

出國報告（出國類別：開會）

赴日本島根核能發電廠 技術交流訪問

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：劉 明（第二核能電廠模擬中心主任）

李明宗（第二核能發電廠儀控組經理）

派赴國家：日本

出國期間：107/9/17 ~ 107/9/21

報告日期：107/10/30

出國報告（出國類別：訪問）

國外電廠除役作業觀摩及參訪
--島根電廠除役規畫作業參訪

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：汪雅政（第二核能發電廠大修專業工程師）

派赴國家：日本

出國期間：107/9/17 ~ 107/9/21

報告日期：107/10/15

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴日本島根核能電廠技術交流訪問

頁數 15 含附件：是 否

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

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

劉 明/台電/核能二廠/模擬中心主任/ (02)24985990 轉 2550

李明宗/台電/核能二廠/儀控組經理/ (02)24985990 轉 2650

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(開會)

出國期間：107/9/17 ~ 107/9/21

出國地區：日本

報告日期：107/10/3

分類號/目

關鍵詞：島根技術交流、後福島改善

內容摘要：(二百至三百字)

本公司核能二廠與日本中國電力公司島根核能電廠，正式締有姊妹廠合作關係，透過交流訪問，促進彼此友好情誼，並交換營運資訊，本次赴島根核能電廠之技術交流主題為：

- (1) 核能電廠運轉維護技術經驗交換與電廠可靠度提升之有效作法。
- (2) 因應日本福島核災後之電廠強化改善應變措施，
- (3) 島根電廠 2/3 號機申請起動作業，島根電廠 1 號機除役計畫。
- (4) 世界核能發電協會(WANO)同業評估(Peer Review)相關議題意見交流

目前島根核電廠 2 號機因應福島核災後之電廠強化改善措施，正積極進行並申請機組起動；而島根 1 號機，則準備除役；本項交流參訪，藉由雙方技術人員面對面討論，將有助於本公司核電廠營運與除役工作的規劃。

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

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：國外電廠除役作業觀摩及參訪--島根電廠除役規畫作業參訪

頁數 7 含附件：是 否

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

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

汪雅政/台電/核能二廠/大修專業工程師/ (02)24985990 轉 2755

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(訪問)

出國期間：107/9/17 ~ 107/9/21

出國地區：日本

報告日期：107/10/15

分類號/目

關鍵詞：島根電廠、核電廠除役

內容摘要：(二百至三百字)

本公司核能二廠與日本中國電力公司島根核能電廠，正式締有姊妹廠合作關係，透過交流訪問，促進彼此友好情誼，並交換營運資訊，本次赴島根核能電廠就島根 1 號機的除役規畫作業進行訪問交流。

島根 1 號機自福島事件後即處於停機狀態，後於 2015 年 4 月 30 日宣告結束商業運轉，復於 2016 年 7 月 4 日向管制單位申請反應爐除役計畫，於 2017 年 4 月 19 日獲得管制單位批准；而島根 1 號機的運轉組態於 2017 年 4 月 26 日正式進入除役階段的組態，即用過燃料全部存放於用過燃料池，在安全系統的管制措施則為維持用過燃料的冷卻。

日本核電廠的除役作業分為 4 個階段，而目前島根核電廠 1 號機是處於第 1 階段的除役工程準備期，作業內容包括用過燃料的存放、工程規劃作業及汙染狀況的調查。本項交流參訪，藉由雙方人員面對面討論，將有助於本公司核電廠除役工作的進行。

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

目 錄

壹、 出國目的.....	1
貳、 任務過程.....	2
參、 心得.....	4
肆、 建議.....	14

壹、出國目的

一. 緣起

台電公司核能二廠與日本中國電力公司島根核能電廠，自民國 90 年正式締有姊妹廠合作關係，每年輪流透過交流訪問，促進彼此友好情誼，並交換營運資訊，以提昇雙方核能安全與營運績效。

為延續本項優良傳統，持續加強與日方之合作，本年度接獲島根電廠邀請，由核二廠劉明主任，率同該廠儀控組李明宗經理，共赴日本島根電廠進行技術交流訪問，了解該廠因應日本福島核災後之電廠強化改善應變措施及除役作業規畫之實務經驗，以為核二廠營運及除役規畫工作之借鏡。

二. 目的

今年赴訪計畫，主要針對下列雙方共同關切議題，進行討論以尋求改善：

1. 反應爐代替自動減壓機能規劃討論
2. Power-Flow Map 運轉曲線以及 OPRM 相關議題
3. 核能電廠排放口流程輻射偵測器校正與警報設定議題
4. 核電廠 ALARA 運作模式討論
5. 核二廠新增格架案規劃及標準作業程序
6. 核電廠除役作業規劃
7. 世界核能發電協會(WANO)同業評估相關議題
 - 程序書變更流程
 - 設計變更後之現場查證
 - SOER 2015-2 風險管控計畫或導則
 - 電纜槽（cable tray）安裝標準
 - SOER 2013-1 運轉人員基本技能強化
 - 功率升降載、ECCS 泵浦可用性測試、控制棒可用性測試等相關程序書及工作執行狀況
 - 面對長期停機與電廠即將除役，如何提昇員工士氣

貳、任務過程

一. 本次島根核能電廠參訪行程，自 107 年 9 月 17 日，至 9 月 21 日止，共計 5 天。島根（Shimane）核能發電廠，位於日本島根縣松江市鹿島町，面臨日本海，距松江市中心北方約 10 公里，有三部核電機組，分別為：

- 1 號機：BWR 沸水式反應爐，裝置容量 46 萬瓩，1974 年 3 月 29 日商轉，2015 年 4 月 30 日商業運行結束；2017 年 7 月 28 日開始實施反應爐除役之規劃措施。
- 2 號機：BWR 沸水式反應爐，裝置容量 82 萬瓩，1989 年 2 月 10 日商轉，2012 年 1 月執行第 17 次定期檢查，因 311 事件停機迄今；於 2013 年 12 月 25 日向日本政府申請符合標準審查。
- 3 號機：ABWR 進步型沸水式反應爐設計，裝置容量 137.3 萬瓩，已興建並測試完成，唯因福島事件影響，尚未裝填核燃料。於 2018 年 8 月 10 日向日本政府申請符合標準審查。

目前三部機皆處停機中，進行後福島改善工程或除役規劃。截至 2018 年 6 月 25 日，全廠員工 545 人，電廠主要維修靠外包人力，外包人力有 2,682 人，目前電廠積極執行強化改善工程。

二. 參訪期間，由總處岩崎（Iwasaki）部長與島根電廠山本（Yamamoto）廠長親自接待，Yamamoto 廠長並主持各項交流討論會；而阿川（Agawa）副廠長則全程陪同兩天下午現場（2 號機、3 號機、模擬中心與展示館）實地參觀，詳細解說電廠後福島改善工程進行情況，及針對政府核能監管新標準的準備情形。電廠廠長與副廠長，曾分別於 2012 年與 2017 年造訪過核二廠，受到本公司禮遇接待。此次核二廠到訪，島根電廠稟持「核電無國界，榮辱與共」的想法，熱絡接待並坦誠討論雙方共同關切的議題，展現「知無不言，全力分享」之態度。

三. 在實際參訪作業前，雙方已先針對討論議題作事前溝通，各自提出關切問題清單供對方預作準備；而我方關注的問題，包括：島根電廠 1 號機除役規劃、2 號機及 3 號機於福島後相關強化改善措施之實際執行情形等；過程中討論的議題包括反應爐代替自動減壓機能規劃、Power-Flow Map 運轉曲線與 OPRM、核能電廠排放口流程輻射偵測器校正與警報設定、核電廠 ALARA 運作模式等；此外，世界核能發電協會(WANO)同業評估的相關議題，例如 SOER 2015-2 風險管控計畫、SOER 2013-1 運轉人員基本技能等，亦納入交流項目。島根電廠則對核二廠新增格架案的規劃及作業相當感興趣。整個參訪行程與議題討論，日方備有中/日語即席翻譯，使活動進行更有效率。

參、心得

一、島根電廠介紹

島根（Shimane）核能發電廠，位於日本島根縣松江市鹿島町，面臨日本海，距松江市中心北方約 10 公里，有三部核電機組。1 號機於 1974 年 3 月 29 日開始商轉，2015 年 4 月 30 日商業運行結束；2017 年 7 月 28 日開始實施反應爐除役措施。2 號機於 1989 年 2 月 10 日開始商轉，2012 年 1 月執行第 17 次定期檢查，因 311 事件停機迄今；於 2013 年 12 月 25 日向日本政府申請符合標準審查。3 號機已興建並測試完成，唯因福島事件影響，尚未裝填核燃料。於 2018 年 8 月 10 日向日本政府申請符合標準審查。值得一提的是島根電廠從未有燃料破損之事件發生。

中國電力公司在山陰一側，島根核電廠和三隅燃煤發電廠，另外在山陽一側有 8 個火力電廠和 2 個太陽能發電廠，隨著核電廠的停機，中國電力公司供電量中火力電廠佔約 9 成，而日本全國的用電則約 8 成由火力電廠供應。

島根核電廠是日本唯一建在縣政府所在地（松江市）的核電廠。防止核災害的緊急計劃應對措施，以發電廠為中心約 30km 範圍內，涵蓋的地方政府有「島根縣」、「松江市」、「出雲市」、「安來市」、「雲南市」、「鳥取縣」、「米子市」以及「境港市」。為了取得地方政府的同意再起動，中國電力公司將提高安全性而展開的工作和政府對符合新監管標準的審核情況，隨時發佈在網頁或宣傳報上，刊載信息包括：發電廠的設備概要、運行信息和環境輻射數據、安全措施的實施情況（還有動畫片）及政府的審核會議情況等。

二、日本核電廠新監管標準

2013年7月，鑑於福島第一核電廠發生的事故，加強了以往的監管，同時還納入了自然災害和嚴重事故的應對措施等，制定了新監管標準。2013年7月以前，日本政府是以避免發生事故（第1層至第3層）的應對措施為監管對象，而防止事故發展（第4層）的應對措施由業主自主制定。新監管標準在加強避免發生事故的同時，還將防止事故發展的應對措施也列為監管的對象。（註：第1層防止發生異常；第2層防止異常擴大；第3層控制異常擴大，避免發展到嚴重事故；第4層防止嚴重事故進一步發展；第層保護一般公眾和環境免受放射性物質的影響）。另外關於緩和事故影響的應對措施，根據核災害特別措施法等，加強了核災害的應對措施。

島根2號機於2013年12月25日向日本政府申請符合標準審查，截至2018年7月20日，已召開了「95次」審查會議，仍繼續進行中。審查內容包括地震、海嘯、防備重大事故的措施、設計標準事故的應對措施、應對特定嚴重事故等的設施、廠內常備直流電源設備（第3個系統）等項目，其中島根電廠評估穴道斷裂帶長度由22公里延伸為39公里，耐震強度需由0.6g提昇為0.82g。依據交流會議上電廠人員的估計，若再納入與地方政府溝通說明的期程，要通過重啟審查仍需2-3年的時間。

日本目前有27部機組已依新監管標準申請接受安全審查，已通過審查的九部機組，均屬壓水式反應爐：

- 九州電力川内核電廠（1、2號機，PWR）於2013年7月8日申請，1號機2015年9月10日重啟運轉，2號機2015年11月17日重啟運轉。
- 關西電力高濱核電廠（3、4號機，PWR）於2013年7月8日申請，3號機2016年2月26日重啟運轉，2號機2017年6月16日重啟運轉。
- 四國電力伊方核電廠（3號機，PWR）於2013年7月8日申請，2016年9月7日重啟運轉。（廣島市民對四國電力公司伊方核電廠3號機組，提出禁止運轉的假處分聲請，廣島高等法院2017年12月13日裁定，到2018年9月30日前禁止運轉，但四國電力公司提出異議要求撤銷假處分，廣島高院2018年9月25日撤銷原裁定，3號機組可重啟運轉）。

- 關西電力大飯核電廠（3、4 號機，PWR）於 2013 年 7 月 8 日申請，3 號機 2018 年 4 月 10 日重啟運轉，2 號機 2018 年 6 月 5 日重啟運轉。
- 九州電力玄海核電廠（3、4 號機，PWR）於 2013 年 7 月 12 日申請，3 號機 2018 年 5 月 16 日重啟運轉，2 號機 2018 年 7 月 19 日重啟運轉。

三、功率-流量運轉曲線圖

針對爐心不穩定性的保護，島根並未採用 OPRM（Oscillation Power Range Monitor）設備；為了確保低爐心流量、高功率時的穩定性，島根採取了以下措施：

- 選擇控制棒插棒（S R I：Select Rod Insertion）
為了避免因再循環泵跳跳（1 台以上）導致爐心流量下降而到進入爐心不穩定區域，自動插入事先選定的控制棒，降低反應爐功率。
- 運轉限制區域
為了避免因運轉人員的誤操作而導致進入爐心不穩定區域，持續監測運轉點，在有可能進入運轉限制區時，禁止控制棒抽出及禁止降低再循環泵速度要求（流量限制）。
- 穩定性分析
每次更換爐心燃料，都對起動過程的穩定性運轉限制點（即最低泵速最大功率點）執行爐心熱水力穩定性分析，確認燃料通道水力學的穩定性、爐心穩定性和衰減比是否符合標準。

島根電廠認為：功率-流量運轉曲線圖上的自然循環曲線、再循環泵最低速度曲線僅是表示一般機組典型的特性曲線，並非代表與反應爐安全性有關的運轉限制。功率-流量運轉曲線圖的重點為【禁止運轉區】的正確性，需於變換爐心燃料時執行評估並重新訂定，因此，起動過程實際的運轉點與功率-流量運轉曲線圖不完全一致，並不會導致運轉上的問題。

四、排放口流程輻射偵測器校正與警報設定值議題

排放口流程輻射偵測器（Process Radiation Monitor, PRM）監測電廠內各種流動液體與氣體之放射性，控制放射性物質的外釋量不超過法規的限制值，並提供適時的警報與隔離，保護人員和設備安全。PRM 偵檢頭效率試驗校正，受限於儀器限制，PRM 於校正時，以單一核種為校正射源，然實際取樣結果為多核種，故兩者的數值不會完全一致。

1. PRM 偵檢器校正方式

島根核電廠按照日本國內規格『JIS Z 4511:2005 照射劑量測量儀、空氣比釋動能測量儀、空氣吸收劑量測量儀及劑量當量測量儀的校準方法』，以主蒸汽管 PRM 為例，島根電廠使用 Cs-137，核二廠則使用 Co-60 或 Ir-192，兩個電廠均使用單一射源校正。

2. 排放口排氣管制

管制排氣排放率小於 0.1Ci/sec (3.7×10^9 Bq/sec)，核二廠 offgas 的警報設定為 0.01 μ Ci/cc，以流量 2.0 m³/min 換算，結果相當於 3.3×10^{-4} Ci/sec，遠低於島根電廠的管理值。

島根電廠線上儀器可偵測廢氣流量（m³/h）與劑量率（mSv/h），每日計算廢氣的排放率，並確認排放率小於 3.7×10^9 Bq/sec，公式如下：

$$\begin{aligned} \text{廢氣排放率} &= \text{廢氣流量} \times \text{劑量率} \times \text{偵測器轉換係數} \\ (\text{Bq/sec}) & \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (\text{mSv/h}) \quad (\text{Bq}\cdot\text{h}^2/\text{sec}\cdot\text{mSv}\cdot\text{m}^3) \end{aligned}$$

每週取樣可得到放射性濃度，依此值可計算出排放率與偵測器轉算係數

$$\begin{aligned} \text{排放率 (Bq/sec)} &= \text{放射性濃度 (Bq/cm}^3) \times \text{廢氣流量 (cm}^3/\text{sec)} \\ \text{偵測器轉換係數} &= 277.8 \times \text{放射性濃度} \div \text{測量時的劑量率} \\ (\text{Bq}\cdot\text{h}^2/\text{sec}\cdot\text{mSv}\cdot\text{m}^3) & \quad (\text{h}\cdot\text{cm}^3/\text{sec}\cdot\text{m}^3) \quad (\text{Bq/cm}^3) \quad (\text{mSv/h}) \end{aligned}$$

使用中的偵測器轉換係數與計算結果比較，若誤差超過 $\pm 20\%$ 時，則轉換係數需變更為計算值；使用中的轉換係數與轉換係數的月平均值比較，若誤差超過 $\pm 10\%$ 時，則轉換係數需變更為月平均值。故島根電廠每週取樣分析時，同時會依據取樣濃度值去比對校準（alignment）偵測器轉換係數。

另外，為了能盡快偵測到燃料破損等異常狀況，島根保健物理部門另外設置一套高靈敏度偵測器（屬自主管理設備）來監測放射性濃度，當出現輻射異常徵兆時，化學部門可及早執行詳細分析比對。此高靈敏度廢氣偵測器，可偵測多核種放射性物質（Kr-85m、Kr-87、Kr-88、Xe-133、Xe-135、Xe-135m、Xe-138、N-13、Ar-41）。依據島根電廠提供的數據：

惰性氣體 7 核種（Kr-85m、Kr-87、Kr-88、Xe-133、Xe-135、Xe-135m、Xe-138），偵測值 $1.04\text{E}+02$ ，取樣值 $8.64\text{E}+01 \text{ Bq/cm}^3$ ，兩者比值為 1.2；惰性氣體 9 核種（合計）偵測值 $2.53\text{E}+03$ ，取樣值 $1.29\text{E}+04 \text{ Bq/cm}^3$ ，兩者比值為 0.2。

線上偵測器的數值與取樣結果不完全一致，誤差可達 5 倍，與核二廠 1T-61 未校準前之數據相當。島根電廠通常並不會比對化學部門的取樣數值與高靈敏度廢氣偵測器的讀值，島根電廠認為兩者數據的差異，是因為偵檢器效率和衰減校正的差異所導致。

五、ALARA 抑低輻射劑量議題

島根電廠認為維護部門、發電部門和輻防管理部門乃是一體，為了降低劑量而設置「ALARA 委員會」，委員會的審議事項包括中長期及大修劑量目標管理、降低劑量的計劃、ALARA 活動評估等。島根核電廠的輻防管制與核二廠類似，相關措施如下：

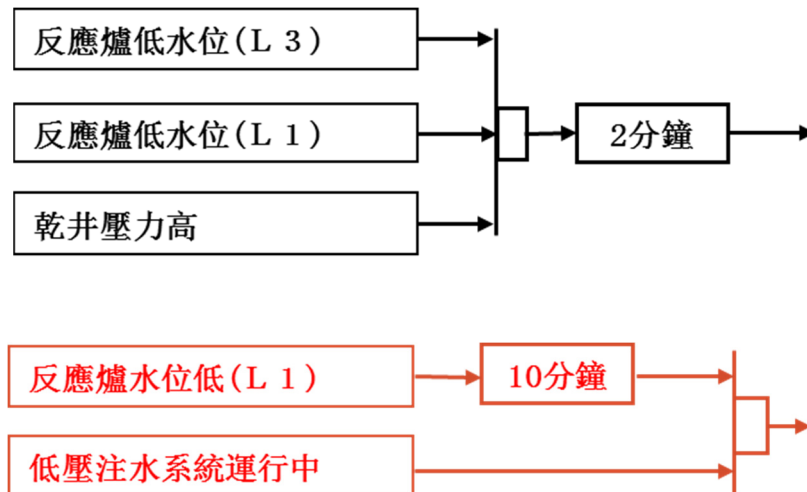
1. 輻防管理部門負責審核，每天的個人劑量若可能超出計劃值時，修正計劃值。且每天監測作業中的累積劑量實績，若超過計劃值 90% 時，修正計劃值。在進入控制區時，為了避免超過管理參考值（ $1.0\text{mSv}/\text{日}$ ），設定個人劑量儀（EPD）的警報值，設定值原則上為一天的計劃劑量值的 90%（上限是 0.4mSv ）。島根核電廠並未設定每月劑量目標值。

2. 降低電廠大修中與作業有關的劑量，是協力廠商、作業部門、輻防管理部門共同的課題。為了重視問題，實施正確的輻防管理，大修開始 2 週召開第 1 次 ALARA 會議，此後在機組併聯前，每 2 週召開一次，以掌握主要作業的劑量推移狀況，討論並協調降低劑量措施。
機組大修時，維護承包商公司的輻防管理部門根據作業工序計算每天的計劃劑量，每 2 週與承包商輻防人員召開 ALARA 會議，確認每項作業的劑量狀況，若可能低於計劃值 50% 或者高於計劃值 10% 時，則指導變更計劃值。
3. 劑量的實績及降低劑量的因應措施，會在 ALARA 委員會上討論確認。
4. 若超過法令規定的劑量限值時，不能參加現場作業。劑量限值为 1 年 50mSv，5 年 100mSv，緊急作業時的劑量限值 100mSv。
5. 每天從輻防管理系統篩選公司員工、非公司員工的總輻射劑量及最大輻射劑量，接近控制劑量與名列前茅者之名單，避免從業人員的輻射劑量超過控制值。
6. 為了預防非預期的輻射劑量，輻防人員需在現場進行指導的相關作業如下：
 - 空氣中放射性物質濃度較高，需要戴口罩的作業。
 - 外部照射導致的有效劑量可能超過 0.5 mSv/人日的作業。
 - 表面污染密度可能超過 40 Bq/cm² 的作業。
 - 過去未曾執行過的作業，較難推測劑量率的作業或劑量率可能經常會發生變化的作業。

日本與台灣國情不同，島根實行的是大包商制，承包商需備有輻防員，依據島根電廠提供的數據，電廠的輻防管制人員僅 15 位，所有的輻防管理工作均是承包商所屬的輻防部門的工作，例如制定維護作業的輻防計劃、在現場指導使用防護裝備等。交流會議中，島根電廠說明，並未發生包商違規罰款之情事。

六、島根電廠 2 號機反應爐自動洩壓替代系統

美國發生三哩島事故之後，島根電廠將原來的 ADS 自動洩壓系統改善，作為事故後處理設備。原來的邏輯（詳下圖）為反應爐低水位 L3+L1 再加上乾井高壓力訊號，延時 2 分鐘 ADS 自動引動；但暫態事件時，若高壓注水設備失效，反應爐水位下降，不會發生乾井高壓力訊號，故自動洩壓系統不會自動起動。修改邏輯，當反應爐低水位訊號出現，延時 10 分鐘自動對反應爐進行洩壓，就可讓低壓注水設備注水至爐心。此修改強化暫態事件時的反應爐洩壓功能，依據島根電廠 PRA 計算，改善前後，因高壓注水減壓失敗的爐心損傷頻度大約減至 1/230。



2011 年 3 月發生的福島事故後，日本執行新的監管標準，將之前業主自主整備的事故處理設備納入。配置反應爐自動洩壓替代設備的目的是，在發生高壓爐心冷卻系統注水功能失效，且 ADS 手動起動或安全釋壓閥（SRV）手動打開失敗時，自動對反應爐（RPV）洩壓，並啟動低壓緊急爐心噴淋設備（低壓 ECCS）實施注水。

1. 替代 ADS 起動邏輯

原來的邏輯，乾井高壓力與反應爐 L-1 低水位兩個條件均成立才會自動引動自動洩壓系統（ADS）。為避免事故發展到因爐心燃料損害，導致水-金屬反應產生氫氣的程度，在高壓爐心冷卻系統失效時，為使用低壓緊急爐心補水系統來冷卻爐心，必須手動操作引起動。美國發生三哩島事故後，島根電廠將原來的 ADS 自動洩壓系統邏輯修改，作為島根電廠事故後處理的自主設備，然新監管標準要求需能自動引動，根據新標準而升級為安全系統。

2. 防止嚴重事故的移動式設備

▪ 安全釋壓閥專用蓄電池

反應爐壓力邊界處於高壓狀態，即使在反應爐洩壓功能失效時，為了防止爐心燃料顯著損傷，利用安全釋壓閥對反應爐實施洩壓操作。在喪失常設直流電源時也需能開啟洩壓安全閥，因而配置專用蓄電池 2 台（其中 1 台為備用），蓄電池容量要求，操作兩個安全釋壓閥需能維持至少 24 小時。

▪ 配置移動式氮氣瓶：

措施①增加氮氣瓶：為了在氮氣供給失效時，也能引動 SRV 對反應爐洩壓，增加 SRV 使用之氮氣瓶。

▪ 在發生假設嚴重事故時，必須確保安全釋壓閥功能正常

措施②更換減壓閥：當包封容器（Primary Containment Vessel）壓力達工作壓力的 2 倍（2Pd）時，也可操作 SRV 而變更供給壓力。

措施③變更氣缸、電磁閥的密封材料：將位於 SRV 驅動源高壓氮氣通路上的 SRV 電磁閥及 SRV 氣缸的密封材料，由原來的氟橡膠材質改為耐高溫性能較優的 EPDM 材料，使其在高溫蒸氣環境下能發揮密封性能。

島根電廠因應日本新法規增設的反應爐自動洩壓替代系統，除了修改引動邏輯，另需強化相關設備的密封材料，增加專用蓄電池與專用氮氣瓶等。而且核二廠 ADS 系統僅配置兩組電磁閥，需額外增設相關設備才能符合反應爐自動洩壓替代系統之要求。

七、島根電廠 1 號機除役規劃

島根核電廠 1 號機於 2015 年 4 月 30 日結束商業運轉，2016 年 7 月 4 日向原子能監管委員會申請反應爐除役計劃，於 2017 年 4 月 19 日除役計劃獲得批准，2017 年 4 月 26 日開始執行反應爐設施安全規定。其後在 2017 年 7 月 11 日，獲得相關地方政府的事前認可，於 2017 年 7 月 28 日開始著手反應爐除役作業。日本國內目前共有 18 座反應爐進入除役階段，執行狀況如下：

- 日本原子能研究開發機構(動力試驗堆 J P D R)：1996 年 3 月完成除役。
- 日本原子能研究開發機構(普賢)：第 1 階段。
- 東京電力福島第一核電廠：因發生事故，6 部機組正在開展除役作業。
- 日本原子能發電東海核電廠(1 號機)：第 2 階段。
- 中部電力濱岡核電廠(1、2 號機)：第 2 階段。
- 四國電力伊方核電廠：1 號機第 1 階段；2 號機商轉結束，正在準備申請除役。
- 九州電力玄海核電廠(1 號機)：第 1 階段。
- 中國電力島根核電廠(1 號機)：第 1 階段。
- 關西電力美濱核電廠(1、2 號機)：第 1 階段。
- 日本原子能發電敦賀核電廠(1 號機)：第 1 階段。

1. 島根核電廠 1 號機反應爐除役工序

除役措施共分成四個階段：第 1 階段為解體工程準備期、第 2 階段執行反應爐本體週邊設備解體移除、第 3 階段進行反應爐本體解體移除、第 4 階段將廠房解體移除，整個除役作業大約需要 30 年完成。

島根電廠 1 號機目前獲得核准執行第 1 階段，即反應爐除役計劃的解體工程準備，預定於 2021 年完成，至於第 2 階段以後之工程，將根據在第 1 階段中對設施受污染狀況的調查結果，再次提交反應爐除役計劃的變更申請。

2. 用過燃料處理

用過燃料將全部且有計劃地運往六所村後處理設施（預計在 2021 年上半年竣工），轉讓給後續處理企業。從 1 號機內的燃料池直接運出，或者經由 2 號機組內的燃料池運出（預計在 2029 年之前搬出），在第 3 階段開始之前完成轉讓。用過燃料在轉讓前仍貯存於原有的燃料池，需維持用過燃料作業及貯存所需功能的原有設備。

在六所村後處理設施竣工前，日本為擴大用過燃料的貯存能力，且以在 2020 年達到 4,000 噸為目標，日本國內針對用過燃料貯存，主要因應措施為：

- 再利用燃料儲備中心（東京電力 HD、日本原電）
- 廠區內乾式貯存設施（中部電力、四國電力）
- 執行縮小用過燃料貯存架間隔（Reacking）工程（九州電力）

3. 新燃料處理

為了轉讓新燃料，貯存於 1 號機燃料池內的 76 組新燃料，於 2017 年 11 月 16 日開始執行去污作業，2018 年 5 月 31 日結束。

4. 調查污染狀況

為了降低設施週邊的一般民眾及核電廠從業人員的輻射劑量，以及制定合理的解體移除方法和正確評估低階放射性廢棄物產生量，評估除役設施內的輻射能量及分布等，主要的放射性核種為鈷 60（半衰期 5.3 年）。評估時，通過分析來計算輻射能量，同時選擇具有代表性的地點測量其輻射能量。另外也對放射性污染和二次性污染分類調查。為了確認計算評估輻射污染的合理性，對輻射計算地點採取試樣，並進行測量。

5. 控制區域外設備的解體移除

6. 在控制區內未受污染設備且已不再使用之設備，例如主變壓器、包封容器內氣體濃度控制系統，進行解體移除。

肆、建議

一. 島根電廠的廠房環境管理措施

島根電廠於主管制站設置分隔區，所有進入廠房的人員均需於此處更換衣物，含安全帽、工安鞋，而在分隔區內側另有一套安全帽、工安鞋，此舉措施完全隔離工作人員可能帶入的鞋底灰塵等，提升廠房之清潔度。另島根電廠在廠房內設置真空吸塵管路系統，提供工作人員便利使用，工作人員只要將吸塵管接上真空管路，即可進行設備系統及區域環境的吸塵作業，大幅減少現場環境的微塵細屑。

二. 一次側及與反應爐連通系統禁用鋼絲刷(wire brush)措施

島根電廠為防止對燃料完整性有重大潛在威脅的微細鋼絲線進入爐心，在一次側區域及與反應爐連通之管線系統禁用鋼絲刷。由世界上相關的爐屑磨擦致燃料破損案例及研究，顯示類似鋼絲刷尺寸的刷毛在其進入爐心後容易卡在燃料棒繫板間，之後在水流作用下對燃料護套產生摩擦致發生破損。微細的鋼絲刷毛脫落或斷落並不容易為工作人員所發現，因此若設備開口回裝前的後續清潔工作沒有徹底落實的話，將會讓這些微細的鋼絲刷毛進入系統，而侵入爐心區域。島根電廠在這些相關區域禁用鋼絲刷可說是一種就源頭管制的措施，除去發生的因子。

三. 島根免震棟可現場標竿學習

島根電廠因應 2011 年 311 福島事故於廠區先建設了 1 棟抗震建築，用以提供事故時緊急應變作業人員集結及作業的場所。建築設計上除了防震外也考慮放射性物質外釋的情況，涵蓋屏蔽輻射的鋼筋混凝土牆及過濾通風系統，該場所平時即設置有所需的視訊及狀態顯示設備。之後因應日本管制規定對免震棟在垂直耐震上的要求，島根電廠又興建了第 2 棟免震棟建築，主體工程已經完成，目前正進行內部設施之佈建。本公司未來若有興建免震棟時，可再赴島根電廠標竿學習。

四. 島根燃料未曾破損標竿學習

島根電廠自運轉以來沒有發生燃料破損案例，除了在廠房環境管理及相關的禁用鋼絲刷措施外，其他相關的運轉、水化學策略等可作為標竿學習的對象。

五. 持續交換除役規劃期間之組織與運作細節

島根電廠一號機業經日本主管機關核定除役，機組也已經進入除役運轉模式階段，但在各項除役相關工作規畫上則尚在進行中，在時程上與本公司相當。島根一號機為 BWR-4 機組(與核一廠同)，因此雙方可就相關的除役作業議題持續交流，包括除役初期法規、機組組態及需可用設備項目之訂定、除役拆除工序、除役拆除方法、模擬 3D 模型之建構及成本等。

出國報告（出國類別：訪問）

國外電廠除役作業觀摩及參訪
--島根電廠除役規畫作業參訪

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：汪雅政（第二核能發電廠大修專業工程師）

派赴國家：日本

出國期間：107/9/17 ~ 107/9/21

報告日期：107/10/15

目 錄

壹、 出國目的.....	1
貳、 任務過程.....	1
參、 心得.....	3
肆、 建議.....	7

壹、出國目的

一. 緣起

台電公司核能二廠與日本中國電力公司島根核能電廠，自民國 90 年正式締有姊妹廠合作關係，每年輪流透過交流訪問，促進彼此友好情誼，並交換營運資訊，以提昇雙方核能安全與營運績效。

為延續本項優良傳統，持續加強與日方之合作，本年度接獲島根電廠邀請，由核二廠劉明主任，率同該廠儀控組李明宗經理及大修小組汪雅政專工師，共赴日本島根電廠進行技術交流訪問，了解該廠因應日本福島核災後之電廠強化改善應變措施及除役作業規畫之實務經驗，以為核二廠營運及除役規畫工作之借鏡。

二. 目的

今年赴訪計畫，主要針對雙方共同關切議題，進行交流討論，其中重要主題之一即為島根電廠 1 號機除役措施。本報告著重在島根電廠 1 號機的除役規畫實務作業，其他各項交流議題請參考另「日本中國電力公司島根核能電廠技術交流訪問」報告。

貳、任務過程

- 一. 本次島根核能電廠參訪行程，自 107 年 9 月 17 日，至 9 月 21 日止，共計 5 天。

島根（Shimane）核能發電廠，位於日本島根縣松江市鹿島町，面臨日本海，距松江市中心北方約 10 公里，有三部核電機組，分別為：

- 1 號機：BWR 沸水式反應爐，裝置容量 46 萬瓩，1974 年 3 月 29 日商轉，2015 年 4 月 30 日商業運行結束；2017 年 7 月 28 日開始實施反應爐除役之規劃措施。
- 2 號機：BWR 沸水式反應爐，裝置容量 82 萬瓩，1989 年 2 月 10 日年商

轉，2012年1月執行第17次定期檢查，因311事件停機迄今；於2013年12月25日向日本政府申請符合標準審查。

- 3號機：ABWR 進步型沸水式反應爐設計，裝置容量137.3萬瓩，已興建並測試完成，唯因福島事件影響，尚未裝填核燃料。於2018年8月10日向日本政府申請符合標準審查。

目前三部機皆處停機中，1號機已進入除役作業之第1階段，2號機及3號機則在進行後福島改善工程。截至2018年6月25日，全廠員工545人，電廠主要維修靠外包人力，外包人力有2,682人，目前電廠積極執行強化改善工程。

- 二. 參訪期間，由總處岩崎（Iwasaki）部長與島根電廠（Yamamoto）廠長親自接待，Yamamoto 廠長並主持各項交流討論會；而阿川（Agawa）副廠長則全程陪同兩天下午現場（2號機、3號機、模擬中心與展示館）實地參觀，詳細解說電廠後福島改善工程進行情況，及針對政府核能監管新標準的準備情形。島根電廠廠長與副廠長，曾分別於2006年、2012年與2017年造訪過核二廠，受到本公司禮遇接待。此次核二廠到訪，島根電廠稟持「核電無國界，榮辱與共」的想法，熱絡接待並坦誠討論雙方共同關切的議題，展現「知無不言，全力分享」之態度。
- 三. 在實際參訪作業前，雙方已先針對討論議題作事前溝通，各自提出關切問題清單供對方預作準備；整個參訪行程與議題討論，日方備有中/日語即席翻譯，使活動進行更有效率。

參、心得

一、島根電廠介紹

島根（Shimane）核能發電廠，位於日本島根縣松江市鹿島町，面臨日本海，距松江市中心北方約 10 公里，有三部核電機組。1 號機於 1974 年 3 月 29 日開始商轉，2015 年 4 月 30 日商業運行結束；2017 年 7 月 28 日開始實施反應爐除役措施。2 號機於 1989 年 2 月 10 日開始商轉，2012 年 1 月執行第 17 次定期檢查，因 311 事件停機迄今；於 2013 年 12 月 25 日向日本政府申請符合標準審查。3 號機已興建並測試完成，唯因福島事件影響，尚未裝填核燃料。於 2018 年 8 月 10 日向日本政府申請符合標準審查。值得一提的是島根電廠從未有燃料破損之事件發生。

中國電力公司在山陰一側，島根核電廠和三隅燃煤發電廠，另外在山陽一側有 8 個火力電廠和 2 個太陽能發電廠，隨著核電廠的停機，中國電力公司供電量中火力電廠佔約 9 成，而日本全國的用電則約 8 成由火力電廠供應；發電量中各發電方式所占的比率如下圖。

島根核電廠是日本唯一建在縣政府所在地（松江市）的核電廠。防止核災害的緊急計劃應對措施，以發電廠為中心約 30km 範圍內，涵蓋的地方政府有「島根縣」、「松江市」、「出雲市」、「安來市」、「雲南市」、「鳥取縣」、「米子市」以及「境港市」。為了取得地方政府的同意再起動，中國電力公司將提高安全性而展開的工作和政府對符合新監管標準的審核情況，隨時發佈在網頁或宣傳報上，刊載信息包括：發電廠的設備概要、運行信息和環境輻射數據、安全措施的實施情況（還有動畫片）及政府的審核會議情況等。

二、島根電廠 1 號機除役規畫

島根核電廠 1 號機於 2015 年 4 月 30 日結束商業運轉，2016 年 7 月 4 日向原子能監管委員會申請反應爐除役計劃，於 2017 年 4 月 19 日除役計劃獲得批准，2017 年 4 月 26 日開始執行反應爐設施於進入除役階段安全運轉規定。其後在 2017 年 7 月 11 日，獲得相關地方政府的事前認可，於 2017 年 7 月 28 日開始著手反應爐除役作業。

同時日本國內目前共有 18 座反應爐進入除役階段，執行狀況如下：

- 日本原子能研究開發機構（動力試驗堆 J P D R）：1996 年 3 月完成除役。
- 日本原子能研究開發機構（普賢）：第 1 階段。
- 東京電力福島第一核電廠：因發生事故，6 部機組正在開展除役作業。
- 日本原子能發電東海核電廠（1 號機）：第 2 階段。
- 中部電力濱岡核電廠（1、2 號機）：第 2 階段。
- 四國電力伊方核電廠：1 號機第 1 階段；2 號機商轉結束，正在準備申請除役。
- 九州電力玄海核電廠（1 號機）：第 1 階段。
- 中國電力島根核電廠（1 號機）：第 1 階段。
- 關西電力美濱核電廠（1、2 號機）：第 1 階段。
- 日本原子能發電敦賀核電廠（1 號機）：第 1 階段。

1. 島根核電廠的除役組織體制：

島根電廠 1 號機於 2017 年 4 月 19 日獲得批准反應爐除役措施計畫，由於島根電廠內兼具 1 號機除役工作及 2、3 號機的運行作業，為了能順利推動反應爐除役措施，因此建立新的組織體制，在電廠組織架構下新設置了「反應爐除役措施-環境管理部」，由「技術部」移交與除役措施關係密切的輻射管理業務及與除役措施有關的各項業務。

台電公司核二廠由於兩部機的運轉執照期限不同，期間有約 1 年 3 個月的間隔，未來有可能也會有一部機進入除役階段，而另部機尚在運轉階段，因此島根電廠的經驗可為參酌。

2. 島根核電廠 1 號機反應爐除役工序

日本核能電廠除役措施共分成四個階段：第 1 階段為解體工程準備期、第 2 階段執行反應爐本體週邊設備解體移除、第 3 階段進行反應爐本體解體移除、第 4 階段將廠房解體移除；島根電廠 1 號機規畫整個除役作業大約需要 30 年完成。

島根電廠 1 號機目前獲得核准執行第 1 階段，即反應爐除役計劃的解體工程準備，預定於 2021 年完成。而對於第 2 階段的反應爐本體週邊設備的解體拆除以及後之工程，將根據在第 1 階段(解體工程準備期)中對設施受污染狀況的調查結果，再次提交反應爐除役計劃的變更申請，以涵蓋完整除役計畫內容。

3. 用過燃料處理

用過燃料將全部且有計劃地運往六所村後處理設施（預計在 2021 年上半年竣工），轉讓給後續處理企業。目前 1 號機用過燃料池存有 722 束用過燃料，預計在 2029 年之前搬出，即在第 3 階段除役作業開始之前完成運離。而在用過燃料在運出前仍貯存於原有的燃料池，而在此時期需維持用過燃料作業及貯存所需功能的原有設備。

在六所村後處理設施竣工前，日本為擴大用過燃料的貯存能力，且以在 2020 年達到 4,000 噸為目標，日本國內針對用過燃料貯存，主要因應措施為：

- 再利用燃料儲備中心（東京電力 HD、日本原電）
- 廠區內乾式貯存設施（中部電力、四國電力）
- 執行縮小用過燃料貯存架間隔（Reacking）工程（九州電力）

4. 調查污染狀況

為了降低設施週邊的一般民眾及核電廠從業人員的輻射劑量，以及制定合理的解體移除方法和正確評估低階放射性廢棄物產生量，而評估除役設施內的輻射能量及分布等，主要的放射性核種為鈷 60（半衰期 5.3 年）。評估時，通過分析來計算輻射能量，同時選擇具有代表性的地點測量其輻射能量。

另外也對污染型態分類調查，區分放射性污染和二次性污染。為了確認計算評估輻射污染的合理性，對輻射計算地點採取試樣，並進行測量。

由於目前記載於獲得批准的除役計畫內的解體廢棄物(不同放射性水平的各設施類別、數量)是依據日本國內示範機組推測的數量，因此在進一步的污染情況調查中，則是對污染範圍內的機器、廠房等設施類別及數量，依據設計資料及現場進行調查，以提高廢棄物計算的精度。

5. 控制區域外設備的解體移除

在控制區外未受污染設備且已不再使用之設備，例如主變壓器、包封容器充填氦氣設備先進行解體拆除。已計畫在 2018 年度拆除包封容器充填氦氣設備。

6. 核電廠除役作業程序

一個完整的除役作業程序(working breakdown structure)，可以清楚的架構各項設備組件拆除的次序，並用以管控計畫的進行、廢棄物產生的流量，及成本估算及控制。日本國內各電力公司彼此結合共同委由研究開發機構協助發展作業程序。

肆、建議

島根電廠一號機業經日本主管機關核定除役，機組也已經進入除役運轉模式階段，但在各項除役相關工作規畫上尚持續在進行中，在時程上與本公司相當。核能電廠能成功完成除役工作，需靠一個長期且具體的計劃，而反應出來的一個重點就是一個完整的作業程序計畫，能完整呈現所有的拆除工序，以掌控工作進度、相關成本控制及廢棄物處理等。福島電廠 1 號機與本公司核一、二廠均屬 BWR 電廠形式，甚至與核一廠同為 BWR-4 機組，因此在設備系統架構、汙染性廢棄物型態都類似，可為彼此借鏡。因此雙方可就相關的除役作業議題，包括除役初期法規、機組組態及需可用設備項目之訂定、除役拆除工序、除役拆除方法、汙染調查的做法及成本等持續交流。