

2021
DECEMBER
雙月刊

核 後 端

Nuclear BACK-END

006

芬蘭高放處置 設施最新進展



臉書專頁

我們的身體有放射性嗎？

非醫用 X 光機之應用介紹

核技術如何減少農業
溫室氣體排放

紐約宣布將研究綠氫
以實現脫碳目標

IAEA 監測福島第一
核電廠排放水的安全

2021 年最大的 5 件太陽能
風險投資交易案

編輯室手札

第 26 屆聯合國氣候變遷大會（COP26）於 2021 年 11 月 1 日至 12 日在蘇格蘭格拉斯哥舉行。美、中兩國承諾各自在 2020 年代採取加速行動，以減緩氣候變暖。有 40 多個國家承諾到 2050 年前逐步淘汰煤炭，100 個國家的領導人承諾到 2030 年結束或減少森林砍伐；此外，美國和歐盟宣布將合作減少甲烷排放。11 月 13 日，會議通過《格拉斯哥氣候公約》，要求維持巴黎協議的規範——將全球氣溫升高幅度控制在攝氏 1.5 度以內的目標，並且逐步減少煤炭使用。

參與全球氣候峰會的各國領袖皆同聲承諾於 21 世紀中期達到淨零碳排放，甚至是採取各項積極作為希望提前達到目標，全世界已然進入淨零碳排衍生的「零碳經濟」思考模式——如何成功實現零碳經濟，制定碳價、碳稅、碳交易等手段，都將成為近年國際對話和談判的籌碼。

本期國際脈動單元「紐約宣布將研究綠氫以實現脫碳的目標」，綠氫是用風能、太陽能和水力發電等可再生能源所生產的氫，具有可使經濟活動中比較艱困的項目達成脫碳目標的潛力。

核能除了可應用於發電，還可淡化海水、製造氫、集中供熱和工業加熱流程（玻璃和水泥製程、金屬生產）、精煉和合成氣的生產。此外，核技術還可以運用於農牧業品種改良、增加土壤肥沃度、避免使用過多肥料，除了幫助農牧業降低成本，更進而減少農業溫室氣體的排放量。隨著全球社會努力實現氣候目標的需求，若能擴大核技術在這些應用中的作用，可能會是潔淨能源成功轉型的關鍵。在我們向零碳經濟轉型的過程中，探索各種可用資源，將其作為應對氣候變化的工具，成為更廣泛的國際對話的一部分。

很多人聽到核能，就會擔心輻射帶來的風險，並不知道其實我們的身體自帶輻射，而且體重越重的人，發射出的輻射劑量越高。本期科普有意思單元「我們的身體有放射性嗎？」，幫助讀者瞭解生活在地球上，空氣、陽光、土壤、食物、水、萬物都含有輻射。只要輻射劑量在合理範圍內，我們都不需要過度憂慮。即使是具有高放射性的用過核子燃料，只要以多重防護的安全措施妥善處置，將輻射物質層層隔離在生物圈之外，我們還是可以安心自在的享受便利的現代生活。☺

目錄

專題報導 2 芬蘭高放處置設施最新進展 - 編輯室

原子能小學堂 16 我國的高放射性廢棄物最終處置 - 編輯室

生活中的輻射 20 非醫用 X 光機之應用介紹 - 許芳裕

24 原子能的使用超越發電：非電力的應用領域 - 編輯室

26 核技術如何減少農業溫室氣體排放 - 編輯室

28 輻射誘導的作物多樣性和加速品種發展 - 編輯室

科普有意思 30 我們的身體有放射性嗎？（上）-HPS

國際脈動 34 IAEA 監測福島排放水的安全 - 編輯室

38 2021 最大的 5 件太陽能風險投資交易案 - 編輯室

39 大氣科學家合作透過更好的浮標改善海上風力研究 - 編輯室

40 紐約宣布將研究綠氫以實現脫碳目標 - 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：呂樂樂、翁明琪
執編：長榮國際文化事業部
設計排版：長榮國際文化事業部
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

芬蘭高放處置 設施最新進展

文 編輯室



我們常聽說「核廢料是無解的難題」，以為核廢料會像原子彈爆炸；尤其是高放射性廢棄物，總是讓人聯想到高劑量輻射造成突變的怪物哥吉拉。其實，只要發揮鍵盤辦案的精神，我們可以輕易的找到世界上有些國家早已找到解決方案，並採取積極行動。這一期我們就來看看芬蘭目前在高放射性廢棄物（此指用過核子燃料）最終處置設施的最新進展。

全球第一座用過核子燃料最終處置場

芬蘭的法律規定，放射性廢棄物的生產商應負責所有核廢料的管理措施及其成本，Posiva Oy 公司遂於 1995 年成立，它是由芬蘭核能電力公司 Fortum 和 Teollisuuden Voima Oyj 共同擁有，是一個環境技術專家組織，它的任務就是處理這兩家核電公司所生產的用過核子燃料的最終處置。

Posiva 於 2000 年選定用過核子燃料最終處置場地點，芬蘭議會於次年批准關於處置場計畫的原則性決定。Posiva 於 2013 年 12 月向就業與經濟部提交施工許可申請。Posiva 針對 Olkiluoto 核電廠當地的岩層進行研究，並以 Onkalo 地下實驗室的研究結果做為處置場許可申請的基礎。

芬蘭政府於 2015 年 11 月為此計畫核發施工許可，一年後開始建造 Onkalo 處置場。這座地質處置場將是世界上第一座用過核子燃料的最終處置場。瑞典的 Forsmark 也計畫建立一個類似的處置設施。

2021 年 3 月，Posiva 已開始挖掘一條

長約 80 公尺的「聯合功能測試」隧道，這條隧道將於 2023 年聯合功能測試期間鑽設 4 個處置孔，以便進行實際條件下的最終處置作業測試，藉此實證處置流程是否合理可行，並據以申請運轉執照。

2021 年 5 月 6 日，Posiva 宣布，Onkalo 用過核子燃料處置場已經開始挖掘第一條處置隧道，預計將於 2020 年代中期開始營運。

2021 年 11 月 4 日 Posiva 獲准在封裝廠和最終處置場進行首次大型設備的測試，進入了一個新的階段，可以開始安裝重要設備且測試完成是一個重要的里程碑。此階段大多數的主要設備，包括大約 20 台設備將安裝在目前已達到屋頂高度的封裝廠內，處置設施將使用約 5 台與地下作業有關的設備。2022 年將是 Olkiluoto 安裝設備最繁忙的一年。

接下來詳細說明這座全球第一的處置場，如何逐步的突破難關：

場址調查

芬蘭對用過核子燃料的安全最終處置分析早在 1970 年代就開始了，在 1983 年政府提出實施放射性廢棄物管理的整體計畫、指導方針和目標時間表。1994 年生效的《核能法》規定，放射性廢棄物必須在國內進行處理、儲存和永久處置，其他國家的放射性廢棄物不得進口到芬蘭，Posiva 成立的目的就是尋求解決此問題的方法。

在初始階段分析之後，芬蘭在 1990 年代進行了場址調查。除了 Eurajoki 的 Olkiluoto

之外，還在 Äänekoski 的 Kivetty、Kuhmo 的 Romuvaara 和 Loviisa 的 Hästholmen 進行進一步的調查，做出幾種不同的選擇。除了地質調查外，還分析了最終處置對場址地區的社會經濟影響，並檢視用過核子燃料的物流相關後勤管理，以及該地區的基礎設施。Eurajoki 的 Loviisa 和 Olkiluoto 被選中進行最終調查。在這些地方，居民已經習慣了「芬蘭國民就是核子產業負責任的營運商」這一事實。因此，接受最終處置的想法變得更加自然。

21 世紀初是最終處置規劃一個重要的里程碑，因為 Olkiluoto 被選為最終處置場的地點。由於芬蘭政府的原則性決定要求對母岩進行更徹底的勘查，因此 Posiva 必須達到最終處置的深度。當時，為了進入所需的母岩深度，考慮了使用豎井、通道隧道或它們的組合等選項。最終，2004 年決定用豎井和通道隧道的組合建造 ONKALO。

近 20 年以來，調查作業主要都集中在 Olkiluoto 島，他們的任務是確認這裡是否適合進行最終處置。

地質最終處置

2000 年時芬蘭政府做出原則性決定：「在調查最終處置的各項方案中，在岩層深處進行最終處置，即地質最終處置，是將用過核子燃料隔離於人類生活圈最佳也是最具有可行性的作法。」在芬蘭，地質處置是指在結晶岩中進行最終處置，芬蘭的結晶岩是世界上最古老的岩層之一，也是芬蘭大部分岩層的主要成分。

所有的地質最終處置都有一個共同點，就是將核廢料儲存在地下深處。例如，在德國的鹽丘和法國的泥岩中規劃進行地質最終處置。這些地質環境都具有最終處置需要考量的特性。在結晶岩中，最重要的考量是水。因此，在研究中已經明確定義了用過核子燃料處置罐必須放置在某個深度，以確保有利於工程障壁的母岩條件。處置孔將鑽入最堅固的岩石地帶，從岩石裂縫中滲出的水量必須盡可能的少。

在芬蘭政府作出原則性決定之前，曾經對地質最終處置的替代方案進行了調查。作為理論上的替代方案，人們提出了許多方法，例如送入太空，或在極地冰川、海洋底棲沉積物中掩埋等。對這些選項進行研究後，在實際應用時就發現了許多問題。

他們也曾對用過核子燃料的回收再處理進行研究，但在技術上要求高且成本也高。此外，再處理的最終結果仍然是需要最終處置的高放射性廢棄物。有些國家也考慮將用過核子燃料儲存在中期處置場中，以等待技術上更優越的回收解決方案。芬蘭決定，解決方案不能留給下一代，將在這 10 年內開始實施最終處置。

然而，在芬蘭，技術進步的大門永遠是敞開的：如果發明了一種新的處理方法，就必須從處置場中回收用過核子燃料。最簡單的方法是在未來 100 年內回收，這段時期最終處置的管理作業仍在進行中。在此期間結束時，該設施將永久關閉，之後要從處置場中取回銅罐將更具挑戰性。針對這個階段已經進行了測試，例如，可以採用什麼方法去除銅罐周圍膨脹的膨潤土。

長期安全

安全是最終處置的先決條件。用過核子燃料最終處置的關鍵是解決方案的長期安全性，這已通過安全案例進行評估與證明。

根據國際上的定義，安全案例是指用於證明對最終處置的長期安全性所做評估的可靠性，包括所有技術和科學材料、分析、觀察、試驗、測試和其他證據。對於 Posiva，這表示在 Olkiluoto 母岩條件下展現 40 多年研究與測試地質處置解決方案的功能，並且估算出在一個或多個失敗的狀況下對環境釋出的輻射劑量。

除了核能和輻射安全標準外，對自然界發生的各種變化的估算也被用作地質最終處置長期安全的設計依據。例如，安全案例分析了最終處置解決方案能夠承受地震、未來長達 100 萬年的冰川以及大陸冰層所造成的壓力的能耐。安全案例還涉及到與處置解決方案的行為以及對各種可能

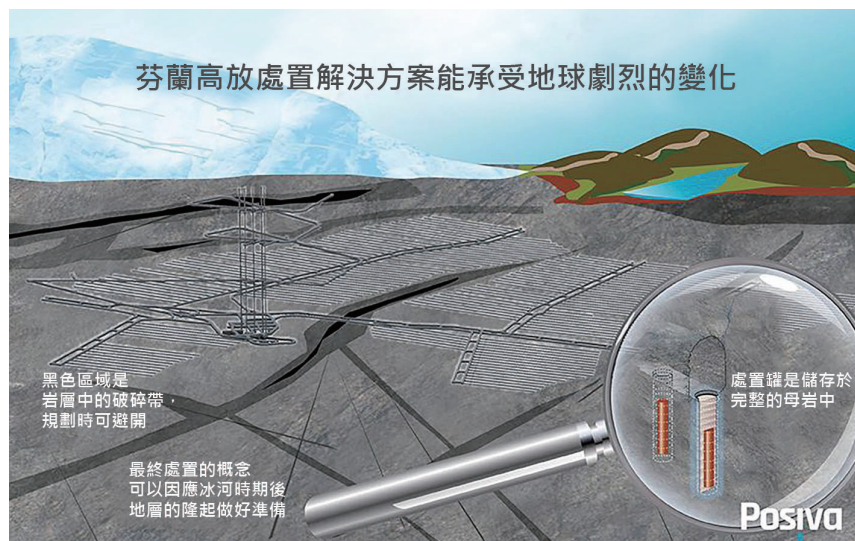
事件相關不確定性的評估，風險評估也考量了事件發展的各種可能性。

在大約有 18 億年歷史的母岩中建造處置場需要對安全關鍵功能進行管理，以確保岩石的完整，並適合進行最終處置。Posiva 還必須確保在最終處置結束後，母岩條件能保持良好以及恢復到自然狀態。用過核子燃料最終處置的安全性將在最終處置設施運轉期間和結束運轉之後進行評估。長期安全審查劃分為不同的時期，從大約運轉 100 年，到接下來的數千年或數十萬年，直至 100 萬年。

雖然不可能全面審查和評估所有可能的情况，但是安全案例表明，即使進行保守性評估，用過核子燃料的最終處置也不會對人類或環境造成危害。

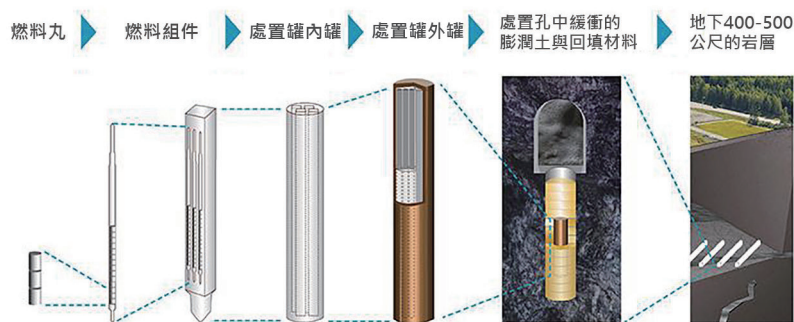
基於多重障壁原則的長期安全

放射性材料包覆在許多相互支撐的屏蔽中，這些屏蔽盡可能是獨立的，因此一個



只有安全的最終處置才使一切可行

最終處置的多重障壁原則：多種屏蔽彼此支持可確保長期的安全



屏蔽的故障不會危及整個隔離的功能。在最終處置解決方案中，用過核子燃料被包裝在防水、耐用的銅罐中。這些銅罐放在地下大約 430 公尺深的岩石中，與人類生活圈隔離。不需維護就可保持密封狀態，其內容物不會對自然環境造成危害。在可預見的時期內，最終處置中最高的年輻射曝露劑量上限設定為 0.1 毫西弗 (mSv)，而芬蘭人的年平均有效輻射劑量為 5.9 毫西弗。

用過核子燃料

在最終處置時，核子燃料僅剩下原始輻射的千分之一，核子安全的基本原則是確保放射性物質不會污染環境。多重安全系統已落實到位，以防止釋出。安全是經由分析風險並為風險做好準備而發展成形。除了物理定律之外，核子安全還基於組織的高度安全文化以及多重且具體的防護。

生產電力時發生的核分裂反應使核子燃

料具有高放射性，我們可以運用多種材料來防止輻射。從反應爐中取出用過核子燃料經過數年，用過核子燃料會被運送到中期處置設施，儲存在水池中。8 公尺深的池水可以防止輻射，因此水池旁的區域是安全的。在最終處置時，即使是幾公尺厚的岩石也可以完全阻止這些燃料發出的輻射。

核子燃料在使用後立即具有高放射性，但其活度會在一年內下降到原來水平的百分之一。在從反應爐中取出後的最初幾十年中，核子燃料的輻射會迅速下降。40 年後進行處置時，將只剩下原始放射性的千分之一。經過最終處置、罐壁和幾公尺厚的岩層就足以完全阻止用過核子燃料釋出的輻射。

用過核子燃料的放射性在 25 萬年後下降到含鈾礦床的水平。在此之後，活性將繼續下降，在一千年內降到第一年水平的千分之一。同時，處置罐表面的輻射水平將下降到最終處置時的百分之一。

燃料中含有的一小部分放射性物質具有極長的壽命，因此需要將它們與生物圈隔離。基於這個原因，最終處置罐設計為在其最終處置地點保持密封和不透水的時間應足夠長，以使用過核子燃料的放射性能降低到對環境無害的水平。

放射性衰變

- 指原子核的不穩定性，或者說它有轉變為另一種原子核的傾向。
- 最終結果是成為一種永久性的非放射性材料。對於某些材料，這只需幾分之一秒，而對於某些材料，則需要數十萬年。
- 在衰變的背景下，原子核可以阿法 (α) 或貝他 (β) 粒子的形式釋放物質，並以加馬 (γ) 輻射的形式釋放能量。放射性核種釋放的這些粒子和能量波統稱為輻射。
- 放射性物質發出的輻射會隨著時間的推

移而減少。用過核子燃料放射性的降低最初很快，但隨後會減慢。這是由於燃料組件中所含的物質不同，它們的半衰期也不同。一般而言，放射性物質的輻射以該物質原有的半衰期的速率衰減。

最終處置測試

全尺寸現場系統測試 (Full-Scale In-Situ System Test, FISST) 是迄今為止最全面的全尺寸測試。2019 年，在 ONKALO 示範區一條約 50 公尺長隧道的處置孔中安裝了兩個測試罐。隧道位於地下約 420 公尺的深度，用膨潤土填充，並以與實際最終處置相同的方式用鋼筋混凝土填塞封閉隧道。

測試罐配備有模擬用過核子燃料產生的衰變熱功率的加熱元件。銅罐、處置孔和周圍母岩的溫度變化與壓力，以及隧道回填的行為是由大約 500 個感應器傳送數據。世界上第一個與處置場相關的 FISST



整合系統測試的隧道。(圖片來源: Posiva)

測試將會監控許多年，並提供有關工程障壁是否如同初始設計運作等進一步資訊。

FISST 測試主要是測試最終處置技術的可行性，也會產生關於最終處置初始階段影響的研究數據。但是，FISST 測試只能在感應器運作期間監控處置場，這對於數十萬年的最終處置來說是很短的時間。FISST 測試是為了與處置設施調試階段相關的整合系統測試做好準備，此外也為了能在 2020 年代後期獲得營運許可並開始運轉。

設施建成後，將選取一條約 60 公尺長的中央隧道和一條約 80 公尺長的處置隧道，在其中鑽 4 個處置孔進行整合系統測試。整合系統測試的隧道比實際最終處置中的處置隧道短，其中最長的處置隧道可達 350 公尺。

最終處置試運轉是處置設施測試的一部分。試運轉包括在實際條件下對設備進行全面的最終處置測試。與實際情況唯一的差別是處置罐中不含用過核子燃料。試運轉用於確保與最終處置相關的工作階段都能按計畫進行。最終處置的試運轉也受到管制機關的監督，管制機關將根據營運許可的要求檢視綜合系統測試的過程。試運轉可用於證明與最終處置相關的流程和程序是有效的。只有如此，處置設施才能獲得實際運轉許可。

鑽探和挖掘

在初始階段，Olkiluoto 的母岩是通過鑽孔和試挖從地表進行探勘。隨著 ONKALO 的建設，調查也在地下進行。

Posiva 詳細分析了 ONKALO 的母岩，開發岩石施工方法，並實施數十次測試、演示和鑽孔。例如，在處置深度鑽出先導孔，這有助於在開挖處置隧道和選擇處置孔位置之前確定母岩是否適合最終處置。岩芯提供了有關母岩岩石類型和破裂情形的資訊。此外，先導孔還可用於檢查裂縫中的岩石密度、電導率、磁性和漏水等情況。

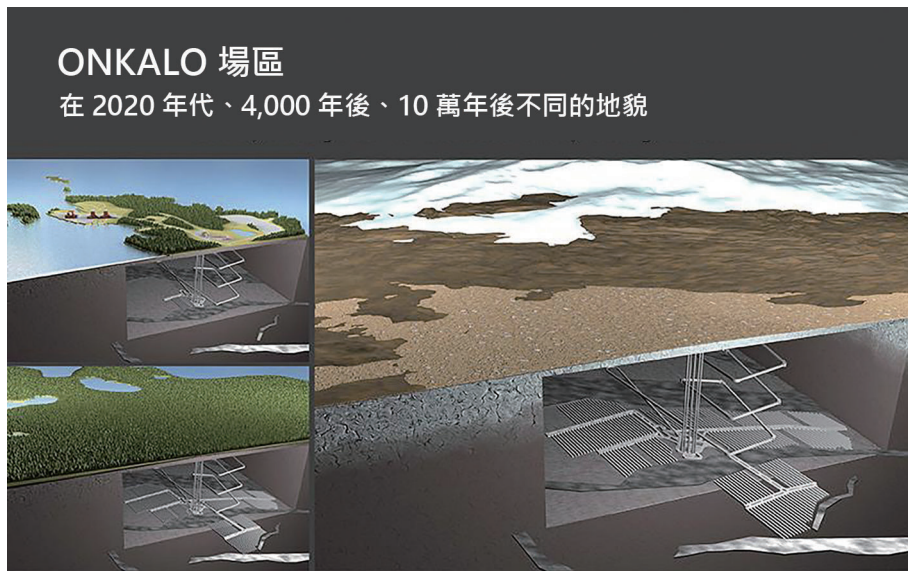
生物圈研究

生物圈是指地球表面可能存在生命的區域，為確保最終處置的長期安全，自 Olkiluoto 被選為用過核子燃料最終處置場以來，這裡就展開了生物圈研究和建立各種類型的長期模型。

據估計，在 20 萬年期間，用過核子燃料的放射性將下降到含鈾礦床的水平，因此需要對替代發展模型進行分析。處置設施的安全案例必須考慮到在長達約 100 萬年的氣候變化，研究人員必須評估該地區的海平面變化、氣候變化和土地利用對地下最終處置解決方案有何影響，以及它將如何承受這些變化。

在生物圈研究方面，Olkiluoto 的生態系統及其周邊環境已被仔細的描繪，例如，對深層地下水排放區域進行分析。數百公尺深處的地下水是無氧的，而且只有很微小的流動。因此，對罐體的銅的腐蝕能力較弱。

在分析數十萬年後發生的變化時，無法避免其不確定性，例如，下一個冰河時期，這與人類的活動有關。如果二氧化碳排放量繼續保持目前的水平，大約 40 萬



年期間 Olkiluoto 都不會被冰蓋覆蓋。如果人類成功減少排放，冰川期和永久凍土期可能會在大約 5 萬年後出現。由於陸地抬升，隨著海岸線向西退縮，Olkiluoto 將在 2,000-3,000 年後變成內陸。另一方面，溫室效應則可能導致海平面上升。在極端情況下，Olkiluoto 甚至可能在數千年的時間內再次沉入海平面以下。

最終處置的起點是以工程障壁承受地球上發生的重大變化，處置罐放置在母岩中，這處母岩應盡可能穩固，並且導水區域的數量很少。即使在冰河時代之後由於陸地隆起發生地震的地區，堅固的岩石也能保護這些處置罐。

這裡所應用的多重障壁原則的設計目的，是使用過核子燃料不會對後代構成安全風險。然而，生物圈研究還考慮到屏蔽失效和放射性核種從銅罐中釋出的可能

性。在這種情況下，基於地下水流的模型可以預測放射性物質在地表環境中的排放方式和位置。另一方面，地表環境的傳輸模型可用於預測生物圈中的移動將如何持續。即使在這種情況下，最終處置對人類和環境造成的輻射劑量仍是微不足道。

建立母岩模型

根據場址調查和安全分析，Olkiluoto 被選為最終處置場。ONKALO 處置場是在 Olkiluoto 岩層中開挖而成的，這處母岩大約有 18-19 億年的歷史。Olkiluoto 的特定場址建模結果是由 40 多年的跨學科研究產生的，支持在該地區母岩進行用過核子燃料最終處置的適用性：在地質、岩石力學、水文地質和水文地球化學方面的條件很穩定。這些特性使設計的工程障壁能長時間保持功能，並支持最終處置的長期安全性結論。



最終處置試運轉測試。(圖片來源:Posiva)

Olkiluoto 母岩的主要岩石類型是混合片麻岩，處置罐在母岩內被保護，避免受地面變化的影響，例如冰川作用。岩石可以有效地阻止來自處置罐的直接輻射，兩公尺厚的岩石足以屏蔽輻射，以確保維持與自然背景輻射相似的水平。

將處置罐放置在超過 400 公尺的深度可以消除地面和大氣變化以及人類活動對處置場周圍環境的影響。

地下水和環境研究

流經母岩裂縫的地下水，是用過核子燃料中所含的放射性物質與人類和生物接觸的唯一途徑。數十年來，人們一直在研究 Olkiluoto 不同深度的地下水流。從 Olkiluoto 母岩中鑽出的測試孔和安裝在一層土壤中的地下水管中採集了數百個地下水樣本，並在世界各地進行分析。地

下水樣本代表該母岩的不同深度水平，深度最深約為 1,000 公尺。最後，處置罐將放置在裂縫最少和地下水流動最小的岩石區域。

ONKALO 中的處置場

位於 Olkiluoto 的 ONKALO 處置場建造工作於 2004 年 6 月開始。在初始階段，ONKALO 主要是一個地下研究設施，在那裡進行研究以確認 Olkiluoto 母岩是否適合最終處置。在超過 15 年的時間裡，ONKALO 處置概念在芬蘭和國際上已確立了自己的地位。如今，此一概念已擴展到涵蓋 Posiva 的整個處置設施。ONKALO 處置概念已延伸至約 455 公尺的深度。

2015 年，Posiva 獲得芬蘭政府核發處置設施建造的許可，ONKALO 處置場將

建造到 400-430 公尺的深度。

ONKALO 處置概念是由一個螺旋形通道、4 個垂直豎井（人員豎井、處置罐豎井和兩個通風豎井）、隧道和技術室組成。到 2020 年，Olkiluoto 母岩已開挖各類隧道約 10 公里。在最終處置作業期間，將在母岩中挖掘約 40 公里的新隧道。

施工方法及設備

為了實施 ONKALO® 和最終處置操作所需的技術，Posiva 與其合作夥伴密切合作。Posiva 開發最終處置概念的跨學科研究和產品開發工作也引起了國際上很多的關注。所有措施的出發點始終是「只有安全的最終處置才使一切可行」。

處置隧道是使用芬蘭製造專門開發的鑽台進行鑽孔。全電腦控制的鑽台長 15.5 公尺，高 3.5 公尺，寬 2.5 公尺。機器重約 30 噸，尺寸經過精心設計，可在隧道中靈活行進。

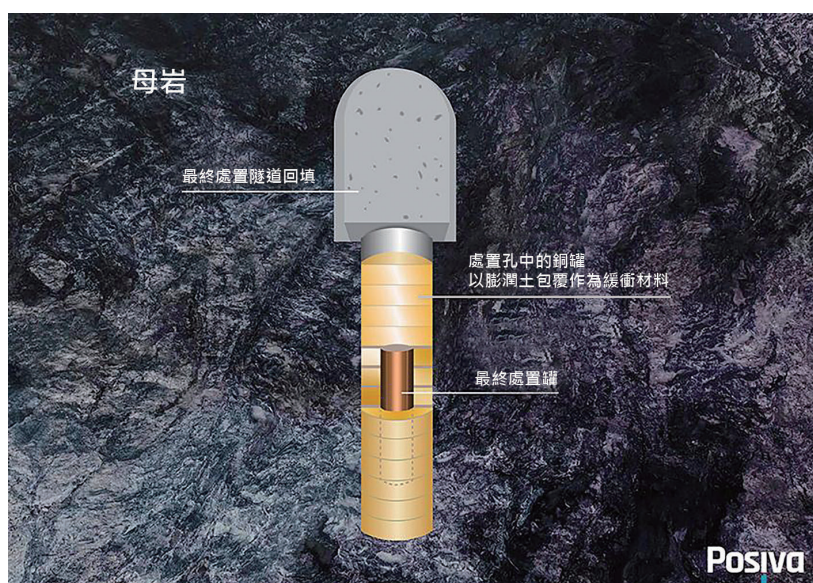
處置孔

Posiva 選擇 KBS-3V 方法進行最終處置，此方法是與瑞典核燃料與廢棄物管理公司 SKB 共同開發的。基於多重障壁的原則，最初是在瑞典發展而成。一個垂直的處置孔中只有一個處置罐時，岩壁與處置罐之間有膨潤土。處置孔深約 8 公尺，直徑約 1.75 公尺。銅罐的直徑為 1.05 公尺。

處置鑽孔機（DHBM）是為了最終處置而開發的專用設備之一。為要鑽的孔先設定需求，其中最重要的是要有一組經過核可的垂直軸，8 公尺深的處置孔的測量中心點與起點和終點之間的垂直中心線的偏差，不論在任何深度都不得超過 25 公尺。

黏土組件安裝設備

地下最終處置涉及黏土組件的幾種不同運送和安裝設備：自動導引車（AGV）、緩衝安裝系統（BIS）和顆粒回填安裝系統



(GBIS)。自動導航和移動車輛的 AGV，可用作緩衝和處置隧道顆粒回填安裝系統的技術。

緩衝塊安裝系統

緩衝安裝設備的任務是將緩衝物安裝到處置孔中，緩衝物安裝分兩部分完成。在第一階段，實心緩衝塊安裝在處置孔的底部，然後在中心有孔的緩衝塊中放入處置罐。安裝好處置罐後，將最頂部的緩衝塊安裝在銅罐頂部。之後還會用細粒膨潤土填充其餘空間以密封緩衝區。因此，在銅罐周圍安裝緩衝物從開始到結束都需要極高的精密度。

隧道回填安裝系統

2019 年，Posiva 決定在處置隧道中填充顆粒混合物，由各種不同尺寸的膨潤土顆粒組成。以前的想法是用膨潤土製成的塊和顆粒填充隧道。然而，從可行性的角度來看很有挑戰性，這就是為什麼 Posiva 開始探索一種替代方案——至少同樣安全，但在材料製造和安裝方面更經濟實惠也更工業化。

最終處置回填解決方案的想，改良自瑞士國家放射性廢棄物處置合作組織 NAGRA 的罐式緩衝解決方案。粒狀回填物可確保在銅罐周圍發揮緩衝作用，進而使緩衝物不會從銅罐周圍上升到處置隧道中。

隧道回填安裝機的主要任務是將顆粒狀物料運送到處置隧道中，將其從地板填充到天花板。回填隧道時，機器緩慢反轉，直至填滿整個隧道。

處置罐轉運安裝車

處置罐轉運安裝車 (KSAA) 是地下處置過程中唯一的安全分級系統 (SC3)，它的任務是將裝有用過核子燃料的銅罐運送並安裝到處置孔中。銅罐是放在 150 公分厚鋼製輻射屏蔽的圓筒內運送。此外，圓筒內部還有一層吸收中子輻射的 PE 塑膠層。

KSAA 機器本身的重量為 90 噸，但在裝載銅罐的情況下，其重量可達 120 噸。當銅罐從輻射屏蔽筒內的儲存器中取出時，轉運安裝車的操作便開始。出發前，將鋼筒轉至水平位置，然後將銅罐運送到選定的隧道。最後，將車輛調平在右側孔上，再將銅罐降下放到緩衝塊的中間。

封裝廠

Posiva 開發的封裝廠擁有許多獨特的技術，但其設計借鏡了在世界不同地區設計的燃料加工廠的經驗。不同國家的解決方案各有差異，例如是否拆除燃料組件或將其放置在罐內。在芬蘭，組件不會被拆開，而是密封在罐中。

每個重達 1/4 噸的燃料組件為 Olkiluoto 核電廠的反應爐提供大約 4 年的能量。用過核子燃料從反應爐中取出，在轉移到中期貯存場之前會先在反應爐廠房內的水池中冷卻，然後將燃料組件從反應爐廠房運送到廠區內的用過核子燃料中期貯存場。在那裡，燃料的溫度和活性繼續降低。在最終處置時，用過核子燃料從反應爐中取出大約 40 年後，只剩原始放射性水平的千分之一。經過最終處置，罐壁和幾公尺厚的岩石足以完全阻止用過核子燃料釋出

的輻射。

封裝廠的建造始於 2019 年，該廠將擁有大量世界上其他任何地方都沒有使用過的設備和技術。

在進行最終處置作業時，用過核子燃料從中期貯存場運至封裝廠，裝入由銅和球狀石墨鑄鐵製成的最終處置罐中。經由罐式升降機將銅罐運送到 430 公尺深處的處置層，到達地下接收站。在那裡，銅罐與運送安裝車輛一起送到處置隧道。

用過核子燃料在封裝廠的燃料處理室裝入最終處置罐中，那裡的混凝土牆約有 1.3 公尺厚。當所有燃料組件被裝入罐內，灌入氬氣並將銅罐的內鋼蓋密封。在焊接室中，將罐的頂部銅蓋焊接密封，並通過目視和渦電流與超音波檢查接縫的密封度。

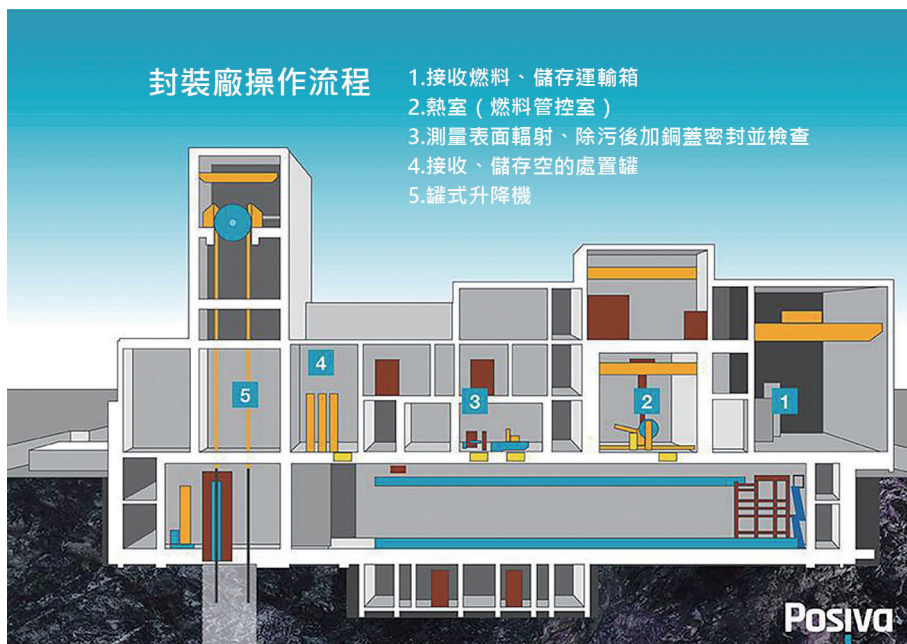
封裝廠的尺寸

- 建築物長度約 72 公尺、寬度約 40 公尺。
- 建築物的樓層面積約 3,000 平方公尺，建築面積約 11,500 平方公尺，體積約 70,000 立方公尺。

工程障壁

最終處置解決方案的安全性基於多重障壁原則，其中多個額外設計的屏蔽可確保長期的安全。工程障壁包括燃料護套、最終處置罐、緩衝膨潤土和隧道回填，母岩則是天然的屏蔽。Posiva 已經對與工程障壁相關的所有細節進行調查和建模。

放射性廢棄物管理的原則是只要放射性廢棄物的放射性沒有降至微不足道的水平，就必須與自然隔離。





用過核子燃料處置罐。(圖片來源:Posiva)

燃料護套

燃料的陶瓷護套本身就構成了一道屏蔽，鈾包含在密封的金屬棒中，是固體且水溶性差，可延緩放射性物質的釋出。

處置罐

用過核子燃料處置罐的內部結構包括球狀石墨鑄鐵組件，可承重並做為燃料組件的放置架。密封的銅罐主要用作燃料組件防腐蝕的屏蔽，銅罐內部結構是由 5 公分厚的銅殼和銅蓋包圍，再以鐵蓋密封。

用過核子燃料組件安裝並密封在銅罐的鑄鐵內部，銅罐的蓋子以焊接嚴實密封，使流入母岩的地下水不會與鑄鐵內部的用過核子燃料接觸，可以防止放射性核種經由地下水進入生物圈。

緩衝材料

在最終處置時，以膨潤土作為緩衝材

料，將其壓縮成塊安裝在處置孔中以包圍罐體。膨潤土是一種黏土，與水接觸時會變得有可塑性、膨脹且光滑。

將緩衝物充填岩石和銅罐之間的整個空間，可以保護銅罐免受輕微的岩石運動碰撞。如果罐體由於某種原因損壞，它還可以限制並減緩放射性核種的釋出。

隧道回填和混凝土塞

安裝銅罐和緩衝材料後，再以顆粒混合物填充處置隧道，那是由不同尺寸的膨潤土顆粒組成。黏土的優點是水力傳導率低，以及化學與機械的長期穩定性。

在整個最終處置作業中隧道將分階段填滿，回填材料可防止隧道和豎井成為地下水流動的通道，並保持隧道的機械性穩定。隧道回填材料還可將包覆銅罐的膨潤土緩衝物固定在原位。此外，回填隧道還可以防止人員或機具進入設施，這表示在處置設施結束運轉後，就不需要對最終處置區再做防護。

處置隧道必須在所有條件下保持防水，因此，在填充膨潤土的處置隧道末端需建造楔形塊狀鋼筋混凝土塞。混凝土塞長約 6 公尺，直徑約 4-6 公尺。每個塞子包含大約 160 立方公尺的混凝土和大約 20 噸的鋼筋。混凝土塞的構造已經在 FISST 測試中完成了測試。

母岩

由於 Olkiluoto 最終處置區的母岩已經過深入研究，因此在最終處置時可以避開岩層薄弱區、機械或化學不穩定部分以及

重要的水流路徑。

母岩將用過核子燃料與生物圈隔離，這也使得人類幾乎不可能到訪處置區。此外，母岩為工程障壁提供了可預測的機械、地球化學和水文地質條件。

關閉處置設施

隨著最終處置的進行，處置場將挖掘更多處置孔和中央隧道來擴大。根據目前的估計，最終處置作業將持續到 2120 年代。

當處置設施運轉結束時，位於處置深度的中央隧道、相關車輛連接道與輔助室將首先關閉。之後，關閉其他隧道，最後關閉與地面的連接通道，即在處置設施破壞區域鑽出的車輛隧道、豎井和測試孔。

為了長期安全，必須以這樣的方式回填和關閉處置場，使母岩狀況盡可能接近處置場挖掘前的自然狀態。

關閉的目的是將處置場與地面隔離，並防止人類或其他生物進入設施；避免在地面和處置場之間直接連通，並確保處置隧

道的回填保持在原位，使用與周遭岩層相容且水力傳導性差的天然材料，對最終處置解決方案的長期運轉和安全有很大益處。

結語

從芬蘭的 ONKALO 最終處置場建造歷程，我們知道放射性廢棄物不是無法解決的難題。用過核子燃料的輻射與活性雖然很高，只要奉行安全至上的原則，應用多重屏蔽的工程障壁效果，便可將輻射控制在安全範圍內，靜待時間的長河使它慢慢歸於天然的水平。☢



參考資料：

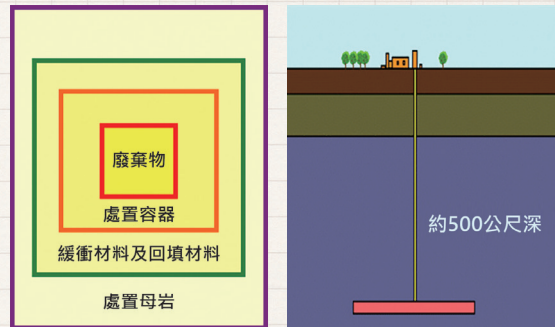
1. <https://www.posiva.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangerelases/2021/firstlargeequipmenttestsapprovedattheencapsulationplantandfinaldisposalfacility.html>
2. <https://www.posiva.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangerelases/2021/excavationofworldsfirstfinaldepositiontunnelsstartspositivasonkalofacility.html>
3. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/First-disposal-tunnel-under-construction-at-Finnis>
4. <https://www.posiva.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangerelases/2021/excavationofjointfunctionaltestfinaldisposalstunnelstartedatpositiva8217sonkalo.htm>
5. <https://www.posiva.fi/en/index/finaldisposal.html>
6. 本文圖片均取材自 Posiva 公司網頁



高放射性廢棄物（此處指用過核子燃料）處置是否會對下一代造成負擔？

致力於研發處置技術；同時已根據核能發電數量攤提設立「核能發電後端營運基金」，結合人力與經費，籌謀解決之道。

依目前用過核子燃料處置計畫的規劃，處置設施預定於民國 144 年啟用，應可解決我國用過核子燃料處置問題，不會對下一代造成負擔。



Q 我國用過核子燃料處置有何重要安全原則？

A 用過核子燃料處置應致力於達成以下幾項重要的安全原則：

- 一、處置設施應符合我國相關法規與相關國際公約的規定。
- 二、處置設施應足以保障公眾、工作人員、後代子孫的安全，並合理抑低輻射劑量的潛在影響。
- 三、處置設施應選擇具有長期穩定性的母岩，並採深層地質處置方式，隔離地表作用與人類活動的潛在影響，並圍阻放射性物質的潛在釋出，確保處置設施的長期安全。
- 四、處置設施應進行詳細地質調查，並審慎選擇合格場址，避免位於潛在不利影響的地區。
- 五、處置設施應採多重障壁的設計，使處置系統不會因為單一障壁的功能失效而影響整體安全。
- 六、處置設施在致力兼顧安全與環保的前提下，應採行經濟與有效的最佳可行技術。
- 七、處置設施安全性的確認應經過安全論證，亦即整合提出證據與論述並進行辯證，經由反覆進行的資訊更新與補充強化設計與作業品質，以確保運轉與長期安全性。
- 八、處置設施發展過程應程序嚴謹與公開透明，並導入專業同儕審查及公眾參與選址機制，以集思廣益，凝聚共識。



我國是否可找到合適地點進行用過核子燃料處置？



依台電公司提報原能會核定的「用過核子燃料最終處置計畫書」2014年修訂版的規劃，我國目前還處於「潛在處置母岩特性調查與評估階段」，後續才會展開選址程序，因此仍未公布任何候選場址。

台電公司於民國 98 年提出的「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」及民國 106 年提出的「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」中，分別彙整階段性潛在處置母岩特性與地質環境的調查結果。根據地質構造長期穩定性初步調查研究所得的資料，及其初步安全分析的綜合技術可行性評估結果顯示，台灣不論本島及外島，都確實存在潛在處置母岩，可供後續進行區域性的評選。



用過核子燃料最終處置技術發展有哪些研發重點？



國際上對於用過核子燃料最終處置技術的發展已累積數十年的經驗。一般技術面的研發重點，包含場址調查、設施設計與安全評估三大領域。整合此三項技術領域的成果，共同建構能維護人類安全的處置設施。

台電公司於民國 106 年提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」，彙整「潛在處置母岩特性調查與評估階段」的研究結果，參酌各核能先進國家發展的用過核子燃料處置技術，針對我國母岩特性，完成地質環境資訊的蒐集研析，並以參考案例進行設計概念與安全評估技術發展。藉由此階段性的整合評估，驗證現行我國用過核子燃料最終處置方案與處置技術發展規劃的可行性，以明確展現我國所處的地質環境與現行技術能量。

該報告評估結果確認我國境內存在可供作為進一步調查的潛在處置母岩，且國內已具有階段性的處置安全評估能力。

Q 用過核子燃料可以境外處置嗎？

A 國際合作境外處置用過核子燃料一直以來是國際上熱議的焦點。支持者的論點認為：1. 在全球化與地球村的觀點下，高放處置安全期限漫長，可能達數十萬年，而國家體制與政治疆域會隨時間變遷，一般僅達數百年，因此處置是國際性問題；2. 高放處置場費用龐大，合作處置可以有更多選擇妥適場址的機會，並集中人力物力，提高安全與效益。

反對者的論點則認為：境外處置是以鄰為壑的作法，容易導致強權國家，輸出放射性廢棄物至落後國家。

在國際動態方面，國際原子能總署 (IAEA) 與歐盟等國際組織均支助相關可行性研究計畫。2016 年澳洲南澳大利亞省曾提出國際共同貯存與處置的倡議，但遭到公民諮議團體否決。

在各國立場方面，有的國家立法禁止放射性廢棄物輸入；有的國家則不排除尋求合作處置的機會。我國則依「放射性廢料管理方針」的策略：放射性廢棄物的最終處置，採境內、境外並重原則，積極推動；不論境外是否可行，仍應在境內覓妥處置場址備用。



資料來源：台灣電力公司



非醫用 X 光機之應用介紹

文 國立清華大學原子科學技術發展中心 / 生醫工程與環境科學系 許芳裕博士 / 教授

X 光機已廣泛的被應用於人類生活中，包括醫療用途及非醫療用途的輻射應用。國內游離輻射的主管機關行政院原子能委員會同意登記之非醫療用途 X 光機數量約 9 千餘件，依其功能類型主要可分類為櫃型 X 光機、移動型 X 光機與 X 光管式靜電消除器等類別。不同用途 X 光機之特性簡述如下：

1. 櫃型 X 光機

櫃型 X 光機係指原設計或製造型式之可發生游離輻射設備，裝置於有適當屏蔽之

櫃中，使用時能防止人員進入，但該櫃不為建築物之一部分（如圖 1）。櫃型 X 光機應設置與屏蔽門連動的安全連鎖裝置，以確保使用時之輻射安全。櫃型 X 光機常用作分析鑑定、照相檢驗、繞射儀、學術研究、校正用、動物用（獸醫）及行李檢查等用途；以下針對常見之櫃型 X 光機應用進行介紹。

1.1 X 光檢測儀

因 X 光可透視物體，故常被用來作為工業成品、電子元件之品質管制檢測與非

破壞照相檢驗工具，可篩檢出有瑕疵之產品，提高產品之良率與品質。X 光透視技術亦是檢測食品中的污染物最理想的解決方案，能辨識如食品中是否含有金屬、玻璃、石頭等污染物，確保產品安全。

1.2 繞射儀

X 光繞射儀 (X-Ray Diffractometer，簡稱 XRD) 乃利用 X 光在晶體中的繞射現象來分析材料的晶體結構之方法。此方法根據 X 光與晶體樣品產生繞射信號後的特徵，計算出樣品晶體結構與晶格等參數，藉以判斷其所含元素的種類。XRD 是分析各種材料，例如金屬、陶瓷、半導體、各種薄膜、單晶材料等，不可或缺的分析鑑定儀器；圖 2 所示為常見之櫃型 X 光繞射儀。

1.3 行李檢查 X 光機

X 光輻射可穿透物品顯像的特性，亦可作為查緝偷渡、走私、違禁品或爆裂物的工具。國際普遍在機場、海港、法院、監獄、核能電廠、大使館、甚至電子業公司等設施及處所使用行李檢查 X 光機，用以維護國家利益、公共安全或公司機密。一般在機場常見對旅客托運行李進行安檢之行李檢查 X 光機。

1.4 動物用 (獸醫) X 光檢查儀

國內大部份動物醫院均配置有 X 光檢查儀為動物執行健康方面的檢查，其使用的 X 光檢查儀與在一般醫院為民眾檢查的 X 光機一樣，差別僅在於動物醫院的 X 光機並非對人體進行檢測，因此在管理上被歸類為非醫療用途。動物醫院的 X 光機均為診斷使用，其原理為以 X 射線穿透動物身體，造成底片感光，經清洗底片顯影後，據以判斷動物身體病痛之原因。在對動物進行 X 光照相檢測時，有時飼主亦可能會在檢查室協助安撫動物，此時動物醫院會提供 X 光防護器具如鉛衣、鉛手套與鉛眼鏡等供飼主穿戴，以保護其安全，圖 3 為常見之動物用 X 光檢查儀。

2. 移動型 / 手持式 X 光檢測儀

移動型 X 光檢測儀與櫃型 X 光機的主要差異在於：移動型 X 光機之體積較小，可攜帶至不同地點進行樣品檢測。有些移動型 X 光檢測儀亦設置有具屏蔽門之檢查櫃，使用時將樣品放置於檢查櫃內進行檢測分析，此種檢測儀亦稱為桌上型 X 光檢測。此外，亦有手持式 X 光檢測儀，其外



圖 1. 櫃型 X 光機應用：電子元件檢測 X 光機 (左)、半導體封裝檢測 X 光機 (中)、食品檢測 X 光機 (右)



圖 2. 櫃型 X 光繞射儀



圖 3. 動物用 X 光檢查儀

型為槍型，槍身有屏蔽包覆，槍口可發射 X 光對槍口前方之樣品進行檢測。

移動型 X 光機之主要應用，一般作為 X 射線螢光 (X-ray Fluorescence，簡稱 XRF) 分析儀，利用 X 光束照射樣品以激發樣品中元素的原子能態，當原子自激發態回到基態時，偵測所釋放出來的特性 X 射線 (螢光)，再經由分光儀分析其能量與強度後，提供樣品中組成元素的種類與含量。XRF 分析儀具有非破壞性、低偵測極限及多元素分析等特點，主要的應用有各種材料的表面分析、材料的組成成分分析，及各種半導體、生物科技產業的污染源分析與珠寶業的寶石成分分析等。亦有部分移動型 X 光檢測儀用於爆裂物偵檢用途，常見之移動型 X 光檢測儀示於圖 4。

國內在重要港亦裝設有機動式貨櫃檢查 X 光機，其設置係針對進口貨櫃進行安檢，查緝貨櫃內潛藏之違禁物品，確保公共安全。

3. X 光管式靜電消除器

半導體與電子元件等在製造過程中會產生靜電的累積，累積的靜電可能改變半導體與電子元件的性能，使其功能降低或損壞。靜電也會擾亂電子設備的正常操作特性，引起設備故障或損壞。當半導體或電子元件在製造過程中導致靜電的產生與累積，會造成不可預料的缺陷並影響其產品之品質。以小型 X 光管取代放射性同位素做為靜電消除器，工作電壓僅約 10 kV 左右，使用時將更為安全。X 光管式靜電消除器具有不會產生粉塵、且斷電後即無輻射產生之優點，使用低能量 (10 kV 左右)

X 光，直接離子化帶靜電物體週遭的空氣，透過這些低能量 X 光產生的空氣離子和物體表面上的靜電荷中和，而將靜電消除。

4. X 光機之輻射安全與管制

一般非醫療用途櫃型 X 光機之基本防護要求如下：

- (1) 在控制處設有「開機後有 X 射線產生」的警告標誌。
- (2) 使用中在控制處有「X 射線開啟」指示燈會亮起。
- (3) 裝有安全連鎖裝置，開啟照射室門或設備防護罩時，將自動停止產生輻射。
- (4) 所有的門與可接近之表面均足以防護所產生之 X 射線。
- (5) 操作 X 光機人員應年滿 18 歲，並依法取得輻射防護訓練合格證明。
- (6) X 光機之設備每五年實施輻射安全測試，並留存紀錄備查。
- (7) 動物用 X 光照射時如需飼主協助固定動物，應提供適當防護配備（鉛衣、鉛手套等）。

桌上型之移動型 X 光檢測儀應比照櫃型 X 光機設置與屏蔽門連動的安全連鎖裝置，

以確保使用時人員之輻射安全。而手持式 X 光檢測儀因其使用時為開放射束，為避免因不慎操作，造成人員接受不必要的輻射曝露，故手持式 X 光檢測儀通常設計有下列輻射安全防護措施：

- (1) 使用前須輸入正確的密碼，否則 X 光檢測儀將會鎖住而無法啟動。且超過一定時間（通常為數分鐘）未使用，亦將自動鎖住無法照射。
- (2) 儀器前端設置有紅外線安全感應啟動裝置，當有物體（樣品）遮蔽所發射紅外線（通常感應距離只限制在幾公分之內），始能產生 X 光；否則將無法發射。
- (3) 當紅外線感應到物體（樣品）時，X 光檢測儀的警示燈將改變顏色（例如由綠色轉為紅色），表示此時儀器處於可使用狀態。
- (4) 當手持式 X 光檢測儀發射 X 光時，儀器上之照射警示燈將亮起。

行政院原子能委員會定期進行國內游離輻射源之抽樣現場訪查，藉以確保國內輻射作業之安全，並提升使用 X 光機業者輻射防護安全之認知，亦有助於提升輻防管制效能、降低輻射作業造成之風險。☢

圖 4. 移動型 X 光檢測儀：桌上型（左）、爆裂物偵檢用（中）、手持式 XRF（右）





原子能的用途超越發電： 非電力的應用領域

譯 編輯室

現今，「脫碳」創造出一個碳中和的全球性經濟，需要對所有大量依賴化石燃料的領域進行脫碳。這些包括加熱、需要燃燒和運輸的工業過程，尤其是重型產業、海運和空運。根據國際能源署 (IEA) 的數據，原子能產生約全球 10% 的電力，僅次於水力發電、成為世界第二大低碳電力來源。原子能也可用於非電力應用方面的脫碳。

什麼是非電力應用？

除了發電之外，還有許多應用可以使用原子能。這些需要熱能的應用包括海水淡化、製造氫、集中供熱和工業加熱流程（玻璃和水泥製程、金屬生產方面）、精煉和合成氣的生產方面。隨著全球社會努力實現氣候目標，擴大原子能在這些應用中的作用，可能是潔淨能源成功轉型的關鍵。

核電廠產生熱量用於製造蒸汽，進而驅動渦輪發電機。現有核電廠的運轉溫度可達到 300°C，而集中供熱和海水淡化過程需要約 150°C。根據設計，核電廠目前將 1/3 的熱量轉化為電能，主要是與材料特性和性能有關的技術因素。剩餘的熱量通常會釋放到環境中。

這些熱量如果不釋放到環境中，其實可用於加熱或冷卻，生產淡水、氫氣或其他產品（如石油或合成燃料）的能源。這些產品可以由現有的發電廠生產，稱為汽電共生。原子能汽電共生是同時生產電力和熱力或熱衍生產品。通過將熱量用於汽電共生，熱效率可提高達 80%。熱力學原理避免散逸的效率達到 100%。

原子能和製氫

氫可以在多個領域中取代化石燃料，而有可能在化學和工業過程、潔淨能源系統和交通運輸中實現零排放或近零排放。有幾種方法可以使用原子能作為電力和熱力來源，以高效地生產氫氣並且幾乎不排放二氧化碳。

原子能和集中供熱

集中供熱依靠集中式能源廠將熱量分配到住宅和商業建築。在原子能集中供熱中，核電廠產生的蒸汽用於加熱區域供熱網絡。這種做法已在多個國家實施，諸如保加利亞、中國、捷克、匈牙利、羅馬尼亞、俄羅斯、斯洛伐克、瑞士和烏克蘭。

原子能和海水淡化

海水淡化有助於滿足對飲用水日益增加

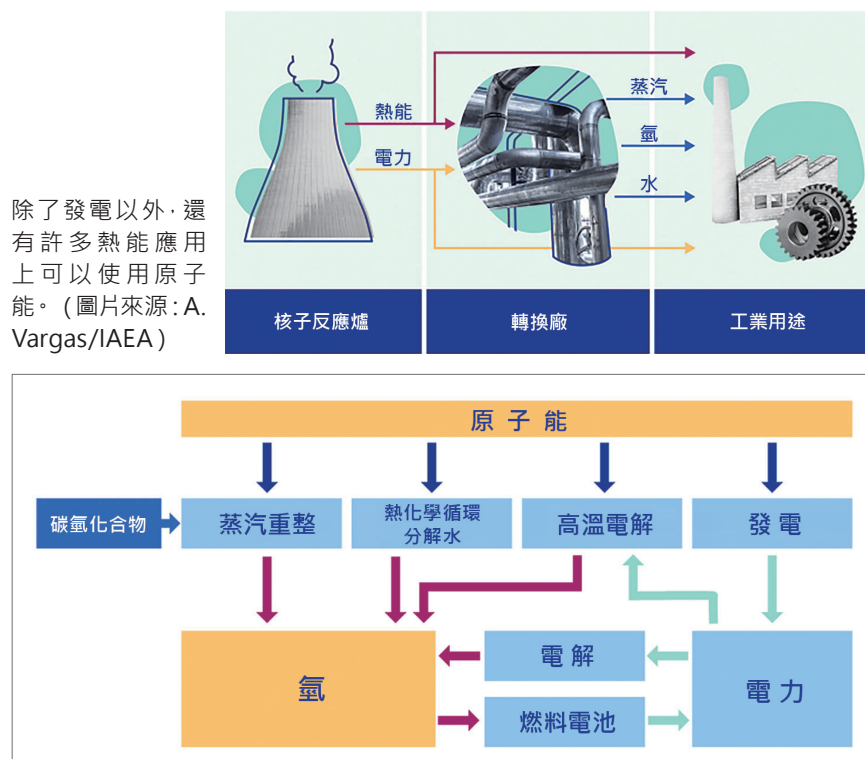
的需求，同時緩解許多乾旱或半乾旱沿海地區的水資源短缺問題。目前，使用的大部分能源來自化石燃料，運用原子能來淡化海水是一種低碳替代方案，是利用反應爐的熱量和電力。海水淡化技術可以與不同類型的核電廠相結合，同時生產水和電。

非電力應用的措施

儘管目前只有大約 1% 的原子能用於非電力應用，但世界各地都採取了一些措施，為更廣泛的採用原子能非電力應用做好準備。這包括美國於 2016 年發起的 H2-@-Scale 計畫（註），該計畫研究以原子能生產氫氣的方向。在加拿大，加拿大

核子實驗室 (CNL) 計畫啟動潔淨能源發展、創新與研究 (CEDIR) 園區，該園區將作為使用小型模組化反應爐 (SMRs) 的汽電共生應用的測試場地。而歐洲熱能市場在 250° -550° C 範圍內展現了超過 100 百萬瓩熱力 (GWth)，原子能有機會應對這一市場。波蘭原本 100% 依賴化石燃料來供熱；如今，部署原子能供熱已列入該國的發展戰略。

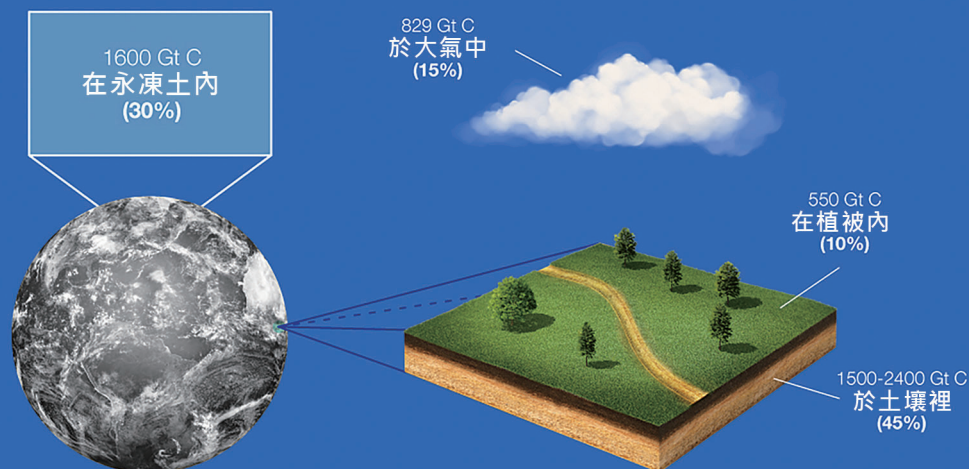
註：H2@Scale 是美國能源部 (DOE) 的一項措施，旨在將利益相關者聚集在一起，以推動負擔得起的氫生產、運輸、儲存和利用，從而賦予多個領域脫碳和收益機會。
（資料來源：美國能源部 (DOE) 網站）



資料來源：<https://www.iaea.org/newscenter/news/the-use-of-nuclear-power-beyond-generating-electricity-non-electric-applications>



碳在陸地生態系統中的分布



圖片來源: A. Vargas/IAEA

核技術如何減少 農業溫室氣體排放

譯 編輯室

農業是溫室氣體 (GHG) 排放的主要來源，很多是化肥過度使用的結果，而這實際上是可以解決的嗎？

農作物種植、牲畜飼養和其他形式的土地利用占人類溫室氣體排放量的 23%，因此作為溫室氣體排放者，農業僅次於能源生產。在核技術的幫助下，科學家可以測量化肥廠的使用量，並為農民提供最佳使用量。這項技術的實施已將研究所在地的排放量減少了 50% 以上。

該過程以及使用同位素和傳統技術測量

溫室氣體排放的其他方法，在一本關於測量農業溫室氣體排放和利用核技術與相關技術制訂緩解方案的新書中有描述。該書於今 (2021) 年年初出版，介紹了國際原子能總署 (IAEA) 自 2014 年以來與聯合國糧食與農業組織 (FAO) 和德國科學基金會研究單位農業土壤脫氮 (DASIM) 合作開展的協調研究項目的成果：各種規模的整體控制和建模。

這是第一次以統一和簡潔的方式出版一本關於這些不同方法的綜合書籍，供科學家、技術專家和業內人士使用。該書共有

8 章，涵蓋了農業溫室氣體排放的主題以及衡量這些排放的相關方法。其中包括非同位素和微氣象學方法、實驗室和現場技術，以及測量溫室氣體及其來源的同位素技術。該書介紹了測量牲畜產生的甲烷的方法，並討論減緩溫室氣體排放的氣候智能型農業實踐。

由於涉及許多微生物過程，農業產生的溫室氣體排放多種多樣。核技術可以確定觸發溫室氣體排放的來源和過程。本書的第一作者、糧農組織與國際原子能總署糧食暨農業核技術聯合中心的土壤科學家兼植物營養學家 Mohammad Zaman 表示：「這就是為什麼一個國家必須進行精確測量才能報告其排放量，然後採取行動降低排放量。」

使用氣候智能型農業實踐應對氣候變化

土壤是最大的碳源，儲存了全球 45% 的碳儲量（見左頁上圖）。

然而，土壤可以在碳封存的過程中儲存更多的碳，這種方法在減少大氣中的溫室氣體數量方面具有巨大潛力。植物通過光合作用，從大氣中捕獲二氧化碳轉化為碳的形式，最終在植物分解後儲存在土壤中。Zaman 表示，更高的碳含量將使土壤更能抵禦氣候變化的負面影響，提高其肥力，這將有助於提高作物產量和農民收入：「如果我們能夠利用碳封存，這將是同時提高土壤肥力、環境和糧食安全的雙贏局面，這種包括碳封存在內的氣候智能型農業實踐，正在阿根廷、巴西、印度、印尼、肯亞、

烏拉圭、蒲隆地、中非共和國、寮國和哥斯達黎加等國獲得動力。」

將理論付諸實踐

書中並提供了有關如何實施所討論方法的實用解決方案，使用高科技和低技術方法來獲得具體收益。Zaman 表示：「同位素技術為土地管理提供更好的數據和資訊，為了從科學轉向實踐，原子能總署和糧農組織正在為從事溫室氣體測量工作的技術人員設計 SOP，並為農民設計氣候智能型農業實踐手冊，這些手冊將出版多種語言。由於這種做法意味著更高的產量、更低的化肥費用並最終為農民帶來更高的收入，這對農民和環境都是有益的。」



圖片來源：M. Zaman/IAEA

資料來源：

<https://www.iaea.org/newscenter/news/how-nuclear-technologies-can-help-reduce-greenhouse-gas-emissions-in-agriculture-new-publication>



輻射誘導的作物多樣性和 加速品種發展

譯 編輯室

國際原子能總署 (IAEA) 正在啟動一項關於輻射誘發作物多樣性和遺傳關聯的新協調研究計畫 (CRP)。

70 年來，在農藝學上合理的遺傳背景下，誘導遺傳多樣性和對農民偏好性狀有希望突變的育種，為全球作物改良鋪平道路。突變品種數據庫中有來自 70 多個國家的 220 多個植物物種的 3,300 多個突變品種，證明了這一點。

誘導突變強化了植物種資料庫並加快遺傳增益，尤其是在遺傳基礎不足的情況下。因此，突變育種有可能促進比傳統育種更大的遺傳效益。這一優勢與新興的高效精確選擇前端技術相結合，既可以加快作物改良的步伐，又可以提高遺傳增益率。

國際原子能總署植物育種與遺傳科科長 Shoba Sivasankar 表示：「迄今為止，突變育種主要依賴加馬 (r) 射線，至少在一些

國家越來越多地使用，儘管這些不同來源對植物基因組的影響仍有待系統評估。」

CRP 旨在解決突變育種領域 3 個重要的新興趨勢和需求：(1) 更新的誘變劑來源；(2) 為標記輔助育種、基因編輯和潛在的基因組選擇建立遺傳協會；(3) 用於性狀分析的生物資訊學平台和計算工具。

CRP 整體目標

加強國際原子能總署及其成員國開發和測試突變誘導、基因組學和大數據等新興技術的能力，以促進作物品種的加速開發，促進糧食安全和適應氣候變化。

CRP 具體目標

評估農牧綜合系統 (ICLS) 在提高土壤肥沃度和土壤固碳，以提高土壤對氣候變化的復原力、減少溫室氣體排放，以及加強在使用同位素技術的能力方面的潛在益處。

CRP 成功案例：優化農牧綜合生產系統中的土壤、水和養分利用效率

核技術在 ICLS 的評估和開發中發揮重要的作用，能夠精確評估 ICLS 對土壤養分貯存、土壤品質和健康程度，以及作物和牲畜生產力的影響。核技術無論是對土壤碳貯存的影響，還是對氣候相關溫

室氣體釋放過程的影響，都是用於評估 ICLS 實踐的最佳選擇之一。

極端氣候條件因氣候變化、單一栽培等不良耕作方式、收穫後焚燒作物殘留物和過度耕作而加劇，除非流失的養分能得到補充，否則會導致土壤肥沃度下降和作物生產力的損失。ICLS 是良好的土壤管理系統，將必需的植物養分用於增強土壤肥沃度和碳貯存的最有效做法之一。與連續種植 (CC) 系統相比 -- 農民在同一塊土地上種植類似作物，綜合種植 - 畜牧系統可以提高土壤肥沃度和作物生產力，減少對合成肥料的需求，並有助於減少溫室氣體排放。

阿根廷、巴西、中國、印度、印尼、肯亞、烏干達和烏拉圭等 8 個國家參加了本次 CRP。其中阿根廷、巴西、印度、印尼、肯亞、烏干達和烏拉圭在土壤肥沃度、固碳、提高作物和牲畜生產力以及減少溫室氣體排放方面獲得顯著改善。在阿根廷，與 CC 系統相比，ICLS 中儲存的碳多了 50%。巴西採用 ICLS 後，溫室氣體排放量減少 45%。與 CC 系統相比，中國在 ICLS 中的土壤侵蝕度降低了 31% 至 97%。在印度，ICLS 將牲畜繁殖能力和動物體重提高了 15%。

資料來源：

1. <https://www.iaea.org/newscenter/news/new-crp-radiation-induced-crop-diversity-and-genetic-associations-for-accelerating-variety-development-d24015>
2. <https://www.iaea.org/newscenter/news/crp-success-story-optimizing-soil-water-and-nutrient-use-efficiency-in-integrated-cropping-livestock-production-systems-d12012>



我們的身體具有放射性嗎？（上）



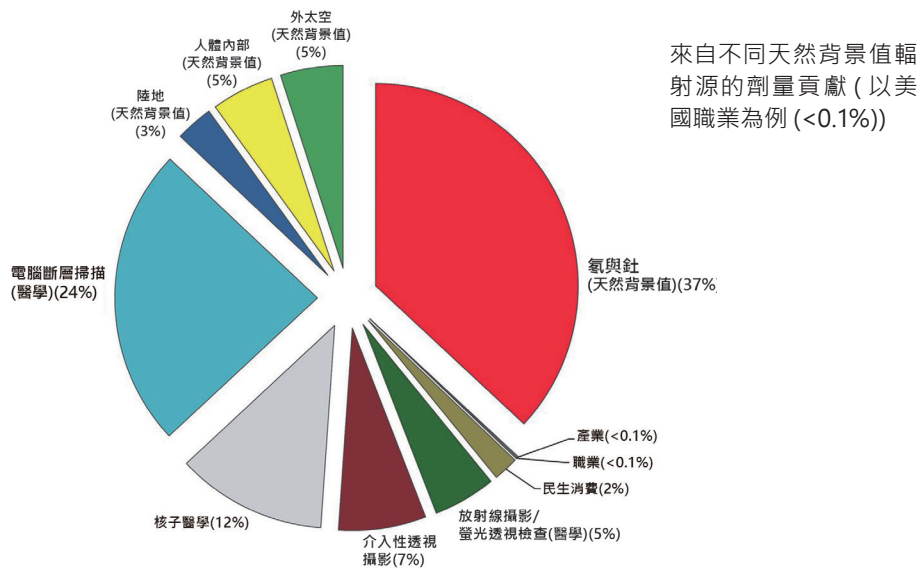
我們的身體具有放射性嗎？

是的，我們的身體是生來就具有放射性的，因為我們自環境中天然存在的各種物質中攝取吃的、喝的及呼吸的，就含有放射性物質。而這些放射性物質被我們的身體攝取進入我們的組織、器官與骨骼中，並且固定地持續經由食入與呼吸來補充。

出現在我們身體內的放射性核種中，男性平均每年接受有效劑量約 0.3 毫西弗 (mSv)，這大約是平均體重 70 公斤的男性，接受所有天然背景輻射源 (不包括醫用輻射源) 造成劑量 3.1 毫西弗的 1/10 (或是 10%)；而對於女性與小孩，劑量會較小，約與其體重成比例。

更多的資訊，可由 NCRP-160 報告「美國民眾的游離輻射曝露」中取得。

NCRP-160 報告中有一張圓餅圖 (下圖)，顯示了來自不同天然背景輻射源的劑量貢獻；其中來自我們身體的貢獻，可將來自鉀-40 及鈾、鈾及其衰變子核的劑量相加，即可獲得，下文中將有更多的討論。



有多少的輻射由人體發射出來？

我們所有人，都有一些天然放射性核種在我們的身體裡；最主要會產生加馬 (γ) 輻射 (從身體散逸出來) 的是放射性鉀同位素，稱為鉀-40；這個放射性核種自從地球誕生之初，即充滿著每個角落，並已經是天然鉀元素中的一小部分。

基於兩個理由，鉀-40 是來自身體的主要輻射源：

第一、鉀-40 在身體內的濃度是有點高，鉀可藉由許多我們食用的食物中攝入，並且是人體能否適當運作的關鍵重要元素；它會在身體內所有組織中出現。在一位 70 公斤重的人體內，其放射性同位素鉀-40，大約有 5,000 貝克；這代表著每秒有 5,000 個鉀-40 原子在進行放射性衰變。

第二、鉀-40 在其衰變過程中有超過 10% 會發射加馬射線，而大多數加馬射線會散逸出身體。每 10 次鉀-40 衰變就會約有一次發射加馬射線，也就是每秒約有 500 個加馬射線。這些加馬射線將會朝各方向移動，有些將在人體內衰減，而來自這些個人身體外的加馬射線產生的劑量率，僅占來自所有身體外天然正常背景劑量率非常小的部分。

若某人體重超過平均值，其身體外的劑量率預期將比體重輕的人來得高；然而，在這兩種案例中，劑量率與正常背景劑量率比較起來差異非常地小。另外，體重較重的人將接受較高的體內劑量，因為鉀-40 的衰變產生其他低穿透輻射（貝他（ β ）輻射），將其能量積存於身體內。然而，體重較重者的劑量其實不會比體重輕的人有顯著的不同，因為每單位體重的能量積存是決定劑量的因數，而這兩種人大約是相同的。

有許多其他在人體內的放射性核種，但這些不是較鉀-40 出現低水平（如鈾-238、釷-232 與它們的衰變產物），就是它們不發射能穿透自身體內而散逸出體外的加馬射線（如碳-14 與銣-87）。

其他有一個非常次要的機制，就是藉由人體作為輻射源：一些由環境中放射性核種發射的加馬射線，與我們身體的原子藉由大家所知的光電效應交互作用；結果是這些原子會發射 X 射線。



在典型的人身體內有多少鉀-40 與碳-14？

鉀-40 在人體內的含量，能由其在鉀的天然豐度為 0.0117% 求得，鉀-40 的原子量為 39.0983，半化期為 1.28×10^9 年；其計算方式如下說明：

一 特定物質的活度除以其質量，是為比活度 (A_s)；其公式為 $A_s = \lambda N = [0.693 / (t_{1/2})] N$ ，式中 $t_{1/2}$ 為衰變常數， N 為單位質量中放射原子的數目。因為 $N = 6.023 \times 10^{23}$ 個原子 / 原子質量，所以， $A_s =$

$$[0.693/1.28 \times 10^9 \times 365 \times 86,400 (\text{秒})] \cdot [(6.023 \times 10^{23} \times 0.000117)/39.0983] = 30.94 \text{Bqg}^{-1}。$$

人體內含鉀為 0.2%，所以，對體重 70 公斤重的人而言，鉀 -40 大約為： $30.94 \text{Bqg}^{-1} \times 70 \text{kg} \times 1,000 \text{g/kg} \times 0.2\% = 4.33 \text{kBq}$ 。人體內含碳 -14 是根據天然中每 1,000,000,000,000 個碳 -12 存在一個碳 -14，其半化期為 5,730 年，可得碳的比活度為 0.19Bqg^{-1} 。人體的碳含量有 23%，則 70 公斤重的人約含有 3kBq 的碳 -14。



在典型的人身體內有多少鈾 -210 與鉛 -210？

根據聯合國原子輻射效應科學委員會 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) 1982 年報告：「游離輻射：射源與生物效應」，人體內 70% 的鈾 -210 存在骨骼中，UNSCEAR 報告估計典型的鈾 -210 在骨骼內的濃度為 3Bqkg^{-1} ，相當於一位體重 70 公斤的人骨骼活度總量為 15Bq。其他約 30% 6.4Bq 的鈾 -210 在身體內，大概是平均分布在軟組織中；所以，鈾 -210 在身體內的總量為 21.4Bq。

UNSCEAR 報告假設在骨骼內的鈾 -210 濃度為鉛 -210 濃度的 80%。UNSCEAR 報告估計鈾 -210 在軟組織內的濃度為 2.4Bqkg^{-1} ，則對於 70 公斤重的人骨骼裡的總鈾 -210 活度為 12Bq。而在軟組織，UNSCEAR 報告估計鈾 -210 與鉛 -210 間為 1 比 1，因此，鈾 -210 在軟組織內的活度為 6.4Bq；所以，鈾 -210 在身體內的總量為 18.4Bq。

預期鈾 -210 與鉛 -210 的水平，對女性而言，較男性為低；且小孩也較成人低。但吸菸者則較非吸菸者的濃度為高。

資料來源：美洲保健物理學會 (HPS) 台灣總會提供

IAEA 監測福島第一核電廠排放水的安全

譯 編輯室

今 (2021) 年 4 月，日本宣布將福島第一核電廠處理過的水排放入海，並請求國際原子能總署 (IAEA) 提供協助，以確保排放水符合國際安全標準。國際原子能總署的安全標準是保護人類和環境的全球參照標準，有助於在全世界實現統一的高標準安全。國際原子能總署 7 月時與日本商定了該專案的工作範圍，成立國際原子能總署排放水工作組，其中包括來自成員國的國際權威專家，以監督技術協助並審查相關計畫和行動。

國際原子能總署與日本商定排放安全審查時間表

國際原子能總署和日本政府議定工作組初步執行時間表和其他安排，以開始對福島第一核電廠計畫排放處理水安全的審查和監測。日本預計在 2023 年開始排放處理過的水。

根據國際原子能總署的承諾，在排放前、中、後都將提供協助，會進行一系列技術性現場審查籌備工作組的訪問。國際原子能總署的水處置特別工作組將在未來

幾週內開會進行這類審查的籌備工作。

由國際原子能總署副總幹事兼核安全與安保部部長 Lydie Evrard 率隊的一個國際原子能總署小組在 9 月 7 日至 9 日訪日期間，正式啟動審查過程，並商定時間表、每次工作組訪問的初步範圍和其他細節。目的是在 2023 年開始排放經處理的水之前、期間和之後向日本提供支援。

工作組與日本官員在東京會面，然後到福島第一核電廠，與各位專家在現場討論技術細節，並觀察國際原子能總署審查相關重要活動和場所。

國際原子能總署總幹事 Rafael Mariano Grossi 說：「我對日本邀請國際原子能總署在今年年底前進行第一次技術審查表示歡迎。透過這個邀請，日本表明了支持國際原子能總署在整個處理水排放作業中的重要性。」

國際原子能總署小組會見了日本外務省、經濟貿易與產業省和原子力規制委員會的高級官員。他們商定了國際原子能總



國際原子能總署總幹事 Rafael Mariano Grossi 和 日本官員 Hiroshi Kajiyama 在維也納國際原子能總署會談 (圖片來源: Dean Calma - IAEA)

署審查的 3 個主要部分：安全相關方面、監管活動、環境監測。國際原子能總署對日本的協助將包括審查和監測，以確認未來幾十年的排水作業符合國際安全標準。此一審查將特別針對日本提交的材料和對現場技術性工作組的訪談。

國際原子能總署小組還於 9 月 8 日前往福島第一核電廠，觀察現場活動和訪談將在審查計畫中出現的關鍵場所，獲得對整體局勢的最新瞭解。

「考慮到技術特性、排放的持續時間以及此計畫將受到的國際、區域關注和審查的程度，這將是國際原子能總署的第一個此類專案。」副總幹事 Evrard 說。「我們的主要目標是從安全和透明度的角度審查專案的實施情況。我們將確保審查是全面和客觀的，並將結果清楚地傳達給國際社會。我們的訪問和本週的會議非常富有成效，並證實了各方都承諾並致力於開展這種工作組訪問。」

自 2011 年以來，國際原子能總署持續提供技術協助，以支援日本在福島第一核

電廠在輻射監測、補救、廢棄物管理和除役等領域所作的努力。

國際特別工作組第一次會議

特別工作組於 9 月底舉行了第一次會議，邀請來自世界各地的知名獨立專家參與會議。特別工作組的成員如下：來自國際原子能總署各部門和實驗室的工作人員，以及 11 名來自阿根廷、澳洲、加拿大、中國、法國、馬紹爾群島、南韓、俄羅斯、英國、美國和越南，都是國際公認具有各種背景的專家。

特別工作組成員不以國家身份工作，而是由國際原子能總署管理並向總幹事報告的一個國際團隊進行工作。總幹事 Grossi 在國際原子能總署總部維也納舉行的為期 3 天的會議上致詞時強調，特別工作組這份工作的「巨大重要性」，並表示，其成員都是核安全和輻射防護領域的世界頂尖科學家和專家。

特別工作組將證明，他們的審查是以客觀、可信和基於科學的方式進行，有助於



在福島第一核電廠附近採集海水樣本 (圖片來源: IAEA)

向日本國內、外的民眾傳遞透明和可信的資訊。Grossi 在特別工作組成立會議上表示：「我希望確保國際原子能總署不僅擁有最優秀的專家，還擁有來自該地區 / 國家專家的專業知識。」

在會議中，特別工作組將討論國際原子能總署今後幾年審查工作的內容、結構和時間表，以及必須評定的關鍵技術要素，並將收到日本政府的詳細技術簡報。

專家小組採集福島海域樣本

國際原子能總署專家小組於 11 月 9 日至 12 日訪問日本，採集了福島縣沿海水域的海水、海洋沉積物和漁業產品的樣本。目的是為日本實驗室展開放射性資料收集與分析的品質保證提供支援，該實驗室參與了一項 2014 年啟動的專案。

國際原子能總署國際同行審查工作組這次的訪問，是 2014 年以來國際原子能總署的第 11 次訪問，採集了東京電力公司福島第一核電廠周圍的海洋樣本，以用於放射性分析的實驗室之間的比對。這次

訪問是審查「東京電力公司福島第一核電廠 1 號至 4 號機組除役中長期規劃」中，2013 年報告中提出的海洋監測建議的持續性後續活動。

由摩納哥國際原子能總署環境實驗室的兩名工作人員以及來自測量環境放射性分析實驗室工作網的 3 名專家組成這次的工作組。除了採集福島第一核電廠附近的海水和海洋沉積物，他們還觀察了在福島縣魚市場進行的魚類取樣。

這項計畫迄今已完成兩個階段：

第一階段對 2014 年至 2016 年展開的 6 次實驗室間比對和取樣任務進行審查。2017 年 7 月報告的結論認為，日本實驗室分析福島第一核電廠附近海水、海洋沉積物和魚類樣本所得出的資料是可靠的。

第二階段對 2017 年至 2021 年展開的 4 次實驗室間比對和取樣任務進行審查。初步報告認為，日本實驗室產生的資料同樣可靠，這顯示出他們持續保持了很高的精確度和專業水準。



福島第一核電廠的處理水貯存桶 (圖片來源：東京電力公司)

Grossi 表示：「國際原子能總署將協助日本確保未來幾十年的排水整體作業，是以符合國際安全標準的方式進行。在訪問期間，工作組將討論我們的審查工作、特別是廠址內審查的時間表，確保排放將以安全透明的方式進行。」

日本政府請求國際原子能總署提供協助，確保所排放的水符合國際安全標準。這些安全標準是保護人類與環境的全球性參照值，有助於實現全球統一的高標準安全。

副總幹事 Evrard 說，「國際原子能總署的審查將調集具有不同背景和廣泛經驗的資深專家，及時向國家和國際利害關係者提供排放水安全方面的綜合資訊。這將有助於提高透明度，並促進建立公眾對排放水安全的信心。」

這支工作團隊，由國際原子能總署協調辦公室主任主持計畫，負責監督技術協助計畫並審查和經處理的水排放有關的項目和行動。包括：

- 福島第一核電廠排放水的放射性特徵。

- 排水過程的安全相關問題及其規劃。
- 評估與保護人類和環境有關的放射性環境影響。
- 批准、視察和審查及評定等監管控制。
- 排放相關的環境監測。

資料來源：

1. <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-experts-to-collect-seawater-marine-sediment-and-fish-samples-near-fukushima-daiichi-nuclear-power-station-1>
2. <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-holds-first-meeting-of-international-task-force-set-up-to-review-safety-of-fukushima-treated-water-release>
3. <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-japan-agree-on-timeline-for-safety-review-of-water-release-at-fukushima-daiichi>

2021 年迄今為止最大的 5 件 太陽能風險投資交易案

譯 編輯室

根據美通資本集團 (Mercom Capital Group) 的最新分析，直至 2021 年第三季度為止，太陽能產業的企業融資—包括風險投資、公開市場和債務融資—在全球增長了 190%。該報告詳細列出了 2021 年前 9 個月的 112 筆交易，整體企業資金總值約為 6,357 億新台幣。去年同期有 72 筆交易，整體企業資金總值為 2,203 億新台幣。

Mercom Capital Group 執行長 Raj Prabhu 表示：「這將成為自 2010 年以來太陽能融資最好的年份之一，隨著全球能源轉型的步伐加快，太陽能—其中一種發展成熟的可再生能源—受益匪淺。2021 年前 9 個月的太陽能計畫收購已經超過了 2020 年全年。」

全球太陽能風險投資在第三季度略有下降，但逐年同比增長 224%，涵蓋 13 筆交易，總額為 165 億新台幣。

直至 2021 年第三季度為止，5 件最大的 太陽能風險投資交易案

1. Loanpal 約 223 億新台幣

2. Aurora Solar 約 69.7 億新台幣

3. Nexamp 約 66.9 億新台幣

4. Intersect Power 約 35.4 億新台幣

5. Fourth Partner Energy 約 34.9 億新台幣

太陽能產業的公開市場融資在 2021 年前 9 個月也有所增加：涵蓋 23 筆交易為約 1,756.4 億新台幣，相比去年同期為 10 筆交易、總額約 557.6 億新台幣。根據 Mercom Capital Group 的數據，2021 年 9 個月內宣布了 7 件 IPO 和 SPAC 的交易 (註)。

註：IPO(Initial Public Offering)：首次公開募股。SPAC(Special Purpose Acquisition Company)：特殊目的收購公司。

資料來源：

John Engel · RenewableEnergyWorld <https://www.renewableenergyworld.com/solar/5-largest-solar-vc-deals-so-far-in-2021/>

大氣科學家合作透過更好的 浮標改善海上風力研究

譯 編輯室

由奧爾巴尼大學 (Albany) 大氣科學研究中心 (ASRC) 的研究人員領導的一項新合作項目，可能很快就會提供一種新方法來利用風力這種大量可再生能源。

該項目與美國能源部太平洋西北國家實驗室 (PNNL) 合作，並獲得美國能源部 50 萬美元的經費支持，為設計、安裝和部署一個浮標的通量測量系統。該系統將與美國能源部現有的浮動雷達浮標 (floating lidar buoys) 結合。該技術監測開放水域上的氣海相互作用 (air-sea interactions)，為離岸風況提供有價值的建議，並改進決策預測模型。

帶領 PNNL 風能計畫的 Will Shaw 表示：「維繫風能的浮標一般沒有能力直接測量大氣和海洋之間的亂流能量交換 (turbulent exchange of energy)，然而，這一資訊對於提高風能燃料模型的準確性以供給離岸風電產能來說至關重要。」

ASRC 研究助理和該項目聯合負責人 Jeff Freedman 表示：「我們相信隨著美國離岸風電市場的快速增長，這新穎且最先進的系統將促進浮標的測量能更廣泛地被運用。」

合作者

ASRC 研究人員與美國能源部、喬治湖杰斐遜項目 (The Jefferson Project at Lake George) 的同行，以及康乃爾大學和霍巴特與威廉史密斯學院 (Hobart and William Smith Colleges) 的研究人員一起開展該項目。

杰斐遜項目是 IBM 研究院、倫斯勒理工學院 (Rensselaer Polytechnic Institute) 和喬治湖基金 (The FUND for Lake George) 之間的合作—使用先進的科學和技術，包括監測、建模和實驗，以瞭解人類活動對淡水的影響。

杰斐遜項目的主管 Rick Relyea 表示：「杰斐遜項目團隊很高興與 ASRC 研究人員合作，以促進他們的研究，同時能獲得改進我們的天氣模型的關鍵數據，從而對整個地區的淡水湖泊進行持續的保護。」

資料來源：

1. <https://www.albany.edu/news-center/news/2021-ualbany-atmospheric-scientists-lead-doe-project-enhance-offshore-wind>
2. <https://www.adirondackexplorer.org/stories/renewable-energy-research-uses-lake-george-as-lab>

紐約宣布將研究綠氫 以實現脫碳的目標

譯 編輯室

紐約州州長 Andrew M. Cuomo 於今 (2021) 年 7 月初宣布，紐約計畫探索綠色氫的潛在作用，作為該州綜合脫碳戰略的一部分。為了支持這項研究綠色氫及其可能應用的努力，該州正在與國家可再生能源實驗室 (NREL) 合作，加入兩個以氫為重點的組織，為該州決策提供資訊，並為可能包括綠氫的長期持續能源儲存技術和示範計畫提供 1,250 萬美元的資金。

州長 Cuomo 在一份新聞稿中表示：「紐約在保護環境和應對氣候變化方面處於領先地位，我們正在進行的努力有部分是為了向其他州和國家樹立榜樣。在我們向潔淨能源經濟轉型的過程中，正在探索各種可用資源，將其作為應對氣候變化的潛在工具，並記錄下發現的內容，成為更廣泛的國家和全球對話的一部分，以便為所有人建設更光明、更綠色的未來。」

綠氫是用風能、太陽能和水力發電等可再生能源所生產的氫，具有可使經濟中艱困項目達成脫碳目標的潛力。紐約州能源研究與發展局 (NYSERDA) 致力於評估

在紐約整個經濟脫碳工作中綠氫的潛在作用，NYSERDA 正在領導一項全面的利害關係人參與作業，以獲取和分享對支持該資源的知識和理解、可以在多個項目中實現氣候領導和社區保護法案的目標。

利害關係人於 2020 年 12 月由 NYSEDA 和紐約州環境保護部共同主辦的《深度脫碳研討會》開始參與。更全面和持續的方法將從今年秋季舉辦的額外研討會和聆聽會議開始。該會議將用於幫助 NYSEDA 瞭解如何擴大利害關係人的參與，以確保對所有項目中，產生和利用綠氫的途徑、機會和挑戰進行額外的評估，包括考量所有利害關係人的觀點，如環境正義組織和社群。

紐約州為研究和瞭解綠氫在實現氣候法案目標方面可能發揮的潛在作用，運用的方法包括：

一、**紐約氫戰略研究**—NYSEDA 和 NREL 將以彙整基礎性的基線資訊和數據作為研究，將讓紐約在圍繞綠氫的作用話題上進行健全的討論和對話。這項研究將



(圖片來源: Renewable Energy World)

側重於綠氫的機會，使該州的氫戰略與到 2030 年實現 70% 可再生電力和到 2040 年實現 100% 零排放電力的現有要求保持一致。

二、紐約電力局 NYPA 綠氫示範項目——首創示範項目將調查用可再生氫替代部分天然氣的潛力，該天然氣用於在長島的 NYPA 布倫特伍德 (Brentwood) 發電廠發電。研究團隊將定期評估以不同濃度與天然氣混合的氫氣，並評估混合後對減少溫室氣體排放及整體系統和環境（包括氮氧化物排放）的影響。該項目將於 2021 年秋季開始，預計將持續 6-8 週。

長期儲能計畫

最後，NYSERDA 將通過可再生優化和儲能創新計畫提供高達 1,250 萬美元的資金，鼓勵持續時間超過 6 小時的儲能產品開發和示範項目，也稱為 LDES。計畫內容應推進、開發或現場測試氫、電、化學、機械或熱電儲存技術，以解決紐約州的成本、性能和可再生的整體挑戰。提交的內容必須僅包括尚未商業化的創新型長期儲能技術。獎項將授予以下項目類別：早期研究、產品開發、多階段、示範項目和聯邦成本分攤。到 2022 年 6 月前，將分三輪接受提案。



資料來源：
<https://www.renewableenergyworld.com/hydrogen/new-york-announces-initiatives-to-explore-green-hydrogen-for-decarbonization/>



國外新聞

英國塞拉菲爾德成功拆除煙囪頂部的巨大擴散器

巨大的擴散器讓 125 公尺高的煙囪有個頭重腳輕的獨特外觀，拆除工作耗時 3 年，消除了煙囪與地震相關的風險。Sellafield Ltd 項目經理 Geoff Carver 表示：「消除地震風險是一項巨大的成就，這證明了我們為後代子孫提供潔淨和安全環境的目標所取得的進展，許多人為此做出貢獻。這項工作極具挑戰性，其中大部分是在 COVID-19 大流行期間進行的。」

擴散器必須在距地面 100 多公尺的原位進行切割，然後將各部分單獨運送到地面。清除整個方塊需要 200 次移動。現在正在進行拆除金屬框架平台並減少檢修井的工作。一旦這項工作完成，將達到一個關鍵的里程碑。在此之後，將開始拆除煙囪。

拆除擴散器工作於 2018 年 12 月開始，2019 年 1 月拆除了第一塊，從煙囪頂部共拆除了 226 塊，每塊重 2-9 噸，總重量

為 1,232 噸。拆除工作由 54 人組成，其中 39 人來自 ADAPT 及其分包商，15 人來自 Sellafield Ltd。

擴散器結構的部分已經使用鑽石線鋸以機器切割，這些切割塊從頂部移除，並使用塔式起重機降到地面的管制區域中。然後，這些石塊被修復並轉移到 Sellafield 廠區的包裝站，在那裡使用 Goliath 起重機將石塊運送到臨時儲存處，然後再進行處置。

NEI Magazine, 11/17/2021

加拿大低放長期貯存設施完工

拿大核子實驗室 (CNL) 宣布，已經將加拿大歷史悠久的鐳和鈾精煉作業中的低放射性廢棄物運送到新的長期貯存設施。2016 年開始的「格蘭比港 (Port Granby) 廢棄物長期管理設施計畫」在土丘封頂和關閉後完成。

這項計畫是將約 130 萬噸受污染的土壤和工業廢棄物從位於克拉靈頓東南部安大略湖海岸線的舊儲存場轉移到新設施，

在那裡維護和監測將持續到很久的未來。CNL 表示，工程儲存土墩的封頂和關閉是格蘭比港社區和希望港區倡議 (PHAI) 的一個重要里程碑，格蘭比港項目是其中的一部分。這也標誌著項目過渡到第 3 階段，即長期監測和維護。CNL 總裁兼執行長 Joe McBrearty 說：「CNL 代表加拿大原子能公司清理和安全管理這些歷史性廢棄物，這是我們非常重視的責任。為了實現此一目標，CNL 正在應用經過驗證的工程抑制方法，這些方法已在國際上使用，可解決具有挑戰性的環境問題，例如格蘭比港的清理工作。」

這些歷史廢棄物來自前皇家企業 Eldorado 核能公司及其民營部門前身的鐳和鈾提煉業務，這些業務從 1930 年代到 1988 年期間，廢棄物被掩埋在格蘭比港廢棄物管理舊址、17 公頃大的兩個峽谷和 76 個壕溝中。然而，這裡的地形一沿著後退的海岸線，有侵蝕的懸崖和多孔的沙質土壤，不適合長期儲存廢棄物。

格蘭比港儲存場的建造始於 2016 年，設置多重基線和掩埋系統，以安全地將廢棄物與環境隔離開來。CNL 表示，歷史廢棄物的挖掘和運送於 2020 年 11 月完成。土丘內和設施周邊的專用系統可在未來數百年內維護和監測設施的安全和性能。

PHAI 成立於 2001 年，是加拿大政府承諾與希望港區當地政府合作開發低放歷史廢棄物安全、長期管理的解決方案。CNL 代表加拿大原子能公司通過其歷史廢棄物計畫實施 PHAI。

WNN, 11/08/2021

美國能源部將 Oakridge 除污合約交與 UCOR

美國能源部 (DOE) 的環境管理辦公室 (EM) 於 10 月 26 日將橡樹嶺保護區除污合約 (ORRCC) 交與聯合除污橡樹嶺 (UCOR) 公司，合約範圍位於田納西州橡樹嶺的橡樹嶺保護區 (ORR)。

在 10 年的訂購期內，預計合約上限約為 83 億美元的 IDIQ 合約，ORRCC 承包商將負責在 ORR 進行環境除污，其中包括 Y-12 國家安全綜合體、橡樹嶺國家實驗室 (ORNL) 和東田納西科技園區 (ETTP)。ORRCC 承包商將負責 ETTP 的除污和補救措施；清理 ORNL 和 Y-12 的剩餘設施；新的現場處置設施環境管理處置設施 (EMDF) 的設計、建造和營運；多個 EM 營運與非營運設施的活動與監視和維護；以及中央和項目服務的核心功能。

此次採購以全面公開的方式進行競爭，EM 收到了 5 份提案。此次收購產生的新合約將取代 URS/CH2M Oak Ridge 的 ETTP 合約。目前的合約將於 2022 年 1 月 31 日到期，但包括一個額外的 6 個月選擇期，可以將其延長至 2022 年 7 月 31 日。

美國能源部表示，其戰略目標之一是應對美國曼哈頓計畫和冷戰遺產的除污挑戰。為實現這一目標，EM 必須通過加速清理高風險地區來減少其環境責任，進而降低風險並將土地歸還以供未來預期的用途。這一目標必須以保護人類健康和環境的方式實現。該合約最終狀態的目標是在 10 年的訂購期內，以對美國納稅人的最佳價值

來完成大量的環境清理，在完成 ORR 的 DOE-EM 任務方面取得可衡量的結果。

NEI Magazine, 10/29/2021

德國 Bilfinger 公司從 Asse 鹽礦回收放射性廢棄物

德國的 Bilfinger 公司表示，代表聯邦最終儲存協會 (BGE) 的一個專家小組正在開發特殊設備，利用這些設備可以安全地從礦山中回收含有中低放射性的數千桶廢棄物。然後將根據當前的技術和法規處理廢棄物桶。合約期限約為 4 年，包括可遠端操作的特殊機器與工具的設計和測試。

Bilfinger 的臨時執行長兼財務長 Christina Johansson 表示：「憑藉著我們在處理放射性廢棄物方面數十年的經驗，以及我們量身定製的解決方案，幫助聯邦最終儲存協會實施了一個可靠的流程，以從 Asse II 礦山安全回收放射性廢棄物。作為核工業的長期合作夥伴，我們涵蓋了核設施的整個生命週期：從新建到現代化，再到拆除和廢棄物處置。」

Würzburg 子公司 Bilfinger Noell 的團隊將與採礦專家和 Thyssen Schachtbau 子公司 OLKO-Maschinentechnik GmbH 共同開發和製造特殊的機器原型，利用這些原型可以遠端回收金屬桶中儲存的放射性廢棄物並進行清除。因為一些桶裡已經充滿了鹽，因此回收工作特別艱鉅。除了核子部門的嚴格要求外，採礦業的特殊要求也需一併適用，所以對設備的安全性有特別高的要求。在 Bilfinger Noell 特殊工具的幫助下，這些金屬桶後續將於 511 公尺和 725 公尺的深度安全回收。BGE 的 Asse 主管 Jens Köhler 表示「從廢棄鹽

礦中回收放射性廢棄物，在世界上是獨一無二的，我們很高興 Bilfinger Noell GmbH 在這個技術要求非常高的項目中站在我們這邊。」

Asse II 礦是布倫瑞克附近的一個舊鹽礦，在 1960 年代作為放射性廢棄物的儲存點進行測試。放射性廢棄物以數千個金屬桶分為 3 層儲存。將在未來幾十年內使用特殊機器進行回收，以處理當時儲存的放射性廢棄物，並根據當前的技術水平和法律狀況正確處置這些廢棄物。

NEI Magazine, 10/28/2021

KHNP 和 CNL 簽署用過核子燃料和除役的諒解備忘錄

韓國水力核電公司 (KHNP) 和加拿大核子實驗室 (CNL) 簽署了一份關於用過核子燃料領域技術合作的諒解備忘錄 (MOU)，以確保用過核子燃料乾式貯存和核電廠除役安全。

根據協議條款，這些組織將參與知識共享和其他聯合活動，以推動 CANDU 用過核子燃料的儲存、運輸和處置，並探索在除役和廢棄物管理倡議方面合作的機會。

CNL 總經理兼環境修復管理副總裁 Kristan Schruder 評論道：「CNL 和 KHNP 在推動與用過核子燃料管理和處置相關的研究方面有著共同的利益，因此這種夥伴關係將使兩個組織受益，而且我們希望能夠繼續加強這種合作，探索我們有共同利益的其他領域，包括除役和廢棄物管理技術的實踐。」

NEI Magazine, 10/19/2021

國內新聞

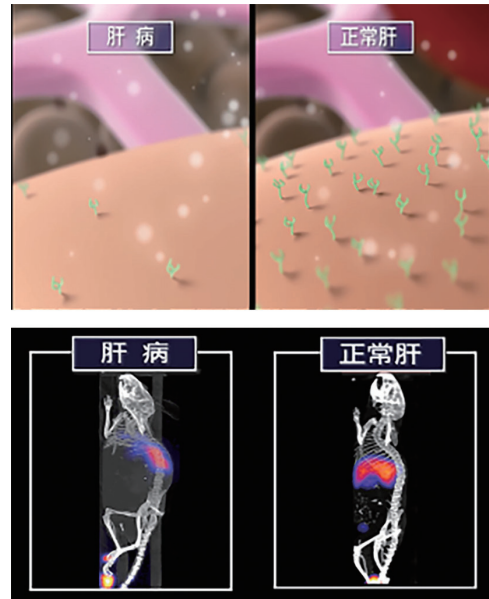
榮獲經濟部國家發明創作銀牌獎「核研多蕾克鎂肝功能造影劑」成為肝病精準醫療新利器

維持足夠肝功能，是肝病患者增加存活率的重要關鍵。由於肝臟實質細胞細胞膜表面的去唾液酸醣蛋白受體數量，在正常肝臟和肝病肝臟有很顯著的差異（右圖上），因此可透過去唾液酸醣蛋白受體造影術，靈敏的看出正常肝臟與肝病肝臟的造影差別（右圖下）。

「核研多蕾克鎂肝功能造影劑」是由核研所自主開發的全新藥劑，也是全球第一個肝標靶醣肽肝臟功能檢驗藥物。於 2021 年 5 月 17 日獲衛福部核准執行第二期臨床試驗，並於 2021 年 6 月 28 日獲長庚醫療財團法人人體試驗倫理委員會臨床試驗同意，將以切肝族群為受試者，與傳統的電腦斷層掃描體積測量及靛靛綠滯留測試進行比較，評估以鎂 68- 多蕾克鎂正子造影作為術前殘餘肝功能評估之準確度及可靠性。

對於肝癌治療族群，除切除手術外，尚有質子治療、栓塞、射頻燒灼、免疫治療、換肝等選擇，這些治療族群也有殘餘肝功能造影診斷之需求。核研所配合政府精準醫療政策，將積極與醫界合作，將肝功能造影劑應用眾多肝癌治療族群，以擴大「核研多蕾克鎂肝功能造影劑」應用廣度與市場價值。

本刊訊，09/08/2021



全國首座離岸風電併網基地 彰一開閉所啟用

台電自 2019 年起投入逾 20 億元打造全國首座專供離岸風電併網用的基地 - 彰一開閉所，提早半年上線，於 11 月 21 日正式啟用。彰一開閉所可協助彰化外海北側廊道離岸風電業者，將發出電力併入全國電網，彰一啟用後提供 150 萬瓩併網量，預計 2024 年可再增加 100 萬瓩併網容量，後續搭配預計 2025 年上線的彰工升壓站、永興開閉所，可提供彰化離岸風場 650 萬瓩併網需求。

本刊訊，11/21/2021



行政院非核家園推動專案小組於108年初起，透過「政大民主創新與治理中心」進行「核廢社會溝通」計畫。這兩年間以兩階段的溝通模式，進行國內外經驗文獻收集、核心利害關係人溝通、公共對話審議、全國民意調查、網路輿情分析和專屬網站建置，再將政府的核廢料議題資訊揭露、轉譯及擴散。

為了下一代，我們有責任共同面對核廢問題。因此，後續將推動下一階段的核廢料設施選址社會溝通計畫，以持續開啟公共對話，建立社會共識與信任。核廢社會溝通是長期且持續進行的工作，仍需要你我的積極參與及關注。



台灣電力公司
核廢有共識 子孫無煩惱



給核廢一個家臉書



核能後端營運網站

廣告