

出國報告（出國類別：開會）

赴日本分別參加日本大成基礎設計公司、日本核燃料公司、日本電力中央研究所、日本東濃地球科學中心與日本中部電力公司所屬浜岡核電廠舉辦之研討會議(含技術參訪)

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：黃秉修組長

楊淳堯

派赴國家：日本

出國期間：104年06月29日~104年07月08日





報告日期：104年09月01日

出國報告審核表

出國報告名稱：參加日本原燃公司等單位之討論會(含技術參訪)		
出國人姓名(2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
黃秉修	核能工程監	台電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>開會</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：104年06月29日至104年07月08日		報告繳交日期：104年08月14日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <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"/> 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"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：	

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「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人	 	審核人	單位主管		專業總工程師 主管處 主一管 (出國)	總經理 副總經理	
-----	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----	------	-------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	-------------	---------------------------------------------------------------------------------------

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴日本分別參加日本大成基礎設計公司、日本核燃料公司、日本電力中央研究所、日本東濃地球科學中心與日本中部電力公司所屬浜岡核電廠舉辦之研討會議(含技術參訪)

頁數_33_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：

黃秉修/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程監/02-23657210 ext:2230

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2015/06/29-2015/07/08 出國地區：日本

報告日期：2015/09/01

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)

- 一、 ATK 其所具有之深地層地下水實驗技術，對於我國未來進行放射性廢棄物深地層最終處置，應可作為參考之依據。
- 二、 瞭解 JNFL 之低放射性廢棄物最終處置設施之設計，可作為國內處置場概念設計之參考。此外，JNFL 之用過核子燃料再處理技術目前已克服玻璃固化問題，同時配合新基準進行相關設施安全性檢討，預計明年 3 月商轉。
- 三、 浜岡核電廠 1、2 號機自今年開始至 2022 年為執行反應器周邊設備的拆除作業，3、4、5 號機為因應地震、海嘯等天然災害進行補強。另外對於受災時之應變也設計多重備援機制，以防單一設備失效。
- 四、 浜岡核電廠之 ERC 其主要隔震效果是藉由隔震裝置產生之緩衝，作為減低地震對於建物的影響；而目前廠內正新建另一耐震設施，其想法是將整棟建築物座落於基礎岩盤上以避免土壤層帶來的放大效應，降低地震帶來之影響。

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、工作內容.....	3
肆、心得及建議	25
伍、參訪紀錄照片	27

壹、目的

為強化台電公司目前辦理「低放射性廢棄物最終處置設施功能評估」與「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」技術服務案之管理與技術能力，選定在地質、地理、氣候等自然條件與我國相仿之日本為目標，利用本次拜訪考察之機會與日本大成基礎設計有限公司(Asano Taiseikiso Engineering Co., Ltd.， ATK)、日本核燃料公司(Japan Nuclear Fuel Ltd.， JNFL)、日本電力中央研究所(Central Research Institute of Electric Power Industry， CRIEPI)、日本東濃地球科學中心(Tono Geoscience Center)與日本中部電力公司所屬浜岡核電廠(Hamaoka Nuclear Power Station of Chubu Electric Power Co., Inc.)進行技術交流，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、運轉現況與經驗；
- 二、 了解日本用過核子燃料再處理技術發展，用過核子燃料再處理後殘餘廢棄物集中貯存；
- 三、 了解日本放射性廢棄物最終處置設施填充材料；
- 四、 了解日本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、過程

自 104 年 06 月 29 日出發，迄 07 月 08 日返國（共計 10 天），停留東京都、青森縣、岐阜縣及名古屋市四地。詳細訪問行程如下：

日期	地點與行程	工作內容
06 月 29 日（一）	台北到東京	去程
06 月 30 日（二）	東京	參訪日本大成基礎設計有限公司 (ATK) 參訪日本電立中央研究所(CRIEPI)
07 月 01 日（三）	東京到青森	路程
07 月 02 日（四）	青森	參訪日本核燃料公司(JNFL)
07 月 03 日（五）	青森到東京	路程 參訪日本電立中央研究所(CRIEPI)
07 月 04 日（六）	東京到岐阜	路程
07 月 05 日（日）	岐阜	整理資料
07 月 06 日（一）	岐阜	參訪日本東濃地球科學中心(Tono Geoscience Center)
07 月 07 日（二）	岐阜到名古屋	參訪日本中部電力公司所屬浜岡核電廠 (Hamaoka Nuclear Power Station of Chubu Electric Power Co., Inc.)
07 月 08 日（三）	名古屋到台北	返程

參、工作內容

一、參訪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，本次參訪該公司位於東京的總部。該公司主要業務的範圍為大地工程，包含地工技術、地下水開發技術、結構物檢測/設計及開挖/拆除技術，以下就個別技術項目說明：

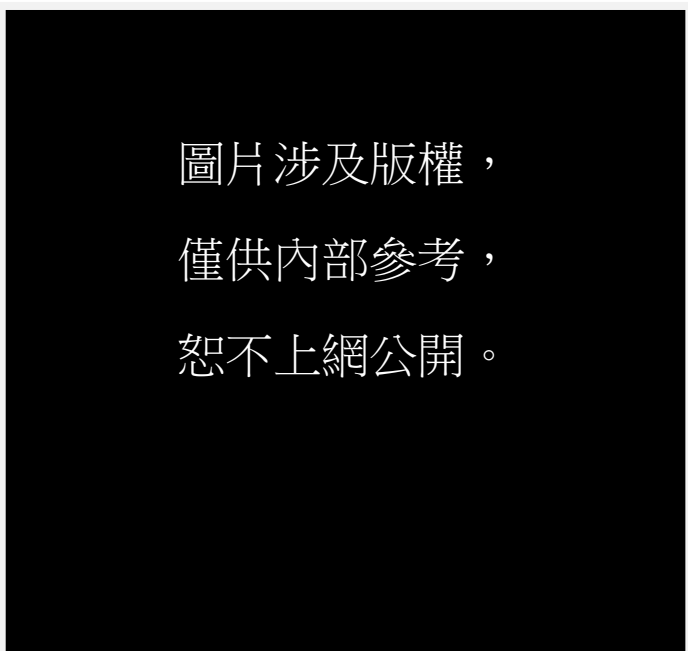


圖 1 ATK 分支位置示意圖

(1) 地工技術

- 鑽探調查：每年超過 1,000 個鑽孔調查工作之實績。
- 場址調查：針對場址提供最佳化調查計畫。
- 程式分析：以數值模擬的方式預測土壤與水的行為。
- 諮詢服務：針對需求提供最有效之設計策略。
- 設計調查機構認證。
- 規劃整體土壤污染之解決方案。
- 提供現地量測與有害物質行為模擬之分析系統。
- 針對土壤污染提出導則(Guidelines)。

(2) 地下水開發技術

- 溫泉開發：鑽掘超過 2,000 口溫泉之實績。
- 維護及活化舊井技術。

(3) 結構物檢測/設計

- 結構物檢測：每年超過 100 個結構物及 200 座地鐵站檢測之實績。
- 非破壞性現地檢測。

- 提供結構物補強之最佳化設計。

(4) 開挖/拆除技術

- 市區拆遷工作。
- 環境監測工作。
- 移除受污染之土壤和地下水工作

ATK 地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。

其中特別針對下列試驗進行說明：

(1) 單孔水力試驗(Sequential Hydraulic Test in Single Borehole，如圖 2)

單孔水力試驗主要目的為獲得裂隙岩體水力參數，ATK 公司試驗測量範圍如下：

本段敘述屬 ATK 公司技術數據，
僅供內部參考，恕不上網公開。

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 2 單孔水力試驗示意圖

- (2) 跨孔式水力探測/物質傳輸試驗(Cross-Hole Hydraulic Test / Mass Transport Test，如圖 3)
使用跨孔式抽水試驗，藉以獲得抽水反應數據，並配合現地含水層資料求得水力傳導係數與靜水壓力，試驗流程如下圖：

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 3 跨孔式水力探測/物質傳輸試驗示意圖

(3) 水力破裂試驗 (Hydro-Fracturing Test, 如圖 4)

水力破裂法為量測大地應力方法之一，以求得的完整現地應力狀態，包括垂直向應力 (σ_v) 大小、最大水平向應力 (σ_H) 的大小與方位、最小水平向應力 (σ_h) 的大小與方位，試驗流程如下圖：

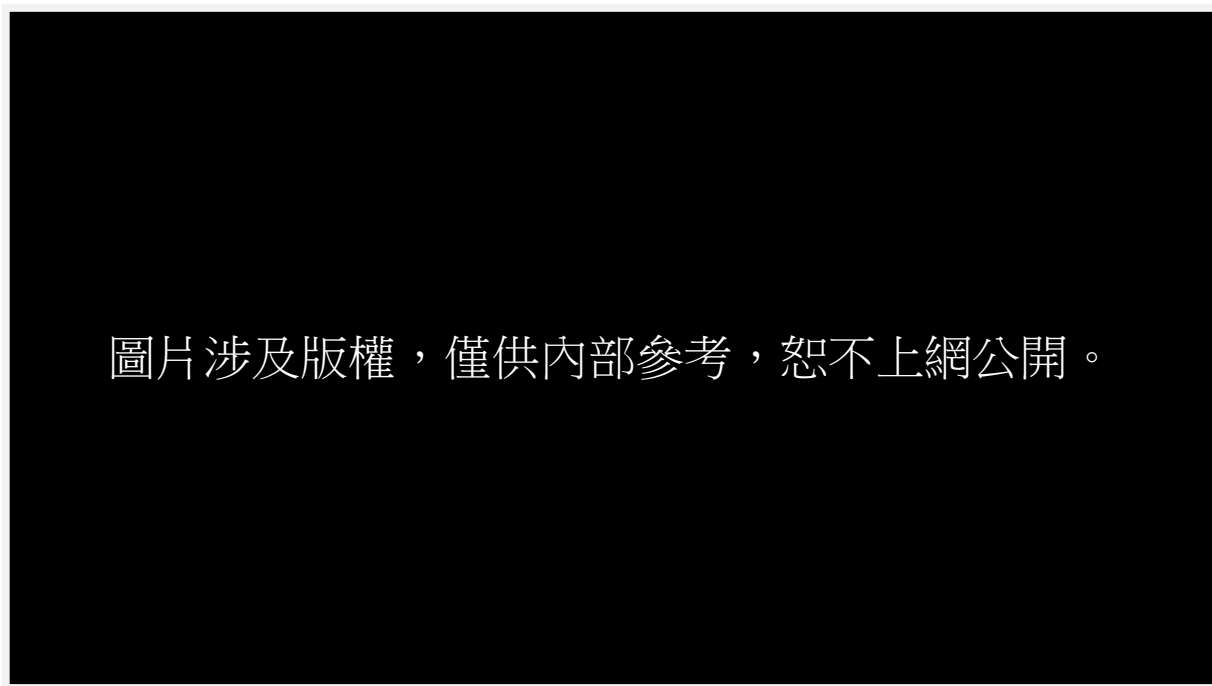
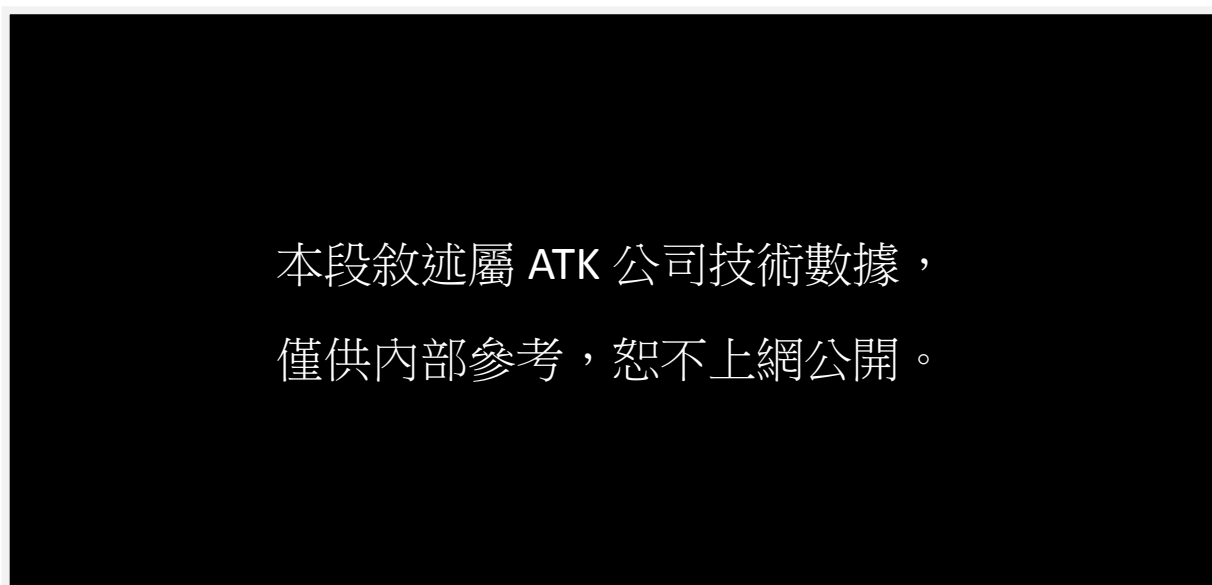


圖 4 水力破裂試驗示意圖

(4) 流量計測試驗 (Flow Meter Logging, 如圖 5)

利用流量計測試驗，可測得高透水裂縫並有效掌握裂縫與基質部的流量比，試驗測量範圍如下：



圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 5 流量計測試驗示意圖

(5) 地下水流速與流向評估(GW flow Velocity & Direction Measurement)

地下水流速與流向評估為 ATK 公司重要技術之一，其使用之儀器與量測示意圖如圖 6。

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 6 地下水流速與流向評估試驗示意圖

二、參訪日本電力中央研究所

首先針對目前日本放射性廢棄物處置狀況進行說明。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, L1)、一般低放射性廢棄物(Low Level Waste, L2)、極低之低放射性廢棄物(Very Low Level Waste, 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)，分別就其產源、處置概念說明(整理如表 1)：

- (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，埋設於餘裕深度(深度大於 50 公尺)。
- (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。

另外，針對低放射性廢棄物 L1~L3，廢棄物之容器分別為剛性容器(Steel Container)、200L 加侖桶(Drum)以及柔性容器(Flexible Container)，如表 2 所示。

表 1 日本放射性廢棄物、產源、處置概念說明

分類	產源	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 L L W	超鈾元素廢棄物 (TRU Wastes)	用過核子燃料再處理廠 MOX 燃料製造廠	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)	反應器除役	淺地層處置
	一般低放射性廢棄物 (L2)	核能設施運轉與除役	近地表處置 (有工程障壁)
	極低之低放射性廢棄物 (L3)	核能設施運轉與除役	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)

表 2 廢棄物之容器說明

	L1 類廢棄物	L2 類廢棄物	L2 類廢棄物
容器示意圖	剛性容器	加侖桶	柔性容器
	<p>圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。</p>		

本次主要參訪單位為電力中央研究所中之土木工程試驗室(Civil Engineering Research Laboratory)，參訪項目如下：

(1) 室內砂箱試驗(如圖 7)

為了瞭解地質組構對於斷層運動機制以及特性的影響，採用利用簡化地層而設計的室內砂箱試驗模型，並配合 X-ray 掃描及 3D 雷射儀來了解此現象。

圖片涉及肖像權，
僅供內部參考，
恕不上網公開。

圖 7 室內砂箱試驗

(2) 膨潤土特性與行為

膨潤土作為最終處置工程障壁緩衝回填材，故其能否達到預期之水流阻隔性能為一重

要之研究議題。實際於現場比較膨潤土在於海水與蒸餾水條件下所得回脹性能，發現加入海水環境下，膨潤土之自密性(Self-Sealing)較差。

(3) 離心機試驗

為確認高放處置所在地層之長期力學行為，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

本段敘述屬 CRIEPI 技術數據，
僅供內部參考，恕不上網公開。

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 8 離心機試驗試體示意圖

三、參訪 311 震災後仙台市復原情形

本次於參訪行程中，日方特別安排參訪 311 震災後仙台市復原情形。311 地震造成仙台市遭受地震、地層下陷及海嘯等複合型災害，除使公共設施損壞外亦導致農田土地鹽化，下圖為設於當地之紀錄照片與慰靈塔。參訪區域時除見完整之市立荒浜小學，其餘為部分建物殘餘基礎與空地，並可見當地重建之防波堤告示，堤高已增為 7.2m。



設於當地之紀錄照片



慰靈塔



荒浜小學



重建之防波堤告示

四、參訪日本核燃料公司(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（Chubu、Chugoku、Hokkaido、Hokuriku、Kansai、Kyashu、Shikoku、Tohoku、Tokyo）及 Japan Atomic Power Corporation 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)分別建立上述相關設施，現有員工約 2500 人。

JNFL 之低放射性廢棄物最終處置場位於青森縣東北部之六所村(如圖 9)，另外其所屬之再處理工廠、高放處置場預定地也都在此區域。日本政府僅為監督角色，即使是處置設施亦是民間所有。

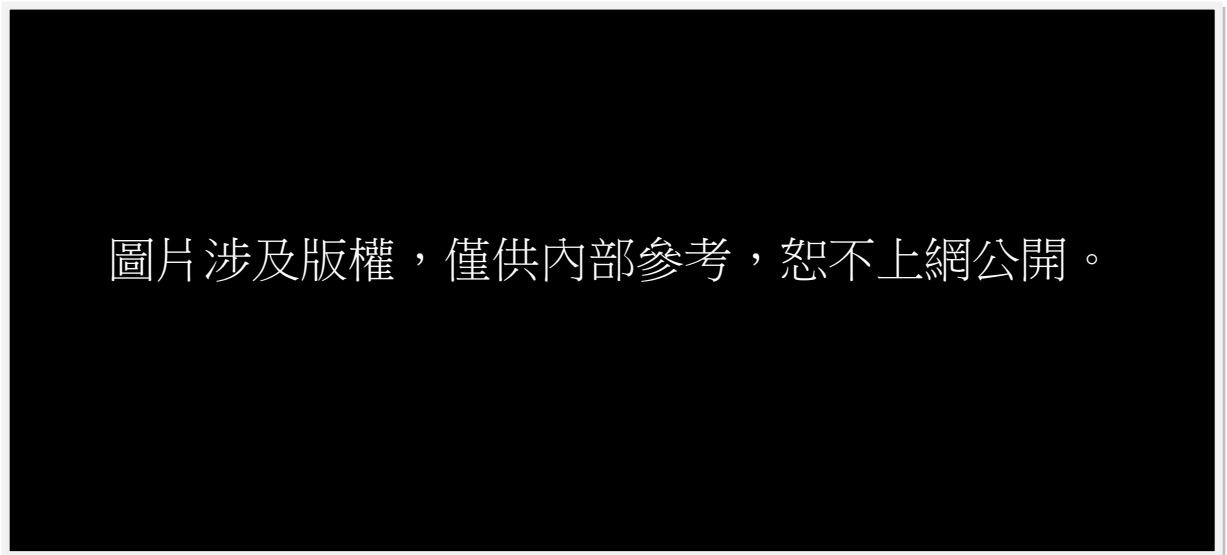


圖 9 六所村位置示意圖

(1) 低放射性廢棄物最終處置設施

JNFL 低放射性廢棄物最終處置設施占地大約 360 公頃，運轉中之一號與二號處置設施各自取得 40,000m³ 處置許可，總計為 80,000 m³，相當於可處置 40 萬桶之 200 公升加侖桶。未來計畫最終處置場將擴充至處置 600,000m³ 之規模，相當於 300 萬桶之 200 公升加侖桶。目前一號與二號處置設施分別貯存 148,000 及 130,000 桶。

處置場接收來自核能電廠之低放射性廢棄物，依其處理後之特性分別處置於一號或二號處置場，其所處置之低放射性廢棄物均需固化處理。一號處置場主要處置液體固化、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。接收廢棄物來源如圖 10 說明。

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 10 六所村低放射性廢棄物來源

處置場之低放射性廢棄物接收程序自接收港開始，運輸船抵達接收港後，將裝有低放射性廢棄物之貨櫃型包件裝載至運輸貨車上，然後進行表面劑量率測定，確認符合運輸標準規定後，利用專用道路輸送至處置場之運轉大樓。JNFL 接收之低放射性廢棄物，從接收港至運轉大樓之運輸是採用外包方式進行，運輸公司並非 JNFL 所有，此區段之運輸車輛將不會進入處置區，僅通行於接收港至運轉大樓之間。

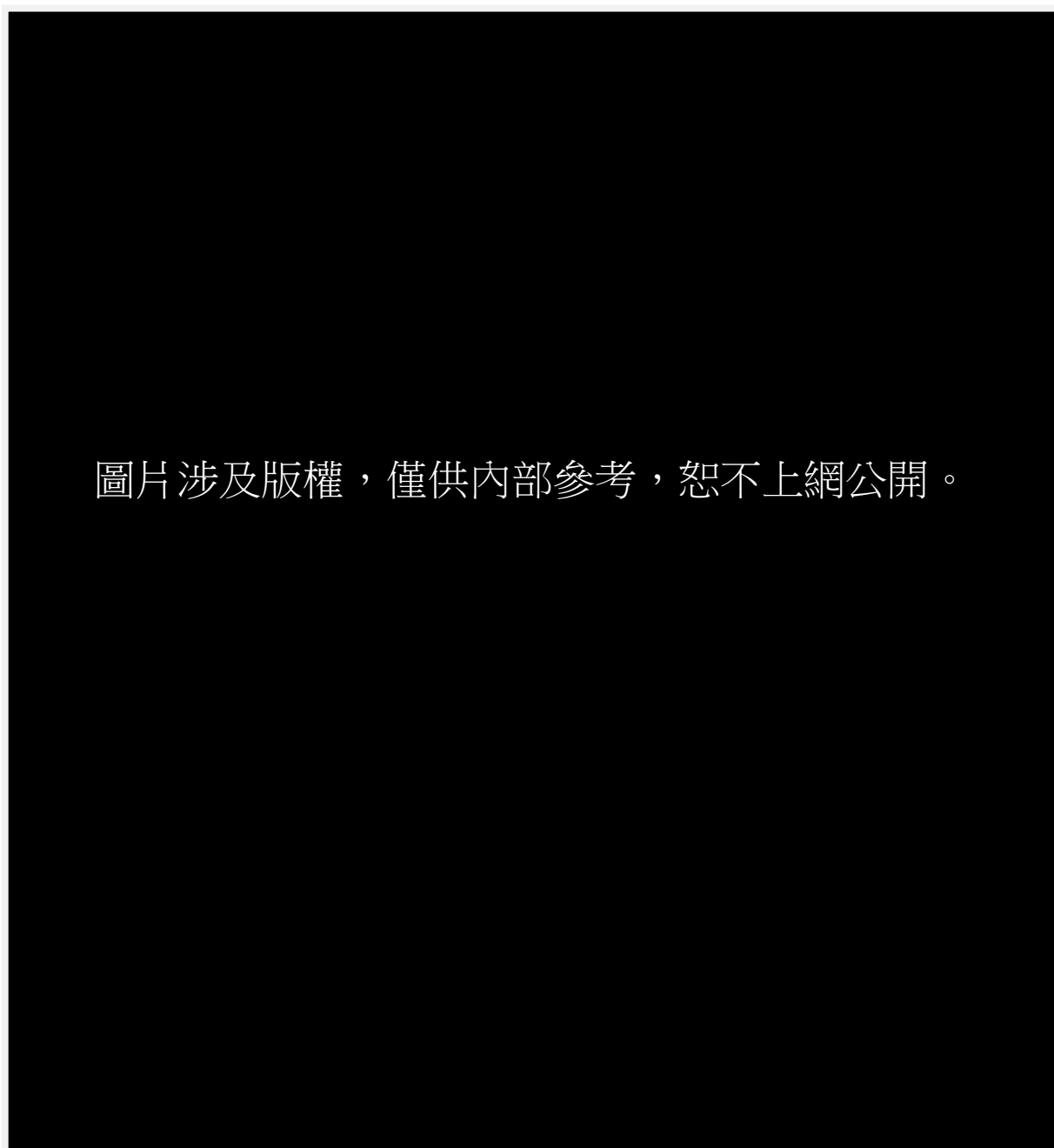
低放射性廢棄物運送至運轉大樓後，先卸載至暫存區，配合處置作業時程規劃再自暫存區取出。取出時需先經過檢查，再裝載至運輸車輛上，此時使用之運輸車輛僅通行於運轉大樓至處置區之管制區域內，運轉大樓接收作業如圖 11。

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 11 運轉大樓接收作業示意圖

低放射性廢棄物處置係以多重工程障壁設計概念將核種侷限於處置場內，除以水泥砂漿(Cement-based Backfill)填滿廢棄物桶間之空隙外，並於處置窖鋪設多孔隙混凝土層(Porous Concrete Layer)，可將滲透水予以收集至觀測隧道(Inspection Tunnel)，進行觀測後排放；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，一、二號低放射性廢棄最終處置設施廢棄物桶堆疊方式與工程障壁之設計如圖 12 所示。



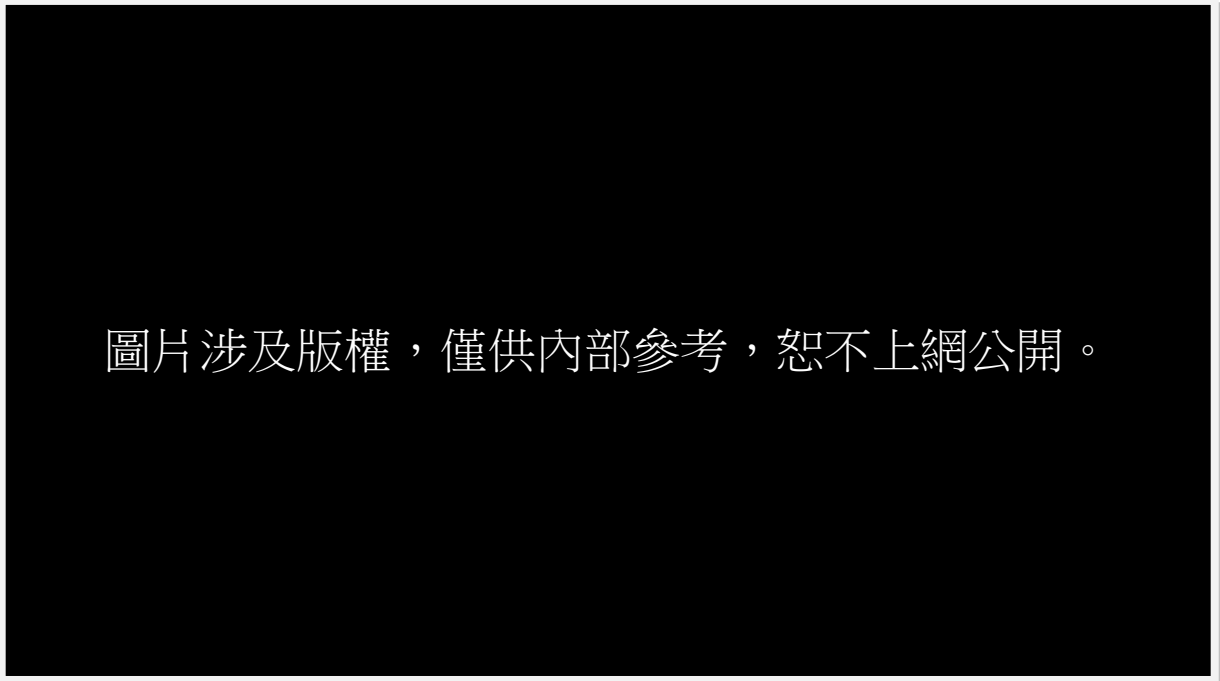
圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 12 六所村一、二號低放射性廢棄最終處置設施廢棄物桶堆疊方式與工程障壁之設計

依 JNFL 規劃，一號處置設施預計於運轉後 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。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開挖行為，以及覆土修復。

另一方面，JNFL 針對相對活度較高的低放射性廢棄物之處置，規劃地下 50~100 公尺之試驗坑道(如圖 13)，展開地質調查與相關研究，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，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。



圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 13 六所村低放射性廢棄物地下試驗坑道示意圖

(2) 用過核子燃料再處理廠(Reprocessing Plant)

JNFL 自 1993 年起，於青森縣六所村興建年再處理量為 800 公噸的用過核子燃料再處理廠 (Reprocessing Plant)。

用過核燃料先送至再處理廠水池中貯存(貯存時間為 7 年)，欲處理時將用過核燃料從池中吊出，切成細塊置入硝酸中，核燃料中之鈾及鈾會溶解於硝酸，利用此特性將鈾及鈾與其他不溶解於硝酸之分裂產物分開，同時以化學萃取法將鈾及鈾析出，再以化學處理使鈾及鈾分離，並去除殘餘之分裂產物，最後製成二氧化鈾及鈾鈾混合氧化燃料；殘餘之萃取液則以玻璃固化為高放射性廢棄物後暫存，待最終處置設施完工後再進行最終處置。此再處理廠以法國 AREVA 公司的 La Hague 再處理技術為基礎，

採用改良式鈾鈾萃取技術 (PUREX)，生產出鈾、鈾各佔 50% 比例的混合物，因不將鈾元素單獨分離出來，故可減少核子武器擴散的疑慮，其處理流程圖如圖 14。目前 JNFL 已克服玻璃固化關鍵技術，並正配合新規定基準及相關規則重新檢討設施安全，預計明年 3 月正式開始商業運轉。



圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 14 六所村再處理流程圖

(3) 再處理殘餘廢棄物貯存設施

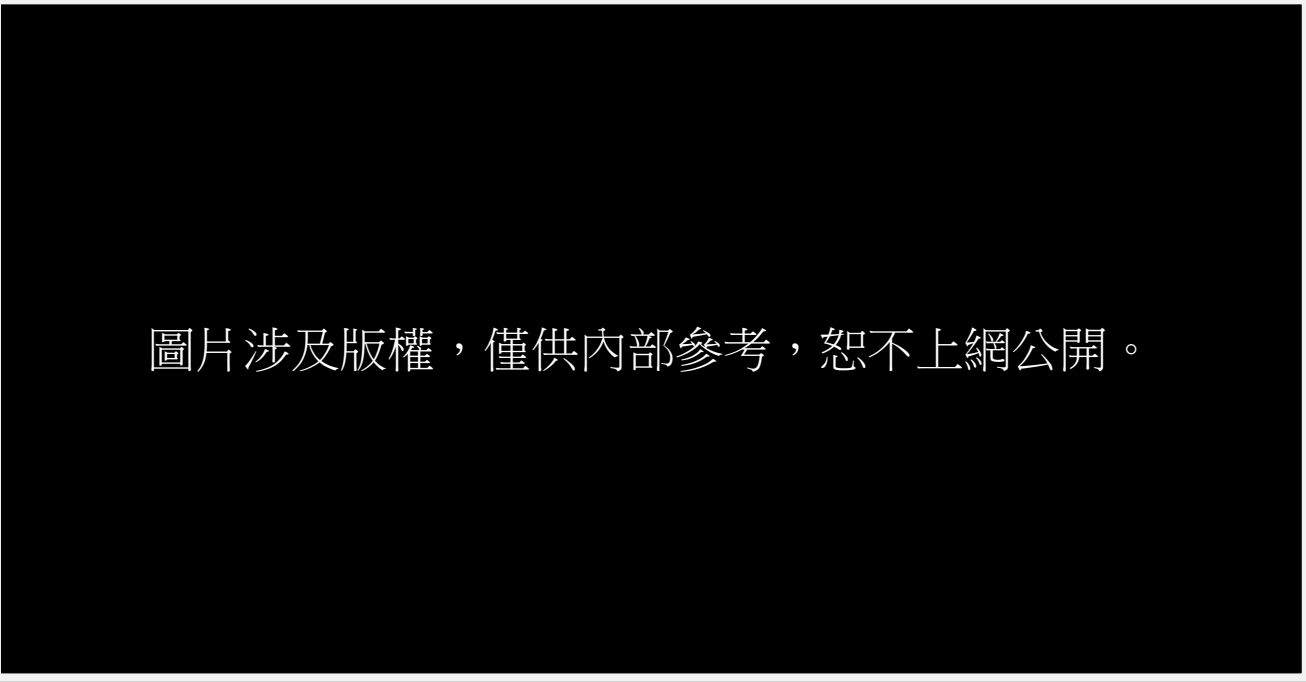
再處理殘餘廢棄物貯存設施於 1995 年完工並開始正式營運，設計貯存容量為 2,880 罐，目前已接收 1,574 罐(包含從法國及英國運回之 1,310 罐及 264 罐)。

(4) 用過核子燃料水池貯存設施

再處理廠用過核子燃料水池貯存設施於 1999 年開始運轉，設計容量為 3,000 公噸，於 2015 年 5 月底前，總計貯存量為 2,959 噸。

五、參訪日本東濃地球科學中心(Tono Geoscience Center)

本次主要參訪日本原子能機構(Japan Atom Energy Agency, JAEA)所屬東濃地球科學中心(Tono Geoscience Center)之瑞浪超深地層研究所，為花崗岩性之地下實驗室，由東濃地球科學中心進行管理，座落於日本中部的岐阜縣瑞浪市，整體地下坑道配置如圖 15。地下實驗室規劃二條豎坑，其一為主要坑道，直徑 6.5 公尺(目前深度約 GL-500.4m)，另一條豎坑作為換氣與運送廢土之用，直徑 4.5 公尺(目前深度約 GL-500.2m)，兩豎坑相距 40 公尺。本次參觀的橫向試驗坑道位於 GL-300m(寬度 4 公尺，高度 3 公尺)，其試驗配置包括：(1)剖面地質測繪(Geological Mapping)、(2)水文化學監測(Hydrochemical Monitoring)、(3)地下水微生物調查(Microbial Investigations in Granite Groundwater Collected)、(4)鑽孔調查(Borehole Investigation)、(5)地下水壓監測(Groundwater Pressure Monitoring)及(6)岩體變形行為。



圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 15 瑞浪地下實驗室坑道配置示意圖

地下實驗室之發展分為 3 個階段：第 1 階段(1996 年至 2004 年)為地表調查階段(Surface-based Investigation)，共計 8 年，主要工作為進行深層地質環境基本資料之蒐集與建立(包括鑽孔調查與地球物理探測之資料)，並預估建造階段對地質環境條件之影響，同時針對試驗布置及時程進行最佳化調整。第 2 階段(2004 年至 2013 年)為建造階段(Construction)，主要工作為開挖坑道，並針對周邊的地質環境進行評估，同時透過地質與水文模型評估調查技術之應用性。此外，亦透過深層開挖影響研究，確認開挖技術的可

行性。第 3 階段(2010 年迄今)為運轉階段(Operation)，此階段則進行各儀器監測，包含岩體的軸向位移、地下水壓、地下水流向、水質和地球化學等，並進行相關研究。除此之外，JAEA 已進行下個 5 年計畫(Next Five-Year Plan)之規劃，包括(1)坑道回填技術發展，進行坑道封閉試驗(Drift Closure Test)及環境與設施長期監測；(2)物質傳輸之模擬技術：進行裂隙網絡模擬及長期地質演化分析；(3)深層地質環境評估技術：進行裂隙岩體注漿實驗(Grouting Experiment)。

進入坑道以前，必須更換工作服及佩戴安全帽，同時為管控進入坑道人員，要求每人須攜帶 PHS 手機。試驗坑道內可見完整未噴漿之花崗岩塊，且路面潮濕，設有完整集水及排水系統，經統計資料顯示，整體坑道湧水量約為 $0.6\text{m}^3/\text{min}$ 。坑道面上安裝諸多計量儀器，如地震儀、伸張變位計和岩錨軸力計等(如圖 16)，並於鑽孔布置儀器監測地下水壓、水文化學(pH、Eh、水壓、溫度、率離子濃度及導電度)。

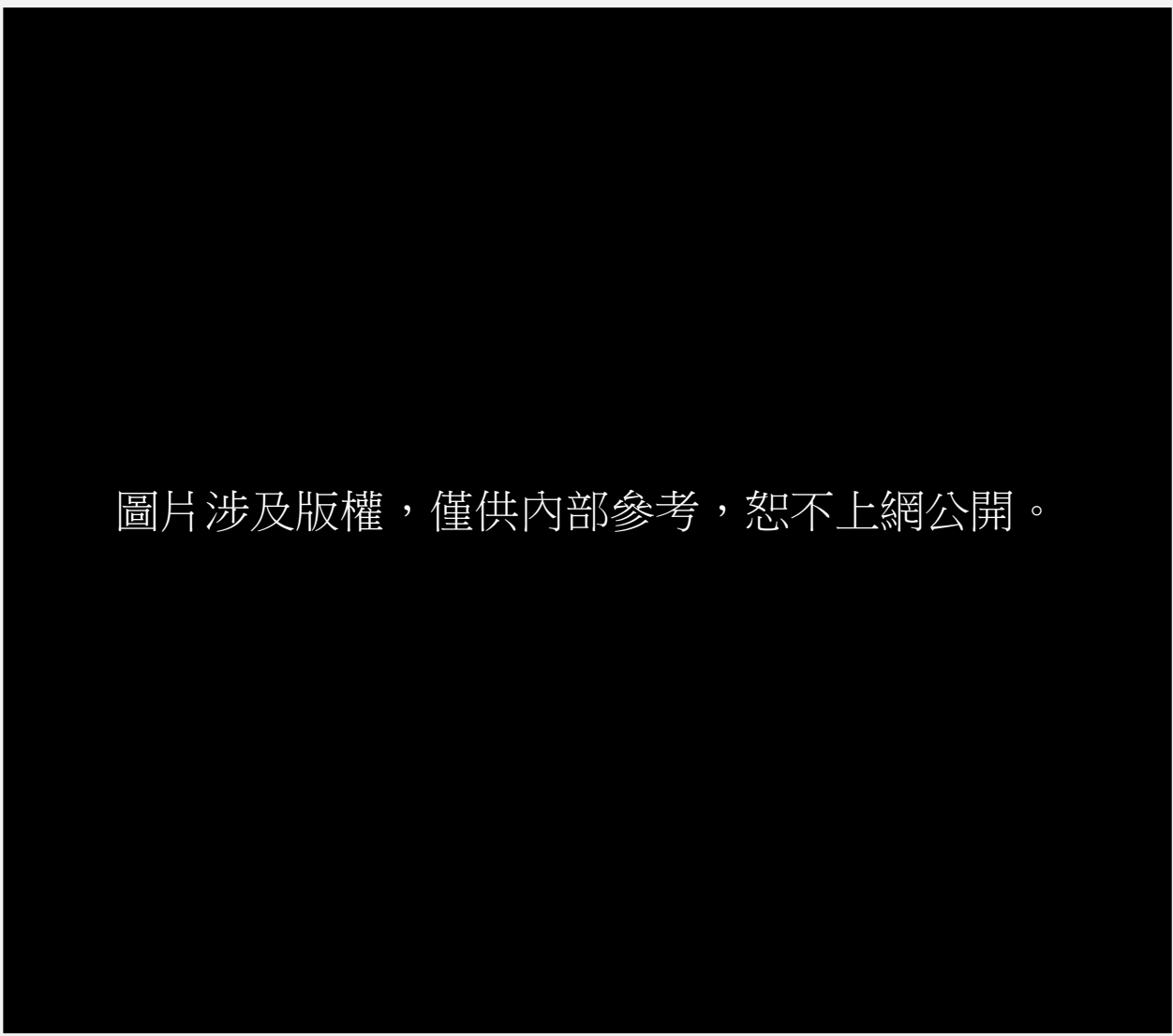


圖 16 實驗坑道計量儀器

六、日本中部電力公司所屬浜岡核電廠 (Hamaoka Nuclear Power Station of Chubu Electric Power Co., Inc.)

日本中部電力公司所屬浜岡核電廠 (Hamaoka Nuclear Power Station of Chubu Electric Power Co., Inc.)，以下簡稱浜岡核電廠，位於日本中部靜岡縣御前崎市(Omaezaki-shi)。浜岡核電廠面積約 1.6 km²，截至 2015 年 6 月 1 日，員工及包商人員分別為 833 人及 3,036 人。該電廠並無專屬港口，運輸係透過距離電廠約 10 公里的御前崎港(Omaezaki Port)，各機組之冷卻海水由離岸 600 公尺的取水塔取水。

圖片涉及版權，
僅供內部參考，
恕不上網公開。

圖 17 濱岡核電廠位置示意圖

浜岡核電廠內共有 5 部機組(如圖 18)，其中 1、2 號機正進行除役中，3、4、5 號機則因 2011 年福島核災事件發生後，日本政府要求停機，並進行設備改善與強化安全措施，以符合新核能法規。主要工作包含地質重新調查、設置海嘯牆、圍阻體排氣及配置臨時電源車、消防車等做為複合式災害時之緊急電源、水源之移動式供應。

(1) 耐震設計

浜岡核電廠附近海域屬於南海海槽(Nankai Trough)，有東海地震帶(Tokai Earthquake)、東南海地震帶(Tonankai Earthquake)及南海地震帶(Nankai Earthquake)等三個地震帶，其耐震設計是考慮三個地震帶同時活動的影響，並根據南海海槽大地震(Nankai Trough Megaquake)，作為設定地震地表反應譜之依據；惟 5 號機考慮地形放大效應(amplified seismic ground motion)，其地震地表反應譜較 3、4 號機為高。

(2) 改善工程

浜岡核電廠執行許多因應對策(例如反應爐本身以及相連的管路、急停以及冷卻設備、防止輻射外洩設備、燃料相關設備、海嘯防護設施、防淹水設施、嚴重事故反應設施、電力提供設備、以及電廠內建築物與廠房的結構加強)，另外像是加強管路以及電纜相關設備的支撐工作都持續在執行。4、5 號機進水口的海嘯牆設計更以較高之地震反應譜為其設計基準。茲將 3、4、5 號機所進行的改善項目，整理如表 3。

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 18 濱岡核電廠配置示意圖

表 3 3、4、5 號機改善項目整理

改善項目	配管、電線管路支撐強化	儲水槽基座強化	邊坡補強	海嘯牆基礎強化
3 號機	✓	--	✓	--
4 號機	✓	✓	✓	--
5 號機	--	--	--	✓

改善
示意圖

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

針對防淹水措施，電廠設置約 1.6km 長之海嘯牆(Tsunami Protection Wall)，目前完

成之牆高度為 16m，上方 4m 高為鋼骨結構，使其總高度達到海平面以上 22m，並於進水池設置溢流牆(Overflow Prevention Wall)，海嘯牆及溢流牆相關資料，整理如表 4。

而反應爐所處之建物則使用強化水密門(Strengthening Watertightness Door)以及防海嘯保護門(Tsunami Protection Door)，並於建築物對外開口裝設自動關閉閘門(Automatic Closing Gates)，以上反應爐所處之建物防淹水措施相關資料，整理如表 5。

表 4 海嘯牆及溢流牆

海嘯牆

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

①

海嘯牆

(Tsunami protection wall)

②

溢流牆

(Overflow prevention wall)

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

表 5 反應爐所處之建物防淹水措施

建物防淹水措施

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

①

防海嘯保護門
(Tsunami Protection Door)

②

強化水密門
(Strengthening Watertightness Door)

③

自動關閉閘門
(Automatic Closing Gates)

圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

針對其他緊急措施，尤其當電廠遭遇斷電時，如何持續供電以供防護設備運作為一重要任務。故浜岡核電廠於廠內較高處(高程約 40m)增設氣渦輪發電機(Gas Turbine Generators)，並採購移動式發電機及備用蓄電池，以備緊急供電之用；另外在高程 30m 的地方增設蓄水池(Water Tank)以及儲水槽(Water Storage Tank)，同時亦添購移動式注水泵，以確保水源供應無虞；最後安裝緊急海水冷卻系統(Emergency Seawater Intake System)以移除餘熱，避免類似福島事故再次發生。

除此之外，亦備有消防車及履帶車等，並於地勢較高的地方增建倉庫存放緊急狀況下所需的材料與設備。

(3) 緊急應變中心(Emergency Response Center，以下簡稱 ERC)

浜岡核電廠之 ERC 為一 4 層樓建物(約長 49×寬 30×高 19m)，於 2010 年 8 月完工，2010 年 9 月啟用，其功能係為提供人員安全之停留、迅速準確掌握事故狀況並執行核

能災害處理對策，並依對策協助處理災害。ERC 之隔震概念是在基礎上安裝隔震裝置(具大變形能力、吸收震動能量…等)並平衡分配，以抵抗水平及垂直之地震力。在此概念下，浜岡核電廠之 ERC 主要隔震效果是藉由基礎隔震層的水平油壓千斤頂與橡膠墊片產生之緩衝，作為減低地震對於建物的影響。而目前廠內正新建另一耐震設施，其想法是將整棟建築物座落於基礎岩盤上以避免土壤層帶來的放大效應，降低地震帶來之影響。

(4) 管制基準比較

中部電力公司根據核安監管單位(Nuclear Regulation Authority, NRA)所頒布之新管制基準重新檢討設施之安全，並於浜岡核電廠 3、4 號機先行執行，時程方面 4 號機預計於 2015 年 9 月完成，3 號機預計於 2016 年 9 月完成。新舊基準比較如表 6。

表 6 NRA 新舊管置基準比較

項目	舊基準	新基準
設計 基準	抗地震、海嘯能力	抗地震、海嘯能力
	自然災害	自然災害 (龍捲風、火山爆發與森林火災)
	火災防護	火災防護
	電源供應可靠度	淹水考慮
	其他	電源供應可靠度 其他
嚴重 事故 基準	事故處理對策	防止爐心受損
		防止圍阻體受損
		防止放射性物質外洩
		飛行器衝撞應變計畫

(5) 1、2 號機除役規劃

浜岡核電廠 1、2 號機除役規劃，可分為以下四個階段：

- 準備階段(Preparation Stage, 2009~2014 年)。
- 反應爐周邊設備拆除階段(Dismantling / Removal Stage for Reactor Zone Peripheral Facilities, 2015~2022 年)。
- 反應爐拆除階段(Dismantling / Removal Stage for Reactor Zones, 2023~2029 年)。

- 二次圍阻體拆除階段(Dismantling / Removal Stage for Building Structure，2030~2036年)。

目前已完成準備階段工作，並於 2014 年 2 月將 1 號機 206 組燃料束與 2 號機 1,164 組燃料束運往 5 號機的用過核燃料池中儲存。其中污染狀況調查預估，除役工作將產生 354,000 噸無污染廢棄物、78,000 噸無須處理之放射性廢棄物及 20,000 噸之 L3 等級廢棄物。

今年開始至 2022 年為執行反應器周邊設備的拆除作業(包括渦輪機主體、復水器、反應爐周邊設備與 1、2 號機共用排氣筒)，進行該階段工作必須事先針對變更項目提出申請與放射性廢棄物處置的方法。目前除役產生之廢棄物數量為 6,000 噸無污染廢棄物、18,000 噸處理之放射性廢棄物及 4,000 噸之 L3 等級廢棄物。

除此之外，有關反應器容器及內部組件的取樣技術，目前正在研究中，以 1 號機為例，反應爐各部位污染狀況及其分類如圖 19。



圖片涉及版權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖 19 濱岡核電廠 1 號機反應爐各部位污染狀況及其分類

肆、心得及建議

- 一、 本次赴日本分別與ATK、CRIEPI、JNFL、JAEA之專家針對放射性廢棄物最終處置及其相關技術進行交流及討論，並參訪六所村相關核能設施、瑞浪超深地層研究所以及浜岡核電廠，對於各研究內容及計畫執行成果收穫良多。
- 二、 參訪之各單位幾乎皆設有公眾服務中心(Public Relation Center)，並有專人導覽，不僅拉近一般民眾與放射性廢棄物的距離，也使民眾對於放射性廢棄物處理及處置有完整的瞭解，有利於溝通和增進對策的執行。建議於國內成立專屬於放射性廢棄物之公眾服務中心，專職介紹放射性廢棄物並就此方面與普羅大眾進行交流，應可藉此使一般民眾瞭解放射性廢棄物，並建立良好之資訊傳達管道。
- 三、 ATK之業務包括地工技術、地下水開發、結構物檢測/設計及開挖/拆除，其所具有之深層地質調查技術，對於我國未來進行放射性廢棄物深地層最終處置，應可作為參考之依據。
- 四、 JNFL之低放射性廢棄物最終處置設施，最大處置量約為600,000m³，屬近地表處置，回填層皆混合至少2公尺厚之膨潤土與砂土；處置窖牆設計為鋪設多孔隙混凝土材料，將利於滲透水收集與排放，可作為國內處置場概念設計之參考
- 五、 JNFL之用過核子燃料再處理技術目前已克服玻璃固化問題，同時配合新基準進行相關設施安全性檢討，預計明年3月商轉。用過核子燃料再處理，仍屬日本之核能政策中重要之一環。
- 六、 目前國內並無針對放射性廢棄物設置現地地質研究實驗室，然從日本經驗看來，全尺寸的現地研究是有助於提升地質調查技術、安全評估模擬技術及安全評估可靠之程度，故建議可與日方保持良好合作關係，逐步建立雙方交流機制，適時安排人員前往日本進行短期實習，以提升國內放射性廢棄物處置之相關技術。
- 七、 浜岡核電廠1、2號機自今年開始至2022年為執行反應器周邊設備的拆除作業期(包括渦輪機主體、復水器、反應爐周邊設備與1、2號機共用排氣筒)，建議可定期派員實地觀摩其作業執行並就除役技術進行交流，作為我國核能電廠除役之參考。
- 八、 日本中部電力公司所屬浜岡核電廠自311福島核災之後，針對海嘯設置約1.6km長之海嘯

牆(Tsunami Protection Wall)，目前完成之牆高度為16m，上方4m高為鋼骨結構，使其總高度達到海平面以上22m。另外對於受災時之應變也設計多重備援機制，以防單一設備失效。

- 九、 浜岡核電廠之ERC其主要隔震效果是藉由基礎隔震層的水平油壓千斤頂與橡膠墊片產生之緩衝，作為減低地震對於建物的影響。而目前廠內正新建另一耐震設施，其想法是將整棟建築物座落於基礎岩盤上以避免土壤層帶來的放大效應，降低地震帶來之影響。建議未來國內發展ERC，可就設施之功能面相進行考量，適當採用合適之耐震設計。

伍、參訪紀錄照片

ATK 技術交流會議

圖片涉及肖像權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖片涉及肖像權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖片涉及肖像權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖片涉及肖像權，僅供內部參考，恕不上網公開。





圖片涉及肖像權，僅供內部參考，恕不上網公開。

圖片涉及肖像權，僅供內部參考，恕不上網公開。



圖片涉及肖像權，僅供內部參考，恕不上網公開。