

2021
APRIL
雙月刊

核 後 端

Nuclear BACK-END

002



日本高放處置場 選址現況



臉書專頁

談談放射線治療醫學

美國能源部長反對
雅卡山最終處置計畫

用於緊急情況下
輻射監測的新型無人機

全球最大的太陽能
電池系統開始興建

義大利開始尋找
放射性廢棄物貯存地點

可防止能量散失的
新式窗戶

編輯室手札

日本的地質、環境特性與我國相近，同樣也缺乏天然資源，因此在能源開發、需求、配比各方面兩國的處境多有相似之處。而在放射性廢棄物管理部分，由於日本發展核能先於我國多時，目前在高放射性廢棄物最終處置設施選址的推動也有所進展，因此日本的經驗與作法值得我國參考。

日本近年積極強化高放處置場址調查流程與研究成果的資訊公開，舉辦研究成果發表會、資訊交流研討會等，並提供民眾多重參與管道，以及與計畫執行者及政府對話的機會。著重如何增進調查地區居民以及全國國民理解最終處置的策略與規劃。

從本期的專題報導內容可看出，日本的選址流程自 2007 年停滯多年後進行了修正，在選址程序開始前先進行「雙向對話」，特別是促進全體國民及地方民眾理解的各種活動，並在選址過程中持續地進行溝通，更是重要的一環。日本負責高放處置作業的機構—NUMO，採取「對話式的溝通」，化解民眾的疑慮，甚至舉辦前往芬蘭、瑞典的高放處置地下實驗室與場址預定地等設施參訪，幫助民眾實地瞭解高放處置的作業模式，以及當地居民的感受。目前已有北海道的壽都町及神惠內村表示願意接受選址流程第一階段的調查。

我們相信，惟有資訊更公開透明，落實政府與團體、機構間資訊的充分交流，真誠的傾聽民眾意見並積極溝通，獲得民眾的理解與信任，才能順利有效的推動最終處置工作。日本的經驗非常值得我們借鏡學習。

在新冠肺炎疫情肆虐下，各國政府祭出封鎖邊境、遠距辦公、線上教學等因應措施，但是像電力供應、輻射防護等工作卻必須如常運作，以維持民眾的生命安全，這正考驗著人類如何在危機中發揮創意與智慧。本期報導包括：利用無人機進行輻射偵測，建造超大型太陽能電池系統，降低綠色氫氣成本可解決氣候問題，改善窗戶材質以防止建築物能量散失等，都是非常精彩又有趣的主题，請各位讀者慢慢享用。☺

目錄

專題報導 2 日本高放處置場選址現況 - 編輯室

原子能小學堂 12 日本核子設施除役組織 - 石門環
15 核電廠拆除後物品可經濟循環再利用 - 張靜

生活中的輻射 16 談談放射線治療醫學 - 賴律翰
22 用於緊急情況下輻射監測的新型無人機 - 編輯室
25 在新冠肺炎疫情中輻射防護行動 - 編輯室

科普有意思 28 原子能科學家小故事 - 編輯室

國際脈動 32 義大利開始尋找放射性廢棄物貯存地點 - 編輯室
34 311 事故 10 週年的日本福島第一核電廠 - 編輯室
36 美國能源部長反對雅卡山最終處置計畫 - 編輯室
37 全球最大的太陽能電池系統開始興建 - 編輯室
38 「綠色氫氣」成為氣候解決方案 - 編輯室
40 可防止能量散失的新式窗戶 - 編輯室

新聞報馬仔 41 國外新聞 - 編輯室
44 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
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
臺灣電力公司核能後端營運處敬贈 廣告

日本高放處置場 選址現況

文 編輯室



根據日本地質處置計畫（Japanese Geological Disposal Program）時間表的規劃，最終處置設施將在 2030 年完成選址，於 2040 年開始運轉。因此，日本確認「深層地質處置概念」在技術上可執行，在國際間也被認為是高放射性廢棄物最終處置的首選方案後，於 2000 年為此制訂相關法律，由內閣研擬最終處置基本方針，並成立專責法人機構－日本原子力發電環境整備機構（Nuclear Waste Management Organization of Japan，NUMO），來推動日本國家處置計畫，為高放射性廢棄物建立一座深層地質處置設施。除了成立 NUMO 之外，日本也設立了詳細、謹慎的三階段程序，來進行高放射性廢棄物最終處置設施的選址作業

最終處置概念

由於日本用過核子燃料是採用再處理的方式來進行燃料回收再利用，再處理的過程中所產生的廢棄液體會以玻璃固化的方式形成固體，屬於高放射性廢棄物，因此日本的高放最終處置計畫均是以處置該種廢棄物為目標，將這些玻璃固化體在地下 300 公尺處進行長時間的保存，直到裝有廢棄物的容器的放射性自然衰變至天然輻射的程度，這至少需要 1,000 年的時間。為了確保將放射性物質安全的封閉在最終處置設施內，與大多數計畫建設高放最終處置設施的國家相同，日本也選擇「多重障壁」的概念。

「多重障壁概念」是由「人工障壁」與「天然障壁」所組成。人工障壁指的是玻璃固化體的玻璃物質、裝置容器外包裝（overpack）以及膨潤土，天然障壁指的

是最外圍的岩盤。經由多層的屏蔽，有效的將放射性物質與我們在地表的生活環境隔離開來。

三階段選址調查流程

由於最終處置設施必須安全貯存高放射性廢棄物至少 1,000 年的時間，為確保地質的穩定性，考量到各種安全與風險，必須謹慎的進行選址。日本最終處置設施的選址流程分成三個階段，分別是：文獻調查、概要調查及精密調查，預計分別需要 2 年、4 年與 14 年，總共 20 年的時間來進行，調查的區域也隨著流程越縮越精細。

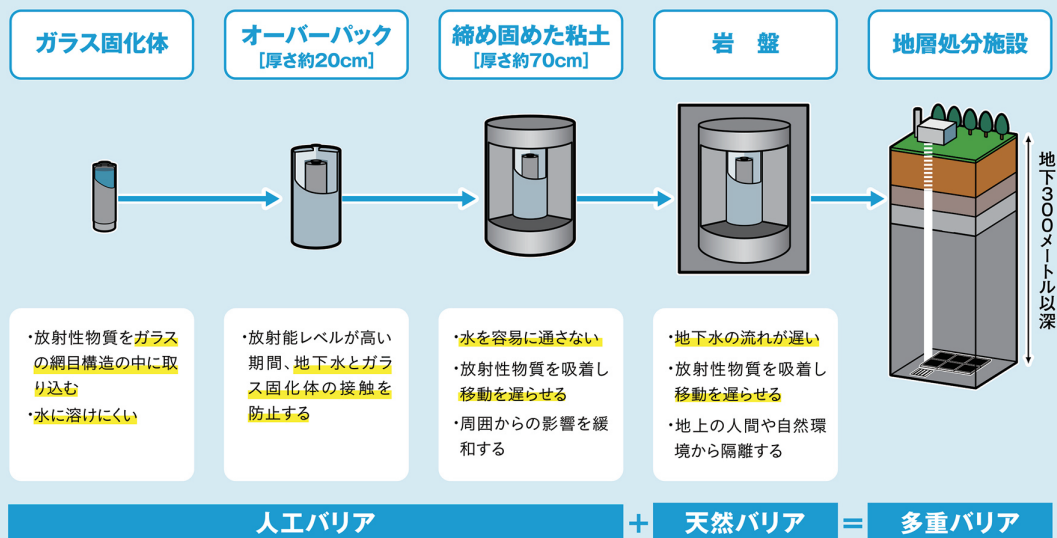
「文獻調查」主要是基於如地質圖與學術論文等現有的文獻與數據資料，檢視自願地點過去地震、火山、斷層、隆起與侵蝕，以及其他任何與地殼構造相關的活動歷史，來為該地點是否適合建立深層地質處置場，進行可行性評估。該階段的調查僅屬於「桌上」調查，並無任何現場作業。

在檢視該地點過去的地質歷史、確認該地點過去沒有任何因自然現象（如地震等）導致地質變化的跡象、未來也不會有類似的風險發生後，整個流程就可以前進至第二階段的「概要調查」。

「概要調查」會透過地表鑽探採樣、地球物理、試槽（trench）調查的方式，來進行該地點的地質組成、岩石屬性、地下水特性、地球化學特性、地球動力學等的研究。這個階段是為了確保該地點與鄰近地區的地質組成均適合建立處置場，開鑿地下洞穴時不會遇到阻礙，地下水與其他因素均不會對處置設施造成負面影響等。

高レベル放射性廃棄物を閉じ込める仕組み

高レベル放射性廃棄物は、放射能レベルが高い期間は地下水と接触しないように、厚い金属容器（オーバーパック）に格納し、水を通しにくい粘土（緩衝材）で覆った上で、一定の間隔を空けて、安定した岩盤に1本ずつ埋設をしていきます。



日本高放最終処置計画採用多重障壁の概念 (圖片來源: NUMO)

最後の「精密調査」階段則是在該地點完成處置設施的隧道開鑿後進行更細部的評估，確認該地點地質組成的物理與化學特性適合建立地下處置設施後，才會開始設施的建設工程。

另外，整個選址流程中最重要的是，NUMO 在每階段都必須聽取地方政府的意見，只要在任何一個階段面臨到「在技術上可行，但當地政府不希望繼續進行選址流程」的情況，NUMO 就不能進入到下一個階段，在 20 年的調查期間也不會將廢棄物遷入自願地點。

2015 年最終處置基本方針修訂

日本在 2002 年底時開始招募有意願接受調查的地區，位於高知縣的東洋町在 2007 年 1 月提出正式申請，但申請案在 3 個月後的町長選舉後遭到撤銷，之後的選址便停滯不前，加上 2011 年的福島事故，導致選址作業更難進行下去。

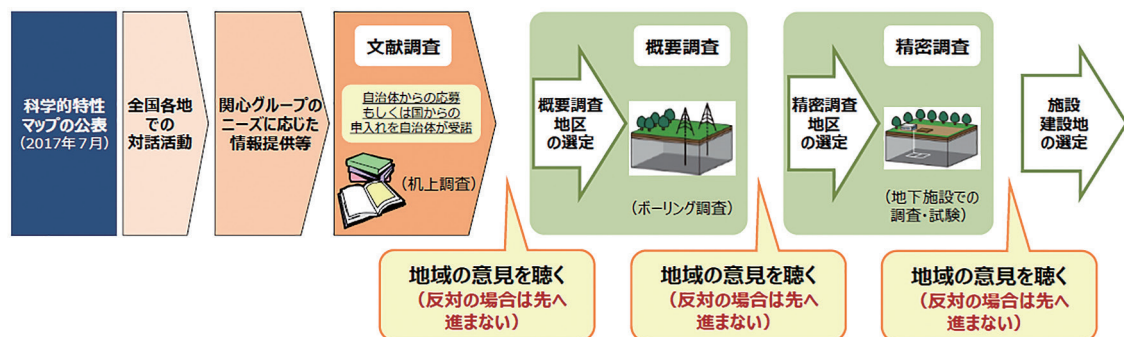
為改善當時無任何地區提出申請的狀況，日本政府在 2013 年成立與最終處置相關之部長級委員會與工作小組，開始檢視最終處置計畫，就選址流程做出檢討與

改善，並以日本的《最終處置法》為法源來修改最終處置計畫的基本方針，也在多次研議、經內閣通過後於 2015 年宣布基本方針修訂後的內容，共有 5 項重點：

1. 以「放射性廢棄物的處置為本世代的責任」為目標，來推動地質處置；
2. 國民應對接受處置設施的地區懷抱敬意與感謝、必須向該地區民眾回饋社會福利等的重要性；
3. 政府（即日本經濟產業省，等同於我國經濟部）必須帶頭發揮作用，例如提出以科學的角度來看屬於（地質）合適的地區；
4. 中央政府應密切與地方政府互動，提供有關最終處置政策的訊息，積極聽取地方的意見，進行謹慎、有禮貌的「對話」，強調了應先有「對話」才有「選址」；
5. 處置作業體制的改善。

三階段的選址調查流程在基本方針完成修訂後，於第一階段文獻調查前新增了三項步驟，分別是：由政府進行全國科學特性調查、「對話」活動的建立與執行、有意願的地方政府提出申請。另外，在最後一項步驟中還有提到，政府需就地質合適的地區向其提出接受調查的建言，這也是修改後新增的部分。若有地區表態願意接受調查，才會在該地區開始進行三階段的選址調查流程。

依據新的基本方針，經濟產業省花費近 2 年的時間，集結多位專家學者成立專門的技術小組，就處置場候選場址需具備何種地質條件、基準又該如何訂定等，進行了深入的研究，在邀請經濟合作暨發展組織核能署（OECD-NEA）進行同儕審查、確保符合國際標準後，完成這份「科學特性地圖」的編制，經濟產業省也於 2017 年公布這份「科學特性地圖」，期望能從此地圖中顯示地質合適的地區為主要，開始推動在各地的民眾溝通。



日本在 2015 年修訂最終處置方針後，在高放處置設施的三階段選址流程前新增了「公布科學特性地圖」、「於全國進行對話活動，以及為想更深入了解地質處置的團體提供更進一步的資訊」等的步驟，若有意願的場址在選址流程的任何一個階段表達了反對的立場，NUMO 就不得於該處繼續選址流程。（圖片來源：NUMO）

科學特性地圖

由於地質處置設施將建置在地下 300 公尺深處的岩盤中，必須考量到地質、水文、溫度等條件，找尋可確保這些因素具備長期安定性的地點。這份科學特性地圖依照日本不同地區的特性，以 4 種顏色來區分，例如位於火山、斷層附近，地層有隆起、侵蝕，氣候、海水有變動等自然現象發生的地區，就不符合「合適」的地質條件，在科學特性地圖上以「橘色」呈現。

地下有如石油、天然氣、煤炭或其他金屬等礦物資源的地區，考慮到未來有進行挖掘的可能性，也被列入地質不適合的地區，在科學特性地圖上以「銀色」來呈現。

摒除橘色與銀色的地區則用「綠色」來呈現，但考慮到未來將以海運配合短程陸路運輸的方式，將暫貯在青森縣六所村高放射性廢棄物貯存管理中心的玻璃固化體運送至地質處置設施，必須考慮到運輸工具在一天內可以移動的時間與距離、運輸過程將面臨到的風險等要素，陸路運輸的距離為 20 公里內為合適的地區，在科學特性地圖上以「深綠色」來呈現。

科學特性地圖編制的每一項條件都是考慮到建設、營運與運送時潛在的風險，經過慎重研究、討論後定出的數值為基準，例如火山是以半徑 15 公尺內都算是火山區域、地下水酸度則是不可低於 pH 4.8 等等，數值若不符合基準範圍的都會被列為不適合的地質條件。利用科學研究後得出精確的數值來定義每個地區的地質條件是否適合，這也是 NUMO 期望能以「站在科學特性的角度，秉持客觀、公正的立

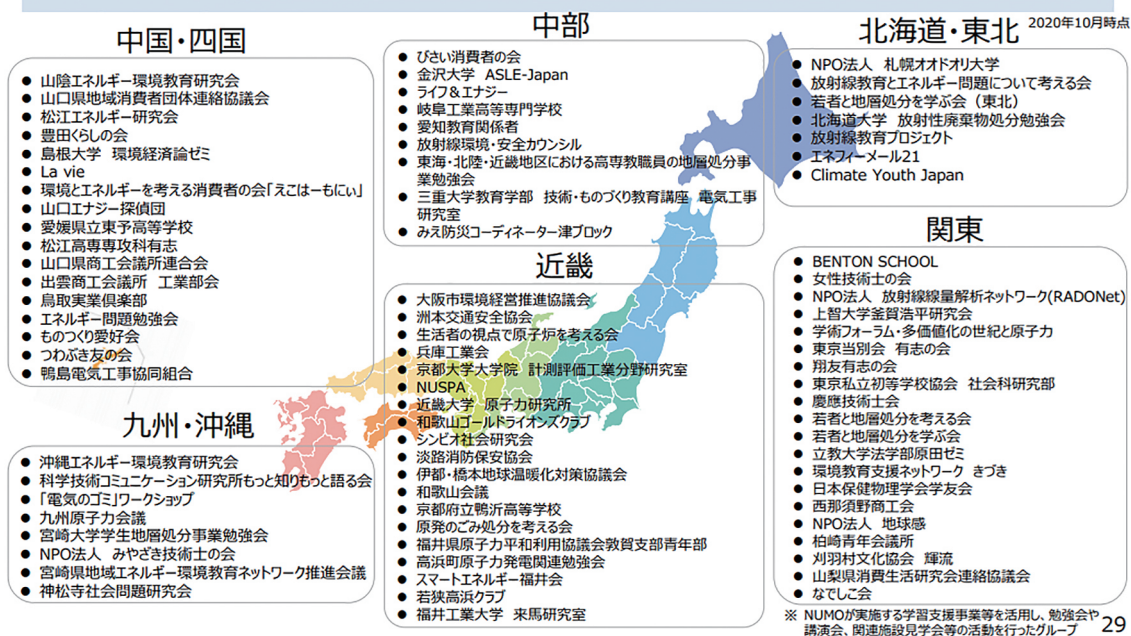
場，即使是不一樣的讀者來看都可以得出一樣的結論」為目標，在這些地質合適的地區中找尋自願接受處置設施的地區。

不過，NUMO 對此也表達謹慎的立場，這些綠色的區塊目前只屬於地質條件「比較合適」的地區，仍要經過三階段的選址調查流程，透過鑽探、開挖等更進一步詳細的評估，才可確定這些地區是否適合建立處置設施，因此只能說這些地區「有希望」，不是只要是綠色的地區都可以設置處置設施。NUMO 強調，公布科學特性地圖是為了配合於全國進行的「對話」活動，加深國民對最終處置計畫的理解，並聆聽地方的聲音，公布科學特性地圖也僅是整個最終處置計畫的開始而已。

公眾溝通與參與

所謂的「對話」指的就是「對話式的溝通」，由於在過去公眾溝通不夠落實而得到教訓，讓日本發現「建立雙向溝通」的重要性。自 2017 年經濟產業省公布科學特性地圖起，NUMO 就以「介紹科學特性地圖」（2017-2019 年）與「高放射性廢棄物最終處置」（2019 年底至今）為主題，與經濟產業省共同推動「對話型全國說明會」，地點從各縣市的首府為起點，自 2018 年 10 月開始於地圖中深綠色區域的沿岸城市舉辦。說明會的內容分成兩節，上半節主要就核燃料循環（玻璃固化體是如何產生的）、地質處置概念、為何選擇地質處置、科學特性地圖、三階段的選址流程、國際上地質處置計畫現況、NUMO 地域共生理念、對話活動等議題進行介紹與說明；下半節則是分成小組讓民眾進行

- 全国で対話活動を続ける中で、地層処分事業をより深く知りたいと考える、経済団体、大学・教育関係者、NPO等の、**全国で約80の関心グループ***が勉強会や情報発信などの多様な取組を実施中。



日本各地對處置議題表達「想更深入了解」的經濟團體、教育學者、非營利組織（NPO）等協會組織的數量現已接近 80 個，NUMO 也對這些群體提供會議、研討會或設施參訪等的學習支援活動。（圖片來源：NUMO）

提問，目前已舉辦近百場的說明會。

根據 NUMO 在 2020 年初進行的統計，首次參加說明會的居民的百分比從一開始的 55%，至後期提升至 80%；參加者中 60 歲以上的年齡層超過半數，男性也占了超過 6 成。在各地舉行說明會前，NUMO 也會拜訪當地及附近的地方政府，讓說明會可以更廣為人知，超過 7 成的說明會都有地方政府官員赴會旁聽。NUMO 在說明會結束後也都會將當天開會的逐字稿上傳到 NUMO 網站上，有些場次還有影片可觀看，讓想要了解最終處置議題但無法參加說明會的民眾也有機會參與。

為了加強年輕一代國民對最終處置的了解，除了說明會之外，NUMO 決定透過社群軟體，讓 NUMO 內部的職員親自錄製短片，來介紹地質處置計畫。同時，NUMO 也非常關注中小學生對核能發電與最終處置的教育，除了透過「地質・未來—溝通 3D 電影院」巡迴宣導車進行科普宣導之外，NUMO 也與教師團體合作，一同開發給中小學學生使用的教學教材，用簡單的文字與圖片介紹核能發電與最終處置，也為教師編制了指導用教材，提供更完整的資訊與教學規劃。另一方面，日本各地對處置議題表達「想更深入了解」的經濟團體、教育學者、非營利組織

(NPO) 等約 80 個協會組織，NUMO 也對這些群體提供會議、研討會或設施參訪等的學習支援活動。

另外，為了回應國民提出「想實地了解北歐當地接受處置設施的居民感受」的聲音，NUMO 成立相關的小組來籌畫、公布資訊、接受來自各地方組織成員的申請，最終在這些地方組織內篩選出 6 位成員（學生與一般人士各 3 名），在 2019 年 9 月時至北歐芬蘭與瑞典，就了解當地的「處置事業」與「地域共生」進行為期一週的實地參訪，參訪地點包含了芬蘭與瑞典的中低放射性廢棄物最終處置設施、高放射性廢棄物最終處置設施、相關技術研究設施，並與處置設施當地的市長與居民進行對談。返日後也舉行報告會議，與其他「想更深入了解之地方組織」成員分享參訪的心得結果，NUMO 也邀請了瑞典放射性廢棄物處理專責機構 SKB 的職員

分享瑞典在民眾溝通方面的經驗。NUMO 最新的期望是將「想更深入了解之地方組織」數量提升至 100 個，以及推廣地域共生，例如提供經濟上的支援、為當地強化醫療與交通基礎建設、支持當地中小企業等協助，實現當地發展的願景。

停滯多年的選址流程終於重启

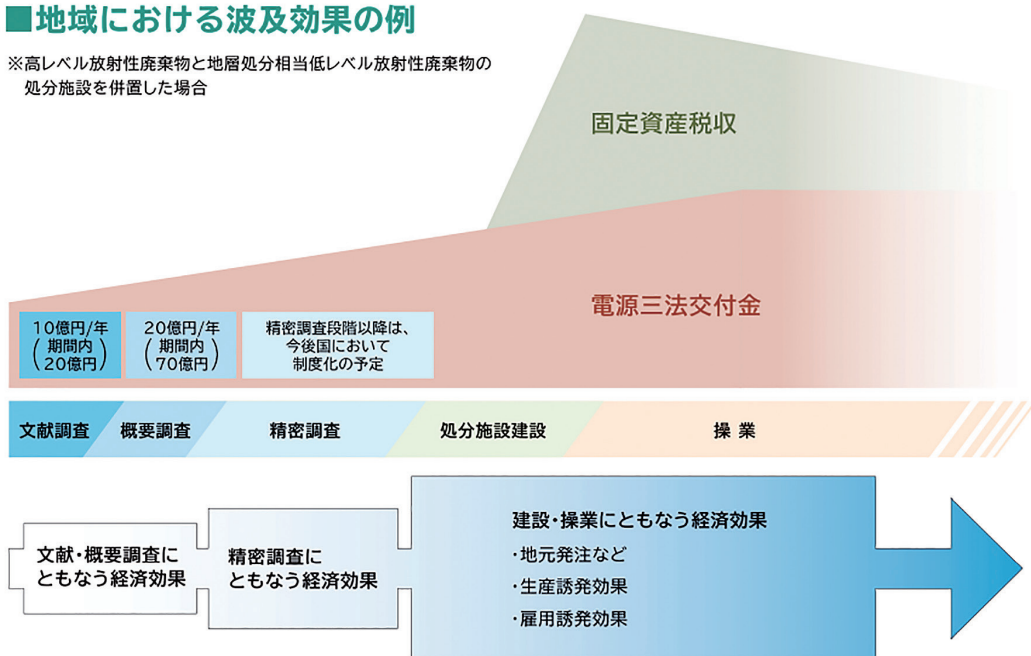
在經過這些年的努力，日本北海道的壽都町及神惠內村的町 / 村長於去（2020）年 10 月 9 日，先後向 NUMO 正式提出願意接受文獻調查的申請書，這是自 2007 年東洋町撤銷申請以來首次有地方政府提出調查申請。日本經濟產業省也於同年 11 月 17 日批准了 NUMO 的業務計畫變更，於壽都町及神惠內村的文獻調查於當日正式開始。除了現有的全國性地質文獻與數據（科學特性地圖），NUMO 也將開始蒐集這兩處於當地記載、更為詳盡的區域



北海道壽都町及神惠內村於最近向 NUMO 提出文獻調查的申請。
(圖片來源:維基百科)

■地域における波及効果の例

※高レベル放射性廃棄物と地層処分相当低レベル放射性廃棄物の処分施設を併置した場合



日本若接受文獻調查的地區可獲得共 20 億日圓的補助金，若進行到第二階段的概要調查則可再獲得 70 億日圓的補助金，在處置設施建設工程開始後將投注更多的經濟效益，以達到「地域共生」的理念。(圖片來源：NUMO)

地質論文與數據，包含地熱資源、礦物資源與地質等相關的圖表，按順序逐一進行調查與確認。

另外，NUMO 也將在壽都町及神惠內村建立溝通的據點，派駐職員常駐以便隨時回答當地居民的疑問與諮詢，於當地的對話活動也會持續進行。除了說明文獻調查的流程之外，NUMO 也將提供討論地域經濟發展願景所需要的訊息。接受文獻調查的地方政府也將獲得日本政府 20 億日圓（1 年 10 億，共 2 年）的補助金，若進行到第二階段的概要調查，則可再獲得 70 億日圓的補助金。

而對於壽都町及神惠內村提出接受文獻

調查申請，北海道知事（等同縣市長）鈴木直道則表態反對將高放射性廢棄物於北海道進行最終處置。鈴木知事表示，北海道已與國家合作，設有「幌延地下實驗室」供國家進行地質處置技術的研發與驗證，北海道 2000 年時在當地的放射性廢棄物條例中就已訂定「北海道無意建立最終處置設施」，希望壽都町及神惠內村的町／村長不要做出倉促的決定。

不過，壽都町町長片岡春雄認為，整個選址調查流程需要 20 年的時間，不是說接受文獻調查後就會馬上開始處置設施的建設工程，在調查過程中認真聽取專家學者的意見，花時間了解後才可以做出適

當的判斷。對此壽都町的居民也有不少反對的聲音，壽都町議會也遵循民意，於今（2021）年3月通過公民投票條例，在進入第二階段概要調查與第三階段的精密調查前，都需要舉行公民投票，町長也必須尊重公投結果。相較之下，鄰近北海道泊核電廠的神惠內村，居民在說明會後則因為可復興當地經濟，大多對此抱有期待，村長高橋昌幸在與住民代表討論後決定提出申請，並不會進行公投。

位在北海道日本海側南部的壽都町，人口不到3,000人，漁業與水產加工業是主要產業，但近幾年人口不斷外移、漁獲量也已下降到10年前的1/5，加上疫情的影響，導致該地區面臨財政方面的困難，此情況在人口只有800人的神惠內村更為嚴重，「財政困難」成為壽都町與神惠內村決定接受文獻調查的主要原因。

片岡春雄在成為壽都町地方職員時就大力推動風力發電，至今已有30年的歷史，是全日本第一個引入風力發電的地方自治體，風力發電也因此成為片岡町長的代名詞。現在，壽都町內的11座風力發電機每年也為當地帶來7億日圓的電力銷售收入，大幅超越當地稅收的2億日圓，成為壽都町主要的兩項收入來源之一。但是，

這樣的收入仍無法有效改善壽都町的財政，根據壽都町居民說明會發放的資料，壽都町在5年內就會面臨嚴重缺乏財政資源的情況。風力發電目前是因為在國家優惠制度下高價收購才有如今的收入，估計在優惠制度結束的3年後將低於現在價格的一半。

片岡町長對媒體這樣說：「由於壽都町人口不斷漸少，為了振興當地產業，我們需要財源」，「提出文獻調查的申請是在與居民與產業團體舉行說明會後作出的決定，可能會有許多反對的聲音，但我也收到不少贊成的意見，我希望能『核廢料（核のごみ）』這個議題中拋磚引玉，引起國民對這項議題的討論，吸引更多的地方政府接受文獻調查」，也表示會持續與居民、知事進行溝通。

結語

即便已有兩個地方政府提出願意接受文獻調查，NUMO表示仍將會繼續於各地區推動最終處置計畫的說明會，讓更多國民能理解最終處置，期望能有更多的地區願意接受文獻調查，進而為高放射性廢棄物找到永久的處置地點，也盡到本世代的責任。☸

參考資料：

1. 經濟産業省 資源エネルギー庁・《複数地域での文獻調査の実施に向けた当面の取組方針について（自治体説明会資料）》
2. 經濟産業省 資源エネルギー庁・《地層処分に關する「科学的特性マップ」を提示しました》
3. 原子力發電環境整備機構・《高レベル放射性廢棄物の最終処分に關する對話型全國説明會説明資料》
4. 原子力發電環境整備機構・《しつてほしい、地層処分》
5. 原子力發電環境整備機構・《文獻調査の状況》
6. NHK NEWS・《きれいごとでは... 文獻調査受け入れの背景》



日本核子設施除役組織

文 東京大學教授 岡本孝司 譯 核能資訊中心顧問 石門環

東京電力公司為了進行福島第一核電廠的除役，成立「福島第一除役推動公司」進行統一管理。東京電力公司的本業是電力事業，為了推動並負起除役主要工作的土木工程及管理責任，乃成立除役公司。在發生事故的反應爐內，燃料熔融並掉落至爐底，為了進行安全的除役作業，有必要開發新技術並耗費時間加以落實。

在技術方面難度相當高，並非易事，因此，政府也以預算的觀點為主，為了管理除役，乃設立「原子力損害賠償及除役等

支援機構（NDF）」，這個組織是以政府的立場來看管，同時也是擁有東京電力一半以上股份的大股東。

即使是一般的除役措施，最好還是將電廠的運轉與除役由完全不同的組織來執行，運轉是一年販售數百億日圓電力的行動，除役則基本上不會產生價值，在人員、組織的概念上完全不同，這是主要原因之一。例如 100 萬瓩的核電廠運轉一年約可販售 800 億日圓的電，另一方面，除役則需 650 億日圓的費用，時間約需 30~50

年，平均每年約 15 億日圓。也就是每年可販售 800 億日圓的設施變成完全沒有營業額，而且每年還要花費 15 億日圓，其經濟規模完全不同。

此外，福島第一核電廠的除役每年需要

2,000 億日圓經費的規模，加上賠償等金額據稱需 20 兆日圓，與一般的核電廠除役相比，相差 100 倍以上的經濟規模。作為一間除役公司，福島第一除役推動公司是可以落實管理與營運的組織規模。

Q 除役的現況是？

A 福島第一核電廠可說是特例，日本現在有 20 部以上的核電機組進入除役階段，在福島第一核電廠事故之前即已除役的有東海、濱岡 1, 2 號機及普賢共 4 部機組，當時還在運轉中的核電廠有大約一半的機組目前已確定除役。此外，以研究開發為目的之 JRR-4 及 JMTR 研究爐、東海再處理工廠等也進入除役階段，20 世紀所興建的許多核子設施大約有一半進入除役。

日本的核子設施可說是已進入除役階段的時代，目前現況是這些除役措施是由電力公司及日本原子力研究開發機構（JAEA）執行。如前述，必須注意到一般核電廠的除役算是中小企業的經濟規模，因此，在日本的狀況是由電力公司內指派數人負責除役的工作。

如前所述，擔負核能發電的電力公司是核能安全、燃料管理、建設、維護管理的專家，具有 40 年以上的長期經驗，即使作為一個產業也具備足夠的實績。另一方面，除役則是發電結束後，將核電廠解體、以廢棄物管理為主要作業。

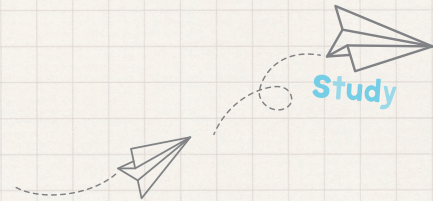
不發電的核電廠在意義上可說全是大型

塊狀廢棄物，除役就是對大型廢棄物加以安全管理、再利用或處置的作業。不過，電力公司擅長發電，破壞性的工作卻未必拿手。

因此，國外有很多另外成立的組織專門執行除役作業，《能源展望（Energy Review）》上一期（2021 年 2 月）介紹美國的例子，西班牙則是設立 ENRESA 除役公社（譯者註：政府全額出資設立之特殊法人），核子設施的除役完全由 ENRESA 負責，低放射性廢棄物處置場亦由 ENRESA 運作，將解體作業產生的廢棄物加以適當處理、處置。

英國則有如 NDA 的政府組織來進行除役作業，Sellafield 和 Dounreay 核電廠（高速爐）正在除役中，另外也管理核電廠的除役措施、執行安全的除役作業。像這樣由企業活動的方法，也有由政府管理的方法，除役不是由電力公司、研究所，而是由另外的組織來執行的例子不少。

鑒於這些良好的事例及日本國內現況，設立除役的專業組織還是對日本較有利的方案，由除役的專家以安全第一的目標進行除役作業。





日本應有的除役組織？



在此嘗試一下腦筋急轉彎，英國也是擁有核武的國家，因此以和日本類似環境的西班牙做比較吧。

目前日本「原賠及除役機構（NDF）」負責 20 兆日圓規模的福島第一核電廠的除役，思考一下如何善用這個組織。在此組織之中，不僅對福島第一核電廠，也針對一般停機並進入除役的其他電廠，設立相關業務部門，負責除役措施的管理，NDF 的運作費用從電力公司統一收取或以公積金方式籌措。另外（也許日本的省廳官署間因壁壘分明而有困難），文部科學省管轄的 JAEA 所執行的文殊、普賢、研究爐、東海再處理設施，也可考慮改由 NDF 掌管。JAEA 所負責的部分也需要政府的資金，讓 NDF 站在管理日本全部核子設施除役的立場。

由 NDF 設立低放射性廢棄物處置場，如同西班牙的 ENRESA 能順利進行也是因為有這種處置場。在 NDF 之下，成立負責各核電廠除役的子公司，讓資金流向各子公司來執行除役，這和英國 NDA 的體制一樣，其實日本也採行相同的體制，用過燃料再處理機構（NuRO）從各電力公司取得資金並加以管理，再流向日本原燃公司進行再處理。採行和這些實例相同的體制，和電力公司切割的形式，由除役專業的公司，在 NDF 之下進行除役作業，不只是電力公司，執行 JAEA 所擁有的文殊反應爐除役的子公司也在 NDF 之下進行作業。

JAEA 以再處理設施為主的許多設備預

定除役，將所有的設備納入 NDF 的管理之下進行除役，JAEA 的組織中掌管除役的部門也納入 NDF 的子公司中。原本執行研究開發業務的部分仍留在 JAEA 內，「原子力基本法」所規定的 JAEA 原有的業務也可進行。也就是在負責執行除役的 NDF 管理下，將具體執行除役的組織從電力公司內獨立出來，也許類似英國的 NDA。另外，前述除役費用每年 15 億日圓，如果是 20 部機組，就是每年 300 億的規模，若再加上 JAEA 等，就會成為管理每年數百億日圓大規模資金的組織。除役也不是所有的設施同時進行，而是依序執行，長期而言，可創造出大量的工作機會。以這樣的整合方式進行除役，比起各自作業更加安全且有效率。

目前的課題是省廳官署之間的高聳圍籬，若要從現在的霞關（譯者註：日本眾多政府機構所在地）中移出相當困難；另外，現行法令是個別廠址各有設置許可，無法就各個反應爐進行移交管理，如果要像美國那樣，反應爐可以各個移管，在法律層面也必須重整，雖然難度相當高，但對國民卻有相當大的益處，必須要有堅強的政治力與執行力。

資料來源：

Journal ENERGY REVIEW 2021.03. Article “原子力なんでも Q&A: 原子力施設廃止措置の組織とは,” p. 52-53.



台灣的核電廠除役時，拆除的設備難道只能當廢鐵賣嗎？



核電廠拆除後物品可經濟循環再利用。

(文 台電公司核能發電處 張靜)

核一廠的除役工作，在 108 年 11 月 20 日展開拆除主聯絡鐵塔後，完成了指標性的第一步；緊接著的第二步為 109 年 10 月 6 日開始動工拆除備用氣渦輪發電機組，包含氣渦輪機及發電機。

由於核一廠備用氣渦輪機廠房的所在地，也是新建核一廠第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施的廠房預定地，所以必須優先予以拆除，才能新建室內乾式貯存設施，以便將用過核子燃料移出，才能繼續進行除役作業。

早年在規劃採購核一、二、三廠的備用氣渦輪機組時，台電就都採購同型的氣渦輪發電機組，除了便於維修，也可以減少備用設備及零件的庫存。由於備用氣渦輪機組的使用時機，只有當核電廠外電完全喪失又需備用電源時才會派上用場，平時並不需要經常運轉，或在備用氣渦輪發電機組定期功能測試時才會起動。所以在拆除之前，實際的運轉時數本來就很低，也不是因為故障損壞才停用，可以說幾乎就是新品。

台電公司本著惜物及資源再利用的理念，從 108 年起就積極協調擁有相同型號氣渦輪發電機組的核二廠和核三廠，提出可再利用設備的需求。於核一廠備用氣渦輪發電機組永久停機後，先將這些設備及零件拆下檢查，確定功能正常，再經離廠量測輻射偵檢合格後，即可運往核二、核三廠備用。當定期檢修需要更換時，就可以換上核一廠除役後拆下的「近新良品」，以節省採購新品的費用。

這項清單經過檢討後，包括機械、儀器、電氣設備三大類，共有 126 項，較大宗的是發電機的轉子和定子，及氣渦輪機的靜葉環和動葉片，估計至少可節省 8,005 萬元。

本次拆卸及運送工作，均由台電公司的電力修護處負責執行，部分設備已送達核二、三廠。「循環經濟」是台電公司一貫的理念，秉持優良傳統將除役的設備優先撥予台電公司其他單位，作最大化的再利用，以節省公司營運成本，並可減少廢棄物產量與處理的費用，可謂一舉數得。





談談放射線治療醫學

文 元培醫事科技大學醫放系助理教授 賴律翰

什麼是放射線治療？

放射線治療在某些病人及家屬的描述中，常被稱做『電療』，這很容易讓人依字面上的解釋而誤會是電擊治療。事實上，放射線治療就如同拍胸部 x 光片一樣，治療過程不會有任何的感覺。放射線治療使用高能量的 x 光或帶電粒子如電子、質子照射病灶處，以達到「殺死惡性腫瘤」或「抑制良性腫瘤增生」為目的的一種高科

技治療方式。臨床上多使用分次治療以達到腫瘤治療的目的，例如治療五天休息兩天之週休二日模式，原因為考慮到腫瘤對放射線傷害的修復能力較差，而正常組織的修復能力較好的放射生物現象，以避免治療中太強烈的急性反應和晚期副作用的產生，儘量避免對正常組織造成傷害。通常依病情和腫瘤種類不同約需治療一週到兩個月之久，每次數分鐘至數十分鐘。

放射治療的重要性

在台灣約 35~40% 的癌症病人在其療程中曾接受放射治療，在美國更高達 60%。由於局部腫瘤治療失敗對病人生命造成極大威脅，因此放射治療在癌症治療上扮演極重要角色。

手術和放射治療是殺死局部腫瘤的主要方法。由於解剖位置、腫瘤侵犯的特性、器官功能保留、病人身體狀況之考量等，使得手術在很多部位之腫瘤有其限制。許多根治性高的腫瘤，如頭頸癌、乳癌、直腸癌、攝護腺癌、子宮頸癌等，藉由放射治療可得到很好的治癒率。

放射線治療有哪些種類？

放射線治療的方式主要有兩種：體外遠隔放射線治療 (Teleradiotherapy) 與體

內近接放射線治療 (Brachytherapy)。有些病人考量腫瘤生長獨特性，可能必須合併使用體外遠隔放射線治療及體內近接放射線治療，以達到較好的治療效果。

體外遠隔放射線治療

藉由放射線治療機器，由體外將放射線穿過體表，集中照射在癌症部位，將癌細胞殺死。早期台灣常見放射線治療設備為鈷六十治療機，透過放射性物質「鈷」自發衰變所釋出的加馬放射線來治療病患，由於放射性物質能量無法改變，造成治療腫瘤深度有所限制，此機型在台灣已完全停用於放射線治療。

目前放射線治療標準設備為直線加速器 (Linear Accelerator)，為全球最普遍使用的放射線治療儀器。此種儀器本身不具



圖 1. 體外遠隔放射線治療之直線加速器治療室 (圖片來源：Dana-Farber Cancer Institute)



圖 2. 電腦斷層攝影定位及標示照野 (圖片來源: 國際原子能總署 IAEA)

有放射性，必須設備通電開機並以高電壓加速電子動能，再轉換成放射線能量的方式放出光子射線，例如治療常使用光子輻射之 x 光，如圖 1。

- 質子治療機為國內較新式的放射線治療設備，運轉原理與直線加速器較為不同。質子治療機以迴旋加速器產生質子射線，其放射線穿透能量較光子射線高。主要的優點在於治療身體深部的腫瘤時，質子射線在穿越的路徑上只會釋放出少數的能量，只在到達欲治療的深度時才釋出大量的能量，如此可降低正常組織所接受的劑量，而減少副作用，台灣目前由林口長庚醫院設立質子放射治療中心。
- 重粒子治療機為重粒子放射治療，是將碳元素、氦元素等帶電粒子以巨大的加速器以光的六至八成的速度加速，來擴大能量照射，此種療法在日本的臨床經

驗中，對乳癌、子宮頸癌、攝護腺癌最有效，在台灣目前尚未引進。

體外遠隔放射線治療流程

1. 病況評估

在治療之前，會針對病灶來做相關的影像檢查及癌症病情分析，以仔細瞭解病況是否合適接受放射線治療。

2. 模擬攝影定位

當清楚病況後，藉由電腦斷層檢查的方式，定出治療照射的範圍，一般需要約半小時至一小時不等。

3. 標示照野

模擬攝影定位結束後，醫事放射師會用非水溶性的簽字筆，在治療的照射範圍做標示，如圖 2。在治療療程結束之前，要保持這些標示的完整性，洗澡或更衣時要小心不要將標示擦掉了，如果發現標示不

清楚時，記得要通知醫護人員，千萬不要自行畫上標示。

4. 設計治療

接下來治療團隊便根據所有資料，經由醫學物理師進行治療的設計與規劃，以決定照野中各部位的所需劑量。如何藉由不同角度的照射達到最佳的劑量分布，以使腫瘤接受最大的劑量，但正常組織的傷害降到最小。這樣的設計規劃過程通常需要幾天的時間。因此，模擬攝影定位後並非馬上開始治療，而是經過幾天的準備時間，才能確保往後數週的治療準確且順利。

5. 確認照野

在治療開始之前會讓病人進入治療室中，將預先規劃好的治療位置與角度，以

治療機的較小劑量給予照射來曝光 x 光片；然後將照射出的每一照野投影 x 光片（稱為照野驗證片），與原先規劃好的照野核對，確定是否有符合。

6. 開始治療

當照野驗證片與設計的照射範圍確定二者符合無誤後，第一次的放射線治療才能展開。

7. 定期評估

放射線治療開始後，除了每天的治療外，每週仍定期門診以便評估病情的變化、治療的反應及預防副作用的發生。

8. 治療時間

大多數的治療是一天一次，通常是週一





圖 3. 體內近接放射線治療室，醫療人員準備置入未裝填放射性物質的空器械入體內（圖片來源：國際原子能總署 IAEA）。

至週五治療，週六與週日不進行治療使正常組織由放射線傷害中恢復。每一次治療（含治療位置設定）的時間約需要 10 至 15 分鐘，其中真正治療的時間只有 1 至 5 分鐘，其餘的時間是用來確認及調整出正確的照野位置。

體內近接放射線治療

以近距離接近腫瘤的方法實施放射線照射，簡稱近接治療。操作原理將高能量的放射線物質放到離腫瘤最近的地方，在短時間內給予最高劑量的放射線，針對腫瘤最有效的輻射劑量包覆，並避免正常組織的放射性傷害。常見接受近接治療的癌症包括子宮體及子宮頸癌、甲狀腺癌與攝護腺癌。

常見近接治療的方式又可分為兩種，將

放射性射源直接插種在體內腫瘤上，稱為組織插種近接治療；將放射性射源置入靠近腫瘤的體腔中，稱為體腔內近接治療，如圖 3。

體內近接放射線治療流程

近接治療根據癌症的種類、腫瘤的位置與病患的身體狀況來做適當的安排，一般常用的為低劑量率及高劑量率兩種放射線射源。目前國內大多選用高劑量率的放射線來做近接治療。大多數的病人會在接受局部或全身麻醉的狀況下進行，將用來裝填放射性物質的管狀或針狀器械，置入欲治療的體內部位後才開始治療。

許多醫院採取「後荷式近接放射線治療」的方式，也就是先置入未裝填放射性物質的空器械入體內，置入完成且確認位置無

誤，將病人送入有特殊屏壁的房間，才由機器自動將放射性物質送入治療器械中，如此可避免周圍人員受到放射線的照射。

由於近接治療是在一次療程中持續給予放射線照射，可能是 10 分鐘到幾個鐘頭不等，所以在治療期間病人身邊的人會受到放射線的照射。因此病人通常會安排住在有特殊輻射防護的病房中接受連續的治療。小於 18 歲的孩童與懷孕婦女，要避免接近治療中的病人，以免放射線對他們造成更為敏感的傷害，即使是一般訪客亦須與病患保持 2 公尺以上的距離，每天也不宜超過 10 至 30 分鐘的探訪，以免接受到過多的放射線。

當治療的器械由體內移出後，代表所有的放射性物質已離開身體，所以身上也不再殘存任何的輻射線，照顧的家人也就不需要再保持距離。

近接治療過程中可能感受不舒服，主要是來自置入身體的器械所造成，通常醫師會給病人一些藥物如鎮靜劑、止痛劑或肌肉鬆弛劑，來減緩病人的不適與協助病人放鬆身體以順利完成治療。

放射線治療會產生哪些副作用？

放射線治療屬於局部性治療，常見副作用除了少數人可能感到疲倦外，大多發生在照射的部位。下列為不同癌症患者的被照射區域可能產生的副作用：

1. 皮膚：潮紅、乾燥、發癢，類似曝曬過度後發炎現象。
2. 口腔或食道粘膜：粘膜發炎引起咀嚼或吞嚥不適，需視狀況施予藥物，並改食軟性或流質食物。
3. 唾液腺：口腔癌患者治療後唾液分泌減少。
4. 胃腸道：胃腸蠕動增加、消化不良、排便異常。
5. 一般性：產生疲倦、食慾減低。

在治療過程中，醫師會定期評估治療的效果，而病人通常注意的焦點可能是在疼痛感、出血或其他不適；當療程完全結束後，病人將會感受到症狀的減輕及疾病的改善。治療期間最須要做的是定期血液常規檢查，以確認紅血球、白血球和血小板的數量，做為放射線治療是否繼續進行的依據。☸

參考資料：

1. 希望之路 - 面對放射線治療、中華民國癌症希望協會、2008
2. 認識放射治療、行政院原子能委員會、11/05/2019
3. How Long Does Radiation Stay in Your Body After Treatment?, Dana-Farber Cancer Institute, 02/24/2016
4. Ensuring the Safe Use of Advanced Radiotherapy in Eastern Europe and Central Asia, International Atomic Energy Agency, 01/18/2019
5. Combining External Radiation with High-dose Rate Brachytherapy Effective for Cervical Cancer, IAEA Study Confirms, International Atomic Energy Agency, 10/11/2017



用於緊急情況下 輻射監測的新型無人機

譯 編輯室

當發生核子事故時，例如 2011 年日本福島第一核電廠的事故，反應爐附近的放射性污染區對於進入偵測輻射劑量的工作人員健康有害。因此，國際原子能總署（IAEA）開發了一種新的無人機技術，交由日本福島縣地方政府使用，這將使輻射偵測任務變得較為容易。

國際原子能總署為這款無人飛行器（Unmanned Aerial Vehicles, UAV）

配備了輻射偵測器、照相機和全球定位系統 (GPS) 設備，所開發的儀器和方法在日本福島縣的現場條件下進行測試和驗證，現在已經可以在一般或緊急情況下實際使用。根據這次的經驗，國際原子能總署有意協助有興趣的成員國開發並執行這種技術，以在發生核子或輻射緊急狀況下繪製輻射分布的地圖。無人機的成本低，又可使人們避免受到輻射曝露，是這項技術的重大優勢。

國際原子能總署和福島縣於 2012 年第一次開始研發、申請利用無人機進行輻射偵測，在「國際原子能總署核子安全行動計畫（IAEA Action Plan on Nuclear Safety）」的框架內合作，從 2012 年至 2020 年，協助福島縣連續通過了兩項合作計畫：

- 提供由國際原子能總署核子科學與儀器實驗室（NSIL）所開發建造，用於輻射測量的無人機儀器系統，這是具有數據處理與儲存功能的輻射偵測系統；
- 提供測量後分析與解釋方法，並在福島縣和位於奧地利塞伯斯多夫的 NSIL，培訓人員如何使用無人機及其儀器系統，以及如何使用軟體獲得並解釋數據。

最近，無人機獲得了突破性的進展，並可望在不久的將來有重大發展，包括更大

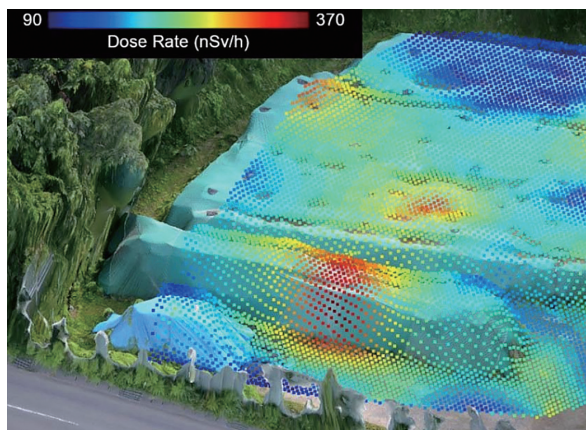
的載重量，整合的偵測器與感應器，改進的自動導航，與車輛和其他無人機以及地面系統共同合作的能力等。國際原子能總署目前正致力於將改進後的新儀器進行整合與測試，包括使其適應下一代無人機型。

國際原子能總署物理組負責人里迪卡斯（Danas Ridikas）表示：「這些新穎的發展將使無人機的航行時間更長，並且藉由一次測量就可以確定劑量當量率（dose equivalent rates）與伽馬光譜。當與高質量的相機功能結合使用時，新系統將可獲得完整的 3D 航空攝影測量模型，再將其與輻射地圖和放射性核種辨識結果疊合在一起。」

國際原子能總署輻射安全與監測科負責人皮納克（Miroslav Pinak）解釋說，以無人機為基礎的技術，對於精進輻射監測作業而言至關重要，包括應用於加強環境



國際原子能總署開發的一種新的無人機技術供日本福島縣地方政府使用，它可以在受污染的地區進行輻射測量。（圖片來源：日本福島縣）



全 3D 航空攝影測量法與使用無人機連續兩次飛行所獲得的輻射地圖疊合後的情形。（圖片來源：國際原子能總署與日本福島縣）



生活中的輻射

地圖的繪製，以及對受污染地區長期監測作業品質的改善。

由國際原子能總署開發並經福島縣實際使用過的無人機系統，所收集的數據可用於評估潛在的輻射風險，並有助於在日本建立適當的補救、除污措施，和放射性廢棄物的管理計畫與策略。

有關計畫結果的詳細技術文件，包括儀器校準，方法學驗證，原位劑量率測量，以及福島縣放射性廢棄物臨時貯存地點的地圖，將會對外公開。國際原子能總署所開發的技術、方法和培訓機會，目前在國際原子

能總署的支持下已經在一些國家實施。

無人機技術如何運作？

無人機配備了輻射偵測器、相機和全球定位系統設備，無人機起飛後，輻射讀數和其他相關資訊將與精確的全球定位系統位置同步，並即時發送給地面站的人員，同時也儲存於機上。著陸後，所有詳細的數據將重新收回，連同攝影 / 地理資料與輻射測量值的校正數據一起重整。然後將類似衛星的照片和經過分析的輻射數據等測量結果提供給決策者，以採取進一步的行動。

在測量人員和無人機技術都可以到達的區域中進行現場測量（未經校正的原始數據）的範例：人員使用背包系統（CsI 光譜儀）獲得的數據點，探測器位於 1 公尺高度（上圖），在整個區域中行走。用無人機系統（Geiger-Müller 計數器）以 10 公尺高度飛行的數據點（下圖）。（圖片來源：日本福島縣）



參考資料：

Now Available: New Drone Technology for Radiological Monitoring in Emergency Situations, IAEA, 02/01/2021



在新冠肺炎疫情中的輻射 防護行動

譯 編輯室

儘管新型冠狀病毒（COVID-19，後簡稱新冠病毒）肺炎大流行為人們帶來長期鎖國或封城的挑戰，並且全世界的醫療保健系統都已處於極限，但是原子能技術長久以來的安全作法，確保了全世界仍能繼續安全、有效地應用原子能相關技術。

國際原子能總署（IAEA）於 2020 年 11 月舉行的國際輻射安全會議中，「圓桌

會議」的參與者可以從新冠病毒大流行中理解輻射防護的精神，討論新冠病毒疫情爆發對核子設施以及相關設施運轉能力的影響，確保輻射源的安全，並強調在此空前時期各國的需求現況。

國際原子能總署外部劑量測定專家兼圓桌會議報告人哈耶克（Michael Hajek）表示：「這次會議為各國面臨的問題提出



生活中的輻射

見解，並為因應可能影響輻射防護系統未來發展的危機局勢提供指導。」

都柏林三一學院的醫學物理學教授馬隆（Jim Malone）說：「新冠病毒大流行與我們平常經歷的輻射問題之間，有著驚人的相似之處。雖然這兩種肉眼看不見的物質都令人恐懼，但它們都屬於不確定性—科學和其他方面的不確定性—的因應，儘管來自新冠病毒的不確定性高過於輻射。」

核子產業和新冠病毒

作為重要的電力來源，核子產業的彈性正是在新冠病毒疫情期間能安全可靠地提供電力的關鍵。但是，由於政府相關的旅行限制，疫情對運輸和所需資源供應的影響，對遠距工作安排的調整，以及強制執行的新冠病毒衛生規範的實施等，使運轉維護工作面臨嚴峻的挑戰。為因應這些挑戰而採取的措施，包括輪班工作，保持社交距離，以及使用個人防護設備（如手套和口罩），以限制病毒的傳播。

此次圓桌會議主持人由世界核能協會（World Nuclear Association）輻射防護工作小組成員寇曲（Catrin Baureus Koch）擔任，他表示：「運用實際發生的事件和演習中的經驗，我們與當地社區（例如地方政府和醫院）合作，以制訂更多的安全措施與標準。從事放射性污染風險的工作人員會知道如何移除污染物，這種知識在處理我們無法感知或容易忽略的事物時，可以有效保護彼此免受新冠病毒的傷害。」

為確保相關服務能安全地持續進行，有

些特殊情況還使用了監視攝影機來替代工作人員的人力監視，例如在阿布達比的聯邦核子管制局，在疫情期間，就是運用電子許可服務的方式。這項服務為被管制的行動簽發許可執照，以確保計畫能步入正軌，並遵守安全標準與操作程序。寇曲說：「核子產業運用遠距監視與通訊已經有相當長一段時間，但是這次疫情大流行更提高了這種使用程度。」

哥倫比亞加強廢棄密封放射性射源的安全管制

哥倫比亞就是在疫情封鎖狀況下，藉著國際原子能總署的協助，成功地將數個廢棄密封輻射射源（disused sealed radioactive sources, DSRs）移置到一個較安全又能妥善管制的貯存場所。這些射源曾被用於治療腫瘤，但目前都已超過可使用的年限。這次的移置行動堪稱為哥倫比亞加強廢棄射源安全管制計畫的重要里程碑。

國際原子能總署的核子安全管制官員 Raja Abdul Aziz Raja Adnan 說明，DSRs 即使可使用年限已經到了，其放射性仍將維持一段很長的時間，因此安全管制是一項挑戰；妥善的管理這些射源將有助於防止輻射曝露的意外，以及國際上可能出現的惡意使用。密封輻射射源在全球有很多有益的用途，例如醫療保健、工業、研究和農業等方面。這些射源在使用時通常會有很嚴謹的安全管制，但是，當它們達到可用年限而被廢棄時，其管理也應同等嚴謹。安全、管制及永續管理 DSRs，對減少公眾與環境的輻射危害非常重要。

管制所有使用與貯存中的放射性物質，是哥倫比亞整體核子安全管制支援計畫（INSSP）架構下的一項國家級行動計畫。此計畫於 2014 年啟動，支援其國內數個設施，總共 20 個高活性 DSRs 的拆除與合併工作，並將它們移置到一個安全又可妥善管制的貯存場所，以做未來進一步的管理。進行如此複雜的現場作業，平常就需要相當專業的技術，同時也有技術上的挑戰，在目前疫情期間，健康和安全性上的防護方式則更加複雜。為符合國家在疫情期間的行動限制措施，某些作業方式必須調整，例如必須增加清潔衛生的規範，避免感染交叉，以及保持社交距離等的生化安全準則。

哥倫比亞能源部副部長羅布雷多（Miguel Lotero Robledo）說明這些作

業，在國家因應疫情的緊急狀況下，依據輻射安全管制的最高標準，以及前所未有的生化安全措施，全國與此作業有關的機構與人員也都積極投入，以展現國家對於強化輻射安全管制承諾的決心。

這項計畫是由加拿大政府透過捐獻國際原子能總署核子安全基金（Nuclear Safety Fund）給予協助。國際原子能總署目前也正協助超過 20 個國家，在它們的要求下，透過大規模的現場作業和興建可永續作業的貯存設施，以協助這些國家加強 DSRs 的安全管制。

不過，根據調查結果，在疫情期間有時會發生服務中斷的情形，在獲得輻射安全技術服務方面，各國也都面臨了各種挑戰。

專家們在哥倫比亞拆卸用於癌症治療的遠隔治療頭 (teletherapy head)，準備對其進行安全貯存。(圖片來源：國際原子能機構承包商)



參考資料：

1. International Experts Discuss: What can Radiation Protection Learn from the COVID-19 Pandemic, IAEA, 11/23/2020
2. Colombia Enhances Security of Disused Sealed Radioactive Sources, IAEA, 11/13/2020



侖琴抬價

1903 年貝克勒爾 (Antoine Henri Becquerel, 1852-1908) 以放射性的發現和研究獲得諾貝爾物理學獎。他在 1896 年 2 月 26-27 日的實驗，發現了鈾的放射性。

其實早在 1858 年，法國維多 (Claude Felix Abel Niepce de St. Victor) 已發現硝酸鈾鹽 [uranyl nitrate, UN, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$] 溶液會使含溴化銀的感光紙出現影像。

法國化學百科全書 1884 年版裏，有一位狄特 (Alfred Ditte) 寫著：鈾鹽經陽光長期曝露，會發出輻射 (當時稱為非可見光)。諾貝爾獎未頒給維多，傅尼亞 (Paul and Josette Fournier) 於 1990 年稱此為集體健忘症。但貝克勒爾稱：維多所使用鈾的量太少，導致要曝露數月才會出現影像，這是他未能觀測到影像的原因。另鈾的蒸氣而非輻射也會出現影像。



放射性物質所發射的阿伐和貝他粒子，貝克勒爾利用磁場將它們分開所留下的一張照片。圖中的A、B是貝克勒爾所加的註解。

感光紙到了侖琴 (Wilhelm Konrad Röntgen 1845-1923) 時已用鉀氰化銀 (barium platinocyanide)，他用以量測克魯克斯管 (Crookes tube) 的非可見光，結果發現了 x 射線，從此鉀氰化銀價格高漲，在 1896 年 3 月份的〈電的世界 (Electrical World)〉稱此為侖琴抬價 (Röntgen raise)。



終生遺憾

丹麥波耳 (Niels Henrik David Bohr, 1885-1962) 原先想拜英國劍橋大學湯姆森 (Joseph John Thomson, 1856-1940) 為師，卻遭冷遇與拒絕，後投奔到曼徹斯特 (Manchester) 大學湯姆森的學生拉塞福 (Ernest Rutherford, 1871-1937) 那裏。波耳在那裏如魚得水，工作做得非常出色。

1913 年，波耳發表了使他從此聞名遐邇的關於原子結構的三部曲。這實際上是向湯姆森的原子模型進行公開的挑戰。不久，波耳的新模型為科學界所接受，而湯姆森的頗為古怪的原子模型則被扔進了拉塞福所說的「科學古董博物館」。

由於波耳模型與古典理論相悖，所以一提出來即遭到一些思想保守的物理家的激烈反對，湯姆森就是其中之一。他曾公開指責波耳的量子條件的假設，說這根本不是物理學，只不過是用它來掩蓋無知而已。1913 年 9 月，湯姆森在英國科學協進會上說，大概沒有一件能比用正統的力學方式得到量子理論的結果，更使人放心的事情了。

為了恢復舊觀念，湯姆森還作了許多努力，但都無成效，而波耳的模型卻不斷被新的實驗證實，取得了一個又一個的成果。第一次世界大戰後，湯姆森承認自己跟不上時代了，於是辭去了劍橋大學卡文迪西 (Cavendish) 實驗室教授的職務，推薦他的學生拉塞福擔任這一職務。

1937 年，湯姆生已是 81 歲的老翁，他終於承認了波耳的有價值的貢獻。3 年後，這位偉人溘然去世。

在去世前，湯姆森內心十分痛苦。每當成名了的波耳來看望他的恩師拉塞福時，湯姆森就不出席實驗室每天下午 4 點鐘的茶話會。據說，這是因為湯姆森感到懊惱，因為如果當初他重視波耳的才能，接受了它的模型，那他就不僅是電子的發現者，而且還是原子模型發現者之一。



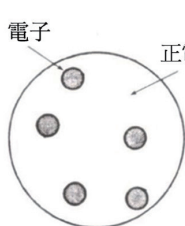
湯姆森



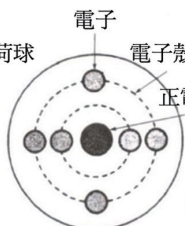
拉塞福



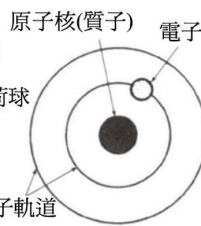
波耳



湯姆森模型



拉塞福模型



波耳氫原子模型

從這件事也可以得到一個道理，即使已經取得重要成就的科學權威，若不願用開放的態度看待年輕人提出的新理論，而死抱古典理論不放，主觀地自以為是，將會使自己成為一個落伍者。



射線是什麼？

用磁場研究射線，在劍橋大學卡文迪西 (Cavendish) 實驗室裏可是拿手好戲，實驗室主任湯姆森 (Joseph John Thomson, 1856-1940，獲 1906 年諾貝爾物理學獎) 就是利用磁場、電場來研究陰極射線而發現電子的。1898 年居里夫婦 (Pierre Curie, 1859-1906，Marie Curie, 1867-1934，獲 1911 年諾貝爾化學獎) 研究鐳的情況傳到了英國，拉塞福 (Ernest Rutherford, 1871-1937，獲 1908 年諾貝爾化學獎) 立刻用更強的磁場來研究鈾 (這時他手中還沒有新發現的鐳) 的射線。

結果，鈾的射線被分開了，不是兩股，而是 3 股。新發現的一股略有彎曲，拉塞福把它叫做 α (阿伐) 射線；那一股彎曲得很厲害的叫做 β (貝他) 射線；不被磁場彎曲的那一股叫做 γ (加馬) 射線。

拉塞福分別研究了 3 種射線的穿透本領。結果如下：

α 射線的穿透本領最差，它在空氣中最遠只能走 7 厘米 (cm)。一薄片雲母，一張 0.05 毫米 (mm) 的鋁箔，一張普通的紙都能把它擋住。

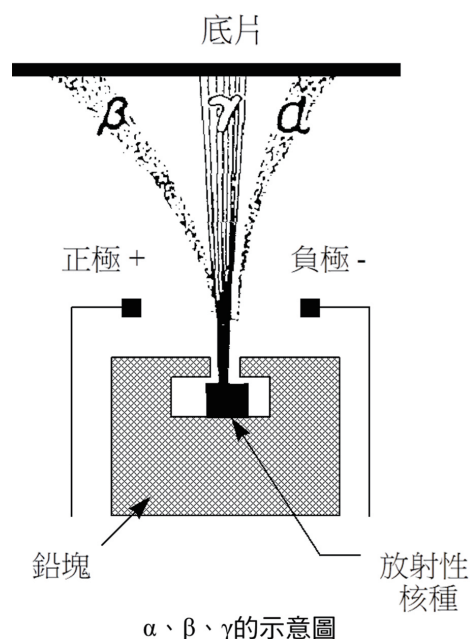
β 射線的穿透本領比 α 射線強一些，能穿透幾毫米厚的鋁片。

γ 射線的穿透本領極強，1.3 厘米厚的鉛板也只能使它的強度減弱一半。

這 3 種射線是什麼物質呢？

居里用湯姆森研究陰極射線方法去測定了 β 射線，證明了 β 射線和陰極射線性質一樣，是帶陰電的電子流，只不過速度更快一些。 γ 射線和 x 射線類似，都是波長非常短的電磁波。那 α 射線是什麼呢？一時還不清楚。

由於 α 射線和 β 射線在磁場中彎曲的方向相反，顯然 α 射線帶的電荷和 β 射線正相反， α 射線應該是帶陽電 (正電) 荷的粒子流。拉塞福用了幾年時間專心研究 α 射線，到了 1909 年才證明 α 射線是失去兩個電子的氦原子 (氦離子) 流。



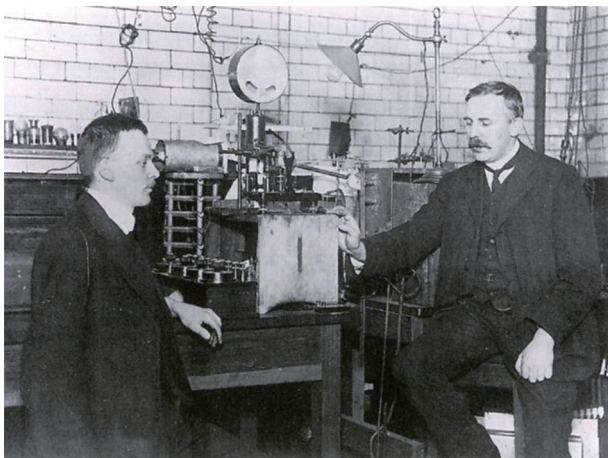


物理學家得了化學獎

拉塞福 (Ernest Rutherford, 1871-1937) 最偉大的發現，是建立了原子的有核結構模型。

1907 年，拉塞福到了曼徹斯特 (Manchester) 大學，為了探索原子的結構，他建議研究生德國籍蓋革 (Hans Geiger, 1882-1945) 和另一研究生馬斯登 (Ernest G. Marsden, 1889-1970) 用薄金屬箔對高能 α 粒子的散射進行研究。不久後，這兩人向他報告了結果，發現在 8,000 個撞擊鉛箔的粒子中有一個粒子的偏轉角大於 90° ，這一消息使拉塞福大為驚奇，他說道：「這就好像你將一顆 15 英寸的炮彈射向一張薄紙後，炮彈彈回來又擊中你一樣」。由此他認為原子中有一個極小而帶正電的「核」，而不如湯姆森 (Joseph John Thomson, 1856-1940) 等人所推測的原子中包含著瀰漫的正電荷雲 (有人比喻為葡萄乾麵包，整個麵包猶如一個原子，正電荷如葡萄乾散布在整個麵包裏)。

他提出了原子的有核結構模型。他認為原子實際上是很「空」的，中間有一個很重的、直徑僅為原子直徑的 10^{-4} 倍的核，帶有正電，核的周圍有電量與核相等但符號相反的電子雲。這猶如太陽系的行星模型，太陽為原子的「核」，電子如其他行星繞核運動，因此原子有核模型也稱行星模型。



蓋革(左)和拉塞福(右)在實驗室

拉塞福在物理學界的地位是無可爭辯的，被人們譽為核子物理之父。他獲諾貝爾獎是情理之中的事，但他獲得的卻不是諾貝爾物理學獎，而是化學獎。1908 年，拉塞福「因在元素蛻變和放射性物質化學方面的研究工作」獲得了該年度的諾貝爾化學獎，拉塞福變成了一個化學家，關於這一點連他本人也感到有趣滑稽。☸

資料來源：輻射軼聞·翁寶山編著·核能資訊中心出版·2006 年 11 月初版

義大利開始尋找 放射性廢棄物貯存地點

譯 編輯室

負責義大利核電廠除役與拆除的義大利國營核電廠管理公司（Societa Gestione Impianti Nucleari SpA，Sogin）最近就該國放射性廢棄物的貯存，在 5 家全國性報紙上公布了 67 個潛在地點，同時也開放供民眾諮詢。

Sogin 在獲得義大利經濟開發部（MiSE）以及環境領土與海洋保護部（MATTM）的批准後所公開的這份有關「潛在合適地區」的國家憲章（National Charter of Potentially Suitable Areas，CNAPI），並在這份憲章內提到將由 Sogin 負責規劃、建立國家放射性廢棄物貯存場以及一座容納該貯存場的科技園區，同時也公開了與這項計畫有關的所有文件。

在這份憲章中公布的 67 個潛在地點分布於義大利 7 個行政區，這 7 個行政區分別為位於北部的皮埃蒙特（Piemonte），位於中部的托斯卡尼（Toscana）、拉吉歐（Lazio），位於東南部的普利亞（Puglia）、巴西利卡塔（Basilicata），位於西南部的薩丁尼亞島（Sardegna），以及位於最南部的西西里島（Sicilia）。Sogin 對

此表示，這些潛在地點「是根據各地點的特性而有不同的優先順序，並非全數都相等」，且這些地點是 Sogin 根據義大利國家核能安全與輻射防護檢查局（National Inspectorate for Nuclear Safety and Radiation Protection）設定的標準，經過一系列複雜、規模橫跨義大利全國的選擇程序所得。

目前所規劃的地表放射性廢棄物貯存場與科技園區，將需要約 150 公頃的面積來建造，其中 110 公頃為處置設施用地，40 公頃則為科技園區。這座處置設施將可容納 78,000 立方公尺的極低放射性以及低放射性廢棄物，以及供 17,000 立方公尺的中、高放射性廢棄物（含用過核子燃料）作為中期貯存地點，直到國家深層地質處置場（最終處置設施）完成設置。科技園區則將建立一座開放國際合作的研究中心，向能源、廢棄物管理與永續發展相關的領域發展。

目前列出的 67 個地點已就公開的文件進入為期兩個月的公眾諮詢階段，之後將開放地方政府、貿易協會、公會、大學與研究機構等單位參加長達 4 個月的全國性辯論，



義大利國營核電廠管理公司 (Sogin) 公布放射性廢棄物貯存場的 67 個潛在地點，分布於義大利 7 大行政區。(圖片來源：Sogin)

在這個階段將對這座設施進行全方面的分析，包括可能產生的經濟效益與區域發展。

在這之後，Sogin 將會依結果更新這份「潛在合適地區之國家憲章」，並再次提交至義大利國家核能安全與輻射防護檢查局、經濟開發部、環境領土與海洋保護部，以及基礎建設與交通運輸部 (MIT) 供討論，根據所獲得的意見將該份文件修訂成「符合條件地區之國家憲章 (National Charter of Eligible Areas)」。在公開這份國家憲章後，各市政當局即可就「於當地設有貯存設施」提出意願申請。

義大利的放射性廢棄物目前分別儲存在約 20 處的暫時貯存設施，但這些貯存設施並不能當作最終處置地點。而除了核電廠與核子燃料循環設施在其運轉與除役的過程中所產生的放射性廢棄物之外，這些放射性廢棄物還包含來自醫療、工業與研究活動所產生的放射性廢棄物。根據 Sogin 的統計，在這些放射性廢棄物中，來自核子設施運轉與除役的放射性廢棄物約占 60%，因醫療、工業與研究活動所產生的放射性廢棄物則占了 40%。

Sogin 表示，「將放射性廢棄物轉移至一座單一的建築中將可確保民眾與環境的安全，同時也遵從歐洲聯盟指令 (European Directives)」，可使義大利與擁有類似貯存設施的國家維持一致的地位，其中有許多國家已設立類似的集中式放射性廢棄物貯存設施有很長一段時間了。」

國營的 Sogin 為義大利核電廠除役及放射性廢棄物管理的專責機構，於 1999 年成立，由義大利經濟財政部 (MEF) 完全持有，主要根據義大利政府的政策方針來運作，職責涵蓋義大利所有核電廠及核子設施的除役工作、核電廠在先前運轉 (義大利 4 座核電廠已全數關閉) 與除役期間所產生之中低放射性廢棄物的處置、因再處理所產生的高放射性廢棄物與用過核子燃料的中期貯存。

資料來源：

World Nuclear News. "Italy begins search for national radwaste storage site." 29 January 2021

311 事故 10 週年的 日本福島第一核電廠

譯 編輯室

日本福島事故在今年迎來第 10 週年，但福島縣卻在事故 10 週年的前夕、今（2021）年 2 月 13 日的晚上再度面臨了規模 7.1 的強震。東京電力公司隨後表示，福島第一核電廠並未因地震受到任何進一步的破壞，但他們注意到從 1 號機組的用過核子燃料儲存池中溢出了約 160 毫升的池水，而這並不會影響燃料池的冷卻功能。不過，在 2 月 19 日時東京電力公司卻宣布 1、3 號機反應爐圍阻體內的水位「有下降的趨勢」，2 號機的內部的水位則因為圍阻體內部的量測儀器，為了進行爐心殘骸移除的準備作業，日前已被移除，因此無法得知內部水位是否也有下降。

自 2011 年 3 月、福島第一核電廠發生事故以來，東京電力公司不斷將冷卻水注入會洩漏的 1、3 號機的圍阻體中，以維持容器中的水位來替爐心進行冷卻。東京電力公司在聲明中表示，原因可能是由於地震導致圍阻體受損部分的狀況發生了變化，也說到會繼續密切監測相關數值。

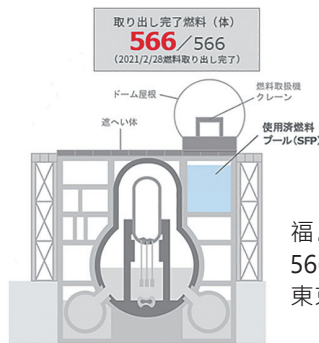
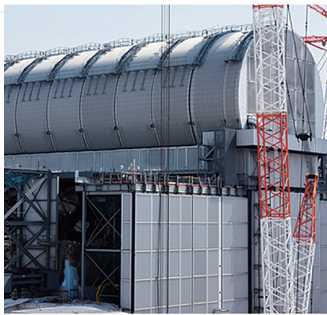
該份聲明也提到：「在反應爐壓力容器

底部的溫度、圍阻體氣體管理系統的放射性（包括稀有氣體的監測）、電廠邊界輻射監測以及電廠內部輻射監測等方面，均未觀察到有重大變化，我們也因此判定不會帶來影響。」

據信洩漏的污水仍留在反應爐建築內。東京電力公司對此表示，目前尚未確認反應爐建築內部的水位有明顯的波動，但將對各項參數進行詳細的監測與評估。

另一方面，東京電力公司也在 3 月 1 日宣布，3 號機組燃料池中 566 束的用過核子燃料已全數移出。該座電廠受損的 4 部機組（1-4 號），除了 3 號機之外，僅有 4 號機於更早前完成相同的作業，在 2014 年就將該座機組燃料池中 1,535 束的用過核子燃料轉移至廠內一座獨立的共用燃料儲存池，1、2 號機則分別因為尚在清除瓦礫以及架設燃料轉移設備的階段，仍無法將兩部機組內的用過核子燃料移出。

在 3 號機歷經數年清除反應爐廠房中運轉樓面的瓦礫，以及為減少事故現場危害而進行的準備工作後，該座機組燃料池的



福島第一核電廠 3 號機近期已將 566 束的燃料全數移出。(圖片來源：東京電力公司)

清空作業終於自 2019 年 4 月 15 日開始。東京電力公司原期望能根據其中、長期的規劃，在 2020 財政年結束（即 2021 年 3 月）前完成這項工程，而該公司也在 2 月底自 3 號機燃料池中取出最後 6 束燃料，並轉移至廠內共用燃料儲存池的燃料格架中，從而完成了這項工程。

在 2011 年 3 月 11 日的地震與海嘯發生的 3 天後，3 號機反應爐廠房的運轉樓面因氫氣爆炸而毀損，導致燃料池直接曝露在外，並被瓦礫碎片覆蓋，這其中還包括許多扭曲的鋼樑。東京電力公司表示，3 號機燃料池的燃料移除工程是由一系列的準備工作，一個接一個的完成所組成的，例如：清除反應爐廠房最上層的瓦礫並對其進行除污、燃料移除防護罩的設置，以及燃料操控機器的安裝等。由於所有的工程都必須在高輻射劑量的環境下進行，東京電力公司因此透過可遠端操作的設備來清除瓦礫，並將燃料移出燃料池。東京電力公司也說：「這是我們第一次嘗試使用這種方法，期間也有各種問題必須克服。」

東京電力公司為 3 號機建造了一個獨立的結構體，以利於遠端操控起重機，使其可從 3 號機的燃料池中將燃料搬移出來。這座近 55 公尺高的結構體包含了一個鋼製的骨架、通風過濾系統，以及頂部用於容納起重機的拱形部分。它長 57 公尺，寬 19 公尺，不固定在反應爐廠房本體上，而是一側支撐在地面上，另一側則靠在渦輪機廠房上。

東京電力公司最後也表示，在 3 號機燃料移除過程所獲得的「知識與經驗教訓」，將會在 1、2 號機進行同樣的工程期間發揮重大的功效，也強調將會在把安全放在首位的前提下繼續進行福島第一核電廠的除役工程。

資料來源：

1. World Nuclear News. "Increased rate of water leakage at Fukushima reactors." 22 February 2021
2. World Nuclear News. "Fukushima Daiichi 3 fuel removed completed." 01 March 2021

美國能源部長 反對雅卡山最終處置計畫

譯 編輯室

由美國總統拜登（Joe Biden）任命的能源部長格蘭霍姆（Jennifer Granholm），在今（2021）年 1 月底由參議院能源與自然資源委員會（the Senate Committee on Energy and Natural Resources）舉辦的部長提名公開聽證會中表示，作為能源部長，她將專注於 3 項任務：通過美國國家核子保安總署（NNSA）^[註]確保美國的國家安全以及清理美國於冷戰的核子遺產；支持目前正在能源部國家實驗室進行的科學研究工作，包括在氣候變遷與降低碳排放方面；將這些研究規模擴大並進行實際部署。

「我想加強推動碳排放管理的解決方案來實現『2050 年零碳排放』的目標，能源部目前正致力於開發一系列可降低、管理碳排放的技術，我認為這是國家能源結構中重要的一部分，可使我們在確保能源安全的前提下達到這個目標。」

而內華達州的參議員瑪斯托（Catherine Cortez Masto）也在會中就位於該州的「雅卡山（Yucca Mountain）用過核子燃料最終處置計畫」提出質詢，格蘭霍姆對此表示，拜登政府反對雅卡山用過核子燃料最終處置計畫，但她也保證將會與美國

國會合作，致力尋找「安全、可行」的替代方案。

自 1987 年起，雅卡山就被美國《放射性廢棄物政策法（Nuclear Waste Policy Act）》任命為美國用過核子燃料與高放射性廢棄物唯一的最終貯存場，能源部於 2008 年向核能管制委員會（NRC）提交了建造許可申請，歐巴馬政府卻在 2010 年決議中止這項計畫，並成立相關藍帶委員會（BRC）重新探討替代策略，能源部也於當時向核管會要求撤銷建造許可申請審查，但遭核管會拒絕。

格蘭霍姆也坦言，該如何處置這些尚儲存在運轉中或已關閉反應爐的用過核子燃料，情況目前仍「膠著」，「我們會參考藍帶委員會所提出的意見，即以符合『獲得共識為基礎（consent-based）的方法』，來決定這些廢棄物的去向。」

註：美國國家核子保安總署為美國聯邦機構，隸屬於美國能源部，負責將核子科學應用在軍事上以維護國家安全。

資料來源：
World Nuclear News. "Biden nominee confirms opposition to Yucca Mountain." 29 January 2021

全球最大的太陽能電池系統開始興建

譯 編輯室

美國佛羅里達電力與照明公司（Florida Power & Light Company, FPL）宣布，FPL 馬納提儲能中心（FPL Manatee Energy Storage Center）已經開始建造，預計該公司將成為世界上最大的太陽能電池系統。

位於佛州帕里許（Parrish）的 FPL 馬納提儲能中心，其儲能系統裝置容量為 40.9 萬瓩，發電量為 90 萬度，預計將在 2021 年下半年開始提供服務，將儲存附近 FPL 馬納提太陽能中心（裝置容量 7.45 萬瓩）生產的額外太陽能，並在電力需求較高時併網送電；即使在沒有太陽的情況下，客戶也可從太陽能中受益。

該計畫將在建造高峰期創造 70 個新工作機會，預計在生命週期內將為 FPL 公司的用戶節省超過 1 億美元，並減少超過 100 萬噸的二氧化碳排放量。FPL 公司預計在全佛州境內安裝較小的電池設備，建造太陽能電廠，及對現有燃氣渦輪機進行效率提昇，以取代先前由兩個即將淘汰的燃氣機組所產生的 163.8 萬瓩的裝置容量。

FPL 公司目前有 33 座太陽能中心在運轉，並且有望實現其「30-by-30」的目標，也就是到 2030 年時安裝 3,000 萬塊太陽

能電池板。今（2021）年初，「FPL Solar Together」計畫啟動，這是一個社區太陽能計畫，使客戶可以長期降低電費。

FPL 公司總裁兼執行長西拉吉（Eric Silagy）表示：「馬納提儲能中心不僅將超越同業間的紀錄，這對於 FPL 的客戶和我們美麗的佛州來說也是一個重大勝利—減少碳排放量，也將為客戶節省數百萬美元，使我們能夠提供更多可靠、清潔的能源，即使在陽光無法照耀的情況下也是如此。將全球最大的太陽能電池帶到佛州，向全世界展示我們的工程技術與高科技能力，以實現美國最佳能源價值。」

大自然保護協會（The Nature Conservancy）佛羅里達分會執行董事摩根（Temperince Morgan）說：「FPL 不僅僅是在投資更便宜、更高效的能源網，他們還在投資未來。大規模電池儲存等新技術是建立更清潔、更便宜、更高效能源網的關鍵，並且造福整個地球。看到佛州在永續發展方面取得如此重大的進步，真是太好了。」

資料來源：

Construction begins on world's largest integrated solar-powered battery system, Renewable Energy World, 01/28/2021

「綠色氫氣」成為 氣候解決方案

譯 編輯室

隨著全球經濟逐漸實現碳中和，國際再生能源署（IRENA）推動了氫能的應辦事項，並看到可再生氫至少 10 年內可能產生的成本。

2020 年 12 月 17 日，於阿拉伯聯合大公國阿布達比，根據國際再生能源署發布的最新報告，到 2030 年利用可再生電力生產的氫氣（綠色氫氣）在成本上可能可以與化石燃料的替代品相競爭。太陽能和風能成本下降，電解槽的性能提高並具有經濟規模等因素相結合，才有可能實現此一目標。

這份名為「降低綠色氫氣的成本：擴大電解槽以達成攝氏 1.5 度氣候目標（Green Hydrogen Cost Reduction: scaling up electrolyzers to meet the 1.5 C climate goal）」的報告，著眼於創新的驅動力，並提出了一些策略，使政府可以在短期內將電解槽的成本降低 40%，長期而言其成本將減少達 80%。

綠色氫氣可能在脫碳策略中發揮關鍵性作用，尤其是在直接電氣化面臨挑戰下的

鋼鐵、化工、長途運輸、航運和航空等難以減碳的部門。但是，法規、市場設計以及電力與電解槽生產的成本，仍然是發展綠色氫氣的主要障礙。

國際再生能源署總幹事卡梅拉（Francesco La Camera）表示：「在全球致力於使經濟脫碳的過程中，可再生氫氣將改變遊戲規則。有必要創造一個公平的競爭環境，以縮小化石燃料和綠色氫氣之間成本的差距。具有成本競爭力的綠色氫氣可幫助我們建立一個富有彈性的能源系統，此系統應採用現代技術來發展，並且適合 21 世紀的創新解決方案。」

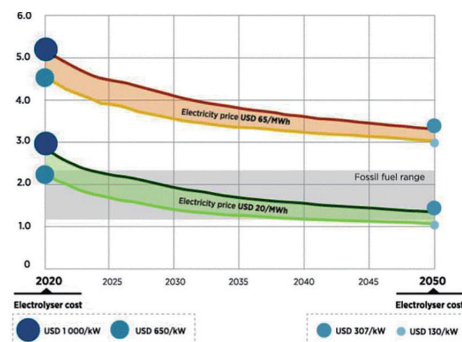
如今，由化石燃料和碳捕獲與封存（CCS）結合所產生的藍色氫氣，成本比綠色氫氣貴 2-3 倍。綠色氫氣的生產成本取決於再生能源電力的價格、電解槽的投資成本及其運轉時間。再生能源已經成為世界許多地方最便宜的能源，拍賣價格創下歷史新低，每 1 千度（MWh）低於 20 美元。雖然低成本電力是綠色氫氣競爭力的必要條件，但是電解設施的投資成本也必須大幅降低。

國際再生能源署的最新研究，確定了經由創新和改進性能來降低電解槽成本，是關鍵性的策略與政策，目的在將電解槽的規模從現今的千瓩（MW）等級提高到百萬瓩（GW）等級。電解槽的標準化和大量生產，操作效率、材料採購和供應鏈的優化對降低成本而言同樣重要。為此，今天不到 1 百萬瓩的製造能力，必須在未來 10 到 15 年內大規模成長到 100 百萬瓩以上。

在最佳情況下，在具有成本競爭力的大型電解裝置中，使用價格為 20 美元 / 千度的低成本再生能源電力，可以產生成本具有競爭力的綠色氫氣；如今的藍色氫氣已經具有競爭力。國際再生能源署的分析表明，如果在未來 10 年內迅速擴大規模並積極建造電解槽，到了 2030 年，綠色氫氣可能會在許多國家開始與藍色氫氣爭奪市場，在 2040 年之前可望比其他低碳替代品更便宜。

國際再生能源署最近還發布了「綠色氫氣：政策制訂指南（Green hydrogen: A guide to policy making）」，概述了阻

礙綠色氫氣發展的主要障礙，以及解決這些問題所需要的政策。它也提供有關如何啟動綠色氫氣產業作為國家或地區能源轉型的關鍵推動力等見解。



2020 年至 2050 年綠色氫氣成本降低潛力圖（單位：美元 / 公斤氫氣），對於一系列電解槽的成本和建造的程度，電價約在 20-65 美元 / 千度。（圖片來源：IRENA）

資料來源：
Making Green Hydrogen a Cost-Competitive Climate Solution, International Renewable Energy Agency, 12/17/2020

可防止能量散失的 新式窗戶

譯 編輯室

為了使建築物更節能，必須先從窗戶這個特別困難的部分著手。根據美國能源部的統計數據，從窗戶逸出或進入的熱量約占用於加熱和冷卻建築物的能源的 30%。研究人員正在開發各種新式的窗戶技術，以防止這種巨大的能量損失。

美國麻省理工學院機械工程學方教授（Nicholas Fang）表示：「建築物窗戶的選擇，直接影響了能耗，我們需要一種有效的方法來阻擋太陽輻射。」

方教授參與的是一項大型合作計畫的一部分，此計畫在於共同開發用於建築物的智能適應控制與監視系統。該研究小組的成員包括香港科技大學的研究人員，以及麻省理工學院建築技術與機械工程學教授格里克斯曼（Leon Glicksman），其任務是幫助香港實現 2025 年時碳排放量減少 40% 的目標。

方教授解釋：「我們的想法是採用新的感應器和智能窗戶，以幫助實現能源效率並提高建築物內人員的舒適度。」他的貢獻是開發出一種智能材料，以薄膜的形式

放置在窗戶上，阻擋熱量的進入。當表面溫度低於攝氏 32 度時，薄膜保持透明；但是當溫度超過攝氏 32 度時，薄膜便呈乳白色。這種外觀變化是由於感溫變色微粒因受熱而發生變化。智能窗戶的乳白色外觀可以阻擋高達 70% 的太陽輻射穿過窗戶，這表示冷卻室溫的能源負荷減少了 30%。

除了這種感溫變色材料外，方教授的團隊還希望在窗戶上嵌入用於監測陽光、亮度和溫度的感應器。他解釋說：「總的來說，我們需要一個整體解決方案來減少空氣調節系統的負載。」

麻省理工學院設備研究實驗室的博士候選人斯卓巴赫（Elise Strobach）和方教授一樣，正在研究一種可以顯著減少經由窗戶逸出或進入的熱量的材料。她開發出一種高清晰度的二氧化矽氣凝膠，將其放置在兩塊玻璃板之間時，其隔熱性比傳統窗戶高 50%，使用壽命更長達 10 年之久。

斯卓巴赫表示：「在過去兩年中，我們已經開發出一種材料，也已經證明其功能，並且有望開始商業化。」為了實現商業化，



麻省理工學院研究生開發出一種高清晰度的二氧化矽氣凝膠，當放置在兩塊玻璃板之間時，其隔熱性比傳統窗戶高 50%，並且使用壽命長達 10 年。（圖片來源：AeroShield）

他們創立了「空氣盾材料（AeroShield Materials）」公司。

比棉花糖還輕，「空氣盾」的材料內有 95% 的空氣，其餘材料則由僅 1-2 奈米大小的二氧化矽奈米粒子組成。這種結構阻擋了 3 種熱流失模式：傳導、對流和輻射。當氣體被困在細小的材料空隙中時，將不會再碰撞，無法對流而傳遞能量。同時，二氧化矽奈米顆粒吸收輻射後，會沿著輻射的方向反射回去。

斯卓巴赫解釋說：「這種材料的成分允許非常強烈的溫度梯度，無論室外是熱還是冷，都能使熱量保持在所需要的位置。」

斯卓巴赫還發現，將「空氣盾」技術與麻省理工學院正在開發的其他窗戶解決方案相結合的可能性，包括方教授的研究工作團隊—由 Gang Chen，動力工程學教授 Carl Richard Soderberg 以及研究員 Svetlana Boriskina。

Chen 強調：「建築物占了美國能源消耗的 1/3，因此從許多方面來說，改善窗

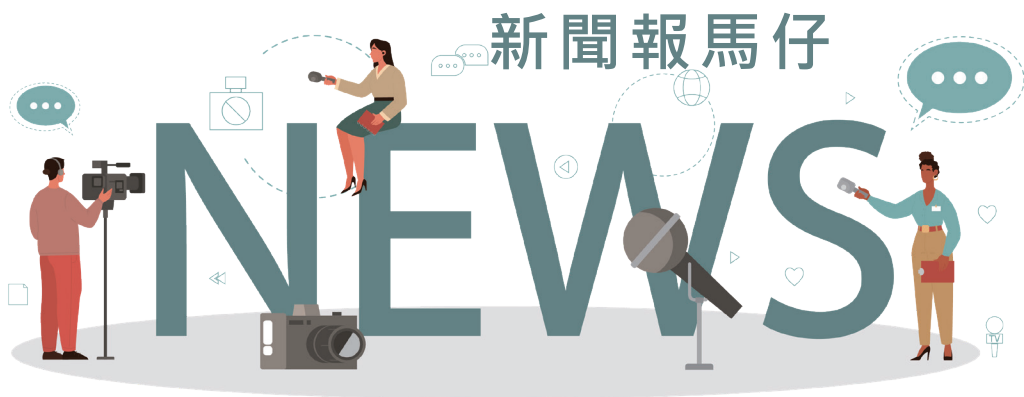
戶材質都是必須研發的重點。」Chen 和 Boriskina 之前曾與斯卓巴赫合作，將空氣盾材料用於他們開發太陽能熱氣凝膠接收器的計畫。最近，他們開發出可用於窗戶或建築物外牆中以捕獲或反射熱量的聚合物。

為了使這些窗戶改善技術對能源消耗產生有意義的影響，研究人員必須提高可擴展性以及可承受性。方教授補充說：「目前這些技術的成本門檻太高了，我們需要研究更有經濟效益和可擴展的版本。」

如果研究人員成功開發出可大量製造和人人負擔得起的解決方案，那麼他們的新式窗戶技術將可以顯著提升建築物效率，並大幅降低全球建築物的能耗。

資料來源：

Preventing energy loss in windows, MIT News, Mary Beth Gallagher, Department of Mechanical Engineering, 01/06/2020



國外新聞

芬蘭昂卡洛最終處置設施已開始測試隧道工程

芬蘭放射性廢棄物管理專責公司波希瓦（Posiva Oy）宣布，芬蘭高放射性廢棄物最終處置場昂卡洛（Onkalo）地下實驗設施的處置隧道開挖工程已經開始。這條隧道主要是用來執行「聯合功能測試」，即在實際的條件下進行小規模的最終處置，這也是處置設施營運的一部分。聯合功能測試可用於證明與最終處置有關的過程與程序狀況良好，也只有這樣，處置設施才能獲得營運許可證明。

昂卡洛高放最終處置設施是將用過核子燃料放置在地下深度約為 450 公尺的母岩中，處置系統是由密封鐵銅容器、包覆容器用的緩衝物質膨潤土、由可膨脹粘土製成的隧道回填材料、隧道與處置設施的密封結構，以及最外圍的岩床所組成。在接下來的幾個月中，波希瓦公司將開挖一條長約 80 公尺的隧道，並在聯合功能測試期間在其中開挖 4 個處置窖，而與這項測試

有關的中央主要隧道已經開挖完成。

預計於 2023 年進行的聯合功能測試將使用專門設計的技術來為最終處置進行檢測，但在測試過程中放置在岩床中的密封容器將不會含有用過核子燃料，因測試的目的是為了確保為最終處置設計的處置方法能如實按計畫運行，相關當局也將對這項測試進行監控。一旦完成聯合功能測試的隧道，波希瓦公司將開始挖掘前 5 條最終處置隧道，實際的最終處置大約將於 2025 年在其中一條隧道中開始。

World Nuclear News, 03/01/2021

加拿大將開始於最終處置潛在場址進行第一個鑽探調查

加拿大放射性廢棄物管理專責機構（Nuclear Waste Management Organization, NWMO）在最近宣布，在安大略省南布魯斯（South Bruce）的兩個鑽探地點中已完成其中一個的設置工程。鑽探是用來調查該地點的地質是否適合建

造用過核子燃料最終處置場，整個調查作業預計於今（2021）年春天開始。

在兩個地點設置工程開始前進行的前置作業包含了考古學與地形學的調查、土地環境污染調查、對當地原住民團體 Saugeen Ojibway Nation 進行的文化驗證與儀式、鑽探前的噪音與排放研究，以及鑽探前的水井採樣等。NWMO 表示，他們正與潛在場址所在地的土地持有者進行接觸，來參與額外的水井基準線測試以及 3D 地震勘測數據採集作業，其中地震勘測將用於取得岩石地下層的圖像。其他計畫在今年進行的現場調查工程包括微地震監測站與地下水監測井等的設置，以監測該地區如低震度地震，以及更進一步研究該地區的水文等的情況。

NWMO 負責執行加拿大的最終處置計畫，目標是尋找一個知情且樂於接受地質處置設施的地區，並且在處置設施內安全、長期的儲存用過核子燃料。經由於 2010 年啟動的選址流程，NWMO 從 21 個感興趣的地區中篩選出 2 個地區——伊格納斯（Ignace）和南布魯斯（South Bruce），作為最終處置設施的潛在場址。位於安大略省西北部伊格納斯的第一個鑽探調查已於 2018 年 1 月份完成，NWMO 期望能在 2023 年選定最終處置場的地點。

World Nuclear News, 01/14/2021

歐洲國家成立放射性廢棄物處置合作組織

丹麥、挪威、荷蘭等歐洲國家在最近成立了「歐洲放射性廢棄物共同處置場開發組

織（European Repository Development Organisation，ERDO）」，該組織旨在供成員國共同努力來因應安全管理高放射性廢棄物所面臨的共同挑戰，包括建立跨國共用的最終處置設施。

ERDO 正式成立前，歐洲數個機構在過去 10 年內就「ERDO 計畫工作小組」進行了合作，該小組是 2009 年由 10 個成員國支持成立的，主要對執行歐洲跨國處置設施建置推動策略進行可行性研究（Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories，簡稱 SAPIERR 計畫），由瑞士區域與國際地下貯存協會（Association for Regional and International Underground Storage）統籌，並獲歐盟執委會（European Commission）資助。

參與 ERDO 計畫工作小組的其他國籍機構將在未來幾週內加入，包括斯洛維尼亞的放射性廢棄物管理局、奧地利的聯邦農業地區旅遊部（Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus）、義大利的國家新技術能源與永續經濟部（ENEA），以及克羅埃西亞除役與最終處置機構（Fond-NEK）。未來將透過知識共享、執行合作計畫，以及在國際上推廣跨國放射性廢棄物管理的解決方案，讓不同國家的機構可更加緊密地合作。

World Nuclear News, 01/08/2021

Orano 完成美國乾式貯存設施的老化檢測

美國 Orano NPS 公司於最近完成美國 3 處用過核子燃料乾式貯存設施的老化檢

查，期間並未發現這些已使用長達 20 年之久的密封不鏽鋼貯存容器存有腐蝕疑慮、或有應力腐蝕裂縫（Stress corrosion cracking）的前期徵兆。對這些地面水平式乾貯設施（NUHOMS 貯存系統）進行檢查主要是為了驗證該種貯存模組是否能符合設計要求、且可長期運轉，此次作業為貯存設施老化管理計畫的一部分。

Orano NPS 公司表示，這次的檢查是為了滿足美國核能管制委員會（NRC）對於持續使用乾式貯存設施的管制要求，以及美國電力研究所（Electric Power Research Institute）公布的場址環境評估準則。NUHOMS 貯存系統已獲得核管會頒發符合性認證（Certificate of Compliance），初始貯存期限為 20 年，之後又核准貯存期限延長 40 年，總共可貯存 60 年。根據 Orano NPS 公司的說法，NUHOMS 乾式貯存模組的設計足以安全運轉達 100 餘年。

此次的老化檢測工作是透過機器人來進行，除了本次完成檢測的 3 處乾式貯存設施之外，Orano NPS 公司先前也已完成另兩處同樣有 20 年運轉歷史的 NUHOMS 型模組的老化檢測，也沒有發現任何問題。

美國核電廠自 1986 年就已開始使用乾式貯存設施，根據世界核能協會（World Nuclear Association）的數據顯示，美國現在至少有 1/3 的用過核子燃料貯存於乾貯設施中。截至 2019 年 9 月，美國一共有 72 座獨立式乾式貯存設施（ISFSI），設有超過 3,000 個乾式貯存護箱。

World Nuclear News, 02/11/2021

立陶宛批准伊格納里納核電廠除役計畫

立陶宛政府最近批准該國 2021-2030 年核子設施除役與放射性廢棄物管理的發展計畫，制訂放射性廢棄物管理的策略指導方針。立陶宛能源部副部長 Albinas Zananavicius 表示，「我們希望能妥善處理立陶宛所有現有、以及即將產生的放射性廢物，進而保護居民與環境免受游離輻射帶來的傷害，且不為後代留下負擔。」

立陶宛這項計畫主要在確保伊格納里納（Ignalina）核電廠除役後所產生的放射性廢棄物能被安全貯存。該計畫也列出了國家規劃在未來 10 年中實現的改變、實現這些改變所需要的措施、相關指標的涵義，以及預期資金的推測等。

目前，伊格納里納核電廠的兩部機組都在進行拆除前的準備工作，在 2020 年時已拆除約 4,000 噸的設備以及約 3,500 噸的混凝土廢棄物，處理了近 7,500 噸的放射性廢棄物。而從 2010 年開始除役以來，伊格納里納核電廠已拆除了近 64,000 噸的設備與混凝土廢棄物，到 2038 年除役結束時還須拆除 108,000 噸的設備。這些放射性廢棄物將依照各自的放射性水平，分別在不同級別的處置設施內進行貯存；用過核子燃料與其他高放射性廢棄物則將在深層地質處置設施中進行最終處置。伊格納里納核電廠也在 2020 年 3 月就「建立中低放射性廢棄物近地表處置設施」以及相關建設計畫進行了招標，但並未找尋到合適的廠商，伊格納里納核電廠表示將於近期公布與重新招標有關的資訊。

Nuclear Engineering International, 02/08/2021

國內新聞

台電推出「世界電力新聞週報」 傳遞電力新知識

台電公司自今(2021)年1月5日起推出 Podcast 頻道，成為國營事業中的首創。據瞭解，「世界電力新聞週報」是台電首支 Podcast 節目，透過整理最新報導與評論，分享國際能源及電力相關議題等最新趨勢，現在也擴展到各大平台，如 Google Podcast 免費收聽，未來將考慮與外部專家合作，開創多元類型的節目。

台電說明，「世界電力新聞週報」內容著重在分享國際能源、電力、環境、產業最新趨勢，並透過新聞報導、雜誌期刊、智庫角度廣泛蒐集資訊與分析，從能源轉型、政策方向到市場競爭議題的精闢解析，讓聽眾在短時間內獲得豐富充實的知識饗宴。

台電進一步說明，「世界電力新聞週報」在 SoundOn 平台上線初試水溫，已累計 6 集，分享的內容包括英國脫歐之能源相關議題、美國總統拜登的潔淨能源政策以及近期受到熱烈討論的美國德州大停電事件造成原因與後續影響。台電表示，最新 1 集將透過國家政策、能源業者態度及新興技術三大面向，探討全球碳中和及潔淨能源的最新訊息，了解各國政府及集團對此議題的目標與努力。

「世界電力新聞週報」Podcast 節目現在已經可以在 Apple Podcast、Google

Podcast、KKBOX、Spotify、SoundOn 以及 Listen notes 等平台收聽，歡迎有興趣的民眾上網搜尋「世界電力新聞週報」，一齊增進電力知識。

平台網址：

Apple podcast：<https://reurl.cc/0D41kK>

Google podcast：<https://reurl.cc/e9GDQK>

SoundOn：<https://reurl.cc/MZ68Wp>

Listen notes：<https://reurl.cc/mqRD79>

本刊訊，2021/03/09



台電首創「世界電力新聞週報」Podcast 節目，現已可在各大平台收聽，邀請民眾一齊增進電力知識。



日本對話型全國說明會 建立高放選址共識

日本原子力發電環境整備機構(NUMO)，為了解決高放射性廢棄物地質處置的選址問題，持續透過對話型全國說明會與公眾接觸，並以真誠的態度，透過與各利害相關團體及當地居民的互動與討論，傳遞最終處置相關資訊，提高公眾對處置設施的了解。

對話型全國說明會是由當地居民、專家或意見領袖派員參加，經由全國互動科學特色地圖，向人們介紹處置計畫、回應有關該設施的所有諮詢。