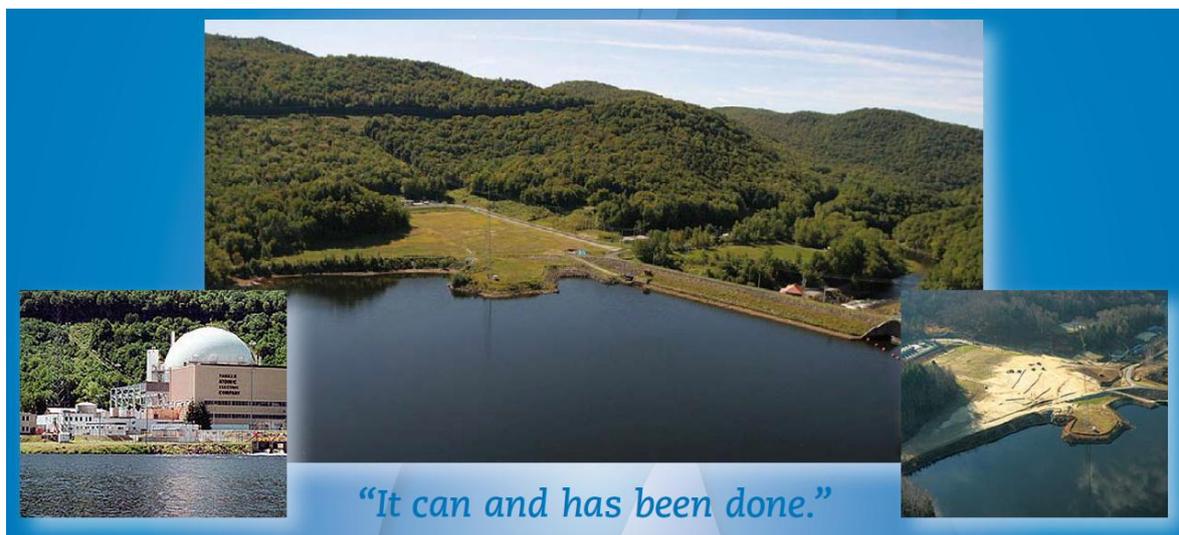


核設施除役

“可行且有成功案例”



鑒於過去 20 年所獲得的國際經驗顯示，核設施是可以被安全地拆除與除役，一旦我們作出停止運轉與永久關閉它們的決定。這本小冊子，著眼於核設施除役的整個範疇，並且展示世界各地的成功案例。進一步的訊息與資料可以在 NEA 的出版刊物和一些網站上找到。(請參閱這本小冊子的背面資訊)

本手冊係由經濟合作與開發組織/核能機構 (OECD/NEA) 的放射性廢物管理委員會 (Radioactive Waste Management Committee, RWMC) 所主導下的核設施除役與拆除工作小組 (Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD) 和核設施除役國際合作計畫 (Co-operative Programme on Decommissioning, CPD) 製作出版。



OECD 核能機構 (NUCLEAR ENERGY AGENCY, NEA)

核能發電所需之各類型核產業工廠

下圖顯示了通常涉及運用核能方法生產電力範疇內的各式工廠。鈾礦經過開採和碾磨(1)，並將之純化集中以提高鈾的濃度作為生產核電廠所需核燃料之原料。將純化集中的鈾再精製與進行化學轉變(2)，在某些情況下則進行再濃縮精煉(3)，以便形成更適合製造核燃料的形式。然後，精煉濃縮的鈾原料需經過加工製成燃料元件(4)俾供核電廠使用(5)。使用過的核燃料，或可被視為核廢物(儲存並等待處置)亦或再予以加工處理(6)。在再處理過程中，可重複使用的鈾和鈾將會被提煉出來，作為核燃料以便進一步利用(7)。



核設施除役之後

在大多數情況下，除役計畫所產生之大部分的廢金屬和其他物料既不是受到輻射照射污染，也沒有放射性，並且可以被回收和重複使用，或者可與一般的廢物一起被處置。有放射性的物料，將被予以分類和包裝，並且運送到放射性廢物處置設施（例如：法國的 Centre de l'Aube 低階放射性廢物處置場，西班牙的 El Cabril 極低階放射性廢物處置場），或當處置設施尚未建設完成時，將它們保存在暫時的儲存場所。在除役工作完成之後，該設施所在的土地將可以被還原作無限制用途的使用，作為工業用地使用或重新給核設施使用。

除役產生之廢物處置



Centre de l'Aube 低階放射性廢物處置場
(法國, photo: ANDRA).



El Cabril 極低階放射性廢物處置場
(西班牙, photo: ENRESA).

1. 鈾礦開採和碾磨

加拿大 Elliott 湖鈾礦開採場址之回填墾植 (蛇河分水嶺流域)

20世紀50年代後期至1996年之間，加拿大安大略(Ontario)省有許多鈾礦採掘、碾磨和礦石剩餘廢棄物(tailings)管理設施在蛇河分水嶺流域營運。那些設施的除役工作於1985年開始，並於2000年完成，期間所通過的協調合作過程涉及了礦區業主、省政府、蛇河第一民族社群和其他地方社區和有興趣的團體。在 90年代期間，該地區最顯著的設施結構物，包括碾磨設備，儲存筒罐和輸送帶均已被拆除。礦區入口處已被封閉，而土地之容貌也已被重新塑造，以反映其自然的狀態和再重新植被的景觀。



除役之前



除役之後

(Photos reproduced with permission of BHP Billiton)

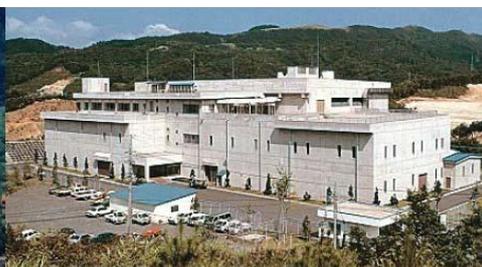
2. 鈾純化與轉化

Ningyo Toge 提煉與轉化設施，日本 (JAEA)

鈾轉化設施將鈾礦純化集中並加以轉換，以便加工製造核燃料。位於 Ningyo Toge 的鈾轉化設施從 1981年至 1999年之間即被用於相關之研究和開發活動，提煉天然鈾和鈾之再加工處理。這些鈾轉化設施在其營運壽命期間共計生產了超過 700噸的濃縮鈾。營運期間大約有 1,500噸的放射性廢物被產生出來，諸如：廢污泥和廢棄的鈾吸附材料。額外的廢物也會從各項拆除活動中出現。鈾提煉與轉化設施的拆除工作自 2008年開始，並預定將於 2012年完成。



Ningyo Toge 環境工程中心



鈾提煉與轉化設施

(Photos courtesy of JAEA)

3. 鈾濃縮

美國能源部東田納西科技園區(ETTP)

位於橡樹嶺(Oak Ridge)的東田納西科技園區(ETTP) 最初被建造作為一個國防計劃之的鈾濃縮設施。自從 1985年停止生產濃縮鈾之後，園區大部分的設施就已經不在運作了。K-25 是一座只在同一個屋簷底下，長約 1.5公里的 U形巨大建築物，擁有 18公頃的面積。該建築物就座落在 ETTP 園區的中心附近，並於 1943年建造完成。K-27 大廈是一個長方形的建築，建於1945年，佔地約 3萬 5千平方公尺。除了形狀和大小不同之外，這兩座建築物在施工建造和建築材料方面都非常類似。這兩座建築物裡都含有受到放射性污染的建物結構和有害物質，並已被規劃在拆除計畫中。此項工作已接近完成階段。



(Photos courtesy of the US Department of the Environment)

K-25 建築物

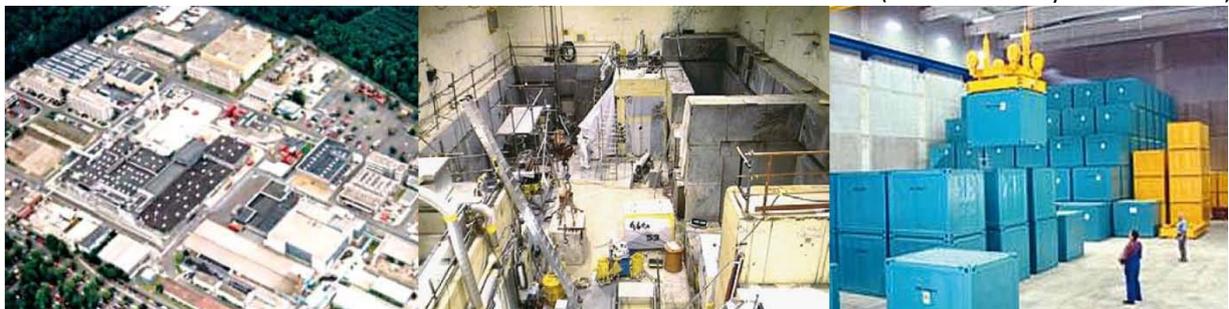
K-25 建築物左翼拆除情景

4. 核燃料加工製造

Hanau, 德國

Hanau 場區裡有 4 座德國的核燃料加工製造工廠，其中一座生產提供給輕水式核反應器使用的鈾燃料元件 (每年 1,350噸)。所有 4 座核燃料製造廠和該場區全部的設施均於 2006年被核監管機構解除管制。在除役期間，一項最特別之挑戰工作就是受污染建築物和土壤的清理。鈾和鈾廢料仍將儲存在場區裡等待最終處置。

(Photos courtesy of Siemens AG)



核設施除役之前的情景

表面除污工作進行中

除役之後, 儲存庫房.

5. 核電反應器

在世界上，已經有幾個核電反應器成功地完成除役任務，代表不同的反應器技術能量，並涵蓋了大小不等且範圍從小型之原型電廠到大型的商業設施。

德國 **Gundremmingen-A**, 發電容量 250 MWe (大型) 沸水式核反應器

Gundremmingen 核電廠的 **A** 機組於 1977年間發生了一個事件後即被關閉。除役工作於 1983年開始，目前的進度遠遠超前。所有可活動的設備與結構均已被移除，最後的工作則集中在執行反應器廠房的除污。當拆除工作完成之後，在原場址被留下來的廠房結構將被重新利用作為技術中心。

(Photos courtesy of RWE Power AG)



使用接觸式弧形金屬切割
拆除反應爐壓力容器內部
結構

用冰鋸技術拆除蒸氣產生器

拆除反應爐壓力容器 - 吊移 Flange

德國 **Niederaichbach** 核電廠, 發電容量 106 MWe (大型) 重水式核反應器

Niederaichbach核電廠已於1995年完成除役工作，且電廠已被核監管機構解除管制。該核電廠乃是當時世界上第一座完成除役之大容量核電廠。目前該廠址已完成除污綠化工作並達到“綠地 (greenfield)”狀態，因此，沒有對其未來之使用設定任何限制。



拆除生物屏蔽

綠地 “greenfield” 狀態

(Photos courtesy of
Babcock Noell GmbH)

美國科羅拉多州 **Fort St Vrain** 核電廠, 發電容量 330 MWe 高溫氣冷式核反應器

Fort St Vrain 核電廠之除役工作已於1992年完成，除役之前的反應器廠房現在已再利用成爲汽機廠房。

(Photos courtesy of FSVFolks.org)



核電廠除役之前的情景

核反應器進行除役期間

除役之後 - 外觀與之前一樣
但已變爲汽機廠房

美國 **Connecticut Yankee** 核電廠, 發電容量 600 MWe 壓水式核反應器

Connecticut Yankee 核電廠之除役工作已於2007年完成。目前場址將如何加以使用，正在考量規劃中。

(Photos courtesy of Connecticut Yankee Atomic Power Company)



核設施除役之前的情景

進行混凝土除污階段工作

除役之後的景觀

6. 用過核燃料再處理

Eurochemic 再處理廠, 比利時

Eurochemic 再處理廠的營運期間從 1966年起至 1974年止，專門處理來自核電廠和研究用反應器的核燃料。再處理廠的主體建築是一個大型的混凝土結構，由一個表面積為 55000平方公尺，混凝土體積 12500立方公尺以及 1500噸的金屬組件所組成。經過除污之後，超過一半的混凝土物料以及近 70%的金屬物料，已被無條件從廠區釋出處置。在 2008年裡，主體結構的重要組成部分(東面部分)已經被拆除，並且整個除役工作將於 2012年完成。

(Photos courtesy of Belgoprocess)



核設施除役之前的情景

拆除工作進行中 (August 2008)

進行混凝土除污工作

7. 鈾燃料加工製造

鈾燃料加工製造設施, 東海村 (Tokai-Mura), 日本

鈾燃料加工製造設施(Plutonium Fuel Fabrication Facility, PFFF) 是東海村之鈾燃料中心的一部分，包含了發展、生產和加工製造鈾燃料等設施。PFFF 建造於 1972年，其目的乃是為了加工製造供給 **Joyo** 試驗用快滋生反應器(Joyo Experimental Fast Reactor)使用的燃料。它在 2003年被關閉，現在正在進行除役。除役計畫的一個重要項目是關於拆解用於加工製造 MOX 燃料丸的手套箱。這項拆解作業，將採取手動和使用遙控切割設備的組合方式來進行。

(Photos courtesy of JAEA)



鈾燃料加工製造設施

進行拆除手套箱工作

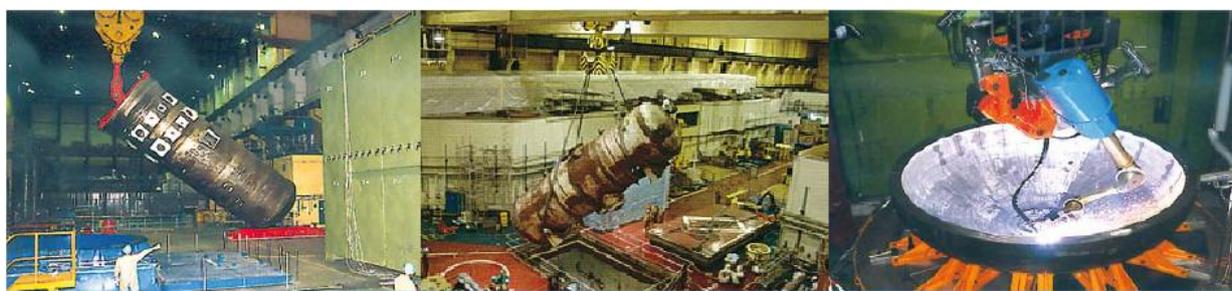
遙控金屬組件體積減容作業

仔細觀看一個正在進行中的核設施除設計畫內涵

德國 Greifswald 核電廠 (Photos courtesy of EWN)



核電廠的鳥瞰圖



移出反應器壓力容器

拆除 4號機的一具蒸氣產生器

電漿切割, 乾式.

機械切割



往復式/替代式鋸切

鑽石電纜線切割

在暫時儲存設施 (Interim Storage Facility North, ZLN)利用大帶鋸切割蒸氣產生器



清空的渦輪機廠房大廳

概觀核設施除役現況

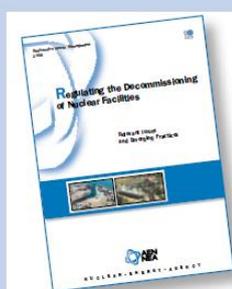
所謂**核設施除役**，係用來描述所有與停止核設施運轉及其後續拆除核設施有關的管理和技術作為，直到解除被核監管機構的管制(**delicensing**)為止。這些作為涉及了設施結構和組件的除污、組件的拆卸和建築物的拆除、對任何地面污染的整治和所產生廢棄物的清除等。

世界上有超過 560 座商用核電廠正在運轉，或曾經運轉過，其中約 120個廠已經被永久關閉並且正處於某一除役階段。大約 10%之所有關閉的核電廠已經全面除役，其中包括 8 個超過 100 MWe 的核反應器機組。大量各類的核燃料循環和研究有關的設施也被關閉並執行除役，其中包括：用於提煉和濃縮鈾的設施、核燃料加工製造和用過核燃料再處理設施、實驗室、同位素生產設施和粒子加速器設施。

進一步之核設施除役資料與訊息

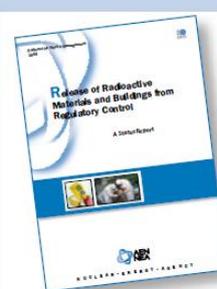
核設施除役相關之國際網址:

- 核設施除役與拆除工作小組(WPDD) 和核設施除役國際合作計畫(CPD)出版之刊物：
www.nea.fr/html/rwm/wpdd
www.nea.fr/html/jointproj/decom.html
- 國際組織：
www.newmdb.iaea.org
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/decommissioning/decommissioning_en.htm
- 產業協會：
www.world-nuclear.org/how/decommissioning.html
www.nei.org/
www.ewn-gmbh.de/



Regulating the Decommissioning of Nuclear Facilities

Relevant Issues and Emerging Practices
ISBN 978-92-64-99059-3
Free: paper or web.



Release of Radioactive Materials and Buildings from Regulatory Control

A Status Report
ISBN 978-92-64-99061-6
Free: paper or web.

Stakeholder Involvement in Decommissioning Nuclear Facilities

International Lessons Learnt
ISBN 978-92-64-99011-1
Free: paper or web.



Radioactivity Measurements at Regulatory Release Levels

A Task Group Report
ISBN 92-64-02319-4
Free: paper or web.

