

# 電力研究簡訊

## Power Research Newsletter

113 年第 3 季 (113.07 No.133)

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(100046) 台北市中正區羅斯福路 4 段 198 號 電話：(02)2360-1084 傳真：(02)2365-8477

### 目錄

#### 研究計畫成果

- 一、MMS 及 DNP3 通訊協定安全性強化研究 .....1
  - 二、配電規劃資訊系統結合配電級再生能源可併容量查詢系統暨網頁化 .....2
  - 三、儲能系統提供系統運轉加值應用服務之研析 .....4
  - 四、二次變電所巡檢機器人之 AI 影像辨識研究 .....6
- #### 技術服務
- 太陽能光電系統線路連接器故障案例研討 .....7

### 台灣電力公司

使命：以合理成本及友善環境的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力。  
願景：成為卓越且值得信賴的世界級電力事業集團。  
經營理念：誠信、關懷、服務、成長。

## 研究計畫成果

### 一、MMS 及 DNP3 通訊協定安全性強化研究

(資訊與通信研究室：林呈鴻、黃暉珩)

#### (一) 研究緣由：

隨著先進資通訊技術(ICT)於電力系統的部署，傳統電網正在逐步轉變為智慧電網。使用可互操作協定的 IEC 61850 電力系統通訊標準有很多好處，然而在電網數位化的同時，ICT 的廣泛應用也可能使電網易遭受到網路攻擊。最近幾年的電網攻擊事件，如烏克蘭電網大停電、震網(Stuxnet)病毒攻擊等，都是此類攻擊的一些案例。因此，防止對智慧電網中標準化通訊的攻擊為智慧電網發展過程中須併行考量的重要安全議題。有鑑於此，國際電工委員會(IEC)發布了 IEC 62351 電力系統安全標準，它提供了保護電力系統的安全指引。

#### (二) 研究內容：

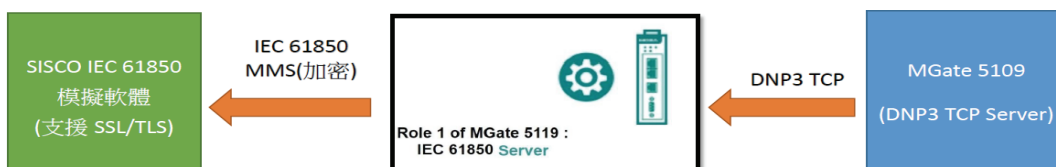
本研究於實驗室建立 MMS 導入 TLS 傳輸層加密機制及 DNP3 應用層安全認證測試平台，驗證其安全性提升之有效性並可抵禦重送攻擊及中間人攻擊。主要研究內容及目標如下：

1. 研究 IEC 62351 對應安全標準 IEC 62351-3 (TCP/IP TLS 加密)、IEC 62351-4 (MMS 加密)、IEC 62351-5 (DNP3 安全認證)。

2. 依據 IEC 62351-4 及 -5 建立實驗室 MMS Client/Server 架構 TLS 加密傳輸機制及 DNP3 Master/Outstation 安全認證機制模擬平台。
3. 依據模擬平台測試結果提供 MMS 實作 TLS 傳輸層加密及 DNP3 安全認證技術規格。

#### (三) 研究成果：

本研究採用 SISCO AX-S4 61850 模擬軟體所提供的測試憑證，如圖 1 建立的模擬 IEC 61850 Client/Server MMS 封包傳輸加密的測試環境中配置憑證，Client/Server 驗證各自的憑證成功後，即可建立 TLS 連線。MGate 5119 閘道器將 DNP3 TCP 封包轉成 MMS 封包格式，以表 IEC 62351-4 建議的加密套件實作 IEC 61850 MMS 加密，在 IEC 61850 Client/Server 模擬環境中驗證安全訊息交換。由於封包以 TLS 加密演算法封裝，因此 Wireshark 無法解析封包訊息及顯示其內容，故訊息傳送過程中受到安全保護(圖 2)。



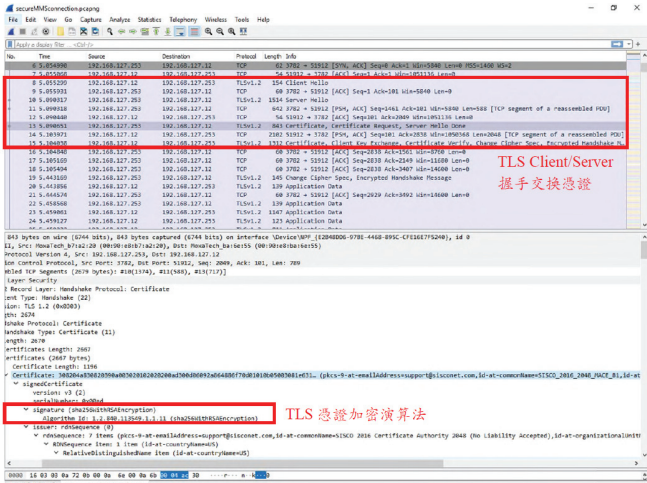
資料來源：本研究繪製

圖 1 MMS 封包傳輸加密測試架構圖

表 1 IEC 62351-4 標準固有模式加密套件規範

金鑰交換		加密演算法	雜湊演算法	來源	支援
演算法	簽章				
TLS_DH	RSA	WITH_AES_128_CBC	SHA256	RFC 5246	o
TLS_DH	RSA	WITH_AES_128_GCM	SHA256	RFC 5288	m
TLS_DHE	RSA	WITH_AES_128_GCM	SHA256	RFC 5288	m
TLS_DH	RSA	WITH_AES_256_GCM	SHA384	RFC 5288	o
TLS_ECDHE	RSA	WITH_AES_128_GCM	SHA256	RFC 5289	o
TLS_ECDHE	RSA	WITH_AES_256_GCM	SHA384	RFC 5289	o
TLS_ECDHE	ECDSA	WITH_AES_128_GCM	SHA256	RFC 5289	m
TLS_ECDHE	ECDSA	WITH_AES_256_GCM	SHA384	RFC 5289	o

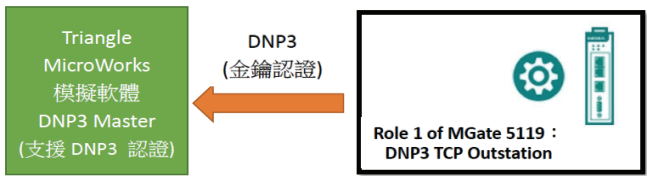
資料來源：IEC 62351-4



資料來源：本研究螢幕截圖

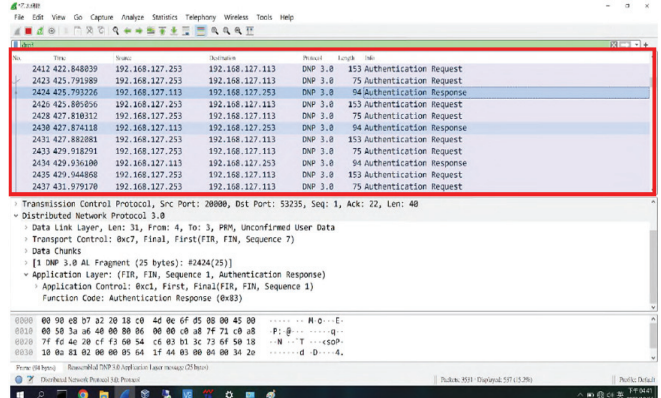
圖 2 TLS Client/Server 握手交換憑證

DNP3 安全認證測試採用以 IEC 62351-5 安全標準為基礎的 DNP3-SAv5 安全認證版本，以 Triangle Microworks DNP3 Slave 模擬軟體及擔任 DNP3 Master 角色的 MGate5119 閘道器進行金鑰認證(圖 3)。DNP3 Master/Slave 安全認證連線設定完成後，由 Wireshark 攔截 DNP3 通訊封包，發現 Client 端 (Master)192.168.127.253 向 Server 端 (Slave)發出 Authentication Request 認證請求，192.168.127.113 即回應 Authentication Response，表示完成安全認證連線(圖 4)。成功通過安全認證後進行 DNP3 訊息交換，證實訊息是由經身分認證合格授權者所發送。



資料來源：本研究繪製

圖 3 DNP3-SAv5 安全認證測試架構圖



資料來源：本研究螢幕截圖

圖 4 DNP3 Master/Slave 完成安全認證請求與回應

表 2 列出了 TLS 加密安全功能與 DNP3 安全認證之比較，TLS 加密側重於透過加密和雙向身份認證來保護傳輸層通訊的機密性和完整性；而 DNP3 安全認證則提供了應用層基於共享金鑰的設備級認證機制、數據完整性和訊息重送保護等安全需求。研究成果可應用於保護智慧變電所與控制中心間 IEC 61850 MMS 及 DNP3 訊息傳送，以強化系統的網路通訊安全。

表 2 TLS 與 DNP3-SA 安全功能比較

協定安全功能	TLS	DNP3-SA
通訊會話認證	Yes	No
欺騙保護(設備認證)	Yes	Yes
竊聽保護(機密性)	Yes	No
竄改保護(完整性)	Yes	Yes
OSI 層級	傳輸層	應用層
訊息重送保護	Yes	Yes
有效訊息保留和防洪	No	Yes
亂序訊息保護	No	Yes
支援對稱金鑰	No	Yes
支援非對稱金鑰	Yes	Yes (僅 SAv5)

資料來源：本研究整理

## 二、配電規劃資訊系統結合配電級再生能源可併容量查詢系統暨網頁化

(負載管理研究室：張文奇、蔡森洲、陳俊瑋、林必達、游晴幃)

### (一) 研究背景：

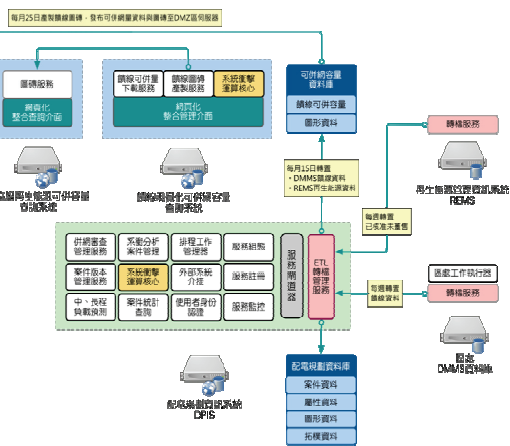
為因應再生能源審查併網申請案件增加，定時擷取配電圖資管理系統的配電饋線拓樸資料，及再

生能源管理資訊系統的申請案件資料，將各饋線從已申請核准到已躉售再生能源全部納入分析，利用分散式運算技術，快速大量計算出全台饋線可併網

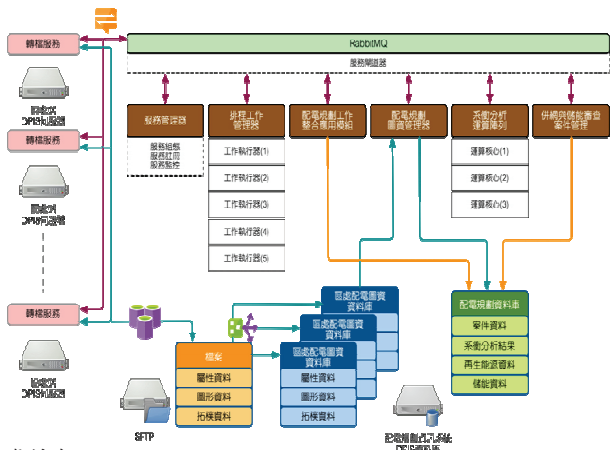
量資訊。可提供區處審查人員針對申請併網案件，透過改善變壓器容量、更換導線線徑規格、降低申請併網容量等方式，藉由多點計算併網衝擊分析評估新申請案件，以檢視是否符合併聯技術要點條件，試算出建議可行方案，大幅降低審查整理資料與重複試算所需時間，加速處理作業提升人員效率。

(二) 系統架構：

本研究透過 ETL 轉檔管理服務，定時轉檔供網頁化配電規劃資訊系統使用，減少區處人工轉檔作業，整合區處配電設備拓模資訊，簡化成計算可併網容量所需的資料架構，彙整至中心端作為運算基礎資料，進行多段式系統衝擊分析效能，快速計算出各區段最大可併網容量，進而將計算結果整合地理資訊系統技術，其資料處理流程如圖 1 及圖 2 所示。



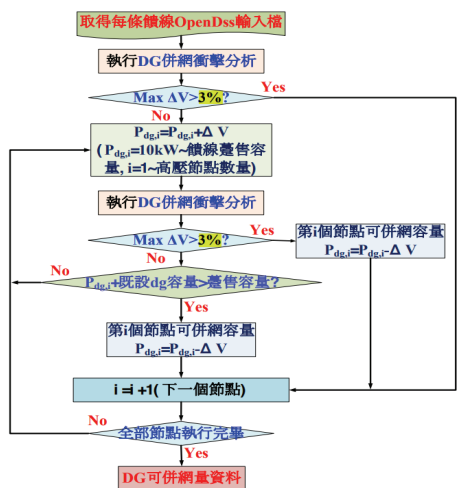
資料來源：[1]  
圖 1 饋線可併網容量系統資料流程



資料來源：[1]  
圖 2 配電規劃資訊系統服務運作架構

(三) 系統分析運算核心：

對於本研究中重要之核心基礎為可併網量計算，統一使用 OpenDSS 作為運算引擎，參考再生能源並聯要點中發電設備併接於台電系統造成責任分界點電壓變動率，在加計同一變電所或同一變壓器或同一饋線已核准併網發電設備之影響，及不考慮其他系統背景值，例如負載、儲能系統等，依據「再生能源發電系統併聯技術要點」電壓變動率規定，應在高低各 3% 以內，作為各併接點計算限制。系統判斷規則與處理步驟如下圖 3 所示。



資料來源：[2]  
圖 3 系統衝擊分析運算處理流程

(四) 配電規劃資訊系統網頁：

本案開發配電規劃資訊系統(NDPIS)，主要為簡化再生能源審查作業之工具，透過整合多種功能，提供了一個方便的人機介面，以下將針對系統各項功能進行說明。

1. 系統首頁

依照所選區處和能源型態顯示系統狀態於首頁儀表盤，包含配電圖資併網案件數、配電圖資併網容量、已核通過未併網案件數和已核通過併網案件數，如圖 4 所示。



資料來源：台電新配電規劃資訊系統  
圖 4 首頁

2. 併網系統分析

透過選取變電所及饋線或輸入併網案例編號，顯示該饋線之前分析案例，可沿用之前案例或重新抓取該饋線再生能源併網案例，進行併網系統分析，如圖 5 及圖 6 所示。



資料來源：台電新配電規劃資訊系統  
圖 5 併網系統分析

進線編號	進線名稱	進線規格	DC裝置容量(kW)	DC功率回數	儲能裝置容量(kWh)	儲能功率回數	高壓、中壓、低壓	導體長度(m)	變壓器容量(kVA)	變壓器相數	變壓器效率(%)	資料來源	備註
○	K2545G4R	水塔光電	690	1	0	0	NONE	0	0	0	0	RFLK	修改 刪除
○	K2543D511B	水塔光電	9.75	1	0	0	NONE	0	50	0	167	DMMS	修改 刪除
○	K2543H111B	水塔光電	9.135	1	0	0	NONE	0	50	50	0	子數	修改 刪除

資料來源：台電新配電規劃資訊系統  
圖 6 再生能源併網資訊

輸入資料提供分散式電源之故障電流與電壓閃爍分析，執行系衝分析，即可顯示併網系衝分析結果，並產生併網系衝分析結果與報告，如圖 7 及圖 8 所示。

進線編號	進線名稱	裝置容量(kW)	A相-DV(%)	B相-DV(%)	C相-DV(%)	符合/不符合	備註
9	K2746BA34	44	0.00	0.01	0.00	符合	
17	K2652AA91-TrBus	500	11.70	0.00	0.00	不符合	

資料來源：台電新配電規劃資訊系統  
圖 7 併網系衝分析結果

進線編號	進線名稱	裝置容量(kW)	A相-DV(%)	B相-DV(%)	C相-DV(%)	符合/不符合	備註
13	K2746BA34	44.0	0.01	0.01	0.01	符合	
17	K2652AA91-TrBus	142.0	0.40	0.40	0.40	符合	

資料來源：台電新配電規劃資訊系統  
圖 8 系統衝擊分析報告

若再生能源超過電壓變動率限制 3%，可進行改善方案功能，如圖 9。透過調整變壓器容量、更改導線線徑規格及新設變壓器等方式，以改善配電併網弱點及擴大併網容量，同時進行再生能源併網系統衝擊分析，試算可行的併網改善方案，如圖 10。

進線編號	進線名稱	裝置容量(kW)	A相(%)	B相(%)	C相(%)	符合/不符合	備註
9	K2746BA34	44	0.00	0.01	0.00	符合	
17	K2652AA91-TrBus	500	11.70	0.00	0.00	不符合	

資料來源：台電新配電規劃資訊系統  
圖 9 電壓超過 3%之系衝分析結果

進線編號	進線名稱	裝置容量(kW)	A相-DV(%)	B相-DV(%)	C相-DV(%)	符合/不符合	備註
9	K2746BA34	44	0.01	0.00	0.01	符合	
17	K2652AA91-TrBus	610	2.99	0.58	0.00	符合	

資料來源：台電新配電規劃資訊系統  
圖 10 衝擊分析結果改善方案

(五) 參考資料：

- [1] 「配電規劃資訊系統結合配電級再生能源可併容量查詢系統暨網頁化完成報告」，台灣電力股份有限公司，民國 112 年 9 月。
- [2] 台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點，台灣電力公司，民國 112 年 8 月。

三、儲能系統提供系統運轉加值應用服務之研析 (電力經濟與社會研究室：曾泓祥)

(一) 研究背景：

在我國能源政策規劃下，預計 2025 年後再生能源裝置將超過 20%，其將對電網的頻率調節和供需平衡帶來更大挑戰。儲能技術因其快速反應和調度彈性的特性而變得日益重要，而電力交易平台啓用以及外部業者增加對儲能設施之投資，使得台電公司作為系統運營商(System Operator)之角色逐漸浮現，有助於促進能源轉型和電力系統穩定發展。

(二) 研究內容：

本研究旨在協助台電公司加強對儲能技術在國內電力系統之調度應用，主要研究目標包括：1. 精進現有輔助服務的規劃架構和規範、2. 研析即時調度的應用方式和技術規範、3. 提出將儲能應用納入電力調度或交易之具體建議。

研究內容包括：蒐集國際 ISO(Independent System Operator)之儲能應用案例、分析國內現有儲能執行成效、研擬儲能於國內電網之應用方式、以 Python 和 Matlab 進行模擬分析、以及研究儲能應用對技術規範之調整建議。透過前述方法與規劃進一

步掌握儲能於國內電力系統之應用，並作為未來規則研擬之參考。

(三) 研究成果：

1. 國際輔助服務與即時調度作法研析

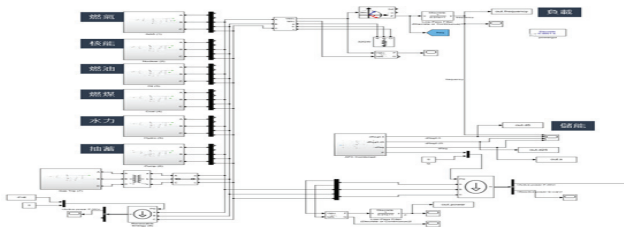
根據所蒐集的數個國際 ISO 作法，以輔助服務而言，英國值得參考的地方為未來調頻服務的分工細緻，清楚將備轉之功能分成事故前和事故後的使用情境，且將執行率要求提高；澳洲亦加入 1 秒快速反應因應事故，值得參考之處為新增輔助服務項目時，確實考量市場和參與者的狀況。針對儲能提供虛擬慣量之作法，雖此應用於國際間之電力系統仍未有統一之技術規格，然而從技術文獻蒐集中，已可了解儲能提供慣量與 ROCOF 間之能力要求以及作動條件設計要點。另一方面，對於即時調度，德州和紐約的複合式調度作法對於國內儲能 E-dReg 之發展已經發揮明顯參考價值；高再生能源占比導致之夜尖峰在加州亦為主要探討之問題，其儲能的調度方式值得持續追蹤。

## 2. 儲能執行成效研析

現有儲能之執行成效，可分為個別運轉分析與整體儲能貢獻分析，對於儲能個別運轉而言，執行率大多皆高於 90%，執行率低之成因可歸納為五項：SOC 過高或過低、頻率偵測問題、充放電設定、運轉點偏離、其他運轉異常，故本研究於後續工作加入執行率標準改善之研擬，期能促使儲能提升運轉成效。另一方面，整體儲能貢獻之分析結果顯示，系統 CPS1 之數據分布較往年同月份提升，且分佈較集中，顯示頻率變動率有縮小之趨勢；事故期間之在數秒內，儲能可達到近全功率輸出，中型事故頻率偏移量由 2022 年之 0.3Hz，減少至 2023 年約 0.2Hz，其皆展現儲能對於系統頻率之整體效益。

## 3. 儲能調度情境模擬

電網與儲能調度功能模型之建立，則應用於四種不同儲能調度情境模擬，分別為 dReg、sReg、E-dReg、虛擬慣量，對於研究研究量化有實質幫助，模型架構如圖 1 所示，模擬結果將於本文第五點敘明。

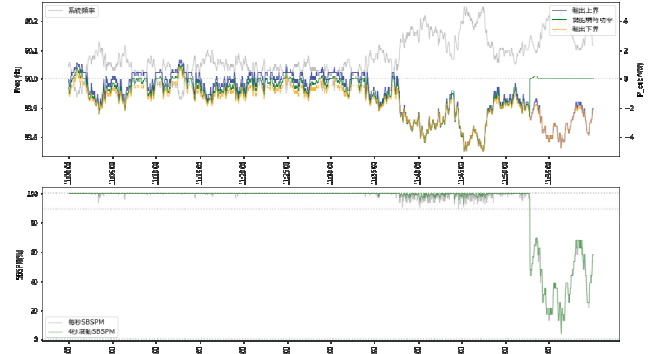


資料來源：本研究整理

圖 1 電網與儲能調度功能模型

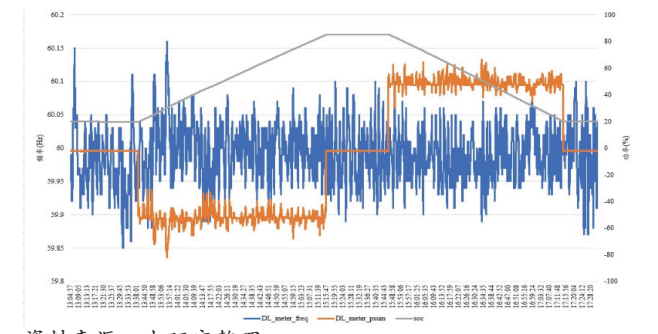
## 4. 輔助服務精進作法

本研究亦探討調頻備轉精進，聚焦於輔助服務調整方向、dReg 執行率強化、sReg、E-dReg 功能驗證。首先，輔助服務調整方向借鏡於英國、德州之作法，比對技術規格上之差異，分析結果顯示，國內作法與國外趨勢相近，且可達到類似之頻率穩定效果；dReg 執行率強化則參考英國之方法，以四秒滾動之方式檢視，如圖 2 所示，實際規則已於 2023 年 10 月協助調度處導入現有電力交易平台；sReg 之分析則主要為探討起停條件，在現有頻率情境下，分析觸發頻率升高或降低對儲能之影響；E-dReg 則透過數值分析與實場測試驗證其可行性，如圖 3 所示。



資料來源：本研究整理

圖 2 dReg 執行率強化之儲能每秒操作分析

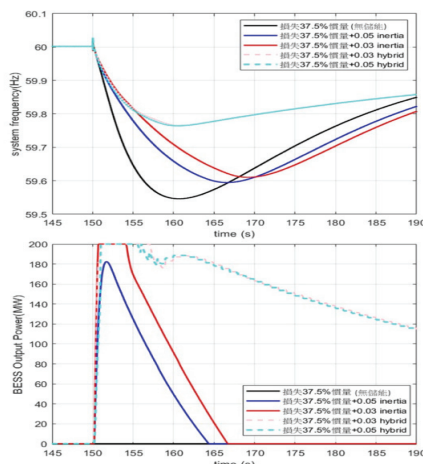


資料來源：本研究整理

圖 3 永安儲能進行 E-dReg 測試之輸出波形

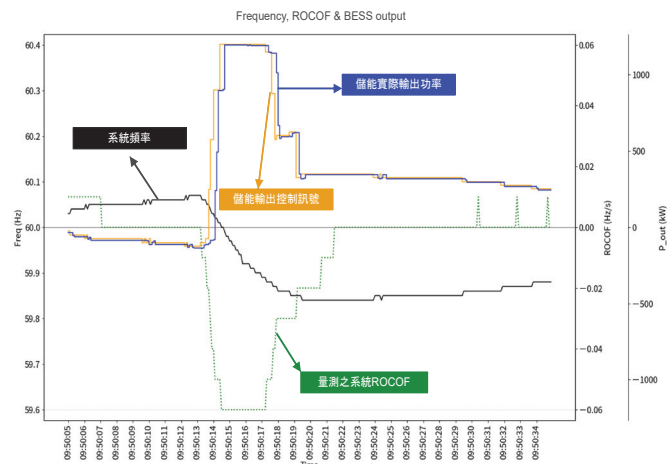
## 5. 儲能未來調度功能研擬

針對未來調度功能研擬，本研究主要探討之功能包含虛擬慣量、電壓調整、負載追隨。虛擬慣量之研析，本研究透過文獻與歷史事故頻率之 ROCOF 設計虛擬慣量技術規格，包含不動帶與全輸出條件，接著以電網模型模擬、實場測試進行研究，如圖 4 所示，結果顯示儲能可針對本研究擬定之技術規則作動，且有潛力導入至現有儲能場域；電壓調整為併網規則既有之要求，研究中進一步完成儲能案場電壓分析以及實場測試驗證其可行性；負載追隨旨在透過儲能達成即時供需平衡，並設計一 PI 控制器進行儲能輸出功率控制，研擬結果顯示具備技術可行性，可視電網之實際需求進行相關規則之導入。



(a) 虛慣量之電網模型模擬結果

資料來源：本研究整理



(b) 虛慣量之實際儲能場域測試結果

圖 4 儲能提供虛擬慣量之模擬與實場測試結果

## 四、二次變電所巡檢機器人之 AI 影像辨識研究

(高壓研究室：陳柏江、林閔洲、林彥廷、李政崇)

### (一) 研究背景、目的、方法：

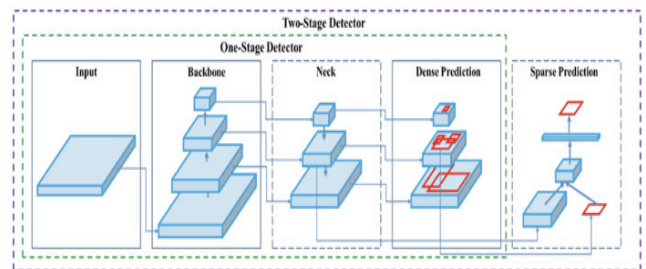
本計畫將擴增巡檢機器人功能以符合未來實際應用時的需求，提升巡檢品質與成效。運用可見光影像，進行 AI 影像辨識達到即時檢查設備運作狀態之目的。目前巡檢機器人已能夠執行特定路徑巡檢、紅外熱像儀溫度檢測、溫濕度檢測及故障通報，方可提升日常巡視點檢及維護試驗的效率及機動性以確保供電穩定，當異常通報發生時，立即通知控制中心，利用辨識前後上傳的資訊數據做整合分析，提供管理者預先研判設備、線路或環境影響預估時的依據。

### (二) 成果及應用：

在本研究中，物件偵測部分的辨識模型採用 Scaled YOLOv4，其架構圖如圖 1 所示，模型主要可分為四個部分，分別為：1. 圖像輸入(Input) 2. 提取輸入圖像特徵(Backbone) 3. 整合 Backbone 的各層特徵矩陣(Neck) 4. 將 Neck 整合完成的特徵送入 head，用於預測圖片中待辨識物的輪廓(bounding box)。

本研究計畫案建立 AI 儀表辨識模型藉由讀取曲線銘牌的數值範圍、讀取溫度計與儲油槽油面計的數值、判別儀表指針數、呼吸器顏色如圖 2 所示、判別 ABS 空斷開關的指示標角度如圖 3 所示及判別

SC 熔絲電容器的溫度狀態如圖 4 所示，主動進行辨識是否異常並回傳到表頭 AI 辨識儀表板使用者操作介面，而 AI 儀表辨識模型根據其所屬區域以及辨識方法主要分為主變儀表、ABS 空斷開關以及 SC 熔絲電容器三個部份進行研究開發，當異常通報發生時，立即通知控制中心，利用辨識前後上傳的資訊數據做整合分析，提供管理者預先研判設備、線路或環境影響預估時的依據。目前資料來源僅限於一台巡檢機器人，資料搜集及 AI 成效驗證也因此有非常大的限制，且因現場環境複雜度高，ABS 自動影像辨識仍具高度挑戰性，實際應用仍有待進一步研究。



資料來源：[1]

圖 1 Scaled YOLOv4 架構圖



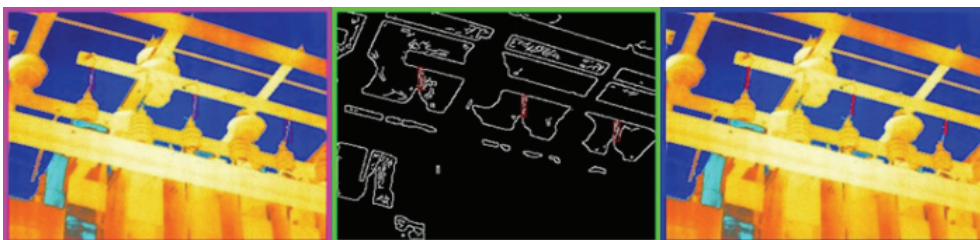
資料來源：本研究

圖 2 油位計與呼吸器的儀表指針數值



資料來源：本研究

圖 3 ABS 空斷開關的指示標角度



資料來源：本研究

圖 4 SC 熔絲電容器的溫度狀態

(三) 參考資料：

[1] A. Bockovskiy, C. Y. Wang, and H. Y. M. Liao, "Yolov4: Optimal Speed and Accuracy of

Object Detection," arXiv:2004.10934v1 [cs.CV], 2020.

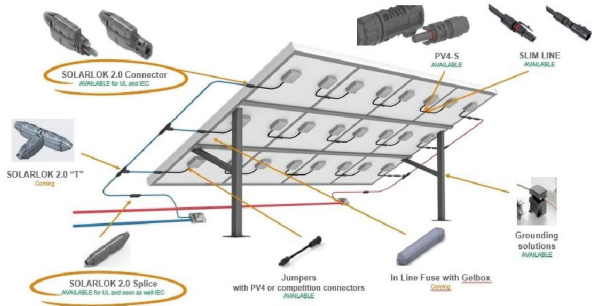
# 技術服務

## 太陽能光電系統線路連接器故障案例研討

(化檢組：楊承翰、詹勝凱、張家豪；再生能源處：葉圳東、駱明麟)

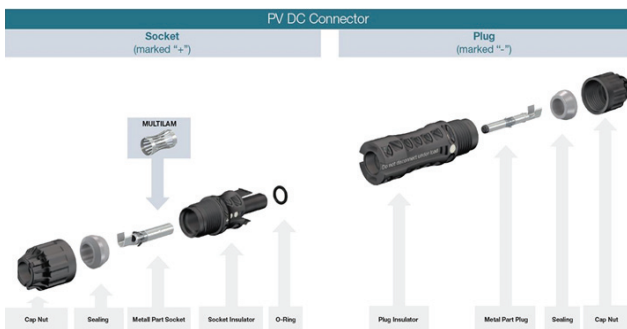
(一) 研究背景及目的：

2016 年台北公館自來水廠發生台灣首見的太陽能發電系統火災事件，經消防局數月的原因調查，鑑識結果顯示起火原因並非抽菸或枯葉等外在原因所引起，而是因光電系統快拆接頭接觸不良所致<sup>[1]</sup>，亦從此時國內光電業者即逐步重視光電系統快拆接頭之品質管控與認知；快拆接頭(後稱連接器)，廣泛被使用在光電系統中<sup>[2][3][4]</sup>(如圖 1)，圖 2 顯示其細部構造分解圖，可區分為插座端(Socket)與插頭端(Plug)，各自端組件包含螺帽蓋、握持結構、金屬端子及絕緣端子，插座端插頭間連接應包含 O-ring 墊圈；因安裝於戶外，連接器需具備耐候要求(UV、溫濕度等)、且具防水防塵特性 (IP 65 以上)，以確保長期連接安全無虞，國際上亦已針對連接器訂定國際標準，包含 UL 6703 及 IEC 62852，供業者作為器材品質依據。



資料來源：[5]

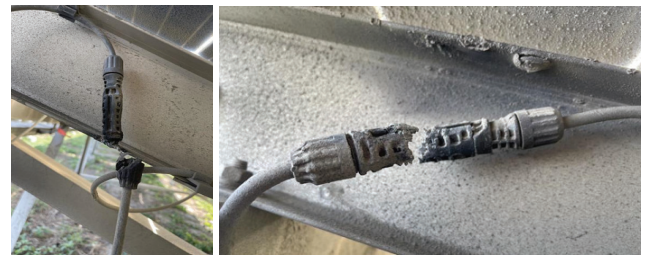
圖 1 光電模組上各種線路連接器使用示意



資料來源：[6]

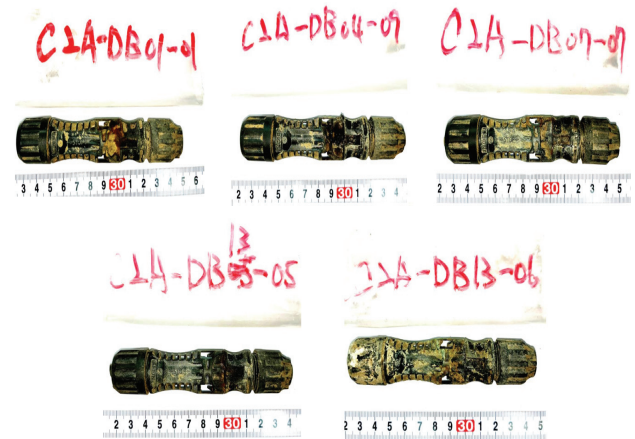
圖 2 快拆接頭(光電模組連接器)細部構造分解圖

國內某光電站自 112 年 1 月起，光電模組連接器發生大量故障，已近 3100 串組串失效(統計至 113 年 1 月)，且多數發生於組串正負極與直流線連接處，造成嚴重發電量損失。本文就該光電站 5 組線上使用連接器進行分析，期盼藉由釐清失效原因以改善該光電站營運可靠度，現場燒損樣貌及 5 組連結器樣品如下圖 3、4 所示。



資料來源：再生能源處拍攝

圖 3 線路連接器燒損樣貌



資料來源：本所拍攝

圖 4 5 組線上使用連接器

(二) 研究方法和內容：

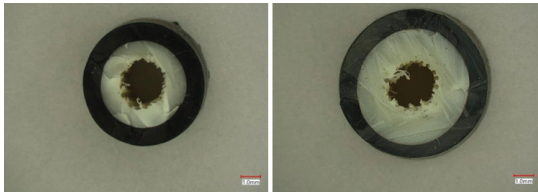
觀察 5 組線上使用之連接器，發現其插座端與插頭端廠牌型號不同，兩端接合並無顯著間隙存在，但插座端與螺帽蓋間隙明顯大於插頭端與螺帽蓋間隙，如圖 5 所示；實際拆解後發現兩端使用之握持結構不相同，亦即為相異廠牌相接之佐證(設計構造不同)。



資料來源：本所拍攝

圖 5 連接器接合情形(左：兩端連接處；中：插頭端間隙(1~2 mm)；右：插座端間隙(4 mm))

經量測兩端連接導線尺寸，兩端導線導體(銅絞)線徑雖相同，但導線被覆外徑卻有顯著差異，插座端導線完成外徑明顯大於插頭端，研判此尺寸差異應為導致兩端間隙不同之主要原因，如圖 6。



資料來源：本所拍攝

圖 6 兩端連接導線剖面圖(左：插頭端導線  $\phi$ 6.1 mm；右：插座端導線  $\phi$ 7.5 mm)

而由連接器商品型錄及施工手冊均可見建議緊固扭矩選用表，該表顯示對應線徑不同，其施工緊固建議扭矩亦不相同，其中某連接器廠家建議使用隨身附件扳手執行預鎖緊後，再施以指定扭矩始完成施工程序<sup>[7][8]</sup>；本所經以上述步驟實際模擬連接器鎖固流程，當僅用隨身扳手執行預鎖緊，其間隙距離與線上使用間隙相符，後續再以扭力扳手施加建議扭矩(線徑 AWG #12 建議扭矩為 4 N·m)，即可顯見間隙距離縮小，如圖 7 所示，因此研判施工人員僅執行預鎖緊，並未安裝施工完成；連接器因接合不完全導致外部水氣、塵土滲入等因素(圖 8)，致使腐蝕生成物及氧化物產生(圖 9)，而有後續連接器接合處過熱及燒損現象。



資料來源：本所拍攝

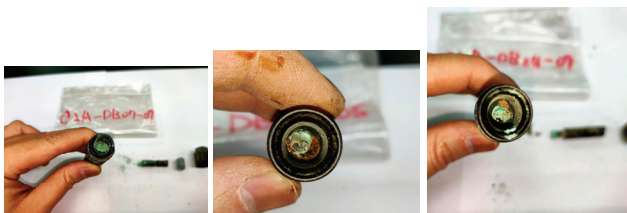
圖 7 預鎖緊與完整施工之間隙比較

由微區成份分析結果推斷接合處內部亮綠色區域為銅合金因潮濕及鹽害環境形成之腐蝕生成物(鹼式碳酸銅(銅綠)、氯化銅等)，而接合處內部呈現黑色區域則為高溫氧化形成之銅氧化物，均為接合不確實所導致之結果。



資料來源：本所拍攝

圖 8 連接器塵土滲入



資料來源：本所拍攝

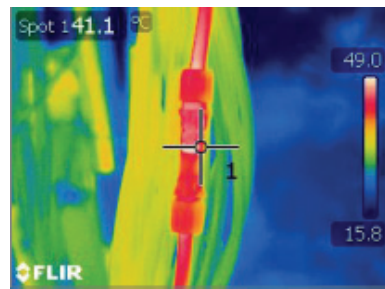
圖 9 連接器腐蝕生成物及氧化物

### (三) 研究成果：

彙整國際上常見連接器失效計有六項主因，

1. 安裝不當，導致接觸點(子)接觸不完全而電阻變大
2. 錯誤的安裝工具，導致安裝後不符合產品特性或部件損壞
3. 安裝人員缺乏訓練，未依照標準安裝流程執行安裝程序致密封不良
4. 相異品牌相接，易因設計差異使密封性及防水防塵特性失效
5. 使用未經認證連接器，未通過國際標準與相關認證導致器材運轉可靠度有疑慮
6. 錯誤的材料選擇，連接器材質未考量環境老化因素，而因接觸油或太陽光發生降解，導致特性失效<sup>[9]</sup>；上述均可能導致電力損失、接地短路事故及火災等危害，衍生經濟損失、人員傷亡至相關法律責任。

本文案例即因上述 3、4、5 失效因素，而使連接器使用故障頻傳；具體改善方式建議從案場設計、器材選配等予以審查管制，並強化現場施工人員標準化作業流程及確實辦理施作人員教育訓練，後續再以現場目視檢查及紅外線溫度檢測(圖 10)確認安裝成效，方可確保現場連接器長期使用無虞。



資料來源：[9]

圖 10 連接器溫度異常(紅外線熱影像儀)

### (四) 參考文獻：

- [1] 「建置太陽能發電系統時，不可忽視的品質細節(一)：MC4 連接器」，原生生活，民國 106 年 10 月 2 日。<https://www.initialsolar.com/blog/228>
- [2] “BETA solar PV Connector: LSC-01,” BETAflam Solar.
- [3] “Photovoltaic Main Catalog – Solarline: Connectors for Renewable Energy,” Staubli.
- [4] “Original MC4-Evo 2 – Renewable Energy: Solar Photovoltaics,” Staubli.
- [5] M. Osborne, “Te Connectivity’s ‘SOLARLOK SLK 2.0’ DC Plug and Splice Connectors Reduce PV Power Plant Installation Times,” PV Tech, 25 June 2021. <https://www.pv-tech.org/te-connectivitys-solarlok-slk-2-0-dc-plug-and-splice-connectors-reduce-pv-power-plant-installation-times/>
- [6] “Small Components. Big Impact, Cabling of PV Installations – Key Factors for a Successful Long-Time Reliability,” Staubli.
- [7] 「最佳實踐 – 如何組裝和壓接史陶比爾原廠 MC4 / MC4-Evo 2 太陽光電連接器」，Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=pAHOXSVz-14>
- [8] “MA273 Assembly Instructions,” Staubli. [https://www.staubli.com/content/dam/ecs/technical-documentation/assembly-instructions/RE/PV\\_MA273-cn.pdf](https://www.staubli.com/content/dam/ecs/technical-documentation/assembly-instructions/RE/PV_MA273-cn.pdf)
- [9] “The Ultimate Safety Guide for Solar PV Connectors: An In-Depth Primer with Best Practices for Solar Professionals and Asset Owners,” PVEL. <https://www.pvel.com/wp-content/uploads/PVEL-HelioVolta-Ultimate-Safety-Guide-for-Solar-PV-Connectors-Feb-2022.pdf>