

出國報告（出國類別：其他）

浜岡核電廠等除役電廠參訪與經驗交流出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳智隆 副工程師

林琦峰 副工程師

任天熹 副研究員

張金和

派赴國家：日本

出國期間：102年11月11日~102年11月15日

報告日期：102年12月13日

摘 要

核研所工程組任天熹博士、化工組陳智隆先生、保物組林琦峰博士及台電後端處張金和課長四員，奉派參加核能資訊中心主辦之「浜岡核電廠除役經驗參訪團」。參訪團由核能資訊中心朱鐵吉教授擔任領隊，謝牧謙博士為顧問並鍾玉娟小姐行政協助，成員包括清華大學核工所梁正宏所長和施純寬教授、清華大學原科中心曾永信博士、中興工程顧問(股)公司林智彭經理和許惠耀工程師、益鼎工程(股)公司吳正明專案經理，及鉍原能源股份有限公司孫咸仁副總經理共 14 員。行程目的主要與日本原子力除役研究會 (ANDES)專家進行核能電廠除役技術經驗交流，並實地參訪浜岡核能電廠和東海核能電廠學習除役的第一手經驗。浜岡電廠目前的重點工作在於海嘯防治，東海電廠則主要進行蒸汽升壓單元(SRU)大型桶槽的遙控切割。東海電廠運用除役後的汽機廠房作為廢棄物的暫時貯存；低於外釋標準的金屬廢棄物與混凝土廢棄物重製為其他可再利用產品，此作法可提供核一廠除役計畫的參考。

關鍵詞：除役、日本除役交流會(ANDES)、浜岡電廠、東海電廠

目 次

摘 要.....	i
目 次.....	ii
圖 目 錄.....	iii
表 目 錄.....	v
一、 目的.....	1
二、 過程.....	6
三、 心得.....	25
四、 建議事項.....	26
五、 參考文獻.....	27

圖 目 錄

圖 1 日本主要電力公司的供電區域分佈圖.....	3
圖 2 中部電力公司的供電區域.....	3
圖 3 浜岡核能電廠位置.....	4
圖 4 東海電廠位置.....	4
圖 5 浜岡電廠參訪團所有團員合照.....	14
圖 6 石川會長致詞.....	14
圖 7 朱鐵吉教授致詞.....	14
圖 8 此次交流之 ANDES 團員.....	14
圖 9 所有參訪團員參加 ANDES 技術交流.....	14
圖 10 田中先生進行簡報.....	14
圖 11 3D 廠房及管路圖.....	15
圖 12 核研所任天熹博士提問情形.....	15
圖 13 柳原教授進行簡報.....	15
圖 14 核研所陳智隆先生提問情形.....	15
圖 15 核研所林琦峰博士提問情形.....	15
圖 16 台電張金和先生提問情形.....	15
圖 17 浜岡電廠的防震補強措施.....	16
圖 18 浜岡電廠的防海嘯堤防.....	16
圖 19 浜岡電廠的防海嘯防水門.....	17
圖 20 參訪人員於會議室內與所長合影.....	17
圖 21 參訪人員於浜岡原子力館前合影.....	17
圖 22 參訪人員於防海嘯堤防前合影.....	17
圖 23 防海嘯堤防尺寸示意圖.....	17
圖 24 SRU 桶拆除示意圖.....	18
圖 25 攜帶火炬噴槍的機械手臂.....	18

圖 26 敦賀電廠輻射特性分類.....	18
圖 27 敦賀電廠除役的切割方法.....	19

表 目 錄

表 1 浜岡電廠五部機組資料.....	5
表 2 我國各核電廠機組資料.....	5
表 3 參訪團團員名冊.....	20
表 4 行程概要.....	21
表 5 與 ANDES 的技術交流議程.....	22
表 6 與會的 ANDES 團員名冊.....	23
表 7 浜岡電廠參訪行程.....	24

一、目的

(一)行程目的

核研所工程組任天熹博士、化工組陳智隆先生、保物組林琦峰博士及台電後端處張金和課長四員，奉派參加核能資訊中心主辦之「浜岡核電廠除役經驗參訪團」。參訪團由核能資訊中心朱鐵吉教授擔任領隊，謝牧謙博士為顧問並鍾玉娟小姐行政協助，成員包括清華大學核工所梁正宏所長和施純寬教授、清華大學原科中心曾永信博士、中興工程顧問(股)公司林智彭經理和許惠耀工程師、益鼎工程(股)公司吳正明專案經理，及鉍原能源股份有限公司孫咸仁副總經理共 14 員。此行目的主要與日本原子力除役研究會相關領域的專家進行核能電廠除役技術之經驗交流，並參訪浜岡核能電廠和東海核能電廠，透過與電廠工作人員面對面討論交流學習核電廠除役的第一手經驗，並經由此次行程促進台日雙方的除役經驗與技術交流合作。

(二)參訪單位簡介

1.原子力除役研究會(The Association for Nuclear Decommissioning Study, ANDES)

原子力除役研究會創建於 1997 年，為一獨立研究機構，主要成員為各核能電廠、工程顧問公司或其他對核能電廠除役有興趣的人員所組成，主要工作在於收集日本和國際間關於核能電廠除役有關的技術報告、除役經驗和並進行報告文件翻譯工作，其目的主要在於培養自主性電廠除役技術人員。第一任會長(1997-2008)為內藤奎爾(名古屋大學名譽教授)，現任會長為石川迪夫(日本核技術研究所高級顧問)，此次參訪行程即由石川會長所積極安排。

2.浜岡核能電廠(Hamaoka Nuclear Power Plant)

浜岡核能電廠隸屬中部電力公司(Chubu Electric Power Company)。中部電力公司為日本十大電力公司之一(見圖 1)，主要供電區為日本中部名古屋附近的長野縣、岐阜縣(不含飛驒市神岡町・關原町今須地區)、愛知縣、三重縣(不含熊野市以南地區)及靜岡縣(富士川以西)地區(見圖 2)。供電面積約 39,000 km²(約日本領土的 10.5%)，供電人口約 16 百萬人(約為日本總人口的 12.5%)，員工總數約 17,300 餘員。

浜岡電廠位於靜岡縣南端的御前崎市(見圖 3)，佔地約 1.6 km²，員工人數有 796

員，外包人力則有 2,666 員。目前電廠內共有 5 部核能機組，一號機和二號機為 MARK-1 型圍阻體 BWR-4 反應器機組；三號機和四號機為 MARK-1 modified 型圍阻體 BWR-5 反應器機組；五號機則為 RCCV 型圍阻體 ABWR 反應器機組。各核能機組資料可參考表 1。

該電廠一號機與二號機已於 2009 年 1 月停止運轉並開始進行除役，此二部機組與我國核一廠使用的機組極為相近，我國核能機組資料可參考表 2。由於我國核一廠正積極進行除役相關工作的規劃，以及除役計畫書的撰寫工作，因此，浜岡電廠一號機與二號機進行的除役工作正可作為我國核一廠除役工作的參考。

3.東海核能電廠(Tokai Nuclear Power Plant)

東海電廠位於茨城縣水戶市東邊的東海村(圖 4)。東海核能電廠內的 Tokai-1 機組為日本第一座商業用核能發電機組，為氣冷式反應器，功率為 166 MWe，已於 1998 年 3 月永久停止運轉，並於 1998 年 5 月開始進行移除燃料作業，2001 年 10 月最後一批用過核子燃料移出。2001 年 11 月開始進行除役相關工作。2006 年 6 月獲得除役許可，同年 9 月亦獲得外釋檢測方法許可。第一批可外釋物品於 2007 年 6 月裝箱，2008 年 9 月非放射性廢棄物亦首次裝箱。2010 年 7 月提出除役計畫變更，並於 2013 年 3 月已獲得許可。

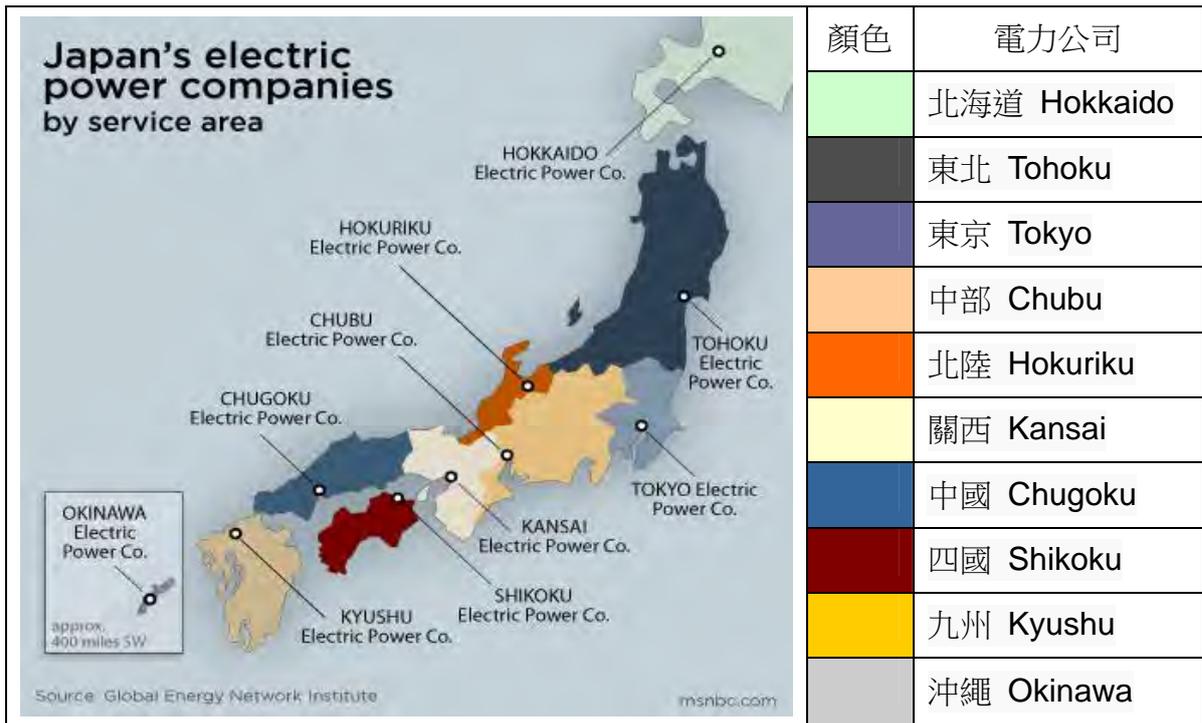


圖 1 日本主要電力公司的供電區域分佈圖

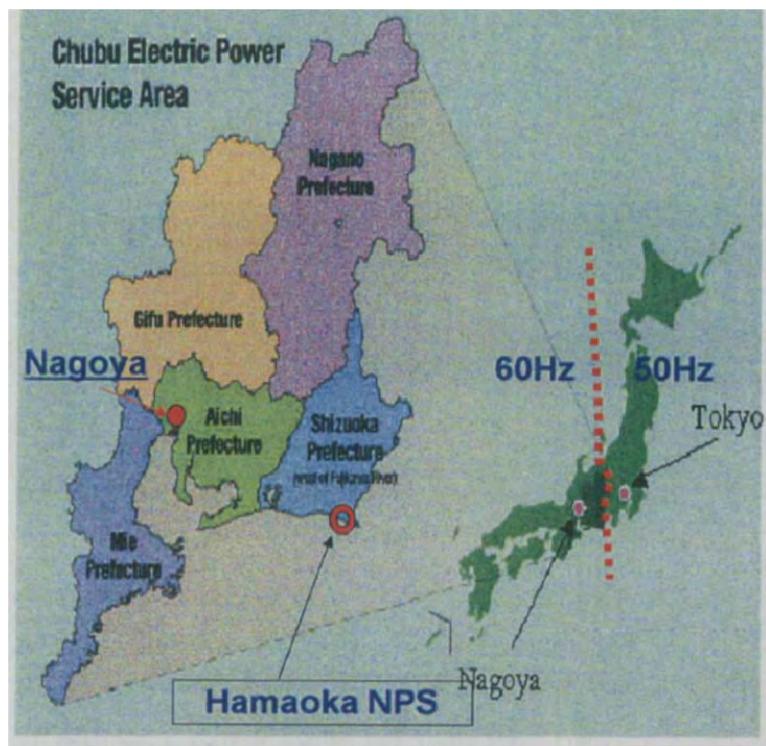


圖 2 中部電力公司的供電區域

表 1 浜岡電廠五部機組資料

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
Reactor type	BWR-4		BWR-5		ABWR
Thermal power (MWt)	1,593	2,436	3,293	3,293	3,926
Type of Primary Containment Vessel	Mark-1		Mark-1 modified		RCCV
Generating output (MWe)	(540)	(840)	1,100	1,137	1,380
Total power output (MWe)	3,617				
Construction commencement	March 1971	March 1974	November 1987	February 1989	March 1999
Operation commencement	March 1976	November 1978	August 1987	September 1993	January 2005
Current status	Decommissioning (Operation terminated on January 30, 2009)		In outage (since November 29, 2010)	In outage* (since January 25, 2012)	In outage* (since March 22, 2012)
	Safety improvement measures being implemented				

*At the request of the Japanese government, all Units at the Hamaoka NPS halted operation as of May 2011. (Unit-4: May 13, 2011 Unit-5: May 14, 2011)

表 2 我國各核電廠機組資料

	核一廠		核二廠		核三廠		核四廠	
	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
Reactor type	BWR-4		BWR-6		PWR		ABWR	
Thermal power (MW)	636		985		951		1350	
Primary Containment Vessel	Mark-1		Mark-3		鋼襯預力混凝土型		鋼筋強化混凝土型	
Construction commencement	1971/12/15	1972/12/4	1975/8/19	1975/8/19	1975/4/1	1975/4/1	1999/3/17	1999/3/17
Operation commencement	1978/12/6	1979/7/16	1981/12/28	1972/3/15	1984/7/27	1985/5/18		

二、過程

(一)行程

此次參訪行程主要由財團法人核能資訊中心安排，參加人員包括清華大學教授、台電公司、核能研究所及工程公司等共 14 員，團員名單可參考表 3。由朱鐵吉教授擔任領隊，謝牧謙博士擔任顧問並協助討論翻譯。參訪行程由 11 月 11 日出發並於 11 月 15 日回國，主要行程(詳見表 4)概述如下：

- 11 月 11 日：由桃園機場出發，抵達日本成田機場。
- 11 月 12 日：與「日本除役研究會」進行除役技術交流座談。
- 11 月 13 日：參訪浜岡電廠，並討論除役規劃經驗。
- 11 月 14 日：參訪東海電廠，並討論除役規劃之經驗及技術。
- 11 月 15 日：由成田機場搭機回桃園機場。

(二)主要內容

1.原子力除役研究會(ANDES)

與 ANDES 的拜會交流議程如表 5 所示。首先由 ANDES 石川會長致詞，石川會長很感謝於今年 6 月 18-19 日「台日核能除役交流會」受到台灣方面的熱情招待，鑑於雙方對於除役技術的熱烈討論，而再次召開此次的技術交流討論會，期盼雙方於核能電廠除役的技術上更加精進。石川會長的致詞情形如圖 6 所示。接著，由台灣浜岡電廠參訪團團長朱鐵吉教授致詞(見圖 7)，感謝 ANDES 石川會長的熱情款待並安排此次的除役技術研討，交流成果必讓與會團員受益良多。接著由 ANDES 與會團員自我介紹(圖 8)，依序為福井大學 柳原 敏教授(Satoshi Yanagihara)、原子力發電株式會社 田中健一(Ken-ichi Tanaka)、原子力發電株式會社 山內豐明(Toyoaki Yamauchi)、清水建設 鳥居和敬(Kazuyuki Torii)、RANDEC 澀谷 進(Susumu Shibuya)、IAE 中村 進(Susumu Nakamura)、鹿島公司 紺谷 修(Osamu Kontani)、日立公司 小畠 亨司(Ryoji Obata)等人，以及由台灣浜岡電廠參訪團各團員自我介紹(圖 9)。此次 ANDES 參與團員含會長計有 17 員，團員名冊如表 6 所列。

雙方團員彼此認識之後，便由日本原子力發電株式會社(Japan Atomic Power

Compay)的田中健一課長進行「Characterization of Radioactive Inventory」報告(圖10)，報告內容(見附件一)主要有五項議題：電廠特性(Outline of Plant Characterization)、中子活化金屬評估(Evaluation for Neutron Activated Materials)、受污染物質評估(Evaluation for Contaminated Materials)、廢棄物數量推估(Amount Estimation of Waste Materials)及放射性廢棄物盤存資料庫系統(Radioactivity Inventory Data-Base System)。

(1)電廠特性

強調放射性廢棄物存量調查的次序應為：除役情節(Decommissioning Scenario)、處置計畫(Disposal Planning)、安全評估(Safety Assessment)、費用推估(Cost Estimation)、取得許可(Application to Regulator)。而放射性廢棄物存量調查則包括中子活化金屬評估、受污染物質評估和廢棄物數量推估三大部份，這些資料都將彙整與貯存在放射性廢棄物存量資料庫系統內。

(2)中子活化金屬評估

主要工作內容包括中子流(Neutron Flux)量測、中子流分佈計算(2D & 3D)、輻射分佈計算，及放射性物質和非放射性物質邊界推估。中子流量測乃使用 30 組活化箔(activated foils)直接量測 PCV 中的中子流分佈，使用的活化箔包括金箔、外覆鍍的金箔，以及鎳箔等三種箔片。中子流分佈計算主要運用 DORT 和 MCNP-5 分析軟體；輻射分佈計算則運用 ORIGEN-S/SCALE 5 進行。中子流計算結果與量測結果進行比對，當數值差異小於一個數量級時，結果即可被接受。運用中子流分佈計算結果推估 PCV 中金屬受活化的程度與分佈，並定義當 PCV 金屬材料受中子照射(Irradiated)量小於 6.25 $\mu\text{Sv/h}$ 時，即視為不具放射性之物質(Non Radioactive Material, NR)。

(3)受污染物質評估

受污染物質視其結構區分成固著污染物(Fixed Contamination)和鬆散污染物(Loose Contamination)兩類。固著污染物指管件、設備等的內部附著物；鬆散污染物指隨時會自污染物表面鬆浮脫落而污染空氣，直接或間接的污染人體、

衣服，有造成體內曝露的顧慮。固著汙染物可視同體外曝露輻射源，直接使用輻射偵檢儀器監測；鬆散汙染物則需要仔細的監測方法，並避免汙染擴散。

(4)廢棄物數量推估

廢棄物區分成金屬、混凝土和二次廢棄物等三類。主要由電廠的歷史資料、建廠圖面、運轉與維修紀錄來推估。金屬廢棄物主要有格架、管件與設備。管件部份運用 3D-CAD 進行統計。混凝土廢棄物部份亦運用 3D-CAD 根據建廠紀錄和設計圖面進行繪製與統計。

金屬廢棄物數量估算除了參考建廠設計圖，還建立管路設備的 3D 模型以協助估算，使用 Autodesk 公司的 3D 軟體(如圖 11)。報告中引用的案例是敦賀 (Tsuruga)電廠，敦賀 1 號機是日本第一座輕水式核能電廠，1970 年 3 月開始商轉，電力輸出 357 MW，目前正在進行除役規劃作業中。

(5)放射性廢棄物存量資料庫系統

此資料庫將儲存除役計畫所有資訊、中子活化物質和受污染物質資料，和放射性核種濃度資訊等。

簡報後，核研所任天熹博士提問所使用 3D-CAD 軟體與其他軟體的通用性，及混凝土廢棄物估算方式等技術細節(圖 12)。依其經驗，混凝土廢棄物估算方式，主要以反應器四周混凝土的體積進行估算，因為所含之鋼筋數量極少，因此全部視為混凝土進行估算。另外，由於演講者提及在最終停機前，電廠均會執行廠房的輻射特性調查，核研所林琦峰博士提問此作業的合理性(圖 13)，此問題由本屆應中日工程交流會邀請來華的山內教授回答，他說明特性調查的結果都會輸入除役資料庫，用於規劃往後的除役作業，而資料庫的內容會依年度特性調查的結果逐步更新，但事實上，電廠於後期的營運相當穩定，最終停機前數年的輻射量變化不大。台電公司張金和課長則提問(圖 14)：在中子流分佈計算中區分為 2D & 3D 的目的？規劃 30 個中子檢測點是否足夠、如何確認其具有代表性？運轉中所得中子量測值可否作為未來評估的依據？並據以規劃使用遙控切割及切割方式？第一切割公司的實際經驗認為切割最困難的部分？清水建設會社、日立公司於除役規劃中擔任的角色？經現場與會日方代表綜合答覆如下：2D 是為了確認輻射劑量值、3D 則是作為管路切割

方式、廢料量估算；30 個中子量測點係經過與原廠商之討論及經驗累積才決定，後來也證明這 30 個取樣點的代表性；停止運轉前取得的中子活化程度，可經由程式推算出未來停機後的輻射值；並做為切割方式及機具的規劃；第一切割公司在除役工作上已進行廠房水泥切割及金屬桶槽及管件的切割，所使用機具主要是鑽石鎖鏈鋸，切割前已完成除污工作及確定無輻射污染的可能性，所以在切割工作上並無困難；日立公司及清水公司則分別對參與除役規劃、化學除污、遙控機具、切割方式及與電力公司合作開發除役相關技術。

前述提問的答覆，對核一廠除役的規劃都極具參考價值。

接著由福井大學核能工程研究所柳原 敏教授報告(圖 15「A Study on Cost Estimation Methodology for Decommissioning NPPs」(見附件二)。主要內容包括：日本的除役費用估算、JPDR(Japan Power Demonstration Reactor)除役專案、除役專案參數評估之分析軟體發展、專案參數推估之資料分析。

除役計畫申請中，費用估算是必要的。除役費用由後端基金支應。除役費用估算乃參考核電廠標準除役程序、電廠除役產生的廢棄物、結構物拆除研究並隨技術發展和經濟情況每年調整。以 1100 MWe 電廠為基準，BWR 電廠除役費用約 659 億日圓(含拆除費用 498 億日圓，處置費用 161 億日圓)；PWR 電廠除役費用約 597 億日圓(含拆除費用 429 億日圓，處置費用 168 億日圓)。台電公司張金和課長提問：福井大學所建置的 COSMARD 程式主要作為估算除役費用、人力工時配置及全部工期排程，是否可提供給台電公司使用？柳原教授答稱：該程式係日本政府委託福井大學建置，於日本國內使用應無問題，但可否提供給其他國家使用，他並不知道，但是他會協助我們了解可行性。

核研所陳智隆先生提問對除役放射性廢棄物的處理標準是否依據劑量標準或有分類標準(圖 16)？柳原教授答覆乃主要根據成本考量。

原議程中之「Key issues of decommissioning」，則是開放自由討論，由與會者自行提問及答復。此議題資料如附件三所示。

2. 浜岡核能電廠

完成進入浜岡電廠前的必要安全檢查後，由清水義昭先生進行參訪行程說明(表

7)，主要包括浜岡電廠簡介、一號機與二號機除役計畫概要說明、原子力館參訪、防波堤工程參訪、緊急設施參訪等。

浜岡電廠為因應 311 事件而積極建構防止地震與海嘯災害的有關措施，防止地震災害措施包括煙囪外加結構鋼架和主要管路補強桁架(圖 17)；在預防海嘯災害方面，包括建構防海嘯堤防(圖 18)、電廠主要出入口設置防水門(圖 19)。浜岡電廠簡介資料請參考附件四。

一號機與二號機除役計畫方面：浜岡電廠目前已完成 Phase1 (Preparation Stage)，並將 1 號機與 2 號機的用過核子燃料運往 5 號機的燃料池儲存。Phase2 (Dismantling/Removal Stage for Reactor Zone Peripheral Facilities)的時間由 2013 開始至 2022 年，主要將進行反應器周邊設備的拆除作業，準備於兩年後開始進行爐心的除污作業。其中，有關反應器容器及內部組件的取樣技術及設備，目前正在研究中。反應器容器及內部組件切割工法的規劃，主要將參考國外的拆除經驗。控制棒(Control rod)是 L1 等級的廢棄物，需深埋於地面下 50 公尺深，現階段並未考慮控制棒減容的問題。除役計畫中未包括無污染的地下結構拆除，這一部分將在除役末期再予以處理。相關資料請參考附件五。

簡報完畢後與浜岡電廠所長合影(圖 20)，隨即進行廠區內現地說明，首先，至原子力館進行廠區鳥瞰地理位置說明，圖 21 為參訪人員在浜岡原子力館前合影。隨後至防海嘯堤防參觀解說(圖 22)，堤防原僅混凝土部份，因考量若同時間發生三起地震所引發的複合型海嘯，混凝土的高度可能不足，故於堤防頂部再添加近 5 m 高的鋼構牆。防海嘯堤防結構與尺寸示意如圖 23 所示。

浜岡電廠參訪過程中，核研所工程組任天熹博士、化工組陳智隆先生、保物組林琦峰博士及台電後端處張金和課長四員分別提問：浜岡電廠原有第 6 號機興建計畫，現況如何？原 1 號機的用過核子燃料自水池移至 5 號機用過核子燃料水池的程序、選用轉移所使用護箱的考量因子、如何確保溫度不會上升、花費時間？防震費用約占建造費用的百分比？除役規劃中有無興建廢棄物處理設施？預估除役所產生放射性廢棄物數量？因為福島事件，浜岡電廠現已全部停止運轉，請問員工薪資有無受影響？中部電力公司擁有核能及火力電廠，2 種不同電廠的員工薪資有無差

異？浜岡電廠新建的防海嘯牆花費約 3000 億日幣，請問有無申請提高售電電價？

浜岡電廠答覆如下：6 號機申請計畫現已完全停滯；用過核子燃料水池間轉移需考量因素甚多(台電公司如有需要，可另外詢問)；防震費用約為原來核能設施興建費用之 5%，且以追加方式辦理；因為原來廢棄物處理設施興建時即已考量較大處理餘裕容量，所以並沒有在除役計畫中有任何新建處理設施的考量；預估最後經處理過後的低放射性廢棄物的產量是原有設施的 3%，且其非常有信心達成這一目標(這一數據經過向不同接待人員以英語、日語詢問)；預計是在明(2014)年，全部員工將減薪 20%；中部電力公司員工薪資，職級相同是同一標準並沒有因為核能電廠而有額外加給(核能津貼)；預計是明年(2014)將向日本政府提出調提高電價 5%的申請。

3.東海核能電廠

東海電廠的參訪行程首先由電廠廠長松浦 豐所長接待，並由除役專案部門的奧田尚登先生及高橋賢治先生進行 Tokai-2 機組的簡介(附件六)。Tokai-2 為功率 1,100 MWe 的 BWR 型式反應器，從 1978 年 11 月 28 日開始商業運轉，是日本第一座大尺寸的反應器。經過長期運轉後，於廠內興建乾式貯存庫進行用過核子燃料的暫時貯存，乾式貯存庫採自然通風循環設計，貯存庫設計可容納 24 座貯存容器，每座貯存容器內可裝填 61 束用過核子燃料，總計可貯存約 250 t 鈾。介紹完後，便進行乾式貯存設施參觀行程，由於電廠內限制攝影，故無相關實際影像可進行說明。

乾式貯存設施參觀後，再由廠方進行 Tokai-1 的除役計畫簡介。Tokai-1 的除役主要根據廠內劑量量測與推估結果區分成非放射性區、外釋標準(Clearance Level)區、Level III、Level II 和劑量最高的 Level I，五個等級；Level I 主要為反應器爐心部份；Level II 圍爐心屏蔽、用過核子燃料池(Spent Fuel Pool)和蒸汽升壓單元(Steam Raising Unit, SRU)核心；Level III 含括蒸汽單元主體和反應器廠房輔助設備機房等部份。

Tokai-1 除役計畫劃分成三階段，第一階段(2001-2005)主要拆除盒式冷卻池(Cartridge Cooling Pond)、飼水馬達(Feed Water Pump)相關設備、鍋爐(House Boiler)相關設備、燃料吊掛設備(Charge Machine)，和汽機廠房內的設備(Equipment in

Turbine Building)。第二階段(2006-2014)主要移除燃料吊掛傳送設備(Fuel Charge Machine - Transporter)、蒸汽升壓單元(Steam Raising Unit, SRU)，和燃料裝卸區設備(Equipment from Fuel Handling Area)。第三階段(2013-2019)規劃拆除各建物內的所有設備。

Tokai-1 除設計畫簡介完後，進行 Tokai-1 除役電廠實地參訪。電廠目前正積極進行 SRU 的拆除工作。Tokai-1 的 SRU 為一大型桶槽共計有四組，SRU 桶內部有熱交換管、擋板及鋼樑等。切割方式為由下往上，在 SRU 桶頂端部署一大型起重裝置，當 SRU 桶的底部移除後，可將 SRU 桶逐步垂降，整個 SRU 桶切成九大塊(圖 24)。SRU 桶採用遙控方式切割，桶外部鋼板採用(氧-丙烷)火炬切割，火炬噴槍以機械手臂夾持(圖 25)，機械手臂則以吊掛方式沿著環型軌道移動。先在 SRU 桶外部做局部切割，切出 12 個窗口，然後以機械手臂改換成攜帶電動圓盤鋸進行內部擋板的切割。在拆除控制室中可以經由攝影機觀察切割狀況，同時電腦以 3D 模型同步顯示機械手臂移動位置，當機械手臂移動至攝影機拍攝死角時，可以輔助操作工作的進行。

最後廠方介紹敦賀(Tsuruga)電廠的除役規劃，敦賀電廠為日本第一座輕水式反應器(BWR Mark-I)電廠，於 1970 年開始運轉，預備 2016 年停機，目前正進行除役準備工作。敦賀電廠與台電核一廠具有相同的反應器，在整廠的輻射特性分類上可參考圖 26，日本的低放射性廢棄物分為 L1, L2, L3 三個類別，爐心部分屬於 L1 等級，並沒有超 C 類這個等級。敦賀電廠預備除役的切割方法(圖 27)，以反應器壓力槽 RPV 為例，將 RPV 在現場進行一次切割，切斷的環狀槽體將移往其他地點進行二次切割，目前規劃使用鋸切的方法。

東海電廠參訪過程中，核研所工程組任天熹博士、化工組陳智隆先生、保物組林琦峰博士及台電後端處張金和課長四員分別提問：除役期間員工薪水來源？福島事件後，員工薪水有無受到影響？地方回饋金有無影響？預估廢棄物產量與實際廢棄物產量是否精確？SRU 切割的經驗回饋？SRU 切割使用的機具？選用切割方式的考量？

東海電廠答覆：除役期間，東海電廠員工薪水仍是由東電支付，但是其他一切

費用(包含外包人力)都是由除役基金支付；福島事件後，為了強化安全措施電廠已停止運轉，所有員工已經減薪 5%；回饋金則仍是依照規定支付，但是因為沒有發電回饋金，所以反而有部分民眾要求電廠開始運轉發電；預估廢棄物的產量和實際廢棄物的產量很接近，但這是靠除污作業和廢棄物處理設施發揮功效；SRU 切割則是觀看切割規劃之動畫及實際切割之錄影畫面，對其事前準備完善使得模擬計畫與實際作業幾乎完全一致的結果，留下深刻印象(切割工作係由法國 CYBERNETIX 公司承攬，由一具 8 軸向機械臂進行，法方並訓練一位日籍工程師橋本先生進行現場工作)。



圖 5 浜岡電廠參訪團所有團員合照



圖 6 石川會長致詞



圖 7 朱鐵吉教授致詞



圖 8 此次交流之 ANDES 團員



圖 9 所有參訪團員參加 ANDES 技術交流



圖 10 田中先生進行簡報

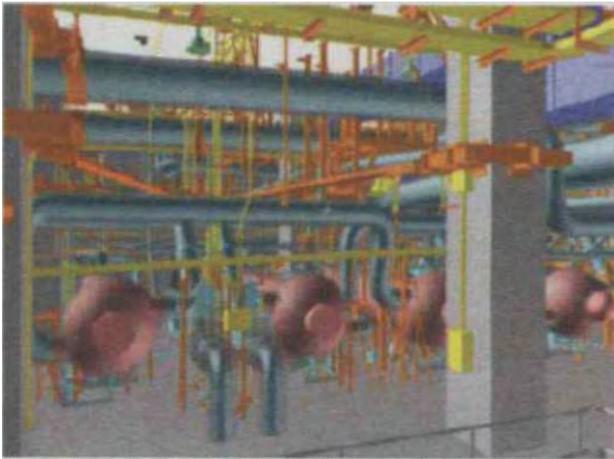


圖 11 3D 廠房及管路圖



圖 12 核研所任天熹博士提問情形



圖 13 核研所林琦峰博士提問情形



圖 14 台電張金和先生提問情形



圖 15 柳原教授進行簡報



圖 16 核研所陳智隆先生提問情形

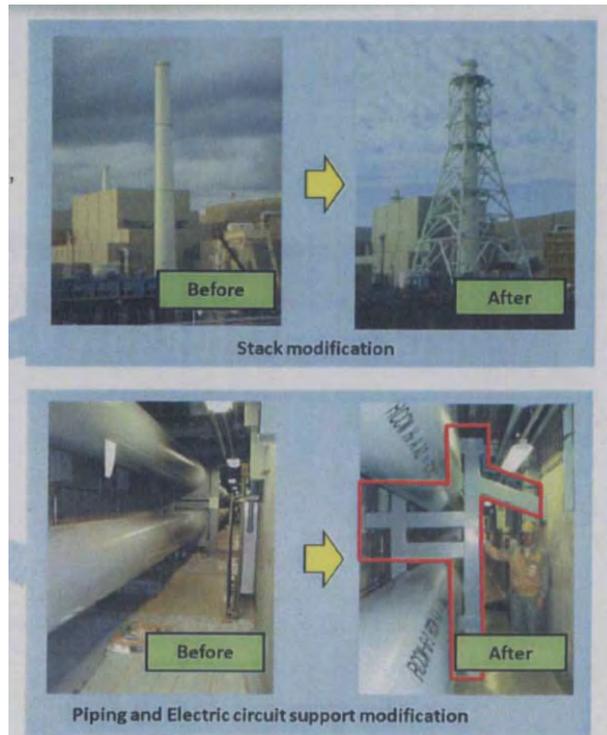


圖 17 浜岡電廠的防震補強措施

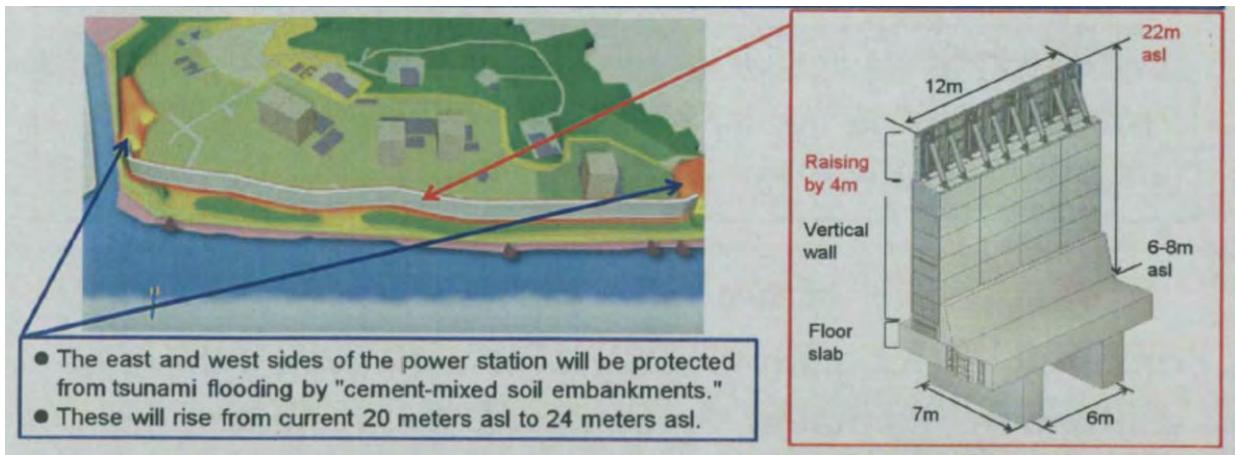


圖 18 浜岡電廠的防海嘯堤防

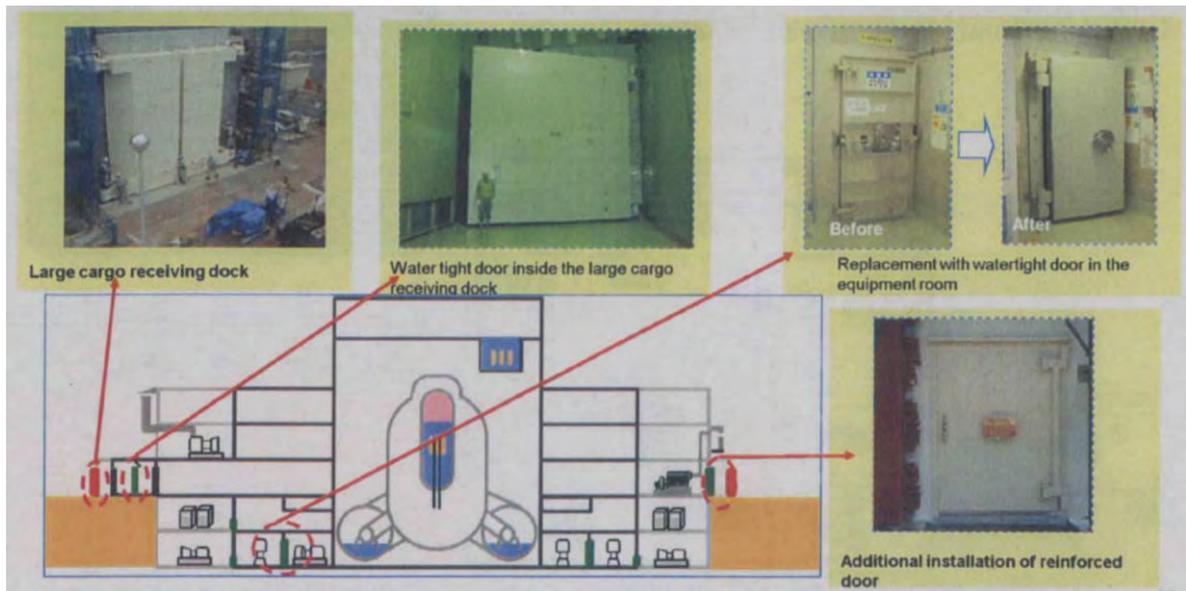


圖 19 浜岡電廠的防海嘯防水門



圖 20 參訪人員於會議室內與所長合影



圖 21 參訪人員於浜岡原子力館前合影



圖 22 參訪人員於防海嘯堤防前合影

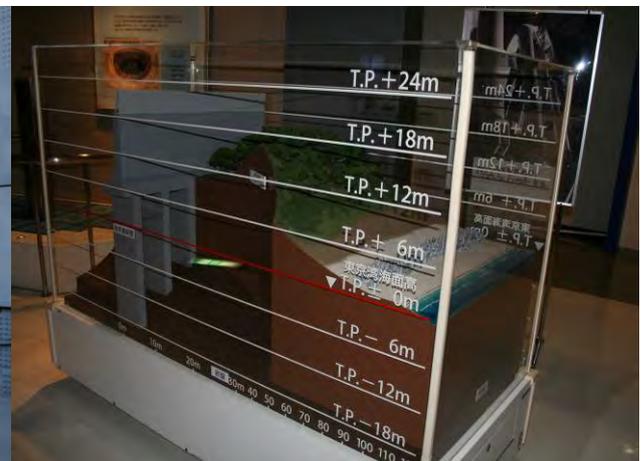


圖 23 防海嘯堤防尺寸示意圖

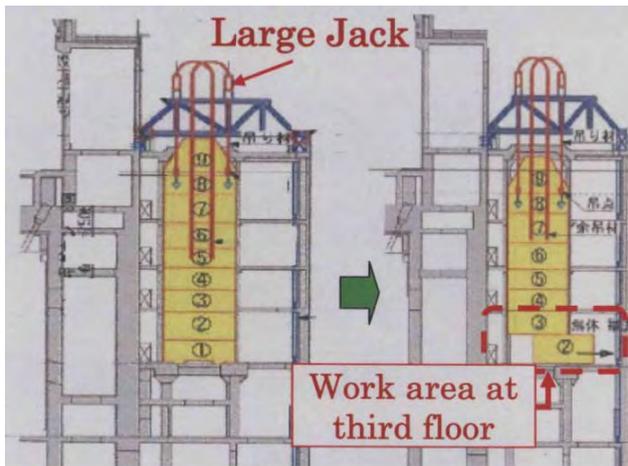


圖 24 SRU 桶拆除示意圖

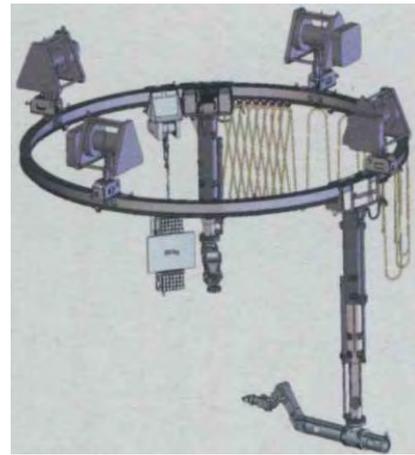


圖 25 攜帶火炬噴槍的機械手臂

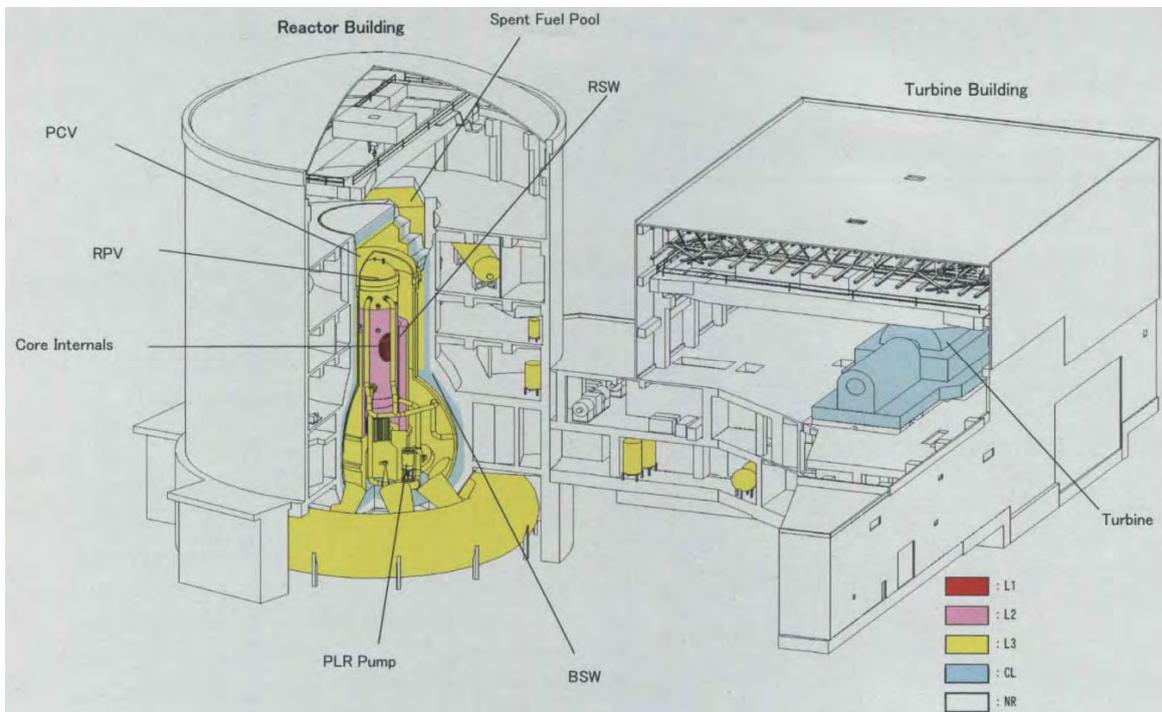


圖 26 敦賀電廠輻射特性分類

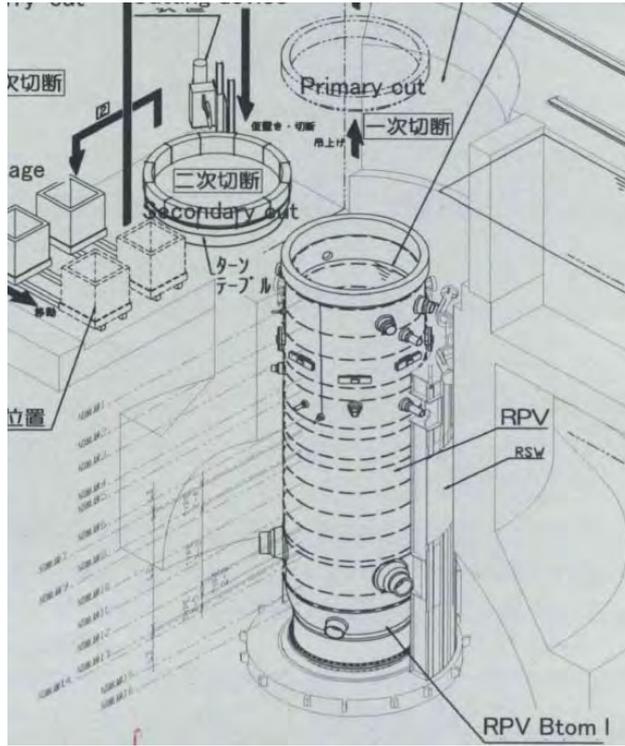


圖 27 敦賀電廠除役的切割方法

表 3 參訪團團員名冊

		單位	職稱	姓名
1	團長	核能資訊中心	董事長	朱鐵吉
2	顧問	核能資訊中心	顧問	謝牧謙
3	秘書	核能資訊中心	執行長	鍾玉娟
4	團員	清華大學核工所	所長	梁正宏
5	團員	清華大學核工所	教授	施純寬
6	團員	清華大學原科中心	博士後研究	曾永信
7	團員	核能研究所	副研究員	任天熹
8	團員	核能研究所	副工程師	陳智隆
9	團員	核能研究所	副工程師	林琦峰
10	團員	台電公司後端處	課長	張金和
11	團員	中興工程顧問(股)公司	經理	林智彭
12	團員	中興工程顧問(股)公司	工程師	許惠耀
13	團員	益鼎工程(股)公司	專案經理	吳正明
14	團員	鉸原能源股份有限公司	副總經理	孫咸仁

表 4 行程概要

時間	行程
11/11(一)	桃園-成田機場
11/12(二)	與「日本除役研究會」座談交流
11/13(三)	東京-浜岡(新幹線)
	參訪浜岡電廠
	浜岡-東京(新幹線)
11/14(四)	上野-東海(新幹線)
	參訪東海電廠
	東海-上野(新幹線)
11/15(五)	成田-桃園機場

表 5 與 ANDES 的技術交流議程



原子力デコミッションング研究会
「台湾除役訪問團」との技術交流会 PROGRAM

【日 時】平成 25 年 11 月 12 日（火）14：00－17：15（13：45 開場）

【会 場】日本原子力発電株式会社 本店 第 2・3 会議室

東京都千代田区神田美土代町 1-1

入室時連絡先：090-7249-4077（研究会事務局・長谷川／携帯電話）

【議事次第】

14：00－14：20

- <開会挨拶> 研究会事務局長 佐藤 忠道氏
- <歓迎挨拶> 研究会会長 石川 迪夫氏
- <團長挨拶> 核能資訊中心理事長 朱鐵吉氏
- <出席者紹介>

14：20－15：10

- <Presentation・I> 日本原子力発電（株）田中 健一氏
Characterization of Radioactive Inventory
 - ・放射化、汚染分布の評価手法
 - ・放射能物量評価の結果
 - ・物量管理システム
- 質疑応答

15：20－16：10

- <Presentation・II> 研究会総合主査 柳原 敏氏
A cost estimation methodology for nuclear decommissioning
廃炉コスト評価に係る方法論
 - ・我が国の廃炉コスト
 - ・コスト評価の手法
- 質疑応答

16：15－17：15

- <Free Discussion>
Key Issues of Decommissioning（テーマ提供：研究会事務局長 佐藤 忠道氏）
廃炉決定の判断、デコミのシナリオ・工程、処分場の確保、費用の確保
運転中との違い、地元との関係、国際協調、適用技術など

【歓迎 Party】17：30－20：00

【会 場】原電ビジネスサービス株式会社 1階 会議室

東京都千代田区神田小川町 1-10（日本原子力発電(株)より徒歩 5 分）

表6 與會的 ANDES 團員名冊

原子力デコミッションング研究会

「台湾デコミ訪問団との技術交流会」 参加者名簿 2013.11.12

	氏名	所属	地区
1	石川 迪夫	研究会会長	茨城
2	佐藤 忠道	〃 事務局長 原電ビジネスサービス株式会社 取締役社長	東京
3	柳原 敏	〃 総合主査 福井大学 附属国際原子力工学研究所 客員教授	福井
4	澤田 承三	〃 主査 有限会社トランス 取締役社長	千葉
5	山内 豊明	〃 運営委員 日本原子力発電株式会社 廃止措置プロジェクト推進室 室長代理	東京
6	田中 健一	(発表I担当) 日本原子力発電株式会社 廃止措置プロジェクト推進室 課長 *	東京
7	澁谷 進	研究会主査 (公財)原子力バックエンド推進センター 専務理事	東京
8	鳥居 和敬	〃 主査 清水建設株式会社 原子力・火力本部 計画部 副部長	東京
9	中村 進	〃 技術顧問 (財)エネルギー総合工学研究所 原子力工学センター 特別嘱託研究員	東京
10	紺谷 修	〃 監事 鹿島建設株式会社 原子力部 原子力設計室 部長 *	東京
11	岩田 圭司	(株)IHI 原子力セクター 原子力プラント技術部 課長代理	神奈川
12	渥美 綱介	(株)大林組 技術本部 原子力本部 原子力部 工事計画課	東京
13	高杉 浩	第一カッター興業(株) プラント事業部 電力営業部 部長	神奈川
14	須山 尚貴	太平電業(株) 工事本部 工事企画室 *	東京
15	松下 正吾	日本エヌ・ユー・エス(株) エネルギー技術ユニット	東京
16	小島 亨司	日立GEニュークリア・エナジー(株) 原子力予防保全技術部 プロジェクト管理Gr.	茨城
17	長谷川 芳子	研究会事務局	東京

(敬称略・会社名五十音順)

(*印:技術交流会のみ出席)

表 7 浜岡電廠參訪行程

13:00-14:00	Briefing of Unit-1,2 decommissioning
14:00-14:30	Briefing of Hamaoka NPS
14:30-15:00	Exhibition center
15:00-15:30	Construction site of Tsunami protection wall
15:30-16:00	Unit 3 - Countermeasures for Tsunami
16:00-16:20	Construction site at high level of the ground etc
16:20-16:40	Emergency Response Center
16:40-17:00	Questions and Answers

三、心得

- (一)浜岡電廠目前的重點工作在於海嘯防治，電廠除役工作已完成一、二號機的用過燃料棒移至乾式貯存設施或是移到其他機組的水池，但是燃料移除作業已可供位台電公司的參考及學習，此外除役的規劃工作也如同核一廠一般正在進行中，因此，對浜岡電廠的除役進度可採持續觀察方式並可與核一廠同步進行比較。
- (二)東海電廠如 SRU 大型桶槽的遙控切割方式、設備及經驗，具有參考價值，可供我國規劃除役工作時類似的桶槽除役工作的借鏡；此外水泥廠房的切割則與核研所的經驗類似，足證核研所之經驗及實績已達國際水準。
- (三)東海電廠除役廢棄物的處理作業，仍運用現有的處理中心，並將處理後的廢棄物暫時貯存於廠內現有貯存倉庫內，待六所村的低放射性廢棄物最終處置場可接收除役廢棄物後，再行運送處置。由於我國尚無低放射性廢棄物最終處置場，未來規劃核一廠除役時所產生低放射性廢棄物暫貯廠房，也可以借鏡東海電廠除役經驗。
- (四)我國首次進行商用核能電廠除役規劃，藉由資料研閱、資訊蒐集及參訪美國電廠之經驗，再驗證於本次日本電廠之參訪，都顯示我國除役規劃之方向正確，即是首先必須有完整的現場資料蒐集(包含 SSCs 的尺寸、輻射量…等)、接著進行大方向時程的檢查點規畫(如用過核子燃料移除、放射性廢棄物處理設施興建…等)。當停止運轉後，就必須依照計畫行程進行，首先進行除污工作，以減少所有工作人員暴露劑量，接續才進行後續工作。

四、建議事項

- (一)本次參訪行程中，在 11 月 12 日及 11 月 13 日的日方簡報內皆提及敦賀電廠，此次行程並未拜訪該電廠，但由簡報資料中顯示，敦賀電廠的除役準備工作內容甚為豐富，建議本計畫可將敦賀電廠的除役計畫列為日後資料收集的目標。
- (二)東海電廠一號機的除役工作中，將除役完成後的汽機廠房作為除役工作所需物料的暫時儲存區；敦賀電廠的除役規劃工作中，亦規劃將除役完成後的汽機廠房作為除役廢棄物的暫時貯存庫；汽機廠房在除役進程的暫時用途，可作為我國核一廠除役計畫規劃的參考。
- (三)無論是浜岡電廠、東海電廠或敦賀電廠的除役規劃，皆僅著重於拆除程序與拆除工法，甚少考量除役後放射性廢棄物的處理與貯存問題，此部份將影響除役工作的進程規劃，建議本計畫應多加注意其他除役電廠在這方面的規劃方式。
- (四)東海電廠將低於外釋標準的金屬廢棄物重新鍊製成休閒桌椅，將混凝土塊重新製作成鋪面磚，此類產品皆提供電廠其他單位使用或開放附近機關或民眾申請領用，此作法可提供核一廠除役計畫之廢棄物再利用參考。
- (五)本次行程中對福井大學所建置的 COSMARD 程式非常有興趣(依其簡報，主要作為估算除役費用、人力工時配置及全部工期排程…等)，將持續向柳原 敏教授及山內豐明教授保持連續並請教，如有可能亦將透過日本原子力發電環境整備機構 (Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO)洽詢。

五、 參考文獻

附件一： Characterization of Radioactive Inventory

附件二： A Study on Cost Estimation Methodology for Decommissioning NPPs

附件三： Key issues of decommissioning

附件四： Overview of Hamaoka NPPs

附件五： Decommissioning Plan for Hamaoka Nuclear Power Station Unit 1 and Unit 2

附件六： Tokai 2 Nuclear Power Station

附件七： Present Status of Tokai-1 Decommissioning Project