

出國報告(出國類別：開會)

參加 2016 美國 EPRI 除役研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳培中/機械組長

翁炳榮/減容一課長

黃景東/燃料營運專員

葉久萱/品質檢驗專員

派赴國家：美國

出國期間：105.6.18 ~ 105.6.25

報告日期：105.8.11

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2016 美國 EPRI 除役研討會

頁數 45 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/ 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/台灣電力公司/單位/職稱/電話

陳培中/台灣電力公司/核能發電處/機械組長/(02)23667058

翁炳榮/台灣電力公司/核能二廠/減容一課長/(02)24985990#2240

黃景東/台灣電力公司/核能二廠/燃料營運專員/(02)24985990#2617

葉久萱/台灣電力公司/核能後端營運處/品質檢驗專員/(02)23657210#2205

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究4 實習 5.其他(開會)

出國期間：105.6.18 ~ 105.6.25 出國地區：美國

報告日期：105.8.11

分類號/目：

關鍵詞：核電廠除役

內容摘要：(二百至三百字)

「2016 EPRI 除役研討會」會議主題著重於除役規劃、除役技術應用發展及廢棄物營運等議題，另有除役廠商展示會。會議結束後，前往 San Onofre Nuclear Generation Station(SONGS)參訪，SONGS 的 2、3 號機甫於 2013 年宣布永久停止運轉，預計除役期程為 20 年，除役完成後將成為無限制使用之綠地，目前正在擴建用過核子燃料乾式貯存設施。

(本文電子檔已傳至出國報告資訊網 <http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目次

壹、出國目的	1
貳、出國過程	2
參、會議內容摘要	3
肆、建議事項	42
附件 會議議程	43

表目錄

表 1.已完成除役之核能機組.....	14
表 2.除役中之核能機組.....	15
表 3.Oyster Creek 核電廠階段時程規劃	19
表 4.Tc-99 及 I-129 比例因數.....	37
表 5.法國放射性廢棄物分類及處置要求.....	38

圖目錄

圖 1.非計畫性停機後採 DECON 模式進行除役的核電廠建議作業流程圖.....	9
圖 2.計畫性停機後採 DECON 模式進行除役的核電廠建議作業流程圖.....	11
圖 3.Vermont Yankee 核電廠除役近期規劃.....	13
圖 4.除役決策流程圖.....	17
圖 5.範圍界定與篩選程序.....	18
圖 6.LACBWR 反應器廠房外觀.....	21
圖 7.LACBWR 反應爐穴及燃料池外觀.....	23
圖 8.廠房內已完成汽機移除.....	23
圖 9.Humboldt Bay 概觀.....	25
圖 10.CSM 施作情形.....	26
圖 11.其他廠房拆除情形.....	26
圖 12.Humboldt Bay 核電廠(HBPP)與其他除役核電廠人員劑量比較.....	27
圖 13.B、C 類廢棄物運送情形.....	29
圖 14.超 C 類廢棄物鋼筒吊掛、傳送作業.....	29
圖 15.蒸汽產生器移除後經鐵路運往猶他州 Clive 處置場.....	30
圖 16.2 號機反應器槽切割後移除作業.....	30
圖 17.廠房拆除作業.....	31
圖 18.廠址分區逐步釋出規劃.....	32

壹、出國目的

核二廠 1、2 號機運轉執照年限為 40 年，並將分別於 110 年及 112 年屆期，依據「核子反應器設施管制法」第 23 條規定，本公司須於 107 年底前完成「核二廠除役計畫」並向原能會提出除役申請。考量本公司即將面臨核二廠除役工作，有必要積極參與相關國際會議，以汲取並引進國外最新除役技術、經驗與資訊。

貳、出國過程

美國電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)於 2016 年 6 月 20 日至 21 日在美國佛羅里達州奧蘭多市召開「2016 EPRI 除役研討會」，本次會議主題包括：除役規劃、除役技術應用發展及廢棄物營運等議題，時間為 6 月 20 日整日及 6 月 21 日上午；6 月 21 日下午係與低放射性研討會(LLW Workshop)共同舉行，另有除役廠商展示會。會議結束後前往 San Onofre Nuclear Generation Station(SONGS)參訪。

參、會議內容摘要

一、除役概述

(一) 美國核電廠除役計畫管制現況說明

美國核電廠除役法規於 1997 年重新改版，加入績效基準(Performance-Based)和風險告知(Risk-Informed)等概念並參酌美國 3 座除役核電廠之除役經驗以及同意核電廠可在運轉執照屆滿前 5 年開始執行除役相關工作等重要考量。

一般核電廠除役之主要作法如下：

1. 核電廠永久停止運轉後 2 年內需提出停機後除役作業報告書(Post-Shutdown Decommissioning Activities Report; PSDAR)，PSDAR 送到美國核能管制委員會(NRC)90 天後可以執行除役作業。
2. 須在 60 年內完成核電廠除役工作，NRC 在整個除役過程中定期稽查直至完成所有除役工作為止。在運轉執照方面，核電廠需在終止執照前（至少 2 年）向 NRC 提出執照終止計畫(License Termination Plan; LTP)，LTP 被視為 FSAR 的補充報告，NRC 審查同意後將以修訂執照的方式批准 LTP。除役工作結束後，核電廠將提交最終輻射調查報告，NRC 確認所有活動均符合規定後，NRC 將中止執照。

NRC 於 2004 年召集業界開會討論除役計畫相關法規，在聽取業界意見後於 2011 年 6 月增加相關除役法規並於 2012 年 12 月生效。主要係針對 10CFR20 輻射防護標準相關內容修訂如下：

- §20.1406(c) “環境污染的最小化”。
- §20.1501(a) “總論” — 執行合理的現場調查(含次表面)。
- §20.1501(b) “總論” — 次表面污染之記錄。
- Regulatory Guide 4.22 “在運轉期間進行除役規劃”。

美國核電廠大多在停機後未立即執行除役拆除工作，這段在停機後到正式執行除役拆廠的期間稱為過渡階段(Decommissioning Transition)，仍應遵守美國 NRC 於 2001 年 9 月 11 日所發行之 SECY-00-145 “核電廠除役整體法規計畫”，及 SECY-08-0024 等規範。美國核電廠在過

渡階段因應核電廠狀態的變更，會向 NRC 提出豁免/修訂要求，一般而言其要求豁免項目包括：

- 緊急計畫。
- 保安規定。
- 除役基金。
- 責任及財務保險。

要求修訂之項目為：

- 人員、訓練及相關證照要求(Staffing, Training and Qualifications)。
- 燃料移除後之緊急計畫(Defueled Emergency Plan)。
- 運轉執照條件(License Condition)。
- 燃料移除後之運轉規範。

因應先前業界對除役期間豁免的需求，NRC 開始對除役相關法規進行修訂，除將新版法規公開閱覽之外，亦召開公聽會等，俾蒐集業界及公眾的意見，目前公眾提出的意見有：

- 反對用過核子燃料置放於用過核子燃料池內，應儘快移至乾式貯存設施。
- 核電廠除役計畫應增加州政府、地方政府以及民眾的參與度。
- 反對採取 SAFSTOR 策略，60 年除役期間過長。

NRC 針對核電廠除役計畫相關法規制定之未來規劃如下：

1. 將在 2016 年 11 月底完成法規基準草案(Draft of Regulatory Basis)，此草案公佈後將接受大眾之意見，並召開公聽會，法規基準將於 2017 年 6 月公告。
2. 建議法規(Proposed Rule)將於 2018 年 4 月提出，提出後 75 天內再接受大眾及業界之評論及意見，亦將召開公聽會。
3. 最終之法規規定(Final Rule)預定於 2019 年正式公佈實施。

(二) 美國能源協會除役回顧

美國核電廠除役目前之現況為：

- NRC 針對核電廠除役已有相關法規可供遵循。
- 已有 10 個核能機組完成除役工作。

- 有 18 個核能機組現正除役中。
- 4 個核能機組即將終止運轉。
- 對於已停止運轉，但尚未進行除役拆廠之核能機組（即處於除役過渡階段之機組），尚無專用之法規規範

處於除役過渡階段之核能機組，雖未執行除役拆廠作業，但因現行法規要求，仍須花費鉅額成本（每月超過 1 百萬美元）以符合法規要求，故其努力爭取於過渡階段豁免部分管制要求。在業界普遍之認知下，於 2015 年開始由美國能源協會(Nuclear Energy Institute; NEI)召集各界之專家成立了專案小組，希望以業者之立場，發展核電廠除役規範供 NRC 參考。

NEI 專案小組蒐集業界之建議，大多希望 NRC 縮小法規範疇，希望能針對緊急計畫、保安計畫、核電廠人員工作時數、訓練時數以及除役基金等規定予以修訂。這些修訂與安全及保安相關議題並無關聯，主要的目的是希望主管機關的管制要求可以適度的降低以避免不必要的執照文件修訂/申請程序。當核電廠永久停止運轉之後，管制要求的減少並不代表管制機關的懈怠，而是因為核電廠除役期間與運轉期間不同，且沒有安全或保安相關議題。

針對美國核電廠之除役計畫，美國能源協會建議業界應優先考量：

- 將資源集中於解決正在/即將進入過渡階段核電廠所面臨的議題。
- 分享除役過渡階段的相關經驗。
- 持續關注 NRC 制訂法規的範圍。
- 編列足夠的除役基金以確保核電廠安全的除役。

NEI 專案小組認為美國核能管制委員會對未來除役法規應朝向：

1. 核反應器除役法規的制定是以減化流程為主要目標。
2. 不應限制除役基金的使用量，若限制除役基金的使用量，將會使除役更難完成並拉長時程。
3. 除役參與：
 - 需要政府與地方人士共同參與並互相溝通協調。
 - 在政府與地方人士之間建立多樣性溝通管道。

—政府與地方人士之間的溝通協調不建議經由 NRC 作聯繫，因為會降低工作效率。

二、從運轉階段至除役拆廠階段之規劃及過渡

(一) 核電廠從運轉階段至除役階段之過渡指引

除役成本中，人力成本佔了相當大的比重，而除役期程的長短也會影響到人力成本的高低。在核電廠停機後到進入主要拆除階段之前，有許多重要的工作要執行，在某些情況下，這些工作可以依循法規執行；但大多數的情況下，有哪些工作要執行是不明確的。綜上所述，有必要發展一套指引使過渡及除役時程縮短，並將過渡階段所要執行的工作明確列出。

本計畫針對美國、德國、法國、西班牙及瑞士等國家的法規及除役經驗進行彙整，並確認以下事項：

1. 過渡階段所需完成的作業；
2. 過渡階段完成可節省成本的作業；
3. 自過渡階段開始需進行的長期作業；
4. 在核電廠運轉階段便能先行完成的過渡作業。

針對以下不同情節發展不同的指引：

1. 計畫性停機後採 DECON 模式進行除役；
2. 計畫性停機後採 SAFSTOR 模式進行除役；
3. 非計畫性停機後採 DECON 模式進行除役；
4. 非計畫性停機後採 SAFSTOR 模式進行除役。

同時也針對運轉中核電廠提供指引，使非計畫性停機對核電廠的影響降低。

依據美國在除役期間的法規規定，美國核電廠在停機前不需申請除役許可，這一點與其他國家大不相同。除役過程的管制是建立在幾項規定需提交的文件上；這些文件對於核電廠從過渡階段推展至除役階段並非必要，但卻與成本有相當大的關聯，以下為需提交的文件：

1. 依據修訂後之緊急計畫及永久移除燃料後之緊急計畫修訂執照要求；

2. 永久移除燃料後之運轉規範；
3. 保安計畫的豁免；
4. NRC 命令的收回；
5. 除役基金使用權；
6. 保險的免除；
7. 合格燃料操作員訓練計畫；
8. 除役品質保證計畫；
9. 紀錄保存的豁免；
10. 執照更新承諾的豁免。

國際上過渡階段的典型法規要求和美國不一樣，在核電廠永久停機之後，需要除役許可才能執行主要的除役作業。為了要取得許可，核電廠需要證明其在技術及財務面上有足夠的能力可以執行除役作業。而在過渡階段，核電廠可以在運轉執照的要求下執行部份工作(如：除污、運轉廢棄物的處置等)。上述除役許可審查及核發的過程約需 3 至 5 年，為了準備除役許可申請的文件則需花費超過 2 年的時間；對於非計畫性停機的核電廠而言，過渡階段可能會花超過 5 年的時間。另外，在某些國家，在用過核子燃料尚未由用過核子燃料池移除前，不能進行拆除作業。

美國核電廠在過渡階段所需執行的作業有：

1. 準備提交管制文件；
2. 廠址歷史資料評估；
3. 初步廠址特性調查；
4. 運轉廢棄物處置；
5. Cold and Dark 模式建置；
6. 發展溝通計畫；
7. 準備過渡到除役組織；
8. 用過核子燃料營運(燃料廠房改善/用過核子燃料池獨立島區建立；乾式貯存設施設計/申請許可/建造)；
9. 全系統化學除污；

10. 熱點移除；
11. 有害廢棄物移除(如：石棉、易燃物等)；
12. 未遭受放射性污染的設施拆除；
13. 主要除役工程的規劃(如：大型組件移除、反應器壓力槽及其內部組件切割等)。

對於過渡階段的指引包括：

1. 至少於永久停機日前 3 年開始規劃除役工作；
2. 從核電廠運轉階段便設立除役規劃組織(組織成員不負責運轉相關業務；從較小的組織開始，從最後一次更換燃料大修開始增設人力)；
3. 其他對除役規劃有利的資源則有：重新審視適用的除役法規、了解除役經驗回饋及適用的指引、至除役中核電廠參訪、與業界專家合作。

對於一般非計畫性停機後採 DECON 模式進行除役的核電廠，建議的作業時程如下：

略，本圖摘自 EPRI 報告，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 1.非計畫性停機後採 DECON 模式進行除役的核電廠建議作業流程圖

對於一般計畫性停機後採 SAFSTOR 模式進行除役的核電廠，建議的作業時程如下：

略，本圖摘自 EPRI 報告，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 2.計畫性停機後採 DECON 模式進行除役的核電廠建議作業流程圖

對於現在仍在運轉中的核電廠，有以下幾點建議：

1. 對於除役作業預作規劃；
2. 考量對除役相關的管制文件申請開始預作準備；
3. 持續關注除役相關的法規發展/修訂過程；
4. 在核電廠正常運轉的情況下持續進行廠址歷史資料評估。

本項計畫成果報告編號為 3002007551，有興趣者可自行前往下載閱覽。

(二) Kewaunee 核電廠除役過渡情形說明

Kewaunee 核電廠為西屋公司製造的壓水式反應器(590MWe)，係於 1973 年 12 月 21 日開始商業運轉，原先執照到期日為 2013 年 12 月 21 日。於 2011 年取得執照更新，但因非預期因素於 2012 年 10 月 22 日決定要永久停機，並於 2013 年 5 月 7 日開始永久停機。

在 SAFSTOR 過渡階段所要提交的文件有：

1. 停機後除役作業報告書(PSDAR)及用過核子燃料管理計畫；
2. 用過核子燃料營運基金的使用申請；
3. 運轉規範；
4. 保安計畫(針對乾式貯存設施)；
5. 緊急計畫(針對乾式貯存設施)；
6. 合格燃料操作員訓練計畫；
7. 其他豁免申請。

在 2016 年，Kewaunee 核電廠預計提出乾式貯存設施相關的文件申請。

(三) Vermont Yankee 核電廠除役規劃說明

Vermont Yankee 核電廠在 2013 年 8 月 27 日宣布因為經濟考量永久停機，之後便針對核電廠及組織的過渡擬訂相關計畫，其中最主要的考量便是降低除役成本(包括管制要求及減少雇用人力等)。Vermont Yankee 核電廠在 2015 年 1 月 12 日已將所有用過核子燃料移出爐心，目前置放於用過核子燃料池中。

Vermont Yankee 核電廠在除役策略上選擇採用 SAFSTOR 方式，目前規劃的時程如下：

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 3.Vermont Yankee 核電廠除役近期規劃

過渡階段所要完成的工作如下：

1. 使核電廠安全過渡至除役階段；
2. 降低雇用人力數量；
3. 因應管制及治理需求的改變進行規劃；
4. 準備將核電廠帶入貯存階段；
5. 對外溝通並建立溝通管道。

經驗回饋如下：

1. 建立從運轉至長期貯存的文化；
2. 及早決定用過核子燃料的管理計畫；
3. 廢水的處理；
4. 利害關係人溝通；
5. 善用顧問及分包商；
6. 計畫管理組織的成立；
7. 將除役規劃與運轉作業分離。

(四) 全球商用核電廠除役總覽

在未來 20 年內，預計將會有超過 200 座核電廠停機或開始進行除役，這個數字較目前運轉中的核電廠的一半還要多。

目前核電廠進行除役時，採取的策略是 SAFSTOR 或是 DECON，設施在除役策略的選擇上，主要考量：

1. 除役基金是否足夠及除役成本估算的可靠度；
2. 當地或整個國家的政治情勢；
3. 公眾的壓力。

大多數提前停機的核電廠因為除役基金不足，傾向採用 SAFSTOR 的策略。雖然 SAFSTOR 可以使除役基金有更多的時間可以持續累積，但是也要考量到成本的上漲速度可能大於基金的累積速度(如：在未來數十年間的廢棄物處置成本、管制機關要求等的不確定性及風險)。而一旦決定採用 SAFSTOR 之後，便很難轉為採用 DECON(設備及組件已不敷使用、執行反應器冷卻系統的化學除污相當困難、關鍵或了解核電廠的員工已離職)。

建議設施可以考量採用階段性的拆除及除污方式進行除役。

三、美國設施除役

(一) 美國核能機組除役現況(Decommissioning Status for Shut Down NRC-Licensed Power Reactors)

1. 目前美國運轉之核能機組計 100 部。
2. 11 部已完成除役核能機組(1995 至 2009)如下表：

表 1.已完成除役之核能機組

Reactor	Type	Location	Ceased Operations	Status
Big Rock Point	BWR	Charlevoix, MI	08/29/97	ISFSI Only
Fort St. Vrain	HTGR	Platteville, CO	08/18/89	ISFSI Only
Connecticut Yankee	PWR	Haddam Neck, CT	12/09/96	ISFSI Only
Maine Yankee	PWR	Wiscasset, ME	12/06/96	ISFSI Only
Pathfinder	Superheat BWR	Sioux Falls, SD	09/16/67	License Terminated
Rancho Seco	PWR	Sacramento, CA	06/07/89	ISFSI Only
Saxton	PWR	Saxton, PA	05/01/72	License Terminated
Shippingport	PWR	Shippingport, PA	10/01/82	License

				Terminated
Shoreham	BWR	Suffolk Co., NY	06/28/89	License Terminated
Trojan	PWR	Portland, OR	11/09/92	ISFSI Only
Yankee Rowe	PWR	Franklin Co., MA	10/01/91	ISFSI Only

3. 18 部除役中之核能機組(13 部採 SAFSTOR; 5 部採 DECON)如下表:

表 2. 除役中之核能機組

Reactor	Type	Location	Ceased Operations	Status
Crystal River 3	PWR	Crystal River, FL	02/20/13	SAFSTOR
Dresden 1	BWR	Morris, IL	10/31/78	SAFSTOR
Fermi 1	Fast Breeder	Monroe Co., MI	09/22/72	SAFSTOR
GE VBWR	BWR	Alameda Co., CA	12/09/63	SAFSTOR
Indian Point 1	PWR	Buchanan, NY	10/31/74	SAFSTOR
Kewaunee	PWR	Carlton, WI	05/07/13	SAFSTOR
LaCrosse	BWR	LaCrosse, WI	04/30/87	SAFSTOR
Millstone 1	BWR	Waterford, CT	07/21/88	SAFSTOR
N.S. Savannah	PWR	Norfolk, VA	11/70	SAFSTOR
Peach Bottom 1	HTGR	York Co., PA	10/31/74	SAFSTOR
San Onofre 1	PWR	San Clemente, CA	11/30/92	SAFSTOR
Three Mile Island 2	PWR	Middletown, PA	03/28/79	SAFSTOR
Vermont Yankee	BWR	Vernon, VT	12/29/15	SAFSTOR
Humboldt Bay 3	BWR	Eureka, CA	07/02/76	DECON
San Onofre 2	PWR	San Clemente, CA	06/12/13	DECON
San Onofre 3	PWR	San Clemente, CA	06/12/13	DECON
Zion 1	PWR	Zion, IL	02/21/97	DECON
Zion 2	PWR	Zion, IL	09/19/96	DECON

附註：自 2013 年來，計有 5 部核能機組宣佈停機，包括 San Onofre 2&3、Crystal River 3、Kewaunee、Vermont Yankee

4. 有 5 部將於近期宣布停機之核能機組：

(1) Fitzpatrick in early 2017；

- (2) Clinton on June 1, 2017 ;
- (3) Quad Cities on June 1, 2018 ;
- (4) Pilgrim by June 1, 2019 ;
- (5) Oyster Creek in December, 2019 。

依據 NRC 官員於會中簡報資料之說法，由於美國 911 與日本福島等國際性事件，使得核能機組停機數量增加。

(二) Oyster Creek 除役（規劃）工作現況

Oyster Creek 核電廠為沸水式反應器機組，位於紐澤西州，發電容量 625 MWe，為美國最老（1969 年開始商轉）且還在運轉的核電廠。近 20 年經營者營運決策不斷改變：1999 年經營者 GPU 公司預備將來永久停機，進行首次除役規劃；2000 年，核電廠被賣給 AmerGen 公司，暫停除役打算；2009 年，經營者向 NRC 申請 20 年延役獲准，執照限期更新至 2029 年；2011 年，紐澤西州政府為減少對 Barnegat Bay 的生態破壞，與經營者協商獲得共識，同意於執照到期至少 10 年前（即 2019 年底之前）將核電廠永久停機，進行除役。經營者並已向 NRC 報告此決定。2015 年業界團隊協助核電廠進行除役規劃。

根據目前經營者 Exelon 公司的決策程序，其除役規劃的決策流程如圖 4。決策流程中，除役規劃關鍵時間點在預計停機日之前 5 年左右。當經營者開始考量永久停止運轉核電廠時，若距預計永久停機日已不到 5 年，則直接依流程依序進行除役規劃，如除役支出財務管控，指派計畫主持人，執行除役工作溝通，並進行人力資源調查、調整等；接下來為預備進入除役做執照修訂及執行管制機關要求事項，自此分二條路徑並行，其一為除役策略之擬定，進行除役專案管理，開始著手 PSDAR 之準備；其二為除役階段廠址規劃，相關政策實行及除役方式選擇，並使用「範圍界定與篩選」過程來決定除役工作範疇，最後則是執照終止。若核電廠距永久停機日尚大於 5 年之期，或經營者整體營運方向仍未確定（如延役考量），則不必急於開始規劃。

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 4.除役決策流程圖

Exelon 針對 Oyster Creek 核電廠除役工作範疇用「範圍界定與篩選」方式決定之，如圖 5 所示。約有八成來自「範圍界定」，二成來自「篩選」。範圍界定之精神為「一次性執行」，界定後不再更動，並且以核電廠之系統為單位進行，未被界定者則進入篩選程序。範圍界定後之工作範圍系統圖面以顏色標識，經跨領域/單位協助審查界定是否得宜後，納入除役安全分析報告。範圍界定一經完成，不再重複進行。篩選程序係透過審查來逐步減少核電廠內的系統，進行核電廠修改，品質等級放寬（Q 級變更為 Non-Q 級）、特殊物料之移除、承諾事項變更。篩選後之工作內容系統圖面亦以顏色標識，並經跨領域/單位協同審查是否得宜後，納入除役安全分析報告書中。篩選程序為動態的，隨核電廠的狀態經過時間變更後，需再度執行。隨除役工作往前推進，最後待移除的應是用過核子燃料池冷卻等相關系統，需待用過核子燃料全數移出用過核子燃料池（進行乾貯）後，才可進行拆除。故在最後一個系統拆除前，都要隨時間重複進行篩選程序。

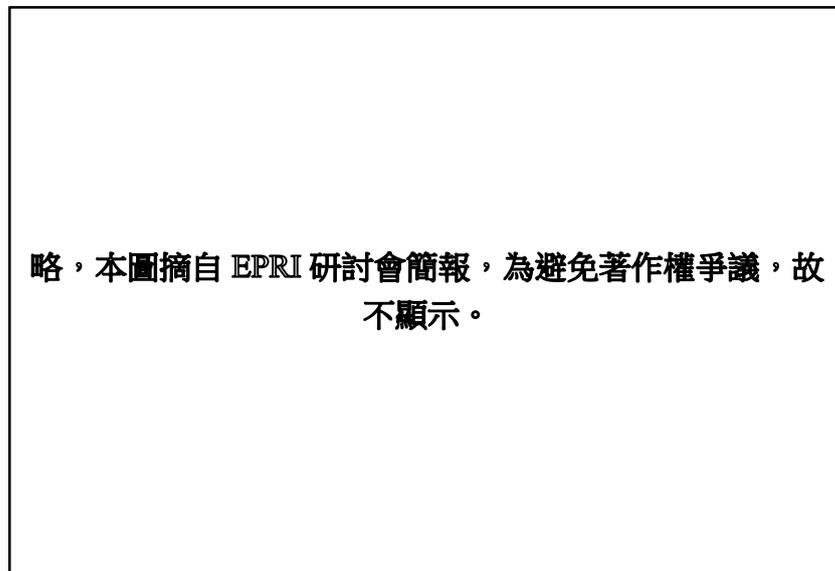


圖 5.範圍界定與篩選程序

Exelon 對 Oyster Creek 核電廠除役目前各階段時程規劃，自停機開始總共分為 5 個階段，如表 3。

表 3.Oyster Creek 核電廠階段時程規劃

階段	階段目標	Milestones
停機前： 已決定永久停機，進行除役規劃（最佳時機在停機前5年至2年內）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 執行除役決策 2. 組織營運階段轉換團隊 3. 發展及執行溝通計畫 4. 進行策略擬定程序 5. 建立財務管控制度 6. 準備及提交執照修訂或管制豁免申請案 7. 如期安全停機 8. 提交停機後除役作業報告書及除役成本估計報告 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 決定停機 2. 提交永久停機聲明書
Phase 1： 永久停機後 30 天內，全爐心燃料永久移出反應器。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全爐心燃料移出反應器 2. 修訂緊急計畫 3. 修正保安措施 4. 持照條件及運轉規範變更 5. 執行修正後除役分析報告及除役品保計畫 6. 開始使用除役基金 	提交全部燃料永久移出反應器聲明書
Phase 2： 燃料永久移出反應器後，至停機後 18 個月（銻水反應事故風險已大幅降低）。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根據擬定策略開始主要除役活動或採「延遲拆除」進入「安全貯存」(SAFSTOR)之準備工作 2. NRC 核准修正後之緊急計畫 3. 用過核子燃料開始移置乾貯設施 4. 清理燃料池（照射過之物件） 	
Phase 3： 停機後 18 個月至燃料池騰空（停機後 4.5 年內）。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 修訂廠外緊急計畫 2. NRC 審查及核准乾貯設施之緊急計畫 3. 用過核子燃料移置乾貯設施 	所有用過核子燃料移置乾貯設施
Phase 4： 所有用過核子燃料已	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對乾貯設施之緊急計畫 	針對乾貯設施之緊急計畫及保安計畫

進入乾貯設施，直到能源部(DOE)接收燃料。	<ol style="list-style-type: none"> 2. 持續「立即拆除」(DECON)或「延遲拆除」之活動 3. 針對乾貯設施之保安計畫 4. 提交執照終止計畫 	
Phase 5： 執照終止及廠址復原。於永久停機後 60 年內完成。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 進行廠址復原 2. 執照終止 3. 乾貯設施執照終止 4. 乾貯設施拆除 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 執照終止 2. 廠址釋出

Oyster Creek 核電廠之現況，已完成人力保留及運轉壽命到期之相關審查工作，目前正撰寫除役廠址調查程序書及成立廠址除役組織，擬定相關策略。下一步由「除役策略計畫」發展「除役執行戰略計畫」。並朝目標於 2019 年底前完成永久停機。

(三) La Crosse 核電廠除役現況（本次會議，La Crosse 核電廠除役概況簡報著重於與 EnergySolutions 公司的合作計畫，執照轉移，專案管理等，對於詳細除役工作無甚多著墨。）

La Crosse 核電廠位於威斯康辛州，為沸水式反應器機組（一般習慣以 LACBWR 稱之），發電容量僅 50 MWe，為美國 Atomic Energy Commission 示範核電廠之一。現由 Dairyland Power Cooperative (DPC) 持有。廠址另有 1 部燃油及 1 部燃煤機組。LACBWR 於 1967 年開始運轉，至 1987 年停機。1991 年除役計畫獲管制機關核准，1996 年至 2004 年已完成部分拆除工作。2005 年由除役承包商 EnergySolutions 公司（本文此後簡稱 ES 公司）開始拆除反應器槽及移除 B、C 類廢棄物，並送至 Barnwell 處置場（位於南卡羅萊納州），於 2007 年順利完成。2008 年開始將用過核子燃料移置乾貯設施，2012 年 9 月完成所有燃料移置，並為乾貯設施核子保安計畫進行執照修訂。2012 年至 2014 年再度進行一部分拆除工作，包含移除燃料格架、主汽機及發電機。

2016年5月NRC核准核電廠執照由DPC公司轉移給LaCrosseSolutions公司(為ES公司為專門承作LaCrosse核電廠除役而成立的子公司)。ES公司目前正準備執照終止計畫中，預計2016年6月提交予NRC。DPC公司期望更有彈性推展除役工作及轉移風險，於除役階段中後期與承包商達成協議將執照轉移給承包商LaCrosseSolutions公司。DPC公司希望借重ES公司在核電廠除役與廢棄物管理、處置等領域之核心能力，於是將執照轉移給ES公司，相信可加速除污、拆除作業，加快減少放射性物質數量，減低輻射意外外釋風險，整體上加速未來除役工作完成及廠址釋出時程。此外，ES公司本身擁有營運中的Barnwell及Clive廢棄物處置場，排除了另尋可用處置場及成本的不確定性。

LaCrosseSolutions公司承接LACBWR執照，成為LACBWR除役時期多數領域持照者身分，對持照所允許的活動需負全責，對除役時期輻防工作與廠址復原工作負有義務。DPC公司在用過核子燃料、除役基金及廠址建物土地權等領域仍維持原持照者身分。

LaCrosseSolutions公司將承作用過核子燃料及乾貯設施之保安及維護工作。DPC公司負責取得資金來源以負擔燃料貯存所需成本。其他除役工作之支出仍由核能除役基金(Nuclear Decommissioning Trust)支付。經ES公司所做詳細成本估計，其認為除役基金足以負擔剩餘的除役活動以及執行執照終止計畫。

略，本圖摘自EPRI研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 6.LACBWR 反應器廠房外觀

以下簡述 LaCrosseSolutions 公司除役專案管控重點及工作重點

1. LaCrosseSolutions 承接核電廠執照後，對核電廠負有管控之責。在緊急計畫、人員訓練及保安工作，將沿用核電廠現行程序書，另因應承接執照將配合修訂除役品保計畫。
2. LaCrosseSolutions 專案控管重點：
 - (1) 立基於從過去汲取的除役經驗。
 - (2) 建立專案控管基準水平，結合財務回報制度追蹤成本。
 - (3) 每月針對支出、時程與所獲價值，報告目標與實績差異。
 - (4) 管理現金流，建立基準水平，確保信託基金涵蓋所有成本。
 - (5) 由公司及股東審查課責性。
3. LaCrosseSolutions 對移除輻射管制區之輻射源，工作上的重點：
 - (1) 儘量降低現場偵檢及「精準移除」(surgical removal)的工作量；
 - (2) 利用大型拖車或鐵路運送低階廢棄物至處置場；
 - (3) 建物結構之移除，除地面上的部分，亦需移除地面下至少 3 呎的範圍；
 - (4) 依據「多部會物質與設備輻射偵檢與評估手冊」(MARSAME)的指引及標準來進行物質輻射偵檢及外釋作業；
 - (5) 依據「多部會輻射偵檢與場址調查手冊」(MARSSIM)的指引及標準進行廠址調查、釋出作業。
4. 其餘拆除工作：
 - (1) 移除所有尚存的大型組件、生物屏蔽、洩水管路、尚存的主要系統組件，並運送至處置場；
 - (2) 移除圍阻體內 polar crane 及部分混凝土結構，以釋出空間進行後續圍阻體拆除作業；
 - (3) 移除輔助廠房內有污染的系統及槽體、洩水管路、嵌壁管路等，並進行運送、處置；
 - (4) 拆除地面上其餘建物，廢棄物送至 Clive 處置場。依 MARSSIM 進行最終廠址輻射調查，並經 NRC 確認調查結果後，執行追溯改正事項；

- (5) 由 ES 公司完成執照終止計畫，目標 2016 年 6 月提交予 NRC；
- (6) 非放射性物料及非輻射管制區：在移除或拆除組件前，移除有害物質，如石棉、道碴、電路板、水銀開關、油料等等，以符合處置場的接受準則；
- (7) 清潔的組件若尚有回收價值，則再評估回收（以不影響除役要徑為原則）。

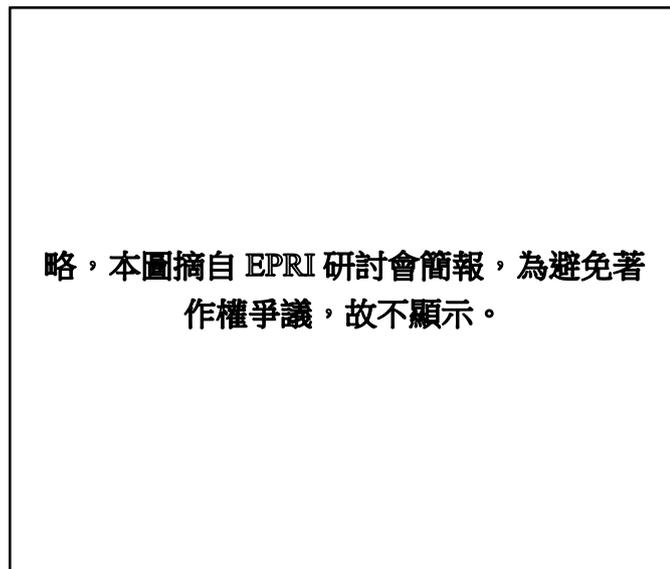


圖 7.LACBWR 反應爐穴及燃料池外觀

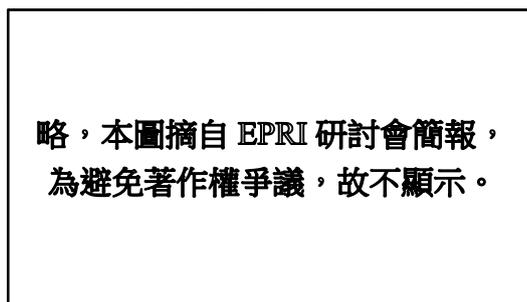


圖 8.廠房內已完成汽機移除

5. 整體工作預計時程：

- (1) 2018 年第 4 季完成廠址實體拆除工作。
- (2) 2019 年第 2 季提交最終輻射調查及最終報告予 NRC。

(四) Humboldt Bay 核電廠除役現況

Humboldt Bay Power Plant (HBPP)有一部沸水式反應器機組，發電容量 65 MWe，又稱為 Humboldt Bay Unit 3，其廠區另有 Unit 1 及 Unit 2，均為火力機組。其 1963 年開始運轉。1976 年停機進行燃料填換大修及耐震改善。1979 年發生三哩島事故後 NRC 法規趨嚴，其時 HBPP 尚未獲 NRC 核准啟動。1983 年經營者 PG&E 公司之分析報告指出核電廠為符合現行法規而投入的改善成本已不具經濟效益，遂決定將核電廠除役。1985 年核電廠採「延遲拆除」方式進入「安全貯存」(SAFSTOR) 狀態。2008 年，準備轉移至「立即拆除」(DECON)方式進行規劃。2009 年至 2012 年主要除役工作為廠區增建因除役需求的基礎設施，拆除部分系統。此階段稱為 “Plant System Removal Phase”，定義為高風險、工作範疇持續變動、不確定性高的工作階段，由 PG&E 公司自行進行。“Plant System Removal Phase” 之後，轉為 “Civil Works Projects Phase”，此工作階段工作範疇定義明確，風險低，由承包商執行之，分為五大工作：

1. 汽機廠房拆除；
2. 其他核能設施開挖、拆除；
3. 進水、排水渠道復原；
4. 辦公室拆除；
5. 最終廠址復原。

相關工作符合時程、預算順利進行中。今年 Humboldt Bay 核電廠另有三大成果：今年 4 月 California Coastal Commission 核准最終廠址復原許可證，5 月 NRC 核准執照終止計畫，以及核電廠再度獲得 PG&E 公司最高工安獎 Sibley Award。PG&E 公司有高度信心如期於 2018 年完成 Humboldt Bay 核電廠全部除役工作。

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 9.Humboldt Bay 概觀

Humboldt Bay 核電廠除役工作經驗分享：

1. 放射性廢液廠房拆除：

放射性廢液廠房拆除是高污染、高風險的工作，但寧可提早進行，不要留待至計畫末期最後才執行。透過對高污染工作的相關量測，建立輻射的基準水平，可進一步評估其他廠房的拆除程序的適切性。

2. 反應器廠房的準備及拆除：

Humboldt Bay 核電廠的反應器廠房(Refueling Building)包含乾井、反應器，整體於沉箱(caisson)中，幾乎全部位於地平面下。在拆除廠房前，在周圍使用「銑削深層攪拌技術」(cutter soil mixing, 簡稱 CSM)向地下挖掘土壤，同時注水及混凝土拌合，形同在周圍地下築起連續壁，以便後續拆除沉箱及廠房（如圖 10）。目前 CSM 連續壁進度達 90%。

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 10.CSM 施作情形

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 11.其他廠房拆除情形

3. 固態廢棄物運送：

目標為運送 660 萬磅的固態廢棄物。是由卡車經公路，或採鐵路運送，及配合各自的裝載容器，估算總運送距離約介於 26,000 與 289,000 哩之間。要評估各種方法，儘可能設想如何降低運送意外的風險。

4. Humboldt Bay 核電廠對除役工作的洞悉及關鍵策略有以下特點：

- 讓工作變得有價值
- 保持彈性，改變與機會為一體兩面
- 取得適當的資源及良好的管道
- 瞭解工作管控與督責
- 除役工作所需的基礎建設的重要性
- 仔細檢查除役成本估計
- 與管制機關及在地社區建立良好關係

► 工作前預先模擬，減少不必要的失誤

5. 工安方面，Humboldt Bay 核電廠強調安全第一為工作首要原則，其多次締造連續 1000 日無發生工安事件的佳績，顯示 Humboldt Bay 落實的安全文化。另由於 Humboldt Bay 核電廠早期曾燃料破損造成燃料丸碎渣及超鈾元素遷移污染其他系統，因此除役工作格外重視輻射安全，在輻射防護方面的成果亦相當好，去年全年人員劑量小於 80 人-侖目，遠優於其他除役中核電廠（如圖 12）。

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 12. Humboldt Bay 核電廠(HBPP)與其他除役核電廠人員劑量比較

(五) Zion 核電廠除役現況

Zion 核電廠位於伊利諾州，有二部西屋公司四迴路壓水式反應器機組，發電容量均為 1100 MWe。1、2 號機分別於 1973 年、1974 年開始運轉。核電廠於 1998 年永久停止運轉準備除役，選擇「延遲拆除」方式，進入安全貯存(SAFSTOR)狀態直到 2010 年 9 月開始拆除作業。Zion 核電廠為加速除役進展，於 2010 年經營者 Exelon 公司將核電廠執照轉移給專門除役承包商 ZionSolutions 公司(ES 公司專為進行 Zion 核電廠除役而成立的子公司)。目標預計 2020 年完成全部除役工作，依目前之進度可望提前於 2018 年達成。

2014 至 2015 年主要除役活動：

1. 完成用過核子燃料移置乾貯設施；

2. 完成超 C 類廢棄物現址貯存（採用乾貯護箱技術）；
3. 完成 1 號機反應器內部組件切割；
4. B、C 類廢棄物順利運送至德州 WCS 處置場；
5. 部分廠房及保安設施完成拆除前準備；
6. 輔助廠房及汽機廠房內部設備移除（持續進行中）；
7. 已提交執照終止計畫及額外資訊要求(RAI)予 NRC 審查中；
8. 完成兩部機之反應器槽切割及運送作業。

工作執行概況分享：

1. 乾式貯存：

2015 年 1 月，用過核子燃料已全部移至乾貯設施，總計裝填 61 組乾式貯存護箱，歷時 52 週。原估計人員劑量約 18.1 人-侖目，設定目標希望低於 16.3 人-侖目，實績為 11.1 人-侖目，優於目標值與估計值。乾式貯存鋼筒採自動銲接技術進行密封。

2. 超 C 類廢棄物之移除：

2014 年 4 月，完成 1 號機反應器槽內部組件切割，產出超 C 類廢棄物 94,000 磅，活度總計約 46 萬居里，其中鈷-60 的貢獻佔比近五成。量測到最高劑量率達 130 西弗/小時。2015 年 3 月完成超 C 類廢棄物於現址處置，採用 4 個乾式貯存護箱裝填後貯存。（另 B、C 類廢棄物於今年 3 月順利運送至德州 WCS 處置場，共計 37 運輸趟次。）作業情形參見圖 13、圖 14。

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 13.B、C 類廢棄物運送情形

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，
為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 14.超 C 類廢棄物鋼筒吊掛、傳送作業

3. 反應器槽切割作業：

2015 年完成兩部機的反應器槽切割作業；從 2 號機先執行，歷時 22 天完成切割，後 1 號機歷 12 天完成切割。切割後廢棄物經鐵路運送到處置場。（作業情形參見圖 16。）另反應器爐穴及用過核子燃料池完成洩水，總計處理超過 1 百萬加侖的含硼水。

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 15. 蒸汽產生器移除後經鐵路運往猶他州 Clive 處置場

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 16.2 號機反應器槽切割後移除作業

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 17.廠房拆除作業

4. 最終輻射偵檢計畫：

Zion 核電廠除役規劃將廠址分階段逐步釋出，對廠址分區域做廣泛取樣及現地量測，以期達到「多部會輻射偵檢與場址調查手冊」(MARSSIM)之無限制條件使用之標準。針對土壤部分，採掃瞄及靜態量測，及土壤取樣量測。針對混凝土結構，在現地使用加馬能譜儀量測。針對埋管、嵌壁管路及穿越管等，使用特定的移動式裝置探入量測或將管路內沉積物取樣量測等方式。廠址分段釋出計有五個階段，已完成拆除工作的區域優先執行，如圖 18 所示。

略，本圖摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

圖 18.廠址分區逐步釋出規劃

5. 生物多樣性保育：

由於 Zion 核電廠的南邊及北邊均是伊利諾州海灘公園，提供許多野生動物棲地。Zion 核電廠亦相當重視當地物種（如加拿大鵝、布氏擬龜、狐蛇及襪帶蛇等）保育工作。

6. 已完成及預計廠址釋出情形：

2016 年 3 月，Phase 1 廠址釋出（參見圖 18），兩部機的大型組件也已完成拆除，4 月完成汽機廠房內部拆除，預計第 4 季 Phase 2 廠址釋出。

2017 年預計第 1 季進行輔助廠房及燃料廠房內部拆除，第 2 季進行圍阻體內部拆除，第 3 季 Phase 3 廠址釋出，第 4 季進行輔助廠房、燃料廠房及圍阻體拆除，以及 Phase 4 廠址釋出。

2018 年預計完成全部除役工作，提交最終報告給 NRC。

四、業界的除役技術發展

(一) 核電廠除役期間次表面特性調查技術精進

廠址關鍵核種特性調查資料可作為確認核電廠除役後外釋標準的輸入資料，同時也是最初規劃和廠址復原規劃時的重要輸入資料。但到目前為止，廠址特性調查仍著重於表面污染。管制單位仍希望針對次表面特性調查能有標準化的流程可供依循，以期提升廠址外釋的技術性準則並使除役基金能被有效運用。本次計畫的目標就是要與業界分享 Geostatistics 程式的使用實例及優點。

Geostatistics 程式可用於：

1. 從空間結構資料推論出污染的分佈；
2. 在空間中預測重覆出現的點，並可將規則與空間連結；
3. 提供每一預測點的不確定性。

Geostatistics 程式已使用於分析有害廢棄物沉積於 Upper Trenton Channel 的分佈及 Chooz A 核電廠的表面特性調查。

次表面特性調查所遭遇到的挑戰包括：

1. 一般而言，僅能依據表面掃描技術來建構空間中污染的特性，尚無類似的技術可應用於次表面特性調查；
2. 從表面特性調查所取得的數據衍伸到次表面會增加許多不確定性，使可用數據變少；
3. 次表面的環境可能是非均勻或是相當複雜的。

Geostatistics 程式在使用上的限制則有：

1. 須與空間有明確關聯；
2. 須有物理或理論方面的證據來支持；
3. 不適用於複雜或異質環境。

Geostatistics 程式已被法國、西班牙及比利時等國除役中的核電廠、實驗室及研究設施所使用，且節省相當可觀的支出。目前 EPRI 已出版編號 3002007554 報告說明如何將 Geostatistics 程式運用於核電廠除役時之廠址最終輻射偵測計畫。Geostatistics 程式未來有機會用於不同介質(如：混凝土、地下水、地表水等)中的核種特性分析及核電廠不同階段規劃(如：運轉期間的監測、除污/復原規劃、最終輻射狀態偵測等)。

(二) 除役特性調查

核電廠除役的最終目標是安全並有效的終止執照。在剛開始進入除役階段時，首先要對財務及採用的除役技術進行規劃，以便了解有哪些需注意的風險。而詳盡的廠址特性調查便是上述規劃的第一步，亦有助於擬訂較務實的計畫。

廠址特性調查的內容除了射源項的確立(包含數量、地點、時間等)，尚需了解處置場的接收標準、廠外運送方式(包裝容器選擇)、現址切割方式等。上述內容為除役規劃及成本估算相當重要的輸入參數。

在核電廠永久停止運轉前，須針對 legacy waste 的處置方式進行確認及規劃，需要考慮的因素包括：是否可接近/與運轉有關、劑量高低、是否可直接處置、是否為混合廢棄物、容器/運輸規劃等。

前述資料來源若為圖面/照片/程序書/使用手冊等，需要確立版次為目前最新/建廠時/改善完成時。

射源項的部分則是包括廢料/排放系統、洩漏事件、反應器壓力槽及其內部組件等。反應器壓力槽輸入資料則是有：運轉及爐心燃料佈局歷史、設備圖面、材料組成、截面資料庫、輻射偵測數據等。一般而言，BWR 的頂部導板可能被分類為超 C 類廢棄物、爐心側板則可能為 C 類及超 C 類廢棄物。前述射源項可用於確認超 C 類廢棄物及其他低放射性廢棄物的產量，並可作為以下規劃的基礎：

1. 切割計畫；
2. 廢棄物接收標準；
3. 容器及運輸方式選擇；
4. 除污及拆除方式選擇。

目前的趨勢是除役採取 SAFSTOR 的策略；且反應器壓力槽及其內部組件將會被切割，以達到最佳分類結果。

(三) 反應器切割技術精進

反應器或其內部組件、大型組件切割曾經在以下幾個核電廠的除役期間內完成：Big Rock Point、Millstone Unit1、Rancho Seco、Fermi Unit 1、Zion Station、Humboldt Bay。切割計畫的目標有以下幾項：

1. 確認所採用的方法是安全、可靠且經過驗證的；
2. 切割的方法可以盡量減少切割次數及 B、C 類廢棄物的數量，並達到包裝效率的最佳化；
3. 減少工作人員輻射暴露量；
4. 減少二次廢棄物的產生；
5. 在成本運用最佳化的情形下執行；
6. 減少為計畫帶來的技術、時程及成本風險。

目前已有公司發展出多功能切割工作站，可進行來回式、垂直、水平切割。

除 SONGS 1 係採 B 型包件運送至處置場外，已完成的反應器壓力槽切割計畫，分別採用不同的切割方式：

Rancho Seco—磨料水刀切割；

Fermi Unit 1—機械切割；

Humboldt Bay—機械切割；

Zion Station—氧-丙烷切割。

包封容器採用 Mark Type 的 BWR 尚未有全尺寸的切割經驗，但目前已停止運轉的核電廠有 Vermont Yankee 及 Millstone Unit 1，未來幾年有可能停止運轉的核電廠則有 Pilgram、Fitzpatrick、Oyster Creek。

五、美國除役及低放射性廢棄物相關管制情形

美國 NRC 成立了 DUWP(Division of Decommissioning, Uranium Recovery and Waste Program)，上述組織主要是負責除役相關審查，並與低放射性廢棄物計畫審查間進行整合，同時監督鈾燃料生產或鈾礦採集的設施。

NRC 在 1996 年 7 月 29 日發布 License Termination Rule(LTR)，主要是為了降低管制的要求，提供給業者更大的彈性，並提高民眾參與度。而 SECY-00-145 揭示了核電廠除役的決策原則，現行的運轉執照於除役階段仍有效，依個案不同來申請減免安全管制事項(效率不高)。從 LTR 開始，除役相關管制要求開始逐步建立。但經過幾個震驚全球的事件(如：美國 911 與日本福島)後，有越來越多的核電廠停機，相關管制要求亦需與時俱進。

而低放射性廢棄物相關的管制法規則有：1980 年發布的 Low-Level Radioactive Waste Policy Act、1982 發布的 10CFR61、1985 年發布的 Low-Level Radioactive Waste Policy Amendments Act。隨著除役所產生的廢棄物越來越多，越來越需要與公眾進行溝通，與低放射性廢棄物及其處置相關的規定亦需要進一步修訂。10CFR61 的修訂目標係確保不同的廢棄物都能夠安全的被處置，主要的修訂有：

- (一) 依特定場址進行功能評估；
- (二) 處置場安全設計基準提升為 1,000 年；
- (三) 分析無意闖入者的影響；
- (四) 長半衰期廢棄物核種的分析；
- (五) 深度防禦(Defense-in-Depth, DID)的觀念；
- (六) 在處置場封閉時應依當時最新的技術進行分析。

NRC 已於去年 3 月提出草稿，預計將於今(2016)年 9 月發布實施。

六、EPRI 低放射性廢棄物相關研究計畫成果分享

EPRI 在 2014 到 2016 年的研究計畫是針對如何量測排放物中的難測核種進行研究，並發展出低放射性廢棄物中 Tc-99 及 I-129 的通用比例因數。此項計畫主要是利用西北太平洋國家實驗室(Pacific Northwest National Laboratory, PNNL)的資料來發展通用的 Tc-99 及 I-129 比例因數，上述比例因數經過驗證的結果相當良好，其他核電廠若確認並審閱過報告中所提供的數據及成果後，亦可引用比例因數如下：

表 4.Tc-99 及 I-129 比例因數

略，本表摘自 EPRI 研討會簡報，為避免著作權爭議，故不顯示。

七、國際上低放射性廢棄物處理現況

(一) 美國

依據 NUREG/BR-0216，Licensees take steps to reduce the volume of radioactive waste after it has been produced. Common means are compaction and incineration. Approximately 59 NRC licensees are authorized to incinerate certain low-level wastes, although most incineration is performed by a small number of commercial incinerators.意即美國核電廠對於放射性廢棄物減容，普遍採用方法是壓縮與焚化。其中約 59 個 NRC 核定之持照者獲得同意焚化低放射性可燃廢棄物，然焚化工作是由少數的商業焚化爐業者在執行。

(二) 法國

法國 EDF 電力公司（法語：Électricité de France S.A.，縮寫: EDF）是法國的公用電力公司，由法國國家擁有大部分股權。該公司在 2015 年共生產 462.5TWh 電力(法國當年共生產 546TWh)，其中核能發電為 416.8TWh，佔全國 76.3%的電力。

該公司目前共有 58 部 PWR 核能機組在運轉，分佈在全國 19 個地點，包括 34 部 900 MWe 核能機組，20 部 1300 MWe 核能機組，和 4 部 1450 MWe 核能機組。另外 9 部正進行除役之核能機組，包括 6 部氣冷式機組，1 部重水式機組，1 部快滋生機組，及 1 部 300 MWe PWR 核能機組。

該公司在 CENTRACO 廠擁有焚化爐與金屬熔爐處理設施，核電廠產生的可燃低放射性廢棄物係以焚化爐焚化處理，金屬廢棄物係以熔爐處理，可將廢金屬回收再利用於核能設施，而不符合回收標準的廢金屬則製成鑄錠存放。

在 CSA 處置場，設置超高壓縮機，將可壓縮廢棄物予以壓縮後再裝桶。

該公司核電廠營運所產生的廢離子交換樹脂，並未處理，而是將廢離子交換樹脂與 Epoxy 配比混合均勻後裝入 2m³ 混凝土容器內，再送最終處置場。

法國放射性廢棄物之分類與處置如下表所示：

表 5.法國放射性廢棄物分類及處置要求

比活度	短半衰期(<30 年)	長半衰期(>30 年)
極低放射性 (VLLW) <100 Bq/g	1. Morvilliers 處置場 2. Cires 處置場	廠內暫存
低放射性(LLW) 100~20000 Bq/g	1.Aube 處置場 2.Manche 處置場(1994 年關閉) 3.CSA 處置場	石墨、鐳(氣冷式等核電廠產生)，目前規劃中
中放射性(ILW) 20000~10 ⁹ Bq/g		Iceda 處理貯存設施 (EDF 經營)，預計 2018 年運轉

高放射性(HLW) >10 ⁹ Bq/g	Cigeo 深層地質處置場(HLW 及 ILW HLW)，預計 2025 年運轉
------------------------------------	--

(三) 加拿大放射性廢棄物營運

1. 核能運轉與除役機組：

(1) 目前 19 部核能機組運轉中：

- ① OPG Pickering 核電廠：6 部機組
- ② OPG Darlington 核電廠：4 部機組
- ③ Bruce Power 核電廠：8 部機組(註：總發電量 6,300MW，為全世界最大發電量核電廠，提供安大略省約 25~30%所需電力)
- ④ New Brunswick Power 核電廠：1 部機組

(2) 計 3 機組正在/預計進行除役：

- ① 2 部機組(Pickering 1 & 2 號機)採用安全貯存方式進行除役。
- ② 1 部機組(Gentilly 2 號機)則已決定除役，目前處於永久停機到安全貯存之過渡階段。

2. 放射性廢棄物營運：

- (1) New Brunswick Power 核電廠：廠內貯存。
- (2) OPG Pickering & Darlington 核電廠：運送廢棄物至該公司所屬廠外貯存場貯存。
- (3) Bruce Power 核電廠僅是一廢棄物產生者，安大略電力公司(OPG)於 2005 年起在該公司所屬西部廢棄物處置場，規劃一座深層地底儲存場(Deep Geological Repository)，以儲存 OPG Pickering & Darlington 與 Bruce Power 核電廠所產生之所有中低階放射性廢棄物。
- (4) 雖 Bruce Power 核電廠僅是一廢棄物產生者，但其需要執行所產生廢棄物之減量處理，以及利用減容技術以減少廢棄物之容積。

3. 加拿大之放射性廢棄物分類：

- (1)豁免或可外釋廢棄物。
 - (2)極低階放射性廢棄物。
 - (3)低階放射性廢棄物。
 - (4)中階放射性廢棄物。
 - (5)高階放射性廢棄物(一般指用過核燃料)
4. 加拿大核能工業所面臨之挑戰：
- (1)限制業者廢棄物處理與減容方式之選擇。
 - (2)國家的最終處置場並不存在。
 - (3)沒有液態混合廢棄物之最終處置場。
 - (4)社會大眾對放射性廢棄物的認知是負面的。

八、San Onofre 核電廠參訪

San Onofre Nuclear Generating Station(以下簡稱 SONGS)擁有 3 部壓水式反應器，其中 1 號機已幾乎除役完成，2、3 號機則是於 2013 年 6 月 7 日起永久停機。因為 SONGS 廠址所在的土地係由美國海軍移撥，故 SONGS 除役過程除上述擁有者及管制單位參與外，美國海軍亦須參與。

目前美國正在/準備進行除役的核電廠有：Humboldt Bay、Zion、Vermont Yankee、Crystal River，SONGS 與上述核電廠會不定期進行電話會議，交換除役資訊。

SONGS 從運轉過渡至除役階段有幾項重點工作，分別是：停機準備、移除有害廢棄物、尋找協力廠商。SONGS 亦展開與除役有關的訓練課程，加強原本 South California Edison(以下簡稱 SCE)人員的能力，部份的工作因考量成本效益委由外包廠商負責。

值得一提的是，SONGS 除役時的組織架構導入了 GOSP(Governance, Oversight, Support, Perform)的商業模式，以確保除役工作能順利推行。

到 2016 年年中，SONGS 已完成的主要工作有：

- (一) 停止不需繼續運轉的系統；
- (二) 建立 Cold and Dark 模式(建立新的供電設備)；
- (三) 建立燃料獨立池島區；
- (四) 撰寫永久移除燃料後的運轉規範；

(五) 更新緊急計畫；

(六) 用過核子燃料管理計畫(Irradiated Fuel Management Plan, IFMP)、除役成本估算(Decommissioning Cost Estimate, DCE)、停機後除役作業報告書(Post Shutdown Decommissioning Activities Report, PSDAR)等相關文件繳交；

(七) 廠址歷史資料評估及特性調查。

SONGS 除役最主要的方針是安全、管理、公眾參與。在公眾參與部分，SONGS 成立了一項公眾參與計畫(Community Engagement Program, CEP)，每季都會舉辦公聽會，我們到訪的前一天(2016/6/22)晚上剛好舉行了一場，當天在地區報紙上也有報導。此外，透過 SONGS community 的網站，民眾也可獲取除役相關資訊。SONGS 亦會不定期於報紙、電視上發表，並開放公眾可以申請至現場參訪。隨著除役工作的推展，必須持續更新並分享除役的期程。

肆、建議事項

- 一、NRC 針對核電廠除役相關法規將於近期進行修訂，本公司應密切注意。
- 二、在 EPRI 及多座核電廠的經驗回饋中都提及，建議與除役中核電廠建立密切的關係，並應重視其經驗回饋。本公司目前核一廠仍在運轉階段，雖已完成核一廠除役計畫送主管機關審查，仍須持續與國際組織及除役中核電廠建立良好互動，俾分享除役相關資訊。
- 三、目前核一廠已成立除役專案小組，依國外經驗，除役規劃與維持電廠運轉應分開進行，並至最後一次燃料挪移大修結束後再大幅增加除役規劃組織人力。
- 四、SONGS 在除役組織中導入的 GOSP 模式，與目前本公司正在推動的同儕小組的管理模式相同。由此可知，GOSP 模式適用於運轉中及除役中核電廠，建議相關單位應持續推動落實。
- 五、此次前往 SONGS 參訪，與 SONGS 人員面對面進行交流，除了技術上的交流之外，更能感受到 SONGS 對本次參訪準備的用心，在簡報一開始便放上本公司核電廠相關資料，在開會期間更準備了各式咖啡茶點等。SONGS 設有人員專責安排外界參訪，未來若有類似國外貴賓/外界民眾來訪，建議未來除役中核電廠亦能設立類似專責部門，俾外界對除役更加了解。
- 六、SONGS community 的網站上有許多除役及乾貯相關的資訊，供有興趣的民眾上網瀏覽，未來核一廠若進入除役階段，建議亦可比照辦理，使核電廠除役時程、技術等相關資訊更加透明化。

AGENDA

EPRI DECOMMISSIONING WORKSHOP

June 19-20, 2016 • Loews Royal Pacific Resort • Orlando, Florida • USA

EPRI DECOMMISSIONING WORKSHOP

SUNDAY, JUNE 19, 2016		
TIME	TOPIC	PRESENTER
4:00 – 6:00 pm	Registration - Registration North	
MONDAY, JUNE 20, 2016		
TIME	TOPIC	PRESENTER
7:00 a.m. – 4:00 p.m.	Registration – Registration North	
7:00 a.m.	Breakfast – Coral Sea	
General Session Room – Pacifica Ballroom 3		
SESSION 1: Decommissioning Overview		
<i>Co-Chairs: Lisa Edwards and Richard Reid, EPRI</i>		
8:00 a.m.	EPRI Decommissioning Goals & Missions	Lisa Edwards, EPRI
8:25 a.m.	Power Reactor Decommissioning Program Status and Challenges	Bruce Watson, U.S. NRC
8:50 a.m.	NEI Decommissioning Overview	Rod McCullum, NEI
9:15 a.m.	IAEA Decommissioning Programme	Rebecca Robbins, IAEA
9:45 a.m.	Break	
SESSION 2: Decommissioning: Planning and Transitioning From Operations		
<i>Co-Chairs: Rick Reid, EPRI and Rod McCullum, NEI</i>		
10:00 a.m.	Guidance for Transitioning from Operations to Decommissioning for Nuclear Power Plants	Richard McGrath, EPRI and Peter Krull, Dominion Engineering, Inc.
10:30 a.m.	Kewaunee Decommissioning Transition	Jack Gadzala, Dominion
11:00 a.m.	Entergy's Vermont Yankee Decommissioning Planning	Mike McKenny, Vermont Yankee, Entergy
11:30 a.m.	Commercial Decommissioning – A Global Perspective	Jeff Hays, AREVA
12:00 p.m.	Lunch – Coral Sea	
SESSION 3: US Utility Decommissioning		
<i>Co-Chairs: Rick Reid, EPRI and Rebecca Robbins, IAEA</i>		
1:00 p.m.	Oyster Creek's Path to Decommissioning & DC Transition Management Model Development	Chris Wilson, Exelon Decommissioning
1:30 p.m.	An Update on Dairyland Power Lacrosse's NPP Path to Decommissioning	Donald Williams, Jr. (Nick), EnergySolutions
2:00 p.m.	Humboldt Bay Decommissioning Update	Kerry Rod, Humboldt Bay NPP
2:30 p.m.	Break - Foyer	
3:00 p.m.	Zion 2 and 3 Decommissioning Update	Donald Williams Jr. (Nick) EnergySolutions
3:30 p.m.	Analysis of Allowable Uses of Nuclear Decommissioning Trust Funds	Tom Magette, PwC and Adam Levin, AHL Consulting

4:00 p.m.	Remote Handling Solutions for Decommissioning: Analyzing the Differences Between Products Versus Integrated Solutions for Complex Decommissioning Tasks	Marc Rood, Kurion, Inc.
4:30 p.m.	General Summary	
5:30 p.m.	Reception (Reception concludes at 6:30 p.m.) – Promenade Deck	
TUESDAY, JUNE 21, 2016		
TIME	TOPIC	PRESENTER
7:00 a.m.	Breakfast – Coral Sea	
General Session Room – Pacifica Ballroom 3		
SESSION 4: Industry Decommissioning Perspectives and Approaches		
<i>Co-Chairs: Rich McGrath, EPRI and Bruce Watson, U.S. NRC</i>		
8:00 a.m.	An Improved Method for Subsurface Characterization During Plant Decommissioning	Peter Krull, Kyle Schmitt, Chuck Marks, Dominion Engineering, Inc. and Rick Reid and Rich McGrath, EPRI
8:25 a.m.	Characterization Before Segmentation of Reactor Internals	Ed Posivak and John LePere, WMG, Inc.
8:50 a.m.	Update On Reactor Segmentation Developments	Mike Anderson, REI, Inc.
9:15 a.m.	Break - Foyer	
SESSION 5 – DECOMMISSIONING WASTE – DISPOSAL ALTERNATIVES FOR VERY LOW CONCENTRATIONS OF RADIOACTIVITY (FOR DECOMMISSIONING AND LLW ATTENDEES)		
<i>Co-Chairs: James Joyce, U.S. DOE and Larry Camper, U.S. NRC Retired, Talisman International</i>		
9:30 a.m.	Panel: Larry Camper, U.S. NRC Retired, Talisman International	
9:45 a.m.	Panel: Joe Weismann, US Ecology	
9:55 a.m.	Panel: Kurt Colborn, Waste Control Specialists Inc.(WCS)	
10:05 a.m.	Panel: Bret Rogers, EnergySolutions	
10:15 a.m.	Panel: Alan Duff, Toxco, Inc.	
10:25 a.m.	Panel: Andy Avila, Omega Services	
10:35 a.m.	Panel: Discussion - ALL	
11:20 a.m.	General Summary - Richard Reid, EPRI	
11:30 a.m.	Lunch - Exhibit Hall – Pacifica Ballrooms 6	
SESSION 6 – POSTER PRESENTATION In Exhibit Hall (Poster Presenter Questions and Answers During Lunch)		
<i>Chair: Gary Benda, EPRI LLW Technical Program Coordinator</i>		
11:30 a.m. - 7:30 p.m.*	Reclassification of Structure, System and Components for the Decommissioning of the Nuclear Power Plants in Korea	Kwang-soon Choi, Dongjin Lee, and Jaihoon Jung, KEPCO-ENC, Republic of Korea
11:30 a.m. - 7:30 p.m.*	D&D/ Fuel Pool & Suppression Pool Cleanout using AVANTech's Solid Collection Filters SCF™	Dave Schlosser, AVANTech, Inc. and Michael Wakeley, LaSalle Generating Station, Exelon
11:30 a.m. - 7:30 p.m.*	Fukushima Fuel Debris Retrieval	Marc Rood, Kurion, Inc.
*The Poster Session will open at 11:30 am during lunch and will remain open until 5:00 pm and then re-open at 6:00 pm – 7:30 pm during the Social Reception. Presenters are at Posters from 6:15 - 7:15 for Questions.		

General Session Room – Pacifica Ballrooms 3-5		
OPENING KEYNOTE – (JOINT SESSION FOR ALL - Decommissioning, LLW AND ASME/EPRI WORKSHOP ATTENDEES) Co-Chairs: Lisa Edwards and Richard Reid, EPRI		
1:00 p.m.	Welcome – Conference Goals	Phung Tran, EPRI
1:15 p.m.	Plenary Session and Keynote	Andrea Kock, U.S. NRC
1:50 p.m.	EPRI Overview/ Research Strategy for LLW Management	Karen Kim, EPRI
2:10 p.m.	Break	
General Session Room – Pacifica Ballrooms 3-5		
SESSION 1 – LLW REGULATIONS, POLICIES AND STRATEGIES (FOR DECOMMISSIONING AND LLW ATTENDEES)		
Co-Chairs: Lisa Edwards, EPRI and Larry Camper, U.S. NRC Retired, Talisman International		
2:30 p.m.	What DOE Has Done And Is Planning For The US LLW Industry	James Joyce, U.S. DOE, EM Program
3:00 p.m.	NEI Update of Emerging LLW Issues	Janet Schlueter, Nuclear Energy Institute (NEI)
3:30 p.m.		
General Session Room – Pacifica Ballrooms 3-5		
SESSION 2 – International LLW Update & Benchmarking		
Co-Chairs: Karen Kim, EPRI and Maurice Heath, U.S. NRC		
4:00 p.m.	An Update of Radioactive Waste Management Activities at the IAEA	Rebecca Robbins, IAEA
4:30 p.m.	EDF Radioactive Waste Management	Josselin Errera, EDF, France
5:00 p.m.	Canadian LLW NPP Update	Chad MacLean, Bruce Power, Canada
5:30 p.m.	Announcements/Adjournment	Karen Kim, EPRI
6:00 p.m. – 7:30 p.m.	Reception in the Exhibit Hall (for Decommissioning and LLW Attendees and ASME/EPRI Workshop Attendees) – Pacifica Ballroom 6	