

出國報告（出國類別：其他）

## 出席第二屆東亞放射性廢棄物管理論壇 會議暨參訪東濃地科中心瑞浪超深地層 研究所與原燃公司六個所村等設施報告

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：黃慶村簡任十二職等局長  
陳志行簡任十職等技正

派赴國家：日本

出國期間：97年10月19日至10月24日

報告日期：97年12月18日

## 摘 要

東亞放射性廢棄物管理論壇會議(EAFORM)創始於2006年，是一個結合亞洲地區放射性廢棄物處理及處置技術研發合作、資訊交流與經驗分享之平台，其宗旨為提昇亞洲地區核能技術與安全。主要成員包括日本、南韓及我國的核能研究機構，以及美國桑迪亞國家實驗室。EAFORM年會定期在成員所在地區舉行，每年均由會員地區之學術、研究及發電機構派員參加，本屆會議尚邀請德國、瑞典、澳洲及中國大陸等相關學術研究單位共同參與。

今年我國由本會物管局黃慶村局長帶領本會及台電公司同仁共11人，前往日本東京與會。會議中除參與成員地區報告放射性廢棄物管理現況外，另就核子反應器設施除役及高/低放射性廢棄物處理、最終處置等技術之研究成果進行分享。在技術參訪方面，則赴日本岐阜縣東濃地下科學中心位於瑞浪市的超深地層研究所，實地深入地下200公尺的研究坑道，參觀日本高放射性廢棄物最終處置的前置研究現況，此外並前往日本青森縣六個所村低放射性廢棄物最終處置中心，實地瞭解其低放射性廢棄物最終處置流程與現況，以及處置中心南側台地調查坑道內工作情形。

## 目 錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
叁、心得.....	23
肆、建議事項.....	23
伍、附件.....	24

## 壹、目的

「東亞放射性廢棄物管理論壇會議」為促進東亞各國之核能合作與技術交流的重要管道之一，每兩年由中、日、韓等三國輪流主辦，針對放射性廢棄物處理與處置相關議題進行深入探討。2006年由本會核能研究所發起，並於我國主辦第一屆，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110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、最終處置設施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藉由各國與會人員所提出的專題報告中，吸取經驗、提升技術水準及交換彼此之意見。

此外，參訪瑞浪超深地層研究所與六個所村低放射性廢棄物處置中心之行程，為藉實際觀摩，瞭解該等設施之運作、管理與管制情形，期能對提升我國高、低放射性廢棄物之審查技術，以及未來放射性廢棄物最終處置設施營運之管制，有所助益。

## 貳、過程

### 一、行程

日期	地點與行程	工作內容
10月19日(日)	台北→日本(東京)	去程
10月20日(一)	EAFORM 研討會	(1)發表論文 (2)參加研討會
10月21日(二)	EAFORM 研討會	參加研討會
10月22日(三)	技術參訪	參訪東濃地下科學中心瑞浪研究所
10月23日(四)	技術參訪	參訪原燃公司六個所村最終處置設施
10月24日(五)	日本(東京)→台北	返程

### 二、參加放射性廢棄物管理東亞論壇第2屆年會及發表論文

確保核能安全與解決放射性廢棄物處理問題是核能發展之關鍵議題，尤其放射性廢棄物更是爭議的焦點，在放射性廢棄物的管理上，安全、明確及永續的解決方案，對於核能電廠持續成長與其他和平的應用，具有關鍵性的影響。因此，在亞洲地區的R&D 共同合作、資訊交流、經驗分享是非常的重要，也有助於彼此的成長。因此，促成了放射性廢棄物管理東亞論壇(The East Asia Forum on Radwaste Management, EAFORM)的誕生，其主要成員係來自日本、南韓及台灣的核能研究機構，以及美國的桑迪亞國家實驗室(Sandia National Laboratory, SNL)，主要目的為了提昇亞洲地區核能技術與安全。

首屆的會議由我國主辦，於2006年桃園龍潭核能研究所(INER)召開，今年則輪值由日本原子力發電環境整備機構主辦(RWMC)，於東京Toranomon Pastoral飯店盛大舉行。本屆會議參與人員不僅由上述地區派員共同與會外，另外，澳洲、德國、瑞典及中國大陸等相關研究機構，亦派員共同參與盛會，進行技術交流與經驗分享。與會議題主要就廢棄物除污、處理與最終處置技術、核能設施除役技術、廢棄物最終處置場址評估方法與經驗，以及用過核燃料最終處置技術等進行交流與討論，議程如表1。以下就本次會議日本與南韓兩國成員報告低放射性廢棄物處理與處置現況進行摘要報告。

「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年由本會核能研究所發起，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、最終處置設施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，續由本會核能研究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”，本會物管局局長黃慶村 “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，其中 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)，其題目包括：

- (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, Il-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液處理設施之安全評鑑，本會核能研究所乾貯計畫副計畫主持人施建樑則是發表該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，對未來我國處理類似議題時，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)，其題目包括：

- (1) Preparation of Yp(Ce)/TiO<sub>2</sub> 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微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 TRU 廢棄物中的碘-129 安定化，本會核能研究所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。

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。

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。

其中 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)，其題目包括：

- (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 Wakasugi<sup>1</sup>, Katsuhiko Ishiguro<sup>1</sup>, Kazumi Kitayama<sup>1</sup>, Hiroyasu Takase<sup>2</sup>, Toshihide Noguchi<sup>2</sup>, Atsushi Shizawa<sup>2</sup>, Koji Hane<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Nuclear Waste Management Organization of Japan, <sup>2</sup>Quintessa Japan, <sup>3</sup>Kajima 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)

其中本會核能研究所與美國 Sandia Lab.發表高放射性廢棄物最終處置有關之功能與安全評估論文，韓國、日本與德國分別發表中低放射性廢棄物、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設施場址，而以虛擬場址代替，但展現自 2001 開始之處置設施全系統評估程序，卻是其他國家從未發表過的。

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)，其題目包括：

- (1) Information Management System for Spent Nuclear Fuel Interim Dry Storage Facility (David H.Saltiel<sup>1</sup>, Hong-Nian Jow<sup>1</sup>, Ching-Tsuen Huang<sup>2</sup>, Min Lee<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Sandia National Laboratories, <sup>2</sup>Fuel Cycle Materials Administration, <sup>3</sup>National 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 的卓鴻年博士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 Masumi Wataru 先生發表在 CRIEPI 內之用過核子燃料貯存研究，台電公司邱顯郎組長講述目前台電公司用過核子燃料管理之執行現況，本會核能研究所乾貯計畫李柏蒼先生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。

研討會於10月21日16:50圓滿結束，本會參加此次會議之同仁，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，另一方面藉機推廣我國研發之技術，一舉二得。

### 三、參訪行程

#### (一) 東濃地下科學中心

為了示範高放射性廢棄物最終處置技術可靠性與安全性，日本原子力開發研究機構將計畫分成三個領域，分別是地質環境評估、最終處置設施設計與工程技術及功能評估。在地質環境評估方面，除進行全國地質文獻調查外，亦在東濃與釜石礦場進行區域與現場地球科學研究，同時亦進行地下研究設施規劃。故在岐阜縣瑞浪市興建超深地層研究所及北海道幌延町興建深地層研究所，瑞浪超深地層研究所(Mizunami Underground Research Laboratory, MIU)之母岩為花崗岩，幌延深地層研究所(Horonobe Underground Research Laboratory, HOU)之母岩為沉積岩。設置上述研究所主要是研究地質與地質構造、水文學特性、地球化學特性、核種遷移特性及岩石力學特性。

瑞浪超深地層研究所屬於東濃地科學中心，但因該地下實驗室場址之行政區位於瑞浪市，地理位置如圖1所示，故實驗室之名稱為瑞浪而不稱東濃，其設計規格以二條豎坑作為通道，豎坑之間間距40公尺，最大深度地面下1,025公尺，圓形直徑為6.5公尺，通風豎井直徑為4.5公尺。中期階段(middle stage)為地面下500公尺，主要階段(main stage)為地面下1,000公尺，每個次階段(sub stage)為100公尺，如圖2所示。

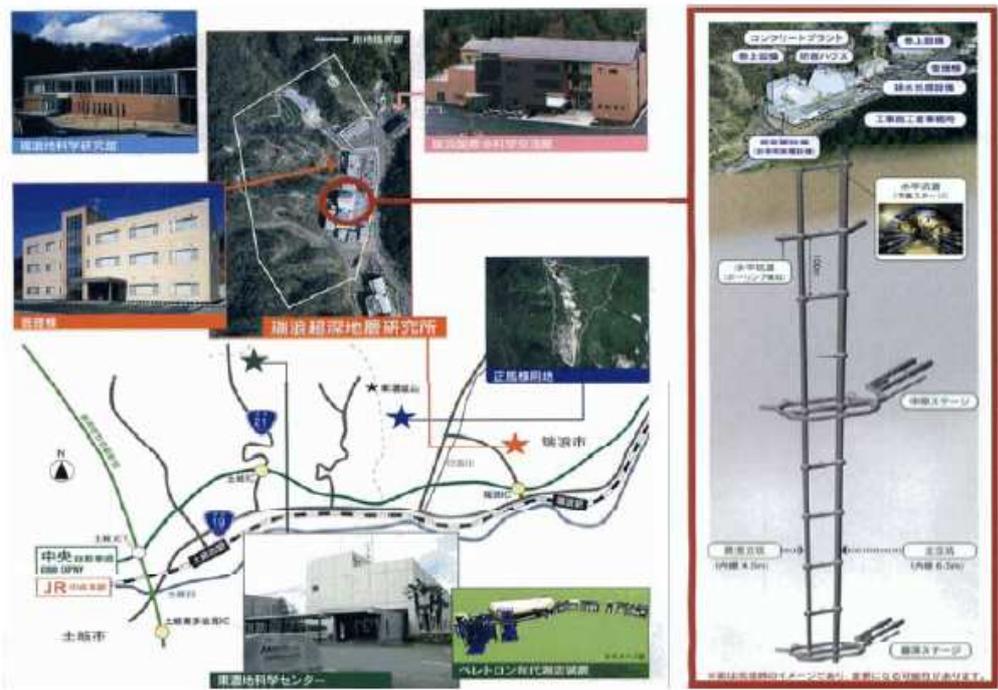


圖1 瑞浪超深地層研究所地理位置及設計配置圖

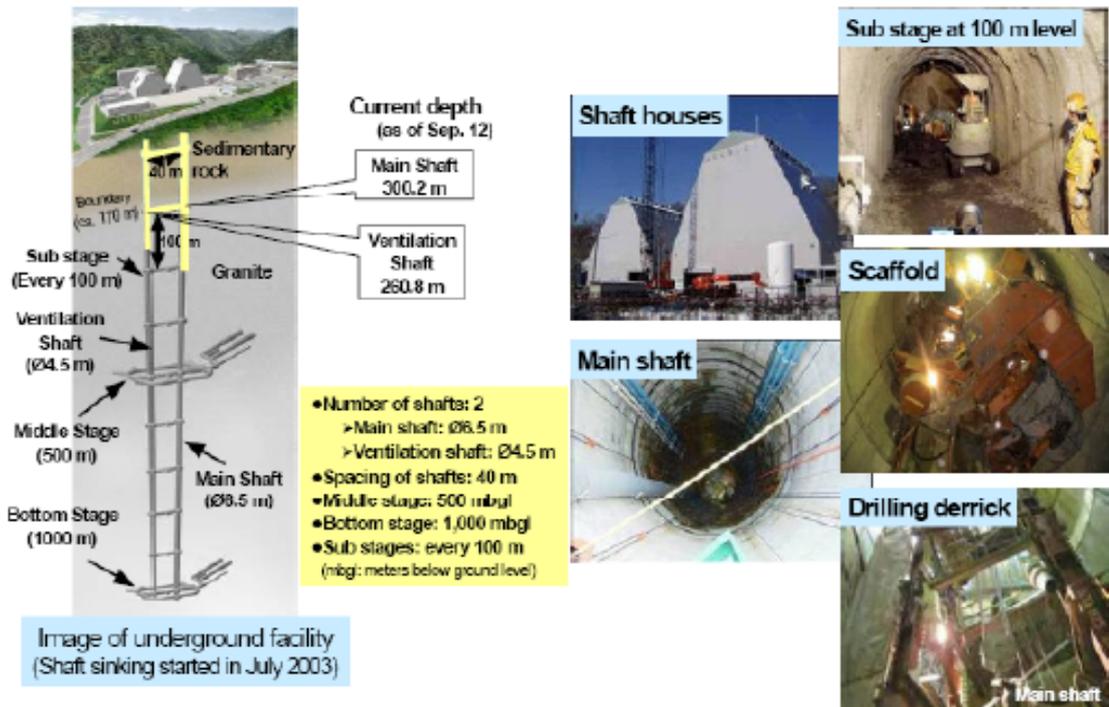


圖2 瑞浪超深地層研究所設計配置圖

MIU計畫主要區分為三個階段，分別為地表基礎調查、建造與運轉。地表基礎調查主要是進行地理、水文地理、水文化學及岩層力學等調查工作，計畫時程如圖3。

第一階段之地質圖及地質、水文地質模型的發展如圖4、5。

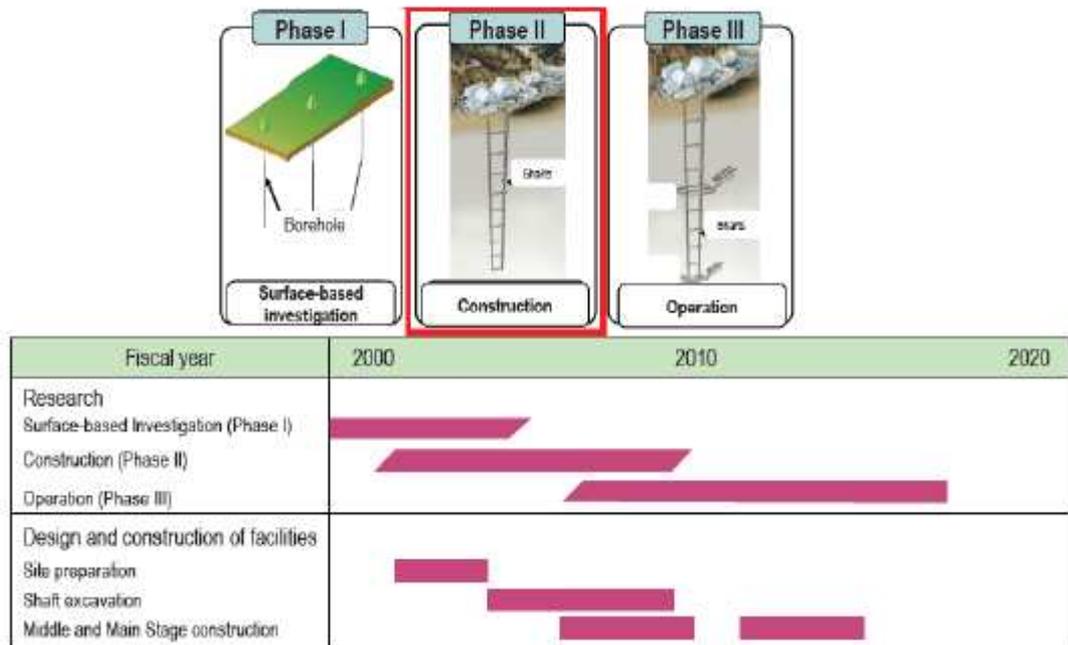


圖3 MIU 計畫時程表

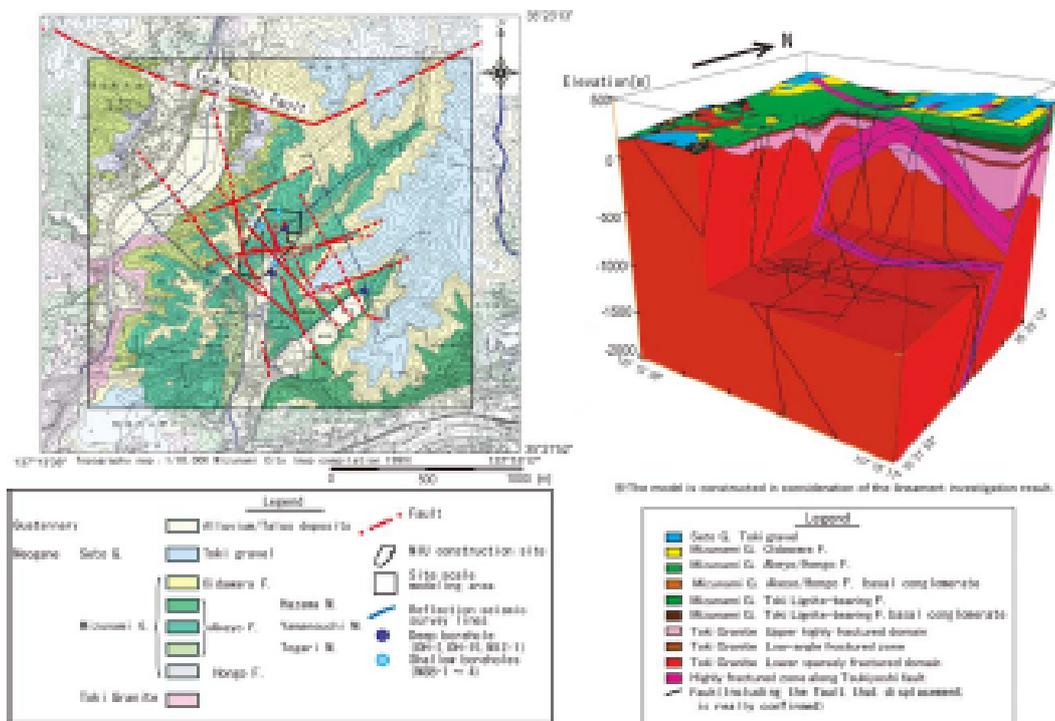


圖4 第一階段之地質圖

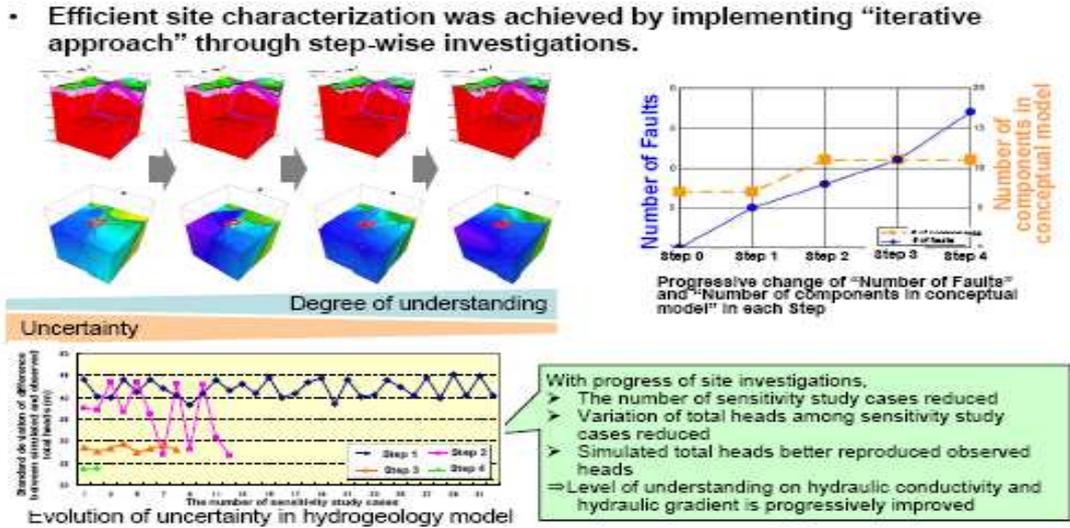


圖5 第一階段之地質與水文地質模型的發展

第二個階段規劃於地下500公尺及1,000公尺處分別建立實驗設施，建造過程分四個層次，依序為透過已經存在的淺層鑽井或新鑽井進行探勘、深井之鑽探，深井間之相關試驗、建造實驗用坑道(橫向)、斷面水力特性之試驗及建構豎井與通道，目前正進行豎井與通道的開挖與相關試驗量測。其中鑽探深井已達1,000公尺處，鑽探特別選擇穿越斷層帶的方式進行，並採取傾斜水平面5~7°的角度進行鑽挖，於特定深度後，鑽頭能於指定位置轉變其方向，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之主坑與換氣坑工程，已於平成19年(2007)開挖至地下231.2公尺與202.6公尺，於200公尺的水平坑道，豎井直徑6.5公尺，通氣井直徑4.5公尺，平均進度每日0.5公尺。研究內容為解決第一個工作時程待確認的議題及確認其預測的地質模型，並將開挖過程之相關資料，提供模型建立之參考，同時持續推估與確認地質綜合流程(geosynthesis work flow)，此水平坑道如圖6所示。

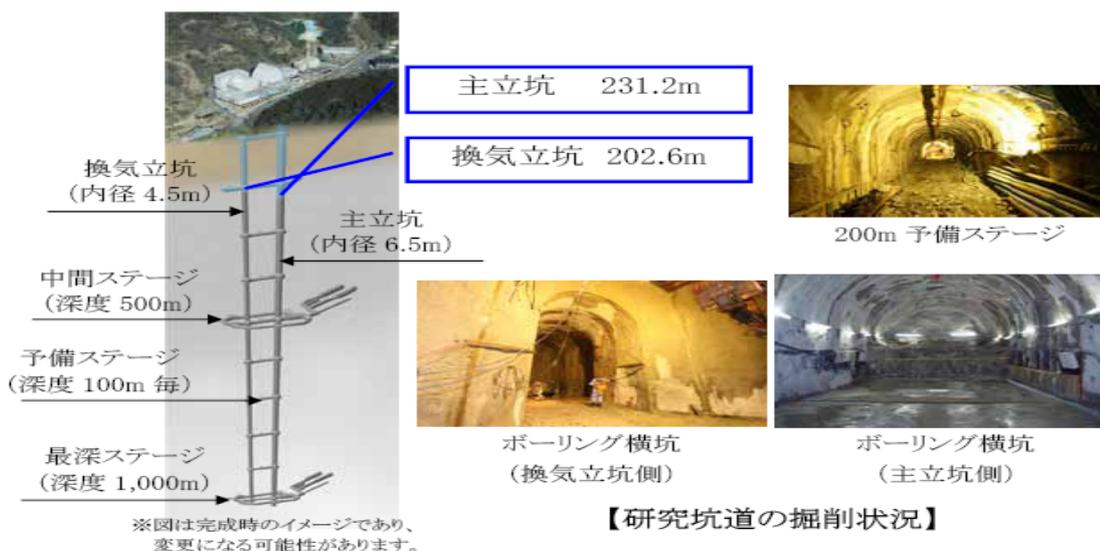


圖6 第二階段地下200公尺的水平坑道

本次參訪由設施人員帶領，分組搭乘電梯下達深度200公尺處，如圖7，實地參觀坑道內佈置、地層露出實景及地下水監測，如圖8、9、10所示。參觀後發現，日本高放射性棄物最終處置設施設置前的準備工作，做得非常詳盡與確實。



圖7 人員搭乘電梯



圖8 坑道內佈置圖



圖9 坑道內實景

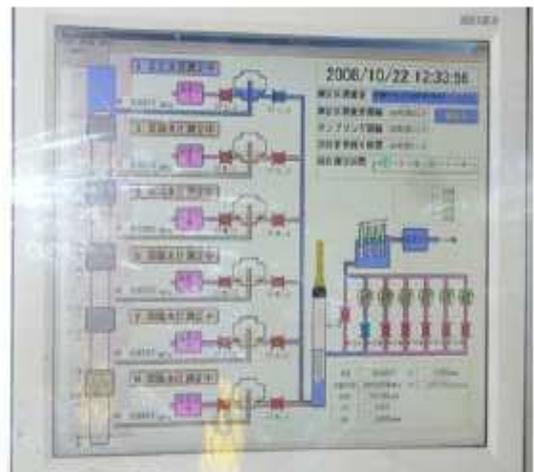


圖10 坑道內地下水監測儀器

## (二) 日本原燃公司六個所村最終處置設施

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設施、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 11、12。

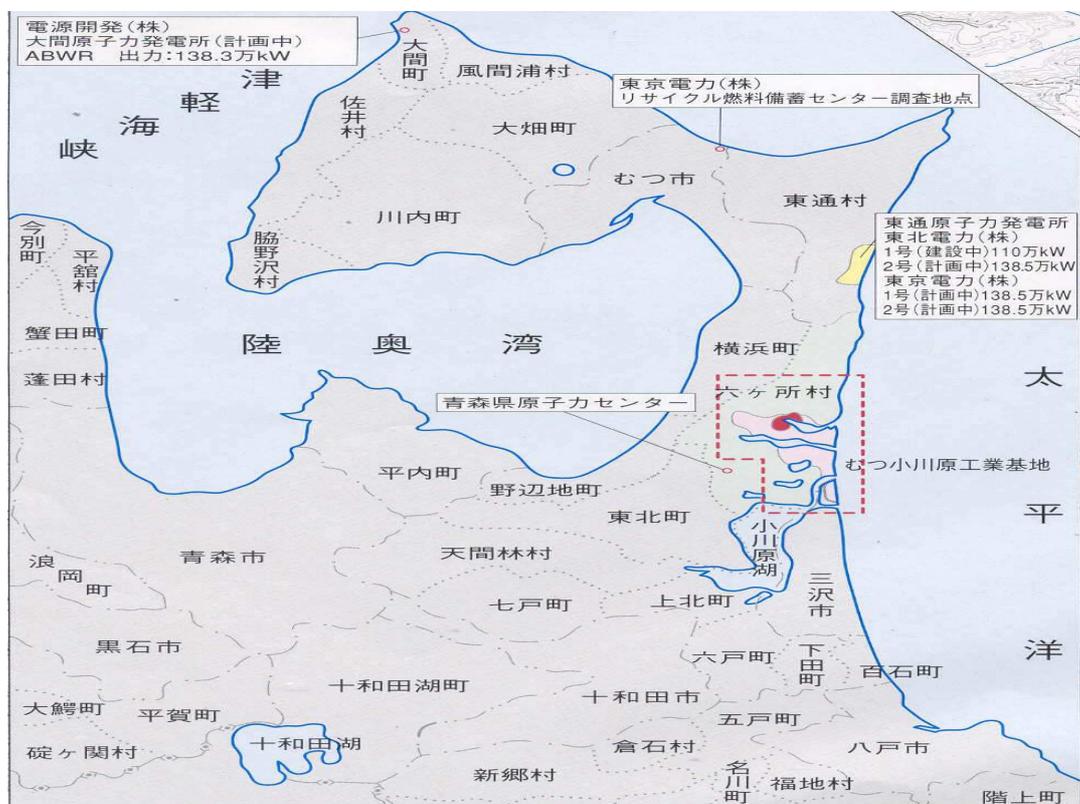


圖 11 六個所村及用過核子燃料乾式貯存設施位置圖

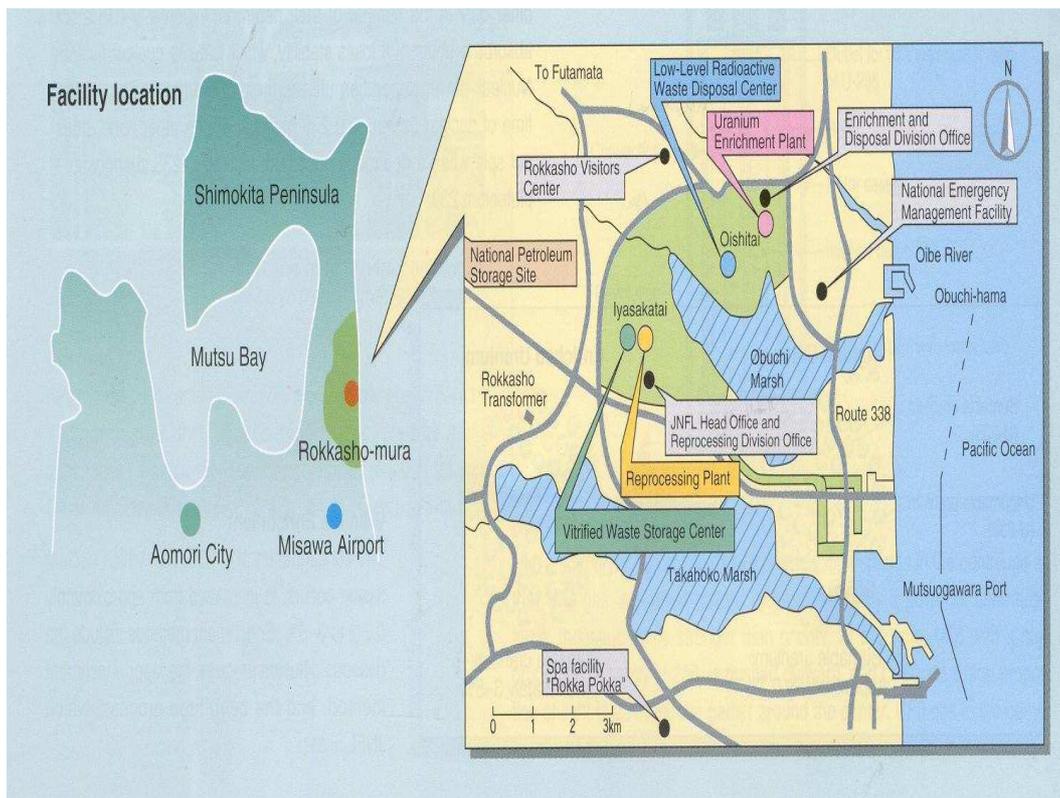


圖 12 六個所村各核能設施位置示意圖

## 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：

### (一) 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，其規劃或進行之中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 13 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。

### (二) 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。

### (三) 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。



圖 13 陳列於展示館內供民眾參閱之相關資料

## 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 14。



圖 14 低放射性廢棄物運輸專用船—青龍丸

低放射性廢棄物處置中心佔地 600,000 m<sup>3</sup>，設計容量 300 萬桶，已核准之處置面積為 80,000 m<sup>3</sup>（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 公尺，高 6 公尺，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 公尺，寬 37 公尺，高 7 公尺，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：

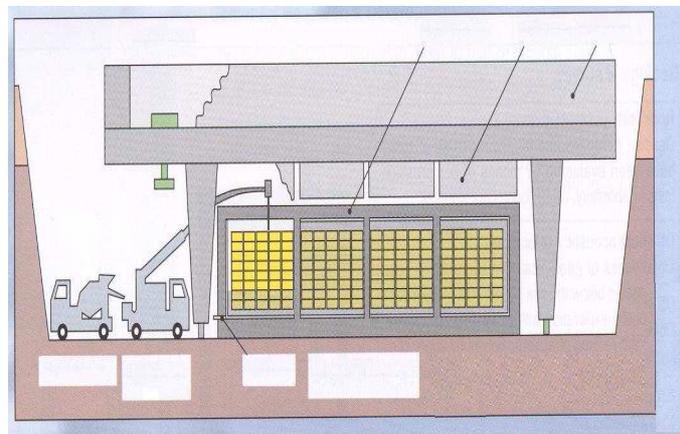
專用船至各核能電廠收齊廢棄物，再以海運送至小川原港卸下



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（八桶一列橫臥式）



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 15 所示。



圖 15 低放射性廢棄物最終處置中心鳥瞰圖

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 公尺）與前二期之低放射性廢棄物不同（8-9 公尺），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：

一、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。

二、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。

三、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 16 所示，調查坑之示意圖如圖 17。

### 調査位置概念図

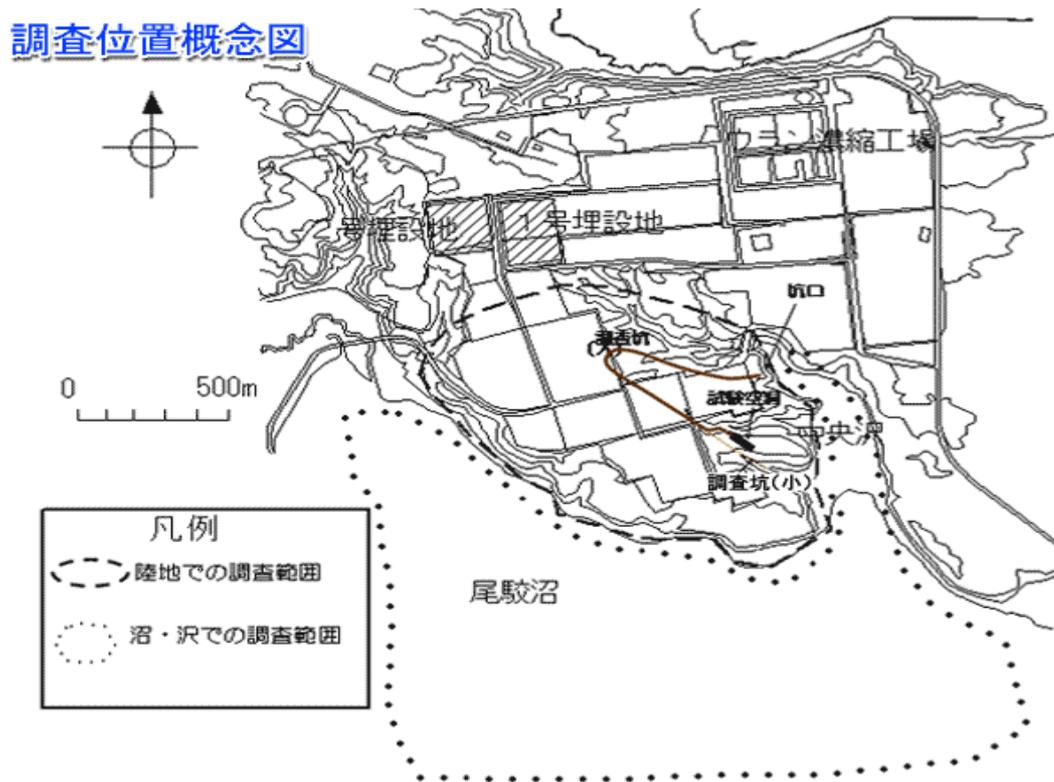


圖 16 調査工作之相關位置圖

### 調査イメージ図

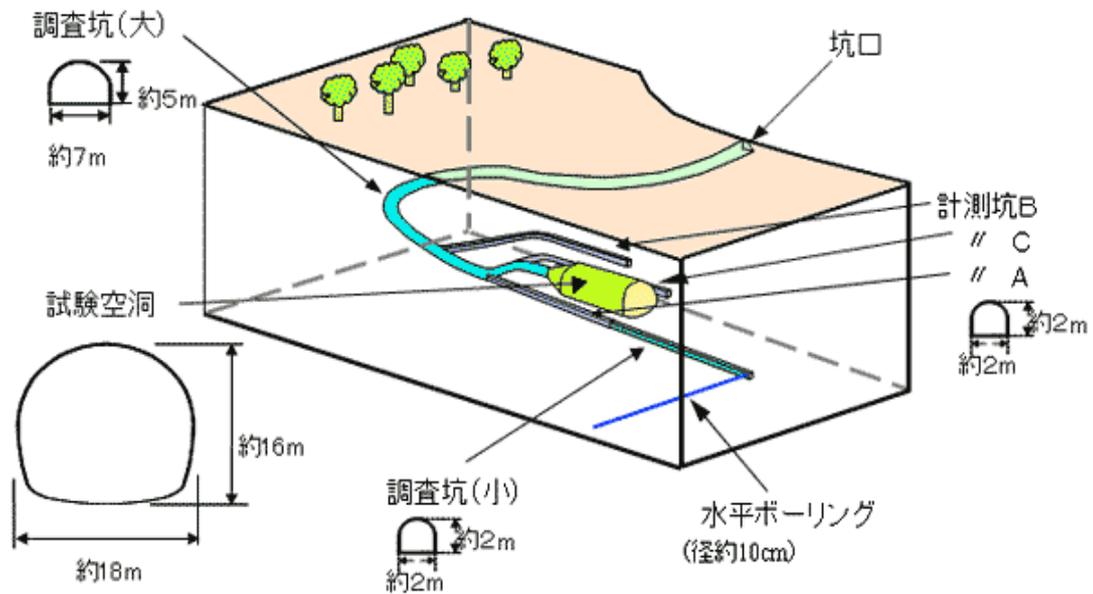


圖 17 調査坑示意圖

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 18 所示。

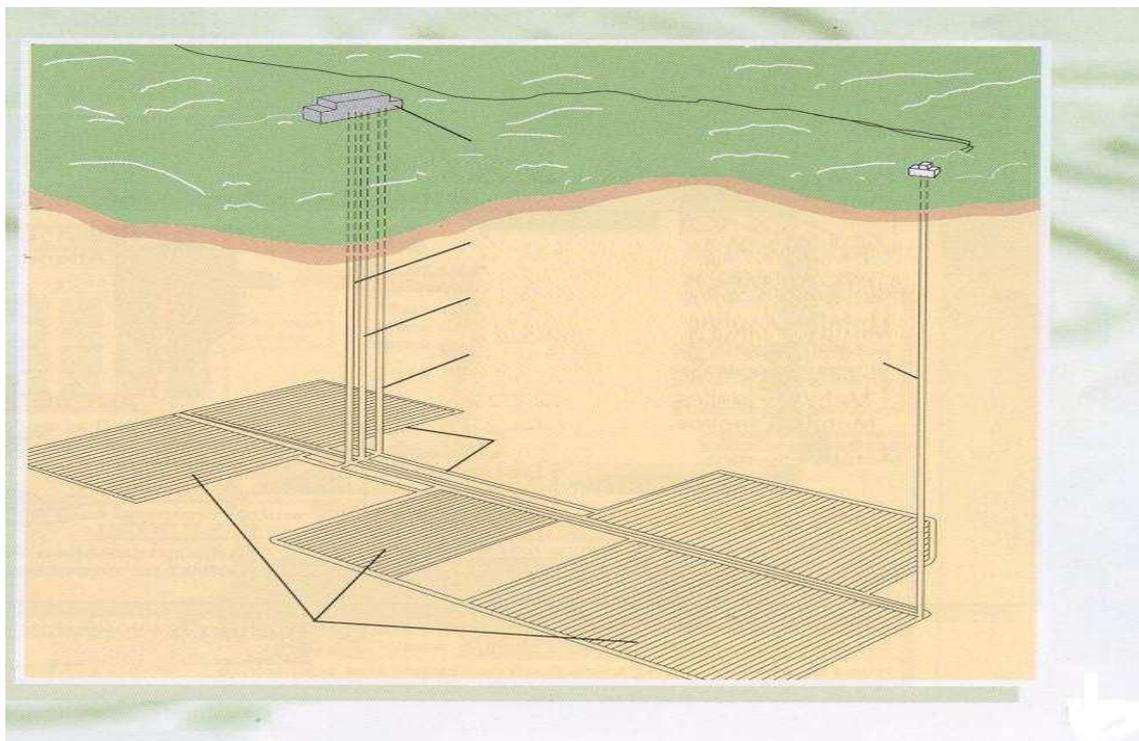


圖 18 高放射性廢棄物最終處置概念圖

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 公分大小之塊，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、鈾分開，最後以化學方法分成鈾及鈾溶液，2 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 19 所示，鳥瞰圖如圖 20。

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 3,000tU，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 2,692tU，處理了 389tU，再處理廠之最大處理容量為 800tU/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 900-1,000tU，至 2007 年存於各核能電廠內之用過核

子燃料達 12,000tU，為因應此不足之貯存容量，除於廠房旁另設置 5,000tU 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。

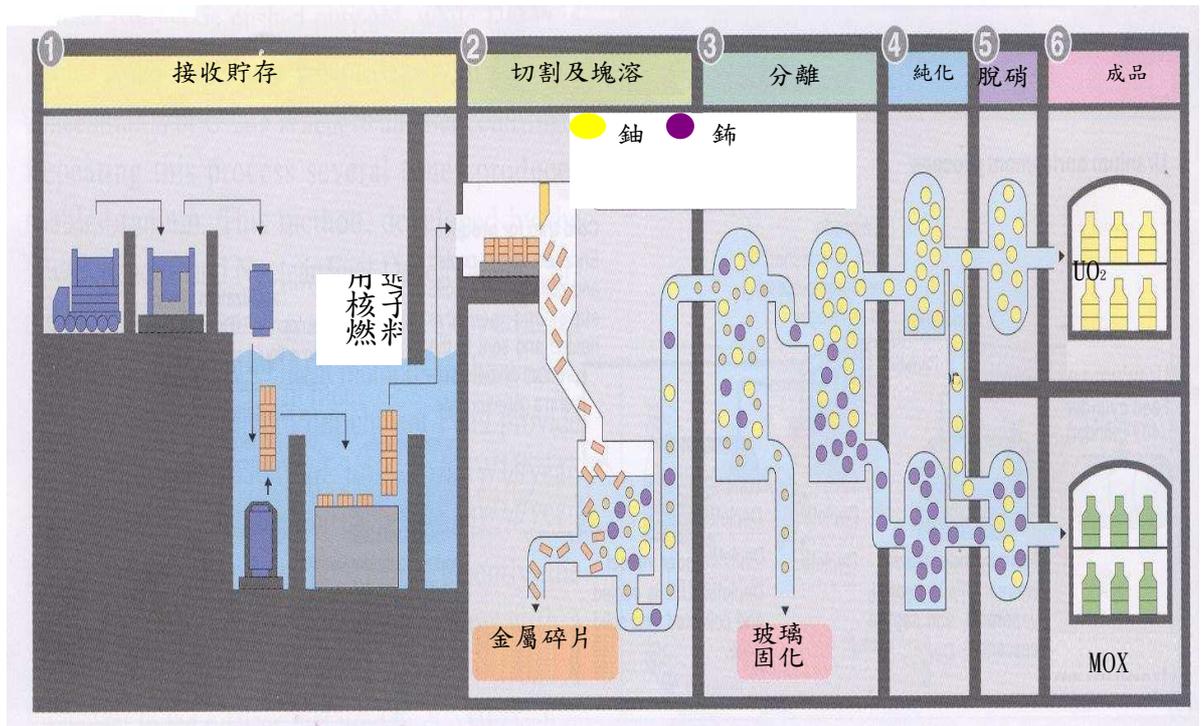


圖 19 再處理廠之處理流程圖

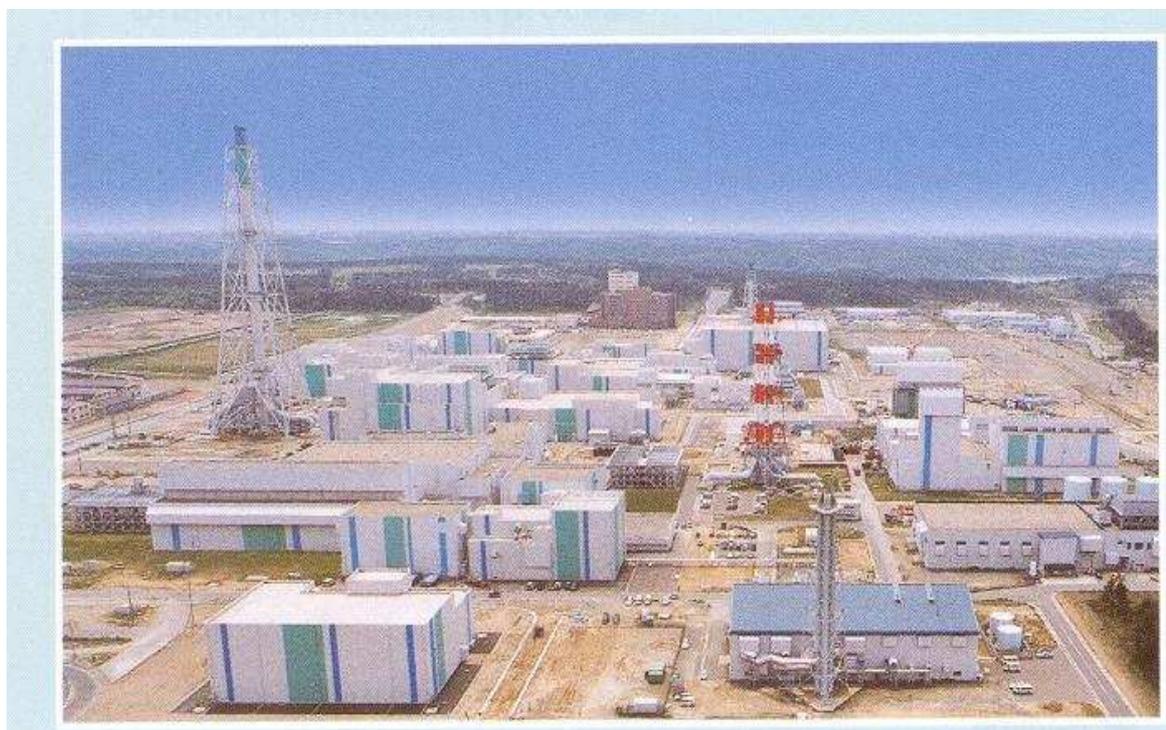


圖 20 再處理廠鳥瞰圖

## 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 米高 1.3 米），焊接封罐後裝入 TN28（可裝 28 罐）運輸護箱（直徑 0.4 米高 1.3 米），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 21、22 及圖 23。

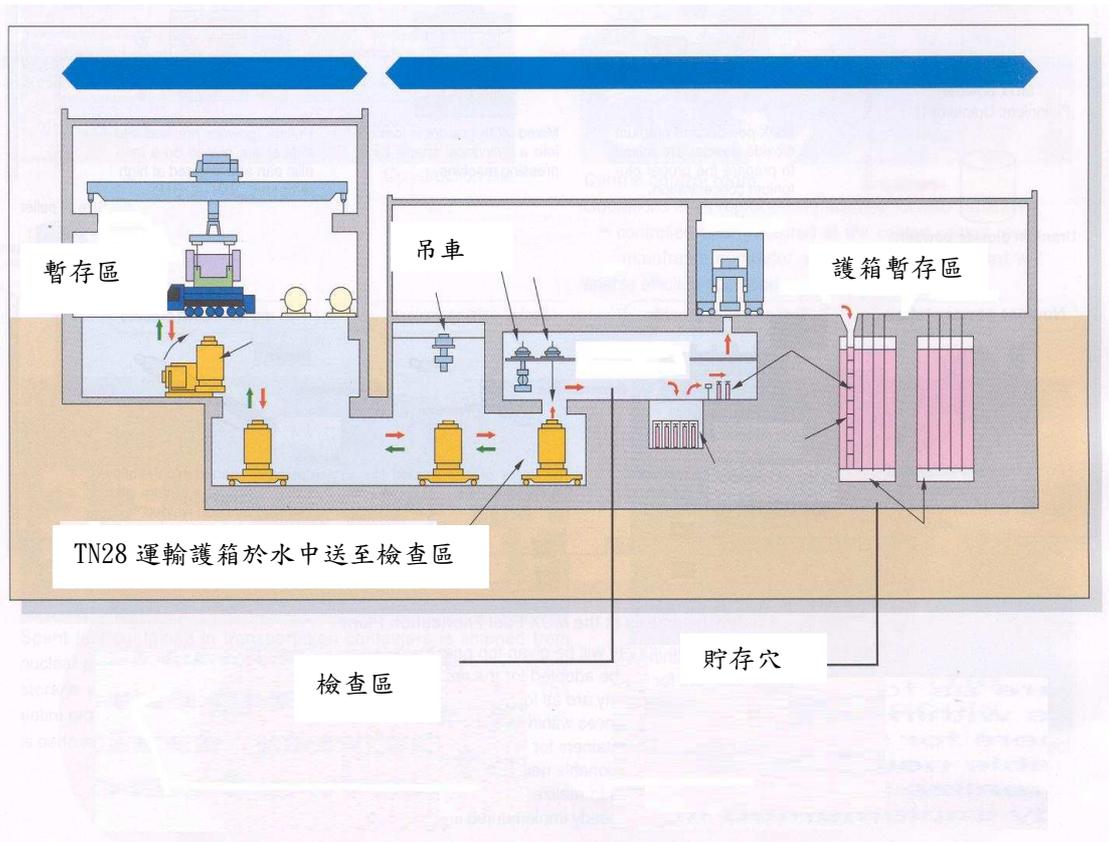


圖 21 玻璃固化廢棄物貯存中心操作流程



圖 22 玻璃固化廢棄物貯存中心各項設備實體圖

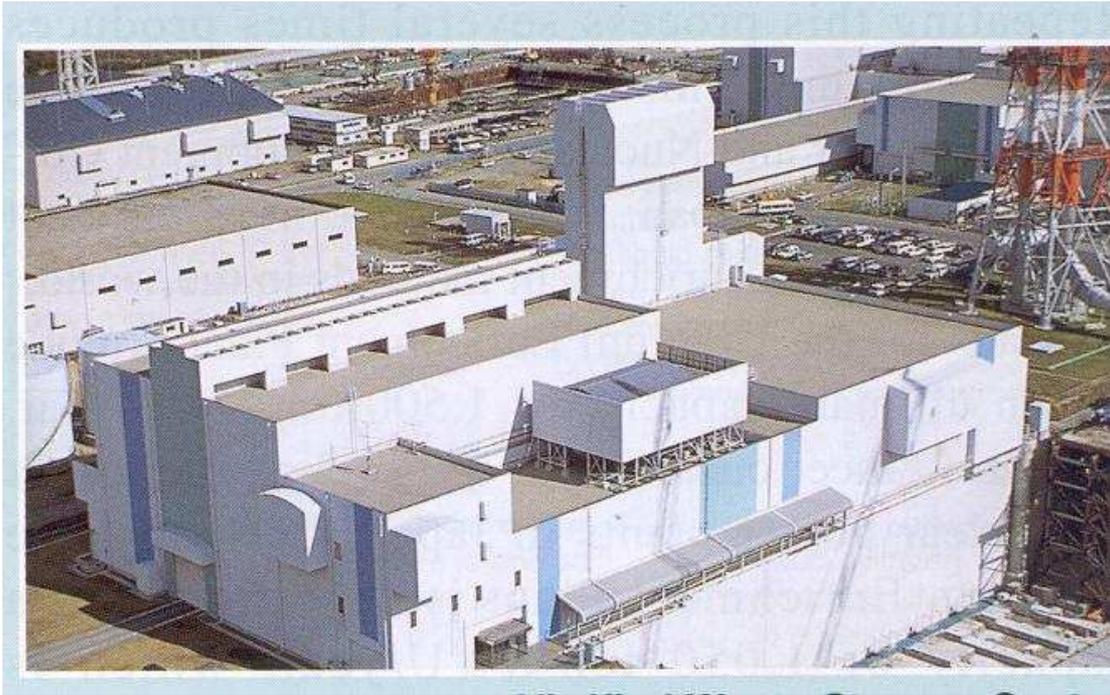


圖 23 玻璃固化廢棄物貯存中心鳥瞰圖

### 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 24。

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溝通與回饋。為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 公尺高，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 25，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。一樓和地下一樓除為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 26，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。

為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 27，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。



圖 24 六個所村展示館



圖 25 藉電腦遊戲化宣導輻射觀念



圖 26 以模型介紹核燃料循環處理情形



圖 27 環境試樣取樣及放射性分析情形

### 叁、心得

- 一、「東亞放射性廢棄物管理論壇」是由本會核能研究所發起，邀集東亞各國，針對放射性廢棄物管理技術進行交流，今年為第二屆，參與的國家與人數皆比第一屆來得多，且還有德國數位專家遠道而來，顯示此論壇逐漸獲得放射性廢棄物管理相關單位之肯定及重視。與會人士藉發表論文與討論，交換彼此之經驗及技術，使參與人員皆有實質之收穫，成效良好。我國低放射性廢棄物最終處置作業正值緊鑼密鼓期，高放之最終處置技術亦需有所突破，此論壇所提供之經驗及實質技術探討，對我國之產、官、研皆有大助益，實有必要持續派員參加。
- 二、我國低放射性廢棄物最終處置可能採取之設計，與六個所村中放射性廢棄物近地表處置之調查坑道類似，其相關經驗可供我國審查技術及概念設計之參考。此外，六個所村最終處置中心規劃興建有均勻固化、非均勻固化及中放射性廢棄物處置區，我國未來只可能有一座低放射性廢棄物處置設施，全國各界所產生之低放射性廢棄物都必須納入，是以設施內必定需以不同設計分區處置方式為之，六個所村之規劃設計可供我國參考。
- 三、日本、韓國及中國大陸於核能後端營運技術之研究皆投下大量經費及人力，且成果豐碩，而我國已處落後狀態，應借其經驗儘速規劃我國欲進行之相關研究，並依據放射性物料管理法第四十六條之規定，由台電公司提撥經費予以進行。
- 四、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發給每位與會人員，不僅資料保存方便，便於攜帶，且能利用電腦快速查詢相關資料。值得本會未來舉辦研討會時參考。

### 肆、建議事項：

- 一、本會核能研究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，而此論壇為推廣技術及藉由他人經驗回饋精進研發之極佳平台，建議本會及核研所皆能派員參加，並廣邀相關學術單位以共襄盛舉。
- 二、瑞浪超深地層地下實驗室處於斷層帶且地下水盤高，對放射性廢棄物最終處置而言，地質水文條件皆不佳，但從研究角度來看，愈不利條件下所收集之資料愈多，且參考價值愈高，建議多與其接觸並整理分析其相關資料，供我國高放射性廢棄物最終處置建立審查技術之參考。
- 三、日本早在 1985 年即開始規劃六個所村地區成為核子燃料循環設施，經多年之努力，如今已開花結果，成果豐碩，低放射性廢棄物處置設施已運轉 16 年，而高放射性廢棄物最終處置作業，亦依其規劃逐步實現中。至於韓國早期還曾至我國觀摩蘭嶼貯存場，取我經驗以做其規劃參考，而現在不但核能蓬勃發展，月城中低放射性廢棄物最終處置設施亦開始興建，預計 2010 年運轉。中國大陸之最終處置設施也紛紛運轉。我國低放射性廢棄物最終處置作業目前尚處於選址階段，仍有大段路程要走，此三國文化、民性、環境與我國近似，其經驗對我國而言，極具參考價值，建議有系統整合其相關資料，並持續與其交流，以使我國最終處置工作之推展能事半功倍。
- 四、近年來，日本、韓國及中國大陸在核能發展上大有作為，無論是扶植國內產業、開發技術及人才培育等皆有所規劃；以國內環境而論，確保核能安全與解決放射性廢棄物處理問題是核能發展之關鍵議題，尤其放射性廢棄物更是爭議的焦點，前述各國之經驗值得我們學習；而欲借鏡他人成功經驗，必須強化交流，才能有效取得精髓，以往核研所謝牧謙博士一向與日本建有良好關係，與中國大陸亦來

往甚佳，以其豐富的經驗及完善的資訊對本會貢獻頗多，未來是否仍有類似人才予以傳承，值得我們省思，建議本會宜培育相關人才，承先啓後，使核能之發展能事半功倍。

五、此次六個所村之參訪行程因路途遙遠，光是來回車程即花了近9個小時，使得實際參訪時間不足，僅能走馬看花，實在可惜，建議爾後技術參訪應規劃足夠時間，使參訪者能充分觀摩，以收實質之效。

## 伍、附件

第2屆「東亞放射性廢棄物管理論壇」論文集電子檔，存於本會物管局。