

雙 月 刊

核能簡訊

NUCLEAR
NEWSLETTER

新冠肺炎大流行對電力的影響
芬蘭後端營運的公眾溝通
日本關西電力完成兩座反應爐的安全升級工作
芬蘭歐基盧歐托 3 號機組工程延遲至二〇二二年
瑞士米勒貝格核電廠除役

NO. 186
2020 OCTOBER

阿拉伯世界的 第一座反應爐開始供電



編
者
的
話

全球氣候變遷使得能源供應面臨許多風險，創歷史紀錄的洪水造成中國三峽大壩失去水力發電功能，長時間降雨使太陽能發電無用武之地，颱風頻仍使得天然氣運輸船隻無法正常航行。雖然新冠肺炎疫情帶來全球經濟大蕭條，連帶影響電力消費量驟減，但是長期來看，世界各國的電力需求仍將呈現正成長。

石油資源豐富的阿拉伯世界，對於電力供應向來不愁，但是為了因應國際社會義務必須減碳降排，以及降低對化石能源的依賴，遂加強再生能源與核能的開發。阿拉伯聯合大公國核能公司表示，他們曾考慮過天然氣和再生能源供電，但這兩種能源的產量有限，無法滿足該國的電力需求，因此轉向核能。

隨著巴拉卡核電廠的正式供電，阿拉伯聯合大公國成為阿拉伯世界第一個、也是全球第 33 個有民用核電廠的國家。這對阿拉伯聯合大公國而言是一個歷史性的時刻，該電廠若全面商轉可滿足該國 1/4 的電力需求，並用安全可靠無碳排放的電力提供民生需求與經濟發展，為該國能源部門的電氣化和電力脫碳作出巨大貢獻。全面商轉後，巴拉卡核電廠每年可減少超過 2,100 萬噸二氧化碳排放。

2018 年阿拉伯聯合大公國進行一項民意調查，希望作為該國能源計畫的參考與相關的國民教育所用。調查結果顯示，民眾支持核能的比例高達 83%，也有 78% 的民眾認為核能帶來的好處勝過其風險。

而芬蘭的波西瓦公司，在規劃用過核子燃料最終處置場計畫時就非常注重與民眾的溝通，透過大規模的公民參與系統以及公聽會程序，完成其環境影響評估草案，並在所有候選場址所在城市舉辦了多項公開討論活動，組成工作小組來蒐集民眾對未來的報告與研究的期望。當地參與活動的民眾普遍讚賞波西瓦公司，就相關議題及他們的擔憂進行公開討論，最終也獲得 Eurajoki 與 Loviisa 這兩個候選城市的支持，民調顯示超過 2/3 的居民都願意接納這座最終處置設施。芬蘭國會於 2001 年 5 月以 159:3 的壓倒性票數，正式批准波西瓦公司以 Eurajoki 作為場址的決策原則申請，芬蘭成為了全球第一座獲准建造用過核子燃料最終處置場的國家。

這兩個處於酷熱與酷寒的國家，民眾都是有智慧且務實的，他們深知在極端天候下要能保有富裕的生活品質，唯有穩定、清潔、便宜的電力供應才是最佳保證。因此，推動能源政策者只要讓民眾充分參與決策的過程，真誠解決民眾的憂慮，他們會做出最明智的決定。☺

目錄

熱門話題

- 2 新冠肺炎大流行對電力的影響 朱鐵吉
6 阿拉伯世界的第一座反應爐開始供電 編輯室

特別企劃

- 13 原子能科普展之有所感及啟發 (1) 蔡欣蓓、謝依倫、李冠儀、許芸禎
16 原子能科普展之有所感及啟發 (2) 陳郡宜

專題報導

- 19 芬蘭後端營運的公眾溝通 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 (3) 劉振乾

核能脈動

- 32 日本再處理廠完工日期再度延後一年 編輯室
33 日本關西電力完成兩座反應爐的安全升級工作 編輯室
34 菲律賓因應能源需求增長而發展核能 編輯室
35 芬蘭歐基盧歐托 3 號機組工程延遲至 2022 年 編輯室
36 波蘭將使用核能替代一部份的燃煤發電 編輯室
37 瑞士米勒貝格核電廠除役 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」? (22) 朱鐵吉

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：朱鐵吉
文 編：鍾玉娟、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



新冠肺炎大流行 對電力的影響

譯 朱鐵吉

2019年11月新型冠狀病毒肺炎(COVID-19)從中國開始蔓延至各國，現主要分布在歐洲和美國，不僅對健康造成嚴重的危害，而且對經濟活動也產生巨大影響。每個國家或地

區都禁止民眾外出旅遊，並且實施遠距辦公措施。隨著經濟活動減少，電力需求也隨之下降，不過，截至2020年4月23日，包括核能發電在內的電力供應並沒有受到影響。

經濟活動減少

統計至 2020 年 4 月 23 日，新冠肺炎感染人數為 2,620 萬人，死亡人數為 18 萬人。受感染 / 死亡人數的比例最多的國家最初是中國，但感染已擴散到歐洲和美國，美國已感染者及死亡者分別為 85 萬 / 4.8 萬人，位居第一；其次是西班牙 21 萬 / 2.2 萬人，義大利 19 萬人 / 2.5 萬人，德國 15 萬人 / 5,300 人，英國 13 萬人 / 1.8 萬人，法國 12 萬人 / 2.1 萬人。令人憂慮的是今後可能會擴展到亞洲、拉丁美洲、非洲等。中國目前情況為 8 萬人 / 4,600 人。

新冠肺炎的傳播對經濟活動具有重大的影響，2020 年 1-3 月，中國國民總生產毛額 (GDP) 比前一年同期下降 6.8%。在美國，3 月零售額比 2 月下降 8.7%，國際貨幣基金組織 (IMF) 表示，在雷曼兄弟 (Lehman Brothers) 次級房貸事件衝擊之後，2020 年世界經濟增長率為 -3.0%，超過 2009 年的 -0.1%，預計將比 1930 年世界經濟大蕭條後的經濟狀況更為惡化。

電力需求下降

新冠肺炎對能源和電力消耗也產生了影響。在歐美，燃料消耗驟減，原油等能源價格急劇下滑，美國的原油期貨價格 (WTI) 於 4 月 20 日出現有史以來未曾出現過的負值。

由於城市封鎖禁止外出，學校停課、工廠停工，商業設施停業，以及遠距辦公等等抗疫的對策，電力需求也下降。在中國，最早實施城市封鎖，2020 年 1 月和 2 月的用電量互相比較，2 月份下降了 7.8%，特別是第二級產業 (包括採礦業、製造業、建築業以及電力、燃氣、水之生產與供應等產業) 的用電量下降了 12%。

在歐洲，3 月份開始實施城市封鎖，義大利的電力消費下降 10-11%，西班牙下降 15%。在美國，3 月份加州和紐約州的電力消費也下降了 3% 至 7%，同樣受到城市封鎖的影響。美國聯邦機構預測，如果關閉商業設施或進行數月的遠距辦公，



2020 年美國的用電量將下降 3%。

對電源供應沒有影響

另一方面，在電源供應部分，到 2020 年 4 月 23 日為止，尚未發生重大影響。這是由於新冠肺炎引起的需求下降，以及由於暖冬導致歐洲供暖設施需求疲軟。此外，雖然每個國家的電力公司或多或少有一些員工感染新冠肺炎，但他們很快地採取因應措施，調整員工的上班制度。

實施緊急應變措施

在中國，政府單位指示電力公司採取特殊措施，將醫院需求和醫療產品製造廠的電力供應放在首位。例如首先針對被封鎖的武漢市電力指揮部，不允許任何職員離開或與外界聯繫。

在美國，聯邦政府依法將電力公司指定為「重要基礎設施營運商」，要求他們應負責持續運轉確保供應電力。對實施城市封鎖的紐約，聯合愛迪生公司 24 小時為臨時醫院的工作人員與被感染者供應電力。在歐洲國家，電力公司將員工轉移到適當的部門進行遠距辦公，並設立發電、輸電和配電服務部門來因應傳染病。

支持針對傳染病大流行的 PCA

法國的核能發電占 75%，電力和天然氣等能源公司已針對傳染病實施「業務活動連續性計畫 (PCA)」。

除了遠距辦公，法國電力公司 (EDF) 還決定在核能發電以及輸配電公司內實施業務活動連續性計畫。法國電力公司在 2000 年代初期為傳染病大流行制定了特殊的版本，曾在 2009 年

新型流感和 2013 年中東呼吸症候群冠狀病毒 (MERS) 疫情爆發時實施。

PCA 也在核電廠實施

針對法國每個電廠量身制訂的業務活動連續性計畫，首先就是遠距辦公。截至 4 月 1 日，在 19 座核電廠和 57 部機組中，有 40 部機組正在運轉，在 2 萬 2,560 名員工中，只有 1 萬名在電廠內工作，其餘都是遠距辦公。

第二是徹底清潔。在設施內部人員聚集地、常用設備和器材進行徹底的消毒。

第三是工作制度的改變。操作控制室已被指定為「庇護所 / 白色區域」，並且建立一套系統，以確保至少 3 名操作員的安全，通常約為 10 名。現場警衛和其他主管將平常的三班 8 小時輪班時間，改為兩班 12 小時。因此即使一個團隊中有人被感染，也可以由另一個備用團隊來代替。此外，如有必要，可以動員其他電廠和應變小組的操作員。還有一個稱為「潛艇模式」的系統，操作員可在控制室內逗留幾天甚至幾週。

截至 2020 年 4 月 23 日，尚未有因疫情感染而關閉的核電廠，並且對電力供應沒有影響。法國因暖冬影響電力需求外，由於疫情大流行的影響，3 月電力需求比平時降低了 20%。在法國因實施業務活動連續性計畫，電力供應並沒有下降。

繼續支付電費補貼

如上所述，每個國家的電力供應都沒有受到阻礙，但是消費者卻受到了影響。這是由於禁止外出和中止工作而導致收入不足，

有一些消費者無法按時支付電費。每個國家，電費付款期限都在延長或實行折扣。

在美國，佛羅里達州的電力公司提供 4 月份和 5 月份的家用電價 25% 的折扣，以及商業和工業電費 20-45% 的折扣，而威斯康辛州則是禁止中斷電力供應。

在歐洲，有許多電力公司對低收入家庭的消費者不僅繼續供電還給予折扣。西班牙在宣布緊急情況期間 (3 月中旬至 4 月中旬) 的一個月，甚至提供優惠電費給 200 萬名 65 歲以上的消費者。

影響業務績效和資本投資

在業務方面，除了因新冠肺炎導致的成本增加之外，電價的下降正在影響電力收入和資本投資。

例如，法國電力公司 2020 年將其核能發電能力從最初的預測調降 21%，並相應

調低其利潤目標。關於資本投資，決定修改當初為了 40 年以上的延役計畫的大規模工程。此外，目前正在建設中的弗萊明維爾 3 號機組建設已暫停，開始運轉時間從 2022 年延到 2024 年，而法國電力公司正在英國建造的欣克利角 C 核電廠，將人員數量減少了一半，不過仍然繼續施工中。

在其他國家的核能開發中，美國佛格托 3、4 號機組的建造團隊中雖有新冠肺炎感染者，但建設工程並未間斷。中國政府表示，新冠肺炎不會對新核電計畫產生短期的影響。此外，目前疫情對全世界的太陽能 and 風力等再生能源的發展尚未產生重大威脅。

但是，如果將來新冠肺炎疫情進一步擴大或延長，則可能會對電力業務產生各種效應，例如電源供應和電源開發。未來的趨勢值得我們密切注意。

(本文譯者為清華大學榮譽退休教授)



參考資料：

東海 邦博・新型コロナウイルスの電力部門への影響 (Energy Review, Jun. 2020: vol. 40. No.6 p56-57)



阿布達比是阿拉伯聯合大公國的首都及第二大城。圖為阿布達比的摩天大樓與阿提哈德塔大廈夜景。

阿拉伯世界的 第一座反應爐開始供電

譯 編輯室

阿布達比達夫拉（Al Dhafrah）地區的巴拉卡（Barakah）核電廠 1 號機組已與電網連接，並開始向阿拉伯聯合大公國供電。這部韓國提供的 APR1400 有望在今（2020）年稍晚正式投入商業運轉，這將是盛產石油的阿拉世界正式邁入核能發電的新紀元。

從考慮到建設，阿拉伯聯合大公國的核電之路

阿拉伯聯合大公國在 2008 年決定開始使用核電，並在 2012 年開始建造第一座反應爐。阿拉伯聯合大公國核能公司（Emirates Nuclear Energy Corporation, ENEC）旗下負責運轉與維護的子公司納瓦能源

（Nawah Energy Company），於 2018 年完成 1 號機組的建設，今年 2 月獲得聯邦核能管制局（Federal Authority for Nuclear Regulation）核發的 60 年運轉許可執照，並在 3 月完成燃料組件的裝載，於 7 月底啟動了巴拉卡 1 號機組；此後，運轉團隊進行了一系列測試，穩定提昇設備功率的水平。

與阿布達比國家能源公司（Abu Dhabi National Energy Company）的子公司——阿布達比輸電公司（Abu Dhabi Transmission and Despatch Company, Transco）的合作，巴拉卡 1 號機組的發電機現已整合，並與阿拉伯聯合大公國國家電網的要求同步。阿布達比輸電公司修建了 952 公里的 400 kV 高架線路，以將巴拉卡核電廠的電連接上阿布達比電網。

隨著整合與併網的完成，電廠運轉人員將開始逐步提昇 1 號機組的功率水平，也就是功率提升測試。ENEC 表示，在整個過程中，1 號機組系統遵循國際上最行佳的操作方式，以在逐步朝向滿載發電過程中能安全地進行測試。

輿論民意支持核能

根據市場研究公司 Kantar TNS 在 2017 年初進行的調查中（N=750），共有 83% 的人強烈支持核電；而在同一問題上，2013 年此一比例為 70%。共有 90% 的受訪者認為 ENEC 正在巴拉卡建造最高安全與品質標準的核電廠。此外，其他重要的民眾意見包括：92% 的人認為巴拉卡核電廠對國家很重要；阿拉伯聯合大公國對核電廠建設的民意支持度上升至 79%，比



阿拉伯聯合大公國成為阿拉伯世界第一個開發使用核能的國家。

2013 年增長 11%；認為阿拉伯聯合大公國擁有和平核能計畫以滿足國家電力需求的居民比例已上升到 69%，增加了 6%；阿拉伯聯合大公國居民中的絕大多數（81%）都知道阿拉伯聯合大公國核能公司，而 2013 年僅為 56%。

對周遭地區造成的威脅

不過，2019 年 3 月 20 日路透社的報導指出，卡達聲稱阿拉伯聯合大公國正在建設的巴拉卡核電廠對地區的穩定和環境構成嚴重的威脅，並呼籲國際原子能總署（IAEA）在波斯灣建立核子安全框架。

在卡達外交事務部致國際原子能總署前總幹事天野之彌的信中表示，卡達「對位於巴拉卡的核電廠的運轉表達嚴重關切。」卡達的聲明表示，阿拉伯聯合大公國與鄰國在核災應變規劃、健康與安全，以及環境保護各方面，缺乏任何國際之間的合作，這對該地區及其環境的穩定構成了嚴重的威脅。

阿拉伯聯合大公國核能公司執行長哈馬迪（Mohamed Al Hammadi）說：「1 號機組安全成功地連接到國家電網，這顯示出我們已經開始全天候提供潔淨的電力，為國家發展提供動力的關鍵時刻。1 號機組的連接電網確實是我們這項計畫新紀元的開始，這是建立在多年來的準備，和遵守最高國際安全與品質標準的基礎之上。我們對自己的員工和技術充滿信心，可繼續完成後續工作以達到商業運轉，並完成其餘 3 個機組的興建工程。我們的目

標是至少在未來 60 年內，為阿拉伯聯合大公國的電力需求提供 25% 的電力。」

哈馬迪補充說：「阿拉伯聯合大公國除了致力於其他形式的潔淨發電之外，此計畫還幫助該地區、也是全世界最具企圖心的潔淨電力轉型行動，使該國步上可永續發展和電氣化的新軌道。」

對產油國度的特殊意義

哈馬迪還在世界核能新聞網（World Nuclear News）撰寫專文，介紹阿拉伯世界第一座核電裝置正式啟動的特殊意義：

2020 年無疑是阿拉伯聯合大公國和平利用核能計畫至關重要的一年。阿拉伯聯合大公國已成為阿拉伯世界第一個成功開發使用核能，以生產安全、潔淨和可靠的基載電力的國家。

巴拉卡核電廠是阿拉伯聯合大公國一項重要的國家基礎設施項目，是眾多計畫的基石，並且是能源策略中不可或缺的部分，實現了更為潔淨的能源組合的多樣化。這座核電廠在全面投入運轉後，將滿足阿拉伯聯合大公國電力需求的 1/4，同時每年則可減少排放 2,100 萬噸的碳排放量，相當於每年減少 320 萬輛汽車上路，是阿拉伯聯合大公國邁向潔淨能源未來的里程碑。

除了歷史意義之外，阿拉伯聯合大公國得到最寶貴的經驗是如何達成這個關鍵性地位。哈馬迪表示這是十多年來的高瞻遠矚、策略計畫和奉獻精神的結晶，堅持遵

守核能安全與品質的最高標準，並與國際組織不間斷的合作。

巴拉卡核電廠在 1、2 號機建設過程中，遭逢新型冠狀肺炎病毒（COVID-19）疫情，工作團隊仍繼續安全穩定地工作，緩解了新冠肺炎帶來的嚴峻挑戰。自 2 月以來，他們一直與地方和聯邦當局以及國際核能界密切合作，以實施針對 COVID-19 強而有力的安全措施，進一步保護員工和設備，並且最大程度地降低對工程進展的潛在影響。現在證明他們所採用的方法，能使 1 號機組安全有效地按照預定的啟動時間表繼續前進，這讓他們感到非常自豪。

回顧過去，哈馬迪認為有 3 個關鍵因素使工作團隊能按計畫完成巴拉卡電廠計畫，並達到核能安全和品質的最高標準。

明確且一致的能源政策

首先，是確保核能政策從一開始就遵循明確且一致的規劃藍圖。

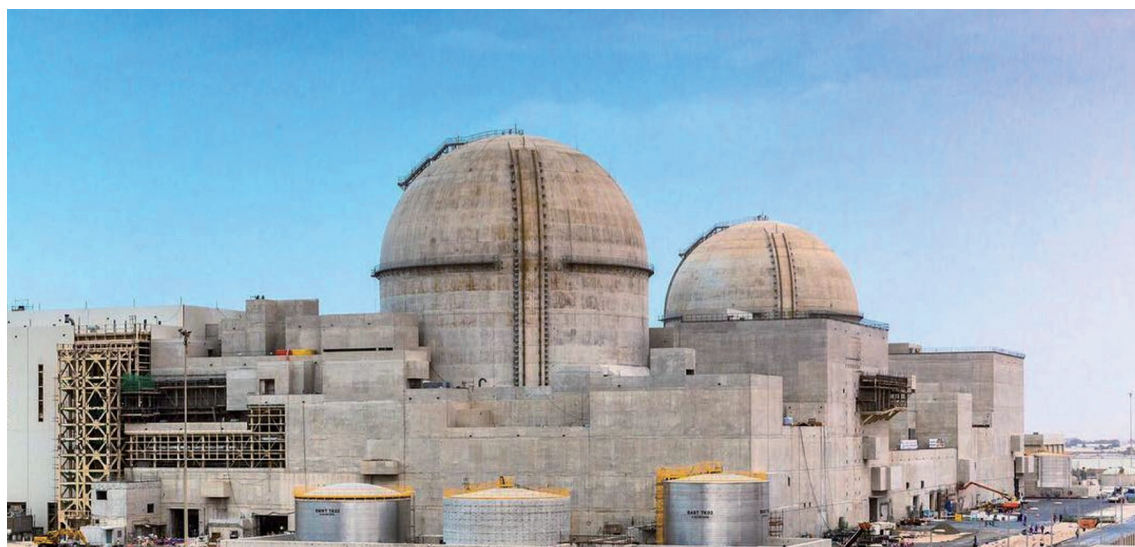
2008 年「和平利用核能的評估與潛在發展（The Evaluation and Potential Development of Peaceful Nuclear Energy）」政策概述了有必要開發更多的電力資源，以滿足未來的需求預測，並支持經濟能持續發展。

此政策確立了堅定的承諾，此後一直維持下去。其中包括致力於實現業務透明度、核不擴散、安全與保安的最高標準。包括了與負責任的國家以及直接與國際原子能總署合作的承諾；遵守其建立和平利用核能計畫的標準。

納瓦能源公司於 2012 年開始建設工程，

巴拉卡核電廠位於阿布達比達夫拉地區，位處波斯灣海岸線與 E11 公路之間的腹地，約在魯瓦斯以西約 50 公里處。（圖片來源：WNA）





2017 年興建中的巴拉卡 (Barakah) 核電廠。(圖片來源: 維基百科)

8 年後的現在已啟動了這 4 部機組中的第一座。在計畫開始時設定明確的政策和時間表，使工作團隊能夠從建設階段前進到以安全、有效率為前提的啟動作業。

高效能的國際合作

其次，與國際夥伴和利害關係人合作，這表示阿拉伯聯合大公國的計畫已經從數十年累積的專業知識和經驗中獲益，並將其吸收轉化成非常高效能的發展計畫。

作為一個開創性計畫，阿拉伯聯合大公國核能公司與主要承包商和合資夥伴－韓國電力公司 (KEPCO) 緊密合作，以確保巴拉卡核電廠符合所有國家法規的要求，以及國際標準。該電廠採用了韓國 APR1400 技術，這是韓國電力公司在過去 30 年中開發和精進的，並獲得韓國核能管制機構－

韓國核能安全研究所 (KINS) 的認證，可在韓國使用，同時也獲得阿拉伯聯合大公國聯邦核能管制局批准在該國使用；最近又獲得美國核能管制委員會 (NRC) 批准，未來也可在美國使用。這些核准行動清楚地表明，這一型反應爐的設計在安全性能和運轉功能方面都已達到最高的標準。

巴拉卡 1 號機組是在韓國以外第一個實際啟動的 APR1400，而有 3 部 APR1400 反應爐已經在韓國運轉一段時間，第 3 部是新蔚珍核電廠 (Shin-Hanul) 的 2 號機組，計畫在 2021 年初達到首次臨界。

諸如國際原子能總署和世界核電運轉者協會 (WANO) 等組織的指導，對巴拉卡的成就帶來重要的貢獻。今年稍早，來自世界核電運轉者協會亞特蘭大中心的國際核工業專家團隊，進行了廣泛的運轉準備

評估，得出的結論是，巴拉卡核電廠 1 號機組已經準備就緒。世界核電運轉者協會成功的完成啟動前審查（PSUR）的評估，代表電廠的人員和流程都已符合國際的啟動標準，得到國際專業的認可。

培養一整個世代的核能人才

第三，培養一整個世代有才華的核能專業人員，對於此計畫的成功至關緊要。自和平利用核能計畫啟動以來，他們努力不懈地招募、培訓和認證有專業能力的阿拉伯聯合大公國國民，以確保在巴拉卡電廠運轉 60 年中，擁有充沛的合格核能專業人力。

巴拉卡核電廠大約 60% 的員工是阿拉伯聯合大公國國民，這些專業人士已成為其專業領域的全球領導者。2019 年，他們在此計畫的人員開發能力方面獲得歷史性

的成就：第一批阿拉伯聯合大公國國民獲得了高級反應爐運轉員（SRO）和反應爐運轉員（RO）的認證，還有當地電廠運轉員、品質保證檢驗員和其他巴拉卡電廠運轉所需要職務的資格。迄今為止，已經有 72 位 SRO 和 RO 獲得了聯邦核能管理局的認證，其中 30 人是該國國民。

總體而言，核能部門是社會、學術和經濟成長的引擎。阿拉伯聯合大公國的核能經由建立本地永續的核能產業和供應鏈，創造了數千個高價值工作，進而支撐起經濟多元化。迄今為止，已有 2,000 家當地公司獲得了價值 48 億美元的採購合約，多家公司都有資格提供核能級產品與服務，展現了核能在豐富潔淨電力之外的價值。

在繼續向商業運轉行進的過程中，巴

時任國際原子能機構總幹事天野之彌於 2013 年到訪巴拉卡核電廠（圖片來源：維基百科）



拉卡電廠和更廣泛的阿拉伯聯合大公國計畫，無疑的為那些希望長期和平利用核能的新興國家，在社會、經濟和環境方面的各種益處提供新的基準。

提供全國 25%潔淨電力

阿拉伯聯合大公國核能公司最近宣布已完成了 2 號機組的建設，納瓦能源公司目前正在為運轉做準備。該廠 3 號機組和 4 號機組的建設，現在分別完成了 93% 和 86%，4 部機組的整體建設完成率現在已達到 94%。

一旦巴拉卡核電廠的 4 部反應爐全數運轉連網，這座核子設施將提供該國約 25%

的電力，並減少高達 2,100 萬噸的碳排放量，若非如此，這些電力將會以燃燒化石燃料的方式來生產。

世界核能協會 (World Nuclear Association) 理事長芮欣 (Agneta Rising) 表示：「對於在巴拉卡核電廠工作的所有人員來說，這都是一個偉大的成就。如今，越來越多的國家選擇使用核能，阿拉伯聯合大公國也加入了，這是他們對未來更潔淨、更永續的承諾的一部分。阿拉伯聯合大公國已經學到並且取得的成就應該在全世界複製，以便更多的人可以從核能提供的價值與利益中獲益。」



(左) 巴拉卡 1 號機組是阿拉伯世界的第一座核子反應爐 (圖片來源: ENEC)

(右) 巴拉卡核電廠約 60% 的員工是阿拉伯聯合大公國國民，這些專業人士已成為其專業領域的全球領導者 (圖片來源: ENEC)

參考資料：

1. UAE's first reactor starts supplying power, WNN, 08/19/2020
2. Nuclear Power in the United Arab Emirates, WNA, 08/2020
3. Qatar says UAE nuclear plant is threat to regional stability, Reuters, 03/20/2020
4. Viewpoint: A historic moment for the UAE, WNN, 08/10/2020
5. UAE completes construction of Barakah 2, WNN, 07/15/2020



原子能科普展之有所感及啓發 (1)

文 蔡欣蓓、謝依倫、李冠儀、許芸禎

藉由這次原子能科普展的活動，我們從原本連原子能委員會是什麼機構都不清楚，到了解工研院在原子能研究上的一些基本觀念，和發現微觀世界並不是只有單純研究原子內部結構而已，還能夠運用在生活中。

因為這次活動，我們有參與原能會的志工訓練，教了我們什麼是核能、基礎物理，還有原子能科技可應用的範圍，例如：醫療、工程、農業等。開拓了我們的視野，學到了課本以外的知識！

活動總共有 20 個關卡，每個關卡都有豐富的內容以及精美的小物，過了關還可以蓋章集點抽大獎，最重要的是回答民眾提問的專業解說人員！而我們 4 人各別擔任核災應變、核種鑑識、能源效益、乾式貯存的解說人員。從不知道這些關卡在做些什麼到了解並吸收，並將自身所學告訴民眾，讓我們體悟到把知識應用在生活中的學習方式會比讀課本學的更快更好，也將新的學問儲存到我們的長期記憶區。



闖關之後與關主合照

現在就介紹一下我們各別負責的關卡在做什麼吧！

核災應變：如何準備防災包、瞭解水泥牆和放射線之間的關係，以及如何保護暴露在核災危險下的甲狀腺。

核種鑑識：這次的活動主要是針對國小學生，關卡中利用彈珠台的方式進行，將彈珠打到人工或自然的放射性元素，可以讓小學生初步認識這些國高中才會學到的課程。除此之外，還可以讓小朋友透過親手組裝積木的遊戲，知道常見的人工放射性元素有哪些。

能源效益：原能會找了專業的遊戲設計團隊，打造出老少咸宜的平板遊戲。遊戲包

括了4種不同的發電方式，有風力發電、太陽能發電、綠能發電、火力發電，在電力調度後，可以調配出成本最低且效益最高的電源組合。

乾式貯存：由於核電廠要逐步除役，要將原本放在冷卻池中的用過核子燃料棒從原本的濕式貯存改成乾式貯存，將密封鋼筒吊入冷卻池中把用過核子燃料棒放入後吊起，進行排水、灌入氬氣，再將密封鋼筒放進混凝土護箱，讓多軸油壓板車運送到指定地點，之後再加上外部屏蔽，就完成了乾式貯存。

這些都是我們服務當天負責的關卡，為了這個活動也另外花時間找資料、複習自己該講解的內容，深怕沒有辦法把學到的

所有內容完整傳達給來參加活動的大眾們。

主辦單位提供了很豐富的大禮，有高級口哨、急救包、露營燈等，陳秀寶立委還加碼了5個象印牌保溫瓶。在開獎的過程中，我們也幫忙炒熱氣氛，抽獎時不吝嗇我們的掌聲，真心誠意為獲獎者感到開心，也希望自己被抽到，過程相當的愉悅！儘管最後沒有抽到任何獎項，但我們獲得的不是實質上的物品，而是這次特別的經驗，還有滿載而歸的新知。

雖然我們的主要工作是解說，但最讓我們印象深刻的卻是在閒暇之餘請教在場的專員們問題，他們都能應對如流，不僅拓展了我們的視野，也得到了想要的答案，對他們滿是敬佩！除了這些以外，我們自己也去體驗了闖關活動，發現了一些新科技產品：可彎折的太陽能板、隔熱效益較高且較為環保的隔熱貼膜、導熱性較好的地熱管，還有能夠解決紙吸管用久後會有軟爛問題的咖啡渣、甘蔗渣吸管。

活動當天來的人很多，有許多家長帶著可愛的小朋友們一起同樂，讓小朋友們可

以在小的時候就培養對科學知識的熱忱！如果是外縣市或是沒有辦法到場的人，原能會也有請到天氣女孩的成員 Yumi 做現場直播，在螢幕前的朋友也能一同參與，跟著 Yumi 一起玩好玩又有趣的關卡。這次的關卡也運用到新科技，利用 VR 的技術結合核廢料的後續處理方式，不用花大錢就能體驗到科技的日新月異。

不僅如此，更有多家新聞媒體來採訪關於這次的活動內容，甚至還採訪我們這些志工們，大大提升了和美高中的曝光度，也讓我們有這個機會可以上電視，非常的榮幸呢！參加這次志工活動就像吃巧克力一般，苦中帶甜，吞咽下去後口中還殘留著一絲餘韻，知識就像芬芳的巧克力香一樣讓人念念不忘又想知道更多，回味無窮。

在服務的過程中，學習到了如何應變民眾的問題，最讓我們難忘的就是有一個媽媽牽著一個孩子來參觀乾式貯存的關卡，當我在解說時，小朋友不斷的要觸摸放在櫃子上的展示品，可母親卻沒有立即阻止，當下在心裡默翻了好幾圈白眼，但仍

(左) 帶領小朋友闖關。(右) 細心介紹關卡內容。(圖片來源: 陳郡宜)



特別企畫

然堆滿了笑容繼續解說。我突發奇想，假如我改變了解說方式會不會比較好呢？於是我勇敢的踏出那步，是個成功的新開始，生動活潑的講解方式吸引了孩子的注意力，他又大又圓的雙眼水汪汪注視著我，而不安分的小手也不再隨便觸碰，他甚至對我的講解內容產生了興趣，頓時讓我充滿信心找到了參加這個活動的意義。感謝陳秀寶立委極力爭取將原子能科普活動在和美高中舉辦，替彰化子民謀福利，能有這個機會讓大朋友小朋友增廣見聞。

這個特別的經歷，對 108 課綱的我們有益無害，能夠將此次經驗放進學習歷程檔

案，或許是因為和美鎮不像大城市，我們無需搶破頭的爭取當志工的名額，也不用在活動中心裡人擠人的聽講，或是排很長的隊伍只為了一個關卡，更在這個相對封閉的城市裡，多了一條闖入新科技的通道！

現在這個多媒體盛行的時代，許多科普常識在網路上都能夠搜尋得到，但又有多少人能夠親身體驗和了解其中深奧的大道理，甚至可以將自身所學詳加介紹給其他人呢？幸運的我們在此鄭重感謝辦理這項活動的所有工作人員，希望還能參與這項活動，也期待能造福更多在地鄉親子民。

(本文作者:彰化縣立和美高級中學學生)



(左上) 協助小朋友玩遊戲
(右上) 以簡單的方式為小朋友解說
(左下) 太陽能發電 (圖片來源: 陳郡宜)

原子能科普展之有所感及啓發 (2)

文 陳郡宜

我是彰化縣立和美高中的學生，身為科學研究社的幹部，對於科學的知識都抱持著熱忱，很榮幸學校能夠邀請來自新北市的「行政院原子能委員會 (AEC)」抵達我的校區，當我得知這個部門正在為國家的能源努力著，便開啟了我對於原子能科技的興趣之門。

就在我升上高二的這個暑假，學校裡的活動中心舉辦這場「原子能科技普展」能為我的暑假帶來豐富的知識，因此我立刻向學校報名，擔任志工來服務參加活動的親子們，並從中學習知識。我曾經異想天開想像著，在平常上學時，也能如同假期中享用著剛熬煮好的珍珠奶茶一般，細細品味、咀嚼珍珠；而這時的科普展不僅為我的高中暑期增添了營養，也幫助我一探科學的奧妙。

彰化最近一直為了風力發電而努力，在展覽的關卡當中，那些巧思令我大開眼界：關主向我說明小型風力發電機如何運用鳥類的羽翼的構想，結合科技和大自然的智慧，不僅提升了風力發電的效能，更不用耗費過多的電力來維持風力發電機，雖然這項技術在彰化還未普及，但我深信在未來能成熟發展，並造福全人類。別認為這些知識太過艱澀難懂，而不敢嘗試呦～

用心的原能會運用遊戲的方式讓孩子們在遊戲歡愉的氛圍當中，享受著科學帶來的樂趣。

在第一關會提供平板給孩子們，利用遊戲和原子能科學的基本題目，讓來參加活動的小朋友闖關，關卡完成後還能獲得關主提供的色卡。當我看到親子們一同體驗這樂趣時，身為志工的我也歡愉許多。還有3項關卡是透過VR來學習：輻射並沒有想像中的危害，反而對我們的生活有所幫助，例如大蒜和馬鈴薯經由輻射照射芽眼，可延長它的保存期限，甚至是文物上的研究以及修護都有所貢獻。

在展覽區的輻射檢測儀器更是我從沒接觸過的，北投石是含有微量輻射的石頭，關主藉由將北投石藏在環境當中，再讓孩子們透過儀器來找出北投石所在，並教導他們如何觀測儀器上的數值。由於檢測到輻射時，儀器上的數值會大幅提升，且發出聲響讓檢測者得知有輻射，而孩子們在尋找到北投石之後，也會有很大的成就感。

相信大家耳熟能詳的就是在日本曾發生福島核電廠因為海嘯的摧殘而輻射外洩，讓當地居民受害，為此，原能會肩負著為食品安全把關的重責大任，能夠找出輻射



的有害物質，例如：碘 131、銫 134、銫 137，為國民的健康飲食做好層層管制，是輻射分析的有效應用方式。

最後，如何將核廢料妥善處理，相信才是民眾最希望了解的，展覽會場有針對核廢料製做出模型，原理是透過多重障蔽以及不同的材質將廢棄物包覆並放置於地底下 500 公尺，住在附近的居民不需要擔心輻射外洩的問題。

原能會在這次的展覽當中整合了多項技術，包括微電網、太陽能、風能、綠能，最重要的是將廢物轉變成有效的生質產品，像是這次疫情很需要的酒精，都能夠廢物再利用，相信原能會能夠有更傑出的發展！

(本文作者:彰化縣立和美高級中學學生)

(上) 小型風力發電機 (圖片截取自新彰化新聞)

(中) 核廢料處置模型 (圖片來源:陳郡宜)

(下) 以稻草製作而成的酒精 (圖片來源:陳郡宜)



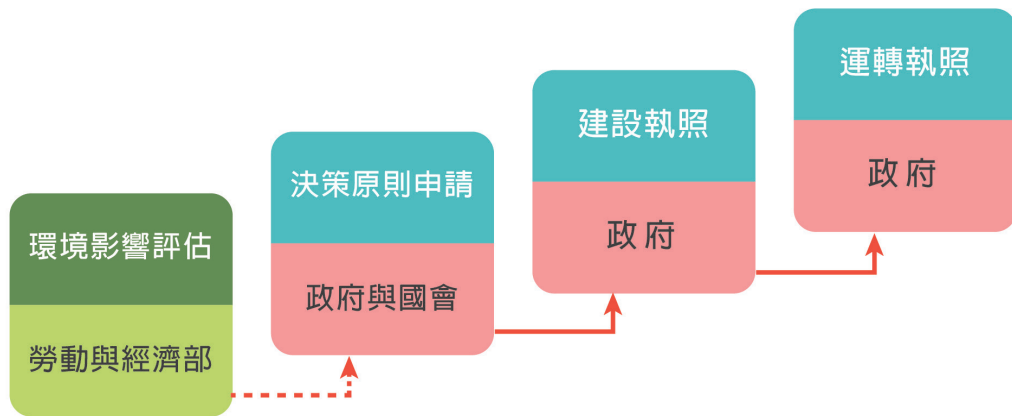
芬蘭民眾參與用過核子燃料最終處置設施環境影響評估的公眾溝通 (圖片來源: Posiva Oy)

芬蘭後端營運的公眾溝通

文 編輯室

全國 35% 電力來自核能的芬蘭，在 1994 年修訂核能相關法條（Nuclear Energy Act），確立所有由芬蘭產生的用過核子燃料必須在芬蘭境內進行處理、貯存與最終處置，禁止輸出至國外，同時也不允許他國的用過核子燃料輸入至國內。另外根據該法條，芬蘭的核能發電業者也必須負責所有放射性廢棄物的管理與相關的執行措施與支出，相關的費用也是透過事先收取的方式，成立後端基金，以滿足後續用過核子燃料最終處置場的建廠與營運需求。

在核能發電過程所產生中、低放射性廢棄物的處理與最終處置，以及與電廠內設施的除役和中期貯存的相關措施是由芬蘭的核能發電業者負責，屬於高放射性廢棄物的用過核子燃料，在完成中期貯存後的管理則由芬蘭波西瓦公司（Posiva Oy）負責執行。波西瓦公司是由芬蘭兩間核能發電業者 Teollisuuden Voima Oyj（TVO）與 Fortum Power and Heat Oy（Fortum），為了可順利進行用過核燃料的深層地質處置而在 1995 年共同成立的



芬蘭用過核子燃料最終處置設施設置流程

用過核子燃料處理專責機構，除了制定最終處置場相關的規劃與選址之外，也負責最終處置場的建設與營運。

芬蘭在 1978 年即開始用過核子燃料深層地質處置場的地質研究，並於 1983 年開始選擇用過核子燃料的處置方式與場址選址流程。根據芬蘭的核能法規，若要設立一座核能設施（包含最終處置設施），申請與審核程序分成 3 個階段，分別為：決策原則（Decision in Principle, DiP）申請、建設執照申請，以及運轉執照申請。

在為這座最終處置場提出第一個決策原則階段申請前，波西瓦公司必須先完成相關的「環境影響評估（Environmental Impact Assessment）」。而環境影響評估的結果必須與決策原則的申請一起提交，經場址當地的市鎮同意、管制機構審查、政府確認結果後上呈至國會待批准，即完成決策原則申請階段。

「環境影響評估」是為了確認某項建設計畫對環境造成的影響而進行的法定程序。而環境影響評估的另外一項目的，是為了加深與當地居民及全國公民的溝通與對計畫的參與程度，即便是在計畫剛開始的階段。整個環境影響評估為該建設計畫執行者（即波西瓦公司）的責任，評估的內容主要為研究該建設計畫對該地區帶來的影響，研究議題主要有以下幾項：

- 人體的健康、生活條件與舒適程度；
- 土壤、水源、空氣、氣候、植被、生物等之間的相互作用，以及生物多樣性；
- 社區架構、建築、景觀、城鎮景觀，以及文化遺產；
- 自然資源的利用。

另外，環境影響評估並不會受到任何與計畫有關決定的影響，也不會限制公民以其他方式為該建設計畫做出貢獻的機會。環境影響評估是在是否決定頒發執照許可

前就必須要執行的程序，主要是為決策提供更多額外的訊息。因此，在芬蘭若要為建設一座新的核電廠或是用過核子燃料最終處置設施提出決策原則申請時，都必須先進行環境影響評估。而若要為新建一座核電廠提出決策原則申請，也必須為該座新建核電廠的用過核子燃料的最終處置提出決策原則申請。

波西瓦公司在 1983 年即開始在橫跨整個芬蘭超過 100 處的地點進行大量的鑽探採樣，對不同地點的地質、水文、地球物理與化學等方面進行了勘查，於 1986 年時將候選場址範圍縮小至 5 處，都位於芬蘭的中、南部，並進行初步的場址特性調查。至 1993 年時將候選場址地點縮小至 4 處，分別為：Eurajoki、Kuhmo、Loviisa 與 Äänekoski，並進行詳細的場

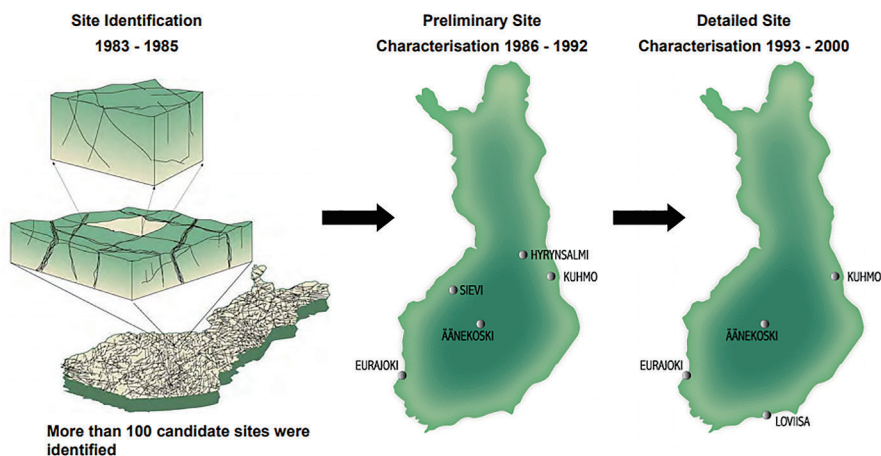
址特性調查。

在確定 4 處潛在場址後，波西瓦公司在 1997-1999 年間正式就用過核子燃料的最終處置開始環境影響評估的程序，並於 1997 年為用過核子燃料的最終處置起草一份環境影響評估計畫，所包含的地區為候選場址研究中確立的 4 個潛在處置場場址。

芬蘭這份環境影響評估計畫草案是在大規模的公民參與系統以及公聽會程序下完成。波西瓦公司在 1997 年秋季時，在所有候選場址城市舉辦了多項公開討論活動，同時由多位來自 4 座城市的協會與組織的人員所組成的工作小組，也蒐集了民眾對將來新報告與研究的期望。

這項環境影響評估計畫於 1998 年初結束，計畫內容包含與最終處置場、不同的

Site selection research programme 1983 - 2000



芬蘭用過核子燃料最終處置設施自 1983 年即開始場址選址流程 (圖片來源: Posiva Oy)

處置場建設選擇，以及所需執照等相關的基本訊息。而波西瓦公司已將這份環境影響評估計畫上繳至負責的官方機構，即芬蘭當時的貿易與工業部（現為勞動與經濟部）。在對環境影響評估計畫進行審查的同時，也進行了大規模的聽證程序，芬蘭貿易與工業部在 1998 年 6 月時，發表對這座最終處置場建設環境影響評估計畫的聲明，波西瓦公司也將芬蘭貿易與工業部的建議加入該計畫，再根據該計畫執行用過核子燃料最終處置設施的環境影響評估。

而環境影響評估的最終報告於 1999 年 5 月完成，內容包含對不同最終處置方式的可能性，以及有關如何監管該項處置場建設計畫、如何避免該項建設計畫產生不利影響等議題的評估。芬蘭貿易與工業部隨後向民眾公開最終處置場建設計畫的這份環境影響評估報告，並要求相關單位對此發表聲明，除了 Eurajoki、Kuhmo、Loviisa 與 Äänekoski 等 4 個潛在處置場場址的市政當局之外，還有鄰近城市、環保當局，以及其他參與的單位等。整個環境影響評估流程也在芬蘭貿易與工業部對該最終報告發表聲明後結束。貿易與工業部表示，這份報告非常詳盡、完善，同時也符合芬蘭環境影響評估法令的要求。

波西瓦公司在相關報告中說到，芬蘭這項用過核子燃料最終處置設施的環境影響評估流程，不僅是用來評估某項建設計畫對當地環境及居民的影響，同時也非常注重建設開發者與評估程序中其他參與利益者之間的相互作用，吸引各地區居民的參與，也鼓勵他們提出各種疑問，因而認識到評估的對象。為了實現公眾參與，波西

瓦公司透過下列多種方式來進行，其中包括：

- 將與環境影響評估相關的公告發送給各家庭和夏季居民；
- 可在波西瓦公司當地辦事處獲得的資料；
- 公聽會；
- 會心小組（small group encounters）；
- 為議會提供資訊及安排討論會議；
- 在相關市政當局為民眾與工會代表成立合作或後續追蹤小組；
- 提供諮詢回饋的展覽；
- 市政諮詢與專題採訪；
- 區域行政規模的討論會；
- 中央行政規模的討論會；
- 報紙專欄討論。

而在評估作業中，波西瓦公司也將當局的審查要求列入考量，其中在他們的聲明中較為核心的有：

- 若不執行處置場建設計畫的評估；
- 比較最終處置數種替代方案技術，並參考與（波西瓦公司傾向的）最終處置方案相關的影響；
- 各種替代方案中用過核子燃料再取出的可能性；
- 採用適合一般民眾的方式來檢測輻射的影響；
- 在人際的相互影響方面考慮到各個人群團體；
- 以用過核子燃料的數量來決定整個最終處置建設計畫的規模。

波西瓦公司將環境影響評估流程視為一項告知民眾、同時與民眾建立起連結的工具。在早期，各市政當局對在當地建立最終處置場建設均不感興趣，為波西瓦公司面臨到的困境，尤其是各市政當局在這種情況下仍必須就最終處置場的選址採取立場、做出選擇時，情況很可能會走向絕對的「否」的結果。

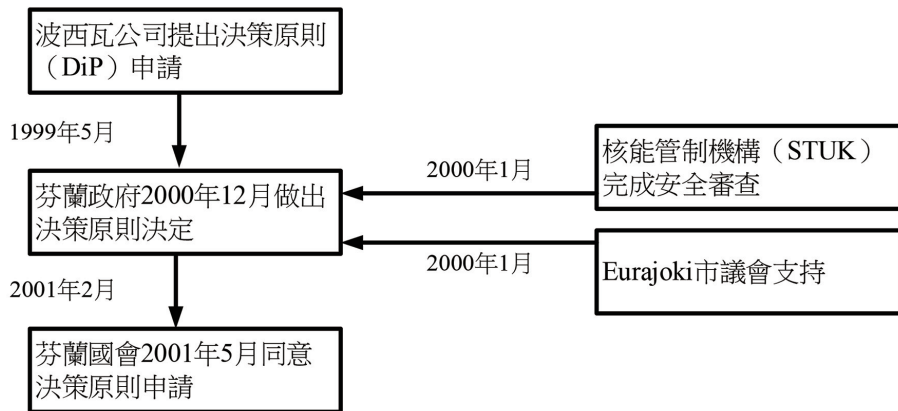
而在這種情況下，環境影響評估程序的出現反而讓事情變得方便許多。隨著 1994 年環境影響評估相關法案的通過，許多行業將其視為一個不小的負擔，但對波西瓦公司來說卻是一項有用的工具，因為它為各利害關係人參與放射性廢棄物政策與方法的討論，提供了一個合法的途徑。

除了就最終處置設施對社會與環境影響做出實際評估之外，環境影響評估流程也讓可能受最終處置場影響的利害關係人，去左右該建設計畫的規劃與執行。波西瓦公司也決定給予當地利害關係人決定環境影響評估內容的權力，並將專家與當地居民集結在一起，讓專家就相關議題提供專業知識與經驗諮詢，同時也讓當地居民表達這些事實與發現對他們來說代表的是什麼，為最終處置計畫與其替代方案布出一幅連貫的局面。

波西瓦公司在 1997 年時組織了一次大規模的公眾交流活動，活動形式包含了會議、出版物、展覽與民意調查，就民眾希望在環境影響評流程中看到的議題進行訊



芬蘭民眾參與用過核子燃料最終處置設施環境影響評估的公眾溝通 (圖片來源: Posiva Oy)



芬蘭用過核子燃料最終處置設施的決策原則 (DiP) 申請過程

息收集，波西瓦公司也為此在各候選場址舉辦討論會，並在活動期間收集到的意見作為最終處置計畫環境影響評估流程的基礎。當然在用過核子燃料處理有關的每個議題上都很難達到共識，但是於當地參與活動的民眾普遍讚賞波西瓦公司就相關議題與他們的擔憂進行公開討論。

儘管當時直接參與活動的人數不多，但民眾對用過核子燃料最終處置議題的興趣明顯開始增加，還成立了第一個支持最終處置設施建立的遊說團體。除了還是有批評波西瓦公司的聲音之外，有越來越多寫給當地報社編輯的信件，告知該座用過核子燃料最終處置設施可能為當地帶來的利益—主要為增加就業機會、來自核能設施的特別稅收與業務產生的收益等。來自Eurajoki與Loviisa兩座擁有運轉中核電廠（Olkiluoto與Loviisa）城市的投書者甚至提出了這樣的道德觀點：「在享受核

電廠帶來的各種好處後，現在我們也該認清我們對廢棄物的責任。」

在其他候選場址之市政當局與居民均反對設立用過核子燃料最終處置設施的情況下，Eurajoki與Loviisa兩個城市卻是完全相反的狀況，民調顯示超過2/3的居民願意接納這座最終處置設施，來自Eurajoki與Loviisa市政府的代表也開始與波西瓦公司進行於當地設立這座最終處置設施有關的商談。

最終，波西瓦公司於1999年5月向政府提出「以Eurajoki為用過核子燃料最終處置場場址之決策原則申請」，並於2000年1月通過芬蘭核能管制機構（STUK）的安全審查、Eurajoki市議會也以20:7的票數通過這項申請，芬蘭政府則於2000年12月表態支持，芬蘭國會更是在2001年5月以159:3的壓倒性票

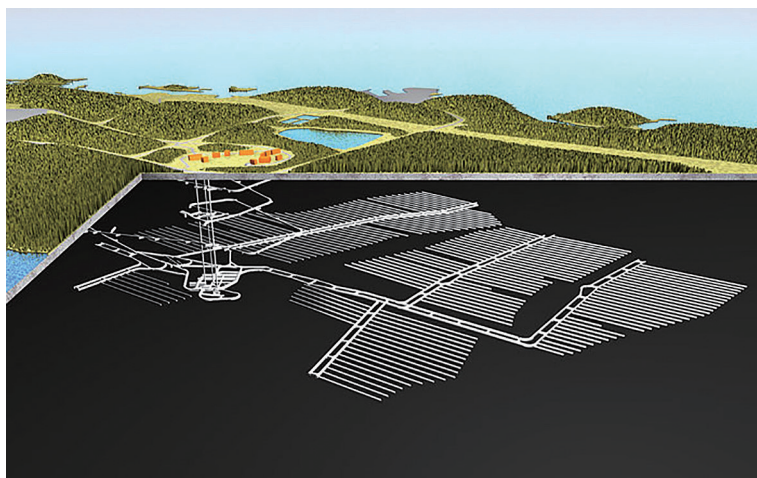
數，正式批准這項決策原則申請，成為全球第一座獲准建造用過核子燃料最終處置場的國家。

在芬蘭國會批准這座最終處置建設計畫的6個月後，經濟合作暨發展組織旗下之核能署（OECD/NEA）在2001年11月時，與芬蘭核能管制機構、芬蘭貿易與工業部、波西瓦公司以及VTT能源公司，聯合舉辦了一場「芬蘭用過核子燃料最終處置政策的逐步決定」之專題討論會，除了介紹這項決策原則的背景與過程，也透過聚集各界的利害關係人，詳細探討了芬蘭在最終處置設施計畫是如何進行有效的公眾溝通以達到今日的成果、有關用過核子燃料最終處置民眾是否獲得足夠的資訊、整個公眾溝通流程學到的經驗教訓為何，以及公眾溝通有何不足之處可進行加強等。

本刊自這場專題討論會的會後報告統整出幾項重點：

1. 芬蘭核能管制機構因在環境影響評估流程早期就參與其中而備受稱讚，大多數參與這場討論會的利害關係人均認可管制機構的中立性與技術能力，這樣的認可與信任尤其重要。
2. 總體來看，大多數參與這場討論會的利害關係人均認為就最終處置設施計畫有獲得足夠的訊息，有部分甚至表示訊息量過多。會議主持人補充，除了大量的訊息增加了計畫的可信度，及時提供足夠、詳細的資訊也扮演著重要的角色。
3. 大多數參與這場討論會的利害關係人均認可波西瓦公司與當地居民建立起「不間斷對話」的重要性，為最終處置設施計畫奠定了紮實的基礎，以便進行更多訊息的傳遞與討論。
4. 也有評論指出最終處置替代方案訊息的數量與質量均不足，無法進行各替代方案的比較研究，反對方也缺乏相關資訊

芬蘭用過核子燃料深層地質處置場示意圖（圖片來源：Posiva Oy）



來源來發展訊息傳遞，還有對其他國家類似的計畫也沒有提供足夠的訊息，為未來可加強的地方。

5. 儘管有部分參與這場討論會的利害關係人覺得環境影響評估流程是一個預設好的情境，但大多數人都認可該流程為一項富有多功能的工具。
6. 讓各利害關係人在參與環境影響評估流程的目的，應在流程開始前就向他們明確表達，環境影響評估在決策過程的作用也非常重要，若評估的權重很小，可能不易說服民眾進行參與。因此，地方與中央政府負有一定的責任，鼓勵民眾去了解整個計畫。

這場專題討論會的主持人在會議最後的評論中表示，自古以來由於受限於自然條件，芬蘭人民在冬日不得不忍受在極其寒冷的環境下生活，無論芬蘭人民在核能議題上的立場如何，他們都知道若能源供應出於任何原因而下降，他們的生活品質會

變得如何，這對芬蘭人民來說是一個「攸關生死」的問題。主持人也提到，芬蘭若是位在歐洲的南方，今日的結果或許會完全不同。

雖然芬蘭這座用過核子燃料最終處置設施在 2001 年就獲得政府與國會的認可，但波西瓦公司仍需要向芬蘭政府提出建設執照與運轉執照的申請，才可進行工程動工與設施營運。但後來由於 Olkiluoto 與 Loviisa 核電廠陸續決定新增核電機組，這也將導致最終處置設施需容納的用過核子燃料數量必須向上調整，每一次的調整波西瓦公司都必須重新走一次決策原則申請的流程（包含環境影響評估流程）。而芬蘭政府最後也准許最終處置場擴建，處置容量將從 9,000 噸鈾增加至 12,000 噸鈾，波西瓦公司隨後在 2012 年底提出最終處置設施的建設執照申請，終於在 2015 年 11 月獲得建設執照，開始在地下 400-500 公尺深處建造這座全球首座的深層地質處置設施。

參考資料：

1. Posiva Oy. "EIA – the Environmental Impact Assessment Procedure."
2. Posiva Oy. "Environmental Impact Assessment Report – General Summary."
3. Posiva Oy. "Expansion of the Repository for Spent Nuclear Fuel – A Summary of the Environmental Impact Assessment Report."
4. International Atomic Energy Agency. "Solving the Back End: Finland's Key to the Final Disposal of Spent Nuclear Fuel."
5. Juhani Vira. "Winning Citizen Trust – The Siting of a Nuclear Waste Facility in Eurajoki, Finland."
6. OECD/NEA. "Stepwise Decision Making in Finland for the Disposal of Spent Nuclear Fuel."



《考證福島核能事故— 爐心熔融與氫爆如何發生》讀後感 (3)

文 劉振乾

RCIC: 反應爐隔離冷卻系統

因為 RCIC 在沸水式反應爐 (BWR) 發生事故時的冷卻占有舉足輕重的地位，特設專節加以介紹。

使用蒸汽渦輪驅動泵浦達成冷卻目的，動力來源為反應爐的衰變熱，使用直流電源 (電池) 來控制。如圖 1 所示，採用圍阻體抑壓池 (SC) 內的積水為冷卻水，

並且將反應爐所產生的蒸汽送回到抑壓池，自成一個封閉的循環迴路。此型反應爐的抑壓池水量約為 3,000 噸，是針對 8 小時的停電而設計。假設 RCIC 能使用到它一半的水量蒸發出去，大致能冷卻反應爐兩天^[1]。

因此只要 RCIC 運轉中，就不會發生爐心熔融。燃料棒的溫度與冷卻水相同，約為 300 度，女川核電廠還有鄰近的福

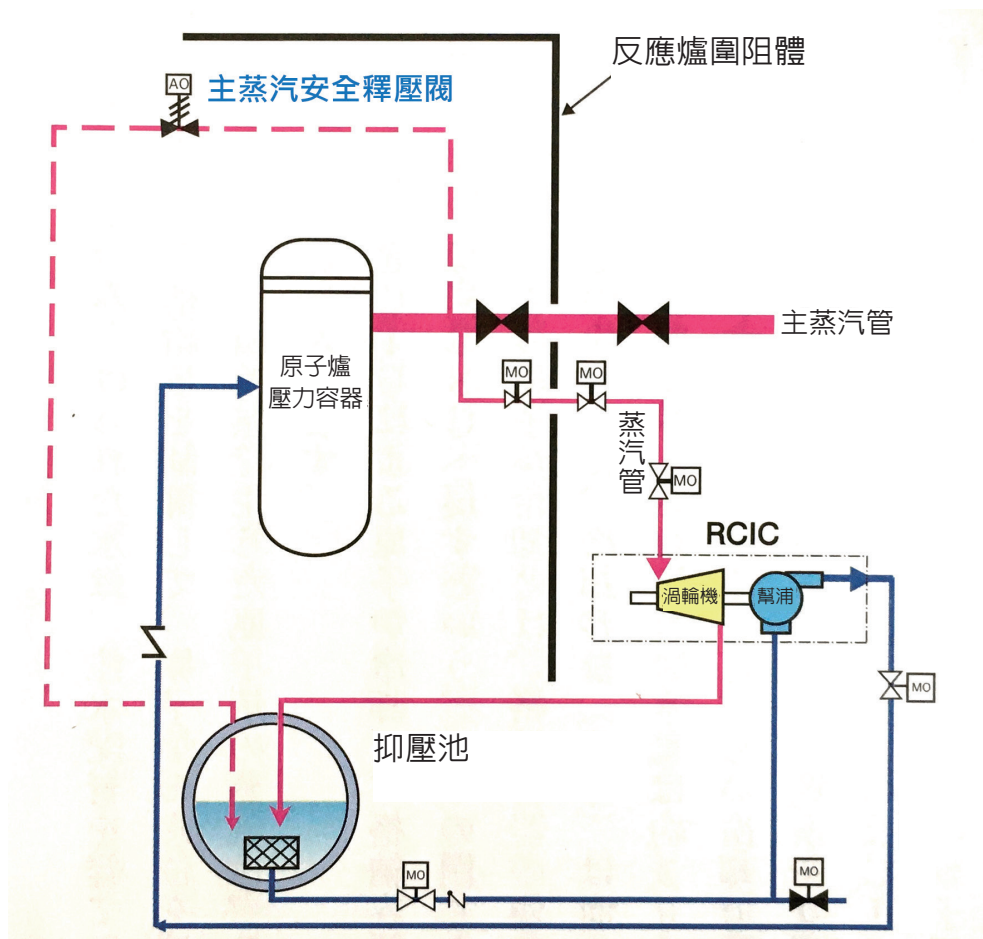


圖 1. 反應爐隔離冷卻系統 (RCIC) 圖

島第二核電廠、東海第二核電廠都是靠 RCIC 達成冷溫停機。

爐心熔融的經過

福島第一核電廠 2 號機的 RCIC 可能在 3 月 14 日上午 11:00 左右停掉。很偶然的，3 號機的反應爐廠房在 11:01 發生爆炸，使得為 2 號機注水而準備的管線與消防車

受損，以致當天晚上 8:00 左右才開始對 2 號機注水。

東電錯失可以避免爐心熔融的良機

結論：即使爐心完全無水，變為乾燒狀態，但是還沒有發生「爐心熔融」。此一證據是福島事故第一次展現給世人的重要知識^[2]。直到注水開始約 2 小時內，都

沒有發生爐心燃料的崩壞與熔融^[3]。

燃料棒溫度由於減壓沸騰而從 1,000 度降到 150 度，如果與此減壓同時將海水灌入反應爐中，就不會發生爐心熔融。因為當低溫時，被氧化膜包得緊緊的銦不會與水發生反應。不會發生「銦水反應」的話，即使燃料棒分斷、崩落，也不會引起爐心熔融，因為分斷的燃料破片會被水冷卻^[4]。可惜，東電錯失此良機。

14 日晚上 9:00 到 15 日早上，反應爐有 3 次的壓力急速上升，表示有 3 次的爐心熔融^[5]。

福島 1 號機正門附近劑量率的變化：

14 日晚上 10:00 與 15 日早上 6:00 兩次的高峰值，可以視為從 2 號機釋出的輻射，15 日早上 6:00 的是從圍阻體的破洞洩漏出來的^[6]。

14 日晚上 6:00 左右，水位降到爐心的最低部。其燃料狀態相當於圖 3（原圖 1.2.10）的 B 第二階段。當減壓（30 分鐘內由 7.5Mpa 降到 0.5Mpa）時，原來在 1,000 度左右的爐心燃料，受到減壓沸騰的蒸汽冷卻，降到接近水的飽和溫度約 150-160 度。相當於圖 3 的 C 第三階段。此時如能將海水灌入反應爐中，就不會發

表 1.2 號機爐心熔融的經過

時間	11 日 15:35	11 日 22:00~ 14 日 10:00	14 日 14:00~18:00	14 日 18:02	14 日 19:54
反應爐 水位		無變化，維持於 +3,400mm*			
反應爐 壓力			維持於約 7.5Mpa	30 分鐘內， 由 7.5Mpa 降到 0.5Mpa*	
備註	海嘯來襲， 直流電源 失靈	代表 RCIC 在無 控制下持續運 轉接近 3 天	水位下降很多， 但壓力不變，表 示無爐心熔融	將「安全釋壓 閥」固定為 「開」，強制下 降反應爐壓力	使用消防車 注水
		*經補正， 反應爐水位應 為+6,000mm		*燃料棒溫度由 於減壓沸騰，而 從 1,000 度降 到 150 度	2 小時內，燃 料棒溫度又 提升到 1,500 度

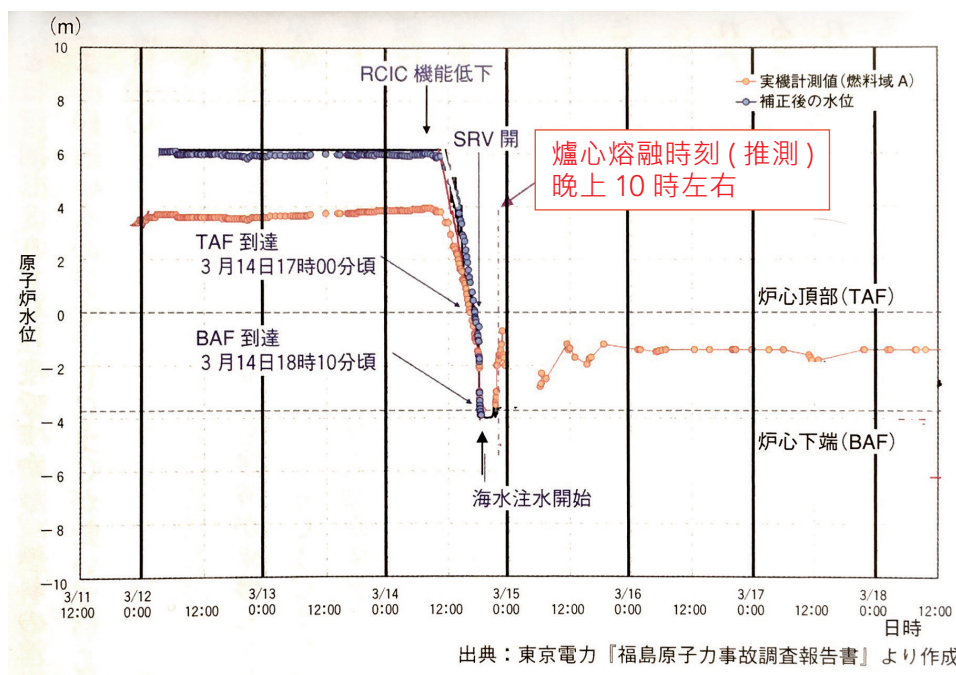


圖 2. 2 號機反應爐水位變化 (測量值)

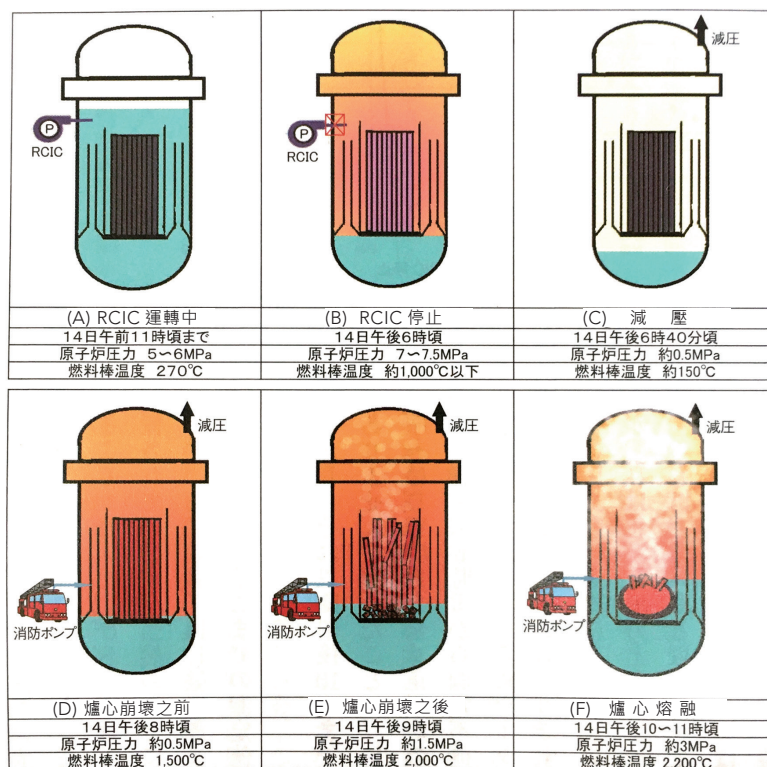


圖 3. 2 號機爐心狀況的進展 (模式圖)

生爐心熔融。

但是海水灌入反應爐的時間是 14 日晚上 7:54，這時燃料溫度已恢復到 1,500 度，相當於圖 3 的 D 第四階段。14 日深夜到 15 日清晨反應爐有兩次的壓力急遽上升，顯示有 2 次大的「銼水反應」。

氫氣的流出

圍阻體的上方有一處稱為反應爐穴的地方，約只有 300 立方公尺的密閉空間。上面是當燃料棒交換作業時要移動的混凝土製的「反應爐穴密封塊」，它的重量約有 600 噸。2 公尺厚的混凝土塊帶來的壓力只有 0.05 Mpa 而已，相當於水柱 5 公尺高的壓力^[7]。

圍阻體乾井的壓力有 0.8Mpa，只要有少許的氫氣從圍阻體上升，要讓 300 立方公尺空間的反應爐穴壓力上升 0.05 Mpa 是很容易的事。因此反應爐穴密封塊就被舉起，而氫氣從這空隙流到 5 樓的燃料交換樓層。當反應爐穴的壓力下降，失去把反應爐穴密封塊舉起的力量時，氫氣自然停止流動。

2 號機的反應爐廠房，由於 12 日 1 號機的爆炸，造成燃料交換樓層牆壁上的防止氫氣噴出的「噴出片 (blow out panel)」掉了，出現一個大洞，氫氣就沿著這大洞流到外側。時間大約是 14 日晚上

10:00^[8]。(譯註：blow out panel 的設計是為防止圍阻體因為壓力過高而破損。)

結論^[9]

與三哩島事故相比，2 號機帶來新的知識見解及其理由，簡單歸納如下：

1. 即使爐心完全無水，燃料無法冷卻變為灼熱狀態，一直到注水開始之前約 2 小時內，還沒有發生爐心燃料的崩壞與熔融。
2. 當注入的海水到達爐心底部的時候，產生燃料的分斷、爐心的崩壞，因為高溫銼與海水的氧化反應引起爐心熔融。這與三哩島的爐心熔融是同樣過程。
3. 由於爐心熔融產生大量的氫氣，因為圍阻體壓力的急劇上升，將圍阻體上蓋頂起，從其空隙流出的氫氣壓力將反應爐穴密封塊舉起，氫氣於是進入反應爐廠房，並從噴出片流到外部環境。
4. 由於熔融爐心釋出的輻射被直接釋放到大氣中，電廠周邊的劑量率大幅超過原子能總署的避難建議劑量。
5. 如果減壓同時將海水灌入反應爐中，就不會發生爐心熔融。

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.97. [2] 參考 p.101. [3] 參考 p.123. [4] 參考 p.103. [5] 參考 p.106. [6] 參考 p.115. [7] 參考 p.113. [8] 參考 p.115. [9] 參考 p.123

日本再處理廠完工日期 再度延後一年

譯 編輯室

日本原子力燃料公司（JNFL）已宣布，青森縣六所村的用過核子燃料再處理廠由於採取了新的安全措施，包括建造新的冷卻塔，預計完工的日期將再度延遲到 2022 財政年度（2022 年 4 月至 2023 年 3 月止）的上半年。

2011 年 3 月發生福島事故後，核子燃料循環設施新的安全標準於 2013 年 12 月生效。各設施的要求雖不盡相同，通常都會包括加強防範各種自然災害的威脅（如地震和海嘯），在某些情況下，還有龍捲風、火山和森林大火。再處理廠需要證明具備對付恐怖攻擊、氫氣爆炸、溶劑洩漏與液態廢棄物汽化所引起的火災等對策。

自 2019 年 8 月起，日本原子力燃料公司被要求必須在六所村再處理廠的兩個室外冷卻塔上安裝鋼製防護網，以保護其免受最大風速每秒 100 公尺的龍捲風襲擊破壞。其中一座冷卻塔位在用過核子燃料碎切廠房的屋頂上，日本原子力燃料公司表示，如果在上面加裝鋼製防護網，整棟建築物的抗震能力將因增加重量而受到影響。因此，他們決定另外建造一座冷卻塔，這座新的冷卻塔在地面上將會配備鋼質的防護網。

今 (2020) 年 7 月 29 日，日本原子力燃料公司獲得原子力安全規制委員會（NRA）的許可，可以修改再處理廠的安全措施。目前正在安裝其他與安全相關的設備與系統，並且採取其他對策，例如內部的防洪，加強管道的耐震性，以及預防內部火災的防範措施。

日本原子力燃料公司在 8 月 21 日時表示，「設計、製造和建造新的冷卻塔需要時間。此外，本公司將進行最終的自我檢查，以確認再處理廠的設計是否符合新的法規要求，並由原子力規制委員會確認我們的檢查結果。」因此，該公司已將完工日期從 2021 財政年度的上半年變更為 2022 財政年度上半年。

根據日本原子力燃料公司估計，六所村再處理廠一旦正式營運，每年最大的再處理能力將有 800 噸。

資料來源：

Japanese reprocessing plant delayed by another year, World Nuclear News, 08/25/2020

日本關西電力完成 兩座反應爐的安全升級工作

譯 編輯室

日本關西電力公司 9 月 18 日宣布，已經完成福井縣的美浜（Mihama）核電廠 3 號機組和高浜（Takahama）核電廠 1 號機組的安全改進作業，未來可延長運轉 20 年到 60 年。高濱核電廠 2 號機組延長運轉所需的工作則仍在進行。

根據 2013 年 7 月修訂生效的法規，日本反應爐的額定運轉期限為 40 年。依照這份嚴格的安全要求，反應爐只能延長運轉一次，並且最長不能超過 20 年。

2016 年 6 月，同為 78 萬瓩壓水式反應爐的高浜 1 號機和 2 號機，成為日本首兩座根據修訂後的安全法規獲得 40 年以上延役許可的機組。這 2 座機組分別於 1974 年和 1975 年開始運轉。2016 年 11 月，原子力安全規制委員會（NRA）批准美浜 3 號機（同樣是 78 萬瓩壓水式反應爐）可以延長運轉時間，這部機組是 1976 年開始投入商業運轉。

在高浜 1 號機和 2 號機，關西電力已經完成加固其圍阻體的工作。包括加強每座機組圍阻體的混凝土牆與反應爐二次圍阻體屋頂。關西電力也更換耐火電纜、安裝防火板，以及安裝額外的火災探測器與滅

火設施，以改善這兩座機組的防火功能。同時，也更換了燃料替換池，並在水池周圍建造防龍捲風牆。為了遷移 2 號機組的海水進水口，正在岩盤中開挖新的隧道，並在新的海水取水設施周圍建造一座防龍捲風牆。此外，這兩座機組現有的中央控制面板也已經更換。

美浜 3 號機組的大部分工作都與提昇設備的抗震性有關。關西電力加強了用過核子燃料貯存池，並更換燃料裝配架。它還更換反應爐爐心的內部結構，並提高反應爐圍阻體的抗震性。其他還包括改善防火工程、以耐火電纜替換舊的電纜、安裝防火板與火災探測器，以及安裝新的滅火設備。美浜核電廠還建造了一座新的、更高的防海嘯牆。

關西電力宣布，在美浜 3 號機組和高浜 1 號機組的改進工程都已完成，預計分別於 2021 年 1 月和 2021 年 3 月重新啟動。不過，在此之前，關西電力必須先獲得地方政府的核准。高浜 2 號機組的安全升級工作持續進行中，預計 2021 年 1 月完成。☒

資料來源：

Kansai completes upgrade work at two reactors, World Nuclear News, 09/18/2020

菲律賓因應 能源需求增長而發展核能

譯 編輯室

總部位於倫敦的智庫—惠譽解決方案公司（Fitch Solutions Inc.）表示，菲律賓可能最終會向核電開放，以滿足不斷增長的能源需求，並可能長期取代燃煤發電廠。

惠譽解決方案公司在 9 月 4 日發表一份研究報告表示：「核電將成為滿足菲律賓在未來 10 年內不斷增長的電力需求提供有效的解決方案，尤其是菲律賓的燃煤發電面臨越來越多的環境保護者極力反對的情況下。」

這份標題為《菲律賓有可能接納核能發電（Nuclear on the Cards in the Philippines）》的研究報告預測，由於高昂的資金成本、安全考量和較長的交貨時間，在未來 10 年內還不會有任何核電機組投入運轉。

惠譽解決方案公司預計，菲律賓的電力結構在未來 10 年內仍將以燃煤為主，到 2029 年，燃煤發電的占比將從 2019 年的 54.6% 上升至 60.2%。但是，由於結構風險的增加和民眾不斷的反對，如果重新引入核電，第一代燃煤發電機組很可能成為首要削減的對象。

在馬可仕政權時期，政府耗資鉅額成本

建造巴丹（Bataan）核電廠，但後來由於安全的考量遭到擱置。

惠譽解決方案公司預測，儘管新冠肺炎大流行在短期內對電力消費的成長幅度會趨緩，但從 2020 年到 2029 年，電力需求仍將持續增長，每年平均約增加 4.6%。菲律賓政府的目標是到 2022 年在全面電氣化計畫下實現 100% 的電氣化率。

該智庫指出，近來杜特蒂總統發布行政命令，正式研究引入核電的可行性之後，民眾對核能的關注日益增強。該國能源部持續與國際原子能總署（IAEA）緊密合作，共同發展建造核電的基礎設施。

研究報告指出：「如果將核能成功地引入電力結構中，燃煤電力將面臨被取代的最高風險。」

資料來源：

Philippines may go nuclear as energy demand increases, Asia News Network, 09/09/2020

芬蘭歐基盧歐托 3 號機組工程 延遲至 2022 年

譯 編輯室

芬蘭電力公司 Teollisuuden Voima Oyj (TVO) 在今 (2020) 年 8 月底時宣布，由於一些測試問題與技術性問題，歐基盧歐托 (Olkiluoto) 核電廠 3 號機組的建設承包商再次向其更新機組的建設時程表，並向 TVO 表示，該部機組裝填燃料的時間將再度往後推遲至 2021 年 3 月，併聯至國家電網的時間延後至 2021 年 10 月，正式開始商轉的時間為 2022 年 2 月，與先前計畫相比延後了 11 個月。

TVO 公司表示，時程會再次延後是因為系統測試緩慢、測試期間面臨到的技術性問題，以及因建設計畫延後造成的維修工作增加等等，備用零件的缺乏也耗去不少時間。不過，TVO 公司也補充，3 號機組建設工程面臨到的技術性的問題目前已解決，維修的工程也已開始進行。技術性的問題涉及海水系統的設備、增壓器安全閥的機械控制閥發現裂痕、備用柴油發電機有問題的零件，以及增壓器連接線的震動問題等。在某些自動化機櫃中還發現受損的電纜絕緣層，這項問題將於近期進行修復。

儘管發生新型冠狀病毒肺炎 (COVID-19) 大流行，TVO 於 3 號機組的工程仍未間斷，

「我們現正為 3 號機進行裝填燃料的準備，這對我們來說是非常重要的一個階段。」剩餘的系統測試、維護工作與技術故障排除工作都將在開始裝填燃料前完成。該部機組的建設計畫預計將由 1,500 名核工專家的協力下完成，約 3,000 項的商業運轉測試目前僅剩下數十項尚未完成。

歐基盧歐托 3 號機組的建設工程自 2005 年就已開始，原訂於 2009 年完工，但該建設計畫不斷面臨到工程延後與挫折，現已比原計畫落後了十多年，也大量超出原預算。



芬蘭歐基盧歐托核電廠 (圖片來源: 維基百科)

資料來源：
Nuclear Engineering International. "Electricity generation at OL3 delayed until 2022." August 31 2020.

波蘭將使用核能 替代一部份的燃煤發電

譯 編輯室

波蘭商業日報 Puls Biznesu 於最近報導，根據一項展望 2040 年的新能源政策草案，波蘭計畫比其先前訂定的時間更早淘汰煤炭的使用。該份文件是由波蘭氣候部所編制，其中指出，煤炭在該國能源結構中所占的比例應在 10 年內降至 35.6-56%，而去年 11 月政府報告中規定的比例為 56-60%。

根據這份草案，煤炭於 2040 年時在波蘭的能源消耗中所占的比例將下降至 11-28%，取決於未來二氧化碳排放許可的價格會是便宜還是昂貴。於 2019 年底，在開除前能源部長 Krzysztof Tchorzewski 之前發布的前一份草案，煤炭的占比為 28%。

Puls Biznesu 表示，氣候部長 Michal Kurtyka 已保證波蘭的能源轉型將會是公平的，並且將動用 600 億茲羅提（134.9 億歐元，約 4,590 億新台幣）的歐洲資金來為這一目標提供資金。

新能源政策計畫的目標是將再生能源的占比提高至少 23%，與 11 月份計畫的 21-23% 的目標相似，該份新草案仍然預測了核電廠和海上風電場的建設。波蘭政府

計畫在 2033 年啟用該國的第一部核電機組，並且每 2-3 年將有更多的機組加入商業運轉的行列，總計將有 6 部；海上風力發電裝置容量到 2030 年將增加到近 6 百萬瓩 (GWe)，到 2040 年則將增加到 8-11 百萬瓩。

Kurtyka 在今（2020）年 6 月時致函歐洲委員會（European Commission）的高層，表示「波蘭目前的基載電力大量依賴燃燒化石燃料，我們的地理位置不容許水力發電等非間歇性再生能源的發展，而 80 年代後期由於專制的決定而關上了核電這扇窗，再加上大量的人口與工業導致不斷上升的能源需求，使我們與歐盟其他夥伴處於不同的起點。這就是為什麼波蘭在借鑑其他成員國良好的榜樣和經驗之後，傾向開發零碳排放、可穩定供電，同時波蘭公民與經濟都可負擔得起的核能，來替代煤炭所提供的基載電力。」

資料來源：

World Nuclear News. "Poland develops more ambitious coal phaseout plan." September 08 2020.

瑞士米勒貝格核電廠除役

譯 編輯室

瑞士核能管制機構—核能聯邦核能安全調查局（ENSI），最近宣布瑞士米勒貝格（Mühleberg）核電廠的運轉執照已由國家聯邦環境運輸能源與通訊部（DETEC）發出的除役命令所取代。這座只有單部機組的核電廠自 1972 年開始運轉，雖然於 2019 年底停機，但一直到今（2020）年 9 月中開始才被視為將除役的機組。

米勒貝格核電廠的營運商 BKW 公司也在一份聲明中表示，該部機組在 2019 年 12 月 20 日結束營運後約 9 個月後關閉，新型冠狀病毒肺炎（COVID-19）至今並未影響到關閉的時程。「BKW 公司目前正就米勒貝格核電廠的除役進行開創性的工作，因為米勒貝格核電廠將是瑞士首次進行拆除的發電用反應爐，而除役這座核電廠的時間預計將需要約 15 年，預計可於 2034 年完成。BKW 公司主要會透過公司內部那些對系統具有豐富及寶貴專業知識的員工，來進行除役工程。」

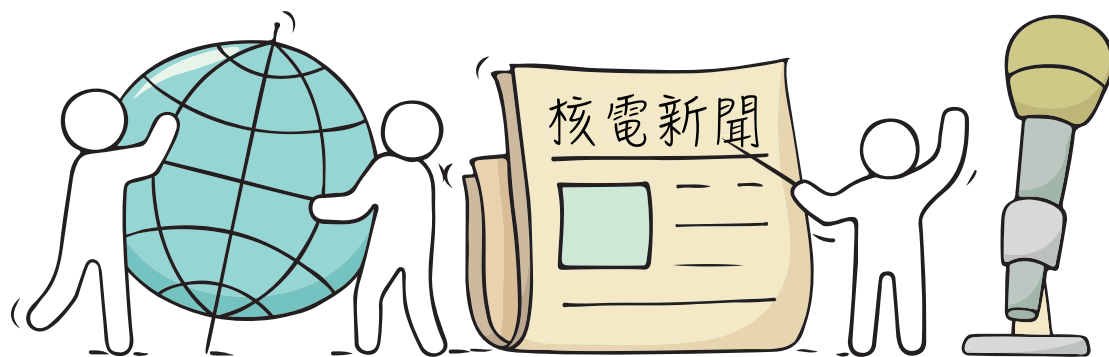
在拆除核電廠方面，BKW 公司也請來擁有國際經驗的廠商與專家協助進行，也確保了除役與放射性廢棄物最終處置的資金，BKW 公司須全額支付必要的費用。

米勒貝格核電廠的除役將分成 3 個階段來進行。第一階段將持續到該電廠內所有的燃料束都被移除為止，預計至 2024 年，目前該階段的工程也於今年 6 月獲管制機構同意進行；第二階段則預計於 2030 年結束，必須清空管制區域才可完成；第三階段的工程內容則必須證明整座電廠不再屬於有害的放射性來源，預計可於 2031 年完成。至於該座電廠的拆除作業，將依據瑞士國家聯邦環境運輸能源與通訊部的第二項除役命令來進行。



瑞士米勒貝格（Mühleberg）核電廠（圖片來源：維基百科）

資料來源：
World Nuclear News. "Mühleberg plant enters permanent decommissioning stage." September 18 2020.



國外新聞

車諾比核電廠用過核子燃料乾式貯存設施獲准商業運轉

烏克蘭國家核能監管局（SNRIU）已同意車諾比核電廠，可開始在廠內的用過核子燃料貯存設施（ISF-2）進行測試工作。該座設施在商轉後將會成為全世界最大的乾貯設施。

車諾比核電廠和美國 Holtec International 公司共同在聲明中宣布此重要訊息，這項許可啟動了一項工程，目的是將車諾比的 21,000 多個燃料組件分解成 3 個部分—兩個燃料束和一個活動的連桿，製造成「熱室」，將其包裝在可運輸的雙層容器中，之後放入乾式貯存庫中。

Holtec 公司於 2019 年 12 月將乾貯設施組合移交給所有者—車諾比核電廠。一旦電廠完成了最後一輪驗證性成分和整體效應測試，SNRIU 便核發許可。

SNRIU 主席普拉奇科夫在核發許可儀式上發表講話：「這是一個期待已久的重要事件，在未來 10 年內，將車諾比核電廠用過

核子燃料轉移到 ISF-2 長期安全的乾式貯存是關鍵之一，車諾比核電廠轉變為生態安全系統的里程碑。」

Holtec 公司表示，車諾比的乾貯設施是全球最複雜的乾貯設施，具有許多獨特之處。使用雙層容器可以使洩漏的風險降低到「不可置信」，並且使用強制氣體脫水器去除燃料中最後殘餘的水分，以確保貯存的安全性。

World Nuclear News, 09/09/2020

英國就除役政策徵求公眾意見

英國核能除役署（NDA）針對為其策略草案—《清理英國最早的核電廠，關懷人類與環境》發起公眾諮詢。此策略是回應《能源法》的要求，涵蓋範圍 100 年以上，每 5 年發布一次，包括 12 週的公共諮詢期。最近一次的協商將於 2020 年 11 月 8 日結束。

NDA 在其策略文件中描述將如何以保護人類和環境的方式，確保安全、經濟、高效地將英國擁有放射性廢棄物的舊廠址進行除役和清理。這包括全英國的 17 個核電廠，

將要拆除的 800 多座建築物，11 家企業和 15,000 名員工。

NDA 在這份策略草案的前言中說，新冠肺炎大流行的影響非常巨大，這將為支出審查（Spending review）過程所需的時間與持續時間帶來不確定性。因此，若有任何行動都將在「完全不同」的財政環境下進行，同時也使本來已經充滿挑戰性的局面更加複雜。另外，在支出審查結果變得更清晰之前，對 NDA 策略實施的總體影響尚不得而知。

NDA 表示，希望聽取公眾、核能監管機構、申請許可公司內的員工、工會、地方政府、電廠附近利害關係人團體、非政府組織以及其他任何組織或公共團體的意見。之後，將對協商發表回應，包括收到的回應的摘要，並斟酌情況修訂策略草案。經過英國和蘇格蘭政府的核准，NDA 將在 2021 年 3 月底之前發表這份文件的最終版本。

World Nuclear News, 08/21/2020

美國 San Onofre 核電廠完成用過核子燃料轉移至乾式貯存設施

隸屬美國南加州愛迪生 (SCE) 公司的 San Onofre 核電廠 (SONGS)，其第 73 個、也是最後一個多功能放射性廢棄物貯存容器，已安置在指定的地下貯存庫中。Holtec International 公司是負責 SONGS 除役的承包商。

由於監管作業的延誤以及在蒸汽產生器發現嚴重的安全問題，SCE 於 2013 年關閉 SONGS 核電廠。一旦國家級的廠外 (off-site) 貯存設施建造完成後，用過核子燃料就會運送過去該處貯存。

SCE 副總裁兼核能部門執行長鮑德

(Doug Bauder) 表示：「確保用過核子燃料能安全地貯存至將來運送到廠外的貯存設施仍然是我們的承諾。我們制訂了一項策略計畫，幫助我們尋求各種替代方案的機會，將用過核子燃料運離廠區，並確保在機會出現時我們的燃料可以隨時取用。」

SCE 可望在 2021 年初發表這份策略計畫，考慮將用過核子燃料運送到廠外其他貯存設施的替代方案，選項包括永久處置或是中期貯存。目前 SONGS 核電廠所有的用過核子燃料都存放在 123 個容器中，進行乾式貯存，這讓 SCE 可以專注於電廠除役的拆除工作。

Holtec 指出，SCE 選用 HI-STORM UMAX 地下 MPC 貯存系統，因為它可抵禦任何可能的威脅，包括強度超過以往任何記錄的地震。該系統為了延長使用壽命，使用低碳不銹鋼材料，強化焊縫和 Holtec 獨有的低熱量輸入焊接 (low heat input welding) 工法。Holtec 表示，每個 MPC 都使用強制氫氣脫水系統進行乾燥，該系統在乾燥用過核子燃料，特別是泡水和損壞的用過核子燃料方面，具有獨特的功效。

為了支援將用過核子燃料從濕式貯存轉移到乾式貯存，已為 SONGS 電廠開發並實行有明顯強化的功能，包括使用系統化的培訓方法制定培訓計畫，改進流程的詳細燃料裝填程序，以及開發與利用相機系統和裝填監控設備，以使容器能更安全地存放到貯存模組中。

Holtec 補充說，他們正在為 SONGS 貯存系統建立可靠的老化管理計畫，以確保在任何問題發生之前就可以進行識別。MPC

已經獲得運輸許可，並在廠外獨立的集中式中期貯存設施（CISF）完成時立即可以裝運，同時可將貯存容器從具腐蝕性的含鹽空氣中（例如 SONGS 電廠）移到熱傳導較佳的環境中。Holtec 目前正在新墨西哥州東南部的乾旱地區建立 HI-STORE CISF 設施，該設施將使用與 SONGS 相同的地下貯存系統。

Nuclear Engineering International, 08/13/2020

韓國月城核電廠用過核子燃料乾式貯存設施獲准擴建

韓國媒體報導，延遲了 4 年後，韓國政府終於批准了慶州月城核電廠的用過核子燃料乾式貯存設施的擴建申請。韓國水力與核電公司（KHNP）表示，現有的貯存量已達到 93.1%，因此，核安全與保防委員會（NSSC）於今（2020）年 1 月批准在月城核電廠再建造 7 座用過核子燃料乾貯設施的計畫。KHNP 表示，到 2021 年底，這裡將面臨空間用罄的危機，這將迫使一些反應爐停止運轉。

韓國貿易工業與能源部表示，根據意見調查結果，慶州地區發電廠附近的居民對此計畫持正面態度，因此向總理所主持的政策審查與協調會議報告此計畫。然而，鄰近的蔚山市民團體和居民仍持續表達抗議。

月城核電廠的廠內乾式貯存設施，用於貯存該廠 4 部 CANDU 壓水式重水反應爐的用過核子燃料，在水池中冷卻 6 年後，便存放於 MACSTOR / KN-400 模組中。現有的 7 座 MACSTOR-400 模組總容量為 168,000 束燃料組件。KHNP 公司於 2016 年 4 月申請擴建另外 7 座模組，預計這 7 座模組的建

造至少需要 19 個月才能完成。

Nuclear Engineering International, 08/24/2020

中國田灣核電廠 5 號機組現已投入商業運轉

中國江蘇省田灣核電廠的 5 號機組已成功完成 168 小時的連續示範運轉，現已投入商業運轉，成為中國核工業公司（CNNC）第 22 座商業運轉反應爐。

中國國產的 108 百萬瓩 ACPR1000 壓水式反應爐於 7 月 27 日達到第一個臨界點，並於 8 月 8 日連接電網。該機組在進入全功率示範運轉評估之前，已分別進行了發電量的 30%、50% 和 100% 的測試。CNNC 宣布，田灣 5 號機組於 9 月 8 日完成了全功率試運轉。

田灣三期—5 號和 6 號機組都是 ACPR1000 反應爐，2015 年 12 月 27 日 5 號機組澆灌第一批與安全有關的混凝土，6 號機組則是 2016 年 9 月 7 日，可望於 2021 年底投入商業運轉。中國國家核安全局 7 月 7 日核發田灣 5 號機組的 40 年運轉許可。兩天之後，該機組爐心燃料完成裝填。CNNC 指出，田灣核電廠 5 號和 6 號機組的自主化程度已超過 95%。田灣的 1-4 號機組是俄羅斯提供的 Gidropress VVER，7 號機和 8 號機也是同樣型式。

2019 年 3 月，俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）的工程部門 AtomStroyExport 與 CNNC 簽署了田灣核電廠第四期、第七期和第八期的總合約。CNNC 旗下的反應爐已達到 22 座，總裝機容量從 19,112 萬瓩增加到 20,230 萬瓩。

World Nuclear News, 09/09/2020

國內新聞

「台灣電力 APP」全新改版升級
生活用電更便利

台電公司自 106 年 9 月推出「台電 e 櫃檯 APP」，至今已服務約 90 萬筆繳費案件、6.9 萬筆申辦案件，累積使用人數近百萬人次，今 (2020) 年 8 月全面升級改版，並更名為「台灣電力 APP」，除既有的用電申請、案件管理與服務據點查詢等功能，此次擴充推出電費預繳、用電管理，及停電報修等新功能，讓民眾可輕鬆掌握電力資訊服務。

台電指出，民眾可能由於出國、旅居國外，或具多個用電地址等因素，即使電費單已寄達，但無法收件繳納電費，甚至遭到停電，而過往民眾若想預繳電費，需赴台電服務據點臨櫃辦理。此次「台灣電力 APP」增加預繳電費管道，民眾登入後綁定及驗證電號，輸入欲預繳電費金額，即可透過信用卡付款，或是到便利商店出示條碼繳費，提高用戶繳費的便利性。

「台灣電力 APP」也推出用電管理功能，民眾除可查詢與繳付最新一期帳單，若為用電戶名本人，完成電號認證即可進一步查詢歷史帳單與用電圖表，比較用電差異，瞭解自身的用電狀況。若是已安裝智慧電表的用戶，透過通訊傳輸功能，即時掌握用電情形，無須等到電費帳單寄來才知道用多少電，幫助民眾提早進行用電管理，節省用電開銷。

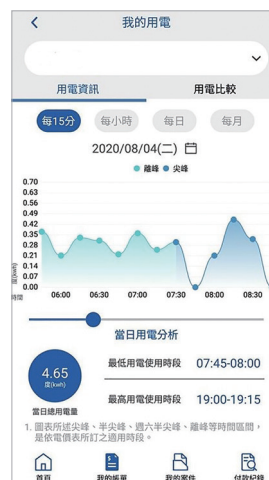
此外，民眾如遇家中停電，除可透過台電官網或「1911」客服專線通報，此次手機 APP 也推出停電報修功能，民眾可

透過掃描電費帳單上 QR Code 或自行輸入電號，通報台電搶修，並主動推播修復進度供民眾查詢。民眾平時若發現電線脫落、電桿傾斜等台電設備異常，也可結合手機定位拍照上傳現場照片，通知台電人員儘速搶修，預防停電事故的發生。

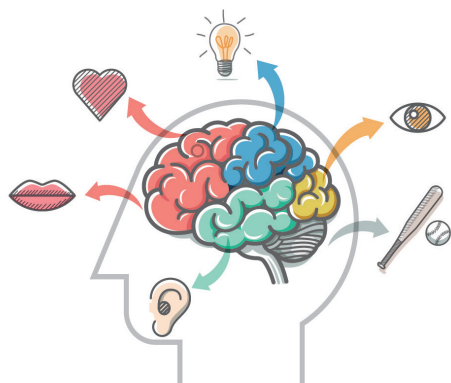
「台灣電力 APP」也持續精進既有功能，如多筆電費一次繳納、搬家結算功能，也另新增發票歸戶功能，民眾不用再擔心弄丟發票。◎

本刊訊，2020/08/21

「台灣電力 APP」推出用電管理功能，可查詢與繳付最新一期帳單。



已安裝智慧電表的用戶，可即時掌握用電情形。



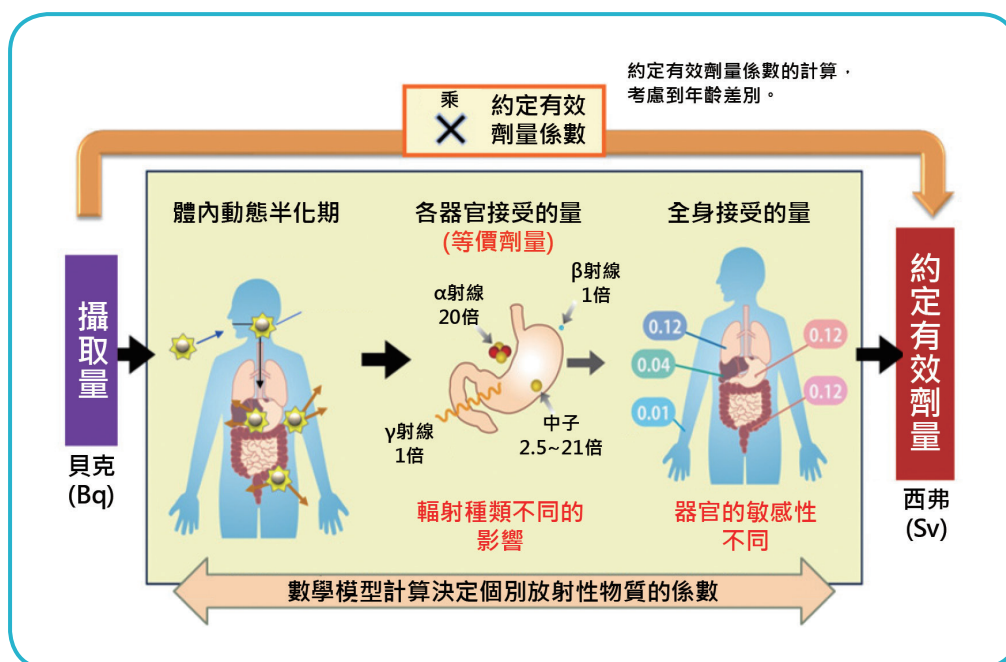
什麼是放射性與輻射？(22)

譯 朱鐵吉

Q 體內曝露的劑量要如何計算？

A 體內曝露是以計算有效劑量為主，首先要算出器官與組織的等價劑量再來計算有效劑量。

經由呼吸器官進入人體的放射性物質，或經由消化器官進入體內，雖然是同樣的放射性物質，但是在不同人體內的代謝與沉積的方式各不相同，並且放射性物質在嬰兒、兒童以及成人體內的代謝也各不相同。



由以上的不同條件用數學模式計算，求出各組織器官的吸收劑量，再根據輻射的種類及器官組織對輻射的敏感性，計算出體內曝露的劑量，稱為約定有效劑量。

實際上，利用約定有效劑量係數乘上攝取量（單位：貝克），就可以算出體內曝露的劑量。約定有效劑量係數，根據放射性的種類及攝取人年齡的不同而有所差別。

Q 如何由食品攝取量計算曝露的劑量？

A 舉例說明，成人攝取食物中含有銫 137 時劑量的計算。若攝取 1 公斤中含有 100 貝克銫 137 的食品 0.5 公斤，實際上，進入人體的銫 137 是 50 貝克。以這個量乘上有效劑量係數即可求得約定有效劑量。

約定有效劑量係數根據放射性物質的種類、攝取途徑（吸入或經口攝取）、年齡別，而分別訂定。

(例) 成人攝取含100Bq/kg的銫137 食品0.5kg

$$\begin{aligned}
 &100 \times 0.5 \times 0.013 = 0.65 \mu\text{Sv} \\
 &\quad (\text{Bq/kg}) \quad (\text{kg}) \quad (\mu\text{Sv/Bq}) \\
 &\quad \quad \quad = 0.00065 \text{ mSv}
 \end{aligned}$$



	銫131	銫137
3個月嬰兒	0.18	0.021
1歲	0.18	0.012
5歲	0.10	0.0096
成人	0.022	0.013

Bq：貝克 μSv：微西弗 mSv：毫西弗

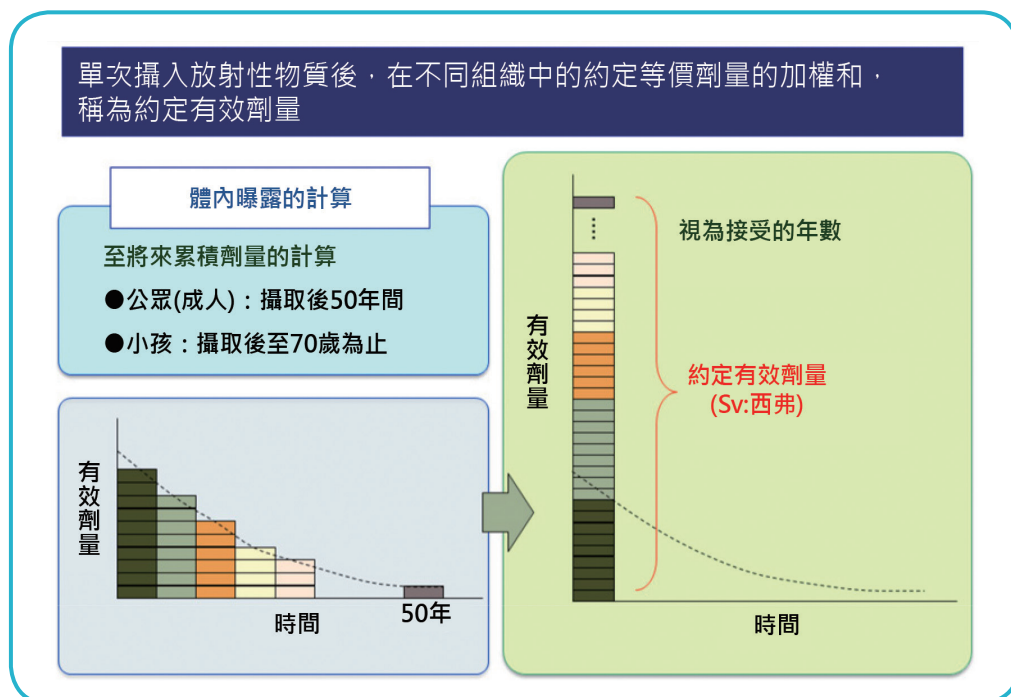
文獻：國際放射線防護委員會 (ICRP)
Database of Dose Coefficients CD-ROM, 1998

Q 如何計算約定有效劑量？

A 一旦某放射性物質被攝入體內，它就會進入各個組織和器官內，並對其曝露一段時間，這段時間累積的劑量可稱為約定等價劑量（單位：西弗）。放射性物質在體內隨著時間會慢慢減少，因為放射性物質會自行衰變，另外一方面也會經由排泄系統而排出體外。

人體的排泄速度，根據核種元素的種類與其化學型態，以及年齡不同而有所差異，約定等價劑量也會不同。若某放射性物質進入人體內，可以計算出在一生中所累積的量。

約定有效劑量的重點是在算出一生中累積的有效劑量，一生的劃分大多是以 50 年為基礎，小孩則是 70 年。放射性銫從體內排出的速度比較快，有效半化期銫 134 是 64 天，銫 137 是 70 天，攝取後 2 至 3 年間幾乎與香蕉中的鉀 40 含量相等，對健康沒有影響。



Q 如何得出有效劑量的換算係數？

A 體內曝露的劑量評估，依照核種化學型態以及推算攝取量，再由劑量係數乘上劑量而計算，劑量係數的數值表示是攝取 1 貝克時會造成多少的約定等價劑量或約定有效劑量。國際放射線防護委員會（ICRP），根據核種、化學形態、攝取途徑（經口或是吸入攝取）、年齡的各種數據而得出劑量係數的數值。

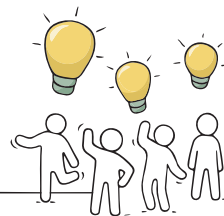
累積的時間，也就是劑量的累積計算期間，攝取後成人是 50 年，兒童是 70 年。

約定有效劑量係數 ($\mu\text{Sv/Bq}$) (經口攝取時)

	碘131	銫134	銫137	鐳90	銻239
3個月嬰兒	0.18	0.026	0.021	0.23	4.2
1歲嬰兒	0.18	0.016	0.012	0.073	0.42
5歲兒童	0.10	0.013	0.0096	0.047	0.33
10歲兒童	0.052	0.014	0.01	0.06	0.27
15歲	0.034	0.019	0.013	0.08	0.24
成人	0.022	0.019	0.013	0.028	0.25

$\mu\text{Sv/Bq}$ ：微西弗/貝克

文獻：國際放射線防護委員會 (ICRP), ICRP Publication 119, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, 2012



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.53-56·2016 年。



互相聆聽、開始對話！ 核廢社會溝通需要您的參與

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

世界上已選定核廢處置場址的國家，都是以科學與技術為基礎，透過與公眾及利害關係人的溝通，建立彼此間的互信及信心，逐步推展處置地點的評選作業。

我們也利用世界咖啡館的概念，秉持著「公正的組織體、公開的參與、客觀的標準」的理念，積極和民眾進行對話，擴大議題交流，增加合作互信的基礎，解決核廢爭議。