

(出國類別：研習)

# 研習日本放射性廢棄物最終處置選址 作業及安全管制報告

服務機關：行政院原子能委員會放射性物料管理局

姓名職稱：劉文忠簡任技正

派赴國家：日本

出國期間：98 年 11 月 25 日 至 98 年 12 月 5 日

報告日期：99 年 1 月 25 日

## 摘 要

放射性廢棄物(或稱核廢料)之安全管理，一向為社會大眾所關心，放射性廢棄物之最終處置，更是民眾關注之焦點，亦為政府當前積極推動之重點工作。為加速推動放射性廢棄物最終處置，妥善解決放射性廢棄物問題，有必要參酌世界先進國家的經驗。日本鑑於自身缺乏天然能源，長期致力於發展核能成為自主能源，建立非常完整之核能體系，尤在低放射性廢棄物之處置上已有具體進展，而在高放處置選址作業上採用較務實及系統化方式推展，諸多值得我國借鏡之處，藉以推展國內放射性廢棄物最終處置並確保其安全。

為強化國內低放射性廢棄物處置場之安全管制，奉派前往日本原子力安全基盤機構(JNES)及日本原燃株式會社(JNFL)，研習日本之低放射性廢棄物處置之安全管制、淺地掩埋處置設施運轉及淺地坑道處置之研究發展等，亦就近參訪位於六個所村的之用過核燃料再處理廠及核能展示館，研習日本用過核子燃料再處理發展及民眾溝通作為。另亦前往原子力發電環境整備機構(NUMO)及原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)，研習日本高放射性廢棄物深地層處置現況及核能後端基金運用情形，期參考日本之放射性廢棄物管理之新近發展，強化我國放射性廢棄物處置計畫，並提升相關安全審查能力。

## 目 次

|              |    |
|--------------|----|
| 摘要.....      | 1  |
| 一、 目的.....   | 3  |
| 二、 行程.....   | 6  |
| 三、 心得.....   | 12 |
| 四、 建議事項..... | 42 |

## 一、目的：

依照我國「節能減碳」政策之發電能源策略，核能發電為今後重要之選項。為建構國內核能發電永續發展的環境，必須解決放射性廢棄物處置問題，其中為妥善解決低放射性廢棄物，國內必須依法設置符合國際安全標準的最終處置設施。惟國內推展低放射性廢棄物處置（以下簡稱低放處置）作業，自民國 81 年即已開始選址工作，因鄰避效應迭遭波折。鑑於選址作業之困難，原能會已陸續制定完成「放射性物料管理法」及「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」（以下簡稱選址條例），為低放處置管制及選址作業做好奠基工作。97 年依照場址設置條例規定，在經濟部、台電公司及原能會的努力下，已於 97 年 8 月 29 日選定及公告三處低放處置「潛在場址」，並於 98 年 3 月 18 日經濟部公告建議候選場址遴選報告，建議台東達仁鄉的南田村及澎湖望安鄉的東吉嶼為建議候選場址，達成低放處置選址之階段性里程碑。

依照「選址條例」規定，建議候選場址須經地方民眾公投始得成為候選場址，因而處置設施是否安全是為地方民眾關切之焦點。行政院原子能委員會放射性物料管理局(以下簡稱物管局)值此場址選定階段，為做好低放處置安全審查之前置準備，已於 97 年 8 月 1 日成立低放處置審查專案小組，逐步形成完整之審查作業架構，建立各項有關審查技術，同時亦要求台電公司著手全面推展處置技術之建置，俾能確保處置設施安全及維護人民健康與環境品質。

低放射性廢棄物處置技術已相當成熟，在世界各核能應用國家中，目前運轉中之處置設施計有 79 座，在 34 個核能運用國家安全運轉中，已有相當多的成功案例值得我國借鏡。物管局黃慶村局長於 97 年 10 月出席於日本東京舉辦第二屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議時，曾前往青森縣六個所村，參訪日本原燃株式會社(Japan Nuclear Fuel Service Limited， 以下簡稱 JNFL)之低放廢棄物處置

設施。JNFL 在六個所村除採處置窖式的淺地掩埋處置外，另對淺地坑道處置技術也已有近 10 年的研究。鑑於國內低放處置並不排除上述二種方式，黃局長特邀請 JNFL 處置設施研究發展部副部長佐佐木泰博士來台，參加 98 年 11 月在台北舉行的中日工程研討會，並在物管局進行為期二天半的「日本低放坑道式處置之研究發展」專題介紹，同時就國內低放處置之概念設計及初步安全評估現況，進行研討並提出多項精進建議。爲了深入了解日本低放處置，佐佐木泰博士同意我方派員前往研習，前往人員包括物管局劉文忠技正、台電公司核能後端處邱顯郎及史簡二位組長，中興工程公司陳啓明博士、李禎常博士及林伯聰先生三人，以及台北科技大學具坑道工程專長之王泰典教授共 7 人，來自產、官及學界等不同專業人才，可經由不同領域的觀點與想法，來強化低放射性廢棄物處置場之選址、規劃、安全分析、建造、運轉及、封閉及監管的各項安全管制措施及技術，以確保處置設施之安全。

日本原子力安全基盤機構(Japan Nuclear Energy Safety Organization, 以下簡稱 JNES) 成立於 2003 年，爲獨立行政法人的準官方機構，其主要任務爲協助日本經濟產業省(Ministry of Economy, Trade and Industry, 以下簡稱 METI)所屬之原子力安全保安院(Nuclear and Industrial Safety Agency, 以下簡稱 NISA)，執行核能及放射性廢棄物設施之安全檢查作業，包括日本六個所村低放處置場的低放廢棄物之接收管制檢查。2008 年 JNES 增設放射性廢棄物部，將協助 NISA 有關放射性廢棄物有關之審查作業。國內的核能科技協進會(Nuclear Science & Technology Association, 以下簡稱 NuSTA) 於 2004 與原子力安全基盤機構(JNES) 簽訂合作交流協定，台日雙方每年輪流舉辦技術交流研討會，爲近年日本與我國核能機構交流最密切的單位。本次研習亦經 NuSTA/JNES 於東京之雙邊會議所安排之專家會議(Expert meeting)，得以前往原子力安全基盤機構，研習日本低放處置廢棄物接收標準，以強化國內低放處置廢棄物接收標準有關之前置準備作業。

另在六個所村時就近參訪 JNFL 設於六個所村的用過核燃料再處理廠與核能民眾溝通展示館，研習日本用過核子燃料再處理發展及民眾溝通作為；最後前往日本東京原子力發電環境整備機構(Nuclear Waste Management Organization of Japan, 以下簡稱 NUMO)及原子力環境整備促進與資金管理中心(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, 以下簡稱 RWMC)，研討日本高放處置選址作業方式及核能後端基金管理運用情況，供做國內推展低放處置選址作業及規劃用過核子燃料管理策略之參考。

## 二、行程紀要

| 日期           | 到達地點         | 活動內容                                                            | 研習機構                                     |
|--------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 11 月 25 日(三) | 台北=>東京       | 行程                                                              |                                          |
| 11 月 26 日(四) | 東京           | 研習低放射性廢棄物處置設施安全管理                                               | 日本原子力安全基盤機構(JNES)                        |
| 11 月 27 日(五) | 東京           | 研習低放射性廢棄物處置設施安全管理                                               | JNES                                     |
| 11 月 28 日(六) | 東京           | 研習資料整                                                           |                                          |
| 11 月 29 日(日) | 東京=>六個所村(三沢) | 研習資料整理/行程                                                       |                                          |
| 11 月 30 日(一) | 六個所村         | 研習低放射性廢棄物處置設施運轉及安全檢查作業                                          | JNES                                     |
| 12 月 01 日(二) | 六個所村         | 研習低放射性廢棄物坑道處置                                                   | 日本原燃株式會社(JNFL)                           |
| 12 月 02 日(三) | 六個所村         | 研習低放射性廢棄物坑道處置<br>參訪六個所村核能溝通展示中心<br>參訪用過核燃料再處理廠<br>參訪高放射性廢棄物貯存設施 | JNFL                                     |
| 12 月 03 日(四) | 六個所村(三沢)=>東京 | 研習資料整理/行程                                                       |                                          |
| 12 月 04 日(五) | 東京           | 研習高放射性廢棄物處置選址作業及核能後端基金管理                                        | 原子力發電環境整備機構(NUMO)/原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC) |
| 12 月 05 日(六) | 東京=>台北       | 行程                                                              |                                          |

本次研習前往日本原子力安全基盤機構(JNES)及日本原燃株式會社(JNFL)、原子力發電環境整備機構(NUMO)及原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)四個放射廢棄物有關機構,而參與行程的團隊有二位來自於台灣電力公司後端營運處邱顯郎及史簡二位組長、國立台北科技大學材料及資源工程系王泰典教授及三位來自環興科技股份有限公司陳啓明經理、林伯聰及李禎常工程師,同行人員出國前曾就研習的主題先行交換意見,並提出擬研討問題送交日方供先行了解及準備。

11月25日及26日因僅個人獲得JNES同意,前往研習低放射性廢棄物處置設施之安全管制,由JNES的大塚一郎博士負責介紹,研討的主題包括:

1. 日本放射性廢棄物的分類規定及處置概念。
2. 低放廢棄物處置安全的基本考量。
3. 低放廢棄物處置安全管制法規及審查要點。
4. 低放射性廢棄物處置之安全檢查(低放廢棄物固化體品質標準及核種量測作業)。
5. 低放廢棄物之坑道處置之安全要求。
6. 其他放射性廢棄物管制措施概要介紹(含高放射性廢棄物處置、管制技術之研究發展及清潔廢棄物外釋管制等)。

另JNES亦要求我方介紹放射性廢棄物管理現況做為技術交流,我方簡報之內容包括:

1. 前言(含放射性廢棄物管理策略及目標)。
2. 低放射性廢棄物處理(含清潔廢棄物外釋)。
3. 低放射性廢棄物處置選址及管制作業。
4. 用過核子燃料管理(含用過核子燃料乾式貯存及最終處置計畫)。

11 月 28 日整理在 JNES 的研習資料，並準備前往六個所村研習事宜，29 日與 JNES 的鶴我計介先生及台電的邱顯郎及史簡二位組長依行程前往六個所村。

11 月 30 日與台電邱顯郎組長由 JNES 的鶴我計介先生及日方所請翻譯人員陪同，前往六個所村的 JNES 低放處置場檢查中心，由該檢查組長島博文先生介紹 JNES 在六個所村的各項檢查作業，並就低放射性廢棄物固化體品質標準及核種量測有關問題深入研討。

JNES 對我國的低放廢棄物高效率減容技術以及清潔廢棄物外釋作業管制表示甚值得借鏡，而日本之低放廢棄物固化體品質標準及核種量測作業亦值得我方進一步研習，以上均可做為後續雙方技術交流之議題。

12 月 1 日除台灣電力公司後端營運處邱顯郎及史簡二位組長外，另國立台北科技大學材料及資源工程系王泰典教授、環興科技股份有限公司陳啓明經理、林伯聰、李禎常工程師，以及負責翻譯的陳小姐也於 11 月 30 日到達三沢，早上 一行共 8 人共同前往六個所村的 JNFL 研習，因 JNFL 的低放處置設施及行政大樓均位於 JNFL 的鈾濃縮設施的場界內，進入該場區須先提供個人資料，進入時 JNFL 影印每位參訪人的護照，並經詳細核對後方能進入場區。JNFL 處置開發設計部副部長佐佐木泰博士，因曾受邀參加 98 年中日工程研討會，與我方人員均熟識。佐佐木泰博士首先簡介 JNFL 在六個所村各項設施之地理位置，並說明該場區除會議室內部外，其他地方均不得攝影之規定，另就二天的各項活動行程進行雙方再次確認後開始研討，佐佐木泰博士並就我方行前所提有關日本低放處置各項問題做回答說明。

12 月 1 日下午先前往低放淺地掩埋的處置設施現地參觀，並進入其處置區實際了解其處置窖設計及處置作業的各項操作設備。日本六個所村的淺地掩埋設

計容量高達 3 百萬桶(220 升)，目前 1 號及 2 號淺地掩埋處置設施各為 20 萬桶的處置容量，採明挖方式約近 20 公尺深，場內設有集水和抽水設備及處理監測廠。目前處置窖旁之檢查坑道尚未設置，將俟未來進行回填作業時才會構築。參觀完淺地掩埋設施後一行前往淺地坑道處置試驗導坑參觀，了解其各項處置坑道的水文、地工之試驗及監測。試驗導坑內正進行全尺寸工程障壁的實體驗證研究，由於全程均禁止拍照，故未取得任何現場照片。試驗導坑現場參訪完後回到會議室持續討論，據佐佐木博士表示，坑道處置為較高強度的低放射性廢棄物，其調查作業始於 2001 年，而處置試驗開挖始於自 2003 並於 2005 年完成後，進行試驗導坑的各項試驗及監測研究，至目前的經費約 200 億日元(約 60 億新台幣)。試驗坑道內所進行的各項試驗及驗證，主要在於提供坑道處置設施安全設計與評估所需之充分證據，俾能符合 NISA 的安全審查要求，順利取得低放坑道處置之事業許可。

因目前尚未取得地方政府正式同意，JNFL 只能低調以研究名義從事各項試驗及驗證，尚無法正式宣稱將在此進行低放坑道處置。但 JNFL 預期 2010 年有機會取得地方政府同意，正式向 NISA 提出事業許可申請。申請前 JNFL 將邀請與 JNFL 簽有技術合作協定的世界各國的放射性廢棄物處置專責機構，包括如瑞典的 SKB 以、法國的 ONDRA 及瑞士的 ANDRA 等之專家組成同儕審查小組，就坑道處置的各項調查與評估結果進行評論以確保其品質。另佐佐木博士表達如國內有意願參與此項審查作業，將會盡力爭取我國人員成為觀察人員，亦表示如國內有關機構有意願與 JNFL 簽訂技術合作協定，其個人願意協助促成，俾便後續雙方的技術交流。

12 月 2 日上午進行淺地掩埋的處置設施安全評估及坑道處置水文地質調查之研討。因佐佐木博士當日必須前往東京開會，由 JNFL 的進士喜英博士、原田英二先生及大石英希先生與我方進行研討。原田英二與大石英希先生主要負責處

置功能評估工作，介紹六所村低放淺層掩埋處置場的功能評估，並建議在初步評估時可採較保守假設，以確保處置設施設計符合安全法規要求。進士喜英博士負責介紹坑道處置的水文地質的調查及模擬評估，由於雙方對場址調查程序、取樣方法、地震法規、斷層界定及地下水模式模擬方法有相當的認知，因此得以深入討論並交換研究心得。

12月2日下午參訪核能溝通展示館(Public Relationship Center，以下簡稱PR館)、高放射性廢棄物貯存設施及用過核燃料再處理工廠。PR館副館長作間芳博先生簡報說明PR館所扮演的角色及六所村溝通工作，讓我方人員深入了解公眾關係在重大政策推動的重要性。參訪高放射性廢棄物貯存設施及用過核燃料再處理工廠時全程禁止拍照，日方安排專人說明並提供簡介資料供做參考。

12月3日自三沢返回東京，同行人員於途中交換先前之參訪心得，並對拜訪NUMO及RWMC兩單位的議題交換意見。

12月4日上午拜訪日本的NUMO，該機構為法定專責日本高放射性廢棄物之處置工作，出席者包括企劃部長竹內光男博士、出口朗先生、布目小姐、清水小姐。竹內博士表示曾於2006年參加在核能研究所舉辦的第一屆EAFORM研討會，對台灣的放射性廢棄物管理及技術發展有很有興趣進一步了解。研討會由布目小姐簡報說明日本高放射性廢棄物處置的現況發展，並就日本高放處置選址作業及技術發展等有關問題進行研討。NUMO特別說明目前在瑞浪超深地層及幌延深地層之研究是由日本原子能研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency，以下簡稱JAEA)負責，主要為建立深地層處置各技術，此二處地點無關於高放處置場的選址作業，而日本高放處置場的選址採招募自願場址為主。

台電公司目前正進行後端基金之重估作業，下午的研討會另邀請日本原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)至NUMO共同研討，RWMC由古賀洋一

常務理事率黑川公司部長等一行四人出席，簡報日本用過核燃料再處理、高放廢棄物處置的主要資金來源、資金管理及研究發展所需費用，並進行研討。

12 月 5 日自日本成田機場返回國內桃園機場，結束研習行程。

### 三、心得：

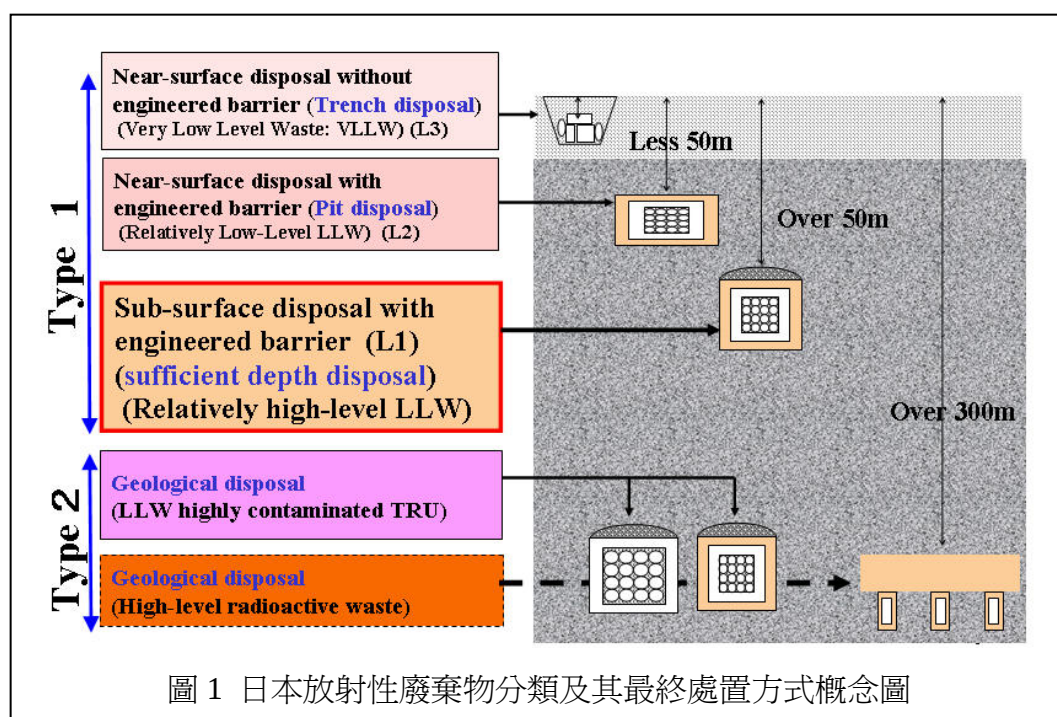
日本將核能視為準自產能源，具有完整之核能發展體系，並有系統的按部就班推展核能後端各項業務，深具參考價值。本次僅就低放廢棄物處置作業、公眾溝通、用過核燃料的再處理、高放廢棄物貯存及處置選址作業與研究發展情形提出下列研習心得，供國內推動放射性廢棄物處置作業之參考。

#### (一)日本放射性廢棄物處置方式及濃度限值

日本的放射性廢棄物稱為第一種與第二種放射性廢棄物，可相對於我國則稱為高與低放射性廢棄物。日本核燃料循環採用過核燃料再處理政策，其高放射性廢棄物為用過核燃料再處理廢液殘渣以玻璃固化之廢棄物。除高放廢棄物外，部份放射性較高的超鈾(TRU)廢棄物亦會採深地層處置。日本的低放廢棄物處置可區分淺地土溝處置(以下簡稱土溝處置)、淺地混凝土窖掩埋處置(以下簡稱淺地掩埋處置)及餘裕深度(50m~100m)的坑道處置(以下簡稱淺地坑道處置)三種方式，日本放射性廢棄物的分類及最終處置概念方式如圖 1。

日本原子力安全委員會(Nuclear Safety Commission，以下簡稱 NSC)曾分別提出低放廢棄物各種處置方式的濃度上限值如表 1，其中淺地土溝處置的濃度上限值，約為我國 A 類低放廢棄物濃度上限值的千分之一。淺地掩埋處置的濃度上限值，約為我國 C 類低放廢棄物濃度上限值。而淺地坑道處置的濃度上限值，約相當於我國的超 C 類廢棄物。NSC 假設的處置設施、場址及曝露情節如圖 2，做為能代表日本低放處置的參考案例，反來推上述各種低放處置方式的個別核種的濃度上限值，但各別處置設施仍須就其設計及場址特性，評估各別處置設施的總濃度上限值。我國低放處置之濃度限值係參考美國 10CFR61 (Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste)的分類加以訂定，故已有各類低放廢棄物的濃度上限值，不需經由假定的處置設施、場址及曝露情節的參考案

例去推定。國內低放處置目前雖處於選址階段，對可能的建議候選場址提出一個具代表性的處置概念設計並進行初步的安全評估，除有助於做好低放處置的前置準備外，亦可讓民眾更容易了解處置設施之安全性。因此物管局已於 97 年開始要求台電公司，就可能的建議候選場址逐步提出概念設計及初步安全評估，經物管並邀請國內外專家學者提供評論意見，以有效強化國內低放處置設施設計及安全評估能量。



| クリアランス  | トレンチ<br>処分                                                                                                                                                                                                             | ピット<br>処分 | 余裕深度<br>処分                | 地層処分  |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|-------|------------------------|--------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|------------------------|--------|---------------------------|---------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|---------|---------------------------|--|
|         | <table><tr><td>Co-60</td><td><math>1.0 \times 10^{10}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Sr-90</td><td><math>1.0 \times 10^7</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Cs-137</td><td><math>1.0 \times 10^8</math> Bq/t</td></tr></table> | Co-60     | $1.0 \times 10^{10}$ Bq/t | Sr-90 | $1.0 \times 10^7$ Bq/t | Cs-137 | $1.0 \times 10^8$ Bq/t | <table><tr><td>C-14</td><td><math>1.0 \times 10^{11}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Co-60</td><td><math>1.0 \times 10^{15}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Ni-63</td><td><math>1.0 \times 10^{13}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Sr-90</td><td><math>1.0 \times 10^{13}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Tc-99</td><td><math>1.0 \times 10^9</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Cs-137</td><td><math>1.0 \times 10^{14}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Total α</td><td><math>1.0 \times 10^{10}</math> Bq/t</td></tr></table> | C-14 | $1.0 \times 10^{11}$ Bq/t | Co-60 | $1.0 \times 10^{15}$ Bq/t | Ni-63 | $1.0 \times 10^{13}$ Bq/t | Sr-90 | $1.0 \times 10^{13}$ Bq/t | Tc-99 | $1.0 \times 10^9$ Bq/t | Cs-137 | $1.0 \times 10^{14}$ Bq/t | Total α | $1.0 \times 10^{10}$ Bq/t | <table><tr><td>C-14</td><td><math>1.0 \times 10^{16}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Cl-36</td><td><math>1.0 \times 10^{13}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Tc-99</td><td><math>1.0 \times 10^{14}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>I-129</td><td><math>1.0 \times 10^{12}</math> Bq/t</td></tr><tr><td>Total α</td><td><math>1.0 \times 10^{11}</math> Bq/t</td></tr></table> | C-14 | $1.0 \times 10^{16}$ Bq/t | Cl-36 | $1.0 \times 10^{13}$ Bq/t | Tc-99 | $1.0 \times 10^{14}$ Bq/t | I-129 | $1.0 \times 10^{12}$ Bq/t | Total α | $1.0 \times 10^{11}$ Bq/t |  |
| Co-60   | $1.0 \times 10^{10}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Sr-90   | $1.0 \times 10^7$ Bq/t                                                                                                                                                                                                 |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Cs-137  | $1.0 \times 10^8$ Bq/t                                                                                                                                                                                                 |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| C-14    | $1.0 \times 10^{11}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Co-60   | $1.0 \times 10^{15}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Ni-63   | $1.0 \times 10^{13}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Sr-90   | $1.0 \times 10^{13}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Tc-99   | $1.0 \times 10^9$ Bq/t                                                                                                                                                                                                 |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Cs-137  | $1.0 \times 10^{14}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Total α | $1.0 \times 10^{10}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| C-14    | $1.0 \times 10^{16}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Cl-36   | $1.0 \times 10^{13}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Tc-99   | $1.0 \times 10^{14}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| I-129   | $1.0 \times 10^{12}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |
| Total α | $1.0 \times 10^{11}$ Bq/t                                                                                                                                                                                              |           |                           |       |                        |        |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |       |                        |        |                           |         |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                           |       |                           |       |                           |       |                           |         |                           |  |

表 1 日本低放射性廃棄物不同處置方式之濃度上限値

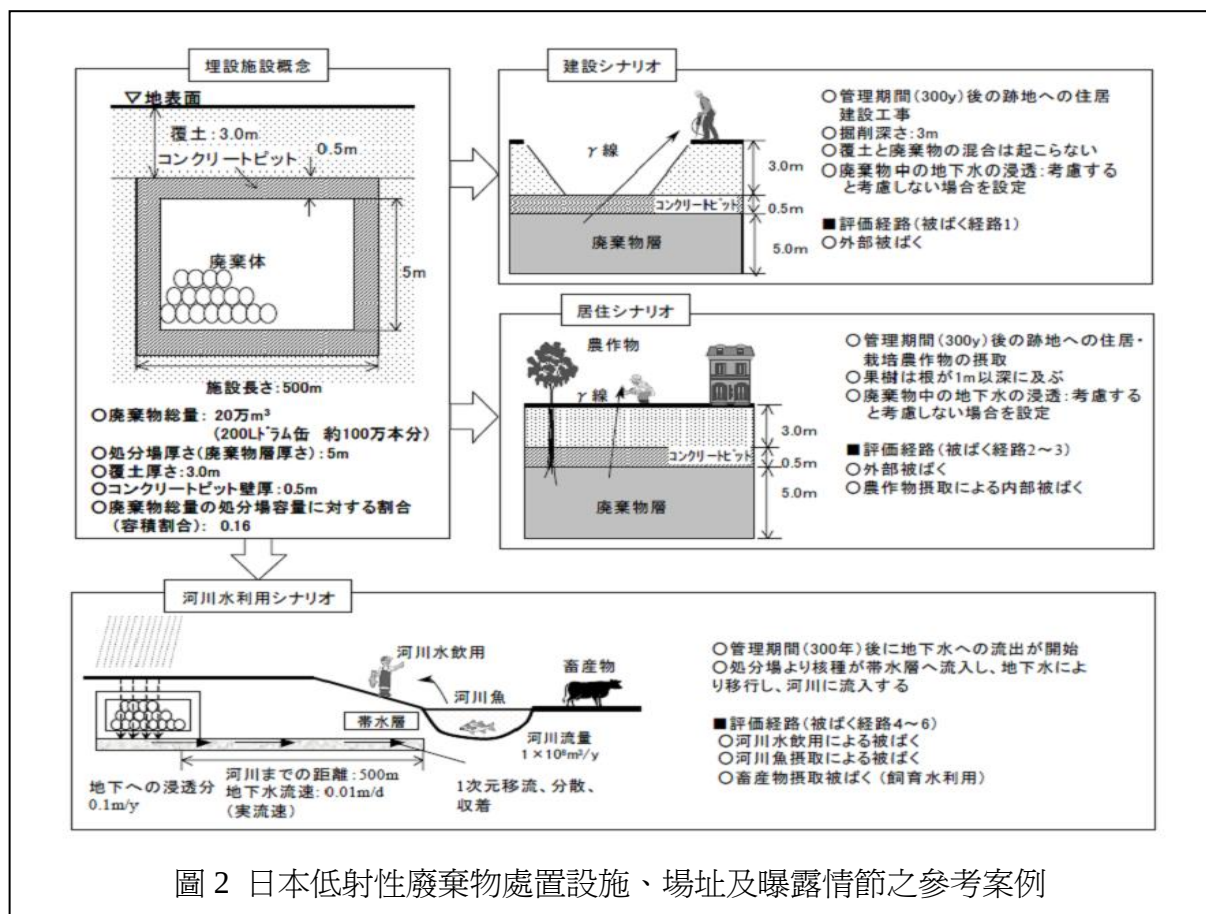


圖 2 日本低放射性廢棄物處置設施、場址及曝露情節之參考案例

## (二)日本低放射性廢棄物處置的安全要求

日本 NSC 在 1985 年訂定放射性廢棄物處置的基本安全考量，要求對放射性廢棄物未衰變至無害程度前，必須經安全評估採行適切的處置方式，以工程、地層障壁及監管措施，有效的將放射性物質與人類生活圈有效隔離。

為符合前述之基本安全考量，淺地掩埋處置分成 4 個階段加以管理，以確保其安全如圖 3。第一階段為處置設施的運轉期，即自設施開始接收廢棄物至往後的 25~35 年間。工程障壁在此階段必須能有效的將廢棄物包封，同時要監測有無放射性物質自工程障壁外漏，若有則必須檢查處置窖並加以修護。第二階段為第一階段終了後的 30 年，此時處置設施已停止接收，處置窖周邊構築檢查坑道並加以覆土。處置窖及覆土在此階段要能有效抑制放射性物質的遷移，並要監測放

射性物質漏出的情況。第一、二階段期間會對處置區之地面排水、地下水及周邊地區直接輻射進行監測。第三階段則為第二段後開始直到第一階段後約 300 年的時間，主要靠天然障壁即地層抑制放射性核種向人類生活圈移行。自第一階段至第三階段期間，處置區及周圍地區應進行定期檢查及環境監測，並於處置區設定保全區域以管制人員的進出，以有效防止人為挖掘。

日本放廢處置設施監管期對一般民眾的輻射劑量法規限值為 1 mSv /yr。但處置設施進入第四階段免於監管的輻射劑量為 10  $\mu$  Sv /yr，即第三階段真正所需時期有多長，取決於何時處置場對一般民眾的輻射劑量何時下降為 10  $\mu$  Sv /yr，前述 300 年僅考量低放廢棄物及淺地掩埋處置特性所建議具代表性的參考期限。以日本六個所村場區之淺地掩埋處置而言，經安全評估之情節評估顯示，人類在處置場區的挖掘行為影響監管期長短的關鍵。

日本 NSC 在 2004 年 6 月修正放射性廢棄物處置安全管制的共同重要事項，主要為處置的長期安全考量，具有很高之不確定性，有必要參酌採用風險機率概念方式，進行放射性廢棄物處置的安全評估，依不同發生頻度的事件之對應情節，採取不同的劑量限值，讓安全評估更具科學的合理性，所考量的各情節分述如下：

1. 基本情節：劑量限值為 10  $\mu$  Sv/yr，考量在正常情況下處置設施的工程障壁，能如預期有效的將放射性廢棄物和人類生活圈隔離，地層隆起或侵蝕及氣候變遷所引起的地下水條件變動範圍較小，其評估情節確實而採用之評估數據適當。
2. 變動情節：劑量限值採用為 0.3 mSv/yr，考量在正常情況下，處置設施的工程障壁發生比預期較早的劣化，地層隆起或侵蝕及氣候變遷所引起的地下水條件變動範圍較大，其評估情節具科學的合理性，而採用之評估

數據範圍適當。

3. 人爲或稀有事件情節：劑量限值爲 10~100 mSv/ yr，考量人爲的偶發處置區挖掘行爲，或是突發的大規模的地震對地下水造成極大變動的情節。
- 由於未來人類挖掘行爲的不可預測性，可採行現代的挖掘行爲爲預想的評估情節。

日本採用爲變動情節之劑量限值 0.3 mSv/yr，即爲國際輻射防護委員會(ICRP) 81 號報告，對放射性廢棄物處置建議的輻射劑量。我國並未採用風險機率概念方式評估，而以大部份低放處置國家所普遍採用的決定性評估方式，我國的低放處置設施的輻射劑量限值爲 0.25 mSv/yr，此與美國的低放處置設施的安全評估和輻射劑量限值相同。國內雖未採用風險機率概念方式評估，但日本基本情節的劑量限值爲  $10\ \mu\text{Sv/yr}$  值得供爲國內評估監管期長短的參考，另其人爲或稀有事件情節的劑量限值範圍 10~100 mSv/ yr，亦可供處置設施異常事件評估之劑量限值之參考。

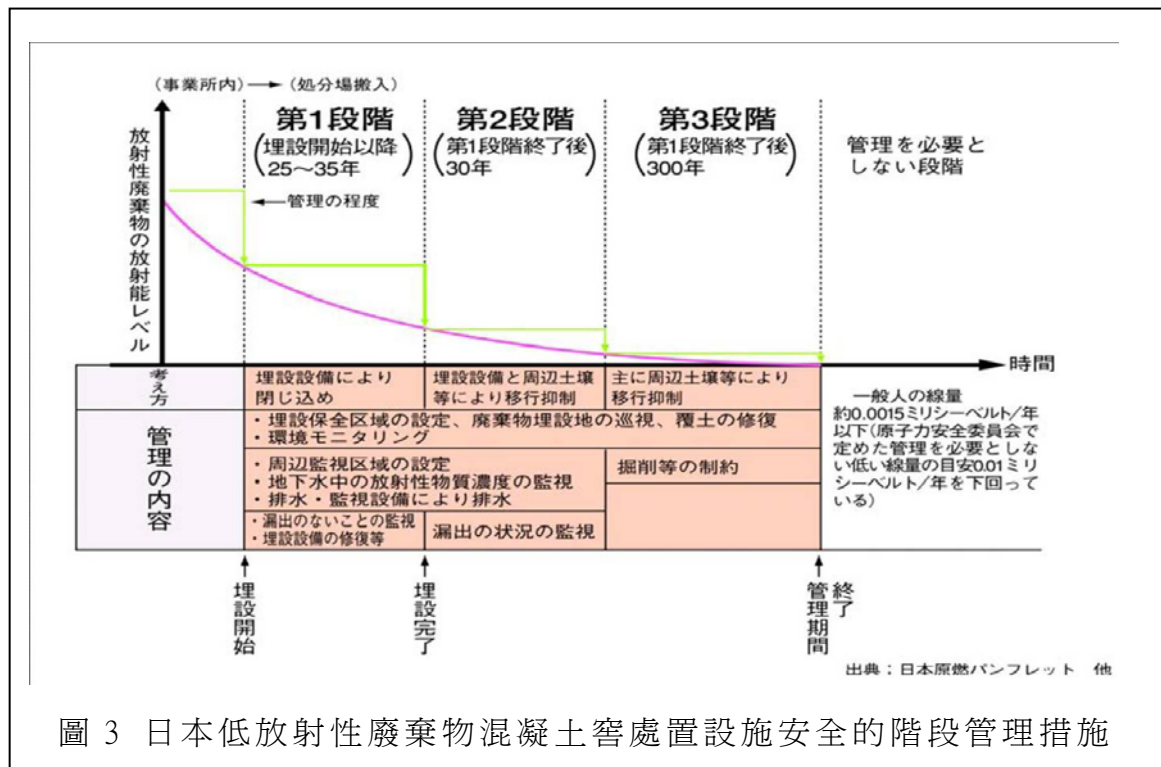


圖 3 日本低放射性廢棄物混凝土窖處置設施安全的階段管理措施

### (三) 日本低放射性廢棄物淺地掩埋處置作業

日本六個所村的低放淺地掩埋處置設施占地大約 360 公頃，其地理位置如圖 4，運轉中之 1 號與 2 號處置設施如圖 5，各自取得 4 萬立方公尺的處置許可，共為 8 萬立方公尺相當於 40 萬桶之 200 加侖桶，未來最終處置場可計畫擴充至處置 60 萬立方公尺之規模，相當於 300 萬桶之 200 加侖桶。

日本六個所村淺地掩埋處置設施的工程障壁設計，係利用孔隙度大小不同的混凝土減少地下水的入侵，回填土加入膨潤土減低地下水的流動，亦可遲滯核種的遷移如圖 6。另一個設計特點就是處置窖設有檢查坑道，目前尚未設置，需待進行覆土前才會構築，用以回應第二階段必須監視放射性物質外漏狀況的基本安全考量的要求。但長期而言，檢查坑道可能成為放射性物質核種外釋的主要途徑，反不利於長期安全之確保。據 JNFL 專家表示並不能排除此項疑慮，將進一步詳細評估設置檢查坑道的利弊，如確需設置檢查坑道，有可能於進入第三階段時加以填土封閉，以避免檢查坑道成為核種外釋的主要途徑。

六個所村淺地掩埋處置設施主要接收來自核能電廠之低放廢棄物如圖 7，1 號處置設施主要處置均勻固化的廢棄物，大多為核能電廠所產生的廢液經濃縮後之廢漿、廢液過濾用之粉狀樹脂及紙、布、塑膠、保溫材焚化之灰渣等，採水泥、瀝青或塑膠均勻固化於 200 公升的廢棄物桶；2 號處置設施主要處置充填固化廢棄物，主要為核電廠所產生之金屬廢棄物經切割、壓縮後裝於 200 公升廢棄物桶中以水泥加以固化。

六個所村淺地掩埋處置場之廢棄物接收自接收港開始，運輸低放廢棄物之運輸船青榮號抵達接收港後，將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低放處置場之運轉大樓。日本 JNFL 接收之低放廢棄物，從接收港至處置場運轉大樓之運輸是採用外

包方式進行，運輸公司並非日本 JNFL 所有，此區段之運輸車輛將不會進入處置掩埋區，僅通行於接收港至運轉大樓之間，如圖 8。

廢棄物運送至運轉大樓後，先卸載至暫時貯藏區，配合處置作業時程規劃，再自暫時貯藏區取出，取出時需先經過檢查裝置檢查，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，如圖 9。

低放廢棄物自運轉大樓送至處置區後，以吊車將廢棄物桶自運輸車輛取出，放置於處置窖中，處置窖裝滿後灌漿封填，其上設置臨時隔水設施，封閉時需設置檢查設施並進行覆土植生，如圖 10。

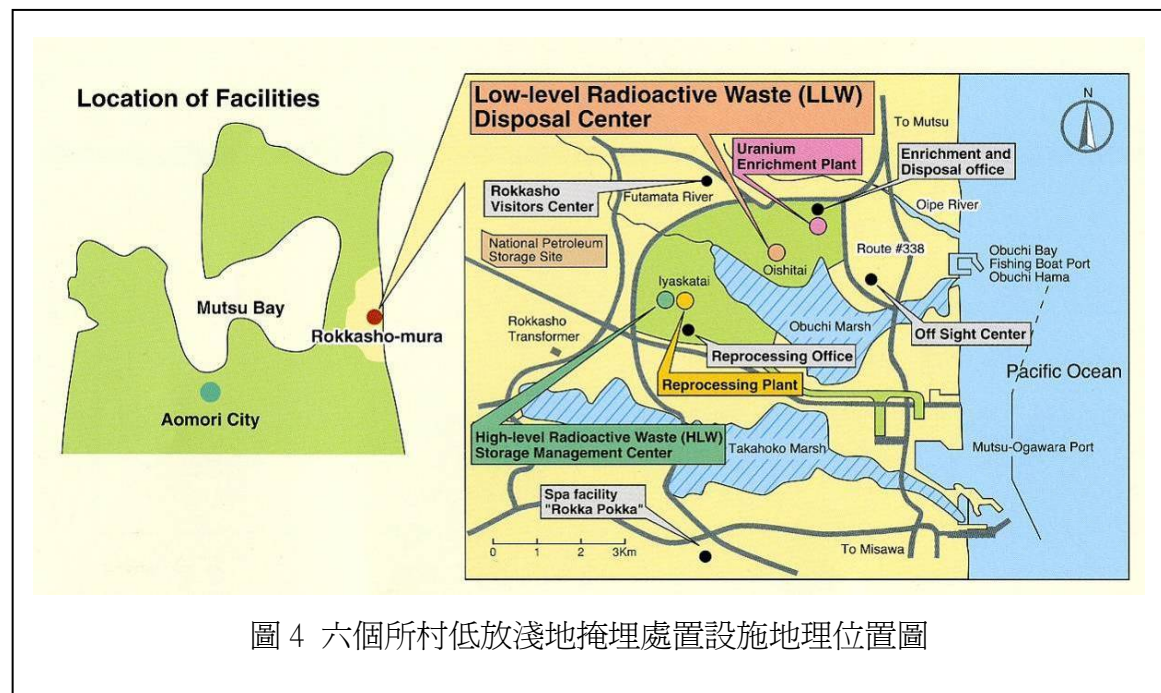


圖 4 六個所村低放淺地掩埋處置設施地理位置圖



圖 5 六個所村低放淺地掩埋處置設施

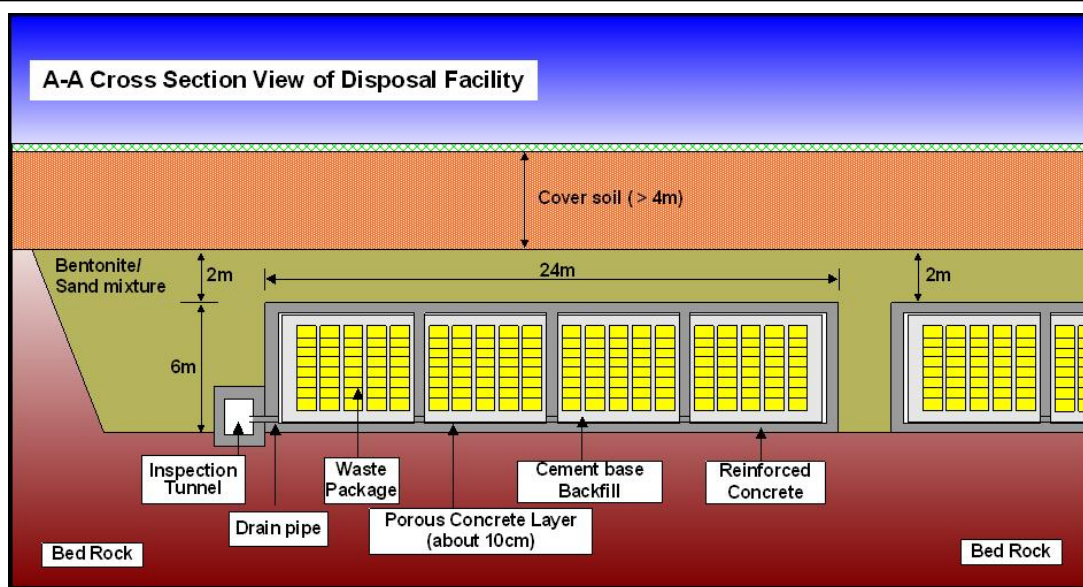


圖 6 六個所村低放淺地掩埋 1 號處置設施之設計

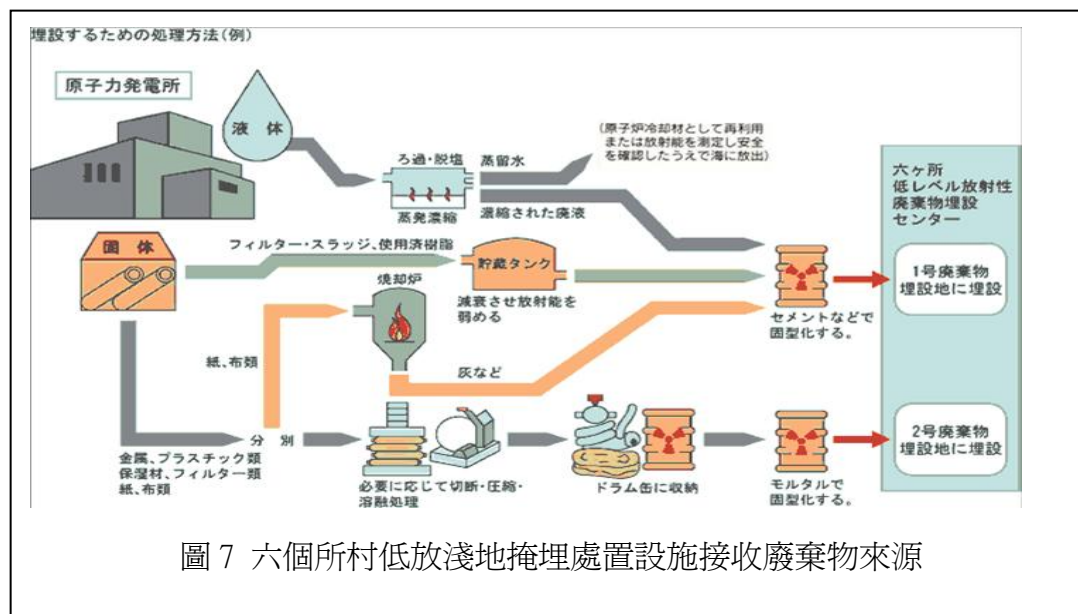


圖 7 六個所村低放淺地掩埋處置設施接收廢棄物來源

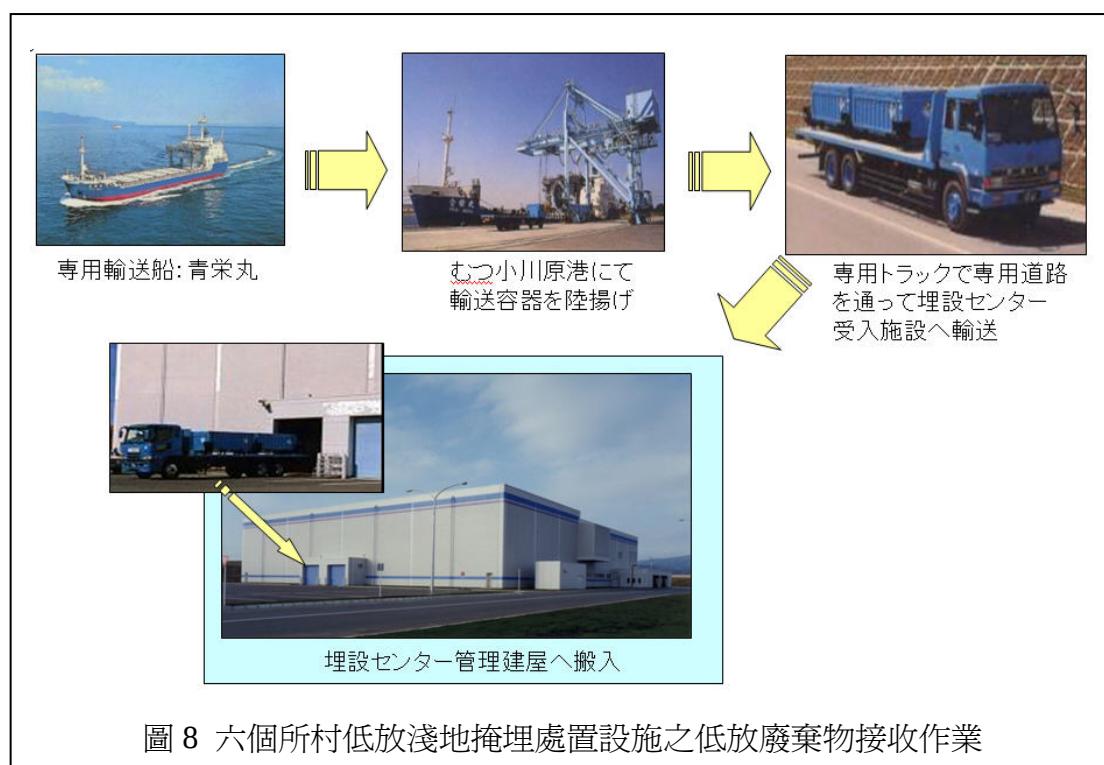
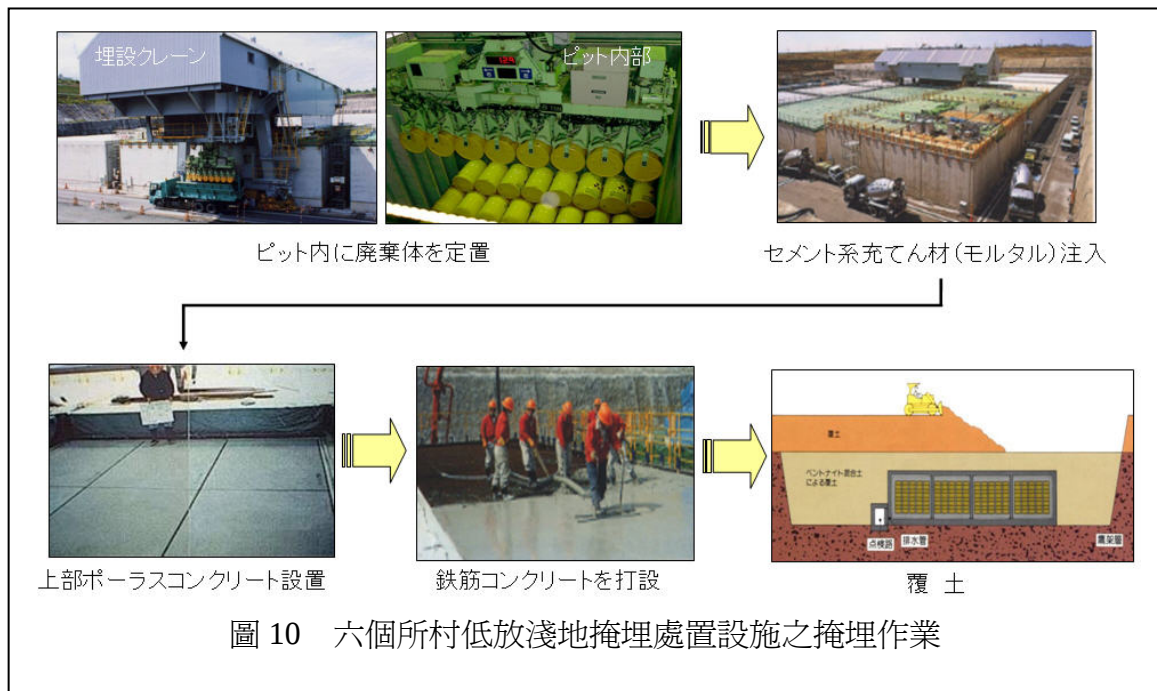
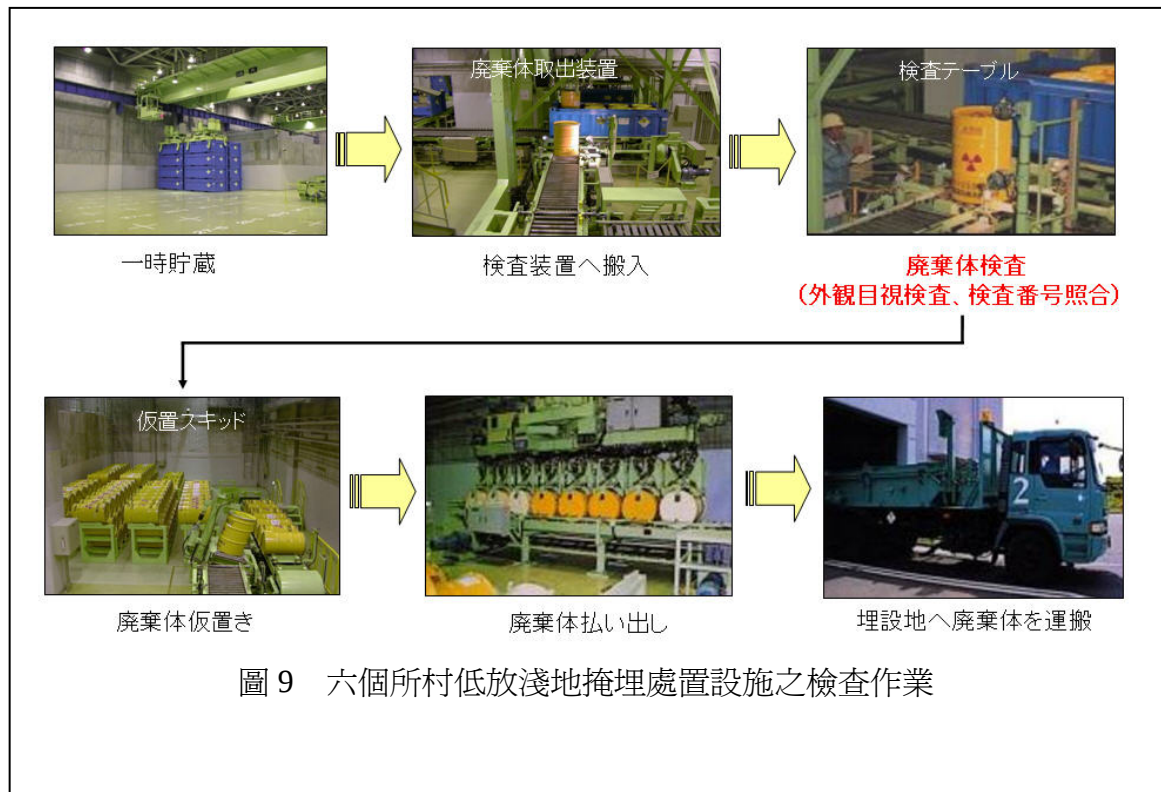


圖 8 六個所村低放淺地掩埋處置設施之低放廢棄物接收作業



#### (四)低放射性廢棄物淺地掩埋處置之固化體品質及核種濃度量測方法

日本原子力安全基盤機構（JNES）負責檢查各核能電廠送往六個所村淺地掩埋處置之廢棄物固化體品質，並於六個所村設置檢查中心計有 6 人負責該項檢查業務。JNES 在 2008 年 4 月發表『均質/均一固化體及充填固化體低放廢棄物之廢棄目的的確證方法』第 5 次修正版，報告編號 JNES-SS-0801。六所村低放淺地掩埋處置之低放廢棄物的固化體型式有均質固化體與充填固化體兩類，第一類是均質固化體送往 1 號處置設施處置，主要來自水泥、瀝青、膠質（Cement、Asphalt、Plastic）均質固化的濃縮廢液、淨化過濾殘渣、爐灰等以 55 加侖桶裝的廢棄物，其固化體品質要求如圖 11；第二類是充填固化體送往 2 號處置設施處置，係來自灰泥（mortar）不均質固化受污染的廢金屬、保溫材、過濾器、塑膠材、水泥塊、廢樹脂等以 55 加侖桶裝廢棄物，其固化體品質要求如圖 12。日本各電力公司低放廢棄物申請送至青森縣六個所村低放淺地掩埋處置設施處置時，必須在申請書上記載每桶廢棄物所含的放射性核種與其濃度，並檢附相關數據的記錄文件。我國「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」已訂有低放廢棄物固化體品質要求，基本上二者規定相近，而最大的不同在於日本未要求量測瀝濾指數，此乃因六日本採保守假設，在處置第一階段 30 年後，廢棄物固化體及工程障壁將成為砂狀物質僅具吸附能力，而不考量固化體內吸著放射性核種在物理擴散效應。

低放廢棄物固化桶所含的放射性核種，分為：（1）易測核種與（2）難測核種兩大類。易測核種係為 Co-60 與 Cs-137 等加馬核種，難測核種可細分為四類：第一類難測核種有 Sr-90、I-129 等分裂核種與中子多元捕獲的總阿伐核種，第二類難測核種有 C-14、Ni-63、Nb-94 等腐蝕活化核種，第三類難測核種有 H-3 與 Tc-99 等分裂與活化核種，第四類難測核種有 Ni-59 等活化核種。

『均質/均一固化體及充填固化體低放廢棄物之廢棄目的的確證方法』中有

要求放射濃度的確認方法，提供整桶廢棄物所含放射性核種與其濃度的決定方法，其方法如表 2，分述如下：

1. 易測核種，如 Co-60 與 Cs-137 等加馬核種，其濃度容易以非破壞的整桶外部直接度量分析法來決定，即加瑪能譜分析法度量得到。
2. 第一類難測核種，如 Sr-90、I-129 等分裂核種與中子多元捕獲的總阿伐核種，其濃度以各該核種濃度相對 Cs-137 濃度之比例因素（Scaling Factor）計算決定。
3. 第二類難測核種如 C-14、Ni-63、Nb-94 等腐蝕核種，其濃度以各該核種濃度相對 Co-60 濃度之比例因素（Scaling Factor）計算決定。
4. 第三類難測核種，如 H-3 與 Tc-99 等分裂與活化核種，其濃度以取代表性的樣品，經過放射化學分析後的平均濃度（Average Radioactivity Concentration）來決定。
5. 對於第四類難測核種，如 Ni-59 等活化核種，其濃度以爐心燃料燃耗度等因素理論分析（Theoretical Analysis）計算得到，係由 ORIGEN-2 程式得到  $\text{Ni-59/Ni-63} = 8 \times 10^{-3}$  再計算決定。

日本低放固化廢棄物的放射性核種量測方法，係經研究比較各核能電廠之量測方法後提出技術報告，並送請日本原子力安全委員會備查。目前國內各核能電廠的低放固化廢棄物的放射性核種量測方法分散在各核電廠的程序書中，國內可參考日本的做法，請台電公司精進國內低放固化廢棄物的放射性核種量測方法，進一步研定量測作業程序書，送由安全主管機關備查。

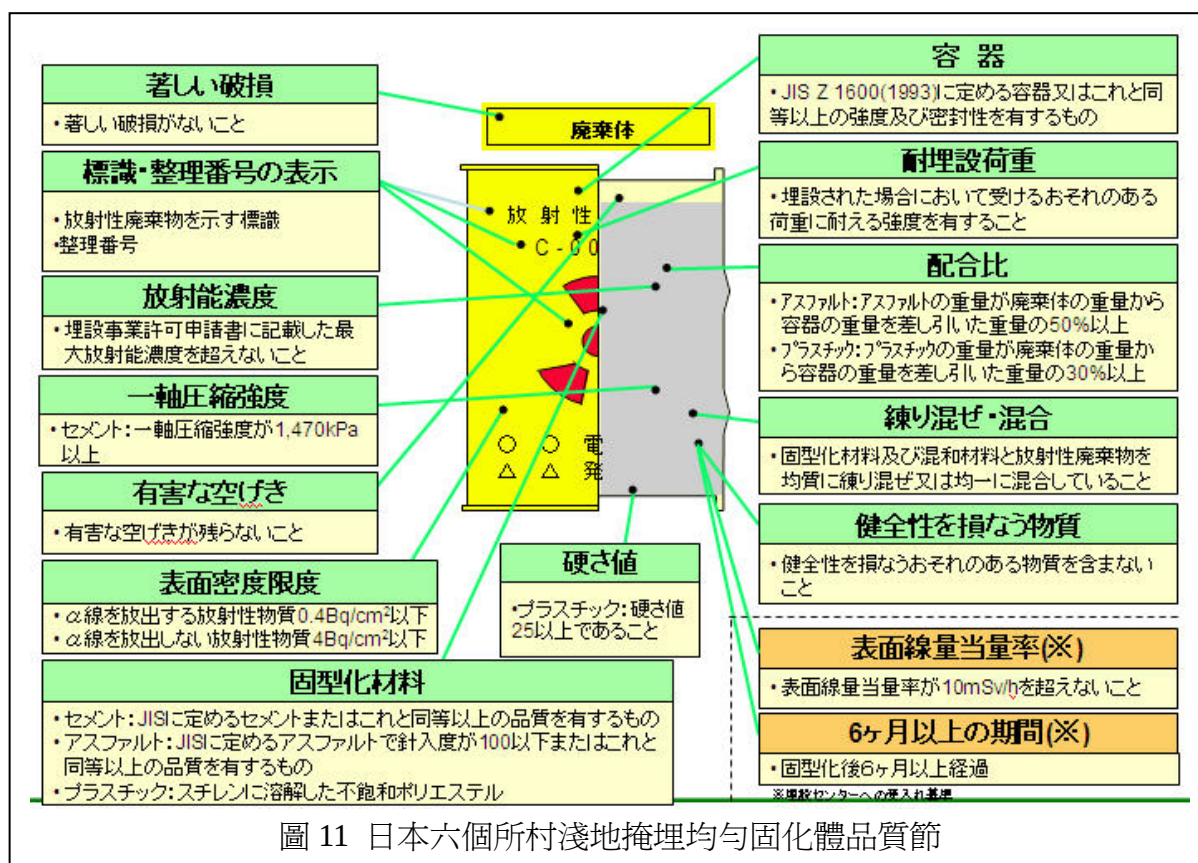


図 11 日本六個所村浅地掩埋均固固化体品質節

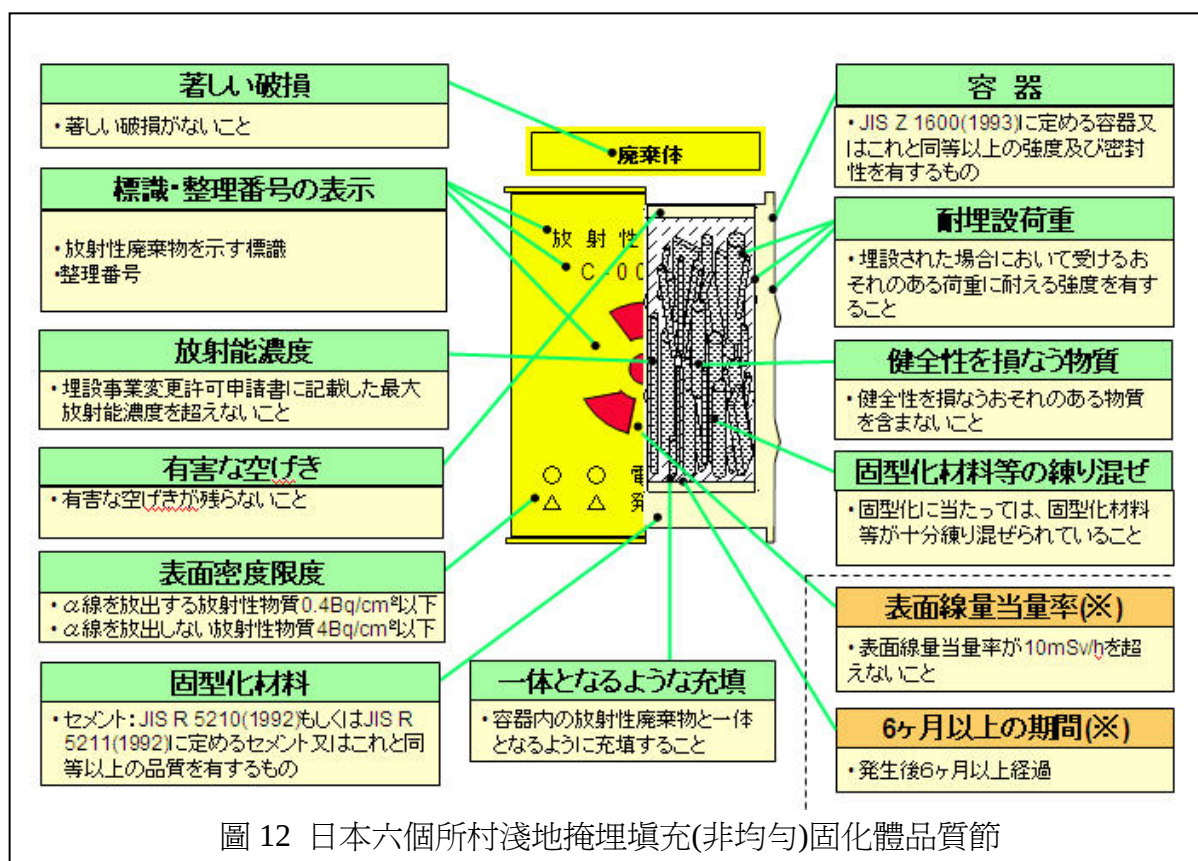


図 12 日本六個所村浅地掩埋填充(非均固)固化体品質節

| 核種             | 生成機構                                                                                                            | 半減期 (y)            | 決定方法          | Key 核種 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|--------|
| H-3            | 三体核分裂, $^3\text{H} (n, \gamma), ^{10}\text{B} (n, 2\alpha), ^{10}\text{B} (n, \alpha), ^7\text{Li} (n, \alpha)$ | $1.23 \times 10^1$ | 平均放射能濃度法      | —      |
| C-14           | $^{17}\text{O} (n, \alpha)$                                                                                     | $5.73 \times 10^3$ | PWR: SF法      | Co-60  |
|                |                                                                                                                 |                    | BWR: 平均放射能濃度法 | —      |
| Co-60          | $^{59}\text{Co} (n, \gamma)$                                                                                    | $5.27 \times 10^0$ | 非破壞外部測定法      | —      |
| Ni-59          | $^{59}\text{Ni} (n, \gamma)$                                                                                    | $7.50 \times 10^4$ | 理論計算法         | —      |
| Ni-63          | $^{63}\text{Ni} (n, \gamma)$                                                                                    | $1.00 \times 10^2$ | SF法           | Co-60  |
| Sr-90          | 核分裂生成                                                                                                           | $2.88 \times 10^1$ | SF法           | Cs-137 |
| Nb-94          | $^{93}\text{Nb} (n, \gamma)$                                                                                    | $2.00 \times 10^4$ | SF法           | Co-60  |
| Tc-99          | $^{98}\text{Mo} (n, \gamma) ^{99}\text{Mo} (\beta^-)$ , 核分裂生成                                                   | $2.14 \times 10^5$ | 平均放射能濃度法      | —      |
| I-129          | 核分裂生成                                                                                                           | $1.60 \times 10^7$ | SF法           | Cs-137 |
| Cs-137         | 核分裂生成                                                                                                           | $3.02 \times 10^1$ | 非破壞外部測定法      | —      |
| Total $\alpha$ | 中性子多重捕獲                                                                                                         | —                  | SF法           | Cs-137 |

表 2 日本六個所村淺地掩埋廢棄物放射能濃度的確認方法

#### (五) 日本六個所村淺地掩埋處置設施的安全評估

日本放射性廢棄物處置設施運轉監管期對一般民眾的法規量限值為 1 mSv/yr，而六個所村淺地掩埋低放處置設施運轉的安全評估結果遠低於 1 mSv/yr，主要的輻射劑量來源為掩埋操作時的天空散射(skyshine)。處置設施的長期安全評估結果用於確定何時低於可免除監管措施第 4 階段的輻射劑量限值  $10 \mu\text{Sv/yr}$ 。六個所村淺地掩埋處置設施的長期安全評估相對簡單保守，主要假設在處置的第一階段 30 年後，廢棄物及工程障壁將成為砂狀物質，如圖 13 之 A 區所示，即假定此時廢棄物固化體及工程障壁，已不具有固定放射性核種之能力。砂狀物質僅具吸附能力，故其近場評估採吸附常數計算放射性核種的移行能力。此與我國及大部份國家採用瀝濾指數，來考量放射性核種在固化體內的擴散行為有所不同。處置工程障壁上方及下方的放射性核種則計算地下水的遷移作用，圖 13 之 B 區及 C 區所示。

長期的安全評估的外釋途徑主要為放射性核種經由地下水遷移進入生物圈

如圖 14，其主要的生物圈曝露情節如下：

- (a) 尾駁沼漁類食物所產生的體內曝露劑量；
- (b) 廢棄物掩埋區附近地區飲用井水所產生的體內曝露劑量；
- (c) 廢棄物掩埋區附近地區食用以井水灌溉或養殖的農產品所產生的體內曝露劑量；
- (d) 廢棄物掩埋區附近地區以井水灌溉之農耕作業所產生的體外曝露劑量；
- (e) 廢棄物掩埋區及其附近地區住宅或設施工程作業人員所受之體內及體外曝露劑量；
- (f) 居住於廢棄物掩埋區及其附近地區民眾所受之體內及體外曝露劑量；

六個所村淺地掩埋處置設施的長期的安全評估結果如表 3，其中最主要的劑量來自居住於處置區所受之體內及體外曝露劑量，所以長期的監管措施的重點，在於防止民眾不當進入處置區居住。整體而言，1 號及 2 號掩埋處置設施各情節合計之劑量分別低於  $2 \mu\text{Sv/yr}$  及  $1 \mu\text{Sv/yr}$ ，均符合法規  $10 \mu\text{Sv/yr}$  要求。JNFL 在六個所村計劃處置 300 萬桶時，要考量表 3 中的前 4 項情節所產生劑量的合併效應，以目前 1 號及 2 號掩埋處置設施所產生的前 4 項情節的合併劑量推估，若處置 300 萬桶及淺地坑道處置設施所造成的一般民眾劑量應已接近  $10 \mu\text{Sv/yr}$ 。

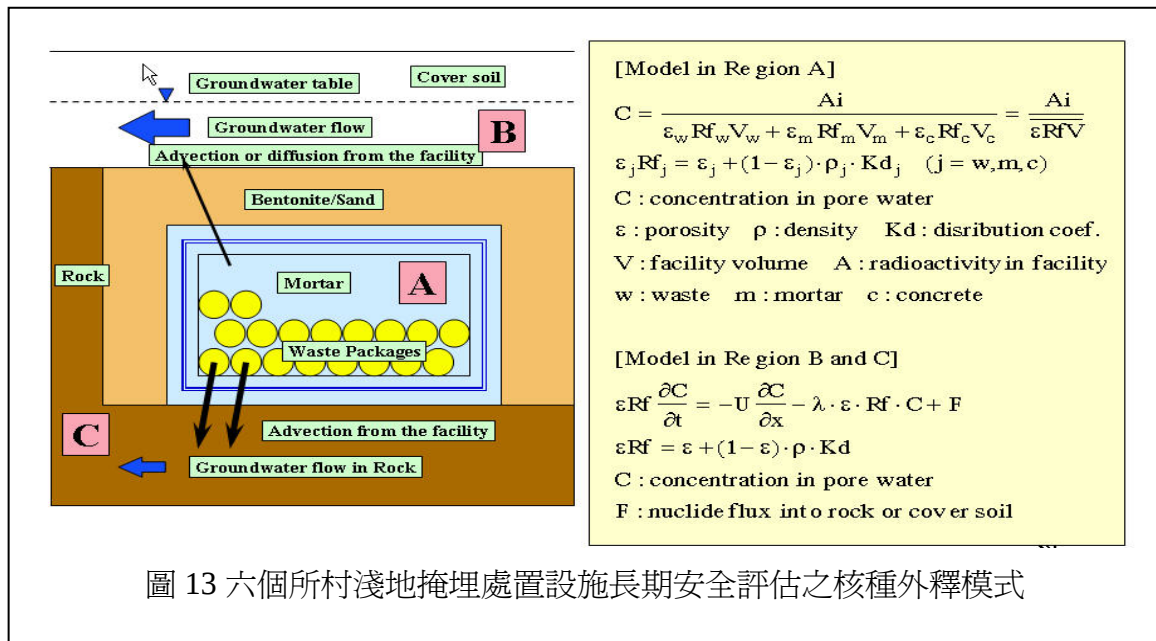


圖 13 六個所村淺地掩埋處置設施長期安全評估之核種外釋模式

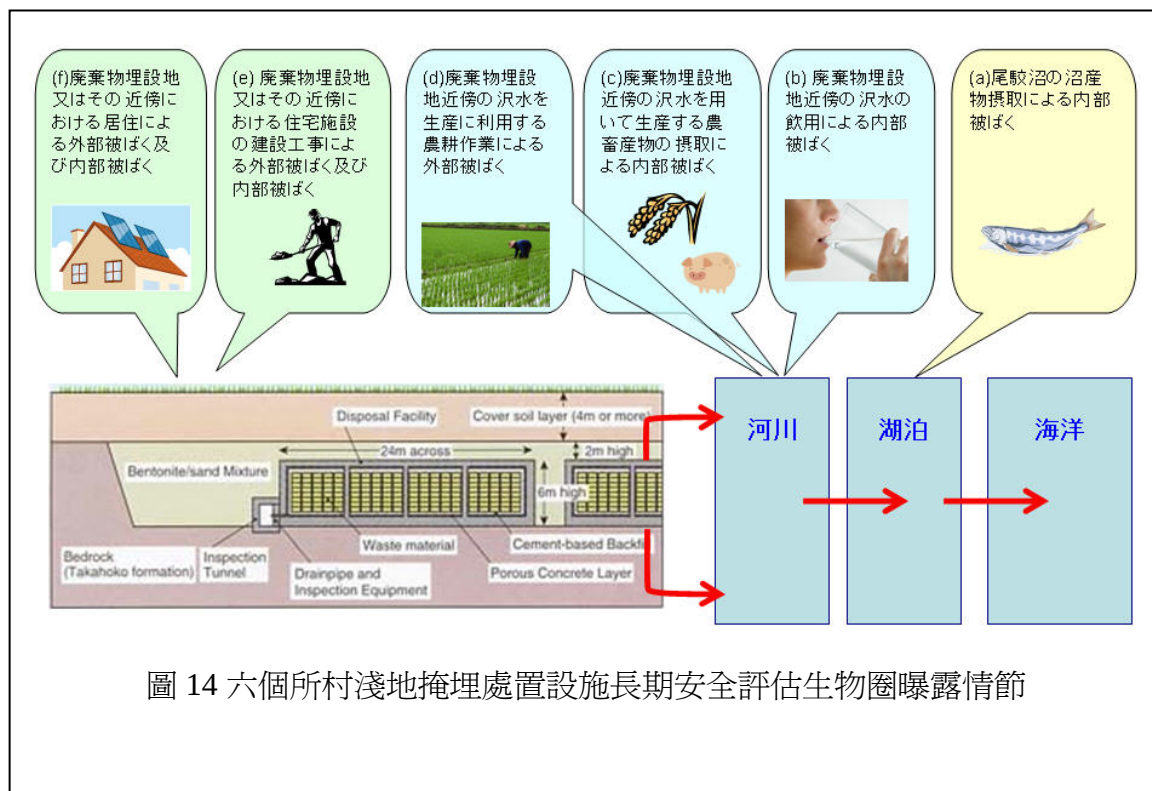


圖 14 六個所村淺地掩埋處置設施長期安全評估生物圈曝露情節

|                                              | Dose [ $\mu$ Sv/y]                                                  |                                                     |                                                     |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                              | No.1 Disposal facility                                              | No.2 Disposal facility                              | No.1 + No.2                                         |
| (a) 尾駮沼の沼産物摂取による内部被ばく                        | $7.5 \times 10^{-2}$                                                | 0.18                                                | 0.26                                                |
| (b) 廃棄物埋設地近傍の汚水の飲用による内部被ばく                   | 0.13                                                                | 0.30                                                | 0.43                                                |
| (c) 廃棄物埋設地近傍の汚水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく       | (Agriculture) $9.1 \times 10^{-2}$<br>(Animal) $2.9 \times 10^{-2}$ | (Agriculture) 0.14<br>(Animal) $6.8 \times 10^{-2}$ | (Agriculture) 0.24<br>(Animal) $9.7 \times 10^{-2}$ |
| (d) 廃棄物埋設地近傍の汚水を生産に利用する農耕作業による外部被ばく          | $5.5 \times 10^{-2}$                                                | $3.3 \times 10^{-2}$                                | $8.8 \times 10^{-2}$                                |
| (e) 廃棄物埋設地又はその近傍における住宅施設の建設工事による外部被ばく及び内部被ばく | $8.3 \times 10^{-2}$                                                | $2.5 \times 10^{-2}$                                | -                                                   |
| (f) 廃棄物埋設地又はその近傍における居住による外部被ばく及び内部被ばく        | 1.5                                                                 | 0.44                                                | -                                                   |

表 3 六個所村淺地掩埋處置設施長期安全評估結果

## (六) 坑道式低放射性廢棄物處置概念

日本對於較高活度的低放廢棄物，包括核能電廠除役拆除的反應爐內部組件控制棒、燃料棒筴(channel box)及經處理後高活度的用過廢樹脂，這些廢棄物將以水泥加以固型化於盛裝容器。坑道式處置廢棄物包件功能應包含遮蔽輻射與有效防止污染的傳輸，現階段設計材質以碳鋼(carbon steel)為主，最大重量為 28 噸(ton)如圖 15，而預定之處置設施為 50 至 100 米深之坑道或處置窖如圖 16。其主要的安全考量在於放射性核種未衰變至無害程度前，要避開地區長期發展之人類開發活動，如高樓地基、地鐵、都市下水道與多用途地下涵管的開挖深度。此亦說明世界各國在處置場址的選擇上，都必須考慮長期的土地利用和開發，這也說明為何國內低放處置選址標準會有選擇在低人口密度區要求。

JNFL 為處置較高強度的低放射性廢棄物，於 1999 年開始六個所村坑道處置的規劃作業如圖 17，於 2001 年著手初步場址調查作業，而處置試驗開挖則始於 2003 年並於 2005 年完成後，進行各項試驗及監測研究，自開挖至目前約 10 年，經費約 200 億日元(約 60 億新台幣)，JNFL 預計要於 2010 年完成處置事業許可申請準備，想必應已取得地方民眾及政府一定程度的認同，但相較於原定時程已有延遲。處置試驗坑道的地質水文調查、坑道設計及全尺寸的工程障壁實體驗證的目的，在於提供明確之安全設計及安全評估證據，以利於向 NISA 提出事業許可申請，但 JNFL 亦須經地方政府正式同意後，才會正式進行處置事業的申照作業。

在 2001 年至 2002 年 JNFL 在六個所村的低放處置場區，進行初步場址調查作業，包括鑽井、地表震測及地下水質分析，確定此地區在 50 至 100 米的深度有分布很廣之高鷹層母岩，其母岩具足夠的強度適合構築處置坑道，母岩之裂隙不多地下水流緩慢，而地下水質亦無不利於工程障壁之長期穩定性，處置場區預定範圍與高程分佈如圖 18 所示。場址進一步的詳細特性調查始於 2002 年，主要

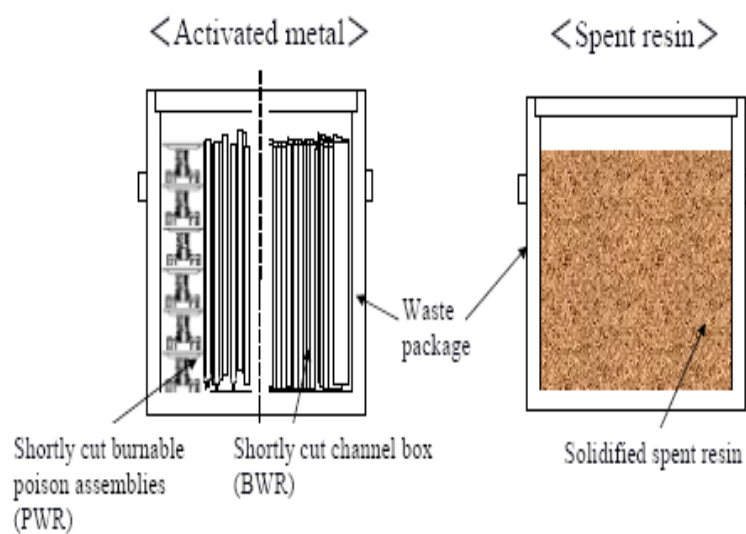
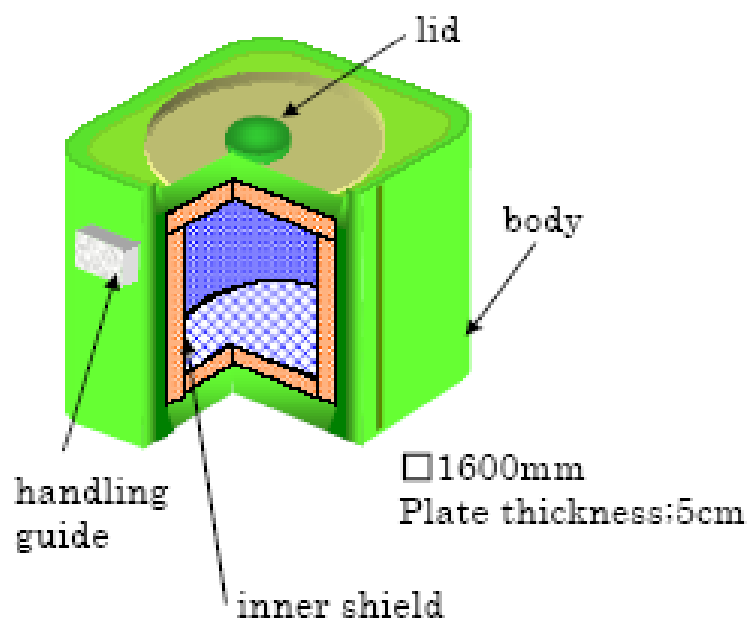
在於提供處置設施設計之用。

六個所村淺地坑道處置試驗的通行坑道的開挖長度約 1000 公尺，坑道口高於海平面 8 米至低於海平面 86 米的主試驗坑道區，下降梯度比約 1/10。試驗坑道的周圍地區依不同階段需要，進行地球物理及鑽井調查如圖 19。鑽井的調查測試之項目包括：井孔觀測、岩心觀察、岩石力學測試、三軸抗壓測試、水力傳導試驗、地下水位觀測、地下水質分析、聲波及電阻探測等。

六個所村淺地坑道處置的探查坑道與試驗坑道尺寸，通行坑道約為 7mx5m、探查坑道為 2.5mx2.5m 而其主試驗坑道為 18mx16m，如圖 20 所示。由於主要試驗坑道開口較大，經由坑道開挖與支撐保護如圖 21，即可建造主要試驗坑道如圖 22。探查坑道進行的試驗項目包括：地質觀測、應力測試、三軸抗壓測試、水力傳導試驗、地下水流量測量、地下水壓量測等，另主試驗坑道的測試項目尚包括岩石變形量測及應力試驗等如圖 23 及圖 24。

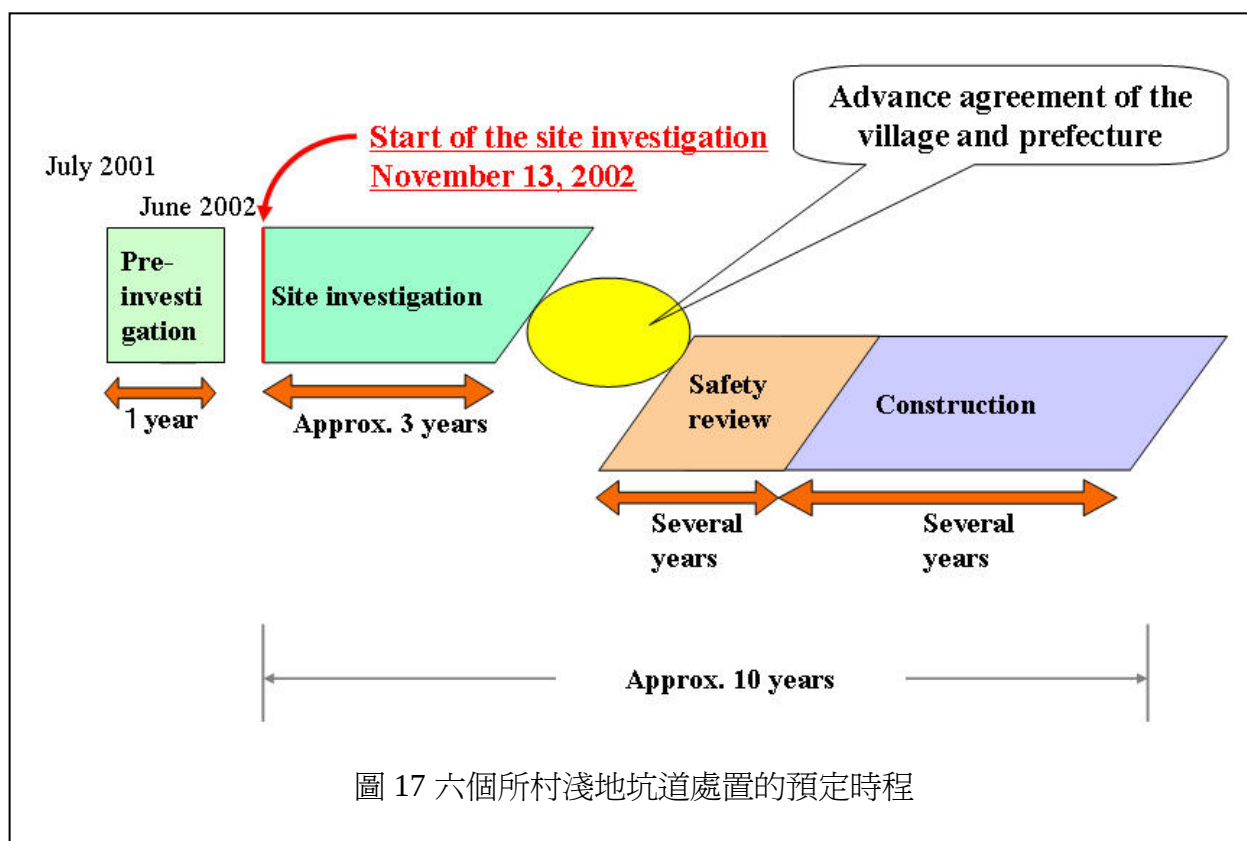
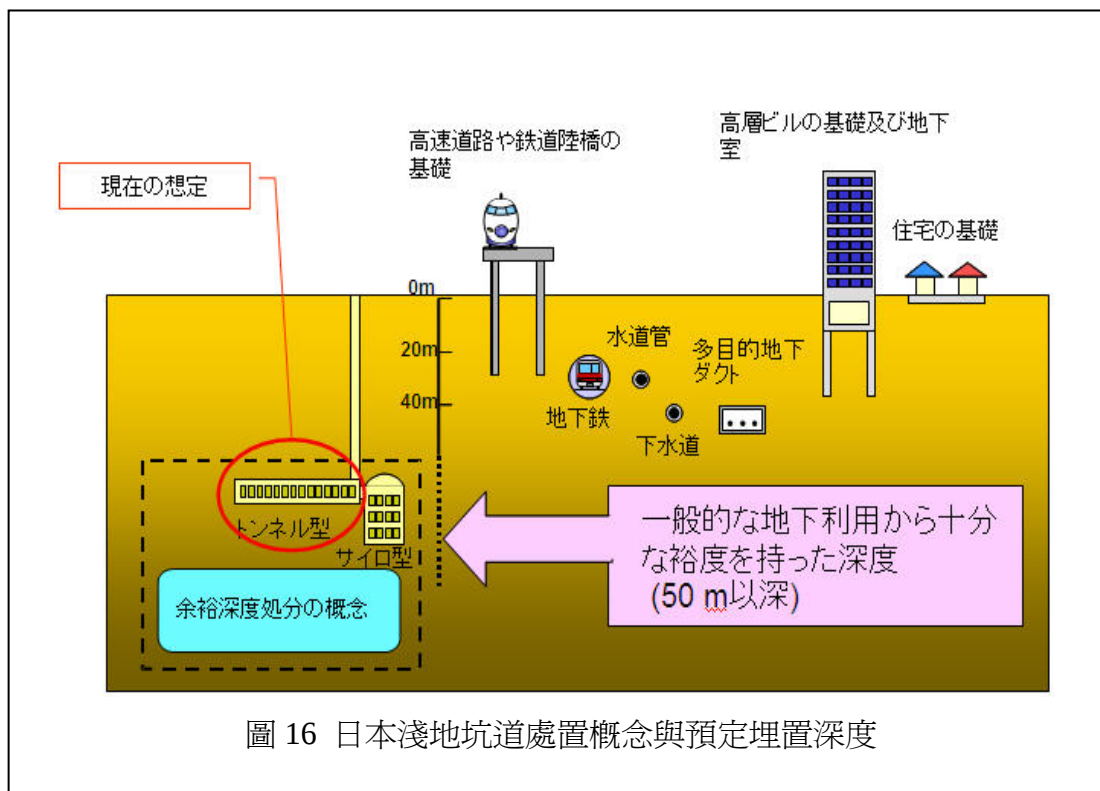
六個所村淺地坑道處置的運輸處置概念設計如圖 25，而處置坑道配置的概念設計如圖 26，處置區的工程障壁系統配置概念設計及細部設計分如圖 27 及圖 28，主要是藉由低滲透性層(bentonite)及低擴散層(concrete pit)，用以阻絕核種與地下水直接接觸，而在主試驗坑道亦進行全尺寸的工程障壁實作試驗，研究人工障壁的施工方法並量測各項安全評估所需數據如圖 29。

整體而言，六個所村淺地坑道處置之地質特性調查及工程障壁設計，採實證方式按部就班深入探討處置的安全性，惟其所需時間甚長也算是有耐心的做法，但應有助於取得地方民眾及政府認同及同意，亦值得國內推動低放處置計畫各項工作之參考。



Filled or Solidified depending on the Activity

圖 15 較高活度低放射性廢棄物主要成分及盛裝容器的概念設計



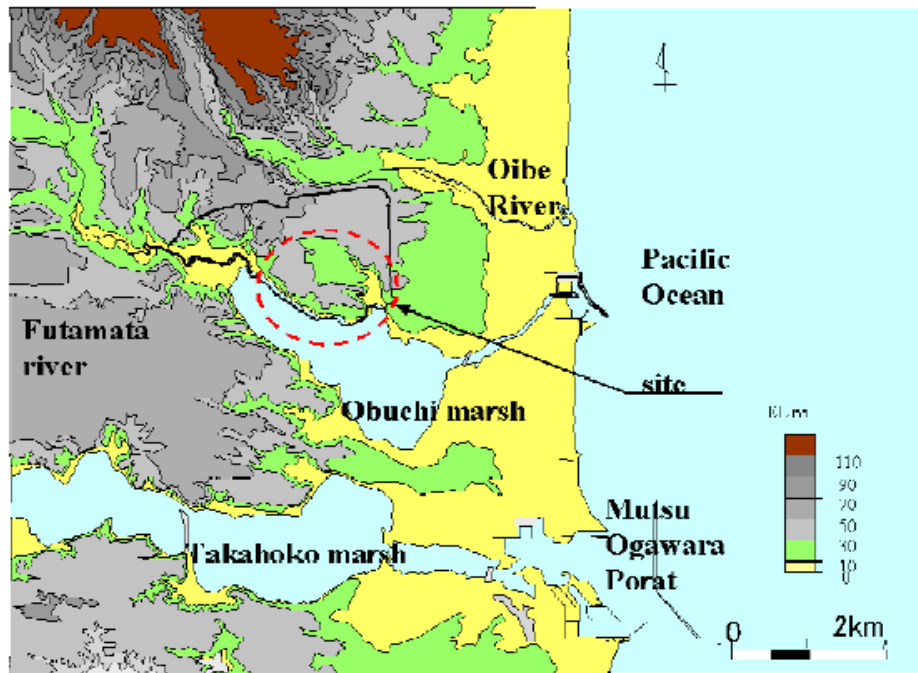


圖 18 六個所村淺地坑道處置的預定位置圖

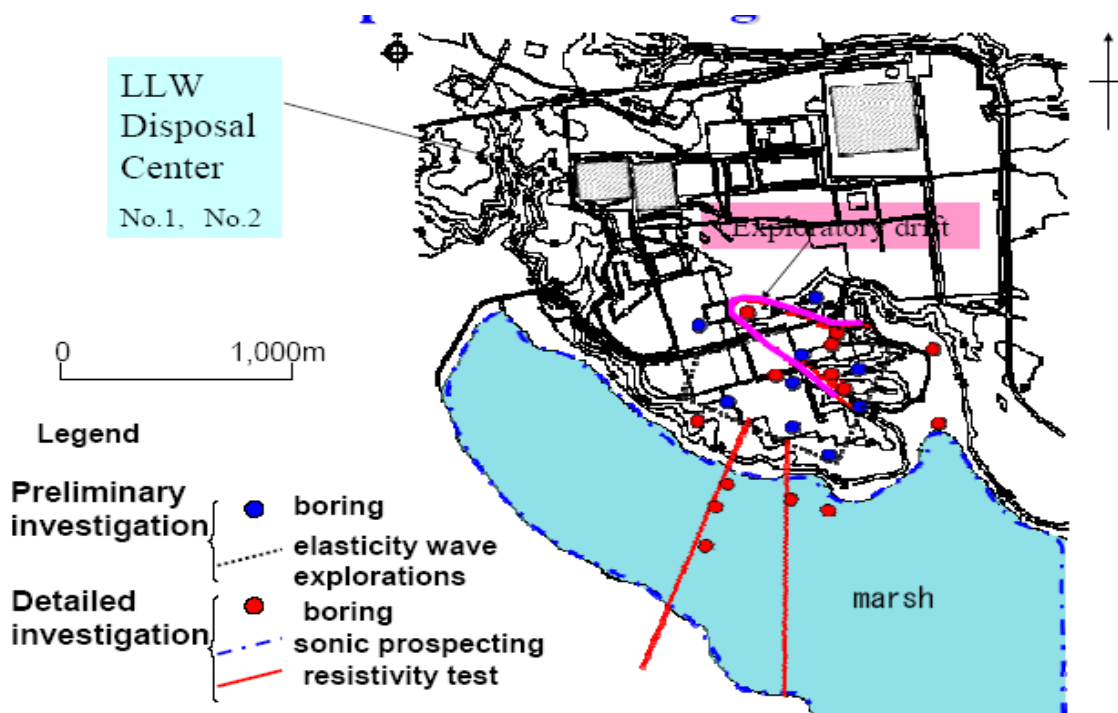


圖 19 六個所村淺地坑道處置的位置、鑽探與地球物理調查

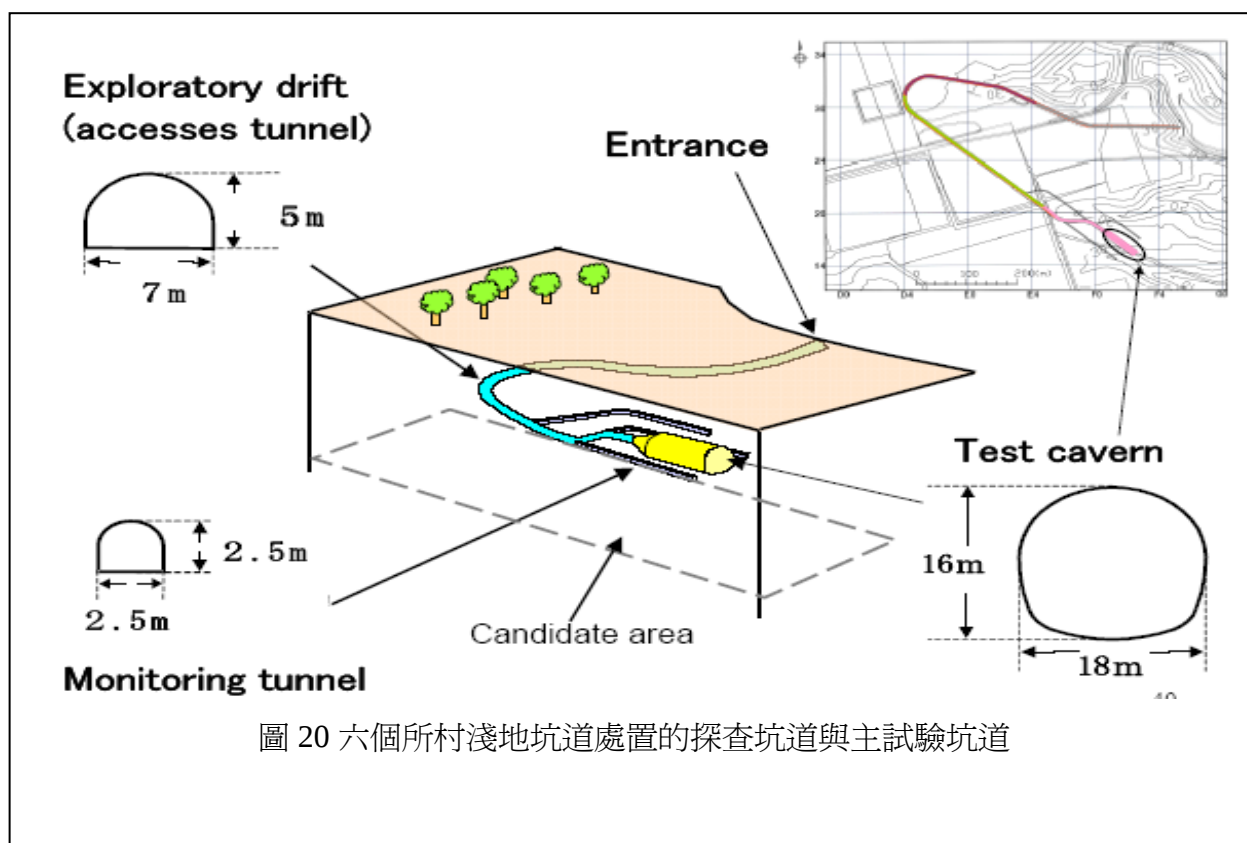
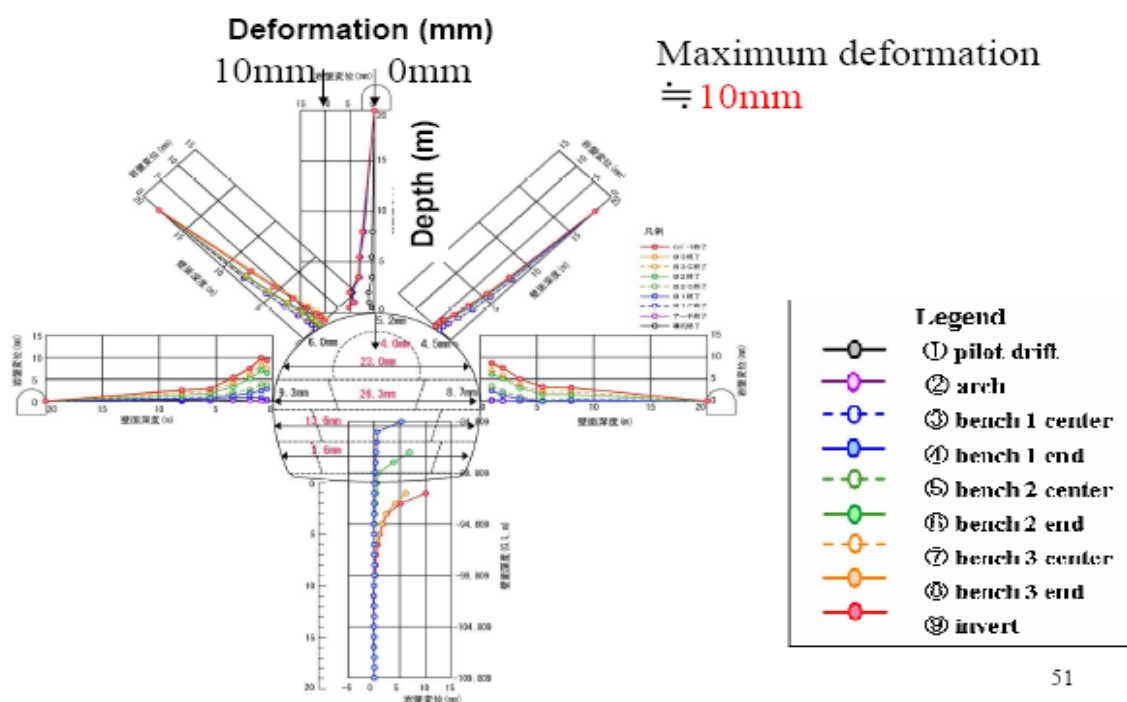


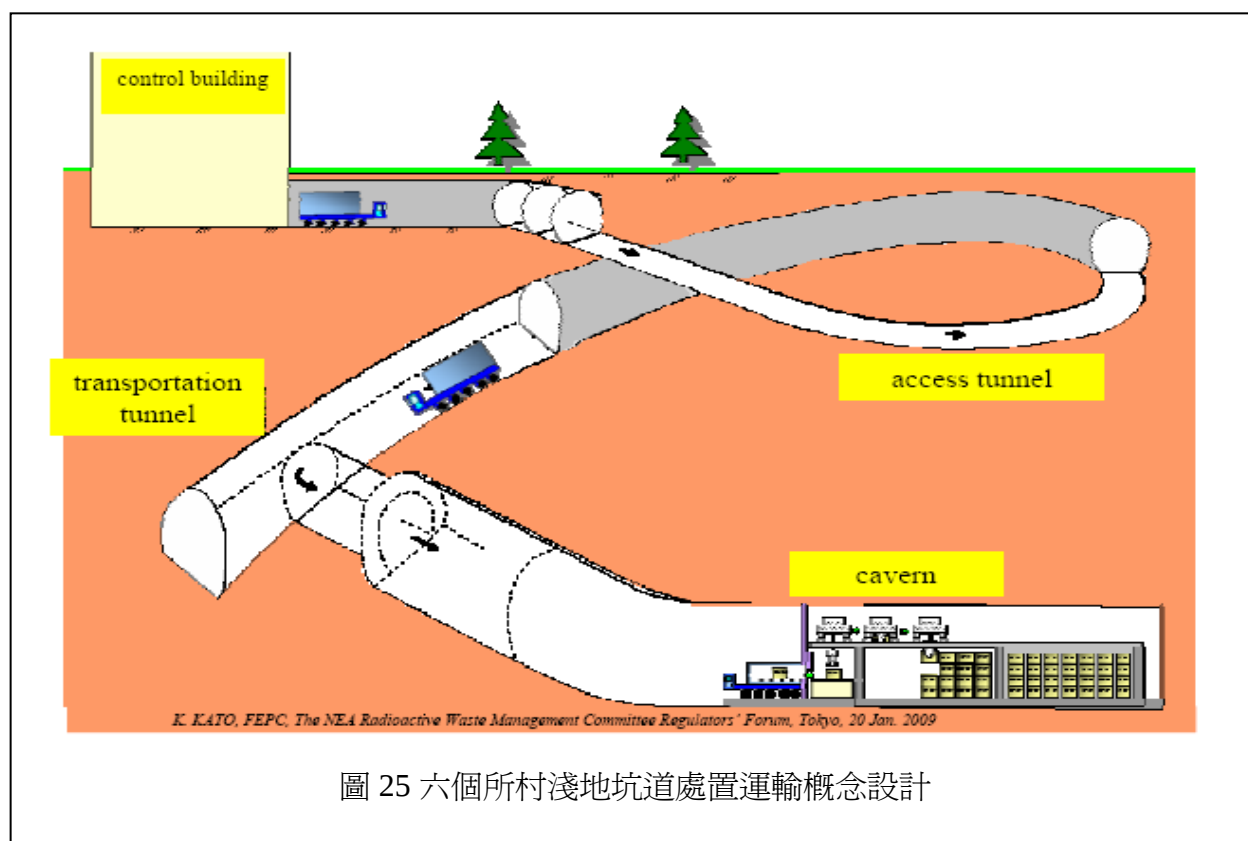
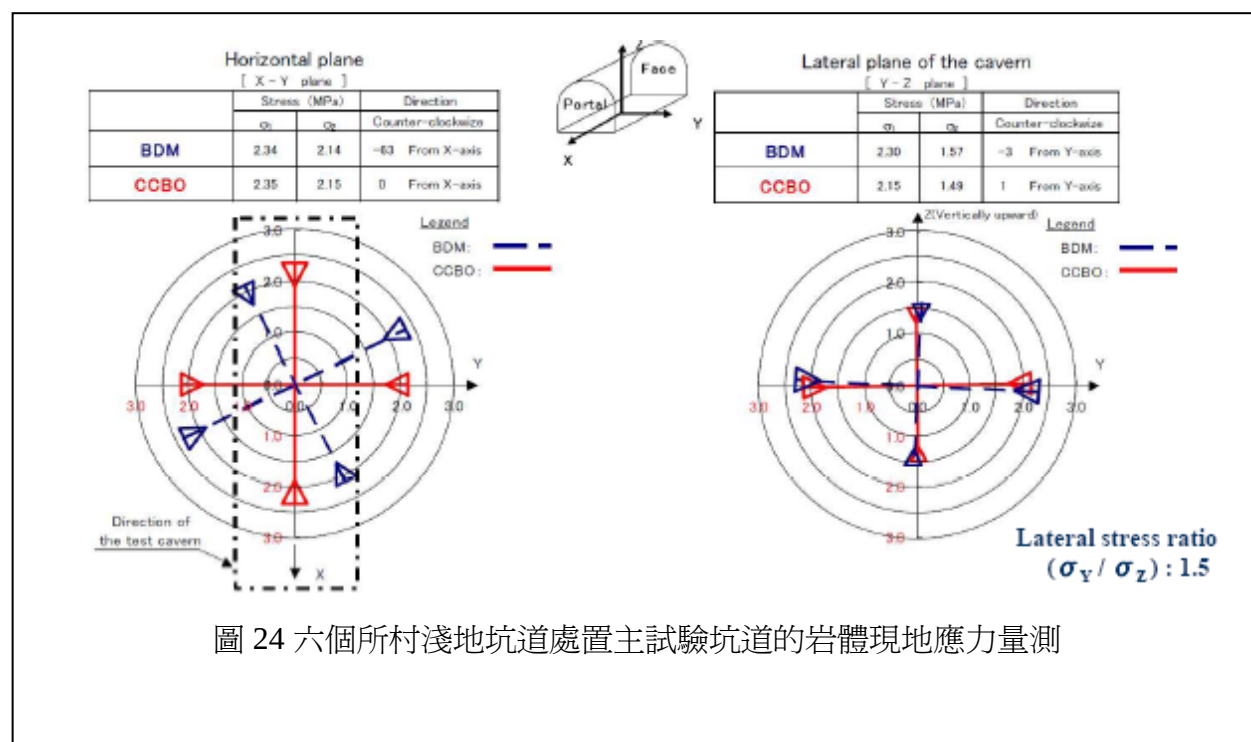


圖 22 六個所村淺地坑道處置的主要試驗坑道



51

圖 23 六個所村淺地坑道處置主試驗坑道的岩體受力變形量測



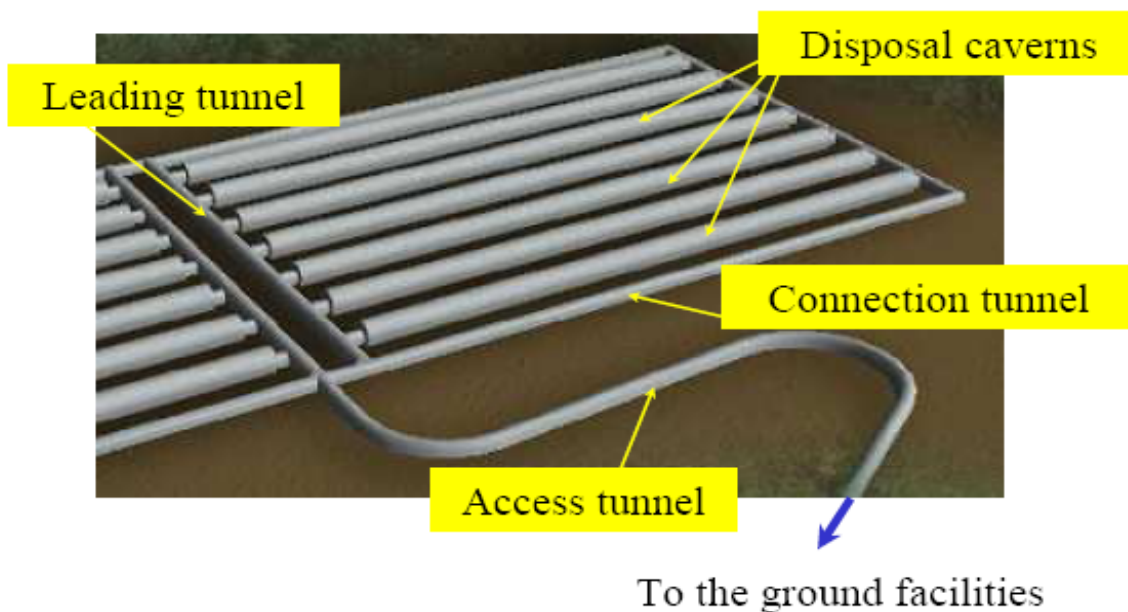


圖 26 六個所村淺地坑道處置場區的坑道配置

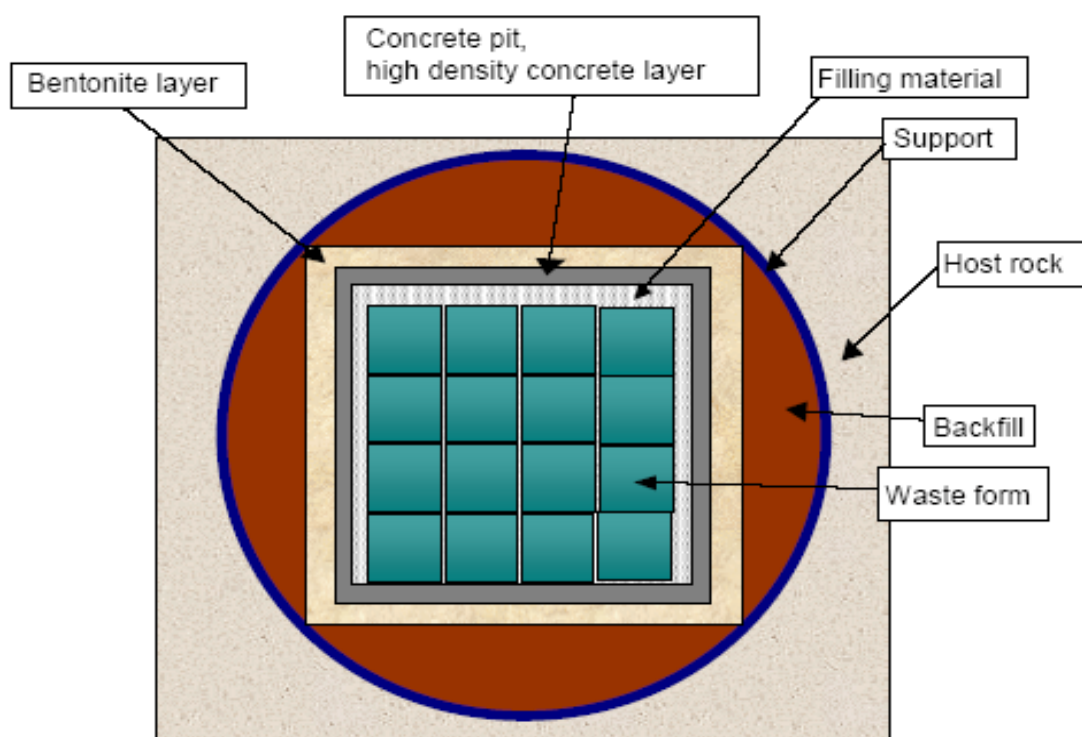
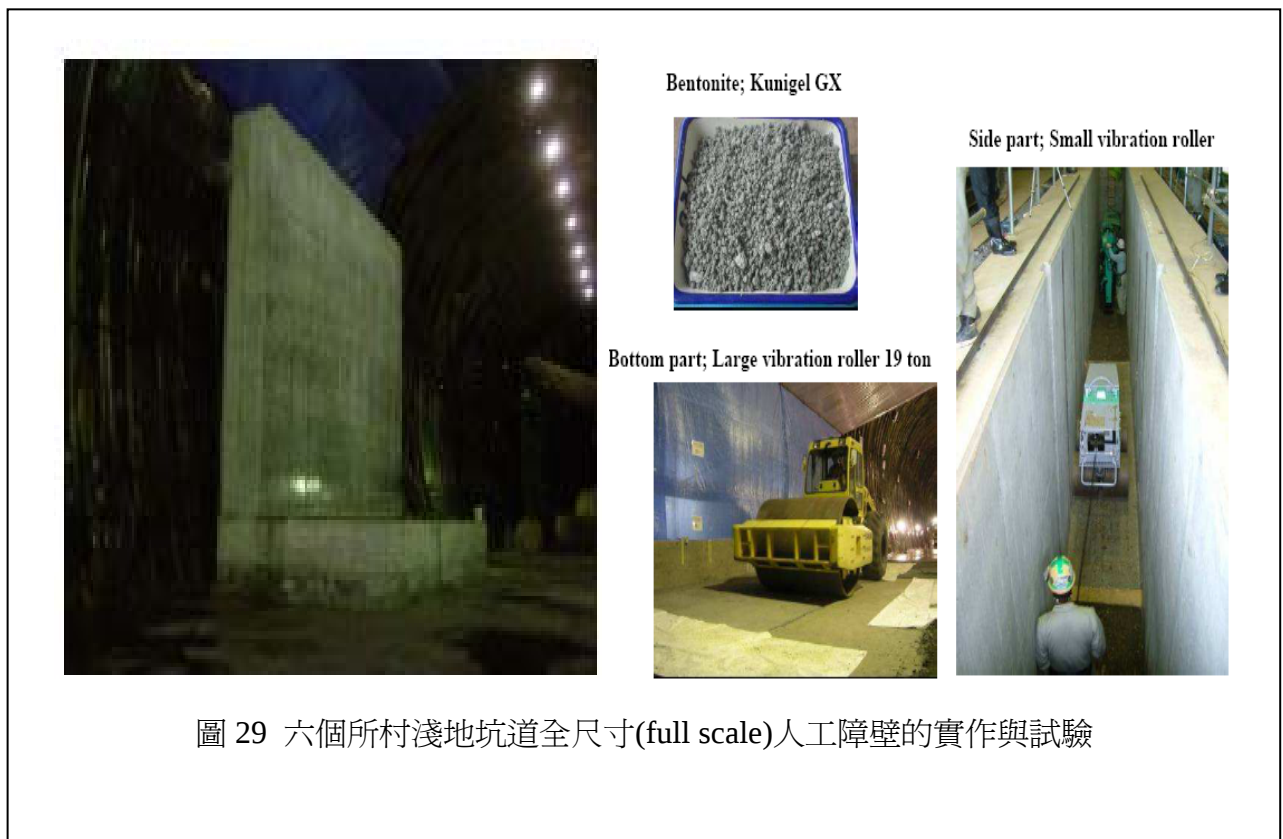
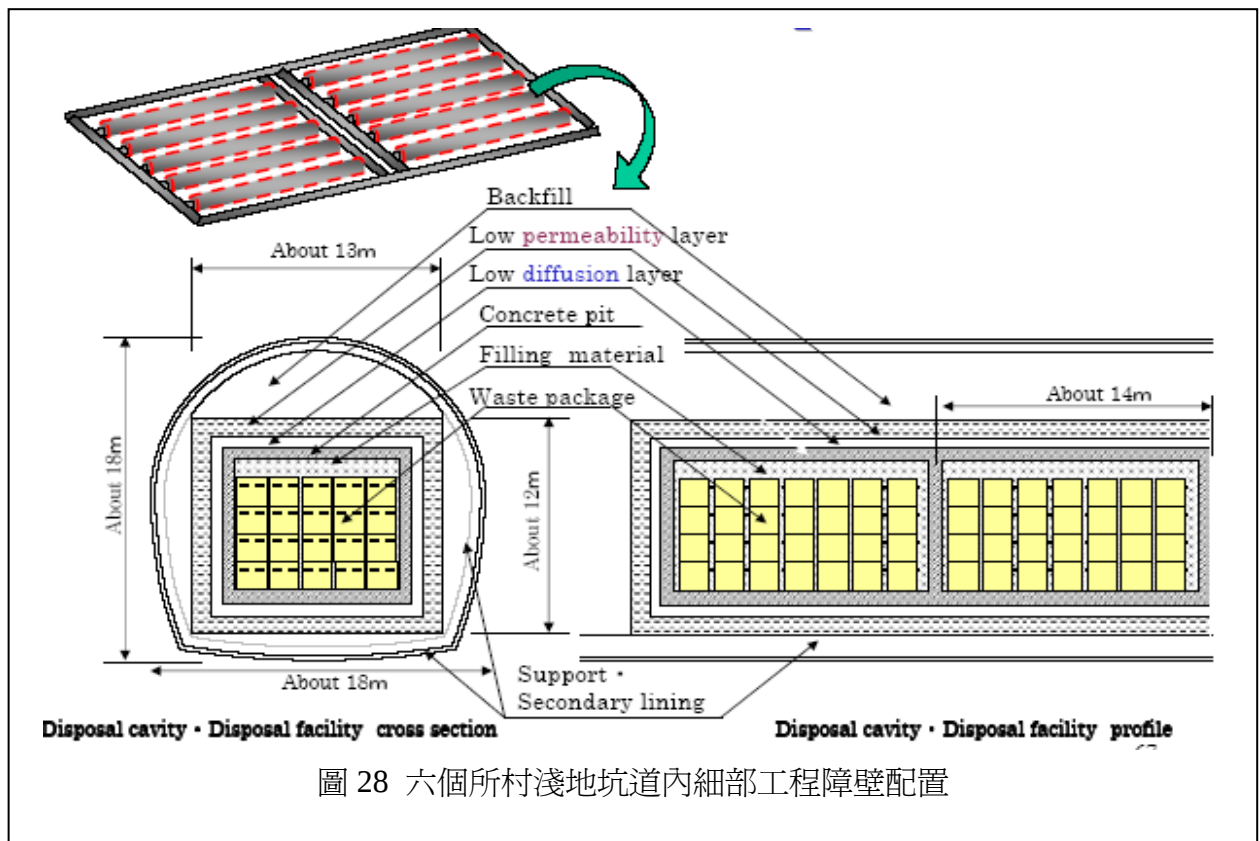


圖 27 六個所村淺地坑道處置的工程障壁配置



#### (七) 日本用過核燃料再處理廠及高放廢棄物貯存設施

日本是世界唯一遭受原子彈之害的國家，但並不因此而排斥核能，反而是世界上少數積極擁抱核能的國家。在廣島長崎原子彈事件 9 年後的 1954 年，日本便開啓了核能和平用途之門，目前運轉中的核能電機組共有 54 座，總裝置發電容量為 480 億瓦，發電比例占國內約 28%，僅次於美國及法國為世界第 3 大核能發電國家。隨著地球暖化帶來的環境變化浮上檯面，對抗溫室效應已經變成所有國家在維持能源穩定供給時也要面對的問題，而日本預計將核能發電比例提升至 40%，目前在建設中的機組有 3 座，計畫興建的有 10 座，預期總裝置發電容量為 650 億瓦。

核子燃料與石化燃料有所不同，石化燃料如石油、天然氣等一經燃燒後，就無法再回收使用，核子燃料雖在反應爐內 3~4 年後，因燃耗須退出反應爐成為用過核子燃料，但其中仍含有未燃耗之 U-235，以及由 U-238 轉化而成之 Pu-239，可經再處理程序將其分離製成混合氧化物（MOX）燃料，MOX 可加工做為輕水式反應爐使用之核燃料，達到充分利用資源的永續目標。日本為一島國，資源匱乏，95%之能源依賴進口，為使能源永續，核子燃料循環概念油然而生，因此長期致力於將核能變成日本的準自產能源，故日本的「核燃料再循環」政策幾十年來從未改變過，縱使 1977 年美國卡特總統宣布凍結所有再處理技術時，日本茨城縣的東海再處理試驗廠，因採用 MOX 方式而不單獨分離鈾，而獲得美方同意運轉。

日本為建立完整的核燃料循環產業，1980 年 3 月成立日本原燃公司（JNFL），主要由東北電力、東京電力、中部電力、北陸電力、關西電力、中國電力、九州電力、四國電力、北海道電力等 9 家核能電力公司組成，資本額 2 千 5 百億日圓，現有員工 2 千餘人，業務範圍主要包含低放射性廢棄物最終處置、

鈾濃縮、MOX 燃料製造、用過核子燃料再處理、再處理產生廢棄物之暫存、鈾及低放射性廢棄物與用過核子燃料之運輸等。

JNFL 的業務把位於青森縣小川原地區的六個所村，由工業區、戰備石油區成功的轉型為日本核子燃料循環的重鎮。1960 年日本將小川原規劃為石油工業區，同時設置戰備石油槽，容量可供全日本 7 日之用，石油危機造成工業萎縮，業界擴展意願不高因而未進駐該工業區。小川原地區面積大、人口稀少及遠離自然資源保護區，加上人工港口建造及專用場區道路等，在當地居民又普遍有共識等條件下 JNFL 於 1985 年開始規劃該地區成為核子燃料循環設施，經多年建設於 1992 年鈾濃縮廠開始運轉，陸續完成低放射性廢棄物處置場、玻璃固化廢棄物貯存中心及用過核子燃料接收貯存設施，商用用過核子燃料的再處理廠預定於 2010 年 10 月運轉；另外 MOX 燃料製造廠則已於 2005 年 4 月取得當地政府同意，並預計於 2015 年 6 月完成建造。JNFL 在六個所村所營業的核子循環設施如圖 30。

JNFL 首先於 1999 年 12 月完成接收用過核子燃料的濕(水池)式貯存設施如圖 31，其貯存容量為 3,000tU，接續興建的商用再處理廠如圖 32，其最大設計處理容量為 800tU/年，採法國的 Purex (Plutonium Uranium Reduction Extraction) 再處理程序如圖 33。Purex 再處理程序先將用過核燃料自池中吊出，切成 2 cm 大小後置入硝酸溶液中，燃料會溶解於硝酸因而與護套分離，再將硝酸廢溶液導入有機溶液，藉以將分裂產物與鈾、鈾分離，最後再經氧化還原方法處理後，可進一步以化學溶劑先行純化鈾與鈾，部份純化鈾會與鈾混成為混合氧化物(MOX)。再處理殘餘之萃取液將以玻璃固化後貯存，俟高放處置設施完成後送往處置。因再處理廠的玻璃固化設施是由日本自行設計，有部份試運轉問題尚待克服，使得再處理廠正式運轉時程有所延遲，目前暫定可於 2010 年 10 月商業運轉。再處理廠最大設計處理容量為 800tU/年，而日本用過核子燃料之產量為 1,000tU/年，為因應

此不足之貯存容量，日本東京電力公司規劃於下北半島 Mutsu 市，興建一座 5000 tU 的用過核子燃料乾式貯存設施，將以金屬護箱來貯放用過核子燃料。

日本曾委託法國及英國進行用過核燃料再處理，而其玻璃固化的高放廢棄物，採用不銹鋼容器盛裝，其貯存容器高 134cm、外徑 43cm、容積 170 公升如圖 34。這些高放廢棄物已陸續運回六個所村再處理廠內的貯存設施如圖 35，國外回運貯存所需容量為 2880 罐，現僅有 1440 罐的貯存容量，另不足容量部份所需的貯存設施已著手建造。另日本 JNFL 於 2009 年 11 月在六個所村，著手興建 MOX 燃料製造廠，設計容量為 130 t-HM/yr 預計於 2015 年開始運轉。

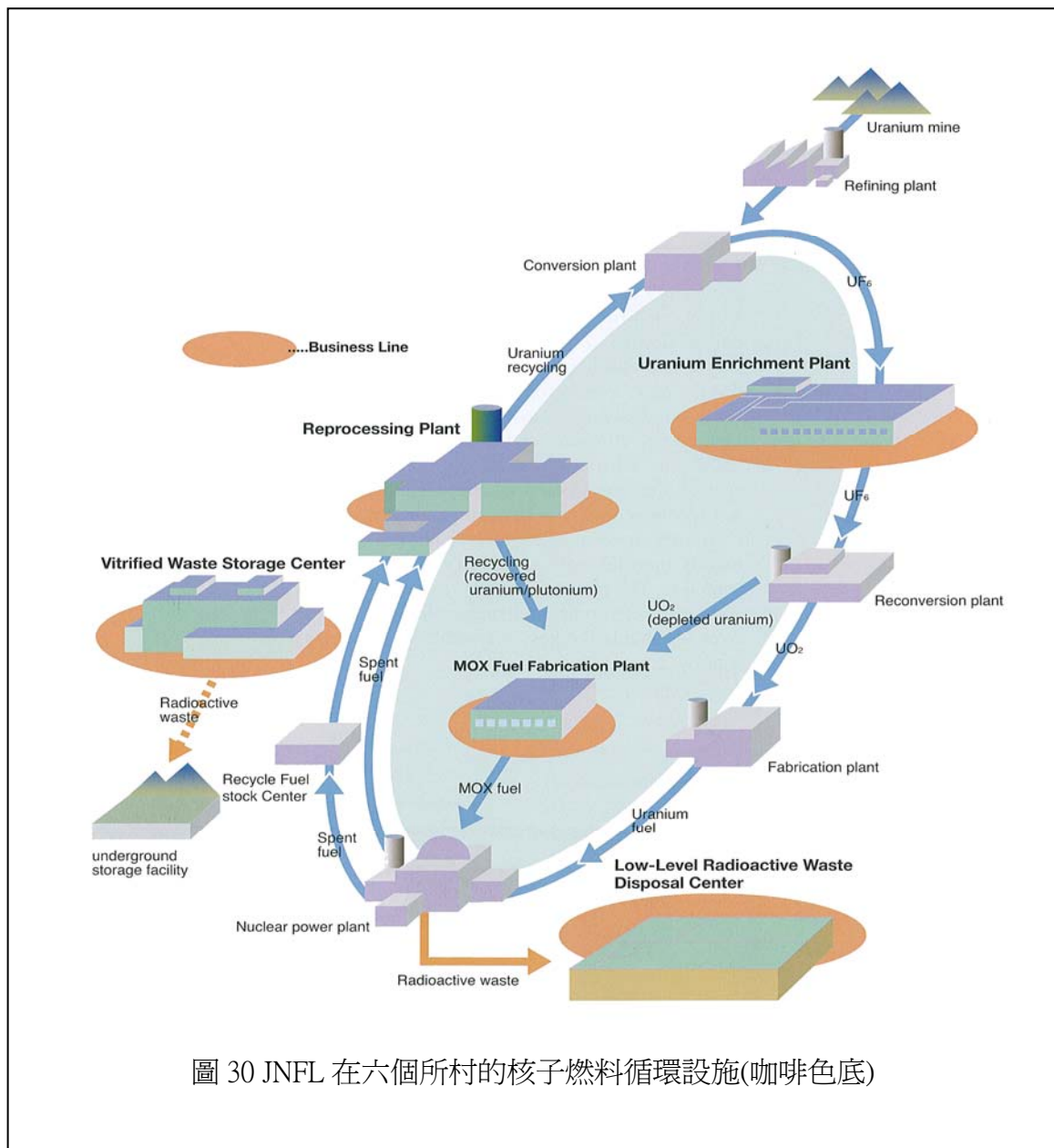




圖 31 六個所村再處理工廠鳥瞰圖

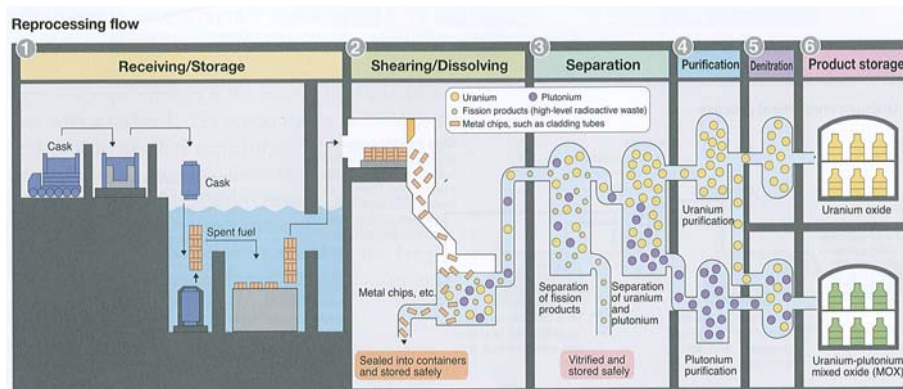


圖 32 六個所村再處理工廠分離程序

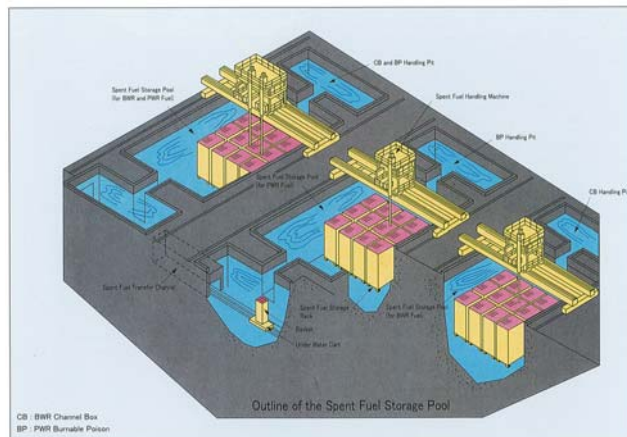


圖 33 六個所村再處理工廠的用過核燃料貯存設施

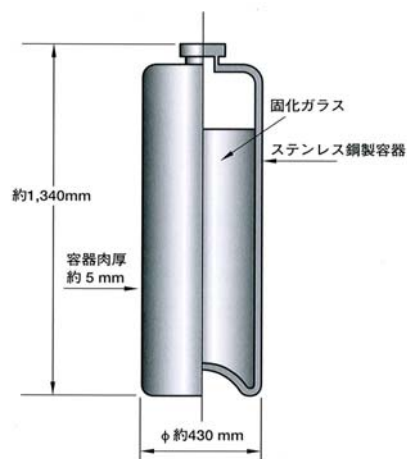


圖 34 日本高放射性廢棄物罐

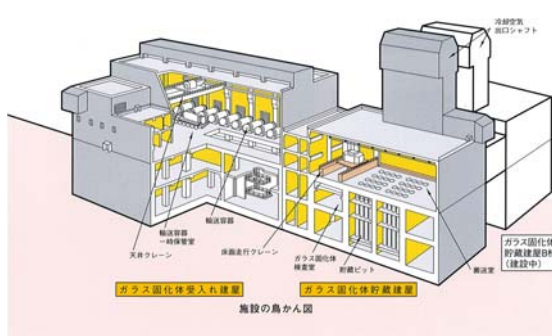


圖 35 六個所村高放射性廢棄物貯存設施

## (八)六個所村地區的民眾溝通

日本六所村地區為核循環過程運轉設施的重鎮，工作人員多達 2 千餘人，綜觀六所村周邊之宿舍、醫院、國際會議中心、研究機構等設施，其周邊儼然已成為 JNFL 員工組成之城鎮，如圖 36。JNFL 能在六個所村順利建設各項核燃料循環設施，最主要原因是該公司非常重視社區的瞭解與支持，其採行的溝通方式如下：

1. 資訊透明化：為了讓當地民眾了解核能並取得其信任，除法規或安全協定上要求公開之資訊外，其規劃或進行中的一些活動主動張貼於網站供民眾隨時參閱，以資訊透明化向民眾展示公開及合作的態度，使民眾感受該公司之誠意、不欺瞞及值得信任。
2. 積極溝通：定期舉辦研討會邀集地方意見領袖討論並交換意見，舉辦民眾講座與地方百姓面對面溝通。另於電視或報紙刊登宣導廣告，加深民眾印象，設置網站公開設施文宣資料、運轉監測資料、Q&A 等，便於民眾取得，並主動以電子郵件詢問民眾意見。
3. 參與地方活動及建設地方：要求每一員工參與地方活動，讓民眾感受該公司屬於該地區。贊助該地區之相關活動並適時參與，結合地方特色建造溫泉餐廳，交由地方業者經營，提供工作機會以及休憩活動。建造技術訓練中心，協助地方培育技術人才。
4. 即時監測：為確保六個所村環境輻射安全，JNFL 和縣府相關單位，定期進行環境試樣取樣及放射性分析，並設置環境輻射即時監測系統，於六個所村展示館以電腦顯示監測數據，每 10 分鐘更新輻射監測數據 1 次。
5. 提供當地民眾就業機會：JNFL 在當地共有員工二千餘人，近千人來自青

森縣，除造就當地居民就業機會外，並提供另一項資訊透明化管道。

爲了讓民眾目睹各核燃料循環設施及各項安全維護措施，展示館設置在六個所村園區外緣高地。該館於 1991 年 9 月啓用展示，三樓可展望 360 度，對六個所村的核燃料循環設施現況一覽無遺，並可眺望遠處的八甲田山和太平洋。展示館使用模型、影像、電腦遊戲等方式，說明核能和輻射知識，讓人們理解核燃料循環，如圖 37。無論是 JNFL 在六個所村的溝通方式或核能館的展示內容，均可供國內核能設施做爲參考。



(a) 六所村棒球場及運動公園設施



(b) 國際會議中心及文化中心設施



(c) 日本原燃家庭員工宿舍



(d) 日本原燃醫院設施

圖 36 六個所村周遭地區的活動設施



(a)PR 館以國旗表示歡迎訪問



(b)核循環過程介紹



(c)自然界中的放射線



(d)不同反應型式的燃料組件



(e)廢棄物運輸包件說明



(f)廢棄物桶處置情況

圖 37 六個所村 PR 館之展示內容

#### (八)日本高放處置場選址及基金管理

日本 2000 年 6 月發布的特定放射性廢棄物最終處置法(The Specified Radioactive Waste Final Disposal Act，以下簡稱高放處置法)，原子力發展環境整備機構 (NUMO)依該法規定由各核能電力公司及日本原燃公司(JNFL)共同出資所成立的高放處置專責機構，另於 2007 年日本修正高放處置法，NUMO 亦負責 TRU 廢棄物的處置。NUMO 負責處置場的場址選擇、高放處置設施的建造、運轉、封閉及監管、高放處置基金收集等，NUMO 受經濟產業省(METI)的監督，NUMO 每 5 年提出 10(為期)的最新處置計畫交由 METI 審核。另 NUMO 收集之高放處置基金應送交原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)管理，並依 METI 核准之計畫向 RWMC 申請，RWMC 亦是依高放處置所指定的高放處置基金機構，RWMC 須估算(每所而)收取的高放基金經 METI 核准以後，交由各有關事業單位，提撥高放基金給 NUMO。日本 METI、NUMO 及 RWMC 在高放處置的組織分工架構如圖 38。

日本高放處置的選址程序依高放處置法之規定，採志願場址徵求方式並分為三個階段進行如圖 39，分述如下：

1. 文獻調查篩選階段：經由志願方式取得地方政府的同意，以地質文獻調查方式，確認該志願地區無因地震、斷層活動、火山活動、地層上升、侵蝕及其他自然現象，造成明顯的地層變動，並確認未來地層變動之可能性不高。因為採志願方式徵求方式，該階段的時程並未限制。
2. 概要調查地區篩選階段：經文獻調查合格的志願場址，將以鑽井及地球物理探測方式，確認該地區之潛在處置地層並無不利於建構深地層處置設施，而地下水對處置設施亦無不利的影響。此階段預定之時程為 4 年。

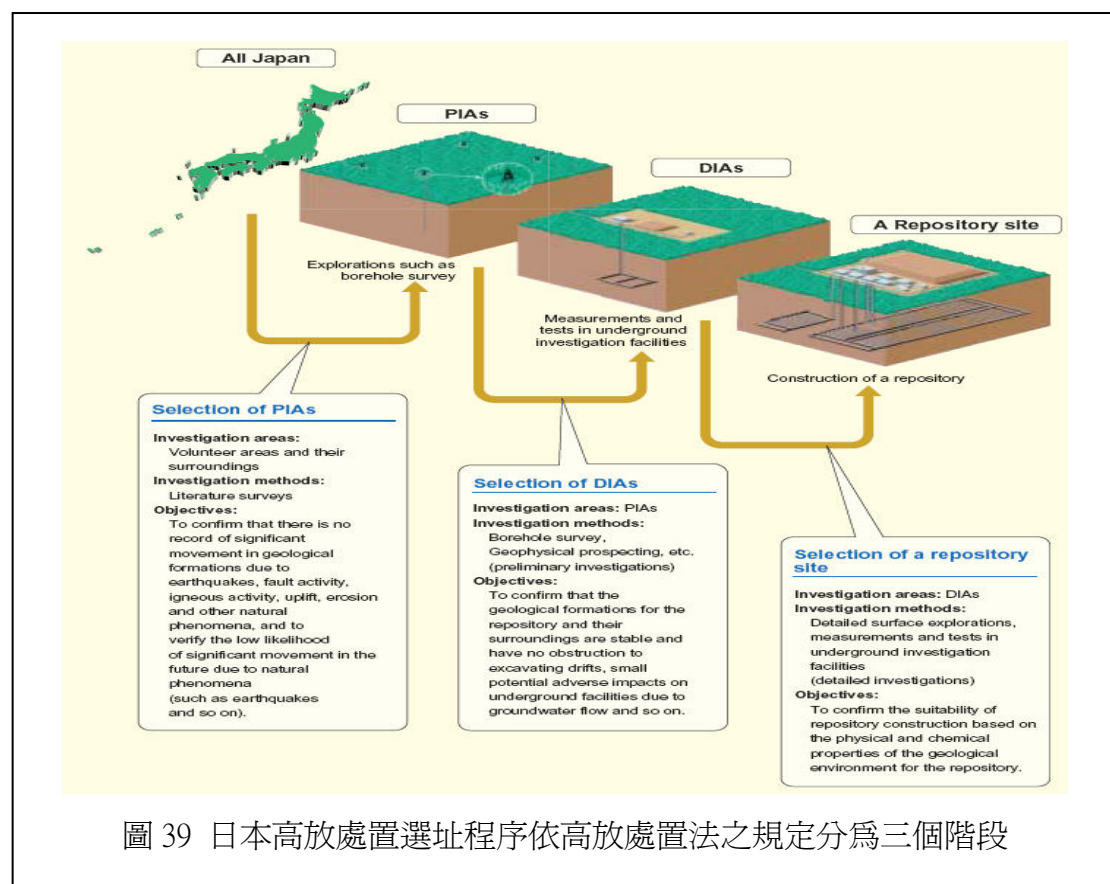
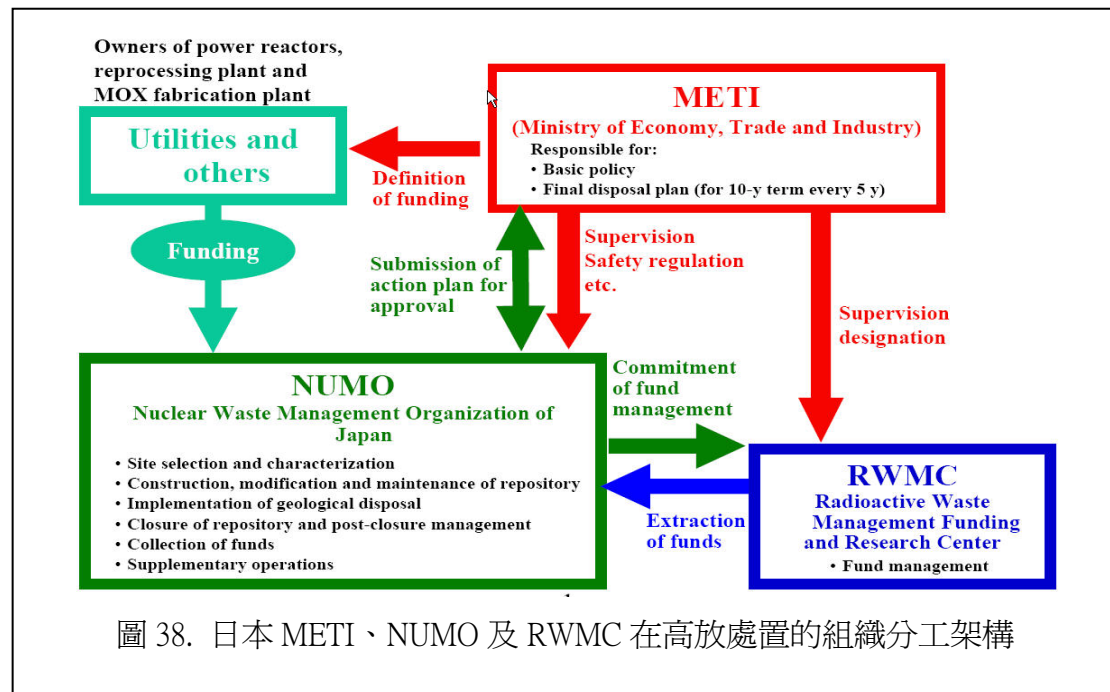
3. 細部調查地區篩選階段：經概要調查合格的場址，將以鑽井及地下實驗坑道進一步詳細調查，確認該場址之潛在處置地層在各方面的物理及化學特性，均具有建構深地層處置設施的可行性，此階段所需之時間為 15 年。最後進入處置設施設建造，包括處置設施的設計及建造申請，預定 2025 年開始建造，2035 年開始運轉。

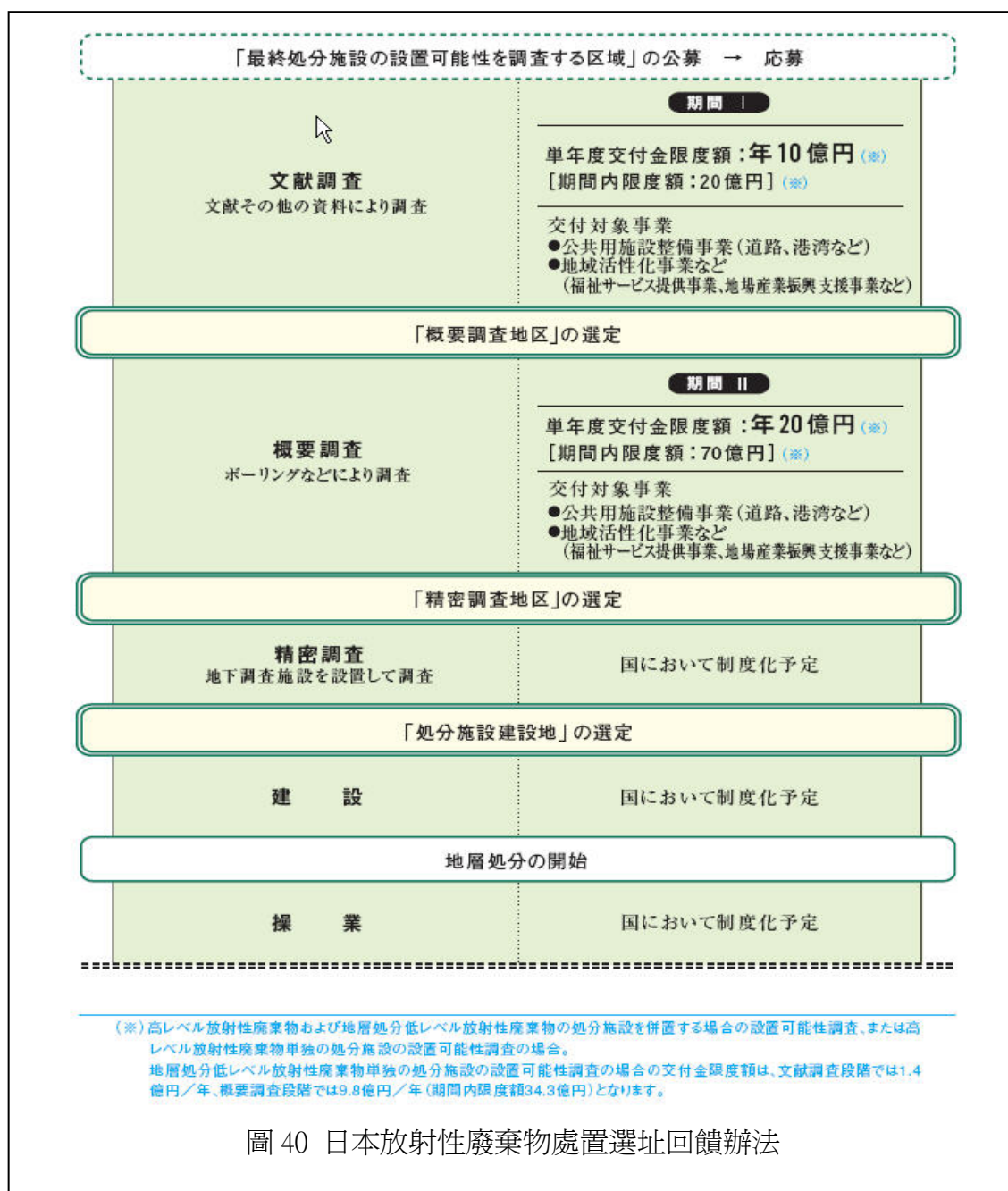
日本對於志願場址設有回饋辦法如圖 40，每個高放處置志願場址在處置文獻調查篩選階段，可獲得每年 10 億日元(約新台幣 3.3 億元)，但每個高放處置志願場址在此階段之回饋總額上限為 20 億日元(約新台幣 6.6 億元)，若有場址因條件不符合者而停止調查者，其回饋下限為總額之半數。每個高放處置志願場址在初步調查篩選階段，則可獲得每年 20 億日元(約新台幣 6.6 億元)，每個高放處置志願場址在此階段之回饋總額上限為 70 億日元(約新台幣 23 億元)，若有場址因條件不符合者而停止調查者，其回饋下限為總額之半數。細部場址調查篩選及、建造及運轉等階段之回饋金，仍在檢討並待進一步加以制度化規定，但傾向參考或依照日本電源三法有關核能電廠對地方回饋之規定辦理。回饋金可用於地方建設、振興地方產業及福利措施等。

低放處置志願場址在文獻調查篩選階段之回饋金為每年 1.4 億日元(約新台幣 4.6 千萬元)，概要調查篩選階段則為每年 9.8 億日元(約新台幣 3.3 億元)，此二階段回饋金之總合不得超過 34.3 億日元(約新台幣 11.3 億)。

NUMO 自 2002 年底開始志願場址的公開徵選，並透過電視、雜誌、報紙及海報大力推動。NUMO 在公開徵選處置場址開始前，已舉辦過 31 次公開討論會，而在公開徵選處置場址後，也已舉辦過 48 次小組辯論會。雖然位於高知縣的東洋町曾於 2007 年 1 月 24 日正式提出高放處置自願場址之申請，但因當時的町長卻於 2007 年 4 月 22 日連任失敗，由另一位反對該鎮被選為處置場址之候選人當

選，隨即於隔日撤回申請，迄今日本高處置選址作業仍在持續努力當中。





### (九)日本原子力環境整備促進與資金管理中心

日本原子力環境整備促進與資金管理中心(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC)成立於 1976 年，從早期負責低放試驗性的低放海洋處置研究。由於倫敦投棄公約禁止海洋處置放射性廢棄物後，RWMC 的任務轉成負責低放陸地處置、高放處置與 TRU 廢棄物深地層處置研究發展、

低放處置、高放處置及再處理基金管理，以及提供政府決策、管制及民眾溝通所需的各項資訊。日本在 2000 年制定高放處置法，即明定 RWMC 為高放處置基金的管理機構，2005 年亦依日本制定的核能電廠用過核子燃料再處理基金法(Law on the Creation and Management of Reserve Funds for the Reprocessing of Spent Fuel at Nuclear Power Stations)原為日本用過核燃料再處理基金之管理者。日本高放處置所需基金規模預估為 3 兆日元 (約新台幣 1 兆元)，而用過核子燃料再處理所需基金規模預估為 15 兆日元(約新台幣 5 兆元)。事實上 RWMC 是日本各種放射性廢棄物研究發展的管理者，包括各項廢棄物管理所需之技術文件及技術的整合與應用。在此基礎下，RWMC 協助政府規劃及制定放射性廢棄物管理政策，亦支援政府研擬各項安全管制所需之管制規定及標準草案，如圖 41。

日本放射性廢棄物安全管理有關的政策及規定制定如圖 42，說明如下：

1. 日本原子力安全委員會(NSC)每年將重點安全研究計畫交付給日本經濟產業省(METI)所屬的原子力安全保安院(NISA)辦理。
2. NISA 委由原子力安全基盤機構(JNES)負責整合規劃，JNES 主要是交由日本原子能研究開發機構 (JAEA)和日本產業總合研究機構(Advanced Industrial Science and Technology，以下簡稱 AIST)負責執行研究。JAEA 另亦負責委由大學有關安全管制有關研究的實施和成果檢討。三個機構(相互間有關機關)對安全管制研究有關資訊、人力、設備交流，並與國外有關機構合作研究和技術交流，藉以掌握國際對放射性廢棄物管理之最新發展。
3. JNES 將與 NISA 共同做成安全判斷指標與審查基本考量及安全管制技術報告，並請大學研究機構提供建議，向 NSC 提出研究成果及技術報告，經 NSC 的放射性廢棄物專門委員會審議通過後公布施行。

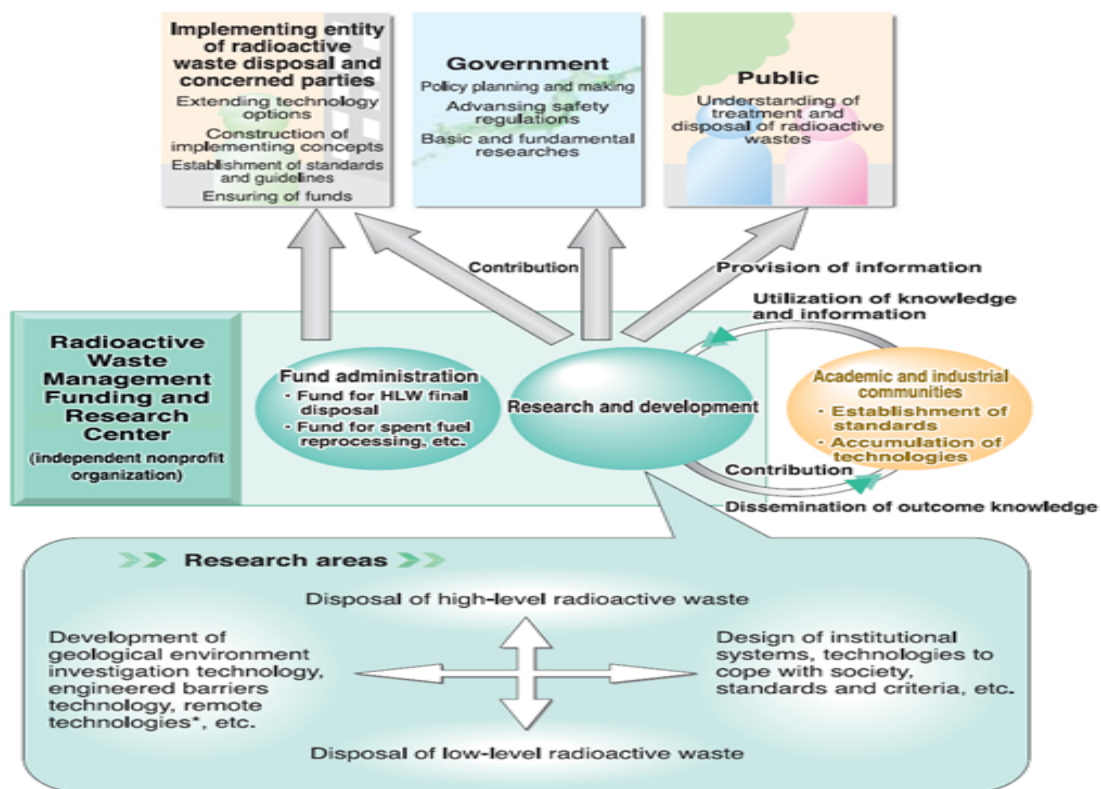


圖 41 日本原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)職掌功能

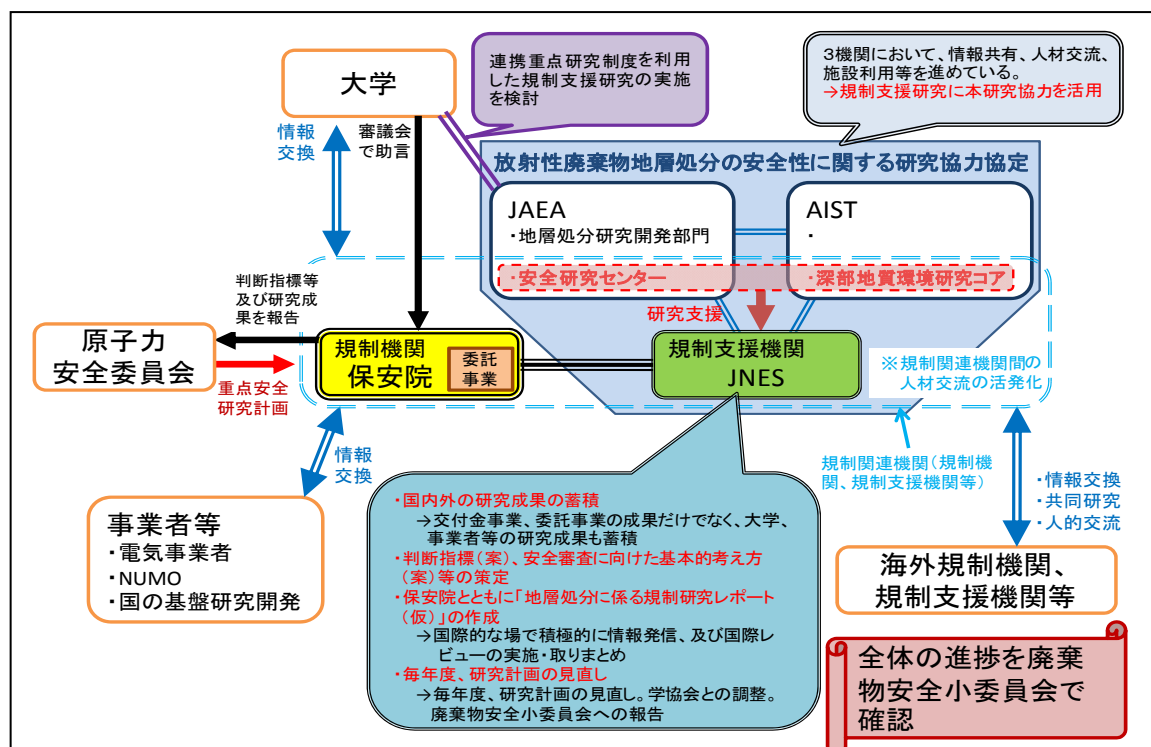


圖 42 日本原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)年度預算項目

## (十)日本放射性廢棄物處置的國際合作

原子力發展環境整備機構 (NUMO)認為國際合作對於其執行高放處置的各項工作的信心建立極為重要，主要合作的項目包括：選址作業方法、場址特性調查、處置設施設計及功能評估方法、品質保證及公眾接受及信心建立等，如圖 43。NUMO 自 2000 年成立以來就積極與世界各主要的高放處置專責機構簽訂資訊交流協同，包括芬蘭 Posivia，瑞士 NAGRA，瑞典 SKB，法國 ANDRA、美國 DOE 及英國 NDA (nirex)等。另 NUMO 亦積極參與國際合作協會如 EDRAM(International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Waste) 成立國際高放處置專家顧問小組，曾負責美國能源部 Yucca Mountain 高放處置計畫(Civilian Radioactive Waste Management ,OCRWM)負責人的華裔專家 Margaret S.Y. Chu 就是其中成員之一。另日本原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)亦與 13 個國家簽定資訊交流協定，以強化日本的放射性廢棄物處置研究發展及各項基金之估算及管理能力。

國內並未成立放射性廢棄物處置專責機構而由台電公司執行，而核能後端營運管理基金會亦僅為任務編組，故都未能積極與國外有關機構簽訂資訊交流協定，有必要加以改善，若未能簽定資訊交流協定，至少亦可經由舉辦研討會方式多邀請國外專家學家與國人經驗分享，以協助國內順利推展放廢處置計畫，並強化國內放射性廢棄物安全處置的技術能力。



圖 43 日本 NUMO 放射性廢棄物國際合作現況

#### 四、建議事項

職本次得以順利參訪 JNFL、NUMO 及 RWMC，首要感謝物管局黃慶村局長，為加速推動放射性廢棄物最終處置，以徹底解決低放射性廢棄物問題，特指派職前往日本進行交流訪問，以掌握國際放射性廢棄物管理之發展趨勢及長期的安全要求，在此謹就本次參訪獲致之心得，提出我國放射性廢棄物管理建議，分述如下：

1. 日本為原子彈的受害國家，但日本能「自知」自產能源不足而積極發展核能，並積極建造核燃料循環產業，將核能定位為準自產能源。目前日本核能發電居全球第三位，並擬積極增建 13 部核能機組，將核能發電比例由 28% 提升至 40%，以因應因二氣化碳排放所引發的地球氣候暖化問題，我國亦為自產能源缺乏國家，且我國二氣化碳排放量偏高，短期內再生能源貢獻有限，國內目前核能發電比例不到 20%，日本採用增建核能機組因應二氣化碳排放問題，實值得我國借鏡。
2. 日本在內閣府下設原子力委員會(AEC)主導日本的核能發電政策，另亦於內閣府下設原子力安全委員會(NSC)負責主管各項核設施之安全。我國行政院原子能委員會早期原兼扮原子能發展和安全管制政策主管的角色，但近年來因顧及兩種角色之衝突性，而以扮演核能安全管制機關為主，而主管國家能源政策的經濟部，亦未能積極取而代之扮演核能發電政策的主導角色，致使世界各國紛採核能因應全球暖化問題時，國內依然漠視而自外於此一趨勢。中央政府正積極進行組織改組，依目前規劃未來原子能委員會將併入科技部，以現有人力而言，預期將扮演核能安全管制的角色為主，而我國核能發電政策何去何從令人莫衷一是，誠有必要重新審視並修訂我國的原子能法，使我國的核能發電政策有一明確的主管機關和發展方向。

3. 日本原子力發展環境整備機構 (NUMO) 及原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)均為法定專責機構，NUMO 專責高放廢棄物及 TRU 廢棄物的處置，而 RWMC 則負責放射性廢棄物處置各項研究發展及基金管理，而負責低放處置的日本原燃公司(JNFL)亦是由日本九家電力公司合資成立的專責公司，而有效的將核能發電和放廢處置角色適切分離，另衡諸世界各核能國家都以成立放廢管理或處置專責機構，如瑞士 NAGRA，瑞典 SKB，法國 ANDRA、加拿大 NWMO 等以推動放廢處置各項工作，而國內放廢處置作業由台電公司負責執行，因未能將核能發電和放廢處置角色適切分離，故造成國內放廢處置工作進展有限，國內各有關機關(構)仍有必要再集思廣益，促使放廢管理專責機構早日實現，以有效推展放廢處置計畫。
4. 日本低放處置作業先經由詳細的地質調查後，進行全尺寸的工程障壁研究，以驗證處置設施的安全性，再經耐心的與地方政府溝通取得同意後，向安全主管機關提出處置事業許可申請，從場址調查至許可申請一般長達 10 年，尤其在場址特性調查及工程障壁安全驗證研究上，按部就班實事求是，有助於工作人員及民眾建立處置安全信心。我國低放處置計畫申請建造執照之時程甚為緊迫，有必要依現有的低放處置管制專案，加強要求業者做好包括放射性廢棄物資料庫、場址特性調查、處置設施工程設計、安全功能評估及品質保證計畫等各項低放處置前置準備作業，俾有效確保低放處置安全。
5. 日本為亞洲最早民主化的國家，但對於放廢處置的選址作業，無論高放和低放處置都以和地方鄉(鎮、市)及縣政府協商取得同意為主，尤其高放採自願場址方式，並對於自願場址配合場址調查有配套的回饋措施，另以韓國低放處置公投選址的一個重要前提亦為自願場址，國內低放處

置選場計畫因地方政府反對而進展緩慢，選址主辦機關及作業者仍應加強與地方政府溝通說明，並配合適切的地方回饋措施，儘量採自願場址的方式進行選址作業，俾能有效推展低放處置選址作業。

6. 日本在 2000 年制定高放處置法，另於 2005 年制定核能電廠用過核子燃料再處理基金法，分別建立高放處置基金及用過核子燃料再處理基金，均由原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)負責管理，預估用過核子燃料再處理所需基金規模預估為 15 兆日元(約新台幣 5 兆元)，為高放處置所需基金規模預估為 3 兆日元 (約新台幣 1 兆元)之 5 倍；另參考日本原燃公司(JNFL)的高放廢棄物貯存設施，其設計與低放處置設施及用過核子燃料乾式貯存設施均有所不同。日本的高放處置與用過核子燃料再處理基金規模及高放廢棄物貯存設施設計，均值得國內核燃燃循環策略評估之參考。
7. 環境整備促進與資金管理中心(RWMC)所管理之基金，除負責各項放廢處置之技術發展研究外，亦支援政府進行各項放廢管理政策及安全管制規範之研定。原子力安全委員會(NSC)將重點安全管制政策及法規研究計畫，交付給原子力安全保安院(NISA)委由原子力安全基盤機構(JNES)辦理，JNES 再與日本原子能研究開發機構 (JAEA)和日本產業總合研究機構(AIST) 深入研究後，提出有關之政策及法規草案，再經 NSC 審查後公布施行，以有效強化安全管制政策及法規之品質。國內放廢管理政策、管制法規及審查技術之研究可參考日本 NSC 之做法，妥善運用核能後端基金，以有效精進放廢管理政策及法規之品質。
8. 國際合作對於執行高放處置的各項工作的信心建立極為重要，無論對於管理基金之估算、選址作業方法、研究發展及公眾接受及信心建立均有

助益。日本放廢處置機構莫不積極與世界各國重要放廢處置機構簽定合作協定進行資訊交流。國內放廢有關機構應積極與世界各國重要放廢處置機構簽定合作協定，並在國內以舉辦研討會方式多邀請國外專家學家分享經驗，以協助國內順利推展放廢處置計畫，並強化國內放射性廢棄物安全處置的技術能力。

9. 日本低放固化廢棄物的放射性核種量測方法，經長期研究發展後已建立完整之作業程序，國內放廢產生機構可在此方面加強與日本技術交流，藉以提升並整合國內低放廢棄物低放固化廢棄物的放射性核種量測方法，另 JNES 對我國的低放廢棄物高效率減容技術以及清潔廢棄物外釋作業管制表示甚值得借鏡，以上均可做為後續台日雙方技術交流之議題。