

出國報告（出國類別：實習）

赴日本研習核能電廠稽察管制技術

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：張禕庭技士

派赴國家：日本

出國期間：102年 7月 23日至 102年 8月 11日

報告日期：102年 10月 22日

摘 要

本次赴日本實習目的在提升視察員稽查管制技術、強化視察員專業知能、強化國內核能安全管制體系、提升我國能見度與強化國際交流等。行程內容包括赴浜岡電廠、美浜電廠、福島縣地區、福島一廠、JNES 等單位觀摩實習與交流，以及參加日本保全學會所舉辦之維護科學暑期學校，課程含泊發電廠與 Japan Steel Works 公司之觀摩實習活動。

浜岡電廠與美浜電廠參訪重點為因應福島電廠事故後所作的安全強化措施及改善進度、免震重要棟設置情形、斷層調查現況、長時間停機期間設備之維護及管理。福島縣地區與福島一廠觀摩重點為天災造成的損害情形、核災後之復原現況、電廠除役進度及面臨問題等。維護科學暑期學校學習重點為日本對於核能電廠維護科學之理論與實務、實驗室參觀與體驗、JSW 參訪等。本次出國實習成果堪稱豐富，已將相關心得整理於報告中，並提出建議事項，期望有助於核安管制業務之推展，提升管制效能。

目 次

摘 要.....	i
目 次.....	ii
附件目錄.....	ii
表目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、行程內容及心得.....	3
一、浜岡電廠觀摩實習.....	3
二、美浜電廠觀摩實習.....	8
三、福島縣地區觀摩實習.....	11
四、福島一廠觀摩實習.....	15
四、赴 JNES 觀摩交流.....	19
五、參加維護科學暑期學校.....	22
肆、建議.....	38
伍、後記.....	40

附件目錄

附件一 浜岡電廠行程.....	40
附件二 美浜電廠行程.....	42
附件三 福島一廠行程.....	43
附件四 維護科學暑期學校課程表.....	44
附件五 維護科學暑期學校 2013 學員.....	47

表目錄

表 1 浜岡電廠、福島一廠基本資料表.....	4
表 2 學員背景資料分析.....	23
表 3 福島一廠使用之機器人.....	29
表 4 泊發電廠與核三廠之比較.....	33
表 5 JSW 供應之產品.....	34
表 6 JSW 取得之品保認證.....	35

圖目錄

圖 1	實體高「防波壁」模型	3
圖 2	實體大反應器模型	3
圖 3	緊急對策所	4
圖 4	免震棟支撐設計	4
圖 5	浜岡電廠「防止廠區進水」策略	6
圖 6	浜岡電廠「防止廠房進水」策略	7
圖 7	福島縣撤離命令區	11
圖 8	富岡町廢棄物集中貯存區	11
圖 9	富岡車站受損狀況	12
圖 10	民宅因地震毀損倒塌	12
圖 11	車輛因海嘯移動翻覆	12
圖 12	禁止通行管制點 1	12
圖 13	禁止通行管制點 2	13
圖 14	福島縣交通管制圖	13
圖 15	川內村污染廢棄物	13
圖 16	川內村輻射強度	13
圖 17	いわなの郷之遊客	14
圖 18	福島縣地區觀摩路線	14
圖 19	福島縣地區輻射劑量率(http://fukushima-radioactivity.jp/)	14
圖 20	福島一廠觀摩路線與廠區輻射劑量實測值	15
圖 21	凍土遮水壁示意圖	16
圖 22	擋水牆示意圖	16
圖 23	免震重要棟外觀	17
圖 24	免震重要棟內部	17
圖 25	反應爐飼水泵	18
圖 26	反應爐飼水泵發電機	18
圖 27	飼水緩衝槽	18
圖 28	多核種除去設備廠房	18
圖 29	高放射性廢水處理廠房	18
圖 30	1~4 號機反應器廠房	18
圖 31	4 號機新建屋頂示意圖與現況	19
圖 32	受海嘯侵襲的廠房	19
圖 33	地震倒塌的外電鐵塔(右側)	19
圖 34	中期貯存場設計示意圖	21
圖 35	反應爐模型	25
圖 36	Isolation Condenser 模型	25

圖 37	Robot-con	30
圖 38	PWR 模型	30
圖 39	泊發電廠長袖上衣	31
圖 40	圍阻體的彩繪	31
圖 41	泊發電廠廠區示意圖	32
圖 42	3 號機模擬器	32
圖 43	蒸汽產生器	33
圖 44	RCP 軸封	33
圖 45	JSW 生產之 RPV 組件	36
圖 46	分組簡報	37
圖 47	領取結業證書	37
圖 48	暑期學校學員與講師合影留念	37

壹、目的

本次出國研習主要目的有以下四項：

- 一、提升視察員稽查管制技術：藉由實際觀摩日本沸水式核能電廠(浜岡)、壓水式核能電廠(美浜、泊)之運轉經驗，尤其因應福島事故後所採行的強化項目以及實際執行成果，可以回頭檢視我國總體檢相關項目是否完整，亦能了解日本電廠改善的水準，提升國內視察員案件審查與現場稽查之管制技術能力。
- 二、強化視察員專業知能：參加維護科學暑期學校之完整課程，學習日本保全學會對於核能電廠維護作業之理論與建議；藉由沸水式核能電廠 Isolation Condenser 實驗課程、機器人救援核能電廠操控實作、以及壓水式核能電廠模型之操作等，體驗核能電廠之設計理念與獲取機器人操控之實際經驗；參訪龍門電廠重要設備生產廠家 Japan Steel Works 公司，了解 RPV、SG 組件之生產製作流程，與核能廠家應具有之品保認證等，可強化視察員核能領域整體專業知能。
- 三、強化國內核能安全管制體系：拜訪日本獨立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES)，了解日本今(102)年 7 月施行之「新管制基準」架構內容，並討論條文細節。有助於比較我國與日本核能安全相關管制法規結構、執行上之差異，進而截長補短，強化我國核安管制、視察體系及視察執行方式等。日方亦分享福島一廠現況以及廠內外放射性廢棄物之處理等，有助了解核能電廠除役工作可能面對的問題，可進一步精進我國除役管制作法。
- 四、提升能見度與強化國際交流：本次赴日研習行程獲得駐日代表處之協助，與日本中部電力公司、關西電力公司、東京電力公司、原子力安全基盤機構(JNES)、日本保全學會(JSM)等皆有所接觸；於維護科學暑期學校時，與中國大陸、日本之研究生亦建立良好的情誼，有助提升我國之能見度與強化國際交流。

貳、過程

此次赴日本行程，首先於 102 年 7 月 23 日自松山機場搭機直飛東京羽田機場，7 月 24 日起搭車前往靜岡縣浜岡電廠(於京都過夜)、福井縣美浜電廠觀摩實習(於大阪過夜)，7 月 27 日搭新幹線自大阪返回東京，7 月 28 日搭車前往福島縣地區(於福島縣磐城市過夜)，7 月 29 日至福島一廠觀摩實習後返回東京。7 月 30 日赴東京 JNES 總部觀摩交流。8 月 3 日自東京羽田機場搭機前往北海道新千歲機場，8 月 5 日起赴北海道大學參加維護科學暑期學校，至 8 月 10 日結束，其間於 8 月 7 日安排至泊發電廠觀摩實習、8 月 8 日至 Japan Steel Works 公司觀摩實習。8 月 11 日自北海道新千歲機場搭機返回桃園機場，結束為期 17 天之行程，整體行程簡列如下：

日期	工作內容
7 月 23 日	搭機前往日本東京(松山機場至羽田機場)
7 月 24 日	浜岡電廠觀摩實習
7 月 25 日至 26 日	路程及美浜電廠觀摩實習
7 月 27 日至 29 日	路程及福島縣地區、福島一廠觀摩實習
7 月 30 日	赴 JNES 觀摩交流
8 月 3 日	搭機前往日本札幌(羽田機場至新千歲機場)
8 月 4 日	資料整理
8 月 5 日至 6 日	參加維護科學暑期學校
8 月 7 日	泊發電廠觀摩實習
8 月 8 日	Japan Steel Works 公司觀摩實習
8 月 9 日至 10 日	參加維護科學暑期學校
8 月 11 日	搭機返回台北(新千歲機場至桃園機場)

參、行程內容及心得

一、浜岡電廠觀摩實習

(一)7月24日搭車前往浜岡電廠(Hamaoka Nuclear Power Plant)，廠方安排參訪人員先到浜岡原子力館(即浜岡電廠的核能展示中心)會議室，接待人員為Yusuke Kajikawa先生(職稱為General Manager of Executive Office)及Hajime Fukumoto先生(職稱為General Manager of Engineering Department)，簡單寒暄後，由Yoshiaki Shimizu先生(職稱為Manager of Decommissioning Planning Section)就浜岡電廠概況作簡報，其後並播放電廠宣傳影片，影片內容包括浜岡電廠建廠施工時狀況，以及近來因應福島電廠事故情境所採取之一系列改善措施。隨後參訪人員離開會議室，於浜岡原子力館內參觀與實體同高(22公尺)之「防波壁」(即海嘯牆)模型(圖1)，並以模型來解說。館內也有3號機實體大(22公尺)的反應器模型(圖2)及其他控制盤面、燃料、鋼筋混凝土模型等。



圖1 實體高「防波壁」模型



圖2 實體大反應器模型

接著搭乘電廠接駁車至廠內各處參觀，參觀地點與項目包括：「防波壁」興建現況、海水泵「溢水防止壁」建造結果、燃料廠房增設之防水門、廠區高台處施工現況等，再搭車至5號機廊道參觀主控制室、用過燃料池，最後到緊急對策所參觀設施(圖3)，緊急對策所位於免震重要棟內，至地下室參觀結果，告

知於建造時僅考量水平耐震能力(圖 4)。現場參觀完畢後再回到浜岡原子力館會議室作最後之問題與回答。行程詳參附件一。



圖 3 緊急對策所



圖 4 免震棟支撐設計

(二)浜岡電廠地理位置在東京西南方 200 公里的東側海岸邊，行政區域屬靜岡縣御前崎市，為日本中部電力株式會社所有，其內共有 5 部機組，反應器與圍阻體型式分別為：1、2 號機為 BWR-4 與 Mark-1(與國內核一廠型式相同)；3、4 號機為 BWR-5 與 Mark-1 改良型；5 號機為 ABWR 與 RCCV(預力鋼襯混凝土型)(參見表 1 之基本資料)。

表 1 浜岡電廠、福島一廠基本資料表

機組	浜岡電廠				福島一廠		
	1	2	3	4	1	2	3
反應器	BWR-4		BWR-5		BWR-3	BWR-4	BWR-4
圍阻體	Mark-1		Mark-1 改良型		Mark-1		
額定發電(MWe)	540	840	1,100	1,137	460	784	784
商轉年份	1976	1978	1987	1993	1971	1974	1976
現況	除役		停機檢查		除役		

(三)浜岡電廠 1、2 號機已於 2009 年 1 月 30 日停止運轉，除役工作進行中。3 號機於 2010 年 11 月 29 日起停機定期檢查。福島事故後，研究認為此區域在往後 30 年內發生規模大於 8.0 地震的機率超過 87%，因此內閣總理大臣要求 4、

5 號機停機，已分別於 2011 年 5 月 13 日與 5 月 14 日起停機，也要求 3 號機不要再起動。

(四)浜岡電廠之興建歷史：1967 年中部電力株式會社提出於當時的浜岡町興建核能電廠計畫，出現反對意見，尤其是漁民與附近 2 個町，最後浜岡町有條件接受此計畫。1968 年附近 2 個町及 5 個漁民協會設立 Nuclear Study Meeting(對策審議會)。1969 年 4 月「電源開發協調委員會」同意 1 號機興建計畫，同年 12 月 5 個漁民協會亦有條件同意。1 號機遂於 1971 年開始動工，1976 年開始商業運轉。

(五)浜岡電廠周圍之 5 個町(大東町、小笠町、相良町、浜岡町、御前崎町)人口約 10 萬人，若以周圍的 4 個市(掛川市、菊川市、牧之原市、御前崎市)來說，則為 25 萬人。(註：2004 年 4 月 1 日浜岡町與御前崎町已合併為御前崎市。)浜岡電廠與靜岡縣及上述 4 個市簽有安全協議。

(六)浜岡電廠佔地 1.6 平方公里，員工 831 人，包商 2,763 人，因沿岸的海很淺，是日本唯一沒有專屬港口的核能電廠，所有大型物件(如核燃料與放射性廢棄物)之運輸係透過 10 公里外的御前崎港。各機組之冷卻海水由離岸 600 公尺的取水塔取水，出水口則在岸邊。

(七)浜岡電廠之組織，最高為原子力総合事務所長(相當國內的廠長)，下設兩個單位，一個單位為浜岡電廠，其下包含電廠相關品保、技術、發電、維護、研修部門；另一則為浜岡地域辦公室，下設民眾溝通、社區關係、原子能展示館等單位，此與國內電廠組織不太一樣，較為重視對外溝通。

(八)根據以往資料指出，沿著南海海溝(Nankai Trough)約每 100 至 150 年會發生芮氏地震規模 8 之地震，浜岡電廠之耐震設計即是考量 1707 年宝永地震與 1854 年安政東海地震同時發生，以 600 gal 為設計基準。然而為了讓周圍居民對電廠安全更有信心，浜岡電廠已自願將耐震基準由 600 gal 提昇至 1000 gal(指岩盤處)，並於 2008 年 3 月完成 3~5 號機相關建設，包括煙囪、管路、電氣線路、燃料更換機、反應器廠房吊車、油槽等之耐震強化。

(九)浜岡電廠 1~5 號機反應器廠房係為複合式建物，重心較低且有較寬的地基，以增強耐震能力，重要之設備如緊急柴油發電機就放在反應器廠房內。與福島一廠相比較，福島一廠反應器廠房為單一建物，重心高、地基窄。因浜岡電廠反應爐與一次圍阻體已有充份耐震餘裕，故未再加以強化。

(十)浜岡電廠防海嘯對策兩大主軸為：防止廠區進水與防止廠房進水。在「防止廠區進水」方面(參見圖 5)，建造長 1.6 公里，高於海平面 22 公尺之「防波壁」，防止廠區灌進海水，2012 年 12 月 21 日已完成 18 公尺高之防波壁，預估 2013 年底可完成加高至 22 公尺。為防止海嘯侵襲時取水池之水位上升會淹至廠區，故於取水池四周增設 1.5 公尺高之「溢水防止壁」，已於 2012 年 12 月 18 日完成。針對此部分，國內電廠取水槽若與廠房在相同高程或較高處，應考慮受地震影響槽體破裂時，造成之廠內淹水事件是否有威脅並加以防範。

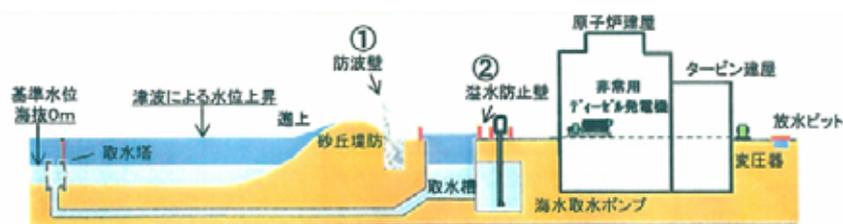


圖 5 浜岡電廠「防止廠區進水」策略

(十一)考量萬一海嘯高於 22 公尺時，在「防止廠房進水」方面(參見圖 6)，對策包含於反應器廠房設置雙道防水門，以及將反應器廠房內之緊急柴油發電機房間、緊急爐心冷卻系統房間等增設或強化水密門，防止重要設備浸水。此時室外型海水泵可能因海嘯而損壞，因此增設防水泵室與備用海水泵，已於 2012 年 9 月 30 日完成。另於取水池內安裝濾網以阻絕漂流物，提高海水泵可用性，已於 2013 年 3 月 11 日完成。針對此部分，國內電廠經營者評估各廠廠區皆高於海嘯上溯高度，因此廠房僅以擋水板處理，緊急柴油發電機房間或輔助飼水泵房間等，並沒有設置水密門；若未來海嘯高度評估結果可能影響廠區時，應可採行浜岡電廠對策。

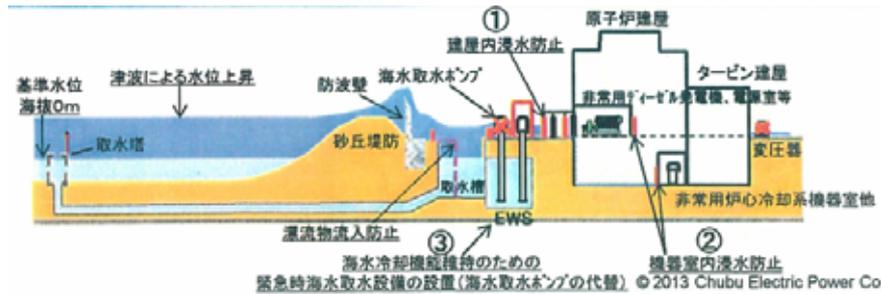


圖 6 浜岡電廠「防止廠房進水」策略

- (十二)考量福島一廠喪失交流電源與冷卻水之情境，因此浜岡電廠之緊急對策強化方案，在電源供應方面：於廠址高處安裝氣渦輪發電機與電源/配電盤、於反應器廠房上安裝緊急柴油發電機(已完成)、增設備用直流蓄電池等。在注水設備方面：於反應器廠房上設置氣冷式熱交換器，可冷卻高壓安全注水泵、妥善保管移動式水泵(已完成)、新增儲水槽(包括地下儲水槽，14 天水量)使水源多樣化、增加由新野川取水使取水多樣化、補水系統管路耐震強化。在熱移除方面：安裝氮氣瓶以操作圍阻體排放閥(已完成)、增設圍阻體排放閥遠端操作開關、於廠區高處增設緊急設備儲存庫，保存備用泵(RCWS、RCCW、RHR)與馬達等。其他還包括準備重型設備(如堆土機)置於廠區高處(已完成)。
- (十三)強化外電可靠性方面，安裝替代變壓器(500kV/6.9kV)於廠區高處，可長期供應爐心冷卻所需之大電力。部署可移動式變壓器(77kV/6.9kV)，可使用 500kV 線路自 77kV 外電受電。強化配電線路，由廠外一般高壓配電線增設線路連接至緊要匯流排。5 號機原有 4 回路自 500kV 外電受電，增設 2 回路自 275kV 外電受電(2013 年 3 月 26 日完成)，3、4 號機原有 6 回路也已被妥善保護。
- (十四)由上述可知，浜岡電廠因應福島電廠事故之強化措施，包括防止海嘯入侵、防止廠區淹水、防止水進入廠房、增設額外交/直流電流、增設冷卻水源、強化外電可靠性等，因為浜岡電廠與福島一廠、我國核一廠之設計與年份非常相近，因此浜岡電廠針對福島電廠事故所採取的各項強化措施背後之設計理念與設計考量值得深入了解與採行。目前我國各核能電廠正進行總體檢相關改善案，此行了解浜岡電廠之強化措施，有助於本會後續推動相關管制作為以及稽查電廠總體檢之改善結果。

(十五)浜岡原子力館的海嘯牆模型，係依最新時事所增設，非常具有教育意義與宣傳效果，反觀國內核能展示館開館後，鮮少進行展示品更新，亦無設置總體檢改善措施之專區，無法滿足民眾持續獲得新知的需求。此外，國內展示品一般採用縮小模型，此與浜岡原子力館之完整尺寸海嘯牆或反應器模型，所能提供的身歷其境感覺，相去甚遠。建議國內核能展示館，或有核能相關科系之大學院校、核能研究單位等，在設置核能展示時參考上述意見。

二、美浜電廠觀摩實習

(一)7月26日搭車前往美浜電廠(Mihama Nuclear Power Plant)，廠方安排參訪人員先至位於廠外之美浜原子力 PR センター(核能展示中心)會議室進行簡報，簡報內容為美浜電廠興建歷史、因應福島電廠事故之改善措施、廠區破裂帶調查進展、長期停機之設備維護方案等，並發給人員參觀證件。然後引導人員搭乘接駁車前往電廠，電廠大門處警衛人員除查核車輛通行許可，還使用凸面鏡詳細檢查車底，警衛並上車逐一確認人員是否持有證件，安檢措施非常落實。進入廠區後，尚需逐一核對護照姓名照片及領取入廠教育書面資料，才能取得另一張感應卡刷卡進入。進入後由技術課長長谷川先生陪同參觀3號機汽機廠房、取水口、因應福島電廠事故之改善措施、2號機蒸汽產生器展示館等。現場參觀完畢後再回到美浜原子力 PR センター會議室作最後之問題與回答。行程詳參附件二。

(二)美浜電廠位於日本中部北陸地方的福井縣三方郡美浜町，屬日本關西電力株式會社所有，其內共有3部壓水式反應器，其中1號機於1970年11月商業運轉，是日本首部壓水式反應器。運轉歷史上曾發生2次較嚴重之事件，為1991年2號機蒸汽產生器管束破裂，與2004年3號機冷凝器破管事件。

(三)美浜電廠1號機自2010年11月24日起停機進行第25次定期檢修、2號機自2011年12月8日起停機進行第27次定期檢修、3號機自2011年5月14日起停機進行第25次定期檢修。因長時間停機之影響，需對停機時仍需運轉或仍

需具備功能之設備適當地維護，以及停機時不需運轉，但機組起動後需使用設備等，有完整之維護保存方案。美浜電廠之考量包括如何對一二次側系統維護保存、如何篩選設備進行額外維護、對需額外維護設備之檢查、如何確保維持需求的功能等。

(四)以美浜電廠 3 號機為例，一次側冷卻水系統及其設備仍浸在水中，水需通過流程上的 condensate polisher 來維持高純度，以使組件處於防腐蝕的環境。電廠已建立適當的水質管理方針，每個月執行水質分析一次。

(五)對於二次側設備有 3 種保存方式，即溼式保存：添加聯氨移除水中溶氧來抑制腐蝕，此種方式每 6 個月檢查一次聯氨濃度；乾式保存：使用經乾燥後之空氣來抑制腐蝕，每周檢查一次溼度；氮氣保存：灌注氮氣防止氧氣進入來抑制腐蝕等。二次側設備個別隔離後，依上述 3 種方式之一來維護。冷凝水泵、低壓飼水加熱器管側、輔助飼水泵、高壓飼水加熱器、蒸汽產生器殼側液相部分，皆採溼式保存。高壓汽機、低壓汽機、冷凝器等為乾式保存。蒸汽產生器殼側氣相部分為氮氣保存。

(六)針對機組停機期間具有功能要求或仍在運轉中之設備，則篩選決定是否需額外維護。篩選主要考量：(1)設備是否會隨時間劣化，(2)是否有困難來判定額外維護與檢查不需要，(3)設備是否依規範需每年維護。若評估為是，則此設備需額外維護。篩選結果需額外維護設備可歸納為 3 類：(1)依頻率來看，如緊急柴油發電機，(2)依顧慮來看，如餘熱移除泵，(3)依過往曾碰到的問題來看，如圍阻體噴撒閥。不需額外維護設備者如調壓槽安全閥、電動輔助飼水泵等。

(七)美浜電廠每次停機定期檢修時程約為 3 個月，目前 3 部機組皆已停機超過 2 年，為了機組再起動後，系統設備能維持應有功能，因此停機期間對設備之保存維護至為重要。國內電廠從大修解聯至再起動一般約在 30 天左右，尚未碰到需長期停機之情況，惟美浜電廠作法仍值得參考學習。

(八)此次參訪之際，美浜電廠正在進行斷層調查。美浜電廠東方 1 公里處有白木-丹生斷層(Shiraki-Nyu fault)，屬於活斷層，且廠區內有 9 處破裂區(fracture

zone)，因此NISA(Nuclear and Industrial Safety Agency)於2012年要求重新調查以評估地震風險。美浜電廠於海陸域分別進行：槽溝與剝洗、陸域地質鑽探、取樣分析、陸域反射震測、地質探勘、海域音波探測、海底地形測繪、全區域空載雷射地形測繪等，調查重點之一為廠區破碎帶形成年代與其上覆蓋地層變位及錯動特性，以釐清破碎帶之活動性；重點之二為釐清破碎帶與白木-丹生斷層之相關性。

(九)美浜電廠斷層調查最終報告，認為廠區內破裂區沒有更新世(約12~13萬年)以後活動跡象；廠區外部分，根據於丹生灣進行海域音波探測，及丹生地區北方全區域空載雷射地形測繪判讀結果，認為廠區內破裂區與白木-丹生斷層沒有關連性，目前報告正提送日本原子力規制委員會審查中。

(十)原能會基於經濟部中央地質調查所將山腳斷層、恆春斷層列為第二類活動斷層，於98年即要求台電公司執行「核能電廠耐震安全再評估精進作業」，針對核一、二、三廠周圍區域(陸域及海域)進行地質及地震活動再確認，以了解潛在地震對核能電廠之影響。耐震精進作業共分成「海域、陸域地質調查」、「地震危害度分析與設計地震檢討」、「核電廠各安全相關結構、系統及組件(SSCs)耐震餘裕檢討及適當補強作為」等三階段分別執行，倘若評估結果耐震餘裕不足即應進行耐震補強，以確保機組系統及相關設備在超過設計基準強震來襲時仍保有充分的工程設計餘裕，執行安全停機功能。建議未來可持續關注日本原子力規制委員會對美浜電廠調查報告之審查意見與進一步之管制措施，以供原能會對國內核能電廠執行稽查或訂定管制作為之參考依據。

(十一)美浜電廠在因應福島電廠事故措施方面，有三大主軸，即電源確保、水源確保、浸水防範等。除了硬體配置外，亦強調實際演練，例如在電源確保方面，演練結果建議為了防範下雨天氣，要提供變壓器遮雨罩；為了避免接線錯誤，電源線連接頭處應做記號、為了電源線連接更加快速，連接頭形式要改良、為了夜間作業方便，應提供人員頭燈等。水源確保方面演練結果，建議水槽出口連接頭由凸緣式改為快速連接式、移動式泵安置地點預先做上記號、人員配備

無線電連絡等。其他方面的改善，包括假日與夜間應變人力由 26 人增至 47 人、強化人員緊急傳呼系統、建造直升機場、提供夜間海路運輸、強化與設備供應商之緊急連繫等。

(十二)前述美浜電廠實際演練結果之改善建議，同樣適用於國內核能電廠，且是很值得學習之經驗回饋，建議於國內核能電廠進行核安演習時，納為查證項目，提供給電廠持續精進。

三、福島縣地區觀摩實習

(一)7 月 28 日搭車自東京出發，向東北進入福島縣，行經磐城市(いわき市)、双葉郡的広野町、楡葉町。楡葉町已進入福島一廠 20 公里的範圍，依日本復興廳(Reconstruction Agency)的資料，這個區域的地表輻射劑量估計在每年 20 毫西弗以下，已劃為「避難指示預備解除區」(圖 7)，福島縣內屬於此區的總人數約有 3 萬 3 千人。再往北進入双葉郡富岡町，於富岡町道路旁，可以觀察到很多用黑色塑膠袋盛裝的放射性污染廢棄物，包括除污產生的表土、樹葉、草莖、垃圾等之集中貯存區(圖 8)。



圖 7 福島縣撤離命令區

圖 8 富岡町廢棄物集中貯存區

(二)富岡町絕大部分區域屬於「居住限制區」，已開放居民於日間返回整理家園，

實際觀察結果人車都很稀少，這個區域沒有通行證的車輛禁止進入。福島縣之「居住限制區」估計原有居民約 2 萬 5 千人，目前年劑量在 20 毫西弗以上。搭車繼續於富岡町內觀察地震與海嘯造成之災害，行經至距太平洋約 2 百公尺的富岡車站時，發現受到天災影響，車站主體建築以及電力系統皆遭受嚴重損害，目前已荒廢不用(圖 9)。再往內陸方向觀察，發現附近民宅受地震搖晃影響而毀損倒塌(圖 10)，車輛受海嘯捲起而移動翻覆(圖 11)，顯示天災之威力，對公共建設與民眾財產造成重大損失。沿著 6 號道路繼續向北進入双葉郡大熊町(福島一廠即位於大熊町之東北角)後，此時遇到禁止通行管制點(圖 12)，管制人員在今(102)年 3 月 25 日前係由警察單位負責，目前則改由環境省及東電公司共同派員擔任。管制點內之區域屬於「歸還困難區」，此區內的年劑量在 50 毫西弗以上，預估居民需長期撤離。



圖 9 富岡車站受損狀況



圖 10 民宅因地震毀損倒塌



圖 11 車輛因海嘯移動翻覆



圖 12 禁止通行管制點 1

(三)因為沒有通行證，無法繼續向北前進，因此回頭向西改行 36 號道路，接 399

號道路再轉接 288 號道路，再次進入双葉郡大熊町，但剛進入又遇到管制點(圖 13)，依然無法進入。其後於福島縣政府網頁查得福島縣「帰還困難区域迂回路情報」(圖 14)，提醒民眾往來磐城市與相馬市間的通行道路與管制現況。



圖 13 禁止通行管制點 2



圖 14 福島縣交通管制圖

(四)沿著 36 號道路於双葉郡川内村前進時，看到部分民宅除污已完成，已有居民返家居住，道路旁仍不時可見污染廢棄物集中處(圖 15)。於 399 號道路附近一處名叫「いわなの郷」處，發現當地設置了環境輻射偵測器，量測數值為 0.125 微格雷/小時，再以隨身攜帶之劑量儀量測得到 0.09 微西弗/小時，在背景值以下(圖 16)。



圖 15 川内村污染廢棄物



圖 16 川内村輻射強度

(五)「いわなの郷」提供釣魚、用餐、住宿與集會服務，觀察到有許多家庭到此休憩與用餐(圖 17)，顯示當地已經漸漸回復到正常生活狀況。總結今日於福島縣

地區(圖 18)觀摩結果,天災(地震與海嘯)可能對公共建設與民眾財產造成重大損失,應該事先預防。福島一廠事故,造成鄰近區域放射性污染,往後放射性廢棄物之處理與處置勢必花費相當之資源。而受輻射影響,居民必須撤離家園,包括居住、交通路線、工作等皆受很大影響。有鑑於此,國內應持續強化核能電廠安全性,不能重蹈覆轍。圖 19 為福島縣政府公布之輻射劑量率。



圖 17 いわなの郷之遊客

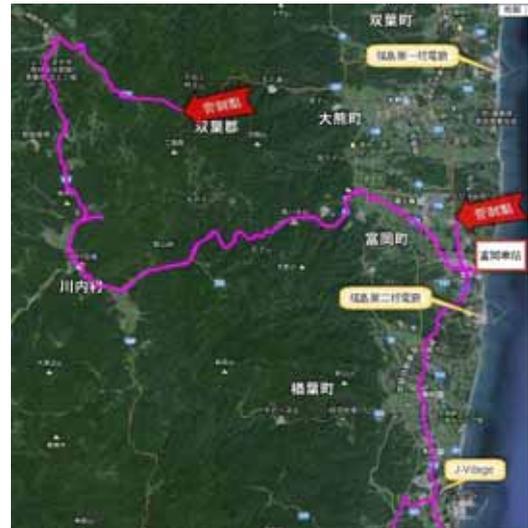


圖 18 福島縣地區觀摩路線



圖 19 福島縣地區輻射劑量率(<http://fukushima-radioactivity.jp/>)

四、福島一廠觀摩實習

(一)福島一廠之觀摩實習行程經事先透過駐日代表處安排，於7月29日依規劃搭車自福島縣磐城市(いわき市)出發，前往福島縣檜葉町的J-Village，此處距離福島一廠約20公里。J-Village原為日本國家足球隊的訓練場地，福島電廠事故後轉為應變人員中繼站兼管制站，場地亦做為直升機場、重型設備儲存區、停車場、車輛除污處等。抵達J-Village後由福島一廠副廠長菅沼希一接待，他說明今日參訪路線(圖20)，並簡單地提及目前福島一廠最重要的兩個優先議題為放射性廢水與用過核燃料之處理。在此取得識別證後，搭乘「東京電力公司」巴士，在宣傳部阿部弘帶領下前往福島一廠。



圖 20 福島一廠觀摩路線與廠區輻射劑量實測值

(二)進廠後首先進入「入退域管理棟」，參訪人員被要求穿著長袖衣褲，然後在接待人員指引下穿戴醫療用口罩、鞋罩、兩層手套(布與塑膠)及領取個人用輻射曝露劑量器 APD 等，接著前往聽取福島一廠廠長小野明說明目前電廠概要情形。

(三)依 7 月 29 日廠長與副廠長及 7 月 30 日 JNES 人員之說明，目前福島一廠所面臨最大的問題，是每日會增加 400 公噸的放射性廢水，目前廠內多核種除去設備(ALPS)最大廢水處理量僅 500 公噸。這些水的來源包括由毀壞廠房屋頂進入的雨水，與經由地下溝渠、廠房間隙滲入的地下水，這些水與原先冷卻機組的水混合後，形成放射性廢水。目前廠內已貯存 32 萬噸的污染廢水，已快要接近 34 萬噸的貯存容量，預計 2 年內貯存容量要先增加至 70 萬噸，2016 年擴充至 80 萬噸。福島一廠之營運者東京電力公司(TEPCO)打算的解決方法之一為在地下水進入廠房前(上游處)，開挖 12 個地下井，再由井抽除地下水。其二為填封廠房之穿越管路(水管、電纜)與門縫等，TEPCO 估計有超過 880 處需施作。其三為在廠區四周建造「凍土遮水壁」，使用冷凍劑將電廠周圍的土層冰凍起來，藉以阻止地下水流入(圖 21)。以上三種方式皆在減少地下水進入，以降低放射性廢液產生率，另為避免洩漏至海水，形成海洋污染，福島一廠正在海邊建造擋水牆，牆的深度需穿入低透水層，第 1 層已完工，第 2 層也將完工(圖 22)。

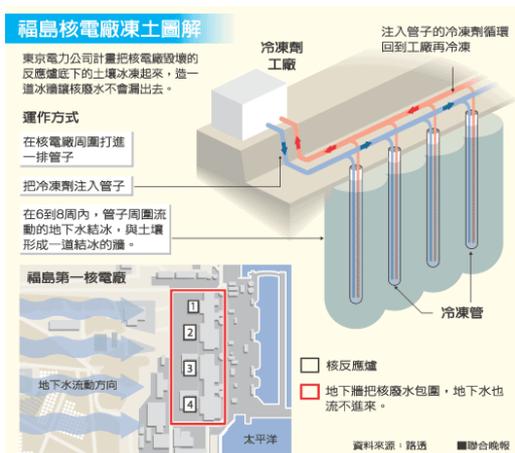


圖 21 凍土遮水壁示意圖
(取自聯合晚報)

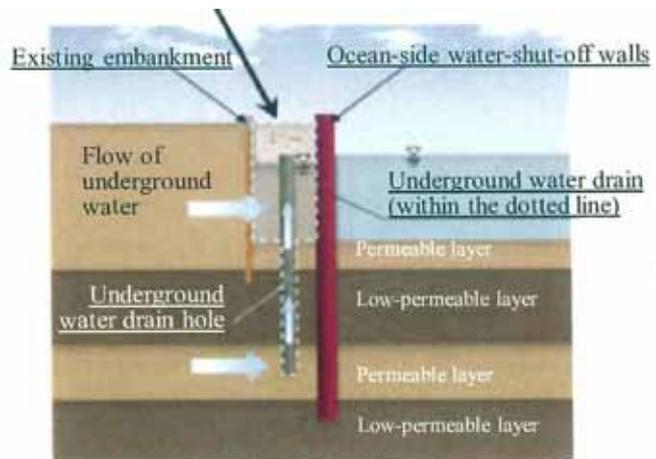


圖 22 擋水牆示意圖

(四)繼續前往「免震重要棟」(圖 23)，這是 TEPCO 在檢討 2007 年新潟縣中越沖地震時，柏崎刈羽電廠(Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plant)因地震造成的問題後而興建，在 311 事故前 6 個月才完工，具有屏障輻射的功能。然因設計時並未考量到周圍爆炸之影響，結果在 311 當時，因氫氣爆炸造成免震重要

棟大門變形，喪失阻絕外界空污的功能。311 後，免震重要棟做為電廠內工作人員居留休息與決策執行的場所(即緊急應變中心)，惟適居性功能喪失，造成電廠工作人員受到體內吸入污染遠大於體外污染，人員依醫師指示服用碘片達 3 個月。後來經過整棟建築內部除污，才恢復到背景值的狀況。免震重要棟設計上準備 300 人生活 3 天之水與食物，但因事故後曾有 750 人居留，造成 1 天 1 人只能喝 1 瓶水、吃 1 餐的情況。目前免震重要棟內白天有 200 多人，晚上有 80 人值勤，主要工作為監視 1-4 號機組善後處理狀況，有問題時可立刻派員處理。免震重要棟內之視訊設備，可連線到 TEPCO 本部、福島縣政府、福島第二核電廠、柏崎刈羽核電廠等相關單位作視訊會議，另有廠區監視攝影機之即時畫面，可以幫助工作人員了解現場狀況(圖 24)。這裡同時也提供日本原子力規制委員會(Nuclear Regulatory Authority, NRA) 7 位駐廠人員辦公之用，晚上則有 1 位值夜班。



圖 23 免震重要棟外觀



圖 24 免震重要棟內部

- (五)離開免震重要棟後，參訪人員搭上 TEPCO 之巴士，觀摩行程人員全程於車內進行觀察。此時 TEPCO 車輛為防止污染，已於車身內部地面、座椅上皆鋪上透明塑膠布。巴士依序帶領觀摩反應爐飼水泵(圖 25)與發電機(圖 26)、飼水緩衝槽(圖 27)、用過燃料乾貯臨時儲存場、多核種除去設備(Multi-nuclide Removal Equipment, 簡稱 ALPS)廠房(圖 28)。ALPS 可以移除水中 62 種放射性物質，但無法移除氬，因為氬主要是以水的形式存在。
- (六)接著前往高放射性廢水處理廠房(圖 29)、遠眺 1~4 號機反應器廠房(圖 30)、行經 4 號機時 TEPCO 介紹 4 號機反應器廠房正在興建新的屋頂，屋頂將架設燃

料吊運設備以移除用過燃料(圖 31)。途中也看到受海嘯侵襲的廠房(圖 32)、用過核燃料乾式貯存廠房(因受海嘯衝擊有所損壞不再使用)、5~6 號機反應器廠房(因地勢較高，因此天災並未產生嚴重影響)、緊急柴油發電機 6B、地震倒塌的外電鐵塔(圖 33)等。福島一廠整體行程參見附件三。



圖 25 反應爐飼水泵



圖 26 反應爐飼水泵發電機



圖 27 飼水緩衝槽



圖 28 多核種除去設備廠房



圖 29 高放射性廢水處理廠房



圖 30 1~4 號機反應器廠房

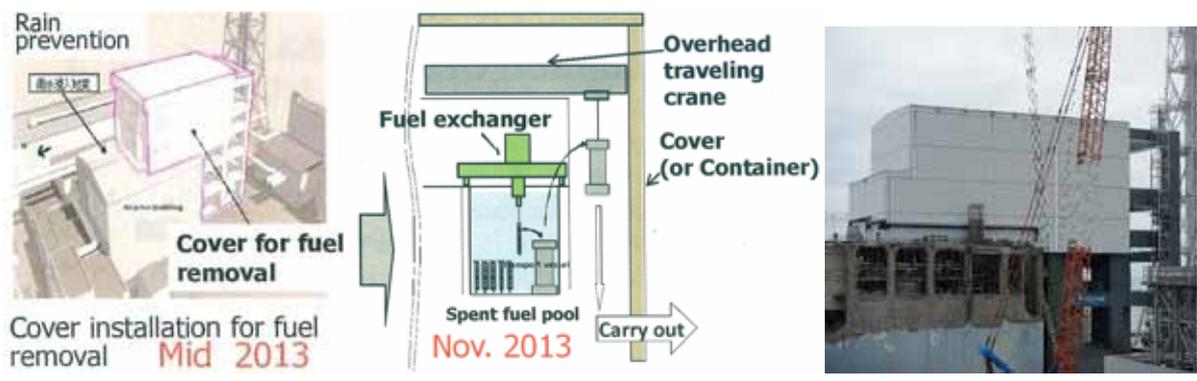


圖 31 4 號機新建屋頂示意圖與現況



圖 32 受海嘯侵襲的廠房



圖 33 地震倒塌的外電鐵塔(右側)

(七)總結福島一廠參訪所見，目前廠房多處輻射劑量仍高，廠房之清理需依賴遠端搖控之機械協助，顯見清理尚需很久時間；部分劑量較低區域之工作人員，需穿著輻防衣進行工作，厚重的衣物裝備非常不利人員於夏天長久穿著；處理放射性廢水之多核種除去設備(Multi-nuclide Removal Equipment, ALPS)，除了氬以外可除去 62 種放射性物質，此項技術值得相關單位再深入了解學習，除了未來國內電廠除役時可能伴隨產生之放射性廢液處理外，其他工業產生之廢水可能也有可以應用之處。免震重要棟在 311 後，門因為受爆炸影響使得喪失密閉性的功能，建議未來國內建造免震重要棟時，考量門的耐爆炸能力或將門設置於適當位置或方位。免震重要棟可容納的人數與生活物資存量亦應先做考量。

四、赴 JNES 觀摩交流

(一)7 月 30 日赴日本獨立行政法人原子力安全基盤機構(Japan Nuclear Energy

Safety Organization, JNES)新辦公室(東京 Toranomon Tower 內)觀摩交流。JNES 國際計畫辦公室 Kurihara Mikio 先生說明日本於 2012 年 9 月 19 日成立新的核能安全權責機構—原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)並介紹其組織架構。2012 年日本政府亦公布「新安全基準」草案給公眾提供意見，JNES 當時也派員協助提供建議，如今「新安全基準」已於今(2013)年 7 月 8 日施行。日本在福島電廠事故前之管制作法，並未將嚴重核子事故對策納入考量，而且新施行之法規無法追溯適用已取得許可之電廠，所以電廠安全水平無法持續地維持在最高水準。日本汲取事故之教訓後，對既有的法規加以增修，加入大規模自然災害、嚴重核子事故及恐怖攻擊之犯罪行爲等，而且回溯適用既有電廠。也將原本屬電氣事業法中對核能電廠之安全管制規定納入，以讓核能安全管制一元化。國內核能電廠核安管制適用之法規，包括核管法及美國聯邦法規 10CFR50 等，若有修訂會明定是否回溯適用，沒有類似日本的問題。在管制一元化部分，於某些特定範疇，國內仍有不同機關同時管轄之狀況，例如核能電廠消防系統除了原能會依電廠之技術手冊(TRM)或設備之設計標準(如 NFPA Standards)進行管制外，消防署亦有「各類場所消防安全設備檢修及申報作業基準」，電廠需定期檢查陳報，有重覆管制之情形。在對應嚴重核子事故方面，國內早已建立嚴重事故處理程序書(Severe Accident Management Procedures, SAMP)，然而類似福島電廠之大規模複合式自然災害(地震與海嘯)，或者美國 911 恐怖攻擊行動可能造成大規模火災事件等，都是不在原來嚴重事故考量範圍。

(二)日本新管制基準以「深層防禦」爲基本，即準備能達目的之有效而多數的對策，而且在考慮各個層次之對策時，不尋求仰賴其他層次之對策。對於造成共因失效之自然現象，如地震、海嘯、龍捲風、森林火災等，採行更嚴格之評估方式，並事先採取對策。電廠必須能滿足新管制基準所訂之性能基準，至於具體措施可由電廠依個廠狀況執行。在嚴重事故對策、防恐對策之基本方針方面，新管制基準要求能防範演變成嚴重核子事故，因此規定「防止爐心損傷」、「維持圍

阻體功能」、「控制性排放」、「抑制放射性物質擴散」等多階段之防護措施。設備上除固定性設備外，亦採用可移動式設備來搭配使用，以提升可靠度與方法之多樣性。可移動式設備需分散保管，防止同時失效。除了有設備外，爲了能讓實際作業能發揮預期功效，亦要求撰寫程序書、實施人員演練等。另外對於緊急應變場所之能力亦加以強化，例如提升通信可靠度、持久度。用過燃料池計測系統亦加以提升能力。

(三)JNES 核燃料廢棄物安全部 Masahiro UCHIDA 先生分享福島一廠目前廢棄物處理概況，在日本「新安全基準」實施後，已改由 NRA 爲權責單位。福島一廠 1~4 號機之除役作業規劃於 2013 年 12 月前開始進行用過燃料移除工作，2021 年 12 月前開始進行燃料碎片(fuel debris)移除工作，最終要在事故後 30~40 年完成除役。預估福島縣經過除污產生的污染土及廢棄物總體積，應會超過 3 千萬立方公尺。爲避免污染再擴散，將集中貯存於中期貯存場(Interim Storage Facility)(圖 34)，目前有 2 個候選場址，將於 2015 年開始啓用。30 年內會決定最終處置場，屆時將移至最終處置場存放。

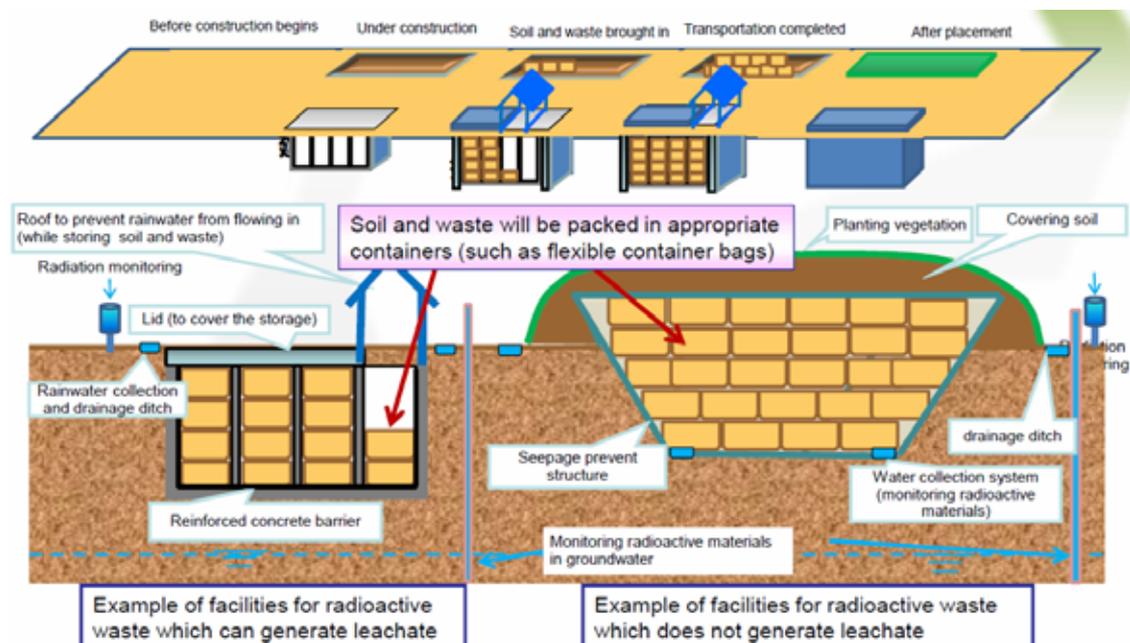


圖 34 中期貯存場設計示意圖

(四)總結在 JNES 的討論，日本今(2013)年 7 月 8 日施行之「新管制基準」，係對舊

的管制基準項目強化或新訂，包括內部淹水、自然現象、火災、電源可靠度等項目，另增加恐怖攻擊對策(因應蓄意之飛機衝撞)、嚴重事故對策(抑制放射性物質擴散、防止圍阻體破損、防止爐心損傷)與新訂耐震、耐海嘯性能等，內容較先前嚴格。目前日本停機之核能電廠可依新標準採取補強措施後，申請恢復運轉，再經查驗後同意。由於我國核能法規體系採用美國規範，因此與日本核能安全管制法規之結構、執行上仍有差異，建議採取措施再深入研議「新管制基準」之架構、條文、執行細節等，進而截長補短，強化我國核安管制體系。

五、參加維護科學暑期學校

(一)背景概述

有鑑於公共建設或電廠之使用壽命延長，老化管理在 21 世紀勢必要面對；而「維護活動」即是成功運轉所必需的，然而卻鮮少有關於維護作業之科學與技術領域之討論，因此日本保全學會(Japan Society of Maintenology, JSM)於 2003 年 10 月成立，宗旨在於對大型設施之維護作業，發展與精進有用之科學與技術。JSM 之會員來自企業、政府或學術單位等，目前超過 500 人，自 2002 年起已在日本發行 12 冊「Journal of Maintenology」，自 2009 年起再發行「Electronic Journal of Advanced Maintenance, E-JAM」，並持續發展「維護科學(maintenology)」這門學科，期望讓「維護」最適化。維護科學暑期學校(The Maintenance Science Summer School)亦由 JSM 所發起，其目的係為讓參加的學員了解核能電廠維護技術之理論與實務，也提供亞洲國家學生與年輕研究人員交流平台。維護科學暑期學校今年為第 4 屆，由北海道大學承辦，前 3 屆分別於日本東北大學、大阪大學、北京清華大學辦理。今年的維護科學暑期學校自 8 月 5 日起至 8 月 10 日止共 6 天，課程內容涵括：課堂講課、實驗室參觀與體驗、泊發電廠參訪、JSW 參訪、分組簡報等(課表詳參附件四)。本次參加學員共 36 人(名冊詳參附件五)，背景資料統計分析詳參表 2。以下就課程重點與心得說明。

表 2 學員背景資料分析

項目	分項人數（總人數 36 人）
國籍	日本*24，中國*8，台灣*1，南韓*1，蒙古*1，馬來西亞*1。
性別	男*35，女*1。
年級	碩二*12，碩一*10，博二*5，博一*5，大四*3，非學生*1。
年齡	23*12，24*6，25*5，22*4，27*3，21*2，29*2，30*1，33*1。

(二)核能安全(Nuclear Power Safety)

本課程由日本北海道大學工學研究院教授森治嗣博士(Michitsugu MORI)講授。講師首先拋出一個案例，在 1996 年 12 月 2 日北海道旭川市，一名媽媽騎著車帶著 3 名小孩要通過 JR 北海道鐵軌時，車輛被卡住，此時柵欄放下鈴聲響起，火車要來了。媽媽要求較年長的小孩去將柵欄推起，然而火車已經到了，結果媽媽與較年長的小孩受到重傷，另兩名幼兒則死亡。講師要求學員思考「誰」應該為安全與人命負責。是媽媽嗎？如果她技術好一點，也許就可脫離鐵路。是火車駕駛嗎？他能在 240 公尺前看到，但已來不及剎車。是鐵路公司嗎？雖然有建議要裝設障礙偵測器，但鐵路公司已符合當時的法規要求，不需裝設。是設計工程師嗎？鈴聲已正確響起，柵欄也放下了，一切依照設計運作。安全是一項基本人權，在 ISO 12100 “Machinery Safety Standard Explained” 與 IEC GUIDE 51 “Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards” 內都有定義，如果新技術導致影響安全，那麼新技術應該優先處理安全議題。同樣的情況如果發生在 1996 年的東京小田急電鐵，因為已裝設了障礙偵測器，則火車應該已經停止，而且拯救了兩個小生命。講師再丟了一個問題給學員思考，交通號誌裡，紅燈與綠燈哪一個安全？課堂上沒有再多做討論。接著講師說明核能電廠分裂產物障壁的深度防禦設計，有燃料丸、護套、反應爐、一次圍阻體等，某一項失效後，接下來的那一層不必然能發揮作用。然後提到 IAEA 深度防禦的 5

個層面：防止異常狀況與故障(失效安全、防呆、連鎖設計)、控制異常狀況與偵測故障(設置反應器停機系統、反應器保護系統)、控制事故在設計基準內(設計緊急爐心冷卻水系統)、控制嚴重程度(防止事故惡化、減緩後果)、減緩輻射外釋的後果等。核能沒有 100 %的安全，只有當可以認知風險的程度時，才可以定義什麼是安全。最後，回到一開始的案例，講師認為只要事前能想得到的風險，設計者就有責任從設計面來防止風險，維護安全不應依賴使用者的知能，除非設計面的所有措施都喪失。參與學員絕大部分是大學生或研究生，未來在各領域很可能成為設計者，透過這堂課可以灌輸學員觀念，希望未來可以讓人們享受科技而不被科技所害。

(三)電廠全黑時爐心之冷卻與降壓(Cooling and Depressurization Using Isolation Condenser (IC) System in the Event of SBO Accident)

本課程由日本北海道大學工學研究院教授奈良林直(Tadashi NARABAYASHI)博士講授。課程首先介紹事故分類，依嚴重性低至高可分為異常事件(abnormal events)一預期在運轉壽命內發生至少 1 次、設計基準事件(DBA)一運轉壽命內幾乎不可能發生，核能電廠設計上於前述兩種事件時能維持安全。更嚴重的為嚴重核子事故(Severe Accidents)一爐心會有劣化，但規範未要求處理此種事故。在福島電廠事故後，日本政府實施之新管制基準已要求要有防止爐心熔毀的對策。接著主題轉向爐心冷卻系統之介紹，以福島一廠 1 號機來說，其反應器型式為 BWR-3，爐心衰變熱移除或爐心補水功能可由高壓安全注水(HPCI)、爐心噴撒(CS)與 Isolation Condenser(IC)[註：有 IC(A)與 IC(B)兩串]來達成，然而在電廠全黑(SBO)狀況下，CS 喪失交流電源(AC)無法運轉，HPCI 需要直流電源(DC)來控制閥、泵、汽機等，設計上直流電源僅有 8 小時容量。因此長時間 SBO 時，僅有不需電源之 IC 可運作。IC 系統係從反應爐上部取熱水，導入水冷式冷凝器管側冷卻，再讓冷凝水回流進反應爐下部；而水冷式冷凝器殼側之水吸收熱量後，變成蒸汽排放，水量可由消防系統、消防車等進行補水。2011 年 3 月 11 日 14：46 地震發生，14：52 福島一廠 1 號機 IC(A)、IC(B)自動起動，15：03 手動關閉以

符合降溫率 55°C/hr 之限制，15：17 重新起動 IC(A)後至 15：32 間手動控制使用或關閉，15：35 第 2 波海嘯來襲，15：37 1 號機喪失所有交直流電力，15：42 IC(A)喪失功能，其後反應爐壓力上升，導致釋壓閥斷續開啓，爐心冷卻水喪失，最終爐心熔毀。IC(A)功能喪失原因為爐心冷卻水進出圍阻體之隔離閥設計上當主控制室喪失 DC 時自動關閉(Fail-close)，是一項錯誤設計。然後講師再介紹 RELAP-5/MOD3 模擬結果，於 IC(A)停止後 1.3 小時爐心水位即降至燃料頂端 (Top of Active Fuel)，若 IC(A)無補水下持續運作，則時間可拉長至 7 小時，當然若 IC(A)有補水，且系統運作正常，則分析結果顯示反應爐可以順利冷停機，不會有爐心熔毀事件。因此被動式爐心熱移除系統是很重要的設計理念，當然故障關閉(Fail-close)之設計應該要檢討。新一代反應器，如 ESBWR、AP1000 等，已改良此部分之設計。接著為讓學員對 IC 運作有更深刻的認知，因此北海道大學設有 IC 系統模擬實驗室，完整模擬反應爐熱量產生(以加熱棒模擬)，熱水(或蒸汽)進入冷凝器(以透明水箱模擬)冷凝後，再回到反應爐之過程。實驗課時將班上學員分為 3 組，輪流至三個地點觀察。第一處為一樓之反應爐與相關管路模型、冷卻水流徑、儀器等(圖 35)，第二處為二樓透明水箱處，可觀察爐心冷卻水流經冷凝器 U 型管時，將熱量傳給外側水，水受熱產生汽泡之現象(圖 36)，此處也架設即時影像傳輸系統，可將水箱畫面即時傳至二樓第三處。



圖 35 反應爐模型

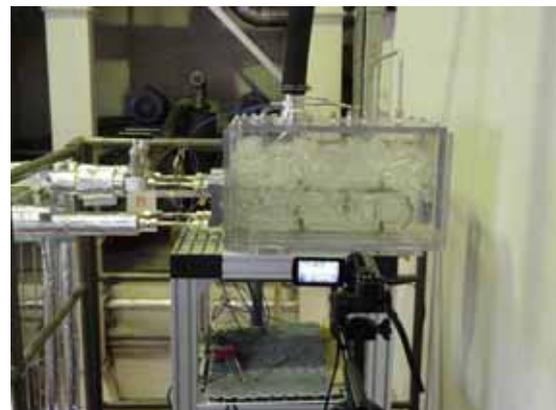


圖 36 Isolation Condenser 模型

第三處另有畫面顯示流程上量測儀器之測量數據，包括反應爐壓力、出口水溫、進口水溫、流量、冷卻水溫等參數，各處皆安排助教講解說明。實驗課結束後再

回到課堂，由北海道大學 Hiroto SAKASHITA 教授提供先前的實驗數據給學員，要求學員依實驗數據計算 IC 熱移除率、U 型管熱通量、總熱移除容量等，透過這些計算可讓學員學習熱傳學與熱力學基本概念，並深刻了解沸水式核能電廠 IC 系統運作。講師並說明計算與分析結果，可做為最終分組簡報的題材。

(四)核能電廠線上維修(On-Line Maintenance in Nuclear Power Plants)

本課程由日本東北大學流體科學研究所客座教授青木孝行(Takayuki AOKI)博士講授。講師首先敘述線上維修之意涵，意即進行維護作業於主發電機連接於電力網時，或機組功率運轉的時候。線上維修之優點為可縮短大修停機的時間，減少發電量損失，實施線上維修之考量重點在於「風險」。機組正常運轉時，功率輸出穩定，爐心熱移除能力充足且具有多樣性，設備不可用的情況少，工作可以善加計畫與控制，分裂產物障壁都是完整的；而在機組停機大修時，狀況具有高度變化性，例如停機時功率的大幅改變，衰變熱隨時間變化，爐心熱移除能力隨水位而異，許多安全及非安全設備不可用(例如 ECCS 系統不可用)，此時僅能靠運轉員來判定異常狀況並採取措施，大修時反應爐蓋通常是移除且圍阻體是打開等，因此講師的重點在於強調大修停機時的安全狀態不見得較高。日本核能電廠對於維持安全是用傳統的定論式思維，意即考量以下幾點：什麼會失效？後果是什麼？如何防止發生？沒有再去考量有多少可能性會失敗？確保安全之性能需求為何？定論式思維問題在於：如果想的是錯的呢？如何防範未知的情境？依據定論式的思維，設計者假定設計基準事故(DBA)來設計電廠(然而 DBA 非常不可能發生或機率很低)、提供餘裕來防護未知的情境、要求重複串與多樣性設備來應付 DBA。相對於定論式的思維即為風險告知式方法，意即用機率評估方式(PRA)來做風險管理，考量：什麼設備會失效？可能性為何？後果是什麼？哪一系統組件貢獻最大風險？決定採用線上維修必須要找出平衡點，意即要考量 PRA(或爐心熔毀頻率 CDF)、運轉時的風險、大修時工作導致的深度防禦降低(即增加大修時的風險)、工作成本與期程等。將上述綜合考量來評估是否改為線上維修，以及線上維修時保護重複串設備之策略等。INPO AP-928 “Work Management Process

Description” 提出 7 個階段，即過濾(Screening)、篩選(Scoping/Selection)、計畫(Planning)、排程(Scheduling)、準備(Preparation)、執行(Executing)、檢討(Critiquing)，其中建立線上維修計畫最重要的就是過濾與篩選。講師對此課程之結論為：施行線上維修制度不必然導致降低安全，只要事前能良好地計畫與管理，風險能適當地分析與評估，以及所有相關人員認知安全是第一優先。有許多案例，採行線上維修反而可以降低整體風險，因為透過 PRA 方法更能著眼於風險重要性之設備或活動。課後與老師談話時，老師自嘲日本是未開發國家，因為國際上早已採用線上維修，而日本核能管制單位卻遲未同意施行。講師本身是日本保全學會(Japan Society of Maintenology)會員，其著眼點可能為線上維修可減少大修停機時間，相對可增加機組發電時間，就維護活動的觀點而言，是較為經濟的作法，然而就核能管制單位而言，機組安全風險是最重要的考量，因此保守地不同意採行線上維修亦可以理解。目前我國電廠經營者已申請「自主管理線上維修作業」獲准，相關作業已納入各廠「維護工作排程作業管制」程序書來管控，並訂有應避免安排線上維修作業之原則，如遇例假日、非維修串有設備異常、人力不足或備料不及、天候季節因素(如：颱風、夏季電力容量考量等)、電力網有進行維修或不穩定狀況等。風險部分使用維護整體風險分析工具(Maintenance Integrated Risk Utilities, MIRU)來進行評估，每件線上維修作業規劃工期以 AOT 的 60% 為原則等。針對此部分，原能會每季都會執行 MR-a(4) 核能電廠維護風險評估及緊急工作控管視察作業，確認電廠在包括廠外事件或狀態之所有運轉模式下，維護相關之作業已執行適當之定量、定性之風險評估。在適度開放與合理管制的天平上，我國應已取得良好的平衡點。

(五)狀態基礎維護策略應用於核電廠(CBM Activities in Nuclear Power Stations)

本課程由日本東北大學流體科學研究所客座教授青木孝行 (Takayuki AOKI) 博士講授。講師首先介紹維護策略的分類：(1)失靈維護(Break-down Maintenance, BDM)或稱用到壞(run to failure)，即設備使用到故障才進行維護作業，通常應

用於不會顯著影響安全、運轉、發電的設備，或不會產生其他嚴重損失的時候。

(2)時間基礎維護(Time-Based Maintenance, TBM)，即週期性地檢查、維護、清潔設備或更換零件來防範突發性的故障。這種策略需經常性地拆裝設備，因此花費大量時間與成本。

(3)狀態基礎維護(Condition-Based Maintenance, CBM)，即透過各種監測技術，來監視設備狀態或性能。再藉由數據的蒐集、分析、趨勢研判等，來預測設備故障。一旦故障時間知曉，則可事先採取行動。典型的案例如：振動分析、油質分析、溫度分析等。這種維護方式較 TBM 節省時間與成本。

講師說明大部分的日本核能電廠僅採用 TBM，因此在每年大修時，需大規模地拆檢設備，因而也增加拆檢或組裝所造成的失誤事件，建議改採 CBM。CBM 可以分為 4 個階段，4 個階段構成一個循環，即：(1)規劃：針對特定設備，蒐集設計規範，選擇監測技術，決定監視頻率與接受標準，發展作業程序書等。(2)執行：依據規劃來監測並蒐集資料。(3)評估：透過資料分析來評估設備狀態，決定是否允許繼續使用。(4)行動：採取維修、更換、調整等改善行動來恢復設備性能。再根據實際經驗回饋，來修訂「規劃」階段的內容，例如調整頻率或接受標準。

講師再強調為何要採用 CBM，包括設備劣化本就隨著時間自然而然，透過定期監測可以知道劣化過程，而且可以避免不預期的故障發生。CBM 不適用於需拆檢才能發現的劣化事項，例如腐蝕或襯墊老化。CBM 適用於在設備完整的情況下，透過監測技術蒐集數據可以分析的事項，以泵來說，透過振動分析可以得知軸、對心、葉片等是否有不良的跡象，透過油質分析可以知道軸承是否磨損。CBM 要能發揮成效，需要有適當的監測技術，加上受過訓練的專業人員，以及工作程序書。

講師舉出 2004 年 3 月 15 日發生在日本伊方核電廠(Ikata Nuclear Power Plant)3 號機一次冷卻水流失事件，流失原因為 CCP 主軸第 7 段處疲勞斷裂，若採用 CBM，則於振動頻譜分析時，就能診斷出異常。以上談的主要為 CBM 的內涵與優勢，然而課堂最後，講師的總結並非單純建議改採 CBM，而是認為應能合理的整合 TBM、CBM 與 BDM，找出最佳化的維護策略。其次，透過監測方法，掌握設備劣化趨勢，適時地採取維護是比較經濟的作法。監測的技術方法亦需持續開發與精進，來提

供更佳的服務。我國核電廠依照運轉規範或技術手冊之規定，對於重要設備皆有定期測試之要求，各項測試皆訂有接受標準。其次亦訂有趨勢分析作業程序書，能掌握重要設備組件運作之重要關鍵參數變化趨勢，可收及早發現潛在問題加以防範未然之效。

(六)福島一廠之機器人應用(Present status and issues of robots acting at Fukushima site)

本課程由日本北海道大學工學研究院教授奈良林直(Tadashi NARABAYASHI)博士講授。講師首先提到福島電廠事故後，分裂產物外釋，廠區輻射劑量相當高，人員無法靠近。此時對於廠房內損壞狀況之探索，以及毀壞建築設備之清理，必須仰賴可遠端操控之機器人代勞。接著講師提供東京電力公司目前用於福島一廠之若干機器人型式以及使用經驗，參見表 3 所示。

表 3 福島一廠使用之機器人

照片	名稱	功能
	FRIGO-MA	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場調查 ● 劑量測量 ● 使用於反應器廠房小房間
	Survey Runner	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場調查 ● 劑量測量 ● 使用於 Torus Room
	High-access survey robot	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場調查 ● 劑量測量 ● 取得 3D 影像

然後講師帶領學員至土木工程大樓進行操控機器人救援 PWR 電廠之模擬演練。機器人 Robot-con(圖 37)之操作器類似家用遊戲主機之手把，連接至筆記型電腦，筆記型電腦有軟體可供設定，操作時係透過無線訊號來遙控 Robot-con。學員必須操控 Robot-con 爬樓梯上至 2 樓，並越過障礙物抵達 2 樓之 PWR 電廠模型才算過關，全班分成 3 組作競賽。我代表操作後的感覺，對人類很習以為常的上樓梯動作，對 Robot-con 而言卻是很煩複的分解動作：必須先移動到樓梯前，將機身調整與樓梯平行，再將橫桿下壓抬起機身，再操作機身前進上樓梯，操作熟練度大大地影響前進速度。此外操作器的靈敏度不佳，偶爾會有沒反應的情況。最後花費 6 分 30 秒抵達終點，是 3 組裡面的第 2 名。這個操控體驗，可以讓學員了解實務操作機器人的困難，以及尚有許多設計上或硬體上可以改善之處。2 樓的 PWR 模型(圖 38)，主要設備為一個反應爐、2 個蒸汽產生器，與汽機發電機等。反應爐與蒸汽產生器皆為透明材質，可以看到裡面的水位。學員必須適時對蒸汽產生器補水，以維持熱移除能力；也必須適時對反應爐補水，否則嚴重核子事故即會發生。這個模型能讓學員深刻理解 PWR 電廠之設計特性，建議國內核能教學單位或核能展示館等，亦可設計類似簡單模型。



圖 37 Robot-con



圖 38 PWR 模型

(七)泊發電廠觀摩實習

8 月 7 日泊發電廠(Tomari Nuclear Power Station)觀摩實習係為維護科學暑期

學校安排之行程，由北海道大學工學研究院助教千葉豪(Go CHIBA)博士與助教 Shuichiro MIWA 博士帶領前往。泊發電廠為北海道電力公司所運轉，位在北海道古宇邵泊村。行程首先先到とまり館(為泊發電廠的核能展示館)，とまり館內有一部分空間規劃成休憩區，在此見到有民眾休息，以及母親帶著幼兒來玩耍，とまり館似乎成為附近民眾休閒的好去處。這種提供民眾休閒的設計，是國內核能展示館所未考量的。進入會議室，由とまり館長接待，接著進行電廠概要說明與觀賞安全對策影片，然後確認身份發給參觀證，再換上泊發電廠員工長袖上衣後(圖 39)，搭乘泊發電廠之巴士進廠參觀。參觀項目為：戶外重大對策處理設備、3 號機模擬器、主控制室、汽機廠房、燃料廠房、訓練中心等。進入廠區前遠望的第一眼即看見彩繪過的圍阻體(圖 40)，與國內核三廠圍阻體呈現混凝土天然原色之感覺差異很大。



圖 39 泊發電廠長袖上衣

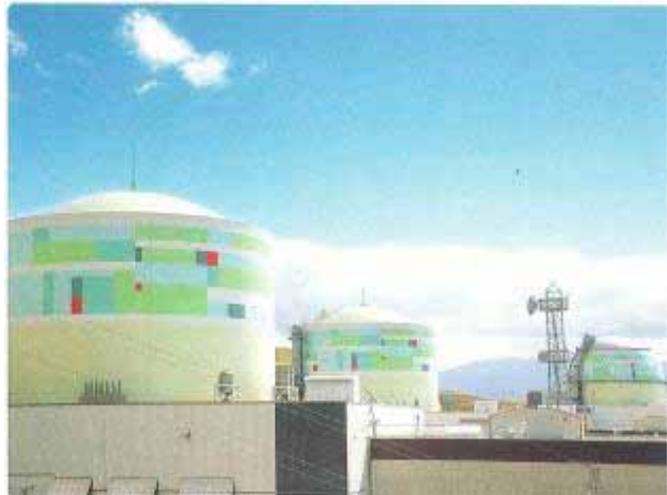


圖 40 圍阻體的彩繪

進廠後觀察發現廠區應是將山剷平所建成(圖 41)，廠區海拔 10 公尺，面海側正在興建 16.5 公尺高之防潮堤(海嘯牆)，預計 2013 年 12 月完成。前往廠區高台處，此處為海拔 31 公尺，在這裡放置了移動式電源車、汽油、水帶、儲水槽等嚴重事故移動式救援設備等。因為未觀察到廠房之注水管路因此提問，泊發電廠人員表示並沒有設置，此與國內作法不同。接著前往 3 號機模擬器，這裡的人機介面主要為數位化控制介面，僅少數特殊安全措施尚保留傳統開關，如起動

ECCS、CPIS、MSIV、CS、Manual Trip 與控制棒的操作等。廠方為讓學員體驗操控電廠，開放兩個名額進行操作，我代表將 Manual Trip(手動跳機)扳下後，見到螢幕上顯示之控制棒位下降全入。另為了讓學員體驗 311 福島電廠遭遇之境，廠方特地讓模擬器模擬地震喪失外電後，緊急柴油發電機起動供電，以及後續海嘯造成電廠全黑的狀況，學員對主控制室燈光熄滅感受深刻。



圖 41 泊發電廠廠區示意圖



圖 42 3 號機模擬器

接著參觀維護人員之訓練設施，包括有蒸汽產生器模型以及可進行 U 型管渦電流檢測訓練之設備(圖 43)，反應爐冷卻水泵(RCP)軸封部位之分解、檢查、組裝訓練設備(圖 44)、全迴路設備、斷路器之檢查與調整訓練設備、自動電壓調整裝置等，其他像是控制棒控制、棒位指示、反應器保護裝置、爐外核儀等之維護訓練也有，另也設有房間展示各種非破壞檢測技術等。泊發電廠之訓練中心，建築面積 830 平方公尺，地下 1 層，地上 3 層，由上可知整合模擬器、機械、電器、儀控設備等各種不同部門所需之設施於同一棟建築物，是一個完整之綜合教學訓練大樓，此與國內電廠分散於各部門不同。下表 4 為泊發電廠與核三廠之比較，可以發現泊發電廠 3 號機與核三廠極為類似，然而核三廠年代較早，因此圍阻體仍是早期設計。泊發電廠之嚴重事故對策，與核三廠較不一致處為增設替代的圍阻體噴撒泵，可以使圍阻體內降溫、減壓、減少空氣放射性，當反應爐熔毀時，圍阻體噴撒可以冷卻熔穿之燃料；另一為增加控制棒插入失敗時之連鎖信號，可以關閉主蒸汽隔離閥與起動輔助飼水泵。泊發電廠中長期改善項目有建造免震重要棟、增設直流蓄電池組、增設緊急發電機每部機 1 台、廠區高處建造 5 千立方公

尺水槽每部機 1 個、增設圍阻體排放過濾器、海嘯牆增至 16.5 公尺等。



圖 43 蒸汽產生器



圖 44 RCP 軸封

表 4 泊發電廠與核三廠之比較

	泊 1/2 號機	泊 3 號機	核三廠 1/2 號機
型式/迴路	壓水式 2 迴路	壓水式 3 迴路	壓水式 3 迴路
運轉壓力(Kg/cm ²)	157	157	157
額定發電量(MWe)	579	912	951
爐心燃料組件數	121 (14×14)	157 (17×17)	157 (17×17)
圍阻體	碳鋼 Containment Vessel 預力混凝土 Reactor Building		鋼襯預力混凝土型
商轉年份	1989/1991	2009	1984/1985

(八)JSW 觀摩實習

8 月 7 日搭乘火車前往北海道室蘭市，至 JSW(Japan Steel Works 公司)之室蘭廠觀摩實習，這是維護科學暑期學校安排的行程，當日由北海道大學工學研究院助教千葉豪(Go CHIBA)博士與助教 Shuichiro MIWA 博士帶領前往。抵達後首先至會議室觀看介紹影片，影片介紹 JSW 的歷史，日本第一架飛機引擎就是 JSW 所生產。影片中也介紹金屬製品之製造流程。依照介紹內容，JSW 可以生產核能電廠

使用之 RPV(Reactor Pressure Vessel)、SG(Steam Generator)、Turbine Bearing、PZR 等多項產品。JSW 也參與第 3 代、第 4 代反應器之開發，目前可供應不同型式反應器之 RPV 與 SG(表 5)。

表 5 JSW 供應之產品

核電廠型式	產品
Advanced Boiling Water Reactor(ABWR)	RPV
Economic Simplified Boiling Water Reactor(ESBWR)	RPV,
European Pressurized Water Reactor(EPR)	RPV & SG
AP1000	RPV & SG
Chinese Pressurized Water(CPR)	RPV & SG
Fast Breeder Reactor(FBR)	RPV

自 1972 年起，JSW 陸續取得各種品保認證，例如 ASME、RCC-M 等(表 6)。目前 JSW 產品行銷世界多國，截至 2012 年全世界的 RPV 爐蓋更換作業，已供給美國 43 部機、日本 10 部機、及其他國家共 11 部機等。JSW 是目前世界上 ABWR RPV 之 Top Head Flange、Shell 4、Grid Plate、Bottom Head Ring、Core Shroud 之惟一供應商(參見圖 45 所示)。我國龍門電廠(ABWR)的 RPV 即是使用 JSW 的產品，核一廠(BWR)也有使用。廠房現場參觀部分，引導人員介紹 JSW 可製造之最大產品直徑為 12.5 公尺、重量為 350 噸，當日因鍛鍊廠房、機械廠房正進行例行的停機檢修，因此僅帶領觀看目前置放在各廠房之半成品，無法看到實際製作過程，著實遺憾。JSW 產品之所以能行銷全球，重點應在於取得品保認證，建議國內核能產業供應商積極取得品保認證資格，並逐步累積良好口碑，期望立足台灣並布局全世界。

(九)總結

本次之維護科學暑期學校，在課堂講課部分由日本保全學會會員講述核能電廠線上維修、狀態基礎維護策略應用於核能電廠等有關維護之理論，實驗室體驗部分

有機器人 Robot-con 操作、PWR 模型操作、Isolation Condenser 實驗等，另安排泊發電廠與 Japan Steel Works 公司觀摩實習等，整體課程安排兼顧理論與實務，使參與的學生能得到很多面向的啟發。最後的分組簡報(圖 46)，則可以訓練與不同國籍、語言、文化背景的組員相互溝通，學習團隊合作的精神，也是獲益良多。各組簡報後即頒發結業證書(圖 47)，並於北海道大學工學館前合影留念(圖 48)，建議國內教學單位可考慮接辦，在很多方面皆會有收獲。

表 6 JSW 取得之品保認證

年份	認證
1972	TUV Certification
1973	ASME U & U2 Certifications
1974	ASME NPT Certification
1985	RCC-M Code QA System
1994	ISO 9001 & 9002
1998	ISO 14001
2009	HAF604(China)

TOP HEAD FLANGE



- Material : ASME SA 508, Cl.3
- Dimension : 7475^{OD}×1125^H
- Weight : 69 ton

SHELL FLANGE



- Material : ASME SA 508, Cl.3
- Dimension : 7475^{OD}×970^H
- Weight : 51 ton

GRID PLATE

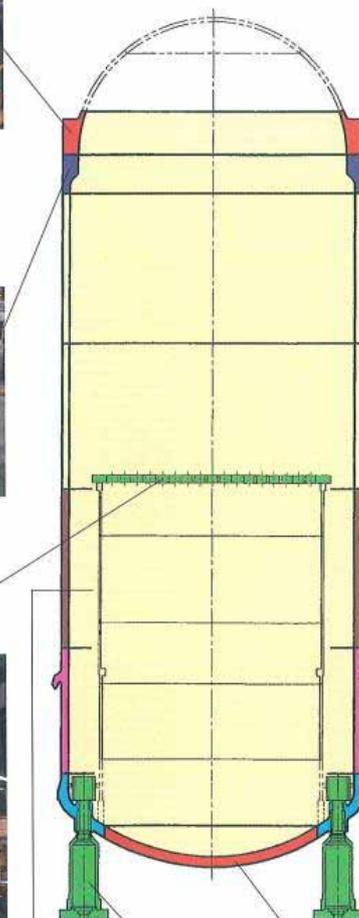


- Material : ASME SA 182, Gr.F316L
- Dimension : 5960^{OD}×185^H
- Weight : 18 ton

CORE SHROUD



- Material : ASME SA 182, Gr.F316L
- Dimension : 5735^{OD}×1340^H
- Weight : 12 ton



CORE REGION SHELL



- Material : ASME SA 508, Cl.3
- Dimension : 7475^{OD}×3995^H
- Weight : 127 ton

SHELL 4



- Material : ASME SA 508, Cl.3
- Dimension : 7950^{OD}×3190^H
- Weight : 113 ton

BOTTOM HEAD RING



- Material : ASME SA 508, Cl.3
- Dimension : 7625^{OD}×1640^H
- Weight : 80 ton

MOTOR CASE



- Material : ASME SA 508, Cl.3
- Dimension : 830^{OD}×2530^H
- Weight : 3 ton

BOTTOM HEAD DOME



- Material : ASME SA 508, Cl.3
- Dimension : 5320^{OD}×1040^H
- Weight : 48 ton

圖 45 JSW 生產之 RPV 組件



圖 46 分組簡報



圖 47 領取結業證書



圖 48 暑期學校學員與講師合影留念

肆、建議

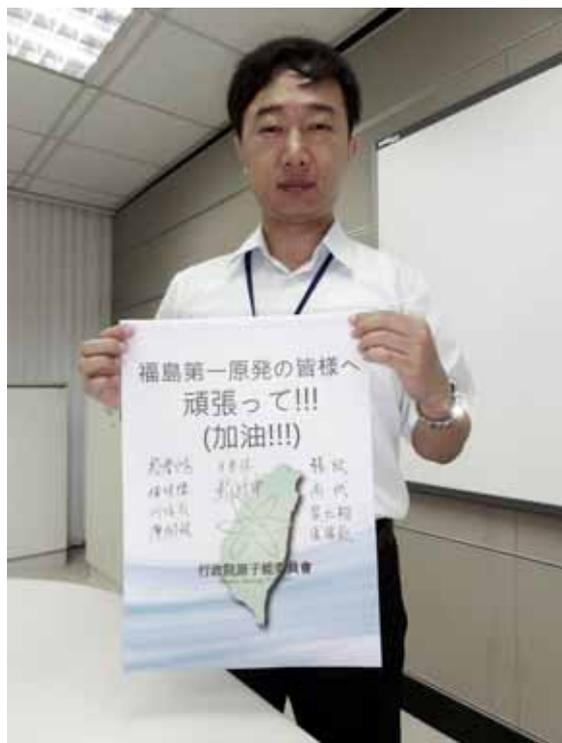
- 一、浜岡電廠防範海嘯造成廠區進水的措施之一，為在取水池四周建造 1.5 公尺高之「溢水防止壁」。針對國內電廠之狀況，建議任何備用取水槽若與廠房在相同高程或較高處，應考慮如受地震影響槽體破裂時，造成之廠內淹水事件是否有威脅並加以防範。
- 二、浜岡電廠防範海嘯造成廠房進水的措施，包括於反應器廠房設置雙道水密門、緊急柴油發電機房間與緊急爐心冷卻系統房間增設或強化水密門等，目前國內電廠經營者評估各廠廠區皆高於海嘯上溯高度，因此廠房僅以擋水板處理，緊急柴油發電機房間或輔助飼水泵房間等，並沒有設置水密門；若未來海嘯高度評估結果可能影響廠區時，建議採行浜岡電廠對策。
- 三、目前美浜電廠 3 部機組皆已停機超過 2 年，為了機組再起動後設備能維持良好狀態，因此其運轉維護策略包括：一次側系統維持充滿高純度水，二次側系統則採溼式保存、乾式保存、或氮氣保存等。國內電廠從大修解聯至再起動一般約在 30 天左右，尚未碰到需長期停機之情況，惟後續若需長期停機時，美浜電廠作法值得參考學習。
- 四、美浜電廠進行廠區斷層調查後，已將最終報告提送日本原子力規制委員會審查。由於國內核電廠廠址附近亦有活動斷層通過，目前也依原能會要求進行相關調查與評估。建議未來可持續關注日本原子力規制委員會對美浜電廠調查報告之審查意見與進展，有助於原能會對國內核能電廠執行稽查或訂定管制措施。
- 五、此行於浜岡電廠之核能展示館見到海嘯牆、反應器模型等，皆與實體同大；於泊發電廠之核能展示館，看到母親帶著幼兒在館內遊憩，對照國內核能展示館之情形，建議：(1)展示品應定期更新，尤其近來總體檢做了相當多改善措施，應該讓民眾了解。(2)模型盡可能採用與實體同大小，可以讓參觀民眾有身歷其境的感覺。(3)展示館可建立遊憩區，吸引父母與子女闔家參觀，讓核能教育從小扎根。(4)國內核能教學、研究、營運單位或原能會在籌設核能展示或舉辦相關宣

導活動時，其場地與設施規劃亦可參考辦理。

- 六、福島一廠免震重要棟於 311 時，因氫氣爆炸造成大門變形，喪失阻絕外界空浮的功能。於 311 後曾住進 750 人，遠超過設計之 300 人，導致食物飲水不足。建議：
(1)未來國內建造免震重要棟時，需考量建物防爆能力，對於比較脆弱之門窗等，應設於適當位置或方位。(2)免震重要棟建物的規模，應事先考量緊急應變人力需求與應變期長，預留應變人員留駐房間與食物充足供應之儲存空間。
- 七、福島一廠已開發多核種除去設備(Multi-nuclide Removal Equipment, ALPS)以處理放射性廢液，除了氬以外可除去 62 種放射性物質。鑒於國內未來核能電廠除役時，亦有可能產生放射性廢液，建議國內除役作業相關單位能預先了解此項技術，國內其他事業單位會產生廢水者，也可參考是否有可應用之處。
- 八、日本今(2013)年 7 月 8 日施行之「新管制基準」，係對舊的管制基準項目強化或新訂，包括內部淹水、自然現象、火災、電源可靠度等項目，另增加恐怖攻擊對策(因應蓄意之飛機衝撞)、嚴重事故對策(抑制放射性物質擴散、防止圍阻體破損、防止爐心損傷)與新訂耐震、耐海嘯性能等，內容較先前嚴格。由於我國核能法規體系採用美國規範，因此與日本核能安全管制法規之結構、執行上仍有差異，建議採取措施再深入研議「新管制基準」之架構、條文、執行細節等，進而截長補短，強化我國核安管制體系。
- 九、日本保全學會(JSM)的會員來自企業、政府或學術單位等，有豐富的經驗。由 JSM 所發起之維護科學暑期學校，每年皆在不同國家或大學舉辦，JSM 皆派員講授核能電廠維護領域之理論與應用，參加者皆為亞洲國家核能相關領域之大學生與研究生，為未來核能界的菁英。建議國內核能教學或研究單位可規劃接辦維護科學暑期學校，優點包括：
(1)可邀請保全學會人員來台講課，有助國內吸取日本在維護科學方面的見解與實務，增加雙方交流機會。
(2)可讓國內學生有機會與國外優秀人才切磋討論、增廣見聞，亦可培養情誼。
(3)有來自亞洲各國的參與者，可提高台灣國際能見度。

伍、後記

於參觀福島一廠免震重要棟之緊急對策中心時，看到相當多國際上與日本國內加油打氣之布條，因此回國後以原能會名義製作加油布條，對福島一廠之工作同仁致上誠摯的鼓勵。



附件一 浜岡電廠行程

Hamaoka NPPs
July 24 (Wed)

Time	
11:30	Arrival at Hamaoka PR Center
11:30-12:30	Presentation -Anti-tsunami measures -Current status of the decommissioning of unit 1&2
12:30-13:10	Lunch
13:10-13:40	■Site tour Hamaoka PR Center
13:40-13:50	Move to unit 4
13:50-14:20	■Site tour Unit 4
14:20-14:25	Move to unit 5
14:25-14:55	■Site tour Unit 5
14:55-15:05	Move to Emergency Response Center
15:05-15:15	■Site tour ERC
15:15-15:20	Move back to PR Center
15:20-15:30	Break, Q&A
15:30	Departure from PR Center

浜岡電廠參訪重點：

- 、海嘯評估及安全防護措施
- 、免震重要棟
- 、福島事故後所作之安全強化措施

附件二 美浜電廠行程

Mihama NPPs July 26 (Fri)

Time		Remarks
09:30	○ Arrival	Front Gate
09:30-09:50	o Procedure for entering the NPPs	ID check Luggage check
09:50-10:50	o address ○ presentation ● Plant maintenance during the extended shutdown ● Safety measures ● Survey on the active fault	Meeting Room
10:50-12:20	o site tour ● Tubine buiding of unit 3 ● Intakes ● Safety measures ● SG of unit 2	Kansai EPC' s bus
12:20-13:30	○ Lunch Box (JPY1,000 each / Payment by Cash) ○ Q&A	Metting Room
13:30	departure	

美浜電廠參訪重點:

- 、斷層調查
- 、長時間停機期間設備之維護及管理
- 、再起動計畫及起動前需送審文件

附件三 福島一廠行程

July 29 (Mon)

時間	行程
08:00~09:00	自下榻飯店出發抵達 J-Village
09:00~09:30	換自備之長袖上衣及長褲，並領取識別證
09:30~10:10	自 J-Village 搭乘「東京電力公司」巴士赴「福島第一核電廠入退域管理棟」
10:10~10:30	領取個人用之「輻射曝露劑量器(APD)」及相關裝備（手套、醫療用口罩、鞋罩等）
10:30~10:40	自「入退域管理棟」赴「免震重要棟」
10:40~11:30	穿著上述相關裝備視察「免震重要棟」
11:30~12:10	搭乘「東京電力公司」巴士赴「福島第一核電廠」廠內視察（謹註：不下車視察）
12:10~12:30	赴「入退域管理棟」測輻射曝露劑量，嗣交回識別證及「輻射曝露劑量器(APD)」。
12:30~13:10	自「入退域管理棟」搭乘「東京電力公司」巴士返回 J-Village
13:10~13:30	換回一般短袖衣物及中餐
13:30~14:00	聽取「東京電力司」簡報與座談
14:00~	離開 J-Village

附件四 維護科學暑期學校課程表

Time schedule of the Maintenance Science Summer School 2013

Aug. 5 (Monday)

No	Time	Lecture	Place	Lecturer
1	12:55	(Pre-registration)	Hokkaido Univ.	Prof. Narabayashi (Hokkaido Univ., HU)
2	13:00~13:10	(Guidance)	The room N304	Prof. Narabayashi (HU)
3	13:10~13:40	(Self-introduction by each participant)		
4	13:40~14:20	System and safety functionality of Pressurized Water Reactor (PWR)		(Mitsubishi Heavy Industries)
5	14:20~15:00	System and safety functionality of Boiling Water Reactor (BWR)		(Hitachi-Generalelectric)
6	15:00~15:30	(Break)		
7	15:30~16:10	Nuclear safety engineering		Prof. Mori (HU)
8	16:10~16:20	(Break)		
9	16:20~17:10	Measure for severe accidents		Prof. Morishita (Kyoto Univ.)
10	17:10~17:20	(Break)		
11	17:20~18:10	Disposal of contaminated debris/rubble		Prof. Kozaki (HU)
12	18:10	(adjourn)		—
13	18:10~18:25	(move to accommodations)	—	
14	Around 18:25	(arrival)	—	

Aug. 6 (Tuesday)

No	Time	Lecture	Place	Lecturer
1	8:50		N304	
2	9:00~10:20	Management of severe accident: cooling and depressurization using isolation condenser (IC) system in the event of SBO accident	N304	Profs. Narabayashi and Sakashita (HU)
3	10:30~12:00	Experiments with the isolation condenser	MHD building	Profs. Narabayashi and Sakashita (HU)
4	12:00~13:00	(Lunch)		
5	13:00~14:00	Analysis of the experment	N304	Prof. Sakashita

				(HU)
6	14:00~14:20	(Break)		
7	14:20~15:20	Monitoring and on-line maintenance based on the safety importance categorization	N304	Prof. Aoki (Tohoku Univ.)
8	15:20~15:30	(Break)		
9	15:30~16:20	Pre-lecture for Tomari NPP	N304	(Hokkaido electric power company)
10	16:20~16:40	(Break)		
11	16:40~17:20	The maintenance engineering (tentative)	N304	Prof. Takagi (Tohoku Univ.)
12	17:20~17:30	(Break)	—	
13	17:30~18:10	High cycle fatigue	N304	Prof. Nakamura (HU)
14	18:10~18:25	(Move to accommodations)	—	
15	Around 18:25	(Arrival)	—	

Aug. 7 (Wednesday)

Technical tour to Tomari nuclear power plant (Profs. Miwa and Chiba (HU))

Aug. 8 (Thursday)

Technical tour to Nippon Steel & Sumitomo Metal/Muroran works (Profs. Miwa and Chiba (HU))

Aug. 9 (Friday)

No	Time	Lecture	Place	Lecturer
1	8:50		N304	
2	9:00~9:50	Present status of the Fukushima-daiichi NPP and plans for decommissioning and related R&D	N304	(Tokyo electric power company)
3	9:50~10:00	(Break)		
4	10:00~10:50	Present status and issues of robots acting at Fukushima site	N304	(Toshiba)
5	10:50~11:00	(Break)		各自
6	11:00~12:30	Demonstration of robot for severe accidents	Building for civil engineering	Prof. Chiba (HU)
7	12:30~13:30	(Lunch)		
8	13:30~15:00	(Invited lecture)	N304	
9	15:00~15:30	(Break)		
10	15:30~18:30	(Preparation of presentations for the next day)	N304	Prof. Chiba (HU)
11	18:30	(Adjourn)	—	
12	18:30~18:45	(Move to the accommodations)	—	
13	Around 18:45	(Arrival)	—	

Aug. 10 (Saturday)

No	Time	Lecture	Place	Lecturer
1	8:50		N304	
2	9:00~11:30	(Presentations of participants)		
3	10:30~12:00	(Concluding remarks)		Prof. Narabayashi (HU)
4	12:00~12:30	(Preparation of final report)		
5	12:30	(Adjourn)		

附件五 維護科學暑期學校 2013 學員

	氏名	ふりがな	区分	大学
1	佐藤 廉彦	さとう きよひこ	M1	東北大学
2	尾形 翔平	おがた しょうへい	M1	東北大学
3	武田 翔	たけだ しょう	M1	東北大学
4	封 浩	FENG HAO (中国)	M1	東北大学
5	中筋 俊樹	なかすじ としき	M1	京都大学
6	周 曉	ZHOU XIAO (中国)	M1	大阪大学
7	GUO RUI	GUO RUI (中国)	D1	早稲田大学
8	伍 建輝	Wu Jianhui (中国)	D2	早稲田大学
9	李 根	Li Gen (中国)	D2	早稲田大学
10	木村 優志	きむら まさし	M2	京都大学
11	下江 知弘	しもえ ともひろ	M2	北海道大学
12	弘中 浩太	ひろなか こうた	M2	京都大学
13	MUHAMAD ZUHAI RI BIN SULAIMAN	マレーシア(馬來西亞)	D2	電気通信大学
14	竹谷 勇人	たけや ゆうと	M1	北海道大学
15	竹田 一基	たけだ かずき	M2	大阪大学
16	藤原 佑輔	ふじわら ゆうすけ	M2	大阪大学
17	須賀 貴史	すが たかふみ	M2	大阪大学
18	近藤 啓介	こんどう けいすけ	M2	大阪大学
19	宮奥 俊介	みやおく しゅんすけ	M2	大阪大学
20	道井 築	みちい きずく	B4	大阪大学

	氏名	ふりがな	区分	大学
21	藤村 凌太	ふじむら りょうた	B4	福井大学
22	川本 洋右	かわもと ようすけ	M1	北海道大学
23	尾形 悠斗	おがた ゆうと	M1	北海道大学
24	岡田 健志	おかだ たけし	M2	北海道大学
25	加藤 慶輔	かとう けいすけ	M2	北海道大学
26	藤井 康弘	ふじい やすひろ	M2	北海道大学
27	濱田 悠平	はまだ ゆうへい	M1	北海道大学
28	齋藤 慎平	さいとう しんぺい	B4	筑波大学
29	土田 佳裕	つちだ よしひろ	M2	長岡技術科学大学
30	張禕庭	Republic of China	技士	原能會
31	Wenlu Cai(蔡文路)	China	D1	Xi' an Jiaotong University(西安交通大學)
32	Jun Hyong Kim	Republic of Korea(南韓)	D2	Sun Moon university(南韓日月大學)
33	Shirmendagva Darisureen	Mongolia(蒙古)	D1	Sun Moon university(南韓日月大學)
34	Yasutoshi Tominaga 安利 富永	やすとし とみなが	D1	Sun Moon university(南韓日月大學)
35	Xiaolong Mo(莫曉龍)	China	D2	Tsinghua University(北京清華大學)
36	Yue Chen(陳玥)	China	D1	Tsinghua University(北京清華大學)