

出國報告（出國類別：開會）

## 參加第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：梁威志 電機研究專員

派赴國家：印尼

出國期間：中華民國 113 年 11 月 19 日至 113 年 11 月 23 日

報告日期：114 年 01 月 22 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 24 屆 IERE 常會及印尼論壇

頁數 30 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

梁威志/台灣電力公司/綜合研究所/電機研究專員/(02)80782224

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：113 年 11 月 19 日 至 113 年 11 月 23 日

派赴國家/地區：印尼/巴厘

報告日期：114 年 01 月 22 日

**關鍵詞：**分散式能源資源(Distributed Energy Resource)、分散式發電(Distributed Generation)、變流器型資源(Inverter-Based Resource)、即時(Real-Time)、電磁暫態(Electromagnetic Transient)、硬體迴路(Hardware in the Loop)、微電網(Microgrid)。

**內容摘要：**

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 一般會員，受邀參加其於 113 年在印尼舉行之第 24 屆常會及論壇，主題為「Distributed Power Generation for Increasing Renewable Energy Penetration」，討論議題利用分散式能源確保更清潔、面向未來和安全的能源供應、分散式能源發電技術、整合型智慧微電網、分散式能源的監管和融資…等。

本次會議在「整合型智慧微電網(Integrated Micro Smart Grid)」技術研討會議中進行專題報告，與會中來自世界各地的電力專家分享台電綜合研究所過去是如何應用即時電磁暫態模擬技術協助台灣微電網之發展，展現台電公司在智慧電網領域之研發能量。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

# 目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	II
表目錄.....	III
一、 背景及目的.....	1
二、 第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇.....	3
2.1 研討會議程內容.....	3
2.2 台電綜研所研究成果發表內容.....	11
2.3 研討會其他簡報摘要說明.....	18
2.4 技術參訪.....	22
三、 心得及建議.....	25
四、 參考文獻.....	30

# 圖目錄

圖 1 第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇開幕式.....	3
圖 2 本所講者於會議中發表研究成果之情形.....	11
圖 3 樹林所區微電網智慧化專案.....	12
圖 4 過去台灣主要發展之微電網類型：防災型與離島型.....	13
圖 5 目前台電公司主要微電網智慧化專案.....	14
圖 6 應用即時電磁暫態模擬與硬體迴路測試於微電網驗證.....	15
圖 7 控制級硬體迴路(CHIL)和功率級硬體迴路(PHIL)測試.....	16
圖 8 電力轉換系統誤動作情形.....	17
圖 9 微電網於負載不平衡下之全黑啟動分析.....	17
圖 10 設置 1MVA 之電網電源模擬器.....	17
圖 11 Nusa Penida 太陽光電發電廠.....	22
圖 12 儲能系統.....	23
圖 13 電廠控制器與控制室.....	23
圖 14 太陽光電變流器.....	24
圖 15 預付費模式使用之鍵盤式電錶[2].....	26
圖 16 ADS 系統配置圖[3].....	27
圖 17 1850 年至 2100 年全球能源結構變遷的分析[4].....	28

# 表目錄

表 1 第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇議程.....	4
表 2 設備規格表.....	24



# 一、 背景及目的

國際電力技術交流組織(International Electric Research Exchange, IERE)係設立於 1968 年之國際性非營利組織，專注於促進全球電力與能源領域的技術交流與研發合作。IERE 匯集了來自電力供應產業、設備製造商、學術研究機構和政府部門等多元成員，為負責研發和解決方案的高階主管、資深經理、工程師和研究人員提供寶貴的交流機會，其組織的核心價值在於提供一個開放、專業的平台，讓成員能夠分享經驗、交流知識、探討創新，並共同應對全球電力產業面臨的各種挑戰。

第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇於 2024 年 11 月 19-22 日在印尼峇里島舉行，並以「Distributed Power Generation for Increasing Renewable Energy Penetration (分散式發電促進再生能源滲透率)」為主題，積極回應全球能源轉型的迫切需求。在全球暖化加劇的背景下，加速實現碳中和能源轉型已成為世界各國的重要議題。再生能源的大規模應用是電力部門最關鍵的減碳措施，然而這項技術也帶來諸多挑戰。發電的間歇特性、變流器併網技術、以及分散式發電造成的電網控制困難…等，都需要創新的解決方案。

PT PLN (Persero)為本次大會的主辦單位，是印尼國營電力公司，肩負著印尼全國的發電、輸電和配電重任。印尼作為群島國家，面臨著獨特的供電挑戰。PLN 不僅需要確保電力的供應量，更要維持供電品質。再生能源的應用雖然是實現淨零碳排目標的重要途徑，但相關的技術、儲能和間歇性等問題都需要妥善解決。這些挑戰也正是本次會議要深入探討的重點。

本次會議匯集了來自全球的電力專家，通過主題演講、技術分享、專家論壇等多元形式，探討分散式發電技術的最新發展、智慧微電網的實施經驗、以及創新的政策與融資模式。會議還特別安排了 Nusa Penida 太陽能發電廠的實地考察，讓與會者能親身體驗印尼在再生能源領域的具體實踐。作為一個國際性的交流平台，本次會議不僅促進了各國專家之間的對話與合作，更為推動全球能源轉型提供了寶貴的經驗分享

機會。通過匯集全球智慧，探索創新解決方案，共同應對能源轉型的挑戰，為實現可持續發展的未來貢獻力量。這場會議的舉辦，標誌著全球電力產業在面對氣候變遷挑戰時，展現出相互合作的意願和創新精神。通過國際間的緊密協作，相信必能加速再生能源的發展，推動能源系統的轉型升級，最終實現能源的永續發展。

台灣電力公司為 IERE 一般會員，受邀參加本次第 24 屆常會及印尼論壇。本次會議由綜合研究所梁威志電機研究專員出席，並在「整合型智慧微電網(Integrated Micro Smart Grid)」技術研討會議中，發表「Application of Real-Time EMT Simulation Technology in Taiwan's Microgrid Simulation Analysis and Testing (應用即時電磁暫態模擬技術於台灣微電網之模擬分析及測試)」專題報告，與會中來自世界各地的電力專家分享台電綜合研究所過去是如何應用即時電磁暫態模擬技術協助台灣微電網之發展，展現台電公司在智慧電網領域之研發能量，同時也彰顯台電公司積極參與國際交流、持續掌握全球電力技術發展之決心。



## 二、 第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇

### 2.1 研討會議程內容

本次會議一共有四天，第 1 天是報到、第 2 天及第 3 天為常會及論壇，最後 1 天為技術參訪，表 1 為本次會議的完整議程，其中共有 3 場大會專題演講(Plenary Session: Keynote Speeches)、專題討論會和 5 場技術研討會(Technical Session)，技術研討會的主題如下所示：

- 技術研討會 1：分散式發電技術 (Distributed Power Generation Technology)
- 技術研討會 2：整合型智慧微電網 (Integrated Micro Smart Grid)
- 技術研討會 3：分散式發電的法規與融資 (Regulating and Financing Distributed Power Generation)
- 技術研討會 4：分散式發電對傳統能源的影響 (Impact of Distributed Power Generation Toward Conventional Energy)
- 技術研討會 5：PLN 創新技術 (PLN Innovation)



圖 1 第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇開幕式

表 1 第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇議程

日期	會議內容
11/19	18:30-19:00 Registration 19:00-21:00 Welcome Reception
11/20	08:00-08:30 Registration General Chair: Taufiq FAHRUDIN (Senior Manager of Planning and Product Development, PT PLN, Indonesia)  <b>Opening Session</b> 08:30-08:40 O-1 Opening Address MINO Yoshiaki (IERE Chair) 08:40-08:50 O-2 Welcome Speech Job SYAM (Vice President of Integrated Management Systems, PT PLN, Indonesia)  <b>Plenary Session: Keynote Speeches</b>  08:50-09:20 K-1 Energy System Integration in the Course of the Energy Transition OGIMOTO Kazuhiko (Project Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan)  09:20-09:50 K-2 Sustainable Battery Energy Storage System (BESS) Challenges for Distributed Generation Chairul HUDAYA (Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia)  09:50-10:20 K-3 Distributed Power Generation for Security Supply and Greener Electrification Zainal ARIFIN (Executive Vice President of Renewable Energy, PT PLN, Indonesia)  10:20-10:50 Coffee Break and Group Photo

**Panel Session: Leveraging Distributed Power Generation to Ensure a Cleaner, Futuristic and Secured Energy Supply**

10:50-11:50 Moderator:  
Buyung Sofiarto MUNIR  
(Senior Manager of Transmission and Distribution System Technology, PT PLN Puslitbang Ketenagalistrikan)  
Panelists:  
OGIMOTO Kazuhiko  
(Project Professor, Tokyo University, Japan)  
Chairul HUDAYA  
(Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia)  
Zainal ARIFIN  
(Executive Vice President of Renewable Energy, PT PLN)

11:50-13:30 Lunch and Exhibition

**Technical Session 1: Distributed Power Generation Technology**

Chair Person: DU Wei  
(Business Expert, NARI Research Institute, NARI, China)

13:30-13:50 T1-1 Mobile Micro-Energy Station and Its Flexible System  
CONG Xinwei  
(Engineer, Power Distribution Technology Research Department, CEPRI, China)

13:50-14:10 T1-2 Voltage Control Method for Distribution System Equipment and PCS for PV  
MORIWAKI Akira  
(Research Scientist, ENIC Division, Grid Innovation Research Laboratory, CRIEPI, Japan)

14:10-14:30 T1-3 Assessment of Hosting Capacity Limits for the Integration of Utility-Scale Distributed Generation

	<p>Limuel Khin ESTORQUE (Officer, Network Asset Planning, Network Planning &amp; Design, Networks, Manila Electric Company (MERALCO), Philippines)</p>
14:30-14:50	<p>T1-4 Water electrolyzers to balance supply and demand of electric power for implementation of renewable energy on a large scale IMAI Kentaro (Technical Engineer, Hydrogen Business Strategy Division, Kansai EPCO, Japan)</p>
14:50-15:10	<p>T1-5 Free Governor Control Innovation: Enhancing Response and Energy Efficiency in Distribution Systems at the PLTG MPP PT PLN Batam Arif BUDIMAN (Unit Manager, MPP Banga Belitung, PT PLN Batam, Indonesia) Bramantyo WIJANARKO (Unit Manager MPP Balai Pungut, PT PLN Batam, Indonesia) Baron HARIYANTO (Assistant Manager Operation MPP Bangka, PT PLN Batam, Indonesia)</p>
15:10-15:30	<p>T1-6 Performance Evaluation of Sawdust Co-Firing in a Pulverized Coal Boiler Power Plant Daniel TAMPUBOLON (Senior Technician, Testing Sub Division, PT PLN Certification Centre, Indonesia)</p>
15:30-16:00	Coffee Break and Exhibition
<b>Technical Session 2: Integrated Micro Smart Grid</b>	
Chair Person:	<p>Limuel Khin ESTORQUE (Officer, Network Asset Planning, Network Planning &amp; Design, Networks, Manila Electric Company (MERALCO), Philippines)</p>

16:00-16:20	T2-1	Application of Real-Time EMT Simulation Technology in Taiwan's Microgrid Simulation Analysis and Testing Wei-Chih LIANG (Research Team Leader, Taiwan Power Research Institute, TPC, Taiwan)
16:20-16:40	T2-2	Key Technologies and Applications of the Energy Internet for New Urban DU Wei (Business Expert, NARI Research Institute, NARI, China)
16:40-17:00	T2-3	The Implementation of the Automatic Dispatching System (ADS) as the Smart Grid Control to Maintain Power Stability in Sumba Island Dimas BANGUN FIDDIANSYAH (Manager, Electric Power Digitalization, Indonesia Smart Grid Initiative (PJCI/Persatuan Jaringan Cerdas Indonesia), PT PLN, Indonesia) Agus TRI SUSANTO (Vice President of Electric Power Digitalization, Indonesian Smart Grid Initiative (PJCI), PT PLN, Indonesia)
17:00-17:20	T2-4	Integrating Prepaid Customers into AMI: A Solution Using Keypad Meters and Standardized Protocols for PLN in Indonesia Angga KUSUMADINATA (Senior Officer, Standardization for Transmission & Distribution System Section, PLN Research Institute (Puslitbang), Indonesia)
17:20-17:40	T2-5	Solutions to Overcome Challenges for Microgrid FURUTA Hirohisa (Director of Digital Energy Center of Excellence, Mitsubishi Electric Power Products Inc. (Mitsubishi Electric Corporation))

11/21	<p><b>IERE General Meeting</b></p> <p>General Chair: Harry INDRAWAN (Manager of Innovation and Product Development, PT PLN, Indonesia)</p> <p>08:30-08:45    G-1    Recent IERE Activities (November 2023- November 2024) MINO Yoshiaki (IERE Chair)</p> <p>08:45-09:00    G-2    Ongoing Projects and Upcoming Events TAKEI Katsuhito (Secretary General, IERE)</p> <p>09:00-09:45    G-3    Special Lecture: Systemic Moments for Electricity Utilities - Building Adaptive Skills in a Complex World Greg TOSEN (IERE Advising Chair Emeritus)</p> <p>09:45-10:20                      Coffee Break and Exhibition</p> <p><b>Technical Session 3: Regulating and Financing Distributed Power Generation</b></p> <p>Chair Person:                      FURUTA Hirohisa (Director of Digital Energy Center of Excellence, Mitsubishi Electric Power Products Inc. (Mitsubishi Electric Corporation))</p> <p>10:20-10:40    T3-1    The Benefits of Leverage on an Investor's Return by Maximizing the Capital Structure of Energy Projects in Indonesia Davin Navianda UTAMA (Funding Officer, Corporate Finance, PT PLN Energi Primer Indonesia, Indonesia)</p> <p><b>Technical Session 4: Impact of Distributed Power Generation Toward Conventional Energy</b></p> <p>10:40-11:00    T4-1    Destructive Evaluation Method for Thermal</p>
-------	--

	<p>Power Plant Components Using Latest Material Technologies</p> <p>YAGUCHI Masatsugu (Distinguished Research Scientist, Energy Transformation Research Laboratory, CRIEPI, Japan)</p>
11:00-11:20	<p>T4-2 Research and Practice of Distributed Renewable Energy Integrated to the Power Grid in China</p> <p>HUANG Yuehui (Professorate Senior Engineer, Renewable Energy Research Institute, CEPRI, China)</p>
11:20-11:40	<p>T4-3 Bridging Conventional and Renewable Power: Advanced Strategies for a Stable, Future-Ready Grid</p> <p>Munib AMIN (Managing Director, Research &amp; Technology, E.ON Group Innovation, Germany)</p>
11:40-13:30	Lunch and Exhibition
<b>Technical Session 5: PLN Innovation</b>	
Chair Person:	<p>Munib AMIN (Managing Director, Research &amp; Technology, E.ON Group Innovation, Germany)</p>
13:30-13:50	<p>T5-1 Enhancing 20 kV Distribution Network Inspections with Augmented Reality: A Cost-Effective Solution for Asset Management and Digital Transformation</p> <p>Very FERNANDO (Officer, Application of Distribution, Department of Technology Information, PT PLN (Persero), Indonesia)</p>
13:50-14:10	<p>T5-2 Planned Pilot Project: 2 x 20 kW Ocean Current Power Plant on Keba Island</p> <p>Rasgianti (PT PLN (Persero) Research Institute)</p>

	<p>14:10-14:30 T5-3 Combination of PV and EV to Increase Hosting Capacity Putu Agus Aditya Pramana (PT PLN (Persero) Research Institute)</p> <p>Closing Remarks</p> <p>14:30-14:35 TAKEI Katsuhito (Secretary General, IERE)</p>
11/22	<p><b>Technical Tour</b></p> <p>07:00-16:00 Visiting Solar Power Plant in Nusa Penida</p>



## 2.2 台電綜研所研究成果發表內容

在全球能源轉型的浪潮下，微電網技術已成為提升電網韌性與整合再生能源的關鍵解決方案。面對氣候變遷帶來的挑戰，以及再生能源大量併網所衍生的技術問題，微電網的重要性與日俱增。台灣電力公司綜合研究所(Taiwan Power Research Institute, TPRI)一直以來致力於微電網技術的研發及測試驗證工作。本簡報是由台電綜合研究所梁威志研究組長報告(如圖 2 所示)，題目為「Application of Real-Time EMT Simulation Technology in Taiwan's Microgrid Simulation Analysis and Testing」[1]，分享台電在即時電磁暫態(Real-Time Electromagnetic Transient, RT-EMT)模擬分析與硬體迴路測試(Hardware in the Loop, HIL)技術應用於微電網驗證的研究成果，並探討這些技術在確保電網穩定運轉中的關鍵角色。



圖 2 本所講者於會議中發表研究成果之情形

台電綜合研究所於 2020 年 11 月成立跨領域微電網工作小組(如圖 3 所示)，整合了電力電子、電力系統、通訊、…等多個專業領域的研究人才。這個決策反映了微電網技術的複雜性和多樣性，需要不同領域專家的通力合作才能克服技術挑戰。工作小組的主要任務是建立符合國際標準之微電網，並培養測試驗證能力，其中綜研所樹林

所區微電網智慧化專案是一個重要的示範場域。該專案現階段採用雙期程規劃，第一期已完成相關基礎建設，包括系統架構規劃、關鍵設備建置。這些基礎設施不僅支持了當前的研究需求，更為未來的技術發展預留了擴充空間。目前進行的第二期計畫則更具挑戰性，目標是將整個所區轉型為完整的智慧型微電網系統，並導入參與電力交易市場、需量反應等進階應用。這個轉型過程需要克服諸多技術挑戰，包括系統整合、通訊協定之採用、控制策略最佳化…等多個面向。

## Microgrid Research at TPRI, TPC

- ❑ TPRI Shulin Campus Smart Microgrid Working Group (Est. Nov 2020)
  - A Cross-disciplinary Working Group Uniting TPRI Research Labs
- ❑ Serving as the Taiwan Microgrid Standard and Demonstration Test Site
- ❑ Shulin Campus Smart Microgrid Project
  - Phase I: Completed
  - Phase II: Ongoing
    - TPRI Shulin Microgrid (Full campus-wide implementation)
    - Microgrid Verification Site

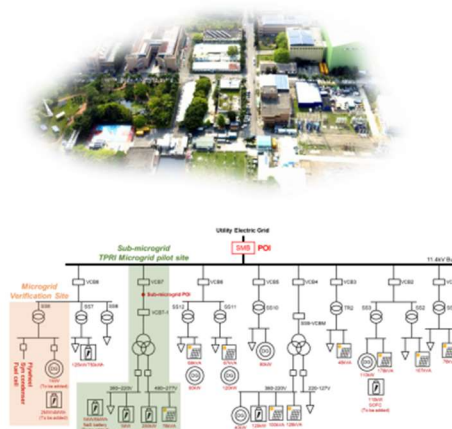


圖 3 樹林所區微電網智慧化專案

在微電網發展歷程中，台電過去主要發展兩種類型的微電網：防災型和離島型(如圖 4 所示)。這兩種類型的微電網各具特色，且都具有其實用價值。防災型微電網設置於易受天然災害影響的偏鄉地區，通過分散式能源(Distributed Energy Resources, DER)的布建，確保重要負載在緊急情況下的供電穩定性。這種設計在台灣特別重要，因為台灣每年都面臨颱風、地震等自然災害的威脅。透過防災型微電網的建置，這些地區即使在主要電網受損的情況下，仍能維持基本的供電服務，大幅提升社區的災害應變能力。

離島型微電網則著重於提升供電自主性和再生能源整合，協助離島地區逐步降低對柴油發電的依賴。這種轉變不僅具有環境效益，更能降低發電成本，減輕電力公司的財務負擔。在離島地區，由於電網規模較小，系統慣量不足，任何的供需失衡都可能導致系統崩潰。因此，離島型微電網的控制系統必須更加精密，能夠在毫秒級的時間內進行功率調節，維持系統的穩定運行。

## Historical Microgrid Implementation

### □ Disaster-Prevention Type   □ Island Type



圖 4 過去台灣主要發展之微電網類型：防災型與離島型

目前，台電正同時推動三個指標性的微電網專案：綠島專案、區域電網儲能計畫及樹林所區微電網(如圖 5 所示)。這三個專案各具特色，且都代表了微電網技術的不同應用方向。綠島專案特別強調碳排放減量，這個專案面臨的主要挑戰為如何在確保供電品質的前提下，最大化再生能源的使用率、提高再生能源發電佔比。為此，團隊擬建置微電網控制系統、太陽光電發電系統和儲能系統，並依據再生能源預測、負載預測…等資訊，提前規劃最佳的發電組合，逐步以綠能取代傳統柴油發電機組。

區域電網儲能計畫則是饋線型的微電網架構，其目的為提升區域供電韌性。這種設計允許微電網在主電網發生故障時，將其與受影響區域隔離並轉換為孤島運轉模式，大幅減少停電影響範圍並縮短復電的時間；在電網正常運轉時，微電網則能併網並提

供電網支持的服務。而樹林所區微電網則是希望能作為一先導型的微電網研究測試平台，不僅探索微電網參與輔助服務市場的可能性，更致力於開發新型的控制策略和保護方案。這些研究成果將為未來微電網的大規模部署提供重要參考。

## Ongoing Microgrid Projects in TPC

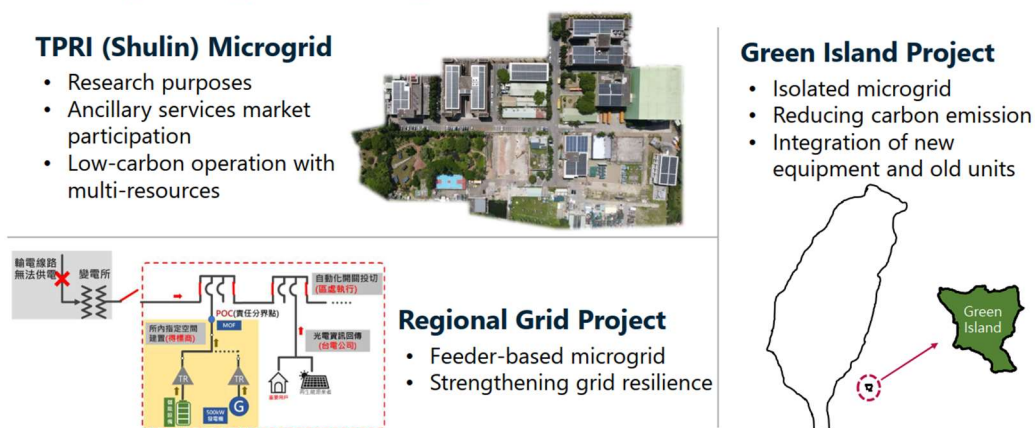


圖 5 目前台電公司主要微電網智慧化專案

在驗證技術方面，台電綜合研究所特別重視即時電磁暫態模擬技術的應用(如圖 6 所示)。這項技術結合了即時性和準確性兩大優勢，能夠同時結合電力系統模擬和實體設備形成硬體迴路(Hardware in the Loop, HIL)架構，創造電力系統虛擬實境給予待測實體電力設備，提供詳細且準確的動態特性分析。隨著變流器型資源(Inverter-based Resource, IBR)併網比例的提高，傳統的暫態穩定度分析方法已經無法完整描述系統行為，必須採用更精確的電磁暫態模擬。這種技術需求的轉變，反映了現代電力系統的複雜性與挑戰性。

## Approaches to Validate Microgrid

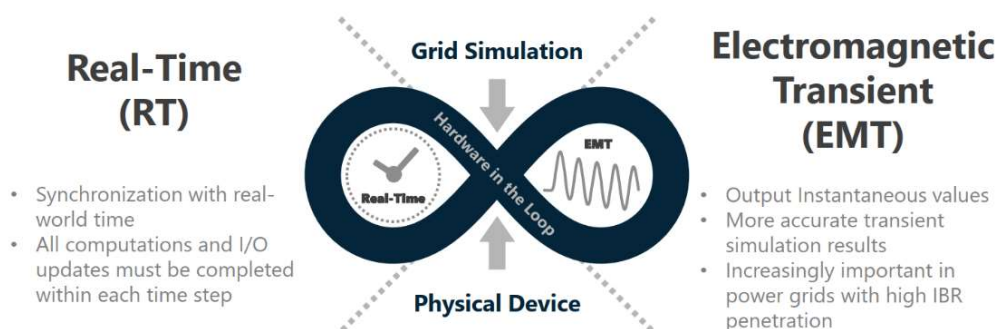


圖 6 應用即時電磁暫態模擬與硬體迴路測試於微電網驗證

為確保微電網系統的可靠性，台電採用了控制級硬體迴路(Controller Hardware in the Loop, CHIL)測試和功率級硬體迴路 (Power Hardware in the Loop, PHIL) 測試兩種測試方法(如圖 7 所示)。CHIL 主要用於驗證控制系統功能，通過多種通訊協定（如 Modbus、PMU、DNP 3.0、GOOSE 等）和輸入、輸出介面實現控制器與模擬系統的即時互動。這種方法允許研究人員在安全的實驗室環境中測試各種極端情境，大幅降低現場測試的風險。而 PHIL 則通過導入實體功率設備進行測試，能夠更真實地模擬設備在實際運轉中可能遇到的問題。

團隊的研究成果已在多個實際案例中獲得驗證。其中一個重要發現是在變流器測試方面，某市售儲能系統的電力轉換系統(Power Conversion System, PCS)雖然在採用國外電網規範設定時運作正常，但當採用台灣電網規範設定時卻出現誤動作情形(如圖 8 所示)。這個發現凸顯出一個重要議題：即使設備製造商提供了符合國際標準的測試報告，也不一定能完全符合台灣電網的需求，因此建立本土化驗證技術變得格外重要。另外，在微電網全黑啟動的研究中，團隊成功找出系統出現三相不平衡和過電壓問題的原因，主要是由於接地系統有效性不足所導致(如圖 9 所示)，目前團隊正積極投入資源研究改善方案。

展望未來，隨著能源轉型的深入推進，微電網技術將在電力系統中扮演越來越重要的角色。台電綜合研究所將持續精進模擬分析與測試驗證技術，為台灣的能源轉型提供更堅實的技術支撐，目前研究團隊正致力於本所樹林所區建置一微電網測試驗證場域，該場域擬設置一容量為 1MVA 的電網電源模擬器(如圖 10 所示)，用以測試及整合微電網系統。這些研究成果不僅有助於提升台灣電網的可靠性和韌性，也為未來微電網技術的發展提供了寶貴的實踐經驗。特別是在面對全球氣候變遷的挑戰下，微電網技術的發展將更加重要，其不僅能提升電網的韌性，更能加速再生能源的整合，推動能源系統的永續發展。作為台電公司的電力研究單位，綜合研究所將繼續致力於推動台灣邁向更安全、更環保的能源未來，為實現淨零排放的目標貢獻一己之力。

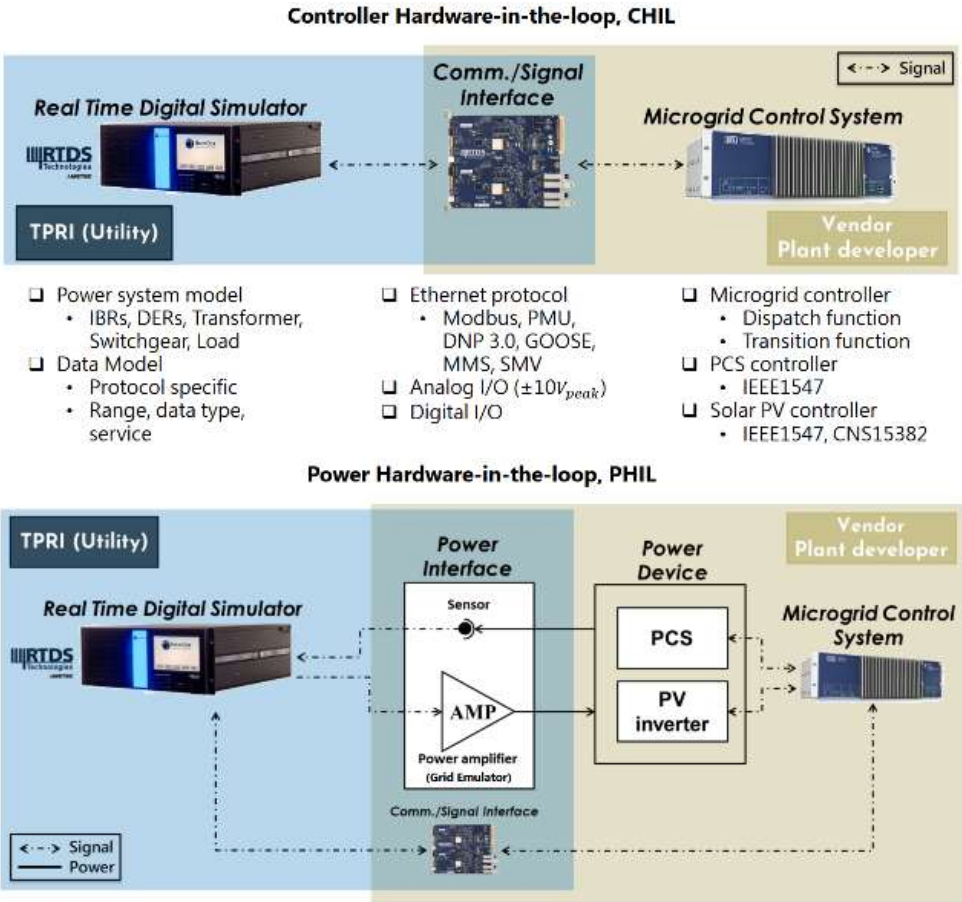


圖 7 控制級硬體迴路(CHIL)和功率級硬體迴路(PHIL)測試

# IBR Testing

## PCS Misoperation Cases under Taiwan Grid Code Setting

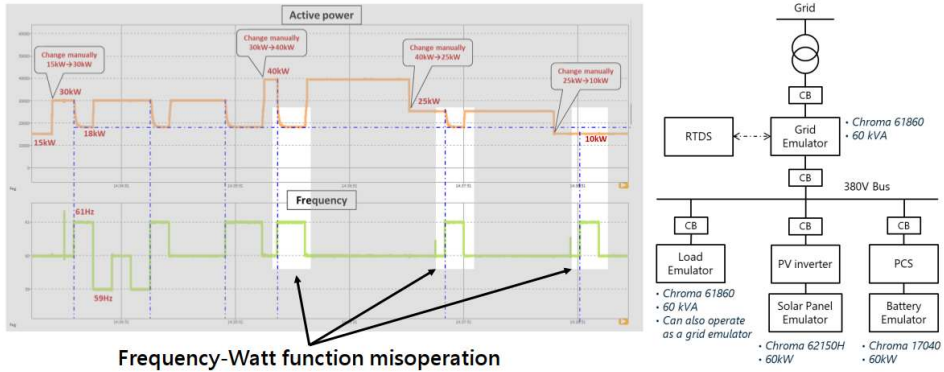


圖 8 電力轉換系統誤動作情形

# Black Start w/ Unbalance L-N Load

## w/o Grounding Path

## w/ Grounding TR Installation

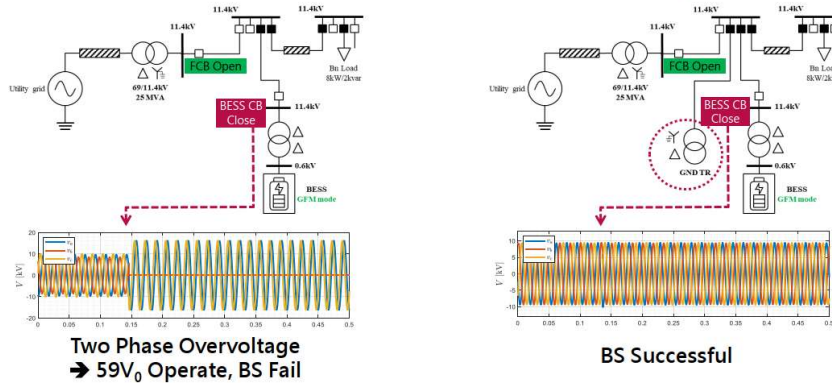


圖 9 微電網於負載不平衡下之全黑啟動分析

# Establishment of 1 MVA Grid Emulator

## Microgrid Verification Site Architecture

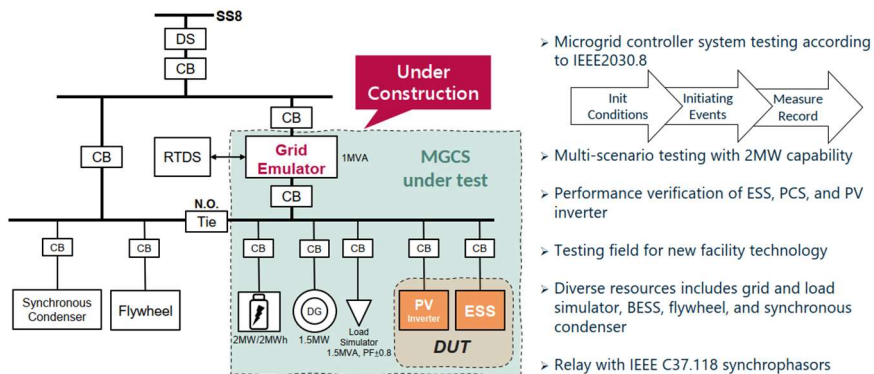


圖 10 設置 1MVA 之電網電源模擬器

## 2.3 研討會其他簡報摘要說明

因簡報內容眾多，本節將針對各個場次之報告內容進行重點節錄摘要。首先 11 月 20 日的會議主要聚焦於分散式發電、儲能系統及電網彈性等關鍵主題，探討這些技術在能源轉型過程中的重要角色。會議討論強調這些技術進展不僅是技術創新，更代表能源系統結構的根本性轉變，需要跨領域的廣泛合作與創新。

專題演講為當天的討論奠定了重要基礎。東京大學的 Kazuhiko Ogimoto 教授分享了日本在再生能源併網方面的經驗。他強調電網彈性對於管理再生能源間歇性的重要性，並詳述日本如何運用儲能、需量反應和區域聯網來增強電網韌性。Ogimoto 也指出在電網運轉規劃時需要考慮短路容量和慣量的降低，並探討併網型變流器等新興技術在解決這些問題上的潛力。印尼大學的 Chairul Hudaya 教授則探討了分散式發電中電池儲能系統(BESS)的永續性挑戰。他提到鋰離子電池雖然使用廣泛，但安全性和散熱管理仍是持續關注的問題。Hudaya 也指出鈉硫電池和液流電池等其他電池技術在特定應用場合的潛力。PLN 的 Zainal Arifin 討論了分散式發電在確保能源安全和推動綠色電力方面的應用。他強調分散式發電在偏遠地區的重要性，並介紹了印尼在這方面的具體措施。Arifin 強調需要透過自動化和數位化來提升價值鏈的效率、可靠度和韌性，並推動再生能源的採用。

第一場技術研討會聚焦於分散式發電技術。中國電力科學研究院(CEPRI)的 Xinwei Cong 展示了行動式微型能源站，強調其快速部署和靈活供電的能力，特別適合應急響應和特殊需求。Cong 也說明了這些系統建立交直流混合微電網的能力，可提供多種電壓等級的穩定即插即用電力。日本電力中央研究所的 Akira Moriwaki 介紹了配電系統設備和太陽光電功率調節系統(PCS)的電壓控制方法。他著重說明在整合再生能源時的電壓管理複雜性，建議延長電壓上升抑制功能的等待時間，並與階級式電壓調節器協調以改善電壓控制。菲律賓馬尼拉電力公司(MERALCO)的 Limuel Khin



Estorque 分享了評估公用事業規模分散式發電併網容量的見解。他強調負載和發電的變動性至關重要，尤其是在高發電低需求期間。這點在風力發電方面特別明顯，因為風力發電在離峰時段可能產生更多電力，導致逆送電的問題。關西電力公司(KEPCO) Kentaro Imai 討論了電解水設備在平衡供需方面的潛力。他比較了 PEM 和 AEM 電解技術，指出氫氣生產可以儲存和轉換過剩的再生能源。PLN 認證中心的 Daniel Tampubolon 發表了關於在粉煤鍋爐發電廠中混燒鋸木屑的效能評估。他強調生質能在降低碳排放方面的角色，特別指出直接混燒具有低投資成本和快速實施的優勢。Tampubolon 也討論了印尼各種生質能源在發電方面的潛力。

第二場技術研討會轉向整合型智慧微電網。中國國家電網南瑞集團的 Wei Du 討論了都市能源網際網路規劃、多元能源協同控制和多維情境模擬的方法。他強調整合不同能源系統以提升效率的重要性，並展示情境模型如何處理多時間尺度的不確定性。Du 也指出資料服務層準確性對提升系統可靠度的重要性，並描述了包含指標、計算、權重和經濟評估的評估子系統。PLN 的 Dimas Bangun Fiddiansyah 展示了在松巴島 (Sumba Island) 實施自動調度系統(ADS)的成果。他展示 ADS 如何提升電網穩定性並促進再生能源整合。Fiddiansyah 也強調了 ADS 在控制分散式發電單元的角色，以及其穩定頻率和促進與其他電網（如太陽光電系統）互聯的能力。

PLN 的 Angga Kusumadinata 提出了一個創新方案，將預付費用戶整合進 AMI 系統。目前，PLN 的 AMI 系統主要服務後付費用戶，預付費用戶因技術限制而無法納入系統。為了充分運用 AMI 系統效益，所有用戶都必須被整合。Kusumadinata 建議採用同時支援 DLMS/COSEM 和 STS 通訊協定的按鍵式預付費電表。DLMS/COSEM 確保與現有系統的相容性，而 STS 則保留儲值碼付費的便利性與安全性。這個解決方案包含了標準化的電表設計、硬體介面規格，以及資料管理系統整合的關鍵功能，例如電表功能需求、資料結構、資料蒐集、儲值金鑰管理和每日用電分析等。透過此方案，PLN 將能把預付費用戶納入 AMI 系統，實現 AMI 的完整效益。三菱電機的 Hirohisa

Furuta 詳細說明了發展微電網的挑戰與解決方案。他提出模組化設計概念以因應各種應用情境，強調需要定義和標準化能反映這些使用案例的基本組件。Furuta 也指出，由於專案交付時程縮短且使用情境日益多元，標準化和模組化解決方案的需求與日俱增。

11 月 21 日的會議內容涵蓋多個重要面向，包括分散式能源整合、電網穩定性、技術創新及融資策略等。會議首先召開 IERE 常會，由 IERE 主席 Mino Yoshiaki 和秘書長 Takei Katsuhito 介紹組織的最新活動和未來規劃揭開序幕。接著，IERE 榮譽顧問主席 Greg Tosen 的特別演講深入探討電力公司如何因應地緣政治和環境變遷等外部挑戰。他強調電力公司需要從系統理論的角度出發，更積極因應外部環境的變化，並建立組織應變能力。他以德國為例，說明地緣政治事件（如福島核災與俄烏戰爭）如何影響能源政策與電力公司的營運。

在特別演講後接著開始第三場技術研討會，首先由 PLN 的 Davin Navianda Utama 探討印尼能源專案的融資策略，本簡報亦是本場技術研討會唯一一位講者。他指出，最佳化資本結構（特別是提高負債比率）可以提升投資報酬，但同時也需謹慎評估風險，並遵守與貸款機構的協議。他以一個天然氣化專案為例，透過敏感度分析，說明不同負債權益比例對專案淨現值（NPV）和內部報酬率（IRR）的影響。研究結果顯示，70:30 的負債權益比例對該中游天然氣專案可獲得最佳報酬。

接著第四場技術研討會開始，CRIEPI 的 Yaguchi Masatsugu 介紹了一種用於診斷火力發電廠組件剩餘壽命的破壞性評估方法。此方法運用超微型潛變測試技術來提升診斷準確度，並可應用於實際電廠組件。研究顯示，只要取樣厚度在管壁厚度 5% 以內，取樣對潛變壽命的影響可以忽略。此外，這個方法只需要短期測試數據就能有效估計剩餘壽命。

CEPRI 的 Yuehui Huang 分享了中國分散式再生能源，特別是分散式太陽光電系統的發展現況與挑戰。她指出，中國分散式太陽光電發展快速，但對電網運作造成電力

平衡、電壓波動等問題。為解決這些問題，中國國家電網公司進行了廣泛的研究與實務驗證，包括制定併網標準、評估電網容量，以及開發分散式太陽光電的預測和調度運轉管理方法。她特別提到，某些地區分散式太陽光電的最大輸出已達到瞬時負載40%以上，對電網穩定性造成嚴峻挑戰。

E.ON 集團創新部門的 Munib Amin 從歐洲角度探討如何整合傳統與再生能源，以建立更穩定的電網。他強調電網彈性與數位化的重要性，認為需要整合電網端與市場端的靈活度，並運用人工智慧與量子運算等新興科技來提升電網管理效率。他以德國的測試計畫為例，說明如何透過平台整合不同來源的彈性資源，以解決電網瓶頸問題。

在會議最後一部分，即第五場技術研討會， PLN 的 Very Fernando 展示了如何運用擴增實境（AR）技術來提升 20kV 配電網路的巡檢效率。這項技術不僅降低巡檢成本，也提升資產管理與數位轉型的效率。PLN 研究所的 Rasgianti 則介紹了印尼科帕島的潮流發電廠示範計畫，展現海洋能源的發展潛力。最後，PLN 研究所的 Putu Agus Aditya Pramana 探討了結合太陽光電與電動車來提升配電網路容量的方法。研究結果顯示，透過在辦公區域利用電動車儲存太陽光電所產生的電力，可有效降低電網的逆送電的情況，並提升能源效率。

## 2.4 技術參訪

本次技術參訪之地點為是 Nusa Penida (珀尼達島)太陽光電發電廠(如圖 11 所示)，位於峇里省之東南方，該電廠發電量最大可達 3.5MW 瓦，每年可減少 4,190 噸的二氧化碳排放。這套系統整合了太陽光電、柴油發電和電池儲能，支持印尼在 2060 年前達成淨零碳放的目標。PLN 也計畫在峇里島擴大再生能源的裝置容量，以提升環境永續性和生態旅遊發展。



圖 11 Nusa Penida 太陽光電發電廠

Nusa Penida 太陽光電發電廠是於 2022 年 10 月開始商轉，其位於珀尼達島東北方的山坡地上，該電廠採用 Hitachi Energy 所提供的解決方案，其為光儲式的混合發電廠，儲能系統主要用於太陽光電之平滑化。其儲能系統 PCS(如圖 12 所示)和電廠控制器(如圖 13 所示)皆是採用 Hitachi Energy (ABB) 所製造之產品，但太陽光電變流器(如圖 14)和儲能系統電池則分別採用華為及寧德時代的產品，相關設備詳細規格表如表 2 所示。

由於峇里島地處赤道附近，氣候型態僅有乾季及雨季之分，不會出現四季變化所帶來的日照量顯著差異。根據 2024 年的運轉數據統計，該電廠的容量因數(CF)平均維持在 16%至 17%之間，各月份的發電表現相當穩定，月間容量因數的變動幅度不大。此外，該地區較少受到颱風等重大氣候災害的影響，有利於太陽光電系統的穩定運作及設備維護。



圖 12 儲能系統



圖 13 電廠控制器與控制室



圖 14 太陽光電變流器

表 2 設備規格表

設備	廠牌型號	建置容量
太陽光電模組	JA Solar 540 WP	4200 kWp
太陽光電變流器	Huawei 215kTL 200kw	3600 kW
儲能系統電池	CATL LFP Batt 373kwh	3357 kWh
儲能系統 PCS	ABB PCS100 1500 kw	4500 kW

### 三、心得及建議

本次會議有幾場簡報讓我印象較為深刻，其中 PLN 的 Kusumadinata 在場次 T2-4 分享了將預付費用戶整合至智慧電表基礎設施(AMI)的創新方案，這個案例特別引起我的注意，因為它呈現了與台灣截然不同的用電服務模式。在印尼，預付費用戶占總用戶數的 48.4%，約 4500 萬戶，這些用戶使用具有密碼鍵盤的電錶，透過輸入 20 位數的儲值金鑰來預付電費。相較之下，台灣僅採用傳統的後付費計費模式，這種差異反映出不同市場對電力服務的需求和使用行為可能存在顯著差異。從技術層面來看，PLN 採用了一個相當務實的解決方案。他們同時支援 DLMS/COSEM 和 STS 兩種協議，確保新舊系統能夠無縫對接。這種設計不僅保留了用戶熟悉的使用習慣，也為未來的系統升級預留了彈性。這提醒我們在推動智慧電網時，需要充分考慮系統的相容性和可擴展性，確保新技術的導入不會對既有用戶造成困擾。雖然台灣目前並未採用預付費模式，但這個案例仍然提供了寶貴的啟示。例如，我們可以思考在特定場景下(如短期租屋、臨時用電等)是否可以引入類似的彈性付費機制。此外，預付費模式配合 AMI 系統，也可能為需求面管理提供新的工具，有助於提升電網調度的靈活性。

另一個印象深刻的是 PLN 的 Bangun Fiddiansyah 在場次 T2-3 所分享運用自動調度系統實現松巴島智慧電網之穩定控制。印尼是世界最大群島國家，全國共 17,508 個大小島嶼，因此在提高供電率上一直是不小的挑戰，其中發展離島型的微電網是一個不錯的解決方案。以松巴島為例，系統總裝置容量為 22.8 MW，包含柴油機組 18.93 MW、太陽能 1 MW 及小水力 2.75 MW，但再生能源的間歇性特性會造成頻率不穩定，柴油機組的負載追隨能力亦有限，手動調度系統的反應速度也不夠快，這也促使了 PLN 設計了 ADS 自動調度系統。該系統採用分層式的控制架構，整合了電網分析器、資料搜集器和控制系統，其中包含了通訊模組、PLC、感測器和數據機...等。系統設有演算法控制等時發電機的開關操作，當負載過高時可自動啟動柴油機組，並即時反

映多台發電機的狀態。依據簡報內容，該系統有效的維持電網頻率在正常範圍（49.5-50.5 Hz）內，改善了系統對太陽光電波動的適應能力，提升發電資源的調度效率同時亦降低了系統運維成本。這種智慧型調度系統的研究成果，不僅對印尼其他離島具有參考價值，對於台灣的離島電力系統發展也很值得借鏡。



(a)舊型 (b)新型  
圖 15 預付費模式使用之鍵盤式電錶[2]



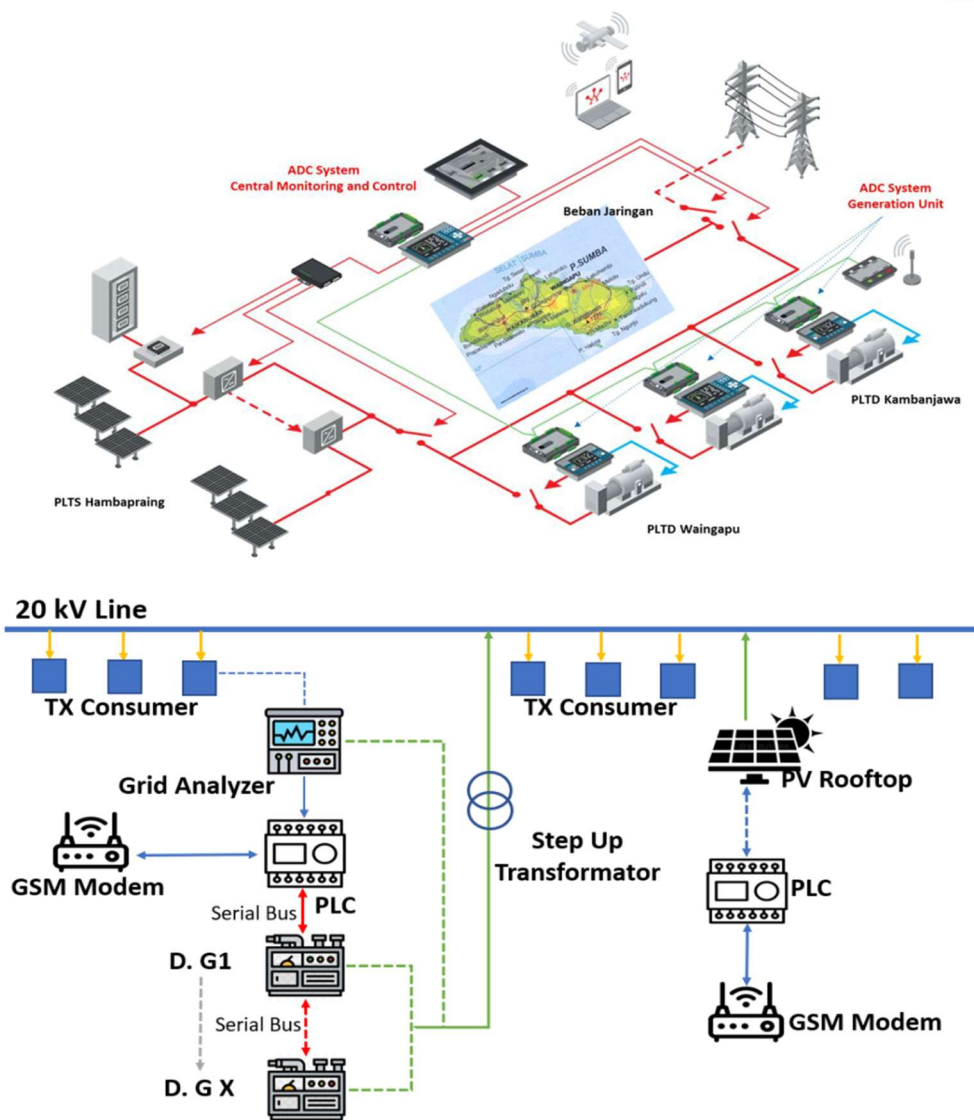


圖 16 ADS 系統配置圖[3]

第三個想特別分享的是 Greg Tosen 博士的特別演講，在這個快速變遷的時代，電力事業正面臨前所未有的挑戰。Greg 博士從系統理論的角度切入，借鑑了 Ludwig von Bertalanffy 的觀點，強調組織必須像生物體一般，與環境保持動態平衡，不斷進行物質、能量和資訊的交換。這個觀點對於正在經歷能源轉型的電力產業特別具有啟發性。演講中特別引人深思的是對全球能源結構變遷的分析。從 1850 年到 2100 年的歷史長軸來看，能源結構的轉變往往伴隨著重大的社會變革與技術突破。以福島事件為例，

它不僅改變了德國的能源政策，更為全球能源轉型注入了新的動力。這提醒我們，外部衝擊除了帶來挑戰，也可能是促進組織進化的契機。

在實務層面，Greg 博士提出了敏捷組織的概念模型，強調管理層支持和內部專家系統的重要性。這種模式特別強調「向前彈跳」(bounce forward)的概念，也就是說，組織面對挑戰時不應該只求恢復原狀，更應該藉機提升能力、精進作為。這對於正在推動數位轉型的台電來說，是很好的借鏡。演講中提到的數位化、去中心化趨勢，以及對終端用戶電氣化的重視，都指向了一個重要結論：未來的電力事業必須具備更強的適應力和創新力。這不僅需要技術層面的準備，更需要組織文化的轉型和人才能力的提升。這場演講提醒我們，在推動能源轉型的過程中，除了關注技術創新，更要重視組織的適應能力建設。唯有建立系統性思維，才能在這個複雜多變的環境中，持續提供穩定可靠的電力服務。

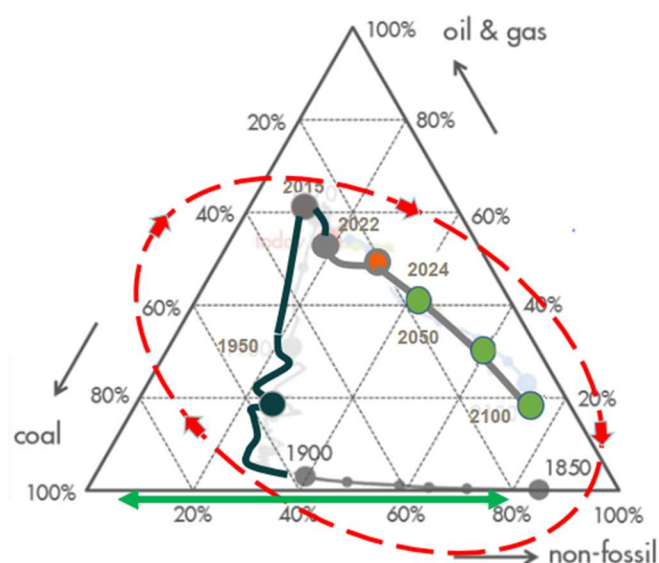


圖 17 1850 年至 2100 年全球能源結構變遷的分析[4]

最後，藉由本次參與第 24 屆 IERE 常會及印尼論壇，本所與多位參與本次會議之各國代表們進行經驗交流與分享，並建立起多元的交流管道，收穫豐碩。本次會議對於增進國際間的能源技術研究合作，及掌握前瞻性能源發展趨勢具有重要意義。

綜合研究所為台電公司研究單位，亦是台電公司新興技術的重要智庫，需配合國家能源政策及公司營運需求，訂定長期研究策略及方向。本次參與會議，藉由與國際相關研究機構進行交流，深入了解在分散式能源於電網滲透率越來越高的情況下，全球電業是如何開發及應用新能源科技來加以因應，也進一步協助提升台電公司的國際化及技術實力。

此外，本次會議特別令人印象深刻的是本次會議主辦單位印尼國家電力公司 PLN，在是電力研究分享和文化上，皆展現出濃厚的地方特色，此次參與會議，不僅是技術與策略上的收穫，也是一段跨文化交流的重要體驗。

## 四、 參考文獻

- [1] W.-C. LIANG, “Application of Real-Time EMT Simulation Technology in Taiwan’ s Microgrid Simulation Analysis and Testing,” presented at the 24th IERE General Meeting and PLN Indonesia Forum, Bali, Indonesia, Nov. 20, 2024.
- [2] A. Kusumadinata, “Integrating Prepaid Customers into AMI: Meters and Standardized Protocols for PLN in Indonesia,” presented at the 24th IERE General Meeting and PLN Indonesia Forum, Bali, Indonesia, Nov. 20, 2024.
- [3] D. Bangun Fiddiansyah, “The Implementation of the Automatic Dispatching System (ADS) as the Smart Grid Control to Maintain Power Stability in Sumba Island,” presented at the 24th IERE General Meeting and PLN Indonesia Forum, Bali, Indonesia, Nov. 20, 2024.
- [4] G. Tosen, “Systemic Moments for Electricity Utilities-Building Adaptive Skills in a Complex World,” presented at the 24th IERE General Meeting and PLN Indonesia Forum, Bali, Indonesia, Nov. 21, 2024.