

出國報告（出國類別：其他）

低放射性廢棄物最終處置國際研討會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：彭兆珩 技術規劃專員

王柏宇 安全評估專員

派赴國家：日本

出國期間：106年11月26日~106年11月30日

報告日期：107年1月8日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：「低放射性廢棄物最終處置國際研討會議」

頁數 20 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

陳德隆/台灣電力公司/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

彭兆珩/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程師/02-23657210 ext:2333

王柏宇/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程師/02-23657210 ext:2329

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2017/11/26-2017/11/30 出國地區：日本

報告日期：2018/01/07

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物、最終處置

內容摘要：(二百至三百字)

赴日本參加第六屆「東亞放射性廢棄物管理論壇(East Asia Forum on Radwaste Management Conference, EAFORM)」，與各與會單位將針對各國放射性廢棄物管理政策、法規和計畫執行，以及放射性廢棄物的處理、貯存與處置技術等各項議題進行研討與經驗交流，以瞭解國際上低放處置計畫之發展現況與未來趨勢，有助於國內低放射性廢棄物最終處置計畫之推動。

目 次

壹、出國目的.....	1
貳、出國過程.....	2
參、工作內容.....	3
一、參加「第六屆東亞放射性廢棄物管理論壇」會議	3
二、會議參訪行程.....	17
肆、心得及建議	20

壹、出國目的

本公司依法執行低放射性廢棄物最終處置計畫，並依據主管機關要求持續精進低放最終處置技術，以確保處置技術符合國際水平，並提升民眾的安全保障，故參與相關研討會瞭解國際發展現況與未來趨勢有其必要性。

「東亞放射性廢棄物管理論壇(East Asia Forum on Radwaste Management Conference, EAFORM)」為東亞地區放射性廢棄物管理與處置相關機構合作辦理之學術交流會議，主要會員為東亞地區台、中、日、韓的核能科技機構與企業，以及美國桑地亞國家實驗室等。會議中各與會機構將針對放射性廢棄物管理政策、法規和計畫執行，以及放射性廢棄物的處理、貯存與處置技術等各項議題進行研討與經驗交流。

本次參加第六屆 EAFORM 研討會於 106 年 11 月 27 日至 11 月 29 日在日本大阪召開，期間與來自世界各國的研究人員進行意見交流與討論，以瞭解國際上低放處置計畫之發展現況與未來趨勢，有助於國內低放射性廢棄物最終處置計畫之推動。

貳、出國過程

自 106 年 11 月 26 日出發，迄 11 月 30 日返國（共計 5 天），停留於日本大阪市。詳細行程如下：

日期	地點與行程	工作內容
11 月 26 日（日）	台北→日本大阪	去程
11 月 27 日（一）~ 11 月 29 日（三）	日本大阪	參加 2017 年度東亞放射性廢棄物管理論壇(EAFORM2017)
11 月 30 日（四）	日本大阪→台北	返程

參、工作內容

本屆「東亞放射性廢棄物管理論壇」會議係由日本原子力學會(Atomic Energy Society of Japan, AESJ)主辦，會議內容包含 11 月 27 日至 28 日在日本大阪市 Hotel Granvia Osaka 飯店舉行之研討會，以及 11 月 29 日會議主辦方安排之阪神大地震紀念設施參訪行程。本次工作內容，將於本章後續兩節分述。

一、參加「第六屆東亞放射性廢棄物管理論壇」會議

本次與會單位來自台、日、韓、美、瑞典及芬蘭等國家。開幕儀式中首先由大會主席 Mitsuo Takeuchi 先生致歡迎詞(如圖 1 所示)，接著即進入本次會議 Plenary Session 主題，由台、日、韓、美四個國家分別介紹其放射性廢棄物營運現況，包括日本經濟產業省 Katsumoto Yoshimura 主講「Nationwide Map of Scientific Features for Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste in Japan」、日本九州大學教授 Yaohiro Inagaki 主講「How to Integrate Various Research Fields for Reasonable and Reliable Radwaste Management」；我國核能學會黃慶村召集人介紹「Current Situation of Radioactive Wastes Management in Taiwan」；韓國放射性廢棄物專責機構 KORAD (Korea Radioactive Waste Agency)放射性廢棄物計畫部門副總 Joo-Wan Park 介紹「Status of High-level Radioactive Waste Management Program in Korea」；美國 Sandia 國家實驗室 Todd R. Zeitler 主講「Recertification of WIPP: From Submittal of the CRA-2014 to an EPA Recertification Decision」。

本次會議的 Special Session 則係日方針對福島電廠事故之處理現況進行專題說明，包括日本核子損害賠償與除役促進公司(Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation, NDF) Kazuyuki Kato 報告「Technical Strategy for Decommissioning of the Fukushima Daiichi NPS」、日本福井大學 Satoshi Yanagihara 教授主講「Study on Post-Accident Waste Management Scenarios for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station」、日本原子能研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA) Shinichi Nakayama 介紹「JAEA's R&D for Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station」以及同樣隸屬於 JAEA 的 Terumi Dohi 主講「Distribution of Radionuclides Nearby the Fukushima Daiichi Nuclear Power



圖 1：大會主席 Mitsuo Takeuchi 開幕致詞

自 11 月 27 日下午開始，大會將各國投稿共 60 篇的技術論文報告，依內容性質區分為「放射性廢棄物處理」、「核電廠除役技術」、「放射性廢棄物營運政策法規研討」、「高放最終處置」及「中、低放最終處置」等 5 項主題，安排於不同場次中進行簡報與討論，以下說明本次會議各主題所發表之內容。

(一) 「放射性廢棄物處理」

本項主題共有 3 篇論文發表如下：

1. High-frequency Melting Technology of Radioactive Metal Waste (N.Horiuchi, T.Nishikawa, N.Sasaki and H.Tanaka, Mitsubishi Materials Corporation, Japan)
2. C-14 Release Behavior and Thermal Decomposition Characteristics of Crud Particles Collected from the Coolant Filter of Commercial PWR (S.Tsuji, T.Waki, A.Sakashita and K.Kino, Kansai Electric Power Co. Inc. , Mitsubishi Heavy Industries LTD & Nuclear Development Corporation, Japan)
3. Evaluation of Carbon-14 Release from Irradiated Zircaloy Fuel Cladding through a Long-term Static Leaching Test (H.Ueda, T.Sakuragi, N.Fujii and H.Owada, RWMC, Japan)

第 1 篇論文係由日本 Mitsubishi Materials Corporation(MMC)所發表的金屬除污技術，該技術可將 Cs、Sr 及如 Pu、U 等 α 衰變核種自金屬中分離，其原理為利用頻率介於 500~3000 赫

茲之間的高頻率電磁感應爐將廢棄物金屬加熱至熔融態，利用 Cs 沸點遠低於金屬的特性將其加溫分離，並利用加溫過程中產生的電磁場將熔融金屬與不帶磁性的 Sr、Pu、U 核種分離，使這些核種移動至金屬表層形成熔渣後移除，達到除污的效果，如圖 2 所示。

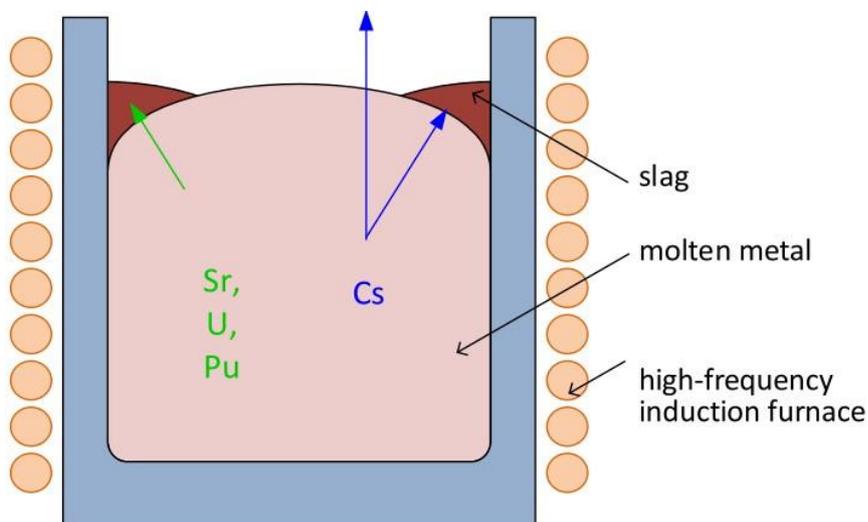


圖 2：MMC 所開發之金屬除污技術原理

MMC 表示，開發本技術主要目的係因應福島事故後產生許多放射性廢金屬，而這些廢金屬所蘊含的主要核種即為 Cs 與 Sr，且日本製造核燃料與核燃料再處理工廠產生許多被 U 污染的廢金屬，為減少此類廢金屬數量，故針對上述核種開發此項技術。目前 MMC 已建置 3 只實驗用高頻率電磁感應爐，其中容量最大的電磁感應爐單批次可處理 1 噸重的鐵，而經實測其除污效果可將 Cs 與 Sr 核種濃度降至約五千分之一以下，U 核種濃度降至約三百分之一以下。除此之外，MMC 也強調本技術的減容效果可達 1/5~1/3，主因為廢金屬形狀不一，裝入容器後容器內部多半仍會有許多空間閒置，而經本技術處理後所產生之金屬鑄錠可改變其形態使其符合容器形狀，充分利用容器空間，而其處理過程所產的二次廢棄物(如熔渣、耐火磚等)也僅佔處理體積約 5%，達到減容效果。除了直接處置外，MMC 表示本技術所產生之金屬鑄錠也可重複利用，在符合法規要求的適當情況下可製成低放容器用於核能設施中，如圖 3 所示。除了上述金屬除污技術外，MMC 也開始著手研發頻率高達 100kHz 的超高頻電磁感應爐以用於玻璃、陶瓷等非金屬廢棄物的除污，此技術仍處於開發初期。



圖 3：利用除污後金屬製成之低放容器

(二) 「核電廠除役技術」

本項主題共有 8 篇論文發表如下：

1. The Assessments and Comparisons of RASCAL and EPZDose on Atmospheric Dispersion and Dose Consequences in Radioactive Material Release Accidents (S.Chen, J.Wang, C.Shih, Y.Ku, Y.Chiang, S.W.Chen and W.S.Hsu, NTHU, Taiwan)
2. Confirmation of Appropriate Operation Condition with Blasting Device (Y.Tsuhara, H.Izuka, S.Hirano, Y.Matsunaga, Y.Sugahara and Y.Kanamori, Kansai Electric Power Co. Inc., Japan)
3. Development of In-situ Radioactivity Inspection System for Radioactive Waste and Decontamination System Using Microalgae (S.Min, D.Kim, W.Kim, S.Ha, S.Chae, J. Lee and U.Lee, ORION EnC & KRISS, Korea)
4. Rapid Removal of Cesium-137 from Urban Area After the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident (K. Yoshimura, JAEA, Japan)
5. A Study on the Performance of Flocculating Agent for Radioactively Contaminated Soil by Soil Washing Process (J.S.Song and S.I.Kim, Chosun University, Korea)
6. Efforts toward Safe, Steady and Efficient Decommissioning (T.Yamauchi, S.Karigome and H.Ohata, JAPC, Japan)
7. Decommissioning Planning for Unit 1 and 2 at Mihama Nuclear Power Plant (S.Kato, K.Kamahori, H.Isaka and S.Hirano, Kansai Electric Power Co. Inc., Japan)
8. Radiation Survey and Waste Inventory Estimation for Decommissioning of Taiwan NPP (C.C.Lin, W.S.Chen, J.L. Wu and S.J.Chang, INER, Taiwan)

第 3 篇論文係由韓國 ORION EnC 公司及韓國國家實驗室 KRISS (Korea Research Institute of Standards and Science)共同發表，主題為以浮游藻類微生物(micro-algae)進行放射性廢水淨化除污之技術。傳統核電廠係以輕水作為工作流體，運轉期間與停機除役後不免產生大量放射性廢水，目前普遍採樹脂或過濾器等物理化學方式進行除污，然傳統方法針對部份如 Cs-137 等核種的除污效果較弱，且單批次的處理水量有限，其廢水處理效率仍有改進空間，故前述單位改從生物科技領域出發，研發本項技術，以強化放射性廢水之除污效果。目前本項技術研發主要係針對 Cs-137 與 Sr-90 兩個核種，考量到核種吸附能力、培養難易度與藻類活動週期等因素後自數量眾多的浮游藻類微生物中選用綠球藻(*Chlorella Vulgaris*)來執行除污功能，以 Sr-90 為例其作用原理為綠球藻促進水溶液中銨離子與碳酸根離子的生物結晶作用，使其化合為結構更為密集穩定不溶於水的碳酸銨，而銨離子轉化為碳酸銨後其放射性會降低超過 90%，以達到淨化除污效果。實務上是將綠球藻製成半滲透性的薄膜後置入放射性廢水中以發揮除污作用，如圖 4 所示。目前本項技術仍處於初期研發階段，在有光照的理想環境下綠球藻對 Sr-90 及 Cs-137 的移除率分別可達超過 90%與約 70%，足見其發展潛力。

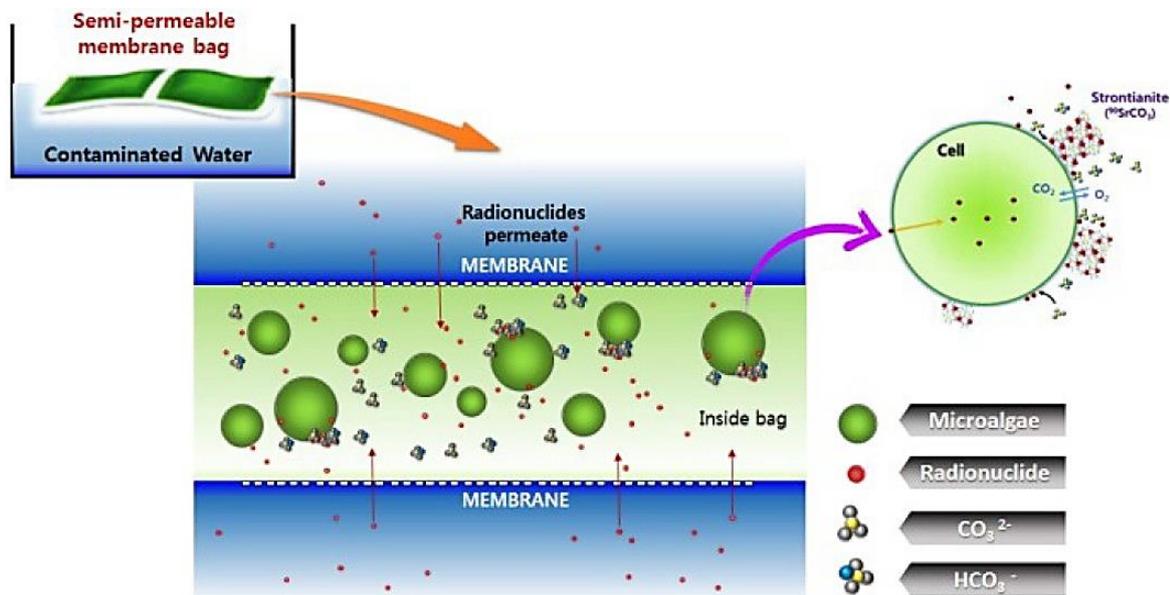


圖 4：綠球藻淨化除污機制

(三) 「放射性廢棄物營運政策法規研討」

本項主題共有 10 篇論文發表如下：

1. Spent Nuclear Fuel Final Disposal Management in Taiwan (A. Lee, Taiwan Power Company, Taiwan)

2. Scientific Basis for Nationwide Screening of Geological Disposal Sites in Japan (T.Matsumoto, H.Saegusa, H.Hyodo, A.Deguchi and H.Umeki, NUMO, Japan)
3. Sensitivity of WIPP Performance Assessment Results to Regulator-prescribed Changes (T.R.Zeitler and B.A.Day, SNL, U.S.)
4. Status of Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel Management in Finland (Jari Tuunanen, Fortum Power and Heat Oy, Finland)
5. Communication Activities through Dialogue in Japanese Geological Disposal Project of High-level Radioactive Waste (A.Araki, S.Ikeda, K.Ezaki and K.Kaku, NUMO, Japan)
6. Efforts in the Field of Education for Japanese Geological Disposal of High-level Radioactive Waste (K.Ezaki, K.Kaku and S.Suzuki, NUMO, Japan)
7. International Cooperation Activities of KORAD Including Mid-term and Long-term Strategy of International Cooperation for Radioactive Waste Management (O.J.Yoo and G.H.Park, KORAD, Korea)
8. Metadata in Geological Disposal of Radioactive Waste: The RepMet Libraries (R.C. Camphouse, M.Ciambrella and K.McMahon, SNL & NEA, U.S. & France)
9. Metadata in Geological Disposal of Radioactive Waste: The RepMet Initiative (M.Ciambrella, K.McMahon and J.I.Fekete, SNL & NEA, U.S. & France)
10. Spent Nuclear Fuel Final Disposal Knowhow, Methodology and Technology Transfer (M.Holmqvist, SKB, Sweden)

第 1 篇論文為本公司核後端處高放處置組李宗倫組長所發表，介紹我國高放處置計畫發展現況。

第 4 篇論文介紹芬蘭的放射性廢棄物管理現況。1983 年芬蘭政府針對放射性廢棄物營運訂立了 DiP(Decision in Principle)，明確規定芬蘭核電廠營運者需負責管理及處置其所運轉及除役所產的放射性廢棄物，迄今芬蘭放射性廢棄物的相關規劃於作業皆係遵從 DiP 來執行。芬蘭目前有兩座運轉中的核電廠，分別為 TVO 公司營運的 Olkiluoto 核電廠以及 Fortum Power and Heat OY 公司營運的 Loviisa 核電廠，Olkiluoto 有兩座運轉中的 880MW BWR 而 Loviisa 有兩座運轉中的 510MW PWR。依照 DiP 的規定，TVO 與 Fortum Power and Heat OY 負責處理與處置其所營運核電廠所產之放射性廢棄物。針對用過核燃料，兩間公司合資成立了 Posiva 專門負責規劃與執行高放處置作業。2001 年芬蘭國會同意 Posiva 選定 Okiluoto 地區作

為高放處置場址，Posiva 於是開始執行後續細部場址調查與技術研發工作。2012 年 Posiva 提出用過核燃料封裝廠與高放最終處置場的建照申請，並於 2015 拿到建照後開始建造工作。目前 Posiva 正在著手準備運轉執照的申請工作，規劃於 2020 年提出申請，並預計於 2020 年代前期開始執行最終處置作業，整體流程如圖 5 所示。

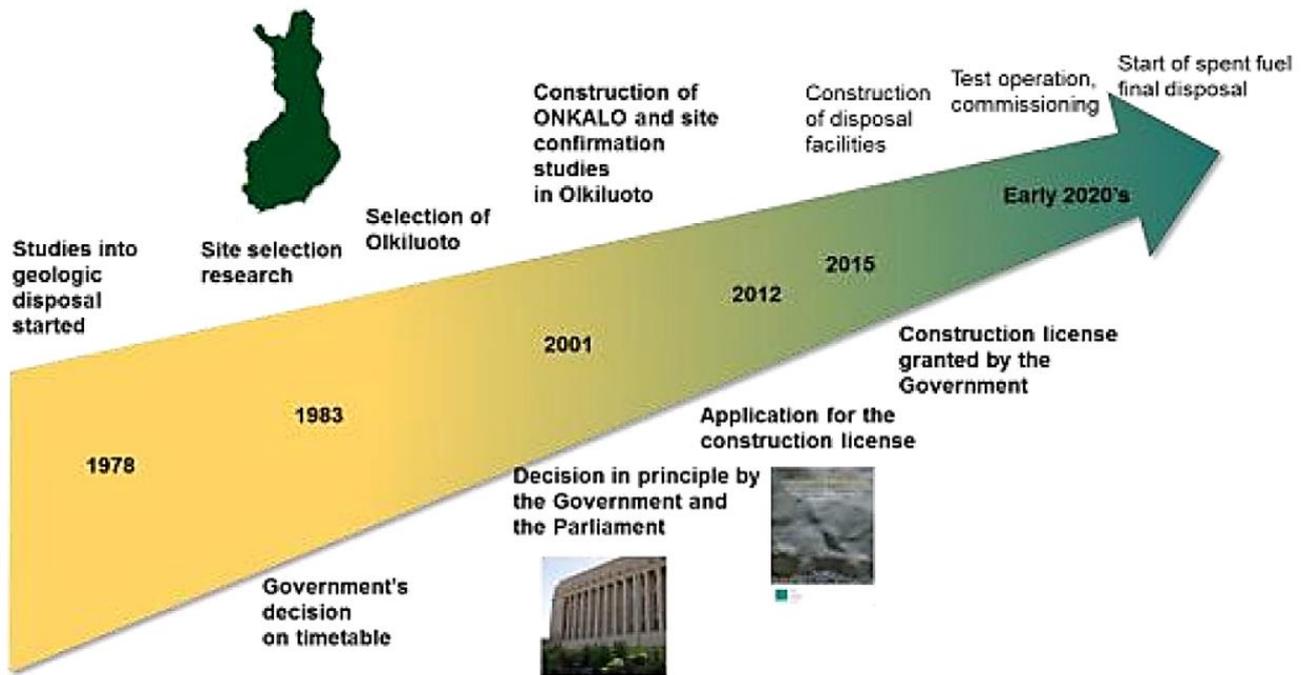


圖 5：芬蘭高放處置發展

另一方面，針對中、低放射性廢棄物的最終處置作業，兩間公司則獨立運作，各自於其電廠場址建置中、低放最終處置場。TVÖ 於 Olkiluoto 所建的中、低放處置場於 1992 年啟用，Fortum 於 Loviisa 所建的中、低放處置場則於 1999 年啟用，處置核電廠運轉所產的中、低放射性廢棄物。針對除役作業產生之中、低放射性廢棄物，Fortum 公司規劃將擴建 Loviisa 處置場容量，以容納除役廢棄物。其除役作業規劃中，針對如壓力槽及蒸氣產生器等大型組件，Fortum 公司規劃將不進行切除分割，而是將整個大型組件直接置入專屬處置坑道進行處置，以達到處置作業的最大經濟效益，此處置方式與其鄰國瑞典 SKB 公司相同，值得參考。Loviisa 處置場因應除役作業之擴建規劃如圖 6 所示。

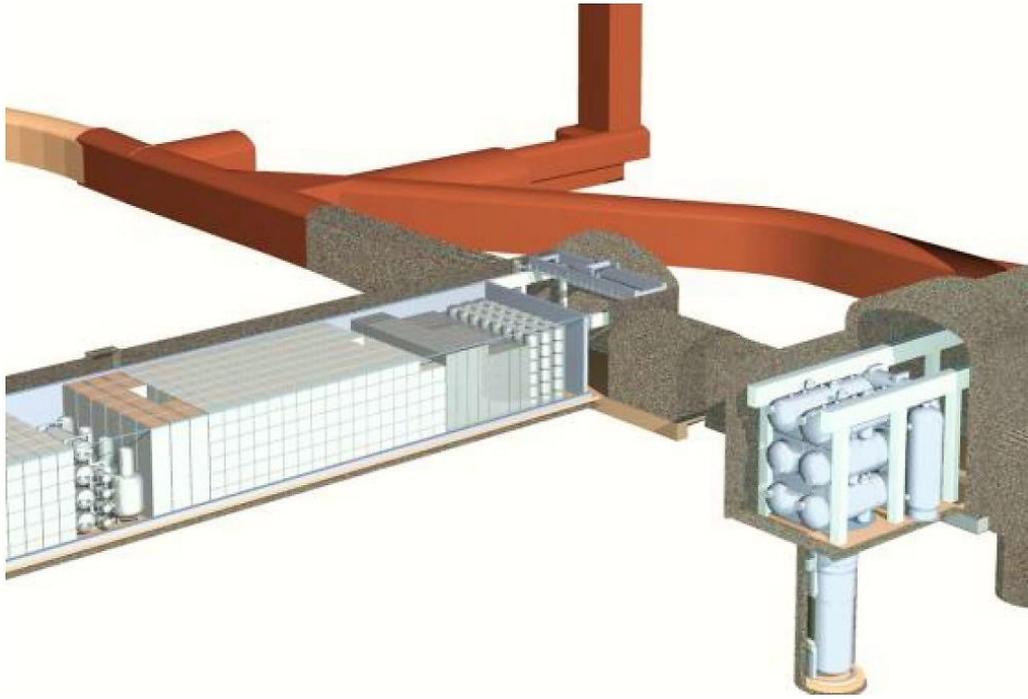


圖 6：芬蘭 Loviisa 中、低放處置場擴建規劃

(四) 「高放最終處置」

本項主題共有 34 篇論文發表如下：

1. Geochemical Modeling of Water-rock Interactions in Granitic Rocks, Eastern Taiwan (Y.T. Chang, ITRI, Taiwan)
2. Centrifuge Model Test to Gain Reliability of the Future Prediction in Terms of Long Term THM Processes in Deep Geological Repository (S.Nishimoto, CRIEPI, Japan)
3. Thermo-hydro-chemical Processes Influence on Buffer Material Degradation in High Level Radioactive Waste Disposal (W.S.Lin, S.Y. Liang and C.W. Liu, NTU & ITRI, Taiwan)
4. Coupled THMC Processes in Radionuclide Waste Management (G.T. Yeh and C.H.Tsai, NCU, Taiwan)
5. Overview of the NUMO Safety Case at Pre-siting Stage (T.Fujiyama, S.Suzuki, A.Deguchi and H.Umeki, NUMO, Japan)
6. Geosynthesis of a State-of-the-art Knowledge Base into SDMS in the NUMO Safety Case (K.Ota, H.Saegusa, T.Kunimaru and S.Yamada, NUMO, Japan)
7. Layout Design of Underground Facilities Tailored to SDM in the NUMO Safety Case (T.Goto, Y.Yamamoto, S.Suzuki and S.Kubota, NUMO, Japan)
8. Preliminary Study of Pre-closure Safety Assessment in the NUMO Safety Case (K.Yamashina, S.Suzuki and S.Kubota, NUMO, Japan)
9. Seismic Response of Canister in Buffer Material Under Water Invasion Condition by

- Centrifuge Modeling (W.Y. Hung, J.J. Xu, Y.C. Wu and M.H. Hsieh, NCU & INER, Taiwan)
10. Study on the Applicability of Cast Steel Overpack –Evaluation of Casting Defects and Corrosion Resistance Using Full-scale Prototype (Y.Ogawa, S.Suzuki, K.Yamashina and S.Kubota, NUMO, Japan)
 11. Structural Integrity Assessment of Disposal Package for Radioactive Waste Failure Assessments for Overpack Using Finite Element Analysis (M.Kawakubo and M.Kobayashi, RWMC, Japan)
 12. Stress Analysis for the Canister Under Earthquake Induced Fracture Shear Displacement considering Long-term Creep Effect of Copper Shell (Y.C.Wu, H.T.Lo and Y.R.Wang, INER, Taiwan)
 13. Preliminary Study of Post-closure Safety Assessment in the NUMO Safety Case (K.Ishida, T.Hamamoto, S.Shibutani, K.Fujisaki and M.Yamada, NUMO, Japan)
 14. Assessment of Sorption and Diffusion in the Rock Matrix in the NUMO Safety Case (T.Hamamoto, S.Shibutani, K.Ishida, K.Fujisaki, M.Yamada and Y.Tachi, NUMO & JAEA, Japan)
 15. How Will New Knowledge Be Reflected to the Management of Geological Disposal? -Influence of an FEP Not Considered So Far to Some Sub-scenarios (K.Shin, CRIEPI, Japan)
 16. Influence of inherent and Stress-induced Anisotropy of Hydraulic Conductivity on the Groundwater Flow Around a Rock Tunnel (H.K.Chu, P.S.Lai and J.J.Dong, NCU, Taiwan)
 17. Data Qualification Methodology in the Literature Survey Stage (S.Yamada, T.Kunimaru, K.Ota, S.Vomvoris and N.Giroud, NUMO & Nagra, Japan & Switzerland)
 18. Mizunami Underground Research Laboratory Project - Achievement During Phase I/II and Important Issues for Phase III (K.Hama, JAEA, Japan)
 19. Virtual Reality Geological Modeling for the Horonobe Underground Research Project (T.Motoshima, M.Nago and Y.Ijiri, TAISEI Corporation, Japan)
 20. Latest Rock Grouting Technologies Under Sea Water in Nordic Countries and Japan (M.Tsuji, M.Okihara, H.Nakashima, T.Sato and K.Aoyagi, Shimizu Corporation & JAEA, Japan)
 21. Strategic and Technical Aspects in RD&D Program Development for HLW Disposal System in Korea (J.H.Yoon, J.H.Lee and S.H.Kim, KORAD, Korea)
 22. Study on Gas Migration Behavior through Bentonite Buffer Material (T.Shimura, S.Takahashi, M.Nishimura, K.Koga and H.Owada, Obayashi Corporation & RWMC, Japan)
 23. Migration Experiment of Void Air in Buffer Material During Seepage (N.Takamoto, I.Kobayashi, M.Kawakubo, M.Imai and T.shii, RWMC & Kajima Corporation, Japan)
 24. Study on Piping and Erosion of Buffer Material During the Re-saturation Period (T.Abe,

- I.Kobayashi, M.Kawakubo, M.Imai and T.Ishii, RWMC & Kajima Corporation, Japan)
25. Numerical Analysis of Inflow Control for Quality Management of Buffer Material Using Discrete Fracture Network Model (K.Masumoto, M.Nakajima, H.Nonaka, T.Ishii, M.Jo, M.Imai and H.Atsumi, RWMC & Kajima Corporation, Japan)
 26. Development of Wireless Monitoring Systems for Geological Disposal (K.Tsubono, M.Kobayashi, H.Yamakawa, A.Hasui, K.Masumoto, T.Matsushita, N.Sugahara, T.Tanaka and C.Nagai, RWMC, Kajima Corporation, Sakata Denki Co. Ltd. & Obayashi Corporation, Japan)
 27. Feasibility Study of Ventilation Design for Underground Facilities (N.Katsumata, R.Yahagi, H.Kurosaki and S.Kubota, NUMO & Shimizu Corporation, Japan)
 28. Establishment and Application of Control Room Habitability Methodology for Maanshan Nuclear Power Plant (K.C.Yang, J.R.Wang, H.C.Chen, S.W.Chen, C. Shih and W.S.Hsu, NTHU, Taiwan)
 29. Sulfide Corrosion by Sulphate-Reducing Bacteria in MX-80 Bentonites (S.W.Lee and C.T.Chang, INER, Taiwan)
 30. Adsorption of Uranium(VI) on the MX-80 Bentonite (Y.C. Lin, Sinotech Ltd., Taiwan)
 31. Am(III)/Nd(III) Interactions with Borate: Experimental Investigations of Nd(OH)₃ (micro cr) Solubility in NaCl Solutions in Equilibrium with BORAX (Y.Xiong, L.Kirkes, C.Marrs and J.Knox, SNL, U.S.)
 32. Microbial DNA; A Brand-new Tracer of Groundwater Flow (A.Sugiyama, K.Kato, K.Nagaosa, T.Ibara, K.Takenobu and A.Marui, Asano Taiseikiso Ltd., Shizuoka University & AIST, Japan)
 33. Seismic Analysis for the Deposition Tunnel in Fractured Rock by 3DEC (M.H.Hsieh and Y.C.Wu, INER, Taiwan)
 34. Groundwater Flow Analysis for Evaluating Factors on Water Inflow to the Facility During the Operation Period (M.Imai, M.Emori, T.Ishii, M.Kawakubo, K.Tsubono, M.Yamaura, T.Maemura and E.Sugimoto, RWMC & Dia Consultants Ltd., Japan)

第 19 篇論文主題為應用虛擬實境(Virtual Reality)技術建置地下處置設施之地質模型，本項技術由日本大成建設公司與 JAEA 合作研發。為發展高放深地層處置相關技術，JAEA 在日本北海道北部幌延町建立了幌延地下研究實驗室(Underground Research Laboratory, URL)。幌延町區域自地表到地下 250 公尺間的主要岩層為矽藻泥岩(diatomaceous mudstone)，而深度超過 250 公尺後的主要岩層則為矽質泥岩(siliceous mudstone)。該地下實驗室整體規劃如圖 7 所示，總深度達地下 500 公尺，垂直方向規劃建有三條豎井，水平方向則規劃分別於深度

140 公尺與 250 公尺建設小規模實驗坑道，以及於深度 350 公尺與 500 公尺建設大規模實驗坑道。

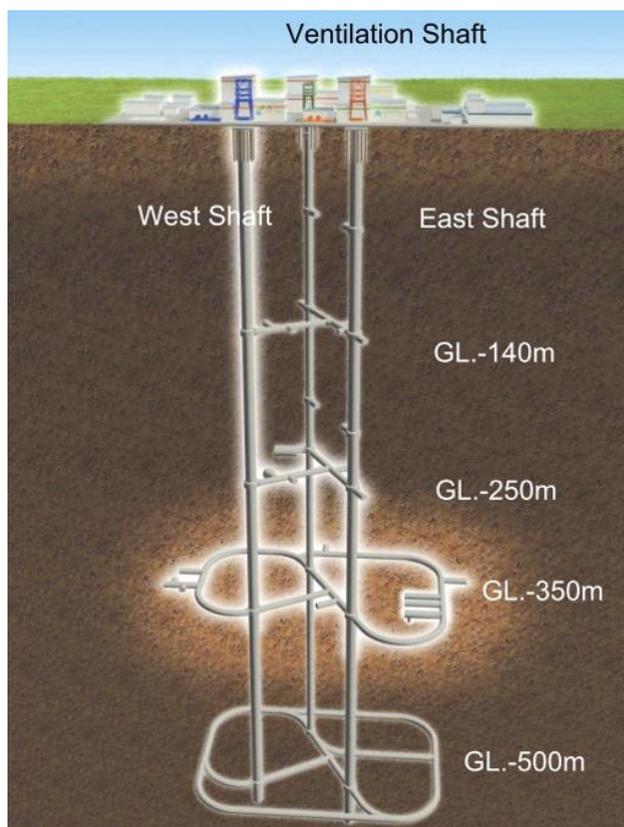


圖 7：日本 JAEA 幌延地下實驗室整體規劃

幌延地下實驗室自 2005 年開始建造，目前東側豎井與通風豎井開挖深度已達 380 公尺，西側豎井則為 365 公尺；水平方向的實驗坑道則除了深度 500 公尺的實驗坑道以外皆已完工。坑道開挖過程中會執行現場調查作業，將調查作業所得到的地質調查資料、照片以及 3D 雷射掃描數據整併後應用 VR 技術所建置之地下實驗室地質模型則如圖 8 所示。其中值得注意的是其所應用的 3D 雷射掃描技術，其原理係於坑道開挖完成後，於現場架設 3D 雷射掃描儀，針對坑道現場的岩壁進行掃描以記錄其岩壁如凹凸、裂隙等物理狀態，可用於判斷開挖後的岩層擾動狀態與潛在地下水流徑，作為後續工程障壁進行施工時的參考資料，其掃描成果如圖 9 所示。其雷射掃描點的數量越多，所記錄的岩壁狀態越精細，會議中主講人表示，現階段本項技術可於 16.65 公尺乘上 3 公尺的空間中產生約 57 萬個掃描點，其精確度仍有待提升，未來本項技術的研發目標為於前述空間中的掃描點提升至 5700 萬個，大幅提升其掃描資料的精確度，並預計將精進後的技術應用於下階段的開挖坑道中。



圖 8：幌延地下實驗室 VR 地質模型

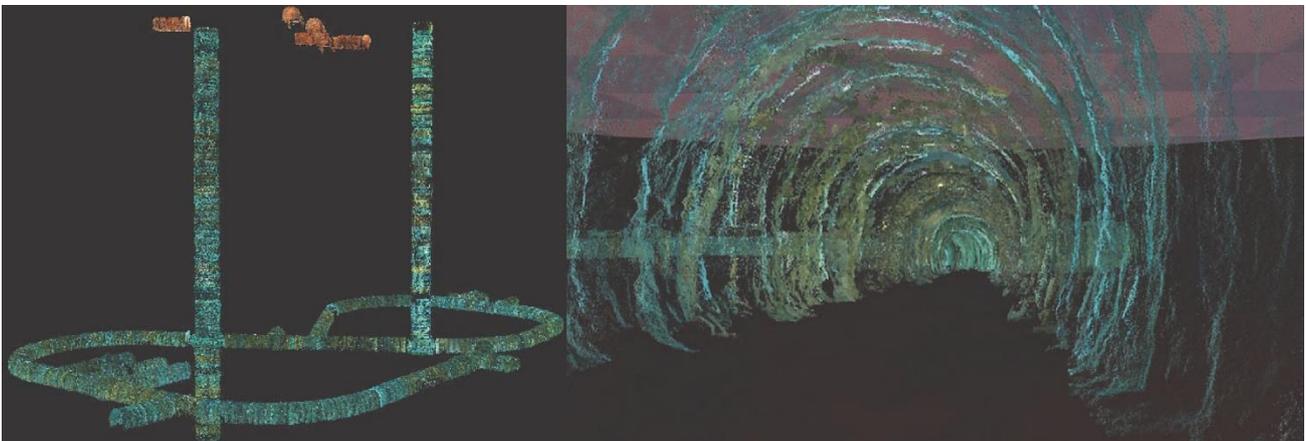


圖 9：幌延地下實驗室雷射掃描數據建置之地質模型

(五) 「中、低放最終處置」

本項主題共有 5 篇論文發表如下：

1. Conceptual Study on Disposal Facility for Waste from Decommissioning of NPPs (N.Kawahata, R.Hojo, T.Hamanaka and T.Kozawa, JNFL, Japan)
2. An Integrated Framework for Simulating Radionuclide Decay Transport of Low-level Radioactive Waste with Tunnel Disposal in Nearshore Environment (C.C. Lu, M.H.Li and Y.R.Chen, NCU, Taiwan)

3. Sensitivity Analysis of Simulating Radionuclide Decay Transport of Low-level Radioactive Waste in Nearshore Environment (Y.R.Chen, C.C.Lu and M.H. Li, NCU, Taiwan)
4. Barrier of Near-surface LILW Disposal Facility in Korea: Hydraulic Model Development (M.J.Kwon, K.J.Kwon and J.B.Park, KORAD, Korea)
5. Numerical Simulation of the Thermal Performance of a Dry Storage Cask for Spent Nuclear Fuel (C.M.Lai, R.H.Chen, C.T.Liao, T.Y.Wang and H.Y.Chang, NCKU, NCYU & NKU, Taiwan)

第 4 篇論文由韓國 KORAD 發表，介紹其中、低放處置場第二階段處置設施封閉後的工程障壁設計及其初步安全功能評估。韓國中、低放處置場位於慶州月城，由 KORAD 營運，其處置設施分階段進行設計建造，2015 年第一階段的淺地層筒倉(Silo)處置設施正式啟用，處置容量約為 10 萬桶 55 加侖桶，目前 KORAD 正在進行第二階段的近地表窖型(Vault)處置設施的建造執照與運轉執照的申請工作，其處置容量規劃為 12.5 萬桶 55 加侖桶，預計可於 2019 年底完工，其處置場配置如圖 10 所示。第二階段處置設施封閉後的工程障壁設計如圖 11 所示，封閉後處置窖窖體外還有許多層工程障壁，每層傾斜度皆須大於 3%，主要功能為防止降雨滲透至處置設施內部後將核種攜出。其工程障壁依其功能由外至內依序可分為四類：

- (1) 表層(Surface Layer):主要成份為粉沙土(Silty Sand)，厚度約 2 公尺，主要功能係將地表逕流導引出處置窖所在區域、抵抗外界環境侵蝕以及強化蒸散效率；
- (2) 保護層(Protective Layer):主要成份為豆礫石(Pea Gravel)與礫石沙(Gravelly Sand)，厚度約 1 公尺，主要功能係進一步保護內層工程障壁不受氣候、動植物入侵等外界因素破壞其安全功能；
- (3) 排水層(Drainage Layer):主要成份為沙(Sand)，單層厚度約 0.3 公尺，主要功能係將滲水導引出處置窖所在區域，避免滲水接觸到窖體；
- (4) 屏蔽層(Barrier Layer):主要成份為黏土(Clay)，單層厚度約 0.8 公尺，主要功能係降低滲水的滲透速率，其滲水遲滯功能須低於每年 3.2 公分滲透距離。排水層與屏蔽層規劃各安裝兩層，互相交錯安裝，如圖 11 所示。

整體工程障壁厚度約為 5.5 公尺，其滲水遲滯功能須低於每年 3.2 公分滲透距離，目前 KORAD 使用自行開發的水力傳輸分析程式 FEFLOW 針對上述工程障壁進行二維模擬分析，分析結果顯示可達到上述安全功能需求，未來 KORAD 將進一步進行三維模擬分析，以取得更

可靠的安全分析結果。

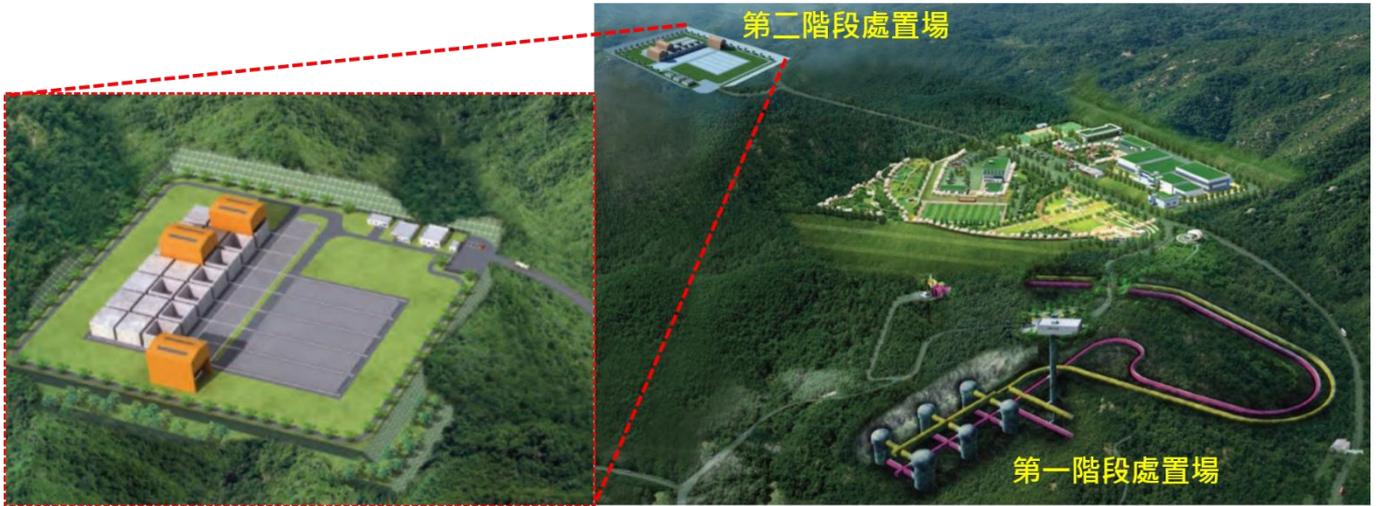


圖 10：韓國慶州月城中低放處置場配置

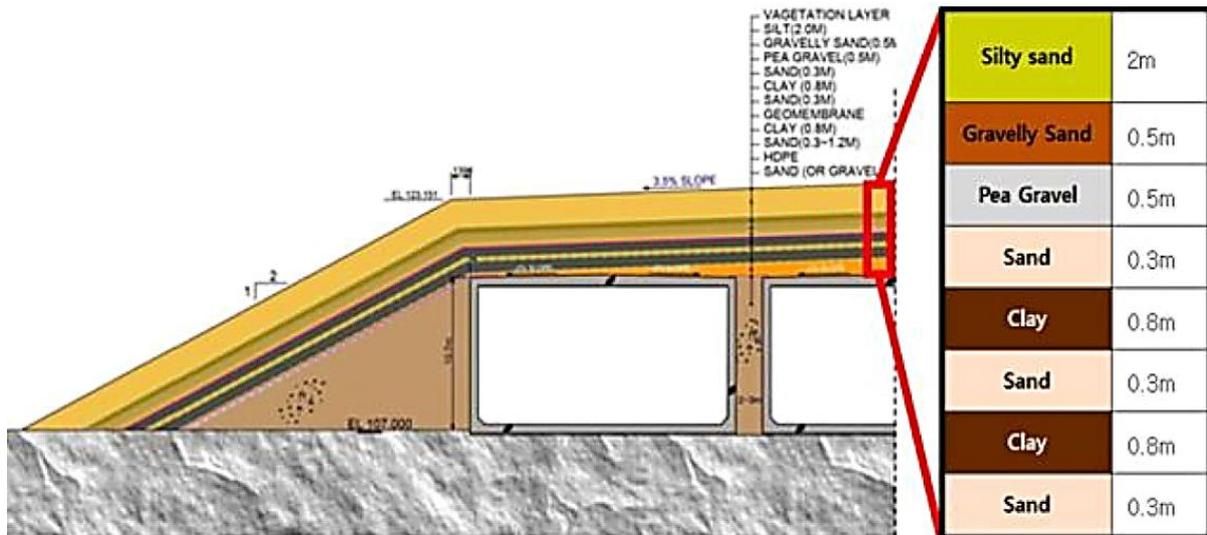


圖 11：韓國第二階段中低放處置設施封閉後之工程障壁結構

二、 會議參訪行程

會議第三天為大會安排的技術參訪行程，參訪位於神戶的「人與未來防災中心」與位於淡路島的「北淡震災紀念公園」。這兩個設施主要介紹 1995 年 1 月 17 日發生的阪神大地震，該地震規模為日本氣象廳規模 7.3，為 1923 年日本關東大地震後規模最大的都市直下型地震(震源位於都市地區地下的地震)，造成 6,434 人死亡、43,792 人受傷，經濟損失近 10 兆日元。阪神大地震在日本地震史上有指標性的意義，其極其嚴重的災情直接引起了後續日本對於地震科學、建築防震的重視，因此日本政府針對阪神大地震建立了相關紀念設施，本次參訪的兩個設施即係於此情況下建立，以下摘述本次參訪經驗：

(1) 人與未來防災中心：

位於神戶市區，設施內存有許多寶貴的影像資料記錄下阪神大地震發生的當下情境，同時有地震體驗設備讓遊客對地震有切身的體驗。除此之外，設施內也備有相關設備與專業解說人力讓遊客學習地震相關知識以及防災技巧，本次參訪也有現場解說員為我們說明阪神大地震規模(如圖 12)與地震科學相關實驗(如圖 13)，使我們對於地震科學與防災概念有進一步的了解。



圖 12:現場解說員說明地震規模



圖 13:現場解說員說明各種地震科學實驗

(2) 北淡震災紀念公園:

本設施位於淡路島小倉地區，於 1998 年成立，除了同樣存有阪神大地震當時震災相關的影片資料外，這裡保留了當時因阪神大地震所造成的長約 10 公里的「野島斷層」現場，從各個角度對斷層進行展示解說，讓人們對斷層結構能夠有充分的了解，並進一步教育人們對地震的防災意識。設施內最大的區域為野島斷層保存區，可供遊客近距離觀察斷層的剖面，如圖 14 所示。除此之外，設施內的震災體驗館也設有地震體驗室及影音室，可供遊客體驗阪神大地震高達 7 級的強震震度以及觀賞相關紀念影像，如圖 15 所示。



圖 14:野島斷層剖面



圖 15 震災體驗館

肆、心得及建議

- 一、核電廠除役作業中，放射性廢棄物的除污與減容為其重要的一環，為增進除役作業效率各國致力於開發新技術，如日本所研發用於金屬之高頻率電磁感應爐減容除污技術，以及韓國所研發用於放射性廢水之浮游藻類微生物除污技術。這些新技術為放射性廢棄物除污減容作業帶來新的可能性，目前雖尚未發展至商用階段，仍值得我們借鏡學習，並持續追蹤新技術的發展狀況。
- 二、本次芬蘭Fortum公司介紹芬蘭放射性廢棄物營運現況，其中除役作業規劃中針對如壓力槽及蒸氣產生器等大型組件，Fortum公司規劃將不進行切除分割，而是將整個大型組件直接置入專屬處置坑道進行處置，以提升處置作業經濟效益。此處置方式與其鄰國瑞典SKB公司相同，值得我方參考。
- 三、針對地下處置設施，日本研發應用VR技術建置地下處置設施之地質模型，其中所使用的3D雷射掃描技術，針對坑道現場的岩壁進行雷射掃描以記錄其岩壁如凹凸、裂隙等物理狀態，可用於判斷開挖後的岩層擾動狀態與潛在地下水流徑，有助於後續工程障壁施工規劃。鑒於我國高低放處置皆採地層處置，本項技術雖仍處於研發階段，但其成果有助於相關處置計畫推展，其後續發展狀況值得持續追蹤。
- 四、「東亞放射性廢棄物管理論壇」會議係由我國核研所聯合日、韓、美核能技術相關單位所發起，針對核能後端營運技術進行交流與討論，以促進各國相關技術發展。本次為第六屆會議，參與國家持續增加，瑞典及芬蘭亦有專家學者出席本次會議，顯示本會議益受國際上放射性廢棄物營運專業人員之肯定。本次參加會議，得以與各國放射性廢棄物處理領域之專家人士進行直接溝通與技術經驗交流，獲得許多實質收穫，有助於未來我國相關計畫之推展，故建議繼續派員參與本會議。