

出國報告（出國類別：開會）

參訪芬蘭 Onkalo 高放射性廢棄物處置場 及瑞士 Grimsel 結晶岩地下實驗室

服務機關：經濟部能源署

姓名職稱：夏峪泉 組長

邱書雅 科長

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：廖英辰 處長

李在平 高放處置組組長

康景翔 安全評估專員

郭婷軒 安全評估專員

派赴國家/地區：芬蘭、瑞士

出國期間：114 年 6 月 4 日至 6 月 11 日

報告日期：114 年 7 月 30 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參訪芬蘭 Onkalo 高放射性廢棄物處置場及瑞士 Grimsel 結晶岩地下實驗室

頁數 52 含附件：☐是 ☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

夏峪泉/經濟部能源署/電力發展及管理組/組長/ (02)2775-7753

邱書雅/經濟部能源署/電力發展及管理組/科長/ (02)2775-7762

廖英辰/台灣電力公司/核能後端營運處/處長/(02) 2368-3419

李在平/台灣電力公司/核能後端營運處/高放處置組/組長/(02) 2368-3419

康景翔/台灣電力公司/核能後端營運處/高放處置組/安全評估專員/(02) 2368-3419

郭婷軒/台灣電力公司/核能後端營運處/高放處置組/安全評估專員/(02) 2368-3419

出國類別：☐1 考察 ☐2 進修 ☐3 研究 ☐4 實習 ☒5 開會 ☐6 其他

出國期間：114 年 6 月 4 日 至 114 年 6 月 11 日

派赴國家/地區：芬蘭、瑞士

報告日期：114 年 7 月 30 日

關鍵詞：用過核子燃料、最終處置、地下實驗室、處置場

內容摘要：

芬蘭與瑞士在高放射性廢棄物地質處置領域的推動經驗處於全球領先地位，芬蘭放射性廢棄物專責公司(Posiva Oy)已經建成全球首座高放射性廢棄物處置場並正在進行試運轉；而瑞士國家放射性廢棄物處置公司(Nagra)也已完成境內地質調查與選址作業，並於 2024 年底提出處置場的通用許可申請，後續將透過全國公投來決定。這兩國在技術實踐、公眾參與及法規推動上的成功經驗，都值得

得臺灣效法。本次出國計畫透過實際參訪，並與兩國專責機構交流，掌握國際經驗與最新發展，以期突破國內放射性廢棄物長期管理的困境。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網（<https://report.nat.gov.tw/reportwork>）

摘要

台電公司依法積極推動「用過核子燃料最終處置計畫」，已於 2017 年達成第一階段目標，目前正持續執行第二階段工作。為了順遂前揭工作目標推動及強化用過核子燃料的管理，並有效摶節後端基金及提升放射性廢棄物處置之各項技術發展效能，目前規劃採取多元的國際合作方式，與多國建立良好互動交流與吸取先進技術，並透過與各國專家訪談及實地參訪方式，汲取國際成功實務經驗。

芬蘭與瑞士在高放射性廢棄物地質處置領域的推動經驗處於全球領先地位，芬蘭放射性廢棄物專責公司(Posiva Oy)已經建成全球首座高放射性廢棄物處置場並正在進行試運轉；而瑞士國家放射性廢棄物處置公司(Nagra)也已完成境內地質調查與選址作業，並於 2024 年底提出處置場與封裝廠的通用許可申請，後續政府核可後，也將考慮是否進一步舉辦全國公投。這兩國在技術實踐、公眾參與及法規推動上的成功經驗，都值得臺灣效法。本次出國計畫將透過實際參訪，並與兩國專責機構交流，掌握國際經驗與最新發展，以期突破國內放射性廢棄物長期管理的困境。

目錄

行政院及所屬各機關出國報告提要	I
摘要	III
目錄	IV
圖目錄.....	V
表目錄.....	VIII
壹、出國目的.....	1
貳、出國過程.....	2
參、工作內容.....	3
一、 芬蘭.....	3
二、 瑞士.....	27
肆、綜合心得.....	50

圖目錄

圖 1：OLKILUOTO 遊客展示中心	13
圖 2：OLKILUOTO 交流會議聽取簡報	13
圖 3：團隊於 OLKILUOTO 核電廠留影	14
圖 4：芬蘭用過核子燃料最終處置計畫作業時程	14
圖 5：參與芬蘭 TRFD 試運轉計畫之國際機構	15
圖 6：芬蘭用過核子燃料最終處置三階段選址程序	15
圖 7：用過核子燃料中期貯存設施、低放處置場及高放處置場於 OLKILUOTO 半島相對位置 ..	16
圖 8：用過核子燃料中期貯存設施	16
圖 9：OLKILUOTO 低放處置場	17
圖 10：芬蘭 POSIVA 多重障壁系統(EBS)之示意圖	17
圖 11：OLKILUOTO 展示中心大型互動式投影螢幕	18
圖 12：芬蘭 2024 年之電力能源配比	18
圖 13：實際尺寸之銅殼廢棄物與裝載用過核子燃料的鑄鐵內襯	19
圖 14：用過核子燃料最終處置概念說明	19
圖 15：鑄鐵內襯、銅殼廢棄物罐及緩衝材料剖面模型	20
圖 16：縮小版處置系統模型	20
圖 17：OLKILUOTO 用過核子燃料中期貯存場模型	21
圖 18：各種不同放射性物質與屏蔽材質科學展示	21

圖 19：芬蘭 ONKALO 處置場示意圖	22
圖 20：芬蘭 ONKALO 封裝廠示意圖	22
圖 21：芬蘭 POSIVA 試運轉計畫	23
圖 22：芬蘭 ONKALO 封裝廠剖面圖	23
圖 23：講解地下處置場設施範圍及相關試驗	24
圖 24：團隊於全尺度模擬試驗前合影	24
圖 25：團隊於處置隧道合影	25
圖 26：處置孔鑽機(DHBM)	25
圖 27：POSIVA 於 2023 年首次利用 DHBM 鑽孔機完成的處置孔	26
圖 28：ONKALO 處置場周圍的岩石弱帶分布圖	26
圖 29：GTS 地下實驗室位於瑞士中部阿爾卑斯山脈內。	35
圖 30：GTS 地下實驗室設施範圍及各項試驗位置	35
圖 31：參與 GTS 相關計畫的 12 個國家與 22 個單位	36
圖 32：瑞士 NAGRA 選址計畫期程	36
圖 33：團隊與瑞士 NAGRA 專家合影	37
圖 34：團隊於 GTS 地下實驗室入口處合影	37
圖 35：介紹 GTS 地下實驗室設施	38
圖 36：介紹 GTS 地下實驗室地質環境	38
圖 37：全尺寸膨潤土塊體剖面展示	39

圖 38：於 GTS 地下實驗室取出的岩心樣本	40
圖 39：GTS 地下實驗室連通隧道開挖過程	40
圖 40：GTS 地下實驗室連通隧道	41
圖 41：瑞士地質圖	41
圖 42：瑞士地震分布	42
圖 43：雙方交流地質演化議題	42
圖 44：全尺寸處置系統模型	43
圖 45：瑞士水平處置概念示意圖	43
圖 46：瑞士 NAGRA 開發之膨潤土噴灑機	44
圖 47：HOTBENT 試驗說明	44
圖 48：HOTBENT 的廢棄物罐溫度及回填材料示意圖	45
圖 49：HOTBENT 的研究期程規劃	45
圖 50：MACOTE 試驗說明	45
圖 51：CFM 試驗說明	46
圖 52：CFM 試驗配置示意圖	46
圖 53：CFM 試驗的現地儀器	47
圖 54：CIM 試驗說明	47
圖 55：CRR 試驗說明	48
圖 56：CRR 試驗結果	48

圖 57：台電公司與瑞士 NAGRA 完成第一階段 MOU 簽署	49
--	----

表目錄

表 1：出國行程及工作內容	2
---------------------	---

壹、出國目的

台電公司依法推動「用過核子燃料最終處置計畫」，已於 2017 年達成第一階段目標，目前正持續執行第二階段工作。為了順遂前揭處置計畫工作目標推動及強化用過核子燃料（高放射性廢棄物）長期安全管理，並強化各項技術發展，目前積極參考國際經驗，採取多元的國際合作方式，與多國高放射性廢棄物處置專責機構建立良好互動關係，引進高放處置先進技術。近年來，已多次透過訪問、考察、簽訂雙方合作協定等實質交流方式，汲取國際成功實務經驗，並回饋於用過核子燃料最終處置計畫中。

此外，鑒於近期社會對高放射性廢棄物最終處置選址立法的殷切訴求，經濟部能源署已於去(2024)年受命主責推動用過核子燃料最終處置的立法作業，並在今(2025)年 4 月正式啟動專案辦公室。為拓展國內在高放處置選址及技術發展的國際視野，借鑒他國成功的經驗，以激發新思維，進而促進國內用過核燃料最終處置立法及民眾溝通作業，本次公務出國計畫，台電公司特別邀請經濟部能源署及國內多位專家學者，共組成 10 人團隊(以下簡稱臺灣團隊)赴芬蘭與瑞士，與在高放處置領域的推動經驗處於全球領先地位之芬蘭與瑞士專責機構進行實質交流，並實際參訪芬蘭 Onkalo 高放射性廢棄物處置場及瑞士 Grimsel 結晶岩地下實驗室，以了解國際現況與最新技術發展。

芬蘭與瑞士在放射性廢棄物管理及處置計畫具技術實踐、公眾參與及選址推動上的成功經驗，值得臺灣參照及效法。為此，本次出國計畫將透過實際參訪，並與兩國專責機構交流，掌握國際經驗與最新發展，發揮公務出國之效益。

貳、出國過程

臺灣團隊自 114 年 6 月 4 日出發，迄 6 月 11 日返國，共計 8 日。拜訪芬蘭放射性廢棄物管理專責公司(Posiva)之全資子公司 Posiva Solutions 公司及瑞士國家放射性廢棄物管理專責機構 Nagra，並實地參訪芬蘭 Onkalo 高放射性廢棄物處置場及瑞士 Grimsel Test Site 結晶岩地下實驗室。工作內容如表 1 所示：

表 1：出國行程及工作內容

日期	地點與行程	工作內容
06 月 04 日(三)	臺北→韓國仁川→芬蘭	往程
06 月 05 日(四)	赫爾辛基→勞馬	
06 月 06 日(五)	勞馬→赫爾辛基	拜會芬蘭放射性廢棄物專責公司 (Posiva) 之全資子公司 Posiva Solutions 公司，及參訪 Onkalo 高放射性廢棄物處置場 (公畢後即前往下一行程地點)
06 月 07 日(六)	赫爾辛基→蘇黎世	路程
06 月 08 日(日)	蘇黎世→古坦嫩	路程
06 月 09 日(一)	古坦嫩	地下實驗室合作項目籌備會議
06 月 10 日(二)	古坦嫩→蘇黎世→英國 倫敦→臺北	拜會瑞士國家放射性廢棄物管理專責機構 Nagra，及參訪 GTS 地下實驗室 (公畢後即搭機返程)
06 月 11 日(三)		返程

參、工作內容

一、芬蘭

本次參訪由 Posiva Solutions 安排，定於 6 月 6 日上午於 Olkiluoto 遊客展示中心會面(如圖 1)，芬蘭 Posiva Solutions 總裁 Mika Pohjonen 親自接待，並有多位專家同行協助說明。雙方簡單問候與交換名片後即開始進行會議，芬蘭首先就能源策略、Olkiluoto 核電廠現況及 Onkalo 高放射性廢棄物處置計畫等議題進行專題簡報(如圖 2)，接著雙方就放射性廢棄物管理及處置等議題交換意見，我方特別提出希望芬蘭分享有關高放處置公眾溝通成功的經驗，芬蘭的專家們也不吝對臺灣現況提出許多建議，包括如何建立地方關係，並透過與在地產業結合，創造互信基礎，讓公眾感到安全與瞭解深地質處置之內涵等。

上午會後臺灣團隊與 Posiva Solutions 團隊於 Olkiluoto 核電廠一、二、三號機前留影(如圖 3)。下午行程即開始參訪 Onkalo 高放射性廢棄物處置場之地表用過核子燃料封裝廠(以下簡稱封裝廠)與地下處置設施，然而處置場屬於核安全管制區域，進入場域禁止攜帶任何電子設備，連戒指、耳環、手錶等隨身金屬物品都必須移除或用膠帶封住，避免任何掉落遺留在設施內的疑慮。由於管制區內無法攝影，本報告將截以 Posiva 網站及 Posiva Solutions 會後提供之資料進行說明。

芬蘭放射性廢棄物專責公司 Posiva Oy 及高放處置計畫

芬蘭對於高階放射性廢棄物處置場的選址程序展現出科學理性與民主程序並重的典範，芬蘭國會於 2001 年核定「放射性廢棄物管理原則性決策」(Decision-in-Principle, DiP)，確認放射性廢棄物採地質處置是最佳方案，也符合當代處理放射性廢棄物的世代正義。

芬蘭放射性廢棄物專責公司 Posiva Oy (以下簡稱 Posiva)，負責最終處置場的選址、規劃、建造、運轉和研發，也高度重視資訊公開與公眾溝通，視其為建立社會信心的關鍵。目前 Posiva 擁有約 90 名正式員工專職推動及處理芬蘭高放射性廢棄物處置相關工作，人員構成主要由地質、物理和工程三大專業領域所構成，自 2001 年到 2024 年期間，投入總計約 16,000 人年的人力與精力於推動芬蘭高放射性廢棄物處置計畫。近年來，隨著 Onkalo 高放射性廢棄物處置場工程建設需求，高峰期曾有多達 300 名人員同時參與建設工程與相關作業。由於處置場未來的營運期程可能長達百年之久，Posiva 的人力編制仍持續擴充中，目前已與多所學校合作，開起跨領域學習課程，及提供參訪、見習、實習等學研合作方案，策進各項活動及年輕人才培育，同時也優化經營模式，促進跨世代員工之間的理解與合作，實現企業的永續經營，確保這一逐漸成長的產業能夠長遠發展(如圖 4)。

Posiva 為了強化國際處置技術服務推廣業務，於 2016 年 6 月另成立 Posiva Solutions Oy 全資子公司，基於 Onkalo 高放射性廢棄物處置場長期的研究、開發、設計、授權和建設等成果及專業知識，提供利害關係人參與及公眾接納(Stakeholder Engagement and Public Acceptance)、處置策略及管理計畫(Disposal Strategy and Programme Management)、處置場選址及場址特性調查與監測(Selection, Characterization and Monitoring of a Disposal Facility Site)、工程障壁系統設計(Engineered barrier system design)、地下處置場及其機械設備(Underground Disposal Facility and Machinery)、封裝廠及其他地表設施(Encapsulation Plant and other Above Ground Facilities)、長期及運轉安全(Long-term and Operational Safety)、成本估算與最佳化(Cost Estimates and Optimisation)等與高放射性廢棄物處置相關的客製化國

際合作專案服務。

Posiva Solutions 現有正式員工 7 人，包含 1 位總裁、2 位高級專案經理、1 位高級顧問、1 位顧問及 2 位專家，目前主要辦理芬蘭試運轉計畫(Trial Run of Final Disposal, TRFD)之國際合作及實體工作會議籌辦。台電公司於 2022 年加入 TRFD 試運轉計畫，並依規劃期程，已於去(2024)年派員參加第一次實體工作會議，就運輸與封裝作業進行了解，並實地參訪處置相關設施，完整了解芬蘭高放最終處置作業之規劃情形，後續台電公司將持續配合 TRFD 試運轉計畫持續派員赴芬蘭學習(如圖 5)。

芬蘭自 1970 年代開始最終處置的相關研究，1983 年訂定用過核子燃料採深地層處置的相關政策與選址計畫，規劃在 2000 年以前完成境內所有潛在場址的評估以確定場址，並開始在芬蘭境內進行大量地質調查。先是於 1986 年提出 5 處潛在候選場址，分別為 Eurajoki、Sievi、Kuhmo、Loviisa 與 Äänekoski 共 5 個市鎮，並於 1993 年接續啟動場址的詳細調查工作，然而由於部分地方政府及地方環保團體持反對意見，選址計畫一度被受質疑，為了解決此瓶頸，芬蘭境內的 2 家核能發電業者芬蘭電力公司(Teollisuuden Voima Oy)及富騰能源公司(Fortum Oy)於 1995 年共同成立了 Posiva，除了接續詳細的場址特性調查計畫外，更是以獨立且環保的角度與社會進行溝通，此種多元溝通方式逐步讓地方政府及社區了解及認識高放處置的目的及其安全性。在經過 Posiva 近 20 年的場址詳細調查、芬蘭輻射及核能安全局 (Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK) 的嚴格審查、及與市政府/民眾長期溝通後，除了確認該潛在相關候選場址建立處置場可符合對人員與環境的長期安全外，亦贏得了民眾信任，以原具有核電廠為主的 Eurajoki 及 Loviisa 地區民眾支持度極高。其中以 Olkiluoto

所在地的 Eurajoki 市政府最早於 2000 年 1 月同意了該申請，芬蘭政府遂於 2000 年 12 月批准，最終於 2001 年 5 月獲得芬蘭國會授權可在 Onkalo 啟動深層地質最終處置場計畫。

2004 年，Posiva 於 Olkiluoto 開始建造場址型地下實驗室，深入約地下 450 公尺，以調查此處置場的詳細場址特性及取得地質環境數據，並驗證處置設計工程系統以及安全評估方法的重要設施。場址型地下實驗室除作為技術研發與驗證之外，亦可作為公眾溝通與建立社會共識的重要媒介(如圖 6)。

Olkiluoto 半島長度約為 3 km、寬度約為 1 km，全島皆由 TVO 電力公司擁有，島上具有 3 個機組的 Olkiluoto 核電廠，其中，1 號機及 2 號機為沸水式反應爐(Boiling Water Reactor, BWR)，分別於 1978 年及 1980 年開始運轉；3 號機組則是第一個歐洲壓水式反應爐(European Pressurized water Reactor)於 2023 年才正式商轉發電。另外，該島內另設有用過核子燃料中期貯存設施、低放處置場及即將完成之高放處置場(如圖 7)。

用過核子燃料中期貯存設施鄰近 Olkiluoto 核電廠三座核電廠，該設施採濕式貯存方式集中放置已存放在核電廠用過燃料池中一段時間之用過核子燃料，因已經過一段時間之存放，該用過核子燃料特性衰變熱及輻射強度已降低至可移動至中期貯存設施中進行集中貯放，可提供核電廠用過燃料池足夠的貯存空間及降低電廠內之輻射影響(如圖 8)；Olkiluoto 低放處置場已於 1987 年 11 月開始興建，1991 年 5 月完工，於 1992 年 5 月開始運轉，主要存放 Olkiluoto 核電廠運轉期間所產生的中低放射性廢棄物，目前該處置場刻正規劃擴建工程，用以處置電廠除役廢棄物，預計於 2030 年間完成(如圖 9)。

Posiva 採用與瑞典核子燃料與放射性廢棄物管理公司 SKB 相同之多重障壁概念(Multibarrier concept)，包括工程障壁(Engineered barrier)及天然障壁(Natural barrier)，確保處置設施長期安全，並爭取足夠的時間讓放射性物質衰變，包括銅殼廢棄物罐 (canister)、膨潤土緩衝回填材料 (buffer) 以及隧道封塞(plug)等工程組件，每一個系統元件都具有特殊的設計與安全功能，並以結晶岩為母岩 (host rock) 作為最後的防線，即使有放射性核種外釋至母岩環境，由於結晶岩的低滲透性和高吸附能力，它能有效限制放射性核種的遷移速度，並將其吸附在岩體中。此外，結晶岩在地質時間尺度上的高度穩定性，能確保處置庫在未來數十萬年間的隔離功能不受地質活動的顯著影響。透過這些天然與工程屏障的協同作用，可將放射性核種長期隔離於生物圈之外，確保人類與環境的安全(如圖 10)。

參訪芬蘭 Olkiluoto 放射性廢棄物處置展示中心

芬蘭的 Olkiluoto 放射性廢棄物處置展示中心(以下簡稱展示中心)是該國核能發電及放射性廢棄物科普教育的重要場所，整個展示中心採沉浸式設計，不僅能讓參訪者深入了解芬蘭的核能發電技術與放射性廢棄物管理方式，更能從中看見透明的資訊傳遞對於建立社會信任所扮演的核心角色，可讓參訪者能親身體驗及了解最終處置設施的安全考量及世代正義的目標。

展示中心的參訪首先從大型互動式投影螢幕開始，藉由操作互動式投影螢幕，介紹芬蘭核電的營運概況與電力市場之間的關聯(如圖 11)。芬蘭電力市場採用「成本價供電」的制度，各電力公司非以營利為導向，在追求電力穩定前提下維持各發電之效能(如圖 12)。如深夜時段電力需求下降時，為了維持負載平衡，除了電網端提供免費電價以補貼電力用戶外，核電機組也會配合調整發電功率，這是因為

Olkiluoto 3 號機組的新型設計，得以讓 Olkiluoto 核電廠於 2024 年期間可採非全功率運轉。芬蘭電力市場的高度彈性與核電機組在實務上也具備負載調節能力，這對整體電網穩定與再生能源比例提高後的調配彈性而言相當重要，同時也說明芬蘭政府與電力業者對電力市場與發電系統的深度整合。

等比例製作的銅殼廢棄物罐與裝載用過核子燃料之鑄鐵內襯展示樣品(如圖 13)是展示中心的一項重點，透過實際觸摸與觀察，可以親身感受銅製的特殊容器如何提供用過核子燃料的圍阻功能，也實際了解廢棄物罐量體的尺寸；另一個展示亮點則是模擬深入地下處置場的電梯設施，透過擬真的電梯震動與觀景窗動畫，模擬自地表深入數百公尺深處的地下旅程，彷彿親身進入地下處置設施中，走出電梯後便進入模擬地下坑道空間，包含縮尺度之處置系統模型及工程障壁剖面示意圖(如圖 14、圖 15)，可進一步瞭解各物件功能與構造。

此外，展示中心也提供了可在桌上展示的縮小版高放處置系統模型(如圖 16)，模型安裝步驟依序「燃料束→鑄鐵內襯→銅殼廢棄物罐→緩衝/回填材料→母岩」等組件與構造，可供參訪者自行組裝，可強化了解高放處置多重障壁的概念及整個處置流程，是和民眾溝通最直接的方式。

除了處置相關的介紹外，展示中心亦有用過核子燃料中期貯存設施模型(如圖 17)、日常物品與放射性物品之輻射量測轉盤(如圖 18)、腳踏車發電體驗區及 Olkiluoto 3 號反應爐模型展示區，各項展示設備皆具有向普通大眾傳播原子能科學知識和概念。

芬蘭展示中心的設計與呈現方式，不僅讓人可以深入理解放射性廢棄物最終處置工程的先進技術，也親身體驗了 Poissa 在推動高放處置計畫的溝通策略與管理機制上的完善。透過展示中心多樣實體展

示、互動模擬及身歷其境的體驗設計，成功將複雜的原子能科學及應用議題轉化為大眾易於理解與接受的日常知識，顯示 Posiva 在大眾科學教育的成功，這種展示方法與溝通模式並重的管理思維，值得我國未來在推動用過核子燃料最終處置過程中參考。

參訪 Onkalo 用過核子燃料封裝廠與地下處置設施

芬蘭為高放處置先進國家，其最終處置設施規劃於 2025 年正式營運，將成為世界第一座用過核子燃料最終處置場。本次參訪行程包含地表封裝廠各操作區域及地下處置場，深入探討用過核子燃料運輸流程、接收標準、封裝作業、及封裝廠設計與建造相關作業(如圖 19)。

Posiva 於 2012 年提出處置場的建造申請，2016 年底開始進行建造並首先進行豎井(Shaft)、斜坡道(Ramp)與部分中央區(Central Area)的開挖，2021 年中開始進行第一批的處置隧道(Disposal Tunnel)開挖，至 2022 年底完成 5 條總長約為 1,700 m 之處置隧道開挖作業；封裝廠則於 2019 年開始建造，於 2022 年完成外部結構體的興建，封裝廠的長度約為 72 公尺、寬度約為 40 公尺、地表占地面積約為 3,000 平方公尺，整體樓板面積達 11,500 平方公尺(如圖 20)。2023 年至 2024 年就製造檢查、工廠驗收測試、現場安裝檢查、現場驗收測試、設備/系統調試等設備進行安裝與測試，並於 2024 年 8 月開始執行封裝廠及處置場試運轉計畫，相關作業已於本(2025)年初完成(如圖 21)。

封裝廠與處置場屬於高度控管的核子安保區域，已完成全場保安計畫建置並開始實施，所有人員在進入封裝廠前須經過嚴格的安保與防護措施，進入時須穿著專用工安服、鞋、帽，並交出手機、手錶等隨身物品，甚至連無法取下的戒指也需以膠帶遮蓋，顯示其對物品控管與放射安全的極高要求。

封裝廠於今(2025)年年初剛完成試運轉測試，尚未實際封裝具有放射性之用過核子燃料，故現場也未有放射性風險，因此有機會參觀整個設施空間，包含未來營運後將有大量放射線的區域。

封裝廠內部約可概略分為 5 個部分，其對應之項目與流程包括(1)運送護箱(Transport Cask) 接收；(2)用過核子燃料取出、乾燥及裝載至廢棄物罐；(3)廢棄物罐檢整、摩擦攪拌銲接 (Friction stir welding) 與表面劑量量測；(4)廢棄物罐暫貯；(5)廢棄物罐藉由豎井運送至地下處置場 (如圖 22)。

Onkalo 地下處置場共有 4 個豎井，其功能分別包括人員上下運送、廢棄物罐運送至地下處置場、新鮮空氣引入、廢氣排出，而其他工程障壁材料、開挖過後的石材、建造過程產生的廢棄物等則全藉由斜坡道進行運送，而廢棄物罐完成封裝與檢測之後，將直接從封裝廠下方其中 1 個豎井直接輸送至地下處置場中，此設計可大幅降低廢棄物罐在地表上運送過程所造成的影響(包括輻射防護、運輸設計、批次運送規劃、經濟考量等)，進而提升廢棄物罐的輸送效率。目前的封裝廠設計 1 次只填充並裝載 1 個廢棄物罐，而廢棄物罐的外徑皆相同，但長度及鑄鐵內襯則依據用過核子燃料的來源為 BWR 或 PWR 進行相對應之調整。

來到地下處置場後，需轉乘工程車前往處置場試驗隧道，芬蘭專家完整介紹目前地下處置場設施範圍及相關試驗，亦強調處置場周圍區域仍有大型破裂帶與斷層構造存在，但透過詳盡的地質調查，可以精準定位這些構造的位置，在進行處置隧道的設計時就可以有效避開這些不利區段，並不會影響整個處置場的安全，並指出隧道壁面經由地質師清晰標示出地層裂隙的位置，黃色與紅色噴漆標示讓人一目了然

然，展現地下地質資訊的透明化。目前持續進行地球物理的探測，並搭配水文地質試驗與觀測(如圖 23)。

接著來到全尺度模擬試驗隧道，該試驗規劃將執行 10 年以上，透過加熱單元模擬廢棄物罐衰變熱，以探究高溫的廢棄物罐對於緩衝材料熱-水-力-化等材質特性變化及處置母岩的影響。此試驗已部署超過 700 個感測器，長期監測試驗溫度、壓力與濕度變化，後續將透過驗證模型預測與分析，確認模擬結果與實際環境的一致性(如圖 24)。

最後來到真正的處置隧道，現場可見正在進行多項調查與安全項目測試(如圖 25)。芬蘭專家強調在確認處置孔的合適性前，仍需先進行導孔鑽鑿確認，並進行各項地球物理與水力試驗，確認導孔周圍無不利處置的裂隙構造後，再利用處置孔鑽機(Deposition Hole Boring Machine, DHBM)進一步鑽孔，以完成最終處置孔的建置(圖 26、圖 27)。同一時刻，也看到處置隧道另一側正在進行的大型鑽探工程，該工程是針對處置場周圍的潛在大型破裂帶與斷層構造進行鑽探，用以評估是否影響處置系統，此外鑽探過程中會加入特殊示蹤劑，以確認該斷層構造對於地下水文的影響(如圖 28)。

這次透過實際參訪封裝廠與地下處置設施，見證 Posiva 在工程設計、運輸、安全控管等方面展現出高度的科學化與制度化操作模式。封裝作業中對每個流程的完善設計與精密檢查，凸顯其對科學及安全的極致重視；而處置隧道內地質調查及大型試驗研究，則為後續工程驗證及安全評估提供了關鍵數據。芬蘭在高階放射性廢棄物最終處置上的實務成果與制度安排，已使其成為全球核能管理的領跑者。藉由嚴謹的科學評估、精密的工程設計與完善的制度監督，來有效控制及管理風險更是取得民眾信任的基礎。芬蘭地質條件雖與臺灣不

同，但其經驗卻正好是臺灣未來制定核能政策與廢料處置策略時，應當深入借鑑與思考的核心原則。



圖 1：Olkiluoto 遊客展示中心



圖 2：Olkiluoto 交流會議聽取簡報



圖 3：團隊於 Olkiluoto 核電廠留影

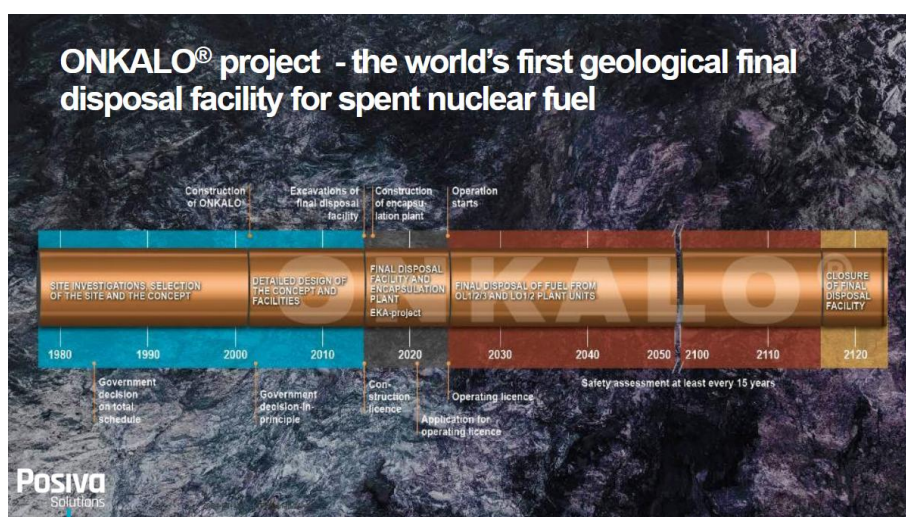


圖 4：芬蘭用過核子燃料最終處置計畫作業時程

資料來源：Posiva Solutions 提供



圖 5：參與芬蘭 TRFD 試運轉計畫之國際機構

資料來源：Posiva Solutions 提供

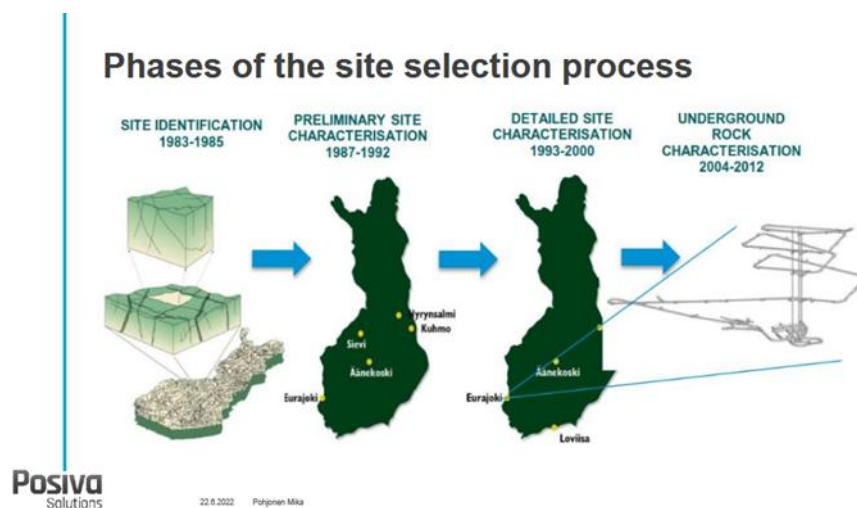


圖 6：芬蘭用過核子燃料最終處置三階段選址程序

資料來源：Posiva Solutions 提供



圖 7：用過核子燃料中期貯存設施、低放處置場及高放處置場於

Olkiluoto 半島相對位置

資料來源：Posiva Solutions 提供



圖 8：用過核子燃料中期貯存設施

資料來源：Posiva Solutions 提供

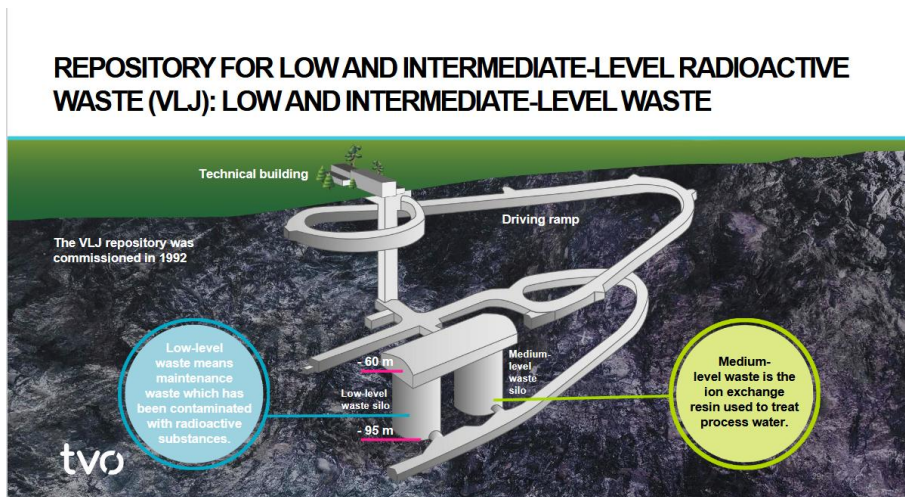


圖 9：Olkiluoto 低放處置場

資料來源：Posiva Solutions 提供



圖 10：芬蘭 Posiva 多重障壁系統(EBS)之示意圖

資料來源：Posiva Solutions 提供

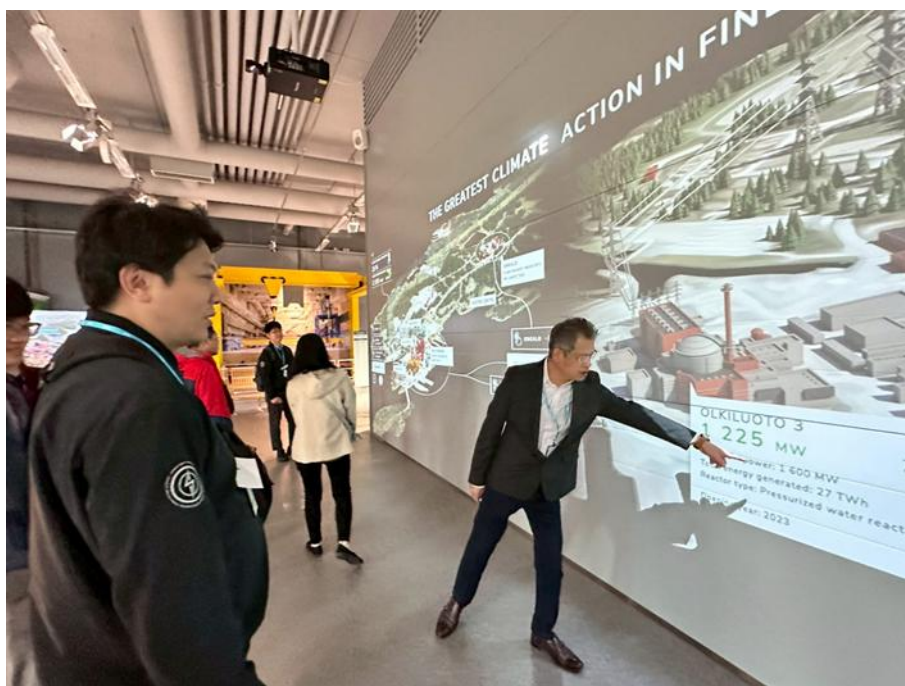


圖 11：Olkiluoto 展示中心大型互動式投影螢幕



圖 12：芬蘭 2024 年之電力能源配比

資料來源：Posiva Solutions 提供



圖 13：實際尺寸之銅殼廢棄物與裝載用過核子燃料的鑄鐵內襯

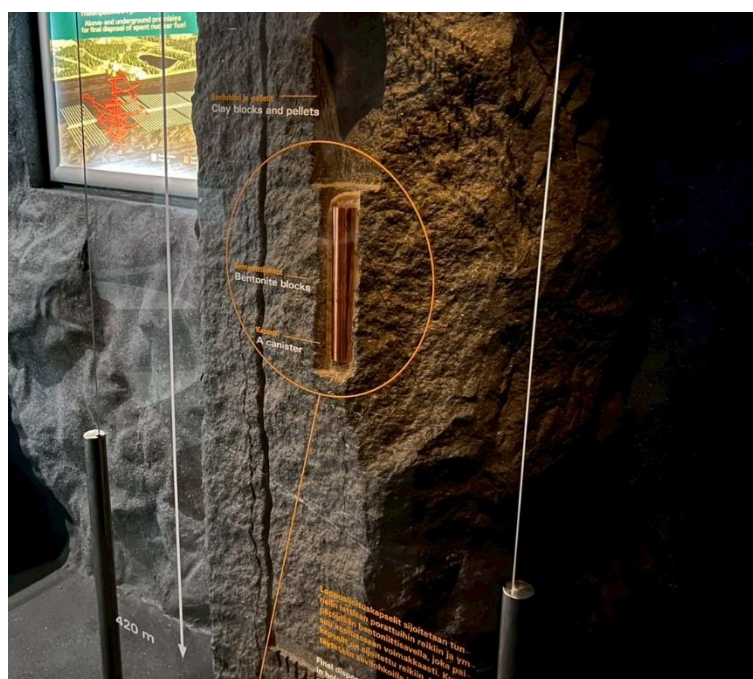


圖 14：用過核子燃料最終處置概念說明



圖 15：鑄鐵內襯、銅殼廢棄物罐及緩衝材料剖面模型



圖 16：縮小版處置系統模型



圖 17：Olkiluoto 用過核子燃料中期貯存場模型

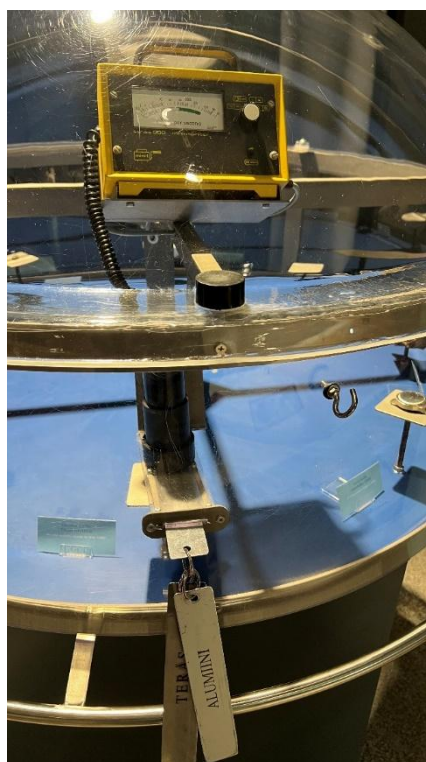


圖 18：各種不同放射性物質與屏蔽材質科學展示

Onkalo disposal facility

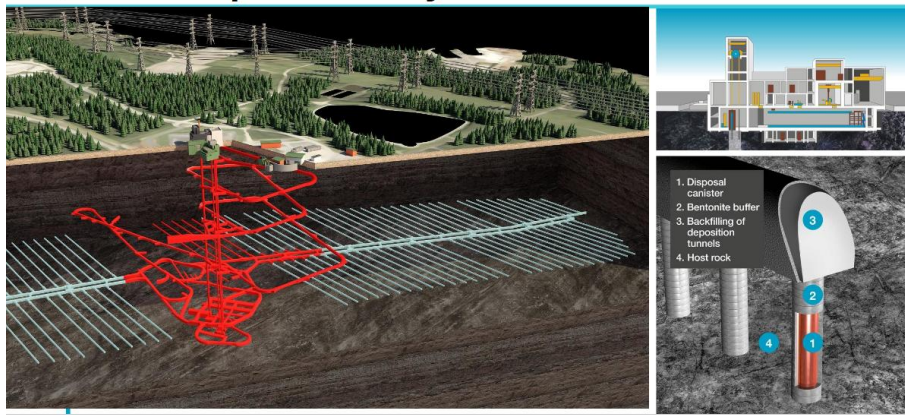


圖 19：芬蘭 Onkalo 處置場示意圖

資料來源：Posiva Solutions 提供



圖 20：芬蘭 Onkalo 封裝廠示意圖

資料來源：Posiva Solutions 提供

Trial Run of Final Disposal in 2024

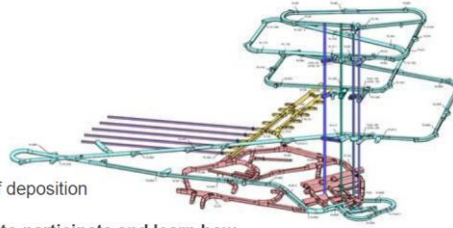
[See the video!](#)

The Trial Run is the final phase of Posiva's preparing for the operation of the DGR. It will be carried out with the methods, procedures, equipment and personnel to be used in the operation phase. It includes:

- fuel transports
- encapsulation
- final disposal
- retrieval of a "damaged" canister back to the encapsulation plant

It consists of 4 canisters and about 70 m of deposition tunnel as well as the plug for the tunnel.

There is also an opportunity for WMO's to participate and learn how the entire disposal process functions. Discuss with Posiva's experts and gain insights to benefit own national program.



Posiva
Solutions

2024-01-18 Pohjonen Mika

圖 21：芬蘭 Posiva 試運轉計畫

資料來源：Posiva Solutions 提供

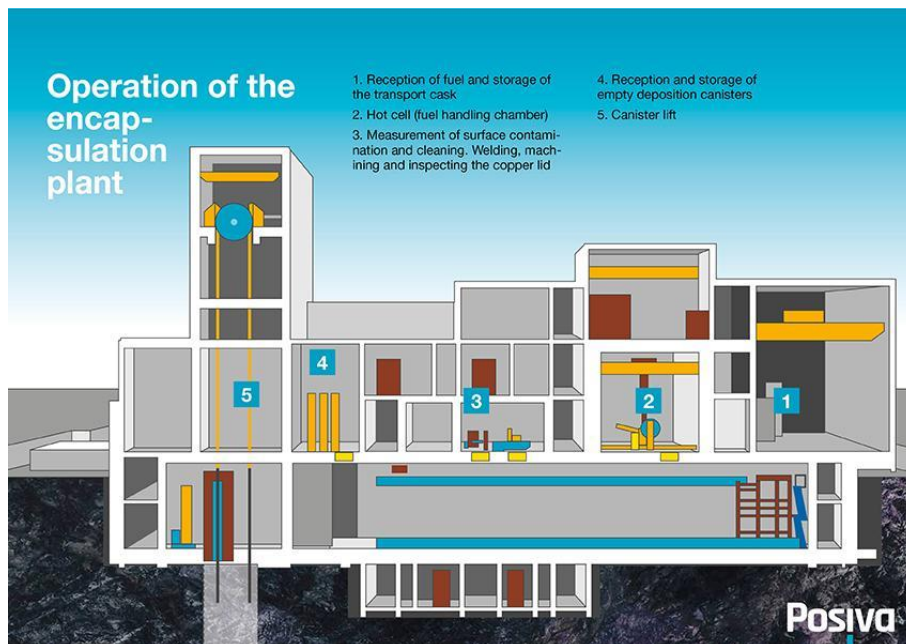


圖 22：芬蘭 Onkalo 封裝廠剖面圖

資料來源：Posiva Solutions 提供



圖 23：講解地下處置場設施範圍及相關試驗



圖 24：團隊於全尺度模擬試驗前合影



圖 25：團隊於處置隧道合影



圖 26：處置孔鑽機(DHBM)

資料來源：<https://www.posiva.fi/en/index.html>



圖 27：Posiva 於 2023 年首次利用 DHBM 鑽孔機完成的處置孔

資料來源：

<https://www.neimagazine.com/news/drilling-of-first-test-deposition-holes-completed-at-onkalo-used-fuel-storage-10622637/?cf-view>

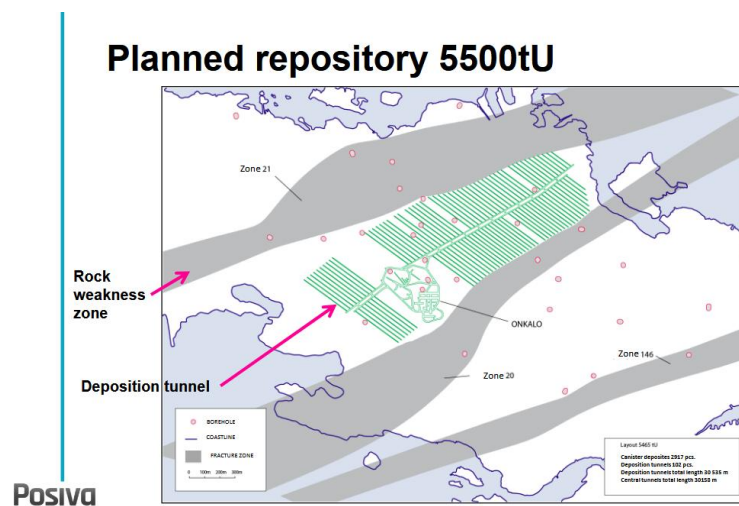


圖 28：Onkalo 處置場周圍的岩石弱帶分布圖

資料來源：Posiva Solutions 提供

二、 瑞士

瑞士 Grimsel 地下實驗室介紹

瑞士的 Grimsel 地下實驗室(Grimsel Test Site, GTS)位於瑞士東南方伯恩高地(Bernese Oberland)阿爾卑斯山脈區域，海拔約 1,730 m，設施建於 1984 年，原為水力發電用途所建之工程隧道，後經擴建為可供放射性廢棄物處置研究的大型實驗室，屬於泛用型地下實驗室(如圖 29)。

GTS 地下實驗室整體設施長度約為 1 公里，由中央主隧道向兩側延伸出不同議題之試驗區域，範圍橫跨深度約 400 m 至 450 m (如圖 30)。GTS 地下實驗室營運至今已超過 40 年，由瑞士國家放射性廢棄物處置公司(Nagra)負責管理的結晶岩體測試及放射性廢棄物地質處置研究與開發中心，主要研究議題包括：膠體與放射性核種遷移、緩衝與回填材料性能、熱力-水力-力學及化學之耦合效應(coupled Thermal-Hydrological- Mechanical-Chemical, T-H-M-C)、裂隙滲流行為等大型現地試驗及性能評估(Performance Assessment)，目前與其合作的國家包含美國、加拿大、英國、法國、瑞典、芬蘭、德國、西班牙、捷克、韓國、日本等 12 個國家，共 22 個放射性廢棄物專責機構及相關單位組織參與(如圖 31)。

瑞士國家放射性廢棄物處置公司 Nagra 介紹

瑞士國家放射性廢棄物處置公司 Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle)負責進行最終處置作業，Nagra 係由瑞士政府與 4 家核能發電業者於 1972 年共同成立。目前 Nagra 約有 140 位員工，其中一半為地質、地球物理、土木工程、輻射防護、

廢棄物管理、安全評估等工程技術人員；另一半則包含行政、財務、民眾溝通、計畫管理等財務行政人員。

Nagra 總部位於瑞士巴登(Baden)，並擁有兩座不同岩性之泛用型地下實驗室，分別是 GTS 地下實驗室和 Mont Terri 地下實驗室。Mont Terri 地下實驗室坐落在瑞士西北方，自 1996 年起投入營運，深度約地下 300 公尺，其主要圍岩是黏土岩。

Nagra 針對放射性廢棄物最終處置主要提出了 3 個階段的地質處置設施階段式計畫(Sectoral Plan for Deep Geological Repositories)(如圖 32)，並於 2008 年 4 月由瑞士聯邦能源辦公室(Swiss Federal Office of Energy, SFOE)核准，包括：

(1) 第 1 階段：潛在場址評選(2008 年至 2011 年)

Nagra 於 2008 年提出 6 個可作為放射性廢棄物處置的潛在場址，分別為 Zürich Nordost, Jura Ost, Südranden, Nördlich Lägern、JuraSüdfuss 與 Wellenberg，這 6 個場址，其中，Zürich Nordost、Nördlich Lägern、Jura Ost 的地質條件可適用於高放處置場。瑞士 Nagra 於 2011 年獲准針對這 6 個潛在場址進行調查。

(2) 第 2 階段：建議候選場址(2011 年至 2018 年)

Nagra 經數年的初步調查後，於 2015 年擇定 Zürich Nordost 及 Jura Ost 可分別作為高放及低放場址。瑞士聯邦核子安全檢查署(Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate，ENSI)於 2016 年 12 月認為 Nördlich Lägern 應繼續留在選址流程中，以防範過度集中風險。

(3) 第 3 階段：場址擇定與通用申照程序

Nagra 於 2018 年 11 月獲准進入第 3 階段的場址擇定與細部調查作業，2019 年 1 月進行 3 個潛在場址的深井鑽探，每口井深度約 700 m 至 1,000 m，用於蒐集岩體的相關物理與化學資訊，包括基本性質、力學性質、水力特性、熱學特性等。Nagra 最終擇定 Nördlich Lägern 同時作為高放與低放的處置場址，主要原因包括具有 100 m 至 120 m 厚度的 Opalinus Clay，且力學穩定性優於 Zürich Nordost；瑞士 Nagra 已於 2024 年 11 月提送了通用許可申請(General Licence Application)，刻正由 ENSI 進行審查。

依照瑞士 Nagra 目前的規劃，通用許可申請經政府通過後(2029 年)，尚需經過國會的投票議決(2030 年)，屆時會再決議是否要辦理全民公投(2031 年)，若順利通過則預計可於 2035 年至 2040 年開始建造處置場。

參訪 GTS 地下實驗室經過與發現

本次瑞士的參訪由瑞士 Nagra 負責國際合作事務的 Emiliano Stopelli 博士協助接待與解說，雙方於 6 月 10 日上午於古坦嫩(Guttannen)的一處停車場會面(如圖 33)。短暫交流後，團隊即轉搭 Nagra 的車輛前往 GTS 地下實驗室，參訪過程中全員需穿著反光背心，並登記訪客資料，方能進入地下設施，設施入口處可見歡迎參觀的指示牌(如圖 34)，後方則為 GTS 地下實驗室的中央設施，內部設有辦公室、會議室與休息室等提供人員換裝、休憩以及作為簡易的展示中心之用。

短暫休息與整備後，Emillno 博士向團隊詳細介紹了 GTS 地下實驗室的周遭環境、周遭地形及建造過程(如圖 35、圖 36)。中央設施中另有放置瑞士處置系統之全尺寸膨潤土塊體展示及多段該區域結

晶岩岩心樣品(如圖 37、圖 38)。GTS 簡介以及處置概念說明後，團隊即進入 GTS 地下實驗室參訪。

GTS 地下實驗室的連通隧道採用全斷面隧道鑽掘機(Tunnel Boring Machine, TBM)進行開挖，隧道壁面相當平整，直徑約為 3.5 m (如圖 39)。連通隧道展示了多張試驗及解說資訊看板，展示看板上皆附上 QR 碼，民眾可在參訪過程中進一步查詢研究內容、進度與最新成果，是非常公開透明的開放式資訊架構，值得臺灣借鏡(如圖 40)。

GTS 地下實驗室所在的地層已有 3 億年歷史，因瑞士阿爾卑斯山脈造山帶擠壓影響而逐漸抬升，因此存在多種地質構造、地震及高山剝蝕等影響，是一個相當適合進行地質穩定性研究的環境。Nagra 針對 GTS 地下實驗室範圍內之主要變形帶監測已有 40 年，但其相對位移並不多，位移值小於 1 mm，顯示即使處於岩層結構較弱區域，隧道穩定性仍在可接受範圍內，可強化對結晶岩體在受震環境的長期環境穩定性的信心(如圖 41、圖 42)。由於臺灣位處環太平洋地震帶，地震相關議題一直是國內是否能夠找到合適場址的爭議點，瑞士透過地下實驗室的直接監測與研究，提供了一個客觀論證的基礎，相當值得我們參考。在雙方的討論過程中，我們也積極分享臺灣的地體架構環境，雙方對於未來如何建立合作的研究方式也有了初步的意見交換(如圖 43)。

接著團隊繼續前往全尺寸的處置系統模型展示處(如圖 44)，瑞士因為選用泥岩作為母岩，在地層厚度較薄的條件下，有別於芬蘭在厚層結晶岩體中的垂直處置方式，Nagra 則是採用水平處置的概念(如圖 45)。依照原始的概念設計，處置隧道底部將建有軌道，可將夯實後的膨潤土壓製的基座運輸至定位處，並用大型特殊機具將廢棄物罐

以水平處置方式放置於基座後，再使用由五管組成的膨潤土噴灑機將膨潤土顆粒以高壓方式進行處置隧道的回填(如圖 46)。不過目前瑞士 Nagra 告知他們已啟動設計最佳化的相關研究，預期將會變更設計，未來會取消軌道的設計，我們將持續關注最新的發展。

HotBENT(高溫對膨潤土緩衝層影響)大型耦合試驗就是基於水平處置系統所設計的，主要研究在處置環境下，受到熱-水-力-化(THMC)各種作用對緩衝材料的綜合影響。加熱單元會將環境加熱至 175 °C 至 200 °C 之高溫，評估膨潤土密封性、膨脹能力與熱化學反應性等影響。目前該試驗使用約 150 噸膨潤土安裝在實際尺寸的處置隧道內並進行封閉，透過多點多樣監測系統(包含溫度感測器、濕度計與孔隙水壓力計等)進行長期監測，確認緩衝材料在溫度、飽和度、壓力隨時間的變化，獲得膨潤土受到 THMC 作用的數據(如圖 47、圖 48、圖 49)。

試驗初步結果顯示，經過長期加熱至約 200 °C 後，發現部分膨潤土之礦物組成已開始出現重組現象，但是經過進一步的評估分析，一些關鍵安全功能如膨脹壓力與密封性變化並不顯著，原則上並不會影響整體安全。這些大型研究成果不僅確認其處置概念的可行性，亦擴充高溫條件下膨潤土性能的試驗數據資料庫，同時可供安全評估模擬進行驗證，並為後續地下處置場設計提供進一步優化依據，為地下室實驗室建立之主要目的。

MACOTE(Material Corrosion Test)試驗的主要目的是評估深層地質處置環境下，容器材料(如碳鋼、不鏽鋼、銅及銅塗層)在膨潤土緩衝層內的厭氧環境下之腐蝕行為，並探討膨潤土對微生物活動及其對腐蝕影響的抑制能力。試驗分為加熱與非加熱模組，分別模擬不同

熱條件下的實際處置環境情況，並使用不同密度的膨潤土封裝金屬樣本進行長期暴露與逐年分析(如圖 50)。

初步成果顯示，在不同膨潤土密度下，金屬腐蝕速率並無顯著差異，顯示膨潤土提供穩定的緩衝環境。此外，微生物分析結果指出，儘管外圍膨潤土仍有微生物存在，但內部高密度膨潤土區域的微生物族群在 5 年後仍維持穩定，未觀察到明顯活動或有害菌種進入核心區，證實其具良好生物屏障功能。MaCoTe 為容器設計與長期安全性評估提供關鍵的驗證基礎。

CFM(Colloid Formation and Migration)試驗主要探討膨潤土與處置母岩接觸界面所產生的膠體(colloids)之形成、穩定性與遷移機制，特別關注膠體對放射性核種遷移行為的影響。試驗結合試驗室研究與現地試驗，包括剪裂帶中膠體型核種的注入與監測、膠體與核種之間吸附反應的可逆性分析，以及膨潤土侵蝕(I-BET)與長期遷移行為觀測(LIT)等模組，全面評估地下環境中膠體驅動核種遷移的可能性(如圖 51、圖 52、圖 53)。

研究成果顯示，膠體型核種可在地下水中形成並被運移，且其與核種之間的吸附行為具有可逆性，這對核種的遷移速率與分布具關鍵性影響。現地試驗進一步驗證，實際岩體條件下存在有效的膠體吸附與遷移限制作用。

CIM(Carbon-14 and Iodine-129 Migration in Cement)試驗主要探討深層地質處置環境中，放射性核種 ^{14}C 與 ^{129}I 在水泥或水泥基材料中的遷移行為。試驗設計模擬處置設施中水泥封閉系統與地下水之交互作用，安裝含有放射性核種的水泥模組於隧道內，搭配觀測與取樣系統，長期觀測核種的擴散、吸附與穩定性變化(如圖 54)。

初步成果顯示，在高鹼性的水泥孔隙水環境中， ^{14}C 可能以碳酸根離子形式與材料發生反應，而 ^{129}I 主要以碘離子穩定存在，兩者在數年尺度內的遷移範圍均相對有限。這些試驗數據有助於核種遷移模型的驗證與校正，提升水泥材料在放射性廢棄物處置中長期封閉效能的可信度。CIM 提供的驗證基礎，對未來處置場設計與安全評估具高度參考價值，尤其針對高壓鹼性環境下，核種外釋與遷移的長期圍阻策略。

CRR (Colloid and Radionuclide Retardation) 試驗旨在深入瞭解在膨潤土緩衝材料與岩體交界區，膠體 (colloids) 對放射性核種 (如 Am、Pu、Th、Cs 等) 遷移行為的影響。該試驗包含兩階段現地注入試驗：一次僅注入核種示蹤劑，另一次同時注入膠體。透過這種試驗設計，比較有無膠體存在下的核種濃度隨時間變化，結合現地即時量測 (水樣分析、膠體突破曲線量測) 與試驗室後續分析，評估膠體與核種的相互作用、滯留效應與運移行為，並改良膠體驅動遷移的概念模型與數值模擬方法(如圖 55、圖 56)。

研究成果顯示，膠體存在情況下，Am、Pu、Th 主要以天然膠體形式遷移，Cs 以膠體吸附遷移，其他以溶解態運輸；Np 和 U 膠體影響較小。即使在無加入膠體情況下，Am 和 Pu 也可能形成天然膠體進行遷移，並且膠體檢出率達 80%至 90%。模擬分析結果指出，膠體與核種的吸附反應可能非等溫且具不可逆特性，膠體在裂隙中幾乎不受基質擴散影響，且其突破時間早於保守型示蹤劑結果。此研究成果為深地質放射性廢棄物處置場中，膠體促進遷移機制提供關鍵驗證依據，並有助於完善安全評估模型參數使用與風險預測。

台電公司與瑞士 Nagra 國際合作與簽署 MOU 儀式

參訪結束後，團隊返回 GTS 地下實驗室的中央設施會議室，簡單進行了台電公司與 Nagra 雙方的 MOU（合作備忘錄）第一階段簽署儀式，由雙方聯絡人 Emillno 博士及台電公司核能後端營運處廖處長英辰共同簽署，彼此對於未來建立合作關係皆有期待，返國後也將繼續推動雙方在選址調查、公眾溝通、地下實驗室等議題上的合作(如圖 57)。雙方也將以合作備忘錄為基礎，繼續深化臺灣與瑞士在處置技術上的交流，並評估派員參與 Nagra 所開設的相關課程，目前規劃將於本(2025)年底續邀請 Nagra 團隊來台，雙方進行第二階段正式簽署後，立刻啟動實質的交流工作。



圖 29：GTS 地下實驗室位於瑞士中部阿爾卑斯山脈內。

資料來源：<https://www.grimsel.com/>

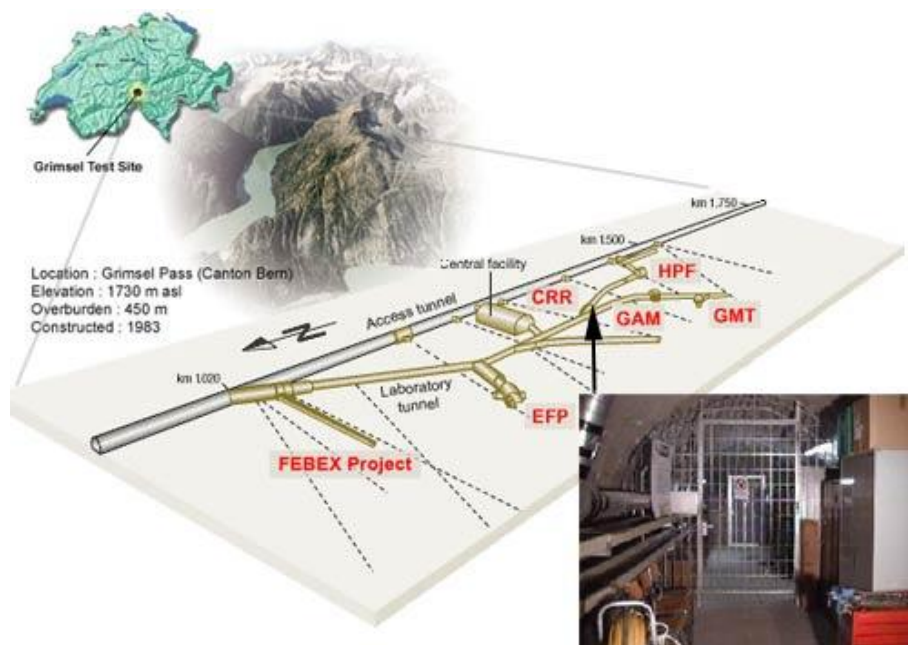


圖 30：GTS 地下實驗室設施範圍及各項試驗位置

資料來源：<https://www.grimsel.com/>



圖 31：參與 GTS 相關計畫的 12 個國家與 22 個單位

資料來源：<https://www.grimsel.com/>

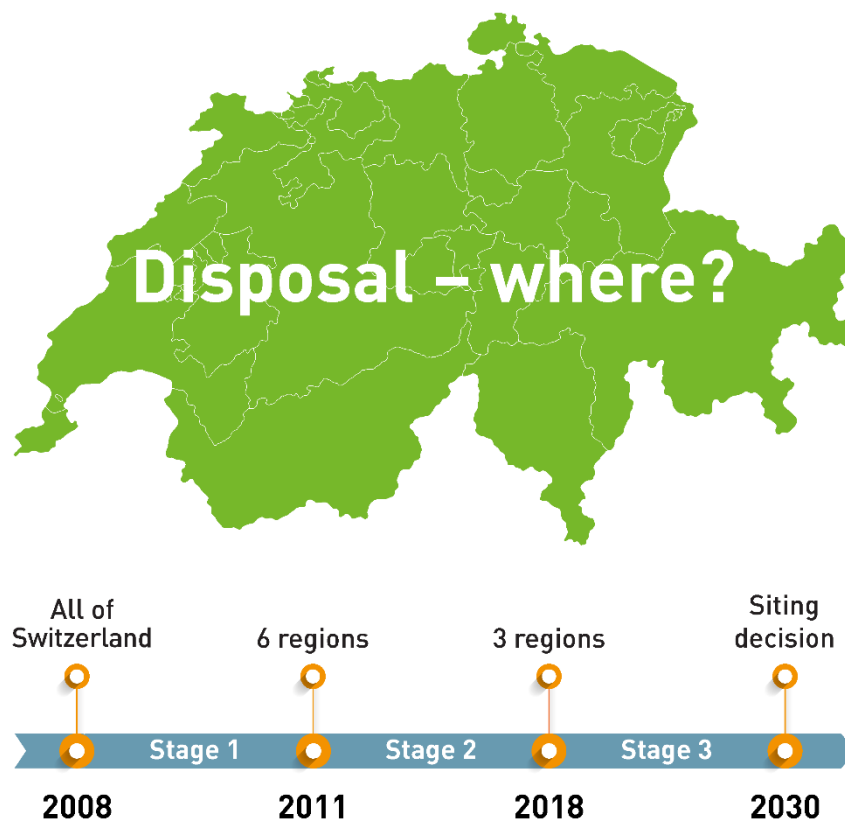


圖 32：瑞士 Nagra 選址計畫期程

資料來源：<https://nagra.ch/en/why-nagra/>



圖 33：團隊與瑞士 Nagra 專家合影



圖 34：團隊於 GTS 地下實驗室入口處合影



圖 35：介紹 GTS 地下實驗室設施



圖 36：介紹 GTS 地下實驗室地質環境



圖 37：全尺寸膨潤土塊體剖面展示



圖 38：於 GTS 地下實驗室取出的岩心樣本



圖 39：GTS 地下實驗室連通隧道開挖過程



圖 40：GTS 地下實驗室連通隧道

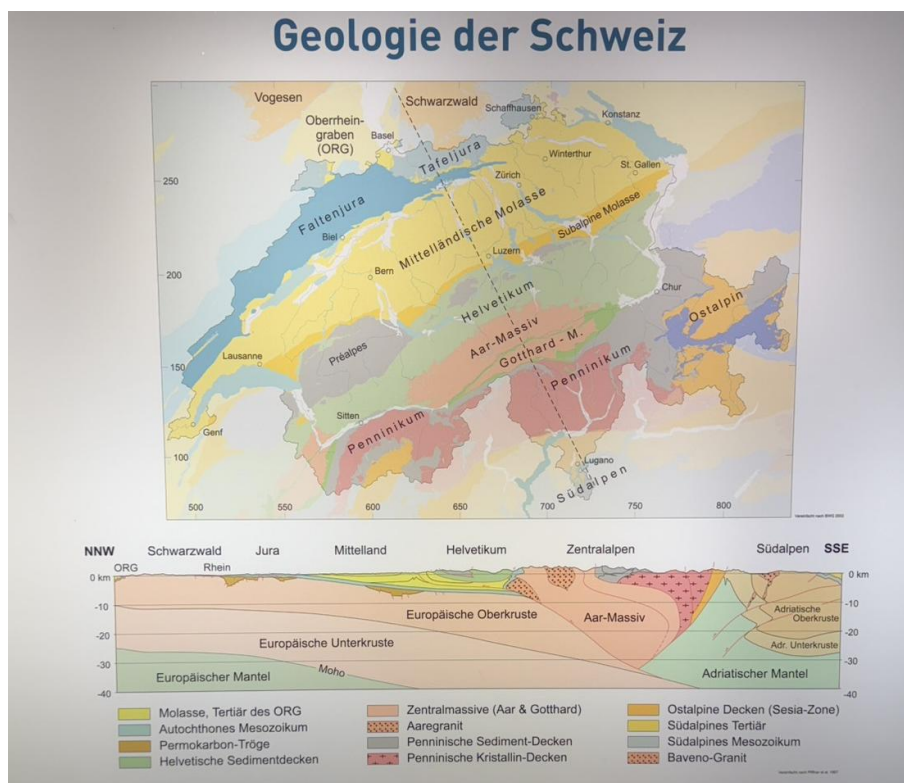


圖 41：瑞士地質圖



圖 42：瑞士地震分布



圖 43：雙方交流地質演化議題



圖 44：全尺寸處置系統模型



圖 45：瑞士水平處置概念示意圖



圖 46：瑞士 Nagra 開發之膨潤土噴灑機



圖 47：HotBENT 試驗說明

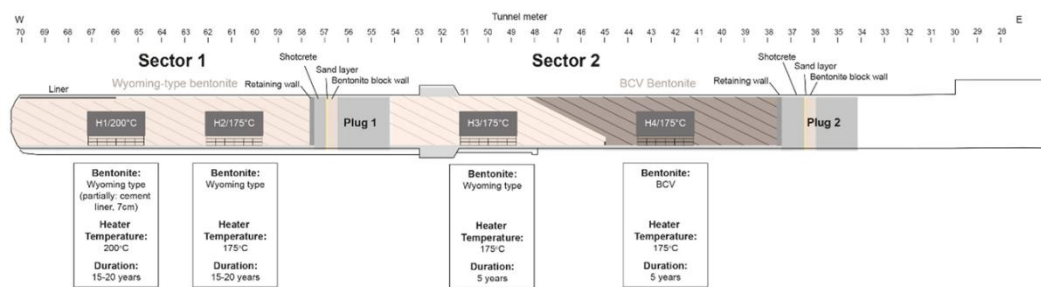


圖 48：HotBENT 的廢棄物罐溫度及回填材料示意圖

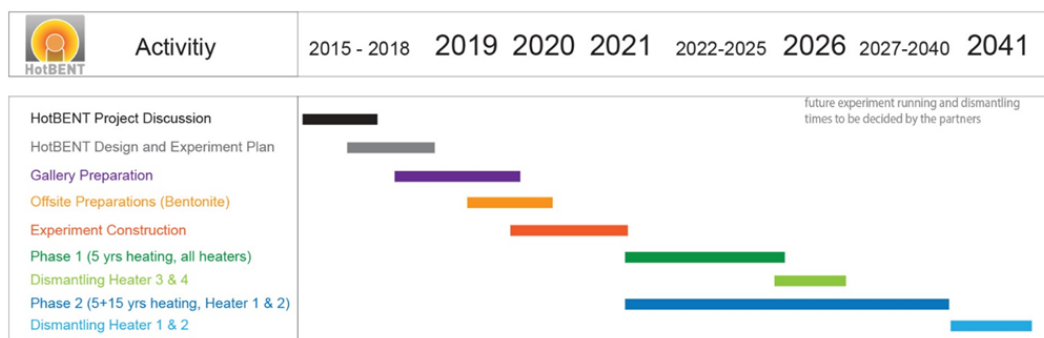


圖 49：HotBENT 的研究期程規劃



圖 50：MACOTE 試驗說明



圖 51：CFM 試驗說明

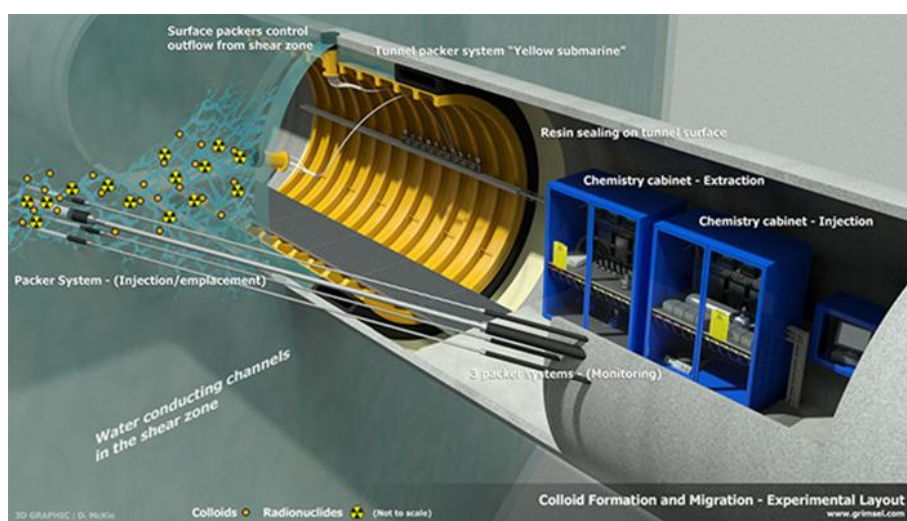


圖 52：CFM 試驗配置示意圖



圖 53：CFM 試驗的現地儀器



圖 54：CIM 試驗說明

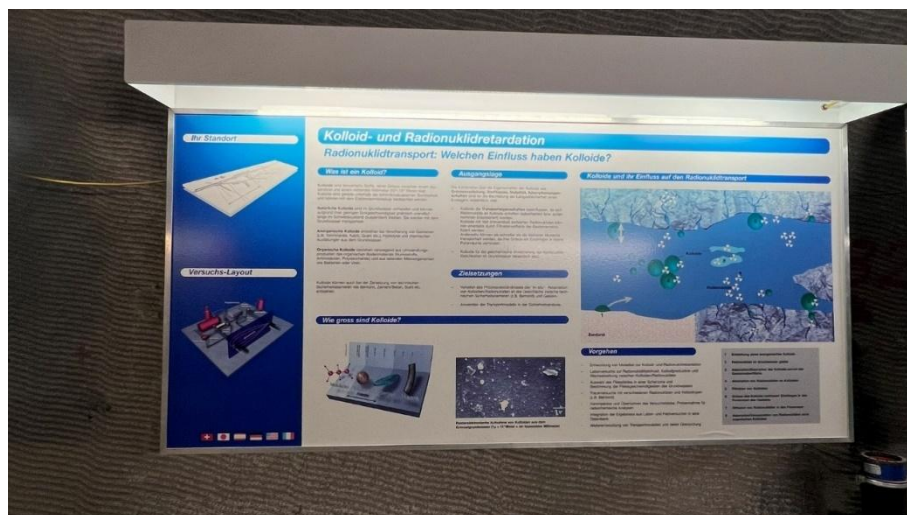


圖 55：CRR 試驗說明

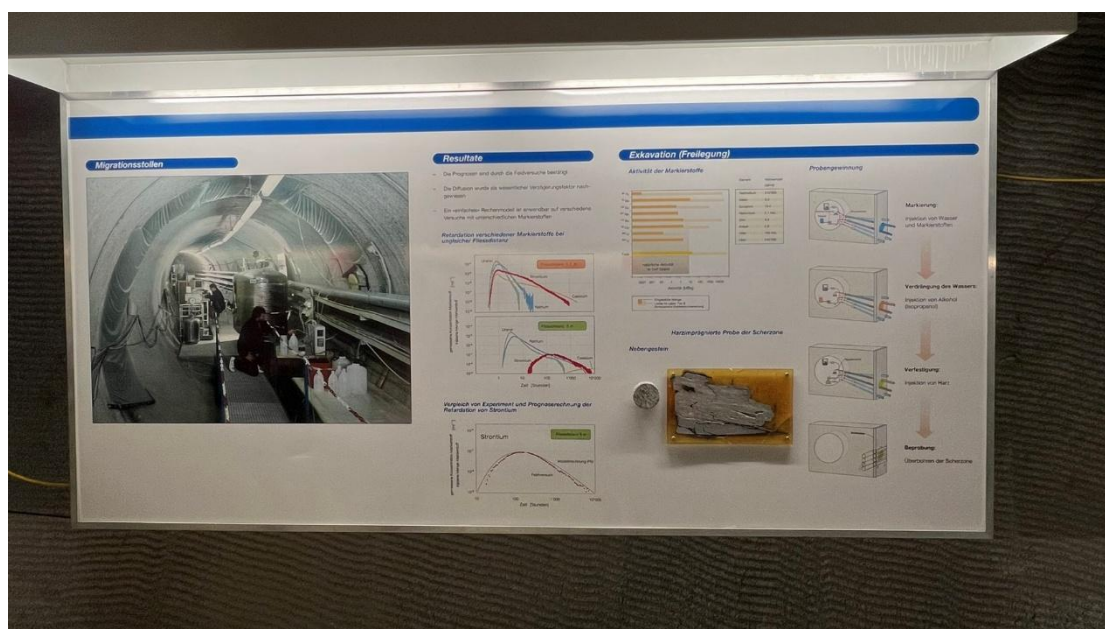


圖 56：CRR 試驗結果



圖 57：台電公司與瑞士 Nagra 完成第一階段 MOU 簽署

肆、綜合心得

本次透過實地參訪芬蘭 Onkalo 高放射性廢棄物處置場及瑞士 Grimsel 結晶岩地下實驗室，見證國際高放處置的最新進展，高放射性廢棄物已經可以被妥善的最終處置。這兩個先進國家的經驗，從選址調查、公眾溝通、技術發展各層面都非常值得我國參考學習。

經濟部能源署：

- (1) 芬蘭為目前全世界高放射性廢棄物處置發展最快的國家，芬蘭並沒有選址專法，其選址程序最核心來自於芬蘭國會於 2001 年通過的「放射性廢棄物管理原則性決策」(Decision-in-Principle, DiP)，授權專責機構分階段執行地下處置場址調查、地下實驗室建置與工程開發，並制度化強化公民參與及資訊公開，包含選址中的民主程序(地方政府否決權、國會最終表決權)與公眾參與(公聽會機制)，可見芬蘭制度對於程序正當性與地方參與的高度重視。
- (2) 芬蘭的 Olkiluoto 放射性廢棄物處置展示中心令人印象深刻，展示中心有大型互動式投影螢幕、等比例銅殼廢棄物罐與裝載用過核子燃料之鑄鐵內襯展示樣品、模擬深入地下處置場的電梯設施、縮小版高放處置系統模型等，使抽象的高放射性廢棄物處置概念具象化，並讓民眾有十足的體驗感，我國目前對於高放射性廢棄物處置的溝通仍停留在網站及社群媒體等，芬蘭展示中心此更進一步的沉浸式溝通方式，實可為日後公眾溝通的參考。
- (3) 本次參訪的瑞士地下實驗室係為研究型，作用為高放處置相關技術概念可行性的驗證，以及針對相關疑慮的實驗確認，

可視為公眾溝通的一環，瑞士亦規劃再建置場址型地下實驗室。我國在高放射性廢棄物處置選址程序中，亦有評估建立地下實驗室之想法，但臺灣地小人稠，如何在最符合經濟效益下發揮地下實驗室驗證及安全評估的最大效益，尚需審慎研議。

- (4) 高放射性廢棄物處置為高度重視程序透明及公眾參與的議題，本次參訪芬蘭及瑞士的建置，更可深刻體會。我國刻正研擬「高放射性廢棄物最終處置設施選址條例(草案)」，將參採芬蘭及瑞士經驗，建立科學審慎、程序正當、資訊公開及民眾參與的選址制度，期在此具社會共識的程序下，逐步落實我國高放射性廢棄物最終處置作業。

台電公司：

- (1) 芬蘭與瑞士過去都曾遭遇抗爭，但其最後成功的經驗顯示，選址過程必須保持資訊透明與公眾參與，但這些都必須基於客觀且具公信力的詳細調查與評估。
- (2) 芬蘭與瑞士都由國家主導高放處置，並成立專責機構來進行選址的工作，對於建立社會共識有一定的幫助。在我國目前依法由廢棄物產生者來推動相關計畫的架構下，如何突破現有困境取得社會信任會是關鍵。
- (3) 芬蘭的工程障壁系統包括銅殼廢棄物罐、緩衝材料、回填材料以及隧道封塞等組件，每一個系統元件都具有特殊的設計與安全功能，在多重障壁的系統設計下，可以有效地互相配合，即使有單一組件失效，也不會影響整個處置系統的安全。
- (4) 高放處置並非要尋找完美或絕對穩定的岩體，因為地球環境是動態的，處置母岩也必定存在裂隙和破裂帶。芬蘭的處置

場周圍也有大型破裂帶與斷層構造存在，但透過詳盡的地質調查，可以精準定位這些構造的位置，在進行處置隧道的設計時就可以有效避開這些不利區段，並不會影響整個處置場的安全。

- (5) 芬蘭的選址過程經過非常嚴謹且詳盡的地質調查與長期監測，並建立對應的地質描述模型以進行長期安全評估，芬蘭雖然不像臺灣位於地震帶，但高放處置的安全評估期間長達一百萬年，高緯度國家必須考量冰河期的影響，在可能受到額外多達三千米的冰壓情況下，仍會產生地震與各種地質作用必須評估。
- (6) 芬蘭即使目前已提出運轉執照的申請，仍持續進行現地資料的蒐集與相關系統的研究，這是因為依照國際原子能總署的規定，高放處置必須提出安全論證並持續更新，以確保在整個計畫的生命週期中，從建造、營運到最終封閉，都能持續符合最高的安全標準。
- (7) 地下實驗室的建置不僅有助於了解地質環境的特性，更是驗證處置設計工程系統以及安全評估方法的重要設施，也是建立社會共識的重要媒介，對於高放處置技術發展及社會溝通非常重要。
- (8) 芬蘭與瑞士皆非常注重人才的長期培養，並都有大型的國際合作計畫，透過這些機會增進相關人員和國際人才技術的交流，也是增進信心與建立社會信任的長期投資。因應長期處置計畫的不同階段，也有計畫性的進行組織調整，其做法值得我國參考。