

出國報告（出國類別：開會）

參加 WANO-TC 運轉專業基礎工作坊  
(Operator Fundamentals Workshop)  
出國報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：第三核能發電廠 值班經理 華振家

第二核能發電廠 值班主任 黃凱群

派赴國家/地區：日本/東京

出國期間：113 年 8 月 18 日至 113 年 8 月 21 日

報告日期：113 年 9 月 15 日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加 WANO-TC 運轉專業基礎工作坊(Operator Fundamentals Workshop)出國報告

頁數 21 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

華振家/台灣電力公司/第三核能發電廠/值班經理/(08)8893470#2100

黃凱群/台灣電力公司/第二核能發電廠/值班主任/(02)24985990#2501

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 8 月 18 日 至 113 年 8 月 21 日

派赴國家/地區：日本東京

報告日期：113 年 9 月 15 日

關鍵詞：WANO、運轉員專業基礎(Operator Fundamentals)、基本功、績效、安全

內容摘要：

台電核三廠華振家、核二廠黃凱群奉派參加 WANO 東京中心舉辦之運轉員專業基礎工作坊。運轉員專業基礎(Operator Fundamentals)包含了五項能力：密切地監控、精確地控制、保守的決策、有效的團隊作業、對電廠系統及知識深入地了解，而建立運轉人員的專業基礎是確保核能電廠營運績效與安全的關鍵。在本工作坊中，來自 WANO 東京中心轄下各電廠之值班經理、訓練講師等，分別報告所任職單位訓練運轉人員基本職能的方式及現況，並透過分組討論、課堂討論、意見諮詢與分享等方式，達到彼此交流與成長之目的。

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、心得 .....	17
四、建議 .....	19

# 一、目的

世界核能發電協會(World Association of Nuclear Operators, WANO)東京中心於 2024 年 8 月 19 日至 20 日在日本東京辦公室舉辦運轉專業基礎工作坊(Operator Fundamentals Workshop)，並邀請東京中心的會員，包含中國核能電力公司(CNNP)、日本中部電力、四國電力、北海道電力、北陸電力、關西電力、東京電力、電源開發株式會社、九州電力、沸水式核電訓練中心(BTC)、中國電力、東北電力、三菱重工核能訓練中心(NTC)、印度核電公司(NPCIL)、巴基斯坦原子能委員會(PAEC)、韓國水電與核電公司(KHNP)以及台灣電力公司派員參加。

近期 WANO 所做的分析報告中指出，相關核能電廠營運者應採取行動來解決運轉人員的績效問題，而多起發生的事件與同業評估的數據也顯示了相關營運者尚未採取足夠的作為去改善長久存在的運轉人員績效問題，WANO 重大運轉經驗報告 SOER 2013-1(Operator Fundamentals Weaknesses)旨在解決這些運轉人員績效問題，但當中的建議作為沒有被持續地推動。本工作坊的目的在於提供一個交流平台，讓各公司分享關於運轉人員專業基礎議題相關的多元經驗以及實際應用成果，透過這樣的資訊分享及交流，期望參與人員能吸收相關經驗並將之發展成人員績效的改進方案，以持續地精進運轉人員的績效。

# 二、過程

本次運轉專業基礎工作坊舉辦地點在 WANO 東京中心位於東京都港區的辦公大樓七樓。參加人員共有 29 位，分別來自日本、韓國、印度、巴基斯坦、中國及台灣。學員被分成 6 個小組，本小組成員來自台電公司的兩位成員以及中國核電公司兩位成員。本工作坊總共安排兩天的課程，進行方式為課堂講授、案例研討以及小組討論發表，講授內容包含 WANO 所屬會員績效趨勢、領導力、增強型績效監測(e-PM)，以及來自各公司的經驗與現況分享，課程表如下圖所示。第一天課程結束後，講師會請各小組討論整理當日各公司報告的重點，並將重點記錄在白板上，隨後請各小組與全體分享學習內容。工作坊第二天一開始則是請學員討論整理昨日整天的所學，並與全體學員分享，再開始當日的課程。為降低語言隔閡所導致的溝通困難，主辦方安排中文、日文及韓文口譯員在上課期間進行同步口譯，小組內討論時也可請口譯員在小組旁進行逐步口譯。以下為針對每堂課的內容作重點整理及介紹。

**Monday 19<sup>th</sup> August 2024**

9:00 – 9:05	<b>Welcome Remarks</b> <i>Kim Keeyoung, Director General, WANO-TC</i>
9:05 – 9:15	<b>Safety and Logistics[11]</b> <i>Naoji Mitani, Performance Improvement Division, WANO-TC</i>
9:15 – 9:25	<b>Participant’s Self Introduction</b> <i>All participants</i>
9:25 – 9:40	<b>Objectives &amp; Goals of Operator Fundamental Workshop[12]</b> <i>Shunta Kiji, Manager, Performance Improvement Division, WANO-TC</i>
9:40 – 10:00	<b>Industry Trends on Operator Fundamental Performance (Analysis of Operator Fundamental performance related AFIs &amp; OEs) [13]</b> <i>Ching-Tung Huang, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>
10:00 – 10:30	<b>Report on Improvement of Basic Skills of FQNPC Operators[14]</b> <i>Wang Jiansheng, CNNP</i>
10:30 – 10:50	<i>Break</i>
10:50 – 11:20	<b>Achievements and Challenges in Managing Operator Fundamentals[15]</b> <i>Satoshi Ota, Chubu EPC. Chubu EPC.</i>
11:20 – 11:50	<b>Gain an appreciation of best practices used for the Workshop and evaluation of Operator Fundamentals[16]</b> <i>Laxmi Kant Gupta/Deepak Swami, NPCIL</i>
11:50 – 13:00	<i>Lunch</i>
13:00 – 13:45	<b>Leadership development for Operator Fundamentals enhancement[17]</b> <i>Dajun Song, General Manager, Performance Improvement Division, WANO-TC</i>
13:45 – 15:00	<b>Group Work &amp; Discussion [17]</b> <i>Dajun Song, General Manager, Performance Improvement Division, WANO-TC</i>
15:00 – 15:10	<i>Break</i>
15:10 – 15:40	<b>Improving Operator Fundamentals(OFs) - Efforts in NTC[18]</b> <i>Akihiro Toda, NTC</i>
15:40 – 16:10	<b>Initiatives for Overcoming Weaknesses in Operator Fundamentals[19]</b> <i>Hiroyuki Komoriyama, Shikoku EPC</i>
16:10 – 16:40	<b>Golden Nuggets Sharing Session</b> <i>Sun Il Lee, Manager, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>
16:40 – 17:00	<b>Wrap up of the day, Q&amp;A, and close the session Day 1</b> <i>Sun Il Lee, Manager, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>

**Tuesday 20<sup>th</sup> August 2024**

9:00 – 9:20	<b>Golden Nuggets from Day 1</b> <i>Sun Il Lee, Manager, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>
9:20 – 10:15	<b>Operator work around[21]</b> <i>Sun Il Lee, Manager, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>
10:15 – 10:30	<i>Break</i>
10:30 – 11:00	<b>Building operator fundamentals - An overview of crew behavioral monitoring program in Kuoshen nuclear power station[22]</b> <i>Kaichun Huang, TPC</i>
11:00 – 11:30	<b>SELF ASSESSMENT OF OPERATOR FUNDAMENTALS[23]</b> <i>Muhammad Adnan, PAEC</i>
11:30 – 12:00	<b>KHNP Operator Communication Guide[24]</b> <i>Yoonseok Gooh, Kori-Saeul Training Section, KHNP</i>
12:00 – 13:00	<i>Lunch</i>
13:00 – 14:00	<b>Group work</b> <b>(SOER 2013-1 Operator Fundamentals Weaknesses) [25]</b> <i>Sun Il Lee, Manager, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>
14:00 – 14:10	<i>Break</i>
14:10 – 15:00	<b>Group work</b> <b>(SOER 2013-1 Operator Fundamentals Weaknesses) [26]</b> <i>Sun Il Lee, Manager, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>
15:00 – 15:10	<i>Break</i>
15:10 – 16:40	<b>Benchmarking[27]</b> <i>Shunta Kiji, Manager, Performance Improvement Division, WANO-TC</i>
16:40 – 16:50	<b>Conclusion, workshop summary Q&amp;A</b> <i>Sun Il Lee, Manager, Performance Monitoring Division, WANO-TC</i>
16:50 – 17:00	<b>Closing Remarks</b> <i>Fan Fuping ,Director, Performance Improvement Division WANO-TC</i>

↑ 運轉專業基礎工作坊課程內容



↑ 參加人員小組討論

## ※ 第一天 (8/19 禮拜一)

### 課程一：Industry Trends on Operator Fundamentals (WANO TC)

1. 值得關注的事件：爐心軸向功率尖峰超過運轉規範限制值(WER TYO 19-0435)。
  - (A) 機組功率運轉中，依據調度需求降低負載，並執行汽機閥試驗。隨後因爐心氬濃度變化導致軸向功率尖峰超過正常運轉範圍，機組降載至 30%功率以因應超過的爐心功率限值。
  - (B) 直接原因：機組處於爐心週期末期，本次操作中接續兩次降低負載導致了較大的爐心氬濃度變化，同時控制棒插入位置過深，限制了控制棒壓抑爐心軸向功率的能力。
  - (C) 根本原因：反應度控制方案不完全、缺少反應度應變導則、缺乏爐心反應度計算程式的相關支援，以及對反應度控制相關的知識不足。
  - (D) 其他促成原因：相關運轉程序書內容不完全、組織在面臨非預期的異常狀況的管理及反應能力不足。
2. 根據 WER 事件報告資料庫，事件數量自 2022 年以來整體趨勢穩定，且最近四年內均無重大事件發生。
3. 2019 年至 2024 年間，與運轉專業基礎(Operator Fundamentals)相關的 WER 事件共有 140 件，深入分析其直接原因後，前三大項原因分別為：疏忽、犯錯、障礙與限制。
4. 深入分析根本原因後，其中與人員表現相關的前五大因素為：未自我查證或不足、技能不足或不熟悉、技術不完整、OJT 不完全、違反程序書或規定。
5. 2019 至 2024 年間，同業評估開出的 AFI 中，與運轉專業基礎之「密切地監控」相關者有 30 件、與「精確地控制」相關者有 25 件、與「有效的團隊作業」相關者有 12 件、與「保守的決策」相關者有 3 件、與「知識」相關者有 2 件。
6. 與「密切地監控」相關的缺失範例：
  - (A) 運轉員在重大測試期間沒有監控重要儀表參數。
  - (B) 運轉員將重心擺在其他事務，而長達數分鐘沒注意到重要警報諸如水泵跳脫、反應器半急停、非預期功率突升等。
  - (C) 在機組升降載、正常運轉或重大測試期間，運轉員無法發現設備問題例如漏油、管路接頭遺失、不正常的設備溫度等。
7. 與「精確地控制」相關的缺失範例：
  - (A) 反應度控制缺失諸如同時執行多種影響反應度的操作。

- (B) 在模擬器案例中，運轉員無法將重要參數控制在指定的範圍內，例如 RCS 溫度、反應器水位、蒸汽產生器水位、反應器壓力等。
  - (C) 在模擬器案例中，運轉員未針對非預期的反應爐功率突升做出立即的處置。
8. 與「有效的團隊作業」相關的缺失範例：
- (A) 團隊中角色分工及責任不明確。
  - (B) 交接班期間，兩班的成員沒有共同在盤面跟電腦上的文件做交接。
  - (C) 值班主任沒有與其他相關部門共同討論暫態操作時可能造成的影響。
9. 與「溝通聯繫」相關的缺失範例：
- (A) 在模擬器案例中，運轉員沒有及時回報重要參數給值班主任，或是沒有執行暫態討論或簡報。
  - (B) 現場值班員沒有將發現的設備缺失回報給控制室。
  - (C) 在模擬器案例中，運轉員在暫態中採用與值班主任之指令不同的降載速度來因應，而未事先進行討論。
10. 導致上述各項缺失可能的原因為：
- (A) 沒有持續的強化高標準及期望。
  - (B) 值班主任沒有做有效的監督，例如未糾正不良行為、作業觀察時過度注重技術領域而忽略運轉員專業基礎、值班主任因不了解業界標準而無法點出組員的缺失。
  - (C) 值班主任未盡職責，諸如沒有參加 TBM、自己跑去執执行程序書步驟、無法給出明確的行動方向、無法將控制室作業做優先度區分。
  - (D) 未遵循 SOER 2013-1 之建議導致對運轉員基本職責做出無效的自我評估。

## 課程二：Report on Improvement of Basic Skills of FQNPC Operators (中國核電公司, CNNP)

1. 福清核電站有六台百萬機組，總裝置容量 667.8 萬瓩，年發電量達 500 億度。
2. 福清核電站的持照運轉員中，持照年資僅有 1~2 年者占了 50%，整體來說持照年資普遍年輕。
3. 在模擬器訓練中，依照運轉員專業基礎的五個面向，對各個運轉員的表現作統計分析。2022 下半年及 2023 上半年的模擬器訓練統計數據顯示，精確地控制、密切地監控以及行為規範方面存在較多偏差，需要重點關注提升。
4. 依據最近一次自我評估數據顯示，運轉員(RO)的五大基本功弱點包含：
  - (A) 使用及遵守程序書。



- (B) 遵守管理規定。
  - (C) 維持系統參數在要求之限值內，確保系統運轉在設計範圍中，避免安全餘裕不足。
  - (D) 全面地理解電廠知識。
  - (E) 對關鍵參數狀態保持警覺。
5. 依據最近一次自我評估數據顯示，高級運轉員(SRO)的五大基本功弱點包含：
- (A) 遵守管理規定。
  - (B) 保持有效的指揮與控制。
  - (C) 遵守和使用程序書。
  - (D) 確保以審慎的態度及方式來進行控制室作業。
  - (E) 清楚地了解核電站當前的狀態、重大操作以及當前的存在風險。
6. 提升運轉員基本功的作為：
- (A) 運轉員基本功訓練及管理流程分為三層級，即大綱、管理程序、管理方案。主管期望必須清晰且可執行，訓練部門與運轉部門的責任分工清晰，依照「家—校模式」運作共同提升運轉員基本功。
  - (B) 採取五階段六面向提升運轉員基本功，五階段包含：新進員工選拔與培養、受訓運轉員選拔、知識技能及行為規範培養、主控制室影子培訓、運轉員能力維持。六面向則包含：精細的分配新進員工、強化訓練資源、優化訓練主管的能力、改善受訓運轉員的選拔機制、進一步提升培訓效果、強化績效追蹤評估機制。
  - (C) 在訓練教材中明訂各崗位(SRO、RO、EO)的基本功評分要點，訓練講師依照此評分要點進行 CPE(團隊績效評估)。
  - (D) 開發資料庫軟體，紀錄運轉員五大基本功的評估數據，以建立運轉員的技能評價數據庫，實現運轉員能力的量化、個性化評價。
  - (E) 建立運轉員個人檔案，紀錄該員的基本能力、理論知識、能力發展、崗位技能、職業素養、「**累計當值工作時數**」等，以對運轉員的綜合素質作全面評估。
  - (F) 行為規範提升方面，要明確定義規則並嚴格執行。透過現場作業觀察教導、大修行為規範督察、文件日誌督察等多種督察方式確保監督有效落實，針對不遵守程序的行為予以曝光，設置「**執行力紅黑榜**」以強化遵守規定的意識，同時對表現優秀者給予形式多樣的表彰。
7. 提升運轉員基本功的良好實踐(Good Practices)：

- (A) 引進智能巡檢設備協助運轉員進行監視。包含水廠、海水泵室、化學取樣室、開關場等區域，交由智能巡檢系統(巡視機器人)，輔助人員進行巡視並提高工作效率。
- (B) 研發主控制室智能監視及預警系統、穩態參數監視系統等，提高主控制室內運轉員的工作效率，提早發出異常預警。
- (C) 知識技能方面，透過運轉員基本功考試和模擬器基本功督察來建立學習氛圍，針對基本功考試的優劣情形進行表彰與提醒。
- (D) 針對新任 RO 建立運轉員培養標準化流程，包括影子培訓、集中理論培訓，透過運轉與維護的聯合培養，幫助新任 RO 更了解電廠的運維體系。
- (E) 為了提升值班經理的領導力，訓練中心設置領導力培訓課程，每年安排值班經理、值班主任及 SRO 參加訓練。
- (F) 運轉員行為習慣提升方面，透過定期的「震撼教育與歷史上的今天」活動，學習經驗回饋。使用監控攝影機針對工作崗位「連續錄影」，確保行為規範成為工作習慣。

### 課程三：Achievements and Challenges in Managing Operator Fundamentals (日本中部電力)

1. 濱岡核電廠位於靜岡縣，總共有五部機，其中一號機與二號機除役中，三號機、四號機以及五號機停機暫停運轉。
2. 濱岡核電廠運轉員基本功的執行現況：
  - (A) 監控部分：指認呼喚的使用不夠確實、參數變化會被忽視或誤解。
  - (B) 控制部分：指揮者的領導能力不足、運轉員未能完全遵守程序書。
  - (C) 保守決策部分：部分案例顯示指揮者無法將多項重要程序排出優先順序。
  - (D) 知識方面：人員均渴望獲取知識。
3. 造成運轉員基本功弱項的可能原因：
  - (A) 值班主任無法看出團隊的弱點。
  - (B) 運轉經理未鼓勵團隊針對發現的弱點做持續改善。
  - (C) 運轉經理未要求訓練單位針對運轉員基本功強化做出改善。
  - (D) 值班主任缺乏自我挑戰的心態以及從訓練過程中提取團隊的弱點。
  - (E) 運轉經理對值班部門的要求太過自由，未強力要求改善。
  - (F) 雖有相關改進行為的程序，但實際上對改進行為起不了作用。
4. 關於濱岡電廠的訓練 KPI：
  - (A) KPI 是數量化的統計各運轉員於模擬器訓練期間，運轉員基本功各面向的得分數。

- (B) 每個運轉員基本功面向評分為 1 到 7 分，4 分為及格。
- (C) 訓練目標是每個班的平均分數 4 分，且最高分與最低分的差異小於 1 分。
- (D) 每個班使用的模擬器訓練劇本均相同。
- (E) 與密切監控相關之訓練範例：當確認 PCV 出現洩漏後，相關參數的監控頻率是否有增加？當出現反應爐水位無法判別的狀況時是否有即時的發現？在地震發生後是否有檢查燃料池與淨化系統的狀況？
- (F) 與精確控制相關之訓練範例：執行程序書是否有圈唸作劃？重要訊息是否有傳達成功？乾井高壓力發生後是否有檢查相關自動引動設備的狀態？
- (G) 與保守決策相關之訓練範例：當洩漏量增大時，是否能及時做出停機的決定？在 PCV 噴灑條件達到前是否有先執行閥測試？撤退通知是否已發送？
- (H) 與團隊作業相關之訓練範例：新發行的緊急操作程序書是否已傳閱？PCV 內洩增加的狀況是否有與團隊分享？何時該開啟或隔離 MSIV 的操作策略是否已傳閱？
- (I) 與知識相關之訓練範例：機組進入 LCO 的決策是否適當？進入 LCO 後採取的行動是否適當？電廠的狀態是否符合通報標準？操作人員是否具有設備連鎖的相關知識？
- (J) 根據 2022 年及 2023 年模擬器訓練評估結果，發現各班在保守決策項目的評分仍然位在及格標準之下。

5. 缺失改善作為：績效改善訓練的中期改進計畫

- (A) 所有班均使用相同的訓練劇本，如此較能收集良好實踐。
- (B) 發現的弱點項目會被加入到訓練計畫中。
- (C) 指定特定人員收集各班分享的良好實踐或訣竅並將之轉換成正式操作程序。

6. 缺失改善作為：值班會議

- (A) 訓練時召開值班會議，分析訓練期間發現的強項與弱項。
- (B) 經由加入來自值班團隊外的觀點，迅速找出問題所在並且共同討論改進方法。

7. 缺失改善作為：專設一位負責監控的運轉員

- (A) 有時候組員太過專心開 TBM，而無法注意到有人要進入主控制室。
- (B) 此作法確保至少有一人持續地負責執行監控。
- (C) 該員不涉入會干擾其監控盤面與警報的事務。
- (D) 其他的 RO/SRO 可專注於執行 TBM 或是查閱圖面來解決非預期事件。

#### 課程四：Gain an appreciation of best practices used for the Workshop and evaluation of Operator Fundamentals (印度核電公司, NPCIL)

1. 印度核電公司為國營公司，目前有 24 座運轉中的反應爐，總裝置容量達 8180 MW。
2. 已發現的運轉員基本功弱點：
  - (A) 運轉員沒有充分關注一項工作的技術層面。
  - (B) 在職訓練(OJT)與整合式的系統知識訓練之間沒有取得平衡。
  - (C) 沒有有效地識別及減緩風險。
  - (D) 運轉員較少有機會經歷暫態，因為電廠運作趨於穩定，而訓練方面未有相應的調整。
3. 運轉員基本功的定義：運轉員能安全、可靠且有效地運轉機組所需具備或展現的知識、技能、行為與實踐稱之。
4. 針對訓練計畫的自我評估：
  - (A) 已建立針對訓練計畫的自我評估導則並且執行中。
  - (B) 定期執行組內會議並與所有組員分享與運轉員基本功相關的 OE。
  - (C) 針對值班經理講授特定主題的訓練使之能強化運轉員的績效與基本功。
  - (D) 運轉員再訓練內容包含各方面的重要系統知識及運轉員基本功。
5. 有效的組織運作與領導力：
  - (A) 運轉員的角色與責任在電廠程序中已有清楚定義，召開 TBM 時也會再次提醒。
  - (B) 於每日經理會議中追蹤作業觀察發現的事項，學習到的經驗回饋給組員。
  - (C) 發行運轉員巡視指引手冊，內容包含所有廠房中設備監視的要領。
  - (D) 電廠主管定期觀察運轉員巡視作業。
6. 建立支持有效團隊作業的方案：
  - (A) 運轉員接受例行訓練以確保了解如何處置暫態。
  - (B) 由外部專業講師對運轉團隊進行「建立團隊」相關之知識。
  - (C) 組建團隊時考量混合資淺與資深的運轉員。
  - (D) 組建團隊時亦考慮不同學術背景的人員組合。
  - (E) 組員間的協調性也須納入考量。
7. 運轉員基本功評估：
  - (A) 運轉員訓練教材依據電廠輸入的低階事件、虛驚事件、嚴重事件報告的趨勢進行設計。

- (B) 研發「運轉員基本功評估程式」網頁程式以存取所有運轉員的基本功變化趨勢。
  - (C) 運轉員基本功由值班主管定期評估。
  - (D) SCE 主管根據評估結果給予運轉員教導。
8. **研發文件回饋系統**：一個線上的資料庫系統，使相關人員可查閱電廠文件、程序書、檢查清單、數據表等等的改版過程以及修改內容。

#### 課程五：Leadership development for Operator Fundamentals enhancement (WANO TC)

1. 領導力的定義？領導力跟游泳一樣，無法用閱讀的方式來學習。
2. 領導者激發追隨者的熱忱與動力，領導者具有遠見而且知道達成目標的道路，領導者確保團隊成員有足夠的支援以達成目標。
3. 領導者的角色要教導、引導、激勵他人。他們激勵團隊度過艱難時期，引導個人走過其職涯發展，他們設法使團隊成員實現共同的目標，他們推動合作的文化並且以身作則。
4. YGIM (Young Generation Initiative Meeting)的回饋：
  - (A) 好的領導者：清晰的遠見跟期望、善於溝通與傾聽、相信團隊，不責怪團隊。
  - (B) 差的領導者：對改變猶豫不決、不聽他人意見，純命令不解釋、不信任、目標不明確，經常三心二意。
  - (C) 職涯發展受限，直接指定工作內容而非根據其經驗或需求。
  - (D) 無法自由發表意見。
  - (E) 不喜歡 top-down culture。
5. SOER 2013-1 建議事項(3)：實施有效的組織和領導行為。
  - (A) 經由現場教導運轉員的方式，積極監測與接觸他們，以改善運轉員各種基礎專業的應用。確保積極監測內容包括下列目標和屬性。
  - (B) 把改變行為作為首要目標，蒐集資料並追蹤其趨勢作為次要的，但仍然是重要的目標。
  - (C) 對於能支持追求瞭解機組如何運作、為何機組以該方式運作的文化的行為，加以促進、增強和獎勵。也鼓勵使用質疑的態度和獎勵保守的決策。
6. INPO 19-003 Staying on top 的五個價值：
  - (A) 訂定長期目標。
  - (B) 發展領導才能。
  - (C) 卓越的標準。

- (D) 持續學習。
- (E) 自我覺察與改正。

#### 課程六：Improving Operator Fundamentals (OFs) - Efforts in NTC (三菱重工 NTC)

1. NTC (Nuclear Power Training Center)是三菱重工的子公司，提供日本 PWR 電廠運轉員訓練以及值班經理的資格考核服務，具備多種 PWR 機型的模擬器及教學設施。
2. NTC 在改進與維持運轉員基本功方面，將以下概念引入訓練課程及評估程序中：
  - (A) SOER 2013-1 運轉專業基礎：密切監控、精確控制、有效團隊作業、保守決策、深入了解相關知識。
  - (B) HuP Tools (Human performance tools)：工作簡報、自我查證、三向溝通、保守決策。
  - (C) N-CRM (Nuclear-Crew Resource Management)核能版組員資源管理(本源自於航空業)：溝通、訂定決策、組建團隊、工作量管理、狀態覺察、HuP Tools。
3. NTC 運轉員績效評估項目：
  - (A) 根據 Japan Electric Association 發行之「Guide for Nuclear Power Plant Education and Training (JEAG 4802)」以及「KSA Catalog」(日本 PWR 電廠運轉員所需具備的知識、技能、態度)訂定評估項目。
  - (B) 知識部分：程序書使用、電廠特性、法規。
  - (C) 技能部分：參數監控、系統診斷、操作技術。
  - (D) 態度部分：領導力、團隊合作、HuP Tools 之使用。
  - (E) 上述評估項目已包含 SOER 2013-1 運轉專業職能的各個面向。
4. NTC 參考其他行業的訓練模式並於 2006 年引進 CRM (Crew Resource Management)訓練。
5. CRM 訓練源自於航空業，是為了飛行安全，避免人為疏失發生並導致嚴重的後果。CRM 旨在訓練機組員能有效的利用一切手邊擁有的資源，例如人力、設備或資訊等。
6. NTC 的 CRM 訓練流程：了解 CRM 的相關技能→訓練時使用 CRM 技巧並且錄影→回放錄影帶並審視行為與有效性→討論可改進之處→再訓練(錄影)。
7. NTC 的 N-CRM 技能：
  - (A) HuP Tools：工作簡報、自我查證、三向溝通、保守。
  - (B) 溝通：二向溝通、工作簡報、肯定。
  - (C) 訂定決策：決定、行動、點評。
  - (D) 組建團隊：領導力、氣氛、衝突應對。

- (E) 工作量管理：計畫、優先度、分配。
- (F) 狀態覺察：監視、警覺、預期、分析。

### 課程七：Initiatives for Overcoming Weaknesses in Operator Fundamentals (日本四國電力)

1. 伊方核能發電廠位在四國島愛媛縣，有三座壓水式反應器，一號機與二號機除役中，三號機運轉中。
2. 2018 年時外部機構評估結果顯示，發現缺失如運轉員角色與責任定義不明確。
  - (A) 建立針對運轉員基本功的訓練評估表格。
  - (B) 修改運轉教導訓練指引，加入主題訓練評估表用以根據運轉員基本功五面向來評估、分析、改善績效。
  - (C) 訓練時錄影，訓練後回放錄影帶進行點評。
3. 觀看訓練錄影後，值班經理及運轉員提出改進弱點及提升表現的方式。
4. 將訓練過程發現的弱點及改善方式等資訊分享給所有值班經理、運轉員及講師。
5. 填寫訓練後的意見回饋單來增進訓練的有效性。
6. 電廠高階主管及資深主管進行現場作業觀察。
7. 作業觀察結果及評估回饋給所有運轉人員。

### ※ 第二天 (8/20 禮拜二)

#### 課程八：Enhanced Performance Monitoring (e-PM) - Operator work around (WANO TC)

1. e-PM 的目的：
  - (A) 若是能及早發現績效下降的早期預警信號並且及時處理之，便能維持電廠的高績效。
  - (B) 藉由及時地確認改善作為的有效性並且關注適當的 WANO 或業界協助，則電廠績效可以迅速從下降趨勢反轉。
  - (C) 期盼 2030 年前所有電廠都能達到業界績效目標。
2. e-PM 中 OF (Operational Focus)領域評估指標之一：OF-8 Operator Workarounds and Burdens (運轉員暫行措施與負擔)。
  - (A) 任一件運轉暫行措施或負擔項目均計為 1。
  - (B) 0~3 件得 10 分(綠燈)，4~6 件得 7 分(黃燈)，7~10 件得 4 分(橙燈)，大於 10 件得 0 分(紅燈)。
3. 將運轉暫行措施與負擔列入指標的原因：

(A) 設備存在劣化狀況或缺陷，使運轉員在應付暫態時，須採取額外的補償或緩和措施，因而更難安全地處理暫態或緊急事件。

(B) 此類設備缺陷挑戰運轉員安全運轉機組或應付暫態的能力，故視為衝擊核能安全的風險。

4. 運轉暫行措施(Operator Workaround)的定義：

(A) 設備因存在缺陷而使運轉員在應付暫態時須採取某種形式的補償措施。若僅是影響正常運轉時的操作程序則不計入運轉暫行措施數量。

(B) 包含所有在「機組異常期間」會影響，或可能會影響正常操作程序執行、異常操作程序執行或緊急操作程序執行的設備缺陷。

(C) 運轉暫行措施使運轉員在機組暫態期間要採取某種形式的補償措施，簡而言之就是運轉員無法依照程序書中的內容來操作設備，運轉員(控制室或現場)須採取不同於程序書之內容或是額外的操作來因應設備缺陷。

5. 運轉暫行措施(Operator Workaround)範例：

(A) 自動功能失效，需手動操作。

(B) 因缺陷或劣化等因素，導致環境輻射劑量增加，或是對運轉員的人身安全風險提高，而阻礙了運轉員採取適當行動。

(C) 主控制盤的儀表故障，同時控制室內同參數的備用儀表也故障。

6. 運轉員負擔(Operator Burden)的定義：

(A) 設備缺陷或劣化使運轉員增加不合理的負擔。

(B) 設備劣化或缺陷導致運轉員需採取大量的補償措施，因而可能導致暫態期間運轉員分心而無法監控電廠參數。

(C) 設備劣化或缺陷導致運轉員需採取大量的補償措施，於機組暫態中挑戰運轉員的能力與表現並可能導致錯誤發生。

(D) 設備劣化或存在缺陷，導致計畫性或非計畫性的在正常運轉期間或機組暫態期間增加運轉員的工作。

(E) 「大量的補償措施」是指該操作執行需時超過五分鐘，或是該操作在每個值需執行超過一次，或是該操作會挑戰人員安全。

7. 運轉員負擔(Operator Burden)範例：

(A) 控制室內的指示或電腦參數點(ERF 或 DCS 等等之類)故障，導致運轉員需使用其他參



數或資料來進行冗長的計算。

(B) 火警偵測器故障需每兩小時進行防火巡視，因人力缺乏，使當值運轉員需代替執行防火巡視。

(C) 祛水器(Steam trap)故障隔離，運轉員需定期手動洩水。

(D) 水泵運轉時有軸封洩漏，運轉員需進行洩漏量管理。

8. 小組討論：你所在的電廠如何識別、篩選與解決運轉暫行措施或運轉員負擔？

### 課程九：Building operator fundamentals - An overview of crew behavioral monitoring program in Kuoshen nuclear power station (TPC)

1. 近十年與運轉員基本功弱化相關的重大事件：二號機大修餘熱移除系統暖管 L3 低水位急停、一號機 1A4 BUS 電源切換柴油機失磁跳脫、二號機重起 OPRM 動作急停、TPCCW 熱交換器換組疏失導致二號機降載、MSIV 誤關閉反應器急停。

2. 績效監控方案：

(A) 觀察：由值班主任或值班經理、運轉經理或運轉副廠長觀察，觀察範圍如例行作業、偵測試驗、巡視、模擬器訓練。

(B) 紀錄：將觀察的事項紀錄。觀察重點如運轉員基本功、工作紀律、質疑的態度、程序書與法規遵循等。優點及缺點均需紀錄。

(C) 輸入 CAP：將觀察記錄事項輸入 CAP 系統。

(D) 分類：運轉組每個月將觀察報告分類。

(E) 分析：運轉組製作弱點分析。

3. 行為改善方案：根據弱點訂定行為改善方案，於值班經理聯繫會議中討論，然後交由各班值班主任與值班經理執行，最後藉由觀察評估成效。

4. 執行過的行為改善方案：運轉人員作業行為規範可精進項目回饋、運轉員陪同巡視觀察、教導、控制室管理、十大暫態模擬器評測、消防訓練、加強巡視及發現問題的能力、TBM 標準化、深化運轉員基本功。

5. 深究運轉員基本功五大面向幾乎都由知識與經驗構成，建構運轉員基本功應從基本的知識開始。

6. 建立運轉員基本功遭遇的難處：運轉員經驗不足，且無法累積經驗、資深運轉員十年內均將退休、作業觀察者本身經驗不足、作業觀察未將所有觀察到的事項輸入 CAP 等等。

### 課程十：SELF ASSESSMENT OF OPERATOR FUNDAMENTALS (PAEC)

1. 了解運轉員基本功的定義。
2. 所有運轉員都要表現出的行為：
  - (A) 密切監控。
  - (B) 精確控制。
  - (C) 保守作為。
  - (D) 團隊作業
  - (E) 深入了解電廠知識。
3. SOER 2013-1 建議事項的執行狀況：
  - (A) 建議事項 1：建立運轉訓練計畫、執行運轉訓練自我評估、現場訓練。
  - (B) 建議事項 2：每年執行運轉員基本功自我評估、定義績效指標。
  - (C) 建議事項 3：製作角色與責任海報貼在控制室、將運轉員角色與責任列入電廠程序書中、加開理論訓練課程、鼓勵宣揚正面態度、執行主管觀察及教導、高階主管觀察電廠重大作業。
  - (D) 建議事項 4：模擬器訓練後針對各崗位角色的表現討論。
4. 運轉員基本功自我評估目標。
5. 自我評估採用的方式。
6. 自我評估執行團隊。

#### 課程十一：KHNP Operator Communication Guide (KHNP)

1. 韓國有五座核能電廠，共 25 座運轉中的反應爐，總裝置容量達 24650 MW。
2. KHNP 對運轉員溝通方面的要求：
  - (A) 三向溝通：與他人交換決策、指令、操作設備、設備狀態相關的訊息時使用。
  - (B) 兩向溝通：在發生電廠暫態時允許使用。
3. 運轉員之間的溝通模式現狀：
  - (A) 運轉員溝通或訊息傳遞方式因人而異，不統一。
  - (B) 有要求溝通方式，但沒有提供足夠的範例。
  - (C) 運轉員溝通的有效性與誰負責執行異常程序書相關。
  - (D) 執行 EOP 期間沒有定義要求的溝通模式。
4. 訂定運轉員溝通指引的目的：
  - (A) 提供標準化的訊息內容，避免溝通時遺漏訊息。

- (B) 提供標準化的用語或用字，使溝通簡潔清晰。
  - (C) 定義負責執行異常程序書(AOP)的人，以改善暫態期間運轉員的反應。
  - (D) 提供執行 EOP 期間的溝通模式指引，以改善運轉員在事故期間的反應。
5. 標準化的訊息內容：
- (A) 報上訊息發送者的名字，以及訊息接收者的名字。
  - (B) 設備名稱，包含英文字母，例如 RCP01A。
  - (C) 參數回報方式：參數名稱→數值→單位→趨勢。
  - (D) 數字的唸法：一位一位唸，例如 123 唸作一二三，而非一百二十三(類似無線電用語)。
  - (E) 單位的唸法要統一，例如 PSI、LPM、GPM、KG、安培等等。
  - (F) 趨勢：穩定(在正常控制範圍中)、緩慢(需要一定的時間進行控制)、快速(需要立即採取行動)。
6. 標準化的用語或用字：
- (A) Challenge：挑戰一個決策或是行進方向。
  - (B) Proceed：同儕查證時表達同意。
  - (C) Update, 2-way communication in effect：宣告兩向溝通模式生效。
  - (D) 其他例如：更正、待命、確認、要求三向等等。
7. 定義異常程序書(AOP)的負責人：
- (A) 由值班主任負責執行 AOP (意指由值班主任主導異常程序書執行，包含步驟的遵循、發送操作指令)：在暫態期間為較有效的方式且溝通比較有效率。
  - (B) 值班主任也可指令運轉員代替其執行 AOP。

### 三、心得

1. 首先感謝電廠及公司各主管選派職等二人參加本次 WANO 東京中心舉辦的運轉員專業基礎工作坊(Operator Fundamentals Workshop)，藉由參加本次工作坊學習 WANO TC 各會員國電廠運用 SOER 2013-1 的經驗，並分享本公司核能電廠的經驗，達成標竿學習的目的，研討可供借鏡的優點以回饋本公司各核能電廠，同時了解各會員電廠共通的待改進弱點，回饋電廠加以檢討改善，以期能達到核能業界的優良標準。
2. 工作坊成員有來自台灣、中國大陸、日本、韓國、印度和巴基斯坦的值班經理、講師、曾經或即將擔任此職位的學員。工作坊以分組討論的形式進行，每一位學員都要參與討論，並發表討論結論，如此，強迫每一位學員在討論中持續進步，是一種非常好的教學模式。此外，WANO-TC 特地安排直譯人員同步翻譯，工作坊進行時無語言障礙，提升很大的學習情緒，使大家能暢快交流經驗與學習成果。
3. WANO 持續推展卓越行動專案(Action for Excellence, AfE)，其內容包括 5 個元素(如下圖)：設定標準、執行績效、實施計劃、持續改進以及量測。透過 5 元素的循環共同構成了可持續性能改進的框架。其願景為希望能在 2030 年達成 5 個目標：
  - (A) 所有的機組都能在 1~2 的評估等級中，只能有一些特例在等級 3 中。
  - (B) 沒有等級 4 或 5 的機組。
  - (C) 所有機組均沒有重大事故。
  - (D) 在評估等級中沒有未知的缺失項目。
  - (E) 80%的機組均在 WANO 績效指標的控管中。

其執行方式為藉由執行同業評估(Peer Review)、增強型績效監測(enhanced Performance Monitoring, ePM)、領導力發展(Leadership Development)、組織診斷(Organizational Diagnosis)、會員支援與行業學習與發展(Member Support and Industry Learning & Development)等方式，以促進電廠安全績效之提升。WANO 為會員提供針對性的技術、組織和行為支援，未來相關的活動只會多不會少。我們應該持續以積極態度，主動參與 WANO 提升核能安全績效之各項活動，不僅可深入了解國外核能電廠實際營運管理情形，亦可藉此良機與國際同業交流，吸取國際同業長處，對本公司之營運改善及績效提昇將有相當助益。



4. 本次工作坊中，各會員電廠國電廠分享運用 SOER 2013-1 的經驗，其中特別強調訓練的重要性，尤其是模擬器訓練的團隊績效觀察(Crew Performance Observation)，經由團隊績效觀察，針對運轉員基本功(Operator Fundamentals)的五大面向，紀錄並分析各運轉團隊及運轉員的優點/弱點(待改善事項)，對各運轉團隊不同的弱點(待改善事項)，逐一改善，讓每個運轉人員清楚地了解自己的角色，並對自己負責。唯有持續不斷地訓練、加強其基本功，發揮團隊合作，才能安全可靠地運轉電廠。
5. 本次工作坊中，WANO 講師再次強調領導力(Leadership)的重要性，成功的領導，會讓部屬願意去追隨，願意去走一條他自己原本不想走的路(追求卓越)，進而提升組織(電廠)績效及個人基本技能。其領導技巧主要靠 Set Direction(指出價值信念與努力方向)，建立願景(Vision)，啟發追隨者(Inspire Followers)，使其自發性反省而改變行為，然後將成員能力極大化(Maximize Competence/ Develop Talent/ Continuous Learning)，打造堅強的團隊能量(Engage the workforce/ Alignment/ Communication/ Mutual Trust/ Cooperation)、維持團隊的高績效表現(High Standard / KPI/ Ownership/ Accountability/ Benchmarking)。
6. 本次工作坊中，濱岡核電廠發表其改善密切監控弱點的努力範例：
  - (A) 確保始終有至少一名人員負責監控。
  - (B) 負責監控的操作員不得從事可能分散監控注意力或延長監控時間的活動(例如，發送電子郵件、長時間打電話)。
  - (C) 當警報亮起時，負責監控的人員協助監控，以便負責人員能專心處理警報。負責監控人員的巡檢路線。
  - (D) 如此一來，「密切監控」的弱點得到以下的改善：(1)其他操作員和值班主任可以專注於簡報。(2)當警報出示時，其他操作員可以專注於處理警報。(3)可以在機組暫態時，操作員可以快速辨識相關/重要參數的變化。若控制室人員配置無法如濱岡核電廠一般，在有限的人力下，對於重要而必須獨立監督的工作，值班經理就擔任監控

人員的角色，負起密切監控的重責，讓其他操作員和值班主任可以專注於簡報或處理警報。

## 四、建議

1. 本次工作坊中，中國福清電廠發表智能巡檢及智能監控的先進方式，福清電廠目前智能巡檢已運用在水廠(除礦)、化學取樣室、循環水泵室、開關場及輔助系統。回電廠後，職上網查詢其相關資訊，有兩篇相關報導：(1)福清核電智慧除鹽水生產系統正式投入(2)創新賦能，為核電廠化學工作插上智慧的「翅膀」。簡單說明其執行方式：福清核電智慧除鹽水生產系統實現了除鹽水生產環節的數位化、智慧化。專案開發的智慧機器人，在利用先進技術的同時，能有效防範人因失誤，提昇廠房整體安全。
  - (A) 「制水助手」智慧機器人：機器人集多自由度機械手臂、可見光相機、超音波測距、雷射感測器、機器學習等諸多新技術門類於一身，實現閥門操作、智慧巡檢功能的兩位一體。在控制系統、感測器及機械結構的精密配合下，實現控制指令的準確執行，能夠精確的定位閥門，並將閥門操作至指定開度，實現制水的智慧化。
  - (B) 巡檢工作的「智慧助手」：智慧巡檢機器人。在複雜的現場環境中，巡檢工作往往耗時費力。化學智慧巡檢機器人的研發使用，能夠對 1-6 號機組化學取樣現場及儀表等巡檢對象進行智慧分析。智慧巡檢機器人具備自主導航、環境感知、資料分析等能力，能夠依照預設的路線或任務要求，在特定環境中進行自主巡檢，最後將資料即時傳輸至雲端平台進行分析與處理。化學處專門成立智能化工作小組，並安排專人依計畫追蹤推進。目前智慧巡檢系統具有對設備進行資料收集、大數據分析、系統警報等多位一體的智慧化維運的管理功能，實現常規島化學巡檢的智慧化管理。透過遠端控制機器人進行人機互動，還有其對應的數據趨勢分析、警告提示等功能，降低了人工巡檢的成本及人因失誤風險，提高工作效率，更好地確保機組安全穩定高效運作。建議電廠在適當的廠房也發展智慧機器人來執行巡檢工作。
2. 另外，智能監控部分，核三廠已有 ErfClient 系統可觀察機組重要參數趨勢，但須以人工來判斷參數細微變化，有可能無法及時發現設備發生劣化的前兆。針對這個問提，核三廠值班已提案生成式 AI 應用：設備參數分析 AI 應用，內容如下：

- (A) 背景與目的：核電廠的穩定運行對於能源供應和安全至關重要。設備的正常運行是保證核電廠穩定性的關鍵因素。然而，設備的逐漸惡化和故障可能會對核電廠的安全和運行效率造成嚴重影響。為了提前發現和預防設備故障，我們提出利用 AI 技術對設備參數進行實時分析，實現早期預警和預防性維護。
- (B) 項目目標：(a)實時監控設備運行狀況，及時發現異常情況。(b)通過趨勢分析和時間序列預測，提前檢測設備的逐漸惡化。(c)提供數據驅動的預防性維護策略，降低設備故障風險。(d)提升核電廠的運行效率和安全性。
- (C) 項目範圍：本項目主要針對核電廠的關鍵設備進行參數分析，涉及以下方面：(a)數據收集：安裝高精度傳感器，實時收集設備的運行參數。(已有 ERF 資料)(b)數據預處理：清洗、標準化和轉換數據，保證數據質量。(c)建模和分析：利用機器學習和時間序列預測模型，分析設備運行數據。(d)實時監控和預警：建立實時監控系統，及時發出預警信號。(e)報告和可視化：生成定期報告，提供可視化數據分析結果。(f)經驗回饋：結合 MMCS 過往資料，可協助判斷故障原因。

通過引入 AI 技術進行設備參數分析，我們可以顯著提升核電廠設備的運行可靠性和安全性，減少維護成本，優化運行效率。該提案旨在通過實施先進的數據分析技術，實現核電廠設備的智能監控和預測維護，從而保障核電廠的穩定運行。

3. 鼓勵年輕世代(Young Generation)參與：本次工作坊中，領導力(Leadership)課程講師特別提出希望更多的年輕世代能參與核能發展。公司及電廠向來鼓勵年輕同仁在公餘多作學習，其中出國觀摩國外的作法，可以開拓個人視野及標竿學習，使組織能夠保持學習他人的優良制度，對公司將來的發展及人才的培養極為重要。值班部門擔任電廠第一線工作，直接面對問題與解決問題，運轉人員更需要多與世界組織交流，了解核能業界最新的思維，才能真正改變電廠的安全文化。建議公司及電廠主管擬訂鼓勵措施，激勵年輕同仁取得英語檢定，並於適當時機派往國外開會或實習。
4. 根據 WANO 的統計數據，顯示核能業界在過去十年來運轉相關績效表現傾向出現週期性的上下震盪，大約每六至八年績效就會開始下滑，並伴隨一些事件的發生。每當績效低落時，WANO/INPO 或是業界本身便會提出一些改善措施，而運轉績效也確實獲得提升。問題是，當績效表現獲得提升之後，要如何維持下去？經分析後發現幾項存在於業界當

中的弱點，使良好的績效表現無法維持，例如在促進持續進步學習方面缺乏長期的方向與做法、無法有效管理運轉人員及建立團隊熟練度、缺乏對高標準的堅持、以及缺乏領導力與人才培育，這便是 WANO 及 INPO 極力於提升值班經理的領導力的原因。在本次工作坊中，WANO 講師一再強調領導力(Leadership)的重要性，並明示 WANO 可提供領導力發展課程的會員支援任務(Member Support Mission，MSM)，建議公司考量申請 WANO MSM(Member Support Mission)，請 WANO 講師與本公司共同設計適用於本國國情與文化的領導力發展課程。