



## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴日本召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」並參訪深層地質實驗室

頁數 37 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/李柏叡/02-23657210 #2307

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李柏叡/台灣電力公司/核能後端營運處/安全評估專員/02-23657210 #2307

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他：開會

出國期間：104.5.31~104.6.6

出國地區：日本

報告日期：104.7.15

分類號/目

關鍵詞：高放射性廢棄物、最終處置計畫、深層地質實驗室

內容摘要：

因國內地質環境與日本相近，且日本高放射性廢棄物地質處置專責機構—日本原子力發電環境整備機構(Nuclear Waste Management Organization of Japan, 簡稱 NUMO)之高放射性廢棄物最終處置技術屬於國際領先，本公司為順利推展國內高放射性廢棄物最終處置計畫，已與 NUMO 簽署高放射性廢棄物最終處置計畫技術合作備忘錄(Memorandum of Understanding, 簡稱 MOU)，規劃每年召開「高放射性廢棄物地質處置技術交流年會」，並進行資訊之交流。

本次高放射性廢棄物最終處置技術交流團(簡稱本團)由本公司與原子能委

員會、核能研究所及工業技術研究院組成，目的為召開「高放射性廢棄物地質處置技術交流年會」，瞭解雙方高放處置計畫之進展，並進行相關技術之交流。本團除召開交流年會外，並安排參訪隸屬於日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, 簡稱 JAEA)之瑞浪地下實驗室(Mizunami Underground Research Laboratory)及幌延地下研究中心(Horonobe Underground Research Center)，瞭解日本深層地質實驗室之規劃及研究情況，有助於國內高放射性廢棄物最終處置技術之規劃及推動。

本團經交流年會及參訪深層地質實驗室，瞭解日本高放射性廢棄物最終處置計畫的現況及技術進展，並提供 NUMO 及 JAEA 目前國內的技術能力與計畫進展，達到相互瞭解並尋求未來最有利的合作方式，並借鏡日本 NUMO 及 JAEA 於高放射性廢棄物最終處置的豐富經驗，提供國內高放射性廢棄物最終處置計畫之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

## 出國報告(出國類別：開會)

# 赴日本召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」並參訪深層地質實驗室

服務機關：台灣電力公司  
核能後端營運處

姓名職稱：黃添煌 副處長  
張仁坤 主管  
李柏叡 專員

派赴國家：日本

出國期間：104年5月31日~104年6月6日

報告日期：104年7月15日

## 摘要

因國內地質環境與日本相近，且日本高放射性廢棄物地質處置專責機構—日本原子力發電環境整備機構(Nuclear Waste Management Organization of Japan, 簡稱 NUMO)之高放射性廢棄物最終處置技術屬於國際領先，本公司為順利推展國內高放射性廢棄物最終處置計畫，已與 NUMO 簽署高放射性廢棄物最終處置計畫技術合作備忘錄(Memorandum of Understanding, 簡稱 MOU)，規劃每年召開「高放射性廢棄物地質處置技術交流年會」，並進行資訊之交流。

本次高放射性廢棄物最終處置技術交流團(簡稱本團)由本公司與原子能委員會、核能研究所及工業技術研究院組成，目的為召開「高放射性廢棄物地質處置技術交流年會」，瞭解雙方高放射性廢棄物最終處置計畫之進展，並進行相關技術之交流。本團除召開交流年會外，並安排參訪隸屬於日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, 簡稱 JAEA)之瑞浪地下實驗室(Mizunami Underground Research Laboratory)及幌延地下研究中心(Horonobe Underground Research Center)，瞭解日本深層地質實驗室之規劃及研究情況，有助於國內高放射性廢棄物最終處置技術之規劃及推動。

本團經交流年會及參訪深層地質實驗室，瞭解日本高放射性廢棄物最終處置計畫的現況及技術進展，並提供 NUMO 及 JAEA 目前國內的技術能力與計畫進展，達到相互瞭解並尋求未來最有利的合作方式，並借鏡日本 NUMO 及 JAEA 於高放射性廢棄物最終處置的豐富經驗，提供國內高放射性廢棄物最終處置計畫之參考。

# 目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
壹、 目的.....	1
貳、 過程.....	2
參、 工作內容 .....	4
一、 拜訪日本電力中央研究所 .....	4
二、 召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」 .....	5
三、 參訪幌延地下研究中心 .....	10
四、 參訪瑞浪地下實驗室 .....	12
肆、 心得.....	35
伍、 建議.....	37

## 圖目錄

圖 1：本團赴日本開會及參訪地點之相對位置圖.....	3
圖 2：本團與 CRIEPI 針對放射性廢棄物處置計畫研發進行討論.....	15
圖 3：本團與 CRIEPI 進行放射性廢棄物處置計畫研發討論後合影... ..	15
圖 4：日本高放地質處置專案之規劃時程.....	16
圖 5：與 NUMO 理事長進行資訊交流 .....	16
圖 6：本團台電代表與 NUMO 理事長進行合影 .....	17
圖 7：NUMO 植田浩義博士於交流年會進行高放射性廢棄物最終處置 計畫現況簡報.....	17
圖 8：NUMO 組織圖 .....	18
圖 9：NUMO 各部門職掌之工作項目 .....	18
圖 10：日本進行場址篩選之 3 個階段.....	19
圖 11：NUMO 2015 安全案例報告架構 .....	19
圖 12：台電張仁坤主管於交流年會簡報高放射性廢棄物最終處置計畫 現況.....	20
圖 13：工研院林鎮國博士於交流年會簡報地質調查之工作現況.....	20
圖 14：核研所余允辰先生於交流年會簡報安全評估之工作現況.....	21
圖 15：本團與 NUMO 人員於交流年會針對高放射性廢棄物最終處置 議題進行討論.....	21
圖 16：高放射性廢棄物地質處置交流年會與會人員合影.....	22
圖 17：進入幌延地下研究中心之行前教育.....	22
圖 18：幌延地下研究中心地下 350 m 調查坑道之配置圖 .....	23
圖 19：幌延地下研究中心人員進行跨孔試驗(一).....	23
圖 20：幌延地下研究中心人員進行跨孔試驗(二).....	24
圖 21：幌延地下研究中心人員進行物質傳輸試驗.....	24

圖 22：幌延地下研究中心展示用之沉積岩岩壁.....	25
圖 23：幌延地下研究中心進行全尺寸 THMC 耦合試驗.....	25
圖 24：幌延地下研究中心展示用之全尺寸緩衝材料.....	26
圖 25：本團人員與幌延地下研究中心人員於地下 350 m 坑道合影 ...	26
圖 26：工研院林鎮國博士於幌延地下研究中心簡報高放射性廢棄物最終處置技術.....	27
圖 27：本團人員與幌延地下研究中心人員進行合影.....	27
圖 28：瑞浪地下實驗室地面建築物分布圖.....	28
圖 29：瑞浪地下實驗室坑道開挖示意圖.....	28
圖 30：進入瑞浪地下實驗室前之行前教育.....	29
圖 31：瑞浪地下實驗室之坑道.....	29
圖 32：瑞浪地下實驗室展示用之花崗岩岩壁.....	30
圖 33：瑞浪地下實驗室完整的花崗岩區域.....	30
圖 34：瑞浪地下實驗室地下水集水設備.....	31
圖 35：瑞浪地下實驗室排水處理設備.....	31
圖 36：瑞浪地下實驗室人員進行地下水水壓量測實驗介紹.....	32
圖 37：工研院林鎮國博士於瑞浪地下實驗室簡報地質調查相關議題	32
圖 38：核研所余允辰先生於瑞浪地下實驗室簡報安全評估相關議題	33
圖 39：工研院林蔚博士針對地質沉陷評估之議題進行說明.....	33
圖 40：本團人員與瑞浪地下實驗室人員進行合影.....	34

## 壹、目的

國內用過核子燃料最終處置之推動，係依據「用過核子燃料最終處置計畫書」所擬時程及規劃工作內容，切實執行最終處置之技術發展及處置設施之籌建工作。因此本階段(94年-106年)為「潛在處置母岩特性調查與評估階段」，而本階段規劃2個計畫目標，首先於98年提出「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告(簡稱SNFD2009報告)」，並已於99年經主管機關核備；最後於106年提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告(簡稱SNFD2017報告)」，此報告為本計畫重要階段性報告，將確認地質處置工程技術能力是否完備，報告目標如下：

- (1) 能否找到合適的花崗岩進行地質處置；
- (2) 地質處置工程技術能力是否完備；
- (3) 地質處置設施長期安全性評估之能力是否完備。

102年11月27日台電公司與NUMO簽署MOU，合作型態為高放射性廢棄物最終處置技術資料交流、雙方人員互訪並每年召開交流年會。基於與NUMO簽訂之MOU，台電公司主動提出與NUMO進行人員之互訪並召開交流年會，針對雙方高放射性廢棄物最終處置計畫之現況、年度成果及未來規劃進行分享。並安排參訪隸屬於JAEA之瑞浪地下實驗室及幌延地下研究中心，瞭解日本深層地質實驗室之規劃及研究情況，有助於國內高放射性廢棄物最終處置技術之規劃及推動。

本團由工業技術研究院、核能研究所、原子能委員會及本公司組成，此項任務目的除召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」，瞭解日本高放射性廢棄物最終處置技術之進展並進行資訊之交流外，並參訪深層地質實驗室，透過現地觀摩及討論，學習國際先進技術，可提升國內高放射性廢棄物最終處置技術知識。

## 貳、過程

自 104 年 5 月 31 日出發，6 月 6 日返國，共計 7 天，停留東京(Tokyo)、北海道(Hokkaido)及名古屋(Nagoya)。本團之行程及工作內容如表 1 所示，本團赴日本之開會及參訪地點之相對位置如圖 1 所示。5 月 31 日由台北松山機場出發至東京羽田機場；6 月 1 日拜訪日本電力中央研究所(Central Research Institute of Electric Power Industry, 簡稱 CRIEPI)，進行放射性廢棄物處置技術研發之相關討論；6 月 2 日於 NUMO 總部召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」，NUMO 與本團分別簡報高放射性廢棄物最終處置計畫現況，並進行資訊交流及討論；6 月 3 日早上搭乘飛機前往北海道稚內機場，並由 JAEA 人員接待前往幌延地下研究中心進行參訪，並進行深層地質處置技術之交流；6 月 4 日為移動日，先由北海道稚內機場至北海道千歲機場轉機，再前往名古屋中部國際機場，並進行資料整理；6 月 5 日前往瑞浪火車站，並由 JAEA 人員接待參訪瑞浪地下實驗室，並進行深層地質處置技術之交流；6 月 6 日由名古屋中部國際機場返回桃園國際機場。

表 1：訪問行程及工作內容

日期	地點與行程	工作內容
5月31日(日)	臺北→東京	去程
6月1日(一)	東京	於 CRIEPI 進行放射性廢棄物處置 技術研發討論
6月2日(二)	東京	於 NUMO 總部召開「高放射性廢 棄物地質處置交流年會」
6月3日(三)	東京→北海道	參訪幌延地下研究中心
6月4日(四)	北海道→名古屋	移動日及資料整理
6月5日(五)	名古屋	參訪瑞浪地下實驗室
6月6日(六)	名古屋→臺北	返程

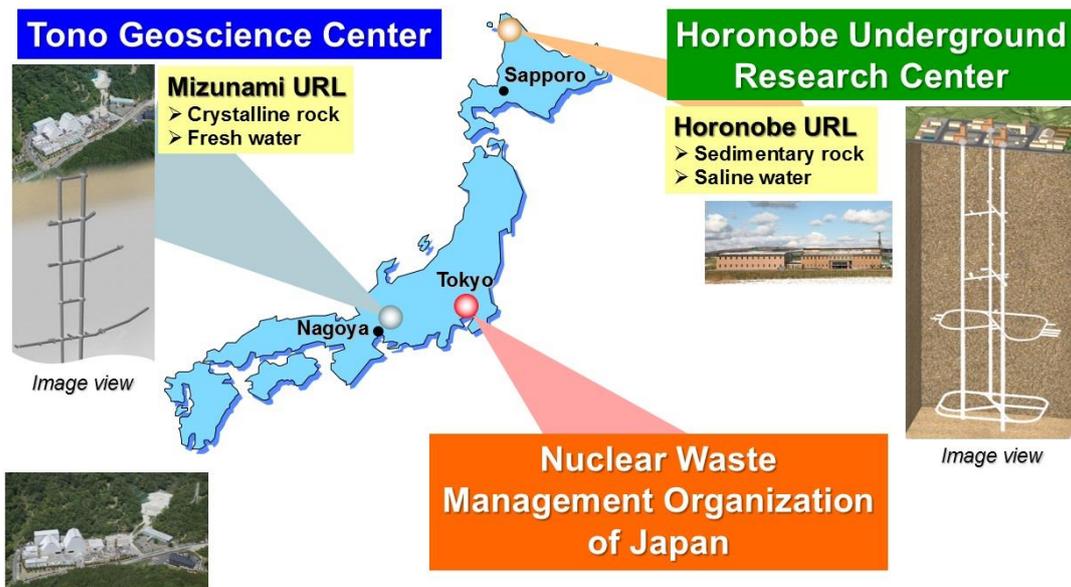


圖 1：本團赴日本開會及參訪地點之相對位置圖

## 參、工作內容

### 一、拜訪日本電力中央研究所

104 年 6 月 1 日本團拜訪位於大手町地區(Otemachi)之 CRIEPI，討論放射性廢棄物處置技術之研發現況，並針對後續雙方技術交流之相關細節進行討論。

會議中，由台電李柏勳專員進行高放射性廢棄物最終處置技術研發介紹，提出本計畫現階段需達成之目標，亦向 CRIEPI 說明因國內地質環境與日本相似，管制單位要求 SNFD2017 報告應參照日本「高放射性廢棄物處置計畫階段成果報告(簡稱 H12 報告)」之章節架構，但技術研發內容以瑞典 KBS-3 處置概念進行。簡報中，本團提出台灣與日本技術交流之模式，並確認將進行技術交流之議題，針對雙方感興趣的議題，期望能進行深入討論。因國內現階段尚未建置深層地質實驗室，本團希望日方於技術交流時分享地下實驗室相關資訊，提供國內高放射性廢棄物最終處置技術發展之參考，本團與 CRIEPI 針對放射性廢棄物處置技術研發進行熱烈討論(如圖 2)，本團會後與 CRIEPI 人員進行合影(如圖 3)。

## 二、召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」

本公司已與日本高放射性廢棄物最終處置計畫專責機構 NUMO 簽署 MOU，基於 MOU 之內容，本團赴日本的主要任務為與 NUMO 共同召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」，104 年 6 月 2 日日本團赴 NUMO 東京總部，針對雙方之高放射性廢棄物最終處置計畫現況進行交流。

日本高放射性廢棄物地質處置專案規劃之時程如圖 4 所示。日本經濟產業省(Ministry of Economy, Trade and Industry, 簡稱 METI)根據 2000 年 5 月發布之特定放射性廢棄物最終處置法(Final Disposal of Specified Radioactive Waste Law)，於 2000 年 10 月核准成立 NUMO，專門負責高放射性廢棄物之最終處置。NUMO 於 2002 年 12 月向日本所有鄉鎮公開徵求可供進行初步地質調查之區域，但並未徵得任何自願供調查之區域。日本於 2007 年 6 月修訂特定放射性廢棄物最終處置法，要求將具有長半衰期(half-life)之低放射性廢棄物(Trans-Uranium, TRU)進行深層地質處置(超過地表下 300 公尺)，而 TRU 來自再處理及 MOX 燃料製造工廠，2008 年 METI 核准 NUMO 亦為負責 TRU 最終處置之執行機構。

召開交流年會前，於 NUMO 聯絡窗口植田浩義博士陪同下，拜會 NUMO 理事長近藤俊介博士進行資訊交流(如圖 5)，NUMO 理事長提到，日本在執行高放射性廢棄物最終處置計畫亦遭遇諸多困難，尚有諸多議題待突破，更需積極與民眾進行溝通，會談後本團台電代表與 NUMO 理事長進行合影(如圖 6)。

交流年會中，NUMO 植田浩義博士簡報介紹日本核能政策現況、高放射性廢棄物最終處置計畫近況及目前 NUMO 正努力執行之計畫(如圖 7)。NUMO 說明目前之目標，包含：

- (1) 進行深層地質處置場址之選擇；

- (2) 促進公眾參與及公眾關係；
- (3) 進行深層地質處置設施執照申請、建造、運轉及封閉之規劃；
- (4) 進行地質處置技術之研究發展；
- (5) 進行最終處置基金之蒐集。

NUMO 針對目前須達成之目標規劃其組織架構，如圖 8 所示，執行部門包含企業規劃部(Corporate Planning Department)、一般事務部(General Affairs Department)、溝通及公眾接受部(Communication and Public Acceptance Department)以及科學與技術部(Science and Technology Department)，各部門執掌之工作事項如圖 9 所示，從規劃部門可得知 NUMO 認為公眾溝通與高放射性廢棄物最終處置技術發展同等重要，需同時進行。

日本進行場址篩選之 3 個階段如圖 10 所示，NUMO 將根據特定放射性廢棄物最終處置法逐步進行場址篩選，以決定最終處置設施之場址，NUMO 於 2002 年公開徵求自願進行文獻調查(Literature Survey)的全國鄉鎮，若有自願的鄉鎮並透過文獻調查確認可符合場址篩選準則，將成為候選場址並進入初步調查區域(Preliminary Investigation Area, PIAs)階段，進行地球物理調查、地質鑽探及坑道試驗；利用初步調查之資料確認符合場址篩選準則後，再進入細部調查區域(Detailed Investigation Area, DIAs)階段，執行深層地質調查，包含開挖坑道試驗及坑道內之地質調查；再經確認符合場址篩選準則後，候選場址將可進入處置設施場址(Repository Site, RS)階段。2002 年以後，NUMO 與 METI 共同舉辦多場全國性之研討會及公聽會，進行深層地質處置安全性及重要性的介紹，以利全國民眾瞭解及接受深層地質處置，並期望有自願鄉鎮成為候選場址，提供 NUMO 進行場址篩選。

2011 年 3 月，發生東日本大地震且產生海嘯，造成福島核能電廠

發生複合性核災。自從福島事件後，放射性廢棄物管理引起諸多討論，2013 年 5 月，日本政府檢討高放射性廢棄物地質處置之方法並進行更新，於 2014 年 5 月提出 3 個選址過程的改進方法：(1)改善選址過程並確認地質處置之安全；(2)建立當地社區及民眾之共識；(3)適當的支持當地社區。

2014 年 4 月，日本提出新的能源政策，重新將核能列為重要能源，另提出高放射性廢棄物最終處置計畫不應被延遲，且執行過程亦需確保高放射性廢棄物之可溯性及可回復性，日本政府亦需利用全國性角度確認合適之區域，並協助 NUMO 進行場址之篩選。2015 年 5 月 22 日，日本政府根據新的能源政策修正高放射性廢棄物地質處置相關法令如下：

- (1) 當今的世代需朝最終處置邁進，不應推遲；
- (2) 需確保地質處置之政策及方案的可溯性及可回復性，以利未來世代能有更佳的選擇；
- (3) 進行替代高放射性廢棄物最終處置技術之研發，例如直接處置、核轉換/群分離；
- (4) 政府需於場址篩選扮演領導者的角色，並邀請鄉鎮接受文獻調查；
- (5) 政府及執行單位應支持當地市政府與民眾溝通，並邀請當地民眾進行對談；
- (6) 日本原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, 簡稱 NRA)需於選址期間逐步地確保場址之安全性。

針對高放射性廢棄物最終處置技術之議題，2014 年 NUMO 進行諸多溝通活動，並針對不同對象有不同之溝通策略，包含舉辦全國性之專題討論會、社區會議及使用溝通車進行對話活動等，透過 3D 動畫之呈

現、工程障壁之模型、膨潤土之實驗及技術性議題之討論，可促進民眾及專家瞭解高放射性廢棄物最終處置計畫，並有利於計畫之推展。

為使高放射性廢棄物最終處置技術之研究與發展能更符合現況，提供證明高放射性廢棄物最終處置技術之可靠度及安全性，NUMO 正準備提出「NUMO 2015 安全案例報告」，該報告將藉由日本近期之地質科學資訊，提出處置設施於建造、運轉及封閉之安全性證明，可由科學性角度提供日本政府提出合適之調查區域，並進行公眾溝通之用，「NUMO 2015 安全案例報告」主要內容包含(如圖 11)：

- (1) 安全策略；
- (2) 地質特徵；
- (3) 處置設計與工程技術；
- (4) 處置設施之建造、運轉及封閉；
- (5) 處置設施封閉前之安全評估；
- (6) 處置設施封閉後之長期安全評估；
- (7) 日本深層地質處置技術可行性之信心。

NUMO 亦積極與日本及國際研究機構進行 R&D 合作及高放射性廢棄物最終處置技術之資訊交換，如與 JAEA 共同進行核種傳輸參數之評估、與 CRIEPI 共同進行場址調查及評估技術研究，並參加瑞典核燃料及廢棄物管理公司(Svensk Kärnbränslehantering AB, 簡稱 SKB)的 Äspö 硬岩實驗室之相關研究。

於交流年會中，本團由台電張仁坤主管進行國內用過核子燃料最終處置計畫進行管理與技術發展之簡報(如圖 12)，首先進行國內用過核子燃料之背景說明，並簡介後端基金營運狀況及用過核子燃料最終處置計畫之期程；緊接著，概述 SNFD2009 報告已完成之重點工作，包含地質環境調查及初步工程設計與安全評估；最後，說明本計畫目前所碰到

之挑戰，並提出如何達成本階段之目標—SNFD2017 報告，以及未來規劃之方向。

工研院林鎮國博士進行國內地質環境之介紹(如圖 13)，簡介國內參考處置概念，以及介紹場址及區域規模之地質調查，並比較國內 3 種潛在處置母岩。工研院林鎮國博士於簡報中提出地震、抬升/沉陷、離散裂隙網路(Discrete Fracture Network, 簡稱 DFN)、開挖擾動帶(Excavation Disturbed Zone, 簡稱 EDZ)及空中磁測等議題並進行介紹，NUMO 與會專家對於沉陷評估之議題感到興趣，並與本團人員進行深入的討論。核研所余允辰先生簡報安全評估之工作現況(如圖 14)，介紹 SNFD2017 報告安全評估之方法，將採用瑞典 KBS-3 概念且以參考案例之地質參數進行，並提出工程設計及安全評估之重點研發項目，如工程障壁系統之設計、源項之評估、生物圈劑量之計算、核種傳輸之實驗及熱-水-力-化 (Thermal-Hydrological-Mechanical-Chemical, 簡稱 THMC)耦合實驗。本團與 NUMO 人員於交流年會針對高放射性廢棄物最終處置議題進行熱烈討論(如圖 15)，並於交流年會會後進行合影(如圖 16)。

### 三、參訪幌延地下研究中心

幌延研究中心於 2001 年成立，隸屬於 JAEA，位於北海道幌延町，為沉積岩之地下研究中心，其地下水為鹽水。

JAEA 建造瑞浪地下實驗室及幌延地下研究中心的主要目的為：

- (1) 瞭解深層地質環境；
- (2) 確認高放地質處置技術之適用性，如場址調查技術、工程設計能力及安全評估方法；
- (3) 提供日本及國際高放射性廢棄物最終處置計畫人員之訓練；
- (4) 促進公眾理解深層地質環境，以利進行民眾溝通。

而幌延地下研究中心的主要目標為進行地球科學及地質處置技術相關研究發展。JAEA 於 2001 年執行幌延町周遭之地表調查階段(Phase 1)，執行地球物理探測(如反射震測)、聲頻大地電磁測深法(AMT)、地質鑽探，可瞭解幌延町周遭之地質構造，並確認斷層分布、岩石均質性，以建立幌延町周遭之地質模型；更利用地表地球物理調查(如電測)及孔洞電阻率井測技術，瞭解地下水鹽度分布及地下水化學之重要參數變化。緊接著進入地下設施建造階段(Phase 2)，JAEA 人員於此階段建立詳細調查地質結構之技術，發展監測地下水壓力及岩石力學之影響，並建立生產低鹼性混凝土(Low-Alkaline Cement, 簡稱 LoAC)之技術。最後為運轉階段(Phase 3)，本階段需證明相關工程技術可使用於深層地質中，JAEA 人員除確認工程障壁系統設計之適用性外，並進行工程障壁系統的驗證，現地所進行之諸多現地試驗，可提供安全評估技術能力之驗證及確認其適用性。

進入幌延地下研究中心須進行行前注意事項介紹，主講人為茂田直孝博士(如圖 17)，該員亦為進入地下研究中心的嚮導。完成注意事項介紹並進行換裝後，由茂田直孝博士帶領進入地下 350 m 之坑道進行參訪，但因電梯容量的限制，本團須分 2 批進入地下 350 m 之坑道。地下

350 m 調查坑道之佈置圖如圖 18 所示，地下 350 m 調查坑道中，JAEA 人員正進行諸多試驗，如跨孔試驗(如圖 19 與圖 20)，物質傳輸實驗(如圖 21)。幌延地下研究中心亦於地下 350 m 坑道進行腐蝕試驗、裂隙觀測及緩衝材料測試等研究。針對展示用之沉積岩岩壁，茂田直孝博士解說相關岩石特性及形成年代(如圖 22)，此種展示方式有利參訪人員之瞭解，並可作為民眾溝通之用。幌延地下研究中心於地下 350 m 坑道中，建置全尺寸之工程障壁系統，進行國際諸多單位正積極發展之 THMC 耦合實驗(如圖 23)，以驗證工程障壁系統之技術可行性，該實驗亦為國內發展之重點實驗。幌延地下研究中心展示用之全尺寸緩衝材料如圖 24 所示，緩衝材料塊使用塑膠膜包裹，避免受潮而造成膨脹。參訪完幌延地下研究中心後，本團人員於地下 350 m 進行合影紀念(如圖 25)。

結束地下研究中心之參訪後，由 JAEA 人員帶往幌延地下研究中心國際接待館，並於接待館進行地下研究中心相關討論。首先由茂田直孝博士代表幌延地下研究中心進行簡報，而本團由工研院林鎮國博士進行簡報(如圖 26)，分享國內高放射性廢棄物最終處置技術發展經驗，如地震、抬升/沉陷、DFN 及空中磁測等議題，並與 JAEA 人員進行討論，而幌延地下研究中心地質專家亦對沉陷評估之議題感到興趣，並進行深入的討論，而幌延地下研究中心於沉積岩及地下鹽水的條件下所得到的地下實驗回饋，可提供國內最終處置計畫之參考。

#### 四、參訪瑞浪地下實驗室

瑞浪地下實驗室地面建築物分布如圖 28 所示，整體地下坑道配置如圖 29 所示，目前已開挖至地下 500 m(主豎井為地下 500.4 m，通風豎井為地下 500.2 m)，104 年 6 月 5 日日本團人員前往瑞浪地下實驗室地下 300 m 之實驗坑道進行參訪。瑞浪地下實驗室為東濃超深地層研究中心的主要研究計畫，該實驗室隸屬 JAEA，為花崗岩性之地下實驗室，由東濃地球科學中心進行管理，座落於日本中部的岐阜縣瑞浪市，相較於幌延地下研究中心，瑞浪地下實驗室周遭人口較密集。

而東濃地球科學中心重要之歷程如下：

- (1) 1962 年：日本地質調查局發現鈾礦露頭；
- (2) 1965 年：在土岐市設立東濃探勘辦公室；
- (3) 1986 年：開始進行地球科學之相關研究；
- (4) 1991 年：於東濃鈾礦場進行 2 號豎井開挖及地球科學研究；
- (5) 1992 年：開始進行區域性水文地質研究；
- (6) 1995 年：獲准進行瑞浪地下實驗室之專案；
- (7) 1996 年：開始進行瑞浪地下實驗室地表調查研究；
- (8) 2002 年：簽訂土地租賃合約及相關協定；
- (9) 2003 年：開始進行地下實驗室主豎井及通風豎井之開挖。

於建造瑞浪地下實驗室前，瑞浪地下實驗室專案與地方政府達成協議，並承諾下列幾點：

- (1) 任何放射性廢棄物將不會被瑞浪地下實驗室使用；
- (2) 瑞浪地下實驗室未來將不會成為最終處置設施；
- (3) 瑞浪地下實驗室附近的環境將會被保護；
- (4) 監督委員會由地方政府及居民組成；
- (5) 瑞浪地下實驗室將開放學術及教育之用。

因瑞浪地下實驗室位於人口較多處，近期進行深層地質實驗時遭受

當地民眾抗爭，JAEA 已決定瑞浪地下實驗室的未來管理政策，該地下實驗室的技術發展將持續至 2019 年，並於 2022 年關閉地下實驗室，將土地歸還給當地政府及民眾使用。

瑞浪地下室實驗室之專案分為 3 個階段，第 1 階段(1996 年至 2004 年)為地表調查階段，主要工作為進行深層地質環境基本資料之蒐集，包括地球物理探測與鑽孔調查之資料，並對建造瑞浪地下實驗室所造成之環境影響進行評估，以及針對瑞浪地下實驗室之佈置及時程進行最佳化設計。第 2 階段(2004 年至 2013 年)為建造階段，主要工作為開挖豎井及坑道，並進行豎井及坑道周邊的地質環境評估，另就第一階段的調查結果進行技術可行性驗證，並針對地下實驗室開挖期間之地質環境影響進行研究，最後為確認開挖技術之可行性。第 3 階段(2010 年迄今)為運轉階段，JAEA 已擬訂諸多關鍵議題規劃於未來 5 年進行，包括(1)坑道回填技術之發展：進行坑道封閉技術之測試及坑道環境之長期監測；(2)發展物質傳輸之模擬技術：進行多相裂隙網路模擬、溶質傳輸實驗、長期地質演化的情節分析及深層鑽探調查；(3)適用於深層地質環境之相關技術發展：進行坑道封閉前及封閉後之灌漿實驗。

進入瑞浪地下實驗室前，由笹尾英嗣博士簡介瑞浪地下實驗室及宣導參訪地下實驗室之注意事項，如圖 30 所示。為管控及定位進入地下實驗室人員的位置，所有進入地下實驗室的人員皆需配戴一支 PHS 手機。瑞浪地下實驗室花崗岩坑道之樣貌如圖 31 所示，展示用而未噴漿之花崗岩岩壁如圖 32 所示，瑞浪地下實驗室開挖後保持完整的花崗岩區域如圖 33，從圖 32 及圖 33 可清楚瞭解瑞浪地區花崗岩之岩性及裂隙分布。關於裂隙地下水，相對於幌延地下實驗室，瑞浪地下實驗室的湧水較多，故瑞浪地下實驗室建造完備之排水系統，先將地下水集中於集水設備(如圖 34)，後續再抽至地表的排水處理設備，並經過沉澱處理、

吸附處理及離子交換，以及確認符合排放水標準後，才可排放至河流中(如圖 35)。笹尾英嗣博士進行地下水水壓量測實驗介紹(如圖 36)，瑞浪地下實驗室所採用的量測方法，與國內高放射性廢棄物最終處置計畫相同，此亦證明國內之技術與國際同步。

結束地下實驗室之參訪後，本團與 JAEA 人員進行地下實驗室相關討論。本團由工研院林鎮國博士進行簡報(如圖 37)，分享國內高放射性廢棄物最終處置技術發展經驗，如地震、抬升/沉陷、DFN 及空中磁測等議題，核研所余允辰先生接續簡介目前國內高放射性廢棄物最終處置設施的設計現況及安全評估的發展概念(如圖 38)，而瑞浪地下實驗室之地質專家亦對沉陷評估之議題感到興趣，並與本團人員進行熱烈討論，工研院林蔚博士並針對沉陷評估之議題進行深入解說(如圖 39)。瑞浪地下實驗室於花崗岩及地下淡水的條件下所得到的實驗回饋，可提供國內高放最終處置計畫之參考。本團人員與瑞浪地下實驗室人員討論結束後進行合影(如圖 40)。



圖 2：本團與 CRIEPI 針對放射性廢棄物處置計畫研發進行討論



圖 3：本團與 CRIEPI 進行放射性廢棄物處置計畫研發討論後合影

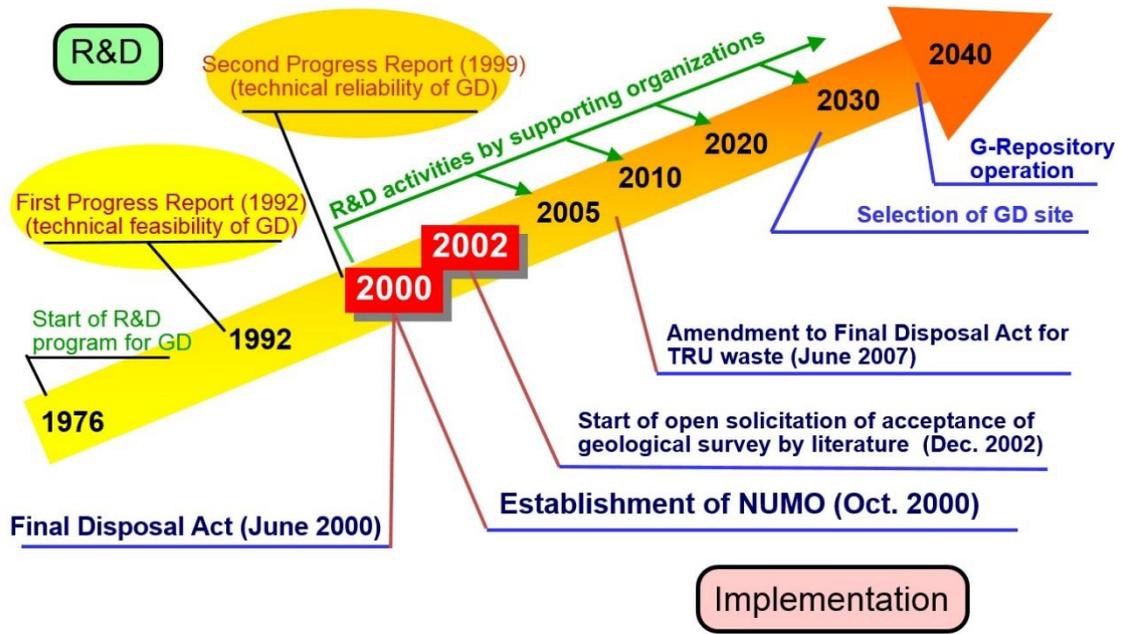


圖 4：日本高放地質處置專案之規劃時程



圖 5：與 NUMO 理事長進行資訊交流

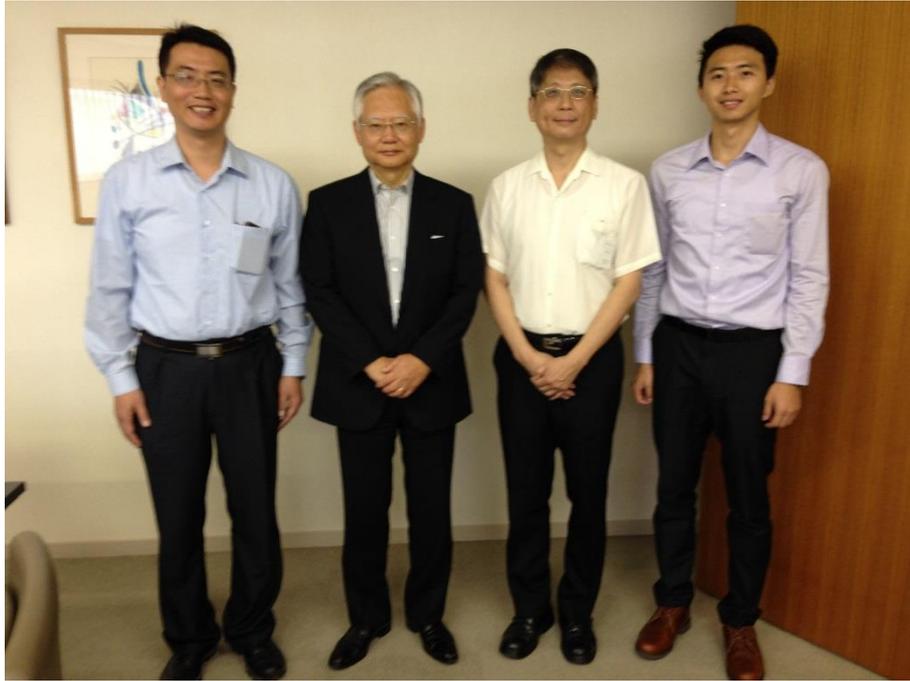


圖 6：本團台電代表與 NUMO 理事長進行合影



圖 7：NUMO 植田浩義博士於交流年會進行高放射性廢棄物最終處置計畫現況簡報

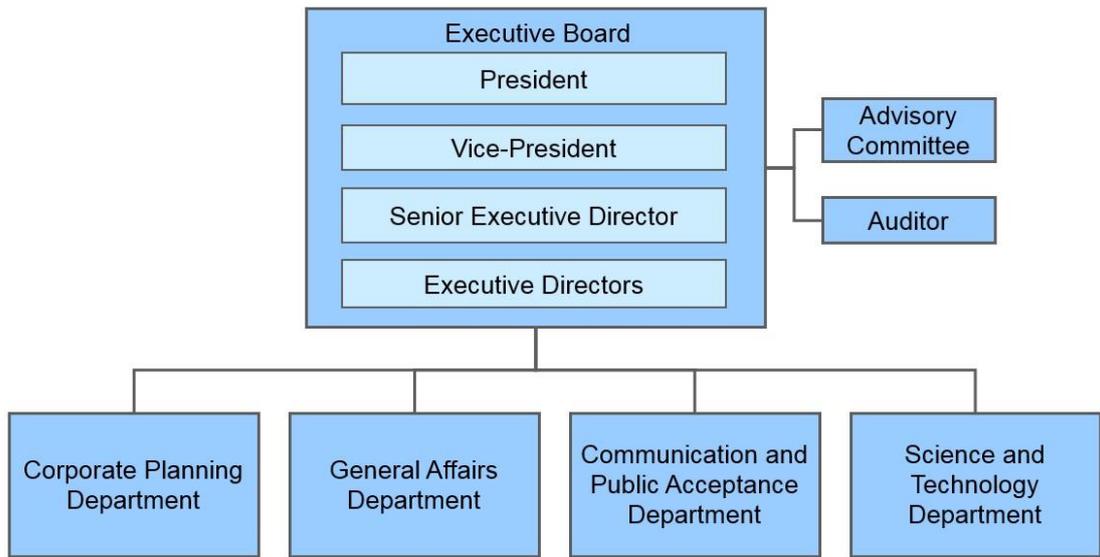


圖 8：NUMO 組織圖



圖 9：NUMO 各部門職掌之工作項目

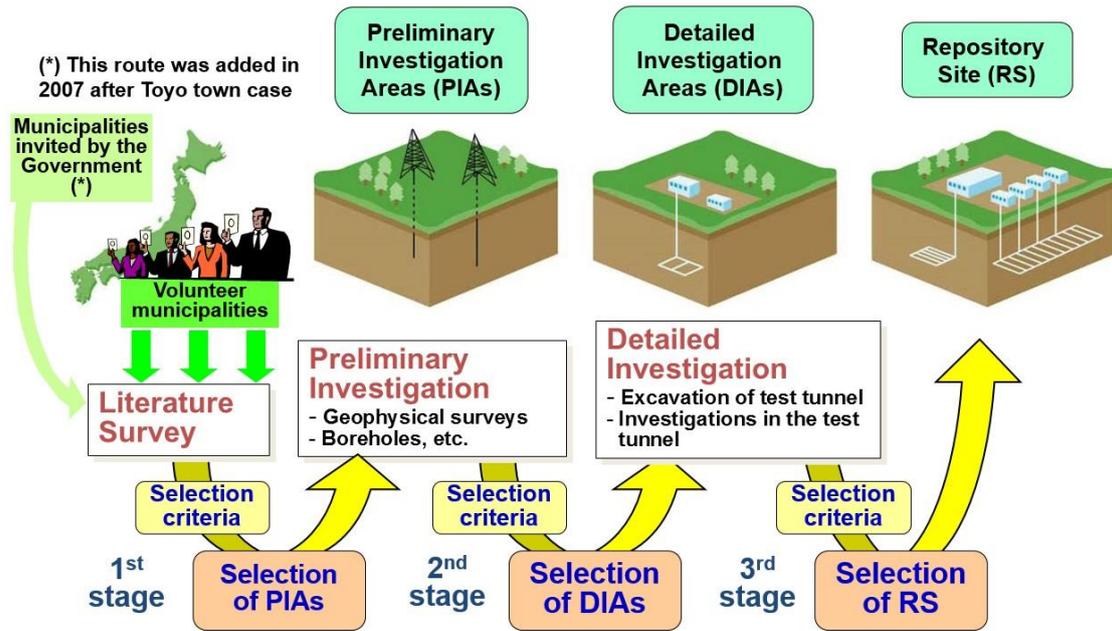


圖 10：日本進行場址篩選之 3 個階段

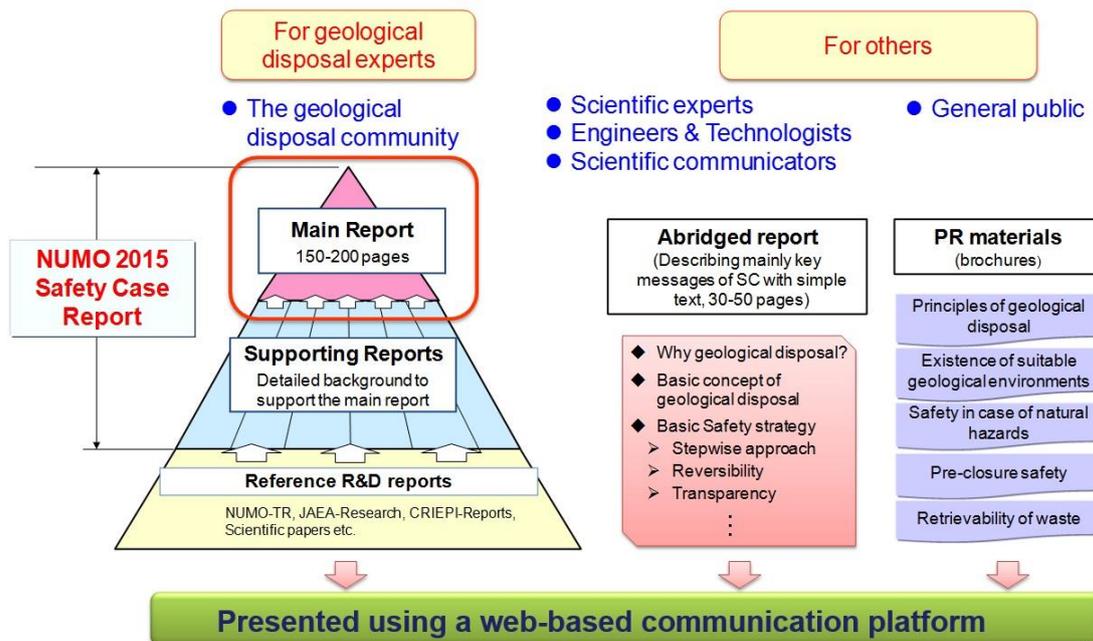


圖 11：NUMO 2015 安全案例報告架構



圖 12：台電張仁坤主管於交流年會簡報高放射性廢棄物最終處置計畫現況



圖 13：工研院林鎮國博士於交流年會簡報地質調查之工作現況



圖 14：核研所余允辰先生於交流年會簡報安全評估之工作現況



圖 15：本團與 NUMO 人員於交流年會針對高放射性廢棄物最終處置議題進行  
討論



圖 16：高放射性廢棄物地質處置交流年會與會人員合影

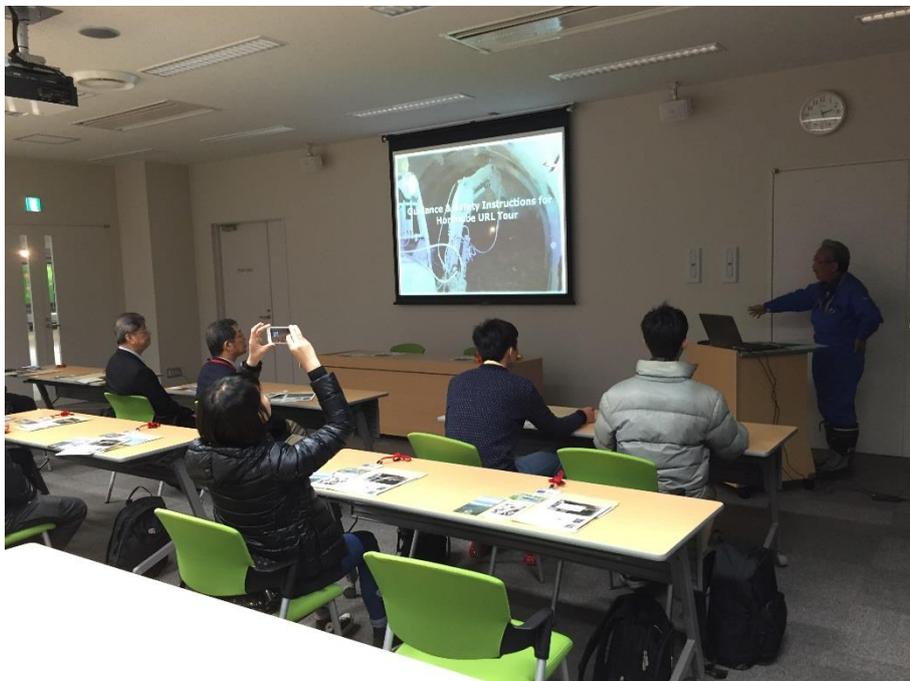


圖 17：進入幌延地下研究中心之行前教育



圖 18：幌延地下研究中心地下 350 m 調查坑道之配置圖



圖 19：幌延地下研究中心人員進行跨孔試驗(一)



圖 20：幌延地下研究中心人員進行跨孔試驗(二)



圖 21：幌延地下研究中心人員進行物質傳輸試驗



圖 22：幌延地下研究中心展示用之沉積岩岩壁

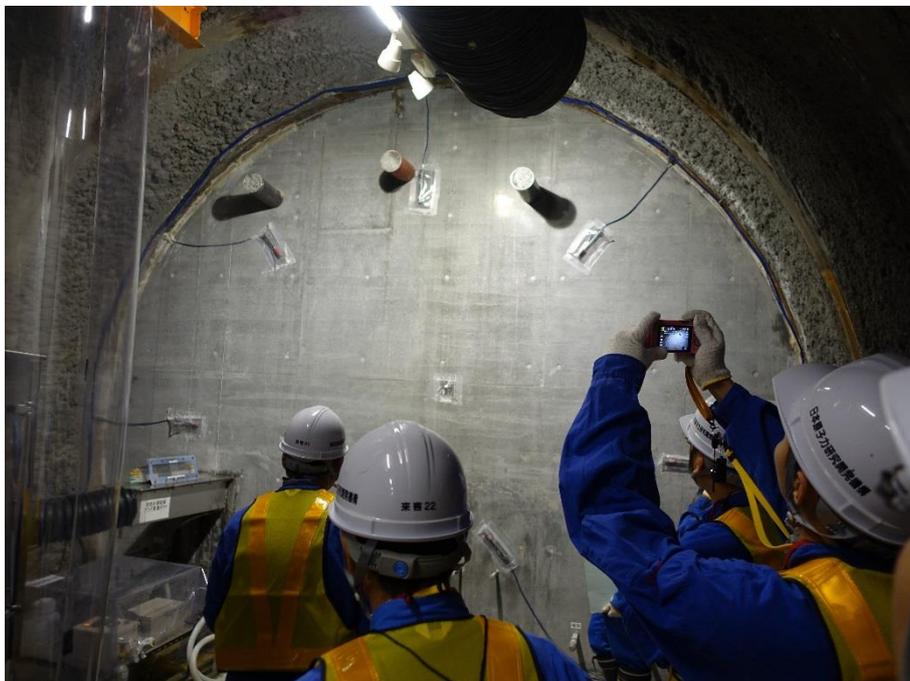


圖 23：幌延地下研究中心進行全尺寸 THMC 耦合試驗



圖 24：幌延地下研究中心展示用之全尺寸緩衝材料



圖 25：本團人員與幌延地下研究中心人員於地下 350 m 坑道合影



圖 26：工研院林鎮國博士於幌延地下研究中心簡報高放射性廢棄物最終處置技術



圖 27：本團人員與幌延地下研究中心人員進行合影

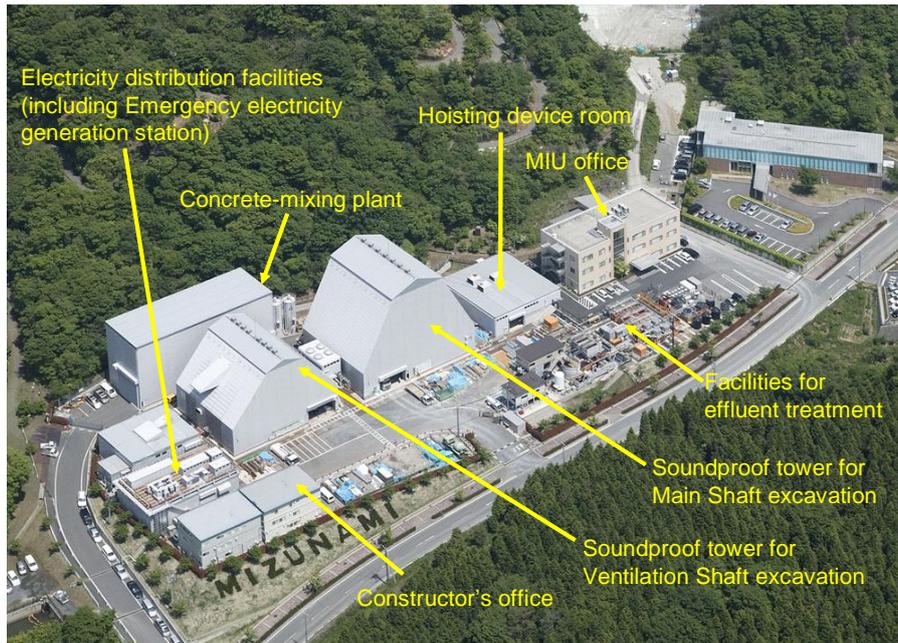


圖 28：瑞浪地下實驗室地面建築物分布圖

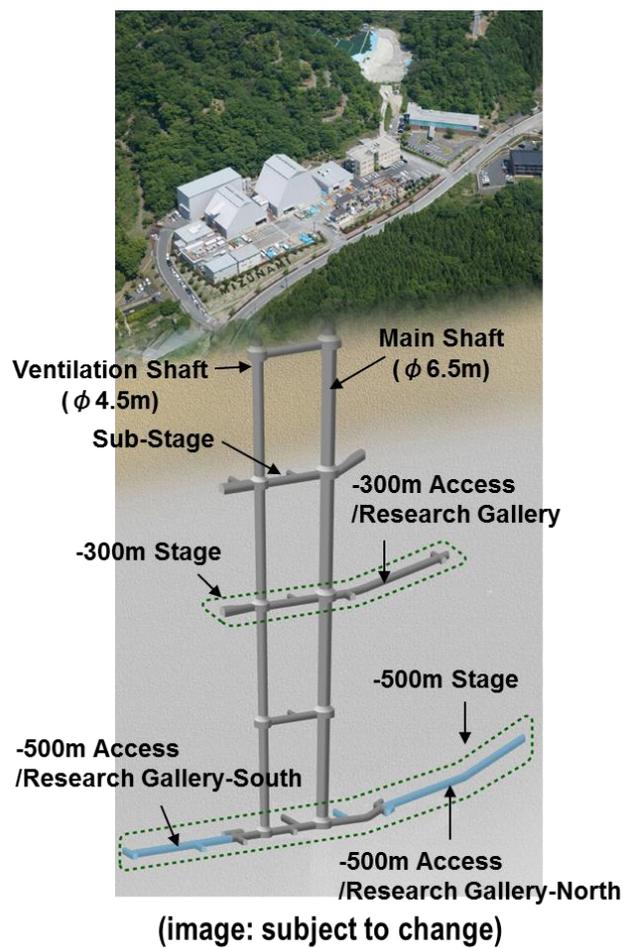


圖 29：瑞浪地下實驗室坑道開挖示意圖

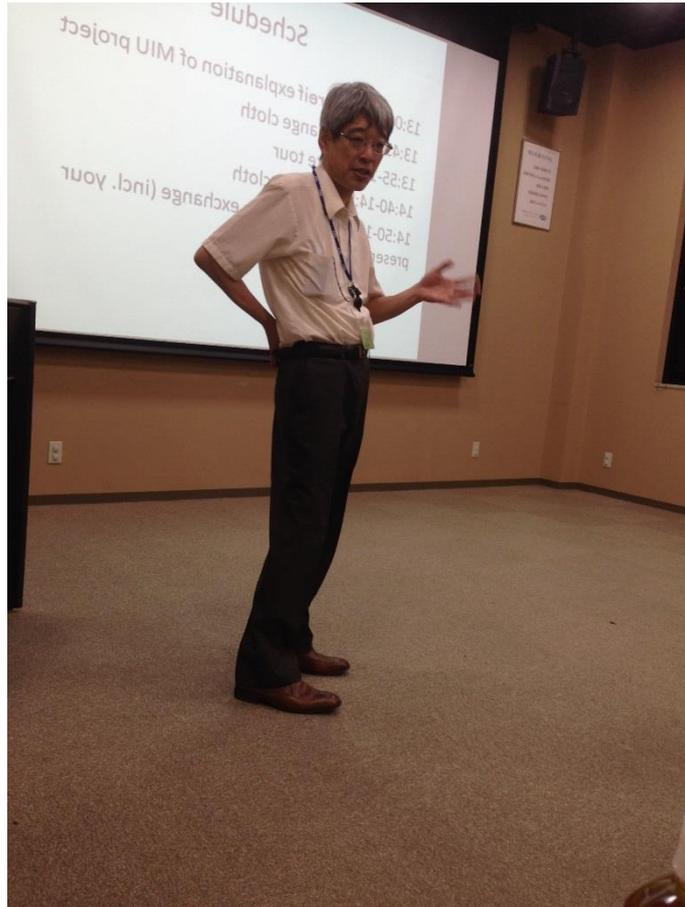


圖 30：進入瑞浪地下實驗室前之行前教育



圖 31：瑞浪地下實驗室之坑道



圖 32：瑞浪地下實驗室展示用之花崗岩岩壁



圖 33：瑞浪地下實驗室完整的花崗岩區域



圖 34：瑞浪地下實驗室地下水集水設備



圖 35：瑞浪地下實驗室排水處理設備



圖 36：瑞浪地下實驗室人員進行地下水水壓量測實驗介紹



圖 37：工研院林鎮國博士於瑞浪地下實驗室簡報地質調查相關議題



圖 38：核研所余允辰先生於瑞浪地下實驗室簡報安全評估相關議題



圖 39：工研院林蔚博士針對地質沉陷評估之議題進行說明



圖 40：本團人員與瑞浪地下實驗室人員進行合影

## 肆、心得

本團赴日本與 CRIEPI、NUMO 及 JAEA 的專家學者針對高放射性廢棄物最終處置進行交流及討論，並參訪 JAEA 的幌延地下研究中心及瑞浪地下實驗室，著實獲益良多。

於高放射性廢棄物地質處置交流年會上，NUMO 簡報說明日本核能政策現況及高放射性廢棄物最終處置計畫的發展現況，並提供諸多高放射性廢棄物最終處置計畫技術發展及民眾溝通的寶貴意見。NUMO 說明民眾溝通與技術發展同等重要，且需同時進行，NUMO 與民眾之溝通方式多元化，可作為國內溝通方式之參考，以促進民眾及專家瞭解高放射性廢棄物最終處置計畫，有利於高放射性廢棄物最終處置計畫之推展。交流年會中，因國內地質環境與日本相近，NUMO 對台灣地質環境極感興趣，NUMO 人員與本團熱烈討論地質環境議題，雙方人員亦熱情回應對方的提問。期望本團人員能參考 NUMO 的發展經驗，以更宏觀的態度及更寬廣的視野，持續推動國內用過核子燃料最終處置計畫，並與 NUMO 持續辦理國際交流年會，促進雙方高放射性廢棄物最終處置計畫之發展。

參訪隸屬於 JAEA 的幌延地下研究中心及瑞浪地下實驗室，並參訪地下數百公尺的實驗坑道，實際感受深層地質實驗室的壯觀，並瞭解深層地質實驗室對於高放射性廢棄物最終處置計畫的助益及重要性。

高放射性廢棄物最終處置計畫的 3 大發展重點為地質調查、工程設計及安全評估，在深層地質實驗室尚未建立前，地質調查以大範圍的地球物理探測進行地質構造的推估，若能配合地質鑽探及坑道試驗獲得現地資訊，可提升地質特性參數的準確性。建置深層地質實驗室，發展深層地質調查技術並進行相關試驗，可提供地球物理探測及坑道試驗數據之驗證，以及可獲得更精確且具代表性之地質參數，提供安全評估技術發展之用。

深層地質實驗室的建置不僅可發展深層地質調查技術，更可驗證工程設計之技術，並提升安全評估技術的可靠度。工程設計需配合現地開挖狀況進

行調整及修正，深層地質實驗室除可驗證開挖及施工的技術之外，更可藉由全尺寸、現地實驗以持續精進工程設計能力；另外，安全評估除概念模式建置的合適性外，參數的準確性亦為關鍵，若安全評估模式的參數能更具有代表性，其模擬結果亦能更接近現地狀況，可提升安全評估之可靠度。

## 伍、建議

- 一、日本已成立高放射性廢棄物最終處置專責機構 NUMO，負責規劃及執行高放射性廢棄物最終處置，並由日本政府與 NUMO 共同以全國性角度進行場址篩選，建議國內參考日本高放射性廢棄物最終處置計畫發展經驗，成立高放射性廢棄物最終處置專責機構，並規劃合適之組織架構，以利計畫之推動與執行。
- 二、本公司與 NUMO 已簽署 MOU，合作型態為高放射性廢棄物最終處置技術資料交流、雙方人員互訪並每年召開交流年會，可互相分享高放射性廢棄物最終處置計畫的發展經驗，並進行年度成果及未來規劃之交流。借鏡與日本 NUMO 國際合作之經驗，可推廣與國際高放射性廢棄物最終處置技術先進之國家進行交流及合作，除可確認國內高放射性廢棄物最終處置計畫之發展方向，並可提升高放射性廢棄物最終處置計畫研究成果之品質。
- 三、從日本高放射性廢棄物最終處置專責機構 NUMO 分享之經驗得知，執行高放射性廢棄物最終處置計畫不僅只著重於技術發展，更需與民眾進行溝通，讓民眾瞭解計畫執行目的及現況，並讓民眾共同參與，達成透明化及公開化之目標。另從 NUMO 組織架構得知，溝通部門的設置與技術部門相當，建議未來國內若成立如 NUMO 的專責機構，該單位的組織架構可參考 NUMO，加強溝通人力並進行溝通工作。
- 四、國內地質環境與日本相似，且國內尚未建置深層地質實驗室，幌延地下研究中心及瑞浪地下實驗室皆已獲得豐碩的現地研究成果，並驗證開挖工程技術的可行性，建議國內高放射性廢棄物最終處置計畫可與 JAEA 加強合作關係，建立雙方技術交流平台，另可選派適當人員前往日本深層地質實驗室進行短期實習，將日本較先進的高放射性廢棄物最終處置技術引入國內，提升國內高放射性廢棄物最終處置技術。