

出國報告（出國類別：開會）

參加 WENRA 除役管制研討會  
暨拜訪德國邦政府

服務機關：行政院原子能委員會

出國人 曹松楠 科長  
顏志勳 技正  
陳彥甫 技正

出國地區：德國

出國期間：108 年 11 月 2 日至 108 年 11 月 9 日

報告日期：109 年 1 月 21 日

## 摘要

我國核能一廠兩部機目前均已進入除役期間，為促進我國與歐洲各國管制機關之管制技術交流，瞭解其除役管制現況及趨勢，強化我國除役管制作業，本次出國參加 2019 年 11 月 5~7 日於德國柏林召開之西歐核能安全管制機關協會（Western European Nuclear Regulators Association, WENRA）除役管制研討會，期間並赴主辦單位安排之德國除役中 Greifswald 核電廠參訪，透過研討會與國際專家學者交流並蒐集瞭解歐洲核電廠除役管制之最新資訊、趨向及內容，可做為本會未來核電廠除役安全管制之參考。另研討會前亦規劃赴位於德國司徒加特市之巴登符騰堡邦政府環境、氣候保護和能源部拜會，並與其核能安全管制官員座談，就除役現場視察與管制實務進行深入討論交流，對未來除役視察工作的精進具有相當之助益。

# 目 次

	頁碼
壹、目的.....	1
貳、出國行程.....	3
參、過程紀要.....	4
肆、心得與建議.....	16
伍、附件.....	16

# 壹、目的

因應各國核能發電機組陸續除役，西歐核能安全管理機關協會（Western European Nuclear Regulators Association, WENRA）於 2018 年秋季會議決議將特別安排專題研討會，邀集各國管制機關、經營者、技術專家組織、國際組織等單位就核能除役管制現況及經驗進行交流。

WENRA 原是由歐盟和瑞士的核能安全管理機關首長於 1999 年組成的協會，現任主席為法國核能安全署總署長 Mr. Olivier Gupt，目前有 18 個會員國與 13 個觀察員如表 1，其中歐盟會員國設有核能電廠者均有參加 WENRA，觀察員除來自歐洲國家外，加拿大與日本亦有參與。WENRA 的成立主要原因有兩個，首先，核能安全已納入歐盟一系列擴大統一標準中；其次，各國是各自根據國際原子能總署之《安全標準》及《核安全公約》制定核能安全法規。WENRA 主要目標是發展針對核能安全一致性之作法，並提供各國獨立審查其核能安全之能力，WENRA 核能安全評估報告被用於歐盟理事會核能安全工作組審核申請加入歐盟會員國項目之一，欲加入歐盟之新成員需採取適當措施來符合 WENRA 報告建議之要求。除 1999 年原設定目標外，WENRA 近年已成為歐洲核能安全管理機關經驗交流和討論重要安全議題的平台，通過 WENRA 會議討論引入越來越多新的想法，新成員從中受益匪淺，所以 WENRA 也吸引來自加拿大、俄羅斯和日本等歐盟以外國家核能安全管理機關的密切關注及參與。



會員國 (橘色)	比利時、保加利亞、捷克、芬蘭、法國、德國、匈牙利、義大利、立陶宛、羅馬尼亞、斯洛伐克、斯洛維尼亞、西班牙、瑞典、瑞士、荷蘭、烏克蘭、英國
觀察員 (灰色)	亞美尼亞、奧地利、白俄羅斯、加拿大、賽普勒斯、丹麥、愛爾蘭、日本、盧森堡、挪威、波蘭、俄羅斯、塞爾維亞

表 1 WENRA 會員國與觀察員

WENRA 目前有兩個工作組協調歐洲各國核能安全之作法，分別為反應器協調工作組 (Reactor Harmonisation Working Group, RHWG)和廢棄物與除役工作組(Working Group on Waste and Decommissioning, WGWD)。工作組的任務是分析當前狀況和不同的安全方法，就個別國家管制方法與國際原子能總署安全標準進行比較，找出差異，並提出消除這些差異之改善方式。相關提案是基於現有動力用核反應器和核廢料設施的優良實務，其目的是持續減少各國間不必要的分歧，以提升核能安全。

此次研討會係 WGWD 依據 WENRA 2018 年秋季會議決議，規劃 2019 年 11 月 5~7 日假德國柏林召開 WENRA Workshop on Regulatory Aspects of Decommissioning 會議，由德國聯邦環境、自然保護與核能安全部 (BMU) 主辦，並安排參訪除役中之德國 Greifswald 核電廠。我國核能一廠兩部機之除役許可已於 108 年 7 月 16 日生效，為促進我國與歐洲各國管制機關之管制技術交流，瞭解其除役管制現況與趨向，強化我國除役管制作業，因此規劃參加此次 WENRA 除役管制研討會。此外，本次出國行程亦安排赴司徒加特拜會巴登符騰堡(Baden-Württemberg)邦政府之環境、氣候保護和能源部，並與其核能安全管制官員座談，就除役現場視察與管制實務進行深入討論交流，有助於未來除役視察工作的精進。

## 貳、出國行程

此次出國係自 108 年 11 月 2 日起至 108 年 11 月 9 日止，共計 8 天，行程如下：

日期	行程	摘要
108 年 11 月 2-3 日	台北→德國司徒加特	去程(註)
108 年 11 月 4 日	德國司徒加特→德國柏林	拜訪巴登符騰堡邦政府環境部官員討論除役管制
108 年 11 月 5 日	德國柏林	WENRA Workshop參訪 Greifswald核電廠
108 年 11 月 6-7 日	德國柏林	參加WENRA Workshop on Regulatory Aspects of Decommissioning
108 年 11 月 8-9 日	德國柏林→台北	返程(註)

註:陳彥甫技正為原能會派駐奧地利代表處人員，其於 11 月 3 日由駐地前往德國，會後於 11 月 8 日返回駐地，行程共計 6 天。

## 參、過程紀要

### 一、拜會德國巴登符騰堡邦政府

德國巴登符騰堡邦境內有三個核能電廠共五部機組，Neckarwestheim 核電廠(GKN I, GKN II)、Philippsburg 核電廠(KKP 1, KKP 2)與 Obrigheim 核電廠(KWO)，其中 GKN II 和 KKP 2 仍在運轉中，其餘 3 部機組 KKP 1 和 GKN I 於 2011 年永久停止運轉，2017 年取得除役許可；KWO 則是在 2005 年永久停止運轉，2008 年取得除役許可。目前皆在進行除役拆除作業。



圖 1 德國巴登符騰堡邦核能機組分佈

我國核能一廠兩部機之除役許可已於 108 年 7 月 16 日生效，全廠正式進入除役期間，除役相關作業是原能會近期管制重點之一，德國巴登符騰堡邦環境、氣候和能源部是該邦核設施安全管制機關，負責執照審核、視察、緊急應變等業務，目前其已有三個核電機組之除役拆除管制實務經驗。此次出國規劃拜會該部 General Affairs of Nuclear Energy Supervision 主管 Dr. Walter Glöckle 與兩位除役電廠視察員 Mr. Theo Neuffer、Mr. Patric Scheib 就渠等除役管制與視察實務經驗進行分享交流，此外 Glöckle 亦邀請其技術支援單位 TÜV SÜD 的 Dr. Jianming Shang 列席參加此次討論。

首先，在用過核子燃料移出爐心及用過燃料池前的除役過渡階段，我方表示為確保用過核子燃料安全，要求電廠針對持續運轉設備比照運轉期間，建立維護管理方案、ISI & IST

Plan (In Service Inspection & Test Plan)，並據以執行定期維護，與計畫性的檢測及性能測試外，因應持續運轉設備老劣化可能，另要求須建立老化管理方案。針對前述作業方案及計畫，也比照運轉期間作法，藉由每日駐廠視察、每季專案團隊視察、定期維護視察對相關作業進行視察管制。德方表示根據德國法規，除役許可是附加執照要求，核電廠進入除役階段，原有運轉執照仍然有效，所以持續運轉系統(Residual System)之維護與測試要求仍需比照運轉期間。該部因無駐廠視察制度，僅定期派員赴現場，就仍需運轉系統維護與測試、輻射防護、消防安全系統等進行查證，平均而言，運轉中核電廠每年視察人力約 78 人日，而除役中核電廠則是每年約 46 人日，機組進入除役視察人力降至約 60%左右。另該邦有管制支援單位 TÜV SÜD 協助 In-service Inspections 查核，運轉中核電廠每年查核人力約 1773 人日，但機組於除役期間則約 323 人日，降至 20%左右。依據德方視察運轉中核電廠與除役拆除現場之經驗，發現除役視察作業有一些不同之處，接獲視察前通知時程較短，非計畫性視察頻率增加，視察員也需要有更廣泛的知識。

此外，針對核電廠進入除役期間，電廠將不涉及用過核子燃料暫存安全之設備停用，並與持續運轉設備進行隔離避免相互影響，為確保這些停用隔離作業(System Evaluation Reclassification and Transition, SERT)不會影響用過核子燃料暫存安全，原能會除要求電廠必須依照運轉期間設計變更管制作法，管制 SERT 作業中可能涉及的設計變更作業，並另要求提報 SERT 作業的管制機制與作業期程規劃，與針對 SERT 作業規劃專案視察計畫，執行現場視察。德方說明電廠系統停用隔離作業是按照原有設計修改案之方式進行，設計修改案需經管制機關核准，電廠實際執行系統隔離前亦會通知管制機關，管制機關則會視情況安排現場查證。無需運轉之設備亦會於設備上噴漆加以識別。

在用過核子燃料移出爐心前，涉及用過核子燃料安全的作業人力(如：運轉人員)，原能會要求相關人力需比照運轉期間配置。對於除役組織原能會要求須依據除役工作情形配置，且如果有調整則需提出調整的評估說明。德方表示德國電廠運轉員執照考試是由電廠規劃安排，依規定進行課程訓練與模擬器訓練，管制單位主要查核電廠訓練規畫與執行狀況並監督其考試情形。在機組進入除役期間，其安全風險降低，如用過核子燃料移出爐心，管制機關會同意放寬控制室運轉人員配置要求。

在執行除役電廠建物設備拆除前，原能會要求須依據建物設備是否受輻射污染影響，陳報各建物設備的拆除作業計畫，而拆除作業計畫內容至少應包含先備條件(如: SERT 完

成、計畫拆除建物設備未受輻射影響的佐證及其再驗證計畫與結果等)、拆除/除污方式、輻射防護、放射性與非放射性廢棄物處置、品質與品保管制作業、風險評估、廠務管理等。此外現場拆除作業進行期間，原能會並將執行現場視察。德方表示電廠拆除計畫需評估輻射安全防護、火災防護、工安，以及考量與持續運轉設備之介面等，管制機關與技術支援單位會就拆除作業計畫進行審查，最終經由管制機關核准後，經營者才可執行拆除作業，管制機關會視情況納入定期現場視察之查證項目，經營者在執行某些大型組件拆除作業前，也會進行模擬演練。

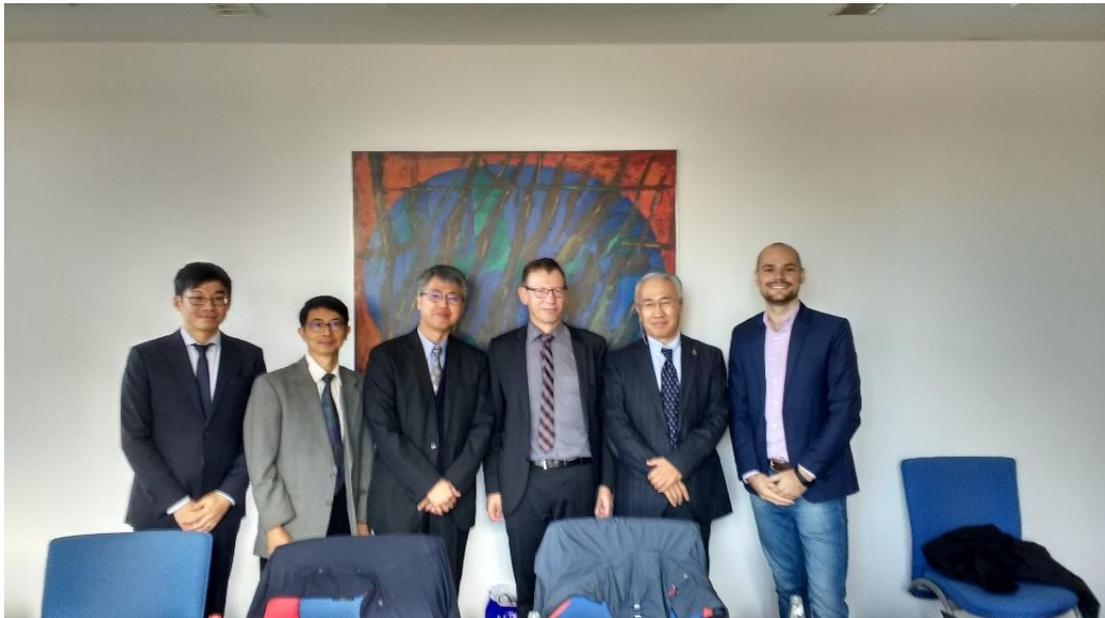


圖 2 德國巴登符騰堡邦政府內會議室之討論會後合影

## 二、參訪 Greifswald 核電廠

本次 WENRA 除役管制研討會主辦單位德國 BMU，於研討會前安排與會人員於 11 月 5 日實地參訪德國除役中之 Greifswald 核電廠。Greifswald 核電廠有 8 部由蘇聯設計之 VVER-440/V-230 壓水式反應器機組，每部機組之額定發電功率皆為 440MW，其中 1~5 號機曾運轉發電進入除役，6 號機已施工完成但尚未商轉，7/8 號機則僅完成主要大型設備之安裝，未完成興建。該廠 1 號機自 1973 年開始商轉，但 1989 年管制機關發現第一代 VVER-440/V-230 反應器有許多安全系統需進行改善，故於兩德統一後即要求機組停止運轉。1990 年德國政府進一步決定將 Greifswald 核電廠所有機組永久停機，並於 1991 年由聯邦政府財政部

出資成立 Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH (EWN)公司負責該電廠之除役相關事務。EWN 於 1995 年取得 Greifswald 核電廠除役許可，即開始進行拆除作業。

EWN 公關部門主管 Gudrun Oldenburg 向與會人員簡報「Nuclear Dismantling and Waste Management at EWN」，說明目前該廠除役作業進度，所有機組之核子燃料均已移出，且機組內之反應爐與大型組件均已完全拆除作業，近期正陸續進行各機組之排氣煙囪，與廠房內部混凝土結構除污拆除作業，Oldenburg 提及 EWN 在廠房內混凝土結構除污過程中，發現實際污染範圍比預期大，較為棘手，推測可能是先前有污染水滲入混凝土結構細縫所致。Greifswald 電廠內另有熱處理工作室(Warm workshop)，設置各種大小不同的帶鋸機、水刀、噴砂機等工具，可對放射性廢棄物進行切割與除污，經過偵測確認符合標準即可外釋，另外也有專門處理放射性流體廢棄物、除污及水處理工廠。

EWN 公司安排與會人員現場參觀室內放射性廢棄物中期貯存設施(Interim Storage Facility North, 簡稱 ISN)及 Greifswald 核電廠 6 號機。6 號機雖已完工但未曾運轉，屬於非污染區域，部分組件已拆除販售給其他國家。目前該機組主要作為訪客參觀用途，現場擺設其他機組設備拆除之現場作業照片，電廠人員特別分享蒸汽產生器管束除污經驗，經過沖洗除污後，管束所含放射性活度仍然很高，但透過人工手動垂直敲打管束，放射性活度可大幅降低 10 倍，推測是堆積在管束內之污染物質脫落，惟蒸汽產生器之管束數量眾多，EWN 正在思考如何採取有效率地方式執行此種管束除污作業，以降低放射性廢棄物總量。此次參訪僅能瞭解核電廠拆除與除污作業方法及原則，未能赴實地赴現場觀摩廠房除污及現場拆除作業，較為可惜。

ISN 於 1997 年完成建造，有著相當特殊的規劃，於同一建物內貯存用過核子燃料及低、中階放射性廢棄物，1998 年取得低、中階放射性廢棄物貯存設施使用執照，1999 年取得過核子燃料貯存設施使用執照，該設施長 240 公尺、寬 140 公尺、高 18 公尺，共有 8 個貯存通道 (如圖 3)，其中 1~7 號貯存通道用以貯存低、中階放射性廢棄物，目前貯存 2 萬 7 仟噸放射性廢棄物，其中 7 號通道專門貯存反應爐及其內部組件、蒸汽產生器等大型組件，另外也接收德國其他核能電廠的大型組件；8 號通道則用以貯存用過核子燃料，目前有 74 個貯存桶。用過核子燃料貯存設施未開放給民眾參觀，本次僅實地參觀 1~7 號通道，低中階放射性廢棄物裝箱後已放入貨櫃，堆疊貯存於 1~6 號通道，另實際現場近距離看已拆除之 RPV 與蒸汽產生器，發現表面有塗漆，經我方詢問 EWN 工作人員，渠等表示當初

在拆除運送時，為避免這些大型設備活化產物污染其他設備，故於機組內拆解後，運送至廢棄物貯存設施前，先上保護漆，防止污染物質脫落。ISN 內另設置有大型切割機具工作間與廢棄物高壓減容設施，此次參訪過程該廠員工正在進行反應爐蓋切除作業。

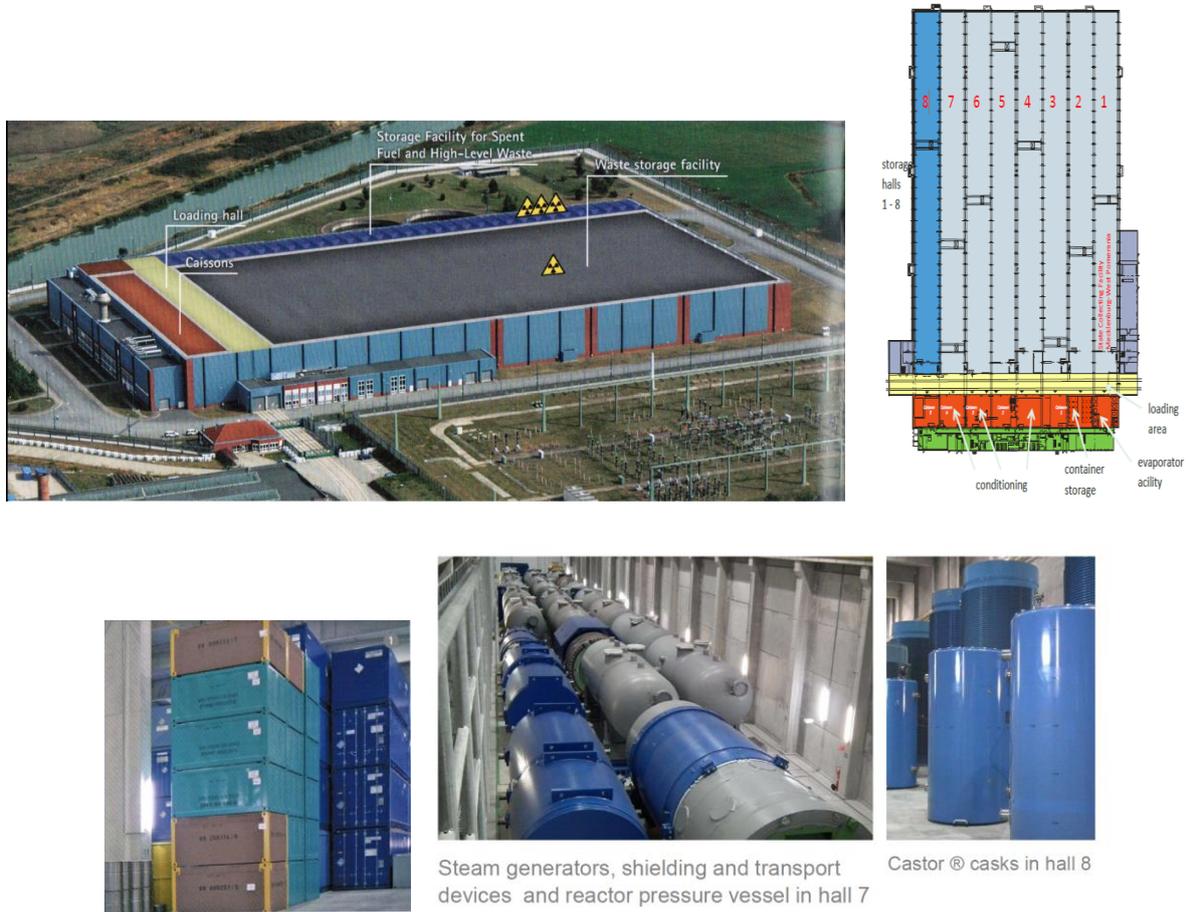


圖 3 Greifswald 核電廠室內放射性廢棄物貯存設施

### 三、參加 WENRA 除役管制研討會(Workshop on Regulatory Aspects of Decommissioning)

本次會議共有五個主題，分別針對除役策略與計劃、監管經驗、協調的局限性和具體方法、從運轉過渡到除役、除役的最後階段等提出簡報。主辦單位也請國際原子能總署等官方機構先行開場，相關重要議題及與各國人員交流內容摘述如下(現場如圖 6)。

會議首先由國際原子能總署(IAEA)輻射、運送、廢料安全處除役安全專家 Mr. Nelli Aghajanyan 簡報「International Safety Standards as a Basis for the Development of National Regulations」，主講概述國際原子能機構除役安全標準的結構和現狀，依據 IAEA Article III.6，IAEA 必需建立安全標準，保護環境與公眾健康，以及減低對生命與財產之危害。IAEA 安

全標準分為三個階層，最上位是安全基礎(Safety Fundamentals)說明安全防護目標，第二階層則是需符合之安全要求(Safety Requirements)，確保對人類與環境之保護，不論是現在或未來，最下位則是安全指引(Safety Guides)提供建議與導則說明如何符合安全要求。

Aghajanyan 說明 Specific Safety Guide: Application of the Concept of Clearance 正在進行改版，預計於 2022 年發行，將可專門應用於除役作業，以協助減少核廢料量，並將有明確數值可供管制機關執行材料與物件之外釋管制。2018 年 IAEA 已發行設施除役法規規模版 “Model Regulations for Decommissioning of Facilities” (IAEA-TECDOC-1816)，協助各國技術與法律專家發展其設施除役法規以及檢視現有的法規是否完整，這些規定包含所有類型設施在不同的階段，例如在設施停止運轉後，尚未開始進行除役。另也啟動國際性工作項目 MIRDEC，以協助小型設施的除役，同時也依現有除役法規和監管指南，提供除役規劃之培訓管理及課程。

德國 BMU 總幹事 Dr. Wolfgang Cloosters 以「Regulatory Aspects in Decommissioning: Experiences in Germany and Outlook」為主題，說明德國是在 2000 年達成廢止核能共識，隨後被納入 2002 年的 “Nuclear Phase-out Amendment Act”。2011 年福島事故後，廢除核能得到進一步鞏固和加速，在廣泛的政治和社會共識中，“Atomic Energy Act” 首次規範關閉德國核電廠的時程。2011 年，8 個核電廠被立即關閉。最遲於 2022 年關閉所有核電廠。在過去的幾年中完成了許多核電廠除役和拆除的許可程序，演講主要在提供有關許可程序，參與當局的權限，以及德國有關除役的相關立法要求和建議的見解。有關德國有特別的除役準則，雖沒有法律約束力，但可由許可機構在許可程序中引用作為依據，該準則可使德國法規能在更新的科學技術發展中訂定，也有助於核設施在除役過程，維持高安全標準。

WENRA 廢物和除役工作組 (WGWD) 主席為瑞士聯邦核能安全督察委員會(Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI)處置部主管 Stefan Theis 簡報「How the SRLs work」，說明安全參考基準 (safety reference level ,SRL) 的運作，WGWD 是由各國放射性廢料部門主管所組成，但因應會議討論議題需求，經常會有其他技術代表一同出席。參加 WENRA 會議的成員都是各國直接負責辦理 SRL 有關業務者。

WENRA 的 SRL 是根據 IAEA 準則與要求，主要是規範設施經營者，僅少部是規範管制機關。WENRA 的 SRL 也會進一步強化 IAEA 之安全要求，例如 IAEA 安全標準(WS-R-5,

para 8.2)僅要求在機組永久停機前需通知管制機關，而在 WENRA 的 SRL 第 DE-26 項則要求經營者一旦決定要永久停機運轉，需立即通知管制機關。

各國就除役 SRL 第 2.2 版之評估報告，已於 2015 年 4 月完成，並公佈於 WENRA 網站。各項 SRL 評估結果分為 A、B、C 類，A 類表示完全符合 SRL，B 類則表示與 SRL 有差異但不需要進一步行動，C 類表示與現況有差異，需要納入國家行動方案(National Action Plan)，一般而言，各國需要建立法規、導則或標準等，以消除與 SRL 之差異。T 主席說明經過各國與除役 SRL 比較後列入 C 類之分佈圖如圖 4，強調各國經過改正後，仍需 WDWG 工作組會議討論改正情形，藉由 WENRA SRL 評估機制，相互砥礪與交流，可提升各國核能安全。

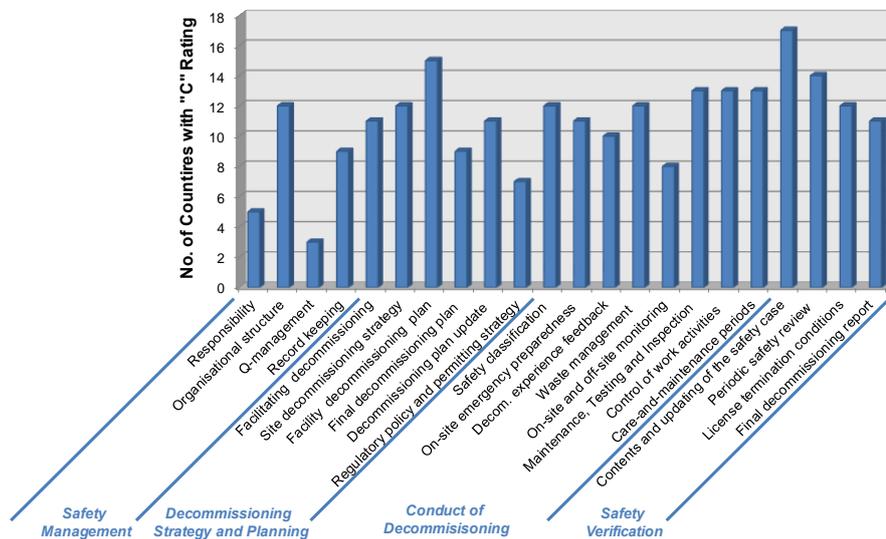


圖 4 各國與 WENRA 除役 SRL 比較列入 C 類之統計數據

以 2015 年加入 WENRA 的新成員烏克蘭國家核監管局 (SNRIU) 為案例介紹，SNRIU 的 Mr.Tamara Sushko 報告 SRL 如何運用並協助烏克蘭監管體系 (關於除役和放射性廢物管理)，使其核設施的除役工作能順利推動。原烏克蘭在核能相關領域的法律和監管機制(包括放射性廢物管理)已相當全面，但仍有完善空間。加入 WENRA 工作組，促使 SNRIU 制定新法規並修訂現有的法規，目前 SNRIU 的法規與歐盟、IAEA 建議一致，WENRA SRL 的要求是精進烏克蘭法規的重要參考。烏克蘭唯一正在除役的核電廠是 Chornobyl NPP。SNRIU 於 2002 年 3 月頒發了 Chornobyl NPP 除役許可證。對於 Chornobyl NPP，已接受了延後拆除策略，該策略包括以下階段：關閉階段、最終關閉和保存、安全曝露，以及拆卸階

段，而 Chernobyl NPP 現處於最終關閉和保存階段。同時烏克蘭所有其他正在運行的核設施（核電廠、用過燃料貯存場、研究反應器）均已提出除役計劃，並已獲得主管機關的批准。

針對第一個主題，廢料與除役組主席 Alain Ensueque 簡報「Considerations on Graded Approach in Regulation for Decommissioning」，說明歐洲核設施安全標準組織(European Nuclear Installations Safety Standards initiative, ENISS)定期與 WENRA 及 IAEA 交流，並就各國業者與管制機關之互動經驗進行交流，因應進入除役階段的反應爐數量增加，必須關注如何安全有效地實施相關的除役計劃。認為隨著設備部分的拆除和除污，放射風險通常會降低，尤其是在用過燃料移除之後。但相反的在此階段，對於某些特定運作，放射性風險可能會增加，工安風險的相對可能變得至關重要。ENISS 對核設施管制採三個原則:(1)對核安全的投資應有效改善安全;(2)提供減少風險措施所需的投資應與實施這些措施所獲得的安全利益相當;(3)工業界需要公認的方法在安全投資和安全改進之間取得平衡。為清晰定義未來目標和標準的概念，該組織已發表聲明文件「風險告知、成本效益分析、合理可行之理念」公佈於 ENISS 網站，其他主題之聲明文件如運轉過渡至除役、廠址解除管制、標準與快速之除役作業有助於安全與減低劑量仍在討論中。

第二個主題為監管經驗，有義大利核能安全管制機關(National Inspectorate for Nuclear Safety and Radiation Protection, ISIN) Fabrizio Trenta 簡報「Decommissioning Authorization Process and Controls in Italy」，說明義大利政府於 1987 年停止運轉所有核電廠，Trino 核電廠 PWR 機組與 Garigliano 核電廠 BWR 機組於 2012 年取得許可開始除役，Caorso 核電廠 BWR 機組則是於 2014 年開始除役，至於 Latina 核電廠 PWR 機組尚未開始除役。除役執照核准是環境影響評估的一環，業者需提出除役計畫，經 ISIN 審查，而除役計畫之審查重點，包含整體除役策略直至廠址無附加條件外釋、結構與組件之輻射特性、已驗證之除污與拆除技術、足夠的廢料貯存空間、火災防護與風險分析、外釋準則與驗證方法論等方面。

義大利除役視察與管制作業，與運轉期間相比較，視察頻率與類型皆有增加，對視察員能力要求更為全面，如輻射防護、廢料管理、組織架構、文件查證等，ISIN 於 2012 年至今共開立 10 件違規事件，其中一項是業者未依規定在除役拆除物料運出外釋前 15 天通知管制機關，以便管制機關安排查驗活動。雖然經營者量測結果符合外釋標準，管制機關

亦針對相關同類型物料組件進行平行查證，也未發現有不合之情形，管制單位仍就此案開立行政裁罰。此次會議期間，我方亦詢問 Mr. Trenta 有關義大利 Caorso 核電廠於 1987 年停機後，但至 2014 年才取得除役許可之原因，Trenta 先生說明當時政府核能政策突然改變，但尚未制定核設施除役法規，電廠於除役法規建立後，曾在 2008 年提送除役計畫，但後來又改變除役拆除策略，再次提交除役計畫，故取得除役許可之時程才會較晚。另外，因 Caorso 核電廠只有運轉 6 年，設備很新，所以部分組件在永久停機後將之拆除販賣。

另外瑞士聯邦核能安全督察委員會(Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI)的 Klaus Germerdonk 簡報「Licensing Procedure and Inspection Fields in Decommissioning of Swiss NPP」，說明 ENSI 出版之核設施除役法規指引 ENSI-G17 Decommissioning of Nuclear Installations，詳細說明核設施除役要求，包含除役計畫、停機後階段、除役階段與最終報告等，ENSI 負責安全評估與提出專家報告。根據瑞士核能法，核能電廠除役是由環境、運輸、能源和通信部(DETEC)核發除役執照，該執照會取代運轉執照，並管制 ENSI 之要求與各階段工作程序之核准，所謂需經 ENSI 核准之活動，例如物料外釋量測作業程序、放射性廢棄物處理、建築物除污後之拆除與外釋量測、保安措施廢除、反應爐壓力容器與其周圍建築結構拆解等作業。瑞士 Mühleberg 核電廠 GE BWR 4 / Mark I 機組 373 MWe 將於 2019 年底永久停止運轉，DETEC 已於 2018 年 6 月核發該機組之除役許可，ENSI 也已核准業者所提運轉後措施、除役準備措施、除役拆除第 1 階段作業規畫。Mühleberg 核電廠將於 2019 年 12 月至 2020 年 10 月建立運轉後措施，除役拆除作業分為 3 個階段，如圖 5 所示，預期於 2020 年 10 月至 2031 年間完成核設施拆除。Germerdonk 說明 ENSI 除役管制視察範圍包含核能安全、保安、輻射防護、拆除、廢棄物管理、人員與組織等六大領域，並特別指出核能安全部分著重在火災防護，拆除管制則著重在系統停用程序與拆除作業程序，以及複雜的作業，例如反應爐壓力容器之拆除。另外，還有工業安全部分，則與勞工安全管理機關合作組成團隊進行視察。

第三個主題為協調的局限性和具體方法，也由 Theis 延續前面 WGWD 已建立 SRL，另簡報「Harmonization challenges during WGWD benchmarking」，說明根據 WENRA 政策聲明，WENRA 承諾在監管中提出一套全面的 SRL，使 WENRA 成員都可適用，WENRA 會請成員自我評估中說明 SRL 的實施經驗及建議，隨後在相應 WENRA 工作組的小組會議中列出所需的需求、發現之問題及改善措施後向 WGWD 提出，啟動改正行動方案，根據目前監管經驗，此種由下而上的方式確實提出很多改進建議。也強調各項 A、B、C 類 SRL 評

估結果，A 類無需採取任何措施，可接受的 B 等級必須合理，且需經過工作組認可，C 級之未解決問題，在特定條件下可以被接受，也可以降級為 B 級。Theis 也提出了對於歸類的考量，並提出簡單的案例。

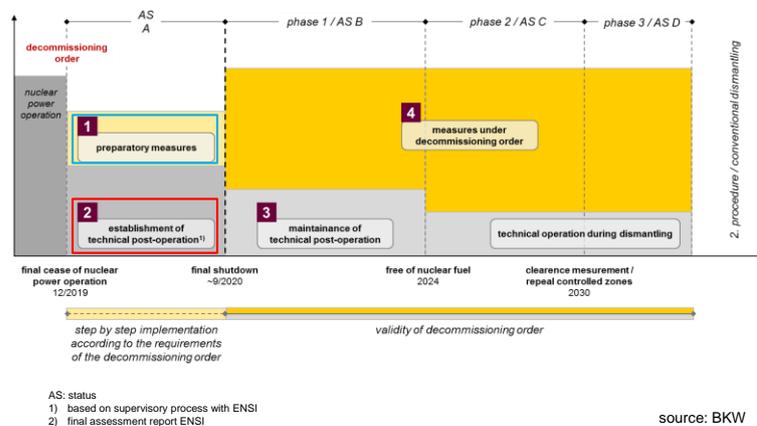


圖 5 瑞士 Mühleberg 核能電廠除役程序

第四個主題為從運轉過渡到除役，較特別的是斯洛伐克管制機關 UJD 的 Miroslav Drahos 簡報「The Development of Transition Period Requirements」，說明斯洛伐克為了加入歐盟，條件之一是關閉其境內之 VVER 440-V230 機組，斯洛伐克兩座 VVER 440-V230 機組於 2011 年終止運轉，開始進入除役。原子能法自 2004 年來修訂約 20 次，主要針對除役基本要求，以及對除役準備、實施、終止之責任，其法規主要參考 IAEA 安全標準，並與歐盟法規與 WENRA 的 SRL 協調一致。UJD 已於 2017 年出版兩份除役相關安全導則 BNS I.9.3/2017 「Requirements on scope and content of different decommissioning plans elaborated during the lifecycle of nuclear facility」與 BNS I.9.4/2017 「Requirements on operational data collection important for decommissioning of nuclear facility」。斯洛伐克核能電廠由運轉至除役期間之執照程序如圖 6，依據斯洛伐克原子能法之除役要求，在核設施終止運轉後，持照者或經營者需負責除役。經營者應在除役階段開始前轉移用過核子燃料至專門做為貯存用過核子燃料之設施，且必須在一定期間內將放射性廢棄物移交給負責之政府組織。目前該國仍在修訂原子能法，將有一個專門章節規範運轉終止階段(Operation Termination)，其定義草案是核設施運轉最後階段，經營者需提出永久停機與除役相關措施，另重新調整由國家負責核後端處理責任。

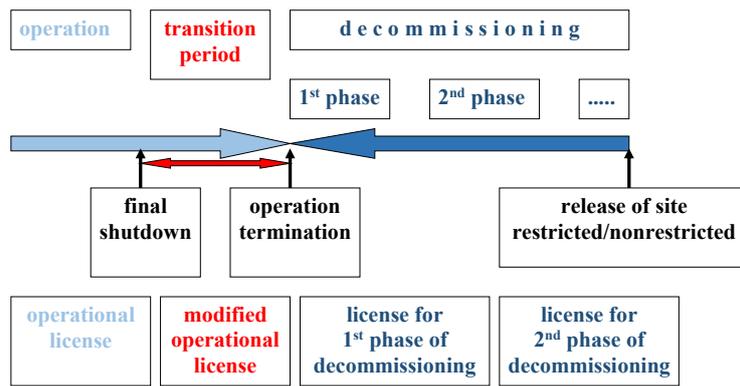


圖 6 斯洛伐克核能電廠由運轉至除役期間之執照程序

第五個主題為除役的最後階段，主要瑞典輻射安全局(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)的 Martin Amft 簡報「 Authorization for and Regulatory Control of Decommissioning in Sweden 」與「 End State Requirements for Waste and Site 」，說明瑞典輻射防護法要求核設施除役需立即拆除，在停機後 18 至 24 個月內，業者會將用過核燃料、控制棒與爐內儀控組件運送至集中式濕式貯存設施(CLAB)，至於除役拆除之低階與中階廢棄物則會暫貯於廠內中期貯存設施。目前瑞典 Vattenfall 電力公司與 Uniper 電力公司分別有 3 座與 4 座核能機組需進行除役，兩個公司採用不同除役拆除策略，Vattenfall 是同步執行，Uniper 則是組成一個團隊，依序拆除各機組。瑞典核電機組除役需取得 3 項許可，地區土地與環境法院根據環境法核發新的執照，SSM 核准安全評估報告與拆除說明文件，以及環境放射性監測計畫。瑞典核設施安全法規指引詳述除役計畫內容、安全評估拆除作業、工作文件通知與報告、除役報告等要求，其中需建立工作文件之目的是要詳細說明除役拆除作業，列出執行作業之承包商，以及將採用之特定安全、輻防與保安措施。

目前瑞典除役拆除之放射性廢棄物處置方案，有以下 5 種方式，(1)在其他核設施廠址再使用；(2)中階與低階長半衰期放射性廢棄物貯放於計畫中的最終地質處置設施；(3)擴充現有近地表最終處置設施，貯存除役拆除之短半衰期放射性廢棄物；(4)擴充 Oskarshamn、Ringhals 與 Forsmark 核電廠內現有淺層回填設施，處置除役拆除之放射性廢棄物；(5)外釋(回收、貯置於傳統土地回填、焚燒)。有關廢棄物之最終狀態準則，放射性廢棄物最終處置，需採用防護最佳化與使用可取得之最佳技術(Best Available Technology, BAT)，針對可能污染之廢棄物與物料，需進行除污，使其對公眾所造成之年劑量符合法規要求。會議期間我方也與 Amft 就除役管制進行交流，渠等認為電廠除役過程，管制單位需與業者密切溝通，可促進工作效率。

法國原子能安全委員會 (ASN) 的 Coralie Ravier 主講「Immediate dismantling and complete clean-out principles」，說明 ASN 關於除役的兩個主要原則為立即拆除所有核設施、完全清理和無任何限制的釋放設施場地，法國現行的法律和監管架構，對所有核設施採取立即拆除的策略，也就是必須在設施永久關閉後立即進行除役，沒有任何等待期。為了實現立即拆除策略，自 2007 年以來已對法律和法規架構進行了審查和更新，以訂定除役要求及核准的時程表，以便在設定的期間內處理完成除役的工作，包括永久停機通知，過渡期流程，監管審查流程、除役授權的發布以及除役計畫。另要求經營者從設計階段就開始考慮除役，並在通知程序後永久關閉，隨後提交除役計畫，除役生效後，經營者必須根據總體規劃和許可條件中認可的里程碑，以最短的延遲，執行除役行動。該政策的目的是除役在減輕財務方面的負擔，也能使在各階段工作人員團隊的知識和技能等技術傳承能順利延續。



圖 6 除役管制研討會會場及與各國官員交流剪影

## 肆、心得與建議

1. 透過參訪德國 Greifswald 核電廠，了解德國 EWN 公司為確保電廠除役拆除作業可持續且快速完成，故在廠區內建置室內放射性廢棄物中期貯存設施、熱處理工作室及放射性流體廢棄物處理工廠，這與核一廠規劃保留區建置廢棄物處理場所的做法一致。如能更深入瞭解相關設施之建置規劃考量，應可作為我國除役廢棄物管理設施建置之參考。
2. 研討會主講內容提及除役過程需考量成本效益及合理可行，而瑞典及法國等先進國家之除役最終階段，皆以立即拆除所有核設施及完全清理的作法，可減輕財務方面的負擔。因此督促台電公司選用經濟且成熟安全的除役技術以減少廢棄物，可進一步降低成本外，減少除役作業時程，使核電廠能如期完成除役。
3. 德國在除役中核電廠視察人力，雖相較運轉中核電廠人力有所減少，但在核一廠爐心仍有燃料之情形下，管制要求是比照運轉中電廠，但隨著爐心燃料全部移出後，預期除役活動應會大幅增加，依德方視察經驗，雖人力需求會有所減少，但專業範圍複雜度及時效需求，均會增加，因此引進外部專業人力支援，可作為我國視察人力的調整參考。
4. 此次參加研討會可瞭解歐洲除役安全管制及除役相關技術發展最新資訊及未來趨向，而與德國核安管制官員面對面討論核電廠除役相關現場視察實務，對精進除役視察工作亦可有相當之助益，因此建議未來仍應持續參與此類會議及活動。

## 伍、附件

研討會會議時程如下: