

出國報告（出國類別：其他）

第七屆東亞放射性廢棄物管理論壇 （視訊報告）

服務機關：行政院原子能委員會
姓名職稱：張明倉技正、張經妙技正
派赴國家：台灣，中華民國
出國期間：111年10月26至27日
報告日期：111年12月30日

摘要

東亞放射性廢棄物管理論壇（The East Asia Forum On Radwaste Management, 簡稱 EAFORM）為促進東亞地區放射性廢棄物管理及用過核子燃料處理技術交流與經驗分享的平台，每兩年由日本、韓國及我國輪流主辦。針對放射性廢棄物安全管理、處置設施場址、地質特性、核電廠除役方式及技術、地下試驗場之營運經驗、核種遷移安全模式論證、社會溝通等主題進行演講與論文發表，可以瞭解各國在廢棄物管理及最終處置與之發展現況，並與各界學者專家進行交流及討論。今年是第 7 屆 EAFORM 會議，由於 COVID-19 疫情影響，本屆會議採實體及線上虛擬會議(virtual meeting)雙軌併行方式辦理，由韓國放射性廢棄物協會(Korean Radioactive Waste Society, 簡稱 KRS) 於 2022 年 10 月 26 至 28 日，假韓國濟州神話世界渡假酒店 (Jeju Shinhwa World Landing Convention Center)舉辦。

我方參加者本次係在台灣以線上虛擬方式參加會議，又今年是第 7 屆 EAFORM 會議僅開放全體大會(Plenary Session)演講為線上即時播出，因此本報告主要摘要全體大會演講內容，並參考大會所提供之論文摘要內容，摘述部分「技術分組編號 2，放射性廢棄物處理 (Radioactive Wastes Treatment)」，及「技術分組編號 6，除污與拆除及環境 (Decontamination & Dismantling, Environment)」等技術會議內容。

目次

摘要.....	i
目次.....	ii
壹、目的.....	- 1 -
貳、出國行程	- 2 -
參、過程紀要	- 4 -
肆、心得與建議	- 23 -
附件 1 會議議程	- 24 -
附件 2 發表簡報資料	- 26 -

壹、目的

東亞放射性廢棄物管理論壇（The East Asia Forum On Radwaste Management, 簡稱 EAFORM）為促進東亞地區放射性廢棄物管理及用過核子燃料處理技術交流與經驗分享的平台，每兩年由日本、韓國及我國輪流主辦。本論壇首次係於 2006 年由我國舉辦，最近一次會議在 2017 年由日本原子力學會(Atomic Energy Society of Japan，簡稱 AESJ)於日本大阪舉行。後因受 COVID-19 疫情影響，今（2022）年第七屆論壇於 2022 年 10 月 26-28 日，在韓國濟州神話世界渡假酒店(Jeju Shinhwa World Landing Convention Center)舉辦，與韓國放射性廢棄物協會(Korean Radioactive Waste Society, 簡稱 KRS) 秋季發表會議同時舉辦。

本次論壇會議共分為 5 場專題演說及 5 組（編號 2 至 6）技術會議，有來自臺灣、中國、日本、韓國、美國、丹麥、西班牙、德國及英國等放射性廢棄物處理與處置相關領域專家學者參與及發表論文，內容涵蓋射性廢棄物安全管理、核電廠除役方式及技術、處置設施場址、地質特性、地下試驗場之營運經驗、核種遷移安全模式論證、社會溝通等主題。本次參加論壇會議的主要目的，除進行論文發表外，亦聽取及收集其他國家相關領域的論文發表，以瞭解各國在地質處置與廢棄物營運之相關發展現況，並與各界學者專家進行交流及討論。

貳、出國行程

2022 年東亞放射性廢棄物管理論壇在 10 月 26 日至 28 日於韓國舉辦。本次會議因考量 COVID-19 疫情，主辦單位以實體及線上方式進行。其中 10 月 26 日全體大會(Plenary Session)演講為線上即時播出；10 月 26 日至 27 日技術分組會議(Technical Sessions)以預錄視頻現場播放方式進行，並未事後提供線上參與者相關視頻，僅有提供分組論文海報摘要；10 月 28 日則為參訪活動，相關議程如附件 1 所示。本次出國計畫僅線上參與全體大會，參與項目與人員分工列表如下：

日期	時間 (韓國)	議程	參與人員
10 月 26 日	13:30	美國 Sandia 國家實驗室 Sarah Brunell 女士演講 (遠端) (Plenary Session)	張明倉技正、 張經妙技正 (遠端會議)
	14:00	台灣原子能委員會 張明倉先生演講 (遠端) (Plenary Session)	張明倉技正、 張經妙技正 (遠端會議)
	14:30	日本 Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) Tetsuo Fujiyama 先生演講 (遠端) (Plenary Session)	張明倉技正、 張經妙技正 (遠端會議)
	15:30	中國 Beijing Research Institute of Uranium Geology (BRIUG) Ju Wang 先生演講 (遠端) (Plenary Session)	張明倉技正、 張經妙技正 (遠端會議)
	16:00	韓國 Seoul National University (SNU) Sung Yeol Choi 先生演講 (遠端)	張明倉技正、 張經妙技正

		(Plenary Session)	(遠端會議)
10月26日 至	10/26 (16:40~18:30)	技術會議(Technical Sessions) 2.Radioactive Wastes Treatment	張明倉技正 (文件摘要)
10月27日	10/27 (09:00~12:00)	技術會議(Technical Sessions) 6. D&D, Environment	張經妙技正 (文件摘要)

參、過程紀要

一、 專題演講

(一) 美國 Sandia 國家實驗室 Sarah Brunell 女士演講：

美國 WIPP 設施再認證:以性能評估計算證實符合管制規定 (Recertification of the Waste Isolation Pilot Plant: Performance Assessment Calculations to Demonstrate Regulatory Compliance)

Sarah 女士是一位地質學家，現在服務於美國 Sandia 國家實驗室。她首先介紹美國 Waste Isolation Pilot Plant (簡稱 WIPP) 是座超鈾(TRU)廢棄物的最終處置設施，位於美國墨西哥州東南方，為美國能源部(Department of Energy, DOE)所轄屬並經美國環保署(Environmental Protection Agency, EPA)通過相關管制審查，係將國防相關超鈾(TRU)廢棄物埋藏在地底鹽層深處，並經由性能評估(Performance Assessment, PA)驗證其作業符合管制法規要求。

Sarah 女士說明依據美國公部門法(Public Law)規定，WIPP 應該要每五年進行一次再認證(Recertification)評估作業，所以 WIPP 自 1999 年接收第一批 TRU 廢棄物後，即依法每五年進行該項作業。最近一次再認證評估作業完成於 2019 年(CRA-2019 PA)，是基於 2014 年之評估結果(CRA-2014 PA)進行此項再認證作業，以確認 WIPP 設施運作持續符合美國環保署對廢棄物安全圍阻的管制要求。

同時，美國國會也要求 EPA 證明 DOE 所轄屬 WIPP 須符合 40 CFR Part 191, Subparts B and C 有關廢物處置法規的規定，以及符合 40 CFR Part 194 有關 WIPP 符合度標準的要求，國會並要求 EPA 在 WIPP 首次收到 TRU 廢棄物後，須每五年對 WIPP 設施進行再認證作業直至其營運結束為止。

再認證作業是一個評估 WIPP 變化的過程，以確定該設施是否能持續滿足 EPA 處置法規的所有要求，其作業過程有助於確保 WIPP 的運作能持續符合最準確、最新之法規及要求。所以 WIPP 自 1999 年接收第一批 TRU 廢棄

物後，DOE 連續於 2004 年、2009 年、2014 年及 2019 年都提交了再認證申請作業。

由於 WIPP 於 2014 年曾發生火災及污染逸散事件，其放射性核種污染了地下廢棄物處置區南端，在不確認受污染區域仍安全的情況，WIPP 於 2014 年至 2017 年期間予以關閉。這也導致 DOE 決定封閉並放棄 9 號平台區，也取消 3 號、4 號、5 號和 6 號平台安裝原礦鹽平台封閉裝置作業，並確定更換 9 號平台的需求性。這些狀況所造成的改變，都必須如實反映在 2019 年再認證評估報告中(CRA-2019 PA)。

美國環保署將持續對 WIPP 設施，每五年審查其再認證作業申請，評估其廢棄物特性、品質保證、及廢棄物場址適合性，並執行計劃性及非預警性檢查，以確保場址環境及民眾的安全性。

(二) 行政院原子能委員會放射性物料管理局張明倉技正演講：

我國放射性廢棄物管理（Radioactive Waste Management in Taiwan）

本次 EAFORM 大會邀請筆者擔任講座，與日本、美國、韓國等國核能專家(如圖 1)，就不同放射性廢棄物專業領域發表英文演講（簡報如附件 2），本次簡報係向會員國成員介紹我國放射性廢棄物管理的政策、法規、廢棄物分類及管制策略。



Speakers

Plenary Session

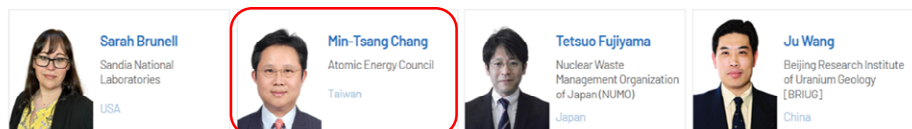


圖 1 論壇專家講座名單(筆者係紅色方框處)

筆者首先介紹我國放射性廢棄物管理政策係以行政院 1997 年發布之「放射性廢料管理方針」為準，以保障國民安全，維護環境生態品質，避免現代及後世受到放射性廢棄物之不利影響為目標。同時，也說明我國放射性廢棄物管理政策遵循國際原子能總署(IAEA)「基本安全原則(文件編號 SF-1)」規範，強調必須考量放射性廢棄物產生與管理各步驟間之相互關係並予以妥適安全管理，以確保人類健康之可接受水準，維護環境之可接受水準，並確保人類健康與輻射安全。

依據我國「放射性物料管理法」規定，放射性廢棄物為具有放射性或受放射性物質污染之廢棄物，包括備供最終處置之用過核子燃料，並依據「放射性物料管理法施行細則」規定，放射性廢棄物可分類為高放射性廢棄物、及低放射性廢棄物兩類。雖然我國放射性廢棄物政策並未排除用過核子燃料再處理此一選項，但迄今尚未有此項再處理之實際成果，故目前高放射性廢棄物即為備供最終處置之用過核子燃料。

我國對於核能電廠低放射性廢棄物管制措施，包括放射性廢液來源控管，化學品管制，放射性廢棄物減量，放射性廢液淨化殘渣及爐水淨化殘渣固化處理，可燃放射性廢棄物及可壓放射性廢棄物之減容處理，及低放射性廢棄物貯存設施之安全營運等措施。同時，也說明當核電廠用過核子燃料從反應器退出時，因尚具有一定程度的活度及熱量，故須先將其暫放於廠內水池中冷卻貯存，待其活度與熱量衰減後，再進行後續相關作業，故我國現行用過核子燃料管理策略為「近程採廠內水池貯存、中程採乾式貯存、長程推動最終處置」，同時配合國際情勢的發展，對用過核子燃料的管理策略做適切的調整。

同時也說明我國的法令管制體系分為三個階層，第一階層是立法院通過並經總統簽署公布施行「法律」，第二階層為行政機關制定「法規命令」，第三階層為行政機關依其職權權限規範機關內部秩序及運作所制訂「行政規則」，並以圖 2 展示我國放射性廢棄物法規層級體系，包括放射性物料管理

法、相關細則及辦法、導則及要點等多項法規命令，作為監管機關依法安全管理放射性廢棄物之依據。

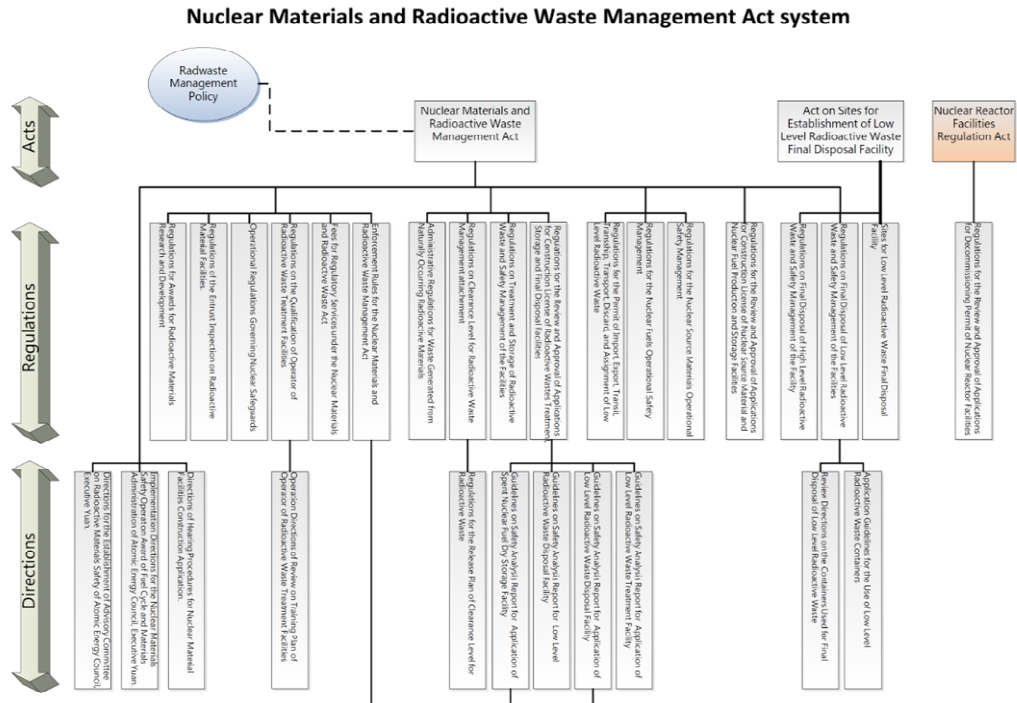


圖 2 我國放射性廢棄物法規層級體系

簡報中介紹我國有 4 座核能電廠，共 8 部反應器機組，由國營事業台電公司負責營運管理，其中核一廠、核二廠及龍門電廠位於台灣北部海岸，核三廠則位於台灣南部海岸，核一廠與核二廠各有 2 部沸水式反應器(BWR)，核三廠有 2 部壓水式反應器(PWR)。其中核一廠 2 部反應器機組已逾運轉執照年限正式邁入除役階段，核二廠 1 部反應器機組也已進入除役階段，而龍門電廠有 2 部進步型沸水式反應器(ABWR)因建廠執照屆期，已停止興建；同時，介紹我國核能研究所(INER)及國立清華大學之研究用核子反應器，以及核電廠場址外之蘭嶼低放貯存場。我國主要核子設施分布位置如圖 3 所示。

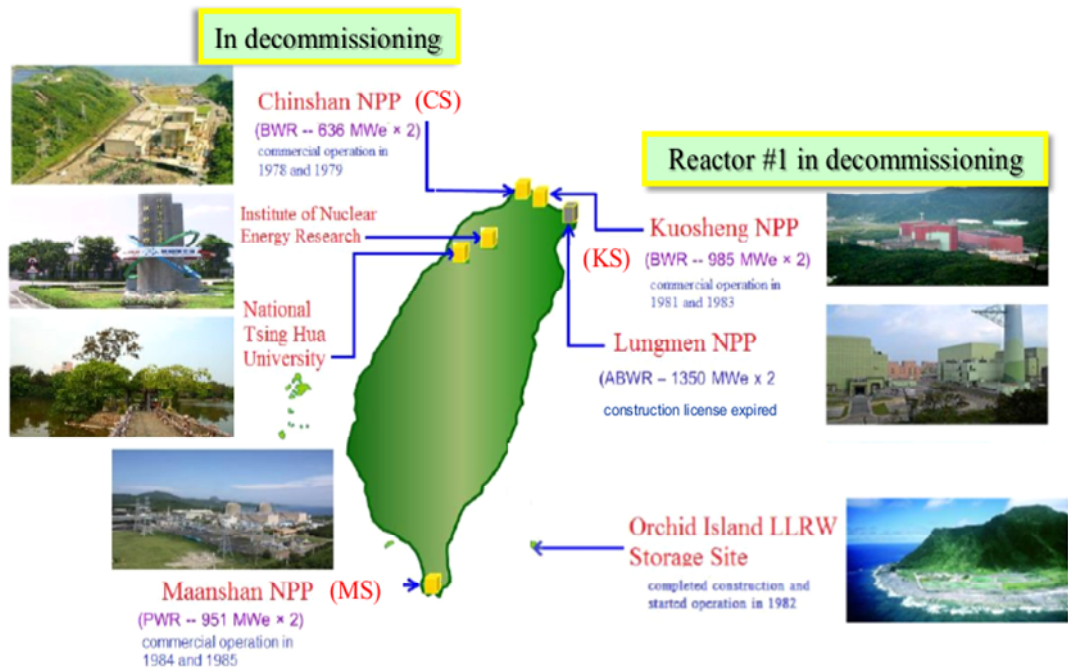


圖 3 我國主要核子設施分布位置

核一廠、核二廠及核三廠都備有低放射性廢棄物處理系統，包括有放射性廢氣處理系統、放射性廢液處理系統及廢棄物固化處理系統，但是核二廠另備有高減容固化系統及減容中心，減容中心內有可燃放射性廢棄物焚化爐及放射性廢棄物超高壓壓縮機系統，核三廠則於廢料廠房內建置高減容固化系統及低放射性廢棄物焚化爐。

核能電廠運轉產生的低放射性廢棄物，經減容及安定化處理後，可以減少低放射性廢棄物數量及容積，符合物管法第 29 條對於廢棄物產生者應負責減少放射性廢棄物產生量及其體積之規定。各核能電廠倉貯空間足可使用至電廠除役前為止。

蘭嶼低放貯存場自 1982 年啟用，至 1996 年停止接收放射性廢棄物，自 1997 年底展開貯存場檢整重裝作業，並於 2012 年完成全部廢棄物檢整及復原作業，目前廢棄物貯存總數量為 100,277 桶。

我國「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」於 2006 年公布施行，經濟部為選址主辦機關，台電公司為經濟部指定之選址作業。經濟部籌組選址小組經公開遴選後，於 2012 年公告台東縣達仁鄉及金門縣烏坵鄉為

建議候選場址，後續應依選址條例辦理地方性公民投票，以確認候選場址。惟地方政府未同意接受委託辦理公投。原能會已多次促請經濟部研提辦理地方公投之具體規劃，亦針對選址作業延宕情形，督促台電公司應切實檢討改善。另要求台電公司積極辦理集中貯存方案規劃，以做為放射性廢棄物最終處置設施完成前的中繼站，所以原能會於 2017 年完成台電公司最終處置計畫替代/應變具體實施方案審查，要求台電公司自 2017 年起，8 年內完成集中式貯存設施啟用；原能會持續要求台電公司積極推動低放射性廢棄物最終處置計畫，以完成核定最終處置設施場址。

用過核子燃料乾式貯存是核能電廠除役作業必要設施，用過核子燃料必須儘早移出反應器廠房進行乾式貯存，才能真正進入除役拆廠作業。核一廠第一期乾式貯存設施已完工並完成功能測試，前開設施未能取得水土保持完工證明，導致迄今仍無法進行熱測試作業。核二廠乾式貯存設施於 2015 年獲原能會核發建造執照，惟設施之「營建工地逕流廢水削減計畫」迄今尚未獲得審查核定，也導致目前尚未動工興建。

原能會考量社會共識與公眾接受度，為確保核一廠除役計畫如質如期完成(2044 年)，已要求核一廠第二期乾式貯存設施，應採具社會共識之室內乾式貯存型式並儘早完工啟用，以順利移出用過核子燃料，賡續進行除役拆廠作業。

用過核子燃料最終處置方面，台電公司依據「放射性物料管理法施行細則」規定向原能會提報「用過核子燃料最終處置計畫書」，全程計畫分為「潛在處置母岩特性調查與評估」、「候選場址評選與核定」、「場址詳細調查與試驗」、「處置場設計與安全分析評估」及「處置場建造」等五個階段，規劃於民國 2055 年啟用最終處置設施。

原能會為督促台電公司切實執行用過核子燃料最終處置計畫，要求台電公司於 2017 年提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」(SNFD2017 報告)，並經國際同儕審查，以確保最終處置技術符合國際水平。

相關報告均已上網公開，以強化落實資訊公開透明。

原能會自 2011 年起逐年辦理核一廠用過核子燃料乾式貯存設施與除役計畫訪查活動，邀請新北市政府及石門區里長、地方代表及環保團體參加，訪查活動分別由台電公司及原能會簡報，最後進行訪查後會議，充分聽取與會代表建言，由原能會持續追蹤台電公司辦理情形，訪查活動相關訊息亦登載於原能會網站。

為落實資訊公開、公眾參與及第三方驗證取樣偵測分析，原能會於 2011 年起於蘭嶼地區每年辦理低放貯存場環境輻射平行監測作業，邀請蘭嶼鄉公所、蘭嶼鄉代會、台東縣政府、原住民族委員會、及蘭嶼鄉民等共同參與，一同進行蘭嶼各部落之環境取樣作業，以瞭解蘭嶼地區環境輻射情形。採樣地點係由地方參與民眾指定，樣品分析工作則由清華大學原子能科學中心執行，分析結果報告由清華大學原科中心直接寄送各參與單位，原能會亦將該分析報告公開於官方網站。自 2011 年起迄今，歷年蘭嶼環境試樣分析結果均在背景劑量變動範圍內，沒有發現輻射異常情形。

最後筆者總結「非核家園」是我國政府目前的核能政策，原能會作為「核安的守護者」，會落實相關核能監管措施，以確保放射性廢物之安全妥適。放射性廢物的存在是既有的事實，必須予以妥善管理，才能建立可永續發展的環境。放射性廢物管理不僅是技術性議題，也涉及政治性和社會性層面，需要足夠時間和耐心才能達成公眾共識，公眾接受度是推動放射性廢物管理成功的關鍵因素。

(三) 日本 Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) Tetsuo Fujiyama 先生演講：日本地質處置現況(Status of Geological Disposal in Japan)

Fujiyama 先生首先介紹日本核電廠目前營運現況，包括有 10 部反應器機組已經重啟營運，7 部反應器機組已獲日本原子力規制委員會(NRA)審查通過重啟營運作業，10 部反應器機組處於申請重啟審查階段，9 部反應器機組尚未提出申請，24 部反應器機組陸續除役中。Fujiyama 先生也介紹了放射性

廢棄物地質處置的型態，包括低放射性廢棄物處置窖、近地表處置、淺地層處置、中地層處置，及高放射性廢棄物的深地層處置。另介紹日本六所村的用過核子燃料再處理廠及低放射性廢棄物處置場，且可以貯存高放射性廢棄物，也說明日本目前有二處放射性廢棄物地下處置研究實驗室場址，分別位於北海道幌延町及岐阜縣瑞浪市。

Fujiyama 先生說明日本推動放射性廢棄物處置場址的選址程序，首先是對全國地質條件進行科學性篩選，獲得初步篩選成果後，接著進行廣泛密集的民眾對話，接著由地方政府自願申請設置處置場址，或由中央政府直接提案處置場址。方案經提出後，若地方首長或中央首長未反對，就會先對場址特性進行廣泛的文獻回顧，接著依據文獻回顧結果進行諸如地質鑽探之類的先期調查作業；若先期調查結果可行，則進行諸如地下試驗場設置的詳細調查作業；若詳細調查成果可以接受的話，該場址將被選定為放射性廢棄物處置場址，著手進行相關興建設置計畫。

北海道神惠內村鄰近火山區，是個每公畝約 800 人口的村落，在 2020 年 10 月申請了處置場址文獻回顧作業；北海道壽都町則鄰近活動斷層，是個每公畝約 3000 人口的町地，已接受政府的提議，進行當地處置場址文獻回顧作業。日本政府及 NUMO 正巡迴全國進行廣泛密集的民眾對話，以徵求更多的地方政府自願進行處置場址文獻回顧作業。

全國地質條件科學篩選的條件，首先進行風險排除篩選，包括排除半徑 15 公里內鄰近火山區、鄰近活動斷層區、地型顯著上升或侵蝕地區、高地熱衰降區、及礦藏資源潛勢區等項目，場址經篩選排除上揭不利因素後，可以執行進一步的先期調查作業。

Fujiyama 先生也介紹 NUMO 安全論證(Safety Case)的發展文件，包括有總覽報告(Overview report)、主要報告(Main report)、及技術支持報告(Support report)，技術支持報告提供詳細的場址背景資料，資料範圍可以涵括科學面、技術面、行政面、及管理面等多方的正、反面訊息，以作為處置場址安全的論證資料。

Fujiyama 先生最後總結日本地質處置現況，表示岐阜縣瑞浪市的地下研究實驗室已經關閉，僅剩北海道幌延町地下研究實驗室在進行相關研究發展。NUMO 也正在加速進行北海道神惠內村及北海道壽都町的處置場址文獻回顧作業，並加以瞭解該二處場址之利害關係人。NUMO 在 2021 年發表了一般安全論證，目前正透過 OECD/NEA 進行該安全論證的同儕審查。

(四) 中國原子能機構高放射性廢棄物地質處置创新中心之王駒先生演講：

中國北山高放射性廢棄物地質處置之地下試驗場建造進度 (Construction of Beishan Underground Research Laboratory for Geological Disposal of High Level Radioactive Waste in China)

截至 2022 年中國有 54 座核電廠運轉中，22 座核電廠興建中，因此能否安全處理高放射性廢棄物將影響中國核設施持續發展的重要因素。核設施所產生的高放射性廢棄物具高放射性、長半衰期、高毒性、高熱等特性，因此對於設計建造安全的高放射性廢棄物處置設施，是很大的挑戰。

中國核子燃料處理原則是，用過核子燃料需要再處理，放在最終處置的廢棄物皆是純化過廢棄物。最終處置場址需位於飽和的深地質層，主要岩層為花崗岩或黏土的地質，具多重屏障、通道與井 (shafts) 之設計。用過核子燃料再移出反應器後，需先進行再處理，之後玻璃固化放置於暫存設施，最後再移到最終處置場。深地質處置是國際公認可行的高放射性廢棄物處置方法，通常建造於距地表下 400~1000 公尺，且具多重屏蔽設計。

中國高放射性廢棄物處置可分成三個階段：(1)實驗室基礎研究與處置設施場址選擇 (2006-2020)；(2)地下地質研究與測試 (2021-2040)；(3)建造最終處置設施 (2041-2050)。基於深地質處置 (deep geological repository, DGR) 研究成果，2015 年中國開始進行地下試驗場選址工作。北山新場位於中國西邊，於 2016 年被探查發現，在 2018 年確定為地下試驗場場址，並於於 2021 年 6 月 17 日開工。該場址是第三代地下試驗場，具成為最終處置場之潛在發展、可擴建、多功能，並可成為內部大眾溝通及國際交流合作之平台媒介。其位

於地下 560 公尺的黏土層。甘肅北山新場地表為戈壁荒漠，幾乎無人居住。

對於甘肅北山新場已進行了地下岩層、水力及多種性質調查，發現該場址具極佳的地質。甘肅北山新場地下試驗場規畫由三個豎井（shafts）、一個螺旋坡道和兩個實驗層組成，這兩個實驗層最大深度為 560 公尺。三個豎井包括一個人員豎井和兩個通風豎井。在建造北山地下試驗場過程中，將進行全面全場址測試計畫，包含場址特性、技術建立與測試。該場址地表則規劃建有卸載區、樣品貯存區、豎井區、實驗室區、辦公室區及訪客區等。

為了避免地下開挖破壞周邊岩層，挖掘工作係以全斷面隧道掘進機（full-face tunnel boring machine）挖掘。2022 年 4 月則開始進行以全斷面隧道掘進機（full-face tunnel boring machine）挖著螺旋坡道之程序，螺旋坡道長度規劃約 7 公尺，坡道截面直徑 7 公尺，最大曲線直徑約 255 公尺。此外，北山新場地下實驗隧道規劃建造兩個實驗層，分別位於海平面以下 280 公尺及 560 公尺。目前正以鑽爆法開挖坡道入口，以提供為隧道掘進機組裝和試運行空間場地。截至 2022 年 9 月 30 日開挖坡道長度已達 464 公尺。

北山新場地下試驗場具有許多功用，(1)用於詳細地質調查，包含地質水力、地質化學、地質機質並建立相關技術；(2)長期多重屏蔽研究；(3)建立最終處理場建造技術；(4)提供安全分析報告所需之參數；(5)公眾溝通平台等。此場址研究分成 0~4 個階段，第 0 階段為取得場址特性基線數據，第 1 階段為建造階段，除有效掌握場址特性外，本階段主要為建立建造相關技術。第 2 階段地下試驗場開始運轉前五年，將進行全面場址測試，以了解詳細場址特性，研究多重屏蔽作用，及確認最終處置的成果。第 3 階段為地下試驗場開始運轉五至十五年，驗證收集完整尺度之熱水力耦合測試，以獲得長期多重屏蔽運作參數。另提供業界最終處置技術，並決定最終處置之設計、建造與運作。第 4 階段為開始運轉十五年之後，驗證最終處置之多種測試，並提供建造及運轉其他深地質處置之技術。在建造地下試驗場螺旋坡道時，進行地現場測試包含：3D 雷射地質環境掃描、地質描繪、地質物理性質調查、岩層

調查、岩層鑽探及影片紀錄、地下水監測、地下水利調查等。

北山新場地下試驗場的建造，將提供場址地質特性調查技術建立之機會與平台，例如在 2021 年中國原子能機構高放射性廢棄物地質處置創新中心已與國際原子能總署約定為合作機構，歡迎國際相關機構加入此計畫。

(五) 韓國首爾大學 Sung Yeol Choi 先生演講：

小型模組核子反應器與放射性廢棄物管理 (SMR and Radioactive Waste Management)

傳統核能電廠系統設計較複雜，通常必須要建在偏遠少人煙的地方，並且需要建設很長的電力傳輸線，建造成本高昂，因此近年很多投資者或政府有朝著建立發展小型模組化核子反應器 (Small Modular Reactor, SMR)。最近多種類型 SMR 在許多國家已開始被討論，主要是因為它被預期可幫助投資者減少許多投資經費，並且建造安裝快速。例如：NuScale VOYAGER-12 小型模組化反應器，一座電廠設計可安裝 12 個 SMR。又或者像是 Oklo Aurora powerhouse 微型核子反應器 (micro-nuclear reactor)，亦可提供工業區、企業、學校或偏遠區域用電。另外還有微模組反應器 (Micro Modular Reactor, MMR) 能源系統，其系統係採用 TRISO 燃料粒並由氦氣冷卻的反應器，但即使在冷卻區，其系統溫度仍非常高。

依機組產生的電力範圍可區分為大型反應器、SMR 及微型核子反應器。其中大型反應器產生的電力約 300 至 1000MW，SMR 通常產生的電力約 20 至 300MW，而微型核子反應器則約在 1 至 20MW 或者僅產生 kW 等級的電力。微、小型模組化核子反應器通常工廠大量生產與運輸到指定位置安裝。構成大型反應器的組件數約一百萬個，事故緊急應變區約 16 公里，每機組建造期約 48 個月；而 SMR 則約 1 萬個，事故緊急應變區僅約 300 公尺，每機組建造期約 48 個月。一般 SMR 較大型反應器成本較低、建造期短、應用性較廣、廠址選擇較彈性等。目前全球已有約 70 種微小型模組化核子反應器構想。由於預估有許多大型反應器將於 21 世紀中停止運轉，且 SMR 可遠端製造、連

接小區域電網、較長核子燃料週期、多個模組可組成大機組、可促進高附加價值產業等優點，屆時 SMR 將有機會可能替代大型反應器，因而市場需求將轉向高溫運轉設計、燃料週期長、快中子能譜、燃料再循環利用等設計趨勢。

目前水冷式 SMR 運轉溫度約在攝氏 200 至 300 度間，然而高效率的 SMR，通常需要達到較高之運轉溫度，才能提升燃料表現，達到長填換燃料週期及更有彈性地讓機組產生能量效果。此外，SMR 之燃料種類與週期、快中子能譜、成本效益尺度、材料結構、製造地等，都會影響影響放射性廢棄物的管理方式。現行多種類型的 SMR，同樣在放射性廢棄物管理方面也面臨許多挑戰。例如：有多種燃料設計，包含氧化鈾、TRISO 燃料粒、金屬燃料及液態熔鹽燃料等。另外小型模組化核子反應器，有些使用燃燒週期長之高純度低濃縮鈾（HALEU）為燃料，其產生的放射性廢棄物放射性更高，因此將會產生不同於過往的高放射性廢棄物，需要重新設計相關燃料貯存設施，及燃料再利用處理設施，並且在基礎設施建設、運轉方式與管制單位都未曾有相關經驗，必需要重新探索與建立。

此外，SMR 尚需考慮許多問題，包含：用過核子燃料是否仍可以現行技術方法運送及貯存？用過核子燃料在運送貯存前，是否應先再處理？用過燃料貯存處置責任歸業者或政府？除役時是機組中的用過燃料是先取出，抑或連同機組一同運送至貯存處置地？對於輕水式 SMR 設計就尚須探索用過燃料的體積、中間過渡產物的體積、與現行廢棄物處理技術與要求之相容性等。而非輕水式 SMR 設計，則額外需要是探究議題有：產生放射性廢棄物種類、產生的廢棄物化學及物理性質、廢棄物貯存與處置設計、設施安全屏蔽議題，以及新安全管制要求等。尤其是 SMR 運轉在更高溫度、高腐蝕及高輻射的環境下，因此機組運轉監測、測量與數據收集等將更困難。因此就 SMR 放射性廢棄物管理，尚須由經濟、責任歸屬、科技、溝通、工業發展方面，加以探討與克服困難。

二、 分組技術會議

(一) 技術分組編號 2，放射性廢棄物處理 (Radioactive Wastes Treatment) 部分論文及海報內容摘要：

1. 先期模型推導新偵測極限以確認核電廠放射性氣體排放符合標準 (Preliminary Modeling to Derive New Detection Limits to Ensure Compliance with Discharge Limits for Gaseous Radioactive Effluent from NPPs)：

核電廠正常營運操作期間，設施會排放出液態或氣態物質，可以在符合管制機關規定及標準情形下排放，並進行排放物質輻射監測，確保環境輻射安全。

IAEA SRS 64 號報告強調持照業者應該監測放射性物質排放，以確保符合排放標準並提供詳細且精確的排放資料，作為評估民眾及環境輻射劑量的基礎。

核電廠也須進行例行採樣並量測其核種活度，量測系統必須有足夠的靈敏度及低偵測極限，以量化輻射劑量。

該研究發展了一種方法，可以推導核電廠氣態排放物質中每一個核種的效率偵測極限，也可以反映批次性排放及連續性排放的特性，並符合偵測極限排放標準。

該研究也確證此方法可以符合多核種氣體排放標準，但需要進一步調整操作流程，以達到足夠的操作邊界條件，因為此方法的操作假設條件(例如流速、排放體積等)均會影響結果。所以藉助操作經驗調整適當的假設條件，有助於推導出更實用的偵測極限及結果。

2. 鈣礬石合成、特性及應用(Synthesis, Characterization, and Application of Ettringite for Sequestration of C14 from Simulated Waste Solution)：

半衰期為 5730 年的碳 14 是輻射石墨深層地質處置的主要環境考量問題，因為它很容易在地下水和大氣系統中移動。石墨被廣泛用作各種核反應器中的緩衝劑、反射劑及燃料基質，全球約有 25 萬噸輻射石墨廢棄物，隨著石墨反應器的除役，預計石墨廢棄物數量會繼續增加。

鈣礬石是一種含水的鈣鋁硫酸鹽礦物，也是波特蘭水泥的水合產物，其化學式為 $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ，可以藉由氧化鋁、氧化鈣、及硫酸鹽在水

中反應來合成。此研究藉由模擬廢液合成鈣礬石，調查碳 14 在鹼性 pH 值(約 8.5)及高 pH 值(約 11.5)相關反應結果。

研究使用水熱合成法合成鈣礬石，此法合成的鈣礬石具有高度結晶及均質的特性，而合成的鈣礬石在濃度 100 ppm 碳酸氫鈉水溶液於室溫及高 pH 值條件下，用於去除碳酸氫鈉溶液中的碳 (此研究以 C 12 作為同位素 C 14 的替代品)。實驗結果顯示，鈣礬石結構在鹼性 pH 值(約 8.5)不穩定，但在高 pH 值(約 11.5)則相當穩定，此去除反應機制為假性二次反應(pseudo-second-order)，由實驗的脫附反應顯示在鹼性 pH 值及高 pH 值條件下，合成的鈣礬石都具有去除廢液中碳元素的潛勢。

3. **TRR 反應器廢離子交換樹脂安定化之單元及程序設計(The Unit and Process Design for the Stabilization of TRR Spent Ion Exchange Resins)：**

核電廠使用離子交換樹脂作為控制核反應器機組冷卻水品質，減緩系統組件腐蝕及老化，及去除放射性污染，由於離子交換樹脂因處理反應器冷卻水，因此會有主要的輻射污染，TRR 反應器的廢水處理程序產生約 13 立方米、2210 居禮活度的廢離子交換樹脂。TRR 廢離子交換樹脂的主要核種為分裂產物，包括 Cs 137、Sr 90、及超鈾元素，廢樹脂則被歸類為超 C 類廢棄物。

此研究使用地質聚合物(Geopolymer) 技術安定化 TRR 廢樹脂，整體安定化流程作業由三個工作站組成，第 1 個工作站分為兩個操作區，包括預處理區及取樣機械臂區；第 2 個工位站由五個操作區組成，分別為廢樹脂回收/分離區，陰離子交換樹脂固定化區，陽離子交換樹脂固定化區，攪拌漿洗滌區及臨時存儲區；第 3 個工作站則分為硬化劑單元及輔助系統，提供氣源和遠程控制平台。目前此項程序控制方案，研究單位已於 2022 年送主管機關申請核可。

4. **使用亞碲酸銀玻璃固化放射性碘 129 (Immobilization of Radioactive Iodine 129 using Silver Tellurite Glass)：**

碘在環境中具高溶解度及容易移動特性，且不被多數礦物吸收，日本 311 大地震二週後，在美國新罕布夏州偵測到福島核事故逸散出來的碘，且容易在

人體的甲狀腺中累積，所以長期安定的貯存有其必要。

亞碲酸銀玻璃具低融化點及高負載性，玻璃可以保有 11.23 %的碘，且在融化時無顯著蒸發損失，評估亞碲酸銀玻璃的化學耐久性，亞碲酸銀玻璃的溶解特性與矽酸玻璃不同。

5. **槽體滲漏測試成為廢棄物之評估指標(Tank leaching test as an evaluator for conditioning waste matrix)：**

由於貯存的空間有限，廢棄物必須進行相關處理及調節，以方便廢棄物管理作業，在這樣的情形下，廢棄物固定化在貯存設施及處置設施都是需要的。該研究選擇瀝青添加飛灰，來提升安定化廢棄物的特性，藉由使用燃煤廠飛灰固化放射性廢棄物，將飛灰回收再利用以減少工業廢棄物數量。

經實驗測試結果，含 15%廢樹脂及 15%飛灰的樣本，對於降低銫滲漏效果較好。研究整合廢樹脂及工業廢棄物，來達成放射性廢棄物管理，並對環境影響最小化，廢棄物經再利用而成為有用物質，並可以減少鋪設路面材料使用量。

(二) **技術分組編號 6，除污與拆除及環境 (Decontamination & Dismantling, Environment) 部分論文及海報內容摘要：**

1. **拆除工作後的設備除污技術應用研究 (A Study on the Applicability of Equipment Decontamination Technology for Taking out After Dismantling Work)：**

除役需使用許多拆除工具與設備，除役過程中這些工具與設備將受到輻射污染，因此這些工具與設備後續的除污方法就十分重要，否則反而會增加二次放射性廢棄物。此項研究比較數種除污方法，包含：超音波、乾冰、雷射除污技術，但不含化學除污，因化學除污將會產生許多二次放射性廢棄物，並且在除污過程中，工具或設備功能將會有所損壞。基本上，除污的物件表面若有孔洞或縫隙，除污效果就會不好。使用超音波除污技術，工具或設備容易因水波震動而受損，因此不是很有效。而乾冰或雷射除污技術屬於非接觸除污法，產生最少二次放射性廢棄物，但可能會有其他效應，例如：移除的污染物反而轉

移到其他位置，因此使用這種技術時，需要特別注意安裝連結具收集移除污染物的設備。此外，在拆除前也必須慎選拆除工具，以使後續工具或設備除污較容易。

2. **IPIX 及 EPSILON-G 儀器於核電廠除役輻射特性調查之應用 (Radiological Characterization for Decommissioning NPP Using IPIX and EPSILON-G) :**

輻射特性調查資料可藉由現場 γ 能譜、表面擦拭 (smear) 實驗室分析或鑽探取得。因前述調查需要很多時間及金錢，故 γ 照相機技術應用例如：IPIX 及 EPSILON-G，能快速測得各式各樣除役物件或廠址輻射特性之技術，將對除役有很大幫助。IPIX 儀器可藉由 γ 照相機快速定位並辨別出具一段距離的放射源。IPIX 儀器也可與 CZT 偵檢器結合成 IPIX-NID 儀器，讓使用者清楚知道該放射源包含那些核種，而無須任何同位素能譜分析知識。EPSILON-G 則是具高靈敏度及能力的閃爍偵檢器，可分析物件具有之核種。並且較康普敦攝影機具更好的解析度及線性度。南韓核電廠 Kori 1 號機及 Wolsong 1 號機將採用前述 γ 照相機技術，以保守地選擇合適的輻射特性調查取樣點。

3. **Kori 核電廠除役廠址限制性與非限制性使用之轉換評估 (Evaluation of the Transition Point for Restricted/Unrestricted Reuse of Decommissioning Kori Unit-1 Site) :**

南韓核電廠 Kori 1 號機鄰近其他機組，亦在其他機組禁制區 (EAB) 內，因此即使 1 號機完成除役，該場址使用方式仍將受限直到鄰近機組皆永久停止運轉。若 Kori 1 號機以 RESRAD 程式採工廠情節，評估超過 1,000 年人員曝露劑量，並不能真實反映實際情節，因此本研究針對 Kori 1 號機情況，在鄰近機組皆永久停止運轉前，以工廠情節評估該廠址殘餘濃度水平 (Derived Concentration Guideline Level, DCGL)，而在鄰近機組永久停止運轉之後，則採農夫情節評估該廠址 DCGL，以確認在兩情節轉換時間點之後，該廠址環境放射性殘餘輻射劑量小於 0.1 毫西弗/每年。此外廠址放射性核種不僅僅會自身衰變，亦會因環境侵蝕、表面逕流或沉積等環境現象而改變，因此在評估未來

廠址輻射劑量時，亦必須將環境現象納入考量。本次研究亦計算在 Kori 1 號機永久停止運轉後 9 及 55 年後之該廠址環境放射性殘餘輻射劑量。

4. **核電廠地下水監測最佳方式研究 (A Study on Optimization for Groundwater Monitoring Location in Nuclear Power Plant) :**

核電廠裡各式各樣的系統、組件及結構物若未經適當規劃外釋，這些物質可能會污染土地，放射性核種就可能滲入地下並經水流逕而污染地下水，此時可藉由而地下水監測水井監測污染情形。監測水井可分為兩類：警戒井 (sentinel well) 及邊界井 (boundary well)。考量污染物位置及地下水流梯度，前者設置於鄰近最高潛在可能產生污染之高梯度位置，後者則位於廠址邊界上。此外，可藉由 CSM (Conceptual Site Model) 程式，輸入各廠水力及地質特性資料，評估廠址地下水流情形。

5. **虛擬模擬使用遙控機械遠端拆除核電廠 (Virtual Simulator Development for Remote Dismantling of Nuclear Reactor Using Teleoperated Robot Manipulator) :**

目前核電廠自動化、最佳拆除應運為實務雙向遠端遙控系統 (bilateral teleoperation)。該遙控系統是個有主從關係的系統，可將觀察反饋到正在進行的工作。本次研究主要藉由虛擬模擬器模擬拆除核電廠內部組件。該虛擬模擬器由在虛擬反應器內部環境之虛擬主從機器人，以及外部主控觸覺裝置所組成，而該主控觸覺裝置藉由雙向遠端遙控系統操作機器人。此外，最理想的切割作業是機械人末端執行器 (robot end-effector) 應與實際反應器內部表面有一段距離。最新研究係以虛擬牆控制機械人末端執行器與反應器內部表面的距離，避免機械手臂接觸到反應器內部。

6. **以美國 Zion 核電廠不同情節推導 DCGL 之比較研究 (A Comparative Study on Derived Concentration Guideline Level for Surface Soil by Scenario at Zion LTP Using RESRAD-ONSITE Code) :**

美國核管會要求業者在核電廠執照終止前，應提送執照終止計畫 (license termination plan)。依據美國聯邦法規 10 CFR 50.82，執照終止計畫應包含廠址

環境輻射影響評估及其計畫細節，其中廠址環境輻射影響評估係藉由 RESRAD 程式推導 DCGL，評估除役後廠址輻射曝露劑量。美國 Zion 核電廠是一座於 1973 年商業運轉的壓水式核電廠，並於 1998 年永久停止運轉。美國 Zion 核電廠執照終止計畫，係採用農夫情節推導該廠址 DCGL。本次研究參考該廠執照終止計畫內容，以 Zion 核電廠工廠情節推導該廠址 DCGL 並進行兩者情節所需除役經費之比較，發現推導廠址 DCGL 以工廠情節相較農夫情節更有經濟效益。

7. 放射性混凝土廢棄物體積減少研究 (Scale-Up Study for Volume Reduction Process of Radioactive Concrete Waste From Decommissioning Projects) :

核電廠建物主要由混凝土構成，而混凝土係由沙子、水泥與水，以某比例混和聚合而成。目前放射性混凝土廢棄物體積減少方法，係以分離乾淨聚合物與水泥。涉及熱力學機制與化學處理順序三階段：熱力學機制處理、化學處理及廢水處理。第一階段主要處理粗聚合物並產生小顆粒；第二階段則利用化學方式，溶解第一階段所產生的小顆粒；第三階段則藉由化學沉降機制，移除含放射性核種之二次廢液。研究顯示利用此方法，可幫助每機組減少約 200 億除役費用，因此期待未來這項技術能加以發展運用。

8. 比較反應器壓力槽之水下與空氣中機械切割技術 (Comparison of Underwater/Air Mechanical Cutting Technology for RPV Dismantling) :

本次研究係以鋸刀切割物件，分別比較在空氣及水下切割表現。經實驗顯示在水中切割速率，較在空氣中切割快 2 倍，且在空氣中執行切割作業，鋸刀會逐漸損壞，使用壽命較短，並且在水下切割，該鋸刀有如塗有潤滑油或經冷卻，即水下切割環境優於空氣切割作業環境。

9. 除役後廠址限制性使用情境下，最極端情況失效之 DCGL 研究 (Evaluation of DCGL in Case of Limiting Conditions Failed for Restricted Reuse) :

為避免廠址在限制性使用情境下，最極端情況失效導致 DCGL 超出接受標準，本研究以 RESRAD-ONSITE 程式，採工廠模式，分析氫、碳 14、鈷 60、銻 137

及銻 238 等放射性核種衰變及遷移情形，並且曝露途徑比照非限制性使用之情境。本研究藉由改變輸入參數及靈敏度分析，計算在最極端情況失效時 DCGL 變化。結果發現在該極端失效情況下，通常對體外曝露有主要貢獻之放射性核種鈷 60，其 DCGL 並未受影響；而對於體內曝露有主要貢獻之放射性核種碳 14，其 DCGL 則受影響而有所降低，此係因體內曝露途徑主要來自於攝取生長在該除役廠址內之植物及動物。

肆、心得與建議

- 一、因受 COVID-19 疫情影響，本屆論壇採實體與虛擬會議(virtual meeting)並行方式召開，以便各國核能界與關心人士於疫情期間能順利參加，惟虛擬會議有訊號可能不穩定、未能充分取得會議資訊、非實況進行會議的方式亦無法與講者溝通、缺少會議後交流機會等缺點，建議未來無疫情影響後，優先考量派員參加實體會議。
- 二、美國管制機關(EPA)對放射性廢棄物處置設施 WIPP，每五年審查其再認證作業申請，以評估其處置廢棄物特性、品質保證作業、及廢棄物場址的安全性與妥善性等要項，並執行計劃性及非預警檢查方式，值得我國未來放射性廢棄物處置設施正式營運後之管制參考，以確保場址環境及民眾的安全。
- 三、本屆演講提到近年 SMR 被預期可幫助投資者減少許多投資經費及建造安裝快速，但其產生的放射性廢棄物管理，就經濟、責任歸屬、科技、溝通、工業發展等面相，仍有諸多議題尚需探究與克服，例如：燃料設計、產生的放射性廢棄物特性研究、放射性廢棄物貯存與最終處置之設計、燃料再利用處理設施之設計建造，以及安全運轉、防護相關措施之重新建立，因此建議持續追蹤國際 SMR 相關發展、運用與管制作法，以掌握國際能源發展應用之趨勢。
- 四、放射性廢物的存在是既有的事實，必須予以妥善管理，才能建立可永續發展的環境。放射性廢物管理不僅牽涉技術面向，也涉及政治和社會層面，需要時間和耐心、及有計畫地持續與民眾溝通，才能建立公眾共識，俾推動相關設施發展。

附件 1 會議議程

	Floor	LGF(B1F)				GF(1F)						
	Conference Room	Landing Ballroom A	Landing Ballroom B	Landing Ballroom C	Foyer	Halla Room A	Halla Room B	Halla Room C	Baeng-nok Room	Eorimok Room		
DAY 1 October 26 (Wed)	13:00 ~ 13:30	Opening Session										
	13:30 ~ 14:00	Plenary Session I										
	14:00 ~ 14:30											
	14:30 ~ 15:00	Break Time										
	15:00 ~ 15:30											
	15:30 ~ 16:00	Plenary Session II										
	16:00 ~ 16:30											
	16:30 ~ 16:40											
	16:40 ~ 17:00											
	17:00 ~ 17:30			Technical Session 5. SNF/HLW Disposal	Poster Session	Technical Session 6. D&D, Environment	Technical Session 2. Radioactive Wastes Treatment	Technical Session 3. LLW/LLW Disposal	Technical Session 4. SNF Storage			
	17:30 ~ 18:00											
	18:00 ~ 18:30											
	18:30 ~ 19:00	Banquet										
19:00 ~ 19:30												
19:30 ~ 20:00												
DAY 2 October 27 (Thur)	09:00 ~ 09:20									Technical Session		
	09:20 ~ 09:40	Technical Session 6. D&D, Environment	Technical Session 2. Radioactive Wastes Treatment	Technical Session 5. SNF/HLW Disposal	Poster Session					Technical Session 3. LLW/LLW Disposal		
	09:40 ~ 10:00											
	10:00 ~ 10:20											
	10:20 ~ 10:40	Break Time	Break Time	Break Time						Break Time		
	10:40 ~ 11:00											
	11:00 ~ 11:20	Technical Session 6. D&D, Environment	Technical Session 2. Radioactive Wastes Treatment	Technical Session 5. SNF/HLW Disposal						Technical Session 3. LLW/LLW Disposal		
	11:20 ~ 11:40											
	11:40 ~ 12:00											
	12:00 ~ 12:30	Lunch Time										
	12:30 ~ 13:00											
12:30 ~ 13:00												
13:00 ~ 13:30												
13:30 ~ 14:00												
DAY 3 Oct. 28(Fri)	Technical Tour (*Only those who applied)											
	09:00	Jeju Shinhwa World										
		Seongsan Sunrise Peak										
	09:00 ~ 13:00	Manjanggul Lava Tube										
	13:00	Jeju Shinhwa World										

Plenary Session

Date October 26 (Wed)

Landing Ballroom A + B (LGF)

Chair : Yong Deog Kim (KHNP CRI)

13:30	Recertification of the Waste Isolation Pilot Plant: Performance Assessment Calculations to Demonstrate Regulatory Compliance Sarah Brunell Sandia National Laboratories (SNL) USA
14:00	Radioactive Waste Management in Taiwan Min-Tsang Chang Atomic Energy Council (AEC) TAIWAN
14:30	Status of Geological Disposal Program in Japan Tetsuo Fujiyama Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) JAPAN
15:00	Break Time
15:30	Construction of Beishan Underground Research Laboratory for Geological Disposal of High Level Radioactive Waste Ju Wang Beijing Research Institute of Uranium Geology (BRIUG) CHINA
16:00	SMR and Radioactive Waste Management Sung Yeol Choi Seoul National University (SNU) KOREA

附件 2 發表簡報資料



Radioactive Waste Management in Taiwan

**Fuel Cycle and Materials Administration
Atomic Energy Council, Taiwan(R.O.C.)**

26 October 2022



Outline

- **Introduction**
- **Low-Level Waste Management**
 - **LLW Treatment and Storage**
 - **LLW Final Disposal**
- **Spent Fuel Management**
 - **SF Dry Storage**
 - **SF Final Disposal**
- **Public Acceptance**
- **Summary**

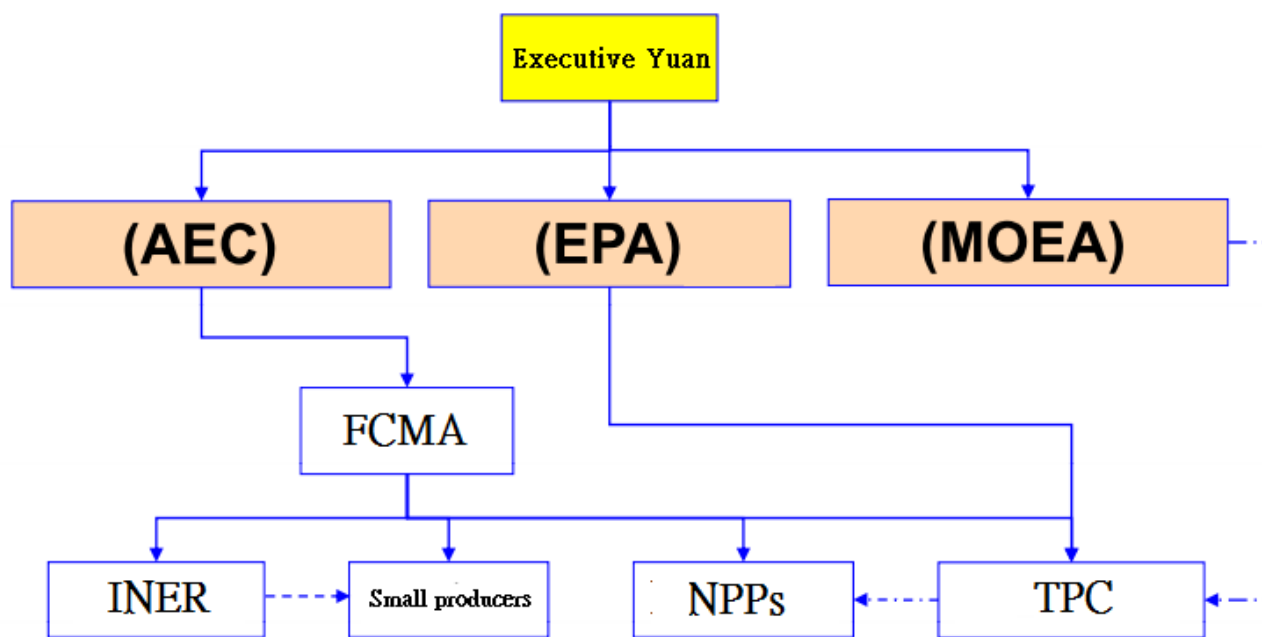


Introduction

- ❑ **Radioactive Waste Management Policy**
 - Promulgated in 1988, and amended in 1997
 - Follow “Fundamental Safety Principles”, IAEA Safety Standards Series No. SF-1.
- ❑ **Radioactive Waste Classification**
 - High-level waste (HLW, Spent Fuel)
 - Low-level waste (LLW, other than HLW)
- ❑ **LLW Management Strategy**
 - Minimization, Solidification, Safe Storage and Disposal
- ❑ **Spent Fuel Management Strategy**
 - Short-term: pool storage
 - Med-term: on-site dry storage
 - Long-term: direct disposal



Radwaste Management and Regulation Organization



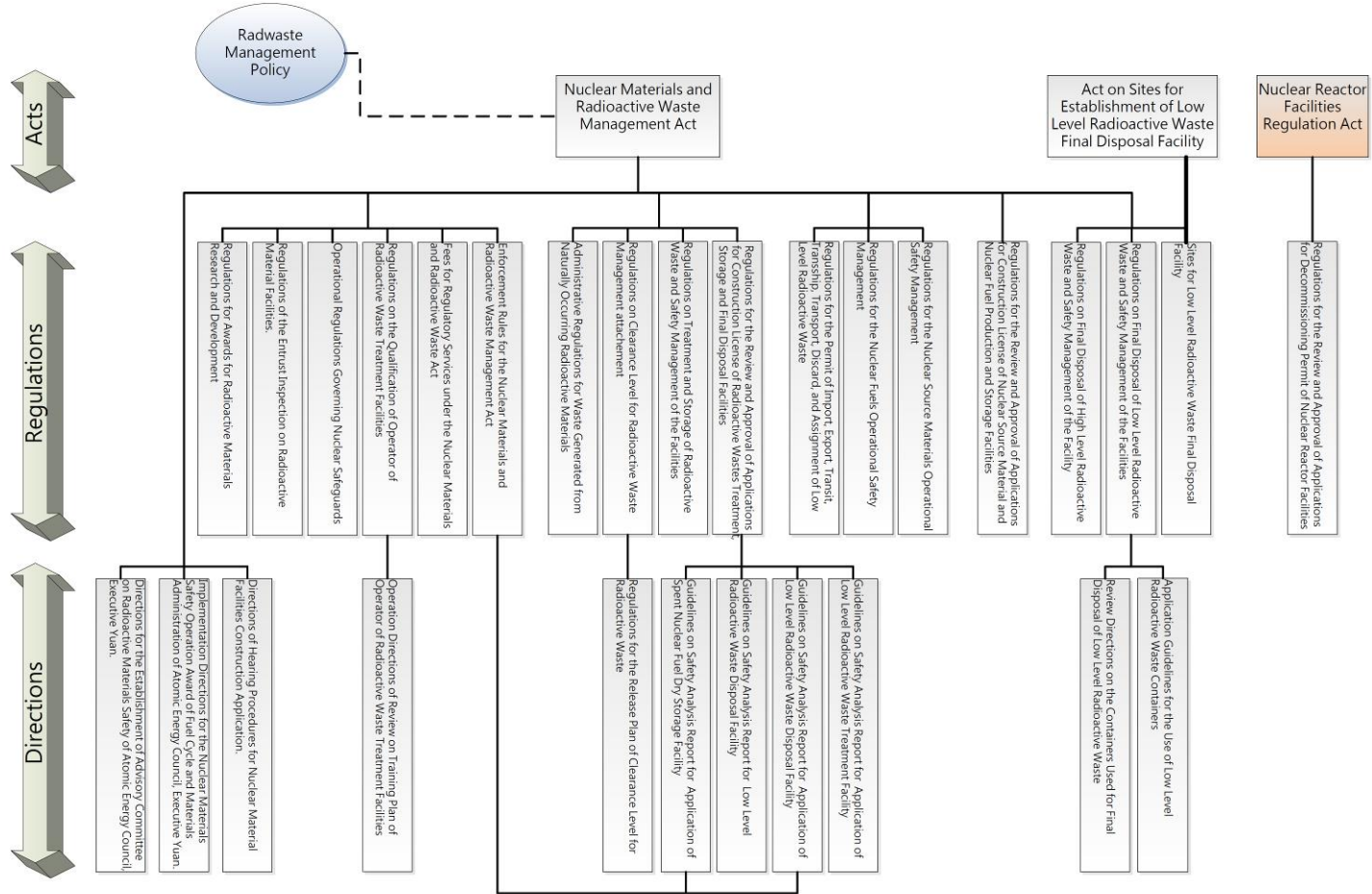
- AEC:** Atomic Energy Council
- EPA:** Environmental Protection Administration
- MOEA:** Ministry of Economic Affairs
- FCMA:** Fuel Cycle and Materials Administration
- INER:** Institute of Nuclear Energy Research
- TPC:** Taiwan Power Company
- NPPs:** Nuclear Power Plants

Regulatory — Management - - - - - Technical support - - - - -



Legal and Regulatory System

Nuclear Materials and Radioactive Waste Management Act system





Main Nuclear Facilities in Taiwan

In decommissioning

Reactor #1 in decommissioning



Chinshan NPP (CS)

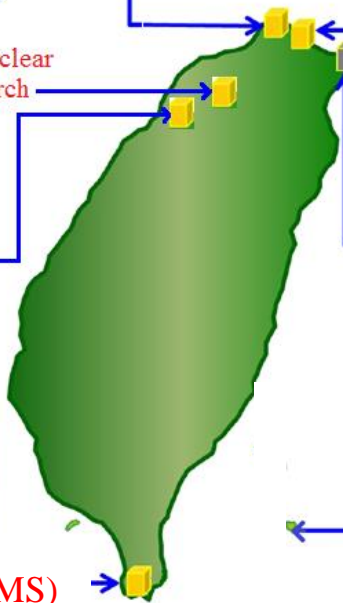
(BWR -- 636 MWe × 2)
commercial operation in
1978 and 1979



**Institute of Nuclear
Energy Research**



**National
Tsing Hua
University**



**Kuosheng NPP
(KS)**

(BWR -- 985 MWe × 2)
commercial operation in
1981 and 1983



Lungmen NPP

(ABWR – 1350 MWe × 2)
construction license expired



Maanshan NPP (MS)

(PWR -- 951 MWe × 2)
commercial operation in
1984 and 1985

**Orchid Island LLRW
Storage Site**

completed construction and
started operation in 1982





Outline

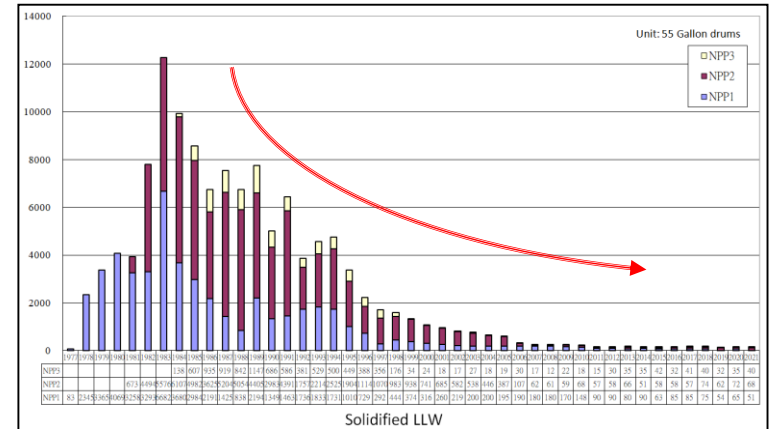
- **Introduction**
- **Low-Level Waste Management**
 - **LLW Treatment and Storage**
 - **LLW Final Disposal**
- **Spent Fuel Management**
 - **SF Dry Storage**
 - **SF Final Disposal**
- **Public Acceptance**
- **Summary**



LLW Treatment and Storage

● Minimization and Solidification

- ◆ The amount of solidified LLW has been reduced to the minimum practicable.
- ◆ 159 drums of solidified LLW generated by 3 NPPs in 2021



● Safe Storage

- ◆ Air-conditioned, automated and well-shielded storage
- ◆ Total storage capacity is 222,361 drums :

Chinshan NPP: 101,204 drums (45,116 drums in storage, August 2022)

Kuosheng NPP: 91,133 drums (58,746 drums in storage, August 2022)

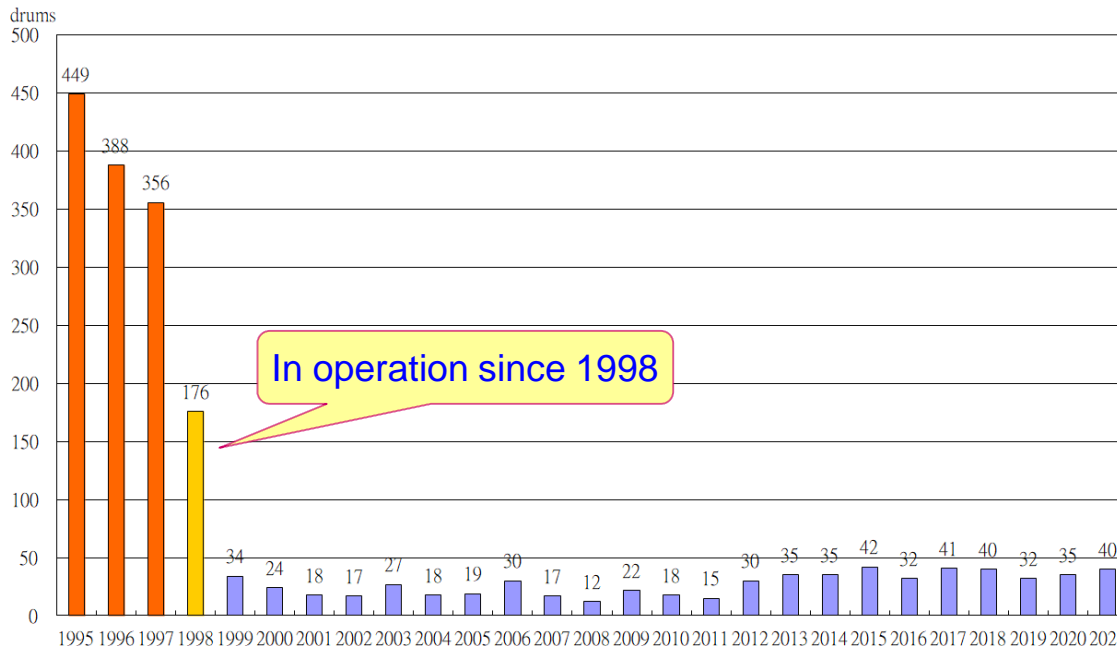
Maanshan NPP: 30,024 drums (9,733 drums in storage, August 2022)





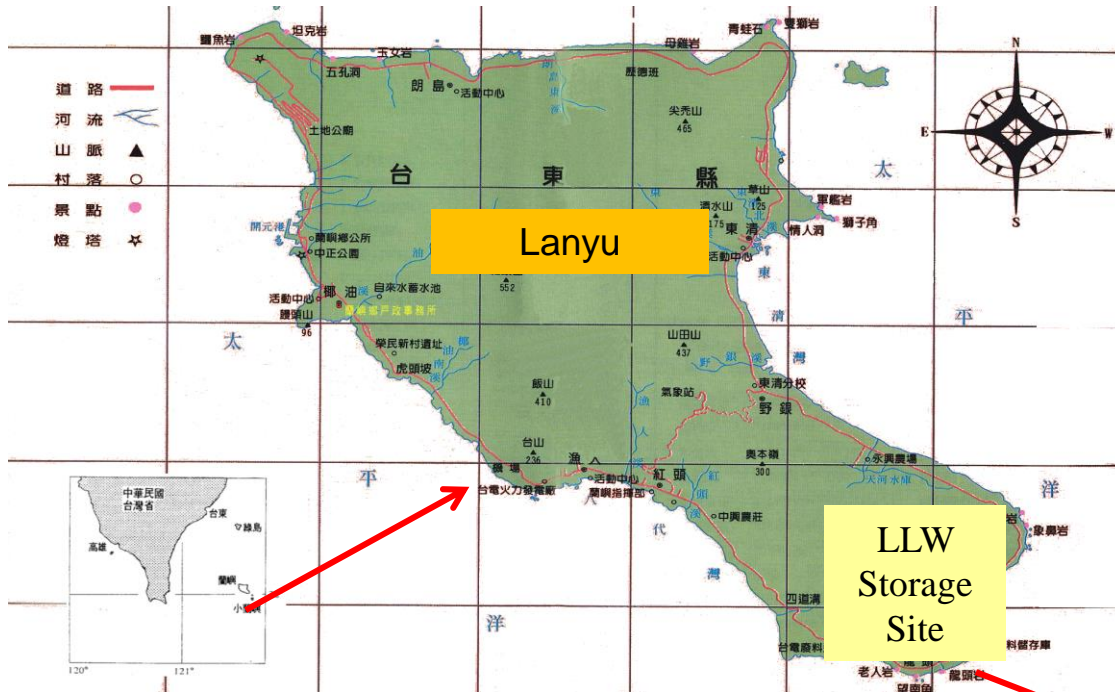
LLW Treatment and Storage

- ❑ PWRHEST (High-Efficiency Solidification Technology, HEST) system was installed at MS in 1998.
- ❑ Annual amount of solidified waste at MS has decreased from 400~500 drums to about 40 drums after 1998.





Lanyu (Orchid Island) LLW Storage Site



- ❑ Aboriginal people (TAO tribe)
- ❑ Over 100,000 drums of LLW stored at the storage site
- ❑ Hot, humid and salty environment
- ❑ Re-examining and repacking LLW completed in 2011
- ❑ Including 35,867 drums placed into galvanized containers to enhance storage safety.



Outline

- Introduction
- **Low-Level Waste Management**
 - LLW Treatment and Storage
 - **LLW Final Disposal**
- Spent Fuel Management
 - SF Dry Storage
 - SF Final Disposal
- Public Acceptance
- Summary



Recommended Candidate Sites for LLW final disposal



Rock: granite
Hsiao-chiou islet, Kinmen
County

Rock: argillite
Daren town, Taitung
County



Centralized Interim Storage

- ❑ According to TPC's LLW Final Disposal Plan, the LLW disposal site should be determined by March 2016, but it's delayed now.
- ❑ In order to cope with uncertain installation of LLW final disposal facility due to no siting referendum held by local governments, AEC requested TPC to propose a substitute program "centralized interim storage facility (CSF)" for backup .
- ❑ AEC reviewed and approved the substitute program in 2017, and requested TPC to implement the CSF program on schedule.

Preliminary concept design of CSF





Centralized Interim Storage

- ❑ **TPC also submitted the feasibility research report of CFS program to MOEA in 2016, and submitted to “Nuclear-Free Homeland Task Force” in 2017, an affiliate of Executive Yuan, for consensus and decision-making.**
- ❑ **In March 2019, the Task Force has determined TPC should implement the CSF program, meanwhile strengthen public communication for consensus .**

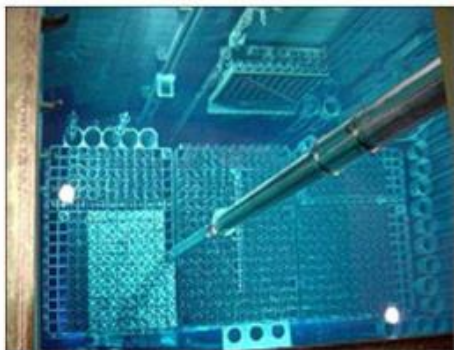
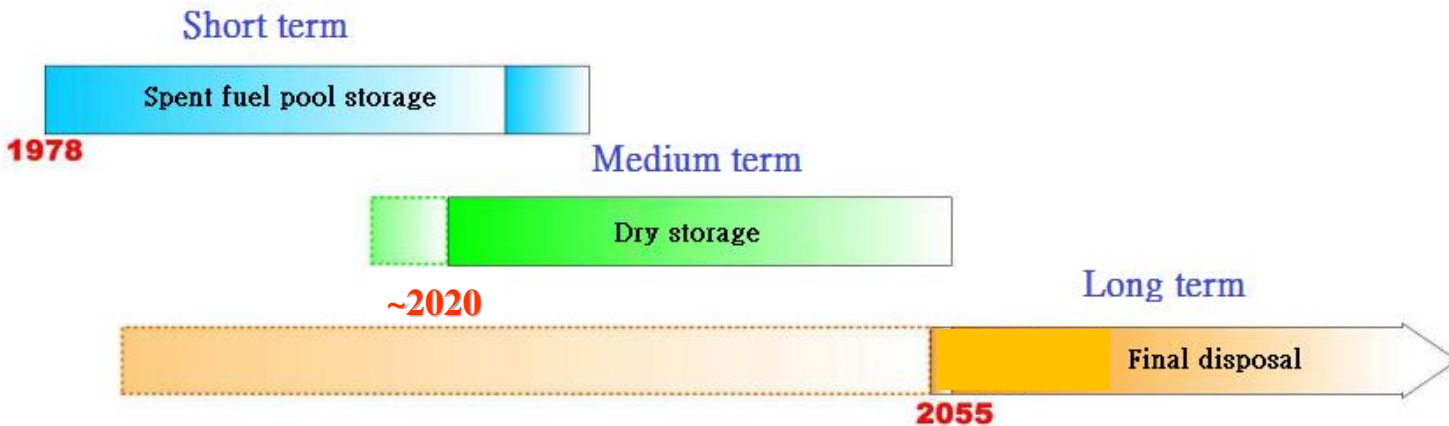


Outline

- Introduction
- Low-Level Waste Management
 - LLW Treatment and Storage
 - LLW Final Disposal
- Spent Fuel Management
 - SF Dry Storage
 - SF Final Disposal
- Public Acceptance
- Summary



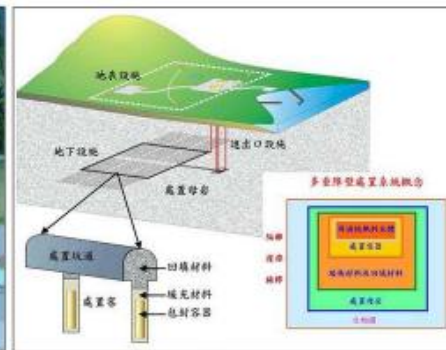
Spent Fuel Management Strategies



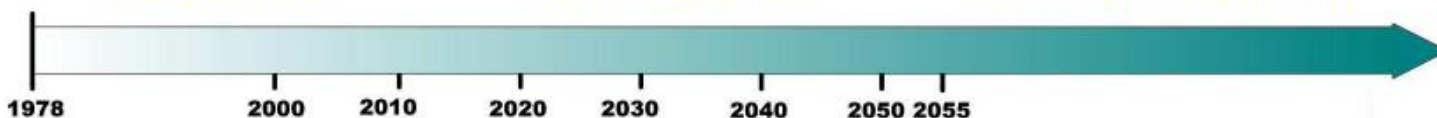
Spent fuel pool



Dry storage facility



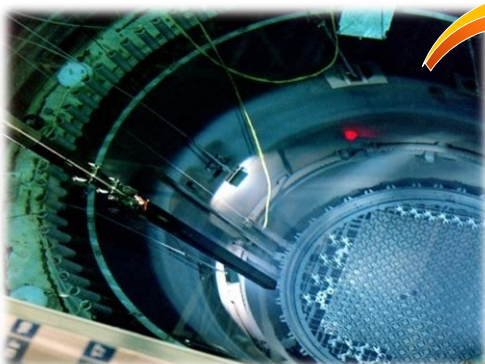
Final disposal repository



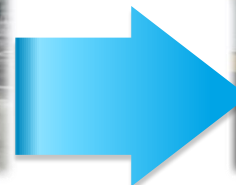
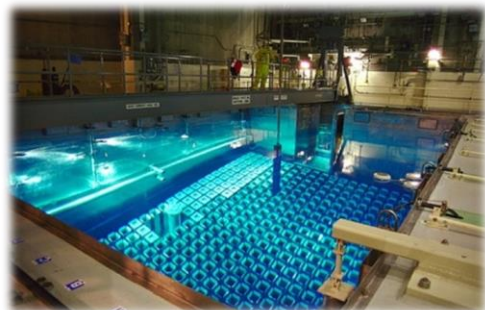


Dry Storage needed for NPP Decommissioning

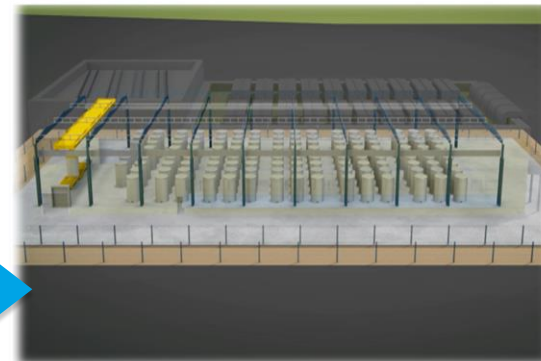
- **Public consensus** is needed
- Design to **accommodate all SF** in NPPs



Phase 1
Outdoor Dry Storage Facility



Phase 2
Indoor Dry Storage Facility





Status of Dry Storage Project : Outdoor Phase

CS NPP

- AEC has agreed TPC can undertake **Hot Test run of SF Dry storage** in **September 2013**.
- However the local government **has not issued the necessary official document to allow TPC to do test**.



Hindered

KS NPP

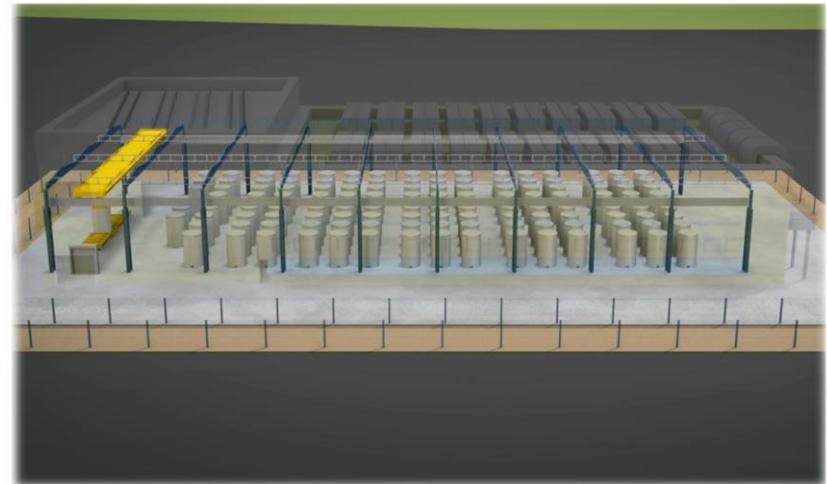
- AEC has **issued a construction permit of SF Dry storage** in **August 2015**.
- However the local government **has not issued the necessary environmental document to allow TPC to start construction**.





Status of the Dry Storage Projects : Indoor Phase

- The construction plan has been approved in July 2018 for CS NPP, and in April 2021 for KS NPP, respectively.
- All spent fuel in NPPs in Outdoor Phase will be transferred to Indoor Phase.
- CS's procurement procedure for Indoor-Phase dry storage is undergoing.



Schematic Diagram



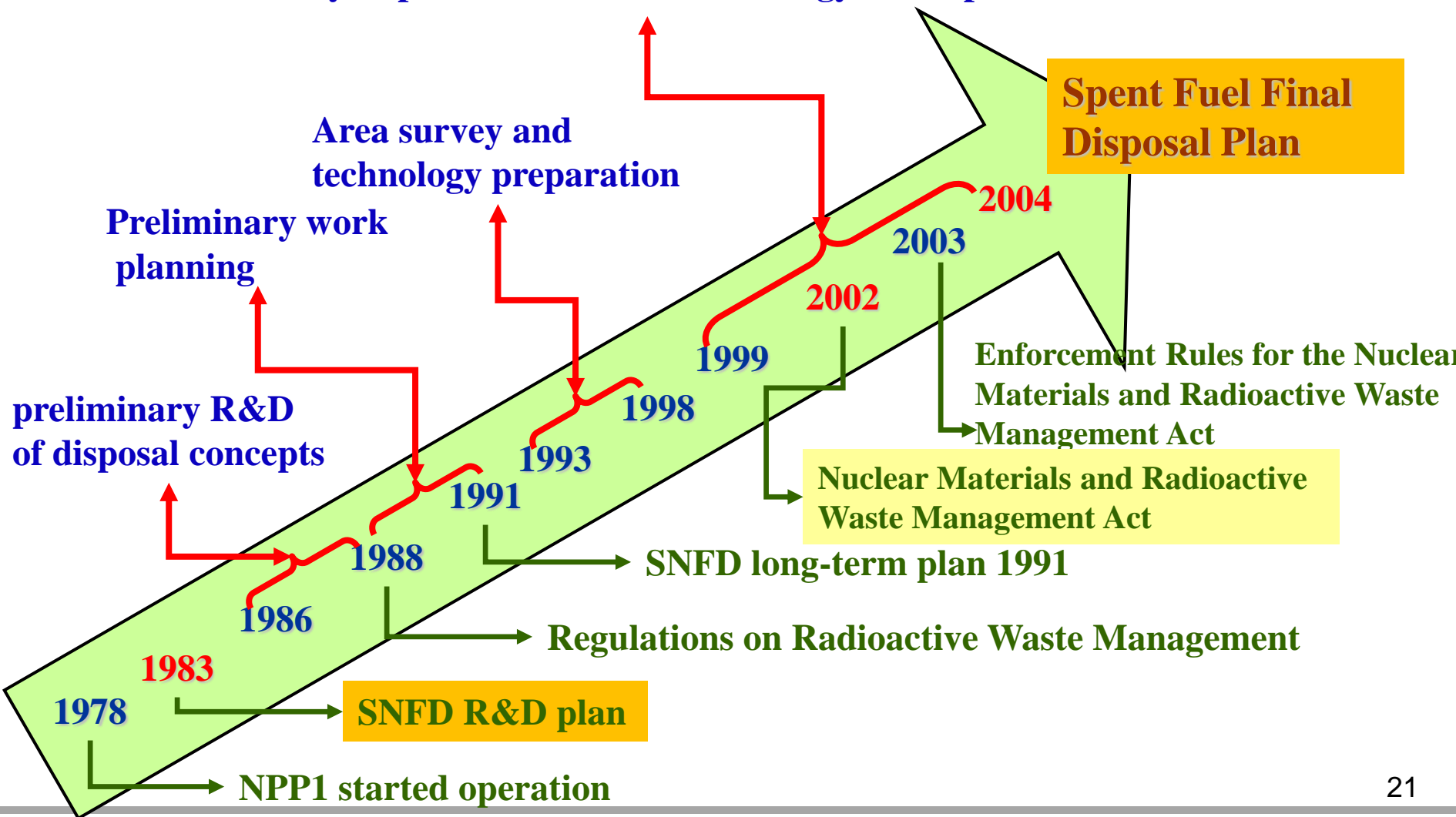
Outline

- **Introduction**
- **Low-Level Waste Management**
 - **LLW Treatment and Storage**
 - **LLW Final Disposal**
- **Spent Fuel Management**
 - **SF Dry Storage**
 - **SF Final Disposal**
- **Public Acceptance**
- **Summary**



Schedule/status-History of SNF long-term disposal

Survey implementation and technology development





Schedule/status—Stages of SNF disposal Program





Spent Fuel Management

- According to the Spent Nuclear Fuel Disposal Plan, AEC requested TPC to prepare a R&D progress report of spent fuel final disposal in the first stage, named SNFD 2017 report, to demonstrate the technical capability in Taiwan.
- In addition, AEC requested TPC to carry out an international peer review of the SNFD2017 report before TPC submitted the report to AEC.
- After TPC completed international peer review, AEC finished review of SNFD 2017 report in December 2018, and requested TPC to strengthen public communication.
- TPC submitted the "Preliminary Safety Case Report on Final Disposal of Spent Nuclear Fuel "(SNFD2021) to AEC for review in December 2021.



Outline

- Introduction
- Low-Level Waste Management
 - LLW Treatment and Storage
 - LLW Final Disposal
- Spent Fuel Management
 - SF Dry Storage
 - SF Final Disposal
- **Public Acceptance**
- Summary



Public Acceptance

- ❑ **Public Observation on SF Dry Storage Facility**
- ❑ **Public Participation in Environmental Radiation Monitoring**



Public Observation on SF Dry Storage Facility

- ❖ 20 Delegates were invited from local communities (village chiefs, directors of community associations, stakeholder representatives), local government, experts and environmental NGOs.
- ❖ Delegates visited SF dry storage facility at Chinshan and observed on the construction quality of the facility and monitored the environmental radiation around the facility.



Public Observation on SF Dry Storage Facility



Communication meeting



Radiation monitoring



Site visiting



Radiation monitoring



Public Participation in Environmental Monitoring

❖ 1st stage (2008 ~ 2010):

- Invite delegates from scholars and experts to visit Lanyu storage site
- Scholars and experts sent the visiting report to Lanyu residents

❖ 2nd stage (2011 ~ 2012):

- Invite delegates from environmental NGO to visit Lanyu storage site
- delegates shared the visiting findings to Lanyu residents

❖ 3rd stage (2013 ~ Currently):

- Invite Lanyu residents to participate in environmental monitoring and sampling
- Invite legislators to visit to Lanyu storage site and inspect radwaste condition and measure radiation in a random selected trench, then observe the environmental monitoring around Lanyu

- ❖ **Final goal:** the well-trained voluntary residents undertake radiation monitoring and sampling to have a double check by themselves





Public Participation in Environmental Monitoring

Environmental Sampling & Radiation Monitoring at Lanyu



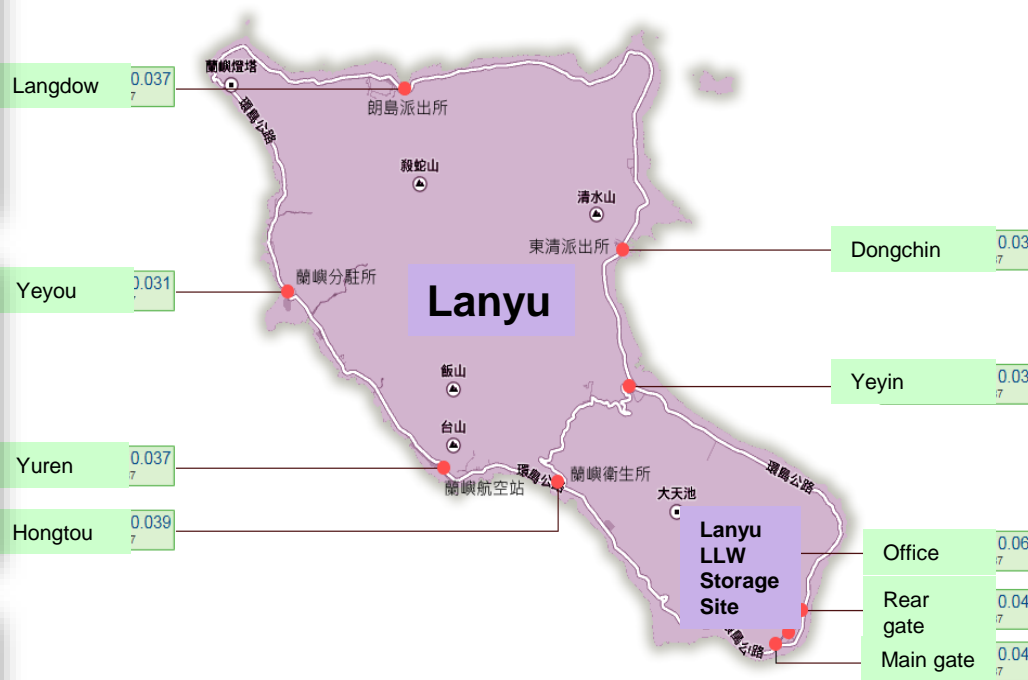
Introduction before sampling



Environmental radiation detection



Detection record



Frequency: 5min, unit: $\mu\text{Sv/hr}$

All results were far below regulatory concern, and radiation dose were at the level of environmental radiation background



Water sampling



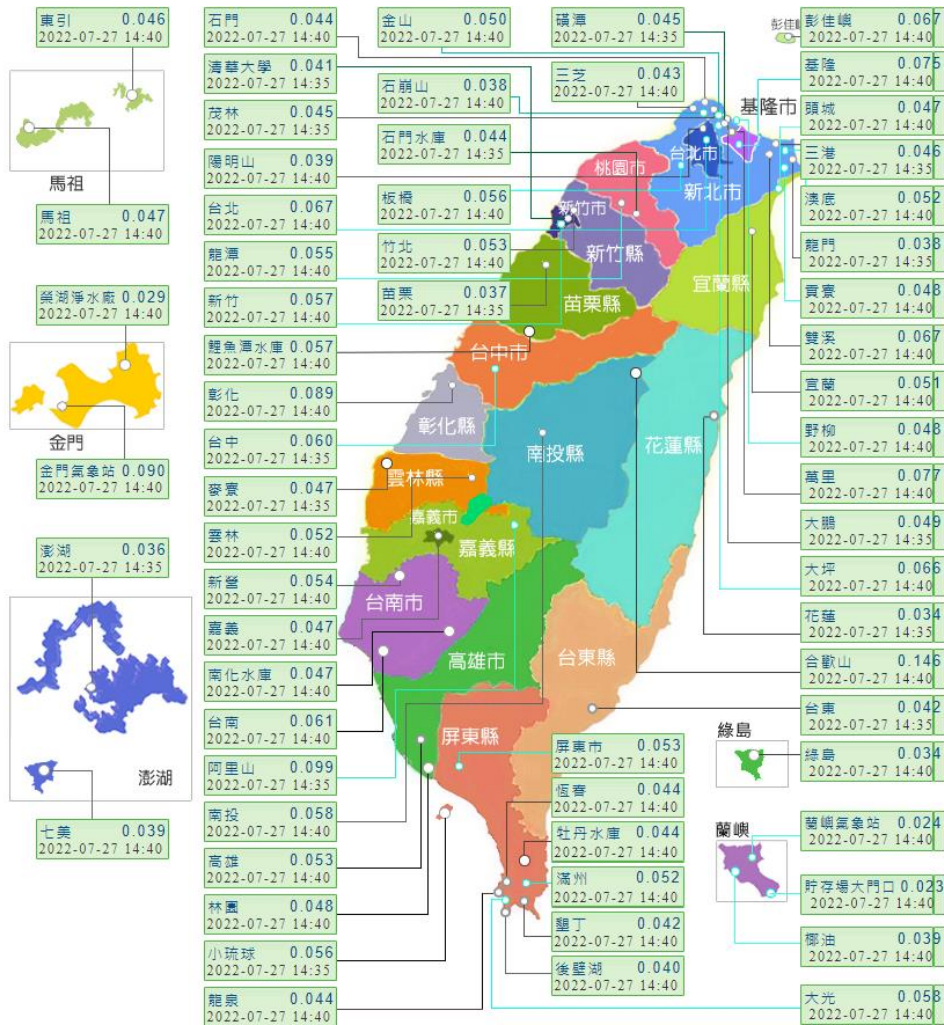
Soil & grass sampling



Yam sampling



Public Participation in Environmental Monitoring



≤ 0.2 μSv/h : range of background radiation

unit : μSv/h

Real-time Environmental Radiation Monitoring System Around Taiwan



Outline

- Introduction
- Low-Level Waste Management
 - LLW Treatment and Storage
 - LLW Final Disposal
- Spent Fuel Management
 - SF Dry Storage
 - SF Final Disposal
- Public Acceptance
- Summary



Summary

- ❑ **“Nuclear-free homeland”** is Taiwan’s government policy. As a **“Guardian of Nuclear Safety”**, AEC implements regulatory measures to ensure radwaste management safely and properly.
- ❑ **Radwaste is the existing practice**, and must be well managed to establish a sustainable environment.



Summary

- ❑ Radwaste management is not only technical, but also political and social issue, and it takes time and patience to reach public consensus.
- ❑ Public acceptance is a key factor to make radwaste management and regulatory control successful.



行政院原子能委員會

Atomic Energy Council

輻安核安 民眾心安 日新又新 專業創新



Thank you for Your Attention