

出國報告（出國類別：其他）

參加「TPC-NUMO高放射性廢棄物地質處置交流年會」暨參訪幌延及瑞浪地下研究設施

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：郭明傳薦任技士

派赴國家：日本

出國期間：104年5月31日至104年6月6日

報告日期：104年7月20日

摘 要

為妥善管制我國放射性廢棄物最終處置計畫之執行，職奉派參加「2015 台日高放處置技術研討會」會前討論會及「TPC-NUMO 高放射性廢棄物地質處置交流年會」，藉以先期瞭解邀請日方專家協助同儕審查之規劃與辦理情形、日本高放最終處置計畫在經歷福島核災事故後之管理策略調整與深地層技術發展現況，並藉由技術交流會議，瞭解日方對我國高放處置計畫之技術發展相關意見與建議。

會議結束後，前往參訪日本所興建之兩處泛用型地下實驗室—幌延及瑞浪地下研究中心，瞭解日方在深地層處置之工程施工技術、全尺寸工程障壁系統建立、試驗儀器設置、監測與驗證技術...等研發現況，以及日方對於最終處置計畫之公眾溝通與資訊公開辦理情形。所獲得之許多技術資料與參訪資訊，有助於提昇國內最終處置計畫之管制技術，並據以強化管制機關對計畫執行之管制要求。

關鍵字：放射性廢棄物、最終處置計畫、地下研究中心

目 錄

一、目的	1
二、過程	2
三、心得	28
四、建議.....	29

一、目的

歐美日等先進國家對於高放射性廢棄物最終處置之相關技術發展，已有數十年實際經驗，其中，芬蘭、法國及瑞典分別預計於 2022 年、2025 年及 2029 年啟用其最終處置場，是高放深地層處置之一大進展。

依據我國高放最終處置計畫之時程規劃，第一階段目標係於 2017 年完成「用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」，並經國際同儕審查，確認報告技術品質符合國際水準。為切實達成此計畫階段性目標，物管局要求台電公司應切實執行國際技術合作交流工作，並做好國際同儕審查之前置作業規劃。據此，台電公司刻正積極與日本、瑞典、芬蘭等先進國家，展開最終處置相關技術之研討交流工作。

為妥善管制我國放射性廢棄物最終處置計畫之執行，本次出國計畫期藉由參與台日高放射性廢棄物地質處置年度交流年會暨參訪地下研究設施，了解日本高放最終處置計畫在經歷福島核災事故後之管理策略、技術發展現況及地下實驗設施之研發現況，並期能瞭解日方對我國高放處置計畫之技術發展的相關意見與建議。據此，以強化管制機關對國內高放計畫執行之管制要求，並得以提昇與精進我國最終處置計畫之規劃與執行效能。

二、過程

(一) 行程

日期	行程
5月31日(日)	台北→東京(去程)
6月1日(一)	參加「2015 台日高放處置技術研討會」會前討論會
6月2日(二)	參加「TPC-NUMO 高放射性廢棄物地質處置交流年會」
6月3日(三)	路程：東京→北海道稚內 參訪幌延地下研究中心 (Horonobe URL)
6月4日(四)	路程：北海道稚內→北海道新千歲→名古屋
6月5日(五)	參訪瑞浪地下研究中心 (Mizunami URL)
6月6日(六)	名古屋→台北(返程)

(二) 公差成員

參與本次台日高放地質處置交流年會及地下設施參訪之成員為台電公司核後端處黃添煌副處長、張仁坤課長及李柏叡先生；工業技術研究院陳式千協理、林鎮國博士、林蔚博士；核能研究所曾漢湘副研究員、余允辰助理研究員、曾憶涵助理工程師及職，共計 10 人，所有成員均全程與會及參與參訪行程。

(三) 出席「2015 台日高放處置技術研討會」會前討論會

1. 背景說明：

原能會於 99 年 12 月「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告架構內容及其對應研發要項規劃」第一次審查會議，要求台電公司規劃執行國際同儕審視 (peer review)，確保台電公司於 2017 年所提出之技術可行性評估報告 (以下簡稱 SNFD 2017 報告) 的品質，可以達到國際水準。

因日本地質環境特性與我國相近，其高放處置階段性成果報告 (H12 報告) 與我國 SNFD 2017 報告階段相當，H12 報告亦曾送請經濟合作暨發展組織核能署 (OECD/NEA) 進行國際同儕審視。爰此，台電公司係規劃委請日本專家，協助先期審視現階段國內高放處置之研發成果，並提供建議與意見，作為後續完成 SNFD 2017

報告之主要參酌與研提依據。

2. 日本高放處置相關機構主要任務

日本處理高放射性廢棄物之專責機構為原子力發電環境整備機構（Nuclear Waste Management Organization of Japan，以下稱 NUMO），負責高放射性廢棄物處置場之選址、建造、執照申請、運轉與封閉等工作；而高放射性廢棄物深地層處置技術研發工作由日本原子力研究開發機構（Japan Atomic Energy Agency，以下稱 JAEA）負責；日本電力中央研究所（Central Research Institute of Electric Power Industry，以下稱 CRIEPI）則提供電力公司在研發工作上之技術支援；原子力環境整備促進・資金管理中心（Radioactive Waste Management Funding and Research Center，以下稱 RWMC）則負責管理高放射性廢棄物處置相關基金的管理工作。

3. 討論會紀要：

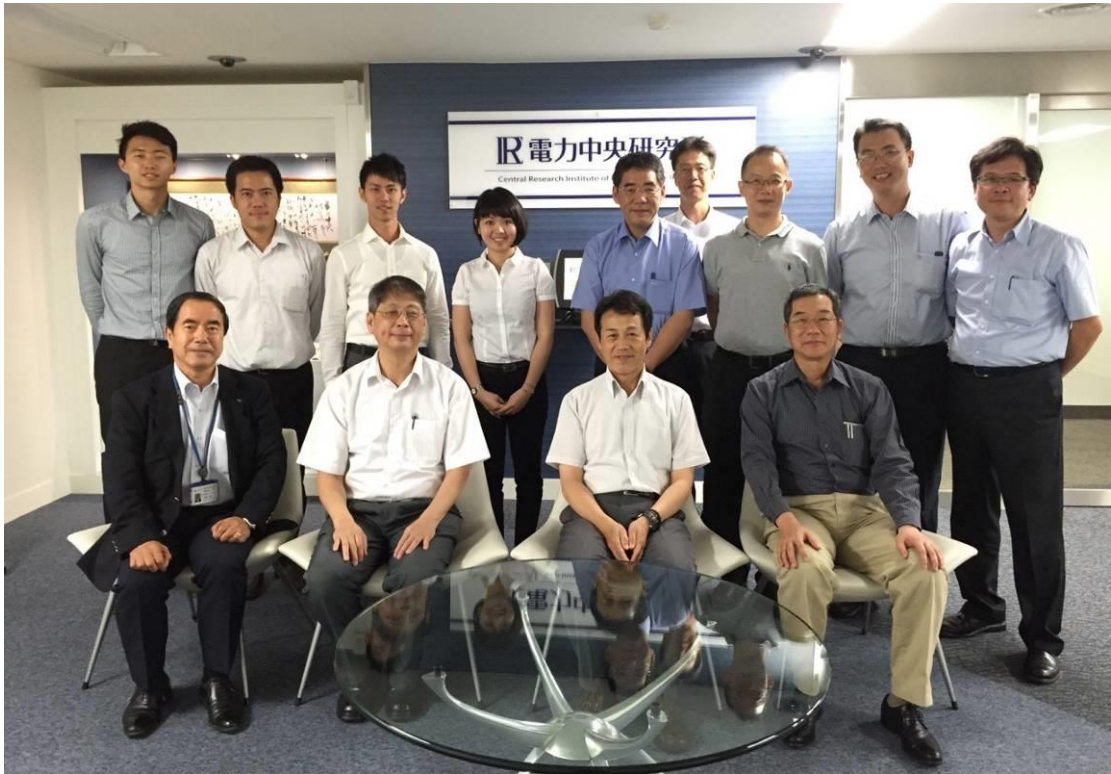
因日方專家河西基博士曾任職於 CRIEPI（現為 CRIEPI 榮譽顧問），亦曾多次獲邀至台參與台日雙方之乾貯與處置研討會，對於台電公司希望由日方專家協助先期審查我國高放計畫階段性成果報告之需求，表達樂意協助的立場，故由河西基博士負責邀集日方專家/學者，籌組審查小組。此次赴日行程主要目的之一，係由台電公司與河西基博士等日方專家，洽談今（2015）年 10 月 20 至 23 日，於台灣辦理之「2015 台日高放處置技術研討會」，討論研討會議架構、議程與會前應辦理事項。

6 月 1 日赴位於東京都千代田區大手町之 CRIEPI 總部參加會前討論會，日方與會者為 CRIEPI 榮譽顧問河西基博士、NUMO 竹內光男博士及 RWMC 江守稔先生。會議開始先由台電公司後端處高放處置組張仁坤課長，就 2015 台日高放處置技術研討會舉辦背景、目前規劃現況、提議議程等，進行簡報說明，再由台日雙方交換意見，技術研討會暫定議題及講題如表一。

「2015 台日高放處置技術研討會」除由日方專家/學者就國內高放處置計畫 2014 階段性成果報告提出審閱意見與建議外，亦規劃請日方專家/學者於技術研討會中介紹日本高放處置之研究發展現況。會後日方專家與台方代表團於 CRIEPI 總部前合影留念（如圖一）。

日方預計由 11 位專家與學者，組成 2014 階段性成果報告審查小組。日方專家專長涵蓋放射性廢棄物管理、地質特性、功能與安全評估及處置工程技術等領域。該審查小組主要由 CRIEPI 顧問河西基博士籌組，召集人由東北大學新堀雄一（Niibori

Yuichi) 教授擔任。新堀雄一教授目前為日本核能學會核循環與環境分組召集人。



圖一 日方專家與台方代表團於 CRIEPI 總部合影

討論會其他討論議題，結論說明如下：

- (1) 技術研討會議所引用資訊為日方關心議題之一，因根據日方法規及國際核能輸出控制制度 (Nuclear Export Control Regimes)，管制影響核能安全之材料、技術或資訊輸出至第三國。據此，為避免觸及敏感性 (或機密性) 資訊，日方所提出之技術或文件，將為已知技術或已公開發表之資訊。
- (2) 台電公司表達欲參酌日本 NUMO 所提出之 RMS (Requirements Management System) 的決策程序、資訊管理及品保等管理要求，精進台電公司高放計畫的成果品質與文件管理，竹內博士也表認同，並表示 IAEA 對於安全論證 (Safety Case) 相關要求，也是基於相同精神。將協助提供相關文件/資訊供台電公司團隊參考。

表一 2015 台日高放處置技術研討會建議議題

議題	題目
A. 放射性廢棄物管理	Policy and disposal concept harmonizing with characteristics of radioactive waste in Japan
	Enhancing the technical reliability to support the

	policymaking by step-wised approach with safety case development
B. 地質特性	Tectonics and different geological media to be considered
	Rock, composition, fractures, thermal properties, strength and other mechanical properties, rock stresses mechanics
	Geosphere, hydrology, geochemistry and radionuclide transport
C. 功能與安全評估	Safety principles and safety functions
	Methodology for safety assessment, structure, FEPs, scenarios, performance and safety assessment, modeling, uncertainties and biosphere
	Safety case development experienced for HLW disposal
D. 日本地下實驗室功能與經驗回饋	Functions and experience of URLs in Japan

(四) 出席「TPC-NUMO 高放射性廢棄物地質處置交流年會」

1. 會議緣由

為了促進國際技術之合作交流，台電公司於 102 年 10 月 17 日與日本原子力發電環境整備機構（NUMO）簽訂「高放射性廢棄物最終處置領域」之技術合作友好協議，同意辦理下列事項：

- (1) 進行「高放射性廢棄物最終處置領域」之資訊交換等技術合作；
- (2) 在雙方事前協議下，進行相互訪問與人員派遣；
- (3) 原則上每年舉行一次年會，場所雙方輪替。

基於前述第（3）條合作協議，始促成日方辦理此次技術交流年會及技術行程參訪。

2. NUMO 介紹

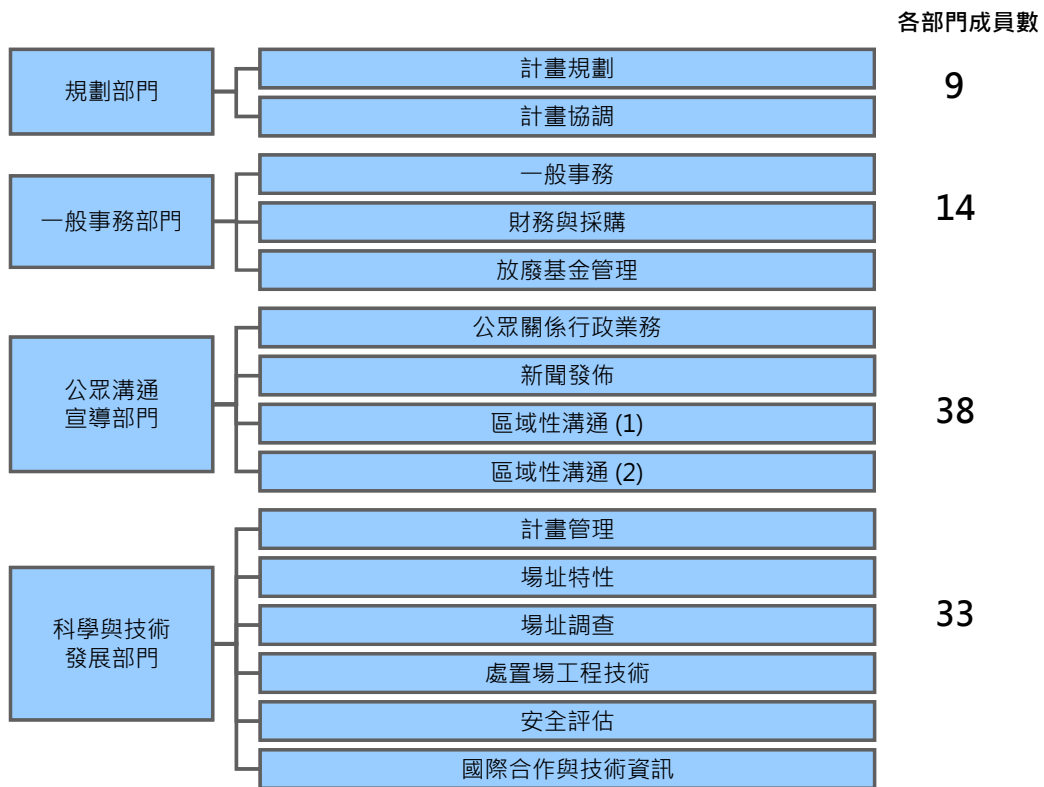
依據 2000 年 6 月 7 日所發佈的特定(高)放射性廢棄物最終處置法(Final Disposal of Specified Radioactive Waste Law，以下稱最終處置法)，第五章及第 58 條提供日本成立高放射性廢棄物最終處置專責機構及基金管理機構之法源。據此，經濟及產業省（METI）於 2000 年 10 月成立法人機構—NUMO，於同年，成立 RWMC 負責基金之管理工作。NUMO 收集之高放處置基金應送交 RWMC 管理，並依 METI 核准之計畫

向 RWMC 申請支用。NUMO 每 5 年提出以 10 年為期的最終處置計畫交由 METI 審核，並依核定之最終處置計畫，撰擬特定放射性廢棄物最終處置之實施計畫，並據以執行。

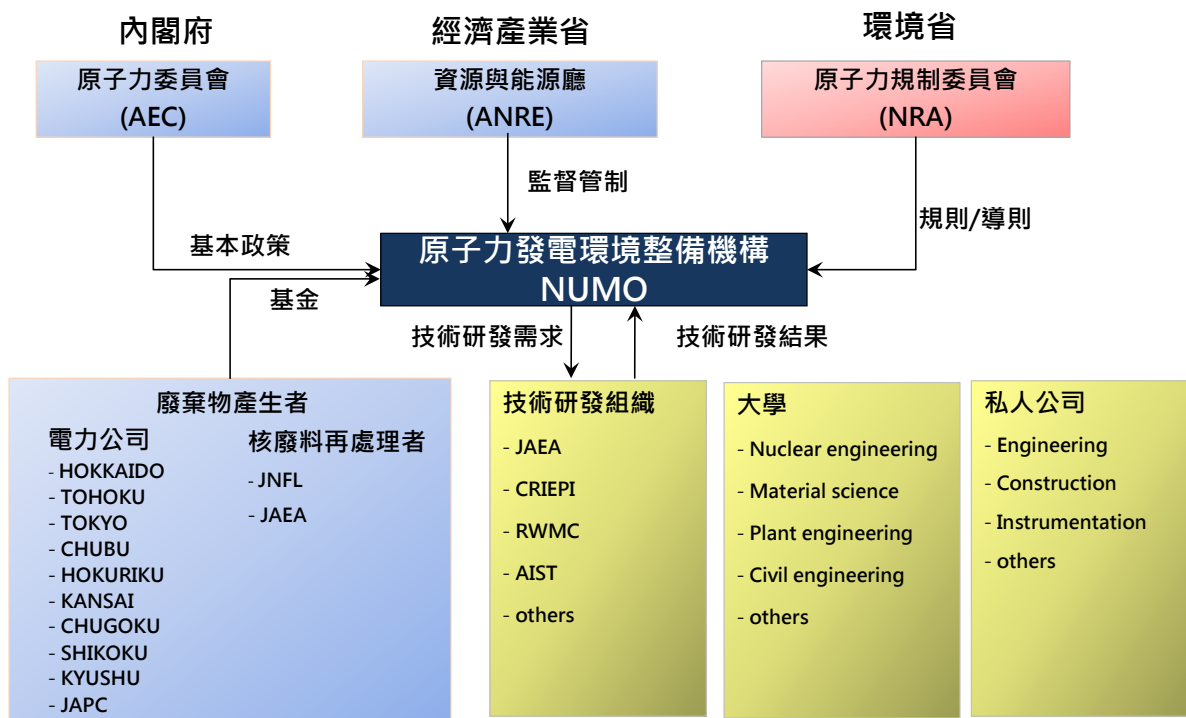
NUMO 由 8 個執行董事所組成的管理委員會來管理，主要分成規劃部門、一般事務部門、公眾溝通宣導部門及科學與技術發展部門。依據 2015 年 5 月 7 日統計資料，目前該機構總人數為 94 人，各部門主要任務及成員數如圖二。NUMO 成立目的為完成高放及超鈾廢棄物之深層地質處置場，主要任務如下：

- (1) 深層地質處置場之選址工作
- (2) 促進公眾參與及場址決定後之公眾關係
- (3) 深層地質處置場之申照、建造、運轉及封閉工作
- (4) 深層地質處置之安全性與可行性之技術研發規劃與執行
- (5) 收取最終處置基金

日本後端營運主要架構如圖三，由內閣府之原子力委員會（Atomic Energy Commission, AEC）研議核能基本政策；環境省之原子力規制委員會（Nuclear Regulation Authority）研議核能監管之規則/導則；經濟及產業省之資源與能源廳（Agency of Natural Resources and Energy, ANRE）監督與管制 NUMO 任務的執行；電力公司及核廢料再處理者提存後端基金；NUMO 基於任務執行，除自行規劃與執行技術研發外，另向技術研發組織、學術機構及私人公司…等提出研發需求，再由前述學研單位提出研發成果，供 NUMO 整合應用。



圖二 NUMO 各部門主要工作任務及成員數(2015 年 5 月 7 日統計)



圖三 日本後端營運主要架構及與 NUMO 關係

3.會議議程

地質處置交流年會議程如表二，年會由 NUMO 藤原部長主持。經議程確認及所有與會者自我介紹後，由 NUMO 植田浩義博士介紹日本地質處置沿革、現況及 NUMO 從 2000 年成立迄今主要工作成果，主要內容摘列於 4.日本高放射性廢棄物管理與現況；接續由台電公司張仁坤課長、工研院林鎮國博士、核研所余允辰助研員介紹國內發展現況。會後日方專家與台方代表團於 NUMO 總部合影留念（如圖四）。

表二 TPC-NUMO 高放射性廢棄物地質處置交流年會議程

時間	內容	主持人/演講者
09：30~09：45	1. 歡迎致詞 2. 與會者自我介紹 3. 議程確認	NUMO 藤原啓司部長
09：45~10：15	Current Status of Japanese Geological Disposal Program and NUMO's Activities	NUMO 植田浩義博士
10：15~10：40	Current Status of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel in Taiwan	TPC 張仁坤課長
10：40~11：05	Potential host rock characterization and evaluation in Taiwan	ITRI 林鎮國博士
11：05~11：30	Design Engineering and Safety Assessment for repository in Taiwan	INER 余允辰助研員
11：30~12：00	討論及總結會議	全體與會人員
12：00~13：30	技術交流餐會	全體與會人員



圖四 NUMO 專家與台方代表團於 NUMO 總部會議室合影

4. 日本高放射性廢棄物管理與現況

(1) 管理與處置策略沿革

A. 福島事故發生前

- (a) 1976 年：日本政府著手進行再處理後高放射性廢棄物之地質處置的研發（R&D）工作，同時興建東海再處理廠。
- (b) 2000 年：依據階段性研發報告（即 H12 報告）的結論，高放地質處置具備技術可行性，故政府頒佈最終處置法，作為放射性廢棄物處置之特別法。該法於第五章及第 58 條，要求設置核能發電環境整備機構（即高放廢棄物處理專責機構）及設置最終處置基金。另高放處置設施場址選址程序則明訂於最終處置法第 6 至第 8 條，採志願徵求方式及以下三階段辦理：
 - (i) 文獻調查：經志願方式取得地方政府同意，以地質文獻調查，確認該地區無因地震、斷層活動、火山活動、侵蝕及其他自然現象，造成明顯地層變動（第 6 條第 2 項）
 - (ii) 概要調查：經文獻調查合格的志願場址，以鑽井及地球物理探測方式，確認該地區之潛在處置地層並無不利於建構深地層處置設施，而地下水對處置設施亦無不利的影響（第 6 條第 1 項）
 - (iii) 精密調查：經概要調查合格的場址，以鑽井及地下實驗坑道進行詳細調查，確認該場址之潛在處置地層在物理及化學特性，均具有建構深地層處置設施之可行性（第 7 條）。

B. 福島事故發生後

- (a) 2012 年 9 月：科學委員會（SCJ）針對原子力委員會（AEC）的要求，完成對民眾說明解釋及提供高放地質處置相關資訊的行動報告。該報告包含高放最終處置相關策略的基本修訂。AEC 於 2012 年 12 月發佈聲明，該聲明表達對地質處置的執行策略，應提出更新的解決途徑。
- (b) 2013 年 5 月：政府著手討論高放地質的更新解決途徑，於 2014 年 5 月提出中期報告，建議對選址作業的三項改進措施：
 - (i) 改進選址作業方式，以獲致更安全的處置
 - (ii) 發展與地方民眾建立共識的架構
 - (iii) 對地方民眾適切的支持/支援
- (c) 2013 年及 2014 年分別舉行兩次部長級研討會議，重要結論如下：
 - (i) 2013 年 12 月：同意 METI 和其諮詢工作小組所研議，關於高放最終處置重要性的提案
 - (ii) 2014 年 9 月：就地質科學（火山、斷層活動等）及社會科學（如環境保護、土地使用等）觀點，研討建立以科學方法篩選合適調查區域的準則。另為增進地方民眾瞭解，政府需與全國都道府縣長協會合作，並和地方自治市保持密切及頻繁的對話
- (d) 2014 年 4 月：政府採行「新策略能源計畫」，主要內容如下：
 - (i) 核能是重要基載能源的來源，參照過往維持採核燃料循環方案
 - (ii) 高放地質處置相關執行行動，不受長期貯存而受延遲，同時地質處置需確保可逆性（reversibility）與可再取出性（retrievability），俾讓後代子孫有較佳解決方式時，廢料可以順利再取出
 - (iii) 要求政府提昇選址作業方式，藉由科學方法針對全國性地區，篩選出合適的場址區域
 - (iv) 執行高放廢棄物之替代處置選項（含直接處置）的研發行動
- (e) 2015 年 5 月：基於前述「新策略能源計畫」及諮詢工作小組商議，日本政府於 5 月 22 日內閣會議中，發佈高放地質處置基本方針（修訂版），修訂之基本方針主要重點如下：
 - (i) 本世代已從核能獲得諸多利益，未來需針對最終處置更加努力向前，不能拖延
 - (ii) 秉持地質處置的可逆性策略，俾使後代子孫有較佳解決方案時，可以再取出。
 - (iii) 需進行替代處置方案（如直接處置、群分離/轉化技術）的研發工作
 - (iv) 政府需完成全國性活動，以促進民眾對最終處置的瞭解。宣揚執行選

- 址對全國社會的好處，及對參與選址的地方民眾表達尊敬與感謝
- (v) 政府到場址選擇需扮演引領角色，並邀集自治市接受文獻調查
 - (vi) 政府及實施者需支持/支援地方自治市政府，進行公眾溝通與討論工作，並與當地民眾對話
 - (vii) 原子力規制委員會需針對選址各階段，研議安全議題的管制措施

(2) NUMO 主要完成工作

A. 福島事故發生前

- (a) 依據最終處置法，採取逐步程序 (stepwise process) 即文獻調查、初步調查及詳細調查程序，以決定候選場址。此決定程序採自治市志願為基礎。
- (b) 2002 年：NUMO 向全國所有地方自治市，公開徵求接受文獻調查程序。NUMO 也和 METI 合辦全國性研討會，向公眾宣告地質處置場的重要性及安全性。
- (c) 2007 年：高知縣東洋町 (Toyo town) 同意接受文獻調查，但該自治市約 3,000 人強烈反對。2008 年市長選舉，繼任者撤回所遞交之申請。後續，NUMO 和 METI 也積極尋求自治市考慮接受文獻調查的誘因及方法。

B. 福島事故發生後

(a) 技術研發方面：

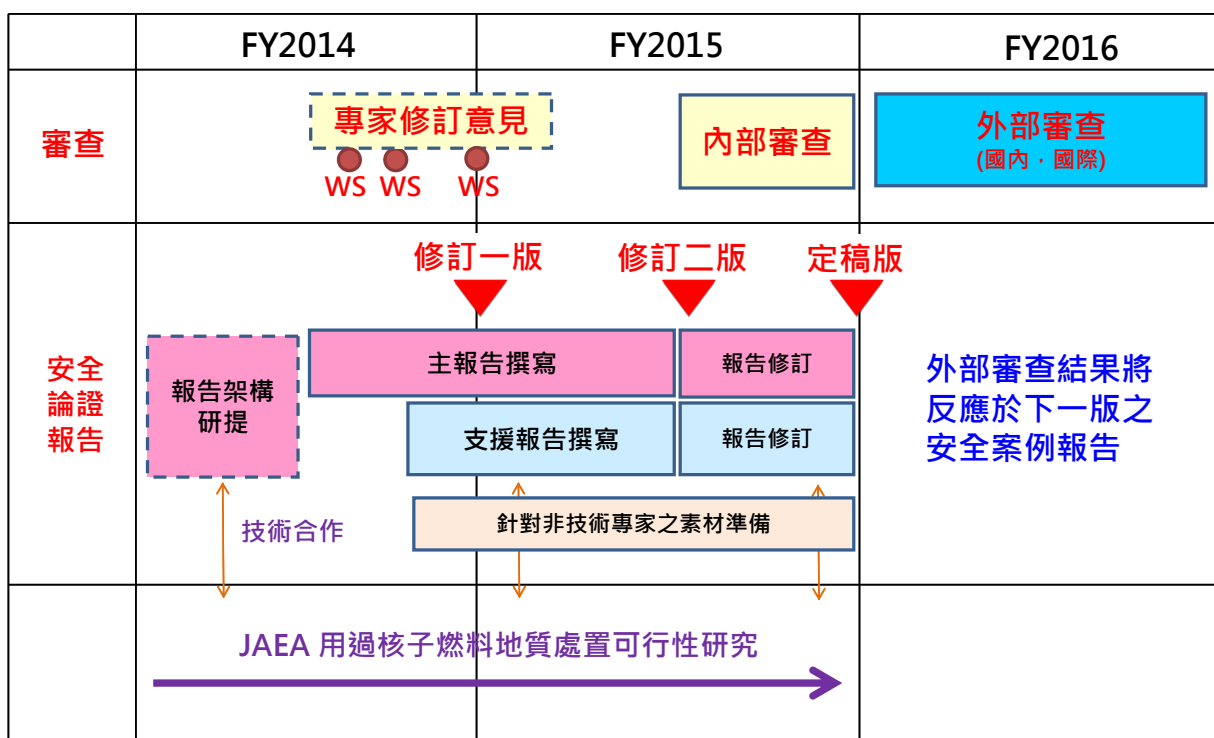
- (i) 為了加強地質處置之技術研發，METI 主導整合管理國內地質處置之 R&D 工作，建立相關 R&D 單位之合作關係。NUMO 主要負責發展更實用性、經濟合理的處置場設計與功能技術；更具可行性的地質處置技術
- (ii) 建立系統與程序以全面性管理地質處置的科學/技術資訊
- (iii) 加強與國內 (如與 JAEA 合作安全評估之模擬技術與情節發展；與 CRIEPI 合作驗證場址特性與評估技術、地質結構與水文特性之驗證技術) 及國外 (如與瑞典 Aspo 地下硬岩實驗室合作再取出與 KBS-3H 廢棄物罐水平置放之驗證技術) R&D 機構之技術合作與交流工作
- (iv) 為驗證地質處置技術可行性與安全性，得以向政府建議更具科學性的合適處置場址，NUMO 整合最新的 R&D 成果與技術，並參酌 OECD/NEA 與 IAEA 的安全論證 (Safety case) 概念，以 JNC 所提出之 H12 報告為基礎，預計於 2015 年底提出「NUMO 2015 Safety Case」報告。該安全論證報告之提交與審查作業時程規劃如圖五，包含 150~200 頁的主報告及詳細背景陳述之支援報告，該安全論證報告將涵蓋下列章節：

- 安全策略

- 地質特性與綜合論證
- 處置場設計與工程技術
- 處置場興建、運轉與封閉
- 封閉前階段安全評估
- 封閉後長期之安全評估
- 日本對地質處置之技術可行性的信心

(b) 公眾溝通方面：

- (i) 2014 年：於 29 個都道府縣（日本共計 47 個都道府縣）首府辦理「高放地質處置研討會」，共計 1,753 人參與。該研討會主要為說明處置計畫現況、與受邀團體交換意見、公眾問題答覆。另外，利用巡迴宣導車（Geo Marai）於 25 處地點，展示地質處置的 3D 動畫、多重障壁系統模型及緩衝材料試驗等，共計 7,727 人次參觀、3,072 人次參與前述模型試驗。
- (ii) 2015 年：5 月~6 月與政府（METI）於 9 市（東京、高松、大阪、名古屋、廣島、仙台、札幌、富山、福岡）合辦全國性專題研討會，宣導 5 月 22 日內閣會議決定之高放射性廢棄物最終處置基本方針及地質處置解決方案。



圖五 NUMO 2015 安全論證報告提交與審查作業時程規劃

(五) 參訪幌延 (Horonobe) 及瑞浪 (Mizunami) 地下研究中心

1. 前言

深層地質處置是目前國際公認最合適處置高放射性廢棄物的方式，亦即將高放射性廢棄物埋於深約 300~1000 公尺深的穩定地質環境中，藉由工程及天然障壁有效阻滯核種的外釋與遷移，使外釋核種的輻射強度在到達人類生活環境之前已衰減至可忽略的程度。

OECD/NEA 咸認為前述天然障壁之長期安全性，必需經由嚴格的評估確認，亦即需深入到地下適當深度處（通常為地下 300~ 500 公尺）的真實母岩環境，進行現地試驗與驗證，方能獲得有信心的評估結果。此目的無法藉由任何形態之地表調查方法或試驗所滿足。因此，藉由地下實驗室（Underground Research Laboratory, URL）進行相關現地試驗與驗證、確認，是確保深地層處置場安全性之最適切且最可靠的途徑，也是國際間發展深地層處置國家必經之路。

一般來說，國際間所採用之地下試驗室主要可分成兩類，一類係泛用型地下實驗室，此類地下實驗室大多選定以現有的地下設施（例如礦坑）或隧道進行試驗，僅作為研發與測試之用，後續不作為最終處置設施，例如瑞典的 Aspo 地下實驗室，以及此次參訪的幌延 (Horonobe) 及瑞浪 (Mizunami) 地下實驗室；另一類係場址特定型，例如美國的 WIPP 地下實驗室及芬蘭 ONKALO 地下實驗室，其目的為利用現地之真實條件及數據，用以發展相關處置技術，並提供後續處置設施規劃與建造的重要資訊，國際間著名之地下實驗室類型及岩體分類如圖六。

日本為了(1)增進對深層地質環境瞭解、(2)確認地質處置技術之可行性、(3)促進民眾對深地層瞭解，參照國際發展經驗，興建地下實驗室。因日本對於潛在處置母岩的岩性尚未確認，故普查全日本絕對高程（-500 公尺深度處）之岩體，主要可區分為沈積岩及結晶岩（花崗岩屬結晶岩類）（如圖七）。據此，分別選定於北海道幌延町（屬沈積岩）及岐阜縣瑞浪市（屬結晶岩），建立兩處泛用型之地下實驗室（相關位置如圖八）。兩處地下實驗室除作為技術研發與驗證之外，主要目的即作為公眾溝通之用。

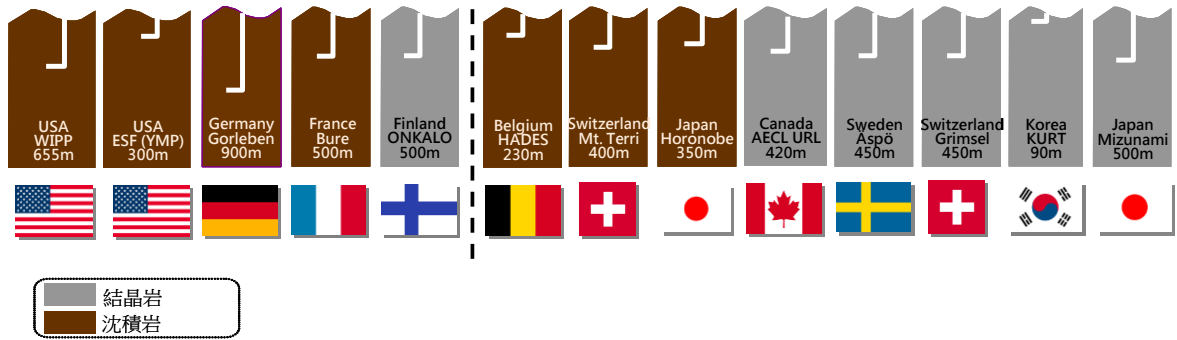
其中，幌延地下實驗室（以下稱幌延 URL）係以沈積岩（軟岩）之孔隙介質岩體及鹽水系地下水為研究對象；瑞浪地下實驗室（以下稱瑞浪 URL）係以結晶岩（硬岩）之裂隙岩體及淡水系地下水為研究對象。

場址特定型 地下實驗室

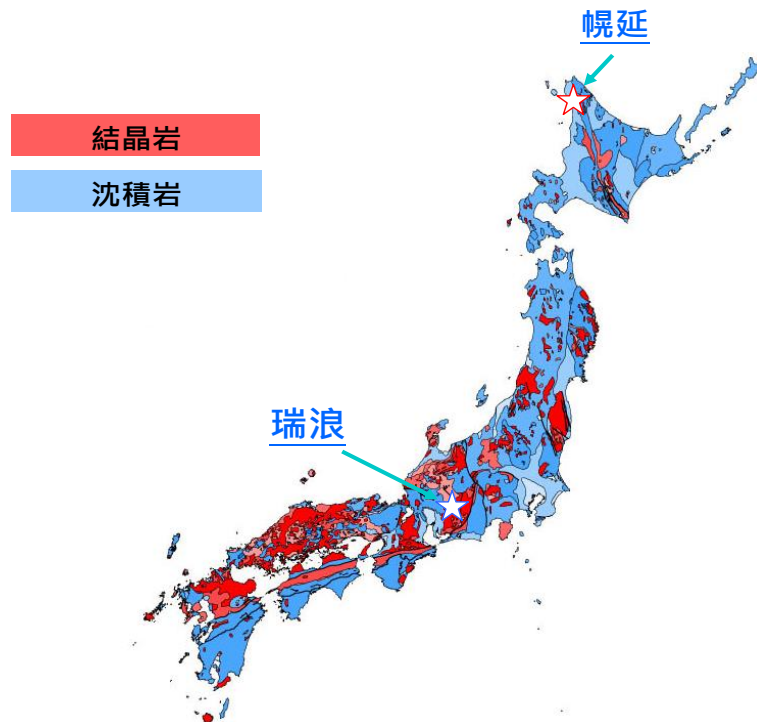
地下實驗室所在地為
廢棄物處置潛在場址

泛用型 地下實驗室

地下實驗室僅為研發與測試
之用，後續不作為處置場址



圖六 國際間著名之高放地質處置地下實驗室類型及岩體分類



圖七 日本絕對高程（-500公尺）地質圖



圖八 幌延及瑞浪地下實驗室位置及其屬性

2. 幌延 (Horonobe) 地下研究中心

(1) 概述 (含參訪行程)

幌延 URL 位於北海道北部之幌延町，北緯 45 度線正好通過幌延町市區。該町面積約為 574.1 平方公里、人口數約為 2,500 人、人口密度約為 4.3 人/每平方公里、主要產業為奶酪畜牧業。

日本於 2000 年開始建造幌延 URL，該場址主要位於第四紀含泥質砂岩層 (Koetoi 層及 Wakkanai 層)，深度 250 公尺以下有導水裂隙帶，中存有易燃的沼氣。幌延 URL 隸屬於 JAEA，於 2001 年 4 月成立，係以沈積岩 (軟岩) 之孔隙介質岩體及鹽水系地下水為研究對象，預定開挖深度為 500 公尺，2013 年已開挖至 350 公尺。該地下實驗室所開挖之三處豎坑，分別於 250~300 公尺處穿越該導水裂隙帶。

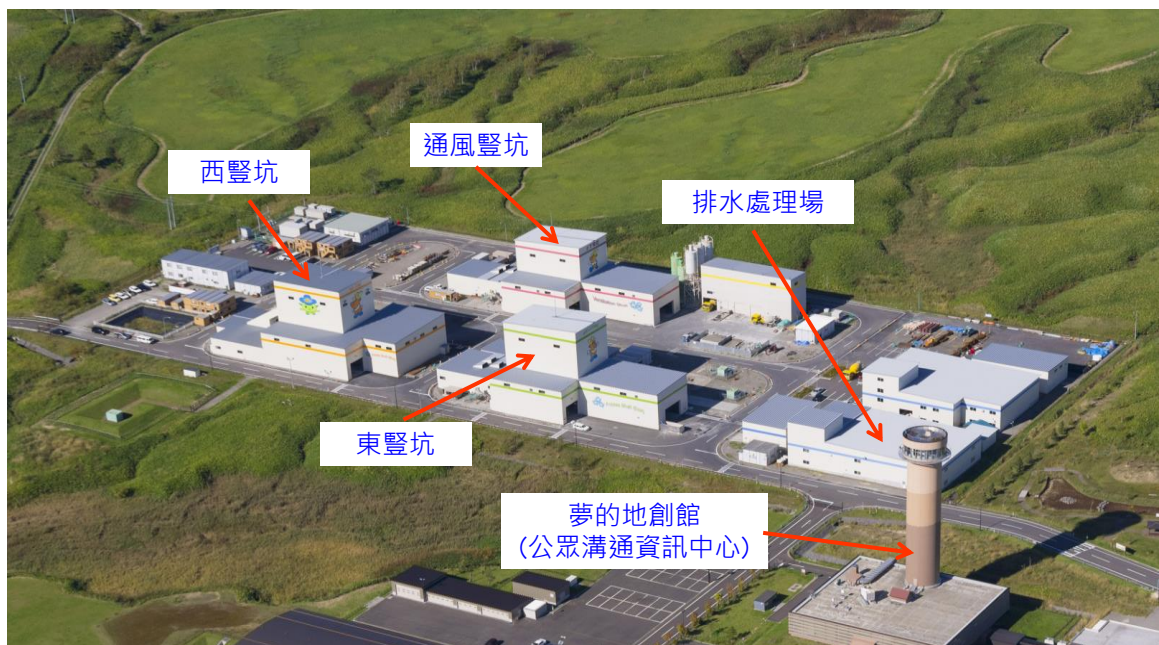
本次參訪總計約 3.5 小時，含深度 350 公尺地下廊道現地參觀約 1.5 小時、技術參訪前之試驗室簡介約 40 分鐘，參訪後移動至幌延町旅客中心進行意見交換與討論約 40 分鐘 (含工研院林鎮國博士介紹國內現地調查成果)，會後與會成員於幌延町旅客中心大禮堂合影留念 (如圖九)。



圖九 幌延 URL 專家與台方代表團於幌延町旅客中心大禮堂合影

(2) 主要設施

幌延地下研究中心主要建築物分佈如圖十。包含三處開挖豎坑之地表建築物，用以隔絕開挖過程所產生之噪音，建築物外側皆繪製有非常可愛的卡通麋鹿畫像（麋鹿為當地代表性動物）；排水處理場用以處理開挖過程所抽取之地下水；夢的地創館主要供作公眾溝通與相關研究成果展示之用，參訪前簡報室亦位於此地創館。



圖十 幌延地下研究中心主要建築物分佈

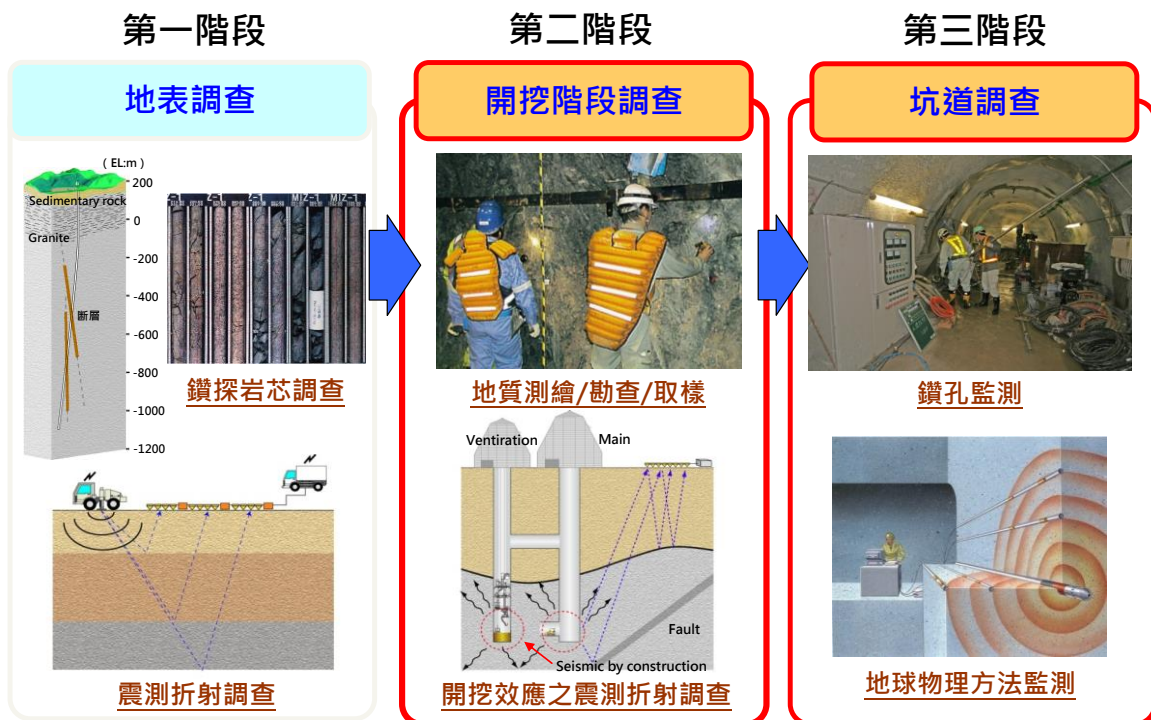
(3) 階段性期程與大事紀

幌延 URL 之研究主要分為 3 階段，第 1 階段為地表調查（2001 年~2005 年）；

第 2 階段開挖階段調查 (2005 年~2014 年); 至於最終之第 3 階段則利用完成之坑道進行相關研究 (2010 年~)。階段性調查重點如圖十一。

A. 主要大事紀如下：

- (a) 2001 年 4 月研究中心成立
- (b) 2001 年 7 月地表物理探查、地質調查及環境調查開始
- (c) 2002 年 7 月公選定地下研究中心範圍
- (d) 2004 年 4 月開始第二階段地面準備工作及建構地表建築物
- (e) 2006 年 4 月開始挖掘東豎坑
- (f) 2009 年 5 月深度 140 公尺研究坑道貫通
- (g) 2010 年 6 月深度 250 公尺研究坑道貫通
- (h) 2011 年 2 月開始挖掘西豎坑
- (i) 2013 年 10 月深度 350 公尺研究坑道全域貫通



圖十一 幌延地下研究中心階段性調查重點

(4) 參訪位置與主要研究

地下實驗室之參訪行程由西豎坑搭乘電梯 (施工升降梯, 如圖十三(a), 升降速度約 100 公尺/每分鐘, 搭乘人數上限為每次 8 人) 進入, 參訪位置為深度 350

公尺處之水平研究廊道，參訪後再由西豎坑離開。該深度之相關試驗配置如圖十二，對應圖十二(b)~(h)位置之現地拍攝照片如圖十三(b)~(h)。主要研究區分如下：

A. 環境長期穩定性研究

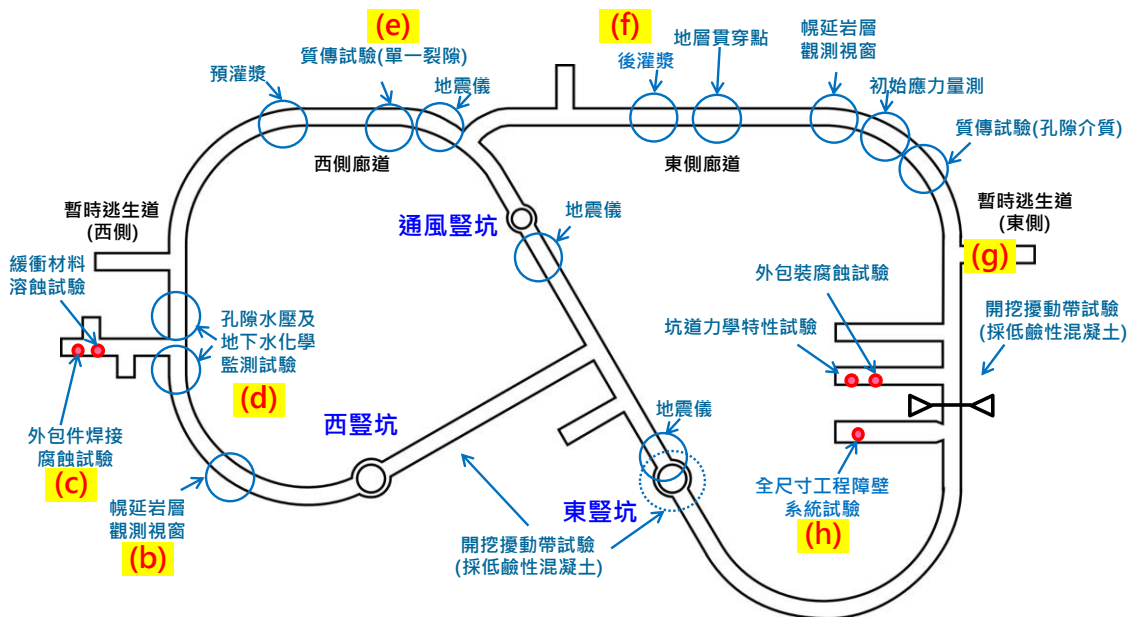
- (a) 開放式研究與展示窗口：展示實際之岩層層面，並供作岩石電導度計量與監測用（如圖十三(b)）
- (b) 孔隙水壓、地下水化學（如圖十三(d)）、岩石力學量測試驗：量測開挖過程及開挖後之現地孔隙水壓、水化、初始應力、岩體變形與位移量等
- (c) 斷層活動與地震活動對地下處置環境之影響：根據現地量測結果，地下 350 公尺處所測得之加速度約為地表 1/2~1/3
- (d) 質傳試驗：包含單一裂隙（如圖十三(e)）及孔隙介質傳輸試驗

B. 工程障壁系統研究

- (a) 現地水化條件之外包件焊接腐蝕（如圖十三(c)）及緩衝材料溶蝕試驗
- (b) 開挖擾動帶特性試驗：含使用低鹼性混凝土材料對緩衝材料、岩體與地下水之影響
- (c) 全尺寸工程障壁系統之熱-水-力-化耦合試驗（如圖十三(h)）

C. 深地層處置技術研究

- (a) 地層湧水現象抑制之灌漿技術與材料開發（如圖十三(f)）
- (b) 廢棄物罐水平處置技術研發（如圖十三(g)）



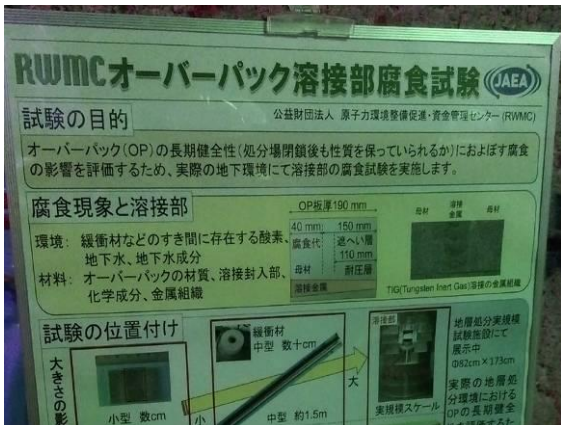
圖十二 深度 350 公尺處研究坑道相關試驗配置
(b~h 為對應圖十三之現地照片)



圖十三(a) 參訪活動所搭乘電梯



圖十三(b) 開放式研究與展示窗口



圖十三(c) 外包件焊接腐蝕試驗



圖十三(d) 孔隙水壓及地下水化監測試驗



圖十三(e) 單一裂隙質傳試驗



圖十三(f) 地層湧水現象抑制試驗

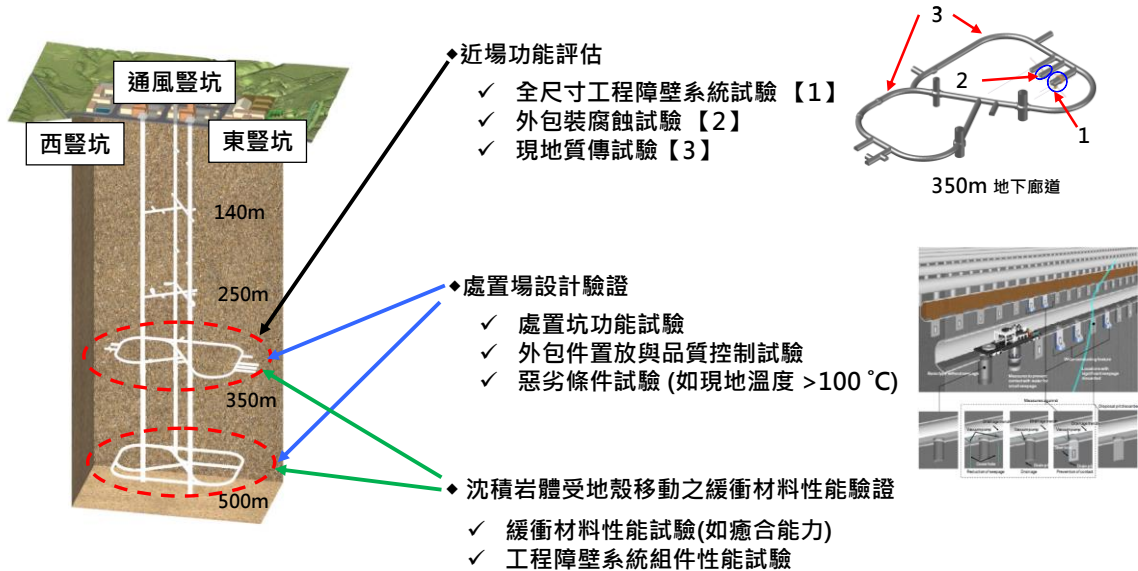


圖十三(g) 廢棄物罐水平處置技術研發



圖十三(h) 全尺寸 THMC 試驗

幌延 URL 未來試驗規劃（如圖十四），除持續進行深度 350 公尺處之全尺寸工程障壁系統試驗、外包件腐蝕試驗及置放技術、現地質傳試驗外，另規劃於深度 500 公尺處進行工程障壁系統組件性能試驗、緩衝材料之癒合能力等功能試驗、惡劣條件（如廢棄物罐表面溫度 $>100^{\circ}\text{C}$ ）等試驗。



圖十四 幌延地下實驗室未來主要試驗規劃

(5) 公眾溝通

為了促進民眾對地下研究之認識與了解，並增進公共溝通成效，幌延地下研究中心設置有「YUME(夢)地創館」之 PR (Public Relation) 設施，根據統計 2009 年共計約有 11,000 人次參觀。此外，JAEA 也舉辦公眾資訊教室及年度成果簡介會，說明地下研究現況與年度重要成果。在科普教育方面，分別舉辦學生之科學夏令營及地下設施參觀之旅。此外，JAEA 也設置有該中心之研究成果、實驗室介紹影片及互動網頁，有興趣民眾更可透過網頁直接觀看地下研究坑道之 360° 全景影像，提昇民眾觀賞意願。幌延地下研究中心之公眾溝通相關活動如圖十五。



圖十五 幌延地下研究中心之公眾溝通相關活動

3. 瑞浪 (Mizunami) 地下研究中心

(1) 概述 (含參訪行程)

瑞浪 URL 位於日本本島中部岐阜縣東南之瑞浪市，該市面積約為 175 平方公里、人口數約為 40,030 人、人口密度約為 230 人/每平方公里、主要產業為紡織業。

日本於 1996 年開始推展「瑞浪超深地層研究計畫」，於 2002 年 1 月與瑞浪市完成土地租用合約簽訂，開始著手建造地下實驗室。該場址所在區域位於 Ryoke 深成岩帶與 Mino 中生代沉積岩邊緣，地下研究坑道主要挖掘白堊紀 Toki 之花崗岩，另該址北方約 500 公尺處有 Tsukiyoshi 斷層經過。

瑞浪 URL 隸屬於 JAEA，由東濃地球科學中心 (Tono Geoscience Center, TGC) 管理。係以花崗岩 (硬岩) 之裂隙岩體及淡水系地下水為研究對象，預定開挖 2 座深達 1,000 公尺之豎坑及水平研究廊道，同時每 100 公尺深挖掘水平廊道，以貫通兩座豎坑，2014 年 2 月已完成 500 公尺深之水平研究廊道。

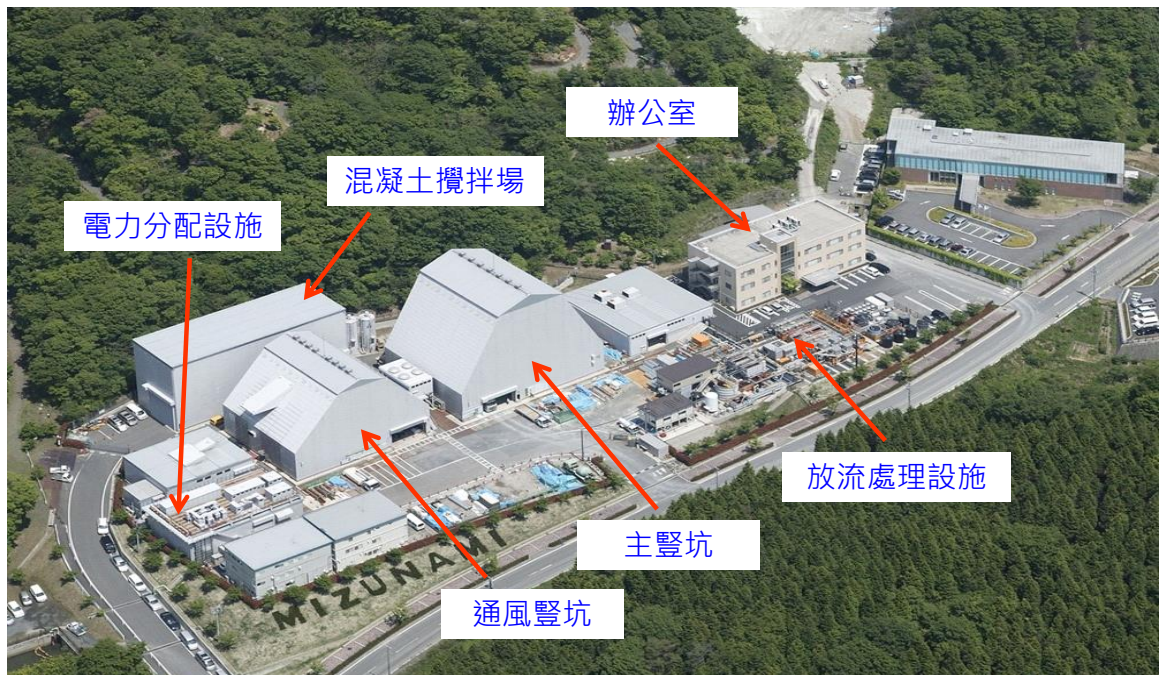
本次參訪總計約 3 小時，含深度 300 公尺地下廊道現地參觀約 1 小時、技術參訪前之試驗室簡介約 40 分鐘，參訪後意見交換與討論約 40 分鐘 (含工研院林鎮國博士介紹國內現地調查成果)，會後與會成員於講演會議室合影留念 (如圖十六)。



圖十六 瑞浪 URL 專家與台方代表團於講演會議室合影

(2) 主要設施

瑞浪地下研究中心主要建築物分佈如圖十七。包含兩處開挖豎坑之地表建築物，以隔絕開挖過程所產生之噪音；放流處理設施處理開挖過程所產生之污泥水；混凝土攪拌場提供開挖後壁面之澆置混凝土與水平研究坑道壁面之噴凝土，參訪前講演會議室位於辦公室大樓內。



圖十七 瑞浪地下研究中心主要建築物分佈

(3) 階段性期程與大事紀

瑞浪 URL 之研究主要分為 3 階段，第 1 階段為地表調查 (1996 年~2004 年)；第 2 階段開挖階段調查 (2004 年~2013 年)，此開挖階段進度暫時落後 (預定深度為地下 1,000 公尺，受限於預算因素，主豎坑僅開挖至地下 500.4 公尺，通風豎坑僅開挖至地下 500.2 公尺，另 2014 年 2 月已完成地下 500 公尺深度之水平研究坑道)；至於最終之第 3 階段則利用完成之坑道進行相關研究 (2010 年~)。階段性調查重點如圖十八。

A. 主要大事紀如下：

- (a) 2002 年 4 月研究中心成立
- (b) 2003 年 7 月開始挖掘豎坑
- (c) 2005 年 6 月 100 公尺處預備廊道貫通
- (d) 2007 年 9 月 200 公尺處預備廊道貫通
- (e) 2009 年 1 月 300 公尺處預備廊道貫通
- (f) 2009 年 10 月 400 公尺處預備廊道貫通
- (g) 2012 年 7 月 500 公尺處預備廊道貫通
- (h) 2014 年 2 月 500 公尺處水平研究廊道開挖結束



圖十八 瑞浪地下實驗室階段性調查重點

(4) 參訪位置與主要研究

地下實驗室之參訪行程由主豎坑搭乘電梯進入，所搭乘電梯之型式與升降速度同幌延地下實驗室所採用。參訪位置為深度 300 公尺處之水平研究廊道（300 公尺處之現地調查內容如圖十九及圖二十(b)），參訪後再由主豎坑離開。

該址所在地方政府不同意地下實驗室進行熱學相關研究，與幌延地下實驗室進行之熱-水-力-化（THMC）耦合試驗不同，瑞浪地下實驗室改進行水-力-化-微生物（HMCB）耦合試驗。因無法進行熱學相關試驗，且花崗岩體性質相對於沈積岩單純，故不同深度所規劃試驗大致雷同。

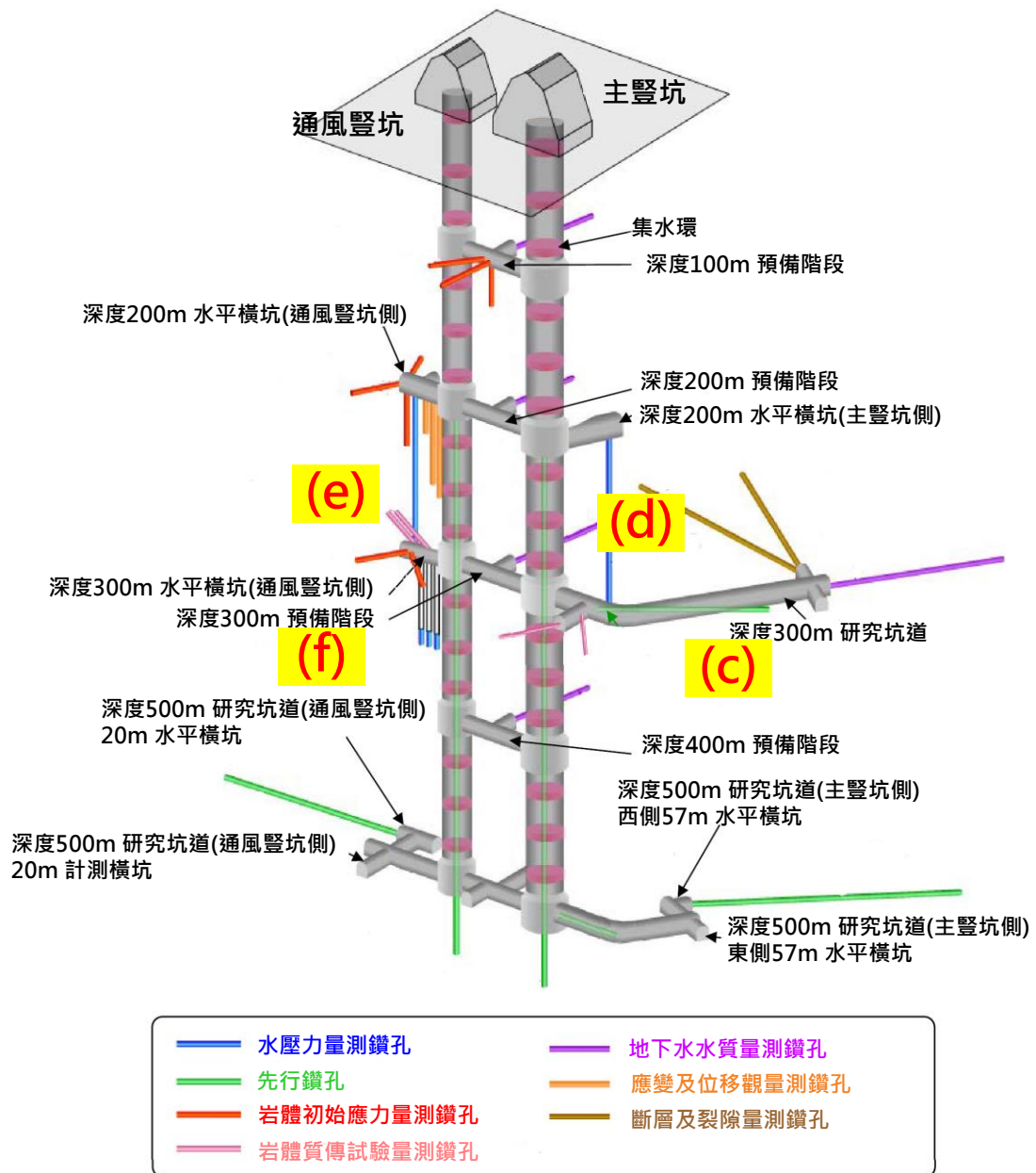
深度 100~300 公尺處研究坑道之相關試驗配置如圖十九，對應圖十九(c)~(f) 位置之現地拍攝照片如圖二十(c)~(f)。主要研究區分如下：

A. 環境長期穩定性研究

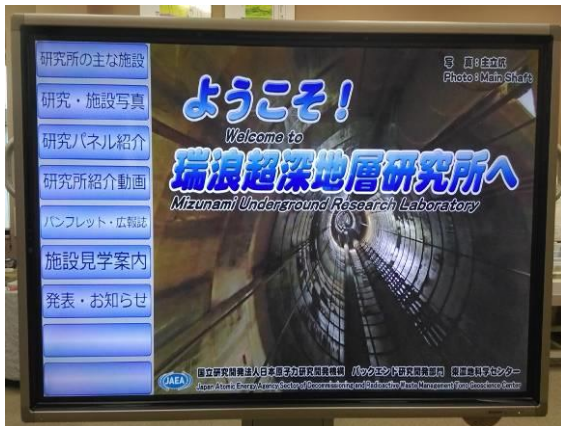
- (a) 岩樣礦物學與組構特徵及壁面影像 3D 掃描
- (b) 先行鑽孔岩體特性及水流流向研究（如圖二十(c)）
- (c) 地下水水流、物理化學特性及微生物特性調查研究（如圖二十(d)）
- (d) 岩體現地應力量測及質傳試驗（如圖二十(e)）
- (e) 反射垂直地震剖面之地物探勘、地震特性及岩體變形量測（如圖二十(f)）

B. 工程障壁系統研究

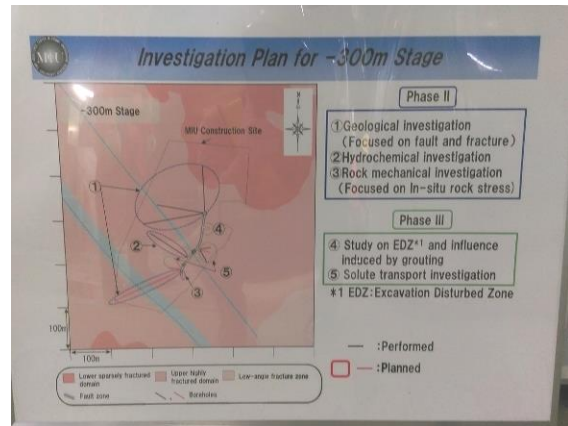
- (a) 不同開挖階段與深度之水文地質環境模型反覆模擬與修訂
- (b) 開挖擾動帶特性試驗
- (c) 水-力-化-微生物耦合試驗



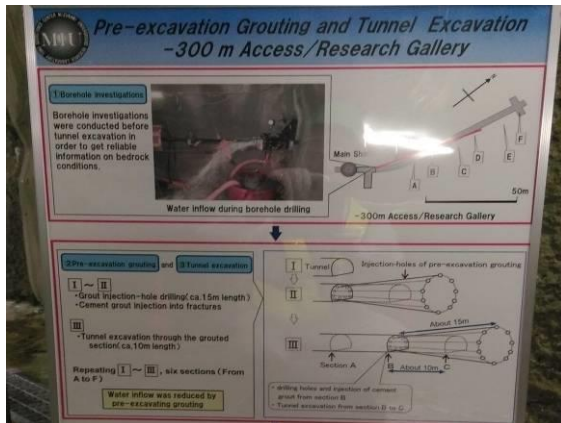
圖十九 深度 100~300 公尺處研究坑道相關試驗配置
 (c~f 為對應圖二十之現地照片)



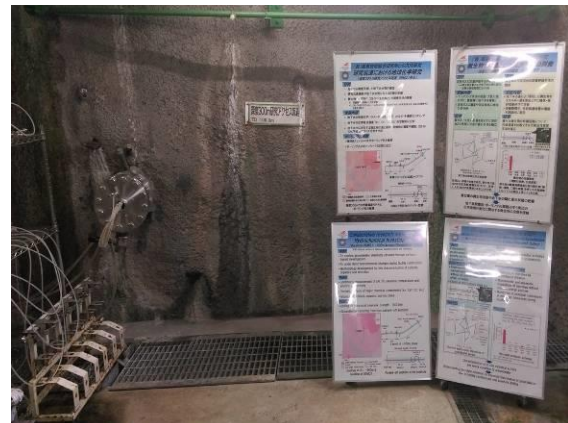
圖二十(a) 地下實驗室介紹之互動螢幕



圖二十(b) 300m 處之現地調查內容



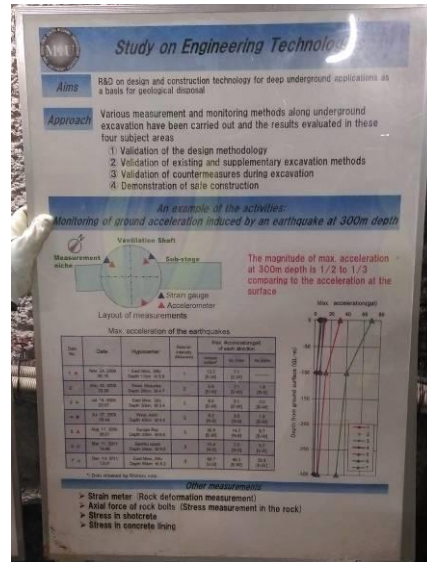
圖二十(c) 預開挖岩體特性及水流研究



圖二十(d) 現地地化、水化及微生物研究



圖二十(e) 現地質傳及岩體應力量測試驗



圖二十(f) 地震特性及岩體應變與位移量測

(5) 公眾溝通

瑞浪地下研究中心之公眾溝通活動與幌延地下研究中心雷同。據統計，2012年計有 2,231 人實際下到地下坑道內進行參觀、2013 年計舉辦 6 次研究成果展示會、2013 年之互動網頁共計有超過 4 百萬人次瀏覽等。(如圖二十一)

公眾溝通活動



地下設施參觀
(2012年 參觀人數2,231人)



成果展示會
(2013年 6次)



地物成果資訊交換
(1999年起・每年乙次)



地下實驗室新聞刊物
(每月500份)

教育活動



在學生科普教育
(2013年 26校)



科學夏令營
(2013年 10人)



互動網頁
(2013年 瀏覽人數超過4百萬)

圖二十一 瑞浪地下研究中心之公眾溝通相關活動

三、心得

此次奉派出國參加「TPC-NUMO 高放射性廢棄物地質處置交流年會」及參訪幌延及瑞浪地下研究設施，主要目的為瞭解台日雙方在國際技術合作及資訊交流的進展與成效、日方協助我國進行階段性成果報告同儕審查規劃辦理情形及實地參訪兩處地下研究設施獲取寶貴的技术經驗等，收獲頗豐，茲將此行個人主要心得感想說明如下：

- (一) **強化資訊公開、民眾參與及對話：**日本近年積極強化高放處置調查過程之資訊公開、調查研究結果之資訊公開，舉辦研究成果發表會、地物成果資訊交流研討會等，並提供民眾多重參與管道，及與計畫執行者及政府對話的機會。對於資訊公開作法，以 JAEA 為例，於 2010 年啟動資訊管理系統 (KMS)，並公布網路版之地下實驗室階段性成果報告 CoolRep H22、H26 (網址：<http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/coolreph26-kernels.html>)。對於成果報告內所提及內容、圖表、數據等，均有對應之來源參考文獻，可直接連結參閱，完整且系統性的公開相關調查資訊。
- (二) **採取科學性方法選定調查區域的策略：**積極調整與修正既有選址策略，除原有自治市可自願申請為調查場址不變外，採行以「科學性方法」(即撇開政治議題的干擾，以科學辯證及證據，證明場址的合適性與安全性)選定後續調查區域，並聽取地方政府及當地住民意見及相互對話，取得民眾共識，建議地方政府同意後續進一步調查。
- (三) **參酌國際趨勢興建地下實驗室：**日本參酌國際間發展經驗，興建本土的地下實驗室，除能深化本土之地質處置相關技術外，更能提升國內民眾對地質處置的信心，也是作為公眾溝通與宣導最佳的範例。
- (四) **辦理重要階段性成果報告之國內/國際同儕審查：**為了確保技術研發成果符合國際水準、確認成果報告品質與公信力，對於重要之階段性成果報告如 H12 報告、CoolRep H22 報告及 CoolRep H26 報告，除由國內專家/學者審查外，亦辦理國際專家之同儕審查，以廣納專家/學者意見，並作為後續階段成果報告之精進與強化的依據。

四、建議

以下就本次參加處置技術交流會議及參訪活動心得，提出個人的建議事項，說明如下：

- (一) **強化處置計畫人力與經費：**為確保計畫之有效執行，需仰賴充足的技術人力與研究經費。以本次所參訪之日本為例，高放射性廢棄物專責機構（NUMO）主要負責選址、建造、執照申請、運轉與封閉等工作，人數約為 94 人，年預算約為 2.6 億台幣；而深地層處置技術相關研發工作則由 JAEA 負責，研究人員約為 1,000 人，年預算約為 15.9 億台幣。相較國內，高放射性廢棄物產生者（台電公司）目前高放處置計畫管理專職人力約為 12 人，年度計畫研發經費約為 1.7 億元，無論人力與經費方面，均有強化改善之必要。
- (二) **強化公眾溝通與資訊公開：**為確保最終處置計畫及工作的推動，有效順遂並能取得民眾認同，日本最終處置法第三條第 2 項規定，所訂定之最終處置基本方針要求，需包括增進調查地區居民理解之策略事項、以及增進國民理解最終處置之策畫事項。104 年 5 月 22 日所提出之基本方針（修訂版）增列：「必須致力於積極公開最終處置有關之資訊，包括選址活動相關資訊及最終處置相關技術性資訊...等」，認知惟有資訊更公開透明、落實政府與團體、機構間之資訊交換與圓滑的意見溝通，方能順利且有效的推動最終處置工作。
- (三) **持續加強國際技術合作交流：**經由國際技術之合作交流，除可減少國內處置計畫研發團隊耗時摸索外，參酌國外經驗與專家意見，亦可確保規劃方向的妥適性及研發成果的合理性。此外，藉由國際資訊的交流，可獲得較為即時的訊息，適時作為國內修正法規、管制策略、調整計畫方向等之參酌依據。台電公司除應持續加強國際技術合作交流外，另應考慮適時擴大交流範疇與對象。
- (四) **參與國際間地下實驗相關研究：**地下實驗室所進行相關現地試驗與驗證，以及深地層施工技術的建立，是確保深地層處置場安全性重要方法之一，也是國際間發展深地層處置國家應考量之作法。2012 年初，台電公司原規劃設置地質實驗室，進行相關地質試驗與驗證工作，惟因地方民眾抗爭而中止。如能藉由參與國際間相關深地層處置之地下實驗計畫，亦可習得相關地下試驗規劃、儀器建置、模擬評估及驗證、工程施工等相關技術，有助於處置計畫之執行。