

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：其他)

赴日出席 Nuclear Salon 會議及
第 45 屆 JAIF 年會暨訪問日本
重要核能機構設施出國報告

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：陳宜彬處長、林繼統簡任技正兼科長、
龔繼康簡任技正兼科長、石門環技正

出國地點：日本

出國期間：101 年 04 月 10 日至 101 年 04 月 21 日

報告日期：101 年 06 月 20 日

摘要

日本於 2011 年 3 月 11 日發生東日本大地震並引發大海嘯，造成福島一廠 1、2、3 號機組因喪失廠內、外電源及冷卻能力造成爐心融毀爆炸；1、3、4 號機反應器廠房因氫爆損毀，機組事故造成大量輻射外釋意外。日本政府於 2011 年 4 月 12 日宣佈將福島一廠事故之國際核能事件(INES)等級由原判定之 5 級提昇為 7 級，估算外釋輻射量約為車諾堡事故之 10%，事故造成距離福島一廠 20 公里範圍列為禁止進入管制區域，不僅日本核能電廠機組擴建規劃中斷，原先運轉中電廠也因政府管制機關原子力安全保安院(NISA)訂定安全檢查規範及必須通過壓力測試等因素，於事故發生後陸續停機檢修。由於地方政府之反彈，日本原有 54 部運轉中核能機組於 2012 年 4 月中旬只剩 1 部仍在運轉中(撰寫報告時，最後 1 部運轉中機組北海道泊電廠 3 號機已於 2012 年 5 月 5 日停止運轉進行例行維修)，日本產、學、研各方對於核能未來發展充滿焦慮，因此積極邀請亞洲及其他國家核能專業同仁進行研商及溝通，希望由福島一廠事故的寶貴經驗，做為未來強化核能電廠安全及推動核能科技發展之動力。

本次赴日由原子能委員會(以下簡稱本會)核能管制處陳宜彬處長率團，團員包括本會綜合計畫處石門環、核能管制處龔繼康、核能技術處林繼統、本會核能研究所康龍全、莊凱政等 6 人，另外本會放射性物料管理局張明倉、台電公司吳才基共同參加 4 月 18~20 日之行程；核能資訊中心黃小琛參加 4 月 10~14 日之行程。本次赴日除接受日本前任原子力委員會(Atomic Energy Commission)主席藤家洋一成立之非營利組織 Nuclear Salon Fuji-ie 邀請，發表我國核能電廠現況及福島事故發生後加強安全措施，參與專家座談外，並參加每年舉辦一次之日本原子力產業協會(Japan Atomic Industrial Forum, JAIF)年會，蒐集世界主要核能國家在福島核子事故後加強安全之最新做法及發展趨勢。赴日期間並參訪日本原子力研究開發機構(JAEA)大洗研究開發中心、高速實驗爐「常陽」，瞭解日本核能與先進科技研發情形。福島一廠核子事故後，日本政府對核能電廠均要求依事故經驗及潛在天然災害評估結果加強防護能力。經由 Nuclear Salon Fuji-ie 及日本原子力安全機盤機構(JNES)之安排，本會人員分別前往東北電力公司所屬女川核電廠及中部電力公司所屬浜岡核電廠，實地參觀電廠強化核能安全採取之措施。日本 JAIF 國際合作中心(JICC)、JNES 及原子力技術協會(JANTI)長期與本會合作，經由相關機構提供許多技術資訊，日本 JNES 並長期協助本會進行興建中龍門(核四)電廠各項視察業務，日本保全學會(JSM)於福島一廠核子事故後出版海嘯防範之相關技術指引，因此於赴日期間順道拜訪前述機構，加強本會與相關機構之合作交流。

經由參加前述會議、實地參觀核能電廠與拜訪相關機構，本會人員得以掌握日本福島一廠核子事故後迄今日本最新之安全防護作為，並加強與相關機構之合作聯繫。Nuclear Salon Fuji-ie 藤家洋一博士並宣布明年希望能在台灣舉辦會議，延續我國與日本建立之核能資訊交換機制，展現對我國友好情誼及對本會推動核能安全之肯定。本次訪日期間全體團員並利用唯一假日實地走訪福島縣福島市、郡山市、田村市，實地量測當地環境輻射劑量率，作為未來安全管制之參考。

目 次

摘要

| | |
|---|----|
| 一、目的 | 2 |
| 二、行程 | 3 |
| 三、過程 | 4 |
| (一) NUCLEAR SALON 會議 | 3 |
| (二) 參訪日本原子力研究開發機構 (JAEA) 大洗研究開發中心、高速實驗爐「常陽」、JAEA J-PARC | 9 |
| (三) 參訪東北電力公司女川核電廠 | 13 |
| (四) 福島地區考察 | 20 |
| (五) 訪問日本原子力安全基盤機構 (JNES) | 24 |
| (六) 訪問日本原子力產業協會國際合作中心 (JICC) | 26 |
| (七) 參訪浜岡核電廠 | 27 |
| (八) 出席日本原子力產業協會 (JAIF) 年會 | 33 |
| (九) 訪問日本原子力技術協會 (JANTI) | 37 |
| (十) 訪問日本保全學會 (JSM) | 39 |
| (十一) 日本及其他國家提升用過燃料池安全採行之做法 | 40 |
| 四、心得 | 42 |
| 五、建議 | 44 |
| 六、附 件 | 45 |
| (一)、日本原子力安全保安院(NISA)提出之 30 項強化核電廠安全項目 . | 46 |

一、目的

日本是核能科技先進國家，在 2011 年 3 月 11 日福島一廠核子事故前有 54 部運轉中核能機組，同時擁有核能電廠整廠輸出的技術能力。福島一廠事故發生後，大量輻射外釋造成最嚴重之 7 級國際核能事件，同時距離福島一廠 20 公里範圍列為禁止進入管制區域，嚴重傷害日本民眾支持核能發展的信心。福島一廠核子事故不僅使日本及全球核能發展腳步放緩，事故的影響使各國人民對核能安全產生信任危機。日本政府及產業、學術、研究單位深感核能仍為維持國家電力供應與競爭力之重要選項，因此除對內加強核能電廠安全管制對策外，同時希望加強與亞洲及其他國家核能專業同仁研商及溝通，將福島一廠事故的寶貴經驗，轉化為未來強化核能電廠安全及推動核能科技發展之動力。

本次出國主要係接受日方非營利組織 Nuclear Salon Fuji-ie 邀請，由本會核能管制處陳宜彬處長擔任團長，團員包括本會綜合計畫處石門環、核能管制處龔繼康、核能技術處林繼統、本會核能研究所康龍全、莊凱政等 6 人，另外本會放射性物料管理局張明倉、台電公司吳才基共同參加 4 月 18~20 日之行程；核能資訊中心黃小琛參加 4 月 10~14 日之行程。參加 Nuclear Salon Fuji-ie 會議期間，陳處長並發表我國核能電廠現況及福島事故發生後加強安全措施專題演講，及與亞洲其他國家核能專家進行論壇。日本每年舉辦一次之日本原子力產業協會(Japan Atomic Industrial Forum, JAIF) 年會為國際核能界盛事，2011 年之年會因發生福島一廠核子事故暫停舉辦，今年會議以福島事故為主軸，邀請世界各主要核能工業國家共同參與，並以「能源、核能與日本的選擇」、「福島事故後提昇核能安全的努力」與「福島的復原」等為主題。經由參加今年 JAIF 年會，可以瞭解福島事故後日本的因應對策，以及其他國家加強安全做法與核能發展趨勢，對促進國內核能安全將有所助益。Nuclear Salon Fuji-ie 並安排本會同仁參訪日本原子力研究開發機構(JAEA) 大洗研究開發中心、高速實驗爐「常陽」，分享日本核能與先進科技研發情形。福島一廠核子事故後，日本政府要求核能電廠必須依事故經驗及潛在天然災害評估結果，加強各廠之防護能力。經由 Nuclear Salon Fuji-ie 及日本原子力安全機盤機構(JNES)之安排，本會人員分別前往東北電力公司所屬女川核電廠及中部電力公司所屬浜岡核電廠，實地參觀電廠強化核能安全採取之措施。本會人員訪日期間，並拜訪與本會長期建立合作關係之 JAIF 國際合作中心(JICC)、JNES 及原子力技術協會(JANTI)，及福島一廠核子事故後出版海嘯防範相關技術指引之日本保全學會(JSM)，加強本會與相關機構之合作與人員交流。本會同仁並利用唯一假日，實地走訪福島縣福島市、郡山市、田村市，量測當地環境輻射劑量率，作為未來安全管制之參考。

二、行程

| 日期 | 地點與行程 | 人員/工作內容 |
|----------|---|--|
| 4月10日(二) | 台北→東京 | 陳宜彬、林繼統、龔繼康、石門環/去程 |
| 4月11日(三) | 東京 | 全員出席 Nuclear Salon 會議 |
| 4月12日(四) | 東京； 東京→水戶(巴士) | 全員出席 Nuclear Salon 會議 下午東京會議結束後搭巴士前往水戶 |
| 4月13日(五) | 水戶→大洗(巴士) 大洗→東海(巴士) 東海→仙台(巴士) | 全員出席參訪行程 1. 大洗參訪日本原子力研究開發機構(JAEA)大洗研究開發中心、高速實驗爐「常陽-Joyo」 2. 東海參訪 JAEA J-PARC 3. JAEA 參訪後搭巴士前往仙台 |
| 4月14日(六) | 仙台→女川(巴士) 女川→渡波(巴士) 渡波→福島(JR及新幹線) | 全員參訪東北電力公司女川核電廠 |
| 4月15日(日) | 福島→郡山→東京(新幹線) | 全員參與福島地區考察 |
| 4月16日(一) | 東京 | 全員出席訪問行程 1. 訪問日本原子力安全基盤機構(JNES) 2. 訪問日本原子力產業協會國際合作中心(JICC) |
| 4月17日(二) | 東京→掛川→東京(新幹線) | 全員參訪浜岡核電廠 |
| 4月18日(三) | 東京 | 全員出席日本原子力產業協會(JAIF)年會 |
| 4月19日(四) | 東京 | 全員出席日本原子力產業協會(JAIF)年會 |
| 4月20日(五) | 東京 | 1. 林繼統返國 2. 陳宜彬、龔繼康、石門環 3 人訪問日本原子力技術協會(JANTI)及日本保全學會 |
| 4月21日(六) | 東京→台北 | 返程 |

三、參訪內容：

(一) NUCLEAR SALON 會議

Nuclear Salon Fuji-ie 是由日本的非營利組織 NPO Nuclear Salon Fuji-ie(ニュークリアサロン藤家)主辦，其主辦者為藤家洋一教授。藤家教授長年在核能領域服務，原為東京工業大學原子爐工學研究所所長，並曾在 1998 年~2004 年任日本原子力委員會主席。藤家洋一教授在退休之後成立非營利組織 Nuclear Salon Fuji-ie，主要目的為促進核能安全與發展。

本次 Nuclear Salon 會議的主題是：Envision the future of nuclear science and technology based on the lessons learned from the Fukushima Daiichi nuclear power station accident，在 2011 年 3 月 11 日的福島事故的基礎上，展望核能科技的未來。由於福島事故所影響的範圍已非一國可以承擔，本次研討會的另一重點，即在加強亞洲諸國的核能合作，因此出席者除日本核能界專家外，亦邀請我國、中國、韓國、印度、哈薩克等代表發表專題演講及進行專家論壇。

本次會議前兩天假東京的船堀 Tower Hall 舉行，第三與第四天安排了相關參訪活動。參觀地點包括日本原子力開發機構(Japan Atomic Energy Agency)的高能量質子加速器設施(Japan Proton Accelerator Research Complex)與大洗研究開發中心(Oarai R&D Center)，以及日本東北電力公司的女川核能發電廠。簡述東京相關會議內容如下：

1. 第一天的會議內容

Nuclear Salon 第一天的議程以福島核子事故以及快滋生反應爐的研究為主。會議一開始的第一部分，由 Nuclear Salon Fuji-ie 的主辦者藤家洋一先生致詞，接著由韓國原子力安全技術研究所(KINS, Korea Institute of Nuclear Safety)所長 Youn-Won Park 先生，以及 JAEA 大洗研究開發中心所在地的大洗町町長小谷隆亮先生做大會專題演講，最後再由藤家先生總結，結束第一天上午的前半場議程。

Park 先生演講中表示，在福島事故後，韓國與其他國家都進行了核能電廠的安全評估作業。韓國在政府主導下，於 2011 年四月展開了核能電廠安全檢查，同年 7 月國際原子能總署進行 Integrated Regulatory Review Service。2012 年 2 月，韓國的古里核能發電廠(Kori Nuclear Power Plant)的一號機，在定期檢查中發生全黑事件，喪失了外部電源 12 分鐘，而緊急柴油發電機並未成功啓動。該機組已經停機，雖經檢測並無輻射外洩情事，但無疑是一則警訊。韓國將更努力提升核能安全，並重視核能安全文化以重獲公眾信心。

小谷先生演講中表示，JAEA 研究開發中心在大洗町包含了三座反應爐，分別為快滋生反應爐『常陽』、材料試驗爐 JMTR(Japan Materials Testing Reactor)與高溫工學試驗研究爐 HTTR(High Temperature Testing Reactor)，除了核能發電外，亦對其他相關的工業應用展開研究。在福島事故之後，核能安全成爲了最重要的議題，今後該町也會在核能安全的前提下，盡力協助原子

力與核能的發展。

藤家先生接著發表演講，並指出在人類發展的歷史中，人類活動是以化學反應能源為根基的文明，逐漸移向以核反應能源為根基的文明。今後核能議題包括(1)利用核能產生能源，(2)物質變換，產生新的物質，(3)利用新技術創造文明、(4)掌握潛在的物理知識。爲了以上幾點，我們應當持續發展以下技術(1)核分裂反應產生能源以及核融合反應的相關議題，(2)非能源的粒子與雷射技術。在目前大眾討論聚焦於核能發電時，將持續朝向兼顧能源生產與環境保護的目標前進，並以此開發核能的能源系統。

第一天上午會議的第二部分，則是探討福島事故的演進。首先由大阪大學名譽教授，宮崎慶次先生發表“Consideration on Fukushima Accident from Reactor Engineering Viewpoint - Success Path of Evading from the Reactor Core Melt-down”，從核能業界的角度來看福島事故。則依據宮崎先生的論點，一旦發生類似福島事故的電廠全黑事件，當電廠長期失去電源，且 RHR 系統與 Turbine Bypass 皆不可用，使用 Method of Feed & Bleeds，持續灌水並釋放蒸氣，似乎是唯一可成功的方式。爲了使用消防水系統注入足量的冷卻水，爐心壓力應當降至約 0.7bar 左右，並進行早期圍阻體排氣。

公益社團法人日本放射性同位素協會的佐佐木康人先生發表“Countermeasures for Fukushima NPP Crisis - Aspects of Radiological Protection”。佐佐木先生從輻射防護的觀點出發，來看去年的福島事故。日本在 1999 年 9 月的東海村 JCO 臨界事故之後，開始強化了對輻射與核子事故的緊急醫療準備體制。對於放射線的影響，可以分爲接受高劑量，短期造成多數細胞死亡的案例，以及接受低劑量(低於 100mSv)，造成長期(大於五年)致癌機率上升。以去年的福島事故爲例，即以 20mSv 爲分界，作爲劃分計畫受災地區與緊急時避難準備地區之標準。

第一天會議的第三部分，則是探討核能安全與放射性安全與今後的議題。首先由 Nuclear Salon Fuji-ie 的理事，山崎吉秀先生發表“Lessons learned from the Fukushima Daiichi NPS accident”。日本自 1960 年代開始設立輕水式反應爐之後，到去年有 54 部機組，約佔日本 30%的發電量。這次的福島事故，最直接的原因就是發生了設想之外的大地震與海嘯，今後將利用這次福島的慘痛經驗，深化核能電廠的安全。具體可以歸納如下：

- (1) 緊急對策：(a) 電源的確保：包括電源車的配置，緊急柴油發電機的強化，外部電源的擴充以及相關所需資源的整備；(b) 浸水對策與確保水源：包括防波堤的加高，防潮堤的設置，建築物淹水的對應措施等；(c) 演習。
- (2) 長期對策：(a) 以安全爲本的意識改革；(b) 外部原因的調查；(c) 具體的設施改進，例如安全系統的再檢查，注水系統的耐震設計，免震棟的設立，氫爆發生時的應對措施。(免震爲日文名詞，其意義爲：在結構基座與基礎之間，設置一層隔震層，當地震發生時，可以阻隔或吸收地震能量。相較於耐震建築是承受地震能力高的建築，免震建築是可免於地震的建築)；(d) 人員方面

的支援。

接著由 NPO 放射線安全論壇理事長的加藤和明先生發表“Nuclear Disaster and Radiation Protection”。加藤先生表示：在 2011 年的福島事故，不但破壞了日本的核能安全神話，也使得放射線的防護系統被質疑。然而，追求完全無放射線風險亦是不可能的，今後的議題將再構築放射線防護的議題。

廣島大學原爆放射線醫科學研究所所長，神谷研二先生發表“Experiences at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and Radiation Effects on the Human Body”。神谷先生表示，因為二次大戰的結果，目前廣島是日本發展放射線防護的重鎮之一，在福島事故發生時，亦組成了緊急被曝醫療隊前往支援，支援受到放射線污染的民眾與工作人員。在這次發表中展示了救援的過程，其活動內容包括：廠外支援中心的支援、避難住民的污染檢查、對被曝傷病者的支援、對住民等的放射線風險溝通、以及內部被曝檢查等。

會議的第四部分，則是探討核能工業的未來展望。首先由 Nuclear Salon Fuji-ie 的出澤正人先生發表“Sustainable Nuclear Energy System to harmonize Resource Security and Environment Preservation - Self consistent Nuclear Energy System(SCNES)”。出澤先生表示，在資源日漸枯竭的今天，使用核能能源是對環境與資源都有利的。在福島事故之前，日本政府原本計畫將 29%的核能發電比率提升為 53%，但目前所有的計畫都告暫停。目前福島事故的衝擊，讓核能工業受到許多打擊，但是展望未來，考慮到核能發電的優點，將來仍必須對核能展開許多研究。而最終目的將是 Nuclear Salon Fuji-ie 的藤家洋一理事長所提的 SCNES 系統，一套完整規劃核能發電與燃料循環的體系。

日本原燃株式會社的酒井和夫先生發表“Significance of the Nuclear Fuel cycle and JNFL's Roles”。酒井先生表示，核能發電對於能源的安定、安全供給相當重要，為了核能發電能夠安定運轉，核燃料循環系統的確立是必不可少的。日本原燃株式會社主要從事燃料的再處理、MOX 燃料加工、廢棄物管理、濃縮、低放射性廢棄物掩埋等事業，對日本核能業界做出貢獻。

JAEA 日本原子力研究開發機構的柳澤務先生發表“Fast Reactor Development in Japan”。柳澤先生表示，日本因為去年的福島事故，目前日本的核能電廠都處於暫停狀態。另一方面，對於缺乏天然資源的日本，如何確保長期的能源供應，亦是相當重要的課題。正因如此，也持續在研究新型的反應爐。日本在 1999~2005 展開快滋生反應爐研究，而其成果為 JSFR, Japan Sodium-cooled Fast Reactor，從 2006 年度展開計畫，規畫 2025 年度開始實驗爐 (750MWe) 運轉，2050 年開始商業運轉 (1500MWe)。目前其第一階段(2006~2010)已經完成，第二階段因福島事故而暫停，還有待國家當局評估之後再展開期計畫。另一方面，目前的實驗爐『常陽』因 2007 年的事故而停止中，預計在修復作業之後，在 2014 年再運轉。而另一座反應爐『文殊』，自 1995 年的事故之後也停止 14 年，

於 2010 年 5 月再度展開性能試驗，並於同年 7 月結束。

India Gandhi Centre for Atomic Research 的 S.C. Chetal 先生發表 “Fast Reactor Program in India”。Chetal 先生表示，核能在印度的能源規劃亦相當重要，也積極發展快滋生反應爐。其中 FBTR 在 1985 年臨界，迄今已累積了多年經驗。目前該中心正計畫建設 6 座 FBR，每座容量約 500MWe，並計畫在 2025 之後，計畫有 1000MWe 容量的反應爐。India Gandhi 女士曾擔任兩任印度總理，India Gandhi Centre for Atomic Research 即是為了紀念她，而冠以其名。

第一天的議程到此結束，隨後有歡迎晚會，接待與會來賓。圖 1-1 為本會赴日人員與藤家洋一先生及 Nuclear Salon 理事木下知子合照。



圖 1-1：赴日一行人與藤家洋一先生及 Nuclear Salon 理事木下知子合照

2. 第二天的會議內容

第二天會議由第五部分開始，由與會的各國來賓發表專題演講。首先由中國核行業協會的曹春麗小姐發表關於中國核能發電廠的現況，題目為：The Development Status of China's Nuclear Power。主要介紹了目前中國境內各座電廠的發展現況。

韓國原子力安全技術研究所(KINS, Korea Institute of Nuclear Safety) 所長 Youn-Won Park 先生發表 “What we learn and How to Move Forward”。Park 先生表示，今後將以更大努力關注核能安全，賦予管制單位更多的責任去檢查與稽核，並且以深度防禦為準則，培養核能安全文化以重獲公眾信心。

印度 Department of Atomic Energy 的 Prabhat Kumar 先生發表 “India's Nuclear Power program and expectation from Japan”。Kumar 先生首先表達了印度對東日本大震災與福島事故的慰問，隨後說明了目前印度發展核能發電的現況，並期許印度與日本可以加強彼此的合作，特別是關於快滋生反應爐方面。

哈薩克國家核能中心的 Yergazy Kenzhin 先生發表 “Infrastructure of

the atomic branch and the prospects of nuclear energy development in the Republic of Kazakhstan”。Kenzhin 先生表示，目前哈薩克雖無核能發電，但有豐富的鈾礦藏，並計畫在未來建立核能發電廠，也期許與國際上各國有密切的合作。

本會核能管制處處長陳宜彬處長發表“Safety Performance and Post-Fukushima Re-Assessment of Nuclear Power Plants in Taiwan”。陳處長介紹了台灣目前的核能發電現狀，也表示在福島事故之後，國內的核能電廠進行了安全評估與壓力測試，並改善電廠設備提升安全。同時也分享了在 2001 年核三廠發生的電廠全黑事件，並很遺憾日本未能吸取經驗。最後對日本核能工業界提出了寶貴的建言。圖 1-2 為陳處長發表論文的照片。



圖 1-2：陳處長發表台灣核能電廠的安全表現與福島事故的安全評估

日本 JAEA 的廣井博先生發表“JAEA human resource development program for Asian countries”。廣井先生表示，JAEA 是日本綜合的核能機構，致力於培訓核能方面的人才，未來也將繼續致力國際間的合作。

日本 Nuclear Safety Technology Center 的吉田昌弘先生發表“Report of NUSTEC experience and proposals for new nuclear power disaster prevention”。吉田先生介紹了 NUSTEC 日本原子力安全技術中心，該單位之目的為，應對放射線災害，並以此對國家與人民做出貢獻。該單位目前主要的活動有，提供 SPEEDI 系統提供的預測劑量，SPEEDI 的操作，福島 20 公里圈的劑量評測，以及防災情報的提供。

今井盟先生發表“History and current situation of radiation protection related Fukushima”。今井先生以福島當地縣民的劑量測定為主軸，報告了東日本大震災與福島事故後的福島縣的一面。

接著是三位來自核反應器製造商的簡報，包括了東芝、日立製作所與三菱重工。首先是東芝的岡村潔先生發表“Toshiba's nuclear energy activities”。岡村先生發表了關於東芝在福島事故之後，對事故處理所做出的支援與努力，並且介紹了該公司的核能產品。接著是日立的丸彰先生發表“Hitachi's activity on nuclear energy and radiation application and their contribution in Asia”，丸先生同樣也是介紹了在福島事故之後，該公司對LWR所進行的安全改善設計，以及該公司在越南建設核能電廠的詳情，最後並且介紹了該公司的核能產品與發展。最後則是三菱重工的吉津達弘先生發表“MHI activities for safety improvement on PWR”。吉津先生同樣是發表了關於三菱重工在福島事故之後，對核反應器安全所做出的努力與改善。

會議的第六部分，則是綜合討論。由我國的陳宜彬處長、中國的曹春麗小姐、印度的S.C.Chetal先生、哈薩克的Yergazy A. Kenzhin先生、以及日本的加藤和明先生與吉田昌弘先生共同討論，並由吉田昌弘先生擔任引言人。討論議題包括了21世紀亞洲各國的能源需求以及核能所扮演的角色，亞洲各國在核能方面的合作，以及亞洲各國在放射線方面的合作。歷經這次福島事故，各國皆很清楚核能事故不再只是一國之事，而是影響鄰國的國際事件，未來勢必需要加強彼此的合作關係。第二日的議程結束後，隔日即展開參觀行程。

(二)參訪日本原子力研究開發機構(JAEA)大洗研究開發中心、高速實驗爐「常陽」、JAEA J-PARC

Nuclear Salon 會議前2天假東京舉行，第3天開始安排相關參訪活動，藉此展現日本核能研究與電廠安全防護之成果。會議首先安排參觀地點在JAEA位於大洗(O-arai)之研發中心，議題是輻射應用之尖端領域研究，有2篇報告發表，第1篇是由JAEA之J-PARC(Proton Accelerator Research Center，質子加速器研究中心)主任Shoji Nagamia介紹J-PARC的尖端研究內容；J-PARC是日本5大加速器之一，目前中心內有3座加速器，分別為330公尺長之直線加速器、3Gev迴旋加速器、50Gev迴旋加速器，將質子加速後撞擊靶核，產出 π (pion)、 μ (Muon)、 ν (Nutrino)等基本粒子，進行物質與生命科學、核物理與粒子物理等基礎科學研究。另外，在核能廢料處理方面，亦進行Transmutation(將長半衰期核種轉換成短半衰期核種)研究。報告中也提到J-PARC設施受到311地震損壞及修復經過，目前已完成整修，並朝繼續提高粒子能量的目標邁進。

第2篇報告是由J-PARC的帶電粒子治療中心(Research Center for Charged Particle Therapy)主任Hiroshi Tsuji介紹碳離子在癌症治療的應用(Carbon Ion Radiotherapy as Advanced Technology in Cancer Treatment)，報告中除說明應用碳離子治療癌症之優點外，並透過很多癌症病患治療前後的腫瘤相片證明碳離子的治療成效良好，目前累積治療病患人數，自1994年6月開始至2012年2月已達6512位。報告後本會同仁並與Tsuji主任交換名片，並交換我國清華大學水池式反應器建立BNCT的癌症治療相關訊息。



圖 2-1、日本五座主要加速器設施



圖 2-2、J-PARC 之直線加速器、3Gev 及 50Gev 迴旋加速器

聽完前述 2 篇報告後，Nuclear Salon 會議有關論文發表部份全部完成，最後由 Nuclear Salon 的 Yoshihide Yamasaki 主任做一個簡短致詞後，論文發表部分正式結束。接著是 J-PARC 設施的參訪，大會安排參訪 2 個設施，首先是常陽(JOYO)快磁生實驗爐，其次是 J-PARC 粒子射束實驗室。常陽快磁生實驗爐內部不開放照相，一行人先在大廳看一段女川市在 311 海嘯中受衝擊的影片，影片中有聽到海嘯警報聲，因本會正檢討核子事故警報聲音(註：目前是響一秒停一秒，歷時 3 分鐘)內容是否與其他警報(如空襲)聲音一致，故詢問日方類似問題，日方回答其核子事故警報聲與海嘯警報不同，其警報型式亦類似我國響一聲停一下的間斷方式。看完影片後即進入管制區域，進入前，先發識別証，並要求參訪者將手機暫存置物櫃，通過金屬探測器後，進入管制區，穿著輻防衣物(衣、帽、鞋套、手套)，隨著導引人員進入廠房，隨後到模擬器，現場並模擬全黑(Blackout)狀態，頓時燈光全滅，一片漆黑，只有控制面盤各項警示燈閃爍，警報聲不停的響，最後離開常陽前，本會人員在常陽快磁生實驗爐大樓前合影。

參訪第二站為 J-PARC，如前述 J-PARC 報告介紹，J-PARC 為一質子加速器，將質子加速後，撞擊靶核，利用其產生的粒子來進行相關實驗研究。一行人進入大樓大廳前，先穿著鞋套，分發耳機，分成二組，各自帶開。J-PARC 實驗大廳(圖 2.6)，其射束約 20 個，分成左右 2 個實驗大廳(圖 2.7)，廠房內盡是各研究單位之實驗設施佈置(圖 2.8)，研究主題如：中子繞射、導引人員藉由圖表介紹目前進行之研究主題，如高壓中子繞射儀(High Pressure Neutron Diffractometer)、小角度中子散射(Smaller-Angle Neutron Scattering Instrument)等。



圖 2-3、常陽(JOYO)快磁生實驗爐參觀識別證



圖 2-4、常陽(JOYO)快磁生實驗爐模擬器



圖 2-5、原能會同仁於常陽(JOYO)快磁生實驗爐入口處合影



圖 2-6、J-PARC 實驗大廳入口處



圖 2-7、J-PARC 實驗大廳中子導管佈置



圖 2-8、J-PARC 實驗大廳儀器佈置

(三) 參訪東北電力公司女川核電廠

日本東北電力公司所屬之女川核電廠距離 2011 年 3 月 11 日東日本大地震震央比發生事故之福島一廠更近，電廠紀錄資料顯示，大地震當天 1 號機反應器廠房基座所測得之加速度值為 567.5Gal，為該廠所測得之最高紀錄。女川核電廠有 3 部運轉中機組，2011 年 3 月 11 日地震後與福島一廠同樣遭受約 13m 海嘯之侵襲，但相較下女川電廠於地震發生後 1 天內機組均達到冷停機狀態(Cold Shutdown)，福島一廠卻發生 1-3 號機爐心嚴重融毀的核子事故，女川核電廠成功應變的經驗成為全球所關注及學習的對象。Nuclear Salon 會議規劃人員特地安排與會者參觀女川核電廠並介紹福島核子事故後電廠新增之安全防護措施，增加大家對核能電廠運轉安全的信心。

(1)女川核電廠:

女川核電廠有 3 部沸水式反應器(BWR)機組，2011 年 3 月 11 日東日本大地震發生時 1、3 號機正在全功率運轉，2 號機已完成大修正在起爐進行功率升載階段。電廠擁有 3 組不同外電迴路(Matsushuma, Tsukahama, Oshika)，提供 275kV 及 66kV 電源，並配置 8 部緊急柴油發電機(EDG)，提供安全系統緊急電源。女川核電廠機組資訊及大地震發生前後機組狀況如下。

| | 1 號機 | 2 號機 | 3 號機 |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 裝置容量 | 524MW | 825MW | 825MW |
| 商轉日期 | 1984 年 6 月 | 1995 年 7 月 | 2002 年 1 月 |
| 反應器型態 | BWR-4 | BWR-5 | BWR-5 |
| 3 月 11 日地震發生時狀態 (2:46PM 發生地震) | 1.地震發生前運轉中 2.地震發生後自動急停 | 1.地震發生前臨界升載中 2.地震發生後自動急停 | 1.地震發生前運轉中 2.地震發生後自動急停 |
| 達到冷停機時間 | 3 月 12 日 0:58AM | 3 月 11 日 2:49PM | 3 月 12 日 1:17AM |

(2)地震與海嘯對女川核電廠的影響

參訪女川核電廠當天由廠長渡部孝男(Takao Watanabe)親自說明 2011 年 3 月 11 日東日本大地震及後續海嘯對女川核電廠的影響，副廠長遠藤淳一(Junichi Endo)進行英文翻譯並帶領參觀人員現場參觀。女川核電廠設計之初在海嘯預防時參照歷史紀錄，追溯發生於西元 869 年、1611 年、1896 年、1933 年曾發生之海嘯紀錄，雖然評估之海嘯高度為 3m，但建廠之初建廠委員會即採取保守策略將廠區高度訂在海平面以上 14.8m。經與會者詢問廠長當初為何決定高度遠超過評估標準，廠長回答當時並未有科學事證，只能說當初的決策者具有遠見，防範潛在自然災害於未然。後續 2 號機建造時海嘯高度提高為 9.1m，最後一次評估為 13.6m，電廠廠區高度均超過評估值。由於預期海嘯將達 9.1m，因此電廠於發生福島一廠事故前已於鄰近海港處建置海堤，並在 9.7m 以下以混凝土保護，避免海嘯衝擊。對於海水泵(sea water pump)保護部份，廠長說明由於海水泵以築牆方式保護，避免遭受海嘯損壞。此外電廠為防範地震危害，除對煙囪進行結構與基礎強化外，對電廠管線支撐進行 6,600 點的強化(1 號機 3,600、2 號機 900、3 號機 2100 點)，並且於主控制室加裝扶手，避免運轉員於地震時跌倒或誤觸儀器。此外電廠將原有行政大樓進行結構強化(改善工程自 2009 年 7 月至 2010 年 3 月)，並興建新的免震行政大樓(興建工程自 2009 年 12 月至 2011 年 8 月)，將 TSC 移至新大樓，避免地震損害。

2011 年 3 月 11 日地震造成女川電廠整體地盤下沉約 1 公尺，廠區由原設計的 14.8 公尺降為 13.8 公尺，地震造成 Tsukahama, Oshika 供電線中斷，只剩 Matsushuma 275kV 1 線路可以正常供電。另外 1 號機有一組非緊急之高壓接線盤(High Voltage Metal Clad Switchgear)燒毀，3 部機組之用過燃料池有少量水因搖晃產生外流。海嘯部分 3 月 11 日 15:29 超大海嘯來襲，所幸高度 13 公尺未超過廠區設計基準，因此廠區沒有發生全面性淹水情形，但是位於碼頭邊的重油貯存槽卻因此損毀。此外海嘯產生的壓力仍然造成海水經由

海水泵旁邊的潮位計灌入緊急海水泵室，然後再經過管路通道與管路穿越器流入了 2 號機輔機廠房內輔助冷却水系統熱交換器室，淹水高度達 2.5 公尺，造成 2 號機的 B 串緊急柴油發電機和 H 串（高壓爐心噴灑系統 HPCS）緊急柴油發電機不可用。所幸另一串緊急柴油發電機維持正常。

女川電廠歸納與福島一廠遭受同樣 13m 海嘯與地震侵襲後得以安全停機之原因，除了當初設計基準對海嘯保有足夠的餘裕，避免海嘯淹沒外，地震後保有一條迴路的外電與多部緊急柴油發電機、地震前三部機組進行多項耐震改善措施、平時人員持續不斷的訓練、電廠的防震 Technical Support Center (TSC)與通訊設備在緊急狀況時維持正常資訊收集與傳遞等均扮演重要角色。

(3)女川核電廠福島事故後之安全強化措施

女川核電廠在地震後整體地盤下沉約 1 公尺，因此加高原有海堤成爲電廠優先處理項目。目前規劃將加高至 17 公尺，長度約 800 公尺。對於防止海嘯造成的廠區淹水，則包括加強海水泵防海嘯壁、反應器廠房及汽機廠房門的水密性能、及採購緊急海水泵沖洗及乾燥設備。在強化電源部分，電廠已購置移動式電源車，並於廠區高處裝設大容量電源設備配置，未來規劃安裝耐震之緊急用發電設備。電廠並自行設計接線盒(Junction Box)，作爲緊急電源快速連接時使用。外電部分則將 Matsushima 等 275kV 線路於轉彎處將原有絕緣礙子之 I 型設計調整爲 V 型設計以避免地震損害。水源部份，電廠透過消防車，提供核反應器與用過燃料池的冷卻水。人員防護部分增加採購鎧衣、面罩與人員計量劑，另外準備推土車，作爲緊急情況下清理碎片與障礙物時使用。

現場參觀部份在副廠長遠藤淳一細心安排下，先後參觀海堤加高工程、大容量電源設備、新的耐震行政大樓與 TSC 等設施，並於其他參與 Nuclear Salon 會議人員先行離開後與本會人員參觀因應福島事故後新購置之移動式電源車、消防車與注水車、外電絕緣礙子之 V 型設計等，展現對本會之友好情誼。



圖 3-1、女川町 311 海嘯後港區建物受損情形(2012.04.14)



圖 3-2、女川核電廠防海嘯海堤強化工程施工情形



圖 3-3、女川核電廠因應島事件後裝設之大容量電源設備



圖 3-4、女川核電廠因應島事件後新增之注水車



圖 3-5、女川核電廠因應島事件後新增之移動式電源車



圖 3-6、女川核電廠因應島事件後煙囪強化措施



圖 3-7、女川核電廠因應島事件後外電強化措施



圖 3-8、女川電廠耐震行政大樓



圖 3-9、女川核電廠 TSC 中心



圖 3-10、陳宜彬處長發表參觀感言



圖 3-11、原能會同仁與女川核電廠廠長、副廠長合影

(四) 福島地區考察

日本於 2011 年 3 月 11 日發生福島一廠核子事故後，日本政府於 3 月 11 日晚上時宣布疏散電廠 3 公里內居民、3 月 12 日先後宣布疏散 10 公里、20 公里內居民，3 月 15 日再要求 20~30 公里內居民採取室內掩蔽。3 月 18 日時日本媒體報導已有距福島第一 30 公里測點持續測得 $100 \mu\text{Sv/h}$ 之高輻射劑量。依據事故初期之風向判斷，高輻射區域主要位於電廠西北側內陸，福島縣之福島市位於同一方向，因此本次赴日期間，特別利用唯一之星期假日實地前往位於福島一廠西北方之福島市及西方之郡山市、以及距離更近之田村市(船引町)，實際了解發生事故一年後當地環境輻射現況。其中福

島一廠距離福島市約 61 公里，郡山市約 60 公里，田村市約 40 公里；福島一廠與福島市、田村市(船引町)之相對位置如下圖所示。

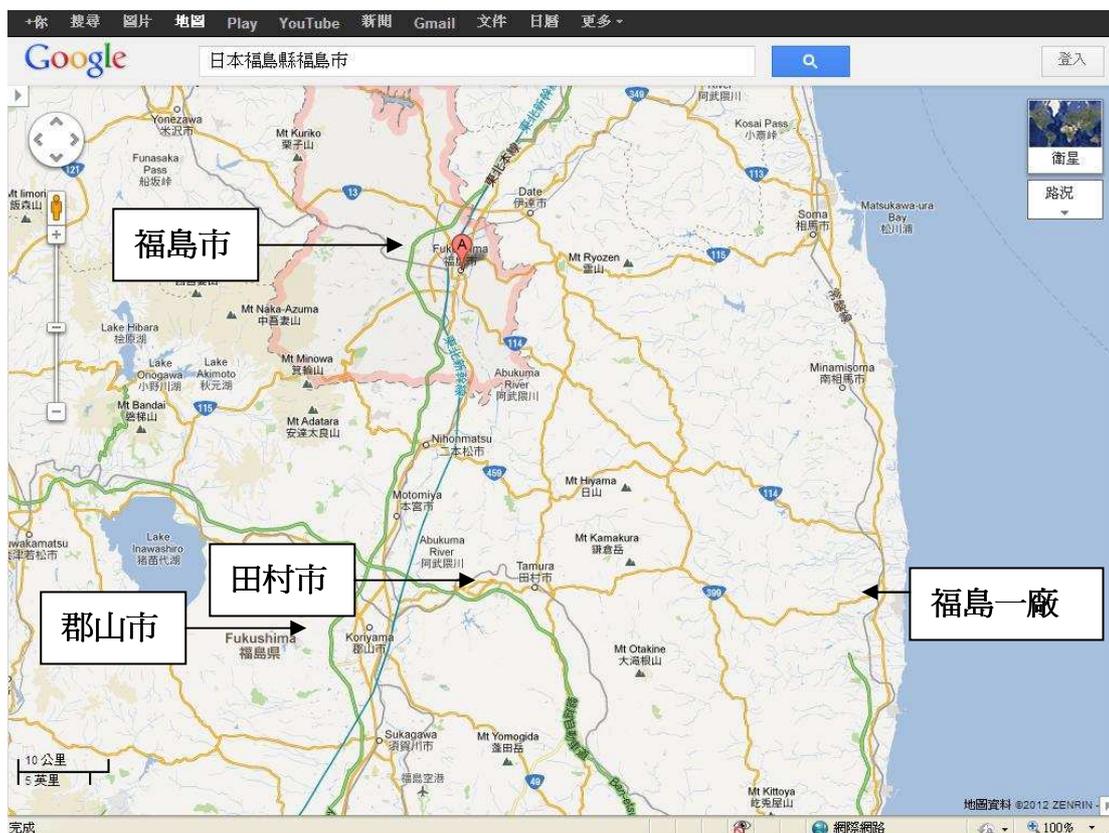


圖 4-1、福島一廠與福島市、郡山市、田村市相對位置

環境偵測時採用之儀器為 Thermo RADEYE PRO Personal Radiation Detector，儀器經核能研究所校正，有效期限至 2012 年 9 月。測量時位置分別為地表及距地表高度約 90~120cm 處，各地量測之最高值統計如下表。

表 4.1、日本環境輻射劑量率量測統計表(數值為同一地區最高值)

| | 福島市 | 郡山市 | 田村市 |
|--|------|------|------|
| 地面($\mu\text{Sv/hr}$) | 2.38 | 1.34 | 0.51 |
| 距地面 90~120cm ($\mu\text{Sv/hr}$) | 1.13 | 0.24 | 0.14 |

備註：日本東京都量測距地面 90~120cm 最大值為 0.05 $\mu\text{Sv/hr}$

由於環境輻射測量時並未扣除各地區之自然背景輻射，僅能就現場量測資料進行評估。比對日本政府於福島一廠發生事故後公布之風向與預測劑量圖，位於福島一廠西北方向之福島市接受來自電廠之輻射比位於電廠西側之郡山市、田村市更高，雖然田村市比郡山市距離電廠之直線距離更近，但實際量測之劑量率卻較低。由於量測時

並未扣除各地區之自然背景輻射且距離發生事故後已超過一年，地方政府與居民對環境清理與採取之復原做法均會影響量測結果，但由資料顯示，位於福島一廠西北區域所遭受之影響仍高於西部區域，福島一廠輻射外釋仍造成部分地區輻射強度增加。

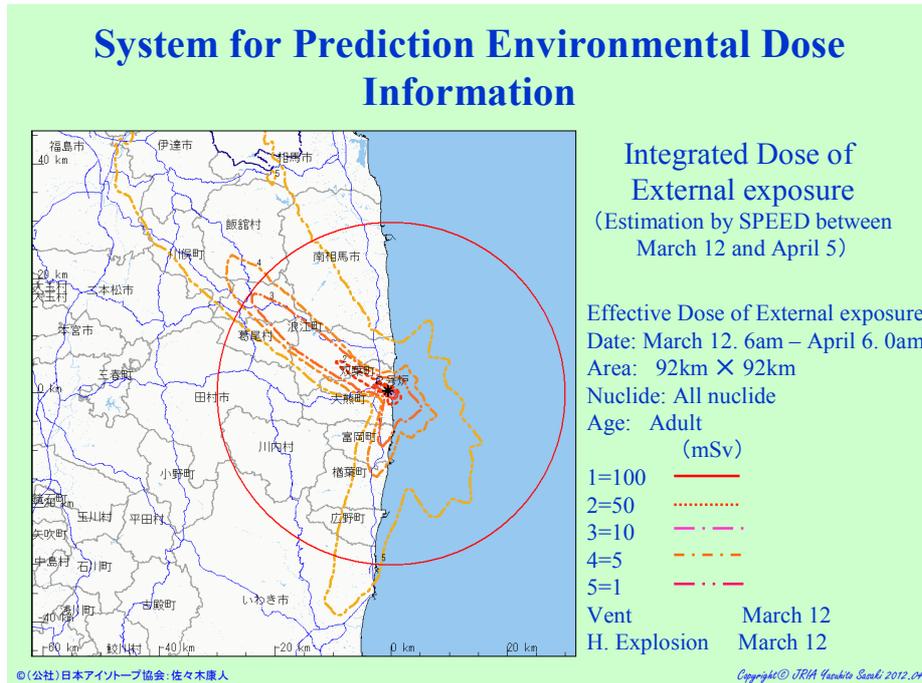


圖 4-2、福島一廠事故後日本政府預估一個月之輻射劑量分布



圖 4-3、福島縣福島市地表環境輻射量測照片



圖 4-4、福島縣福島市離地環境輻射量測照片



圖 4-5、福島縣田村市(船引)地表環境輻射量測照片



圖 4-6、福島縣田村市(船引)離地環境輻射量測照片



圖 4-7、福島縣郡山市離地環境輻射量測照片

(五) 訪問日本原子力安全基盤機構 (JNES)

4 月 16 日上午偕同我國駐日本代表處科學技術組蔡明達組長訪問日本原子力安全基盤機構 (Japan Nuclear Energy Safety Organization, JNES)。JNES 由中込良廣理事長、福島章理事、蛭澤勝三總括參事 (已升任理事)、新田見實雄檢查評估部長、堀野知志耐震安全部長、富田兼任審議役、橫澤力審議役及鶴我計介主事等出席參與會談。

原子力安全基盤機構係獨立行政法人，於 2003 年 10 月成立，主要由發電設備技術檢查協會 (JAPEIC)、原子力發電技術機構 (NUPEC)，原子力安全技術中心 (NUSTEC) 等三個財團法人合併成立。自此 JNES 成爲日本主要核能管制機構原子力安全保安院 (Nuclear and Industrial Safety Agency, NISA) 之技術支援機關，二者分工合作，

執行核能安全管制，原來核能電廠大修檢查業務也由 JAPEIC 移轉至 JNES。

2004 年 5 月，JNES 與我國核能科技協進會（NuSTA）簽訂合作協定，同年 11 月 24 至 26 日在台舉行第 1 屆核能安全管制資訊交流會議，以後每年輪流在台日舉行，至 2011 年於東京舉行第 8 屆會議，每次會議之議題大致包括最近一年來之主要管制動向、雙方核電廠運轉實績、最近之關切議題、以及未來雙方合作計畫等，對促進台日雙方核安資訊之交流具有良好的成效。

原子能委員會與核能科技協進會除每年與 JNES 舉行例行雙邊會議以外，2007 年 1 月及 2009 年 3 月 JNES 專家二度來台，舉行第 1、2 屆台日核能安全技術研習會。JNES 係日本執行核能電廠管制之準官方機構，故近年來我國龍門核電廠以及核一廠乾式貯存設施之視察與審查等，也透過核能科技協進會邀請 JNES 專家來台協助。

JNES 在福島事故之後，設立品質管理推進室、人才開發、知識管理推進室，以及緊急事態對策部，包括緊急時技術支援室與緊急時網路監視中心等部門。會談時雙方首先說明未來之組織再造，日本主要的兩個核能管制機關原子力安全委會（Nuclear Safety Commission, NSC）及原子力安全保安院（NISA）將合併，成立新的單一核能管制機關-原子力規制廳，並將納入原屬文部科學省之部分輻防管制業務，原訂日本新年度開始之 4 月 1 日生效，但因國會審議等問題而延後，預期今年夏季應會開始運作，屆時 JNES 也將成為新的原子力規制廳之技術支援機構。

我國行政院原子能委員會則預定於 102 年起與國科會合併成為科技部之下的核能安全署。台日雙方均充分認知在 311 福島事故後，世界各國核能管制機關之改革趨勢為強化獨立性、強化管制能量。

最後雙方就近期內合作交流廣泛交流意見，包括我國核二廠乾式貯存設施耐震評估、核一廠乾式貯存設施試運轉、龍門核電廠 1 號機試運轉、核電廠海嘯對策研討會（Workshop）、第 9 屆核能安全管制資訊交流會議等。



圖 5-1：陳處長致贈 JNES 中込理事長禮物

（六）訪問日本原子力產業協會國際合作中心（JICC）

日本原子力產業協會（Japan Atomic Industrial Forum, JAIF）成立於 1956 年，自 1986 年起與我國共同主辦台日核能安全研討會，每年輪流在台日舉行，2011 年第 25 屆會議於東京舉辦。JAIF 於 2009 年設立國際合作中心（JAIF International Cooperation Center, JICC），以推展核能新興國家之人力養成合作、奠定該等國家核能基礎建設為重要目標，由 JAIF 理事長服部拓也兼任 JICC 理事長。

此次訪問原計畫 4 月 16 日下午赴日比谷大道之 JICC 本部拜會 JICC 高層，後因服部理事長希望與我方代表團會面，故臨時改赴位於虎門之 JAIF 本部。服部理事長率石塚理事、JICC 鳥羽部長、向山顧問等人與我方會談。服部理事長首先說明日本現況，包括關西電力大飯 3、4 号機已準備妥當，正等待中央及地方政府核准再啓動，5 月時日本可能進入空前的無核電狀態，如何度過夏天用電尖峰期將是一大考驗。此外，日本正就各種能源之配比進行檢討，核能政策將於今年夏天明朗化，預期核能配比之可能選項為 0%、20%、25%、35%。

東京電力現以燃油、天然氣發電補充核電缺口，安裝許多中、小型氣渦輪機。日本不同電力公司之系統因有 50 HZ、60 HZ 之頻率差異，相互融通之電力最多只有 100 萬瓩，相當有限。此外，日本另一大爭論議題為消費稅分階段由 5%調高至 8%、10%，引起社會上相當大的騷動。我方代表團團長陳宜彬處長則說明最近核二廠反應爐支撐裙鉸錨定螺栓斷裂問題，並允諾將相關資料送 JAIF 參考。

最後，雙方也再度確認今年第 27 屆台日核能安全研討會將於 7 月 24~26 日假台北舉行，日方表示因 311 福島事故，日本各電力公司財務狀況不佳，但將努力促成約 20 人左右來台出席會議。



圖 6-1：陳處長與 JICC 服部理事長握手致意

(七) 參訪浜岡核電廠

浜岡核電廠屬於中部電力公司所有，廠內共有 5 部機組，其中 1、2 號機為 BWR-4，已停止運轉並進行除役。3、4 號機為 BWR-5，與福島二廠機組相同；5 號機為與我國龍門電廠同型之 ABWR。浜岡核電廠雖離 2011 年 3 月 11 日東日本大地震震央較遠，並未曾受到地震與海嘯之嚴重影響，但因日本中央災害管理委員會(Central Disaster Management Council)評估電廠附近之 Tokai、Tonankai、Nankai 斷層近期發生大地震及引發超大海嘯之機率大增，日本首相於 2011 年 5 月 6 日請中部電力公司於電廠防海嘯新策略完成並經日本原子力安全保安院審查通過前暫停運轉。中部電力公司於 5 月 9 日決定，為展現電廠維護周圍民眾安全之精神及敦親睦鄰，電廠 3 號機將暫緩啟動，且 4、5 號機將陸續停機並進行福島事故後電廠安全與防海嘯改善措施。電廠 4、5 號機並分別於 5 月 13、14 日停機，目前電廠優先進行防海嘯海堤加高工程，並依原子力安全保安院(NISA)之規定進行電廠整體安全評估與改善作業。經由 JNES 的安排，本會同仁於 4 月 17 日順利參訪浜岡核電廠，瞭解福島事故後電廠安全防護與防海嘯措施的最新進展。

(1) 浜岡核電廠：

浜岡核電廠有 5 部沸水式反應器(BWR)機組，其中 5 號機為與我國龍門電廠同型之 ABWR；1、2 號機已於 2009 年 1 月停止運轉並進行除役，5 號機於 1999 年 3 月開始興建，與我國龍門電廠建廠時間相近，並於 2005 年 1 月開始商轉。浜岡核電廠目前 TSC 設於免震建物中，設計與女川核電廠相似，2011 年 3 月 11 日發生東日本大地震時建築物移動約 5cm(由位於建築物底部之鋼板紀錄)，建築物具有過濾通風能力，但並無輻射防護之設計。由於浜岡核電廠機組與我國核一、二、四廠相近且同樣面臨地震與海嘯之潛在威脅，電廠在福島事故後安全防護與防海嘯措施將可作為我國強化核電廠安全之借鏡。

(2) 浜岡核電廠原有之耐震與防海嘯措施

浜岡核電廠在耐震設計上考量 100~150 年回歸之 Nankai 斷層引發 8 級地震及 1707 年 Hiei 與 1854 年 Ansei 地震之歷史紀錄，電廠之耐震設計基準為 600 Gal。隨後電廠考量增加設計餘裕並滿足居民對電廠耐震安全之要求，自 2005 年 1 月起至 2008 年 3 月，將 3、4、5 號機耐震基準(以基盤 bedrock 為準)提升為 1000Gal，並進行機組管路與電路支撐、煙囪結構強化、反應器廠房吊車與裝填燃料機具固定、儲油槽強化等改善工程。電廠人員解釋 3、4、5 號機耐震管路與電路支撐共進行超過 5,000 點之改善，煙囪結構強化於 2008 年完成。由於安裝 1-5 號機之廠址高程介於 6-8m，因此在防海嘯部分必須以海堤防範，電廠評估發生 9 級地震時海嘯高度為 10m，目前電廠周圍所有之海堤(沙丘)高度約 10~15m，寬度約 60~80m，應可防範海嘯之侵襲。電廠廠房外側均已標示海平面高度(如 T.P.15m、T.P.18m)以方便評估海嘯高度造成之影響，並表示仍需依據日本中央災害管理委員會提出之資料更新海嘯預測高度，以符合最新之安全基準。

(3) 浜岡核電廠福島事故後之安全強化措施

由於浜岡核電廠原有之耐震要求已於 2008 年完成提升，因此電廠主要安全強化為預防海嘯之侵襲。電廠將預防海嘯之策略建立 3 層防護，第一層防護為興建高 18m、長達 1.6 公里之海堤並提升現有沙丘之保護，第二層防護為當海嘯高度超過 18m 時，廠區重要設備仍能避免淹水而喪失功能，例如廠區海水泵周圍建立高 1.5m 之防護牆、緊要海水泵安裝 1.8m 不鏽鋼防水牆並加蓋以避免海水淹沒、反應器廠房加裝防水結構避免緊急柴油發電機淹水等。第三層防護為確保緊急冷卻功能，其中又可區分為提升注水功能、確保移熱能力及確保電源等 3 類。提升注水功能包含如提供氣冷式緊急注水泵冷卻功能、由鄰近電廠之 Niino 河提供額外水源、廠區超過 25m 高處增設儲水槽等；確保移熱能力如增加氮氣儲存容器以確保排氣(ventilation)功能、主控室增設遙控排氣功能等。確保電源如於廠區超過 25m 高處增設氣渦輪發電機、反應器廠房屋頂增設緊急發電機(預計可連續運轉 3 天並採用與 EDG 相同之柴油)、增設備用電池等。此外在外電部分，目前 3、4 號機有 3 條外線，5 號機將由 2 條外線增加為 3 條，同時增加移動式變壓器及強化支撐線路，以利自地區電源供應站提供外電。其他改善措施包括廠內新購置小型推土車，清除海嘯或地震產生之障礙物，並將備品庫房建於廠區高處，避免海嘯之危害。

浜岡核電廠海堤興建工程自 2011 年 4 月開始規劃，2011 年 11 月開始興建，預計 2012 年年底完成。電廠整體安全改善預計將花費 1,400 億日圓。2011 年因電廠停止運轉後，中部電力公司在燃料採購上已增加 3,000 億日幣之花費，2012 年預計經額更高，因此及時恢復浜岡核電廠運轉已成為中部電力公司急需完成之工作。



圖 7-1、浜岡核電廠 5 號機控制室參觀台



圖 7-2、浜岡核電廠海水泵安裝 1.5m 防水牆

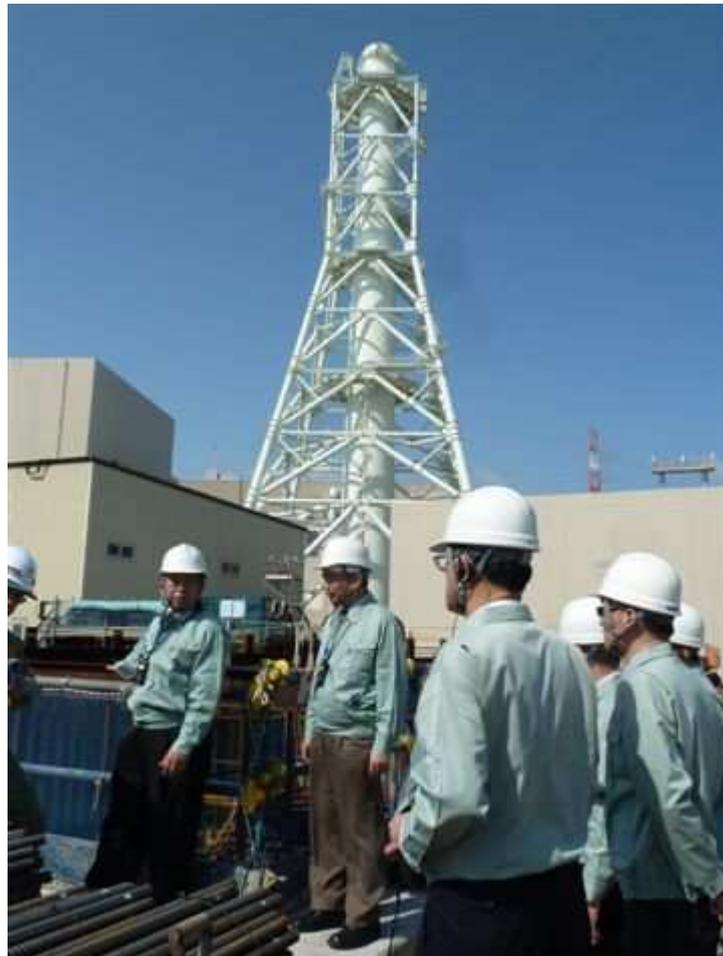


圖 7-3、浜岡核電廠煙囪耐震結構強化措施



圖 7-4、浜岡核電廠廠房外側標示海平面高度



圖 7-5、浜岡核電廠反應器廠房屋頂增設緊急發電機



圖 7-6、浜岡核電廠海堤興建工程



圖 7-7、浜岡核電廠移動式抽水車



圖 7-8、浜岡核電廠災害障礙物清除機具



圖 7-9、浜岡核電廠 TSC 中心



圖 7-10、浜岡核電廠免震建物基座



圖 7-11、原能會同仁與浜岡核電廠廠長、部長合影

(八) 出席日本原子力產業協會 (JAIF) 年會

JAIF 全名日本原子力產業論壇，於 1956 年設立，其主旨為促進原子力的和平用途。後於 2006 改組為日本原子力產業協會，致力於將原子力技術使用在和平用途上，並且對原子力技術的持續發展做出貢獻。

去年(2011)四月份，原本要舉行的第 44 次日本原子力產業協會年會，因發生東日本大震災與福島核子事故，因而中止，故今年(2012)舉行的第 45 次日本原子力產業協會年會，是福島事故後的第一次日本原子力產業協會年會，具有指標性的意義。

1.開幕致詞

由日本原子力產業協會會長今井敬致開幕詞：“The 45th JAIF Annual Conference Policy Speech”。今井會長表明，在 2011 年的福島事故，不僅重創了日本民眾對於核能發電的信任，也使得全球核能工業的發展受到打擊。究其原因，乃是民眾對於放射劑量與放射線傷害的恐懼，今後將致力於事故後的環境除污技術以及和民眾的溝通。至於福島第一核能發電廠，將朝向除役工程技術發展，期望福島可以成爲世界核能電廠除役技術的研發先驅。另在 2012 年 5 月 5 日，日本北海道電力公司的泊核能發電廠將進行定期維修，屆時日本所有的核能發電將全數暫停。這導致日本的電力將有 90%來自火力發電，而其中增加的燃料費，估計 2012 年即達三兆日圓。而面對即將來臨的用電旺季的夏天，估計將有 10%的電力缺口。種種因素，包括因額外燃料費產生的赤字，高漲的電費，不安定的電力供給，都將對日本經濟造成影響，令人擔心。今年的日本原子力產業協會年會將以再生之路爲本次大會的主軸。日後也希望核能電廠可以再度運轉，但是其前提是，將有更好的安全性及透明性，以恢復民眾對於核能產業的信心。



圖 8-1：日本原子力產業協會年會

2.特別演講

4 月 18 日早上是特別演講，請來了烏克蘭的緊急應變部長 Viktor Baloha 先生、波蘭駐日大使 Jadwiga Maria Rodowicz-Czechowska 女士、俄羅斯國家核能公司總裁顧問 Petr Schedrovitskiy 先生、美國駐日首席公使 Kurt Tong

先生，最後是現任 IAEA 的總幹事天野之彌先生以影帶播映方式，在 JAIF 做出了特別演講。其中烏克蘭緊急應變部長 Baloha 先生針對 25 年前的車諾比事故做出了回顧，表示烏克蘭同樣是深受放射線災害的國家，分享了烏克蘭環境除汙的技術，以及現況。

其後，由日本東京電力的副社長相澤善吾先生報告福島第一核電廠的現在狀況與未來。除了說明 2011 年 3 月 11 日的地震、海嘯、與所造成的福島事故的詳細情形外，並說明了尚在進行中的後續處理過程。目前福島各機組皆處於冷停機狀態，溫度皆低於攝氏 100 度，且圍阻體內的劑量已經大幅降低。依據 2012 年 3 月份的估計，一、二、三號機約放出一千萬貝克，相當於事故發生時的八千萬分之一。而廠界劑量率，則是約 0.02mSv/y 左右。關於日後福島第一核能電廠的除役作業，目前已完成所有機組皆冷卻停機，計畫在兩年內完成第一期清除用過燃料池的燃料，在十年之內完成第二期清除爐心熔渣，且在 30~40 年之後，完成第三期的電廠除役過程。現階段的目標則是放在處理反應爐的冷卻水，並防止海洋汙染的擴大，放射性廢棄物的管理，以及進行廠界的除汙。而根據此次教訓，日後也以三個方針來對應：第一是防範海嘯及淹水的對策；第二是針對機器故障的問題，將建置機動性的應急設備；第三則是萬一仍發生爐心受損的意外，將發展減緩意外傷害的技術。

3. 議程一：能源、核能與日本的選擇

本次大會的第一個議程，由英國的原子能管理局(UKAEA, United Kingdom Atomic Energy Authority)的名譽主席 Lady Judge 女士、日本經濟團體聯合會的副會長坂根正弘先生、美國核能管制委員會(U.S. NRC, Nuclear Regulatory Commission)的委員 William D. Magwood 先生、韓國的前韓國科學技術廳長官鄭根謨先生、德國的 Areva Germany 公司研究創新部的副總裁 Stefan Niessen 先生、日本朝日新聞的編輯委員竹內敬二先生、與日本國際環境與經濟研究所所長澤昭裕先生等發表演說。

英國 Lady Judge 女士發表“Nuclear after Fukushima”。她表示，對於日本福島事故感到非常遺憾，但是與英國同樣，日本也是缺乏主要資源的島嶼型國家，若不仰仗核能，則必須依賴進口石油與天然氣，若考慮到發電效率與減碳排放，核能電廠仍是發電的必要選擇之一。但是核能電廠若必須繼續使用，則應當資訊公開，讓沒有利益關係的國際組織或專家來審查其安全性，並加強溝通以讓民眾理解並支持核能。

美國核管會 Magwood 先生也以福島事故為主軸發表“The next steps after Fukushima Daiichi”一文。依據福島事故的經驗，對目前美國國內電廠進行安全評估，表示目前美國的電廠屬於安全狀態，同樣的事故要發生在美國的機率非常低，況且美國已經有相對應的極端事故減緩對策，以應付爐心損傷，與放射性物質洩漏的可能性。在福島事故之後，美國 NRC 已經核准兩座美國境內的核能電廠的建照，並不因福島事故而暫停核能工業的發展。最後並提出給日本核能界的一些建議，包括：1. 確保經驗豐富的技術人力、2. 獨立的核能管制機制、3. 安全文化的發展、4. 資訊透明化。

4. 議程二：福島事故後提昇核能安全的努力

本次大會的第二個議程，由日本的電氣事業聯合會會長八木誠先生、世界核能營運者協會(WANO)主席 Laurent Stricker 先生，美國核能協會(NEI, Nuclear Energy Institute)的副總裁 Scott Peterson 先生、法國 Areva 公司 CEO Luc Oursel 先生、英國核能管制署(Office for Nuclear Regulation, UK)的署長 Mike Weightman 先生等進行發表論文。

Scott Peterson 表示在福島事故之後，由民調機構顯示，美國民眾支持核能發電的比例跌落至 62%，不支持的比率上升到 35%。在事故過後一年，支持核能發電的比例回升至 64%，不支持的比率則是 33%。民眾對於核能發電的信賴，源自於強而有力的管制機關，一般認為美國 NRC 可以進行獨立審查，而與核能無關的團體也能參加溝通與監督，因此一般民眾對於核能發電的信賴才逐漸上升。美國工業界亦長期與民眾展開積極對話，充分闡述核電可以提供低碳的穩定能源以因應世界經濟的發展。

5. 議程三：福島的復原

大會的第三個議程由東京大學曾田寬也教授主持，有白俄羅斯的駐日大使 Sergei K. Rakhmanov 先生、美國 URS 公司的 Michele S. Gerber 小姐、福島縣富岡町長遠藤勝也先生、南相馬除染研究所理事箱崎亮三先生、東京大學名譽教授柴田德思先生以及日本復興大臣政務官吉田泉進行發表。最後並進行小組討論。



圖 8-2：我國參與日本原子力產業協會年會人員



圖 8-3：陳處長與美國核管會委員 Magwood 先生會談

（九）訪問日本原子力技術協會（JANTI）

4 月 20 日上午赴日本原子力技術協會（Japan Nuclear Technology Institute, JANTI），藤江孝夫理事長率永田匡尙部長、鈴木義和部長與我方會談。JANTI 成立於 2005 年，共有 93 位員工，123 家公司會員，主要部門有企畫室、業務部、情報分析部、安全文化推進部、規格基準部、技術基準部、技術養成部。

JANTI 之主要業務內容包括國內外核電廠運轉資訊之分析、電力事業者運轉實績之分析評估、與 INPO、WANO 合作執行同業評估（Peer Review）、支援電力事業者之自主保安活動、安全文化特遣團活動、核能相關民間規格之整備、技術能力基礎之整備、核能技術人員之培養等。原子能委員會與 JANTI 近年來交流相當密切，2011 年東日本大震災後，藤江理事長於 4 月 26 至 27 日率領永田匡尙、鈴木義和、北村信行 3 位部長及 1 位翻譯人員來台，於原子能委員會舉行福島第一核電廠事故說明會。

拜會 JANTI 目的之一係在瞭解其在福島事故之後日本加強核能安全最新作為，雙方並就合作交流項目廣泛交換意見，互相了解。



圖 9-1：我方與 JANTI 討論

JANTI 首任理事長石川廸夫先生為日本核能界前輩，曾多次來台，對我國極為友好，其重要著作「原子爐之暴走（失控）」、「原子爐解體-廢爐之途」實為核能安全、除役之重要參考資料。JANTI 雖成立不久，但極具專業實力，2011 年 10 月曾發布 282 頁之「東京電力福島第一核電廠事故之檢討與建議對策」，頗具參考價值。



圖 9-2：陳處長致贈 JANTI 藤江理事長（左）禮物



圖 9-3、與 JANTI 人員合影（後排右三：藤江理事長、後排左一：鈴木義和部長、前排右一蹲者：永田匡尚部長）

（十）訪問日本保全學會（JSM）

4 月 20 日下午赴日本保全學會（Japan Society of Maintenology, JSM），JSM 成立於 2003 年，現任會長為宮健三先生。宮會長與山下裕宣副會長、青木孝行顧問、釜田真佐子總務部長、松本真澄、池田耕平兩位編輯等與我方座談。宮會長親自說明保全學會概要，日本保全學會之主要業務並非一般中文所認知的保全，學會名稱 JSM 之 M 為 Maintenology，係結合 Maintenance（維護）和 Technology（科技）而成，實際上可說是維護技術學會，JSM 現階段以核電廠之維修技術為主，以後將擴展至其他領域。

宮會長為東京大學名譽教授，曾擔任美國馬里蘭、康乃爾、田納西等大學、中國西安交通大學客座教授，日本文部科學省、原子力委員會、科技廳、原子力安全保安院內部多個核能相關委員會之委員或技術顧問，曾獲日本政府原子力安全功勞獎。2007 年 12 月曾來台，於原子能委員會發表「維護技術研發之合作」、「維護技術國際會議」、「核能技術之國際展覽會」等專題演講，並赴台電公司拜訪。

日本保全學會主要在建構合理而經濟的保全學（即維護技術），其業務內容包括保全計畫最適化，發行「保全學（Maintenology）」季刊、發行線上期刊 E-Journal of Advanced Maintenance (EJAM)、舉辦研討會，與其他學會、協會、非營利組織（NPO）合作。目前正進行之研究項目主要為非破壞檢查技術之提升及新技術開發，包括提升非破壞檢查技術之研究調查、材質劣化診斷技術研究調查、提升狀態監視技術、以及為掌握老化設備組件劣化狀態之新技術研究等。

此外，日本保全學會在 2011 年 7 月出版了英日文對照之「輕水式原子力發電所的海嘯對策處理指引」，以供日本各核電廠參考，而我國四座核能電廠也須評估是否可承受海嘯威脅，原能會已在去年購買了此指引。此次亦趁訪日之際，拜訪日本保全學會，並展開對話，了解此處理指引的發展過程，也討論日後合作的可能性，宮會長立即再贈送我方兩本指引。

日本保全學會曾與韓國、中國大陸、印度、德國等共同舉辦研討會，宮會長表示今後希望與台灣就核能電廠維護保養技術方面能共同主辦定期研討會。



圖 10-1：在日本保全學會前合影（左二為山下裕宣副會長）

（十一）日本及其他國家提升用過燃料池安全採行之做法

2011 年 3 月 11 日發生東日本大地震時，福島一廠 1、2、3 號機因處於運轉狀態，反應器爐心裝填燃料，即使在機組安全停機後，因喪失所有電力與熱沉造成衰變熱無法移除引發燃料護套鉛金屬與水高溫反應產生氫氣而引發爆炸，4 號機因機組處於停機狀態，反應器爐心已無燃料，因此在救援初期並未發覺潛在威脅，直到 3 月 15 日早上 6 時 4 號機反應器廠房發生爆炸，15、16 日兩天早上陸續發生 2 次火災，東京電力公司 16 日早上 11 點召開記者會所公開之照片顯示，4 號機反應器廠房外牆有 2 處各 8 公尺四方形區域毀壞，16 日早上 9 時 30 分 4 樓附近發生火災，11 時左右自然熄滅，當天早上 5:45 左右，反應爐廠房雖冒出火焰，但已於 30 分鐘後停止。由於資料顯示用過燃料池之水位偏低，東京電力公司判斷可能因為用過燃料池有多束反應器爐心移出之燃料，因衰變熱較高且用過燃料池喪失電力及冷卻能力，造成用過核燃料裸露及高溫產生氫氣引發爆炸，放射性物質因此而大量外釋並造成嚴重環境污染，雖然之後的資訊確認燃料池所貯之用過核子燃料並未受損，但用過燃料池在此事件下可能導致的嚴重後果已被國際所關注。

2011年6月，美國核管會將原本用於防止恐怖攻擊所建立之NEI 06-12文件進行解密，以期藉由此文件中對於用過燃料池水位監測、內部與外部補水以及灑水機制所建構之緊急冷卻機制，協助全球核電廠進行用過燃料池的安全性強化，並免除核電廠用過燃料池於發生類似福島事故導致喪失冷卻能力時，可能因為池水喪失使燃料裸露而導致用過燃料進一步發生高熱、熔毀，甚至鉛-水反應等嚴重後果。NEI 06-12主要針對超過設計基準事故之情形進行原則性規範，當燃料池水位發生下降時，採流量為500GPM之補水程序進行補水；但當補水無法維持水位或無法確認水位時，則需採用總流量為200GPM之灑水程序對全池進行噴灑，以確保燃料之完整。除此之外，美國核管會為確保燃料池在發生喪失冷卻能力事故時，其事故演進之時程可以延緩；故擬定一極度保守之燃料擺置方式。此擺置方式要求在高餘熱燃料之周圍燃料需為低餘熱燃料，且規範燃料池格架腳座上方空間不可貯存高餘熱燃料。本次赴日期間，本會同仁在日方人員的協助下，實地前往女川與浜岡核電廠，瞭解電廠對用過燃料池採取安全強化做法，做為未來國內電廠加強用過燃料池安全之參考。

日本原子力安全保安院(NISA)所公佈之強化核能電廠安全之30個項目中，其中第17項列出強化用過燃料池冷卻與供水能力。實地參觀女川電廠時，電廠對用過燃料池採取增加提供緊急電源及補水的方式，以避免喪失冷卻能力。女川電廠新增加之移動式電源車及注水車可提供用過燃料池電源與水源；並考量緊急供應電源採用柴油發電機，所需之柴油可經由移動式柴油運送車，將遭受海嘯損害發電機柴油經移動式運送車移到較高處之柴油發電機，維持長久供電。女川電廠採用之移動式柴油運送車容量為4,000公升，注水車注水能力在壓力0.85MPa時為2,800L/min，確保足夠之冷卻能力。電廠在用過燃料池周圍加設短牆式擋水板，避免用過燃料池池水因地震搖晃溢出。浜岡核電廠採取與女川電廠相似之做法，注水所需之馬達可採用移動式馬達，避免原有馬達受損時無法補水。由於電廠採購設備時，對電源車及注水車採取與反應爐共用之方式，並未精確計算用過燃料池所需之補水量，且因目前資料顯示福島一廠4號機用過燃料池事故時仍保有足夠池水，應不至於發生燃料融毀產生氫爆，因此電廠並未再次精算。目前日本與美國均加強用過燃料池水位監測，以確保用過燃料安全。



圖 11-1：女川電廠移動式注水車特性

四、心得

去年日本發生福島一廠核子事故後，不僅對日本及全球核能產業形成衝擊，也造成各國人民對核能發電安全的信心危機。日本政府及產業、學術、研究單位充分了解核能的未來必須建構在安全基礎上，除與世界各國分享福島一廠事故之慘痛經驗外，對於造成全世界之恐慌也表達歉意。由於核能產業與研發受福島事故傷害甚深，日本身為核能重要輸出國家，必須採取適當措施，包括加強與亞洲及其他國家間之合作與資訊分享，才能減緩核能產業與研發的損失。我國核能發展環境與日本不同，所受到之影響較少，但經由與日本持續合作，提升核能電廠安全與防護作為，將可保障國內民眾福祉。

本次赴日參加會議及參訪之心得，簡述如下

（一）加強與日本合作，落實福島一廠事故經驗回饋

日本福島核災係因超出預期之地震與海嘯引起的複合式災難。我國與日本電廠均源自於美國設計，且同樣面臨地震與海嘯之威脅。福島事故之後，日本核電廠積極加強防災改善措施，諸如興建或加高海堤、加強廠房水密工程、重要建築免震或隔震、增設緊急發電機與購置機動防災設備等，相關做法值得我國學習。日本是核能先進國家，但在核能安全資訊交流方面，一直十分保守，此次福島核災雖起因於超過設計基準的複合性天災，但日本若能借鏡法國 1999 年 Blayais 電廠水災事件及我國核三廠全黑事件之經驗回饋，也許後果不致於如此嚴重，歷史紀錄可作為我國核能從業人員的殷鑑。

（二）提升核能安全文化與資訊公開，增進民眾信心

福島事故之後，美國民調顯示民眾支持核能發電的比例跌落至 62%，不支持的比率上升到 35%。在事故過後一年，支持核能發電的比例回升至 64%，不支持的比率則是 33%。相較於我國，美國民眾對於核能發電的信心較高。除美國工業界與核能管制委員會(NRC)長期與民眾接觸並對重要政策採取 Public Meeting 方式溝通外，建立強而有效的安全文化，採取質疑且確認事實真相的態度，才能恢復民眾對核能的信心。

（三）維持獨立有效之管制機關，確保民眾安全

美國 NRC 已連續數年被評定為政府機關中員工滿意度調查第一名，獨立監督能力獲得民眾信賴。NRC 委員 Megawood 說明 NRC 成功的原因包括：確保經驗豐富的技術人力、獨立的核能管制機制、安全文化的發展、資訊透明等。國際原子能總署對日本福島一廠事故之調查報告，指出政府管制單位原子力安全保安院(NISA)隸屬於經產省，對促進核能工業發展與核能安全管制的角色上產生衝突，國會籌組之調查小組朝向調查事故時首相直接干預專業所作出之指示是否造成事故擴大。目前日本雖已將核能安全管制自經產省移出，並與原子力安全委員會合組成原子力安全規制廳，但不同政黨仍希望組成更強而有力之核能安全監管單位，以致法案無法立即通過。我國近年來大力推動政府組織再造工程，對於獨立的核能安全管制單位的建構，宜再深思。

（四）持續精進核能技術能力，加強核能電廠安全

天然災害難以臆測，日本福島一廠事故更是超過預期之地震及海嘯等複合式災難。核能電廠的安全防護不能僅依靠設計時考量的設計基準事故，必須持續精進技術能力，提供電廠更好的保障。福島核災之後，歐盟國家採取的壓力測試，徹底檢討核能電廠的弱點，擬定並部署對抗超過設計基準事故的措施，加強安全之做法值得國內學習。

五、建議

- (一) 日本政府及核能電廠在福島一廠核子事故後採行強化安全措施，如興建或加高海堤、加強廠房水密工程、重要建築免震或隔震、增設緊急發電機與購置機動防災設備等，相關做法值得我國學習。
- (二) 獨立的核能管制單位是確保核能安全的關鍵。核管單位應保持其獨立性，維持核能政策透明性並加強溝通，才能使專業決定不受外力影響，也才能維持民眾對核能管制單位的信心。
- (三) 安全為核能電廠之基礎。建立強而有效的安全文化，採取質疑且確認事實真相的態度，加強與民眾接觸並對重要政策溝通，才能恢復民眾對核能的信心。
- (四) 天然災害難以臆測，核能電廠的安全防護不能僅依靠設計基準事故，必須持續精進核能技術能力，檢討核能電廠的弱點，擬定並部署對抗超過設計基準事故的措施，才能加強核能電廠安全。

附 件

附件一、日本原子力安全保安院(NISA)提出之 30 項強化核電廠安全項目

The 30 items of measures pointed out by NISA

I . Off-site electric power facilities

1. Enhancement of off-site power supply system reliability. 2. Enhancement of earthquake-resistance of power substation. 3. Enhancement of earthquake-resistance of electric switch-yard. 4. Swift recovery of off-site power supply.

II . On-site electric power facilities

5. dispersed location of on-site power facilities. 6. Intensification of water submergence resistance. 7. Enhanced redundancy and diversity of emergency power supply. 8. Intensification of DC supply. 9. Backup power supplies for individual NPP.10. Facilitation of power supply from external sources. 11. Increasing stockpile of spare electric equipments and parts

III . Cooling facilities

12. Enhanced decision abilities for accidents. 13. Diversifying locations and antisubmergence of cooling equipments. 14. Diversification of final heat sink. 15. Ensured function of isolation valves and SRV. 16. Intensified alternative water injection measure. 17. Enhanced reliability of fuel pool cooling and water supplying.

IV . Containment facilities

18. Diversification of container heat removal systems. 19. Prevention of heated failure of container top flange function. 20. Assured transfer to alternative water injection measure. 21. To ensure the container vent operation. 22. Reduction of the environmental radiation effect. 23. Independence of vent tube. 24. Prevention of hydrogen explosion (Control of concentration and release).

V . Command communication, instrumentation and control system, emergency response systems

25. To secure and well maintain the commanding headquarters in the case of accident. 26. To secure communication functions in the case of accident. 27. To assure the reliability of instrumentation in the case of accident. 28. Intensified function of surveying plant operation states. 29. Intensified radiation monitoring functions. 30. Establishment of emergency response system and implementation of practice.