

出國報告（出國類別：其他）

參加 2017 Waste Management 國際研討會

服務機關：行政院原子能委員會
放射性物料管理局

姓名職稱：郭嘉仁薦任技士

派赴國家：美國

出國時間：106年3月4日至3月11日

報告日期：106年5月10日

摘要

第 43 屆放射性廢棄物國際研討會(2017 Waste Management, WM)於 106 年 3 月 5 日至 9 日在美國鳳凰城(Phoenix)會議中心舉行，WM 首度在 1974 年於美國亞利桑那州之圖森市(Tucson, Arizona)舉辦，目的為協助美國能源部(Department of Energy, DOE)就高放射性廢棄物管理進行相關議題的討論，後續逐步擴展到放射性廢棄物管理層面，並交流世界各核能國家執行放射性廢棄物管制能力及其經驗，成為放射性廢棄物管理重要的國際研討會議，該會議每年舉行一次。

2017 Waste Management 國際研討會共進行 137 場次不同議題的研討會議及專題，有 450 篇論文發表，共來自 27 個國家，總數約 2,115 人參與，分享各國放射性廢棄物處理、運送、貯存、除役及最終處置之管理與管制經驗。職參與本次研討會主要就放射性廢棄物之處理、運送、貯存、除役及最終處置之有關議題研討，以掌握國際上放射性廢棄物發展趨勢，及學習相關發展策略、管制法規、技術可行性評估、安全評估及動態消息等。藉由獲知世界各核能國家執行放射性廢棄物管制能力及其經驗，作為我國放射性廢棄物相關管制作業之參考，以提昇管制效能。

關鍵字：放射性廢棄物處理、運送、貯存、除役、最終處置、放射性廢棄物管制

目錄

摘要.....	1
一、 目的.....	3
二、 過程.....	4
三、 心得.....	11
四、 建議事項.....	28
五、 附件.....	29

一、目的

此次前往美國參加第 43 屆 2017 Waste Management 國際研討會之目的，希望藉由此次會議，瞭解各國放射性廢棄物管理之進展，並藉由交流與討論掌握國際放射性廢棄物技術現況與未來發展趨勢，作為我國放射性廢棄物相關管制作業之參考，以增進我國管制能力。

WM2017 國際研討會為第 43 屆之放射性廢棄物管理研討會，會議主題概分為下列九類：

- 1.綜合性核能政策與研究計畫討論；
- 2.高放射性廢棄物、用過核子燃料及超鈾廢棄物之處理與處置；
- 3.中低階放射性廢棄物及混合廢棄物之處理技術；
- 4.核能電廠廢棄物管理；
- 5.放射性物質的包裝與運送；
- 6.除污與除役作業及技術分享；
- 7.污染場址的環境復育；
- 8.放射性廢棄物技術研究與教育訓練；
- 9.核子保防與核能安全的特別議題等九大類。

本屆會議中職參與放射性廢棄物之處理、運送、貯存、除役及最終處置之發展策略、管制法規、技術可行性評估、安全評估等議題之研討；另亦出席專題「日本福島第一核電廠場內及場外之清理情形」、「日本核電廠除役進展情形及核燃料循環」之研討。

出席本屆研討會學習各核能國家放射性廢棄物之管理及管制作業，汲取有關管制經驗，可作為我國管制作業參考，提昇我國放射性廢棄物營運安全；亦可有助我國邁向「非核家園」，後續所必須執行核能電廠除役安全之管制作業。

二、過程

(一) 行程概要

本次參加 2017 Waste Management 國際研討會行程如下表所列：

2017 Waste Management 國際研討會行程概要表

3 月 4 日(六)	出發、抵達鳳凰城
3 月 5 日(日)	研討會報到
3 月 6 日(一)	參加 2017 Waste Management 國際研討會
3 月 7 日(二)	參加 2017 Waste Management 國際研討會
3 月 8 日(三)	參加 2017 Waste Management 國際研討會
3 月 9 日(四)	參加 2017 Waste Management 國際研討會
3 月 10 日(五)	返程
3 月 11 日(六)	抵達台北

(二) 研討會概要

2017 Waste Management 國際研討會屬於非營利性質，每年在美國亞利桑那州舉辦 1 次，本次第 43 屆國際研討會(WM2017)，於美國亞利桑那州的鳳凰城(Phoenix, Arizona)舉辦，會議自 2017 年 3 月 5 日至 11 日共 7 日，有來自世界 27 個國家共 2,115 人參與，參與人員為各國政府機關、核能產業界、學術與研究機構等專家學者，本屆國際研討會共進行 137 場次技術會議與專題討論，約有 450 篇論文發表。

職於 3 月 5 日在美國鳳凰城的會議中心辦理 WM2017 研討會報到(圖 1)，並於 3 月 6 日上午 8 點出席會議開幕式。開幕式首先由 2017 Waste management 董事會主席 James Gallagher 與總裁 Jim Fiore 分別致詞(圖 2、圖 3)，說明辦理 WM2017 研討會的目的，並表達歡迎來自世界各地的專家參加本次會議，後續介紹本屆特別專題國家-日本，該國發生福島第一核電廠事故後所進行之清理作業，另外也討論日本核燃料循環。



圖 1.於美國鳳凰城會議中心辦理 WM2017 研討會報到



圖 2. 開幕式大會 WM 總裁 Jim Fiore 致詞



圖 3. WM 董事會主席 James Gallagher 致詞

接著由日本經濟產業省(Ministry of Economy Trade and Industry, METI)之資源能源廳(ANRE)轄下核能事故災害應變處處長平井英宏(Director-General for Nuclear Accident Disaster Response, Hirohide Hirai)進行專題報告(圖 4)，說明日本和其他核能相關國際組織在福島進行清理作業之相關成果，2011 年 3 月 11 日福

島第一核電廠因海嘯侵襲，核電廠失去冷卻功能，造成反應器損壞以及地下水和地表水污染事件。日本與其他核能國際組織共同努力及協助下，現在反應器已穩定，並已阻絕放射性污染之擴散。當今福島附近出產之農產品都合乎規定，可在市場上買賣食用。福島第一核電廠 3 號機已重新完成屋頂工程，可防止雨水侵入。另為阻隔地下水進入污染區，採取的措施包括設置建立不滲透凍土牆、旁通地下水，以及避免污染水源流出等方式，都逐漸展示功能。另外也開發高輻射區域由機器人進行作業及收集相關資訊的技術，由於除役的工作剛開始，未來許多的作業仍需匯集相關頂尖技術精進改善。日本亦提出未來計畫在國際原子能總署 (IAEA) 監督下，利用鈾進行核燃料循環之再處理。



圖 4. 日本經濟產業省 ANRE 處長平井英宏致詞

接著由美國 Fluor 公司之環境及核能營運部高級副總裁 Greg Meyer 先生進行報告(圖 5)，他提出個人在核能工業相關經驗，有關除汙、復育、清理的作業，第一線的作業往往都是承包商，要成為一位安全的領導者，對人員的培訓是很重要；另外，核能工業之經營者必須與監管機構、當地社區領袖建立良好的溝通機制，以切合監管機構及當地社區領袖的期待，避免引起不必要之誤會。



圖 5. 美國 Fluor 公司之高級副總裁 Greg Meyer 先生致詞

接著由美國能源部環境管理辦公室(Office of Environmental Management, EM) 代理助理國務卿 Sue Cange 女士進行致詞(圖 6)，說明 EM 維持最佳化復育作業，並感謝承包商對於復育作業之努力及配合。而在復育場址附近的當地居民是對 EM 執行作業是最好及最佳的提倡者，因他們居住在當地，他們瞭解復育的價值、目標及承包商努力，除污、復育作業不僅可以降低當地風險，而且還會帶來許多的就業機會； Sue Cange 女士強調 EM 在 2016 年除污與復育作業已有成效，包括完成在橡樹嶺的東田納西科技園區中拆除舊有的鈾濃縮建築物；另外，位於美國新墨西哥州之 Carlsbad 的核廢料隔離先導型處置設施(Waste Isolations Pilot Plant, WIPP)也於 2017 年重新啟用，預計將於 2017 年 4 月恢復由各地運送超鈾放射性廢棄物(TRU)至 WIPP 之運輸，該運輸容器係經由美國核管會(NRC) 認證之 B 型運送容器(B-TYPE)。DOE 的清理復育作業複雜多樣化，每個場址都有其獨特的一面，且有獨特要求之清理法規，而 EM 則藉由最好的國家實驗室及承包商共同努力來進行相關技術開發與應用。

另美國國防核設施安全委員會成員 Oyce L. Connery 女士(如圖 7)，主講世界

放射性廢棄物之安全文化，其說明放射性廢棄物每當進行責任轉移時，將影響放射性廢棄物之安全問題，新的組織並不願意承擔新的安全責任，而安全績效情形亦須經過相關人員培訓，才能有效發揮並解決安全問題。此外，預算的不穩定性和高階領導人頻繁替換，將會影響安全管制文化，只有通過累積經驗，知識傳承，及人員的管理與培訓，並將人員組織，設備系統與現有條件進行整合實踐，賦予必要的價值觀和信念，實踐並強化放射性廢棄物之管制安全。



圖 6. 美國 DOE 環境管理辦公室代理助理國務卿 Sue Cange 女士致詞



圖 7. 美國國防核設施安全委員會成員 Oyce L. Connery 女士致詞

開幕式結束後，接著分場次進行各項技術議題會議與專題討論會議，於會議期間共辦理 137 個技術議題會議與專題討論場次，發表約 450 篇的論文；於會議

期間，職並與其他華人交流(如圖 8)。



圖 8. WM2017 會議與其他華人交流合影

(照片由左至右分別為王翊光先生、作者、卓鴻年博士、林偉翔先生、林文勝先生、張仁坤先生。)

三、心得

本次公出赴美國參加 WM2017 研討會，主要就放射性廢棄物處理、管理及最終處置相關之技術議題會議與專題討論場次，與來自世界各國從事放射性廢棄物相關領域的研究人員進行意見交流，以掌握國際放射性廢棄物處理、管理及處置發展現況，獲益良多，心得如下：

(一) 在放射性廢棄物處理方面:

1. 離子交換樹脂還原再使用處理技術：

韓國核能研究所 (Korea Atomic Energy Research Institute,KAERI) Sung Paal YIM 先生、韓國核工程公司(Korea Nuclear Fuel Co., Ltd)Cheo Kyung Lee 先生、及韓東國際大學(Handong Global University)Se Yup LEE 先生，共同發表還原再使用含有放射性物質之離子交換樹脂技術(如圖 9、圖 10)，在核子反應器中，離子交換樹脂係使用在初級冷卻水系統之過濾功能，當到達離子交換樹脂交換飽和容量時，通常用過離子交換樹脂係不再還原使用，直接進行貯存。然而根據韓國核能研究所、韓國核工程公司及韓東國際大學共同發表最新發展的再生樹脂技術係將含有放射性物質之離子交換樹脂再生還原使用，經評估其具有可行性。該最新發展技術之再生組件包含再生配製槽、蒸發器、乾燥器、聚合物固化混合器，另外還包含用過樹脂貯存槽及用過再生液之貯存槽。其處理流程為用過離子交換樹脂經強酸、強鹼液再生後，其廢液經蒸發器濃縮，蒸氣部分經冷凝回收再使用，蒸發器濃縮之廢漿另經過乾燥器後加入聚合物混合成固體廢棄物。此最新的離子交換樹脂床再生處理系統預估可減少 1/3 原放射性廢棄物體積(以 1800 升用過樹脂為例)，此系統設備現尚未進入驗證階段，現仍為實驗階段。



本圖為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 9. 含有放射性物質之離子交換樹脂還原再使用之處理流程圖



本圖為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 10. 預估產生放射性廢棄物量

2. 氧化法處理用過離子交換樹脂：

在核子反應器中，反應器水中雜質使用離子交換樹脂進行過濾處理，而用過離子交換樹脂需要減少體積，後續進行貯存及處置。一般處理用過離子交換樹脂之目的為減少體積或降低其放射性，其處理方法可以分為兩種類型，分別為乾式法和濕式法。乾式法包含焚化和熱分解處理等方法，而濕式法包含酸分解法、超臨界水氧化法、電漿法以及 Fenton 法等方法。其中，Fenton 氧化法是利用過氧化氫(H_2O_2)為氧化劑，亞鐵離子(Fe^{2+})或銅離子(Cu^{2+})為催化劑進行相關反應，以產生氫氧自由基($OH\cdot$)，將有機物氧化成二氧化碳及水，因 Fenton 氧化法具氧化能力的是氫氧自由基 ($OH\cdot$)，但氫氧自由基的壽命只有短短的幾秒，所以如何在很短的時間內將氫氧自由基與有機物進行反應，則是氧化法之重點。故調控過氧化氫的濃度及其使用量、氧化槽內之 pH 值及催化劑亞鐵離子(Fe^{2+})或銅離子(Cu^{2+})添加量亦是重要因子。本次 WM2017 研討會日本電力研究發展中心(Power and Industrial Systems Research and Development Center)、Nuclear Chemical and Cycle Technology R&D Dept.、Toshiba 公司共同發表改良式的 Fenton 濕式氧化法處理用過離子交換樹脂，將含有鈷-60 之用過離子交換樹脂加入臭氧(O_3)、過氧化氫(H_2O_2)、亞鐵離子(Fe^{2+})在反應槽內進行氧化反應，再進行固液分離，其液相為含有放射性物質鈷-60 (藉由 γ - ray 測量)，該液相再進入下一個反應槽內，該反應槽添加氯化鐵 ($FeCl_3$)、氫氧化鈉(NaOH)，並藉由氫氧化鈉(NaOH)添加量來控制溶液的 PH 值，再進行一次固液分離，其經最終反應分離後之固相為含有放射性物質鈷-60 之沉澱物，前述處理方式特點皆在操作溫度小於 100 °C 及在常壓下進行，其相關反應式及實驗流程如圖 11、圖 12 及圖 13 所示，另最終反應分離後之液相後續將再經濃縮處理，利用上述方法可減少放射性

廢棄物貯存及處置體積量。

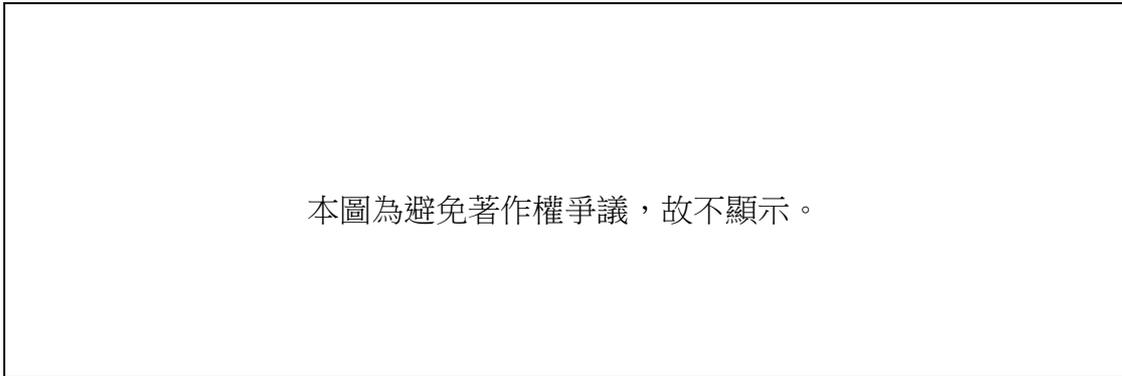


圖 11. 濕式氧化法處理用過離子交換樹脂之反應式

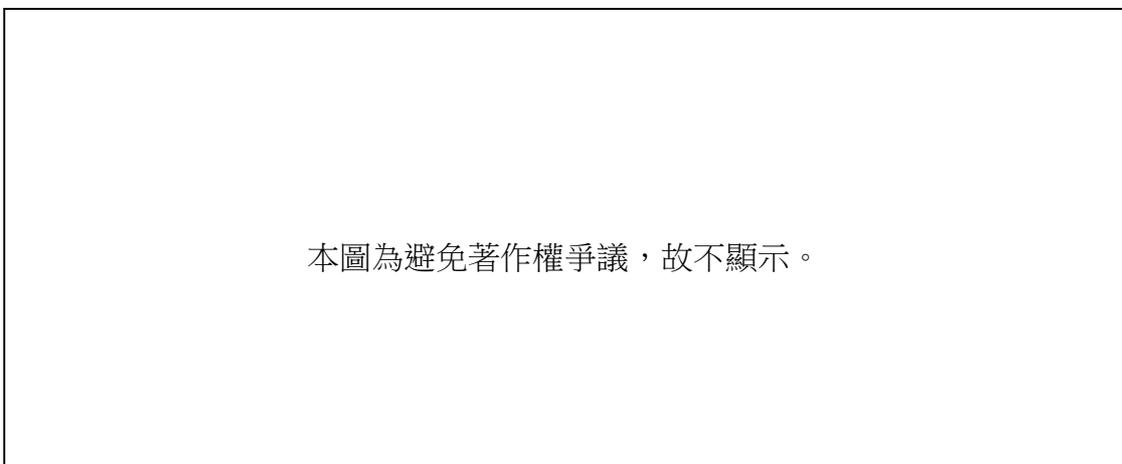


圖 12. 濕式氧化法處理用過離子交換樹脂流程圖-1

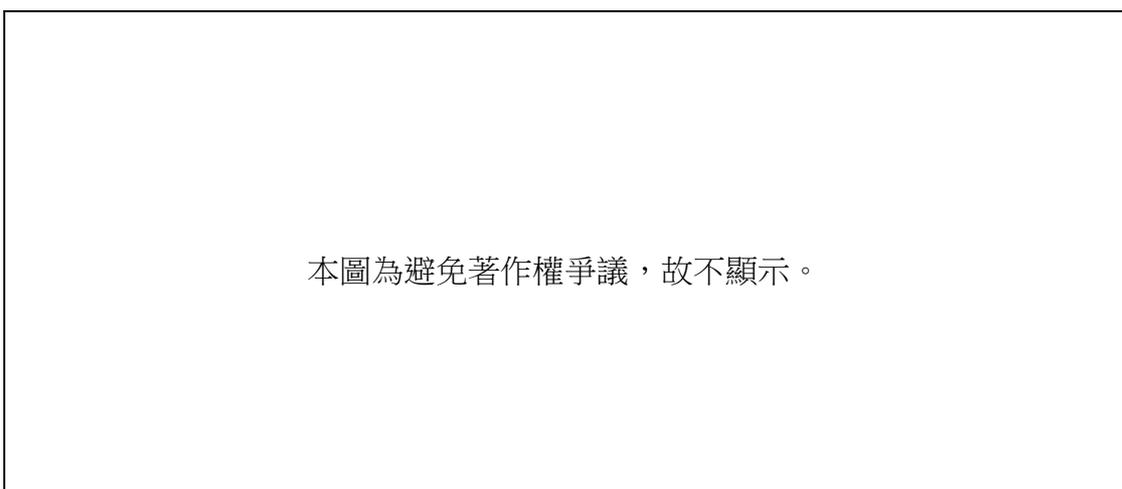


圖 13. 濕式氧化法處理用過離子交換樹脂流程圖-2

3.放射性物質之絕對過濾器(HEPA)：

我國核電廠焚化爐的廢氣處理系統，除設有除去飛灰的袋濾式集塵器及洗滌塔等防制設備外，最後在廢氣排放前安裝可濾除放射性微粒粉塵的超高效率過濾器（HEPA），另於煙道出口前端設有輻射即時偵檢器，可隨時記錄運轉所排放的廢氣，處理過程均相互連鎖，可防止異常排放。另在非密封放射性物質作業場所其空氣壓力係採負壓設計，其空間有各自獨立的空調及通風系統，為避免放射性氣體之排放，在管制區空調系統的出口端亦安裝可濾除放射性微粒粉塵的超高效率過濾器（HEPA）。本次 WM2017 研討會亦介紹在放射性廢棄物處理當中不可或缺的設備超高效率過濾器(HEPA)，由 Porvair 公司進行簡報(如圖 14)，其主要說明用在核能等級的超高效率過濾器 HEPA AG-1。



圖 14. Porvair 公司簡報及 HEPA AG-1 圖示

在核能等級超高效率過濾器之過濾材料方面，依操作壓力之不同，其使用之纖維材質亦不同，其為強化玻纖類、網狀支撐強化玻纖類、Sinterflo F 金屬纖維類，其纖維材質如圖 15 所示，另分類如下：

- (1) 第 1 類強化玻纖類：可操作壓力為 2.5 kPa (10 in. WC)；
- (2) 第 2 類網狀支撐強化玻纖類：可操作壓力為 11.2 kPa (45 in. WC)；
- (3) 第 3 類 Sinterflo F 金屬纖維類：可操作壓力為 56.0 kPa (225 in. WC)。

本圖為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 15. Porvair 公司將 HEPA 纖維材質分為第 1、2、3 類

另 Camfil 公司亦於 WM2017 研討會介紹該公司用於核能等級之 HEPA AG-1 絕對過濾器如圖 16，並說明空氣過濾器介質將微粒從空氣中過濾出來共採用五種過濾機制。這五種機制分別為：濾除（過篩）、攔截、擴散、慣性分離以及靜電吸引。每種機制分別適用一定粒度範圍，這是分子過濾技術的主要因素。對於直徑大於 $0.2 \mu\text{m}$ 的微粒來說，主要採用慣性分離與攔截機制進行收集過濾，而對於直徑小於 $0.2 \mu\text{m}$ 的微粒來說，則主要採用擴散機制進行收集過濾，而空氣過濾網的過濾原理是通過攔截效應(Interception)、慣性效應(Interior separation)、擴散效應(Diffusion)及靜電效應(Electrostatic attraction)完成對粒子的過濾。攔截效應發生在纖維層內，因為纖維排列不規則，當粒子隨著氣流繞過纖維，粒子將在纖維表面被攔截而沉積，其粒子的粒徑越大，纖維越細、越密，攔截效果越好。在擴散效應方面(布朗運動)，因空氣中的分子運動造成粒子間的碰撞，產生雜亂的擴散運動，當粒子動能為零時，將在

纖維表面沉積下來，其粒子粒徑越小，氣流速度越慢，擴散運動越佳，攔截效果越好。在慣性效應方面，因為纖維結構排列複雜，當氣流在纖維中流動時，氣流中較大的粒子，因慣性作用直接碰撞在纖維表面而沉積下來，其粒子粒徑越大，氣流速度越快，纖維越細數量越多，攔截效果越好。在靜電效應方面，空氣過濾網的纖維和粒子因可能帶有靜電，所以當氣流中的粒子穿過纖維時將被吸附於纖維表面並沉積下來。Camfil 公司之 HEPA AG-1，通過 ASME AG-1、NQA-1、N509、及 UL 586 等認證機構規定之要求，其絕對過濾器在 0.2~0.3 micro 粒子大小至少有 99.97% 去除等級，該絕對過濾器可持續操作溫度於 0 ~ 121 °C 之間，封閉框架材質為 SUS 304，內部纖維係由防水含硼矽酸鹽之玻璃纖維製成，具有高阻抗濕度之特性，其操作條件可至相對濕度 99%，另可操作空氣流量依其安裝大小不同，有所不同，操作範圍由 850 ~ 2550 m³/hr。另該過濾設備可搭配不同的測試設備，用於現場測量，包括粒子計數器、壓力計、空氣流量計、能源數據記錄器、腐蝕監視儀和氣體分析裝置等，以確保過濾效能。

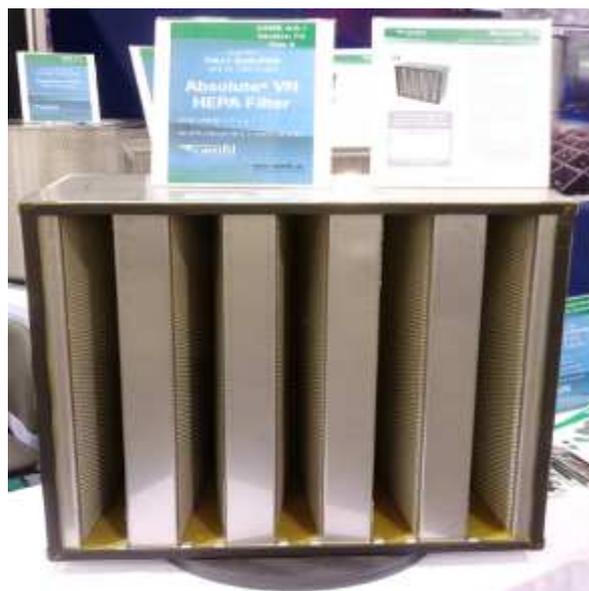


圖 16. Camfil 公司用於核能等級之 HEPA AG-1 絕對過濾器

(二) 放射性廢棄物管理方面

1. 放射性廢棄物之包件監管議題

本次 WM2017 研討會介紹放射性廢棄物之包件監管議題，係由美國能源部薩凡納河國家實驗室(Savannah River National Laboratory)介紹美國 B 類包件容器於授權、豁免、特別許可等監管發照程序，如圖 17 所示。

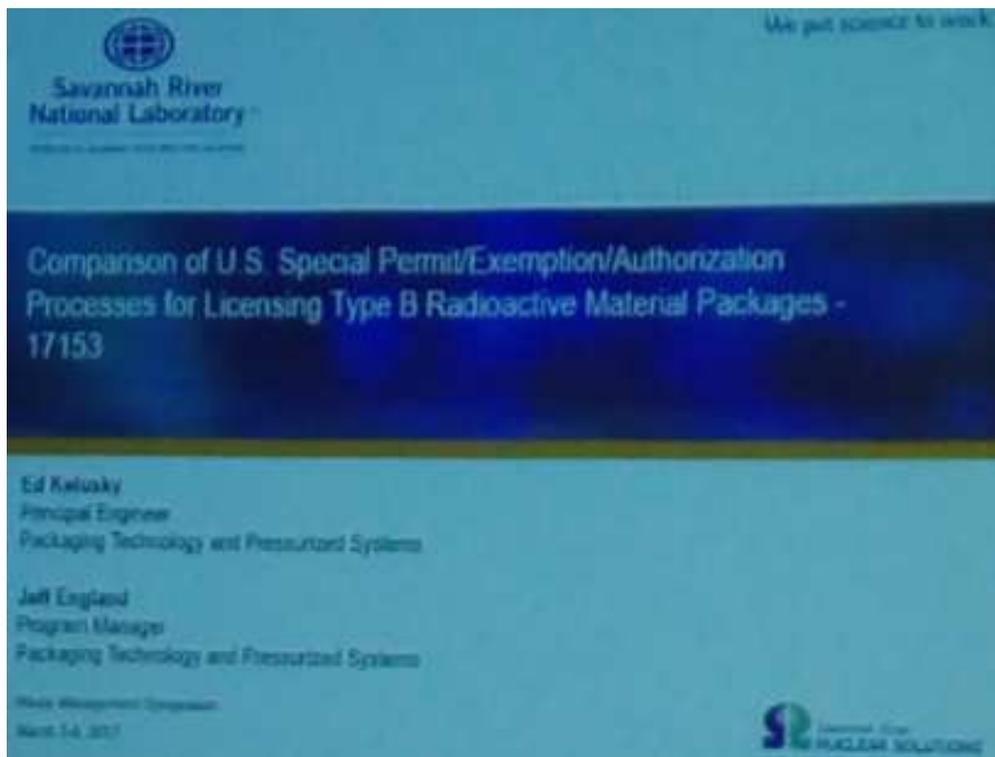


圖17. Savannah River National Laboratory 介紹美國B類包裝容器審查程序

美國核管會(NRC) 10 CFR 71 及美國聯邦運輸部(DOT) 49 CFR 173 所管制之法規分別將放射性廢棄物容器分為 A 類包件、B 類包件、盛裝可分裂物質之包件、工業包件、特殊包件等不同包件容器，由於放射性廢棄物盛裝容器及包件因不同之目的及效能，具有不同之差異性，及許多不同的方法進行評估盛裝容器及包件的設計是否符合安全需求，所以美國核管會(NRC)針對放射性物質運送包件建立標準審查計畫(Standard Review Plan for

Transportation Packages for Radioactive Material)確定審查放射性廢棄物包件申照之作法。美國核管會(NRC)放射性物質運送包件標準審查計畫具有三個主要目的，其為(1)彙整盛裝容器核准所需相關法規要求、(2)符合美國核管會(NRC)相關法規申照程序、(3)將美國核管會發展之盛裝容器認證業務文件化。另國際原子能總署(IAEA)制定放射性物質安全運送規定 TS-R-1，其將包件分為微量包件、工業包件、type A、type B、type C 等五種，另對於含有可分裂物質或六氟化鈾者，亦有其相關規定；在包件測試方面 type B 需同時滿足 type A 一般運送狀況及假設事故狀況之測試。(我國放射性物質安全運送規定與 IAEA 規定相同)

B 類包件除經通過 A 類包件所規定之檢測要求外，尚需經自由墜落測試(如圖 18)、壓碎測試、穿刺測試、熱體測試、浸水測試等，其需通過美國核管會(NRC) 10 CFR 71.41 及 71.51 等測試標準規定。在美國 B 類包件要求在發生事故狀況下，需能確保屏蔽完整性；B 類包件經評估審查許可後，將會有美國核管會(NRC)核發許可證書(Certificate of Compliance, CoC)，或是美國聯邦運輸部(DOT)核發主管機關證書(Certificate of Competent Authority)，如果是外國申請案將有美國聯邦運輸部(DOT)核發之 COCA。

1982 年 12 月 27 日美國核管會(NRC)公布 10 CFR61「放射性廢棄物淺地處置核發執照需求」法規，其中依據 10 CFR 61.55 將低放射性廢棄物依長短半衰期核種濃度分為四類：A 類、B 類、C 類及超 C 類。以美國為例，A 類放射性廢棄物半衰期最短，多為雜項固體；B 類放射性廢棄物半衰期次之，多為離子交換樹脂；C 類放射性廢棄物半衰期再次之，多為通道盒、控制棒等；GTCC 類放射性廢棄物半衰期最長，多為爐心內部組件等。美國大部分之除役核能電廠，均將 GTCC 廢棄物切割後裝入用過燃料之貯存鋼筒，該鋼

筒提供密封之環境，避免放射性物質外釋，且具有廠外運送之功能。另在美國核管會(NRC)10 CFR 72 法規中規定只允許固體 GTCC 廢料存入用過核燃料中期貯存設施(ISFSI)，禁止液體 GTCC 廢料存入 ISFSI。

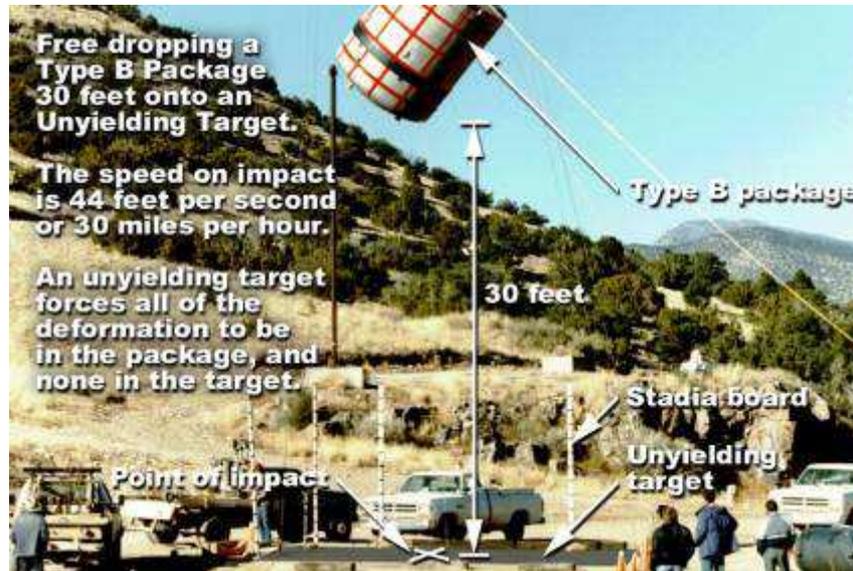


圖18. B類包裝容器墜落試驗

美國核管會(NRC)與美國聯邦運輸部(DOT)針對貯存及處置用的放射性廢棄物包件容器訂定出相關法規，要求所有包件容器應滿足相關法規的管制規範。美國聯邦運輸部(DOT)為了運輸及包件，在 49 CFR 173 中做出一般要求，其中特別針對第七類放射性物質包件及運輸訂出規範。其對於一般盛裝容器的設計需求如下：(1) 容器容易吊運；(2) 容器起重器可以承受吊運三倍廢棄物容器的總重量；(3) 容器必須沒突起，並且容易除污；(4) 容器外表面的設計應該是不易積水；(5) 容器不可有不安全的附加組件；(6) 容器可承受正常的加速度和振動；(7) 容器的材料和廢棄物要相容；(8) 容器要有保護的閥門；(9) 若使用空運：容器內部溫度小於 50°C、容器需承受 -40~+55°C 溫度範圍、對於液態廢棄物，容器應可承受 95kPa 的壓力等要求。

另美國核管會(NRC) 在 10 CFR 61.56 提供了低放射性廢棄物類型和處

置廢棄物封裝等規定，如下：

- (1)廢棄物不可用紙板或纖維板包裝。
- (2)液態廢棄物應該先固化或使用吸水性材料來阻隔再封裝。
- (3)含有液態的固體廢棄物應盡可能減少腐蝕性液體，液體量不超過總體 1%。
- (4)廢棄物應確保不會有爆炸分解或在常溫常壓下與水生成反應的危險。
- (5)在運送、吊掛、處置廢棄物時，廢棄物不應該產生會危害人類的有毒氣體或煙霧。
- (6)廢燃料不能起火燃燒，起火材料應能阻隔並且採用防火封裝。
- (7)氣態廢棄物應該在不超過 1.5 大氣壓力下且 20°C 裝箱，廢棄物容器內的總活度不可超過 100 居里。
- (8)有致病性、感染性的廢棄物應該作降低其最大潛在的危險處理。

綜上，在美國審查 B 類包件許可證之相關機關，分別為美國能源部 (DOE)、美國核管會(NRC)和美國聯邦運輸部(DOT)，而前述三個機關都依據美國聯邦法規 10 CFR 71 放射性物質包件和運輸，以及 49 CFR 171 至 180 危險物質條例的法規要求和指導進行審查。

美國能源部 Savannah River 國家實驗室針對前述單位審查許可流程進行研究，經研究之比較分析，其結論指出具有以下 5 個相同的基本階段，分別如下：

- (1) 開發實驗及驗證程序階段；
- (2) 提交申請階段；
- (3) 監管單位審查階段；
- (4) 監管單位核發執照階段；

(5) 使用/持續時間階段。

所以經美國能源部 Savannah River 國家實驗室研究結果，無論是美國能源部(DOE)、美國核管會(NRC)和美國聯邦運輸部(DOT)雖然為不同的機關，其互不隸屬，但在審查 B 類包件和運輸許可程序皆有相同的 5 個基本階段。

2. 有關德國 KTE 之除役及貯存議題

本次 WM2017 研討會德國 Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH 公司 (KTE)介紹該公司以 Konrad 處置場的接收標準預先準備合格貯存容器 (如圖 19)，該公司 KTE 廠區進行除役拆解作業，其廠區配置分為六個區域，分別為 (1)中央除汙部門(Central Decontamination Department，圖 21)；(2)熱室(HOT CELL，圖 22)；(3)多目的研究反應器(Multipurpose research reactor，現進行除役，圖 23)；(4)Compact sodium-cool 核反應器設施(現進行除役，圖 24)；(5)再處理廠(現進行除役，圖 25)；(6)研究反應器 FR2(現進行除役)。該公司於中央除汙部門負責核電廠拆解作業並協助放射性廢棄物後續進行處置之相關任務如貯存容器之製造，KTE 公司先將低放射性廢棄物貯存於中央除汙部門之臨時貯存庫，後續待 Konrad 處置場運轉後，再送至該處置場。

KTE 公司於 1960 年開發製造低放射性廢棄物貯存容器，於 1979 年時在 KTE 廠區建造存放圓桶貯存容器之貯存庫(L519)，另於 1982 年時建造存放方形貯存容器之貯存庫(L528)，現因 KTE 廠區之再處理廠、多目的研究反應器、Compact sodium-cool 核反應器設施及研究反應器 FR2 等設施進行除役作業，造成現有貯存庫之貯存量即將存滿，所以已申請通過建造兩座貯存庫(L566)並將於 2020 年完成，其貯存容量為 10 萬立方米。

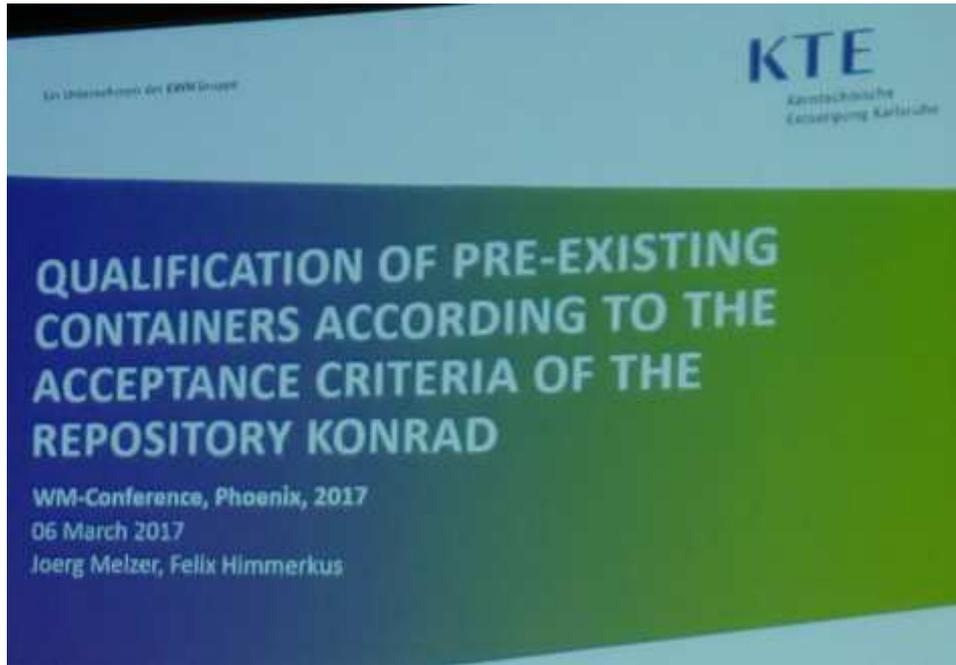


圖 19 KTE 公司以 Konrad 處置場的接收標準預先準備合格之貯存容器

兩座貯存庫(L566)之興建措施，經公眾參與及州政府審查於 2015 年宣布對環境並無顯著負面影響；另 Konrad 處置場係位於 Lower Saxony 之廢棄鐵礦坑，主要接收低放射性廢棄物，該處置場從 1982 年 8 月 31 日開始申請執照，至 2002 年 5 月 22 日獲得執照，於 2008 年 5 月開始興建，設計容量為 303,000 立方公尺，現等待核准啟用。



圖 20 KTE 方形貯存容器之貯存庫

KTE 公司以 Konrad 處置場的接收標準預先準備合格之貯存容器，現有貯存容器有三種：(1)圓柱桶放射性廢棄物貯存容器 type- I (直徑 1060mm、高 1370mm、體積 1.2m³)；(2)方形放射性廢棄物貯存容器 type- II (長 1600mm、寬 1700mm、高 1700mm、體積 4.6m³)；(3)方形放射性廢棄物貯存容器 type-IV(長 3000mm、寬 1700mm、高 1450mm、體積 7.14m³)。另於 1970-1980 年代所建造之放射性廢棄物貯存容器(200L)，定期進行檢查，其發現如有腐蝕之虞時，圓型貯存容器將移置混凝土圓柱容器內(VBA-1)，以確保輻射安全。另發現有損壞的廢品桶亦重新包裝/修復，且貯存庫中亦針對空氣氣體分析及 γ 射線之偵測，來確保人員安全。



圖 21 含有低放射性之混凝土壓碎作業、低放射性可燃廢棄物之焚化控制室



圖 22 KTE 之熱室



圖 23 KTE 多目的研究反應器除役作業



圖 24 KTE 之 Compact sodium-cool 核反應設施除役作業



圖 25 KTE 之再處理廠房除役作業

3. 荷蘭COVRA放射性廢棄物集中貯存設施

Jan Boelen 先生介紹 COVRA(Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval，如圖 26)為荷蘭放射性廢棄物主要產生者及政府合資成立，其為荷蘭國內唯一合法的放射性廢棄物處理專責機構，負責荷蘭境內所產全部放射性廢棄物之貯存業務，其包含高、中低放射性廢棄物，COVRA 場址位於荷蘭國內西南方半島的 Vlissingen。荷蘭現有 2 座核電廠，1 座正運轉中，另 1 座已停機；另有 2 座研究中心，1 座鈾濃縮廠，1 座鉬生產廠，並已發放約 1300 張使用放射性物質之執照於工業、醫療及研究方面(如圖 27)，其皆為產生放射性廢棄物之來源產生者。



圖 26 荷蘭 COVRA 放射性廢棄物集中貯存設施

在 COVRA 放射性廢棄物集中貯存設施，高放射性廢棄物具衰變熱如用過核燃料及再處理所產生之玻璃固化物質，依其熱值之不同，貯存於 HABOG 內，並以自然通風方式使其在混凝土窖內豎井中之熱能移除，如圖 28 所示；另不具衰變熱的高放射性廢棄物，如醫用的放射性同位素放射源，直接貯存於屏蔽完整的區域。另外 HABOG 外觀也有特別的設計，橘色表示荷蘭國家代表色，隨著時間及風吹日曬外牆顏色會漸漸褪色，因此 HABOG 外牆將定期補漆，但每次

補漆的橘色會較前次更淡，當到達 1 百年後 HABOG 外觀將漆為白色，表示 HABOG 內所貯存的放射性廢棄物逐漸衰變。



圖 27 荷蘭產生放射性廢棄物之來源

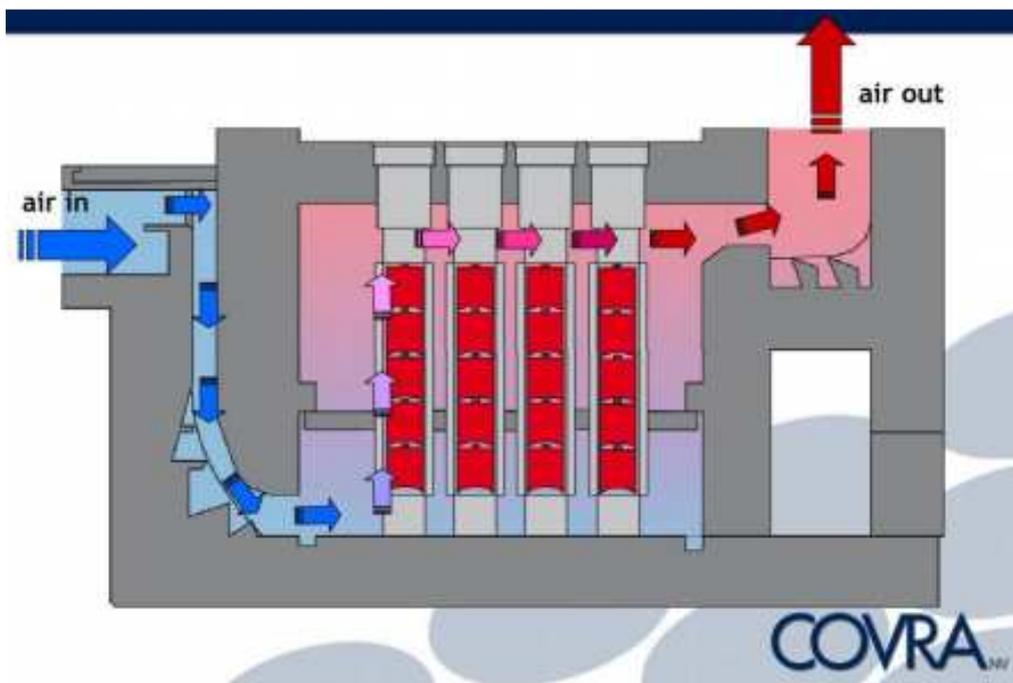


圖 28 荷蘭 HABOG 貯存設施以自然通風移除熱能方式

四、建議事項

1. 藉由參與本屆 WM2017 研討會，吸取各國用過離子交換樹脂之處理技術及發展現況，其經瞭解有乾式法、濕式法及還原再使用之技術，相關先進的處理技術可提供作為我國處理用過樹脂之參考。
2. 美國審查 B 類包件/運輸許可證之相關機關，分別為美國能源部(DOE)、美國核管會(NRC)和美國聯邦運輸部(DOT)，而上述三個機關都依據美國聯邦法規 10 CFR 71 放射性物質包件和運輸，以及 49 CFR 171 至 180 危險物質條例的法規要求和指導進行審查；我國未來於集中式貯存設施興建完成後或進行最終處置作業時，可參酌美國能源部 Savannah River 國家實驗室研究結果，藉由 5 個基本階段之審查程序進行嚴格管制。
3. 大部分核能國家都成立專責機構，進行貯存或處置放射性廢棄物，如荷蘭 COVRA；我國經濟部現已完成「行政法人放射性廢棄物管理中心設置條例」草案，目前正送請立法院審議中，建議政府應儘速推動，俾利推動國內放射性廢棄物之處置計畫。
4. 德國在執行核能議題上，納入公民參與之機制，使民眾瞭解核能工程之相關專業，並透過資訊公開，取得公民共識，使核能議題能順利推行。建議我國在低放最終處置計畫之選址作業可參酌國外公民參與機制及資訊公開方式，使選址作業如同其他國家一樣順利。
5. 藉由參與 WM2017 研討會，掌握各國對於放射性廢棄物管制的發展趨勢，可學習其長處，明年度的 WM2018 研討會將於美國鳳凰城舉辦，建議國內持續派員參加，以瞭解國際間對放射性廢棄物管理及管制之動態。

Session #	Technical Program - Schedule at a Glance - Annotated Session Titles <i>(for full session titles, please see individual listing)</i>	Time	Room	Policies/Programs										
				1: Policies/Programs	2: HLW/SNF/TRU	3: LLW, NORM	4: Nuclear Power Pl.	5: Packag., Trans.	6: D&D	7: Environ., Rem.	8: Commun., E & T	9: Special Topics	Japan	Robotics/Remote
Tuesday Afternoon, March 7														
54	Panel: Featured Country Japan: Doing Business in Japan-(6/8)	13:50	Ex-Hall	X										X
55	Panel: Fukushima NPP - Revitalization of the Local Area and Economy-(7/8)	15:15	Ex Hall	X										X
56	Panel: DOE Featured Site: Richland Operation Office, Hanford, Washington-(2/2)	13:50	105AB	X										
57	MERGED WITH SESSION 56													
58	Panel: NNSA Complex Wide Infrastructure Challenges & Lessons Learned	13:50	103AB	X										
59	Panel: EFCOG - DOE Performance Assurance, Metrics & Governance	15:15	103AB	X										
60	Panel: US Nuclear Power Plant Waste Management - US LLW Disposal Issues	13:50	104AB			X								
61	Panel: Key US NRC Regulatory Topics in Radioactive LLW Management	15:15	104AB		X									
62A	Panel - Nuclearized Robotics - International Perspectives on Use and Need-(3/5) A	13:50	102BC									X		X
62B	Panel - Nuclearized Robotics - International Perspectives on Use and Need-(3/5) B	15:15	102BC									X		X
63	Developments in Deep Borehole Disposal Around the World	13:50	101B									X		
64	US DOE Hanford Direct Feed Low Activity Waste-(1/3)	13:50	102A		X									
65	High Level Radioactive Waste Form Studies	13:50	101C		X									
66	HLW Inspections and Sampling	15:15	101C		X									
67	Assessment of Worldwide Disposal Systems, Facilities and Sites for LLW-(2/2)	13:50	105C		X									
68	Plans for and Experience in Transitioning From Operations to Decommissioning	13:50	106A					X						
69	US DOE EM Risk-Informed Performance Based Decision Making	13:50	106B						X					
70	ER in Urban and Suburban Environments - Examples from Around the World	15:15	106B						X					
71	Preservation of Cultural Resources/Artifacts & Use of Visitor Centers & Museums	13:50	106C							X				
72	Decision Making Tools/Frameworks that Enhance ER Cleanup Programs	15:15	106C							X				
73	Posters: Packaging and Transportation	13:50	1-Foyer				X							
74	Posters: Environmental Remediation	13:50	1-Foyer				X							
75	Posters: Communications, Involvement, Education and Training	13:50	1-Foyer							X				
Wednesday Morning, March 8														
76	Panel: Disposal of Greater-Than-Class C and TRU Waste: What Happens Next	08:25	102BC		X									
77	Panel: Dealing with Problematic DOE Mixed Waste Streams and Policy Changes	10:15	102BC		X									
78	Regulatory and Programmatic Issues and Solutions for LLW/ILW Worldwide	08:25	102A		X									
79	Panel: Challenges & Lessons Learned in Packaging, Transportation & Receipt	08:25	104AB				X							
80	Panel: Challenges in Package Certification – International Perspectives	10:15	104AB				X							
81	Panel - Deep Borehole Disposal of Radionuclides (focused on SNF and HLW)	08:25	105AB								X			
82	Select Papers of WM2017 Featured Country – Japan - (8/8)	08:25	105C	X								X	X	
83	Worldwide Regulatory and Oversight for Waste Management and Disposal	08:25	103AB	X										
84	Panel: US DOE Procurement and Contracting Trends and Opportunities	10:15	Ex Hall	X										
85	Geologic Disposal of HLW, SNF/UNF and Long-lived Alpha/TRU	08:25	101C		X									
86	Hanford Direct Feed Low Activity Waste-(2/3)	08:25	101B		X									
87	Hanford Direct Feed Low Activity Waste-(3/3)	10:15	101B		X									
88	International Experience in Waste Optimization and Harmonization During D&D	08:25	106A					X						
89	Panel: Status and Update of D&D NPP and Material Facilities and Issues	10:15	103AB					X						
90	The Stakeholder's Voice - The Impact of Citizens and Regulators on WM Issues	08:25	106C							X				
91	ER Post Closure Challenges and Long Term Stewardship/Legacy Management	08:25	106B						X					
92	Characterization and ER Technologies for Complex and Comingled Contaminants	10:15	106A						X					
93	D&D - Posters	08:25	1-Foyer					X						X
94	Special Topics and Track Cross Cutting Technology Topics -Posters	08:25	1-Foyer								X			X
Wednesday Afternoon, March 8														
95	Panel: Wednesday - US DOE Featured Site: West Valley New York	13:25	102BC	X										
96	Panel: Korean WM Update & Vendor Problem Solving Matchmaking	13:25	104AB	X										
97	Panel: Progress on Deep Repository Programs Around the World	13:25	103AB		X									
98	Global Insights into HLW/ Used Fuel Disposal Site Selection and Development	15:15	103AB		X									
99	Panel: DOE HLW Tank Management: Making Progress: Stakeholder/Regulatory	13:25	105AB		X									
100	Spent or Used Nuclear Fuel: Approaches and Technologies	13:25	102A		X									
101	Global Use of Cementitious Waste Forms for LLW/ILW	13:25	101C			X								
102	Radioactive Material Transport Packaging Design	13:25	101B				X							
103	Key Aspects of D&D of Nuclear Power Plants - Worldwide	13:25	105C					X						
104	FUSRAP and US Army Corp of Engineers Projects	13:25	106A						X					
105	Global Experience of Records, Knowledge and Memory (RK&M)	13:25	106B							X				
106	Panel: Engaging the Public through Interpretation at Legacy Sites	15:15	105AB							X				
107	Robotics and Remote Systems –Nuclear- S/W & OS, Sensors & Key Drivers-(4/5)	13:25	106C								X			X
108	NPP Waste Characterization Onsite SNF/UNF Storage and Failed Fuel Handling	15:15	106B			X								
109	Non-Paper Poster Topic for Emerging Issues	13:25	1-Floor									X		

Session #	Technical Program - Schedule at a Glance - Annotated Session Titles <i>(for full session titles, please see individual listing)</i>	Time	Room	Policies/Programs										
				1: Policies/Programs	2: HLW/SNF/TRU	3: LLW, NORM	4: Nuclear Power PL	5: Packag., Trans.	6: D&D	7: Environ. Rem.	8: Commun., E & T	9: Special Topics	Japan	Robotics/Remote
Thursday Morning, March 9														
110	Panel: US DOE Featured Site - PPPO Lexington, KY (Portsmouth & Paducah)	08:25	102BC	X										
111	Panel: Consolidated Interim Storage of Used Nuclear Fuel: A Draft DOE	08:25	105AB		X									
112	Panel: The Future of Consent-Based Disposal Siting & Discussion of Alternatives	10:15	105AB	X										
113	HLW Immobilization Processes and Facilities	08:25	102A	X										
114	HLW Treatment Plants: Startup and Optimization	08:25	101C	X										
115	Mechanical Examinations in Support of US DOE Tank Farm Operations	10:15	101C	X										
116	Roundtable: WM Energy Facilities Contractor Operating Group (EFCOG)	08:25	105C		X									
117	New Developments in Characterization Systems and Equipment for LLW/ILW	8:25	106A		X									
118	Best Practices in Project Communications	08:25	104AB								X			
119	Subsurface Mass Transport & Environmental Assessment of Geological Disposal	08:25	103AB										X	
120	Panel: Interagency Community of Practice in Performance and Risk Assessment	10:15	103AB										X	
121	Challenges and Opportunities in Transportation and Storage of SNF	08:25	101B				X							
122	Radioactive Containment Ventilation-(1/2)	10:15	101B										X	
123	Application of Innovative D&D Technologies	08:25	106B					X						
124	Technical Innovations in Environmental Remediation and Site Closure	08:25	106C						X					
Thursday Afternoon, March 9														
125	Panel: US DOE Oak Ridge: Comprehensive, Investment Worthy Approach	13:25	102BC	X										
126	Thursday Topical Session - International Management of UNF: Present & Future	13:25	105AB		X									
127	Panel: Sustainable Decisions Integrating Stakeholder Values and Scientific Data	13:45	104AB								X			
128	LLW/ILW Characterization Methods and Data Evaluation	13:25	105C			X								
129	Radioactive Containment Ventilation-(2/2)	13:25	103AB										X	
130	Operating Experience in the Treatment and Storage of LLW a Global Perspective	13:25	106A		X									
131	D&D of US DOE Facilities	13:25	106B					X						
132	ER Post Closure Challenges and Long-Term Stewardship/Legacy Management	13:25	106C						X					
133	International Experience in Complex Site Characterization & ER Technologies	15:15	106C						X					
134	Groundwater Remediation Projects	13:25	102A						X					
135	Communication of Technical Issues: Worldwide Experiences	15:15	102A							X				
136	Global Management of Used Sealed Sources, HEU, and Orphan Materials	13:25	101C										X	
137	Robotics and Remote Systems - Nuclear - Applied D&D Operations-(5/5)	13:25	101B										X	X
138	Withdrawn for WM2017													