

出國報告(出國類別：開會)

參加世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)
設備可靠度工作坊(Equipment
Reliability Workshop)會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：吳樹欣 / 核二廠儀控經理

劉建佑 / 核三廠改善經理

派赴國家：日本

出國期間：113年12月01日至113年12月05日

報告日期：113年12月26日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)設備可靠度工作坊
(Equipment Reliability Workshop)會議

頁數 10 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/黃惠淪/ (02) 23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

吳樹欣/台灣電力公司/核能二廠/儀控經理/02-24985990-2650

劉建佑/台灣電力公司/核能三廠/改善經理/08-8893470-3300

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 12 月 01 日至 113 年 12 月 05 日

派赴國家/地區：日本

報告日期：113 年 12 月 26 日

關鍵詞：世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)、設備可靠度、Equipment Reliability (ER)、單一故障關鍵性組件、Single Point Vulnerability (SPV)、同業評估、待改進事項、AFI、預防保養、Preventive Maintenance(PM)、Loss Of Offsite Power(LOOP)。

內容摘要：(二百至三百字)

台電公司核二廠儀控經理吳樹欣及核三廠改善經理劉建佑，奉派參加世界核能發電協會東京中心(WANO-TC) 舉辦之設備可靠度工作坊(ER-WS)會議。

本次研討會參加成員包括台灣、日本、南韓、印度、巴基斯坦代表，另外中國核能電力股份有限公司及三門電廠、WANO 設備可靠度工作小組及 WANO 倫敦中心(WANO-LC)也派員以視訊方式參與；研討內容包括「設備可靠度工業界趨勢」、「單一故障關鍵組件 SPV 管理」、「設備可靠度執行經驗」以及「SOER 2025-1 核能領域提升設備可靠度全球趨勢」等多項議題，共發表十二篇簡報，並舉行 2 次分組討論；會議中，台電公司也發表一篇簡報，主題是核二廠問題發現與解決的專案報告，以本公司經驗與各國核能業界代表相互交流，藉此學習提升設備可靠度之精進作法。

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

目 次

	(頁碼)
一、目的	1
二、過程	1
三、主要內容	2
四、心得及建議	6

一、目的：

- (一) 設備可靠度是造成低性能的主要原因之一，也是全球和TC區域電廠實現卓越行動目標的重大挑戰；除此之外，設備性能不佳的後果是發生重大事件、計劃外緊急停機、和限制運轉條件等。同時發現，監管不足將導致設備性能的可預測性降低；而設備的卓越性能有賴於強而有力的領導，對故障原因的詳細了解，以及電廠營運、維護和工程部門的通力協作。
- (二) 本研討會為WANO會員提供一個平台，讓會員能了解設備性能不佳的原因及更高的標準；研討會也為WANO會員提供有關各電廠維護經驗和提升設備性能策略的交流平台。此將有助於解決設備短期、中期和長期的問題，以及實施有效的設備可靠度維護策略。
- (三) 參加這次研討會，可以了解在 WANO-TC 地區之電廠，造成設備可靠度事件(Equipment Reliability Events)的發生原因及趨勢，並分享(1)SPV 關鍵組件管理(2)設備生命週期管理(3)系統和組件健康度性能監測(4)預防保養作業最佳化等提高設備可靠度的優良做法。
- (四) 藉此研討會可以讓所有參與者共同交流經驗和分享學習成果，而透過資訊分享與實務經驗回饋，讓每位參與者都能從中汲取設備維護及管理精進做法，並將此收穫帶回自己的單位中，將有助於單位內設備可靠度的提升。

二、過程：

- | | |
|---------------------------|--|
| 113 年 12 月 01 日~12 月 01 日 | 往程（台北/高雄－日本東京） |
| 12 月 02 日~12 月 04 日 | 參加世界核能發電協會東京中心
(WANO-TC) 設備可靠度工作坊會議 |
| 12 月 05 日~12 月 05 日 | 返程（日本東京－台北/高雄） |

三、主要內容：

- (一) 設備可靠度(ER)的重要事件報告(WER)已有減少的趨勢，但還是有發生數起嚴重事件，主要歸因於「老化管理」、「單一故障關鍵性組件(Single Point Vulnerability,SPV)」、「預防保養(Preventive Maintenance,PM)」、「喪失外電(Loss Of Offside Power,LOOP)」等方面。
- (二) 設備可靠度劣化的主因，經統計可歸納如下：
 - (1)電廠都相當重視主要設備組件的維護，但對次組件的重視程度不足。
 - (2)預防保養(PM)執行不足
 - (3)設備組件老化問題
 - (4)原始設計瑕疵
 - (5)技術程序書不完善
 - (6)原廠製造瑕疵
 - (7)趨勢分析與監控機制不足
 - (8)腐蝕及運送安裝問題
- (三) 本公司分享核二廠的「問題發現與解決專案」，該專案推動的主要目的為提升設備可靠度，其中包括：
 - (1)發現與解決長期存在的設備問題
 - (2)降低設備故障重作次數及提升關鍵組件可靠度
 - (3)在設備發生故障及變成大問題前能及早發現問題並進行改正行動
 - (4)強化員工對「問題發現與解決」知能，培養分析與解決問題的能力
- (四) WANO 列出影響設備可靠度最主要的系統包括：
 - (1)緊急柴油機與輔助系統 (Emergency Power Generation and Auxiliaries)
 - (2)冷凝水與飼水系統 (Condensate and Feedwater)
 - (3)主發電機與輔助系統 (Generator and Auxiliaries)

(4)爐心冷卻系統 (Reactor Coolant System)

(5)高電壓系統(含外電) (High Voltage AC including off-site power)

(五) 分組討論 1：美國電廠主變壓器火災事件



主要原因：主變壓器高壓套管 H1 爆裂起火

本公司於會中分享核三廠大型變壓器測試項目，其中包含：

1. 一般測試

- (1) 繞組電阻的測量
- (2) 電壓比的測量和相位移的檢查
- (3) 短路阻抗和負載損耗的測量
- (4) 空載損耗和電流的測量
- (5) 介電測試
- (6) 感應交流電壓測試
- (7) 部分放電測量
- (8) 有載分接開關測試

2. 型式試驗

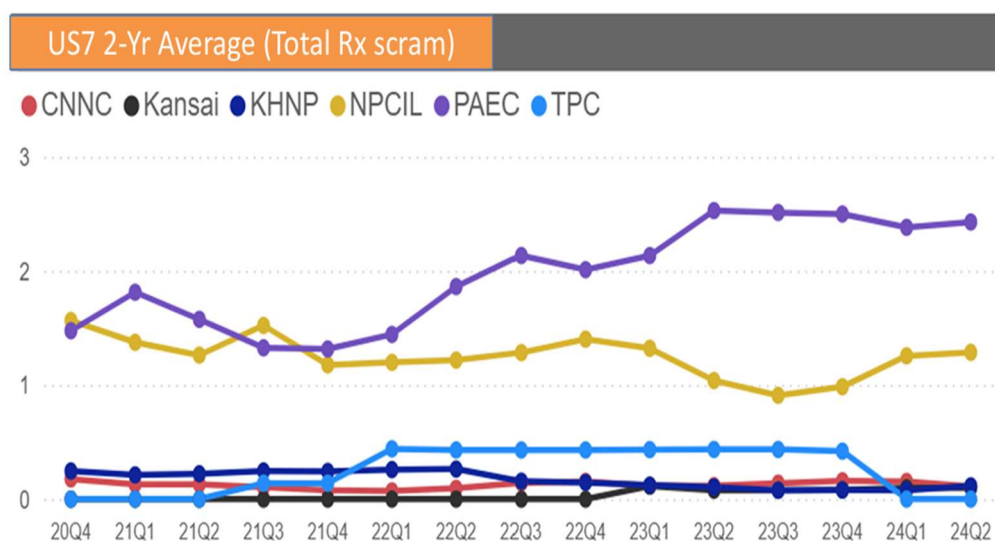
- (1) 溫升測試
- (2) 閃電脈衝測試

3. 特殊測試

- (1) 開關衝擊電壓測試
- (2) 介損因數 ($\tan \delta$) 和電容的測量
- (3) 零序阻抗的測量
- (4) 噪音的測定
- (5) 空載電流諧波的測量
- (6) 絕緣電阻的測量

4. 套管功率因數測試：核三廠主變壓器每一只套管均裝置有 DOBLE 介質絕緣線上偵測，可以防止此高壓套管故障。

(六) SPV 故障造成跳機趨勢：從歷年統計資料(詳如下)，台電公司算(TPC, 淺藍點者)是優等生；顯見台電公司各核能電廠在 SPV 設備組件維護與管控之努力成果。



(七) 預防保養之實施

過去的預防性/週期性保養(PM)觀念，已逐漸被現今的 Condition

Based Maintenance(CBM)及 Performance Based Maintenance(PBM)觀念所取代，維護週期不再是固定的，而是可調整的；因此，週期性的重新檢視現行 PM 之執行成效是有必要的。透過每次記錄維護前狀況 as found condition 及定期對設備運轉參數進行趨勢分析，可掌握當初訂定 PM 計劃的周延性；而一個最佳化的預防保養計劃，應適時對原表定預防保養週期進行調整，若設備一直維持穩定運轉也無組件劣化之跡象，則應考量延長維護週期；反之亦然，若設備頻繁故障或有許多故障前之領先指標已產生，則應檢討這個預防保養作為是否未能對應所有之故障機制，並重新檢討其維護週期是否過長，以達到預防保養最佳化的目標。

(八) 設備生命週期管理

依據設備性能監測及故障肇因分析結果，建立可維持大型重要設備/組件長期穩定運轉之維護策略，為電廠長程之營運策略；包括整合現有老化管理、預防保養、性能監測等維護作法；其中預防保養功能在於提前移除或改善設備組件老化問題，並滾動檢討現有 PM 執行有效性；另透過大型重要設備(如變壓器/發電機等)之性能監測與健康度管理可即時掌握其相關設備組件的劣化趨勢，以便及時採取預防矯正措施；而使用維護前 As-found 資料，預測大型重要設備劣化趨勢與使用壽命，發展長程大型重要設備更換與翻新計劃，以達到設備生命週期管理的目標。

(九) 分組討論 2：美國電廠因主發電機故障造成大修工期延長 40 天事件



主要原因：主發電機定子鐵心層間短路

本公司於會中分享核三廠主發電機主要測試項目，其中包含：

1. 絕緣電阻測試
2. 介質及部分放電測試
3. 電阻測量測試
4. 短路磁場匝比測試
5. 磁場極性測試
6. 軸電流及軸承絕緣測試
7. 相序測試
8. 定子端電壓測試
9. 超速測試
10. 噪音測試
11. 大修期間定期執行發電機定子鐵心層間短路測試(ELCID)，可及時發現其劣化或故障徵兆，並即作處理以防範鐵心層間短路故障發生。

四、心得及建議：

- (一) 此次參加 WANO-TC 設備可靠度工作坊研討會，由世界核能發電協會

東京中心專家帶領引導，與 WANO-TC 各會員國電力公司選派代表及 WANO-TC 專家共同討論與分享設備可靠度之維護作法、管控機制與執行成效等資訊；藉由資訊分享與意見交流，讓與會人員充分了解各會員國在提升設備可靠度已採取的精進作法，這對本公司核能電廠日後維護作業精進及設備可靠度提升將有相當助益。

(二) 本次研討會中有關單一弱點關鍵組件(SPV)及設備可靠度議題仍是大家最關切及研討的重點，分述如下：

1. 單一弱點關鍵組件(SPV)：

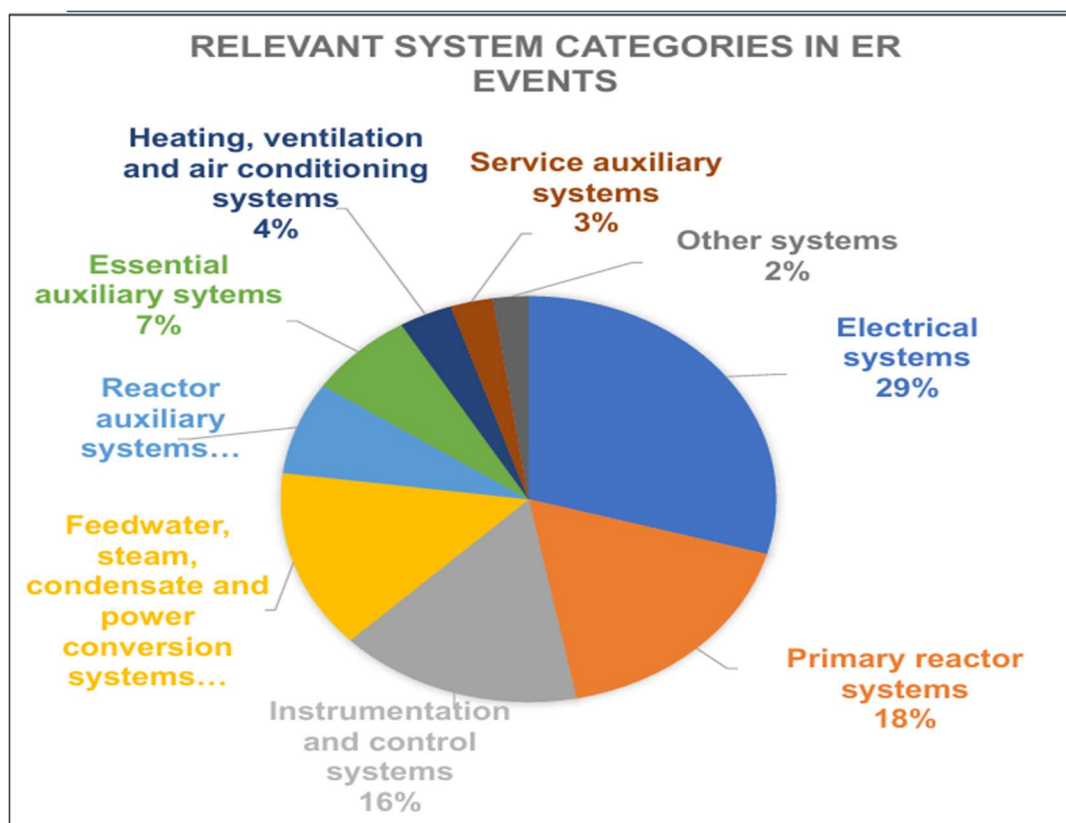
單一弱點關鍵組件(SPV)的定義是單一零組件故障會立即造成反應器、發電機跳機或是造成非計畫性降載發電損失等，一般 SPV 故障造成後果都相當嚴重；因此，各核能電廠為確保 SPV 之運作穩定與可靠度，均投入相當多人、物力，並不遺餘力落實執行 SPV 的各項維護與管理機制。而 SPV 管理方案第一步就是要找出哪些零組件具最高的風險，並排出優先順序，以便進行風險減緩或消除；因 SPV 組件的數量是越少越好，所以當識別出 SPV 組件後，可透過工程設計、運轉及維護變更、工作管理或備品庫存管理等方式，來消除或減緩關鍵組件(SPV)的風險。可參照下列做法進行 SPV 組件篩選與管理：

- (1). 研讀重要的 SOER 報告，並依其建議做法執行。
- (2). 汲取同型電廠事件報告經驗回饋。
- (3). 成立工作小組逐一就電廠各重要系統進行討論與盤點，找出 SPV 關鍵組件。
- (4). 針對篩選出之 SPV 關鍵組件建立管控機制，並擬定健全完善的預防保養及維護方案(PM)。
- (5). 定期執行 SPV 關鍵組件之狀況及性能監測(CM/PM)，藉由監測及記錄系統性能及重要運轉參數等變化趨勢，以及時掌握並確保 SPV 關鍵組件運作功能。
- (6). 依據 SPV 關鍵組件影響性採取設計變更、維護變更、或接受風險等措施進行消除(Elimination)及減緩(Mitigation)。

2. 設備可靠度議題：

設備可靠度領域分為 4 項：設備績效(Equipment Performance, ER.1)、設備故障之預防 (Equipment Failure Prevention, ER.2) 、長期設備可靠度 (Long-Term Equipment Reliability, ER.3)及材料可靠度 (Materials Reliability, ER.4)。從 2015 年到 2022 年 WANO-TC 統計設備可靠度相關的 WER(WANO Event Report)中共有 2038 件，其中關於 ER 領域的 WER 佔比是 57%；若是以跳機事件 WER 共有 253 件，其中關於 ER 領域的 WER 佔比是 76%。

由下圖可知造成 WER 事件的前三名分別是(1)電力系統(2)一次側系統(3)儀控系統，電廠未來需針對前述系統之維護作法與策略再精進，以提升設備可靠度。



(三) 從本次研討會交流過程得知中國核能電力公司在關鍵組件(SPV)已採行現場設備實體做標記、資料庫做關鍵組件(SPV)屬性分類及維護文件做標記等來確保關鍵組件(SPV)運作可靠度；另韓國核能電力公司亦發展

一套 SMOS(SPV Monitoring Sys.)系統來監測與管控關鍵組件(SPV)之運作與維護測試作業。而本公司核能電廠早在 90 年代就已開始執行 SPV 管理計畫，且制定相關維護程序書進行關鍵組件(SPV)定期維護與更換之管控機制，多年來在各電廠持續落實執行關鍵組件(SPV)各項管控作為下成效良好；而中國與韓國核能電力公司就關鍵組件(SPV)所採行的一些精進作法仍值得本公司借鏡。

(四) 持續精進設備性能監測、預防保養、矯正維護及生命週期管理是維持設備可靠度之重要關鍵，而落實執行「問題發現與解決」則是提升設備可靠度之具體作為，亦即透過設備維護前 As-found 數據收集、運轉中性能監測及執行趨勢分析，充分掌握設備運作狀態，並適時採取必要預防或改正措施，則可防範設備非預期失效及徹底解決長期存在或重複發生之設備問題。本公司核能電廠多年來在各階層積極推動並落實執行前述措施後已有顯著成效，但未來仍應持續精進各項維護策略與作法，才能維持長期設備高可靠度。

(五) 派赴國外開會除可增廣見聞，加強自身對專業技術涉入的深度及廣度外，並可對個人職場生涯增添一番歷練；感謝各級長官提供我們這個機會出國參加 WANO-TC 舉辦「設備可靠度工作坊(Equipment Reliability Workshop)」會議，承蒙公司內人資處、核發處及國外機構協助配合，在出國這段期間一切平安順利。本次開會透過與 WANO 各會員之設備維護技術與管理經驗交流和分享所獲得寶貴資訊及經驗，將有助於電廠持續推動並提升設備可靠度。

(六)、建議：

1. 基於單一弱點關鍵組件(SPV)運作可靠度攸關電廠營運績效，本公司核能電廠未來如有機會應可考量規劃執行 SPV 現場實體標記、維護計畫文件/工作套件標記及建立 SPV 管理資料庫，以確保 SPV 運作可靠度。
2. 預防保養(PM)是設備可靠度持續改善重要的一環，其中 as-found 狀況不僅是判定設備劣化的關鍵因子，亦是預防保養最佳化之參考依據；目

前本公司核能電廠係由維護管理電腦化系統(MMCS)管控 PM 排程、執行與完工結案， PM 完成後相關文件以紙本方式送品質組存檔；未來如有機會應可考量將 PM 工作項目如有涉及 as-found 數據資訊以電子化形式建檔，以利後續設備趨勢分析、狀況監測及 PM 管理優化之參考。

3. 維持長期設備高可靠度成功的關鍵因素，除要建立完善的程序及管控機制外，更重要的是有賴於現場維護人員良好的維護技能與工作習性；近年來本公司核能電廠同仁已逐漸趨於年輕化，為避免造成技術斷層，應持續推動年輕世代之技術及工作習性經驗傳承，培育個人維護基本技能並養成良好的工作習性，確保維護作業品質，據以提升設備可靠度。