及放電的支援，依目前研究成果，ESS 容量設定在 65%最佳，可以確保在擾動期間向電網提供足夠的容量及調整(圖 61)。

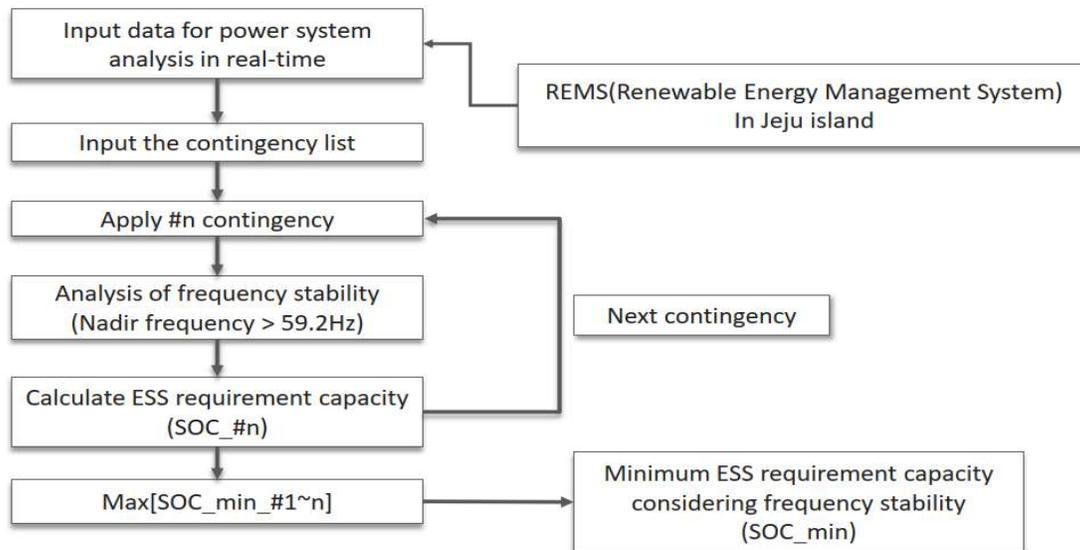


圖 62 找出 ESS 最佳 SOC

分析程序如圖 62 所示，主要是依據所蒐集的系統即時資料，以最低頻率大於 59.2Hz 下，分析各種系統緊急下所需最低的儲能 SOC，再找出所有系統緊急下得到最低的儲能 SOC 的最大值。

cases	ESS minimum required capacity (SOC_min)		
	Fault Scenario ① Trip of Jeju T/P	Fault Scenario ② 3-phase fault in Seojeju-hanlim	Fault Scenario ③ Cascading (3-phase fault → trip of PV, ESS(Seojeju), etc.)
Case 1 Spring Morning	0.07	0.07	3.45
Case 2 Spring Noon	0.12	1.72	99.95
Case 3 Spring Evening	0.07	0.08	3.0
Case 4 Spring Night	0.07	0.06	3.76
Case 5 Summer Peak	0.17	0.11	11.31
Case 6 Fall Noon	0.12	0.39	16.13
Case 7 Winter Peak	0.17	0.09	11.7

圖 63 案例及情境

Case	List of high percent loading of T/L after fault	Contingency	Percent loading of T/L after fault [%]	Percent loading of T/L after 50MW charging[%]
Spring evening	Shinjeju(140)-SeojejuCS(311)	311-140(1), 311-400(1)	63.80	60.12(↓)
	SeojejuCS(311)-Jeju(400)	140-311(1), (2)	51.58	46.35(↓)
	Andeok(160)-Shinseogi(180)	140-311(1), (2)	48.54	Same as left
	Andeok(160)-Hanla(190)	140-311(1), (2)	47.89	
	Andeok(160)-Jeju(400)	311-150(1), 311-310(1)	45.29	45.38(↓)
	JejuT/P(120)-Hanla(190)	160-180(1), 160-190(1)	37.31	Same as left
	Andeok(160)-Geumak(360)	140-311(1), (2)	24.0	5.0(↓)

圖 64 春天傍晚分析

如圖 63，依不同季節及不同故障，分析了 7 個案例及 3 種情境，在發電機故障或是線路故障所需的 ESS 容量較低，但是當三相故障引起的多重事故所需的 ESS 容量就會增加，尤其是春季和秋季的中午所需的 ESS 容量較多，原因應該是低載時線上發電機組數量較小，所以電力系統慣量低，致電力系統相對較脆弱。

以下透過 3 個模式來分析改善:(圖 64):

1. 緩解輸電線過載故障:

預先分析可能過載的輸電線路的相關即時資料，計算在故障清除及頻率回復

後、ESS 充電或放電後該線路之舒緩情形，以圖 64 為例，Shinjeju-Seojeiucs 之間的線路在故障後負載增加 63.8%，使用 50MW-ESS 後將該線路負載可下降 3.68%。

2. 輸電線路的利用率調控:

即時計算功率傳輸分配因子(PTDF)將此值用於計算 ESS 輸出，以控制輸電線路的利用率。

- ESS charge(9-14h) and discharge(17-20h) considering “Re Index” in Jeju islan

$$RE\ Index = \frac{Power\ Gernation_{renewable\ source}}{Demand_{total} - Generation_{Must-run} - HVDC_{min} + HVDC_{revers\ transfer}}$$

✓ Re Index & SOC_min (2022.5.12(Thu.)/Spring)

	0-3h	3-9h	9-14h	14-19h	19-24h
SoC_min [%]	0.05%	0.06%	16.27%	0.07%	0.05%
RE Index	0.11	0.39	0.48	0.25	0.09

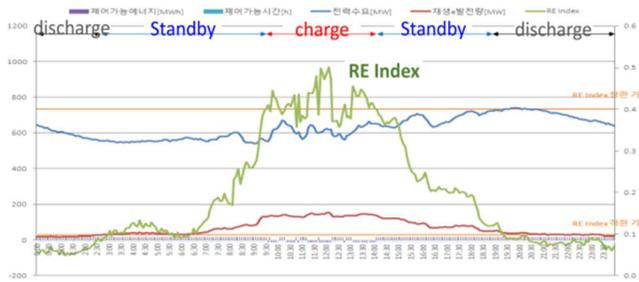


圖 65 提高濟州島再生能源滲透率限制

3. 提高濟州島再生能源的滲透率限制(圖 65):

ESS 根據 RE Index 及負載需求來進行充電或放電。例如：當 RE Index 數值高時，表示再生能源發電量多，因此 ESS 充電；RE Index 低時，表示再生能源發電量低，再搭配如果用電需求高，ESS 放電。分析結果，ESS 在 9 時-14 時充電，ESS 在 17 時-20 時放電。

✓ 426MW ESS for Frequency Regulation (2014-2017)

✓ 978MW ESS for Grid Stabilization (Until 2024)

Sites (Substation)	Capacity of ESS (MW)
Shinamwon	336
Yesan	82
Bubuk	336
Hamyang	56
Yeongcheon	112
Youngju	56
Total	978

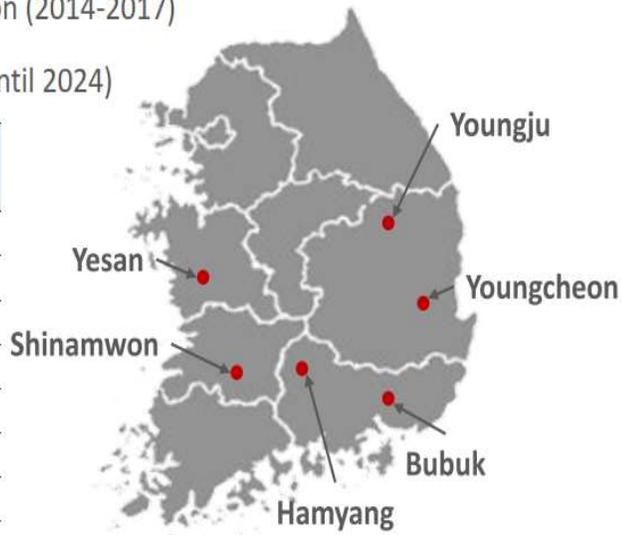


圖 66 未來韓國本島 NTAs ESS 營運策略

未來韓國本島多功能 NTAs ESS 應用系統(圖 66):

1. 多功能 NTAs ESS 整合運轉技術，同時運用在頻率穩定度及非傳輸線路的替代方案。
2. 發展 NTAs 運轉策略及分析使用在頻率調節及電網穩定度的效益。
3. 決定韓國電力 NTAs 的最佳應用的地點和容量。
4. 發展多功能 NTAs ESS 系統整體協調的策略及效益分析，例如：426MW ESS 做為頻率調節，及 2024 年前 978MW ESS 作為電網穩定。

小結:

台灣也和韓國一樣，因社會接受度因素，建設新的大規模電力輸電線路不易，但為推動再生能源，確有興建輸配線路之需求，因此有以下建議:

1. 慎選 ESS 位置：台灣面臨能源轉型和提高電網韌性的需求，ESS 是重要選項，而 ESS 能裝設地點須配合既有電網，避免為此興建相關輸配電工程。
2. ESS 與再生能源整合：目前經濟部已在推動光儲，亦即 ESS 與太陽光電整合，做到能量轉移、削峰填谷，以及避免造成線路瓶頸。

3. 降低電網事故的影響：針對地震、颱風、鹽霧害等造成之事故，ESS 之調頻能力可提高頻率穩定度、降低線路或變壓器之負荷，亦可搭配微電網形成孤島運轉，維持關鍵設備之供電。
4. 多種 ESS 協調控制：針對多種不同 ESS 並存時，各 ESS 間之協調是必須面對及研究之課題。本所電力研究室針對金門 4 套儲能間之協調性，也正進行研究計畫中。
5. 技術評估和實證：在採用新技術之前，相關研究、技術評估、測試和實地實證是必要的關鍵程序，因此本所也建置完成一期樹林微電網，並建置二期樹林微電網(含微電網驗證場域)。

三、心得及建議

1. 前瞻技術：

本次會議所分享之前 20 名具最高影響力的技術，本所已進行其中多項技術，包括：電網分析、電網形成逆變器、直流微電網、虛擬電廠、整合電動車和電池儲能(V2X)、感測器整合、碳捕捉技術、綠氫及更精準的預測性分析等。未來除繼續執行上述研究外，也可評估是否進行其他各項相關的前瞻技術。

2. 微電網：

微電網是此次會議的主軸之一，包括日本中部電力公司、日本關西電力公司、日本中央電力研究院及韓國電力公司都發表或關注此主題。

會後韓國電力公司表達對於本所微電網之濃厚興趣，因此於 112 年 12 月 22 日派員前來本所樹林所區進行參訪及交流分享。韓國電力公司分享主題：KEPCO ESS&WAMS EXPERIENCE，其中 ESS 也是本所目前正在進行之研究，而基於相量測量單元(Phasor Measurement Unit,PMU)之廣域量測系統(Wide Area Measurement System,WAMS)所蒐集的資料，現階段韓國電力公司與本所皆將系統分析結果提供給調度人員及規劃人員參考。本所電力研究室正研究透過 PMU 資料進一步進行電力系統保護，後續雙方可望進行交流(圖 67、圖 68)。

至於多種不同 ESS 並存時，各 ESS 間之協調性，本所電力研究室目前正針對金門島 4 套儲能間之協調性，進行測試及蒐集相關資料、分析及研究。

本所與日本中央電力研究院每年皆會互訪交流，日本中央電力研究院也預定今年(113 年)9 月前來本所針對此主題做更深入的交流。

本所亦與美國電力研究院(Electric Power Research Institute,EPRI)進行長期合作，近年為因應分散式再生能源主題，本所參加美國電力研究院 P174 DER integration 計畫。112 年 12 月 4 日及 5 日，美國電力研究院前來本所進行 P174 成果交流分享會，

並參訪本所樹林所區微電網試驗場及交流，雙方收穫很多。

為加強本所與國內學術界在微電網領域之交流與合作，本所預訂於今年(113 年)辦理「儲能與微電網技術分享暨交流會」，規劃由 5 所獲得國科會「儲能與電網系統領域」補助之專案研究計畫團隊及本所進行分享及交流。

3. 非傳輸線路的替代方案(NTA):

建置再生能源所造成的線路瓶頸，除了可建置輸電級或配電級線路解決外，亦可評估採用其他替代方案，例如建置儲能。建置儲能除能解決或降低線路瓶頸外，儲能也可輔助提供系統調頻輔助服務、削峰填谷及能量轉移功能(光儲)，或再生能源及儲能搭配組成微電網。除此，也可透過系統精準的分析、或 PCS(Inverter)本身虛功及電壓等調控能力，來增加線路的併網容量(Hosting Capacity,HC)。非傳輸線路的替代相關技術，也是本所電力研究室正在進行之研究主題。

4. 太陽光電:

須持續關注或研究太陽能領域新技術的研發，其中離岸漂浮太陽能平台也是重要選項。太陽能光電廠運營績效也是非常重要，所以本所能源研究室、高壓研究室及資通研究室也進行太陽能光電廠預測性維護及影像健診等相關研究。另外，本所能源研究室有進行太陽能回收再利用之相關研究。

5. 回收:

循環經濟也是本所的主軸之一。本所能源研究室已進行太陽能面板回收研究，未來可評估是否進行鋰離子電池回收技術研究。

6. 電池:

本所化環研究室已進行多年電池技術研究，包括：鋅空氣及鋅金屬燃料電池等研究，此技術之安全性高，但能量密度部分還待研究提升。

7. 地熱:

地熱是重要的再生能源資源，如地熱位屬偏遠、電力建設不易地區，可考慮利用地熱發電後電解產製綠氫並進行後續運用。

8. 電解綠氫:

氫是一種清潔能源，具有零碳排放的特性，因此在實現淨零排碳中佔有舉足輕重的角色，而再生能源同樣是淨零排碳的必要選項，但由於其不穩定及不具慣量等特性，未來或可能發生棄光棄風的狀況，此時將多餘再生能源電解產製綠氫，則是重要的解方。但再生能源不穩定性對電解器的影響、電解技術與再生能源及電網搭配之研究分析等主題，正由本所化環研究室及高壓研究室研究中。

9. 人工智慧:

此次 IERE 所分享的人工智慧合作主題包括：地下電纜預防性維護及健康監視、輸配電線路影像分析、短期負載預測，皆與本所高壓研究室及電力研究室以往或目前研究主題相同。IERE 預告今年將辦理網路研討會，就本主題進行細部報告研究成果及後續進行方向，屆時本所電力研究室及高壓研究室將上線參與研討。

10. 國際交流:

藉由本次參與第 23 屆 IERE 常會&新加坡論壇，本所與 12 個參與本次會議之各國代表們進行交流經驗交流與分享(圖 69)，並建立交流管道，收穫很多。

綜合研究所為台電公司研究單位，必須配合國家能源政策及公司營運需求，研訂公司長期研究策略及方向，因此必須與國際相關研究機構進行交流或合作，以掌握國際前瞻能源發展趨勢及最新相關技術。本所除與 IERE 交流外，也與歐洲商會、BNEF、MITei (MIT Energy Initiative Future Energy Systems Center)、EPRI、CRIEPI、東亞暨西太平洋地區電力事業協會(The Association of the Electricity Supply Industry of East Asia and the Western Pacific, AESIEAP)等國際機構進行交流或合作。



圖 67 KEPCO 儲能發展經驗分享簡報



圖 68 KEPCO 參訪本所樹林所區相關設備



圖 69 第 23 屆 IERE 常會&新加坡論壇會議與會人員合照

四、參考文獻

- [1] IEEE 2030.7-2017, "IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers," 23 April 2018.
- [2] IEEE 2030.8-2018, "IEEE Standard for the Testing of Microgrid Controllers," 24 August 2018.
- [3] Dr Andrew Minchener, "The role of low carbon power generation in support of a just Energy Transition," The International Centre for Sustainable Carbon, United Kingdom, Nov.2023.
- [4] Hao Yuan, "Introduction to the Market-online Hardware-in-the-loop Simulation Experimental Environment Established by Sino-Europe Cooperation," China Electric Power Research Institute Co. Ltd Nanjing Branch, Nanjing, China, Nov.2023.
- [5] Tomoyuki YAMADA, "The Current State of the Balancing Services Market in Japan and Our (ENIC Division's) Pilot Projects to Integrate DSR into the Grid," Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Japan, Nov.2023.
- [6] Angelo RODRIGUEZ GARCIA, "PV technology overview its position in the energy mix and the role of R&D," ENGIE Laborelec, Belgium, Nov.2023.
- [7] Oscar FRAPPEREAU, "Electrolyzer Performance Modeling and Simulation," ENGIE Lab CRIGEN, France, Nov.2023.
- [8] Gen KOJO, "Investigation of green hydrogen production with using geothermal energy and potential hydrogen demand in Kumamoto prefecture," Kansai Electric Power Company, Japan, Nov.2023.
- [9] Subbu Bettadapura, "Disruptive Technologies in the 2030s (TF2023)," Frost&Sullivan, Nov.2023.
- [10] Niels de Boer, "Development of innovative and environment-friendly solutions for the treatment and recycling of components in the transition to net-zero," Energy Research Institute NTU (ERI@N), Singapore, Nov.2023.
- [11] Ryo YAMAGUCHI, "Development of Energy Management System for Microgrid in Chubu EPCO," Chubu Electric Power, Japan, Nov.2023.
- [12] Woongjae Jeon, "Multi-purpose ESS operation technologies for NTAs(Non-Transmission Alternatives)," KEPCO Research Institute Daejeon, Korea, Nov.2023.
- [13] 國際能源總署(International Energy Agency,IEA), <https://www.iea.org/>。
- [14] 行政院國家永續發展委員會, "臺灣 2050 淨零排放路徑," https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76。