

# 核能簡訊

NUCLEAR  
NEWSLETTER

- 法國核電廠除役經驗
- 加拿大放射性廢棄物專責機構將開始高放最終處置場實地研究
- 比利時核能管制機構支持高放廢棄物深層地質處置
- 國際原子能總署啟用過核子燃料與放射性廢棄物資料庫
- 讓糖尿病患者免受扎針之苦——非侵入式血糖監測法
- 比利時核能管制機構支持高放廢棄物深層地質處置

## 輻射照射技術 助考古學家 保存文化遺產



### 編者的話

近年來，輻射照射技術的應用愈來愈廣泛，舉凡幫助延長食物的保存、古代文物與古蹟的修復與保存、殺蟲滅菌、農作物檢疫、醫學器材的消毒等等，皆大有成效。加馬射線是極高頻率的電磁輻射，它以高能量光子的形式發射，是一種具有波狀特性的基本粒子。藉由輻射照射技術處理文物的過程，與應用於醫療器械滅菌的過程相似；加馬射線是種游離輻射，可在室溫下抑制微生物的繁殖。高頻率、高能量電磁波與細胞的關鍵成分相互作用，可以改變 DNA，進而抑制細胞的繁殖。羅馬尼亞科學家定期使用加馬射線殺死細菌、昆蟲和真菌，藉由破壞「生物侵略者」來保存歷史文物。另外也輔以分析技術，協助木製教堂和古老書籍的滅菌，以及珠寶、紡織品與硬幣的特性分析。

本期「健康快遞」單元，介紹一種非游離輻射能量的運用，透過分析近紅外光遇到不同種類的分子，散射或折射所形成的拉曼光譜，應用於醫療相關檢測。麻省理工學院的雷射生物醫學研究中心近期的新研究發現，以近紅外光 60 度角照射到皮膚上，再以垂直於皮膚的光纖來收集拉曼光譜信號，即可以此非侵入性技術監測血糖。待此技術成熟，將是糖尿病患者的一大福音，患者不需再承受刺破手指獲取血滴的痛苦採血過程，只要透過皮膚直接觀察的方式，就可以得到來自人體組織的葡萄糖訊號。

根據國際放射防護委員會（ICRP）的規定，來自非背景輻射的游離輻射值，一般年人劑量規定不超過 1 毫西弗（1mSv/yr）；由此數據推算，一天可接受的輻射劑量為 0.0027 毫西弗。而台大毒理學研究所以日本公布的檢測數據進行估算，針對日本輻災風險地區 6 大類食物，從當地測得的食物輻射值「最大值」為基準，再參考國人攝食這 6 類食物的「最大攝食量」，相乘得出每人每天的飲食輻射曝露量。針對不同年齡層分析的結果發現，在所有元素都以最大值計算的情況下，只有成人剛好達到 0.0027 的標準，「而這是在成人每一餐都吃到日本 5 個風險地區的食物，且每餐的量都吃最多的前提下的數據。」其他包括小孩、青少年、老年人都沒有超過。也就是說，單從科學數據來看，除非民眾每天都吃到日本的輻射汙染食物，且吃到最大量，才可能造成明顯的健康風險。

不過，日本災區食物到底該不該開放，之所以引發極大爭議，原因在於民眾對「風險」的感受與接受程度不同。食品安全風險管理除了要評估風險，還需要與民眾進行風險溝通，讓民眾了解一項食品從源頭到餐桌的層層管理機制與管理情形，當風險評估與風險溝通都成熟後，較可能使民意接受相關政策的調整。⊗

# 目 錄

---

## 封面故事

2 輻射照射技術助考古學家保存文化遺產

編輯室

## 特別企劃

10 持續禁止進口福島食品的台灣

謝牧謙

## 健康快遞

16 地中海飲食可能會幫助我們維持認知功能

羅彩月

18 讓糖尿病患者免受扎針之苦—非侵入式血糖監測法

編輯室

## 專題報導

20 法國核電廠除役經驗

編輯室

## 讀者論壇

27 《考證福島核能事故—爐心熔融與氫爆如何發生》讀後感之二

劉振乾

## 核能脈動

32 法國最老舊核電廠走入歷史

編輯室

33 加拿大放射性廢棄物專責機構將開始高放最終處置場實地研究

編輯室

34 比利時核能管制機構支持高放廢棄物深層地質處置

編輯室

35 英國首相重申支持核電立場

編輯室

36 國際原子能總署啟用用過核子燃料與放射性廢棄物資料庫

編輯室

37 美國佛特卡洪核電廠乾貯設施完工

編輯室

## 核能新聞

38 國外新聞

編輯室

41 國內新聞

編輯室

## 科普一下

42 什麼是「放射性」和「輻射」？( 21 )

朱鐵吉

---

出版單位：財團法人核能資訊中心

主 編：朱鐵吉

地 址：新竹市光復路二段一〇一號

文 編：鍾玉娟、林庭安、翁明琪

電 話：(03) 571-1808

執 編：長榮國際 文化事業本部

傳 真：(03) 572-5461

設計排版：長榮國際 文化事業本部

臉書專頁：請搜尋「財團法人核能資訊中心」

地 址：臺北市民生東路二段 166 號 6 樓

電子郵件：nicentersys@gmail.com

電 話：02-2500-1175

發 行 人：郭瓊文

製版印刷：長榮國際股份有限公司 印刷廠

編輯委員：李四海、陳條宗、郭瓊文、謝牧謙（依筆畫

行政院原子能委員會敬贈 廣告

順序）

臺灣電力公司核能後端營運處敬贈 廣告

---



木造的教堂容易受木蛀蟲(woodworm)之類昆蟲蛀蝕，透過輻射照射的治療方式，所需時間較短，價格便宜，並且可以徹底根治有害的蟲蟻。

# 輻射照射技術 助考古學家保存文化遺產

譯 編輯室

羅馬尼亞布加勒斯特 IRASM 輻射處理中心主任莫伊斯（Valentin Moise）表示，輻射不會損壞珍貴的文物，它們不會因此變得有放射性，還可迅速、有效改善文物劣化的情形。

2019 年 9 月 19 日，在國際原子能總署（IAEA）第 63 屆大會的倒數第二天，來自巴西、克羅埃西亞、法國和印尼的代表與國際原子能總署的工作人員，共同回顧了在利用輻射照射技術保存與保護具有文化價值的文物，包括雕像、繪畫和有幾百年歷史的手稿等，獲得的最新成就。

國際原子能總署技術合作司歐洲處處長拉佛卡伊亞多（Ana Raffo-Caiado）表示：「使用核子技術保存文化遺產，有助於我們理解和尊重這些國家的歷史、知識和經驗，並有助於促進他們的社會經濟利益。」

已有越來越多博物館、美術館和圖書館轉向，使用輻射照射修復劣化的文化資產，尤其是那些需要緊急出手救援，或是使用傳統技術可能會造成破壞的文化資產。「保護文化遺產的核子技術（Nuclear Techniques

for Preserving Cultural Heritage）」會議的場邊活動，提供機會來探討技術合作項目的成果與貢獻，這些項目協助使用輻射來保存具有文化價值的物品。

國際原子能總署和成員國發言人展示如何借助輻射技術來保護及保存藝術品，其中包括克羅埃西亞的古青銅雕像，羅馬尼亞的聖彌額爾與聖加俾額爾教堂所收藏的木質聖幛，及埃及法老拉美西斯二世的木乃伊。

克羅埃西亞的魯德·博斯科維奇研究所（Ruder Boskovic Institute）輻射化學與劑量學實驗室負責人米哈列維奇（Branka Mihaljevic）表示：「長期保存這些文物將帶給我們嚴峻的挑戰，因為這些物品經常受到保存條件、淹水事件，甚至氣候變化的影響。因此，藉由國際原子能總署區域技術合作計畫所分享的經驗，對我們助益良多。」



巴西核能研究所(IPEN)的瓦斯克斯(Pablo Vasquez)分享了已存在幾個世紀的手稿樣品·這些手稿來自義大利和葡萄牙·最近使用核子技術加以妥善保存。(圖片來源:O.Yusuf / 國際原子能總署)

國際原子能總署計畫管理官員弗路薩瓦(Tomo Furusawa)表示，「藉由技術合作計畫和合作研究的項目，國際原子能總署持續向各國專家提供支援、協調和有效的方法，以在可預見的未來保護文化遺產，展現出加強保護與維護世界文化及自然遺產的努力。」

傳統保護文化遺產的作法，是以化學和物理方法來進行手工藝術品的處理和修復，但是這些方法都有缺點和局限性：化學方法會在物體內或表面上留下有害的物質，以後可能會對這些藝術品、修復品或環境造成傷害，而物理方法則可能會損害物體本身。

相較之下，輻射照射治療並不會在被處理的物體上留下任何痕跡，或是造成任何

損壞，但這並不是使輻射技術脫穎而出的唯一優勢，輻射治療的多功能性使它能夠滿足其用戶的廣泛需求。巴西核能研究所(IPEN)的瓦斯克斯(Pablo Vasquez)表示，「核子技術可以在許多方面協助我們的保護工作，也可以做到鑑定與追溯，但在IPEN，我們的重點是在消毒和強化。」

國際原子能總署還支援文化遺產保護領域的研究，他們召集世界各地的研究機構齊聚一堂，以擴大核子技術的可能應用範圍。正在進行的合作研究計畫(CRP)則致力於開發標準化程序，和新型可輻射治療樹脂(radiation-curable resins)的合成，CRP完成後，預計其結果將可顯示出輻射照射對具有文化價值的物品中常見的材料所帶來的影響。

## 在羅馬尼亞

保存藝術與文化遺產是國際社會的共同理想，對於瞭解以往人們的生活方式有其重要的功用，這就是為什麼羅馬尼亞喀爾巴阡山脈南麓的伊茲瓦雷爾（Izvoarele）村內東正教教堂的伊安（Ioan）神父，急於拯救他的教區內自 19 世紀以來受人景仰的聖像的原因。當他發現教堂內有蟲害時，伊安神父求助於一個極不可能的來源—輻射照射治療，以防止任何寄生蟲進一步的侵襲。

在布加勒斯特以北 120 公里、風景如畫的 800 戶小村莊的教堂裡，蟲蟻正在蠶食神聖的藝術作品，也就是東正教特有的「聖幛」。面對這可怕的情勢，伊安神父說：「採取行動是我的責任。一開始，我就在蟲蟻的蛀洞中注入化學溶液。由於聖幛是很厚實的物體，因此注入的溶液並沒有深入到蟲蟻侵害的源頭，因此沒有效果，這就是

為什麼我考慮了一種更好的解決方案。」

伊安將受到蟲蟻侵害的聖幛送到布加勒斯特的 IRASM 輻射處理中心，工作人員恭敬地歡迎他。中心的主任莫伊斯（Valentin Moise）說：「伊安在電視上聽到了我們的消息，獨自一人來到我們這裡，也沒有事先打過電話。」

要消滅木蛀蟲（woodworm）之類昆蟲的傳統方法，是將藥物以氣體或液體的形式注入每個蟲洞中，並用蠟將其密封。藥物需到達蟲蟻生存和繁殖的區域，但是，蟲蟻通常無法被徹底滅除。化學處理是一個漫長且花費昂貴的過程，也會使人們曝露於有害的煙霧中。相較之下，輻射照射的治療時間較短，價格便宜，並且可以徹底根治有害的蟲蟻。

羅馬尼亞是藉由國際原子能總署的計畫獲得協助，以增強歐洲的輻射照射與

位於羅馬尼亞伊茲瓦雷爾村建於 19 世紀的聖彌額爾與聖加俾額爾教堂，這裡的聖幛遭受蟲蟻破壞，經過加馬射線照射處理後，當地的工匠努力將這件珍貴的藝術品重現其完整的光彩。（圖片來源：A. Socolov / Horia Hulubei 國家物理與核子工程研究所）



分析技術的 18 個成員國之一。國際原子能總署輻射處理專家薩巴哈瓦爾（Sunil Sabharwal）表示，這種協助帶動了大量需要分析與處理的文化遺產，範圍從木製教堂和古老書籍的滅菌，到珠寶、紡織品與硬幣的特性分析等。薩巴哈瓦爾說，利用核子科技在分析特性和保存文物方面進行合作，是國際原子能總署文化遺產保護計畫的重要目標。

### 歷史文物與真菌、昆蟲和細菌

為了保存歷史文物，羅馬尼亞的科學家定期使用加馬（ $\gamma$ ）射線來處理文物。威力強大的加馬射源被儲存在布加勒斯特 IRASM 輻射處理中心內，一個 6 公尺深的水池中，加馬射線射源一旦被活化，便可以殺死細菌、昆蟲和真菌。莫伊斯解釋說，加馬射線能藉由破壞「生物侵略者」來保護歷史文物，從而創造出奇蹟。

輻射照射已經越來越廣泛地運用於保存文物，莫伊斯說：「開始進行保護我們的文化遺產可以追溯到 30 年前，當時羅馬

尼亞還沒有大規模的輻射設施。藉由這項技術，我們能夠對許多古老的物品進行除蟲，從具有 500 年悠久歷史、被真菌侵襲的宗教書籍，到伊茲瓦雷爾東正教教堂的珍貴聖幛。」

莫伊斯解釋說，在對文物進行輻射照射之前，會先對這些精細物品的歷史背景進行調查，以確定破壞的程度和種類、之前修復工作中所使用的化學溶液，以及實際照射時所需要的輻射劑量。

莫伊斯說：「我們遇到的最大問題之一就是說服藝術界人士，當他們聽到『輻射』時通常會感到困惑擔憂。因為我們使用的技術是無害的，不會破壞珍貴的文物，文物也不會變得有輻射，還可迅速有效的進行修復。」

現在，畫作、衣物和樂器也已使用加馬射線成功的治療。IRASM 輻射處理中心的專家處理了布加勒斯特西奧多·阿曼（Theodor Aman）博物館的全部收藏品。由於潮濕的保存條件導致其古老物品受到真菌和其他微生物的污染，這間博物館不



伊茲瓦雷爾村的治癒教堂（Healing Church），一幅被昆蟲寄生的木質聖幛，於 20 世紀春天在當地藝術修復者進行修復工作之前，先用加馬射線進行輻射照射。（圖片來源：C. Ponta / Horia Hulubei 國家物理與核子工程研究所）



一幅損壞的木製聖幛，由 33 個木製聖像畫組成，此聖幛已從摩爾多瓦（Moldova）國家博物館運送至 IRASM 輻射處理中心進行輻射照射。（圖片來源：摩爾多瓦國家博物館）

得不在 2004 年關閉。經過全面翻新整修之後，博物館已於 2013 年重新開放。

IRASM 輻射處理中心前負責人彭塔（Corneliu Ponta）說：「許多藝術品都是由天然有機材料製成的，它們有被生物分解的危險，成為昆蟲和微生物的食物。」他在該中心的輻射照射工作中發揮了關鍵作用，以加馬射線淨化了西奧多·阿曼博物館的文物。

### 加馬射線可保護文物

加馬射線是指極高頻率的電磁輻射，它以高能量光子的形式發射，是一種具有波狀特性的基本粒子。加馬射線也是游離輻射的一種，用於保護文物的劑量水平之下，可在室溫中抑制微生物的繁殖，而無需任何物理接觸。利用高頻率、高能量電磁波與細胞的關鍵成分相互作用，可以改變 DNA，進而抑制細胞的繁殖。

藉由輻射照射技術處理文物的過程，與用於醫療器械滅菌的過程相似。文化遺產文物在輻射設施中曝露於來自鈷 60 射源的加馬輻射，可用來取代以熱處理或化學處理的常規滅菌方式，提供客戶更好的解決方案。

### 在印尼

印尼國家核能局（BATAN）於 2020 年 2 月 10 日與該國國家考古研究中心簽署了諒解備忘錄（MOU），以支持使用輻射技術保存具有文化價值的文物。該協議是在國際原子能總署技術合作計畫協調會議的空檔時簽署，目的在加強該國的輻射專家和博物館、美術館以及其他部門的工作人員彼此的合作。上述的合作計畫是指「利用核子科技保護與保存文化遺產（Harnessing Nuclear Science and Technology for the Preservation and Conservation of Cultural Heritage）計

畫」，目的在幫助亞洲及太平洋地區國家使用核子科技，用於呈現、保存和復原文化遺產物品的特徵。

2020 年的技術合作計畫協調會議於 2 月 10-14 日在峇里島舉行，來自 20 個成員國的 32 名代表齊聚一堂，回顧了自該計畫於 2018 年啟動以來的實施活動情況。與會代表還討論如何促進更大範圍的合作，以及與考古和文物保護部門的合作。他們正在努力，以加強對亞洲及太平洋地區文化遺產文物的保護。

如同車輪、法律制度和都會生活一般，據信最早的書寫文學似乎也起源於亞洲。這些文件以及其他類似的珍貴文物、歷史

遺產豐富了人類今日的生活，必須加以保存以造福後代子孫。此計畫協助各國利用核子科技來檢查、保存並在必要時復原這類文物。

### 致力於保存亞洲及太平洋地區文物

印尼國家核能局同位素與輻射應用中心負責人提布托蘇米拉特 (Totti Tjiptosumirat) 表示：「有必要在亞洲及太平洋地區的參與國之間，提高對於可保護文化遺產的核子方法的認識與施行，希望人們更加意識到核子技術與他們的日常生活息息相關。」

泰國核子技術研究所高級科學家卡維拉特 (Sasiphan Khaweerat) 表示，「博



國際原子能總署幫助其成員國，利用核子科學技術呈現並保存其藝術文物特色，進而保存一個國家文化遺產的重要組成部分。(圖片來源：GC Reyes / 國際原子能總署)

物館工作人員在參與此計畫後，瞭解到核子技術的工作原理，以及他們可從中獲得的益處。此外，在培訓過程中，他們發現使用化學和物理處理方法，實際上可能會損害他們的文物。」

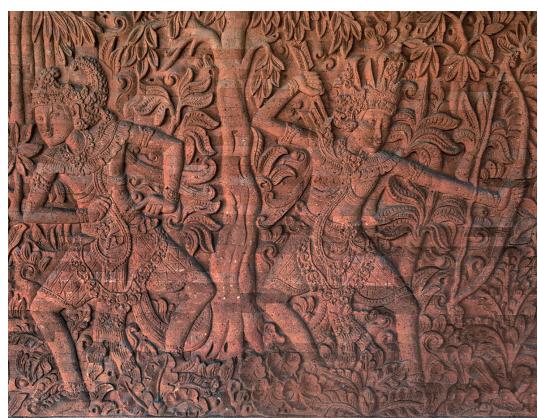
馬來西亞核子局材料技術組的資深研究員胡山（Hishamuddin Husain）說：「使用核子技術對文化遺產進行特性分析，是驗證文物源頭和真實性很好的方法。這些技術是非破壞性，且快速而準確的。可幫助博物館在與古董商交易之前，能迅速、輕鬆地確定文物的合法性。」

此外，將於 2020 年 11 月在法國格勒諾布爾（Grenoble）舉行實做培訓課程，以展示法國 ARC 核子實驗室人員如何使用輻射聚合技術來強化木製文物，包括加洛羅馬（Gallo-Roman）的平底貨船和木質聖像。

預期此項目的綜合工作計畫的製定和批准將在 2020 年至 2021 年進行，國際原子能總署將代表參與的國家，採購用於分析金屬物品和碳定年的參考物質 (reference materials)，並將組團對位於歐洲以及亞洲與太平洋地區的博物館和機構進行一系列的科學訪問，這些博物館和機構都已經設置了核子技術相關設備，來保存和體現他們的藝術與歷史文物。 ☢



印尼位於古老貿易路線的樞紐地帶，其文化底蘊十分豐富，充分展現出原始土著習俗與區域影響力之間長期互動的例子。（圖片來源：GC Reyes / 國際原子能總署）



印尼峇里島的傳統工藝。

#### 參考資料：

1. Preserving the Past: Nuclear Techniques Support the Conservation of Cultural Heritage around the World, 09/19/2019
2. IAEA Impact: Protecting Romania's Cultural Heritage Using Nuclear Technology, 05/19/2015
3. Indonesian Nuclear Scientists Support Archaeologists to Preserve Cultural Heritage, 06/17/2020



## 持續禁止進口福島食品的台灣

文 謝牧謙

### 前言

日本福島事故對台灣的衝擊甚大，迫使政府改變能源政策。蔡英文總統宣示「非核家園」的目標不變，並於 2017 年 1 月 11 日將「非核」立法，2025 年亞洲將誕生第一個非核國家。然而 2018 年 11 月與縣市長選舉同時舉行的「以核養綠～廢除非核條文」及「繼續禁止福島等 5 縣食品進口」的公民投票，兩者均以多數票贊成通過。政府雖然依照公民投票的結果，將「2025 年達成非核」的條文廢除，仍宣示維持原來的政策不變，推動「非核家園」，

且依規定日本福島生產食品今後 2 年仍繼續採取禁止進口措施。

### 「核食」公民投票的發起、過程及結果

我國政府在福島事故後，宣布日本福島、茨城、栃木、群馬和千葉等 5 縣生產製造的食品均禁止進口（圖 1）。政府雖傾向於解除管制，但是在野黨發起繼續禁止進口福產食品的公民投票（圖 2），收集了 47 萬人的連署書，並將前述 5 縣的農

產品稱為「核食」（核災事故被污染的食品），作為政爭的工具，與執政黨對抗的姿態至為明顯。

公民投票的問題是：「你是否同意政府維持禁止開放日本福島核災相關地區，包括福島與周遭 4 縣市（茨城、栃木、群馬、千葉）等地區農產品及食品進口？」投票結果同意繼續禁止進口的票數是 779 萬票（77%），不同意票數為 223 萬票（22%），贊成獲得壓倒性的勝利。但是，2018 年 11 月立法院曾決議派遣衛生福利部專家（委託台灣大學執行）到福島災區採取 301 件樣品檢查，結果是鉻 134 和鉻 137 含量均未超過標準值，全部合格。遺憾的是，此結果在公民投票之後才公布，如果在公投之前公布，情勢可能改觀。

### 支持「繼續禁止福島食品進口」的背景

第一、由於福島事故造成一般民眾普遍對輻射污染有恐懼的心態。在台灣，大部分人的看法仍停留在事故後的狀況。雖然事故已經過了 8 年，仍認為福島縣的飲用水、農作物、水產物等被污染而感到不安，這是現實的問題。

根據「pon.com」2018 年 3 月 31 日野嶋剛的調查，回答「福島縣農產品是不安全」的比例，台灣民眾占 81% 最多，其次是韓國 69.3%、中國 66.3%、美國 35.7%、英國 29.3%，整體而言亞洲較高。

第二、台灣的輿論：繼續管制進口是多數的民意。這次的公民投票「福島等 5 縣

的食品繼續禁止進口」項目，得到 77.7% 的高票同意。一般而言，台灣民眾對日本事物有濃厚的興趣，日本的資訊傳達包羅萬象而密集。因此福島事故中，大家關注的核能安全問題，在台灣造成社會的不安遠較日本嚴重，政府很早就宣布「非核家園」就是具體的例子。此外，台灣近年來發生數起食品安全事件，而提高了社會大眾的食品安全意識，因此對「核食」極端敏感。

第三、政治的理由：朝野政黨鬥爭的工具，和民眾欠缺輻射的知識。



圖 1. 台灣對日本食品進口管制現狀。(資料來源:日本交流協會)



圖 2. 為下一代我們反對「核食」～國民黨的公民投票簽署活動 2018/12/5( 圖片來源:蘋果即時新聞 )

媒體任意擴大福島事故的報導，又引用日本的錯誤資訊，結果導致一般民眾的誤解，而對食品安全問題感到焦慮和恐懼。

### 福島事故的謠言傷害

#### 事例 1：廣野町採食橘子

2013 年 12 月 17 日，距離福島第一核電廠 20 公里的福島縣廣野町公所，在鄰近邊坡的橘子園舉行橘子祭，是自福島事故發生 3 年後首度開放，供民眾免費任意採食。筆者剛好赴日訪問災區，躬逢其盛，亦參與採橘子行列。當天日本全國媒體包括 NHK、《讀賣》、《朝日》等均到場採訪，現場扶老攜幼共襄盛舉、熱鬧非凡。

(圖 3) 當天晚上 NHK 即有報導說：「廣野町 3 年來首次橘子祭，免費開放供人採食，橘子含有放射性銫 11 貝克！」隔日有家庭主婦投書說：「我看到 NHK 的報導好害怕，不要讓小孩吃輻射橘子！」橘子祭當天筆者採食不少，甜而多汁，也帶一大包回旅館與同事分享。筆者長年從事核能研發相關工作，目前亦擔任教職，對輻射的危險性有充分的認識。

日本自福島事故後多數民眾患了「恐輻症」，政府也訂下世界最嚴格的食物輻射管制標準，每公斤銫含量不得超過 100 貝克。相對而言，我國標準是每公斤不得超過 370 貝克（2016 年 11 月 15 日修改後與日本相同標準），歐盟為 600 貝克，美國是 1,200 貝克，新加坡 1,000 貝克，國際食品法典委員會（CODEX）也是 1,000 貝克，可知 11 貝克對身體並不會造成傷



圖 3. 福島廣野町橘子園事故後首次橘子祭·筆者躬逢其盛亦參與採食行列 2013/12/17



圖 4. 日本學者在蘭嶼朗島國小操場測到輻射值為 7 微西弗 / 時和 50 微西弗 / 時 ( 瞬間值 ) 的熱點。2012/9/3

害。輻射在我們生活周遭無所不在，與空氣、水共存，我們人一誕生即與輻射接觸，輻射量大確實有害，但在某一標準值下並無傷害，我們必須正確認識輻射的本質，以免庸人自擾。日本家庭主婦對輻射欠缺了解，台灣亦然。

### 事例 2：蘭嶼輻射污染事件

福島事故後的 2012 年，有位日本大學教授以環境輻射調查的名義到蘭嶼進行輻射偵測，結果在朗島國小操場及附近的廢棄診所發現熱點（hot spot）。前者輻射值為 7 微西弗 / 時 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 和 50 微西弗 / 時（瞬間值），後者更高達 60 微西弗 / 時和 104 微西弗 / 時，兩者均超過福島避難勸告基準值 [ $> 20$  毫西弗 / 年 ( $\text{mSv}/\text{y}$ )]，換算後為  $> 3.8$  微西弗 / 時（圖 4）。但經過台灣專家到現場一再查證，兩者背景值均在 0.02-0.07 微西弗 / 時的正常範圍。結果發現是日方所用偵測儀器有問題，

受到當地中繼站電磁波的影響，但台灣媒體未經確認事實即引用日方學者的數據報導，而引起社會大眾的關切，日本 TBS 電視亦有播出，也引起我國立法院的重視。

我們隨即邀請日本資深輻射防護專家連同台灣學者再度前往蘭嶼複測，結果確認是日方 SamRAE940 儀器受當地中繼站 4998MHz 電磁波的干擾而誤測。筆者也為此專程前往東京向日本「核能報導辨證會（由資深核能專家組成、如圖 5）」說明，該辨證會 53 號報告刊出內容，獲得更正而真相大白。媒體的報導態度是有問題，但作為學術研究者的良心亦受到質疑。

### 事例 3：媒體危言聳聽的報導

福島事故已過了 8 年的現在，福島食品的謠言傷害至今仍揮之不去。輻射有關的錯誤資訊，經由平面媒體、社群行銷擴散而令民眾感到慌恐與不安。



圖 5. 筆者到日本「核能報道堰驗證會（原子力報道を考える会）」說明蘭嶼島輻射污染事件的真相。左起阿部史郎、筆者、秋元勇巳、中村政男、阿部道子、石川迪夫。

某媒體引用日本專家在台北的演講，報導說：台灣核四廠如果發生事故輻射外洩，一個月內將導致 3 萬人死亡，最終癌症死亡將達 700 萬人，而讓民眾陷入恐慌。加之不斷地有日本政治人物、學者來台宣傳福島事故誇大的負面消息，例如福島的米、蔬菜都被鎔污染，不能摸、不能吃；在福島罹患甲狀腺癌的小孩和癌症死者都在增加，不希望福島事故在台灣重演。

「福島縣不能住人」、「體內曝露而癌症增加」等不負責任的消息，經由名嘴及自稱專家的人透過媒體傳達，諸如此類錯誤資訊的氾濫，是極為嚴重的「謠言傷害」根源。日本網路「泄氣貓～TAMA 的日記」亦為一例（表 1）。

### 今後面對的課題：如何避免謠言傷害

#### 1. 福島事故現況正確資訊的傳達

在台灣社會，關於福島現狀的不實謠言

和偏見，目前仍然根深蒂固依然存在。其主要原因在於媒體的偏激報導和民眾對輻射知識的不足。福島復興現狀的真實資訊要一再地傳達，特別要強調福島食品的檢查制度和安全性，要盡最大的努力去消除謠言，有科學事實依據的宣導至為重要。

#### 2. 核能、輻射知識的教育普及

由於民眾對輻射缺乏瞭解和理解，而產生種種誤解和混淆，這表明了過去對輻射知識的普及不夠充分。輻射教育必須讓人瞭解輻射就在我們周邊，而且在各種領域中廣泛運用。基礎知識之外，計量的內容（單位、輻射劑量及影響）也要瞭解。

#### 3. 媒體的態度：正確與公正、事實的依據

台灣政治的朝野對抗由來已久，政黨附隨特定媒體的報導，使得政治爭議意識形態化而更激化，又企圖以假議題來誘導公眾輿論，因此福島事故和核食議題以誇大

表-1 謠言傷害的一例～泄氣貓「TAMA」的日記 (2018/11/2)

#### 台灣將福島核食繼續禁止進口、是應該的

台灣的中央選舉委員會於11月25日、發表東京電力福島第一核電廠事故後是否繼續禁止福島產食品進口的公民投票、「贊成繼續禁止」佔多數而成立。福島產食品是

- \* 福島是被污染
  - \* 福島的污染繼續中
  - \* 福島縣的檢查、污染食品沒有被發見
  - \* 福島產食品、沒有實施必要的檢查
  - \* 允許福島產食品的地區、事故後葬禮明顯增加、不是的地區葬禮沒有增加
- 以上的特徵、台灣的民衆有正確理解而獲得的結果。

不實聳動的內容來報導，而更引起民眾的戒心與惶恐。媒體的報導態度必需尊重人權，要有尊嚴和節制，正確、真實與公平，以中立的立場作客觀的敘述，並明示消息的來源，不得扭曲事實。這才是媒體應有的素養與社會責任。

#### 4. 加強台日間核能資訊的交流

目前台灣民間團體和日本原子力產業協會（JAIF）已簽訂合作協定，每兩年舉辦一次「台日原子力專家會議」，輪流主持。福島事故後為分享提昇核能安全的成果，雙方推動資訊共享及意見交換。今後更要

加強民間團體的交流，強化資訊的收集和判斷能力，促進國民的互相理解。此外，與民眾良好的溝通亦是重要的課題。

(原文「福島産などの食品禁輸措置繼續中の台湾の事情」、刊登於日本「Energy Review」月刊·思考謠言傷害專集·2019年9月號·原著者翻譯。)



「Energy Review(エネルギー・レビュー誌)  
」風評被害を考える特集 2019年9月號

#### 參考資料：

1. 謝牧謙、“台灣のエネルギー問題と今後の方向性”NPO 安全安心科学アカデミー”、保物セミナー、2018.11.15.、大阪科学技術センター
2. 野嶋剛、“福島の「風評被害」を考える—情報学の専門家・關谷直也氏に聞く”、nippon.com、社會、2018.03.31.
3. 謝牧謙、“台灣「以核養綠」國民投票の回顧と未来～「2025 ゼロ原発」削除決定～”、日本原子力学会 SNW 連絡會、2019.02.21.、東京
4. 謝牧謙、“台灣「脱原發」と「福島核食」に関する國民投票の實態”、長崎大学大学院セミナー、2019.04.18.、長崎大学医学部
5. 謝牧謙、“謠言傷害 福島縣的輻射橘子”、核能簡訊 特別報導 2014·APRIL No. 147
6. 董至剛、“108 年度「日本核食檢驗與調查研究」計畫報告、台灣大學”、衛福部委託計畫 108 年 8 月 27 日



地中海飲食強調多吃全穀類、堅果、橄欖油、魚類、當季蔬果做主要食物來源。

## 地中海飲食 可能會幫助我們維持認知功能

譯 羅彩月

根據最新的眼睛疾病研究數據分析顯示，遵循地中海飲食者（多吃蔬菜、全穀類、魚類及橄欖油）能維持較好的認知功能，飲食似乎對減緩認知能力的退化扮演著重要的角色。這是由美國國家衛生研究院（National Institute of Health, 簡稱 NIH）的國家眼科研究院（National Eye Institute, 簡稱 NEI）所主導的兩項研究計畫，分別為年齡相關眼睛疾病之研究第一期（簡稱 AREDS）與第

二期計畫（AREDS2），研究人員將實驗結果發表於「阿茲海默氏症協會」2020 年 4 月份最新期刊上。

NEI 的流行病與臨床應用部門主管、同時也是本研究計畫主持人邱博士（Emily Chew）表示：「平時大家都不太注意自己每日三餐所吃的食物，我們的研究計畫主要是想探討這些營養成份如何影響大腦與眼睛的功能。」

這個研究團隊檢視了地中海飲食的 9 種成份對認知功能的影響，這類飲食強調的是要多吃完整水果、全穀類、蔬菜、堅果、豆科植物、魚及橄欖油，同時也降低紅肉與酒類的使用量。

第一期與第二期計畫評估維他命對於跟年齡有關的黃斑部病變的影響，它會造成對光敏感的視網膜受到損害。第一期計畫收納了 4,000 位受試者，邀請有跟年齡有關的黃斑部病變患者，以及沒有跟年齡有關的黃斑部病變的人都加入研究行列。第二期計畫則再擴大研究規模，找到 4,000 位有黃斑部病變之患者參加這項試驗。

研究人員在試驗開始時，先評估每一位參與者的飲食內容，第一期計畫追蹤每一位參與者的認知功能，連續評估 5 年；第二期計畫則對每一位參與者在開始加入時即建立其認知功能評分（做為基礎值），並在第 2、4 及 10 年再次評估其認知能力。對於受試者的腦部認知能力，研究人員使用的是臨床廣泛使用的評估方法—改良型迷你精神狀態檢查（Modified Mini-Mental State Examination）的標準化測試，也搭配使用其他方法。對於飲食的評估，他們以設計問卷讓受試者去填寫前一年的地中海飲食平均使用量。

研究人員發現，能努力執行地中海飲食者，他們的認知障礙風險度最低，食用大量的魚類及蔬菜看來有最佳的保護作用，由第一期計畫的 10 年追蹤成果可以看到，多吃魚肉者認知功能降低最少，亦即腦部功能維持的最好。

雖然對於嚴格遵守或完全不執行地中海飲食者，他們的認知功能評估分數可能相差無幾，也就是說他們的日常功能可能差異不大，但由群體的角度來看，這些影響已清楚表明，認知與神經健康取決於每日的飲食內容。

依據以往的研究，如果帶有 ApoE 這種基因的人，有認知功能與認知能力降低的高風險性，而罹患阿茲海默氏症與抑鬱症的機率也偏高。但由本次試驗的結果，研究人員發現受試者無論是否帶有 ApoE 基因，凡能嚴格遵守地中海飲食者，所得到的保護作用是相似的，這意味著飲食對認知功能的影響與阿茲海默氏症的基因風險性不相關。

(本文譯者為核能研究所技術推廣中心副主任)



#### 參考資料：

1. Diet may help preserve cognitive function, 04/14/2020, National Institutes of Health
2. 核能研究所能源資訊平台



## 讓糖尿病患者免受扎針之苦 — 非侵入式血糖監測法

譯 編輯室

只要想到全世界糖尿病患者的數量、嚴重的併發症，以及相關醫療照護成本，再怎麼強調監測血糖的重要性，都不過分；然而，藉由刺破手指獲取血滴的痛苦採血過程，往往阻礙了人們主動監測血糖水平的意願。

目前糖尿病患者必須每天一次、甚至多次測量血糖的水平，以確保血糖不會太高或太低。但是，超過一半的糖尿病患者的檢查頻率並不高，部分原因是因為針刺

所引起的疼痛和不便。美國麻省理工學院 (Massachusetts Institute of Technology, MIT) 的一項研究表示，測量皮膚的化學成分就可以用來監測血糖的高低。

近來麻省理工學院與韓國三星電子先進技術研究所 (Samsung Advanced Institute of Technology, SAIT) 合作，利用「拉曼光譜法 (Raman spectroscopy)」的原理開發出一種創新的、非侵入式之血糖監測技術。

根據麻省理工學院的《科學進展 (Science Advance)》2020 年 1 月發表的一篇論文，研究人員研發出的拉曼光譜法，因為是一種非侵入性技術，可以取代針刺採血的方式，只要在皮膚上照射近紅外光 (near-infrared light)，就可顯示出人體組織 (例如皮膚) 的化學成分。麻省理工學院的科學家們已經朝向使這項技術對患者實用化，邁出了至關重要的一步。

科學家已經證明可以使用拉曼光譜法直接測量皮膚中的葡萄糖濃度。到目前為止，必須根據拉曼信號與血糖水平的參考測量值之間的比較，來間接計算出葡萄糖水平。

儘管這項工作仍處於初期階段，還需要做更多的研究工作才能將此技術發展為對使用者友善的設備，但此一進展表明，以拉曼光譜法為基礎，用於連續監測葡萄糖的感應器是可行的。這項研究的資深作者，麻省理工學院生物與機械工程學的蘇教授 (Peter So) 解釋：「如今，糖尿病是一種全球性普遍的疾病，如果有一種可以持續監測葡萄糖的好方法，人們可能會考慮開發更好的血糖管理方法。」

## 在表皮之下

拉曼光譜法可透過分析近紅外光遇到不同種類的分子時，如何散射或折射所形成的光譜，來鑑定出人體組織的化學成分。

麻省理工學院的雷射生物醫學研究中心 (Laser Biomedical Research Center) 研究拉曼光譜的葡萄糖感應器已超過 20 年，在他們新的研究中，研究團隊開發出一種新方法，不需間接的計算，就可以直接觀測到

皮下葡萄糖的信號。這項新技術需要將近紅外光以 60 度角照射到皮膚上，再以垂直於皮膚的光纖來收集拉曼光譜信號。由於收集葡萄糖拉曼信號的同時，可以濾除來自皮膚表面多餘的反射信號，因此可以產生更強的總體信號。

研究人員在豬隻的測試中發現，在校準 10-15 分鐘後，他們可以在長達一個小時的時間內獲得準確的葡萄糖讀數，再將讀數與實際採血的樣本中獲取的葡萄糖測量值，進行比對而驗證讀數。蘇教授解釋說：「這是我們第一次無需進行大量精密的計算和信號的讀取，以透過皮膚直接觀察的方式，得到來自人體組織的葡萄糖信號。」

## 開發與監控

儘管相關研究仍在進行中，但在拉曼光譜儀可以實際被糖尿病患者使用之前，確實需要對此技術進行進一步的開發。研究人員現在打算縮小設備的尺寸到與桌上型印表機差不多，以使其便於攜帶，期望能在糖尿病患者身上測試這種設備。

從長遠來看，他們希望能創造出可持續測量血糖的穿戴式監測器，以便利患者，免再受扎針之苦。

### 參考資料：

1. Diabetics can forget the needles, it's all about non-invasive spectroscopy, 01/28/2020, Health Europa
2. Direct observation of glucose fingerprint using in vivo Raman spectroscopy, 01/24/2020, Advances Science Magazine



Chooz 核電廠 A 號機的除役工程已步入最後階段 (圖片來源:Cyclife-EDF)

# 法國核電廠除役經驗

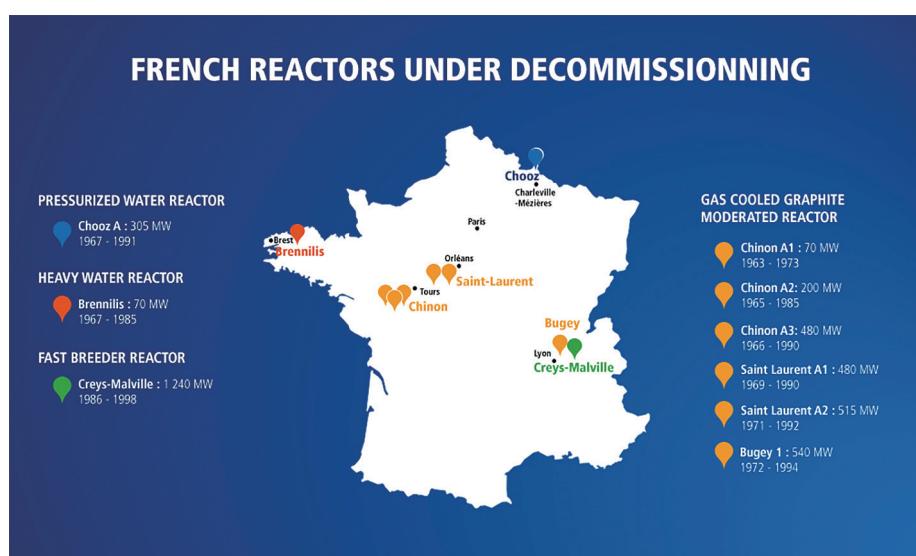
文 編輯室

身為核能發電大國的法國，目前有 18 座核電廠，共 56 部反應爐在運轉中，主要由法國國營電力公司（EDF）負責營運，除了將核電業務出口至其他國家之外，還與德國並列歐洲最大電力出口國。

法國核能產業為國家繼汽車、航空業後排名第三大的產業。法國有超過 7 成的電力來自核能發電，雖然機組數量仍比最高的美國（95 部）低出許多，但核電占國家能源配比則為全球最高。對法國來說，核

能與水力可說是國家電力的基石，剩餘的部分則透過風力、太陽能及生質能等再生能源與化石能源補足。

核電在法國國家能源配比中占有主導地位，是法國在 1960 年代時為了達到國家「能源自主」以及「能源多樣化」而做出的決定。在國家支持大力發展核能發電下，今（2020）年剛關閉、尚未開始除役作業的 Fessenheim 核電廠 2 部機組不列入計算，法國至今已有 12 部機組正在進行除役



法國電力公司目前有 9 部機組正在進行除役作業（圖片來源：法國電力公司 EDF）

表 1. 法國除役中核電機組一覽表

資料來源：IAEA-PRIS、WNA · 本刊製

	核電廠/機組	反應爐類型	裝置容量 (MW)	商業運轉年分 (西元)	備註
1	Brennilis	HWGCR	70	1967-85	
2	Chinon A1	GCR	70	1963-73	
3	Chinon A2	GCR	200	1965-85	
4	Chinon A3	GCR	480	1966-90	
5	Saint-Laurent A1	GCR	480	1969-90	
6	Saint-Laurent A2	GCR	515	1971-92	
7	Bugey 1	GCR	540	1972-94	
8	Creys-Malville (Super-phenix)	FBR	1,240	1986-98	
9	Chooz A	PWR	305	1967-91	
<b>其他未列入之機組</b>					
1	Phénix	FBR	130	1974-2010	軍用
2	Marcoule G2	GCR	40	1959-80	軍用
3	Marcoule G3	GCR	40	1960-84	軍用
4	Fessenheim 1	PWR	880	1978-2020	尚未開始除役作業
5	Fessenheim 2	PWR	880	1978-2020	尚未開始除役作業

工程，其中有 3 座（Marcoule 與 Phénix 核電廠）屬於軍用核子設施，由法國原子能與替代能源委員會（CEA，類似我國核能研究所，為國家政府資助的研究機構）進行該核電廠的除役作業，其他商業用機組的除役則都是由法國電力公司負責。法國電力公司必須全權承擔機組除役的技術與財務方面的責任，在除役過程期間首要的任務為確保安全與電廠周圍環境的保護，並在與其他運轉中機組相同的標準與透明度下，進行除役的工作。

國際上的核電機組除役方式可分成 3 種，分別為：

1. 立即拆除（Immediate dismantling），

即反應爐在停機後立即進行除污作業，在短時間內將反應爐解體與拆除。

2. 延後拆除（Deferred dismantling），即反應爐在停機後在適當的管理監控下，安全保存一段時間，待放射性自然衰減後，再進行反應爐的解體與拆除，因此也稱作「安全貯存（Safe enclosure）」。

3. 固封除役（Entombment），反應爐在停機後利用如混凝土等結構合理的材料，將放射性物質於當地永久封存，並進行維護與監控至放射性水平降至限制的水平為止，車諾比核電廠發生事故的 4 號機即是用此種方式進行原地封存。

法國核能管制機構核能安全署（Nuclear Safety Authority）在 2008 年公開的一份政策文件中，建議法國的核子設施應採用「立即拆除」的方式來進行除役工程，因此當時除役的 9 部商用機組的除役策略皆為立即拆除，但所需要的時間依照各電廠的複雜程度而有所差異，法國電力公司最初計畫在 25 年內完成 9 部機組的除役工程。

法國電力公司決定採取立即拆除的策略主要有兩個原因，除了不希望核電廠除役成為下一代的負擔之外，同時也期望能利用現有員工的能力與專業知識，因為這些員工過去也參與了將除役電廠的營運。法國電力公司在 2001 年時為了核電廠的後端與環境安全等的業務，成立了一座除役與環境工程中心（Decommissioning and Environmental Engineering Centre, CIDEN），內有 600 名員工專門進行各部機組的除役，也替這些除役計畫進行計畫管理。

根據法國電力公司的除役策略，法國的核電廠除役分成三個階段，分別為：

**第一階段：**關閉核電廠，將核燃料移出並清空迴路，以及非反應爐區域設備的關閉與拆除。在這個階段，整座電廠有 99.9% 的放射性會隨著用過核燃料與迴路清空後一起被移除。

**第二階段：**部分除役，反應爐之外的設備與建築物的拆除，並開始進行放射性監測。

**第三階段：**完全除役，反應爐本體、材料與設備等仍具有放射性的物質之拆除。

第一與第二階段會在機組停止發電的 10 年內進行，第三階段則需要較長、大約 10 年的時間。而電廠的放射性水平，會在所有的拆除工程完成後恢復至天然背景值，這個時候已不再需要任何的放射性水平監測，土地也可供再次利用。

在法國電力公司的除役計畫中包含數座屬於第一代核電技術、現在已不再建造的石墨氣冷式反應爐（Gas-cooled reactor, GCR）。這種反應爐是利用石墨作為緩和劑來減緩中子的速度（以提高核分裂的速率），以及利用二氧化碳作為冷卻劑，使法國可使用天然鈾作為燃料，不需要像近代的反應爐技術必須使用由濃縮鈾製成、即鈾濃度比天然鈾高出數倍的核燃料，讓開發天然鈾的國家也可以自產核燃料，不需依賴其他國家來供應濃縮鈾。

而法國的石墨氣冷式反應爐均在 1960 年代所建，目前皆已進入除役的階段，但這種反應爐在設計上普遍都建有非常厚的混凝土以作為屏蔽，以及大量的石墨塊與複雜的支撐結構等，導致在進行拆除作業時常碰到混凝土與金屬在切割上的技術議題。另外，在拆除石墨氣冷式反應爐還會面臨到在解體切割後所產生大量的低放射性廢棄物，與近代一般的壓水式反應爐（Pressurized water reactor, PWR）相比，拆除一座石墨氣冷式反應爐所產生的廢棄物量將會多出 10 至 30 倍，也不易為這些廢棄物找尋貯存地點，因此大多數使用石墨氣冷式反應爐的國家均傾向「延後拆除」的除役策略。



法國核電廠除役的拆除順序以反應爐為中心，從外至內來進行（圖片來源：  
Cyclife-EDF）

法國電力公司原計畫將 9 部商用機組的除役分成兩階段來進行，第一階段有 Brennilis、Creys-Malville、Chooz 與 Bugey 核電廠共 4 部機組，第二階段則是 Chinon 核電廠 3 部機組以及 Saint-Laurent 核電廠 2 部機組。除役的方式則分成在水下 (Bugey 1、Chinon A3、Saint-Laurent A1 與 A2) 及不在水下 (Chinon A1 與 A2) 來進行。

但是，法國電力公司在 2016 年告訴管制機構，將把 Chinon、Bugey 與 Saint-Laurent 核電廠共 6 部石墨氣冷式反應爐的除役策略調整回「延後拆除」，即反應爐本體必須靜置 25 年的時間，整個除役的時間約需要 60 年，這項策略的轉變將導致法國石墨氣冷式反應爐的除役無法在這個世紀內結束。

目前法國已進行除役作業的石墨氣冷式反應爐中，屬 Chinon 核電廠 3 部機組的拆除進度為最快，均已完成非反應爐區域的拆除，部分拆除的瓦礫與塊狀金屬零件等也已被送到法國國家放射性廢棄物管理機構 (National Agency for Radioactive Waste Management, ANDRA) 核准的貯存地點。另外，Bugey 核電廠 1 號機也已經拆除反應爐周圍的電機系統與管路，Saint-Laurent 核電廠 A2 號機反應爐周圍的電機系統與管路則預計於這兩年完成。

除了我國沒有的石墨氣冷式反應爐與快中子反應爐 (Fast breeder reactor, FBR) 之外，法國除役的核電機組中還有全歐洲首座進行除役的壓水式反應爐—Chooz 核電廠 A 號機，裝置容量僅 30 萬

瓩，該部機組自 1967 年開始商業運轉，1991 年關閉，2007 年獲頒除役執照，並在 2017 年進入除役工程的最後一個階段，預計將於 2022 年完成。

Chooz 核電廠 A 號機是建在山坡上開挖的兩個洞穴內，分別給反應爐本體與輔助設施使用，在山頂的建築物裝有緊急爐心冷卻系統與通風設備，內部通道與洞穴的壓力低於外部，可確保放射性物質不會釋出。使用鋼筋混凝土來進行包覆是壓水式反應爐標準的設計方式，但 Chooz 核電廠 A 號機的設計人員決定利用藍閃石片岩類似花崗岩、擁有良好的包覆與耐壓等的特性，將反應爐安置在地下。除了 A 號機組之外，Chooz 核電廠還有 B1 與 B2 兩座於 1990 年代投入商業運轉的 150 萬瓩壓水式反應爐，但這兩部並未如 A 號機一樣建在地下。

Chooz 核電廠 A 號機的核燃料在 1995 年底全數移出，1999 年管線淨空，清除了該部機組 99.9% 的放射性。待 2007 年獲得除役執照後，陸續在 2008 年前後拆除位於山坡上的渦輪機、隧道、行政大樓等設施，並進行土壤除污。近幾年則是拆除洞穴內總體積約 6 萬立方公尺的機電組件，以及 4 座蒸汽產生器（各高 14 公尺、重 110 噸）與增壓器等主要、大型的輔助設施，並運送至法國國家放射性廢棄物管理機構的貯存設施。

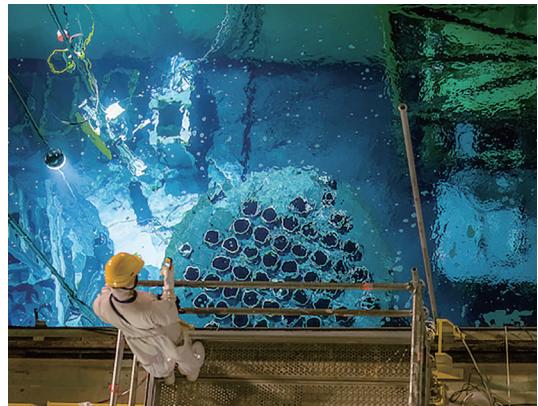
2017 年，Chooz 核電廠 A 號機的除役工程進入最後階段，即拆除反應爐容器，法國電力公司預計可在 2022 年完成拆除工

程。目前該座核電廠雇用約 20 名來自法國電力公司的員工，以及 50 名的約聘人員，來進行 A 號機的除役作業。由於國內深層地質處置場尚未定案，法國電力公司目前正在 Bugey 核電廠建造一座臨時廢棄物貯存設施，這座被稱作 ICEDA 的暫時活性廢棄物貯存與封裝設施，將用來暫貯與封裝目前除役中 9 部核電機組所產生的中放射性廢棄物。

根據世界核能學會 (World Nuclear Association) 的估計，法國電力公司的核電廠因除役所產生的廢棄物約會有 500 噸壽命較長的中放射性廢棄物、18,000 噸的石墨、41,000 噸壽命較短的中放射性廢棄物，以及 105,000 噸的低放射性廢棄物。

法國前任總統歐蘭德在 2016 年通過《能源轉型法案 (Energy Transition for Green Growth Act)》，最新的能源政策力求能源轉型，相關政策包含溫室氣體減量、能源消費減半、降低化石燃料的使用、提高綠能占國家電力配比，以及 2025

年將關閉 14 部核電機組，降低核電占比至 50% 等等，但現任總統馬克宏在 2018 年宣布，考量到國家電力供給，將 2025 年關閉 14 部機組的政策延後至 2035 年，也重申「降低核電的占比不代表將放棄核電」，未來將首先關閉燃煤發電廠，配合減碳行動。⊗



除役是核電廠運轉壽命期間一個正常的階段，法國電力公司必須全權承擔法國商業用核電機組在技術與財務上的責任 (圖片來源：法國電力公司 EDF)

### 參考資料：

1. World Nuclear Association. "Nuclear Power in France."
2. Cyclife-edf. "Decommissioning."
3. EDF. "Decommissioning."
4. EDF. "Decommissioning PWRS in France."
5. EDF. "EDF nuclear plant under decommissioning programme."
6. EDF. "Centrale de Chinon A."
7. EDF. "Press kit 2019 – Chooz nuclear power plant."
8. Nuclear Engineering International. "Excavating Chooz A."



## 《考證福島核能事故—爐心熔融與氫爆如何發生》讀後感之二

文 劉振乾

核能簡訊第 184 期〈考證福島核能事故—爐心熔融與氫爆如何發生 讀後感〉一文的第 29 頁：「石川先生的提案：應該盡早將除污目標與返鄉標準從 1 毫西弗 / 年，改為 20 或 50 毫西弗 / 年。」特此澄清說明。

從以下開始，除非另有註明，都是屬於筆者將原著融會貫通後以表列及敘述方式顯示出來的。

### 「中國症候群」給我們的啓示<sup>[1]</sup>

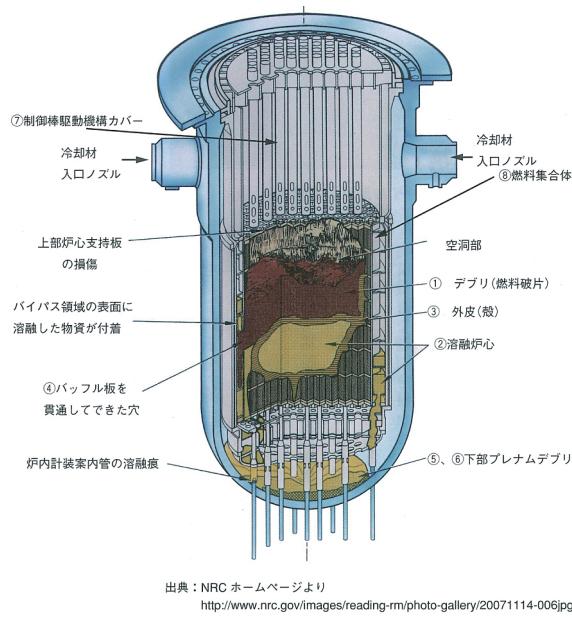
美國三哩島事故最重要的結論：爐心熔融的原因不是來自反應爐的衰變熱，而是來自高溫鎔與水的激烈化學反應。

在三哩島事故以前，大家認為爐心熔融是發生在爐心燃料中二氧化鈾的熔點、攝氏 2,880 度這種非常高溫的時候，因此鋼製的壓力容器（熔點約 1,400 度）就會被輕

易地熔化，接著熔融的爐心會從某個洞口落下，衰變熱就會將圍阻體的混凝土地板（熔點約攝氏 1,600 度）熔化。大家對此深信不疑，甚至有人為此而製作出電腦的解析程式，可見如何深入人心。

將此觀念加以電影化的正是「中國症候群 (China syndrome)」這部電影，因此導致美國需要花費 20 年時間重新建立民眾對核電的必要性共識，而日本 NHK 所製作的報導也是基於此觀念才問世的。

「爐心熔融等於 melt down」此一錯誤觀念深植於多數核能從業人員腦海中，證



出典：NRC ホームページより  
<http://www.nrc.gov/images/reading-rm/photo-gallery/20071114-006.jpg>

圖 1. 美國三哩島的爐心熔融圖  
 (圖片來源:原著 P.20 · 圖 1.1.1)

明其錯誤的則是花費 10 年工夫在 1989 年建立起來的三哩島事故爐心熔融圖(圖 1)。在當時沒有一位想到過，熔融的爐心會留置在壓力容器內的事實。由此證明「中國症候群」這種過度的焦慮是不必要的。

### 與工程一般常識完全不同的破壞方式<sup>[2]</sup>

在實驗中，反應爐的燃料棒只靠過度的加熱，是很不容易熔融破損的。理由是二氧化鈾的熔點是攝氏 2,880 度，非常的高溫，而另一點是燃料護套材料的鎔會氧化，而形成氧化鎔的薄膜(熔點約 2,700 度)。這薄膜會在冷卻瞬間變得脆弱而斷掉。此外，氧化鎔也會進入熔融的二氧化鈾中成為接著劑，維持燃料棒的形狀不至於支離破碎(見圖 2)。

因此，燃料棒並不是由於燒斷而熔融，是因為冷卻後氧化膜破裂而四分五裂，

稱為「分斷」。分斷後的燃料棒，由於表面冷卻因此不會互相融著，留下許多空隙(communication path)，靠著流經其中的水更進一步的被冷卻。(註：此一過程在三哩島事故前就已藉實驗證明)

這正是從未經歷過的，與工程上一般的常識完全不同的破壞方式，理由則在於燃料護套的鎔的氧化膜特性。三哩島的爐心如此，福島事故的反應爐爐心的破壞經過也同樣如此。

### 氧化鎔薄膜的神奇效果<sup>[3]</sup>

牛奶在沸騰之前，表面會形成薄膜。異常黏固強韌而不易破裂。燃料護套的鎔的氧化物也有同樣性質。氧化鎔的薄膜在表面形成後，很不容易讓水浸透其內。且其熔點接近 2,700 度，與本體的鎔合金的熔點約 1,800 度相比，提升很多。

在美國所做的「出力冷卻不均衡實驗(PBF PCM-1)」得到下述的證據：「在灼熱狀態且沒有損壞的燃料棒，在冷卻反應爐的那一瞬間卻破掉，其證據來自輻射外洩。」這正是前所未見的奇怪的損壞方法。也就是說，燃料棒不像鍋爐的水管一樣會因高熱而馬上燒斷。

### 1,200 度的「魔咒」<sup>[4]</sup>

在 PCM-1 實驗中得知，燃料表面溫度即使超過 1,500 度，燃料棒也不會熔融，且維持達 8 分鐘之久。而另一方面，安全基準則規定，當鎔溫度超過 1,200 度以上，氧化反應不會中止，而會讓燃料棒熔融。

這 1,200 度的基準值太過於出名，以致於許多核能從業人員都認為當燃料護套的表面溫度超過 1,200 度就會讓爐心熔融。

這一想法是錯誤的。實際上燃料超過

1,500 度，燃料棒也沒有熔融，仍然屹立存在。其理由為燃料棒的溫度上升並非一步登天一下就到 1,500 度，而在溫度上升的過程中，燃料表面就會形成氧化膜。受到這氧化膜的保護，在護套內部的鎔，即使超過 1,500 度也不會與水有所接觸，因此氧化無法進行。

鎔的氧化反應<sup>[5]</sup>：鎔在 800 度時就會與水產生反應，形成氧化鎔的薄膜。溫度越高氧化反應越激烈，當超過 1,300 度後，氧化反應就不會中止而一直進行到所有鎔都氧化為止。因此為了安全，從 1,300 度扣掉 100 度，設定以 1,200 度為燃料護套最高溫度。

### 三哩島的化石

三哩島的爐心熔融在兩分鐘內完成。這是因為鎔水反應的熱量是非常激烈的(p.41:586KJ/1mol)。這巨大的熱量讓後續

#### 第一部 爐心熔融、氫爆是如何發生的

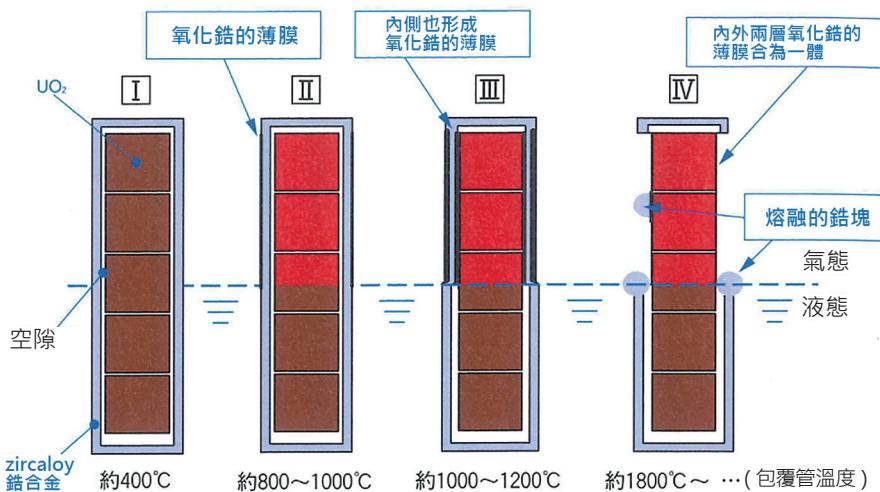


圖 2. 事故時燃料護套溫度與燃料棒的狀態圖 (圖片來源：原著 P.45 · 圖 1.1.5 · 本文作者譯)

### 第一部 炉心溶融・水素爆發はどう起きたか

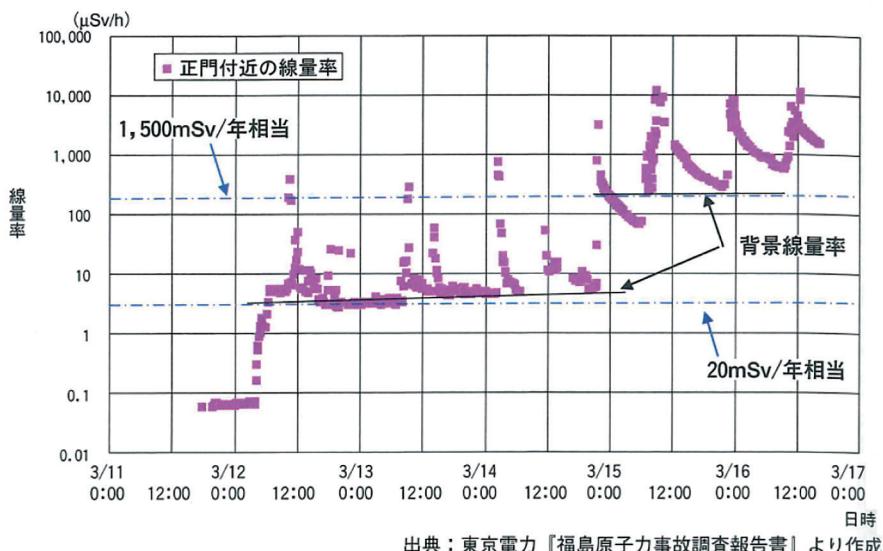


圖 3. 福島 1 號機正門附近劑量率的變化（單位：微西弗 / 小時）  
(圖片來源：原著 P.79 · 圖 1.2.4)

的反應再次發生，愈演愈烈，必須在所有鎆都完全氧化後才會中止，這是三哩島事故留下的寶貴事實<sup>[6]</sup>。

三哩島的爐心熔融圖完成於 1989 年（事故後 10 年）。三哩島的熔融爐心在事故後 10 多小時就冷卻下來，因此到完全的爐心熔融的整個過程就成為化石，而顯示出其形成過程<sup>[7]</sup>。

最後談結論：在冷卻劑（水）充分供應的情形下，在灼熱狀態的燃料棒與水產生反應而引起爐心熔融<sup>[8]</sup>。這一結論，請務必記住，往後討論福島第一核電廠第 1-3 號機的細節時都會用到。

### 解讀福島 2 號機爐心熔融的經過

為了解讀福島事故經過，石川迪夫先生花了巨大篇幅加以解讀 1-3 號機的情形。

文中的表除另有註明之外，乃譯者參考石川先生大作所自行製作。

執政當局的錯誤疏散政策導致 60 名患者死亡：「這 60 名患者的死亡都與『輻射』無關，是死於舟車勞頓、在異地得不到周全的醫療照顧所致。」

圖 3 所顯示的正門附近的劑量率變化很大，似乎是很複雜的樣子。不過仔細看，大致可看出由於爐心熔融以致背景劑量上升，還有因為釋壓閥 (VENT) 逸氣的關係，不定期的在短時間內上升，共兩次的大幅上升。

12 日上午 4 時，最初的輻射劑量率上升是來自 1 號機的爐心熔融。而 1 號機的實施釋壓閥逸氣是在 12 日上午 10 時，因此這時候的上升是與 VENT 無關的。其結果，

電廠正門附近的劑量率升到每小時約 4 微西弗。這劑量並不是高到需要疏散居民的情形。而這狀態一直持續到 15 日，雖然其間有實施釋壓閥逸氣以及 3 號機的爆炸，但是沒有影響到劑量率。

不過到 15 日早晨，由於 2 號機圍阻體的破損，直接釋出輻射。因此正門附近劑量率瞬間增加約 100 倍，達到 300 微西弗 / 小時。另將圖 3 的重點整理為表 2。

實際避難開始於 11 日深夜，按照表 2，3 月 15 日 0:00 才達到需要避難的標準。但卻造成 7 家醫院與安養院超過 60 名患者的死亡，不按正規「緊急時避難」的作法顯示出執政當局的錯誤。

事故後經過 3 年的輻射釋出量已降低到事故當時最大釋出量的一億分之一<sup>[10]</sup>。

表 1. 福島事故整體面貌<sup>[9]</sup>

(此為原著 p.78·表 1.2.2)

	1 號機	2 號機	3 號機	4 號機
地震發生		3/11 14:46		
海嘯來襲		3/11 15:35		
爐心熔融	3/12 4:00 左右	3/14 22:00 左右	3/14 10:00 左右	
破損時間 (建築物)	3/12 15:36 (反應器間)		3/14 11:01 (反應器間)	3/15 6:14 (反應器間)

表 2. 福島 1 號機正門附近劑量率的變化（單位：微西弗 / 小時）

時間	劑量率
3/11 18:00~3/12 4:00	0.1
3/12 4:00	4* (因 1 號機爐心熔融)
3/12 4:00~3/15 0:00	4 (釋壓閥氣體釋出以及 3 號機的爆炸，沒有影響此值)
3/15 0:00	300** (增加約 100 倍，因 2 號機圍阻體破損)

\* 每小時 4 微西弗相當於一年內曝露劑量 20 毫西弗，而住宅地區更只有其 1/10 的值，與 ICRP 勸告的緊急時避難劑量 20-100 毫西弗相比低很多，根本不需緊急避難。(p.235)

\*\* 每小時 300 微西弗相當於一年內曝露劑量 1,500 毫西弗，而住宅地區只有其 1/10 的值，150 毫西弗達到緊急時避難的劑量。

#### 參考資料：

- 《考證 福島核能事故—爐心熔融與氫爆如何發生》·石川迪夫·日本電氣協會新聞部·06/16/2014  
 [1] 參考 p.62 · [2] 參考 p.40 · [3] 參考 p.36 · [4] 參考 p.43 · [5] 參考 p.41 · [6] 參考 p.53 · [7] 參考 p.59 · [8] 參考 p.61 ·  
 [9] 參考 p.78 · [10] 參考 p.81

# 法國最老舊核電廠 走入歷史

譯 編輯室

根據《衛報》最新的報導，法國費森海姆（Fessenheim）核電廠，在運轉 43 年後於今（2020）年 6 月 30 日除役，比原先預計的時間晚了 9 年，一些環保人士對這項消息表示歡迎，但費森海姆核電廠的關閉也替當地地方經濟蒙上了一層擔憂。

費森海姆核電廠於 1977 年啟用，至今已經比原計畫運轉 40 年的規劃，多運轉了 3 年，在 2011 年日本福島發生爐心熔毀事故後，該座核電廠即成為反核者攻擊的目標。儘管法國當時的總統歐蘭德（Francois Hollande）在福島事故發生數個月後承諾將關閉這座位於法國東部萊茵河邊，同時介於德國與瑞士邊界的費森海姆核電廠，但一直到 2018 年才獲得繼任者馬克宏的批准。該座核電廠由法國國營電力公司（EDF）負責營運，兩部機組中已有一部於今年 2 月除役，第二部則於 6 月 30 日關閉，預計將等到 2023 年完成燃料移除作業，而整個拆除工程預計最快將至 2040 年才可完成。

費森海姆核電廠的除役在今年夏天將導致約有 150 個家庭離開這個由 2,500 人所組成的小型社區，之後到 2023 年時，該座

電廠僅需要留下近 300 人來執行燃料移除的工程，待燃料移除工程結束後的最終拆除作業則只需要 60 人，與 2017 年年底時擁有超過 1,000 名的員工相差甚遠，當地一些依賴電廠員工為生的商家則開始擔憂前途未明。

在法國核電廠的運轉壽命並不受法律限制，但法國電力公司原先是將壓水式反應爐（第二代反應爐技術）上限設定在 40 年。法國核能安全管制機構（ASN）則表示，只有在大規模改善安全措施情況下，反應爐才有可能運轉超過 40 年以上。而費森海姆核電廠在 1990 與 2000 年代也發生過數起安全疏失，2007 年時甚至被瑞士一項研究發現，該地區地震風險在施工期間被低估，ASN 當時譴責法國電力公司「在核電廠營運方面缺乏嚴謹性」。

待費森海姆核電廠除役，法國仍有 18 座核電廠共 56 部機組仍在運轉中，發電量占國家總電量的 70%，為全球最大的核能消費國。◎

資料來源：

The Guardian. "France's oldest nuclear reactor to finally shut down." 28 June 2020.

# 加拿大放射性廢棄物專責機構 將開始高放最終處置場實地研究

譯 編輯室

加拿大放射性廢棄物管理專責機構（Nuclear Waste Management Organisation, NWMO）計畫在今（2020）年晚些時候於高放射性廢棄物最終處置場潛在場址開始進行實地研究，來決定潛在場址是否符合加拿大最終處置設施計畫的安全規範。NWMO 也在最近向兩個最終處置場潛在場址之一的安大略省南布魯斯市（South Bruce）的利害關係人更新現況，未來的研究重點將會著重在設施安全與環境保護上。

NWMO 表示，實地研究的範圍將涵蓋鑽探調查、地球物理研究、環境監測，以及如當地原住民文化調查等的其他現場調查工作。隨著計畫在未來數個月的進展，NWMO 將與當地的社區進行接觸，並分享與實地研究相關的資訊。

「NWMO 將展示任何選中的場址都可很長一段時間、且安全地來貯存、隔離用過核子燃料」，NWMO 選址部門的負責人同時也告知南布魯斯市議會，「NWMO 所選擇的方式符合國際間最佳的做法，也是超過 30 年所累積起來的科學發展與技術展示。」

加拿大高放射性最終處置計畫還必須接

受管制機構的審查，包括設施影響檢測評估與執照審查，來確保該計畫是依照保護當地居民與環境的方式來執行，NWMO 也將讓當地社區一同參與環境基準監測的程序設計。

另外，NWMO 還與當地居民合作，一同進行社區福利規畫的研究，來確保這項高放最終處置計畫能在符合社區成員關心、目標與期望的情況下執行。NWMO 補充，實地研究獲得的地質與環境數據，加上其他工程設計研究、安全評估分析與當地原生知識（Indigenous knowledge）提供的資訊，將可確保這座國家深層地質處置設施可在有力的安全論證（safety case）下興建。所謂的安全論證，是將所有有助於了解處置場是否可以安全容納、隔離用過核子燃料的資訊彙整在一起，來證明處置設施的安全性。NWMO 希望能在 2023 年、同時也在當地居民能接納處置設施的情況下，以確立國家高放廢棄物最終處置場的場址。◎

---

資料來源：  
World Nuclear News. "NWMO to begin field studies at Canadian repository site." 28 May 2020.

# 比利時核能管制機構支持高放廢棄物深層地質處置

譯 編輯室

比利時聯邦核能管制機構（Federal Agency for Nuclear Control）最近在一份有關高放射性廢棄物深層地質處置設施的提案中，表示贊成該設施設立。這份提案草案由比利時放射性廢棄物管理專責機構（Ondraf/Niras）所提出，並已於今（2020）年4月中至6月中向公眾與數個包含管制機構在內的政府相關部門公開，進行諮詢。

比利時聯邦核能管制機構表示，「利用我們現有的科學知識，深層地質處置為長期貯存最安全的選擇」，「由於放射性廢棄物可安全的進行貯存，並與我們的生活環境隔離，其他因新的事態發展而帶來如戰爭、氣候變遷與財政資源匱乏等的風險，也已盡可能的受到限制。」

不過，比利時聯邦核能管制機構也補充說，具體深層地質處置設施的安全性必須在晚些階段進行驗證，目前的提議僅討論了深層地質處置的原則，該如何、在何地、何時建造該座處置場仍尚未形成議題。同時，管制機構也提出了數項意見，包括不排除有跨國建造該座處置場的可能性，也必須將位於一個或多個地點進行長期管理的解決方案列入考量。

與多數生產放射性廢棄物的國家不同，比利時尚未就高放射性廢棄物的最終處置表達立場，比利時聯邦核能管制機構僅就這項深層地質處置建設提案的核能安全與保安進行監管，該座處置場的執照申請也尚未提交，具備適合建立處置場的地質組成、位置與貯存深度也尚未決定。

現在，比利時放射性廢棄物管理專責機構將需要把公眾諮詢的成果，以及各相關政府機構、地方政府、管制機構與其他單位等的建議，列入考量，然後向部長理事會（Council of Ministers）提交正式的政策建議。若比利時政府同意將深層地質處置設施計畫作為高放射性廢棄物一項長期的解決方案，比利時聯邦核能管制機構則將在未來繼續進行有關設施地點的構造與選址等將可能影響設施安全的決策。◎

資料來源：

World Nuclear News. "Belgian regulator supports geological disposal for high-level waste." 15 June 2020.

# 英國首相 重申支持核電立場

譯 編輯室

英國首相強生（Boris Johnson）最近在英國下議院舉行的「每週三首相問答時段（Prime Minister's Question Time）」中被來自卡萊爾選區的史蒂文森議員（John Stevenson）問到：「政府想要綠色能源，想要能源供應安全，想要促進地區經濟發展，想要鼓勵學徒與青年就業，想要增加創新投資並建立有力的供應鏈，而這些目標都將在坎布里亞郡（Cumbria，位於英格蘭西北部）實現，首相是否在政府財務援助的前提下對該郡新建的核電計畫給予支持？」

對此，強生如此回應：「我們相信核電是英國實現淨零碳排放野心一個重要、潛在的角色，我期待能與議員一起延續坎布里亞郡在新核能技術方面身為先驅的歷史傳統。」而強生在去（2019）年7月就任首相後首次參加首相問答時段時，就已表示他對核能發電的支持。

今（2020）年6月，一個由多間公司、公會與個人組成的團體，發起了一項呼籲為坎布里亞郡摩爾賽（Moorside）核電廠廠址一系列的核電計畫，開發一個「潔淨能源樞紐（Clean Energy Hub）」的倡議。這項提案是基於一座裝置容量達3.2百萬瓩（GW）

的新建核電計畫，以及數座小型模組反應爐（Small modular reactor）與進步型模組反應爐（Advanced modular reactor）的建設計畫，這些反應爐建設計畫和再生能源與氫氣生產等技術有互相關聯。

同樣在今年6月，英國核能工業協會（UK's Nuclear Industry Association）發布了一份由英國核能工業委員會<sup>[註]</sup>製作、名為《2050年達到40%潔淨能源：核能發電藍圖（Forty by 50': A Nuclear Roadmap）》的報告，該份報告稱，對新建核能計畫即時的決策，除了能幫助英國實現長期目標之外，還可「解鎖大型核電計畫」，從而在短期內迅速產生效益，幫助英國社會因應新型冠狀病毒（COVID-19）帶來的影響。根據英國核能工業協會的統計，英國Hinkley Point C、Sizewell C與Bradwell B核電廠的建設工程將可創造數萬個工作機會，並為當地帶來數十億英鎊（380億新台幣）的投資。

註：英國核能工業委員會（Nuclear Industry Council）為一個由英國政府與工業團體所組成的聯合組織，主要為英國核工業提供策略領導。

資料來源：

World Nuclear News. "UK premier reiterates support for nuclear." 16 July 2020.

# 國際原子能總署啓用用過核子燃料與放射性廢棄物資料庫

譯 編輯室

國際原子能總署（IAEA）與歐洲聯盟委員會（European Commission）及經濟合作暨發展組織其下之核能署（OECD/NEA）進行合作，於最近推出了一座新的用過核子燃料與放射性廢棄物之數據資料庫，以建立一座簡單、容易使用的平台，來促進各國間資訊的共享及呈報流程的簡化。這座用過核子燃料與放射性廢棄物資訊系統（The Spent Fuel and Radioactive Waste Information System, SRIS）將為各國與全球的用過核子燃料與放射性廢棄物貯存量，以及有關法律、法規、政策、計畫與活動等，提供一個官方、完整的視角。

IAEA 正致力於鼓勵各國政府，透過提名負責向該座資訊系統提交數據的代表，來推廣這項重要的工具，而其中一部份將對使用該系統的公眾與其他國家開放，至今已有 38 個國家已如此進行。

來自 IAEA 的放射性廢棄物管理資訊專家勒斯特（Merle Lust）解釋，在 SRIS 這座系統中，各國可以製作表格與報告，並提交至各個收集各國報告的單位，例如（用過核子燃料及放射性廢棄物安全管理）聯合公約、IAEA 的現狀與趨勢（Status and

Trends）報告、經濟合作暨發展組織核能署，或是至歐洲聯盟委員會給歐盟各國等。「SRIS 將為各國提供了一種『一站式服務（One-stop shop）』，為不同的用途來貯存、監管以及匯出數據，這也包含了履行在國際組織間的報告義務。」

放射性廢棄物是每年使用數百萬個醫療過程所產生的副產品，同時也是有輻射應用的工業與農業，以及生產全球約 1/5 電力的核反應爐的副產品。IAEA 表示，安全、謹慎的管理核子相關技術是未來可永續使用這些技術的關鍵。而 IAEA 也不斷地促進用過核子燃料與放射性廢棄物相關經驗之應用與分享，向各國提供訊息與指導，鼓勵各國成為《用過核子燃料及放射性廢棄物安全管理聯合公約》的締約國，旨在加強各國在計畫、開發，以及執行安全、可實行、高效率的用過核子燃料與放射性廢棄物管理策略的能力，該公約目前已有 83 個締約國參與。⊗

---

資料來源：

Nuclear Engineering International. "IAEA launches spent fuel and radioactive waste database." 4 June 2020.

# 美國佛特卡洪核電廠 乾貯設施完工

譯 編輯室

美國內布拉斯加州的佛特卡洪 (Fort Calhoun) 核電廠，最近完成為期兩年的乾式貯存系統設置工程，以及將用過核子燃料由燃料冷卻池移轉至乾式貯存容器中。此項計畫是由 Orano TN 公司執行完成，該公司表示，他們比預計時程提早兩週完成，並且將成本控制在預算範圍內。

Orano TN 公司於 2018 年與奧馬哈公共電力公司 (Omaha Public Power District, OPPD) 簽訂合約，工作範圍包括擴建佛特卡洪核電廠現有的 NUHOMS 型乾式貯存系統，並將全部的用過核子燃料從冷卻池移轉至乾式貯存設施中。

Orano TN 公司使用水下攝影機和輻射偵檢器對清空後的冷卻池進行全面的檢查，以確保所有燃料碎片都已收集並裝入乾式貯存容器中。Orano TN 公司與當地供應商合作，在 8 個月內完成 32 個水平乾式貯存模組的混凝土澆灌、機械車間組裝，以及許多其他工作項目。

OPPD 電力公司表示，此計畫於 2019 年 10 月中旬啟動，於 2020 年 5 月 8 日將最後一束用過核子燃料放入容器中，並於 5 月 13 日將容器固定在貯存模組內。Orano

TN 公司的團隊平均每個用過核子燃料容器的裝載週期只有 4 天，在業界名列前茅，並且整個計畫的總輻射劑量小於最嚴格的標準值。

佛特卡洪核電廠除役部門資深總監 Tim Uehling 表示，「要安全、按時、按預算完成此計畫，需要 OPPD 和 Orano TN 之間進行真正的合作。這項重大的成就展現出整個計畫中相關人員的用心與承諾。OPPD 的客戶可以放心，在 Orano TN 提供的乾式貯存系統中，用過核子燃料可以持續、安全地貯存。」

隨著佛特卡洪核電廠用過核子燃料裝載工作的完成，美國工業界最大的燃料池清運工作也隨之大功告成，總共是 3 部停機機組的用過核子燃料數量。這 3 部機組的清運工作都比預期時間提早完成，並且符合核安管制的要求。⊗

資料來源：

Orano completes dry storage campaign at Fort Calhoun, Nuclear Engineering International, 05/21/2020



### 國外新聞

#### 美國在減排計畫中認可核能的角色

美國眾議院氣候危機專門委員會（US House Select Committee on the Climate Crisis）最近公開了一份報告，確立了美國在 2050 年前實現全經濟（Economy-wide）零溫室氣體排放的目標。這份《氣候危機行動計畫（Climate Crisis Action Plan）》的內容除了支持維持現有核電廠的運轉，也呼籲美國國會支持進步型（Advanced）核電技術的發展。眾議院在去（2019）年初決議成立了這個由兩黨共同組成的氣候危機專門委員會，以制定相關政策、策略及創新的建議，來達到永久減少汙染及其他有可能造成氣候危機的行為。該項決議指示專門委員會必須提供基於科學的政策建議給轄區的管轄機構，以供其考慮及採取動作。

這份《氣候危機行動計畫》制定了一個全方位的框架，表達了從科學上必須盡速降低碳排放汙染的急迫性，讓我們能更有彈性地因應氣候變遷帶來的影響，並建立一個長久、公平的能源經濟體。另外，該計畫也指

出，核能是在 2019 年替美國生產 2 成的一種零碳電力來源（Zero-carbon source），同時也供應了超過一半以上的零碳電力，該計畫也提出了有關確保現有核能電廠的安全及持續運轉，以及對下一代核能技術進行投資等相關的建議。

氣候危機專門委員會也補充，下一代的核能科技有可能會是一種零碳電力來源，但仍存在許多與安全、（核子）擴散風險及成本相關的挑戰，他們建議美國國會應直接指示美國能源部（DOE）為下個如小型模組式反應爐（Small modular reactor）等的新核能技術提供支持，同時也要求管制機構核能管制委員會（NRC）對這些新興核能技術保持嚴格的安全與緊急事故規劃的要求。該份計畫也提到美國政府至今仍未能為美國的用過核燃料與高放射性廢棄物找到一個安全、長遠的解決方案，美國國會應繼續對此議題立法找尋合適、且獲同意的最終處置設施地點。

World Nuclear News, 07/02/2020

## 瑞典林哈爾斯核電廠 1 號機大修後提前重啓

負責瑞典林哈爾斯（Ringhals）核電廠營運的 Ringhals AB 公司，已在最近與瑞典國家電力傳輸系統營運商（Svenska Kraftnät）簽署有關該電廠 1 號機啟用的協議，旨在確保輸電網路的電壓穩定性以及短路功率（Short-circuit power），以應對瑞典南部在夏季的營運狀態。林哈爾斯 1 號機原預計在今（2020）年底除役，目前正在進行今年 3 月開始的大修，2 號機則在 2015 年時因為營利因素決定比原訂的時間早 5 年除役，並於 2019 年底執行。持有該電廠大多數股份的瑞典瓦騰福公司（Vattenfall）在 3 月底告知電力交易所，由於當時的電力市場價格，1 號機將繼續保持離線的狀態直到夏季，然後啟用到年底即永久關閉。

但是，根據最近這份與 Svenska Kraftnät 公司達成的協議，Ringhals AB 公司現在必須確保夏季為電網供電，在 7-9 月的合約期間，林哈爾斯 1 號機的兩部渦輪機必須維持運轉的狀態，該部機組因此在 6 月底重新併網發電。Svenska Kraftnät 公司在一份聲明中表示，夏季的利潤空間較小，為了應對電力中斷與不可預測的事件，需要採取不同的措施來提高處理意外失誤的能力，目前採取的措施則與瑞典南部的電壓穩定性與短路功率有關。

瓦騰福公司對此則表示，核電的其中一項優點為其可預測性，「核能通過可預測的電源供給，對電網具有穩定的作用，對諸如電壓控制與慣性類的輔助則沒有影響。今年春天的降雨導致水力發電量很高，也長

時間處於有風的狀態，但同時電網也需要非常大一部份是可預測、且不受降雨及季風影響的發電量，我們也因此與 Svenska Kraftnät 公司達成協議，同意提早重啟林哈爾斯 1 號機，為電網提升穩定性。」

World Nuclear News, 06/29/2020

## 烏克蘭國營電力公司將於 9 月底前完成集中式乾式貯存設施建設

烏克蘭國營電力公司 Energoatom 代理負責人 Peter Kotin，在最近於車諾比核電廠管制區域舉行的集中式用過核子燃料乾式貯存設施（Centralised Spent Fuel Storage Facility）工程會議中表示，該座集中式乾式貯存設施的建設工程將會在今年（2020）年 9 月底前完成。這座乾式貯存設施由於今年 4 月的新型冠狀病毒及發生於管制區域內的森林大火，而減緩了工程的建設進度，目前參與建築與安裝設備工程的人工數量正逐漸增加，也引入了一系列對設備監測的系統。

另外，這次的工程會議也提到，從烏克蘭 3 座核電廠至該座乾式貯存設施的鐵路已數十年未被使用，處於破舊的狀態，這段鐵路的翻修不應再有任何的延誤。目前鐵路恢復的計畫雖然已完成製定，但由於資金的缺乏，將無法在原計畫執行的時間內完成。

該座乾式貯存設施的工程總承包商 Ukrbudmontazh 目前正致力於恢復建設工程，目前已完成主要起重機的安裝，測試的準備工作正在進行當中。貯存設施放置處則完成了 110 座混凝土貯存容器的基座、引水渠與雨水井混凝土的澆築，以及一些路面鋪裝的工程。該座乾式貯存設施將為烏克蘭

3 座核電廠的用過核子燃料提供 100 年的長期貯存，設計的貯存容器容量將可容納超過 16,000 束的用過核子燃料。

Nuclear Engineering International, 05/25/2020

### 加拿大終止低放廢棄物最終處置場的環境評估流程

加拿大安大略省電力公司 (Ontario Power Generation) 已在最近正式撤回其在布魯斯 (Bruce) 核電廠設立一座中低放射性廢棄物深層地質處置場的場址準備工作與建設許可申請，也終止了該處置場的聯邦環境評估程序。終止的原因是來自當地的原住民團體 Saugeen Ojibway Nation，在今 (2020) 年 1 月時對在他們的領地上建造這座中低放深層地質處置設施投下反對票，安大略省電力公司也恪守他們在 2013 年對 Saugeen Ojibway Nation 的承諾，即不會在當地住民的反對下設立這座最終處置設施。

安大略省電力公司表示，加拿大環境與氣候變化部部長威爾金森 (Jonathan Wilkinson) 已接受他們在 5 月底撤回最終處置計畫的申請，以及終止環評的要求。另外，加拿大核能安全委員會也表示，安大略省電力公司也已撤回這座原預計在安大略省金卡丁自治區 (Kincardine) 建設的最終處置設施的執照申請。這座最終處置設施原計畫建在布魯斯核電廠下方 680 公尺深處，並將用來貯存安大略省電力公司負責營運的皮克林 (Pickering)、達林頓 (Darlington) 與布魯斯核電廠營運所產生的中低放射性廢棄物，目前這些廢棄物暫時貯存在安大略省電力公司的西部廢棄物管理設施 (Western Waste Management

Facility)。至於加拿大的用過核燃料則會在另一座深層地質處置設施進行最終處置，由加拿大放射性廢棄物管理專責機構 (Nuclear Waste Management Organisation) 負責執行。

World Nuclear News, 06/29/2020

### 日本福島第一核電廠 2 號機完成燃料池初步調查

日本東京電力公司 (TEPCO) 在最近完成受損的福島第一核電廠 2 號機燃料池的初步調查後表示，2 號機燃料池中用過核子燃料的清除作業沒有任何阻礙存在，預計將於 2024 財政年開始這項工程。與 1、3 號機相似，2 號機的反應爐在暫時失去冷卻系統的功能後也發生了爐心熔融的事故，但該部機組的反應爐本體，包含燃料池在內，並沒有發生氫氣爆炸。

東京電力公司使用潛水用遙控車輛替該部機組的燃料池進行了調查，發現池中燃料束以及貯存格架都未受到損害，但在燃料池底部卻發現了類似沙子狀的沉積物。東京電力公司表示，在調查燃料池期間捕捉到的圖像將用於設計移除燃料束的設備，預計 2024 財政年至 2026 財政年間開始燃料池內近 600 束用過核子燃料的移除工作。由於該部機組內部操作樓面的輻射劑量較高，不易進入，但東京電力公司已經完成清理內部還存在於操作樓面上設備，目前已可進入燃料池周圍的區域。根據東京電力公司的計畫，整座福島第一核電廠共 6 部機組的燃料池淨空作業預計將可在 2031 年前全數完成。

World Nuclear News, 06/11/2020

## 國內新聞

### 環境輻射監測又添生力軍！ 苗栗縣鯉魚潭、臺南市南化水庫兩站 正式上線

原子能委員會分別在 109 年 7 月 6 日與 20 日，新增鯉魚潭與南化 2 座環境輻射監測站，每隔 5 分鐘更新即時監測數據，民眾動動手指上原能會官網 ([www.aec.gov.tw](http://www.aec.gov.tw)) 或全民原能會 App 就可以看到全國 60 個環境輻射監測站的即時資訊。

原能會表示，要特別感謝經濟部水利署中區水資源局鯉魚潭水庫管理中心，以及台灣自來水公司第六區管理處南化暨鏡面水庫管理所提供之場地等資源，原能會輻射偵測中心負責輻射監測相關技術與設備，使全國環境輻射監測網再添生力軍，加強環境輻射監測。

原能會在台灣本島及離島地區業已建置 60 個環境輻射監測站，全天候 24 小時連續監測全國環境輻射變化的情形並即時公開，這 2 座環境輻射監測站的增設，讓民眾更能掌握生活周遭輻射的狀況。

本刊訊，07/20/2020

### 核一廠 2 號機緊急柴油機 A 台非預期自動起動事件說明

核一廠 2 部機組目前均處於除役停機狀態，7 月 8 日上午執行 1 號機起動變壓器檢修期間，2 號機緊急柴油發電機 A 台因 4.16kV 匯流排連接斷路器 (1-3) 開啟，於

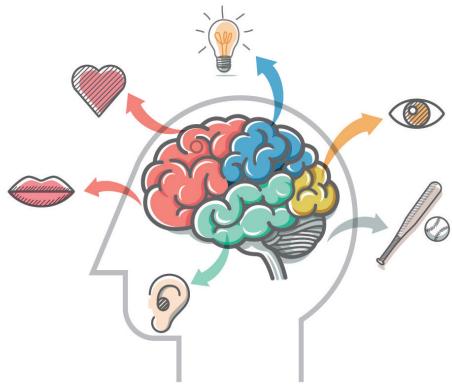
9 時 32 分自動起動。事件發生後，原能會駐廠視察人員即於第一時間確認相關設備依設計正常動作，電廠並依正常程序就相關設備進行檢視，確認相關設備及機組安全未受影響。目前電廠正就本次事件與 1 號機起動變壓器檢修作業之相關性進行了解，以確認本次事件的肇因。

原能會表示，本次事件並未影響機組及環境安全，機組仍維持於除役停機安全狀態。

本刊訊，07/08/2020



(左圖)南化水庫監測站 (右圖)鯉魚潭監測站。



# 什麼是放射性與輻射？(21)

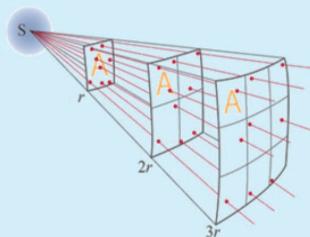
譯 朱鐵吉

## Q 體外曝露輻射的劑量要如何測量？

A 測量體外曝露的方法，一種是利用空間輻射劑量率的測量方法計算體外曝露的劑量，因為  $\alpha$  射線及  $\beta$  射線無法穿透體內，因此空間劑量率以測量  $\gamma$  射線為主。近來測量儀器多以微西弗 / 時 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 表示，這個測量值乘上時間就可以計算劑量。但是如果使用碘化鈉 (鉈) 閃爍偵測器，則需要另行作校正。

### 1) 距離：劑量率與距離平方呈反比

$$I = \frac{k}{r^2} \quad I : \text{輻射強度 (劑量率)} \\ r : \text{距離} \quad k : \text{常數}$$



### 2) 時間：劑量率相同時，曝露時間的比例

$$(總) \text{ 劑量 (微西弗)} = \text{劑量率 (微西弗/時)} \times \text{時間}$$

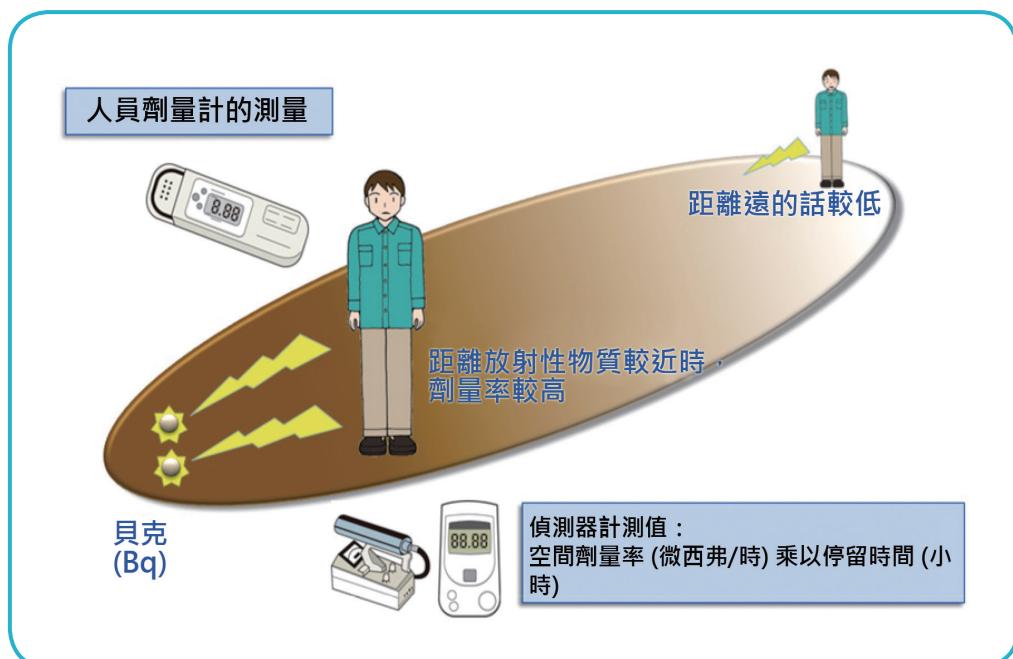
另外一種方法是使用個人劑量計的測量方法，個人劑量計長時間受到輻射照射後可以測量累積劑量，而求得一段時間所接受的劑量。



## Q 體外曝露劑量有什麼特徵？

**A** 同樣強度的放射性物質，距離愈近者接受輻射的劑量愈多，距離愈遠受到輻射的照射則愈弱。輻射的強弱是與放射性物質的距離平方成反比。

計算體外曝露的劑量時，放射性物質的強弱是以貝克 (Bq) 表示，計算人體受到輻射照射的劑量時，單位以戈雷 (Gy) 或西弗 (Sv) 表示。輻射的劑量率是固定的話，乘上受到輻射照射的時間就可以得出劑量多少。



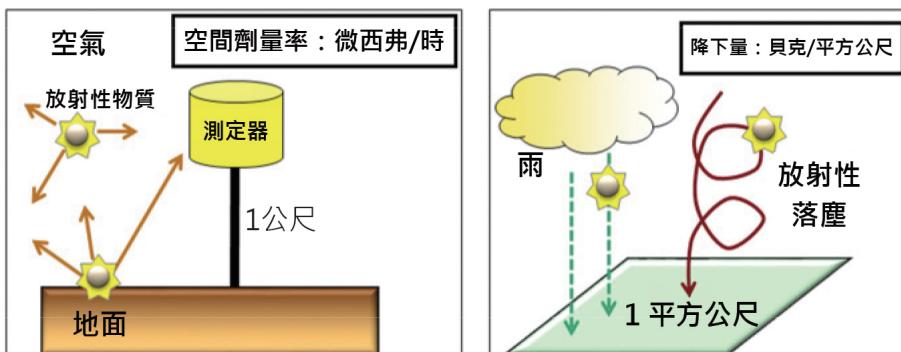
## Q 環境中的放射性該如何計測？

A 空間劑量率是測量空間中的  $\gamma$  射線劑量，其單位是以每小時多少微西弗 ( $\mu\text{Sv}$ ) 表示。偵測  $\gamma$  射線可以測量空氣中懸浮的放射性物質，也可以測量地面上的放射性落塵，同時也可以測量地面上含有多少天然及來自宇宙的放射性物質。

在人們活動的場所中，測量地面上 1 公尺高的空間劑量率，因為人類的重要器官大多在距離地面 1 公尺的位置。

放射性落塵的降下量，我們通常以單位面積中有多少落塵量來表示，例如每天或每個月落塵量是多少，可作為環境空間劑量率的警示值。

- 空間劑量率為測量空間  $\gamma$  射線。  
以微西弗/時表示。
- 降下量為一定時間在單位面積沉積多少放射性物質的量。  
例：貝克/平方公尺( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )



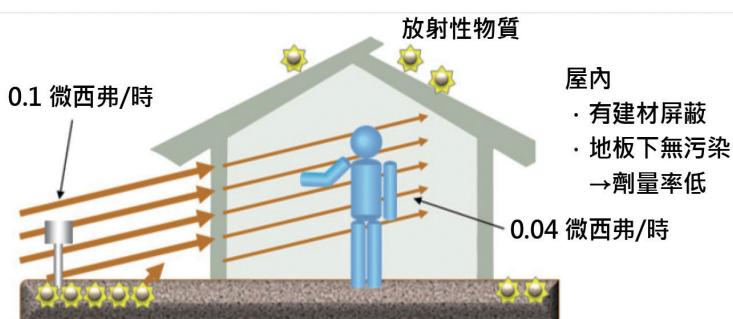


在建築物內，輻射曝露的劑量會不會比較少？



A 輻射從室外射到室內會受到建築物屏蔽的影響而衰減，可以採用政府公布的建築物衰減係數來計算。

衰減係數依照建築物的種類而不同，例如木造的建築只能衰減幅射 6 成，磚造鋼筋水泥的建築物屏蔽率則更高，可以比木造的建築減低輻射甚多。土壤表面若含有放射性物質，則距離放射性物質愈遠，受到輻射照射也愈少。



場所	衰減係數 *
木造房屋 (1~2樓建築)	0.4
磚或瓦的建築物 (1~2樓建築)	0.2
各樓層450~900平方公尺的建物 (3~4樓建築) 的1~2樓	0.05
各樓層900平方公尺以上的建物 (多層建築) 的上層	0.01

\* 當室外的劑量為 1、且離建築物夠遠時，建築物內部的劑量與其之係數比。

本單元資料來源：日本環境省《輻射的基礎知識與健康影響》第二章：輻射曝露·p.48-51· 2016 年。

# 同步。



## 安全處置 是我們的共同承諾

共享進步的同時也要承擔責任，核能電廠陸續即將除役，將來電廠除役後，不論低放射性廢棄物或用過核子燃料都必須整體妥善處置。只要面積不到二平方公里的地方，即可集中妥善處置我國、農、工、醫、學、研各界產生的低放射性廢棄物。

根據聯合國國際原子能總署(IAEA)統計，全世界34個國家80座低放射性廢棄物最終處置場，皆在安全運轉中並技術成熟。與世界同步，就差我們這一步。