

2021
AUGUST
雙月刊

核 後 端

004

Nuclear BACK-END



南韓核電廠的 除役經驗



臉書專頁

天然石材建材中的
輻射如何防護管理

IAEA 讚揚日本 JAEA
的核後端計畫

被塑膠垃圾淹沒的地球—
使用核技術解決塑廢污染

Cyclife 公司將處置
德國 16 件蒸汽產生器

英國零售業將於 2040 年
達成淨零排放目標

SKB 公司：瑞典政府應合併考
量高放處置設施相關申請案

編輯室手札

當海龜鼻子插著吸管的驚人影片公布之後，人們終於意識到海洋中塑膠污染的嚴重程度。根據聯合國環境規劃署的統計數據，每年約有 800 萬噸塑膠垃圾流入海洋，危害生態系統與海洋生物。尺寸小於 5 毫米的塑膠顆粒稱為微塑膠，被海洋生物攝食之後進入食物鏈，最終歸宿將是人體內。根據預測，到 2025 年時，海洋中每 3 噸魚獲中就含有 1 噸塑膠廢棄物，到 2050 年海洋中的塑膠可能比魚還多。本期為您探討如何藉助核與同位素技術的特性追蹤、改變塑膠污染物，而能減少塑膠垃圾量。

在我們的生活環境中輻射無所不在，土壤、岩石、建材、煤灰、人體和食物中都存在著天然輻射。自地球誕生以來，地殼中的岩石與土壤即含有不同濃度的天然放射性核種，例如釷-232、鈾-238，在自然衰變過程中會產生放射性惰性氣體氡 (Rn)。聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR) 曾評估指出全球每人每年接受的天然輻射劑量，其中體外劑量占 1/3，體內劑量占 2/3。體內劑量除經由蔬菜飲食途徑所造成的鉀-40 占 10% 外，其餘約 90% 源自氡氣及其子核種所造成。

清華大學許芳裕教授特別撰文說明：在台灣，常使用的磁磚、花崗岩、大理石等建材因含有釷、鈾系列或鉀-40 的天然放射性核種，所以可量測到輻射劑量，這也是背景輻射的來源之一。天然石材等建材雖然含有天然的放射性物質，也會產生輻射，對於天然石材建材的輻射防護與管理，只要符合國內天然放射性物質管理辦法的規定，即無影響公眾安全之虞。

在氣候危機迫在眉睫之際，我們不僅同島一命，更是全球一命，全體人類共用這個藍色星球的海洋，也共同面對極端氣候的致命打擊，沒有人可以置身度外。英國零售商工會正以實際行動支持氣候行動藍圖來因應氣候變遷，他們相信只要齊心協力落實脫碳步驟，在政府大力支持之下，零售業及相關供應鏈將於 2040 年達成淨零排放的目標，英國民眾將可以購買或租用對氣候影響極小化的產品。

我們生活的地球，一再地用酷熱、嚴寒、劇旱、洪澇的方式向我們所有人證明，這個世代已經面臨存亡絕續的邊緣。全球性問題需要全球性的解決方案，也惟有團結一致積極行動才能解決重大難題；只要每個人從自身做起，啟動低碳的生活模式，終將匯聚成為潔淨地球的一股力量。☀

目錄

專題報導 2 南韓核電廠的除役經驗 - 編輯室

原子能小學堂 12 用過核子燃料最終處置的 ABC (下) - 劉振乾

生活中的輻射 18 天然石材建材中的輻射如何防護管理 - 許芳裕
23 被塑膠垃圾淹沒的地球 - 使用核技術解決塑廢污染 - 編輯室

科普有意思 30 原子能名詞小典故 - 編輯室

國際脈動 34 IAEA 讚揚日本 JAEA 的核後端計畫 - 編輯室
36 SKB 公司：瑞典政府應合併考量高放處置設施相關申請案
- 編輯室
39 Cyclife 公司將處置德國 16 件蒸汽產生器 - 編輯室
40 英國零售業將於 2040 年達成淨零排放目標 - 編輯室

新聞報馬仔 42 國外新聞 - 編輯室
45 國內新聞 - 編輯室

出版單位：財團法人核能資訊中心
地 址：新竹市光復路二段一〇一號
電 話：(03) 571-1808
傳 真：(03) 572-5461
臉書粉絲專頁：請搜尋「財團法人核能資訊中心」
電子郵件：nicentersys@gmail.com
發行人：郭瓊文
編輯委員：李四海、陳條宗、郭瓊文、謝牧謙（依
筆畫順序）

主 編：鍾玉娟
文 編：林庭安、翁明琪、呂樂樂
執 編：長榮國際 文化事業本部
設計排版：長榮國際 文化事業本部
地 址：臺北市民生東路二段 166 號 6 樓
電 話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司 印刷廠
行政院原子能委員會敬贈 廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈 廣告

南韓核電廠的 除役經驗

文 編輯室



南韓身為全球第五大核電生產國家，目前共有 24 部核電機組運轉中，分布在 4 座核電廠，為南韓生產超過 25% 的電力，也由於南韓國土比美國、法國、中國等核電大國小非常多，國家核電密度因此為全球最高（以每平方英里有多少部核電機組來計算）。南韓大部分的核電機組位於該國人口稠密的東南部的兩座核電廠，靠近慶州、蔚山和釜山市，這些城市為南韓主要的電力需求中心，也是許多重工業的所在地。

南韓的能源政策著重「國家能源安全」，以對進口化石燃料的依賴降至最低為目標，因此南韓自 1970 年代即開始研發核電廠國產建設計畫，旨在減少因國際間化石燃料短缺時對國家能源安全可能造成的影響。南韓與我國狀況類似，大部分的主要發電來源（2018 年時的數字為 98%）必須進口國外的燃煤與液化天然氣（LNG），且南韓也不如許多國家設有跨國天然氣管線，只能依靠載運液化天然氣船隻自出口國運送至南韓，於國內 7 座接收站進行再氣化後才可供燃氣電廠發電。

由於全球暖化越顯急迫，身為世界煤炭與天然氣前幾大進口國，南韓在 2015 年時確立了「2030 年時將溫室氣體排放量從估算的 8.5 億噸減少 37%」的目標。與化石燃料電廠不同，核能發電廠因為是利用核分裂效應所產生的能量來發電，因此在發電過程中並不會產生二氧化碳，在減少碳排放的執行上扮演著重要的角色。

但是，為因應 2011 年福島事故後所出現的質疑核能安全聲浪，立場反核的文在寅在 2017 年上任總統後，隨即在古里

（Kori）核電廠 1 號機組的除役典禮上宣布南韓「不延不建，逐步脫核」^[註]的目標，2038 年時運轉中核電機組的數量將減少至 14 部。古里 1 號機是南韓第一座核電機組，自 1978 年就開始商業運轉，2007 年時獲准延役 10 年，在經過 40 年的運轉後已於 2017 年 6 月關閉，也是南韓首座邁入除役的機組。

南韓現有核電機組啟動商業運轉的時間介於 1978 年與 2019 年，均由韓國電力公司旗下的韓國水力與核電公司（Korea Hydro and Nuclear Power Corporation, KHNP）負責營運，除了古里 1 號機之外，月城（Wolsong）核電廠 1 號機也於 2019 年 12 月、比運轉許可期限提早 3 年關閉；另外還有 10 部機組的運轉許可都將於 2030 年到期，南韓屆時將迎來大規模的核電除役時期。

南韓政府的除役策略與雄心壯志

南韓至今尚無完整除役商業用核反應爐的經驗，古里 1 號與月城 1 號機組雖然都已終止運轉，但實質的除役工程都還未開始，僅處於除役準備的階段。南韓政府也因此將古里 1 號機的除役視為開發核子設施除役技術的一個機會，除了可增加國內核電廠除役的經驗，未來還可提升南韓在國際除役市場所占的地位。南韓政府在 2019 年時就已為推廣南韓核子設施的除役制定了相關商業策略，期望能從技術上支援古里 1 號機的除役，並透過核子設施的除役發展南韓核工業的技術競爭力，甚至有野心的將目標放在 2035 年的全球核電除役市場，期望屆時能在全球除役市

南韓各核電廠與機組現況 (2020 年)



南韓現有 24 部核電機組在運轉中，分布在 4 座核電廠，另有 4 部機組興建中，2 部機組已關閉待進行除役工程。(圖片來源：美國 EIA，本刊譯)

場占有 10%、成為市場前五大玩家的腳色。

南韓這項商業策略還計畫為核電廠的除役設立數座專門的研究中心，首座為核反應爐的拆除所建立的研究所將於今 (2021) 年下半年完工，KHNP 為此已與當地市政當局簽署了相關的備忘錄 (MOU)，該研究所將由兩個研究機構組成，分別負責研究輕水反應爐 (Light-water reactors) 與重水反應爐 (Heavy-water reactors) 的拆除。

除了為核電廠除役建立相關的研究機構，南韓產業通商資源部 (產資部) 還將投入更多的資金，來推動安全處理放射性廢棄物方法，以及處理放射性廢棄物期間所需要的核心設備等的研發。南韓政府也根據其市場變化的需求，計畫對現有核能專家進行再教育，並通過撥款 500 億韓元

(約 12.5 億元新台幣)，幫助相關的公司向除役進行財務轉型。透過古里 1 號機的除役來證明除役能力，南韓政府計畫在 2020 年代後期與其他除役技術較先進的國家合作，最終在 2030 年代後期獨立贏得他國除役計畫的合約。

此外，南韓產資部也計畫為相關系統進行加強，讓核電廠的除役可以安全、透明的進行。南韓工業部長 (Industry Minister) 當時表示，「在進行核電廠除役計畫的同時，政府期望能為核工業各公司創造商機，並為核電廠周邊地區找尋經濟復興的機會。」根據南韓工業部的估計，南韓的除役市場約有 22.5 兆韓元的商機，還將於 2020 年代後期有所成長，全球除役市場則高達近 550 兆韓元。南韓中央與地方政府估計拆除一座核電機組的成本約為近 8,000 億韓元 (約 195 億元新台幣)。

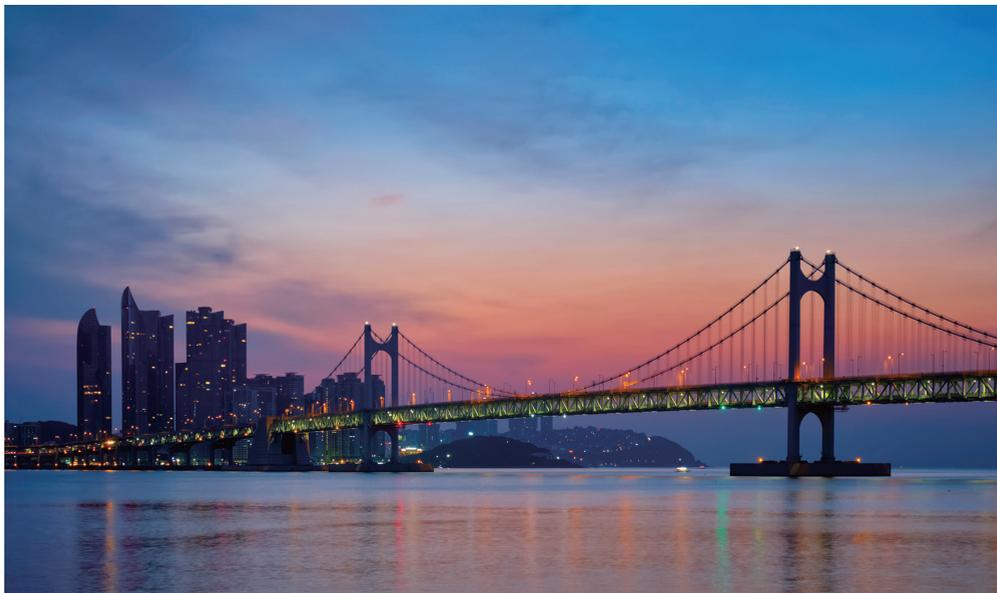
古里核電廠 1 號機除役計畫

為了可安全、順利的執行古里 1 號機的除役計畫，KHNP 將與國內外相關公司與機構合作，也就除役所需技術的研發、確保相關的資金進行了充分的準備，有些準備甚至在古里 1 號機運轉執照到期（2017）前數年前就已開始進行。該部機組在 2017 年宣布關閉後即將爐心內的核子燃料移出，至該部機組的用過核子燃料池進行暫時貯存，反應爐至今也一直維持在穩定、安全的冷停機狀態（Cold Shutdown）。

古里 1 號機目前的除役進度還在除役準備工作的階段，準備工作內容涵蓋除役計畫的申請與運轉許可的變更（即自運轉許可轉變至除役許可）等，KHNP 現在正

著手準備古里 1 號機的除役計畫，並於數個月前結束計畫所需要的民眾公聽程序、收集民眾的意見想法並依這些意見修訂除役計畫，待完成後才可向管制機構核能安全與保安委員會（Nuclear Safety and Security Commission, NSSC）提交除役計畫與申請。除役計畫的內容包含了人力與成本的管控、環評調查、除役方法論、安全檢查，以及放射性廢棄物的管理等層面，但不包含自除役反應爐退出的用過核子燃料的最終處置。

目前，KHNP 已於今（2021）年 5 月中時向管制機構提交古里 1 號機的拆除許可申請與其他所需的文件，根據南韓核能安全相關法規，若要申請拆除許可，必須檢附拆除計畫、相關品質保證計畫與當地居



南韓大部分的核電機組位於人口稠密的東南部，靠近慶州、蔚山和該國第二大城的釜山市。圖為釜山市廣安大橋一景。



民意見調查的結果，KHNP 期望能在 2022 年獲得該部機組的除役許可，開始實質的除役工作。

KHNP 採用立即拆除的策略，估計古里 1 號機整個除役計畫約需要 8,000 億韓元（約 195 億元新台幣）的預算、約 15.5 年的時間來完成。KHNP 將古里 1 號機的除役規劃分成 4 個階段，分別為除役準備、除役工程開始與建造廢棄物貯存設施、除污與拆除，及廠址復原。

第一階段：除役準備

1. 反應爐停機、燃料自爐心卸載並轉移至用過核子燃料貯存池、用過核子燃料管理、管制機構執行相關檢測；

2. 除設計畫規劃、廢棄物處理設施的研發與採購；
3. 除設計畫相關文件準備、必須在反應爐停止運轉後的 5 年內向管制機構提交最終除役計畫（即除役申請）。

第二階段：除役工程開始與建造廢棄物貯存設施

1. 無放射性區域的拆除、除役所需設備的安裝與啟用；
2. 放射性廢棄物處理設施的建設；
3. 用過核子燃料自燃料池移轉至廠外的中期貯存設施。

第三階段：除污與拆除



南韓總統文在寅 2017 年出席古里 1 號機組除役典禮時，宣布國家逐步廢核的能源政策。（圖片來源：青瓦台網站）



古里核電廠 1 號機的除役工程即將開始（圖片來源：World Nuclear News）

1. 受放射性污染系統與建築的除污與拆除；
2. 除污、切割、減容、包裝等放射性廢棄物處理設施的啟用；
3. 放射性檢測的評估與驗證。

第四階段：廠址復原

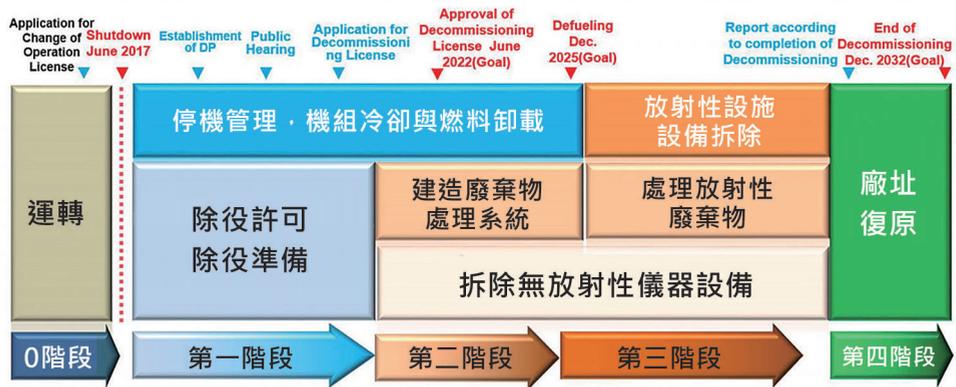
1. 廠址土地復原；
2. 除役工程結束前最終狀態檢測與調查；
3. 執照終止。

除役技術的研發與計畫管理

為了確保擁有除役古里 1 號機的技术能力，KHNP 表示必須開發一共 58 項的除役技術才可完成古里 1 號機的除役工程。

而 KHNP 自 2017 年起就已開始其中 17 項除役技術的研發，並為這些技術規劃相關的研發時程，目前這 17 項除役技術的研發大部分已完成，剩餘幾項尚未完成研發的技術也必須在表定的今年年底前完成。

另一方面，有關除役過程所需要 11 項特殊設備的開發也在進行當中。這些技術與設備的研發涵蓋了相關軟硬體系統、除污、切割、拆除、減容、廢棄物處理、放射性量測等方面，KHNP 也將這些技術與設備的研發，依照每個除役階段的需求分別制定研發時程，例如混凝土結構除污、設備除污、反應爐切割、廢棄物減容等技術的研發必須在實質的拆除工程開始前完成，進行土地除污的設備研發則可等到廠



古里 1 號機的除役工作分成四個階段進行，目前仍在進行第一階段的除役準備工作，整個除役工程預計於 2032 年結束。(圖片來源：韓國 KINS，本刊譯)

址復原前完成即可等等。

而除了 KHNP 之外，韓國原子能研究所 (Korea Atomic Energy Research Institute) 在 2017 年時也與南韓數間公司簽約，一同研發古里 1 號機的除役技術，如設備拆除、土地污染測量、模擬拆除、化學除污、廢棄物處置程序等。韓國原子能研究所在 2017 年時就表示已完成其中約 2/3 的技術的研發，剩餘 1/3 的技術則已在驗證階段。

而為了可讓古里 1 號機的除役計畫能順利、依照時程的進行，KHNP 將不同的除役計畫分割成 6 項事業 (Business)，分別為：

1. 除役的設計；
2. 系統除污；
3. 廢棄物處理設施的建造、營運，以及其除污與拆除；

4. 反應爐系統的切割與拆除；
5. 放射性檢測的評估與驗證；
6. 廠址復原。

有關承接這 6 個事業與業務的包商，KHNP 將通過具有競爭性的標案流程來選擇設備齊全的公司或財團，並與其簽訂業務合約，而 KHNP 仍是整個古里 1 號機除役計畫的總計畫管理者。

不過，一份由南韓檀國大學 (Dankook University) 所進行的研究顯示，古里 1 號機的除役仍可能面臨到 3 項挑戰，而導致無法在計畫時程內完成。根據南韓核能安全法規，各核電機組的用過核子燃料貯存池必須在淨空的狀態下才可開始實質的除役工作，而現在 1 號機燃料池內的用過核子燃料未來暫時貯存的地點仍無法確定，將可能導致除役工程因此延後數年。

另外，除役期間所產生的中、低放射性

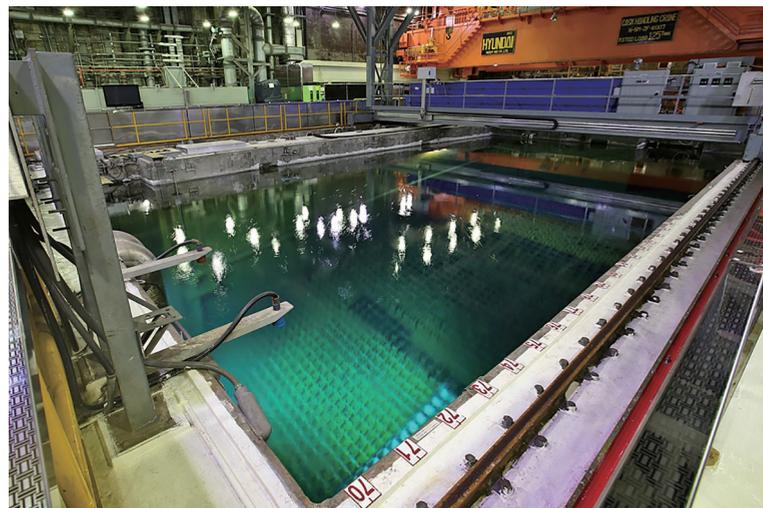
廢棄物預計將達數十萬桶（每桶 200 公升），若要在 15 年內經過減容將數量減少至 KHNP 設定的目標 14,500 桶可能有其困難；再加上古里核電廠除了 1 號機之外還有其他 3 部機組在運轉當中，其中 2 號機更與 1 號機相連，1 號機的除役將可能直接影響到 2 號機的運轉，因此必須特別注意避免此情況發生。

南韓核電除役的前景

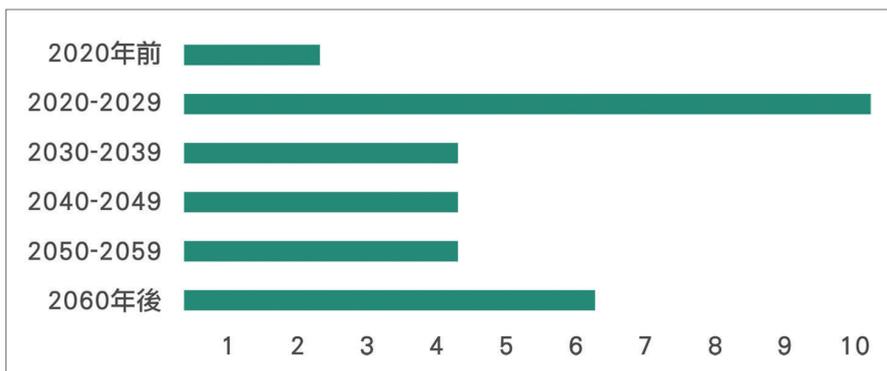
南韓現任總統文在寅，在 2017 年 5 月上任後於百日內即提出新能源政策藍圖，南韓產資部在 2017 年底公布了《第 8 次電力供應基本計畫（2017-2031 年）》，這份計畫也確立了南韓將關閉老舊的火力發電廠，核電廠則是不新建也不延役，且將使用再生能源與天然氣填補電力缺口，與前總統朴槿惠政府於 2015 年公布的《第 7 次電力供應基本計畫》、將於 2029 年

前新增 11 部核電機組以及 2022 年前新增 20 座燃煤電廠的目標背道而馳，也揭示了南韓能源轉型的目標。

若根據這份《第 8 次電力供應基本計畫》，南韓國內將於 10-15 年後進入大規模核電除役的時代，在 2020-2029 年之間將會有 10 部機組陸續除役，至 2050 年時一共將會有 20 部機組除役。根據南韓中央與地方政府目前以古里 1 號機來估計，拆除一座核電機組的成本約為近 8,000 億韓元（約 195 億元新台幣），除役的成本包含了人力成本、拆除成本、除污成本、廢棄物處置成本（含廢棄物運送成本），以及如保險、稅金與電力公司營運成本等支出成本，年度的支出會因每年執行的除役工程內容而有所不同。若依照《第 8 次電力供應基本計畫》來估算，預計南韓國內的除役市場將於 2037 年達到高峰。



古里核電廠 1 號機內的用過核子燃料貯存池（圖片來源：KHNP/ The Korea Times）



南韓未來將關閉之反應爐機組數量與對應年代 (資料來源: atw Vol. 65 (2020) | Issue 8/9 | August/September)

月城核電廠 1 號機除役計畫

為了符合南韓國家逐步脫核的政策，KHNP 在 2018 年決定終止月城核電廠 1 號機的營運，比運轉許可期限到期的 2022 年還提早了 3 年。南韓核能管制機構也在 2019 年底同意該部機組停止運轉，管制機構也公開表示月城 1 號機的關閉不會對電廠周遭環境安全造成任何負面影響。

月城 1 號機自 1983 年即開始運轉，是南韓第二古老的核電機組，也是南韓繼古里核電廠 1 號機之後第二部除役的核電機組。月城 1 號機在原定 30 年的運轉期限後於 2015 年獲准延役至 2022 年，但當時卻面臨到公民團體提出延役無效的行政訴訟。首爾行政法院在 2017 年做出裁定，決定撤銷該部機組的延役許可，管制機構雖於同年提出上訴，KHNP 卻在 2018 年以「月城 1 號機繼續運轉無法帶來經濟效益」為由，宣布將提前終止運轉。

而另一方面，韓國議會也於 2019 年就月城 1 號機其經濟效益的相關數據，質疑

KHNP 刻意低估該部機組的經濟效益，要求南韓監察院調查提早停機的可行性。

不過，調查的最終結果表示，雖然 KHNP 確實低估了該部機組的經濟效益，行政機關在決策過程中也存有瑕疵，但這次的調查並不會影響能源政策的推動，南韓產資部對此也表示將繼續推動能源轉型的政策。如此月城 1 號機依計畫進行除役工程的可能性也大大提升，KHNP 預計在 2024 年提交除役計畫申請，預計也需要 15 年的時間來完成所有的除役工程。

結論

雖然南韓能源轉型的政策在產業界仍因未來可能面臨到缺電而受到不少批評的聲音，該項政策也將使南韓揮別中國、俄羅斯等世界核電新興大國的行列，但南韓卻看準除役在 15-20 年後的市場轉而大力朝其發展，期望能與其國產核電廠建設技術相同，也將除役技術外銷至世界各國，為國家帶來更多的經濟效益。🌀



月城 1 號機自 1983 年即開始運轉，是南韓第二古老的核電機組。(圖片來源：World Nuclear News)

註：南韓在 2017 年 5 月面臨政黨輪替，由於新任總統文在寅競選期間提出中斷新古里核電廠 5、6 號機組建設的承諾，為兌現競選支票，文在寅在上任一個月後於出席古里核電廠 1 號機除役典禮時發表新的能源政策：「不延不建」，即不再核准新建核電廠、也不會同意核電廠延役，同時決定暫停當時已開始建設工程的新古里 5、6 號機組。不過，由於兩部機組的建設工程進度已完成近 30%，文在寅政府在審慎考量後決定透過民意決定，故成立「新古里 5、6 號機組公論化委員

會」，選出 500 位的公民代表，於 2017 年 7-10 月的期間，對是否應重啟這兩部機組的建設工程進行專題討論與說明，透過「審議式民調」的方式讓參與的公民代表了解正反雙方的立場，再進行討論與投票。而最終的投票結果於同年 10 月 20 日出爐，有近 6 成的公民代表認為應重啟兩部機組的建設工程，但同時也有 53% 的公民代表認為政府應在未來減少核電的比例。文在寅對此也表示會尊重公論化委員會的決定，隨即於 10 月 25 日重啟兩部機組的建設工程。

參考資料：

1. U.S. Energy Information Administration. "South Korea is one of the world's largest nuclear producers."
2. Joo Hyun Moon. "Current Status and Prospects of Nuclear Power Plant Decommissioning in the Republic of Korea."
3. Min-Hee Jung. "Business Korea-Decommissioning Plan Released for Kori Nuclear Power Plant Unit 1"
4. Nuclear Engineering International. "South Korea looks to decommissioning."
5. World Nuclear News. "Korea develops expertise for Kori 1 decommissioning."
6. World Nuclear News. "KHNP applies to dismantle Kori 1."
7. 能源知識庫《南韓原子能安全委員會決議將慶州市月城核電廠一號機組永久停機·為繼古里 1 號機組後，第 2 座永久關閉的核電廠》
8. 台灣電力公司《出國報告：韓日除設計畫技術發展與電廠安全改善設施觀摩》

以核一廠為例，除役拆除後，將會產生 7,400 束用過核子燃料棒。預定先經過一段時間的「廠區內用過核子燃料乾式貯存」，待最終處置場啟用後，再進行後續遷移作業。

一、地下環境的活動

具有如蠶繭一般的功能

對於能長期維持障壁功能的地下環境，我們寄予厚望，因此更要詳細瞭解它的來龍去脈。

地下環境是由岩石與地下水所構成，岩石又分為三類：1. 火成岩，2. 沉積岩，3. 變質岩。地球開始形成後最早有的岩石是火成岩，它是由岩漿冷卻後形成的。在約 40 億年前，就有原始的海洋。火成岩由於海水的波浪衝擊，變為細粒而在海底堆積，沉積岩由此形成。火成岩與沉積岩再進入地球內部的時候，由於溫度與壓力而產生變形與變質，這就是變質岩的由來。如此循環又循環，真是不變又恆變的世代呀！（若以數千萬年的眼光看，是恆變。）

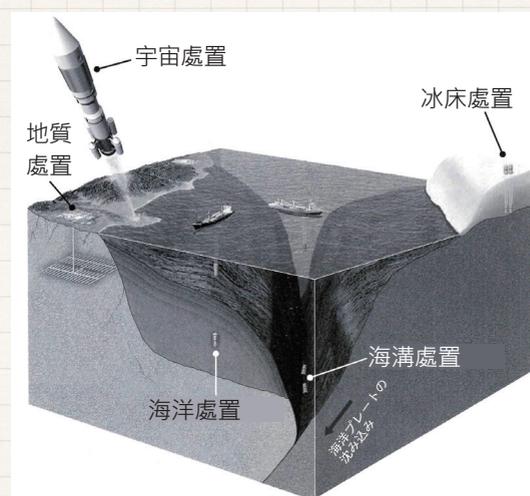
地下環境的緩衝作用

在地表的東西，即使硬如火成岩也免不了遭受風化的作用。但是地下環境的岩石，則可以保持「新鮮」的狀態，也就是物理上被隔離的區域。其次重要的是它的化學性質。如同再三陳述的，它是在不和氧氣接觸的還原狀態。當浸透的地下水是在還原狀態，則放射性物質不容易溶解，因此產生抑制擴散的作用。

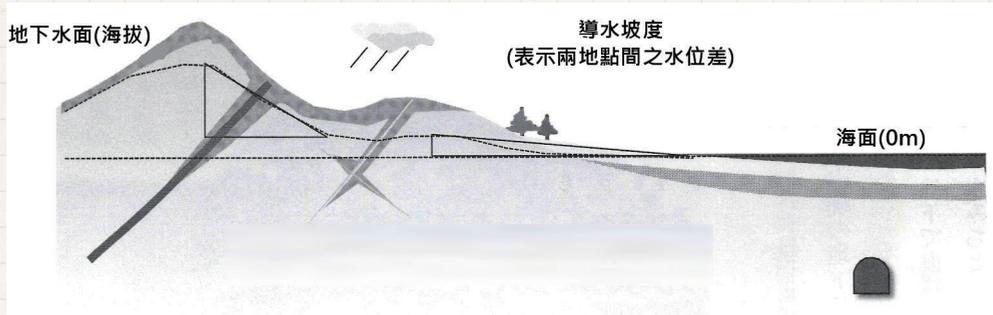
近年來已經發現地下環境存在了超過 100 萬年的古代地下水，構成了在地下環

境深處，地下水流動很慢的證據。分布於日本岐阜縣的月吉鈾礦床提供了黏土礦物可以吸附鈾的證據。它位於地表下方約 150 公尺處，是約 1,000 萬年前生成的沉積岩。

溶解於地下水的鈾在地層中移動而濃縮，之後，月吉鈾礦床從地表的風化等物質循環裡不斷被循環，迄今被保存於地下環境中。「地下」一詞讓人有洞穴或是洞窟等陰森又負面的感覺，其實它是由岩石填滿，其縫隙間充滿地下水的狀態。正由於其物質上的緻密度，足以防止受到來自地表的種種影響。歐美科學家將這地下環境的活動現象以「act as a cocoon」來形容，也就是具有如「蠶繭」一般的功能。由於在地下環境如蠶繭一般被包覆，不會讓放射性廢棄物產生劣化或是風化，長期守護、抵抗來自外界的影響。「act as a cocoon」正是活生生的表現了這種情景。



高放射性廢棄物最終處置示意圖（圖片來源：Newton 2014 年 4 月號）



地下水流動位能 (導水坡度) 的概念圖

二、地層處置與地下水

當知蜿蜒水路徑

放射性物質若有滲出必須靠地下水移動，而地下水之所以能移動，又是靠動的能量以及它流經的途徑，也就是「水路」，詳細研究這兩樣就成為地層處置中最大的任務。

導水坡度：移動地下水的能量

水往低處流，地下水也一樣。在地下深處，地表的起伏影響變小，位能趨小。「水路」多發生於斷層周邊，斷層是由於岩石的破壞所產生的地層及岩盤中的滑動(Slip)。由於這滑動，岩石中形成很多的裂縫。這些能夠形成「水路」的裂縫與斷層，就是破壞地下環境如蠶繭一般障壁功能的元兇，因此必須好好瞭解它。

瞭解「水路」：地下研究所的任務

在日本有兩處地下研究所，分別位於北海道幌延町與岐阜縣的瑞浪市，都可申請參觀。其研究成果之一的火成岩中的水路，這是地下約 700 公尺深的花崗岩中成為水路的裂縫部分。

有裂縫就必有地下水的滲透，如此一來地下水與裂縫周邊的礦物起反應，在裂縫中會有充填礦物生長。隨著時間而成長，就會將裂縫封閉(sealing)。封閉的天然礦物中以方解石(CaCO_3)比較重要。

「水路」的封閉現象

因此藉由自然機制的封閉過程，在長期地層處置的作法上非常重要，而在維持「蠶繭」的功用上更是要積極應用的現象。

水路的封閉現象，在地下觀測到的幾乎所有的裂縫都可以確認，而在地下直接做的研究中，有報告顯示花崗岩中的裂縫約 9 成都被填充礦物所封閉。也就是說，在地下岩石內部，並不是所有的裂縫都具有水路的功能。而填充礦物也可以讓我們明白裂縫是如何形成，以及如何被封閉的變化過程。對於已經露出地表的岩石裂縫，這些填充礦物由於風化而溶解，要推測詳細的水路與填充礦物的關係相當困難，如果是在地下就可以正確的瞭解水路的狀態。

要瞭解斷層水路的特性是一個難題，由於其複雜性，斷層可以是水路，有時也因

封閉現象而形成阻斷地下水流動的障壁。例如，越南的巴庫活油田是規模很大的油田，它的油被確認是存在於地下花崗岩中斷層周邊裂縫帶的裂縫裡。這種自然的例證顯示出斷層有時有水路的功能，有時有障壁的功能。我們必須更進一步做研究，以累積這方面的知識。

三、自然的障壁功能

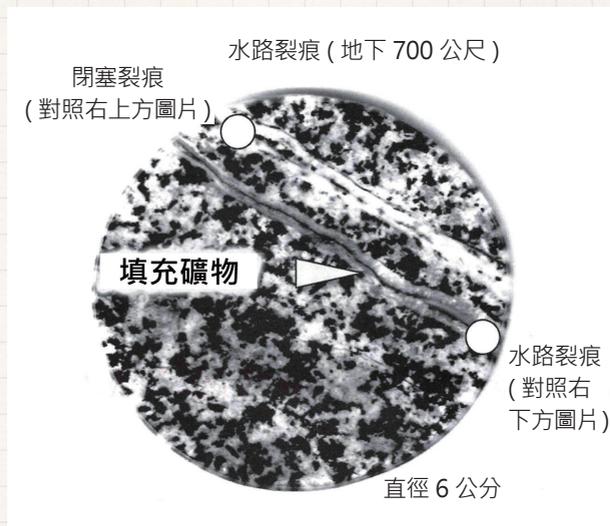
關於高放射性廢棄物，上一期我們談過為什麼選擇在地下處置、選擇人工障壁材料的理由，以及它的根據在哪裡；接下來要介紹活用地下環境的技術與最新科學上的發現，作為總結。

地下環境的利用：LPG 地下儲存場

各位也許會說地下環境有地下水，並且

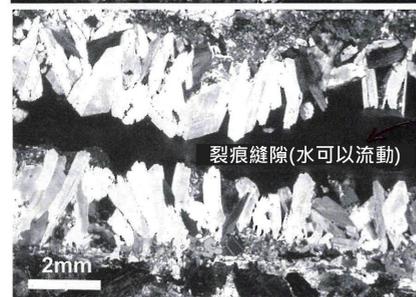
每往地下深入 10 公尺，就會增加 1 氣壓的壓力，因此在數百公尺的地下，挖掘出來的坑道真的能夠阻止地下水的湧出嗎？請放心，這在技術上辦得到，在芬蘭就有現成的案例，並且已於 2016 年 12 月動工建造「最終處置場」。這座處置場在地下 400 公尺處，占地約 3 平方公里，可以放置 9,000 噸的用過核子燃料，地下處置坑道長度達 42 公里。

日本的液化石油氣 (LPG) 要靠進口，LPG 的主要成分是丙烷。LPG 很難溶於水，在常溫下加以大約 8-9 氣壓則變成液體，體積約剩下 1/250。因此通常會將石油氣壓縮成為液體後儲存在地下環境。這 8-9 氣壓若換算為水深，約為 80-90 公尺深的水壓。也就是說石油氣放在地下約 100 公尺處就會自然液化。



左：從地下 700 公尺處採取的火成岩中的水路裂縫
右：填充水路裂縫的礦物封閉現象

因閉塞而無法當做水路的水路裂痕



發揮水路機能的水路裂痕

日本的 LPG 地下儲存場，其規模為世界第一，在瀨戶內海的海底下花崗岩的岩盤中，在深度約 150-180 公尺處，建造了兩處儲存場。儲存的空間寬度約 26 公尺、高度約 30 公尺、長度 485 公尺。它的儲存量相當於日本全國一個月的使用量。到 2018 年 5 月已接近滿載。

天然的封閉過程：可以從球狀岩塊來學習

在世界各地的海岸發現不可思議的球狀岩塊，大的直徑有數公尺，由於在其內部可以發現化石，而在古生物學者間成為話題。這是如何形成的？2018 年 4 月，日本名古屋大學的研究團隊終於瞭解，即使螃蟹、蝦子、軟體動物等生物也會形成球狀岩塊。該研究團隊在 2015 年解明其形成之謎。

此球狀岩塊命名為「球狀 concretion」，是非常完整的球狀，一看似乎是人工造成的，其實它是自然的產物。主要成分與大理石同樣是碳酸鈣，直徑從數公厘到數公尺都有。球狀岩塊存在於過去曾是海洋的世界各地地層中，從受浸蝕海岸懸崖掉出的居多，曾在日本的北海道、宮崎縣被發現。

它的中心位置有一個魚、貝、螃蟹、軟體動物、鯨魚、首長龍等多采多姿的海生生物的化石。它也是很堅硬的岩石，因此這化石的保存狀態極為良好。它是如何形成的？有人說是貝類的殼成分中的碳酸鈣溶出向周圍擴散，但是殼被發現是完好的保存，因此這種說法不通，而成為謎題。

藉著死骸的腐化而形成

名古屋大學專攻環境地質學的吉田英一教授感覺「物質應該是會擴散才對，碳酸

鈣怎會集中於一點？真是不可思議。」因此召集古生物學與地球化學的研究人員組成團隊，試圖解謎。

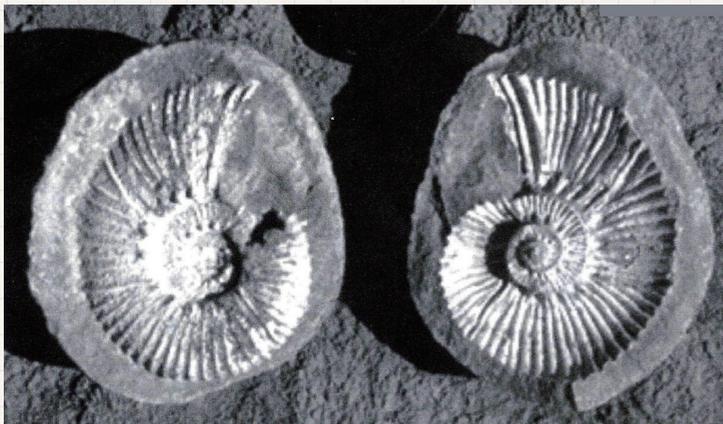
2015 年，找到了球狀岩塊是由生物的軟體部分所含有的碳組成的證據。調查出球狀岩塊內有約 2,000 萬年前稱為 tunogai 的貝類化石的結果，構成岩石的碳的同位素百分比與貝類軟體部分相同，而和貝殼及周圍的砂、海水不一樣。

2018 年 4 月，更解明了從螃蟹、蝦子、軟體動物等其他生物也會形成球狀岩塊。它的機制是這樣的：當海中的生物死亡後，埋沒於海底的泥或是砂中，其死骸腐化、滲出由碳等形成的有機物的酸，這酸和海水中的鈣發生反應而形成碳酸鈣。這反應是向周圍均等的發展，因此碳酸鈣的塊狀成為球形，將死骸包圍在中間而不斷成長。

由於碳酸鈣具有急速形成的性質，即使大型的石粒也只要數個月到數年就完工，速度驚人，不要等數萬年之久。因此，球狀岩塊的性質與形成機制可以應用於地下結構物的建設，例如應用地下水讓酸和鈣產生反應，利用生成的碳酸鈣的塊狀強化結構物，則時間越久越堅硬。因為耐久性高，修補的頻度少，維修的成本低。在要求堅固且耐久性長的放射性廢棄物最終處置工程的地下設施以及隧道等，都可發揮這些強度佳又低成本的優點。解明不可思議的球狀岩塊之謎，將大大發揮於放射性廢棄物最終處置工程的施工法。

現今地層處置的技術，是靠著這幾十年來在世界各地進行的試驗所獲得的經驗與知識而得來的。但是另一方面，既然要將用過核子燃料放在地下環境中長達數萬年

的時間，就必須更瞭解自然的機制，與自然取得平衡、調和。因此更深入研究與瞭解球狀岩塊，應用於最終處置場，當能讓用過核子燃料隔離得萬無一失。☸



上：從球狀岩塊中發現 1 億 2,000 萬年前的貝殼化石，仍保持得相當完好。
下：碳酸鈣發達成為球形，只要數個月到數年就可成為岩石。



本文圖片與資料來源：

1. 吉田英一：請您來看地下環境學·原子力文化·2018年1、4-6月號。
2. 日本產經新聞·06/18/2018·11版



天然石材建材中的輻射 如何防護管理

文 國立清華大學原子科學技術發展中心 許芳裕博士 / 教授

天然輻射原本就存在於人類生活的環境中，其中的地表輻射來源包括鈾系列、釷系列及鉀 40 等天然放射性核種，普遍存在於一般的土壤及岩石中。在台灣，常使用的磁磚、花崗岩、大理石等建材，因含有釷、鈾系列或鉀 40 的天然放射性核種，故可量測到輻射劑量，這也是背景輻射的來源之一。

天然放射性物質（Naturally Occurring Radioactive Materials, NORM）的應用對公眾造成潛在輻射曝露問題，近年來日益受到國際重視，國際輻射防護組織就相關議題及影響已進行多年調查與研究，並提出排除 / 豁免管制基準及管理建議。歐盟於 1999 年即提出其輻射防護 112 號報告 (RP 112)：關於建築材料天然放射性

的放射防護原則^[1]供會員國參考，做為建議指引，國際原子能總署 (IAEA) 亦於 2015 年提出 SSG-32 報告，對室內建材輻射安全防護及管制作法提出建議^[2]。

RP 112 報告也建議，如果源自建築材料的加馬輻射使公眾的體外曝露年有效劑量最多增加 0.3 毫西弗 (mSv)，則建築材料應免於對其放射性所有限制，即可予以豁免管制。國內於 106 年 9 月因應國際發展趨勢修訂「天然放射性物質管理辦法」^[3]，與國際同步，採用建材活度濃度指數作為建材分類管理基準，確保建材對公眾的安全。

建材常見材料和工業副產品的典型和最大活度濃度列於表 1；混凝土建築材料在活度濃度的 4 種不同假設下 (低活度、平

均活度、正常水平上限與提高濃度)，可能引起的體外加馬年劑量列於表 2，該劑量是扣除地表輻射平均背景 (50 nGy/h) 的劑量結果^[1]。

所有建築材料都含有不同數量的天然放射性核種。源自岩石和土壤的材料主要包含鈾 (²³⁸U) 和釷 (²³²Th) 系列的天然放射性核種，以及鉀 (⁴⁰K) 的放射性同位素。在鈾系列中，從鐳 (²²⁶Ra) 開始的衰變鏈在放射學上對人體的影響是最重要的，因此，國際間經常提到鐳而不是鈾。考量 4 公尺 (長) x 5 公尺 (寬) x 2.8 公尺 (高) 的房間使用建材含天然放射性核種：釷、鈾系列與鉀-40 每單位活度濃度造成的空氣克馬劑量率列於表 3，空氣克馬劑量與體外曝露有效劑量的轉換因數使用 0.7 西弗 / 戈雷 (Sv/Gy)^[1,4]。

表 1. 建材常見材料和工業副產品的典型和最大活度濃度^[1]

材料	典型活度濃度 (Bq/kg ⁻¹)			最大活度濃度 (Bq/kg ⁻¹)		
	鐳-226	釷-232	鉀-40	鐳-226	釷-232	鉀-40
最常見的建築材料 (包括副產品)						
混凝土	40	30	400	240	190	1,600
加氣輕質混凝土	60	40	430	2,600	190	1,600
粘土 (紅) 磚	50	50	670	200	200	2,000
石灰砂磚	10	10	330	25	30	700
天然建築石材	60	60	640	500	310	4,000
天然石膏	10	10	80	70	100	200
建築材料中最常見的工業副產品						
石膏副產品 (磷石膏)	390	20	60	1,100	160	300
高爐礦渣	270	70	240	2,100	340	1,000
煤粉煤灰	180	100	650	1,100	300	1,500



生活中的輻射

表 2. 混凝土建築材料在活度濃度的 4 種不同假設下，可能引起的體外加馬年劑量^[1]

	混凝土活度濃度(單位為Bq/kg)			
	低活度	平均活度	正常水平上限	提高濃度
鐳-226	10	40	100	200
釷-232	10	30	100	200
鉀-40	300	400	1,000	1,500
建築物中引起輻射的結構	年劑量			
地板、天花板和牆壁 (所有結構)	低於背景劑量	0.25毫西弗	1.1毫西弗	2.3毫西弗
地板和牆壁 (例如木天花板)	低於背景劑量	0.10 毫西弗	0.74 毫西弗	1.6毫西弗
僅地板 (例如水泥地板的木屋)	低於背景劑量	低於背景劑量	0.11毫西弗	0.41毫西弗

表 3. 釷 -232、鈾系 (鐳 -226) 與鉀 -40 核種每單位活度濃度造成的空氣克馬劑量率^[1]

建築物中引起輻射的結構	單位活度濃度造成的空氣克馬劑量率 (nGy/h per Bq/kg)		
	鐳-226	釷-232	鉀-40
地板、天花板和牆壁 (所有結構)	0.92	1.1	0.080
地板和牆壁 (木天花板)	0.67	0.78	0.057
僅地板 (帶混凝土地板的木屋)	0.24	0.28	0.020
表面材料：所有牆壁上的瓷磚或石材 (厚度 3公分，密度 2,600 kg m ⁻³)	0.12	0.14	0.0096

國際原子能總署提出的 SSG-32 報告，對室內建材輻射安全防護及管制作法提出建議，要求應建立：由於建築材料等商品中的放射性核種引起曝露的特定參考水平，應表示為年有效劑量，通常不超過 1 毫西弗。約 1 毫西弗的參考水平僅適用於從建築材料曝露於加馬射線所獲得的體外劑量 (不包括從建築材料釋放到室內空氣中的氡 -222 或氫 -220 造成的體內劑量)。由圖 1 鈾 -238

與釷 -232 的系列衰變圖中可知鈾 -238 與釷 -232 的子核中會分別產生氡 -222(半化期 3.8 天) 與氫 -220(半化期 55 秒)，其中氫 -220 半化期很短，於建材釋出至吸入人體通常需數分鐘至數十分鐘，因此建材釋出氫 -220 對人體的體內曝露影響可忽略，一般僅考慮氡 -222 的影響。

氡是一種無嗅、無色、無味的放射性氣體。氡在鈾的天然放射性衰變中產生，所有岩石和土壤中都有氡。水中也可以發現

氡。氡可以脫離地面進入空氣，在室外，氡可以迅速稀釋到很低的濃度，因而一般不存在問題。室外氡濃度平均值在 5 貝克 / 立方米 (Bq/m³) 至 15 貝克 / 立方米之間。但在室內和通風條件差的地方氡濃度會較高，一般在礦山、岩洞和水處理設施這些地方的濃度最高。在住宅、學校、辦公室等建築物中，依不同建築物 / 建材情況，室內氡濃度變化很大，可以從 10 貝克 / 立方米到超過 10,000 貝克 / 立方米。室內的氡濃度會因通風狀況是否良好而不同，如果通風不良，會使室內氡的濃度過高，因此為了使室內氡氣濃度不致於過高，最好保持室內空氣流通。

世界各國對於室內氡濃度的管制作法，僅是作為建議，都沒有以法令管制。世界衛生組織 (WHO) 與國際放射防護委員會 (ICRP) 建議，應根據不同地區的地理環境、影響因子進行調整，目前世界衛生組織將住宅年平均氡濃度的國家參考水平設定為 100 貝克 / 立方米，但如果特定國家的情況達不到這一標準，則參考水平不應超過 300 貝克 / 立方米 [5]；以美國為例，其環保署建議氡氣活度改善標準為 150 貝克 / 立方米，我國建議標準與美國相同，建議改善目標值為 150 貝克 / 立方米。依據原能會調查，國內室內氡氣平均活度為 10 貝克 / 立方米，而室外及二樓以上氡

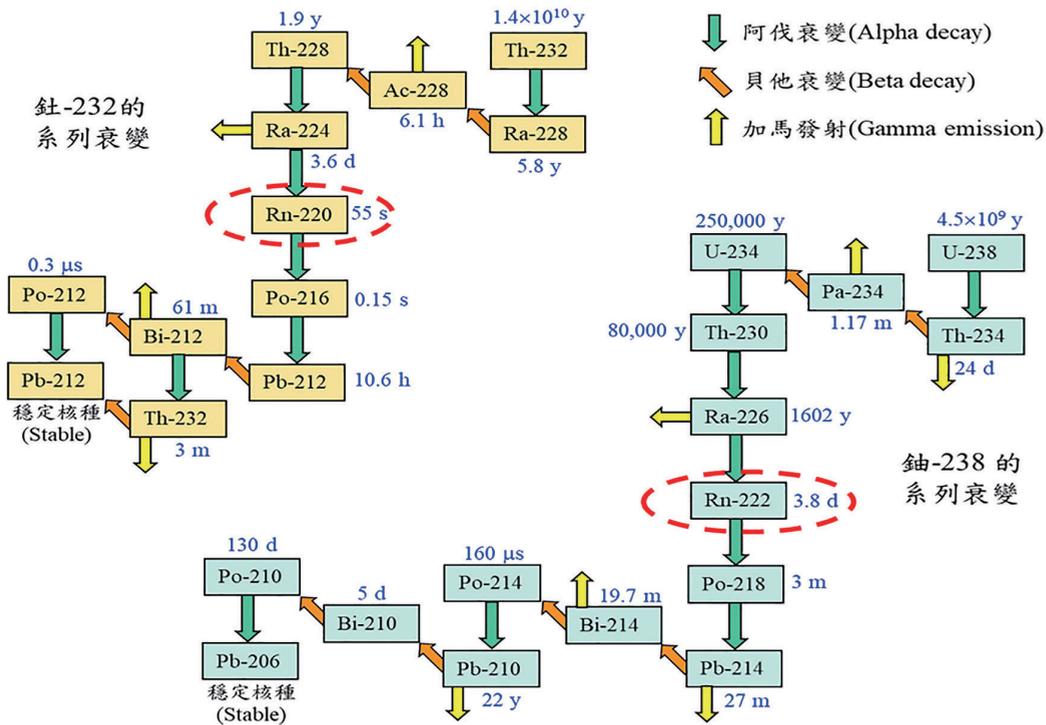


圖 1. 鈾 -238 與鈾 -232 的系列衰變



生活中的輻射

氣平均活度為 4 貝克 / 立方米；若使用花崗岩建材時，室內氡氣活度會較平均活度略高，約為 14-48 貝克 / 立方米^[6,7]。故可知住家使用天然花崗岩建材所產生的氡氣，一般遠低於建議改善標準，應無輻射安全的疑慮。而對於少數特殊石材可能釋出較多氡氣，國際原子能總署 SSG-32 及歐盟 RP112 報告均提及，各國的主管部門可增加建築材料中鐳-226 含量的限制標準（鐳-226 為氡-222 的母核），以管制氡的發射率。

依據我國天然放射性物質管理辦法第九條規定，經主管機關公告納管的建材，應實施活度濃度分析，建材活度濃度指數 (I) 計算公式如下：

$$I = \frac{C_U}{300 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_{Th}}{200 \text{ Bq/kg}} + \frac{C_K}{3000 \text{ Bq/kg}} \quad (1)$$

上式中 I 為建材活度濃度指數，其中 C_U 、 C_{Th} 、 C_K 分別代表材料中的鈾、釷

系列及鉀-40 的核種活度濃度，單位為貝克 / 公斤 (Bq/kg)。使用於建築物主體結構的建材活度濃度指數 (I) 須小於 1，使用於建築物室內裝飾的建材活度濃度指數 (I) 須小於 3，使用於建築物室外裝飾及公路、橋樑或機場跑道等室外設施主體結構的建材活度濃度指數 (I) 須小於 4。但建材表面 0.1 公尺處的輻射劑量率每小時 0.2 微西弗以下者（不含背景值），不在此限^[3]。

不同產地的天然石材，可能含有的天然放射性核種的活度濃度分布也不盡相同，建築材料對體外曝露劑量的主要貢獻來自鐳-226 和釷-232 及其子核種和鉀-40 的加馬射線，而對於建材釋出氡氣造成的體內曝露影響一般可予忽略。綜合而言，天然石材等建材雖然含有天然的放射性物質，也會產生輻射，對於天然石材建材的輻防管理，只要符合國內天然放射性物質管理辦法規定，即無影響公眾安全之虞。

參考資料：

1. European Commission, Radiation protection 112 (RP 112), Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials, Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, EC Luxembourg, 1999.
2. IAEA. IAEA Safety Standards Series No. SSG-32: Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2015.
3. 天然放射性物質管理辦法，行政院原子能委員會，民國 106 年 9 月 15 日。
4. Markkanen M. Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity. Report STUK-B-STO 32, Radiation and Nuclear Safety Authority –STUK, 1995.
5. World Health Organisation (WHO). WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. WHO Press, Geneva, 2009.
6. 行政院原子能委員會網頁：<https://www.aec.gov.tw/> 便民專區 / 民眾常見問答集 / 游離輻射防護 / 綜合性問題 / Q3-1: 建材有輻射嗎？國內現有那些單位可以提供偵測服務？
7. 行政院原子能委員會網頁：<https://www.aec.gov.tw/> 便民專區 / 民眾常見問答集 / 游離輻射防護 / 綜合性問題 / Q3-2: 氡氣如何偵測？國內有那些單位可以提供偵測服務？



被塑膠垃圾淹沒的地球— 使用核技術解決塑廢污染

譯 編輯室

塑膠廢棄物污染是一項重大的環境挑戰，對永續發展和我們的生計構成直接的威脅。當塑膠製品不堪使用時，通常就當作垃圾加以焚化或掩埋。許多塑膠廢棄物最終流入海洋，傷害海洋生物，進而污染了我們食用的海洋產品。而核技術有助於監測和減少塑膠的浪費。

國際原子能總署（IAEA）總幹事格羅西（Rafael Mariano Grossi）在與亞洲及太平洋地區的合作夥伴舉行的圓桌討論中表示：「我們生活的時代，正以強烈且痛苦的方式向我們所有人證明，全球性問題需要全球性的解決方案。我們只有團結一心才能解決重大難題。」



研究人員使用包括核技術在內的各種科學技術，探討海洋酸化和氣候變遷如何影響海洋的化學與生物過程。(圖片來源: J. L. Teysse/IAEA)

來自亞洲及太平洋國家，包括工業界、學術界和國際組織的核技術使用者與環境專家，超過 340 人參加這次的活動。這是一系列圓桌會議中的第一場，圓桌會議提供了一個平台，用以討論為因應塑膠廢棄物污染而正在進行的努力、創新的解決方案和合作夥伴關係。

根據《科學進展 (Science Advances) 》發表的一項研究，自 1950 年至 2015 年以來所製造的塑膠物品中，約有 17% 仍在使用中，被回收利用的僅僅只有 9%，而有 60% 被當作廢棄物留在垃圾掩埋場；這些塑膠廢棄物會污染下游的生態系統，例如河流、地下水，最終進入海洋；另外 12% 以焚化的方式處理，這通常會排放有毒氣體。根據預測，到 2025 年時，海洋中每 3 噸魚獲中就含有 1 噸塑膠廢棄物，到 2050 年海洋中的塑膠可能比魚還多。

利用核子科學技術以因應全球性挑戰，包括塑膠廢棄物污染在內，IAEA 身處於最前線，總幹事格羅西表示：「核技術可以有助於評估和理解問題的嚴重程度，而且還可利用輻射技術來回收塑膠廢棄物，這使我們能夠生產在循環經濟概念中可以使用的材料。」

控制塑膠廢棄物的污染

控制塑膠污染核技術 (Nuclear Technology for Controlling Plastic Pollution, NUTEC Plastics) 目的在協助各國整合核技術和同位素技術來解決塑膠污染問題。IAEA 副總幹事兼核科學與應用部主任莫赫塔爾 (Najat Mokhtar) 表示：「IAEA 準備開發並推廣輻射技術，為塑膠污染提供獨特的核解決方案，用可生物分解 (biodegradable) 的塑膠來取代石油基 (petroleum-based) 的塑膠，進而改

善傳統的回收利用做法，並使報廢的塑膠廢棄物獲得更新。」

NUTEC Plastics 的方法有兩種：1. 提供科學證據，來呈現並評估海洋微塑膠污染的特性；2. 在塑膠回收過程中使用游離輻射，可將塑膠廢棄物轉化為可重複使用的資源。

NUTEC Plastics 將增強實驗室研究塑膠污染對沿海與海洋生態系統影響的能力，利用核技術精確地追蹤並量化微塑膠和其相關的共同污染物 (co-contaminants) 的移動及其影響。

此外，核技術還提供一種有助於塑膠廢棄物減量的解決方案。為改善環境與人類生活，有必要將塑膠的生命週期重新規劃成為循環經濟。

不過，要減少塑膠廢棄物的重點仍是 4 個 R：減少 (reduce)，再利用 (reuse)，

回收 (recycle) 和更新 (renew)。為彌補傳統機械和化學回收方式的不足，NUTEC Plastics 將展示加馬射線和電子束輻射技術如何改變某些類型的塑膠廢棄物，以進行回收或再利用。「傳統塑膠廢棄物回收的主要障礙，是回收再生的塑膠顆粒品質較差。」莫赫塔爾解釋：「你可以利用輻射將品質不佳的塑膠聚合物分解成較小的組件，用來製造成新的塑膠產品，以延長塑膠廢棄物的生命週期。」

從全國、區域性進而到全世界

IAEA 與東南亞國家聯盟 (ASEAN)、聯合國環境規劃署 (UNEP)、亞洲及太平洋經濟社會委員會 (ESCAP)，以及該地區國家合作主辦了虛擬活動。IAEA 副總幹事兼技術部主任劉華 (Hua Liu) 表示：「ASEAN 的《打擊海洋廢棄物曼谷宣言》、《大阪藍海視野》，以及 UNEP 和 ESCAP 的各種國際計畫中，提供區域





性和全球性行動重要的合作框架。」IAEA 的貢獻將加強應用於防治海洋廢棄物的研究能力與科學知識，並支持以科學為基礎的政策和決定。

IAEA 有 40 多個正在進行或計畫進行的技術合作、協調的研究計畫以及與輻射技術和環境監測有關的其他活動，其中約有 25 項活動與塑膠廢棄物直接相關。來自澳洲、中國、印尼、日本、科威特、馬來西亞、菲律賓、南韓和泰國的高階官員與專家介紹他們正在進行的各項努力。例如在中國，到 2022 年底，許多省市將禁止使用不可分解的塑膠袋和塑膠餐具，並且不再提供一次性塑膠製品。

聯合國環境規劃署亞洲及太平洋地區負責人澤霖（Dechen Tsering）表示，該地

區的國家擴大、加深且加快了行動，這反映在 NUTEC Plastics 圓桌會議上由部長們提到的許多倡議和措施中。IAEA 將在未來幾個月內為其他地區舉辦類似的圓桌會議，以及核技術在防止塑膠廢棄物污染應用相關技術的線上研討會。

微塑膠和奈米塑膠對海洋動物的影響

塑膠碎片是海洋面臨最嚴重的環境挑戰之一，它不但影響海洋生物、棲息地和生態系統，當然還包含人類，特別是那些靠海維生者的健康和福祉。

細小的塑膠粒特別危險，因為它們很容易被攝食而進入生物體內的器官和體液，繼續在食物鏈中向上散播。這些塑膠粒也與各種化學物質和其他污染物共同污染海



洋，但要準確評估塑膠污染的影響和毒性具有很高的難度。

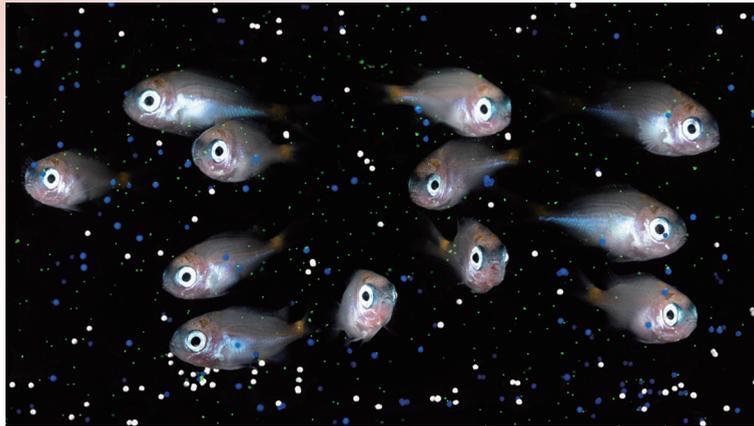
由 IAEA 領導的一組科學家最近發表了關於「原始 (virgin)」微塑膠和奈米塑膠對魚類的影響。這份報告發表於 2020 年 3 月的《環境科學與技術 (Environmental Science and Technology)》雜誌上，內容表明在所有評估的研究中，有 1/3 的結果顯示這種原始塑膠粒確實影響了魚類的生物學功能，例如其行為和神經功能，以及它們的新陳代謝、腸道滲透性和腸道微生物組多樣性等。

IAEA 輻射生態實驗室科學家、論文的聯合作者之一麥提安 (Marc Metian) 表示：「準確的監測非常重要，將有助於瞭解這些塑膠粒對生物的影響，以及設計出有效

的環境管理與緩解策略。」其中一些策略，例如準確評估細胞對生態系統層面的影響，或生產更環保的新型可分解塑膠材料，這和 IAEA 可提供協助的核技術與同位素技術相關。下一步就是確認採取何種策略。

海洋中的塑膠廢棄物

根據聯合國環境規劃署的數據，每年有 800 萬噸的塑膠廢棄物流向全世界的海洋，通常是經由河流運送到海裡。環境中的塑膠污染已經成為生態和社會關注的主要議題。塑膠污染物的尺寸差異很大，從漁網和一次性塑膠袋之類的大型雜物，到肉眼看不見的奈米級塑膠微粒。儘管已經充分記錄了大型塑膠廢棄物在海洋環境中的影響，但由微塑膠廢棄物、奈米塑膠廢棄物所引起的潛在危害尚不清楚。



受塑膠微粒污染威脅的多刺棘光鰓鯛 (*Acanthochromis polyacanthus*) 的幼魚。(圖片來源: M. Besson /IAEA)

尺寸小於 5 毫米的塑膠粒稱為微塑膠，等於或小於 100 奈米 (1/10,000 mm) 的稱為奈米塑膠。它們是如此之小，以至於用肉眼甚至是普通的光學顯微鏡都看不到。微塑膠被海洋生物攝取之後，再被掠食性魚類攝食。奈米塑膠微粒則對活的生物體毒性更大，因為它們很可能會透過消化道壁被吸收，進入組織和器官中。因此，這種塑膠微粒會干擾淡水和海洋生物各種生理過程，從神經傳導到氧化壓力 (oxidative stress) 以及免疫水平。

在過去的 10 年中，全球科學界已投入大量工作來增進塑膠碎片對各種水生生物影響的認識。但是，對微塑膠和奈米塑膠的監測方法仍處於開發階段，這表示在海洋中它們的實際濃度仍然未知。

麥提安補充說：「這是核技術可以發揮重要作用之處，核技術和同位素技術已經成功應用於研究污染的過程。它們的優勢

在於高度靈敏且精確，可用於研究微塑膠和奈米塑膠的移動和影響。」

核與同位素技術如何發揮作用

IAEA 研究人員正在開發利用核與同位素技術的方法，以在實驗室可控條件下精確地量化塑膠微粒和相關有機與無機污染物，對魚類和牡蠣等水生生物的移動、存活與影響情形。利用碳 14 做為放射性示踪劑，研究人員可以研究多氯聯苯 (PCBs) 等污染物如何附著到環境中的微塑膠上，以及海洋動物攝食後是否能與這些塑膠顆粒解離或分開。

此外，研究人員使用放射性示踪劑，瞭解這些微塑膠究竟是如何被吸收的，是通過消化系統還是通過鰓，取決於生物體的不同。他們還希望能找出微塑膠是否可被消除，或者是否會堵塞器官。例如，如果塑膠聚積在腸道中，生物體可能會產生飽腹感，這會對營養攝取產生負面影響。

使用放射性示踪劑經食物鏈追蹤污染物

科學家們開發和使用放射性示踪劑 (Radioactive tracer) 的技術，以更深入了解污染物如何在海洋食物鏈中移動。放射性示踪劑是化學元素，無論是天然的或是人工的，都具有獨特的特徵，幾乎就像指紋一樣。可用於研究如水流、骨骼生長速度等自然過程，追蹤不同物質的移動，以及海洋環境中的污染物，例如汞或鎘等金屬；放射性核種，如銫和鈾；有機污染物，如多氯聯苯和殺蟲劑。

科學家們還開發出一種透過混合酵素在實驗室中複製出人類的消化過程，藉此觀察哪些污染物在消化過程中會被分解，哪些仍殘留在人體中。

麥提安解釋說，追蹤污染物的流動對於確保人類的安全尤其重要，因為污染物的濃度會隨著它們在食物鏈中的位置升高而增加，最終使人類處於危險之中，這稱為「生物放大作用 (biomagnification)」。

在這個過程中，污染物進入環境，被小型生物吸收或攝食，之後再被大型的生物攝食；這些污染物隨後會在生物體內逐漸累積，並且濃度會隨之增加。鮪魚、鯨魚甚至人類等動物都面臨著毒素與污染物累加所構成更大的健康風險。

從毒物學 (toxicology) 的角度來看，重要的是如何將塑膠微粒本身的毒性與可能附著在其上的污染物相關的毒性區分開來。迄今為止，對原始的微米級和奈米級塑膠微粒對淡水和海水魚類的影響，相關的研究仍然很有限。科學家使用放射性示踪技術研究各種污染物、生物體和放射性同位素，可全面瞭解如何有效處理毒素和污染物。他們的發現為專家制訂和維護有效的國家海洋產品安全法規，以及監測污染物和保護人類提供所需的科學資訊。

許多國家與 IAEA 合作，學習如何使用這些技術來檢測海洋和海洋產品中的污染物，以維持有效的海洋產品安全法規。🌐

參考資料：

1. NUTEC Plastics: Using Nuclear Technologies to Address Plastic Pollution, 05/18/2021, IAEA <https://www.iaea.org/newscenter/news/nutec-plastics-using-nuclear-technologies-to-address-plastic-pollution>
2. New Research on the Possible Effects of Micro-and Nano-plastics on Marine Animals, 04/27/2020, IAEA <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-research-on-the-possible-effects-of-micro-and-nano-plastics-on-marine-animals>
3. New IAEA Research Explores the Impact of Microplastics on Marine Organisms, 12/20/2017, IAEA <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-iaea-research-explores-the-impact-of-microplastics-on-marine-organisms>

原子能名詞的小典故 (中)



雷得 (Rad)

雷得 (Rad) 是之前表示吸收劑量的單位，取代了更早前使用的吸收劑量單位雷卜 (Rep)，然而目前已被新的單位「戈雷」所取代。國際輻射單位及度量委員會於 1953 年第 7 屆國際放射學代表大會中採納使用雷得一詞。雖然在 1951 年國際輻射單位及度量委員會會議中，已決定需要一吸收劑量的單位，而且至少於 30 年前，已使用雷得作為老鼠腫瘤的有關單位，但是在 1953 年會議前並無任何相關討論的紀錄文件。選用雷得作為吸收劑量單位的原因，亦未由國際輻射單位及度量委員會提出說明解釋。

另外有關雷得是輻射吸收劑量 (Radiation Absorbed Dose) 首字母縮寫字的說法也廣為流傳，與當時有許多首字母縮寫字例如雷卜，雷伯 (reb) 及侖目 (rem) 等而顯得合理可信，但是國際輻射單位及度量委員會並未做任何的解釋，所以雷得應該不是首字母縮寫而創造的名稱。有關此一議題，國際輻射單位及度量委員會榮譽主席羅瑞斯頓·泰勒博士 (Dr. Lauriston Taylor, 美國物理學家，1902-2004 年) 於 1990 年指出：「雷得這一名詞，只是很簡單的由它本身字母形成的字，由於經常被不當的提及，說是輻射吸收劑量的縮寫，這根本是不正確的。」



RADIAC

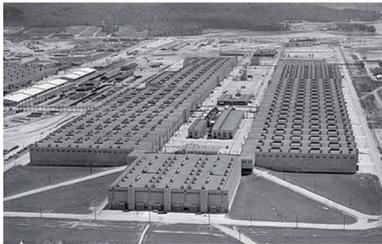
RADIAC 是 1940 年代末期的軍隊用語，其正式的說明是指用於建立防禦的放射性儀具，此一名詞在軍隊字彙中是由輻射偵測指示與計算 (Radiation Detection, Indication, And Computation) 數個字的字首所組成的。由於此一說法的曲折費解，就如同許多其他首字母縮寫字一樣令人難以相信，特別是此字的前 5 個字母與輻射一詞前 5 個字母完全相同，毫無疑問是先有了字再去找說法，也就是先射箭再畫靶的。

K-25

K-25 是指二次大戰期間建立於美國橡樹嶺國家實驗室，以氣體擴散方式製造濃縮鈾的工廠，在當時是全世界最大的單一屋頂建築物，占地



約 47 英畝。名字中的 K 字或許是源自負責興建此建築物的凱洛格 (Kellogs) 建築公司的凱萊斯 (Kellex) 子公司，而 25 可能是與二次大戰期間以 25 來稱呼鈾-235 有關，而鈾-235 正是此工廠濃縮程式的產品。例如鈾-235 的原子序是 92，而其質量數是 235，故簡稱 25；鈾-238 的原子序是 92，而其質量數是 238，故簡稱 28；鈾-239 的原子序是 94，而其質量數是 239，故簡稱 49。當然也有可能 K-25 僅僅是為了保密的代碼，而不代表其他任何意義。



K-25 設施
(圖片來源：維基百科)

另外一個常見的解釋，說 K-25 代表的是該設施在地圖上的位置，就如同二次大戰期間橡樹嶺國家實驗室另外兩座重要設施 X-10(石墨反應爐) 與 Y-12(電磁法同位素分離廠) 命名方式一般。只是這種以字母序列的說法有

一個問題，就是 X-10 距離 K-25 比距離 Y-12 廠反而近一些，而且在二次大戰期間為了保密，實在不太可能以地圖座標來命名相關的設施。

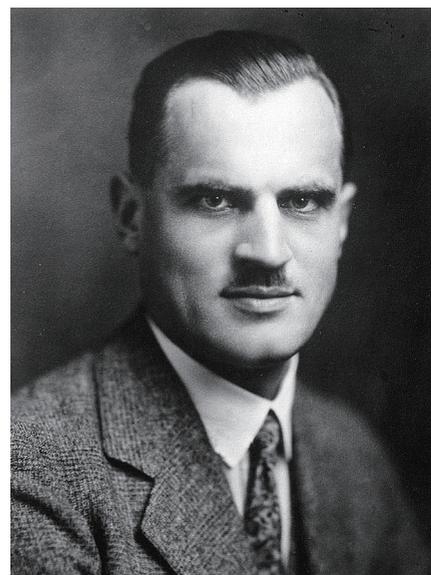
戈雷 (Gy)

戈雷為吸收劑量的單位，代表在國際制中每公斤吸收 1 焦耳的能量，此名詞取代了之前用的吸收劑量單位雷得。國際輻射單位及度量委員會於 1975 年 8 月致函給多家期刊表示，度量衡大會已接受委員會的建議，採用戈雷作為吸收劑量的單位。委員會說明路易士·哈羅德·戈雷 (Louis Harold Gray, 英國物理學家, 1905-1965 年) 對輻射劑量學中重要的布拉格-戈雷原理的貢獻，如此命名並無損於戈雷曾擔任國際輻射單位及度量委員會副主席的職位，頗有內舉不避親的意思。



保健物理 (Health Physics)

保健物理是針對輻射防護領域的用詞，其名稱的適當性曾引起了一些爭論。保健物理的名稱開始於 1942 年芝加哥大學的冶金實驗室，然而並不確切知道是誰或為什麼取了這一名稱。最可能的是由羅伯特·史東或亞瑟·康普頓 (Arthur Compton, 美國物理學家，1892-1962 年，獲得 1927 年諾貝爾物理獎) 擲銅板決定的名稱。史東時任健康部門主管，而保健物理是其所屬 4 個組之一，康普頓則擔任冶金實驗室的負責人。



亞瑟·康普頓 (圖片來源: 維基百科)



曼哈頓計畫

原子彈計畫的正式法定名稱是曼哈頓區，或稱曼哈頓工程師區，而曼哈頓計畫 (Manhattan Project) 是正式術語的一種普及變化用語。由於陸軍工程師兵團總體負責原子彈計畫，而兵團之下是分為區，所以在兵團下的組織被賦予此計畫時會用新的區來命名，這些區的命名通常是以其所在的都市為名。

最初負責建立此計畫組織架構者是傑姆士·馬歇爾 (James Creel Marshall, 美國陸軍工程師兵團，1897-1977 年) 上校，他是紐約州雪城區的負責人。選擇曼哈頓區作為名稱是馬歇爾上校與萊斯利·格羅夫斯上校 (Leslie Groves, 1896-1970 年，畢業於西點軍校，二次大戰期間主持曼哈頓計畫，中將退役) 於會議中決定的，而後者將接管此計畫。格羅夫斯於 1962 年回憶說：「在討論中有考慮使用諾克斯維爾 (註：位於橡樹嶺東邊的城市) 做名稱的可能性，決定用曼哈頓是因為馬歇爾的主要辦公室最初是位於紐約市」。格羅夫斯提及的辦公室位於百老



左為傑姆士·馬歇爾，右為皮萊斯利·格羅夫 (圖片來源: 維基百科)

匯 270 號，很接近紐約市政大廳，街對面公園內有座居里夫人紀念館。

數月後曼哈頓區的總部遷至橡樹嶺一幢名為「城堡」的建物中，主要是因為工程師兵團使用城堡作為其標誌。剛開始時馬歇爾爭論計畫名稱應為發展替代物質 (Development of Substitute Material, DSM)，然而格羅夫斯反對此一名稱，因為他覺得這會引起許多的猜疑。儘管格羅夫斯反對，原子彈計畫開始的一段時間仍混合使用 DSM 與曼哈頓區兩個名稱。



放射性（輻射）安全官

放射性（輻射）安全官 (Radiological (Radiation) Safety Officer) 是指 1940 年代末期，美國在太平洋核武測試時負責放射性安全軍官的職稱，放射性安全官最早使用於第 7 號聯合專案，此組織於 1947 年成立，目的是監督在馬紹爾群島的埃內韋塔克環礁執行核子試驗的砂岩行動，其管制法規中說明：「允許之放射性曝露為每 24 小時 0.1 侖琴，於特殊狀況下，其科學主任及放射性安全官可授權總曝露達 3 侖琴。」

軍事史學家巴頓·哈克 (Barton C. Hacker) 於 1994 年指出，在此管制法規中的謹慎用字，目的是遷就軍隊與科學界參與人員在核子測試中經常意見相左的情況。放射性安全官代表軍方，堅持對放射性安全有最終的權威，而科學主任代表民間的科學家，需經常進入污染區，執行實驗並做相關的輻射量測。

物理學家卡洛·弗洛曼為第 7 號聯合專案的科學主任，而詹姆斯·庫尼 (James P. Cooney) 上校為陸軍醫療部人員，擔任放射性安全官的職位，庫尼的職位與斯塔弗得·瓦倫上校在 1946 年第 1 號聯合專案於比基尼十字路口試驗 (Operation Crossroads) 中的職位相當，瓦倫在該專案中擔任放射性安全顧問的職位。有時候曾企圖區分有關軍隊為了安全的目而執行放射性量測，以及民間為了科學的目的而執行的輻射量測，然而即使在太平洋區核子測試結束後很長一段時間，軍隊仍比較希望用放射性而不用輻射一詞。☹

資料來源：“Why Did They Call It That?”, Paul Frame, The Origin of Selected Radiological and Nuclear Terms

IAEA 讚揚日本 JAEA 的核後端計畫

譯 編輯室

國際原子能總署 (IAEA) 的一個專家小組做出結論：日本原子力研究開發機構 (JAEA) 的 70 年除役計畫，其中包含對殘留放射性廢棄物的長期管理，為未來有效執行除役行動提供良好的基礎。該小組也提出幾項建議，包括放射性廢棄物處置的領域，以協助 JAEA 提昇其除役作業的有效性。

日本政府要求專家小組審查 JAEA 的「後端規劃」，這是一項在 70 年內除役 79 座核研究與發展設施的長期計畫。這些設施包括原型反應爐和研究用反應爐、再處理和其他核燃料循環設施、放射性廢棄物處理與處置等設施。目前的除役計畫集中於 3 座主要設施：東海 (Tokai) 再處理廠、文殊 (Monju) 原型快滋生反應爐和普賢 (Fugen) 進步型熱反應爐。該除役規劃不包括日本的商用核電廠，與其他研究機構或大學的核設施。

「放射性廢棄物與用過核子燃料管理、除役與修復綜合審查服務 (ARTEMIS)」審查，提供獨立的專家意見與建議，這些

意見與建議來自國際原子能總署召集的國際專家小組。審查基於國際原子能總署的安全標準、技術指南，以及國際最佳做法。該服務是針對放射性廢棄物管理設施的營運商和組織，以及監管機構、國家政策制定者和其他決策者。

國際原子能總署專家小組於今 (2021) 年 4 月 12-22 日進行的 ARTEMIS 審查最終報告，於 6 月 22 日公布。由於與新冠肺炎疫情大流行相關的旅行限制，因此以混合方式進行審查。審查小組由來自比利時、法國、匈牙利、義大利、瑞典、英國和美國的 8 名專家，以及 3 名國際原子能總署的工作人員組成，他們在維也納會面或從他們自己的地區參加，與來自日本文部科學省 (MEXT) 和 JAEA 的同業舉行線上會議。

ARTEMIS 的任務是審查 JAEA 所提出的除役與放射性廢棄物管理計畫整體的充分性、相關成本的估算方法，以及確保可有效執行計畫的方法。

該專家小組表示，JAEA 所處的地位有利於符合除役、放射性廢棄物與核子燃料



日本文殊 Monju 原型快滋生反應爐(圖片來源: Nuclear Fuel and Power Reactor Development Corporation / IAEA)

的安全、負責任地管理等高標準。專家小組並強調，除役規劃的設計和實施所涉及的專業精神，以及對各方面安全的承諾。專家小組也觀察到 JAEA 的技術開發成果，有利於未來的除役與放射性廢棄物處理計畫；此外，對於在 JAEA 內建立集中管理架構表示歡迎。

ARTEMIS 專家小組負責人綽依安尼 (Francesco Troiani) 表示：「JAEA 制定出值得讚許的除役規劃，確定了未來除役與放射性廢棄物處理計畫的方向，同時也充分強調了面臨的挑戰。在這次任務中汲取的經驗教訓也將有益於國際社會。」綽依安尼是義大利國營企業 Sogin 的開發與技術創新總監，Sogin 公司負責該國核子設施的除役與放射性廢棄物的管理。

該專家小組提供了一些意見與建議，以協助 JAEA 提高除役規劃的有效性。其中包括：檢視一系列選項，更明確地釐清其研發和除役的組織與資源責任，以加強對每個任務的關注；為整個除役與放射性廢棄物管理計畫制定綜合時間表，分辨重大

的風險和機會，並加強除役成本的評估方法；為最終處置設施的時程延遲做好準備，以便在過渡期間提供適當的放射性廢棄物貯存能力；以及從長遠的角度考量，促進具有適當技能的產業供應商組織，擴大其範圍，並確保其人員具備執行除役規劃所需要的適當技能。

JAEA 執行副理事長伊藤洋一 (Ito Yoichi) 說：「ARTEMIS 專家小組在除役與放射性廢棄物管理領域擁有大量的專業知識，專家小組的詳細調查結果將為我們未來執行除役計畫提供指引。」

資料來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/IAEA-commends-JAEAs-back-end-programme>

SKB 公司：瑞典政府應合併 考量高放處置設施相關申請案

譯 編輯室

瑞典核子燃料與放射性廢棄物管理公司 (Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB) 已敦促瑞典政府就其申請用過核子燃料封裝廠、最終處置場以及擴大其現有中低放廢棄物處置場的申請做出決定。6 月 20 日，瑞典政府詢問這家放射性廢棄物管理公司預計如何將最終處置場與封裝廠的申請案分開。

SKB 公司於 2011 年 3 月向輻射安全局 (SSM) 提送建造瑞典第一座用過核子燃料處置場和封裝廠的申請。這座綜合設施包括封裝廠和瑞典用過核子燃料集中式中期貯存設施 (Clab)，在 SKB 公司的申請案中被稱為「Clink」。該申請是有關在地下約 500 公尺的深度處置 6,000 個貯存筒倉、總共 12,000 噸放射性廢棄物。此外，SKB 公司還提交一份申請，是將 Clab 設施的用過核子燃料貯存容量從目前的 8,000 噸擴大到 11,000 噸。

SSM 和土地與環境法院已經審查了這些申請案。SSM 考量瑞典《核活動法》中規定的核設施安全與輻射問題；土地和環境法院

則根據國家的《環境法典》進行審查。SSM 和土地與環境法院均於 2018 年 1 月就 SKB 公司的申請向政府提出各自的正面意見。

根據瑞典環境法典，在政府做出最終決定之前，必須與歐斯卡鄉 (Oskarshamn) 和歐斯塔瑪 (Östhammar) 的市政府協商，他們有權否決該申請。2018 年 6 月，歐斯卡鄉市議會投票贊成 SKB 公司在該市建造用過核子燃料封裝廠的計畫。歐斯塔瑪市議會也於 2020 年 10 月批准了佛斯馬克 (Forsmark) 處置場的計畫。

然而，SKB 公司日前表示，政府現在已經詢問他們預計如何將封裝廠和最終處置場的申請分開。「現在政府似乎想要分拆我們的申請案，只對中期貯存容量的擴充做出決定。」SKB 公司溝通部門的主管波芮列斯 (Anna Porelius) 說。

波芮列斯指出，政府手上有擴增中期貯存容量和最終處置場對做出決定所需要的所有文件。「因此申請案不需要分開，法律要求我們對管理以及最終處置負責，這是一個彼此連貫的系統。奧斯卡鄉市政府



瑞典地下處置場示意圖
(圖片來源:SKB)

也反對沒有最終處置場，而只擴充中期貯存容量。我們對此非常尊重。」

波芮列斯表示，SKB 公司將回應政府，並解釋該公司是如何看待此事。「如果分案，我們看到了案件管理的缺陷，這不是 SKB 所主張的。我們的觀點是政府現在就可以做出決定，不需要分案來遵循政府決定的流程。」

瑞典更新國家核後端計畫

SSM 於 6 月 21 日表示，他們已經更新了國家計畫，在目前及未來可負責任並安全地管理用過核子燃料與放射性廢棄物。第一個國家計畫是在 2015 年制定，在此之後，管制核活動和管理放射性產品的法律框架有許多更新，瑞典的核電計畫內容也因此受影響。

「更新後的國家計畫，更清楚地強調放射性廢棄物管理方面的挑戰。」SSM 調查員兼更新工作計畫經理桑定 (Sara Sundin) 表示，瑞典核電計畫變更的部分，是更加關注於反應爐的除役。

SSM 指出，雖然所有放射性廢棄物的處理系統整體來說運作順暢，但有一些並非來自核電廠的放射性廢棄物讓人頭痛。「處置來自核電廠的放射性廢棄物的共同解決方案，對於非核電廠或非放射性廢棄物並不適用。最終處置場的規劃是根據反應爐的預計運轉時間和除役計畫而定；雖然即使在最終處置場關閉之後，也可能會產生其他的放射性廢棄物。」

桑定指出，某些種類的放射性廢棄物難以處理，目前負責管理這些廢棄物的機構認為，承擔管理的責任存在著經濟上的風險，因此可能會拒絕接受這些放射性廢棄



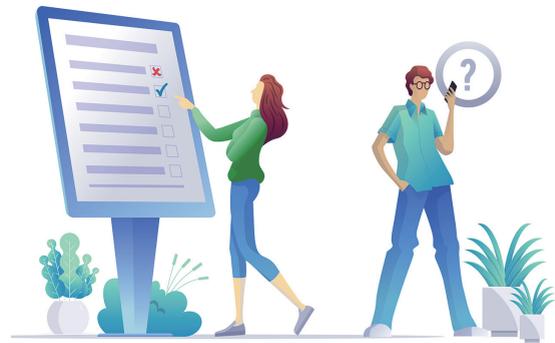
物。今（2021）年，瑞典政府還指定 SSM 在 10 月 1 日前須提交一份報告 -- 如何透過各種方式，長期獲得用過核子燃料最終處置場的資訊與知識。而那些遺留的放射性廢棄物的財務管理則是另一項挑戰，瑞典政府要求 SSM 分析這些放射性廢棄物管理的責任歸屬，以及誰應該負擔這些處理成本。

在更新後的計畫中，突顯出 2015 年後管制規定的變化。SSM 說，這表示政府對於安全方面的次要責任已經釐清。影響這次計畫更新的其他改變包括：

- 新的輻射防護法於 2018 年生效。
- SSM 在財務系統內的任務自 2018 年起轉移到債務辦公室（Debt Office），更新的財務法和新的財務條例於 2017 年生效。
- 國家核電計畫的變化：決定在 2020 年底前進行位於 Oskarshamn 1 號機與 2 號機，以及 Ringhals 1 號機與 2 號機，這 4 座最資深的反應爐的除役作業。
- 根據環境評估與已核准的安全報告，Barsebäck、Oskarshamn 1 號機與 2

號機，和之前關閉的 Ågesta 反應爐，於 2020 年開始進行大規模拆除與除役。

- 2018 年 1 月，在對 SKB 公司的封裝廠和用過核子燃料最終處置場申請案進行最終審查後，SSM 將其意見提交給政府做決定。



資料來源：

1. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Government-must-consider-applications-in-parallel>
2. <https://www.neimagazine.com/news/newsssm-updates-national-plan-8845353>

Cyclife 公司將處置 德國 16 件蒸汽產生器

譯 編輯室

法國電力公司 (EDF) 的子公司 Cyclife Sweden AB 近日與德國核電營運商 PreussenElektra 簽署了一項長期合約，是有關運輸並處理 16 件蒸汽產生器。這些大型金屬組件將從德國的 Unterweser、Grafenrheinfeld、Grohnde 和 Brokdorf 4 座核電廠運送到 Cyclife 公司在瑞典 Nyköping 的工業廠區進行處理。

Cyclife 公司表示，這份合約是遵循 2020 年 11 月正式簽署的初步協議，用於拆除 16 件蒸汽產生器。Cyclife 公司與其合作夥伴 Framatome GmbH 公司將拆解和移除反應爐建築物中的大型組件，以便在瑞典運輸和處理。Cyclife 於 2019 年成立的子公司 Cyclife Engineering 將負責詳細的設計研究。德國第一座核電廠—Unterweser 的除役運轉研究階段已經開始，預計於 2023 年第二季運送第一批蒸汽產生器到瑞典。

蒸汽產生器大約 20 公尺高，每件重量將近 400 噸。首先完整地從管制區中吊出，然後用接駁船運走，隨後將被拆解

並準備進行處置。這套程序於 2007 年在 PreussenElektra 旗下的 Stade 核電廠曾使用過。該公司表示，與在現場拆除蒸汽產生器的替代方案相比，這種方法「在時間和安全方面具有相當大的優勢。」

蒸汽產生器是壓水式反應爐 (PWR) 中的熱交換器，產生的蒸汽使渦輪機轉動，進而在發電機中產生電能。PreussenElektra 表示，蒸汽產生器的拆除和處置是壓水式反應爐拆除的重點之一，將需要花費十餘年的時間。確保計畫的安全與準時進行，對於快速拆除的進展非常重要。

Cyclife Sweden 公司負責將處理組件所產生的二次放射性廢棄物並運回德國，確保完全符合當地的法規。

資料來源：

<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Cyclife-to-dispose-of-16-German-steam-generators>

英國零售業將於 2040 年 達成淨零排放目標

譯 編輯室

- 英國零售業致力於 2030 年起逐步以淨零排放電力供應商店與倉儲，並放眼於 2040 年可望實現淨排放零目標。
- 英國零售商協會 (BRC) 以氣候行動藍圖概述了零售業及相關供應鏈的脫碳步驟。
- 超過 60 家零售業巨頭正為了建構新的藍圖而貢獻資源。

氣候危機仍是我們這顆星球所面臨最嚴峻的威脅之一，我們都有一己之任來共同應對。在後疫情時代，英國有機會從減少碳排放量做起，來重建更公平、更永續的經濟環境。

今日，英國 63 家零售商龍頭齊心協力支持 BRC 氣候行動藍圖，零售業及相關供應鏈將於 2040 年達成淨零排放目標。而這一切起源於 2020 年年初由 20 家主要零售商共同簽署的宣言，透過氣候行動藍圖的發展來因應氣候變遷的因素。BRC 相信在政府的大力支持下，零售業可以在 2030 年實現商店的脫碳目標、相關運輸部分在 2035 年、產品層面在 2040 年各

自達到脫碳的目標。

氣候行動藍圖列出了 5 個行動領域：

- 使「脫碳」成為所有商業決策的主軸
- 減少商店和物流中心的碳排放
- 物流作業淨零化
- 增加生產永續化的產品
- 協助消費者和員工邁向低碳的生活模式

到 2040 年，英國民眾將可以購買或租用對氣候影響極小化的產品。從藻基吸碳衣 (algae-based carbon-absorbing clothes)、商店和咖啡館能利用顧客的腳步踩踏發電、用無人機送貨，甚至是用 3D 列印機在家「列印」出商品。在在顯示出零售業碳排放的減少具有非常大的成長力，有著激勵人心的未來。

然而，零售業和政府必須合作，才能實現此一願景，讓英國成為邁向零碳世界的全球領袖。該藍圖建立在「改善零售、改善世界」運動的基礎之上，零售商將帶頭應對全球在未來 10 年面臨的幾項終極



支持「改善零售、改善世界」運動的零售商 (圖片來源: <https://brc.org.uk/priorities/better-retail-better-world/>)

難題。氣候行動藍圖的發布將啟動一段歷時 20 年的旅程，零售業不僅將在過程中應對氣候變遷，更將幫助客戶邁向低碳的生活方式。此藍圖的計畫於 2020 年 11 月 10 日《聯合國氣候變化綱要公約》的淨零排放討論中進行細節的概述。

英國零售商協會執行長 Helen Dickinson OBE 表示：「氣候變遷是我們任何人都不能忽視的威脅。BRC 氣候行動藍圖是一項明確而果斷的聲明，顯示出零售業已準備好著手這個難題—加入解決策略的一方。到 2040 年，我們希望英國的每位消費者都能夠在商店和網路購物時，能因為自己並未成為全球暖化的推手而感到安心。從未有過一整個行業如此雄心勃勃地應對氣候變遷。零售業是國際巨型供應鏈與身為公民的每個人之間的重要門戶。如果我們能夠同心協力，我們就有絕佳的機會來為全球做出實際的改變。」

氣候變遷委員會執行長 Chris Stark 表示：「零售商正透過 BRC 氣候行動藍圖，展現自己行業的企圖心，以引領世界實現

淨零排放。這是一個需由政府 and 商業部門大膽領導的根本目標—我給予每個支持這一舉措的零售商高度的評價。」

世界自然基金會 (WWF) 氣候變遷負責人 Gareth Redmond-King 表示：「企業在應對氣候危機方面得以發揮巨大的作用—每位企業領袖都須盡速決定、是否要成為支持的一份子，共同為了 1.5°C 的未來而努力。BRC 及其成員以這份果敢的承諾帶動風潮。讓我們以消費者的身份，做出對企業表示支持的承諾；也讓我們以公民的身份，呼籲政府與 BRC 和其他企業領袖進行合作，協助推廣並讓其他產業一起加入。」

資料來源：
<https://brc.org.uk/news/corporate-affairs/retail-to-hit-net-zero-by-2040/>



國外新聞

法馬通更新 Paks 核電廠的用過核子燃料貯存場系統

法馬通公司於 6 月 28 日宣布，與匈牙利國有放射性廢棄物管理公司 (Public Limited Company for Radioactive Waste Management, Puram) 已簽訂合約，以更新其位於 Pak 核電廠的用過核子燃料中期貯存設施的地震監測與分離系統。這是法馬通收購 Evopro 核能公司以及 Kft 過程自動化公司之後，新成立的子公司 Framatome Kft 簽署的第一份合約。

法馬通負責銷售、區域平台和儀表與控制業務部門的資深執行副總裁 Frédéric Lelièvre 表示：「法馬通團隊很高興能擴大在匈牙利的業務，與我們在中歐的客戶有更密切地配合。與 Puram 公司的合作，將成為法馬通與匈牙利核工業持續合作的另一個亮點。」

地震監測與分離系統的設計是用於發生地震時可使吊車停止操作，或是停止用過核

子燃料的裝載作業。根據合約，法馬通將使用最先進的解決方案更新現有系統，並將該系統安裝在 Paks 核電廠的用過核子燃料中期貯存設施中。

Nuclear Engineering International, 07/01/2021

Studsvik 簽署拆除德國核電廠的協議

瑞典的 Studsvik 公司於 6 月 29 日表示，他們在德國和附近國家從事核電廠拆除工作已有大約 20 年的時間，新簽署的協議為長期業務關係奠定了基礎。這些服務將在 3 年內平均分配。

Studsvik 公司在除役和輻射防護業務的領域，是提供有關輻射防護、除役、拆除、除污和工程方面的服務。客戶包括德國、瑞士、比利時和荷蘭的核電廠、研究中心以及其他核設施。

Studsvik 公司執行長 Camilla Hoflund 說：「這份新協議具有重要的戰略性意義，證實了我們在核電廠拆除方面，結合了長

期的經驗與創新的解決方案，我們將繼續為德國和附近國家的拆除市場創造高價值的服務。」

Nuclear Engineering International, 07/01/2021

BCNS 贏得塞拉菲爾德的延長合約

塞拉菲爾德 (Sellafield) 已授予 BCNS (Bechtel Cavendish Nuclear Solutions) 公司一份為期兩年的延長合約，並增加了位於英格蘭北部坎布里亞郡賽拉菲爾德場址的燃料護套貯存倉 (Pile Fuel Cladding Silo, PFCS) 的工作計畫。PFCS 的歷史可以追溯到 1950 年代初期，它是一個長 29 公尺、寬 10 公尺、高 18 公尺的結構，用於貯存 Windscale 核電廠和後來的 Magnox 核電廠所使用的核子燃料組件中取出的放射性護套材料。

自 2012 年以來，BCNS 公司一直致力於 PFCS 計畫。其目的是提供一個系統，讓塞拉菲爾德能夠回收 3,200 立方公尺的廢棄物，並安全地包裝，再進行最終處置。這牽涉到接收門與遠端處理設備的安裝，以便從一座被描述成歐洲最危險建築之一的密封隔間中，回收已有數十年歷史的放射性廢棄物。

新合約的範圍要求包括：採購、製造、準備、安裝和測試附加設備，在第一個隔間清空後，讓塞拉菲爾德能夠從剩餘的 5 個貯存倉隔間中繼續回收廢棄物；擴增場外的測試設施，以開發未來用於回收廠的系統；建造一棟新的集中控制大樓，以監測所有的貯存倉，和廢棄物回收的操作。

Nuclear Engineering International, 06/24/2021

伊格納利納核電廠公布除役安全分析報告

立陶宛的伊格納利納 (Ignalina) 核電廠於 6 月 15 日公布安全分析報告，以供公眾參考和建議，這是申請除役許可程序的一部分。伊格納利納核電廠除役安全分析的目的是為選擇除役策略、制定除役計畫，和除役相關的具體活動提供協助，並表明工作人員和公眾的輻射曝露符合「合理抑低 (ALARA)」原則，並且不超過相關法規限制。

安全性是以定量標準來描述的，例如，釋放到環境中的放射性核種的最大量、工作人員和居民可接受的最大容許游離輻射劑量、發生事故的可能性等。在安全分析期間，依據現有的安全標準，對在核動力設施展開活動的結果進行一致與系統性的評估。伊格納利納核電廠表示，如果安全評估的結果，確定在正常運轉期間和發生事故時都不會超過限值，則可假設安全度是合理的。否則，將有必要採取措施將安全性提高到可接受的程度。

伊格納利納核電廠的除役以及相對應的安全評估，涵蓋了幾個不同運轉執照的核設施，分別是：1 號機、2 號機；固體放射性廢棄物貯存廠 155、157、157/1 (連同廢棄物存取模組)，以及處理液體放射性廢棄物的綜合設施 (瀝青與水泥固化裝置，以及液體放射性廢棄物貯存容器)。

根據伊格納利納核電廠最終除役計畫，除役安全評估將在所有核子燃料從機組中移除後進行，預計於 2022 年完成。

Nuclear Engineering International, 06/22/2021

中國完成第一個國產用過核子燃料運輸桶

中國製造完成第一個國產 100 噸用過核子燃料運輸桶，可容納 21 束用過核子燃料組件，中國核工業集團公司 (CNNC) 表示，龍舟 -CNSC 容器的量產，將進一步強化其用過核子燃料的運輸能力。CNNC 表示，龍舟 -CNSC 桶已經按照法規標準的要求進行了安全驗證測試，例如墜落測試及其耐火能力。

2017 年，中國國家核安全局批准西安核設備公司生產用過核子燃料運輸桶的申請，該公司當時正在生產用於運輸核子燃料的 CNFC-3G 桶。2017 年 12 月 20 日，龍舟 -CNSC 原型桶通過驗收測試，並宣布準備量產。第一個運輸桶於今 (2021) 年 6 月 30 日下生產線。

在甘肅省中部、蘭州東北方 25 公里的蘭州核子燃料綜合設施內，建造了一座用過核子燃料集中貯存場，初期的貯存容量為 550 噸。然而，大多數用過核子燃料目前仍貯存於核電廠反應爐附近的用過核子燃料冷卻池中。唯一的乾式貯存設施在秦山核電廠。

CNNC 的子公司一中核永清 (CNNC Everclean) 公司負責將用過核子燃料從核電廠運往蘭州核子燃料綜合設施進行貯存。每年超過 100 束用過核子燃料組件從大亞灣以陸路運輸送到甘肅省進行貯存，路程長達 3,700 公里。根據中國國家科學技術與國防工業局的說法，未來每年將增加到 600 束組件。

World Nuclear News, 07/02/2021

中國開始建造高放地下實驗室

中國國家原子能機構 (CAEA) 宣布，北山地下研究實驗室已在中國甘肅省酒泉市附近開始建造。該實驗室位於戈壁沙漠地下 560 公尺的花崗岩中，將用於測試此地區是否適合長期處置高放射性廢棄物。北山實驗室包括一個螺旋坡道、3 個垂直豎井和水平處置坑道。

6 月 17 日，北山基地舉行了破土典禮，出席此次活動的有中國國家原子能機構、甘肅省生態環境部、蘇北縣政府、酒泉市政府、中國核工業集團公司、中國鈾業股份有限公司和北京核工業地質研究院的代表。CAEA 表示：「這將是全世界最大、功能最全面性、參與範圍最廣的地下實驗室。將為建造高放射性廢棄物深地質處置場提供重要的科學研究平台，加速高放射性廢棄物安全處置的時程，保障核工業可健全與永續地發展。」北京鈾地質研究所副所長王駒在 4 月份接受中國日報採訪時表示，該實驗室的地面設施占地 247 公頃，總建築面積 2.39 公頃。他表示，地下綜合體結構的總體積為 514,200 平方公尺，隧道總長 13.4 公里。

北山實驗室預計耗資超過人民幣 27.2 億元 (約新台幣 117 億元)，建造時間需要 7 年。其設計使用壽命為 50 年，如果研究證明實驗成功且選址合適，到 2050 年時將在實驗室附近建造一座地下高放射性廢棄物最終處置場。中國的中低放射性廢棄物在 3 個地點進行工業規模的處置，分別是：甘肅省西北部玉門附近、大亞灣核電廠附近的廣東省北龍處置場，以及四川省的飛鳳山。☸

World Nuclear News, 06/21/2021

國內新聞

核二廠 1 號機燃料池貯滿 提前停機

台電核二廠 1 號機原應運轉至今年底 (2021 年 12 月 27 日) 屆齡除役，但因為用過燃料池空間不足，且新北市政府未同意乾式貯存設施動工，因此用過核子燃料無法退出抽換，已於 7 月 1 日提前停機。台電表示，理解地方政府的民意壓力，也突顯放射性廢棄物管理仍是中央與地方、政府與民間要共同合作面對的議題。

核二廠 1 號機運轉執照將於 12 月 27 日屆期，台電已依規定於 3 年前提出除役計畫，原能會已於 2020 年 10 月 20 日審查通過，目前台電正辦理環境影響評估作業，待環評作業通過後，才能獲得原能會核發的除役許可。因此核二廠將如期於運轉執照到期後進入除役期間，並於取得除役許可後，進行除役相關拆除作業。

至於社會關切裝置容量達 98.5 萬瓩的核二廠 1 號機停機後的供電情況，面對今夏供電可能繼續創高峰，台電說明：核二廠 1 號機停機後，另有原歲修、大修機組已陸續歸隊，民營嘉惠電廠 2 號機順利運轉並配合調度、再生能源持續併網，以及持續推動需量反應等輔助服務，台電公司仍將持續確保國人供電無虞。

本刊訊，2021/07/01

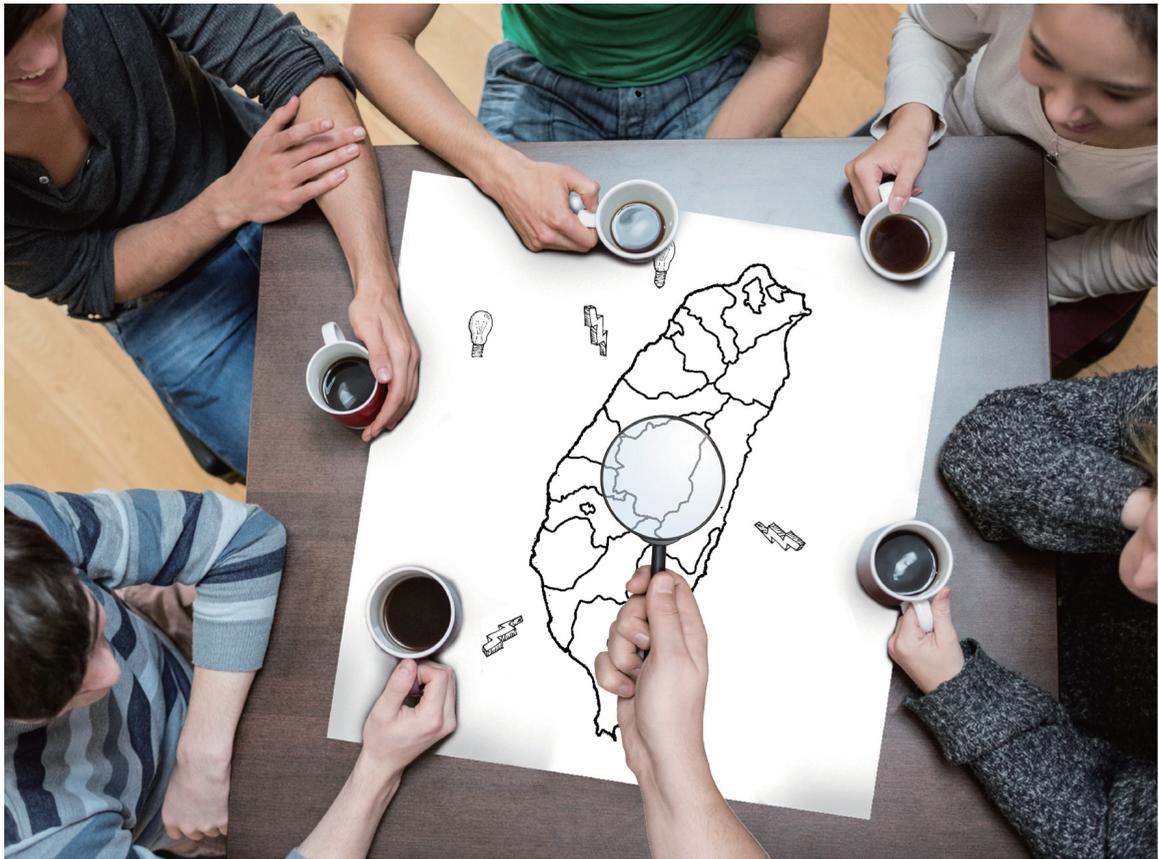
IAEA 成立福島核污染水工作組 原能會積極關注掌握動態

國際原子能總署 (IAEA) 針對日本福島核災廢水處置而籌劃的技術工作組，是 IAEA 針對日本將在兩年後排放核災後含氚廢水所組成的專家技術工作組，參與對象以日本鄰近國家的會員國為主。

由於我國目前非 IAEA 會員國，且中國已獲 IAEA 邀請進入工作團隊，在現今國際情勢與政治現實之下，我國參與的難度仍頗高。不過原能會將透過駐外單位密切留意 IAEA 此工作團隊針對日本排放核災後含氚廢水相關資訊，第一時間掌握其動態，供我國因應政策研擬的依據。

另一方面，原能會已積極透過外交單位向日方表達參與國際相關監測作業的意願，日方亦已依「台日核能管制資訊交流備忘錄」所建置的平台與我共享資訊，並與我專家交流；同時雙方也針對排放核災後含氚廢水相關資訊，就未來交流方式進一步討論。

本刊訊，2021/07/03



互相聆聽、開始對話！ 核廢社會溝通需要您的參與

世界咖啡館的參與者不是為了喝咖啡而聚集，而是帶動同步對話、分享共同知識，並且有效的在對話中為焦點議題創造新的意義以及各種可能。

世界上已選定核廢處置場址的國家，都是以科學與技術為基礎，透過與公眾及利害關係人的溝通，建立彼此間的互信及信心，逐步推展處置地點的評選作業。我們也利用世界咖啡館的概念，秉持著「公正的組織體、公開的參與、客觀的標準」的理念，積極和民眾進行對話，擴大議題交流，增加合作互信的基礎，解決核廢爭議。