

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 3 屆台日核能管制資訊交流會議  
及參訪活動

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：邱賜聰副主任委員、張欣處長、廖俐毅主任、  
陳志平副處長、廖家群副處長、何恭旻科長、  
鄭武昆簡任技正、周宗源技正、李采芬技士、  
蘇凡皓技士

派赴國家：日本

出國期間：106 年 07 月 9 日至 106 年 07 月 14 日

報告日期：106 年 08 月 18 日

## 摘要

台日雙方於 2014 年 11 月 20 日由亞東關係協會(現已更名為台灣日本關係協會)與日本交流協會(現已更名為日本台灣交流協會)簽署「核能管制資訊交流備忘錄」，建立臺日雙方的政府合作交流機制，並建構雙方政府管制機關間的交流管道。依據「核能管制資訊交流備忘錄」台日雙方每年輪流舉辦「台日核能管制資訊交流會議」，今年「第 3 屆台日核能管制資訊交流會議」由原能會邱賜聰副主任委員率團前往東京參加，以加強本會與日本政府間的核能合作交流；雙方共發表 11 篇專題報告，會議期間邱副主委並拜會下任原子力規制委員會更田豐志委員長，除深入交流核能相關領域知能外，並交換了有關核能安全文化方面的意見，收穫頗豐。

其後訪團一行在原子力規制廳的安排下，於 7 月 12~13 日參訪原子力開發機構所屬之東海、東海第二核電廠及 JPDR 電廠，深入瞭解日本在福島事故後採取的電廠強化措施、乾貯與電廠除役等方面的管制情形。此次赴日參加會議、參訪核電廠及拜會等活動，對於維繫、強化台日雙方在核能安全領域的交流與合作，有實質上的助益。

# 目 錄

壹、	前言.....	p.4
貳、	行程.....	p.5
參、	工作紀要.....	p.6
一、	第 3 屆台日核能管制資訊交流會議.....	p.6
二、	公務拜訪行程.....	p.45
三、	東海・東海第二發電廠及 JPDR 參訪.....	p.52
肆、	心得與建議.....	p.61
伍、	附錄.....	p.62

## 壹、 前言

亞東關係協會與日本交流協會於 2014 年 11 月 20 日簽署「核能管制資訊交流備忘錄」後，2015 年日本原子力規制廳即邀請我國原子能委員會赴日本東京出席台日核能管制資訊交流會議，今年 7 月 10~11 日於東京舉行的「第 3 屆台日核能管制資訊交流會議」，由原子能委員會邱賜聰副主委率團出席，並安排 7 月 12~13 日參訪日本原子力發電所屬之東海及東海第二核電廠、與已除役完成之原子力開發機構所屬之 JPDR 電廠，以瞭解日本核電廠在除役與乾貯方面的實際管制措施及福島事故後採取的強化措施。

## 貳、 行程

邱副主任委員一行 10 人於 7 月 9 日抵達日本，於 7 月 10-11 日出席「第 3 屆台日核能管制資訊交流會議」。邱副主委因有其他公務 7 月 12 日先行返國，由張欣處長率其餘團員共 9 人，於 7 月 12~13 日參訪日本原子力發電公司所屬之東海・東海第二及 JPDR 核電廠，並於 7 月 14 日返國，行程詳如表 1。

表 1 赴日本參加第 3 屆台日核能管制資訊交流會議

日期	行程內容	地點
07/09 (日)	路程：台北→東京	東京
07/10 (一)	第3屆台日核能管制資訊交流會議	東京
07/11 (二)	第3屆台日核能管制資訊交流會議	東京
07/12 (三)	東海・東海第二發電廠參訪	茨城
07/13 (四)	JPDR電廠參訪	茨城
07/14 (五)	路程：東京→台北	

參、 工作紀要

一、 第3屆台日核能管制資訊交流會議 (7月10~11日)

此次會議地點為日本東京霞之關地區的法曹會館舉行，雙方一共報告了11個交流議題及5個合作項目，出席人員共有原子能委員會10人、駐日代表處1人、原子力規制廳16人、日本台灣交流協會2人(如附錄一)與中日口譯2人，共計31人。會議時間及議程如表2：

表2 第3屆台日核能管制資訊交流會議議程表

Date/ 日期	Time/時間	Agenda/活動內容
7/10 (一)	09:30~09:40	報到
	09:40~10:00	<b>Opening Address/開幕致詞</b> (日) 日本交流協會 江藤俊浩貿易經濟部長 (台) 台日關係協會 駐日代表處吳悅榮秘書 (日) 原子力規制委員會 櫻井道夫技監 (台) 原子能委員會 邱賜聰副主任委員
	10:00~12:00	Topic 1. (日) 日本廢爐管制措施 60 mins. 原子力規制部 白井曉子
		Topic 2. (台) 核一廠除役計畫審查 40 mins. 放射性物料管理局 蘇凡皓技士
		Q & A (20 mins.)
	12:00~13:00	<b>Lunch/午餐</b>
	13:00~13:50	Topic 3. (台) 台灣核電廠除役之輻防審查概要 40 mins. 輻射防護處 廖家群副處長
		Q & A (10 mins.)
	13:50~14:00	<b>Break/中場休息</b>
	14:00~16:20	Topic 4. (台) 台灣乾式貯存管制 40 mins. 放射性物料管理局 鄭武昆簡任技正
		Topic 5. (日) 金屬護箱停用規格之安全性評估 40 mins. 技術基盤組 丸岡邦男
		Topic 6. (日) 日本金屬護箱所採用之型號安全要點 40 mins. 原子力規制部 田口元二
		Q & A (20 mins.)
16:20~16:30	<b>Break/中場休息</b>	
16:30~18:10	Topic 7. (台) 核能電廠廠內演習評核要項與審查基準 40 mins. 核能技術處 周宗源技正	
	Topic 8. (日) 除役中核能電廠之災害應變 40 mins. 原災科 河合宏文 菅原洋行	

		Q & A (20 mins.)
	<b>18:30~19:00</b>	拜會原子力規制委員會更田豐志委員
7/11 (二)	<b>10:00~11:40</b>	Topic 9. (台) 台灣核能管制現狀 40 mins. 核能管制處 何恭旻科長
		Topic 10. (日) 原子力規制委員會工作事項 40 mins. 國際室 伊藤夏希
		Q & A (20 mins.)
	<b>11:40~13:00</b>	<b>Lunch/午餐</b>
	<b>13:00~14:10</b>	Topic 11. (台) 探討加長型喪失最終熱沉事故之減災策略及過程中可能面臨之安全挑戰 50 mins. 核安中心試運組 廖俐毅主任
		Q & A (20 mins.)
	<b>14:10~14:20</b>	<b>Break/中場休息</b>
<b>14:20~15:30</b>	<b>Cooperation Discussions &amp; Closing/合作事項討論及閉幕</b>	
<b>16:00~18:00</b>	<b>Transportation /出發前往茨城縣</b>	
7/12 (三)	<b>09:30~16:00</b>	東海、東海第二核電廠參訪
7/13 (四)	<b>09:30~14:30</b>	<b>JPDR 參訪</b>

以下為各項議題之重點摘要：

#### (一) 日本對於核電廠除役之管制體制

本節是由日本原子力規制廳子原子力規制部白井曉子報告。日本核電廠除役由原子力規制委員會(NRA, Nuclear Regulatory Authority)的原子力規制部負責審查，日本原電東海核電廠(氣冷式)於 2006 年 3 月申請，2006 年 6 月取得除役許可；普賢研究反應器(ATR)於 2006 年 11 月申請，2008 年 2 月取得除役許可；濱岡電廠 1、2 號機於 2009 年 6 月申請，2009 年 11 月取得除役許可；另外有玄海、敦賀、美濱(2 部機組)及島根於 2017 年 4 月取得除役許可；伊方於 2017 年 6 月取得除役許可；日本已有 11 部機組正準備進行除役。日本核電廠從永久停機至除役完成所需之時間目前尚無法規限制，除役申請之提出

時間亦無規範。

典型的核電廠除役過程分成核燃料移出反應器、系統除污作業、放射性廢物安全貯存、設施設備的拆解與移除。有關日本核電廠於營運階段與除役階段之安全管制差異，營運階段係由核電廠 1 年執行 4 次自主檢查，檢查計畫由經營者自訂，並由主管機關審查核可；進入除役階段如爐心仍有核燃料時，依然維持 1 年 4 次的自主性檢查，NRA 則每年執行一次定期檢查確認；當爐心已無核燃料時，則一年減為執行兩次自主性檢查，NRA 則不進行定期檢查。

日本核電廠除役產生之核廢料依劑量高低分為 L1 爐體結構材料、L2 低放射性廢棄物、L3 低微放射性廢棄物及 CL 清潔廢棄物 4 類管理，以日本電器聯合會估算 57 座核電廠除役所產生的廢料分類與產量如圖 1 所示。如以符合清潔標準之總量為計算基礎 100%，其參考相對比值如下 L1(採地下 50 公尺深地質處置)約為 1%，L2(地表工程處置)約 8%，L3(地表壕溝處置)約為 42%；可以推算相關核電廠除役核廢料分類及產量。

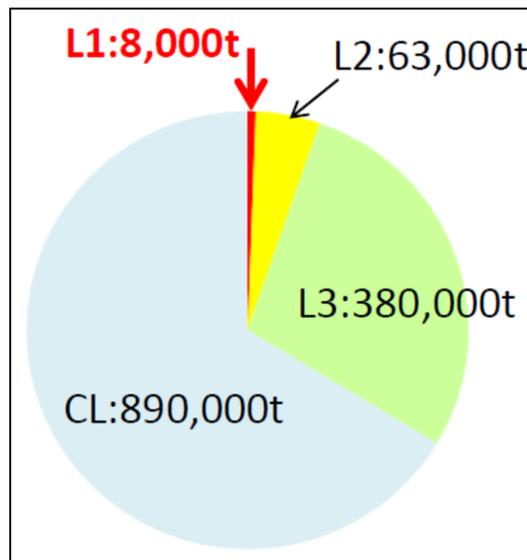


圖 1：日本 57 座核電機組產生除役廢棄物之估計

目前日本除役法規仍在建置補強中，也會參酌 IAEA SS.GSR Part.6 要求運轉中之核電廠準備初期的除役計畫，本項工作預計於明(2018)年秋天完成目

標。核電廠運轉中產生之放射性廢棄物，目前均運往青森縣的六所村進行處置；針對除役期間產生廢棄物之處置作業，各電力公司目前正在研擬中。日本 NRA 對於完成審查核准之核電廠除役計畫均公布於 NRA 的官方網站上，供民眾瀏覽。NRA 針對除役核電廠執行檢查並收取檢查費用，如爐心有燃料時其檢查費用與運轉中核電廠相同，所收取費用係設施硬體之檢查費，對於軟體及保安方面之檢查，因主要為文件之型式檢查，不收檢查費用。

## (二) 核一廠除役計畫之審查作業

這一節是由放射性物料管理局蘇凡皓技士報告。簡報一共分為 6 個部份，分別是台灣核能電廠的簡單介紹、台灣核能電廠除役的管制機關及其相關法規、核一廠除役計畫的簡要說明、核一廠除役計畫審查作業及其時程、國際核電廠除役技術之交流，並在最後做成以下結語：核一廠是台灣第一座除役的核能電廠，有關除役作業相關的管制，我國並無太多經驗；針對台電公司提送的核一廠除役計畫，原能會已由各部門人員成立專案審查團隊進行嚴謹的審查，且已於 2017 年 6 月完成全數審查工作；核能電廠除役前後的管制標準有所差異，其相關管制規範的精進是原能會未來努力的方向；為處理、貯存核一廠除役過程所產生的放射性廢棄物，必須於除役過程中興建新的設施，因此與當地居民的溝通更顯重要；最後非常感謝本次會議能與日方交流核能電廠除役相關經驗，期待日後能更加深雙方的合作，並就核能電廠的除役管制進行更進一步技術與經驗交換。

## (三) 台灣核電廠除役之輻防審查概述

首先原子能委員會輻射防護處廖家群副處長以核一廠為例，說明有關台灣核能電廠除役之輻防相關管制法規、審查規劃及審查結果等內容。

除役審查上，最重要的就是符合法規要求。就法律的位階，涉及除役的包



圖 2：原子能委員會輻射防護處廖家群副處長

括游離輻射防護法、核子反應器設施管制法及放射性物料管理法。法律之下除了有施行細則，還有法規命令等授權辦法，游離輻射防護法之下有游離輻射防護安全標準、輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則、輻射防護管理組織及輻射防護人員設置標準等。這三大法規中，游離輻射防護法著重在除役期間之輻射防護的通則性規範，包括對工作人員、一般民眾、輻射作業等規定。輻射工作人員職業曝露之劑量限度：每連續五年週期不得超過 100 毫西弗、任一年不得超過 50 毫西弗；於規劃、設計及進行輻射作業時，計算關鍵群體中個人所接受之年劑量限度為 1 毫西弗。另針對核能電廠廠址造成廠界外任一民眾的年劑量評估值總和，訂有每年不得超過 0.5 毫西弗的劑量約束值的規定。除役完成前 6 個月，設施經營者應提報除役後環境輻射偵測報告。此外，除役後之廠址，對一般人之輻射劑量限值，限制性使用每年為 1 毫西弗；非限制性使用每年為 0.25 毫西弗。

除役之輻防審查重點大致分為對工作人員及對設施(核電廠)。雇主應對輻射工作人員進行輻防及工作之教育訓練與健康檢查，並有劑量監測與管理措施。而對核電廠，設施經營者應於輻射作業前進行完善之規劃與輻射安全評估，並訂定輻射防護計畫，以確保不致危害作業場所外之民眾及環境，且對於放射性

廢氣、廢液排放要求應事先評估，並有適當監測措施與記錄。

「2025 非核家園」是政府的既定政策，而輻射安全及核廢處理是目前的管制重點。除役審查過程中，公民參與及民眾溝通亦是重要一環。原能會目前已完成核一廠除役計畫審查，將持續落實資訊公開。

簡報後進行討論，日本雖已有完成廠址除役之案例，但尚無除役後土地再利用的劑量標準，目前正研議中，故仔細詢問我國相關標準及如何評估？所以再次說明除役後之廠址，對一般人之輻射劑量限值，限制性使用每年為 1 毫西弗；非限制性使用每年為 0.25 毫西弗。上述限值係不包含背景劑量，而劑量評估主要會利用美國核能管制委員會(NRC)已認可之美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory)開發之除役場址殘餘輻射劑量評估程式 RESRAD family 進行評估，並將於除役完成後對廠址作最終輻射偵測，以確認符合法規之規定。

#### (四) 台灣用過核燃料乾式貯存概況

放射性物料管理局鄭武昆簡任技正就我國乾貯之建造與運轉兩階段核照，六步驟之管制措施與核一乾貯概要、核二乾貯進度以及民眾之參與方式進行說明，另就結合社會共識所提出之前瞻性管制措施，包括由露天貯存改為室內乾貯及縮短核照期程為 20 年等，希望取得社會認同，順利執行用過核燃料乾式貯存，以符合政府 2025 年非核家園政策目標。

#### (五) 日本金屬護箱停用之安全性評估

NRA 技術基盤組丸岡邦男解釋日本的核管法規分成四階層，第一階為目標(Goal)、第二階為功能要求(Requirement of functionality)、第三階為性能要求(Requirement of performance level)、第四階為可接受的實踐方法(Acceptable implementation method)，相對的比較如圖 3。

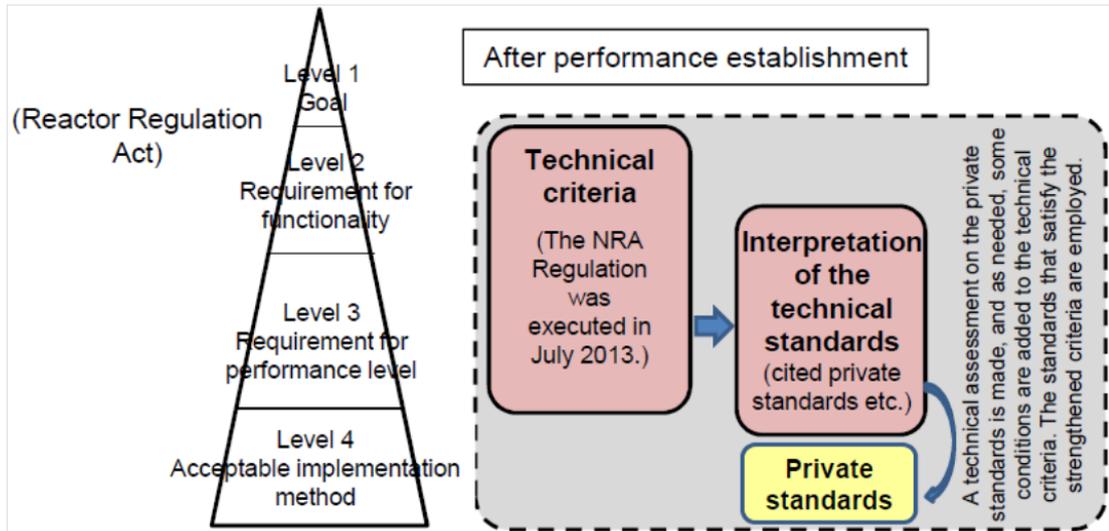


圖 3：日本核能管制法規階層

當性能(Performance)確立後，會有 NRA 發布的技術基準(Technical Criteria)以利參卓，其後由工業界發展技術標準(Technical standards)，然後再由廠商參考上述規定發展為公司產品標準。當廠商或企業公司推出新產品時需經技術評估，對於符合技術基準則引用，如未能符合技術基準時加入特定條件要求再引用；如仍未能符合則不適用。對於運送/貯存容器有關鋁之規定及其結構安全，日本機械工程協會於 2007 年曾發布有關運送貯存容器中有關鋁合金與含硼的鋁合金做為燃料提籃(basket)的規定，並核定有七種鋁合金是適用的。由於考慮到材料的(1)斷裂韌性及抗衝擊性(鋁合金側向膨脹不同於鋼材)；(2)降伏點及張力強度(可能無法耐用 60 年)，因此當時所核定的材料是否仍然適用，必須再評估。

依現有的法規，金屬護箱如使用鋁合金或含硼的鋁合金必須符合運送貯存包封容器之結構安全要求，但 NRA 卻在 2016 年更改相關解釋令，因此必須評估所造成的影響。應評估(1)東京電力公司福島第一核電廠已使用 20 個護箱、日本原子力發電東海第二核電廠使用 15 個護箱，以上使用的金屬護箱均是引用上述條例進行製作與貯存，是否仍然可用？另外(2)日本 Nuclear Development CO.為 PWR 用過核燃料已規劃乾貯測試護箱的洩漏測試，因此

NRA 要求兩機構(東電福島第一及原電東海第二)必須再確認護箱的安全性。兩機構經詳細評估強度及斷裂韌性，材料中或許會含有不純物而降低強度或韌性，但都還在可接受範圍或彈性範圍內，因此現有金屬護箱可以持續使用於貯存作業。

## (六) 日本金屬護箱所採用型號安全審查

NRA 原子力規制部田口元二針對金屬護箱之認證流程，包含基本設計(認證型式、商業核准)、細部設計(設計及製造方法：指定類型)、使用前檢查與焊接檢查、開始使用等四個階段依序進行解說，如圖 4 所示。

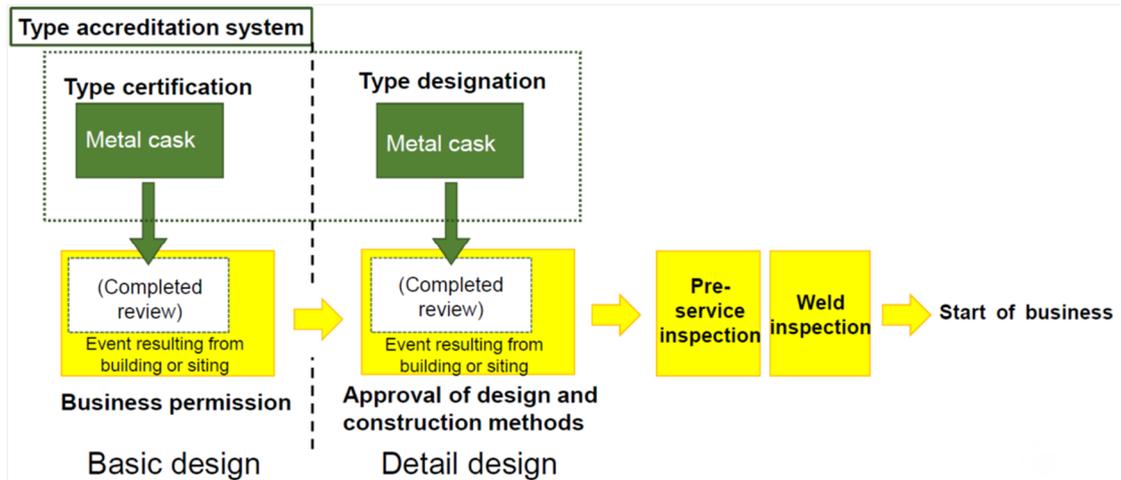


圖 4：日本針對金屬護箱之認證流程

就上述類型及指定認證系統之安全審查則包括次臨界、屏蔽、密封、熱移除、結構安全以及防止地震造成危害等要項，由於製造商取得商業認證有助於運轉業者縮短執照所需的審查時間，因此有助於商業活動，此時營運業者只要於使用時，提出補充說明下列事項：包括預計貯存期間、貯存型式、擊綁方法(Retention method)、金屬護箱最高及最低溫度、室內貯存之牆壁溫度、地震強度、貯存容量與用過核燃料型式及每組護箱之貯存量、每組護箱之最大殘餘熱等項次。但如做為運送護箱時，則額外要求於承載用過核燃料後之護箱表面劑量率須小於 2mSv/h，1 公尺處劑量率小於 100μSv/h，要求採取 2

維模式進行分析。另外為了確保護箱的製造品質，製造商要有品質保證計畫，其內容包括組織、計畫、執行、品質保證活動評估及改善等。

### (七) 核能電廠廠內緊急應變演習評核要項與基準

核能技術處周宗源技正報告內容包含針對核能電廠緊急應變演習的法規要求、核能電廠應變體系及任務及演習評核項目。

法規部分包含核子事故緊急應變法第 12 條，核能電廠緊急應變組織，應辦理下列事項：事故狀況控制、分析與評估及應變處理；環境輻射偵測及劑量評估；設施內緊急應變行動指揮及執行；事故通報聯繫及資訊提供；設施內工作人員防護行動之施行及管制措施。其次，核子事故緊急應變法第 15 條第四項，核子反應器設施經營者應定期就每一核子反應器設施，執行核子反應器設施緊急應變計畫演習。三、核子事故緊急應變法施行細則第 11 條第一項，經營者應依核子事故緊急應變法第 15 條第四項規定，每年就每一核子反應器設施，執行核子反應器設施緊急應變計畫演習。四、核子事故緊急應變法施行細則第 11 條第二項，經營者執行前項演習前，應擇定下列項目之全部或一部納入演習，並訂定演習計畫，報請中央主管機關核定。但每一核子反應器設施每四年應執行一次全部項目演習。演習項目包含 1.事故通報及資訊傳遞。2.緊急應變組織動員應變。3.事故控制搶修。4.事故影響評估。5.核子保安及反恐。6.輻射偵測及劑量評估。7.設施內人員防(救)護行動。8.新聞發布作業。

各核能電廠應變體系區分為三大區塊，一、技術支援中心，為廠內緊急應變行動的核心，負責事故的指揮、危機管理、事故之綜合研判與防護決策宣佈。二、執行事故搶修：1.主控制室：其運轉人員負責事故之應變控制及事故通報之執行。2.作業支援中心：包括 5 個隊：(1)緊急再入隊：負責緊急搶修

設備或緊急操作、執行救傷救難。(2)緊急保安隊：負責保護廠區人員與財產安全、維持緊急行動之秩序。(3)緊急供應隊：負責車輛調派、材料之供應與採購、應變人員食宿安排。(4)緊急後備運轉隊：應需要協助當值運轉人員執行各項緊急操作。(5)緊急消防隊：負責滅火及火場受災人員之搜救。3.保健物理中心：包括 2 個隊：(1)緊急輻射偵測隊：負責執行廠房內、廠區、及廠界之緊急輻射偵測。(2)緊急救護去污隊：負責執行人員放射性污染之偵檢與去污、傷患急救與初步處理。三、緊急民眾資訊中心，負責新聞發布、謠言更正、媒體與民眾諮詢等事故新聞的傳遞工作。

演習評核項目共有 8 大類，包含事故通報及資訊傳遞、緊急應變組織動員應變、事故控制搶修、事故影響評估、輻射偵測及劑量評估、設施內人員防(救)護行動、新聞發布作業及前次演習缺失改善情形。每一類的評核細項及標準，主要細參考核子事故緊急應變法相關法規、電廠緊急應變作業程序書及美國聯邦緊急事務管理局(FEMA) 2016 年發布「輻射緊急整備計畫手冊 (Radiological Emergency Preparedness Program Manual)」之第 2 部分等。每類評核要項，達成度評估結果分四種：一、符合：該項目可滿足緊急應變需求。二、建議：該項目有部分作為或程序(書)需進行修正，需開立注意改進事項方式，要求電廠進行改善。三、缺失：該項目違反相關法規，無法滿足緊急應變需求，需開立違規事項方式，要求電廠進行改善。四、不適用：該項目未演習無法進行評核。

結語強調，定期辦理演習以評估緊急應變組織對於事故的緊急應變能力，且可維持緊急應變組織特定的應變技能。透過演習視察評核方式，確保核能電廠各項緊急應變計畫足以處理緊急事故，符合緊急應變要求。

## (八) 核災事故時之緊急應變議題

NRA 原災部河合宏文首先說明防範核能災害的措施，日本在福島核災事故後訂定了原子力災害對策特別措置法，目的是要加強核能災害應變對策，從而保護民眾的生命、健康和財產免受核能災害影響。同時這個特別措置法也要求電廠，萬一發生核能災害時，應採取斷然措施，並真誠面對災害，採取適當之必要措施，防止核能災害擴大。同樣這個特別措置法也要求政府機構，發生事故時應設立災害對策總部，對相關的應變單位進行整體調度，因此原子力規制廳需制定核能災害應變導則，建立相關應變準則，以客觀、科學的方式，採取適當的應變行動。

為了能採取適當之應變措施，需事先做好事故分類，並根據事故分類，事先已制訂好所要實施的應變行動等級（EAL）（如圖 5）

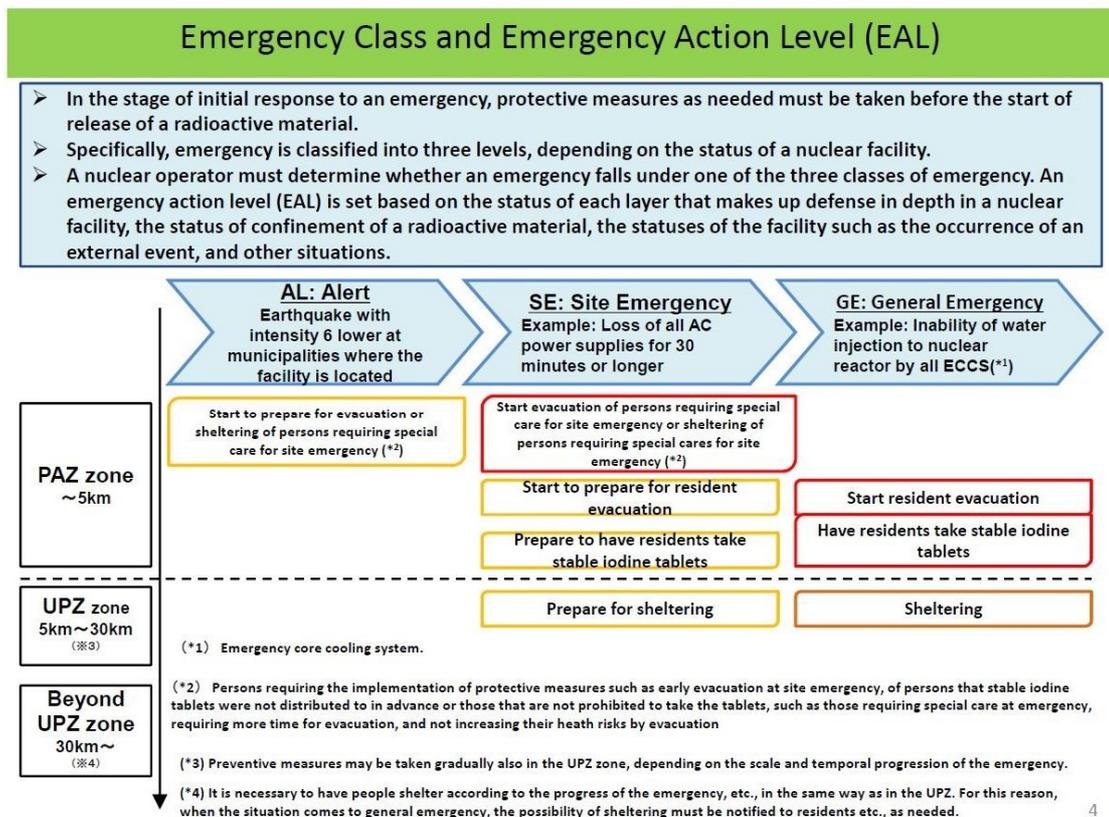


圖 5：事故分類及民眾防護應變行動等級

日本核能災害事故分類與我國一樣，根據核設施的狀況分為三類，分別為緊急戒備事故、廠區緊急事故、全面緊急事故（如圖 6）。

Setting of EAL According to the Status of Commercial Power Reactor		
Alert	Site Emergency	General Emergency
	Increase of radiation dose near site boundary	Increase of radiation dose near site boundary
	Risk of on-site critical accident, etc.	On-site critical accident, etc.
Risk of anomaly of reactor shutdown function		Failure of reactor shutdown or inability of confirming shutdown
Leakage of reactor coolant	Inability of partial water injection by emergency core cooling system during leakage of reactor coolant	Inability of water injection by emergency core cooling system during leakage of reactor coolant
Risk of lost feedwater function of steam generator	Loss of feedwater function of steam generator	Inability of water injection by emergency core cooling system after loss of feedwater function of steam generator
Risk of loss of all AC power supplies	30-minute or more loss of all AC power supplies	1-hour or more loss of all AC power supplies
	Partial loss of DC power supplies	5-minute or more loss of all DC power supplies
		Detection of core damage
Partial loss of reactor cooling function during shutdown	Loss of reactor cooling function during shutdown	Complete loss of reactor cooling function during shutdown
Risk of lost cooling function of spent fuel storage tank	Loss of cooling function of spent fuel storage tank	Loss of cooling function of spent fuel storage tank and radiation release from the tank
	Risk of lost integrity of containment	Abnormal increase of containment pressure
Loss or potential loss of single barrier	Loss or potential loss of two barriers	Loss of two barriers and loss or potential loss of single barrier
	Use of reactor containment pressure relief system	
Risk of lost function of reactor control room and other	Partial function loss and alarm loss of reactor control room	Function loss and alarm loss of reactor control room
Partial loss of communication function in and outside station	Complete loss of communication function in and outside station	
Risk of partial loss of safety functions by fire or overflow in important zone	Partial loss of safety functions by fire or overflow	
	Occurrence of event requiring preparation for protective measures and partial implementation of the measures	Occurrence of event requiring the start of resident evacuation

Remarks 1: The red text and the green shaded area mean EAL that applies to facilities falling under 7., and that under 9., respectively.  
Remarks 2: Exclude EAL related to offsite transportation.

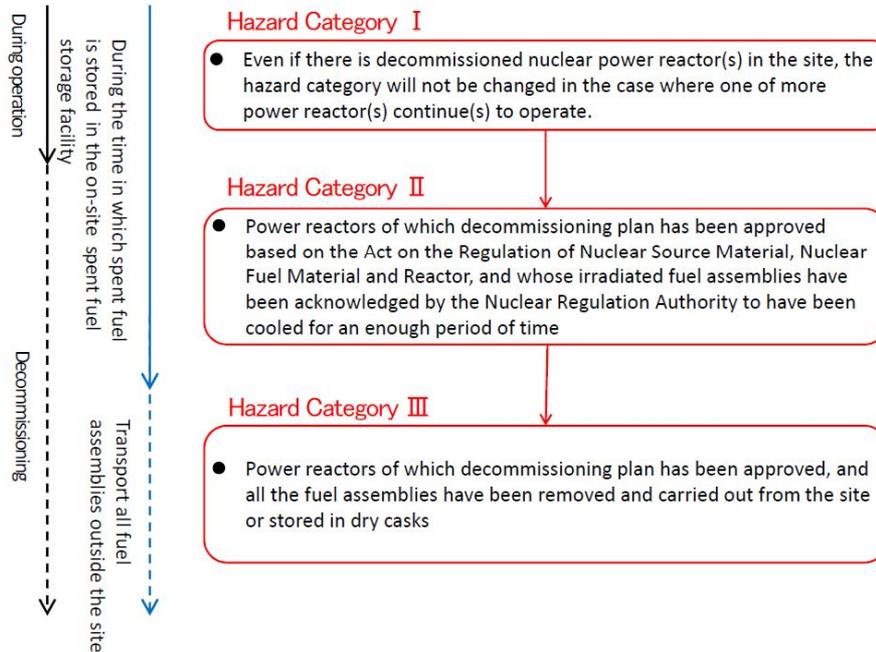
6

圖 6：事故分類基準

電廠運轉人員必須確定事故情況是否屬於三個事故分類之一，且根據核設施中構成防禦深度之每層的狀態、放射性物質的外釋狀態、設施的狀態，確定應變行動等級。針對事故分類，相對應之民眾防護活動也分成三部份：(一)、緊急戒備事故：PAZ 內需特別照護的民眾，進行掩蔽或疏散準備。(二)、廠區緊急事故：PAZ 內需特別照護的民眾，進行掩蔽或疏散、PAZ 內一般民眾，進行疏散及碘片服用準備、UPZ 內一般民眾，進行掩蔽準備。(三)、全面緊急事故：PAZ 內一般民眾，進行疏散及碘片服用、UPZ 內一般民眾，進行掩蔽。

日本參考國際原子能總署(IAEA)將核設施除役期間的危害分為三類(如圖 7)，危害類別 I：廠區仍有一部或多部機組在持續運轉中，即使廠區有除

## Hazard Classification of Power Reactor Facility under Decommissioning



8

圖 7：核設施除役期間的危害分類

役機組，仍應比照運轉時的情況，不會改變危險類別。危險類別 II：根據「核原料、核燃料和反應爐及核廢料組件管理條例」，已被原子力規制廳批准了機組除役計畫，且認可了機組已經經過足夠的冷卻時間。危害類別 III：機組除役計畫已批准，並且所有燃料組件已從現場拆除並移出廠外或儲存在乾式貯存桶中。

自從 2016 年 3 月以來，反恐怖主義措施小組就核燃料循環設施的緊急應變整備進行了討論，經過多次會議審議後，根據討論結果，2017 年 3 月 22 日對「核能災害應變導則」進行了修訂。其中在退役過程中考慮到其在事故條件下的固有危害和潛在影響程度，確定了核能災害應變整備優先區的層面。依國際原子能總署（IAEA）建議，其核能災害應變整備優先區的層面，在危險類別 II：不需要建立 PAZ、UPZ 設置為 0.5-5 公里的區域。危害類別 III：

不需要在電廠以外的周邊地區設定優先區域。

#### (九) 台灣核能管制現狀

本次於會議中由核能管制處何恭旻科長以「Recent Nuclear Regulatory Activities in Taiwan」為題，就最近一年台灣之核安管制經驗提出簡報，內容分為三大部分，包括(一)原能會在網站上公布運轉中核能電廠相關管制資訊，包括電廠運轉即時資訊、安全管制報告、機組急停/異常事件/違規案件統計資料，以及採用綠/白/黃/紅燈號方式呈現核能電廠安全運轉績效的核安管制紅綠燈制度之績效指標(Performance Indicators)與視察指標(Inspection Findings)；(二)最近 1 年的重要核能安全管制議題，包括核能安全總體檢各項強化措施的執行現況、核一廠 2 號機的延時降載運轉、核一廠除役初期可能面臨長期過渡階段的安全議題、核二廠 1 號機去年燃料破損案、核二廠 2 號機去年主發電機避雷器箱電器故障受損案、核三廠 1 號機今年初反應器急停事件以及核二廠用過燃料護箱裝載池設置用過燃料貯存格架的設計修改申請案等之安全管制情形；(三)原能會在資訊公開透明上的作法，說明管制資訊公開以及建置公眾參與平台，針對重要或民眾關切的議題，辦理公開說明會，例如核一廠的延時降載運轉、核二廠的護箱裝載池申請案與燃料破損案，及邀邀公民團體與在地居民參與觀察原能會的視察活動，例如核二廠的護箱裝載池申請案現場施工作業視察。

#### (十) 日本近年核能管制現狀

之後由 NRA 國際室伊藤夏希女士(Natsuki Ito)以「Current Regulatory Status of Japan」為題進行簡報，就日本的重要管制議題(Status of Japan's Regulatory Activities)與目前進行中的重大議題(Japan's Challenges)兩大部分說明。前者先說明目前日本核能電廠依新的管制規定提出重啟申請與審查

情形，至今年 7 月 1 日止，有 16 部壓水式核電廠及 10 部沸水式核電廠提出申請，已有 5 部核能電廠機組經審查核准後重啟運轉，包括川內(Sendai)1/2 號機、伊方(Ikata) 3 號機及高濱(Takahama) 3/4 號機。另日本目前共有 9 部核電廠機組進行除役，1 部機組(普賢)在研議階段(at the Research and Development Stage)，另文殊核電廠也決定要進行除役。簡報中也說明 NRA 管制資訊公開與透明化的作業情形，對於核電廠重啟的審查相關資訊亦於該委員會對外網站上公開，另外也會就相關管制議題與民眾及地方政府與持照者溝通，並於重要決策前聽取公眾意見。

在目前進行中的重大議題方面，包括核子反應器相關管制法規(Reactor Regulation Act)修訂、重要管制原則與議題，以及福島 1 廠 1~3 號乾井內部狀況探查結果等 3 個部分，茲就簡報內容簡述於下：

#### 1. 核子反應器相關管制法規(Reactor Regulation Act)修訂

本項係 NRA 就國際原子能總署於 2016 年 1 月對日本所執行 IRRS(Integrated Regulatory Review Service)之建議，所採取之回應措施，主要修訂方向包括：

- 修訂 NRA 監管作法：將原來由管制機關與業主一同執行檢測之作法，修改為業主須完全負起檢測之責，管制機關則站在獨立監督角色。另外，未來繳交管制機關之檢查費用，將可視業主之績效表現調整。NRA 亦將修改其監管與評估機制，更廣泛地評估電廠之安全作業，而非專注於原先特定項目之檢查。也研擬加重違反法規時之罰則。
- 修訂除役與廢料最終處置之相關規定：業主必須在除役計畫經管制機關審查核准與進行除役前，將除役政策(Decommissioning Policy)公告，內容須包括預估產生之廢料量及除役及最終處置預估經費與對應財務規劃。針對中等深度(intermediate depth)/地質最終處置設施

(geological disposal facility)關閉後之管制，NRA 需負責制訂處置場址地下與鄰近區域範圍大小、將文件紀錄公開並永久保存及限制在特定區域之人類活動(如管制地下開發行為)。

- 強化放射性同位素之反恐措施：要求使用及儲存高活度放射性同位素者須採取相關措施，包括對非法入侵偵知/延遲與應變、建置保安管理組織與計畫、指定專人負責保安措施。
- 修改防止輻射危害標準法(Radiation Hazards Prevention Standards Act)：原輻射審議委員會係由民間專業人士組成，NRA 等將主動提供專業之建議與改善措施，以強化審議委員會之功能。

## 2. 重要管制原則與議題

導入新管制規定可溯及既往(Back-fitting)之作法，並由福島一廠事故之經驗回饋，利用內部技術資訊委員會(Technical Information Committee)將運轉經驗與最先進(State of the art)的作法討論回饋到 NRA 的管制作為。

日方於簡報中亦說明目前的管制議題，其中有關電力系統單相開路(Single-phase open circuit)部分，於會議中亦就原能會於數年前即就美國核管會文件 BL 2012-01，要求國內核電廠評估並採行對應措施之管制經驗與日方交流分享。在電弧故障(High Energy Arcing Faults)議題部分，日方說明係為女川電廠在 311 東北大地震時發生高壓電氣開關箱故障之經驗。此外，NRA 也正參照國際原子能總署標準，研議用過燃料乾式貯存之管制要求。

## 3. 福島 1 廠 1~3 號乾井內部狀況探查結果

由利用機械人進入內部所取得之影像研判 1 號機反應爐爐心燃料應已全部掉至下方乾井樓板，2/3 號機則有部分爐心燃料仍在反應爐內。

另估算 2 號機乾井反應爐基座外側劑量率為 210 西弗/小時，乾井外實測值為 6 毫西弗/小時，廠房外約 1 公里處之實測值為 2 微西弗/小時。

在簡報完後之提問時間，日方針對我方簡報中有關紅綠燈制度內容，提問此制度與美國核管會監管方案(Reactor Oversight Program)是否相同，以及如何評估量化之風險，我方說明此紅綠燈制度係參考美國核管會做法建立，其內容與其相同，但國內另有將廢液處理納入指標。另原能會有發展風險顯著性評估工具(PRISE)，可量化設備故障之風險，作為燈號判定依據之一。我方亦將原能會網站上公布之核安管制紅綠燈網址等資料提供日方參考，同時日方對此制度深感興趣，建議納入後續雙方合作項目，同時規劃於明年交流會議中就此提出簡報。

#### (十一) 加長型喪失最終熱沉事故之減災策略及過程中可能面臨之安全挑戰

核能研究所核安管制技術支援中心廖俐毅主任簡報內容包含：1. 簡介，2. 回顧歐盟與美國對於喪失最終熱沉所做的減災努力，3. 在資源極端匱乏的情況下，試圖避免反應器熔毀之減災過程中，可能面臨若干安全挑戰，以及 4. 結論，在此僅簡單敘述結論如下：

在此研討會中，針對長時間電廠全黑再加上長時間喪失最終熱沉的情境，我們藉著 4 個主題來分享我方的觀察發現。藉由專業討論，可以強化台日雙方管制單位的資訊交流。

第一個主題的結論是徵候導向的程序書缺乏優先度的設計，我們覺得應該在戰略層次上導入優先度的概念，至於此概念是放入 EOP 中或是放入其他地方則可以再探討。其次，如果導入優先度的概念，在爐心熔毀前，當保護反應器與保護圍阻體，這兩個目標產生衝突無法兼顧時，建議應優先保護反應器。請注意此處談的是爐心熔毀前，如果是爐心熔毀後，其優先度也許不同。

第二個主題的結論是長期喪失最終熱沉將挑戰多重圍阻的設計概念，Mark I,II,ABWR 圍阻體所面臨的挑戰最大，日本一些核電廠所採行的移動式熱交換器的作法可以有效解決此議題，可視為為優良典範供其他國家借鏡。

第三個主題的結論是在前述假想事故過程中，BWR 6 Mark III 圍阻體抑壓池溫度非常可能超過設計限值，超過設計溫度後之影響，需要進一步釐清。我們很希望台日雙方針對此議題進行資訊交流。

第四個主題的結論是圍阻體排氣導致圍阻體負壓而影響圍阻體完整性議題。圍阻體排氣閥開啟與關閉後須禁止圍阻體噴灑之使用以免造成圍阻體因為負壓太大而喪失圍阻體完整性。雖然嚴重事故指引中已經有禁止圍阻體噴灑操作之規定，建議不論 SAMG 進入條件是否滿足，只要執行過圍阻體排氣，就需要對排氣後之圍阻體噴灑行動加以管制。另外，建議在 EOP 中，提供步驟與技術基準以預防此項潛在風險。

藉著此篇專題報告之發表與雙方之意見交流，雙方均充分深化專業人員的管制知識與技術之交流。從日方的反應可以看出，日方對於我方的論點基本上是贊同的。此外，針對我方提出的各項潛在安全挑戰，日方多半已經注意到相關議題，有些議題則已經有具體之改善行動。以下摘述日方之改善行動，供我方借鏡：

1. 日本管制單位已經確認安全釋壓閥的耐熱性以及安全釋壓閥在圍阻體高壓力條件下之可靠性，未來將會改進。此項做法可供我方借鏡。
2. 為了應付爐心熔毀的情境，核能電廠需要裝設圍阻體過濾排氣系統 (filtered containment vent system簡稱FCVS)。我國也已經採取了相同的要求。
3. BWR新設置了替代冷卻水循環系統與移動式熱交換器並利用大海作為最終熱沉。此項做法可供我方借鏡。
4. 針對BWR 6 Mark III 事故過程中，圍阻體抑壓池溫度可能超過設

計限值的議題，日方利用保守的溫度、壓力參數進行評估，以確認圍阻體結構之完整性。此項做法可供我方借鏡。

5. PWR圍阻體利用原配置之圍阻體再循環熱移除單元(類似核三廠之 fan cooler)，搭配新增移動式泵，當喪失最終熱沉事故發生時，利用移動式泵可以將熱傳到最終熱沉(大海)中。此項做法可供我方借鏡。

## (十二) 合作事項討論及閉幕

本屆會議原能會方面事先提出了 5 項合作議題，分別是電廠除役、核廢料乾貯、核電廠管制、緊急應變與海洋輻射調查，現場另提出核能安全文化議題。

### 1. 除役與乾貯

原能會表示除役與乾貯是未來本會的重點，明年應該還會就此議題進行交流討論，日方也認為這二天關於除役與乾貯的交流很有意義，對於台灣除役的做法也很感興趣，未來雙方可進一步研議建立溝通管道一事。

### 2. 核電廠管制

NRA 方面想與原能會繼續討論核安管制紅綠燈的制度，原能會方面亦很願意分享管制經驗，未來可以討論雙方合作同行審查的可能性。

### 3. 緊急應變

日方已經同意建立緊急連絡管道，並已經透過外務省修改備忘錄內容，希望可以趕在核災訓練之前通過備忘錄修訂案。今年日本的核安演習為 9 月初舉辦，原能會已同意將派人前往觀摩，並希望日方也能派員參加 9 月下旬在台灣所舉辦之核安演習。

### 4. 海洋輻射調查

日方表示 NRA 為日本國內主管單位，可以提供初步的偵測結果跟實行方法的資訊，但實地執行偵測的是民間單位日本分析中心(JCAC)，所以技

術交流等方面還是請台灣透過輻射偵測中心跟 JCAC 合作。

## 5. 其他

原能會及 NRA 皆認同核能安全文化是很重要的項目，值得列為未來繼續交流，將列為明年的會議討論議題之一。

### (十三) 拜會 NRA 更田豐志委員長

第一日的會議結束之後，邱副主委帶領原能會核能管制處張欣處長、綜合計畫處陳志平副處長、國際科李采芬技士拜訪即將接任 NRA 委員長之更田豐志先生。首先原能會邱副主委代表謝曉星主委恭喜更田委員將於九月接任 NRA 規制委員會主席，並感謝 NRA 相關同仁對於交流會議及後續電廠參訪的安排與協助。更田委員也代表現任主席向謝主委致意，並表示因為台灣與日本具有相當類似的自然環境及天候，例如地震及颱風，民眾所關心的事情也很接近，所以台日在核能管制上可以有緊密的合作。邱副主委向更田委員說明我國 2025 年非核家園已是既定核能政策，所以台灣的核安管制重點會逐漸轉向除役以及核廢料處理。因為日本之前已經有同意三個除役計劃的經驗，最近又同意了五個除役計劃申請案，所以希望雙方在這項議題持續交流，借助日本的經驗，作為我國的參考。更田委員說明日本在商用電廠這方面實際除役其實才剛開始，也還要學習其他國家的經驗。

在核燃料貯存方面，更田委員提及依福島經驗，NRA 鼓勵核電廠將用過燃料從用過燃料池轉為乾式儲存。談及我國核一廠有 8 年的除役過渡期，邱副主委詢問日本對類似情形之管制，更田委員說明在日本對於燃料仍在爐心的長期停機的機組，且不會申請重啟者，例如：濱岡 5 號機，其管制比照運轉中機組，並無特別強化或放寬。訪談中提到日本想要執行的無預警視察，我國已有多年的經驗可以提供分享。更田委員說明 NRA 視察員多執行 check-list 式視察，需要更多的溝通訓練，方能執行無預警視察，有關這點可做為明年之交流項目。

更田委員特別提到核能安全文化議題，覺得這是個重要的題目，原能會邱副主委認同並建議列為明年交流會議的討論議題，並邀請更田委員來台灣參觀。

#### (十四) 後記

NRA 針對我方提問，於會議結束後特別提供有關放射性廢棄物處置相關資料供參考，謹摘記如下：

1. 日本放射性廢棄物依來源分成：(1)核電廠廢棄物；(2)核燃料設施廢棄物；(3)研究及同位素廢棄物及(4)福島核災廢棄物共四類，分別管理。其中用過核燃料並不屬於放射性廢棄物，另外引用「清潔(Clearance)標準制度」對於符合規定者，無需被視為放射性廢棄物進行管理。
2. 核電廠廢棄物不論是運轉或除役產生的放射性廢棄物，又分成三類 L1：放射性活度高者(反應器爐體結構物、控制棒)；L2：放射性活度較低者(廢液均質固化體)；L3：放射性活度極低者(混凝土)。
3. 符合清潔標準者以可再利用或再使用為原則，也可送到產業廢棄物的處置場(類似我國的垃圾掩埋場)掩埋。
4. 針對 L1 廢棄物(反應器爐體結構物、控制棒)係於一定深度約為地下 50 公尺深的地質，採取混凝土結構如建構坑道(tunnel)或是地窖(Silo)處置。
5. 對於 L2 及 L3 廢棄物則為地表處置，分為壕溝(Trench)及處置坑(Pit)兩種。壕溝係為容器中置入未固化的放射性廢棄物，於沒有人工屏障的處置場中進行淺地掩埋，藉由天然屏障達成輻射屏蔽及防止核種遷移的功能；處置坑則是將經固化的放射性廢棄物置入容器內，移置有人工屏障的處置場進行淺地掩埋，藉由人工屏障及天然屏障達成輻射屏蔽及防止核種遷移的功能，此外人工屏障尚需具備封閉拘限的功能。
6. 有關活度濃度限值：

- (1) 壕溝為 Co-60 : 10 GBq/ton、Sr-90 : 10 MBq/ton、Cs-137 : 100 MBq/ton
  - (2) 處置坑為 C-14 : 100 GBq/ton、Co-60 : 1 PBq/ton、Ni-63 : 10 TBq/ton、Sr-90 : 10 TBq/ton、Tc-99 : 1 GBq/ton、Cs-137 : 100 TBq/ton、 $\alpha$  核種 : 10 GBq/ton
7. 一定深度地質處置(主要為 L1 廢棄物)活度濃度限值 :  
C-14 : 10 PBq/ton、Cl-36 : 10 TBq/ton、Tc-99 : 100 TBq/ton、I-129 : 1 TBq/ton、 $\alpha$  核種 : 100 GBq/ton
  8. TRU 及高放射性廢棄物(玻璃固化體)則於地下 300 公尺以上深度的地層處置。

## 二、 公務拜訪行程

### 拜會環境省

此次由原能會邱副主委帶領綜計處陳志平副處長、放射性物料管理局鄭武昆簡任技正、蘇凡皓技士及駐日代表處人員至日本台灣交流協會拜訪環境省官員。

#### (一)除污中期貯存設施之現況。

首先由環境省水及大氣環境局總務科除染涉外廣報室上迫大介報告除污中期貯存設施之現況，首先提到東京電力公司福島第一核電廠發生核災事故，排放到大氣中的放射性物質經由風吹、擴散與降雨或下雪會沉降而附著在地表、樹木及建築物上，進而影響民眾健康與環境，必須處理。環境省針對東日本大震災受輻射的污染區域，依檢出之輻射劑量分成返回困難區域( $> 50$  mSv/y)、限制居住區域( $50-20$  mSv/y)、準備解除疏散之指示區域( $< 20$  mSv/y)以及解除疏散指示區域等 4 類分別管理。

環境省特別訂定「放射性物質污染對策特別措置法」，做為採取對策之依據，以減輕對人類健康及生活環境之影響。該法於 2012 年 8 月 30 日公布，2013 年 1 月 1 日全面實施。該法中以 Cs-137 活度  $> 8000$  Bq/kg 作為指定廢棄物分類標準，一旦被認定為指定廢棄物，則由國家主導在各個受到污染的都道府縣內處置；對於 Cs-137 活度  $< 8000$  Bq/kg 則必須搬入長期管理設施處理；其處理設施之工作人員年增加劑量以 1 毫西弗為設施之設計基準，工作時間則以 1000 小時為計算基準，對於搬運車輛之除污檢測標準則設定為  $2.5\mu\text{Sv/hr}$ 。

除污實施區域以經除污後 1 年僅能增加 1 毫西弗(亦即 0.23 微西弗/小時)做為除污作業標準，除污進度約每週公告一次。除污方式包括去除、遮蔽及遠離 3 種，其作法為先進行偵測調查、訂定除污計畫、其後進行除污、最後為再偵測以確認除污效果。除污產生之污染土壤，其再利用標準為  $< 8000$  Bq/kg，主要做為道路地基使用，其上再加蓋覆土；廢金屬的再利用標準則為  $< 100$  Bq/kg。目前除返回困難區外其餘地區則大致都已完成表面除污，整個除污作業，於除污前之地

表 1 公尺的空間劑量率平均為 1.27 $\mu$ Sv/hr，除污後為 0.63 $\mu$ Sv/hr，由於放射活度會隨著時間而衰減，除污後又經過一段時間，目前已降到 0.44 $\mu$ Sv/hr。經統計，核災事故發生後 7 個月與事故後 67 個月相比，其空間劑量率降低了 71%。

有關除污產生廢棄物的去向，福島縣的指定廢棄物小於 100,000 Bq/kg 者將送到富岡町與楢葉町交界的掩埋場，該場所係由國家主導，經縣知事與兩町町長長年交涉(2013-2017)且簽定安全協定，於 2017 年 5 月 17 日才同意設置，目前進行場址興建工程及運送計畫之準備。有關處置廢棄物之條件為(1)放射性廢棄物需以水泥固化；(2)處置掩埋設施需能防止雨水滲入且具有排水功能；(3)對於滲水必須處理並有活度監測設計。對於處置設施之管理，主要責任為國家，並由具有學識經驗的福島縣、富岡町與楢葉町及地方居民組成環境安全委員會，監督處置執行情形與監測管理。至於其他五縣宮城縣、栃木縣、千葉縣、茨城縣及群馬縣的特定廢棄物處置場則仍在協調中。另外，福島縣內的中期貯存設施，其營運期限僅為 30 年，福島縣政府與中央政府有過約定，除污廢棄物暫存於福島縣內 30 年後，應運至其他地點進行最終處置。

## **(二)東京電力公司針對福島第一核電廠核災事故周遭居民健康管理之專家會議**

之後由環境省綜合環境政策局環境保健部放射線健康管理主導參事官前田光哉報告，他表示日本環境省針對東電福島第一核電廠核災事故之民眾健康管理問題辦理專家會議，以掌握現況、探討須發展中的課題並提出因應對策。2014 年 12 月 22 日辦理第 14 次討論會，完成了期中報告，並將會議資訊公開，該報告於 2015 年 9 月 30 日發行英譯版，其內容概要為：(1)調查福島縣及周圍區域縣民因核災暴露所造成罹癌機率的變化，經統計分析，其結果並未出現明顯差異。另外，經調查周遭居民遭受核災暴露之劑量，認為應不會造成不孕症、胎兒影響、心血管疾病與白內障等疾病的罹患機率增加；(2)有關「前期檢查」中發現的甲狀腺癌，目前並不認為有充分且明確的證據，足以顯示其與核子事故間的關聯性；(3)從此次事故的輻射暴露所造成之生物效應，截至目前仍尚未確認；而且推導往

後因輻射暴露造成罹患疾病的風險極低。

但由於輻射劑量的推算存在著不確定性，且輻射對健康影響是中長期的議題，因此必須審慎面對居民所特別關心的甲狀腺等癌症。根據上述期中報告，環境省於 2015 年 2 月 27 日提出的對策方案為：(1)精進事故初期暴露劑量的掌握及評估措施；(2)掌握各種癌症的罹患變化，並將該資訊定期提供給當地居民及團體；(3)精進福島縣縣民的健康調查「甲狀腺檢查」；(4)繼續精進風險溝通事務。另依據 2013 年世界衛生組織(WHO)公佈的健康風險評估、聯合國科學委員會(UNSCEAR)公佈的 2013 福島核災事故報告書(2014 年 4 月公佈)與 2016 年白書(2016 年 11 月公佈)，均認為核災事故造成之輻射暴露，對於周遭民眾的健康並無明顯影響。

有關針對遭受核災事故影響的 37 萬居民之健康檢查，共計有 5 項，分述如下：(1)基本檢查：為事故發生後 4 個月執行之全面普查，目的為清查民眾接受多少劑量；(2)甲狀腺檢查：20 歲以下者每 2 年進行一次，20 歲以上者每 5 年進行一次；(3)血液檢查：僅限於福島縣進行，每年一次，抽血確認白血球數變化；(4)身心檢查：每年一次，孩童進行自我描述量表(SDQ, Self-Description Questionnaire)檢查，大人則進行 KX 檢查；(5)孕婦檢查：對於懷孕感到不安者即可參加，每年檢查人數約為 1 萬 5 千人次。

由於有許多事證證明福島核災對居民健康實質影響不大，如(1)與車諾比核災事故之比較，暴露劑量約為車諾比核災事故的百分之一；(2)甲狀腺癌通常於核災事故後 4-5 年才被誘發，而本報告為福島核災事故之前期檢查，係於事故 3 年內的調查結果；(3)車諾比核災事故發現罹患甲狀腺癌症者以嬰幼兒為主，本次前期調查並未發現嬰幼兒遭受影響，但經詳細調查後，發現一位 5 歲小孩有疑似罹患甲狀腺癌徵狀；(4)因調查母體數太少，所以增加與其他三縣青森、山梨及長崎縣的調查結果進行比較，亦未發現明顯差異；(5)甲狀腺癌之檢測方式，如改採用超音波檢查，其檢出率將會增加 10-50 倍。經綜合以上的判讀，日本初步認為影

響不大，但輻射暴露因有延遲效應，未來仍須審慎執行相關的調查，才可以確認其影響。

### (三)指定廢棄物的處理

第三部份是由環境省大臣辦公室廢棄物及再循環對策部廢棄物對策科峯岸律子進行簡報，她提到針對除污過程產生之廢棄物，環境省訂定特別措置法進行管理，並分為對策區域內廢棄物與指定廢棄物 2 類，統稱為特定廢棄物。其中對策區域內廢棄物為福島第一核電廠周遭區域(包括福島縣双葉町、大熊町、富岡町、楡葉町、川內村、浪江町、南相馬市、葛尾村及飯館村)產生之污染廢棄物；指定廢棄物則為其他縣市產生之比活度超過 8000 Bq/kg 廢棄物，通常指定廢棄物經由焚化、乾燥等減容方式處理，並希望能更進一步的安定化。對於 Cs 比活度超過 8000 Bq/kg 小於 100,000 Bq/kg 者，送至現有垃圾掩埋場處置；Cs 比活度超過 100,000 Bq/kg 者則移至中期貯存設施進行管理，全數作業均由國家負責並成立專門公司 JESCO 負責執行作業。

對特定廢棄物之搬運管理，環境省製作了約 5 分鐘的宣導影片進行介紹，其中包括料帳管理、運送車輛、路線規劃與安全管理等。另外，環境省網站即時更新最新資料，並編製許多宣導資料手冊，其中有關中期貯存設施者即有 4 種，另有除污指針及廢棄物指針 2 種，其資訊透明公開作法值得我國學習。

### 三、電廠參訪

#### (一) 7月12日 東海與東海第二核電廠參訪

日本原子力發電有位在茨城縣的東海電廠(共 2 部機)及福井縣敦賀核電廠(共 4 部機)。東海第一核電廠為氣冷式(GCR)也是日本第一座核電廠，於 1996 年 7 月開始商轉，1998 年 3 月永久停機；敦賀核電廠 1 號機是日本第一部輕水式(BWR)反應器，於 1970 年 3 月開始商轉，2015 年 4 月永久停機；東海第二核電廠為日本第一座大型輕水式(BWR, 1100MW)核電廠，於 1978 年 11 月開始商轉；敦賀核電廠 2 號機是日本第一部輕水壓水式(PWR)反應器，於 1987 年 2 月開始商轉。目前東海第一核電廠正在展開除役作業，也是日本第一個除役的核電廠。日本原子力發電公司，為日本推動核能發電的先驅者，進行各項核能發電前瞻性的作業規劃、技術發展，尤其除役作業均為自行開發的獨立自主技術。

東海第一核電廠歷經 32 年運轉後，於 1998 年 3 月永久停機；1998 年 5 月至 2001 年 3 月移除用過核燃料，並送回英國處理。2001 年 10 月提出除役計畫，2006 年 6 月取得除役許可，2006 年 9 月清潔(Clearance)標準及度量方法獲得認可，2013 年 9 月完成拆除第 2 組熱交換器，預計於 2025 年完成除役作業。東海第一核電廠拆除計畫如圖 8 所示。

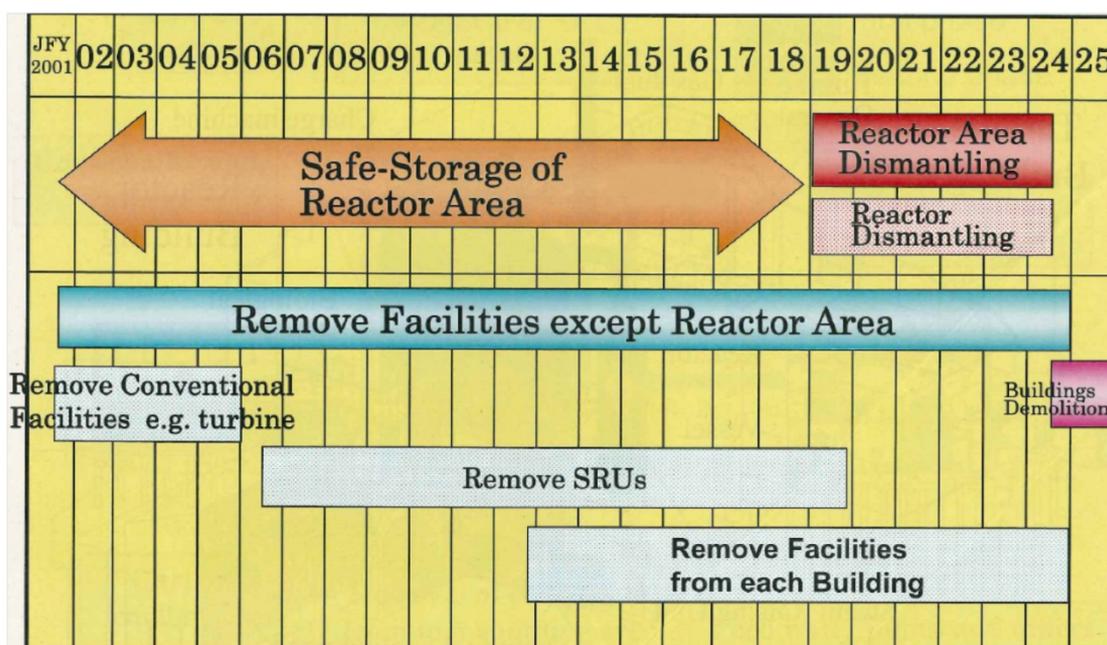


圖 8：東海第一電廠拆除計畫

熱交換器共有 4 組，每一組重約 750 噸，其內部含污染物，係使用大型起重機(Large Jack)吊起，於底部裝設千斤頂架高，分成 9 段逐次切割移除。使用工具包含機械手臂、圓盤切割機及火炬裁切等方式。目前已完成兩組熱交換器之拆除作業，其中一組使用遙控操作，因需裝設相關操作設備，較花時間，整體作業花了 3 年的時間，又經輻射特性調查發現輻射劑量並不高，因此於建立了關鍵技術(know-how)後，下一組熱交換器拆除就改採人工作業，約於半年內即完成作業。

L3 低放射性廢棄物產量及盛裝容器共分成三種，如圖 9 所示。有關 L3 低放射性廢棄物將參考 JAEA(日本原子力研究所)JPDR(日本動力實驗反應器)處置場之設計，計畫於設施場址內處置，於 2015 年申請經核准後，預計於 2017 年施工，運轉年限約為 50 年，最後進入輻射監管期。有關清潔標準係以 10 $\mu$ Sv/y 為評估基礎，依據為 IAEA RS-G-1.7 主要核種 Co-60 : 0.1Bq/g、Sr-90 : 1 Bq/g、Cs-137 : 0.1 Bq/g。

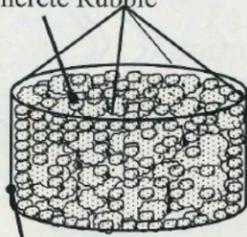
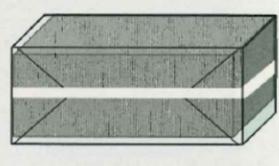
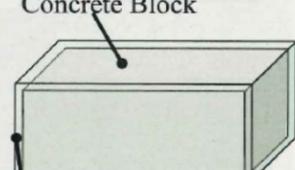
	Metal	Concrete Rubble	Concrete Block
Package	Iron box	Plastic flexible container	Plastic sheet
Drawing	  Void inside the box is filled with sand	  Concrete Rubble Plastic flexible container	  Concrete Block Plastic sheet
Volume[ton]*	Approx. 6,100	Approx. 500	Approx. 9,400

圖 9：L3 低放射性廢棄物之盛裝容器

東海第二核電廠因應 2011 東北大地震之強化安全措施，所以用過核燃料採用金屬護箱，並於室內進行乾式貯存，可貯放 24 組，約 250 噸用過燃料。室內

建築之耐震為 C 級，金屬護箱為 S 級，為了防止護箱因地震而滑動，每組護箱分東西北側，每側各有 6 組螺栓固定，螺栓總長 75 公分，地面上 15 公分，地下 60 公分(防震設計如圖 10 所示)。

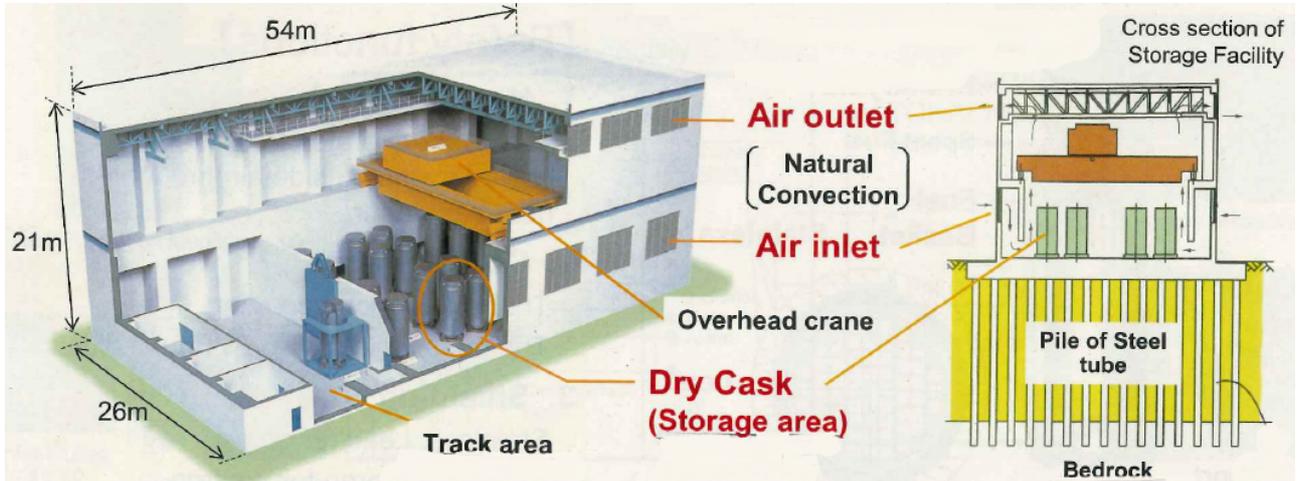


圖 10：東海電廠室內乾貯設施之防震設計

金屬護箱係由日立造船、日立 GE 及東芝等三家製造廠商供應，每組護箱重約 118 噸，可裝載 61 束用過核子燃料元件，護箱構造如圖 11。室內貯存設施基座(Pad)則利用約 20 公尺鋼樁打入岩盤(Bedrock)固定，乾式貯存設施目前已貯放 16 組，貯存設施之監測有輻射、壓力及溫度管控，廠房進出口空氣溫度相差約 0.8°C，若進出口溫度差超出 12°C，或是廠房內溫度高於 44°C 均會有警報發出，通知異常處理，監測系統如圖 12。裝入用過燃料後之護箱表面溫度約為室溫加 30 度，室內空間劑量率約為 3.5 微西弗/小時，但實際現場設於護箱旁之區域偵測器顯示劑量率約為 2 微西弗/小時。

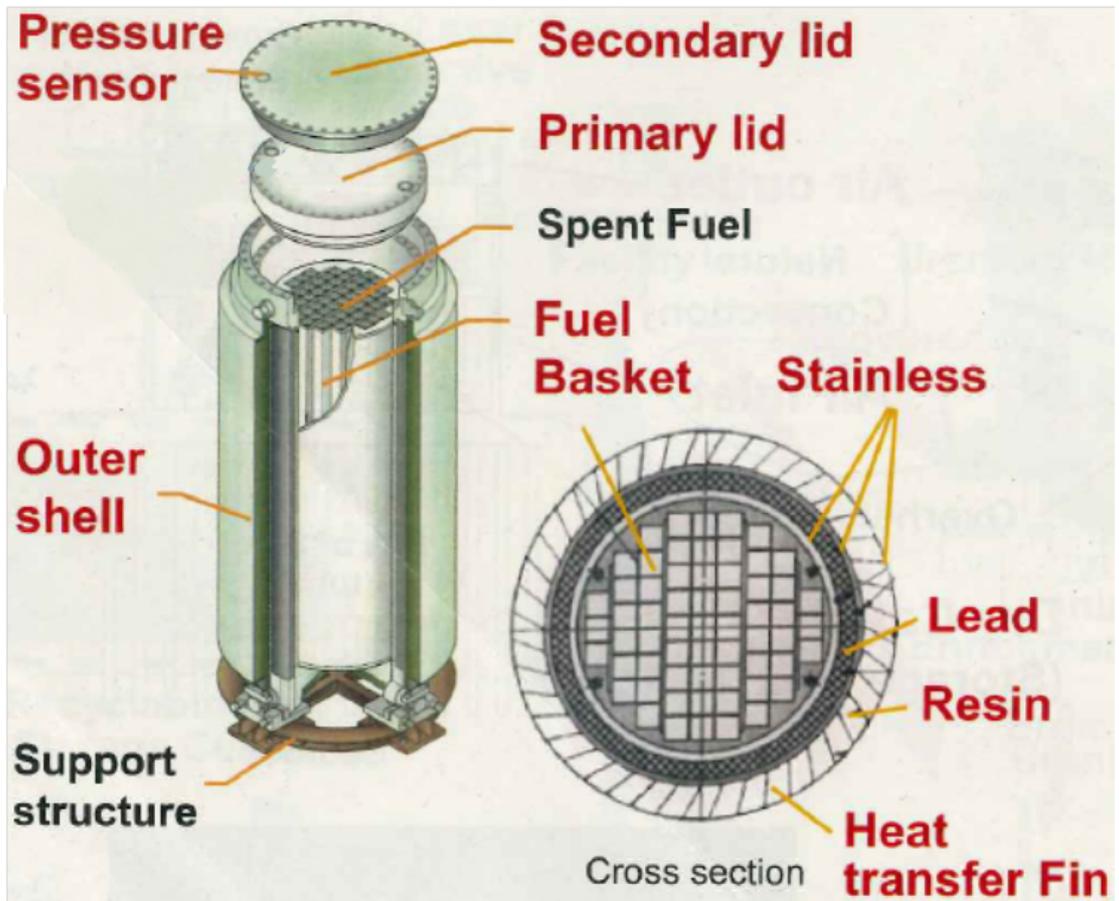


圖 11：乾式貯存設施金屬護箱構造

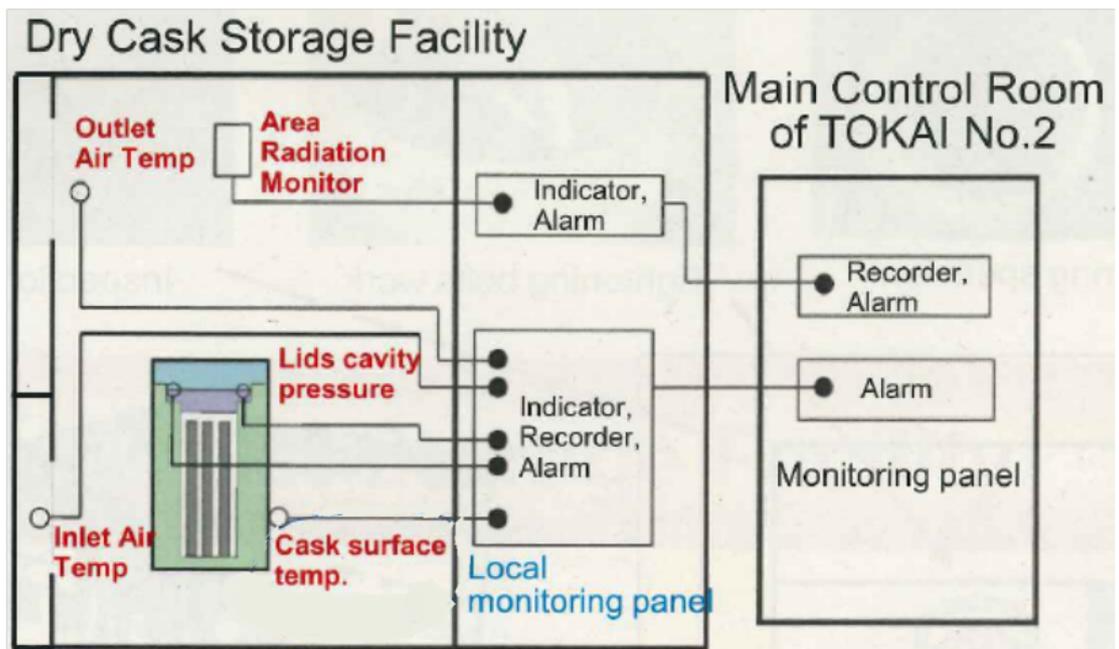


圖 12：室內乾式貯存設施之監測系統

## (二) 7月13日 日本原子力研究所 JPDR 參訪

日本原子力研究所的動力試驗反應器(JPDR, Japan Power Demonstration Reactor)於1963年10月開始運轉，透過照射試驗以驗證日本產製的核燃料應用在輕水式反應器之技術、研究反應器操作特性及取得核能電廠之建造、運轉及維修經驗。JPDR是沸水式(BWR)反應器，初期設計為45,000 kW，後來經修改增為90,000 kW，於1963年至1976年期間運轉，並於1996年完成除役。其除役分兩期推動如圖13所示；而對於爐體的拆除則分四階段執行如圖14所示。

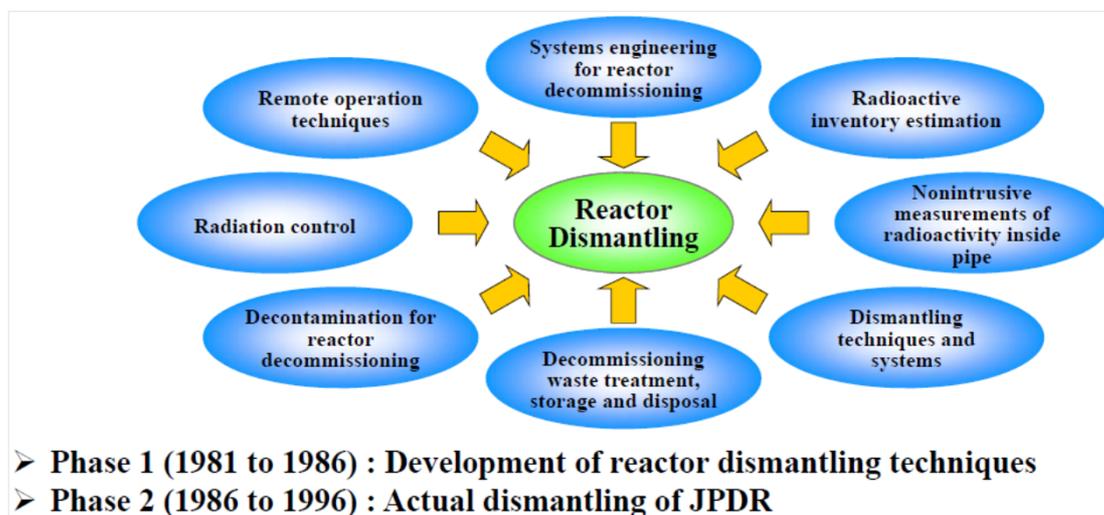


圖 13：JPDR 的除役推動期程

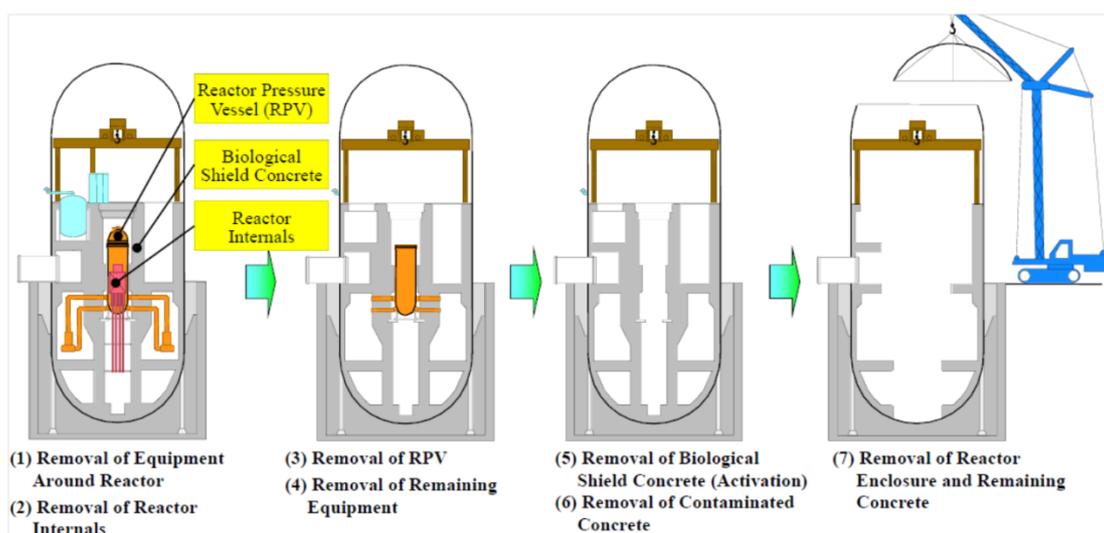


圖 14：JPDR 爐體拆除階段

除役拆解所使用的機具有電漿火炬、葉輪鋸(Saw Blade)、旋轉圓盤切割刀(Rotary Disk Knife)、水刀(Water Jet)及爆破法(Controlled Blasting)等。除役後經彙

整分析所蒐集的資料，大致分成輻射暴露、作業時程、廢料產量估算等幾個構面，如圖 15 所示，所建知識庫可應用作為未來核電廠除役規劃參考。JPDR 除役產生約 24,440 噸廢棄物，其中約 90%可再使用或逕行處置，至於低活度放射性廢棄物產生約 1,670 噸，將分兩期推動處置作業，第一期已於 1997 年完成地下掩埋，並覆蓋約 2.5 公尺的低透水性土壤。JPDR 除役所建立技術及發展經驗已應用於普賢核反應器及東海第一核電廠等設施之除役作業。

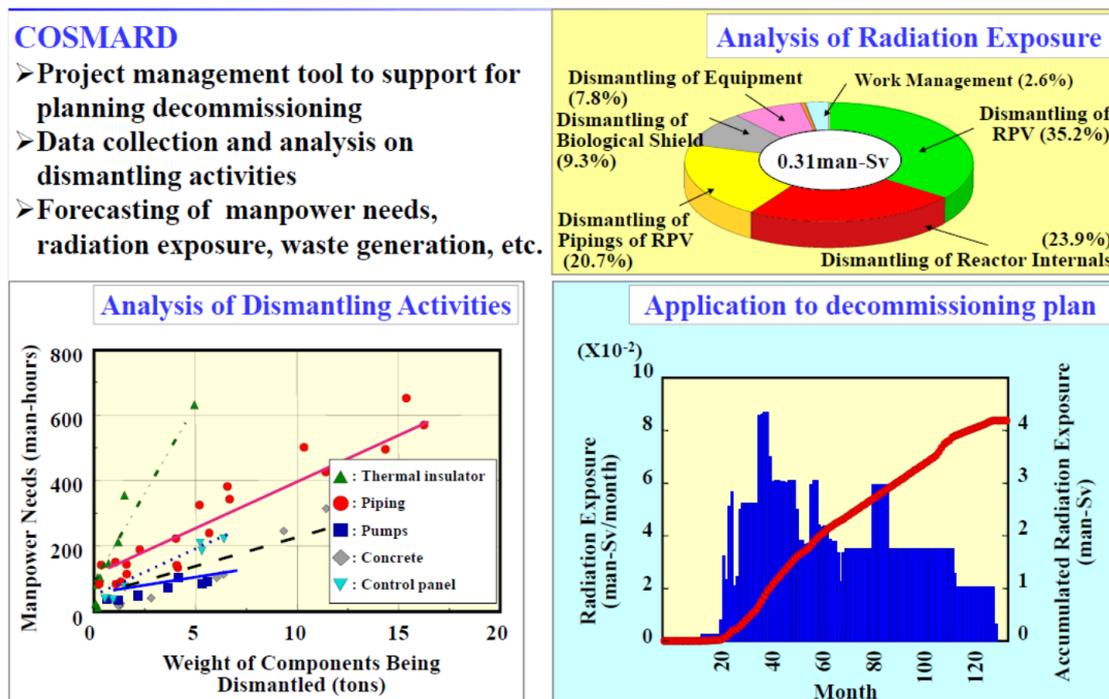


圖 15：JPDR 除役後彙整分析資料

JPDR 除役有關核廢料之評估，依組件、結構之污染情形，分成活化污染物(反應器組件及生物屏蔽)及二次污染物(管件與其他組件及混凝土結構體)分別評估。評估方法先用程式(DOT, ORIGEN)估算，接著採用非破壞檢測法(NDT)，進行輻射劑量量測及採樣分析以確認計算結果。有關活化分析先使用 DORT 計算中子通量再以 ORIGEN-MD 算出中子誘發活化，最後推算出放射性物料量及活度。計算中子通量之幾何模型之規劃係依結構及材料或距離分為 20 區，熱中子通量數分 12 群，計算結果經比較，發現與度量值接近。非破壞檢測法則採用銻(Ge)偵檢器配合準直儀(Collimator)利用遙控作業，以量測組件表面輻射劑量，而

採樣則先對於其廠房結構是否有汙染係先就該區域是否曾有發生積水之運轉紀錄進行了解，再採 2 公尺 X 2 公尺網格方式進行混凝土樓板及牆壁之表面及直徑 4 公分/深度 1 公分之鑽心取樣，量測放射性活度，若表面有汙染，則將表層以每次 0.2 公分方式進行刮除，直到無汙染(標準為 0.0014 Bq/g, 8000 秒)為止。若是有局部性穿透式汙染，則以直徑 4.7 公分/深度 10 公分鑽心取樣(標準為 0.011 Bq/g, 30000 秒)。至於二次汙染物中管件之輻射度量，係先做標準試片，與管件表面度量結果比較並建立校正曲線，其後就採用表面度量結果，去推算管件汙染情形。至於混凝土可作大面積取樣量測，配合汙染歷史紀錄進行修正，並執行微量測包括表面及鑽孔取樣，以確定汙染情形及估算比對。該廠作法基本上可作為國內在未來除役實務作業上之參考，至於汙染量測之取樣網格密度與鑽心大小是否具代表性，以及針對樓版有裂紋時之量測，則需再進一步蒐集國外電廠除役之作法。另外，控制室之消防系統盤仍保留部分監視系統，係利用攝影機連線到另一中心監視，此作法可兼顧人力與監視之目的。

JPDR 除役核廢料之處理及採用之盛裝容器，依拆除產生之固體廢料類別來源分別處理並選用不同容器，如圖 16 所示；有關貯存或處置則如圖 17。針對高活度放射性廢棄物則開發大型屏蔽容器，另針對低放及極低活度放射性廢棄物則規劃再使用為原則。除役工作發展了許多的技術及設備，用來降低工作人員的輻射曝露及加速除役工作進行，1981-1986 年為技術開發階段，1986-1996 年則為實際拆除階段。移除反應爐壓力槽對工作人員集體劑量貢獻最多，其次是移除爐內組件，工作人員之總集體劑量約為 4.2 人西弗，單月集體劑量最大值為 0.085 人西弗，而每月集體劑量約為 0.04 人西弗。

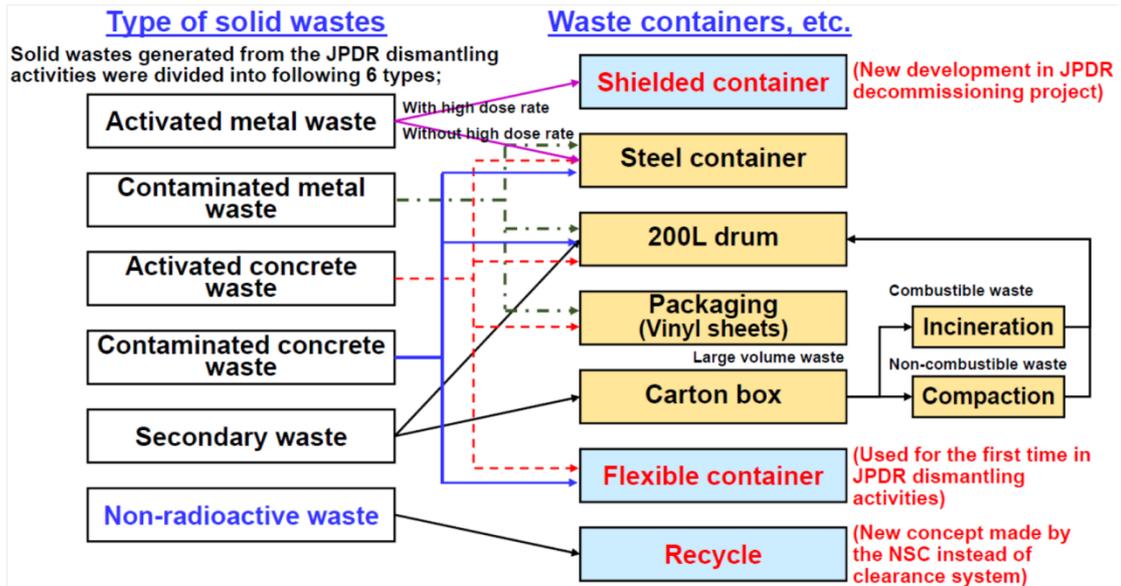


圖 16：JPDR 除役廢棄物選用盛裝容器表

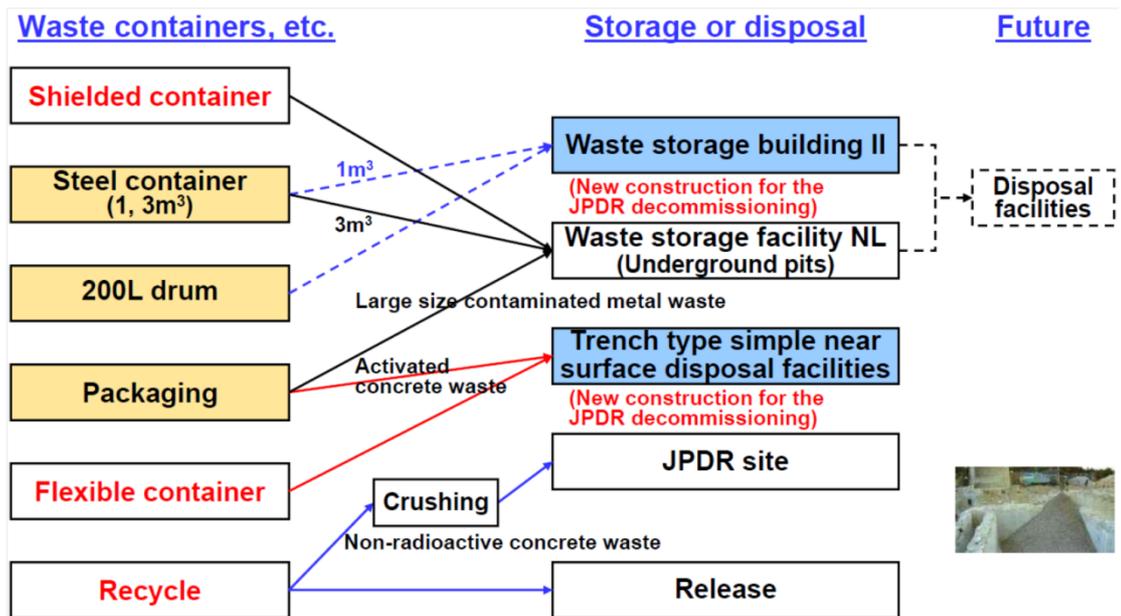


圖 17：JPDR 除役廢棄物之處置規劃

參觀 JPDR 原有廠址與廢棄物保管廠房：JPDR 的拆除並非將廠房全數拆解移除，而是僅拆除地面上的建物，以及地面下 1 公尺之上的建築體；地面下 1 公尺以下之建築體則於除汙後保留，並經回填後覆蓋一公尺的覆土，如今長了青草從外觀上已呈現恢復綠地。有關 JPDR 的場址再利用，因 NRA 尚在研擬相關的規制標準及規範，目前維持綠地外貌，並拉上封鎖線進行管制。

廢棄物保管廠房為存放 JPDR 拆除產生廢棄物之貯存庫。與我國一律採用 55

加侖桶做為盛裝容器不同，JPDR 除役廢棄物的盛裝容器除 55 加侖桶外，亦有黑色大型塑膠桶用以盛裝放射性廢液，正方形的金屬容器用以盛裝高劑量之固體廢棄物。因應盛裝容器的不同，其下的棧板設計亦不一樣，且有別於我國的金屬製棧板，JPDR 的棧板為塑膠製品，因此 311 東日本大地震時，曾發生棧板擠扁變形導致上層廢棄物桶掉落。事後，日方為加強棧板之固定，於相鄰之棧板間加裝固定螺絲(如圖 18)以避免晃動，並將頂層的廢棄物桶，4 桶一組以束帶固定(如圖 19)，以避免再發生掉落事故。



圖 18：相鄰棧板間加裝固定螺絲以避免晃動



圖 19：頂層的廢棄物桶 4 桶一組以束帶固定

## 附錄

### 附錄1 第3屆台日核能管制資訊交流會議出席人員

Participant List (TAIWAN)

AEC

邱 賜聰	Mr. Syh-Tsong Chiou	Deputy Minister
張 欣	Ms. Shin Chang	Director
廖 俐毅	Mr. Lih-Yih Liao	Director
陳 志平	Mr. Chih-Ping Chen	Deputy Director
廖 家群	Mr. Chia-Chun Liao	Deputy Director
何 恭旻	Mr. Gung-Min Ho	Section Chief
鄭 武昆	Mr. Wu-Kune Cheng	Senior Specialist
周 宗源	Mr. Chung-Yuan Chou	Technical Specialist
蘇 凡皓	Mr. Fan-Hao Su	Associate Technical Specialist
李 采芬	Ms. Tsai-Feng Lee	Associate Technical Specialist

Taipei Economic and Cultural Representative Office in Japan

吳 悅榮	Ms. Yueh-Jung Wu	Senior Assistant to the Representative, Science and Technology Division
------	------------------	---

Participant List (JAPAN)

NRA

櫻田 道夫	Mr. Michio Sakurada	Deputy Secretary-General, for Technical Affairs
原 裕	Mr. Yutaka Hara	Director, International Affairs Office
平野 雅司	Mr. Masashi Hirano	Senior Coordinator for International Collaboration, International Affairs Office
伊藤 夏希	Ms. Natsuki Ito	Deputy Director, International Affairs Office
山岡 直樹	Mr. Naoki Yamaoka	Deputy Director, International Affairs Office
(Topic 1.~Topic 8.)		
臼井 暁子	Ms. Akiko Usui	Deputy Director, Division of Licensing for Nuclear Power Plants
鈴木 宏二	Mr. Kouji Suzuki	Division of Licensing for Nuclear Power Plants
河合 宏文	Mr. Hirofumi Kawai	Deputy Director, Radiation Protection Policy Planning Division
丸岡 邦男	Mr. Kunio Maruoka	Technical Counsellor, Division of Research for Nuclear Fuel Cycle and Radioactive W
八木橋 秀樹	Mr. Hideki Yagihashi	Researcher, Division of Research for Nuclear Fuel Cycle and Radioactive Waste
田口 元二	Mr. Motoji Taguchi	Safety Reviewer, Division of Licensing for Nuclear Fuel Facilities
(Topic 11.)		
江畑 茂男	Mr. Shigeo Ebata	Senior Expert, Division of Research for Reactor System Safety
小西 秀雄	Mr. Hideo Konishi	Senior Expert, Division of Research for Reactor System Safety
深沢 正憲	Mr. Masanori Fukasawa	Director for for Severe Accident, Division of Research for Severe Accident
建部 恭成	Mr. Yasumasa Tatebe	Safety Examiner, Division of Licensing for Nuclear Power Plants
宇田川 誠	Mr. Makoto Udagawa	Safety Examiner, Regulatory Standard and Research Division

Japan-Taiwan Exchange Association

江藤 俊浩	Mr. Toshihiro Eto	Director, Trade and Economic Affairs Department
冨松 隆樹	Mr. Takaki Tomimatsu	Assistant-Director, Trade and Economic Affairs Department