

出國報告（出國類別：開會）

赴日本參加第 24 屆台日核能安全研討會

服務機關：行政院原子能委員會輻射防護處

姓名職稱：劉文熙 副處長

派赴國家：日本

出國期間：98 年 11 月 18 日至 98 年 11 月 21 日

報告日期：99 年 1 月 20 日

摘 要

台日核安研討會迄今已舉辦至第二十四屆，每年由台灣各核能機構與日本各電力公司輪流主辦，將兩地有關核能安全相關議題在此會議中提出簡報討論，以作為技術研發合作、資訊交流與經驗分享之平台，其宗旨為提昇台日雙方核能相關技術與安全。今年會議在日本名古屋舉辦，由日本中部電力公司所承辦，參加本次會議的我方機構有原子能委員會、核能研究所、物管局、台灣電力公司、中華核能學會、工研院、核能資訊中心及清華大學共計29人，由核能研究所馬副所長擔任團長。日方代表除中部電力公司代表外，亦有日本原子力產業協會、日本原子力技術協會及東京、九州大學等60餘位專家學者與會。

本次會議為期一天半，共有四大議程，分別為「政策方針」、「核能發電廠之建設、運轉及維護」、「放射性廢棄物管理」、「事件應變及人才育成」，共計有 19 篇專業演講，會議中雙方並就講演內容進行熱烈討論交流，分享雙方經驗及成果。在技術參訪方面，於會議舉行前一天則前往日本岐阜縣，參訪東濃地下科學中心位於瑞浪市的超深地層研究實驗所，實地深入地下 300 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，此外於會議結束當天下午，由日方安排參訪世界最大汽車商之製造工廠：豐田(Toyota)公司位於豐田市的堤工廠，該廠主要生產目前最先進環保技術之汽電共生汽車，瞭解該廠生產作業及人員訓練等相關現況，之後並安排參加台灣代表團參訪浜岡核電廠及島根核電廠，以了解日本進步型沸水式核能機組運轉狀況及興建情形。經過實地了解日本電力公司如何有效率地興建及運轉其核能電廠後，對於未來原子能委員會對核電廠的審查及管制將甚有助益。

目 錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、心得.....	22
肆、建議事項.....	23
伍、附件.....	24

壹、目的

「台日核能安全研討會」為促進台灣及日本雙邊核能安全與技術交流的重要管道之一，每年由台、日兩國輪流主辦，針對放有關核能相關議題行講演與深入討論。迄今已是第二十四屆，今年主辦單位是日本中部電力公司，於 11 月 17、18 日一天半假名古屋市商工會議所舉行，台日兩方約有近百位從事於核能電廠運轉、維護、及放射性廢棄物相關領域專家學者參與，共發表 19 篇論文，內容包括「核能發電廠之建設、運轉及維護」、「放射性廢棄物管理」、「事件應變及人才育成」等主題。參加此研討會的主要目的係藉由兩國與會人員所提出的專題報告及討論中，吸取對方經驗與成果、精進技術水準及交換彼此之意見。

此外，我方團員於會議舉前一日，在日方安排下赴名古屋市東北方約一小時車程距離之岐阜縣瑞浪市，參訪瑞浪深地層研究實驗所，並深入地表下 300 公尺之豎坑，瞭解相關有關放射性廢棄物最終處置相關之地球科學試驗項目，藉由實際觀摩，瞭解該設施之運作、管理與管制情形，期能對提升我國高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

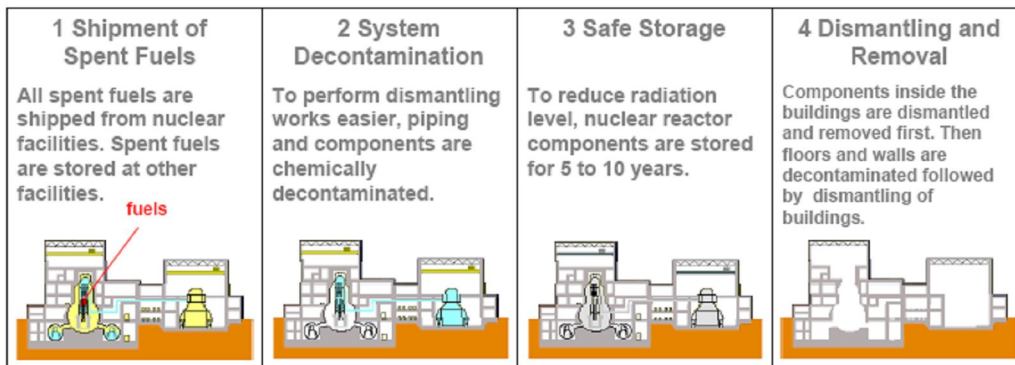
此次公差自 98 年 11 月 15 日起至 94 年 11 月 21 日止共計 7 天，詳細行程如下：

起訖日期	到達地點	活動內容
98.11.15 (日)	台北→名古屋	去程
98.11.16 (一)	名古屋	參訪瑞浪超深地層研究所
98.11.17 (二)	名古屋	出席台日核能安全研討會
98.11.18 (三)	名古屋	出席台日核能安全研討會
98.11.19 (四)	東京→掛川→松江	參訪浜岡核電廠
98.11.20 (五)	松江→大阪	參訪島根核電廠
98.11.21 (六)	大阪→台北	路程

二、出席第二十四屆台日核能安全研討會

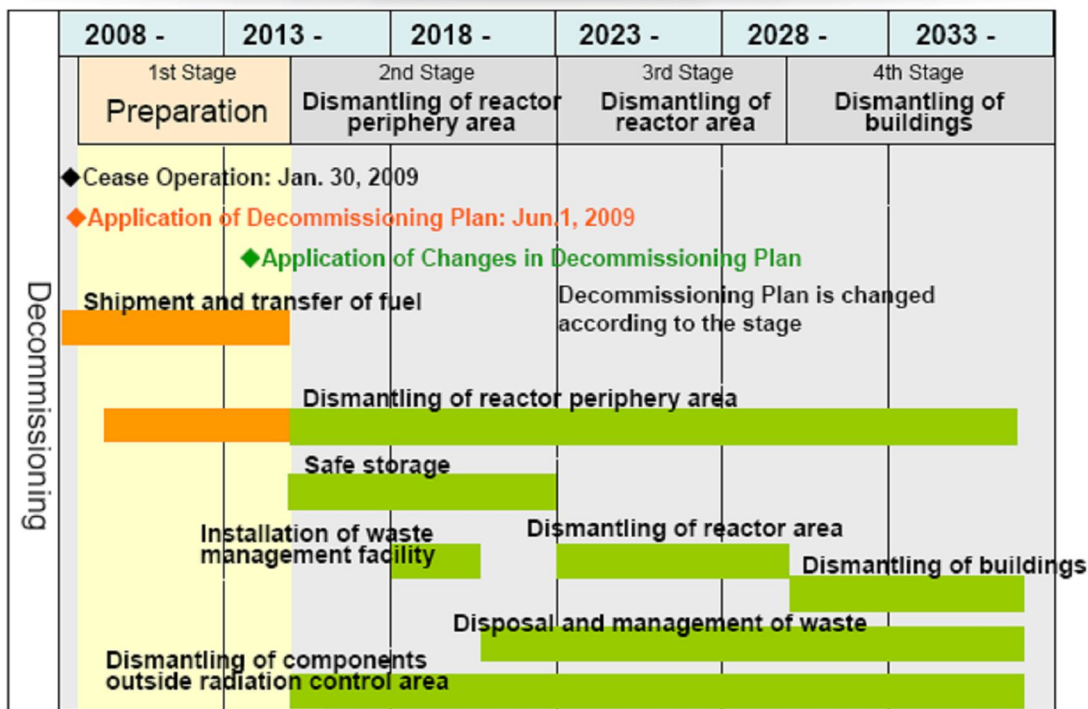
在本次會議開幕(11 月 17 日)時，首先由日方中部電力公司副社長淺野先生(Mr.Haruhiko Asano)致詞，歡迎詞中提及核能復興相關議題時，他強調需確保核能安全及與資訊透明，如此核能發展才會有興盛之契機。續由我國本次代表團團長一核能研究所馬副所長致詞，亦將我國核能發展近況稍加介紹。大會接著請特別來賓原子能委員會主任委員蔡春鴻博士致辭，主委提到目前全球氣候快速變遷，減碳議題上正是核能發電所佔的優勢，而且要能確保核能安全與解決放射性廢棄物處理問題正是當前核能發展之關鍵議題，尤其放射性廢棄物更是可討論的焦點，在放射性廢棄物的管理上，安全、明確及永續的解決方案，則對於核能電廠持續成長與其他和平的應用，將會具有關鍵性的影響。

在隨後的「政策方針」講演中，先由中部電力公司副社長淺野先生發表專題講演，題目為「中部電力公司於核能領域中之挑戰」，目前該公司總發電容量中核能僅佔 11%，遠低於日本全國核能發電平均占總發電量之 20%。其中也介紹濱岡核電廠 1、2 號機(Hamaoka No.1 & 2)的除役的標準步驟(如圖一)，並也將除役步驟之時程定妥善規劃訂出(如圖二)，在尚未有電廠除役的我國可藉此瞭解該國核能電廠除役的相關準備，以作為日後我國電廠除役之參考。



圖一 濱岡核能電廠 1、2 號機除役標準步驟示意圖

Overall Schedule of Decommissioning



圖二 濱岡核能電廠 1、2 號機除役步驟之時程規劃

而後由台電公司黃副總經理報告「台灣未來核能發電之遠景」，最後本人進行特別演講，講題為「我國醫療院所輻射防護之強化」，介紹我國目前對於醫療院所的輻射防護相關管制作為及策略，令日方瞭解我國現況及發展。

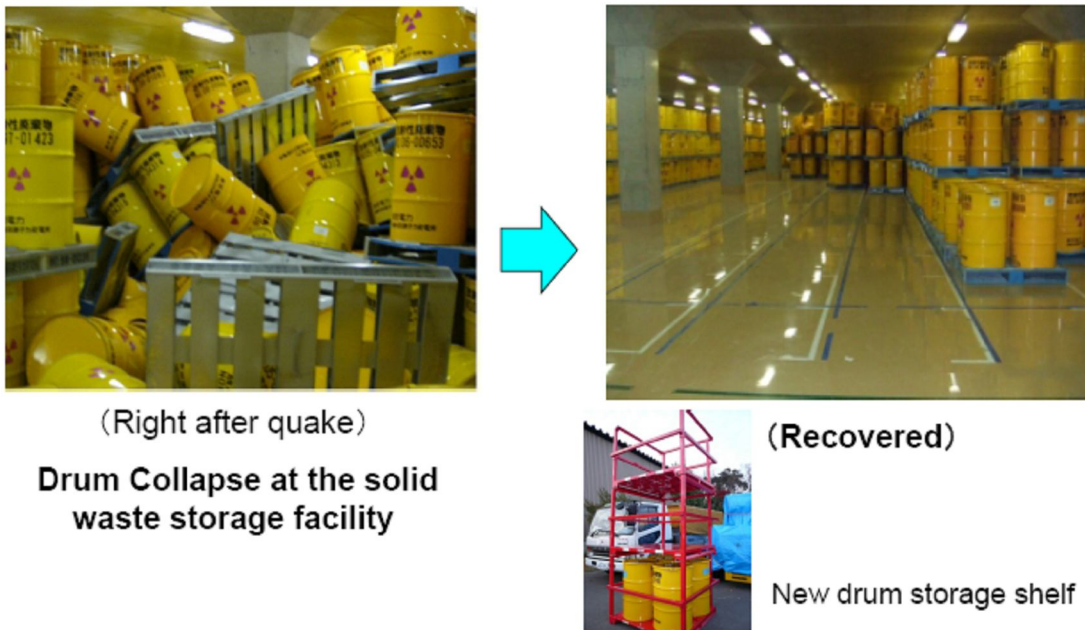
在上午 11 點隨即開始較為核心議題簡報及討論，議題為：「核能發電廠之建設、運轉及維護」(Nuclear Power Plants/Construction, Operation & Maintenance)，在此項議題中，台日雙方共有 8 篇專題報告，題目如下：

- (1) Construction and Process Control at Shimane Unit 3.
- (2) Current Status of the Lungmen Nuclear Power Plant Construction and Preparation of Pre-operation.

- (3) Current Situation on Power Uprate for Operating Light Water Reactors in Japan
- (4) Lessons Learned and Future Plan of Power-uprating in Taiwan.
- (5) Nuclear Power Plant High Capacity-Factor and Management for Operation and Maintenance in Taipower.
- (6) Current Situation of Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station after Niigataken Chuetsu-oki Earthquake.
- (7) Approach for Restart of Hamaoka Nuclear Power Station after Suruga Bay Earthquake occurred on August 11, 2009.
- (8) Maintenance Rule Implementation.

在本議題簡報中，日方也將目前正興建中的島根核電廠三號機(Shimane Unit 3)的延遲原因及解決措施提出報告，讓正興建的龍門電廠的台電公司與會人員可以借鏡，極具參考價值。而日方對於我國小額功率提升之專案成果亦甚感興趣，提出許多問題，並對此項議題欲後續深入探討。另外日方對於台電公司藉大修排程節省工期，增加營運效率亦頗感興趣，因日方發電效能並不如我國，我國實務成果使日方得到許多寶貴參考。

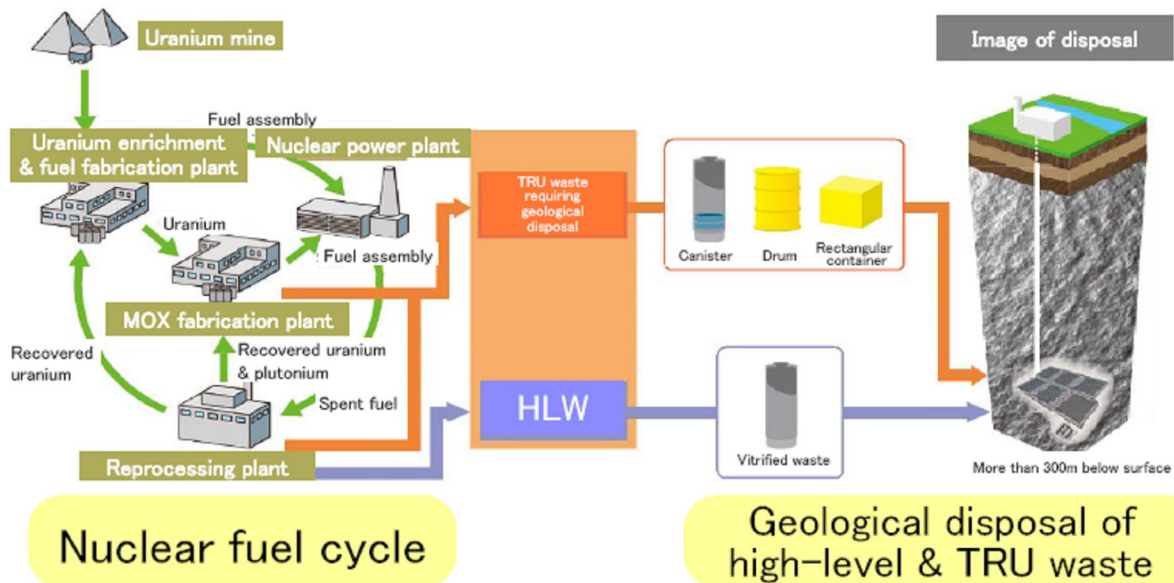
與我國同屬地震頻繁的日本，也將 2007 年 7 月 16 日於柏崎刈羽核能發電廠 (Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station) 外海發生規模 6.8 強震之受損經驗及改善措施提出報告；其中也提及放置於放射性廢棄物貯存倉庫之廢棄物桶因此翻倒，後續也因此製作保護框架，以保護廢棄物桶身(如圖三)，可作為提升我國廢棄物桶貯存安全之參考。



圖三 強震後放射性廢棄物桶因而跌落，後續改善裝設防護托架

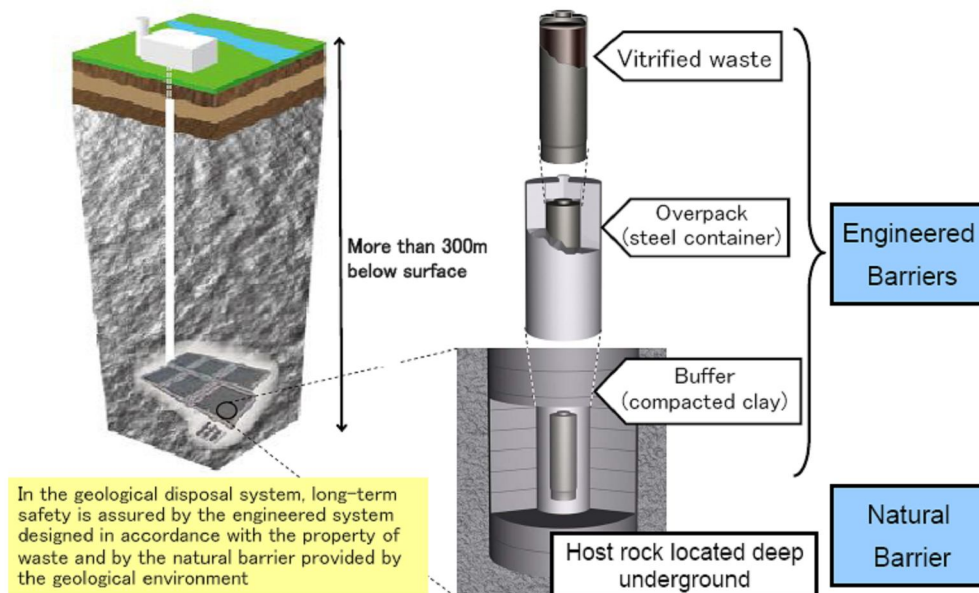
而後的議題主題為「放射性廢棄物管理」，分別由原子力發電環境整備機構國際技術協力部長竹內先生及核能資訊中心朱理事長鐵吉博士共同主持。本議題雖僅有兩篇報告，但都是將雙方國內之最新發展情形提出分享。先由原子力發電環境整備機構公共關係部片平部長報告「日本高放射性廢棄物地層處置現況」(Current Status of Geological Disposal of HLW in Japan.)，在報告中日方介紹用過核燃料再處理(reprocessing of spent fuel)所產生的高放射性廢

棄物(HLW)及超鈾廢棄物(TRU)將以深地層方式處置(如圖四)之現況。



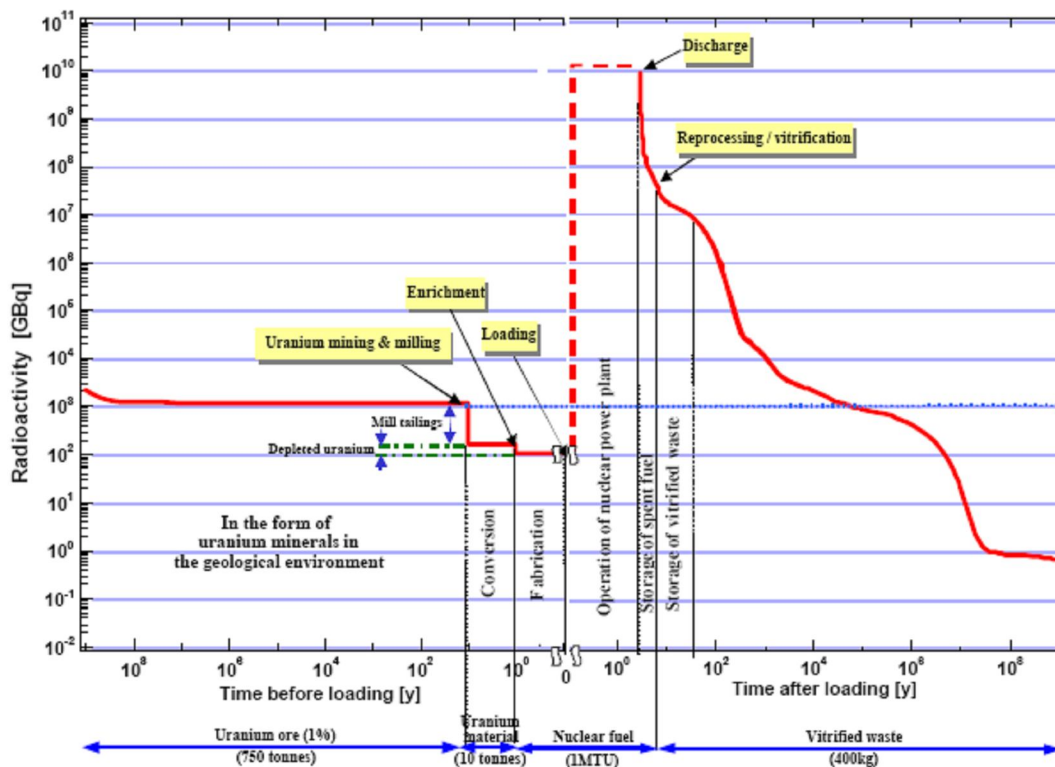
圖四 用過核燃料再處理後所產生之高放射性及超鈾廢棄物以深地層方式處置圖

依據日方高放射性廢棄物深地層處置之概念(如圖五)，是將轉化後之玻璃固化體 (Vitrified Waste)先以工程障壁(Engineered Barriers)包裝，其中會使用厚度 70 公分的壓實黏土作為障壁之一部分，再將廢棄物置入地面以下深度 300 公尺的沉積岩或花崗岩中，因為據研究顯示該處地下水流速為每年約為數個毫米，若以一年一公分流速的保守估計，從 300 公尺的深地層到達地面時將會是距今 3 萬年以後，如此工程及天然多重障壁設計方式，將會是有效的隔離處置方式。



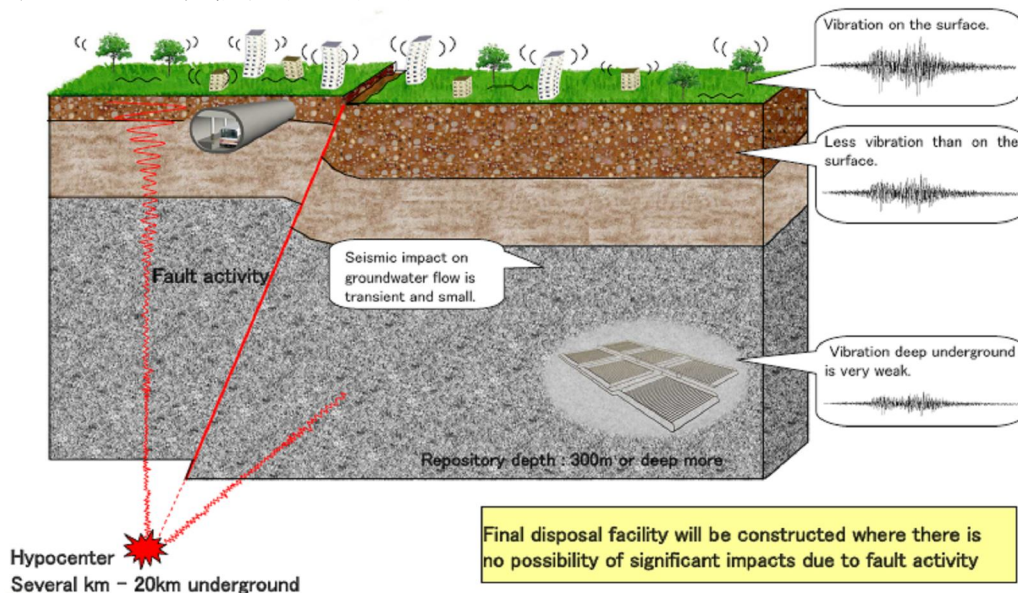
圖五 高放射性廢棄物深地層處置之工程及天然之多重障壁概念圖

同時經過劑量衰減計算評估(如圖六)，若高放射性廢棄物處置於深地層經過數萬年後，則放射性活度將會與油礦石之劑量相近，屆時將無安全之虞。



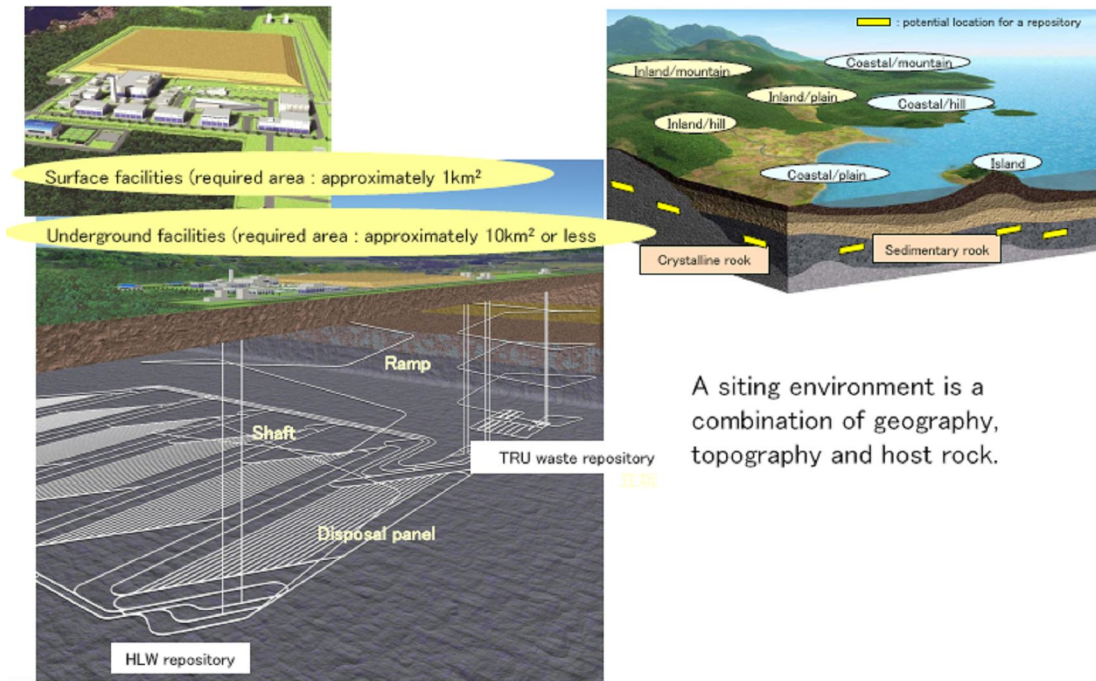
圖六 核燃料從開採、使用及棄置成爲廢棄物活度變化衰減圖

因爲要避免因斷層活動而對處置場之嚴重負面影響，所以處置場場址儘可能避免建構於斷層帶上；並且根據本報告，若震央位於地下 20 公里處，位於震央數公里外的處置場之震度僅爲地面震度的二分之一至三分之一(如圖七)，處置場耐震設計之安全強化措施可以因此而參考，但是我方認爲仍值得繼續深入探究。



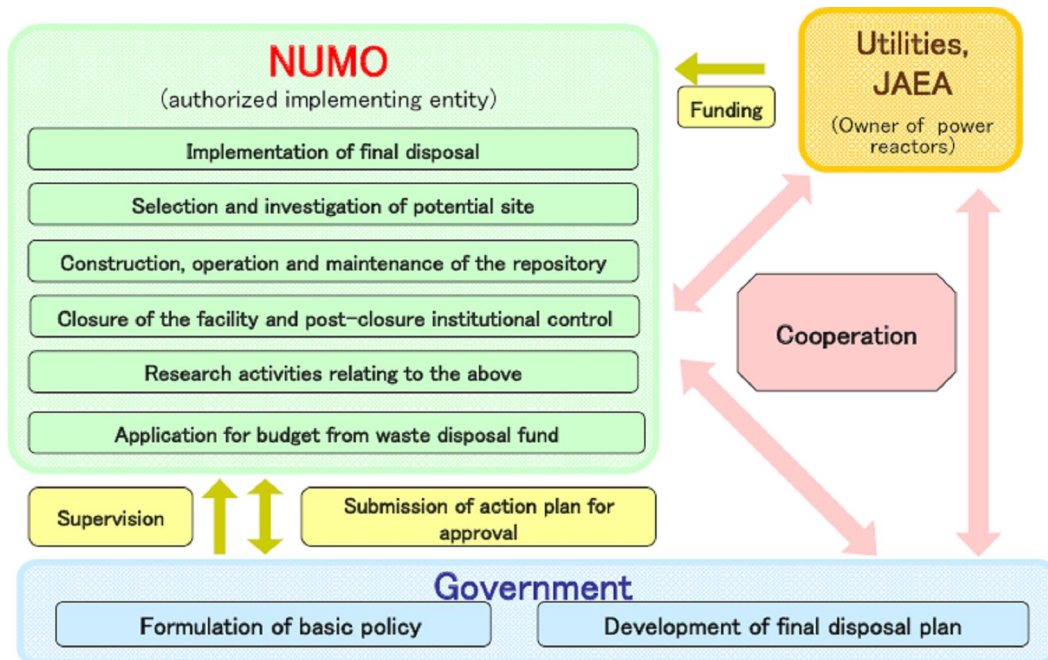
圖七 深地層高放廢棄物處置場受地震影響遠低於地面程度示意圖

處置場場址位置在地表面，則面積約需 1 平方公里，若設置於地下所需面積約爲 10 平方公里左右(如圖八)。



圖八 廢棄物處置場址所需面積示意圖

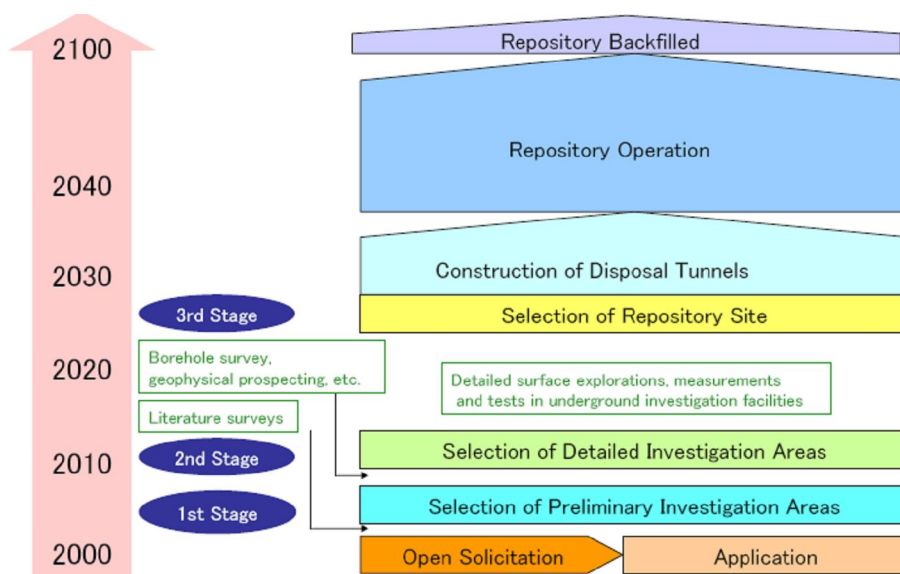
日方籌設處置場是由原子力發電環境整備機構於 2000 年所組成的放射性廢棄物管理機構 (Nuclear Waste Management Organization of Japan, 以下簡稱 NUMO)，該組織為政府認可之財團法人，由全日本核能電廠依據其發電量的比例，共交付 NUMO 約 3 兆日圓以供相關運用，運用及工作範疇如圖九所示。



圖九 NUMO 與其他單位關係以及負責工作範疇圖

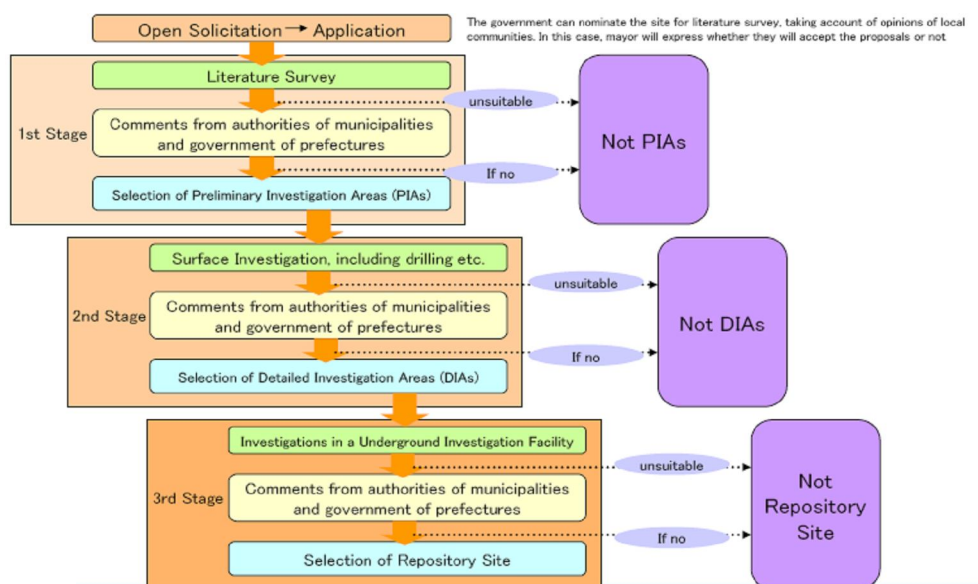
目前已有 1604 個高放金屬罐貯存於青森縣六所村，截至 2008 年為止，若將已產生的用過核燃料轉化為玻璃固化體後，將會有 22200 桶產量，到 2020 年估計將有四萬桶產量。而在日本高放處置計畫中共分為三個階段(如圖十)，第一階段為文獻資料調查，第二階段為地表鑽

探進行調查，如目前的瑞浪深地層實驗室即是現階段進展之工作。第三階段為選定場址應建造使用，最後與以回填封閉。預計在 2028 年選出設置場址。



圖十 日本高放射性廢棄物處置計畫時程圖

而在每一個階段進行前，均要徵詢當地居民及政府之意向，若獲得同意則就繼續往下一階段進行，若進行中途時，當地政府或居民若中途反悔(例如地方民意首長改選後新政府反對)，則就立即停止相關工作之進行，直到最後場址選出為止，圖十一為各階段與地方互動示意圖，此項作法令我方印象深刻。



圖十一 NUMO 籌設高放射性廢棄物場址各階段與地方互動示意圖

在經費補助方面，在文獻資料調查階段，日本政府每年補助 10 億日圓，在鑽探階段，每年亦補貼 20 億元，而在這補助款項中一半金額是要撥發給志願參與計畫的鄉鎮，這也代表日本政府極為重視此項計畫。

而在宣傳工作上，政府及電力公司也一併參與宣傳工作。NUMO 積極與地方共同辦理研討會及論壇會議，同時也利用地方報業與相關雜誌、媒體及網路進行相關議題之探討，其目

的是盡可能使一般民眾瞭解高放射性廢棄物處置的重要性及必要性。並將工程障壁及地下層虛擬模型均建構於日本科學技術館中讓民眾在參觀時順便了解，在 10 月 11 日起才舉辦完成為期兩週的全國報紙電視的大型相關議題宣傳，目前已有初步結果，發現民眾對高放處置的認知已略有概念。

在本篇報告後，片平部長回答我方人員詢問問題談及青森縣情形，因為已經向青森縣居民承諾，不會將高放射性廢棄物處置場設於該處，而且在進行階段性計畫前，一定也會與地方居民共同訂定未來發展願景，是以共存共榮的誠懇態度進行相關工作，日方此種態度精神，值得我方學習。

隨後由台電公司後端營運處蔡處長報告「台灣低放射性廢棄物選址作業現況」(Site Selection for Disposal of Low Level Radioactive Waste in Taiwan)，也讓日方了解我國目前低放射性廢棄物場址選址的最新狀況及進度，日方人員詢問候選場址當地居民是否有激烈的抗爭，同時也詢問補助金相關措施，而蔡處長也相當詳盡的解說。

研討會第一天議程於 18:00 結束。之後，大會安排自助餐會，台日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(11 月 18 日)的議程自 9:00 開始，主題是「事件應變及人才育成」共有六篇專題報告，題目如下：

- (1) Increased Hydrogen Concentration in the Off-gas System of Hamaoka-4 & 5.
- (2) Activities on PWSCC issue and the lessons learned at PWR NPPs.
- (3) Comprehensive Nuclear Emergency Response Exercises in Japan of 2008.
- (4) The 2009 Nuclear Emergency Exercise in Taiwan.
- (5) Human Resources Development (HRD) in Japanese Nuclear Community.
- (6) Nuclear Engineering and Science Education in Taiwan.

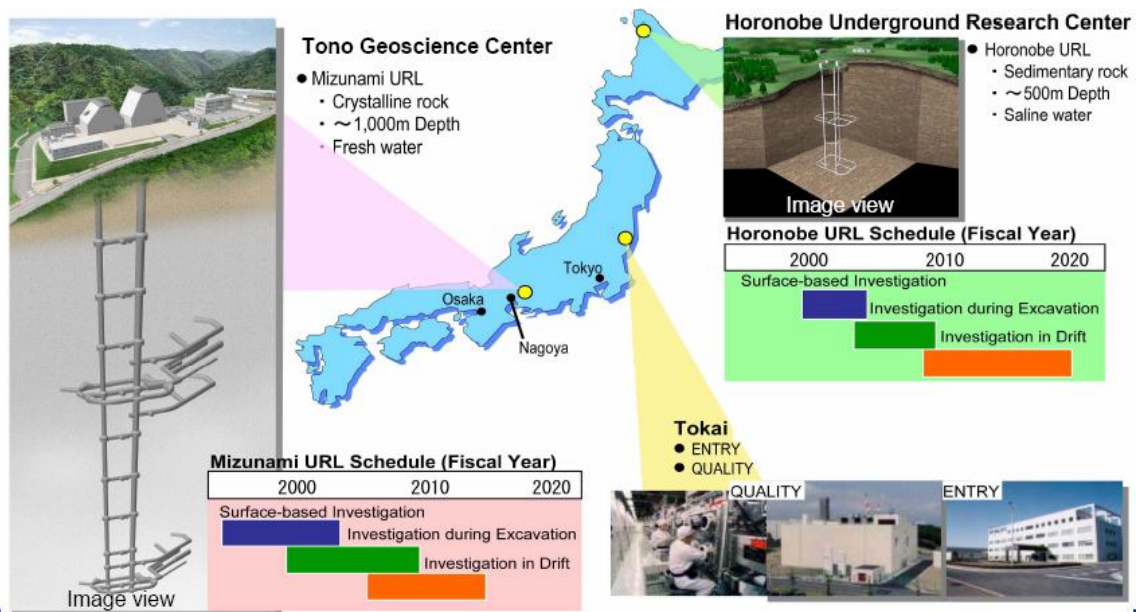
在此議題報告中，日方就事故的原因、過程、因應對策均有詳盡解說，令我方受益良多，也同時看到日本在核安演習時，由最高行政長官－總理親自主持相關會議，表示日本政府極為重視核能安全，這是我方應該學習之處。

另外就人才培育方面，我國與日本均有核能人才斷層現象，所幸在核能工業及大專院校積極的培育人才，預計數年後，斷層現象應會減緩。本次研討會也在我方團長馬副所長及淺也副社長致閉幕辭後完美結束。

三、參訪行程

(一) 瑞浪深地層實驗室

日本為了展現高放射性廢棄物深地層處置之安全性及技術可靠性，特別在岐阜縣瑞浪市及北海道幌延町興建深地層研究實驗室(如圖十二)，其研究的母岩則分別為花崗岩及沉積岩。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(瑞浪)與釜石礦場(北海道)進行區域與現場地球科學研究，同時藉著興建中的深地層研究室進行地下研究設施規劃。



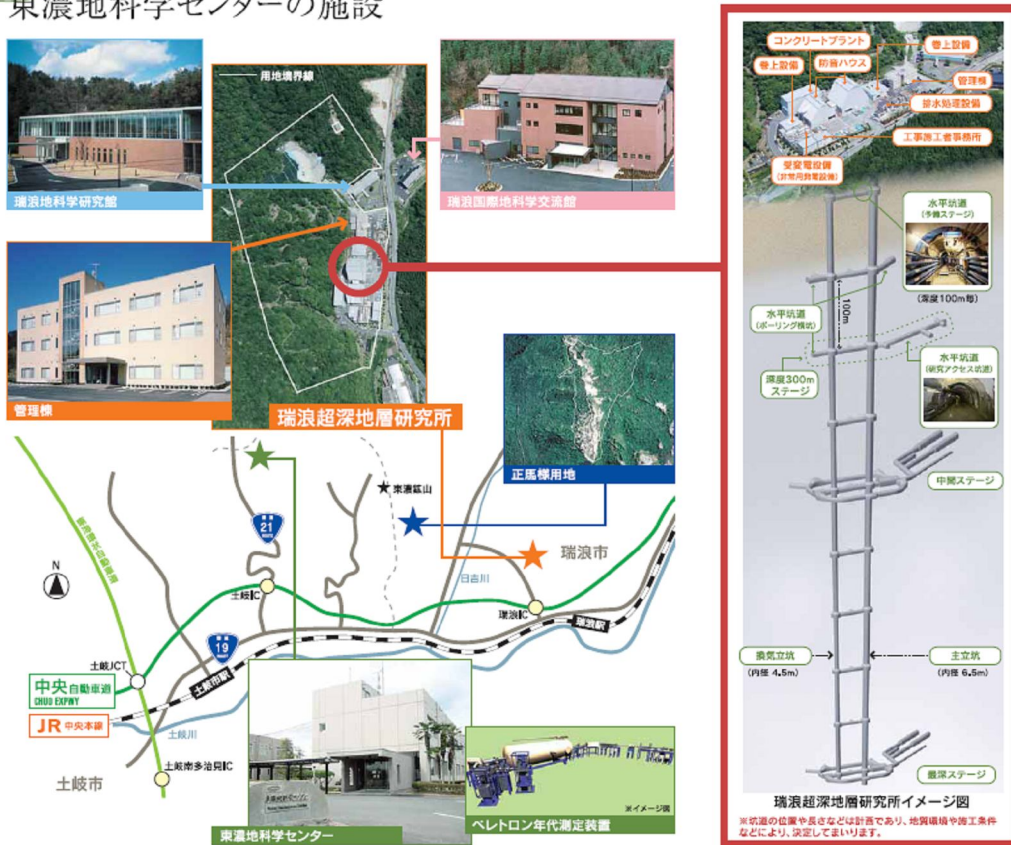
圖十二 HLW 最終處置方面的 R&D 設施位置圖

本次我方代表團所參訪的設施即為瑞浪超深層地層研究所(Mizunami Underground Research Laboratory, 以下簡稱 MIU)，其位置在名古屋東北方約一小時車程的距離。其研究之母岩為花崗岩，與幌延深地層研究所(Horonobe Underground Research Laboratory, HOU)之母岩為沉積岩不同。設置這兩個研究所主要目的是研究此兩種地質與其地質構造、水文學、地球化學、核種遷移及岩石力學等相關特性，並藉此建立高放射性廢棄物最終處置場之技術能力。

MIU 屬於東濃地科學中心(Tono Geoscience Center)，但因該地下實驗室場址之行政區域位於瑞浪市，地理位置如圖十三所示，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，一條豎坑為換氣及運送廢土之用，與另一工作人員進出豎坑間之距離 40 公尺，預計挖掘最大深度地面下 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。

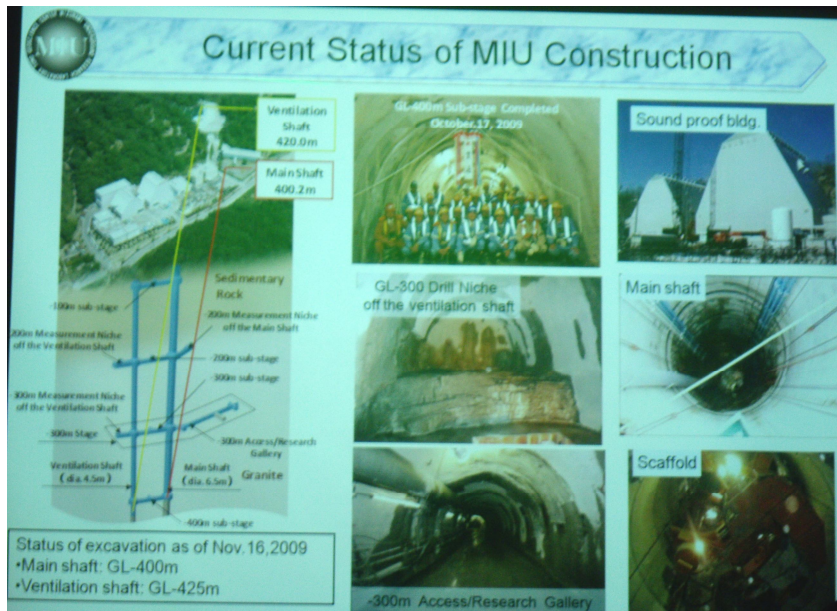
我方抵達該實驗室約為上午十一點，先由該設施專人簡報介紹該實驗試現況及實驗項目，隨即換上安全工作服裝，分成兩組搭乘工作人員電梯，向下 300 公尺處位置，因兩豎坑於此深度有一橫向連絡坑道，有許多實驗項目在此橫向坑道進行，當我參訪團回至地面時，約為一點四十五分，已超過用餐時間，但是卻不影響該實驗室挖掘工作，因我方參訪時恰是該設施相關工作人員中午休息時間，所以我方參訪並不影響該設施工作之進行。

東濃地科学センターの施設



圖十三 瑞浪超深地層研究所地理位置及設計佈置圖

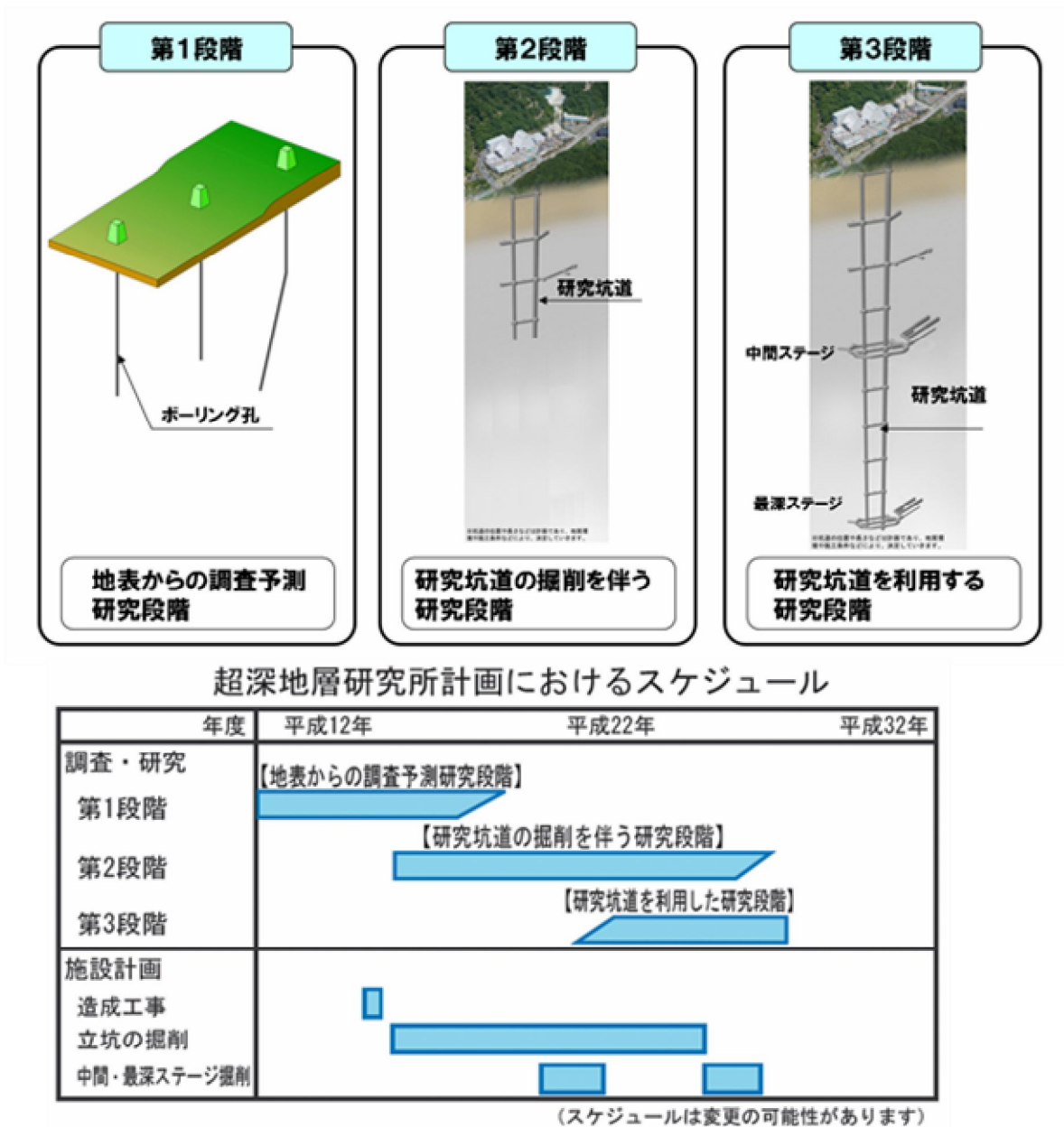
當天(11月16日)參訪時，換氣坑已挖掘到深度425公尺，主立坑深度為400公尺(如圖十四)。在聽取簡報時，瞭解該實驗室之工作共分為三個階段，第一階段為地表基礎調查研



圖十四 參訪當天(11月16日)已挖掘深度及當時情況簡報

究階段，係研究水文地理、水文化學及岩層力學等調查工作，此階段已經結束。目前正進行第二階段，執行挖掘研究坑道併同相關研究，例如地下水之流速測量、地下水質監測、岩盤側向壓力量測及地震相關研究等。等到挖掘至目標深度，則進行第三階段之深地層利用之相

關研究，圖十五為該研究坑道各階段之時程圖。



圖十五 瑞浪超深地層研究所進行各階段調査研究時程圖

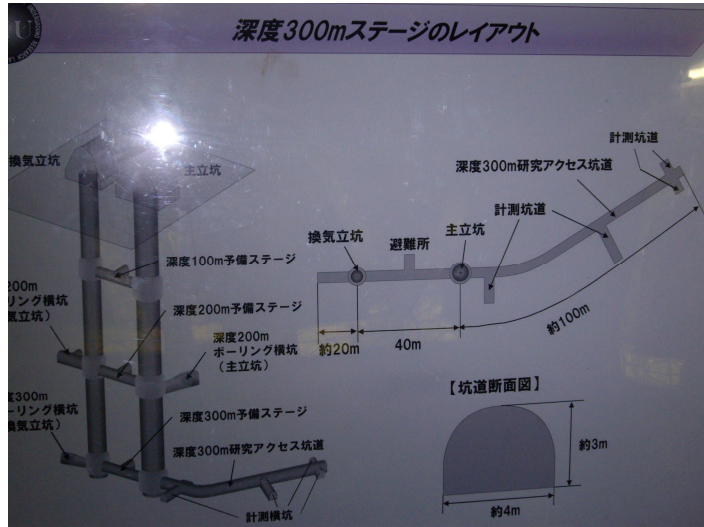
日方簡報時提及在主立坑及換氣坑之間有斷層經過，是在第一階段時就已經由地質調查得知此特殊地質結構，有兩斷層帶在坑道正下方，預定坑道挖掘深度 640 至 752 公尺會有一處斷層經過，另一處則是在深度 920 至 980 公尺處，目前尚未挖掘到該深度，但已經有計畫強化該處坑道。而開挖範圍當時僅侷限於此區域，所以也就只好順勢而為，期能藉此研究在斷層帶之坑道內的地球物理化學特性，將所得研究結果發展為克服斷層帶之深地層處置技術，日後位於非斷層之深地層處置場址將則會更加穩固安全，這一論點令我方參訪團員對日方的研究態度及投入巨額資本有深刻印象。

當該設施人員帶領我方搭乘人員電梯當時，在電梯登載位置時，工作人員將安全鎖扣上圍籬再開啓電梯門(如圖十六)，以免意外摔落，從此處即可看出工安防護措施甚為嚴密。圖十七為坑道內佈置圖，發現坑道地下水甚多(圖十八)，而 MIU 人員表示，就因每天地下水量

約為 600 立方公尺之緣故，可藉此研究地下水攜帶物質的能力，並由地下水質連續監測(圖十九)，可得到地下水之帶電電流之電位變化，進而得知地層裂縫相關資訊。



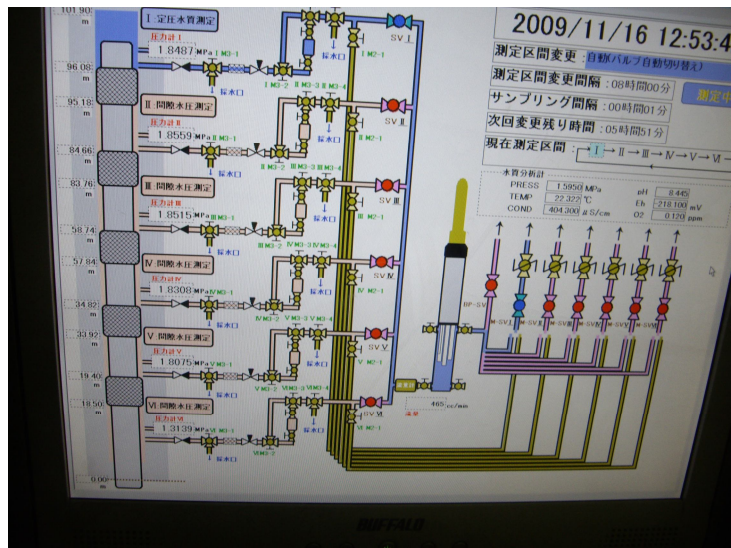
圖十六 工作人員開啓電梯門



圖十七 深度 300 公尺橫向坑道內佈置圖



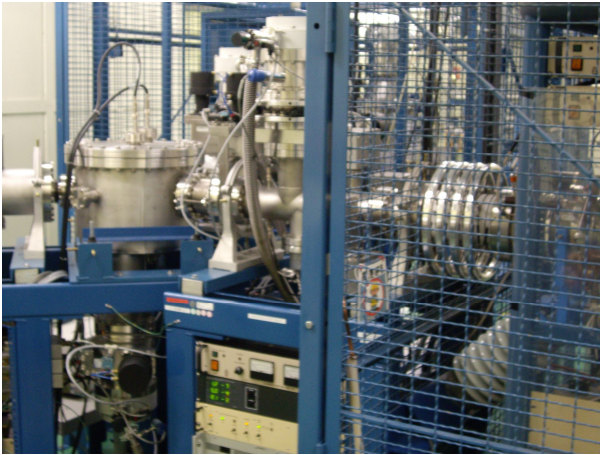
圖十八 坑道內地下水甚多



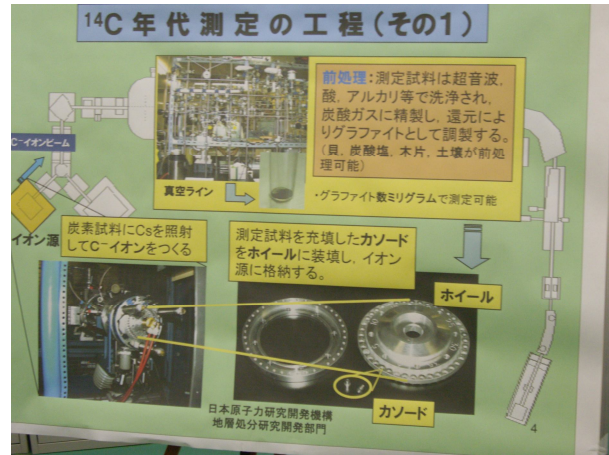
圖十九 地下水質連續監測儀

參觀坑道後並詢問問題，才瞭解到在往下深度每 25 公尺處皆會有一連線之監測位移計 (displacement gauge)，如此才能觀測出豎坑之垂直完整性，也因此發現，日本對於高放射性棄物最終處置場設置前的準備及相關工作，以及場址適用性的相關研究工作亦做得非常詳盡與確實。

參訪完該實驗室後，前往該中心位於瑞浪市郊的碳 14 實驗室，參觀量測地質及地下水年份的同位素碳 14 分析儀 (圖二十、二十一)，先將試樣以超音波洗淨前處理，再以高電壓(5MV)加速電子撞擊，藉以分析碳 12、13 及 14 可推算試樣的年代，可見該中心在分析儀器方面亦提供完整的準備。



圖二十 碳 14 分析儀之高電壓加速器



圖二十一 碳 14 測定解說圖

(二) 參訪豐田汽車製造廠—堤工廠

另一個參訪行程則安排在台日核安研討會會議之後，因研討會在第二天中午即圓滿結束，下午空檔時間則由日方安排參訪世界最大汽車生產公司—豐田汽車製造工廠(Toyota Motor Factory)，該廠位於名古屋市附近，所在位置的都市名就以豐田為命名—豐田市，因豐田公司發跡於名古屋，所以特別安排參訪此一以油電混合為主之製造車廠：堤工廠。由於進場參訪時基於商業機密之保護，不准參訪人員攜帶相機及手機(恐有照相功能)，但在製造廠上方的參訪通道俯視各項製造過程時，令人讚嘆佩服，尤其看到將車身須以高壓電焊接合達 8 百多個位置，卻僅以幾個機器手臂在數分鐘完成；另在裝配流程也考慮到效率性，可在最短時間內完成所需車種，而且品管措施並不因此而打折，嚴密管制每一臺出廠的車輛的品質，確保車輛交到車主之品質維持一致水準，令人深刻覺得該車廠為當今世界上之最大車廠，實則當之無愧。

(三) 參訪浜岡核能發電廠

浜岡(Hamaoka)核能電廠隸屬於日本中部電力公司，位於靜岡縣東南方。中部電力公司員工 16266 人(2009 年 3 月)，主要負責本州中部 5 個縣(靜岡、愛知、Nagano、Gifu、Mie)地區三萬九千平方公里(佔日本全國面積 10.5%)，一千六百萬(佔日本全國人口數 12.5%)的電力供應。中部電力公司的總發電容量為 32.62GWe(2009 年 3 月)，核能佔裝置容量的 17%，比日本全國平均值 25%低，因此提升核能裝置容量為中部電力公司想要達成之目標。

浜岡核能電廠由於鄰近海域的水深不足，是日本唯一沒有港口的電廠。最近的港口距電廠之直線距離約為 10 公里，電廠興建時 Reactor Vessel 及 Vessel Head 等重件皆由公路運送。浜岡現有五部機組，一、二號機為 BWR-4 型式，分別於 1976 及 1978 年商轉；三、四號機為 BWR-5 型式，分別於 1987 及 1993 年商轉；五號機為 ABWR 型式，於 2005 年開始商轉。由於經濟上的考量，浜岡電廠一、二號機已於 2008 年底決定永久停機，並於 2009 年 1 月 30 日提出為期約 30 年的除役計畫。此計畫已於 2009 年 11 月 18 日核准，整個計畫分為四個階段，目前正進行第一階段的準備工作，主要為各區域的污染程度調查，及非污染區域的拆除工作。為了替代一、二號機，浜岡電廠於 2009 年 4 月 10 日宣佈開始進行六號機興建的相關調查工作，目標為 2020 年開始商轉。

浜岡電廠面臨的另一個課題為耐震力的提升。浜岡電廠原本的耐震要求 OBE 為 395 gal，SSE 為 600 gal。依據 2006 年頒布的地震法規要求，浜岡電廠的 SSE 需提升為 800 gal，電廠自發的相關改善已遠超過法規要求，電廠估計花費高達 100 億日幣，電廠於 2005 年決定將 SSE 提升為 1000 gal，其目的除可提升電廠耐震係數外，並希望能讓電周邊附近人民去除不安疑慮，浜岡電廠於 2008 年 3 月完成三、四、五號機相關改善補強工作，包括煙囪、管路、電纜托盤及吊車等的支撐，設備固定方面評估後只有部分熱交換器需進行加強。

浜岡電廠五號機商轉約 18 個月後，於 2006 年 6 月 15 日發生低壓汽機第三級葉片斷裂事件。電廠判定事件肇因為設計錯誤，當初日立設計時認為渦流現象只會出現在第一、二級，結果後續驗證發現第三級葉片易發生非預期之渦流現象，同時第三級葉片做完功之蒸汽被用來加熱飼水加熱器，在前述雙重影響下，第三級葉片承受不住而斷裂。事件後電廠檢查所有第三級葉片根部發現均有受損嚴重現象，電廠為此採取的暫行措施讓機組功率損失約 8%。製造商日立承諾負責汽機葉片更換將於下次大修完成，至於發電損失相關的賠償問題目前已進入法院訴訟程序。除此之外，2009 年 8 月浜岡地區發生地震，由於地震儀器在五號機的量測結果約為三、四號機的 2 倍，其原因不明，造成地區民眾對五號機的地質狀態有所疑慮，致使五號機目前仍處於停機狀態。

參訪團同時參觀浜岡電廠 5 號機控制室，對於日本運轉員平均年齡只有 35 歲，相對於國內面臨運轉平均年齡偏高之問題，令人印象深刻，不過日本核能電廠運轉人員只有機組值班經理需要國家考試及格，值班主任及運轉員只須通過電廠自身測驗即可，我國則仿照美國核能管制制度，核能機組運轉員均須通過國家和管單位之考試及格，造成運轉人員因養成不易而難以更動至其他單位，雖然礙於國情之不同，但日本某些作法仍值得參考。此外日本進步型沸水式機組之控制室面盤設計與原 ABWR 設計廠家 GE 公司有很大的不同，其控制室燈光

較暗以產生與盤面設備燈號較大之轉差，可方便運轉員辨識並減少人為判定之疏失，另，日本進步型沸水式機組之控制室設計其縱深較為開闊，對於運轉員長時間置於其間之壓迫感有所助益，可惜龍門核電廠控制室設備已完成設計，且一號機已完成盤面安裝，要更改之可能性並不大，只能做為未來機組運轉時再評估修改盤面設備運轉燈號顏色之可能性與再建造新的核能機組時之參考。

浜岡電廠亦安排參訪人員訓練中心，該中心將歷年來機組所發生設備故障之物件以模型方式展出，包含管路、電子設備及機械設備等，並詳細介紹事故之可能肇因及改善方式，電廠希望由以往失敗的經驗中記取教訓，日本浜岡電廠此項作為與過內核能電廠一般不太願意回顧以往失敗經驗之作法有所不同，參訪過程中電廠人員特地撥放 2009 年 8 月浜岡地區發生地震時反應器廠房頂樓用過燃料池池水搖晃錄影供代表團觀看，浜岡電廠 5 號機因參考柏崎電廠地震事故時，燃料池池水因搖晃過度劇烈，造成池水溢出而汙染，因此浜岡電廠在燃料池邊加高檔板，並在此次地震中發揮效用，此項改善值得國內核電廠參考。

久聞日本電廠之廠務管理獨步全球，電廠環境十分乾淨與整潔，雖然依往例浜岡電廠只開放停機中之 5 號機汽機廠房頂樓供此次代表團參觀，參觀時間亦因行程緊迫而簡短，但其現場井然有序之設備擺置令人印象深刻，不過與國內運轉中之機組相較，感覺倒也並不會相差太多，相信應與近年來台電公司與國內核管單位陸續派員至各國核能單位進行交流，已獲致良好成果有關。



圖二十二 參訪團參觀浜岡電廠日方進行簡報

(四) 參訪島根核能發電廠

島根(Shimane)核能電廠隸屬於日本中國電力公司，位於島根縣東北方。中國電力公司主要負責本州西部 5 個縣(島根、Hiroshima、Tottori、Okayama、Yamaguchi)地區三萬兩千平方公里(佔日本全國面積 8.54%)，七百七十萬人(佔日本全國人口數 6.1%)的電力供應。中國電力公司的核能配比僅 8%，因此最近積極投入核電廠興建以提升核能裝置容量，預計在島根三號機及 Kaminoseki 一、二號機商轉後，核能配比可達 30%。中部電力公司與台電公司於 1966 年開始進行密切的交流，台電公司核能二廠並且與島根電廠締結為姊妹廠，雙方關係十分密切，參訪團因此有機會進入島根三號機機組內部實地了解日本興建核能機組之情形，機會十分難得。

島根核能電廠現有兩部機組運轉，一號機為 BWR-3 型式，於 1974 年開始商轉；二號機為 BWR-5 型式，於 1989 年開始商轉。島根三號機於 2003 年開始相關準備，並於 2006 年開始進行實際機組廠房的興建工作，目前準備工事進度已達 98.7%，總進度為 75%。預計 2012 年 2 月開始進行運轉前測試，2011 年 3 月開始進行起動測試，2011 年 12 月商轉。三部機組的基本資料詳如附表。

附表 島根核能電廠機組概況

	一號機	二號機	三號機
輸出	460 MW	820 MW	1,373 MW
機組型式	BWR-3	BWR-5	ABWR
冷卻水流量	30 M ³ /sec	60 M ³ /sec	90 M ³ /sec
海水汲取方式	深海汲取	深海汲取	深海汲取
海水排放方式	表面排放	深海排放	深海排放
商轉日期	1974	1989	2011(預計)
燃料組件數目	400	560	872
控制棒數目	97	137	205

島根一號機及二號機分別為 BWR-3 及 BWR-5 型式反應器，其中二號機雖為 BWR-5 設計，但由於興建時期較晚，因此緊急爐心冷卻水系統係採用較為先進 BWR-6 型式之設計。其控制室系統設備配置與核能二廠幾乎完全一致，控制室內共有 13 名值班運轉員，每部機組配

置有 5 名操作運轉員以及 1 名值班主任，每部機組共由 6 個運轉班，其中 3 個班負責每日 24 小時不間斷的 3 班輪值，其餘 3 個運轉班則為休假、待命支援以及實施訓練，此部份與我國核能電廠輪班制度完全相同。

在一號機及二號機的控制室配置方面，雖然兩部機組的型式不同，由電廠模擬器可知其控制室的盤面配置因同屬沸水式機組，因此差異度並不大。儘管如此，除了值班工程師之外，兩部機組的運轉員並未實施任何形式的交流，以避免在機組運轉期間，發生不必要人為誤失。島根電廠現 ABWR 模擬器業已完成，其內部燈光明亮度與盤面設計與浜岡電廠 ABWR 機組幾乎完全一致，顯見日本 ABWR 電廠設計應已標準化，由現場觀察運轉員訓練時執行指認呼喚情形，與國內核電廠完全一致，因此未來台電公司想要單靠訓練來減少人為疏失應該已不容易，日本是全世界唯一擁有運轉中 ABWR 電廠的國家，並且亦具有設計製造之能力，相信日本大承包商（日立、東芝）對於 ABWR 機組之控制室設計含燈光照明、機組盤面設計及設備運轉燈號顏色等應已有所共識。

島根核能電廠現有的運轉員大部分來自島根地區當地，高中畢業後即可參加運轉員的訓練。因此島根核能電廠運轉員的平均年齡遠比我國現有三座核能電廠來的年輕，且年齡分佈非常平均，主要是因為島根核能電廠鼓勵資深運轉員轉任處理電廠的一般行政或訓練工作。

島根一號機自商轉後共發生 11 次非預期停機事件，包括 4 次自動急停及 2 次急停，另外 5 次則為手動停機。島根二號機則發生包括 2 次自動急停與 5 次手動急停的 7 次非預期停機事件，在 1995 至 2002 年間更是創造完全沒有非預期停機的運轉績效。雖然非預期停機的次數不多，但兩部機組平均容量因素卻只有 78%，主要原因是日本管制法規要求每 13 個月進行停機大修乙次，在沒有特殊檢修狀況下，每次大修至少需要 45 天，但由於島根電廠在大修期間執行為數眾多的預防保養工作，因此大修期程多半接近 60 天，使得機組的容量因素偏低。

正在興建的島根三號機為與國內龍門電廠相同的 ABWR 型式，為日本現正興建中三個 ABWR 機組的其中一個，由於廠區海邊風浪極大，為避免冬季大浪侵襲廠區，因此必須配合進行海底珊瑚礁之消波及海岸線堤防設置的工程，廠區 10 年最大浪高估計為 8.55 公尺，因此消波設計為防範 100 年一次因冬季惡劣天候所引發的最高 10.9 公尺浪高，透過實驗模擬證實相關設計可以有效的防止冬季大浪侵襲廠區，配合資源再利用，所有海底與堤岸所投置的消波塊，皆由該公司所屬的火力發電廠廢棄飛灰再製而成。

為了降低溫排水對於環境以及運轉的影響，島根二號機修改原有溫排水表面排放的設計，並於三號機廠區整地時興建深海排放設施，預計於明年大修時封閉現有海水排放渠道，同時開啓興建的深海排放渠道。此外為配合三號機的整地與廠房興建，二號機將配合停止運

轉一段時間，預計在 2006 年四月工程完成後再重新起動運轉，二號機停機期間將進行詳細的設備檢修、維護以及將海水冷卻水由原來的表面排放修改為海底排放的工作，由於一號機及二號機的廠外電力輸送網路不同，因此二號機停機期間將由一號機輸送電力至二號機的聯外輸配電網路，以解決電力輸配的問題，但由其配置圖來看其輸電迴路只有二條，明顯較我國核電廠要少，亦無第 5 台柴油發電機配置，雖然經詢問日本電廠也有限制運轉（LCO）之類似規定，但由島根三號機之電力系統配置來看，其喪失外電之風險應較龍門機組要高很多。

有關參觀機組現場施工部分，代表團被安排參觀島根三號機反應器廠房施工現況，島根三號機現有施工進度約 75%，由現場設備安裝進度情形來看確實較龍門一號機要慢，但依電廠簡報資料其商轉時間與龍門一號機相似，並且龍門一號機商轉時間很可能還要再延期，其原因可能與島根三號機之施工進度包含儀控設備安裝，而龍門一號機儀控設備安裝則遭遇重大阻礙有關，電廠簡報時原子能委員會詢問日本機組執行反應爐水壓測試後是否會在爐內泵內部殘留大量鏽垢，日方回答表示無此經驗，由現場堆置之管路內部均無鏽蝕狀況來看，日方回答之可能是正確的，龍門一號機部分管路露天儲置近 10 年，兩邊之經驗因此無法比照，當初龍門電廠停建對於後續工程之進行與品質造成深遠之影響，由島根三號機反應器廠房施工現場與龍門一號機施工現場相比較有下列不同之處，可供未來興建新的核能機組時參考：

- （一）有關施工所需之物件工作人員均將其井然有序地擺置在現場，現場燈光照明亦明顯較龍門一號機要好很多。
- （二）島根三號機在機組建造前期已將廠房地面油漆鋪設完畢，因此現場灰塵要較龍門一號機要少很多，此外地面油漆鋪設完畢，感覺空間明亮度也比較好。
- （三）施工現場完全未見生活廢棄物例如礦泉水瓶、便當盒等，亦無設置臨時廁所因此無現場異味問題。
- （四）施工期間之臨時電源係由包商（日立公司）負責與龍門電廠相同，但拉線整齊度要較龍門電廠好很多，其原因可能是島根三號機工程為統包制，只有一個大包商負責加上日本電廠在興建時已考慮臨時電源問題在事先已有所規劃有關。
- （五）施工走道叫龍門機組要寬敞許多，除了日本機組在原始設計時即已留有較大空間以方便未來機組人員走動與維護，另外一個主要原因係因日本機組原始設計時在廠房走道頂部留有施工搭架掛勾，其施工搭架係由頂部垂掛之鐵鍊支撐與龍門電廠傳統由地面架設支撐作法不同，可以方便施工期間人員走動及施工物件搬運，對於期施工進度應有很大的助益。
- （六）現場之遠端多工器單元（RMU）部分已裝置，如同龍門電廠現狀為保護內部電子

儀器設備，現場均利用透明塑膠布包覆再用外接空調維持濕度與冷度，此項做法雖然日本與台灣做法均相同，但日本空調強度明顯較龍門電廠要強，此觀察回饋至龍門電廠經驗，原子能委員會應再確認龍門電廠一號機現場 RMU 區域之溫度與濕度是否符合規定。



圖二十三 參訪團參觀島根電廠日方進行簡報



圖二十四 參訪團參觀島根電廠興建現場



圖二十五 參訪團參觀島根電廠核能展示中心日方進行解說情形



圖二十六 參訪團於參訪根電廠核能展示中心後合影留念

參、心得

本次行程由出席研討會議及參訪相關設施，雖時間緊湊，但收益豐碩，歸納心得如下：

- 一、在此次研討會中發現我國核能技術及安全在某些議題是日方所未能完成的，而想向台灣學習的，表示我國核能工業在產、官、學界多年努力下，已略有績效，但是我們不能因此而鬆懈或自滿，應持續進步。而台日核能安全研討會迄今已舉辦了 24 屆，可見台日雙方對此項研討交流活動甚為重視，藉此會議平台，可將雙方實務經驗互相分享學習，可達到技術精進、品質提升、確保安全管制之多重目標。相信在往後的每年的研討會也必定秉持這樣的信念，使台日核能安全作為雙方核能永續發展重要的基石。
- 二、島根電廠的營運致力於融入廠址當地的生活，除了大幅聘用當地人參與電廠的營運之外，在運轉輪值的排班也配合當地生活的特性，每日第三值提早 2 小時下班，以解決值班人員下班與接班人員上班交通不便的問題，具彈性且人性化的管理方式，深受員工的認同。此外，無論島根電廠或浜岡電廠，在因應增加核能電廠耐震係數上均已花費大量經費，其目的是希望能讓附近居民明瞭電廠為增進核能安全所盡之努力，以增進居民對於核能安全之信心，進而有效減少電力公司推展核能發電之阻力。
- 三、在高放射性廢棄物處置方面，對於日方徵詢地方意願的方式令人印象深刻，而且也與地方共同規劃未來的發展，與地方有良好的互動關係、而且政府所投入的補助，對地方也有相當助益，這也許是我國政府應該值得思考的一個方向。
- 四、在緊急應變的核安演習方面，在日方代表簡報中將演習當時的錄影播放，我方注意到日方在主持相關會議的主席已提升至首相階層，由此看出日方政府對於核能安全重視的程度應領先所有核能工業國家，這值得我方政府思考。
- 五、在高放射性廢棄物最終處置場場址調查上，目前我國僅就文獻資料調查、尚未展開試驗階段，但是此瑞浪深地層實驗所投入如此龐大的資金、物力及人力去發展技術，反觀國內已落後一段距離，應借其經驗儘速規劃我國將要執行之相關研究，並且將財務經費提早因應，如此才將有完備之成效。

肆、建議事項：

- 一、在高放射性廢棄物深地層處置相關研究方面，我國應持續及深入與日方保持聯繫，除可藉由經驗的學習外，亦可節省相關研究及精進有效的技術，經營單位對於用於研究之經費的規劃應訂出明確方向。
- 二、在核能人才培育上，我國不應只有大學院校自行規劃執行，政府也應要積極參與投入，將可有效減緩人才斷層之影響。
- 三、可藉由較高階的行政長官出席核安演習相關會議，來宣達政府對於核能安全極為重視之決心，而且亦能加強民眾我國核能緊急應變處理能力的信心。
- 四、本次日方安排科技相關之設施參訪行程，亦可提供給以後在台灣舉辦研討會之參考，我方承辦單位亦可安排日方出席代表參訪我國相關設施，例如晶圓工廠等。使雙方更加瞭解對方產業文化，更可提升雙方交流的廣度及視野。
- 五、加強民眾的認知與支持，以增進對核設施之接受度。國內目前核能發展正面臨重大考驗之際，如何加強與社會大眾溝通，以取得社會對核能發電、核能安全與管制的信任和接受，是現階段必須重視的課題。因此如何將科技與人文結合，讓一般民眾也可以很正確地瞭解核能，資訊透明化和公開化應該是取得民眾認同與信賴的首要工作。

伍、附件

第 24 屆「台日核安研討會」論文集電子檔，存於本會輻防處。