

出國報告(出國類別：開會)

參加除役法規及除役作業管制研討會或 參訪相關機構

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：趙彥博 / 管制法規課長

派赴國家：美國

出國期間：113.01.29 ~ 113.02.04

報告日期：113.03.29

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加除役法規及除役作業管制研討會或參訪相關機構

頁數 21 含附件：■是 □否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司 / 趙彥博 / 核能安全處 / 管制法規課長 / (02)2366-7487

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：113.01.29 ~ 113.02.04 出國地區：美國

報告日期：113.3.29

分類號/目：

關鍵詞：SONGS 核電廠、除役法規、用過燃料處置、主要組件 D&D

內容摘要：(二百至三百字)

本次參加由美國核能協會(NEI)與電力研究所(EPRI)在加州合作舉辦為期 3 天 (113.01.30~113.02.01)的 2024 年美國除役研討會。此項交流活動邀請美國核能監管單位、核能研究機構、核電廠營運單位、除役工程廠商及國際除役組織代表與會。第一天的行程安排參訪正在除役中的 SONGS 核電廠，讓與會者能夠實地瞭解拆除作業的實際運作。接下來的兩天則安排專題演講及多場次的分組討論會議，重點探討美國除役管制要求、除役策略經驗、最新技術應用、主要組件拆除及用過燃料處置等關鍵環節，並分享寶貴經驗。透過參與此次研討會，本公司未來在規劃及執行核電廠除役工作時，將可借鏡美國的實際做法及豐富經驗，有助於強化本公司的除役作業能力。

(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、心得與建議事項.....	18

壹、出國目的

隨著本公司核能電廠逐步進入除役階段，參與美國核能相關機構所舉辦的核電廠除役研討會，將有助於瞭解國際除役法規的發展現況，以及累積寶貴的除役作業經驗。這些資訊將成為本公司未來規劃除役作業及申請放寬管制要求的重要參考依據。

鑑於美國在核電廠除役領域擁有豐富的經驗以及完善的法規制度，瞭解並掌握美國除役法規的最新發展及作業經驗，不僅可作為本公司與核安會進行溝通之依據，更將有利於本公司未來除役策略的規劃，以及除役業務的推行，提高我們應對除役挑戰的能力。

貳、出國過程

本次行程規劃 1 月 29 日由桃園國際機場出發，搭乘長榮航空抵達美國洛杉磯國際機場(LAX)後，再自行開車前往加州聖地牙哥市。在 1 月 30 日至 2 月 1 日期間，參加「2024 年 NEI/EPRI 除役研討會」，議程詳如附錄。2 月 2 日由洛杉磯國際機場出發返國，2 月 4 日抵達桃園國際機場，行程如下表所示：

出國行程規劃表

日期	行程內容
113.01.29	去程【台北－洛杉磯－聖地牙哥】
113.01.30~113.02.01	參加 2024 年 NEI/EPRI 除役研討會
113.02.02~113.02.04	返程【聖地牙哥－洛杉磯－台北】

參、會議內容摘要

一、會議概述

本屆「2024年 NEI/EPRI 除役研討會 (Decommissioning Conference)」於美國加州聖地牙哥舉行，為期三天的交流活動涵蓋核電廠實地參訪和專題研討會二大主軸，其參加成員包括國際組織、管制機關、研究機構、核電廠營運業者、除役業界廠商等約110人與會。第一天的行程是參訪已永久停機的 SONGS 核電廠，與會者實地參觀廠內的乾式貯存設施，廠方人員詳細解說其設計理念和防護措施，分享整個廠址的拆除計畫和作業流程，接著介紹放射性廢棄物的運輸安排、海嘯風險評估結果，以及環境輻射監測作法等；第二天於室內舉行專題研討會，分享 SONGS 核電廠的除役進展、IAEA 對全球核設施除役趨勢的觀點，以及業界在除役規劃和執行、3D 模型應用等方面的經驗；第三天則聚焦在除役電廠主要組件處理的經驗、除役期間監管要求、用過燃料貯存與處置的發展、以及國際除役經驗交流等議題。有關參訪和研討會相關內容，將於下個章節詳述之。

二、(第 1 天)參訪 SONGS 核電廠

2024年1月30日對位於加州(San Onofre Nuclear Generating Station, SONGS)核電廠進行技術參訪。SONGS 核電廠共有三部機組，1 號機早在 90 年代就已永久停機並拆除，2 號機和 3 號機則於 2013 年永久停機。

參訪過程中看到 SONGS 的除役工作已取得顯著進展，根據已完成和正在進行的除役活動，可以總結如下：

在圍阻體內部工作方面，已經完成的工作包括改造圍阻體的通道、切割反應器內部組件等；目前正在進行的工作包括移除主要組件、移除用過燃料池格架、將超 C 類放射性廢棄物存放在乾式貯存容器中等。

在室外工程方面，已經完成的工作包括拆除並填封進水口結構、以及拆除多個周邊建築物，如柴油發電機廠房、汽機廠房等；目前正在進行的工作包括混凝土破碎、分類可回收物、以及經由鐵路和卡車持續運送廢棄物和可回收物等。

另外，汽機廠房的地上結構已被全部拆除，現場只剩下底部的混凝土基座；接下來將對反應器廠房進行拆除，由於反應器廠房的拆除難度較高，目前計劃採用美國伊利諾州 Zion 核電廠的拆除方式，進行作業。

由於 SONGS 核電廠的地理位置，廠方決定盡可能利用鐵路而非公路來運輸拆除過程中產生的廢棄物。為此，他們新建一處鐵路支線和裝卸設施，所有來自拆除過程中的廢棄物都將被集中至這個設施，經過分類、減容和包裝後，最終裝載至鐵路貨車中運出廠區。根據加州法律，SONGS 拆除的任何放射性廢棄物都不允許在加州境內處置。

隨後參觀 ISFSI 的設施，電廠人員說明在全面拆除工作開始前，SONGS 核電廠的所有用過燃料都已轉移到廠內的獨立乾式貯存設施 (Independent Spent Fuel Storage Installation, ISFSI) 中，這些燃料是在 2020 年 8 月全部轉移完畢的。ISFSI 分為兩個區域，分別採用 TN-NUHOMS 和 Holtec 兩家公司提供的乾式貯存設施，前者屬於水平貯存，裝有用過燃料的燃料護箱以水平方式置入混凝土模組中，空氣從兩端進入，繞過護箱後從頂部排出；後者則屬於垂直貯存，護箱被垂直插入混凝土模組中，冷卻空氣從頂部的環形開口進入，經過護箱後從頂部的出風口排出。兩種系統都是利用空氣自然對流來進行冷卻。

廠方人員則進一步說明 Holtec 的 ISFSI 設施，目前共裝有 73 個燃料護箱，每個護箱內裝有 37 束燃料組件。考量到海邊氣候和環境，Holtec 為每個單元加裝防風雨蓋。護箱採用 316L 不銹鋼製造，厚度達到 5/8 英寸，高於法規要求的 1/2 英寸，所有護箱都經過 Laser Peening 處理，在表面形成一層壓應力層 (Compressive Stress)，能夠有效地抑制應力腐蝕龜裂 (Stress Corrosion Crack)。

在 Holtec 的 ISFSI 設施旁，廠方還放置一個測試用的護箱，內部安裝電加熱元件以模擬衰變熱，這個測試護箱是全廠環境最為惡劣的護箱，因此被視為領先指標。為了提早發現可能存在的問題，並及時採取適當的措施，廠方計劃每 2.5 年對這個護箱進行一次機器人檢測 (Robotic Inspection)。

除了乾式貯存設施存放用過燃料外，SONGS 還有存放超 C 類 (Greater Than Class C, GTCC) 的低放射性廢棄物 (如反應器內部組件)，目前有 10 個護箱用於存放 GTCC 廢棄物，其中 2 號機和 3 號機各還有一些護箱尚未裝填。這些放射性廢棄物都將和用過燃料一樣，封存在 ISFSI 中，直到美國政府找到合適的最終處置場。

此外，SONGS 電廠在除役過程中面臨的最大挑戰之一，並非來自輻射，而是來自海鷗。尤其是在每年的繁殖季節，成群的海鷗會在廠區內到處築巢，而它們的排泄物具有極強的腐蝕性，對設備和建築構成嚴重威脅。因海鷗是屬於受保護的鳥類，一旦海鷗在工作區附近下蛋，就必須與巢區保持距離，這可能會導致工程必須停工長達 6 周之久，直到海鷗幼鳥孵化後飛走。目前電廠主要還是採取各種嚇阻措施，設法讓海鷗遠離關鍵區域，去其他地方築巢。

SONGS 電廠位於美國西海岸，面臨太平洋，因此海嘯是需要考慮的因素。一位在 SONGS 工作 42 年的資深工程師提到，早年曾做過海嘯分析。根據分析結果，由於 SONGS 附近海域存在一個非常淺的海岸架(coastal shelf)，海嘯在到達前 100 英里就開始喪失能量，因此這裡的海嘯風險相對較低。

有關環境輻射監測的方面，為了回應公眾的關切，電廠自行安裝一套輻射監測系統，並承諾將數據與加州政府和當地社區共享。儘管這套系統並非法規要求，但它可以提供即時的輻射水平資訊，幫助公眾了解電廠周邊的輻射狀況。為避免可能的數據異常引起恐慌，監測數據不會直接公佈在網上，而是由州政府每月審核後再發佈。在參觀時，這套監測系統顯示的輻射水平為每小時 13 micro-rem，只比天然背景值高一點點，證實了電廠周邊的輻射劑量率確實低於法規要求。

SONGS 核電廠的除役工作正有序進行，廠方在確保安全的前提下，也努力降低對環境的影響。其中用過燃料的安全管理是重中之重，廠方致力於確保乾式貯存系統的安全運行。根據目前的除役計畫，預計到 2028 年完成現階段的除役拆除工作後，廠址內仍將保留部分設施，包括乾式貯存設施(ISFSI)、一座 220kV 開關場以及一條連接南北兩側海灘的公共步道。廠方將持續對這些設施進行檢查、維護和測試，以確保其安全性。

三、(第 2 天)研討會內容

(一)引言

本會議旨在為業界提供一個深入交流除役技術細節、問題與解決方案的平台。聖地牙哥官員在開幕致詞中介紹 SONGS 核電廠的除役進度，目前該電廠的建築物拆除工作預計將於 2029 年前完成，但受制於用過燃料仍存放在廠址內，除非將其移往廠外處置，否則無法真正完成除役並將土地歸還給海軍。同時也提到他主持的「用過燃料解決方案聯盟 (Spent Fuel Solutions Coalition)」致力於推動美國政府建立用過燃料的集中式中期貯存設施(Consolidated Interim Storage)與最終處置，並強調取得地方社區信任的重要性。

(二)關注 SONGS 核電廠

回顧 SONGS 核電廠的歷史，該廠共有三部機組。1 號機於 1964 年開始運轉，1992 年永久停機；2 號機 1983 年投入運轉，2013 年永久停機；3 號機 1984 年開始商轉，也於 2013 年永久停機。目前 1 號機已完成除役，而 2、3 號機的除役工作正在穩定推進。已完成的重大工作包括：擴大圍阻體出入口、切割和移除安全注水槽、切割反應器壓力槽內部組件等。而目前正在進行的工作包括輔助廠房的除污和隔離，除污的工作目標是降低廠房的輻射劑量，為拆除工作創造安全的環境。

參考先前除役計畫的經驗，其中一個重要經驗是需要應對技能變化的挑戰。隨著除役工作的推進，所需的技能與運轉階段有所不同，需要工作人員適應新的工作內容和方式；另一個挑戰是如何與承包商合作，有效管理帶電設備的除役工作。這需要項目組與承包商保持良好的溝通，明確劃分責任，確保工作安全高效地進行。

美國核管會(NRC)對 SONGS 核電廠的除役工作進行嚴格的監管，並派出不同領域的專家，對除役工作開展 6 種檢查如輻防檢查、除役活動檢查、放射性廢棄物管理檢查等，涵蓋除役各個方面。NRC 的除役視察員在會議上詳細介紹視察計畫的核心程序和內容。

(三)IAEA 分享全球除役資訊

IAEA 於會議中分享在核設施除役與放射性廢棄物管理方面的觀點，並介紹全球核能設施的現況，截至 2023 年底，共有 437 座運轉中的核電機組、209 座已永久停機的機組，以及 354 座運轉中的核燃料循環設施(Nuclear Fuel Cycle Facilities)。隨著許多核設施逐漸老化，預計到 2050 年將有超過 200 座核電機組進入除役階段。

面對龐大的除役工作，主要的挑戰在於需要投入大量的財務和人力資源，以及如何維持稱職的人力。觀察過去 10 年的趨勢，大部分機組是按計劃時程永久停機，停機的決策則主要受到政治和經濟因素的影響。核電廠的除役通常需時超過 30 年，相較之下，研究型反應器因為規模較小，除役時間較短，越來越多國家的政策開始支持立即拆除的策略。

因應未來大規模的除役需求，各國正積極運用數位科技、遠端操作工具和自動化系統來支援除役規劃和執行。

IAEA 認為應用循環經濟原則可使核能生命週期更加永續，例如透過延長設施使用壽命可減少過早除役，以及運用創新技術促進材料再利用和減少廢棄物。

安全有效地管理放射性廢棄物和執行反應器除役，將有助實現聯合國永續發展的目標，如保護陸地與海洋生態、促進資源回收再利用等。

(四)核電廠除役規劃與執行的經驗

1. Dresden 核電廠 1 號機的除役規劃

Dresden 核電廠 1 號機的在 1960 年開始商轉，之後陸續蓋了 2 號機和 3 號機，從 1969 年至 1978 年間開始聯合運轉，三部機組有許多共用的系統，例如生活用水、消防水、廠用空氣、儀控空氣、FLEX 等。1 號機於 1978 年永久停機，2 號機和 3 號機目前的運轉執照分別在 2029 年和 2031 年屆期，並計畫在 2024 年 4 月提出第 2 次執照更新申請(Subsequent License Renewal, SLR)，再次延長運轉 20 年。若要在 2 號機和 3 號機運轉期間對 1 號機進行除役，面臨的挑戰是 1 號機的許多建築物在 2 號機和 3 號機的運轉區域內，難以完成除污及符合相關法規。Dresden 核電廠目前評估的方案包括：讓 1 號機進入安全貯存

(SAFSTOR)，待 2 號機和 3 號機運轉執照屆期後再一起除役；或採取混合方式，拆除部分設備。不管哪種方式，都需要事先將 1 號機與 2、3 號機進行隔離，並將 1 號機轉變為“Cold & Dark”狀態，同時要兼顧在各種可能的未來除役範圍下都能執行。目前 Dresden 核電廠正在進行相關工程規劃，如電力、消防系統的隔離所需的修改。

2. SONGS 核電廠從運轉過渡到除役的經驗

SONGS 核電廠 2 號機和 3 號機於 2013 年永久停機。在進入除役過渡階段，SONGS 核電廠採取除役承包商模式，SONGS 核電廠仍擁有執照，不過現場除役作業則由除役承包商 SDS(AECOM 和 Energy Solutions 的合資公司)負責，所以選擇承包商的對口人員也是重要的一環。除役過渡階段，須審慎規劃人員裁減，留住具備核心知識的人才。此外，需先將基礎項目包括工業安全、核能監督、行動方案、監管操作等項目轉移給委託承包商。之後，再依序轉移如輻射防護、化學、環境、維護、緊急應變等項目。核子保安則必須等用過燃料全部移出燃料池後才能移交。SONGS 核電廠將依不同的除役階段漸進式調整緊急應變計畫，隨著風險降低而簡化編組與演練頻率。

3. 西班牙核電廠的除役挑戰

西班牙政府決定在未來 10 年內除役該國所有 7 部運轉中的核能機組，這意味著屆時將有 7 部機組同時進行除役，對於工程公司、電廠經營者、主管機關都是一大挑戰。為因應這波除役高峰，西班牙工程公司 Empresarios Agrupados 正協助 Garoña、José Cabrera、Vandellós 等核電廠開發 3D 數位模型，用於除役規劃。以 Garoña 電廠的 VERTORAD 系統為例，該模型整合廠址所有設備、建物的幾何與屬性資訊，亦匯入輻射偵檢數據，可用於評估設備的放射性廢棄物分類與所需處置容器數量。

VERTORAD 的應用涵蓋除役各階段，包括工程模擬、輻射特性評估、廢棄物規劃、工作人員訓練等，同時結合擴增實境(Augmented Reality, AR)技術，讓工

作人員可在現場快速取得設備資訊。此外，該模型還能製作除役說明動畫，向主管機關或大眾進行溝通。

除了 3D 模型，Empresarios Agrupados 也開發 QUORD 軟體，用於優化放射性廢棄物在處置容器中的裝填方式。該軟體運用蒙地卡羅(Monte Carlo)方法模擬，以找出最佳的裝填組合。總之，數位科技正應用於西班牙的核電廠除役，這些規劃工具有助提升除役的安全性與效率。

4. Fort Calhoun 核電廠快速過渡至除役的經驗

Fort Calhoun 核電廠是一座 1,500MWt 的壓水式反應器，由奧馬哈公共電力局 (OPPD) 所持有，該核電廠自 1973 年 9 月 26 日開始商轉，2003 年 11 月 4 日獲 NRC 核發 20 年延長運轉執照至 2033 年。2011 年春季遭逢洪水，導致電廠長期停機，直到 2013 年 12 月才恢復運轉。而在 3 年後，2016 年 6 月董事會決議除役，於同年 10 月永久停機，並於 11 月 13 日完成反應器燃料全部退出的作業。由於電廠只有 130 天的除役準備時間，於是 Fort Calhoun 核電廠快速成立團隊，參考其他電廠實例，發展出 58 個分項計畫，涵蓋工程、環保、水文等各面向，並明訂執行人員與時程。重要工作包括除役成本估算、環境影響評估報告更新以及用過燃料管理等。電廠內部每週開會檢視進度，溝通協調至關重要。2018 年 Fort Calhoun 核電廠將除役模式從安全貯存(SAFSTOR)改為立即拆除(DECON)，並聘請 Energy Solutions 公司為顧問，期望能加速除役。此外，2011 年洪水期間可能造成一些輕微的污染擴散，但總體影響有限，電廠在除役過程中進行必要的輻射偵檢與污染清理工作。

四、(第 3 天)研討會內容

(一)除役電廠主要組件處理之經驗分享

1. (Orano) 主要組件的運輸經驗

Orano 公司分享 Crystal River 核電廠 3 號機主要組件(如反應器)在運輸過程中所遇到的各種問題和風險。特別提到一些常見的問題。例如，在運輸路線上可能存在施工或維修工程，而這些工程不會為了主要組件的運輸而停工。

此外，還有政府法規和許可風險。運輸主要組件需要獲得各種許可，如高和寬的許可、NRC 許可等，而這些許可的獲取過程可能漫長且不確定。尤其組件所有權的轉移時也需要仔細考慮，因為關係到承包商的項目安排和風險承擔。最後，建議在運輸前制定詳細的計劃，包括路線選擇、運輸方式、所需許可證的申請等，特別是對於不同放射性程度的組件，須根據法規要求選擇合適等級的包裝。唯有全面評估並降低各種風險，才能確保主要組件運輸的安全與順利。

2. (Energy Solution) 主要組件的運輸經驗

Energy Solutions 公司主要分享了 SONGS 核電廠主要組件運輸的經驗。在 SONGS 核電廠的反應器壓力容器運輸項目中，Energy Solutions 公司創下了鐵路運輸最大放射性組件的紀錄。為了滿足鐵路運輸的要求，他們不得不對容器尺寸進行修改。此外，為確保運輸過程中不會與鐵路基礎設施發生任何碰撞，Energy Solutions 公司與鐵路公司進行長達三年的溝通和協調。這些經驗凸顯了在核電廠除役過程中，主要組件運輸的複雜性和對細節的高度重視。

3. (Westinghouse) 主要組件的切割與包裝

首先，Westinghouse 公司在全球範圍內參與大量的反應器壓力容器內部組件和反應器壓力容器切割項目，積累了豐富的經驗和知識，這對於高效地完成切割任務至關重要。其次，在項目開始時，Westinghouse 公司會建立詳細的 3D 模型，並據此制定切割和包裝方案，以優化切割路徑，降低切割過程中的風險。再者，Westinghouse 公司介紹多種切割技術，如機械切割、電漿切割、水刀切割等，並指出不同部件可能需要根據其材質、結構和輻射量等特點，使用不同的切割方法。最後，Westinghouse 公司強調只有明確了組件的處置方案，才能確定切割的尺寸、形狀和數量等參數，從而實現高效、安全的切割過程。

4. (Holtec) 切割與除污的策略

Holtec 公司分享 Indian Point 核電廠主要組件處理的經驗，所面臨的主要挑戰是場地條件限制，如缺乏鐵路接入、道路運輸難度大等。為了降低運輸難度和成本，Holtec 公司採取切割和除污等措施。在 Indian Point 核電廠，

為了方便設備進出，Holtec 公司擴大反應器頂部的開口，以支持放射性廢棄物的移出。此外，Holtec 公司還對 Indian Point 電廠的蒸汽產生器設定處理目標，即在無洩漏且二次側清潔的情況下，有信心通過除污等處理措施，使得 60~65%的蒸汽產生器的重量可降低到作為普通廢棄物或可回收材料的放射性水平，不再需要作為放射性廢棄物進行管控，可大幅降低處置成本和難度；剩下的 35~40%的重量，就仍需要按照放射性廢棄物的要求進行切割和處置，具體的切割方案將根據放射性特徵的分析結果來決定。在切割和除污過程中，需要考慮二次廢棄物的處理，確保其符合最終處置場的要求。同時，還需要充分考慮現場條件的限制，如吊運空間、運輸通道等，以免影響作業。

5. 小結

(1) 歐洲和美國在核電廠除役的除污方式上有著明顯的差異。

在歐洲，基於對放射性廢棄物處理的慎重考量，業界傾向於執行更多完整的系統除污工作。這種做法雖然耗時費力，但能最大限度地減少廢棄物的放射性水平，從而降低後續處理和處置的難度和風險。相比之下，美國的除污方式則更加靈活多變。美國的核能業界可以根據諸多因素，如最終處置場的要求、可用技術、成本效益等，來選擇最適合自己的除污策略。這種自主性使得美國的除役項目能夠針對每個電廠的特點進行優化，在確保安全的前提下，提高效率並控制成本。這兩種不同的方式各有利弊，無論選擇哪種方式，最終都必須達到保護環境和公眾健康的目標。

(2) 在運送主要組件時，我們面臨著一個兩難的抉擇：是將組件切割成小塊，還是保持完整進行運輸？切割組件可以大幅降低運輸的難度，但同時也會增加工人接觸輻射的劑量風險。反之，整體運輸雖然在技術和操作上難度更高，卻能避免切割帶來的輻射問題。因此，在選擇最終方案時，我們必須綜合考量各種限制條件，權衡利弊得失，在運輸方法與潛在風險之間找到最佳的平衡點。

(二)除役期間監管議題

1. (Holtec 公司) 核電廠除役過程中的放射性水排放爭議

Holtec 公司分享在州政府法規方面所遇到的挑戰，特別是在麻薩諸塞州和紐約州，主要議題圍繞在放射性廢水的排放。麻薩諸塞州曾以放射性廢水排放管制為由，有條件否決排放許可；New York 州則在去年通過法案，禁止核電廠(如 Indian Point)向哈德遜河排放含放射性廢水。這突顯了與地方政府和民眾溝通的重要性。

2. (NRC) 除役作業中的常見違規問題與監管建議

美國核管會(NRC)視察員分享近年來在除役期間的違規事件統計。其中消防和輻射防護是最常見的違規事件，其次是放射性物料安全管理和放射性物質運輸。

在消防方面，特別提到未妥善管控易燃物品、未落實可燃物管理程序等問題層出不窮。核電廠在進入除役階段後，火災防護的重點從確保反應器安全停機，轉變為防止放射性物質外釋，以及維護工作人員的輻射安全。

在輻射防護方面，違規態樣包括高輻射區的門禁管制、輻射偵測、人員劑量監測等出現疏失。除役作業的輻射防護嚴謹度，可能不如運轉中的核電廠，且部分電廠也面臨人力資源的挑戰。當電廠進入除役階段，輻射防護和廠區安全是最重要的兩件事，管理階層應給予足夠的重視，並審慎評估人力配置是否滿足需求。

NRC 檢查發現的這些問題，都是可以透過加強人員訓練和管理而避免。業者應汲取他人教訓，在除役規劃階段即充分考量易出問題的環節，完善作業程序和提高人員素質，以降低違規風險。

3. (NRC) 除役相關法規的修訂重點

美國核管會(NRC)放射性廢棄物管理處的主管說明目前正在進行與核電廠除役相關的重點法規修訂工作。

首先是 10 CFR 61 的修訂，該項法規原本是規範低放射性廢棄物處置的技術要求，但 NRC 決定擴大其涵蓋廢棄物的種類，並採用更細的管理方式，修訂重點包括增訂 Depleted Uranium (耗乏鈾，鈾濃縮過程的副產品)處置要求、採用分級管制方式，以及修訂低放廢棄物的定義等。NRC 打算藉此整合 10 CFR 61 與另一項專門規範超 C 類(Greater-than-Class C, GTCC)低放射性廢棄物處置的新法規，以建立一套更全面的低放射性廢棄物管制規範。修訂後的 10 CFR 61 將允許符合標準的 GTCC 廢棄物在州政府管轄的處置設施進行近地表處置(Near-Surface Disposal)。

其次是 NRC 從 2015 年開始推動一項稱為 "Regulatory Improvements for Production and Utilization Facilities Transitioning to Decommissioning" 的法規制訂，目的是簡化核電廠從運轉過渡到除役階段在法規方面需要調適的過程。目前，核電廠在過渡期間需要的很多許可作業，大多仍須以豁免方式逐項申請。這項新法規旨在將這些常見的許可作業納入法規中，使除役過渡的流程法制化。這項法規修訂目前已接近完成，NRC 已於 113 年 1 月 31 日將修正案提交給委員會進行最後審查，接下來只要委員會投票通過，法規就能正式生效，屆時將有助於加速美國核電廠的除役進程。

(三)用過燃料貯存與處置的進展

1. 建議修法推動核廢料處置

加州社區參與小組(Community Engagement Panel)的代表分享在推動用過燃料處置方面所做的努力。加州在用過核燃料問題上累積大量的技術討論，但關鍵問題並非技術面，因為這主要是一個政治問題，需要國會修改聯邦法律才能取得實質進展。他整理出 3 項原則：

- 國會授權建立單一永久的設施，取代無限期的臨時貯存設施。
- 強調集中式中期貯存的重要性
- 尋求永久性最終處置場址。

如果核廢料的臨時貯存完全依賴一個最終處置場的完工，那麼在最終處置場延宕的情況下會造成很多問題，目前缺乏一個能解決這個狀況的方法。

2. (Orano) 用過燃料貯存系統的最新發展。

Orano 公司首先介紹 NUHOMS EOS 系統，採用 basket 設計，無焊接、不變形，組裝效率更高，而且可容納熱負載(heat load)更高的燃料，冷卻 18 個月即可裝填，可讓電廠提前 6-12 個月將燃料從用過燃料水池中移出，並在 Indian Point 核電廠成功裝載熱負載高達 44kW 的燃料，驗證該系統的性能。另一項創新是 Matrix 系統，通過類似蜂巢的緊湊設計，可提高儲存密度，非常適合場地受限的電廠。

此外，還開發新型運輸容器 TNF-XII，可運輸包括 NUHOMS EOS 在內的各種尺寸的貯存容器，並著手為先進反應器及小型模組化反應器的燃料管理開發相對應的解決方案。

3. 小結

- 當前民間廢料運輸的主要障礙在於缺少可運作的目的地，而非運輸技術本身。要推動這一領域取得實質進展，關鍵在於改變聯邦法律，但目前的政治環境充滿挑戰。
- 儘管聯邦法律層面進展有限，但民間項目應當繼續推進，通過成功案例來促進聯邦法律的改變。

(四)國際除役經驗

1. IAEA

- 持續制定和更新除役相關的安全標準和指引(如 DS526:用過燃料和反應器管理的安全指引)。
- 進行多個針對除役和環境修復的專案，如全球除役資料庫、小型醫療和工業設施除役國際計畫、推進核電廠除役專案的新興技術等。
- 提供電子學習平台，分享除役和環境修復的知識。
- 與多個國家的相關機構建立合作關係。

2. 歐洲

- 歐洲公用事業公司傾向於將除役範圍細分為較小的工作項目(Work Package)，並自行管理各工作項目之間的銜接。
- 較大的工作項目(Work Package)在成本和進度方面能夠獲得更多好處。相比進度而言，艦隊合同(Fleet Contract)在成本方面的收益更為顯著。
- 由經驗豐富的供應商管理的大型綜合項目，在成本和進度方面皆有顯著的優勢。

3. 加拿大

- 加拿大目前正在進行多座早期反應器的除役，包括 NRU、NRX、WR-1、Douglas Point 等研究用反應器和示範電廠，這些設施紀錄了加拿大早期的核能研發歷程。
- 針對 NPD 核電廠，加拿大考慮採用「原地處置」(In Situ Disposal)的做法，即將反應器結構就地封存，可避免異地運輸廢棄物的風險，並降低成本，但此做法在加拿大仍具爭議性，尚未定案。

- 根據加拿大的經驗，除役規劃應考量最終處置設施的條件限制，審慎訂定除役時程與優先順序。此外，應建立明確的除役最終狀態，並充分當地社區溝通，取得支持。

4. 義大利

- 義大利在早期曾經營運 4 座核電廠(Latina、Garigliano、Trino、Caorso)，這些電廠目前都已停機，進入除役階段。
- 由於義大利尚未有最終處置場址，因此所有除役過程產生的放射性廢棄物都必須暫時貯存在原址，等候最終處置場啟用後再運走。
- 截至目前為止，除役計畫的整體進度約為 37%。
- 義大利過去的除役經費大多來自電力銷售額的提撥，但 2023 年以後的經費來源可能有所改變，目前尚不確定未來的制度安排。
- 提到 OECD/NEA 的"Regulators Forum"專注討論各國在除役領域的管制議題

總之，除役是各國核能發展過程中不可避免且日益重要的階段，國際間的經驗交流有助找出共通的做法和應對挑戰的方案。

(五)核電廠除役的新思維

Diablo Canyon 核電廠分享他們在州政府要求下，為達成繼續延長運轉所面臨的挑戰，在一年半內完成了原本預計需要五年才能完成的工作，這也顯示出不斷變化的政策環境對核電廠營運的重大影響。

專業除役公司 Energy Solutions 認為，以資產收購的方式進行除役，是最有效率的。不過，公私合作的模式也是可行的選擇。

美國核管會(NRC)非常重視公眾參與除役過程。經由《核能創新與現代化法案》(Nuclear Energy Innovation and Modernization Act, NEIMA)的立法提高除役活動的透明度，並要求業者提供更明確的時程規劃，充分展現推動公眾參與和資訊公開的決心。

國際原子能總署(IAEA)觀察到，在除役過程中公開透明和與利益相關者溝通的重要性日益提高。這凸顯了除役不僅是技術問題，更牽涉到社會溝通和信任建立。

與會者亦討論到目前各核電廠採行不同的社區參與模式，應該進行嚴謹的比較研究，找出最有效的方法。

肆、心得與建議事項

- 一、美國除役電廠最常見的違規事件涉及消防和輻射防護兩個方面。在消防方面，問題通常源於未妥善管控易燃物品以及未落實可燃物管理程序。而在輻射防護方面，高輻射區的門禁管制、輻射偵測和人員劑量監測等關鍵環節需要特別注意。為了避免類似事故發生在國內除役電廠，建議本公司持續蒐集美國核電廠在除役期間的違規事件和案例，透過汲取這些經驗教訓，在消防和輻射防護兩方面加強管理，完善相關作業程序，進一步提升除役電廠的安全性。
- 二、美國正在修訂低放射性廢棄物處置的相關法規，以建立更全面的管制規範。建議應持續關注此修法動向，參考其放射性廢棄物管理和處置的做法，以適時調整本公司放射性廢棄物管理的策略和方式。
- 三、美國正在推動簡化核電廠從運轉過渡到除役階段的法規，減少逐項豁免申請的繁瑣程序。目前該除役法規已接近完成，待正式發布後本公司可先藉由舉辦研討會方式讓核能業務相關的同仁能充分了解此法規對美國核電廠除役階段的管制方式，再積極與主管機構溝通，爭取適度簡化除役監管要求，加速除役進程。
- 四、建議可以參考美國的作法，成立地方社區諮詢委員會，以促進核電廠除役工程與受影響的附近社區居民之間的溝通和交流。在成立委員會時，應該明確界定委員會的職責、討論的議題範圍，以及公眾參與機制等，並選擇適當的成員組成。委員會應該定期舉行會議，在除役的各個階段提供公眾參與的機會，例如舉辦公開說明會等，以增加除役工程的透明度，並確保附近社區居民的聲音能夠得到傾聽和考慮。透過這樣的機制，可以加強核電廠與當地社區之間的互動，促進雙方的理解與合作，使得除役工作能夠更加順利地進行。
- 五、綜合國外核電廠除役經驗，國內核電廠在進行除役時，應全面考量切割、除污、運輸等各方面的風險與挑戰，制定周詳的計劃。在運輸主要組件時，應權衡切割與整體運輸的利弊，選擇最佳平衡點，並針對不同放射性程度的組件選用合適的包裝與運輸方式，提前與相關單位溝通協調，以確保運輸安全與順利。