

出國報告(出國類別：國際會議及考察)

赴日參加第二屆東亞放射性廢棄物管理
理論壇會議以及參訪日本六個所村與
東濃地科中心瑞浪超深地層研究所

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

姓名職稱：施建樑 簡任研究員

莊文壽 簡任副研究員

施清芳 薦任副研究員

李柏蒼 薦任副研究員

陳又平 薦任副研究員

派赴國家：日本

出國期間：97年10月19日至97年10月24日

報告日期：97年11月24日

摘要

此次本所赴日本公差之人員計有乾式貯存計畫副主持人施建樑、化工組組長莊文壽、乾式貯存計畫李柏蒼、化工組施清芳與陳又平等 5 員，主要任務包括：(一)參加在東京舉行之第二屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議(The 2nd Conference of East Asia Forum on Radwaste Management)並宣讀論文；(二)參訪位於岐阜縣之東濃地科中心瑞浪超深地層研究所；(三)參訪位於青森縣東北方之六個所村(Rokkasho-Mura)。

其中參加第二屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議，共發表與宣讀「The Experience of Clearance Practice in INER」等 5 篇論文，提供核研所清潔外釋、廢棄物處理與處置安全評估技術及乾式貯存計畫執行現況等具體經驗，並與會議中之其他國家如日本、韓國與美國等專家學者進行討論與交流，同時蒐集相關資訊與深入瞭解各國廢棄物管理技術現況。此外，於參訪瑞浪超深地層研究所與六個所村核能源區低放處置中心行程，藉實際觀摩，瞭解該設施之運作、管理與管制作業，對於用過核子燃料最終處置鑽探與潛在處置母岩調查，以及低放射性廢棄物處置場之營運有更深一層體認，且可提供本所未來進行放射性廢棄物管理與處理等相關議題研究規劃時之參考與借鏡。

目 次

	(頁碼)
一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	43
四、建 議 事 項	44
五、附 錄	45

一、目的

「東亞放射性廢棄物管理論壇會議」乃為促進東亞各國之核能合作與技術交流的重要管道之一，每兩年輪流由中、日、韓等三國主辦，針對放射性廢棄物處理與處置相關議題進行深入探討。2006年由原子能委員會核能研究所發起並於國內主辦第一屆，本次研討會為第二屆，由日本原子力環境整備促進與資金管理中心(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC)主辦，於2008年10月20-21日兩天假東京 Toranomon Pastoral 旅館舉行，我國、日本、韓國、大陸、德國與美國等約111位放射性廢棄物處理與處置相關領域專家學者參與，共發表61篇論文，內容包括放射性廢棄物處置技術、放射性廢棄物除污與處理技術、最終處置場場址特性與實驗評估技術、用過核燃料管理、公共關係與國際合作、放射性廢棄物處置效能與安全評估等主題。參加此研討會的主要目的係和各國與會人員提出彼此關心的專題報告並交換彼此心得與意見。

此外，參訪瑞浪超深地層研究所與六個所村核能源區低放處置中心行程，藉實際觀摩，瞭解該設施之運作、管理與管制作業情形，對於用過核子燃料最終處置鑽探與潛在處置母岩調查，以及低放射性廢棄物處置場之營運有更深一層體認，以提供本所未來進行放射性廢棄物管理與處理等相關研究議題規劃時之參考與借鏡。

二、過 程

(一) 行程及工作摘要

本次公差期間為 97 年 10 月 19 日至 10 月 24 日共計 6 天，任務包括參加第二屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議並發表論文、參訪位於岐阜縣之東濃地科中心瑞浪超深地層研究所與位於青森縣東北方之六個所村核能源區低放處置中心，並隨機進行相關技術之交流與推廣，行程及工作內容詳如下表所示。

行		程		公差地點	工作內容
日期	星期	出發	抵達	地名	
10/19	日	台北	東京	東京	去程
10/20-21	一、二	-	-	東京	參加第二屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議
10/22	三			東京	參訪瑞浪超深地層研究所
10/23	四			東京	參訪六個所村核能源區低放處置中心
10/24	五	東京	台北		返程

(二) 參加第二屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議並發表論文

「東亞放射性廢棄物管理論壇會議」乃為促進東亞各國之核能合作與技術交流所定期舉辦之會議，每兩年舉行一次，由中、日、韓三國依序輪流主辦，主要是針對放射性廢棄物處理與處置相關議題進行深入探討。2006年由原子能委員會核能研究所發起，並於11月27-28日在國內主辦第一屆，今年為第二屆會議，由日本原子力環境整備促進與資金管理中心(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC)主辦，於10月20-21日兩天假東京 Toranomon Pastoral 旅館五樓之會議廳舉行，我國、日本、韓國、大陸、德國與美國等共111人與會，共發表61篇論文。主題涵蓋放射性廢棄物處置技術、放射性廢棄物除污與處理技術、最終處置場場址特性與實驗評估技術、用過核燃料管理、公共關係與國際合作、放射性廢棄物處置效能與安全評估等。

研討會於10月20日10:00揭開序幕，首先由大會主席-日本放射性廢棄物管理基金與研究中心理事長井上毅先生(Mr. Takeshi Inoue)致歡迎詞，續由本所化工組莊文壽組長致詞介紹東亞放射性廢棄物管理論壇籌組歷程與活動情形，緊接著在 Plenary Session 1 邀請在東亞地區的四位特別來賓做專題演講，演講者與題目分別為大陸中國核電工程公司副總經理范仲先生“Radioactive Waste Management and Practices in China”，韓國水力與核電公司資深副總經理 Kee Cheol Park “Radioactive Waste Management in KOREA”，日本電力工業中央研究所地球工學研究所所長 Motoi Kawanishi “Current Status of R&D for Radioactive Waste Management in JAPAN”，我國物管局局長黃慶村“Strategy and Current Status of Radioactive Wastes of FCMA”。Plenary Session 2 則邀請在東亞地區外的兩位特別來賓進行專題演講，演講者與題目分別為德國 DBE TECHNOLOGY GmbH 的 Enrique Adolfo Biurrun “Deep Geological Repository Development in Germany From Research Facilities to Industrial Operation”，美國 Sandia National Laboratories 的 Andrew Orrell “Considerations for the Next Half-Century of Nuclear Waste Management”。上午的議程至此告一段落，下午則依不同之主題分三個場地分別進行其相關論文宣讀，包含 A 場次的最終處置技術、B 場次的處理與除役及除污技術、C 場次的處置技術與場址特性及實驗評估技術。

Technical Session 1A 場次主要發表最終處置技術相關技術之論文(Waste Disposal

Technologies;Disposal Technology) ， 包含的題目有：

- (1) Feasibility Study on the Enlargement of an existing Surface Repository for LILW and conceptual design for a VLLW module (Bernt Haverkamp, DBE TECHNOLOGY GmbH)
- (2) Design of Low Radioactive Waste Concrete Container (Chao-Lung Hwang, National Taiwan University of Science and Technology)
- (3) Manufacturing of high-durability TRU waste package made of High-Strength and Ultra Low-Permeability concrete (Hiroshi NAKANISHI, RWMC)
- (4) The Present State of Demonstration Test of Cavern Type Disposal Facility (K. Onuma, RWMC)
- (5) Predicting Chloride Penetration Profile of Concrete Barrier in Low-Level Radwaste Disposal (Yu-Kuan Cheng, National Central University)

Technical Session 2A 場次繼續發表最終處置技術相關技術之論文(Waste Disposal Technologies;Disposal Technology) ， 包含的題目有：

- (1) Numerical Analysis on the Long-Term Performance of Engineered Barrier System of TRU Waste Repository (Susumu KUROSAWA, RWMC)
- (2) Chemical Property of GMZ Sodium Bentonite (WEN Zhijian, BRIUG)
- (3) Suction Controlled Saturation Processes of Engineered Clay Barriers (Wei-Hsing Huang, National Central University)
- (4) Modeling Swelling Characteristics Of Compacted Bentonite Affected By Salinity And Initial Water Content (Yukihisa Tanaka, CRIEPI)

Technical Session 1B 場次主要發表放射性廢棄物處理與除役、除污相關技術之論文(Waste Treatment, Decommissioning & Decontamination) ， 包含的題目有：

- (1) Progress on Radioactive Waste Management in China (Zhang Wei,Zhao Hua Song,Li Ting-Jun, Chemical Engineering Division,China Nuclear Power Engineering Co. Ltd.)
- (2) MANAGEMENT OF RADIOACTIVE WASTES AT KAERI (Dae-Seok Hong,Young –Yong Ji,II-Sik Kang,Tae-Kuk KIm, Korea Atomic Energy Research Institute)
- (3) PERFORMANCE-BASED SAFETY ANALYSES OF LIQUID RADWASTE SYSTEMS FOR THREE NUCLEAR POWER PLANTS IN TPC (Tsu-Jen

Lin, Maw-Sherng Ni, Chih-Hang Chen, Nuclear Science and Technology Association)

- (4) Overview of Decommissioning and Dismantling of Nuclear Research Reactors at Former German National Nuclear Research Centers (Michael G. Weigl, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Projektträgerforschungszentrum Karlsruhe)
- (5) The Experience of Clearance Practice in INER (Chien-Liang Shih, Jeng-Jong Wang, Jyi-Lan Wu, Ing-Jane Chen, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Executive Yuan)

韓國與中國大陸分別發表其國內放射性廢棄物管理進展現況，德國發表研究用核反應器之除役與拆除經驗，我國核能科技協進會之林子仁先生發表利用程式進行國內三座核電廠廢水系統之安全分析，本所乾貯計畫副計畫主持人施建樑則是發表本所執行解除管制之經驗。本場次發表的論文均為各國廢棄物管理或除役之實務經驗，極具參考之價值，藉由觀摩實際廢棄物管理程序之運作與程序操作中所面臨問題之解決技巧，對未來本所處理類似議題時，可提供最佳之切入點與借鏡。

Technical Session 2B 場次延續同樣是放射性廢棄物處理與除役、除污相關技術論文之發表(Waste Treatment, Decommissioning & Decontamination)，包含的題目有：

- (1) Preparation of Yp(Ce)/TiO₂ Composite Photocatalyst and Its Application For Radioactive Cationic Exchange Resin Treatment (Yih-Ping Chen, Chih-Ching, Chang, Ching -Tsuen Huang, Institute of Nuclear Energy Research)
- (2) OPERATION OF A SOLAR EVAPORATION FACILITY FOR A TREATMENT OF VERY LOW LEVEL LIQUID WASTE AT KAERI (Tae-Kuk Kim, Dae-Seok Hong, Young-Yong Ji, Korea Atomic Energy Research Institute)
- (3) Immobilization of Iodine-129 Using AgI vitrification technique for the TRU waste Disposal in Japan (Tomofumi Sakuragi, T. Yamaguchi, Nasu, H. Asano, EBS Technology Research Project, Radioactive Waste Management Funding and Research Center)

在本場次發表的論文中，韓國講述利用太陽能處理極低放射性液體廢棄物之技術，日本發表利用碘化銀玻璃固化技術使在 TRU 廢棄物中的碘-129 安定化，本所公差人陳又平則是發表利用輻射致效光觸媒以處理有機放射性廢棄物(如廢樹脂)之技術。此場次發表的論文較偏重於目前新研發之放射性廢棄物處理技術，實用性仍待進

一步的驗證。

Technical Session 1C 場次主要發表放射性廢棄物處置、廠址特性與實驗評估技術 (Waste Disposal Technologies; Site Characterization and Experimental Evaluation Technology)之相關論文，包含的題目有：

- (1) Site Selection for Disposal of Low Level Radioactive Waste (H. S. Tsai¹, Yenog-Chang Peng¹, Chen-San Kung², Chi-Ming Chen², ¹Nuclear Backend Management Dept. Taiwan Power Company, ²Hydraulic and Ocean Engineering Dept. Sinotech Engineering Consultants, Ltd)
- (2) The Application of Topographic Evolution Model to Low-Level Radioactive Waste Disposal Facility In Japan (Mitsuaki Haruna, Tai Sasaki, JNFL)
- (3) Addressing tectonic issues for siting a HLW repository in Japan (Junichi Goto, Akihisa Koike, Hiroyuki Tsuchi, NUMO)
- (4) Evaluation of potentially suitable host rocks for radioactive waste disposal in Germany (V. Bräuer, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
- (5) Effects of earthquakes and faulting on the deep geological environment in Japan based on case studies (Masakazu NIWA, Tsuneari Ishimaru, Hideki Kurosawa, Tono Geoscientific Research Unit, Geological Isolation Research and Development Directorate, JAEA)

Technical Session 2C 場次繼續發表放射性廢棄物處置、廠址特性與實驗評估技術 (Waste Disposal Technologies; Site Characterization and Experimental Evaluation Technology)之相關論文，包含的題目有：

- (1) Development of Site Characterization Technologies for Crystalline Rocks at MIU: 1. Surface-based Investigation Phase (Katsuhiro Hama, Masahiro Uchida, Tono Geoscientific Research Unit, JAEA)
- (2) Development of Site Characterization Technologies for Crystalline Rocks at MIU: 2. Construction Phase (Takuya Ohyama, Hiromitsu Saegusa, Ryuji Takeuchi, Shinji Takeuchi, JAEA)
- (3) Rock stress evaluation in strongly anisotropic soft rock (Koichi Shin, Kenzo Kiho, Nuclear Fuel Cycle Backend Research Center, CRIEPI)
- (4) Assessment and Prediction of Earthquake Ground Motion in Deep Underground of Japan (Taishi Oouchi, Hiroyuki Tsuchi, Mitsugu Mashimo,

Toru Sasaki, NUMO)

研討會第一天議程於 18:00 結束。之後，大會安排自助餐會，各國與會人員藉此機會互相交流，交換彼此意見與經驗，並延續會議中討論之議題作進一步溝通。

研討會第二天(10 月 21 日)的議程自 9:00 開始，依不同之主題分兩個場地分別進行其相關論文宣讀，上午的議程包含 3A 場次的處置技術(三)、3B 場次的處置與其他技術、4A 場次的最終處置之安全評估技術(一)、4B 場次的用過核子燃料管理技術，下午的議題則包含 5A 場次的最終處置之安全評估技術(二)及 5B 場次的社會溝通技術與策略。

Technical Session 3A 場次繼續發表最終處置技術相關技術之論文(Waste Disposal Technologies; Disposal Technology)，包含的題目有：

- (1) The dry run of repository designs and performance assessments for High Level Radioactive Wastes (Minoru Inamura, Hideaki Hyodo¹, Hiroshi Kurikam¹, Yoshimasa Arai², Hiroshi Shiratuchi², Toshihiro Korama², Hiroyasu Takase³,
¹NUMO, ²Tokyo Electric Power Service Co., Ltd., ³Quintessa Hapan Co., Ltd.)
- (2) Optimization of Emplacement Technology for Spent Fuel assemblies (Wilhelm Bollingerfehr, DBE TECHNOLOGY GmbH)
- (3) Demonstration Tests for Direct Disposal of Spent Fuel Assemblies (Wilhelm Bollingerfehr, DBE TECHNOLOGY GmbH)
- (4) Performance Assessment Studies on Different Repository Concepts in Germany (D. Buhmann, J. Mönig, T. Rothfuchs, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH, Repository Safety Research Division)

Technical Session 4A 場次主要在發表最終處置之功能與安全評估技術之論文(Waste Disposal Technologies; Safety Assessment and Post-Closure Performance Assessment Technology)，包含的題目有：

- (1) Development of safety cases for the wolsong lilw disposal center (Jin-Beak Park, Jeong-Hyun Yoon, Joo-Wan Park and Chang-Lak Kim, Nuclear Engineering & Technology Institute, Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.)
- (2) Development of performance assessment methodologies to evaluate differences among repository design options (Keiichiro Wakasugi¹, Katsuhiko Ishiguro¹, Kazumi Kitayama¹, Hiroyasu Takase², Toshihide Noguchi², Atsushi Shizawa², Koji Hane³,

¹Nuclear Waste Management Organization of Japan, ²Quintessa Japan, ³Kajima Corporation)

- (3) Technology development for the preliminary performance and safety assessment of spent nuclear fuel final disposal for granitic host rock, 2005-2007 (David Ching-Fang Shih, Chin-Lung Chen, Ming-Chuan Kuo, Chen-Chang Lee, Chih-Ming Ma, Cheng-Yi Chen, Po-Lin Wu, Ching-Chang Chang, Cong-Zhang Tong, Institute of Nuclear Energy Research)
- (4) Fundamental research on geochemical aspects of nuclear waste disposal: R&D at the Institute for Nuclear Waste Disposal (INE) at the Research Center Karlsruhe, Germany (Bernhard Kienzler, Horst Geckeis Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Nukleare Entsorgung (INE))
- (5) Long-term performance of the proposed Yucca Mountain repository, USA (Peter Swift, Kathryn Knowles, Sandia National Laboratories, Department of Energy Office of Civilian Radioactive Waste Management Lead Laboratory for Repository Systems)

其中本所與美國 Sandia Lab. 是發表與高放射性廢棄物最終處置有關之功能與安全評估之論文，韓國、日本與德國分別發表與中低放射性廢棄物、設計概念與地化有關之處置功能評估論文。雖然我國尚未有高放射性廢棄物最終處置場場址，用的是虛擬場址，但展現自 2001 開始之處置場全系統評估程序卻是其他國家所沒有發表的。建議本所在未來應加強處置功能性的評估能力與技術發展。

Technical Session 5A 場次繼續發表最終處置之功能與安全評估技術之論文(Waste Disposal Technologies; Safety Assessment and Post-Closure Performance Assessment Technology)，包含的題目有：

- (1) Evaluation of the Flow and Transport of Granite using a 3-D Discrete Fracture Network Model (Wen-Shou Chuang, Chen-Chang Lee, Cong-Zhang Tong, Fu-Lin Chang, INER)
- (2) Systematic Approach For Scenario Development Based On Res Amd Pid Methods (Y. Hwang, Chul-Hyung Kang, Korea Atomic Energy Research Institute)
- (3) Dose evaluation of radon from high-level radioactive waste disposal facility (Yuji Yoshizawa, Natsuko Higuchi, Mitsuo Takeuchi, NUMO)
- (4) Hyperalkaline Natural Analogue Potential in the Philippines (W.R. Alexander¹,

I.G. McKinley², C.A.Arcilla³, Y.Takahashi⁴, H. Kawamura⁵, M.Yamakawa⁶, K. Aoki⁶, ¹Bedrock Geoscience, Switzerland, ²MCM consulting, Switzerland, ³University of the Philippines, Philippines, ⁴NUMO, Japan, ⁵Obayashi Corporation, Japan, ⁶RWMC)

- (5) Study on Perturbation Scenario for Uplift and Denudation in Performance Assessment of a HLW Disposal System (Makoto Kawamura¹, Ken-ichi Yasue², Tadafumi Niizato³, Tetsuya Tokiwa³, Takeshi Ebashi¹, Takao Ohi¹, Hitoshi Makino⁴, Tsuneari Ishimaru², Koji Umeda³, Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency, ¹Geological Isolation Unit, ²Tono Geoscientific Research Unit, ³Horonobe Underground Research Unit, ⁴Research and Development Integration Unit)

Technical Session 3B 場次主要在發表廢棄物處置技術與其他相關技術之論文 (Waste Disposal Technologies; Other Technologies) , 包含的題目有 :

- (1) IAEA Networking in Radioactive Waste Management (Lumir Nachmilner, IAEA)
- (2) International cooperation – an important component of German R&D on HLW disposal (W. Steining, Project Management Agency Forschungszentrum Karlsruhe)
- (3) Submittal of a License Application for the Proposed Yucca Mountain Repository for Spent Nuclear Fuel and High-level Radioactive Waste, USA (Andrew Orrell, SNL)

Technical Session 4B 場次主要在發表用過核燃料管理技術(傳輸、貯存等)之論文 (Spent Fuel Management such as Transportation, /storage, and so on) , 包含的題目有 :

- (1) Information Management System for Spent Nuclear Fuel Interim Dry Storage Facility (David H.Saltiel¹, Hong-Nian Jow¹, Ching-Tsuen Huang² ,Min Lee³ , ¹Sandia National Laboratories, ²Fuel Cycle Materials Administration, ³National Tsing Hua University)
- (2) Research on Spent Fuel Storage in CRIEPI—Part 1 Metal Cask and Vault Storage (Hirofumi Takeda, Masumi Wataru, Koji Shirai, Kosuke Namba, Koichi.Shin, Tomonari Koga. Toshiari. Saegusa, Central Research Institute of Electric Power Industry)
- (3) Research on Spent Fuel Storage in CRIEPI—Part 2 Concrete Cask (Masumi Wataru, Koji Shirai, Hirofumi Takeda, Junichi Tani, Taku Arai, Toshiari.Saegusa, Central

Research Institute of Electric Power Industry)

- (4) Status of Chinshan Dry Storage Project (Po-Chang Lee, Yuhao Huang, Ding-I Lee, Dry Storage Project, Nuclear Safety Technology Center, Institute of Nuclear Energy Research)
- (5) The Status of Taipower's Spent fuel management program (Hsien-Lang Chiu, Taiwan Power Company)

在本場次發表的論文中，美國 Sandia National Lab 的卓鴻年，講述用過核子燃料乾式貯存設施之資訊管理系統，日本電力工業研究中心分別由 Hirofumi Takeda 與 Massumi Wataru 先生發表在 CRIEPI 內之用過核子燃料貯存研究，台電公司邱顯郎講述目前台電公司用過核子燃料管理之執行現況，本所乾貯計畫李柏蒼則是發表核一廠乾式貯存計畫執行現況。本場次發表的論文著重於用過核子燃料管理及乾式貯存之技術，極具相關領域人員之參考與應用。

Technical Session 5B 場次主要在發表社會溝通技術與策略之論文 (Social Technology and/or strategy)，包含的題目有：

- (1) Public Risk Acceptance: The WIPP Case Study (David S. Kessel, Christi D. Leigh, Deborah K. Belasich, Sandia National Laboratories Carlsbad, New Mexico, USA)
- (2) Identification of degrees of understanding (Yoko Kobayashi, TEPCO SYSTEMS CORP)
- (3) Text mining to promote effective communication (Natsuko Higuchi¹, Yuji Yoshizawa¹, Mitsuo Takeuchi¹, Yoko Kobayashi², ¹NUMO, ²Tepco Systems Corporation)
- (4) Multi-national Approach of Nuclear Fuel Cycle Management: Implications to Radwaste Management (Koji Nagano, CRIEPI)

研討會於 10 月 21 日 16:50 圓滿結束，本所參加此次會議同仁，除了論文發表、聽取相關領域題目之演講外，也在休息或用餐時間與參加會議之其他國家的專家學者交流，一方面蒐集資料及獲取新知，另一方面藉機推銷核研所研發之技術，以收一石二鳥之目的。施建樑等五人發表論文之實況如圖 1 所示。

(三) 參訪瑞浪超深地層研究所

10 月 22 日由日方主辦單位安排搭乘地鐵與新幹線，由東京經名古屋至瑞浪前往

參訪東濃地科中心之瑞浪超深地層研究所。瑞浪超深地層研究所屬於東濃地科中心(MIU, Mizunami Underground Research Laboratory), 但因該地下實驗室場址之行政區位於瑞浪市, 故實驗室之名稱爲瑞浪而不稱東濃。該場址爲當地政府提供, 並非放射性廢棄物處置之實地實驗室, 而爲有限目的之研究發展用場址(圖 2)。場址以花崗岩爲基盤, 上覆沉積層。MIU 之設計規格如圖 3 所示, 以二條豎坑作爲通道, 豎坑之間間距 40 m, 最大深度地面下 1,025 m, 圓形直徑爲 6.5 m, 通風豎井直徑爲 4.5 m。中期階段(middle stage)爲地面下 500 m, 主要階段(main stage)爲地面下 1,000 m, 每個次階段(sub stage)爲 100 m。

如上所述, 行政區域的不同, 故地名屬瑞浪市。瑞浪超深地層研究所預計分別於地下 500 m 及 1,000 m 處建立實驗設施, 目前正進行豎井與通道的開挖。其建造過程分爲四個階段, 如圖 4 所示, 主要分爲四個階段, 即:

階段 1: 廣泛蒐集地質資料, 釐清地層邊界與不連續面

階段 2: 透過已經存在的淺層鑽井或新鑽井進行探勘

階段 3: 進行深井之鑽探, 進行深井之間之相關試驗

階段 4: 建造實驗用坑道(橫向), 進行斷面水力特性之試驗

階段 5: 建構豎井與通道 (進行中)

階段 1 至階段 4 均已完成, 其中鑽探深井則已達 1,000 m 處, 鑽探特別選擇以穿越斷層帶的方式進行, 並採取傾斜水平面 $5\sim 7^\circ$ 的角度進行鑽挖, 同時於特定深度後, 鑽頭更能於特定位置轉變其方向, 此機具之研發成果類似電力中央研究所之鑽探設備, 顯示日本對於深井鑽探之技術有其獨到之處。MIU 目前正進行豎井與通道的開挖與相關試驗量測, 豎井直徑 6.5 m, 通氣井直徑 4.5 m, 目前已開挖至地下 200 m 深的位置, 平均進度約每日 0.5 m, 本次則至深度 200 m 處實地參觀。場址功能評估與場址調查之則採反覆步驟, 以便隨時反應現地更新之資料(圖 5)。根據 MIU 附近的鑽孔分佈(圖 6), 目前已完成第一階段之地質圖(圖 7)與水文地質特性(圖 8)。MIU 現階段(第二階段, 圖 9)工作主坑與換氣坑已於平成 19 年(2007)分別開挖至地面下 231.2 m 與 202.6 m, 200 m 的水平坑道。預計之研究內容則包含(1)解決 phase I 待確認的議題(2)確認在 phase I 預測的地質模型, 並將開挖過程之相關資料, 回饋於模型之建立(3)在

phase II 中持續推估並確認地質綜合流程(geosynthesis work flow)(圖 10)。JAEA 已定調核子燃料循環與地質處置的關係，用過核子燃料經化學程序將燃料經再處理後製作成新燃料，剩餘的高放射性廢液則拌混岩化材料製作製成玻璃固化體，以確保有良好的穩定地物化特性。玻璃固化體包裹於不鏽鋼處置容器中並儲存冷卻 30~50 年，之後再於地面下至少 300 m 的深層進行地質處置，地質處置以多重障壁為處置概念，包括天然障壁與人工障壁以安全地隔離廢棄物與人類生活環境。在三階段(圖 11)研究過程中，Phase I：地表調查、Phase II：開挖探勘、Phase III：坑道內探勘，Phase I 已經建立三維水文地質模型(圖 12)。為達成 Phase II 目標，正進行地質處置場長期行為研究，包括：模擬工程障壁與母岩之間的行為研究，裂隙水流與質量傳輸之間的關聯模型，並進行天然類比研究以提供長期預測行為研究之用。利用參訪期間於該設施內所拍攝的照片如圖 13~圖 25。

(四) 參訪六個所村

10 月 23 日由日方主辦單位安排搭乘地鐵與新幹線及接駁公車，由東京經三沢、八戸至離東京約 600 公里的六個所村川原工業地區。本參訪希望能吸取相關經驗，瞭解國外低放射性廢棄物最終處置現況，以供國內策略發展、安全管制及溝通研究之參考。青森縣六個所村園區位於本州，離東京約 600 公里，由日本核燃料公司 (JNFL) 所籌建與運作，目前園區設置與規劃的核子燃料循環設施有鈾濃縮廠、用過核子燃料接收與貯存設施、用過核子燃料再處理廠、混合氧化物燃料製造廠、玻璃固化廢棄物貯存中心及低放射性廢棄物處置中心，此次參訪主要的設施為低放射性廢棄物最終處置中心及中放射性廢棄物處置設施調查坑。

A. 參訪六個所村核子燃料循環設施

日本核燃料公司(日本原燃株式会社, Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL)於 1980 年 3 月 1 日成立，主要由東北電力、東京電力、中部電力、北陸電力、關西電力、中國電力、九州電力、四國電力、北海道電力等 9 家核能電力公司組成，資本額 2 千 5 百億日圓，現有員工 2 千餘人，業務範圍主要包涵低放射性廢棄物

最終處置、鈾濃縮、MOX 燃料製造、用過核子燃料再處理、再處理產生廢棄物之暫存、鈾及低放射性廢棄物與用過核子燃料之運輸等。

由於規劃得宜加上持續的努力，六個所村由工業區、戰備石油區成功的轉型為日本核子燃料循環的重鎮。1960 年日本將小川原規劃為石油工業區，同時設置戰備石油槽，容量可供全日本 7 日之用，石油危機造成工業萎縮，業界擴展意願不高因而未進駐該工業區；日本為一島國，資源匱乏，95%之能源依賴進口，為使能源永續，核子燃料循環概念油然而生，由於小川原地區面積大、岩盤穩固、地質良好，加上優質之港口便於海運，當地居民又有意願等條件下，日本於 1985 年開始規劃該地區成為核子燃料循環設施，經多年之建設，1992 年鈾濃縮廠開始運轉，陸續完成低放射性廢棄物處置場、玻璃固化廢棄物貯存中心及用過核子燃料接收貯存設施，目前用過核子燃料再處理廠正進行最後測試，預計於 2008 年 11 月運轉，MOX 燃料製造廠則已獲得當地政府同意，正在申請建造許可，預計於 2012 年 10 月運轉，另東京電力公司為因應再處理廠處理容量之不足，亦於此地規劃一用過核子燃料之乾式貯存場，以供未來全國核能電廠所產生之用過核子燃料集中貯存之用。六個所村及各設施之位置圖如圖 26, 27。

1. 溝通策略

日本原燃公司（JNFL）與民眾溝通所採取之基本原則為取得共識及合作，而採行的溝通方式有三：

(1) 資訊透明化

為了讓當地民眾了解核能並取得其信任，除法規或安全協定上要求公開之資訊外，其規劃或進行之一些活動主動張貼於網站供民眾隨時參閱，以資訊透明化向民眾展示公開及合作的態度，使民眾感受該公司之誠意、不欺瞞及值得信任。圖 28 為陳列於展示館內供民眾參閱之相關資料。

定期舉辦研討會（1 年 6 次），邀集地方意見領袖討論並交換意見。舉辦民眾講座與地方百姓面對面溝通。於電視或報紙刊登宣導廣告，加深民眾印象。宣

導資料、公開資訊及 Q&A 置於網站上，便於民眾取得。主動以電子郵件詢問民眾意見。

(2) 參與地方活動及建設地方

要求每一員工參與地方活動，讓民眾感受該公司屬於該地區。贊助該地區之相關活動並適時參與。結合地方特色建造溫泉餐廳，交由地方業者經營，提供工作機會以及休憩活動。建造技術訓練中心，協助地方培育技術人才。

(3) 提供當地民眾就業機會

JNFL 在當地共有 2,088 個員工，977 人來自青森縣，除造就當地居民就業機會外，並提供另一項資訊透明化之管道。

2.低放射性廢棄物最終處置中心

日本核能電廠運轉及維護所產生之放射性廢棄物一般分為三類，污染之工作服、手套、去污之紙布等歸類為可燃廢棄物，經焚化後將爐灰固化裝桶；換下之管路、泵等金屬為不可燃廢棄物，經壓縮、切割或熔融後裝桶；第三類為水質處理後產生之放射性液體廢棄物，經濃縮後以水泥或聚合物固化裝桶，各電廠所產生之放射性廢棄物皆暫存於廠區之貯存設施內，排定時程後，由低放射性廢棄物運輸專用船隻—青龍丸載往六個所村處置。如圖 29。

低放射性廢棄物處置中心佔地 600,000 m³，設計容量 300 萬桶，已核准之處置面積為 80,000 m³（約 40 萬桶），於 1992 年 12 月開始運轉，第一期工程為均勻固化桶處置區，共有 30 個處置單元（原規劃 40 個），每一單元長、寬各 24 m，高 6 m，可處置 5,120 桶廢棄物，總處置量為 153,600 桶，截至 2008 年 9 月 30 日已處置 139,000 桶；第二期工程為非均勻固化桶處置區，共有 16 個處置單元，每一單元長 36 m，寬 37 m，高 7 m，可處置 12,960 桶廢棄物，總處置量約為 207,360 桶，截至 2008 年 9 月 30 日已處置 62,000 桶。其處置流程如下所述：

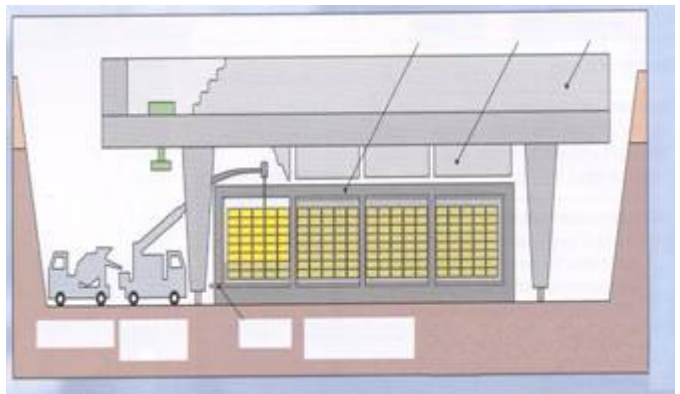
專用船至各核能電廠
收齊廢棄物，再以海
運送至小川原港卸下



經過固化桶完整性、
表面污染及放射性強
度檢查後，送至處置
中心，以抓具吊入處
置單元（八桶一列橫



每一層裝滿後即以水
泥漿澆灌，整個單元
裝滿後灌漿加頂蓋，
所有單元皆填滿後，
置入黏土層，再將原
開挖土回填並植被。



低放射性廢棄物最終處置中心之鳥瞰圖如圖 30。

此處置中心之第三期工程，預定處置核能電廠所產生之廢棄控制棒及燃料格架，在日本該類廢棄物屬中低放射性廢棄物，除掩埋之深度（50-100 m）與前二期之低放射性廢棄物不同（8-9 m），處置方式為坑道式，與之前的淺地層掩埋亦有所區別，為確認地質、地下水及岩盤之條件能符合處置之規定，日本核燃料公司在 2002 年 11 月於處置中心南側台地開挖調查坑道，分三方面進行調查：

(1) 設施預定地附近地質、地下水及岩盤之狀況

主要調查項目為地質觀察、物理試驗、三維抗壓試驗、透水試驗、流速測定及地下水壓測定，這些項目皆於調查坑內進行。

(2) 設施安定性

主要調查項目為地質觀察、岩盤變位測定及支撐工程應力測定，這些項目皆

於試驗空洞進行。

(3) 南側台地、尾鮫沼澤之地質及地下水狀況

主要調查項目為鑽探調查、物理試驗、三維抗壓試驗、透水試驗、地下水壓測定、水質試驗及音波探測，這些項目皆以鑽探方式為之。

調查報告於 2006 年 3 月完成，目前於調查坑內仍繼續進行更進一步之計測工作。調查工作之相關位置如圖 31 所示，調查坑之示意圖如圖 32。

同時日本高放射性廢棄物之最終處置亦在積極推動中，預計 2030 年至 2040 年將開始運轉，其設計概念已完成，採深地層坑道式處置，處置方式如圖 33 所示。

其他設施雖未進入參觀，但為能使報告較為完整，經整理相關資料亦將其說明臚列於後：

(1) 用過核子燃料再處理廠及玻璃固化高放射性廢棄物貯存中心

石化燃料如石油、天然氣等一經燃燒後就無法再回收成燃料使用，核子燃料雖在反應爐內 3 至 4 年後因無法供給反應度之需，而退出反應爐成為用過核子燃料，但其中仍含有未燃耗之 U-235，以及由 U-238 轉化而成之 Pu-239，若經再處理程序可將其分離出製成混合氧化燃料 (MOX fuel)，達到充分利用資源，邁向燃料永續之目標。

用過核子燃料自反應爐退出後，存在核能電廠或送至此廠之用過核子燃料池貯存，4 年內將使放射性降至原來之 1/100，此時處理所接受輻射劑量較低。處理時先將燃料由池中吊出切成 2 cm 大小之塊，置入硝酸中，燃料會溶解於硝酸，因而與護套分離，再將硝酸溶液倒入油中，使分裂產物與鈾、鈾分開，最後，以化學方法分成鈾及鈾溶液，二溶液各自以硝酸純化去除殘餘之分裂產物，再經脫硝過程將純鈾、鈾及鈾之混合液製成粉末，此分離鈾、鈾及分裂產物之方法稱 Plutonium Uranium Reduction Extraction (Purex) 程序。殘餘之萃取液則以玻璃固化後暫存，俟高放射性廢棄物最終處置設施完成後送往處置。再處理廠之處理流程如圖 34 所示，鳥瞰圖如圖 35。

該廠於 1999 年 12 月先完成用來接收用過核子燃料之水池式貯存設施，分為三

區，一區為 BWR 燃料，另二區為 PWR 燃料，設計容量為 3,000 tU，BWR 1,500 tU (8,600 個元件)，PWR 1,500 tU (3,600 個元件)，截至 2008 年 9 月 30 日已接收 2,692 tU，處理了 389 tU，再處理廠之最大處理容量為 800 tU/年，預計於 2008 年 11 月正式商轉，日本每年用過核子燃料之產量為 900-1,000 tU，至 2007 年存於各核能電廠內之用過核子燃料達 12,000 tU，為因應此不足之貯存容量，除於廠房旁另設置 5,000 tU 之乾式貯存場外，日本東京電力公司另規劃於下北半島 MUTSU 市，興建一座用過核子燃料乾式貯存設施，未來將以金屬護箱來貯存用過核子燃料。

(2) 玻璃固化廢棄物貯存中心

日本之前的用過核子燃料均送往法國及英國再處理，處理後殘餘之液體廢棄物經玻璃固化處理後運回日本，因內含分裂產物屬高放射性廢棄物，故無法以低放射性廢棄物之處理方式為之，必須以目前最可行之玻璃固化法處理，未來亦需送往高放射性廢棄物處置設施處置。最終處置之前必須先予以貯存，未來日本自行再處理亦會產生該類高放射性廢棄物，也需貯存，是以 JNFL 於六個所村建造一玻璃固化廢棄物之貯存中心來貯存此類廢棄物，該中心於 1995 年 4 月開始運轉，設計容量 1,440 罐，截至 2008 年 9 月 30 日止，存有 1,310 罐，如容量不足，該中心仍可擴大至 2,880 罐。

液體高放射性廢棄物經玻璃固化後裝入不銹鋼罐（直徑 0.4 m 高 1.3 m），焊接封罐後裝入 TN28（可裝 28 罐）運輸護箱，送至貯存中心之暫存區以吊車將護箱卸下，再以載具送往檢查區，將玻璃固化罐吊出檢查，項目包括熱發散量、表面污染、密實測試、尺寸及放射性強度。符合規定則吊至貯存區放入鋼套管，每根套管可存 9 罐，管外以空氣自然對流來冷卻釋出之熱，預計貯存 30-50 年再送往最終處置。

該中心之操作流程、設備實體圖及鳥瞰圖如圖 36, 37 及圖 38。

(3) 六個所村展示館

六個所村展示館是自由開放給一般民眾參觀的場所，我們前往參觀時，日方特地派專員陪同，其外觀如圖 39。

日本核燃料公司能在六個所村順利建設各項核燃料循環設施，最主要原因是該公司非常重視社區的瞭解與支持。爲了讓民眾目睹各核燃料循環設施及各項安全維護措施，展示館設置在六個所村園區外緣高地，1991年9月啓用，是一棟地下一層及地上三層的建築物。三樓展望室離地面30 m高，可360度眺望遠處的八甲田山和太平洋，對六個所村的核燃料循環設施現況一覽無遺。二樓展示室則利用3D電腦動畫教導核能觀念與設施，使用影像及模型、電腦遊戲等方式，說明核能和輻射知識如圖40，讓參訪民眾動手動腳動腦，以提高民眾參與自我教育的意願，寓教於樂，讓人們理解核燃料循環，並利用模擬汽車駕駛和飛機操控的遊戲，瞭解我們所受到自然界的輻射，同時透過霧箱的原理，顯示輻射通過的蹤跡。一樓和地下一樓除爲訪客提供各類淺顯易懂的核能知識資訊文宣品外，並以大型模型、映像和聲音介紹核燃料循環的體系如圖41，包括再處理廠、鈾濃縮廠、低放射性廢棄物處置設施、高放射性廢棄物貯存管理設施及MOX燃料製造程序。

爲確保六個所村環境輻射安全，電力公司業者和縣府相關單位，定期進行環境試樣取樣及放射性分析如圖42，並設置環境輻射即時監測系統，於六個所村展示館以電腦展示畫面，每10分鐘更新輻射監測數據1次。六個所村展示館定期發行刊物介紹及報導原燃各項設施及其進度、環境輻射監測結果等；必要時舉行記者招待會，邀請意見領袖參加研習會等與民眾雙向溝通；舉辦各類活動與比賽，以建立與居民間的感情。在社區內發行月報或雙月報及網路，報導的不只是園區內的設施訊息，最主要的是當地文化、藝術、特產、節慶、廟會、科學新知等，並且積極參與、贊助各項社區之活動，將公司融入社區。



施建樑



莊文壽



施清芳



李柏蒼



陳又平

圖 1 公差人施建樑等 5 人發表論文

Geological Map of the Tono Area

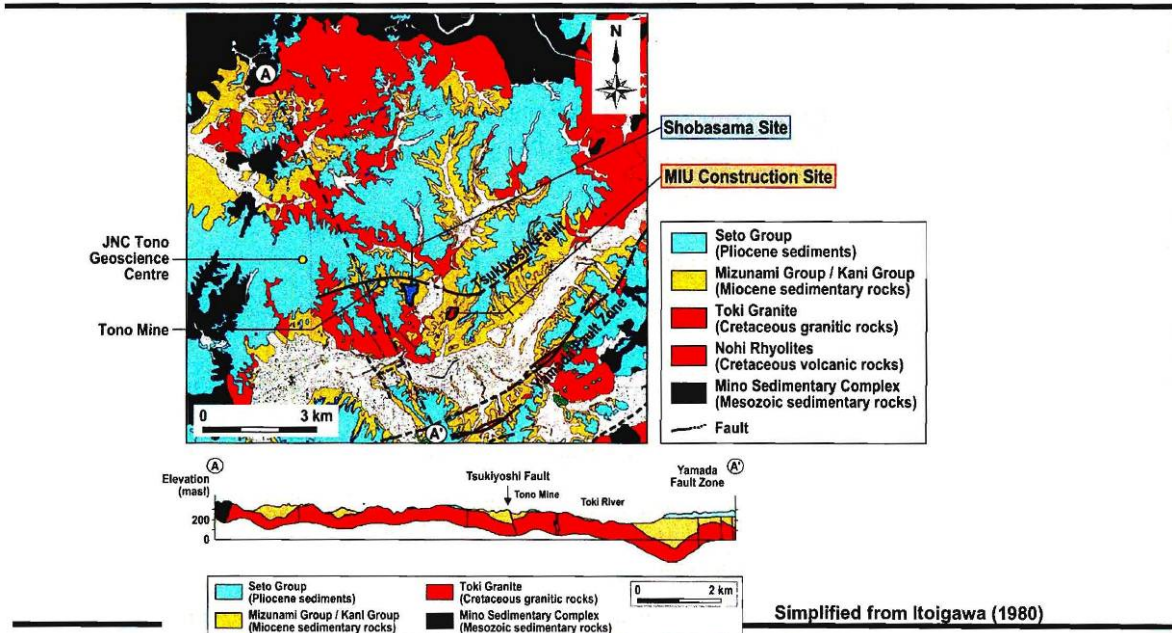


圖 2 瑞浪超深地層研究所之地質圖

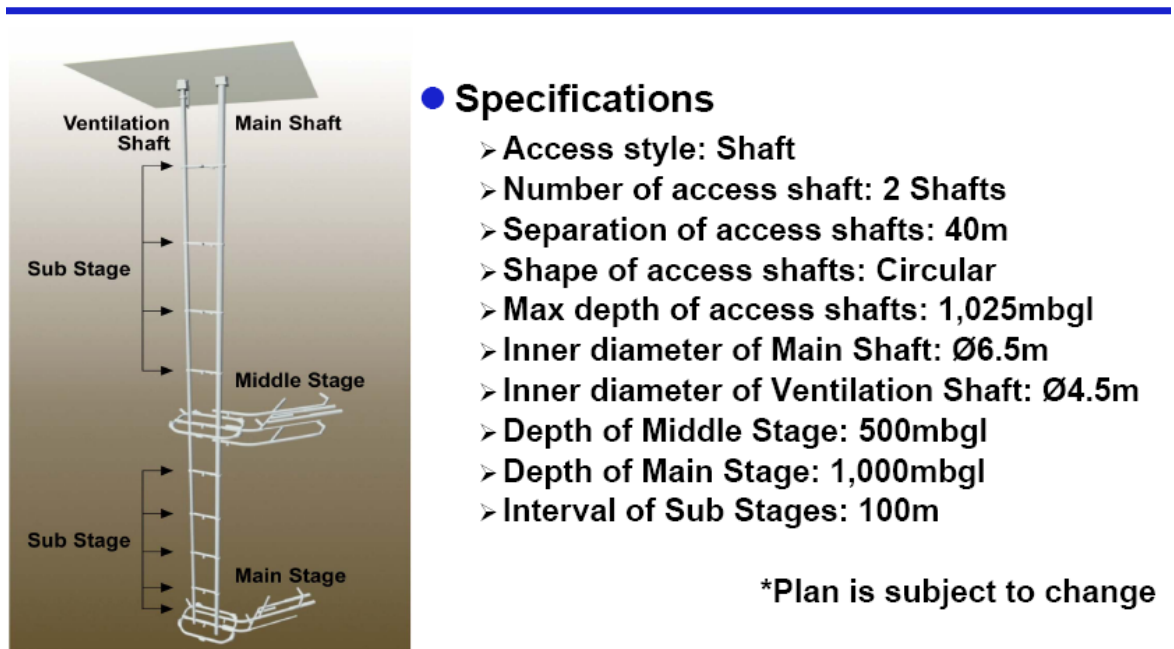


圖 3 瑞浪超深地層研究所 MIU 規格

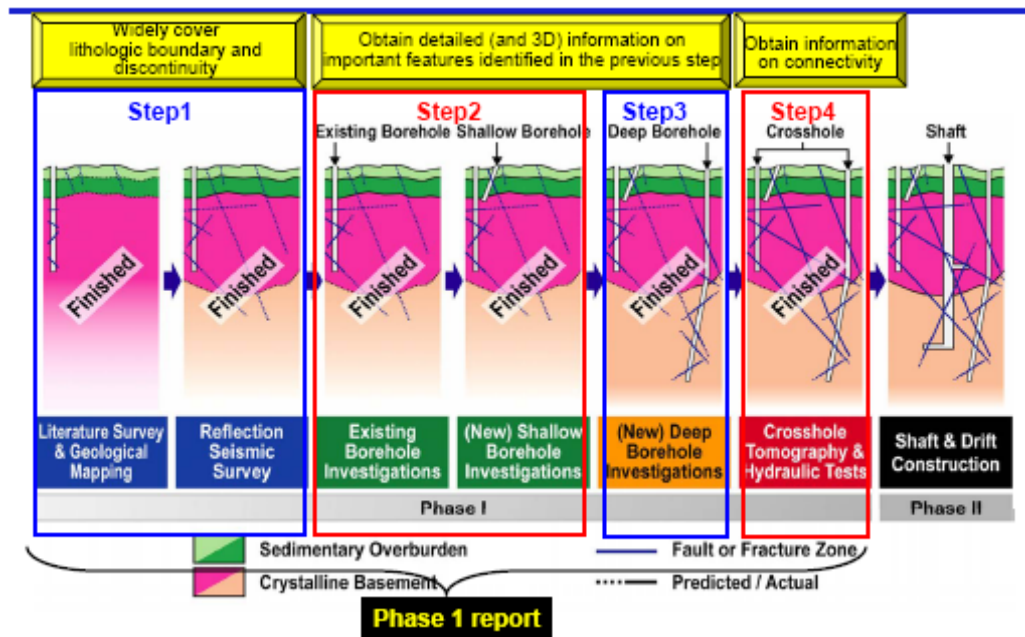


圖 4 MIU 第一階段之探勘概念

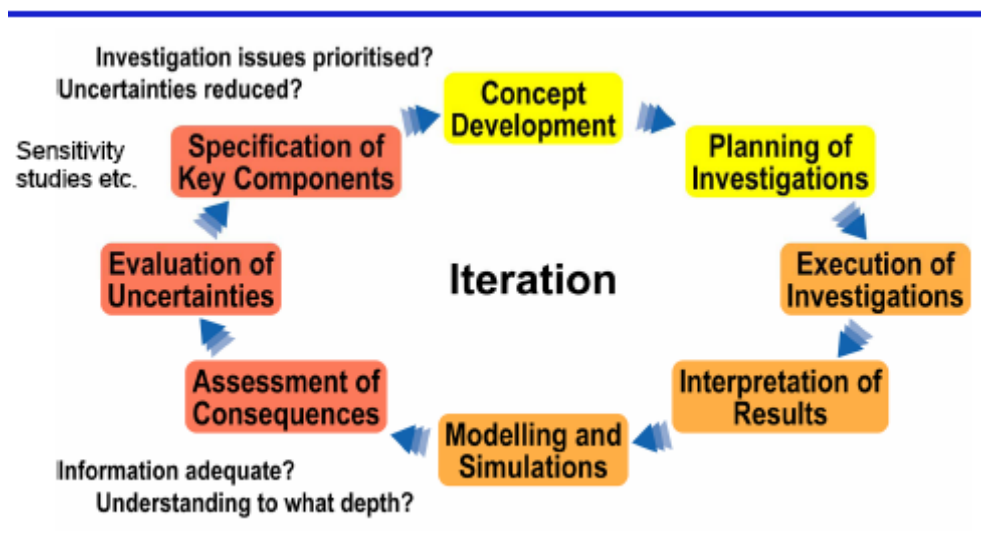


圖 5 功能評估與場址調查之反覆步驟

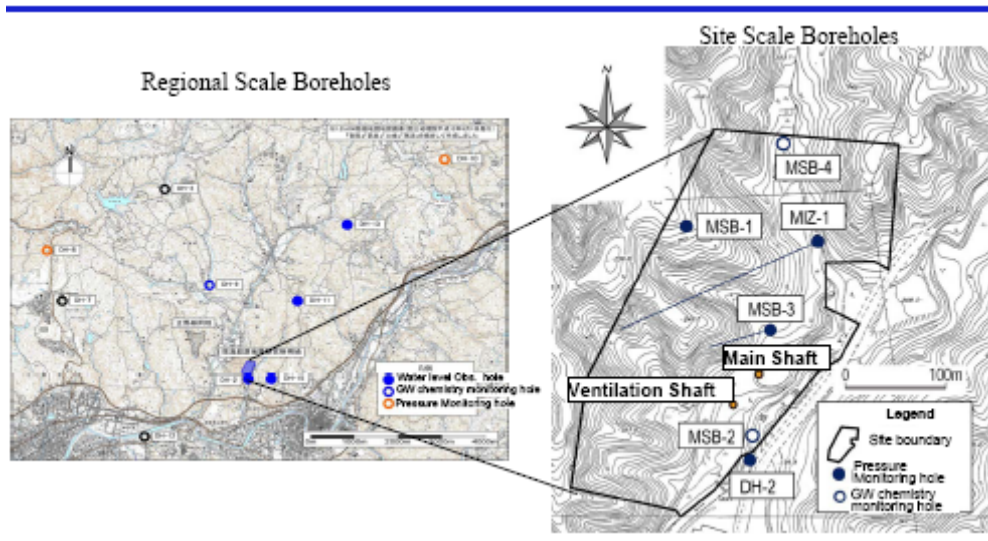


圖 6 MIU 附近的鑽孔分佈

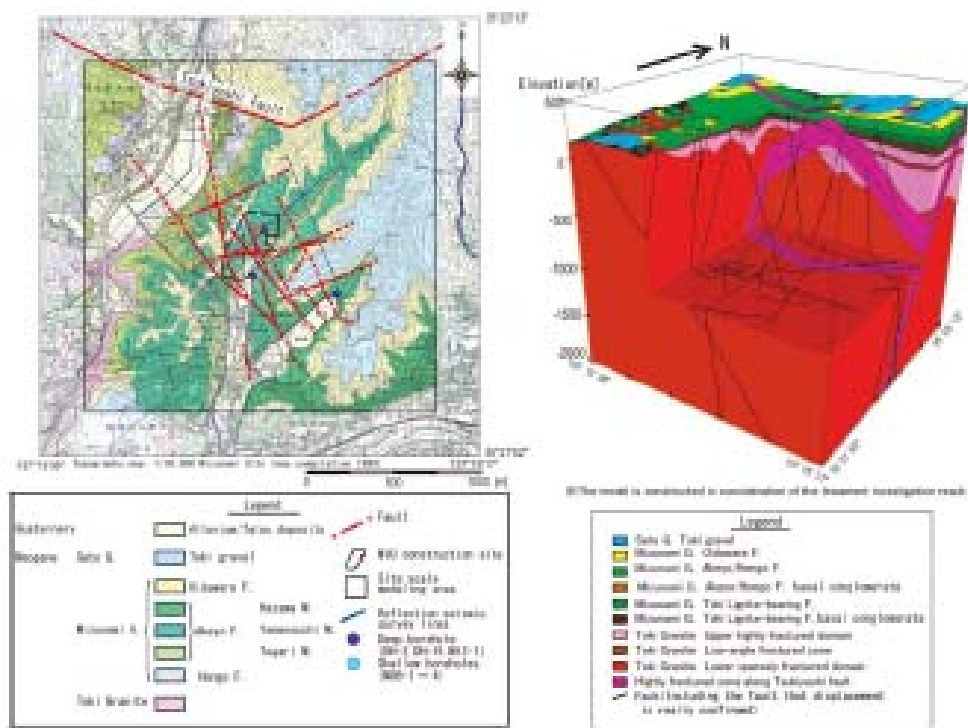


圖 7 第一階段之地質圖

- Efficient site characterization was achieved by implementing “iterative approach” through step-wise investigations.

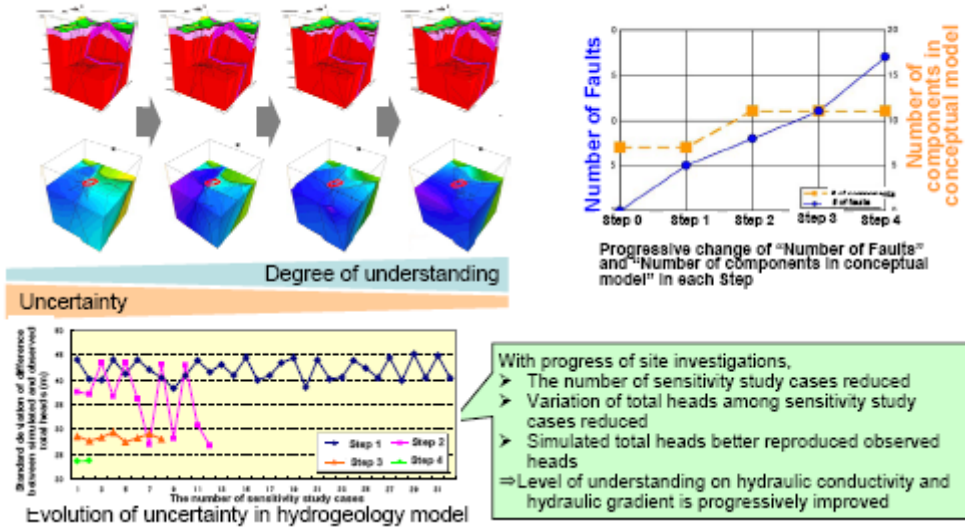


圖 8 第一階段之地質與水文地質模型的發展

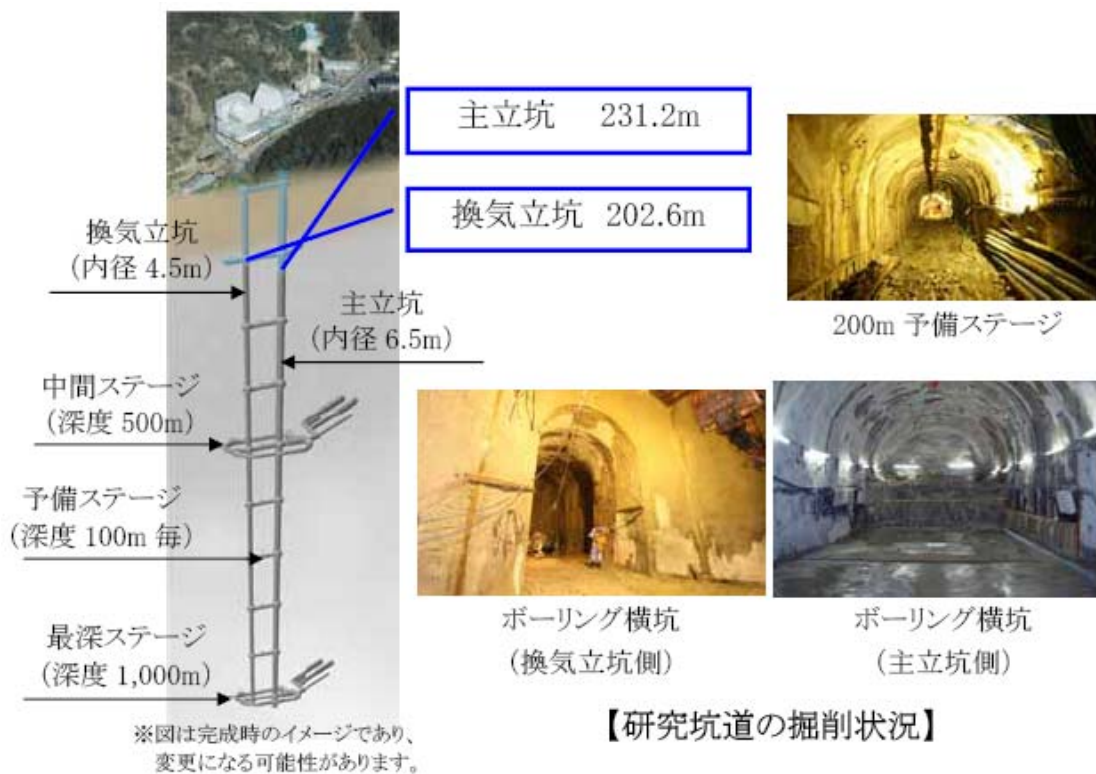
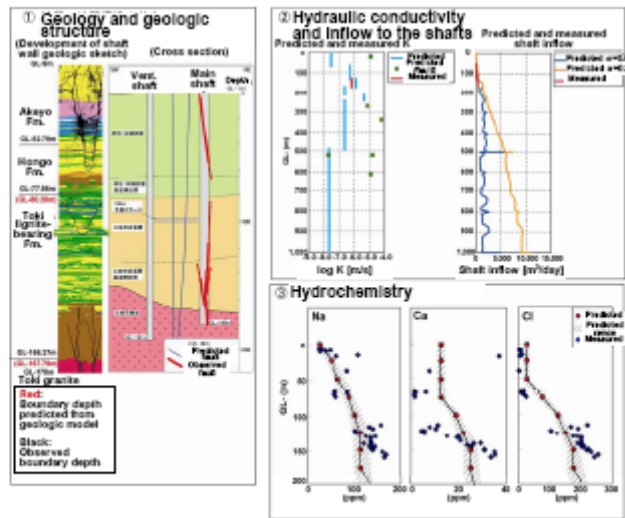


圖 9 第二階段地下 200m 的水平坑道

- Resolve remaining issues identified in Phase I
- Confirm prediction in Phase I of geosphere model and responses to shaft construction
- Continue iterative approach during Phase II and confirm “geosynthesis work flow”



Confirmation of Phase I prediction by Phase II investigations
- Examples -

圖 10 第二階段研究內容

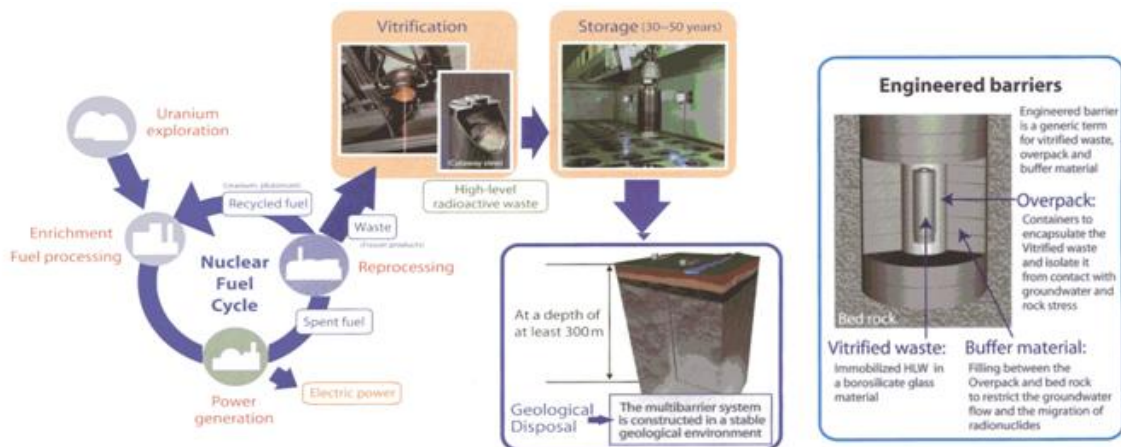


圖 11 三階段進行深層環境調查

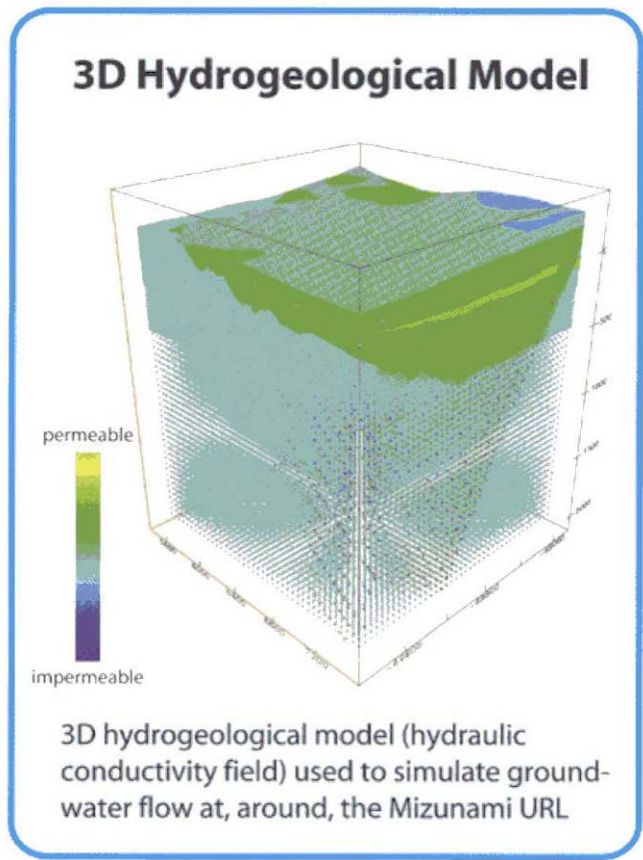


圖 12 三維水文地質模型



圖 13 東濃地科中心鑽探出水之處理流程



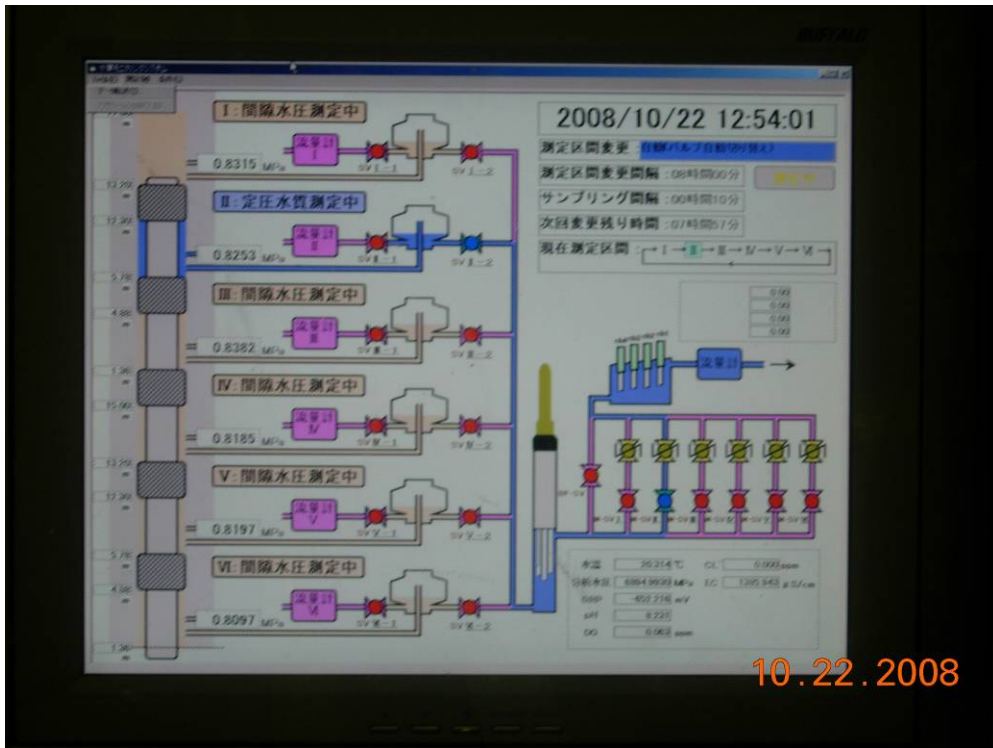
圖 14 東濃地科中心引導人員現場簡介



圖 15 東濃地科中心坑道入口



圖 16 東濃地科中心坑道内部



10.22.2008

圖 17 東濃地科中心坑道内水壓監測表



10.22.2008

圖 18 東濃地科中心主坑道升降機控制示意圖



圖 19 東濃地科中心坑道壁(有鈣鹽析出)

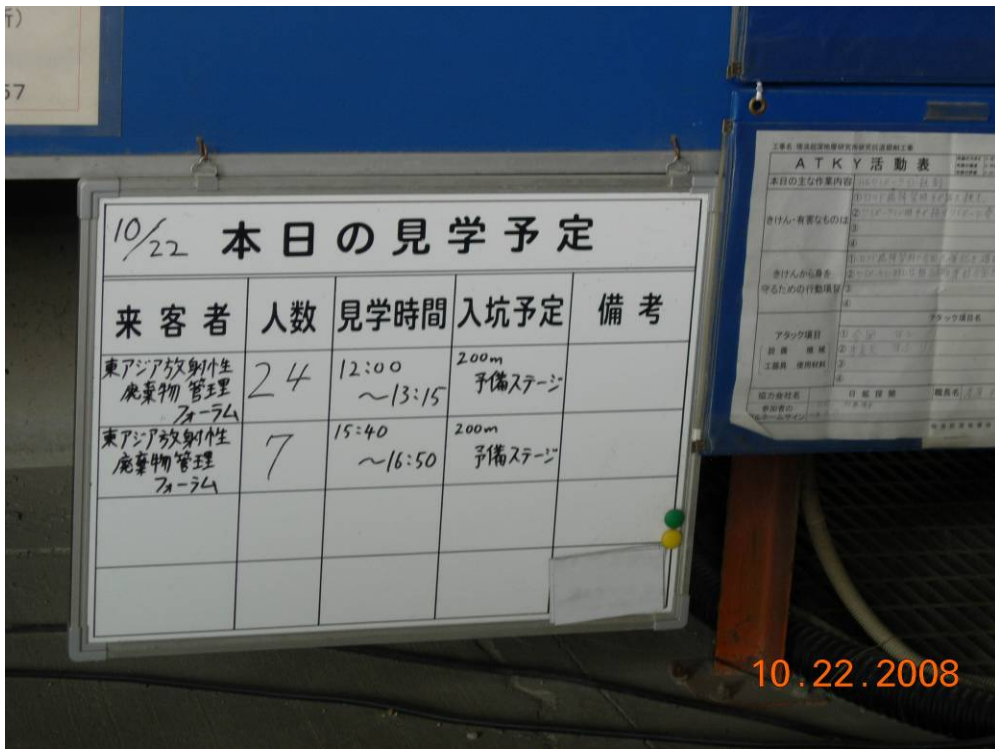


圖 20 東濃地科中心坑道活動動態之指示牌



圖 21 公差人聽取東濃地科中心引導人員簡報



圖 22 公差人著裝位於東濃地科中心展示廳

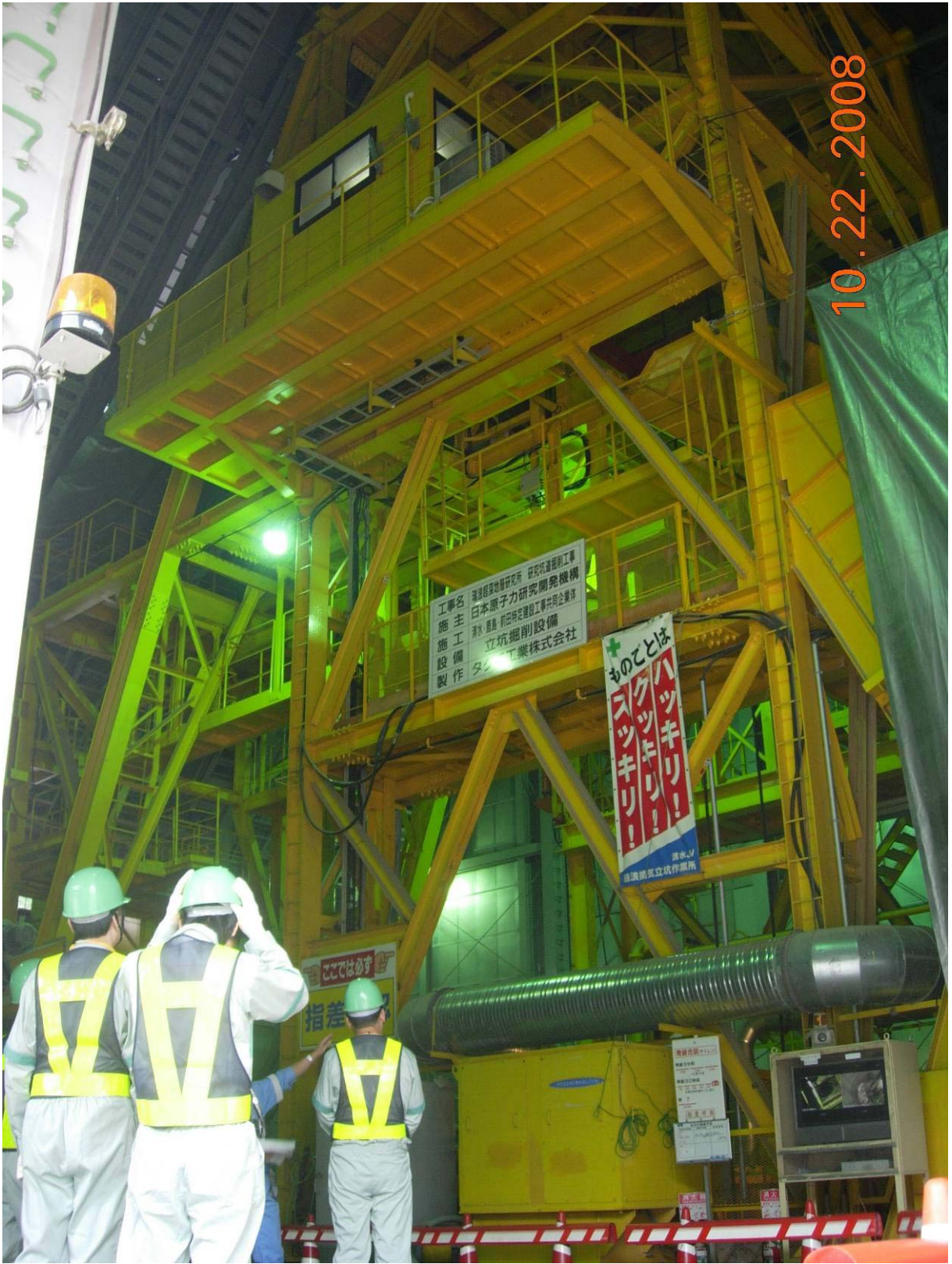


圖 23 東濃地科中心挖掘坑道之設備



圖 24 東濃地科中心挖掘坑道之設備介紹



圖 25 東濃地科中心挖掘坑道之設備(左)與坑道內各物理參數監測(右)

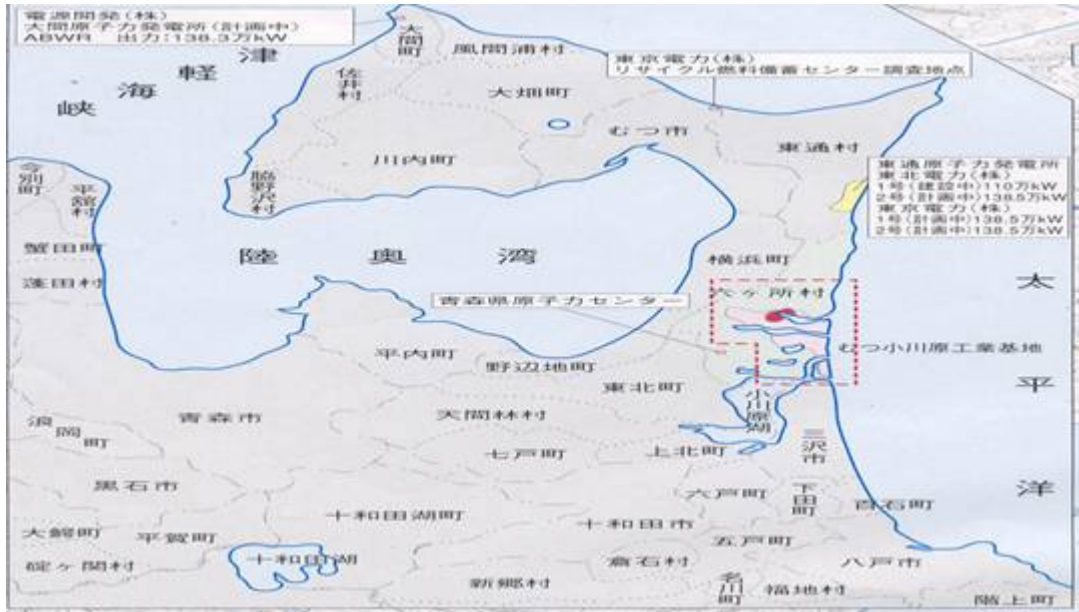


圖 26 六個所村及用過核子燃料乾式貯存設施位置圖

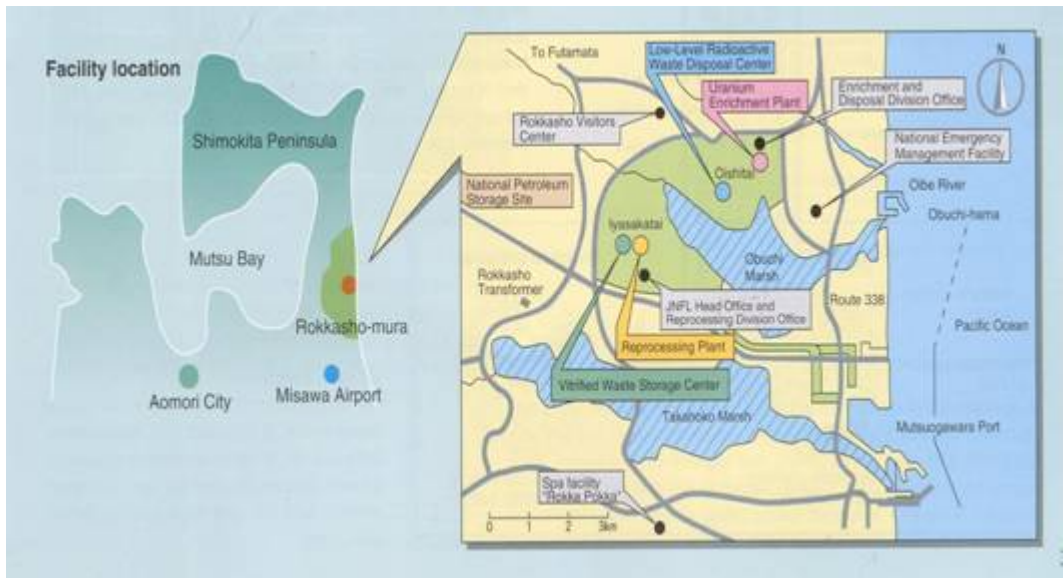


圖 27 六個所村各核能設施位置示意圖



圖 28 陳列於展示館內供民眾參閱之相關資料



圖 29 低放射性廢棄物運輸專用船—青龍丸



圖 30 低放射性廢棄物最終處置中心鳥瞰圖

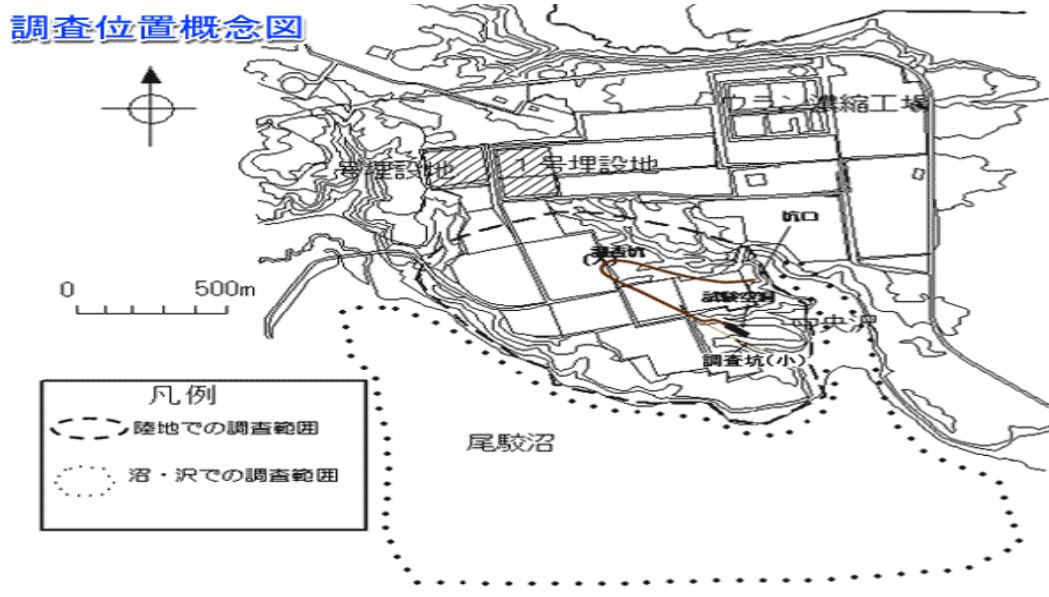


圖 31 調査工作之相關位置圖

調査イメージ図

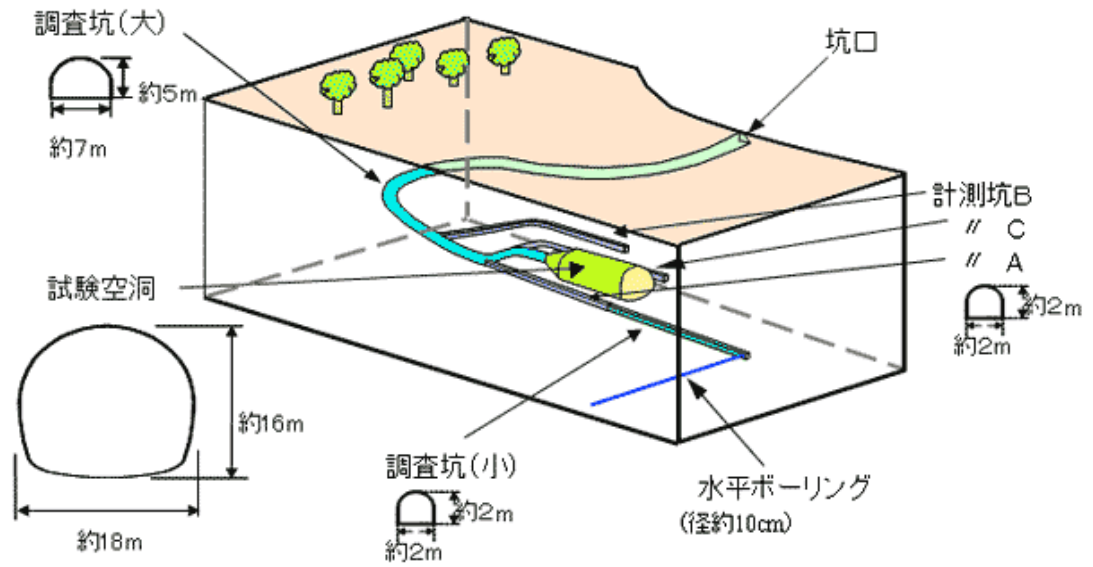


圖 32 調査坑示意圖

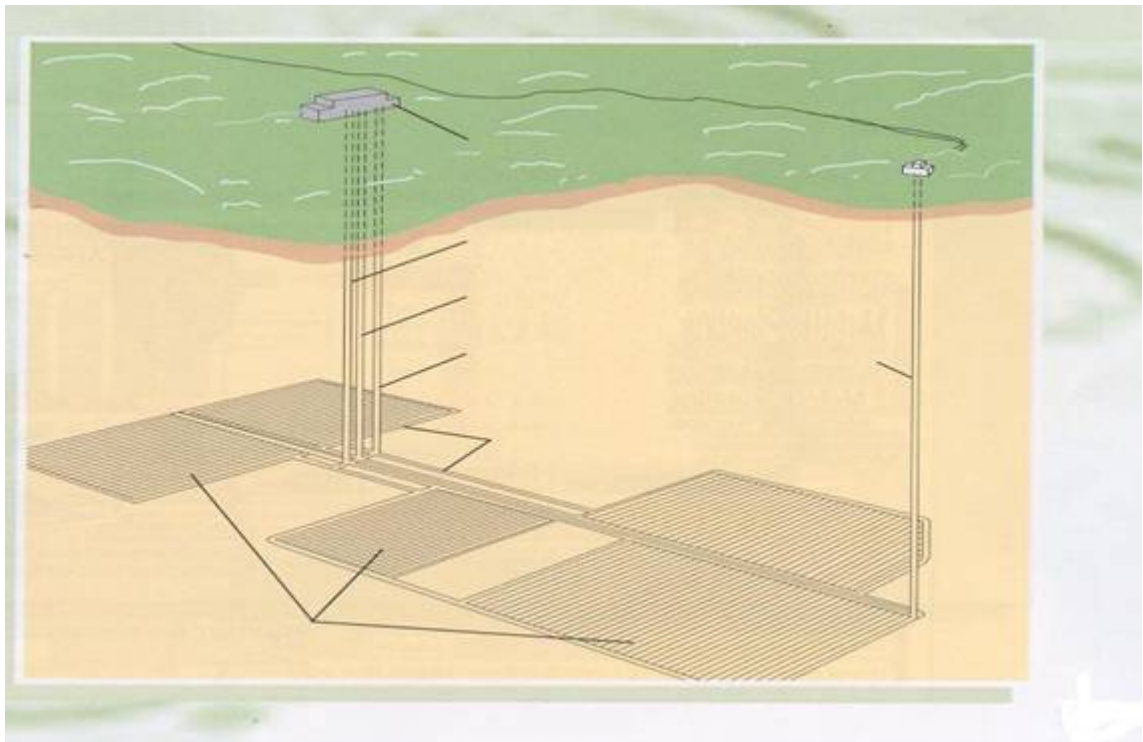


圖 33 高放射性廢棄物最終處置概念圖

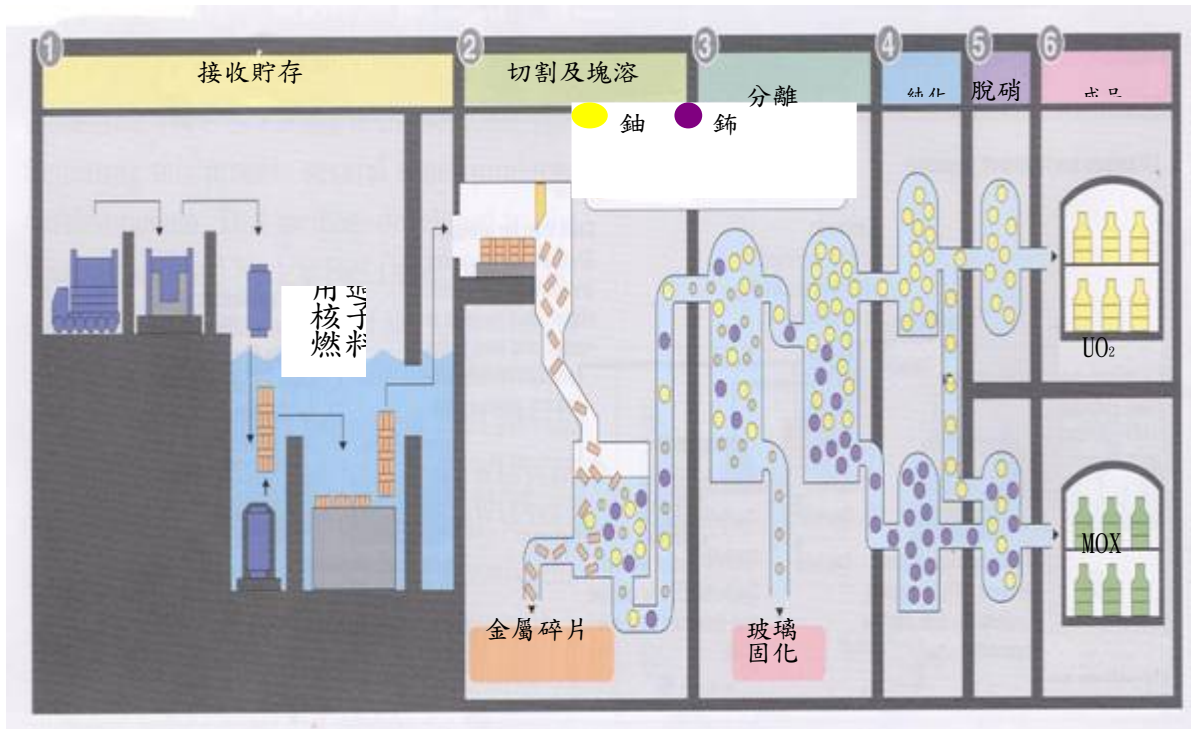


圖 34 再處理廠之處理流程圖



圖 35 再處理廠鳥瞰圖

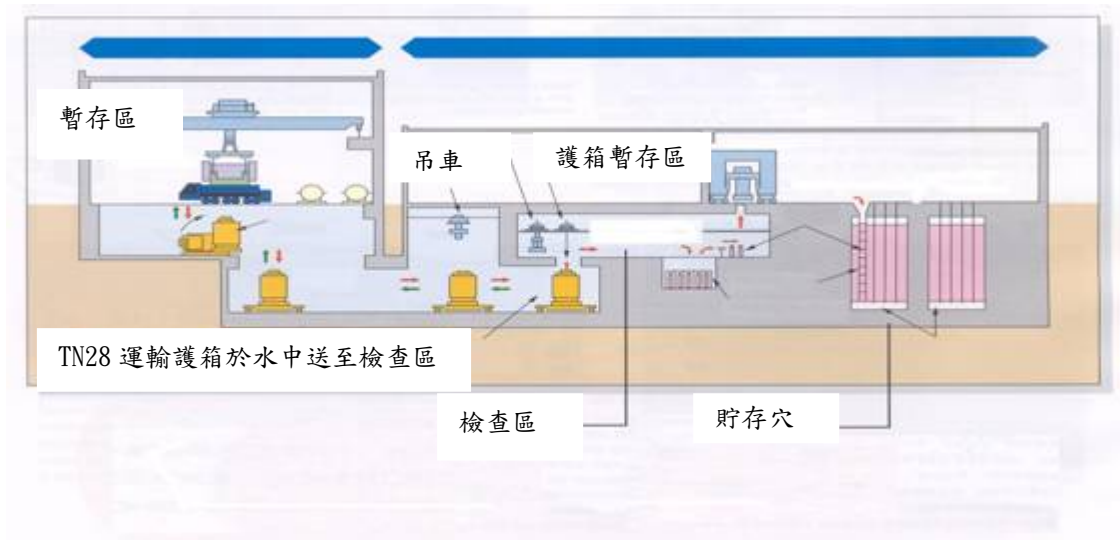


圖 36 玻璃固化廢棄物貯存中心操作流程



圖 37 玻璃固化廢棄物貯存中心各項設備實體圖



圖 38 玻璃固化廢棄物貯存中心鳥瞰圖



圖 39 六個所村展示館



圖 40 藉電腦遊戲化宣導輻射觀念



圖 41 以模型介紹核燃料循環處理情形



圖 42 環境試樣取樣及放射性分析情形

三、心得

1. 「東亞放射性廢棄物管理論壇」會議是由本所發起，聯合東亞各國針對放射性廢棄物管理技術交流之研討會，今年是第二屆。該論壇雖在啓蒙階段，但參與的國家與人數已較第一屆者多，本屆亦增加德國數位專家參與，顯示逐漸獲得放射性廢棄物管理相關議題之學者肯定。藉發表相關研究論文與探討問題，彼此之經驗得以直接溝通與交流，使參與人員皆有實質之收穫。
2. 本次研討會主辦單位將所有發表論文與簡報的電子檔以隨身碟儲存並發給每位與會人員，不僅使資料保存方便，且能利用電腦檢索方式快速的查詢所需之論文或相關資料，讓文獻查詢工作更有效率。值得本所在未來舉辦相關研討會時仿效。
3. 參訪瑞浪超深地層研究所與六個所村的行程雖然緊湊，但日本人守時的觀念令人印象深刻，不論是在資料簡報或是在參觀時程的控制，均嚴守原先安排與規劃之時間，如此精準的時程控制對提升工作效率有很大的助益，也值得我們學習。
4. 本次 EAFORM 安排之日本東濃地科學中心瑞浪超深地層研究所與 JNFL 低放處置場之場址參觀訪問，除對目前的發展現況有更進一步的瞭解外，並體認我國用過核子燃料最終處置潛在處置母岩調查階段確實需要長程與完整之規劃，始能達成最終處置之目標。

四、建議事項

1. 「東亞放射性廢棄物管理論壇」會議是促進東亞各國之核能合作與技術交流的重要管道，與會專家學者涵蓋核能安全中不同的研究領域，均能提出豐碩的研究成果。為相互觀摩、吸取經驗並建立彼此技術的交流與互動，建議核研所應持續派員參加。
2. 核研所致力於放射性廢棄物管理相關研究多年，開發出許多技術，且獲得很好的成效，利用參加國際會議發表論文，是推廣所研發技術之良機，因此建議本所應多鼓勵同仁參與相關之國際會議，一方面可建立核研所在國際上之知名度，另一方面藉彼此經驗的交流，對精進研發成果亦有莫大助益。
3. 雖然東濃地科中心試驗區是政府指定提供的特定母岩研究區域，未來實際場址母岩未必是該區域之母岩(在北海道的幌延地球學研究中心另設立軟岩的地下研究中心)，現有技術之發展規劃與內涵，將來應可應用於自願提供調查場址之母岩。有關 JAEA 之 Tono 場址之水文地質模型之逐步建立程序與方法值得本計畫學習或作為未來技術合作之內容。
4. 有關用過核子燃料或高放射性廢棄物之最終處置的發展趨勢，建議我國應儘早因應，以期使計畫能夠持續進行。
5. 本次 EAFORM 會議，JAEA 東濃地科學中心瑞浪超深地層研究所曾事先詢問本所施清芳先生最感興趣的議題，俾便預備與本所人員討論。唯本次大會安排參訪人員數目過多，且時間緊湊，只好取消。建議未來若有機會，能再特別建立技術交流管道以討論試驗坑道區水文地質與流場模型建立過程及結果，此為本試驗區目前最顯著之成果。對本所未來 SNF 最終處置技術可行性報告(2017)要建立遠場離散裂隙模型流場與核種傳輸模擬技術有極大助益。

五、附 錄

蒐集第 2 屆「東亞放射性廢棄物管理論壇」論文集與簡報電子檔資料與 YUCCA MOUNTAIN REPOSITORY LICENSE APPLICATION 之 DVD 光碟一份(存化工組)。