

# 附 錄

## A. 各國高放處置計畫資訊分析

在用過核子燃料最終處置技術在處置概念的發展上，許多先進國家如美國、法國、加拿大、瑞典、比利時、英國、瑞士、日本等均將採用深層地質處置作為高放射性廢棄物最終處置的方法，處置概念因各國處置母岩及地質環境特性而有差異。在計畫管理方面，用過核子燃料最終處置工作涉及複雜的地質、鑽探、地物、水文、地化、岩力、核種傳輸等調查與資料綜合解析及評估之技術，不但專業程度需求極高，且需視各國之地質與環境之不同而因地制宜。自1970年代以來各核能使用國陸續推行高放處置計畫累積的經驗與發展的技術，向為我國推行高放計畫所取法借鏡的依據。下列就日本、瑞典、芬蘭及美國等核能先進國家之用過核子燃料處置概況進行介紹。

### A.1.1 日本高放射性廢棄物處置發展概況

在日本處理高放射性廢棄物之專責機構稱為原子力發電環境整備機構(Nuclear Waste Management Organization of Japan -NUMO) ，所負責的事項有高放射性廢棄物處置場之選址、建造、執照申請、運轉與封閉等工作；而高放射性廢料地層處置技術研發工作原來由日本原子能研究所(Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI)及日本核燃料循環與開發機構(JNC)所負責，此兩機構已於2005年10月1日統合成日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)。不同於我國的核能組織，NUMO及JAEA皆是屬於民間經營的核能單位。

對於高放射性廢棄物之處理，日本方面是主張以深地層的方式進行。最主要的原因是在地底的深處，不會遭受到地震、海嘯及颱風的天然災害；至於人為的戰爭與恐怖活動也都可以避免。此外，在較深處的地底，核種之遷移是由地下水決定，然而此處的地下水流動是相當緩慢的，所以可以延長核種到達生物圈的時間。另一方面，對於處

置容器而言，由於地底深處的氧化作用相較於地面上而言是更為不明顯，可以有效控制處置容器發生銹蝕等化學作用，進而延長其壽命。也由於有如此的特性，日本的政府部門才決定採用此種深層處置的方式。

自2000年6月，日本的國會終於製定了「特定放射性廢棄物最終處置法」，並且加盟國際原子能總署（IAEA），一起努力制定國際條約中的「關於用過核燃料管理以及放射性廢棄物的安全管理」聯合條約。在2001年6月，NUMO更在國內進行了第一屆的國際技術諮詢會議(ITAC)，此會議的目的在於認識國際間關於處置的技術，並保證NUMO對於處置技術之工作能符合國際水準。2005年9月日本核燃料循環與開發機構(JNC)發表年度報告H17，針對HLW計畫於H12之後（即2001～2005年間）的研究成果，主要包括三部支持報告（supporting report，如圖 A-1所示）。支持報告一：為地球科學研究（Geoscience Study）；支持報告二：為處置場工程技術（Repository Engineering Technology）；支持報告三：為安全評估方法（Safety Assessment Methods）。

截至目前為止，2006年1月17~19日的國際技術諮詢會議已經在東京進行了第九屆的會議，本次會議的內容均與H12報告息息相關，另外有談論到公共溝通的議題與處置場址初步調查的討論，以及分析PA所用的工具程式。其中最令人感興趣的議題是針對PA的分析程式，這些程式大多於H12報告內有記載。例如，近場方面是用MESHNOTE(PNC, 1996b；Wakasugi et al., 1999)；遠場地質圈方面是用MATRICS；生物圈方面則是用AMBER。

NUMO更於近期定訂了高放射性廢棄物之規劃時程，在2008年之前在準備選定預調查之場址；2008-2012會對候選場址進行詳細調查；2012-2023則是以測試程式在地下所規劃之處置場進行探測；2023-2027會在選定場址開始進行建造，此其間亦會向政府申請運轉執照；2033-2037估計處置場可以開始營運。圖 A-2則是NUMO所提出的高放射性廢棄物之規劃時程圖。

### A.1.2 瑞典高放射性廢棄物處置發展概況

瑞典的高放射性廢棄物管理計劃目前由1972年組成的SKB(瑞典核燃料供應公司)負責，其負責管理和處置來自瑞典核電廠的用過核燃料和放射性廢物的設施和系統的發展、計劃、建造和運行。對於高放射性廢棄物管理之規劃，SKB在1977年底，提出了KBS-1報告，並於在1978年提出KBS-2報告，選擇直接處置用過核燃料方案。目前瑞典高放射性廢棄物之規劃，則是1983年所提出的KBS-3報告。

瑞典KBS-3概念之可行性評估中是採簡略概念模型，處置概念特性如表 A-1所示。地面以三條豎井與地下連通，分別區隔為人員、作業、與廢棄物運輸用途。一條方形主隧道貫穿處置場，處置隧道由主隧道向兩側展開，廢棄物罐以垂直置放方式進行處置。處置概念以銅殼鑄鐵內裡之廢棄物罐為處置容器，採處置隧道底部垂直置放方式處置。以主隧道貫穿不同的處置區，處置隧道有主隧道向兩側展開，其中一區規劃為先導驗證區。地表與地下設施以豎井及/或斜坡道連通。

瑞典另一機構KASAM，於2006年1月針對現階段SKB處置概念進行討論，厘清現階段該完成目標與主要研究方向，討論依據以SKB處置概念細節為主體，如圖 A-3所示，針對核廢棄物從產生、包裝、運輸、中間站，至最終處置的路徑作為討論對象。

### A.1.3 芬蘭高放射性廢棄物處置發展概況

芬蘭早期高放射性廢棄物處理問題，乃是採取境外處置方式，將用過核燃料運往俄羅斯處置，然而1994年國會通過的核能法修正案通過後，芬蘭的核電廠不得再將核廢棄物輸往俄羅斯，必須直接在國內處理。IVO及TVO兩家公司於是共同成立Posiva公司專門處理核廢棄物問題，Posiva在1996年一月正式運作。目前兩座核電廠中均設有儲存場，分別於1992年及1998年運作。儲存場位於地下70至110公尺深的岩層內，初級及中級污染廢棄物的儲存場乃分別設置。大小足以容

納核電廠運作期限內所產生的所有核廢棄物。另外，Posiva公司在1999年5月申請在Olkiluoto廠址附近地下五百公尺深的岩層內興建永久性核廢料儲存場，包括一個封裝場（Encapsulation）及儲存場，當地議會已同意這個方案，芬蘭政府並於2000年12月作出正面的原則決策，國會也在2001年5月通過。目前Posiva公司正進行選址作業，預訂2010年動工興建，2020年正式使用。

芬蘭處置概念以參考瑞典KBS-3概念為主，適合自身條件為輔，同樣是以三條豎井與地下連通，分別區隔為人員、作業、與廢棄物運輸用途。一條方形主隧道貫穿處置場，處置隧道由主隧道向兩側展開，廢料罐以垂直置放方式進行處置。處置場基本特性如表 A-2所示。

#### **A.1.4 美國高放射性廢棄物處置發展概況**

美國為世界中最先使用核能做為動力之國家，但早期對於用高放射性廢棄物處理並未詳細規劃。核能發展日益普及後，高放射性廢棄物處置即成了重要的課題，1982年美國國會制定「放射性廢棄物政策法(Nuclear Waste Policy Act- NWPA)」，以解決高放射性廢棄物的處置問題。該法案明訂DOE應依據法律程序，擬定處置計畫的預算，並負責規劃推動深層地質處置場與中期貯存場之研究發展計畫。1987年美國國會通過NWPA修正案(即NWPA/AA)，總統並核准以Yucca Mountain進行場址特性調查，稱為雅卡山計畫(YMP)。1998年YMP完成了適合性評估報告(Viability Assessment Report)，1999年7月YMP提出環境影響說明書，2001年DOE向NRC提交興建許可申請書。在歷經二十餘年、四十億美金的科技研究經費後，美國參議院於2002年7月9日以60對39票通過內華達州雅卡山為民用高放射性廢棄物最終處置場，DOE原本預計於2004年提出建造許可，順利的話處置設施可於2010年開始接收核能相關民間事業所產生的高放射性廢棄物，但時程於2006年更動。在安全基準上，美國環保署(EPA)制定的40 CFR Part 197，對輻射防護基準為1萬年遠低於國家研究院(NRC)建議的1百萬年，2004年7月聯邦法院對此裁決該法案無效，因此EPA在2005年8月

公告將輻射防護基準設為1百萬年。另外，在2005年3月中旬，美國能源部(DOE)的律師發現美國地質調查所(USGS)進行雅卡山計畫的水文地質模擬工作人員，在1998年至2000年間的約20封電子郵件有疑義，討論到可能有對事實作錯誤表達之處，故影響到處置場執照審核。根據2006年6月18日之發佈通告，雅卡山接收放射性廢棄物時程修訂為2017年3月，摒棄2004年所訂定之接收時程為2010年。由於上述時程修改，DOE將申請建造日期由2004年12月修改為2008年6月30日，NRC預計以三年時間詳細審閱相關文件以決定是否同意核發建造與營運執照，於2011年完成請照程序。實際處置場預計於2016年3月完成建造，並進行先期運轉測試完整流程，於2017年3月開始接受放射性廢棄物。

此外，位於美國新墨西哥州Carlsbad的聯邦廢棄物隔離先導廠(WIPP)，已於1999年3月26日正式接收由Los Alamos國家實驗室運來之超鈾廢棄物，宣告正式運轉。WIPP係處置與用過核子燃料一樣具有長半衰期核種之超鈾(TRU)與混合放射性廢棄物；軍事工業所產生的高放射性廢棄物為其主要來源。該處置場位於地表下650公尺深處的鹽岩層。場內規劃八個處置區，每區設置六個處置室，預期35年內將接收37,000運次的美國國防相關的放射性廢棄物，貯存約16萬5千立方公尺之廢棄物。至2006年9月為止，WIPP總計接收全美13個試驗位址之廢棄物共達5,000運次。由於WIPP每5年必須重新申請使用執照，故相關的研究與監測仍持續進行。

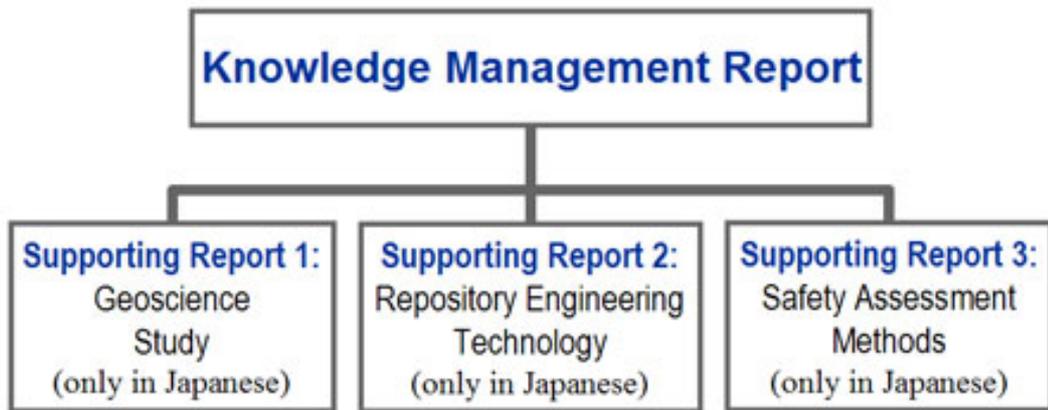
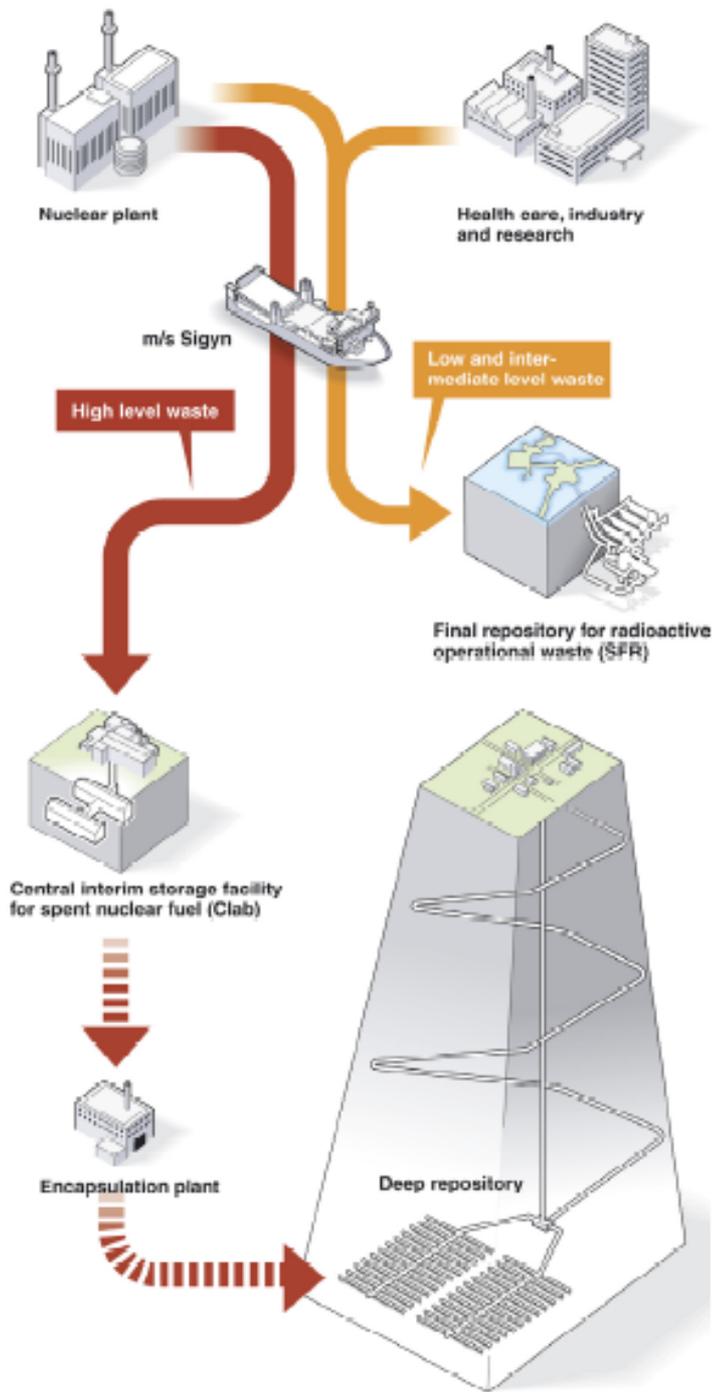


圖 A-1：H17 Report 架構  
(JNC，2005)



圖 A-2：日本高放射性廢棄物處置規劃時程  
(NUMO，2006)

# The Swedish system



Source: SKB

圖 A-3：SKB最終處置系統圖

表 A-1：瑞典用過核燃料/高放射性廢料處置窖、處置容器、時間尺度概念表

|      |                                      |              |                |                |   |          |
|------|--------------------------------------|--------------|----------------|----------------|---|----------|
| 處置窖  | 地質環境與熱荷載策略                           | 處置廢料         | 廢料冷卻時間         | 深度 (m)         | 處置窖設計   | 處置容器安置方式 |
| 特性   | 花崗岩/飽和帶；低於水沸點                        | 用過LWR核燃料     | 30-40年         | 500            | 一條主隧道連接多條平行的處置隧道                                | 垂直放置於鑽孔內 |
| 容器   | 處置容器                                 |              | 緩衝材料           |                | 回填材料  | 地下研究設施運轉 |
| 特性   | 銅製外殼(50mm)、內層鋼(50mm)承裝1.5tU；年限：100萬年 | 夯實膨潤土磚       |                | 壓碎岩石與膨潤土混合物    | Äspö硬岩實驗室                                       |          |
| 時間尺度 | 安全標準                                 |              | 評估時間尺度         | 安全標準法規         | 選址法規  |          |
|      | 個人劑量限值 (mSv/yr)                      | 個人風險限值(yr-1) | 1000年，及1000年以後 | SSI FS(1998:1) |   |          |
| 特性   | 0.1                                  | $10^{-6}$    |                |                | 1984年核能活動法(SFS 1984:3) 及1998年環境法典(SFS 1998:808) |          |

表 A-2：芬蘭用過核燃料/高放射性廢料處置窖、處置容器、時間尺度概念表

|      |                                       |              |        |          |   |                               |
|------|---------------------------------------|--------------|--------|----------|---|-------------------------------|
| 處置窖  | 地質環境與熱荷載策略                            | 處置廢料         | 廢料冷卻時間 | 深度 (m)   | 處置窖設計                                   | 處置容器安置方式                      |
| 特性   | 花崗岩 / 飽和帶；低於水沸點                       | 用過 LWR 核燃料   | 40年    | 500      | 一條主隧道連接多條處置隧道                           | 垂直放置於鑽孔內                      |
| 容器   | 處置容器                                  |              | 緩衝材料   |          | 回填材料                                    | 地下研究設施運轉                      |
| 特性   | 銅製外殼(60mm)、內層鋼(55mm)承裝 1.6tU；年限：100萬年 | 夯實膨潤土        |        | 砂與膨潤土混合物 | 無，但 ILW 處置場有地下研究隧道                      |                               |
| 時間尺度 | 安全標準                                  |              | 評估時間尺度 |          | 安全標準法規                                  | 選址法規                          |
|      | 個人劑量限值 (mSv/yr)                       | 個人風險限值(yr-1) | 1萬年    |          | 1999年政府決定(1999/478)及 STUK-YVL 8.4(2001) | 1987年原子能法及1999年政府決定(1999/478) |
| 特性   | 0.1                                   | 10-6         |        |          |   |                               |