

出國報告（出國類別：其他）

## 參加2016 Waste Management 國際研 討會

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：李彥良薦任技士

派赴國家：美國

出國時間：105年3月5日至3月13日

報告日期：105年4月26日

## 摘要

2016 Waste Management (WM2016)國際研討會，於 105 年 3 月 6 日至 10 日在美國鳳凰城(Phoenix)的會議中心舉行，會議主題包括：1.綜合性核能政策與研究計畫討論；2.高放射性廢棄物、用過核子燃料及超鈾廢棄物處理與處置；3.中低階放射性廢棄物及混合廢棄物處理技術；4.核能電廠廢棄物管理；5.放射性物質的包裝與運送；6.除污與除役作業及技術分享；7.污染場址的環境復育；8.放射性廢棄物技術研究與教育訓練；9.核子保防與核能安全的特別議題等九大類。

於研討會期間共進行 125 場研討會議及專題討論，發表約 500 篇論文，有來自各國核能領域人士約 2000 人參與，分享放射性廢棄物管理與管制經驗，交流各國經驗，進而提升管理與管制能力。參與本次研討會主要就最終處置相關議題進行了解，以掌握各國最終處置計畫發展趨勢，並學習放射性廢棄物管理與最終處置之之實施策略、管制法規、技術可行性、安全評估、選址程序等。藉由汲取世界各核能國家推動放射性廢棄物最終處置計畫所累積之經驗，作為國內放射性廢棄物最終處置管制作業之參考，以增進管制能力並與國際接軌。

關鍵字：放射性廢棄物最終處置、放射性廢棄物管制

## 目錄

摘要.....	1
一、 目的.....	3
二、 過程.....	3
三、 心得.....	8
四、 建議事項.....	26

## 一、目的

此次前往美國參加第 42 屆 2016Waste Management 國際研討會之目的，希望藉由此次會議平台，了解各國放射性廢棄物管理議題的進展，並藉由交流與討論掌握國際最終處置技術現況與未來發展趨勢。

會議中主要就放射性廢棄物管理與最終處置之實施策略、管制法規、技術可行性、安全評估、選址程序等議題，透過與世界各核能國家共同討論、分享，以汲取世界各核能先進國家處置計畫執行所累積之經驗，作為國內放射性廢棄物最終處置管制作業之參考，以增進管制能力並與國際接軌。

## 二、過程

### (一) 行程概要

本次參加 2016Waste Management 國際研討會行程如下表 1 所列：

表 1. 2016 Waste Management 國際研討會行程概要

3 月 5 日(六)	出發、抵達鳳凰城
3 月 6 日(日)	研討會報到
3 月 7 日(一)	參加 2016Waste Management 國際研討會
3 月 8 日(二)	參加 2016Waste Management 國際研討會
3 月 9 日(三)	參加 2016Waste Management 國際研討會
3 月 10 日(四)	參加 2016Waste Management 國際研討會
3 月 11 日(五)	返程
3 月 12 日(六)	返程
3 月 13 日(日)	抵達台北

## (二) 研討會概要

Waste Management 國際研討會是源自 1974 年時，於美國亞利桑那州的圖森市(Tucson, Arizona)首度舉辦，主要是由亞利桑那州立大學協助美國原子能委員會(US AEC)進行高放射性廢棄物議題之討論。爾後研討會更進一步發展為國際間各核能議題相互分享經驗之會議，研討會是屬於非營利性質，並每年在美國舉辦 1 次。

本次「第 42 屆 2016 Waste Management 國際研討會(WM2016)」在美國亞利桑那州的鳳凰城(Phoenix, Arizona)舉行，於 2016 年 3 月 6 至 10 日會議期間，有來自世界 30 個國家，約 2,000 核能界人士與會，主要為各國政府機關、核能產業界、學術與研究機構等專家學者，其中並由英國擔任本次主題國家，主持多場專題場次，交流分享英國放射性廢棄物管理經驗。

研討會議題依不同主題分場次進行，大致區分為九大類，主題如下：

- 1.綜合性核能政策與研究計畫討論
- 2.高放射性廢棄物、用過核子燃料及超鈾廢棄物處理與處置
- 3.中低階放射性廢棄物及混合廢棄物處理技術
- 4.核能電廠廢棄物管理
- 5.放射性物質的包裝與運送
- 6.除污與除役作業及技術分享
- 7.污染場址的環境復育
- 8.放射性廢棄物技術研究與教育訓練
- 9.核子保防與核能安全的特別議題

WM2016 研討會於 3 月 6 日先於美國鳳凰城的會議中心辦理報到(圖 1)，並於 3 月 7 日上午 8 點辦理會議開幕式。開幕式首先由大會主席 James Fiore 進行

致詞(圖 2)，說明辦理 WM2016 研討會的目的，並介紹本屆會議特色國-英國與 WM2016 研討會的特色議題，最後歡迎來自世界各地的與會者。

接著由英國核能除役署(NDA)執行長 John Clarke 致詞(圖 3)，主要說明英國 Sellafield 核能工業區現況，區內有多座核能設施，包含英國第一座核電廠 Calder Hall 及用過核子燃料再處理設施，目前約有 1 萬多位作業人員，其中一半的工作人員正進行核子反應器除役、拆除作業。

後續由英國 AMEC Foster Wheeler 公司的清潔能源部副總裁 Tom Jones 致詞，說明高放射性廢棄物最終處置面臨的挑戰與展望，Tom Jones 認為高放處置計畫擁有廣大市場，可提供大量就業機會與工業發展。惟高放處置技術涉及多項專業領域複雜度高、計畫時間長、工程障壁的技術仍持續發展與公眾接受度等問題，面臨極大挑戰，需投入大量精力與人力，結合不同領域的專家共同執行，妥善規劃與整合，計畫方可以順利推動。

最後由美國能源部(DOE) 副助理部長 Monica Regalbuto 進行致詞，說明高放射性廢棄物處置計畫期程長，若要順利完成需有完整人才培育計畫，首先要有「吸引力」，吸引優秀人才進入高放處置計畫，以儲備計畫能量；再者為「教育力」，吸收優秀人才後，須進行處置技術教育訓練，使具備專業領域技能及廣泛處置技術知識；最後為「留住人才」，當人才具備獨立作業的能力，必須設法留住人才，以上人才培育若能達成，則高放處置計畫即具備成功的潛能。之後並辦理大會正式午宴，會場中螢幕投影包含我國在內的所有參與國國旗 (圖 4)。

開幕式結束後，接著分場次進行各技術議題會議與專題討論會議，於會議期間共辦理 134 個技術議題會議與專題討論場次，發表超過 500 篇的論文。



圖 1. WM2016 假美國鳳凰城會議中心(PCC)辦理



圖 2. 開幕式大會主席 James Fiore 致歡迎詞



圖 3 英國 NDA 執行長 John Clarke 致歡迎詞



圖 4. 大會午宴會場展示與會各國國旗。

### 三、心得

本次公出赴美國參加 WM2016 研討會，主要參加最終處置及放射性廢棄物管理相關之技術議題會議與專題討論場次，與來自世界各國從事放射性廢棄物相關領域的研究人員進行意見交流，以掌握國際處置發展現況，著實獲益良多，主要心得如下：

#### (一) 世界各國深層地質處置近況

##### 1. 英國

英國被選定為本次會議主題國家，主持多場專題場次，分享英國放射性廢棄物管理經驗。有關英國放射性廢棄物最終處置議題，於高放射性廢棄物採取地質處置政策，處置於地下 200 至 1000 公尺深度，其處置選址採用志願制度及夥伴關係方式進行。

處置計畫之相關單位與角色可分為：(1) 社區(Communities)所在地為自願選址步驟的核心，社區能參與開發商有關選址步驟正式討論過程，並且有權力於任何時間點撤回，地質處置設施若缺少社區的支持將無法推動。(2) 政府(Government)負責地質處置政策制訂、確保計畫與提供處置計畫所需經費。放射性廢物管理是一個權力下放的議題，即英國政府負責有關英格蘭地區、威爾士政府負責有關威爾土地區、北愛爾蘭政府負責有關北愛爾蘭地區。(3) 管制單位(Regulators)，英國有兩獨立機關，一為獨立核能安全管制機關(ONR)，負責英國各地的核設施的安全和保安管理，其任務為提供核工業有效的管理，確保各核設施安全並符合法規要求。另一個管制單位為環境保護機構(EA)，負責放射性廢棄物處置及排放的管制。(4) 計畫執行單位(Developer)，英國有兩單位執行相關計畫，分別為核除役管理局(NDA)，於 2004 年依據能源法成立之核廢專責機構，負責執行放射性廢棄物長期管理政策之執行，另一機構為放射性廢物管理有限公

司 (RWM)，為隸屬於 NDA 的子公司，負責高活度放射性廢物地質處置之政策執行，為最終地質處置設施的執行機構，負責整體計畫安全、保安和環境保護，並確保符合所有法規要求。(5)放射性廢棄物管理委員會 (CoRWM) 為一獨立委員會，對政府政策提出建言與監督(如圖 5)。

英國的處置計畫實施步驟可分 3 階段：(1) 第一階段，約 2 年，包含全國地質篩選、場址自願社區準備工作、建立土地使用計畫。(2) 第二階段，約 15 至 20 年，包含與場址自願社區進行對話提供資訊與投資、場址調查、設施設計與規劃，並提供社區投資計畫。(3) 第三階段，約 100 年，包含處置設施場址確認與建造、營運與封閉，提供社區就業機會與投資計畫(如圖 6)。

英國核能除役署 NDA 正徵求全國自願場址地區，至目前為止，只有 Sellafield 核能工業區附近社區表示意願。

## Geological disposal: roles and responsibilities

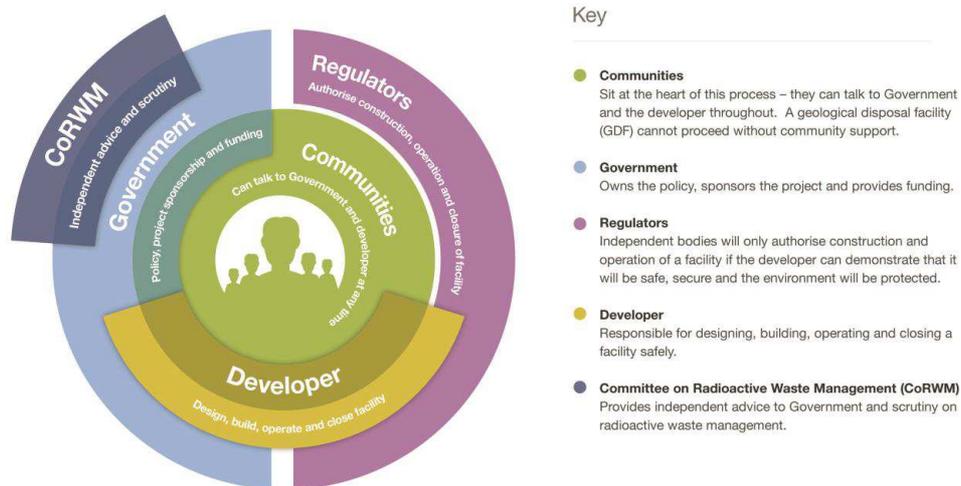


圖 5. 英國地質處置計畫各單位角色與責任

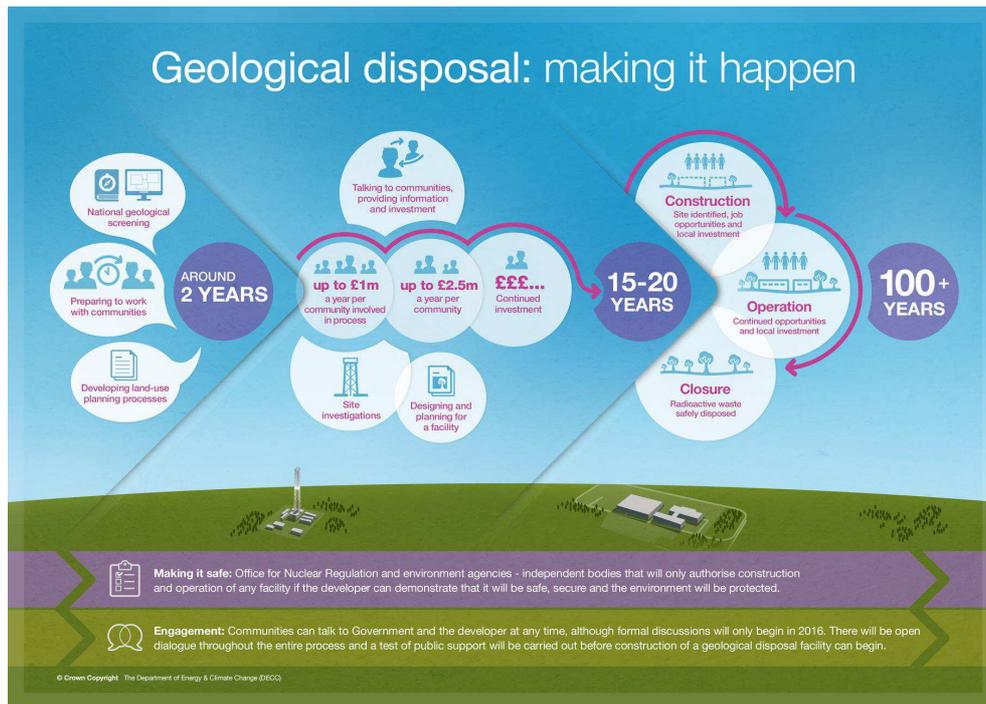


圖 6 英國地質處置計畫執行步驟

## 2. 芬蘭

芬蘭核能後端營運專責機構 Posiva 公司，於 2012 年 12 月向芬蘭就業暨經濟部提出高放射性廢棄物最終處置設施之建造執照申請，後經芬蘭輻射暨核能安全管制局(STUK)審查後，於 2015 年 11 月 12 日核發全球首張深層地質處置賞的建造執照，同意 Posiva 公司於奧基洛托(Olkiluoto)建造用過核子燃料深層地質處置場與處置容器包封工廠。

該設施為世界首座進入建造階段之高放射性廢棄物最終處置場，由地面上之包封工廠及地表下深度約 400~450 公尺之處置坑道所組成(圖 7)，用過核子燃料組件將先於地面包封工廠加以封裝後，再移置於地下處置坑道進行處置，預計可容納 6,500 公噸的用過核子燃料。Posiva 公司目前規劃於 2016 年底開始興建處置設施，2020 年提出運轉執照申請，2023 年完工啟用，2120 年完成處置場封閉。

Posiva 公司所採用之最終處置概念，係瑞典 SKB 公司所提之 KBS-3 垂直置放概念(圖 8)。將用過核子燃料裝入銅質外殼鑄鐵襯裡之處置容器，運送至地下

處置坑道內，容器外側回填具有阻滯核種遷移及地下水流動之緩衝材料，加上經適當選擇之岩體所構成的天然障壁，形成阻絕核種外釋的多重障壁，以確保人類健康與環境安全。

Posiva 公司為取得 Olkiluoto 場址之現地岩性條件及試驗數據，用以發展相關處置技術，提供後續處置設施規劃與建造的重要資訊與佐證資料，並驗證 Olkiluoto 場址是否合適，於 2004 年 7 月開始建造地下岩性設施，2010 年達到目標深度 420 公尺。ONKALO 地下岩性設施之總開挖體積為 330,000 立方公尺，接收隧道及 3 座豎井總開挖長度為 9,500 公尺，最深開挖深度為 520 公尺。後續 Olkiluoto 深層地質處置場之興建，將由已完成之開挖隧道向外側持續擴建完成所有處置坑道。

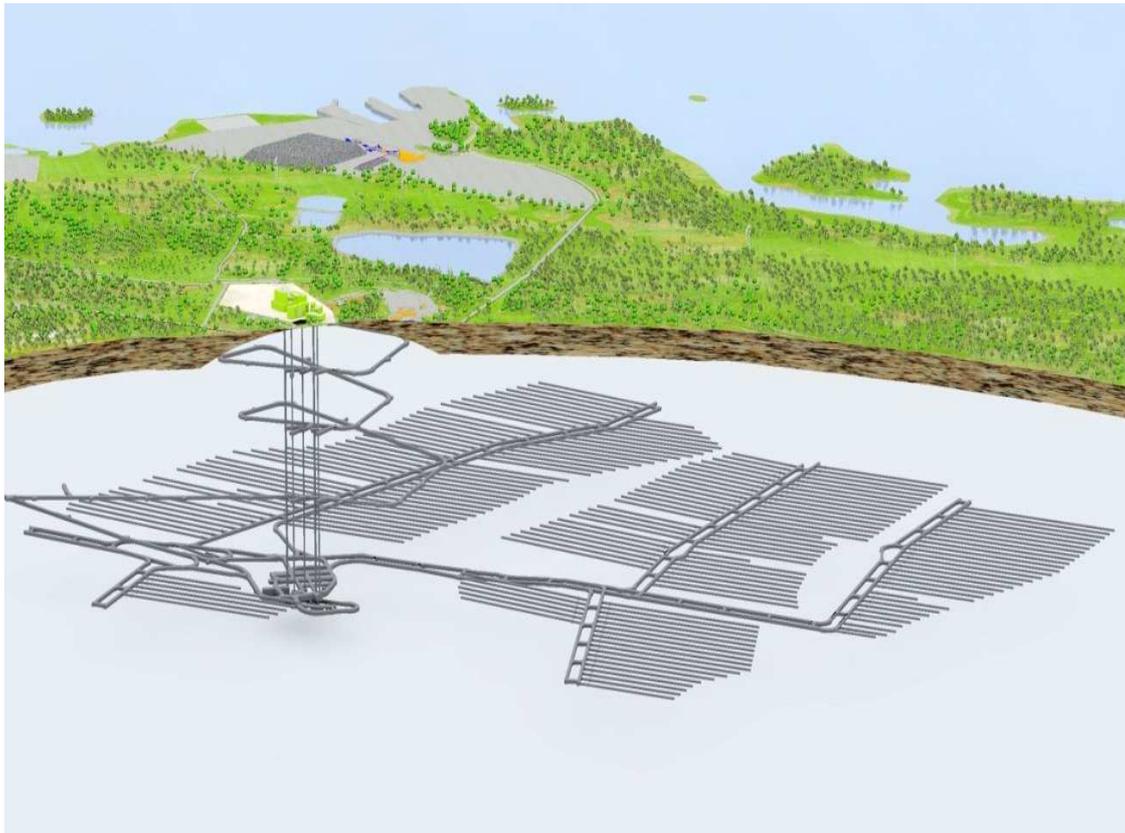


圖 7 芬蘭 Olkiluoto 深層地質處置場示意圖

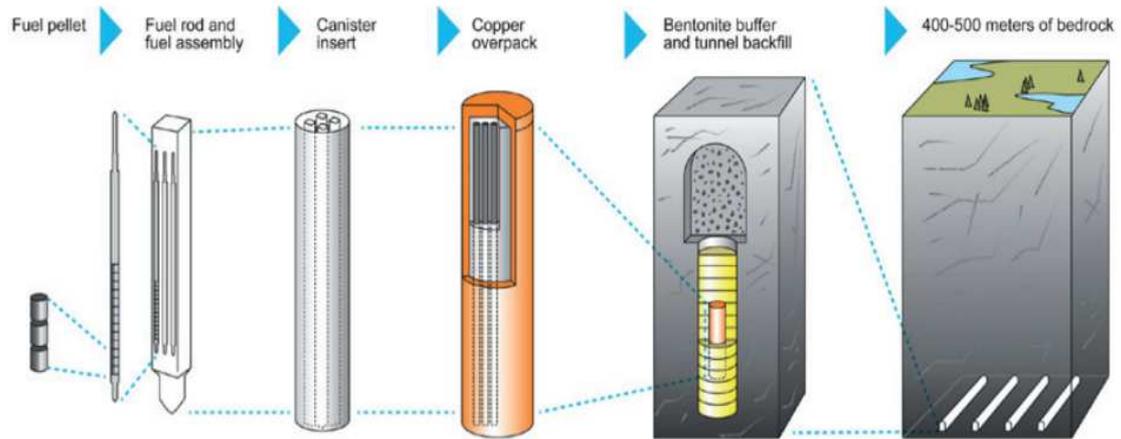


圖 8 芬蘭處置概念圖

### 3. 瑞典

瑞典核燃料與廢棄物管理公司(SKB)於 2011 年 3 月向瑞典輻射安全局(SSM)提出，建造用過核子燃料封裝廠與最終處置場的申請案，SKB 計畫在 Forsmark 建造用過核子燃料最終處置場，並於 Oskarshamn 地區興建 CLINK 用過核子燃料包封廠。

瑞典輻射安全管理局於 2015 年完成的初步審查後表示，相信 SKB 所計畫興建的處置場可符合所有的安全及輻射防護要求，認為此處置場有關岩石開挖、處置容器於地下設施裝卸、以及廢棄物放置等皆可符合核子安全與輻射防護標準，另外對於處置場封閉後的初始狀態，即長期輻射安全分析起點，評估也呈現謹慎樂觀的結果，但是仍需展開進一步的調查，以確保該處置場在至少 10 萬年後仍可符合輻射安全要求。瑞典輻射安全管理局目前正規劃完成 Forsmark 用過核子燃料最終處置場執照申請，後續 SKB 並預計在 2019 年開始興建工程，2028 年進行試運轉，2030 年正式啟用。

除了興建最終處置場外，SKB 公司亦計畫在瑞典南方的 Oskarshamn 地區的 CLAB 中期貯存設施旁，興建 CLINK 用過核子燃料包封廠，有望在 2021 年前取得興建執照，並於 2029 年開始營運。

瑞典高放最終處置 採用 KBS-3 處置概念進行，將用過核子燃料置於銅製廢棄物罐並密封後，運送至地下 500 公尺深的處置母岩，並將廢棄物罐垂直放置於處置孔內，再以膨潤土填滿。依照土地環境法院現有時間規劃，本申請案於 2016 年 1 月公布，另於 10 月至 12 月召開公聽會。為了接下來的公聽會，法院與 SSM 將向瑞典政府提出建議，在政府做出定案前，必須先諮詢處置相關設施所在地區，他們具有否決申請案之權利。本申請案的核准，對瑞典用過核子燃料的長期安全管理，是個重要里程碑。

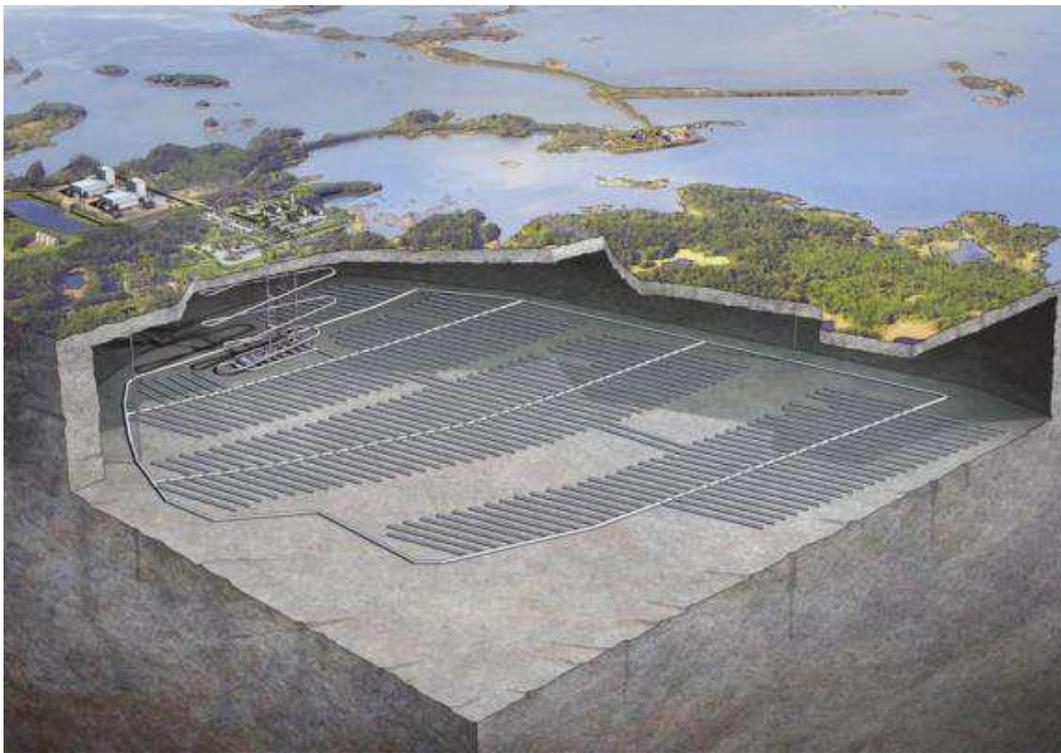


圖 9 瑞典 Forsmark 用過核子燃料最終處置場示意圖

#### 4. 日本

日本經濟產業省(METI)根據 2000 年 5 月發布之特定放射性廢棄物最終處置法，於 2000 年 10 月核准成立 NUMO，專門負責高放射性廢棄物之最終處置。NUMO 將根據特定放射性廢棄物最終處置法逐步進行場址篩選，以決定最終處置設施之場址。

NUMO 於 2002 年公開徵求自願進行文獻調查的全國鄉鎮，但並未徵得任何自願供調查之區域，若有自願的鄉鎮並透過文獻調查確認可符合場址篩選準則，將成為候選場址並進入初步調查區域(PIAs)階段，進行地球物理調查、地質鑽探及坑道試驗；利用初步調查之資料確認符合場址篩選準則後，再進入細部調查區域(DIAs)階段，執行深層地質調查；再經確認符合場址篩選準則後，候選場址將可進入處置設施場址(RS)階段(圖 10)。

2002 年以後，NUMO 與 METI 共同舉辦多場全國性之研討會及公聽會，進行深層地質處置安全性及重要性的介紹，以利全國民眾瞭解及接受深層地質處置，並期望有自願鄉鎮成為候選場址，提供 NUMO 進行場址篩選。

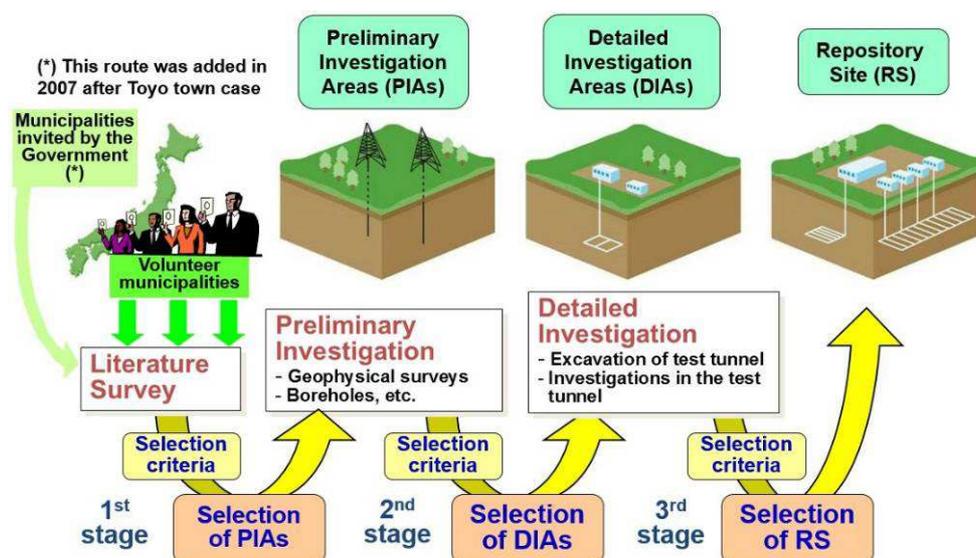


圖 10 日本高放射性廢棄物最終處置場址篩選之 3 個階段

## 5. 法國

法國於 1991 年發佈及 2006 年修訂之放射性廢棄物管理法，宣告「深層地質處置」為高放射性廢棄物之解決方案。法國高放射性廢棄物處置計畫(Cigeo) 由 Andra 主導執行。Cigeo 計畫將於法國東部之 Meuse/Haute Marne 地區，深度 500 米處建造一深層地質處置場，利用其特有的黏土構造形成天然地質屏障，以防止放射性物質外釋，並於 1999 年於該地區建立 Bure 地下試驗室，研究該地區泥岩層之相關特性。

法國高放射性廢棄物處置計畫(Cigeo)地面設施面積預計佔地約 300 公頃，地下總貯存面積將達到 15km<sup>2</sup>，該處置場在封閉前預計營運 100 年。該深層地質處置場可貯存法國現有 2,300m<sup>3</sup> 之高階放射性廢棄物及 42,000m<sup>3</sup> 之中階放射性廢棄物，足以容納現階段大部分法國核電廠已產生的放射性廢棄物，並涵蓋至少未來 20 年所產生的放射性廢棄物。(圖 11)

為取得民眾認同，法國於 2013 年向民眾公開相關文件並徵求意見，因為「民意」才是影響 Cigeo 廢棄物處置場的建設與運轉執照申請的關鍵。後續並參考民眾意見對工程計畫做出修改，並承諾設立先導型設施，以測試放射性廢棄物處置的各項功能。Cigeo 計畫預定 2017 提出建造執照申請、2020 取得建照並開始施工、2025 年完成最終處置設施的建造。

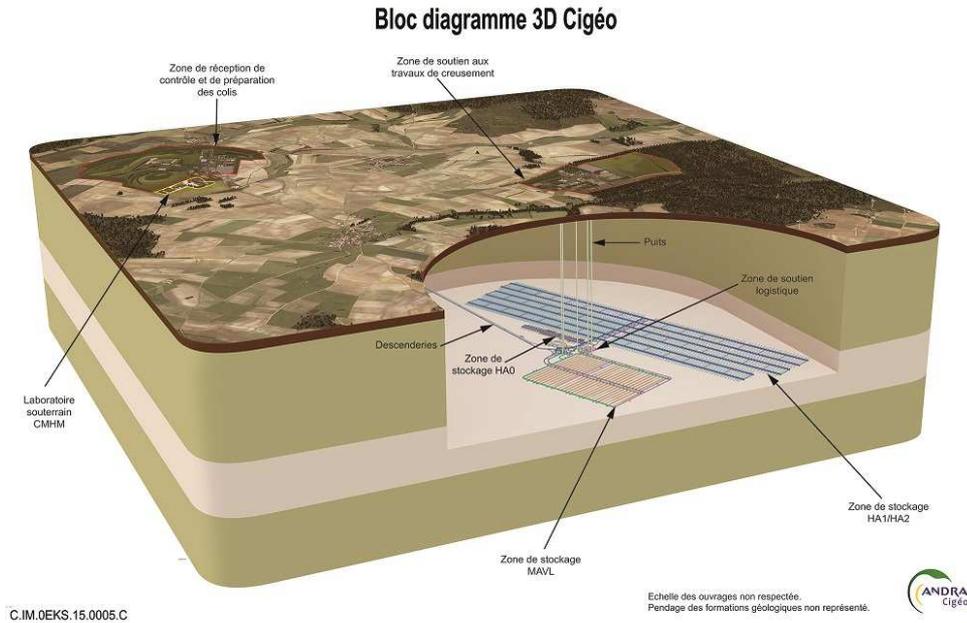


圖 11. 法國 Cigeo 計畫處置概念模型圖

## 6. 加拿大

為了處理加拿大核能電廠所產生的放射性廢棄物，加拿大放射性廢棄物管理機構(NWMO)已經完成，對 Central Huron 市的第一階段初步評估結果，將進入第二階段審查作業。Ontario 市已被 NWMO 列入有意接納深層地質處置場的名單中，將再進行進一步選址作業。NWMO 按照「合適階段管理(Adaptive Phased Management, 簡稱 APM)」方案來選擇合適的處置場址，並接受地方社區要求進行評估作業。第一階段審查並未涉及技術性規範和安全規範，亦未要求提出申請的社區須確認其意願。

## 7. 瑞士

瑞士放射性廢棄物專責機構(Nagra)必須依據聯邦指導原則完成最終處置選址計畫，第 1 階段選址程序，Nagra 目前已提出 6 個場址地區(Zurich Nordost、Jura Ost、Sudranden、Nordlich Lagern、Jura Sudfuss 及 Wellenberg)，各區域皆滿足聯邦核能安全監察局(ENSI)相關規範；第 2 階段將針對上述 6 個選址地區的安全性

進行比較，若有明顯缺點，將成為備案；第 3 階段時，Nagra 必須提出至少 2 個區域作為最終處置場，並進行進一步的深層地質調查。

根據初步地質調查結果顯示，第一階段提出之 Zurich Nordost 與 Jura Ost 地區皆擁有長期穩定、範圍廣大且難以滲透的母岩，可提供放射性廢棄物安全的處置空間，目前正進行其他地區之初步地質調查。評選和比較選址區域是循序漸進的過程，目前各場址比較優缺點時，主要標準為長期安全性，只考慮科學與技術標準，與社會、政治情勢無關。

## (二) 世界各國放射性廢棄物處理溝通經驗、策略及方法

核能發電與放射性廢棄物處理為爭議且複雜的議題，民眾對於核能議題的認知不足，且民眾所獲得的核能資訊不正確，都將造成核能設施營運的困難，為避免上述情形可透過核能溝通加以改善。而核能發電須重新塑造形象，使民眾認為核能發電為對「環境友善」的能源，不會產生溫室氣體造成氣候變遷，可透過溝通將核能發電的勢傳遞民眾，宣傳放射性廢棄物是可以妥善被處理。核能溝通工作可透過文宣、影片溝通、與民眾面對面溝通、與媒體建立良好的關係、地方領袖意見、與利害關係人溝通、透過科技協助溝通等方法進行，世界各核能先進國家已竭力進行核能溝通。

除透過上述溝通方式外，會議中簡報者更提出「親近民眾，在地生活」，因為民眾不相信也不會聽專家的所談論的言論，但會相信鄰居的言論，可透過「親近民眾，在地生活」，有效傳播正確核能知識，避免民眾認知不足與知識不正確。另外，簡報者說明輻射風險知識應該是長期的公眾教育，而不是在有重大核能事故後才需要進行，應擴大溝通的對象，深入地方，厚植在地情感，建議可以利用下列 3 項方法進行：

- (1) 長期科普教育(學生、老師、一般民眾)，包含參訪核能設施、學校及社區演

講與協助編輯教科書。

(2) 深度經營媒體，利用媒體傳播正確知識。

(3) 擴大地方資源，利用地方資源幫助溝通。

溝通工作更不是短期努力即可達成效果，瑞典 **SKB** 進行選址過程中，亦透過長達 30 年的溝通努力才選出最終處置場，核能溝通工作應長期推動，點滴累積，方可達到溝通效果。瑞典 **SKB** 能順利選出深層地質處置場的原因如下：

(1) 資訊公開，瑞典資訊公開相當先進，除國家機密、企業秘密、個人資訊外，幾乎所有公共資訊經請求即可取得，故 **SKB** 人員、管制機關、地方政府、媒體、民眾間的溝通非常順暢的進行，是快速取得共識的原因。

(2) 地方政府之民主性，選定場址的過程中，都以地方政府的意思決定，中央政府並未直接干涉，僅提供相關安全性或環境的法律與規則。地方政府則在期待地方經濟復興的情況下，為了地方的安全與利益，以堅毅的立場與瑞典 **SKB** 不斷溝通。

(3) 對 **SKB** 員工之教育：**SKB** 員工在集會等對話場所，避免使用難以理解的技術用詞，**SKB** 教育員工如何讓參與者提問，對於艱難的問題不做模稜兩可的回答，可由相關人員擇日進行明快的回答(直接回答是否能做到)，此方法在長期的選址活動對促進互相信賴貢獻良多。

(4) 雇用當地民眾：雇用美容院的師傅、足球隊教練、小學老師等人際網路廣闊的社會人士，對地方上特有價值觀及判斷基準，與意見領袖有關之事都瞭若指掌，為順利推動溝通的動力。

(5) 眼見為憑之溝通：**SKB** 積極推動參觀各種設施，邀請政府官員、媒體、當地居民參觀未來將要建造的設施與相關實驗設施，以增進民眾對處置過程之安全性的共識。**SKB** 的技術員工平時就會準備因應參觀者的各項詢問，

在現場可參觀各項設施，且與技術員工的直接對話給參觀者帶來特別的安心感。

- (6) 與反核民眾之溝通：瑞典有許多反核團體，於集會時常提出尖銳的反對意見，SKB 員工積極聽取反核民眾意見，不斷與其溝通，對於詢問則正面接受並回答，保留項目日後必明快的回答。對於反核團體的真摯又認真的因應，影響相關利害關係人的想法，隨著共識提升，反對意見逐漸減少。

另本次研討會的特色國—英國，在核能溝通方面，由淺層地表處置設施選址過程中獲得到許多教訓，發現民眾的接受性為調查、選址及開發核能設施之重要因素。因此，在英國政府決定進行深層地質處置後，竭力進行民眾溝通，提供民眾對放射性廢棄物最終處置相關議題之瞭解，激發民眾提供意見以納入未來處置設施的設計中。

「信任」是民眾接受鄰近設施與否的關鍵，民眾對設施建造者的信任程度，直接影響協調過程的順利與否以及最後是否成功設廠，民眾的不信任，將導致雙方談判協商時，過程冗長且無效率。若要建立民眾對於科技風險認知的信任感，除了設置適當、專業的資訊平台，增加資訊的透明度之外，最重要的是於風險溝通與風險評估程序中讓民眾參與(public involvement)，無論是社會團體代表或民眾代表，越早讓民眾參與決策程序，除能顧及程序正義外，更能增加公眾對資料來源的信任，強化透明度，並持續性的建構公眾科技風險的信任。

### (三) 國際原子能機構 (IAEA) 放射性廢物處置人類闖入計畫

#### (Human Intrusion in the context of Disposal of Radioactive Waste , HIDRA )

將放射性廢物掩埋，使之隔離於人類生活圈，為目前國際公認最佳處理方式，但是掩埋環境亦可能被未來人類活動侵入而造成危害。國際相關核能組織，如國際放射防護委員會 (ICRP)、國際原子能機構 (IAEA)、經濟合作與發展/

核能機構（OECD/NEA），認為處置設施某些形式的無意闖入者，如於失去系統監管與失去記憶的情況，應該被考量其後果。無意闖入者要求反應於各國處置法規當中，然而各國有不同實施做法，各反應出部分安全案例(safety case)。

目前國際原子能機構(IAEA)已經開始啟動放射性廢物處置人類闖入計畫（Human Intrusion in the context of Disposal of Radioactive Waste，HIDRA），目的為定義可能人類入侵範圍，以增進各國考量之一致性，其預期成果可提供未來人類活動選址之考量，以及設計與接收標準內容之安全案例建議。放射性廢物處置人類闖入計畫（HIDRA）的目標是：

- (1) 分享考量未來人類活動的影響，主要為處置設施建設、監管時期與設施生命週期之人類入侵評估。
- (2) 提供關於技術、社會與設計之個別考量資訊，來支持各別場址建立情節之應用。
- (3) 描述人類活動之安全案例評估，有關選址、設計和廢物驗收標準等。
- (4) 做為公眾溝通資料，說明未來人類行為對處置設施之評估。
- (5) 可澄清國際原子能機構(IAEA)相關安全要求與指引有關未來人類活動與入侵評估。

放射性廢物處置設施生命週期可分為處置概念、選址、設計、興建、運轉、封閉與監管各時期，各階段安全案例分析，人類入侵皆為重要評估因素，並影響各階段之決策：

- (1)選址階段，關係到場址特徵之選擇，如自然資源、人口等。
- (2)設計階段，關係到廢棄物型態、處置容器之選擇。
- (3)運轉階段，關係到接收標準之考量。
- (4)封閉後階段，為主動監管與被動監管時期之重要考量因素。

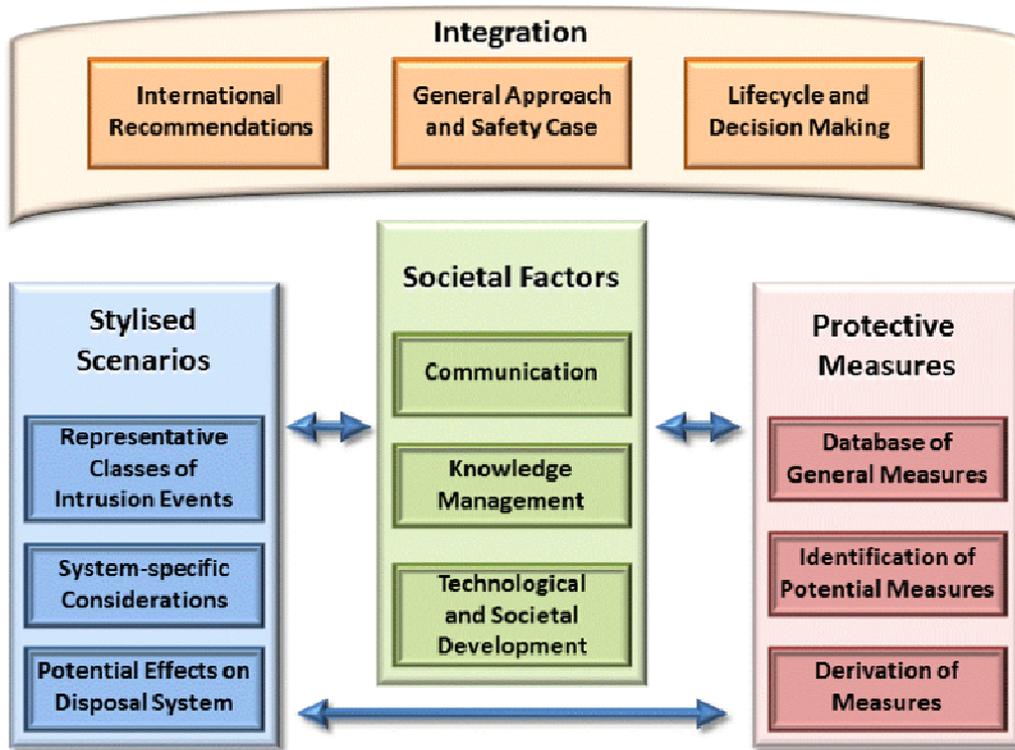


圖 12 放射性廢物處置人類闖入計畫 (HIDRA) 架構圖

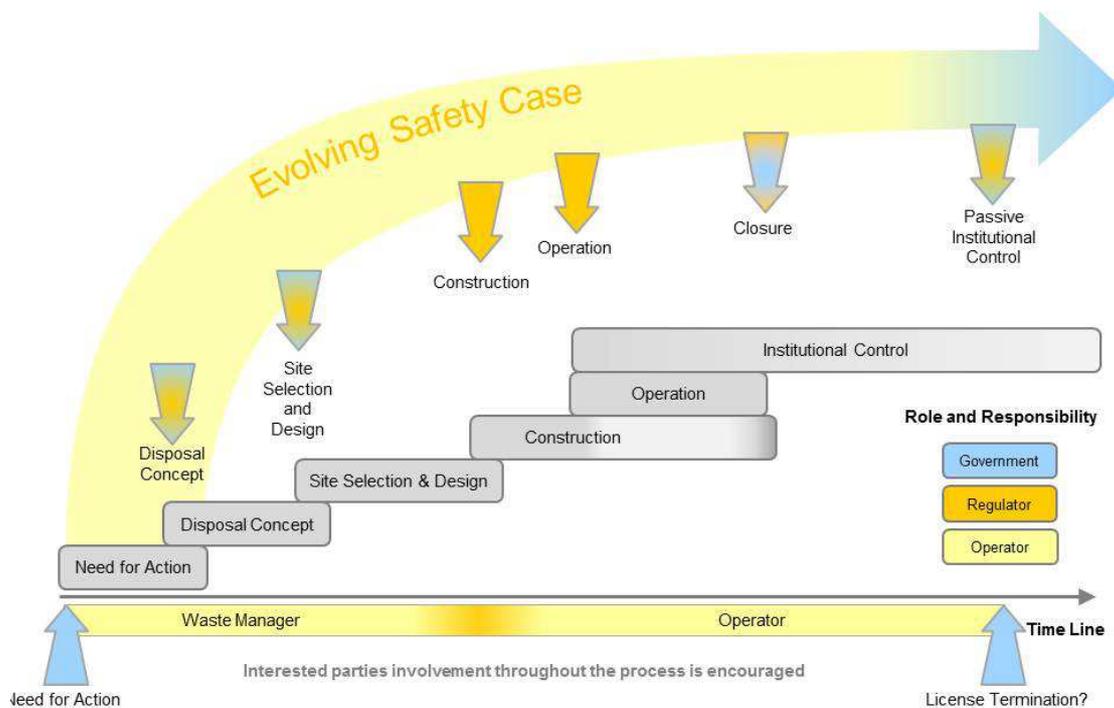


圖 13 處置計畫各階段角色與安全案例評估

#### (四) 深井處置的發展現況與技術(Deep Borehole Disposal)

高放射性廢棄物深井處置被視為放射性廢棄物最終處置的可能選項之一，但因深井鑽探技術無法突破而未能發展，但隨石油、天然氣及地熱產業對於鑽探技術逐漸精進，近期相關單位開始進行可行性研究。

其中美國國家科學院提出之深井處置概念，於結晶岩中鑽鑿約 5,000 公尺深井，將裝有用過核子燃料或高放射性廢棄物的廢棄物罐，放置於深井下部的 2,000 公尺，再使用膨潤土、瀝青或混凝土等材料密封鑽孔上部的 3,000 公尺，廢棄物將不可再取出。

深井處置概念為鑽孔底部的處置區隔離於正常地下水位下方，即使放射性核種最終自廢棄物罐滲出，並於鄰近的母岩傳輸，核種也不會回到地表(如圖 14、圖 15)。

美國能源部於 2009 年開始針對深井處置進行概念設計與相關的技術發展，並提出參考設計、工程障壁技術需求、操作概念、置放方式與地表設施等。有關 3 種置放方式為包含纜線置放(wireline)、盤管置放(coiled tubing)與鑽管置放(drill-string)。另外並研提深井處置場址篩選技術準則，主要為：(1)結晶岩深度不得距離地表超過 2 公里；(2)地質構造簡單；(3)地震與地質活動低；(4)地下水流活動低；地溫通量低；(5)兩個鑽孔需距離 200 公尺；(6)放射性或化學污染低的地表；(7)不得位於天然資源豐富之地區。

深井處置與深層地質處置概念相較，如處置大量廢棄物費用被認為較昂貴，但對於較少量之廢棄物而言，可能具有經濟優勢。美國能源部於 2014 年於「能源部管理之高放射性廢棄物與用過核子燃料處置選擇評估」報告中建議，能源部應「保留彈性」，可考慮將其所管理的較小類型廢棄物，以深井處置方式進行處置。

美國藍帶委員會(BRC)，於 2012 年 1 月建議，應進一步進行深井處置技術之研究，以利處置「本質上沒有再利用潛力的放射性廢棄物」之可能性研究。能源部將以 5 年 3,500 萬美元的計畫，確定深鑽井處置的可行性，其中將包含於母岩相當深度之水文地質、地球化學及地質力學的特性研究。美國正積極進行試驗井之開發，由桑地亞國家實驗室(SNL)執行，目前尚未有確定的場址，預劃於 2016 年末開始。如果此種方法成功的被驗證，美國能源部計畫建造一個直徑僅 22 公分的鑽孔，用來處理置放於華盛頓州漢福特核能設施相關高放射性廢棄物。

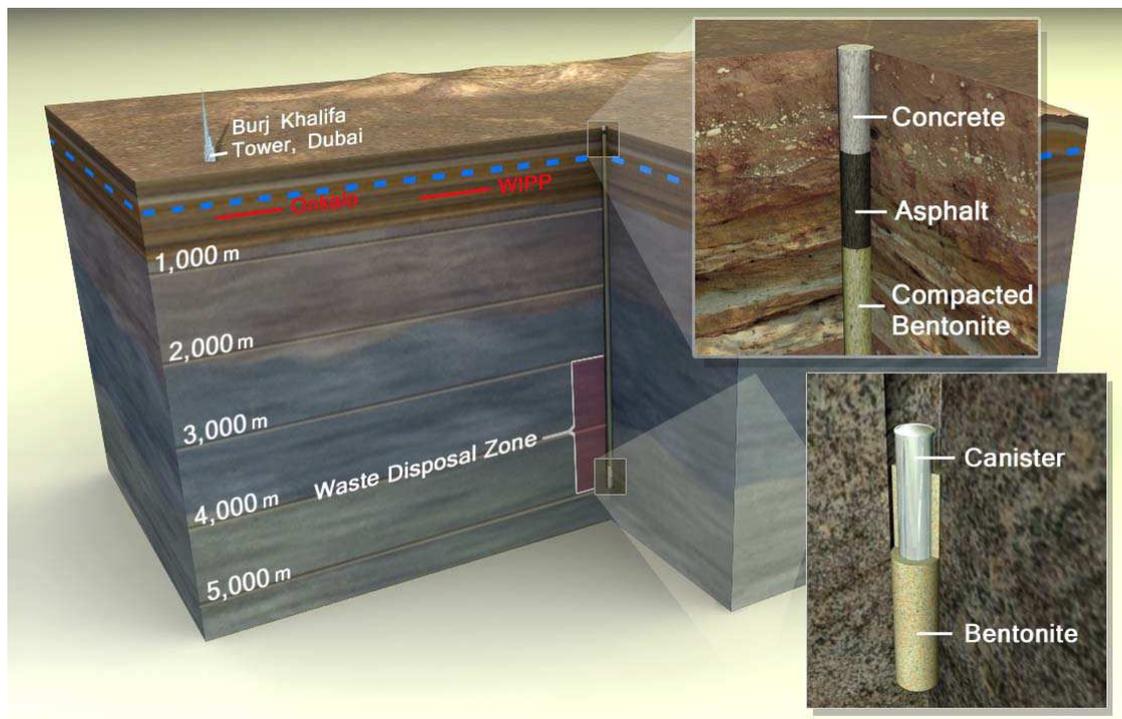


圖 14 高放射性廢棄物深井處置概念圖

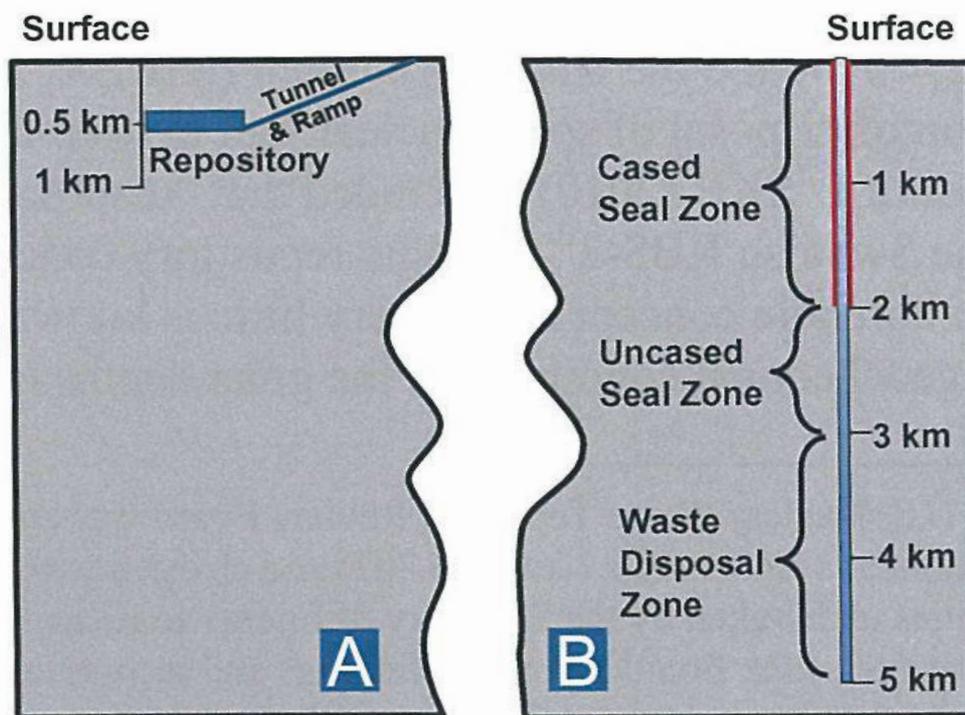


圖 15 高放射性廢棄物最終處置概念比較(A 深層地質處置；B 深井處置)

#### (六) WIPP 於 2014 年事故後處理現況

美國能源部(DOE)於會議專題場次，說明放射性廢棄物隔離先導型處置設施(WIPP)事故處理現況。美國放射性廢棄物隔離先導型處置設施 WIPP 屬美國能源部管轄。WIPP 主要用於處置美國國防工業所產生的超鈾放射性廢棄物，於 1999 年 3 月開始營運，接收來自 Los Alamos 國家實驗室運來的超鈾放射性廢棄物。WIPP 的超鈾放射性廢棄物處置區位於地下約 660 公尺，處置母岩為古老鹽層，截至 2014 年 2 月 10 日，WIPP 已接收處置約 9 萬立方公尺的超鈾放射性廢棄物。

2014 年 2 月地下廢棄物貯存區的偵測儀器發出空浮污染警示，經調查發現 WIPP 地下設施第 7 區的第 7 室為事件發生地點，有處置容器受熱破壞使頂蓋開裂的現象，其原因為處置桶內的含硝酸廢棄物與有機吸附劑(即貓砂)發生化學反應產生放熱作用(圖 16)。

國能源部(DOE)發布 2014 年 9 月發布 WIPP 復原計畫(Recovery Plan)。復原策略的 7 大關鍵要素為安全、規範、除污、通風、坑道穩定與可生活性、員工再訓練、廢棄源流管理等。重要措施包括：恢復坑道穩定作業、初步封閉發生事故的第 6 區與第 7 區的第 7 室、提升地下通風能力、完成事故調查工作、清理與維護坑道、完成地下除污工作、完成恢復運轉前的審查與核准作業。復原作業費用預估需 242 百萬美元。另外，初估需更換新的永久通風系統約 65~261 百萬美元之間；及整修排氣豎井約 12~48 百萬美元。恢復作業的時間規劃在 2016 年春，但會努力推動復原計畫，希望能提前完成復原作業。

DOE 已於 2015 年進行事故區域復原、恢復供電系統、地下通風系統裝設、重新建立安全管理系統、加強坑道穩定、更新安全分析文件、加強人員訓練，有關安全分析文件部分，更新或建立之文件約有 120 份。目前進度較預期落後，後續將持續進行重啟運作之文件審查、通風系統運作、重啟運作冷測試、承包商運作準備檢視、DOE 運作準備檢視，最後將重啟運作。



圖 16 WIPP 第 7 區第 7 室材料受熱溶化與處置容器頂蓋開裂情形

#### 四、建議事項

1. 藉由參與 WM2016 研討會之機會，掌握國際最終處置技術的發展現況及趨勢，汲取世界各核能先進國家處置計畫執行經驗，可做為我國最終處置計畫之策略發展與管制作業之參考。明年度的 WM2017 研討會將於美國鳳凰城持續舉辦，預定主題國家為日本，建議國內持續派員參加，以掌握國際間放射性廢棄物最終處置及放射性廢棄物管理及管制之動態。
2. 從參與本次 WM2016 研討會，發現世界核能先進國家皆成立放射性廢棄物最終處置專責機構，並說明該國之處置計畫現況，如瑞典 SKB、芬蘭 POSIVA、日本 NUMO、法國 ANDRA、瑞士 NAGRA、英國 NDA 及加拿大 NWMO 等，都規劃執行處置作業。我國經濟部已於 104 年完成「行政法人放射性廢棄物管理中心設置條例」草案，目前送請立法院審議中，建議政府應儘速推動，完成專責機構立法，建立合適組織架構，以利推動國內放射性廢棄物處置計畫。
3. 放射性廢棄物處置為高度鄰避設施，各國發展經驗顯示，建立以共識為基礎選址過程為計畫成功之要素，過程中建立地方民眾、地方政府、計畫執行單位、管制機關與中央政府之溝通管道，並透過資訊公開、可修正之決策過程，來取得各界共識，使選址作業能順利進行。建議處置計畫選址過程中，應採公開透明與強化公眾參與之選址策略。
4. 國內未來推動高放射性廢棄物最終處置選址作業，可參考類似日本高放射性廢棄物處置選址程序，包含篩選，初步調查及場址精查程序，且日本地質環境特性及相關選址考慮之排除因子亦類似，建議計畫執行單位密切了解日本執行推動經驗，適時回饋到國內選址作業參考。
5. 國際原子能機構（IAEA）放射性廢物處置人類闖入計畫（HIDRA），結合國際相關核能組織共同探討，目的為定義可能人類入侵範圍，以增進各國考量之一致性，可提供未來人類活動選址之考量。建議台電公司掌握關注此計畫之發展，並適時反映於處置計畫之相關設計。