

出國報告（出國類別：開會）

經合組織核能署核設施除役技術合作計畫
第 77 屆除役技術諮詢會議
(OECD/NEA CPD TAG-77)

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：謝承剛 水路規劃專員

陳其睿 外釋管制專員

派赴國家：法國

出國期間：114 年 5 月 17 日至 5 月 24 日

報告日期：114 年 7 月 15 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

出席經合組織核能署核設施除役技術合作計畫第 77 屆除役技術諮詢會議
(OECD/NEA CPD TAG-77)

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/吳怡稼/23667684

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

謝承剛/台灣電力公司/核能技術處/8 等水路規劃專員/02-2366-7148

陳其睿/台灣電力公司/核能發電處/7 等外釋管制專員/02-2366-7076

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：2025 年 5 月 17 日至 2025 年 5 月 24 日

派赴國家/地區：法國/亞維儂

報告日期：2025 年 7 月 8 日

關鍵詞：核能電廠除役作業、OECD/NEA、TAG

內容摘要：(二百至三百字)

經濟合作與發展組織所屬核能署(OECD/NEA)之核設施除役技術合作計畫 114 年 5 月 17 日至 24 日於法國亞維儂舉行「第 77 次技術諮詢小組會議(TAG-77)」，台電公司自 103 年 6 月以「核一廠(ChinShan)除役計畫」加入專案會員，透過持續出席會議，不僅可維持與國際除役領域專業機構及專家互動與聯繫，同時也有助於掌握國際最新除役技術趨勢、設備應用及策略管理等經驗。

此外，藉由本公司實際除役進度與案例分享，亦能促進國際間對本公司除役實務瞭解與肯定，並從其他會員國所報告之實例與技術研討，汲取相關經驗與技術知識，以作為本公司持續精進除役工作之重要參考依據。透過此類會議參與，本公司得以確保除役作業及國際標準接軌，並強化自身於核設施除役領域之專業能量及國際能見度。

(部分附圖涉及智財權與機敏性，於上網版中不公開)

目錄

壹、 出國目的	1
貳、 出國過程	1
參、 會議內容摘要	4
肆、 建議事項	10

圖目錄

圖 1 本屆會員於法國馬庫爾核能研究中心內合影	2
圖 2 台電公司與會人員報告情形	2

表目錄

表 1 本屆(第 77 屆)會議排程表	3
---------------------------	---

壹、出國目的

本會議為經濟合作與發展組織(OECD)轄下核能署(NEA)所主導之「核設施除役技術合作計畫」(Co-operative Program for the Exchange of Scientific and Technical Information concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects,下稱 CPD)所舉辦「第 77 屆技術諮詢小組會議」(Technical Advisory Group Meeting,下稱 TAG-77)。

TAG 會議每年定期舉行兩次，由成員國輪流主辦，其目的在於提供高效且具系統性技術交流平台，使會員國能就核能設施除役作業中所面臨之挑戰、技術進展、創新方法及經驗等進行深度分享及雙向學習。

本公司自 2014 年 8 月 5 日以「核一廠(Chinshan)除役計畫」名義正式加入 CPD 計畫成為會員國之一，並維持參與每年度 TAG 會議。透過持續出席會議，不僅可維持與國際除役領域專業機構及專家互動與聯繫，同時也有助於掌握國際最新除役技術趨勢、設備應用及策略管理等經驗，進一步提升核能除役計畫之整體品質及執行效率。

此外，藉由本公司實際除役進度與案例分享，亦能促進國際間對本公司除役實務瞭解與肯定，並從其他會員國所報告之實例與技術研討，汲取相關經驗與技術知識，以作為本公司持續精進除役工作之重要參考依據。透過此類會議參與，本公司得以確保除役作業及國際標準接軌，並強化自身於核設施除役領域之專業能量及國際能見度。

貳、出國過程

本屆會議係由法國馬庫爾核能研究中心(CEA Marcoule)及跨國能源公司歐安諾集團(Orano)共同主辦，於 2025 年 5 月 19 日至 23 日(共計 5 日)於法國亞維儂(Avignon)舉行；本屆與會成員合影，如圖 1 所示。



圖 1 本屆會員於法國馬庫爾核能研究中心內合影

本公司指派核能技術處謝承剛專員及核能發電處陳其睿專員，參與此次國際交流與觀摩行程，並簡報本公司核一廠除役計畫之工作規劃現況及近期除役工作成果，包含乾式貯存設施熱測試作業、主發電機及附屬設備拆除、廢棄物離廠量測程序及物流管理系統等內容；本公司與會人員報告情形，如圖 2 所示。



圖 2 台電公司與會人員報告情形

會議提供與其他會員國代表及核能機構專家進行交流討論的機會，藉此深入了解各國在核能設施除役方面之最新技術資訊、除役工法應用、計畫管理與執行經驗。透過會議的互動與討論，獲取的寶貴資訊將有助於回饋本公司在未來除役階段規劃與推動，提升整體除役作業之效率與安全性。

另外，透過 CEA Marcoule 參訪與技術人員說明，能更具體掌握除役技術在實際執行上之應用挑戰與解決方案，對本公司未來核能設施之除役作業提供可資借鏡的實務經驗與策略參考；本次會議行程主要內容如下說明，會議排程如表 1 所示：

- 一、OECD/NEA CPD 組織會員及 TAG 事務討論(含第 78 屆舉辦國規劃說明)
- 二、各會員國之核能設施除役專案進度報告
- 三、除役技術專題為「管制區下的建物拆除(Demolition of extensive building structures under the boundary conditions for controlled areas)」
- 四、參訪 CEA Marcoule 設施

表 1 本屆(第 77 屆)會議排程表

日期	會議排程及內容
5 月 17 日至 5 月 18 日	去程(台北→法國巴黎→法國亞維儂)
5 月 19 日至 5 月 20 日	TAG-77 會議報告，本公司於 5 月 19 日下午簡報本公司核一廠除役現況及成果
5 月 21 日	上午時段：TAG-77 會議報告 下午時段：參訪 CEA Marcoule 設施
5 月 22 日	參訪 CEA Marcoule 設施
5 月 23 日	上午時段：TAG-77 會議報告 下午時段：返程(法國亞維儂→法國巴黎→香港(轉機))
5 月 24 日	返程(香港(轉機)→台北)

參、會議內容摘要

會議內容涵蓋各類型設施除役情形，考量本公司在核能發電領域之實務需求及業務重點，本公司與會人員特聚焦於核電廠除役相關主題進行重點摘錄。

一、OECD/NEA CPD 事務討論

1. 現任 CPD 召集人(Coordinator)任期至今年 10 月為止，新任 Coordinator 任職期間則為今年 9 月至 2028 年 12 月，期間重疊 1 個月作為事務交接期。
2. 後續 TAG 會議舉辦規劃，摘述如下：
 - (1) TAG-78：預定於今年 10 月義大利舉辦，並由義大利國有核設施除役公司(Società Gestione Impianti Nucleari, SOGIN)主辦。
 - (2) TAG-79：預定於 2026 年 5 月韓國或瑞典舉辦，並由韓國電力公司轄下水力及核能公司(Korea Hydro & Nuclear Power, KHNP)及韓國原子能研究院(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)，或由瑞典 Ringhals 核電廠爭取主辦。
 - (3) TAG-80：預定於 2026 年 10 月西班牙舉辦，並由西班牙國家放射性廢棄物管理公司(National Company for Radioactive Waste, ENRESA)主辦。

二、歐洲國家核能設施除役拆除規劃(摘錄 6 個單位)

1. 比利時 D 核電廠及 T 核電廠除役規劃

D 電廠及 T 電廠分別自 2022 年 10 月及 2023 年 2 月進入停機過渡階段，所有用過核子燃料已退出並移入乾式貯存設施，現階段已進入拆除及除污階段。另外，D 電廠的反應器壓力容器及內部組件取樣工作已執行，所得經驗教訓將回饋於該國其他核能電廠。

2. 瑞典 R 核電廠除役規劃

(1) R 核電廠於 2015 年決議關閉 1 號機(BWR)與 2 號機(PWR)，分別於 2019 與 2020 年底停機，並至 2022 年 4 月全數退出用過核子燃料。

(2) 瑞典輻射安全署(Swedish Radiation Safety Authority, SSM) 已於 2024 年 4 月正式核准 R 電廠除役執照。目前該電廠已展開 RPV&I 切割作業，作業涉及高放射性設施遠端切割、分段吊運及廢棄物分級包裝處理等；同時，進行蒸汽產生器、調壓槽及反應器冷卻系統(Reactor Coolant System, RCS)等大型輻射設備拆除作業。

3. 德國 K 核電廠除役規劃

K 核電廠目前進入除役階段，最終目標為廠址完全移除核設施及放射性污染，並復原為可再利用之綠地。整體除役工程依德國除役計劃，劃分為 10 個階段性除役執照程序(Decommissioning licensing steps)，每一階段針對不同設施、系統或結構進行拆除、除污、清理與環境調查。截至目前，已完成前八階段作業，現正執行第 9 及第 10 階段，包含最終剩餘建築物及地下設施之拆除，以及廠址之最終輻射調查及解除管制申請，預計在未來數年內達成廠址完全釋出。

4. 斯洛伐克 B 核電廠除役規劃

(1) B 核電廠目前除役計畫已進入第二階段(2015 至 2029 年)，整體目標為於 2027 年前完成所有建築物之拆除作業(不含廢棄物貯存設施)，並達成限制性使用狀態之廠址轉型目標。

(2) B 核電廠已於 2022 年完成受污染系統及主要冷卻迴路之拆解作業，並針對拆解設備進行除污處理，符合外釋標準之組件皆已順利釋出。反應器豎井內活化之混凝土、兩個用過燃料池及兩個緊

急硼酸儲槽的污染混凝土皆已完移除。其他污染輔助系統的拆解也已順利完成，相關活化及污染混凝土移除也已完成。

5. 西班牙 G 核電廠除役規劃

(1) 該核電廠與台灣核一廠屬於同類型機組。電廠自 1966 年開始建設，最終於 2017 年正式宣布停止運轉。其後，於 2023 年將營運執照正式移轉給西班牙國營放射性廢棄物管理公司(ENRESA)，負責除役作業。

(2) 現階段已成功 5 個用過燃料貯存容器安置於乾式貯存設施(ISFSI)，並且於初期階段之除役人員培訓計畫完成。針對現場作業則為電氣與機械系統調整，以及汽渦輪機廠房新設通風系統施工，同時增設可物質可外釋貯存區域及倉庫以協助作業效率與安全，透過該區域分流分級管理，有效管理廢棄物動態。

6. 德國 G 核電廠除役規劃

G 核電廠除役計畫的最終目標，並將廠址轉型為可供工業再利用(Brown Field)。目前進行中的作業主要包括：反應器廠房與輔助廠房內部設施的拆除作業，例如電氣系統、電纜與各類技術系統；第一與第二輔助廠房的除污作業及輻射狀況評估；管制區與材料管理廠房內的材料處理工作，涵蓋拆解、除污及外釋評估；此外，也進行監測區內老舊設備與基礎設施的拆除作業，並同步推動相關基礎設施系統的更新與升級。

三、亞洲國家核能設施除役拆除規劃(摘錄 4 個單位)

1. 韓國 K 核電廠除役規劃

韓國 K 核電廠，針對除役計畫分為三階段執行整體拆除規劃：第一階段(1997 至 2008 年)為反應器及附屬相關設施拆除作業、第二階段(2011 至 2015 年)為廢棄物移至最終處置場、第三階段(2016 至 2026 年)為結構拆除及復原作業。

2. 日本 F 核電廠除役規劃

(1) 該電廠除役計畫於 2008 年 2 月核准並預計 2040 年完成除役拆

除作業，目前已拆除區域周邊設施及大型設備，其中用過核燃料目前仍存於用過燃料池。

- (2) 此外，自 2022 至 2026 年間逐步拆除大型組件，同時規劃反應器爐心組件拆除作業，並利用水下雷射切割技術，並搭載機械手臂，可自動追蹤物件表面之傾斜面，有效於水中拆除厚鋼材及高劑量率設備，透過該項設備以降低人員輻射曝露風險。

3. 日本 F 核電廠除役規劃

該電廠對於固體放射性廢棄物處理策略，主要先減容及焚化後，再暫時貯存於廠內；此外，對於金屬廢棄物，將設置金屬熔融處理設施(例如電弧爐)，透過熔融過程移除污染，並使可回收之金屬材料得以再利用，不僅有助於廢棄物體積減量，也提高整體資源循環效率與廠內貯存彈性。

4. 日本 M 核電廠除役規劃

- (1) 該電廠於 1994 年首次達到臨界後，持續運轉至 2018 年決定停止運轉而進入除役階段。
- (2) 現階段工作主要為清除高放射性殘留物，包括液態鈉及其分解產物，由於液態鈉具極高化學活性，遇水或空氣會產生劇烈反應，因此所有液態鈉接觸之系統(例如鈉洗淨槽、燃料洗淨槽等設施)，須先利用惰性氣體(例如氮氣)封裝隔離，或無氧密閉環境執行拆除(Airtight environment without oxygen)，以防止自燃或爆炸等危害發生，再以低溫緩慢氯化處理(Controlled sodium disposal)方式進行液體抽離、沉積物清除、設備除污及鈉溶解(Sodium dissolution)等作業。

四、現場除役作業觀察

本次會議負責辦理單位為法國 CEA Marcoule 及 Orano 共同主辦，並於會議期間(5 月 21 日下午及 5 月 22 日)參訪 CEA、石墨氣冷式反應器(GCR)及鈉冷快中子反應器(SFR)之除役規劃以及核燃料再處理等相關設施，主要參訪內容摘述如下：

1. CEA 對於除役技術發展

- (1) CEA 發展 Digital Twin，建立實體設施的 3D 數位與即時模擬系統，用來支援拆除作業模擬與最佳化路徑規劃及作業前訓練與遠端監控。
- (2) 另外，參訪 LNPA 實驗室所建立的雷射切割技術數位應用，透過虛實整合模擬系統平台，能在拆除作業前即預測切割軌跡、熱影響區與結構反應，有效提升拆除精度與安全性，並且再至實際切割系統平台區域了解各系統設計及操作。此外，現場也實際展示 Murene 機器人，其為模組化多關節水下機器人，具備精細操作與高機動性，適用於高輻射或人員難以進入區域之拆除作業。

2. 第 1 號鈾核種萃取廠(UP1)及脫除核燃料匣設備

- (1) 該設施於 1958 年興建，初期作為核燃料後處理之示範及技術研發場所，自 1965 年起正式投入法國境內 GCR 燃料之後處理作業。該廠持續運轉至 1997 年底，完成所有 GCR 燃料之處理任務，並於 1998 年正式永久關閉。其後，除役階段由 CEA、Orano 以及法國電力公司(EDF)共同組成除役合作組織(Groupement d'Intérêt Économique, GIE)，負責整體廠址除役計畫。
- (2) 截至目前，已於 2002 年完成燃料物質移除及系統清洗作業。CEA 同時建置高放射性廢液玻璃固化設施(Atelier de Vitrifaction de Marcoule, AVM)，專責處理 UP1 廠營運期間產生之高放射性廢液，該設施採用 PUREX(Plutonium URanium Extraction)程序，將過程期間所產生之長半衰期核種的濃縮廢液，與玻璃前驅材料(例如硼矽酸鹽)混合，進行高溫熔融處理(約 1,100 至 1,150 °C)，使放射性核種包覆於玻璃結構中再進行密封及封存。

3. 除役後 GCR 及 SFR 相關廠房拆除現況

(1) GCR 拆除及除役進度：

- A. 本次參訪設施為設置於法國 Marcoule 的 G2 機組及其展示館。該系列反應器包含 G1、G2 及 G3 機組，皆採用鈾作為燃料、石墨作為中子慢化劑，冷卻劑方面，G1 機組以空氣冷卻為主，而 G2 與 G3 則改以二氧化碳冷卻。
- B. 針對 G2 機組除役作業則於 1986 年開始，並於 1996 年完成主要管線、冷卻系統及金屬建物除污及拆除作業。另外，CEA 設置展示館(Escom G2)於 2011 年啟用，保留反應器本體外觀及結構，並展示四大主題：核武禁擴條約與國際承諾、核設施除役技術、鈾或鈾生產及後處理作業，以及歷史文化展示。

(2) SFR 拆除及除役進度：

本次參訪 SFR 型式反應器為 Phénix 核電廠，其為 250 MWe 鈉冷快中子反應器，並於 2009 年停止運轉，CEA 自 2005 年起開始規劃除役準備。現階段 Phénix 核電廠已完成所有核子燃料退出作業，並轉移至 La Hagu 再處理廠貯存。

4. 試驗性核子燃料再處理設施(APM)拆除現況

- (1) APM 為一座位於 Marcoule 的試驗性之用過核子燃料後處理設施，曾用於多種燃料循環程序(例如 PUREX 流程)的開發，該設施內包含熱室及化學處理設施，用來處理高放射性液態及固態廢棄物。

- (2) 現階段 CEA 正執行 APM 全面性的除役作業，主要針對熱室及周邊設施進行輻射特性調查、污染熱點偵測及拆除規畫模擬等。初期作業先蒐集設施營運歷史、設計圖說及過往設施改建紀錄，作為技術規劃基礎，其次 CEA 運用 3D 建模及光測量技術建立複合式資訊模型，精確標示污染源位置及輻射劑量分布，並透過現地輻射量測數據與模擬工具(例如 TRIPOLI 及 DARWIN)結合，模擬熱室拆除後之劑量場域。

肆、建議事項

- 一、鑒於第 82 屆核能設施除役技術合作計畫技術諮詢會議(TAG-82)已確定由我國擔任主辦國，預計於 2027 年下半年舉行，屆時將由國家原子能科技研究院(下稱國原院)與本公司共同辦理。為確保相關籌辦作業順利推展，建議可啟動會議規劃作業，包括預算編列、參訪場地評估(包含晚宴地方)、國際溝通窗口設置等事項，並儘速與國原院展開初步討論，就會議分工、主責單位、行政支援與技術議程安排等事宜進行共識建立。
- 二、考量本公司近年推動數位化應用，特別於無人機搭載輻射偵測技術方面已有初步成果，具備整合多參數(例如劑量率、影像定位等)之量測能力，未來有潛力應用於除役廠址及災後快速評估等應用，故本公司可進一步與國際研究單位(或核電廠)建立合作機會，透過技術交流或參訪等方式，強化本公司數位發展技能。
- 三、經本屆與會成員投票決議，下一屆專題會議主題為「Effectiveness in Different Decontamination Methods for Clearance of Materials」。建議本公司可就以下主軸準備簡報內容：
 - (一)除役電廠之離廠量測流程規劃；
 - (二)除污技術設備之建置現況與除污效率評估；
 - (三)低放射性廢棄物處理區之設計與物流管理(包含廢棄物分類、動線規劃及分流機制)；
 - (四)二次廢棄物處理與減量策略等。

此外，亦建議指派具備除役量測規劃、放射性廢棄物管理或環境工程背景之人員參與，尤以熟悉除污技術或輻射防護特性者為佳；另如能安排熟稔法規要求或具實務除役經驗之人員參與，將有助於結合理論與實務，強化會議之技術交流與政策討論層次。

