

出國報告（出國類別：開會）

赴日本參加「高放射性廢棄物地質處置交流年會」並參訪貯存、處置設施及研究機構

服務機關：台灣電力公司
核能後端營運處

姓名職稱：吳才基 處長
丁 宇 組長
張仁坤 課長

派赴國家：日本

出國期間：105年10月02日~105年10月8日

報告日期：105年11月29日

出國報告審核表

| | | |
|--|---|-----------------------------------|
| 出國報告名稱：赴日本參加「高放射性廢棄物地質處置交流年會」並參訪貯存、處置設施及研究機構 | | |
| 出國人姓名 (2人以上，以1人為代表) | 職稱 | 服務單位 |
| 吳才基 | 處長 | 台灣電力公司核能後端營運處 |
| 出國類別 | <input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>國際會議</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等) | |
| 出國期間：105年10月2日至105年10月8日 | | 報告繳交日期：105年11月29日 |
| 出國人員 自我審核 | 計畫主辦 機關審核 | 審核項目 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.依限繳交出國報告 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 3.無抄襲相關資料 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 4.內容充實完備. |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 5..建議具參考價值 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 6.送本機關參考或研辦 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 7.送上級機關參考 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 8.退回補正，原因： |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (1)不符原核定出國計畫 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (2)以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (3)內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (4)抄襲相關資料之全部或部分內容 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (5)引用相關資料未註明資料來源 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (6)電子檔案未依格式辦理 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (1)辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (2)於本機關業務會報提出報告 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | (3)其他 _____ |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10.其他處理意見及方式： |

監察
105.12.01
陳鳳惠

總經理 特別助理
105.12.1
陳正中

專業总工程师
105.11.30
林德福

總經理
105.12.21
鍾炳利

報告人： _____ 單位： _____ 主管處： _____ 主管： _____ 總經理： _____ 副總經理： _____

說明：
 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴日本參加「高放射性廢棄物地質處置交流年會」並參訪貯存、處置設施及研究機構

頁數 45 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

吳才基/台灣電力公司/核能後端營運處/處長/(02)2368-3419 分機 2200

丁宇/台灣電力公司/核能後端營運處/組長/(02)2365-7210 分機 2240

張仁坤/台灣電力公司/核能後端營運處/課長/(02)2365-7210 分機 2309

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 10 月 02 日～105 年 10 月 8 日 出國地區：日本

報告日期：105 年 10 月 28 日

關鍵詞：放射性廢棄物處理

內容摘要：

本次技術交流成員由核能研究所及台電公司人員組成，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，並參訪放射性廢棄物相關設施、研究機構及觀摩實驗室，藉汲取日本最新技術及研究成果及方向，做為國內放射性廢棄物管理及處置計畫推動之參考。

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

目錄

| | |
|-----------------------------------|----|
| 壹、目的..... | 1 |
| 貳、過程..... | 2 |
| 參、工作內容..... | 3 |
| 一、日本核能機組現況、組織與背景相關法規簡介..... | 3 |
| 二、召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」..... | 7 |
| 三、參訪放射性廢棄物相關設施..... | 14 |
| (一) 參訪六所村(Rokkasho)之放射性廢棄物設施..... | 14 |
| (二) 參訪 RFS 公司之燃料貯存設施..... | 19 |
| 四、參訪放射性廢棄物研究機構及觀摩實驗室..... | 22 |
| (一) 參訪 FEPC | 22 |
| (二) 參訪 JAEA | 25 |
| (三) 參訪 CRIEPI | 28 |
| 肆、心得..... | 44 |
| 伍、建議..... | 45 |

圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1：日本後端營運主要架構..... | 31 |
| 圖 2：技術交流成員與 NUMO 人員於交流年會後合影..... | 32 |
| 圖 3：日本高放廢棄物地質處置計畫時程圖..... | 32 |
| 圖 4：日本地質處置多重障壁系統概念圖..... | 33 |
| 圖 5：NUMO 組織圖..... | 33 |
| 圖 6：日本場址 3 個階段篩選步驟示意圖..... | 34 |
| 圖 7：NUMO 之近期民眾溝通活動..... | 34 |
| 圖 8：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..... | 35 |
| 圖 9：核研所邱一夫助理研究員於交流年會簡報安全評估之工作現況..... | 35 |
| 圖 10：日本的核子燃料循環示意圖..... | 36 |
| 圖 11：JNFL 之六所村放射性廢棄物設施位置示意圖..... | 36 |
| 圖 12：日本用過燃料運輸護箱（濕式 NFT-38B 型）..... | 37 |
| 圖 13：日本再處理及廢棄物處理流程示意圖..... | 37 |
| 圖 14：貯存管理中心設施之玻璃固化體貯存示意圖..... | 38 |
| 圖 15：日本 L2 低放射性廢棄物之混凝土坑處置示意圖..... | 38 |
| 圖 16：日本青森縣六個所村之低放射性廢棄物最終處置場..... | 39 |
| 圖 17：日本 L1 低放射性廢棄物之地下工程障壁處置示意圖..... | 39 |
| 圖 18：JNFL L1 低放射性廢棄物之地質調查坑道配置示意圖..... | 40 |
| 圖 19：RFS 燃料貯存設施(第 1 期建築物)..... | 40 |
| 圖 20：日本標準除役程序..... | 41 |
| 圖 21：JAEA 之高放射性廢棄物最終處置研究設施..... | 41 |
| 圖 22：海嘯模擬設施外觀..... | 42 |
| 圖 23：砂體置於水平剪動平台施加水平位移之情形..... | 42 |
| 圖 24：離心機試驗外觀..... | 43 |
| 圖 25：振動台外觀..... | 43 |

壹、目的

國內用過核子燃料最終處置計畫係依據「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工作。目前計畫處於「潛在處置母岩特性調查與評估階段」(94 年-106 年)，目前本計畫重要階段目標為須於 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)」，以確認地質處置技術能力是否完備。

為強化地質處置研究技術能力，並與國際研究現況接軌，台電公司近年來加強與國際地質處置專責機構、研究機構之交流，而地質、地理、氣候等自然條件與我國相仿之日本交流尤為重要，台電公司於 102 年 11 月 27 日與日本 NUMO 簽署合作備忘錄(Memorandum of understanding, 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定期召開交流年會。此次之年會台日雙方基於 MOU 之內容，分享彼此之高放射性廢棄物最終處置計畫之執行現況、年度成果及未來規劃。技術交流成員亦利用本次拜訪開會之機會參訪放射性廢棄物相關設施：1. 日本原燃公司(JNFL)之六所村放射性廢棄物相關設施、2. RFS 燃料貯存公司於陸奧市之用過核子燃料貯存設施；及參訪放射性廢棄物研究機構及實驗室：1. 日本電力公司聯合會(FEPC)、日本原子力研究開發機構(JAEA)、日本電力中央研究所(CRIEPI)及土木工程試驗室實驗室，可藉上述之參訪及雙方交流之方式，瞭解日本放射性廢棄物之設施規劃、營運及研究現況及未來方向。

本次技術交流成員由核能研究所及台電公司人員組成，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，並參訪放射性廢棄物相關設施、研究機構及觀摩實驗室，藉汲取日本最新技術及研究成果及方向，做為國內放射性廢棄物管理及處置計畫推動之參考。

貳、過程

本次出國任務自 105 年 10 月 2 日出發， 10 月 8 日返國，共計 7 天，停留東京市(Tokyo)、青森縣(Aomori) ，詳細訪問行程如下：

| 日期 | 地點與行程 | 工作內容 |
|-------------|-------|-----------------------------------|
| 10 月 2 日(日) | 臺北到東京 | 去程 |
| 10 月 3 日(一) | 東京到青森 | 於東京 NUMO 總部召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」及路程 |
| 10 月 4 日(二) | 青森 | 參訪 JNFL 位於六所村之放射性廢棄物設施 |
| 10 月 5 日(三) | 青森到東京 | 參訪 RFS 公司之燃料貯存設施 |
| 10 月 6 日(四) | 東京 | 參訪 FEPC、JAEA |
| 10 月 7 日(五) | 東京 | 參訪 CRIEPI |
| 10 月 8 日(六) | 東京到臺北 | 返程 |

參、工作內容

一、日本核能機組現況、組織與背景相關法規簡介

(一) 核能機組現況：

311 大地震發生前日本有 54 部核電機組，其中沸水式機組有 30 部、壓水式機組 24 部，而因 311 大地震後，福島第一核電廠 1-4 號機組受損及未受損的 5、6 號機決定廢爐，另日本還有 5 部核電機組運轉超過 40 年，因考量投入之安全改善費用過高不符合成本效益，也決定廢爐，故日本目前有 43 部機組；此外，正在興建中的核電機組有 4 部，準備興建的核電機組有 8 部。而目前 11 家電力公司已提出 26 部機組之再啟動申請，日本原子能規制委員會核定 5 部機組通過新基準，分別是川內核電廠 1、2 號機（九州電力）、高濱核電廠 3、4 號機（關西電力）、與伊方 3 號機（四國電力）。至於其他的申請案，原子能規制委員會仍持續進行審核中。

(二) 日本後端營運之組織介紹(如圖 1 所示)

1. 核能安全委員會（Nuclear Safety Commission，NSC）

負責核能安全等事務之規劃、審議與決策，包含以下責任（1）確保核能安全政策；（2）制定確保核能反應和使用核燃料和材料的安全性的法規；（3）預防核能設施之災害；（4）防止放射性危害的措施與基礎事務；（5）制定核能運用與重大事項的安全法規。

2. 日本原子能委員會（Japan Atomic Energy Commission，JAEC）

設在日本內閣辦公室的原子能委員會與核能安全委員會，負責確保核能研究、開發和利用等活動的安全性，並促進各相關機構之研究、開發和

利用核能的實際活動，均遵循原子能委員會規定的基本政策。原子能委員會之委員係由首相提名，國會同意後任命，任期 3 年，總計 5 名委員。其中 1 人則被任命為董事長。它的任務是深思熟慮的規劃並決定促進核能的研究、開發和利用的基本政策或策略，據以調整有關行政機關的活動與預算，並提供主管部長關於核子原料、核燃料和反應爐的監管意見。該委員會之會議內容，則基於公眾參與的原則，公開於網站讓公眾查詢。

3. 文部科學省（Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT）

文部科學省專責核能相關之試驗和研究，利用核能、燃料原料的放射性同位素以及核能材料的保障措施的執行情況，也包括環境監測，輻射應急醫學等。

4. 獨立行政法人日本原子力研究開發機構（Japan Atomic Energy Agency, JAEA）

屬於研究單位，負責高放射性廢棄物之基礎科學研究，目前已於 1993 年及 2000 年出版高放射性廢棄物深層地質處置綜合報告，日本主要核能研究機構。

5. 經濟產業省（Ministry of Economy, Trade and Industry, METI）

經濟產業省下的自然資源能源廳（ANRE）負責日本的能源政策與管理，其中也包括核能與放射性廢棄物的管理。

6. 原子能規制委員會（Nuclear Regulation Authority, NRA）

原子能規制委員會成立於 2012 年 9 月 19 日，原為核能與工業安全局（Nuclear and Industrial Safety Agency，NISA），隸屬於經濟產業省的日本核能監管和監督的分支。NISA 是 2001 年中央政府改革過程中所創建的，該單位的職責與原子能委員會相關，在福島災難後，NISA 監督核電廠之功能被批評為有利益衝突，因為經濟省產業也同時負責推動核電，因此，政府決定於 2012 年 6 月 20 日撤除核能與工業安全局，另外，在環境部下成立核能監管局負責監督核子燃料在能源使用上的安全管理。

7. 原子力發電環境整備機構（Nuclear Waste Management Organization of Japan，NUMO）

2000 年特定放射性廢棄物最終處置法修正時，成立 NUMO，其設立目的在於結合日本政府與電力公司，妥善處理來自核能電廠之高放射性廢棄物以及用過核子燃料再處理之後產生的超鈾廢棄物（TRU）。NUMO 隸屬於經濟產業省下。NUMO 提出之計畫則由 METI 負責審議，確保其在技術、財政與人力上具有可行性。

8. 財團法人原子力發電環境整備促進及資金管理中心（Radioactive Waste Management Funding and Research，RWMC）

亦於 2000 年特定放射性廢棄物最終處置法修正時成立 RWMC，其為獨立的資金管理實體，負責放射性廢棄物處置各項研究發展及基金管理。

(三) 日本在後端營運方面之相關法規如下：

1. Atomic Energy Basic Law, 1955 年公布，1978 年修訂。為日本原子能發展的基本法，主要規範原子能的基本方針（包括和平使用、安全確保、

自主及公開)、原子力委員會及原子力安全委員會的設置、原子能開發機構的設置、核子燃料物質及反應器的管制，及放射性危害的防治等。

2. Law for Regulation of Nuclear Source, Material, Nuclear Fuel Material and Reactors, 1957 年公布，2012 年 6 月最新修訂。主要規範包括核物料的濃縮、精裝、加工事業、核能設施之設置及運轉、核物料貯存事業、再處理事業、廢棄物有關事業、及核子燃料物質使用有關等之管制規定。為日本有關後端營運之最基本之法令。
3. Enforcement Ordinance of Law for Regulation of Nuclear Source Materials, Nuclear Fuel Materials and Reactors (Government Ordinance No. 324)。
4. Rule for Enterprise of Waste Burial of Nuclear Fuel Materials or Materials Contaminated by Nuclear Fuel Materials (Prime Minister's Office Act No. 1)。
5. Notification for Technical Criteria of Measures about Burial of Nuclear Fuel Materials and the Like (Notification No. 2 of Science and Technology Agency)。
6. Considerable Items on Principles for Safety Assurance of Decommissioning (Dec. 19, 1985)。
7. Fundamental Guidelines of Licensing Review of Land Disposal Facility of Low-Level Radioactive Waste (Mar. 17, 1988)。
8. Guideline of Licensing Review on Radioactive Waste Land Disposal Facilities (Mar. 27, 1989)。
9. Final Disposal of Specified Radioactive Waste Law (May 31, 2000)。主要規範放射性廢棄物最終處置選址程序、執行單位、財務系統及基本選址準則。
10. The Ordinance on Implementing Organization (2000 , Ministry's Ordinance No. 152)。

11. The Ordinance on Financing and Accounting for implementing Organizations (2000, Ministry's Ordinance No. 153)。
12. The Ordinance on the Cost Necessary for Final Disposal (2000, Ministry's Ordinance No. 398)。
13. The Notification on the Conversion Factors for the Amount of Vitrified Waste per Amount of Thermal Generation from Spent Fuel (2000, Ministry's Notification No. 768)。
14. The Notification on the Organization Responsible for Management of the Funds (2000, Ministry's Notification No. 661)。
15. The Notification on the Specified Securities and Financial Entities for Maintaining the Funds (2000, Ministry's Notification No. 52)。

二、召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」

(一) 台電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，技術交流成員赴日本的主要任務之一為與 NUMO 共同召開「高放射性廢棄物地質處置交流年會」，105 年 10 月 3 日一行人赴 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(如圖 2 所示)，年會過程介紹如下：

1. 於 NUMO 聯絡窗口植田浩義博士陪同下，先拜會 NUMO 理事長近藤俊介博士進行資訊及經驗之交流，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，而理事長提出執行單位亦為民眾之一環，在執行民眾溝通時，可以此觀點進行出發，雙方並對民眾溝通之經驗提出分享及交流，並期勉雙方之處置計畫能順利向前大步邁進。
2. 日方分享處置計畫經驗及目前執行近況及未來努力方向。NUMO 方面

由植田浩義博士簡報介紹，其內容包含：(1)日本地質處置計畫架構介紹；(2) 最初十年之處置計畫推展；(3) 311 大地震後計畫檢討；(4) 地質處置技術之研究發展；(5)促進公眾參與及公眾關係，相關說明如下：

(1) 日本地質處置計畫架構介紹

- A. 日本自 1976 年開始進行相關的研發計畫，其基本政策為將用過核子燃料再處理，而再處理產生的高放射性廢液製成玻璃固化體，日本於 2000 年「特定放射性廢棄物最終處置法」立法通過，成立 NUMO，負責執行選址、場址特性調查、處置設施設計、申請執照、興建、運轉，以及除役等任務。於同年，成立 RWMC 負責管理高放射性廢棄物最終處置基金。
- B. 目前根據日本經濟產業省發布的「特定放射性廢棄物最終處置計畫」，日本預計規劃之處置場規模約可容納 4 萬束以上之特定放射性廢棄物。而 NUMO 目前正在進行場址選定階段，預計在 2030 年左右選定處置場候選場址，2040 年左右啟用處置場，其地質處置計畫時程如圖 3 所示。
- C. 用過核子燃料經再處理後之高放射性廢棄物（玻璃固化體），需置於地下 300 m 深以上之安定地質中，配合工程障壁，形成多重障壁系統，再行使長時間的監管以確保其安全性。日本地質處置多重障壁系統如圖 4 所示，Barrier 1 為玻璃固化體，由高放射性廢棄物與玻璃原料在高溫中於不鏽鋼容器中混合固化而成，可防止因地下水滲透而溶解放射性物質。Barrier 2 為金屬製的外包裝(overpack)，可於玻璃固化體的輻射能衰減至一定程度之期間內防止地下水與玻璃固化體接觸。Barrier 3 為緩衝材料（膨潤土混合砂），包覆於外包裝周圍，除了可使水的流速變慢之外，也可吸附各種物質，降低放射性物質的移動速度。Barrier 4 則為

天然岩層，可降低地下水與放射性廢棄物的移動速度。

- D. NUMO 針對目前須達成之目標規劃其組織架構，如圖 5 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)， NUMO 目前之處置計畫推動重點為公眾溝通與高放射性廢棄物最終處置技術發展同時進行。

(2) 最初十年之處置計畫推展

A. NUMO 之選址程序(如圖 6 所示)

- a. 選擇初步調查區域 (Selection of Preliminary Investigating Areas, PIAs)

將根據現有文獻資料，由志願區域及其周圍區域選定可作為初步調查之區域。其目的乃是確認在已有的紀錄中，該區域之地質構造沒有因地震、斷層活動、火山活動、上升、侵蝕、及其它自然現象而顯著移動，以確定該地區未來因自然現象而顯著移動之可能性很低。

- b. 選擇細步調查區域 (Selection of Detailed Investigating Areas, DIAs)

將在初步調查區域進行初步調查來選定細部調查區域。初步調查之方法包括鑽探調查，及地球物理探勘等。此階段之目的乃是確認處置場及其周圍之地質結構是穩定而不會妨礙

未來坑道之開挖。同時確認地下水流動對於地下設施之負面影響不大。此階段將持續進行 4 年左右。

c. 選定最終處置場(Selection of Repository Site)

將在細部調查區域進行更仔細的調查以選定最終處置場。進一步調查之方法包括詳細的地表探勘，及地下設施之實驗及測試。此階段之目的乃根據所選定地質環境之物理及化學性質來確認處置場之可行性。此階段將持續進行 15 年左右。

B. NUMO 初步調查區域之公開徵選回顧

- a. 日本 NUMO 為順利推動最終處置計畫的進行，於 2002 年底開始進行 PIA 之公開徵選，希望透過完善的公眾溝通及資訊公開透明化，得以順利推動後續各階段場址調查作業。2007 年初 Kochi 縣的 Toyo-town 提出自願候選調查場址申請，但同年(2007 年)4 月撤消申請。
- b. 311 大地震後，NUMO 於 2012 年澄清日本仍處於文獻調查階段，並未開始進行精密調查。

(3) 311 大地震後推動方式檢討

- A. 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：**a.**改善選址過程並確認地質處置之安全；**b.**建立當地社區及民眾之共識；**c.**適當的支持當地社區。

- B. 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。2015 年 5 月，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：
- a. 處置工作為當代責任，並須提供未來世代彈性的選擇；
 - b. 鼓勵大眾及社區居民了解處置之相關議題；
 - c. 政府主導相關計畫推展；
 - d. 支持地方參與處置計畫；
 - e. 強化推展計畫之組織系統。

(4) 研究發展工作

- A. 日本深地質處置之相關研究是由 JAEA 負責。JAEA 所屬之地層處分研究開發部門(Geological Isolation Research and Development Directorate)擁有 3 處地質處置研究設施，包括：
- a. 幌延深地層地下研究實驗室(Horonobe Underground Research Laboratory)(Horonobe URL)；
 - b. 東濃地科學中心(Tono Geoscience Center) ；
 - c. 東海研究開發中心(Tokai R&D Center)。
- B. 而 NUMO 方面之研究發展之重點為：
- a. 以系統化方式進行研究發展；
 - b. 強化與國際核能機構合作如國際原子能總署(IAEA)、經濟合作發展組織核能署(OECD-NEA)及國際處置計畫推動及研究

單位等；

- c. 培養必要技術人力及累積技術經驗及知識；
- d. 準備「安全案例報告」，並預計於 2016 年 11 月提出。

C. 「安全案例報告」之目的為證明日本高放射性廢棄物最終處置技術之可能性及安全性，以鼓勵計畫之利害關係人支持處置計畫之推展，為達到此目的，NUMO 準備安全案例之基本架構，以適用於將來任何預期選定之場址，因國內目前亦尚未選定場址，此報告之內容應可做國內將來用過核子燃料最終處置推動之重要參考。「安全案例報告」主要內容包含：

- a. 背景介紹；
- b. 安全策略；
- c. 地質特徵及綜合成「場址描述模式」(Site Descriptive Model, SDM)；
- d. 處置設計與工程技術；
- e. 處置設施封閉前之安全評估；
- f. 處置設施封閉後之長期安全評估；
- g. 日本深層地質處置技術可行性之信心。
- h. 結論

(5) NUMO 之民眾溝通活動

A. NUMO 為提高地區接受以文獻資料進行調查，NUMO 採取 3 步驟：

- a. 提供相關資料及提高民眾對處置計畫的了解；
- b. 支持地方民眾進行相關獨立研究；

c. 擴大獨立研究。

B. 最新溝通活動(如圖 7 所示)

a. 舉辦專題討論會、小型會議；

b. 使用溝通車(Geo Mirai)進行對話活動等；

c. 透過展示工程障壁、天然障壁之模型、相關國外資訊影片介紹及座談；

d. 支持大學有關地質處置之辯論；

e. 利用參訪學校及參與教師會議時提供地質處置之演講。

3. 我方分享處置計畫推展經驗、執行近況及安全評估研究成果

(1) 於交流年會中，我方先由台電公司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 8 所示)，簡報之內容包含：

A. 國內用過核子燃料之背景說明；

B. 用過核子燃料最終處置計畫之期程；

C. 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；

D. 以及目前為加強發展處置技術所進行的國際技術合作及未來需進行國際同儕審查之規劃之方向。

(2) 緊接著由核研所邱一夫助理研究員簡報核研所安全評估工作之研究成果(如圖 9 所示)，簡報之內容包含：

A. SNFD2017 報告安全評估 11 步驟介紹；

B. 腐蝕圍阻情節介紹；

- C. 剪力圍阻情節介紹；
- D. 核種傳輸與遲滯介紹；
- E. 腐蝕分析情節介紹；
- F. 剪力分析情節介紹；
- G. 參考案例結果介紹。

三、參訪放射性廢棄物相關設施

(一)參訪六所村(Rokkasho)之放射性廢棄物設施

本次參訪六所村放射性廢棄物相關設施主要由日本原燃公司部長 Tai Sasaki 博士進行接待及解說，經其解說及進行現場設施參訪，了解設施之背景及現況如下：

為了進行鈾濃縮、用過核子燃料再處理、放射性廢棄物營運及低放射性廢棄物最終處置等有關之作業，日本 9 家電力公司(Chubu、Chugoku、Hokkaido、Hokuriku、Kansai、Kyashu、Shikoku、Tohoku、Tokyo) 及 Japan Atomic Power Corporation 聯合成立日本原燃公司 (Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL))。目前 JNFL 在日本青森縣六所村分別建立「再處理工廠」、「用過核子燃料接收及貯存設施」、「高放射性廢棄物貯存管理中心」、「低放射性廢棄物最終處置場」、「地質調查坑道」等設施，相關日本之核子燃料循環如圖 10 所示。

六所村人口約 1.1 萬人，廢棄物相關設施基地占地 740 ha，與太平洋距離 5km，標高為海平面以上 55m，JNFL 之六所村放射性廢棄物設施位置如圖 11 所示。

1. 再處理工廠

為了有效地利用核子燃料，日本將用過核子燃料實行再處理，可使鈾燃料的利用效率提高 2 倍，若鈾燃料被利用於快中子增殖反應爐，則可能

提高 60 倍利用效率。而將用過核子燃料再處理製成玻璃固化體，將可與直接處置相比減少 1/3~1/4 的體積，也可使處置場減少約 1/2~2/3 的面積。

日本全國核電廠所產生之用過核子燃料，利用堅固的用過核子燃料輸送護箱運輸(如圖 12 所示，濕式 NFT-38B 型)至再處理工廠，為了降低輻射能，用過燃料將先貯存於燃料池中。待燃料充分冷卻後，將其切成 3~4 公分長的元件，溶解於硝酸中將鈾、鈾及核分裂產物進行分離，再將鈾溶液與鈾溶液純化、脫硝後，製成氧化鈾與 MOX 燃料。從鈾與鈾中分離出包含核分裂產物的廢液，輻射非常強，因此將其與玻璃混合製成玻璃固化體，即為高放射性廢棄物，需進行地質處置，日本再處理及廢棄物處理流程如圖 13 所示。

日本於 1981 年由 JAEA 開始營運一實驗性的小型再處理廠，由於規模較小(約 210 tU/年)，因此大部分的用過燃料仍需委託英國與法國再處理。至 1985 年日本開始學習國外之再處理技術，1992 年 JNFL 成為再處理事業的專責機構，並於 1993 年開始在青森縣六所村建造日本第一座商業用再處理設施(最大處理能力計畫為 800 tU/年，相當於 40 部 100 萬 kW 之核能機組的用過燃料數量)，建設費約耗費 2 兆 1,930 億日圓。目前此再處理設施約已完成 9 成建設，正在進行營運測試，測試累積 425tU，整座設施計畫於 2018 年上半年竣工。

而「用過核子燃料接收及貯存設施」於 1999 年 12 月先行開始運作，設計容量可接收用過核子燃料 3,000 tU 用過核子燃料，目前(截至 2016 年 8 月)已接收 3,389 tU，貯存 2,964 tU(再處理測試 425tU)。

2. 高放射性廢棄物貯存管理中心

由於最終處置場尚未完成建設，因此在最終處置場開始營運以前，勢必將高放射性廢棄物暫時貯存，目前此貯存事業由 JNFL 負責實行。除了目前日本六所村建設中的再處理設施以外，日本過去也委託法國及英國進行再處理，處理過後再透過安全的專用船送回日本，於暫時貯存設施進行 30~50 年左右的安全貯存，等待廢棄物冷卻足夠。

JNFL 於 1992 年在六所村開始興建一座玻璃固化高放射性廢棄物貯存設施，並於 1995 年開始運轉。該設施設計貯存 2,880 個貯存罐。該設施是採用空氣自然對流冷卻的乾式貯存設計，貯存廠房內有 616 個貯存位置，每一個貯存位置裝有不銹鋼套管（thimble），每一個套管內可堆疊 9 個貯存罐，冷空氣由套管周圍的空間流過，將熱量帶離。貯存廠房有一高聳排氣管以產生所需的自然對流。設施之周圍牆厚約 1.5 m 至 2m。貯存管理中心設施之玻璃固化體貯存示意如圖 14 所示。

JNFL 的「高放射性廢棄物貯存管理中心」於 1995 年 4 月開始接收國外再處理後送回的玻璃固化體，至 2007 年 3 月底已接收法國運回的 1,310 罐玻璃固化體，2010 年則開始接收英國運回的玻璃固化體，共約有 388 罐，截至目前仍陸續運回日本中，目前(截至 2016 年 9 月)已接收 1,698 罐玻璃固化體。而未來由法國運回之低放射性廢棄物玻璃固化體與固體貯存容器也計畫貯存於此設施中。

3. 低放射性廢棄物最終處置場

(1) 日本低放射性廢棄物之分類及處置說明

日本的低放射性廢棄物由 JNFL 負責處置管理事業，分為 L1、L2、L3 與 TRU 廢棄物 4 類。L1 屬相對高放射性廢棄物，包括反應器維護、拆除時所產生的控制棒、燃料匣箱、其他爐心組件等，實行地

下工程障壁處置。L2 屬相對低放射性廢棄物，實行混凝土坑處置。而 L3 屬非常低放射性廢棄物，直接實行壕溝掩埋處置即可。TRU 廢棄物則計畫與高放射性廢棄物共同實行深層地質處置。

目前 LLW 與 HLW 的最終處置都是位在六所村，L2、L3 的處置目前已逐步進行中，L1 的執行單位與處置地點則未定。低放廢棄物的處置要求是監管最長 400 年，監管時間一到，要證明各安全評估情節的劑量值可滿足法規。

(2) 低放射性廢棄物最終處置場設計及營運說明

低放射性廢棄物中，由核能電廠運轉過程所產生之濃縮液體廢棄物與用過的樹脂、可燃物燃燒過後的燃灰以水泥等物質共同固化於圓桶之固體，以及管線及過濾器等放射性廢棄物相對較低之固體廢棄物，即為日本分類 L2 廢棄物於近地表之混凝土坑進行處置，處置概念如圖 15 所示。

混凝土坑處置由 JNFL 於 1992 年 12 月開始營運，場址位於六所村的低放射性廢棄物最終處置場（如圖 16 所示）。目前共有 2 座掩埋設施，至 2016 年 9 月已接收容量 200 公升之廢料罐約 29 萬桶（1 號設施 14.8 萬桶；2 號設施 14.2 萬桶），未來計畫提升至 300 萬桶（約 60 萬立方公尺）容量，而約有 67 萬桶貯存於核電廠（估算至 2012 年）。

此低放射性最終處置場至少需監管 300~400 年，監管期間過後此處的土地可做為正常使用。六所村的第一處置設施為淺地層窖式設計，位於地下水位下。共有 8 個掩埋設施群，每一群可掩埋 5,000M³ 廢棄物（約相當於 25,000 個 200 公升桶），總處置容量為 40,000 M³

(約相當於 200,000 個 200 公升桶)。每一掩埋群是由 5 座處置窖所組成，每一鋼筋混凝土處置窖可處置 $1,000 \text{ M}^3$ 廢棄物(約 5,000 桶)，每一處置窖之尺寸為 (24 m x 24 m x 6 m (高))，內部分隔為 16 個單元，每一單元可接收 320 桶。單元內廢棄物桶與廢棄物桶間之間隙是用水泥灌漿密封，最後整個貯存單元將形成一個單體，然後再用膨潤土及沙土混合物回填，最後再用泥土覆蓋。每一座處置窖外牆內側加上一層多孔性混凝土層以防止地下水進入。如果地下水經由外牆滲透入處置窖，則將經由多孔性混凝土層被排至處置設施外面的偵測隧道。

第二處置設施之型式基本上和第一處置設施一樣，共有 8 個掩埋群，每一群可掩埋 $5,000 \text{ M}^3$ 之廢棄物 (相當於 25,000 桶 200 公升桶)，因此總處置容量為 $40,000 \text{ M}^3$ (約相當於 200,000 個 200 公升桶)。但是，每一掩埋群只含有 2 座處置窖，每一處置窖約可處置 $2,600 \text{ M}^3$ (約 13,000 桶) 廢棄物。每一鋼筋混凝土窖之尺寸約為 36 m x 37 m x 7m (高)，內部分隔成 36 個處置單元，每一處置單元可處置 360 桶廢棄物。第一及第二處置設施所接收廢棄物之總活度上限分別為 8.7×10^{14} 及 1.7×10^{15} 貝克。

4. 地質調查坑道

低放射性廢棄物中，控制棒、燃料匣箱、其他爐心組件等放射性相對高之廢棄物，即為日本分類 L1 廢棄物，需於中間深度 (約 50~300 m) 的混凝土隧道或筒倉狀設施實行地下工程障壁處置 (如圖 17 所示)。此處置方式稱為次地表(sub-surface)處置，法定深度是 50 m 或以上，需有充分的餘裕以避免地下的一般使用，也可能歸類為近地表地下處置設施。由於 L1 廢棄物仍屬低放射性廢棄物，因此經過數百年的監管後，土地

仍可回復為正常使用。但目前日本尚未有明確的管理方針。

5. JNFL 於六所村針對 L1 廢棄物進行地質調查與實驗，地質調查坑道配置如圖 18 所示，開挖深度為地下 100m 深，以調查合適的母岩，並進行地質、地下水之測試，並完成功能安全評估，日本 RWMC 並於此地質調查坑進行全尺寸之膨潤土壓實試驗，雖然此地質調查坑道並非最終處置場，但可利用作為技術建立平台及展現國人及主管機關 JNFL 之技術能力，有利於將來尋找最終處置場。

(二)參訪 RFS 公司之燃料貯存設施

本次參訪 RFS 公司係由 RFS 公司 Yu Aoki 技術部長進行接待及解說，經其解說及進行現場設施參訪，了解設施之背景、設計基準及施工經驗如下：

1. 背景介紹

日本的用過核子燃料以往皆貯存於各核能電廠內，目前有 2 座乾式貯存設施分別設於福島核能一廠（由室內移到室外）與東海二號機。除此之外，由於日本目前於青森縣六所村積極建設用過核子燃料之再處理工廠，考量到用過核子燃料的產生與處理量，勢必需要建設新的集中式中期貯存設施。

東京電力公司以(佔股份 80%)與日本原子力發電公司(佔股份 20%)於 2005 年 11 月在青森縣陸奧市設立「可再循環燃料貯存公司 (Recyclable - Fuel Storage Company, RFS 公司)」，並開始建設「可再循環燃燃料貯存中心」，目的是為了安全貯存 2 家公司之用過核子燃料，直到進行再處理。貯存中心設施之使用期限為 50 年，採用乾式金屬護箱貯存方式，第 1 期建築容量 3,000 tU，可放置 288 個金屬用過核子燃料貯存罐，

廠房設計未來預計增建第 2 期至容量 5,000 tU (東京電力公司 4,000 tU、日本原子力發電公司 1,000 tU)，已於 2013 年 8 月完成燃料貯存廠房的部分。其餘部分由於受到 311 大地震影響，於 2014 年 1 月向原子能管制委員會重新申請運轉許可，目前需等待新的管制制度審查通過，才可繼續進行。

RFS 公司預計貯存設施將來開始營運，每年可以接收約 200~300 tU(約分為 4 批次)用過核子燃料，第 1 期建築預計接收時間為 10 至 15 年。

2. 設計基準及施工經驗

(1) 設計基準

- A. 廠房設計尺寸(第 1 期建築物模擬如圖 19)：長：131m、寬：62 m、最大高度：28 m、天花板高度：15 m。
- B. 建築物採用自然冷卻系統。
- C. 貯存區域配置說明：可分為接收、貯存及輔助等 3 區域
 - a. 接收區域：7 組臨時置放架、1 組檢視置放架、垂直置放架、移動吊車各 1 組；
 - b. 貯存區域：利用氣墊式貨板架(air pallet)進行金屬護箱之移動。
 - c. 輔助區域：監控裝置之指示及記錄區域。
- D. 重要設計概念：金屬護箱作為貯存與傳輸；金屬護箱可安全地維持功能 50 年；以下為重要之安全功能。
 - a. 圍阻：雙層上蓋設計；第 3 層上蓋使用於運輸時。
 - b. 屏蔽：金屬護箱厚度之設計作為屏蔽。
 - c. 次臨界：使用不鏽鋼製之燃料吊籃。

d. 熱移除：使用如熱傳遞之平板等元件進行熱移除。

(2) RFS 燃料貯存設施之建造重要過程

A. 申請建照階段

- a. RFS 公司於 2007 年向原子能管制委員會及經濟產業省申請建設「可再循環燃料貯存中心」。
- b. 2010 年 5 月獲得建造許可。
- c. RFS 公司於 2010 年 6 月向原子能管制委員會及經濟產業省提交「可再循環燃燃料貯存中心」之設計及建造方法。
- d. 2010 年 8 月獲得設計及建造方法許可。

B. 建造階段

- a. RFS 公司於 2010 年 8 月開始著手貯存廠房及金屬護箱。
- b. 第 1 廠房於 2013 年 8 月建造完成。
- c. 數個金屬護箱完成製造及檢驗(作為運輸及貯存所須檢驗之項目)。

C. 運轉流程簡介

- a. RFS 公司負責貯存作業，2 家電力公司則負責用過核子燃料裝填至金屬護箱及電廠至貯存中心之運輸。
- b. 用過核子燃料裝填及船運前之檢查等紀錄皆併同金屬護箱進行移交。

D. 適用新法規標準之檢討及施行方式簡介：2013 年 3 月日本大地震後，RFS 燃料貯存設施已依新法規之要求(2013 年 12 月，18

項執行細則)進行「設置新設備」及「既有設備功能提升」,目前正在接受原子能管制委員會依新的管制制度進行審查,目前需等待審查通過,才可繼續進行,新法規施行後,RFS 燃料貯存設施。

- a. 設置新設備：須防止不正當入侵燃料貯存中心。
- b. 既有設備功能提升：如防止地震、海嘯等外界自然因子之功能提升；金屬護箱如圍阻、屏蔽、次臨界、熱移除等安全功能提升等。

E. RFS 公司已為運轉燃料貯存中心以原尺寸之金屬護箱進行測試。

四、參訪放射性廢棄物研究機構及觀摩實驗室

(一)參訪 FEPC

日本之電力由私營、區域性之電力公司供應,而為了加強電力公司彼此間的合作,於 1952 年日本 9 家電力公司成立了日本電力公司聯合會(Federation of Electric Power Companies ,FEPC)。至此,FEPC 擔任了 9 家電力公司彼此聯繫的重要角色,並成為彼此討論未來電力工業發展的平台,FEPC 進一步推動了許多活動以確保電力公司間的合作穩定關係,沖繩電力公司於 1972 年正式歸屬日本,並於 2000 年 3 月成為 FEPC 的一員。因 FEPC 對於核能電廠之除役工作,有進行多年之研究,故此行參訪主要為汲取 FEPC 對日本除役方面之研究及最新資訊,本次參訪 FEPC 係由 FEPC 之 Makoto Furuya 部長進行接待及解說,經其解說了解日本核電廠除役之規劃如下:

1. 日本的除役現況

- (1) 日本自 1970 年代起,開始進行除役技術之研究,電力試驗反應器

(JPDR)，由 JAERI(Japan Atomic Energy Research Institute)從 1981 年至 1996 年完成拆廠作業。

(2) 東海 (Tokai) 電廠是日本第一座商用核能電廠，為氣冷式反應器 (GCR)，亦是日本電力公司第一次實際進行除役拆廠之商用核能電廠。日本原子能電力公司(JAPC)在提送除役計畫書供管制單位審查後，於 2001 年底開始進行除役作業。

(3) JAEA 運轉的進步型熱反應器 Fugen 及中部電力公司濱岡核能電廠 1、2 號機亦展開除役作業。

(4) 在 2015 年 4 月，5 部核電機組(Tsuruga-1,Mihama-1&2,Shimane-1,Genkai-1)停機，2016 年 1 部核電機組(Ikata-1) 停機。

2. 日本的除役制度

(1) 除役基金

依據經濟產業省的法令，業者應在停機前的運轉期間累積除役基金。根據日本核能諮詢委員會之次委員會評估在標準除役程序下，1,100MWe 的 BWR 及 PWR 電廠其除役費用約 300 億日圓，並經由財務稽查及審查業者提供的財務報告來確保除役基金的足夠性。

(2) 日本標準除役程序

在核能電廠營運結束之後，從運轉階段進入除役階段；除役階段包括將用過核子燃料從反應器中移除、接著進行系統除汙作業，將主要管路以及容器上的放射性物質以及化學物質去除；在除汙完成後，有一段安全貯存期；經過 5 到 10 年的安全貯存期，等待放射性物質活度衰減後，才開始設施的最終解體拆除作業；最後進行場址復原階段及釋出為再利用之土地，而除役的廢棄物則送往處置場，日本

標準除役程序如圖 20 所示。

3. 日本除役經驗

(1) 東海核能電廠 1 號機 (Tokai-1) 的除役現況

東海核能電廠 1 號機，為英國的 MOX 型反應器，容量為 166 MW，在 1965 年年底開始營運並於 1998 年 3 月關閉，預計其除役時程將花費 20 年以上的時間；從 2001 年開始除役標準程序中的「安全貯存」，目的是讓放射性物質衰變以降低放射性，預計到 2018 年結束。在 2001~2024 年間進行爐心區域以外的設備移除，如熱交換器、汽機區域等；2019~2024 年開始進行反應爐移除、2024~2025 年進行建築物拆除工作，東京電力公司預計除役時程要進行到 2026 年。所有的廢棄物將被歸類為 3 個低放級別的廢棄物並做掩埋處置。

(2) 濱岡核能電廠 1、2 號機 (Hamaoka-1,2) 的除役現況

中部電力公司在 2009 年 6 月向政府提出濱岡核電廠的除役計畫，並於同年 11 月獲得核准；而除役計畫的第 1 階段，1、2 號機的所有燃料已經移除完畢，並完成第 1 階段規劃的系統除汙工程及汙染狀況調查作業。在 2015 年 3 月後，中部電力正式邁入除役的第 2 階段，向 NRA 提出了除役計畫的變更認可申請書，並於 2016 年 2 月獲得認可。目前的除役計畫正在進行第 2 階段的「原子爐領域周邊設備解體撤去」作業，根據除役計畫的時程安排，第 2 階段的除役作業預計將於 2023 年完成，並將著手於以下幾項主要工事：

- A. 反應爐週邊的設備及系統拆除：汽渦輪機主體、主冷凝器、冷凝水及飼水系統的管路及設備、硼液注入系統、主蒸汽管路、共用

排氣煙囪等。

- B. 第 2 階段污染狀況調查：延續第一階段的污染狀況調查，設定為反應爐區的污染調查作業，並視情況決定組件需要的拆除時間、拆除工法、拆除廢棄物數量的評估，以及實際的安全貯存期間。
- C. 第 2 階段的除汙作業：除汙範圍包括反應爐壓力容器、圍阻體外的爐水淨化系統、餘熱移除系統。建立化學除汙工作站及相關設備、利用化學藥品進行管路除汙清洗。
- D. 管制區外的無污染設備拆除：海水循環系統、液體及氣體儲存槽、主變壓器、圍阻體充氬系統。

(二)參訪 JAEA

日本在 2005 年 10 月由日本核子燃料循環開發機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute,JNC)及日本原子力研究機構(Japan Atomic Energy Research Institute,JAERI)整合成 JAEA，成為日本主要核能研究機構。並於 2016 年 4 月將研究部門分為核融合及量子光束科學部門。

此行參訪主要為汲取 JAEA 對日本高放射性廢棄物最終處置方面之研究及最新資訊，本次參訪 JAEA 東京辦公室係由 JAEA 之 Kazuhiko Shimizu 部長及 Tai Sasaki 博士進行接待及解說，經其解說了解日本高放射性廢棄物最終處置研究之現況如下：

1. JAEA 之任務及研究活動之組織關係

(1) JAEA 之任務

- A. 核能基礎研究
- B. 核能研究之應用

C. 建立必要之燃料循環

(2) 研究活動之組織關係

A. JAEA 之預算來自於日本年度預算(會計年度從每年 4 月開始)

B. 監管單位如 MEXT、MEXI、NRA 決定中長程目標，JAEA 依此研擬中、長程計畫(長程計畫之時程為 5-7 年)

2. JAEA 於日本高放射性廢棄物最終處置所擔任的角色

(1) 提供為執行者及管制單位相關研究成果，以提升地質處置之技術及安全評估方法之可信賴性。

(2) 藉由發表相關地質處置研究成果 2 座地下實驗室及東海研究開發中心)以提升大眾了解日本高放射性廢棄物最終處置研究發展的進度。

3. 近期重要報告

(1) 2005 年：中期成果報告

(2) 2007 年：地下實驗室第 1 期綜合報告

(3) 2010 年：H22 報告(技術更新)

(4) 2015 年：H26 報告(技術更新)

4. JAEA 之高放射性廢棄物最終處置研究設施

該機構所屬之地層處分研究開發部門(Geological Isolation Research and Development Directorate (GIRDD)擁有 3 座地質處置研究設施，包括幌延地下實驗室(Horonobe URL); 東濃地科學中心(Tono Geoscience Center)，該中心設有瑞浪超深地下研究實驗室(Mizunami Underground Research Laboratory (MIU)); 及東海研究開發中心(Tokai R&D Center)，

設施之位置如圖 21 所示。

5. JAEA 之高放射性廢棄物最終處置研究目標及任務

(1) 地質處置於真實處置環境應用性之確認

- A. 地質環境特徵研究；深層地質環境之工程技術研究。
- B. 深層地質環境工程技術之演練。
- C. 工程障壁系統設計技術及安全評估方法應用性之確認。

(2) 地質處置長期行為之了解及掌握

- A. 地質處置環境長期穩定性研究(抬升/沉陷、地震/斷層、火山活動及天然類比)。
- B. 工程障壁系統基礎研究；近場耦合研究。
- C. 安全評估方法之建立；發展先進之安全評估方法；核種傳輸數據之建立。

6. JAEA 之東海研究開發中心簡介

(1) ENTRY 實驗室：模式建立與數據驗證。

- A. 功能評估情節之模擬。
- B. 地球化學及耦合程序研究。
- C. 水流及物質傳輸模式研究。
- D. 近場功能評估數據之取得(如腐蝕、膨潤土)。

(2) QUALITY 實驗室：以核種傳輸實驗取得地球化學資料，目前正進行之實驗有：

- A. 膨潤土/岩塊/膠體之溶解及吸附實驗。
- B. 膨潤土/岩塊之擴散實驗。
- C. 自然有機物之影響研究。

(三)參訪 CRIEPI

CRIEPI 成立於 1951 年，其任務為藉由於執行電力領域之技術及經濟有關之研究及實驗，深化日本電力使用之技術及貢獻，目前 CRIEPI 有 700 多個研究人員，研究領域核能約佔 30%、地熱約佔 20%、電力輸送約佔 30% 及其他領域 20%。此行參訪主要為汲取 CRIEPI 對日本核能工業方面之研究及最新資訊，本次參訪 CRIEPI 係由 CRIEPI 之 Tadafumi Koyama 博士及 Motoi Kawanishi 博士進行接待及解說，經其解說了解 CRIEPI 於核能領域研究之現況如下：

1. 風險評估研究團隊

- (1) 任務：執行研究以解決有關風險識別及風險評估之技術議題，並於核能設施領域中，使用最新的風險評估方法
- (2) 風險分析組：建立機率式風險評估方法及其應用；加強火災或洪水之機率式風險評估方法研究，建立人類可靠性評估
- (3) 電廠熱傳-水力分析組：加強貯存容器之綜合評估方法；建立安全評估方法及數據並進行應用
- (4) 環境分析-評估組：建立大氣及海洋傳輸之評估方法

2. 自然因子研究團隊

- (1) 任務：執行研究以釐清外在自然因子之物理機制，如地震、海嘯、火山、龍捲風，及上述自然因子對於核電廠之影響
- (2) 活動斷層及地震活動組：評估斷層活動及地震運動

- (3) 海嘯災害研究組：評估海嘯風險及其影響
- (4) 火山災害研究組：評估火山風險及其影響
- (5) 極端氣候研究組：評估龍捲風及其他極端氣象之風險及建立防範對策
- (6) 地震脆性破壞研究組：評估核能電廠設備及設施脆性破壞及其風險
- (7) 機率式風險評估組：於核電廠之設施應用最新的風險評估方法以評估外在因素

3. CRIEPI 土木工程試驗室(Civil Engineering Research Laboratory)參訪

(1) 海嘯模擬設施

此設施可以較大的尺寸及符合真實情況，模擬巨大海嘯發生時，洪水沖進陸地之情形，試驗所得到的結果可使用於對策的防範。此設施最大流量為 10t/s，最大流速為 7m/s，設施之外觀如圖 22 所示。

(2) 斷層行為研究

利用 X 光 CT 掃描裝置以分析平移向斷層之 3D 的地震發生行為，先將砂體置於水平剪動平台上，施加水平位移，再利用 CT 掃描裝置掃描砂體受剪內部裂隙分布情形，以模擬土壤受震之行為，實驗之外觀如圖 23 所示。

(3) 高放處置所在地層之長期力學行為研究

採用地工離心機試驗，配合離心尺度法則(Centrifugal Scaling Law)及時間加速測試(Time-Acceleration Test)進行探討。當模型尺寸為 1/N，則代表其加速度為 N(g)，時間則縮短至 1/N²。此外，該試驗亦將束制圍壓及溫度提高至 20MPa 與 100°C，以探討近場的長期熱-水-力

耦合效應(Thermal-Hydraulic-Mechanic) ,設施之外觀如圖 24 所示。

(4) 振動台試驗

以大尺寸的震動台(最大地震波為 2G)及共振震動台(最大 SINE 波為 20G)作為設施受震之評估，設施之外觀如圖 25 所示。

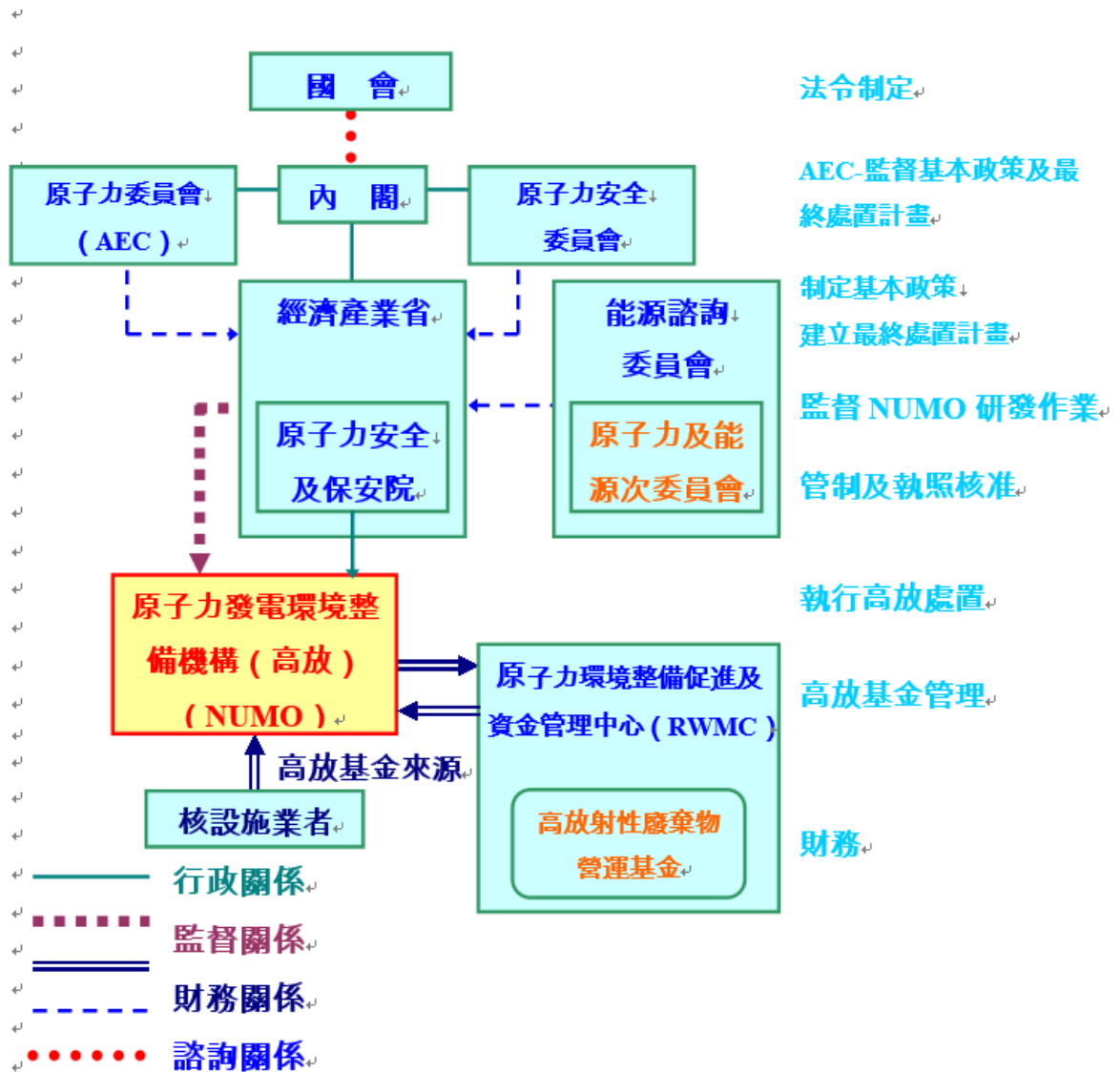


圖 1：日本後端營運主要架構



圖 2：技術交流成員與 NUMO 人員於交流年會後合影

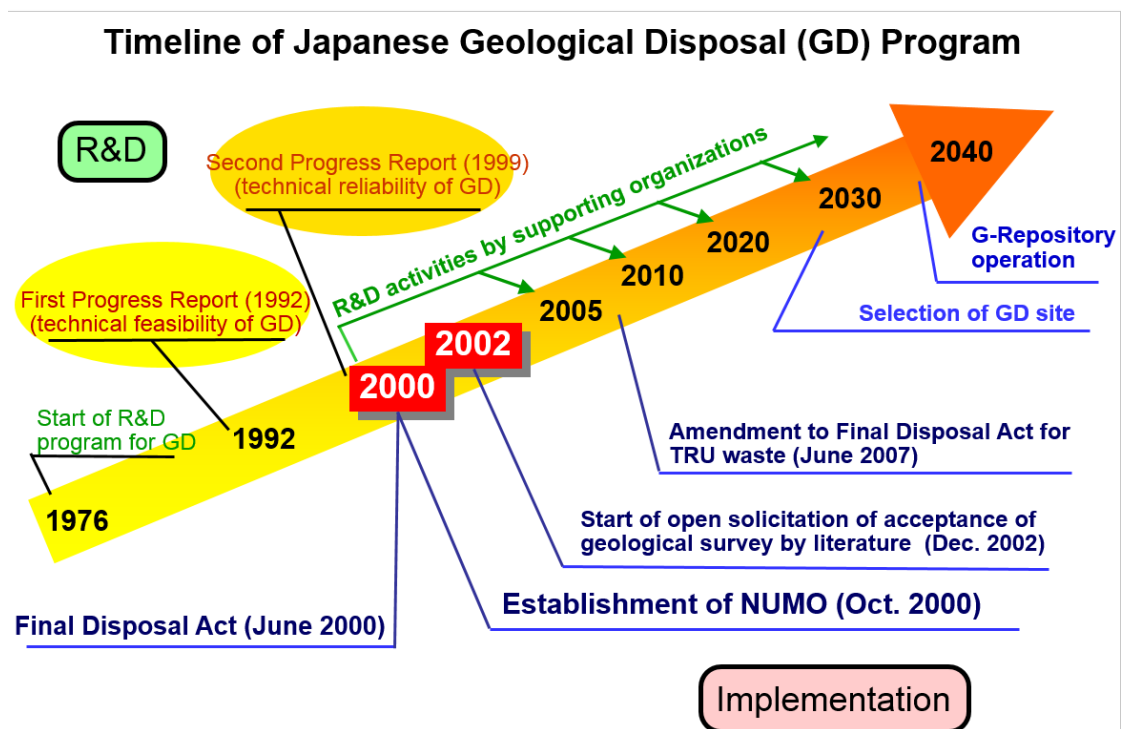


圖 3：日本高放廢棄物地質處置計畫時程圖



HLW disposal concept in Japan (multi-barrier concept)

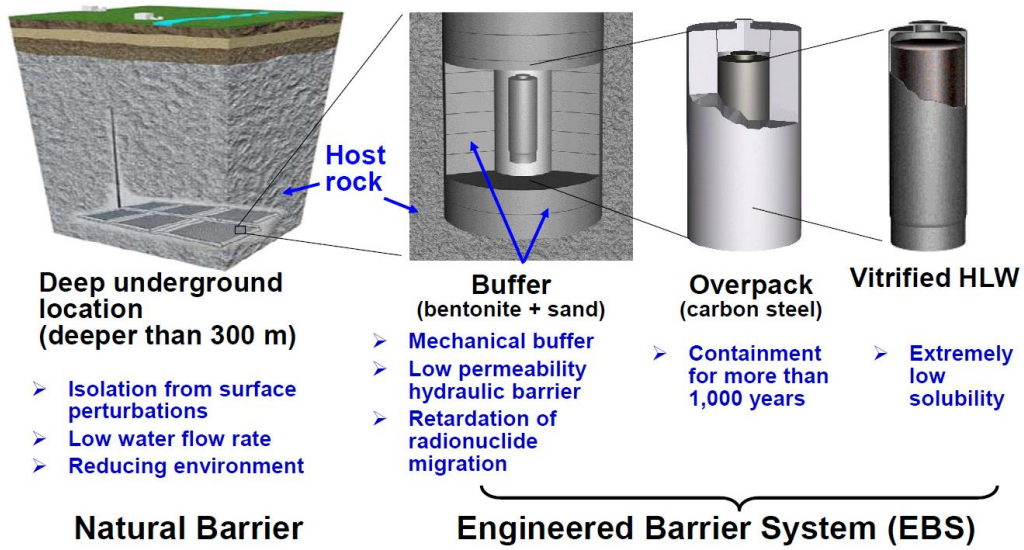


圖 4：日本地質處置多重障壁系統概念圖

Organization of NUMO

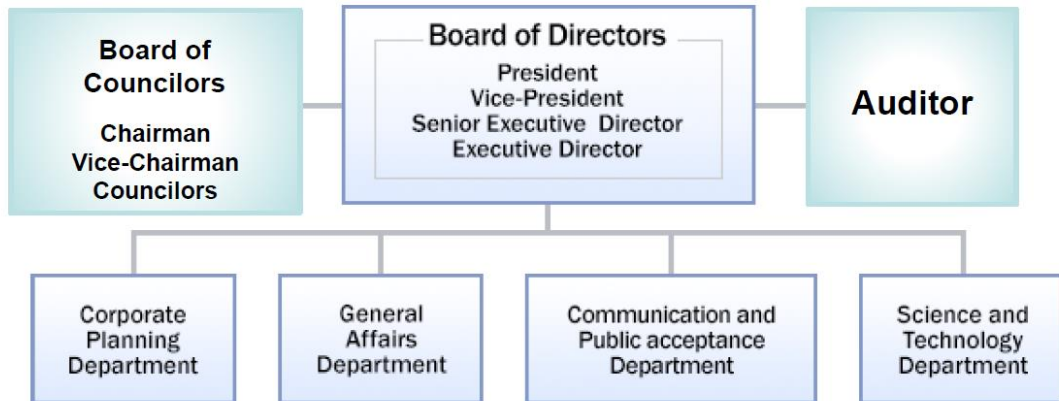


圖 5：NUMO 組織圖

Three stages of the site selection process

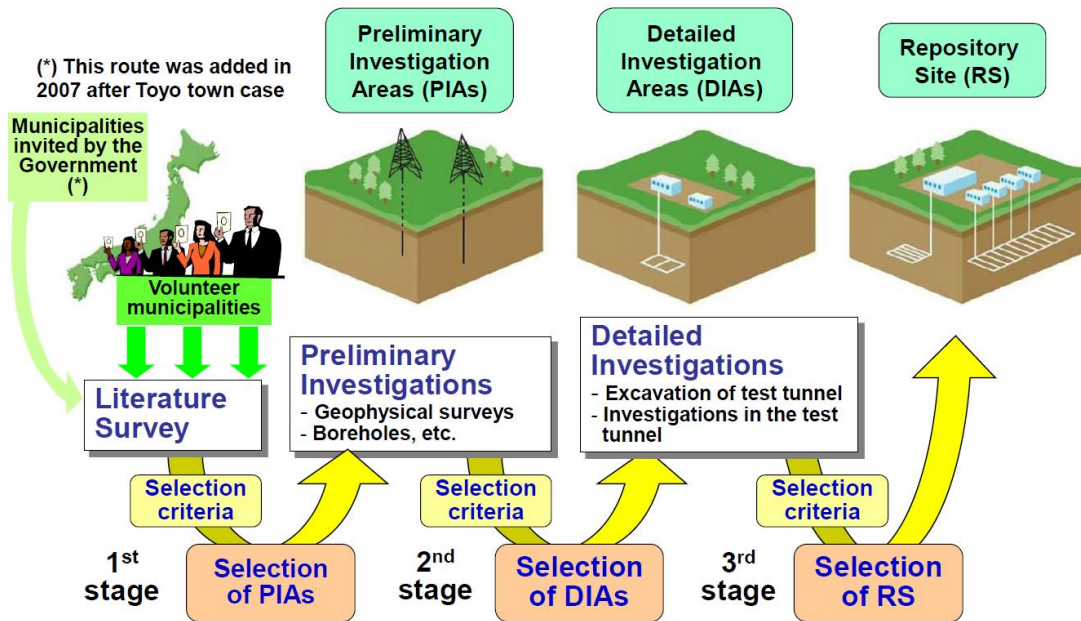


圖 6：日本場址 3 個階段篩選步驟示意圖



圖 7：NUMO 之近期民眾溝通活動



圖 8：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 9：核研所邱一夫助理研究員於交流年會簡報安全評估之工作現況

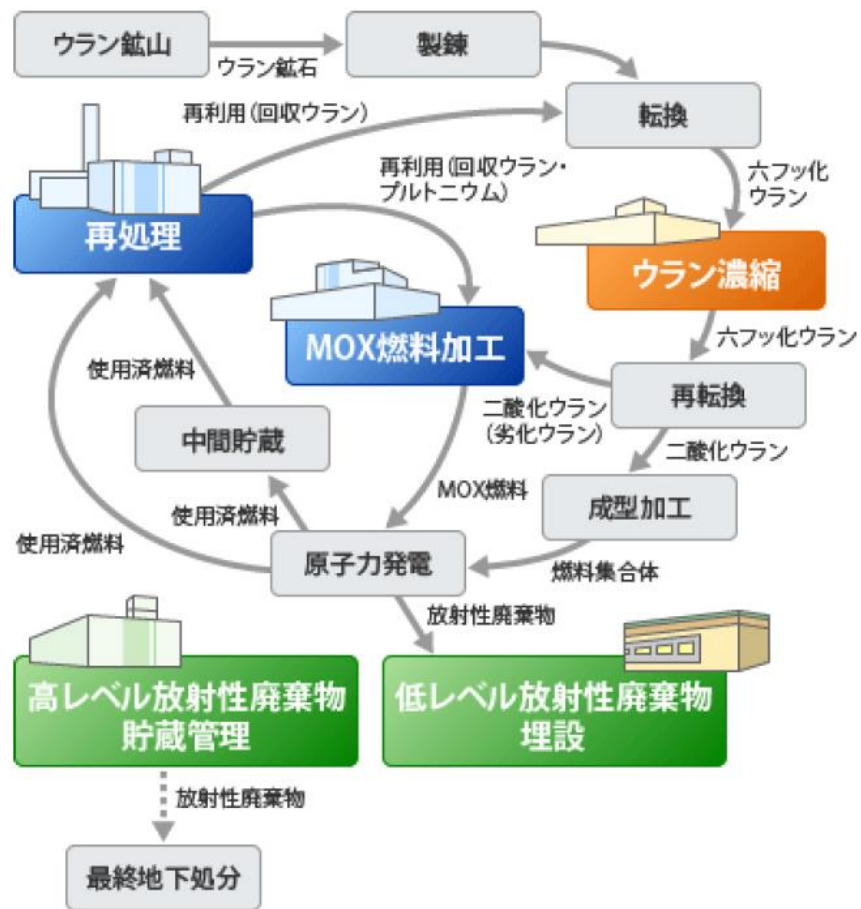


圖 10：日本的核子燃料循環示意圖

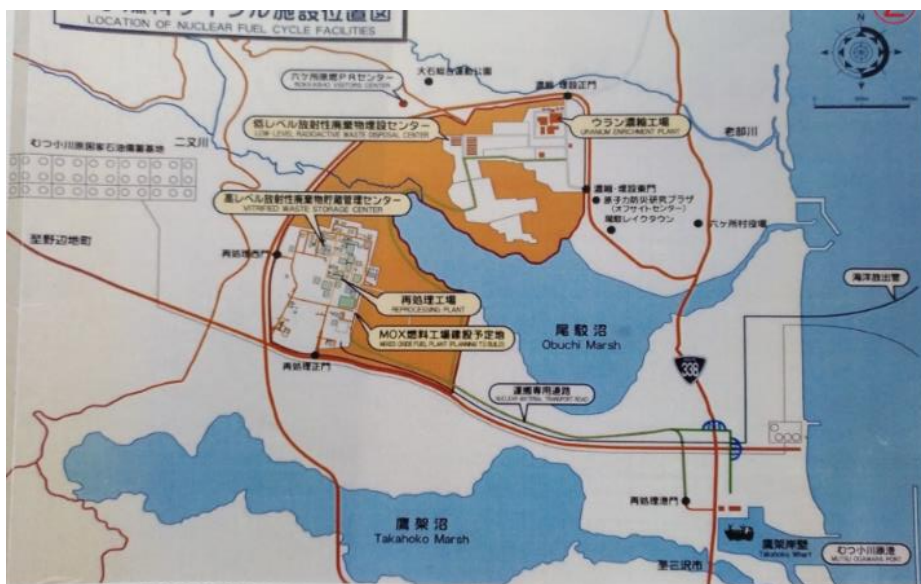


圖 11：JNFL 之六所村放射性廢棄物設施位置示意圖

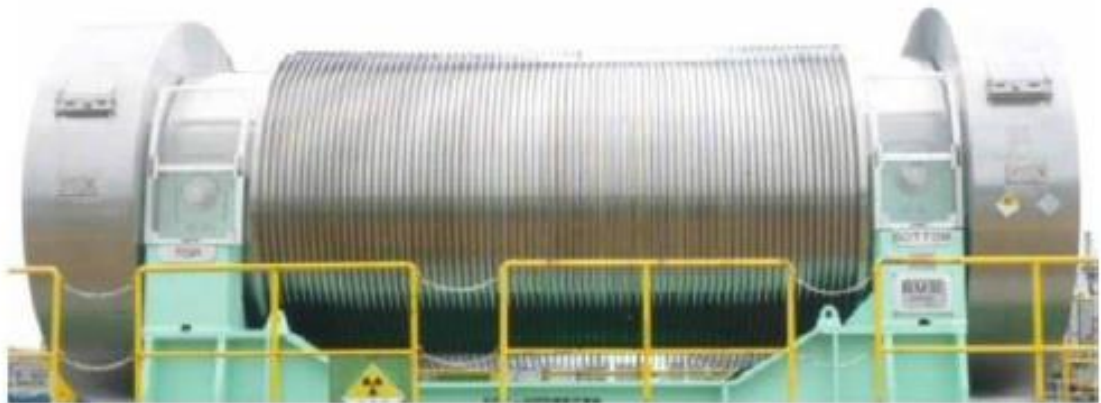


圖 12：日本用過燃料運輸護箱（濕式 NFT-38B 型）

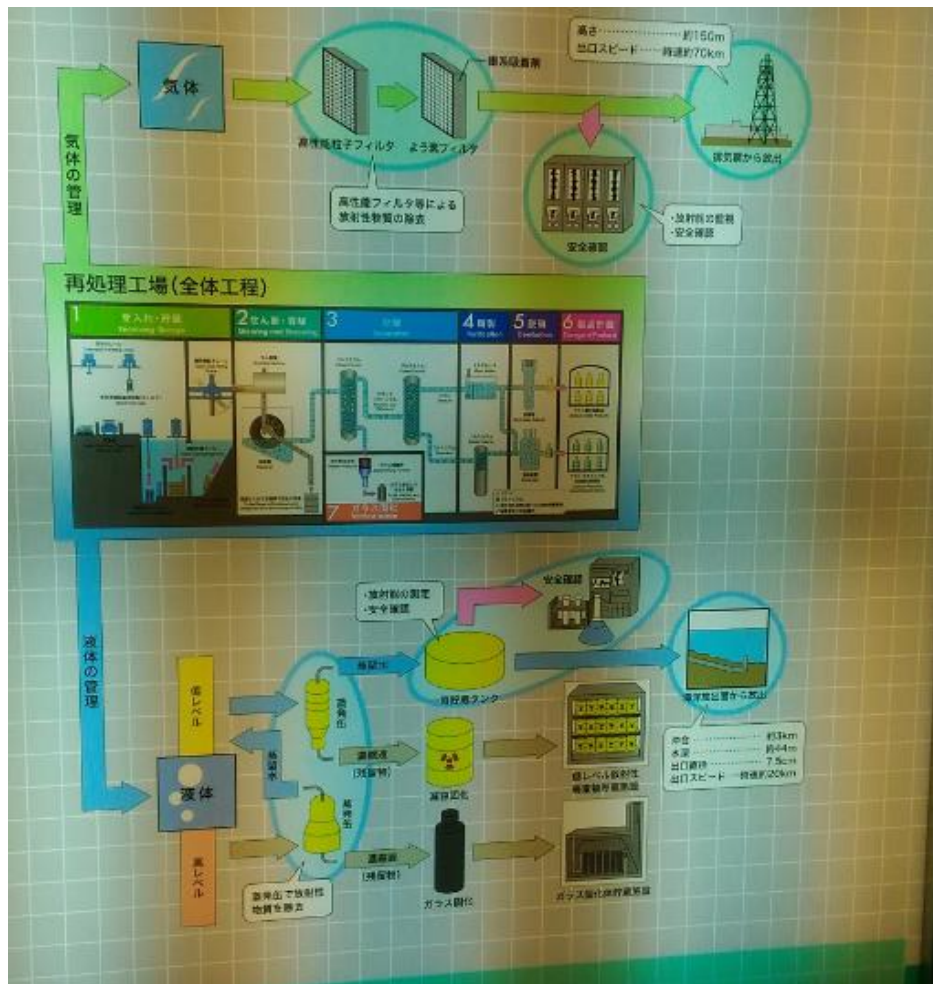


圖 13：日本再處理及廢棄物處理流程示意圖

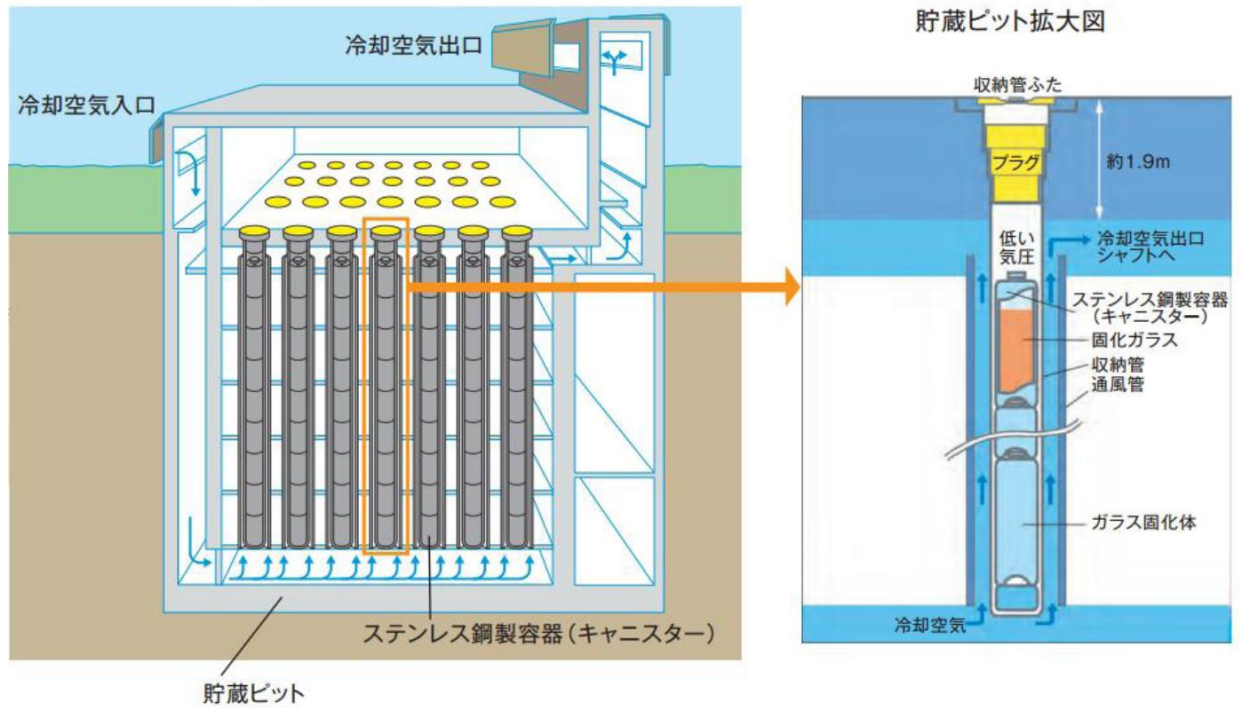


圖 14：貯存管理中心設施之玻璃固化體貯存示意圖

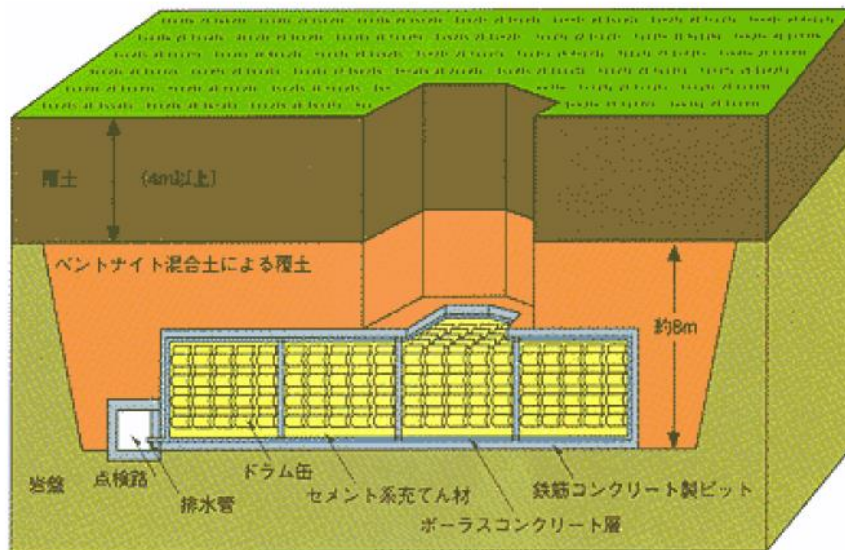


圖 15：日本 L2 低放射性廢棄物之混凝土坑處置示意圖

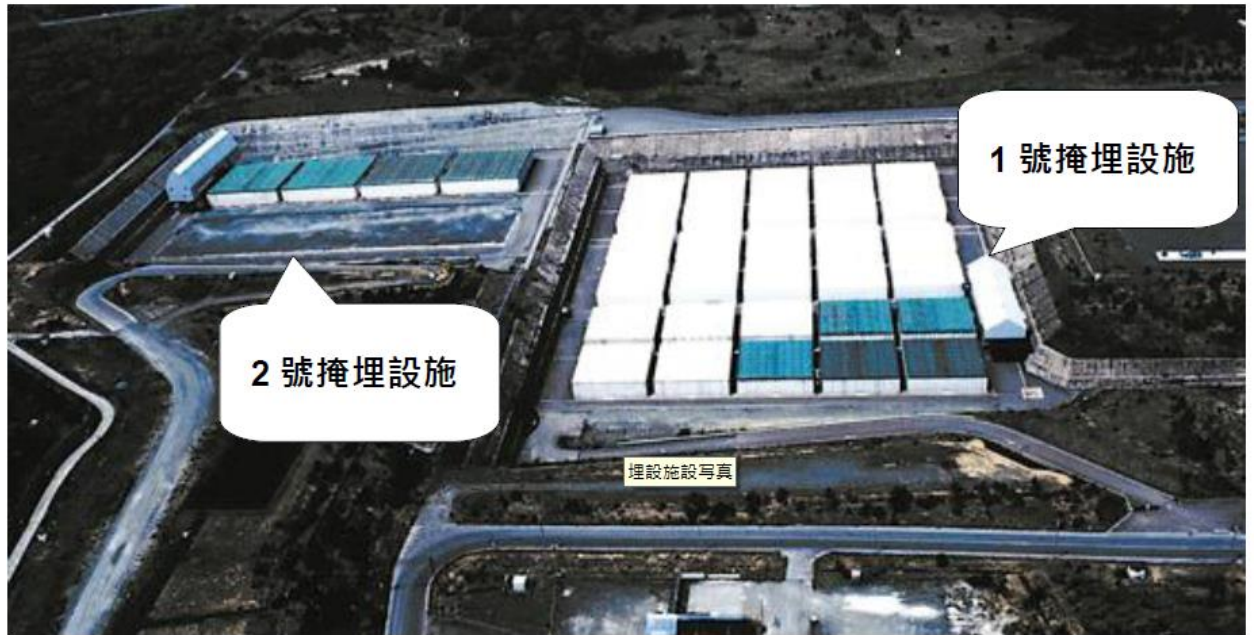


圖 16：日本青森縣六個所村之低放射性廢棄物最終處置場

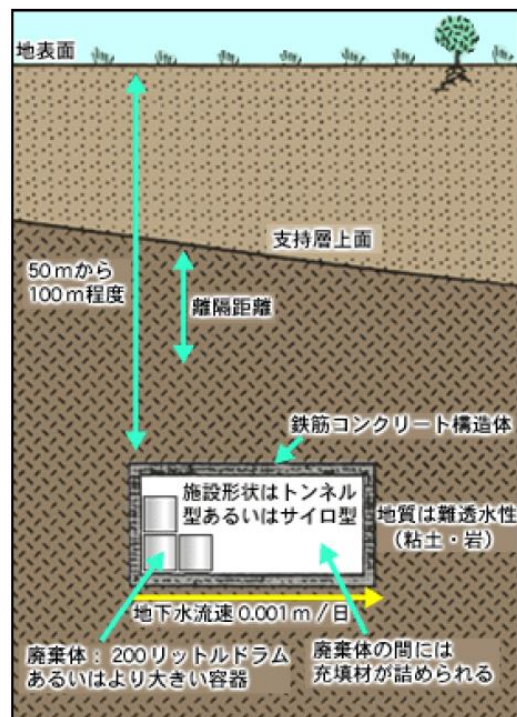


圖 17：日本 L1 低放射性廢棄物之地下工程障壁處置示意圖

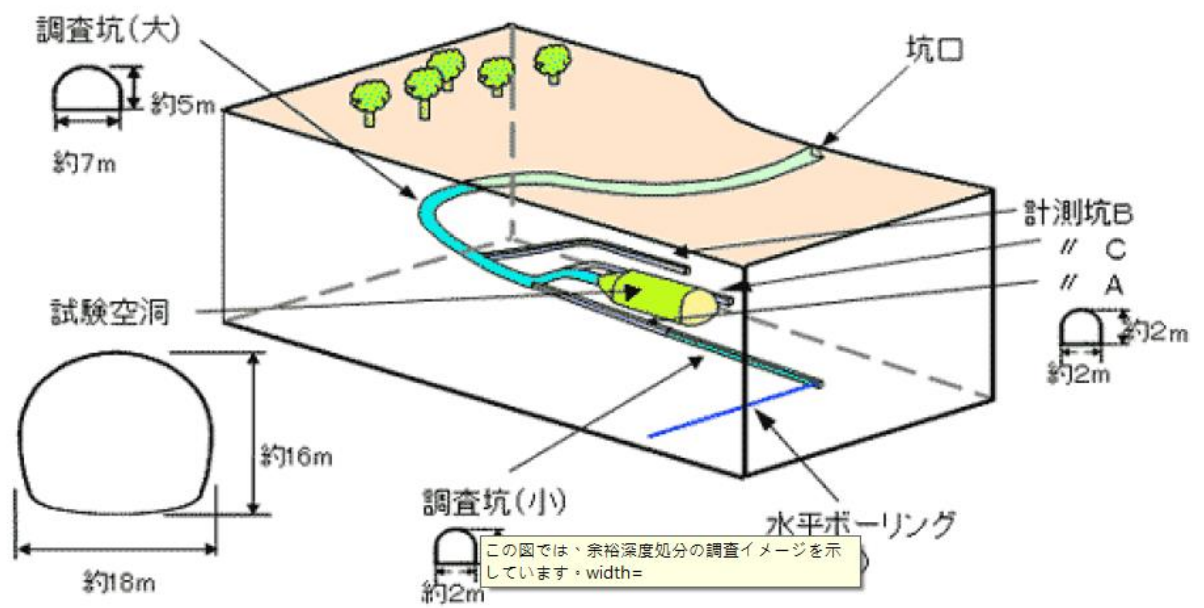


圖 18：JNFL L1 低放射性廢棄物之地質調查坑道配置示意圖

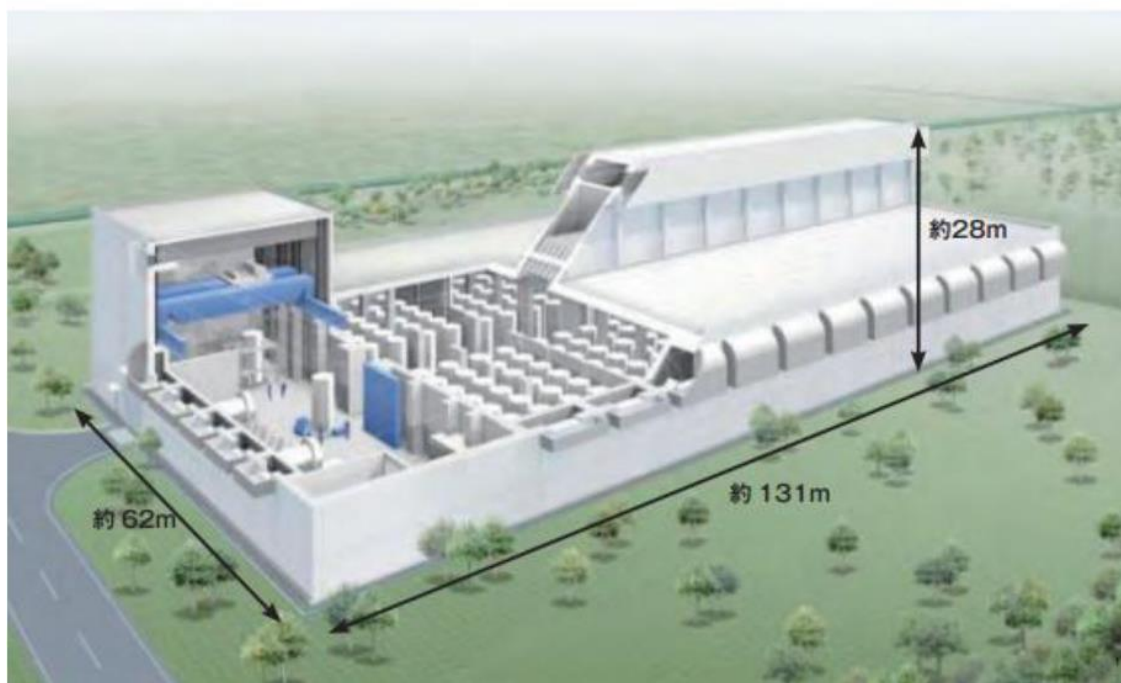


圖 19：RFS 燃料貯存設施(第 1 期建築物)

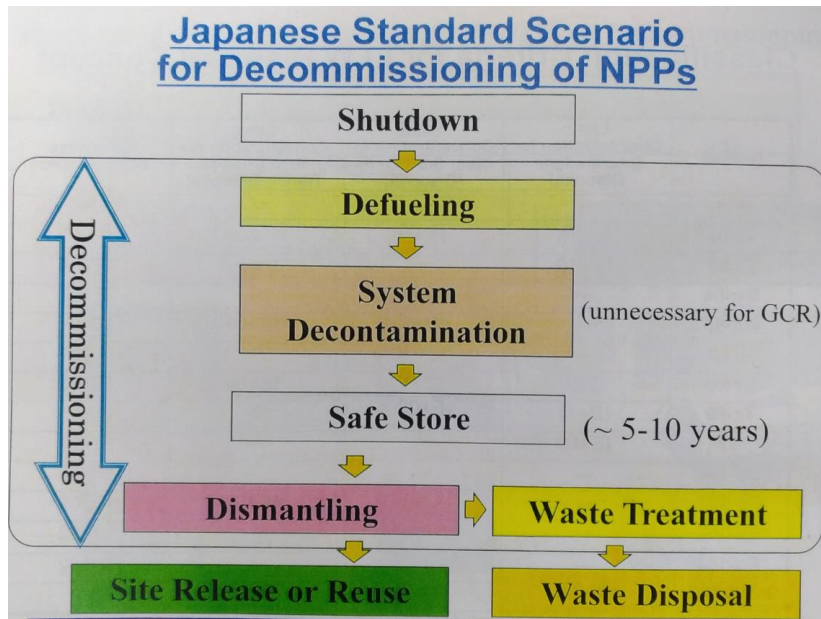


圖 20：日本標準除役程序

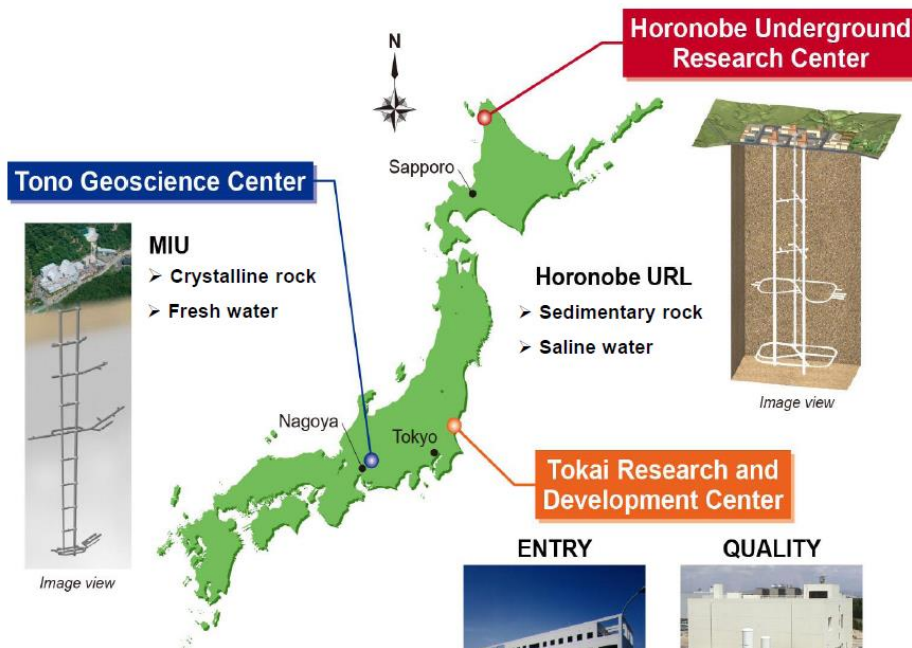


圖 21：JAEA 之高放射性廢棄物最終處置研究設施



圖 22：海嘯模擬設施外觀

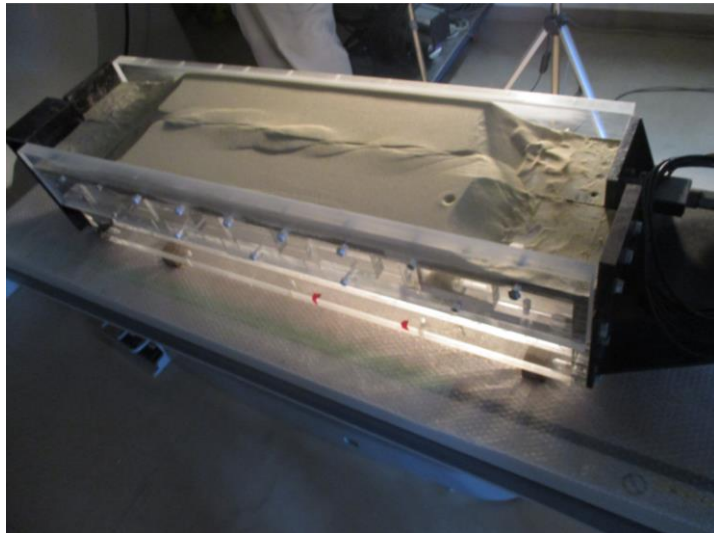


圖 23：砂體置於水平剪動平台施加水平位移之情形



圖 24：離心機試驗外觀

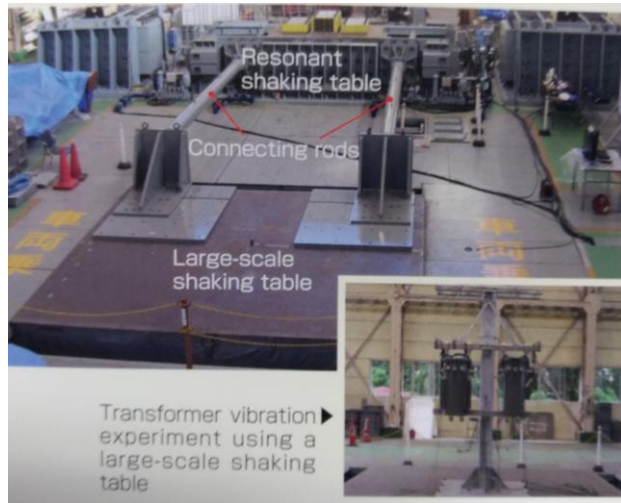


圖 25：振動台外觀

肆、心得

本技術交流成員赴日本與 NUMO、JNFL、RFS、FEPC、JAEA 及 CRIEPI 的專家學者針對高放射性廢棄物最終處置、中期貯存、除役進行交流及討論，並參訪 JNFL 位於六所村之放射性廢棄物設施、RFS 公司之燃料貯存設施及 CRIEPI 土木工程試驗室，著實獲益良多。

與日本專家學者之討論過程可知，日本長期著眼建立完整的廢棄物處理及處置系統，藉由科學理論的基礎上建立完善及穩定的廢棄物處理及處置研究體系，例如建立實驗室及地下實驗室等，不僅使技術可以紮根，並且可以聚集能量，有助於長期人才培育及計畫推展。

於與 NUMO 之高放射性廢棄物地質處置交流年會上，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。而藉由與 JAEA 及 CRIEPI 專家之討論，可了解該機構高放射性廢棄物地質處置之研究重點，上述交流之經驗可作為國內處置計畫技術研發及民眾溝通等業務推動之寶貴參考。

參訪 JNFL、RFS 之放射性廢棄物設施，可了解該 2 單位從相關法規規定之遵守、設計理念及施工建造等完整之實務推展經驗。參訪 FEPC 日本除役推展之現況，可回饋國內未來之除役作業之規劃及推展。

伍、建議

- 一、從 NUMO 分享之經驗得知，該單位目前推動高放射性廢棄物最終處置計畫著重技術發展及民眾溝通 2 方向並進，其執行重點及方式可為國內未來推動之標竿。
- 二、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，建議國內參考日本推動經驗，成立放射性廢棄物最終處置專責機構，並規劃合適之組織架構，以利計畫之長期推動與執行。
- 三、從 JAEA 等研究機構之交流得知，日本注重藉由科學理論的基礎上，建立實驗室及地下實驗室等，使技術不僅可以紮根，發展及驗證地質調查、工程技術及評估技術，並且可以聚集能量，相關經驗亦值得作為國內推動之參考，另 JAEA 負責研究與 NUMO 負責選址 2 單位各司業務，此體系有利長期研究發展進行，亦值得國內仿效。
- 四、國內地質環境與日本相似，其放射性廢棄物之處理及處置經驗之值得做為參考，除藉由定期之參訪外，如可挑選有潛質之人才，輔以周全之實習計畫，進行較長時期之學習，以有效率之引進日本先進技術，有助於放射性廢棄物之處理及處置之領域之人才吸引及培育。