

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：開會)

參加第 2 屆台日核能專家會議

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：李采芬技士、蘇凡皓技士

派赴國家：日本

出國期間：106 年 07 月 14 日至 106 年 07 月 19 日

報告日期：106 年 09 月 01 日

摘要

原子能委員會綜合計畫處李采芬技士與放射性物料管理局蘇凡皓技士於參加「第3屆台日核能管制資訊交流會議」之後，另於7月14日拜訪日本核後端專家河西基博士，行前放射性物料管理局已先行提出許多乾貯與核廢料處理的相關技術問題，河西基先生以書面資料配上口頭解說，非常詳盡的回覆了所有問題，並告知相關實地應用的日本業務單位；之後於7月18日參加「第2屆台日核能專家會議」，台日雙方出席者十分踴躍，台方計有核能學會與行政院原子能委員會核能研究所、國立清華大學、核能資訊中心、核能與新能源教育研究策進會、泰興工程顧問公司等單位均有派員出席，日方則由日本原子力產業學會帶領日本方面的核能相關業界及電力業者出席，此次會議主題為電廠除役及核廢料處置領域，會中日台雙方提供許多有關除役與核廢料處置的相關知識及實務經驗，加深台日雙方的核能知識之分享與交流，後於7月19日返國。

目 錄

壹、 前言.....	p.4
貳、 行程.....	p.5
參、 工作紀要.....	p.6
一、 第 2 屆台日核能專家會議.....	p.6
二、 公務拜訪行程.....	p.23
肆、 心得與建議.....	p.26

壹、 前言

「台日核能安全研討會」係由中華民國核能學會與日本原子力產業協會(JAIF)簽定協議，台日雙方輪流於日本台灣二地辦理，藉由研討會交換核能領域之資訊與經驗，此次「第2屆台日核能專家會議」之台灣單位有原子能委員會、放射性物料管理局、核能研究所、台灣電力公司、清華大學、核能資訊中心、核能與新能源教育研究協進會、泰興顧問公司、益鼎工程顧問公司.....等產官學相關單位出席，日本方面則有日本原子力產業協會(簡稱 JAIF)、原子力除役研究會、關西電力公司、日本原子力發電公司.....等電力業者與民間相關業者與會。原子能委員會指派綜合計畫處李采芬技士與放射性物料管理局蘇凡皓技士出席該會議。會中由台日雙方多位核能專家學者進行核電廠除役、廢棄物處置與除汙相關等 10 項討論，藉由簡報分享雙方於核電廠除役之經驗與技術，而日本也邀請相關業者於會議中進行該公司之產品介紹，真正落實實質交流之目的。此次並拜訪了於日本電廠核後端工作頗有經驗的前電力中央研究所研究員河西基先生，河西先生與我們分享了許多核廢料乾貯與除役方面的經驗與知識，並針對我們的問題一一回覆，收穫頗豐。

貳、 行程

原子能委員會綜合計畫處李采芬技士與放射性物料管理局蘇凡皓技士於「第 3 屆台日核能管制資訊交流會議」之後，另於 7 月 14 日拜訪核後端專家河西基先生，並參加 7 月 18 日於日本東京舉行之「第 2 屆台日核能專家會議」，行程詳如表 1。

表 1 赴日本參加第 2 屆台日核能專家會議

日期	行程內容	地點
07/14 (五)	拜訪河西基先生	東京
7/15~16 (六、日)	假日及資料整理	東京
07/17 (一)	第 2 屆台日核能專家會議會前會	東京
07/18 (二)	第 2 屆台日核能專家會議	東京
07/19 (三)	路程：東京→台北	

參、 工作紀要

一、 第 2 屆台日核能專家會議

原能會綜合計畫處李采芬技士與放射性物料管理局蘇凡皓技士出席了 7 月 17 日由核能學會所主辦的「第 2 屆台日核能專家會議」台方歡迎晚會，會中所有台方出席人員共聚一堂，並於會中討論隔日會議之演講內容，先一步與國內產學界專家交流意見，核能學會並於稍晚時提供會議餐點；隔日(7 月 18 日)參加假東京都市中心酒店舉行的「第 2 屆台日核能專家會議」，主辦單位為日本原子力產業協會(JAIF)及台灣的中華核能學會(CHNS)，協辦單位為日本原子力除役研究會(ANDES)及台灣的原能會、物管局、台電公司、核能研究所、清華大學等單位，參加之單位除以上主辦及協辦單位外，尚包括台灣的核能資訊中心、核能與新能源教育研究協進會、益鼎公司、泰興公司、鉍原公司等財團法人及業者，日本方面則有 JAIF 會員，如電力業者、反應器/機器廠商、研究所、核能相關服務企業等。。

研討會一開始先由日本原子力產業協會(JAIF)的佐藤克哉(Katsuya Sato)常務理事致詞，歡迎台灣及日本的專家及業者與會，再來由台灣中華核能學會潘欽理事長致詞，代表台灣團感謝 JAIF 所有同仁之協調與準備，並配合台灣將議題放在核電廠除役及核廢料處置上，透過討論等經驗學習，讓台灣可以在除役及核廢管理領域借鏡日本。



圖 1：日本原子力產業協會(JAIF)佐藤克哉常務理事

以下為研討會報告摘要：

(一) 日本核能發電/核後端業務現況

這個部份由電氣事業聯合會原子力部大森武部長報告。日本原有 59 部核能發電機組，其中沸水式反應器(BWR)共有 35 部、壓水式反應器 (PWR)共有 24 部，但目前已有 10 部的 BWR 和 4 部的 PWR 已進入除役狀態。目前日本各電廠之除役、申請重啟或運轉狀態，如圖 2 所示。

Current status of investigation towards the resumption of operations ①

3

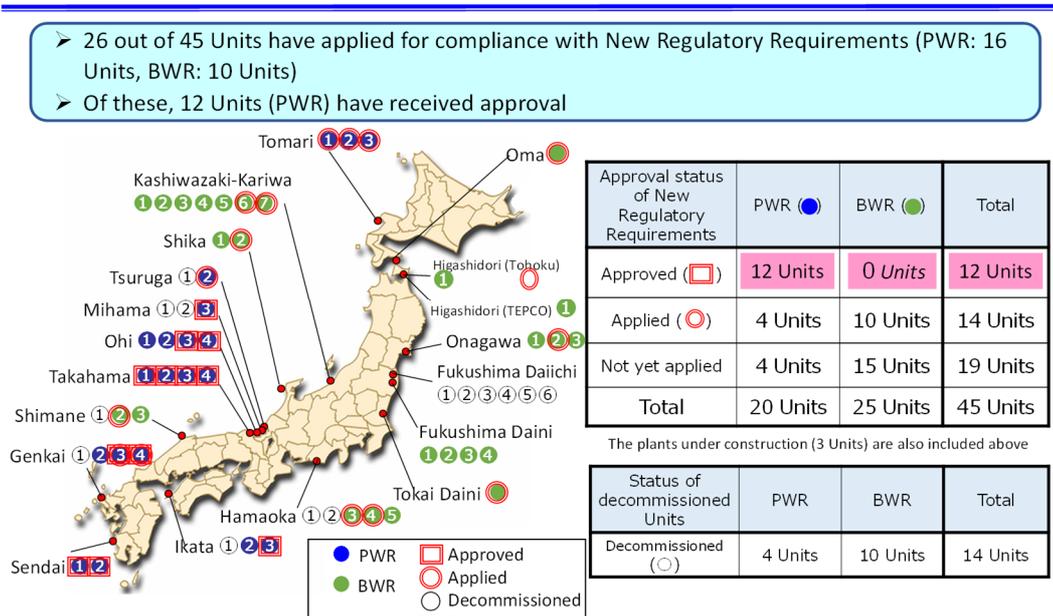


圖 2：日本各核電廠、各機組之除役、申請重啟或運轉狀態

目前已獲得 JAEA 認定，符合新管制標準的 12 部 PWR 核能發電機組中，只有 5 部 PWR 機組已經獲得重啟，包含九州電力公司川內核電廠的 1、2 號機組、關西電力公司高濱核電廠的 3、4 號機組、四國電力公司伊方核電廠的 3 號機組；另外 7 部 PWR 機組尚未獲得地方政府的同意，故尚不能重啟。

目前日本政府的能源方針是希望在 2030 年的最佳能源組成中，核電占比 20% - 22%。到 2030 年後，日本運轉逾 40 年的核能發電機組約有 20 部，其中約半數若不延役，將無法達到原先所訂定的核電占比目標。

(二) 台灣核後端業務之現況介紹

開始簡報前，由台電公司發言人林德福進行引言，說明台灣目前電廠之運轉及除役規劃狀態，才由台電公司核後端營運處技術分析課陳有賢課長進行台灣核電廠後端管理之詳細規劃說明。

台灣的核能電廠有四座，分別位在台灣的南北兩端，南部有一座位於屏東縣恆春鎮馬鞍山的核三廠，其他三座核電廠都位在北台灣的新北市界內，如位在金山的核一廠、國聖的核二廠和位於貢寮封存中的龍門廠。可發電的三座核能電廠其裝置容量，占台灣總電力比率為 12.2%。未來 8 年內各核能電廠將於運轉 40 年後，由核一廠開始陸續除役。

台電公司為了後續除役工作的順利進行，將積極推動集中式貯存設施 (Centralized Interim Storage Facility, CISF) 應急計畫，用來暫時貯存高階與低階放射性廢棄物。台電公司亦參考世界各國於 1986 年成立後端營運基金，以運轉中 6 部核能機組，運轉壽齡 40 年，其所產生的高、低放射性廢棄物，均採境內處置方式為計算基礎，預估約須新台幣 3,353 億元(97 年幣值)，迄今累計金額約 3,248 億元，並由核能後端營運基金管理會管理。

核一廠的除役對於台電公司和主管機關原能會都是第一次執行，因此核能工業的除役指標標準和獲得協助是需要的。協助核電廠執行除役技術的指標和經驗，對於順利成功除役將是非常有幫助的。

(三) TRR 研究用核反應器及台灣核一、二廠除役現況

核能研究所工程組李振弘副組長概述台灣核子反應器設施除役的相關法規與核子反應器設施現況，並說明目前台灣研究用反應器(TRR)與核一、二廠之除役成果與未來工作規劃。

TRR 除役計畫已於 2004 年獲得主管機關審核通過，除役工作第一階段執行的時間是從 2004 年至 2018 年，主要是完成用過核子燃料池污染物質的移除與清理，包含池水與結構。TRR 除役工作第二階段執行時程為 2012 年至 2028 年，主要是完成乾式貯存場(DSP)清除與爐體拆除作業，因

應 TRR 反應爐高活度組件之拆解作業，核能研究所也將開發遙控處理與水下切割之設施、機具，並進行 Mock-up 測試。

核一廠兩部機組之運轉執照有效期，將分別於 2018 年 12 月及 2019 年 7 月屆滿，除役計畫與除役環境影響評估報告已分別於 2015 年 11 月與 2016 年 1 月送交主管機關審查。核一廠除役計畫包括輻射特性調查、工作分解架構(WBS)、作業時程規劃、拆解及切割規劃、廢棄物處理、廠房及土地再利用規劃等項目，已於 2017 年 6 月獲得原子能委員會審查核可，未來待環境影響評估報告通過環境保護主管機關審查後，即可取得核一廠除役許可，開始執行停機過渡階段之工作。

核二廠一號機及二號機之運轉執照有效期，將分別於 2021 年 12 月及 2023 年 3 月屆滿。依據法規要求，必須在 2018 年 12 月 27 日前提送除役計畫至原子能委員會審查，目前正積極進行除役規劃工作與除役計畫編撰作業，預計可在 2018 年 11 月底左右完成除役計畫定稿，並送至原子能委員會進行審查。

(四) 敦賀核電廠 1 號機除役相關前置作業

日本原子力發電公司除役措施計畫推動辦公室荻込敏報告敦賀 (Tsuruga)核電廠的 1 號發電機組為日本最古老的沸水式反應器，其額定發電量為 357 MWe，在 2011 年初因為執行年度安檢而停機，但在同年的 3 月適逢發生福島核子事故，之後日本所有的核能發電機組均須重新通過審查後才可重啟，日本原子力發電公司因而在 2015 年 3 月宣布該座機組將不再重啟運轉，整個商轉的年限約 45 年，成為該公司第 2 個被除役的機組。

敦賀核電廠的 1 號機組其除役計畫已於 2017 年的 4 月 19 日核准，預計 24 年完成除役；可分成 3 個階段(如圖 3 所示)，即：第 1 階段的工程準備(自 2016 年至 2024 年，工作內容包含燃料的卸載、反應器進入安全貯存期等)、第 2 階段的反應器解體拆除(自 2025 年至 2033 年)、以及第 3 階段的建築廠房解體拆除(自 2034 年至 2039 年)。至於反應器周邊設備的解體拆除、除污、放射性廢棄物處置等工作，亦會在整個除役期間內執行。

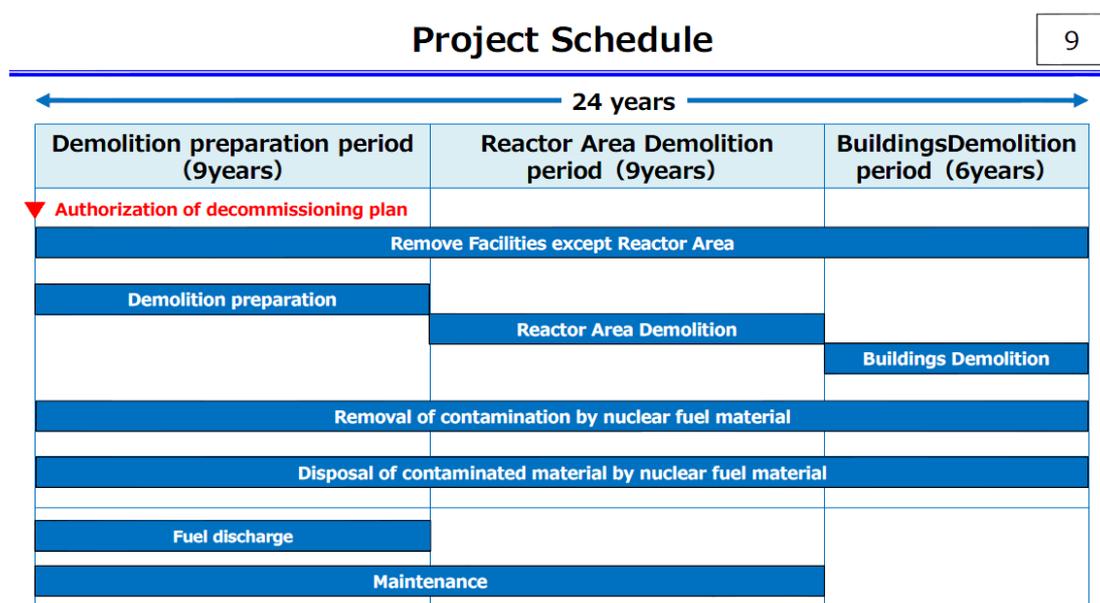


圖 3：敦賀(Tsuruga)核電廠之除役時程規劃

敦賀(Tsuruga)核電廠並不進行系統化學除污，因主要系統管路更新不久，經評估其污染程度不高，因此不進行系統化學除污。汽機廠房將會更改為廢棄物之暫時貯存空間，接著，亦會將反應器廠房進行改裝，作為工作區域及廢棄物暫時貯存區域，此部分之改裝及暫貯規劃，與未來核一廠除役之規劃類似。而其中可以借鏡的是，敦賀電廠規劃進行 torus(抑壓池)內之水處理，此部分未來核一廠應考量並評估是否實施。

而圖 4 為日本各類放射性固體廢棄物之貯存方式，其中活度最高的 L1 廢棄物，規劃暫時貯存在反應器廠房內，預計 300 噸的固體廢棄物未來則置於中深度(intermediate depth)的坑道中；L2 的廢棄物則暫時貯存於汽機廠房中(黃色方框內，沒有進行改裝，只有將設備拆除後進行貯存)，約 650 噸的廢料規劃置於深地表處置(sub surface disposal)；低微污染的 L3 廢棄物則暫時置放於 55 加侖桶內，暫存於廠區的 drum yard 內(為室內倉庫)，如投影片的三處綠色方框內，未來則作為近地表處置(near surface trench disposal)；清潔廢棄物(CL material)在汽機廠房一樓做污染檢測(如藍色方框)後，將來規劃做外釋作業，此外釋作業目前並未開始實施，主要原因也是考量民眾之接受度，此些清潔廢棄物都還堆置在廠內。

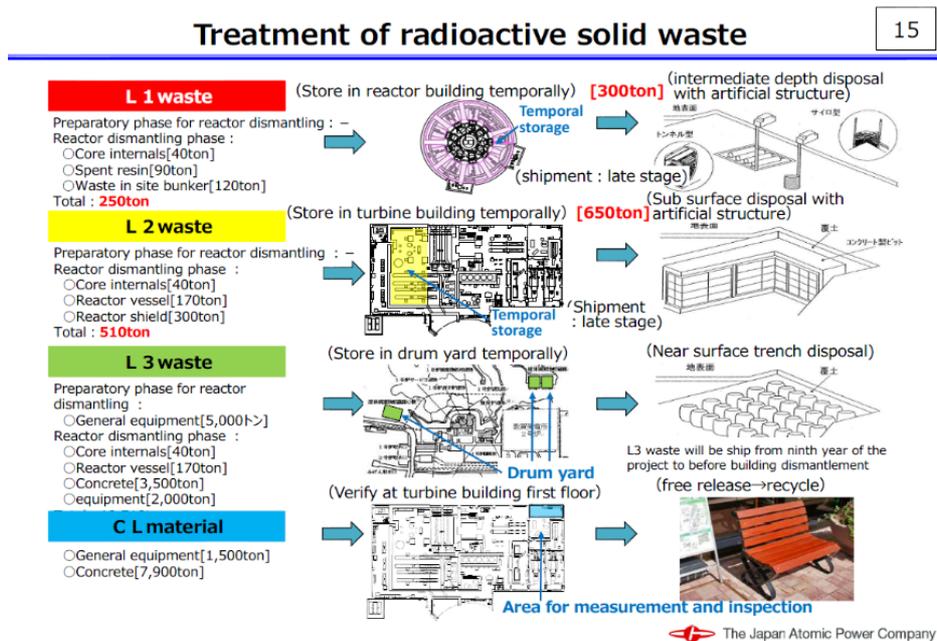


圖 4：日本低放射性固體廢棄物之貯存方式

(五) 美濱核電廠 1、2 號機除役相關前置作業

此節關西電力公司原子力事業本部除役措施技術中心伊阪啓介紹，美濱(Mihama)核電廠的 1、2 號機為日本較小型的壓水式反應器(PWR)，1、2 號機組的商轉年月分別為 1970 年的 11 月和 1972 年的 7 月，額定發電量分別為 340 MWe 和 500 MWe，其為關西電力公司(Kansai Electric Power Co.,

Inc., KEPCO)的第 1 個除役計畫，也是日本首批邁入除役的壓水式反應器(另外一座為玄海核電廠的 1 號機組)。該 2 座機組於福島核子事故後停機執行安全審查，但也於 2015 年的 3 月 17 日宣布不再重啟運轉。

美濱核電廠 2 座機組的除役計畫共可分為 4 個階段(時程約 30 年)，即：第 1 階段的工程準備(自 2017 年至 2021 年，工作內容包含系統除污、殘餘輻射的度量、核燃料的卸載、開始執行輔助設施的拆除、反應器進入安全貯存期等)、第 2 階段的反應器周邊設備解體拆除(自 2022 年至 2035 年)、第 3 階段的反應器解體拆除(自 2036 年至 2041 年)、以及第 4 階段的建築廠房解體拆除(自 2042 年至 2045 年)。而各階段規劃拆除之主要設備及範圍如圖 5 所示，在第 1 階段主要進行移除用過燃料(removal of nuclear fuel)、特性調查(survey of residual radiation)、系統化學除污(system decontamination)及汽機廠房內主要設備之拆除(turbine、condenser、generator)，預計 2017 年 7 月將進行系統除污。

Major Decommissioning Work

16

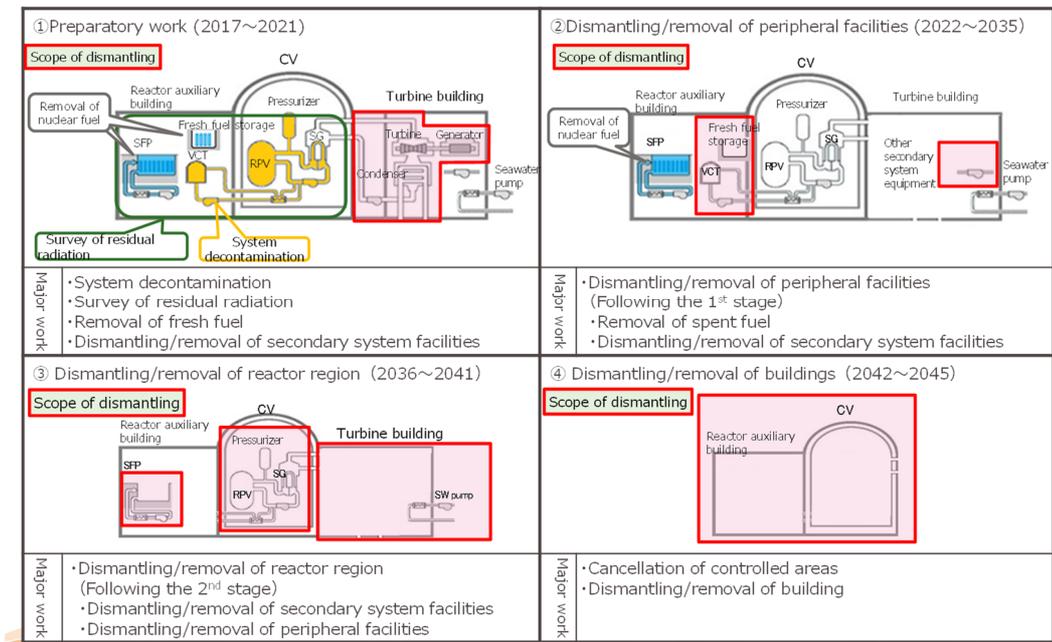


圖 5：美濱(Mihama)核電廠除役各階段規劃拆除之主要設備及範圍

值得注意的是，與日本絕大部分除役計畫比較不同的地方，美濱除役

計畫中所規劃的「核燃料卸載」與「反應器安全貯存期」，其期間長達約 20 年，將橫跨整個除役計畫的第 1、2 階段。另外，如圖 6 所示為美濱核

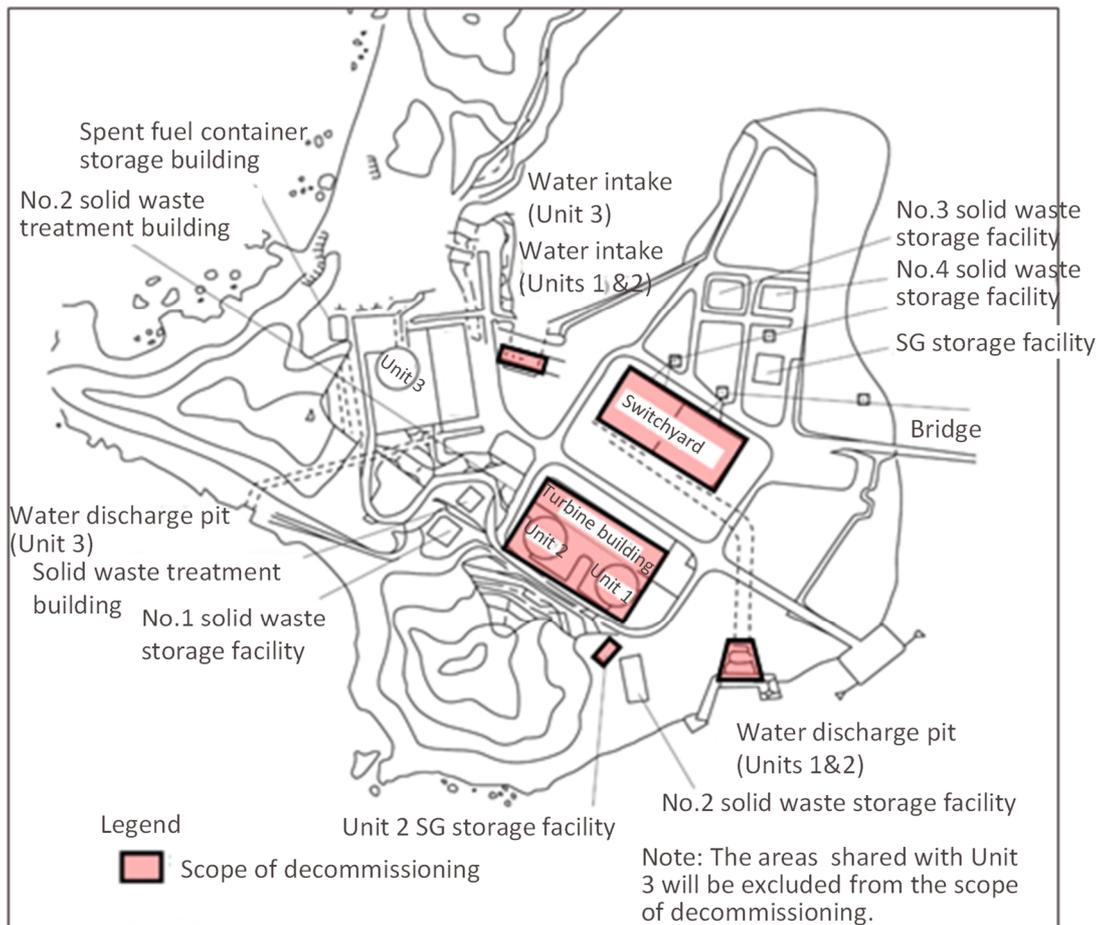


圖 6：美濱(Mihama)核電廠 1、2 號機之除役時擬拆除之設施範圍

電廠之除役時擬拆除之設施範圍，包含反應器廠房、汽機廠房及轉換場等地(粉紅色框線標示)，其中規劃有 2 個廢棄物處理處(藍色框標示)及 4 處廢料貯存設施(紅色框標示)，但無法確認廢料貯存設施為室內或室外。

(六) 普賢 Fugen 核電廠除役措施之現狀與技術發展

日本原子力研究開發機構 JAEA BE 研發部反應器除役措施研發中心(Fugen)井口幸弘副所長報告為增加日本鈾鈾混和氧化物燃料(簡稱 MOX 燃料)及再循環鈾的使用經驗，日本核燃料開發事業集團(現為 JAEA)於 1976 年即開始進行進步型高溫反應器的開發，也就是今日的普賢(Fugen)核電

廠。這是一座全球首座爐心使用全 MOX 燃料的進步型熱中子滋生式反應器(Advanced Thermal Reactor, ATR)，於 1970 年底開始建造、於 1979 年 3 月開始運轉、至 2003 年 3 月底停機，其額定發電量為 165 MWe。其基本資料如圖 7 所示。



Schematic Diagram of FUGEN

Advanced Thermal Reactor "FUGEN"

Core : Pressure Tube Type
 Moderator : Heavy Water
 Coolant : Boiling Light Water
 Output : 165 MWe (Proto-type)

- Commercial operation : March, 1979
- Final Shutdown : March, 2003
- Approval of the decommissioning Plan : Feb. 2008

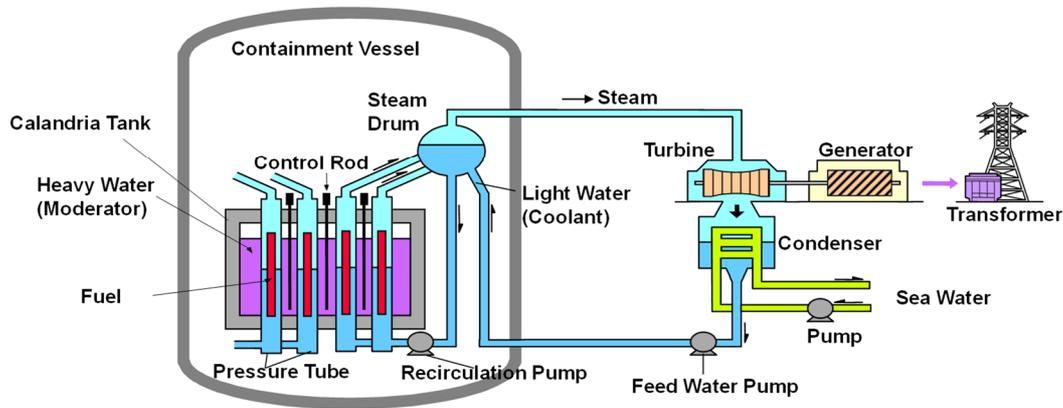


圖 7：普賢(Fugen)核電廠之基本資料

普賢核電廠的除役計畫共分成 5 個階段，即：第 1 階段的工程準備(自 2003 年至 2008 年)、第 2 階段的用過核燃料轉移(自 2008 年至 2018 年)、第 3 階段的反應器周邊設備解體拆除(自 2018 年至 2023 年)、第 4 階段的反應器解體拆除(自 2023 年至 2032 年)，以及第 5 階段的建築廠房解體拆除(自 2032 年至 2033 年)。

普賢核電廠於 2003 年初關閉後即開始進行第 1 階段的除役工作，包含反應器內用過核燃料及重水(D₂O)的移出等作業。值得注意的是，與日本其他除役計畫比較不同的地方，普賢核電廠的除役計畫為日本唯一沒有訂定「反應器安全貯存期」的除役計畫。

另一方面，因為普賢核電廠的反應器並非商業用途，故 JAEA 並未在普

賢的運轉期間內累積除役經費，因此，普賢核電廠除役的資金來源單獨是由日本文部科學省來負擔。惟普賢核電廠的除役計畫小組與日本原子力規制委員會(NRA)均認為文部科學省所提供的經費有限，要在這種情況下來執行整個除役過程有其困難性。除了經費不足的問題外，反應器爐心的拆解也是除役小組目前面臨到的困境之一，因為該種反應器爐心的構造比一般反應器的還要複雜，拆解過程中所使用的工具也有其限制，因此除役小組目前仍在積極研發多種反應器的切割技術。

普賢(Fugen)核電廠採用之系統化學除污方法為 HOP 技術(Hydrazine Oxalic acid Potassium Permanganate)，採用聯氨、草酸及過錳酸鉀溶液進行氧化還原處理(Reduction and Oxidation process, REDOX)，溫度須維持在 90°C 左右，其詳細作用機制如圖 8 及圖 9 所示。其系統除污之表面劑量率前後結果比較如圖 10。

普賢電廠目前之拆除工作包含飼水加熱器(feed water heaters)等設施，拆除前後應有使用塑膠布搭建臨時之帳篷，防制污染擴散用。



Fugen Decommissioning Project

Applied Chemical Decontamination



HOP method

(Hydrazine Oxalic acid Potassium Permanganate)

- Reduction and Oxidation process (REDOX)
- To dissolve deposited chromium oxide due to the decrease of dissolved oxidation caused by the hydrogen injection for countermeasure against the SCC
- **Applied treatment agent**
 - Oxidant : KMnO_4 ~ 500ppm
 - Decomposed with $(\text{COOH})_2$, then IER treated
 - Reductant : $(\text{COOH})_2$ 2000ppm (controlled in pH2.5 by adding N_2H_4)
 - Decomposed with H_2O_2 in catalyst beds
- **Operation Temperature : $90 \pm 5^\circ\text{C}$**
- **Process: (Oxidization>Reduction) > (Oxidization>Reduction)**

圖 8：普賢(Fugen)核電廠應用之系統化學除污技術

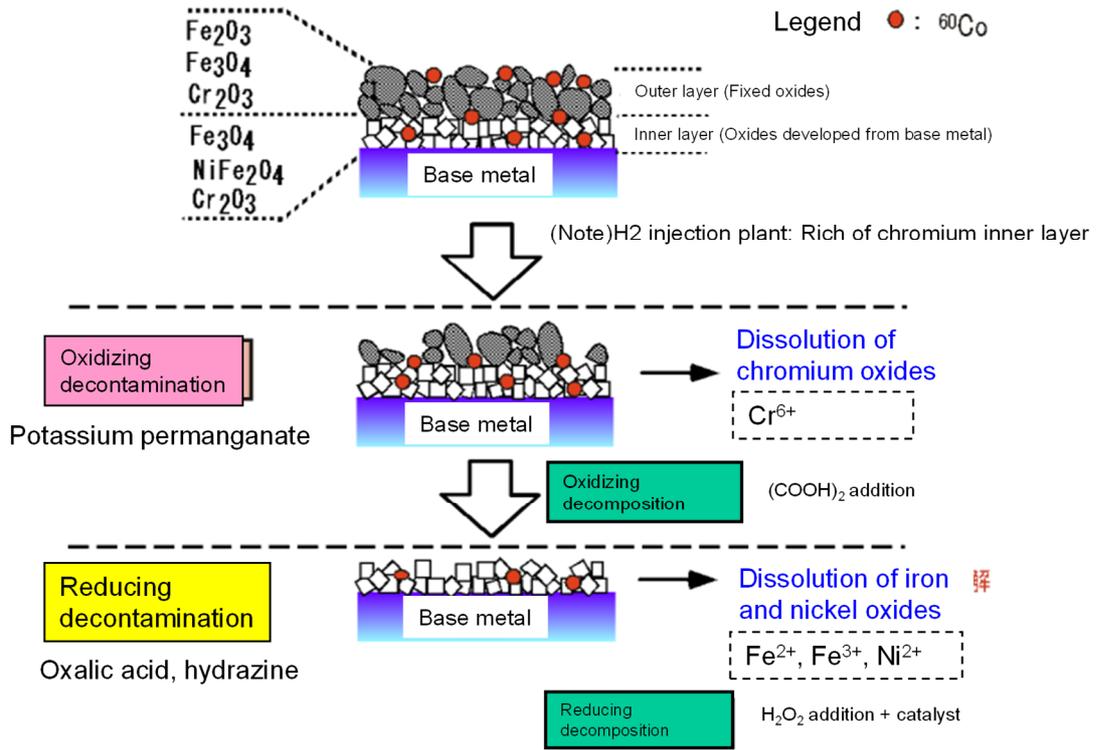


圖 9：HOP 系統化學除污技術之除污機制



Surface Dose Rate on Each Component Before and After Decontamination

Fugen Decommissioning Project



Component	Loop A		Loop B		Target of dose rate (mSv/h)
	Dose rate (mSv/h)		Dose rate (mSv/h)		
	Before	After	Before	After	
Steam drum	0.45	0.23	0.73	0.26	0.20
Down comer	0.23	0.03	0.43	0.08	
Manifold	0.18	0.04	0.17	0.04	
RCP discharge pipe	0.30	0.01	0.40	0.05	
Lower header	0.71	0.10	0.42	0.06	
Inlet tube	0.84	0.04	1.22	0.11	
Riser tube	0.59	0.11	1.76	0.34	
Average DF	10.6		6.9		

圖 10：普賢(Fugen)核電廠系統化學除污表面劑量率之除污前後比較

(七) 台灣核反應器壓力槽及爐內組件切割規劃

核能研究所核後端研究中心楊慶威副主任以台灣第一核能發電廠為例，簡介核反應器壓力槽及爐內組件切割規劃。簡報內容分為四個部份，包含目前台灣運轉中的六部核能機組簡單介紹；核反應器壓力槽及爐內組件切割拆除技術中，可選用的技術方法以及其優缺點與國際上經驗學習；金山電廠反應器壓力槽及爐內組件切割規劃；以及後續研發工作重點。反應器壓力槽爐內組件拆解規劃將以水下遙控機械式切割工法為主體，搭配放電加工金屬破碎機等熱切割工法，在爐心拆除大塊組件再吊運到存放池進行細部切割與廢棄物裝箱作業，反應器壓力槽體切割規劃以機械式切割搭配氧-燃料火焰熱切割技術，由上而下大塊切割裝箱。後續工作重點包括研發設計模組化的遠端遙控水下切割機具、吊運操作工具，以及需搭配的切割作平台，並須在模擬操作設施中驗證機具與技術能力；本土化製造為目的的放射性廢棄物容器設計、申照；運用 3D 工程模擬技術，針對反應爐與內部各類組件特性與廢棄物分類，發展切割計畫與相對應的廢棄物裝箱計畫。

(八) 台灣核一、二廠除役輻射特性調查及廢棄物盤點

此議題由核能研究所保健物理組陳韋新助理研究員報告，根據「台灣核子反應器設施管制法及其施行細則」規定，設施經營者應於核子反應器設施預定永久停止運轉的 3 年前向主管機關提出除役許可申請，且須取得主管機關審核同意，核發除役許可後的 25 年內完成核電廠的除役作業，而國外大多都是在永久停機後才提送核電廠的除役計畫。也因為如此，輻射特性調查就會被迫在比較早期的階段來做執行，故目前只能利用電廠的大修期間，且是在沒有做任何系統除污的情況下，來進行輻射的特性調查作業，對某些暫時無法進入做量測的區域，則會參考廠址的歷史資料，用先前已有的劑量率量測數據，來保守高估除役廢棄物的產量和活度。未來較

準確的輻射程度及廢棄物活度評估，應以後續更進一步的輻射特性調查為準。

陳助理研究員參考美國多部會輻射偵檢與場址調查手冊(MARSSIM)，介紹輻射偵檢和廠址調查的方法，其可提供除役計畫和廢棄物盤點相關的輻射資訊，且輻射特性調查可從廠址運轉歷史資料和廠址輻射偵檢結果來對廠址區域做劃分(包含：受影響區和不受影響區)，而其成果可以回饋到核電廠的除役計畫中(包含：拆除工法及除污技術的選擇、廢棄物產量及除役成本的評估、安全分析及環境影響評估等)。

根據國外核電廠的除役經驗，廢棄物盤點是除役規劃中的重要項目，其會影響除役期間所採用之拆除與除污工法、除役成本估算、廢棄物包裝容器選用、工作人員劑量評估、以及低放處置場的設計等。因此，首先要發展除役廢棄物產量的評估方法，包含物料的盤點和放射性活度的評估。

(九) 除役過程之拆除廢棄物之處置思維

核後端推動中心(RANDEC)澀谷進專務理事&廢棄物處置事業推動部長報告日本的低放射性廢棄物可以分成 L1、L2 及 L3 三個級別，分別為 L1 相對高的低放射性廢棄物(relatively high low-level waste)、L2 相對低的低放射性廢棄物(relatively low low-level waste)及 L3 非常低的低放射性廢棄物(very low low-level waste, VLLW)。

L1 廢棄物的處置方式會採用次表面處置(sub-surface disposal)且有外加工程屏壁，整個處置深度至少要離地表 70 m 以上，其監管期約數百年；L2 廢棄物的處置方式會採用近地表處置(near-surface disposal)且有外加工程屏壁，例如混凝土場(concrete pit)，其監管期約 300 年；L3 廢棄物的處置方式會採用近地表處置(near-surface disposal)且沒有加工程屏壁，例如壕溝(trench)，其監管期約 50 年。針對高放射性廢棄物(high-level waste, HLW)

及超鈾(trans-uranium, TRU)廢棄物，其處置方式為深層(指至少要離地表 300 m 以上)地質處置。

在日本的 57 座核電廠中，廢棄物的總量約 1,341,000 MT。其中，L1 廢棄物約 8,000 MT(占 0.6%)、L2 廢棄物約 63,000 MT(占 4.7%)、L3 廢棄物約 380,000 MT(占 28.3%)、可外釋廢棄物約 890,000 MT(占 66.4%)。

在廢棄物包裝容器的選用部分，L1 廢棄物是採用屏蔽包件(shielding package)，容量約 4 m³；L2 廢棄物是採用貯存容量約 200 公升的不銹鋼桶(steal drum)，或是大範圍的包件(large scale package)，容量約 5 m³；L3 廢棄物是採用太空包(flexible container)，容量約 1 m³，或是不銹鋼箱(steal box)，容量約 1 m³ 到 2 m³ 不等。

(十) 台灣核電廠除役及廢棄物管理

核能研究所化學工程組蕭憲明副研究員報告主題為核一廠於除役期間，放射性廢棄物(包含非放射性廢棄物)之初步規劃，以便因應除役期間龐大廢棄物數量需處理之問題。首先介紹核一廠之除役時程規劃，及核一廠除役時拆除區域與保留區域之說明；核一廠依據法規規定，應於 25 年內完成除役作業，主要分為四個階段(8 年、12 年、3 年、2 年)，第一階段的 8 年為準備階段(招標文件準備及特性調查、系統除污等工作)，最主要的拆除規劃為第二階段的 12 年，期間須將汽機廠房及聯合結構廠房內之所有運轉設施全數拆除，並進行相關的除污或減容處理；此期間之拆除，初步規劃以汽機廠房拆除為優先，其次為聯合結構廠房，因汽機廠房之污染較低，且該些區域於除役期間規劃進行改裝後，設置切割中心或除污設施，因此須於拆除階段前期即進行拆除。

第二部分介紹除役期間廢棄物處理策略及各項廢棄物之處理原則及方法；核一廠除役期間之廢棄物管理策略。主要可以分為 7 個方向，第一，針對核一廠運轉系統，應進行全面之盤點；第二，規劃除役期間擬採用之

切割技術，並安排暫時處理區域；第三應考量各類廢棄物相對應盛裝之容器種類；第四評估系統除污及組件除污之時機及方法；第五部分規劃廢棄物減容處理；第六部分為廢棄物之暫貯規劃；第七部分為清潔廢棄物之外釋。

再來，針對用過核子燃料、爐內組件及爐體的拆除規劃及原則做較詳細之說明與介紹；第四部分則描述兩個細部之規劃說明：廢棄物運送規劃及汽機廠房之改建，包括時程、目的及處理區域設置等。

(十一) 反應器周遭三維中子通量計算方法的比較研究

清華大學核子工程與科學研究所許榮鈞所長述明此研究反應器壓力槽周遭三維快中子通率的初始動機為核電廠延役計畫，因為電廠延役必須要去評估材料的壽命，而快中子就是衡量反應器壓力槽是否有受到損傷的一個指標。惟單純去直接計算三維全爐心的快中子通率是非常不切實際且相當耗時的，故應改以其他方法來做計算，例如傳統的多維度(結合一維加二維)合成法或三維的中子遷移計算法等。

三維的數值計算方法大致可以區分成兩大類：一類是決定論法(deterministic method)，常用程式例如 TORT；另一類是蒙地卡羅法(Monte Carlo method)，常用程式例如 MCNP。此兩種方法在計算的本質上有著非常大的差異：決定論法是直接先將方程式給離散化，之後再配合一些數值方法來做求解；而蒙地卡羅法則是直接模擬大量粒子的遷移歷史，以求得平均的粒子遷移行為。近年來持續研發精進，結合決定論法和蒙地卡羅法的優點後，發展出一套混合的遷移計算法(hybrid transport calculation method)，可以有效率地去計算反應器壓力槽周遭三維快中子的通率，例如 MAVRIC 就是一套結合決定論法和蒙地卡羅法的評估程式。

(十二) 輻射污染建築的拆除經驗

清華大學原子科學技術發展中心劉鴻鳴副主任首先說明清華大學某棟建築物的污染歷史：在 1970 年，一個包裝容器破損的鈹-137 射源被送到清華大學，清華大學在原子能委員會要求下將其暫存於校園偏僻處的地下貯存室內。在 1977 至 1978 年間，地下貯存室附近進行建築工程，工人擅自將水引進地下貯存室，並用遭受污染的水源攪拌水泥使用，導致整棟建築遭受輻射污染。在 1978 至 1982 年間，進行主要污染的除污作業，直到空間輻射劑量率降至背景輻射的 1 至 2 倍才陸續開放使用，但仍有低劑量的輻射存在建築結構內。直到 2011 年學校決定進行該建築的拆除規劃，並於 2016 年 8 月開始拆除清理，最終於 2017 年 5 月完成清理作業。

在拆除作業期間，校園內的粉塵及輻射空浮濃度是全校師生高度重視的焦點，因此本作業有加裝「防塵帆布」，並建置「水霧噴灑系統」來降低粉塵量。而在清理作業期間，有針對環境輻射空浮濃度進行監測，除了在靠近作業區設置兩座連續「固定式」抽氣裝置之外，並考量不同作業條件及氣象條件，利用「移動式」抽氣設備進行抽氣監測，結果顯示：清理作業期間即使有微量空浮產生，其濃度皆低於 0.1 mBq/m^3 。

另針對混凝土的分類檢整程序做概述：第一步先進行過篩，將混凝土依據顆粒大小進行分類。第二步則針對無法再進行檢整的混凝土微粒進行初步分析。第三步則針對較大顆粒的混凝土執行線上檢驗，分析或檢驗合格的混凝土則被送進規劃的大鐵箱中暫存，等待進一步取樣分析。通過解除管制分析的混凝土便可進行外釋作業，從裝車、管制單位視察、隨車追蹤、直到外釋混凝土進入合格土資場，並填寫相關記錄才算完成外釋作業；至於輻射污染活度超過外釋標準的混凝土，則必須進行貯存作業，整個過程包括秤重、裝車運送、接收、入庫貯存等。

完成拆除及清理作業後的建築基地，在經過輻射污染檢測確認無輻射污染殘留疑慮後，目前已規劃做為臨時停車場。整個拆除作業從 2016 年 8

月開始，到 2017 年 5 月完工，前後歷經共約 10 個月的時間，整體過程順利並無意外發生。

(十三) 閉幕致辭

首先由台電公司林德福發言人致詞，此次會議以核電廠除役為重點，除特別演講外，雙方共發表 10 篇論文，且熱烈討論及意見交換，均有實質之獲益，感謝 JAIF 及與會者的參與。接著日方由高橋明男(Akio Takahashi)理事長致詞，感謝台灣專家遠道而來，期待下一屆的會議；隨後進行合影留念如圖 11。



圖 11：第 2 屆台日核能專家會議與會者合影

二、 公務拜訪行程

拜會河西基先生

河西基博士為前電力中央研究所之研究人員，為核後端之專家，亦曾多次受邀來台演講。在本次訪日前，已將相關提問資料寄送河西先生，並於 7 月 14 日拜會時進行說明及討論(如圖 12)。討論議題摘述如下：



圖 12：由左至右分別為李采芬、河西基、蘇凡皓與宋宜蓉

(一) 除役方面

1. 問：日本核電廠除役過程產生廢棄物的去向？

包含一般事業廢棄物、低放射性廢棄物與用過核子燃料，是暫存於廠址內或是送至六所村處理？

答：用過燃料送回原製造商或運往再處理設施處理；L1 廢棄物尚未決定，目前暫存於電廠；L2 廢棄物送往六所村處置；L3 廢棄物由各電廠自行決定，多於廠址內掩埋。

2. 問：核電廠除役後的土地再利用有無相關的管制規定？

答：NRA 目前尚在評估檢討中。

3. 問：核電廠除役產生之極低微污染放射性廢棄物進行外釋或再利用，有無相關管制規定？

答：原子力安全保安院曾制定相關規定，目前由 NRA 延續使用。

4. 問：針對除役核電廠的廢棄物管理，有無設定豁免管制標準、限定棄置標準或任意棄置標準？若有，其相關的標準值是如何訂定的？

答：NRA 針對 58 種核種訂有清潔標準，若低於其標準則不屬於放射性廢棄物範圍，不受管制。

5. 問：日本核電廠永久停止運轉至拆廠之過渡期間，有無相關管制規定？

答：針對原子爐停止運轉、燃料棒移出、除役計畫申請許可、開始進行拆除作業等各階段，NRA 均訂有相關規定進行管制。

6. 問：日本核電廠除役相關之資訊公開及公眾參與方式為何？

答：將除役相關資訊公布於經營者的官方網站上，並廣邀當地政府、議員與當地公民團體就除役作業相關事項進行討論。

7. 問：日本核電廠除役期間，如何管理放射性廢棄物產量與工作人員劑量？

答：依照不同型式、發電功率之反應爐，訂定各自的 L1、L2、L3、CL、NR 廢棄物數量與工作人員劑量估計值，並作為除役期間之管控標準。

8. 問：如何確保核電廠除役期間的作業安全？對高風險性工作有無防範措施？

答：在除役審查的過程中，依據相關的審查標準針對安全管理方法進行詳細的評估及確認。

9. 問：日本核電廠除役期間 NRA 是否派員檢查？有無特別強化的管制措施？

答：除了駐廠檢查外，亦有定期檢查、保安檢查等定期檢查工作。

10. 問：台灣的核電廠除役工作才剛開始，想請教實際作業期間有哪些需要特別注意之處？

答：台灣核電廠除役的拆除流程是由內而外，先移除燃料，拆解反應爐後，再進行外圍設施的拆除工作。日本與台灣相反，採用的是由外而內的拆除流程，先拆除外圍設施累積經驗後，再進行反應爐的拆除工程，如此將可提高作業人員的熟練度，並降低意外發生的可能性。

(二) 乾式貯存方面

1. 問：日本用過核燃料室內乾式貯存設施管制法規、申照審查導則及接受標準為何？可否以再循環燃料貯存中心(Recyclable-Fuel Storage Center)審查作業為例進行說明。

答：自原子力安全保安院時代以來，東京電力的再循環燃料貯存中心均依據相關法規提出申請，各作業流程亦公布於東電網站上。2014年1月NRA新的管制規定頒布後，東京電力重新考量嚴峻事件之影響，並向NRA提出事業變更許可之申請，目前進行審查中。

2. 問：日本對於用過核燃料乾式貯存設施安全管制資訊透明化與民眾溝通措施為何？

答：與除役作業相同，參照前項第6題。

3. 問：福島第一核電廠設有 Common Spent Fuel Storage Pool，該設施的用途為何？是否為機組運轉後再行建造的？與乾式貯存設施的關聯性為何？

答：設置共用燃料池的目的為盛裝各機組產生之用過核子燃料，當各機組自己的用過燃料池貯滿時，可作為緩衝空間使用。活度已降低的用過燃料會移出燃料池，改以乾式貯存方式盛裝，並暫存於電廠內。

肆、心得與建議

- 一、本屆台日核安研討會的內容包含台日核電的現況介紹、除役實績與今後規劃、廢棄物盤點與管理等諸多議題，雙方建立技術交流平台與溝通聯繫管道，這對除役計畫的執行面上非常有幫助，建議未來應持續參與此專業會議。
- 二、我國首度進行商用核能電廠之除役規劃，透過資料研閱、資料蒐集、技術交流及參訪經驗累積等，均顯示我國除役計畫所規劃之方向正確
- 三、日本目前已獲 JAEA 認定，在福島事故後符合新管制標準的 12 部 PWR 核能發電機組中，有 5 部 PWR 機組已經獲得重啟，包含：九州電力公司川內核電廠的 1、2 號機組，關西電力公司高濱核電廠的 3、4 號機組，四國電力公司伊方核電廠的 3 號機組，建議台電公司未來可以設法汲取這些核電廠與民眾溝通的寶貴經驗
- 四、當電廠永久停止運轉後，務必要進行除污的工作，以減少工作人員的曝露劑量，以符合合理抑低(ALARA)的精神