

出國報告（出國類別：開會）

參訪美國 **Vermont Yankee** 與 **Pilgrim** 除役核能電廠

服務機關：行政院原子能委員會
放射性物料管理局

姓名職稱：林清源薦任技士

派赴國家：美國

出國時間：108年9月7日至9月15日

報告日期：108年11月13日

摘要

本次的美國出差是依據去(107)年台美民用核能合作會議合作項目(AE-NR-J2)所執行，首先前往位於佛蒙特州(Vermont)南方的 Vermont Yankee 核能電廠，跟隨美國核能管制委員會(美國核管會，USNRC)的檢查員參訪核能電廠，並瞭解目前 Vermont Yankee 核能電廠的除役進度。後續再前往位於麻薩諸塞州(Massachusetts)東邊的 Pilgrim 核能電廠，跟隨 USNRC 的檢查員參訪核能電廠，並瞭解目前 Pilgrim 核能電廠的除役進度。

兩座核能電廠之反應爐與我國核一廠同型，皆屬沸水式反應爐，且除役策略與核一廠相同亦採立即拆除方式，因此除役過程之拆除作業、輻防管制措施等值得國內參考。此外，藉由參與此次訓練，可以了解到美國核管會對於核電廠除役各項作業的管制措施，汲取相關經驗可作為我國管制作法之參考。

關鍵字：Vermont Yankee 核能電廠、Pilgrim 核能電廠、美國核管會、除役

目錄

摘要.....	i
一、 目的.....	1
二、 過程.....	2
三、 心得.....	16
四、 建議事項.....	17

附件一：美國核能管制委員會邀請函

附件二：對於美國核管會除役管制之提問

一、目的

此次前往美國參訪 Vermont Yankee 核能電廠及 Pilgrim 核能電廠之目的如下：

1. 瞭解目前 Vermont Yankee 核能電廠及 Pilgrim 核能電廠的除役進度，觀摩學習美國核管會(U.S. Nuclear Regulatory Commission, USNRC)對於核能電廠除役的管制重點。
2. 瞭解核電廠對於除役時產生放射性廢棄物如何處理，包括運送方式、貯存容器的選擇以及接收處置的場址等。
3. 兩座核能電廠之反應爐與我國核一廠同型，皆屬沸水式反應爐，且除役策略與核一廠相同亦採立即拆除方式，除役過程之拆除作業、放射性廢棄物產量等，除役經驗值得國內參考。

二、過程

(一)行程概要

本次參訪 Vermont Yankee 核能電廠及 Pilgrim 核能電廠行程如下表 1 所列：

表 1. Vermont Yankee 核能電廠及 Pilgrim 核能電廠參訪行程概要

9 月 7~8 日 (六~日)	台北→舊金山→波士頓
9 月 9 日 (一)	1.與 NRC 同仁會合前往 Vermont Yankee 核能電廠近郊 2.訪談 NRC 同仁
9 月 10 日 (二)	參訪 Vermont Yankee 核能電廠
9 月 11 日 (三)	參訪 Pilgrim 核能電廠
9 月 12 日 (四)	休假
9 月 13~15 日 (五~日)	波士頓→西雅圖→台北

(二)參訪內容

9月9日(一)

本次的美國出差是依據去(107)年台美民用核能合作會議合作項目(AE-NR-J2)所執行，前往波士頓近郊，位於佛蒙特州(Vermont)南方的 Vermont Yankee 核能電廠，及位於麻薩諸塞州(Massachusetts)東邊的 Pilgrim 核能電廠(邀請函如附件一)。

飛抵波士頓機場後，9月9日與美國核管會的 Division Chief Bruce Watson 會合。Bruce Watson 是美國核管會 NMSS 辦公室(Office of Nuclear Material Safety and Safeguard)所屬的除役分組 (Division of Decommissioning, Uranium Recovery and Waste Programs) 下的 Reactor Decommissioning Branch 科長，由他帶我到 Vermont Yankee 核能電廠附近了解一下環境。

此行除了 Mr. Bruce Watson，還有 Division Director Ms. Patricia Holahan，另外還有 Bruce Watson 的組員 Ms. Amy M. Snyder, Mr. Theodore B. Smith, Ms. Kim Conway (照片 1)。美國核能電廠除役管制主要由 USNRC 總部的 Division of Decommissioning, Uranium Recovery and Waste Programs 執行管制作業，該部門約 60 人，再配合 Region 1~4 的檢查員，來完成一座核能電廠除役必要之檢查工作。

本日行程除車程外，另外也就原能會放射性物料管理局在放射性廢棄物管制方面關切之議題，提出與 Bruce 討論，期能作為我國管制做法之參考，主要討論之議題及獲得之回饋如下(提問原文如附件二)：

- 核能電廠進入除役階段，檢查員檢查重點與運轉中的核電廠有何不同？

USNRC 回覆：

美國核管會對於運轉中的輕水式核電廠(即沸水式與壓水式核電廠)，檢查是依據檢查手冊第 2515 章(Inspection Manual Chapter 2515,

IMC 2515)擬訂檢查計畫後執行檢查。而當核能電廠營運到後期宣布停機，直到永久停止運轉並將燃料從爐心移除的階段，稱為電廠營運後轉換階段。在這個階段，美國核管會除了要確認業者是否將燃料從爐心完全移除、確認是否有傳送「停止運轉後除役活動報告」、辦理公眾會議、以及規劃檢查作業等，這期間美國核管會則依照 IMC 2515 附錄 G 擬訂檢查計畫。

下個除役階段，美國核管會對於核能電廠的除役檢查則是依據 IMC 2561 對於除役中的電廠訂定一份主要檢查計畫，依據第 2561 編號檢查手冊章節的規範執行許多檢查項目，此檢查手冊內對於除役檢查分為 2 大項目：核心檢查(Core Inspections)，任意檢查(Discretionary Inspections)。所謂的核心檢查內容則是包括機組停機後的：IP36801 電廠的組織與管理、IP37801 安全評估與設計變更、IP 40801 自我稽核制度與改正行動、IP 60801 用過核子燃料的濕式貯存安全管理、IP 62801 必要設備的維護與監控、IP 71801 除役能力評估、IP83750 輻射防護、IP83801 廠址復原及最終狀態調查、IP84750 放射性廢棄物的處理、流向及環境監測、IP86750 固體放射性廢棄物的管理及運輸、IP 71111.01 天然災害應變。至於任意檢查則是排除在前述項目外的內容，主要為燃料移除、人員訓練、輻防管制等。

IMC 2561 編號檢查手冊章節內所列的檢查內容均為通則，而美國核管會的地區辦公室與總部會依據此手冊，再製訂出每個核能電廠除役時所需的主要檢查計畫(MIP)。Vermont Yankee 與 Pilgrim 核能電廠是採取立即除役方式，美國核管會每 6~12 個月修正一次主要檢查計畫。

總而言之，運轉中的核能電廠與除役中的核能電廠雖然美國核管

會的檢查項目會依現場實際作業而有所不同，但執行重點都是確保輻防、人員及環境的安全。

- 當核能電廠進入除役階段後，美國核管會的檢查員多久執行一次檢查？會有多少人力參與檢查？

USNRC 回覆：

Vermont Yankee 與 Pilgrim 核能電廠均屬 Region 1 office 的管轄範圍，原本機組停機前核能電廠皆會派駐一名駐廠檢查員（residence inspector），當機組停機後美國核管會將不再派駐駐廠檢查員，而依電廠除役進度採專案檢查方式，核能電廠除役初期重點工作為用過燃料移出作業，這段期間美國核管會檢查頻率會較頻繁，可能多達每週一次，檢查成員也不僅有一名檢查員，也可能包括一些機械、輻防背景的檢查員組成的團隊，依實際狀況有所不同。隨著除役工作進行，用過燃料均已移至乾式貯存設施存放後，美國核管會的檢查頻率將減少為每月或每季一次。

- 對於除役中的核能電廠，美國核管會對於放射性廢棄物管理的重點為何？

USNRC 回覆：

對於高放射性廢棄物，如用過核燃料，因停機後會將用過核燃料退出爐心移至用過燃料池及乾式貯存設施，這期間的檢查重點會是搬運及除污工作之輻防、人員安全，並會監測環境輻射數據。

對於低放射性廢棄物，為減少除役成本，美國核能電廠的作法為不經除污直接運送至處置場（如廢物控制專家公司 Waste Control Specialists LL, WCS）或廢棄物處理公司（如 energysolution），而當低

放射性廢棄物仍在電廠內時勢必須使用各種容器包裝，美國核管會對於各種容器並無審核或核發使用執照的制度，而是針對核能電廠放射性廢棄物貯存管理的三級品保制度執行檢查。

當低放射性廢棄物採用適當容器包裝後，核能電廠後續將運送低放射性廢棄物至處置場或廢棄物處理公司，美國的規定是運送過程需要美國運輸部之核可，不需經過核管會審核，美國核管會僅確認廠內的相關準備工作。

- Vermont Yankee 與 Pilgrim 核能電廠除役期間，美國核管會是否曾開立違規事項？

USNRC 回覆：

Vermont Yankee 核能電廠 2014 年的 12 月 29 日宣布機組永久停止運轉，Pilgrim 核能電廠 2019 年 5 月 31 日宣布機組永久停止運轉，均已進入除役階段，未有違規事項發生。

- Vermont Yankee 與 Pilgrim 核能電廠的除役策略原本選用延遲拆除（SAFSTOR），為何現在均改採立即拆除（DECON）方式？

USNRC 回覆：

Vermont Yankee 與 Pilgrim 核能電廠原本由 Entergy 公司負責營運，除役初期也由 Entergy 公司執行，採 SAFSTOR 方式，後來由於成本及經營策略考量，分別將兩個電廠出售給 Northstar 與 Holtec 執行除役，而兩除役公司基於成本上之分析，改採 DECON 方式，預計 8 年可以完成所有除役工作。

以 Vermont Yankee 核能電廠為例，2018 年 8 月 1 日 Entergy 將所有用過核燃料移至乾式貯存設施，2019 年 1 月 11 日 Vermont Yankee 核

能電廠經營權完全轉移至 Nothstar 執行後續之除役工作，依照 Nothstar 送給 USNRC 之 PSDAR 文件，其經費比較表 SAFSTOR 需花費 1,242,714 仟美元，DECON 僅需花費 1,076,952 仟美元（圖 1）。美國聯邦法規與台灣法規不同，台灣核子反應器設施管制法施行細則第 16 條規定，核能電廠除役須於取得主管機關核發之除役許可後 25 年內完成拆除作業，美國核電廠除役策略可選擇 DECON、SAFSTOR 或 ENTOMB，由 Vermont Yankee 與 Pilgrim 核能電廠的經驗可得知，成本乃是美國核能電廠除役策略選擇上最重要之考量因素。

NorthStar Vermont Yankee Decommissioning DCE Comparison Chart												
Decommissioning Period / Activity	NorthStar VY Prompt DECON (Cost estimate includes contingency)						Entergy SAFSTOR - PSDAR (Cost estimate includes contingency)					
	Start	End	Duration, years	License Termination	Spent Fuel Mgt.	Site Restoration	Start	End	Duration, years	License Termination	Spent Fuel Mgt.	Site Restoration
Fuel Transfer Period	2016	2018	3				2068	2069	1.5			
VY Spend Plan 2016 – 2020				86,534	148,274					79,560		1,034
NS Pre-CLOSING Activities				30,620								
NS Pre-Turnover Activities												
Decommissioning	2019	2026	7				2069	2073	4.5			
Facility Management				83,494	40,828					70,108		4,934
Building D&D (Includes Lump Sums)				223,175		13,457				130,842		4,118
Large Component Removal				94,993						99,291		25
Soil Contamination & Remediation						11,815						
Project Management				93,335						60,668		11,833
License Termination (NS in D&D)										18,958		
Site Restoration (NS in D&D)							2073	2075	1.5	823		35,201
ISFSI Operations & Fuel Mgt.	2027	2052	26				2014	2067	53	356,972	368,347	
Facility Management					246,974							
ISFSI D&D				3,454								
Sub-Total Decommissioning Costs				615,605	436,076	25,272				817,222	368,347	57,145
Other Direct Costs (JJ)												
Total Costs												\$ 1,242,714

圖 1 Vermont Yankee 核能電廠除役花費比較表

- 一般來說，美國核能電廠對於放射性廢棄物是否會經過進一步的處理再送至處置場？

USNRC 回覆：

用過核燃料及超 C 類廢棄物目前都放在原廠址乾式貯存設施，另外，低放射性廢棄物一般都不經除污處理，經切割及包裝後直接運往處置場處置或處理廠焚化，此方式可大幅減少核電廠除役成本。因此，在參訪 Vermont Yankee 核能電廠時僅見到包封容器及相關設備，並未看

到任何除污有關設備。

- 美國核能電廠低放射性廢棄物解除管制標準(clearance level)為何?美國核管會如何管制外釋廢棄物?

USNRC 回覆：

美國法規體系中，低放射性廢棄物（low-level radioactive waste, LLRW）分為 A、B、C 及超 C 類四類，依體積計算的大部分 LLRW 均屬 A 類廢物，約佔 90% 左右。而 A 類廢物的活度最低的部分被稱為極低放射性廢物（Very low-level waste, VLLW），VLLW 並不是法規正式名稱，其活度標準也尚未有正式定義，美國正與相關部門討論，檢討是否訂定相關導則，期能在低放射性廢棄物處置上能有最佳實務作法（可參考 USNRC 網站 <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/very-llw.html>）

目前在偵測實務作法上，美國核管會並未規定核電廠外釋作業之偵測儀器，只要符合該核電廠所提送之輻射防護計畫中的各項偵測儀器，在低於儀器偵測限值範之廢棄物，均可無條件外釋。

- 低放射性廢棄物使用哪幾種容器包裝?

USNRC 回覆：

用過核燃料及超 C 類廢棄物使用乾式貯存設施貯存，而低放射性廢棄物，美國核能電廠的作法為利用鐵路運輸直接運送至處置場或廢棄物處理公司，而所採用之包封容器種類則視處置場或廢棄物處理公司的接收標準而定，一般而言，A/B 類或可燃類廢棄物僅用一般貨櫃(可能內加內分櫃)、太空包盛裝，如有較大型之物件也可用非密閉式的平板車運輸，運輸計畫經美國運輸部核可即可，不須經由美國核管會同意。

C 類廢棄物或切割後之爐心元件則會使用特製的貨櫃或罐裝容器

包封，為符合輻防合理抑低原則，一部火車僅運送一個貨櫃，且置於火車最後一節，同樣的，運輸計畫僅需經美國運輸部核可。

針對電廠內使用之容器，美國核管會僅查核廠內品保制度，要求各核能電廠對於廠內低放射性廢棄物的貯存容器需有一套稽核制度。

- 核能電廠除役期間，美國核管會如何執行公眾溝通?有哪些管道?

USNRC 回覆：

在核能電廠提交停止運轉後除役活動報告(Post Shutdown Decommissioning Activities Report)、提交廠址復原計畫等各項計畫後，美國核管會會召開公眾說明會(public meeting)蒐集當地民眾的意見，在除役過程中也可視情況召開說明會，而說明會現場僅蒐集民眾意見，不另外針對問題一一答覆。民眾如果要了解除役的資訊，可以透過聯邦政府的登記公告(Federal Register Notices)，也可以上美國核管會網站取得公開的報告。

另外，除公眾說明會，核管會也會運用時下流行的社群媒體如 twitter、FB 等，發佈目前的重大施政成果或最新資訊等，有教育民眾的目的。

9 月 10 日(二)

9 月 10 日與 Bruce Watson 等人至 Vermont Yankee 核能電廠內參訪，該電廠已出售給 Nothstar 執行除役，參訪當日即由 Nothstar 公司進行除役現況簡報(照片 2)，後續再帶領我及 USNRC 檢查員進入現場參觀。

Vermont Yankee 核能電廠位於美國佛蒙特州(Vermont)南方 Windham 郡內，康乃迪克河(Connecticut River)西岸，下游有一座水力發電廠(照片 3)。電廠內設有奇異公司(General Electric)所設計製造的 1 部沸水式反應器(BWR)機

組，圍阻體型式為 Mark 1。Vermont Yankee 核能電廠於 1972 年 11 月 30 日開始商轉，機組的發電量為 620MWe，商轉期間由美國一家能源公司 Entergy 公司負責營運，到 2014 年的 12 月 29 日宣布機組永久停止運轉(Permanently Shut down)。Vermont Yankee 核能電廠原本已完成執照更新可運轉至 2032 年，但核能發電近年來難敵美國低價火力發電的競爭，考量成本問題 Entergy 決定停機不再運轉，而將電廠除役，於 2014 年 12 月 19 日向 USNRC 送交停止運轉後除役活動報告(Post Shutdown Decommissioning Activities Report, PSDAR)，除役策略選用 SAFSTOR。

機組停機後，所有的燃料即陸續被移入用過燃料池(Spent Fuel Pool)貯放，因經營策略及成本考量，Entergy 於 2018 年將 Vermont Yankee 核能電廠出售給 Nothstar 執行後續的除役工作，該申請案 NRC 於 2018 年 10 月 11 日批准，而修訂版的 PSDAR Nothstar 早先於 2017 年 4 月 6 日送交 NRC，除役策略改用 DECON。

依據美國聯邦法規 10 CFR 50.82(a)(4)(i)，Prior to or within 2 years following permanent cessation of operations, the licensee shall submit a post-shutdown decommissioning activities report (PSDAR) to the NRC, and a copy to the affected State(s)，因此美國核能電廠可在停機前或停機後 2 年內提出 PSDAR。另外，PSDAR 提交給美國核管會後，應等待 90 天後方可以執行主要的除役工作，而且美國核管會不用核准此份報告。

於 2018 年 8 月 1 日 Entergy 已將所有用過核燃料移至乾式貯存設施，該設施的密封鋼罐(Dry Storage Canister)採用的是 Holtec HI-STORM 68B，共 58 座，其中 57 座放置用過燃料，1 座放置超 C 類低放射性廢棄物 (Greater Than Class C Waste, GTCC)。另外，電廠除役產生之非可燃 A/B/C 類低放射性廢棄物運至德州

廢物控制專家公司 Waste Control Specialists LL (WCS)處置場處置，可燃低放射性廢棄物運至田納西州 Energysolutions 公司的 Bear Creek Processing Facility 進行焚化處理。

營運執照由 Nothstar 公司接手後，Vermont Yankee 核能電廠的除役工作進入了直接除役方式(DECON)，為利於除役工作之進行，Nothstar 保留了運轉員、燃料操作員等技術人員，而隨著除役工作之進行，廠內原有工作人員也勢必需配合減少，Nothstar 對於這些非必要人員提供了許多職業轉介管道。因核電廠的員工有很多是當地居民，Nothstar 的作法也算是回饋地方的一種管道，這種方式頗受地方讚賞。

以下是 Vermont Yankee 核能電廠的所有除役工作進度及未來規劃：

- 2014 年：12 月 29 日 Entergy 宣佈機組永久停止運轉。
- 2015 年：1 月 12 日燃料移出反應爐，存放至用過燃料池。
- 2018 年：完成乾式貯存設施的建設(Complete Construction of the Independent spent fuel storage installation, ISFSI)，將用過核子燃料移入乾式貯存專用的密封鋼罐(Dry Storage Canister)。
- 2019 年：1 月 11 日 Vermont Yankee 核能電廠經營權完全轉移至 Nothstar。
- 2019~2020 年：機組反應器爐體的拆除作業(Reactor Vessel Segmentation) 及大型組件移除作業。
- 2026 年：除乾式貯存設施維持保留，其餘所有除役作業皆完成。

Nothstar 公司簡報結束後，在 Nothstar 總裁、副總裁、除役計畫經理等人帶領之下至現場瞭解除役作業之進行，現場重點工作如下：

- Nothstar 已完成用過燃料池格架移除作業，現正進行反應器爐體的切割與拆除作業、汽機切割與拆除作業。

- 美國核電廠除役產生之低放射性廢棄物一般都不經除污處理，直接運往處置場處置，低放射性廢棄物不須除污直接運往處置場可大幅減少核電廠除役成本。運送方式多採鐵路運輸，鐵路運輸是最便捷、安全且最經濟的作法，Vermont Yankee 核能電廠進入除役階段後，於廠區修建鐵路，經過美國運輸部（United States Department of Transportation, DOT）核可後，毋須經過 USNRC 核可，依據 10 CFR 61 的要求，將放射性廢棄物分為 A、B、C、GTCC 各類，在經過量測後，以鐵路將低放射性廢棄物運往 WCS 處置場處置，可燃低放射性廢棄物運至 Energysolutions 公司的 Bear Creek Processing Facility 焚化。
- Nothstar 在廠區搭建一密閉式臨時建築物，低放射性廢棄物即在該建築物內裝入貨櫃並運上平板拖車進行鐵路運輸，因該建築物為密閉式並設有通風系統，可確保低放射性廢棄物在裝卸時不會有放射性核種溢散的問題。
- 低放射性廢棄物進行鐵路運輸時，所使用容器依核廢料種類有所不同，A/B 類低放射性廢棄物或可燃低放射性廢棄物多採用一般商用 40 呎貨櫃盛裝；C 類低放射性廢棄物使用專用的密封鋼罐盛裝運輸；放射性廢液使用罐裝（tank）運至處理場處理；反應爐切割之後的組件經過精密計算後放入 17 個訂製貨櫃（custom box），共有 11 種不同尺寸，除超 C 類外運往處置場。
- 用過核燃料均已移至乾式貯存設施，共 57 座，1 座放置超 C 類低放射性廢棄物，此外，Nothstar 設置了 3 組混凝土模組型式的乾式貯存設施存放超 C 類低放射性廢棄物，用過核燃料及超 C 類低放射性廢棄物待 Vermont Yankee 核能電廠完成所有除役工作後將暫時留置原地，未來美

國能源部設立最終處置場後將移往該處。

9月11日(三)

9月11日與 Bruce Watson 等人至 Pilgrim 核能電廠內參訪，該電廠已出售給 Holtec 執行除役，參訪當日即由 Holtec 公司進行除役現況簡報（照片 4），後續再帶領我及 USNRC 檢查員進入現場參觀。

Pilgrim 核能電廠位於美國麻薩諸塞州(Massachusetts)東邊 Plymouth 郡海邊，Plymouth 為麻州居民度假勝地（照片 5），為人口稠密區。電廠內設有奇異公司(General Electric)所設計製造的 1 部沸水式反應器(BWR)機組，圍阻體型式為 Mark 1。Pilgrim 核能電廠於 1972 年 12 月 1 日開始商轉，機組的發電量為 711MWe，該電廠亦由美國能源公司 Entergy 公司負責營運，運轉至 2012 年後完成執照更新申請，可運轉至 2032 年。但 Pilgrim 核能電廠近年來面臨與 Vermont Yankee 核能電廠相同的問題，因發電成本逐漸攀升，Entergy 於 2019 年 5 月 31 日宣布機組永久停止運轉(Permanently Shut down)。

為加速除役工作的進行並減少成本，Entergy 將 Pilgrim 核能電廠售給 Holtec 公司進行除役工作，2019 年 8 月 23 日 USNRC 批准這項申請，惟當地州政府尚未同意，待州政府同意後 Holtec 即可展開後續除役工作。

Entergy 及 Holtec 皆於 2018 年 11 月 16 日向 USNRC 送交停止運轉後除役活動報告(PSDAR)，除役策略分別選用 SAFSTOR 及 DECON，未來 Pilgrim 完成執照轉移後，將擇用 Holtec 的 DECON 策略。Pilgrim 核能電廠機組現已停機，所有的燃料即陸續被移入用過燃料池(Spent Fuel Pool)貯放，並已新建完成用過燃料乾式貯存設施，未來將由 Holtec 公司將用過核燃料移至乾式貯存設施，Holtec 預計 3 年內將用過燃料移至乾貯，計 40 座，密封鋼罐(Dry Storage Canister)採用 Holtec HI-STORM 100。

營運執照由 Holtec 公司接手後，Pilgrim 核能電廠的除役工作進入了直接除役方式(DECON)，為利於除役工作之進行，Holtec 保留了運轉員、燃料操作員等技術人員，而隨著除役工作之進行，廠內原有工作人員也勢必需配合減少，Pilgrim 對於這些非必要人員提供了許多職業轉介管道。依 Holtec 規劃，預計 2019 年起至 2027 共 8 年可完成 Pilgrim 核能電廠除役，包括除污、廠房拆除、廠址補救措施、廠址復原等作業。除役預估花費 11.3 億美元，惟除役信託基金 (Decommissioning Trust Fund) 至 2018 年 10 月 31 日為 10.5 億美元，除役經費尚待補足。

Holtec 公司簡報結束後，在除役計畫經理等人帶領之下至現場瞭解除役作業之進行，現場重點工作如下：

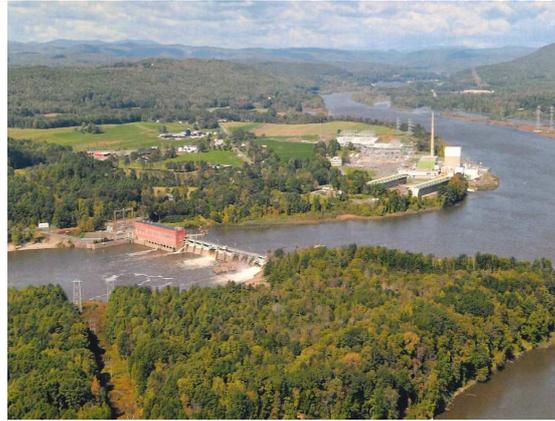
- Pilgrim 核能電廠於 2019 年 5 月 31 日機組永久停止運轉。
- 已新建完成用過燃料乾式貯存設施，未來將由 Holtec 公司將用過核燃料移至乾式貯存設施，計 40 座（照片 6）。
- 機組現已停機，所有的燃料即陸續被移入用過燃料池(Spent Fuel Pool) 貯放，並由運轉員輪班監控用過燃料池各項運轉參數。



照片 1 USNRC 檢查員由左至右分別為 Theodore Smith、Kim Conway、Amy Snyder、Patricia Holahan、Bruce Watson



照片 2 9 月 10 日由 Nothstar 公司進行 Vermont Yankee 核能電廠除役現況簡報。



照片 3 Vermont Yankee 核能電廠(照片右側)位於美國佛蒙特州康乃迪克河西岸，下游有一座水力發電廠。



照片 4 9 月 11 日由 Holtec 公司進行 Pilgrim 核能電廠除役現況簡報。



照片 5 Pilgrim 核能電廠大門。



照片 6 於 Pilgrim 核能電廠乾式貯存設施前合照

三、心得

在為期 3 天的 Vermont Yankee 核能電廠及 Pilgrim 核能電廠的參訪期間，除了有機會看到核能電廠在執行除役的實際狀況，更值得高興的是能當面向電廠的工作同仁請教目前的除役進度並進行討論，以下分享本次赴美國所獲得的資訊與心得：

- (一) 本次配合美國核管會檢查員至核電廠參訪，可實際觀察核能電廠除役時之作業情況，同時能有與美國核管會交流的機會，對於擴展國際觀及增加人脈有莫大的幫助，在職場生涯上是一個很特別之經驗。
- (二) 美國對於核能電廠的除役檢查是依據 IMC 2561 訂定一份主要檢查計畫，檢查重點有電廠的組織與管理、三級品保制度、用過核子燃料的貯存安全管理、輻射防護、放射性廢棄物的處理及運輸、人員訓練等。這些檢查重點台電皆已列在核一廠除役計畫中，亦為我國在執行管制時之檢查重點，顯見我國與美國在核能電廠的安全管制要求相當一致。
- (三) 雖然我國與美國的國情及法規內容不同，但在管制的核心精神上都是以「安全」為出發點，例如輻射安全，確保輻射劑量是在安全的範圍內，不會對工作人員、一般民眾及環境造成傷害；職業安全，確保無任何員工受到職業傷害，要求每一步驟均遵守 SOP 規範。
- (四) 美國核能電廠處理低放射性廢棄物，為減少除役成本，美國核能電廠的作法為不經除污直接運送至處置場或廢棄物處理公司；Vermont Yankee 與 Pilgrim 核能電廠除役策略原本採 SAFSTOR 方式，後來由於成本及經營策略考量出售給 Northstar 與 Holtec 執行除役，除役策略改採 DECON 方式，顯見成本乃是美國核能電廠除役策略選擇上最重要之考量因素。

四、建議事項

(一) 藉由參加核能電廠除役工作參訪，與核能電廠及美國核管會專家的當面討論，可快速的取得美國目前除役資訊，且 Vermont Yankee 及 Pilgrim 核能電廠之反應爐與我國核一廠同型，皆屬沸水式反應爐，且除役策略與核一廠相同亦採立即拆除方式，除役過程之拆除工法、放射性廢棄物管理，除役經費運用等，值得國內參考。我國政府當前的政策是以穩健減核為目標，未來核能電廠均會面臨除役拆廠的作業，故如何完備相關除役法規以及制定未來的除役檢查計畫，是管制機關的重要業務之一，建議爾後繼續派員參加 Vermont Yankee 及 Pilgrim 核能電廠之檢查作業，瞭解美國核管會如何擬定檢查計畫、制定檢查流程、確立檢查重點等，提升我國檢查能量。

(二) Vermont Yankee 及 Pilgrim 核能電廠的地理位置皆在人口稠密區，Vermont Yankee 距波士頓約 160 公里，核能電廠門口 200 公尺處即有一所小學，附近有一人口接近兩萬人的小鎮 (Keene County)。而 Pilgrim 核能電廠靠近海岸，距波士頓約 80 公里，附近為一觀光景點，當地漁民多以捕捉龍蝦維生，兩核能電廠的地緣關係與我國核電廠類似，皆靠近人口稠密區。因此，兩電廠在除役時，Northstar 及 Holtec 於公眾溝通時都花了極大的功夫，向當地民眾表示除役工作皆在確保對環境安全無虞之狀況下進行，俾使除役工作可順利進行。以兩電廠的經驗可瞭解公眾溝通之重要性。

(三) Vermont Yankee 核能電廠將反應爐切割之後的組件經過量測、計算後放入 17 個訂製貨櫃 (custom box)，共有 11 種不同尺寸，Northstar 能執行如此精密準確的計算，顯見 Northstar 對於原始設計資料重建相當完整。核能電廠從開始運轉到除役通常都經過一段相當長的時間，原始資料可能遺失，例如我國核一廠已運轉 40 年，且建廠時並無個人電腦。因此，核能電廠進入除役

階段，快速及完整的重建原始建廠資料並電腦化，始能加速除役工作之進行。

(四) Vermont Yankee 及 Pilgrim 核能電廠皆預估可在 8 年內完成除役工作，而我國法規規定是在 25 年內完成，美國核能電廠能在如此短的時間完成除役有幾個關鍵。第一，美國核能電廠除役已形成一個產業，美國現有之除役專責公司有 Energysolutions、Northstar 及 Holtec，這些公司對於除役已有相當多的實務經驗，不但可以降低除役成本，也可加速完成除役工作；第二，用過核燃料皆可順利移至乾式貯存設施貯存，俾利後續除役工作之進行。綜上，我國為使核能電廠除役工作順利進行，首先用過核燃料應移先至乾式貯存設施存放，另外，台電公司藉由核一廠除役工作之進行，提升本身除役相關技術及經驗，應用於後續核二廠及核三廠除役。

(五) Vermont Yankee 與 Pilgrim 兩座核能電廠雖然分別賣給 Northstar 及 Holtec 進行除役，但 Northstar 及 Holtec 兩公司仍留下經驗較豐富之員工，如運轉員以利後續除役工作進行，可顯見人員經驗傳承之重要性。我國核能電廠除役長達 25 年，而前 8 年為準備期，這段時間最有經驗的運轉員可能皆已退休，原能會應要求台電公司儘早建立相關制度，期完全保留這些寶貴的運轉經驗。

附件一

美國核能管制委員會邀請函

August 8, 2019

Dr. Huan-Jen Hung
Taipei Economic and Cultural
Representative Office in the United States
4201 Wisconsin Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20016

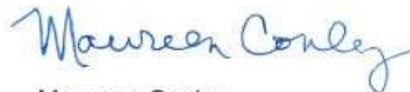
Dear Dr. Hung:

On behalf of the American Institute in Taiwan, the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) invites Atomic Energy Council technical expert Mr. Chin-Yuan Lin to travel to the United States to observe two site visits conducted by the NRC at nuclear reactors undergoing decommissioning, and two public meetings conducted by the NRC in the communities near the reactor sites. The visits will be from September 9 to September 12, 2019, at the Vermont Yankee Nuclear Power Plant near Brattleboro, Vermont, and the Pilgrim Nuclear Power Plant near Plymouth, Massachusetts.

Please note, all expenses for travel and lodging expenses will be self-funded.

If you or your staff have questions or need further assistance, please do not hesitate to contact me via telephone (+1-301-287-9080) or e-mail (maureen.conley@nrc.gov) and I will be pleased to assist you.

Sincerely,



Maureen Conley

附件二

對於美國核管會除役管制之提問

Questions for discussion

- When NRC inspectors do inspection and what's the difference in inspection items between decommissioning and normal operation NPPs?
- For NRC inspectors, what's is the most important concern in the aspect of radwaste management in a decommissioning NPP?
- In accordance with inspection manual chapter 2561, what is the inspection procedure used in VYNPS and PNPS during current phase?
- For a decommissioning NPP, how frequently and how is the manpower does NRC has to devote for the inspections?
- What are the most frequent deficiencies or violations the inspectors have found during the inspection of decommissioning NPPs?
- Originally, the decommissioning approach selected by VYNPS and PNPS was the SAFSTOR method, why they changed to DECON method later?
- In general, does a NPP take related activities of radwaste (metal, insulation material, etc.) decontamination? Or directly transport to repository or processing company?
- In general, what's the clearance level defined for radwaste in a decommissioning NPP allowed to release into the environment? What percentage of waste are clearance level radwaste in a decommissioning NPP ? How does NRC regulate the clearance level of radwaste, including on-site management and off-site transport and reuse?
- What's the package type of LLW?
- How does NRC manage the public communication during the decommissioning period?