

(出國類別：其他)

訪問日本核能地震安全相關機構

及

東京電力公司柏崎刈羽核電廠

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：陳宜彬處長

出國地區：日本

出國期間：97年3月23日至3月29日

報告日期：97年5月31日

目 次

摘 要

壹、 出國目的與行程

一、 緣起與目的.....	1
二、 地震安全訪日團團員名單.....	2
三、 行程.....	3

貳、 公差紀要

一、 原子力安全委員會（NSC）.....	6
二、 原子力安全保安院（NISA）.....	7
三、 原子力安全基盤機構（JNES）.....	8
四、 日本原子力技術協會（JANTI）.....	10
五、 東京大學地震研究所（ERI）.....	10
六、 東京工業大學和田研究室.....	11
七、 JR 東日本旅客鐵道株式會社.....	12
八、 System and Data Research Co., Ltd（SDR）.....	12
九、 東京電力公司柏崎刈羽核電廠.....	13

參、 心得與建議

一、 心得.....	15
二、 建議.....	18

肆、 參訪柏崎刈羽核電廠照片..... 19

伍、 附錄：訪問柏崎刈羽核電廠事先提出問題及東電回答 24

摘 要

本次參加亞東關係協會科技交流委員會主辦的地震安全訪日團赴日本訪問，自 97 年 3 月 23 日起至 3 月 29 日止，共計 7 天，扣除來回飛機行程各一日，實際參訪共計 5 天。在緊湊的行程中，會晤日本核能電廠地震安全相關的各單位，包括有：日本負責核能安全的最高官方單位內閣府原子力安全委員會(NSC)、確保與國民生活及產業活動息息相關的能源設施安全，屬於日本經濟產業省(METI)的原子力安全保安院(NISA)、支援 NISA 確保核能安全的專業技術單位日本原子力安全基盤機構(JNES)、負責代表日本核能產業界對外的資訊傳播發佈及解釋的日本原子力技術協會(JANTI)、在地震研究執牛耳的東京大學地震研究所及東京工業大學的和田研究室，最後並參訪 2007 年 7 月 16 日新瀉中越近海地震造成停擺迄今的東京電力公司柏崎刈羽核電廠等等，以了解日方處理此次核電廠地震後之各項處置措施，並實地走訪現地查訪該核能電廠結構組件受震之情況，以作為我們的借鏡；另外也到東日本鐵道株式會社，了解 2004 年 10 月 23 日的新瀉地震造成上越新幹線脫軌事件，可提供台灣高鐵公司作為其營運時地震安全之參考。

壹. 出國目的與行程

一、緣起及目的

3月23日至29日公差前往日本，參加由亞東關係協會科技交流委員會(以下簡稱科交會)安排主辦的地震安全訪日團，並於3月24日至27日四天團體既定活動後赴東京電力公司柏崎刈羽核電廠(Kashiwazaki Kariwa Nuclear Power Station, KKNPS)訪問。此地震安全訪日團的出訪及行程，係有鑒於去年7月16日日本新潟地區發生規模6.8的新潟中越近海大地震(Niigata Chuetsu Offshore Earthquake)，造成東京電力公司的柏崎刈羽核電廠停擺迄今。因為此地震的震央距離附近的KKNPS僅有16公里，雖然該電廠在地震發生的第一時間就成功地起動了地震自動急停系統，使正在運轉中的所有機組均順利停止運轉；但在該電廠收測到的地震加速度值遠超過了該廠的設計值，造成該核電廠部分的災情。由於這是世界上首次發生設計地震被來襲地震大幅超過的案例，加上擁有7部核能機組的KKNPS為當今全世界最大發電量(8212MWe)的核能電廠，因此其安全性及善後處理廣受世人關注。國際原子能總署(IAEA)也在地震發生後不久即組織國際專家團前往了解實情，並要求日本在IAEA去年9月舉行的第51屆年度大會(General Conference)上報告。台灣與日本同位處環太平洋地震帶，除了正在興建中的核四廠與KKNPS的第6及7號機同為進步型沸水式反應爐(ABWR)，且我們位在恆春的核三廠也在前(2006)年12月26日遭受到發生在台灣西南端外海海底，規模7.0的地震侵襲，好在地震震央較遠(~30公里)震源也很深(~50公里)，並未引起災情，但核三廠感受到的地震強度也接近核三廠的安全運轉基準的設計地震(OBE, Operating Basis Earthquake)，且此地震規模亦超過該區(tectonic province)原先的假設，這也是我們運轉中的三個核能發電廠首次發生地震強度如此接近設計地震的案例，因而也很引起我們對於該海域地震活動狀況的注意。在此同時，日本有鑒於地震知識之累積及技術之精進以及1995年阪神大地震後社會情勢之變化與

需求，於 2006 年 9 月頒行了新的核設施地震設計審查指針，大幅修改了原來於 1981 年 7 月頒行的舊指針；美國核能管制委員會(USNRC)近年來也陸續修改了耐震規範以因應新的需要；而我們運轉中的核電廠當初所用之耐震設計準則與規範則是 30 年以前的產物。

此次地震安全訪日團安排會晤的均是與核能電廠地震安全相關的日方重要單位，如日本負責核能安全的最高官方單位內閣府原子力安全委員會(NSC)、確保與國民生活及產業活動息息相關的能源設施安全，隸屬經濟產業省(METI)的原子力安全保安院(NISA)、支援 NISA 確保核能安全的專門技術單位日本原子力安全基盤機構(JNES)、負責代表日本核能產業界對外的資訊傳播發佈及解釋的日本原子力技術協會(JANTI)、在地震研究執牛耳的東京大學地震研究所以及東京工業大學的和田研究室。之後，主管核能安全相關業務的行政院原子能委員會核能管制處的陳宜彬處長、核能研究所的楊清田副所長、簡任副研究員周鼎等三人並於 3 月 28 日赴 KKNPS 參訪，實地走訪現地及查看該核能電廠結構組件之情況。以上各項參訪均係為了瞭解日方處理此次核電廠地震後之各項處置措施，以作為我們的借鏡。

另外，因為日本於 2004 年 10 月 23 日的新瀨地震造成上越新幹線脫軌事件，也於此次訪日期間到與高速鐵路高速行進時地震安全確保的東日本鐵道株式會社參訪，以提供台灣高鐵公司作為其營運時地震安全之參考。

二、地震安全訪日團團員名單

編號	姓名	英文	職稱	單位
團長 1	紀國鐘	Chi, Gou-Chung	主任委員 講座教授	亞東關係協會 科技交流委員會 國立中央大學 物理系
2	陳宜彬	Chen, Yi-Bin	處長	行政院原子能委員會 核能管制處

3	林朝宗	Lin, Chao-Chung	所長	經濟部 中央地質調查所
4	楊清田	Yang, Tsing-Tyan	副所長	行政院原子能委員會 核能研究所
5	周鼎	Chow, Ting	簡任 副研究員	行政院原子能委員會 核能研究所
6	陳正興	Chen, Cheng-Hsing	副主任	國家實驗研究院 國家地震工程研究中心
7	溫國樑	Wen, Kuo-Liang	教授	國立中央大學 地球科學系暨地球物理所
8	壽克堅	Shou, Keh-Jian	教授	國立中興大學 土木工程學系
9	李文華	Lee, Wen-Hwa	副處長	台灣電力公司 核能發電處
10	葉清發	Yeh, Ching-Fa	組長	台北駐日經濟文化代表處 科技組
11	蘇顯揚	Su, Hsien-Yang	主任	中華經濟研究院 日本中心
12	黃瑞耀	Huang, Roger	所長	中華經濟研究院 東京事務所
13	劉華璽	Liu, Hua-Shi	輔佐 研究員	中華經濟研究院 東京事務所
14	宮本昭子	Miyamoto, Akiko	助理	中華經濟研究院 東京事務所

三、行程

本次赴日公差自 3 月 23 日起至 3 月 29 日止共計 7 天，扣除來回之飛機行程各一日，實際參訪共 5 天，相關重點工作內容如下：

月/日(星期)	工作內容重點
3/23(日)	下午：隨地震安全訪日團由桃園機場赴日本
3/24(一)	<p>上午：赴東京中華經濟研究院東京事務所，(1)拜訪其東京辦公室，(2)會晤日本內閣府原子力安全委員會(NSC)官員聽取簡報及交換意見(行程一)</p> <p>下午：持續在東京中經院東京事務所會晤日本經濟產業省(METI)的原子力安全保安院(NISA)官員，聽取簡報及交換意見(行程二)</p> <p>晚上：紀國鐘團長宴請全體團員</p>
3/25(二)	<p>上午：赴日本原子力安全基盤機構(JNES)，拜會理事長成合 英樹及聽取簡報(行程三)</p> <p>下午(一)：赴日本原子力產業協會(JAIF)，聽取日本原子力技術協會(JANTI)簡報及交換意見(行程四)</p> <p>下午(二)：赴東京大學地震研究所(ERI)，聽取簡報及交換意見(行程五)</p> <p>晚上：駐日代表處許世楷代表宴請全體團員</p>
3/26(三)	<p>上午：赴東京工業大學，拜會和田 章教授及參觀隔震建築(行程六)</p> <p>下午：赴東日本旅客鐵道株式會社(JR East)，聽取簡介及 2004 年 10 月 23 日新潟地震上越新幹線脫軌事件簡報(行程七)</p>

3/27(四)	<p>上午：赴東京中經院東京事務所會晤 System and Data Research Co.,Ltd (SDR)社長中村 豐有關地震預警系統簡報及交換意見(行程八)。結束參加訪日團團體活動</p> <p>下午：原子能委員會核能管制處陳宜彬處長、核能研究所楊清田副所長及簡任副研究員周鼎等三人由 JNES 國際室內藤 惠小姐陪同，乘新幹線赴新潟縣柏崎市，準備次日參訪 KKNPS</p>
3/28(五)	<p>陳宜彬處長、楊清田副所長及周鼎副研究員等三人參訪 KKNPS，聽取簡報及交換意見(行程九)</p>
3/29(六)	<p>由東京成田國際機場返台</p>

貳. 公差紀要

一、原子力安全委員會 (NSC)

由於台日間並無正式邦交，與原子力安全委員會(NSC)官員的會晤，係在地震安全訪日團的主辦單位中華經濟研究院東京事務所會議室舉行，出席的有我方團員 14 人及日方 NSC 事務局の仲戸川 哲人(Tetsundo Nakatogawa)及正岡 秀章，及技術交流協會會長野村先生。首先由我方紀團長及葉組長介紹我方代表及亞東關係協會 科技交流委員會的功能，此行訪日目的及期許。接著聽取日方仲戸川先生約一小時的簡報介紹：

(一)NSC 的位階、組織架構及職掌：NSC 是日本負責核能安全的最高官方單位(另同位階的還有負責核能規劃及推廣的原子力委員會)，係由內閣總理大臣提名的 5 位委員組成的委員會，其下有約 100 名員工(科技 40%，行政 60%)的事務局，另有由共約 350 位各領域專家學者組成的審查委員及專門委員。1978 年成立的 NSC 主要任務有:對反應爐的設置許可進行安全審查、對核能設施依規範進行監督並實施管制調查、準備核能安全相關的安全審查基準及防災對策準則、核能設施的事故因應等等。

(二)日本於 2006 年 9 月頒行的核能耐震設計審查新指針，取代在此之前所採用 25 年的舊指針 (1981)，此新指針係經過 5 年的密集的討論下才制定出的。新指針的重點包括：

- ◎在活動斷層的認定上，由舊指針的距今 5 萬年活動過改為距今 13 萬年活動過的。
- ◎在核電廠設計地震的訂定方面：設計審查新指針以 S_s (在此設計地震下，重要安全相關的結構系統組件允許非彈性變形，但必須能執行既定功能)、 S_d (在此設計地震下，重要安全相關的結構系統組件不允許非彈性變形)取代原有的 S_2 、 S_1 設計地震(按：之前 S_2 及 S_1 係由不同的思考方式決定，因此各核能電廠的 S_2/S_1 比值不一；而新指針則是先定出設計地震 S_s 再由 S_s 乘以一個不小於 0.5 的係數來決定 S_d)；此外，新指針也提出如何用斷層模式計算決定

設計用地表加速度及設計地震反應譜。

◎對於廠區建物結構地基設置條件改用具 sufficient supporting capability 取代舊指針座落在 bedrock 的硬性規定。

◎引用或然率評估方式 PSA(Probabilistic Safety Assessment)作為超過設計地震 Ss 地震的風險評估計算(即所謂的 residual risk)。

簡報後主要由陳處長、楊副所長分別就濱岡(Hamaoka)核電廠之耐震補強現況，此新潟地震之發生是否會再衝擊到日本於 2006 年 9 月頒行的核能耐震設計審查新指針，新潟地震發生後地質調查之完整性及參與單位之權責區分等，與日方交換意見。

二、原子力安全保安院 (NISA)

在等待原子力安全保安院(NISA)的審議官加藤 重治(Shigeharu Kato)等四人之空檔，團員先觀賞由中華經濟研究院東京事務所準備，由日本 NHK 電視台製作的新潟中越近海地震造成 KKNPS 的地震災害介紹影片。

加藤先生等人抵達後，由加藤先生簡報 NISA 針對此新潟地震，動員來自各專業的專家學者共約 70 人參與的核能發電廠耐震安全調查及對策，重點在說明：

(一)日本既有運轉中的 55 座核能機組針對 2006 年 9 月頒行的核能耐震設計審查新指針的符合性評估(backcheck analysis)，此評估工作應在 2009 年 9 月交 final report；而此新指針亦將適用於已申請中的 4 個核能機組(依申請時序先後為 東京電力公司的 ABWR 機組 大間 1 號機，東通 1 號機，及中部電力公司的 BWR 機組 濱岡 4 及 3 號機)。

(二)2007 年新潟中越近海地震在 KKNPS 所量測到的最大加速度值雖然非常大，但好在 KKNPS 的地震自動急停設定值遠低於量測到的最大加速度，所以在地震發生之初，最大震波尚未達到時，控制棒就完全插入了。

(三)KKNPS 必須在完成以下 a.b.c.d 等 4 項檢討才可能繼續運轉：

a).因為 KKNPS 收錄到此次新潟中越近海地震震度已超過原有的 S2 設計地震許

多，此地震的安全是否確保？關於此點經由這數月來的檢查及重新的模擬計算分析大致上已獲致肯定的答案。

b).爲何此地震會超出設計地震甚多？加速度歷史紀錄的突波原因又是作何解釋？關於這點日方仍在努力找出原因。

c).既然原先的最大設計地震 S2 已被超過，依據新規範所定的設計地震 S_s 爲何？關於此點也還沒有答案。

d).KKNPS 能確定耐得了新的設計地震 S_s？關於此點只有在新的設計地震 S_s 訂出來後才能進一步回答此問題。

(四)日本核電廠的結構系統設備組件(以下簡稱 SSC)的震後安全確認方法包括有：目視、動作、測漏、機能、理論重新分析等。目前 KKNPS 的 SSC 已完成絕大部分的震後安全確認。

(五)新潟中越近海地震發生後，隨即進行的陸上及海域地質調查結果發現鄰近 KKNPS 重要的 F-B 斷層長度至少有約 27 公里長(而非地震發生前認知的 7 公里)，且此段斷層應屬活動斷層而不是非活動斷層(按：日本 2006 年 9 月頒行的耐震新指針已將活動斷層判定的曾經活動過的期間由過去的 5 萬年提高到 13 萬年)

(六)KKNPS 3 號機組變壓器的火災所暴露出核電廠自衛消防的問題及對策：此火災事故由於核電廠自衛消防系統的弱點，使得濃煙持續很久，加上電視上不斷的播放造成一般民眾的心裡恐慌引起的負面影響很大。消防管線的耐震性能及其接頭的設計皆有待提升。

(七)國際原子能總署(IAEA)的地震調查：簡略介紹 IAEA 於去年 8 月及今年 1/28-2/1 的調查團活動。此次 KKNPS 各重要 SSC 於耐震表現及震後的處置獲得 IAEA 的肯定。

三、原子力安全基盤機構 (JNES)

第二天上午赴原子力安全基盤機構(JNES)，首先拜會理事長成合 英樹(Hideki Nariai)先生。成合先生致詞提到為因應 2007 年新潟中越近海地震對 KKNPS 的影響，JNES 於去年 10 月底特別成立近約 50 人的耐震安全部，工作重點在新潟地震後 KKNPS 剩下的安全餘裕及瞭解為何會有超過 S_s 的地震發生等兩方面的研究；接著紀團長介紹我方代表及亞東關係協會科技交流委員會的功能，此行訪日目的及期許。隨後整團移至會議室，聽取由 JNES 國際室的審議役宮下 政高(Masataka Miyashita)、耐震安全部的安部 浩(Hiroshi Abe)、野田等人的簡報，分別介紹：

(一)耐震安全部的組織構架、目前主要任務以及最近的一些研究情況。其中包括了新/舊指針在設計地震訂定上的區別、目前執行震後重新地震反應分析與記錄值之比較分析等。

(二)2007 年新潟中越近海地震及相關地震安全研究，包括從震源錯動機制、地震波經土層結構傳遞及廠址土壤的影響、電廠結構系統的模擬等因素，探討為何地震記錄值會超出設計地震，及又為何各機組的地震反應值也差別很大。也提到目前的一些進度及成果，譬如在震源錯動機制方面經由反衍計算推定 2007 年新潟中越近海地震，應係由主要的東南走向(SE dip)的逆斷層及西北走向(NW dip)的小的逆斷層造成，並由斷層面上的三個主要的破裂區(asperity)上的錯動所致，唯目前模擬的結果仍尚未能解釋地震記錄上的突波(killer pulse)。

(三)KKNPS 的新潟中越近海地震造成的火災。此發生在 KKNPS 3 號機組，編號 3B 的變壓器(house transformer)的火災，係由連接 3B 變壓器與 3 號機汽機廠房的高架電管因支撐架地基沉陷接地短路造成的火花，引燃該變壓器絕緣套(bushing)因地震造起外漏的絕緣油所造成。而造成高架電管支撐架地基沉陷之主要原因是支撐架、3B 變壓器、汽機廠房三者之不同的地基條件，再加上埋置在電管支撐架土壤下方的消防水管線也受損，使得電管支撐架下的土壤承載能力進一步減弱而造成。

在聽完日方的上述簡報後，我方團員陳教授、溫教授及楊副所長分別就 KKNPS 廠

區可能的土壤液化、地震觀測記錄檢驗所用之地震衰減率公式、或然率法及確定法等相關細節提出看法。

四、日本原子力技術協會 (JANTI)

第二天下午全團至日本原子力產業協會(JAIF)，由國際部部長小林 雅治(Masaharu Kobayashi)及中杉 秀夫(Hideo Nakasugi)接待。隨後由日本原子力技術協會(JANTI) 一般事務部的副部長磯村 賢一(Kenichi Isomura)介紹：

(一)JANTI 組織：JANTI 為日本充實核能基礎技術促進自主性保安活動之核能產業機構，它並整合了日本中央電力研究所(CRIEPI)的原子力情報中心(INPO)及核能安全網(NS Net)的功能。其下有運轉經驗分析(operating experience analysis)、核能安全網絡(nuclear safety network)、規範與標準(codes and standards)、一般事務(general affairs)等 4 個部門(divisions)。因此也負責此次 2007 年新潟中越近海地震的對外的資訊傳播發佈及解釋，並不定期在其網站 www.gengikyo.jp 上對外發佈，截至本年 3 月 5 日止，已發佈共 14 號相關報告。

(二)2/26-2/27 在柏崎市舉行的有關 KKNPS 地震災害的國際座談討論會：此為期兩天的討論會(symposium)選在柏崎市的文化廳舉辦，共有 550 人參加(其中來自海外的約來自 10 國的 50 人)。主題為「2007 年新潟中越近海地震的核電地震安全及學到的經驗教訓」(Results of the International Symposium on Seismic Safety of Nuclear Power Plants and Lessons Learned from the Niigatoken Chuetsu-oki Earthquake)。相關簡報資料併在 JANTI 的第 14 號報告。此地震對於一般民眾最不安心的主要來自電視報紙等傳媒對於 KKNPS 的 3 號機變壓器發生火災，並冒濃煙的深刻印象。此座談討論會主要目地，除了再次宣導 KKNPS 的地震安全，即在於讓一般民眾(尤其是當地民眾)安心。

五、東京大學地震研究所 (ERI)

第二天下午在 JAIF 結束與 JANTI 的會談後，整團赴東京大學的地震研究所(ERI)訪問，由 ERI 的所長 大久保 修平(Shuhei Okubo)接待。在簡短致詞後，即由加藤 照之(Teruyuki Kato)教授介紹 ERI，之後由該所的 Kazuki Koketsu 教授簡報元月 29 日其向國際原子能總署(IAEA)報告目前有關找出 2007 年新潟中越近海地震的震源推算及斷層平面解(Fault plane solution)所遭遇之困難。經由實際觀測記錄的 3 個主要的突波推斷此地震是由斷層面 3 個破裂造成，但究係東南走向(SE dip)的逆斷層抑是西北走向(NW dip)的小的逆斷層造成仍很困擾。隨後參觀 ERI 的海洋地震調查實驗室，看 ERI 研發製作的海底地震儀(OBS, Ocean Bottom Seismometer)及此 OBS 的操作原理。OBS 為了解海底板塊地震活動不可缺少的重要工具，尤其此地震及台灣前年底恆春外海的地震研究均少不了此等設備。

六、東京工業大學和田研究室

星期三上午全團由旅館出發，前往距東京約 80 分鐘車程，位在橫濱的東京工業大學，拜會和田 章教授。和田教授目前是日本建築學會構造委員會的委員長，也曾參與 2006 年 9 月頒行的核能耐震設計審查新指針的制定專家群。和田教授在其研究室與我們就 2007 年新潟中越近海地震及 KKNPS 之災害廣泛交談。和田教授曾多次應邀來台，因此也顯輕鬆愉快，其談話重點有下列 5 點：

- (一)以傳統日本耐震設計的 3 倍來確保核能結構的保守設計來說明此次地震 KKNPS 的結構大致良好
- (二)下次會不會發生更大的地震，這點也是各界急於了解但尚未確定的部份
- (三)解釋 KKNPS 的 3 號機變壓器起火，並冒濃煙事故的原因，係電管支撐架地基沉陷
- (四)指揮全廠 7 部機組的技術支援中心(TSC)廠房結構耐震不足之醒思及因應之道
- (五)考慮核電廠的設計全面使用隔震支撐裝置

接著，和田教授帶我們觀看學校內的一棟隔震大樓在底層的隔震裝置，及以經歷實際地震之反應說明其隔震效果。此外，和田教授並熱心贈與本團一本「日本 2006 年 9 月頒行的新的地震設計審查指針與解說」。

七、JR 東日本旅客鐵道株式會社

星期三下午全團轉往東京新宿的 JR(Japan Railway)東日本旅客鐵道株式會社(JR East)。由於我國高鐵也是採與日本新幹線相同的高速列車，且發生在 2004 年 10 月 23 日新潟地震(地震規模 6.8，新潟地區最大強度為 7)，曾造成 JR 東日本旅客鐵道株式會社的上越新幹線脫軌事件。

先由日方介紹 JR East 的組織構架：JR East 係於 1987 年由國有鐵路分出(JR 共分有 JR 東日本、JR 西日本、JR 中日本、JR 四國、JR 北海道、JR 九州等六區)，包括日本本州東半部的鐵道運輸，共 7,500 公里長的鐵道，一天的乘客即高達 1,600 萬人次，其中新幹線有秋田、山形、上越、長野等四條，目前有員工 65,000 人。

接著聽取 2004 年 10 月 23 日新潟地震上越新幹線(Toki 325 號)脫軌事件簡報。該地震造成當時時速每小時 200 公里拖行 1 公里多才停止。共 10 節車箱的 40 個輪軸中的 22 個輪軸也脫軌，尾節車箱也嚴重傾斜以及沿線高架橋墩的嚴重毀壞，並在 66 天後才通車。由於其簡報者非工程專長，僅能陳述脫軌事件，未能深入就我們關切的技術問題提出解說。惟在次日會晤 SDR 公司社長中村先生的簡報資料中，得到一些詳細的相關技術資訊。

八、System and Data Research Co., Ltd (SDR)

星期四上午紀團長及中央地調所的林所長另有要公先行返國，由陳處長代表本團簡短致詞後，即由 SDR 公司社長中村 豐(Yutaka Nakamura)先生簡報有效的地震預警(On-site Alarm-The effective earthquake early warning)：介紹地震預警的理論及其公司所

研發的地震預警系統，並以 2004 年 10 月 23 日新潟地震上越新幹線脫軌事件為例，說明地震預警系統的應用效果。地震預警系統主要原理係利用地震波裡波速較快的 P 波與波速較慢(但震幅較大)的 S 波兩者到達的時間差來作緊急必要的處置。屬於西日本旅客鐵道株式會社(JR West)的東海道新幹線(東京-大阪)首於 1992 年裝置了名為 UrEDAS(Urgent Earthquake Detection and Alarm System)的地震預警系統，接著山陽新幹線(大阪-博多)也於 1996 年裝置了 UrEDAS 地震預警系統；但 1995 年規模 7.0 造成 5,000 多人死亡的阪神大地震的經驗，顯示這種靠通訊網傳輸訊號的 front detection/alarm 有必要在標的物附近裝置所謂的 on-site detection/alarm 來確保。UrEDAS 等地震預警系統係以地震波所謂的 DI 參數(Destructive Intensity = $\log(av)$ ，定義為地震加速度與速度相乘積取絕對值後的對數值)門檻值來發佈地震的警報。因此越快能計算出 DI 門檻值就有越早的緊急必要處置的時間。目前日本能約在開始收到地震波的 0.2-1.0 秒內即可計算出 DI 值。當時編號 Toki 325 號的的上越新幹線 On-site 地震預警系統於地震發生後的 3.6 秒收到地震警報後，立即自動切斷電力並同步起動緊急煞車系統，再經過 2.5 秒後震幅較大的 S 波到達，引發的強烈震動侵襲到 Toki 325 並造成共 10 節車箱的 40 個輪軸中的 22 個輪軸脫軌，尾節車箱嚴重傾斜以及沿線高架橋墩的嚴重毀壞，並在 66 天後才通車的新幹線脫軌事件。隨後中村先生也與其助理現場示範了他公司地震預警系統的功能，並另外簡報介紹如何利用其地震收錄系統以微地動量測進行結構體結構健全度及補強效果的理論及應用實例。

*按：中村先生曾在日本鐵道株式會社服務多年，因此才能如此精闢地在簡報中詳述 Toki 325 號上越新幹線的脫軌事故。

九、東京電力公司柏崎刈羽核電廠

星期四下午原能會核管處陳處長、核能研究所楊副所長及周副研究員等三人由 JNES 國際室科長內藤 惠(Megumi Naito)小姐陪同，一行 4 人乘新幹線列車至長岡，再轉

火車由長岡赴新潟縣的柏崎市。

星期五上午由旅館赴 KKNPS，由其副所長鳥羽 晃夫(Akio Toba)及技術課長增井 秀企(Hideki Masui)接待。在雙方簡短介紹後，由增井課長簡報介紹 KKNPS 及 2007 年新潟中越近海地震的影響。KKNPS 為目前全球機組最多的核能發電廠，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，座落於柏崎市(kashiwazaki city)及刈羽村(kariwa village)，因此稱柏崎刈羽核電廠，共有員工 1,076 人，但目前另有 4,600 多從外面來的支援人員，協助處理地震後的相關工作。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。當時 3、4、7 號機正在運轉發電，1、5、6 號機正在大修(outage)，2 號機則在起動(start-up)階段。地震發生後造成 KKNPS 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 號機造成微量的放射性物質外洩至海中；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振動過大而磨耗損傷；6 號機反應器廠房的主要吊車(overhead crane)萬用接頭損壞等等。隨後由增井課長帶領我們四人進行廠區的現地查訪：先至 1 號機看油槽旁的地基下陷，3 號機發生火災冒濃煙的變壓器位置解說，穿防護衣進入 4 號機的反應器廠房內看負責控制棒插入爐心的致動裝置 HCU，並進入乾井區內由反應爐壁的穿越器觀看爐內部份狀況，至反應器廠房底層檢視重要機械組件高壓爐心噴灑系統泵(HPCS Pump)之完整性及佈置在該層的地震停機用的地震儀，再到場區看受挫屈(buckle)的濾水槽(filtrated water tank)，6/7 號機共用的主控制室等處，回顧地震當時的情況等等。

下午由 KKNPS 建築相關的管原 良次副所長及增井課長回答及討論我們在出國前所提出的 12 個問題。隨後我們 4 人由 KKNPS 派車送至長岡車站，再搭乘新幹線列車返回東京，結束一天的參訪行程。

參. 心得與建議

一、心得

此次參加地震安全訪日團及參訪柏崎刈羽核電廠，訪問日本核能地震安全相關的單位，在 5 天緊湊的參訪行程，了解日本在 2007 年 7 月 16 日新瀨中越近海地震後的各項相關因應，主要包括有：日本 2006 年 9 月新頒行的耐震指針內容重點、如何發生新瀨中越近海地震的震源機制了解狀況、了解 KKNPS 各地震計收錄到超過比設計地震還大的地震加速度原因、如何檢驗及重新分析計算 KKNPS 結構系統組件震後各結構完整性及系統組件之功能、震後海域及陸上之地質/斷層重新調查發現作為訂定 KKNPS 新的設計地震依據、柏崎刈羽核電廠受損及復原進度之最新進展等等，也順便了解日本新幹線列車於 2004 年 10 月 23 日新瀨上越地震時 Toki325 號新幹線列車出軌及新幹線地震預警裝置。主要心得有以下數項：

(一)此次赴日參訪，由於亞東關係協會科技交流委員會、中華經濟研究院日本中心及駐日辦公室等工作團隊完備的事前規劃與安排(包括全程的日文翻譯及交通工具的協助等)，使得訪日團員們於訪日期間受到日本各單位之高規格接待，及提供第一手的資訊，進行充分的討論，印象非常深刻，使我們獲得非常豐碩的成果，相信這是我方對日單位長期經營所累積的成果；另外成行前才臨時加的 KKNPS 的參訪活動之順利進行，係透過 JNES 熱心的協助安排及派員陪同，則是我們原子能委員會與 JNES 長期良好互動的結果。

(二)2007 年 7 月 16 日新瀨中越近海地震，造成 KKNPS 設計地震被來襲地震超過的世界首例，不可等閒視之，加上 KKNPS 為目前全球最大發電容量的核能機組(7 部機組共 8212MWe 的發電量)。因此，其核電設備在地震時的表現及電廠受震後受損之情況舉世矚目，並會影響到核能發電是否真正安全的民眾觀感。因此負責將此次新瀨地震的資訊對外傳播發佈及解釋，並不定期的在其網站上公佈的

JANTI，成功扮演了重要的角色。一改先前日本國家給外界保守封閉的印象，並對日本隨後的處理有了較清楚的了解。

(三)雖然地震震度超過了原設計值，事後各項安全確認的數據，包括目視、動作、測漏、機能、理論重新分析等等，顯示 KKNPS 仍是安全的，其中 KKNPS 所具備的地震自動急停裝置、廠外電源沒有喪失及保守的設計餘裕扮演最關鍵的角色。進一步來說：

1. 在日本，所有的核能電廠都須依據日本核能法規，安裝地震自動急停裝置，且其設定起動跳機的地震加速度值約是結構彈性設計值的 90%。因此如這次地震雖然在 1 號機反應爐底座東西方向的地震加速度最大曾高達 0.68g(而設計值才 0.27g)，但在地震加速度達到 0.12g 時的自動急停設定值就起動地震自動急停裝置而將所有的控制棒插入爐心了。否則在經過更強烈的震動，是否還能順利將所有的控制棒插入爐心就很難說。我們台灣的核電廠原來走的是並不強制要求安裝地震自動急停裝置的美國法規；但參考(i)美國後來也為進一步確保地震安全，強制要求了位在加州強震帶 PG&E 的 Diablo Canyon 及 SCE 的 San Onofre 加裝地震自動急停裝置，以及(ii)921 地震巨大地動經驗也讓人懷疑核電廠主控制室人員能否在那樣的環境下及時完成手動停機，我們核能管制單位乃於 921 地震後，以行政命令要求台電所有營運中的核一、二、三廠都必須加裝地震自動急停裝置，因此目前我們的核一、二、三廠都也已安置了由核能研究所自行研製的地震自動急停裝置。
2. 日本電力系統穩定加上是雙迴路的設計，所以此次地震並未造成常發生的喪失廠外電源。
3. 日本核能電廠結構保守的設計餘裕則來自其對於安全相關的結構除採用複雜的動力分析來計算地震所引起的應力，也用傳統結構計算地震力的(較動力分析簡略的)靜力分析來 double check；而所採用的設計地震力為傳統結構的 3 倍。另設計餘裕也來自良好的施工品質。從地震能量的觀點來看，此地震造

成的地震最大加速度值非常高，但具破壞能量指標的 CAV 值卻沒有非常大(根據參訪 KKNPS 時我們提問的問題回答可知道，就反應爐底座位置而言，在 1 號機東西方向收錄到最大的地震加速度其 CAV 值為 1.16g-sec，還不如 4 號機東西方向的 1.25g-sec；而 4 號機東西方向收錄到最大的地震加速度為 0.49g，此值為 1 號機東西方向收錄到的 0.68g 的 70%)

(四)這次日本新潟中越近海的地震經驗也看出非安全相關結構有時也是非常重要的。譬如消防系統的耐震等級不足、控制室天花板不耐震、緊急支援中心的結構耐震能力不足等等。這些間接影響救援的缺點則可由執行 PRA 分析的 minimum cut set 中找出。我們核電廠就已經此 PRA 分析而提升了消防系統為耐震一級，控制室天花板也經過防止掉落的改良。

(五) KKNPS 原有的設計地震因已被此新潟中越近海地震超過而必需重新訂定，再加上原本日本營運中的核電廠就要依據 2006 年 9 月新頒行的耐震指針作所謂的 back check 分析，而截至目前為止，雖然地震發生迄今已 8 個月，KKNPS 新的設計地震還未訂定出來，訂定出來後才能進行結構系統組件的地震安全分析，完成此地震安全分析後還要送核能管制單位核可後才能再開始重新啓動運轉發電。由以上情況及日本女川(Onagawa)核電廠的案例來看(2005 年 8 月 16 日的地震使得日本東北電力公司的女川核電廠 1 號機在地震過後的 21 個月後才再運轉發電)，且雖然經濟損失迄今已超過兆元，KKNPS 何時能全面恢復運轉仍是遙遙無期。日本為科技先進的國家，地震相關的研究也是世界頂尖的，由此更可看出地震的不確定性及地震研究對於日本及台灣等地震頻仍地區的重要性。

(六)有鑒於知識之累積及技術精進以及 1995 年阪神大地震後社會情勢之變化與需求，日本於前(2006)年經歷 5 年的討論，頒行了新的地震設計審查指針以取代 1981 年的舊指針；美國核能管制委員會(NRC)近年來也陸續修改了耐震規範以因應新的需要，我們應該也要趕快汲取美日新規範的知識並進而檢視營運中的核電廠以作為因應。

(七)無論日本的 2007 年新瀉中越近海地震對 KKNPS 造成的衝擊及後續的處置，或是 2004 年新瀉上越地震對高速行駛中新幹線列車造成的事故，經驗汲取對同屬地震頻仍國家的我們有極大的參考價值，所謂他山之石，可以攻錯；前事不忘，後事之師。

二、建議事項

- (一)新瀉中越近海地震對柏崎刈羽核電廠影響不大，主要是因為當初實際的地震設計值比原設計值高 3 倍，因此全廠結構設備大致良好。不過，因為核電以外的建築物的設計並沒有使用 3 倍的強度標準，例如技術支援中心廠房結構耐震不足無法使用，管路破裂造成火災事故，未來應將其他重要建築物之安全設計比照核電廠本身安全設計同一等級。
- (二)地質結構重新調查不可避免。台、日案例均顯示，當初在設計核電廠時，對廠址活動斷層所掌握的資訊明顯不足，核電廠附近的斷層性質與已往所知者有明顯的不同，這些差異應詳加調查，並重新評估核電廠的地震安全性。
- (三)為有效解決地震可能造成的危害，「地震隔離技術」已成為日本努力的方向，並規劃為第四代反應爐之標準設計規範。這方面的研究加上監測、預警系統、地震及結構安全評估技術等可以作為未來台灣與日本加強技術合作的項目。
- (四)「日本發電用原子爐耐震設計審查指針」雖已於 2006 年 9 月修正，但在 2007 年新瀉中越近海地震後，有關指針內容是否會進一步修正，原子力安全委員會表示需再進行審視。惟修正後的審查指針必須儘早實施是各界的共識。
- (五)核能發電不但須確保運轉的安全，也需尋求社會、民眾的安心。資訊的公開、召開居民說明會是必要的做法。

肆. 參訪柏崎刈羽核電廠照片



照片 1 原子爐冷卻水再循環泵前全體留影



照片 2 2 號機主變壓器位置地層下陷情況



照片 3 增加固定配件避免滑動



照片 4 原子爐廠房結構龜裂痕跡



照片 5 6/7 號機控制室



照片 6 過濾水槽下圍切除修補



照片 7 輕油槽地層下陷



照片 8 輕油槽地層下陷



照片 9 於訪客中心簡報及討論

伍. 附錄：訪問柏崎刈羽核電廠事先提出問題及東電回答

1. Does the earthquake impact your newly revised seismic design guide? For example, from the observed acceleration at R/B, the vertical/horizontal PA ratios were very high, are you going to change the direction vertical/horizontal design acceleration ratio in your new Ss?

A. We do not believe there will be change in seismic design guide. According to this new guideline, Design base Earthquake Ground Motion (DBEGM) shall be formulated by referring the most update information. This guideline does not refer to the direction vertical/horizontal design acceleration ratio.

2. Follow the last question, why the observed vertical acceleration at R/B in units 6 and 7 (ABWR) were much higher than that in units 1 to 5 (BWR/5)?

A. The investigation is underway about the reason why the highest vertical acceleration was observed at KK6.

	Horizontal-NS	Horizontal-EW	Vertical
Unit 1	311(274)	680(273)	408(235)
Unit 2	304(167)	606(167)	282(235)
Unit 3	308(192)	384(193)	311(235)
Unit 4	310(193)	492(194)	337(235)
Unit 5	277(249)	442(254)	205(235)
Unit 6	271(263)	322(263)	488(235)
Unit 7	267(263)	356(263)	355(235)

3. Whether some of the high recorded accelerations were possibly caused by the water sloshing (water in suppression pool and upper spent fuel

pool in reactor building) effect?

A. We do not believe the water sloshing is major contributor to the maximum observed acceleration. Response spectra of observed acceleration shows the maximum acceleration was caused by pulse wave with relatively short period (less than 1 second). If sloshing effect had been dominant, long pulse wave (period with several seconds) would have been dominant either.

4. What are the CAV values of the recorded acceleration time histories of this earthquake?

Standardized CAV with threshold of 0.025G (G • sec)

	KK1	KK2	KK3	KK4	KK5	KK6	KK7
NS	0.97	1.00	1.02	1.07	0.97	0.97	0.94
EW	1.16	1.12	1.12	1.25	1.09	1.10	1.01
V	0.76	0.70	0.80	0.81	0.67	0.91	0.81

5. Although the earthquake intensity has exceeded that of the S2 Design earthquake, your reevaluation results after the earthquake have shown the sufficient design margins. However, what measures have been taken to assure the seismic integrity for another new hypothetical S2 strike during the re-operation period of the 7 units in the KK plant site?

A. Necessary seismic retrofitting (quakeproofing work) will be carried out based upon the analytical evaluation combined by newly formulated SS.

6. Are there any new finding as far as the geological survey (in the sea area and in the land area) conducted after the earthquake? Are there any faults found within KK site?

A. We have conducted offshore acoustic detection and onshore reflected wave detection. So far, the geological structure is consistent with our

past knowledge on the whole. In terms of active fault evaluation, the investigation is ongoing based on the difference of geological structure in every fault.

Within KK site, we have not found surface earthquake faults and new active faults. The holes have been excavated to confirm whether faults recognized by the past investigation moved or not. So far, two faults have been investigated and there was no sign of movement. Another hole is being excavated now.

7. Are you going to use original reactor core internal components after the earthquake or change/repair some components?
 - A. We have conducted visual inspection of core internals and have not found major damage. Based upon the analytical evaluation, if necessary, components will be repaired or replaced.

8. Regarding the behavior of active components, did KK plants experience major relay chatter or pump/turbine high vibration alarm before and after the automatic scram by seismic trip system?
 - A. No major relay chattering occurred before and after automatic scram. As for alarm associated with vibration, the followings are observed.
 - RIP motor high vibration
 - Turbine high vibration
 - RFP-T high vibration
 - Turbine thrust bearing wear detector activation

9. Have any of the KK units (units 1 to 7) adopted advanced energy absorption pipe support instead of traditional pipe support?
 - A. We are not sure of advanced energy absorption pipe support

10. Besides the high seismic alarm in the Main Control Room (MCR), what were the other alarms sounded? For example, high vibration of main coolant pumps/RIPs or turbine generator, water level of storage tanks/spent fuel pools, fire alarm...

A. Examples of alarm triggered directly by earthquake(K7)

- SFP water high level, low level
- S/C water high level, low level
- High leakage between FPC gate/RPV-PCV
- Aux Boiler trip

Examples of alarm triggered by associated events

- Fuel handling area high radiation

11. For units 6 and 7, part of MCR ceiling fell down. What are the root causes and proposed corrective actions? During the earthquake, did any dust fall down from the ceiling of MCR?

A. In MCR of KK6/7, ceiling panels and decoration light fixture fell down, because setting was not tight enough to resist the earthquake vibration. Light fixture will not be installed anymore because it is not needed for the operation purpose. As for panels, measures for tight setting are under consideration.

Right after the earthquake, some dust fell down from the ceiling.

12. For all the operating units (i.e. 3, 4, 7), the turbine blades experienced wear due to contact of rotor and stator blades. What was the magnitude of vibration for each turbine? Did the maximum values exceed the turbine trip setpoint?

A. Maximum vibration value was over scale of record chart and more than trip set value (0.175mm total amplitude).