

## 出國報告（出國類別：其他）

# 低放射性廢棄物最終處置國際研討會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：彭兆珩 技術規劃專員

王柏宇 安全評估專員

派赴國家：日本

出國期間：105 年 11 月 28 日～105 年 12 月 03 日

報告日期：105 年 12 月 28 日



# 出國報告審核表

出國報告名稱：低放射性廢棄物營運設施觀摩與經驗交流會議

出國人姓名 (2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
彭兆珩	技術規劃專員	台電公司核能後端營運處

出國類別： 考察  進修  研究  實習  
 其他 國際會議 (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)

出國期間：105年11月28日至105年12月03日      報告繳交日期：105年12月28日

出國人員 自我檢核	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「目的」、「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:_____

出國人簽章(2人以上,得以1人為代表)	一級單位 主管簽章	林專業總工程師	蔡副總經理
 	計畫主辦機關 審核人  		

**說明：**

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，自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。

42集資料詳盡  
發端，應加以  
參考、應用。



## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：「低放射性廢棄物最終處置國際研討會議」

頁數\_21\_含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

陳德隆/台灣電力公司/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

彭兆珩/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程師/02-23657210 ext:2333

王柏宇/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程師/02-23657210 ext:2329

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2016/11/28-2016/12/03 出國地區：日本

報告日期：2016/12/28

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物、最終處置

內容摘要：(二百至三百字)

赴日本參加由日本大成基礎設計有限公司(Asano Taiseikiso Engineering Co., Ltd.， ATK)及日本原燃公司(Japan Nuclear Fuel Ltd., JNFL)舉辦之「低放射性廢棄物最終處置技術發展」會議，針對低放最終處置場之營運管理、廢棄物處理與運輸經驗、場址調查、安全評估技術等相關主題進行會議研討與技術參訪。



# 目 次

壹、出國目的.....	1
貳、出國過程.....	2
參、工作內容.....	3
一、日本主辦單位介紹.....	3
(一) 日本大成基礎設計有限公司(ATK)介紹.....	3
(二) 日本原燃公司(JNFL)介紹.....	3
二、會議研討議題.....	6
(一) 日本電力供應現況.....	6
(二) 六所村 L2 低放最終處置場營運經驗.....	7
(三) 日本 L1 低放最終處置計畫發展情形.....	16
肆、心得及建議.....	21





## 壹、出國目的

針對「低放射性廢棄物處置計畫」，本公司為進一步強化我國處置場之規劃設計，需借鏡國際上最終處置場之實際營運管理經驗，故參加日方主辦之研討會議，針對日本原燃公司位於青森縣六所村已營運逾 20 年之低放最終處置場，就其建置經驗、營運管理、廢棄物處理、運輸作業、低放處置技術發展等相關主題進行會議研討與現場參訪，吸取日本於低放處置領域之最新知識、技術法規趨勢與實際經驗，以作為我國低放射性廢棄物處置相關業務之參考，並達成以下目標：

- 一、 了解日本低放射性廢棄物處置設施之設計、營運現況與經驗；
- 二、 了解日本低放射性廢棄物最終處置計畫發展現況；
- 三、 了解日本放射性廢棄物最終處置設施工程障壁材料；
- 四、 了解日本低放射性廢棄物最終處置場址調查、地質環境分析及評估技術。

## 貳、出國過程

自 105 年 11 月 28 日出發，迄 12 月 03 日返國（共計 6 天），停留日本東京都及青森縣兩地。詳細行程如下：

日期	地點與行程	工作內容
11 月 28 日（一）	台北→日本東京	去程
11 月 29 日（二）	日本東京→日本青森	路程
11 月 30 日（三）	日本青森	參加日本大成基礎設計有限公司(ATK)及日本原燃公司(JNFL)舉辦之「低放射性廢棄物最終處置技術發展」會議
12 月 01 日（四）	日本青森→日本東京	參加日本大成基礎設計有限公司(ATK)及日本原燃公司(JNFL)舉辦之「低放射性廢棄物最終處置技術發展」會議 路程
12 月 02 日（五）	日本東京	參訪日本大成基礎設計有限公司(ATK)
12 月 03 日（六）	日本東京→台北	返程

## 參、工作內容

本次會議係由日本大成基礎設計有限公司(Asano Taiseikiso Engineering Co., Ltd. , ATK)及日本原燃公司(Japan Nuclear Fuel Ltd., JNFL)主辦，針對低放最終處置相關議題進行技術交流與討論，並參訪觀摩相關設施。本次會議工作內容，將於「日本主辦單位介紹」與「會議研討議題」兩章節分述。

### 一、 日本主辦單位介紹

#### (一) 日本大成基礎設計有限公司(ATK)介紹

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，日本境內擁有 6 間分公司及 1 間學術機構，並於 2013 年於新加坡成立代表處，本次參訪該公司位於東京的總部。該公司主要業務範圍為大地工程，包含地工勘查與地下水開發技術、結構物檢測/設計及開挖/拆除技術，如圖 1 所示。

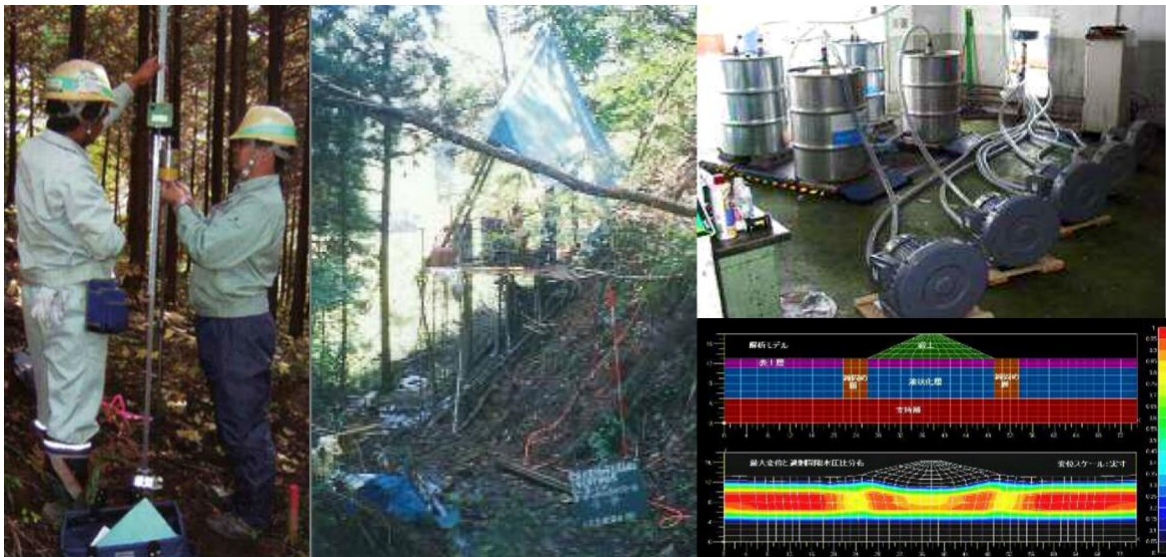


圖 1：日本 ATK 公司主要業務

ATK 地工技術主要涵蓋的範圍包含深層地質調查(高、低放射性廢棄物處置、液化石油氣地下儲存、二氧化碳捕捉與封存)、每年超過 1,000 個現地鑽孔調查工作之實績、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) 日本原燃公司(JNFL)介紹

為了進行鈾濃縮、用過核子燃料再處理、MOX 燃料製造、高放射性廢棄物貯存及低

放射性廢棄物最終處置等有關之作業，日本 9 家電力公司（Chubu、Chugoku、Hokkaido、Hokuriku、Kansai、Kyushu、Shikoku、Tohoku、Tokyo）及 Japan Atomic Power Corporation 聯合成立日本原燃公司(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)分別建立上述相關設施，現有員工約 2500 人。

日本放射性廢棄物分為高放射性廢棄物(HLW)與低放射性廢棄物(LLW)，而低放進一步細分為 5 種類別，分別為超鈾元素廢棄物(TRU Wastes)、鈾廢棄物(Uranium Waste)、活度相對較高之低放射性廢棄物(Relatively High Waste, L1)、活度相對較低放射性廢棄物(Relatively Low Waste, L2)、極低之低放射性廢棄物(Extremely Low Waste, L3)，其中 L1、L2 低放之最終處置作業由 JNFL 負責執行，六所村目前營運中的低放最終處置場係用於處置 L2 低放，而 L1 低放最終處置計畫仍處於發展階段，場址尚未選定。日本放射性廢棄物分類與對應之最終處置方式，整理如圖 2 所示。

JNFL 所擁有之 L2 低放最終處置場、鈾濃縮工廠等核能設施位於青森縣東北部之六所村，位置圖如圖 3 所示，各設施之相關資訊如圖 4 所示。本次技術參訪 L2 低放最終處置場、L2 低放最終處置接收與檢查中心以及 L1 低放最終處置計畫之實驗坑道，參訪內容及會議討論內容併於後續章節詳細說明。

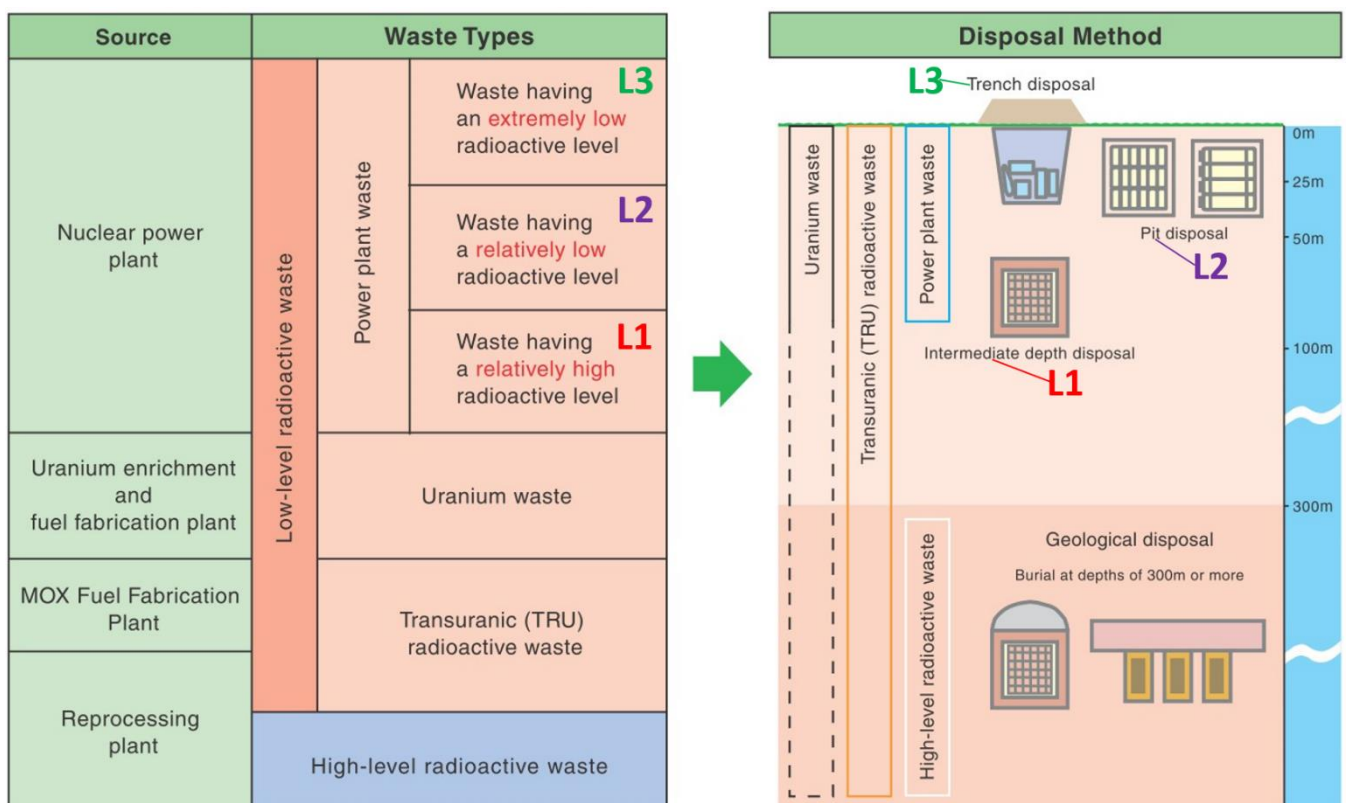


圖 2：日本放射性廢棄物分類與處置方式

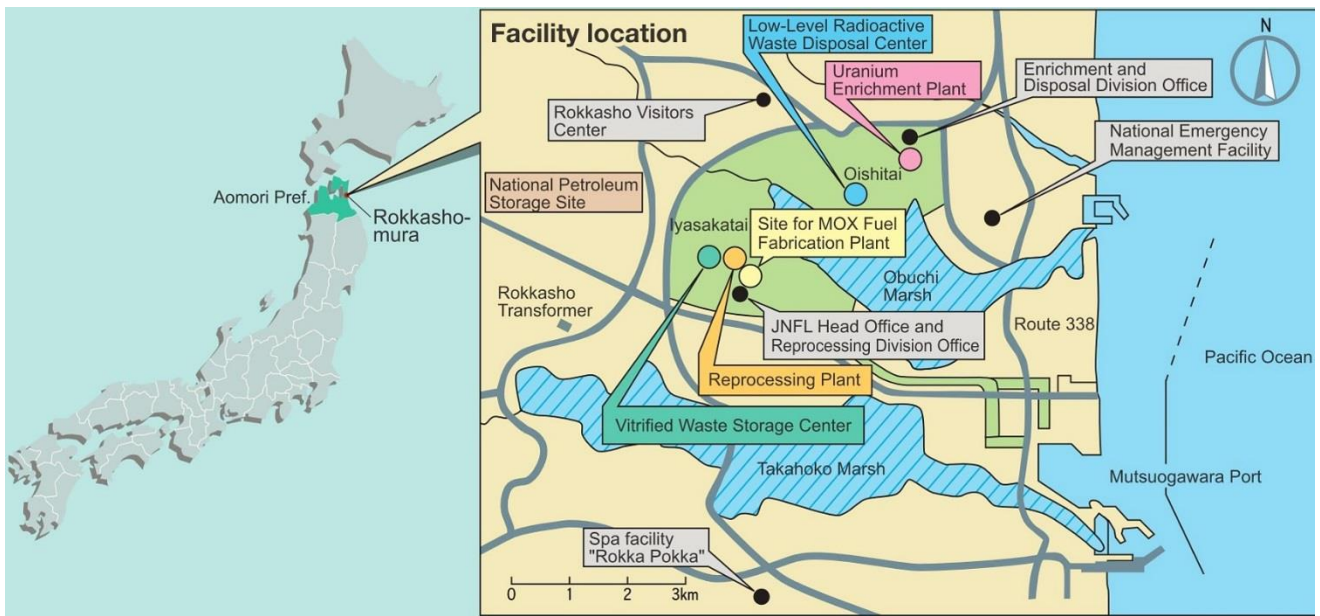


圖 3：青森縣六所村 JNFL 核能設施與總部分佈位置


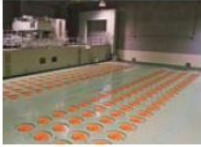

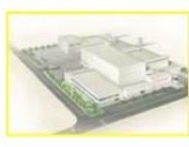

	Reprocessing Plant	Vitrified Waste Storage Center	Uranium Enrichment Plant	MOX Fuel Fabrication Plant	LLW Disposal Center
					
Capacity	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reprocessing: Max. 800 ton-U/y</li> <li>Storage for SF: 3,000 ton-U</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2,880 canisters (720/pit × 4 pits)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Authorized: 1,050 ton-SWU/y</li> <li>Plan: Max. 1,500 ton-SWU/y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>130 ton-HM/y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>400,000 drums (ca. 80,000 m<sup>3</sup>)</li> </ul>
Schedule	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction: Apr. 1993 ~</li> <li>Completion: The 1<sup>st</sup> half of FY 2018</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction: May 1992 ~</li> <li>Operation: Apr. 1995 ~</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction: Oct. 1988 ~</li> <li>Operation: Mar. 1992 ~</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction: Oct. 2010 ~</li> <li>Completion: The 1<sup>st</sup> half of FY 2019</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction: Nov. 1990 ~</li> <li>Operation: Dec. 1992 ~</li> </ul>
Current Situation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Active test: started in 2006, finished for the main facilities.</li> <li>Under conformity check for new regulations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Received 1,698 canisters (Dec. 2015)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Replaced with advanced centrifuge: Mar. 2012 ~</li> <li>Total production: 1,698 ton-UF<sub>6</sub> (Dec. 2015)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Under conformity check for new regulations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Received 284,763 drums (No.1 + No.2) (Dec. 2015)</li> </ul>

圖 4：JNFL 各核能設施現況

## 二、 會議研討議題

### (一) 日本電力供應現況

2015 年，日本總發電量為 8,694 億度，約為我國 4 倍，發電量結構列於圖 5 右側，我國 2015 年度發電量結構列於圖 5 左側，用以參酌比較

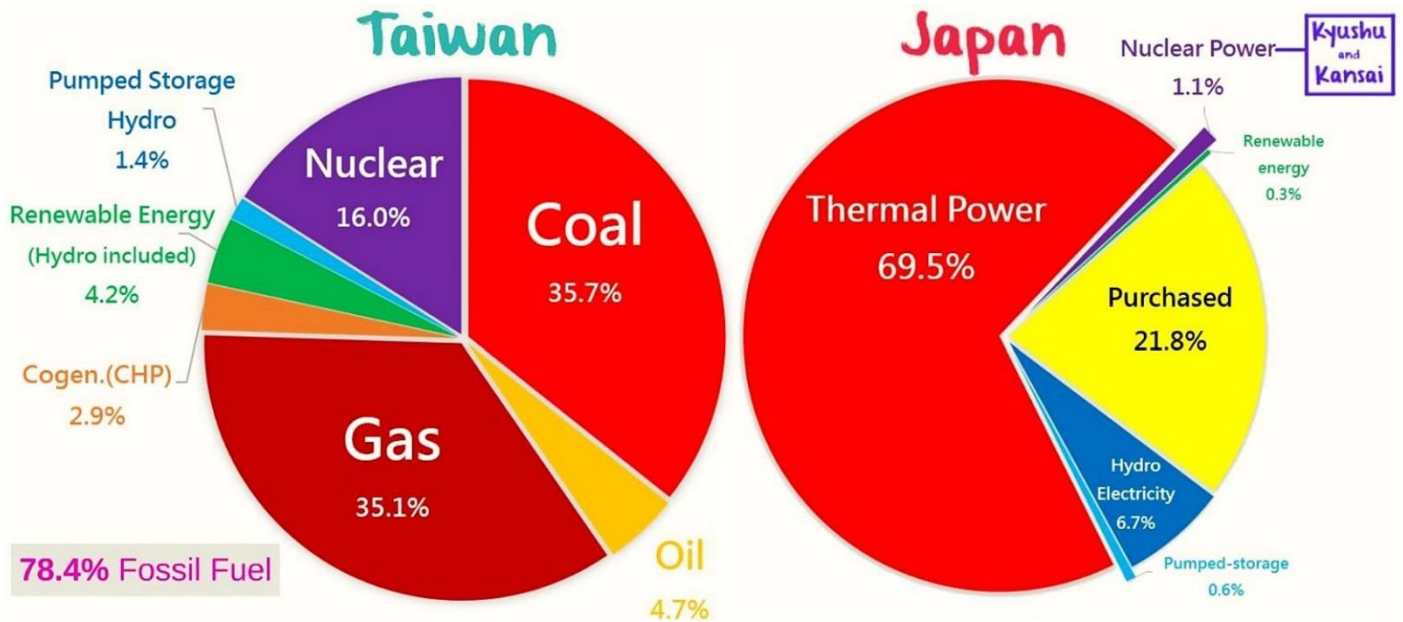


圖 5：2015 年日本發電量結構

(資料來源:Federation of Electric Power Companies in Japan, FEPC)

日本為能源自產率低的海島型國家，因此選擇屬準自產能源且兼具環保與經濟性的核能發電做為主要基載，其裝置容量高達 42.1 GW，然自 2011 年發生福島核電廠事故後，日本政府為加強核能發電的安全性，施行一系列因應措施，包含核能主管機關角色調整，成立新主管機關 NRA (Nuclear Regulation Authority)、強化核能安全法規，並進一步將全日本核能發電機組停機重新進行安全性評估，在確定各機組符合新的核安規定前，不能重啟發電，因此日本政府從國外進口大量煤炭與天然氣，於核能機組停機期間以火力發電補足其電力缺口。參考圖 5，考量到“Purchased”電力來源主要也是火力發電，2015 年日本火力發電量占整體應超過 80%，對環境影響極大。

福島核電廠事故發生至今已逾 5 年，部份核能機組的安全性已通過新的安全標準，並獲准啟動運轉發電，2015 年有 2 部核能機組重啟發電，分屬關西電力公司及九洲電力公司，核能發電量為 94.9 億度。

另，根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)最新資料，2015 年度日本民生用電每度電價格約為新台幣 7.2 元，約為我國的 2.5 倍。

## (二) 六所村 L2 低放最終處置場營運經驗

日本放射性廢棄物分類如圖 2 所示，其中 L1 及 L2 低放的處置作業係由 JNFL 負責執行，針對 L2 低放最終處置場營運，本次會議中與 JNFL 交流討論及技術參訪所得之相關資訊，將於本節說明。

為進行 L2 低放最終處置作業，JNFL 在六所村建置了「L2 低放接收與檢查中心」以及「L2 低放最終處置場」，其中最終處置場包含兩座處置坑窖，其地理位置如圖 6 所示。

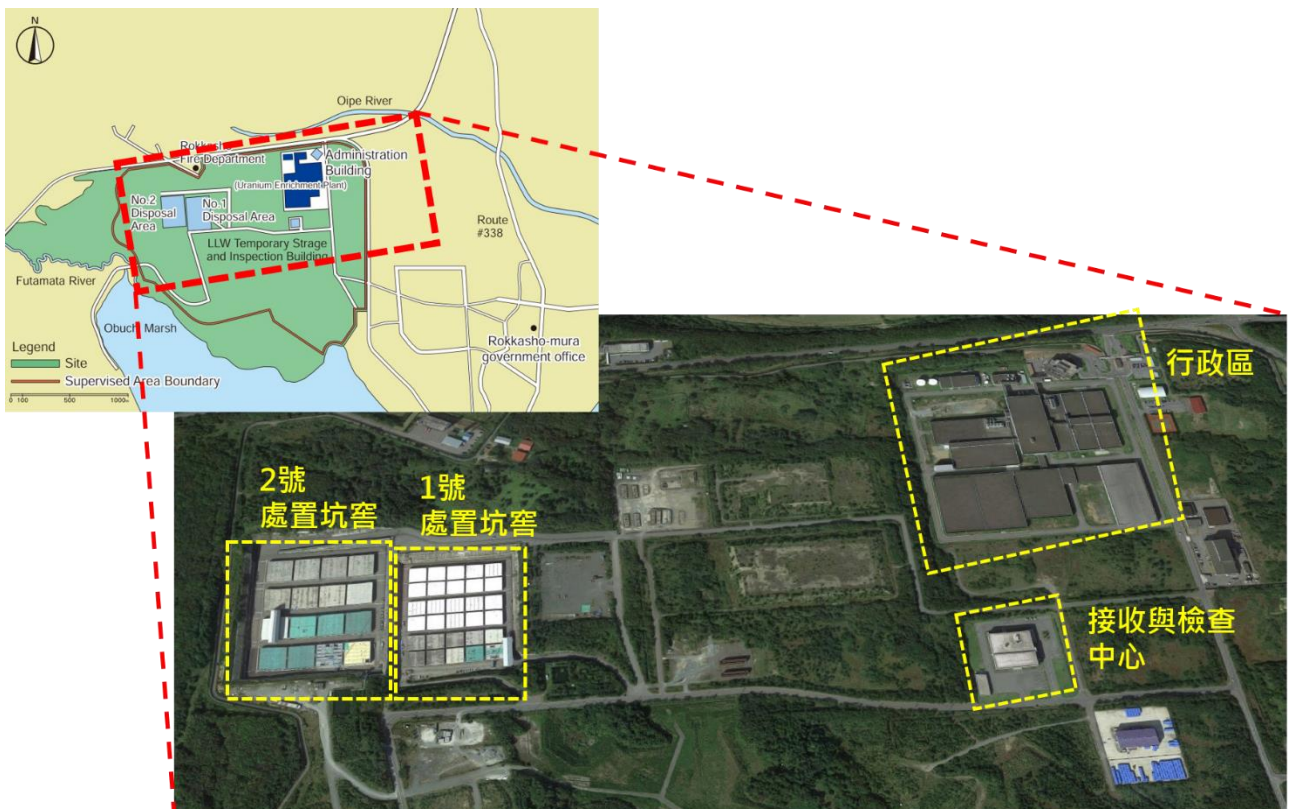


圖 6：六所村 L2 低放處置設施位置

日本 L2 低放主要係核電廠運轉所產，依廢棄物特性分為「液態廢棄物(Liquid Waste)」與「固態廢棄物(Solid Waste)」。「液態廢棄物」主要為電廠運轉過程中所產廢液，經蒸發減容處理後，將蒸發器底部的濃縮底泥置入 55 加侖桶內，以水泥或柏油等材料進行固化；「固態廢棄物」則分為濕性與乾性，濕性廢棄物主要為用過離子交換樹脂與廢液過濾殘渣，乾性廢棄物則包含紙張、衣物等採焚燒方式處理的可燃廢棄物，以及金屬、塑膠等採壓縮切割處理的不可燃廢棄物。

濕性廢棄物及處理後之可燃廢棄物，與液態廢棄物類似，皆屬高均質性廢棄物，因此經處理後一樣是置入 55 加侖桶內以水泥或柏油等材料進行固化，完成固化後，

此類廢棄物送六所村 L2 低放處置場的 1 號坑窖處置；不可燃廢棄物則於完成處理後，以砂漿進行固化，完成固化後送 2 號坑窖處置。詳細流程整理於圖 7。

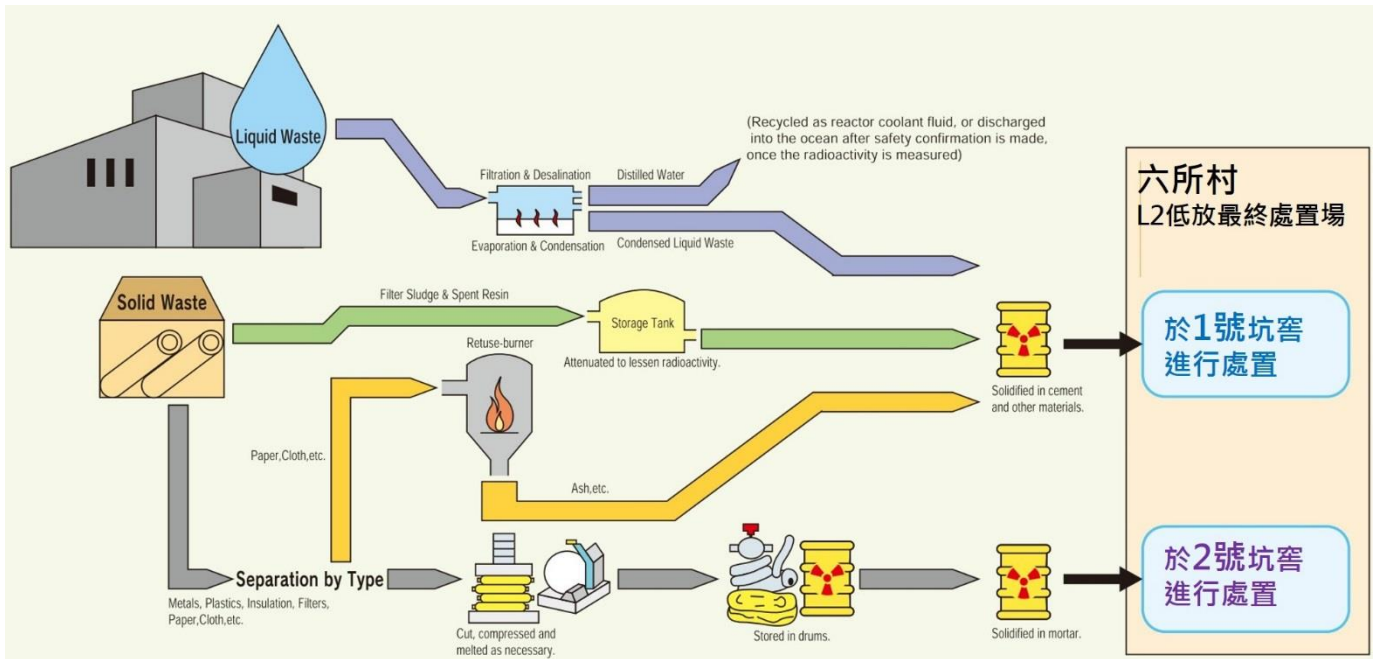


圖 7：L2 低放處理流程圖

L2 低放最終處置作業包含了廢棄物安定化處理、量測分析、品質確認、遠程運輸、接收檢查等多項程序，過程中有電力公司(廢棄物生產者)、JNFL、管制機關 NRA 與運輸公司等單位參與執行，各單位負責的工作不同，以下將最終處置作業流程分為 12 個步驟詳細說明，並整理於圖 8。圖 8 中頂端欄位的顏色代表該步驟的執行場所，不同顏色代表的場所說明於圖 8 底部，其中淺藍色「Vessel」代表原燃運輸公司 (Nuclear Fuel Transport Co. LTD.，以下簡稱 NFT)。

針對圖 8 所列 L2 低放最終處置作業步驟，逐步對應說明如下：

- (1) 核電廠產生廢棄物後，由該電廠所屬電力公司人員負責執行安定化處理及固化作業，JNFL 人員每兩年會進行一次現場作業視察。
- (2) 固化桶(Waste Package, WP)量測分析所用的儀器設備，其安裝與更換作業由電力公司人員負責。當儀器設備完成安裝或更新後，進行前期試運轉時，JNFL 人員會陪同執行現場檢查，確保儀器可正常作用。
- (3) 固化桶的量測分析作業，係由電力公司人員負責執行，JNFL 人員每兩年進行一次現場作業視察。
- (4) 固化桶量測分析作業完成後，電力公司人員將量測得到的固化桶資料送交給



JNFL 人員。值得注意的是，在此步驟中，電力公司人員係將固化桶資料提送至 JNFL 辦公室，由相關專責人員負責確認資料正確性，而非直接將資料送至青森縣六所村的最終處置場。

- (5) JNFL 人員收到電廠提送的固化桶資料後，針對固化桶資料進行檢驗比對，確認資料正確性以及是否符合最終處置接收標準，過程中電力公司人員要負責固化桶資料的更新維護。
- (6) 將固化桶資料存入電腦中，用電腦再次檢查固化桶資料是否符合最終處置接收標準。
- (7) JNFL 人員完成固化桶資料查證後，提送固化桶資料至主管機關 NRA，申請處置運輸作業許可。
- (8) NRA 收到 JNFL 提出的處置運輸作業申請後，開始進行審查作業。審查期間作為申請單位的 JNFL 與廢棄物生產單位的電力公司將協力合作，一同進行 NRA 的審查作業。
- (9) NRA 完成審查並核發運輸作業許可後，JNFL 委託 NFT 執行運輸作業。
- (10) NFT 將固化桶運輸至六所村後，暫貯於圖 6 所示的「接收與檢查中心」。
- (11) 於「接收與檢查中心」中，JNFL 人員逐桶進行量測檢查，確保經過運輸作業後固化桶狀態仍符合最終處置接收標準。全程檢查作業中 NRA 會派員進行現場視察。若檢查結果固化桶狀態不符合接收標準，固化桶將暫存於「接收與檢查中心」內，待下批次運輸作業時運回廢棄物產生單位。
- (12) 固化桶在「接收與檢查中心」中確認符合最終處置接收標準後，NRA 核發最終處置作業許可，由六所村的 JNFL 人員將固化桶自「接收與檢查中心」運輸至最終處置場，進行處置作業。

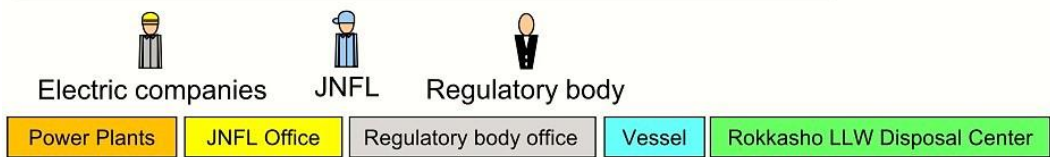
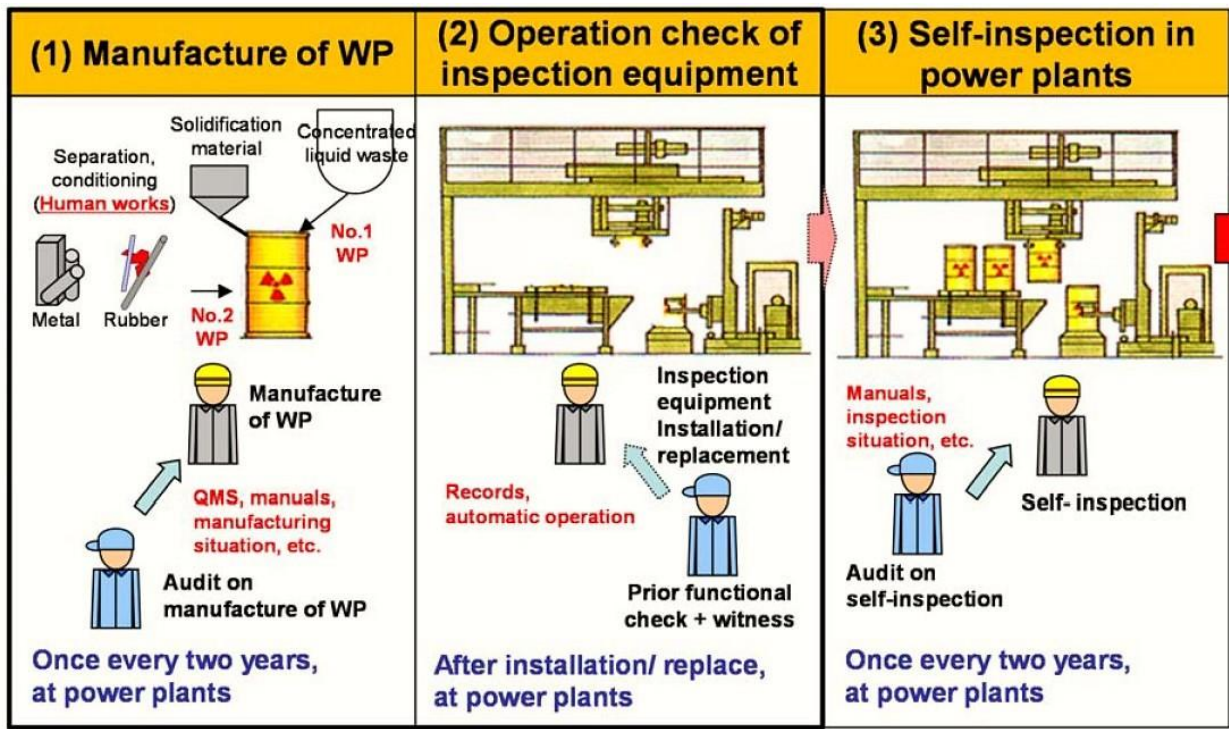


圖 8-1：L2 低放處置作業流程說明(cont.)

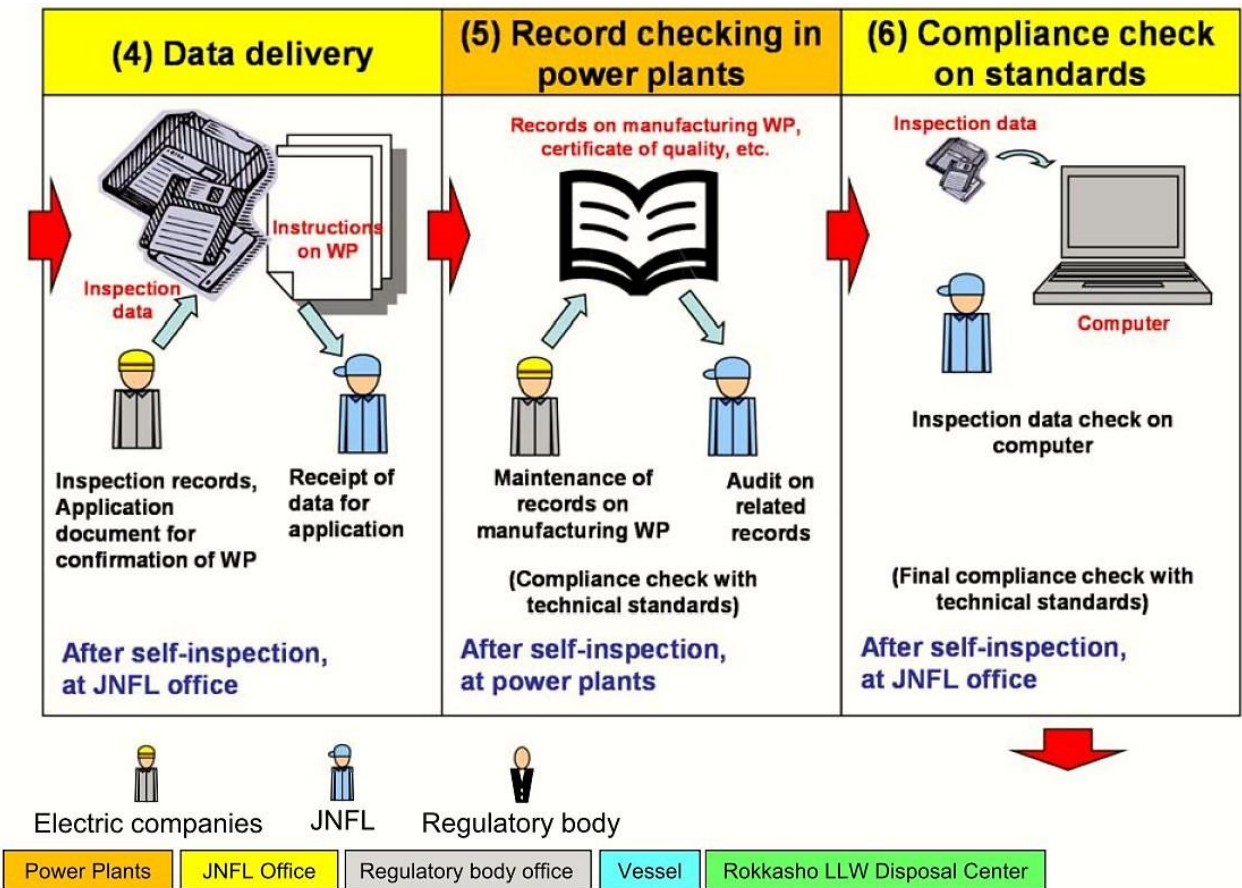


圖 8-2：L2 低放處置作業流程說明(cont.)

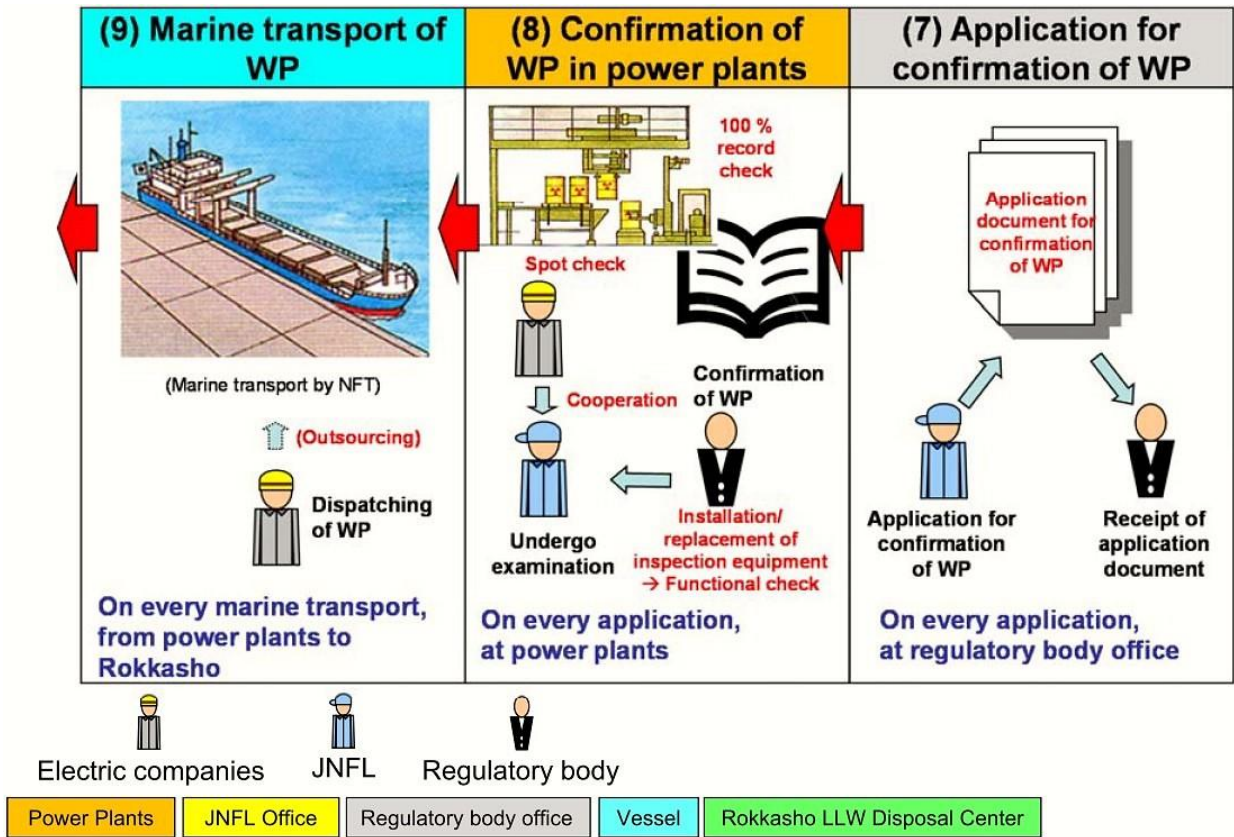


圖 8-3：L2 低放處置作業流程說明(cont.)

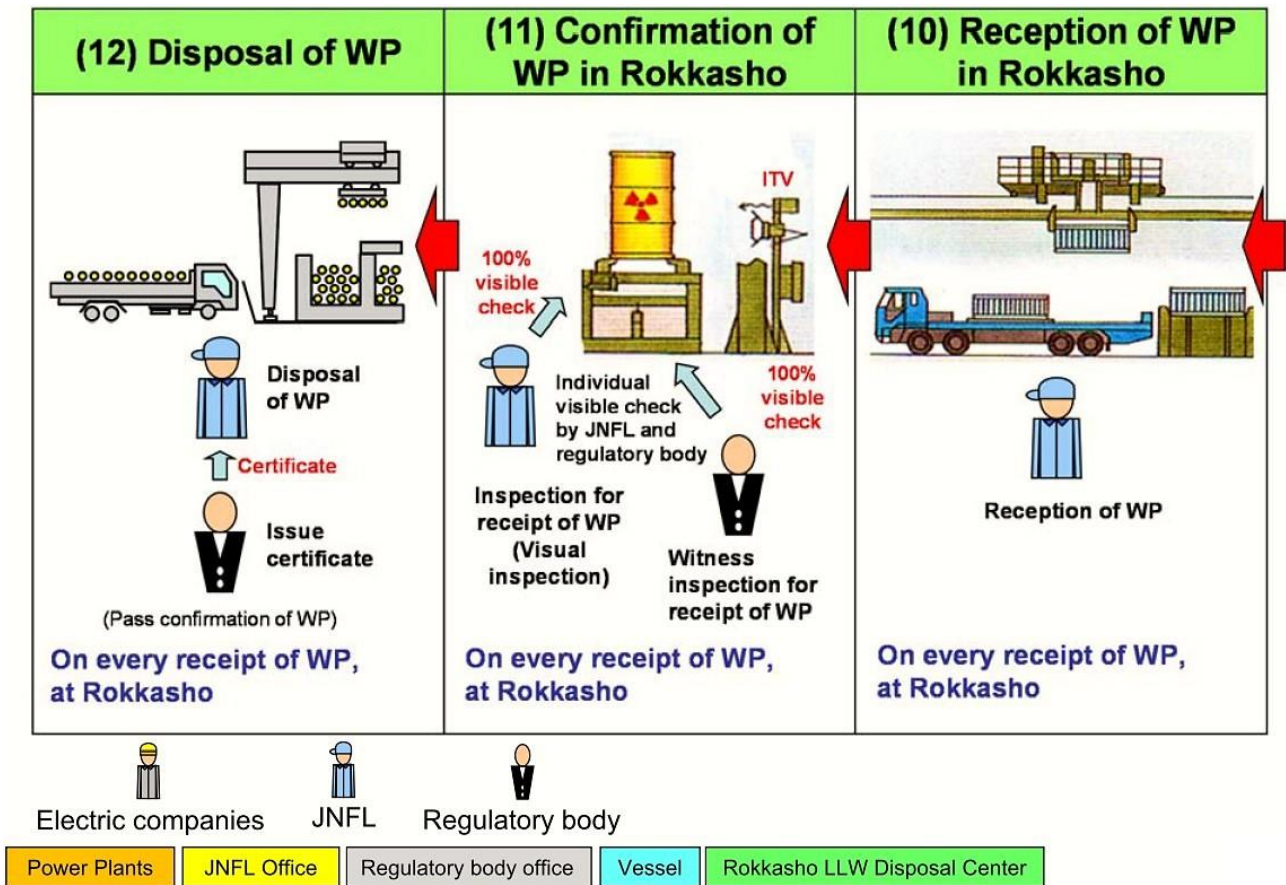


圖 8-4：L2 低放處置作業流程說明(end)

前述處置作業流程中提到的最終處置接收標準，包含了容器材料品質、廢棄物性質、固化體品質、表面劑量率、表面污染、固化桶強度、放射性核種濃度等各個檢查項目，整理列於圖 9。圖 9 橘色方格代表該項檢查係於廢棄物產生單位執行，綠色方格則代表該項檢查係於六所村最終處置接收與檢查中心執行。

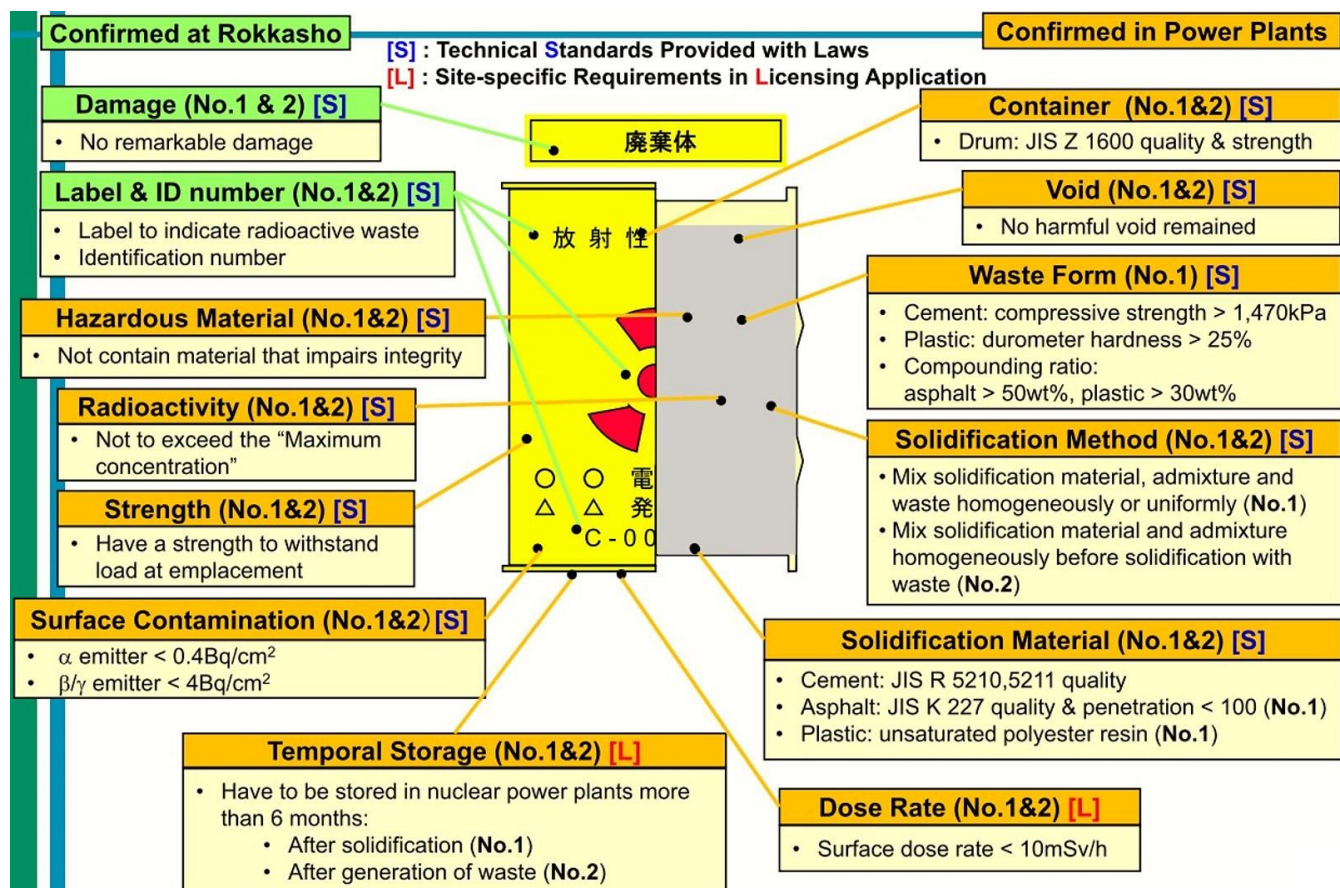


圖 9：L2 低放最終處置接收標準

確認固化桶符合最終處置接收標準後，用拖板車將固化桶運至最終處置場。抵達處置場後，使用安裝於處置坑窖頂部的吊車將固化桶吊運至處置單元內置放，如圖 10 所示。待處置單元裝滿固化桶後，以砂漿(mortar)回填，將整間處置單元固化。當處置坑窖裡所有處置單元都完成回填固化後，以摻有膨潤土的混合土料將整個處置坑窖掩埋，頂部再以泥土覆蓋，完成整體最終處置作業。其概念與處置坑窖設計如圖 11(1 號坑窖)、圖 12(2 號坑窖)所示。

值得注意的是，固化桶係採水平橫放方式堆疊置放(如圖 10 右下角小圖所示)，而非垂直擺放，與我國不同。經詢問後 JNFL 人員說明，在處置單元回填砂漿時，固化桶水平橫放的推疊空隙較少，能提升砂漿回填固化的效果。

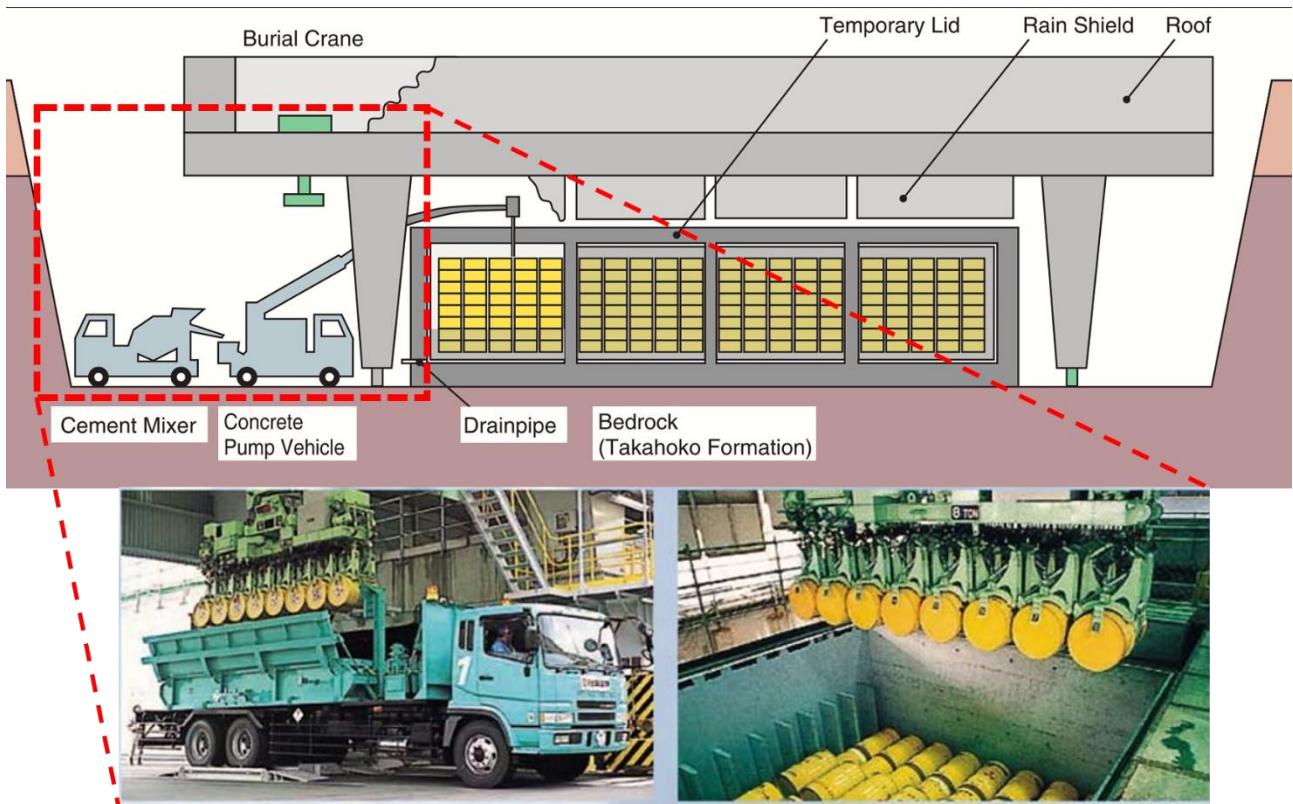
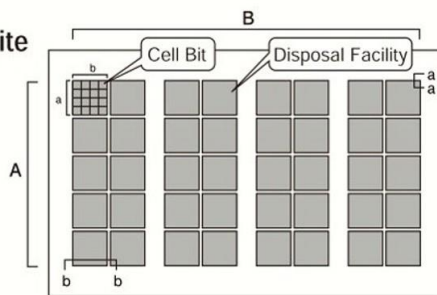


圖 10:L2 低放最終處置場運輸吊運作業

Structure of No.1 Disposal Facility

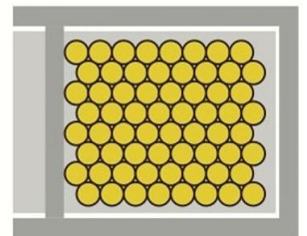
●Plan of Entire Site

- A: 132m
- B: 231m
- a: 24m
- b: 24m



●Cross-section View of Cell (Viewed along a-a Axis)

The waste is arranged in 8 layers measuring 8 drums across and 5 drums deep. The waste packages are placed in 8 rows by 5 columns on 8 tiers.



●Cross-section View of Disposal Facility (Viewed along b-b Axis)

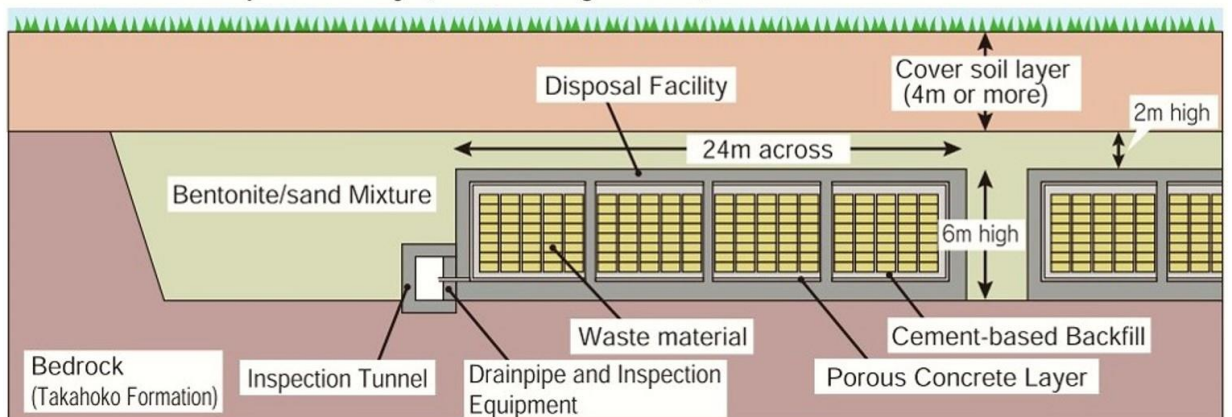
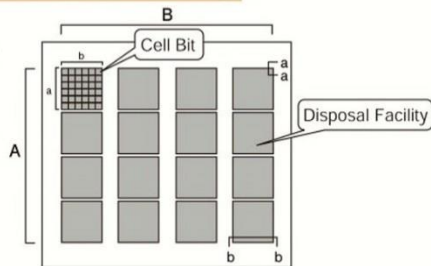


圖 11:L2 低放最終處置場-1 號坑窖

### Structure of No.2 Disposal Facility

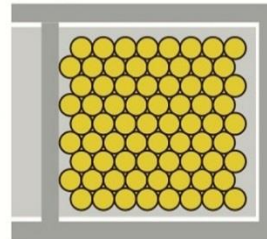
#### ●Plan of Entire Site

- A: 152m
- B: 191m
- a: 36m
- b: 37m



#### ●Cross-section View of Cell (Viewed along a-a Axis)

The waste packages are placed in 8 rows by 5 columns on 9 tiers.



#### ●Cross-section View of Disposal Facility (Viewed along b-b Axis)

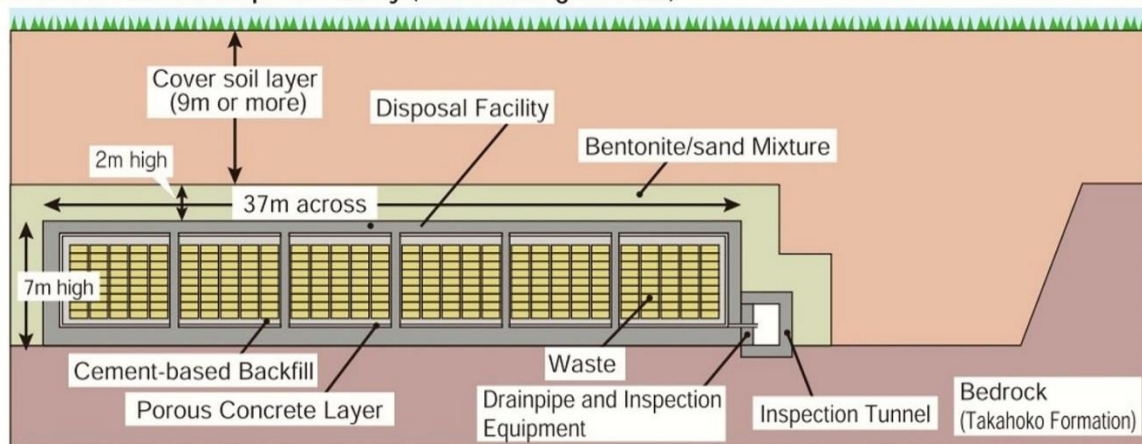
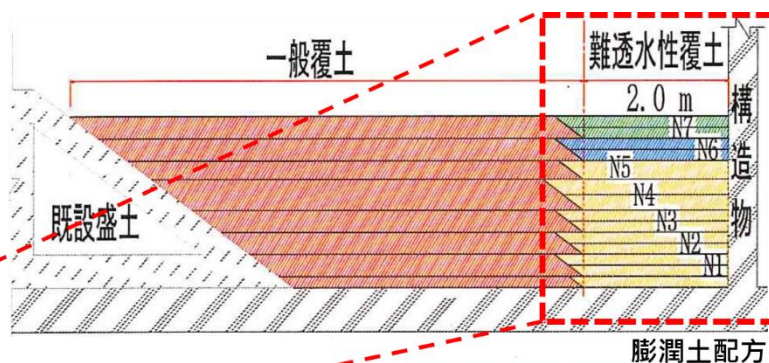


圖 12:L2 低放最終處置場-2 號坑窖

L2 處置場的工程障壁中，膨潤土/沙的混合土料係用於防止地下水入侵處置窖體，而膨潤土配比是最重要的功能參數，JNFL 在 L2 最終處置場附近闢建混合土料實驗場，模擬最終處置場回填夯實封閉後的環境，測試 7 種膨潤土配比的性能，依據實驗結果選擇表現最佳者做為未來處置場封閉時採用的膨潤土配比，如圖 13 所示。



試験ケース	使用材料		混合率 (%)	撤出厚 (mm)	施工層
	ベントナイト	混合材			
N1	クニボンド	砂	15	150	2
N2	クニボンド	砂	25	150	2
N3	クニボンド	砂	20	150	2
N4	クニボンド	砂	20	200	2
N5	クニボンド	砂	20	250	1
N6	クニゲル V1	砂	20	200	2
N7	Na 型化クニボンド	砂	20	200	2

圖 13:L2 低放最終處置場回填用混合土料-膨潤土配比實驗場

為防止地下水入侵，除了使用摻有膨潤土的混合土料回填外，窖體內襯也使用了「多孔隙混凝土(Porous Concrete)」材料疏導地下水流動，如圖 14 所示。孔隙率高的材料朝外，孔隙率低的緻密材料朝內，利用材料孔隙率差異引導入滲的地下水延著窖體邊界傳輸(圖 14 窖體內側藍色區域)，最後流至排水區統一收集。此類綜合防堵與疏導雙管齊下的地下水防治方法，頗為值得參考。

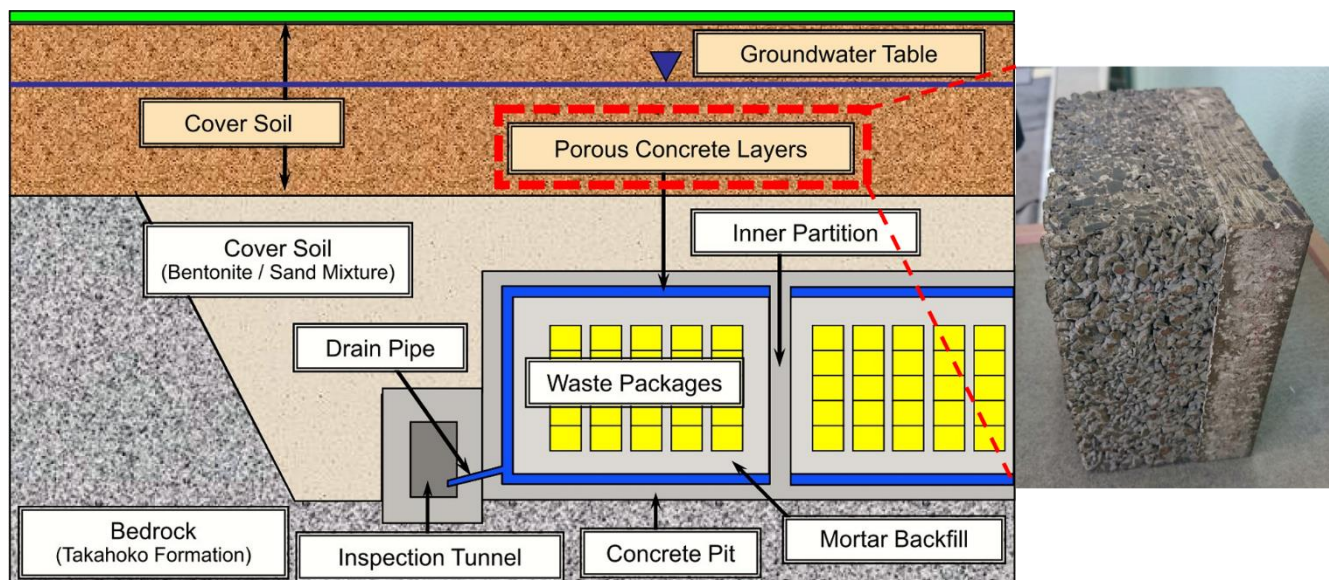


圖 14:L2 低放最終處置坑窖內襯多孔隙混凝土材料

放射性廢棄物內含有許多不同的放射性核種，且各核種在衰變過程中會衍生子核種，這些子核種的特性(如重量、溶性、氧化易度等)皆不盡相同，對生物吸收劑量的貢獻度也不同，因此如何在種類繁多的放射性核種中篩選出對生物吸收劑量影響較大的關鍵核種，以利後續安全評估作業執行，一直是很重要的議題，故本次會議也與 JNFL 針對此議題進行交流討論。JNFL 表示，JNFL 在申請 L2 最終處置場的運轉執照時，先將半衰期小於 1 個月及屬於惰性氣體的核種剔除後，依據場址特性參數針對放射性核種進行初步安全評估，然後將評估結果中佔生物吸收劑量超過 1%的核種篩選出來，併同法規規定的核種，列為關鍵核種，做為後續進階安全評估的輻射源項。此方法能提升資源使用效率，進而強化安全評估結果，值得本公司借鏡。此關鍵核種篩選流程整理於圖 15。

目前六所村 L2 低放處置場的設計容量為 40 萬桶的 55 加侖桶，截至 105 年 11 月 30 日為止，已有 293,715 桶完成處置。除了現有的兩座處置坑窖外，JNFL 規劃未來將擴建新的處置坑窖，預計可新增 60 萬桶的 L2 低放處置容量。

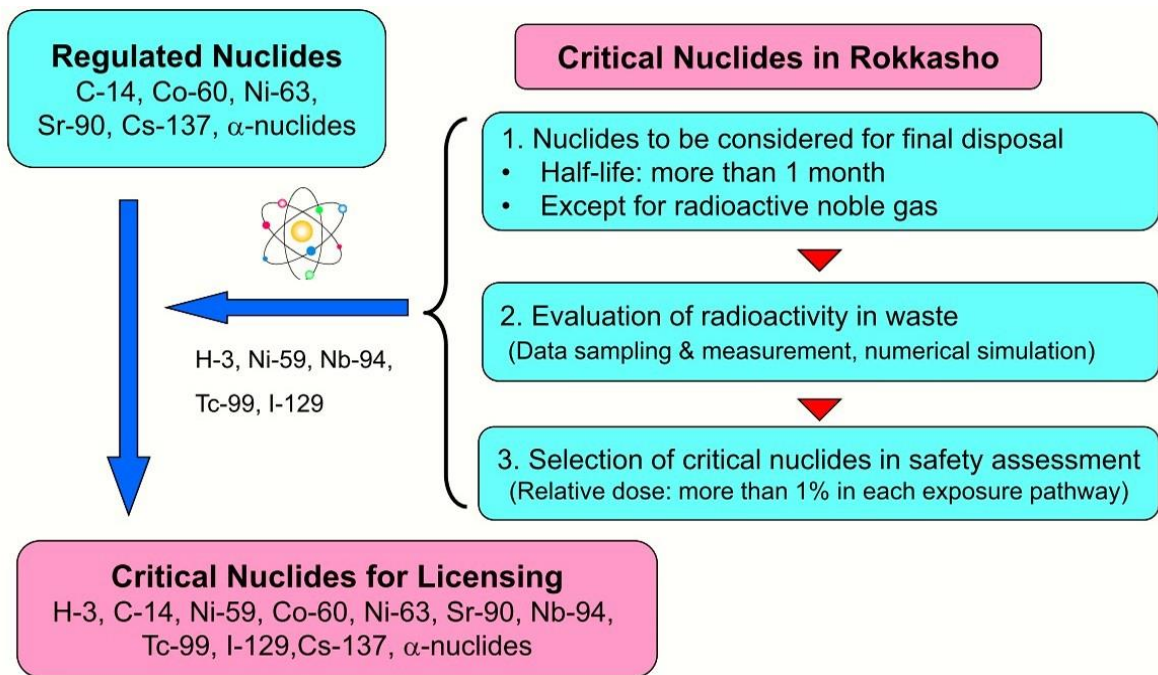


圖 15:L2 低放最終處置安全評估之關鍵核種篩選方法

### (三) 日本 L1 低放最終處置計畫發展情形

日本低放分為 3 類，其中如控制棒、燃料匣與爐心組件等活度較高的廢棄物，即屬等級最高的 L1 低放射性廢棄物，其最終處置作業也係由 JNFL 負責執行。

L1 低放因活度較高，衰變時間較長，處置概念與上述 L2 低放不同，採「近地表處置(sub-surface disposal)」，處置深度需達 50 公尺以上，並搭配回填材料、混凝土窖體、膨潤土等多道工程障壁，確保處置安全。其工程障壁設計如圖 16 所示。

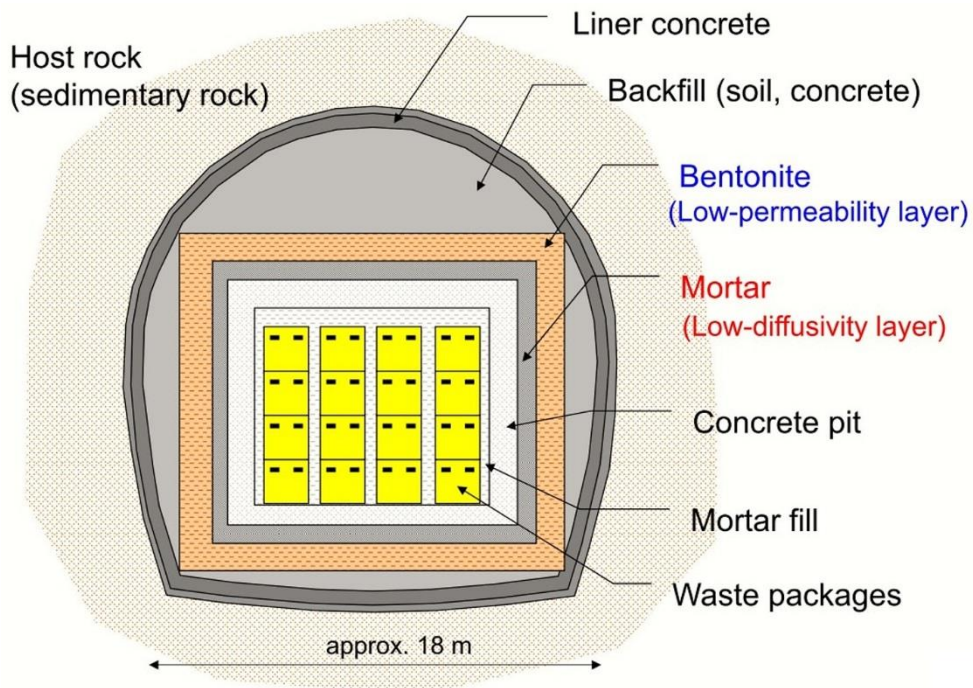


圖 16:L1 低放最終處置工程障壁設計



為發展 L1 低放處置相關技術，JNFL 計畫建置一座 L1 最終處置實驗坑道，用以進行各項實驗，精進其處置技術。經過數年的地質調查作業，包含鑽探實驗孔道與非破壞性的超音波探查，最後 JNFL 選定於六所村 L2 低放處置場東南邊約 1 公里處做為實驗坑道預定地，如圖 17 所示。該區域岩層為浮石凝灰岩(Pumice-Tuff)，水力傳導係數極低，且岩質硬度低延展性較佳，開挖擾動區小，且地震後裂縫產生率低，地質條件極適合做為處置母岩，故選擇於該區域建置 L1 最終處置實驗坑道，如圖 18 所示。

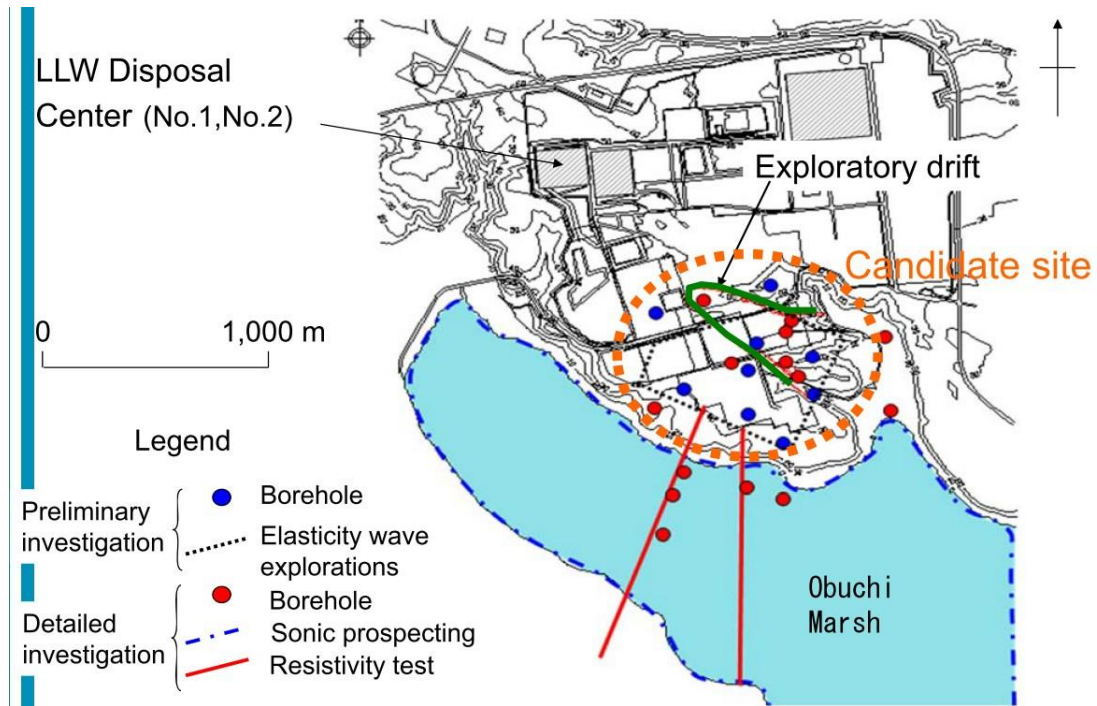


圖 17:L1 低放最終處置實驗坑道場址位置

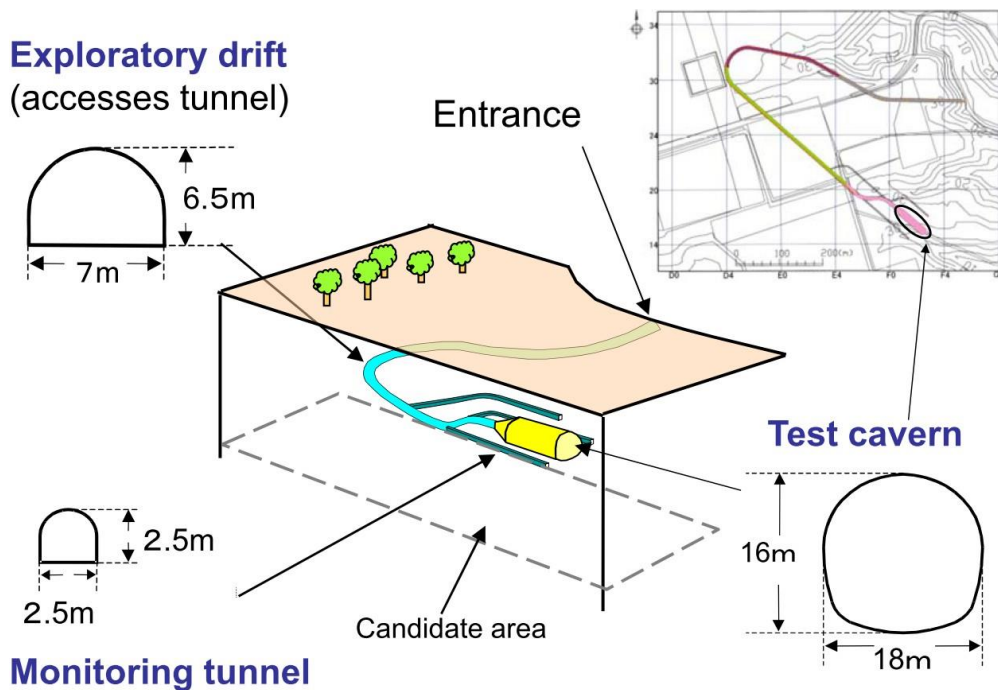


圖 18:L1 低放最終處置實驗坑道配置

實驗坑道深度約 90 公尺，共有三種坑道，分別為進出坑道(Access tunnel)、監測坑道(Monitoring Tunnel)及處置實驗坑窖(Test cavern)。監測坑道用於場址特性調查，包含地下水量測取樣、岩層裂隙分析、岩體取樣等作業，用以完備該區域的天然障壁特性參數，進一步強化安全評估結果；實驗坑窖則用於實際建置一座如圖 16 所示之處置窖，測試施做各項工程障壁時過程中可能會遇到的問題，並加以改良精進，其施做程序如圖 19 所示。實驗坑窖完工後，靜置觀察於處置環境中各項工程障壁之變化情形。



1. 鋪設底層膨潤土



2. 夯實底層膨潤土



3. 建置混凝土窖體



4. 置入廢棄物包件模型

圖 19-1:L1 低放最終處置實驗處置窖施工程序(cont.)



5. 自窖頂澆置混凝土進行固化



6. 表面推平，避免應力不均



7. 窖頂正上方膨潤土層夯實



8. 將膨潤土層均勻覆蓋整個窖體

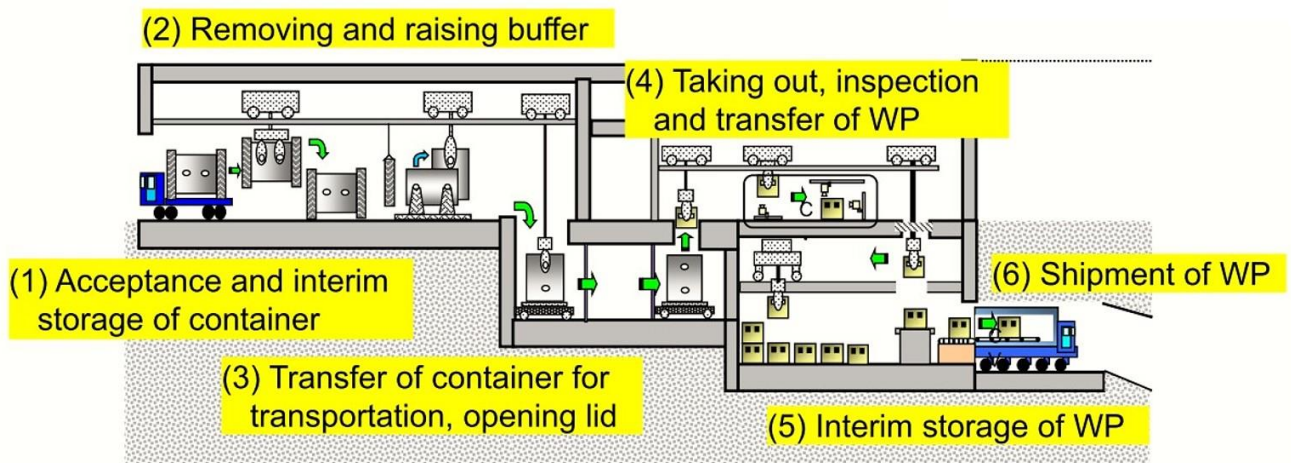
圖 19-2:L1 低放最終處置實驗處置窖施工程序(end)

針對 L1 低放的接收與最終處置作業，JNFL 也已擬訂出作業程序，分為 9 個步驟，如圖 20 所示，逐步說明如下：

- (1) 廢棄物包件裝於運輸容器內，由拖板車運至地表最終處置接收檢查中心；
- (2) 遙控吊車將運輸容器自拖板車取下，並將運輸容器兩端的防撞緩衝墊移除；
- (3) 豎起運輸容器，並將運輸容器封蓋取下，傳送至檢查站；
- (4) 遙控吊車將廢棄物包件自運輸容器中取出，進行檢查，確認廢棄物包件的狀態符合最終處置接收標準；
- (5) 將符合接收標準的廢棄物包件吊運至貯存區暫時貯存，靜待處置；
- (6) 將貯存區的廢棄物包件裝入拖板車，拖板車走地底坑道將廢棄物包件載運至處置設施；
- (7) 拖板車抵達處置設施深度後，於旋轉區進行掉頭，倒車進處置區接收站；
- (8) 處置區接收站以遙控吊車將廢棄物包件吊運至處置單元內堆疊存放；
- (9) 待處置單元裝滿後，以水泥砂漿回填，完成最終處置作業。

### <Surface facility>

WP: Waste Package



### <Underground facility>

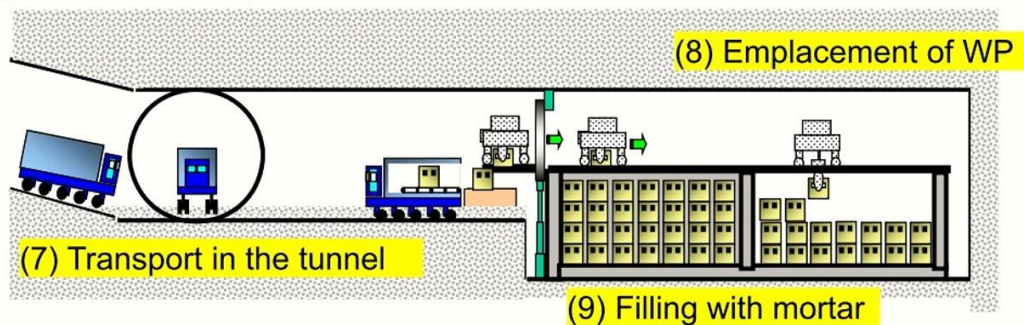


圖 20 :L1 低放最終處置作業程序

依據 JNFL 的規劃，在 L1 低放處置作業程序中，直接接觸廢棄物包件的作業，皆係以吊車遠端遙控操作，以降低作業人員的吸收劑量，達到輻射防護安全的「合理抑低 (As Low As Reasonably Achievable, ALARA)」原則。

## 肆、心得及建議

- 一、日本JNFL青森縣六所村L2最終處置場業營運迄今超過20年，累積豐富營運經驗，其最終處置運輸作業流程(如圖8所示)及L2低放最終處置接收標準(如圖9所示)係經多年來實際執行後反覆修訂精進而成，值得本公司參考借鏡。
- 二、L2最終處置作業中，55加侖桶水平擺放之處置方式及處置坑窖邊界採用「多孔隙混凝土(Porous Concrete)」材料以疏導地下水流向等技術細節，值得本公司參考。
- 三、針對不同配比膨潤土的效能，JNFL模擬處置場環境進行實驗測試(如圖13所示)，取得許多重要實驗結果，考量到本公司低放處置場工程障壁設計中，在地下水遲滯圍阻部分膨潤土扮演重要角色，因此針對此議題建議持續與對方保持聯繫與交流，以待未來合作。
- 四、針對需於安全評估中著重分析關鍵核種，JNFL所建立的篩選程序(如圖15所示)，值得本公司參考借鏡。
- 五、本次會議針對L1處置計畫中，六所村實驗坑道的建置過程，JNFL提供了完整的經驗分享(如圖19)，未來本公司若有相關計畫，可從中汲取經驗，建議持續與對方保持聯繫與交流，以待未來合作。
- 六、針對L1最終處置作業流程，JNFL已制訂完整程序(如圖20所示)，其中針對直接接觸廢棄物包件的環節皆用遙控吊車操作，藉以達到劑量合理抑低(ALARA)的概念，值得參考。
- 七、本次技術交流會議，JNFL針對我方提出的所有問題皆提供極為詳細的答覆資料，並於會議中一一詳加說明，互動情況良好，對本公司低放處置計畫發展助益頗多，足見JNFL對本次會議之重視。會議結束後，JNFL也表達了希望未來與本公司能夠就低放最終處置項目，加強雙方交流合作之意願。鑒於前述低放處置各項相關議題，JNFL在低放處置領域有許多成果與經驗值得借鏡，未來也有與本公司合作的可能性，建議持續與對方保持聯繫與交流，以待未來合作。