

# 電力研究簡訊

## Power Research Newsletter

109 年第 3 季 (109.07 No.117)

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(10091) 台北市羅斯福路 4 段 198 號 電話：(02)2360-1084 傳真：(02)2364-9611

### 目錄

#### 研究計畫成果

- 一、氣機葉片材料真空重熔精煉之研究與應用 .....1
- 二、電池儲能系統對電網自動調頻控制之應用與驗證 .....3
- 三、輸電鐵塔氣象感測器物聯網監測系統研製 .....5
- 四、儲能系統對金門電網緊急救援之實證與分析 .....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、氣機葉片材料真空重熔精煉之研究與應用(綜研所能源室：鐘震洲、吳憲政、李日輝；大菱鋼鐵股份有限公司：方蒼嵐；國立臺北科技大學材料所：陳貞光)

### (一) 研究背景：

由於燃氣渦輪機之渦輪段葉片須長期於高溫環境中運轉，其葉片母材大部分為昂貴之鎳基超合金或鈷基超合金，為使將來這些報廢的葉片能重新再利用並發揮循環經濟的價值，以節省未來先進燃氣渦輪機之運轉維護費用。本所將中部某電廠提供遭除役機組之第 3 級舊動葉片進行重熔與精煉研究。本次研究之報廢 GE 第 3 級動葉片母材材質為 Udimet 500，屬 MS7001 E 型較早期的材料。將報廢葉片於真空熔煉爐(圖 1)重熔精煉後，澆鑄至自製石墨模具內直接降溫凝固，並經電磁力強力抬升與對流攪拌後冷卻形成鑄錠。此外，為使舊葉片在重新精煉後而製成之鑄錠能符合新一代材料的需求，本次研究亦嘗試做成份調質之落點預測及添料熔煉實作，以作為未來進行成份設計之技術參考。

### (二) 研究內容：

本研究經由真空熔煉設備之評估、材料性質計

算軟體之估算及熱處理條件之選用，進行 Udimet 500 材質之舊葉片熔煉前與熔煉後並分別進行固溶處理 1125°C/2hr、固溶時效處理 1085°C/4hr+848°C/4hr+760°C/16hr、固溶處理 1080°C/2hr 及固溶處理 1180°C/2hr 之 4 種熱處理與驗證實驗，包含 GDS(輝光放電分光儀)、OM(光學顯微鏡)、SEM(掃描電子顯微鏡)、氧氮氫含量分析、常溫拉伸、高溫潛變破斷等研究試驗。此外，亦進行第二次重熔實驗，同樣以真空熔煉設備進行成分上的調整，利用添料熔煉方式將 Udimet 500 調質為 IN738 材料，並經 GDS 實驗與氧氮氫含量分析驗證。

### (三) 研究成果：

本研究結果顯示舊葉片經過重熔精煉後，其不同元素會因熔點高低而有不同程度燒損的情形，此情形在本研究中可透過開發成份預測計算軟體搭配添料補充來解決(圖 2)。重熔精煉後分別進行上述 4 種不同條件之熱處理，其拉伸機械性質均優於熔煉



表 1 Udimet 500 調質成 IN738 材料成份分析

預測調質數值(w.t.%)																			
元素 試片	Ni	C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	Fe	Mo	V	Ti	Al	Nb	Co	W	B	Zr	Ta
IN738	61.5160	0.1100	0.0040	0.0020	0.0050	0.0200	0.0070	15.9700	0.0510	1.6970	0.0050	3.3940	3.3940	0.8980	8.4840	2.5950	0.1000	0.0500	1.6970
GDS 成份測定(w.t.%)																			
調質精熔平均值	59.6310	0.1033	0.0198	0.0070	0.0230	0.0571	0.0215	15.6000	0.6078	1.3780	0.0205	3.6670	3.6977	0.8802	9.3220	2.6024	0.0917	0.0640	1.1582

表 2 A-D 熱處理條件後之常溫拉伸數據比較

機械性質 試片	寬度 mm	降伏強度 MPa	抗拉強度 MPa	伸長率 %
A-1	2.04	536	848	17.7
A-2	1.99	728	977	18.1
A-3	1.9	535	881	14.7
A-4	2.2	671	898	16.8
A 平均		618	901	16.8
B-1	1.99	672	784	5.8
B-2	1.99	652	821	5.9
B-3	1.97	671	835	7.3
B-4	1.98	695	866	9.4
B 平均		673	827	7.1
C-1	2.02	633	794	11.8
C-2	2.06	600	817	17.2
C-3	2	645	905	16.9
C-4	2.03	576	747	18.8
C 平均		614	816	16.2
D-1	2.05	609	848	16.7
D-2	2.09	579	779	17.8
D-3	2.02	629	893	16.8
D-4	2.01	535	700	13.5
D 平均		588	805	16.2

## 二、電池儲能系統對電網自動調頻控制之應用與驗證

(化學與環境研究室：吳成有，張書維)

### (一)前言：

由於再生能源具間歇性，隨著再生能源佔比目標逐步提高，對電力系統安全性的潛在威脅日益顯現。電池儲能因技術成熟，適合模組化快速佈建，尤其是微秒等級的功率輸出響應速度，遠遠超出了傳統尖載機組的反應能力，在處理再生能源間歇性所衍生的波動性上被寄予厚望。2016 年英國國家電網 (National Grid)，投資採購 201MW 強化頻率調整 (Enhanced Frequency Response) 服務，更要求的其反應時間在 1 秒鐘之內，藉以提升電網應變能力<sup>[1]</sup>，

最終得標者均為電池儲能計畫。

台電公司 2020 年開始試行「電力交易平台」機制，逐步規劃出「容量市場」、「日前市場」、「小時前調整程序」與「即時不平衡市場」4 個平台<sup>[2]</sup>，預計在 2024 年正式上線，讓電力輔助服務、電力供應、需量反應等供需都可在此平台上進行交易，使供電更有效率且穩定。首先預計於 2020 年 5 月推出「快速反應負載資源((Fast Response Resource, FRR) 輔助服務」與「儲能自動頻率控制 (Automatic Frequency Control, AFC) 調頻服務資源」(以下簡稱

AFC 方案) 2 個輔助服務採購<sup>[3,4]</sup>，前者 2020 年規劃為 15MW，2025 年累積目標量為 251MW，規劃服務期限為 3 年，於履約期間執行績效表現優異者，將獲得優先續約，其目的在於因應系統轉動慣量減少，當系統頻率過低時，可藉由簽約用戶負載快速切離，避免系統頻率持續下降；後者規劃於 2020 年採購 50MW，服務期限為 3 年，至 2025 年達到總計 300MW 目標，目的在於運用儲能快速充放電之優勢，使儲能系統追隨電力系統之負載波動，主動調整充放電動作，以維持系統頻率穩定。

本文報導台電綜合研究所在樹林所區建置之 1MW/1.5MWh 鋰離子電池儲能系統驗證 AFC 方案執行成果，可提供有意參與該方案之業者在籌備過程中預知可能風險，以提早因應，避免投資資源的浪費。

(二)研究方法：

為確認所建置之儲能系統具備提供 AFC 方案之能力，須進行諸多項目檢視，諸如儲能系統的架構，電能調節系統 (Power Condition System) 頻率量測解析度、數據擷取與傳輸速度，是否內建自動調率控制模式等。申請本方案之廠商除了須符合基本資格要求外，得標時亦應於台電公司監督下，完成並符合全部服務能力測試要求。其中，步階輸出/輸入功率測試、頻率掃描測試，測試項目經台電公司同意後，得由得標廠商提交其自行測試之報告。

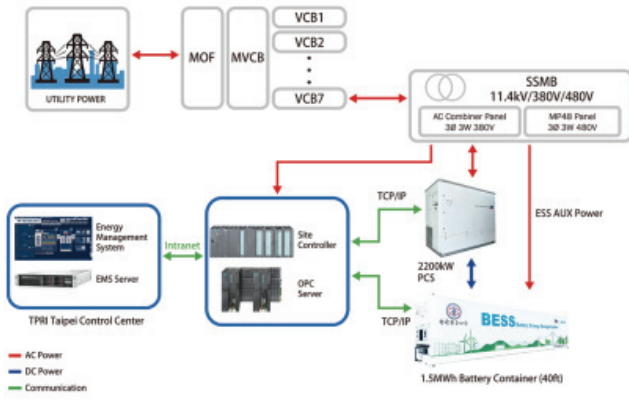


圖 1 1MW/1.5MWh 貨櫃式鋰離子電池儲能系統示意圖



儲能電池系統(BS)  
製造商：台達電子  
台灣製造三元電池芯

電力調節系統(PCS)  
製造商：SMA(德國)  
規格：380 V<sub>AC</sub>/2,000 kVA

升壓併網設備  
製造商：宏于電機  
電壓規格：11.4kV

圖 2 1MW/1.5MWh 貨櫃式鋰離子電池儲能系統外觀圖

在本研究以得標廠商須完成的服務能力測試項次 D-5，實際併聯測試<sup>[4]</sup>，以驗證所建置之儲能系統能否具備 AFC 方案的執行能力。進行研究之儀器設備系統圖如圖 1，實體如圖 2。試驗方法輔助服務採購服務能力測試項次 D-1 到 D-5 (執行頁面如圖 3)。

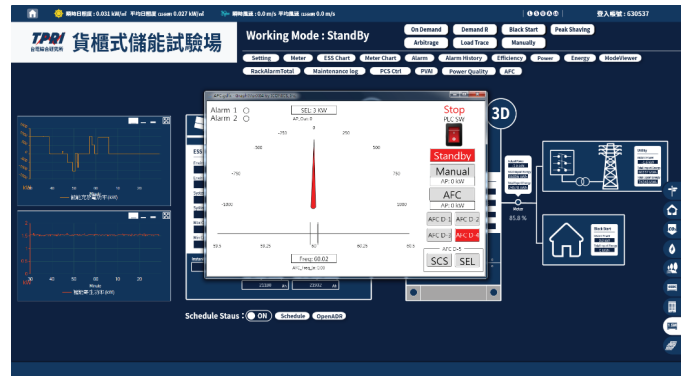


圖 3 AFC 方案測試頁面

(三)研究成果：

本研究在進行實際併聯測試(D-5 項次)同時也對儲能系統建置場或所在地點 (台電綜合研究所樹林所區：新北市樹林區大安路 84 號) 之電網頻率做了量測與分析圖 4，從圖 4 可以看到電網頻率變動相當頻繁，在 24 小時的監測期間，頻率之變動最大範圍約±0.2 Hz。將電網頻率值進行分析，得知 2020 3/4 20：00~2020 3/5 20：00 的測試期間，電網頻率介於 59.98Hz 與 60.02Hz 間之儲能電池不動帶，其百分占比為 31%。電網頻率低於 59.98Hz 區段約占 1/3，高於 60.02Hz 區段也太約占 1/3，三段的頻率範圍可謂是三分天下。此結果與台電公司 2018/12、2019/03、2019/05 統計 3 個月本島電網頻率變動之結果非常接近<sup>[3]</sup>。

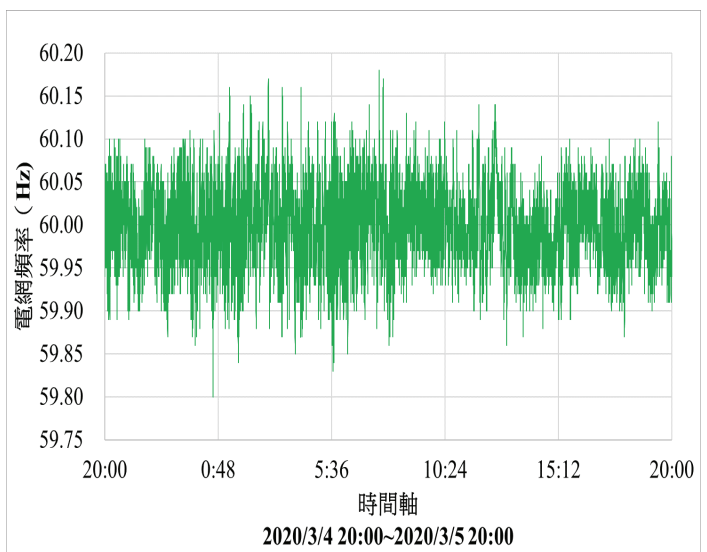


圖 4 台電綜研所樹林所區電網頻率變化時序圖

依據電網實際頻率變化，實際測試本研究儲能系統運轉操作能力，所得結果如圖 5。圖 5 即為儲能系統執行 AFC D-5 落點分佈圖，從圖中可以看到本儲能系統在實際併聯測試期間，功率輸出之百分比均落在 SBSPM 100% 之曲線內，SPM 達 100%。符合 D-5 規格在 3 小時內各 SPM 均應不小於 95% 之要求標準。

(四)參考資料：

[1] Enhanced Frequency Response Invitation to tender

for pre-qualified parties, 8th July 2016 v2.2, National Grid

- [2] 吳進忠,「台電輔助服務與電力交場市場規劃」,第 36 頁,2019 年。
- [3] 快速反應負載資源(FRR)輔助服務採購案 2nd RFI 公開說明會議,2020 年 01 月 16 日。
- [4] 儲能自動頻率控制(AFC)調頻服務資源採購案 2nd RFI 公開說明會議,2020 年 01 月 16 日。

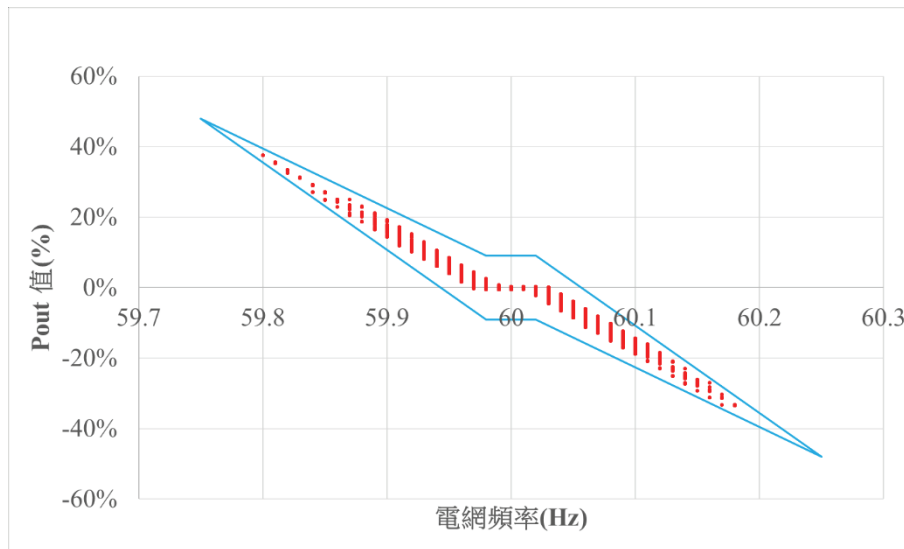


圖 5 儲能系統執行 AFC D-5 落點分佈圖

### 三、輸電鐵塔氣象感測器物聯網監測系統研製

(高壓研究室：簡士恩、陳毅明； 供電處：熊開平)

(一)研究背景與目標：

為因應極端氣候異常狀況(例如：颱風強度越趨變強及短時間內發生強降雨等)危及供電穩定及輸電線路鐵塔基礎安全，並結合物聯網(IOT)感測器技術以加速落實本公司智慧電網，本研究於氣候衝擊敏感區域之鐵塔，包含北供轄區 161kV 坪林~員山線、345kV 深美~冬山線及高屏供轄區 161kV 核三~楓港線等輸電線路鐵塔裝設無線風速、風向及雨量感測器等監測設備，以驗證本公司位於氣候衝擊敏感區域輸電鐵塔塔基之強韌性。

(二)系統組成、功能及架構：

本監測系統由輸電鐵塔微型氣象站、資料庫伺服器、資訊監測分析軟體等組成。

輸電鐵塔微型氣象站可自供電，採即時量測及無線資料傳輸，量測項目包含風速、風向及雨量，量測方式係參照氣象局《地面氣象測報作業規範》內之量測方式。

每座輸電鐵塔架設一套微型氣象站，本研究共在以下 15 座輸電鐵塔架設微型氣象站 (表 1)：

表 1 微型氣象站裝設塔號

位置	塔號	合計(座數)
新北市及宜蘭地區	坪林~員山線#34、#35、#36、#50、#51	11
	深美~冬山線#87、#88、#94、#95、#96、#97	
恆春地區	核三~楓港線#55、#56、#57、#58	4
總計		15

氣象站之無線資料傳輸模式須能在同一輸電線路上鄰近之微型氣象站建立區域感測資料收集網(以下簡稱區域感測網路),透過此區域感測網路將各氣象站之資訊收集後,利用在其中一座氣象站之無線轉發設備以電信網路將資料回傳至本所之資料庫伺服器。

區域感測網路可於各氣象站之間建立鏈狀網路,各氣象站透過無線傳輸器將各氣象感測器所收集的資訊(如風速、風向、雨量及儲電量)逐塔跳傳至轉發設備,鏈狀通訊網路具備有備援路徑機制。

氣象站之電源供應由再生能源(太陽能發電)及儲能設備共同組建,當儲能設備電力量較低時(≤30%),具有低電量警示功能。

資料庫伺服器架設於本所樹林所區,資訊監測分析軟體採用響應式網頁設計(RWD)技術,開發

網頁版使用者管理介面,提供各項監測數據呈現、搜尋及GIS地理資訊圖資服務,受測塔之位置需以圖示顯示於地圖上,並依照警戒等級分色顯示。

預警機制為「三值四級制」之燈號顯示模式(如圖1所示),軟體內並設有「注意值」、「警戒值」及「行動值」等三項管理值,並據以區分為「綠色」、「黃色」、「橙色」、「紅色」等四級警示燈號區間,當某塔號之燈號顏色顯示為「橙色」或「紅色」時,網頁畫面將以跑馬燈型式警示。

(三)研究成果:

本監測系統於108年10月安裝完成,截至目前為止各項監測數據回傳率皆為100%,顯示系統之穩定性及可靠性,所蒐集之數據適合用來作輸電鐵塔風場環境分析,以驗證塔基之強韌性並重新檢視現行塔基顏色維護管理機制。

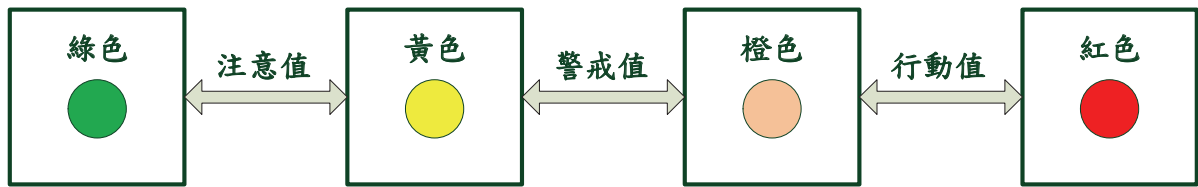


圖1「三值四級制」之燈號顯示模式

本監測系統軟硬體架構如圖2所示。



圖2系統軟硬體架構

## 四、儲能系統對金門電網緊急救援之實證與分析

(電力研究室：吳承翰、嚴柔安、王永富、廖清榮)

### (一)研究緣由與目標：

金門地區屬孤島型電力系統，在某些時段再生能源發電占比已有超過 30% 以上的紀錄，將對電廠運轉模式與系統穩定度產生相當影響。因此，本所積極辦理儲能試驗系統建置，分為兩期先後進行，第一期儲能試驗系統為能量型系統，採鈉硫電池；

第二期儲能試驗系統為功率型系統，採鋰電池。兩套儲能試驗系統之建置目的為(1)減輕目前再生能源對系統之影響；(2)為未來更高再生能源滲透率預作準備；(3)提升系統運轉效率；(4)厚植儲能系統調度與調控經驗；(5)作為本島建置之參考



圖 1 一期示意圖(左)與二期完成照(右)

### (二)第二期儲能試驗系統功能概述：

第一期儲能試驗系統因採購過程延遲，尚未完成建置，故本文主要針對第二期儲能試驗系統進行探討。第二期儲能試驗系統額定功率為 2 MW，容量為 1 MWh，功能包含再生能源平滑化、定實(虛)功輸出、頻率-實功控制(fp)、電壓-虛功控制(vq)以及跳機後出力補償(以 Rate of Change of Frequency,

RoCoF 實現)，fp、vq 與 RoCoF 之控制曲線如下圖 2 與圖 3。Fp 與 vq 控制功能分別擷取系統頻率與電壓，依照控制曲線輸出實功與虛功，協助系統維持頻率與併接點電壓；而跳機後出力補償功能則做為系統熱備轉，偵測系統頻率差，並於觸發後依控制曲線維持實功輸出，至電池容量極低或由調度人員關閉為止。

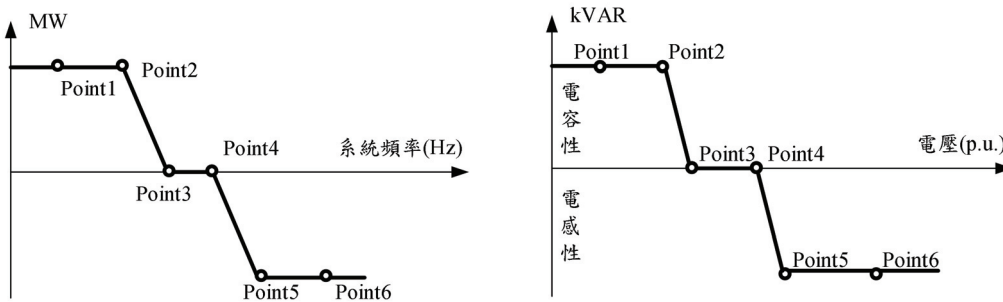


圖 2 fp(左)與 vq(右)控制曲線圖

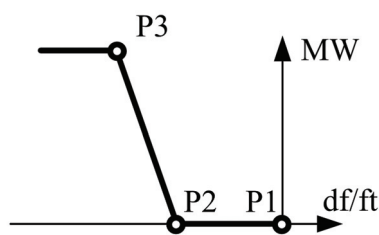


圖 3 RoCoF 控制曲線圖

**(三)跳機後出力補償功能成效：**

第二期儲能試驗系統於 108 年 12 月建置完成後，即併於系統上持續運轉，常態開啓 vq 與跳機後出力補償功能，另於夜間開啓定虛功模式，吸收系統上過多之無效電力。其中，跳機後出力補償功能對金門電力系統格外重要，可於跳機事件發生後，減少頻率下降之幅度，本文以金門近期兩事件為例。

於 109 年 1 月 16 日，塔山 9 號機於試運轉時發生跳機，當時系統淨負載約 32.5 MW，跳機量為 7.22 MW，佔比為 22.22 %。跳機發生後，儲能系統於 166 ms 內出力上升至 2 MW，如下圖 4，再加上負載器(為試運轉機組高載測試而加裝，與試運轉機組出口斷路器連動)跳脫 4.2 MW，故系統上僅損失 7.2 MW - 2 MW - 4.2 MW = 1 MW 之供電量，系統頻率降幅輕微，如下圖 5。

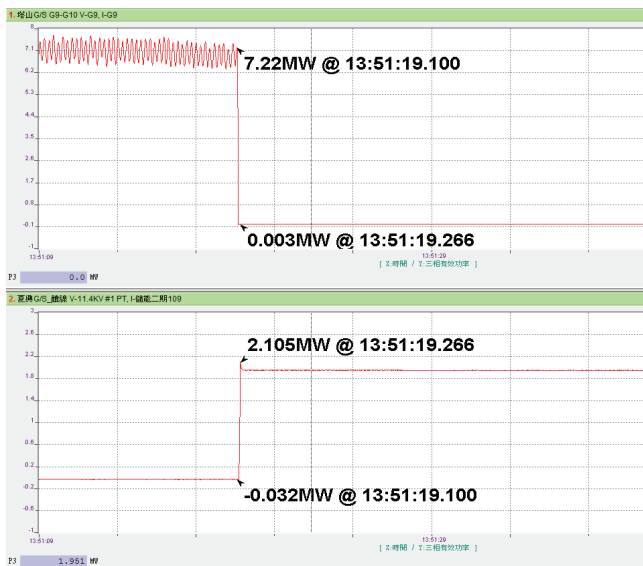


圖 4 9 號機出力降與儲能出力上升曲線(109/01/16)

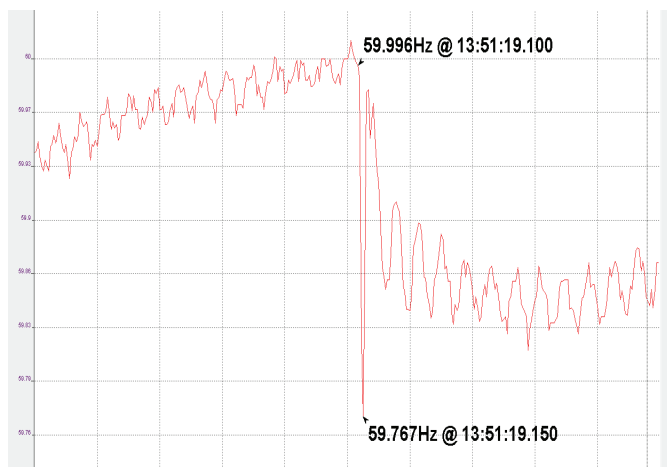


圖 5 系統頻率變化(109/01/16)

另於 109 年 1 月 22 日，塔山 9 號機於試運轉時發生出力驟降，當時系統淨負載約 27.2 MW，出力驟降量為 7 MW，佔比為 25.74 %。出力驟降後，儲能系統於 234 ms 內出力上升至 2 MW，如下圖 6，且當下因 9 號機出口開關未打開，負載器無跳脫，系統上損失 7 MW - 2 MW = 5 MW 之供電量，系統頻率降幅較上案例大，如下圖 7。

由此兩案例可見，第二期儲能試驗系統之出力補償功能，可有效降低跳機後系統頻率降幅，不僅反應速度快，且直接依系統頻率進行判斷，有效滿足系統實際需求。

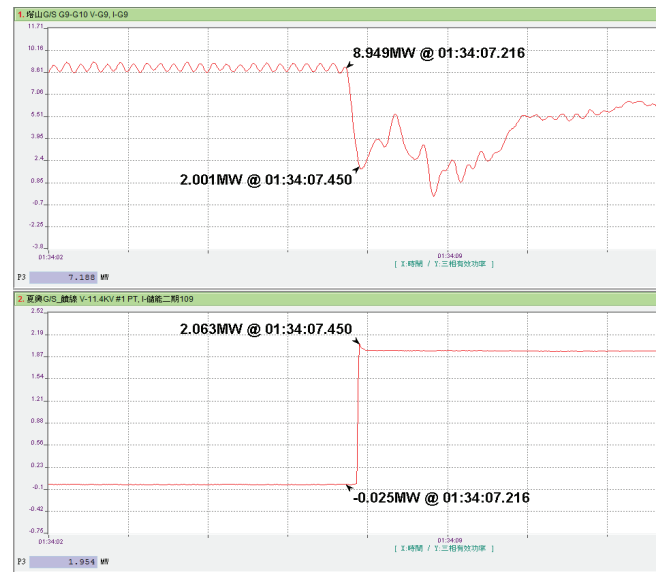


圖 6 9 號機出力降與儲能出力上升曲線(109/01/22)

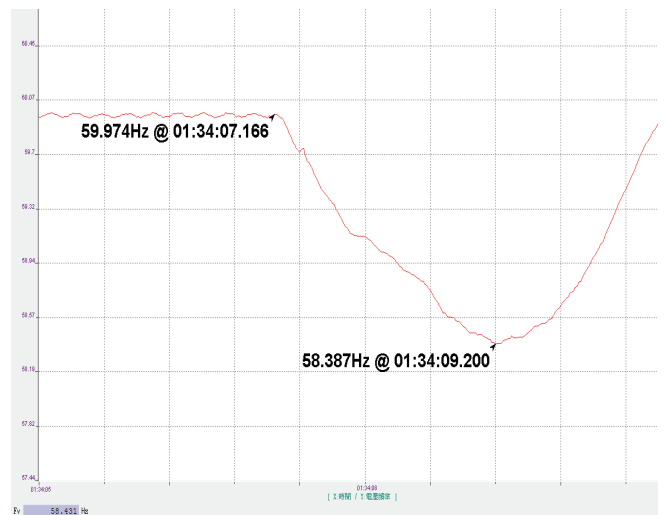


圖 7 系統頻率變化(109/01/22)