

前瞻基礎建設計畫

111 年度執行進度及績效報告

綠能發配電智慧管理與效能提升技
術發展

行政院原子能委員會核能研究所

112 年 1 月

目次

壹、特別預算及進度執行情形.....	1
一、計畫期程：110/01/01~111/12/31	1
二、特別預算執行情形（截至 111 年 12 月底）	1
三、進度執行情形（截至 111 年 12 月底）	1
貳、重要執行成果及里程碑達成情形	2
參、總體績效目標達成情形、年度績效目標達成情形	30
一、工作指標.....	30
二、效益指標.....	31
肆、重大落後計畫之落後原因及因應對策	32
伍、經濟效益	33
一、可量化之經濟效益	33
二、不可量化之經濟效益	33
陸、檢討與建議	35

壹、特別預算及進度執行情形

一、計畫期程：110/01/01~111/12/31

二、特別預算執行情形（截至 111 年 12 月底）

經費單位：千元

期別	年度	法定特別預算 (A)	分配數 (B)	實現數 (C)	支用比 (%) (C/B)	已執行應 付未付數 (D)	節餘數 (E)	預付數 (F)	執行數 (G)=(C+ D+E+F)	執行率 (%) (G/B)	達成率 (%) (G/A)	是否尚有 保留款待 執行
1	106	000,000	同(A)	000,000	00.00	000,000	000,000	000,000	000,000	00.00	同執行率	是/否
	107		同(A)								同執行率	
	總計		同(A)								同執行率	
2	108		同(A)								同執行率	是/否
	109		同(A)								同執行率	
	總計		同(A)								同執行率	
3	110	210,000	同(A)	209,998. 421	100.00	0	1.579	0	210,000	100.00	同執行率	是
	111	210,000	同(A)	191834. 65	91.35	0	0.35	0	191,835	91.35	同執行率	
	總計	420,000	同(A)	401,833. 071	95.67	0	1.929	0	401,835	95.68	同執行率	

三、進度執行情形（截至 111 年 12 月底）

單位：%

	預定進度 (A)	實際進度 (B)	進度比較 (B)-(A)
年累計（111年）	100.00	99.00	-1.00
總累計（計畫首年至111年）	50.00	49.75	-0.25

註：總累計計畫期程為 110 年 1 月至 114 年 08 月止

年累計計畫期程為 111 年 1 月至 111 年 12 月止

貳、重要執行成果及里程碑達成情形

一、重要執行成果

本計畫分三個子項計畫(一)本土化配電網路管理與地理空間資訊應用(二)微電網與配電網共模調控技術開發(三)電動運具智慧充換電儲能電站技術發展」，相關計畫執行成果，將分別依計畫 OKR 目標(如表 1)描述：

表 1 計畫 OKR 目標

計畫目標	預期關鍵成果
O1 完成開關操作序列及饋線拓撲追蹤技術演算法，並建立配電管理系統之設備資訊，強化再生能源管理。	O1KR1 開發含再生能源配電饋線之長期開關操作序列運轉策略，進行饋線故障電流模擬分析與實測驗證。 O1KR2 建立饋線拓撲追蹤技術用於饋線連結性運算，用以標記饋線特定區間或萃取饋線上特定區間之設備屬性資訊。
O2 完成微電網之各種輔助調控決策，建立可接受調度命令之混合式功率調節系統、及功率調節系統與柴油機併聯技術。	O2KR1 開發微電網與配電管理系統之緊急輔助調控決策演算法，建立可接受實虛功調度命令之鋰電池與超級電容混合式功率調節系統。 O2KR2 建立功率調節系統與柴油機併聯技術，使柴油機以穩定基載輸出。
O3 完成量體為 10 部充電樁之電動車電站最佳儲能電能容量分析及智慧排程演算法，並建置關鍵組件運轉效能分析基線模型。	O3KR1 完成電動運具充電站之最佳儲能容量分析及開發智慧排程演算法。 O3KR2 應用大數據分析技術，萃取出影響組件運轉之特徵並加以量化，再利用理論模型進行驗證，完成基線模型之建立，以評估組件運轉效能。

(一)本土化配電網路管理與地理空間資訊應用

O1KR1：開發含再生能源配電饋線之長期開關操作序列運轉策略，進行饋線故障電流模擬分析與實測驗證。

- 1.開發配電饋線開關操作序列策略及程式(圖 1)，先以饋線聯絡開關最佳配置演算法得出需調整之開關，再透過變電所主變壓器與饋線拓撲架構推導，將饋線常開與常閉開關進行配對，以饋線源頭負載變動率最低為目標函式，依序找出饋線開關操作之順序，完成饋線開關操作序列策略與程式功能驗證。此外，結合地理空間資訊系統，完成饋線開關操作序列策略平台開發，使用者可挑選欲分析之變電所轄下饋線及其負載運轉資料，當系統平台執行操作序列功能時，可視覺化標示操作序列之開關位置與狀態，並於每一開關切換步驟中，採先投入饋線常開之聯絡開關，再開啟饋線環路之常閉開關，於切換過程中可避免用戶停電，同時計算

各饋線三相負載及再生能源裝置容量等變動資訊，提供調度人員進行開關調整之情境演練，以降低饋線三相負載最大變動率，及負載均化以達到提升饋線容量之目的，進而提高再生能源併網容量。本計畫開發之饋線分段開關操作序列與轉供復電策略功能已於台電雲林及高雄區處調度中心試運行，可降低饋線三相負載最大變動率，以確保饋線開關操作與調度之可靠。本計畫以「配電饋線分區段轉供復電策略」專利技術，加值於本土化配電網路管理系統，參加 2022 年「台灣創新技術博覽會」(Taiwan Innotech Expo, TIE)發明競賽，榮獲鉑金獎，如圖 2。

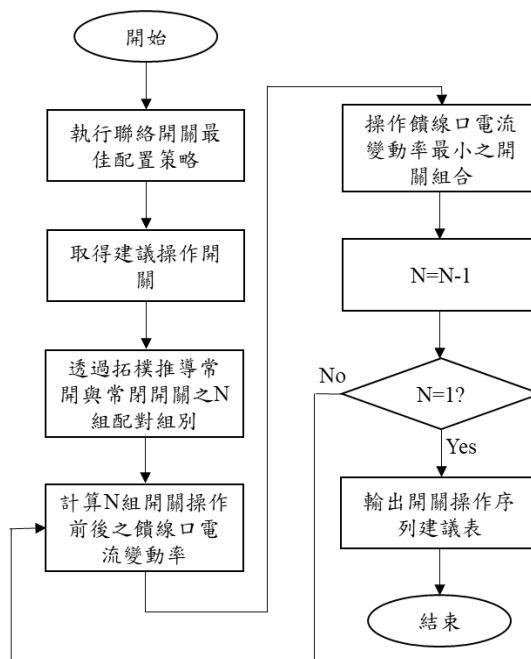


圖 1 饋線開關操作序列策略流程



圖 2 榮獲 2022 年台灣創新技術博覽會(TIE)發明競賽鉑金獎

2.於微電網實際場域進行 PV 與儲能系統之故障電流實測，其波形如圖 3 所示，經實測結果分析，當系統電壓驟降時，PV 與儲能系統之電力轉換器將限制設備輸出電流，分別約為額定電流 1.2 倍與 5~5.4 倍，推導其輸出故障電流與電壓之計算公式，以設定分散式電源之故障電壓關鍵參數 V_{minpu} ，藉以開發故障電流計算程式，並經實際饋線事故案例進行驗證，所計算之故障電流與實際記錄數值之誤差小於 6%以內。本計畫所開發之故障電流計算程式已整合於地理空間資訊平台中，可依使用者選定之饋線編號、故障類型與發生位置，建立對應之配電架構、線路、分散式電源與負載模型，經計算各節點之故障電壓、故障電流結果，並以視覺化方式顯示饋線源頭與分散式電源所提供之故障電流，及流向故障位置的方向、故障電流數值、及節點故障電壓數值(圖 4)，以作為未來開發饋線保護協調策略之依據。另開發之「整合饋線末端單元(Feeder Terminal Unit, FTU)檢測功能之地理空間資訊系統」推廣至台電雲林區處試運行，用以檢測 FTU 量測資料與估測值之誤差比對，以及早提出設備異常情形，增加設備妥善率。

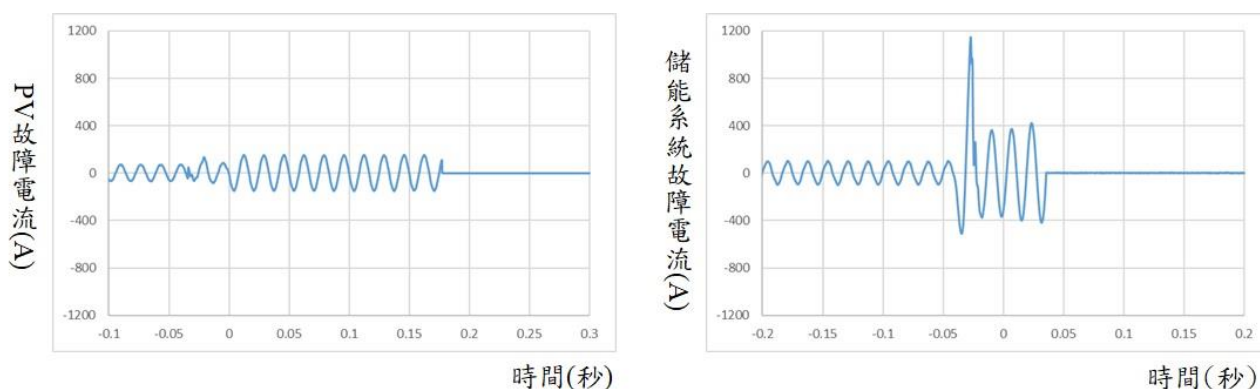


圖 3 分散式電源之故障電流波形圖

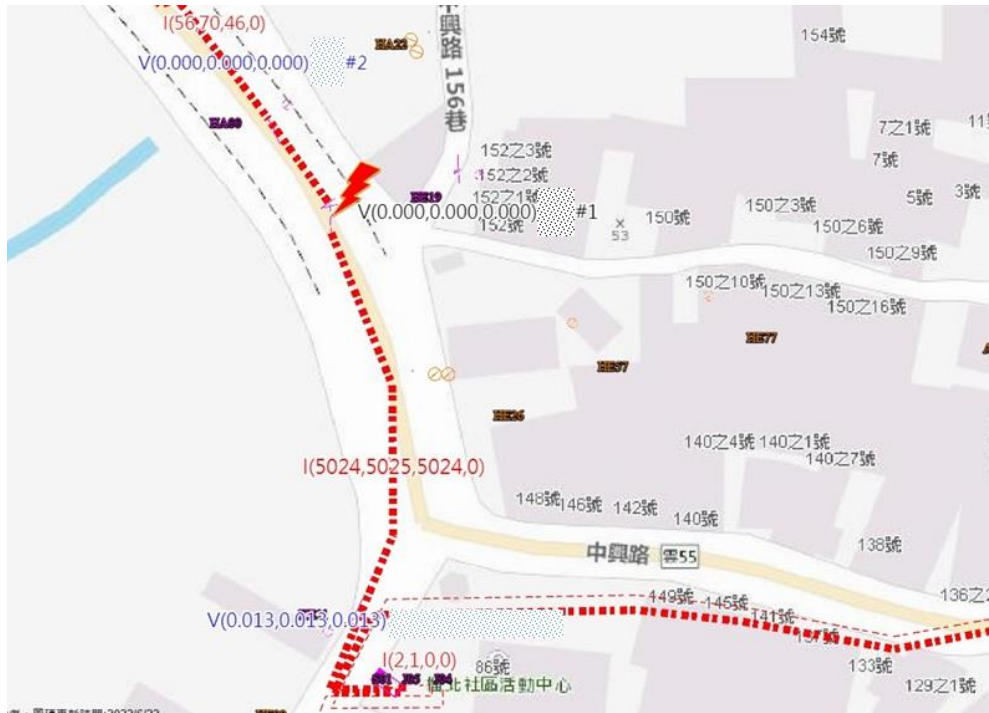


圖 4 故障電流、故障電壓顯示於地圖

O1KR2：建立饋線拓撲追蹤技術用於饋線連結性運算，用以標記饋線特定區間或萃取饋線上特定區間之設備屬性資訊。

- 1.使用廣度優先搜尋(Breadth First Search, BFS)演算法，整合圖形結構與雙向追蹤方式，建立饋線設備連結關係追蹤技術，經以架空線路主幹連結性運算測試，透過追蹤地理空間資料表之幾何資訊，將饋線各線段間座標點計算成線段長度，再與饋線開關進行關聯，據以標記與彙總各開關間線路長度，並與台電停限電管理系統之配電資料庫相互參照，以驗證估算結果，及完整建立資料庫數據，並將再生能源資訊等效於上游鄰近的開關上，有效強化再生能源管理。應用饋線故障區間連結性追蹤運算技術分析具通訊之故障指示器(Fault Current Indicator, FCI)運轉資訊，以建立故障指示器之過電流標記邏輯，達到輔助縮小故障區間功效，以圖 5 為例，於地理資訊系統中，原使用 FTU 判斷故障區間之範圍為粉紅色與黃色區域，使用 FCI 精進後可將故障區間縮小為黃色區域。參考 IEC 61968-3 標準之 PSRMeasurement 架構，建立配電故障指示器及變壓器運轉資訊之訊息交換模型，包含類比量測(Analog)與數位(Discrete)2 大類訊息，並運用物件導向模式撰寫 Python 語言之轉檔編譯程式，完成故障指示器模型設計，包含故障狀態、故障電流、電壓狀態、所屬相別等；及變壓器末端單元模型設計，包含電壓、電流、功率、利用率及變壓器容量等，並進行資料包裝及序列化，轉換成可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)，使其符合共通資訊模型(Common Information Model, CIM)型式。此外，建立接收端之解譯程式，可解析 XML 資訊，完成運用 CIM 進行運轉訊息傳遞及轉換(圖 6、圖 7)。本計畫研擬之配電設備訊息傳遞模型，持續提供台電配電處參採使用，協助台電推動先

進配電管理系統(Advanced Distribution Management System ,ADMS)建置，並持續依台電配電處需求研擬與擴展配電設備訊息模型項目，俾利計畫成果與 ADMS 界接。



圖 5 故障指示器於地理資訊系統標註以縮小故障區間(縮為黃色)

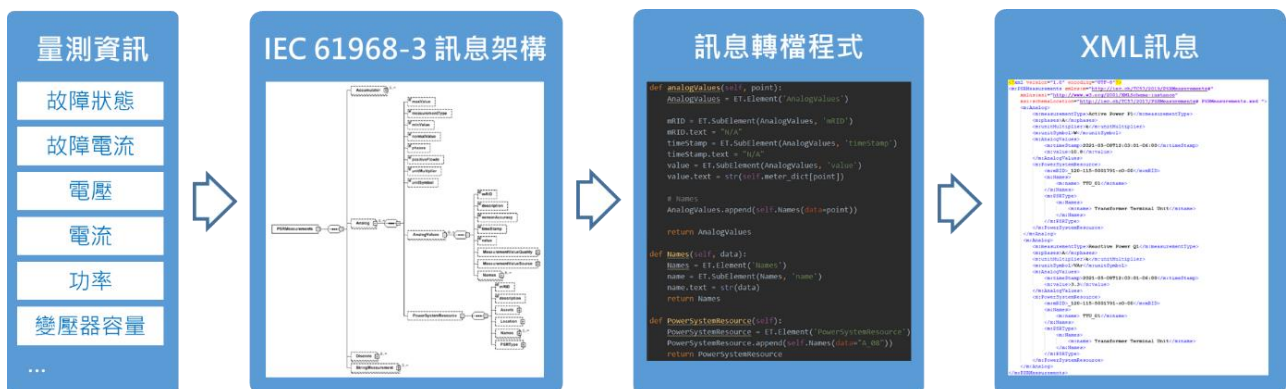


圖 6 故障指示器及變壓器設備運轉資訊轉換流程圖

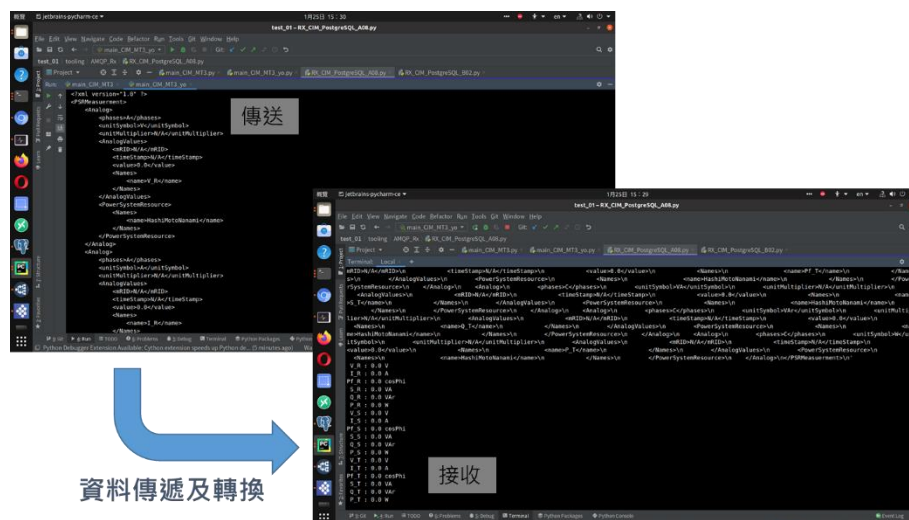


圖 7 運用 CIM 進行訊息傳遞及轉換

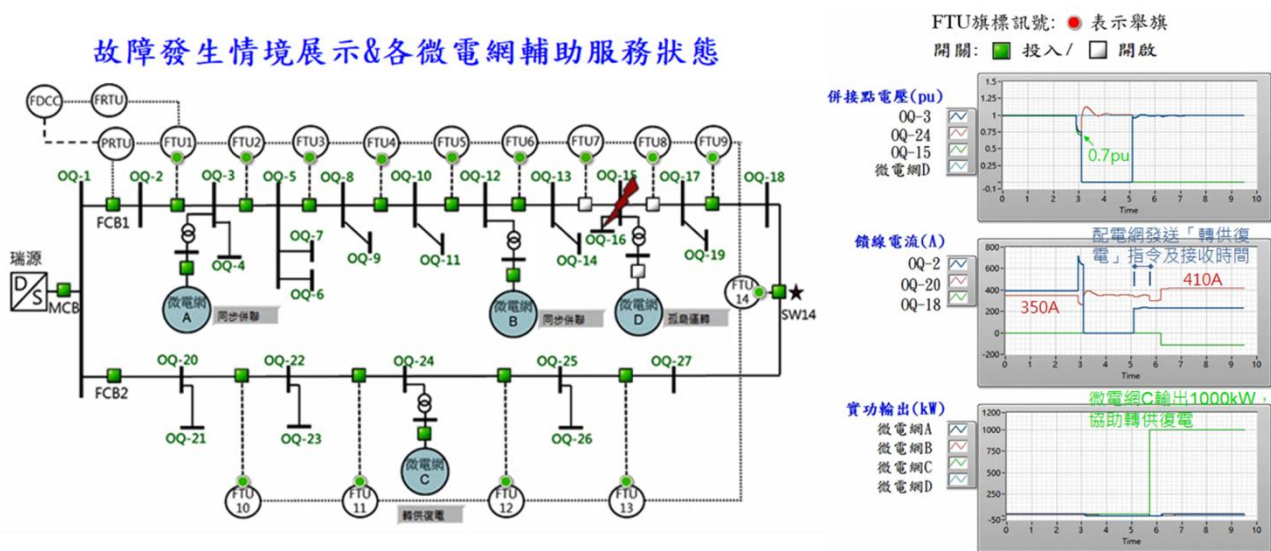
(二)微電網與配電網共模調控技術開發

O2KR1：開發微電網與配電管理系統之緊急輔助調控決策演算法，建立可接受實虛功調度命令之鋰電池與超級電容混合式功率調節系統。

- 1.完成微電網與配電網共模調度管理平台及緊急輔助調控決策演算法開發，，並由配電網發送緊急輔助調控指令(孤島運轉、同步併聯及轉供復電)給微電網，微電網可於3秒內執行響應及回傳訊息給配電網。圖中所示為饋線發生事故時，三個迴路分別依偵測之饋線電流、頻率及電壓，各自獨立執行配電網與微電網規劃之動作。圖8為配電網與微電網共模調度管理平台之硬體設備架構，透過實體網路進行兩台即時模擬設備間之緊急輔助調控指令傳遞，圖9為共模調度管理平台之人機介面，其包含饋線架構、微電網併接位置、饋線事故位置、與微電網輔助服務狀態，以及配電網與微電網暫態模擬結果，當配電饋線(FCB1)之 OQ-15 發生故障時，配電管理系統進行故障偵測，並開啟 OQ-15 兩側開關以隔離故障，再投入 FCB1 恢復上游健全區(OQ-2 至 OQ-14)供電，此時配電管理系統根據微電網與故障點之相對位置，並對微電網傳送所需執行之輔助調控指令，圖中微電網 A 及 B 因位於上游健全區，故配電管理系統對微電網 A 及 B 發送「同步併聯」緊急輔助調控指令，在欲進行下游健全區復電，遇到聯絡饋線容量裕度不足情形，則配電管理系統判斷微電網 C 所需輸出之功率後，向聯絡饋線之微電網 C 提出「轉供復電」緊急輔助調控指令，經微電網 C 依需求輸出功率 1,000kW 使聯絡饋線裕度充足後，便可投入聯絡開關，協助恢復下游健全區負載用電，以減少用戶停電時間，並有助於未來大量再生能源併網運行時，提高配電網運轉穩定度之效益。



圖 8 共模調度管理平台之硬體設備架構



2. 完成 MW 級微電網系統(如圖 10)內各分散式電源輸出反應時間分析，包含 750 kW 柴油機、500 kW 儲能系統、250 kVA 混合式實虛功率補償調節系統(由鋰電池與超級電容組成)、200 kW 柴油機、以及 65 kW 微渦輪機，各分散式發電機組均可 3 分鐘內完成啟動、併網與功率輸出控制，完成電力輔助服務系統建置，開發能源協調分配及發電機組故障緊急決策演算法，能源管理系統可依據各發電機組之反應時間與持續時間等發電特性，調控各分散式電源功率輸出，且加入用電量抑制權重因子補償發電設備功率誤差、及儲能系統自動調控策略補償動態負載量，在微電網系統執行功率輸出期間，若單一發電機組發生異常下，可由儲能系統、混合式實虛功率補償調節系統提供功率補償，以維持微電網輸出功率穩定。另完成 MW 級微電網能源管理系統與台電電力交易平台間之資料傳輸測試，並通過通訊及執行能力測試，以需量反應方式執行台電電力交易平台之即時備轉輔助服務，可於接收台電調度命令後，1 分鐘內由分散式電源組合調度輸出 1MW 以上功率，供應核研所全所館舍用電，進而降低併接點功率達 1MW(佔全所用電 33%)，且持續 1 小時以上，如圖 11 所示，成為國內首座經由台電電力交易平台認證合格並正式成功執行之 MW 級微電網系統。



圖 10 MW 級微電網系統

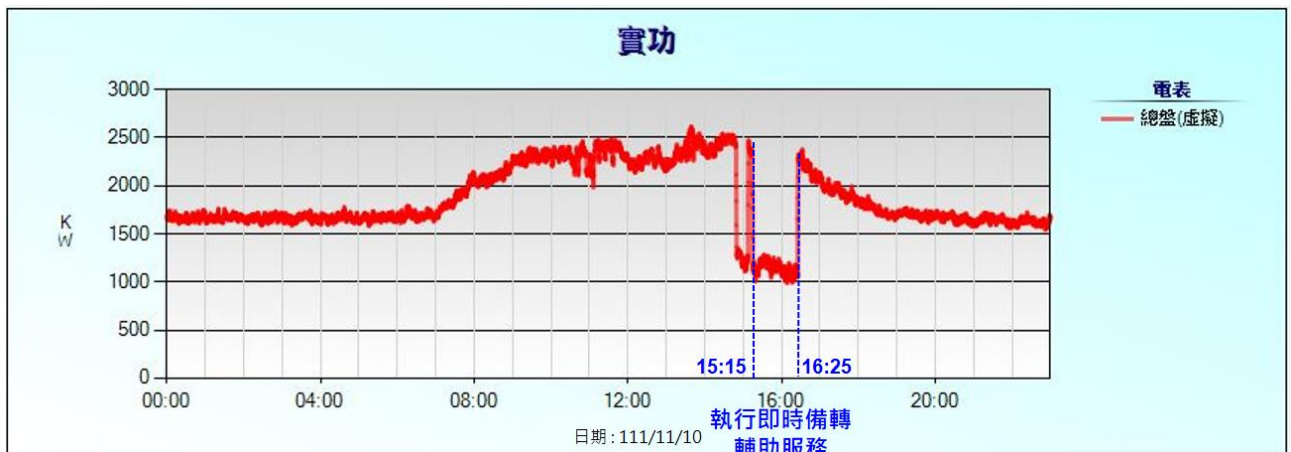


圖 11 MW 級微電網系統執行即時備轉輔助服務，降低本所高壓 69kV 端用電達 1MW，且持續 1 小時以上。

O2KR2: 建立功率調節系統與柴油機併聯技術，使柴油機以穩定基載輸出。

1. 完成三相功率調節系統與柴油機併聯協調技術開發，包含個別相電壓調幅技術以及基載輸出協調策略，如圖 12 所示，並以模擬來驗證該策略之正確性，如圖 13 所示，當負載發生變動時，功率調節系統可輸出補償功率，以維持柴油機輸出電流大小。完成三相功率調節系統與柴油機之併聯盤硬體建置，以實體線路傳遞柴油機電氣資訊至三相功率調節系統數位訊號處理器(Digital Signal Processor, DSP)控制板進行功率調控、傳遞併接點電氣訊號至微電網低壓主站監控系統，如圖 14 所示，並完成三相功率調節系統個別相電壓調控功能開發，使其與柴油機併接點電壓差小於 1%，以利與柴油機進行平穩併聯，另完成三相功率調節系統與柴油機併聯協調技術實測，當微電網內之負載(實際館舍用電)由柴油機提供電力時，功率調節系統可以輸出功率補償，使柴油機維持基載輸出，

且輸出電流變動率低於 3%，如圖 15 所示。

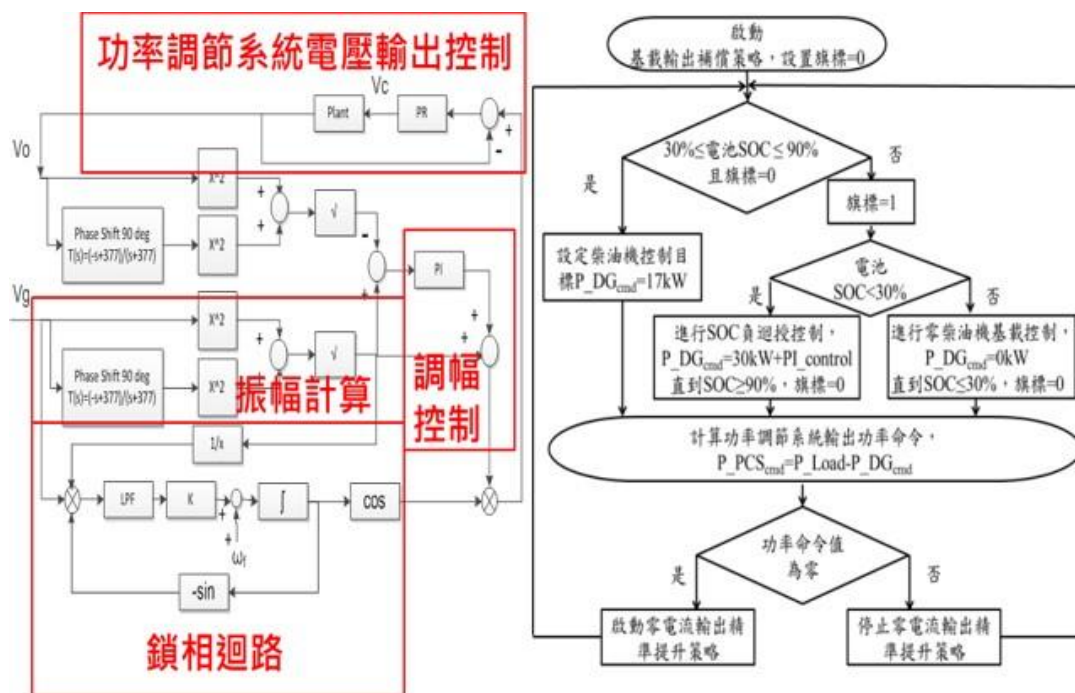


圖 12 三相功率調節系統與柴油機併聯協調技術流程圖

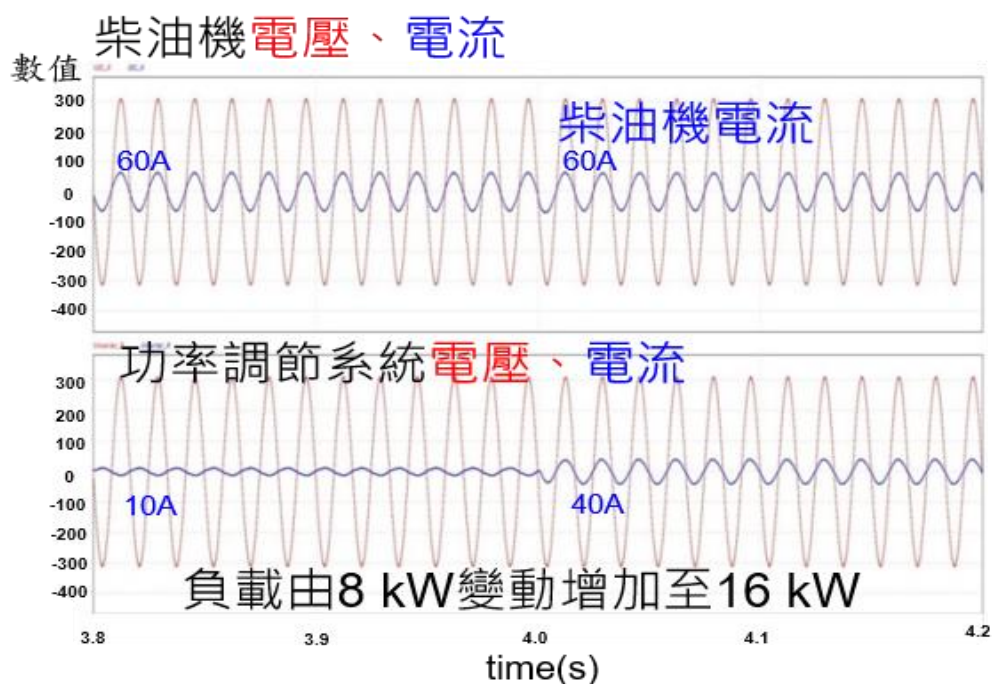


圖 13 功率調節系統補償柴油機輸出模擬波形



三相功率調節系統



柴油發電機



柴油機併接盤



功率調節系統併接盤

三相功率調節系統與柴油機併聯盤配置

圖 14 三相功率調節系統與柴油機電力及控制配線建置

三相總電流(A)

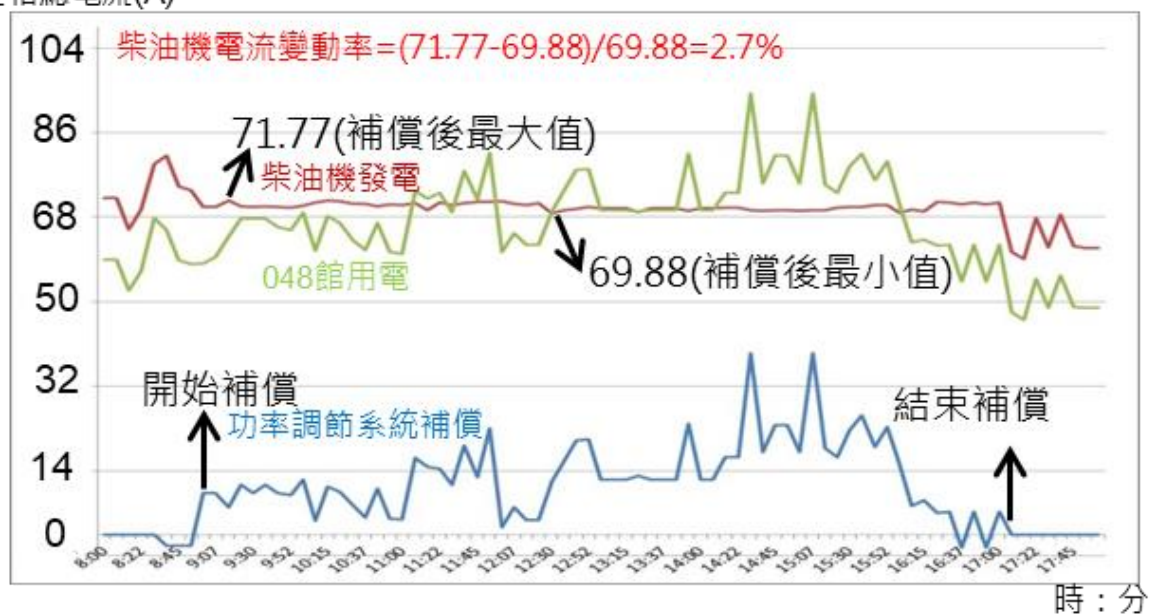


圖 15 微電網內負載由柴油機供電時，由三相功率調節系統進行功率補償之實測

(三)電動運具智慧充換電儲能電站技術發展

O3KR1：完成電動運具充電站之最佳儲能容量分析及開發智慧排程演算法。

1. 電動運具充電站之最佳儲能容量分析：

(1) 自主料源、自主技術及推廣應用：儲能系統產品規格表及應用範圍進行產業應用推廣如圖 16。完成充換電儲能電站系統電池堆六套儲能單元系統的安裝與電解液注入、活化及試運轉作業、直流配電盤與佈線施作，以及實際運轉測試完成連續 300 小時試運轉，確認無內漏與外漏問題，如圖 17。完成與產業簽屬「儲能電網開發(應用)方案」MOU 及技術服務合作一案奠立儲能電網產業技術商機，爭取參與國家綠能建設。建立循環經濟再利用處理技術：進行儲能系統電池堆廢板回收再製作業，以循環再生技術達到成本、料源自主掌控能力，完成專利申請一件。達成計畫自我挑戰目標：建置完成符合地下與立體停車場的高度、空間限高及限寬要求之六套模組化液流儲能機組系統安裝。

(2) 最佳儲能容量分析：根據電動機車用電量為 0.024kWh/km，一天行駛 13.3 公里、需電 0.312 kWh(參考工研院機械所車輛實驗室之「機動車輛研究報告」)，上述電站每一模組電量為 3.6 kWh、6 套模組為共計為 21.6 kWh，已符合每日 10 輛以上電動機車用電量之最佳儲能電能容量分析需求建置之計畫規劃設計目標。在充換電儲能電站如圖 18 中有雙儲能(液流電池與鋰鐵電池)之設計，充換電站本身包括下列諸項功能設備：市電饋線負載量(40 kVA)、太陽能(12 kW)、雙儲能電池(共 102.24 kWh，其中鋰鐵電池(68.64 kWh)、液流電池(33.6 kWh))、兩支汽車充電樁(7.04 kW×2)、10 支機車充電樁(共 11.6 kW，其中 110V 有 4 支(1.1×4=4.4 kW)、220V 有 6 支(1.2×6=7.2 kW))。建置此充換電儲能電站示範場之目的主要就是為進行計畫各項技術開發所需之實驗場域以供驗證。

2. 開發智慧排程演算法：未來國內廣設充電站後，勢必對電網造成衝擊，在尖峰期間抑低充電站對電網之電力需求(低於契約容量)是排程演算法所要達到的目標，其方法是透過對再生能源(太陽能)與儲能之電力調控，再加上時間電價、充電樁之充電功率調節等輔助條件來達成。

(1) 建構能源管理系統(Energy Management System, EMS)：以逆變器(PCS)做為充電站能源管理系統的電力調控中樞，整合太陽能及鋰鐵、液流雙儲能電池等供電系統，配合現場實際充電及基本負載需求，進行功率調節控制。配合現今網路趨勢，EMS 系統以網頁方式呈現，相關雙儲能之調控如圖 19(a)，系統的參數設定如圖 19(b)。而智慧調度排程，可設置的參數包含：(1)市電和儲能的供電優先順序；(2)允許儲能進行充電的時間；(3)決定儲能是否供電的儲能容量值(%)；(4)達到日負載上限時的自動調度；(5)充電樁充電模式等。在各項參數設定完成後，系統依此自動調度運轉。

- (2) 精進智慧排程演算法：利用太陽能與儲能系統調節充電站對市電的需求，將市電需求保持在契約容量以下，使得充電站在不超過契約容量條件下，增加車輛充電之供電量達 5% 如圖 20。
- (3) 測試情境與功能驗證：配合測試情境與功能驗證計畫執行，另開發一套以 LabVIEW 設計之充電站自動調度監控系統如圖 21，可顯示市電、太陽能、儲能、負載、總供電和總負載等功率資訊，及設定契約容量和控制儲能充放電模式。實際測試分為四個階段如圖 22，分別說明如下：
- 一般運轉：負載低於契約容量，系統供電給負載的優先順序為「太陽能-市電-儲能」。
 - 用電即將超約運轉：因負載提升導致市電用電量變大，當市電用電量逐漸拉高接近設定的契約容量時，系統會自動提升儲能供電能力，以降低市電使用量，達到避免超約用電之成效，此時系統供電給負載的優先順序自動切換為「太陽能-儲能-市電」。
 - 孤島運轉：當市電喪失、孤島運轉時，儲能供電能力會提升至更高，以補足市電喪失造成的電力缺口。
 - 市電恢復運轉：市電恢復後，儲能供電量開始逐漸下降，達到供電負載穩定狀態。情境的設計主要是使再生能源可以達到削峰填谷的功能，以做為市電不足時的備援。

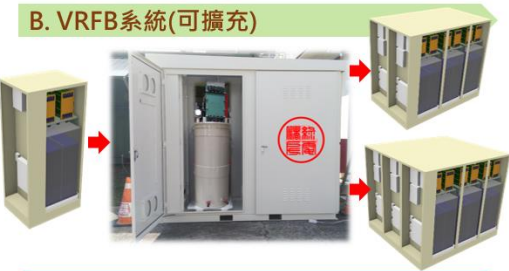

核能研究所 [自主料源+自主技術] VRFB模組/系統

A. VRFB模組

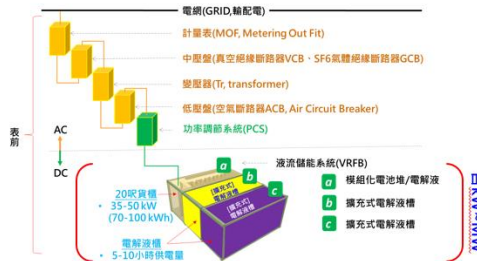


規格項目	單位	規格
a 整體尺寸	cm	φ85*180
b 重量	kG	150 ~ 500
c 充電放電功率	kW	2.8
d 容量	kWh	5.6
f 電壓	Vdc	42 ~ 57.6
g 電流	A	50 ~ 95
h 操作溫度	°C	15-35
i 充放電效率	%	≥ 70
m 通訊介面		Modbus

B. VRFB系統(可擴充)



C. VRFB 百kW~MW級系統擴充(使用示意圖)



D. 聯絡人：謝錦隆 博士 / 電話：(03)4711400-5382 / e-Mail：clhsieh@iner.gov.tw

圖 16 自主料源、自主技術之儲能系統產品規格表及應用範圍



液流儲能機櫃

圖 17 自主料源研發之六套儲能單元系統液流電池儲能充電站



圖 18 電動運具智慧充換電儲能電站示範場



(a)

(b)

圖 19 (a)充電站自動調度監控系統(網頁版) (b)自動調度排程參數設定

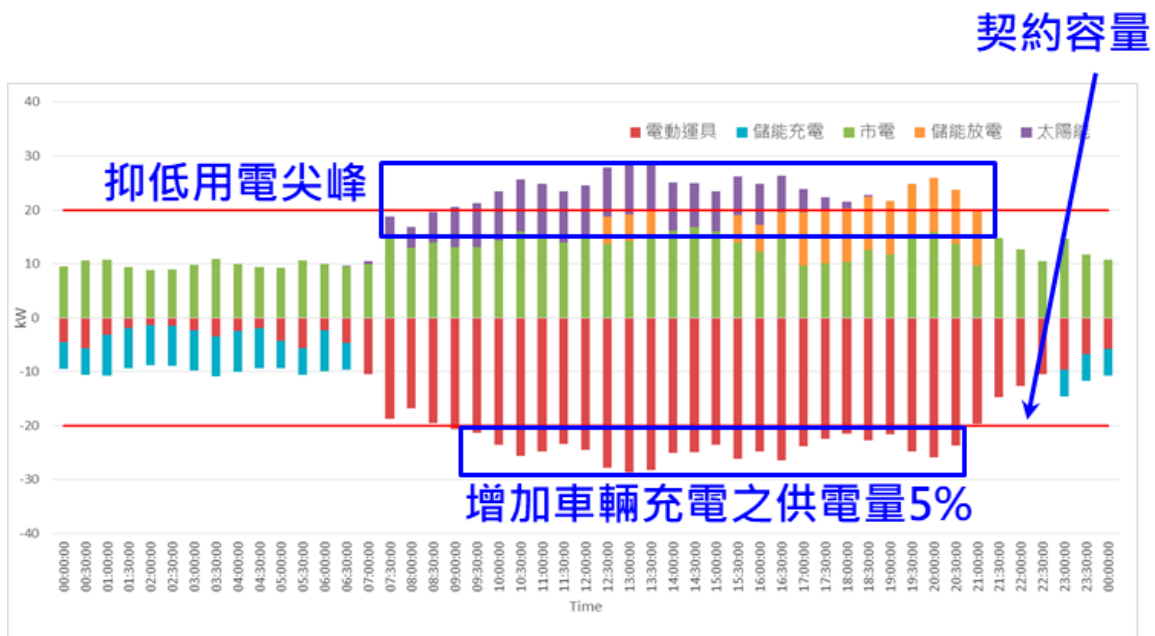


圖 20 精進智慧排程演算法以增加車輛充電之供電量



圖 21 充電站自動調度監控系統(LabVIEW 版)



圖 22 情境實測

O3KR2：應用大數據分析技術，萃取出影響組件運轉之特徵並加以量化，再利用理論模型進行驗證，完成基線模型之建立，以評估組件運轉效能。

1.完成供電變壓器冷卻系統、接地電流、局部放電、本體振動、有載分接頭切換器與油中氣體分析等 6 項基線模型建立，並實際安裝於變電所如圖 23，進行 200MVA 供電變壓器運轉效能評估與智慧診斷如圖 24。各項基線模型分述如下：

- (1) 冷卻系統：利用主軸成分分析計算變壓器運轉數據的關聯性，萃取出影響油、線溫度的特徵參數如圖 25，並應用人工智慧近鄰演算法(k Nearest Neighbors, k-NN)，建立運轉效能評估基線模型如圖 26；利用多維度空間距離倒數作為加權平均，改良 k-NN 演算法如圖 27，提高基線模型預測準確度；再依據 IEC60076-7 標準規範，建立油、線溫度理論模型，驗證改良型 k-NN 模型具最佳準確度如圖 28。持續診斷即時油、線溫度值，若超出圖中淺綠色帶狀之容許範圍達 10 分鐘，則發出警示並以電子郵件通知運轉員。
- (2) 接地電流：其運轉效能評估基線模型建置方式與前項冷卻系統相同，相關硬體量測設備與基線模型如圖 29 所示，目前持續診斷 3 處即時接地電流值，若超出圖中的淺綠色帶狀區達 10 分鐘，則發出警示並以電子郵件通知運轉員。
- (3) 局部放電(Partial Discharge, PD)：實際架設 PD 量測設備，長期監測與蒐集 PD 數據如圖 30；利用歷史故障相位解析圖譜(Phase Resolve Partial Discharge, PRPD)，透過生成對抗網路(Generative Adversarial Network, GAN)及卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)，建立 PD 狀態智慧診斷模型如圖 31；再將即時採集放電訊號轉為 PRPD 圖譜，輸入模型進行線上 PD 狀態診斷如圖 32。目前持續量測並進行即時診斷，僅有 1 次檢測到局部放電的紀錄，由於並非連續出現而判定為誤診斷。
- (4) 本體振動：線上長期監測變壓器 R、S、T 三相振動時域波形如圖 33，透過頻譜轉換與幅值分析技術，計算各相頻譜振動熵(Entropy)作為基線模型特徵變數如圖 34，當即時量測之振動訊號達到觸發條件時，即會自動傳入基線模型進行振動熵與頻譜幅值趨勢分析如圖 34 及圖 35，若兩者均呈現成長趨勢，則表示該相繞組發生變形。目前持續量測並分析特徵頻率幅值與振動熵值成長趨勢。
- (5) 有載分接頭切換器(On-Load Tap-Changer, OLTC)：線上長期監測 OLTC 切換瞬間振動與電氣訊號如圖 36，根據國際之電壓、電流與諧波規範，開發 OLTC 驅動馬達基線模型診斷程式如圖 37；萃取出分接頭切換瞬間時域波形，再藉由特徵包絡線分析、分頻能量密度統計與時頻圖譜辨識技術，開發 OLTC 切換裝置基線模型診斷程式如圖 38；最後，再藉由倒頻譜分析技術，開發 OLTC 驅動裝置基線模型診斷程式如圖 39；當 OLTC 切換時，透過以上三項基線模型，可即時進行 OLTC 運轉狀態效能評估。只要 OLTC 切換時，則進行即

時分析與診斷。

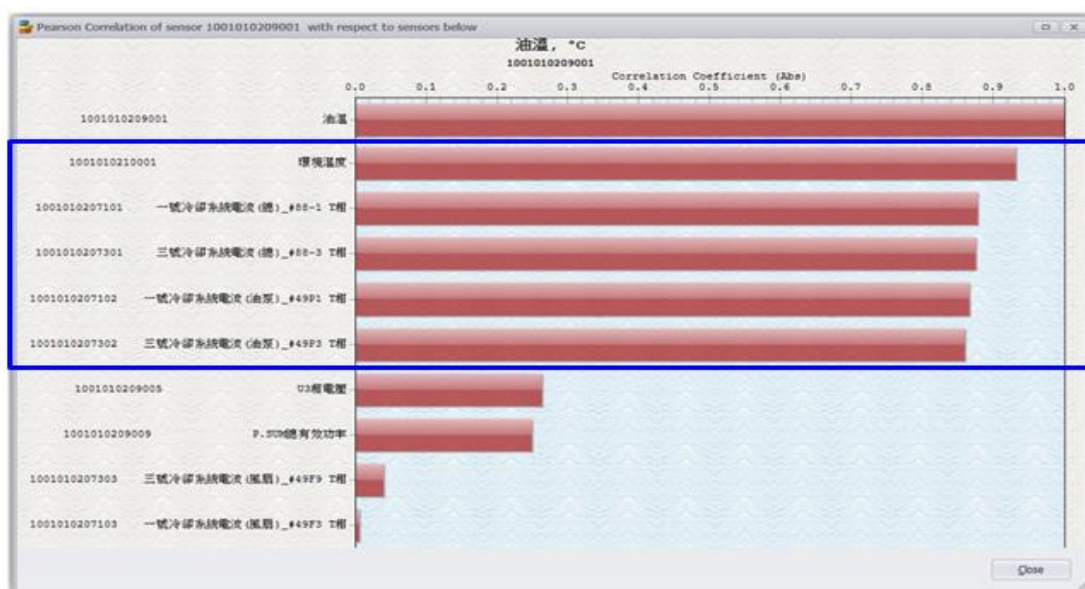
- (6) 油中氣體分析(Dissolved Gas Analysis, DGA)：即時量測變壓器絕緣油中氣體分量如圖 40，除利用傳統杜瓦三角法分析外，更導入曼蘇爾五角形法，來改善過熱與放電故障鑑別之靈敏度，並首創以投票(Voting)機制整合不同圖形法如圖 41，有效鑑別故障的種類。在故障嚴重度方面，利用碳氧化物比例變化，輔助傳統油中氣體分析，當該比例發生劇烈變化時，表示具絕緣紙的部位出現大量碳化現象，即繞組內側；該項成果已程式化如圖 42，目前正規劃導入到供電變壓器中使用，並實際應用於主變壓器之 DGA 狀態診斷如圖 43，有發生中溫故障之紀錄。



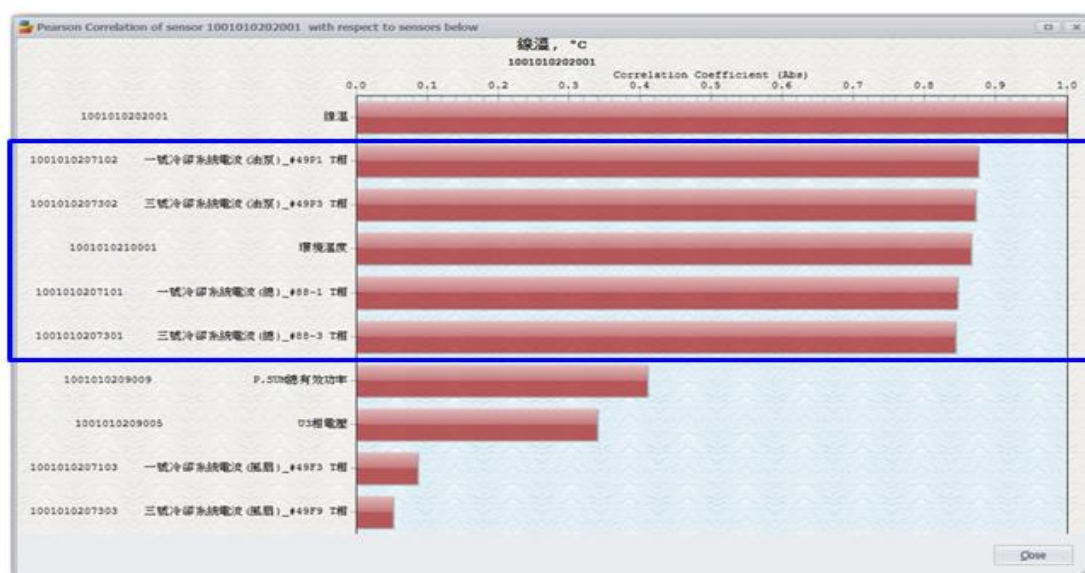
圖 23 實際安裝於變電所



圖 24 包含各項基線模型之供電變壓器運轉效能評估與智慧診斷平台



(a)油溫主軸成分分析結果(相關性高之變數以藍色框標註)



(b)線溫主軸成分分析結果(相關性高之變數以藍色框標註)

參數關聯性程度

	冷卻系統總電流	冷卻系統油泵電流	環境溫度	負載	冷卻系統風扇電流	二次側T相電壓
油溫	高	高	高	低	低	低
線溫	高	高	高	低	低	低

主軸成分分析公式

$$w_k = \arg \max_k E\{(w^T X_{k-1})^2\}$$

其中， X_{k-1} 表示從數據及 X 中去除前面 $k-1$ 個主成分。 $E\{\}$ 項表示 w^T 方向之變化量大小。 w_k 則為相關係數，其值介於-1至+1之間。

(c)參數關聯性與主軸成分分析公式

圖 25 以主軸成分分析萃取出影響油、線溫度的特徵參數

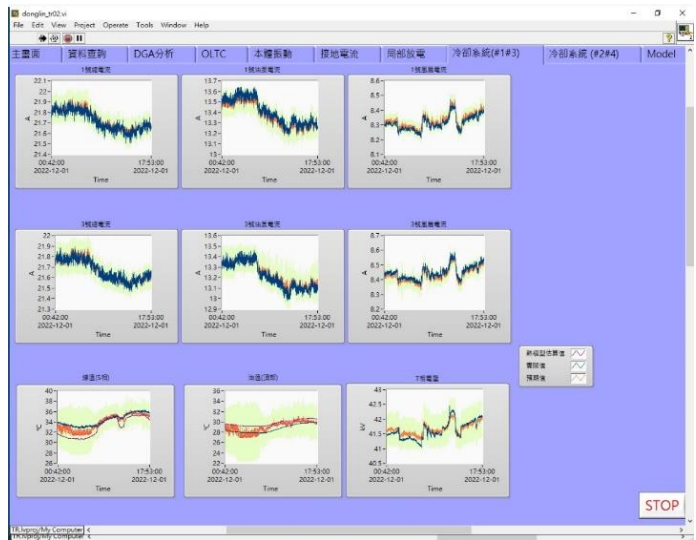


圖 26 冷卻系統量測設備(左)與基線模型介面(右)

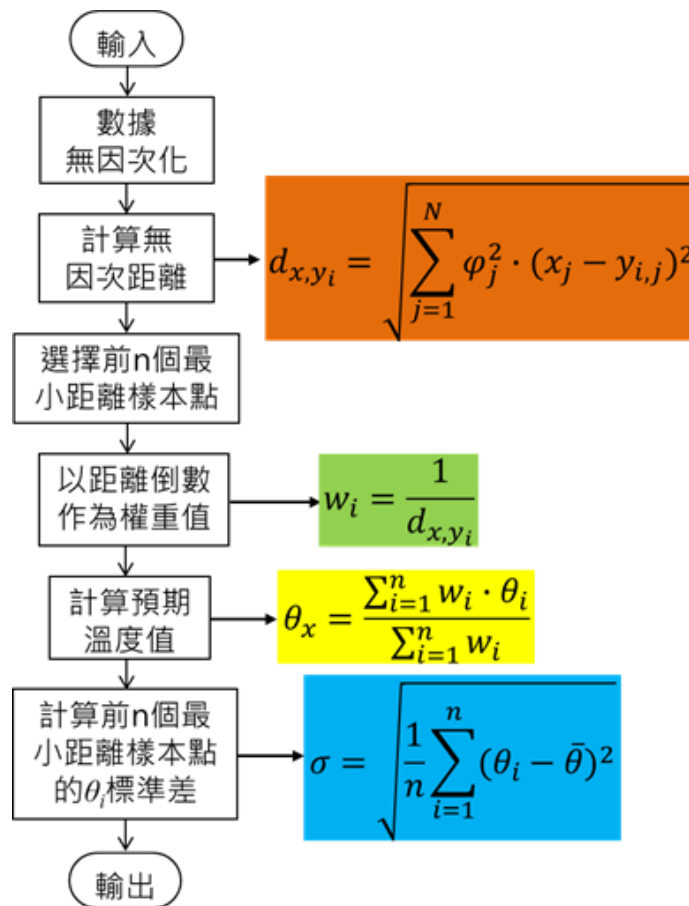
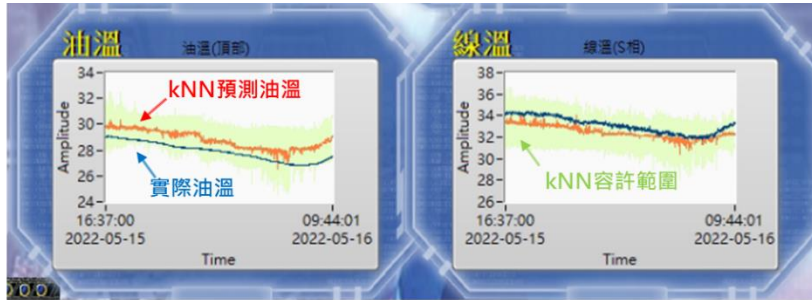


圖 27 改良型 k-NN 演算法流程圖

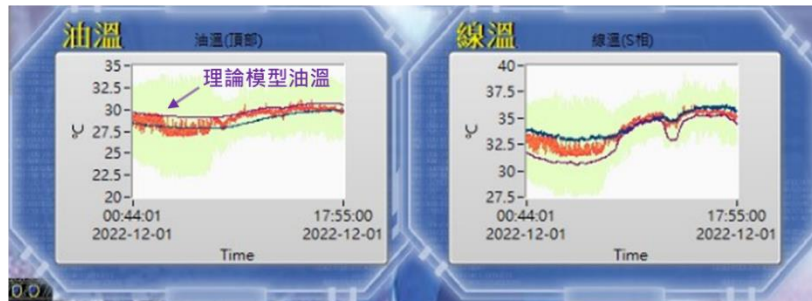
改良前



平均絕對誤差比較(°C)

	油溫	線溫
改良前	0.73	1.51
改良後	0.27	0.66
理論模型	0.44	1.25

改良後



理論模型程式方塊圖

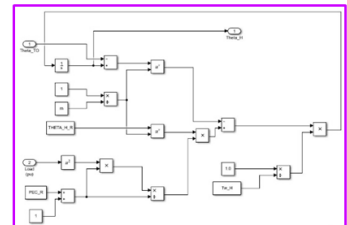


圖 28 改良前後之基線模型與理論模型之預測準確度比較

T相機殼接地電流量測點



電抗器接地電流量測點

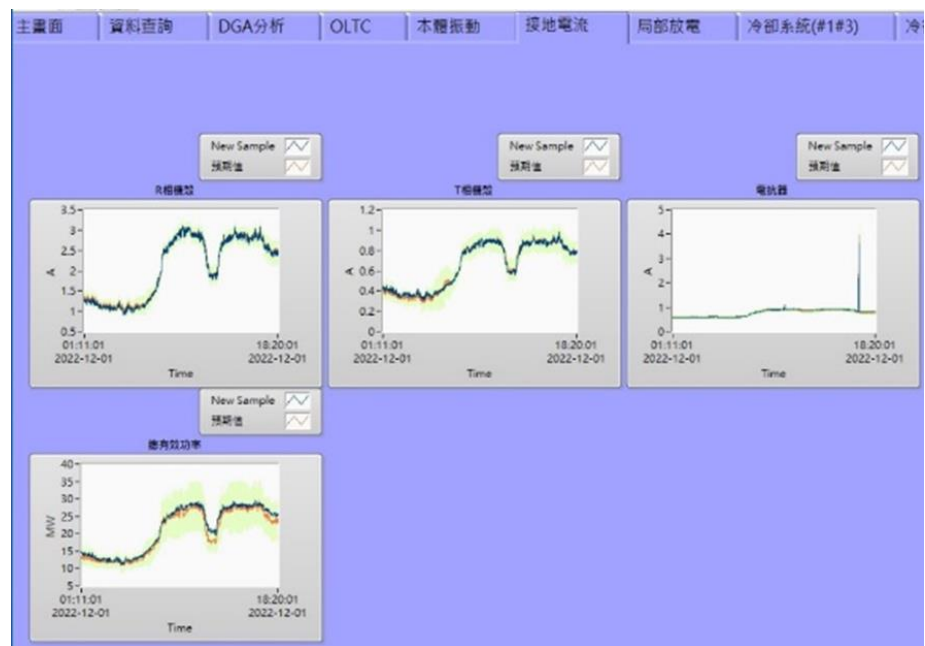


圖 29 接地電流量測設備(左)與基線模型介面(右)

線上局部放電監視系統



UHF局部放電量測點



8/2~8/11局部放電監視紀錄



圖 30 長期線上 PD 量測與數據搜集

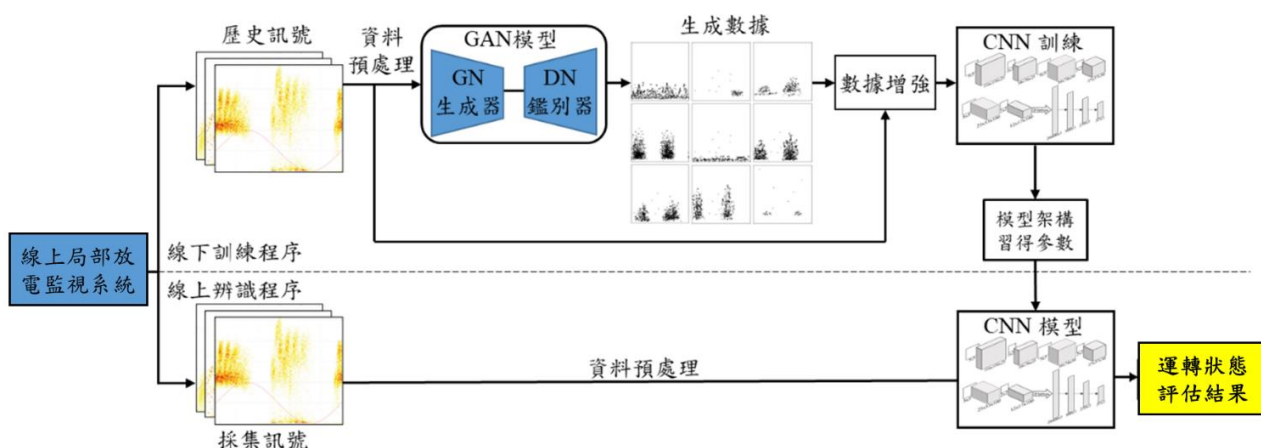


圖 31 PD 狀態智慧診斷模型建置與辨識流程圖

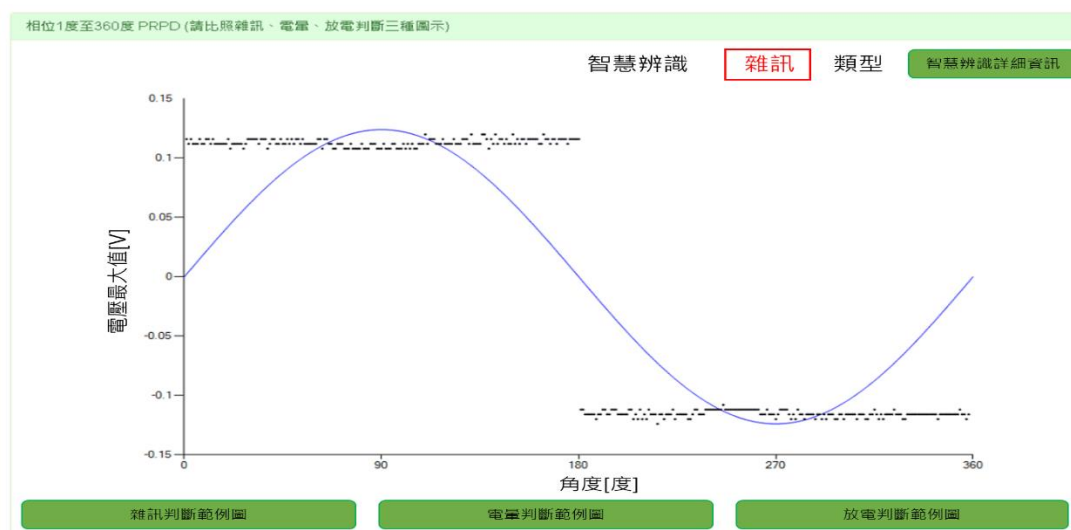


圖 32 即時 PD 訊號轉為 PRPD 圖譜及模型輸出的運轉狀態評估結果(紅字)

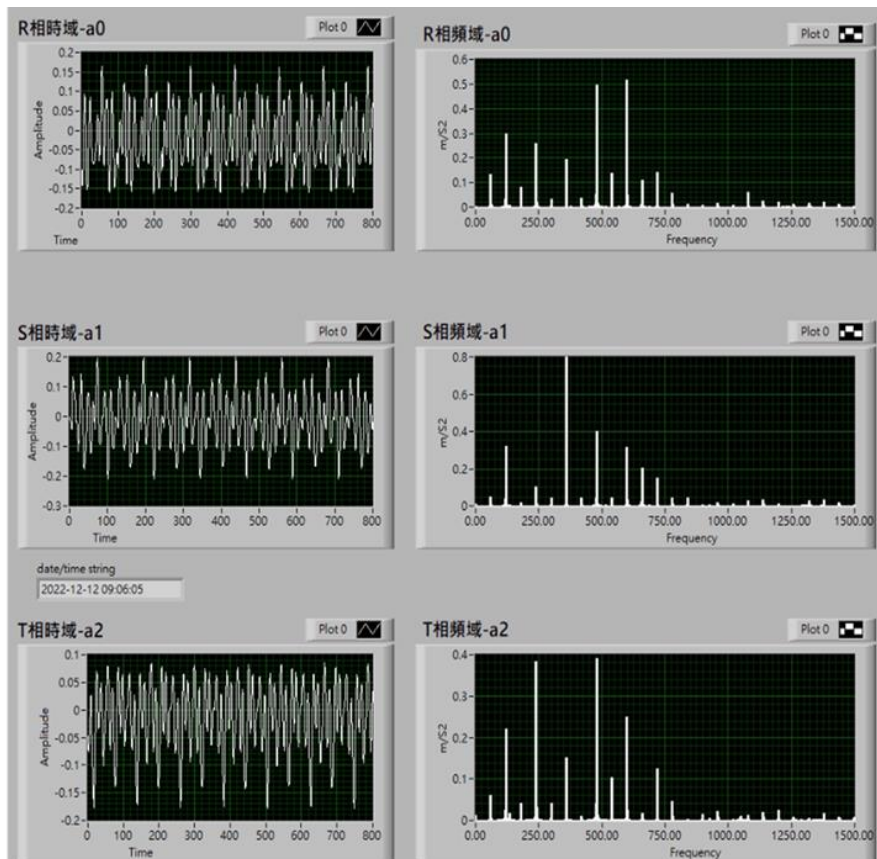
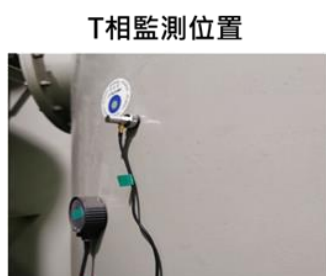
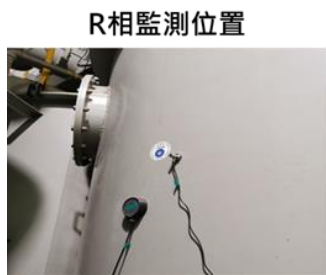
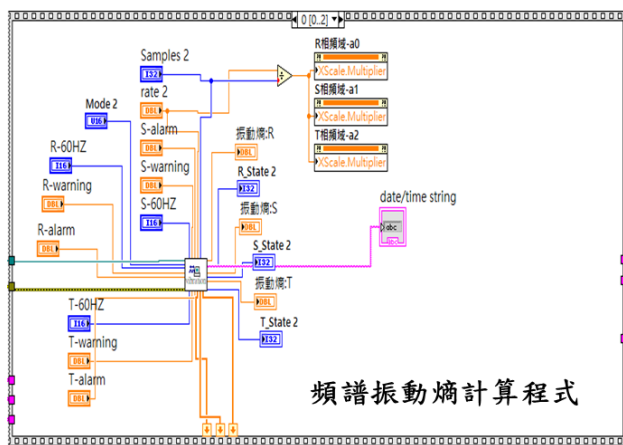


圖 33 變壓器 R、S、T 三相本體振動訊號監測



頻譜振動熵計算程式

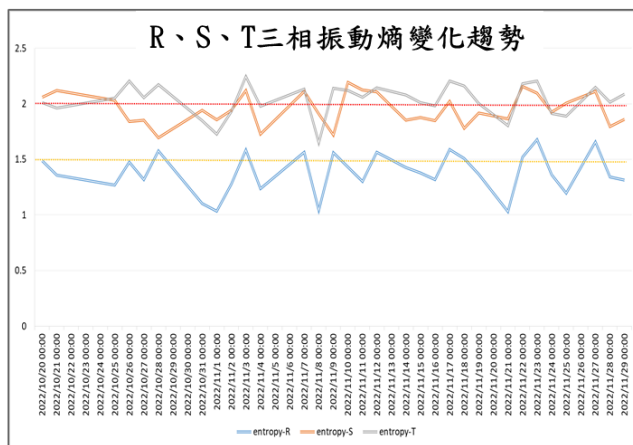


圖 34 變壓器 R、S、T 三相本體振動熵

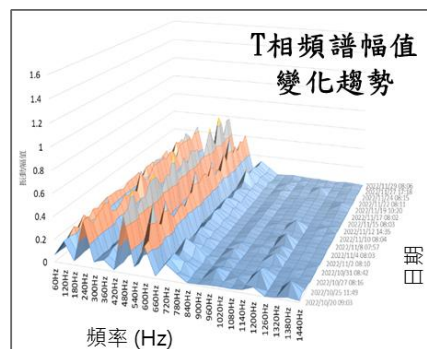
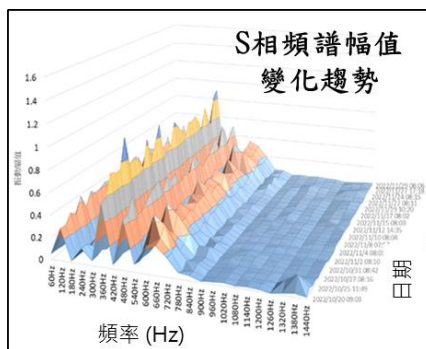
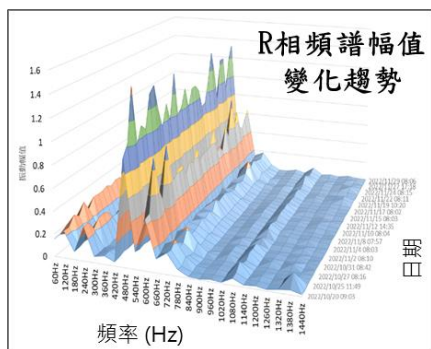


圖 35 變壓器 R、S、T 三相本體振動頻譜幅值變化趨勢

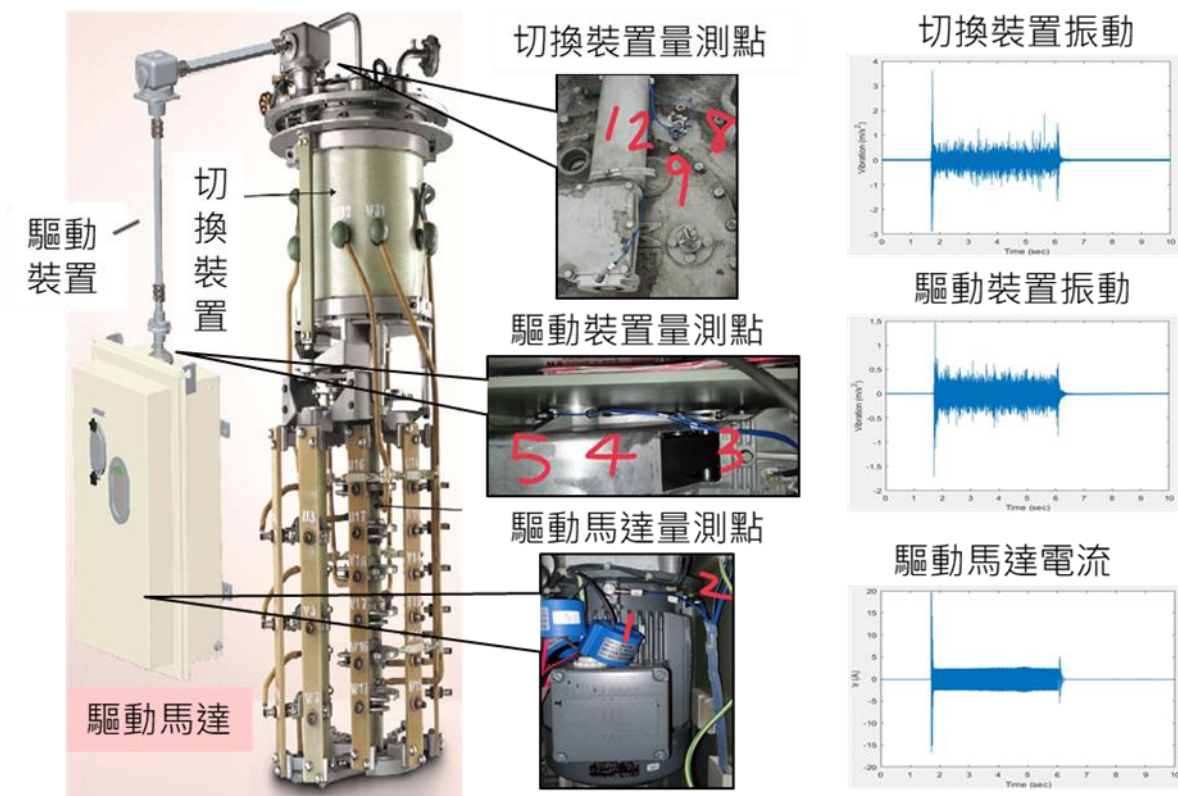


圖 36 OLTC 切換瞬間振動與電氣訊號監測點位與波形

電量特徵	特徵值	分析與對策
電流誤差 ΔI	$\leq 2\%$	良好。
	$2\% \sim 3\%$	稍加注意。
	$3\% \sim 5\%$	注意溫升及振動，須檢查。
電壓誤差因子 VDF	$\leq 75\%$	良好。
	≥ 1.06 倍額定電壓	有載波失真，須檢查電源。
	≤ 0.875 倍額定電壓	有脫銜與銜擊，須檢查電源。
峰值因子 (Crest Factor)		
相電壓		
相電壓 THD	$\leq 5\%$	良好。
三相平均		
奇波 THD	$> 5\%$	3 次強諧波：供應電流有較大的不平衡電流與零相電流，導致定子繞組過熱。
峰值因子 (Crest Factor)		
正相序諧波	$> 5\%$	5 次強諧波：疊加在基頻上而產生擾動的非線性波形。
三相電流		
負相序諧波	$> 5\%$	速度與溫度同時上升。
零相序諧波	$> 5\%$	阻尼變大而溫度上升導致過熱，將引發軸承、轉子等多重故障。
		繞組發熱但不影響轉速及轉矩；
		Y 接：產生大量非線性負載，零相電流劇增導致過熱。
		Δ 接：產生迴路增加電流負荷，導致斷路器動作。

電壓、電流與諧波規範



驅動馬達診斷程式與介面

圖 37 OLTC 驅動馬達基線模型診斷程式

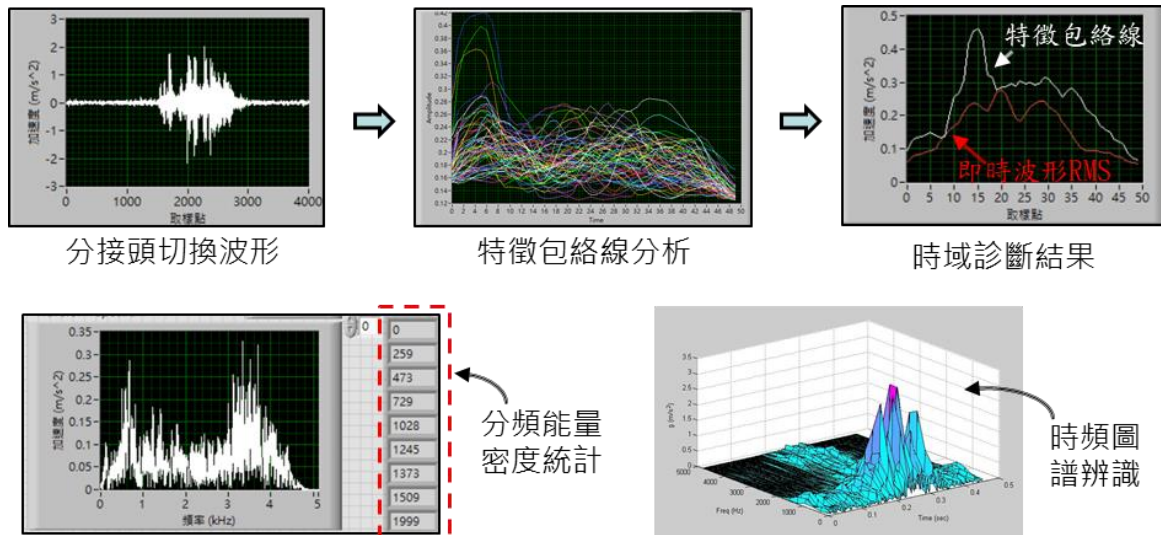


圖 38 OLTC 切換裝置基線模型診斷程式

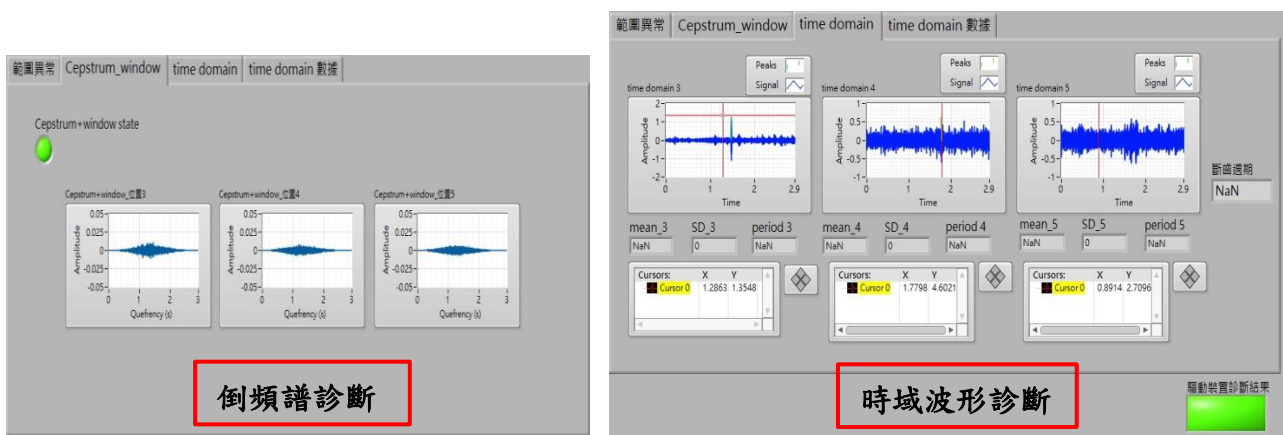


圖 39 OLTC 驅動裝置基線模型診斷程式

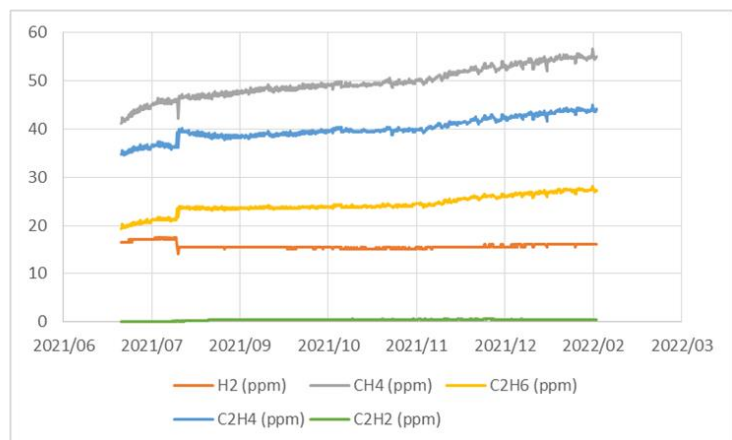
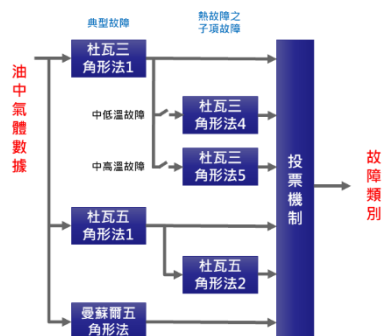
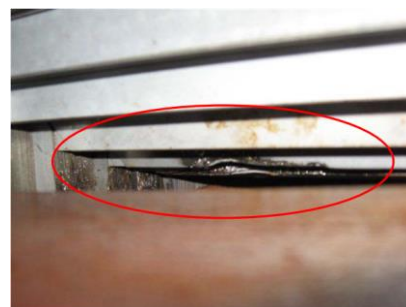


圖 40 即時量測變壓器絕緣油中氣體分量



圖形診斷法	診斷結果	投票結果
杜瓦三角形法1	T3	T3 & C
杜瓦五角形法1	T3	
曼蘇爾五角形法	T3	
杜瓦三角形法5	C	
杜瓦五角形法2	C	



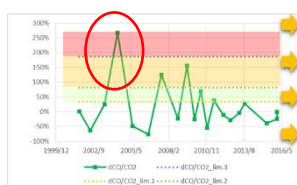
圖形診斷法投票機制判斷

案例 1 診斷結果：具碳化現象(C)之高溫故障(T3)

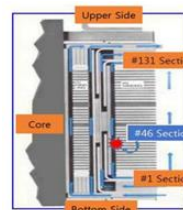
內部檢查證實：鐵心疊片發現焦痕

圖 41 以投票機制整合不同 DGA 圖形診斷法

圖形診斷法	診斷結果	投票結果
杜瓦三角形法1	T2	T2 & C
杜瓦五角形法1	T2	
曼蘇爾五角形法	T3	
杜瓦三角形法5	C	
杜瓦五角形法2	C	



3 繞組內側
2 繞組外側
1 非繞組之
0 無碳化故障



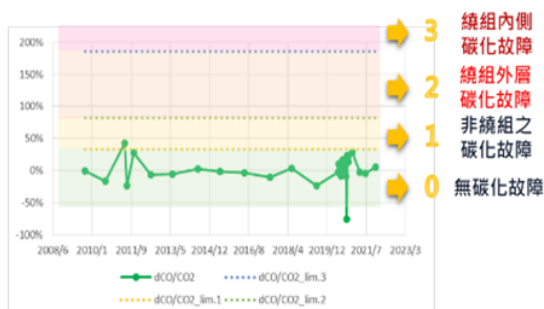
案例 2 診斷結果：具碳化現象(C)之中溫故障(T2)

碳氧化合物比例變化分析結果：故障位置靠近繞組內側；嚴重度 3(數值越高嚴重)

變壓器拆解後檢查證實：鐵心疊片發現大面積焦痕

圖 42 以碳氧化合物比例變化法鑑別變壓器故障嚴重度

圖形診斷法	診斷結果	投票結果
杜瓦三角形法1	T2	T2 & C
杜瓦五角形法1	T2	
曼蘇爾五角形法	T2	
杜瓦三角形法5	C	
杜瓦五角形法2	C	



東林主變壓器圖形診斷法投票機制分析結果：具碳化現象(C)之中溫故障(T2)。

東林DGA碳氧化氣體分析結果：故障位置非繞組部分，嚴重度1。

圖 43 變電所主變壓器之 DGA 狀態診斷結果

二、里程碑達成情形

(一)本土化配電網路管理與地理空間資訊應用

- 1.完成饋線開關操作序列策略平台開發，可降低饋線三相負載最大變動率，提供調度人員進行開關調整之情境演練，確保饋線開關操作及調度之可靠；完成饋線末端單元檢測及故障電流計算程式開發，整合至地理空間資訊平台，使其計算誤差於 6%以內，應用推廣至區處 1 件，用以檢測 FTU 量測資料與估測值之誤差比對，及早提出設備異常情形，增加設備妥善率；完成故障指示器及變壓器設備運轉資訊之訊息交換模型建置及轉譯器開發，基於 IEC 61968-3 之標準架構，轉換成可延伸標記式語言 (XML)，完成建立饋線拓撲追蹤技術用於饋線連結性運算，標記與縮小饋線故障區間範圍，以提升可復電用戶。

(二)微電網與配電網共模調控技術開發

- 1.完成 MW 級微電網電力輔助服務系統建置並實際與台電高壓饋線併接，並完成開發微電網之能源協調分配及發電機組故障緊急決策，可依據各發電機組之反應/持續時間發電特性，調控各分散式電源功率輸出，且在微電網系統執行功率輸出期間，若單一發電機組發生異常下，由正常發電機組來提供功率補償，以維持微電網輸出功率穩定。另完成建立可接受調度命令之混合式功率調節系統，整合分散式電源包含 750 kW 柴油機、500 kW 儲能系統、250 kW 混合式實虛功率補償調節系統(由鋰電池與超級電容組成)、200 kW 柴油機、以及 65 kW 微渦輪機，完成 MW 級微電網提供即時備轉輔助服務系統功能測試，以需量反應方式參與台電電力交易平台即時備轉輔助服務，並通過通訊及執行能力測試，可於接收台電即時備轉調度命令後，1 分鐘內由分散式電源組合調度輸出 1MW 以上功率，供應核研所全所館舍用電，進而降低併接點功率達 1MW(佔全所用電 33%)，且持續 1 小時以上，成為國內首座經由台電電力交易平台認證合格並正式成功執行之 MW 級微電網系統。
- 2.完成三相功率調節系統與柴油機併聯協調技術開發，實測核研所 048 館由柴油機提供電力，其功率調節系統可維持柴油機輸出電流變動率低於 3%，並以「具電壓調節功能之三相電力控制系統」技術與利○廠商完成技術移轉 1 件。

(三)電動運具智慧充換電儲能電站技術發展

- 1.完成充換電儲能電站系統電池堆六套儲能單元系統的安裝與電解液注入、活化及試運轉作業、直流配電盤與佈線施作，以及實際運轉測試完成連續 300 小時試運轉，確認無內漏與外漏問題。完成與產業簽屬「儲能電網開發(應用)方案」MOU 及技術服務合作一案。建置完成一座充換電儲能電站示範場，包含太陽能、雙儲能電池(鋰鐵電池及液流電池)、2 支汽車充電樁、10 支機車充電樁，以及智慧排程電力調度程式可自動進行各項電力調控。在充換電儲能電站中完成一套網頁版的充電站自動調度監控系統，此系統的參數設定頁面中各項參數設定完成後，系統將

依此自動調度運轉。另外，也開發一套 LabVIEW 程式開發版本的充電站自動調度監控系統，可設計情境達到控制功率調節逆變器以執行模擬測試，可顯示市電、太陽能、儲能、負載、總供電和總負載等功率資訊，及設定契約容量和控制儲能充放電模式。

- 2.完成供電變壓器冷卻系統、接地電流、局部放電、本體振動、有載分接頭切換器與油中氣體分析等 6 項基線模型建立。

參、總體績效目標達成情形、年度績效目標達成情形

一、工作指標

項次	指標項目	單位	【計畫全期】 總目標值	【累計至111年】		【111年當年】	
				目標值	實際值	目標值	實際值
1	本土化配電網路管理與地理空間資訊應用平臺之電力潮流計算、狀態估測、三相配置、配電轉供、保護決策等功能開發與整合	件/功能數	5	2	5	1	3
2	協調微電網系統之超級電容、鋰電池、微渦輪機、及柴油機等分散式電源之功率分配，並以秒級提供配電網輔助服務	件/整合分散式電源	4	2	4	2	2
3	電動運具、充換電站、多元儲能、以及智慧監控及充換電排程管理展示平臺等設備建置及功能開發	件/整合設備數	4	2	2	2	2

1. 110 年度效益指標辦理情形

(1) 本土化配電網路管理與地理空間資訊應用

整合本土化配電網路管理與地理空間資訊應用平臺，完成配電饋線狀態估測、與配電圖面檢核技術等 2 項應用功能開發。

(2) 微電網與配電網共模調控技術開發

完成混合式功率調節系統 2 種直流端電源(包含鋰電池及超級電容)交錯式切換技術建立。

(3) 電動運具智慧充換電儲能電站技術發展

已建置一套智慧監控平台，軟體於 111 年持續精進中。

2. 111 年度效益指標辦理情形

(1) 本土化配電網路管理與地理空間資訊應用

整合本土化配電網路管理與地理空間資訊應用平台，完成饋線開關操作序列、故障電流計算、配電設備連結性追蹤技術等 3 件應用功能開

發。

(2)微電網與配電網共模調控技術開發

完成微電網系統之超級電容、鋰電池、微渦輪機、及柴油機等分散式電源整合，並進行即時備轉輔助服務功能開發。

(3)電動運具智慧充換電儲能電站技術發展

a.完成建置具備本土技術與本土料源之液流電池儲能模組及系統，並整合進以鋰電池為儲能結合太陽能及市電之電動運具充換電站實驗案場，完成一套智慧監控平台軟硬體整合控制精進，利用雙儲能之支援，增加綠電使用的多樣性，系統可自動切換供電來源，開發可對電動汽車與電動機車均可充電之 EMS，進行充換電排程管理上之彈性及功能開發，以帶動電動車市場發展，呼應國家淨零目標。

b.已發展一套供電變壓器大數據監測與智慧診斷系統，並完成冷卻系統、接地電流、局部放電、本體振動、有載分接頭切換器與油中氣體分析等 6 項基線模型建立，並實際應用於變電所。

二、效益指標

項次	指標項目	單位	【計畫全期】 總目標值	【累計至111年】		【111年當年】	
				目標值	實際值	目標值	實際值
1	配電饋線之調度管理	條/饋線數	800	300	1117	300	776
2	實際應用場域	處	2	1	2	1	1

1. 110 年度效益指標辦理情形

本計畫完成配電饋線聯絡開關最佳配置平台開發，分析台電雲林區處 23 座變電所之 341 條饋線資料，並於台電雲林區處上線試行。

2. 111 年度效益指標辦理情形

本計畫完成饋線分段開關操作序列策略功能開發，分析台電高雄區處共 776 條饋線資料，並於台電高雄區處上線試行。

肆、重大落後計畫之落後原因及因應對策

落後原因	因應對策
無	無

伍、經濟效益

一、可量化之經濟效益

111 年特別預算創造工作機會與帶動公民營企業投資

創造工作機會(人年)	帶動公民營企業投資(億元)
54	0.43785

(一)創造就業機會

- 1.本計畫中所有工作者所創造之工作機會為 43 人年，本計畫促成產業界雇用研發人員共 11 人年。
- 2.本計畫與國內學界合作共同培育人才，進入產學研界服務，俾利於資源整合與提升就業。

(二)帶動公民營企業投資

- 1.本土化配電網路管理與地理空間資訊應用
 - (1)本計畫促成崧○投入「饋線開關操作序列展示平臺」之開發，估計研發投資金額為 210 千元，生產投資金額為 25 千元。
- 2.微電網與配電網共模調控技術開發
 - (1)本計畫促成思○投入「含分散式能源模型之即時模擬雙向功率放大設備」之開發，估計研發投資金額為 13,050 千元，生產投資金額為 9,500 千元。
 - (2)本計畫促成荃○投入「輔助服務柴油機與能源管理系統功能優化」之開發，估計研發投資金額為 1,000 千元。
- 3.電動運具智慧充換電儲能電站技術發展
 - (1)開發自主料源使用煉油費觸媒精煉電解液(專利申請中)，促進技術服務廠商投資電解液生產。

二、不可量化之經濟效益

(一)本土化配電網路管理與地理空間資訊應用

- 1.研究團隊以「配電饋線分區段轉供復電策略」專利技術，榮獲 2022 年台灣創新技術博覽會(TIE)發明競賽鉑金獎，協助配電系統管理再生能源，縮短停復電時間，提升系統供電品質。

(二)微電網與配電網共模調控技術開發

- 1.MW 級微電網提供即時備轉輔助服務系統功能測試，以需量反應方式參與台電電力交易平台即時備轉輔助服務，達到整合各種分散式電源與需量調控，協助區域電網達成供電穩定效益，同時刺激儲能、電力電子相關產業投入市場。

(三)電動運具智慧充換電儲能電站技術發展

- 1.使用國產自主料源建置模組化、機櫃型儲能系統進行國內首批電解液自主料源生產作業。
- 2.本計畫開發之供電變壓器監測與診斷系統，可廣泛應用於各種大型變

壓器，在不斷電的狀態下偵測設備異常狀況，並即時進行線上故障診斷，除可減少檢測工作停電及非預期停電事故之發生外，並可延長設備維護週期，節省維護人力。

陸、檢討與建議

一、本計畫之執行於量化成果方面完成有：

項次	工作類別	111 年度	
		目標數	達成數
A	論文(篇)	12	22
B	合作團隊(計畫)養成(個)	-	8
C	培育及延攬人才(人數)	-	17
D1	研究報告(本)	24	24
G	智慧財產(申請或獲得國內外專利)(件)	7	9
J1	技轉與智財授權(件)	3	3
J1	技轉與智財授權(金額)(千元)	-	2,400
L	促成投資(件)	-	4
L	促成投資(金額)(千元)	-	43,785
R	增加就業(人)	-	11
S1	技術服務(含委託案及工業服務)(件)	-	1
S1	技術服務(含委託案及工業服務)(金額)(千元)	-	7,500
T	促成與學界或產業團體合作研究(件)	-	8

二、質化成果方面完成有：

(一)本土化配電網路管理與地理空間資訊應用

1. 完成饋線開關操作序列策略平台開發，結合地理空間資訊系統，使用者可挑選欲分析之變電所轄下饋線及其負載運轉資料，當系統平台執行操作序列功能時，可視覺化標示操作序列之開關位置與狀態，並於每一開關切換步驟中，採先投入饋線常開之聯絡開關，再開啟饋線環路之常閉開關，於切換過程中可避免用戶停電，同時計算各饋線三相負載及再生能源裝置容量等變動資訊，提供調度人員進行開關調整之情境演練。
2. 於微電網實際場域進行 PV 與儲能系統之故障電流實測與分析，並推導其輸出故障電流與電壓之計算方程式，提出分散式電源關鍵參數 V_{minpu} ，藉以開發故障電流計算程式，模擬結果與實際事故案例之計算誤差於 6% 以內，已將故障電流計算程式整合於地理空間資訊平台，視覺化顯示故障電流方向與相關數值，作為未來開發饋線保護協調策略之依據。另將開發之「整合饋線末端單元檢測功能之地理空間資訊系統」推廣至台電雲林區處試運行，用以檢測 FTU 量測資料與估測值之誤差

比對，及早提出設備異常情形，增加設備妥善率，並獲得台電肯定。

3. 參考 IEC 61968 及 IEC 61970 國際標準，完成故障指示器及變壓器資訊模型建立，遵循 CIM 精神運用物件導向模式撰寫轉檔程式，完成訊息轉換器開發。建立饋線拓撲追蹤技術用於饋線連結性運算，可交互參照及驗證配電圖資資料庫中闕漏之處，並結合故障指示器位置資訊，判斷故障區間後，於地理資訊系統上顯示結合故障指示器之故障區間地理位置，提供台電視覺化饋線故障輔助使用。

(二)微電網與配電網共模調控技術開發

1. 完成配電網與微電網共模調度管理平台開發，並由配電網發送緊急輔助調控指令(孤島運轉、同步併聯及轉供復電)給微電網，與完成研擬配電網對微電網下達緊急輔助調控之策略，以協助配電系統恢復饋線健全區用電，有助於未來大量再生能源併網運行時，提高配電系統運轉穩定度之效益。
2. 完成 MW 級微電網電力輔助服務系統建置，並完成能源協調分配及發電機組故障緊急決策開發，另完成 MW 級微電網提供即時備轉輔助服務系統功能測試，以需量反應方式參與台電電力交易平台即時備轉輔助服務，並通過通訊及執行能力測試，可於接收台電即時備轉調度命令後，1 分鐘內由分散式電源組合調度輸出 1MW 以上功率，供應核研所全所館舍用電，進而降低併接點功率達 1MW(佔全所用電 33%)，且持續 1 小時以上，成為國內首座經由台電電力交易平台認證合格並正式成功執行之 MW 級微電網系統。
3. 完成三相功率調節系統與柴油機併聯協調技術開發，以核研所 048 館舍由柴油機提供電力時，驗證功率調節系統可維持柴油機輸出電流變動率低於 3%，減少柴油機經常升降載所造成燃料消耗及設備損耗。

(三)電動運具智慧充換電儲能電站技術發展

1. 建置完成循環再生技術達到成本、料源自主掌控技術之模組化液流儲能機組系統，完成符合地下與立體停車場的高度、空間限高及限寬要求，可應用於社區大樓住宅停車場，帶動電動車市場發展，呼應國家淨零目標。完成充電站自動調度監控系統，並透過程式控制功率調節之逆變器執行模擬測試，使系統對電源之管控可以達到削峰填谷的功能。
2. 完成供電變壓器冷卻系統、接地電流、局部放電、本體振動、有載分接頭切換器與油中氣體分析等 6 項基線模型建立。

三、檢討與建議

(一) 本土化配電網路管理與地理空間資訊應用

本計畫已於本土化配電網路管理系統平台完成饋線開關操作序列、故障電流計算、配電設備連結性追蹤技術等功能開發，然而為要強化配電系統韌性，達到降低配電中性線電流達 20%，避免配電保護設備動作造成饋線跳脫，及協助台電縮短下游復電時間，尚須進行三相配置與變

壓器換相策略、電驛動態設定策略、變壓器異常示警機制、視覺化顯示及行動裝置通報系統等相關技術開發，進一步提升系統供電品質，以協助台電達成行政院核定「智慧電網總體規劃方案」之電網構面政策目標。

(二)微電網與配電網共模調控技術開發

本計畫已完成微電網內各分散式電源整合，並提供即時備轉輔助服務，後續將持續精進分散式電源協調分配技術，合理分配分散式電源輸出大小及持續時間，並以成功執行補充備轉輔助服務作為下一階段之計畫目標，以緩解電力調度上之需求。

(三)電動運具智慧充換電儲能電站技術發展

挑戰所開發完成之循環再生技術達到成本、料源自主掌控技術模組化液流儲能機組系統實務產業應用，帶動電動車市場發展，呼應國家淨零目標。儲能電站計畫雖然在 112 年因經費而未持續執行，但仍將持續進行技術開發與研發成果推廣：a.建置試驗場：包括(i)所內場域(綠能路燈、儲能機櫃+充電站、健康綠電站)。(ii)所外場域：儲能+機車充電站。b.對外尋找「買家」合作推廣。c.循環經濟與地方創生合作：包括(i)本土碳材規劃製作電極材料：應用本所已有複合材料電阻係數配比技術進行碳板加工製成電極，規劃後續將與合作之技服廠商及上述官田農會共同開發。(ii)使用煉油廢觸媒研製電解液及碳板框板材料再處理製作，創造本所研發技術、循環經濟及地方創新產業三贏機會。落實 100%自主料源之運維能力。以上，陸續有國內廠商洽談合作建置計畫。