

出國報告（出國類別：實習）

赴日本電力中央研究所(CRIEPI)核燃料循環後端研究中心之處置技術實習 報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳智隆 助理工程師

派赴國家：日本

出國期間：101年10月26日~101年12月24日

報告日期：102年1月9日

摘 要

為進行放射性廢棄物最終處置之工程障壁特性研究，核能研究所派員赴日本電力中央研究所(CRIEPI)核燃料循環後端研究中心進行處置技術之人員實習訓練，日期自民國 101 年 10 月 26 日起至 12 月 24 日止，共 60 天。日方安排的人員實習訓練區分成兩部分，第一部分採專題討論，執行方式為與主要研究人員面對面討論其研究主題，其中包括研究目的、研究方法及實驗失敗導因等；第二部分為現地觀摩，施行方式乃由現地實驗負責人員陪同前往相關實驗場址，進行現場實驗設備與實驗進行方式等解說並討論。

此次研習心得為 CRIEPI 的研究領域(如高放與低放處置、用過核燃料中期貯存、電廠地震災害評估、太陽能開發等)與核能研究所極為相近，其研究理論與應用並重，建議核能研究所可與之加強合作，減少試誤的時間與資源。另外，CRIEPI 的研究多採用外包人力進行實驗室分析工作，或運用專業公司輔助技術與設備開發，如此可節省設備採購與維護經費，並可有效運用既有人力資源。

關鍵詞：電力中央研究所(CRIEPI), 處置技術

目 次

摘 要.....	i
目 次.....	ii
圖 目 錄.....	iii
表 目 錄.....	v
一、 目的.....	1
二、 過程.....	5
三、 心得.....	61
四、 建議事項.....	65
五、 參考文獻.....	66
六、 附錄.....	67

圖 目 錄

圖 1 員工證(研修生).....	6
圖 2 PHS 聯絡用手機.....	6
圖 3 CRIEPI 的組織架構圖.....	8
圖 4 CRIEPI 各單位所在位置圖.....	8
圖 5 現地觀摩位置圖.....	15
圖 6 幌延地下研究中心時程規劃與主要研究工作.....	16
圖 7 幌延深層研究計畫平成 23 年度的主要研究範圍.....	17
圖 8 岩石彈性波速度隨隧道開挖進程變化.....	18
圖 9 地質長期演變模型.....	18
圖 10 膨潤土塊體建構技術開發.....	19
圖 11 幌延深層研究計畫平成 24 年度的主要研究範圍.....	21
圖 12 由羽田機場搭乘 ANA 班機前往稚內機場.....	23
圖 13 幌延地下研究中心主要建物分佈圖.....	23
圖 14 進入地下實驗室前須換裝.....	24
圖 15 幌延地下研究中心的東立坑(右, 綠色)和西立坑(左, 橘色).....	24
圖 16 進入幌延地下實驗室相關程序.....	26
圖 17 幌延地下實驗室地下 140 m 主要實驗(1).....	27
圖 18 幌延地下實驗室地下 140 m 主要實驗(2).....	28
圖 19 幌延地下實驗室地下 140 m 主要實驗(3).....	29
圖 20 幌延地下實驗室地下 250 m 主要實驗.....	30
圖 21 CRIEPI 的幌延鑽探試驗計畫圖.....	31
圖 22 CRIEPI 的幌延鑽探試驗孔位置示意圖.....	32
圖 23 CRIEPI 的幌延鑽探試驗孔鑽探設備概圖.....	32
圖 24 Dr. Shin 和 Dr. Kiho 向 Aoki 教授進行簡報解說.....	33
圖 25 鑽探試驗場.....	34

圖 26 實際鑽孔設備圖.....	34
圖 27 JNFL 相關設施位置分佈圖.....	35
圖 28 六所村低放處置場分佈圖.....	36
圖 29 六所村處置區處置單元分佈.....	36
圖 30 六所村 1 號處置區處置單元分佈.....	37
圖 31 六所村 2 號處置區處置單元分佈.....	38
圖 32 六所村低放處置場歷年處置數量統計(至 2012 年 11 月止).....	38
圖 33 日本的放射性廢棄物分類.....	39
圖 34 放射性廢棄物運送前廠內檢測.....	43
圖 35 放射性廢棄物處置場區內作業.....	44
圖 36 六所村低放處置場入口.....	45
圖 37 CRIEPI 在坑道內進行的地下水氧化速率量測研究.....	46
圖 38 在 CRIEPI 試驗坑道內合影.....	47
圖 39 PR 館前的旗幟與參訪日期.....	47
圖 40 橫須賀地區相關位置圖.....	50
圖 41 CRIEPI 水文試驗場.....	51
圖 42 橫須賀地區出露之 Miura 群岩層.....	52
圖 43 瑞浪地下研究實驗室附近區域地質圖.....	53
圖 44 瑞浪地下研究實驗室附近長期地下水監測井位圖.....	55
圖 45 瑞浪站與瑞浪地下研究實驗室位置圖.....	56
圖 46 瑞浪地下研究實驗室內主要建築物位置圖.....	56
圖 47 主要建築物外觀.....	57
圖 48 進入瑞浪地下實驗室相關程序.....	58
圖 49 瑞浪地下實驗室主要量測儀器.....	59
圖 50 於瑞浪地下實驗室 CRIEPI 的水文試驗坑道.....	60

表 目 錄

表 1 人員訓練主要議題內容.....	4
表 2 現地觀摩行程表.....	22
表 3 六所村低放處置場接收標準.....	40
表 4 2012 年度六所村低放射性廢棄物接收計畫.....	41
表 5 2012 年度六所村低放射性廢棄物輸送計畫與實際結果.....	42

一、目的

(一)訓練目的

放射性廢棄物的處理與處置為我國政府施政的既定政策。在低放射性廢棄物處置方面，台電公司依據民國 91 年 12 月公布施行「放射性物料管理法」規定，於民國 92 年 12 月 25 日提出「低放射性廢棄物最終處置計畫」，對處置作業有關之場址選擇、設計施工及時程規劃等事項，提出具體解決方案。經濟部依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」規定，已於民國 95 年 8 月成立選址小組，並指定台電公司為選址作業者，協助進行選址作業。目前低放處置進度為在民國 101 年 7 月經濟部公告兩處「建議候選場址」：台東縣達仁鄉(南田村)場址和金門縣烏坵鄉(小坵村)場址。

在高放射性廢棄物處置方面，台電公司自民國 75 年開始積極推動「用過核子燃料長程處置計畫」，從學習階段(1986~1988)、初期工作規劃(1988~1991)、區域調查技術準備(1993~1998)、調查實施與技術發展階段(1999~2005)，至今已進入「潛在處置母岩特性調查與評估」階段(2005~2017)，其中已於 2009 年完成「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」，初步確定國內具有可做為處置場之潛在母岩。此後計畫積極進行用過核子燃料最終處置場址相關技術的研究發展，以期於 2017 年底提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」。

放射性廢棄物處置場安全評估主要可區分成近場、遠場與生物圈三部份。近場範圍主要含括源項(核種種類與存量)與工程障壁；工程障壁包括處置容器(容量、材質與功能)、緩衝材料(膨潤土)、混凝土隔牆與回填材料(母岩碎石與膨潤土之混合物)。遠場範圍主要為處置場母岩與母岩中的裂隙；生物圈範圍主要含括地下含水層、土壤與地表人類活動範圍。近場、遠場與生物圈對核種遷移的安全功能考量並不相同，近場主要安全功能為阻絕(Isolation)，遠場主要安全功能為遲滯(Retardation)，生物圈的主要評估是分析計算各種可能的核種傳輸途徑(Pathway)，與最後可能衍生的核種濃度和劑量。

藉由以上對核種遷移現象的初步了解可知，在低放射性廢棄物處置場，處置深度最大僅約 100~200 公尺，由於淺層地下水流速的作用，使得遠場範圍對核種遷移造成之遲滯效應不大。要積極降低核種外釋的最有效方法應強化處置容器的堅固性以及緩衝材料

的阻絕性。核能研究所已針對低放射性廢棄物高完整性盛裝容器(HIC)之處置容器進行相關研發工作，緩衝材料的阻絕性則為另一提昇處置場安全的技術課題。

在高放射性廢棄物方面，由於用過核子燃料在處置初期分裂核種持續釋放餘熱，導致處置場周圍環境溫度升高，溫度升高將造成地下水的水壓上升或相態(水蒸氣)改變，致使原有的地下水流場發生變化；溫度的改變亦使得處置場附近母岩產生熱應變，應變增加使得處置場附近的母岩裂隙或孔隙產生變化，因此處置場的溫度-水流-應力反應 (THM, Thermal-Hydrological-Mechanic Processes)的耦合作用乃是不可分割的。

核能研究所為國內唯一的核能研究單位，參與放射性廢棄物處置的相關研究實責無旁貸。在低放射性廢棄物處置方面，核能研究所積極參與國內低放射性廢棄物處置計畫，除進行處置場安全評估(PA)外，遠場與生物圈特性台電公司已委由中興公司處理，因此近場部份的研究是核能研究所可積極參與的部份。高放射性廢棄物處置研究上，核能研究所亦於台電 99-101 年度委託計畫開始規劃進行耦合行為研究。

日本電力中央研究所(Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI)在放射性廢棄物處置技術研發放有很好的成果，如：

1. 膨潤土高速離心壓密試驗：該實驗利用高速離心機進行不同壓密密度之膨潤土於不同離心加速度下之變形研究，實驗結果顯示不同的膨潤土壓密密度在長期受壓地層中會造成極大差異之變形。
2. 氣體傳輸試驗：進行氣態核種(H-3)於膨潤土的傳輸行為研究，實驗結果運用其自行開發的 GETFLOWS 模擬軟體進行比較分析可獲得相近的擬合結果。
3. 地下水定年實驗：該實驗與澳洲合作，於澳洲 Great Artesian Basin 進行，在該盆地密集鑽井並採取地下水樣，量測地下水中的 Cl-36 與 He-4，經由 Cl-36 與 He-4 的衰變關係，計算地下水流速。
4. 處置孔長期行為研究：建構 1/30 尺度的離心模型進行處置孔長期行為研究，並透過擴尺度定理(scaling law)，分析處置孔附近可能的 T-H-M 耦合行為。

因此，此行主要目的在於向 CRIEPI 學習與研討：1.氣態核種在緩衝材料(膨潤土)內的遷移特性實驗；2.核種遷移實驗相關分析技術；3.參與該所相關實驗之進行及討論，以期有助於未來核能研究所可自行建立相關實驗能力並取得本土化有關參數，以回饋安全

評估之參考。

(二)訓練時程

從 2012 年 10 月 26 日起至同年 12 月 24 日止，共 60 天。

(三)內容

訓練內容包括兩部份：1.專題討論，2.實地觀摩實習，主要內容可參考表 1。詳細內容於後面章節說明。

表 1 人員訓練主要議題內容

Work ID	Issues	Person(s)
0	住宿和交通介紹 (Introduction of living and commuting)	Kawanishi(河西) Miyakawa(宮川) Shin(新)
1	歡迎與行政手續 (Welcome Address and administrative procedure)	
1.1	歡迎介紹 (Welcome address)	Kawanishi
1.2	安全貿易管制說明 (Security Trade Control)	Nishimura(西村) Shin
2	日本高放與低放處置計畫的最新發展 (Latest Developments HLW & LLW Disposal Program in Japan)	Kawanishi
3	CRIEPI 參與的高放與低放處置計畫 (Radioactive waste management project in CRIEPI / HLW, LLW)	Kawanishi
4	幌延場址現地觀摩 (Horonobe site visit)	Kiho(木方) Shin
5	水-熱-力耦合機制研究 (H-T-M coupling mechanics research activities)	Sawada(澤田)
6	瑞浪場址現地觀摩 (Mizunami site visit)	Ya-Tanaka(田中)
7	六所村場址現地觀摩 (Rokkasho site visit)	Kawanishi,
8	核種遷移研究 (Nuclear nuclide migration research activities)	Ya-Tanaka
9	橫須賀場址現地觀摩 (Yokosuka site visit)	Miyakawa
10	在壓密膨潤土內的氣體遷移行為研究 (Gas migration behavior in compacted bentonite)	Yu-Tanaka
11	離開 CRIEPI 的行政手續 (Procedure for leaving CRIEPI)	Kawanishi Miyakawa Shin
A	個人專業研究報告 (Presentation by Mr. Chen's work)	Chen
B	CRIEPI 研究人員簡報 (Presentation by CRIEPI researchers)	Researchers

二、過程

(一)行程

1. 預備與結束相關工作

10月26日搭乘長榮航空 BR 2198 班機於 08:50 從桃園國際機場出發，原訂於當日 13:15 抵達日本東京成田機場，但該班機提早約 0.5 小時抵達。CRIEPI 由 Dr. Miyakawa (Kimio Miyakawa, 宮川 公雄) 來機場接機。隨後完成拜會 Dr. Kawanishi (Motoi Kawanishi, 河西 基) 及辦理報到等相關事宜。

10月29日主要辦理相關行政手續：製作員工證(圖 1)、安裝個人用電腦與軟體、建立電腦網路系統、工安教育與緊急聯絡卡，和領取聯絡用 PHS 手機(圖 2)等，在安裝電腦網路上獲 Dr. Tomioka (Tuichi Tomioka, 富岡 佑一) 諸多協助。

10月30日進行防止核子武器擴散之保安教育與智慧財產權保護之教育訓練，由 Mr. Nishimura (Tomohiro Nishimura, 西村 友宏) 擔任主要訓練者並由 Dr. Shin (Koichi Shin, 新 浩一) 陪同。Mr. Nishimura 隸屬智慧財產權暨技轉中心，因此，他乃遠從東京市伯江地區至我孫子市來執行此工作。主要訓練內容說明台灣與日本皆已加入防止核子武器擴散協定，因此，相關文件、技術與商品皆需符合此協定之要求。個人在日本的執行方式只要秉持與在台灣的方式即可。相關訓練文件見附件 A。

12月21日開始辦理結束工作，並於 24 日正式辦理離開 CRIEPI 的相關手續，並於當日下午搭乘長榮航空 BR 2197 班機從日本東京成田機場 14:00 出發，17:05 抵達桃園國際機場。



圖 1 員工證(研修生)



圖 2 PHS 聯絡用手機

2. 訓練方式

訓練方式區分成專題討論與實地觀摩兩部份。專題討論採用主要研究人員口頭報告與面對面討論方式進行，由主要研究人員事先給予研究成果有關文章或投影片資料，規劃口頭報告與討論時間後，進行面對面的報告與討論。訓練時程、課題和負責人如表 1 所列。實地觀摩訓練方式則在相關地下實驗室或試驗場址，由計畫主要執行人員於現場說明指導並進行討論。專題討論內容和實地觀摩的詳細內容在後面章節詳細說明。

3. 電力中央研究所(CRIEPI)簡介

日本電力中央研究所(CRIEPI)，簡稱電中研。組織架構如圖 3 所示，各單位位置見圖 4。電中研的研究單位分散在六個地區(五個縣市)中，在東京市內有兩個地區，分別為(1)大手町(Otemachi)地區，和(2)伯江(Komae)地區。

- (1)大手町(Otemachi)地區：是電中研主要辦公室所在地區，其負責經費管理、計畫管理及社會溝通等主要行政管理，社經研究中心亦位於此地區中。
- (2)伯江地區：此地區包含兩個主要研究實驗室—系統工程研究實驗室(System Engineering Research Laboratory)和核能技術研究實驗室(Nuclear Technology Research Laboratory)，和四個研究中心—輻射安全研究中心(Radiation Safety Research Center)、人因研究中心(Human Factors Research Center)、智慧財產權暨技轉中心(Center for Intellectual Property & Technology Licensing)和行政支援中心(Administrative Support Center)，其中輻射安全研究中心和人因研究中心隸屬核能技術研究實驗室。
- (3)我孫子(Abiko)地區：位於千葉(Chiba)縣境內，鄰近東京市。該地區內包括土木工程研究實驗室(Civil Engineering Research Laboratory，地球工學研究所)和環境科學研究實驗室(Environmental Science Research Laboratory，環境科學研究所)，在土木工程研究實驗室下另有核燃料循環後端研究中心(Nuclear Fuel Cycle Backend Research Center)。核燃料循環後端研究中心為本次國外公差人員訓練主要單位。

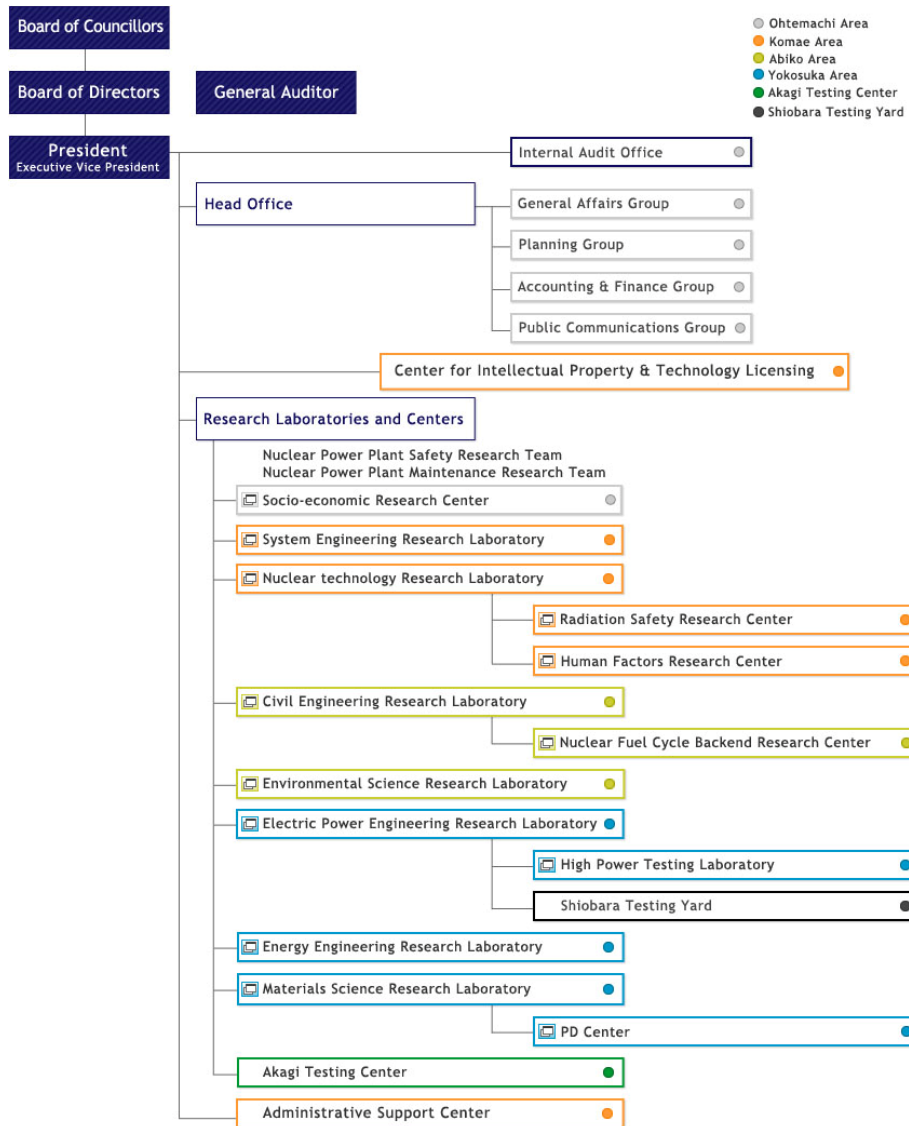


圖 3 CRIEPI 的組織架構圖

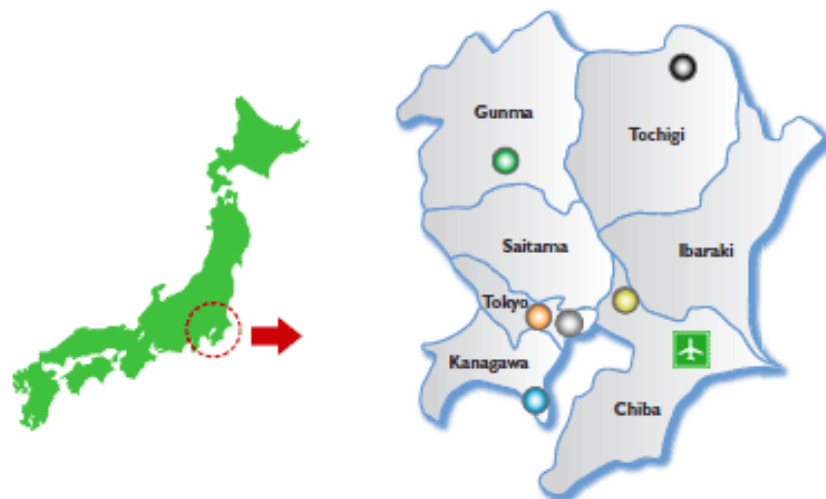


圖 4 CRIEPI 各單位所在位置圖

(4)橫須賀(Yokosuka)地區：位於神奈川(Kanagawa)縣內，有三個主要電力研究實驗室位於此地區，包括電力工程研究實驗室(Electric Power Engineering Research Laboratory)、能源工程研究實驗室(Energy Engineering Research Laboratory)和材料科學研究實驗室(Materials Science Research Laboratory)。在電力工程研究實驗室下另設立高功率測試實驗室(High Power Testing Laboratory)；材料科學研究所下則另設立產業發展中心(PD center)。

(5)赤城測試中心(Akagi Testing Center)，位於群馬(Gunma)縣境內；

(6)鹽原測試場(Shiobara Testing Yard)，位於櫛木縣(Tochigi)內。

(二) 專題討論

專題討論進行方式由 CRIEPI 核燃料循環後端研究中心的資深研究人員，針對其研究成果進行簡報並進行討論，討論內容包括實驗理論、實驗進行方式、實驗控制與實驗設備使用方式或改進經驗等。經由此討論方式可直接瞭解其研究目的與實際實驗經驗。以下將依各主題進行說明。

1. CRIEPI 在 HLW&LLW 的 R&D 現況

此主題說明由 Dr. Kawanishi 以 2012 年 11 月 8 日受物管局邀請參加「Spent Fuel Dry Storage and Radwaste Disposal」專題討論會(Workshop)的簡報內容(附件 B)進行。內容主要概略說明(1)日本放射性廢棄物管理權責機構與進展；(2)低放射性廢棄物處置現況(JNFL)；(3)高放射性廢棄物處置現況(NUMO)；(4)CRIEPI 參與的國際合作研究計畫；(5)在 Aspö 進行的地下水質量傳輸試驗；(6)定向鑽探技術發展；(7)地下水定年技術發展與運用；(8)離心機與地工技術發展；(9)膨潤土特性研究等(Kawanishi, 2012)。

2. 岩石力學

此主題主要研究人員為 Dr. Shin，討論內容文件如附件 C。該主題針對日本目前考量的 HLW 深層處置之不同岩性地層，包括堅硬岩石與沈積岩石兩方面，經由蒐集分析日本國內相似地層與深度的隧道開挖紀錄，以瞭解未來深層地質處置隧道開挖時可能的困難。

在堅硬岩石方面，主要分析花崗岩與角閃岩(Hornfel)內隧道開挖產生岩爆(Rock Burst)現象時的垂直應力(σ_1)與水平應力(σ_3)之差異，並其他岩石力學特性(楊氏模數、波松比等)的差異，統計分析當 $(\sigma_1 - \sigma_3) > 15$ 以及 $(3\sigma_1 - \sigma_3) > 50$ 的情況下，容易發生岩爆現象，而花崗岩比角閃岩更容易發生，乃因花崗岩具低波松比和單軸壓應力(UCS)的關係。在沈積岩石方面在分析相關的參數後，歸納結論為當 $UCS/\sigma_v < 2$ 及 $0.0435\gamma + 0.00928S + 0.0765UCS/\sigma_v < 1$ 時， γ :單位重(kN/m^3)、 S :含砂量(%), 有可能發生擠壓(Squeezing)現象(Shin et al., 2011)。

3. 熱－水－力耦合

此主題主要研究人員為 Dr. Sawada (Masataka Sawada, 澤田 昌孝), 討論內容文件如附件 D。內容主要包括(1)在日本運用地下坑道自行進行的實驗(附件 D.1); (2)與瑞典合作的現地試驗(附件 D.2)。

(1)在日本運用地下坑道自行進行的實驗：該實驗 10 年前在神奈川縣 (Kanagawa prefecture)相模原市(Sagamihara city)進行，該坑道處於地下 50 m，原屬於某電廠所有供作地下設施研究，該處岩層主要為泥岩夾薄砂岩，由於維護困難，該試驗場地在 2 年前已經回填封閉。該實驗規模僅 60 cm × 200 cm，主要比較現地量測結果與數值模擬結果在溫度與應力變化上的差異。結果顯示具有相似的變化趨勢，而數據上的差異在可容許範圍(Inohara et al., 2011)。

(2)與瑞典合作的現地試驗：該實驗主要模擬處置罐在處置孔掩埋後，因其衰變熱作用造成緩衝材料與鄰近母岩的溫度、飽和度、應力變化等情形的現地量測結果與數值模擬結果差異研究。在該合作研究計畫中，日本方面採用自行發展的軟體 LOSTUF 並自行擬合的膨潤土孔隙率與滲透係數關係，以及膨潤土之飽和度與吸力(Suction)關係，進行模擬比較，結果顯示具有相近的變化趨勢，並可接受的數據差異範圍 (Zandarina et al., 2011)。

4. 膨潤土內的化學交換行為

此主題主要研究人員為 Dr. Yokoyama (Shingo Yokoyama, 橫山 吾), 討論內容文件如附件 E。該研究目的在瞭解處置場中，當地下水進入處置場並接觸到工程障壁的混凝土或水泥時，地下水將變成鹼性水質，此鹼性水質將對膨潤土內的 Ca 離子，造成離子交換現象。由實驗結果顯示，在膨潤土接觸面上將因 Ca 離子溶解而產生較大孔隙並增加導水性，但 Ca 離子又會與 OH 離子結合成 Ca(OH)₂ 並產生沈澱，此沈澱現象將填充於膨潤土中的孔隙之間減低導水性。

5. 膨潤土膨脹行為

此主題主要研究人員為 Dr. Yu-Tanaka (Yukihisa Tanaka, 田中幸久), 討論內容文件如附件 F。該研究主要考量在幌延地下實驗室的環境, 該處的地下水含一定程度的鹽分, 同時考量當膨潤土接觸此鹽水後產生膨脹, 對周圍環境產生之壓應力、處置罐的不均勻沉陷、膨潤土內之密度可能重新分布等的影響。結果顯示當膨潤土的壓實密度達 1.8 kg/m^3 後, 滲透係數便不受鹽分差異影響; 膨脹壓力在高鹽分環境反而比低鹽分環境低; 密度在地下水滲入後更顯得分佈均勻(Tanaka, 2012)。

6. 膨潤土內氣體傳輸行為

此主題主要研究人員亦為 Dr. Yu-Tanaka, 討論內容文件如附件 G。該研究主要考量放射性廢棄物內可能產生氫氣, 當氫氣的量高達一定程度後, 會穿過膨潤土而外釋。其研究運用數值模擬方式並實際實驗方式進行, 顯示氣體壓力須超過某一特定壓力後, 膨潤土才會開始產生裂隙, 並隨著氣體壓力的上升, 裂隙逐漸擴大與連接, 最後, 當氣體壓力超過最終限定壓力後, 氣體方能穿過膨潤土造成外釋, 限定壓力與膨潤土的張應力、有效軸向應力和孔隙水壓有直接關係(Tanaka et al., 2010)。

7. 橫須賀計畫

此計畫說明由 Dr. Kondo (Hirofumi Kondo, 近藤 浩文) 進行, 討論內容文件如附件 H。該計畫為 NUMO 委託合作計畫, 以 CRIEPI 運用於橫須賀地區之各種探勘技術, 作為 NUMO 委託發展之高放處置技術可行性驗證。該計畫主要區分成兩階段, 第一階段(2006-2010)主要進行地球物理與地質鑽探研究, 第二階段(2010-2011)進行地下水監測技術研究。第一階段進行的地球物理研究, CRIEPI 的核燃料循環後端研究中心運用相關物理探勘技術輔助在橫須賀的 CRIEPI 進行大樓基礎探勘, 並作為 NUMO 之未來場址物理探勘技術可行性驗證; 在地質鑽探方面其成果包括更新地質模型、與地球探勘剖面交叉比對、微生物研究之地層定年、岩石地化特性研究、岩層內水質特性研究等, 用以確認並更新該地區之地質演變情形。第二階段進行的地下水監測技術研究主要發展遠端水質監測系統, 運用通訊技術將在橫須賀量測的資料傳送至我孫子的實驗室中, 並發展包括地潮(Earth Tide)和大氣壓

力變化的濾波分析技術。

8. 地下水定年

此主題主要研究人員為 Dr. Hasegawa (Takuma Hasegawa，長谷川 琢磨)，討論內容文件如附件 I。區分成兩部份，第一部份的研究是與澳洲 CSIRO 合作進行 Great Artesian Basin 的地下水定年研究，該研究中以其自己的設備進行 He-4 的定年分析，而 Cl-36 則委由蘇聯某研究機構代為分析，進行結果交叉比較。第二部份則將此技術運用於橫須賀計畫中，量測該處岩層內地下水年代，確定該處地下水處於停滯狀態。

9. 核種遷移

此主題主要研究人員為 Dr. Ya-Tanaka (Yasuharu Tanaka，田中 靖治)，討論內容文件如附件 J。此討論主題包含與 SKB 合作的現地實驗，以及針對 HLW 的封閉概念數值模擬研究兩部份。

(1)與 SKB 合作的現地實驗：CRIEPI 從 1992 年起便與 SKB 合作進行核種傳輸有關試驗，CRIEPI 在 Äspö 場址使用的坑道位置位於 TRUE-1。討論主題針對在 TRUE-1 進行的非吸附性示蹤劑試驗，並以 CRIEPI 自行建立的 FEGM/FERM 數值模擬軟體進行分析比對。結果顯示部份觀測井位置的溶質濃度分佈可以有效模擬，而部份觀測井位置的溶質濃度分佈無法完全的模擬，其原因乃在於僅假設裂隙分佈為單一裂隙，且裂隙內的傳導係數資訊欠缺所至。

(2)HLW 的封閉概念數值模擬：此部份研究乃針對深層處置場封閉後，考量聯絡坑道或通氣坑道可能成為主要的核種外釋路徑而進行數值模擬，探討因素包括沈積岩層構築坑道可能的襯砌層具較高導水係數，或結晶岩層的開挖擾動帶具較高導水係數的情形下，分析在坑道中分段設置阻水區塊(Plug)的數量，結果顯示在沈積岩層的情形下需設置 5 個阻水區塊，而結晶岩層中僅需設置 3 個阻水區塊。

10. 水泥材料特性

此主題主要研究人員為 Dr. Kurashige (Isao Kurashige，臧重 勳)，討論內容文件如附件 K。Dr. Kurashige 因臨時工作需要出差，以致無法有直接面對面的討論學習的機會。

11. 個人研究

在 CRIEPI 受邀進行個人研究簡報，簡報內容如附件 L。主要說明個人在安全評估上的研究成果，內容含括兩部份，第一部份為基礎研究：包括 GoldSim 平台的管流模組驗證與運用、GoldSim 和 AMBER 的比較、GoldSim 平台的管流模組和區塊模組特性研究、GoldSim 和 FracMan/PA 的連結技術、GoldSim 溝通面板運用技術。第二部份為運用研究，主要探討如何以 GoldSim 建構具代表性安全評估模型。

(三)現地觀摩

此次國外公差 CRIEPI 共安排五處(四個地區)的現地觀摩，從北而南分別為 1.位於北海道縣幌延市的幌延地下研究中心(Horonobe Underground Research Center)，此研究中心隸屬 JAEA；2.同樣位於北海道縣幌延市的幌延鑽探試驗場，此鑽探試驗場隸屬 CRIEPI，該處執行之鑽探試驗是與 JAEA 合作的研究計畫；3.位於青森縣上北郡六所村的低放處置場，該處置場隸屬日本核燃料有限公司(Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL)；4.位於神奈川縣橫須賀市的橫須賀試驗場，該試驗場位於 CRIEPI 的橫須賀地區所在地內；5.位於岐阜縣瑞浪市的瑞浪地下研究實驗室(Mizunami Underground Research Laboratory, MIU)。各觀摩地點如圖 5 所示。

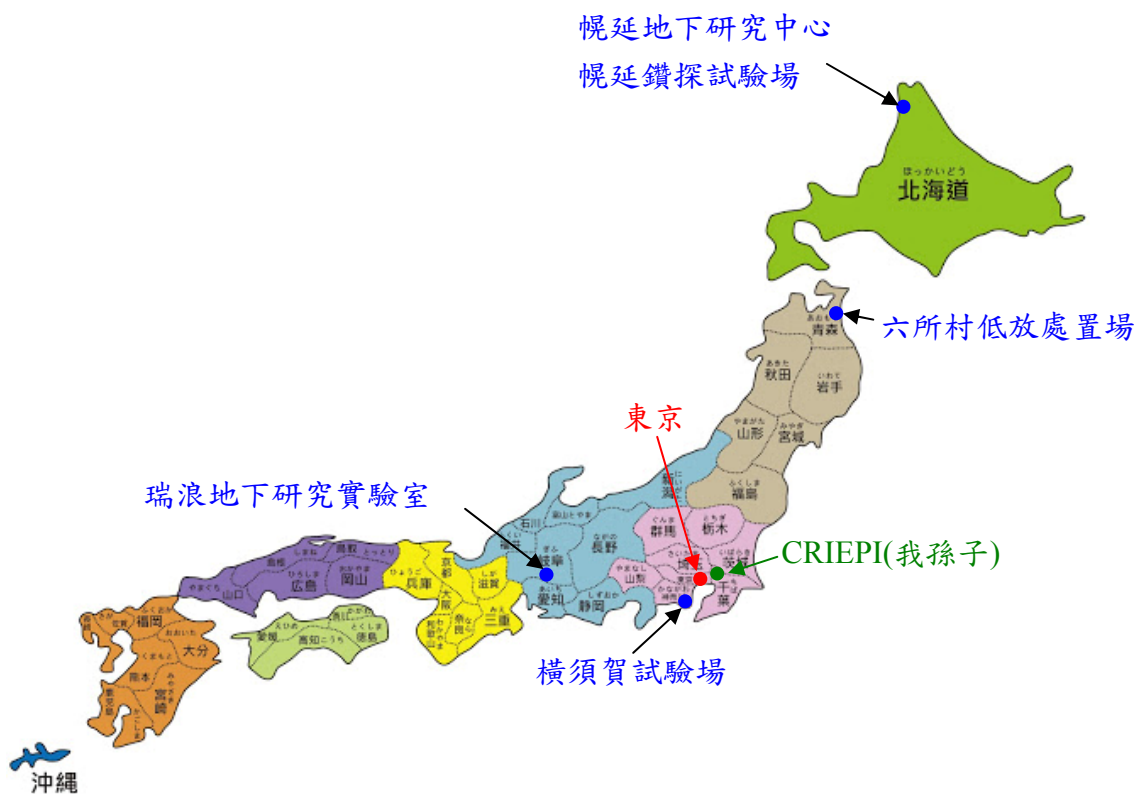


圖 5 現地觀摩位置圖

1. 幌延地下研究中心

(1) 背景

位於北海道縣幌延市的幌延地下研究中心隸屬 JAEA，作為沈積岩深層地質處置相關技術的研究。該研究中心於 2001 年 4 月成立，從該年 6 月開始進行空中磁測及兩口探勘井開挖；2002 年 7 月公告地下研究中心範圍，當年 12 月再公告地下研究中心建構場址位置；2003 年 3 月取得地下研究中心建構場址土地使用許可，該年 7 月進行破土儀式並開始地面準備工作；2004 年開始進行第二階段地面準備工作並開始建構地表建築物，相關建築物於 2006 年完工；2005 年相關地面探勘工作結束並開始預備坑道構築工作；2006 年開始構築挖掘立坑；2010 年進入運轉階段。幌延地下研究中心的建構程序與主要工作如圖 6 所示。

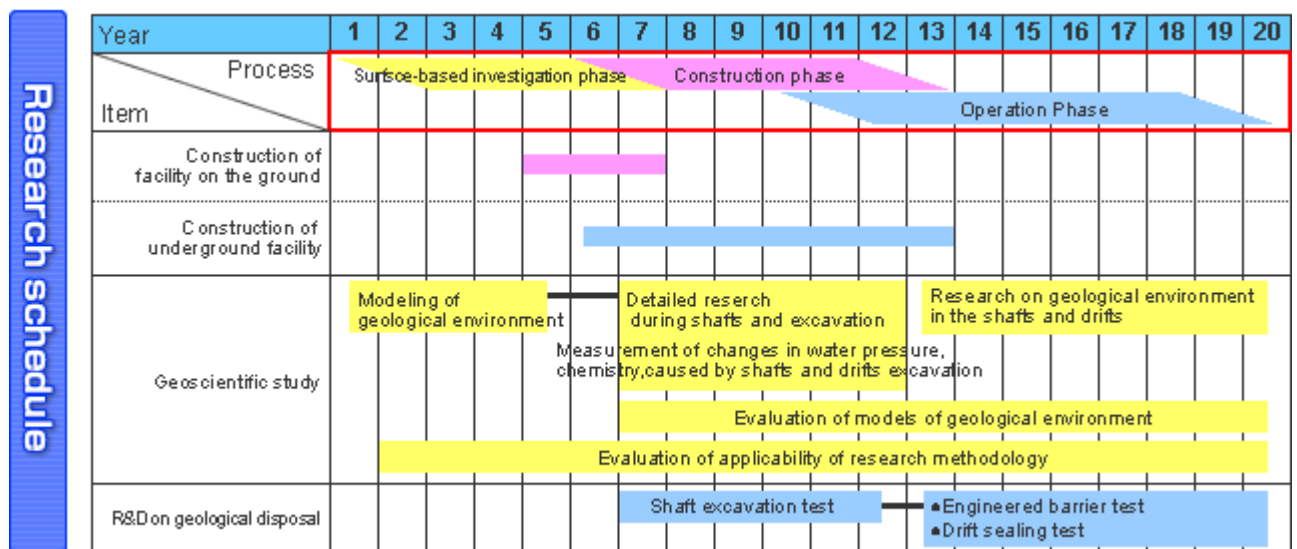


圖 6 幌延地下研究中心時程規劃與主要研究工作

(2) 平成 23 年度(2011.4-2012.3)成果

幌延深層研究計畫主要區分成三個階段，第一階段為地面調查研究階段，第二階段為坑道挖掘(地下設施建構)與研究調查階段，第三階段為地下設施研究調查階段。平成 23 年度的主要研究範圍如圖 7 所示。包括：A.地層科學研究方面：(A)地質調查技術開發、(B)深地層工程技術開發、(C)地質環境長期穩定性研究；B.地層處置研究；C.聯合研究：(A)日本國內大學、(B)日本國內研究機構、(C)國外機構(JAEA, 2012c)。

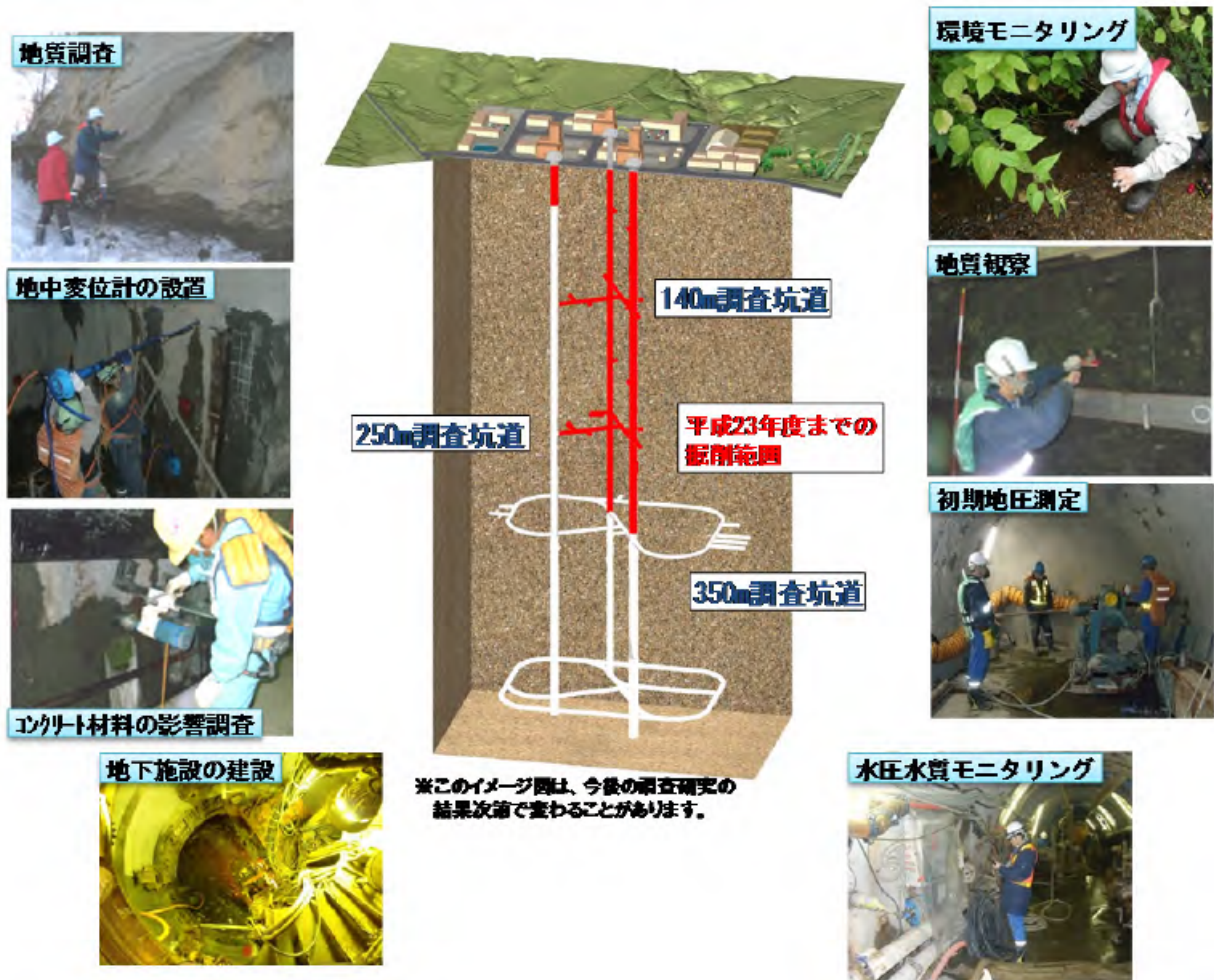


圖 7 幌延深層研究計畫平成 23 年度的主要研究範圍

A. 地層科學研究方面

(A)地質調查技術開發：進行地下 140 m 隧道開挖時，隨開挖進程量測岩石彈性波速度的變化，藉以瞭解開挖方式對岩石彈性波速度的影響，結果示於圖 8，顯示隨著開挖推進，岩石彈性波速度呈現衰減現象，但此衰減現象隨著時間增加而呈現穩定狀態。

(B)深地層工程技術開發：在地下 250 m 深的立坑挖掘中，使用三維雷射掃描技術，評估並觀測因開挖造成的坑道壁面變形情形，藉以調整開挖進程與方式。

(C)地質環境長期穩定性研究：主要進行地質環境的長期變遷研究，藉由地下水中鹽分的分析，以及有關定年分析結果，再配合地質構造的研究，建構此地區的地質長期演變模型(圖 9)。

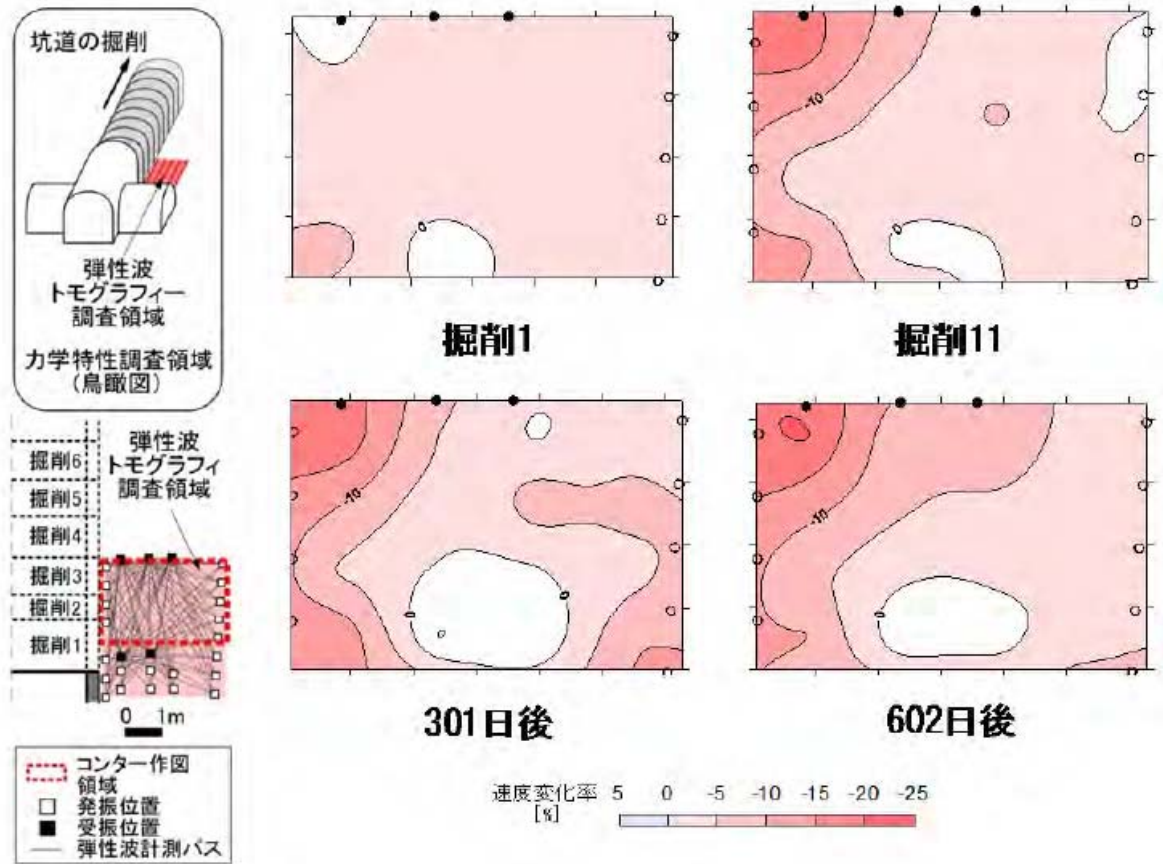


圖 8 岩石弾性波速度隨隧道開挖進程變化

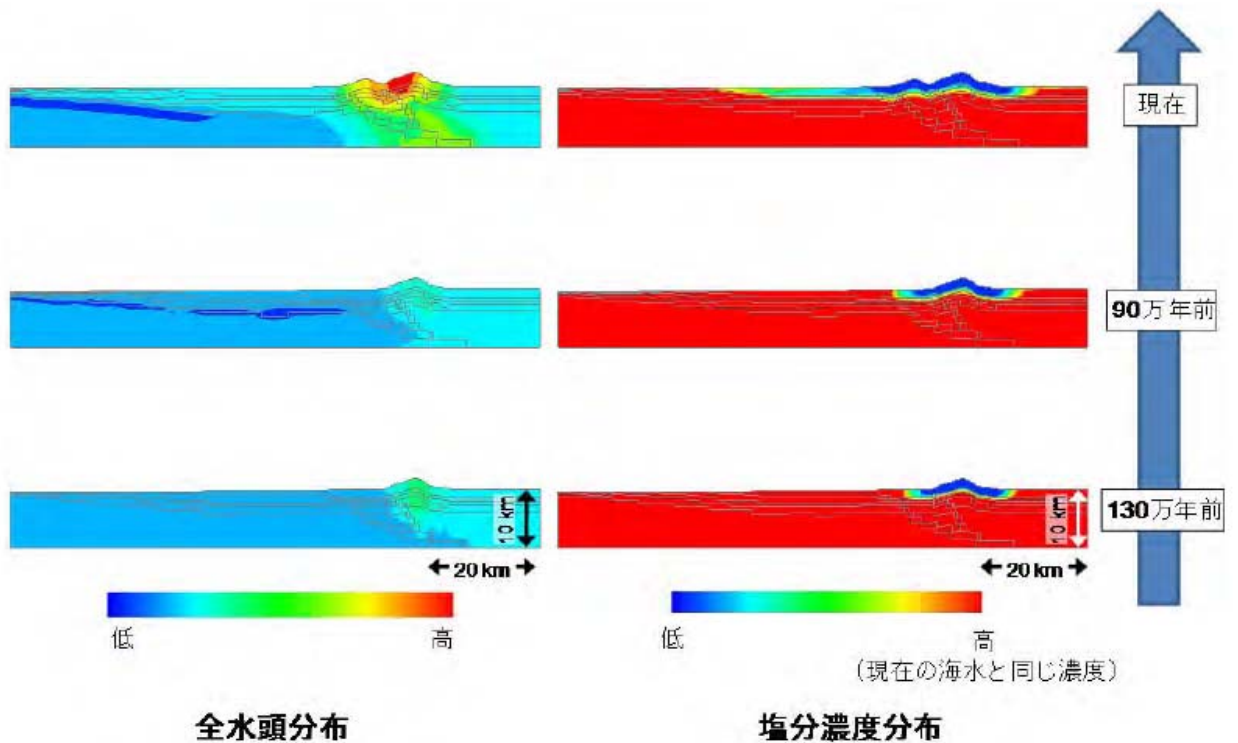


圖 9 地質長期演變模型

B.地層處置研究：用以提高處置技術的可靠性。主要進行工程障壁技術驗證，開發膨潤土塊體建構技術(圖 10)。

C.聯合研究

(A)日本國內大學與研究機構：(a)北海道大學：進行地質環境調查數據的品質確保措施研究檢討；(b)東京都市大學：地層中微量元素の遷移研究；(c)岡山大學：光纖用於濕度量測の技術開發。

(B)日本國內研究機構：(a)幌延地圈環境研究所：岩石和地下水中微生物特性與化學特性研究；(b)CRIEPI：地質和地下水環境特性關係の聯合研究；(c)RWMC(Radioactive Waste Management Funding and Research Center)：真正地質處置時の設備維護相關工程技術開發與研究；(d)AIST (Advanced Industrial Science and Technology)：進行安全評估方法適用性應用研究。

(C)國外機構：(a)NAGRA：從過去到現在的地下水水質和水流形成過程研究；(b)Mont Terri Project：鐵質材料府實現地研究。



圖 10 膨潤土塊體建構技術開發

(3) 平成 24 年度(2012.4-2013.3)研究計畫

平成 24 年度的主要研究範圍如圖 11 所示，包括：**A.地層科學研究方面**：**(A)**地質調查技術開發、**(B)**深地層工程技術開發、**(C)**地質環境長期穩定性研究；**B.地層處置研究**；**C.聯合研究**：**(A)**日本國內大學、**(B)**日本國內研究機構、**(C)**國外機構。

A.地層科學研究方面

(A)地質調查技術開發：**(a)**隨坑道挖掘進程，取得地下水和岩石成分，用以驗證評估第一階段建立的地質模型是否合理；**(b)**持續開發在地下設施中的調查技術與設備；**(c)**繼續開發在濱海地區的地下水調查研究，並用以瞭解海水與淡水的混合機制。

(B)深地層工程技術開發：**(a)**隧道開挖中岩石變形與位移量的量測；**(b)**評估地下開挖時，湧水現象的可能性與因應對策規劃；**(c)**針對湧水現象，進行新灌漿技術與材料的開發。

(C)地質環境長期穩定性研究：**(a)**地下水水質與流向的長期變化預測、地形與地質調查研究、岩石與地下水內氣體分析研究等用以進行長期地質環境演變分析；**(b)**針對斷層活動與地震活動對地質環境演變的影響，繼續對地震活動和地殼運動關係特性進行研究。

B.地層處置研究：

(A)針對第三階段進行人工障壁阻隔性測試研擬詳細研究計畫；

(B)使用低鹼性混凝土材料對圍岩與地下水的影響；

(C)進行緩衝材料裝置、定位以及長期變化研究；

(D)工程障壁於實際地下環境的適用性研究。

C.聯合研究：

(A)日本國內大學與研究機構：北海道大學、岡山大學；

(B)日本國內研究機構：幌延地圈環境研究所、CRIEPI、AIST；

(C)國外機構：NAGRA、Mont Terri Project。

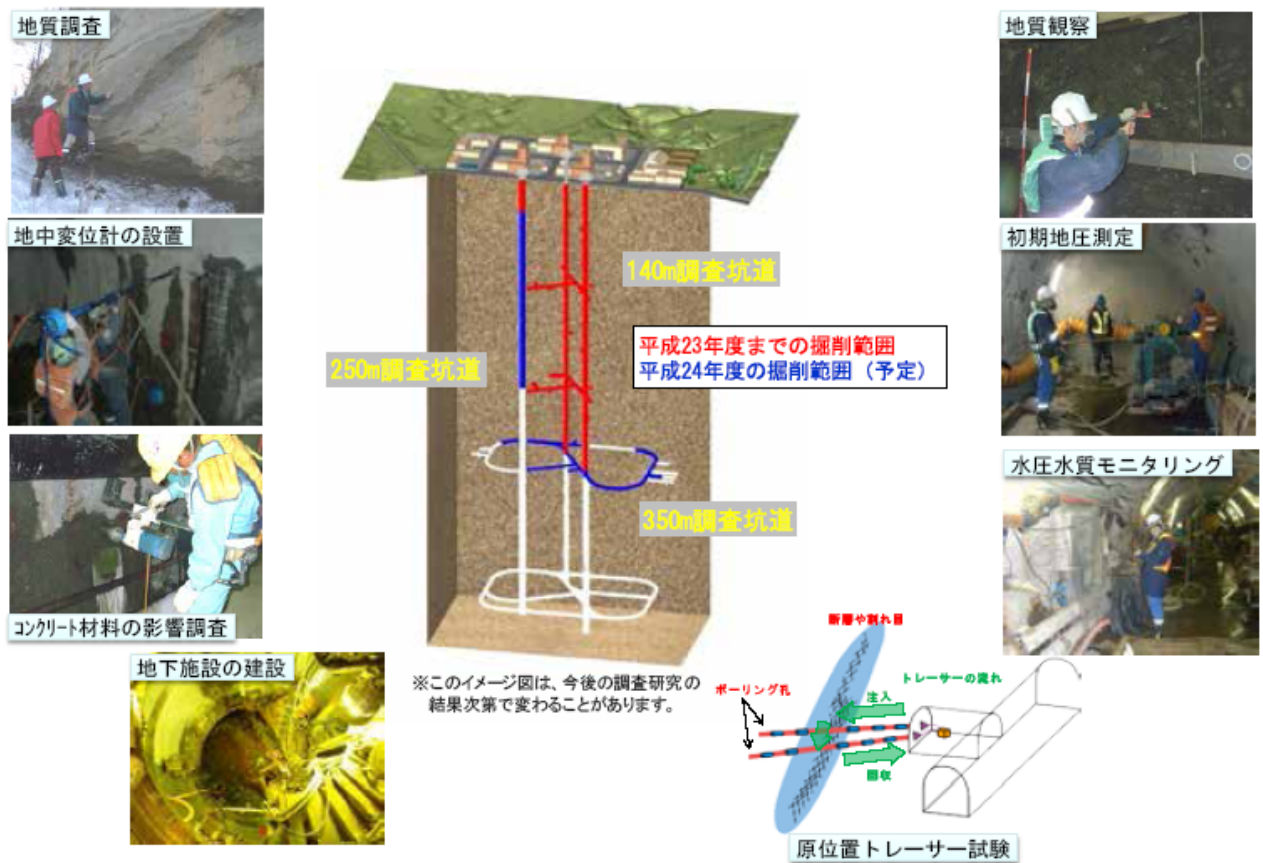


圖 11 幌延深層研究計畫平成 24 年度的主要研究範圍

(4) 現地觀摩

於 2012 年 11 月 20 日由我孫子市出發至東京羽田機場搭乘日本國內航線前往北海道的稚內機場(圖 12)，再由 CRIEPI 駐場人員開車接送至幌延。幌延深層地下實驗室的現地觀摩於 11 月 22 日進行，行程如表 2 所示。當天由 CRIEPI 的 Dr. Kiho (木方 建造，Kenzo Kiho)以及 Dr. Shin 陪同前往。

幌延地下研究中心內的各主要建築物分佈示於圖 13 中。地創館主要供作民眾溝通與相關研究成果展示。進入地下實驗室前於此館內換裝並著工程膠鞋，由於觀摩當天下雪，館方亦提供雪衣外套，以方便移動至坑道入口(圖 14)。觀摩行程由地下研究中心的西立坑進入，而由東立坑離開(圖 15)。

表2 現地觀摩行程表

時間	地點	主要工作內容	行程[交通路線]
11月20日 (去)	幌延市	去程	千葉縣我孫子市-東京都上野站[JR 常磐線(快速上野行)]-東京都浜松町站[JR 京浜線(磯子行)]-羽田機場[東京モノレール空港(羽田空港第2ビル行)]-北海道縣稚內空港[ANA 571]
11月21日	幌延鑽探試驗場	鑽探試驗設備觀摩	
11月22日 (回)	幌延地下研究中心	幌延地下研究中心現地觀摩	北海道縣稚內空港-羽田機場[ANA 572]-東京都浜松町站[東京モノレール空港(浜松町行)]-東京都上野站[JR 京浜線(大宮行)]-千葉縣我孫子市[JR 常磐線(快速取手行)]
12月17日 (去)	青森縣上北郡六所村的低放處置場	六所村低放處置場現地觀摩	千葉縣我孫子市-東京都上野站[JR 常磐線(快速上野行)]-東京都浜松町站[JR 京浜線(磯子行)]-羽田機場[東京モノレール空港(羽田空港第2ビル行)]-青森縣三沢空港[JAL 1229]
12月18日 (回)	青森縣上北郡六所村的低放處置場	六所村低放處置場現地觀摩	青森縣三沢空港-羽田機場[JAL 1226]-東京都浜松町站[東京モノレール空港(浜松町行)]-東京都上野站[JR 京浜線(大宮行)]-千葉縣我孫子市[JR 常磐線(快速取手行)]
11月26日 (去)	橫須賀試驗場	水文試驗場現地觀摩	千葉縣我孫子市-東京都上野站[JR 常磐線(快速上野行)]-東京都東京站[JR 山手線(東京方面行)]-神奈川縣逗子站[JR 橫須賀縣線(逗子行)]-CRIEPI(in 橫須賀)[公車]
11月27日 (回)	橫須賀地區	橫須賀地區地質環境見習	CRIEPI(in 橫須賀)-橫須賀[公車]-東京都品川站[京急本線(特快青砥行)]-東京都日暮里站[JR 山手線(東京方面行)]-千葉縣我孫子市[JR 常磐線(快速取手行)]
11月16日	瑞浪地下研究實驗室	瑞浪地下研究實驗室岩石裂隙水文試驗觀摩	千葉縣我孫子市-東京都上野站[JR 常磐線(快速上野行)]-東京都東京站[JR 山手線(東京方面行)]-名古屋[新幹線(新大阪行)]-岐阜縣瑞浪站[JR 央本線(快速中津川行)]

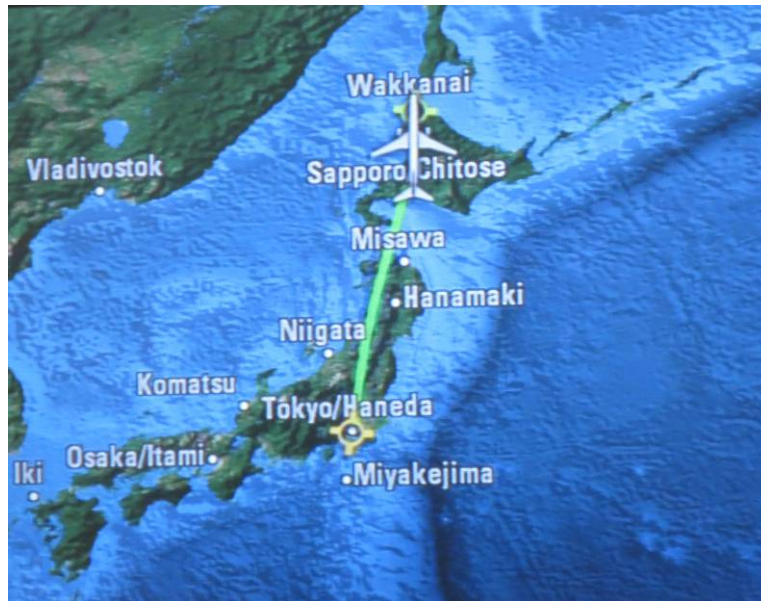


圖 12 由羽田機場搭乘 ANA 班機前往稚內機場

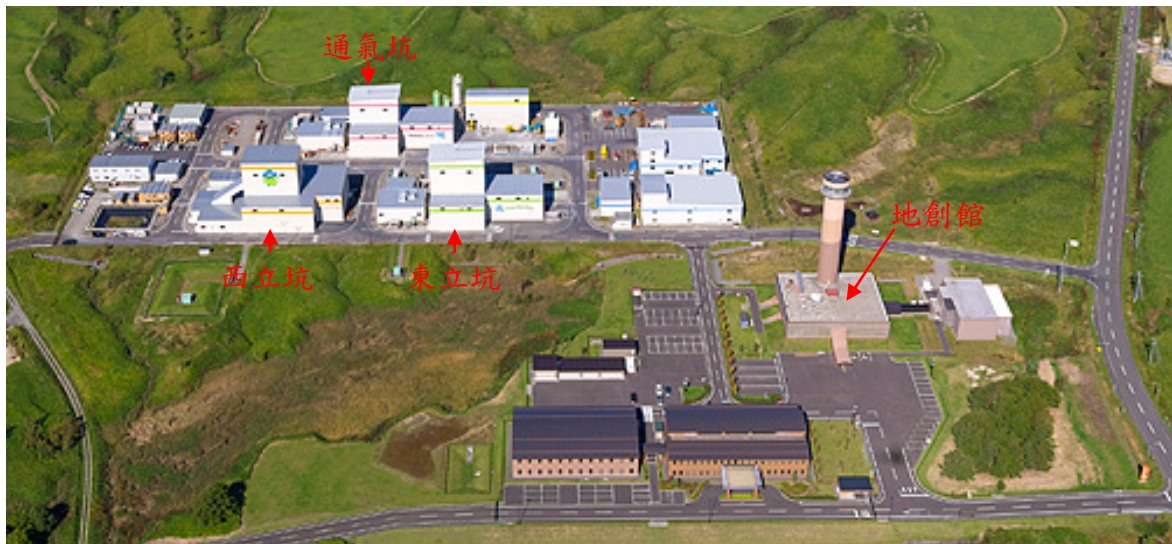


圖 13 幌延地下研究中心主要建物分佈圖



圖 14 進入地下實驗室前須換裝



圖 15 幌延地下研究中心的東立坑(右，綠色)和西立坑(左，橘色)

A.地下坑道目前僅完成地下 140 m 和 250 m 的建構，地下 350 m 處的坑道仍在建構中，因此，僅能抵達位於地下 140 m 和 250 m 處試驗坑道進行觀摩。進入坑道前每人需輸入個人核發的識別證編號(圖 16(a))，用以管控和保安，可在發生坑道倒塌時定位人員所在位置。進入地下實驗室僅能搭乘工程用小型電梯(圖 16 (b))，該電梯一次僅能承載 8 人。首先，抵達位於地下 140 m 處的試驗坑道(圖 16 (c))。

B.進入地下 140 m 處的試驗坑道，可看到在坑道側壁的開放式研究與展示窗口，用以展示實際岩層情形，並供作岩石電導度計量監測用(圖 17(a))。在此深度岩層與地下水中即發現含有大量甲烷等有毒氣體，因此，為探求此類氣體的生成來源，進行岩層與地下水中的有機質和微生物研究(圖 17(b))。同時，在此坑道內進行岩層氣體的採樣分析，並坑道內各樣氣體濃度監測，包括：甲烷(メタン)和二氧化碳等(圖 17(c))。在坑道開挖過程，同時進行水壓變化研究、岩層彈性波速度分析，以及透水係數的變化研究，結果顯示岩層內水壓變化隨與坑道面距離愈遠，受影響程度愈小(圖 18(a))；岩層彈性波速度分析結果顯示，彈性波速度隨著開挖進行而逐漸衰減，但其主要衰減處集中在接觸面角落，並隨著開挖面的逐漸遠離而逐漸呈現穩定狀態(圖 18(b))；對於不同開挖階段進行的岩層透水試驗，顯示透水係數並無明顯的變化，表示在此位置(距離壁面 2.95 m)，岩石開挖未造成岩石結構的明顯擾動(圖 18(c))。試驗坑面的試驗孔中裝設各樣的量測儀器(圖 18(d))。在另一處坑道則進行岩層水壓自動監測系統開發研究(圖 19(a), (b))，該系統主要針對此處地下水中富含氣體，當地下水流出岩層後造成壓力下降的情形下，水中的氣體即產生氣化(圖 19(c))，造成水壓量測的困難。

(a)入場前保安措施



(b)搭乘小型工程用電梯



(c)抵達地下 140 m



圖 16 進入幌延地下實驗室相關程序

(a)坑道側壁開放式展示口與岩石電導度計測



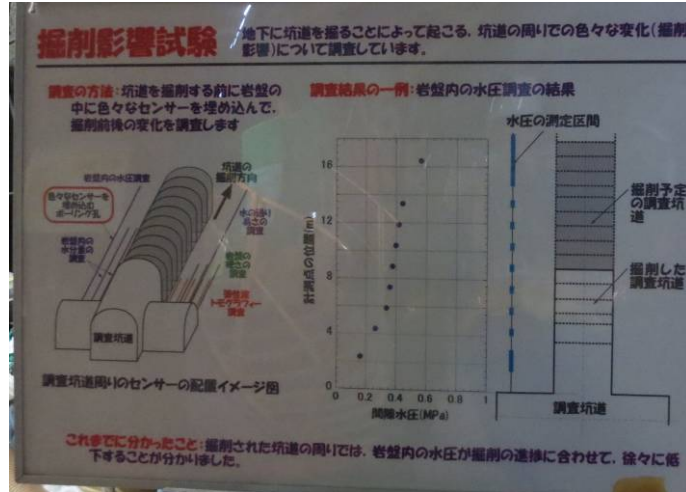
(b)岩層與地下水中有機物與微生物研究

(c)岩層氣體監測



圖 17 幌延地下實驗室地下 140 m 主要實驗(1)

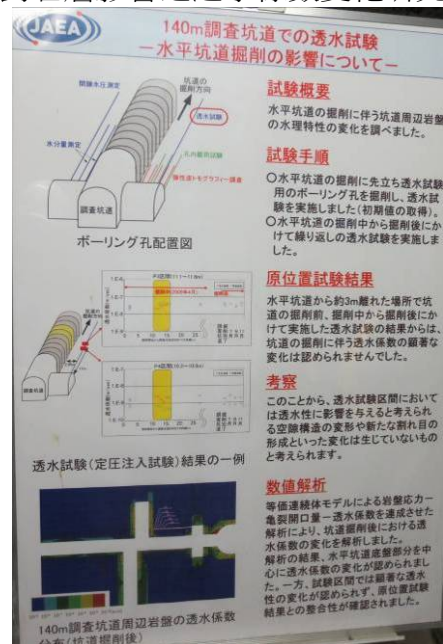
(a)開挖對岩層影響之水壓變化研究



(b)開挖對岩層影響之彈性波速度研究



(c)開挖對岩層影響之透水係數變化研究

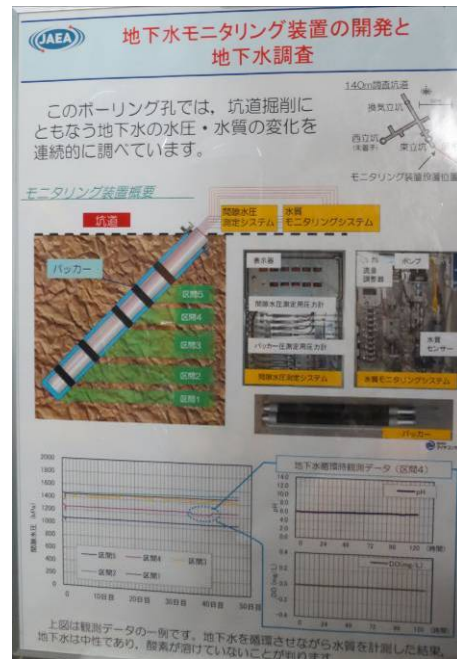


(d)弾性波速度與透水係數變化研究之試驗孔與埋設的設備



圖 18 幌延地下實驗室地下 140 m 主要實驗(2)

(a)岩層水壓變化自動監測設備開發



(b)岩層水壓變化自動監測設備



(c)岩層水壓観測口



圖 19 幌延地下實驗室地下 140 m 主要實驗(3)

C.地下 250 m 的相關試驗配置如圖 20(a)所示，由於時間限制的關係，僅進行地震之地表和地下震度觀測比較與現地示蹤劑試驗的研討。地震之地表和地下震度觀測比較結果(圖 20(b))，顯示當地表觀測到最大加速度達 8.2 G 時，地表下的最大加速度僅為 2.9 G，地表下結構物受地震影響較地面結構物小。現地示蹤劑試驗主要進行相關實驗設備的測試與分析方法的研究(圖 20(c))，幌延地下實驗室目前並未授權可進行放射性核種的現地遷移試驗，因此，該試驗目前僅為非放射性的示蹤劑試驗，現地試驗孔配置如圖 20(d)所示。

(a)250 m 坑道內相關試驗配置圖



(b)地震發生時の地表與地下震度比較



(c)示蹤劑試驗



(d)示蹤劑試驗用試驗孔分佈



圖 20 幌延地下實驗室地下 250 m 主要實驗

2. 幌延鑽探試驗場

(1) 計畫背景

幌延鑽探試驗場為 CRIEPI 於幌延地區進行沈積岩的鑽探與量測技術的試驗場地，在此場地進行的研究主要是與 JAEA 合作的深層地質處置技術開發，該研究區分成不同階段進行(圖 21)：在平成 18 年(2006)前，先在此場地附近進行 4 口試驗口的鑽掘(粗黑線)；從平成 18 年(2006)起規劃 3 年的鑽探技術開發計畫，粉紅色(粗線)為計畫初期規劃的鑽探路線，規劃每 100 m 有不同的鑽掘傾斜角度。在第一年的鑽探結果(橘色線)顯示，共鑽掘 400 m，鑽掘傾斜角度為 49.63° 較原計畫傾斜角度 55° 僅誤差 5.37° ；下年度(平成 19 年(2007))，CRIEPI 改善其設備後，該年度鑽掘傾斜角度為 84.82° 較原計畫傾斜角度 85° 僅誤差 0.18° ，鑽掘角度的控制已獲得明顯改善；至該階段結束時(平成 20 年(2008))，計畫鑽掘總長 800 m，抵達位置為垂直深度 408.2 m，水平位置 634 m，實際完成 800 m 後的位置為垂直深度 439 m，水平位置 620 m。垂直誤差約為 7.5%，水平誤差約為 2.2%。

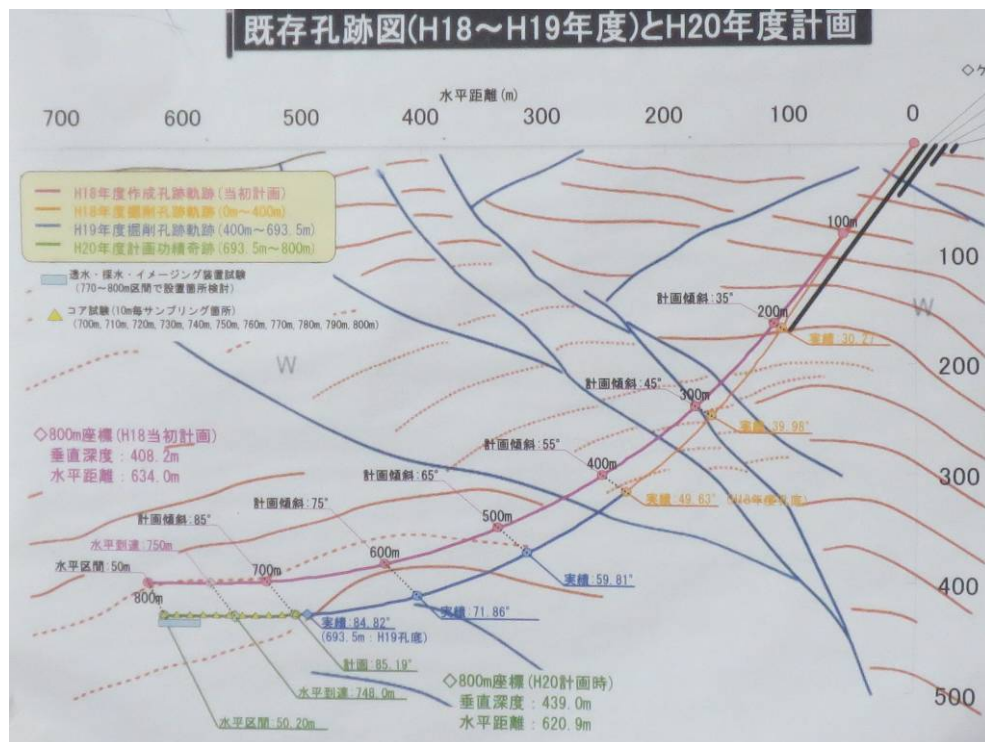


圖 21 CRIEPI 的幌延鑽探試驗計畫圖

該鑽孔穿越大曲斷層(圖 22)並其破碎帶(圖 21)，因此，CRIEPI 亦在此試驗孔中 (770 m – 800 m)進行透水試驗等相關儀器的測試。鑽孔角度的控制主要使用彎曲儀 (Bending Device，圖 23 藍色段)，該設備與控制鑽探角度技術已大量使用於石油工程，但石油工程使用的鑽孔遠大於此試驗鑽孔，且石油工程使用的鑽孔設備對於岩心保存並不重視，因此，CRIEPI 需改善相關設備以適用於此研究之中。此改善的鑽孔設備除彎曲儀外，亦增添鑽孔位置測定儀(圖 23 紅色段)，以及孔內水壓力測定段(圖 23 頂端灰色段)。另外，此鑽孔設備特殊處在於其鑽掘動力來自泥水壓，其利用地面抽水泵將泥水注入試驗孔套管中，運用特殊設計之鑽頭(圖 23 底端灰色段)，讓泥水穿過鑽頭產生鑽掘動力，驅動鑽頭進行鑽掘，並取得岩心。



圖 22 CRIEPI 的幌延鑽探試驗孔位置示意圖

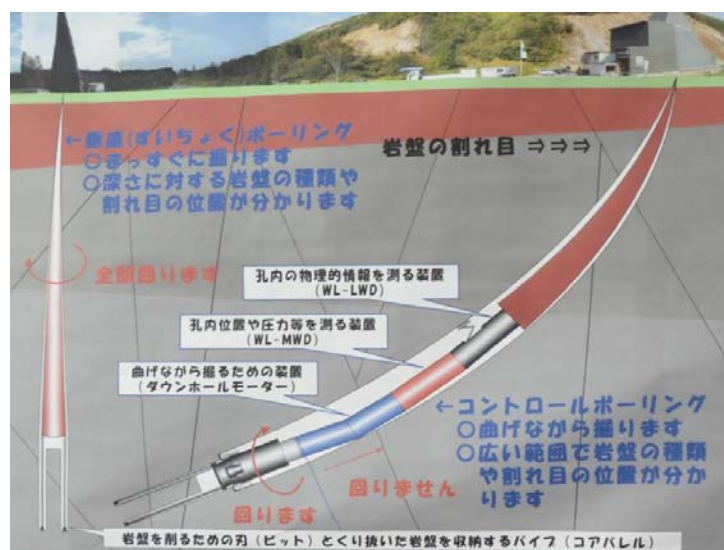


圖 23 CRIEPI 的幌延鑽探試驗孔鑽探設備概圖

(2) 現地觀摩

A. 幌延鑽探試驗場現地觀摩於 11 月 21 日進行，行程如表 2 所示。由於此鑽探試驗計畫乃是與 JAEA 的合作研究計畫，為政府計畫之一，因此，在觀摩當天來自京都大學的教授 Dr. Aoki (Kenji Aoki, 青木 謙治) 受政府委託至該試驗場址，進行計畫執行現況訪查，並由 CRIEPI 的 Dr. Kiho 和 Dr. Shin 一同進行簡報說明(圖 24(a))，隨後亦至現場進行現況與相關設備解說(圖 24(b))。與 Aoki 教授的交談之中瞭解，他目前有一位來自台灣的博士班研究生跟隨他進行土木工程方面的研究，教授過去也曾受台灣政府部門的邀請，至台灣針對高鐵建設相關的土木工程問題進行研討。

B. CRIEPI 鑽探試驗場高約 20 m(圖 25(a))，該場址位置距離北緯 45 度線僅約 80 m(圖 25(b))，廠房內部除辦公區外，主要為鑽探機具(圖 25(c), (d))與所需的輔助設備(抽水機、天車、泥水循環系統等)。

C. 鑽探管件如圖 26 所示，阻水封塞：用以藉由泥水壓力可以推進後部相關的鑽探設備；彎曲儀：用以造成後端鑽頭的角度產生曲折，產生傾斜角度；護套固定爪：固定於護套前方作為底座，用以提供後端鑽頭向前之作用力。該管內為螺旋馬達，泥水以螺旋方式進入該馬達，造成前方鑽頭的旋轉動力(METI, 2013)。

(a) 口頭資料簡報



(b) 鑽探現地解說



圖 24 Dr. Shin 和 Dr. Kiho 向 Aoki 教授進行簡報解說

(a)鑽探試驗場外觀



(b)場址位置臨近北緯 45 度線



(c)鑽台正面



(d)鑽台背面



圖 25 鑽探試驗場

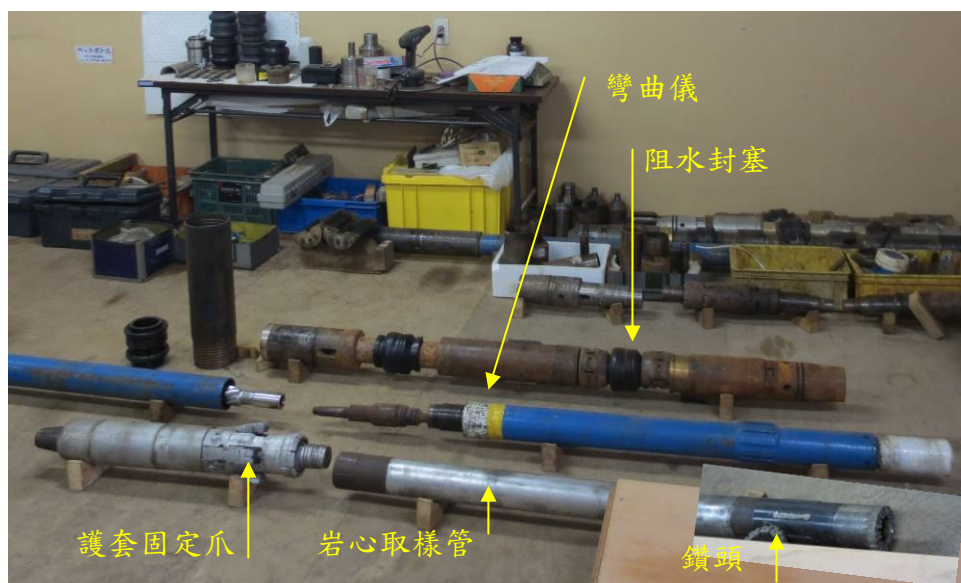


圖 26 實際鑽孔設備圖

3. 六所村低放處置場

(1) JNFL 簡介

六所村低放處置場隸屬 JNFL，JNFL 主要由日本 9 家電力公司和日本原子力發電公司(The Japan Atomic Power Company)等出資組成，JNFL 主要從事鈾濃縮、電廠用過核燃料後處理、貯存海外再處理後的廢棄物和回收之燃料、低放射性廢棄物處置、製造混合燃料(MOX)，以及新核燃料、低放廢棄物與用過核燃料的運送等相關業務。

JNFL 轄下有用過核燃料後處理廠、高放射性廢棄物貯存管理中心、MOX 燃料廠、鈾濃縮工廠和低放射性廢棄物處置中心，各設施皆位於六所村內(見圖 27)。用過核燃料後處理廠於 1993 年開始建造，預定於 2013 年完工，最大處理能力為 800 噸鈾／年，可貯存 3000 噸用過核燃料；高放射性廢棄物貯存管理中心於 1992 年開始建造，已於 1995 年開始運轉，可貯存 2880 罐高放射性固化體；MOX 燃料廠於 2010 年開始建造，預定於 2016 年完工，最大製造能力為 130 噸 HM／年；鈾濃縮工廠於 1988 年開始建造，已於 1992 年開始運轉，目前產能為 150 噸 SWU／年，最終目標產能為為 1500 噸 SWU／年；低放射性廢棄物處置中心於 1990 年開始建造，已於 1992 年開始運轉進行處置，目前容量約為 200 萬 m³(可處置約 1 百萬罐 200 L 鋼桶)，最終目標容量約為 600 萬 m³(可處置約 3 百萬罐 200 L 鋼桶)。

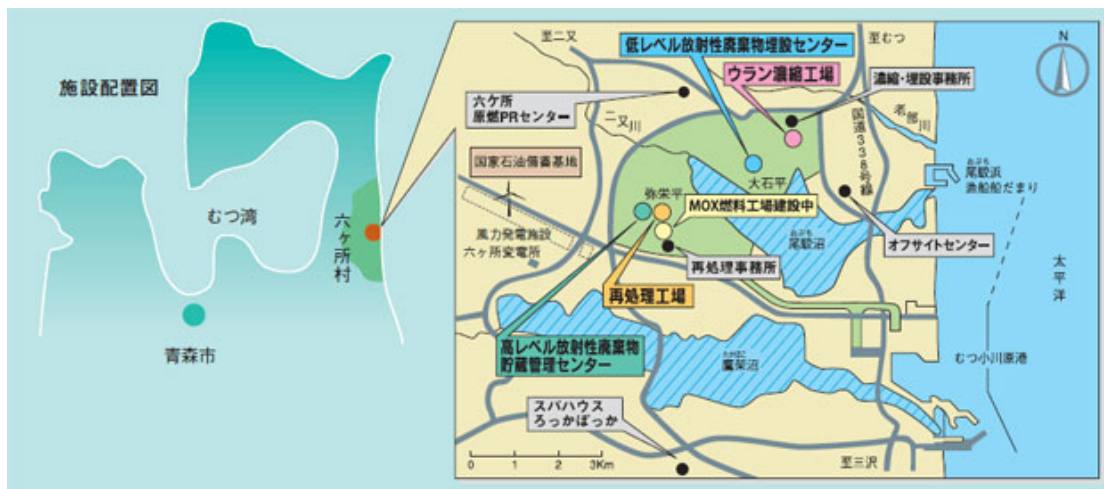


圖 27 JNFL 相關設施位置分佈圖

(2) 六所村低放處置場簡介

此處置場位於六所村北邊，南鄰尾駁沼，如圖 28 所示。目前場內有兩處處置區，分別為 1 號處置區和 2 號處置區。1 號處置區從 1992 年 12 月開始運轉，設計尺寸為 231 m×132 m，設計容量 4 萬 m³，約可處置 20 萬桶。處置區劃分成 40 個處置單元(長 8×寬 5)，每個處置單元尺寸為 24 m×24 m×6 m，可容納 16 個處置窖(4×4)，每個處置窖可處置 320 桶廢棄物(圖 29)。1 號處置區設計處置之廢棄物為均勻固化廢棄物，至 2012 年 11 月止已處置 146,547 桶，分佈情形如圖 30 所示。

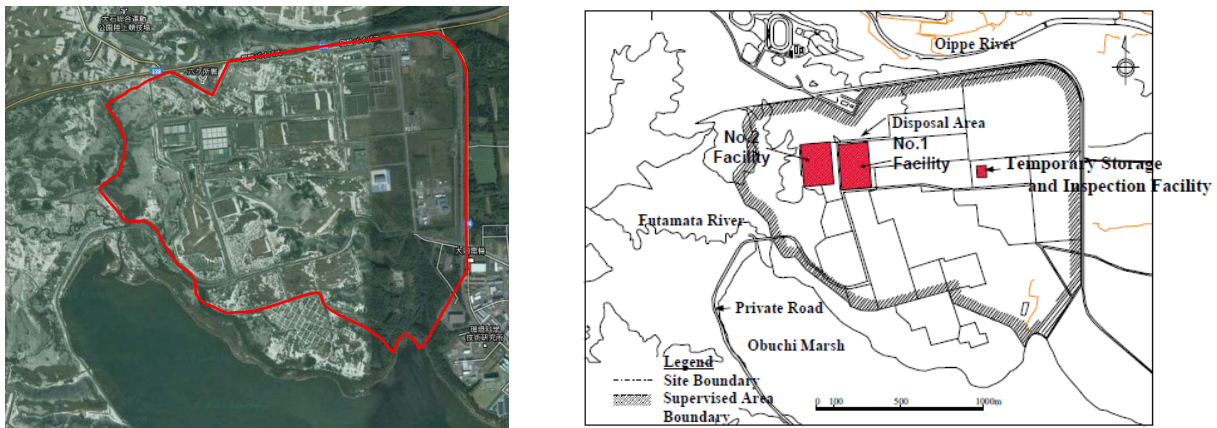


圖 28 六所村低放處置場分佈圖

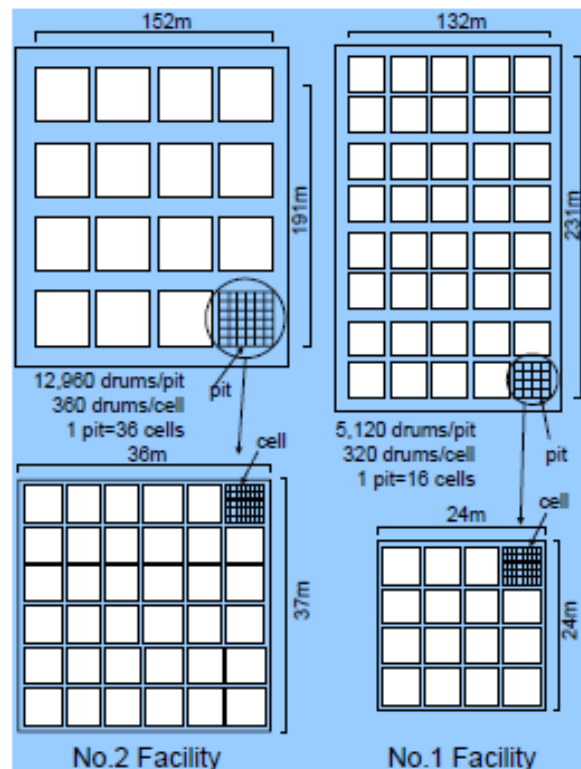


圖 29 六所村處置區處置單元分佈

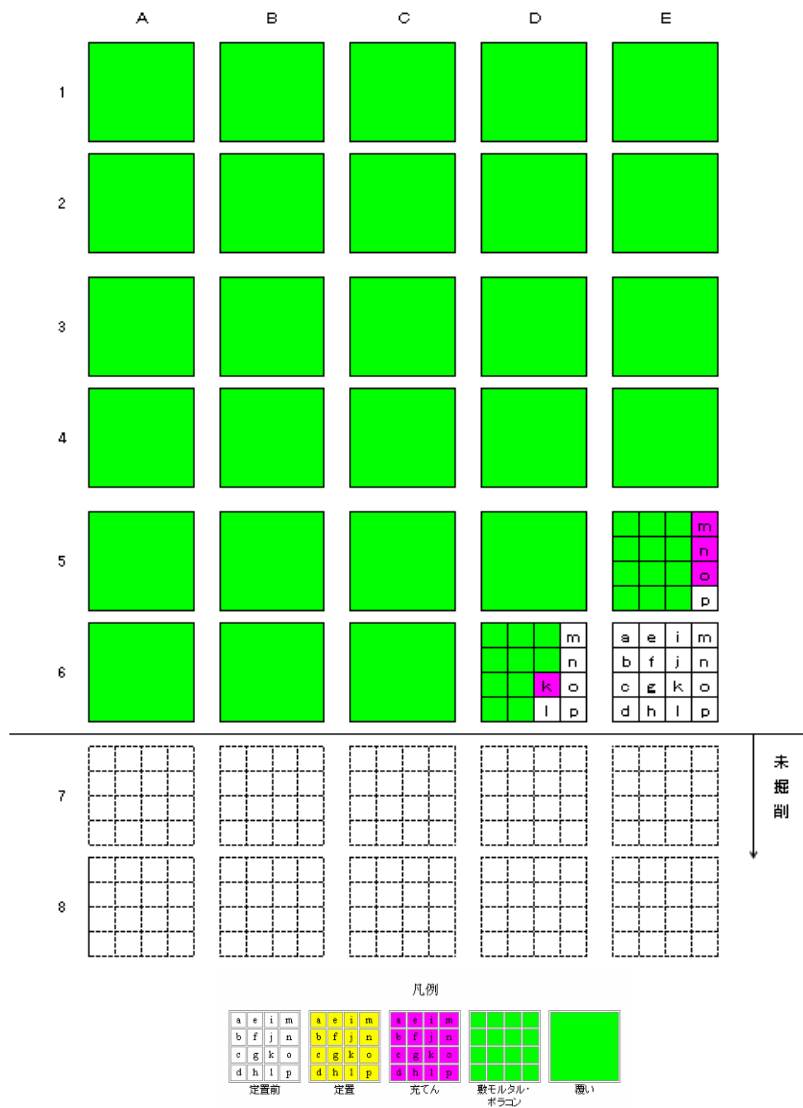


圖 30 六所村 1 號處置區處置單元分佈

2 號處置區從 2000 年 10 月開始運轉，設計尺寸為 191 m×152 m，設計容量與 1 號處置區相同為 4 萬 m³，約可處置 20 萬桶。處置區劃分成 16 個處置單元(長 4×寬 4)，每個處置單元尺寸為 37 m×36 m×7 m，可容納 36 個處置窖(6×6)，每個處置窖可處置 360 桶廢棄物。分佈情形如圖 31 所示。設計處置之廢棄物為固化之乾性廢棄物，至 2012 年 11 月止已處置 101,152 桶。合計已處置約 25 萬桶，各年處置數量統計如圖 32 所示。

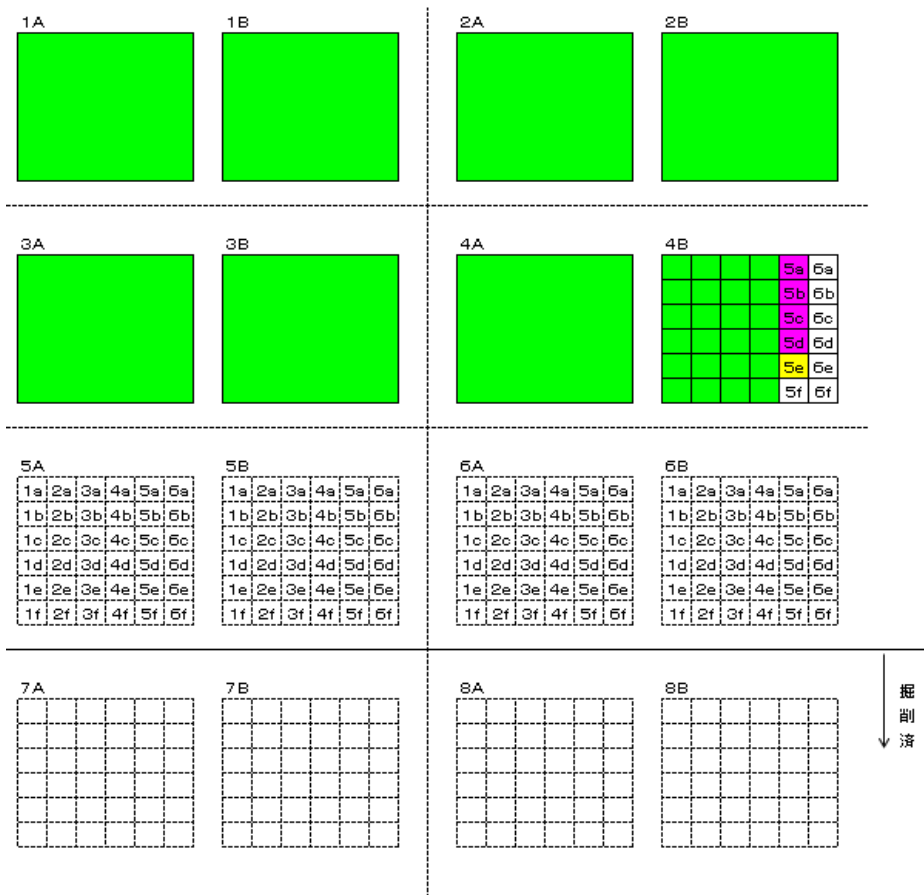


圖 31 六所村 2 號處置區處置單元分佈

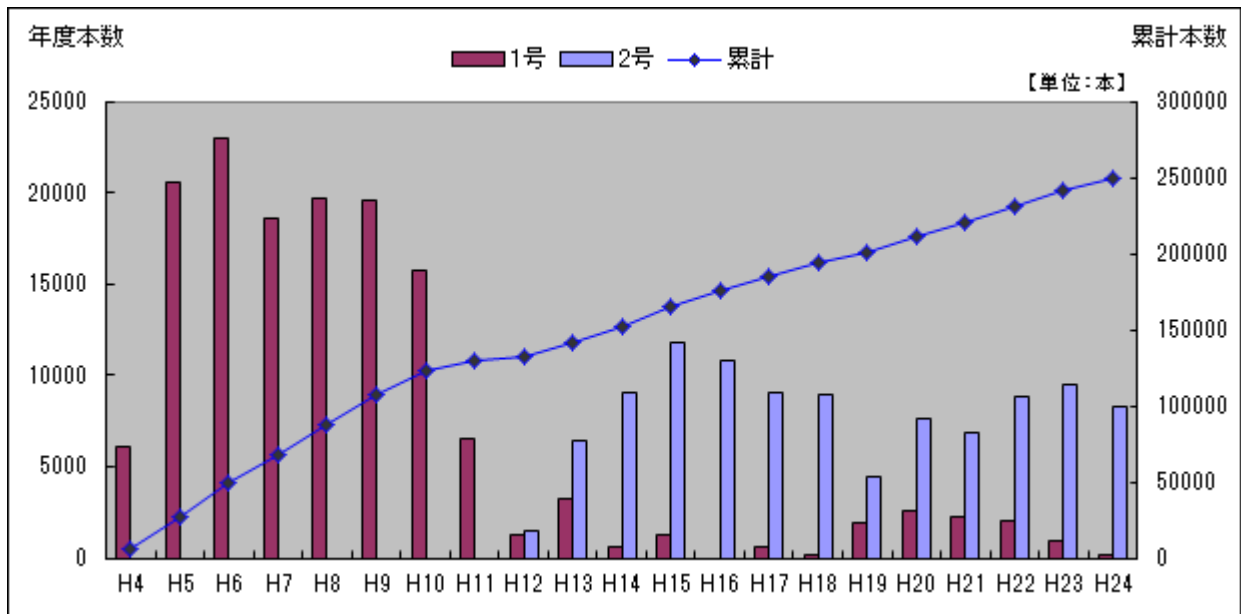


圖 32 六所村低放處置場歷年處置數量統計(至 2012 年 11 月止)

(3) 放射性廢棄物分類與處置場接收標準

日本的放射性廢棄物分類如圖 33 所示，主要依據放射性特性(α 、 β 與 γ)與活度而定，其處置方式亦依此而定，非常低微的放射性廢棄物(Very Low-Level Waste, L3)主要為混凝土或金屬等，採地表無工程障壁方式處置；相對低放射性廢棄物(Relatively Low-Level Waste, L2)主要為固化濃縮廢液、濾芯或受污染設備等，採地表有工程障壁方式處置，處置深度在地表下 10 m 內；相對高放射性廢棄物(Relatively High-Level Waste, L1)主要為固化之控制棒、爐心元件或受污染設備等具高 β 與 γ 活度或被活化的放射性廢棄物，採地下有工程障壁方式進行處置，處置深度在地表下 50 m~100 m。不屬低放射性廢棄物之超鈾元素或高放射性廢棄物則處置於超過地下 300 m 之地層內。六所村低放處置場的接收標準如表 3 所列。

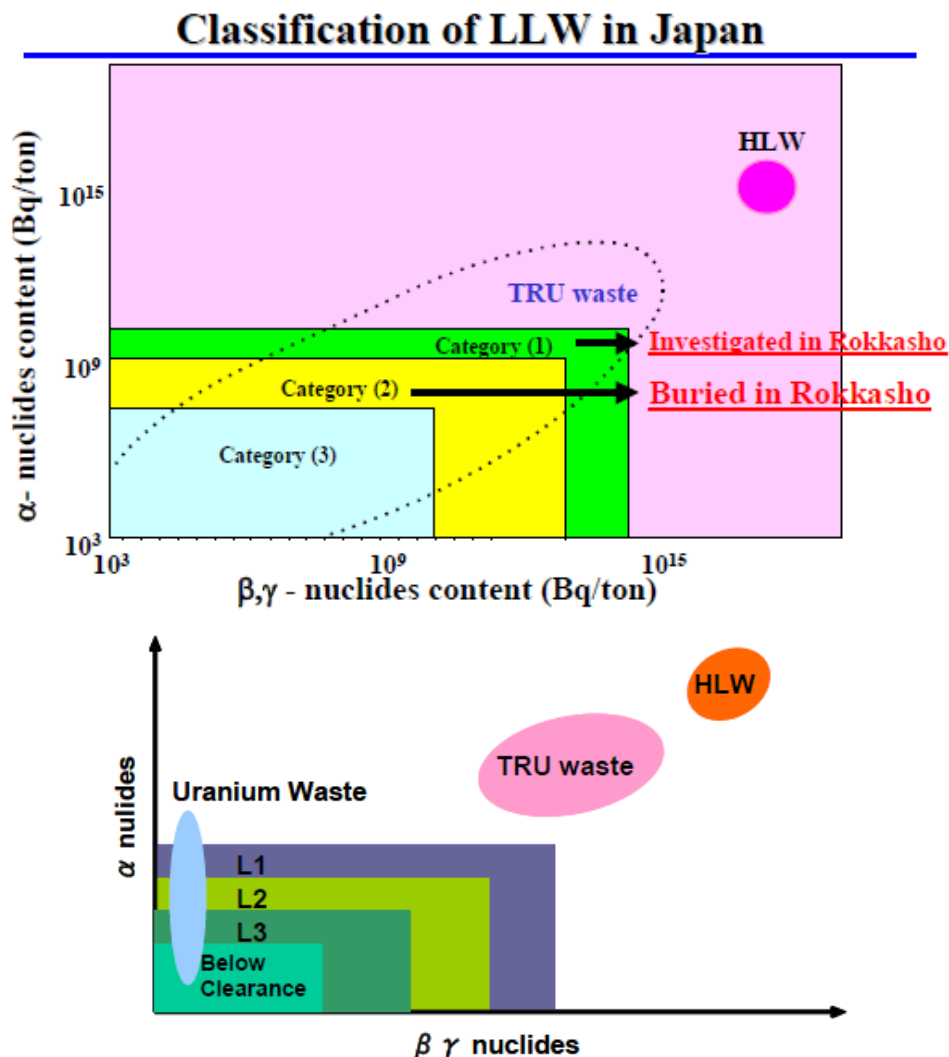


圖 33 日本的放射性廢棄物分類

表3 六所村低放處置場接收標準

Nuclide	Regulation	No.1 Facility		No.2 Facility	
	Upper Limit concentration (Bq/ton)	Maximum concentration (Bq/ton)	Total Radioactivity (Bq)	Maximum concentration (Bq/ton)	Total Radioactivity (Bq)
H-3	—	3.07×10^{11}	1.22×10^{14}	1.22×10^{12}	1.22×10^{14}
C-14	3.70×10^{10}	8.51×10^9	3.37×10^{12}	3.37×10^{10}	3.37×10^{12}
Co-60	1.11×10^{13}	2.78×10^{12}	1.11×10^{15}	1.11×10^{13}	1.11×10^{15}
Ni-59	—	8.88×10^9	3.48×10^{12}	8.88×10^9	3.48×10^{12}
Ni-63	1.11×10^{12}	1.11×10^{12}	4.44×10^{14}	1.11×10^{12}	4.44×10^{14}
Sr-90	7.40×10^{10}	1.67×10^{10}	6.66×10^{12}	6.66×10^{10}	6.66×10^{12}
Nb-94	—	8.51×10^7	3.33×10^{10}	3.33×10^8	3.33×10^{10}
Tc-99	—	1.85×10^7	7.40×10^9	7.40×10^7	7.40×10^9
I-129	—	2.78×10^5	1.11×10^8	1.11×10^6	1.11×10^8
Cs-137	1.11×10^{12}	1.04×10^{11}	4.07×10^{13}	4.07×10^{11}	4.07×10^{13}
α -emitters	1.11×10^9	5.55×10^8	2.33×10^{11}	5.55×10^8	2.33×10^{11}

(4) 處置運送計畫與接收

處置場接收計畫以每個年度進行規劃，2012 年度的接收規劃如表 4 所列，接收內容包括運送時期、運送數量、容器形式與數量、運出之電廠。而 2012 年度的實際接收狀況如表 5 所列，該表中明列接收日期、接收數量並埋設場區，以及運出之電廠。

表 4 2012 年度六所村低放射性廢棄物接收計畫

別紙

2012年度 低レベル放射性廢棄物の受入れ計画について

受入れ數量(合計) 12,112本

	受入れ回数	受入れ時期	受入れ數量	輸送容器的型式・容器數	搬出元
	現行	第1回	4月	888本	LLW-1型 111個
第2回		5月	1,024本	LLW-1型 128個	関西電力㈱ 大飯発電所
第3回		5月	480本	LLW-1型 60個	北陸電力㈱ 志賀原子力発電所
第4回		6月	616本	LLW-1型 77個	中国電力㈱ 島根原子力発電所
第5回		6月	2,000本	LLW-1型 250個	関西電力㈱ 高浜発電所
第6回		10月	1,008本 1,056本	LLW-1型 126個 LLW-1型 132個	関西電力㈱ 大飯発電所 関西電力㈱ 美浜発電所
第7回		11月	1,400本	LLW-1型 175個	東京電力㈱ 柏崎刈羽原子力発電所
第8回		12月	1,040本	LLW-1型 130個	九州電力㈱ 玄海原子力発電所
第9回		2月	440本	LLW-1型 55個	東北電力㈱ 女川原子力発電所
第10回		3月	1,200本	LLW-1型 150個	中部電力㈱ 浜岡原子力発電所
第11回		3月	960本	LLW-2型 120個	四国電力㈱ 伊方発電所

受入れ數量(合計) 12,112本(網掛け部分が変更点です)

	受入れ回数	受入れ時期	受入れ數量	輸送容器的型式・容器數	搬出元
	変更後	第1回	4月	888本	LLW-1型 111個
第2回		5月	1,024本	LLW-1型 128個	関西電力㈱ 大飯発電所
第3回		5月	480本	LLW-1型 60個	北陸電力㈱ 志賀原子力発電所
第4回		6月	616本	LLW-1型 77個	中国電力㈱ 島根原子力発電所
第5回		6月	2,000本	LLW-1型 250個	関西電力㈱ 高浜発電所
第6回		10月	1,008本 1,056本	LLW-1型 126個 LLW-1型 132個	関西電力㈱ 大飯発電所 関西電力㈱ 美浜発電所
第7回		11月	1,400本	LLW-1型 175個	東京電力㈱ 柏崎刈羽原子力発電所
第8回		1月	1,040本	LLW-1型 130個	九州電力㈱ 玄海原子力発電所
第9回		2月	440本	LLW-1型 55個	東北電力㈱ 女川原子力発電所
第10回		3月	1,200本	LLW-1型 150個	中部電力㈱ 浜岡原子力発電所
第11回		3月	960本	LLW-2型 120個	四国電力㈱ 伊方発電所

(注) 上記の計画は、悪天候等により変更になることがあります。

表 5 2012 年度六所村低放射性廢棄物輸送計畫與實際結果

回数	受入れ日	受入れ数量	搬出元
1	4 月 16 日~17 日	200 本(1 号埋設対象廃棄物)	関西電力(株)
		688 本(2 号埋設対象廃棄物)	美浜発電所
2	5 月 16 日~17 日	1,024 本(2 号埋設対象廃棄物)	関西電力(株)
			大飯発電所
3	5 月 30 日	480 本(2 号埋設対象廃棄物)	北陸電力(株)
			志賀原子力発電所
4	6 月 7 日	616 本(2 号埋設対象廃棄物)	中国電力(株)
			島根原子力発電所
5	6 月 22 日~23 日	2,000 本(2 号埋設対象廃棄物)	関西電力(株)
			高浜発電所
6	10 月 11 日~13 日	1,056 本(2 号埋設対象廃棄物)	関西電力(株)
			美浜発電所
		1,008 本(2 号埋設対象廃棄物)	関西電力(株)
			大飯発電所
7	11 月 6 日~8 日	1,400 本(2 号埋設対象廃棄物)	東京電力(株)
			柏崎刈羽原子力発電所

(5) 電廠內運送前程序

將廢棄物桶從貯存庫(圖 34 (a))搬運至檢測設備，首先進行表面污染量測(圖 34 (b))，再以超音波檢測方式進行單壓強度量測(圖 34 (c))，之後進行每桶活度與重量計測(圖 34 (d))，並進行每桶劑量率計測和外觀檢視(圖 34 (e))，最後進行編號(圖 34 (f))。

(6) 處置程序說明

廢棄物運送至處置場後(圖 35(a))，進行相關檢測(圖 35(b))，並進行分類與處置位置規劃(圖 35(c))，運送至處置場區位置(圖 35(d))，並進行擺置定位(圖 35(e))，最後進行處置相關作業(圖 35(f))，包括回填水泥漿、混凝土窖頂部澆置以及覆土回填等。

(a)從貯存庫運送至檢測設備	(b)表面污染檢測
	
(c)單壓強度檢測	(d)活度與重量量測
	
(e)劑量率與外觀檢查	(f)編號
	

圖 34 放射性廢棄物運送前廠內檢測






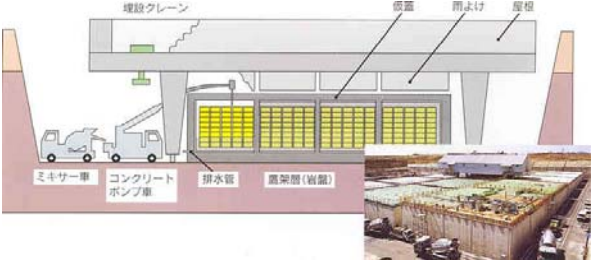
<p>(a)運送至處置場</p> 	<p>(b)場内検測</p> 
<p>(c)分類與處置區規劃</p> 	<p>(d)運送至處置區</p> 
<p>(e)處置區定位</p> 	<p>(f)掩埋作業</p> 

圖 35 放射性廢棄物處置場區內作業

(7) 現地觀摩

於 2012 年 12 月 17 日由我孫子市出發，行程如表 2 所示。於隔天由 CRIEPI 的河西主任親自陪同前往。現地觀摩分成兩部分，上午為低放處置場，下午為用過核燃料再處理場。首先抵達六所村低放處置場所在地，圖 36 為處置場的入口。由於該處為管制區，因此進入後便不得進行攝影。在警衛室進行人員身分確認，對於日本國人只要駕照等可確認個人身分即可，但對於外國人則需個人護照進行確認。確認內容包括中文名字、英文名字(大小寫最好一致)、護照號碼等。確認後取得通行證，進入前仍須再檢查個人通行證是否吻合。



圖 36 六所村低放處置場入口

進入六所村低放處置場後，由 JNFL 開發設計部 Dr. Shinshi (Yoshihide Shinshi，進士 喜英)和 Mr. Endo (Daisuke Endo，遠藤 大輔)負責接待，首先至處置場現地進行處置程序說明與討論。

- A.目前 1 號場區已經填滿，預計明年開始開挖並使用最後兩列處置區。2 號場區仍有充足空間，但 1 號場區與 2 號場區無法提供足夠空間進行未來處置電廠除役廢棄物或福島事件產生的低放射性廢棄物，因此，該部門已經積極規劃第 3 場區。
- B.日本進行用過核燃料再處理，在再處理過程將產生不同型態的低放射性廢棄物，此廢棄物以活度濃度而言歸屬 L2，但由於六所村低放處置

場僅被核可處置來自核電廠之低放射性廢棄物，因此，因再處理產生之低放射性廢棄物目前將無法處置於此處。

至 L1 試驗坑道進行混凝土處置窖現地說明與討論。試驗坑道高約 6.5 m，目前由 RWMC 進行混凝土處置窖現地施工試驗，試驗項目包括現地膨潤土夯實試驗、混凝土窖構築、L1 處置容器現地吊裝試驗等。

A.該試驗處置窖並未安裝天車，其 L1 處置容器現地吊裝試驗乃由吊車執行，因此，未來 L1 處置容器的吊裝方式目前尚未確定。

B.處置窖與岩壁之間的狹隘空間僅約 1.5 m，依設計需鋪設壓密膨潤土，該壓密膨潤土乃由特殊小型壓密機進行，此部份未來可供我國施工單位參考。

至 CRIEPI 的試驗坑道由 Dr. Oyama (Takahiro Oyama, 大山 隆弘)正在進行的岩層內地下水氧化速率量測研究(圖 37)，該研究在確認並量測因坑道開挖造成坑道周圍環境由還原環境轉變成氧化環境，地下水因地化環境的改變造成氧化面逐漸下移，量測此氧化面的移動速率可用以推估處置場地化環境的改變速率，提供處置場功能安全評估的依據。圖 38 在 CRIEPI 試驗坑道內的合影，由左至右分別為 Dr. Kawanishi、本人、Dr. Shinshi 和 Dr. Oyama。



圖 37 CRIEPI 在坑道內進行的地下水氧化速率量測研究



圖 38 在 CRIEPI 試驗坑道內合影

下午至 JNFL 的再處理廠進行現地觀摩學習，首先至核能溝通展示館(Public Relationship Center, PR 館)進行再處理程序說明，館方特別掛起我國國旗以表歡迎(圖 39)。PR 館的參訪由副館長-櫻井 政美先生並廣報部課長-大久保 裕志先生、笠原 治子小姐和關 祥子小姐陪同，並由關 祥子小姐進行 JNFL 現況簡報說明(附件 M)，其餘人員英文溝通能力未如關 祥子小姐。隨即進入再處理廠區，由於該地區禁止攝影，故無相關相片可供參考。參訪過程由關 祥子小姐全程解說，有不了解處由關小姐詢問陪同人員後，再進行答覆說明。

(a)歡迎旗幟



(b)入口標誌參訪日期

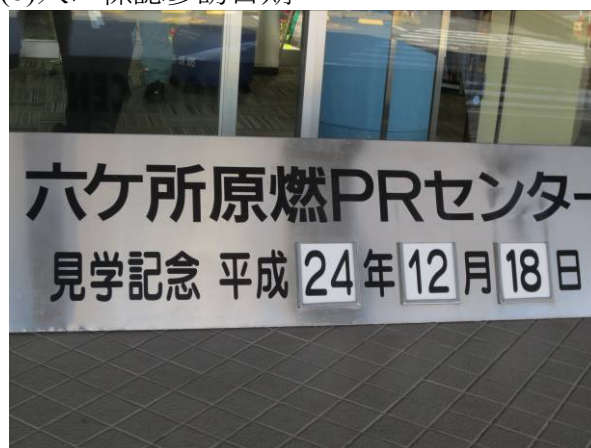


圖 39 PR 館前的旗幟與參訪日期

參訪廠房包括

A.人員控制機房：其配置仿照法國 AREVA 公司，依再處理程序區分成六區塊：接收與貯存 (Receiving/Storage)、切割與溶解 (Shearing/Dissolving)、分離 (Separation)、純化與脫硝 (Purification/Denitration)、MOX 和廢棄物(Waste)。其中前三部份完全仿製法國系統，MOX 和廢棄物則由 JNFL 依日本國情需要自行研發。本次得以參訪主因其 HLW 系統剛完成測試尚未正式運轉，故而仍可接受參訪教學，其預定 2013 年初即開始運轉。

B.用過燃料暫存廠房：時值進行燃料棒吊裝作業，故而可參訪燃料棒從運輸容器吊出的過程，及用過燃料池。(C)HLW 暫貯廠房：HLW 暫貯於貯存孔內，每孔可容納 9 罐。

4. 橫須賀試驗場

(1) 橫須賀 CRIEPI

橫須賀 CRIEPI 位於三浦半島中央地帶(圖 40)，三浦半島右側海灣為東京灣。此地區有電力工程研究實驗室、能源工程研究實驗室和材料科學研究實驗室，三個主要電力研究實驗室位於此地區。

電力工程研究實驗室主要研究主題有：

- A.高功率和高電流問題(High Power and High Current Issue)
- B.地下電纜交聯聚乙炔絕緣診斷技術(Diagnostic Technology for XLPE Underground Power Cables)
- C.老化電力設備和絕緣體的絕緣技術(Insulation Technology of Aged Electric Power Apparatus and Insulators)
- D.室外電力設施的鹽污染問題(Salt Pollution Problems of Outdoor Electric Power Facilities)
- E.高壓絕緣和新雷射技術(High Voltage Insulation and New Laser Technology)
- F.電力設施的雷擊損壞保護(Protection of Electric Power Facilities from Lightning Damage)

能源工程研究實驗室主要研究主題有：

- A.各種煤炭的燃燒特性(Combustion of Various kinds of Coal)
- B.化石燃料的高效利用(Efficiency Utilization of Fossil Fuels)
- C.生質物及其廢棄物能源運用(Utilization of Biomass and Waste)
- D.使用天然冷劑的熱泵(Heat Pump Using Natural Refrigerant)

材料科學研究實驗室的主要研究領域有：

- A.化石燃料發電廠的鋼構件先進維修技術(Advanced Maintenance Techniques of Steel Components in Fossil Power Plants)
- B.新的高溫超導體合成技術(Synthesis of New High-temperature Superconductors)
- C.高溫水中的應力腐蝕速率測量技術(Measure of Stress Corrosion Crack Growth Rate in High Temperature Water)
- D.先進的非破壞檢測技術(Advanced Technologies for Nondestructive Evaluation)

(2) 現地觀摩-水文試驗坑道

於 2012 年 11 月 26 日由我孫子市出發至橫須賀 CRIEPI 進行現地觀摩，行程如表 2 所示。當天由 CRIEPI 的資深地質研究員 Dr. Miyakawa 陪同前往，搭乘火車至神奈川縣的逗子站後，換乘公車前往橫須賀 CRIEPI，逗子站與橫須賀 CRIEPI 相對位置可參考圖 40。

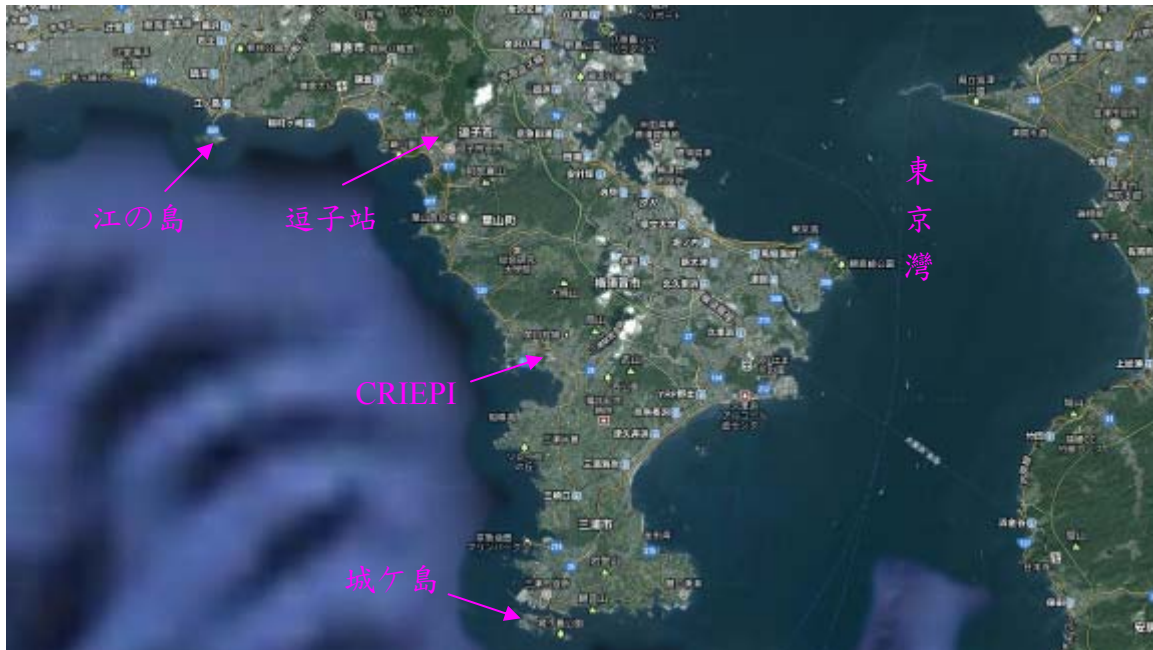


圖 40 橫須賀地區相關位置圖

橫須賀水文試驗場即位於橫須賀 CRIEPI 的所在地後方山丘下的坑道內(圖 41(a))，山丘高約 20 m~30 m。該坑道過去為美軍駐防時開鑿作為軍事用途，現在作為斷層活動監測相關設備與水文地質試驗相關設備的測試坑道。由於該試驗坑道有一小型斷層穿過，因此，CRIEPI 便利用此坑道進行斷層活動監測相關設備測試場，相關設置儀器佈置如圖 41(b)所示，主要有斷層變位計(圖 41(c))、斷層氣體採集分析設備(圖 41(d))，以及石英管伸縮計(圖 41(e))，其中，石英管伸縮計的佈置即穿越坑道內的小型斷層(圖 41(f))。相關量測與分析資訊皆連接至坑道入口辦公室內的電腦進行自動紀錄。

(a) 試驗坑道上方山丘



(b) 試驗坑道內儀器佈置圖



(c) 斷層變位計



(d) 斷層氣體採集管



(e) 石英管伸縮計



(f) 試驗坑道內小型斷層



圖 41 CRIEPI 水文試驗場

(3) 現地觀摩-地質探勘

隔日進行橫須賀 CRIEPI 附近出露地層之地質探勘，探勘地點為南端的城ヶ島和北方的江の島(見圖 40)。城ヶ島出露地層主要為 Miura 群上部地層，該地層為較年輕地層，為淺海床沈積環境，故常夾雜不均勻砂岩塊或凝灰岩塊(圖 42(a), (b))；江の島出露地層主要為 Miura 群下部地層，該地層為較老地層，故其岩層較為堅硬，裂隙中回填的砂石土壤，亦重新固結成堅硬岩石(圖 42(c), (d))。由於三浦半島的岩層受板塊擠壓影響，形成褶皺，表面岩層受海浪侵蝕嚴重，故造成南端城ヶ島出露年輕地層，而北方江の島卻出露較老地層的現象。

(a)城ヶ島 Miura 群上部地層



(b)Miura 群上部地層內夾大顆粒砂岩



(c)江の島 Miura 群下部地層



(d)Miura 群下部地層再固結之裂隙



圖 42 橫須賀地區出露之 Miura 群岩層

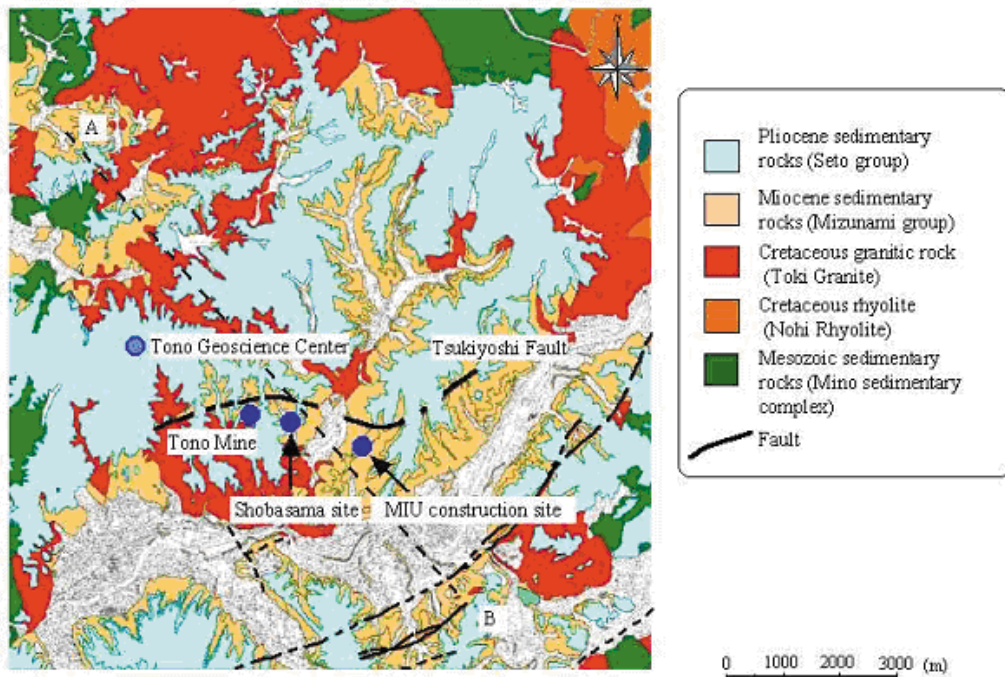
5. 瑞浪地下研究實驗室

(1) 位置

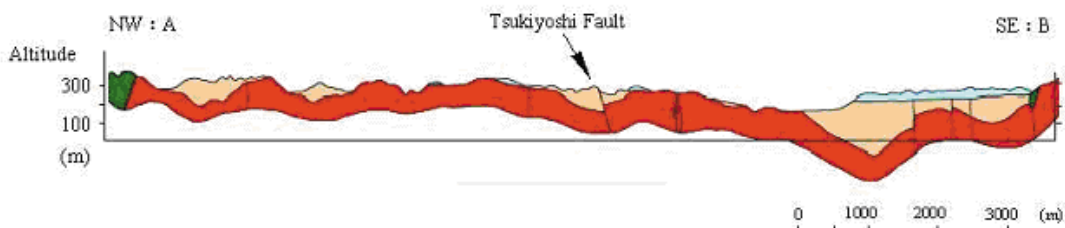
瑞浪地下研究實驗室為東濃超深地層研究中心的主要研究計畫，該實驗室隸屬日本原子力委員會(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)，由東濃地球科學中心(Tono Geoscience Center, TGC)管理，座落於日本中部的岐阜縣瑞浪市(見圖 5)，主要目的在建造 2 座 1000 m 深的坑道與水平連接廊道，用以進行地球科學研究與工程技術的運用開發。

(2) 地質

瑞浪地下研究實驗室所在區域位於 Ryoke 深成岩帶與 Mino 中生代沉積岩邊緣，實驗坑道主要挖掘於白堊紀 Toki 花崗岩，此地層廣泛分佈於日本。實驗室北方約 500 m 處有 Tsukiyoshi 斷層經過，區域地質可參考圖 43。



(a) Geological map



(b) Cross section of the line A-B in the geological map

圖 43 瑞浪地下研究實驗室附近區域地質圖

(3) 計畫背景

計畫主要區分成三個歷程：

- A.第一階段(地表探勘階段，Surface-based investigation phase)，歷經 7 年，主要工作為深層地質環境基本資料蒐集，包括地質探勘、地物探勘與地表鑽井資料。根據蒐集的資料推估深層地下環境。
- B.第二階段(建造階段，Construction phase)，歷經 8 年，主要工作以開挖豎井為主，並評估第一階段的預測結果，並進行深層開挖影響研究。
- C.第三階段(運轉階段，Operation phase)，歷經 9 年，此階段將依各階段進程將儀器安裝於豎井以監測岩體的軸向位移、地下水壓、地下水流向、水質和地下水化學。

研究發展計畫主要有 A.地表與地下研究、B.地表鑽井長期地下水監測、C.地表水文監測、D.地物探勘和 E.地質環境模型(JAEA，2012)。

- A.地表與地下研究：主要進行地質探勘、監測坑道、主豎井和通風豎井內的地下水流速等。並劃分有(A)豎井壁面研究(Shaft wall investigations)、(B)地下水化學研究採樣(Underground sampling for groundwater chemistry)、(C)地下鑽孔現地應力量測(In situ stress determination using subsurface boreholes)。(A) 豎井壁面研究：細部地質分佈研究、壁面影像、壁面 3D 掃描並紅外熱成像掃描、岩樣採集以進行詳細的岩石學，礦物學和結構特徵研究。(B)地下水化學研究採樣：在地下 100 m 沈積岩層次平台(Sub Stage)的水平鑽井、地下水蒐集環以及壁面地下水滲流處進行地下水樣品蒐集研究。(C)地下鑽孔現地應力量測：在地下 100 m 沈積岩層次平台的 2 口水平鑽井和 1 口垂直鑽井(皆為 20 m 長)進行量測，並在實驗室以鑽心岩樣分析比較。
- B.地表鑽井長期地下水監測：地下水長期監測以瞭解地下水流與地下水化學的長期變化，監測的鑽井分佈如圖 44，包括 MIZ-1, MSB-1, MSB-2, MSB-3, MSB-4 and 05ME06。

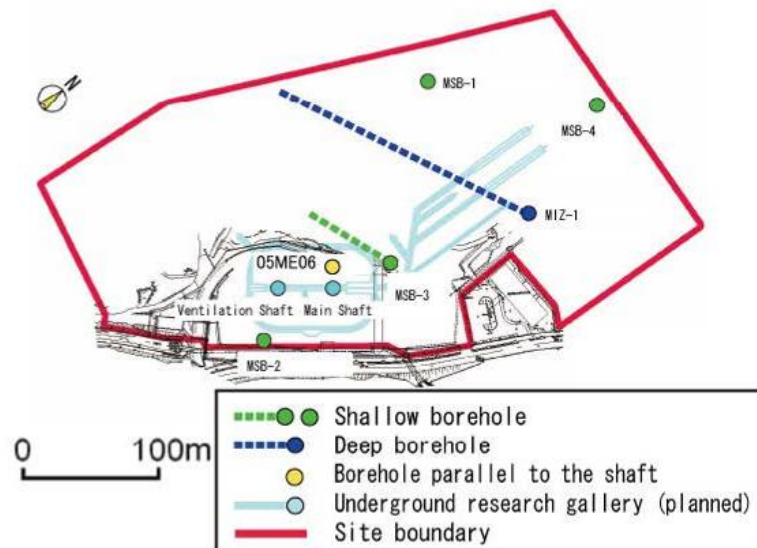


圖 44 瑞浪地下研究實驗室附近長期地下水監測井位圖

- C.地表水文監測：為推估深層地下水補注量而進行相關參數量測，包括氣象，地下水位和土壤濕度條件等。此外，傾斜尺亦被用於監測 MIU 施工現場的地表變形跡象與估計地下水位變化。
- D.地物探勘：反射垂直地震剖面(Vertical Seismic Profiling, VSP)探堪用以進行調查技術發展並預知在豎井周圍的地質和岩石力學條件。流體流動層析成像(Fluid Flow Tomography, FFT)也將進行技術開發以了解地下水流移動方向。在本次調查中，流勢發生的相互作用的，流動的地下水之間和人工勢產生的電極陣列放置在地面將成為衡量。
- E.地質環境模型：根據第一階段在 MIU 內外的地質、地質構造(如斷層和裂縫)、地下水流、化學和岩石力學的研究成果建構可能的模型，並於第二階段進行修訂。此外，由於 MIU 施工可能造成岩體擾動、地下水流和地下化學系統的改變則根據數值模擬進行預測。

(4) 現地觀摩

於 2012 年 11 月 16 日由我孫子市出發至該實驗室進行現地觀摩，行程如表 2 所示。當天由 CRIEPI 的 Dr. Tanaka (田中 靖治, Yasuharu Tanaka) 陪同前往，搭乘火車至瑞浪站，瑞浪站與瑞浪地下研究實驗室相對位置可參考圖 45，瑞浪地下研究實驗室內各主要建築物分佈示於圖 46 中。由 CRIEPI 的駐廠同仁開車從瑞浪站(圖 47(a))接送至瑞浪地科學研究館(圖 47(b))內的 CRIEPI 辦公室換裝，JAEA 瑞浪超深地層研究所(圖 47(c))位於瑞浪地科學研究館前方，兩棟建築物中間為停車場，污水處理場(圖 47(d))則位於瑞浪地科學研究館右前方。



圖 45 瑞浪站與瑞浪地下研究實驗室位置圖



圖 46 瑞浪地下研究實驗室內主要建築物位置圖

(a)瑞浪站



(b)瑞浪地科學研究館



(c)JAEA 瑞浪超深地層研究所



(d)污水處理場



圖 47 主要建築物外觀

- A.由於主坑道施工中，因此，僅能抵達位於地下 300 m 處的 CRIEPI 水文試驗坑道。進入坑道前每人需輸入 PHS 手機編號(圖 48(a))，該手機為進入地下實驗室的標準配備，用以管控和保安，可在發生坑道倒塌時定位人員所在位置。進入地下實驗室僅能搭乘工程用小型電梯(圖 48(b))，該電梯一次僅能承載 5 人，因此，施工人員僅能依序分批使用。最終抵達位於地下 300 m 處的 CRIEPI 水文試驗坑道(圖 48(c))。
- B.CRIEPI 水文試驗坑道對面的聯絡通道可抵達主坑道(圖 49(a))，通風坑道壁面上安裝諸多計量儀器，如量測振動情形的地震儀(圖 49(b))、量測岩塊變形量的伸張變位計(圖 49(c))和量測岩錨應力變化的岩錨軸力計(圖 49(d))等，散佈在通風坑道與聯絡坑道的壁面上。

(a)入場前保安措施



(b)搭乘小型工程用電梯



(c)抵達地下 300 m



圖 48 進入瑞浪地下實驗室相關程序

(a)由聯絡通道見主坑道



(b)地震儀



(c)伸張變位計



(d)岩錨軸力計



圖 49 瑞浪地下實驗室主要量測儀器

C.CRIEPI 水文試驗坑道內正由 CRIEPI 的協力廠商進行現地儀器安裝(圖 50(a))，安裝的儀器包括封塞、壓力計、溫度計、流量計等皆裝設於孔內(圖 50(b))，用以進行花崗岩裂隙內的水文特性研究。在此深度的花崗岩具兩組以上的破裂節理，間距約為 1 m。地下水為淡水主要來自上方的沈積層，地下水沿著裂隙進入此試驗坑道內(圖 50(c))。CRIEPI 在此處的實驗主要測試與開發在結晶岩內的示蹤劑試驗相關設備與分析方法，現階段先測試裂隙內水文特性相關分析方法與量測儀器。

(a)試驗坑道內情形



(b)水文試驗孔內安裝壓力計



(c)試驗坑道內花崗岩露頭裂隙與地下水流



圖 50 於瑞浪地下實驗室 CRIEPI 的水文試驗坑道

三、心得

(一)專題討論

1. CRIEPI 在 HLW&LLW 的 R&D 現況

從此主題可以知道 CRIEPI 的相關研究成果，同時可以大致瞭解各研究內容的主要研究人員，但由於剛到 CRIEPI 無法對全部內容有深刻體會。日後不斷地更新這樣的簡報內容，除了可以隨時掌握單位內的研究成果進展外，亦可隨時提醒自己在研究上是否有新的突破，當然也可以用來作為新進同仁的訓練教材。

2. 岩石力學

該研究主題著重於以文獻研究提供日本 HLW 處置研究階段的第二階段需求：區域先期研究(Preliminary Investigation Areas, PIAs)的選擇與決策。不同地區岩石特性皆不相同，對於我國用過核料長程處置計畫而言，目前仍處於技術可行性評估階段，相似的研究方法亦可予以應用，以更瞭解我國可能處置母岩的基本特性。

3. 熱－水－力耦合

(1)在 CRIEPI 自行進行的熱－力耦合實驗研究中，曾探討各耦合關係，發現熱－力或熱－水較為簡單，化學方面由於牽扯的元素與所需資料過於龐大，因此化學方面的耦合行為留置最後探討。在分析工作發展上，亦曾考慮運用現有商業軟體，但鑑於商業軟體要加入或修改某些功能或關係式有其限制與困難，因此，CRIEPI 決定自行發展分析軟體。此發展經驗值得我們深思，我們對於處置技術的發展究竟是短期應付最終採進口運用方式，或是採本土化發展以期可以技術出口，應仔細評估。

(2)從其在泥岩的熱－力實驗經驗中可知，地板邊界條件的控制是困難的，在實驗中曾嘗試以絕熱層覆蓋地板以避免熱能從地板散失，但由於安裝儀器地板鋪滿管線以致絕熱效果不佳，此為進行該類實驗所需特別注意之處。

4. 膨潤土內的化學交換行為

電力中央研究所研究成果顯示膨潤土的長期行為可能受周圍環境影響而改變其特性，包括密度、孔隙率和導水性，如此可能改變其遲滯核種擴散的功能性，亦可能改變核種外釋機制從擴散行為變成平流行為，此為進行長期劑量安全評估計算須加以注意之處。

5. 膨潤土膨脹行為

針對本土的膨潤土而言，有必要針對地區性環境瞭解其運用於處置環境下的長期演變情形，該研究方向與方法可作為參考。也或者可運用於 backfill 方面的研究。

6. 膨潤土內氣體傳輸行為

此研究為膨潤土的基礎特性研究，或許在真實處置場環境甚難發生此現象，但基於科學研究精神仍有必要予以釐清，該研究成果可作為是否須考量氣體外釋情節的考量依據。

7. 橫須賀計畫

在此計畫綜合說明中，較為特殊運用之技術為水質監測遠距資料輸送，該技術中採用太陽能發電提供電源。此項技術可用於偏遠地區之水質或其他監測資料傳輸，並運用太陽能作為主要供電系統，可不受因電力無法供應之位置影響。該系統之發展主要由 CRIEPI 構思，主要設備與技術由其委託技術發展公司提供。

另一特殊技術為孔篩建構技術。由於該地區地層結構鬆散，因此以鋼管配合水泥砂漿直接裝設成監測井後，再運用火藥技術，於目標區段以井內打孔方式構築井篩。該技術亦由設井公司提供。

8. 地下水定年

地下水定年除用以測定地下水年代或岩層生成年代外，亦將此結果用於決定大區域地下水流流速，供作深層處置場遠場核種傳輸之地下水流速與流向分析的依據。或許可運用地下水水質與岩層之長期接觸地化反應，進行大尺度或中尺度地下水流速與流向的研究。

9. 核種遷移

(1)對於現地試驗的結果分析確實有其困難，特別在邊界條件的設定，實驗設備進行並非如此理想的條件下，如何有效的進行分析模擬或修訂實驗設備，這些問題將會在我們實際進行實驗時可能面對，而這方面 CRIEPI 已經有相關經驗，是我們可以請益的對象。

(2)對於處置場封閉後的問題或如何封閉，我們尚未有深入研究，對於設置阻水區塊的概念，值得我們進行封閉設計時列入考量。

(二)現地觀摩

1. 幌延地下研究中心

(1)實際岩層觀測窗的設計，不僅可進行有關實驗，亦可作為展示之用，唯展示窗口的設計或許可運用強化玻璃，加大尺寸，並於多處有意義點設置。

(2)該試驗場址的地下水核種外釋需考量地下水與可能氣體之二相流問題，乃在試驗場址開挖後才可確定。對於我國未來無論低放處置場或高放處置場的選擇或試驗，仍須實際進行開挖後方可知可能遭遇的問題，並尋求可能的解決方法。

(3)地震對處置場的影響，根據其實際量測結果可知，儘管地面震度大，但處置場內的實際震度卻小得多，此結果可作為直接佐證資料。

2. 幌延鑽探試驗場

(1)該鑽探試驗場乃運用現有的石油鑽探技術並相關鑽探設備，無特殊之處，但其創意在於可在沿岸地區對海床下進行鑽探，此有助於處置計畫。

(2)與專業技術公司長期合作，不僅研發單位無須採購或維護相關機具，亦無須額外人員訓練，此為長期技術發展的良好模式。

3. 六所村低放處置場

(1)隧道開挖後將造成原有地層內的地化條件由還原環境改變為氧化環境，CRIEPI 在六所村低放處置場內的試驗用以量測或評估地化環境

改變速率的方法，未來可作為處置場安全評估的參考。

(2)無論是 PR 館或是 JNFL 再處理廠內的國際部門，對於國際合作(見學)皆著實的展現其誠意，不僅懸掛歡迎旗幟，亦特別安排解說人員，值得本所學習。

4. 橫須賀試驗場

橫須賀水文試驗場內僅有小型斷層，且無相關研究計畫經費支援，但 CRIEPI 仍珍惜地進行長期監測設備設置與量測供作研究資訊，此研究精神與資源使用方式值得學習。

5. 瑞浪地下研究實驗室

CRIEPI 雖在 Äspö 已進行過溶質遷移試驗，但面對瑞浪地下研究實驗室的地質條件，仍有諸多困難需要克服，包括地下水流場無法掌控、試驗設備需要重新設計等，這些問題皆是需要實際面對試驗場後才會顯現出來的。

四、建議事項

- (一)CRIEPI 的整體組織雖不如 JAEA 那樣龐大，但其研究領域(如高放與低放處置、SNF 中期貯存、電廠地震災害評估、太陽能開發等)與核能研究所極為相近，其研究方式不僅著重於理論更著重於實際應用，包括現地試驗理論與分析方法開發，以及現地測量儀器與設備創新等，建議核能研究所可與該單位加強合作、彼此學習。
- (二)CRIEPI 在後端營運研發方面的員工僅約 40 名，其相關研究與核能研究所雷同，多採用外包人力進行實驗室分析工作，或運用產業的專業公司輔助技術與設備開發，如此將無須對短期研究計畫所需之設備和人力進行維護與投資，節省設備採購與維護經費，亦無須浪費人力進行有關儀器設備的瞭解，或培養短期專業人力，如此將可有效既有人力資源。
- (三)地下水定年設備為 CRIEPI 土木研究實驗室的特殊儀器之一，未來若有需要或許可以委託分析方式進行有關研究，而無須自行採購該設備。CRIEPI 對緩衝材料的特性有深入的研究心得，包括試體研製、試驗程序與分析理論等，核能研究所未來進行有關實驗時，可多與其交流，減少試誤時間與資源。

五、 參考文獻

JAEA, 2012a, http://www.jaea.go.jp/04/tono/miu_e/index.html.

JAEA, 2012b, 幌延深地層研究計畫-平成 24 年度調查研究計畫(概要版), 2012 年 3 月。

JAEA, 2012c, 幌延深地層研究計畫-平成 23 年度調查研究成果報告(概要版), 2012 年 7 月。

Kawanishi, M., 2012, Current Status of R&D by CRIEPI for Low & HLW-level Radwaste Disposal in Japan, Spent Fuel Dry Storage and Radwaste Disposal Workshop.

Inohara Y., Okada T., Sawada W., Suzuki K., Kubota K., Takakura N., Tanaka Y., Hirano K., Hiraga K., and Tani K., 2011, In-situ heating test and thermal-hydro-mechanical coupled analysis in sedimentary soft rock for high level radioactive waste geological disposal, International Journal of the JCRM, Japanese Committee for Rock Mechanics, Vol.7, No.1, p.37-42.

METI 2013, <http://www.enecho.meti.go.jp/rw/library/library05.html>

Shin, K., Sawada M., Inohara Y., Shidahara T., Hatano T., Arai S., and Miwa T., 2011, A study on prediction of squeezing and rock burst based on surface exploration for selection of HLW disposal site in Japan, 12th ISRM Congres, Beijing, China.

Tanaka, Y., 2012, Dual Swelling Mechanism Model for Saturated and Unsaturated Compacted Bentonite, 5th International meeting “Clays in Natural and Engineering Barriers for Radioactive Waste Confinement” Montpellier – October 22-25, 2012.

Tanaka, Y., Hironaga M. and Kudo K., 2010, GAS MIGRATION MECHANISM OF SATURATED HIGHLY-COMPACTED BENTONITE AND ITS MODELING, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ICEM 2010, October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40011.

Zandarina, M.T., Gensb A., Olivellab S., and Alonsob E.E., 2011, Thermo-hydro-mechanical model of the Canister Retrieval Test, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Vol.36, Issues 17-18, p.1806-1816.

六、附錄

A：核子保防訓練相關文件

A.1：Sildes－Security Trade Control

A.2：Sildes－台灣出口管制與發展

A.3：Sildes－企業內部出口管制制度政策與做法

B：CRIEPI 在 HLW&LLW 的 R&D 現況

B.1：Sildes－Current Status of R&D by CRIEPI for Low & HLW-level Radwaste Disposal in Japan

C：岩石力學

C.1：Paper－A study on prediction of squeezing and rock burst based on surface exploration for selection of HLW disposal site in Japan

C.2：Sildes－A study on prediction of squeezing and rock burst based on surface exploration for selection of HLW disposal site in Japan

C.3：Paper－Predictive analysis of tunneling difficulty

D：熱－水－力耦合

D.1：Paper－In-situ heating test and thermal-hydro-mechanical coupled analysis in sedimentary soft rock for high level radioactive waste geological disposal

D.2：Paper－Thermo-hydro-mechanical model of the Canister Retrieval Test

E：膨潤土內的化學交換行為(Alteration behavior)

E.1：Abstract－Effect of initial dry density of compacted bentonite on interaction with cementitious material

E.2：Slides－Effect of initial dry density of compacted bentonite on interaction with cementitious material

E.3：Poster－Effect of initial dry density of compacted bentonite on interaction with cementitious material

F：膨潤土膨脹行為

F.0：Slides－Summary of Training by Yukihisa Tanaka

F.1：Abstract－Dual Swelling Mechanism Model for Saturated and Unsaturated Compacted Bentonite

F.2：Poster－Dual Swelling Mechanism Model for Saturated and Unsaturated Compacted Bentonite

F.3：Paper－Modeling hydraulic conductivity and swelling pressure of several kinds of bentonites affected by salinity of water (ICEM 2010-40013)

F.4：Poster－Modeling hydraulic conductivity and swelling pressure of several kinds of bentonites affected by salinity of water

G：膨潤土內氣體傳輸行為

G.1：Paper－Development of numerical simulation method for gas migration through highly-compacted bentonite using model of two-phase flow through deformable porous media (ICEM 2010-40012)

G.2 : Paper— Gas migration mechanism of saturated highly-compacted bentonite and its modeling (ICEM 2010-40011)

G.3 : Poster— Gas Migration Mechanism of Saturated Highly-compacted Bentonite and its Modelling)

H : 横須賀計畫

H.1 Slides— Introduction of Yokosuka project

I : 地下水定年

I.1 : Poster— Verification of He-4 and Cl-36 dating for very old groundwater in Great Artesian Basin, Australia

I.2 : Poster— Integration of groundwater flow simulation using groundwater chemistry and groundwater age

J : 核種遷移

J.1 : Report— Numerical analysis with FEGM/FERM for TRUE-1 non-sorbing tracer tests

J.2 : Paper— Clarification of Requirements for Hydraulic Conductives of Backfill and Plug Materials in HLW Disposal Systems

J.3 : Slides— Clarification of Requirements for Hydraulic Conductives of Backfill and Plug Materials in HLW Disposal Systems

K : 水泥材料特性

K.1 : Paper— Effects of Hydrogencarbonate and Chloride in Groundwater on Leaching of Cementitious Materials

K.2 : Slides— Effects of Hydrogencarbonate and Chloride in Groundwater on Leaching of Cementitious Materials

K.3 : Paper— Changes of Pore Structure and Ionic Diffusivity of Hardened Cement Paste Exposed to Conditions at Several Levels of Temperature and Humidity

K.4 : Slides— Changes of Pore Structure and Ionic Diffusivity of Hardened Cement Paste Exposed to Conditions at Several Levels of Temperature and Humidity

L : 個人研究

L.1 Slides - The Application of GoldSim

M : JNFL 現況説明

M.1 : Slides— Outline of JNFL Facilities