

出國報告（出國類別：其他）

出席日本原子力產業會議第四十二屆年會及參訪柏崎刈羽核能電廠

服務機關：行政院原子能委員會

出國人 職稱：副主任委員、科長

姓名：黃慶東、賴尚煜

出國地區：日本

出國期間：98年4月12日至98年4月18日

報告日期：98年6月16日

摘 要

本次出國主要為參加「日本原子力產業會議（JAIF）第四十二屆年會」，該會議為在日本舉辦之盛大國際性核能會議，世界各核能相關國家及國際性核能組織均派員出席。歷屆年會我國均由原能會高層主管率國內相關單位代表與會，本屆由原能會黃慶東副主委率團，團員包括產、官、研等代表計 5 名。

另於 JAIF 年會前拜訪駐日代表馮大使及代表處科技組，並於 JAIF 年會後參訪東京電力公司柏崎刈羽核能電廠。全體團員經由此次參加會議及實地參訪日本核能機構，瞭解日本在整體核能產業現況與未來發展、核能電廠營運安全等做法，深信可做為我國未來推動相關事務之參考。

目 次

摘 要.....	I
一、 目的.....	1
二、 行程.....	3
三、 過程紀要.....	4
四、 心得與建議.....	24

一、目的：

日本原子力產業會議（JAIF）是一個公益社團法人之組織，成立於 1956 年，其主要之宗旨是提供一個溝通管道，對於增進核能之利用以及日本核能產業界所面臨之問題，進行調查、研究及意見之統整等，並且將民間之意見提供日本官方做為訂定核能政策及開發利用計畫之參考。每年日本原子力產業會議定期在日本舉行會員大會，為在日本舉辦之盛大國際性核能會議，世界各核能相關國家及國際性核能組織均派員出席。歷屆年會我國均由原能會高層主管率國內相關單位代表與會，本屆由原能會黃慶東副主任委員率團，團員包括產、官、研代表計 5 名（團員名冊如表一）。

第 42 屆日本原子力產業會議於今（2009）年 4 月 13 日至 15 日假日本橫濱市之國際會議廳舉行。本屆研討會除日本產業界一千餘人參加外，尚包括來自美國、英國、法國、芬蘭、韓國、大陸、越南、印度、經濟合作發展組織核能署、及中華民國等十餘個國家與國際組織參與。本屆會議主題為「實現低碳社會－核能可達成期望」，會議中除邀請日本、美國、法國、英國及中國之主要機構發表核能政策、角色、溝通、研發及展望外，會議最後以「核能發展之民眾認知與溝通發電的角色」為題以座談會方式進行討論。本次會議規模盛大，內容豐富，日本除了中央政府官員環境部長出席演說外，神奈川縣知事(Shigefumi Matsuzawa)與橫濱市市長(Hiroshi Nakada)亦以地主身分出席致詞及專題演講。

會議揭幕之歡迎會，我國代表黃副主委接受 NHK 之記者採訪，分別就「我國核能現況」、「台灣和日本在核能方面合作情形」、「分析比較日本與西方核產業界如 AREVA 公司之異同」及「全球金融風暴對台灣核能發展之影響」等提問加以說明。此行並赴日本新潟縣東京電力公司之柏崎刈羽核能電廠參訪，希望能吸取相關經驗，瞭解國外核電現況，以供本會策略發展、安全管制及溝通研究之參考。

表一：2009 年出席日本原子力產業會議第四十二屆年會代表團名冊

	姓 名	機 關 / 職 稱
團 長	黃慶東	行政院原子能委員會 副主任委員
團 員	楊清田	行政院原子能委員會 核能研究所諮議會執行秘書
團 員	廖俐毅	行政院原子能委員會 核能研究所核安管制技術支援中心主任
團 員	張茂雄	台灣電力公司 核能安全處處長
團 員	賴尙煜	行政院原子能委員會 核能管制處科長

二、行程：

4月13日上午於參加日本原子力產業協會（JAIF）年會前，全團拜訪駐日代表馮大使及代表處科技組，馮大使親自說明我國與日本之外交關係日愈緊密，並以親切、幽默的言詞，趣談外交點滴，並贈送代表團每位成員兩本其著作之書。

自4月13日起至15日止為JAIF年會共為期3天，我方以組團方式參與，本屆會議主題為「實現低碳社會－核能可達成期望」，會議中除邀請日本、美國、法國、英國及中國之主要機構發表核能政策、角色、溝通、研發及展望外，並以「核能發展之民眾認知與溝通發電的角色」為題以座談會方式進行討論。本次會議日本除了中央政府官員環境部長出席演說外，神奈川縣知事(Shigefumi Matsuzawa)與橫濱市市長(Hiroshi Nakada)以地主身分出席致詞及專題演講。

4月16日上午拜會JAIF服部理事長及JANTI藤江理事長並與之餐敘，下午搭乘新幹線列車至長岡，再轉火車由長岡赴新潟縣的柏崎市，並於4月17日參訪東京電力公司柏崎刈羽核能電廠。代表團參加會議及參訪行程如表二。

表二：2009 年黃副主委率團出席日本原子力產業會議第 42 屆年會
及參訪行程

日期	內容
98 年 4 月 12 日 (週日)	台北---東京 東京--- 橫濱
98 年 4 月 13 日 (週一)	上午：拜會駐日代表處 下午：JAIF 年會報到及歡迎宴會
98 年 4 月 14 日(週 二)	參加 JAIF 第 42 屆年會開幕及第一項議題研討會
98 年 4 月 15 日(週 三)	參加 JAIF 第 42 屆年會第二、三項議題研討會
98 年 4 月 16 日(週 四)	上午：拜會 JAIF 服部理事長及 JANTI 藤江理事長並 與之餐敘 下午：出發前往柏崎
98 年 4 月 17 日(週 五)	上午：參觀柏崎刈羽核電廠 下午：返回東京拜會 JNES 鳥居原理事並與之餐敘
98 年 4 月 18 日(週 六)	東京--台北

三、過程紀要

(一) 參加第 42 屆 JAIF 年會

JAIF 年會由日本原子力產業協會每年於日本各地舉辦，今(2009)年(第 42 屆)於橫濱市舉行，因受金融海嘯、經濟衰退之影響，報名參加人數較往年少僅約 600 餘人，但實際參加人數仍甚為踴躍達 1000 餘人(來自海外 120 人，日本國內 900 多人)，其中韓國斗山重工共派出超過 17 人之團隊參加，中國核工業總公司(CNNC)亦派遣近十人參與。我國由原能會黃副主委擔任團長，出席團員包括核能研究所廖俐毅主任與楊清田執行秘書、台電公司張茂雄處長及原能會賴尚煜科長等共五人。

本屆會議期間，雖然少了各國核能相關之重要官員與會，但 JAIF 會議，仍不失為各國核能政策、安全技術及核能民眾溝通之交流平台。

本屆會議主題為「實現低碳社會－核能可達成期望」，於 4 月 13-15 日舉行。13 日為報名及歡迎式，於歡迎會場各與會人員除可尋找老朋友聊聊，亦可藉機結交新朋友，探尋各國核能發展之近況。JAIF 會議受到日本主要媒體之關注，並親臨採訪，其中 NHK 電視即要求現場採訪我方團長黃慶東副主委，黃副主委分別就「我國核能現況」、「台灣和日本在核能方面合作情形」、「分析比較日本與西方核產業界如 AREVA 公司之異同」及「全球金融風暴對台灣核能發展之影響」等提問加以說明。

正式會議於 14 日及 15 日展開，除大會主席及按往例邀請當地神奈川縣知事 (Shigefumi Matsuzawa) 與橫濱市市長 (Hiroschi Nakada) 以貴賓身份致詞及專題演講外，其餘時段分三個主題 (Section) 進行研討。分別為 (1) 以經濟有效的核能，邁向低碳未來的實現；(2) 全球增加核能應用下，日本之期望與角色；(3) 核能在低碳未來之角色。

會議由 JAIF 會長今井敬 (Takashi Imai) 致歡迎辭，並闡述會議主題揭開序幕，今井敬以 2008 年 5 月於日本洞爺湖舉行之 G8 高峰會共識，藉由技術發展，加速能源供應，以實現低碳社會，並期望美國在新總統歐巴馬之領導下重返 2009 年 12 月將於哥本哈根舉行之第 15 屆聯合國氣候變遷會議之後京都協議。過去數月來，各國無視於金融危機造成經濟景氣下滑，在評估其能源供應時，考量能源安全與全球氣候變遷加劇的兩張王牌下，仍紛紛決定採用先進核能技術發電。然而在日本，核能卻面臨多項困難，核能電廠績效無法提升；柏崎刈羽核電廠因地震停機，遲遲未能併聯發電，導致全國核能發電容量因素偏低；公眾對核能發電的認知亦無進展，因此核能工業相關團體應致力於改善民眾之認知與感受，並努力建立雙方共識。本會議之目的即在期望協助日本及其核工業界，促進核能發展，同時符合國際期望。在此認知下，訂定「實現低碳社會－核能可達成期望」為主題，探討日本及國際核能界在面對推進核能發展之問題下，未來核能界應努力之方向與目標。

專題演講分別邀請經濟合作發展組織核能署 (NEA) 署長 Luis Echavarri 及卡玫基國際和平基金會 (Carnegie Endowment for International Peace; 以下簡稱 CEIP) 資深會員 Sharon Squassoni 發表「2008 核能展望 (Nuclear Energy Outlook

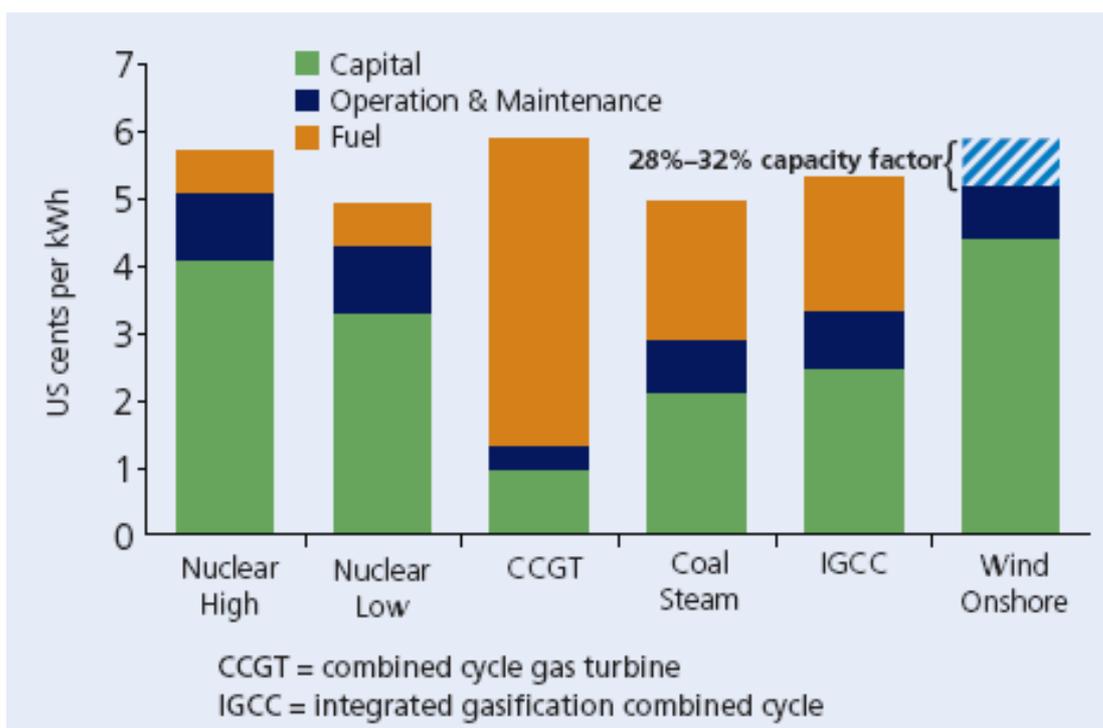
2008)”及”核能復甦，已來臨?將來臨?(Nuclear Renaissance: Is it coming? Should it?)”

Echavarri 發表之重點包括:

- (1) 核能是對環境友善的能源，其每單位發電量之二氧化碳（CO₂）產量僅為化石能源之 2%。
- (2) 依據 NEA 推測，至 2050 年全球人口將增加 50%，能源需求增加 100%，電力供應卻需增加 150%。在兼顧滿足能源供應，並減緩地球暖化，避免地球平均溫度升高超過 2℃，則每單位電力之 CO₂ 排放應減少 4 倍。為達成此一目標核能為必要之選擇，至 2050 年核能發電裝置容量將達 600GW(低標)至 1400GW(高標)。在高標情節下，2030 至 2050 年，每年將增加 40-60 部機組投產。
- (3) 現在之反應器技術已可滿足設計安全與經濟效益之目標，並提供至 2050 年大幅推廣之需求。而未來快中子反應爐發展成功，則可進一步將鈾原料之應用效益提升 60 倍。
- (4) 核能發電之優勢在於成本合理、穩定(燃料成本依存度較低)；CO₂ 排放少；鈾原料產地多元、分佈廣；且無污染造成人身健康之問題。其挑戰則是核子保防與廢棄物處理之問題，依據 NEA 研究初步結果：芬蘭、瑞典、美國將可在 2020 年前完成用過核燃料或高放廢棄物最終處置場之設置；比利時、法國則可望在 2030 年前完成，其他主要核能應用之國家亦將於 2040 年至 2050 年陸續完成。
- (5) 核能欲順利發展，政府須擔負下列責任：確保維持相關之核能技術基礎；持續維持有效之核安管制；加速廢棄物最終處置設施之建立；加強核能運作之透明度，並強化國際核不擴散之承諾；提供長期持續穩定之政策支持(包括財務、管制法規及能源政策等)；將核能視為永續能源配比。
- (6) 當古屋廣高教授提問，在 2050 年前新增機組中，有多少會是先進反應器(如第四代反應中之 HTGR 或 SFR)時。Echavarri 回答：依據 NEA 評估至 2050 年新增之反應器仍將以現有第三代反應器為主，第四代核能電廠仍將非常有限。

Squassoni 曾任職國務院與國會研究室，長期負責核子保防業務，並從事核不擴散政策研究。Squassoni 從另一角度觀察核能復甦現象，並提出建議，其發表之重點如下：

- (1) 在能源價格高漲引起能源危機與溫室氣體排放引起氣候變遷的雙重衝擊下，許多國家紛紛宣佈重啟核能計畫或規劃進入核能領域(包括 30 餘國非核國家)。各單位對未來核能增建機組之預估，至 2030 年增加 150-460GW，至 2050 年則將增加 960-1870 GW。實際上核能復甦尚未實現，各國的籌畫均仍需該國政府重大政策與財務支持。
- (2) 核能發電廠大量興建尚需考量下列問題：
 - 核能是否可具體改善 CO2 排放及能源安全?(S 氏之觀點為核能僅可解決電力之能源問題，而無法改善運輸部門之需求，並舉日本、法國為例，說明該兩國雖然核能發電佔比較高，但仍需進口大量石油(約能源需求 40%以上)。
 - 核能發電與其他發電之經濟競爭力比較，S 氏假設核能發電建廠成本分別以 2000(low cost)及 2500(high cost)美元/KW 估算，說明核能發電成本與 IGCC 及燃煤相當，並未特別具有經濟優勢。
 - 第三世界國家大量擴展使用核能同時，應持續提升核能應用之安全性，協助建立核安文化，避免核子事件發生之風險。
 - 儘速建構核廢棄物解決方案，興建用過核燃料或核廢棄物處置場。
 - 核能電廠與核能技術之大量擴展應用，需加強核子保防、兼顧核不擴散協議，以有效控制因第三世界使用核能所增加之核擴散風險。



- (3) 過去 20 餘年來，亞洲及東歐地區仍持續發展核能，平均每年約有三部機組加入運轉，比起核能機組興建高峰期(70 年代)，每年有 25 部機組加入運轉，顯現投入核能之人力、技術、資金、產能均有明顯不足。由於長期投入核能領域誘因不足，目前又面臨嚴重之核能從業人員退休潮，欲持續運轉現有核電廠之不足人力，已超過 3000 餘人。為滿足核能復甦之需求，核能先進國家如何強化其人力培訓、技術精進、提升安全性、擴充關鍵技術及關鍵設備產能等，均必須政府穩定、長期之規劃與支持。
- (4) 1GW 核電廠每年約產生 20 噸用過核燃料，隨著核能的大量運用產生之核燃料將大幅增加，各國政府應盡速研擬解決方案，加強核子保防，並落實推動核後端處理技術及處置設施之興建。
- (5) Squassoni 建議應發展更安全之反應器(如具被動式安全系統之反應器)，淘汰風險性較高之反應器(如前俄羅斯設計者)，並協助新進入核能之第三世界國家建立核安文化。在加強核子保防方面，建議應採用 IAEA Additional Protocol，而具核擴散隱憂之濃縮廠及用過核燃料再處理廠應檢討減少並且加強國際合作，以強化透明、控制機制。同時應檢討建立新的核燃料供應體系，包括租用燃料及回收用過核燃料之可行性，以避免核擴散之風險。

會議主題於 4 月 14 日下午正式登場，分別邀請核能積極發展國家報告該國之能源與核能發展現況，包括英國、法國、芬蘭、印度及中國，並由日本三菱重工主席 Kazuo Tsukuda 簡報「期望以核能協助實現低炭社會—日本工業扮演之角色」。各國之演講摘要如下：

- (1) 英國由能源與氣候變遷部長資深顧問 Timothy Stone 簡報” Energy Policy and Nuclear Power in U.K.”。

- 英國目前運轉 10 部核能電廠，可提供 10.86Gwe 電力，約佔全國 15-18%，依目前核能法規及執照登載，至 2025 年除 Sizewell B(1.2GW)外均將除役。
 - 英國 GDA 電力公司已進行評估新建核能電廠，預計於 2011 年提出廠址規範及執照申請，2012 年開始興建，2017 年商轉；政府相關單位亦配合整備各項執照審查、檢查等工作。考量未來核電廠自 2010 年起開始陸續除役的衝擊，長期電力規劃須增建核能機組，以有效強化電力供應之穩定性與抑低溫室氣體排放，預計至 2020 年可超越現有核能機組供電容量，至 2025 年可達 17.5GWe。
 - 能源電力公司投資興建核能電廠需考量之因素應包括：瞭解公眾之立場；長期穩定之能源供應策略與管理體系；明確之核廢棄物管理與除役對策；有效明確之推動計畫，並掌握執照申請、核准時程；有利的經濟誘因，包括需考量電力價格、電廠建造成本、碳交易價格及總投資經費等。
 - 英國的核能計畫預計可提供 9000 個工作機會，每一雙機組電廠可創造 20 億英磅之利潤。
- (2) 法國由 AREVA 公司資深副總裁 Alain Bucaille 簡報” Some Considerations About Nuclear Energy in Low Carbon Future” ，其簡報重點如下：
- 從全世界人口增長、消費人口分佈、生活品質改善等觀點，探討未來能源需求，保守估計至 2030 年將增加 50%。
 - 為抑低 CO2 排放、減緩溫室氣體效應，除應加強節能，亦應努力推動新技術開發。在居家節能方面，應大力宣導推動，但其僅佔整體耗能 15%。
 - 節能技術開發包括省電照明、節能汽車(可省 32%)、綠建築(可省能 35%)等，但仍待大力宣導，由於其涉及硬體更換，預計達到可觀之省能效果約需 5-7 年。
 - 在永續能源開發及碳捕捉貯存(CCS)雖已受到重視，並積極推動，但仍無法滿足需求或不具經濟競爭力。
 - 中國與印度為推動其經濟發展，大量能源需求為其必要之驅動力。在考量抑低 CO2 排放(中國已是全世界 CO2 最大排放國，印度為第三大排放國)，該兩國均積極規劃

推動興建核能電廠。而日本、美國、俄羅斯或因長期能源規劃，或因替代除役核能電廠及因應經濟發展之需要，而積極規畫興建核能電廠。其中，中國及印度最為積極，預估至 2035 年中國及印度核能電廠數量將佔全世界 35%。

- 為確保核能永續發展，Alain 建議應推動用過核燃料再處理，以有效利用鈾資源。並建議加速推動快中子反應器(Fast Reactor))之發展與驗證計劃。
- 法國總統 Sarkozy 已於 2009 年 1 月 29 日宣佈，將於 Penly 興建全世界第三部 EPR。另外，亦將重新啓動 Flamanville 計劃，於 2012 年開始興建另一部 EPR 機組，該兩部機組預計將於 2017 年投入商轉。

(3) 芬蘭由駐日本大使 Joma Julin 簡報” Nuclear Power in Finland’ s Energy Policy in the year ahead” ，其簡報重點如下：

- 芬蘭全國面積 33 萬 8 千平方公里，人口僅 520 萬人，2008 年預估每人 GDP 約 38400 美元，1995 年加入歐盟。目前運轉四部核能機組，提供 2.78GW 發電容量，2007 年總發電量佔電力需求之 28%，佔總能源供應之 17%。興建中之 Olkiluoto-3 為全世界第一部 EPR，裝置容量 1600MWe。芬蘭為第一個經國會批准興建用過核燃料最終處置場之國家(2001 年)，目前正於 Olkiluoto 核能電廠附近順利興建中。
- 芬蘭能源政策目標包括安全穩定的能源供應體系；提供具價格競爭力之能源；達成京都議定書之 CO2 減量目標；維持多元化能源供應架構；節約能源並提升能源效率；推廣環境友善之認知。而其採用核能之主要考量因素為：符合電力需求目標；達成 2008-2012 年 CO2 減量至 1990 年排放水準之目標；及可確保更安全更清潔的能源供應。(雖然芬蘭亦曾考慮增加天然氣應用，但增加使用天然氣，必須購自俄羅斯，此意謂提升對俄羅斯能源依存度。將不利於能源之安全供應架構)
- 芬蘭正進行評估是否增建核能機組(預訂增建三部 1600MW 級 EPR)，其預定時程，2009 年秋天完成政策辯論，2010 年內閣做出政策決定，並送國會討論核准。
- 近年來芬蘭國內支持及反對核能之民意調查大多在 40-60%間擺盪，最近一次(2009 年)有關支持增建核電廠之調查結果為：支持者增加 3% ，反對者減少 5%。
- Joma 認為芬蘭推動增建核能機組可以成功的主要因素，包括：國民高教育水準；一

般民眾信任政府；民眾對氣候變遷的清楚認知；核能政策採開放、透明之策略；及廠址採自願方式產生等。次要因素則包括：未發生重大核能事故；核能運轉效率居世界頂尖水準，並屢創記錄；已決定用過燃料最終處置場；及明確之核能法規(如禁止輸出或輸入核廢棄物進行貯存、處理或處置等)。

(4) 印度由該國核能公司處長(Director)簡報” Energy Policy and Nuclear Power in the Growing Indian Economy” ， 其簡報重點如下：

- 印度全國面積 330 萬平方公里，人口高達 11.5 億人，每人 GDP 760 美元，約僅為日本的 2%。全國電力裝置容量雖達 150GW(約為日本之 60%)，但每人每年用電量僅 700 度(KWh)，約為日本每人年用電量 8500 度(KWh)的 8%，為改善人民生活品質，預估全國經濟成長率可達 8-9%，能源消耗及用電量亦將大幅成長。至 2032 年電力需求，將比現在成長 5-6 倍。
- 印度目前核能機組裝置量僅 4.12GW，以壓水式重水反應器(PHWR)為主，另有多部機組興建中，預計至 2011 年將增加 3.16GW。此外，至 2012 年前，將再規劃 8 部 700MW 之 PHWR 及 10 部輕水式反應器。亦將驗證自行發展之進步型 PHWR(簡稱 AHWR)技術及發展快滋生反應器(FBR)。2012 年以後，則以發展 FBR 及 LWR 為主。
- 印度已有堅強之核燃料循環技術及建構相關設施，未來核能發展將以三階段推動。第一階段以目前之 PHWR 為核心，以天然鈾為燃料，建立核燃料循環技術，並累積鈾原料。第二階段則以鈾、鈾為燃料之 FBR，並加入鈾元素作為可孕材料，以產生第三階段可用之 U-233 燃料。
- 第三階段則是以鈾燃料循環之 FBR 為發展核心，其規劃鈾燃料循環是基於其國內有豐富鈾礦之考量。

(5) 中國由核工業集團公司(CNNC)副總裁 Jian-Feng Yu 簡報 ” Promoting Nuclear Power, Protecting the Ecological Environment” ， 其簡報重點如下：

- 2008 年中國核能發電裝置容量已達 9.1GWe，總發電量達 57.6 TWh，可減少 CO2 排放 4 千 4 百萬噸。2007 年 10 月中國擬定中、長期核能發展計畫，預計 2020 年核能發電總發電容量可達 40GWe，另有 18GWe 興建中。由於經濟成長超過預期，溫室氣

體排放加速氣候變遷之現象，亦愈趨嚴重，2009年初，中國政府已核准興建 20 部機組，另有 10 部機組在準備中，將可能提早達成 40GW 之目標。全世界第三部 EPR 亦已於台山開工興建。未來每年平均將有 2-3 部機組投產。

- 中國大陸之核電發展策略為在尋求國際合作支援下，發展自有技術，建造及運轉應符合國際標準。目前正積極進行 1000MW 級 APWR 相關技術之依托計畫(即技術引進、消化、吸收、創新)，並投入第四代反應器技術之研發。

(6) 日本由三菱重工主席 Kazuo Tsukuda 簡報” Expectations for Nuclear Power to Help Realize Low Carbon Societies in Major Nuclear Countries and Economic Power—The Role of Japan’ s Industry” ，其簡報重點如下：

- 日本自 1970 年代導入核能發電以來，以四個階段發展核能應用、建立核能技術、建構自主核能產業(第一階段)、提升設計及運轉之安全性與可靠性(第二階段)、改善其經濟性及運轉彈性(第三階段)、進而研發改良型核反應器技術(第四階段，如發展 ABWR)。目前運轉 53 部核能機組(其中 23 部為 PWR，30 部為 BWR)，另有 3 部機組建造中，3 部機組審查中，9 部機組已完成規劃。其中，日本第一部全爐心可使用混合氧化物燃料(MOX)之大間核電廠，亦已於 2008 年動工興建。因新建核能設施需適用 2006 年頒佈之耐震法規，因此，部份新建完成機組之商轉時程將略為延後，另建於六個所村之用過核燃料再處理廠，因試運轉期間發現問題之改善與需重新進行震源調查與耐震評估，故其原定 2007 年正式運轉日期將再延後。
- 日本已建立完整之自主核能技術與產業，為目前全世界最主要核能關鍵組件生產國。日本雖受法規約束，不得輸出關鍵核能技術，但藉由國際核能公司之整合(如日立與 GE、東芝與西屋、三菱亦與法國 AREVA 建立合作夥伴關係)，除韓國與中國外，日本核能體系幾乎已掌握西方世界之主要核能市場。
- 日本已制定長期能源計劃，因日本無自產石化能源，故擬訂以發展封閉式燃料循環核能技術為主軸之能源發展策略。2008 年洞爺湖高峰會後，日本隨即推出內閣層級之” 建立低碳社會行動方案” ，設定至 2020 年全國低碳電力(含核能)應達 50%以上之目標。因應此一行動方案，至 2030 年前每年約新建 1-2 部核能機組，以維持核能發電占比達 40%。2030 至 2050 年間因部份老舊機組將開始除役，每年約需 3-5 部輕

水式核能機組投產，以維持全國電力之穩定供應。2050 年以後希望 FBR 技術已成熟，並開始導入經濟型商用 FBR 機組之興建與運轉。至 2100 年推進核能發電比率至 65%，並開始推動核融合核反應器之建造與運轉。

- 因應 2030 年以後老舊機組汰換及新增核電需求，日本亦積極研發更安全、更經濟之次世代輕水式核電廠，該系統預計於 2015 年完成設計，2025 年導入商業運轉。其主要先進規格包括：設計運轉年限 80 年；建造工期在 30 個月以內；建造成本及運轉經費減少 50%；燃料使用量減少 30%；輻射暴露減少 10%；安全性高於現有輕水式核電廠。
- 為達成長期核能發展計畫，目前雖仍以第三代核反應器技術發展與應用為主，日本政府與民間亦積極投入次世代反應器發展驗證計畫，預計於 2020 年完成 FBR 實證爐，2050 年前可推出具經濟性之實用爐。此外日本政府亦支持 HTGR 之研發驗證計畫。

大會第二天分別邀請阿拉伯聯合大公國(簡稱 UAE)、泰國、智利、及波蘭等非核能，但已有具體計畫推動核能發電之國家簡報各國目前之規劃現況。並以圓桌會議方式討論核能發展之民眾認知與溝通。其重點摘要如下：

- 至 2020 年 UAE 預估電力需求將增加 15-42GW，該國於 2008 年 4 月訂定“UAE Nuclear Energy Policy”，除規劃導入核能發電外，並擬定運作透明化；嚴守核不擴散及核能安全高標準；與 IAEA 及核能先進國家建立合作平台等策略。並逐步推動：訂定核能發展路徑圖；設立核能安全管制機關；設立核能專責公司；執行選址作業；發電技術之評估與選擇；改善現有電力網路；擬定責任結構、採購策略及財務規劃；及加速人才培訓等先期作業。
- 泰國目前總裝置容量約 30GW，2008 年實際尖峰負載 22.6GW(備載容量率達 32.7%)，其中，天然氣發電比率高達 70%。考慮能源安全、溫室氣體排放導致之氣候變遷、能源價格、能源多元化及考慮天然氣的更有效應用，2007 年國會通過電力發展計畫(Power Development Plan 簡稱 PDP 2007)，規劃 2020 及 2021 年分別完成兩部 1000MW 級核能機組投入商轉(該計畫於 2009 年重新檢討，基於該國備載容量偏高及考量經濟發展趨勢，乃下修目標值為 2020 及 2021 年各完成一部機組)。

- 智利至今雖無核能發電，但已發展輻射在醫藥、工業應用，並有兩座研究用反應器，從事核能研究超過 40 年。最近，雖曾進行評估採用核能發電之可能性，但因政府高層受環境保護及反核團體影響，短期內應仍採取非核政策。
- 波蘭每人每年使用電力約 2700 度，居歐盟國家末五位，主要電力均採燃煤發電(佔 92%)。2009 年 1 月擬定核能發展策略，詳細之核能計劃包括規模、反應器型式、場址等，將於後續計劃研究提出。2009 年 3 月政府進一步提出至少應設置兩部核能機組，其中一部應於 2020 年以前投產運轉，財務規畫不排除引進海外資金。波蘭政府亦於經濟部成立核能部門統籌規劃相關事宜。20 年前波蘭曾初步篩選出 8 處核電廠場址，未來將進一部探勘選定廠址，並同時考慮擇定中、低放射性廢棄物處置場之場址。目前波蘭政府除構建核能體系外，核能人才培訓為當前最重要之推動事項。

大會於 4 月 15 日下午邀請環境大臣 Tetsuo Saito 專題演講，為本次大會蒞臨之政府最高長官。其主要說明日本設定之環境目標，初期(2008-2012)應達成京都議定書之目標，即 CO2 排放應削減至 1990 年之水準；長期(2050 年)應較現在水準再縮減 60-80%。欲達成目標之推動策略包括：積極發展再生能源，尤其是太陽光電；研究並落實推動 CCS 技術(未來 5 年投入 300 億日圓)；持續擴展核能發電(增設一部 1350MW 級核能機組可減少 0.5%之 CO2 排放)。

明年 JAIF 大會將於 2010 年 4 月 20-22 日在島根市舉行，大會主席除宣佈今年大會圓滿成功，並相約明年於島根市再見。

(二)、與日本原子力產業協會理事長 Takuya Hattori 餐會

4 月 16 日 JAIF 理事長 Takuya Hattori 利用本團赴柏崎刈羽核電廠參訪之空檔，特別邀請團長黃慶東及所有團員於東京餐敘，除感謝我國由副主委率團參加本次 JAIF 大會外，亦交換雙方核能發展近況與未來加強合作之意見。Hattori 及 Fujie(日本原子力技術協會(JANTI)理事長，為日本資深核能專家)在回答我方有關「為何日本政府未支持曾經由日本學研界發展之融塩式反應器(以下簡稱 MSR)技術之開發」、「日本 FBR 研發之現況與主導團隊」及「雙方未來合作」等意見摘述如下：日本在 1975 年前已決定核能整體發展策略，除引進輕水式反應器技術，並落實推動相關技術與產業自主化，並以研發快滋生反應器為長期發展目標。除日本政府堅守此目標外，以三菱

重工為首的民間團隊，亦持續投入資源研發相關技術、工程及產業基礎，雖然 FBR 計畫面臨許多瓶頸，計畫目標期程亦一再變更延後，但政府與民間仍持續支持推動。除 FBR 外，日本政府亦支持 HTGR、超臨界反應器之發展。但因資源有限，政府並未決定支持 MSR(Hattori 及 Fujie 均知道 MSR 在日本之發展，但均表示不明確了解政府未支持 MSR 之原因，僅就其觀察提出個人之看法。)。針對我國是否推動新型反應器(如第四代反應器)研發，Hattori 認為我國目前尚未有核能產業，以推動新型反應器研發，建議應先考慮參加國際合作計畫。在核能發展與國際整合研究方面，Hattori 認為目前亞洲地區是核能發展的重鎮，日本、韓國、中國應建立合作平台，加強技術整合。楊執行秘書建議合作平台應包括我國，Hattori 欣然接受，並認為我國有很優異的核電運轉經驗與優良的專業人才。Hattori 亦說明從資源永續的觀點，包含用過核燃料再處理的封閉式燃料循環是正確的道路，雖然六所村再處理廠，尚有問題待解決改善，但長遠目標日本仍可能增加再處理廠產能，並提供亞洲地區之需求服務。另外 Hattori 亦說明雖然基於法規及相關協議，日本目前尚無法直接輸出核能關鍵技術，但透過國際協商應可突破現況。

(三)、參訪柏崎刈羽核電廠(以下簡稱 KKNPS)

4/16 下午搭乘新幹線列車至長岡，再轉火車由長岡赴新潟縣的柏崎市。次日上午由日本 JNES 國際科內藤 惠 (Megumi Naito) 小姐陪同赴 KKNPS，由副所長南館正和 (Masakazu Minamidate) 及技術課長增井秀企 (Hideki Masui) 接待。在雙方簡短介紹後，增井課長簡報介紹 KKNPS 及 2007 年新潟中越沖地震(以下簡稱 NCO 地震)的影響，及目前處理改善情形，並帶領赴 6 號機參觀(7 號機已申請再啓動)。KKNPS 為目前全球發電量最多的核能發電廠，共有 BWR-5/Mark-II 的 1-5 號機及 ABWR 的 6-7 號機等共 7 部核能機組，發電量為 8212MWe，目前共有員工 1173 人，另有 8000 多位支援人員協助處理地震後相關檢查、評估、改善及再啓動的準備工作。2007 年 7 月 16 日距 KKNPS 北方 16 公里，震源深度 17 公里處，發生規模 6.8 的地震。地震發生當時各機組收錄之反應器基礎版震動強度均超過設計值。地震發生後造成 KKNPS 結構/系統/組件 (SSC) 的異常主要有：1 至 7 號機位在反應器廠房次高樓層的用過燃料池池水均因晃動過大而溢流出，且在 6 號機造成微量的輻射物質外洩至海中，另 7 號機累積在冷凝器 (condenser) 的放射性物質也因下游的主蒸氣閥是開的狀態而由排放煙囪釋放至大氣，1 號機因消防水管破裂大量流至控制廠房的底層，3 號機廠內用電用的變壓器

(house transformer) 發生火災冒濃煙，運轉中的機組汽機葉片因震動過大而磨耗損傷、6 號機反應器廠房的主要吊車 (overhead crane) 萬用接頭損壞等。

NCO 地震發生後東京電力公司積極進行受損狀況檢查測試、結構完整性評估、設計檢討改善，並依據日本於 2006 年頒布之核設施耐震設計審查指針之規定，重新進行震源調查(含斷層及海域)、地質結構探勘、地震衰減評估、重新擬定設計地震及設計基準地震加速度、進行結構分析，並依據分析結果設計規劃、執行改善補強工程。目前 KKNPS 核電廠已向核能管制機關(NISA)申請 7 號機重新啓動運轉，並獲審查同意，但後續仍須經當地政府權責機關之認可(後記：7 號機已經當地政府認可，並於 5 月 9 日開始啓動測試，預計將進行 50 天之各項安全及功能測試)。本次參訪 KKNPS 之目的，即在了解、學習核電廠遭逢地震後之因應處理程序與結果，作為國內相關研究及核電廠管理實務之參考。

(1) 東京電力公司與 KKNPS 簡介

東京電力公司總裝置容量 61.8GW，2006 年總發電量 2876 億度(其中核能及天然氣各佔 38%，燃煤、燃油各佔 8%及 9%)，年營收 4 兆 7046 億日圓(相當於新台幣 1 兆 6000 億元，平均每度電 NT\$5.65 元)。KKNPS 總裝置容量 8.2GW，約佔東京電力供電能力之 13.3%。東京電力公司運轉之核能電廠所在地均不在其供電地區，因此，與核電廠鄰近居民之溝通與回饋機制更形重要。

(2) 地質調查與設計基準地震加速度

NCO 地震後，東京電力公司重新調查可能影響核電廠安全之地震震源及地質結構，調查區域包括沿海岸線 140 公里，及以電廠為圓心半徑 50 公里以內之陸域及海域地區。活動斷層及地質結構之評析認定，均依據 2006 年日本政府新頒定”核設施耐震設計審查指針”之規定，並採取更保守之假設，例如 F-B 斷層依據調查結果僅 27 公里，但評估地震規模時，假設為 36 公里；另部分鄰近之活動斷層(距離 5 公里以內)則假設可能同時活動。調查結果顯示，主要影響 KKNPS 之斷層及其可能觸發之地震規模如表三所示，其中，原認定海域地區之非活動層已被修正為活動斷層(如 F-B 及 F-D 斷層)。

依據震源調查結果，海域及陸域分別採取 F-B 斷層及 Kakuda 等斷層為設計假想地震，並以 Response Spectrum 及 Fault Model 分析，各機組廠區解放基盤及反應器基礎版之設計地震加速度值(S_s)示於表四。其中，各機組解放基盤設計地震加速度原為 450gal；重新分析結果 1 號機高達 1699gal，5 號機為 766gal。為保守及一致性，1-4

號機之解放基盤設計地震加速度以 2300gal，5-7 號機以 1200gal 來設計。各機組反應器基礎版之設計地震加速度介於 606-845gal 間，為保守及一致性，各機組均採用 1000gal 作為反應器結構設計分析之基準(原各機組之設計基準介於 167gal(2 號機)-263gal(6、7 號機))。(注：此處數據以日方簡報為準，表四資料略有出入)

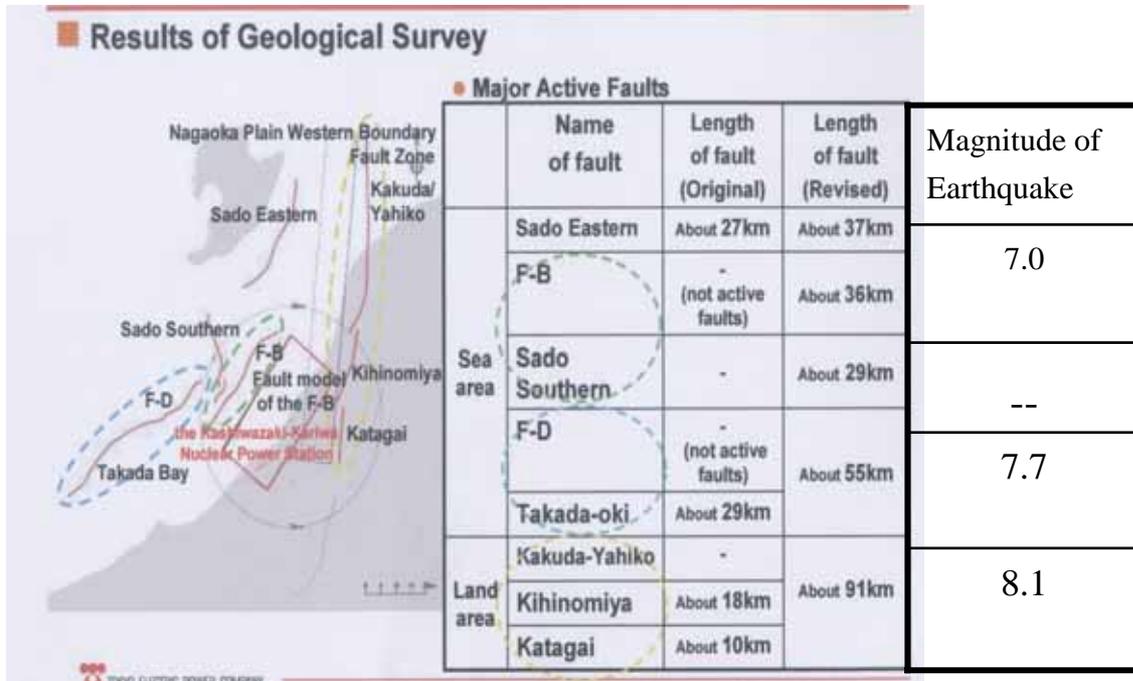
(3) 結構分析與改善工程

KKNPS 如何因應設計地震加速度提高 4-6 倍後，反應器廠房、相關附屬建物及設備、組件之完整性與支撐之分析結果，與因應 NCO 地震受損部份之改善工程，為本次參訪了解之重點。東京電力公司之策略，以完成 7 號機之評估與改善為優先要務，目前，KKNPS 已向管制機關申請再啓動，並獲審查同意。7 號機之結構分析與工程改善情形說明如下：

- 具停機(控制棒系統)、冷卻(緊急冷卻系統)、密封(圍阻體系統)等功能之安全重要相關結構、設備、組件，尤其是最基礎的混凝土結構，經應力分析、非破壞檢查及功能測試結果評估，顯示均能保持良好之結構完整性，僅部分支撐必須增設、補強。以 7 號機為例，各種管路、設備、電纜支架之支撐約有 3000 多處需增設或補強(圖一)。另外圍阻體屋頂支撐桁樑及排氣煙囪亦須補強。緊急應變指揮中心則重新設計，並以最新之隔震(Seismic Isolation)技術設計。(參觀 6 號機廠區時，發現部份結構體有小裂縫存在，增井課長說明因裂縫很小並不會影響結構安全，且不能確定其為 NCO 地震產生，或建造後已產生之乾縮裂縫。目前 KKNPS 將本次檢查發現之裂縫記錄，做為未來檢查評估之參考依據)。
- 安全系統與非安全系統之基礎結構界面，曾於 NCO 地震時，產生不均勻沉陷，造成管路漏油，並引起變壓器火災。目前已重新設計將非安全部份補強並增設基樁(如圖二)。
- 因應 NCO 地震時地下消防管路破裂，且消防系統無法通訊及支援等缺失。已建立廠區消防隊；將地下消防管路地上化，並增設消防栓及消防水貯存槽。(如圖三)
- 因設計不良造成用過燃料池部分含放射性廢水，經由非管制系統排出，及汽機抽氣系統不當排出具放射性氣體之缺失，已加以重新設計或改善(如圖四)。
- 於部分樓層增設地震加速度監測系統。

- 主控制室盤面加裝不銹鋼扶手，以方便地震時運轉人員穩定身形，以操作設備。
- 各廠房內任何可移動設備箱（包括臨時工具箱），均使用固定器使之穩固。（如圖五）

表三：KKNPS附近斷層調查及引發地震規模評估結果



表四：KKNPS 設計地震分析結果，1-4號機解放基盤以2300gal,5-7號機以1200gal為設計基準，反應器基礎版則統一採1000gal為設計基準

地震動		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
原子炉 建屋 基礎版上	当初の設計値 (S2による揺れ)	273	167	193	194	254	263	263
	中越沖地震 (観測値)	680	606	384	492	442	322	356
	新基準地震動 S_m による揺れ	829	739	663	699	543	656	642
		⇒ 耐震安全性向上工事で想定する揺れを1,000とする。						
解放基盤 表面	当初の基準地震動 S2	450						
	中越沖地震 (推定された揺れ)	1,899	1,011	1,113	1,478	766	539	613
	新基準地震動 S_m の最大値	2,280			1,156			

↓

2300

↓

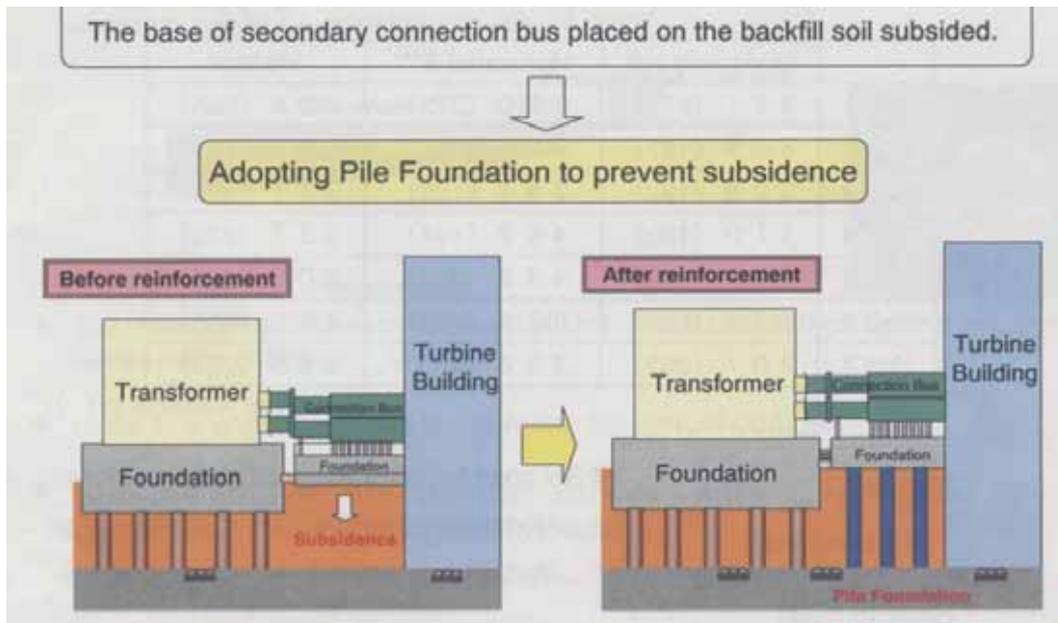
1200

→

1000



圖一：新增之管路支撐器(以黃色符號貼示)



圖二：安全與非安全基礎介面以基樁補強

3. Measures of Disaster Prevention and Fire Protection

■ Reinforcement of Emergency Preparedness

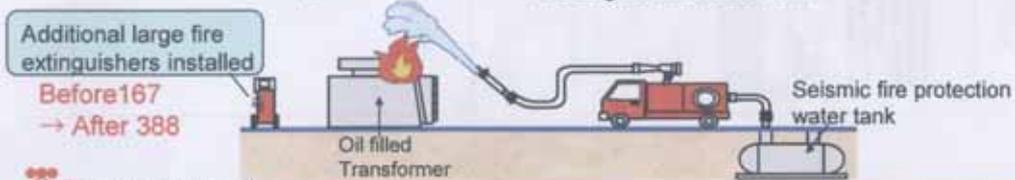
- TEPCO Team for Immediate Fire Fighting
 - ✓ On-site fire brigade on around-the-clock standby
 - ✓ Deployment of chemical fire engine and fire pump truck with a water tank



On-site fire brigade



Fire engine with water tank



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

©2008 The Tokyo Electric Power Company, INC. All Rights Reserved.

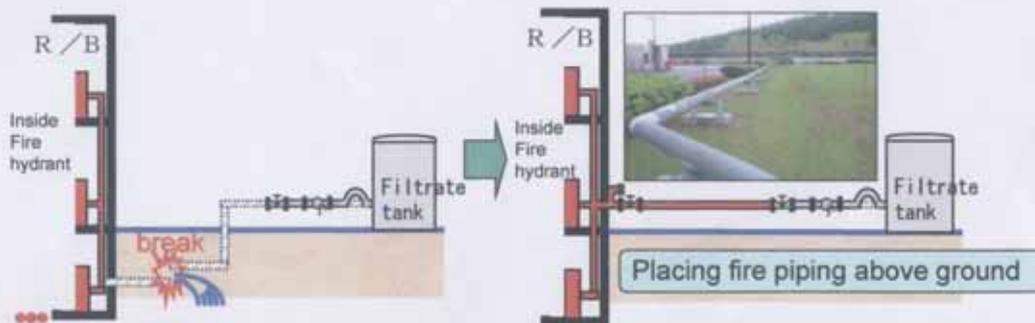
2

3. Measures of Disaster Prevention and Fire Protection

■ Reinforcement of Emergency Preparedness

- Fire Fighting Components
 - ✓ Multiple water sources such as fire protection water tanks
 - ✓ Fire protection piping etc → Above ground

Fire protection water tank



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

©2008 The Tokyo Electric Power Company, INC. All Rights Reserved.

3

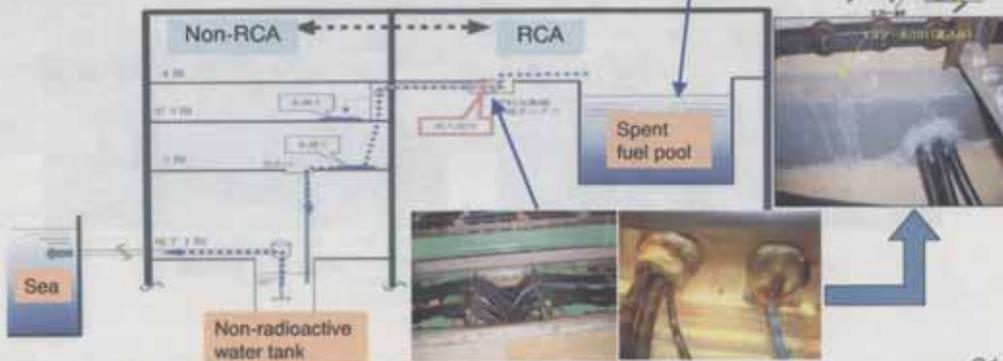
圖三：成立廠區消防隊、增設消防水槽及消防水管地上化之改善措施



Quake-induced incident #2 Radioactivity release into sea at Unit 6

Amount of water discharged: 1.2m³
Amount of radioactivity: $\sim 9 \times 10^4$ Bq
Radiation $\sim 2 \times 10^{-9}$ mSv

**Radiation was much below legal limit,
indicating no hazard to environment**



©2009 The Tokyo Electric Power Company, Inc. All Rights Reserved.

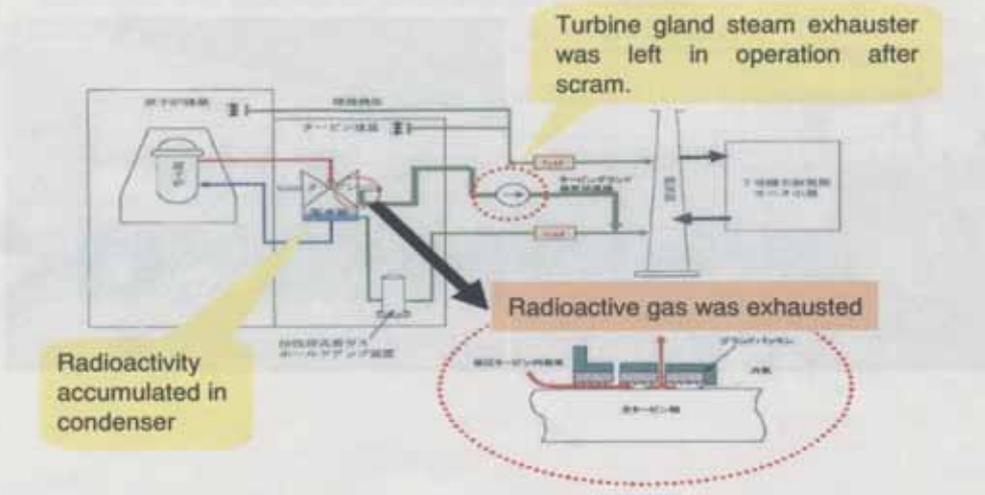
21



Quake-induced incident #3 Radioactivity release into air at Unit 7

Amount of radioactivity: $\sim 4 \times 10^8$ Bq
Radiation $\sim 2 \times 10^{-7}$ mSv

**Radiation was much below legal limit,
indicating no hazard to environment**



圖四：防止漏水及排氣之改善作業



圖五：固定可移動設備箱



圖六：全團與駐日代表馮大使合影



圖七：參訪柏崎刈羽核電廠6號機反應器廠房設備

四、心得與建議

(1) 擬定計畫推動我國核設施耐震安全再評估

KKNPS 遭逢 NCO 大地震之侵襲，東京電力公司藉由透明、專業、務實之態度，積極面對，不迴避的精神處理，不但引進國際專家參予檢視，評估；其檢查、調查、分析、評估等作業，均採取公開、透明之方式，並對附近居民加強溝通宣導，終能獲當地居民及社會大眾的認知與理解，安心、放心的同意 7 號機重新起動再運轉。我國與日本同位於板塊邊緣交界處之火環區域內，地震之型態與頻率亦與日本類似，近年來，除日本已更新其地震法規外，美國、韓國、IAEA 等亦紛紛修訂其地震法規，並逐步重新評估，以確保核設施之運轉安全。而我國地質調查所最近亦宣布北部地區之斷層資料有新發現，因應此國內外情勢，我國核能主管機關應擬定對策，推動核設施耐震安全法規規範之修訂，並要求業者進行相關安全再評估及改善，以增進核能安全，並期強化民眾之安心與對核能之信心。

(2) 我國目前尚無實質之核能產業，現階段核能相關研究建議以輕水式反應器之安全及核廢料處理技術發展應用為主，並逐步推動關鍵性技術之基礎研究及人才培育

依 NEA 及日本之看法與規劃，2050 年前新增之核電廠仍將以第三代及其改良型輕水爐為主，其中，除已向美國核管會（NRC）申請之各式核電廠，日本亦規劃於 2015 年提出改良型輕水爐設計，於 2025 年前完成測試驗證，並推出商用型電廠之建造，以因應 2030-2050 年多數老舊電廠除役後之替代電力。我國目前尚未建立實質之核能技術與產業供應體系，相關研究建議以輕水式反應器之安全及核廢料處理技術發展應用為主。如欲規劃 GEN-4 研究，建議以參加國際合作計劃為起點，並可搭配關鍵性技術之基礎研究及人才培育逐步推動。

(3) 因應未來低碳的世紀，從能源需求、經濟效益及環境衝擊等各面向觀之，宜增加核能發電之配比

依據 NEA 推測，至 2050 年全球人口將增加 50%，能源需求增加 100%，電力供應卻需增加 150%。在兼顧滿足能源供應，並減緩地球暖化，避免地球平均溫度升高超

過 2°C，則每單位電力之 CO2 排放應減少 4 倍。由於核能是對環境友善的能源，其每單位發電量之 CO2 產量僅為化石能源之 2%，為達成此一目標核能為必要之選擇。因此適度採用核能發電已成為主要選項，如美、英、法、中及一些第三世界國家均紛紛規劃新建核能電廠之計畫。我國與日本在無自產石化能源方面相當類似，故可考慮仿照日本將核能定為準自有能源，雖不見得須如日本一般，設定至 2030 年前核能發電占比達 40%，至 2100 年推進核能發電比率至 65%，但適度提升核能發電的配比，不論從能源需求、經濟效益或環境衝擊等各方面，均將對國家發展有正面效益。

(4) 整合國內產業，發展核能發電相關零組件，並透過國際交流合作，使之成為全球核能產業的一環

日本自 1970 年代導入核能發電以來，逐步建立完整之自主核能技術與產業，目前已是全世界最主要核能關鍵組件生產國，且藉由國際核能公司之整合(如日立與 GE、東芝與西屋、三菱亦與法國 AREVA 建立合作夥伴關係)，日本核能體系幾乎已掌握西方世界之主要核能市場，而核能發電在我國亦已存在 30 年，且有兩部機組興建中，不論未來是否增加核能機組的興建，已不可能自外於全球核能產業。再者，龍門核能電廠興建過程不順之經驗顯示，若相關零組件能於國內供貨，將對興建工程有極大助益，因此若能整合國內產業，發展核能發電相關零組件，並透過國際交流合作，使之成為全球核能產業的一環，對國內未來興建新核能機組，或國內產業均有助益。