

核能安全委員會
委託研究計畫報告

114 年放射性廢棄物安全管理制
國際資訊研析

期末成果報告

委託單位：核能安全委員會

執行單位：國家原子能科技研究院

計畫編號：NSC11401001L

計畫主持人：楊東昌

報告作者：楊東昌、曾漢湘、吳禮浩、邱一夫、簡偉駿、
陳誠一

報告日期：中華民國 114 年 12 月

[本頁空白]

114 年放射性廢棄物安全管制國際資訊研析

執行單位：國家原子能科技研究院

計畫主持人：楊東昌

報告作者：楊東昌、曾漢湘、吳禮浩、邱一夫、簡偉駿、

陳誠一

研究期程：114 年 4 月 16 日至 114 年 12 月 31 日

研究經費：新臺幣 115 萬 1350 元

核能安全委員會 委託研究

中華民國 114 年 12 月

(本成果報告內容純係作者個人之觀點，不應引申為本機關之意見)

[本頁空白]

114 年放射性廢棄物安全管制國際資訊研析

目 錄

1. 前言	1
1.1 工作目的.....	1
1.2 工作內容.....	1
1.3 工作方法.....	2
1.4 報告架構.....	8
2. 放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊.....	10
2.1 放射性廢棄物 2025 年國際動態資訊蒐整	10
2.1.1 各國管制及重要事件動態資訊蒐整	11
2.1.2 國際核能機構/組織規範與專業技術報告蒐整	65
2.2 重要個案資訊研析.....	75
2.3 國際動態資訊綜合討論	81
3. 照射後石墨放射性廢棄物管理國際資訊研析與管制建議.....	90
3.1 技術資訊背景說明.....	90
3.2 國際動態資訊.....	94
3.3 國際案例探討及綜合研析	99
3.4 相關議題與管制建議研析	116
4. 我國聯合公約報告書資訊更新與雙語化編譯.....	119
4.1 聯合公約背景說明.....	119
4.2 國家報告書格式與架構研析	125
4.2.1 國家報告書格式與架構指引之版次差異比對	126
4.2.2 國家報告書格式與架構指引歷次改版之修訂重點研析	131

4.3 我國 2025 年國家報告書英文草案編定	131
4.3.1 背景說明.....	132
4.3.2 更新資訊之參考與引用文件.....	132
4.3.3 國家報告書英文版編修與審核過程	133
5. 結論與建議	133
5.1 報告結論.....	133
5.2 心得建議.....	135
參考文獻	137
附錄 A：放射性廢棄物管制及管理國際資訊蒐集表	144
附錄 B：2025 年 1 至 10 月放射性廢棄物管理國際動態資訊	147

圖 目 錄

圖 1-1：工作架構與流程圖	2
圖 3-1：解決放射性石墨管理問題的國際措施	93

表 目 錄

表 1-1：核能國家核安主管機關與放射性廢棄物營運機構資訊表.....	4
表 2-1：2025 年 1 至 10 月放射性廢棄物管制國際動態資訊表.....	64
表 3-1：各國代表案例與技術概要	113
表 3-2：各國重點作業與設備發展比較	114
表 4-1：國家報告書章節架構與聯合公約要求條文之對應表	125
表 4-2：聯合公約國家報告書架構	126
表 4-3：國家報告書格式指引各版次修訂內容重點摘要表	127

114 年放射性廢棄物安全管制國際資訊研析

摘要

本計畫以協助管制機關定期蒐集研析國際放射性廢棄物之安全管制國際資訊為主要目的，並探討國內現況，除有助於提升管制能力，並可做為建置合宜審查技術與規範之參考。具體工作內容包括：

1. 放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊蒐整與研析：2025年放射性廢棄物管制與管理重要動態，包括法規修訂、處置場建置進度、安全評估及IAEA/NEA最新技術文件，內容涵蓋用過核子燃料管理、運輸貯存、最終處置、跨境運輸等議題。分析指出，整體國際趨勢以強化長期管理策略、推動地質處置場建設、提升資料與知識管理、整合AI與數位化監測技術為主。重要個案持續追蹤芬蘭Posiva最終處置場運轉執照申請案之審查進度及疑點、補件情形及管制重點，作為我國管制參考。
2. 國際間對於照射後石墨放射性廢棄物管理的技術資訊研析，並提供安全管制建議：彙整分析IAEA與歐洲CARBOWASTE計畫針對英國、法國、西班牙等國石墨廢棄物實務案例，包括特性鑑定、拆解技術、切割工具、除污處理與包封設計與貯存策略並歸納安全評估方法與監測措施。最後，提出我國TRR石墨拆解與廢棄物管理的管制建議，包括：強化拆解前的特性分析、建立最佳化切割與集塵系統、規劃長期監測與包封策略，以及研議未來處置的管理策略。
3. 我國「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」報告書的資訊更新與雙語化編譯作業：彙整研析聯合公約(INFCIRC/604)自2002年共五次版本修訂之差異與重點，持續進行2024年國家報告書內容更新。同時，透過建立專有名詞對照表，完成英文版編譯與審核，並由核安會提送美國能源局審查，確保我國國家報告書具一致性、正確性與可讀性。

綜上所述，放射性廢棄物管理正朝向長期安全、透明治理與技術創新方向發展；石墨廢棄物管理需加強拆解技術、核種分析與長期處置策略；國家報告書更新應持續精進資料品質、準確性及跨單位協作。本計畫之研析成果將有助於我國放射性廢棄物管制決策與研發之參考應用，以提昇管制技術能力，確保管制安全合於國際水準。

關鍵字：放射性廢棄物管理、最終處置、照射後石墨、國家報告書

ABSTRACT

The purposes of this project are to assist regulatory agencies in regularly collecting and analyzing international information on the safety control of international radioactive waste, and to explore the current domestic situation. In addition to improve control capabilities. The main tasks focus on:

1. Collection and analysis of international information on the current status of radioactive waste management and development: The study covers regulatory updates, construction of disposal sites, safety assessments, and recent IAEA/NEA documents on SNF management. Key trends include enhanced long-term management strategies, development of geological disposal sites, improved data management, and the use of AI and digital technologies. It also monitors the application of the operating license for Posiva's final disposal site in Finland, highlighting regulatory issues to inform Taiwan's efforts.
2. International information analysis on the management of irradiated graphite radioactive waste and related regulatory recommendations: Examines case studies from the IAEA and the European CARBOWASTE program in the UK, France, and Spain, covering characterization, dismantling technologies, cutting tools, decontamination, encapsulation, and storage strategies. It also summarizes safety assessment and monitoring measures, concluding with regulatory recommendations for Taiwan.
3. Information update and translation of Taiwan National Report as referred to by the Joint Convention on the Safety of Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste Management: Reviews updates (INFCIRC/604) and highlights the main differences and key points to the Convention since 2002. The research also updates the 2024 National Report. Additionally, it creates a glossary of terms and includes an English version submitted to the U.S. for peer review. This ensures that Taiwan's National Report is clear, accurate, and consistent.

In summary, radioactive waste management is evolving to prioritize long-term safety, transparent governance, and technological innovation. Specifically, graphite waste requires advancements in dismantling technologies, thorough nuclide analysis, and effective long-term disposal strategies. Additionally, national report updates should focus on improving data quality, translation accuracy, and inter-agency collaboration. The research results will contribute to the reference of radioactive waste control decision-making, R&D work, the improvement of regulatory capabilities and ensure that control safety is in line with international standards.

Keywords: Radioactive Waste Management, Final Disposal, Irradiated Graphite, National Report

1. 前言

1.1 工作目的

核能安全委員會(以下簡稱核安會)，負責國內核能電廠、核子設施及輻射作業場所的安全監督，妥善規劃放射性廢棄物管制，強化輻射災害應變能力及環境輻射偵測，亦積極推動原子能科學與技術之研究發展與原子能於醫療、農業、工業及環境保護等應用，以增進民生福祉及環境永續。基於健全放射性廢棄物管制體系，強化管制技術，並使安全標準與具體管制措施符合當前國際水準之業務實需，以嚴密管制放射性廢棄物處置設施安全，爰提出「114年放射性廢棄物安全管理國際資訊研析」委託研究計畫案(以下簡稱本計畫)，其主要內容包括：國際放射性廢棄物管理及發展現況資訊蒐整與研析、國際間對於照射後石墨放射性廢棄物管理的技術資訊研析，提供安全管理建議，及我國「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」報告書的資訊更新與雙語化編譯作業，針對核能先進國家的相關具體作法與優良實務經驗進行資訊蒐整，以回饋國際經驗，提升我國安全管理技術能力。

國家原子能科技研究院(以下簡稱國原院)為我國核能領域的專業研究機構，具備專職的研發人力長期從事用過核子燃料及低放射性廢棄物安全管理技術發展，並持續掌握國際動態。本計畫工作期程自民國114年4月16日至114年12月31日。依契約書規定如期提出「114年放射性廢棄物安全管理國際資訊研析」期末報告(以下簡稱本報告)。

1.2 工作內容

本計畫推動三項主要工作包括：

- (1) 放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊蒐整與研析
- (2) 國際間對於照射後石墨放射性廢棄物管理的技術資訊研析，並提供安全管制建議
- (3) 我國「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」報告書的資訊更新與雙語化編譯作業

1.3 工作方法

本案整體工作之架構與流程圖參見圖 1-1 所示。

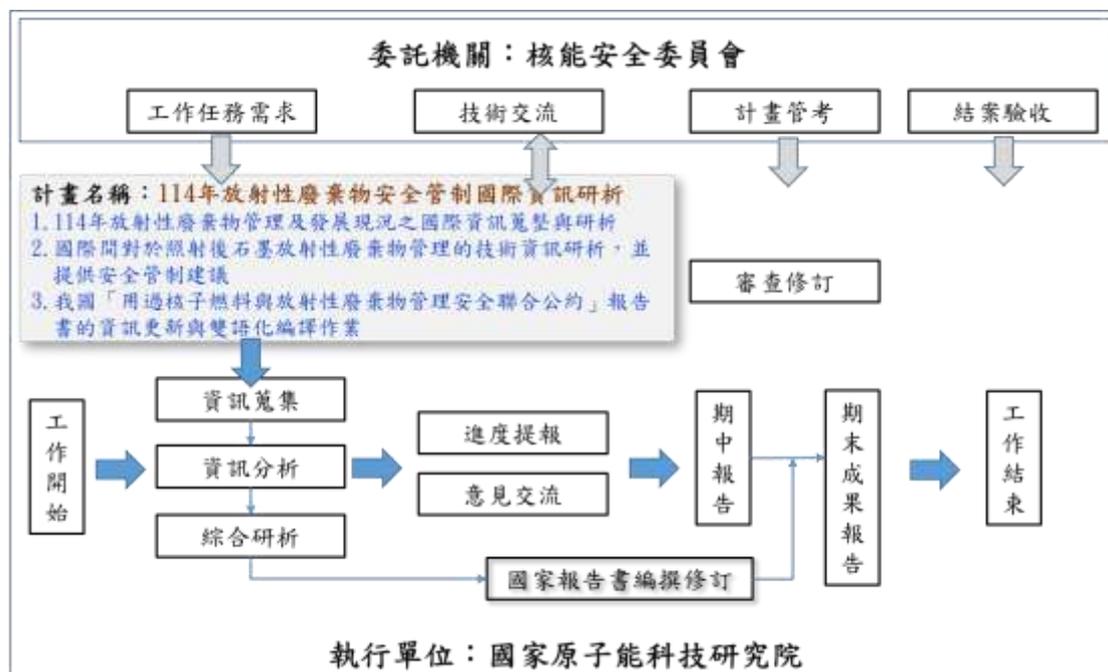


圖 1-1：工作架構與流程圖

各項細部工作方法說明如後：

- (1) 放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊蒐整與研析

本計畫內容包含放射性廢棄物管理國際資訊彙編及國際動態趨勢分析，報告內容除以放射性廢棄物管理與管制資訊為主，亦將觸

及放射性廢棄物管理相關者，如核子設施除役及核子設施環境復育等。內容包含蒐集國際放射性廢棄物管理資訊與管制事件報導，例如放射性廢棄物管理動態、組織變革、設施建造或啟用、放射性廢棄物貯存或處置、與意外事故等。其資訊來源以具公信力之國際核能機構與核子技術期刊，如國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)、世界核能協會(World Nuclear Association, WNA)、核子工程國際期刊(Nuclear Engineering International, NEI)、世界核子新聞(World Nuclear News, WNN)，以及各國放射性廢棄物管制與營運機構官網發布之資訊為準。本計畫將重要資訊及新聞報導蒐整分析後，摘譯內容為短篇文稿，依國別與議題內容分別彙編，最後歸納出整體性的國際發展趨勢。

- (2) 國際間對於照射後石墨放射性廢棄物管理的技術資訊研析，並提供安全管制建議

目前國際間約有250,000噸留存在反應器內之石墨放射性廢棄物面臨除役，並需要進行特性分析、拆解取出、除污處理、貯存及最終處置等廢棄物處理程序。因此，國際原子能總署(IAEA)以及歐洲國際組織研究專案(CARBOWASTE)成員國，正透過共同合作來解決放射性石墨廢棄物管理的重要議題。本項工作將透過國際及本院相關技術報告和專業資訊蒐整研析石墨放射性廢棄物特性分析、去污處理及最終處置等相關國際技術發展，惟需注意的是，宜持續關注國際間最新技術報告及資訊動態，以掌握照射後石墨放射性廢棄物管理的發展趨勢，可做為後續安全管制之參考。

- (3) 我國「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」報告書的資訊更新與雙語化編譯作業

本工項依據國際原子能總署(IAEA)所公告之聯合公約「國家報告

書格式與架構指引(INFCIRC/604)」等各版次文件。截至2024年底，已完成2024年中文版國家報告書之編撰，並邀請相關單位協助審議後定稿(曾漢湘等，2024)。本項工作賡續針對我國2025年「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」報告書進行資訊更新，並參考2020年國家報告書英譯作業經驗進行雙語化編譯作業。另外，為提升英文版國家報告書品質，需留意內容一致性與正確性，透過專有名詞對照表輔助，以增進英譯作業的精確性。

本計畫研究資訊的主要蒐集對象包核能國家的核安主管機關與營運機構的相關網路資訊，如表1-1所示，以及國際核能機構/組織，如國際原子能總署(IAEA)、經濟合作暨發展組織/核能署(OECD/NEA)、世界核子協會/世界核子新聞網(WNA/WNN)的相關網路資訊。

表 1-1：核能國家核安主管機關與放射性廢棄物營運機構資訊表

國家	主管機關與營運機構名稱	
阿根廷	主管機關	Nuclear Regulatory Authority (Autoridad Regulatoria Nuclear), ARN https://www.argentina.gob.ar/arn
	營運機構	National Atomic Energy Commission (Comision Nacional de Energia Atomica), CNEA https://www.argentina.gob.ar/cnea
亞美尼亞	主管機關	Armenian Nuclear Regulatory Authority, ANRA https://anra.am/
	營運機構	Armenian NPP https://armeniannpp.am/en/
孟加拉	主管機關	Bangladesh Atomic Energy Regulatory Authority, BAERA http://www.baera.gov.bd/
	營運機構	Nuclear Power Company of Bangladesh, NPCB https://npcbl.portal.gov.bd/
白俄羅斯	主管機關	Department for Nuclear and Radiation Safety, Gosatomnadzo https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/en/o-gosatomnadzore/polozhenie-o-gosatomnadzore/
	營運機構	Belarusian Nuclear Power Plant https://www.belaes.by/ru/
比利時	主管機關	Federal Agency for Nuclear Control, FANC https://fanc.fgov.be/en

		Belgian Nuclear Safety Authority, Bel V https://www.belv.be/index.php/en/
	營運 機構	Belgian National Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials, NIRAS/ONDRAF https://www.ondraf.be/
巴西	主管 機關	National Commission for Nuclear Energy (Comissão Nacional de Energia Nuclear), CNEN - Directorate for Radiation Protection and Nuclear Safety (DRSN), https://www.gov.br/cnen/pt-br 2021 年 10 月組改成立新的主管機關 National Nuclear Safety Authority (Autoridade Nacional de Segurança Nuclear, ANSN)
	營運 機構	National Commission for Nuclear Energy (Comissão Nacional de Energia Nuclear), CNEN - Directorate for Research and Development (DPD) 小產源低放射性廢棄物 https://www.gov.br/cnen/pt-br Eletrobras Eletronuclear 高放射性廢棄物 https://www.eletronuclear.gov.br/Paginas/default.aspx
保加 利亞	主管 機關	Bulgarian Nuclear Regulatory Agency, BNRA https://www.bnra.bg/ https://www.ensreg.eu/country-profile/Bulgaria
	營運 機構	State Enterprise “Radioactive Waste”, SERAW http://dprao.bg/en/
加拿大	主管 機關	Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC https://nuclearsafety.gc.ca/eng/
	營運 機構	Nuclear Waste Management Organization, NWMO https://www.nwmo.ca/
中國	主管 機關	國家核子安全局 https://nnsa.mee.gov.cn/
	營運 機構	中核環保有限公司(中國核工業集團子公司) https://www.cnnc.com.cn/cnnc/jt/gk/9fc5f21ac86f4822ad4d663c4c9ff9b/eb7bc9723a3a4e4d8548d1fcfb4dc5b/index.html 廣東大亞灣核電環保有限公司(中國廣東核電集團子公司) http://www.dnmc.com.cn/
捷克	主管 機關	State Office for Nuclear Safety, SÚJB https://sujb.gov.cz/en/
	營運 機構	Radioactive Wastes Repository Authority, SÚRAO https://www.surao.cz/en/
芬蘭	主管 機關	Radiation and Nuclear Safety Authority (Säteilyturvakeskus), STUK https://stuk.fi/en/
	營運 機構	Posiva Oy https://www.posiva.fi/en/
法國	主管 機關	French Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection), ASN https://en.asnr.fr/
	營運 機構	National Radioactive Waste Management Agency, Andra https://www.andra.fr/

德國	主管機關	Federal Office for the Safety of Nuclear Waste Management (Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung), BASE https://www.base.bund.de/de/base/base_inhalt.html
	營運機構	Federal Company for Radioactive Waste Disposal (Bundesgesellschaft für Endlagerung), BGE https://www.bge.de/de/
匈牙利	主管機關	Hungarian Atomic Energy Authority, HAEA http://www.oah.hu/web/v3/haeaportal.nsf/web?openagent
	營運機構	Public Limited Company for Radioactive Waste Management, PURAM https://rhk.hu/en
印度	主管機關	Atomic Energy Regulatory Board, AERB https://www.aerb.gov.in/english/
	營運機構	Nuclear Power Corporation of India Limited, NPCIL https://www.npcil.nic.in/index.aspx
伊朗	主管機關	Iranian Nuclear Regulatory Authority, INRA https://www.aeoi.org.ir/en/portal/home/?47914/%D8%B5%D9%81%D8%AD%D9%87-iranian-nuclear-regulatory-authority Atomic Energy Organization of Iran (AEOI) https://aeoi.org.ir/en
	營運機構	Nuclear Power Production & Development Co. of Iran, NPPD https://www.aeoi.org.ir/en/portal/home/?47918/%D8%B5%D9%81%D8%AD%D9%87-nuclear-power-production-and-development Iran Radioactive waste Management Co., IRWA https://aeoi.org.ir/irwa-en/portal/home/?287163/homepage
義大利	主管機關	National Inspectorate for Nuclear Safety and Radiation Protection, ISIN https://www.isinucleare.it/en
	營運機構	Societa Gestione Impianti Nucleari S.p.a., Sogin https://www.sogin.it/it
日本	主管機關	Nuclear Regulation Authority, NRA https://www.nsr.go.jp/english/
	營運機構	Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO https://www.numo.or.jp/en/
哈薩克	主管機關	Committee for Atomic and Energy Supervision and Control, CAESC https://www.gov.kz/memleket/entities/kaenk?lang=en
	營運機構	National Atomic Company, KAZATOMPROM https://www.kazatomprom.kz/en
韓國	主管機關	Nuclear Safety and Security Commission, NSSC https://www.nssc.go.kr/en/index.do
	營運機構	Korea Radioactive Waste Agency, KORAD https://www.korad.or.kr/korad-eng/index.do
立陶宛	主管機關	State Nuclear Power Safety Inspectorate, VATESI https://vatesi.lrv.lt/en/
	營運	Ignalina Nuclear Power Plant

	機構	https://www.iae.lt/en
墨西哥	主管機關	National Commission for Nuclear Safety and Safeguards, CNSNS https://www.gob.mx/cnsns
	營運機構	Comision Federal de Electricidad, CFE http://www.cfe.mx/ https://www.facebook.com/CFENacional https://www.youtube.com/channel/UC5YjgDMZ08jSn4LxPom7O2Q
荷蘭	主管機關	Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection, ANVS https://english.autoriteitnvs.nl/
	營運機構	Central Organization for Radioactive Waste, COVRA https://www.covra.nl/en/
巴基斯坦	主管機關	Pakistan Nuclear Regulatory Authority, PNRA https://pnra.org/
	營運機構	Pakistan Atomic Energy Commission, PAEC https://paec.gov.pk/
羅馬尼亞	主管機關	National Commission for Nuclear Activities Control, CNCAN http://www.cncan.ro/main-page/ https://www.linkedin.com/company/comisia-na%C8%9Bional%C4%83-pentru-controlul-activit%C4%83%C8%9Bilor-nucleare/
	營運機構	Nuclear Agency and for Radioactive Waste, ANDR http://andr.ro/en/home/ (需另開畫面)
俄羅斯	主管機關	Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision, Rostekhnadzor http://archive.government.ru/eng/power/212/
	營運機構	National Operator for Radioactive Waste Management, NO RAO https://www.norao.ru/en/
斯洛伐克	主管機關	Nuclear Regulatory Authority, ÚJD SR https://www.ujd.gov.sk/?lang=en
	營運機構	Nuclear and Decommissioning Company, JAVYS https://www.javys.sk/en/
斯洛維尼亞	主管機關	Slovenian Nuclear Safety Administration, SNSA https://www.gov.si/en/state-authorities/bodies-within-ministries/slovenian-nuclear-safety-administration/
	營運機構	Agency for Radwaste Management, ARAO https://www.arao.si/index.php/en/
南非	主管機關	National Nuclear Regulator, NNR https://nnr.co.za/
	營運機構	National Radioactive Waste Disposal Institute (NRWDI) https://www.nrwdi.org.za/
西班牙	主管機關	Nuclear Safety Council, CSN https://www.csn.es/en/seguridad-nuclear
	營運機構	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A., ENRESA https://www.enresa.es/eng/
瑞典	主管機關	Swedish Radiation Safety Authority, SSM https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/

	營運機構	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, SKB https://www.skb.com/
瑞士	主管機關	Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI https://www.ensi.ch/en/
	營運機構	National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Nagra https://www.nagra.ch/en
土耳其	主管機關	Nuclear Regulatory Authority, NDK https://www.ndk.gov.tr/en-US
	營運機構	Turkish Atomic Energy Authority, TAEK https://www.tenmak.gov.tr/en/ https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_Atom_Enerjisi_Kurumu
烏克蘭	主管機關	State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine, SNRIU https://snriu.gov.ua/en (需另開畫面驗證)
	營運機構	National Nuclear Energy Generating Company Energoatom, NNEGC Energoatom https://energoatom.com.ua/en
阿拉伯聯合大公國	主管機關	Federal Authority for Nuclear Regulation, FANR https://www.fanr.gov.ae/en
	營運機構	Emirates Nuclear Energy Corporation , ENEC https://www.enec.gov.ae/
英國	主管機關	Office for Nuclear Regulation, ONR https://www.onr.org.uk/index.htm
	營運機構	Nuclear Waste Services, NWS https://www.gov.uk/government/organisations/nuclear-waste-services
美國	主管機關	Nuclear Regulatory Commission, NRC https://www.nrc.gov/
	營運機構	Department of Energy, DOE https://www.energy.gov/

註：表列各單位官網之網址連結查核日期為 2025 年 10 月 31 日。

1.4 報告架構

本報告參酌本計畫工作內容，擬定共 5 個章節，藉以論述資訊蒐集與研析成果：

- 第 1 章為前言：說明研究目的、內容、方法與報告架構。
- 第 2 章為「放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊」：說明放射性廢棄物安全管制國際資訊的獲取來源，並由各國核安/放射性廢棄物管制機關官網檢索各該國相關法規。研析國際放

射性廢棄物安全管制資訊可瞭解各國具體的管制措施，有助於我國安全管制與國際水準相符。

- 第 3 章為「照射後石墨放射性廢棄物管理國際資訊研析與管制建議」：國際間石墨放射性廢棄物處理與最終處置方案仍持續發展中，而我國台灣研究用反應器(Taiwan Research Reactor, TRR)之石墨放射性廢棄物，於除役過程也必須妥善處理，故本計畫將透過個案蒐整研析，有效掌握國際間對石墨放射性廢棄物特性分析、除污處理及最終處置等相關技術研究發展趨勢，可做為後續安全管制之參考。
- 第 4 章為「我國『用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約』報告書的資訊更新與雙語化編譯作業」：說明公約背景、國家報告書格式與架構、資訊更新與雙語化編譯執行情形。
- 第 5 章為結論與建議：對成果提出期末執行成果說明與後續發展之心得建議。

2. 放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊

依據本計畫「工作項目 1.114 年放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊蒐整與研析」，進行相關管制技術資訊蒐整研析工作。國原院長期以來，從事用過核子燃料及低放射性廢棄物安全管理技術發展，並持續掌握國際動態，定期蒐集放射性廢棄物安全管理與管制之國際資訊，瞭解各國放射性廢棄物管理措施規範和技術研發皆與時俱進，並配合國家政策滾動式修正。本章說明 2024 年 1 月至 5 月國際上有關放射性廢棄物管制及發展狀況的重大新聞報導，以及期間國際核能機構發布的重要文獻，並對重要個案進行資訊研析。

2.1 放射性廢棄物 2025 年國際動態資訊蒐整

本節蒐整的主題範疇為 2025 年 1 月至 10 月期間國際放射性廢棄物管制及發展狀況的相關資訊，包含管制體系、管制技術或是安全標準、管理措施等面向。鑒於國際資訊數量龐雜，蒐整對象主係國際原子能總署「動力反應器資訊系統(PRIS)」所列舉的核能發電先進國家(IAEA, 2023a)，對我國安全管理較有助益。

國際動態新聞資訊主要來自世界核能協會(WNA)所發布的相關新聞，並對照各國管制機關與營運單位的官方網站資訊予以確認。此外，亦彙整國際核能組織如國際原子能總署(IAEA)與經濟合作暨發展組織核能總署(OECD/NEA)於 2025 年 1 月至 10 月所發布的重要相關文獻資訊，以提供核安會參考。

國際當前所執行與規劃的放射性廢棄物管理，包含放射性廢棄物處理、貯存及處置，乃至於核子反應器設施停機與除役等，蒐整資料範疇包括放射性廢棄物管理、法案增修及發布、用過核子燃料再處理、

高放射性廢棄物貯存、核子設施除役、低與中放射性廢棄物處置、高放射性廢棄物處置等國際動態資訊。

隨時關注並掌握各國管制機關、研發機構及管理組織的最新發展，進而剖析國際趨勢脈動，藉由世界核能先進國家放射性廢棄物管理發展脈絡，資訊研析結果可供檢討修正當前的放射性廢棄物管理措施，並據以建立適切的管理規範和措施，同時積極尋求與標竿國家進行先進技術及實務經驗交流學習，俾強化放射性廢棄物的安全管理能力。

2.1.1 各國管制及重要事件動態資訊蒐整

2025 年 1 月至 10 月期間，國際動態資訊有關放射性廢棄物管制及重要事件發展依時間順序摘述如後，歸納整理如表 2-1 所示。

(1) 1月2日及2月1日：法國成立核子安全與輻射防護局(ASNR)

依 2024 年 5 月 21 日《核子安全和輻射防護組織法》成立的核子安全和輻射防護管理局(ASNR)於 2025 年 1 月 1 日開始運作。該組織是核子安全局(ASN)和輻射防護與核子安全研究所(IRSN)合併成立。

ASNR 為獨立的行政機構，代表國家監督法國民用核子活動，並在核子安全和輻射防護領域開展各項研究、專家評估、培訓和公共資訊任務。ASNR 主席由皮埃爾-瑪麗·阿巴迪(Pierre-Marie Abadie)擔任，包括主席共五名委員組成的董事會管理，並由 Olivier Gupta 擔任總幹事，其中由總統指定三名，並由參議院議長及國會主席指定各一名，任期 6 年且不續任。委員會應完全公正地履行職責，不受政府或任何其他個人或機構的指示，就職權範圍內的重大議題公開表態，並向議會報告。ASNR 委員會並由奧利維爾古普塔(Olivier Gupta)擔任總幹事，領導執行委員會。

ASNR 擁有 2,000 多名員工，具有廣泛專業技能，並致力於保護人類和環境。

ASNR 在法國各地設有辦事處，其總部位於蒙魯日 (Montrouge)，擁有 11 個部門(波爾多、卡昂、香檳沙隆、第戎、裡爾、里昂、馬賽、南特、奧爾良、巴黎、斯特拉斯堡)，使其能在法國本土及海外地區執行並控管任務，並在豐特奈歐羅斯 (Fontenay-aux-Roses)和卡達拉舍設施(Cadarache)設置主要基地，是核子安全及輻射防護專業知識以及能源研究的場所，並在勒韋西內 (Le Vésinet)設立環境監測的主要基地。此外，在瑟堡 (Cherbourg)、萊桑格勒(Les Angles)和大溪地島(Tahiti)設置專業研究中心。

ASNR 的使命，主要可分為以下重要面向：

- **開展研究**：與國內外科研組織合作推動跨學科研究計畫，維護發展與核子安全和輻射防護不同領域專業知識所需知識和技術以及推進基礎知識，特別是了解游離輻射對健康和環境的影響。
- **專業知識**：評估民用核設施生命週期的各個階段(從設計到拆除)的安全性，以及使用游離輻射對人類健康和環境造成的風險。
- **協調授權**：透過向政府提供有關法令草案和部長命令的意見，以及作出技術性監管決策來促進法規的訂定，確保法規清晰易懂，並與所涉及的問題相稱。另負責審查所有核設施的單獨授權申請，但建造和拆除核設施等重大授權除外。此外，也根據公共衛生法規針對地方核能電廠頒發單獨授權，以及與放射性物質運輸有關的授權或批准。

- **管理控制**：從物質、組織和人力等方面對民用核子活動進行控制。其首要目標是確保所有核子活動負責人履行核子安全和輻射防護的義務，控制可透過決定、規定、現場檢查及適當裁罰來達成。除核電廠外，還控制核燃料、放射性廢棄物、放射性物質包裹、醫療設施、研究實驗室、工業活動等活動和設施。
- **緊急應變**：評估緊急事件的性質和嚴重性、其演變和可能的發展情況，以及已證實或潛在的放射性後果，並負責為政府當局提供有關保護民眾的行動建議，確保營運商為管理事件和恢復設施安全而採取措施的適當性，以及向機構和媒體提供資訊並確保國際通報。
- **教育訓練**：為使用游離輻射的專業人員提供廣泛的核子安全和輻射防護訓練。從而有助於維持高水準的核子安全和輻射防護技能，並有助於更好地預防和防護游離輻射的危害。
- **公眾對話**：向民眾通報國家核子安全和輻射防護狀況，參與國家資訊透明化實施，並向議會報告其行動。允許所有公民參與制定對環境有影響的決策，支持核設施當地資訊委員會的行動，並致力與社會分享知識並鼓勵與利害關係人對話。
- **形塑文化**：促進公民中輻射防護文化的發展，即公民在意外情況下採取或實施適當行為的能力。

在國際互動層面，ASNR 的創立象徵法國在核子安全和輻射防護方面，為保護人類和環境而懷抱的宏偉志向。無論是研究機構、專家還是管制機構，ASNR 將與國際同儕進行密切合作。



法國成立核子安全與輻射防護局(ASNR)

資訊來源：

<https://www.french-nuclear-safety.fr/information/news-archives/creation-of-the-french-authority-for-nuclear-safety-and-radiation-protection-asnr>

(2) 1月14日：IAEA推出增強型eSARIS工具加強全球核子安全標準

IAEA對eSARIS進行升級並減少問題，增加了新介面和指引，以說明管制機構評估和改進核子安全設施基礎。

IAEA更新線上eSARIS工具，幫助各國加強核子和輻射安全。做法上，這項安全監管基礎設施自我評估(Self-Assessment of Regulatory Infrastructure for Safety, eSARIS)將有助於改進國家核子法規，並且該線上工具支援各國審查其法律和監管架構，以符合IAEA安全標準。

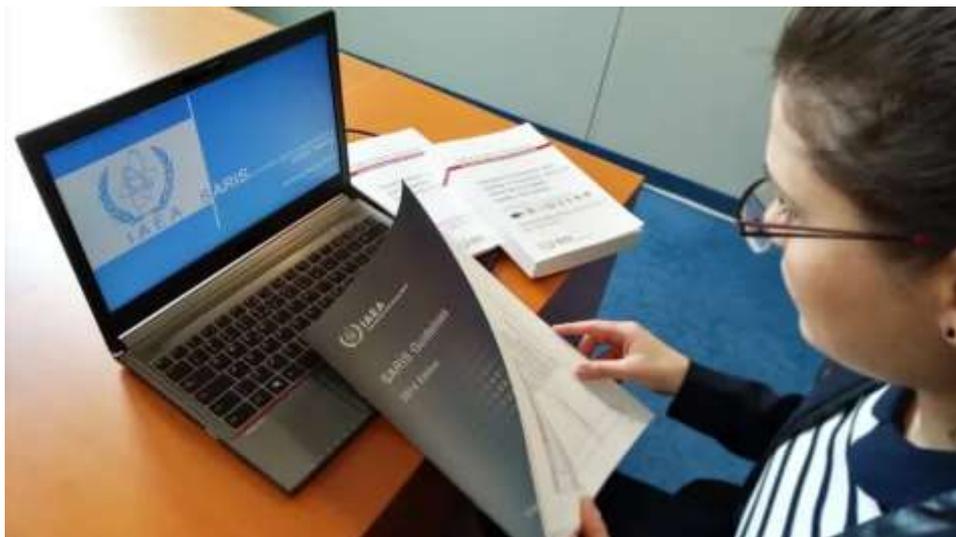
IAEA來源控制處(Control of Sources Unit)處長羅納德·帕切科(Ronald Pacheco)表示，更新後軟體工具使管制機構能進行品質審查，並可依IAEA安全標準進行分析，評估其回答的全面性和完整性，以得出進一步改善的建議。IAEA根據核子和輻射安全管制機構的回饋來改進eSARIS工具，問答集(Q&A)已簡化，並減少完成問卷所需的時間。

新的使用者友善介面和詳細指引將協助管制機構提供全方位答案並最佳化該工具，以有效評估其基礎設施的安全。eSARIS包括四個關鍵部分：支援全面的自我評估，協助各國就IAEA綜合監

管審查服務(Integrated Regulatory Review Service, IRRS)任務進行準備；評估職業曝露安全標準的遵守情況；依IAEA相關安全標準評估法規；使用基礎設施安全綜合評估(Integrated Review of Infrastructure for Safety, IRIS)工具審查核電計畫安全基礎設施。

IAEA安全標準為確保核子和輻射安全提供了原則、要求和指引的架構。這些標準反映了廣泛的國際共識，旨在作為保護人類和環境免受游離輻射有害影響的全球性參考。更新後eSARIS問卷目前與IRRS指引密切相關，協助各國更有效地為IRRS任務做好準備，並確保可取得更有成效的成果。

埃及核子與輻射管制局副主席兼埃及IRRS任務的國家協調員Usama Seddik表示，更新後的eSARIS平台有助於加強其監管自我評估，促進內部協調，並確保符合IAEA安全標準。IAEA最近公佈了新的亞太地區監管基礎設施發展專案(Regulatory Infrastructure Development Project)，以加強該地區的輻射安全和核子保防。



IAEA推出增強型eSARIS工具

資訊來源：

<https://www.neimagazine.com/news/iaea-unveils-enhanced-esaris-tool-to-strengthen-global-nuclear-safety-standards/?cf-view>

(3) **1月23日及5月23日：芬蘭用過核子燃料最終處置場運轉執照審查**
進入最後階段，STUK預計在今年底前做出最後決定

芬蘭核安管制機關輻射與核子安全局(STUK)正依計畫評估 Posiva Oy 公司的世界首座用過核子燃料處置場運轉許可申請，儘管提交審查的資料尚有缺漏，但預計仍有機會在今年底前完成評估，並向經濟事務和就業部(Ministry of Economic Affairs and Employment, MEAE)提交正式聲明。

放射性廢棄物管理公司 Posiva 於 2021 年 12 月 30 日向 MEAE 提交了申請及相關資料，以獲得正在奧爾基洛托(Olkiluoto)建造用過核子燃料封裝廠和最終處置設施的運轉許可。Posiva 申請運轉許可之有效期為 2024 年 3 月到 2070 年底。芬蘭政府對 Posiva 的申請做出最終決定前，需先獲得管制機構輻射與核子安局(STUK)審查核准的有利聲明。據此，STUK 的評估作業於取得 Posiva 提供足夠資料後，自 2022 年 5 月開始審查。雖然 MAEA 曾要求 STUK 在 2023 年底對該申請發表審查意見。然而雙方於 2024 年 1 月及 12 月，同意將提交截止日期先後延長至 2024 年底及 2025 年底。

根據 STUK 專案經理 Antti Tynkkynen 表示，目前審查該運轉許可正處於最後的評估階段。STUK 已收到並處理大部分安全評估資料，一旦收到其餘安全管制所需資料和要求的澄清說明，該評估作業便可完成，並隨即準備相關聲明。不過，這同時也取決於 Posiva 的時間表，以及是否會對最終處置系統做出改變。換句話說，STUK 必須從長期安全的依據來評估任何變化的影響，Posiva 必須對即使是最小的變化提供詳細的描述，因而雙方都需

要相當時間。期間，STUK 在 2024 年秋季收到 Posiva 提供許可申請的更新佐證資料以供審查，因其對最終處置系統進行了技術變更。STUK 表示，如果未來 Posiva 數據更新未被要求進一步澄清，極可能在今(2025)年底前完成運轉執照申請案的審查。

在 Posiva 最終處置計畫，用過核子燃料將放置在深度約 430 公尺的母岩中，該處置系統由嚴密的密封銅製廢棄物罐及包圍廢棄物罐體的膨潤土緩衝材料，以及膨潤土製成的隧道回填材料、隧道密封結構及圍岩組成處置系統。Posiva 於 2024 年 8 月底宣布開始最終處置設施試運轉(冷測試)，預計需數個月的時間。

STUK 表示，處置設施試運轉的監督是其中一個耗時的問題。2025 年第一季，STUK 要求 Posiva 調查封裝和處置設施所用系統的狀況以及整個設施的試運轉情況。然而，STUK 迄今尚未收到大部分安全等級系統的試運轉報告，因此，無法對整個試運轉工作進行完整評估。

STUK 正評估 Posiva 組織開始運作最終處置設施的準備情況。2024 年秋季，STUK 開始加強對 Posiva 組織的監督。同時，STUK 在年初導入了事件調查方法，以加深觀察 Posiva 組織及理解其潛在因素。同時，STUK 正尋找規劃、定位並發展自身監管的方法。

Posiva 總裁兼首席執行官 Ilkka Poikolainen 表示，除了自行評估之外，政府當局還在採取措施獨立確保該公司的運營符合所有既定的安全要求。

芬蘭政府於 2015 年 11 月核發 Posiva 該計畫的施工許可證，最終處置場於 2016 年 12 月開始動工建造。一旦獲得運轉許可證，Posiva 便可開始針對 TVO Olkiluoto 核電廠和 Fortum Loviisa 核電廠運轉產生的用過核子燃料進行最終處置，而處置場在封閉前將

持續運轉約 100 年。



芬蘭 ONKALO 用過核子燃料地下處置場，上方為 Olkiluoto 核電廠

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/regulator-in-final-stages-of-finnish-repository-licence-review>

<https://stuk.fi/en/-/statement-on-the-operating-licence-for-a-nuclear-waste-final-disposal-facility-in-the-making>

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/finnish-regulator-on-track-for-repository-decision-by-year-end>

(4) 2月7日：IAEA表示西班牙已強化監管架構

國際原子能總署(IAEA)後續考察團對於西班牙核子與輻射安全的承諾表示讚賞，並表示該國已成功執行 IAEA 專家於 2018 年考察後提出的建議。

綜合監管審查服務(Integrated Regulatory Review Service, IRRS)考察團是應 IAEA 成員國的邀請進行，旨在審查加強核子、輻射、放射性廢棄物和運輸安全的監管基礎設施，並提出改善建議。該考察團成員有來自法國、德國、瑞士和美國的四名管制專家，以及四名 IAEA 工作人員。

考察團的結論是，最初任務提出的 12 項建議和 20 項提議已

獲得充分處理。美國核管會區域行政官兼考察團團長史考特·莫里斯(Scott Morris)表示，IRRS 團隊對西班牙同行表現出的高度承諾和專業精神印象深刻，因其致力持續改進該國核子及放射安全法律 and 管制架構，值得稱讚。

同時，考察團強調西班牙監管架構下的成就包括：(1)制定人力資源計畫，例如對全體員工進行系統化培訓；(2)加強核子安全委員會(Nuclear Safety Council, CSN)的安全文化；(3)制定國家氬氣行動計畫，並確保 CSN 與西班牙自治區的有效合作。考察團還強調兩個良實踐領域：建立一個數位平台，為使用者提供即時劑量數據，以及建立一個集中式數位劑量測定系統，用於在緊急情況下對所有場外支援的緊急應變人員進行即時輻射劑量監測。

西班牙擁有七座運轉中的核電廠，其發電量約佔全國發電量的 20%，還有三座核電廠為永久封閉狀態，大多數反應器場址均設有用過核子燃料暫時貯存設施，該國有一座極低至中階放射性廢棄物的處置設施。西班牙於 2008 年執行首次 IRRS 考察，並於 2011 年執行後續考察；其後，西班牙於 2018 年主辦 IAEA 首次聯合考察 IRRS-ARTEMIS(放射性廢棄物與用過核子燃料管理、除役及管理綜合評審服務)。今年稍後將進行後續 ARTEMIS 考察，本次為期八天的 IRRS 考察於 1 月 26 日結束，最終報告將在大約三個月後提交給西班牙政府。



IAEA 的 IRRS 考察團

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/spain-has-successfully-enhanced-regulatory-framework-says-iaea>

(5) 3月17日：IAEA確認日本福島核電廠最近一次含氚廢水排放安全

國際原子能總署(IAEA)專家確認，日本東京電力公司(TEPCO)於3月12日開始排放的第11批次稀釋 ALPS 處理水中的氚濃度遠低於日本的運轉限值。

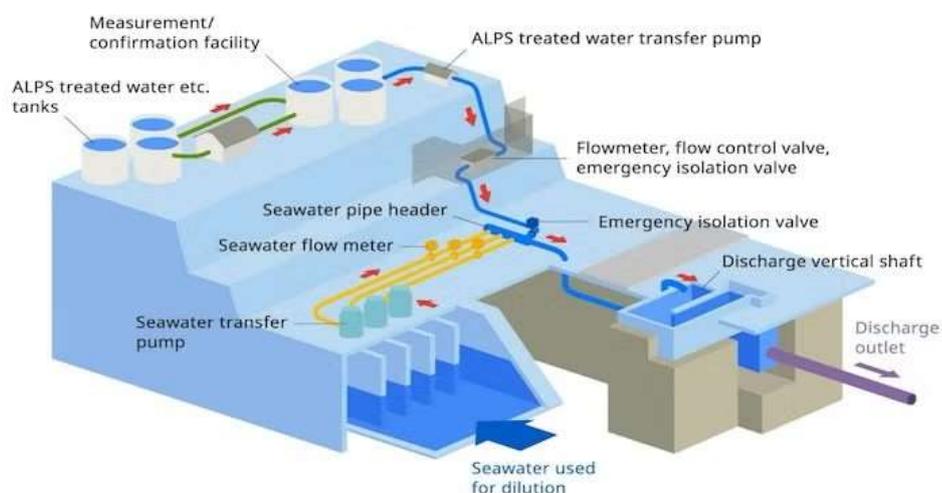
2011年福島核災後，用於冷卻熔化的反應爐核心的污染水被儲存在核電廠內大約1,000個大型貯存槽中，容量超過130萬噸，已達到總容量上限。這些受污染的冷卻水和地下水經過 ALPS 處理，可去除氚以外的大部分放射性污染。

處理過的含氚廢水儲放在大型貯存槽中，然後用海水稀釋到日本安全標準允許濃度的1/40，然後在距離核電廠1公里處進行排放。結果顯示，氚含量低於國家規定。首批含氚廢水於2023年8月開始排放，並預計將在約30年內分批排放完畢。

2023年8月至2024年10月前10批排放的含氚廢水，IAEA 派駐福島第一核電廠的專家對含氚廢水進行獨立的現場取樣分析。

IAEA 確認，稀釋水中的氚濃度遠低於每公升1,500貝克的承諾目標，符合國際安全標準。IAEA 同時證實，前10批共約78,200立方公尺含氚廢水中的氚濃度也遠低於運轉限值。

排放作業開始前，IAEA 於2023年7月4日發布的一份安全審查綜合報告中發現，日本的含氚廢水計畫符合國際安全標準，依計畫排放對人類和環境的放射性影響可以忽略不計。



日本福島第一核電廠先進液體處理系統(ALPS)

資訊來源：

<https://www.neimagazine.com/news/iaea-confirms-safety-of-latest-fukushima-water-release/>

(6) 4月3日：IAEA於聯合公約審議會議報告讚揚英國的表現

根據《用過核子燃料和放射性廢棄物管理安全聯合公約》第8次審議會議主席摘要報告，英國核子監管辦公室(ONR)是為期兩週聯合公約審議會議的主要貢獻者，該聯合公約每三年在IAEA總部維也納舉行一次，彙集交流各簽署國(稱為締約方)國家報告。

本次大會確定了許多總體議題，各締約方需於2028年第8次審議會議上提供這些議題的最新情況，其中包括：

- 緊急應變的準備 (Emergency preparedness)：對自然和人為事件的應變；
- 可持續放射性廢棄物和用過核子燃料管理的財務、人力資源與知識管理；
- 安全管理新技術所產生的廢棄物流向；
- 放射性廢棄物、密封廢射源和用過核子燃料安全管理的公眾參與；
- 長期貯存的用過核子燃料、放射性廢棄物和密封廢射源的狀況監測。

本次大會摘要報告還強調了全球在用過核子燃料和放射性廢棄物管理領域取得的進展，其中包括21個領域的「優良實踐」(good practice)和208個領域的「優良表現」(good performance)得到了全球締約方的認可。

英國在2個領域的「優良實踐」方面獲得大會認可，首先包括ONR和環境部(Environment Agency)通過監管沙盒(regulatory sandboxing)對人工智慧AI進行監管的創造性方法，為產業和監管機構提供了一個可控制的環境，以探索和評估增強安全、保障和環境保護的AI應用方法。其次是建立核子技能執行委員會(Nuclear Skills Executive Council)和核子技能工作小組(Nuclear Skills Taskforce)，以解決未來的技術能力需求，作為一項國家的努力。

另外，該大會也認可了英國出15個領域「優良表現」，其中包括首席核子檢查員對氣候變化的主題檢查、帝國理工學院反應器中心的執照取消、ONR的開放和透明政策，以及曼徹斯特聯盟商學院開發的產業安全文化評估模型。

支持英國代表團的ONR團隊包括首席執行官兼首席核子檢查

員Mark Foy，他與環境部首席監管者Jo Nettleton和核子除役管理局(NDA)首席核子戰略官Clive Nixon共同提交英國國家報告。

該報告強調並提出了英國當前和未來的除役優先事項，並更新了正進行的工作，以因應2022年上一次審議會會議所發現的挑戰。有關《聯合公約》及其作用和目標更多資訊，請詳ONR官網。



為英國代表團提供支援的ONR團隊

資訊來源：

<https://www.onr.org.uk/news/all-news/2025/04/iaea-report-praises-uk-performance/>

https://www.iaea.org/sites/default/files/jc-rm8-04-rev2_summary-report-28mar2025.pdf

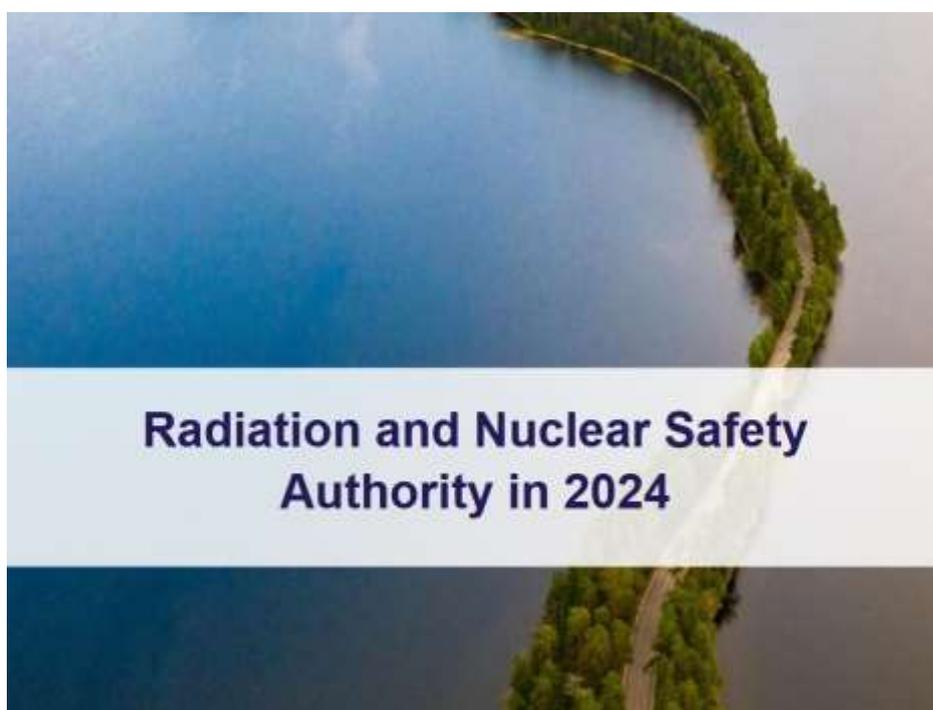
<https://www.onr.org.uk/news/all-news/2025/03/uk-presents-national-report-on-spent-fuel-and-radioactive-waste-management/>

(7) 4月15日：芬蘭STUK年度報告回顧匯集2024年的亮點

芬蘭輻射與核子安全局(STUK)發布了2024年度營運報告，該報告回顧匯集了STUK去年活動和成就的亮點和優良案例。

STUK局長Petteri Tiippana表示，對STUK來說，2024年是重大發展和變革的一年。除了基本的輻射和核子安全管制外，這一年還包括更新STUK戰略、推動管制改革、監測國內和國際的營運環境，並為公共行政部門的財政削減預做準備。根據STUK的監督，可以說明使用輻射和核能的營運商總體上運作安全，沒有對國家、大眾或環境造成重大安全風險。STUK去年修訂的價值觀和策略表明營運方式，希望繼續秉持開放、欣賞、大膽和合作。在這個充滿不確定性甚至不安全的世界裡，重要的是讓民眾能夠給予信任，相信STUK是一個權威且專業的組織。

STUK的2024年報告包含11篇文章，涵蓋輻射應用和監測的不同領域以及STUK的整體營運情形。有關STUK官網公布的年度回顧報告，請詳資訊來源。



2024年輻射與核子安全局年度回顧報告

資訊來源：

<https://stuk.fi/en/-/stuk-s-annual-review-collects-highlights-from-the-year-2024>

<https://stuk.fi/en/year-2024-in-stuk>

(8) 4月15日：日本福島最新一次含氚廢水排放獲得批准

國際原子能總署(IAEA)專家確認，日本東京電力公司(TEPCO)最新一次排放的第12批次稀釋ALPS處理水中的氚濃度遠低於日本的運轉限值。

2011年福島核災後，用於冷卻熔化的反應爐核心的污染水，被儲存在核電廠內大約1,000個大型貯存槽中，容量超過130萬噸，已達到總容量上限。這些受污染的冷卻水和地下水經過ALPS處理，可去除氚以外的大部分放射性污染。

處理過的含氚廢水儲放在大型貯存槽中，然後用海水稀釋到日本安全標準允許濃度的1/40，然後在距離核電廠1公里處進行排放。結果顯示，氚含量低於國家規定。首批含氚廢水於2023年8月開始排放，並預計將在約30年內分批排放完畢。

2023年8月至2024年10月前10批次排放的含氚廢水，IAEA派駐福島第一核電廠的專家在排放每一批處理水之前，都會對處理過的水樣本進行獨立的現場取樣分析。IAEA確認，本次排放第12批次稀釋水中的氚濃度遠低於每公升1,500貝克的承諾目標，符合國際安全標準。IAEA同時證實，先前11批次共計約86,000立方公尺含氚廢水中的氚濃度也遠低於運轉限值。

排放作業開始前，IAEA於2023年7月4日發布的一份安全審查綜合報告中發現，日本的含氚廢水計畫符合國際安全標準，依計畫排放對人類和環境的放射性影響可以忽略不計。



日本福島第一核電廠內含氚廢水大型貯存槽

資訊來源：

<https://www.neimagazine.com/news/green-light-for-latest-fukushima-water-release/>

<https://www.neimagazine.com/news/fukushima-water-discharge-shows-no-abnormalities/?cf-view>

<https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-and-international-experts-sample-treated-water-within-fukushima-daiichi-nuclear-power-station-prior-to-its-release>

(9) 4月23日：各國可以了解芬蘭處理核廢棄物的情況

由國際原子能總署(IAEA)主辦的《用過核子燃料管理安全與放射性廢棄物管理安全聯合公約》第8次審議會議於4月初在總部維也納舉行。

本次聯合公約審議會議上，各公約締約國提交2021至2023年用過核子燃料和放射性廢棄物管理現況的國家報告。提交的國家報告均由來自不同國家的代表組成的審議小組進行評估。

芬蘭輻射與核子安全局(STUK)負責與經濟事務和就業部(MEAE)、TVO公司、Fortum Power and Heat Oy、芬蘭VTT技術研究中心和Posiva Oy合作彙編國家報告。STUK、MEAE和Posiva也在大會上介紹了該國報告內容。

芬蘭報告審議小組對該國抱持的開放態度表示感謝及肯定，並表示開放態度有助於其他國家在制定本國最終處置計畫時能相互學習借鏡。芬蘭的用過核子燃料最終處置計畫相較其他使用核電的國家進展得更具前瞻性。自2022年召開第7屆評估審議會以來，許多國家在用過核子燃料和高放射性廢棄物最終處置計畫方面均取得了重大進展。

在審議會期間，審議小組關注芬蘭如何處理受《輻射法》約束、在核電廠以外產生的放射性廢棄物。芬蘭在廢棄物管理方面的責任和任務分工並不完全明確，對所有廢棄物也沒有明確的途徑(route)進行最終處置。審議小組也指出，起草《核能法》(Nuclear Energy Act)的整體改革及其補充辦法對於芬蘭目前正進行的改革者來說是一個挑戰。審議小組認為，要兼顧所有涉及的實務作業者絕非易事，在準備、實施和應用過程中都需要特別加以重視。

《用過核子燃料管理安全與放射性廢棄物管理安全聯合公約》於2001年生效，旨在實現並維持全球範圍內用過核子燃料和放射性廢棄物管理的高安全水準。為實現該目標，締約方提交了關於其履行《公約》義務的國家報告，這些報告作為審查會議期間同行審查過程的一部分進行討論和辯論。

聯合公約評估會議每三年舉行一次，締約方第8次審議會將於2025年3月17日至28日，在奧地利維也納IAEA總部舉行。這次會議決定，2028年審議會除正常報告外，還將專門討論因應自然和人為事件及新技術產生的放射性廢棄物管理等議題。



**Joint Convention on
the Safety of Spent Fuel
Management and on the
Safety of Radioactive Waste
Management**

8th Finnish National Report as referred to
in Article 32 of the Convention

2024年芬蘭國家報告

資訊來源：

<https://www.iaea.org/newscenter/news/focus-on-safe-management-of-spent-fuel-and-radioactive-waste-at-eighth-review-meeting-of-the-joint-convention>
<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-launches-first-school-of-drafting-regulations-on-radioactive-waste-and-decommissioning-safety>
<https://www.iaea.org/events/evt2204818>

(10) 4月30日：法國ASNR專家意見發布法規條款

核子安全與輻射防護局(ASNR)已確定發布專家意見的新方法，以履行其向公眾通報和實施透明度的使命。

核安全與輻射防護局(L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, ASNR)代表國家確保對法國民用核子活動的管制，並在核子安全和輻射防護領域開展研究、專業知識、培訓和公共資訊任務。

2024年5月21日第2024-450號法律關於組織核安和輻射防護管理以因應振興核能產業的挑戰，該法律第2條重申ASNR公共資訊和透明度原則，特別是涉及公佈專家評估結果及其相關決定。

為此，ASNR正依立法規定並按照2025年1月21日所頒布的第2025-DC-005號其內部規則第39至41條規定建立發布專家意見的流程(詳資料來源)。

透過這個過程，ASNR不僅希望讓社會了解其專家工作的成果，並希望讓社會更清楚地了解其決策及其所依據的技術專長。因此，ASNR將同時在其網站上公佈其決定和相關專家意見。

對於包含公眾諮詢階段的ASNR決定草案，將在決定草案諮詢時公佈專家意見，以讓公眾充分了解決定該草案條款的情況。

對於專家意見的文件，例如核子設施安全審查文件，ASNR將在其網站上公佈相應的專家意見，以確保持續的公共資訊品質，這些意見將在文件定稿後的一個月內對外公佈，這同樣適用於與決策無直接關係的專家意見。透過這個過程，ASNR不僅希望讓社會了解其專家工作的成果，而且還希望讓社會更清楚地了解其決策及其所依據的技術專長。

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Décision n° 2025-DC-005 de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection du 21 janvier 2025 portant adoption du règlement intérieur de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

ASNR頒布第2025-DC-005號內部規則建立發布專家意見的流程

資訊來源：

<https://www.asnr.fr/actualites/les-modalites-de-publication-des-avis-dexpertises-de-lasnr>

<https://www.asn.fr/reglementation/bulletin-officiel-de-l-asnr/fonctionnement-de-l-asnr/decisions-reglementaires/decision-n-2025-dc-005-de-l-asnr-du-21-janvier-2025>

(11) 5月2日：西班牙Garoña核電廠用過核子燃料貯存設施擴建核准

西班牙核能管制機關核子安全委員會(Consejo de Seguridad Nuclear, CSN)已批准擴建Garoña核電廠現地的用過核子燃料暫時乾式貯存設施，該核電廠於2012年關閉，此次擴建是為了滿足核電廠除役期間的所有燃料貯存需求。

核子安全委員會(CSN)全體會議有條件批准Garoña核電廠營運商Enresa提交的擴建申請。該申請包括對設計進行修改以擴大個別暫時貯存設施(西班牙 Almacenamiento Temporal Individual, ATI；即 Individualised Temporary Storage Facility)的容量，及針對該設施的安全研究和技術操作規範進行相關修訂。此外，全體會議也批准了該核電廠放射性廢棄物和用過核子燃料管理計畫的修訂，該核電廠目前正處於第一階段除役過程。

Garoña的ATI設施由兩塊鋼筋混凝土板組成，於2017年完工。該設施可實現兩用金屬容器的乾式暫時貯存，其設計允許裝載用過核子燃料，然後將燃料從核電廠運送到擬建的集中式暫時貯存設施(西班牙 Almacenamiento Temporal de Combustible, ATC；即 Centralised Temporary Storage Facility)。第一批用過核子燃料於2022年7月放入ATI，所有用過核子燃料預計將於2027年轉移至該ATI設施。

Garoña核電廠的446MWe沸水反應器於1971年開始運轉，CSN認為經過一定的技術升級後，反應器將能運轉至2019年。

然而，2012年9月，營運商Nuclenor (Endesa和Iberdrola的合資企業)錯過了提交Garoña核電廠營運許可證續期申請的最後期限，這意味著該核電廠必須在現有許可證於2013年7月6日到期之前關閉。然而，該反應器已於2012年12月中旬關閉，以免除Nuclenor在

2013年1月1日運轉時承擔整年的追溯稅費。

西班牙除役公司Enresa於2020年5月向生態轉型和人口挑戰部提交了Garoña電廠所有權轉讓及其拆除第一階段的申請。Enresa於2023年7月接管了該核電廠。

預計拆除Garoña核電廠約需10年時間。該廠的除役策略是分兩個階段立即拆除。在第一階段，主要活動是將用過核子燃料裝入容器並將其從貯存池轉移到核電廠內中期貯存設施。此階段還包括拆除渦輪機房，為第二階段的拆除做準備。第二階段續將反應器中燃料移出，拆除反應器以及其餘具有放射性的建築物，並且繼續進行除污、解除管制作業和建築物拆除，最後對場地進行環境復育。



2024年3月首批五個用過核子燃料容器置入Garoña核電廠ATI設施

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/expansion-of-garona-used-fuel-store-approved>

(12) 5月12日：芬蘭STUK透過制度改革進行許可與監管

輻射與核子安全局 (Radiation and Nuclear Safety Authority,

STUK)正努力透過新的監測和許可資訊系統，以妥適滿足營運單位的需求。開發新系統是該局更廣泛地管制發展計畫的一部分。

STUK局長Tommi Toivonen表示，管制發展計畫的目的是展望未來，思考STUK的管制工作未來樣貌，以及未來數十年將如何開展監管工作。開發流程有助於創建一個滿足營運商需求的新系統，同時也方便處理許可證核發與監督。新系統被命名為STURE (STUK Radiation Safety Management System)，第一階段將為工業和醫療保健領域的輻射用戶提供服務。

STUK的STURE專案經理Markus Kangasniemi表示，根據進行背景研究所得之結論，最適合STUK需求的解決方案是一個整合不同管制領域的資訊系統：例如輻射活動的管制和許可、劑量登記以及核子安全監管，如此系統可簡化許可和管制流程。

在STURE系統實作開始

新的STURE系統的設計將於五月開始。提供數位解決方案的Gofore Plc公司參與了該規劃，並根據公開招標被選為系統供應商。第一階段將實施輻射監測和許可制度以及相關的電子服務。目標是在2026年夏季向客戶提供首批功能。

此外，輻射工作人員劑量監測和登記的初步工作已經開始，計劃於2028年轉移至STURE系統。STUK也已開始初步規劃將核安監測轉移至STURE系統。

資訊來源：

<https://stuk.fi/-/sateilyturvakeskus-kehittaa-lupa-asiointia-ja-valvontaa-jarjestelmauudistuksella>

(13) 5月23日：芬蘭管制機關預計在年底前做出處置場的決定

芬蘭輻射與核子安全局(Radiation and Nuclear Safety Authority,

STUK)表示，儘管提交審查的資料尚有缺漏，但仍有望完成對 Posiva Oy的世界首例用過核子燃料處置設施運轉許可證申請的評估。

放射性廢棄物管理公司Posiva於2021年12月30日向經濟事務和就業部(MEAE)提交了申請及相關信息，以獲得目前正在 Olkiluoto建造的用過核子燃料封裝廠和最終處置設施的運轉許可證。該處置設施原先規劃於2020年代中期開始運轉，目前Posiva正申請有效期至2070年底的運轉許可證。

管制機關STUK於2022年5月開始進行審查，在芬蘭政府對 Posiva的申請做出最終決定前，仍需要獲得STUK的積極意見，以確認Posiva已提供足夠資料。經濟事務和就業部曾要求STUK在2023年底前對該申請發表意見。然而，去(2024)年1月，STUK要求將其意見截止日期延長至2024年底，同年12月又將管制機關意見的截止日期延長至2025年底。

STUK表示，Posiva提交審查的資料仍然存在缺漏，並要求 Posiva公司必須予以更正。該管制機關還指出，Posiva對其原計畫進行更改，這需要資料更新修正。Posiva公司表示這些更新將導致 STUK工作比年初預期的更加延遲。儘管STUK對申請的審查評估已進入最後階段，但只有在審查並批准Posiva所有營運許可證申請資料後，聲明和安全審查才能完成。

STUK專案經理Antti Tynkkynen表示，一旦收到所需的其餘資料以及要求的補充資料，就可以進行最後審查並完成聲明。STUK表示，如果未來Posiva數據更新未被要求進一步的澄清，極可能在今(2025)年底之前完成運轉執照申請案的審查。

Posiva最終處置設施計畫中，用過核子燃料將放置在深度約

430公尺的母岩中。該處置系統由嚴密的密封銅製廢棄物罐及包圍廢棄物罐體的膨潤土緩衝材料，以及膨潤土製成的隧道回填材料、隧道密封結構及圍岩組成處置系統。Posiva於2024年8月底宣布開始最終處置設施試運轉(冷測試)，預計需要幾個月的時間。

STUK表示，處置設施試運轉的監督是其中一個耗時的問題。2025年第一季，STUK要求Posiva調查封裝和處置設施所用系統的狀況以及整個設施的試運轉情況。然而，STUK迄今尚未收到大部分安全等級系統的試運轉報告，因此，無法對整個試運轉工作進行完整評估。

STUK正評估Posiva組織開始運作最終處置設施的準備情況。2024年秋季，STUK開始加強對Posiva組織的監督。同時，STUK在年初導入了事件調查方法，以加深觀察Posiva組織及理解其潛在因素。同時，STUK正尋找規劃、定位並發展自身監管的方法。

Posiva總裁兼首席執行官Ilkka Poikolainen表示，除了自行評估之外，政府當局還在採取措施獨立確保該公司的運營符合所有既定的安全要求。

芬蘭政府於2015年11月向Posiva公司頒發該處置計畫的建造許可證，處置設施於2016年12月開始建造。一旦獲得營運許可證，Posiva公司就可以開始將TVO的歐基洛托(Olkiluoto)核電廠和Fortum的洛維薩(Loviisa)核電廠運轉產生的用過核子燃料進行最終處置。該處置設施預計將持續運轉約100年，直至封閉為止。

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/finnish-regulator-on-track-for-repository-decision-by-year-end>

(14) 5月26日：北歐核子管制機構尋求加強合作

輻射和核子安全局(The Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK)參與制定北歐合作策略(Nordic cooperation strategy)，該策略為加強北歐輻射和核子安全主管機關間的各项合作提供建議。

審查北歐合作策略優先事項的決定是在2023年8月冰島首都雷克雅維克(Reykjavik)舉行的機構負責人會議所做的。目前發布的策略正是該項工作的成果，其中包含13項關於進一步發展合作的建議，並且將這些進一步的目標分為四個主要領域，涉及核能立法、輻射安全立法、準備和緊急應變以及國際發展與援助。該策略還包含一般性行動建議。

主要推動變革的兩個外部因素，包括北歐國家日益增長的能源需求和核電潛力的蓬勃成長；以及全球和區域營運環境的快速變化，同時還要求各國主管機關重新審視自身的運作方式。而後者則帶來新的威脅，也要求深化區域災害防範應變合作。

《北歐策略小組報告：加強北歐在核子與輻射安全的合作》(詳資訊來源2)由北歐國家的輻射與核子安全當局編寫，包括丹麥緊急事務管理局(Beredskaps Styrelsen, DEMA)、挪威輻射防護與核子安全局(Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet, DSA)、冰島國家輻射防護局(Geislavarnir Ríkisins, GR)、丹麥國家輻射衛生研究所(National Institute of Radiation Hygiene, SIS)、瑞典輻射安全局(Strålsäkerhetsmyndigheten, Stråls)和芬蘭STUK。

人們對核電的興趣日益濃厚

芬蘭和瑞典的能源政策鼓勵興建新的核電廠。在挪威，一個由政府任命的核電工作小組目前正在撰寫一份核電報告。這些議題也是丹麥公眾辯論(public debate)的一部分，由於烏俄戰爭，丹麥的政治氛圍和公眾對核電的態度都改變了。所有北歐主管機關

都面臨著為未來發展做好準備的挑戰，包括制定法規、監管實踐和專業知識。核電使用增加同時也帶來與放射性物質運輸和放射性廢棄物最終處置相關議題。

新的威脅增加了合作的重要性

另一關鍵因素是地緣政治變化(geopolitical changes)和新威脅。安全局勢，尤其是俄羅斯大規模入侵烏克蘭，顯著影響了北歐國家的地緣政治地位。區域擔憂包括與俄羅斯西北部核電廠和科拉半島(Kola Peninsula)核廢棄物貯存設施的相關風險。此外，還存在與核武以及北極、北大西洋和波羅的海核動力船舶交通量增加相關威脅。盟國日益增多的軍事活動，包括核動力船舶的訪問，也帶來了新的管制挑戰。

嚴重事故和其他危險情況在最壞的情況下可能導致放射性物質跨國洩漏。因此，有必要發展有效的資訊交換、安全影響評估和公眾溝通能力。而各國接受和提供國際援助的能力也必須加強。在嚴重的輻射危害情況下，單一國家的資源不足，需外部支持因應。烏俄戰爭也需要在核安方面提供協調一致的援助。北歐國家持續支持烏克蘭當局並維護核電廠的安全，這種合作正在不斷強化中。

北歐在輻射和核子安全領域的合作已經擁有悠久的傳統傳承。這項傳統增強了其協調活動的能力，並促進了歐洲乃至全球的合作。北歐戰略以此為基礎，以因應當前和未來的挑戰。



北歐管制機構組成策略小組(Nordic Strategy Group)

資訊來源：

<https://stuk.fi/-/uusi-strategia-tiivistaa-pohjoismaista-sateily-ja-ydinturvallisuusviranomaisyhteistyota>

<https://www.dsa.no/en/publications/nordic-strategy-group-report/Nordic-Strategy-Group-Report.pdf>

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/nordic-nuclear-regulators-seek-to-enhance-cooperation>

(15) 6月6日：加拿大第二個處置場的選址開始進行公眾參與

加拿大核廢料管理組織(NWMO)正尋求公眾意見，以確認並精進其擬議方案，計劃於2028年啟動第二個放射性廢棄物處置場的選址程序。

2023年，自然資源部長批准了加拿大《放射性廢物綜合戰略》中所提的建議後，NWMO承擔了在深層地質處置場管理中放射性廢棄物與非燃料高放射性廢棄物的責任。該工作與NWMO自2002年以來主導的規劃加拿大用過核子燃料安全與長期管理的任務截然不同，但也同樣在深層地質處置場中進行。

NWMO目前發佈了一份討論文件—「加拿大第二個放射性廢棄物深層地質處置場的選址方案」(Proposed site selection process

for Canada’ s second deep geological repository for radioactive waste), 介紹擬建的中高階放射性廢棄物深層地質處置場的選址方案，該處置場用於處置中階放射性廢棄物以及非燃料高階放射性廢棄物，還可能處置未來建造核反應器產生的用過核子燃料。這是NWMO的第二個處置場計畫，誠摯邀請加拿大公民和原住民提供回饋意見，以協助完善選址流程。

加拿大的中高階放射性廢棄物採暫時安全貯存，目前方法為暫時性的，不適用於長期存放。加拿大人民和原住民持續訴求，放射性廢棄物的長期安全管理，必須在這世代進行處理。加拿大與許多擁有商業核電計畫的國家一樣，也在規劃處置。國際科學界一致認為，深層地質處置是長期管理中高階放射性廢棄物最安全的方式。

2024年經過全面的選址程序，選定位於安大略省西北部的一個地點，作為未來建造深層地質處置場的地點，用於處置加拿大的用過核子燃料。該地點將隨即啟動一項為期多年的管制決策程序，以獨立確認其安全性，之後該計畫才能開工。

NWMO表示對於新計畫將繼續秉持長期以來的理念，將技術安全和社區意願作為主要選址標準。在後續兩年，希望聽取廣泛的利害關係人、社區、產業和其他對該計畫感興趣團體的意見。根據迄今為止的經驗，NWMO正優先考慮與原住民社區的合作。

NWMO第二個處置場計畫選址主任喬安妮·傑西克(Joanne Jacyk)表示，正致力於從下一個深層地質處置場的選址程序一開始便尋求原住民的意見，並在信任和透明基礎上建立關係。

深層地質處置場包括一個由高度工程化的地下拱頂和隧道網絡組成，用於永久處置高放射性廢棄物，確保任何有害輻射不會

到達地表環境。芬蘭、瑞典、法國、英國和美國等也在推行中。

NWMO 去年宣布選擇安大略省西北部的 Wabigoon Lake Ojibway Nation 和 Ignace 鎮作為擬議的用過核子燃料深層地質處置場的主辦社區，此前大約從14年前開始了基於同意的選址流程。

只有在處置場完成聯邦政府多年的管制程序和原住民主導的管制評估和核准程序後，該設施才會開始施工。這是一個主權管制程序，將由 Wabigoon Lake Ojibway Nation 制定並實施。



隨著加拿大開始規劃建造第二個深地質處置設施來管理放射性廢棄物，NWMO 已啟動為期兩年的公眾參與流程，以確認及完善選址方法。

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/canada-begins-public-engagement-on-siting-of-second-repository>
<https://www.nwmo.ca/News/NWMO-seeks-feedback-on-siting-approach-for-next-deep-geological-repository>
https://www.nwmo.ca/-/media/Reports-MASTER/Corporate-reports/Proposed-site-selection-process-for-Canadas-second-deep-geological-repository-for-radioactive-waste.ashx?rev=908b98564fdf4750baf24142d40622ef&sc_lang=en&hash=041DC9C0838F51A6D927D397A8391EA8
<https://www2.rwmc.or.jp/nf/?p=35209>

(16) 6月19日：法國2024年核子安全和輻射防護(核子設施部分)

法國核子安全和輻射防護局(The French Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection, ASN)已於5月22日向議會科學和技術選擇評估辦公室(Parliamentary Office for the Evaluation of Scientific and Technological Choices, OPECST)提交了《2024年法國核子安全和輻射防護現況報告》。該報告顯示該國在核子計畫和醫療創新加速發展的背景下仍然保持高水準核子安全，並符合輻射防護要求。以下摘述該報告中其他核子設施部分：

Aube貯存中心

ASN認為Aube貯存中心整體在核子安全、輻射防護和環境保護令人滿意。2024年進行的檢查顯示環境監測品質參考架構具穩健性，組織在面對選擇和監控服務提供者的挑戰調適良好。

Cigeo處置計畫

ASN 持續進行 Cigeo 處置計畫建造執照申請(application for a construction permit, DAC)的技術審查，國家放射性廢棄物管理局(National Radioactive Waste Management Agency, ANDRA)於2023年1月16日向負責的核子安全部門提交了申請。該技術評估程序預計持續三年，期間由ASN廢棄物常設專家小組進行三次技術評估會議，聚焦三項議題：Cigeo安全評估的基本數據；運轉階段的地表和地下設施安全；封閉後長期安全性。

技術評估程序實施了詳細完整的諮詢程序。在每次提交給常設專家小組前都會諮詢約20個相關組織，以便制定技術導則的程序及各別所考量的議題。該專家小組已於2024年4月和12月審查了前兩項議題，最後一項議題將於今年6月底進行審查。

廢棄物常設專家小組的建議和立場將有助於 ASNR 對於建造執照申請發佈的意見。該意見預計將於 2025 年秋季提交，屆時將啟動公民諮詢階段。ASNR 指出，Andra 於 2023 年 1 月 16 日提交的 Cigéo 深層地質處置設施建造執照申請的審查呈現積極態勢。

資訊來源：

<https://www.asnr.fr/actualites/region-grand-est-surete-nucleaire-et-radioprotection-en-2024>

<https://www.asnr.fr/actualites/rapport-sur-letat-de-la-surete-nucleaire-et-de-la-radioprotection-en-france-en-2024>

(17) 7月4日：芬蘭放射性物質的數量持續減少

芬蘭輻射與核子安局(STUK)發布《芬蘭環境輻射監測年度報告》，報告2024年發現了原本存在自然界未發現的放射性物質及其發現地點與環境中的放射性含量。

依據2024年的監測結果顯示，環境中的人工放射性物質主要來自1986年車諾比事故和1950年代至60年代的大氣層核武試驗。環境中放射性物質的含量持續在穩定下降。2024年，從露天採集的六個樣本中檢測到少量來自核武試驗或車諾比事故以外的人工放射性物質，但無法確定其來源。去年，芬蘭民眾接受環境中的人工放射性物質的輻射劑量不到0.02毫西弗(mSv)，這與芬蘭平均年輻射劑量5.9毫西弗(mSv)相比低了許多。芬蘭民眾所受到的輻射劑量主要來自室內空氣中的氡，即天然放射性物質。結果表明，芬蘭2024年期間沒有向環境中釋放任何會對人類健康或環境產生不利影響的放射性物質。

車諾比仍有放射性銫

唯一顯著的人工放射性物質來源是數十年前，儘管每年都在

減少，但1950和1960年代大氣層核武試驗以及1986年車諾比核子事故產生的放射性物質迄今仍然可以在環境樣本中測量得到。

去年秋季，STUK針對一些野生蘑菇樣本進行檢測，結果顯示放射性銫137(Cs-137)濃度仍超過每公斤600貝克(Bq)的劑量限值。因此建議市場銷售的野味、野生漿果和蘑菇以及淡水魚時，其濃度不得超過該限值。然而，同時呼籲大眾，食用這些食物是安全的，即使大量食用野生蘑菇也不會造成嚴重的輻射曝露。

而從波羅的海採集的樣本也顯示出車諾比事故產生的銫-137，與其他環境樣本一樣，所採集樣本的放射性濃度正在下降中。

關於環境監測狀況的可靠資訊

STUK環境監測計畫旨在監測環境中放射性物質的細微變化，並在必要時加以因應，例如評估人體所受到的輻射劑量，制定輻射防護計畫，適時提出降低劑量的建議。輻射監測計畫保持專業知識和整備狀態，以便即時對異常輻射情況做出快速正確反應。

根據STUK局長Pia Keski-Jaskari表示，儘管輻射無所不在，STUK都能偵測到輻射的存在。精確的測量方法和精心設計的環境輻射監測計畫，能可靠忠實地反映芬蘭整體環境的放射性狀況。

輻射監測是透過利用輻射監測網路即時測量外部輻射劑量率、持續收集室外空氣和沈積物樣本以及定期採集地表水、飲用水、牛奶、食品 and 污水污泥樣本來進行的。此外，監測計畫還包括監測人體內的放射性物質和波羅的海的放射性物質

資訊來源：

<https://stuk.fi/-/radioaktiivisten-aineiden-maara-yha-laskussa>

(18) 7月8日：法國放射性廢棄物專家就Cigéo封閉後長期安全議題提

出建議

法國放射性廢棄物常設專家小組就Cigéo封閉後階段的長期安全議題提出建議並達成了整體結論。而在Cigéo建造許可申請之技術審查階段結束時，ASNR向廢棄物常設專家小組提交了第三份專家報告。

專家報告對Cigéo在封閉後階段的長期安全性提出了相關建議，該文件達成了下列整體結論：

- Cigéo 建造許可申請文件的第三階段(最後階段)技術審查於 2025 年 6 月 25 日至 6 月 26 日在廢棄物常設專家小組(groupe permanent d'experts pour les déchets, GPD)會議告一段落。有關第三階段重點為 Cigéo 在封閉後階段的安全議題，且 GPD 的討論是基於 ASNR 環境研究與專業部門專家的評估。
- GPD 認為，考量 Andra 所做承諾及其所提出的審查意見，Andra 提交的封閉後安全論證對於目前該計畫的發展階段整體是令人滿意的。GPD 並且認為，目前架構的處置系統具有良好的整體圍阻(containment)能力，並能因應封閉後可能發生所有風險和不確定性。
- 在審查 Andra 提交的申請文件後，GPD 認為 Cigéo 的安全論證是基於紮實的知識基礎，目前雖已達所需的成熟度，然而，同時也提出了有待進一步完善的重要議題，並需要在未來計畫發展的里程碑中持續進行評估。
- ASNR 根據《環境法》第 L.542-10-1 條規定，針對 Cigéo 的施工許可申請發表意見，並在公開調查期間向公眾報告相關細節。ASNR 預計在 2025 年 11 月中旬發表正式意見，根據其自身的專業知識以及 GPD 建議，提出其認為完成安全論證所需的要件、更新公開調查前的計畫

文件以及 Cigéo 計畫發展後期的預期文件。

- 作為正式意見準備工作的一部分，ASNR 將於秋季就技術專業和調查期間各種對話過程涉及的利害關係人進行諮詢，以便公民社會能持續參與 ASNR 的推薦、專業和調查階段，並且使其能夠在即將舉行的管制諮詢 (regulatory consultations) 中充分發揮作用，特別是規劃於 2026 年進行的公眾調查 (public inquiry)。

依據 ASNR 意見草案進行特定利害關係人諮詢：ASNR 將於 10 月初會議向技術審查期間涉及的利害關係人提交其意見草案。在蒐集回饋意見和問題後，ASNR 預計於 2025 年 11 月舉辦研討會加以分享交流，並在最終確認其正式意見時予以考慮。

2023 年 1 月 16 日，Andra 向能源轉型部 (Ministry of Energy Transition) 提交 Cigéo 深層地質放射性廢棄物處置設施之建造許可申請 (la demande d'autorisation de création, DAC)，而該部續於 2023 年 3 月委託 ASNR，由其主導該申請案的技術審查。

核子安全局 (Autorité de Sûreté Nucléaire, ASN) 要求將申請文件依三個主題分組進行評估：(1) 用於 Cigéo 安全評估的基本數據；(2) 地表和地下設施運轉階段的安全；(3) 封閉後安全。此外，亦進行交叉主題研究，例如可逆性 (reversibility) (包括透過驗證封閉後安全性不會受負面影響，以及研究放射性廢棄物貯存和再取出的適應性原則)、先導工業階段 (pilot industrial phase) 以及氣候變遷相關後果。廢棄物常設專家小組 (GPD) 會議第一階段於 2024 年 4 月 24 日至 25 日完成，第二階段於 2024 年 12 月 10 日至 11 日完成。

此外，ASNR 環境研究和專業部門於 2025 年 6 月 25 至 26 日，在實驗室和工廠常設專家小組 (GPU) 以及工人、公眾、病患和環境輻

射防護常設專家小組(GPRP)成員支持下介紹其專業知識，並且廢棄物常設專家小組(GPD)進行第三個主題小組審查作業，在完成Andra申請文件審查後提出了總體結論。

Cig件審專家評估期間，國家核電工業污染監測委員會(ANCCLI)、位於Bure的地方資訊委員會(CLIS)和ASNR為民間組織籌辦了一場技術對話，自2023年初開始，並將於2025年10月初結束。該對話目的是儘可能考量民間社會的關切和問題，據以強化ASNR專業知識，並讓民間社會針對核子安全和輻射防護相關問題以形塑各自意見，從而參與到公共決策的過程中。

資訊來源：

<https://www.asnr.fr/actualites/recommandations-du-gp-dechets-sur-la-surete-long-terme-de-cigeo-en-phase-dapres>

<https://www.asn.fr/information/archives-des-actualites/l-asn-considere-que-le-dossier-de-demande-d-autorisation-de-creation-de-cigeo-est-recevable>

<https://www.asn.fr/autres-activites/groupes-permanents-d-experts#groupe-permanent-d-experts-gpd>

(19) 7月3日：廢棄放射源管理：國際原子能總署安全與保防導則

7月初，來自112個國家和多個國際組織的151位法律和技术專家自2018年《廢棄放射源管理導則》發布以來首次舉行面對面會議，討論其實施過程中的經驗、挑戰和教訓，並就國際合作、跨部門協作、技術升級與人力資源需求等議題展開深入交流。該導則是IAEA 2004年《放射源安全與保防行為準則》的補充，並已獲得75個國家的承諾。

IAEA近年持續強調廢棄放射源安全與保防管理的重要性。這些放射源被廣泛應用於癌症治療、工業檢測等領域，從製造到最終處置的每個環節都必須確保安全與保防，以防止人員曝露於不必要的輻射、環境污染，或遭受非法用途。2018年，IAEA發佈了《廢

棄放射性源管理指導原則》(Guidance on the Management of Disused Radioactive Sources)，明確規範如何安全且有保防地進行源頭管理，協助各國落實從「搖籃到墳墓」全生命週期管理模式。IAEA表示，應堅持最高的安全和保防標準，以保護人員和環境在放射源的整個生命週期內免受潛在危害或濫用。目標是避免意外輻射曝露，並防止涉及或針對放射源的犯罪行為或故意未經授權的行為。

該導則管理重點包括：建立明確的政策與國家管理策略，明訂技術方案(如回收、再利用、暫時貯存、最終處置以及返還供應商)，詳列各相關單位職責，並就管理「孤兒源(orphan sources)」(即來源不明或監管遺失的放射源)提出了實用建議。該導則也強調地方、區域與國際合作的重要性，支持各國透過法規建制、專業教育訓練、完善應變機制及與供應商、運輸商和政府部門的協作，形成從業者全程參與的管理架構。

該導則落實案例如迦納，為最新一個對該導則表達政治承諾的國家，當地管制機關已採納全生命週期模式，訂定完整的法規體系並推動政策配套，包括資源配置、法令制定與政策宣導，以促進廢棄放射源的安全與永續管理。此外，本次會議還分享了各國在專業人力培育、科技設備升級，與因地制宜法規落實等領域的創新做法和挑戰，並重申國際合作對危害防範與危機應變的基礎作用。

會議主席、阿根廷核管局(Autoridad Regulatoria Nuclear, ARN) Cristina A. Dominguez表示，儘管存在諸多挑戰，各國均明確承諾持續推動制定強有力的政策、確保資金供應以及建立長期貯存解決方案等領域的發展。持續的國際合作、最佳實踐交流以及包括業界的所有利害關係方的積極參與至關重要。該會議期間，IAEA

介紹了全球施行該導則的調查結果，發現各地區實施導則存在顯著差異，尤其是在政策和戰略方面，但將廢棄放射源定義為廢棄物的決策過程及訂定國家廢棄放射源處置計畫是各國面臨的共同挑戰。

《放射源安全與保防行為準則》是一項不具法律約束力的國際文書，已獲得153個國家的政治承諾。該準則規定了放射源安全和保防的原則和目標，建議各國採取必要的適當措施，確保其領土內或在其管轄或控制下的放射源在其使用壽命期間及其結束後獲得安全管理和可靠保護。該導則適用於第1至3類放射源，而IAEA安全標準將放射源分為五類，其中第1類放射源被視為是最「危險」的，因為如果管理不善，將可能對人體健康造成極高的風險。



IAEA成員國共150多名代表出席自2018年《廢棄放射源管理導則》發布以來的首次面對面會議

資訊來源：

<https://www.iaea.org/newscenter/news/management-of-disused-radioactive-sources-iaea-safety-and-security-guidance>

(20) 7月22日：法國ASNR建立某些放射源運輸作業的授權制度

法國核子安全及輻射防護局(ASNR)於2025年3月28日正式通過第2025-DC-011號決定，針對最具危害的放射性源(A、B、C類高活度密封廢射源)的運輸作業，建立了比過往僅需申報制度更為嚴格的「許可制」，進而提升道路運輸的核子安全及輻射防護水準。根據法國公共衛生法第R. 1333-146條，原本僅須申報的運輸作業，未來部分的高風險運輸將強制納入許可審查，有意加強防範針對放射源滲透、盜竊或惡意用途所帶來的潛在風險，落實風險分級、逐級加嚴的監管原則。

這項新制度於2025年7月17日獲得法國政府正式公告，規定自2026年1月1日起，凡涉及A、B、C類封存高活度密封射源(sources scellées de haute activité, SSHA)或風險等級相當的批量封存射源，並在法國境內以公路方式運送，均須事先取得ASNR核發的運輸許可證。而A、B、C類分級乃依據法國《公共衛生法》附錄13-7和13-8處理，是從A級(最高風險)到D級(最低風險)，分級標準以其輻射危害程度界定。而批量運送時，若多個放射源的總放射性風險超過單一射源，也納入許可管理範圍。

這項新制內容同時確認：未達需許可標準、但未被完全豁免的放射性物質運輸(如廠區內、相鄰設施間無需經過公共道路者)，仍必須依現行規定向主管機關申報備查，確保放射性物質於所有運輸過程皆有紀錄可供追查。部分低風險運輸(如鐵路、水路、空運或港口作業，以及一般放射性物質的國內物流)亦維持原申報備查制，並透過ASNR網上系統進行管理。而原有2015年(2015-DC-0503)的聲明制將予以廢止，正式轉換至強化分級管理的新架構。業者如有疑義，可直接與ASNR聯繫，取得詳細指引與法規釋疑的

協助。

這項新政策的核心目標，是強化高放射源於全國公共道路上的安全管制，減少或阻絕任何可能的非法竊取、轉運或惡意行為。ASNR期望透過許可制與申報制並行，不僅增強對敏感放射源流向的監控與追蹤，也提升國家在核子安全及輻射防護政策上的透明度與執行力。整體而言，ASNR的新規範展現分級管理、依危險性漸進加嚴的先進監管模式，確保從技術到組織乃至人員層面，所有與放射性物質運輸相關企業皆可依循嚴謹的法規，提升全國公共安全與輻射保護水準。



法國建立放射源運輸作業新管制制度

資訊來源：

<https://www.asnr.fr/actualites/mise-en-place-dun-regime-dautorisation-pour-certaines-operations-de-transport-de-sources>

<https://www.asn.fr/espace-professionnels/transport-de-substances-radioactives/autorisation-et-declaration-des-entreprises-realisant-des-tsr-en-tout-ou-partie-en-france>

<https://www.asn.fr/reglementation/bulletin-officiel-de-l-asnr/transport-de-substances-radioactives/decisions-reglementaires/decision-no-2025-dc-011-de-l-asnr-du-28-mars-2025>

(21) 8月2日：美國NWTRB開會討論能源部核廢棄物管理進展

美國核廢棄物技術審查委員會(NWTRB)預計於2025年8月27日舉行公開會議，系統性審查美國能源部(DOE)在用過核子燃料(SNF)及高放射性廢棄物(HLW)管理領域的最新進展，並由DOE核能辦公室親自說明其工作重點與新策略。會議採實體及線上形式，地點為維吉尼亞州阿靈頓的Crystal Gateway Marriott飯店，並且全程向大眾公開轉播，旨在確保決策過程的公開透明及廣泛參與。

本次會議規劃由DOE-NE高層說明用過核子燃料及高放射性廢棄物處置辦公室的最新任務和優先事項，DOE轄下廢棄物處置研發辦公室、貯存與運輸辦公室，及以同意為基礎選址的專責單位，亦將陸續報告最新施政進展。這些分享有助於業界、管制單位及公眾即時掌握美國核廢棄物全方位管理的科學、技術及社會參與動態。

NWTRB為一獨立的聯邦機構，其法定職責是獨立評估DOE在SNF及HLW管理與處置上的技術與科學有效性，以確保政策符合最高科學標準與公共利益。NWTRB原則由11位兼職成員組成。該成員由美國國家科學院院長從其提交的候選人名單中任命，任期為四年。委員會候選人的遴選完全基於其在科學或工程領域的傑出專業服務記錄和卓越成就。

值得一提的是，儘管白宮人事管理辦公室於今年1月向當時NWTRB成員發送電子郵件要求其辭職，並於7月初撤換了委員會(除主席Peter Swift外)所有成員，其幕僚及2025年度預算皆維持原狀，顯示該專責機構核心作業不受高層人事變動影響，持續履行獨立、科學、技術監督責任。展望未來可能的影響為「委員會活動的範圍和節奏可能會縮減」包括委員會與能源部的互動次數。

本次會議結束後，NWTRB將於官網公開影片紀錄，書面逐字紀錄預定於11月7日前公開上網，供社會大眾審閱與研究。會議亦設有公眾發言部分，並開放線上表單蒐集各界意見，以因應核廢棄物管理相關議題的高度社會關注和監督需求。



美國核廢物技術審查委員會(NWTRB)

資訊來源：

<https://www.ans.org/news/2025-08-01/article-7251/nwtrb-schedules-meeting-on-doe-waste-management-progress/>

(22) 9月11日：英國青年論壇讓年輕人對英國核廢棄物管理長期計畫發表意見

英國核廢棄物服務公司Nuclear Waste Services(NWS)於2025年9月宣布與Arup和The Young Foundation合作，共同發起了「全國青年論壇(National Youth Forum)」計畫，讓年輕人參與英國放射性廢棄物長期處置的政策與規劃，尤其是關於地質處置設施(Geological Disposal Facility, GDF)的議題。

該論壇核心理念為：在面對極具長期性與不確定性的核廢棄物管理議題時，應該納入未來世代的視角，聽取他們的聲音與疑問。透過青年論壇作為橋樑，NWS期盼能與年輕族群建立對話機

制，讓其參與討論、表達觀點，並影響最終政策的規劃方向。

實務推動先從12位年輕人組成第一屆青年論壇開始。最初，他們被問到：「年輕人對核廢棄物和地質處置設施(GDF)知道多少？有哪些問題？」接著，他們在論壇中從多個角色與立場出發—包括質疑者、對當地居民的想像、未來可能同住鄰近設施的身份等—進行角色扮演與討論，從而拓展多元開創的展望與思維。

論壇安排了多元活動，其中包括：向國際產業管制機構與利害關係人簡報；參與核能署(Nuclear Energy Agency, NEA)主辦的青年參與GDF選址流程的線上研討會；以及與日本等國的專家學者、利益關係人互動，拓展國際視野。從管制與政策觀點而言，該青年參與實驗有幾個意義值得關注：

一、增強透明度與信賴基礎

核廢棄物長期治理涉及高風險與高度不確定性，若僅依循技術或行政決策，容易遭受社會質疑。借助青年論壇，可以讓政策制定過程更為開放、可審視，進而提升制度的信賴正當性。

二、推動世代間正義

核廢棄物的影響時間尺度可能跨越數千年至數萬年。年輕人是未來世代的代表，讓他們參與決策，實質上是一種世代間責任與公平的體現。

三、洞察新興價值與觀點

青年世代所關注的議題、環境倫理、風險態度可能與既有主流不同。他們提供的觀點與疑問，或許可以啟發政策調整、補強溝通方式、或通知創新的風險處理策略

四、支持長期政策制度穩定性

在核廢棄物管理領域，政策與制度需要具備跨世代的延續性

與適應性。讓青年世代提前參與、形成溝通機制，是建構政策制度韌性的重要一環

NWS選址與社區專案經理Ali Beard表示，從一開始對GDF完全陌生，到後來能對國際產業專家做展示，是青年論壇成員自身發展上的例證。Arup社會價值交付經理Anton Schultz則表示，此舉為建立具包容性、具代表性的青年參與模式邁出重要一步。



全國青年地質處置論壇

資訊來源：

<https://www.nuclearwasteservices.uk/2025/09/national-youth-forum-giving-young-voices-a-say-on-the-uks-long-term-plans-for-nuclear-waste-management/>

(23) 9月16日：加拿大-美國-英國管制合作交流經驗教訓

在2025年9月國際原子能總署(IAEA)第69屆會員大會期間，英國、加拿大與美國三國監管機構針對核能新興技術(特別是小型模組式反應器SMR)的法規管制合作進行經驗交流與討論。該討論聚

焦於三國在設計審查流程中的合作、技術資料共享，以及如何在尊重主權管制的前提下，提升效率與安全標準。

英國駐維也納國際總署大使Corinne Kitsell在開場時指出，小型模組反應器的成功實施，不僅要有創新與技術發展，更要有「堅實且具有彈性的監管環境」，強調管制的高標準(安全性、安全保障與防護)不容妥協；同時管制流程亦要敏捷，以配合新技術在全球迅速部署的需求。英國核子監管局(Office for Nuclear Regulation, ONR)的先進核子技術管制主管Diego Lisbona提到，英國核子管制工作小組(Nuclear Regulatory Task Force)已提出「簡化流程」(streamlined approaches)之建議，目的是減少不必要的管制負擔，並專注於風險重大之處，以加速審查與審核流程。以 Hinkley Point C的複製單元(replication)為例，若相同設計在不同場址或時間重複出現，則管制機構應善用該重複性所產生的效率利益。

加拿大核子安全委員會(Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC)的Ramzi Jammal表示，三國間合作從2008年起即展開對話，其間要克服文化差異、流程不同、以及管制機構間建立信任的時間成本與技術對接。這種信任建立，是能讓各國在共享技術資料時，確認其可靠性，進而在審查設計評估時互相參考。

美國核能監管委員會(US NRC)的Mike King表示，當廠商著手開發一個設計，並意圖將該設計出口應用於多國時，自然會試圖使各國管制要求盡量一致。這為管制機構之間的協作提供了良好契機。在實際協作已看到顯著的效率提升，例如英國審查GE Vernova Hitachi的BWRX-300型小型反應器時，就因國際管制資料或設計資料共享而縮短了約30%的審查時間。

儘管如此，三國也一致強調：監管決策仍是主權性的，必須

由每一國依其法規體系與風險評估獨立做出。合作內容主要為技術性報告、設計評估資料、觀察對方審查程序等，而不是揚棄國內最終決定權。



英國、加拿大與美國三國管制機構就法規管制合作進行經驗交流與討論

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/uk-usa-canada-regulatory-cooperation-lessons-so-far>

(24) 9月17日：國際原子能總署報告確認日本福島核處理水排放安全

根據國際原子能總署(IAEA)於2025年9月的最新報告，日本福島第一核電廠(FDNPP)經多核種處理系統(ALPS)處理後的含氚廢水排放，整體作業維持符合國際安全標準。該報告不僅再次重申IAEA綜合審查報告的結論，更強調日本原子能規制委員會(NRA)對含氚廢水排放的監管有效且持續，確保設備設施運作無虞。自2023年8月東京電力公司(TEPCO)啟動福島含氚廢水分批排放以來，至今已完成15個批次的排放作業。

排放過程與氚濃度確認

福島的排放廢水在進入ALPS處理後，已去除除氚以外可檢出

之放射性核種，並在排放前以海水充份稀釋。IAEA現場專家於最新一批排放作業時抽驗稀釋後水樣，確認其氚濃度遠低於每公升1,500貝克限值，符合日本法規及國際安全標準。自開始排放以來，所有已排放批次之氚濃度皆顯著低於標準。以2025年第4批為例(即第15批)，氚的濃度約為每公升284貝克(Bq/L)，明顯遠低於日本法規上限1,500 Bq/L、世界衛生組織飲用水標準10,000 Bq/L，及國際標準上限60,000 Bq/L。

處理水監測與標準遵循

IAEA於福島設有專門小組，長期進行現地監測及獨立採樣，並與TEPCO及日本政府密切合作，確保每一批次排放水樣及周邊海域樣品皆符合國際規範。IAEA任務小組於2025年5月底進行第四次現地審查，重點查核TEPCO所有監測程序，確保其排放計畫皆嚴格依循國際準則執行。審查團隊現地觀察排放設施運轉，並與福島縣政府、地方機關及TEPCO多次會議，確認各環節資訊公開透明。報告指出，排放水的檢測、量測與公共通報程序，由TEPCO及日本官方持續執行，亦獲IAEA現地辦公室持續獨立抽驗，確保驗證資料的真實可靠性與透明度。

多國專家參與與國際驗證

IAEA任務小組與中國、韓國、紐西蘭、俄羅斯、瑞士等國均屬IAEA ALMERA網絡具備高度環境放射性分析能力實驗室合作，採集並分析排放水、海水、沉積物及水產品等樣品。審查團隊每次前往現地均親自採樣送驗，以驗證日本官方報告的正確性與透明度。經過實驗室間比對(ILCs)證實TEPCO具備精確檢測貯存廢水中放射性核種的能力，日本多個實驗室亦具備量測海水、沉積物、魚類及海藻等環境樣品中核種的專業水準。

綜上，該報告指出所有歷次排放批次氚濃度皆顯著低於標準限值，對人體健康與海洋環境的潛在輻射影響極低。2023年IAEA綜合安全報告早已預估，該項排放對公眾與自然環境的實際輻射劑量幾乎可忽略。IAEA特別肯定日本NRA採取專責監管，搭配設施現場常駐人員，確保排放作業嚴格符合規定。

IAEA專家團隊強調，國際多方持續監督與現場獨立採樣機制是本計畫能保持科學公信力、資訊透明，以及確保公眾信心的關鍵。透過逐批監測、驗證，福島處理含氚廢水排放間已成為國際間嚴謹、安全與透明管理的示範案例，持續受到專業肯定。



IAEA人員檢查福島核電廠ALPS處理水樣本



IAEA小組在日本福島第一核電廠進行海洋環境採樣以監測處理水排放任務

資訊來源：

<https://www.ans.org/news/2025-09-16/article-7369/iaea-report-confirms-safety-of-discharged-fukushima-water/>

<https://www.neimagazine.com/news/latest-fukushima-water-release-safe/?cf-view>

<https://tworis.nusc.gov.tw/about.php?id=1>

<https://www.nusc.gov.tw/newsdetail/headline/7444.html>

(25) 9月24日：多國攜手應對拒絕和延遲運送放射性物質問題

儘管運輸放射性物質雖技術管制架構已相當成熟，但實務中「即使完全符合規定的貨物仍遭拒絕或延誤(shipment denial or delay)」現象仍普遍。這些物質對醫療、核電、農業等用途至關重要，而每年約有2,000萬件貨物須跨境運輸。

在維也納舉行的國際原子能總署(IAEA)第69屆大會，由法國、加拿大、義大利和世界核能協會(WNN)聯合主辦「促進放射性物質的安全運輸：作為具體解決方案的聯合聲明」活動，其目的是讓成員國了解解決放射性物質運輸過程中延誤和拒載的重要性以及各國為此所做的努力。而拒載是指港口、機場或承運人拒絕接受貨物(即使該貨物完全符合所有規定)，該現象在世界各地每天都發生。二十多年來，拒載一直是關注的焦點。

拒運或延誤意味著「運輸鏈中的瓶頸」，如港口、機場或貨運承運商即使對於包裝合規，仍可能拒絕接受或需等待長時間許可。這對於使用半化期極短的醫療同位素尤為嚴重，若延誤可能將導致廢料或物料效用喪失。

根據聯合國危險貨物運輸規定，放射性物質屬於第七類(Class 7)物質。這類運輸障礙也影響了放射性廢棄物管理的安全與效率，雖然並非廢棄物處置，但卻反映出整體管制與物流的弱點：如管制制度不一致、承運商因合規負擔拒絕承運、港口或機場對「第

七類放射性貨物」貯存或轉運的政策不一致，包括「港口可能不接受第七類貨物貯存」或是「即便接受也需從船舶直接轉運，不可先置放港內」等情況。

從安全管制的觀點，運輸是「從產生者至最終處置」責任系統的一環。若運輸過程因被拒載或延誤而改用迂迴路徑，可能增加曝露風險、延長貯存或運輸時間、甚至使微量釋出機率上升。而拒載或延誤問題若未受控，將可能產生安全或保安的後果。

針對此情形，IAEA強調多國協作的重要性：包括建立「運輸拒絕與延誤工作群組」(Denial of Shipment Working Group，由IAEA於2023至2026年設立)彙整資料、分析原因並且提出對策。同時，72個國家已指定「國家聯絡點」(National Focal Points)，以利處理運輸問題、促進不同利害關係人進行對話。



核子運輸解決方案目的是確保重要物質的運輸順利

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/multinational-effort-to-tackle-denial-and-delay-of-shipments-of-radioactive-material>

(26) 10月1日：菲律賓建立核子安全架構

菲律賓近期通過《國家核能安全法》(Republic Act No. 12305)，建立完整的核能與放射性物質安全管制體系，這是該國在和平利用核能與放射性廢棄物安全管理上的重大里程碑。此舉顯示菲律賓已從過去零散管理，邁向制度化、科學化與可追溯的管制階段，並為核子基礎設施及相關放射性活動的有效管制奠定制度基礎。

在制度設計方面，新法明確將國家政策定位為「和平、安全、保障地利用原子能，以造福能源、醫療、科學、工業」，顯示該政府在核能及放射性活動由以往零散管理，邁向統一、綜合且制度化的管制方式。對於放射性廢棄物安全的關鍵前提為：廢棄物的合法產生、處理、暫貯與最終處置皆必須在明確政策架構下運作。

在法規授權與管制機構設立，根據《菲律賓國家核能安全法》(Republic Act No. 12305)簽署，成立新的管制機構(Philippine Atomic Energy Regulatory Authority, PhilATOM)，作為唯一且專責的核子與放射源管制機構，將原先分散於多機構的職責集中管理。該機構具備制定管制規範、安全標準、指引，以及檢查、執法、吊銷授權等權限。此種管制機構集中化，符合IAEA所強調「國家需建立獨立、具資源的法規管制機構」的要求，有助於確保放射性廢棄物管理體系中各方權責清楚、監控機制完善。

在管制責任與授權方面，新法規定所有核子設施或放射性活動(建造、運轉、除役、廢棄物產生、貯存與處置)皆須管制機構許可。對放射性廢棄物而言，代表產生者—即核子設施、醫療或工業放射性源使用者—必須在制度架構內，對其產生、運輸、貯存、最終處置負起明確責任。管制機構亦有權制定廢棄物登記、設立處置場以及監督其長期安全。而該國新架構符合「產生者責任原

則(cradle-to-grave responsibility)」放射性廢棄物安全最基本的要求。

針對放射性廢棄物管理方面，新法禁止未經授權的設置、操作、建造、處置等行為，強化放射性廢棄物及用過核子燃料的全面監控。管制機構須建立相關登記制度、貯存與處置設施的監督體系，確保資訊透明、責任明確，代表該國有能力實施從產生、分類、處理、貯存到最終處置的系統化流程。管制機構亦應定期檢查、審查相關活動並嚴格執行，降低放射性廢棄物對公眾及環境的不利影響。

在緊急整備與應變能力方面，該架構強調核子及放射性事件的應變機制。管制機構將確保所有受管制設施及活動具備場所應變計畫，並與國家災害風險管理機構整合。就放射性廢棄物活動，儘管通常不是高風險情境，但仍須考量例如運輸事故、設施故障、外部干擾等可能性。因此，完整的應變程序至關重要。此與 IAEA「核子事故或放射性釋出事故的防範與應變」的要求一致。



菲律賓馬可仕總統簽署新法律成立原子能管制和安全局(PhilATOM)，
作為該國獨立的核子管制機構

資訊來源：

<https://www.neimagazine.com/news/philippines-establishes-nuclear-safety-framework/>

(27) 10月13日：加拿大管制機構核准安大略電力公司運轉新的廢棄物處理設施

近期，加拿大管制機構(Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC)已授權安大略電力公司(Ontario Power Generation, OPG)開始運作位於西部廢棄物管理設施(Western Waste Management Facility, WWMF)中的多用途貯存建物(Multi-Purpose Storage Building, MPSB)，用來貯存Bruce Power主要組件更換專案(Major Component Replacement, MCR)產生的64座蒸汽發生器。

此案展現了管制制度成熟與合規性運作。CNSC表示，OPG所提交的調試報告(commissioning report)證明該建物符合設計規範、具備適用性，管制機構因而核准其開始運轉。這代表廢棄物安全管理從設施設計、施工、調試、檢驗到最終運轉各階段都須接受管制機構嚴格審核，確保貯存設施具備安全防護、防止放射性物質外洩或曝露的能力。這符合IAEA《放射性廢棄物安全基準》(Waste Safety Standards)的「設施設計須對安全提供證據」原則。

從「從產生者到最終處置(cradle-to-grave)」責任而言，該貯存設施專門用於貯存蒸汽發生器這類來自核電廠重大組件更換後之低階或中階放射性廢棄物。OPG作為設施擁有者，接受管制機構授權許可，代表其須承擔包括產生、分類、運輸、貯存、監控直至最終處置的全部責任。該責任分工須透明、可追蹤、並受管制機構查核，以確保放射性廢棄物長期安全管理的核心。

此舉同時強化了放射性廢棄物管理的策略性及長期展望。Bruce Power的MCR於2020年展開，預計持續至2033年，將對3號至8號機組進行翻新，透過汰換壓力管、蒸汽發生器、加熱管及進料管等以延長反應器壽命約30至35年。因此，MPSB貯存需求並非

短期，而屬於中長期管理設施。CNSC已確認該設施符合規範，設置此類該設施是為了銜接後續最終處置策略預留準備空間。

符合管制規範的公開透明亦值得注意。雖此案未經公開聽證會(因不涉及新許可申請)，但管制機構公開其決定，將有助於公眾信任並增強制度正當性。放射性廢棄物安全管理須在管制機構監督、設施營運者責任明確、資訊透明與溝通機制完善前提下進行。



加拿大西部廢棄物管理設施現場

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/regulator-approves-opg-to-operate-new-waste-facility>

表 2-1：2025 年 1 至 10 月放射性廢棄物管制國際動態資訊表

國家/機構	新聞標題
IAEA	<ul style="list-style-type: none"> • 01.14 IAEA 推出增強型 eSARIS 加強全球核安全標準 • 02.07 IAEA 表示西班牙已強化監管架構 • 03.17 IAEA 確認日本福島核電廠含氚廢水排放安全 • 04.03 IAEA 報告讚揚英國在聯合公約審議會議的表現 • 07.03 廢棄放射源管理：IAEA 安全與保防導則 • 09.17 IAEA 報告確認日本福島核處理水排放安全 • 09.24 多國攜手應對拒絕和延遲運送放射性物質問題 • 管制焦點議題：用過核子燃料及放射性廢棄物
芬蘭	<ul style="list-style-type: none"> • 01.23 用過核子燃料最終處置場運轉執照審查進入最後階段 • 04.15 STUK 年度報告回顧匯集了 2024 年的亮點 • 04.23 各國可以了解芬蘭處理核廢棄物的情況 • 05.12 STUK 透過制度改革進行許可與監管 • 05.23 STUK 預計在年底前做出處置場的決定 • 05.26 北歐核子管制機構尋求加強合作 • 07.04 芬蘭放射性物質的數量持續減少 • 管制焦點議題：用過核子燃料處置、管制系統精進
法國	<ul style="list-style-type: none"> • 01.02 成立核子安全與輻射防護局(ASNR) • 02.01 成立核子安全與輻射防護局(ASNR)補充報導 • 04.30 ASNR 專家意見發布法規條款 • 06.19 2024 年核子安全和輻射防護(核子設施部分) • 07.08 放射性廢棄物專家就 Cigéo 封閉後長期安全議題提出建議 • 07.22 ASNR 建立某些放射源運輸作業的授權制度 • 管制焦點議題：用過核子燃料及放射性廢棄物、用過核子燃料處置、組織革新、公眾溝通法制化
西班牙	<ul style="list-style-type: none"> • 05.02 Garoña 核電廠用過核子燃料貯存設施擴建核准 • 管制焦點議題：用過核子燃料貯存
菲律賓	<ul style="list-style-type: none"> • 10.01 菲律賓建立核子安全架構 • 管制焦點議題：用過核子燃料及放射性廢棄物
日本	<ul style="list-style-type: none"> • 04.15 日本福島最新一次含氚廢水排放獲得批准 • 管制焦點議題：放射性廢棄物
加拿大	<ul style="list-style-type: none"> • 06.06 加拿大第二個處置場的選址開始進行公眾參與 • 09.16 加拿大-美國-英國管制合作交流經驗教訓

	<ul style="list-style-type: none"> • 10.13 加拿大監管機構核准安大略電力公司運轉新的廢棄物處理設施 • 管制焦點議題：放射性廢棄物處置、管制技術/安全標準/審查經驗之交流合作及經驗共享
美國	<ul style="list-style-type: none"> • 08.02 NWTRB 開會討論能源部核廢棄物管理進展 • 09.16 加拿大-美國-英國管制合作交流經驗教訓 • 管制焦點議題：用過核子燃料及放射性廢棄物、管制技術/安全標準/審查經驗之交流合作及經驗共享
英國	<ul style="list-style-type: none"> • 09.11 青年論壇：讓年輕人對英國核廢棄物管理長期計畫發表意見 • 09.16 加拿大-美國-英國管制合作交流經驗教訓 • 管制焦點議題：用過核子燃料及放射性廢棄物、管制技術/安全標準/審查經驗之交流合作及經驗共享

註：相關日期表示新聞登載時間

2.1.2 國際核能機構/組織規範與專業技術報告蒐整

2025 年 1 月至 10 月期間國際原子能總署(IAEA)與經濟合作暨發展組織核能總署(OECD-NEA)所發布放射性廢棄物處置相關重要規範與專業技術報告共計 30 篇，蒐整概述如下：

(1) 國際原子能總署(IAEA)

- IAEA-TECDOC-2072：協調研究專案最終報告：管理放射性石墨廢棄物 (IAEA, 2024b)
<https://www.iaea.org/publications/15272/managing-irradiated-graphite-waste>
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2072web.pdf>
 石墨已在國際上 100 多個核電廠和鈾生產反應器以及許多研究中作為中子緩速劑和反射體，其數量依設計從數公斤到 3,000 多噸不等。然而許多老舊反應器現已永久停機，而更多反應器將屆臨運轉執照期限，照射後石墨廢棄物已在世界各地廣泛累積。本報告為國際照射後石墨處理方法研究計畫 (GRAPA) 之總結成果，提供各國管理經驗與技術方法總覽，並建議在政策、監管、最終處置及包封策略應加強整合，並重視國際經驗交流，以確保長期管理之可行性與合規性。

- IAEA-NW-G-3.4：NORM 殘留物和廢棄物管理政策和戰略 (IAEA, 2024c)
<https://www.iaea.org/publications/15294/policies-and-strategies-for-the-management-of-norm-residues-and-wastes>
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15294-PUB2089_web.pdf

本指引針對制定天然放射性物質(NORM)殘留物與廢棄物管理之國家政策，提供系統性架構與執行建議，基本原則涵蓋安全性、永續性和循環性方面，並符合 IAEA 相關安全標準以及聯合國永續發展目標(SDGs)。本指引亦提供對關鍵政策要素的見解，包括監管責任劃分、建立國家 NORM 廢棄物存量清單，作為支持政策提供資訊之基本工具，其他還包括基礎設施保障、資金需求，確保公眾參與機制及跨國協調。
- IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.28：放射性廢棄物管理計畫設計中的國際保防 (IAEA, 2025b)
<https://www.iaea.org/publications/15489/international-safeguards-in-the-design-of-radioactive-waste-management-programmes>
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15489-PUB2085_web.pdf

本報告針對過去採簡易掩埋方式處置放射性廢棄物之歷史壕溝場址，提供系統性評估、修復及管理之整體流程，亦提出與利害關係人互動或決策管理相關建議，並納入多國案例分析。由於此類場址多屬於早期營運或軍事設施，其資料稀缺且風險未明，建議各國應加強調查、納入利害關係人參與，並依地區環境條件制定環境復育策略。該報告可作為整治復育老舊遺留場址的重要政策與技術依據。
- IAEA Nuclear Energy Series No. NW-G-3.3：歷史放射性廢棄物掩埋壕溝的環境復育與管理 (IAEA, 2025c)
<https://www.iaea.org/publications/15084/environmental-remediation-and-management-of-trenches-containing-historic-radioactive-wastes>
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15084-PUB2075_web.pdf

本報告針對過去採簡易掩埋方式處置放射性廢棄物之歷史壕溝場址，提供系統性評估、修復及管理之整體流程，亦提出與利害關係人互動或決策管理相關建議，並納入多國案例分析。由於此類場址多屬於早期營運或軍事設施，其資料稀缺且風險未明，建議各國應加強調查、納入利害關係人參與，並依地區環境條件制定環境復育策略。該報告可作為整治復育老舊遺留場址的重要政策與技術依據。

- IAEA-TECDOC-2080：監測、評估和改善核子組織知識管理計畫的績效指標 (IAEA, 2025d)

<https://www.iaea.org/publications/15755/performance-indicators-to-monitor-assess-and-improve-knowledge-management-programmes-in-nuclear-organizations>

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2080web.pdf>

本報告提供核子組織導入知識管理績效評估系統所需之方法與指標，目的是確保知識保存和傳承得以支持核子安全並提升整體營運效能。報告蒐集了適用於核子組織全生命週期的案例。該報告主要針對高階和中階公用事業管理，但其概念和方法對所有其他核子組織、技術和科學支援組織、管制機構和教育提供者都有助益。
- IAEA-TECDOC-2091：核電廠生命週期內的廢棄物最小化 (IAEA, 2025e)

<https://www.iaea.org/publications/15741/waste-minimization-during-the-life-cycle-of-nuclear-power-plants>

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2091web.pdf>

核電廠(NPP)旨在確保運轉過程中產生最少的廢棄物，廢棄物管理流程則進而確保放射性廢棄物獲得安全且具成本效益的管理。儘管廢棄物管理的安全要求需無條件滿足，但實施具成本效益的流程取決於各會員國採取的放射性廢棄物管理(RWM)和用過核子燃料(SF)管理政策。本報告為使用者提供核電廠運轉期間廢棄物最小化的有用技術資訊，並檢查典型的廢棄物清單和最小化方法，同時還探討了解決廢棄物最小化與評估放射性廢棄物管理實踐的解決方案。
- IAEA-TECDOC-2085：管理嚴重受損的用過核子燃料和熔融物的經驗和教訓 (IAEA, 2025f)

<https://www.iaea.org/publications/15828/experiences-and-lessons-learned-in-managing-severely-damaged-spent-fuel-and-corium>

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB2054_web.pdf

本報告整合美國三哩島(TMI)、烏克蘭車諾比(ChNPP)與日本福島第一核電廠(1F)等重大核子事故中受損燃料及熔融物的管理經驗，強調其對除役與環境復育的重要性。報告研究了參與會員國在含燃料材料(燃料組件、燃料碎片、熔融物和熔化熔融物與混凝土交互作用的產物)的特徵、回收和管理的努力。報告還概述了冷卻水喪失事故，並深入瞭解熔融物和燃料碎片在貯存條件下的演變，以支持對該放射性廢棄物管理的持續性決策。

- IAEA-TECDOC-2083：制定核子設施場址安全審查培訓計畫 (IAEA, 2025g)

<https://www.iaea.org/publications/15837/establishing-a-training-programme-on-the-safety-review-of-nuclear-installation-sites>
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2083web.pdf>

本報告為有意展開新核子計畫的成員國提供了實用指引，內容包括 IAEA 和一些經驗豐富成員國實施的能力建構培訓計畫之優良實踐，並總結當前實踐和經驗中汲取的經驗及教訓。本報告適用於管制機構與營運單位管理人員之培訓規劃，尤其對建立審查人才團隊與落實能力建構具實用參考價值。
- IAEA-TECDOC-1732/Rev. 1：輻射源使用和相關放射性廢棄物管理示範條例 (IAEA, 2025h)

<https://www.iaea.org/publications/15823/model-regulations-for-the-use-of-radiation-sources-and-for-the-management-of-the-associated-radioactive-waste>
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1732%20Rev1web.pdf>

本報告提供有關條例草案的資訊，內容涵蓋安全使用輻射源與有關放射性廢物安全管理各方面的示範條例，旨在實踐 IAEA 安全標準規定的要求，特別是 IAEA 安全標準系列中 No. GSR Part 3(輻射防護與輻射源安全：國際基本安全標準)及 No. GSR Part 5(放射性廢棄物處置前的管理)。提供各會員國於草擬或修訂法規時參考，以確保法規符合國際標準並強化安全與可追溯性。
- IAEA-TDL-013：涉及放射性物質的活動及相關設施的資訊和電腦安全 (IAEA, 2025i)

<https://www.iaea.org/publications/15819/information-and-computer-security-for-activities-involving-radioactive-material-and-for-associated-facilities>
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TDL_013web.pdf

數位科技廣泛應用於核子領域已衍生資訊安全風險，並加深了人們對放射性物質防護安全的擔憂。本報告提供了實踐健全的資訊和電腦安全措施的實用策略，針對放射性物質及其設施的資訊與電腦安全提出客製化且分層管控的防護策略，以因應各設施及組織的不同需求。本報告呈現最新的最佳實踐和風險緩解策略，提供利害關係人必要工具，以強化其數位防禦，並保障放射性物質及相關設施。
- IAEA Safety Reports Series No. 126：BIOMASS 方法論-固體放射性廢棄物處置設施長期安全評估的生物圈模型 (IAEA,

2025j)

<https://www.iaea.org/publications/15636/the-biomass-methodology>

[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15636-](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15636-PUB2097_web.pdf)

[PUB2097_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15636-PUB2097_web.pdf)

本報告更新了 IAEA 輻射影響評估建模和數據計畫(2016-2019)其中 BIOMASS Working Group 6 關於廢棄物處置設施長期安全評估的生物圈建模研究成果，旨在基於 2003 年發佈的原始 BIOMASS 方法論，為進行固體放射性廢棄物處置之封閉後安全評估時處理生物圈問題提供了最新指引。目標受眾包括負責評估者與審查安全評估的管制機構及組織，以及參與核產業相關放射學的研究和建模人員。

- IAEA-TECDOC-2088：福島第一核電廠事故後淡水系統及場外淨化與修復數據及與全球經驗的比較 (IAEA, 2025k)

[https://www.iaea.org/publications/15767/data-on-freshwater-systems-and-](https://www.iaea.org/publications/15767/data-on-freshwater-systems-and-off-site-decontamination-and-remediation-following-the-fukushima-daiichi-nuclear-power-plant-accident-and-comparison-with-global-experience)

[off-site-decontamination-and-remediation-following-the-fukushima-daiichi-](https://www.iaea.org/publications/15767/data-on-freshwater-systems-and-off-site-decontamination-and-remediation-following-the-fukushima-daiichi-nuclear-power-plant-accident-and-comparison-with-global-experience)

[nuclear-power-plant-accident-and-comparison-with-global-experience](https://www.iaea.org/publications/15767/data-on-freshwater-systems-and-off-site-decontamination-and-remediation-following-the-fukushima-daiichi-nuclear-power-plant-accident-and-comparison-with-global-experience)

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2088web.pdf>

本報告介紹了在福島第一核電廠(FDNPP)向環境釋放放射性核種之後日本環境傳輸數據的經驗，內容彙整分析了 2012 至 2022 年間 IAEA 與福島縣合作所得的環境生態資訊，並研究放射性銫在淡水生態系統的遷移行為以及淨化和復育的成效，並與全球經驗進行比較。此資訊有助於對於因核子設施意外釋放後受放射性銫水準升高影響的地區提供實用的管理資訊，以提升事故後的環境應對能力。

- IAEA-TECDOC-2089：管制執法政策的制定與實施 (IAEA, 2025l)

[https://www.iaea.org/publications/15763/regulatory-enforcement-policy-](https://www.iaea.org/publications/15763/regulatory-enforcement-policy-development-and-implementation)

[development-and-implementation](https://www.iaea.org/publications/15763/regulatory-enforcement-policy-development-and-implementation)

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2089web.pdf>

鑒於管制執法是核設施和作業管制重要面向，IAEA 安全標準系列 No.GSR 第一部分(修訂版 1)和 GSG-13 提供了制定和實施執法政策的要求和建議。本報告旨在協助管制機構制定和實施符合 IAEA 安全標準的執法政策和流程，包括具管制經驗的實用指引，並提供根據有效性、效率和一致性加強執法行動的建議。此外，還提供使用分級方法以評估違規行為的重要性，並採取適當執法行動的方法。

- IAEA-TECDOC-2093：核設施場址特定地點地震危害評估的非遍歷地震動模型 (IAEA, 2025m)

<https://www.iaea.org/publications/15791/non-ergodic-ground-motion->

[models-for-site-specific-seismic-hazard-assessment-at-nuclear-installation-sites](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2093web.pdf)

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2093web.pdf>

本報告更新了 2022 年 IAEA 安全標準系列第 SSG-9 號《核設施場地評估中的地震災害》進行了更新，以納入地震災害評估實踐的最新進展，特別是過去十年中在地面運動特徵描述方面採用的新方法。其中一個關鍵更新是接受非遍歷地面運動預測方程式作為估算振動地面運動的方法。

- IAEA-TECDOC-2095：用於曝露評估的土壤、淡水和海洋系統分配係數 (IAEA, 2025n)

<https://www.iaea.org/publications/15878/distribution-coefficients-for-soil-freshwater-and-marine-systems-for-exposure-assessments>

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2093web.pdf>

本報告是 IAEA MODARIA I 和 MODARIA II 計畫的一部分，著重於輻射影響評估的建模和數據，介紹第 4 工作小組成果，考慮用於土壤、淡水和海洋系統曝露評估的環境模型所使用分配係數(k_d)值的更新和精進，同時彙編土壤和淡水沉積物的 k_d 數據集。這些資料集包括相關化學、物理、礦物學和其他輔助特性，以及詳細方法指引，支援特定應用選擇合適的 k_d 值。對於海洋沉積物，其 k_d 數據是採用來自日本、波羅的海和 IAEA 海洋放射性信息系統(MARIS)資料庫編制的。

- IAEA-TECDOC-2096：都市環境中放射性污染、曝露及對策評估 (IAEA, 2025o)

<https://www.iaea.org/publications/15750/assessment-of-radioactive-contamination-exposures-and-countermeasures-in-urban-environments>

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2096web.pdf>

本報告介紹了國際模型驗證活動的結果，旨在提高用於評估都市環境中放射性污染模型的效能。在 MODARIA I 計畫的第 2 工作小組之基礎，這種相互驗證將導致更複雜的模型，並涉及各種擴散和沉積事件、沉積後污染物的短期和長期重新分佈，以及評估減少人類曝露的潛在對策或補救策略。

- IAEA Technical Reports Series No. 495：環境中的氚 (IAEA, 2025p)

<https://www.iaea.org/publications/15287/tritium-in-the-environment>

[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15287-](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15287-DOC_010_495_web.pdf)

[DOC_010_495_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15287-DOC_010_495_web.pdf)

本報告結合有關氚在環境中行為的當前資訊和科學知識，直接解決與使用核分裂和融合技術發電、核燃料循環活動、工業和醫療應用、意外和故意釋出以及軍事活動產生的人為氚

源相關的現有和未來問題。此外，旨在作為氙放射生態學的技術參考，滿足當前的社會需求，並為專家和公眾了解未來環境影響提供指引。本報告適合包括放射生態學專家，以及負責評估放射性對人類和環境影響的技術專家和決策者。

- IAEA-TECDOC-771(Rev.1)：六氟化鈾安全生產、運輸、處理和貯存手冊 (IAEA, 2025q)
<https://www.iaea.org/publications/15911/manual-on-the-safe-production-transport-handling-and-storage-of-uranium-hexafluoride>
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-771_Rev_1web.pdf
六氟化鈾在核燃料循環中扮演著至關重要的角色，尤其是在應用最廣泛的濃縮方法中。本報告概述了六氟化鈾的特性及其生產、運輸、處理和貯存過程中可能面臨的挑戰。旨在為參與六氟化鈾各階段生命週期的專業人員提供詳盡實用的資訊，以精進現有管理系統、安全規範、緊急整備和應變。
- IAEA-TECDOC-2103：既有天然廢棄物(NORM)處理方案成本估算指引 (IAEA, 2025r)
<https://www.iaea.org/publications/15882/guidance-on-cost-estimate-of-available-norm-waste-disposal-options>
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2103web.pdf>
本報告旨在處理中小批量天然放射性物質(NORM)廢棄物的設施，並就其處置成本估算提供指引，明確定義 NORM 廢棄物，探討該廢棄物的典型來源，並根據相關廢棄物危害概述了各種處置方案。另外，報告引入一種基於生命週期的成本估算模型，作為制定成本估算的基礎架構。最後還指出處置計劃中可能影響成本差異的關鍵組成要素和影響因子。
- IAEA Safety Standard No. GSG-19：一般安全指引 No.19：為保護公眾和環境進行監測 (IAEA, 2025s)
<https://www.iaea.org/publications/15857/monitoring-for-protection-of-the-public-and-the-environment>
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15857-PUB2121_web.pdf
本安全指引更新 2005 年版安全指引，就如何設計和實施監測方案提出建議，以驗證在計畫內、緊急情況和現有輻射暴露情況下公眾和環境的防護標準。針對各國政府、管制機構、營運機構和其他相關者，就如何在國家管制架構下確認監測責任、如何設計和實施監測方案及策略，並為了如何解讀和報告監測結果提供了必要的指引。該指引提供了切實可行的建議和系統化的方法，以支持透過建立管制基礎來有效評估、管理和控制公眾和環境輻射暴露。

(2) 經濟合作暨發展組織核能總署(OECD-NEA)

- NEA/RWM/R(2023)2：地下實驗研究室(URL)－2024 年更新 (NEA, 2024a)
https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_99094/underground-research-laboratories-urls-2024-update
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2024-12/nea_rwm_r_2023_2.pdf
本報告彙整自 2001 年以來 NEA 各會員國地下研究實驗室 (URL)發展現況與技術更新，並說明其於深層地質處置計畫中的安全評估作用及其對國家處置計畫建立社會信任的關鍵價值。報告顯示各國在 URL 的發展和運用取得了重大進展。URL 作為實地驗證場址性能的中介平台，其研發成果強化多國安全論證編制與管制審查基礎。本報告彙整截至 2024 年有關 URL 文獻更新與各國的策略展望，作為放射性廢棄物處置領域人士易於理解的參考文件。
- NEA No.7674：釋放核燃料的隱藏價值：多樣化材料回收的社會效益(NEA, 2025a)
https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_99853/unlocking-the-hidden-value-of-nuclear-fuel-the-societal-benefits-of-diverse-material-recycling
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-01/7674_unlocking_hidden_value_of_nuclear_fuel.pdf
本報告探討從用過核子燃料中回收錒系元素、惰性氣體、鈾族金屬、稀土元素和鋳等材料的可行性與潛在社會價值，涵蓋醫療、工業與太空應用等方面。報告強調回收資源對於經濟、環境和社會影響，有助於永續發展與循環經濟，提高核燃料循環策略之社會接受度，並為未來核能發展策略提供前瞻性見解。本報告由 NEA 燃料回收和廢棄物技術專家小組製作，以反映核燃料循環化學不斷變化的格局。
- NEA/RWM/R(2021)5：燃料循環設施安全評估方法與安全管理實務發展國際研討會論文集(2019.10) (NEA, 2025b)
https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_94936/proceedings-of-the-international-workshop-on-developments-in-safety-assessment-approaches-and-safety-management-practices-of-fuel-cycle-facilities
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-02/nea_csni_r_2021_5_update_january_2025_2025-02-07_15-27-21_39.pdf
本報告為隸屬於核能機構(NEA)核子設施安全委員會(CSNI)的燃料循環安全工作小組(WGFC)舉辦的國際研討會論文集，

探討燃料循環設施(FCF)安全評估方法和安全管理實踐的發展。研討會由 NEA 與法國輻射防護與核子安全研究所(IRSN)合辦，於 2019 年 10 月 7 日至 9 日在法國巴黎的 OECD 會議中心舉行。本次研討會總結各國於燃料循環設施安全評估與管理實務方面的最新進展，涵蓋風險識別、分析方法，並強調經營者與管制機構間之技術交流與經驗反饋對於持續強化安全文化的重要性。

- NEA/RWM/R(2024)2: 放射性廢棄物深地質處置的國際特徵、事件和作用(IFEP 3.1)清單(NEA, 2025c)

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_97739/international-features-events-and-processes-ifep-list-for-the-deep-geological-disposal-of-radioactive-waste
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2024-11/2b_-_nea_rwm_r_2024_2.pdf

NEA 的 IFEP 清單是一份全面且結構化的通用 FEP(Features, Events, Processes)清單，與深層地質處置(DGR)封閉後安全性評估相關，該清單是由 NEA 放射性廢棄物管理組織(RWMO)長期國際合作彙編而成的，旨在通過提供一份全面且國際公認在評估 DGR 安全性時可能需要考慮的因素清單，以支持國家計畫制定其安全論證。NEA 於 2019 年發布了 IFEP 3.0，將其 NEA FEP 資料庫改為 Web 版本。如今，NEA 將新版(IFEP 3.1)整合來自 SKB 等機構的審查建議與技術文獻，以強化與場址特定 FEP 之關聯性，並提升安全論證完整性。

- NEA No. 7618: 可信任的核能監管機構特徵(NEA, 2025d)

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_92200/characteristics-of-a-trusted-nuclear-regulator
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-03/7618_green_booklet_-_characteristics_of_a_trusted_nuclear_regulator.pdf

本報告旨在作為一份實用指南，歸納有助於核子管制者建立並維繫公眾與利害關係人信任所需的組織特徵(如獨立客觀、稱職可信、公開透明、誠實公正、公平和參與)、屬性和思維方式，並輔以具體行動案例，說明如何透過組織文化與外部溝通的具體實踐建立信任。NEA 鼓勵管制者將其作為基準，從而不斷致力於履行保護公眾和環境使命。該指南不僅適用於已具備成熟核子管制的國家，同樣也適合正在建立可信任核子管制者的國家以供員工培訓。

- NEA No. 7679: 第三屆 NEA 利害關係人參與研討會：決策最佳化摘要報告 (NEA, 2025e)

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_103069/third-nea-stakeholder-

[involvement-workshop-on-optimisation-in-decision-making-summary-report](https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2025-04/7679_third_stakeholder_involvement_ws_proceedings.pdf)

https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2025-04/7679_third_stakeholder_involvement_ws_proceedings.pdf

最佳化是社會各階層決策的基本概念。最佳化決策可廣義定義為以包容和整體方式達成的決策，並且是永續的。本報告總結分析了 NEA 於 2023 年 9 月 5 日至 7 日在巴黎召開第三屆 NEA 利害關係人參與研討會成果，強調「最佳化決策」需兼顧科學依據與社會價值，透過開放透明與利害關係人參與提升政策正當性，亦強調早期涉入、公正程序與跨部門合作為促進決策最佳化的關鍵成功要素。

- NEA 2024 年度報告(NEA, 2025f)

https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_108482/2024-nea-annual-report

https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2025-07/nea_annual_report_2024.pdf

NEA 年度報告每年出版一次，包括 NEA 於該年度內的活動和出版物的概述，以及世界各地核能領域的最新發展。該報告有英文和法文版本，涵蓋廣泛的主題，為政府和相關利害關係人提供當前和未來核子技術相關權威可靠的資訊和分析。本報告闡明 NEA 在核子開發、核子安全和監管、核子安全人為因素、輻射防護、放射性廢棄物管理、核設施除役和遺留廢棄物管理、核子科學和教育及核子法規等領域的活動。

- NEA No.7733：NEA 輕水反應器用過核子燃料衰變熱評估摘要-第 12 小組報告 (NEA, 2025g)

https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_109867/summary-of-the-nea-assessment-on-spent-nuclear-fuel-decay-heat-for-light-water-reactors

https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2025-09/7733_spent_nuclear_fuel_decay_heat_for_light_water_reactors.pdf

本報告總結 NEA 對輕水反應器用過核子燃料(SNF)衰變熱的評估，強調由於燃料特性的變化，準確衰變熱估計的重要性日益增加。在過去數十年中，核產業的核燃料初始濃度更高，燃燒率更高，反應器循環週期更長。這需要對衰變熱有深入的了解，以便安全處理、貯存、再處理和處置 SNF。NEA 核臨界安全工作小組(WPNCS)的第 12 小組(SG12)成立於 2022 年，旨在評估 SNF 衰變熱預測的準確性。該小組研究衰變熱估計的實驗方法、計算模型和不確定性。

- NEA/RWM/R(2024)3：支援核後端機器人和遠端系統的實施(NEA, 2025h)

https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_109733/supporting-the-implementation-of-robotics-and-remote-systems-in-the-nuclear-back-end

https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-09/rwm_r_2024_3_2025-09-16_17-21-55_700.pdf

機器人和遠端系統(RRS)是核後端(放射性廢棄物管理和除役)常見輻射環境作業的關鍵技術。本報告旨在支援在核電廠後端實施 RRS，以盡可能減少人員在除役和核廢料處理過程中面臨的風險，並透過創新精進核電廠後端管理，從而因應未來核電計畫日益增加所帶來的挑戰。

- NEA/RWM/R(2024)4：粘土和頁岩奈米孔隙空間中水與礦物質的相互作用：CLAYWAT 計畫 (NEA, 2025i)

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_108141/interaction-of-water-and-minerals-in-the-nanometric-pore-space-of-clays-and-shales-the-claywat-project

https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-07/nea_rwm_r_2023_4_2025-07-18_14-07-0_327.pdf

許多 NEA 成員國正考慮將黏土質(即富含黏土)介質作為長期、安全、近地表或深層處置放射性廢棄物的潛在母岩，以及作為廢棄物處置系統的主要組件。本報告重點關注孔隙空間結構的特性以及孔隙水分子與黏土表面附近區域的相互作用。首先，對達到目標的方法進行回顧和評估，再依據文獻調查結果進行一項實驗研究，共從成員國地下研究實驗室中獲得了 12 個樣本，提出一些具前瞻性的應用方法。

2.2 重要個案資訊研析

芬蘭 Posiva 的處置作法係將用過核子燃料以銅質外殼鑄鐵內襯的廢棄物罐密閉封裝後，垂直置放於地下深處(約 430 公尺)處置孔中，處置母岩為穩定的結晶岩地層。此種作法是我國未來可能考慮的實務選項之一，故芬蘭用過核子燃料案之審核程序之案例經驗對於我國亦具參考價值。故本報告持續更新該案例審查進度，並分別就該案例安全管制的進度追蹤、審查疑點、Posiva 補件情形及其管制重點進行探討分析：

(1) 背景概述

由芬蘭 Posiva 建造的 Olkiluoto 地下最終處置設施是世界首座的用過核子燃料深層地質處置場。芬蘭對於重大核子設施(含最終處置

設施)的審核程序可分為原則性決策(Decision-in-Principle, DiP)程序(包含環評作業)、建造執照申請以及運轉執照申請等階段。該設施已於 2015 年 11 月取得建造執照，並於 2021 年 12 月 30 日向經濟事務與就業部(Ministry of Economic Affairs and Employment, MEAE)提出運轉執照申請，擬申請有效期間至 2070 年底。MEAE 隨即公開其內容，並從 2022 年 2 月 8 日至 9 月 15 日接受公眾意見。然而，在芬蘭政府對該申請做出最終決定前，仍需獲得 STUK 的正面聲明，以確認 Posiva 已提供足夠安全評估的佐證資料。

芬蘭輻射與核子安全局(STUK)自 2022 年 5 月展開運轉執照審查，並於 2023 年底要求將提交審查意見的期限延至 2024 年底，而同年 12 月再度展延至 2025 年底，理由為 Posiva 處置計畫技術方案更新及試驗資料延遲，故持續要求補充安全評估及系統試運轉之數據資料。這項延長明確反映出審查過程的複雜性，尤其是需進一步評估長期安全性、工程屏障功能及環境影響監控等多層面要求，以因應高放射性廢棄物處置的長期風險。

(2) 重點回顧及管制作為

2025 年 1 月，STUK 表示已收到並處理大部分審查資料，正著手撰寫安全評估，若補充資料齊備，將可迅速完成並向政府提交聲明。接著，STUK 要求 Posiva 第 1 季針對封裝廠與處置場所有安全等級系統進行全面運轉測試，並提交報告，以確認組織和技術達到安全標準。2025 年 5 月，STUK 核准 Posiva 隧道回填材料的生產程序，顯示部分設施已進入準備運轉階段。

在具體管制作為，STUK 導入「事件調查機制」強化監督 Posiva 組織「運作就緒程度」，以分析作業細節和潛在問題。要求 Posiva 補充封裝廠及處置設施的完整流程試運轉報告。STUK 按月、季發布第

三方管制報告，評估 Posiva 相關設施是否符合核能法(Nuclear Energy Act)、核能條例(Nuclear Energy Decree)相關法規，以及由 STUK 所發布的法規(STUK Y/4/2018)與安全管制導則(YVL D.5 Disposal of nuclear waste)規定，作為安全審查的基本要求，並強調資料透明以及即時反應技術修正。

(3) 最終處置安全評估主要疑點

截至 2025 年，STUK 對 Onkalo 處置場安全評估的主要疑點集中在技術設施演練、關鍵安全分級系統、試運轉完整性與長期隔離封閉效能等面向。據此，STUK 以「材料長期穩定」、「關鍵設施可靠性」與「意外事件反應」作為審查主軸，強調相關疑點若未獲充分解答，將影響最終執照核發。所有補充資料齊備前，STUK 不會作出正面安全評估。換句話說，在尚未完全釐清所有風險前，將不予核發最終運轉執照，主要疑點如下：

- 安全分級系統穩定性

STUK 尚未收到 2025 年第一季度要求 Posiva 調查封裝廠和處置設施安全分類系統(如地下隧道封閉、防止放射性洩漏等)進行實地運轉測試，部分系統試運轉報告尚未齊備，無法對整體試運轉進行完整評估，資料完整性與數據可信度仍待補強。

- 封裝與回填材料長期功能

STUK 關注於封裝容器與隧道回填材料在地質環境中數百年、數千年的長期穩定性與耐久性，以確保降低核種外洩風險。因此進而要求補充長時模擬與耐久試驗結果，尤其針對新技術材料的長期遷移與反應評估。

- 地下水動態與放射性核種遷移

安全論證必須證明地下水流動演化不會加速放射性核種向地表

遷移，STUK 要求 Posiva 補交最新水文模型與監測數據，並提供極端情節下的詳細資訊，釐清地下水變化可能加速放射性核種向地表遷移的可能性。

- 事件應變與組織就緒程度

STUK 導入事件調查機制，強調組織於技術失效、運轉錯誤等異常情節下的即時反應能力與系統備援規劃，要求提供實際情節演練案例與具體細節說明。

- 多項試驗及技術報告延遲

審查延宕主因是 Posiva 需多次補件，部分試驗報告與修改版技術資料尚未如期送交，使 STUK 尚未完全釐清長期和極端情節下的安全性。因此最終安全論證存在不確定性。

(4) Posiva補件更新與管制重點

2025 年 Posiva 持續向 STUK 提交多項補充材料與技術更新，重點包括安全分級系統、長期效能試驗、運轉資料及應急計畫等。目前 STUK 已審閱大部分，但部分安全試驗報告與回填技術驗證仍持續要求補充，主要內容包括：

- 安全分級系統場試運轉報告與分段驗證資料

2025 年第一季，Posiva 補交了各類安全分級系統(如隧道封閉、放射性洩漏等)的運轉測試計畫與分段執行報告，以及多個關鍵作業(如隧道、封裝、回填系統)完整試運轉報告，但尚欠缺部分系統試驗報告待補充實際數據和驗證報告。

管制重點包括：核心安全設備操作是否穩定可靠、各關鍵系統緊急應變與異常偵測、系統軟硬體及故障模式分析。密封材料性能與地下環境協同效果、長期耐久(如抗地質變動、抗滲漏)模擬與實測結果、封閉措施施工法與品質管理。

- 封裝容器技術與回填材料性能試驗報告

2025 年第一季，Posiva 已完成封裝材料(首批銅罐體)生產和隧道回填材料試驗，並提交相關安裝工序認可試驗報告與耐久性驗證結果，並說明相關技術修正細節。

管制重點包括：封裝罐體製程技術一致性、材料抗腐蝕、機械強度與耐久性檢測、實地安裝操作流程與風險管控。回填材料(如膨潤土)長期穩定性與緩衝效果、灌注工法實施細節與品質追蹤、地下水與材料作用機制的模擬與實證。材料老化及放射性釋出速率、地下水流動對安全屏障的影響、極端環境情節下的安全餘裕。

- 現場試運轉與異常處理紀錄

2024 年 8 月起，Posiva 展開處置場試運轉(先以無放射性測試物)，至 2025 年初已完成首三個處置罐體的處理流程，並依 STUK 要求提供無放射性罐體的操作處理、技術和演練紀錄。試運轉期間定期提交現場操作、異常狀況及設備改善紀錄，以反應現場安全管控程序。

管制重點包括：關鍵設施連續運轉的系統可靠性、人員操作培訓、現場事件處理能力、技術異常與設備維修流程的透明度。

- 操作規範、警戒方案與緊急應變計畫

2025 年春季，Posiva 依據 STUK 要求補充更新處置場運轉限制條件、警戒方案及事故應變程序，強化組織演練情節、事件調查與動態回報機制。

管制重點包括：結構與工序技術門檻設定、施工期間運轉安全界限、關鍵環境參數(如溫度、濕度、現地應力)動態控管。異常

或突發事故現場應變能力、備援與救援資源整合、技術通報與緊急決策流程。

- 核材料管制及監控設備安裝報告

Posiva 向 STUK 及 IAEA 提交核子物料管制報表，並配合歐盟機構完成現場監控設備安裝與數據傳輸技術升級，而相關文件也於 2025 年陸續補送。

管制重點包括：核材料帳冊管理精準度、監控設備資料傳輸安全與可靠性、與 IAEA/EURATOM 同步技術標準。

(5) 小結

2024 年底和 2025 年 Posiva 所提交的資料，分別反映出 Onkalo 處置場由「系統運作啟動前的規劃與準備」轉向「現場運作、技術驗證與長期安全細節」的深入審查重點。2024 年底以「前期設計安全案」、「初步試驗」及「組織程序規劃」為主，內容偏向書面計畫與理論分析，現場驗證及分段試運轉報告比例較低。2025 年則著重於「現場運作驗證」、「分段試運轉結果」、「材料及系統長期性能實證」、「異常情節處理及組織動態監督」，資料更加詳細且直接反映設備及人員於實地運作的狀況。

綜上所述，STUK 於 2025 年特別提升對「安全分級系統現場穩定性」、「銅罐體製程一致性」、「回填材料長期穩定」及「緊急事故動態應變」的資料透明度和細節要求，遠較 2024 年底更深入細緻。簡言之，2024 年底主在設計與初步方案、2025 年則強化現場驗證、工法實證、事故應變與材料長期性能，審查重點從「理論安全」邁向「現場數據與技術佐證」。後續若有細部補充材料或階段性進度報告，補件項目將依 STUK 審查要求持續增補，涵蓋所有關鍵技術、現場驗證、管理與監督等相關佐證資料。

依 Posiva 官網顯示，處置場申照過程很漫長，其中包括長達四十年的研發成果。而未來處置運轉作業也是嚴格且長期的過程，該處置設施計劃使用至 2120 年代，也就是在處置場封閉之前將持續運轉 100 年。然而，STUK 核發運轉執照有效期限為 2070 年，是依循其管制法規及安全考慮的決策，這代表未來運轉作業至 2070 年，Posiva 仍需依循未來管制法規、安全運轉實績及最新技術等條件，再行向管制機關提出延長運轉執照之申請。

2.3 國際動態資訊綜合討論

有關用過核子燃料與放射性廢棄物管理議題，各國核能安全管理機關在實務上普遍以建構完善、合規的法規體系為首要任務，以確保管理系統在長期運作中的安全性與持續性。核能國家於 2025 年 1 月至 10 月期間，有關放射性廢棄物管制及重要事件之國際動態資訊共計蒐集 28 則(如表 2-1)，其管制焦點包含用過核子燃料及放射性廢棄物管理，以及用過核子燃料之運輸、貯存及處置等議題，進一步分析整體發展趨勢以及管制技術重點，綜合討論如下：

(1) 用過核子燃料及放射性廢棄物管理

綜觀 2025 年，全球用過核子燃料與放射性廢棄物管理在政策與技術上均持續進展，多數國家已建立國家政策、策略及法規，高低放射性廢棄物分流、貯存、再處理或最終處置路徑已逐步明確，並依據國際標準規範安全管理。IAEA、OECD-NEA 等持續推動國際合作並定期盤點技術趨勢，包括廢棄物最終處置、貯存技術和運輸安全。

從安全管理觀點而言，2025 年國際用過核子燃料及放射性廢棄物領域的動態發展主軸，主要集中在全球安全標準的提升、管制體系的強化，以及因應特定事件的國際合作與資訊透明化，茲分述如下：

國際安全標準與管制體系強化

IAEA 持續推動能力建構與工具化(如 eSARIS 增強型線上工具、審查工具)，協助各國核電廠安全評估、實務交流與落實標準，亦協助監管機構更有效率的自我評估，以利跨國交流與應變能力。eSARIS 的升級將有助於各國，特別是新興核能國家，能更精確地對照 IAEA 的安全標準，識別其法規與基礎設施在用過燃料及廢棄物安全管理上的不足之處，為後續綜合監管審查服務(Integrated Regulatory Review Service, IRRS)任務做好準備。

此外，IAEA 透過 IRRS 任務對西班牙及韓國核子管制體系進行評估，結果顯示在強化監管架構頗具進展，而在《用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約》第八次審議會議主席總結報告也強調了全球在用過核子燃料和放射性廢棄物管理領域的進展，締約方共有 21 個「優良實踐」領域和 208 個「優良實績領域」得到全球認可。

綜上所述，各國也透過 IRRS 與同儕審查(peer review)等機制檢視國內管制效能，顯示管制互評已成常態化作法，在提升規範一致性與推廣最佳實務上效果顯著。而這些國際互評與工具化精進對於提升緊急應變一致性與環境監測品質相當重要。

管制機構改革與職責劃分

2025 年法國將原先分立之管制與專責研究機構合併為「ASNR」，賦予單一獨立機構更完整有效率的監督、研究與公開資訊權責及職能，並明定專家意見與決定之發布條款(如決策同時發布相關專家意見)，其目的在於提升決策可解釋性、強化公眾信任，並成為國際觀摩的範例。此一組織革新及法制化，對國際合作、法規一致性與技術輸出(如處置標準、放射源管理)都有顯著影響。

對於廢棄物管理而言，這代表了效率與專業性的提升，因在審查如 Cigéo 深層地質處置場的複雜計畫時，新的組織架構應可以提供更統合、更快速的審查意見回饋。ASNR 建立專家意見發布條款，強化了監管機構在做出決策時的科學基礎和公開性，這對於涉及數萬年安全承諾的最終處置計畫尤其關鍵。

此外，在風險管理與公眾溝通方面，管制機關逐步將「非技術性」的信任建立列為治理核心(例如公開專家意見、強化諮詢程序、舉辦青年論壇使其參與長期規劃)。同時，管制機構(如 STUK)在內部流程與執照制度(授權或申報)進行制度性革新，以降低人為錯誤風險並且加速審查效率。綜言之，管制機構必須兼顧：嚴格的技術審查、清楚可查的決策過程，以及有效的公眾參與機制。

福島核處理水排放的國際透明度與安全評估

福島核電廠 ALPS 處理水自 2024 年底至 2025 年 9 月多次排放，在管理透明度、科學性與國際監管等方面備受關注，IAEA 多次發布排放水批次監測或評估結論(確認氚含量遠低於日本運轉限值)，此類獨立評估對平衡科學結論與公眾疑慮相當重要，代表排放作業均符合國際安全標準，對人和環境的輻射影響微乎其微。

IAEA 透過持續的現場監測、數據驗證及發布公開報告，顯著提升這類複雜廢棄物管理活動的國際透明度和信任度。這建立一個國際海洋監測的典範：當進行大規模、涉及公眾安全的放射性物質排放時，必須有國際管制機制(如 IAEA)進行獨立驗證，並確實將科學數據向公眾即時公開。

(2) 用過核子燃料運輸與貯存

燃料運輸與貯存因全球核電除役、燃料更換需求漸增而加速發展。運輸安全是各國管制關注重點，例如法國 ASNR 於 2025 年推動放射

源運輸授權制度及管制法規，明確規範所有放射性物質的跨境或國內運輸。而隨著乾貯設施日益普及，技術升級須兼顧長期安全監控、事故預防、緊急應變以及封裝性能。

2025 年用過核子燃料運輸與貯存的發展趨勢，主要是暫時貯存設施容量的擴充、運輸安全管制法規的精進，以及對長週期暫時貯存的持續關注，茲分述如下：

貯存設施擴充與中期管理成為常態需求

由於國際上多數國家的用過核子燃料及高放射性廢棄物最終處置場尚未正式運轉，長期暫時貯存仍是用過核子燃料管理的主流策略。2025 年展現了對現有貯存設施的優化和容量擴充的需求日增。

西班牙核安會(Consejo de Seguridad Nuclear, CSN)核准 Garoña 核電廠用過核子燃料乾貯設施擴建，該核電廠於 2012 年關閉。此次擴建是為了滿足核電廠除役期間的所有燃料貯存需求，新的設施設計考量長期安全及容量擴充，是國際許多封閉核電廠面臨的情況。因 Garoña 廠址進入拆除階段，現場用過燃料從濕式貯存轉為乾式、個別化容器貯存；擴充容量申請通常需提交設計修訂、安全評估、技術規範以及放射性廢棄物(含表面活度)管理計畫。管制核准常附帶條件(如對定期檢驗計畫、熱/中子/氣體參數監測、容器可追溯性、緊急應變、封存與後續運輸能力保證的具體要求)，並需與國家長期燃料管理策略銜接。IAEA 的安全原則要求此類設施必須具備完善的實體安保(Nuclear Security/Safeguards)、輻射監測和維護計畫，以確保在數十年甚至更長時間內的完整性。

法國展現 2024 年在貯存設施運營與監管方面的成熟經驗，包括對集中式、分散式貯存的審查，以及確保貯存安全與除役計畫順利銜

接的監管重點。IAEA 特別關注大型、複雜貯存系統的營運經驗，以提出最佳實務以供參考。

美國能源部(DOE)規劃 2025~2031 年分析聯邦綜合暫時貯存設施(Consolidated Interim Storage Facility, CISF)設計方案，2026 年建立國際用過核子燃料研發中心，加速高燃耗燃料測試與包裝示範，2027 年將其移至該部設施，2028~2031 年進行套件效能示範，2034 年起建設用過核子燃料運輸基礎設施，2038~2040 年開始跨州運輸至 CISF。

放射性物質運輸安全管制趨嚴

放射性物質運輸，特別是高風險的用過核子燃料及高強度放射源，一直是國際安全與安保的關注重點。法國 ASN 在 2025 年實施新的管制決策，對某些特定放射源的運輸作業設立了授權制度。這項措施對安全管制是重要的進步，理由有三：(A)風險差異化管理：承認並非所有放射源都具有相同的風險，但對潛在風險高、可能涉及複雜操作或高安保要求的運輸，必須實施更嚴格的事前審查和許可。(B)強化安保：授權制度能確保運輸公司具備足夠的專業能力、可靠的安保措施，並遵守 IAEA 的運輸安保建議，特別是針對特定高強度放射源的遺失或被盜風險。(C)法規精進：從國際標準(IAEA 運輸法規)到國家層面具體、可執行的許可要求，將國際原則轉化為在地實踐力。

上開運輸管制與授權制度的精進革新，顯示採行更細密的許可及申報分類之目的在對運輸業者的能力、訓練、設備與品質保證進行事前把關。如此不僅提高運輸作業的可追溯性，更使得管制資源能集中在高風險運輸上，提升整體安全性。管制機構同時強化運輸事故模擬、包封耐震與熱測試的審查要求。

監管機制的改革與營運經驗反饋

有效的安全管制需要管制機構本身的持續精進和對運轉事件的迅速反應。2025 年歐洲管制機構積極協作，例如北歐國家(芬蘭、瑞典、挪威)成立管制策略聯盟，共享運輸與貯存最佳實務經驗，推動高效資訊交流與管制整合。

芬蘭輻射與核安局(STUK)於今年 5 月宣布進行制度改革，進行許可與管制流程最佳化。對於貯存設施而言，這代表許可申請和定期審查的效率與透明度將大幅提高，同時確保不會犧牲管制的嚴謹性。這項改革有助於更順利銜接貯存與未來的最終處置。

芬蘭奧爾基洛托 3 號 EPR 機組(Olkiluoto 3)的冷卻水洩漏事件，雖與用過燃料本身無直接關聯，但為核設施運轉的一次人為失誤事件。即便技術與設計成熟，人為因素(程序、訓練、文件管理)仍是潛在弱點，可能會導致洩漏或意外，顯示運轉安全文化的重要性。管制趨勢包括：更嚴的作業許可條件、程序化的變更控制、以及要求導入人因工程與組織學習機制到作業單位的管理體系。IAEA 的綜合管制審查服務(IRRS)高度關注此類事件的肇因分析和後續矯正措施，確保相關經驗能回饋到所有核設施(包括貯存與處置設施)的設計、操作與人員培訓中，以防止廢棄物管理的重要作業發生類似事件。

綜觀而言，如英國、芬蘭、西班牙、加拿大等國在貯存設施擴建、處置場申照許可程序與公眾參與都有具體進展或發生若干爭議，顯示從短中長期管理(濕式貯存→中期乾式貯存→最終處置)各階段都需要充足穩健的管制審查與透明溝通。

(3) 用過核子燃料最終處置

最終處置策略以深地質封存為主流，多國已步入選址、設計或建設階段。芬蘭地質處置場(Onkalo)預期 2025 年底前獲管制機構最終決定，深度 430 公尺花崗岩層可容納 6,500 公噸用過核子燃料及高放射

性廢棄物，成為全球首例進入運轉階段的處置設施。而法國 Cigéo 深地質處置設施推動長期安全審查及封閉後安全評估，處置專責機構 ANDRA 提出多項技術建議，強化資訊公開與專家審查程序。加拿大開始第二處置場選址的公眾諮詢，強調民意參與與地方利益，強化公眾信任。

2025 年全球用過核子燃料最終處置領域的發展，主要是芬蘭的關鍵時刻、多國處置場計畫的穩步推進，以及公眾參與和長期安全承諾的深化，茲分述如下：

芬蘭處置場：全球首個運營執照審查的關鍵時刻

芬蘭 Posiva 公司位於 Olkiluoto 的地質處置場(Onkalo)的進展，是全球用過核子燃料最終處置的里程碑，備受各界關注。管制機構 STUK 指出，針對處置場運轉執照的許可審查已進入最後階段，並預計在今年底前(2025 年)做出關鍵聲明(或決定)。這將是全球首例運轉執照核准的深層地質處置場(Deep Geological Repository, DGR)，提供了完整的 DGR 生命週期範例，從選址、特性描述、建造到運轉執照審查，不僅代表技術成熟度，也意味著管制面在長期安全評估(包含岩體特性、封閉期行為、多尺度耦合過程)的可接受結論逐步到位。

STUK 的審查方法對全球處置計畫極具指引價值，其審查歷程及結果將成為 IAEA 和其他處置進度領先國家(如瑞典、加拿大、法國)針對制度性、技術性與溝通實務上進行自身審查的最佳實務與典範。

該案例的管制挑戰則在於，STUK 必須證明處置場在數十萬年的時間尺度上是安全的。審查重點包括障壁系統的長期功能、地質環境的穩定性、以及施工與運轉階段的輻射防護安全。而 STUK 的最終聲明預計將包含對處置場初期安全分析報告(PSAR)的嚴格審查結論。

最終處置的審查核心涵蓋多個層面：場址特性與長期演化評估(水文地質、地球化學、構造穩定性)、多重障壁系統(燃料護套、容器、緩衝材料、地層)相互作用、再取出(retrievability)與可逆性(reversibility)策略以及封閉後監測計畫。管制機構會詳查模型假設、參數不確定性、情節分析(包括極端事件與人為入侵情節)以及證據鏈(如場址特性資料)是否能支持長期安全結論。2025年 STUK 審查作業即在審慎檢視這類證據鏈是否完整且保守。

各國 DGR 計畫穩健推動與國際經驗交流

最終處置是涉及科學、工程、社會和政治的複雜專案，仍面臨民眾接受度、技術持續演進、監管透明度及跨國責任共識等關鍵考驗，2025年的國際動態表明，多國正在持續推進 DGR 的社會與技術準備，國際間已逐步建立共用標準、加強監督及危機回應能力。

加拿大放射性廢棄物管理機構(NWMO)採取漸進式策略，啟動第二座處置場選址的公眾參與及社會溝通，顯示其對未來用過核子燃料總量增加的長遠規劃。而基於 DGR 在漫長時間尺度的安全性承諾，法國廢棄物常設專家小組提出 Cigéo 處置場封閉後長期安全議題的結論與建議，著重於確保地質障壁的長期完整性，以及如何管理後代人類對處置場的潛在侵入風險(如透過標誌及記錄)。就管制體系而言，這項工作為 ASNR 提供了制定 Cigéo 長期安全要求的基礎。

芬蘭、加拿大、法國與其他已進入或準備進入處置程序的國家正加強管制合作與技術分享(北歐國家聯盟、IAEA 聯合公約審議會議與技術學校等)，這種知識共享有助於縮短新進入國家的學習曲線，並提升國際標準的一致性。對尚無長期處置方案的國家，觀摩芬蘭經驗、加拿大的公眾參與進程以及法國的法制管理革新，都是重要參考。

深化公眾參與及政治面的挑戰

公眾參與及社會許可(social license)為最終處置的成功關鍵。管制機構與執行單位須與地區居民進行長期溝通、公開專家意見、舉辦公聽會與建立釋疑機制。IAEA 安全導則強調，處置場址的選址必須是自願及知情的，加拿大的處置策略展現了對社會層面接受度的重視。

英國放射性廢棄物服務公司(NWS)則推動設立青年論壇，嘗試讓不同世代、社群參與長期管理及對話，以降低未來社會衝突並且提高決策正當性，這項倡議有助於建立年輕世代對 DGR 專案的信任度，避免長期規劃因缺乏社會基礎而受阻。最終處置的倫理核心是確保當代不將負擔轉嫁給後代。因此，讓青年參與決策是實踐代間公平(Intergenerational Equity)的重要方式，確保長期決策能夠反映未來世代的價值觀和風險認知。

美國川普總統開除了核廢料監督委員會(Nuclear Waste Technical Review Board, NWTRB)幾乎所有成員，形成管制獨立性的挑戰。NWTRB 作為獨立的技術審查機構，旨在確保美國能源部(DOE)的廢棄物管理活動具有科學基礎和高安全標準。對其組成的大幅變動，將可能對美國的技術審查和獨立監督帶來不確定性，特別是雅卡山(Yucca Mountain)計畫或新的綜合廢棄物管理策略。

3. 照射後石墨放射性廢棄物管理國際資訊研析與管制建議

依據本計畫「工作項目 2.國際間對於照射後石墨放射性廢棄物管理的技術資訊研析，並提供安全管制建議」，進行相關管制技術資訊蒐整研析工作。

目前國際約有 250,000 噸留存在反應器內之石墨放射性廢棄物面臨除役，並需進行特性分析、拆解取出、除污處理、貯存及最終處置等廢棄物處理程序。有鑒於此，國際原子能總署(IAEA)以及歐洲國際組織研究專案(CARBOWASTE)成員國，正共同合作以解決石墨放射性廢棄物管理的重要議題。

故此，國際石墨放射性廢棄物，處理與最終處置方案仍持續發展中，而我國台灣研究用反應器(TRR)之石墨放射性廢棄物，於除役過程也需妥善處理，故本計畫將蒐整國際及本院技術報告和專業資訊，研析石墨放射性廢棄物特性分析、除污處理及最終處置等相關議題，並藉由蒐集國際資訊動態並對重要個案進行研析，以掌握照射後石墨放射性廢棄物管理的發展趨勢，做為後續安全管制之參考，俾利我國後續針對此項需求精進研究發展。

3.1 技術資訊背景說明

(1) 國際發展現況

石墨已被用於100多個核電廠以及許多研究和鈾生產反應器，作為中子的緩速劑(moderator)和反射體(reflector)，其數量依設計從數公斤到3,000多噸不等。在核子反應器中，石墨被使用於燃料套管材料，導致產生大量放射性較低但仍具有明顯放射性的物質。

當前許多老舊反應器已永久停機，更多反應器已屆臨其運轉

壽期，全球目前已積累共約250,000噸放射性石墨(i-graphite)，主要來自天然鈾燃料石墨緩速反應器(Uranium Naturel Graphite Gaz, UNGG，以石墨作為中子緩速劑)，如英國Magnox和AGR反應器、法國UNGG反應器、俄羅斯RBMK反應器等，其最終處置解決方案仍進展緩慢，日益增加的放射性石墨滯留於暫貯設施中等待處理。IAEA各成員國解決方法有很大差異，這取決於廢棄物管制機構採取的拆除策略。而在政府政策規定須於近期展開拆除反應器的成員國中，更加迫切需要取得具體進展，因而推動國際合作進一步探討放射性石墨的詳細特性分析以及潛在的處理、貯存和處置方案。(IAEA, 2024b)

(2) 問題解決方案

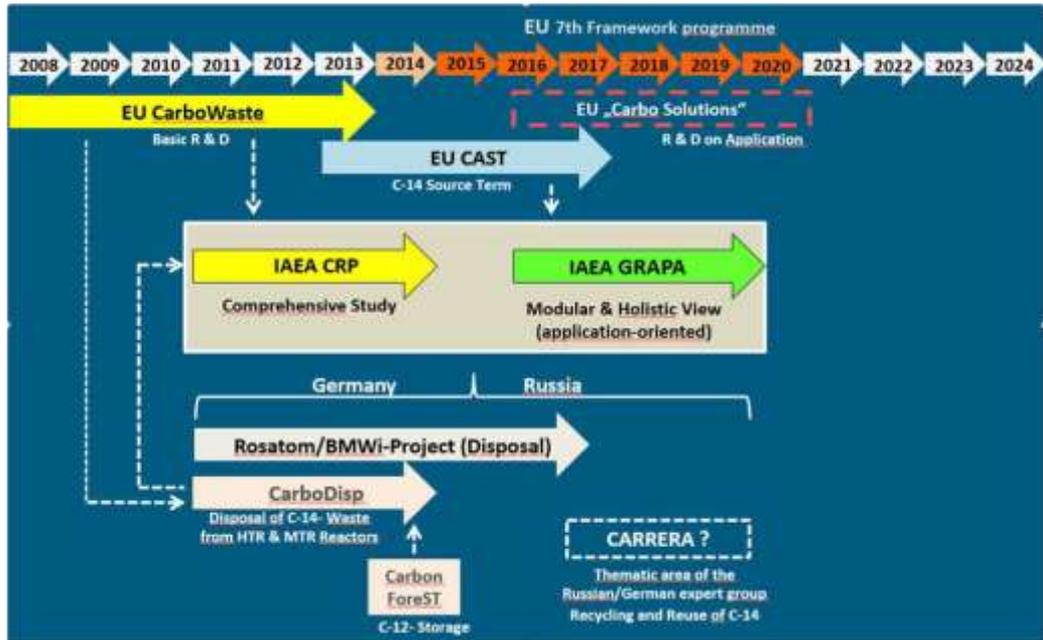
IAEA針對國際間放射性石墨(irradiated graphite, i-graphite)的處理與處置，陸續舉行各種諮詢及技術研討會，英國巴斯大學舉行首次IAEA「石墨緩速劑生命週期行為技術會議」結論指出，需要建立一個關於放射性石墨特性的國際資料庫，以保存未來研發石墨緩速反應器，並隨後進行拆除和處置的相關專業知識。相關諮詢及技術文件分別探討放射性石墨的特性、潛在的處理與決策問題，以及協助成員國的處置方案。在2006年至2021年期間，國際上提出多項措施來解決相關管理問題，如圖3-1所示。例如，美國電力研究院(EPRI)建立了石墨反應器除役網絡，法國電力公司(EDF)研究並支持拆除天然鈾燃料石墨緩速反應器(UNGG)。

全球目前留存在反應器內之放射性石墨面臨除役，需要進行取出、貯存、處理及最終處置等廢棄物處理，有鑒於此，歐洲國際組織(EU)合作研究計畫「CARBOWASTE(2018~2013)」成員國，共同合作解決放射性石墨廢棄物管理的重要議題。其具體目標是

「開發一種處理和回收利用放射性石墨的綜合管理概念」。至於放射性石墨的回收利用計畫，則由來自歐盟內外部共約30個參與組織組成，目前尚未發表相關研究數據。

另外，IAEA組織了一項名為「處理放射性石墨以滿足廢棄物處置驗收標準(T21026)」的協同研究計畫(CRP)(2011~2014)，擴大原CARBOWASTE的參與成員國規模。該計畫成果提供支持石墨緩速反應器除役和拆除作業的資訊，包括石墨處理對社會與經濟相關影響。歐盟(EU)在2016至2018年提出一項「 ^{14}C 源項(CAST)」計畫，以更深入了解在廢棄物包裝和地質處置設施相關條件下，放射性廢棄物中 ^{14}C 的產生和釋出(共33個組織參與)。

為了支持成員國解決放射性石墨的管理問題，推動會員國交流並促進工業應用技術的開發，IAEA於2016年啟動了國際放射性石墨處理技術計畫(Irradiated Graphite Processing Approaches, GRAPA)，並在2016年至2019年舉行了四次技術會議。依IAEA於2024年11月發布一份技術報告(IAEA, 2024b)，為協調研究計畫針對「放射性石墨廢棄物管理」(Managing Irradiated Graphite Waste)進行綜合研析，主要探討有關國際間放射性石墨廢棄物的管理方法，包括特性分析、處理技術、包裝與處置策略等議題。



資訊來源：(IAEA, 2024b)

圖 3-1：解決放射性石墨管理問題的國際措施

(3) 我國現況概述

台灣照射後石墨放射性廢棄物並無單獨設立專屬貯存場，依放射性廢棄物的特性而言，類屬於國內分級的低放射性廢棄物，應納入整體放射性物料管理體系，由負責存放的國原院(小產源貯存庫)依據放射性物料管理法及核安會相關法規進行管制作業。

台灣研究用反應器(TRR)，歷經運轉、檢修、停機、安全封存等階段，所產生的石墨放射性廢棄物具有其特殊的物理、化學及放射性等特性，如同其他放射性廢棄物一樣，所有除役過程均須經過適當評估，進行拆解、包裝、處理、貯存及最終處置。

台灣研究用反應器(TRR)爐體廢棄物拆除策略，為各組件完整拆除，再細部切割分解，將一般廢棄物與放射性廢棄物予以分離，並將放射性廢棄物裝入盛裝容器進行貯存。TRR爐體廢棄物拆解產生之廢棄物，施以除污、切割及有效工程管理等減量措施，以

減少廢棄物產量，降低倉貯壓力及最終處置費用。基於上述目的，本院曾提出的主要拆解策略(陳家貫，2023)，其中與石墨放射性廢棄物直接相關者為石墨的包裝容器應避免發生腐蝕現象。

在廢棄物管理方面，依據「台灣研究用反應器(TRR)爐體廢棄物拆解計畫書」，石墨主要來自TRR反射體及熱中子室，規劃從爐體內取出後直接裝箱，再進行取樣及核種放化分析，確認放射性廢棄物核種及比活度等資料，送至012館進行中期貯存。爐體中的石墨塊於拆解過程中，選擇真空吸盤作為拆除工具，以利石墨塊完整性。因可能有輻射照射之材料易脆特性，故儘可能不要切割，以免切割過程造成碎屑及粉塵的散逸，並採用尺寸較大的棧板箱盛裝，容器內再鋪上一層玻璃纖維強化塑膠(Fiber-reinforced plastic, FRP)以因應金屬腐蝕的可能性。由於TRR屬低功率運轉之研究用反應器，石墨受中子照射後之劑量較低，因此規劃於「空氣中」進行反射體及熱中子室之石墨取出拆解作業。

本院亦研究彙整了國際石墨放射性廢棄物相關文獻(陳家貫等，2020)，並著重除役過程及廢棄物管理的相關安全議題，完成 ^{14}C 於放射性石墨表面的熱氧化及沉積機制模擬的初步評估，該評估結果對於放射性石墨表面除污的可能性，提供間接的證據。

3.2 國際動態資訊

核安會於今年3月派員赴美國參加「2025年放射性廢棄物管理研討會」，其中加拿大的核能工業石墨材料熱處理技術發展的創新研究，以其低毒性、低成本、高能源效率、減少體積，並能有效去除放射性核種，同時回收石墨使其轉化為可再利用材料，極具管制實務應用價值，俾提升作業安全。(藍泰蔚，2025)

為了解國際間對於照射後石墨放射性廢棄物管理的技術發展，以利後續此項管制需求研究發展。本節蒐集最新國際動態資訊數則，提供技術發展及安全管制之參考。

(1) 7月10日：荷蘭IMSR石墨輻照測試的最後階段開始

在荷蘭佩滕(Petten)，Terrestrial Energy 和 NRG-Pallas 正開始進入 Terrestrial Energy 高通量反應器(High Flux Reactor, HFR)的整體熔鹽反應器(Integral Molten Salt Reactor, IMSR)石墨輻照測試計劃的最後階段。該測試計畫旨在依據 IMSR 在七年運轉壽期的預測性能來選定石墨等級(graphite grades)，其測試範圍包括模擬運轉溫度和中子通量等 IMSR 爐心條件。該計畫旨在協助 Terrestrial Energy 選擇最適合用於 IMSR 反應器的石墨等級，以及提供 IMSR 使用的合格石墨。該公司自 2020 年 11 月啟動該測試計劃，並從包括美國的西方核石墨供應商採購多種等級的石墨。

全面的輻照測試對於先進反應器研發及其許可至關重要，因能驗證關鍵材料在實際運轉條件下的性能。Terrestrial Energy 與 NRG-Pallas 迄今五年的合作為 IMSR 提供最終石墨等級選擇所需的重要數據。借助 NRG-Pallas 在先進反應器開發的技術專長和研究能力，Terrestrial Energy 將可達成機組早期部署的戰略目標，成為第一家開始此類測試的營運商。

Terrestrial Energy 的 IMSR 是第四代反應器，使用熔鹽作為燃料和冷卻劑，並有整體系統組件，可直接向工業設施供熱或用於發電。使用熔鹽作為燃料和冷卻劑也可使反應器的設計能夠加入被動或內建的安全特性，包括將石墨緩速劑在內的初級反應器組件整合到一個密封可更換的反應器爐心單元中，運轉壽期為七年。反應器使用約 125 噸石墨作為中子緩速劑。



石墨輻照計劃正在 HFR 反應堆中進行

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/final-stage-of-imsr-graphite-irradiation-testing-starts>

<https://www.neimagazine.com/news/graphite-tests-underway-for-imsr/>

(2) 8月12日：英國計畫旨在提高國內核石墨供應

四所英國大學獲得資金支持，合作研究如何確保國內核能級石墨供應，並尋找該國照射後石墨廢棄物(irradiated graphite waste)貯存管理的解決方案。

核能等級石墨在核子反應器爐心扮演中子緩速劑(moderator)的重要角色，能有效減慢中子速度，維持核分裂連鎖反應。雖然目前大多數商業核電廠採用輕水或重水作為緩速劑，但包括英國先進氣冷反應器(advanced gas-cooled reactor, AGR)及俄羅斯設計的 RBMK 反應器、高溫氣冷式反應器和熔鹽反應器等新型反應器則廣泛使用核能等級石墨。核能等級石墨約占反應器建造成本的三分之一，但英國目前完全依賴進口供應，面臨供應鏈脆弱的風險。

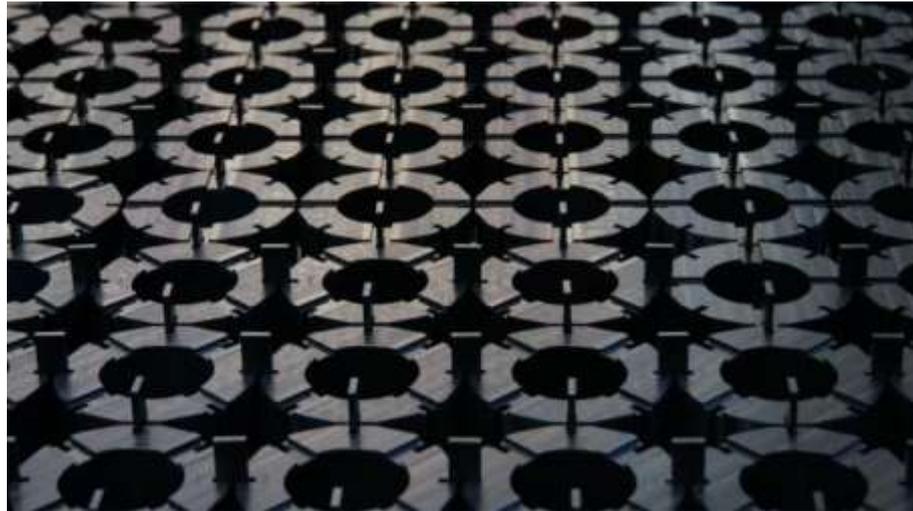
為此，英國曼徹斯特大學為首，與牛津大學、普利茅斯大學及拉夫堡大學合作，獲得英國工程與物理科學研究委員會(Engineering and

Physical Sciences Research Council, EPSRC)、高等教育機構提供 820 萬英鎊(1,100 萬美元)資助，以及產業合作夥伴約 500 萬英鎊(670 萬美元)捐款，展開為期五年的 ENLIGHT 計畫(Enabling a Lifecycle Approach to Graphite for Advanced Modular Reactors)，旨在建立全生命週期核能等級石墨技術，包括研發永續具自主供應的國產核能等級石墨供應鏈及處理日益增加的照射後石墨廢棄物。隨著現有的 AGR 機組將於 2028 年除役，且已有超過 10 萬噸照射後石墨貯存，ENLIGHT 將採用新方法，既能回收舊材料，又能生產適用於未來先進模組化反應器(AMR)的新型永續高性能石墨。

ENLIGHT 計畫聚焦三大主題：第一，研發污染去除技術以及照射後石墨的回收與再利用技術，將核廢棄物轉化為具價值資源；第二，設計新型石墨材料以耐受先進模組化反應器(AMR)極端運轉條件，延長使用壽命；第三，深入研究新材料在 AMR 環境的性能表現，支持材料最佳化與壽命預測。此外，該計畫強調核能等級石墨專業人才培育，擴大國內研發團隊，以支持未來核能創新與淨零排放。

曼徹斯特大學擁有多項尖端實驗室設施，具備領導全球核能等級石墨研究的優勢。牛津大學主導石墨選材設計，普利茅斯大學提供多孔材料分析專業，拉夫堡大學則應用計算模擬預測石墨材料在極端條件下的行為，該跨領域合作將促成更安全可靠的核能等級石墨材料。

ENLIGHT 計畫預期可幫助英國降低未來石墨廢棄物管理成本，估計可節省約 20 億英鎊，強化國家能源安全和產業自主，支持核能技術創新。此類致力於核能材料永續供應以及廢棄物循環利用，不僅提升核電運轉安全，也符合全球淨零排放戰略的長遠目標，值得各國借鑒學習和推廣。



英國 AGR 石墨磚(Graphite-blocks)

資訊來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/articles/uk-project-aims-to-boost-domestic-supply-of-nuclear-graphite>

<https://www.neimagazine.com/news/uk-to-study-nuclear-graphite/>

(3) 8月19日：美國研究人員找到預測反應器石墨故障的新方法

最近，伊利諾大學、麻省理工學院、橡樹嶺國家實驗室的研究團隊提出一種評估石墨品質的全新方法，可讓核電業者以比現有方法更準確、破壞性更小的方式預測結構發生的故障。

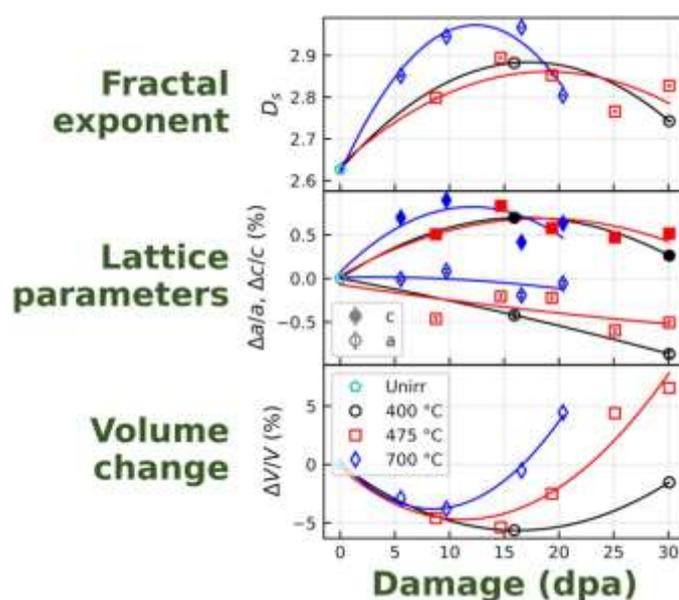
石墨是傳統核子反應器的關鍵組件，其價值為其碳結構可作為中子緩速劑，減緩分裂反應釋放的中子速度以有效維持連鎖反應。然而許多傳統核子反應器正在老化。由於石墨長時間曝露於輻射後容易膨脹並失效，因此核電廠整個生命週期內保持其結構完整性至關重要。

儘管用途廣泛，但石墨也包含複雜的結構，例如晶體「填料顆粒」基質「黏合劑」以及大小不一的孔隙，這些結構導致石墨對輻射的反應難以預測，儘管最終會變得更緻密，然後膨脹並破裂。這種劣化現象限制了核反應器中石墨的使用壽命。

研究團隊利用同步輻射 X 射線散射技術，對輻照後石墨樣品進行微結構檢測。研究發現：初期輻照階段，輻射導致孔隙被崩碎之微

粒填充，孔隙體積減小；隨後類退火作用出現，小孔隙聚合並長成大孔隙，使整體材料膨脹；孔徑分佈的變化與石墨體積膨脹呈強相關，可作為材料膨脹與破壞的指標。

上述量化結果顯示，孔隙「分形維度」(fractal dimension)可精準反映石墨結構劣化程度。研究人員據此導入了韋伯分布(Weibull distribution)統計方法，建立石墨失效預測模型。韋伯分布在陶瓷、金屬合金等多孔材料壽命預測已有應用實例，而將此技術應用於核石墨，有望透過少量無損取樣，推算出特定劑量累積下石墨組件的失效機率，不必進行大量破壞性取樣。



在輻照石墨中，孔隙度分形維數的變化與其在輻照損傷下的緻密化和膨脹有關。分形維數又與斷裂應力的韋伯分佈有關。

資訊來源：

<https://www.ans.org/news/2025-08-19/article-7289/researchers-find-new-way-to-predict-graphite-failure-in-reactors/>

3.3 國際案例探討及綜合研析

為了解國際間對於照射後石墨(i-graphite)放射性廢棄物管理的技術發展，並提供安全管制建議，以利我國後續針對此項管制的

需求研究發展。本節接續3.1節以IAEA發布的「放射性石墨廢棄物管理」(Managing Irradiated Graphite Waste)技術報告(IAEA, 2024b)作為研析範圍，探討放射性石墨廢棄物相關管理方法，包括特性分析、拆解移除、處理、包封、貯存與最終處置等議題，並整理多國實務案例與現行策略。

該報告主要內容涵蓋了i-graphite的特性鑑定、檢測方法、石墨移除策略、廢棄物處理技術(如熱處理、化學處理、結合新型材料技術)、包裝與暫時貯存、最終處置設計、安全案例分析及未來建議。其中各國發展的特色技術主要如下：

- 熱處理/氣化、電漿氣化(英國、俄國)：用來除去或減少特定放射性核種，例如 ^{14}C 。
- 化學及電化學除污(英國、義大利、俄國)：除去鈷、銫污染物。
- 水泥砂漿、玻璃封裝(瑞士、西班牙)：改善封存長期安全性。
- 原地處置(In-Situ Disposal)(美國、俄國)：強化反應器本體結構就地封存。

本節以英國、美國、德國、法國、俄羅斯、歐盟、立陶宛、烏克蘭、羅馬尼亞、義大利及印度等各國石墨放射性廢棄物管理案例進行探討，並依回收拆解、處理技術、貯存方案、處置方案等管理流程階段，以及安全管制等構面進一步研析，做為管制機關之參考。茲列舉如下：

(1) 英國

英國在石墨反應器除役領域居全球領導地位，主要因其Magnox及先進氣冷反應器(AGR)規模龐大，石墨廢棄物管理量龐大。以Windscale/AGR, Sellafield等為具體案例，發展取代傳統水

下切割的乾式「Nibble & Vacuum」切削真空回收技術，試驗規模已成功執行，並可兼顧後續熱處理需求。

- 回收拆解：英國在先進氣冷反應器(AGR)及 Magnox 反應器除役時，主要策略採用「Nibble & Vacuum」先進機械切削技術，以乾式方式現場將石墨塊切削成可後續熱處理的粉末，藉特殊真空回收裝置收集粉料，降低二次污染風險。該技術由英國 Innovate 團隊開發並已推展至工業試驗階段。拆解多以「空氣中」拆除為主，避免水下方法產生額外廢棄物。除機械拆解外，英國亦重視石墨物理破壞性評估，確保設備操作安全。在拆卸完成後，石墨被包封於鋼桶內並暫貯於專用設施中。
- 處理技術：英國強調傳統熱氧化法(直接燃燒及電漿氧化)，降低含有長半化期 ^{14}C 之活性碳含量，釋放 ^{14}C 後氣體經高效過濾捕捉或安全排放，減少污染。此外，亦推動化學去污及電化學方法，提升去除鈷、銻等核種效率。材料封存技術如玻璃化、砂漿包覆等，對高活度石墨廢棄物有顯著效果。另與皇家實驗室等合作，進行石墨微結構與放射性分布研究。
- 貯存方案：石墨經拆解後，經鋼桶包封，暫時貯存在專用建物，內部環境控制濕度及溫度以維持包裝完整。對於部分石墨，預計最終處置於英格蘭威爾斯地下地質處置設施(GDF)，而蘇格蘭則考慮近地表隔離方案。
- 處置方案：GDF 方案著重評估長半化期核種 ^{14}C 遷移行為，結合碳捕捉及封存(CCS)，支持全生命週期多元。國際合作(如 CAST 專案)交流核種遷移行為，促進安全與成本最佳化。

- 安全管制：強調全生命週期安全評估，從拆卸現場、處理流程、長期貯存與處置，均須嚴密監控放射性核種行為與環境影響。風險最小化原則，減少人員輻射劑量與環境排放。管理過程透明公開並依環保法規、核子安全標準嚴格執行。創新技術導入結合碳捕捉、溫控貯存與先進材料，提升安全與效率。持續收集資料與模型驗證，通過大量樣本分析與模擬確立核種分佈、釋放速率，提供制定可靠決策之基礎。

(2) 美國

美國石墨廢棄物管理以生產用反應器除役為主，例如 Savannah River、Hanford 為具體案例，最早提出「原地處置」概念，將反應器本體固化於近地表，並採取多重障壁、人工封存方式長期隔離。

- 回收拆解：美國在生產用反應爐(如 Savannah River Site)進行石墨移除時，傾向採用整塊拆卸或模組化拆解，除塊體大小可控外，部分地區先進行機械切割以減少體積。強調遠端操作遠離輻射區域。
- 處理技術：強調安全封存和穩定化技術，研究保留石墨完整形態之化學穩定方法，並曾首次提出原地封存(entombment)概念，將反應爐本體直接固化於現地，覆以厚重耐腐蝕混凝土及人工障壁。此方案將可減低運輸及二次處理風險，但需大量安全評估及環境影響分析。
- 貯存方案：強調暫時貯存結構安全，維持良好通風與監控管理。暫存多採容器設計，兼顧耐腐蝕與抗機械應力與輻射屏蔽。而包覆材質以防水氣滲透與腐蝕為主。

- 處置方案：原地封存方案為美國特色，即將石墨與反應器底座結構整合，經混凝土等材料固化後封存於現場。此方案多被視為特殊或緊急事故下的選項，而非一般性管理政策。長期仍以建造深層地質設施為主流。系統思考下，致力於環境監測與材料研究發展。
- 安全管制：雖然就地封存在 IAEA 安全標準中屬非常規處置，但在特殊情況下被納為合理選擇。美國強調石墨完整性保存與大規模原地封存概念，透過結構材料保護達成長期安全，適用於生產與大規模石墨體系。相較於破碎與熱處理策略，可降低操作複雜度與二次污染風險。但必須具備詳盡安全評估、持續監控及緊急應變機制，輔以放射性管理與地下水保護策略，以確保環境與人員安全長期無虞。

(3) 德國

德國高溫氣冷反應器(如 AVR、THTR)具有極高活度石墨與特殊核種分佈，其管理策略注重技術完整性與法規合規。

- 回收拆解：拆解多於空氣中進行，利用高精度自動化機械臂配合模擬力學模型，從反應器爐心安全取出石墨組件，並防範高放射性粉塵逸散。
- 處理技術：電漿氧化、熱處理及化學去污並用，旨在去除石墨中的 ^{14}C 、鈷、銻等長半化期核種。發展超臨界流體、熔鹽電化學等新技術，抑低核種活度與石墨材料再利用。
- 貯存方案：暫存於水泥包裝池或耐蝕鋼桶，貯存設施設計考量長期穩定性與環境安全監控。

- 處置方案：KONRAD 礦山為地質深層處置主要場址，石墨廢料經嚴格規劃後進入，依不同活度分級設計填埋措施。部分石墨則保留於反應爐結構中，利用現場封存與混凝土灌注一體化(如 AVR 方案)，強化結構安全與環境防護。
- 安全管制：著重於全生命週期風險管理，放射性核種遷移行為模型與長期安全論證，納入 ^{14}C 及其他長半化期核種特性。定期審查並更新安全論證與環境影響評估，保持符合最新技術與法規要求。

(4) 法國

以 UNGG 型反應器(如 Chinon)為具體案例，法國電力公司 EDF 成立工業示範基地，強調材料分析、創新安全包封以及使用完整模擬設施開發拆解設備，支持全廠除役，且針對石墨異質性進行嚴格取樣與特性測定。

- 回收拆解：法國以自行開發的鈾自然石墨氣體(Uranium Naturel Graphite Gaz, UNGG；又稱 EDF-2)反應器除役為主，已具備完整石墨取樣及裝置模擬拆卸設計，EDF 則在 Chinon 設置工業示範基地，模擬全尺寸組件拆卸與遠端操作設備開發，兼顧力學分析與安全，強調多次試驗與持續最佳化，累積豐富拆解資料來協助國家制定政策。
- 處理技術：主要推動玻璃化封裝技術，將石墨粉及長半化期核種固封在玻璃態材料內，提升穩定性並減少污染物遷移。同時結合化學去污及分類技術，針對來源核種進行動態管理。
- 貯存方案：實施鋼桶與混凝土的包封技術，強調建物結構穩定及環境檢測。暫貯設施配備溫濕度控管，定期維護以防老化。

- 處置方案：規劃最終將石墨長期封存於深層地處置質設施，高活度石墨將進行長期封存。低活度石墨則開發再利用可能性，結合國內廢棄物管理法規創新，研發有條件的再利用策略。
- 安全管制：風險評估從拆卸至最終處置的全生命週期，持續評估及控管 ^{14}C 等長半化期核種的釋放風險，兼顧職業健康與環境安全。依據實際數據調整拆卸流程及包封標準，避免估測誤差導致的過度管理或安全漏洞。嚴格遵循國際及歐盟放射性廢棄物管理規範，實施公開監察與報告機制，保障公眾知情權。推廣碳捕捉技術與玻璃化封存等創新技術以降低長期核種釋放風險。積極參加 GRAPA 計劃，與多國專家交流技術經驗，強化方案執行的穩健性。

(5) 俄羅斯

俄羅斯具有生產用反應器石墨拆解示範案例(如Seversk UGR, ADE-5)，強調現場專用設備與多元熱化學技術，發展出特製鑽機、吊掛與搬運技術，首度成功從反應器中拆卸變形石墨，ADE-5現場以黏土與人工障壁封存更多反應器(EI-2)。

- 回收拆解：俄羅斯具有生產反應器除役經驗(如 ADE-5)，研發專用遙控切割設備、鋸切及電漿切割設備。鑽機和電漿切割技術並用，大幅降低操作人員輻射劑量。利用成熟搬運技術，成功移除變形損壞石墨塊並確保安全搬運至暫存區。
- 處理技術：強調熱處理(燃燒及電漿氣化)、電化學除污與熱等壓固化等技術並行開發，兼顧抑低核種活度效率與再利用潛能。高密度黏土封存及人工覆蓋障壁加強環境防護。

- 貯存方案：採用高密度黏土與複合人工覆蓋層穩定包裹包件，隔離外部環境，兼顧長期屏蔽與環境保護。
- 處置方案：EI-2 及其他反應爐採「原地處置」並已有成功案例，石墨經處理後直接封存於反應器結構及地下設施內，外層建造人工丘長期隔離，減少運輸風險並進行現場整合管理。此法已獲核子管制機構核准為工業示範案例。
- 安全管制：依國家核子安全標準嚴格要求，包括多項核種監控與流動性評估，尤其針對 ^{14}C 進行長期遷移行為分析。風險控管強調操作曝露最小化及環境生態保護。拆解、運輸與處理流程均須經專業審查及公開報告。而就地處置作為環境與人員安全雙重考量的選項，具備成本效益與實務可行性，但須長期監控與預先制定緊急應變方案。積極配合 GRAPA 等國際合作項目，分享數據和技術以促進放射性廢棄物管理進展。

(6) 歐盟

以 CARBOWASTE/CAST 專案為具體案例，協調彙整超過 30 家機構經驗，強調制定技術標準與跨國交流，亦著重 ^{14}C 釋放行為、統整廢棄物再利用概念、研究新型廢棄物分類與減容程序。

- 回收拆解：歐盟內各國依據 GRAPA 協調，整合石墨廢棄物的回收作業程序，包括小型研究型反應器拆解與大型核電廠調查，強調廢棄物特性標準化與安全作業。
- 處理技術：整合 CARBOWASTE、CAST 等國際計畫的成果，主要推動熱化學技術、熔鹽電化學淨化與超臨界流體技術，以降低 ^{14}C 活度為目標，兼顧改善固化材質與循環回收。

- 貯存方案：建設多功能暫時貯存設施，容納多類放射性廢棄物並整合長期監控系統與強化檢修機制，確保廢棄物封裝長期安全有效。
- 處置方案：歐盟致力於技術標準與安全評估，跨國合作推動深層地質處置，強化放射性廢棄物跨境運輸安全指引。積極研發新型隔離材料與包封標準，並且將管理經驗回饋至後續新式反應器除役規劃。

(7) 立陶宛

立陶宛Ignalina核電廠為RBMK-1500雙機組設計，反應器爐心含大量石墨緩速劑(約2,500噸)，除役後成為GRAPA重要示範案例，強調石墨樣品採集與特性分析、模組化包封與暫時鋼桶貯存、拆卸反應器爐心區域的整體流程設計。

- 回收拆解：國家管制機構(VATESI)要求所有放射性石墨進行階段性拆卸、分類、貯存與最終處置。依據有限元素分析(FEA)進行反應器爐心應力與輻射劑量分布模擬，以確立模組化分層拆解策略，每階段限制輻射曝露量及結構崩塌風險。
- 處理技術：研發乾式切削與吸塵系統結合之「Nibble & Vacuum」方法進行現場階段性拆解。伴隨高效 HEPA 過濾，粉塵濃度降至國際規範以下。切割後石墨經分析與分級，高放射性組件送熱處理抑低活度(^{14}C 氧化)，中低放射性組件直接包封。
- 貯存方案：建設專用暫時貯存設施，採鋼桶與混凝土雙層包封。控制溫濕度環境條件、防鹽霧腐蝕並導入即時輻射監控機制。定期進行包封老化評估與安全認證。

- 處置方案：全數石墨預定 2055 年前送國家深地層處置場(GDF)，設計採多重障壁與長期水文監測。該方案獲 GRAPA 評為全生命周期安全典範，展現數值建模及分級控制的先進性。
- 安全管制：拆解、處理、暫存、運輸到處置所有流程依 IAEA 標準，並接受國際專家審查與核安監督，確保各階段安全無虞。針對高活度石墨及特殊結構損傷，建立專門監測與緊急應變方案，即時評估包封與障壁安全功能。定期公開重要管理決策與技術進展，積極參加 GRAPA、CAST 等國際合作網絡，分享數據與良好經驗，提升公眾信任與技術交流。

(8) 烏克蘭

以Chernobyl NPP為具體案例，參考GRAPA共同網絡規劃，進行石墨特性確認及未來反應器爐心石墨移除與設施設計。

- 回收拆解：核能管制機構(State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine, SNRIU)依 GRAPA 架構建立石墨特性資料庫，針對 Chernobyl 及 WWR 系列研究反應器實施結構建模與樣本採集。全部拆解以遠端遙控與模擬模組化進行分段移除。Chernobyl 反應器爐心區以三維輻射映射擇定拆解順序，確保安全係數大於 1.3，避免石墨脆裂導致連鎖崩塌。
- 處理技術：烏克蘭研究所採用氣體氧化及化學除污並行。¹⁴C 氧化技術由英、德流程轉化，確保釋出控制在法規限值內。而表面污染石墨經液態氮與氣體射流輔助清潔再進行分類。
- 貯存方案：採專用鋼桶及混凝土倉儲設計，自動監控溫濕度。具備快速活度量測裝置，可即時更新資料庫與安全論證。暫時貯存期間設為 35 年。

- 處置方案：依現行規劃，石墨將嵌入多層膠結深地層處置設施中，處置方案著重法規合規與地質長期穩定性，並利用 GRAPA 資料庫共享提升分析能力。
- 安全管制：所有流程對應 IAEA、歐盟及國家核子管制規範，依據安全評估嚴格推進，並接受國際專家同儕審查。全周期風險管理強調結構與多重障壁理念，從拆解、暫存、運輸到處置均設風險識別與緊急應變機制。管理策略與執行進度公開透明，接受社會監督及技術審查，提升公眾信任度。持續累積石墨物理性質、核種分布與處理成效數據，供未來大型反應器除役的經驗移轉與政策評估。

(9) 羅馬尼亞

以 WWR-S 研究反應器等為具體案例，針對當前國內地質與法規評估，規劃將石墨全數送往國家放射性廢棄物貯存設施(NRWR) 封存。

- 回收拆解：羅馬尼亞 Horia Hulubei 物理研究所依 CIRUS 與 INPP 經驗，模擬設計 WWR-S 爐心體熱柱與石墨反射體拆卸。操作採空氣環境中模組化機械移除，並配置力學監控，可即時測定拔除力。所有作業程序經國家核能署審核。
- 處理技術：石墨廢棄物依活度區分，高活度採真空氧化減量程序去除表層 ^{14}C ，低活度樣品直接包封。除污步驟以酸鹽化清洗—乾燥—防潮包封。
- 貯存方案：在 Baita Bihor 放射性廢棄物暫時貯存設施(NRWR) 內，採標準 200 公升鋼桶外加防蝕塗層，具備 HEPA 通風與自動火災監控系統。每兩年進行輻射檢測與結構評估。

- 處置方案：預訂 2055 年國家深地層處置場啟用後移轉最終封存。該案獲 GRAPA 評為小型研究反應器除役標準化示範案例，數據供多國參照。
- 安全管制：遵循《Radiological Safety Standards NCNAC-2005》、《放射性廢棄物貯存與處置國家計畫法案》、《IAEA Safety Series No. SSG-47》等法規。而環境保護符合 GRAPA 所建議「多重障壁、長期監測、公眾透明」理念。排氣與排水系統均設置過濾與採樣點，監控 ^{14}C 與 ^{36}Cl 外釋率(均遠低於 IAEA 標準值)。政府每年發布《核除役與廢棄物處理環境報告》，以確保公眾瞭解方案安全性與進度，落實社會溝通與資訊公開。

(10)義大利

以 Latina NPP(Magnox設計)為具體案例，廢棄物處置專責機構 SoGIN 針對大尺寸反應器爐心石墨區塊，著重於力學特性評估、拆卸機械設計及安全包封流程，並反覆進行最佳化。

- 回收拆解：專責機構 SoGIN 主導 Latina 核電廠除役作業，延續 CARBOWASTE 與 GRAPA 架構，以有限元素分析(ANSYS)定位脆化區與受力中心，並依模組逐段拆卸。採用多功能遙控切削工具與真空吸附除塵，降低放射性粉塵 50%以上。
- 處理技術：高活度石墨進一步經高溫氧化與玻璃化包封，封存後形成長期惰性固體。中低活度部分以水泥砂漿封固，並附有監測晶片追蹤。採用化學除污輔助減少 ^{60}Co 、 ^{14}C 濃度。
- 貯存方案：暫時貯存設施建於 Latina 廠區內控濕鋼筋混凝土倉庫，採氣候自動控制與輻射廠區監視系統。包封容器取得歐盟運輸型式認證。

- 處置方案：規劃將經處理的石墨移至國家高放射性廢棄物最終處置場，重視全生命周期管理——從拆卸、分類、抑低活度至封存處置完整監控，奠定歐洲多國合作範例。
- 安全管制：嚴格遵循歐盟及國際放射性廢棄物管理標準，確保各階段作業安全。從拆解設計初期即建立風險評估與緊急應變機制，減少人員曝露並監控環境污染。透明公開資訊，定期向核子管制機構及社會公眾報告管理狀況。積極參與國際合作計畫(如 GRAPA 與 CAST)，共享實務經驗與最新技術。

(11) 印度

以CIRUS 研究反應器等為具體案例，利用既有孔洞進行機械拆除，配合液態氮與空氣噴射技術大幅減少施工阻力，並設計遠端操控裝置以提升輻射防護。

- 回收拆解：INDIA-BARC 管理 CIRUS 反應器反射層與熱柱石墨。採自原通道拆解技術，利用液態氮冷凍脆化與高壓氣流以降低摩擦力，每件石墨塊經力學感測與輻射測定後始得移出。
- 處理技術：印度開發化學除污與高溫熱處理雙重技術。部分高濃度 ^{14}C 樣本經表面氧化及化學剝蝕，再封入密封鋼桶。
- 貯存方案：採模組化鋼桶封裝與地下溫濕度控制的倉儲設計。設置安全隔間、防火與輻射警示系統，並定期由 BARC 工程部檢測桶體與氣體濃度。
- 處置方案：目前暫時封存於安全區域，待高放深地層處置場完工後集中處置。CIRUS 案例為新興國家高輻射石墨遠端拆除與場內暫時封存範例，展示了低成本與高防護兼顧實效。

- 安全管制：由 Bhabha 原子能研究中心(BARC)率領，依據國家與 IAEA 安全標準嚴格執行，拆解、包封、運輸皆有嚴格防護及輻射劑量管制。拆解區全程障蔽及負壓系統，防止粉塵外逸。貯存、隔離設施依區域水文與生態監測設計，確保無環境污染。所有技術操作及監控數據均有備援方案，若未符安全標準隨即安排緊急檢查，方案進度及環境監測結果定期向社會公開。積極參與 GRAPA 等網絡，與歐洲先進技術團隊共享設備設計與最佳流程範例，提升方案穩健度。

(12)綜合研析

綜上所述，國際石墨放射性廢棄物管理已形成多元化技術路線，從早期實體拆卸分裝—地質處置，升級至模擬建模、智慧化設備、動態分類、減活創新與多層封存。監理規範與環境安全意識普及且嚴格，國際協作加速技術融合與標準化。全流程資訊透明，兼顧公眾信任與生態保護，成為全球核安管控體系典範。

石墨放射性廢棄物的安全管理與最新技術發展聚焦於「減量化」、「分級分類」、「活度抑低技術」及「先進處置包裝」，先進國家普遍採用三維反應器爐心結構建模與放射性活度預測工具，精確掌握石墨中核種(如 ^{14}C 與 ^{36}Cl)分布，依據物料本體、表面與孔隙活度進行差異化分類、活度抑低與處置，並強調國際協作。以下就核安管制角度，就技術路線趨勢、重點作業與設備發展、核安管制與環境保護進行綜合歸納結論。

- 技術路線趨勢：從早期單一反應器爐心拆解、封裝、地質處置，演變到模擬建模、活度預測、分級多層處理(熱化學/表面抑低活度)、智慧化遠端拆解及就地封存、玻璃化及新型包封材料。高度自動化和數位化為主流，特別是歐洲、立陶宛及義大利。

英、法、德、俄及歐盟多國(特別是英法德)在工業規模化拆卸、活度核種分級、安全包封及長期封存技術穩居世界領先。美國於原地封存特殊工程具代表性，但其他處理技術尚需持續精進。歐盟主導的國際合作促使技術快速融合、標準化程序優於單一國家管理體系，各國代表案例技術如表 3-1 所示。

表 3-1：各國代表案例與技術概要

國家	代表案例	石墨放射性廢棄物處理技術概要
英國	Windscale/AGR, Sellafield 等	發展取代傳統水下切割的「Nibble & Vacuum」乾式切削真空回收技術，試驗規模已成功執行，兼顧後續熱處理需求
美國	Savannah River、Hanford	最早提出「原地處置」概念，將反應器本體固化於近地表，採取多重屏障、人工封土方式長期隔離
德國	高溫氣冷爐(如 AVR、THTR)	電漿氧化、熱處理及化學除污並用，去除石墨中 ^{14}C 、鈷、銫等長半化期核種。發展超臨界流體、熔鹽電化學技術，謀求移除活性核種與石墨材料再利用
法國	Chinon, UNGG 型	EDF 成立工業示範基地，使用完整模擬設施開發拆解設備，支持全廠退役，且針對石墨異質性進行嚴格取樣與性質測定
俄羅斯	Seversk UGR, ADE-5 等	發展專用鑽機、提升與搬運技術，首度成功從生產反應器拆卸變形石墨，ADE-5 以黏土與人工障蔽封存更多反應器(EI-2)
歐盟	CARBOWASTE/CAST 專案	匯集各會員國超過 30 家機構，著重 ^{14}C 釋放行為、廢棄物再利用概念統整、研究新型廢棄物分類與減容程序
立陶宛	Ignalina NPP (RBMK-1500)	石墨樣品採集與特性分析、模組化包裝與鋼桶暫時貯存、拆卸反應器爐心區塊全流程設計
烏克蘭	Chernobyl NPP	參考 GRAPA 共同網絡規劃，以確認石墨特性及反應器爐心石墨移除與設施設計

羅馬尼亞	WWR-S 研究反應器	以原有國內地質與法規評估，規劃石墨全數送往國家放射性廢棄物貯存庫(NRWR)封存
義大利	Latina NPP (Magnox 設計)	SoGIN 針對大尺寸反應器爐心石墨區塊，著重於力學特性評估、拆卸機械設計及安全包封流程，並反覆最佳化
印度	CIRUS 研究反應器	利用既有孔洞進行機械拔除，配合液態氮與空氣噴射大幅減少抓拔阻力，並設計遠端操控裝置提升輻射防護

資訊來源：本研究整理自(IAEA, 2024b)

- 重點作業與設備發展：普遍運用遠端操控設備(如機械手臂、遙控鑽機、分裝平台)、多重防護包封以及高通量自動化分析儀器，以增進人員安全、作業效率與經濟性。英、德、法具備工業級熱氧化與電漿爐，為高活度廢棄物主力，俄、美自主發展就地封存及隔離系統，各國根據反應器石墨型態及活度，進行設備與工法持續最佳化，各國重點作業與設備發展比較，如表 3-2 所示。

表 3-2：各國重點作業與設備發展比較

國家	拆解方式	處理技術	包裝設備	監控管理
英國	真空切削、乾式拆封	熱/化學減活	鋼桶/混凝土	全程多重監控
美國	原地整體封存、遙控拆解	完整封存、混凝土	屏障分層設計	長期結構監控
德國	遠端機械切割	電漿熱處理/化學	混凝土槽/鋼桶	活度分層監管
法國	模擬拆解、遠端工具	熱氧化/玻璃化封存	溫濕監控鋼桶	資料驅動、法規遵循

俄羅斯	遙控鑽機/切割	熱處理/固化	人工覆蓋層 、黏土	就地監控、 國家驗證
立陶宛	自動拆卸平台 、即時測量	熱氧化、表面 除污	多模組鋼桶	活度管理、 國際協作
烏克蘭	模擬 3D 建模 、遠端拆卸	地區分類/表 面處理	鋼桶、多層包裝	活度監測、 專家審核
羅馬尼亞	現場鑑定 、簡化拆卸	基本分類包裝	國家貯存庫	國家監管、 資料公開
義大利	力學模擬 、多樣機械臂	局部熱氧化	進階封存線	監控、法規 透明化
印度	力學輔助拔除 、遠端抓持	化學表面清洗	自動分裝鋼桶	全程監控 、屏蔽

資訊來源：本研究整理自 (IAEA, 2024b)

- 核安管制與環境保護：強調拆卸、處理、包裝及最終處置的流程追蹤，從事前評估到全生命週期風險控管，涵蓋即時環境監測、職業安全與外部公開揭露機制。拆卸與包裝全程遠端操作、即時監控，職業曝露率大幅降低，環境影響模擬與長期監控並列優先。因分級動態包裝與多層封存技術支持長期環境安全，故建立多層防護、活度分級與透明公開體系。不僅要求技術成熟，更強調資料回溯、遵循法規與動態適應國際新標準。

本研究綜合研析上開國際案例並整理歸納成主要結論。首先，各國策略因設施設計、廢棄物特性、政策法規及經費預算等呈現差異性。整體趨勢從傳統「包裝／地質處置」逐漸導入多元化的事前處理、安全評估，並強化國際同儕知識分享、經驗交流與技術協作，持續更新資料庫與最佳實務示例，有效縮減技術差距，

促進安全處置標準建立。其次，小型研究反應器國家逐步採用「在地封存／直接送貯存設施」，大型反應器國家則考慮專用包封與創新處置技術，高放射性廢棄物則需特別設計管理計畫。

3.4 相關議題與管制建議研析

國際上許多使用石墨材料的反應器進行除役過程中，也發展出了相對應的方法及技術，系統性的提供執行及監管單位依據適合的情節，以決定最適合的管理策略。IAEA也針對放射性石墨放射性廢棄物訂定貯存及最終處置的安全標準，供各國參考依循。

基於上開章節技術背景說明、問題解決方案、國際動態資訊以及各國拆解案例等經驗回饋於我國石墨拆解規劃。本節針對相關考量、政策及具體措施，提出值得關注的議題、觀點，並依據研析成果提出我國研究用反應器(TRR)石墨拆解及廢棄物管理的管制建議與後續研究規劃，作為未來TRR石墨拆解後放射性廢棄物管理策略規劃及安全評估參考。(陳家貫，2023)

(1) 拆解路線規劃

基於上述國際案例，台灣TRR宜採模組化分區拆解方法，先拆卸結構強度最高、活度最低之周邊石墨，接著逐步向高活度及易脆化區推進拆解。鑒於Carbowaste計畫採用模擬分析工具協助評估影響石墨拆解的關鍵因子(如結構應力)，引進有限元素分析(如ANSYS)，建構TRR核心三維結構模型，評估力學弱點、粉塵釋放風險及輻射屏蔽效能，對脆弱點予以強化支撐，避免連鎖崩塌。

(2) 作業流程設計與管制重點

優先採用先進遠端自動化工具，例如遙控機械手臂、切削機，

減少人員進入高輻射區，以符合輻射劑量合理抑低原則。宜採用高效率切割搭配局部真空吸塵，HEPA系統可過濾含放射性粉塵，並具多重障蔽設計與負壓隔離區。

(3) 設備與監測系統發展

採多功能遠端切削、吸塵、抓取與搬運機具，設置即時力學感測器與影像監控，並配合有限元素分析軟體即時修正作業策略。粉塵與輻射監控全程數位化，數據即時回傳控制中心，快速調整操作參數。

(4) 法規安全與環境維護

拆解規劃、設備選型、污染防治須符合核安會放射性廢棄物處理、貯存、最終處置相關法規、輻射工作劑量限制、勞動安全標準。污染控制強調材料多層包裝、隔離運輸路線、暫時貯存區設SOP監控，並定期公開環境監測數據以符合法規及社會期待。

(5) 國際案例經驗回饋

建議引介國際專家顧問或以CARBOWASTE、GRAPA經驗為典範，自身情節融合國際案例，詳實審查拆解與管理計畫。前期進行多次有限元素模擬與現場演練，預判力學與安全瓶頸、嚴格分級防護、遠端隔離操作和多維度數位監控為核心。全程嚴格依核安與環保法規動態管制，保障人員及環境安全。

(6) 後續研究規劃

有關最終處置範疇技術發展之規劃，依石墨放射性廢棄物的特性而言，不屬於高放射性廢棄物殆無疑慮，也不屬於超C類廢棄物，應類屬於國內分級的低放射性廢棄物，惟目前國內尚未實質進行處置作業，本報告將依本計畫國際資訊蒐集成果提出規劃建

議，主要方向如下：

- 針對石墨放射性廢棄物進行特性分析，並依我國管制法規予以適當分類(A、B、C類)，再依其分類特性進行後續處置評估(如淺地表、次地表或地質處置等)。
- 處置策略：由於石墨放射性廢棄物體積大、多孔而且其所含放射性核種較為多樣，其中較為敏感的當屬半化期較長的 ^{14}C ，因此最終處置前必須先經過適當地預處理，如除污與去除活性區段(以切割、熱處理或化學處理減少放射性)、體積縮容以及安定化處理(如壓實、加固、混凝土固化)。
- 最終處置：經過前項作業，即可納入國內低放處置時程，進行最終處置。惟依循國內規定，亦即無論我國最終的低放射性廢棄物處置場採用何種方式(淺地表、次地表或地質處置)，低放射性廢棄物都必須分類分區進行最終處置。

4. 我國聯合公約報告書資訊更新與雙語化編譯

依據本計畫「工作項目 3. 我國『用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約』報告書資訊更新與雙語化編譯作業」，進行相關管制技術資訊蒐整研析工作。國際原子能總署(IAEA)「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」於 86 年 9 月 29 日開放簽署，90 年 6 月 18 日正式生效。聯合公約第 32 條要求每一締約方，每三年須提交其用過核子燃料與放射性廢棄物管理國家報告書。

我國雖然非此聯合公約之締約方，但是依據「放射性物料管理法」第 17 條之規定，亦致力遵循相關國際公約之要求，故定期提出國家報告書，其格式和架構均遵照 IAEA INFCIRC / 604 「國家報告書之格式和架構指引」最新版之要求，並遵循此公約之義務，邀請聯合公約締約方之友好國家，協助進行同儕審查。

本章分別說明聯合公約背景資訊、格式與架構研析、最新版國家報告書資訊蒐整及我國國家報告書草案編定等，針對核能先進國家的相關具體作法與優良實務經驗進行資訊蒐整與研析，以回饋國際經驗，提升我國安全管理技術能力。

4.1 聯合公約背景說明

本節依國際原子能總署聯合公約文宣手冊(IAEA, 2024a)說明聯合公約背景資訊，包含發展沿革與現況、目的、適用範疇、條文架構與概要、國家報告提報與審議、國家報告架構與內容要求等。

(1) 緣起

國際原子能總署(IAEA)「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」(IAEA, 1997)於 86 年 9 月 29 日開放簽署，並續於 90

年 6 月 18 日正式生效。聯合公約之主要目標為在世界範圍內達成與維持用過核子燃料和放射性廢棄物管理方面的高水準安全，確保相關作業落實防患潛在危害的有效防禦措施，並防止事故發生或是減輕事故後果。聯合公約包含兩項主題：用過核子燃料安全管理；放射性廢棄物安全管理。內容分為 7 章共 44 條。架構如下：

第 1 章：目標、定義與適用範圍(第 1 條至第 3 條)

第 2 章：用過核子燃料管理之安全性(第 4 條至第 10 條)

第 3 章：放射性廢棄物管理之安全性(第 11 條至第 17 條)

第 4 章：一般安全規定(第 18 條至第 26 條)

第 5 章：其他規定(第 27 條和第 28 條)

第 6 章：簽約團體會議(第 29 條至第 37 條)

第 7 章：最終條款和其他規定(第 38 條至第 44 條)

(2) 主要內容

- 具體安全規定：聯合公約第 2 章及第 3 章要求各簽約國應於國家報告書中說明各國相關資訊，包括一般安全要求、已存在的設施、擬議中設施的選址、設施的設計和建造、設施的安全評估、設施的運轉作業、用過核子燃料的處置與放射性廢棄物處置設施封閉後的監管措施。
- 一般安全規定：聯合公約第 4 章要求各簽約國應於國家報告書中說明各國相關管理措施資訊，包括法令與管理體系、管制機構，以及執照持有者的責任、人力與財務資源、品質保證、運轉作業的輻射防護、緊急應變及整備、除役等。
- 其他規定：聯合公約第 5 章要求各簽約國應於國家報告書中，說明跨越國界運輸與密封廢射源管理情況。

- 國際同儕審查會議：聯合公約規定各簽約國應每三年提出國家報告並進行國際同儕審查。國際同儕審查會議由國際原子能總署秘書處負責籌辦事宜。聯合公約締約國應於 IAEA 規定期限前，每次會議前 7 個月(NEA, 2023a)，最近一次為 113 年 8 月 16 日前提出國家報告初稿，由 IAEA 交由其他締約國審查。各締約國彼此就審查意見與問題答覆進行書面交流(113 年 12 月 17 日至 114 年 2 月 17 日)。在 IAEA 舉辦之第八次國際同儕審查會議期間(114 年 3 月 17 日至 3 月 28 日)，各締約國須介紹與討論其國家報告內容。

(3) 現況概述

聯合公約於 2001 年生效後，於 2003 年 11 月辦理第 1 次國際同儕審查會議，之後分別於 2006 年、2009 年、2012 年、2015 年、2018 年、2022 年以及 2025 年辦理國際同儕審查會議，會議地點均為國際原子能總署總部所在地的奧地利維也納。聯合公約迄 2023 年 11 月 21 日已獲得 90 個國家/國際機構簽署或核准(IAEA, 2023b)。自 2015 年第五次會議之後新增 9 國簽署聯合公約，分別為博茨瓦納、古巴、約旦、賴索托、馬達加斯加、墨西哥(核能發電國家)、尼日、秘魯及塞爾維亞。第六次會議於 2018 年 5 月 21 日至 6 月 1 日止舉行，為期兩週。78 個簽約團體共有約 850 人與會(IAEA, 2018)。依議程第一週各國就國家報告內容提出說明，並著重討論挑戰、建議、優良實踐與優良實績領域等；第二週則聚焦於審查的結論，以凝聚國際共識。會議亦規劃兩項討論主題：(A)廢射源安全管理的近期發展與挑戰相關議題；及(B)高放射性廢棄物貯存與處置設施一般安全、挑戰、與公眾接受度相關議題。

自 2018 年第六次會議之後新增 10 國簽署聯合公約，第七次

會議原定於 2021 年舉行，但由於 COVID-19 大流行，延至 111 年 6 月 27 日至 7 月 8 日止舉行，為期兩週。76 個締約團體共約 750 人與會(IAEA, 2022a)，履行聯合公約最重要的義務，即進行有效、嚴格和透明的同儕審查，共同決議第八次會議於 114 年 3 月 17 日召開，各締約國於 113 年 8 月 16 日提出新版次國家報告書初稿(IAEA, 2022b)。

依據國際原子能總署(IAEA) 2023 年 9 月發布的「聯合公約通訊(Joint Convention Newsletter)」第 10 期(IAEA, 2023d)指出，聯合公約締約國應於 2024 年 8 月 16 日前提出國家報告書初稿，並於 2025 年 3 月 17 至 28 日審議會會議接受公開評議並回覆意見。

依據聯合公約第八次會議總結報告(IAEA, 2025t)，目前已有 88 個締約國繳交國家報告書，其中 11 國較晚提交報告書，另外加彭及馬達加斯加並未提交。IAEA 於 2024 年 12 月發布「聯合公約通訊(Joint Convention Newsletter)」第 11 期(IAEA, 2024e)，主席呼籲本次會議各締約國於應持續關注相關技術議題發展，鑒於持續存在的地緣政治挑戰可能影響同儕審查會議進行，故應盡一切努力專注於達成聯合公約共同目標。此外，聯合公約官網建立第五次、第六次及第七次審議會會議上認可的優良實踐(good practice)資料庫，以供各締約國參採。

第八次審議會會議於 2025 年 3 月 17 日至 28 日在維也納國際原子能機構總部舉行，來自 77 個締約國和簽署國黎巴嫩 1,000 多名代表共同討論用過核子燃料和放射性廢棄物包裝及設施老化管理，及如何長期安全管理密封廢射源，同時討論用過核子燃料和放射性廢棄物管理計畫整個生命週期的執行能力和人員配備問題(IAEA, 2025a)。該會議各項重點概述如下(IAEA, 2025t)：

- 整體觀察

- 政策與策略：多數國家已建立並更新放射性廢棄物及用過核子燃料管理政策，但仍有部分因資金、政治承諾或公眾接受度受限。
- 處置設施進展：少數締約國在高放射性廢棄物及用過核子燃料地質處置研發或地下實驗室建設上取得具體進展。
- 資訊公開透明：強化以數位媒體及公開論壇推動利害關係人的社會參與。
- 人力資源：多國制定人才培育或能力建設計畫，涵蓋知識管理、人才留任、跨國培訓等。
- 同儕審查 (Peer Review)：包括營運安全審查團隊 (Operational Safety Review Team, OSART) 與整合管制審查服務 (Integrated Regulatory Review Service, IRRS) 等國際審查廣受採用，但因各方審查需求量大而面臨挑戰。
- 新管制技術：部分締約方已開始探討小型模組化反應器 (SMR) 等創新技術之審查準備。

- 國家小組成果

- 優良實踐 (Good Practices)：包括採用 WHO 健康定義擴大法規範疇、利害關係人參與決策與利益共享機制、等離子焚化處理放射性廢棄物、鐳污染場址整治、雷射去污技術、深層地質實驗室隧道工程先進設計、密封廢射源回收再利用、高強度聚焦超音波與微波除污技術、人工智慧於安全活動之試驗性管制、建立國家技能發展基礎設施、小規模締約方實施 ISO 認證整合管理系統、地質處置公眾參與新倡議、乾式貯存風險評估工具、AI 優化用過核子燃料處

理、新核能技術採以廢棄物導向之協作設計、管制機構稽查流程審核方法,以及新建計畫能力建置方法等共計 21 項。

- 優良實績領域(Areas of Good Performance)：包括蓋資金機制、研究實驗室設置等共計 208 項。
- 挑戰：主要圍繞公眾接受度、跨境武裝衝突影響、處置場選址延宕等主要議題共計 294 項。
- 建議：內容涵蓋改善極端事件緊急應變、健全管制法規、推動國際多邊合作等共計 65 項。

- 整體性議題：共計 14 項整體性議題，包括新興技術廢物流安全管理、放射性廢料及燃料處置策略、自然與人為事件應變準備、AI 與數位技術應用、適用法規及監管架構健全性、永續財務與知識管理、公眾參與機制、長期監測與老化管理、除役與遺留場址終態、資源新進者管制等。鼓勵締約國於第九次審議會議國家報告中進一步回應。

- 結論重點

- 強調管理時程數百年至數千年，需導入系統化知識管理。
- 人才培育與技術發展、師徒制與安全審查有助知識傳承。
- 長期檔案管理策略需結合安全論證判定資料保存重點。
- 探討公眾溝通、IP 保護及智慧化工具維繫知識庫方法。

(4) 國家報告架構

締約國除應遵守國際原子能總署所制定的相關規範外，亦有義務每三年提出國家報告，說明該國落實相關規定的措施。國家報告的架構與內容係依據國際原子能總署發布「國家報告書之格式和架構指引」(文件版次 INFCIRC/604/Rev.5)撰寫(IAEA, 2024d)，共包含 12 節(參見表 4-1)，涵蓋各國進行用過核子燃料與放射性

廢棄物安全管理的要項。

表 4-1：國家報告書章節架構與聯合公約要求條文之對應表

國家報告書章節架構	聯合公約要求條文
第一章 前言	
第二章 政策和實務措施	第 32 條第 1 項
第三章 適用範疇	第 3 條
第四章 存量清單與列表	第 32 條第 2 項
第五章 法令和管制體系	第 18~20 條
第六章 其他一般安全規定	第 21~26 條
第七章 用過核子燃料之管理安全	第 4~10 條
第八章 放射性廢棄物之管理安全	第 11~17 條
第九章 跨國界運輸	第 27 條
第十章 密封廢射源	第 28 條
第十一章 增進安全的一般努力	
第十二章 附件	

資料來源：IAEA, 2024d

4.2 國家報告書格式與架構研析

國際原子能總署為敦促聯合國各會員國致力加強放射性廢棄物管理措施，倡議推動「用過核子燃料管理安全及放射性廢棄物管理安全聯合公約」。聯合公約的參與國家除了應遵守國際原子能總署所制定的相關規範外，亦有義務每三年提出聯合公約國家報告書，說明該國履行公約的執行現況。國家報告書的架構與內容係依據國際原子能總署最新發布的「國家報告書格式與架構指引」撰寫，內容應包含 12 節(參見表 4-2)，涵蓋各國進行放射性廢棄物安全管理的要項。

表 4-2：聯合公約國家報告書架構

節次	節名
A	前言(Introduction)
B	政策與實務措施(Policy and Practices)
C	適用範疇(Scope of Application)
D	存量清單與列表(Inventories and Lists)
E	法令與管制體系(Legislative and Regulatory System)
F	其他一般安全規定(Other General Safety Provisions)
G	用過核子燃料之管理安全(Safety of Spent Fuel Management)
H	放射性廢棄物之管理安全(Safety of Radioactive Waste Management)
I	跨國界運輸(Transboundary Movements)
J	密封廢射源(Disused Sealed Sources)
K	增進安全的一般努力(General Efforts to Improve Safety)
L	附件(Annexes)

資料來源：IAEA, 2024d

4.2.1 國家報告書格式與架構指引之版次差異比對

國際原子能總署於2002年發布「國家報告書格式與架構指引(INFCIRC/604)」做為各國編撰聯合公約國家報告書之參考。之後，共進行五次的改版修訂。各版次發布時間如下：

- 2002 年 7 月首次發布。
- 2006 年 7 月發布修訂一版(Rev.1)。
- 2012 年 9 月發布修訂二版(Rev.2)。
- 2014 年 12 月發布修訂三版(Rev.3)(IAEA, 2014)。
- 2023 年 1 月發布修訂四版(Rev.4)(IAEA, 2023c)。
- 2024 年 10 月發布修訂五版(Rev.5)(IAEA, 2024d)。

經比對各版次修訂的內容，彙整結果如表 4-3 所示。

表 4-3：國家報告書格式指引各版次修訂內容重點摘要表

版次	條次	原條文	新條文
修訂一版	II.一般規定 第 11 條	無	國家報告應包含可供報告員在國家審議期間使用的概述性綜覽表。格式和定義應由各締約方商定。
修訂二版	III.建議的國家報告格式與架構 第 J 節.密封廢射源 第 33 條	鼓勵每一締約方報告其是否允許密封廢射源重返其本國領土，以退回製造商。	本節應全面敘述有關管理密封廢射源的法律和管制體系，包括以下問題： — 國家法律體系內密封廢射源的狀況； — 管理密封廢射源的國家策略，包括密封射源製造商、供應商、所有者和使用者對其壽期內未善盡管理的法律責任； — 對於密封射源供應商目前或以往所屬的國家； • 關於密封廢射源重返其境內以返還有資格接收和持有該密封廢射源的製造商的體系； • 來自外國的被認為具有本國來源密封射源的回取方案(若有)。
修訂三版	II.一般規定 第 6 條	國家報告應包含內容，說明該締約方從上次審議會中討論其國家報告的結論。應詳述討論內容及與其他締約方作法的比較，且應說明： (a)目前作法的主要特點； (b)需要改進的領域和將來面臨的重大挑戰。	刪除
	III.建議的國家報告格式和結構 第 14 條	無	國際原子能總署的安全標準特別是「安全基本原理」和「安全要求」可提供建構高水準安全性的基礎，具有客觀性、透明性和技術中立性，對如何履行公約義務提供重要的指導。在說明履行公約義務時，可

			援引「安全基本原理」和「安全要求」的規定。
III.建議的國家報告格式與架構 第 E 節.立法和管制體系 第 23 條	本節應概述立法和管制體系，包括有關用過核子燃料管理和放射性廢棄物管理的國家安全要求、執照審核制度、檢查、評估和執行過程，以及責任的劃分。亦應敘述在決定是否把某些放射性物質定義為放射性廢棄物時所考慮的因素。在第一版國家報告書中，本節應盡可能詳細。必要時可在後續國家報告書中加以修訂。		本節應概述立法和管制體系，包括有關用過核子燃料管理和放射性廢棄物管理的國家安全要求、執照審核制度、檢查、評估和執行過程，以及責任的劃分。 <u>確保管制職能有效獨立於用過核子燃料管理和放射性廢棄物管理的措施外；應採取行動加強管制活動在公眾溝通時的透明度。</u> 亦應敘述在決定是否把某些放射性物質定義為放射性廢棄物時所考慮的因素。在第一版國家報告書中，本節應盡可能詳細。必要時可在後續國家報告書中加以修訂。
III.建議的國家報告格式與架構 第 K 節.為加強安全所作的一般努力	規劃執行的安全改進活動		為加強安全所做的一般努力。
III.建議的國家報告格式與架構 第 K 節.為加強安全所作的一般努力 第 35 條	無		本節亦應概述： (a)為處理以往審議會議確定的“建議和挑戰”所採取的措施； (b)其當前實施的主要特點、可能的改進領域、締約方確定自身面臨的主要挑戰以及締約方規劃如何處理這些問題。
III.建議的國家報告格式與架構 第 K 節.為加強安全所作的一般努力 第 36 條	無		本節應： —對於正在接待、曾經接待過或正計畫接待國際同儕審查小組訪問和後續小組訪問的國家，敘述對這種同儕審查小組訪問的政策、計

			<p>畫和時間安排；</p> <p>— 納入締約方為自願公開關於其國際同儕審查小組訪問情況的報告，所採取之措施。</p>
	<p>III. 建議的國家報告格式與架構</p> <p>第 K 節 為加強安全所作的一般努力</p> <p>第 37 條</p>	無	<p>本節應載列為加強履行公約義務相關資料公開性和透明度所採取之行動。</p>
	<p>國家報告書格式與架構指引的附件：自願公開相關資訊方面的實施</p>	無	<p>審議過程中，為使締約方能取得他國感興趣的透明資訊，故鼓勵締約方在自願基礎上實施以下措施：</p> <p>(1) 鼓勵締約方公開其根據公約第 32 條規定提交的國家報告書或報告摘要。尤其建議將國家報告書或摘要置於網路，讓感興趣者更方便獲得這些資料。</p> <p>(2) 亦鼓勵締約方公開在根據公約第 30 條第(3)項進行的審議過程中，從其他締約方接受問題和意見，包括回答這些問題和意見的答覆，或提供答覆的摘要，且不顯示提交問題或意見的締約方名稱。</p> <p>(3) 締約方的國家報告書在公開發表時，也可用於其他目的之資料來源。這些報告條理清晰地提供相關國家的用過核子燃料管理安全和放射性廢棄物管理安全的綜合資料。故許多國家將此資料用於人員訓練。</p>
修訂四版	<p>II. 一般規定</p> <p>第 4 條</p>	無	<p>每份國家報告當酌情：</p> <p>(g) 標示與前版國家報告書</p>

			重大差異之處。
	II.一般規定 第 10 條	為便於實際處理國家報告，鼓勵締約方將其作為一份單一的合訂檔來提交，其中包括主報告及所有附件；此外，如果所有國家報告都能採用共同的單一格式（如已廣泛採用的 297×210 公釐）提供，將會提供很大的便利性。	刪除
	II.一般規定 第 11 條	每份國家報告書都應包括一個提供報告員於國家組審查期間使用的概述性矩陣圖。格式和定義應由各締約方商定。	每份國家報告書都應包括一個提供報告員於國家組審查期間使用的概述性矩陣圖。格式和定義已由各締約方商定。
	附件 國家報告的格式和結構細則： 公開提供資料方面的實踐	無	除非有關締約方另行通知秘書處，否則秘書處將在審議會議後 90 天內公開將各國家報告上傳至聯合公約官網。
		鼓勵締約方公開其根據公約第 32 條規定提交的國家報告或摘要報告。 <u>尤其是，建議將國家報告或摘要報告公開上網，使感興趣者更方便獲取資料。</u>	鼓勵締約方公開其根據公約第 32 條規定提交的國家報告或摘要報告。
		鼓勵締約方公開在根據公約第 30 條第 3 款進行的審議過程中從其他締約方收到的問題和意見，包括對問題和意見的答覆，或這些答覆的摘要，同時不指明提交問題或意見的締約方名稱。	公開在審議過程中從其他締約方收到的問題和意見，包括對問題和意見的答覆，或這些答覆的摘要，同時不指明提交問題或意見的締約方名稱。
修訂 五版	III.建議的國家報告格式與架構 第 A 節.前言 第 14 條	本節應包括該報告的一般性前言、對主要安全問題和主要議題的綜述，還要提及締約方希望提出但報告其他地方未提及事項。	本節應包括該報告的一般性前言、對主要安全問題和主要議題的綜述，還要提及締約方希望提出但報告其他地方未提及事項。 <u>本節還應包括對第 K 節討論事項(如建議、挑戰、優良實績領域和建議的優良</u>

			實踐)。
	III.建議的國家報告格式與架構 第 K 節.為加強安全所作的一般努力 第 34 條	此節還應概述： (b)當前實踐的主要特點、可能改進事項、締約方確認本身面臨的主要挑戰及計畫如何處理這些問題。	此節還應概述： (b)當前實踐、政策和計畫包括締約方確認本身的優良實踐領域的主要特點、可能改進事項、締約方確認本身面臨的主要挑戰及計畫如何處理這些問題。
		無	(c)締約方建議國家組考量供其確認為優良實踐的任何措施、政策或計畫，以及具有足以滿足優良實踐所有要素的具體理由。

資料來源：IAEA, 2002; 2006; 2012; 2014; 2023c; 2024d

4.2.2 國家報告書格式與架構指引歷次改版之修訂重點研析

最新版次的國家報告書格式與架構指引(INFCIRC/604/Rev.5)經與前版次(Rev.4)條文內容進行比對，結果原則一致。表 4-3 中值得注意的是，有關 III.建議的國家報告格式與架構中，第 A 節前言第 14 條，新增本節還應包括對第 K 節討論事項(如建議、挑戰、優良實踐領域和建議的優良實踐)；另外，第 K 節為加強安全所作的一般努力第 34 條，新增(b)當前政策和計畫包括締約方確認本身的優良實踐領域，以及新增(c)締約方建議國家組考量供其確認為優良實踐的任何措施、政策或計畫，以及具有足以滿足優良實踐所有要素的具體理由。

4.3 我國 2025 年國家報告書英文草案編定

本章說明依據我國 2025 年國家報告書英文版，基於 2024 年國家報告書中文版為基礎，並參考 2020 年國家報告書英譯作業經驗進行雙語化編譯作業，經核安會書面初審與各組協助複審，英文版已於 2025 年 6 月送美國能源部審查，待確認美方回復後定稿印刷。

4.3.1 背景說明

依 IAEA 最新版次的國家報告書格式與架構指引 (INFCIRC/604/Rev.5)完成編寫我國 2024 年國家報告書中文版草案，並提出修訂重點對照表，並由相關用過核子燃料與放射性廢棄物產生單位提供我國安全管理措施更新資訊，原則增補民國 109 年 1 月 1 日至 113 年 12 月底期間相關的管制/管理措施與成果資訊。新版國家報告書所增補的更新資訊，其來源包括核安會官網發布的年報、績效報告與施政計畫；核安會對於處理與貯存設施，及處置計畫的管制資訊；各營運單位提報的營運管理年報、安全分析報告與台電公司處置計畫成果報告；台電核能後端營運官網等。相關引用資料，並進行必要的查證，儘可能確保其正確性與一致性。

此外，本計畫前於民國 113 年 5 月 30 日由核安會召集台電公司、清華大學、國原院等相關單位舉辦審議作業說明會議，請各單位協助更新補充以及研提意見。民國 113 年 8 月及 10 月召開兩次編審作業會議，經國原院統籌彙編修訂審查意見後，於民國 113 年 11 月 15 日完成初稿，國原院再依核安會複審意見修訂，並於 12 月 15 日完成國家報告書定稿。

4.3.2 更新資訊之參考與引用文件

我國 2025 年國家報告書英文版的雙語化編譯作業，係以我國 2020 年國家報告書英文版與 2024 年國家報告書中文版為基礎進行，並以核安會官網公告之法規英譯名稱為引用原則，編撰校對作業過程之主要重點歸納如下(蔡宇恬、紀立民，2021)：

- (1) 編撰人員及團隊應具英語能力與廢棄物管理專業
- (2) 編譯作業時間之有效掌握，並即時與核安會及時溝通及書面審查
- (3) 善用各種翻譯工具與專家諮詢

- (4) 留意中文與英文語法邏輯之差異
- (5) 正確使用專有名詞與專業術語，建立並善用專有名詞對照表或是核安會網站公告之放射性物料雙語詞彙等。
- (6) 確認報告書前後版次與前後文的一致性與正確性。

4.3.3 國家報告書英文版編修與審核過程

核安會於民國 114 年 3 月將 2024 年國家報告書中文版提供國原院參考，據以進行後續雙語化編譯作業，其中用過核子燃料和放射性廢棄物相關資訊更新至 113 年底(或 114 年最新狀況)。

案經國原院於 114 年 4 月 8 日將 2025 年國家報告書英文版初稿提供核安會進行報告格式檢查，114 年 4 月 14 日至 28 日進行書面初審，114 年 4 月 29 日至 5 月 14 日進行第一輪書面審查，114 年 5 月 20 日至 27 日進行第二輪書面審查。國原院就各項審查意見回覆及相關修訂，以確保報告雙語化作業的品質。國原院於 114 年 5 月 29 日將完成審查之國家報告書中、英文版以電子郵件提供核安會，並嗣於接獲該會通知英文版已於 114 年 6 月 10 日奉核定。

5. 結論與建議

本章總結說明本研究計畫成果之結論，並提出後續進一步進行研究發展之建議。

5.1 報告結論

本研究計畫完成下列 3 項重要工作項目，並分別提出研析成果：

- (1) 114 年放射性廢棄物管理及發展現況之國際資訊蒐整與研析

本工項完成蒐整 2025 年 1 月至 10 月期間國際有關放射性廢棄物管理及發展狀況的重大新聞報導，共 95 則資訊表列如附錄 A，並就放射性廢棄物管理、用過核子燃料運輸與貯存、用過核子燃料最終處置方面進行發展趨勢歸納分析。計畫期間國際核能機構 (IAEA 及 OECD/NEA) 發布重要參考文獻共蒐集 30 篇亦臚列供參。

此外，本工項持續追蹤芬蘭高放處置的最新進展，管制機構 STUK 審查期限展延(從原 2024 年底展延至 2025 年底)突顯法規制定彈性的重要性，故將 Possiva 最終處置場運轉執照申請案列為重要管制個案加以研析。除了更新該案例的審查進度，並分別就安全管制的進度追蹤、審查疑點、Posiva 補件情形及其管制重點探討分析，經驗回饋可作為我國最終處置安全評估審查之參考。

(2) 國際間對於照射後石墨放射性廢棄物管理的技術資訊研析，並提供安全管制建議

本工項完成蒐國際最新技術報告(IAEA, 2024b)，涵蓋石墨放射性廢棄物相關管理方法，包括特性分析、拆解移除、處理、包封、貯存與最終處置等議題，並說明多國實務案例與現行策略。本工項針對各國照射後石墨廢棄物之回收拆解、處理技術、貯存方案、處置方案等管理流程階段及安全管制等構面進行案例探討及綜合研析，以歸納掌握其特性分析、去污處理及最終處置等先進技術發展；同時蒐集國際最新資訊動態，掌握石墨廢棄物管理的發展趨勢；最後就技術路線趨勢、重點作業與設備發展、核安管制與環境保護歸納整體結論，作為後續安全管制之參考。

基於上開國際案例之經驗回饋於我國石墨拆解規劃。本工項蒐集國原院報告「核設施除役放射性石墨拆解策略與安全評估」(陳家貫, 2023)。針對拆解路線規劃、作業流程設計與管制重點、

設備與監測系統發展、法規安全與環境維護、國際案例經驗回饋等相關考量、政策及具體措施，提出我國研究用反應器(TRR)石墨拆解及廢棄物管理的管制建議與後續研究規劃，作為未來 TRR 石墨拆解後放射性廢棄物管理策略規劃及安全評估參考。

(3) 我國「用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約」報告書的資訊更新與雙語化編譯作業

基於前期計畫的 2024 年版國家報告書(初稿 1.3 版)，本計畫配合核安會完成中文版資訊更新與雙語化編譯作業。另外，初步蒐集核能發電國家發布的 2025 年版國家報告書，依據 IAEA 聯合公約網站，截至 114 年 10 月中旬為止，已有 88 個締約國提交國家報告書。

本工項已於 114 年 5 月 29 日將完成審查之國家報告書中、英文版以電子郵件提供核安會，並接獲該會電郵通知英文版已於 114 年 6 月 10 日奉核定。核安會嗣於 6 月將英文版交付美國能源部審查，截至 10 月底止，美方並無意見表示。我國 2025 年版國家報告書中文版已公告於核安會網站，供社會各界參閱。

5.2 心得建議

本計畫持續進行國際放射性廢棄物管理及發展之資訊蒐整更新，輔以重要案例探研與整體趨勢之綜合研析，有利於放射性廢棄物管理與管制作業借鏡，建議宜持續辦理以掌握國際發展脈動。

而我國 TRR 研究用反應器屬低功率運轉，石墨受中子照射後之劑量較低，因此規劃於「空氣中」進行反射體及熱中子室之石墨取出拆解作業，避免水下方法產生額外廢棄物，與英國、德國及羅馬尼亞案例相同，石墨在拆卸後被包封於鋼桶內並暫貯於專用設施中。照射

後石墨放射性廢棄物依其特性，屬於國內分級的低放射性廢棄物，應納入整體放射性物料管理體系中。經由國際重要案例資訊蒐集研析可回饋至管制面向之參考。

對於國際聯合公約要求每三年提交國家報告書，我國雖非 IAEA 會員國，亦致力遵循並透過台美會議合作機制，提請美方審閱與表示意見。可反映我國在用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全上的積極參與態度，及呈現核能發電及小產源相關單位與人員堅守崗位，維繫高水準安全投入的心力及貢獻。

參考文獻

1. 台灣電力公司，2023，用過核子燃料最終處置計畫書 (2022年修訂版)
2. 原能會，2020，國家報告書:依據「用過核子燃料管理安全與放射性廢棄物管理安全」聯合公約，行政院原子能委員會。
https://www.nusc.gov.tw/share/file/fcma/4D3YLKuhn5~sIqUUHRwUIQ_.pdf
3. 紀立民、林洺秀、楊進有，2020，109 年用過核子燃料與放射性廢棄物管理安全聯合公約國家報告書研析，放射性物料管理局委託研究計畫研究報告，109FCMA010。
4. 曾漢湘、周光暉、吳禮浩、楊東昌、陳誠一，2024，113年放射性廢棄物處置安全管制國際資訊研析，放射性物料管制組委託研究計畫研究報告，NSC11302024L。
5. 經濟部，2012，公告台東縣達仁鄉及金門縣烏坵鄉2處為低放射性廢棄物最終處置設施建議候選場址，經營字第10104604770號公告。
6. 蔡雨恬、紀立民，2021，聯合公約國家報告書英文版編撰要點之研析，核能研究所技術報告，INER-15785R。
7. 陳家貫，2020，TRR石墨廢棄物管理與熱氧化除污模擬研究，核能研究所技術報告，INER-15284R。
8. 陳家貫，2023，核設施除役放射性石墨拆解策略與安全評估，核能研究所技術報告，INER-17184。
9. 藍泰蔚，2025，赴美國參加2025年放射性廢棄物管理研討會，核安會出國報告，C11400440。
10. IAEA, 1997, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, International Atomic Energy Agency.
<https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc546.pdf>
11. IAEA, 2014, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Guidelines regarding the Form and Structure of National Reports, NFCIRC/604/Rev. 3, International Atomic Energy Agency.

<https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc604r3.pdf>

12. IAEA, 2018, Parties Begin 6th Peer Review under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel and on the Safety of Radioactive Waste Management. News on 23 May 2018.
<https://www.iaea.org/newscenter/news/parties-begin-peer-review-under-the-joint-convention-on-the-safety-of-spent-fuel-and-on-the-safety-of-radioactive-waste-management>
13. IAEA, 2022a, Focus on Safety of Spent Fuel and Radioactive Waste Management at 7th Review Meeting of the Joint Convention. News on 28 Jun 2022.
<https://www.iaea.org/newscenter/news/focus-on-safety-of-spent-fuel-and-radioactive-waste-management-at-7th-review-meeting-of-the-joint-convention>
14. IAEA, 2022b, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, the Summary Report of 7th Review Meeting of the Contracting Parties, International Atomic Energy Agency.
<https://www.iaea.org/sites/default/files/jc-rm7-04-rev2-summary-report.pdf>
15. IAEA, 2023a, Power Reactor Information System (PRIS), International Atomic Energy Agency.
<https://pris.iaea.org/pris/home.aspx>
16. IAEA, 2023b, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Latest Status of Signature and Ratification, International Atomic Energy Agency.
https://www.iaea.org/sites/default/files/22/06/jointconv_status.pdf
17. IAEA, 2023c, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Guidelines regarding the Form and Structure of National Reports, NFCIRC/604/Rev. 4, International Atomic Energy Agency.
<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/2002/infcirc604r4.pdf>
18. IAEA, 2023d, Joint Convention Newsletter, Issue No. 10 – 2023 September, International Atomic Energy Agency.
https://www.iaea.org/sites/default/files/23/12/jc_newsletter_issue_10_final-12dec.pdf
19. IAEA, 2024a, Joint Convention Brochure, International Atomic

- Energy Agency.
https://www.iaea.org/sites/default/files/24/09/24-01066e_web.pdf
20. IAEA, 2024b, Final Report of A Coordinated Research Project: Managing Irradiated Graphite Waste, IAEA-TECDOC-2072, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2072web.pdf>
 21. IAEA, 2024c, Policies and Strategies for the Management of NORM Residues and Wastes, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-G-3.4, International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15294-PUB2089_web.pdf
 22. IAEA, 2024d, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Guidelines regarding the Form and Structure of National Reports, NFCIRC/604/Rev.5, International Atomic Energy Agency.
<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/2002/infcirc604r5.pdf> (需另開新視窗)
 23. IAEA, 2024e, Joint Convention Newsletter, Issue No. 11 – 2024 December, International Atomic Energy Agency.
https://www.iaea.org/sites/default/files/25/01/jc_newsletter_issue_no.11.pdf (需另開新視窗)
 24. IAEA, 2025a, Focus on Safety of Spent Fuel and Radioactive Waste Management at 8th Review Meeting of the Joint Convention. News on 17 Mar 2025.
<https://www.iaea.org/newscenter/news/focus-on-safe-management-of-spent-fuel-and-radioactive-waste-at-eighth-review-meeting-of-the-joint-convention> (需另開新視窗)
 25. IAEA, 2025b, International Safeguards in the Design of Radioactive Waste Management Programmes, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.28, International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15489-PUB2085_web.pdf
 26. IAEA, 2025c, Environmental Remediation and Management of Trenches Containing Historic Radioactive Wastes, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-G-3.3, International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15084-PUB2075_web.pdf

27. IAEA, 2025d, Performance Indicators to Monitor, Assess and Improve Knowledge Management Programmes in Nuclear Organizations, IAEA-TECDOC-2080, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2080web.pdf>
28. IAEA, 2025e, Waste Minimization During the Life Cycle of Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-2091, IAEA, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2091web.pdf>
29. IAEA, 2025f, Experiences and Lessons Learned in Managing Severely Damaged Spent Fuel and Corium, IAEA-TECDOC-2085, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2085web.pdf>
30. IAEA, 2025g, Establishing a Training Programme on the Safety Review of Nuclear Installation Sites, IAEA-TECDOC-2083, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2083web.pdf>
31. IAEA, 2025h, Model Regulations for the Use of Radiation Sources and for the Management of the Associated Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-1732, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www.iaea.org/publications/15823/model-regulations-for-the-use-of-radiation-sources-and-for-the-management-of-the-associated-radioactive-waste>
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1732_Rev1web.pdf
32. IAEA, 2025i, Information and Computer Security for Activities Involving Radioactive Material and for Associated Facilities, Non-serial Publications, International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TDL_013web.pdf
33. IAEA, 2025j, The BIOMASS Methodology, Safety Reports Series No. 126, International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15636-PUB2097_web.pdf
34. IAEA, 2025k, Data on Freshwater Systems and Off-site Decontamination and Remediation Following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and Comparison with Global Experience, IAEA-TECDOC-2088, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2088web.pdf>

35. IAEA, 2025l, Regulatory Enforcement Policy Development and Implementation, IAEA-TECDOC-2089, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www.iaea.org/publications/15763/regulatory-enforcement-policy-development-and-implementation>
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2089web.pdf>
36. IAEA, 2025m, Non-ergodic Ground Motion Models for Site Specific Seismic Hazard Assessment at Nuclear Installation Sites, IAEA-TECDOC-2093, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2093web.pdf>
37. IAEA, 2025n, Distribution Coefficients for Soil, Freshwater and Marine Systems for Exposure Assessments, IAEA-TECDOC-2095, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2095web.pdf>
38. IAEA, 2025o, Assessment of Radioactive Contamination, Exposures and Countermeasures in Urban Environments, IAEA-TECDOC-2096, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2096web.pdf>
39. IAEA, 2025p, Tritium in the Environment, Technical Reports Series No. 495, International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15287-DOC_010_495_web.pdf
40. IAEA, 2025q, Manual on the Safe Production, Transport, Handling and Storage of Uranium Hexafluoride, IAEA-TECDOC-771(Rev.1), International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-771_Rev_1web.pdf
41. IAEA, 2025r, Guidance on Cost Estimate of Available NORM Waste Disposal Options, IAEA-TECDOC-2103, International Atomic Energy Agency, Vienna.
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-2103web.pdf>
42. IAEA, 2025s, Monitoring for Protection of the Public and the Environment, IAEA Safety Standard No. GSG-19, International Atomic Energy Agency, Vienna.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p15857-PUB2121_web.pdf
43. IAEA, 2025t, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Summary Report of the Eighth Review Meeting of the Contracting Parties, International Atomic Energy Agency.

- https://www.iaea.org/sites/default/files/jc-rm8-04-rev2_summary-report-28mar2025.pdf
44. NEA, 2024a, Underground Research Laboratories (URLs) - 2024 Update, OECD Publishing, Paris.
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2024-12/nea_rwm_r_2023_2.pdf
 45. NEA, 2025a, Unlocking the Hidden Value of Nuclear Fuel: The Societal Benefits of Diverse Material Recycling, OECD Publishing, Paris.
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-01/7674_unlocking_hidden_value_of_nuclear_fuel.pdf
 46. NEA, 2025b, Proceedings of the International Workshop on Developments in Safety Assessment Approaches and Safety Management Practices of Fuel Cycle Facilities, OECD Publishing, Paris.
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-02/nea_csni_r_2021_5_update_january_2025_2025-02-07_15-27-21_39.pdf
 47. NEA, 2025c, International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste, OECD Publishing, Paris.
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2024-11/2b_nea_rwm_r_2024_2.pdf
 48. NEA, 2025d, Characteristics of a Trusted Nuclear Regulator, OECD Publishing, Paris.
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-03/7618_green_booklet_characteristics_of_a_trusted_nuclear_regulator.pdf
 49. NEA, 2025e, Third NEA Stakeholder Involvement Workshop on Optimisation in Decision Making: Summary Report, OECD Publishing, Paris.
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-04/7679_third_stakeholder_involvement_ws_proceedings.pdf
 50. NEA, 2025f, 2024 NEA Annual Report, OECD Publishing, Paris.
https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-07/nea_annual_report_2024.pdf
 51. NEA, 2025g, Summary of the NEA Assessment on Spent Nuclear Fuel Decay Heat for Light Water Reactors, OECD Publishing, Paris.

https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-09/7733_spent_nuclear_fuel_decay_heat_for_light_water_reactors.pdf

52.NEA, 2025h, Supporting the Implementation of Robotics and Remote Systems in the Nuclear Back-End, OECD Publishing, Paris.

https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-09/rwm_r_2024_3_2025-09-16_17-21-55_700.pdf

53.NEA, 2025i, Interaction of Water and Minerals in the Nanometric Pore Space of Clays and Shales: The CLAYWAT Project, OECD Publishing, Paris.

https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-07/nea_rwm_r_2023_4_2025-07-18_14-07-0_327.pdf

附錄 A：放射性廢棄物管制及管理國際資訊蒐集表

蒐集期間：2025 年 1 至 10 月

條次	標題	時間
一、管制類		
1	法國成立核子安全與輻射防護局(ASNR)	01.02
2	IAEA 推出增強型 eSARIS 工具加強全球核子安全標準	01.14
3	用過核子燃料最終處置場運轉執照審查進入最後階段	02.01
4	法國成立核子安全與輻射防護局(ASNR)後續報導	02.01
5	IAEA 表示西班牙已強化監管架構	02.07
6	確認日本福島核電廠最近一次含氚廢水排放是安全的	03.17
7	IAEA 報告讚揚英國在聯合公約審議會會議的表現	04.03
8	芬蘭 STUK 年度報告回顧匯集了 2024 年的亮點	04.15
9	日本福島最新一次含氚廢水排放獲得批准	04.15
10	各國可以了解芬蘭處理核廢棄物的情況	04.23
11	ASNR 專家意見發布法規條款	04.30
12	西班牙 Garoña 核電廠用過核燃料貯存設施擴建核准	05.02
13	芬蘭 STUK 透過制度改革進行許可與監管	05.12
14	芬蘭 STUK 預計在年底前做出處置場的決定	05.23
15	北歐核子管制機構尋求加強合作	05.26
16	加拿大第二個處置場的選址開始進行公眾參與	06.06
17	法國 2024 年核子安全和輻射防護(核子設施部分)	06.19
18	廢棄放射源管理：IAEA 安全與保防導則	07.03
19	芬蘭放射性物質的數量持續減少	07.04
20	法國放射性廢棄物專家就 Cigéo 封閉後長期安全提出建議	07.08
21	法國 ASNR 建立某些放射源運輸作業的授權制度	07.22
22	美國 NWTRB 開會討論能源部核廢棄物管理進展	08.02
23	英國青年論壇：讓年輕人對英國核廢棄物管理長期計畫發表意見	09.11
24	加拿大-美國-英國管制合作交流經驗教訓	09.16
25	IAEA 報告確認日本福島核處理水排放安全	09.17
26	菲律賓建立核子安全架構	10.01
27	加拿大監管機構核准安大略電力公司運轉新的廢棄物處理設施	10.13
28	多國攜手應對拒絕和延遲放射性物質運輸問題	10.15

二、管理類		
29	觀點：國際合作是地質處置計畫的關鍵	12.23
30	韓國 KORAD 選定江原道太白市設立放射性廢棄物實驗室	12.24
31	瑞典用過核子燃料處置場破土動工	01.15
32	美國漢福德場址已敲定清理協議	01.15
33	法國地質處置場建照申請第二階段技術審查結果公佈	01.09
34	英國核廢棄物管理委員會(CoRWM)參觀位於坎布里亞郡(Cumbria)巴羅(Barrow)和卡萊爾(Carlisle)的設施	01.22
35	英國決定處置鈾	01.24
36	瑞典 SKB 短半化期中低放射性廢棄物處置場擴建中	01.24
37	英國縮小潛在地質處置場址的尋找範圍	01.30
38	日本福島第一核電廠開始拆除核處理水儲存槽	02.06
39	美國橡樹嶺恢復廢棄物處理作業	02.10
40	韓國國會通過高放射性廢棄物特別法	02.27
41	韓國頒布高放射性廢棄物立法	03.04
42	芬蘭封裝廠試運轉作業完成	03.05
43	美國 WIPP 新通風設施試運轉里程碑	03.07
44	芬蘭 Posiva 完成處置場回填試運轉	03.14
45	英國政府資助的鑽孔處置計畫取得里程碑進展	03.17
46	瑞典處置場的指南能保存十萬年嗎？	03.20
47	德國提議加速尋找核廢棄物處置場址	03.21
48	共創未來：加拿大 NWMO 2024 年年度報告強調一年進步和合作	03.24
49	巴西用過核子燃料貯存設施獲得延長許可證	04.02
50	英國林肯郡議會將退出核廢棄物處置設施小組	04.07
51	美國 Deep Fission 與 Deep Isolation 簽署諒解備忘錄	04.07
52	俄羅斯 RBMK 在 Zheleznogorsk 開始貯存用過核子燃料	04.16
53	瑞典 Studsvik 負責管理 ESS 放射性廢棄物	04.17
54	美國綜合廢棄物管理系統和用過核子燃料管理工具	04.23
55	專家小組為挪威廢棄物處置方案提出建議	04.29
56	比利時 Doel3 用過燃料池廢棄物開始分類處理	04.29
57	美國協議豁免允許 INL 接收用過核子燃料	05.01
58	加拿大深地層處置設施供應商選定	05.13
59	Andra 更新法國處置設施成本估算	05.13
60	美國研究驗證 TRISO 燃料的鑽孔處置概念	05.21
61	Amentum 將指導挪威的核子清理工作	05.30

62	芬蘭 Posiva 獲准生產核廢棄物回填黏土	06.02
63	英國林肯郡退出核廢棄物處置場選址程序	06.04
64	美國 NRC 批准 NAC 的 OPTIMUS-L 包封容器	06.10
65	比利時處置設施選定建造承包商	06.18
66	瑞典 Forsmark 用過核子燃料處置場簽署協議	06.19
67	芬蘭首個銅質廢棄物罐毛坯生產完成	06.25
68	瑞士 Nagra 發布地質處置場計畫申請摘要	06.26
69	英國希望利用機器人協助放射性廢棄物管理	06.27
70	美國能源部預計 2027 年向愛達荷州交付高燃耗用過核子燃料	07.09
71	保加利亞管制機構報告貯存場計畫延期	07.16
72	分享您對加拿大用過核子燃料計畫的想法和觀點	07.17
73	美國能源部測試新型用過核子燃料容器密封系統	07.19
74	俄羅斯原子能集團推進 SNF 孿生技術	07.24
75	深層地質處置場進度-2025 年更新	07.26
76	美國薩凡納河場址用過核子燃料處理的捷徑	08.01
77	瑞士電腦模擬證實了蒙特泰里計畫(Mont Terri Project)的研究結果	08.04
78	英國計畫研究提高國內核能等級石墨供應	08.12
79	德國開始評估 AsseII 鹽礦的貯存室狀況	08.19
80	美國環保署核准擴大 WIPP 廢棄物貯存規模	08.20
81	英國政府投資銻處置的先進技術研發	09.01
82	英國場址評估：環境選址因素	09.09
83	巴西 Angra 核電廠 1 號機用過燃料移至乾貯設施	09.09
84	韓國放射性廢棄物管理機構與太白市加強 URL 合作	09.09
85	英國 UKNNL 與 Lynkeos 合作進行核廢棄物成像技術	09.09
86	韓國實施高放射性廢棄物立法	09.16
87	比利時處置設施開始興建	09.17
88	美國能源部無法確定清理工程的成本	10.03
89	比利時廢棄物貯存設施擴建工程核准	10.06
90	西班牙放射性廢棄物策略取得進展	10.08
91	Holtec 取消新墨西哥州暫時貯存設施計畫	10.10
92	國際原子能總署確認福島水質安全	10.10
93	下一代核燃料濕式貯存設施抵達印度庫丹庫拉姆	10.10
94	Deep Isolation 表示先進核能計畫應考慮廢棄物	10.13
95	隧道業擴大廢棄物處置場合作	10.15

註：日期表示新聞登載的月份

附錄 B：2025 年 1 至 10 月放射性廢棄物管理國際動態資訊

國家/機構	新聞分類	2025 年放射性廢棄物管理新聞標題
綜合	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> • 12.23 觀點：國際合作是地質處置計畫的關鍵 • 07.26 深層地質處置場進度-2025 年更新 • 10.15 隧道業擴大廢棄物處置設施合作
芬蘭	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> • 03.05 封裝廠試運轉作業完成 • 03.14 Posiva 完成處置場回填試運轉 • 06.02 Posiva 獲准生產核廢棄物回填黏土 • 06.25 芬蘭首個銅質廢棄物罐毛坯生產完成
挪威	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> • 04.29 專家小組為挪威廢棄物處置方案提出建議 • 05.30 Amentum 將指導挪威的核子清理工作
比利時	放射性廢棄物管理 高放貯存	<ul style="list-style-type: none"> • 04.29 Doel3 用過燃料池廢棄物開始分類處理 • 10.06 廢棄物貯存設施擴建工程核准
	低放處置	<ul style="list-style-type: none"> • 06.18 處置設施選定建造承包商 • 09.17 處置設施開始興建
瑞士	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> • 06.26 Nagra 發布地質處置場計畫申請摘要 • 08.04 電腦模擬證實 Mont Terri 計畫的研究結果
俄羅斯	高放貯存	<ul style="list-style-type: none"> • 04.16 俄羅斯 RBMK 在 Zheleznogorsk 開始貯存用過核子燃料 • 07.24 俄羅斯原子能集團推進 SNF 孿生技術
美國	放射性廢棄物管理	<ul style="list-style-type: none"> • 02.10 橡樹嶺恢復廢棄物處理作業 • 04.23 廢棄物管理系統和用過核子燃料管理工具 • 05.01 美國協議豁免允許 INL 接收用過核子燃料 • 06.10 NRC 批准 NAC 的 OPTIMUS-L 包封容器 • 07.09 能源部預計 2027 年向愛達荷州交付高燃耗用過核子燃料 • 07.19 能源部測試新型用過核燃料容器密封系統 • 08.01 薩凡納河場址用過核子燃料處理的捷徑 • 10.03 能源部無法確定清理工程成本 • 10.13 Deep Isolation 表示先進核能計畫應考慮廢棄物
	高放貯存	<ul style="list-style-type: none"> • 10.10 Holtec 取消新墨西哥州暫時貯存設施計畫
	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> • 01.15 漢福德場址已敲定清理協議 • 03.07 WIPP 新通風設施試運轉里程碑 • 05.21 美國研究驗證 TRISO 燃料的鑽孔處置概念

		<ul style="list-style-type: none"> · 08.20 環保署核准擴大 WIPP 廢棄物貯存規模
西班牙	放射性廢棄物管理	<ul style="list-style-type: none"> · 10.08 放射性廢棄物策略取得進展
法國	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> · 01.09 地質處置場建照申請第二階段技術審查結果公佈 · 04.17 美國 Deep Fission 與 Deep Isolation 簽署諒解備忘錄 · 05.13 Andra 更新法國處置設施成本估算
加拿大	放射性廢棄物管理	<ul style="list-style-type: none"> · 03.24 共創未來：加拿大 NWMO2024 年年度報告強調一年進步和合作 · 07.17 分享您對用過核子燃料計畫的想法和觀點
	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> · 05.13 加拿大深地層處置設施供應商選定
瑞典	放射性廢棄物管理	<ul style="list-style-type: none"> · 04.17 瑞典 Studsvik 負責管理 ESS 放射性廢棄物
	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> · 01.15 用過核子燃料處置場破土動工 · 01.24 瑞典 SKB 短半化期中低放射性廢棄物處置場擴建中 · 03.20 瑞典處置場的指南能保存十萬年嗎？ · 06.19 Forsmark 用過核子燃料處置場簽署協議
巴西	高放貯存	<ul style="list-style-type: none"> · 04.02 用過核子燃料貯存設施獲得延長許可 · 09.09 Angra 核電廠 1 號機用過燃料移至乾貯設施
英國	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> · 01.22 英國核廢棄物管理委員會(CoRWM)參觀位於坎布里亞郡(Cumbria)巴羅(Barrow)和卡萊爾(Carlisle)的設施 · 01.24 英國決定處置鈾 · 01.30 英國縮小潛在地質處置場址的尋找範圍 · 03.17 政府資助的鑽孔處置計畫取得里程碑進展 · 04.07 林肯郡議會將退出核廢棄物處置設施小組 · 06.04 林肯郡退出核廢棄物處置場選址程序 · 09.01 政府投資鈾處置的先進技術研發 · 09.09 場址評估：環境選址因素
	放射性廢棄物管理	<ul style="list-style-type: none"> · 06.27 希望利用機器人協助放射性廢棄物管理 · 08.12 計畫研究提高國內核能等級石墨供應 · 09.09 英國 UKNNL 與 Lynkeos 合作進行核廢棄物成像技術

德國	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> · 03.21 德國提議加速尋找核廢棄物處置場址 · 08.19 德國開始評估 AsseII 鹽礦的貯存室狀況
日本	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> · 02.06 福島第一核電廠開始拆除核處理水貯存槽 · 10.10 國際原子能總署確認福島核處理水質安全
韓國	高放處置	<ul style="list-style-type: none"> · 12.24 KORAD 選定江原道太白市設立放射性廢棄物實驗室 · 02.27 國會通過高放射性廢棄物特別法 · 03.04 韓國頒布高放射性廢棄物立法 · 09.09 KORAD 與太白市加強 URL 合作 · 09.16 韓國實施高放射性廢棄物立法
保加利亞	放射性廢棄物管理	<ul style="list-style-type: none"> · 07.16 管制機構報告貯存場計畫延期
印度	高放貯存	<ul style="list-style-type: none"> · 10.10 下一代燃料濕式貯存設備抵達 Kudankulam

註：日期表示新聞登載的月份