

出國報告（出國類別：開會）

參與除役法規及除役作業管制研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：吳尚澤 核能安全處 專員

陳淑娟 核能安全處 專員

派赴國家/地區：美國

出國期間：108/12/01 ~ 108/12/08

報告日期：109/01/22

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參與除役法規及除役作業管制研討會

頁數 12 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/服務機關/單位/職稱/電話

吳尚澤/台灣電力公司/核能安全處/法規技術專員/(02)23667488

陳淑娟/台灣電力公司/核能安全處/主辦安全度評估專員/(02)23667617

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：108/12/01~108/12/08

派赴國家/地區：美國

報告日期：109/01/22

關鍵詞：核能電廠除役

內容摘要：

本公司核能電廠陸續於 2025 年前進入除役，考量核一廠 1 號機已於 2018 年 12 月 6 日進入除役階段，實有必要了解美國核電廠除役作法，本次出國任務在於取得美方除役法規及作業最新發展及經驗，以利本公司後續推動除役法規管制與原能會溝通等作業。本次受 SGH (Simpson Gumpertz & Heger)邀請本公司人員於 2019 年 12 月 2 日至 12 月 5 日赴南加州辦公司進行技術交流，活動期間討論美國核能電廠除役經驗及除役過渡期間地震議題，另 SGH 提供本公司 San Onofre Nuclear Generation Station (SONGS)聯絡窗口，針對除役作業進行討論包含：除役期間重要里程碑介紹、地震議題、緊急計畫之豁免分析、用過核子燃料池降級評估、低放貯存及除役工項人員劑量等相關議題。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 <https://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、 心得及建議事項.....	12

壹、出國目的

本公司核能電廠陸續於 2025 年前進入除役，考量核一廠 1 號機已於 2018 年 12 月 6 日進入除役階段，實有必要了解美國核電廠除役作法，本次出國任務在於取得美方除役法規及作業最新發展及經驗，以利本公司後續推動除役法規管制與原能會溝通等作業。

貳、 出國過程

SGH (Simpson Gumpertz & Heger)邀請本公司人員於 2019 年 12 月 2 日至 12 月 5 日赴南加州辦公司進行技術交流，活動期間討論美國核能電廠除役經驗及除役過渡期間地震議題，另 SGH 提供 San Onofre Nuclear Generation Station (SONGS)窗口，本公司也藉機向 SONGS 核電廠 (以下簡稱 SONGS)針對除役作業進行討論，內容包含：除役期間重要里程碑介紹、地震議題、緊急計畫之豁免分析、用過核子燃料池降級評估、低放貯存及 1 號機除役工項人員劑量等議題。

出國行程規劃表

日期	行程內容
108/12/1	去程 (台北 – 洛杉磯)
108/12/2~108/12/5	參加除役過渡階段除役法規及除役作業技術交流會議
108/12/6~108/12/8	返程 (洛杉磯 – 台北)

參、 會議內容摘要

1、 第一天(108/12/2)：

(一) SGH 公司近年地震研究及成果

- (1) SGH 公司總員工約 700 名，約占 10%負責核能相關領域研究，包含地震風險及設計、結構系統組件(SSC)評估、重物掉落分析等等，領域涉獵廣泛，其中在核能電廠地震風險評估(SPRA)方面已有 35 年經驗，為該領域之先驅。
- (2) SGH 公司具有耐震能力評估專家，EPRI 委託舉辦 SPRA 及設備與結構物耐震能力(Fragility)評估訓練課程。
- (3) NRC 因應日本福島事故於 2013 年成立近期專案小組(Near-Term Task Force, NTF)並提出 35 項改善建議，其中建議事項 2.1：地震，要求經營者執行地震調查及建置廠址地震危害度評估，為此 SGH 公司協助發展相關地震評估方法論，包含 SPID (Screening, Prioritization and Implementation Details) 以及加速地震評估處理(Expedited Seismic Evaluation Process, ESEP)，另外也針對電驛震顛議題進行測試及耐震能力評估。
- (4) SGH 公司積極參與 EPRI 福島後地震再評估作業，包含參加美國核管會(NRC)相關會議及與核能電廠協商等。
- (5) SGH 公司近年完成之地震研究專案及簡介現行相關地震評估報告，如 TR-103959、1002988、1019200、NP-6041-SLR1、1025287、3002000709、3002004396 等等。

(二) 雙方意見交流

- (1) 提問一：SGH 公司是否曾參與除役核能電廠作業經驗？

回答一：目前主要業務對象為運轉中核能電廠，執行地震評估作業，參與除役核能電廠經驗不多。然除役核能電廠風險著重於用過核子燃料池，如要分析，仍可利用現行相關方法論，執行用過核子燃料池結構完整性評估。

- (2) 提問二：SGH 公司是否有參與最終處置場作業經驗？

回答二：曾參與美國最終處置場預定地 Yucca Mountain 地表設施(surface facilities)的地震風險評估作業，引用 EPRI 103959 執行。

- (3) 提問三：NUREG-1738 報告(2001 出版)為針對除役核能電廠用過核子燃料

池進行風險評估，其中地震部分引用 EPRI 及 LLNL 地震危害度曲線結果，是否適用美國所有除役核能電廠？

回答三：該報告地震危害度曲線主要適用於 Rockies 山脈以東之電廠(H.B. Robinson 除外)，然美西電廠地震斷層較多，需因應個廠廠址特質，執行地震危害曲線評估，不能一體適用。

2、 第二、三天(108/12/3、12/4)： 與唐博士交流美國與台灣核能電廠執行除役之方法及現行管制。

(一) 除役相關法規：

- 美國：
 - 10 CFR 50 - Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities)。
 - 10 CFR 50.2 - 除役的定義。
 - 10 CFR 50.59 - 變更、測試及實驗。
 - 10 CFR 50.75 - 除役計畫的報告及文件。
 - 10 CFR 50.82 - 執照終止。
 - 10 CFR 50.83 - 部分核能電廠廠址釋出或非限制使用。
 - 10 CFR 51 - 環境保護相關。
 - 10 CFR 51.53 - 營建後環境報告。
 - 10 CFR 51.95 等等。
 - Regulatory Guide 1.184 - Decommissioning of Nuclear Power Reactors。
 - Regulatory Guide 1.179 - Standard Format and Content of License Termination Plans for Nuclear Power Reactors。
 - Regulatory Guide 1.185 - Standard Format and Content for Post- Shutdown Decommissioning Activities Report。
 - Regulatory Guide 1.159 - Assuring the Availability of Funds for Decommissioning Nuclear Reactor。
 - Regulatory Guide 1.191 - Fire Protection Program for Nuclear Power Plants During Decommissioning and Permanent Shutdown 等等。
 - 經營者若決定核能機組永久停止運轉，應在 30 天內送交 NRC 一份永久停止運轉聲明。

- 一旦燃料永久從反應器壓力槽移出，經營者應送交 NRC 一份燃料永久移除聲明。
- 發表永久停止運轉聲明前或後兩年內，經營者應送交 NRC 一份停機後除役活動報告 (Post-Shutdown Decommissioning Activities Report, PSDAR)。
- NRC 收到 PSDAR 後，公告 PSDAR，共 90 天供民眾審查評論。同時 NRC 也應安排在經營者設施之鄰近區域舉行一場公聽會。
- 現行美國法規規定，除役作業需在永久停止運轉後的 60 年內完成。
- 自 1990 年代，美國核能機組陸續進入除役，NRC 依據近年各除役核能電廠執行經驗與曾面臨的問題，修訂新的除役法規，預計 2020 年底前完成，目的在改善除役作業管制過程，增加除役作業之效率。

- 台灣：

- 核子反應器設施管制法。(以下簡稱核管法)
- 核子反應器設施管制法施行細則。
- 核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法。
- 除役後廠址環境輻射偵測報告導則。
- 除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則。
- 核子反應器設施除役計畫導則。
- 核子反應器設施除役計畫審查導則。
- 依據核管法第 21 條，我國核子反應器設施之除役，應採取拆除之方式，並在主管機關規定之期限內完成。另依核管法施行細則第 16 條規定，取得主管機關核發之除役許可後 25 年內完成。
- 依據核管法第 23 條，我國除役計畫應用核子反應器設施預定永久停止運轉中 3 年前提出。
- 經營者申請核子反應器設施除役，應填具申請表，並檢附除役計畫及財務保證說明，送主管機關審查並繳交審查費。

(二) 除役方式：

現行除役方式共有三種：DECON、SAFSTOR 及 ENTOMB。

- (1) DECON 為立即拆除，當機組永久停機後即刻執行相關除役作業。
- (2) SAFSTOR 為延遲拆廠，當機組永久停機後未立即執行除役作業，而是維持一定時間使爐心衰變熱降低至允許值後，始執行後續除役作業。
- (3) ENTOMB 為固封除役，不執行任何拆除作業而是以混凝土永久包覆機組。目前為止，美國除役核能電廠尚無選擇此方式執行除役。

- 美國：

- 無限定除役方式，經營者視其機組狀態，如爐心衰變熱及用過核子燃料處置規劃等，選擇適當的除役方式。
- 現行 NRC 要求經營者於 60 年內完成除役作業。

- 台灣：

- 採取 DECON 立即拆除方式。現行我國法規要求經營者於取得除役許可後 25 年內完成。
- 現行除役階段分為四個階段：除役過渡階段、除役拆廠階段、廠址最終狀態偵測階段及廠址復原階段。

(三) 除役機組：

- 美國：

- 截止 2019 年 8 月，美國約有 32 部機組執行除役作業，其中 10 部機組採 DECON 立即拆除、12 部機組採 SAFSTOR 延遲拆廠、7 部機組目前僅剩用過核子燃料池獨立島區、3 部機組為運轉執照終止且用過核子燃料已移出廠址。

- 台灣：

- 現行核一廠一及二號機進入除役階段，兩部機組運轉執照期限分別至 107 年 12 月 5 日及 108 年 7 月 15 日。

(四) 除役基金：

- 美國：
 - 核能電廠執行除役之前，經營者必須建立財務系統，如信托基金或由母公司擔保，以確保該電廠有足夠資金支付到除役作業完成。
- 台灣：
 - 本公司自民國七十六年起，按當年度核能淨發電量與每度核能發電分攤率，提撥一定金額作為「核能後端營運基金」，以支付未來核能電廠除役所需相關費用，包含拆廠，用過核子燃料運輸、貯存與處置等。

(五) 民眾參與(公開說明會)：

- 美國：
 - 除役過程中民眾有幾次參與機會，如當經營者向 NRC 申請機組永久停機，NRC 則召開公開說明會，民眾可於會議中提出問題。除役期間，NRC 亦會召開會議，經營者與民眾透過會議進行溝通協商。
- 台灣：
 - 原子能委員會目前針對核一、核二廠除役計畫已召開數次地方說明會或者記者會，提供民眾與本公司討論的平台及管道，了解本公司未來除役作業之內容及規劃。相關資訊及會議紀錄皆公布於官網可供查詢(<https://reurl.cc/gvAW9p> 行政院原子能委員會網站/公眾參與)。

3、 第四天(108/12/5)：與 SONGS 交流：

SONGS 位於加州 San Clemente 南邊臨太平洋，由 Southern California Edison (以下簡稱 SCE，佔 78.2%)、San Diego Gas & Electric Company (佔 20%)及 City of Riverside Utilities Department (佔 1.8%)持有。該廠址共有 3 部機組，皆已停止運轉，1 號機是西屋設計之反應爐，於 1968 年運轉至 1992 進入除役，現況已拆除並已改為用過核子燃料貯存使用；2 號機及 3 號機是 CE 設計之反應爐，分別於 1983 年及 1984 年運轉，於 2009 及 2010 年分別取得延役許可後，原可運轉至 2022 年，惟因更換蒸汽產生器後發生破管問題，基於相關利害關係人之利益，2 及 3 號機提早於 2013 年宣布除役，預計於 2032 完成除役並完成最終

廠址復原。前述兩部機已於 2013 年 12 月向 NRC 提出永久停止運轉證明，也在 2014 年向 NRC 提出 PDSAR。

SGH 提供本公司 SONGS 窗口，本公司藉此機會向 SONGS 請教除役相關議題，內容包含：重要除役作業、地震、緊急計畫豁免、用過核子燃料池冷卻系統降級評估、低放貯存、1 號機除役工項劑量共 5 大項議題，如下說明：

(一) SONGS 除役作業重要工作介紹：

(1) 提供 20 年的除役計畫時程 2016 年至今重要工作如下：

- 乾式貯存設施的擴建，2017 年已完成
- 乾貯筒的製造，2018 年已完成
- 用過核子燃料的轉移，從濕式貯存轉移至乾式貯存，原預計於 2019 年底完成，因 2018 年發生違規事件，於 2019 年 7 月重啟作業後，現預計於 2020 年中完成所有用過核子燃料的轉移
- 2017 年開始除污及拆除作業
- SONGS 自從 2014 年開始每季都會召開 CEP 會議 (Community Engagement Panel)，向公眾說明除役作業進度，並將會議資料，包含會議影像上傳至 SONGS 網頁。

(2) 因 2018 年 NRC 針對 SONGS 乾式貯存筒轉移作業開立違規後相關作為：

- 由於 2019 年 7 月重啟用過核子燃料轉移作業後，SONGS 已針對該違規事件對轉移作業程序進行了週期性的更新，包含降低開立 CAP 標準以提早發現問題並追蹤(如近期於作業前發現 VCT 的 Shield Crane 傾斜、VCT 柴油發電機排煙影響工作人員視線等)、現場吊運作業加強團隊溝通，並對相關利益者溝通說明暫停工作 11 個月期間的改善成果，截至目前為止已完成 43 桶乾貯筒，已安全地轉移至廠內 Holtec 乾式貯存設施，餘 30 桶預計於 2020 年年中完成，尚未有任何影響安全事件發生。

- NRC 官員 2019 年 7 月~9 月期間已進行了 9 次不預期視察作業，針對課堂訓練、運轉前訓練實作及數次實際轉移作業視察，並已於 11 月提出視察報告，其指出此項作業對安全影響很小。
- (3) 介紹重置 SONGS 用過核子燃料策略計畫：
- SCE 於 108 年 6 月時委請 North Wind, Inc. 制定策略性計畫以評估重置 SONGS 內用過核子燃料的可行性評估，如移至廠外。因目前仍未有聯邦允許的設施可以接受用過核子燃料，SCE 承諾要安全存放用過核子燃料，因此須事先預想將 SONGS 廠內用過核子燃料至廠外的相關事宜。
 - North Wind 顧問團將與 SCE 及其專家團隊合作，並預計於 2020 年 12 月可將計畫公布；前述專家背景為前能源局政策主席、前美國核管會主席及包含放射性科學專家、用過核子燃料運輸專家、核工專家等，North Wind 同時也會廣泛的與相關利害關係人合作，以了解他們對用過核子燃料及最終處置的偏好和態度。
 - 本項策略計畫不是一項只做出單一解答的文件，而將是對廠外貯存及處置作廣泛考慮，並預期有如下建議行動可執行：
 - SONGS 將用過核子燃料移出廠外可行性方案
 - 準備好相關運輸工作
 - 推進政策及法規以促進廠外貯存及處置

(二) SONGS 緊急計畫豁免及執行 PDEP 經驗：

- (1) 有關緊急計畫之豁免 SONGS 係依據 NRC/DPR ISG-02 提出執照修訂申請，其採用之前提為：
- 已告知 NRC 將永久停止運轉，並且永久移除爐心之燃料
 - 廠內之燃料目前是採用濕式貯存
 - 除役反應爐廠址沒有其他運轉中反應爐
- (2) 另提供 SONGS 針對 EP 的豁免提供執照修訂申請文件，摘述如下：
- SONGS 永久停止運轉後事故對廠內及廠外造成的輻射劑量已實質降低，因此申請豁免廠外緊急計畫及降低廠內緊急計畫範疇如下：

- 廠外豁免項目：廠外機構緊急計畫、緊急計畫區(EPZ)、緊急營運設施、疏散時間的評估、廠外通知時間表、廠外劑量和保護行動的建議事項等。
- 廠內豁免項目：緊急反應資料系統、廠內設施(運轉支援中心、技術支援中心)及反恐演習等。
- 依據 NRC/DPR ISG-02 執行如下分析：
 - 執行設計基準事故分析，評估事故造成的劑量小於相關法規規定也小於EPA(Environment Protection Agency)的PAGs (Protective Action Guides)
 - 放射性廢液系統洩漏或失效
 - 用過核子燃料池護箱掉落事故
 - 用過核子燃料池沸騰事件
 - 爐心永久移除燃料情況下之燃料吊運事故
 - 執行超出設計基準事故分析
 - 最熱燃料組件的絕熱加熱分析
 - 本項分析結果滿足 NSIR/DRP-ISG-02 的標準，即最熱燃料組件加熱至攝氏 900 度超過 10 小時以上。
 - 用過核子燃料池水洩光後之劑量率
 - 分析結果顯示禁制區(EAB)的最高劑量率遠小於接受標準。

(三) SONGS 用過核子燃料池冷卻系統降級為非安全相關系統之評估：

- (1) SONGS 說明經過 UFSAR 第 15 章的事故分析，並不會有發生潛在超出廠外民眾劑量暴露之情形，用過核子燃料池冷卻系統不再需執行安全相關功能，因此將過燃料池冷卻系統重新分類為非安全有關。
- (2) 為達到 cold and dark 的狀態，以減少除役期間工作人員接觸到受電系統，或仍有充水管路的可能，因此 SONGS 將用過核子燃料池改建為獨立島區，將其與其他系統隔離，獨立島區建立獨立用過核子燃料池冷卻系統 (ISFPCS)、強化的用過核子燃料池補水系統(Enhanced Make-up System)及除役期間電力環 (power ring) 系統，設計皆為非安全相關。針對耐震等級，

ISFPCS 設計為 Seismic Category III(即符合加州當地建築法規)；而強化用過核子燃料池補水系統則設計為 Seismic Category I，與 NUREG-0800 SRP 9.1.3 節符合，前述兩項系統皆由非安全等級且 Seismic Category III 的電力系統供電。

(四) 地震議題對 SONGS 除役作業的影響：

- (1) 參考 2001 年出版之 NUREG-1738 報告(除役期間用過核子燃料池風險評估)，該報告針對地震議題利用地震檢核清單(check list)驗證用過核子燃料池結構完整性，另外分別引用 EPRI 及 LLNL 地震危害度曲線結果(PSHA)執行後續地震風險評估。SONGS 位於地震斷層較多的美西，台灣亦位於地震頻繁發生地帶，原想請教 SONGS 如何取得地震危害度曲線，是否有經過 Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC) Level 3 程序等經驗供本公司參考，然 SONGS 初步答覆並無 PSHA 相關資訊，後續將繼續蒐集資訊。
- (2) SONGS 現行低階放射性廢料處置作業，由 SONGS 除役承包商 (Decommissioning General Contractor) 負責，未來所有低階放射性廢料將搬移至 Clive(愛荷華州)及猶他州，不會存放廠址內。
- (3) 2017 年 2 月 16 日 SONGS 公眾參與計畫會議(Community Engagement Panel, CEP) 會議中探討地震相關議題。

(五) SONGS 1 號機劑量評估，包含引用估算方法、拆解項目清單、各工項拆解工時及產生之劑量、除役人員生物劑量。

- SONGS 1 號機於 1992 年 11 月 30 日進入除役，汽機廠房及反應器壓力槽早已拆除且多數員工已離開。因涉及電廠資料，SONGS 僅能提供部分劑量評估報告內容。

肆、心得及建議事項

- 一、從 SONGS 提供相關申請執照修訂或豁免之案例，皆係為了提早減少除役費用，可見除役期間電廠，除安全(輻安、工安)外，最重要的即是費用考量。本公司 2025 年後，所有核能電廠停止運轉進入除役，除役基金不再增加，對本公司最重要的一點亦是費用的減免，以減輕除役末期的經費壓力，經由本次交流實有助於後續管制豁免申請。
- 二、藉由 SGH 公司協助，本公司已建立一條向 SONGS 尋求資訊的管道，後續本公司若有法規案例需求，或許可從 SONGS 方得到解答。
- 三、SONGS 展示館已拆除，然 SONGS 不定期接受外界民眾參訪 (Walking Tour)，可提前上網預約。建議本公司未來欲順道參訪 SONGS 之同仁，可事先查詢開放時間及預約後再安排出國時間。
- 四、因美國目前也尚未有最終處置場，然 SONGS 已開始尋求用過核子燃料最終處置之可行性方案，而本公司目前也面臨到相同問題。建議本公司可持續與 SONGS 保持聯繫，以獲取最終處置的其他可行性方案資訊，作為本公司規劃參考。