

核能安全委員會委託研究期末報告

114 年度我國原子能施政支援體系建構計畫

(NSC11312098L)

分項研究：我國原子能管制技術支援體系建構(2/4)

執行期間：114 年 3 月 18 日至 114 年 12 月 20 日

執行機構：財團法人核能科技協進會

計畫主持人：陳傳宗顧問

計畫協同主持人：廖識鴻顧問

計畫協同主持人：陳條宗顧問

中華民國 114 年 11 月

目錄

| | |
|-------------------------------------|----|
| 中文摘要 | 6 |
| Abstract..... | 7 |
| 一、前言 | 8 |
| 二、國際原子能安全管制技術支援組織(TSO)相關資訊蒐集與研析 .9 | |
| (一) 各國 TSO 制度概況..... | 10 |
| (二) TSO 的挑戰與問題..... | 13 |
| (三) TSO 階段支援任務及支援形式..... | 15 |
| (四) 台灣現況分析與發展建議 | 17 |
| (五) 結論與建議 | 20 |
| 三、國內原子能安全管制計畫資訊蒐集與分析..... | 22 |
| 四、國內核電廠安全管制相關技術要項盤點..... | 24 |
| 五、國內初步核後端安全管制技術及決策支援平台建構..... | 25 |
| 六、核後端各技術領域之 TSO 專家座談會舉辦 | 29 |
| (一) 第一場座談會「核設施除役」 | 29 |
| (二) 第二場座談會「高/低放廢棄物處置」 | 33 |
| (三) 第三場座談會「低放廢棄物處理/貯存」+「用過核子燃料乾式貯存」 | 36 |
| (四) 座談會後問卷彙總 | 44 |
| 七、討論 | 51 |
| 八、結論與建議..... | 53 |
| 參考文獻 | 55 |

| | |
|--|----|
| 附件一、原子能管制技術支援體系建構計畫「核設施除役」管制技術座談會紀要..... | 58 |
| 附件二、原子能管制技術支援體系建構計畫「高/低放射性廢棄物處置」管制技術座談會紀要..... | 64 |
| 附件三、原子能管制技術支援體系建構計畫「用過核子燃料乾式貯存+低放廢棄物處理與貯存」管制技術座談會紀要..... | 70 |
| 附件四、核協會拜會核安會物管組、綜規組 會談綱要..... | 76 |
| 附件五、中長期貯存安全管制材料老化研究..... | 79 |
| 附件六、放射性廢棄物處置安全論證審查技術之建立..... | 80 |
| 附件七、應用於低放廢棄物貯存金屬材料之大氣腐蝕劣化影響評估 | 81 |

表目錄

| | |
|---|----|
| 表 1 各國 TSO 的狀況及形式 | 11 |
| 表 2 TSO 的階段支援任務 | 17 |
| 表 3 台灣 TSO 現況及做法 | 20 |
| 表 4 原子能支援安全管制科技趨勢研析-MF 統計 (委託計畫件數)..... | 23 |
| 表 5 原子能支援安全管制科技趨勢研析-核安會+國原院研究計畫件數統計 | 23 |
| 表 6 國內核後端安全管制相關技術要項盤點..... | 24 |
| 表 7 第一場「核設施除役」座談會議程..... | 29 |
| 表 8 第二場「高/低放廢棄物處置」座談會議程..... | 33 |
| 表 9 第三場「低放廢棄物處理與貯存+用過核子燃料乾式貯存」座談會議程..... | 36 |
| 表 10 「核設施除役」問卷彙總表(1/3)..... | 44 |
| 表 11 「核設施除役」問卷彙總表(2/3)..... | 45 |
| 表 12 「核設施除役」問卷彙總表(3/3)..... | 46 |
| 表 13 「用過核子燃料最終深層地質處置」問卷彙總表(1/2)..... | 47 |
| 表 14 「用過核子燃料最終深層地質處置」問卷彙總表(2/2)..... | 48 |
| 表 15 「低放廢棄物處理/貯存」+「用過核子燃料乾式貯存」問卷彙總表..... | 49 |

圖目錄

| | |
|----------------------------------|-------------|
| 圖 1 運轉中反應器數量 | 12 |
| 圖 2 永久停機反應器數量 | 13 |
| 圖 3 初步原子能科技發展策略及決策支援平台架構 | 25 |
| 圖 4 國際原子能管制技術支援組織架構 | 26 |
| 圖 5 我國原子能管制技術支援組織架構 | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 6 國際原子能管制技術支援組織(TSO)架構說明 | 27 |

中文摘要

核能安全委員會為建立技術支援體系(TSO)，進行核電廠除役相關技術要項盤點，如核廢料貯存及處置技術等，並進行技術支援體系的資料整理，如：國外TSO的文獻整理、經由歷年委託「原子能科技學術合作研究計畫(以下簡稱MF)」及「核安會+國原院委託或執行研究計畫」兩類計畫，整理技術支援團隊、計畫名稱/議題等資料；辦理國內相關團隊/專家學者之互動交流會議，了解每個技術支援組織的技術專長、能力範圍與團隊人力。本計畫範圍將侷限於核後端安全管制技術，延續國內技術支援體系的整理及更新。

關鍵字：核能管制、技術支援體系、核後端

Abstract

The Nuclear Safety Commission is establishing a Technical Support Organization (TSO) to inventory the technical requirements related to the decommissioning of nuclear power plants, such as nuclear waste storage and disposal technologies. This includes organizing data for the technical support system, such as compiling literature on foreign TSOs and organizing information from past commissioned projects, including the "Nuclear Science and Technology Academic Cooperation Research Program" (referred to as MF) and the "Nuclear Safety Commission + National Atomic Energy Institute Commissioned or Executed Research Projects." The goal is to compile data on technical support teams, project names/issues, etc. Additionally, domestic interaction and exchange meetings were held to understand the technical expertise, capability scope, and team manpower of each technical support organization. This project scope will be limited to post-nuclear safety control technologies, continuing the organization and updating of the domestic technical support system.

keywords: Nuclear Regulation, Technical Support Organization, Nuclear Backend

一、前言

鑒於原子能科技已廣泛應用於醫、農、工業及環境永續，根據核能安全委員會(以下簡稱核安會)訂有並提交行政院核備的 111 至 114 年「原子能科技民生應用發展策略藍圖」 [1]，作為近年來布局原子能科技研發之政策基礎，特委託財團法人核能科技協進會(以下簡稱核協會)執行「我國原子能施政支援體系建構計畫」(以下簡稱本計畫)。另為因應國際局勢變化快速，科技日新月異，國家淨零轉型等需求；核安會為強化與國內法人及學研機構之政策及業務合作，廣泛研析國際原子能科技資訊，先期歸納國際原子能重要科研體系、發展策略及合作管道，作為未來建立我國原子能科技施政決策支援體系之基礎。為能配合核安會之施政目標，將以 113-116 年為期四年來推動本計畫。

本計畫將包括下列 2 項研究重點：「我國原子能科技決策支援體系建構」及「我國原子能管制技術支援體系建構」，本案為後者；根據本年度(114 年)之研究計畫目標，包括下列三項：(1)盤點除役計畫要項：風險評估、核廢棄物貯存、除污、除役期間工作人員及民眾的輻射安全。(2)組織國內相關專家學者，建立平台。(3)會議舉辦-目的為相關組織及專家學者互動交流，討論如何支援及其支援形式。故 114 年度之工作目標，將朝向上述三個目標推動與執行。

以下將於本報告第二章繼續就 IAEA 所出版有關原子能管制技術支援組織 (TSO)的報告，加以蒐集、摘閱、整理與編撰，並將提出未來如何執行原子能管制技術支援組織建制的建議說明；同時也將配合第五章「國內初步核後端安全管理技術及決策支援平台建構」說明，蒐集並整理國際各 TSO 的相關資料。第三章將蒐集我國原子能安全管理相關機構 109-114 年發展與規劃計畫及其成果，進行蒐集與研析，提出對核安會與國家原子能科技研究院(國原院)歷年來，針對原子能安全管理計畫之核後端技術性質之分析與整理，並說明初步結果。第四章則就國內核電廠安全管理相關技術要項進行盤點，仍只限制在核後端部分(包含除役、低放貯存處理、乾式貯存、低放處置及高放處置等技術領域)，針對核後端技術各領域之技術要項細節，做出進一步技術要項修訂，以提供核安會參考。第五章「國內初步核後端安全管理技術及決策支援平台建構」，係配合核資中心負責的「我國原子能科技決策支援體系建構」分項計畫，提供未來網頁所需功能方塊架構所需。第六章「核後端各技術領域之 TSO 專家座談會舉辦」為本年度計畫最為持重的工作，已舉行三場座談會，將分別說明議程、各引言人簡報內容摘要、會議紀錄及結論與建議等。第七章討論本案執行迄今之心得；最後，第八章做一結論與建議。

二、國際原子能安全管制技術支援組織(TSO)相關資訊蒐集與研析

原子能管制技術支援組織(Technical and Scientific Support Organizations, TSOs)，是專門提供核能安全、輻射防護及核能設施監管所需技術支持的組織[2]。根據國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)的定義，TSO 係指提供核設施安全審查、法規建議、風險評估與應變支援等功能的組織，得為監管機構內部單位，亦可為具公信力的外部法人機構 [2]；因此，可以分為管制機關之內部 TSO 及外部 TSO。以美國為例，其核能管制委員會(NRC)下設的研究辦公室(Office of Nuclear Regulatory Research, RES)即屬於典型的內部 TSO，其主要功能為進行核能安全研究並支援監管標準之制定 [3]。日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)則屬於外部 TSO，獨立於日本核能監管單位-原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)，為 NRA 提供輻射監測數據、核設施事故評估技術、放射性廢棄物處理與處置評估及除役技術專業建議。TSO 主要功能包括但不限於：協助進行核設施安全審查、提供科學技術研究結果支援監管決策、制定或協助制定法規與標準、參與應變計畫、進行環境監測與評估、輻射防護、運轉經驗資料的分析與應用，以及提供教育訓練與技術溝通平台等 [2]。IAEA 為推廣 TSO，於 2007 年開始，分別在法國(2007)、日本(2010)、中國(2014)、比利時(2018)及奧地利(2024)舉辦國際會議，討論 TSO 組織對於核能安全及核子保安的重要性、挑戰及如何強化等議題 [4-7]。為強化 TSO 間的合作與經驗交流，IAEA 於 2010 年技術與科學支援組織論壇(Technical and Scientific Support Organization Forum, TSOF) [8]，協助成員國發展和加強其技術與科學能力，以支援監管職能。歐洲則是建立歐洲技術安全組織網絡(European Technical Safety Organisations Network, ETSON) [9]，由多個歐洲國家的 TSO 組成的網絡介面，致力於促進核安全技術的協調與合作，ETSON 的成員組織共同制定了技術安全評估指南(Technical Safety Assessment Guides, TSAG) [10]，作為核能設施安全評估的共同參考依據，並舉辦各類技術和科學問題的研討會。

本章旨在綜整各國 TSO 制度架構與功能分布，特別關注其在核電廠除役(decommissioning)與核後端管理(back-end management)領域之投入與技術角色，並針對台灣現行 TSO 現況進行對照分析與提供未來發展建議。

(一) 各國 TSO 制度概況

各國在核能管制體系下所設置之技術與科學支援組織(TSO)架構具有顯著差異。這些差異通常反映該國核能政策、監管架構的獨立性，以及核能設施規模與發展階段。根據 IAEA [2] 的分類，TSO 可依據其與監管機關的組織關係分為「內部型」與「外部型」兩種。內部型 TSO 設於監管機關內部，資源與決策密切整合；外部型 TSO 則為獨立法人機構，強調技術判斷的獨立性與透明性。例如加拿大管制單位核安全委員會(Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC) [11]，採取內部設立專責技術與科學支援部門的模式，屬於典型「內部 TSO」，決策、技術與監管高度整合；而英國(ONR)、美國(NRC)及澳洲(ARPANSA)等，皆是採取監管機構與 TSO 機構一體化的設計。韓國核安全研究所(Korea Institute of Nuclear Safety, KINS)為依法設立的獨立法人，隸屬於科學技術情報通信部(Ministry of Science and ICT, MSIT)執行監督；但作為核安全及保安委員會(Nuclear Safety and Security Commission, NSSC)之獨立運作技術支援組織，屬於典型「外部 TSO」。歐洲如德國的 GRS、芬蘭的 VTT 與挪威的 IFE 等，皆屬於外部技術法人，專責支援政府與監管單位之技術需求，採取外部 TSO 的作法。

各國在 TSO 的發展上，會進行一些整合或考量而調整。例如，法國於 2024 年將外部 TSO，The Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety (IRSN)與監管單位 ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire)整合成單一監管機構，即新設立的 Nuclear Safety and Radiation Protection Authority(ASNR)，成為內部 TSO；而原本 IRSN 的研究、事故評估及技術審查能力，已併入 ASNR 內部，成為 ASNR 內部的科學技術部門；合併的原因是簡化決策流程、提高監管效率，並強化技術、審查與決策的一體化。我國於 2023 年 9 月將內部 TSO 核能研究所，依法改為獨立之行政法人，而成為外部 TSO-國家原子能科技研究院，行政院原子能委員會則改制成為核能安全委員會，其主要原因是獨立性考量。

各國的監管單位與 TSO 整理成表 1，列出內部及外部 TSO 的國家；可看出外部 TSO 較內部 TSO 多一些。此外，有些國家並無特定外部 TSO，如：波蘭(Poland)、葡萄牙(Portugal)及斯洛維尼亞(Slovenia)。台灣國家原子能科技研究院，工作任務部分為支援核安會的管制技術，屬於核安會的外部 TSO，核安會除仰賴國家原子能科技研究院外，另委請各大學、工研院、核能科技協進會、核資中心及輻射防護協會、核新協會等相關機構執行委託研究案；此外，利用國科會原子能科技學術合作研究計畫徵求學術機構進行

研究，類似保加利亞的作法。除學術機構外，組建專家學者及專案團隊支援管制技術，協助技術管制審查。本計畫案整合技術支援能量，由核能科技協進會協助建立 TSO 平台，增加技術支援的廣度。此外，國際的 TSO 平台，如 IAEA 的 TSO 論壇及歐洲的 ESTON 平台，則在協助 TSO 的國際交流及協助支援。

表 1 各國 TSO 的狀況及形式

| TSO 形式 | 洲 | 國家 | 備註 |
|---------|-----|--|---|
| 內部 TSO | 美洲 | 加拿大(Canada)、美國(United States)、墨西哥(Mexico) | 內部設立專責技術與科學支援部門的模式 |
| | 歐洲 | 法國(France)、匈牙利(Hungary)、西班牙(Spain)、瑞典(Sweden)、瑞士(Switzerland)、愛爾蘭(Ireland)、義大利(Italy) | |
| | 亞洲 | 中國(China) | |
| | 大洋洲 | 澳洲(Australia) | |
| 外部 TSO | 美洲 | 阿根廷(Argentina) | 提供監管單位技術支援組織，運作獨立。 |
| | 歐洲 | 英國(United Kingdom)、奧地利(Austria)、比利時(Belgium)、保加利亞(Bulgaria)、捷克(Czech)、丹麥(Denmark)、芬蘭(Finland)、德國(Germany)、希臘(Greece)、荷蘭(Netherlands)、挪威(Norway)、羅馬尼亞(Romania)、俄羅斯(Russia)、斯洛伐克(Slovakia)、土耳其(Turkey) | |
| | 亞洲 | 印度(India)、日本(Japan)、韓國(Korea) | |
| 無特定 TSO | 歐洲 | 波蘭(Poland)、葡萄牙(Portugal)、斯洛維尼亞(Slovenia) | 監管單位需要外部支援，但無指定 TSO，由國內多所大學與研究單位組成支援網絡。 |

註:資料來源：Governmental Authorities for Nuclear Activities in NEA Member and Select Partner Country, 2025 [12]

以上這些擁有並運轉中反應器的前八大的國家如圖 1，亞洲的國家含中國、日本、韓國、印度等，歐洲國家只剩法國及俄羅斯(是以圖 1 所列前八大而言)。而永久停機反應器的國家如圖 2，歐洲國家則有法國、德國、英國及俄羅斯；美洲國家：美國及加拿大則在以運轉中及永久停機數量來計，皆為前八大，美國更是第一位。因此，除役的 TSO

組織，可以參考美國。另英國及德國的永久停機數量分居 2，3 位，其除役技術及 TSO 架構也可以供台灣參考。因此，本協會於 114 年 5 月 15 日與日本放射性廢棄物管理基金及研究中心(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC)，續簽合作備忘錄外；也於 114 年 8 月 27 日與德國 NUKEM 公司簽署合作備忘錄，作為國內核後端的國際技術支援組織之一。

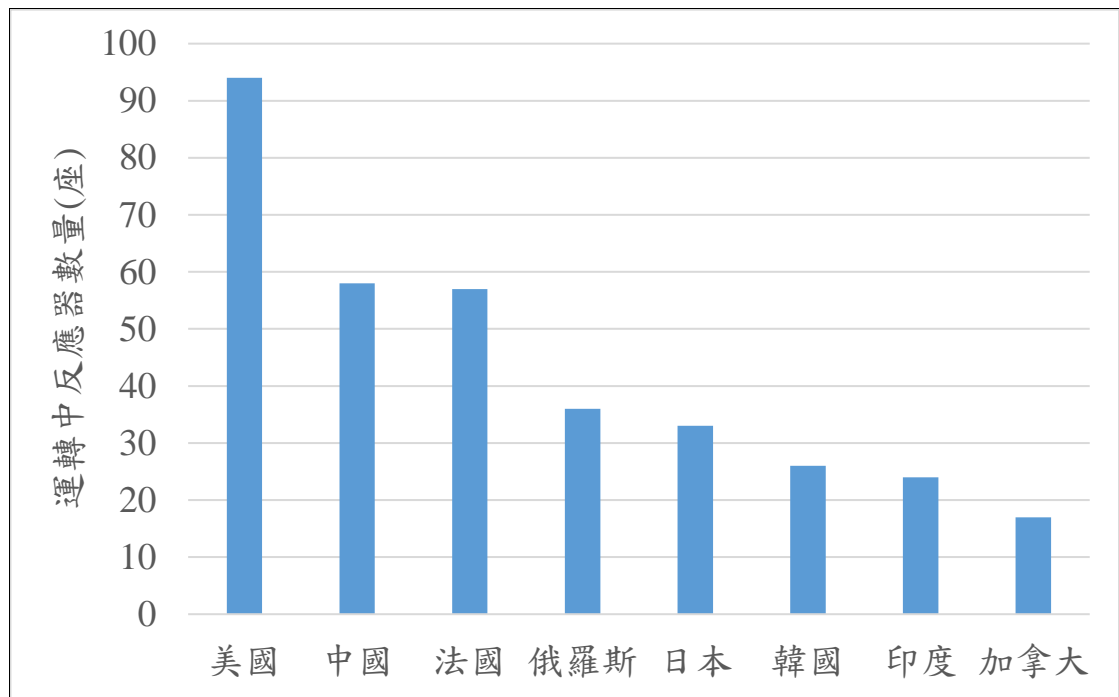


圖 1 運轉中反應器數量

資料來源： Nuclear Power in the World Today，World nuclear association, Updated Thursday, 17 July 2025

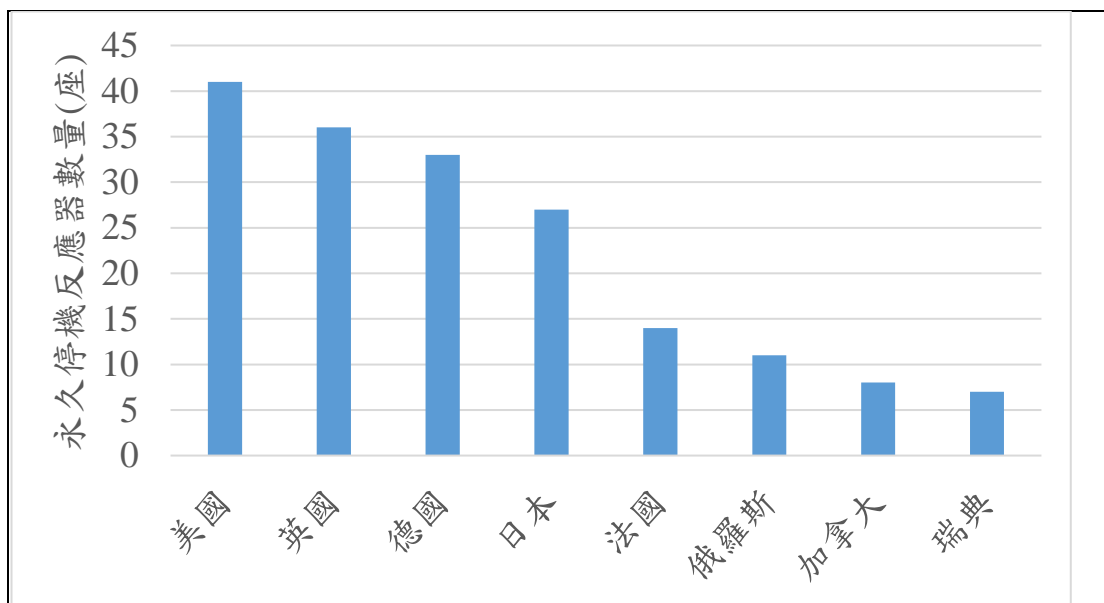


圖 2 永久停機反應器數量

資料來源： Nuclear Power in the World Today，World nuclear association, Updated Thursday, 17 July 2025

(二) TSO 的挑戰與問題

技術與科學支援組織(TSO)長期擔任監管機構、營運單位及政府政策部門之專業技術支援角色，其能力直接影響核能安全監管、核子保安與核子保防之公信力與專業性。隨著技術演進、產業結構改變及社會對核能風險的敏感度提升，根據國際原子能總署對技術支援組織(TSO)的分析，隨著全球核能安全與保安標準日益提高，TSO 面臨以下幾個主要挑戰：

1. 技術能力維持與更新

TSO 必須因應核能技術持續創新(如小型模組化反應爐、先進燃料循環、長期運轉延壽(LTO)、老舊反應器除役管理等)，維持與更新必要之知識、工具及專業能力。多國 TSO 於 IAEA 2014、2018 會議中表示 [6][7]：人才流失、研發投資不足及技術斷層現象正在全球蔓延，特別是在經濟發展中與非核能國家更為嚴重。建議的方案如下：

- A. **建立系統化知識管理機制**：強化 TSO 內部專業能力維持，整合經驗文件、標準、數據庫與專家群，避免知識遺失 [7]。
- B. **投入持續專業訓練與後備人才培育**：設立專業課程、學術合作與實務演練機制。

- C. **參與國際共同研發**：如 ETSON 等，確保與國際技術接軌 [6]。
- D. **鼓勵 TSO 跨域投入新技術安全評估**，如針對小型模組反應爐(SMR)與非水冷反應器等新型技術進行能力建構 [7]。

2. 獨立性與利益衝突管理

TSO 往往同時為監管機構、業界、政策單位，甚至為國外機構提供服務，面臨潛在利益衝突及公正性質疑風險，監管機構之技術判斷，必須免於來自政府部門、被監管單位或推動核能機構的壓力。IAEA 報告指出 [2]，若無適當治理架構及行為規範，TSO 可能失去社會與監管機構的信任，進而影響其專業判斷的可信度。建議的方案如下 [2, 13]：

- A. **制定 TSO 行為準則(Codes of Conduct)**，明確規範公正性、誠信與透明度。
- B. **實施雙方獨立審查(A/B Party Review)**，透過交叉審查提升評估結論之客觀性。
- C. **TSO 若為外部機構**，應明確其財務來源不能受控於核能推動部門，並具備足夠資源執行技術支援。
- D. **TSO 應建立機制管理潛在利益衝突**，如：若同一單位同時為營運商與監管單位提供服務，應有明確的分工與資訊隔離制度。

3. 資源與財務挑戰

許多 TSO 面臨經費、人力資源有限的困境，無法全面支援各種新興或複雜的核能安全與保安需求。因此，需要政府及國際合作機制協助，以提升 TSO 的可持續性與發展能力。建議的方案如下：

- A. **建立穩定資金來源**：建議政府透過立法或專項基金支持 TSO 運作，如德國 GRS 模式。
- B. **促進跨國合作與資源共享**：尤其是小國 TSO 應透過區域性平台(如 ETSON)共享評估能力與資源。

4. 國際合作與標準接軌

TSO 需積極參與國際網絡(如 ETSON 等)，確保其研究、評估標準及作業流程與國際最佳實踐接軌，並促進知識與經驗共享。TSO 若脫離國際社群，將喪失可信度與技術領先能力。建議方案如下：

- A. **參與 ETSON 及 IAEA TSO Forum 等國際合作平台**。

B. 建立 TSO 跨國卓越中心(Center of Excellence)與專家交流機制，推進全球知識共享與聯合審查。

C. 參與 MDEP(Multinational Design Evaluation Program)、OECD/NEA 等國際專家審查與標準發展機制

5. 社會溝通與透明化需求

面對社會對核能安全透明化、風險溝通的高度期待，TSO 需強化與公眾、媒體、NGO 等利益關係人之溝通和教育角色，避免技術菁英主義影響公信力。TSO 是連接科學與社會的重要橋梁，需具備溝通與資訊透明能力。建議方案如下：

A. 建立 TSO 資訊公開與公民參與機制，包括公開報告、應變資訊、意見回饋平台。

B. 強化 TSO 專家公眾溝通能力培育，提升媒體應對、社會教育及科普能力。

(三) TSO 階段支援任務及支援形式

根據《IAEA TECDOC-1835》 [2]，TSO 在核能發展時程(nuclear power development timeline)上提供的支援，可涵蓋整個核能電廠專案的生命週期，從前期規劃到後端除役，提供監管機構與決策者在科學技術層面的支援，確保專案安全、有效且符合法規要求進行，但並不直接負責政策決定或營運行為，如表 2 所述。核安會已於 108 年 7 月核發核一廠除役許可，台電公司依核定的除役計畫逐步開始除役；核二廠 2 部機組已於 112 年 3 月 14 日停止運轉，進入除役階段；核三廠 2 號機則在 114 年 5 月 17 日停機後，也準備開始進行除役；因此，TSO 主要任務會是在除役與核後端管理階段。但是 114 年 8 月 23 日的「核三延役公投」結果雖沒有通過公投法要求的門檻，但政府已讓台電公司先行自我安全檢查，似乎有啟動核三延役的跡象，而核二廠亦有其可能性。同時，政府對於小型模組化反應爐(SMR)及核融合等議題，仍保持較積極彈性的想法，例如國科會同意國原院一項為期五年的 SMR 研究計畫；因此，TSO 在計畫準備與政策規劃初期階段，似亦宜針對 SMR 及核融合兩項的政策規劃及技術發展，提出因應的管制作為準備。但本報告目前僅限於核後端管制，因此，會以核後端管理階段 TSO 的任務討論為主。

在歐洲與亞洲具備成熟核電體系的國家中，已有多個 TSO 建立起除役與核後端技術支援體系。例如，法國 IRSN (已改組成為內部 TSO)長期與法國放射性廢棄物管理局 (L'Andra - French national radioactive waste management agency, ANDRA)合作進行高放射

性廢棄物地質處置研究，並針對除役設施進行劑量重建與放射分析；德國 GRS 則專精於除役設施風險模擬與多物理場址安全建模。芬蘭 VTT 與瑞典 SSM 亦具備地下貯存設施評估與材料降解研究能力。在亞洲，日本的 JAEA 負責多項國家除役與拆解研究計畫，包括福島事故後的場址調查與燃料移除技術開發；台灣的國家原子能科技研究院則支援核安會在低放射性廢棄物貯存與處理、除役安全評估與包裝容器策略設計等方面，發展一系列除役試驗平台與模擬評估系統。

表 2 TSO 的階段支援任務

| 核能發展時程 | 技術支援 | 備註 |
|---------------|---|--|
| 計畫準備與政策規劃初期階段 | 就選址、環評、可行性研究提供技術建議； 對核能技術與設計方案提供評估意見； 說明當地基礎建設與人員能力需求； 評估初步風險與設施安全策略 | 主要是提供「非政策性、但具專業基礎的資訊與建議」，並不參與政策選擇本身，但可對發展決策提供技術面依據 |
| 設計與場址評估階段 | 參與或支援現場勘查與場址選擇的技術審查； 評估設計圖與安全概念的完整性； 協助確認設施是否符合法規技術準則 | 幫助監管機關或政府確認專案符合國家核能發展政策與安全標準。 |
| 許可、建造與試運轉階段 | 核發許可所需之技術文件評估與審查； 確認建造過程中的工程品質與法規符合性； 協助試運轉測試程序之設計與評估 | 參與設備驗證、初步劑量評估與應變規劃技術支援 |
| 運轉、維護與經驗回饋 | 支援安全評估與事件分析； 蒐集運轉經驗資料並進行風險回饋； 提供培訓、定期評估與持續監測技術支援 | 支援對維持長期營運安全合法合規 |
| 除役與核後端管理 | 技術評估除役策略與安全分析； 支援放射性廢棄物處理與運送方案評估； 支援除役許可申請與最終場址釋出標準設計 | 支援監管核後端管理 |

根據核能管制在這些階段的任務，其主要項目如：支援安全審查和評估、支援安全監管文件編訂、支援核電設施和作業檢查、研究與開發、支援緊急應變計劃和演習、支援輻射防護與安全、支援環境輻射評估與監測、運轉經驗評估、支援培訓/溝通與諮詢及支援擴展業務國內外合作。這些項目在台灣法規中也有述明：(1)如核管法第 14 條規定：核子反應器的檢查得委託有關機關(構)、學校或團體辦理；(2)輻防法第 51 條提到主管機關辦理的認可、訓練、檢查、偵測或監測，主管機關得委託有關機關(構)、學校或團體辦理；(3)物管法第 13 條說明主管機關得委託有關機關(構)、學校或團體進行核子原料、核子燃料生產或貯存設施檢查。台灣核安會除仰賴國家原子能科技研究院技術支援外，以委託研究標案及國科會原子能科技學術合作研究計畫徵求其技術支援的項目；審查方面，則是徵詢專家學者參與，協助安全審查和評估。

(四) 台灣現況分析與發展建議

台灣核能監管單位為核能安全委員會，監督核能電廠運轉與除役安全及嚴密管制輻射防護安全是其重要工作項目，其技術支援組織(TSO)原由轄下之核能研究所擔任，組

織變革後，核能研究所轉為國家原子能科技研究院，仍提供核安會監管的技術支援，成為外部 TSO。國家原子能科技研究院具有台灣研究用反應器(TRR)除役的實務經驗，以及參與核一、二、三廠除役計畫編撰與申照，依據除役各階段之特性，確認影響用過核子燃料安全的重要因子，於除役作業規劃階段時，提出降低未來風險的方案，包括發展用過核子燃料乾式貯存相關之分析、設計、建造、測試、運轉、監測與修補等技術；針對放射性廢棄物之離廠量測，則協助核安會建立第三方獨立量測驗證架構與技術。至於放射性廢棄物的處置，則開發完整性處置容器與技術技轉應用推廣。除了國家原子能科技研究院的技術支援外，國科會設立的原子能科技學術合作研究計畫，由核安會設立需求項目，徵求學術機構申請，可以訓練相關的學生，培育人才，亦可支援相關管制技術。對於規劃重點的項目，則是公告為委託研究計畫案，由大學/法人機構申請；除了為專家學者團隊提供研究經費，以深度培養相關技術外，更讓更多的專業或學術機構，可以成為外部 TSO。除學術與專業組織外，邀請個別的專家學者參與審查會議，在專業領域上進行文件審查或是同儕審查。本計畫案，也是著重建立類似 TSO 的平台，除規劃建立專家學者的平台，並建立核安會需求與專家學者窗口，進行數個會議來進行溝通。

由於台灣國際環境的問題，目前未能參與 IAEA 國際組織，國際合作與標準接軌執行較為困難，但與美方簽有「台美民用核能合作會議」合作協議，間接與 IAEA 合作，並與國際進行聯繫，僅列出幾項如下：

1. 參加經濟合作暨發展組織(OECD)舉辦會議

核安會代表參加經濟合作暨發展組織(OECD)核能機構(NEA)所屬的除役及拆除工作團隊(WPDD)會議(2014、2015、2016、2018)。

2. 台日合作

核安會與日本原子力規制委員會(NRA)於 2024 年 10 月下旬在台灣舉辦第 10 屆台日核能管制資訊交流會議。雙方就核電廠安全管制、福島第一核電廠含氚廢水排放管制與監測結果、核災應變機制、新聞發布作業及用過核子燃料乾式貯存等議題，進行技術與經驗交流。

3. 台美合作

2024 年底，參加台美民用核能合作會議，與美方就核電廠安全管制、放射性廢棄物管制及管理技術研發、緊急應變管理及民眾防護行動等議題進行技術資訊與經驗交流。

參與 2025 年美國放射性廢棄物管理研討會、2024 年美國核電廠除役之「輻射偵檢設備與物質調查手冊(MARSAME)訓練」及 2023 年的 Argonne 國家實驗室核設施除役訓練課程等。

4. 其他

2023 年赴比利時莫爾參加「Decommissioning of nuclear installations」訓練課程。

台灣的核能專業組織與人員有限，因而會有接受營運單位及監管單位委託之需求，故建立資訊透明、確保獨立性及利益衝突，有其必要性。

國家原子能科技研究院，已與核能安全委員會分離，獨立性已強化，法制上已確立「技術支援單位須獨立於監管者」之原則，符合 IAEA 對外部 TSO 的要求。核管法 § 14、輻防法 §51、物管法 §13；規範主管機關得委託學研機構、法人、專業團體協助檢查、審查、測試。此機制可避免由單一 TSO 壟斷審查結果，也可規避利益衝突。學術專業組織，則須確實管理，如是否接受營運商委託研究，或是有利益衝突等，如目前在核安會委託研究案與 MF 計畫申請中：研究團隊需揭露是否同時接受營運者(如台電公司)之委託評審與審查委員需簽署利益迴避或自我迴避聲明。在財務及資源上，台灣的資源有限，配合支援管制技術的發展，目前以國家原子能科技研究院的計畫預算、核安會的計畫委託經費及國科會原子能科技學術合作研究計畫的研究經費為主，但核能人力「斷層效應」已開始顯現、技術議題越來越複雜，但研究資源有限，且核後端安全議題(如高放處置)涉及「百萬年尺度」，短期年度預算無法滿足長期需求，因此，可建立長期 TSO 發展預算。

故本計畫將建立決策平台、整理過去執行的計畫、提出核後端的各技術要項、舉辦 TSO 專家座談會議，期能協助管制機關執行管制技術的研究發展規劃，爭取經費最大效益化；本計畫將藉由 TSO 會議，進行學者專家意見整合，以供參考。對於資訊透明及溝通方面，審查結果公開制度核安會已建立：核能設施審查報告公開專區、除役計畫審查意見公開、乾式貯存審查報告公開。但獨立性與利益衝突管理，需長期管理及加強，持續的重視，才能確保其獨立性。

整理以上資料，將目前 TSO 的挑戰及台灣現況及做法，列於表 3。

表 3 台灣 TSO 現況及做法

| TSO 的挑戰 | 台灣的現況及作法 | 建議 |
|--|---|---------------------------------|
| 技術能力維持與更新 -核能電廠已於 114 年 5 月永久停機及除役 -SMR 及核融合議題關注 | TSO-國家原子能科技研究院-核安與核後端發展計畫。 委託研究案-除役、核後端、核融合及 SMR。 國科會原子能科技學術合作研究計畫-徵求 | 建立平台-了解除役過程技術需求與專家學者之技術培養 |
| 獨立性與利益衝突管理 -監管單位與運營單位皆有除役及後端的專業技術需求 | 嚴格規範 TSO 及專家學者於技術支援時之利益衝突及獨立性 委託案的透明化及審查報告之公開化 建立同儕審查機制 | 建立行為準則，明確規範公正性、誠信與透明度 |
| 資源與財務挑戰 | TSO-國家原子能科技研究院預算 委託研究案及國科會原子能科技學術合作研究計畫 | 建立穩定資金來源：建議政府透過立法或專項基金支持 TSO 運作 |
| 國際合作與標準接軌 -台灣國際地位問題 | 台美及台日合作下，積極參與國際除役的訓練、及會議交流 | 利用國內民間組織，辦理相關的國際交流 |
| 社會溝通與透明化需求 | 辦理民眾溝通、資訊公開及核安會網站焦點專區的重要議題查詢 | 辦理民間 TSO 會議，了解 TSO 需求，公眾溝通能力之培養 |

(五) 結論與建議

本章針對技術與科學支援組織(TSO)於核能安全管制體系中，所扮演之角色進行整體探討，涵蓋其制度類型、功能配置、國際合作及除役與核後端支援能力。透過整理資料，分析主要核能國之制度設計及台灣當前體制之現況挑戰。TSO 可分為內部型與外部型兩類，各具制度優劣。內部型具備組織資源整合優勢，然在獨立性與透明性方面相對受限。外部型如 GRS 及 IFE 等則能強化科學客觀性與公信力。多數歐洲國家已建立具備除役、風險模擬與廢棄物管理等領域支援能力之 TSO，並透過 ETSON 進行國際技術協作。台灣主要外部 TSO 為國家原子能科技研究院，於核後端技術如乾式貯存、最終處置與除役安全評估方面已有初步成果。對於台灣較為有限的財政及技術能力的支持，目

前除核安會及國家原子能科技研究院各自的預算外，主要是依靠核安會的委託研究案及原子能科技學術合作研究計畫(MF)的支持。

未來希望藉由建立 TSO 決策平台並定期舉行 TSO 會議，協助組織及專家學者了解核安會管制需求，讓核安會了解技術能力培養的困境並協助解決。凝聚專家學者成為虛擬的 TSO，更能彈性因應核能管制在不同階段的技術需求，協助支援監管單位執行核能安全的審查及管制。其 TSO 較適合採「外部獨立 TSO 為核心、分散式專家網絡為支援」的混合模式 (Hybrid Model)。理由如下：

- (1) 維持技術獨立性，國家原子能科技研究院 (NARI) 已自核研所分離，具法定外部機構身分，其定位本質即符合「外部 TSO」。維持其獨立性，有助於避免社會大眾質疑其審查之公正性。
- (2) 補強國內人力有限之現況，台灣核能領域專業人力相對有限，若採單一 TSO，將面臨能力不足、知識斷層風險，因此需建立「分散式 TSO 協作網路」，由大學、研究法人、專家與專業協會共同支援。
- (3) 符合核安會目前委託研究、學術合作 MF 計畫之運作邏輯

而人才招募、經費來源和技術獨立性方面，則建議：

- (1) TSO 專業人才庫及專業知識庫建立；技術文件標準化，避免人才流失造成知識斷層 (符合 IAEA TECDOC-1835 精神)
- (2) 維持「委託研究+學術合作 MF 計畫 + NARI 長期計畫」之三軌運作，支撐混合式 TSO 的多元需求。
- (3) 「TSO 行為準則與利益衝突管理規範」明確規範 TSO 不得同時接受營運者與監管者委託於同一議題。建議核安會持續公開審查結論、技術意見摘要，提高社會信任。

三、國內原子能安全管制計畫資訊蒐集與分析

國內有關原子能安全管制技術歷年(指 109-114 年度)研究發展計畫，主要有核安會與國科會的「原子能科技學術合作研究計畫(以下簡稱 MF 計畫)[14-18]，核安會的年度中央科技計畫與額度計畫、國家原子能科技研究院(國原院)的「原子能系統工程跨域整合發展計畫」、政策額度計畫與科發基金計畫 [19-23]等。其中與除役有關者，MF 計畫分為 N1-N4 四個分項，其中與核後端有關者，N1 為「核能與除役安全科技」，N2 為「放射性物料安全科技」，N4 為「跨域合作與風險溝通」；「原子能系統工程跨域整合發展計畫」亦有四個分項，與除役有關者，第二分項為「核設施除役清理及放射性廢棄物處理技術開發與執行」；核安會年度中央科技計畫與額度計畫，與除役與風險評估相關者有：105-108 年度的「核能電廠安全管制法規與技術研究(4/4)」、108-111 年度的「強化核能電廠除役管制技術及環境輻射之研究(1/4)」、109-112 年度「核子反應器設施安全與除役前期作業管制實務研究(1/4)」、113-116 年度「核電廠運轉與除役安全管制及獨立驗證技術發展(1/4)」等；有關低放貯存處理、乾式貯存、低放處置及高放處置者有：105-108 年度「放射性廢棄物貯存與處置安全管制技術發展(4/4)」、109-112 年度「精進放射性廢棄物貯存與處置安全管制技術發展(1/4)」等。

本年度所蒐集的國內原子能科研相關機構 109-114 年度發展與規劃計畫與成果，主要分為「原子能科技學術合作研究計畫(MF)」與「核安會與國原院執行或委託的科技計畫」兩大類；以除役的五大領域來分類，統計如表 4(原子能支援安全管制科技趨勢研析-MF 統計)，計六個年度共有 74 件委託計畫，主要是學術機構及法人；其中以高放處置領域 39 件為最多，其次為除役領域 25 件，其餘則為個位數。而後者核安會與國原院執行或委託的科技計畫，以五大領域來分類，統計如表 5(原子能支援安全管制科技趨勢研析-核安會+國原院研究計畫件數統計)，計六個年度共有 100 件委託計畫，主要是學術機構及法人；其中以除役領域 60 件為最多，其餘領域均在 10 件左右。

表 4 原子能支援安全管制科技趨勢研析-MF 統計 (委託計畫件數)

| 年度 | 除役 | 低放貯存與處理 | 乾式貯存 | 低放處置 | 高放處置 | 合計 |
|-----|----|---------|------|------|------|----|
| 109 | 4 | - | - | - | 9 | 13 |
| 110 | 2 | - | - | - | 6 | 8 |
| 111 | 2 | - | 1 | 1 | 6 | 10 |
| 112 | 11 | 1 | - | - | 10 | 22 |
| 113 | 4 | 3 | - | - | 5 | 12 |
| 114 | 2 | 2 | 2 | - | 3 | 9 |
| 合計 | 25 | 6 | 3 | 1 | 39 | 74 |

表 5 原子能支援安全管制科技趨勢研析-核安會+國原院研究計畫件數統計

| 年度 | 除役 | 低放貯存與處理 | 乾式貯存 | 低放處置 | 高放處置 | 合計 |
|-----|----|---------|------|------|------|-----|
| 109 | 13 | 3 | 3 | 4 | 3 | 26 |
| 110 | 13 | 1 | 3 | 3 | 3 | 23 |
| 111 | 12 | 1 | 1 | 1 | 2 | 17 |
| 112 | 12 | 1 | 4 | 2 | 2 | 21 |
| 113 | 5 | 1 | - | - | - | 6 |
| 114 | 5 | 2 | - | - | - | 7 |
| 合計 | 60 | 9 | 11 | 10 | 10 | 100 |

四、國內核電廠安全管制相關技術要項盤點

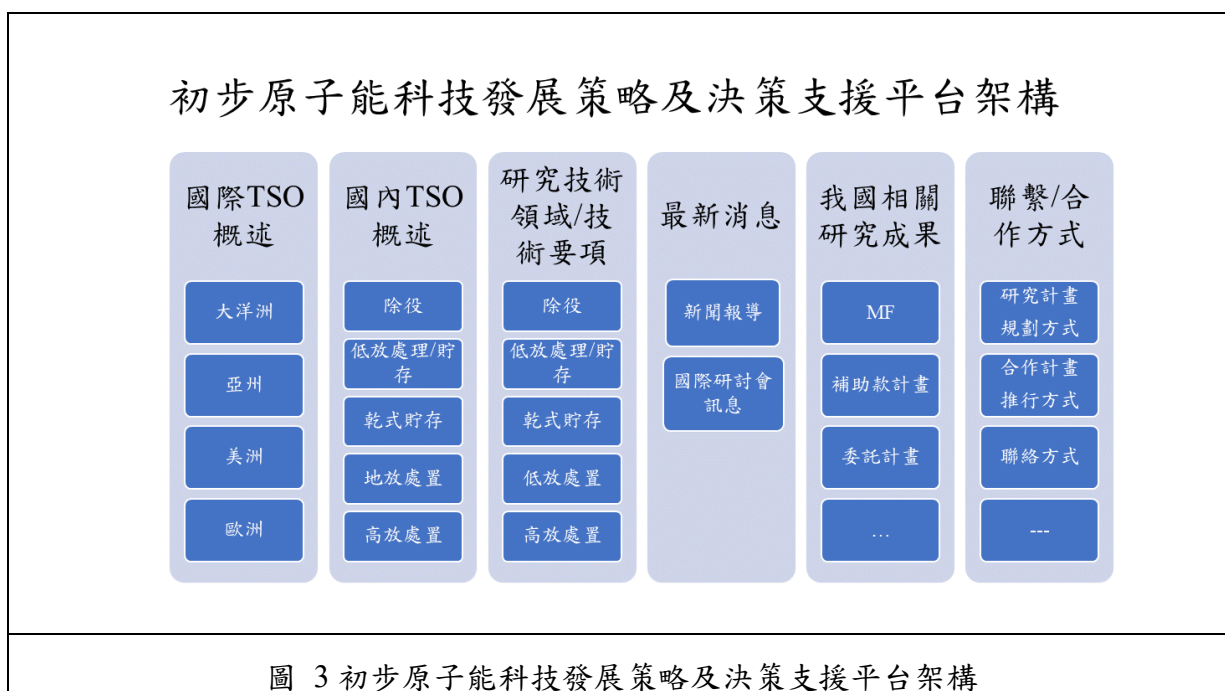
國內核電廠安全管制相關技術要項盤點，主要是針對核後端安全管制各技術領域，依據核安會近六年度(109-114)以來，對國內原子能安全管制技術相關科研機構所接受委託計畫，進行整理與分析，以便先獲得初步的核安會基本的安全管制相關技術要項需求。並協調核安會協助審查由核協會研擬的技術要項。獲得如表 6 的初步核安會技術要項需求 [24]。

表 6 國內核後端安全管制相關技術要項盤點

| 技術領域 | 技術要項* | 備註 |
|---------|--|----|
| 核設施除役 | 特性評估；拆除工程；除役期間運轉；低放射性廢棄物分類、處理、貯存及追蹤管理；廢棄物外釋離廠量測及追蹤管理；除污及廢氣/液處理；輻射安全；土地釋出；安全管制；溝通宣導 | |
| 低放貯存與處理 | 廢棄物特性；廠房結構安全與設計；廢棄物吊卸與搬運；廢棄物堆疊與耐震；廢液收集與處理；設施防洪、海嘯及鄰近邊坡穩定分析；貯存期間偵檢與監測作業；輻射防護(10 年再評估)。 焚化爐；一般壓縮減容設備；超高壓減容設備；粒狀廢樹脂處理系統；切割；廢液處理；除污技術； 特定廢棄物之處理。 | |
| 乾式貯存 | 用過核子燃料乾式貯存系統技術要項： 臨界分析；結構設計與分析；熱傳分析；輻射防護與分析；密封設計與分析；意外事故分析與緊急應變；殘餘水對燃料護套影響分析；高燃耗及破損燃料貯存特性分析；燃料填裝、密封、乾燥、充氮及搬運。 室內貯存技術要項： 廠房結構設計與分析；廠房通風與熱傳；燃料再取出設施設計。 中長期貯存安全管制要項： 不銹鋼材料應力腐蝕劣化機制分析；用過核子燃料貯存容器檢測及維護技術；設施老化管理與十年安全再評估檢查要項 | |
| 低放處置 | 場址選擇；場址特性；廢棄物特性；場址設計；安全評估(選址、設計、運轉及封閉後等階段)； 設施運轉；輻射防護作業及環境輻射監測計畫；監管計畫與封閉計畫。 | |
| 高放處置 | 場址選擇；處置設施設計；安全論證(參考案例描述模型、用過核子燃料特性、處置設施概念設計、安全功能與安全功能指標、多重障壁系統的長期演化、情節選定與描述、封閉後安全評估、不確定性的處理、天然類比)；設施/設備建造(廢棄物罐、內襯鑄鐵、緩衝材料(膨潤土)與回填材料、地下處置設施(含隧道、通風、封閉塞等)、處置設施內運送板車/傳送櫃等、地表處置設施(含接收廠、暫貯場、封裝廠等))；設施運轉；輻射防護作業及環境輻射監測計畫；保安計畫及料帳管理計畫；監管計畫與封閉計畫。 | |

五、國內初步核後端安全管理技術及決策支援平台建構

本計畫的同階分項計畫「我國原子能科技決策支援體系建構」，其草擬 114 年度計畫服務建議書時，核安會曾對負責該案的核資中心要求，應在其負責的決策支援平台內，增加與本計畫有關的核後端安全管理技術；本協會參照核資中心 113 年度計畫農業部相關網頁 [25]，提出初步核後端安全管理技術及決策支援平台架構如圖 3；以下說明本年度(114 年)如何建構與蒐集圖 3 內各方塊的內容。



(一) 國際 TSO 概述：

本計畫參照 IAEA 出版的有關 TSO 報告，以 OECD 及 NEA 的文件「Governmental Authorities for Nuclear Activities in NEA Member and Select Partner Countries, Updated May 2025」為依據，在網路搜尋相關資料，並將其整理分類為五大部分：1.組織簡介、2.主要職責與功能、3.核能除役技術與經驗、4.與監管機構的合作關係、5.國際合作與參與等，參考資料及其網站；利用 CHATGPT 將其整理完成，成為各國 TSO 的報告資料。蒐集包括：大洋洲、亞洲、美洲、歐洲等國家的 TSO(如圖 4)，本(114)年度將針對這些國家的 TSO 做整理，先行準備簡要介紹說明，並與各國的 TSO 網頁做連結。

| 國際TSO概述 | | | | |
|-------------|---------------------|--------------------|------------------|----------|
| 洲別 | 國家 | | | TSO 形式 |
| 美洲 | 加拿大 (Canada) | 美國 (United States) | 墨西哥 (Mexico) | 內部 TSO : |
| | 阿根廷 (Argentina) | - | - | 外部 TSO : |
| 歐洲 | 法國 (France) | 匈牙利 (Hungary) | 西班牙 (Spain) | 內部 TSO |
| | 瑞典 (Sweden) | 瑞士 (Switzerland) | 義大利 (Italy) | |
| | 愛爾蘭 (Ireland) | - | - | |
| | 英國 (United Kingdom) | 比利時 (Belgium) | 保加利亞 (Bulgaria) | 外部 TSO |
| | 捷克 (Czech) | 丹麥 (Denmark) | 芬蘭 (Finland) | |
| | 德國 (Germany) | 希臘 (Greece) | 荷蘭 (Netherlands) | |
| | 挪威 (Norway) | 羅馬尼亞 (Romania) | 俄羅斯 (Russia) | |
| | 斯洛伐克 (Slovakia) | 土耳其 (Turkey) | 奧地利 (Austria) | |
| 波蘭 (Poland) | 葡萄牙 (Portugal) | 斯洛維尼亞 (Slovenia) | 無特定 TSO | |
| 亞洲 | 中國 (China) | - | - | 內部 TSO |
| | 印度 (India) | 日本 (Japan) | 韓國 (Korea) | 外部 TSO |
| 澳洲 | 澳洲 (Australia) | - | - | 內部 TSO |

圖 4 國際原子能管制技術支援組織架構

(二) 國內 TSO 概述：

本方塊將以 113 年度執行如第(三)節所初步建立的國內執行原子能民生應用研究團隊與各研究小組，並以除役、低放處理/貯存、乾式貯存、低放處置及高放處置等五個分類領域，作為國內各學術機構/法人(TSO)可執行核後端技術研究計畫名冊。目前根據 113 年度執行本計畫的成果，我國原子能管制技術支援組織架構如圖 5 所示，而國際原子能管制技術支援組織(TSO)架構說明如圖 6。

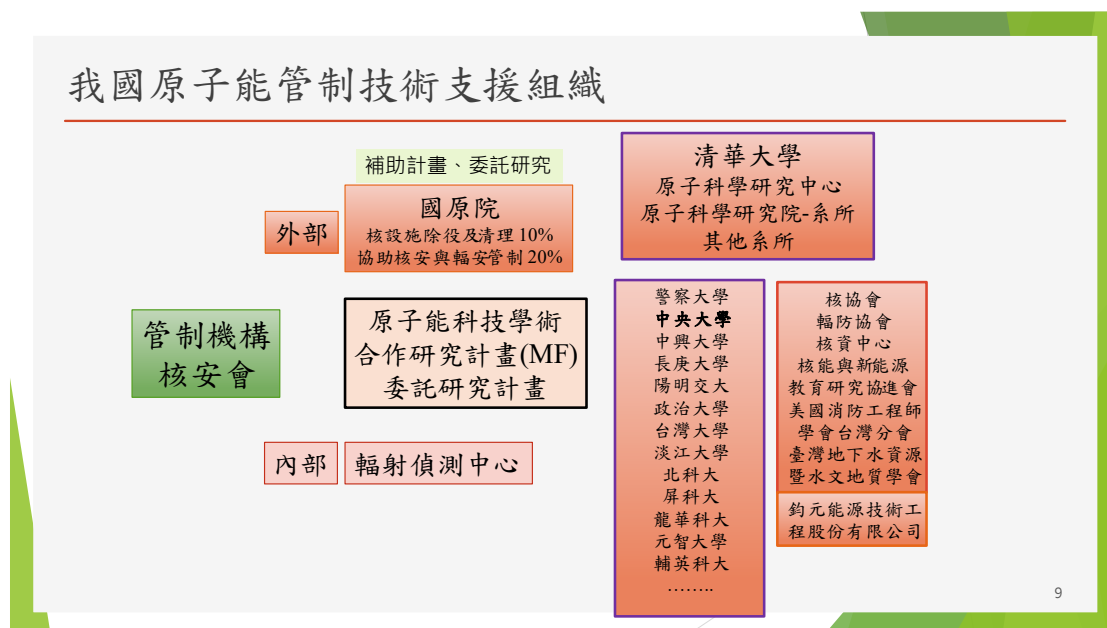


圖 5 我國原子能管制技術支援組織架構

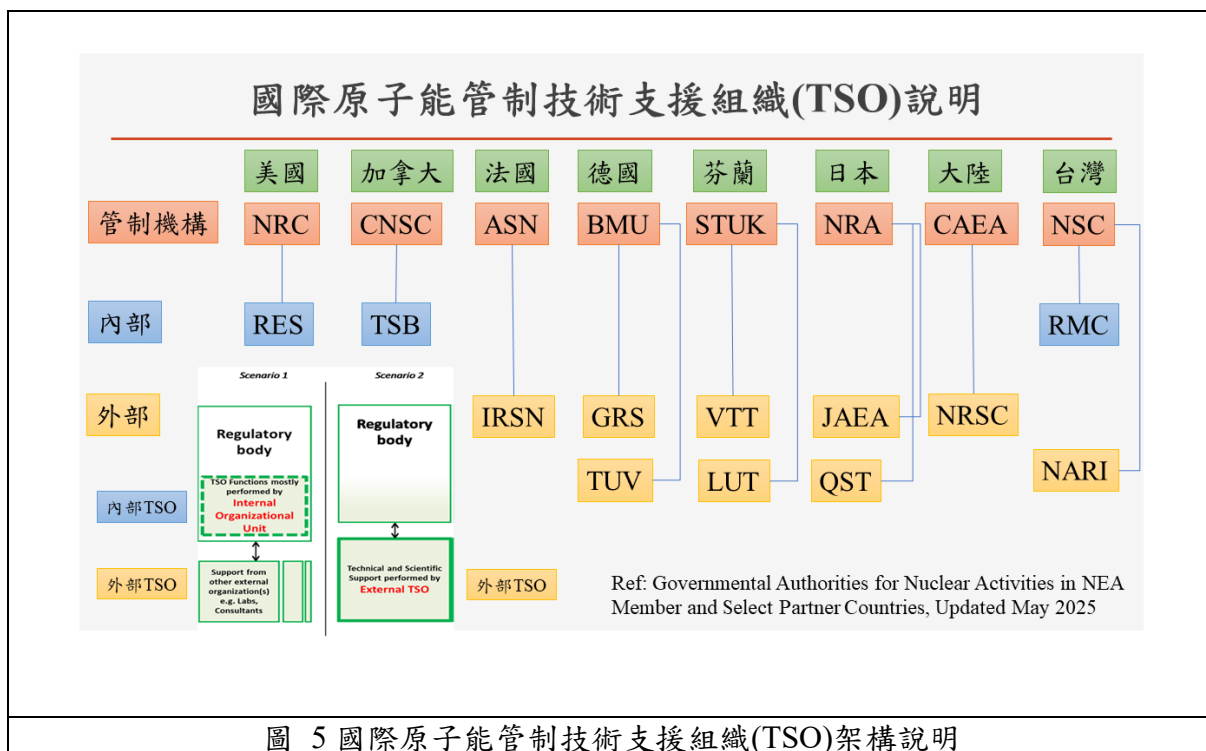


圖 5 國際原子能管制技術支援組織(TSO)架構說明

(三) 研究技術領域技術要項/資訊：

將以核後端安全管制技術研究五個分類領域，針對各領域之定義、範圍、技術要項與分類等做說明，初步的技術分類如表 6。並按此分類方式，將蒐集到的資訊依年度與表 6 之列表，供到訪者點選閱讀(如圖 4)。

(四) 最新消息：

包括新聞報導及國際研討會訊息等二個次方塊，新聞報導則從搜尋國內外最新相關報導，擇要發布之；而國際研討會訊息則蒐集國際當年與次年之研討會訊息 Highlights 與連結。

(五) 我國相關研究成果：

原子能民生應用研究計畫各年度成果，包括有 MF、委託計畫及國原院補助款計畫等三類，其中前二者均有年度的成果發表會，並彙編有成果報告，這些報告也已置放在核安會網頁上；故在前二者將做連結。至於國原院補助款計畫，則不完全蒐集得到這些報告，將視情況再做安排。

(六) 聯繫/合作方式：

包括研究計畫規劃重點、整合型計畫申請及聯繫方式，其中研究計畫規劃重點將列有近幾年度之 MF 計畫 N1-N4 的規劃重點，這些內容部分是由核安會自行研議提出，部分由核安會提請學者專家提出；主要是公布給學術機構/法人，於期限前提出申請。整合型計畫申請則是由核安會認定某幾個相關研究議題有必要整合在一起執行，就在本方塊提出供學者專家申請。至於**聯繫方式**則於下年度與核安會討論後決定。

六、核後端各技術領域之 TSO 專家座談會舉辦

為了能深入了解核後端安全管制技術之研究計畫議題是否合宜，特別安排於本年度 4-5 月間舉辦三場座談會，並按五個技術領域的類似性，每一場分配 1-2 個技術領域來辦理；包括有：「核設施除役」、「高/低放廢棄物處置」及「低放廢棄物處理/貯存」+「用過核子燃料乾式貯存」等三場。以下分別對於三場座談會之執行過程、各引言人簡報概要、會議討論與紀錄及結論與建議、及座談會後問卷彙總等，分別說明之。

(一) 第一場座談會「核設施除役」

1. 執行過程：

係於 114 年 4 月 16 日(三)上午，假集思會台大國際會議中心召開，議程如表 7；由核協會陳布燦董事長主持，共有核安會、大學、工研院、業界、台灣電力企業聯合會與核協會共 21 位參加。

表 7 第一場「核設施除役」座談會議程

| 日期 | 時間 | 主持(講)人 | 議題(講題) |
|-------------|-------------|---------|---------------------|
| 4/16 (三) | 09:30-10:00 | 楊世如 | 報到 |
| | 10:00-10:20 | 陳傳宗 | 我國核後端管制技術支援體系建構介紹 |
| | 10:20-10:40 | 施建樑 | 「核設施除役」在安全管制技術研究之展望 |
| | 10:40-11:00 | | 休息 |
| | 11:00-12:00 | 陳傳宗/施建樑 | 討論 |
| | 12:00-12:30 | | 午餐(飯盒) |

2. 各引言人簡報概要：

A. 我國核後端管制技術支援體系建構介紹 核協會陳傳宗顧問 [26]

A.1 前言

為強化我國核能安全委員會(以下簡稱核安會)與國內法人及學研機構之政策與業務合作，並參考國際原子能技術支援體系之經驗，推動建立我國核後端管制技術支援體系。該建構計畫以四年為期(113 年至 116 年)，並已於 113 年及 114 年分別執行第一與第二年度工作。主要目標如下：

- (1) 借鏡國際 TSO (Technical Support Organization)發展模式與經驗。
- (2) 整合國內技術資源，建立核後端領域(如除役、放射性廢棄物、風險評估等)的技

術支援平台。

(3) 評估國內學研機構參與可能性與專業能力，導入國際審查機制。

A.2 原子能管制技術支援組織(TSO)說明

(1) 定義

TSO 係指提供核能管制機關長期技術支援的專業組織、部門或研究機構，其角色須獲主管機關認可，並能持續維持關鍵專業能力。

(2) 國際文獻與會議整理

- 資料來源包括 IAEA TECDOC-1835、NP-T-3.28 等。
- 整理歷年國際 TSO 相關會議(如奧地利、比利時、日本、法國、中國等地)。

(3) 國內外 TSO 介紹

內部 TSO 機構：美國 NRC-RES、加拿大 CNSC-技術支援處、日本 NRA-法規標準與研究處、台灣核安會-輻射偵測中心(RMC)。外部 TSO 機構：法國 IRSN、德國 GRS, TÜV、芬蘭 VTT、LUT 日本 JAEA、NIQST、中國 NSC、台灣國家原子能科技研究院(NARI)。

A.3 我國核後端管制技術相關機構與歷年計畫

(1) 技術支援來源

- 原子能科技學術合作研究計畫(MF):涵蓋核能安全、除役技術、放射性物料管理、輻射防護、風險溝通等領域。
- 核安會年度科技計畫：強化核後端技術、環境監測、管制法規研究。
- 台電公司委託計畫：與國內法人及研究單位合作進行技術研發與驗證。

(2) 歷年成果彙整

(3) 系統性蒐集並分析歷年計畫成果，作為建立核後端管制支援體系之基礎。

(4) 建置核後端技術支援資料平台(規劃中)。

A.4、結語與後續推動方向

(1) 持續參考 IAEA 及國際 TSO 的經驗與建議，作為我國 TSO 建構之藍圖。

(2) 彙整並分析我國核後端各領域研究成果，供核安會規劃與政策參考。

(3) 整理核後端除役需求與技術能力，形成可供支援的機構資料庫。

(4) 核協會負責擬定技術議題與支援需求項目，並經核安會審查。

- (5) 積極推動產官學交流會議，如 113 年已與 TNA、清華大學、核安會等單位舉行三場座談。

A.5、結語

本計畫將持續透過國內外合作、資料整合、能力盤點與制度引進等多項措施，促進我國核能安全監管體系之完整與成熟，確保核後端技術支援資源的永續與有效運用。

B. 「核設施除役」在安全管制技術研究之展望 核協會施建樑顧問 [27]

B.1 前言

- (1) 截至 2022 年 5 月為止，全球有超過 200 座商業動力反應器及實驗或展示反應器，以及超過 500 部研究用核反應器；另還有許多核子燃料循環設施，已經從運轉中除役下來，其中有些已被全面拆除。(World Nuclear Association, WNA)¹
- (2) 國內核設施除役計畫與國外核子研究機構一樣，係由核研所因應過去核燃料循環研究所遺留(Legacy)下來的核設施拆除，而首先展開的。
- (3) 核一廠除役計畫編撰，於 2012 年 10 月由台電公司委託核研所執行。

B.2 我國核電廠除役現況說明

- (1) 核一廠除役進度說明核安會已於 108 年 7 月核發核一廠除役許可後，台電公司依核定的除役計畫，規劃電廠周邊設備拆除作業。
 - 核一廠於 108 年 11 月 20 日舉行除役開工典禮暨核一廠主變壓器至開關場間連絡鐵塔拆除儀式，首件除役拆除工作為未受輻射影響的「核一廠主變壓器至開關場間連絡鐵塔拆除作業方案」，109 年 2 月聯絡鐵塔拆除完成。
 - 核一廠除役後首次大型拆除作業為備用氣渦輪發電機組拆除工作，由於其廠房也是新建用過核子燃料室內乾式貯存設施的預定地，故優先拆除改建。廠房拆除工作自 109 年 10 月 6 日開始，至 111 年 1 月 26 日拆除完畢。
 - 台電公司於 109 年 9 月 23 日函送「核一廠汽機廠房主發電機及其附屬設備、主/輔變壓器、冷凝水泵馬達等設備拆除作業計畫」予核安會(前原能會)審查，並於 110 年 9 月 30 日通過審查。本案拆除作業已於 113 年 7 月 1 日開工。
 - 台電公司於 111 年 7 月 7 日函送「核一廠氮氣槽室內設備及管線拆除作業計畫」予核安會審查，目前核安會審查中。
 - 台電公司於 111 年 8 月 3 日函送「核一廠一、二號機主汽機及飼水加熱器及其附

屬設備等拆除作業計畫」予核安會審查，目前核安會審查中。

- 台電公司於 111 年 12 月 2 日函送「核一廠廢氣廠房內外飼水加氫產生系統設備拆除作業計畫」予核安會審查，核安會於 114 年 1 月 6 日同意備查，並於 1 月 24 日函知台電公司提報本案離廠作業方案以符合開工條件，目前台電公司辦理中。

(2) 核二廠除役進度說明

- 核二廠 2 部機組已於 112 年 3 月 14 日停止運轉，進入除役期間。
- 台電公司於 107 年 12 月 27 日將核二廠除役計畫函送主管機關核安會審查，原能會已於 109 年 10 月 20 日審查通過，另環保署於 112 年 1 月 6 日認可台電公司提出之環評報告書定稿本後正式完成環評程序。後續待核二廠除役計畫環評審查結論送核安會，取得核安會核發之除役許可後，進行除役作業。

(3) 核三廠除役進度說明

- 核三廠一、二號機運轉執照將分別於 113 年 7 月 27 日及 114 年 5 月 17 日屆期。
- 依法需於運轉執照到期前 3 年提出核三除役計畫，台電公司於 110 年 7 月 26 日提出除役計畫送主管機關原能會審查。核安會已於 112 年 4 月 24 日審查通過，台電公司將於環評審查通過後，併同向核安會申請核發除役許可，預計於 114 年 5 月底前取得除役許可。

B.3 結語

- (1) 受日本福島事故影響，台電公司核一廠從原規劃延役 20 年，轉而自 108 年 7 月進入除役階段。
- (2) 核一廠已逐案進入拆解計畫中，目前已完成鐵塔、汽渦輪機、69 kV 開關場(遷移)、主發電機與其周邊系統(尚進行中)拆除，另飼水加氫系統與氮氣槽、主汽機與飼水加熱器及其附屬設備等正發包中或送審中。
- (3) 針對核一廠拆解廢棄物離廠量測，將面臨考驗，應及早因應。
- (4) 未來 5-10 年，會進入聯合結構廠房(含反應器廠房)等高輻射高污染設備拆除規劃(1-5 年)與實際拆解階段(5-10 年)，應考量自動/智慧拆除工法。
- (5) 土地釋出涉及結構/混凝土牆量測及 MARSSIM 品保作業，將於 10 年後須正視面對，目前核安會已在研議中是正確的。

3. 會議討論與紀錄：如附件一。

4. 結論與建議：請參附件一。

(二) 第二場座談會「高/低放廢棄物處置」

1. 執行過程：

係於 114 年 5 月 7 日(三)，假集思會台大國際會議中心召開，議程如表 8；由核協會陳布燦董事長主持，共有核安會、大學、高放選址辦公室、業界、台灣電力企業聯合會與核協會共 21 位參加。

2. 各引言人簡報概要：

表 8 第二場「高/低放廢棄物處置」座談會議程

| 日期 | 時間 | 主持(講)人 | 議題(講題) |
|-------------|------------|---------|-------------------------|
| 5/07 (三) | 09:10-9:40 | 楊世如 | 報到 |
| | 09:40-9:50 | 陳傳宗 | 我國核後端管制技術支援體系建構介紹 |
| | 09:50-0:00 | 施建樑 | 「高放射性廢棄物處置」在安全管制技術研究之展望 |
| | 10:00-0:40 | 陳條宗 | 「低放射性廢棄物處置」在安全管制技術研究之展望 |
| | 10:40-1:00 | | 休息 |
| | 11:00-2:00 | 陳條宗/施建樑 | 討論 |
| | 12:00-2:30 | | 午餐(飯盒) |

A. 「我國核後端管制技術支援體系建構介紹」核協會陳傳宗顧問(請參第六章.(一).2.A) [26]

B. 「高放射性廢棄物處置」在安全管制技術研究之展望」，核協會施建樑顧問 [28]

B.1 前言

國際高放射性廢棄物最終地質處置之實施狀況：

- (1) 美國處置場 WIPP 已於 1999 年正式運轉；原 Yucca Mt.計畫於 2021 年拜登總統反對而暫停。
- (2) 芬蘭處置場於 2015 年 11 月取得建造許可，2016 年 11 月開始建造，2021 年 12 月提出運轉執照申請，預定於 2025 年運轉。
- (3) 瑞典處置場於 2022 年 1 月核准建造申請，預定於 2025 年開始建造。
- (4) 法國處置場於 2023 年 1 月提出建造執照申請，預定於 2035 年啟用。

- (5) 另與我國地質環境相近的日本，經參酌國際發展經驗，考量地質處置設施所需之相關條件後，正積極辦理選址作業。
- 經濟部於 113 年 5 月 10 日訂定「經濟部放射性廢棄物處置專案辦公室設置要點」，並於近期成立辦公室。開始高放選址條例的制訂、立法與溝通工作。
 - 我國放射廢棄物處置研究自 75 年開始，迄今已有約 50 年；早期工作集中在島內與離島的場址探勘。
 - 101 年因應核安會要求增加處置研究之深度與經費，而有「用過核子燃料最終處置計畫潛在處置母岩特性調查與評估階段-發展功能/安全評估技術(102-104 年度計畫)」新的第一期計畫，主要由國原院與工研院綠能所共同執行。
 - 後續有(104-107 年度計畫)第二期計畫，有了首次國際同儕審查，並完成 SNFD2017 報告。以及(108-109 年度計畫)第三期計畫，同樣有國際同儕審查，並完成 SNFD2021 報告。
 - 目前正由國原院、工研院綠能所與中興工程公司共同執行第四期計畫，預計於今年(114 年)底完成 SNFD2025 報告。

B.2 結語

- (1) 我國放射性廢棄物處置研究自 75 年開始，迄今已有約 50 年；但由於地方與 NGO 之反對，處置場址調查一直十分不順利。
- (2) 目前正按照台電公司 93 年提報的「我國用過核子燃料最終處置計畫書」，於 95 年 7 月取得原能會核備的五個執行階段執行中。
- (3) 高放處置是一門跨領域(地質、地球科學、核工、土木、大氣科學、水文、機械、古生物、化學、化工、資訊、法律、新聞等)、密集核心人力(百人)、長期經驗累積(50-80 年)、長尺度評估(>百萬年)等的研究/科學/工程/製造/運轉/監管計畫。
- (4) 經過國內各機構(官/業/研/學/民)之共同合作努力下，以及國外專家/國內外同儕/機構之協助審查指導下，已逐漸走上軌道。
- (5) 目前執行的 2055 年完成五階段工作開始實地進行；按現有的狀況，可能會延遲。故廠內或集中式室內乾貯，可能成為中間數十年過渡的替代方案。
- (6) 按核安會提出的近二年重點規劃，每年在高放處置領域分別有 17、15 項委託研究構想，但內容均為細緻的研究議題，係由核安會與學者們所共同提出的；以國

原院執行高放處置的經驗，建議將幾個類似的議題合併成「整合型計畫」，可增加計畫規模(經費與人力)或採跨校合作，或能增加學者們申請的意願。

- (7) 依國外經驗安全論證需每五年執行一次；目前整合「安全論證」的技術能力主要集中在國原院執行台電公司 SNFD 的計畫團隊中，據了解國原院安全論證團隊約有 10 位(平均年齡在 40-45 歲)；面對漫長的高放處置計畫時程，除了 SNFD 團隊應自行特別注意人力補充培育外，核安會亦應考量有關學者們在此方面安全管制技術人力/能力的建立。

C. 低放處置回顧與展望 核協會陳條宗顧問 [29]

C.1 低放射性廢棄物處置主要工作：包括場址選擇、廢棄物特性、場址特性、場址設計、安全評估。

C.2 場址選擇：可分為本島和離島。本島如考慮海運、人文、環境、民眾接受度，場址極可能位於台東達仁宇屏東牡丹之間，因為此處為全島唯一沿海地區沒有公路尚未開發的地方。

C.3 離島包括：彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、基隆嶼、龜山島、綠島、蘭嶼、小蘭嶼、東沙群島、南沙群島、小琉球、澎湖群島、金馬群島。依據作者初步評選：

- (1) 彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼（北方三島）：
 - 考慮國防、漁業、山腳斷層延伸，不易被選為可能場址；
- (2) 基隆嶼、龜山島
 - 考慮觀光、後火山活動，不易被選為可能場址；
- (3) 綠島、蘭嶼、小蘭嶼
 - 考慮目前發展與民意，綠島、蘭嶼不易被選為可能場址；
 - 考慮土地面積、地形，小蘭嶼不易被選為可能場址；
- (4) 小琉球
 - 全島位於大鵬灣國家風景區範圍內，不易被選為可能場；
- (5) 東沙群島、南沙群島
 - 考慮國防，不易被選為可能場址；
- (6) 澎湖群島
 - 地質多為玄武岩，適合淺地層處置，不適合坑道處置；

- 花嶼為中生代基盤岩(安山岩)適合坑道處置；

(7) 金馬群島

- 有適合坑道處置之花崗岩地質；
- 近大陸，恐有政治問題；

C.3 可能場址：目前台電初步評選出可能場址為本島台東達仁和離島福建(金門代管)小坵兩個場址。因場址設置條例要求可能場址須經公投同意而停擺。

(1) 目前台電達仁場址初步設計含海平面以上陸地坑道處置。依其設計圖初步判斷處置坑道位於地下水位之下。根據 10CFR61.50(a)(7)規定，當處置區位於地下水位之下時，其核種傳輸必須主要為分子擴散(即因密度不同衍生之密度流)。因達仁場址地質為硬頁岩，其岩石特性呈頁狀，x、y 軸透水，z 軸不透水。另依據觀察場址附近多處露頭，因地層擠壓變化，x、y 軸可能呈水平、傾斜、垂直。將來地下水模擬相當困難。而且該場址之核種傳輸很難達到主要為分子擴散之密度流，因為重力流極可能成為該場址核種傳輸之主力。技術是否可行？尚有許多地方需要克服。

(2) 小坵場址如採海床下坑道處置則依據過去完成之初步場址調查、初步設計、初步安全評估結果，該場址技術可行。

3. 會議討論與紀錄：如附件二。

4. 結論與建議：請參附件二。

(三) 第三場座談會「低放廢棄物處理/貯存」+「用過核子燃料乾式貯存」

1. 執行過程：

係於 114 年 5 月 20 日(二)，假台灣大學集思會館國際會議廳召開，議程如表 9；由核協會陳布燦董事長主持，共有核安會、大學、國原院、工研院、業界與核協會共 22 位參加。

表 9 第三場「低放廢棄物處理與貯存+用過核子燃料乾式貯存」座談會議程

| 日期 | 時間 | 主持(講)人 | 議題(講題) |
|------|-------------|--------|-------------------|
| 5/20 | 09:10-09:40 | 楊世如 | 報到 |
| (二) | 09:40-09:55 | 陳傳宗 | 我國核後端管制技術支援體系建構介紹 |

| | | | |
|--|-------------|---------|--------------------------|
| | 09:55-10:15 | 廖識鴻 | 「用過核子燃料乾式貯存」在安全管制技術研究之展望 |
| | 10:15-10:30 | 陳條宗 | 用過核燃料乾貯回顧與展望 |
| | 10:30-10:40 | 陳條宗 | 低放處理與貯存回顧與展望 |
| | 10:40-11:00 | | 休息 |
| | 11:00-12:00 | 陳條宗/廖識鴻 | 討論 |
| | 12:00-12:30 | | 午餐(飯盒) |

2. 各引言人簡報概要：

A. 我國核後端管制技術支援體系建構介紹 核協會陳傳宗顧問(請參第六章.(一).2.A) [26]

B. 「用過核子燃料乾式貯存」在安全管制技術研究之展望 核協會廖識鴻顧問 [30]

B.1 前言

- (1) 核一廠一、二號機分別於 107、108 停止運轉，108 年進入除役階段；
- (2) 核二廠一、二號機分別於 110、112 停止運轉，待核二廠除役計畫環評審查結論送核安會，取得核安會核發之除役許可後，進行除役作業。
- (3) 核三廠一號機於 113 年停止運轉，二號機於 114 年 5 月停止運轉，除役計畫已通過核安會審查，待通過環境部審查後，送核安會核發除役許可後，可展開除役作業。

B.2 國際核電廠用過核子燃料乾式貯存系統處理情形

- (1) 美國：Surry 核電廠：自 1980 年代開始發展，第一個商用乾式貯存系統於 1986 年啟用；Palisades 核電廠：位於密西根州的核電廠，擁有乾式貯存設施；Diablo Canyon 核電廠：位於加州的核電廠，使用乾式貯存來存放用過核子燃料，目前大多數核電廠都已建置乾式用過核子燃料貯存設施。
- (2) 法國：法國其部分核電廠也開始採用乾式貯存方式來存放用過核子燃料。
- (3) 德國：Gorleben 臨時貯存設施：這是一個專門用於放置用過核子燃料的乾式貯存設施。
- (4) 加拿大：Pickering 核電廠：設有乾式貯存設施，用來存放用過核子燃料。
- (5) 日本：日本的一些核電廠也開始引進乾式貯存技術，但大多數用過核子燃料仍然存放於濕式貯存池中。

- (6) 中國：大亞灣核電廠：中國開始推行乾式貯存技術以因應用過核子燃料的長期管理需求。

B.3 國際核電廠室內用過核子燃料乾式貯存系統

- (1) 美國：位於加州的 Humboldt Bay 核電廠是一個經典的室內乾式貯存設施案例。這個設施設在地下，是全球少數幾個設於地下的乾式貯存設施之一。
- (2) 德國：Gorleben Zwischenlager 室內乾式貯存設施(CASTOR Hall)，是專門用來儲存核電廠用過核子燃料和其他高放射性廢棄物的設施。
- (3) 加拿大：Darlington 核電廠乾式貯存設施專門設計來存放核反應器的用過核子燃料，並利用厚實的混凝土牆來進行輻射屏蔽。設施內部使用一套密閉且通風良好的系統，確保貯存模組中的熱量能被動散發，同時保護環境和人員。
- (4) 日本：六所村再處理廠設有一個用於暫時存放用過核子燃料的乾式貯存設施，儲存設施位於建築物內，使用鋼和混凝土製的貯存容器，並配有強大的輻射屏蔽和監測系統。
- (5) 韓國：月城(Wolsong)核電廠乾式貯存設施採用室內設計，使用高強度的鋼筋混凝土結構來存放用過核子燃料。這個設施特別強調被動冷卻系統和輻射屏蔽的結合，並且設有完善的監控系統來持續監測用過核子燃料狀況。
- (6) 瑞士：ZWILAG 核廢料處理中心(Cask Storage Hall)位於瑞士的核廢棄物貯存與處理中心，其內設有室內乾式貯存設施。這些設施專門用來儲存瑞士核電廠的用過核子燃料，並採用了鋼製貯存容器及強化的輻射屏蔽結構。

B.4 我國核電廠用過核子燃料乾式貯存系統處理情形

- (1) 核一廠室外用過核子燃料貯存系統因地方政府對水土保持有疑慮而停工，在經過相當時間溝通後，於 113 年 10 月 15 日獲地方政府同意，取得新北市政府核發核一廠室外乾式貯存設施水土保持完工證明書；並於 113 年底完成熱測試，114 年 1 月提出運轉申請，114 年 5 月 1 日獲核發運轉執照，預定 115 年初可將一、二號機用過核子燃料池中的用過核子燃料移出。核一廠用過核子燃料數量 7,154 束(室外 1,680 束、室內 5,474 束)，核一廠室內用過核子燃料乾式貯存系統正進行招標作業。
- (2) 核二廠除役計畫分別於 109 年 10 月與 112 年 1 月通過核安會與環境部審查，待

取得核安會核發除役許可後，可展開除役作業。核二廠室外用過核子燃料乾式貯存系統於 113 年 6 月獲地方政府同意，113 年 12 月開始施工，預定 115 年初完工後，開始進行冷測試。核二廠用過核子燃料數量 10,868 束(室外 2,349 束、室內 8,519 束)，核二廠室內用過核子燃料乾式貯存系統與核一廠合併正進行招標作業。

- (3) 核三廠一、二號機運轉執照分別於 113 年 7 月 27 日及 114 年 5 月 17 日屆期，除役計畫於 112 年 4 月通過核安會審查，目前正由環境部進行二階環評，待通過後送核安會核發除役許可後，展開除役作業。核三廠用過核子燃料數量 4,320 束。核三廠室內用過核子燃料乾式貯存系統正進行招標作業之準備，預定 114 年底進行招標作業，5~6 年後開始將用過核子燃料由用過核子燃料池移出。

B.5 用過核子燃料乾式貯存監管重點(參考國外經驗)

- (1) 結構完整性方面：包括材料選用與腐蝕防護、焊接品質與疲勞壽命、地震與撞擊耐受模擬。
- (2) 熱移除能力方面：包括自然對流設計驗證、熱傳導模擬與燃料熱功率評估等。
- (3) 通風結構與阻塞風險分析。
- (4) 輻射屏蔽與控制：包括加馬/中子屏蔽層效能(鉛、混凝土等)、洩漏率測試(氬測漏等)、輻射劑量場模擬。
- (5) 臨界安全性方面：中子吸收材料(硼鋼等)效能驗證、燃料佈局設計限制、臨界度分析。
- (6) 材料老化管理方面：包括構件劣化模式分析(應力腐蝕、熱老化)、長期監測與壽命預測模型、老化資料庫建立。
- (7) 監測與檢查制度方面：包括遠端視覺/聲波/無破壞檢測技術、溫度/濕度/輻射感測系統、檢查頻率與評估程序設定。
- (8) 安全分析報告(SAR)方面：包括熱力臨界分析整合模擬、正常與事故情境模擬(火災、水淹、衝擊、傾倒等)、報告更新與核准流程。
- (9) 物理保安與保防方面：包括實體防護系統(圍籬、門禁、警報)、核材料管理與防竊規劃、IAEA 安全指引比對。

B.6 未來用過核子燃料乾貯管制技術研究展望

發展中用過核子燃料乾貯管制技術之 AI 應用

- (1) 智慧監測與預警分析：利用 AI 處理乾式貯存設施中的感測器數據(溫度、濕度、輻射、容器應力等)，即時監測異常並預測潛在風險，如芬蘭的 Onkalo 地質處置庫研究中，AI 模型被用於生成地質構造的虛擬場景，評估極端氣候或地震對儲存庫的影響、法國核安全局利用 AI 生成不同事故場景的模擬報告，強化核廢棄物運輸過程的風險管理。
- (2) 輻射與熱分佈監控：使用深度學習模型估算桶體內部未直接量測的輻射強度或溫度分佈、建立數值模擬與感測資料間的資料驅動校準模型。
- (3) 機器視覺檢測與自主機器人運維：透過無人機或機器人搭載攝影機，結合 AI 影像識別技術檢測貯存容器表面的裂紋、鏽蝕或密封性缺陷，減少人員輻射曝露風險，如日本福島第一核電廠的廢爐作業中，AI 生成的 3D 模型幫助制定機器人清理碎片的路徑規劃。
- (4) 材料退化與壽命預測：基於 AI 模擬長期輻射、溫度變化對容器材料(如鋼材、混凝土)的影響，預測材料壽命如美國能源部與國家實驗室合作，利用生成式模型優化核廢棄物罐的設計參數。
- (5) 數位孿生(Digital Twin)與預測模型：建立乾式貯存模組的數位孿生體，動態偵測反映設備狀態並模擬長期行為(如熱遷移、輻射衰減、材料劣化)，模型可協助優化通風設計或熱排出結構，如歐洲原子能共同體(EAEC/EURATOM)正在探索數位孿生技術在核設施壽期管理上的應用。
- (6) 決策支援與風險評估：整合感測資料與歷史資料建立風險預測模型，用於評估桶體壽命、維護排程與異常處理策略，支援緊急應變系統，基於 AI 分析提供即時建議或警示，如 INL 研究使用 AI 輔助模擬用過核子燃料儲存行為，以提升風險評估模型的效率與精度。
- (7) 核廢棄物特性分析：利用深度學習分析中子成像或伽馬射線光譜數據，自動識別貯存燃料的衰變狀態和剩餘放射性強度，結合 AI 與流體力學模型，模擬放射性核種在容器或環境中的擴散路徑。
- (8) 數據整合與知識管理：建構貯存技術相關的知識圖譜(如材料屬性、法規標準、歷史事故)，透過 NLP 實現快速檢索與關聯分析，應用 AI 壓縮和加密技術，管理跨越數十年的監測數據，確保可追溯性。

- (9) 公眾溝通與社會接受度：生成式 AI 可將複雜的技術數據轉化為視覺化內容(如互動式 3D 模型)，協助公眾理解核廢料處置的安全性，如加拿大核廢料管理組織使用 AI 生成教育性內容，解釋深層地質處置的技術原理。
- (10) 跨國合作與知識共享：瑞典、芬蘭等國在地質處置技術領先，但 AI 應用多由企業主導(如西屋、法馬通)，學術界則透過跨國計畫推動 AI 模型開源共享。

B.7 結語

國際間用過核子燃料乾式貯存設施自 1980 年代開發，至今已有 40 年以上經驗，無論室內或室外乾式貯存技術都相當成熟。配合核一、二、三廠用過核子燃料乾式貯存系統啟用之管制作業，協助管制支援之相關技術宜先發展備用，期待各專家學者積極配合協助支援監管作業。

C. 國內「用過核子燃料乾式貯存」運轉現況與未來規劃 核協會陳條宗顧問 [31]

C.1 我國用過核子燃料乾式貯存計畫大致可分為 2 個階段：

- (1)核一、二廠室外乾式貯存；
- (2)核一、二、三廠室內乾式貯存。

核一廠室外乾式貯存已於 114 年 5 月 1 日取得 20 年運轉執照。後續將繼續完成另 23 組貯存護箱之運貯。而核二廠室外乾式貯存則於 113 年 12 月 31 日開工，預計 114 年 12 月 31 日月現場施工完成。

C.2 未來可能需要研究探討項目包括：

(1) 執照延役

目前核安會核准執照期限為 20 年。美國首次核照期限亦為 20 年。申請延役時，曾一次核准展延 20 年或 40 年。而荷蘭則將乾式貯存期限訂為 100 年。我國目前並無乾式貯存延役相關法規，未來需要學者專家協助研究探討。

(2) 十年執照再評估(10 年換照)

雖然國內已有低放射性廢棄物貯存庫 10 年執照再評估之申請與審查經驗，但尚無乾式貯存 10 年執照再評估申請與審查之細部規定。為使將來申請與審查更加順利，建議提前研擬相關細則。

(3) 燃料特性不同衍生之安全問題

我國已有核一、二廠室外乾式貯存設施申照與審核經驗，但未來室內貯存將不只

面臨 BWR 燃料還包括 PWR 燃料。而且燃料冷卻時間縮短、衰變熱增高、初始 U-235 濃度增加(BWR 提高至最大 4.048%，PWR 提高至最大 4.96%)、最大燃耗提升(BWR 提高至 52 GWD/MTU，PWR 提高至 60 GWD/MTU)、並且涵蓋貯存破損燃料。因此，可能衍生以往核一、二廠室外乾式貯存未有之安全問題，有待學者專家協助研究探討。

(4) 室內貯存建築物設計相關問題

過去核一、二廠室外乾式貯存並沒有室內貯存之建築物設計，亦可能衍生新的安全問題必須探討。例如建築物貯存區設計耐震須符合 Seismic IIA 規定，而設置耐單一失靈吊車之支撐更須符合 Seismic I 規定。貯存區地板設計則須符合 Seismic I 規定。建築物貯存區通風設備則須減少進風之氯含量，以及能以自然通風排除用過核子燃料之衰變熱之能力。

(5) SSHAC Level 3 解決辦法

雖然核安會已說明 SSHAC Level 3 不是用來設計，僅用來檢核。但目前如何用來檢核，台電公司、核安會、顧問公司及廠商尚未完全達成共識，需要學者專家們協助。

(6) 燃料再取出

美國在乾式貯存場沒有要求設置燃料再取出設施。但我國核安會要求台電公司需要設置燃料再取出設施，以因應事故發生時燃料再取出之可行性。因將來包括高燃耗用過核子燃料(BWR：52 GWD/MTU，PWR：60 GWD/MTU)，而高燃耗用過核子燃料回水池再取出恐有安全疑慮。另因我國非 IAEA 會員，目前仍被禁止設置熱室，故也需要學者專家們之協助與探討。

D. 國內「低放廢棄物處理/貯存」技術要項需求 核協會陳條宗顧問 [32]

D.1 處理設備及系統：

原先台電積極規劃設置焚化爐、超高壓減容設備、粒狀廢樹酯處理系統，如今卻沒有什麼後續進展。除役時全系統除污，也因實際拆除高污染區作業延後，而不一定採用，目前並沒什麼特殊安全議題值得探討研究。

D.2 貯存倉庫：

台電為貯存除役所產生之低放射性廢棄物各廠均已規劃或正在執行增加貯存倉庫。只是貯存倉庫之設置為成熟技術，沒什麼特殊安全議題值得探討研究。

3. 會議討論與紀錄：如附件三。

4. **結論與建議**：請參附件三。

(四) 座談會後問卷彙總

本年度三場核後端各技術領域之 TSO 專家座談會後問卷彙總整理如下：

1. 114/04/16「核設施除役」座談會問卷彙總表詳如表 10、表 11、表 12；
2. 114/05/07「用過核子燃料最終深層地質處置」座談會問卷彙總表詳如表 13、表 14；
3. 114/05/20「低放廢棄物處理/貯存」+「用過核子燃料乾式貯存」座談會問卷彙總表詳如表 15。

表 10「核設施除役」問卷彙總表(1/3)

| 單位名稱 | 國立陽明交通大學生物醫學影像暨放射科學系北部地區備援實驗室 | 臺灣電力企業聯合會 (TEPA) | 國立清華大學核子工程與科學研究所 |
|-----------------|---|---|--|
| 負責人 | 吳杰 | 李清山 | 陳紹文 |
| 2 主要核設施除役技術能力領域 | <input checked="" type="checkbox"/> 廢棄物離廠量測 <input checked="" type="checkbox"/> 輻射安全 (1) 放射性同位素分析 (2) 輻射度量 | <input checked="" type="checkbox"/> 廢棄物離廠量測 <input checked="" type="checkbox"/> 土地釋出 <input checked="" type="checkbox"/> 宣導溝通 | <input checked="" type="checkbox"/> 特性評估 <input checked="" type="checkbox"/> 拆除工程 RPV 放射性活度特性評估與取樣驗證 |
| 3 有興趣除役技術議題 | (1) 除役廢棄物外釋管制之實務 (2) 離廠廢棄物放射性同位素分析 | (1) 廢棄物離廠量測 (2) 土地釋出 (3) 宣導溝通 | (1) 用過燃料銦合金護套特性與完整性評估 |
| 4 有興趣除役管制技術 | (1) 廢棄物離廠量測 (MARSAME) (3) 納入人工智慧技術的除役安全管制 | (1) 廢棄物離廠量測 (MARSAME) (2) 土地釋出 (MARSSIM) (3) 納入人工智慧技術的除役安全管制 | (3) 納入人工智慧技術的除役安全管制 |
| 5 可參與研究成員 | 3 | 未填 | 1 |
| 6 成為 TSO 成員意願 | Yes | Yes | Yes |
| 7 其他技術建議 | NA | NA | NA |
| 8 其他建議 | NA | NA | NA |

表 11 「核設施除役」問卷彙總表(2/3)

| 單位名稱 | 清大原科中心 | 警大消防系 | 原能會物管局簡任技 正兼組長退休人員 |
|--------------------------|---|---|---|
| 負責人 | 許文勝 | 黃育祥 | 邱世聰 |
| 2 主要核設施除 役技技術能力 領域 | <ul style="list-style-type: none"> ■土地釋出 ■安全管理 核電廠除役期間及解除 管制時的各項重要議題 | <ul style="list-style-type: none"> ■安全管理 (1)除役期間之火災因子 分析 (2)除役期間之防火區劃 破壞及防護 | <ul style="list-style-type: none"> ■安全管理 (1)安全管理單位以上 全部涉及及涵蓋；主 要業務為安全管理 (2)政策、策略與法令及 溝通事項 |
| 3 有興趣除役技 術議題 | (1)安全管理 | (1)安全管理(火災事件) | <ul style="list-style-type: none"> ■特性評估 ■拆除工程 ■除役期間運轉/監測 ■廢棄物離廠量測 ■除污及廢氣/液處理 ■輻射安全 ■土地釋出 ■安全管理 ■安全管理 ■宣導溝通 |
| 4 有興趣除役管 制技術 | (2) 土 地 釋 出 (MARSAME) | (3)納入人工智慧技術的 除役安全管理 | (1)廢棄物離廠量測 (MARSAME) (2) 土 地 釋 出 (MARSSIM) (3)納入人工智慧技術 的除役安全管理 |
| 5 可參與研究成 員 | 5 | 3 | 未填 |
| 6 成為 TSO 成 員意願 | Yes | Yes | Yes |
| 7 其他技術建議 | NA | NA | 國際動態、策略、政策、 法規及特別技術細項 |
| 8 其他建議 | NA | 定期消防議題之現場勘 查 | NA |

表 12 「核設施除役」問卷彙總表(3/3)

| 單位名稱 | 中興工程顧問公司 | 泰興工程顧問股份有限公司 | 清華大學原科中心 |
|-----------------|----------|---|--|
| 負責人 | 陳仲賢 | 陳尚榮 | 許榮鈞 |
| 2 主要核設施除役技術能力領域 | NA | <ul style="list-style-type: none"> ■拆除工程 ■廢棄物離廠量測 ■輻射安全 ■土地釋出 | <ul style="list-style-type: none"> ■特性評估 ■除污及廢氣/液處理 ■輻射安全 ■土地釋出 (1)除役核種特性評估 (2)DCGL 推算、難測核種量測以及核種分配係數分析 |
| 3 有興趣除役技術議題 | NA | 未填 | 未填 |
| 4 有興趣除役管制技術 | NA | (1)廢棄物離廠量測 (MARSAME) (2)土地釋出 (MARSSIM) | (1)廢棄物離廠量測 (MARSAME) (2)土地釋出 (MARSSIM) (3)納入人工智慧技術的除役安全管制 |
| 5 可參與研究成員 | 0 | 2 | 3 |
| 6 成為 TSO 成員意願 | No | Yes | Yes |
| 7 其他技術建議 | NA | NA | NA |
| 8 其他建議 | NA | 官學界資源有限的條件下,建議以更務實且有效率整合國內現有之技術能量。 | NA |

表 13 「用過核子燃料最終深層地質處置」問卷彙總表(1/2)

| 單位名稱 | 核能安全委員會(退休) | 臺灣電力企業聯合會(TEPA) |
|--------------------------|--|--|
| 負責人 | 鄭武昆 | 李清山 |
| 2 主要用過核子燃料最終深層地質處置技術能力領域 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 場址選擇 ■ 處置設施設計 ■ 安全論證 ■ 安全管制 ■ 宣導溝通 <p>(1)我國距離高放處置仍有一段距離，宜將資源集中於國際發展訊息蒐集分析，如何參考應用於國內；另外也須考量如果有國際共同處置場設立時之搭配規劃，可能運輸及國際談判是必要預先考量事項。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ■ 場址選擇 ■ 處置設施設計 ■ 安全管制 ■ 宣導溝通 |
| 3 前項有興趣技術議題 | 未填 | (1) 場址選擇 (2) 宣導溝通 |
| 4 四項高放處置安全管制方面需求參與意願 | 未填 | (2)願意參與用過核子燃料最終深層地質處置安全管制技術「整合型計畫」 |
| 5 對那些核安會重點規劃議題(計畫)有興趣 | 未填 | 未填 |
| 6 可參與研究成員 | 未填 | 1 |
| 7 成為 TSO 成員意願 | 未填 | Y |
| 8 其他技術建議 | 未填 | N |
| 9 其他建議 | <p>值得注意芬蘭與瑞典的處置場發展進度及遭遇困難，如何解決。另外處置成本的估算也應該探聽一下，財務保障也是核照要件不應被忽視。</p> | 未填 |

表 14 「用過核子燃料最終深層地質處置」問卷彙總表(2/2)

| | | |
|---|---|---|
| 單位名稱 | 中興工程顧問公司 | 國立中央大學應用地質研究所 |
| 負責人 | 林伯聰 | 黃文正 |
| 2 主要用過核子燃料最終深層地質處置技術能力領域 | <input type="checkbox"/> 場址選擇 <input type="checkbox"/> 處置設施設計 <input type="checkbox"/> 安全論證 | <input checked="" type="checkbox"/> 場址選擇 <input checked="" type="checkbox"/> 安全論證 (1)地質調查、地球物理探測、地球化學調查、岩體裂隙調查、大地應力調查、岩土力學試驗、地質模型建置、THMC 耦合數值模擬與安全評估等 |
| 3 有興趣技術議題 | 未填 | 同上 |
| 4 四項高放處置安全管制方面需求參與意願 (1)負責擔任用過核子燃料最終深層地質處置安全管制技術「整合型計畫」 (2)參與用過核子燃料最終深層地質處置安全管制技術「整合型計畫」 (3)那些研究計畫可以整合在一起 (4)參加培育「安全論證」技術人才與新團隊 | 否 | (1)願意出面負責擔任用過核子燃料最終深層地質處置安全管制技術「整合型計畫」 (2)願意參與用過核子燃料最終深層地質處置安全管制技術「整合型計畫」 (4)願意參加培育「安全論證」技術人才與新團隊 |
| 5 對那些核安會重點規劃議題(計畫)有興趣 | 未填 | 未填 |
| 6 可參與研究成員 | 未填 | 7 |
| 7 成為 TSO 成員意願 | 否 | Y |
| 8 其他技術建議 | NA | NA |
| 9 其他建議 | NA | NA |

表 15 「低放廢棄物處理/貯存」+「用過核子燃料乾式貯存」問卷彙總表

| 單位名稱 | 國立台灣科技大學機械系 | 臺灣電力企業聯合會(TEPA) |
|--------------------------|--|--|
| 負責人 | 王朝正 | 李清山 |
| 2 主要用過核子燃料最終深層地質處置技術能力領域 | (3)中長期貯存安全管制要項： <input checked="" type="checkbox"/> 不銹鋼材料應力腐蝕劣化機制分析、 <input checked="" type="checkbox"/> 設施老化管理與十年安全再評估檢查要項； | (1)用過核子燃料乾式貯存系統技術要項： <input checked="" type="checkbox"/> 燃料填裝、密封、乾燥、充氮及搬運； (2)室內貯存技術要項： <input checked="" type="checkbox"/> 燃料再取出設施設計； (3)中長期貯存安全管制要項： <input checked="" type="checkbox"/> 設施老化管理與十年安全再評估檢查要項； (5)宣導溝通 |
| 3 有興趣技術議題 | 未填 | (1) 燃料填裝、密封、乾燥、充氮及搬運 (2) 宣導溝通 (3) 燃料再取出設施設計 |
| 4 協助審查台電設施執照申請文件 | Yes | No |
| 5 有意願的室內貯存技術要項 | NA | NA |
| 6 協助審查台電設施十年在再評估報告 | Yes | Y |
| 7 有意願的中長期貯存安全管制要項 | 貯存容器的防蝕能力與防護塗層老化評估 | 未填 |
| 8 可參與研究成員 | 註 | 1 |
| 9 成為 TSO 成員意願 | 未填 | Y |
| 10 其他技術建議 | NA | NA |
| 11 其他建議 | NA | NA |

註：本人即將退休，利用此機會推薦兩位新生代的研究學者，可以來參與此案：

- (1) 台科大機械系黃彥瑞助理教授，核工系所畢業，主攻不銹鋼應力腐蝕等領域。
- (2) 宜蘭大學機電系梁煥昌助理教授，畢業於我的實驗室，博班期間參與多項原能會、核研所計畫。畢業在熱浸鍍鋅廠服務兩年有很多實務上的經驗，兩年前到宜蘭大學任教。

(五) 後續 MF 研究計畫建議

本協會於 114 年 4-5 月間，舉辦了三場有關核後端技術領域座談會(詳如上述)，結論為：目前，以下列事項為未來約 5 年間，應重視且較為急迫的安全管制能力建立；包括：(1)放射性廢棄物處置→安全論證、熱力水化耦合研究及核種遷移分析，(2)用過核子燃料乾式貯存→高燃耗及破損燃料貯存特性分析、中長期貯存安全管制

要項、不銹鋼材料應力腐蝕劣化機制分析、用過核子燃料貯存容器檢測及維護技術、設施老化管理與十年安全再評估檢查要項後續如何接著推動相關工作；(3)AI 技術在核後端之應用→智慧監測與預警分析、機器視覺檢測與自主機器人運維及材料退化與壽命預測等。由核安會綜規組安排於 114 年 7 月 23 日向物管組請教。決定將由本協會自行分別前往拜訪清華大學核工所及台科大。

本協會 7 月 31 日前往清華大學拜訪，清華大學老師們同意研擬有關用過核子燃料乾式貯存容器監測與材料老化之 MF 研究計畫(如附件五)；以及高放射性廢棄物處置安全評估之 MF 研究計畫(如附件六)。另於 8 月 21 日前往台科大，三位老師們同意研擬有關用過核子燃料乾式貯存容器監測與材料老化之兩項 MF 研究計畫(如附件七)。

四項分別由清華大學與台科大提出的 MF 研究計畫，則是符合目前我國有關核後端安全管制的需求；擬將這些資料轉給核安會物管組參考。

七、討論

1. 繼續執行國際原子能安全管理技術支援組織(TSO)相關資訊之蒐集與研析；本計畫參照 IAEA 出版的有關 TSO 報告，以 OECD 及 NEA 的文件「Governmental Authorities for Nuclear Activities in NEA Member and Select Partner Countries, Updated May 2025」為依據，在網路搜尋相關資料，並將其整理分類為五大部分：(1)組織簡介、(2)主要職責與功能、(3)核能除役技術與經驗、(4)與監管機構的合作關係、(5)國際合作與參與等，參考資料及其網站；利用 CHATGPT 將其整理完成，成為各國 TSO 的報告資料。蒐集包括：大洋洲、亞洲、美洲、歐洲等國家的 TSO(如圖 4)，本(114)年度將針對這些國家的 TSO 做整理，先行準備簡要介紹說明；下年度可將這些資料置入決策支援體系平台網頁中，並與各國的 TSO 網頁做連結。
2. 本計畫本年度 3 月底時，本協會曾拜訪核安會物管組與綜規組，請教去年草擬的國內核後端安全管理技術要項盤點，是否有無修改增刪之處；期間物管組有提供文字修改意見，讓技術要項進一步達到適合的版本。
3. 有關配合核安會要求增加協助核資中心，執行「國內初步核後端安全管理技術及決策支援平台建構」工作，將於下年度(115 年)詳細配合與核安會(及其委託網頁製作廠商)進行訪談，以了解未來核安會對決策支援體系平台的需求。
4. 本年度計畫依據規劃所完成的三場各領域座談會，經整理會議過程並做成完整紀錄、問卷催收與整理、各引言人簡報彙整及各場座談會之結論與建議等；係本期計畫十分重要的工作；從前述本協會舉辦的三場座談會，但以出席座談會專家學者的情景，很明顯地，並不踴躍；究其原因，其一為近十年類似國內、國際核後端研討會過於頻繁，另一原因似乎是過去一年國內外輿論對新核能需求之鼓吹，影響了國內核能政策可能又有鬆動的跡象。
5. 經由這三場座談會對國內核後端安全管理現況之探討，本協會認為目前最急迫的是「用過核子燃料乾式貯存」。因為未來五年連續接踵而至的有核一、二、

三廠室內乾貯計畫之安全審查、密封鋼筒製造稽查、貯存設施建造稽查、運轉演練、試運轉程序書審查、現場運轉稽查等。而由於乾貯設施可能會有 40、60、80 甚至超過 100 年的貯放，故除了在未來十年期間內，核一、二廠室外乾貯場對各混凝土護箱及密封鋼筒之老化監視等，更需要有長遠的嚴謹監視計畫規劃；另亦應要求台電公司引進自動監視系統及人工智慧輔助做監視與研判；而上述工作均需要大量專業人力來因應。

6. 除了「用過核子燃料乾貯」外，「高低放射性廢棄物處置」亦是一項長期持久的工作(目前規劃時程是 2055 年開始運轉)，則應著重於下一代安全管制專業人才/團隊之培養與建立；目前國內具備有關安全評估/安全論證能力的團隊，僅有國原院內部協助台電公司執行 SNFD 安全論證的小組；故實有必要，需要在大學內培育相對人才與團隊，除因應安全管制人才外，未來五至十年後亦可補充國原院的人力。
7. 核一廠除役的離廠量測甚而日後的土地釋出，仍應是安全管制的重點；而未來之反應器壓力槽(RPV)與高活度桶槽之拆解、切割與包裝，其輻安與工安亦應特別重視。
8. 本計畫目前尚未受到國家能源政策之影響，仍以協助核後端領域安全管制技術為目標，若未來核安會考慮須配合國家能源政策而需要任何更動，本計畫之執行將以核安會之指示為準。

八、結論與建議

(一) 結論

1. 本年度期中報告已按照 114 年度本計畫服務需求書要求編撰，有關國內核電廠安全管制相關技術要項盤點：延續及更新上年度工作內容之資料數據，以及核廢棄物貯存與處置技術等；本案建議書對應承諾：(1)盤點除役計畫要項：風險評估、核廢棄物貯存、除污、除役期間工作人員及民眾的輻射安全。(2)組織國內相關專家學者、建立平台。(3)三場座談會舉辦-目的為相關組織及專家學者互動交流，討論如何支援及其支援形式。
2. 本報告繼續 113 年度研究計畫，持續對 IAEA 倡議的技術支援組織(TSOs)蒐集相關資訊，並以美國 RES、加拿大 CNSC、日本 JAEA、歐洲 ETSO 及我國國原院為例，說明國內外 TSO 的組織架構、型態、業務及職責，以供核安會未來規劃參考。詳細請參閱第二章。
3. 有關盤點核後端/風險評估各領域計畫之盤點，已從核安會歷年(109-114)委託「原子能科技學術合作研究計畫(MF)」及其他委託計畫中，按領域別整理統計委託計畫的件數，獲得初步結果如第三章所述。
4. 有關國內核後端安全管制技術要項盤點整理，獲得初步結果如第四章所述。有關國內初步核後端安全管制技術及決策支援平台建構，也請參閱第五章。
5. 至於有關舉辦相關組織互動交流之會議，已於舉辦了三場座談會，初步結果如第六章及附件一至三。

(二) 建議

1. 經過今年「核三重啟公投」的運動後，本協會覺得勢必會對於國內的核能政策有所影響；建議核安會內部應思索未來可能發展的幾個假想方案，例如次世代核能技術的 SMR 與第四代新核能反應器，其產出之高低放射性廢棄物，未來應如何執行安全管制(如產出的廢棄物特性、低/高放廢棄物處理/貯存包裝、系統與設施及低/高放廢棄物處置概念)，均應宜事前規劃與研

究，並在適當時機啟動。

2. 由於國內高低放射性廢棄物處置仍處於鄰避效應(Not in my backyard, NIMBY)，台電公司處置選址進度停滯，是否會因而再拖延二、三十年，而嚴重影響到處置計畫之推動；故以核安會政府機關之立場，建議仍應對原子能科技人力之培育或再教育(如委託清華大學原科院開核工、核廢處理處置學分課程)，提出實務與具體的行動。
3. 有關「低放射性廢棄物處理與貯存」，其狀況實際上與「用過核子燃料乾式貯存」相似，只要低放處置無法推動，核電廠內的處理/貯存設施就必須存在，這裡也提醒核安會物管組，應注意到這個領域安全管制人力的維持與培育。

參考文獻

- [1] 核安會, “111 至 114 年原子能科技民生應用發展的策略藍圖,” 院臺科字第 1110003185 號備查, 行政院, 111 年 4 月 7 日.
- [2] IAEA, “Technical and Scientific Support Organizations Providing Support to Providing Support to Regulatory Functions, IAEA-TECDOC-1835,” IAEA, 2018.
- [3] NRC, “Nuclear Regulatory Research,” [線上]. Available: <https://www.nrc.gov/about-nrc/organization/resfuncdesc.html#funcdesc>. [存取日期: 17 05 2025].
- [4] IAEA, “PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHALLENGES FACED BY TECHNICAL AND SCIENTIFIC SUPPORT ORGANIZATIONS IN ENHANCING NUCLEAR SAFETY,” Vienna, 2007.
- [5] IAEA, “PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHALLENGES FACED BY TECHNICAL AND SCIENTIFIC SUPPORT ORGANIZATIONS IN ENHANCING NUCLEAR SAFETY,” Tokyo, 2010.
- [6] IAEA, “PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHALLENGES FACED BY TECHNICAL AND SCIENTIFIC SUPPORT ORGANIZATIONS IN ENHANCING NUCLEAR SAFETY,” Beijing, 2014.
- [7] IAEA, “PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHALLENGES FACED BY TECHNICAL AND SCIENTIFIC SUPPORT ORGANIZATIONS IN ENHANCING NUCLEAR SAFETY,” VIENNA, 2018.
- [8] IAEA, “Welcome to Technical and Scientific Support Organization Forum (TSOF),” [線上]. Available: <https://gnssn.iaea.org/main/tsof/Pages/default.aspx>. [存取日期: 13 05 2025].
- [9] ETSON, “What is ETSON?,” [線上]. Available: <https://www.etsn.eu/>. [存取日期: 15 5 2025].
- [10] ETSON, “Technical Safety Assessment Guides,” [線上]. Available: <https://www.etsn.eu/publications>. [存取日期: 17 5 2025].
- [11] a. M. R. S. YAO, “An effective approach to assessing the needs and availabilities of capability for nuclear safety at the CSNC,” 於 *PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHALLENGES FACED BY TECHNICAL AND SCIENTIFIC SUPPORT ORGANIZATIONS IN ENHANCING NUCLEAR SAFETY*, vienna, 2021.
- [12] OECD, “Governmental Authorities for Nuclear Activities in NEA Member and Select Partner Countries,” 2025.

- [13] IAEA, "Use of External Experts by the Regulatory Body," IAEA Safety Standards GSG-4, VIENNA, 2013.
- [14] 行政院原子能委員會/科技部/逢甲大學, "109 年度原子能科技學術合作研究計畫成果發表論文集," 110 年 6 月.
- [15] 行政院原子能委員會, "110 年度成果發表論文集原子能科技學術合作研究計畫," 111 年 6 月.
- [16] 行政院原子能委員會, "111 年度成果發表論文集原子能科技學術合作研究計畫," 112 年 6 月.
- [17] 行政院原子能委員會, "112 年度成果發表論文集原子能科技學術合作研究計畫," 113 年 6 月.
- [18] 核能安全委員會, "113 年度成果發表論文集原子能科技學術合作研究計畫," 114 年 6 月.
- [19] 核能研究所, "109 年度行政院原子能委員會委託研究計畫成果發表會摘要彙編," 110 年 5 月.
- [20] 核能研究所, "110 年度行政院原子能委員會委託研究計畫成果發表會摘要彙編," 111 年 5 月.
- [21] 核能研究所, "111 年度行政院原子能委員會委託研究計畫成果發表會摘要彙編," 112 年 5 月.
- [22] 核能安全委員會, "112 年度核能安全委員會委託研究計畫成果發表會摘要彙編," 113 年 5 月.
- [23] 核能安全委員會, "113 年度核能安全委員會委託研究計畫成果發表會摘要彙編," 114 年 6 月.
- [24] 宋大崙, "原子能安全管制支援體系先期評估期末報告," 財團法人核能科技協進會, 113 年 12 月.
- [25] 郭瓊文、尹學禮、鍾玉娟、翁明琪、胡紹薇, "我國原子能科技決策支援體系建構期末報告," 財團法人核能資訊中心, 112 年 12 月.
- [26] 陳傳宗, "「我國核後端管制技術支援體系建構介紹」簡報," 核後端各技術領域之 TSO 專家「核設施除役」座談會," 核協會, 集思會台大國際會議中心, 114 年 4 月 16 日.
- [27] 施建樑, "「核設施除役在安全管制技術研究之展望」簡報," 核後端各技術領域之 TSO 專家「核設施除役」座談會," 核協會, 集思會台大國際會議中心, 114 年 4 月 16 日.
- [28] 施建樑, "「高放射性廢棄物處置在安全管制技術研究之展望」簡報," 核後端各技術領域之 TSO 專家「高/低放廢棄物處置」座談會," 核協會, 集思會台大國際會議中心, 114 年 5 月 7 日.

- [29] 陳條宗, “「低放處置回顧與展望」簡報,”核後端各技術領域之 TSO 專家「高/低放廢棄物處置」座談會”, 核協會, 集思會台大國際會議中心, 114 年 5 月 7 日.
- [30] 廖識鴻, “「用過核子燃料乾式貯存在安全管制技術研究之展望」簡報,”核後端各技術領域之 TSO 專家「低放廢棄物處理與貯存+用過核子燃料乾式貯存」座談會”, 核協會, 集思會台大國際會議中心, 114 年 5 月 20 日.
- [31] 陳條宗, “「國內「用過核子燃料乾式貯存運轉現況與未來規劃」簡報,”核後端各技術領域之 TSO 專家「低放廢棄物處理與貯存+用過核子燃料乾式貯存」座談會”, 核協會, 集思會台大國際會議中心, 114 年 5 月 20 日.
- [32] 陳條宗, “「低放廢棄物處理/貯存技術要項需求」簡報,”核後端各技術領域之 TSO 專家「低放廢棄物處理與貯存+用過核子燃料乾式貯存」座談會”, 核協會, 集思會台大國際會議中心, 114 年 5 月 20 日.

附件一、原子能管制技術支援體系建構計畫「核設施除役」管制技術 座談會紀要

時間：114 年 4 月 16 上午 09:30-12:30

地點：集思台大會議中心尼采廳

主持人：核能科技協進會陳布燦董事長

出席人員：

核能安全委員會：賴弘智簡任技正、林歲士科長、鄭武昆組長(核安會退休)

國立清華大學：李志浩教授、蔡世欽副教授、藍貫哲助理教授、廖庭億博士；

警察大學消防學系：黃育祥副教授

台灣工業技術研究院材化所：劉育維副組長

泰興工程顧問公司：謝福興協理

中興工程顧問公司：林伯聰經理

台灣電力企業聯合會李清山主任、蔡正益顧問

核能科技協進會：宋大崙執行長、廖識鴻顧問、陳條宗顧問、施建樑顧問、

陳傳宗顧問、林耿民顧問、楊世如經理

紀錄：林耿民顧問

會議紀要：

- 一、 主席陳董事長致詞：核安會為原子能管制技術支援體系(TSO)之建構，去年(113 年)起委核能科技協進會執行我國 TSO 建構(四年期)計畫，該計畫對整合國內各 TSO 組織、架構 TSO 溝通平台與建立核安管制技術支援人才庫的工作至關重要。今天承蒙各位教授與同道能於百忙之中撥冗出席，實屬難得，希望能藉此座談會得到各位寶貴的意見，作為主管機關

規劃未來委託計畫題目與方式的參考。

二、 主辦單位簡報，題目：我國核後端管制技術支援體系建構介紹，報告人：

陳傳宗顧問。簡報摘要與討論：

- 鄭武昆組長：簡報內容提及原子能科技學術合作研究計畫分類 N1~N3 但缺 N4，建議仍保留 N4(公眾溝通)之分項，依過去經驗，物管局曾邀國外專家來台分享除役工作的心得，如芬蘭的從業者曾表示：渠等在除役工作進行時，有 80%的精神耗費在公眾溝通上，表示 N4 分項的工作仍不可忽視；施顧問回答：核安會以往的確在 N4 分項上委託過政大與世新等學校做過不少分析，會加入，繼續尋找必要題材。陳董事長表示同意。
- 賴弘智簡任技正建議：由於日本與法國組織更改，簡報內容 P6, P10，日本 JAEA 應該為外部 TSO，法國 IRSN 已與 ASN 合併為 ASNRR。
- 林歲士科長：經濟部已成立高放選址辦公室，並由政大公共行政教授出任辦公室主任，未來高放選址工作公眾溝通業務必不會少，建議加入 N4。
- 鄭武昆組長：簡報內容有關日本外部 TSO 的資料可再加強。

三、 主辦單位簡報，題目：「核設施除役」在安全管制技術研究之展望，報告

人：施建樑顧問。簡報摘要：

- 核一廠除役進度已達 15%
- TRR 爐體切割遷移與拆除工作介紹(舊址建 TRR II)
- 國內 12 部小型加速器(醫用)也達拆除時程，須處理(可能屬輻防組業務)
- 依除役技術分類介紹 MF 與委託計畫的題目分布與分析，這些委託成案的題目，一部分是經由學校老師自提，一部分是由委託機構依需要規劃出來的(參簡報 P23~P27)，但也有部分題目仍未找到適當的老師承接，這表示委託與

承攬雙方存在需求上的差異，也是本計畫極力想協助主辦單位與學術機構溝通的地方。

四、 問卷：請各位專家撥空填寫會議通知單所附的問卷，並儘早(能於 04/18 前)回復電郵，問卷內容所列 9 個除役相關術要項，可以依自己的專業添加(如消防、人工智慧、離廠量測、土地釋出等)。

五、 會議討論：邀請與會專家對 TSO 建構計畫的執行方式與重點提供高見：

- 清大廖庭億博士：

對於除役後土地再利用的部分，建議台電公司對未來的使用目的應盡其所能發揮其可用性並事先規劃，管制機關的監管能力也應隨時到位，以利中央納入國土計畫的參考。

- 李清山處長：

- (1) 回復廖庭億博士之提議：台電公司計畫的進行均依國家規劃方向行之。
- (2) 為免遺珠，問卷單位欄建議可填退休個人或曾服務的機關。

- 施顧問：

非常贊成，這對協會為管制機關建立國內核能人才庫很有幫助。

- 宋執行長：

協會竭誠歡迎有意願學者、專家的加入協進會，謹建議聘以”顧問”頭銜。

- 陳董事長：

李處長的想法即是本人一直以來的期望，雖然目前顧問一職在協進會為無給職，但希望假以時日，財務狀況許可或得到核安會與其他董事成員的挹注，可以支付專家群部分(車馬費)補助。

- 泰興謝福興協理：

泰興工程顧問公司曾參與台電除役工作，具有多年經驗，技術上沒有問題，如同會議上大家的討論，公眾溝通的確是未來工作重點。

- 清大蔡世欽教授：

個人這幾年均有參與並承接 MF 與委託計畫，認為建立溝通平台應是解決部分研究題目無法獲選的良方之一。

- 清大藍貫哲教授：

過去我主持的計畫多偏重在鍍金屬老化行為等研究，這對乾式貯存或後端會有幫助，然目前看來除役對學生較無吸引力，他們對 SMR 等具有未來發展性的題目較有興趣。

- 施顧問：這個現象許多清大教授都有同感。

- 工研院劉育維副組長：

(1) 本人以過去曾參與台電(李忠正、李清山帶領溝通小組時期)對低放選址周邊民眾的溝通，與參加 TNA 會議聽到他國及日本對公眾溝通分享的經驗，覺得溝通議題的重點應注重同溫層以外的連結；

(2) 在建立國內核能人才對於延攬退休專才部分，建議可以依在職業務分類，可更豐富資料庫的廣度；

(3) 除役工作應適當加速，以因應 SMR 或新反應器隨時可能被青睞選用之需。

- 清大李志浩教授：

MF 與委託計畫不知是否對主持人或教授的年齡有限制(如有，應參考美國沒有設限退休年齡的做法)，近年承接研究計畫因學生支領助理費用標準的提高(博士生 4 萬元)也增加了研究生參與申請的意願，足見行政規定對各項工作的影響，委託計畫亦然，所以，需要行機關也從這方面檢討。

- 台電聯合會蔡正益顧問：

以拆除核一廠鐵塔為例，原依除役時程規劃行之，卻卡在 HP 離廠量測條件一節，從現場到台電公司總處，再到核安會，核准過程，須考慮法規及隨時改變的現場新狀況，若無法決定又須訴諸專家學者的意見，也須花很多時間溝通讓外

界了解，反覆確認，最後花了近 4 年時間才拆完，後面工作項目也因此延宕。

- 警大黃育祥教授：

消防火調雖是廣義的安全需求，但核電廠除役對火調專家而言是一個特殊的田野調查案例，跨界學習對消防專業的學生很有吸引力，因為讓物件安全進行是這工作的初衷。

- 中興工程林伯聰經理：

依會議簡報的內容與計畫的文件資料，除役領域技術要項相關 N1~N3 的題目蓋括性，已經很成熟，N4 部分建議可請核協會做為核安會與台電公司間第三者溝通的角色。

- 核安會鄭武昆前組長：

- (1) 廢棄物離廠量測已有前例，國原院與清大都有經驗，只要編成詳細規定即可；
- (2) 贊成 TSO 設立網頁的構想，內容如有需要可參考日本、瑞典、芬蘭相關網頁資料，尤其日本網頁有中文化，建設展示館與模型以利地方溝通；
- (3) 尋找承接台電委託計畫的可行性，對協會財務的支持會有很大幫助。

- 陳條宗顧問(泰興公司前副總經理)：

以商界的觀點言之，除役應以資產再利用為目的，除役僅是手段。以德國為例：國家當時沒有低放處置場，電廠採整體大件拆除為原則，儘將所有廢棄物移置保留區倉庫再慢慢切割、除污至符合將來處置之要求。而非保留區之場址則依土地部分離廠量測法規，很快將土地和無污染建物轉賣給造船廠，已達快速資產再利用之經濟效益。核一廠小坑區只要將放射性實驗室移走，則全區無輻射污染，亦可依土地部分釋出法規，早日釋出。小坑區將來可規劃作為複循機組或 SMR 場址，亦可轉售為 AI 場址。另如果沒有未來資產管理與規劃，則無法決定碼頭、循環水泵室、循環水渠道是否保留？還有離廠量測之物料大多可回收，尤其是金屬部分，那怕是當廢鐵、廢銅轉賣都是資產回收(而不是廢棄物離廠量測)。請大家除了注意安全外，並重視資產管理與規劃，因它能影響除役作業行為。如未來

規劃在原電廠位置蓋新電廠，則不可將反應器廠房無污染建築廢棄物就地掩埋，因未來蓋新電廠時將無法滿足地下室和地基設置之要求，而需要將建築廢棄物重新挖出。土地部分釋出(Partial release)是將來一定要面對的問題。因為那怕核一廠 25 年後依法除役結束，場址將還有保留區貯存低放廢棄物與用過核子燃料；即場址仍然只能部分釋出。故請彈性考慮土地部分釋出之申請，以達最佳之資產利用。

會議結束，散會。

附件二、原子能管制技術支援體系建構計畫「高/低放射性廢棄物處置」 管制技術座談會紀要

時間：114年5月7日(星期三)上午9:10~12:10

地點：集思台大會議中心尼采廳

主持人：核能科技協進會陳布燦董事長

出席人員：

國立中央大學：陳瑞昇教授、王士榮教授

中興工程顧問公司：林伯聰經理

台灣電力公司：李清山前處長、邱顯郎前處長

放射性廢棄物處置專案辦公室：陳慶鐘副執行長

核能安全委員會：綜合規劃組：賴弘智簡任技正、林崑士科長；

核物料管制組：鍾沛宇簡任技正、郭嘉仁科長、謝正驥技士、鄭敬翰技士、鄭武
昆前組長(核安會退休)

核能科技協進會：廖識鴻顧問、陳條宗顧問、施建樑顧問、陳傳宗顧問、林耿民
顧問、楊世如經理

紀錄：林耿民顧問

會議紀要：

- 一、 主席陳董事長致詞：今天蒙各位同行專家學者撥冗出席核能科技協進會承接之原子能管制技術支援體系(TSO)建構計畫-高/低放射性廢棄物處置管制技術座談會，深感榮幸，協進會一直以來以匯集國內核能產、學甚或管制人才的責任自居，今能獲各位高/低放廢棄物處置專家的支持，分享經驗與高見，相信必對主管機關在原子能科技學術合作研究計畫

(MF)與科技計畫的委託規劃與題目設計的效能提升，提供強大的助力。

二、主辦單位簡報，題目：我國核後端管制技術支援體系建構介紹，報告人：

陳傳宗顧問。

- 主要介紹：TSO(IAEATECDOC1835、NP-T-3.28)定義、支援形式、國內外 TSO 內部與外部組織、我國核後端管制技術相關委託計畫分布狀況、預告 TSO 網頁設計構想(詳簡報資料)。

三、主辦單位簡報，題目：「高放射性廢棄物處置」在安全管制技術研究之展

望，報告人：施建樑顧問。

- 主要介紹：國際(美、日、法、瑞典、芬蘭)高放射性廢棄物最終地質處置之實施狀況、我國高/低放廢棄物處置現況與進度說明(後端營運總費用、NSF 最終處置計畫全程規劃(達成 2055 營運的目標有很大挑戰)，潛在母研調查評估 102 年起由國原院/工研院綠能所執行第一期~114 年第四期(SNFD2009, SNFD2017, 2021, 2025)、核安會近年 MF 或及其他委託計畫有關高/低放處置研究計畫、高/低放廢棄物處置依技術要項分析、未來核設施除役安全管制技術研究展望與未來規劃重點、TSO 高放射性廢棄物處置問卷/請各位專家撥空填寫，希能於 114 年 5 月 11 日前收到電郵回覆(詳簡報摘要)。

四、主辦單位簡報，題目：「低放射性廢棄物處置」在安全管制技術研究之展

望，報告人：陳條宗顧問。

- 主要介紹：低放處置 Staged Approach(從運轉前到監管後各階段)；技術要項；場址特性(含場址選擇/本島、離島候選場址地質實務、重點應選地下水位以上為優(台灣較難)、岩層節理尚可接受擴散性(密度)流，避免有重力流，(95 年)低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例；場址設計(處置方式、盛裝

容器、另需考量興建、運轉與監管等之方便性、經濟性與安全性)、廢棄物特性與安全評估等，總結，首要也是最基本要求：必須從技術面依地質條件為考量，選對場址才不會徒勞(詳簡報摘要)。

五、 會議討論：施建樑顧問與陳條宗顧問邀請與會專家對 TSO 建構計畫的執行方式與題目規劃提供高見：

- 李清山處長：

處置廠設施全球已有多個實際場址已通過 sitting 程序並已開始興建，如芬蘭的高放處置設施已啟用開始運轉，可見技術上是可行的；核廢棄物處置問題在我國要推動，首先政府內部必須有共識，核廢棄物”不是不能處理“，放在廠內也是一種”處理“，此概念必須建立共識；再者，很高興經濟部成立一高放射性廢棄物處置選址專案辦公室，進行高放選址的溝通與立法，當然立法也要考慮技術面，核協會協助建立平台較著重技術面，往後也應與這專案辦公室建立溝通管道。

- 邱顯郎處長：

核廢料並非無法處理，只是目前尚未達處置場所的預定標的，陳條宗顧問的簡報揭示了選得好場址的重要性，低放部分場址選擇相對問題較少，即使位置選在水位下，重點在能維持 molecular diffusion, water velocity 維持趨近於 0 即可，依此地下水位與滲透條件，請教中興工程公司：台灣可否找尋符合此條件的場址？高放部分技術方面較廣，涉及天然地質、水文、容器材料、回填土、工程屏蔽等不同領域之整合安全評估，MF 有無做相對應領域縱向與橫向的整合，如 Yucca Mt.最後是由負責安全評估者作為領導整合。

- 施建樑顧問：

非常贊成邱處長的看法，我們在附上的問卷裡有提到建立”整合型計畫”這個概念，希望可以彙整各方意見整理出一些共同執行的項目。

- 陳慶鐘副執行長：

放射性廢棄物處置專案辦公室由政大與能源署主導，四月找好場地，五月開始運作，昨天召開啟動會議，主要為推動選址條例立法，但以上述二單位(較無技術面比重)公開透明的訴求，容易給環團提出一些與技術相關的質疑空間，如何讓民眾安心，未來辦公室許多政策方針的擬定，也希望藉助台電公司與核協會等單位的回饋與支持，對立法會有幫助，我會帶今天開會意見回去，必要時可安排相關單位開會討論。

- 鄭武昆組長：

核協會的成員多為具有專業的老兵，經驗豐富對專業問題反應敏捷，可協助政府以第三者身份發聲；國內外核能機關或部門往往都各自發行專業刊物，如何資中心的核能月刊、台電的核能月刊等，除做內部知識交流外也常對外提供資訊宣導與傳播的功能，例如日本原子力產業新聞年報，國內核資中心、ANS/Tw Sect. 清大等都可扮演 TSO 的功能，另也建議邀請以往在職時富有聲望與見地的核能前輩如：黃副主委慶東、邱副主委賜聰等回歸核能團隊做貢獻，個人也當然樂意效勞。另建議參考芬蘭的處置設施啟用實例，用他山之石可以攻錯，參考他們的實際運作成本來回推我們的核後端基金是否足夠。

- 廖識鴻顧問：

回應鄭組長的提議，台電核能月刊因應非核家園從每月發行並且提供外界索閱、至變成雙月刊、季刊且僅供內部傳閱用，建議可與台電公司溝通爭取無機密性資訊部分可供外界參考，以維持核能知識的普及。

- 中央大學陳瑞昇教授：

- (1) 發展管制技術為長期工作，又面臨少子化，以 AI 時代的視角思考如何將核能知識利用 AI 工具，做快速演算研究或用在溝通傳播上的資訊管理，
- (2) 中大國際知名學者葉高次教授引進的水文地質數值計算模式，軟體成本甚低，可作為協助教育訓練，也可與協會交流並分享高放調查相關技術或軟體。

- 施建樑顧問：

地質與水文領域有很多題目可研究，但在 MF 發包的比例上不高，可能是國內以往的核能工作者與水文地質學術單位連結不足，將偕同核安會、國原院專程拜訪中央大學討論如何整合計畫，有效納入地質水文工具與專才。

- 中央大學王士榮教授：

以過去擔任核安會計畫審查工作的心得，對高放選址處置專責辦公室推動場址選擇工作有幾個看法①低放較容易、高放則仍需續努力，兩者技術上都實際可行，社會溝通才是大課題；以 FB 相關議題的流量觀察，發現社群關注者雖多、但深入討論者少，如何吸引社會願意參與，是一個關鍵點。②在選址的議題上，很贊成陳副總的簡報與結論，須設法給政府建議一條明路③對學校而言，學生人才是一大問題，學生少且來來去去，流動性高，尤其高低放核廢料處置對學生的吸引力不大，我的觀察是委託計畫規模小預算少，要長期培養專才或延伸成一主軸較難，主持計畫的老師要使題目有連貫性也不容易④另在填問卷題目上有些不清楚，經施顧問說明後(可以一研究小組為代表)較為瞭解，將填寫後回覆。

- 中央大學陳瑞昇教授：

很多老師反映，由於電子業可以快速投入產業，很多學生入學即被 2,30 萬元科學園區獎助金簽走，對學生來說投入高低放廢料處置的研究或工作則相對費時，學生較不願投入高低放核廢料研究。建議主管機關可以在均衡培育人才方面思考對策。

- 中興工程林伯聰經理：

(1) 擴大學界參與、如何發揮學校的研究量能，主管機關應從提升委託計畫的規模與預算著手，以讓技術可以傳承，

(2) 同意知識管理 AI 化，讓資訊傳播速度幫助提升公眾溝通效能。

- 核安會物管組鍾沛宇簡任技正：

核安會為純管制機關，只要所發展技術能符合安全都樂觀其成。核安會重視

安全管制，對流程較不炙喙。。

- 核安會綜規組林歲士科長：

確實整合型計畫每年都有提，由國科會審查決定能否通過，老師們所提”提升計畫的規模的建議”將攜回討論研究，如何適度提高計畫預算讓學生覺得 CP 值(投報率)夠。相信引進 AI 應可執行跨領域技術，也較能吸引人才。

- 陳條宗顧問：

高低放廢料處置場所的選擇、場所設計布置(淺地層處置/30~50 m、中地層覆蓋 100 m、深層 300~500 m 或 3 km 以上坑道處置)，就技術面而言有其互補，如國外案例美國 Yucca Mt.的地質、水文與關全然不同，不太適合做為參考，反之歐洲的幾個案例對台灣較有參考價值；經過實地調查以地質條件而言，台灣目前僅花嶼與小坵兩地較可行；在公眾溝通的議題上，一味講求公開透明，容易讓環團圍著此訴求找到著力點，讓選址工作原地打轉，順序上建議先找到可行場址再作社會溝通，才不致一直裹足不前。

- 施建樑顧問：

感謝各位與會者寶貴的意見，我們將依建議邀相關單位，擇期拜訪中央大學與放射性廢棄物處置專案辦公室，為交流合作作進一步討論。

會議結束，散會。

附件三、原子能管制技術支援體系建構計畫「用過核子燃料乾式貯存+低放廢棄物處理與貯存」管制技術座談會紀要

時間：114 年 5 月 20 日(星期三)上午 9:10~12:00

地點：集思台大會議中心(達文西廳)

主持人：核能科技協進陳布燦董事長

出席人員：

國立中央大學：王士榮教授

國立台灣科技大學：王朝正教授(副校長)、黃彥瑞教授

國立宜蘭大學：梁煥昌副教授

台灣電力公司：李清山前處長、邱顯郎前處長

台灣工業技術研究院：洪振育博士、張皓評博士、江佳應研究員

核能安全委員會：綜合規劃組：林歲士科長、賴弘智簡任技正；

核物料管制組：鍾沛宇簡任技正、洪進達科長、萬明憲科長、馬志銘技正、王清鍾技士

核能科技協進會：廖識鴻顧問、陳條宗顧問、施建樑顧問、陳傳宗顧問、林耿民顧問、楊世如經理

紀錄：林耿民顧問

會議紀要：

一、主席陳董事長致詞：首先要對各位先進、專家今日撥冗出席核能科技協進會為執行原子能管制技術支援體系(TSO)建構計畫，召開之「用過核子燃料乾式貯存與低放廢棄物處理與貯存」管制技術座談會，表示謝意；再則藉三天前(0517)核三廠運轉執照屆滿 40 年效期，剛停機解聯，台灣邁入無核電力結構時代與大家一起省思，回想第三核能發電廠從 1978 年建廠，1984 年 7 月第一機組開始運轉至今的各個歷程，本人幾乎無役不與，特別有感，緬懷核能過去的榮景及它帶給台灣清潔淨、廉價又穩定電源，今天適逢賴總統就職滿周年，我們在評價政府

能源政策得失的同時，也要建議並希望能源政策的制訂單位，能多以專家的角度作考量，權衡經濟、科學技術、能源安全各個面向，才能繼續架構一個牢固、安全且民生工業皆受惠的電力結構。

本日座談會旨在探討：用過核子燃料乾式貯存與低放廢棄物處理與貯存的管制技術，希望能藉各位專家學者相關技術領域的經驗討論，連結產、官、學界，匯集題目啟發人才培育的靈感，同時也能提供管制單位適時的技術支援。

二、施建樑顧問主持主辦單位簡報：

題目一：我國這核後端管制技術支援體系建構介紹，

報告人：陳傳宗顧問。

主要介紹：TSO(IAEATECDOC1835、NP-T-3.28)定義、支援形式、國內外 TSO 內部與外部組織、我國核後端管制技術相關委託計畫分布狀況、預告 TSO 網頁設計構想(詳簡報資料)。

題目二：「用過核子燃料乾式貯存」在安全管制技術研究之展望

報告人：廖識鴻顧問。

主要介紹：國際用過核子燃料乾式貯存系統與監管重點、國內處理情形(詳簡報摘要)。

題目三：用過核子燃料乾貯回顧與展望，

報告人：陳條宗顧問

主要介紹：核一、二廠室外乾貯與核一、二、三廠室內乾貯現況，乾貯系統設計參數、基本規格與工程實務(詳簡報摘要)。

題目四：低放處理與貯存回顧與展望

報告人：陳條宗顧問

主要介紹：低放處置技術要項(詳簡報摘要)。

三、會議討論：施建樑顧問邀請與會專家對 TSO 建構計畫的執行方式與題目規劃提供意見：

- 台灣科大王朝正教授：

本人多年專研高溫腐蝕、表面處理領域，在相變化、物理冶金、冶金熱力學、腐蝕與腐蝕防制課題多有涉獵，以前也作過容器洩漏、劑量衰減等題目，認為廢料容器有幾個題目如：Coating 老化、運送碰撞檢測、存放後再取出的空間處理等很值得再研究，由於教學(機械工程系)資歷較長，任教之餘，有幸亦兼任學校行政職(副校長、學務長)，今天也引薦二位優秀的年輕學者跟大家認識：台科大黃彥瑞教授及宜蘭大學梁煥昌博士。

- 陳條宗顧問：

觀察乾儲容器 Coating 材料腐蝕問題，國外有用樣本放於現場，取 100 年(或一段時間)數據比對的做法。

- 李清山處長：

由陳條宗顧問的簡報核三廠乾式貯存設計有再取出設備，不知核一、二廠有無此設計？

- 陳條宗顧問：

台電公司現在應已要求把再取出設備隔出獨立出來，但不知是否留有空間？

- 廖識鴻顧問：

原來核一廠備有將室外乾貯部分再取出移置室內乾貯，但因涉及標務複查問題而取消，故現在標書不含此工作。

- 陳條宗顧問：

因為將來必須拿出來作永久儲存，所以，再取出設備的設計還是需要的。

- 宜蘭大學梁煥昌博士：

個人專長為焊接應力腐蝕材料製作化學分析、韌性度等，很高興與大家認識，希望可以參與核能團隊、提供所學。

- 台科大黃彥瑞教授：

本人之前跟隨葉宗洸老師做材料研究，之後於京都大學深造，專長在核融合爐結構材料、環境促進劣化(氫脆及應力腐蝕)、薄膜工程高溫腐蝕、X光繞射及結晶學等，對 Austenite 不銹鋼在輕水反應器環境中 SCC 的敏感性議題略有研究，希望有機會可與大家共事學習。

- 工研院江佳應研究員：

工研院在核能圈有很多同業，不管未來台灣的核能走向為何？產業如何前進，溝通是一個重要課題，必須讓民眾覺得(包括廢料處置、安全管制)不是單純的政治使命，似可由具備技術能量又善於溝通的獨立單位來擔任這份工作(參考德國 TUV)，工研院所院級也具備此溝通功能，或可提供建議。

- 工研院張皓評博士：

工研院材化所以往常曾承接低放相關計畫(因早在 5、6 年前，現已漸式微)，覺得如果計畫無法延續，人才培育、知識傳承會有斷層，應該在核後端領域加強建立相關資料庫與人才庫，並最好有面對面技術傳承的機會以培養人才。

- 邱顯郎處長：

以乾貯 License renew 為例，美國以前乾貯執造先給 20 年，後 renew 給 10 年，現 renew 可以少於 40 年，我們現執照為 20 年，未來 Renew 審視的重點在延長的時間裡的老化管理，建議核安會先把它們未來要審查的要點先公布，以讓業者可以在運轉期間，就可以著手準備。

- 陳條宗顧問：

延役問題，以美國為例，他們會有專屬的單位派人檢查，燃料完整性是否適合 retrieve 尤其重要，台灣是否有專才做此類檢查？(因為水下作業容易使 high burn up 元件發生毀損、而在 hot cell 做，台灣非 IAEA 會員，建熱室會有疑慮)，值得探討。

- 中央大學王士榮教授：

乾儲設施的場地從應用地質的角度觀之，有斷層、地震、水保、地震後土壤

液化、海嘯等議題，以往都會做相應的評估，不知中期貯存與永久儲存的評估條件是否相同？

- 施建樑顧問：

中期貯存與永久儲存所做的評估是相同的，上一次會議曾做多項介紹。

- 陳條宗顧問：

對於王教授所提核一室外乾貯場地的邊坡、水保，核二室內乾貯等設施都有做災害相關評估。

- 邱顯郎處長：

核一室外乾貯場有自動監視設備，以監測邊坡滑動行為，通風到若受到堵塞，也依(Design basis & BDB)規範時間內排除。

- 廖識鴻顧問：

因應山腳斷層，室外、室內乾貯的設計基準與 SMA 均參考美國耐震設計規範訂定

- 陳傳宗顧問：

腐蝕問題，有參考美國 Corrosion 相關規範，乾貯的老化管理方案可參卓 NRC 的 NUREG-2214 "Managing Aging Processes In Storage (MAPS) Report"。

- 工研院張皓評博士：

Crystal River 拆解大件相關運送規定的 SOC，核安會好像只制訂到第二類，不知對於第三類物件運送的表面污染規定是否有制訂？

- 施建樑顧問：記錄下來送核安會參考。

- 台科大黃彥瑞教授：

日本量子科學技術研究開發機構 QST 研究領域聚焦在影像診斷學，以及量子光(游離輻射、高能雷射、同步輻射)和核融合，日本原子力安全機構 INSS 也做相當多關於腐蝕 AI 管制技術的研究，可以給大家參考。

- 核安會核物管組馬志銘技正：

廖顧問簡報第 9 頁第 2 段，關於”核一室外乾貯系統核准施工的日期”有誤，請更正。

- 施建樑顧問：

經過三場的座談，所有關於除役、用過燃料乾式儲存與高低階廢料處置、貯存的管制技術議題應都討論到了，感謝各位老師與專家的出席與支持，最後仍請大家撥冗填寫電郵所附的問卷並儘早回復給我們。

會議結束，散會

附件四、核協會拜會核安會物管組、綜規組 會談綱要

時間：114 年 7 月 23 日

1. 目的：核安會綜規組於 113 年 3 月委託核協會執行四年期「我國原子能管制技術支援體系建構(1/4)」計畫；主要是希望本會協助蒐集國際原子能管制技術相關科技資訊，以及調查國內原子能管制技術能力與組織之現況等。今年 3 月曾就舉辦核後端各領域座談會，向物管組請益。本次拜訪仍是就本協會於今年 4-5 月所舉辦的三場座談會後，後續如何接著推動相關工作，準備向物管組請教事項如下：
2. 各領域有哪些研究議題應該開始或趕快推動？
 - (1) 核設施除役(涉及核管組、輻防組與物館組的管制範疇)→廢棄物離廠量測、自動/智慧拆除工程、結構/混凝土牆量測及土地釋出 MARSSIM 作業，其中涉及核電廠除役廢棄物安全管制，細項建議有廢棄物流管理、除污技術、二次廢棄物減量、整桶活度量測技術等。
 - (2) 放射性廢棄物處置→安全論證、廠址調查、工程設計、安全評估、熱力畫偶核研究、核種遷移分析等。
 - (3) 用過核子燃料乾式貯存→高燃耗及破損燃料貯存特性分析、中長期貯存安全管制要項、不銹鋼材料應力腐蝕劣化機制分析、用過核子燃料貯存容器檢測及維護技術、設施老化管理與十年安全再評估檢查要項
 - (4) AI 技術在核後端之應用：
 - A. 智慧監測與預警分析：利用 AI 處理乾式貯存設施中的感測器數據(溫度、濕度、輻射、容器應力等)，即時監測異常並預測潛在風險
 - 芬蘭的 Onkalo 地質處置庫研究中，AI 模型被用於生成地質構造的虛擬場景，評估極端氣候或地震對儲存庫的影響
 - 法國核安全局利用 AI 生成不同事故場景的模擬報告，強化核廢棄物運輸過程的風險管理

- B. 輻射與熱分佈監控：使用深度學習模型估算筒體內部未直接量測的輻射強度或溫度分佈、建立數值模擬與感測資料間的資料驅動校準模型
- C. 機器視覺檢測與自主機器人運維：透過無人機或機器人搭載攝影機，結合 AI 影像識別技術檢測貯存容器表面的裂紋、鏽蝕或密封性缺陷，減少人員輻射曝露風險
 - 日本福島第一核電廠的廢爐作業中，AI 生成的 3D 模型幫助制定機器人清理碎片的路徑規劃
- D. 材料退化與壽命預測：基於 AI 模擬長期輻射、溫度變化對容器材料(如鋼材、混凝土)的影響，預測材料壽命
 - 美國能源部與國家實驗室合作，利用生成式模型優化核廢棄物儲存罐的設計參數
- E. 數位孿生(Digital Twin)與預測模型：建立乾式貯存模組的數位孿生體，動態偵測反映設備狀態並模擬長期行為(如熱遷移、輻射衰減、材料退化)，模型可協助優化通風設計或熱排出結構
- F. 決策支援與風險評估：整合感測資料與歷史資料建立風險預測模型，用於評估筒體壽命、維護排程與異常處理策略，支援緊急應變系統，基於 AI 分析提供即時建議或警示
 - INL 研究使用 AI 輔助模擬用過核燃料儲存行為，以提升風險評估模型的效率與精度
- G. 核廢棄物特性分析：利用深度學習分析中子成像或伽馬射線光譜數據，自動識別貯存燃料的衰變狀態和剩餘放射性強度，結合 AI 與流體力學模型，模擬放射性核種在容器或環境中的擴散路徑
- H. 數據整合與知識管理：建構貯存技術相關的知識圖譜(如材料屬性、法規標準、歷史事故)，透過 NLP 實現快速檢索與關聯分析，應用 AI 壓縮和加密技術，管理跨越數十年的監測數據，確保可追溯性

I. 公眾溝通與社會接受度：生成式 AI 可將複雜的技術數據轉化為視覺化內容(如互動式 3D 模型)，協助公眾理解核廢棄物處置的安全性

- 加拿大核廢棄物管理組織使用 AI 生成教育性內容，解釋深層地質處置的技術原理

J. 跨國合作與知識共享：

- 瑞典、芬蘭等國在地質處置技術領先，但 AI 應用多由企業主導(如西屋、法馬通)，學術界則透過跨國計畫推動 AI 模型開源共享

3. 整合型計畫是否推動？

(1) 高放射性廢棄物處置→「安全論證」、地質水文/岩石力學等

4. 相關問卷回收如下，是否繼續處理？

(1) 共發出「核設施除役」、「高放射性廢棄物處置」、「用過核子燃料乾式貯存」三份問卷

(2) 三場座談會問卷回收，依序分別為 10, 5, 3 份。

(3) 另三場座談會，學者專家較有興趣者如下：

A. 「核設施除役」：清大李志浩、藍貫哲、蔡世欽，警大黃裕祥

B. 「高低放射性廢棄物處置」：中央陳瑞昇、王士榮

C. 「用過核子燃料乾式貯存」：中央王士榮，台科大王朝正、黃彥瑞，宜蘭大學梁煥昌，工研院張皓評

5. 各位與會專家學者之建議是否處理？

(1) MF 計畫經費過低

(2) MF 計畫不能編列設備費與國外旅運費

(3) 核後端研究計畫無法吸引年輕人投入

6. 其他。

附件五、中長期貯存安全管制材料老化研究

中長期貯存安全管制材料老化研究

針對用過核子燃料的管理策略，目前主要是採用近期採廠內水池貯存，中期為乾式貯存，長期則是推動最終處置。針對中期貯存，主要分為濕式貯存與乾式貯存，早期主要採用濕式貯存，但營運費用高，因此大多數國家採用乾式貯存，乾式貯存技術發展成熟，其具營運費用低。乾式貯存系統長期結構完整性存在兩個重要關鍵，一為包封容器之密封能力，例如不銹鋼材料可能因應力腐蝕龜裂(Stress Corrosion Cracking, SCC)或腐蝕而導致其密封能力受損。另一為用過核子燃料因內部壓力而對護套產生的潛變或是因氫化物導致的裂化，進而影響其護套完整性。因此，針對此二議題分別進行研究。

題目(1)：304L 不銹鋼材料應力腐蝕劣化機制分析

題目(2)：鋁合金外緣氫化鋁成長行為之微結構分析及其對於護套材料完整性影響。

附件六、放射性廢棄物處置安全論證審查技術之建立

題目：放射性廢棄物處置安全論證審查技術之建立

一、時程：116/01/01~119/12/31

二、計畫概述：

「放射性廢棄物最終處置安全論證 (Safety Case)」是高低放射性廢棄物處置評估，最核心的文件與工作架構。它的目的在於**全面性地證明最終處置系統的安全性、可行性與長期穩定性**，並提供決策依據給監管機關及利害關係人。因此，建立此論證分析之審查能力，應該是管制單位在最終處置議題上最為關鍵的一環

附件七、應用於低放廢棄物貯存金屬材料之大氣腐蝕劣化影響評估
核能安全委員會 原子能科技學術合作計畫申請書

計畫名稱：應用於低放廢棄物貯存金屬材料之大氣腐蝕劣化影響評估

計畫研究領域：放射性物料安全科技(N2)

申請機構：宜蘭大學 機械與機電工程系

計畫主持人：梁煥昌 助理教授

共同主持人：黃彥瑞 助理教授（臺灣科技大學 機械工程系）

計畫執行期間：115 年 1 月 1 日 至 117 年 12 月 31 日

核能安全委員會 原子能科技學術合作計畫申請書

計畫名稱：應用於高燃耗用過燃料不鏽鋼貯存容器之焊接品質及環境促進劣化影響評估

計畫研究領域：放射性物料安全科技(N2)

申請機構：台灣科技大學 機械工程系

計畫主持人：黃彥瑞 助理教授（臺灣科技大學 機械工程系）

共同主持人：梁煥昌 助理教授（宜蘭大學 機械與機電工程系）

計畫執行期間：115 年 1 月 1 日 至 117 年 12 月 31 日