

出國報告（出國類別：開會）

赴美國參加 OECD-NEA 核設施除役技術合作計畫第 76 次除役技術諮詢小組會議(OECD-NEA CPD TAG-76)

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：謝長霖 輻射防護專員

葉久萱 主管(電廠特性調查)

派赴國家/地區：美國

出國期間：113 年 10 月 19 日至 28 日

報告日期：113 年 12 月 16 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加 OECD-NEA 核設施除役技術合作計畫第 76 次除役技術諮詢小組會議(OECD-NEA CPD TAG-76)

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/黃惠淪/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

謝長霖/台灣電力公司/第一核能發電廠/輻射防護專員/(02)2638-3501#3132

葉久萱/台灣電力公司/核能後端營運處/主管(電廠特性調查)/(02)2365-7210#12339

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 10 月 19 日至 28 日

派赴國家/地區：美國

報告日期：113 年 12 月 16 日

關鍵詞：核能電廠除役

內容摘要：(二百至三百字)

經濟合作發展組織所屬核能署之核設施除役技術合作計畫(OECD-NEA-CPD)於 113 年 10 月 21 日至 25 日於美國水牛城舉行「第 76 次技術諮詢小組會議(TAG-76)」，台電公司自 103 年 6 月以「核一廠(ChinShan)除役計畫」加入(OECD-NEA-CPD)專案會員，於本次會議中，本公司向各與會成員分享核一廠除役之工作執行狀況及除役相關工作成果，並與其他與會成員針對所屬除役計畫之工作內容進行交流及討論，藉此了解各國除役情境、執行之相關技術發展及實務經驗等。另本次會議亦安排一日至 West Valley Demonstration Project(WVDP)進行實地參訪，以利各與會成員理解實地作業情形。

目錄

壹、出國目的	6
貳、出國過程	7
參、會議內容摘要	8
肆、心得及建議	15

表目錄

表 1 本次出國主要行程	7
--------------------	---

圖目錄

圖 1 與會成員於 WVDP 合影.....	6
------------------------	---

壹、出國目的

本次參與之會議係經濟合作發展組織(OECD)所屬核能署(NEA)之核設施除役技術合作計畫(CPD)所舉辦「第 76 次技術諮詢小組會議(TAG-76)」，TAG 會議每年於會員國召開二次，旨在提供會員間除役活動技術經驗諮詢與交流平台。本公司於 103 年 8 月 5 日以「核一廠(ChinShan)除役計畫」之名義正式加入 CPD 成為會員後，均維持每年參加 TAG 會議，以維持與國際除役業界聯繫交流管道，經由出席會員對其除役中核設施所做報告及討論，達到除役技術及經驗分享與學習之目的。

本次受邀參加之 TAG-76 會議係於 113 年 10 月 21 日至 25 日於美國水牛城舉行，會中本公司除了向與會成員分享核一廠(金山電廠)除役計畫之工作規劃現況及近期除役工作成果(乾式貯存設施熱測試作業、主發電機及子系統拆除、除污廢液過濾材料研發等)，並藉由其他與會成員對其除役中核設施所做報告及討論，獲取除役相關技術資訊、除役技術與工法、計畫管理方式與經驗等。本次會議除了就除役技術相關議題進行為期 4 日之研討會外，並實地參訪 West Valley Demonstration Project(WVDP)除役作業。



圖 1 與會成員於 WVDP 合影

貳、出國過程

本次 TAG-76 會議係由美國 West Valley Demonstration Project(WVDP)主辦，於 113 年 10 月 21 日至 25 日於美國水牛城舉行，本次會議本公司由核一廠謝長霖及核後端處葉久萱參加。

本次出國主要行程表如表 1 所示，會議自 10 月 21 日起共進行 5 日，分為會議及現場參觀行程，議程主要包含：

- 一、OECD-NEA-CPD 組織及 TAG 事務討論
- 二、各會員之核能設施除役專案進度報告(核子反應器設施 12 案、核燃料設施 9 案)
- 三、除役技術專題為「從運轉到除役—新增供應系統(如：通風、電力、供水等)」(New Supply network services (Ventilation, Electricity, water...) from operation to Decommissioning)
- 四、於 10 月 24 日參訪 West Valley Demonstration Project(WVDP)

表 1 本次出國主要行程

日期	工作內容重點
10 月 19 日至 10 月 20 日	往程(台北→美國芝加哥→美國水牛城)
10 月 21 日至 10 月 23 日	TAG-76 會議，本公司於 10 月 21 日上午進行核一廠除役近況簡報
10 月 24 日	West Valley Demonstration Project(WVDP)參訪
10 月 25 日	TAG-76 會議
10 月 26 日至 10 月 28 日	返程(美國水牛城→美國芝加哥→台北)

參、會議內容摘要

由於參加會議之成員主要來自 CPD 組織之會員，報告內容係涵蓋核能相關設施或核子反應器之除役情形，考量對本公司而言，主要關注重點在核能電廠除役，故報告內容將著重於反應器除役工作相關主題之報告。

一、OECD-NEA-CPD 事務

(一) 本次會議中，日本 JAEA 進行 Monju(文殊)電廠除役計畫報告，希望能成為 CPD 會員，報告完畢且經與會成員討論後，針對該電廠加入，所有成員均無意見。

(二) CPD 2024 年至 2028 年協約簽署已於 2024 年 10 月完成，預定 2024 年 11 月發布最終版本。

(三) 新任 CPD coordinator 預計任職期間為 2025 年 9 月至 2028 年 12 月，現任 coordinator 任期則預計至 2025 年 10 月為止。

(四) 後續 TAG 會議舉辦規劃

1. TAG-77 將由法國 CEA 及 ORANO 主辦，預定於 2025 年 5 月 19 日至 23 日在法國亞維儂辦理。
2. TAG-78 預定於 2025 年 10 月舉行，由西班牙 ENRESA 主辦。
3. TAG-79 預定於 2026 年 5 月舉行，由義大利 SOGIN 主辦。

二、各除役專案進度報告

本次會議報告內容繁多，涉及核子反應器設施及核燃料設施等各類型核設施除役作業，考量對本公司而言，主要關注重點在核能電廠除役，故此份報告內容將著重於各國核子反應器機組除役工作之進展。

(一) Bohunice V1 核電廠除役計畫—JAVYS—斯洛伐克

斯洛伐克 Bohunice V1 核能電廠包含 2 部 WWER 機組，分別於 2006 年及 2008 年停止運轉，其電廠除役執照是分成兩階段，第一階段執照是在 2011 年取得，第二階段執照則在 2015 年取得。除役目標是在 2027 年以前完成所有建築物移除作業(不包含廢棄物貯存設施)，除役至限制性使用狀態(brown field)。

Bohunice V1 在反應器冷卻系統及大型組件拆除作業這項合約中，目前拆除之金屬廢棄物，雖僅佔 Bohunice V1 電廠預估廢棄物重量的 1%，但涵括了約 99.997%的總活度。

在活化與污染混凝土拆除作業方面，反應器周圍部分已完成，僅剩底層取樣分析評估作業仍在進行中。

(二) 核一廠(ChinShan)電廠除役計畫—TPC—台灣

台電公司本次報告之 2024 年下半年工作進度主要有 3 大項：乾式貯存設施熱測試作業、主發電機及子系統拆除、除污廢液過濾材料研發。

(三) DR3 除役計畫—Danish Decommissioning—丹麥

丹麥 DR3 為一研究型反應器，於 2002 年停機。2024 年之工作目標共有 4 項：向主管機關申請同意其採用索鋸、建立索鋸工作程序、解決粉塵問題、拆解含鉛的鋼製桶槽活化內表面，目前已完成前 3 項工作目標。近期已完成生物屏蔽及鋼製桶槽第 1 層切割，繼續執行第 2 層切割作業。

DR3 目前使用索鋸的經驗回饋為盡量在正式使用前進行測試，並盡量讓工作規劃簡單化。

拆解含鉛物件作業須遵循丹麥相關法規規定，導致在實務作業上須有更多的準備、設置、清潔的時間，整體作業耗時更長。後續 DR3 仍需進行乾式索鋸切割測試、分析如何切割鋼製桶槽、分析如何吊運切割後的組件等作業。

(四) Ågesta 除役計畫—Vattenfall—瑞典

Ågesta 電廠是瑞典第一座商用核電廠，位於瑞典首都斯德哥爾摩近郊，為 PHWR(pressurized heavy water reactor)，發電量為 12MWe。Ågesta 電

廠從 1964 年開始運轉，於 1974 年停止運轉，在電廠停機後用過核子燃料及重水已迅速移除。在正式拆除前，Ågesta 電廠已先設置所需之新系統及設備(如：通風系統及主吊車系統等)。Ågesta 電廠將除役工作概分為兩大部分：反應器壓力槽拆除(包含壓力槽容器及內部組件)及其他拆除、除污作業。Ågesta 電廠最終除役的目標是移除所有放射性物質後，針對反應器所在的岩洞以灌漿方式封閉出口。

目前大型組件之移除作業(燃料儲存窖、蒸汽產生器、調壓槽)已逐步進入尾聲，2024 年已完成調壓槽切割作業、蒸汽產生器整體移除作業及有害廢棄物移除作業。預定 2025 年將持續針對反應器及岩洞區域進行清除作業，包括：移除所有基礎設施、電纜、吊車、警示系統等，並進行反應器及岩洞之外釋量測作業。預計 2026 年開始進行岩洞封閉作業。

(五) 普賢(Fugen)除役計畫—JAEA—日本

日本普賢電廠為重水反應器(ATR)，額定容量為 165MW，自 1978 年 3 月開始運轉，於 2003 年 3 月停止運轉，除役期間預訂自 2008 年 2 月至 2040 年。目前該電廠正處於周邊設施拆除作業階段。

自 2022 年至 2026 年間，將逐步移除大型組件，同時普賢已開始規劃反應器爐心組件拆除作業。

(六) 福島第一核電廠(Fukushima Daiichi)除役計畫—TEPCO—日本

日本福島第一核電廠共有 6 部機組，皆為沸水式反應器，於 2011 年停止運轉。福島第一核電廠的除役進度可分為 4 個部分進行說明，分別是：水處理及 ALPS 廢液處理系統、用過核燃料移除、燃料碎屑移除、固體放射性廢棄物管理。

在水處理方面，福島第一核電廠首要的目標有 3 項：移除(進行水處理以降低風險)、隔離(避免更多水遭受污染)、避免洩漏(避免放射性廢水洩漏對環境造成影響)。為達成上述目標，福島第一核電廠在廠區內採取多項措施，包括：設置 ALPS 廢液處理系統、設置地下不透水牆、地面鋪設等等，希望能減少放射性廢水產生。

經 ALPS 廢液處理系統處理完的廢液，所含的核種濃度(除了氚以外)可以符合法規排放限值。依據日本政府的政策，TEPCO 強化了環境監測

的機制，取樣內容包括：海水、魚類、海藻，目前為止並未發現任何顯著的數據變化。

福島第一核電廠預計於 2024~2026 會計年度開始執行 2 號機用過核燃料移除。

針對反應爐內之燃料碎屑(Debris)移除工作，因反應爐內部屬高活度環境，人員無法直接進入進行偵檢，故規劃透過遙控機器人及機器手臂，進行內部環境分析及取樣試驗，自 2024 年 9 月開始，以 2 號機為試驗標的，進行機械手臂之安裝及前端取樣頭之測試作業。

福島第一核電廠針對固體放射性廢棄物，規劃經過減容及焚化後，以暫貯於廠內方式處理。於 2024 年會計年度預計興建 10 號廢棄物貯存庫，於 2025 年會計年度預計興建大型廢棄物貯存庫。

(七) Ringhals 1&2 號機除役計畫—Vattenfall—瑞典

Ringhals 電廠內有 1 部 BWR 及 3 部 PWR 機組，目前進行除役的機組為 1 號機及 2 號機，其中 1 號機為 BWR、2 號機為 PWR，發電量分別為 881MWe 及 900MWe。廠區內除上述機組外，尚有供放射性廢棄物進行中期暫時貯存之貯存區域。2015 年 Vattenfall 公司決定 Ringhals 電廠 1、2 號機將永久停止運轉，2019 年 12 月 2 號機永久停止運轉，2020 年 3 月 1 號機永久停止運轉，2022 年 4 月 2 部機組的用過核燃料全數移除。2024 年 4 月除役執照被核准，自 2024 年 5 月正式開始執行除役作業。目前主要進行的作業是 1 號機反應器內部組件切割作業及 2 號機蒸汽產生器、調壓槽移除作業。

(八) 韓國研究型反應器(KRR)1&2 號機除役計畫—KAERI—韓國

韓國研究型反應器 2 部機皆為 TRIGA 反應器，分別自 1962 年及 1972 年開始運轉，均於 1995 年停止運轉，自 2000 年其除役計畫核准後，目前其除役工作已進展到第三階段(2016 年~2026 年)，主要進行主體結構拆除，並進行土地外釋(綠地)，未來將於原址興建紀念館。因其建物之拆除是韓國拆除輻射污染建物之首例，該機構已與韓國管制機關達成共識，將建築物視為一整體廢棄物，並引用韓國 Notice 2020-06, “Regulation on the Criteria for the Classification and Clearance of Radioactive Wastes”

作為法令依據，以對拆除後之混凝土結構解除管制。目前持續進行混凝土表面污染偵檢(含 1 號機、2 號機及輔助廠房)。

除混凝土偵檢外，針對廠房內殘餘之鋼構物，如天車、屋頂桁架等，亦逐步進行拆除，此類物質將大件移除後將拆解切割為小尺寸，並等待後續之解除管制偵檢。

(九) Muehleberg(KKM)電廠除役計畫—BKW—瑞士

瑞士 Muehleberg 電廠為沸水式反應器，該電廠是 GE 的單機組 373MWe 出力，反應器為 BWR-4 型式，Mark 1 圍阻體，與我國核一廠同型，於 1972 年開始運轉，是瑞士首座除役的核電廠。於 2020 年永久停止運轉，2023 年將用過核燃料全數移至瑞士臨時中央貯存設施(ZWILAG)，預訂於 2031 年解除核設施管制，其後進行一般拆除工作，預訂自 2034 年開始廠址可供再使用。

(十) Kori 核電廠 1 號機除役計畫—KHNP—韓國

韓國 Kori 核電廠 1 號機興建於 1972 年至 1977 年，並自 1978 年開始運轉，該機組為西屋之 PWR，裝置容量為 576 MW，於 2015 年決定永久停機，並自 2015 年起開始準備除役計畫，於 2017 年正式宣布永久停機。

於 2018 年起，發包執行除役規劃工作，目前仍在申請除役許可階段，規劃自取得除役許可後 13 年內完成除役作業。唯該時間僅屬業者自行規劃之時間，並不受管制機關及法規強制規定，未來將依實際除役現況調整除役期程。

(十一) Doel 3 號機及 Tihange 2 號機除役計畫—ENGIE Electrabel—比利時

此計畫自 TAG-74 新加入，目前仍屬前期規劃及作業階段，Doel 核電廠有 4 部機組、Tihange 核電廠有 3 部機組，機組型式均為 PWR。Doel 3 號機及 Tihange 2 號機分別自 2022 年 10 月及 2023 年 2 月進入停機過渡階段，主要執行用過核燃料移除作業；預計分別將自 2027 年中及 2028 年中開始進入拆廠階段。

(十二) Latina 核電廠除役計畫—SOGIN—義大利

Latina 核電廠為 Magnox 反應器，裝置容量為 210 MWe，自 1964 年開始運轉，於 1987 年停止運轉。Latina 核電廠原本為 ENEL 公司所有，自 1999 年開始改由 SOGIN 公司所有，並持有除役執照。

Latina 核電廠除役工作可區分為 2 個階段，最終的目標是達到非限制性使用(green field)。第 1 階段是 plant reduction，此階段工作不涉及反應器廠房拆除工作，但會逐步提升安全度及減少對環境的影響，在此階段結束後預計會達到限制性使用(brown field)，此階段主要的工作為廠房及系統的除役、使廠址達到安全貯存狀態、處理放射性廢棄物並存放於廠內的臨時貯存空間及設施中。第 2 階段是核島區及輔助廠房除役(nuclear island and auxiliary buildings decommissioning)，此階段時程長短將依義國最終處置設施何時啟用而定，在此階段結束後預計廠址會達到非限制性使用(green field)。此階段主要的工作為拆除反應器廠房、將放射性廢棄物移至義國最終處置設施、將廠址進行非限制性外釋。有關第 2 階段的詳細工作內容，目前尚未開始進行規劃。

三、除役技術專題

本次除役技術專題為「從運轉到除役—新增供應系統(如：通風、電力、供水等)」(New Supply network services (Ventilation, Electricity, water...) from operation to Decommissioning)，各計畫會員依該廠規劃內容自由進行報告，其中韓國研究型反應器(KRR)1&2 號機除役計畫說明其供應系統主要沿用既有系統，其他計畫會員則依據電廠/設施實際需求調整供應系統，如：通風、電力、供水、蒸汽供應、壓縮空氣供應、廢水排放、廢水處理等，前述系統依除役後的需求量(規模變小/最適化)進行改善。雖然改善系統會增加花費，但可以獲得下列好處：

1. 降低系統不可用的風險；
2. 增加系統可靠度；
3. 清出可供拆除工作使用的動線或空間；
4. 減少電費及運維費用支出。

下次技術專題為 Demolition of extensive building structures under the boundary conditions for controlled areas(在邊界條件下拆除管制區內大範圍建物結構)。

四、除役設施現場參觀

本次會議負責辦理單位為美國 DOE 所屬的 West Valley Demonstration Project(WVDP)，研討會第四天議程安排前往 WVDP 進行參訪。WVDP 廠址占地約 150 公畝，並位於紐約州水牛城南方約 35 英里處。WVDP 由紐約州能源研究及發展局(New York State Energy Research and Development Authority)所有，過去曾是美國唯一商用的用過核燃料再處理設施，營運時間自 1963 年至 1972 年，約處理 640 公噸用過核燃料，並產生超過 600,000 加侖液態高放射性廢棄物，廠址內存放約 250 萬立方公尺放射性廢棄物，再處理設施在 1972 年為進行改善工作而停止營運，但之後未曾重新營運。在 1980 年，美國國會通過 WVDP 法，要求 DOE 負責執行 WVDP 計畫，並將廢棄物移至聯邦所屬的最終處置場進行處置。

WVDP 的除役階段可概分為 phase 1A、1B 及 phase 2，目前進度已到 phase 1A 的尾聲，phase 1B 的合約已決標。Phase 1A 主要目標為建物拆除及低放射性廢棄物運至廠外最終處置場，phase 1B 主要目標為土壤復原工作。

本次參觀的項目包括：廢棄物檢整廠房、研發完成的鑽石盤鋸設備、放射性廢棄物容器運送鐵路及大型夾具、乾式貯存護箱、廠房拆除作業及控制室、廢液處理系統、研發中的高放射性廢液桶槽取樣設備、放射性廢棄物處理廠房等。

肆、心得及建議

- 一、TAG-82 會議(估計於 2027 年 10 月召開)將由我國辦理，屆時將由我國兩團隊合作共同辦理(國原院及台電公司)，並應提早規畫相關事宜，同時洽國原院商討該會議分工事宜。另於本次 TAG 會議期間，亦已向瑞士 KKM 電廠代表建議，於 TAG-82 會議後辦理進一步之技術交流研討會，以取得貼近我國機組之實務資訊。另該研討會建議可將西班牙 Garoña 電廠及日本濱岡電廠等除設計畫一併納入，建議未來參與 TAG 會議人員，可與前述電廠人員深入洽談技術交流相關事宜。
- 二、本次會議之技術專題係有關除役期間之共用系統及維生系統之停用及改善，參考瑞士 KKM 電廠之執行作法，係結合除役排程及詳列系統清單，進而決議系統之停用時間點，該作法與我國除役電廠之系統討論會近似，唯我國現階段狀況因爐心燃料尚未完全退出，在爐心燃料退出後，燃料池仍會持續一段時間維持有燃料的狀態，因此我國情境將更為複雜。建議未來可參考瑞士 KKM 電廠之系統改善方針作為各系統停用之邏輯參考，唯過程仍須考量我國電廠該階段組態及技術規範等持照文件需求，分階段進行系統停用及改善。
- 三、2025 年 5 月預計於法國舉行 TAG-77 會議，該次會議技術專題為污染混凝土之處理及解除管制作業，如本公司得參加該次會議，可考量以核一廠廢棄物壕溝解除管制為主題與各國進行分享，因核一廠廢棄物壕溝過往為低放射性廢棄物暫貯區域，整體解除管制涉及拆解、除污、導出濃度指引基準(DCGL)計算及佈點偵檢等，該案例涉及層面相當完整，可透過該案例與各國交換經驗，藉以對標我國作法是否符合國際標準。
- 四、從各會員國分享的除役經驗而言，除役拆除之廢棄物處理策略，將視廢棄物特性及其放射性活度高低，進而產生如裝桶、除污及解除管制等不同廢棄物路徑。故核電廠除役的廢棄物處理流程，遠較傳統非核能電廠拆除來得更為複雜，判斷物流之整體時程也更為耗時，為有效平衡拆除物料及物流處理的時間落差，建議在除役電廠內建置足夠之物流檢點區及緩衝區，以有效緩衝拆除物件產生速度及後續處理之時間。