

出國報告（出國類別：開會）

## 赴日本參加「低放射性廢棄物研討會議暨 營運設施技術參訪」會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：黃秉修組長

劉芳榮

派赴國家：日本

出國期間：106年06月26日～106年07月05日

報告日期：106年08月03日







# 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「低放射性廢棄物研討會議暨營運設施技術參訪」會議

頁數 28 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 /23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃秉修/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程監/02-23657210 ext: 2323

劉芳棻/台灣電力公司/核能後端營運處/地質調查專員/02-23657210 ext:2326

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2017/06/26-2017/07/05 出國地區：日本

報告日期：2017/08/03

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物處理

內容摘要：(二百至三百字)

為增進本公司目前辦理中之「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」、「低放射性廢棄物最終處置技術精進發展」案與「放射性廢棄物集中貯存設施」計畫之管理與技術能力，赴日本參加日本 Asano Taiseikiso 大地工程公司舉辦之「低放射性廢棄物研討會議暨營運設施技術參訪」會議，利用本次開會及會中技術參訪之機會與日本 Asano Taiseikiso 大地工程公司、日本原燃公司(JNFL)、日本中央電力研究所(CRIEPI)、日本可再生燃料貯存公司(RFS)、日本原子力發電公司 (JAPC)進行技術交流，並進行技術參訪行程，瞭解日本低放最終處置現況、用過核燃料貯存設施及其後端設施選址過程，以作為我國低放射性廢棄物處置及集中貯存相關業務之參考。

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



## 目次

壹、目的 .....	1
貳、過程 .....	2
參、會議內容 .....	5
肆、心得及建議 .....	28

## 壹、目的

為強化本公司目前辦理中之「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」、「低放射性廢棄物最終處置技術精進發展」案與「放射性廢棄物集中貯存設施」計畫之管理與技術能力，赴日本參加日本 Asano Taiseikiso 大地工程公司舉辦之「低放射性廢棄物研討會議暨營運設施技術參訪」會議，會議主題：放射性廢棄物處置方法與技術，日本方面參與之單位包括 Asano Taiseikiso 大地工程公司、日本中央電力研究所(CRIEPI)、日本原燃公司(JNFL)、日本可再處理之用過核燃料貯存公司(RFS)、日本原子力發電公司(JAPC)專家群進行技術交流，會議主題包括：

- (一) 日本放射性廢棄物處置溝通工作之經驗回饋
- (二) 日本放射性廢棄物處置基本政策與技術標準導則
- (三) 放射性廢棄物最終處置設施&集中貯存設施設計概念

並於會議期間進行放射性廢棄物營運設施技術參訪；參訪「日本原燃公司的六所村低放射性廢棄物最終處置場」、「日本陸奧放射性廢棄物中期集中貯存設施」、「六所村低放射性廢棄物最終處置場地下實驗坑道」、「六所村低放射性廢棄物公共關係中心」、「日本中央電力研究所核子技術研究實驗室」，以作為我國低放射性廢棄物處置相關業務之參考，並藉此強化本公司目前辦理中之「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」、「低放射性廢棄物最終處置技術精進發展」案與「放射性廢棄物集中貯存設施」計畫之管理與技術能力。

## 貳、過程

自 106 年 06 月 26 日出發，迄 07 月 05 日返國（共計 10 天），停留東京都、青森縣。  
詳細訪問行程如下：

日期	地點與行程	工作內容
06 月 26 日（一）	台北到東京	去程
06 月 27 日（二）	東京	參加「低放射性廢棄物最終處置研討會議暨營運設施技術參訪」會議
06 月 28 日（三）	東京	參加「低放射性廢棄物最終處置研討會議暨營運設施技術參訪」會議
06 月 29 日（四）	東京	參加「低放射性廢棄物最終處置研討會議暨營運設施技術參訪」會議
06 月 30 日（五）	東京	參加「低放射性廢棄物最終處置研討會議暨營運設施技術參訪」會議
07 月 01 日（六）	東京	整理資料
07 月 02 日（日）	東京到青森	路程
07 月 03 日（一）	青森	開會並參訪日本原燃公司(JNFL)於六所村之低放射性廢棄物最終處置設施、近地表實驗坑道
07 月 04 日（二）	東京	開會並技術參訪陸奧放射性廢棄物中期集中貯存設施
07 月 05 日（三）	東京到台北	返程

會議紀錄照片：

一、與各機構人員進行交流會議



## 二、技術參訪



CRIEPI 實驗室參訪



六所村放射性廢棄物接收港口



六所村放射性廢棄物接收港口之吊運設備



JNFL 設施參觀



JNFL 公共關係中心



RFS 放射性廢棄物中期集中貯存設施



RFS 放射性廢棄物中期集中貯存設施

## 參、會議內容

### 一、與會機構

#### (一) 日本大成基礎設計有限公司(Asano Taiseikiso Engineering Co., Ltd. , ATK)

日本大成基礎設計有限公司 (Asano Taiseikiso Engineering Co., Ltd. , 以下簡稱 ATK) 成立於 1962 年，總公司設於東京，擁有 6 間分公司及 1 間學術機構，分布位置如圖 1，並於 2013 年於新加坡成立代表處。



圖 1 ATK 公司分支位置示意圖。

ATK 土工技術主要涵蓋的範圍包含深層地質調查(高、低階放射性廢棄物處置、液化

石油氣地下儲存、二氧化碳捕捉與封存)、土木工程(大壩、攔河壩、隧道、橋梁、道路與建物)、水力試驗(單孔水力試驗、流量計測試驗、預測地下水流速與流向、跨孔式水力探測及物質傳輸試驗)、地下水採樣、示蹤試驗(水力破裂)、岩石力學試驗(孔隙水壓、物理化學參數與溫度)、長期監測(建物變形與傾斜量測)等現地工作，並提供調查計畫、資料分析及整體評估等工作。

#### (二) 日本核燃料公司(Japan Nuclear Fuel Ltd., , JNFL)

為了進行鈾濃縮、用過核子燃料再處理、MOX 燃料製造、高放貯存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（中部 Chubu，中國 Chugoku，北海道 Hokkaido，北陸 Hokuriku，關西 Kansai，九州 Kyushu，四國 Shikoku，東北 Tohoku，東京 Tokyo）及日本原子力發電(Japan Atomic Power Corporation JAPC) 聯合成立日本核燃料公司(Japan Nuclear Fuel Ltd., , 以下簡稱 JNFL)。目前 JNFL 在日本青森縣東北部六所村(Rokkasho-Mura)建立核能相關設施，現有員工約 2658 人(統計至 2017 年 4 月)。

JNFL 之主要設施位於青森縣東北部之六所村(如圖 2)，六所村人口約 1.1 萬人，其擁有五座核能相關設施，包含鈾濃縮廠、再處理廠、高階放射性廢棄物貯存管理中心、MOX 燃料製造廠、低放射性廢棄物處置中心，在核燃料循環產業中為重要的角色。日本政府僅為監督角色，即使是處置設施亦是民間所有。各設施之現況如表 1。

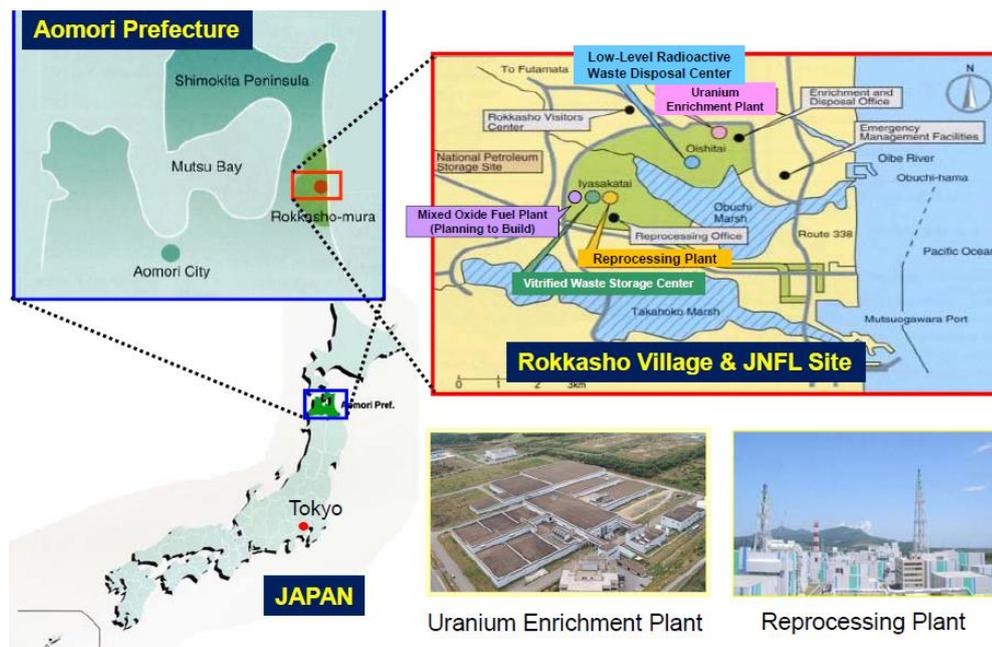


圖 2 六所村位置示意圖。

表 1 JNFL 各設施之現況。

設施	再處理廠	高階放射性廢棄物貯存管理中心	鈾濃縮廠	MOX 燃料製造廠	低放射性廢棄物處置中心
容量	再處理最大量為 800ton-U/y	2,880 罐	目前核准 1,050ton-SWU/y，計劃達 1,500 ton-SWU/y	130 ton-HM/y	400,000 桶 (80,000m <sup>3</sup> )
時程	1993 年 4 月開始建造，預計 2018 年完工	1992 年開始建造，於 1995 年開始運轉	1988 年開始建造，於 1992 年開始運轉	2010 年 10 月開始建造，預計 2019 年完工	1990 年 11 月開始建造，於 1992 年 12 月開始運轉
現況	於 2006 年開始測試，以完成主要設施之測試，目前正在確認其符合新法規	已接收 1,830 罐 (統計至 2017 年 5 月)	2012 年 3 月由先進的離心機替代，總生產量為 1,698ton-UF6	檢查是否符合新法規	直至 2017 年 7 月已接收 298,251 桶

### (三) 日本中央電力研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

CRIEPI 之成立目的是為了透過研究增進電力公司所需之電力相關技術知識，研究領域包含核能發電、火力發電、水力發電、再生能源、輸配電、顧客服務、環境、事業管理、跨領域運用等項目。於核能發電領域包含增進輕水式反應器之安全性，設立有核能風險研究中心 Nuclear Risk Research Center (NRRC)，對核能電廠提供技術支持以達到新的法規標準。除了根據現場數據研究外部事件(例如地震、海嘯)會造成的影響，也發展及運用安全度評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)進行研究，並增進輕水式反應器之保養技術，確保其維持穩定運轉。在放射性廢棄物方面也持續研究所需之技術支援、低劑量輻射風險評估，將其運用於輻射防護系統，支援核燃料循環的運作。

### (四) 可再生燃料貯存公司 Recyclable - Fuel Storage Company (RFS)

東京電力公司(出資 80%)與日本原子力發電公司(出資 20%)於 2005 年 11 月在青森縣陸奧市設立「可再生燃料貯存公司 (Recyclable - Fuel Storage Company (RFS))」，並開始興建「可再處理之用過核燃料貯存中心」，此貯存設施採用乾式金屬護箱貯存方式，並由東京電力設計公司進行設計，已於 2013 年 8 月完成一號燃料貯存設施部分，如圖 3，其容量為可貯存 3,000 噸用過核燃料。預計最終整場容量將達 5,000 噸用過核燃料，依投資比例分配，東京電力公司可使用 4,000 噸容量，而原子力發電公司可使用 1,000 噸容量。由於受到 311 事故影響，於 2014 年 1 月向原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority NRA)申請安全分析變更許可，目前需等待新的管制制度審查通過，才可繼續進行。

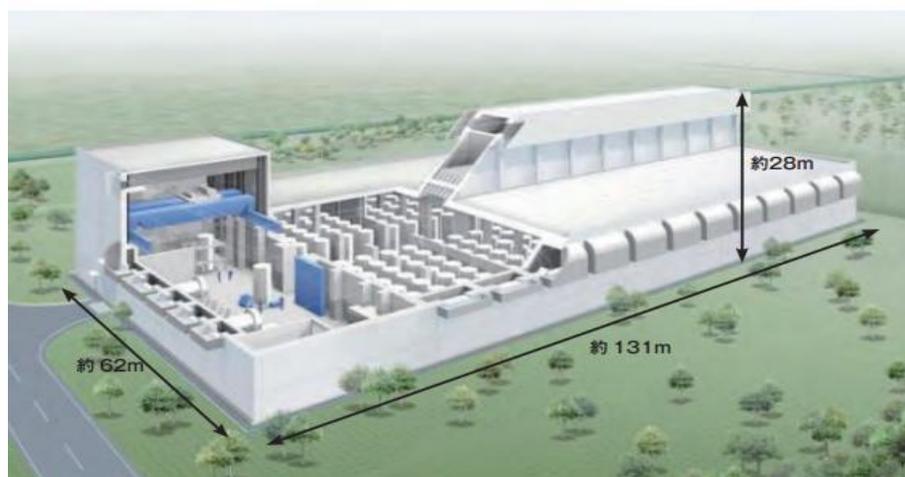


圖 3 可再處理之用過核燃料貯存中心一號建屋 (3,000 噸規模)。

### (五) 日本原子力發電公司 Japan Atomic Power Company(JAPC)

於 1957 年創立之公司，參與許多日本核能工程，包含首座商用核能發電廠的建

造，以及多座電廠的建造、運轉、除役。東海核能電廠(Tōkai Nuclear Power Plant)、敦賀核能電廠(Tsuruga Nuclear Power Plant)為其營運之核能電廠，其位置如圖 4。東海核能電廠為日本首座商用核能發電廠，於 1966 年開始運轉。一號機為氣冷式反應器，1998 年停止其商業運轉，目前處於除役中狀態。二號機則為沸水式反應器，於 2011 年東北地方太平洋近海地震後即停機至今，在福島事故後，在日本政府要求之壓力測試中，並未達到政府的抗震標準。

敦賀核能電廠之一號機為 357MWe 之沸水式反應器，目前處於除役中狀態。二號機則為 1160MWe 壓水式反應器，福島事故後停機至今。JAPC 計畫於此電廠新建兩部機組。

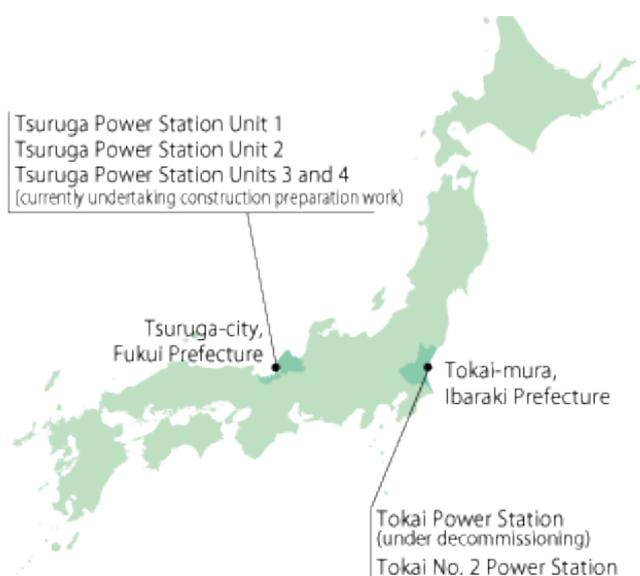


圖 4 JAPC 營運之核能電廠位置圖。

表 2 JAPC 營運之核能電廠資料表格。

名稱	機組類型	商轉時間	輸出(MWe)	狀態
東海一號機	GCR	1961	166	除役中
東海二號機	BWR	1973	1100	停機中
敦賀一號機	BWR	1970	357	除役中
敦賀二號機	PWR	1987	1160	停機中
敦賀三號機	APWR	-	1538	計畫中
敦賀四號機	APWR	-	1538	計畫中

## 二、會議研討議題

### (一) 日本放射性廢棄物處置基本政策與技術標準導則

日本放射性廢棄物分為高放射性廢棄物(HLW)、超鈾元素廢棄物(TRU Wastes)、相對較高之低放射性廢棄物(Relatively Higher Low Level Waste, Level 1 radwaste, L1)、一般低放射性廢棄物(Low Level Waste, Level 2 radwaste, L2)、極低之低放射性廢棄物(Very Low Level Waste, Level 3 radwaste, L3)、廢棄鈾(Uranium Waste)以及研究設施及放射性同位素產生之廢棄物(MIR)，依據不同的種類有不同的處置概念，如圖 5。並分別就其產源、處置概念說明如下(整理如表 3)：

- (1) 高放射性廢棄物：日本目前尚未有高放候選場址，但已建立了完整的處置概念，且已進行場址調查研究，並針對相關法令規定進行檢討，預定 2020 年代中期選定處置場址，於 2033-2037 年執行處置計畫。該廢棄物來源為用過核子燃料再處理廠，採用深地層處置方式進行最終處置，深度須大於 300 公尺。
- (2) 超鈾元素廢棄物：來源為用過核子燃料再處理廠及 MOX 燃料製造廠，採深地層處置、淺地層處置或近地表處置。
- (3) 相對較高之低放射性廢棄物：為 L1 類廢棄物，來自反應器(Reactor)除役，採淺地層處置，埋設於淺地層處置，並有工程障壁系統。
- (4) 一般低放射性廢棄物：為 L2 類廢棄物，來源為核能設施運轉與除役所產生，採近地表處置並含工程障壁系統。
- (5) 極低之低放射性廢棄物：為 L3 類廢棄物，來源為核能設施運轉與除役所產生，採近地表掩埋處置，目前日本 L3 廢棄物採取於各電廠於原廠址掩埋處置。
- (6) 廢棄鈾：來自鈾濃縮及燃料製造廠，採淺地層處置或近地表處置，必要時採深地層處置。
- (7) 研究設施及放射性同位素產生之廢棄物：來自研究設施、醫院，採淺地層處置或近地表處置，必要時採深地層處置。

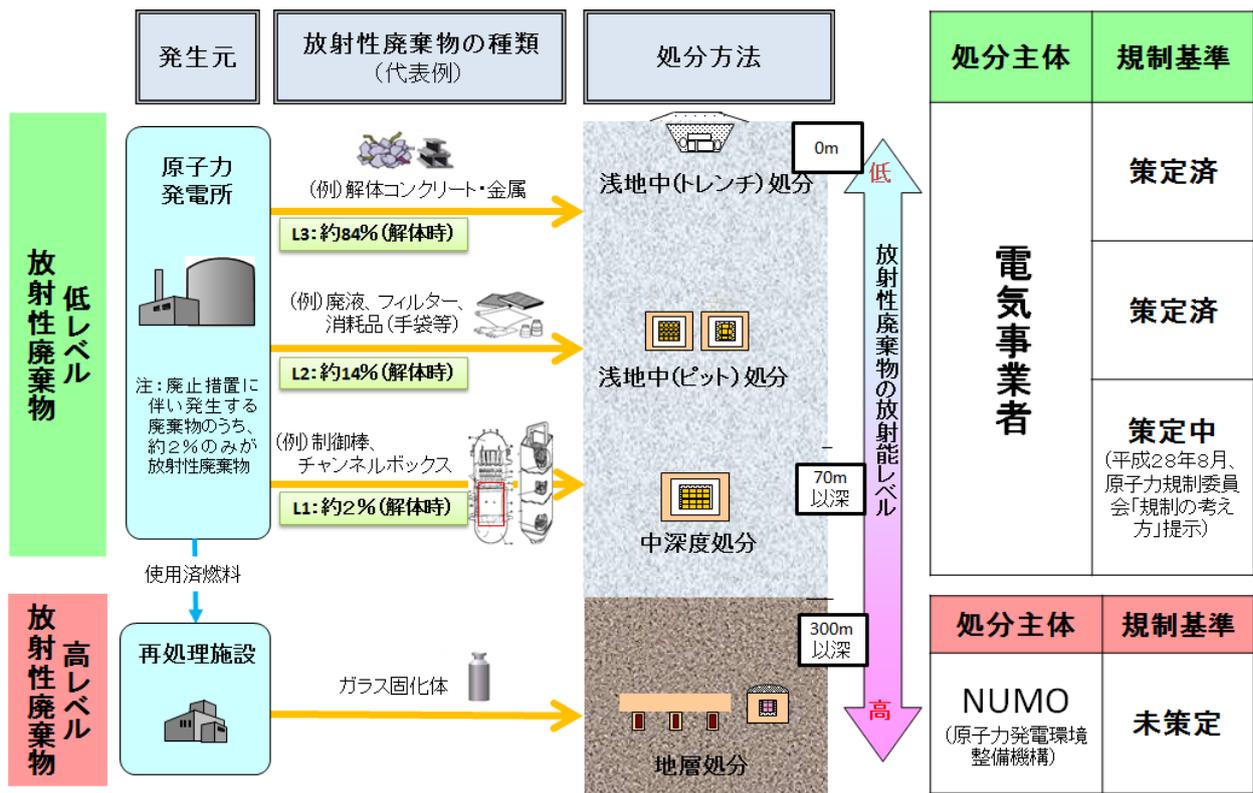


圖 5 日本放射性廢棄物處置概念。

表 3 日本放射性廢棄物處置概念。

分類	産源	處置概念	
高放射性廢棄物 (HLW)	用過核子燃料再處理廠	地質處置	
低放射性廢棄物 LLW	超鈾元素廢棄物 (TRU Wastes)	深地層處置、淺地層處置或近地表處置	
	相對較高之低放射性廢棄物 (L1)	淺地層處置	
	一般低放射性廢棄物 (L2)	近地表處置 (有工程障壁)	
	極低之低放射性廢棄物 (L3)	近地表處置	
	廢棄鈾 (Uranium Waste)	鈾濃縮及燃料製造廠	淺地層處置或近地表處置 (必要時採深地層處置)
	研究設施等產生之廢棄物 (MIR 廢棄物)	研究設施、醫院及 RI 許可者	淺地層處置或近地表處置 (必要時採深地層處置)

## (二) 日本溝通經驗

於日本的回饋計畫中，核子設施的回饋金是繳納給當地政府，並不直接給予個人。而地方政府收取之回饋金將運用於區域發展之規劃、公共設施維護、促進產業發展、福利措施、地方之區域發展措施、地方稅稅率之調整。

JNFL 於六所村建立公共關係中心(Public Relation Center, PR Center)，於該中心中設立各項硬體設備介紹 JNFL 的設施，包含再處理廠、低放射性廢棄物處置中心、放射性廢棄物管理、輻射介紹、各種發電方式優缺、全球暖化的影響，並設有 360 度環景劇場。也藉由遊戲方式親近民眾，吸引參觀者了解其中內容。



JNFL 六所村核子設施的公眾關係中心(Public Relation Center)，除中心內設施外，透過與民眾的直接對話，使民眾對於放射性廢棄物處理及處置有完整的瞭解，有利於溝通之進行。

圖 6 PR Center 中低放射性廢棄物處置中心介紹模型。

於推行高放處置選址方面，NUMO 以圓桌討論等活動與公眾接觸。也透過報紙及當地雜誌傳遞相關訊息，也透過 NUMO 的雜誌「NUMO-NOTE」，定期提供 NUMO 活動信息。並有宣導卡車「地理未來號」在各地巡迴展示，其中設有模型與 3D 動畫迷你劇場，向來參觀的民眾介紹 NUMO 的地質處置計畫與其安全系統，並在車外供民眾體驗膨潤土實驗，直接前往民眾生活圈進行互動溝通工作。



圖 35 NUMO 地理未來號。

NUMO 也針對不同年齡層建立不同的教育教材供各學校教師使用，並定期舉辦授課研討會供教師參與。



圖 36 NUMO 教育教材。

### (三) 日本核燃料循環

日本採用封閉式的核燃料循環，以作為長期的能源策略方案。由於日本是資源缺乏的國家，採用封閉式的核燃料循環，將用過核子燃料經由再處理後，產生如同半自產燃料的 MOX 燃料。鈾燃料可持續使用三到四年，且可經由再處理重複使用。在許多輕水式核能電廠中，能量主要來自鈾 235，而部分鈾 238 吸收中子後會成為鈾。經由再處理將鈾及餘下的鈾 235 萃取出來，成為鈾燃料或 Mixed Oxide (MOX) 燃料的原料。

在用過核子燃料的組成中(圖 7)，96%為鈾、1%為鈾，可回收再利用成為 MOX 燃料的資源，用於輕水式反應器中可節省 10%~20%天然鈾資源，此外，若未來將鈾使用於快中子滋生反應器則可達到更高的效率。

而 2009 年 1 月，伴隨中部電力的濱岡 1、2 號機停止運轉，該電力公司宣布將於廠區內興建「用過核子燃料乾式貯存設施」，而各電力公司針對自己的電廠皆有不同的燃料貯存政策。

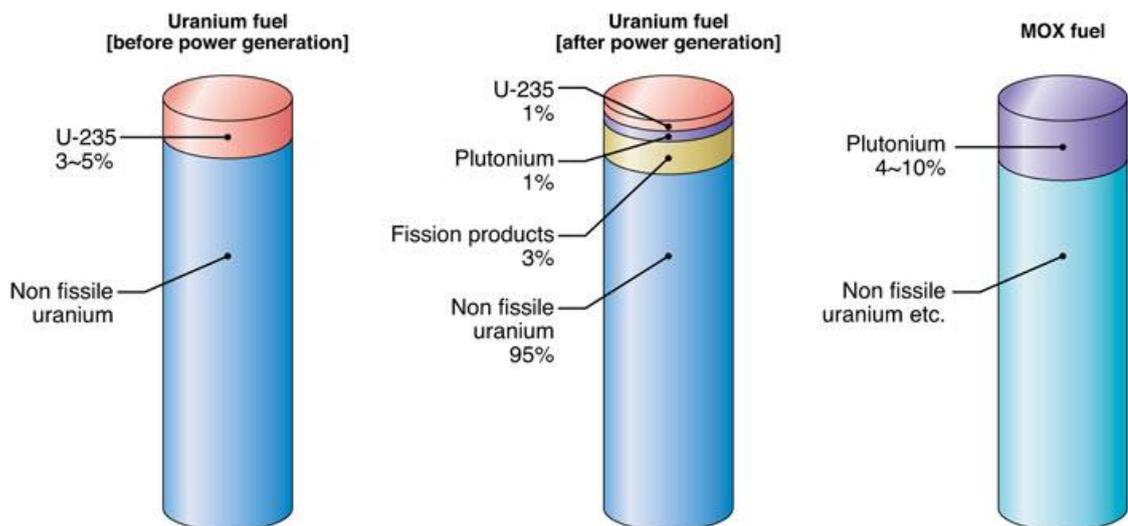


圖 7 鈾燃料及 MOX 燃料組成比較示意圖。

JNFL 六所村再處理工廠 Reprocessing facility 是日本第一個商用再處理廠，其有良好的鈾鈾萃取(PUREX)處理。為了降低核子擴散風險，該廠採用鈾-鈾共同萃取技術，再脫硝(denitration)之前將部份鈾再混入鈾。經過此程序，鈾鈾混合材料可用於 MOX 燃料中，因

此鈾不會獨自存在，如圖 8。其最大處理量可達每年 800 噸鈾之用過核燃料，足夠處理 40 座 1,000MW 核能電廠之用過燃料年使用量。

位於六所村 JNFL 之核燃料再處理廠配合日本【原子力規制委員會(NRA)】新基準進行相關設施安全性檢討後，預計於 2018 年啟用，目前已接收 3,393 噸用過燃料。將用過核子燃料進行再處理仍為日本核能政策中重要環節。

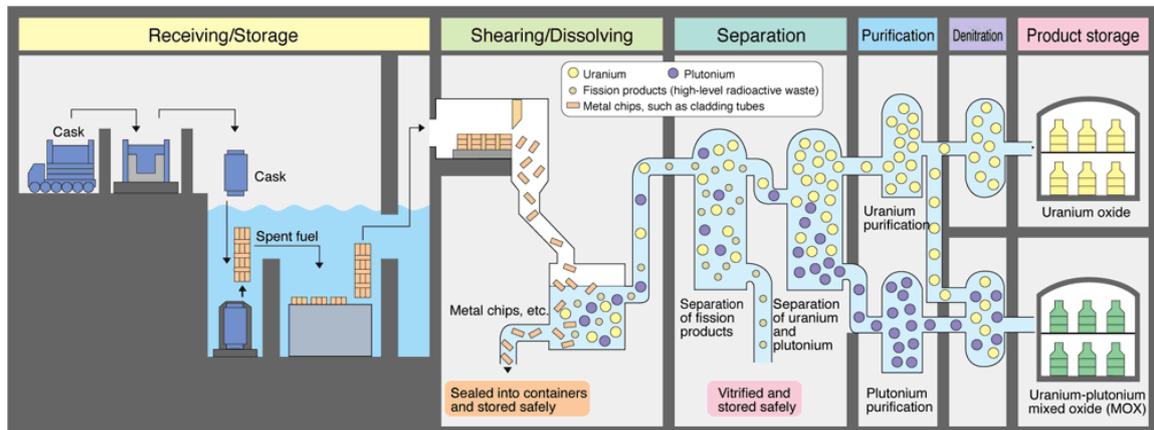


圖 8 六所村再處理工廠流程示意圖。

#### (四) 集中貯存設施設計概念、建造施工要求標準

在用過燃料的中期貯存方面，日本對於貯存設施的要求，須採用自然對流的移熱功能，此項設計在 RFS 用過燃料貯存設施及 JNFL 的高階放射性廢棄物貯存設施皆有採用，如圖 9、10。除了自然對流的設計外，貯存設施在設計上須考量圍阻、屏蔽、防止臨界等功能，於輻射管理上須考量輻射監測、護箱材料老化現象等，其餘安全措施，還須考量其他自然現象及護箱傳送等。

RFS 金屬護箱設計，如圖 11。於圍阻方面，採用雙層金屬上蓋、空隙處為負壓、雙層上蓋間為正壓、加裝第三層上蓋用於傳輸等。用過燃料貯存設施金屬護箱，在貯存用過燃料的條件下，須設計在假設的任何情況下，皆防止達到臨界。金屬護箱內部的提籃為構成防止臨界機能的一部份，在貯存期間，要保持其健全性。臨界評估要考慮在次臨界下有顯著影響之因子，包含配置、形狀、中子吸收材料的效果、緩和劑(水)的影響、燃耗等。

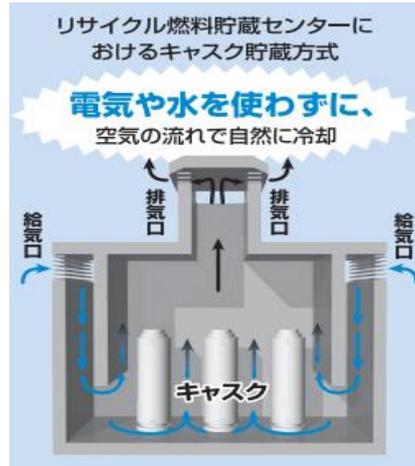


圖 9 RFS 用過燃料貯存設施自然對流設計示意圖。

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の貯蔵概念図

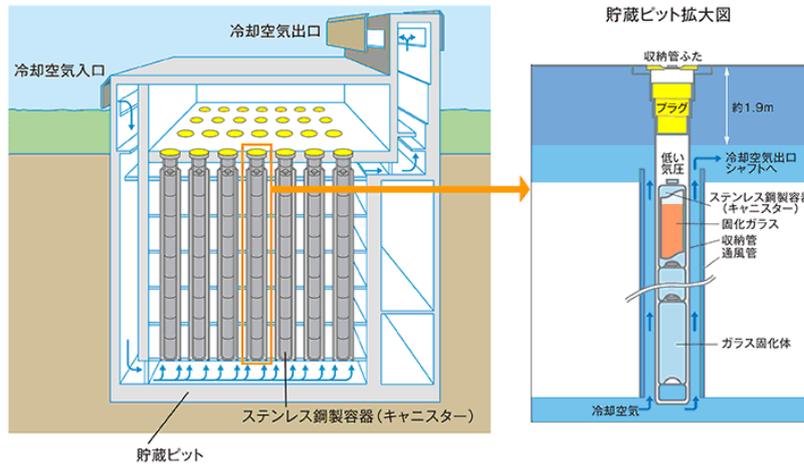


圖 10 JNFL 的高階放射性廢棄物貯存設施自然對流設計示意圖。

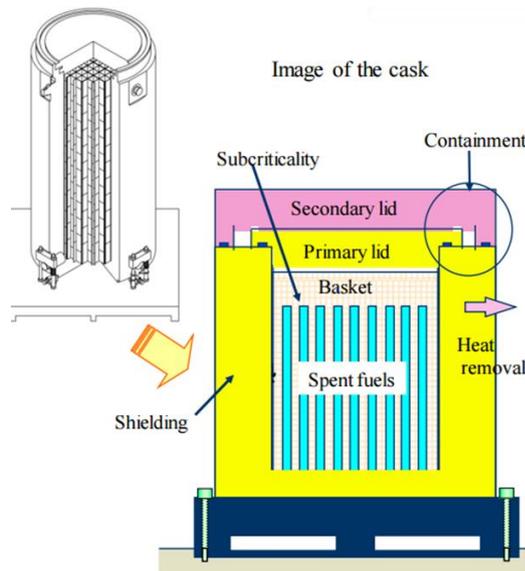


圖 11 RFS 金屬護箱功能設計示意圖。

可再生燃料貯存公司（RFS）於青森線陸奧市建置過核子燃料貯存設施(圖 12)，該設施主要將用於貯存東京電力公司柏崎刈羽電廠與日本原子力發電公司敦賀電廠的用過核子燃料，最終貯存容量預計為 5,000 噸，依投資比例分配，東京電力公司使用 4,000 噸，而原子力發電公司使用 1,000 噸。貯存設施採用空氣自然對流之方式進行冷卻，如圖 13。貯存設施大致分為三個區域，分別為接收區、輔助區、貯存區，如圖 14。此貯存設施採用乾式貯存方式。



圖 12 RFS 貯存設施位置示意圖。

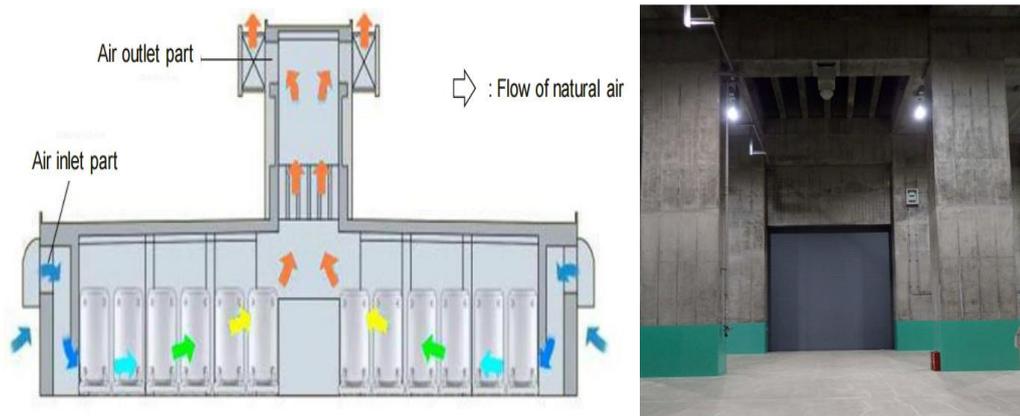


圖 13 RFS 貯存設施採用空氣自然對流之方式進行冷卻。

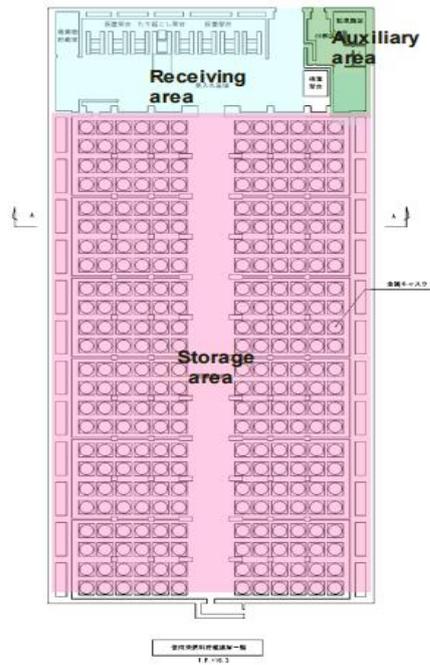


圖 14 可再處理之用過核燃料貯存中心之接收區、輔助區、貯存區。

該設施將以金屬護箱之形式進行貯存，並由東京電力設計公司進行設計，採用可同時用於運輸及貯存的金屬護箱，並確保其基本安全功能可達 50 年以上的貯存時間，並達到屏蔽、維持次臨界、餘熱移除的功能，日本金屬護箱之製造商主要為日立、三菱重工、神戶精鐵。金屬護箱採用雙層金屬上蓋，雙蓋間採用高正壓設計，金屬護箱內壓小於大氣壓力，要能讓用過燃料所處之內封的空間維持絕對負壓(約 0.7bar)；雙蓋之間為絕對正壓(約 7bar)，並設有第三層保護蓋用於運輸，如圖 15。因應新的規範對於海嘯之安全規定，要求設施須高於海平面 14 公尺，故該設施位於海平面 16 公尺高，並須就遭遇龍捲風時之安全策略，擬定重物掉落之強化對策。一號燃料貯存建屋的部分於 2010 年開始施工，已於 2013 年 8 月完成，其貯存容量為 3,000 噸，因須符合日本核能安全管制單位【原子力規制委員會(NRA)】新的法規要求，故延至 2018 年後半年啟用。該設施現有 57 名員工(統計至 106 年 7 月)，開始運轉後預計將剩下 80%人力。該設施預計貯藏時間為 50 年，且未有延長之計畫。

監測部分的規劃將量測雙層上蓋間之壓力、護箱表面溫度、建築物內外輻射偵測、空氣進出口溫度，如圖 16。

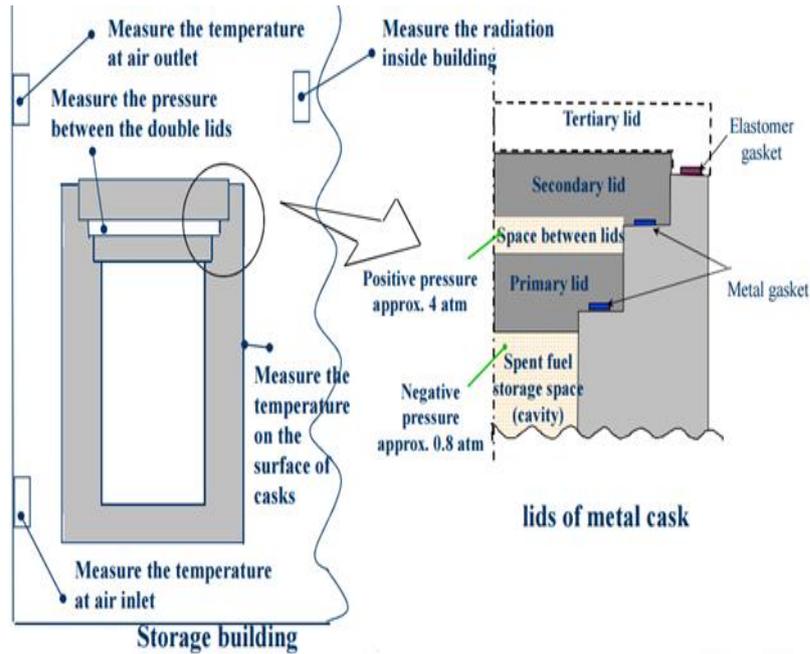


圖 15 金屬護箱設計概念示意圖。

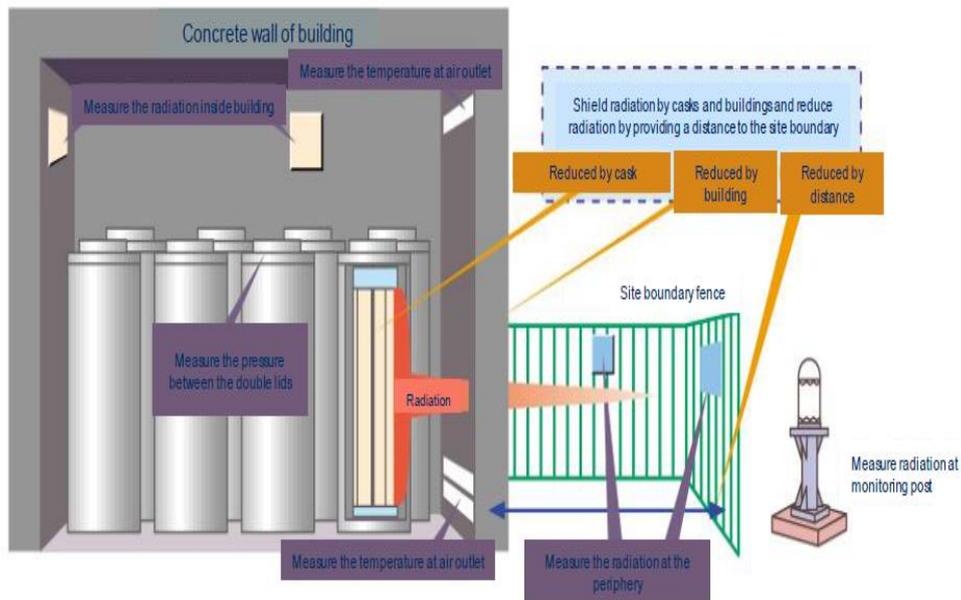


圖 16 監測位置示意圖。

運作流程部分，將由 RFS 公司負責燃料貯存業務，燃料的裝載及到達貯存場前的運輸則由電力公司負責，以船運方式運至關根濱港(Sekine Port)，再轉由陸路運輸至貯存設施，在貯存設施進行完接收檢查後，再由電力公司將燃料裝載及運輸前的檢查紀錄交給 RFS，如圖 17。

目前 RFS 暫未與當地政府協商須繳納稅金數額，依日本經驗，核廢料相關設施並未直接給予附近居民回饋金，而是與當地政府協商稅金的繳納計算方式。目前 RFS 之貯存設施須待主管機關核發執照後，始可與當地政府協商稅金計算方式。

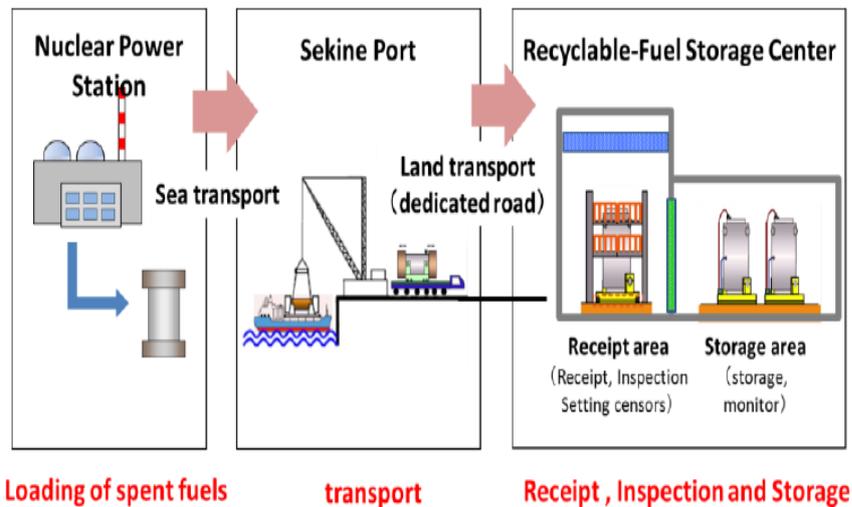


圖 17 RFS 運輸及接收流程。

從 1969 年起，日本核能電廠產生約 25,000 噸之用過燃料。十家日本電力公司和法國公司 COGEMA (現為 AREVA NC) 及英國公司 BNFL 公司簽訂再處理合約。三分之一的日本用過燃料在法國 La Hague 廠及英國 Sellafield 廠進行再處理。合約中寫明再處理後之產物需運回日本，因此約有 2,200 玻璃固化廢棄物需由法國及英國運回日本。這十家電力公司需負責將這些廢棄物進行安全的貯存與處置，這些回運的廢棄物即貯存於 JNFL 高放射性廢棄物貯存管理中心(Interim storage facility for returned HLW)，預計貯存 30 到 50 年再進行最終處置。

採用特殊設計之船隻，從國外運送玻璃固化廢棄物回到日本。船隻配有足夠的安全措施，包含雙層船體結構以防碰撞、防火設備、防撞系統。採用大型起重機及護箱進行卸載，並以特殊車輛經由專用道路直接由港口送至高放射性廢棄物貯存管理中心。目前已接收共 1,830 個玻璃固化廢棄物罐。

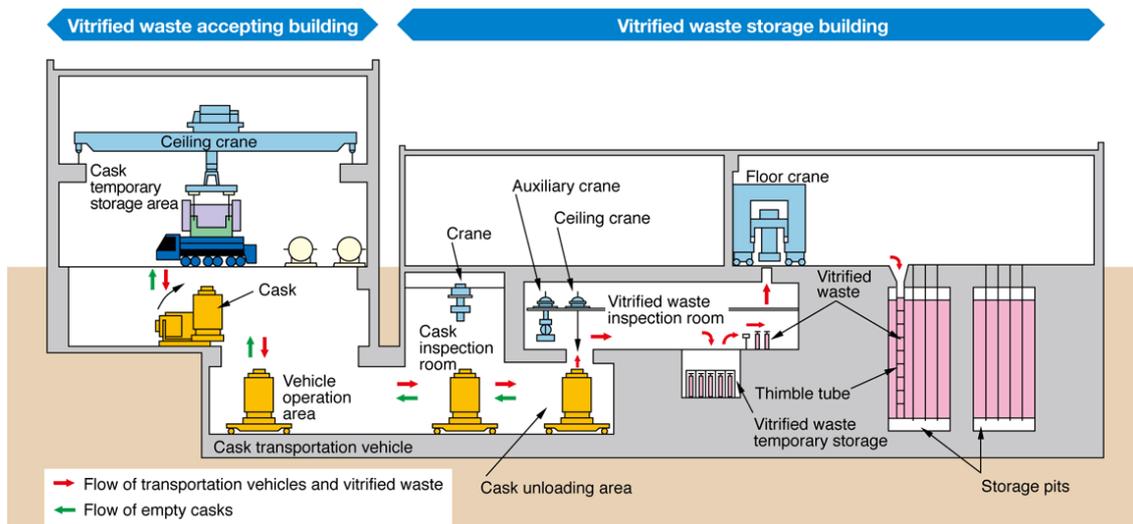
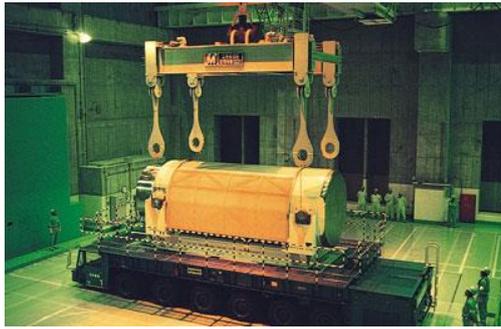


圖 18 JNFL 高放射性廢棄物貯存管理中心運作示意圖。



(a)玻璃固化廢棄物罐運輸護箱



(b)遙控檢查室



(c)貯存空間上部

圖 19 JNFL 高放射性廢棄物貯存管理中心設備圖。

#### (五) 低放射性廢棄物最終處置場工程設計

國際上對於放射性廢棄物處置，常採用「多重障壁」概念，利用多重障壁系統，達到圍阻（Containment）與遲滯（Retardation）核種傳輸之安全功能，讓放射性核種遷徙回到生物圈時，輻射劑量已衰減至對人類環境無害之程度。除可提供圍阻與遲滯功能，坑道處置設施亦提供優於地表處置設施之隔離功能。以下為日本低放射性廢棄物處置的工程障壁設計。

##### 1. L1 廢棄物

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，需於中間深度的混凝土坑道或筒倉狀設施實行地下工程障壁處置。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，需於中間深度的混凝土坑道或筒倉狀設施實行地下工程障壁處置。此處置方式稱為次地表（sub-surface）處置或淺地層處置(圖 20)，需有充分的餘裕以避免人類進行地下設施的一般使用時無意入

侵。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，土地仍可再利用。但目前日本原子力規制委員會(NRA)尚未決定對 L1 廢棄物處置的監管標準。

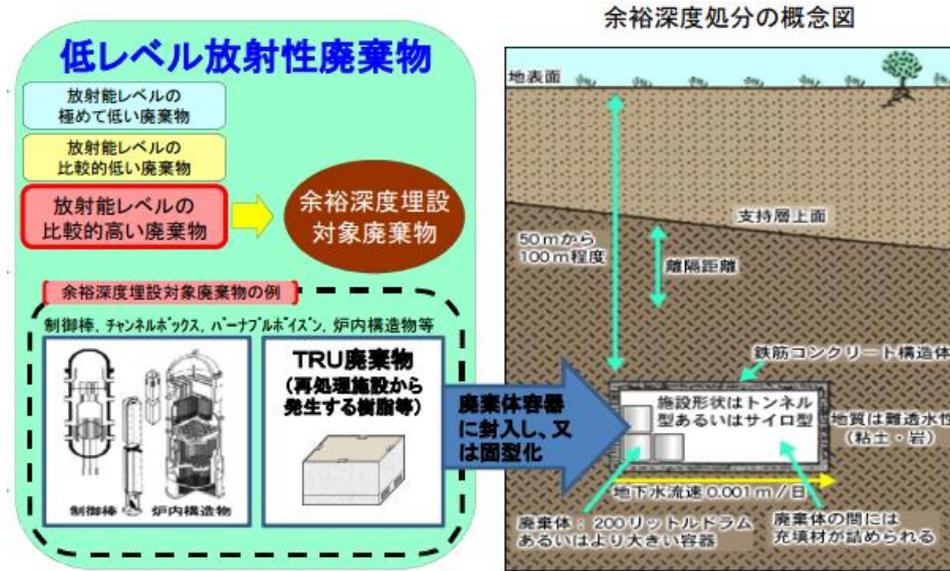


圖 20 L1 處置概念圖。

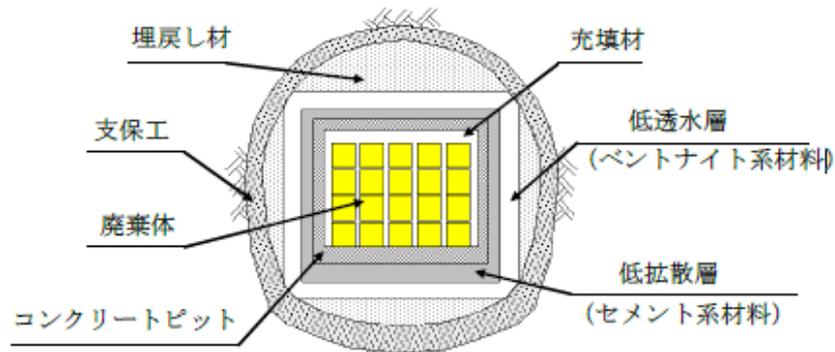


圖 21 L1 處置工程障壁概念圖。

為針對相對活度較高 L1 低放射性廢棄物進行地質調查與相關研究，JNFL 規劃處置實驗坑道進行相關實驗，通行坑道設計寬度 7 公尺，高度為 6.5 公尺；主試驗坑道設計寬度 18 公尺，高度為 16 公尺，總長 1100 公尺，並於 2001~2006 年間進行地質調查，以瞭解其特徵(地質結構、斷層與裂隙特性、地下水及岩體力學等)，2004~2006 年間進行處置設施力學穩定分析(岩盤變位、支撐應力等)。透過上述調查，已獲得處置母岩對於抑制核種遷移的行為機制。該設施位於海平面下 80 公尺，且由於地理位置近海，場址須考量海水入侵或位於海淡水交界處的可能性。

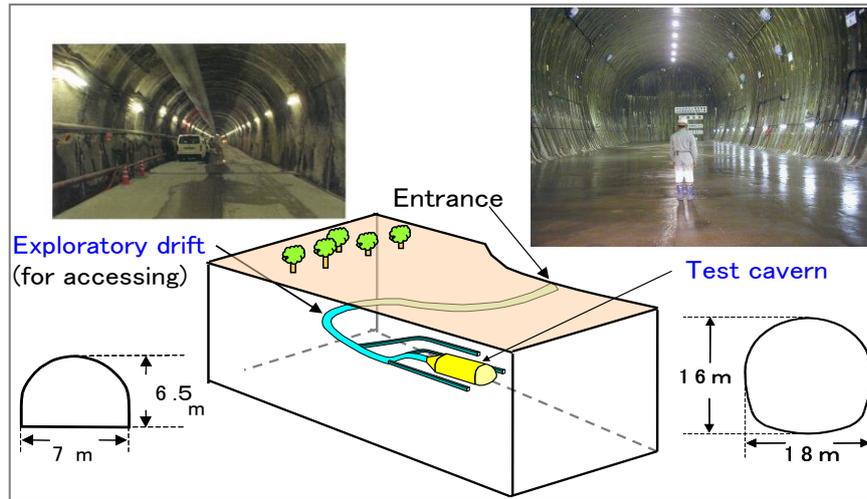


圖 22 JNFL 近地表實驗性坑道示意圖。

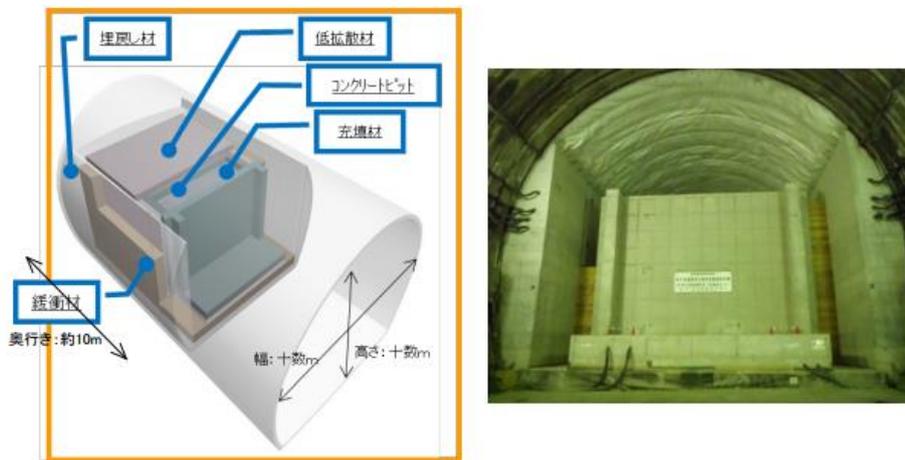


圖 23 近地表實驗性坑道施工圖。

## 2. L2 廢棄物工程障壁

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，於近地表之混凝土坑進行掩埋處置。此處置場至少需監管 300 年，監管期間過後此處的土地可做為正常使用。

JNFL 於六所村的低放射性廢棄物處置中心接收 L2 廢棄物採用近地表混凝土窖處置(Pit disposal)形式進行處置作業。目前已接收 200 公升桶廢棄物約 298,251 桶(截至 106 年 7 月)，目前容量為 80,000 m<sup>3</sup>，可裝 200 公升桶約 40 萬桶，計畫未來提升容量至 600,000 m<sup>3</sup>，因其仍有腹地，故計畫全區域將持續擴充至 300 萬桶之容量。

處置場接收來自核能電廠產生之固化低放射性廢棄物，依其處理後之特性分類處置於一號或二號設施。一號處置場主要處置濃縮廢液固化、廢樹脂固化或燃燒產生之灰渣固化廢棄物，二號處置場主要處置燃燒或壓縮後之固化廢棄物，如圖 24。一號處

置場中共有 40 個處置窖(pit)，而一個處置窖(pit)則有 16 個處置單元(cell)，一個處置單元可存放 320 桶廢棄物。二號處置場中則有 16 個處置窖(pit)，而一個處置窖(pit)則有 36 個處置單元 cell，一個處置單元 cell 可存放 360 桶廢棄物，如圖 25。

低放射性廢棄物於核電廠通過檢查後經由船隻及卡車送達處置中心之暫時貯存區及檢查大樓。在接收後進行最後檢查，檢查表面是否有因運輸損傷、確認是否與電廠輸出之廢棄物編號一致，檢查完成後便將廢棄物桶改為水平放置，將其運至處置區域後將桶以水平方式堆置於處置設施中，以水泥沙漿(mortar)填入廢棄物桶間空隙，於處置設施上部填入鋼筋混凝土，如圖 26。此外，為確保長期處置之安全性，處置層上方覆以至少 2 公尺厚膨潤土與砂之混合層(Bentonite/Sand Mixture)，再回填 4~9 公尺土壤(Cover Soil Layer)並植生保護，如圖 27。目前 JNFL 公司尚未決定採行之膨潤土種類，但日本持續對其國產之 kunigel GX 膨潤土進行研究。

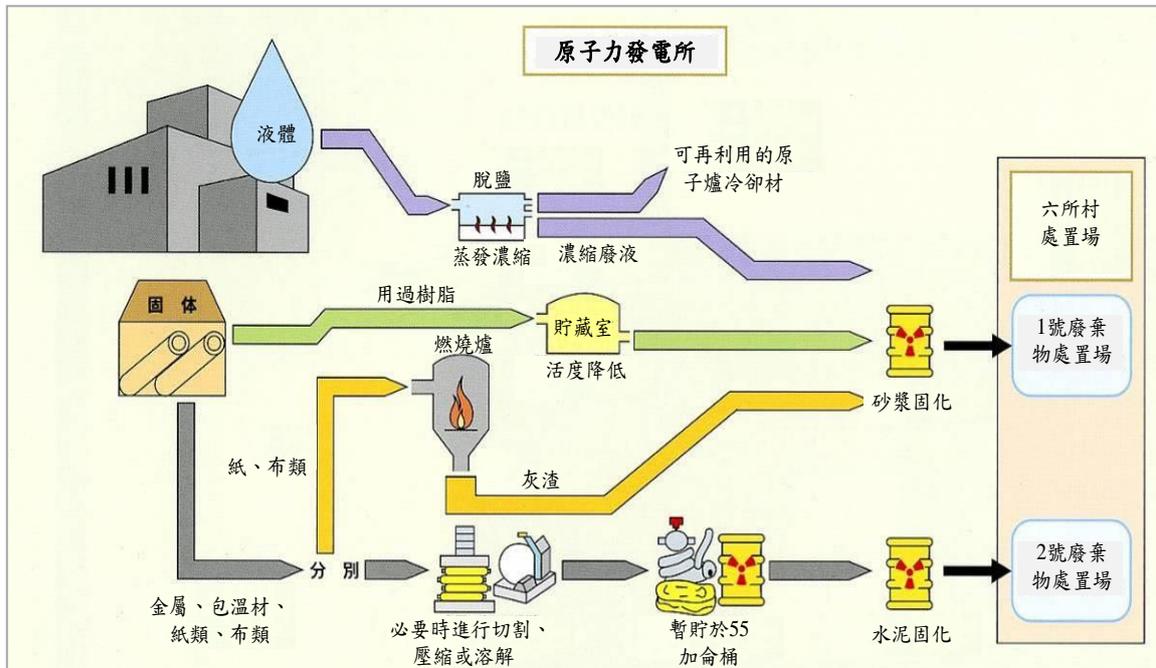


圖 24 六所村低放射性廢棄物處置中心處置流程。

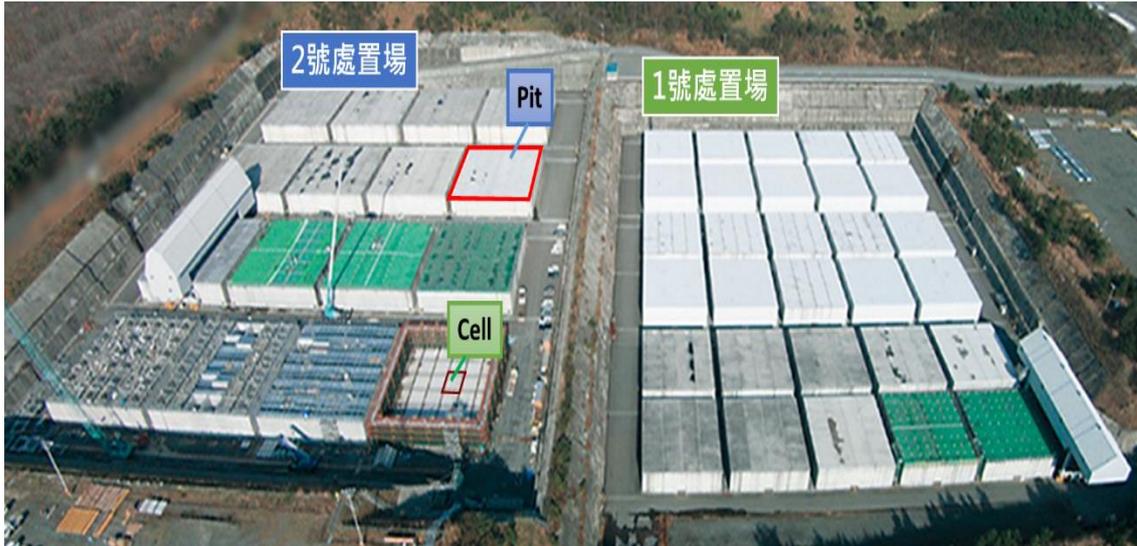


圖 25 低放射性廢棄物處置中心現場圖。



圖 26 JNFL 低放射性廢棄物運送及處置流程。

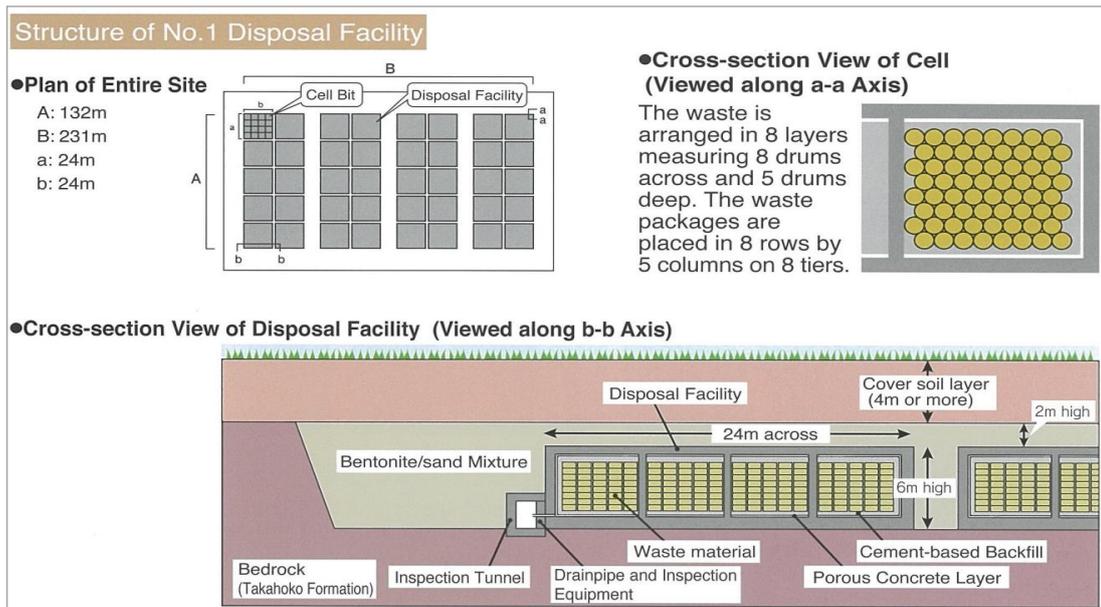


圖 27 JNFL 低放射性廢棄物處置中心結構示意圖。

日本採行的方式為水平堆放廢棄物桶，且堆滿一個處置單元 cell 後才進行整個 cell 的灌漿。臺灣採行的設計則是採用垂直堆放，每擺滿一層即需進行單層灌漿，以確保廢棄物桶之間間隙可被水泥沙漿填實。以 JNFL 之經驗，可於一日內即完成 1 個處置單元的廢棄物桶擺放及灌漿工作。另因氣候影響，於冬天時六所村氣溫過低，故冬天該設施不進行灌漿工作。

依 JNFL 規劃，封閉後各階段規劃如表 4，一號設施預計於運轉後 30~35 年進行封閉，二號處置設施則是預計於運轉後 25~30 年進行封閉，此為第一階段封閉。處置設施另建置檢查廊道進行監控，監控 20 年後將檢查廊道填充。完成第一階段封閉後之 30 年間為第二階段，第三階段則為第一階段完成後之 300 年間。前兩階段之管理著重於各項監測，包括地下水監測、排水監測、設施本身與廢棄物的滲漏狀況。而第三階段除了環境監測外，主要管理方式為管理區域內禁止人為開挖行為，以及覆土修復。

表 4 JNFL 低放射性處置封閉後階段管理。

階段	第一階段	第二階段	第三階段
預計時間	處置場接收 廢棄物開始後 1 號設施：30~35 年 2 號設施：25~30 年	第一階段封閉 後 30 年	第一階段封閉後 300 年
目的	圍阻於處置設施中	避免放射性核種經由處置設施及覆土傳輸	主要避免避免放射性核種經由覆土傳輸
控制管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 建立處置維護區域，監控障壁及覆土</li> <li>● 環境監控</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 建立監視區域</li> <li>● 監控地下水中放射性物質密度</li> <li>● 排水系統及排水監管設施</li> </ul>		● 限制開發等
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 監控洩漏</li> <li>● 修復處置設施等</li> </ul>	● 監控洩漏狀況	

### 3. L3 廢棄物工程障壁

低放射性廢棄物中，混凝土及金屬等非常低放射性廢棄物，可直接於近地表實行壕溝掩埋處置。經過約 50 年的監管後土地可回復一般使用。日本對於 L3 廢棄物目前採行的方式為將其於廠內直接處置。

JAPC 因應東海核電廠除役於廠內建置低放射性放棄物處置設施，用於 L3 廢棄物處置，壕溝由地表向下挖掘 4 公尺深，每個區塊為寬 8 公尺、長 15 公尺，南側有 25 個區塊，北側有 30 個區塊，整體面積約 80 公尺x100 公尺，最大處置容量為 26,400m<sup>3</sup>，如圖 28。

由起重機將廢棄物放置定點，將第一階段的放棄物皆放置定點後，於其上填充中間覆土約 0.25 公尺(須 0.2 公尺以上)，再繼續放置下一階段廢棄物與中間覆土，最上層的中間覆土則約 0.6 公尺(須 0.2 公尺以上)，最後在壕溝上方覆蓋約 2 公尺後的最終覆土，如圖 29。

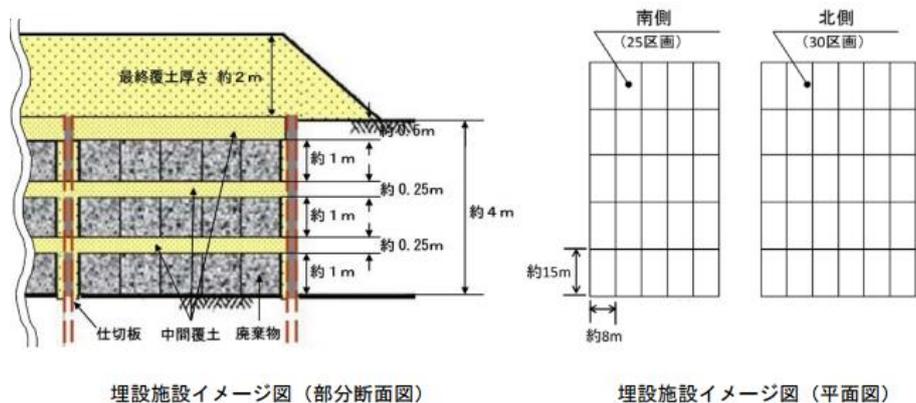


圖 28 東海低放射性廢棄物處置設施設計示意圖。

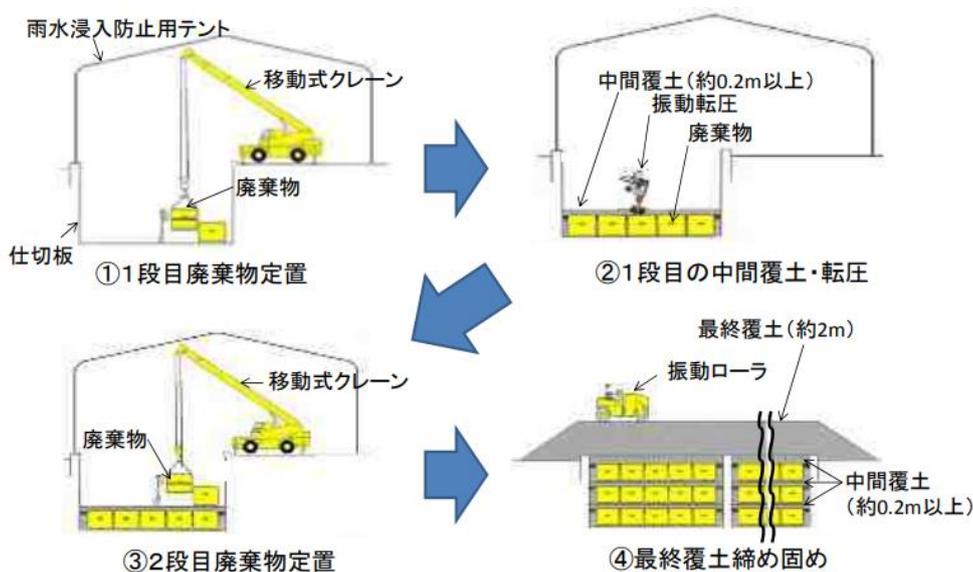


圖 29 JAPC 東海核電廠 L3 廢棄物埋設步驟。

### (六) 超鈾元素廢棄物 TRU 處置

在再處理的過程中，除了高放射性廢棄物，也會產生低放射性廢棄物，由於其中有一定濃度的長半衰期核種，這些廢棄物也須進行地質處置，以使其與生物圈長期隔離。TRU 廢棄物也會在 MOX 燃料製造廠的運作及再處理廠與 MOX 燃料製造廠的除役過程中產生。預計將有 18,100m<sup>3</sup> 的 TRU 廢棄物需要進行地質處置。

### (七) 日本除役計畫

截至 2017 年 6 月 20 日止，日本無福島事故前有 54 部商業反應器，目前已有 5 座商業反應器恢復運轉，分別為川內 Sendai 電廠 1 及 2 號機、伊方 Ikata 電廠 3 號機、高濱 Takahama 電廠 3 及 4 號機；另有 7 部機組已獲得重啟許可，皆為 PWR 型反應器。CRIEPI 評估，福島事故前日本雖有 54 部商業反應器，但經各電力公司檢討後確定已有 27 部商業反應器不再申請啟動。

目前有 1 部機組處於除役準備狀態，除了 Fukushima Daiichi 的機組外，另有 10 部

機組除役中，詳細機組如表 6。

日本電廠在除役時之拆除方式為先拆除汽機廠房中之設備、發電機、冷凝、鍋爐，最後才拆除反應爐及爐心部分。

表 6 日本目前除役中及準備除役之電廠列表。

機組	營運商	機組類型	輸出(MWe)	開始商轉時間	永久停機時間
Tokai-1	JAPC	GCR	166	1996.07.25	1998.03.31
Fugen	JAEA	ATR	165	1979.05.20	2003.03.29
Hamaoka-1	CHUBU	BWR	540	1976.3.17	2009.01.30
Hamaoka-2	CHUBU	BWR	840	1978.11.29	2009.01.30
Tsuruga-1	JAPC	BWR	357	1970.03.14	2015.04.27
Mihama-1	KANSAI	PWR	340	1970.11.28	2015.04.27
Mihama-2	KANSAI	PWR	500	1972.07.25	2015.04.27
Genkai-1	KYUSHU	PWR	559	1975.10.15	2015.04.27
Shimane-1	CHUGOKU	BWR	460	1974.03.29	2015.04.30
Ikata-1	SHIKOKU	PWR	566	1977.09.30	2016.05.10
Monju	JAEA	FBR	280	1991.09.18	2016.12.21

## 肆、心得及建議

### (一) 心得

1. 本公司計畫的低放處置場中，與日本方的工程障壁概念相似，膨潤土於雙方的工程障壁設計中的遲滯圍阻功能皆有其重要性。而日本針對 kunigel GX 膨潤土持續進行實驗，並用於 JNFL 的 L1 實驗坑道中。
2. JNFL 的低放射性廢棄物處置中心對於 L2 低放射性廢棄物之處置採行近地表處置窖掩埋的方式，低放射性廢棄物為水平堆放廢棄物桶，且堆滿一個 cell 後才進行整個 cell 的灌漿。臺灣採行的設計則是採用垂直堆放，每擺滿一層即進行灌漿。

### (二) 建議

1. 日本之地理環境與台灣類似，JNFL 六所村核子設施的 L2 低放射性廢棄物處置設施已有運轉經驗，且目前已設置 L1 處置實驗坑道，此坑道位置近海，將有部分海水環境，而日本 L1 低放射性廢棄物處置設計概念與我國 B、C 類低放射性廢棄物相似，其實驗結果亦可作為臺灣進行低放處置計畫之參考。JNFL 六所村核子設施除低放處置經驗外，亦有高放射性廢棄物集中貯存設施，未來也可就高放貯存經驗進行交流。建議可與 JNFL 公司簽定合作意向書 MOU，於未來進行更深度之技術經驗交流與資訊交換。
2. 日本的回饋計畫中，核子設施的回饋金是繳納給當地政府，並不直接給予個人。而地方政府收取之回饋金將運用於區域發展之規劃、公共設施維護、促進產業發展、福利措施、地方之區域發展措施、地方稅稅率之調整，建議追蹤此回饋方式的優缺及影響。