

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「第四屆東亞核能論壇」及除役中福島第一核電廠放射性廢棄物營運設施與經驗交流

頁數 22 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：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：

黃咸弘/台灣電力公司/核安處/策劃組長/23667176

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 11 月 13 日~105 年 11 月 16 日 出國地區：日本

報告日期：106 年 1 月 12 日

分類號/目

關鍵詞：WANO、SOER、後福島事件

內容摘要：(二百至三百字)

我國核電廠的除役作業有必要汲取國外近期執行核電廠除役作業國家的經驗。目前日本福島第一核電廠 6 部機組正展開除役作業中，藉由實地參訪日本除役中的福島核一廠，透過日方說明與彼此討論，觀摩日方處理放射性廢棄物及污水、抑低空間輻射劑量的實際作法與經驗交流。另韓國古里 1 號機即將於 2017 年年中永久停機，該國對於核電廠除役的政策、指引、期程及建立相關產業的構想，亦值得我國參考。

東亞核能論壇(East-Asian Nuclear Forum)的宗旨為提升東亞地區的核能安全及建構區域核能安全合作網絡，藉由核能產業界的參訪，促成資訊與技術的交流。本次會議主要議題為各國提升核能安全的作法以及核能發電的發展最新狀況。本公司派員全程與會並廣泛交換意見有助於核能安全的再提升。

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

出國報告（出國類別：開會）

參加「第四屆東亞核能論壇」及
除役中福島第一核電廠放射性廢棄
物營運設施與經驗交流

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：核安處策劃組長黃咸弘

派赴國家：日本

出國期間：105年11月13日~105年11月16日

報告日期：106年1月12日

摘要

我國核電廠的除役作業為我國以往較陌生的領域，為安全順利規劃及執行除役作業，有必要汲取國外近期執行核電廠除役作業國家的經驗。目前日本福島第一核電廠 6 部機組正展開除役作業中，藉由實地參訪日本除役中的福島核一廠，透過日方說明與彼此討論，觀摩日方處理放射性廢棄物及污水、抑低空間輻射劑量的實際作法與經驗交流。另韓國古里 1 號機即將於 2017 年年中永久停機，該國對於核電廠除役的政策、指引、期程及建立相關產業的構想，亦值得我國參考。

東亞核能論壇(East-Asian Nuclear Forum)的宗旨為提升東亞地區的核能安全及建構區域核能安全合作網絡，藉由核能產業界的參訪，促成資訊與技術的交流。本次東亞核能論壇為第四屆，由 JAIF 主辦，會議主要議題為各國提升核能安全的作法以及核能發電的發展最新狀況。本公司派員全程與會，會議中各國分就福島後核能安全提升作法現況，包括實體設備的增設及改善、核能安全促進組織的成立與運作，核能事故應變組織的規劃與建構，核電廠除役政策、指引及規劃作法，最新核電廠技術之開發成果等議題進行分享，並廣泛交換意見，與會各方彼此觀摩，有助於核能安全的再提升。

目次

壹、目的

貳、過程

參、心得及建議

壹、目的

我國現階段能源政策係規劃核電廠除役，此一除役作業為我國以往較陌生的領域，本次實地參訪除役中的福島核一廠，藉由參訪與討論，可觀摩放射性廢棄物營運設施與經驗交流，並取得相關放射性廢棄物營運的資訊。韓國原子力水力公司(KHNP)即將於 2017 年年中將古里 1 號機永久停機，展開除役作業，KHNP 亦將參訪福島核一廠，韓國核電廠除役之政策、指引、規劃期程及拆廠核廢料之處置作法等，亦值得本公司派員與其討論，彼此參考觀摩，汲取韓國的經驗，強化我國後續除役的能力。

東亞核能論壇(East-Asian Nuclear Forum)係由我國核能級產業發展協會(TNA)、日本原子力產業協會(JAIF)、韓國原子力產業協會(KAIF)、中國大陸核能行業協會(CENA)共同參與、宗旨為提升東亞地區的核能安全及建構區域核能安全合作網絡，藉由核能產業界的參訪，促成資訊與技術的交流。第一、二屆會議係於日本舉辦，第三屆會議於韓國舉辦，本公司均派員參與，與會各方分就核能安全相關議題分享具體核能安全對策並廣泛交換意見。本次論壇為第四屆，討論主題為各國提升核能安全的作法以及核能發電的發展最新狀況，為保持本公司與國際核能界接軌，取得相關技術資訊，持續提升核能安全，有必要派員與會。

貳、過程

一、出國行程

日期	內容
105/11/13(日)	往程：松山機場→東京羽田機場→日本福島縣磐城市
105/11/14(一)	參訪福島第一核電廠→東京市
105/11/15(二)	參加第四屆東亞核能論壇
105/11/16(三)	返程：東京羽田機場→松山機場

二、參訪福島第一核電廠概要

(一)前言

2011年3月11日，日本發生規模達9.0的東北大地震，該區域的福島第一核電廠即使在全面喪失廠外電力的情況下，安全系統在震後也都發揮功能，達成安全停機。惟受到隨後的大海嘯衝擊，首當其衝的福島第一核電廠在超過15米高度的海嘯侵襲下，喪失廠內電力及緊急冷卻海水，造成一號機至三號機反應爐爐心核燃料過熱熔損，後續再因事故產生的氫氣造成氫爆，使得一號機、二號機、三號機及四號機的圍阻體均有毀傷，以致事故輻射外釋至廠區及外界環境。

事故後日本政府決定將福島第一核電廠的6部機組全數除役，此次參訪日本除役機組，主要目的即是觀摩日本對於具輻射性的核廢料如何處理，防止輻射擴散，以免造成除役作業的困難。

參訪過程發現，業主東京電力公司(東京電力公司)致力於廠內及環境的除污作業，包括大規模的受污染表土的刨除，減少進入廠房的地下水，防堵廠房內受污染的水流到環境與海洋，設置移除輻射污水內放射性核種的過濾系統。

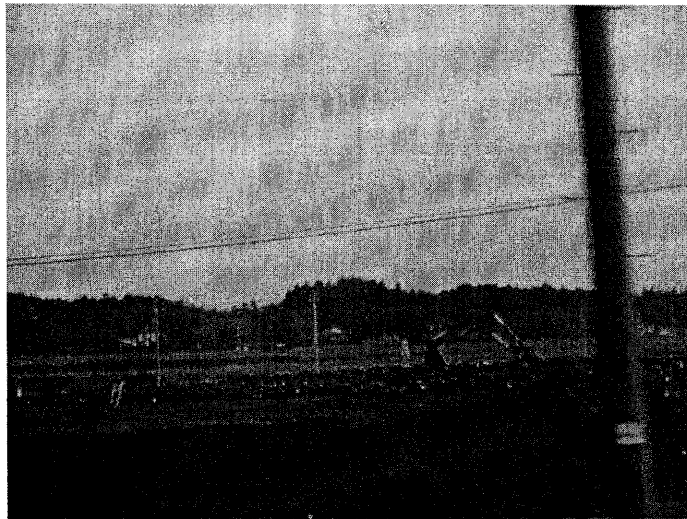


圖 1 刨除污染表土

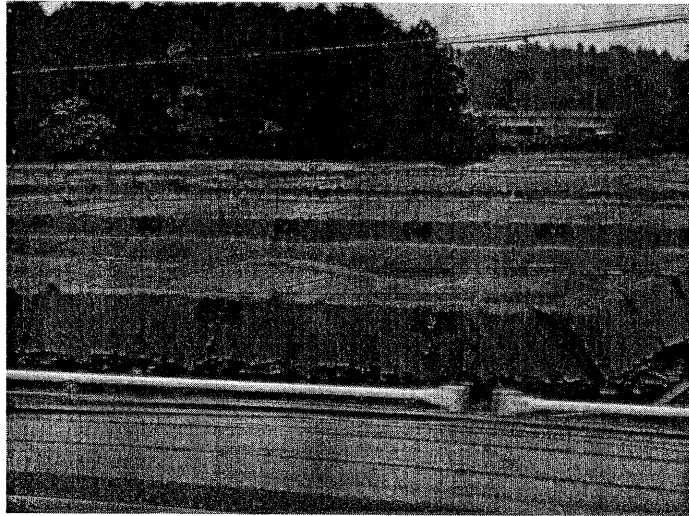


圖 2 經剷除之污染表土之堆置場

東京電力公司移除污染，防止輻射擴散的方法包括：

1. 以吸塵設備吸除小型的輻射碎片。
2. 噴灑水霧，避免輻射顆粒擴散。
3. 噴灑防飛濺劑，避免輻射物質飛濺。
4. 在廠內污染區的地面及邊坡噴佈水泥，有效降低輻射強度。
5. 以燒銲接合的桶槽取代事故初期以螺栓接合的桶槽，避免污水外漏。

以上的作法都是我國核電廠將來執行除役作業，可以觀摩採用的有效措施。

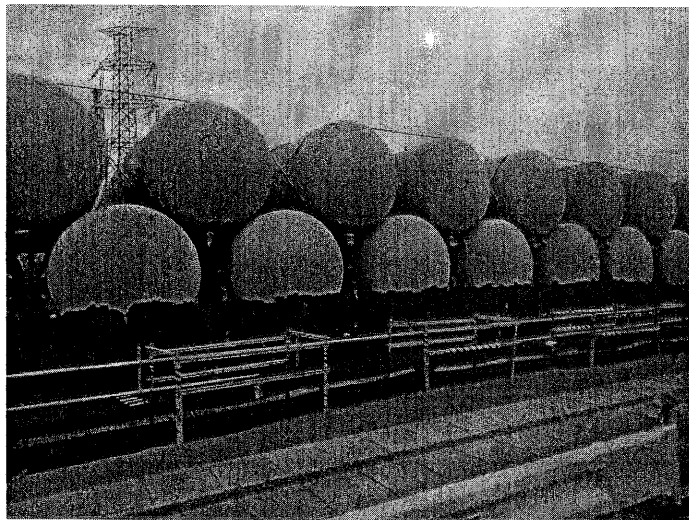


圖 3 事故初期使用之螺栓接合污水桶槽(已停用)

(二)福島第一核電廠的現況眼見為憑

福島第一核電廠在 2011 年受到 311 地震引發的海嘯侵襲後，受到重創，業主東京電力公司在日本政府的指導下，逐步展開災後的清理工作。國內對於福島第一核電廠的處理現況，充斥著各種不同的訊息，藉由參訪日本福島第一核電廠，有助於確認現場的實際情況，必要時可提供相關的說明與資訊。



圖 4 參訪福島第一核電廠前由廠方提供現況簡報

(三)福島第一核電廠的工作環境持續在改善

福島第一核電廠的工作人員隨著工作階段不同而有所增減，最多曾達 7 千餘人，最近(2016 年 9 月)，福島第一核電廠工作人員有 5740 人，其中本地的工作人員約佔 55%。在員工的生活照顧上，廠內設置可供 1200 人同時使用的休息設施，在廠外也設置福島復興供餐中心，每日可供熱食 1500 份，使用的全是福島當地生產食材。東京電力公司及包商在電廠外圍也安排了許多房舍作為員工宿舍及辦公處所，形成一個聚落，成為維持長期除役工作的據點。廠內大型的中央辦公大樓已落成，供東京電力公司員工使用，側翼的辦公室留給包商使用，便於東京電力公司與包商就近協商。

參訪人員由專用交通車搭載進入廠區，沿途廠區清潔有序，工作人員安靜勤奮，如果事先不知道，一開始還看不出來這是一個經過核能事故的電廠。

(四)目前福島第一核電廠受損機組處理狀況

福島第一核電廠有 6 部機組，在 311 事故後日本政府決定均予除役，其中一至四號機在事故期間反應爐及廠房均有程度不一的損傷。四號機在事故當時正值機組大修，反應爐內的核燃料都在廠房中的用過燃料池裡，共 1535 束，在 2014 年底東京電力公司已將四號機用過燃料全數吊出，貯存在福島第一核電廠的共用燃料廠房。

三號機廠房旁邊目前已搭建完成大型工作平台，在平台上的吊具可以把用過燃料池內的 566 束燃料吊到廠房以外貯存。

一號機之前為防範輻射擴散，在外牆損毀的廠房外原裝設有防護牆板，東京電力公司今年八月下旬將牆板以內殘留的輻射小碎片清理完畢，並且在噴撒防飛散劑後，將牆板拆除，後續準備裝設大型工作平台，預計在 2020 年開始吊出用過燃料池內貯存的用過核燃料。

(五)輻射的影響逐漸平緩

東京電力公司持續監測福島第一核電廠周邊海岸的輻射，結果顯示，銻 134 與銻 137 的強度均已降低至事故當時讀數的數萬分之一以下，部分監測點甚至已降低

至事故當時讀數的百萬分之一以下。日本官方對於銫的強度要求為銫 134 低於 60Bq/L，銫 137 低於 90Bq/L，目前海岸監測點除一至四號機進水口的銫 137 在限值上下變動外，其它各監測點均遠低於法規的要求，在 1 Bq/L 以下。

為防止地下水持續滲入廠房內，以致增加污水數量，東京電力公司除了在廠房外陸側的高點裝設 12 口抽水井及廠房旁邊裝設 41 口抽水井持續抽取地下水之外，並且在兩者之間裝設長度 1500 公尺環繞一至四號機的凍土牆以防堵地下水。至 2016 年 10 月為止，該凍土牆已凍結 95%，只有 7 處仍未完成凍結，東京電力公司正考量是要達 100% 的凍結，還是容許一小部分的地下水流入廠房。

另外為了防止廠房內未經處理的污水流入海域，靠近海域的位置也已裝設擋水牆。同時也在陸側及海側之間以水玻璃改善地基，加強防堵廢水洩漏到海域，其前後位置也各裝設多台抽水機，協助減少廢水流往水玻璃及海側擋水牆。

廢水及暫存處理完成的水貯存在廠區內的眾多水槽中，為防止廢水由早期以螺栓接合的桶槽中洩漏，現已改採加大容量且改以銲接方式接合的桶槽。這些桶槽貯存場被內外兩道的圍堰圍起來，桶槽萬一有洩漏時，廢水也不致立即流至外界。至於廠房廢水的處理，為持續冷卻原子爐內的核燃料，每日由廠房內裡抽取 720 立方米的輻射汙水(廠房內每日引入 250 立方米的抽水井進水，並有 150 立方米的地下水滲入)，送往銫吸附設備(KURION 與 SARRY)，除去銫核種及降低鋇核種數量後，再送往除礦設備，除去汙水內的雜質，把其中約 320 立方米的水回送冷卻水貯存槽，然後再打回原子爐裡冷卻核燃料；另外 400 立方米的水則送往貯水槽，再送往多核種移除設備(ALPS)處理後，送到處理水貯水槽。經過 ALPS 處理的水可以移除除氬以外的 62 種放射性物質，總貝它強度可由數百萬 Bq/L 降至數百 Bq/L。

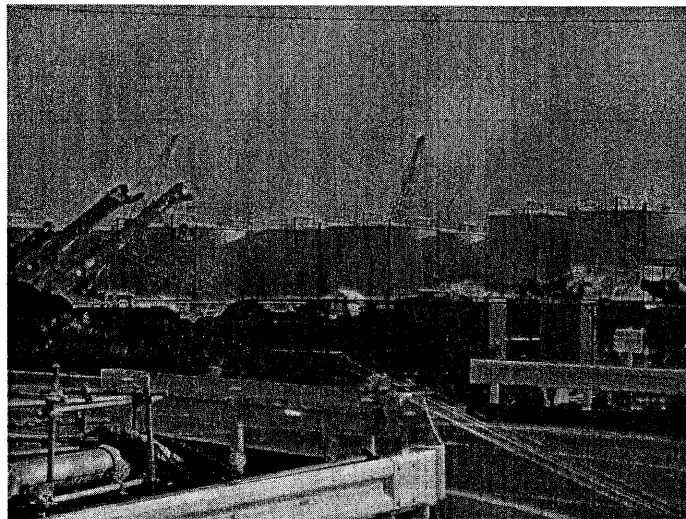


圖 5 福島第一核電廠大型水槽

(六)降低廠區空間輻射劑量率的努力也有成效

經過廠區內，可見多組大型吊車，其中也有吊車是採取無人遙控的操作方式，減少工作過程中人員受到的輻射劑量。至於先前現場使用的吊車若有損壞的情形，為儘量抑低人員劑量，也採取暫置現場，不予拆解的措施。

在廠外設置了遙控技術發展中心，開發遠端操作的工作機械，準備應用在現場高輻射劑量率的處所，俾能完成查勘與移除的作業。該中心也設置了 1/8 比例尺的圍阻體下部模型，俾能用來模擬設備的操作，利於精準設計遙控設備。為了降低廠區的空間劑量，東京電力公司在受污染的土地上敷設水泥，此一作業也幾近完成，2016 年 8 月的工作人員平均劑量為 0.23 毫西弗/每月。在廠區外圍的道路上，空間輻射劑量率約在幾個微西弗/小時上下，在廠界外最高的一點略高於 9 微西弗/小時，廠界內多數作業區域空間輻射劑量率約 1~5 微西弗/小時。人員行經道路上最高空間輻射劑量位於號機與三號機之間，約在 297 微西弗/小時。

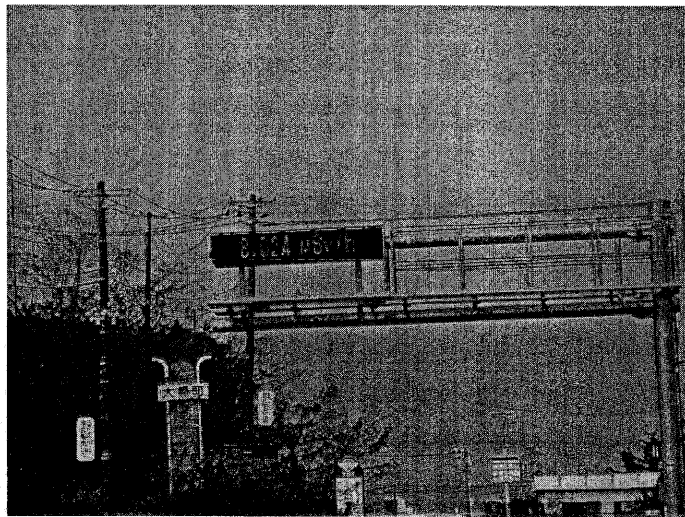


圖 6 廠區外道路空間輻射劑量告示板

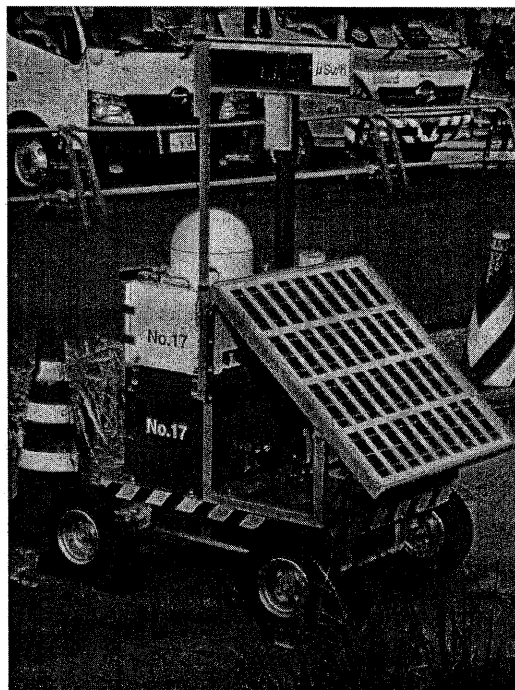


圖 7 廠區空間輻射偵測儀器

(七)事故後民眾被要求撤離的地區已逐漸復原

自 2014 年起原被日本政府要求撤離的周邊地區，透過解除避難指示區域，已由外圍逐次解除管制，福島第一核電廠 20 公里範圍內包括田村市(2014/4/1)、川內村(2014/10/1、2016/6/14)、楢葉町(2015/9/5)、葛尾村(2016/6/12)及南相馬市(2016/7/12)都已經解除管制，2017 年包括飯館村(大部分範圍)、川俣町也將逐次解除管制。東京電力公司工作人員表示，返鄉的人數目前僅約災前住民人數的 1/10，主要的原因是避難民眾在外地找到工作及新的生活環境，其次是考慮子女的就學問題。東京電力公司工作人員也說明，明年 4 月復原地區的學校將重新開學，解決就學問題，人口可望加速回流。

(八)樂觀看待福島第一核電廠的除役及周邊地區的復原

福島第一核電廠除役依規劃進行，有穩定的進展，雖然除役的過程漫長，但是在完善的規劃與落實的執行下，除役工作當可順利推動。未來福島第一核電廠周邊各地區暫時堆置的剷除污染表土，將集中移置貯存在福島第一核電廠旁邊的大熊町，這些地區可以逐漸開放住民返鄉居住。另外日本政府也已規劃在這些地區開發大型的商業設施，興建完善的基礎設施。在輻射影響漸小，受災地區復興腳步穩定向前的趨勢下，可以預期福島第一核電廠事故對於居民的影響也很快地就可以降低。

三、第四屆東亞核能論壇會議概要

(一)參與機構及報告主題

參與本次會議之核能機構包括

國內：台灣核能級產業發展協會、工業技術研究院、核能研究所、山水國際運輸公司、台電公司

韓國：韓國原子力產業會議(KAIF)、韓國原子力水力公司(KHNP)

日本：日本原子力產業協會(JAIF)、日本原子力安全推進協會、日本原子力發電公司原子力發電緊急事態支援中心

中國大陸：中國核能行業協會(觀察員)

本次論壇為第四屆，係由 JAIF 主辦，於東京召開，討論之主要議題為核電廠安全提升現況以及核電廠的最新動態。

我國由台灣核能級產業發展協會陳董事長領隊，並由本公司發表「台電核能電廠安全提升」及由核研所發表「台電核能電廠功率提升」等二項報告。其它由日本、韓國及中國大陸分別發表以下報告：

韓國：韓國核電廠安全設施強化現況

韓國核電廠除役狀況

日本：原子力安全推進協會(JANSI)對核電業界自發性提升安全的支援作業

核電緊急應變支援組織的設置

中國大陸：中國核電廠同行評估及經驗交流委員會提升中國大陸核電廠安全的作業

中國大陸核能現況

(二) 重要報告摘要

1. 韓國核電廠除役狀況

韓國核電廠在 2020 年以前，有古里 1 號機進入除役階段(2017 年 6 月)，在 2020 年至 2030 年間另有月城 1 號機進入除役，到了 2030 年至 2040 年之間有 10 部機組要進入除役。

(1) 韓國政府除役政策

- 以安全且經濟的方式除役，並扶植除役產業。
- 殘餘輻射目標 $\leq 0.1\text{mSv/年}$
- 廢棄物 $\leq 14,500$ 桶/機組
- 廢棄物處置：2020 年完成淺地層處置設施

(2) 韓國原子力水力公司的除役政策

- 安全第一優先
- 保護環境，對環境的影響降至最低程度
- 以合理成本除役
- 最少量的放射性廢棄物
- 建立完整的核能產業鏈

(3) 韓國原子力水力公司的除役計畫

- 除役策略：立即拆除，建立初期及最終除役計畫，並建立詳細的除役執行計畫
- 除役引領專案：發展先進的技術、開發重要的除役設備、促進國際

合作。

- 訓練方案：建立人力供需計畫、與學界建立合作關係、推動工程師與技師培育方案。
- 基礎架構與網絡：形成除役產業群、與利害關係者建立聯繫網絡、建立國際合作網絡。
- 除役程序

- 準備規劃期(永久停機前約 2 年)：運轉執照轉換、準備除役計畫、除役設計、除役計畫更新、申照
- 過渡期(至少 5 年)：移出反應爐與用過燃料池的用過核燃料、系統除污、系統洩水與乾燥、申請核准最終除役計畫、處理營運放射性廢棄物
- 除役與拆廠(至少 6 年)：拆解系統與組件、組件與廠房除污、廢棄物處理/包裝/運輸/處置；拆解廠房；申請廠址復原
- 廠址復原與釋出(至少 2 年)：土壤除污與廠址復原；廠址釋出

- 核能安全法規架構

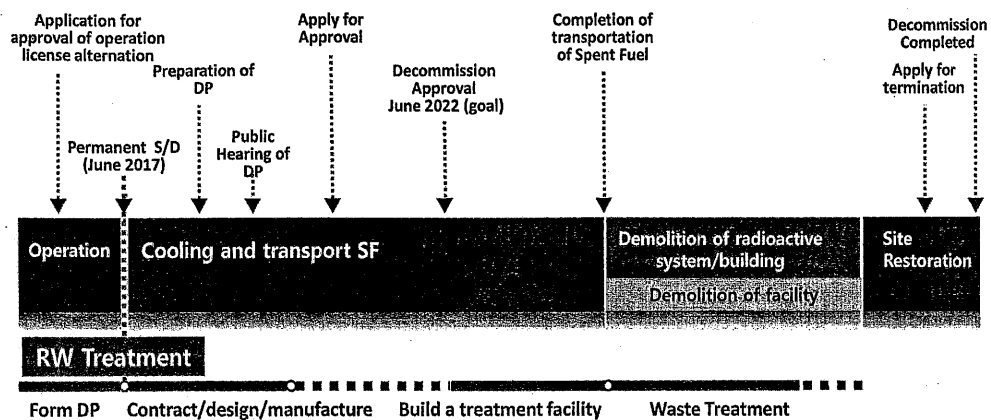
2015 年修訂核能安全法及其子法，包括定義「除役」，審查核電廠建造許可及運轉執照的初期除役計畫(IDP)，每 10 年更新 IDP，申請除役許可(最終除役計畫、品保方案、公眾諮詢紀錄)，除役期間的報告與查驗。

目前正進行編訂除役相關的技術標準與指引。

(4)古里 1 號機除役的基本作法

- 確保古里 2 號機的安全運轉
- 用過核燃料移出後，開始進行除役
- 安全是最優先考量，並且要儘可能減少廢棄物的產量

古里 1 號機除役的期程如下



2. 韓國核電廠安全設施強化現況

韓國在 311 日本福島事故後，即由韓國原子力水力公司及官方先後進行安全檢查，隨後由官方及韓國原子力水力公司共同提出 46 項改善方案，再加上由韓國原子力水力公司自行提出的 10 項改善方案，合計 56 項改善方案：

- 結構與設備抗震與防海嘯：20 項方案
- 確保水災下的電力供應及冷卻能力：15 項方案
- 嚴重事故救援：10 項方案
- 強化緊急應變能力：11 項方案

(1) 主要項目改善現況

- 強震自動急停系統：於 2013 年完成，核電廠內感測器震度超過 0.18g，機組即自動急停。
- 防海嘯牆：於 2012 年完成古里核電廠 4 部機組的防海嘯牆高度增高至 10 公尺。(長 2.1 公里)
- 水密門：具耐震功能的水密門，安裝在緊急柴油發電機房、替代交流電力(AAC)柴油發電機房、輔機廠房、燃料廠房、緊要

海水廠房，電池室等處，預計 2018 年完成。

- 電源車：4.16kV/3200kW，於 2014 年設置完成。
- 用過燃料池的替代冷卻：使用消防車與新設的引接管路，於 2012 年完成。
- 被動式自動氫氣再結合器(PAR)：於 2011~2015 年間陸續完成。
- 圍阻體過濾式排氣系統(CFVS)：月城 1 號機於 2013 年完成，其它將於 2020 年之前完成。
- 以廠外水源作為緊急冷卻水：將於 2018 年完成。

(2) 進一步的安全強化措施

- 配置更多的電源車：採 N+1 原則，使每部機組都有因應廠區全黑事故(SBO)的能力。
- 增加耐震的電池組：提升重水式反應器在 SBO 時電池組對安全負載的供電能力至 8 小時，電池容量為 2000AH。
- 多樣彈性應變策略(FLEX)設備整合貯存：各式應變機具設備集中貯存在指定的處所。
- 緊急應變中心：耐震能力達垂直向 0.5g，水平向 0.3g，月島廠址將在 2017~2019 年間興建，古里、蔚珍、靈光廠址將在 2018~2020 年間興建。

3. 日本核電緊急應變支援組織的設置

日本於 311 福島事故後，即擬議建立核電緊急應變支援組織，首先在 2013 年 1 月 23 日開始籌設核電緊急應變支援組織，2013 年 10 月 25 日選定日本原子力公司(JPAC)辦理籌備業務，2015 年 9 月 18 日委請 JPAC 組建該組織，2016 年 5 月該組織開始局部運作。

(1) 核電緊急應變支援組織

- 事故期間作業
 - 提供指引與技術建議給事故電廠的經營者。
 - 支援組織的人員在組織指揮官的指派下，協助事故電廠人員控制事故，無人飛行器及重型機械初期亦由支援組織人員操作。

- 人員須 24 小時待命，並在接獲通知後 24 小時內到達現場。
- 設備與裝置依需求逐次送抵現場。
- 平時作業
 - 施行教育訓練，俾在緊急時可以確保各項作業的有效性。
 - 與災害因應組織合作進行技術交流。
- 組織資源
 - 目前有 21 人，配置各式器械，包括小型機器人(6 台)、中型機器人(2 台)、無線直昇機(2 台)、無線電遙控小型(2 台)及大型(1 台)重型機械，並有防輻射的工作車。
 - 與其它電力公司合作，額外提供 300 人的人力以及偵測器與輻射防護衣物。
 - 該中心建於 2016 年，位於福井縣美濱村，佔地 26,000m²，設施內設有直昇機坪、訓練場、貯水池、辦公室、倉庫等。
- 該組織目前僅支援日本國內電廠，未來是否支援海外電廠，則視將來情況再行決定。

4.中國大陸核能發展現況

(1)核能政策

中國大陸人大常委會於 2016 年 9 月 3 日核可了巴黎氣候變遷協議，將發展核能作為節省能源、防制污染、穩定經濟成長、優化能源結構、以及達成綠色永續發展的重要手段。除原子能法及核安全法也已進入人大的立法程序，核能保安管制條例及核電管理管制條例已正式公開徵詢民眾意見。

(2)核電廠的運轉與興建

運轉中的核電機組持續保持良好的安全與營運績效，在建的機組也依規劃期程施作中。三門核電廠的 AP1000 機組正進行熱測試。截至 2016 年 10 月 11 日，有 35 部核電機組運轉中，20 部在建，總裝置容量達 56.9GWe。規劃在 2020 年，運轉中與在建的機組合計達 90 部，發電佔中國大陸總發電量的 4%。

(3)反應器科技創新

中國核能研究院 2016 年 7 月 27 日成功地完成啟明星低濃縮鈾微型反應器零功率臨界實驗，此一微型反應器全功率運轉後，將是大陸與國際合作減少高濃度鈾使用的一大突破。

2016 年 7 月 27 日，大陸獨立發展的核能級數位儀控平台" FirmSys" 通過國際原子能總署(IAEA)的審查。

(4)核子緊急應變

2016 年 5 月 24 日，大陸的首支核子緊急搶救隊正式成立。該搶救隊包括協調與技術支援等 6 個組，合計 320 人，成員將接受事故情境模擬、操作技巧及理論的訓練。該搶救隊除了執行境內重大核子事故緊急搶救的任務外，也可以協助國際同業的類似任務。

5.台電核能電廠安全提升

台電公司的簡報內容包括

- 台電公司核電廠現況概要說明
- 台電公司在福島第一核電廠事故後所進行的核電廠整體安全評估
- 台電公司在在福島第一核電廠事故後所進行的核電廠安全提升作為

(1) 台電公司在福島第一核電廠事故後所進行的核電廠整體安全評估

台電公司檢討自有核電廠的設計，在緊急海水泵的防護、廠房距離海岸線的距離都有適當程度的防禦；另外設置有備用氣冷式緊急柴油發電機及氣渦輪發電機，也設置有充裕水量的生水池。

因此台電公司核電廠有 7 道安全防線，包括：緊急海水泵(ESW)位於泵室內、廠址的高程較高、備用氣冷式緊急柴油發電機(D/G)、備用氣冷式氣渦輪發電機(G/T)、以重力方式補水的生水池、擬新增的防海嘯牆、以及新增的斷然處置措施(URG)。

福島第一核電廠事故後，台電公司成立了 3 個專案小組，評估海嘯防護、地震防護及用過燃料池冷卻功能的議題，並進行地質調查、生水池評估等工作，迅速展開兩階段的核電廠整體安全評估。

第一階段的整體安全評估涵蓋的面向包括廠址特性、事故管理、設計基準、維護作業、事故預防與救援能力，以及人力配置與人員績效等。

第一階段針對設計基準事故(DBA)，檢討地震、海嘯、颱風、水災等災害的防護，以及緊急應變管理及演習；在超出設計基準事故(BDBA)部份，除了檢討備用電源、水源，用過燃料池補水及移動式設備的整備、貯存與操作程序外，也新創了機組斷然處置措施，提升對於複合式天災的深度防禦。

第一階段評估對象具體分為 11 項，包括對於超出設計基準事故的防護、重要設施與設備及其後備、機組全黑、對海嘯及水災的防護、最終熱沉、用過燃料池冷卻能力、應變人力配置及人員績效、緊急操作程序及演習、斷然處置措施...等。評估後的四個改善領域，包括提升耐震、防護海嘯及水災、事件救援(備援電力、備援水源、防災設備整備以及用過燃料池冷卻)

第二階段整體安全評估，也就是壓力測試，著重在驗證防護天然災害的安全餘裕，對象包括瞭解極端廠外事件肇始因子、喪失電力及最終熱沉(UHS)，以及事故管理作為。這個階段依據歐盟(EU)的壓力測試規範進行，並採用安全度評估(PRA)的技術，除了驗證設計的強健程度、評估因應措施的有效性，並找出瀕危效應及潛藏弱點。也就是第二階段整體安全評估接續第一階段的檢討成果，依據歐盟的規範審視廠址、廠外極端自然災害、嚴重核子事故管理等等之外，並利用安全度評估技術檢討地震及水災的議題。

(2) 福島第一核電廠事故後提升安全的作為

由福島第一核電廠事故的經驗，核電廠安全運轉需要考慮的事項包括：充足電源及水源，對於地震、海嘯與水災的防護，圍阻體完整性與控制氫氣，以及對爐心與用過燃料池的注水。

在地震防護上，台電公司於福島事故後進行進一步的地質調查及現場履勘、重新評估地震的風險、按照地震安全餘裕評估(SMA)與地震安全度評估(SPRA)的發現執行精進、提升緊急應變中心的功能、提升消防隊部的耐震能力，提升生水管線的耐震能力等等。

在海嘯與水災的防護上，台電公司查驗了海嘯與水災的防護裝置與密封，模擬海嘯與水災造成風險的機制，進行水災的現場履勘，重新評估水災的風險，提升核一廠防海嘯閘門的功能，增設核二廠緊急海水(ESW)泵室及核三廠廠用海水(NSCW)泵室的水密阻隔，研擬興建防海嘯牆及在安全相關廠房的防火門與穿越孔附近設置防水閘門。

在提升電源的努力上，台電公司改變了電源配置方式，使共用的氣冷式緊急柴油發電機可以同時供電到兩部機緊急負載，氣渦輪發電

機的全黑起動柴油發電機也可以同時供電到兩部機緊急負載；採購 4.16kV 電源車及 480V 移動式柴油發電機；延長直流電源供電能力至 24 小時；配置可提供控制電源及監控儀器使用的移動式發電機與電池。

在爐心冷卻注水方面，重新檢討廠內與廠外水源容量並編訂傳送水及注水的程序；盤點既有消防車的數量與容量，並採購額外的消防車；安排不同的爐心注水路徑；安排不同的最終熱沉；規劃最終熱沉的復原作法；採購移動式空氣壓縮機及備用的氬氣瓶。

在提升用過燃料池冷卻方面，新裝置額外的注水與噴灑路徑；水位及水溫儀器提升到安全等級。

在圍阻體完整性及控制氬氣的精進上，新設置強健可靠的圍阻體過濾式排氣系統；規劃圍阻體早期排氣的策略，以抑低圍阻體的溫度與壓力，並延長以蒸汽推動的爐心隔離冷卻系統(RCIC 系統)的可運轉時間；核三廠設置被動式自動氬氣再結合器(PAR)。

台電公司也提出斷然處置措施(URG)，綜合考量系統洩壓、注水及圍阻體排氣，及時維持淹蓋爐心，避免燃料熔損。未來更將與緊急操作程序(EOP)、嚴重事故管理指引(SAMG)及大規模損害管理指引(EDMG) 結合。當因強烈地震停機並隨後有海嘯警報，喪失外電，或喪失最終熱沉時，即列置設備、管線準備作緊急洩壓、圍阻體排氣，以準備注水。一旦需要注水(如喪失 RCIC 時)，即可迅速將水注入爐心。

也就是，斷然處置措施的執行流程是當滿足前述的三個進入條件之一時，開始列置設備準備注水，包括圍阻體排氣，反應器洩壓以及準備各種水源(淡水、生水池重力注水、溪水或海水)。在達到注水條件後，即開始注水淹蓋爐心。

斷然處置措施已經由 OECD/NEA 專家認可為因應複合式天災的作法，並經過 EU/ENSREG 的獨立審查，此外，沸水式及壓水式業主組織(BWROG、PWROG)也都接受這樣的作法。

(3)後續提升核能安全的精進作為

- 主管作業觀察

台電公司採行業界的典範作法，實施主管作業觀察，編訂作業程序，由總公司與電廠協力執行。電廠主管及總公司營運督導單位選擇現場工作進行第一線的觀察與教導，並由品保單位在第二線評估主管作業觀察的執行成效。在主管作業觀察過程中

的重要發現會在電廠管理階層會議中提出報告，各項發現也會由改正行動計畫(CAP)追蹤其改善成果。總公司營運督導單位及品保單位也會定期向總公司的安全文化推動會報提出對電廠監督的成效。

- 同儕小組

針對績效改善、運轉、儀控、電氣、機械、輻射防護、獨立監督...等 20 個功能領域，由總公司及電廠各相關業務主管成立同儕小組。每個同儕小組由總公司相關主管擔任總公司功能領域經理(CFAM)，電廠的相關主管擔任組員，即電廠功能領域經理(SFAM)，另視需要請相關人員擔任功能領域領導(FAL)來輔助功能領域經理。

各同儕小組設定各自的績效指標以及對應的績效標準，以不同顏色顯示其優劣狀態。同儕小組定期開會評估績效指標，監控指標的優劣，並依監控的結果採行不同程度的管理作為：若績效顯示為警示值(白燈)，電廠應要求相關部門改善；若顯示為警戒值(黃燈)，電廠須提出檢討報告；若顯示為警報值(紅燈)，則總公司須組成專家團隊至電廠檢討並擬訂改善作法。除定期開會外，同儕小組並以通訊軟體成立通訊群組，或以電話會議方式，即時檢討急迫議題及進行改善。

總公司各功能領域經理定期集會評估同儕小組作業的有效性以及相關績效指標的狀況。

若有無法由同儕小組解決的議題，則提升至電廠廠長層次解決；若電廠廠長仍無法解決該議題，則提送至總公司高階主管會議處理。

- 安全文化問卷調查

2015 年及 2016 年分別對運轉中的核一、二、三廠的管理階層、工作人員以及承攬商員工進行問卷調查，主要依據世界核能運轉協會巴黎中心(WANO-PC)的問卷範本擬訂問卷，針對 10 項安全文化特質所屬的 40 個屬性，每一個屬性提 2 個問題，再加上過去 2 年安全文化是否有改善 1 個問題，合計 81 個問題。調查結果顯示員工對電廠安全文化各項特質/屬性的評價，一般說來員工對安全文化是否有改善有正面的評價，其它相對較弱的項目，各電廠已檢討其原因及擬訂精進作法。

- 大修安全管制

總公司在電廠的每次大修均派遣總處大修審查工作組到電廠

監控大修作業，工作組依功能分為 11 個分組，包括設計變更、輻射防護、停機安全、營運期間測試/檢測、維護、測試...，在大修期間，工作組領隊、2 位副領隊及各分組長經常駐廠監控大修作業。

目前監控的重點包括查證防止人為誤失的訓練成果，在大修前抽問支援大修的員工及承攬商，是否瞭解本廠及其它電廠先前的大修經驗回饋內容。

另外一項重點是防範異物入侵(FME)作業的執行，包括管理階層要向工作人員清楚說明防範異物入侵的政策，工具與材料的進出管制要妥善、要清楚地標示與分隔管制區、管制區內不可使用透明膠帶與鐵線，反應爐周邊的螺栓、螺帽與固定式鐵板要鎖緊。

最後是監控大修期間的作業觀察作為，重點放在工具箱會議要有部門間橫向聯繫、工具及機具設備檢查，以及落實使用雙重確認等人員防誤工具，任務交辦採三向溝通做法等。

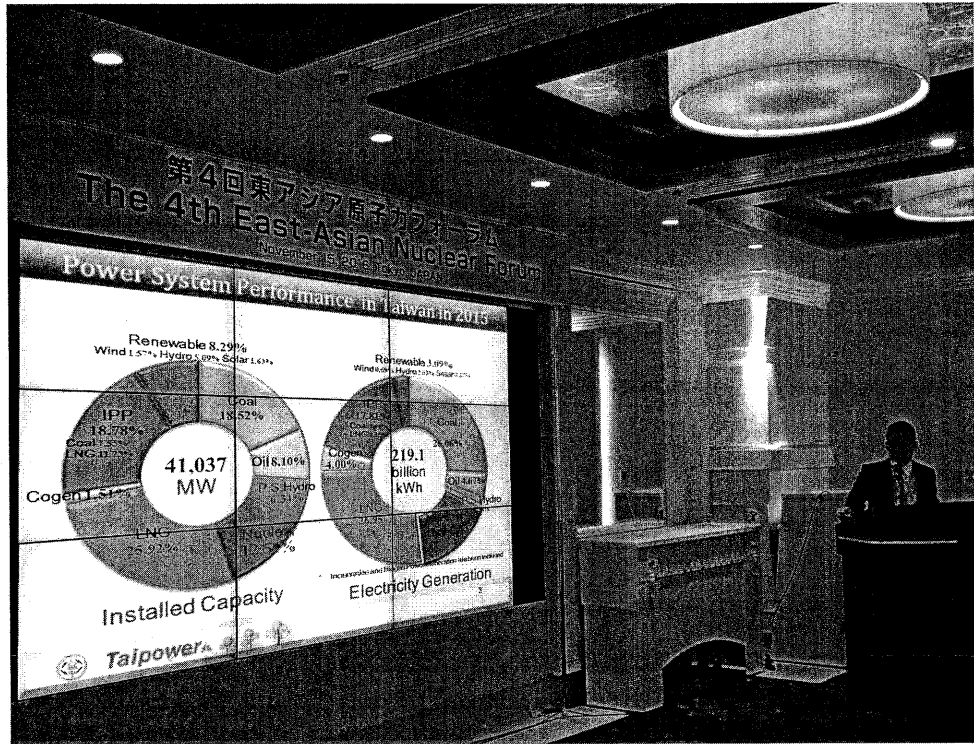


圖 8 台電公司簡報「台電核能電廠安全提升」



圖 9 第四屆東亞核能論壇各國出席人員合影

參、心得及建議

- 一、日本福島第一核電廠刻正在除役中，目前已發展的除污技術、防污染擴散作法、降低空間輻射劑量率、拆廠技術，廢棄物處置技術，遙控技術，均為推動核一廠未來除役極具參考價值的資訊，建議本公司與東京電力公司保持密切的合作，甚至可派員長期駐福島第一核電廠實地工作學習，引入東京電力公司的除役技術，俾核一廠能更安全有效地除役。
- 二、韓國今年即有第一部機組永久停機，進入除役階段，由於韓國原子力水力公司的除役作法與我國一致，為立即拆廠，惟時程規劃上，似較我國為短，且該國有發展除役產業的規劃，作為先行者，將有可供我國觀摩的先例，建議本公司多參與有韓國除役經驗回饋的國際會議，汲取該國經驗。
- 三、東亞核能論壇是東亞地區核能安全區域合作的重要機制，我國在外交困境下，參與類似論壇可以取得重要技術與資訊資源，也可建立積極的作關係，對於核能安全的確保，有一定的貢獻，建議往後仍繼續參與此一論壇。

