

出國報告（出國類別：開會）

赴日本參加放射性廢棄物資訊、數據
與知識管理（IDKM）研討會
**Symposium on Information, Data
and Knowledge Management for
Radioactive Waste**

服務機關：核能安全委員會核物料管制組

姓名職稱：蘇暉盛研究助理

派赴國家：日本

出國期間：114 年 10 月 6 日至 114 年 10 月 11 日

報告日期：114 年 11 月 27 日

摘要

核能安全委員會為掌握國際間放射性廢棄物管理領域之最新資訊化與知識管理發展趨勢，派員赴日本橫濱參加「放射性廢棄物資訊、數據與知識管理（IDKM）研討會」，研討會議舉辦期間為 114 年 10 月 7 日至 10 月 10 日，由經濟合作暨發展組織核能署（OECD/NEA）與日本原子力發電環境整備機構（NUMO）共同主辦。研討會聚焦於放射性廢棄物管理過程中之資訊、數據與知識管理，討論如何應對跨世代、跨時間尺度之挑戰，並探討數位化、數位安全論證、人工智慧、利害關係人溝通及長期檔案保存等主題。

透過參與此次會議得以深入瞭解國際間在放射性廢棄物管理領域中，如何運用資訊科技與知識管理方法，以確保長期安全與決策透明度。研討會內容涵蓋多項關鍵議題，包括：IDKM 的整體管理架構與政策推動、數位化資訊保存與文件結構設計、數位安全論證的應用、跨世代知識傳承機制、長期檔案保存策略、利害關係人溝通與公眾參與方法、人工智慧與大數據於放射性廢棄物管理之實務應用，以及跨國資料共享與技術合作模式等，並檢討這些資訊對我國管制需求的回饋，有助於我國在放射性廢棄物資訊管理及長期安全評估之管制技術能力，並提升放射性廢棄物管理過程之透明性與可回溯性。

目次

一、目的.....	3
二、過程.....	5
(一)、行程概要.....	5
(二)、會議議題.....	10
(三)、技術參訪.....	19
三、心得及建議	24
(一)、心得.....	24
(二)、建議.....	24

一、目的

放射性廢棄物來源廣泛，涵蓋工業、醫學、農業與研究等多元應用領域。放射性廢棄物在進行處置之前，須經過一定期間的安全貯存。在放射性廢棄物管理的過程中，會有大量且多樣化的資料與知識，如何有效整合與管理這些關鍵資訊，已成為各國共同面臨的課題。有鑑於此，許多國家積極推動數位安全論證（Digital Safety Case）的研究與應用，指利用數位化技術，將放射性廢棄物管理過程中的相關資料、分析結果與決策依據，以可回溯且可更新的方式整合在同一系統中，讓安全評估與決策能更透明、容易理解與保存，以記錄並追蹤放射性廢棄物管理的整體過程。

核能電廠的運轉長達數十年，而放射性廢棄物處置設施設置與運轉時程則更為漫長。由於放射性廢棄物整體管理時程長、涉及多世代人員與技術更迭，如何確保專業知識得以傳承，並讓重要資料長期保存，成為關鍵課題。在此情況下，建立完整且有系統的紀錄尤為關鍵，其內容除包括廢棄物本身的性質外，亦應涵蓋處理方式與管理流程等相關資料。這些詳細紀錄的核心目的，在於確保未來決策者能有效掌握放射性廢棄物全生命週期所伴隨的風險，並做出適當因應。此外，國際間放射性廢棄物管理機關意識到，制定長期維持對貯存場所與處置設施相關數據、資訊與知識理解的策略，確保未來世代能正確解讀與運用相關數據、資訊與知識，是保障公共安全與世代責任的必要措施。

科技進步在放射性廢棄物資訊管理上同時帶來機會與挑戰。一方面若能建立妥善的資訊架構，現代數位技術可大幅提升數據與資訊的蒐集、儲存與檢索效率，使龐大資料得以快速整合與應用；另一方面，這些新興技術亦伴隨潛在風險，例如數位格式過時、系統更新或軟體淘汰等問題，可能威脅資訊的長期可讀性與保存完整性。建立具韌性及適應性的文件與知識管理系統，成為確保放射性廢棄

物管理資訊持續可用的關鍵。該系統必須能承受技術革新與世代更迭，確保與放射性廢棄物相關的核心知識在未來數十年，甚至跨越數個世紀後，仍能被正確解讀與應用，以支援持續的監管及決策需要。

基於此一需求，經濟合作暨發展組織核能署（Organisation for Economic Co-operation and Development/ Nuclear Energy Agency，OECD/NEA）於 2020 年成立「資訊、數據與知識管理工作小組（Working Party on Information, Data and Knowledge Management，WP-IDKM）」，以更全面的方式協調並推動開發安全論證時的資訊、數據與知識結構、跨代知識管理及長期記憶保存等相關工作，並主辦本次放射性廢棄物資訊、數據與知識管理研討會（Symposium on Information, Data and Knowledge Management for Radioactive Waste, IDKM）。

核能安全委員會為掌握國際間放射性廢棄物管理領域之最新資訊化與知識管理發展趨勢，派員參加 OECD/NEA 於日本橫濱市舉辦之放射性廢棄物資訊、數據與知識管理研討會，瞭解國際間放射性廢棄物資訊與知識管理領域之最新政策、技術與經驗，以作為我國放射性廢棄物管理之參考。

二、過程

(一)、行程概要

本次行程自 114 年 10 月 6 日出發，10 月 11 日返國，共計 6 天，目的地為日本橫濱市太平洋會議中心（詳照片 1）。路程規劃 10 月 6 日出發到日本橫濱，並完成報到手續，10 月 7 日至 10 月 10 日間參加研討會並參訪福島第一核電廠，10 月 11 日由日本返國（詳表 2-1）。

10 月 7 日至 10 月 10 日間參加研討會期間，來自世界各地約 130 人參加，與會者多具核能、放射性廢棄物管理及資訊知識管理等專業背景，對相關議題展現高度興趣與積極參與（詳照片 2~3）。聚焦於放射性廢棄物管理中資訊、數據與知識管理（Information, Data, and Knowledge Management, IDKM）的挑戰，特別是跨越不同時間尺度（Challenges Across All Timescales）的管理需求。會議旨在促進全球放射性廢棄物管理專業人士、核能發展專家與 IDKM 專家的交流與合作，探討如何有效管理資訊、數據與知識，以支持數位安全論證建構、技術應用及利害關係人溝通、人工智慧（AI）、數位化技術、永續知識保存等。

表 2-1 簡要行程表

日期（114 年）	地點	工作內容
10 月 6 日	臺北→日本橫濱	去程及報到
10 月 7 日	日本橫濱市太平洋會議中心 （北館）	參加放射性廢棄物資訊、數據 與知識管理（IDKM）研討會 （詳照片 4）
10 月 8 日		
10 月 9 日		
10 月 10 日	日本橫濱←→福島第一核電廠	技術參訪
10 月 11 日	日本橫濱→臺北	返程



照片 1：日本橫濱市太平洋會議中心（北館）舉辦之 IDKM 研討會



照片2、3：日本橫濱太平洋會議中心舉辦之放射性廢棄物資訊、數據與知識管理（IDKM）研討會



照片4：與會人員大合照

1.會議簡介

本次「放射性廢棄物資訊、數據與知識管理（IDKM）研討會」由經濟合作暨發展組織核能署（OECD/NEA）與日本原子力發電環境整備機構（Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO）共同主辦。2019年OECD/NEA成立資訊、數據與知識管理（IDKM）工作委員會及專家小組，旨在解決放射性廢棄物處置中跨世代資訊、數據與知識管理的保存與傳遞，支援處置設施之技術評估與長期安全論證的建立。此次為NEA首度在亞洲舉辦以此主題為核心的研討會，研討會聚焦於放射性廢棄物管理過程中，如何有效保存與運用跨世代、跨越時間尺度的資訊與知識，以確保長期安全及社會信任。

依據OECD/NEA對於資訊、數據與知識的定義，資訊（Information）是經整理、分析後具結構與意義的數據集合，可作為協助理解現況，用於報告、追蹤及決策依據。數據（Data）是指原始、未經處理的事實或測量結果，例如輻射劑量、放射性廢棄物重量、核種活度、溫度、時間等，數據為後續資訊與知識的基礎來源，需要正確、完整及可追溯。知識（Knowledge）則是基於資訊所形成的理解、經驗與判斷，可用指導安全決策與政策制定，確保跨世代能理解與延續經驗。

本次研討會除了討論各國在政策、法規及技術上的進展外，並針對數位安全論證的發展、人工智慧於資料整理及追溯的應用、利害關係人溝通、以及長期檔案保存與社會認知維持等議題進行深入討論。會議形式包含專題演講、小組討論與海報展示。透過此次交流，強調建立跨領域整合平台及國際合作的重要性，以因應放射性廢棄物管理在時間尺度（從短期至數百年）上的挑戰，並為各國提供共同的最佳實務與未來發展方向。

2.會議開幕致詞演講

開幕致詞於114年10月7日上午9時舉行，發言人為OECD/NEA 秘書長 William D. Magwood IV先生（照片5），講者強調放射性廢棄物的資訊、數據與知識管理是確保核能後端安全與永續發展的關鍵環節，核能產業正面臨跨世代人員傳承、技術演進及數位資訊保存的多重挑戰，如何建立具韌性與可持續的知識體系，將成為全球核能治理的新焦點。期許各國透過此次會議深化交流，共同建構跨世代的知識管理架構，並強化核能資訊的透明度與社會信任。本屆會議以「跨時間尺度的資訊保存與知識傳承」為核心主題，技術場次、海報展示與跨國合作均圍繞此議題展開，反映放射性廢棄物管理與除役產業在技術與策略上隨科技進步而快速演進的趨勢。

放射性廢棄物管理與核能設施除役需在嚴格法規框架下進行，並涉及長時間尺度。為確保決策透明與程序正確性，詮釋資料（**metadata**）的完整記錄與結構化管理至關重要，詮釋資料就像資訊與數據的身分證，記載「這份資訊與數據是什麼、誰做的、何時更新、怎麼存取」等資訊，不包含內容本身，同時將關鍵知識傳承予後續世代，以維持長期安全。

地質處置設施的營運週期可長達百年以上，期間資料系統與檔案格式可能多次更新。設施封閉後，其位置、設計及放射性廢棄物清單等重要資料，仍須長期保存，以確保資訊透明並維護公眾信任。此議題說明了建立具永續性之知識管理系統的重要性，以及在跨世代知識傳承上所面臨的挑戰，亦為本次研討會的重要討論主題之一。

繼William D. Magwood IV致詞後，接續由OECD/NEA邀請來自各國政府監管機關、國際組織、研究機構、放射性廢棄物管理機構及學術界之專家學者進行專題演講，從政策、技術到社會面向，分享各國在資訊、數據與知識管理之策略、制度建構與實務經驗。演講內容涵蓋放射性廢棄物管理中的多項核心主題，包括數位安全論證的建立與應用、跨世代知識與經驗的保存、人工智慧

與大數據技術的運用，以及長期資訊、數據與知識管理等前瞻議題。透過這些分享，展現出各國監管機關、國際組織及專業機構在推動IDKM領域中日益深化的合作成果與共同願景，為研討會後續各場聚焦於政策、技術與跨世代知識傳承的討論提供了共同的理念基礎。



照片 5：William D. Magwood IV 開幕致詞

(二)、會議議題

本次研討會共規劃多個主題場次，涵蓋放射性廢棄物管理政策與現況、數位安全論證、利害關係人需求與溝通策略、人工智慧及數位技術應用、知識管理與跨世代傳承、檔案管理與長期保存、辨識能力與跨世代意識保存、技術在IDKM中的角色、以及建立整體性IDKM願景等議題。此外，亦包含海報展示與專家座談環節，並於最後安排福島第一核電廠技術參訪。以下摘述本次研討會主要議題內容重點摘述如下：

1. 「NEA 推動放射性廢棄物資訊、數據與知識管理概況」(Overview of NEA activities in Information, Data and Knowledge Management for Radioactive Waste)

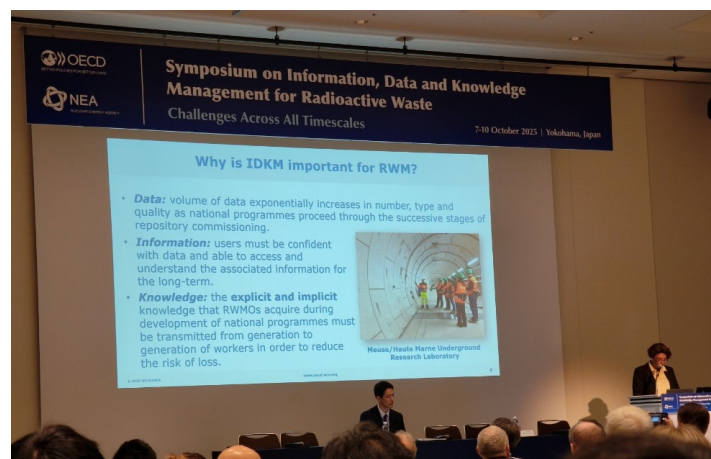
講者 Rebecca Tadess 女士服務於 OECD/NEA（照片6），職責是協助 NEA 成員國制定安全、永續且社會接受的策略，管理所有類型的放射性物料，特別是涉及長期管理的複雜議題。放射性廢棄物管理為一項跨越數十年至數百年的長期任務，建立可持續且結構化的資訊與知識管理系統，

是確保安全決策透明度及社會信任的關鍵基礎。

OECD/NEA 自2019年成立「資訊、數據與知識管理工作小組」(Working Party on Information, Data and Knowledge Management, WP-IDKM) 後，整合會員國專家經驗，聚焦於三大重點領域：安全論證中資訊的結構化與整合、跨世代知識傳承與人員能力維繫及長期檔案保存與社會記憶維護，該工作小組的宗旨在於建立跨國協作平台，促進資料一致性及經驗交流，並確保放射性廢棄物管理知識能在不同世代間持續傳遞。

此外，NEA 近年推動之主要工作項目，包括建置 IDKM 國際知識共享平台、推動數位安全論證概念，以及與國際原子能總署及歐洲放射性廢棄物管理聯合計畫 (European Joint Programme on Radioactive Waste Management, EURAD) 等國際機構合作，共同發展標準化資料結構與長期保存策略。她強調 IDKM 不僅涉及技術層面，更需整合政策、組織及社會溝通等多元面向，才能確保管理之永續性。

最後 NEA 將持續推動「IDKM 全方位願景」(Holistic Vision of IDKM)，為放射性廢棄物管理、除役及歷史場址整治建立全面、跨領域的 IDKM 策略，涵蓋所有時間尺度，以確保放射性廢棄物管理資訊能在不同時間尺度下保持可理解性與可追溯性，作為長期安全決策與公眾溝通的重要支撐。



照片6：Rebecca Tadesse 簡報

2. 「日本放射性廢棄物管理之政策現況與產業發展」(Policy and status of radioactive waste management industries)

講者橫手廣樹 (Hiroki Yokote) 先生來自日本經濟產業省 (Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) (照片 7)，分享日本在放射性廢棄物管理，尤其是地質處置的政策、挑戰與實務經驗。橫手廣樹指出放射性廢棄物管理是所有使用核電國家的共同課題，日本在 2011 年東日本大地震後面臨更多公眾質疑，但透過 2000 年 6 月制定的「特定放射性廢棄物最終處置法」及同年 10 月成立專責機構「原子力發電環境整備機構 (NUMO)」，逐步建立完整的法規與實施體系。強調「當代責任」就是現代社會有義務推動地質處置的技術與政策準備，並透過政策文件與公眾溝通爭取社會理解。日本於 2017 年成立「地質處置研發協調委員會」，整合政府、研究機構及業者資源，制定「地質處置研發總體計劃 (2023-2027 年)」，並重視知識管理，將專家經驗數位化，以確保資訊跨世代傳承。此外，日本積極參與 OECD/NEA 的國際合作，透過安全論證審查強化技術可行性，並規劃長期人才培訓，確保專業能力永續。

日本的分階段選址與公眾溝通機制，有助於提升社會接受度，臺灣可借鑑其經驗，強化地方政府、專家及民眾的參與，並加強數位安全論證的建置，結合 AI 技術提升資料管理效率。最後，各國應加強與 OECD/NEA、國際原子能總署 (IAEA) 的合作，參與國際安全論證審查，並與先進國家交流地質處置技術，縮短技術差距。

總結而言，日本經濟產業省的經驗顯示，透過完備的法規、透明的公眾參與、科技應用及國際合作，能有效推動放射性廢棄物的安全管理，並規劃短、中、長期行動，以確保放射性廢棄物管理的永續發展。



照片 7：橫手廣樹（Hiroki Yokote）簡報

3. 「資訊、數據與知識管理（IDKM）在放射性廢棄物管理中的角色與展望」 （Roles and outlook of IDKM in radioactive waste management）

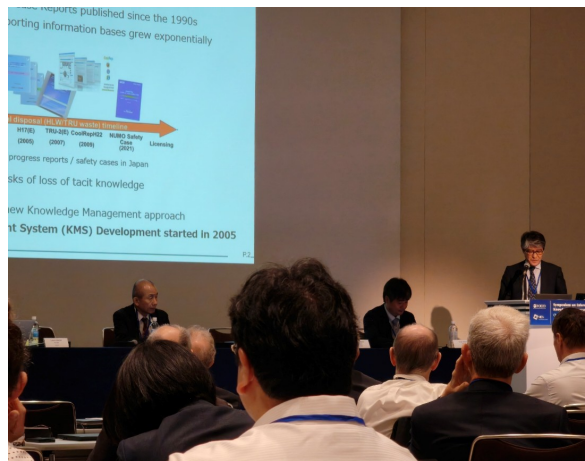
講者柴田雅博（Masahiro Shibata）先生來自日本原子力發電環境整備機構（NUMO）（照片 8），日本自 1990 年代起即開始重視放射性廢棄物管理中的知識管理。隨著安全論證報告及支援資料量持續增加，加上部分資深專家陸續退休，實務經驗與專業技術面臨流失風險。為確保知識得以保存與傳承，日本於 2005 年啟動知識管理系統的開發。NUMO 透過結構化方法，整合專家經驗、數據及視覺化工具，建立了包含論證模型編輯器、專家知識提取系統及績效分析報告等工具，以確保安全論證的透明性與可追溯性。例如，2021 年 NUMO 發布的「通用型安全論證報告」總計近 5,000 頁，涵蓋 171 份支持報告，並透過數位系統確保資料的可存取性與關聯性，展現了 NUMO 為證明地質處置的安全性與技術可行性，所整合與管理的資訊量之龐大。NUMO 建立了視覺化討論與模擬分析工具，協助不同領域的專家交流與共同檢討安全論證，同時運用機器學習與人工智慧技術，優化核種遷移分析流程，提升評估效率。

在利害關係人溝通方面，NUMO 於三個市鎮（北海道-壽都町、北海道-神惠內村及佐賀縣-玄海町）啟動「文獻調查」，為日本高放射性廢棄物最終處置場選址三階段程序中的第一階段，主要利用現有的文獻資料及科學數據，來初步評估一個區域作為高放射性廢棄物最終處置場的潛在地質適宜性，透過對話平台收集超過 2,100 條民眾意見，並將問題與回應公

開於網站，強化透明度。

NUMO 正嘗試將 BIM (Building Information Modeling) 與人工智慧 (AI) 應用引入處置場的設計與施工管理中，如自動比對國際安全論證；BIM 是一種三維數位建模技術，常用於建立處置場設施與地下結構的精確虛擬模型，結合 BIM 技術可以優化設計、預先檢測施工衝突及提高施工效率，作為長期知識保存與視覺化溝通的工具。

柴田雅博 (Masahiro Shibata) 強調，推動 IDKM 需建立共同認知，並培養組織內的「IDKM 文化」。由於放射性廢棄物管理是一項長期且複雜的任務，應採分階段、具彈性及可擴展的策略，並積極應用資訊技術 (Information Technology, IT) 與 AI 技術，以符合日本政府的綠色轉型 (Green Transformation, GT) 政策。同時，國際合作對因應 IDKM 的多元挑戰至關重要，例如與 IAEA 等組織交流經驗，共同解決跨世代知識傳承的難題。這些措施將有助於實現永續發展，並確保放射性廢棄物管理的安全與效率。



照片 8：柴田雅博 (Masahiro Shibata) 簡報

4. 「加拿大核能實驗室的放射性廢棄物資料、資訊與知識管理之經驗與展望：75 年之後。」 (Managing radioactive waste data, information and knowledge at Canadian Nuclear Laboratories: 75 years and beyond)

講者 Deni Priyanto 來自加拿大核能實驗室 (Canadian Nuclear Laboratories, CNL) (照片 9)，CNL 負責管理加拿大全國各地的放射性及

非放射性廢棄物，並面臨長達75年以上的跨世代資料管理挑戰。

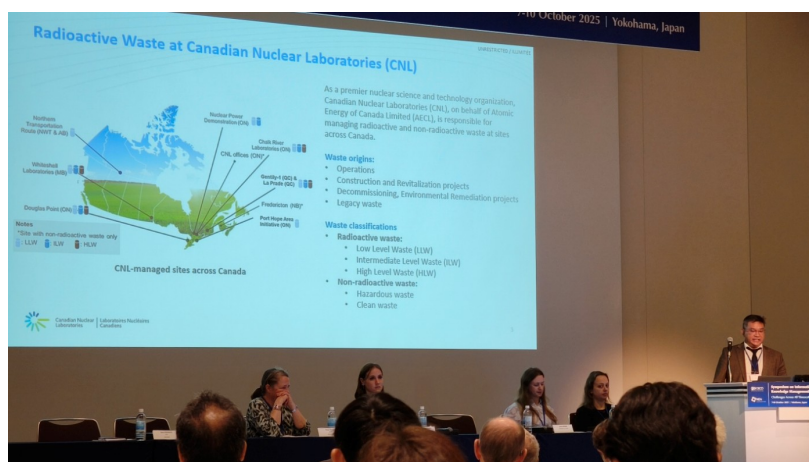
所謂「75年」是指 CNL 自1940年代成立以來，累積至今超過七十年的運作經驗與歷史紀錄，涵蓋從早期核能研發、燃料循環、設施運轉、除役到環境整治的完整知識體系。這些跨時代的資料與文件在不同階段由不同技術背景的人員建立，如何在世代更迭與技術演進下確保資訊一致、可追溯與可再利用，正是 CNL 在知識管理中面臨的核心挑戰。CNL 的放射性廢棄物來源包括運營、除役、環境復育及歷史遺留產生之廢棄物，並分為低、中、高階及非放射性廢棄物，須分別採取不同的處置策略。CNL 目前正推動近地表處置設施（Near Surface Disposal Facility, NSDF）計畫，容量達100萬立方公尺，並已取得建造許可，預計運營百年以上，其後仍需長期監管與監測。面對長期資料管理需求，CNL 採用彈性且可持續的資料管理架構，透過數位化工具、AI 技術及 BIM 建模提升管理效率，並建立知識保存與經驗傳承機制，以確保過去七十多年累積的專業知識得以延續並支持未來世代的安全決策。

在人員能力培養方面，CNL 擁有3,000多名員工，透過分級訓練模組、資格認證（Suitably Qualified and Experienced Person，SQEP）及知識共享平台（如社群、入職訓練、內部網路及入口網站），確保跨世代知識傳承。CNL 已建立並持續優化放射性廢棄物管理系統及資料管理系統，並透過績效儀表板、內部監測及利害關係人回饋不斷強化，未來將持續推動從「專案導向」轉向「生命週期管理」的文化轉變（詳表2-2），以確保放射性廢棄物管理的長期安全與永續性。

表2-2 「專案導向」與「生命週期管理」對照表

	專案導向	生命週期管理
核心思維	以單一、獨立專案為中心。	廢棄物從產生到最終處置的「完整生命週期」為中心。
管理方式	專注於完成特定目標。	將放射性廢棄物管理視為一個長達數十年甚至數百年的持續性、整合性過程。它涵蓋了從廢棄物的產生、分類、處理、貯存、運輸，一直到最終處置的所有階段。

優點	目標明確，容易量化成果，能迅速解決眼前的問題。	(1).確保在每個階段都考慮到最終處置的安全要求，避免短期的處理方案為未來的長期安全留下隱患。 (2).確保知識與關鍵數據能夠跨越世代傳承。
缺點	容易忽略專案結束後數十年甚至數百年會發生的長期影響。	(1).高昂的初始成本與資源要求。 (2).複雜的系統整合。 (3).持續性維護成本。



照片9：Deni Priyanto 簡報

5. 「德國核能公司(BGE)的跨代知識管理方法」(Intergenerational knowledge management approach at BGE.)

講者 Panja Feuker 先生來自德國聯邦放射性廢棄物管理公司 (Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, BGE) (詳照片10)，BGE 為負責建造與運營放射性廢棄物處置設施的國家專責機構，擁有約2,500名員工，分佈於7個據點，但未來10年內近半數員工將退休，導致嚴重的知識流失風險，在放射性廢棄物管理中面臨的世代交替挑戰。BGE 將知識管理融入企業文化，透過標準化流程、完善的文件管理，以及記錄員工的實務經驗，建立系統性的知識傳承制度，確保放射性廢棄物處置設施的設計、安全評估與運行經驗能長期保存並傳承給後代。

Feuker 強調知識管理應以明確的方針與策略為核心，BGE 以簡短的經驗紀錄文件方式，整理並分類員工的經驗與最佳做法，方便日後查詢與傳

承，其跨世代知識共享平台主要運作方式如下：

- (1).實踐社群（Communities of Practice）：定期舉辦會議，讓員工分享專業知識，建立信任與合作關係。
- (2).知識咖啡館（Knowledge Cafe）：非正式的線上交流，每月進行30分鐘的跨世代面對面交流，強化組織凝聚力。
- (3).知識地圖（Knowledge Maps）：用於新員工入職、專業知識維護及專案規劃，透過智慧搜尋引擎整合資料庫與專業報告。

未來 BGE 將結合人工智慧與大型語言模型，開發專家羅盤（Expert-Compass）原型系統，旨在整合知識資料庫與分析功能，提供決策參考與技術建議。該系統可協助用戶在複雜情境中快速查找技術資料與過往案例，並提供相應的指引，以跨越地點共享專業知識，提升專案執行與人員配置效率。Panja Feuker 指出，知識管理的核心在於人員、技術與流程的整合運作，透過系統化工具與開放文化，確保放射性廢棄物管理的長期安全與永續發展，不僅能回應德國世代交替的挑戰，亦為全球核能產業提供重要借鏡。



照片10：Panja Feuker 簡報

6. 「管理永續？從專業實務探討用過燃料最終處置之責任概念」(**Managing eternity? Conceptualising accountability amidst expert practices of spent fuel repository management**)

講者 Thomas Keating 先生來自瑞典林雪平大學(Linköping University) 的助理教授 (照片 11) , 探討關鍵資訊檔案 (Key Information File, KIF) 與問責制度 (accountability) 在用過燃料最終處置中的角色。Thomas Keating 指出 KIF 應以讓民眾理解的文件呈現, 但在語言、媒體與機構變遷下, KIF 長期維護面臨制度真空 (institutional vacuum) 與可持續性風險。制度真空就是沒有明確規定誰要負責、負責多久、用什麼方式去維護 KIF , 因此未來可能出現無人管理或斷層的風險, 為了因應放射性廢棄物必須被長期安全管理的挑戰, Thomas Keating 分享了與 Anna Storm 教授為瑞典核燃料與放射性廢棄物管理公司 (SKB) 撰寫 KIF 的經驗。KIF 是一份簡明且一般人也能理解的資料, 內容涵蓋處置場的位置、設計與放射性廢棄物的基本資訊。他並提出分享、想像及更新方法, 鼓勵透過公開交流與世代對話, 讓相關知識能長期保存並持續傳承。

Thomas Keating 指出放射性廢棄物管理不應被視為一次完成的「最終處置」, 而應以「滾動式管理」的方式長期監督與更新。這表示放射性廢棄物及其周圍環境是會變化的。最後, 他強調核能記憶的傳承沒有歷史範例, 必須結合社會、技術與政策等不同領域合作, 才能確保資訊在未來長時間內仍可被理解與使用。

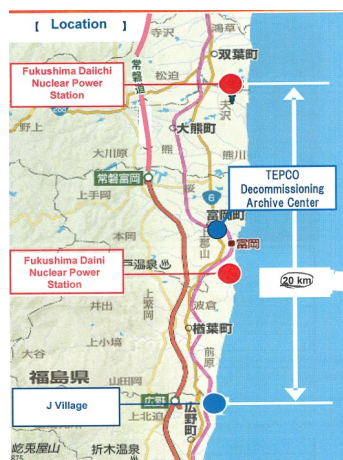
此外, 透過持續管理與問責的概念, 讓執行機構向社會說明自己的作為與決策, 並接受外界檢視, 可建立長期追蹤與監督機制, 確保責任得以確實落實。



照片 11：Thomas Keating 簡報

(三)、技術參訪

為增進對日本核能設施除役實務與事故後輻射防護管理的了解，主辦機關於研討會結束後，行程特別安排參訪東京電力公司（TEPCO）福島第一核電廠（Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant）及東京電力除役資料館（TEPCO Decommissioning Archive Center）。本次參訪旨在透過技術參訪與東京電力公司專業簡報，深入了解福島核能事故後的現場復原、除役技術、污染水處理及輻射防護措施等最新進展，參訪團由東京電力公司人員帶領，登上1~4號機藍色觀景平台（Unit 1~4 Blue Viewing Platform），俯瞰福島第一核電廠受損反應爐建屋的整體現況。（詳照片 12）



照片 12：東京電力除役資料館及福島第一核電廠相對位置圖

1.參訪流程概述

主辦機關首先安排參觀除役資料館，並在館內觀看簡介影片，內容說明東日本大震災與海嘯對福島第一核電廠的影響、事故發生經過及後續除役工作的歷程與挑戰。（詳照片13）

第二站（福島第一核電廠現場）：約13：45抵達廠區，進行身份確認與安全說明（禁止錄音及錄影）。由東京電力（TEPCO）職員於會議室進行簡報（約40分鐘），說明電廠現況與主要除役策略。接著搭乘小型巴士至1~4號機藍色觀景平台，俯瞰反應爐廠房及主要復原區域，由現場人員解說目前進度與挑戰。約16：10返回福島第一核電廠會議室進行綜合討論後，結束參訪並返回橫濱。



照片13：東京電力除役資料館大合照

資料來源：Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

2.TEPCO現場簡報內容摘要整理

(1).事故背景與現況

2011年3月11日東日本大震災引發的巨大海嘯，導致福島第一核電廠電源與冷卻系統損壞，1~4號機組發生核事故。經過十年的穩定化工作，目前所有機組均處於冷停機狀態，溫度及壓力受控，輻射監測數值持續下降，廠區作業區域逐步擴大。有關1~4號機組現況分述如下：

1號機：準備安裝大型遮罩，以移除瓦礫與燃料。反應爐壓力槽（Reactor

Pressure Vessel, RPV) 底部溫度約32°C，一次圍阻體 (Primary Containment Vessel, PCV) 內部溫度約31°C，燃料池溫度約34°C。

2號機：南側龍門吊具準備中，以移除燃料。RPV 底部溫度約37°C，PCV 內部溫度約37°C，燃料池溫度約33°C。

3號機：2014年12月完成移除燃料池內的未損毀燃料組件，燃料池不再監測溫度。

4號機：2014年11月完成移除燃料池內的未損毀燃料組件，燃料池不再監測溫度。

(2).主要除役目標與時間軸

除役計畫預定約需30至40年完成，目前分三大階段：穩定化與燃料池燃料移出、熔融燃料碎屑 (Fuel Debris) 取出及廠房拆除與環境修復。

中長期的除役期程規劃：2011年12月實現冷停機；2013年11月開始移除4號機組燃料；2019年4月開始移除3號機組燃料；2021年完成1~4號機組燃料池內的燃料移除整備；2031年完成移除1~6號機組燃料；未來30~40年間完成整體除役作業。

污染水管理目標之時程規劃：2025年將污染水產生量抑減至100m³/天以下；2028年抑減至50~70 m³/天；2031年完成移除所有機組燃料。

(3).燃料移出與燃料碎片處理進度

4 號機燃料池內的燃料已於 2014 年 11 月全數移除，3 號機燃料池亦於 2014 年 12 月完成燃料移出。目前 1 號機與 2 號機的燃料池燃料仍在準備移出作業。至於 1~3 號機反應爐內部的熔融燃料碎屑，因輻射劑量較高，需仰賴遙控機械臂及水下作業技術，仍處於設備開發與測試階段；未來將透過機器人手臂進行內部調查與熔融燃料碎屑收集。有關1~4號機燃料移出及燃料碎片處理進度，分述如下：

1號機：計畫於2027~2028年開始移出燃料，目前正在安裝大型遮罩及瓦礫清理，預計2025年夏季完成。尚未開始處理燃料碎片，因反應爐

建築內部有高輻射劑量區域，需要先進行除污與遮蔽工作。

2號機：計畫於2024~2026年開始移出燃料，已完成龍門吊具的安裝整備。

2024年9月10日至11月7日進行試驗性燃料碎片移除作業；2025年4月23日使用伸縮式裝置完成第二次試驗性移除作業。

3號機：2019年4月開始進行反應爐內部燃料碎片的小規模試取作業，用於測試遠端操作設備與技術，並非正式的燃料碎片移除。由於反應爐內部輻射劑量仍高，正式大規模燃料碎片移除作業預計將在 2 號機率先展開後，依序開始進行。

4號機：2013年11月開始進行燃料移出作業，並已完成。未發生燃料熔毀，目前處於穩定狀態，故無需進行燃料碎片處理。

(4).污染水管理

污染水主要經由多項處理系統進行淨化，包括前端的銫去除系統（Kurion Cesium Removal System, KURION）與簡化型放射性水回收處理系統（Simplified Active Water Retrieve and Recovery System, SARRY），最後再以多核種去除設備（Advanced Liquid Processing System, ALPS）進行多核種淨化處理，除氬以外之大部分放射性核種均可被有效去除，經國際原子能總署（IAEA）審查與監督，確保排放程序符合國際核安全要求。

污染水管理三大政策：

- a.處理流程：使用KURION與SARRY系統去除放射性銫，並由ALPS設備去除氬以外的大部分放射性核種。經多重處理後的處理水（Treated Water），將以海水大量稀釋，使其氬濃度遠低於排放標準後，再進行排放。
- b.處理水貯存：目前貯存量約127萬5,697m³（2025年8月）。
- c.排放標準：依日本監管標準，氬的液體排放濃度上限（60,000 Bq/L）、WHO飲用水標準（10,000 Bq/L）及東京電力公司ALPS排放標準（1,500 Bq/L）。

(5).輻射防護與作業安全

現場輻射劑量控制嚴格，作業人員進入不同區域須配戴個人劑量計與防護裝備，目前多數作業區域輻射劑量低於 $1\mu\text{Sv/h}$ ，可短時間進入。

現場的輻射防護措施，係將廠區劃分為高污染區（如1~4號機組周邊）與一般區，根據區域劃分優化防護設備，減少工作人員輻射曝露，並於2018年5月將低輻射區擴大至廠區的90%。

2025年7月平均每天的工作人數約為4,690人，其中僱用當地居民比例約70%，該月輻射作業人員的平均劑量約為 0.21 mSv/人-月 。

3.結語

透過本次於福島第一核電廠的技術參訪與簡報說明，深入了解東京電力公司在除役及污染水處理上的最新進展，現場展示了多核種去除設備（ALPS）的運作情形與處理水排放監測機制，並說明人員作業環境改善措施，如設置大型休息設施及餐飲服務中心，以強化現場管理與員工安全。此外，參訪團登上1~4號機藍色觀景平台，實地觀察受損反應爐建屋的整體狀況。整體參訪說明了福島在廢爐與輻射防護工作上採取的安全監測與透明管理措施，對我國未來放射性廢棄物管理與除役作業均具重要參考價值。

三、心得及建議

(一)、心得

- 1.本次研討會討論內顯示，國際社會高度重視放射性廢棄物在跨世代之資訊與知識保存，並強調數位化與AI應用已成為趨勢。
- 2.各國案例顯示建立跨部門與跨領域之知識管理平台，可提升政策決策之透明度與一致性。
- 3.多位講者（日本NUMO的柴田雅博、德國BGE的Panja Feucker、加拿大CNL的Deni Priyanto及NEA的Rebecca Tadesse）分享實務經驗，指出數位系統不僅需兼顧安全與一致性，更應以使用者導向的方式設計，以支援決策需求。同時也強調「人」的角色仍是知識管理核心，必須透過跨領域合作與專業培育，維持組織記憶的延續性。
- 4.整體而言，本次研討會兼具深度與廣度，除促進各國經驗交流外，也有助於了解歐洲與日本在IDKM之最新發展方向，特別是NEA所倡議的「整合式知識管理願景（Holistic Vision of IDKM）」概念，對於未來建立長期知識保存架構具參考價值。

(二)、建議

- 1.本次會議主題為「放射性廢棄物資訊、數據與知識管理（IDKM）」其中OECD/NEA倡議「整合式知識管理願景（Holistic Vision of IDKM）」概念，針對放射性廢棄物管理及歷史場址整治建立全面、跨領域的IDKM策略，以確保放射性廢棄物管理資訊能在不同時間尺度下保持可理解性與可回溯性，作為長期安全決策與公眾溝通的重要支撐。有關放射性廢棄物數據與資訊方面，建議台電公司後續在精進低放射性廢棄物資料庫時，參考國際發展方向，運用資訊科技與知識管理方法，強化資訊保存及數據整合，以確保長期安全與決策透明度。

2. 參考德國BGE的「實踐社群（Communities of Practice）」與「知識咖啡館（Knowledge Cafe）」模式，建立非正式的知識交流平台，鼓勵退休專家與新進人員進行經驗分享，制定「知識傳承框架（Knowledge Transfer Framework）」，有助於放射性廢棄物公眾溝通。建議台電公司可參考國際作法，進行經驗分享，確保放射性廢棄物處置設施的相關經驗能長期保存並傳承給後代。
3. 「放射性廢棄物資訊、數據與知識管理」分享最新國際間廢棄物處置計畫的管理經驗與實務，也開始導入人工智慧或各種系統性方法，提供最新放射性廢棄物管理與處置創新成果交流平台。建議定期派員參與類似研討會，即時掌握國際間最新廢棄物管理技術發展動態外，也藉此與各國管制機關人員進行技術與經驗交流，增進國際視野並提升管制技術能力。