

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 )

參加第十八屆台日核能安全研討會

服務機關：原子能委員會 輻射偵測中心

出國人 職 稱：簡任十職等技正

姓 名：陳清江

出國地區：日本

出國期間：92年12月7日至92年12月13日

報告日期：93年3月5日

# 目 次

摘 要	(頁碼)
一、目 的 . . . . .	1
二、過 程 . . . . .	2
三、心 得 . . . . .	3
四、建 議 . . . . .	42
五、附 錄 . . . . .	43

## 摘 要

本次公差目的可分成 1.參加第十八屆台日核能安全研討會，2.參訪日本核燃料公司的六個所村核燃料循環設施及 3.參訪中部電力公司浜岡核能電廠五號機新建工程等三部分：

### 一、第十八屆台日核能安全研討會部分

本屆台日核能安全研討會係由日本原子力產業會議 (JAIF)、中華核能學會及亞太科學技術協會共同主辦，假東京灣區竹芝飯店舉行，日方由東北電力公司常董齋藤恆夫領隊，我國由原能會歐陽敏盛主任委員率團參與，研討內容分為核能電廠建廠維修及安全營運、公眾關係、輻射安全與緊急應變、放射性廢棄物管理及公司治理等五項主題，宣讀論文方面為日本 11 篇，我國 13 篇。

### 二、參訪六個所村核燃料循環設施部分

六個所村園區位於本州，離東京約六百公里的最北方青森縣下北半島南部，由日本核燃料公司 (JNFL) 所籌建與運作，目前園區設置與規劃的核燃料循環設施有鈾濃縮廠、用過燃料接收與貯存設施、用過燃料再處理廠、混合氧化物燃料製造廠、玻璃固化廢棄物貯存中心及低放射性廢棄物處置中心，此次參訪的設施包含低放處置中心、用過燃料再處理廠、玻璃固化高放射性廢棄物貯存中心與六個所村公眾關係中心。

### 三、中部電力公司浜岡核能電廠五號機新建工程部分

浜岡核能電廠位於靜岡縣掛川市，此次參訪建造中的五號機組為容量為 1,380MW 進步型沸水式反應器 (ABWR)，與我國興建中的核四廠相當，1999 年 3 月開始建造，目前進度 90.4%，預定 2005 年 1 月開始商業運轉。浜岡五號機的主要特徵包括大畫面顯示幕的主控制室、鋼筋混凝土製反應器圍阻體、反應器內藏型再循環泵及改良型控制棒驅動機制，同時利用 3D-CAD 進行設計與設備配置，並以模組化建造法，大部分組件在廠外組裝好後載運到廠內安裝，大大縮短建廠時程。

## 一、目的

「台日核能安全研討會」為促進中日兩國長期核能合作與技術交流的主要管道之一，每年輪流由中、日雙方主辦，針對多個不同議題進行深度探討。本次研討會為第十八屆，由日本東北電力公司主辦，於 92 年 12 月 10~11 日兩天假東京灣區竹芝飯店舉行，共發表二十四篇研究論文，其中日方十一篇，我方十三篇，內容包含核能電廠建廠維修及安全營運、公眾關係、輻射安全與緊急應變、放射性廢棄物管理、及公司治理等五項主題。

我國代表團並於研討會前分成 A、B 兩團，其中 A 團 8 人由行政院原子能委員會歐陽敏盛主任委員率團參訪柏崎刈羽核能電廠六、七號機組，B 團 18 人由行政院原子能委員會核能研究所楊昭義所長與放射性物料管理局楊清田局長共同率團前往青森縣三沢市，參訪日本核燃料公司的六個所村核燃料循環相關設施；此外，我國代表團在研討會之後，由行政院原子能委員會歐陽敏盛主任委員率代表團前往靜岡縣掛川市，參訪中部電力公司浜岡核能電廠五號機組新建工程。

※註：本報告撰寫人陳清江參與 B 團參訪行程。

## 二、過程

第一天，92年12月7日（週日）：

自小港機場搭機在中正機場轉機赴日本東京。

第二天，92年12月8日（週一）：

自東京搭機赴青森縣三沢市，隨即搭車前往日本核燃料公司（**Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL**）六個所村（**Rokkasho Village**）再處理辦公大樓拜會與簡報，之後參訪的核燃料循環設施包含低放射性廢棄物處置中心（**low-level radioactive waste disposal center**）、用過燃料再處置廠（**spent fuel reprocessing plant**）及玻璃固化廢棄物貯存中心（**vitrified Waste Storage Center**）等。

第三天，92年12月9日（週二）：

上午參訪日本核燃料公司六個所村公眾關係中心（**public relation center**），下午自三沢市搭機返回東京。

第四～五天，92年12月10~11日（週三、四）：

在東京灣區竹芝飯店參與 台日核能安全技術研討會。

第六天，92年12月12日（週五）：

自東京搭火車前往靜岡縣掛川市，隨即搭車前往中部電力公司浜岡核能電廠拜會廠方主管與簡報後，之後參訪興建中的五號機（**1380 MW ABWR**）建廠工程，傍晚自掛川市搭火車回東京。

第七天，92年12月13日（週六）：

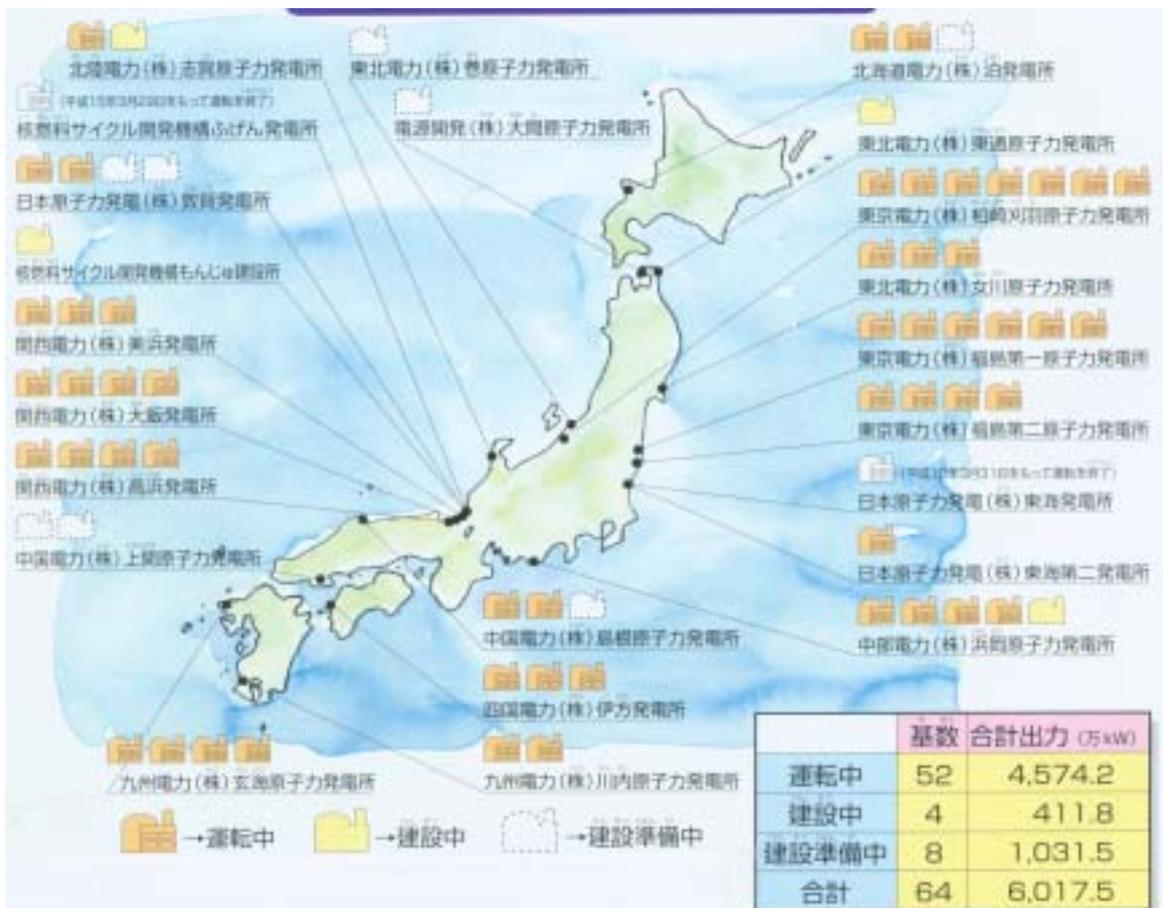
自東京搭機返國。

### 三、心得

#### (一) 日本核能發電概況

日本的能源有 81% 靠進口，包含石油 52%、煤 17%、天然氣 12%，其餘 19% 為自產，包含核能 13%、水力 4%、其他 2%；發電比率方面，核能 31.2%，天然氣 26.6%，煤 22.2%，石油 10.2%，水力 9.0%，地熱 0.4%，新能源 0.4%。最值得注意的是日本將核能發電視為自產能源，其意義是採取封閉式的自主核能政策，建立完整的核燃料循環體系，發電後的用過核燃料未當作廢棄物處置，而是進行再處理以回收其中的鈾與鈾，製成鈾與鈾氧化物混合燃料（MOX fuel），繼續提供發電使用。

日本目前共有 52 部核能發電機組（共 45,742 MW）在運轉中，4 部機組（共 4,118 MW）建造中，另有 8 部機組（共 10,315 MW）在籌劃中，以上總計共 20 座核電廠，64 部機組，合計發電容量 60,175 MW，電廠位置如圖一所示，核能發電量居世界第三位（第一美國，第二法國）。



圖一、日本核能電廠位置

## (二) 第十八屆台日核能安全研討會部分

本屆台日核安研討會於 92 年 12 月 10、11 日兩天在東京灣區竹芝飯店舉行，由日本原子力產業會議(JAIF)、中華核能學會及亞太科學技術協會共同主辦，會議由東芝電力社長庭野征夫主持，日方由東北電力公司常董齋藤恆夫領隊約五十餘人參加，我國由原能會歐陽敏盛主任委員率團共 27 人參與，總共宣讀論文為日本 11 篇，我國 13 篇，研討內容分為核能電廠建廠維修及安全營運、公眾關係、輻射安全與緊急應變、放射性廢棄物管理、及特別議題－公司治理等五項主題，議程如表一所示。

表一、第十八屆台日核能安全研討會議程

12 月 10 日 (三)	9:00~	報到註冊
	9:30 ~ 11:00	開幕式 主辦單位致詞：日本原子力產業會議 特別講演：籌備會齋藤主委、台灣代表團歐陽主委
	11:00 ~ 12:00	議題 1：「核能電廠建廠維修及安全營運」(前半)
	12:00 ~ 14:00	休息
	14:00 ~ 15:40	議題 2：「核能電廠建廠維修及安全營運」(後半)
	15:40 ~ 16:10	休息
	16:10 ~ 17:50	議題 2：「公眾溝通」
	18:00 ~ 20:00	晚宴
	12 月 11 日 (四)	9:30 ~ 12:00
12:00 ~ 13:30		休息
13:30 ~ 16:00		議題 4：「放射性廢棄物管理」
16:00 ~ 16:15		休息
16:15 ~ 17:30		特別議題：「公司治理」
17:30		閉幕式

會議於東芝電力社長庭野征夫致詞後開幕，籌備會主任委員東北電力公司常董齋藤恆夫(圖二)以「日本與台灣同為島國，能源有關情況相近」，強調兩國專家交換意見特別具有意義。我國代表團團長行政院原子能委員會歐陽敏盛主委(圖三)在致詞時稱研討會前(92年12月8日)訪問東京電力公司柏

崎刈羽核能電廠，誇讚日本電廠良好管理和運轉，值得我國方面多加學習。

接著，齋藤恒夫常董和歐陽敏盛主委分別作專題演講。齋藤常董以「日本核能發電的現狀與課題」為講題，從能源的安定確保和二氧化碳溫室效應的抑制，說明核能發電的必要性。日本運轉中的核電機組有 52 座，世界排名第三，約佔全國發電量的三成。由於受到世界上部分國家反核、禁核及日本國內曾發生數次輕微意外事件之影響，如何強化安全體制及恢復國民對核電的信心成爲重要課題，同時對於電力自由化和日本核燃料循環的現狀也做了進一步的說明，並強調資訊公開化和透明化，落實技術安全，才能贏取社會的安心。

我國原能會歐陽主委以「台灣的核能利用和管制現況」爲題，表示了「台灣能源的 97% 靠進口，台灣的反核能政策不致於對核四廠的建設造成影響」之看法。台灣在近兩年通過了輻射防護法、放射性物料管理法及反應器設施管理法等的相關法案；此外，核能電廠緊急應變法及低放射性廢棄物處置場選定條例也在立法院審議之中，預計很快將會通過立法程序。（註：核能電廠緊急應變法已於 92 年 12 月 24 日通過）

關於台灣的核能發電狀況，歐陽主委強調 2002 年的設備利用率達到 87%，接近美國的平均利用率，預定以外的緊急停機爲零，低放射性廢棄物發生量也因廢棄物管理與固化技術的進步，減少到 70 年代初期最多數量的 1% 左右。

建設中的龍門核能電廠(ABWR)，因發現爐底座的基礎工程部份使用不符規格的鉚料等缺失，原子能委員會立即派員駐廠監督，強化檢查工作及矯正缺失。同時在進行改善工程時還邀請了擁有柏崎刈羽六、七號機經驗的日本發電設備技術檢查協會及美國核能管制委員會的專家前來協助。



圖三、原能會主委歐陽敏盛致詞▶

◀圖二、東北電力公司常董  
齋藤恒夫致詞



研討會的兩天議程，除上述之特別演講外，與會代表依序針對(i)核能電廠建廠維修及安全營運；(ii)公眾溝通；(iii)輻射安全與緊急應變；(iv)放射性廢棄物管理及(v)特別議題：公司治理共五項議題，每項議題台日各排一人擔任聯合主席，進行論文發表及討論。發表篇數為日本 11 篇及台灣 13 篇，研討會語言採中、日語同步口譯。

## 1. 核能電廠建廠維修及安全營運方面

研討項目日方提出包含簡介目前正在興建的中部電力公司浜岡電廠五號機組狀況、600 合金腐蝕龜裂老化引起的維修技術、低碳鋼應力腐蝕與反應器內部組件的維修技術等，其中浜岡五號機採用大畫面顯示幕的主控制室、鋼筋混凝土製反應器圍阻體、反應器內藏型再循環泵、改良型控制棒驅動機制與高效率渦輪葉片等新設計，同時採用 3D-CAD 進行設計與設備配置，並以模組式化建造方法，大部分組件在廠外組裝好之後載運到場內安裝，大大減少建廠時程。我方提出有壓水式反應器爐蓋穿越管檢查技術、壓水式反應器水位控制性能之進步型控制架構研發等，另外在台電核四廠建造品質提昇計畫方面，所採取的措施包含品質督導會報、對廠商進行工程品質作業講習、建廠作業強化（含文件審查、製造廠商資格審查與廠商品保等）、核安文化的落實等。

## 2. 公眾關係方面

本議題為歷屆研討會中所沒有的議題，可說是本屆研討會特色之一，其主要探討如何與民眾進行溝通與宣導，以達到居民信賴與認同。有四篇發表，包含日本核燃料公司透過資訊的公開化透明化，獲取核設施周邊居民信任的成功經驗；國內透過教育體系進行後端營運管理之公眾溝通架構建立的經驗，及我國一般民眾對處置場址選擇接受度初步分析，在沉默的多數敵不過反對的少數之下，面臨有諸多困難與挑戰等。就實務觀點而言，國內在與民眾進行溝通與宣導的努力上仍偏屬學理上的教導，而缺乏像日方以恆心、耐心與關懷心以柔性化解民眾的不安與焦慮，相信經過本次議題的討論後，國人在此方面的發展仍有進步空間與努力方向。

其中日本核燃料公司宣導溝通室伊藤誠部長的「原燃循環設施營運與居民溝通經驗」和東北電力女川電廠本田一明副所長的「核能發電公關活動的現狀及成果」，頗值得我國核電廠和核設施有關方面參考。就如何做好公眾溝通與核

電宣導方面摘要出以下數點：

### 2.1 設置公眾關係中心 (public relations center, PR center)

如日本核燃料公司與東北電力等公司都設置有公眾關係中心 (PR center)，並利用報章、雜誌、廣播、電視和網路等媒體宣揚其目的、政策以獲得有利輿論之活動。

### 2.2 卡通圖案的代言人

如日本核燃料公司和中部電力兩企業分別以卡通圖案的人物作為代言人，如日本核燃料公司的萬能君(為青蛙之意)及中部電力公司的悠悠，擔任介紹、說明、導覽等角色，以活潑、生動、親切的外形，代替官員或科技人的刻板印象，比較容易引起人們(特別是青少年)共鳴。

### 2.3 資訊公開化及透明化

電廠或設施運轉狀況、定期檢查、事件處理經過、周邊環境之輻射和氣象監測數據等資訊，隨時透過公司網頁及時公開給社會大眾，及傳送至周邊市政府大廳或周邊道路的顯示幕公佈，達到資訊公開化及透明化之目的，讓附近社區和居民有信心，認同其做法。

### 2.4 場址植栽綠化

有計畫的階段性植被，著重環保，使廠區綠意盎然。

### 2.5 僱用當地居民

例如日本核燃料公司六個所村核燃料循環施設僱用當地居民近半，同時開放工程給當地承包商，提高當地居民就業機會，使公司企業與地方形成命運共同體。

### 2.6 隨時與意見領袖及居民雙向溝通。

### 2.7 積極參與社區文化活動及舉辦研習會。

## 3. 輻射安全及緊急應變方面

本議題受到日方高度關切，起因於日本自 1999 年東海村 (JCO) 臨界意外事故後，重新探討其緊急應變體系架構與相關法案，發表的議題包括以東海村臨界事故為範例，從人員劑量估算 (如利用人體中  $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$  評估中子劑量及染色體變異) 到醫療處理計畫，說明日本如何運作區域性輻射傷害醫療網絡與核子事故緊急應變；我方發表台灣緊急應變劑量評估程式擴增即時化風場預報之發展，結合中央氣象局的數值預報模式，使電廠風場資料將具備客觀化、

自動化與擬真化，提昇劑量評估準確度；台灣環境輻射監測之管制現況，現正結合最新科技的發展，如區域網路連線(LAN)、全球衛星定位系統(GPS)與個人數位助理(PDA)等應用於環境直接輻射監測系統；蘭嶼貯存場之環境輻射監測，結果顯示貯存場並未對當地環境輻射造成衝擊。針對此議題詳細說明如下：

### 3.1 法律層面分析

1961 年日本訂定緊急應變基本法 ( Basic Law on Emergency Preparedness )，其涵蓋一般災害而並未將核子事故特別立法，但從 JCO 事件處理經驗中，日本政府瞭解核子事故災害與一般災害不同，須動員多層面組織與具備專業知識，特於 2000 年頒布核子事故災害緊急應變特別法 ( Special Law of Emergency Preparedness for Nuclear Disasters )，將其與一般重大意外事故災害處理法分開處理。而我國核子事故緊急應變法已於 92 年 12 月 24 日由總統公布完成立法，其中詳細規範我國緊急應變體系以及業者職責與義務，而未來亦須依該法訂定相關子法，包含：

- (i) 核子事故緊急應變基金收支保管及運用辦法 (立法院訂定)；
- (ii) 熱功率一定限量以下之研究用核子反應器設施緊急應變管制辦法 (原能會訂定)；
- (iii) 不適用本法之研究用核子反應器設施熱功率限量值 (原能會訂定)；
- (iv) 核子事故分類及通報應變規定 (原能會訂定)；
- (v) 核子事故中央災害應變中心作業要點 (原能會訂定)；
- (vi) 緊急應變基本計畫 (原能會訂定)；
- (vii) 核子事故民眾防護行動規範 (原能會訂定)；
- (viii) 核子反應器設施周圍緊急應變計畫區劃定規定 (原能會訂定)；
- (ix) 核子事故復原措施推動委員會作業要點 (原能會訂定)；
- (x) 核子事故緊急應變法施行細則 (原能會訂定)；
- (xi) 核子事故支援中心作業要點 (國防部訂定)；
- (xii) 核子事故地方災害應變中心作業要點 (地方政府訂定)；
- (xiii) 核子事故區域民眾防護應變計畫 (地方政府訂定)；
- (xiv) 核子事故緊急應變專責單位設立及設施內緊急應變組織作業要點 (核子反應器設施經營者訂定)；
- (xv) 核子反應器設施緊急應變計畫 (核子反應器設施經營者訂定)。

### 3.2 緊急應變體系架構分析

日本在 JCO 事件之前，各核電廠核子事故緊急應變由業者與當地縣政府負責，問題反應在 JCO 事件上包括地方政府權限與資源不足，無法針對事故應變進行全面掌控與指揮，如對東海村居民下達疏散之防護措施與協調大眾公共運輸工具等事宜。所以在 JCO 事件後，日本政府將緊急應變體系位階提高至首相，體系架構組織有中央政府、自衛隊、地方政府與電廠業者，並在全國依據電廠分佈設置場區外中心（off-site center），共計有 21 處，耗資經費為 270 億日圓。

在我國核子事故緊急應變法規範，由主管機關成立核子事故中央災害應變中心及輻射監測中心，前者統籌督導應變措施之執行，後者進行輻射監測與影響評估以提供中央災害應變中心之技術支援；事故電廠所在之地方政府則應成立核子事故地方災害應變中心，負責執行民眾掩蔽、疏散、收容與暫時移居等輻射防護措施；而國防部則成立核子事故支援中心，以負責輻射污染清除與協助地方政府執行民眾輻射防護措施；業者（台電公司）亦需成立緊急應變組織，專責事故狀況控制、分析與評估及應變處理。另外亦規範中央主管機關應定期擇一緊急應變計畫區辦理演習，除加強各單位的連繫與互動外，亦可透過由上而下的組織分工觀念，以期國內在萬一核子事故發生時，能有條不紊地執行相關應變措施，減低社會大眾的恐慌與生命財產損失。

### 3.3 緊急應變醫療體系分析

日本在處理輻射傷害醫療與研究的成效一直良好，並建立區域緊急醫療網絡（Regional Emergency Medical Network），而在 JCO 事件發生時醫療網絡也迅速發揮功能，在本次討論會上日方分享 JCO 事件中受傷工作人員的醫療處理過程之經驗。而我國分別在台灣北部與南部醫院成立輻射防治中心，以負責國內輻射傷害之醫療。

由上述可以瞭解日本在 JCO 事件後體制上的改善，發現與我國體制有相似之處，也許我國緊急應變體系並非最完善，但日本 JCO 事件讓我們注入強心針，除此之外，我國主管機關亦完成核子事故緊急應變法的制訂與公布，朝向法源化與制度化，日後亦仍須加強與國際交流，以強化緊急應變體系，保障國人核能安全。

## 4. 放射性廢棄物管理方面

研討議題包含日本高放處置場調查場址正進行公開招募中，希望兩年內有地方政府自願報名，以期能在 2007 年選出初步的調查區域；我國原能會物料管理局對國內三座低放射性廢棄物焚化管制經驗；台電用過核燃料中期貯存與最終處置計畫現況介紹；天然類比在放射性廢棄物地質處置概念的應用；以及核能研究所代表以「低放射性廢棄物核種資料庫之建立」為題，報告了近數年接受台電公司後端處委託「建立低放射性廢棄物核種資料庫及分類(執行期第一階段)」計畫之初步研究成果。

日方兩位與會者曾對低放射性廢棄物產生設施之不同廢棄物源特有的比例因數關係提出問題及看法，日方專家表示「不同電廠的不同廢棄物源應有其特有的比例因數關係」，而「日本的做法是這些比例因數關係應在放射性廢棄物送至最終處置場之運出電廠前，即應確立且完成廢棄物分類， $\gamma$ 核種分析也是採整桶量測的方式而難測 TRU  $\alpha$ 、 $\beta$ 核種也是採實驗室放化分析」。核研所代表回答：「蘭嶼貯存場現有近 10 萬桶廢棄物是當初法規還未週全的情況下，每桶廢棄物桶只記載  $\gamma$ 核種活度及桶身劑量率，但非最終處置而只是暫貯。補充規定和新修法規頒布後，才成立計畫重新建立這 10 萬桶的完整資料庫，依廢棄物源選取代表桶，補測法規要求各核種(包括主要  $\gamma$ 核種和難測 TRU  $\alpha$ 、 $\beta$ 核種)的活度，確立各不同廢料源的關鍵  $\gamma$ 核種( $^{60}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )與上述難測核種之間的比例因數關係，然後按照法規所訂方法分類成 A、B、C 和超 C 等四類，以作為日後最終處置之依據。目前各電廠均已按照新修法規先在廠內分類」，表示兩國的做法基本上沒有不同，看法也一致，並在會後又進一步交換意見。

在日本，一般放射性廢棄物分成從核電廠等核設施產生的「低放射性廢棄物」與從再處理設施分離用過核燃料產生的「高放射性廢棄物」兩大類，如表二所示。

表二、日本放射性廢棄物分類

發生場所	種類		
核能電廠	低 放 射 性 廢 棄 物	電 廠 廢 棄 物	放射性活度濃度極低的廢棄物
			放射性活度濃度較低的廢棄物
			放射性活度濃度較高的廢棄物
鈾濃縮廠	低 放 射 性 廢 棄 物	鈾廢棄物	
MOX 燃料製造廠		含超鈾核種的放射性廢棄物	

我國的放射性廢棄物分類則是參考美國核管會（NRC）的 10 CFR Part 61.55，也是分成低放射性廢棄物和高放射性廢棄物兩類，但因我國的用過燃料不實施再處理，所以並無高放射性廢棄物。然而低放射性廢棄物又依據法規規定的放射性核種半衰期和活度，再分成 A、B、C 和超 C 四類（如表三所示），處置方式也不相同。

表三、我國低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則(2003 年 9 月 10 日)

廢棄物分類*	核種濃度	最終處置要求
A 類	核種濃度低於（含）附表一濃度值之十分之一倍及低於（含）附表二第一行之濃度值者；或所含核種均未列入附表一及附表二者**。	無須安定化處理，應符合本規則第五條規定之廢棄物品質規範。
B 類	核種濃度高於附表二第一行之濃度值且低於（含）第二行之濃度值者。	應予以固化包裝，其廢棄物經均勻固化後應符合本規則第六條規定之固化體品質規範。
C 類	核種濃度高於附表一濃度值十分之一倍且低於（含）附表一之濃度值者；或高於附表二第二行之濃度值且低於（含）第三行之濃度值者。	應予以固化包裝，其廢棄物除應符合本規則第五條和第六條之規定外，還應加強處置區之工程設計，以保障監管後誤入者之安全。
超 C 類	核種濃度高於附表一之濃度值者；或高於附表二第三行之濃度值者。	非經主機關核准，不得於低放處置設施進行處置即不得採取淺地層處置。

\* 10 CFR Part 61.55, "Waste Classification" (1982).

\*\* 附表一和二規定核種濃度請參照原法規。

## 5. 公司治理方面

在核能安全與公司治理（corporate governance）上，必須謹記過去的教訓與具備風險觀念，企業的管理靠人，人的觀念會影響到安全管理，人與人之間的關係是經營者的義務，雖然，過去核能的安全指數比其他產業高，然而核電

部門的故步自封，和非核能部門缺乏聯繫，造成獨斷自認不會犯錯的不正當想法等缺點，因此務實地公司治理，以建立安全文化仍是核電公司當務之急。

日本原子力產業會議專務理事宅間正夫在公司治理方面指出，公司治理有所有者（股東）、經營者和利害關係者三種模式。電力公司像是公用事業機構而不像一般的營利公司，屬於利害關係者模式，包括股東、投資人、用戶、顧客、居民、員工及政府管制者。關於電力公司的公司治理，其服務區域內的所有人基本上都是他的顧客，負有社會責任。因此，不能過度追求利潤，否則公司倫理、組織都會受到破壞，損害利害關係人的利益。例如東京電力曾發生竄改維修記錄的事情，雖未造成公司安全上的問題，但公司形象無疑受損。同時人才培養、工作人員充分發揮及健全人際關係也很重要。

電力中央研究所上級研究員高野研一在安全文化形成及工作場所安全診斷方面指出，日本多種工業過去曾發生過數起組織意外事件，諸如東海村臨界事故、雪印乳品中毒及三菱馬達的案件。這些意外基本上似乎都是因為組織缺陷和管理問題所引起的。雖然這些意外是因不可靠的行動、錯誤的行為或人為失誤所觸發，引爆點本身則是由於組織管理措施漸趨鬆散，不完善且無效的監督系統，以及不良的工作場所風氣(環境)而增加了意外的可能性。

經檢討發現這些意外都有數個共通的因素，諸如企業狀況不佳、法規和程序的屢不遵守、設施不足、經常的時間壓力、狀況的不實查核、過去成功經驗的不當回饋、雇工的辯護(抗拒)心態及不良的溝通。經常的組織意外促使工業採取行動，以確保組織內的安全文化。但仍須監督安全文化的水準，並將此監督結果結合至實際且有效的方法，以確保組織內的安全文化並維持在高水準。

過去五年，電中所已進行了多種工業包括核能工業、建築工業、化學/紡織工業及製造工業的問卷調查。他們發現組織因素必然影響雇工的安全認知和團隊的安全活動。除此，這些調查揭示了重要的含意，諸如參與安全活動、整個體系以及同事之間主動溝通、最高級管理的約定及激發維護安全之重要性。此一重要問題也在代表「安全公司」的並行調查中指出。

考慮到以上的發現，電中所發起計畫，發展出一種能度量和評估組織諸如工廠或工場的安全水準之「安全評估系統」，以便找出適當的修正措施，來彌補先前安全方面的缺點。根據調查結果，檢討「安全評估系統」的有效性和應用性，包括核能工業中的 14 家工廠。研究指出：(1)人的觀念和行為是影響安全的重要因素，及(2)綜合安全係數與勞動災害發生率的相關分析，如果相關係

數在 0.5~0.6 都算是高的，核能發電在各行業中算是安全的。

### （三）參訪日本核燃料公司六個所村核燃料循環設施部分

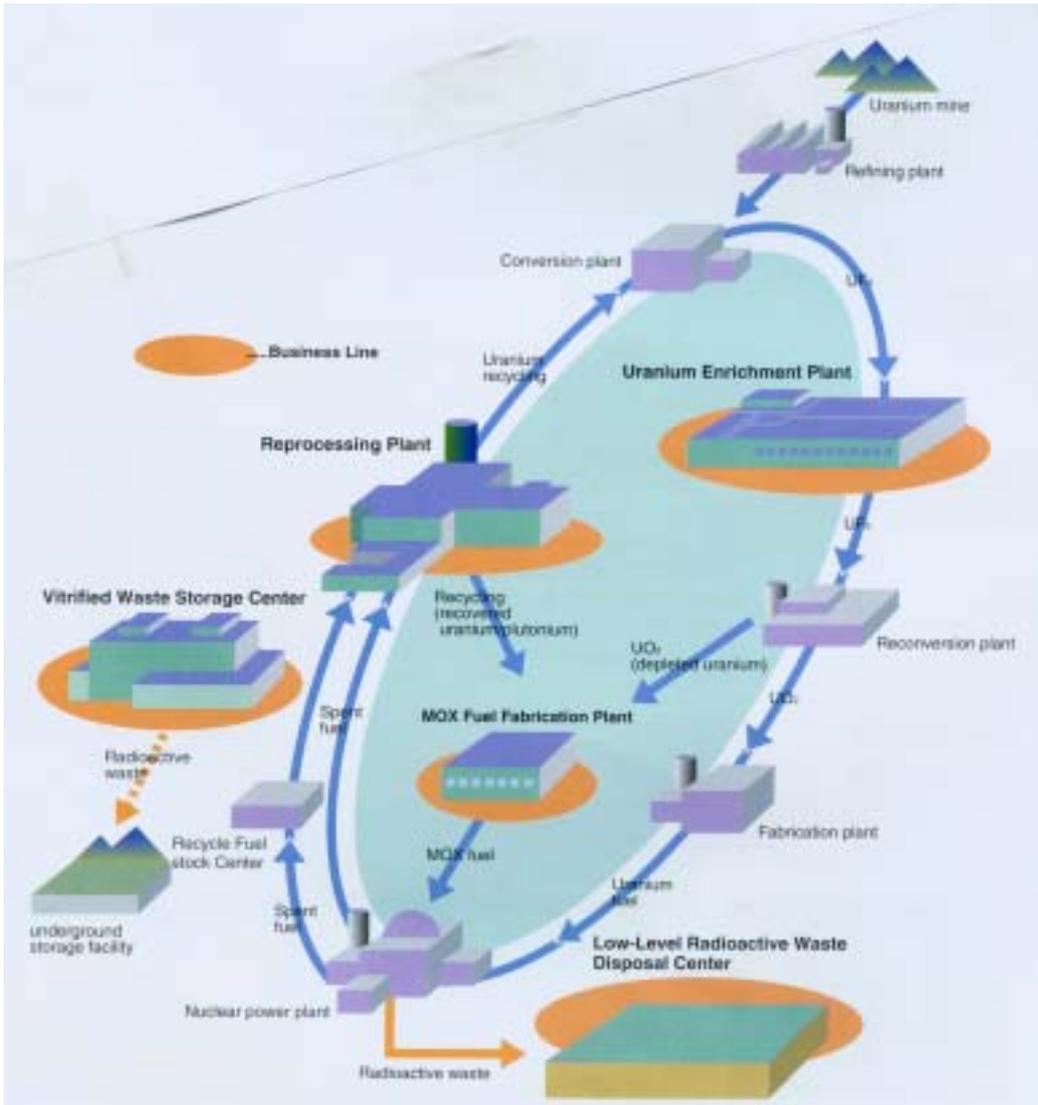
日本核燃料公司(日本原燃株式会社, **Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL**) 於 1980 年 3 月 1 日成立，由全國 9 家核能電力公司（東北電力、東京電力、中部電力、北陸電力、關西電力、中國電力、九州電力、四國電力、北海道電力）、日本原子力發電公司及其他 83 家公司投資組成，資本額 2,400 億日元，現有員工 2,077 人，公司業務範圍包含 (i) 鈾濃縮，(ii) 用過核燃料再處理，(iii) 再處理產生廢棄物之暫存，(iv) 低放射性廢棄物最終處置，(v) MOX 燃料製造，(vi) 鈾及低放射性廢棄物與用過核燃料之運輸，及 (vii) 其他和上述事業有關的業務。

六個所村園區位於離東京約六百公里的本州最北方青森縣下北半島南部上北郡六個所村川原工業地區內，離青森縣三沢市約二十五公里，由日本核燃料公司所籌建與運轉，目的是為了確保能源的長期穩定供應，建構封閉式的核燃料循環系統 (**closed-type fuel cycle**)，如圖四所示，目前園區設置有鈾濃縮廠 (**uranium enrichment plant**)、用過核燃料接收與貯存設施 (**spent fuel receiving and storage facility**)、玻璃固化廢棄物貯存中心 (**vitrified waste storage center**) 及低放射性廢棄物處置中心 (**low-level radioactive waste disposal center**) 等設施在運轉中，建造中的用過燃料再處理廠 (**spent fuel reprocessing plant**) 也即將完成，此外並積極規劃建造 MOX 燃料製造廠 (**MOX fuel fabrication plant**，鈾和鈾的混合氧化物燃料)，以上設施配置如圖五所示，各設施的規模及運轉狀況與現況及建設費用彙整如表四所示，總建設費高達 2 兆 7 千 5 百億日元。

天然鈾經精煉、純化、轉化、濃縮、再轉化及製造程序後，製成核能發電使用的燃料組件，發電後的用過燃料(**spent fuel**)還包含殘餘未燃燒的「鈾」和在反應器內生成的「鈾」，如能經過再處理後將所含的鈾與鈾轉變成燃料繼續使用於發電，可確保長期穩定的電源供應。同時，在核燃料循環中，妥善管理放射性廢棄物的設施是必不可少的。

目前，六個所村核能園區有三個設施在運轉之中，包含鈾濃縮廠、玻璃固化高放射性廢棄物貯存中心及低放射性廢棄物處置中心，日本核燃料公司目前

正專注於用過核燃料再處理廠建廠與試車及 MOX 燃料製造廠的規劃與建造計畫，未來在再處理廠和 MOX 燃料製造廠的完成後，將使核燃料循環(包括鈾濃縮、再處理、燃料製造及放射性廢棄物管理)體系趨於完備，對確保「準國家能源(semi-national energy)」的穩定供應有很大進展。



圖四、核燃料循環



圖五、日本核燃料公司六個所村核燃料循環設施配置圖

表四、日本核燃料公司六個所村核燃料循環設施概況

	用過核燃料再處理廠	玻璃固化廢棄物貯存中心	鈾濃縮廠 (離心分離法)	低放射性廢棄物處置中心
地點	青森 上北郡六個所村 弥平地区		青森 上北郡六個所村 大石平地区	
設施規模	最大再處理能力 800 噸鈾/年；用過燃料貯存容量 3000 噸鈾（現有 BWR 456 噸鈾；PWR 323 噸鈾）。	目前貯存容量玻璃固化體 1,440 罐（現貯存有 760 罐）；未來最終貯存規模 2,880 罐。	目前設有 600t SWU/y，現有 150t SWU/y 運轉中；未來最終規模 1,500t SWU/y。	目前 20 萬 m <sup>3</sup> (8 萬 m <sup>3</sup> 運轉中)；未來最終規模為 60 萬 m <sup>3</sup> (相當於 300 萬 200 公升廢棄物桶)。
工期	開工 1993 年 營運 2006 年	開工 1992 年 營運 1995 年	開工 1988 年 營運 1992 年	開工 1990 年 營運 1992 年
建設費	約 2 兆 1,400 億圓	約 800 億圓	約 2,500 億圓	約 1,600 億圓

	MOX 燃料製造廠
製品燃料	輕水式反應器(BWR, PWR)用 MOX 燃料
最大產能	130 t-HM/年
主建築物規模	約 80 公尺×約 80 公尺， 地下 3 層、地上 1 層(一部分 2 層)
作業人員	約 300 人
工期	動工：2004 年；營運：2009 年
建設費	約 1,200 億圓

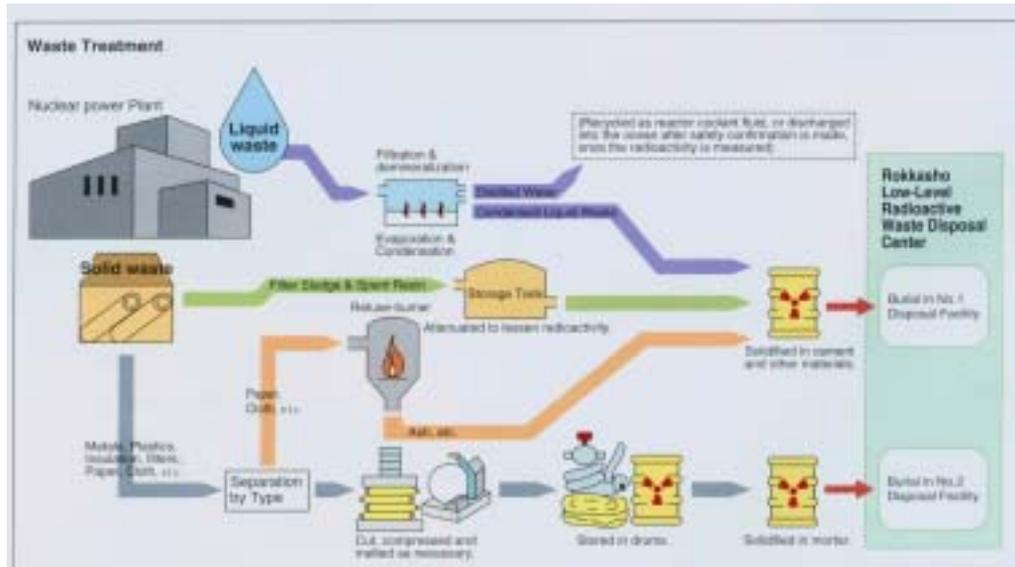
92 年 12 月 8 日我國代表團 B 團一行 18 人自東京搭機前往青森縣三沢市，隨即搭車赴日本核燃料公司六個所核燃料循環設施再處理辦公大樓 (reprocessing office)，聽取設施主管簡報後，前往低放射性廢棄物處置中心、用過核燃料再處理廠及玻璃固化廢棄物貯存中心實地參訪。

## 1. 低放射性廢棄物處置中心

該中心是規劃用來處置日本各核能電廠的運轉與除役廢棄物以及六個所村內的鈾濃縮廠及用過核燃料再處理廠所產生的低放射性廢棄物。核能電廠運轉和維修產生低放射性廢棄物包含工作服、手套及用於清潔地板的水和紙等。廢液須先蒸發濃縮，濃縮廢液再與水泥或塑膠混合後固化並密封裝桶。可燃廢棄物則焚化及密封裝桶，不可燃廢棄物，諸如金屬則壓縮或盡可能熔融，也密封在 200 l 桶。這兩類廢棄物桶先安全貯存在電廠的暫存區，然後運往六個所村低放射性廢棄物處置中心的第一與第二處置區進行處置，流程如圖六所示。

六個所村低放處置場標高 30~60 公尺，場址面積約 360 公頃，處置場建在屬於第三紀中新世堆積之鷹架層岩盤(Takahoko formation)上，整個處置場的最終容量規劃為 60 萬立方公尺(相當於 300 萬個 200 公升桶)，目前為 20 萬立方公尺，而經核准運轉中的處置容量為 8 萬立方公尺(約 40 萬個 200 公升桶)，分為第一與第二處置區(如圖七所示)，各具有 4 萬立方公尺處置容量(約 20 萬桶)。其中第一區長 231 公尺，寬 132 公尺，用來處置核電廠運轉產生的濃縮廢液、用過樹脂、焚化爐灰等經用水泥、瀝青、塑膠固化的均勻廢棄物，1992 年 12 月起用，目前已處置 13 萬 6 千桶；第二區長 191 公尺，寬 152 公尺(如圖八)，用來處置核電廠運轉產生的金屬類、塑膠類、保溫材、過濾器乾性廢棄物(dry active waste, DAW)，固體狀廢棄物經過切斷、壓縮或熔融處理後裝桶並以泥漿灌注，2000 年 10 月起用，目前已處置 2 萬 4 千桶；第一與第二處置區基本資料彙整如表五所示。此外，日本各電廠目前尚共貯存有 53 萬桶的低放射性廢棄物。

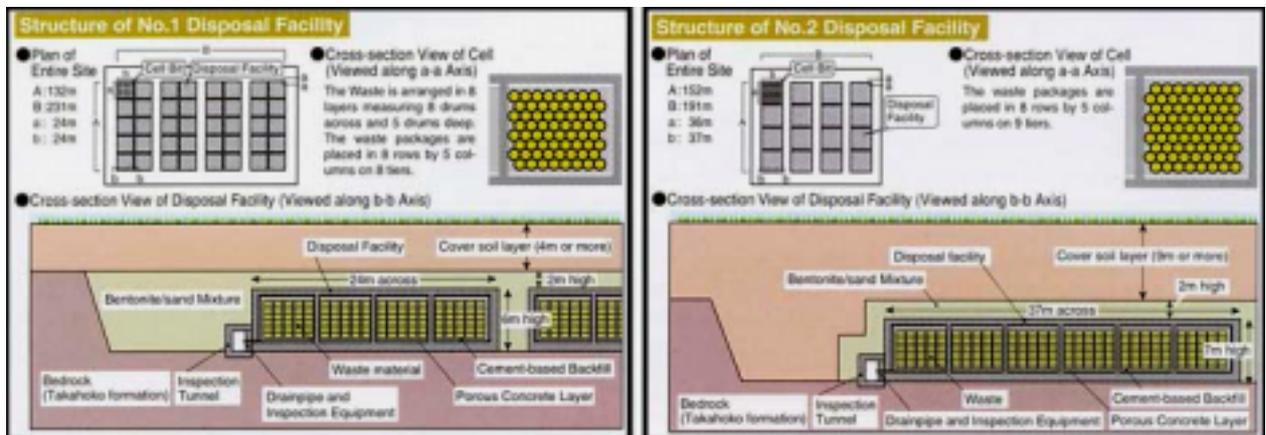
六個所村低放處置場的處置方式是低放固化桶以橫躺方式八桶一排置放在處置窖(如圖九)，第一區處置室堆積八層，第二區處置室堆積九層，處置窖的底部設有多孔隙混凝土層(porous concrete)(如圖十)，以利排水避免積水，將滲透水收集偵測後排放。當廢棄物桶放入鋼筋混凝土的處置窖後，桶間空隙再以砂漿(mortar)填滿，阻隔與水接觸並防止放射性核種釋出(如圖十一)。同時為確保長期貯存之安全性，處置層上層用混凝土包覆(如圖十二)，最後上方再覆以至少 2 公尺厚的膨潤土(bentonite)與砂之混合層，最上面再以一般土壤回填(backfill)並植被，此種設計可確保處置場在地下水位之上方，且將來土地再利用時也不易被破壞。圖十三與十四分別為第一與第二處置區現況(註：參訪時正下著大雪)。



圖六、低放處理與處置流程



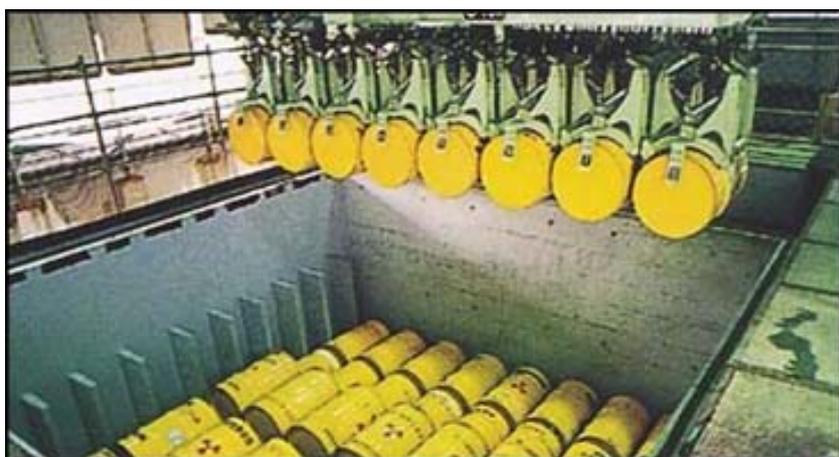
圖七、第一處置區(上)與第二處置區(下)鳥瞰



圖八、第一與第二處置區的結構

表五、第一與第二處置區基本資料

	第一處置區	第二處置區
規模	40,000m <sup>3</sup> (241mx132m)	40,000m <sup>3</sup> (191mx152m)
許可日期	1990.11.15	1998.10.08
建造日期	1990.11.30	1998.10.12
運轉日期	1992.12.08	2000.10.10
處置廢棄物	液態/廢樹脂均勻固化體 300~500(平均 400)公斤	乾性廢棄物澆注固化體 300~1000(平均 800)公斤
處置艙(pits)	40	16
容量	5,120 桶/艙 (320 桶/室× 16 室)	12,960 桶/艙 (360 桶/室× 36 室)
置放方式(室)	5 排 x8 桶 x8 層	5 排 x8 桶 x9 層
尺寸	24 公尺× 24 公尺× 6 公尺	36 公尺× 37 公尺× 7 公尺



◀ 圖九、低放桶水平處置

▶ 圖十、多孔性混凝土





◀圖十一、低放桶間砂漿填充後

▶圖十二、處置艙以混凝土包覆



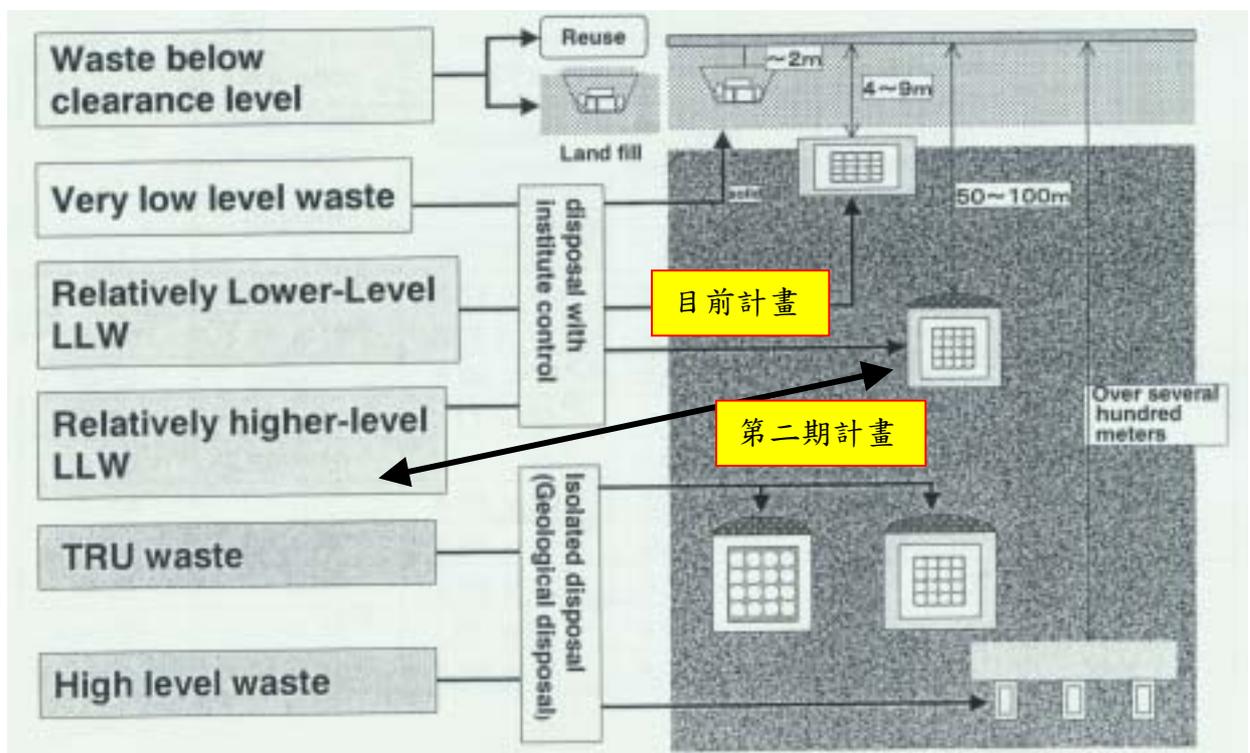
◀圖十三、第一處置區現況



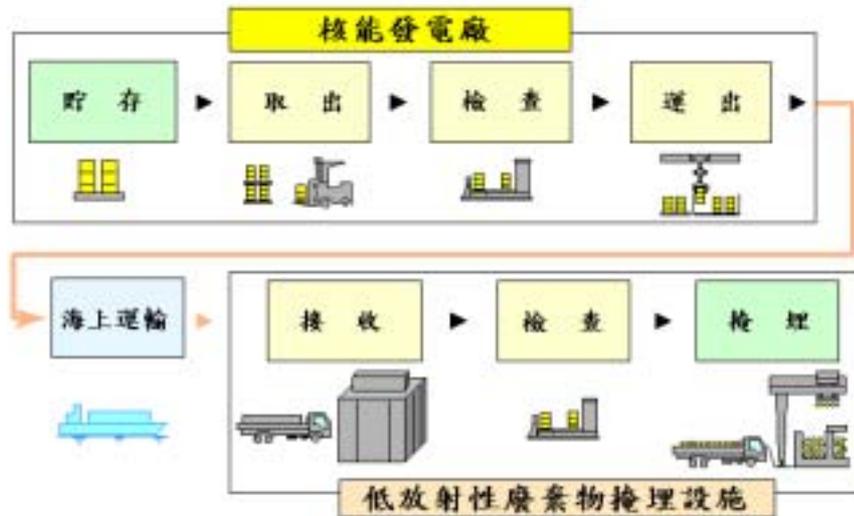
圖十四、第二處置區現況▶

另外，繼第一、第二處置區之後，日本核燃料公司目前正進行第二期處置設施計畫，處置對象為放射性活度較高的低放廢棄物（relatively higher-level LLW），預定的處置深度在 50~100 公尺之間（如圖十五所示），為了確認目前場址適用於處置活度較高的低放廢棄物，在 2001 年 1 月~2002 年 6 月間進行預備調查工作，初步的調查結果顯示六個所村低放處置場可以用來處置放射性較高的廢棄物，於是 2002 年 11 月進一步進行為獲得詳細資料的正式調查。第二期處置對象為核電廠等之運轉與除役產生放射性活度較高的低放廢棄物，未來這些廢棄物（如金屬、混凝土、廢樹脂等）將裝在五十五加侖桶或大型角形容器，並用水泥澆注固化。

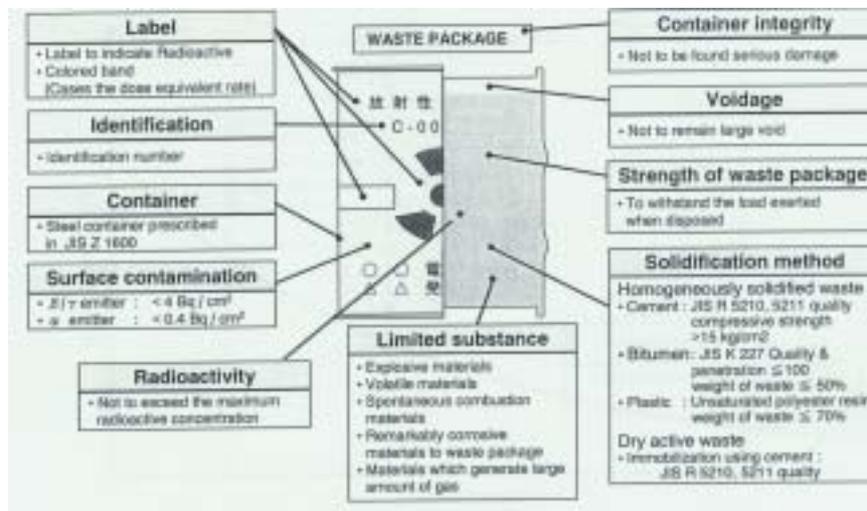
核能電廠產生的低放射性廢棄物桶運出廠區前都要經過詳細檢測（圖十六），項目包括表面污染密度測定、單軸壓縮強度測定、放射性活度濃度、重量測定、外觀檢查、等效劑量率測定、編號及色帶張貼等，如圖十七所示。當廢棄物桶送到處置設施及再處置前也還要實施外觀檢查，並確認編號及放射性標誌等（如圖十八所示）。



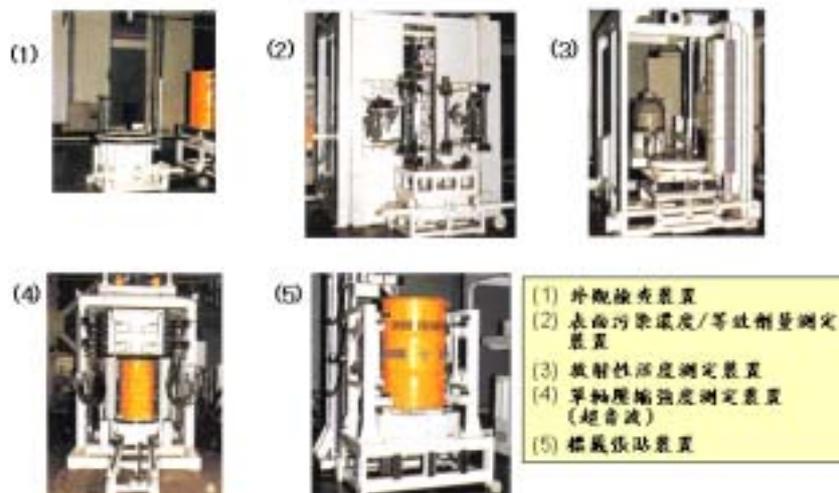
圖十五、放射性廢棄物與處置方式



圖十六、低放檢驗運送處置流程



圖十七、低放包件技術規範



圖十八、低放廢棄物桶整桶檢查裝置

表六所示為六個所村低放廢棄物處置場，第一與第二處置區接收之廢棄物所含主要核種的最大活性濃度(Bq/t)、總放射活性限值(Bq)，與日本的國家法規對低放射性廢棄物處置之上限活性濃度；圖十九所示為日本核燃料公司的低放射性廢棄物專用運輸船—青榮丸號。

表六、第一與第二處置區之廢棄物放射性接收標準

放射性物質種類	第一處置區		第二處置區		法規放射性上限濃度 (Bq/ton)
	最大放射性濃度 (Bq/ton)	總放射活性 (Bq)	最大放射性濃度 (Bq/ton)	總放射活性 (Bq)	
H-3	$3.07 \times 10^{11}$	$1.22 \times 10^{14}$	$1.22 \times 10^{11}$	$1.22 \times 10^{14}$	-
C-14	$8.51 \times 10^9$	$3.37 \times 10^{12}$	$3.37 \times 10^{10}$	$3.37 \times 10^{12}$	$3.70 \times 10^{10}$
Co-60	$2.78 \times 10^{12}$	$1.11 \times 10^{15}$	$1.11 \times 10^{13}$	$1.11 \times 10^{15}$	$1.11 \times 10^{13}$
Ni-59	$8.88 \times 10^9$	$3.48 \times 10^{12}$	$8.88 \times 10^9$	$3.48 \times 10^{12}$	-
Ni-63	$1.11 \times 10^{12}$	$4.44 \times 10^{14}$	$1.11 \times 10^{12}$	$4.44 \times 10^{14}$	$1.11 \times 10^{12}$
Sr-90	$1.67 \times 10^{10}$	$6.66 \times 10^{12}$	$6.66 \times 10^{10}$	$6.66 \times 10^{12}$	$7.40 \times 10^{10}$
Nb-94	$8.51 \times 10^7$	$3.33 \times 10^{10}$	$3.33 \times 10^8$	$3.33 \times 10^{10}$	-
Tc-99	$1.85 \times 10^7$	$7.40 \times 10^9$	$7.40 \times 10^7$	$7.40 \times 10^9$	-
I-129	$2.78 \times 10^5$	$1.11 \times 10^8$	$1.11 \times 10^6$	$1.11 \times 10^8$	-
Cs-137	$1.04 \times 10^{11}$	$4.07 \times 10^{13}$	$4.07 \times 10^{11}$	$4.07 \times 10^{13}$	$1.11 \times 10^{12}$
總 $\alpha$ 活度	$5.55 \times 10^8$	$2.33 \times 10^{11}$	$5.55 \times 10^8$	$2.33 \times 10^{11}$	$1.11 \times 10^9$



圖十九、低放運輸專用船-青榮丸號

## 2. 用過核燃料再處理廠

目前日本的電力供應約有三分之一來自核能，由於國內能源缺乏，因此採取封閉式的核燃料循環策略，未將用過核燃料視為廢棄物，而是當作一種循環能源。日本核燃料公司六個所村用過燃料再處理廠是為處理國內輕水式反應器所產生的用過核燃料而建，最大再處理能力為 800 tU/a、是日本第一座商用再處理廠，目前建廠進度已達 94%，計劃於 2005 年 7 月完成並投入營運。

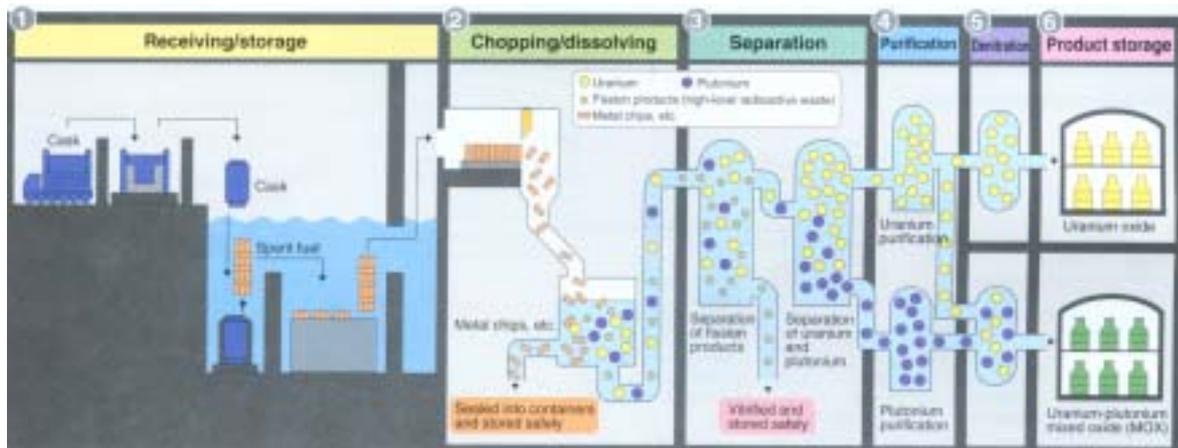
用過燃料再處理的主要目的是對鈾、鈾及核分裂產物進行分離，回收鈾氧化物及鈾鈾混合氧化物 (mixed oxides, MOX)，採用的是 Purex 程序 (如圖二十)，整個程序共包含前端步驟 (head-end process)、分離 (separation)、純化 (purification)、脫硝 (denitration)、高放射性廢棄物玻璃固化 (high-level radioactive waste vitrification) 等步驟，其中前端程序包含切割 (chopping) 與溶解，首先用機械將用過核燃料切割成 3~4 公分小斷，再用硝酸將用過核燃料之燃料部分溶解，未溶解的鈾合金套管部分則收集後密封貯存。分離是利用溶劑萃取 (solvent extraction) 法進行化學分離，所用的有機溶劑為磷酸三丁脂 (tri-butyl phosphate, TBP) 與煤油 (kerosene) 的混合液，第一萃取循環先將硝酸溶解液中的分裂產物 (fission products) 和鈾與鈾分開，第二萃取循環再將鈾和鈾分開；第一萃取循環之萃餘液 (raffinate) 即為含有分裂產物的高放射性廢棄物，將其和玻璃原料混合一起加熱到 1,100~1,200°C 使成為熔融狀態 (如圖二十一)，灌入不銹鋼罐 (canister)，待其冷卻後固化即成為玻璃化高放射性廢棄物 (如圖二十二)。大致上，一噸的用過核燃料經過再處理會產生 110 公升的玻璃化高放廢棄物。

經過第二萃取循環所分離的鈾溶液與鈾溶液，分別再一次利用溶劑萃取法進一步的純化；上述溶劑萃取分離與純化程序所用的設備有脈動管 (pulse column) 及混合澄清器 (mixer-settler)。最後，利用鍛燒法 (calcination) 將純化後的硝酸鈾與硝酸鈾溶液進行脫硝轉換成氧化鈾與氧化鈾，若將氧化鈾與氧化鈾依一定比例混合製成的燃料，即成為混合氧化燃料 (MOX fuel)。

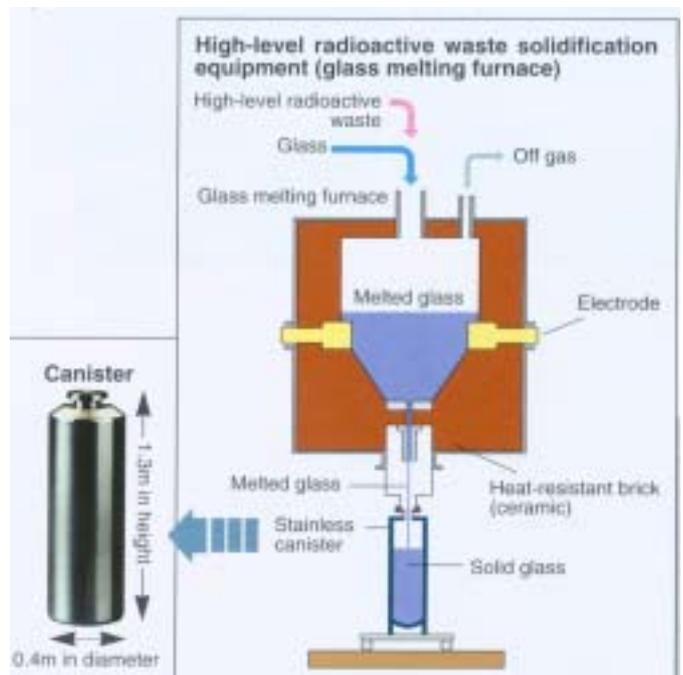
日本核燃料公司特別注重實績與安全性，引進最佳技術。上述再處理廠之切割、溶解及分離與精煉等主要工程技術從法國引進；廢液減壓蒸發技術從英國引進；由切割與溶解設施產生的廢氣的除碘技術從德國引進；高放廢液的玻璃固化技術以及鈾鈾脫硝技術則從日本核燃料循環開發機構 (JNC) 引進。廠內設有三個長 27 公尺、寬 11 公尺及 12 公尺深的用過燃料貯存水池，可貯存 3,000 噸的用過核燃料。上述各個程序均設有獨立廠房 (如圖二十三所示)，整

個再處理廠長達 1.5 公里，寬約 1 公里，圖二十四是從六個所村公關中心所看到的再處理廠，圖二十五則為再處理廠主控制室。再處理能量為 800 噸-鈾/年，約可處理 30 個 1,000MW 級電廠的用過核燃料年產量。

爲了運轉與維護的效率與彈性，日本核燃料公司規劃於 2005 年另外成立一家名爲 "J-TEC" 公司，來管理用過核燃料再處理廠。



圖二十、用過核燃料再處理程序



圖二十一、高放廢棄物玻璃固化程序

◀圖二十二、玻璃化高放射性廢棄物

►圖二十三、再處理廠各廠房配置圖



◀圖二十四、從公關中心  
遠望再處理廠



►圖二十五、再處理廠控制室



1999 年 12 月，以再處理主體設施為開端，再處理廠的用過核燃料收容設施及貯存設施開始作業，2000 年 12 月開始正式接收用過核燃料，2002 年 11 月開始試運轉的第一步—化學試驗階段，再處理放射性物質前實施的化學試驗中，採用硝酸、有機溶劑等試劑進行各單元設施的機能與性能確認，試驗時由單體試驗階段性地轉向各建築廠房的整體試驗，化學試驗的主要建築物包含：

- 預處理廠房
- 分離廠房
- 精煉廠房
- 低放廢液處理廠房
- 鈾脫硝廠房
- 鈾鈾混合脫硝廠房
- 高放廢液玻璃固化廠房

到 2003 年 3 月為止，再處理廠共收容用過核燃料 3,360 件（約 780 tU）。另一方面，再處理主體設施繼續進行通水試驗。該試驗是為確認再處理主體設施的功能及性能，及早發現設施存在的問題，以儘快改良。此外，該過程還可以提高運轉人員及維護人員的技能，並進一步充實運轉大綱。試運轉採用已適用於國外再處理廠的相同方法，利用水、蒸汽等實施確認設施功能與性能的通水試驗，然後依次進行用硝酸、有機溶劑等試劑的化學試驗，鈾試驗、用過核燃料綜合試驗（以下稱「熱試」），再逐漸向流體實際運轉狀態靠近，試驗物件也逐步由設施單體、系統、設施向廠房、整個再處理廠擴展。

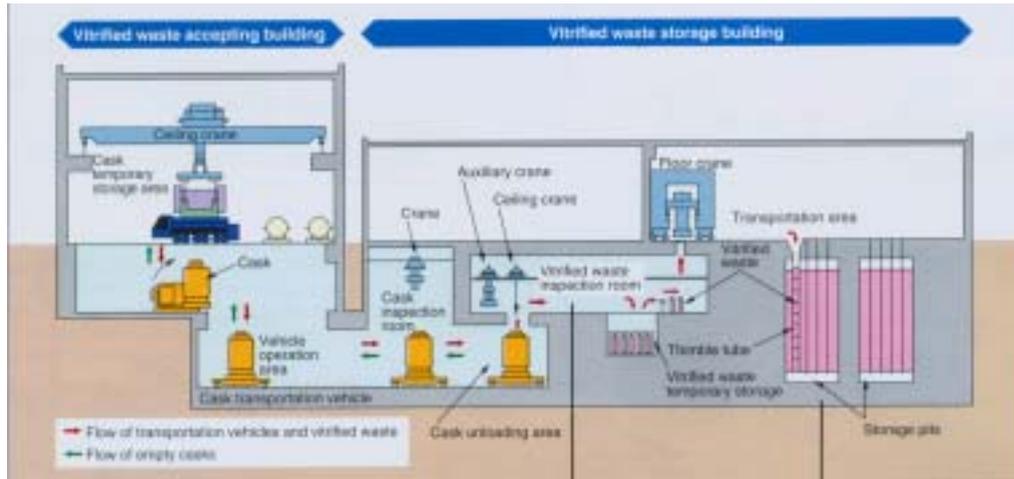
日本核燃料公司針對試運轉，派遣該公司技術人員至技術引進單位，如法國 COGEMA 公司、英國核燃料公司（BNFL）以及日本國內唯一有運轉經驗的核燃料循環開發機構（JNC）的再處理廠進修，促進技術合作。目前整廠進度達 94%，即將進入正式試運轉狀態，共有 2,100 人分成五班日夜在廠內工作，並有 50 名法國 Cogema 公司專家協助進行各項操控演練，預定 2004 年進行鈾料試驗，2005 年進行用過燃料試驗，2006 年 7 月正式商業運轉。

### 3.玻璃固化廢棄物貯存中心

上述用過核燃料再處理廠所產生的高放射性廢棄物玻璃固化體在送去最終處置之前，必須在地表設施進行 30~50 年的中期貯存，以使衰變熱與放射性強度減弱至適當程度。由於六個所村的用過燃料再處理廠尚未開始運轉，因此日本電力企業（九家電力公司及日本核電公司）目前把核電廠產生的部分用過核燃料委託給法國 COGEMA 公司和英國 BNFL 公司進行再處理，再處理回收的鈾和鈾再返還給日本電力企業作為核燃料重新利用，處理過程中產生的高放廢棄物玻璃固化體也同時返還給日本電力企業，此貯存場目前所貯存的 760 罐玻璃化高放射性廢棄物，就是以八航次從法國運回日本的。

高放廢棄物貯存管理設施主要由玻璃固化體接收廠房與玻璃固化體貯存廠房構成，如圖二十六所示，圖二十七為高放貯存中心廠房。裝載玻璃化高放射性廢棄物的不銹鋼罐（canister）的直徑為 40 公分，高度 1.3 公尺，滿載重量約 500 公斤（如圖二十八），由於玻璃化高放射性廢棄物具有很強的輻射與很高的溫度，其操作必須特別小心，運送時係利用特殊設計的運輸罐（shipping cask），如圖二十九所示，其直徑約 2.4 公尺，長約 6.6 公尺，每個運輸罐可裝載 24 個高放罐，總重量達 100 噸，經海上運輸後暫時保存在玻璃固化體接收廠房。然後，在玻璃固化體貯存廠房從運輸容器中取出玻璃固化體，經安全檢查後貯存於貯存井的收容罐內。貯存廠房的貯存庫與檢驗區域由 1.5~2.0 公尺厚的強化混凝土構築，貯存孔由不銹鋼套管製成，深度十七公尺，每根貯存管放置九個高放罐。貯存庫係採用自然通風冷卻方式，由下往上以冷風通過貯存管外圍，如圖三十，因此通風不會和玻璃化高放射性廢棄物直接接觸。

六個所村高放貯存廠房自 1995 年 4 月起運轉，目前的貯存容量為 1,440 罐，至 2003 年 11 月底，已貯存了自法國拉阿格的 Cogema 工廠運回八批共 760 罐玻璃固化體，如圖三十一，預計總共將從國外回運共 2,200 罐玻璃固化體，根據回運計劃，貯存設施將會在 2006 年中期達到飽和。因此，在那時之前就必須增建與現有設施相同的貯存設施。增建後，總共將能夠貯存 2,880 罐玻璃固化體。2001 年 7 月 30 日，日本核燃料公司向政府提出了廢棄物管理變更許可申請，取得該許可證之後，還要取得設計及施工許可證後才可動工。



▲圖二十六、高放廢棄物接收與貯存流程

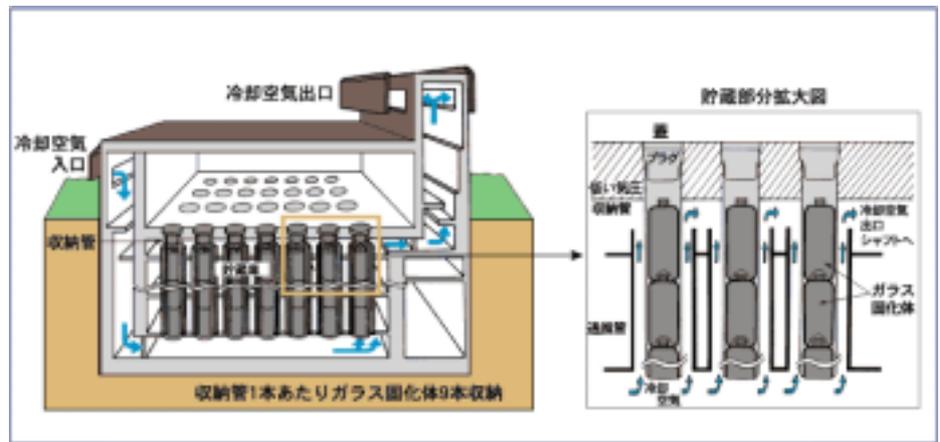
▶圖二十七、高放廢棄物貯存中心



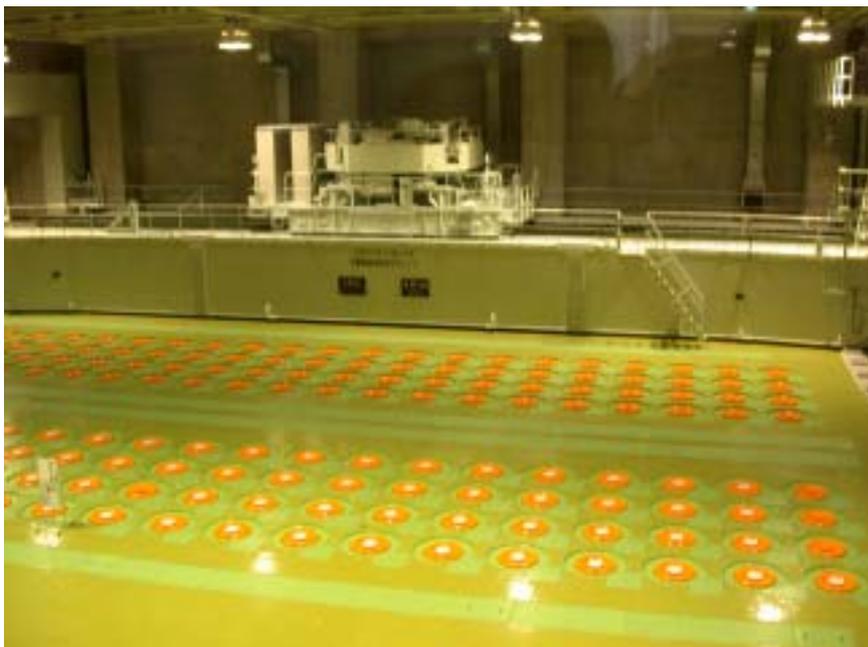
◀圖二十八、全尺寸玻璃化高放廢棄物罐



◀圖二十九、高放罐之運輸罐



▲圖三十、高放廢棄物貯存情形示意圖



◀圖三十一、高放貯存廠房現況

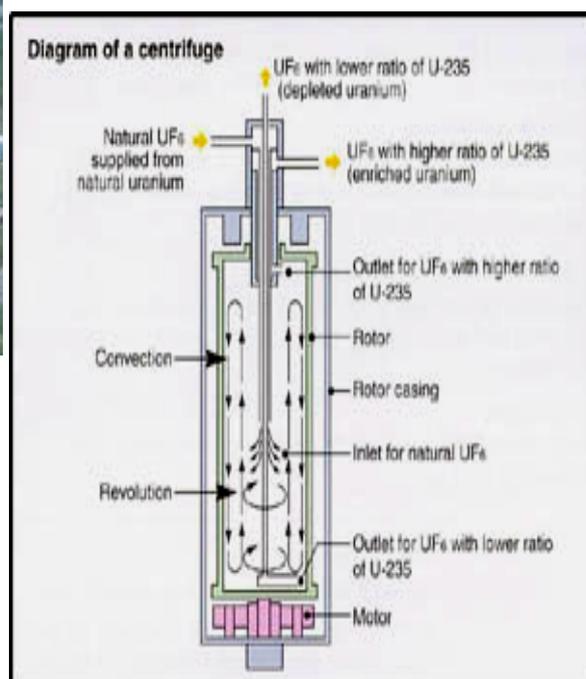
六個所村鈾濃縮廠（如圖三十二）引進金屬旋轉離心機（如圖三十三）、設置了規模為 150 tSWU/a 的設施(RE-1A)，1991 年開始運轉，並逐年增加 150 tSWU/a，預期達到 1,500 tSWU/a 的最終規模。目前的生產規模為 1,050 tSWU/a，但由於早期引進的離心機時常發生故障(RE-1A, 1B, 1C 共 450 tSWU/a 已於 2002 年停止運轉)，鈾濃縮度無法達到發電要求。爲了查明故障的原因，從 2002 年開始對離心機進行了分解調查。結果發現，離心機故障的原因是由於旋轉體底部附著了剝離產生的鈾化合物，隨著運轉時間的推移，而使旋轉體逐漸失去了平衡。

日本核燃料公司目前正在開發的新型離心機具有比金屬旋轉離心機高出約 4~5 倍的分離性能，且具有優良經濟性的世界最高水準的離心分離機。要完成此項開發，就必須切實彙集和應用已有的開發成果、知識及人力資源。爲此，一直致力於離心分離機開發的核燃料循環開發機構、核燃料機械公司以及日本核燃料公司的技術人員集中在六個所村，於 2000 年 11 月成立了「鈾濃縮技術開發中心」，以推動該項研究。

新型離心機的開發狀況是在 2001 年末確認概念規格，並得到所需的分離性能、強度以及旋轉性能；預計在 2003 年末將確認長期可靠性、經濟性以及與安全性相關的基本規格；到 2005 年末將建立可執行量產的最終規格。然後，將通過級聯試驗驗證運轉控制性能，並計劃新型鈾濃縮廠於 2010 年投入生產，然後利用 10 年左右的時間使生產規模達到 1,500 tSWU/a。



▲ 圖三十二、鈾濃縮廠



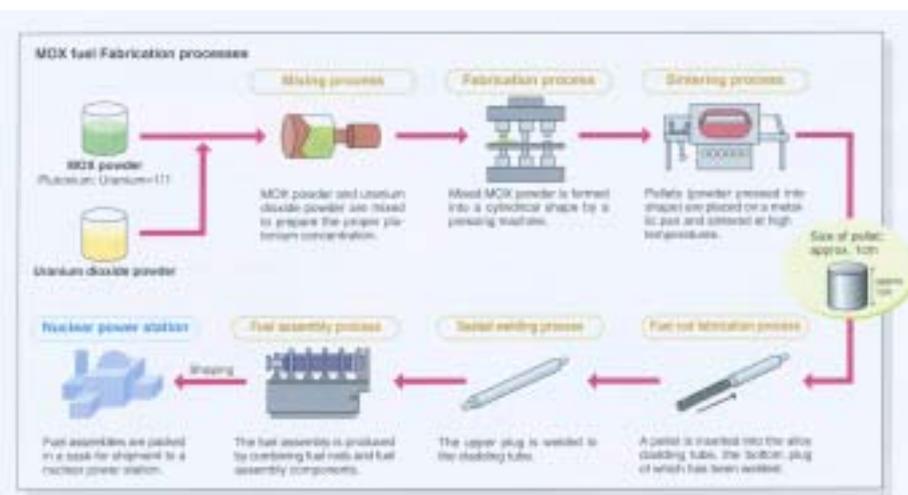
▶ 圖三十三、新型離心機圖示

## 5. MOX 燃料製造廠

日本核燃料公司計劃在目前建設中的六個所村再處理廠附近建造一座 MOX 燃料製造廠，製造流程如圖三十四，該廠的最大能力為 130 tHM/a，預定於 2004 年 4 月前後動工，2009 年 4 月前後開始營運。2000 年 11 月，該公司公布將成為 MOX 燃料製造廠業主之後，立刻就投入了 MOX 燃料廠的基本設計，2001 年 8 月，向青森縣及六個所村提出了 MOX 燃料廠選址合作申請。青森縣接受了該申請，由專家成立了 MOX 燃料製造設施相關安全審核討論會，並於 2002 年 4 月收到了來自專家討論會的「確保 MOX 燃料製造廠安全的基本考慮妥當，且在技術上完全可行」的討論結果。其後，雙方又根據青森縣議會、市町村長、核政策青森賢人會議等意見，在核燃料循環協議會的立場上確認 MOX 燃料製造廠已被納入國家政策後，對選址合作申請作出了慎重的綜合判斷。

另一方面，六個所村為彙集選址合作申請的相關意見，於 2002 年對國內外的前例地點進行了考察。今後六個所村將對村內意見進行彙整，以便為選址判斷提供幫助。MOX 燃料廠與再處理廠一樣是推進核燃料循環所不可缺少的設施。但從籌建到營運，需要經過許多程序和時間，所以從長遠考慮，穩健地推進這些設施的計劃至關重要。

日本核燃料公司在對青森縣和六個所村進行瞭解之後，接著就將向政府申請 MOX 燃料製造業務許可證。目前，繼基本設計之後正在進行詳細設計、人員招募、培養的研討，以及為加深當地民眾的理解的宣導活動。另外，在政府支援下進行粉末混合設施等的驗證試驗。關鍵的一點是粉末混合設施驗證試驗考慮到原料 MOX 粉末是日本本國特有的微波加熱直接脫硝法（MH）生產的，所以應驗證適合 MH 粉末的運轉條件。



圖三十四、MOX 燃料製造流程

## 6. 六個所村公眾關係中心

社區的瞭解與支持，是日本核燃料公司能在六個所村順利建設各項核燃料循環設施的最主要因素，爲了讓民眾目睹各核燃料循環設施及各項安全維護措施，公眾關係中心（Public Relation Center, PR center）（如圖三十五）設置在六個所村園區外緣高地，於 1991 年 9 月 22 日起用，是一棟地下一層及地上三層的建築物。該中心並在雜誌和道路的廣告招牌分別以卡通圖案的萬能君(爲青蛙之意)作爲代言人（如圖三十六），擔任介紹、說明、導覽等角色，以活潑、生動、親切的外形代替官員或科技人的刻板印象，易於引起民眾(特別是青少年)共鳴。三樓展望室離地面三十公尺高，可 360 度眺望遠處的八甲田山和太平洋，對六個所村的核燃料循環設施現況一覽無遺。二樓展示室則利用 3D 電腦動化教導核能觀念與設施，使用影像及模型、電腦遊戲等方式說明核能和輻射，如圖三十七與三十八，讓參訪民眾動手動腳動腦，以提高民眾參與自我教育的意願，寓教於樂，讓人們理解核燃料循環，並利用模擬汽車駕駛和飛機操控的遊戲，瞭解我們所受到自然界的輻射，同時透過霧箱的原理顯示輻射通過的蹤跡。一樓和地下一樓除爲訪客提供各類淺而易懂的核能知識資訊文宣品外，並以大型模型、映像和聲音介紹核燃料循環的體系，包括再處理廠、鈾濃縮廠、低放射性廢棄物處置設施、高放射性廢棄物貯存管理設施及 MOX 燃料製造程序。

公關中心還定期發行刊物介紹及報導原燃各項設施及其進度、環境輻射監測結果等；必要時舉行記者招待會、邀請意見領袖參加研習會等與民眾雙向溝通；舉辦各類活動與比賽以建立與居民間的感情。另外，公關中心也販售當地的土產及工藝品。此外，在社區內發行月報或雙月報及網路，報導的不只是園區內的設施信息，最主要的是當地文化、藝術、特產、節慶、廟會、科學新知等，並且積極參與、贊助各項社區之活動，將公司融入社區。



圖三十五、六個所村所設置之公眾關係中心



◀ 圖三十六、代言人—青蛙



▲ 圖三十七、電腦遊戲化之一



◀ 圖三十八、電腦遊戲化之二

▶ 圖三十九、公眾關係中心見習紀念



#### (四) 中部電力公司浜岡五號機新建工程部分

我國代表團一行 24 人由行政院原子能委員會歐陽敏盛主委領隊，於 92 年 12 月 12 日上午由東京出發乘新幹線列車至靜岡縣掛川市 (Kakegawa)，費時

約 1.5 小時（須搭慢車）抵達，再轉搭遊覽車前往中部電力公司浜岡核能電廠參訪。浜岡核能電廠的主管和廠長在原子力館(核能展示館)向團員一行簡報該電廠概況，池田廠長強調，自一號機在三十二年前運轉以來，居民都認為當時的決定是對的，主要因為安全運轉、資訊透明化、與居民共存共榮、工作盡量發包給當地居民、協助居民及積極參與文化活動所致。隨後參觀了展示館的三號機反應器實物模型、眺望整個廠區實景及參訪興建中的五號機組。

## 1. 中部電力的概要

中部電力公司為日本第三大電力公司，共有員工約一萬八千人，供應包含本州中部包含長野（Nagano）、岐阜（Gifu）、愛知（Aichi）、三重（Mie）及靜岡（Shizuoka）等五個縣、總面積三萬九千平方公里、一千六百萬人口的電力，200 會計年度的發電總容量為 32.7GW，包括核能發電 3.6 GW(11%)、水力發電 5.2 GW(16%)和火力發電 23.9 GW(73%)，比較起來，中部電力的核能發電比率遠低於日本全國之核能發電比率。

## 2. 浜岡核能電廠的概要

浜岡核電廠（Hamaoka）位於靜岡縣小笠郡浜岡町佐倉，臨海岸地帶，在東京西南方約 230 公里，電廠面積 1.6 平方公里，員工 732 人，合約承包廠商人員有 3,417 人，目前共有四部 BWR 機組在運轉中（如圖四十），總發電容量為 3,617MW，其中一號機容量為 540MW，1976 年起運轉，二號機容量為 840MW，1978 年起運轉，三號機容量 1,100MW，1987 年起運轉，四號機容量 1,137MW，1993 年起運轉。此次參訪的是建造中的五號機組屬於進步型沸水式反應器(ABWR)，額定發電量 1,380MW，與東京電力公司運轉中的柏崎刈羽六、七號機及我國興建中的龍門核能四廠的容量相當。浜岡五號機於 1999 年 3 月開始建造，目前進度 90.4%，預定 2005 年 1 月開始商業運轉；浜岡電廠各機組概況如表七所示。

浜岡核能管理總處下設營運處及建設處，分別負責一、二、三和四號機的商業運轉及五號機的建造。

表七、浜岡核能電廠各機組一覽表

機 組	發電量 (MW)		開始商轉時間
一號機	540	總共 3,617	1976
二號機	840		1978
三號機	1,100		1987
四號機	1,137		1993
五號機	1,380		預定 2005



圖四十、浜岡核能電廠第一至第四機組遠景

### 3. 核能展示館及新能源展示館

核能展示館(Nuclear Exhibition Center, 原子力館) (如圖四十一) 於 1972 年成立，並於 1988 年 4 月重新整修後再度開放，設置有四個房間。一與二號房間展示 22 公尺高實物大小的三號機組反應器模型 (如圖四十二)、中央控制盤模型、鈾燃料等電廠內部的模樣；三號房展示核能電廠、地震對策、身邊的輻射探索、鈾燃料之旅、核燃料循環、核能有關之新聞；四號房間展示 1/20 比例大小的新建五號機反應器廠房 (如圖四十三) 與反應器 (如圖四十四) 模型。至 2003 年為止已有 7.8 百萬人到訪。

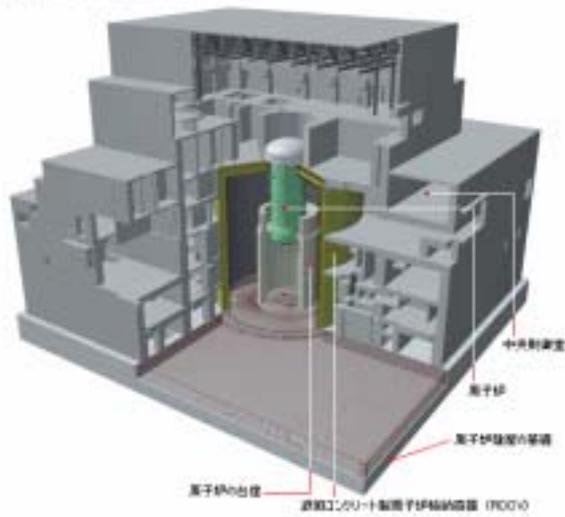


▲圖四十一、浜岡核能電廠核能展示館



圖四十二、三號機反應器模型▲

浜岡5号機原子炉建屋の内部



◀圖四十三、五號機反應器廠房模型

圖四十四、五號機反應器模型▶



新能源展示館(New Energy Exhibition Hall)設立於 1997 年 7 月，介紹除水力、火力和核能以外的新能源（如圖四十五）如太陽能電池（圖四十六）、燃料電池（如圖四十七）及風力發電（如圖四十八）等，讓人們深切體會各種能源的發電原理及應用潛力。



▲圖四十五、新能源發電狀況



▲圖四十六、太陽能電池



▲圖四十七、燃料電池

▶圖四十八、風力發電



#### 4. 核能訓練中心

主要是提供維修訓練和運轉員訓練的工作，訓練中心設施為 1984 年 4 月完成，讓維修人員熟練技術，縮短工時及降低曝露。三、四號機和一、二號機組的運轉人員訓練用模擬器分別於 1993 年和 1999 年設置，以電腦模擬發電運轉之起動停止及事故，執行運轉操作訓練，提昇運轉人員的素質。

#### 5. 電廠運轉資訊的公開

電廠運轉資訊公開項目包括發電、排氣管輻射監測器、排放水出口輻射監測器、監測站、監測所、風速/風向及名古屋市的劑量等。其採用連線顯示器(on-line monitor)和網際網路的方式公開。連線顯示器設置於浜岡核能展示中心、電廠周邊市政府的大廳、靜岡縣環輻射監測中心及名古屋的市中心街道上。同時自 2000 年 11 月起，電廠運轉資料已經登上網際網路，每個人都可從浜岡核能電廠的首頁查看到上述資訊。

#### 6. 五號機組的概要和特徵

五號機組屬於進步型沸水式反應器(ABWR)，具有安全信賴性高、發電率和設備利用率高、作業人員輻射曝露劑量低、運轉可靠度高及廢棄物產生量少之優點，已為歐美和日本等多國採用。浜岡五號機自 1999 年經政府許可後開始建造工程，2000 年進行了岩盤調查和一次圍阻體工程，2002 年完成反應器壓力容器(RPV)和發電機安裝，2003 年完成反應器壓力容器注水試驗及緊急用爐心冷卻系統(ECCS)測試，預定 2004 年裝填燃料並在 2005 年開始營運。此機組以 3D-CAD 進行設計與設備配置，同時採用模組式化建造方法，大部分組件在廠外組裝好之後載運到廠內安裝，大大縮短建廠時程。截至 2003 年 11 月 30 日為止，完成率達到 90.4%。圖四十九所示為蒸氣安全閥，圖五十為渦輪機廠房，圖五十一顯示為技術人員進行新燃料檢驗演練情形。

五號機的主要特徵包括大畫面顯示幕的主控制室（圖五十二）、鋼筋混凝土製反應器圍阻體、反應器內藏型再循環泵及改良型控制棒驅動機制等。主控制室對安全運轉重要，在促進公眾對核能的接受度也很有幫助。因此，五號機的主控制室採五公尺挑高設計及房頂、壁和地板的顏色搭配，參訪室設置在主控制室之後側上層樓位置，參訪者有良好的視野。在主控室的設計階段，曾檢討此挑高設計和色系搭配對於運轉人員的心理和生理方面的影響，結果顯示對運轉人員造成適度的張力並具有「開放」、「親近」、「安全」、「亢奮」和「不疲憊」的意味。另外參訪者動線與工作人員分開，以免工作人員受到太多的干擾。



▲圖四十九、蒸氣安全閥

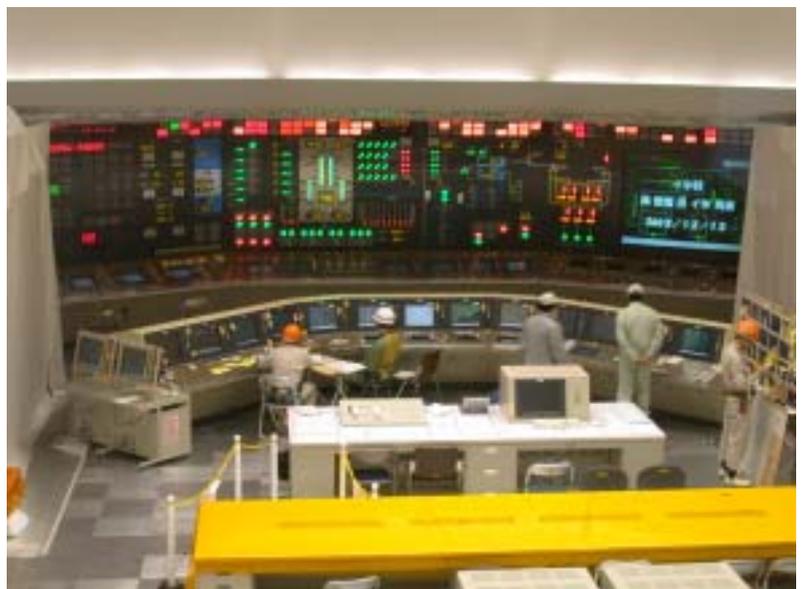


▲圖五十、渦輪機廠房



五十一、新燃料檢驗操練

▶圖五十二、五號機主控室



反應器圍阻體採用鋼筋混凝土製之優點是反應器廠房與圍阻體形成一體，縮小空間，加上低重心化而使耐震性提高。控制棒驅動採用水壓和電動兩種驅動方式可使通常的起動和停止時控制棒的上下可以連續微調，提高運轉性能。反應器再循環泵的功用是改變爐內水流量來調整反應器的輸出功率，如將再循環泵內藏則爐體外看不到高放射性水流動的連接管，從而減低作業人員在定期檢查等之時受到輻射曝露。

此外，浜岡核電廠的特色還有海水取水設施、耐震設計和汽機效率改進等方面。浜岡核電廠一、二、三、四和五號的取水塔都設置距海岸 600 m 的位置（如圖五十三），深海的海水經管溝（七公尺直徑，如圖五十四）注入取水池，再由循環泵（如圖五十五）送至主冷凝器做冷卻之用。耐震方面在岩盤表面的最大加速度為  $600 \text{ gal}(10^{-2} \text{ m/s}^2)$ ，設計基礎可耐震度達  $M 8.5$  的地震。



▲圖五十三、冷卻水取水塔  
（自右至左，三、四、五號機組用）



圖五十四、七公尺直徑取水管溝



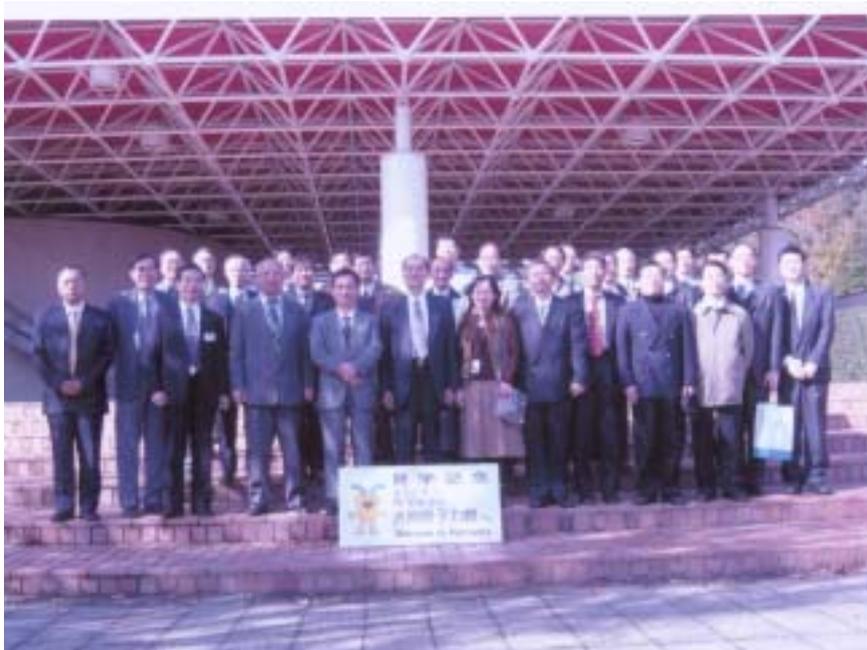
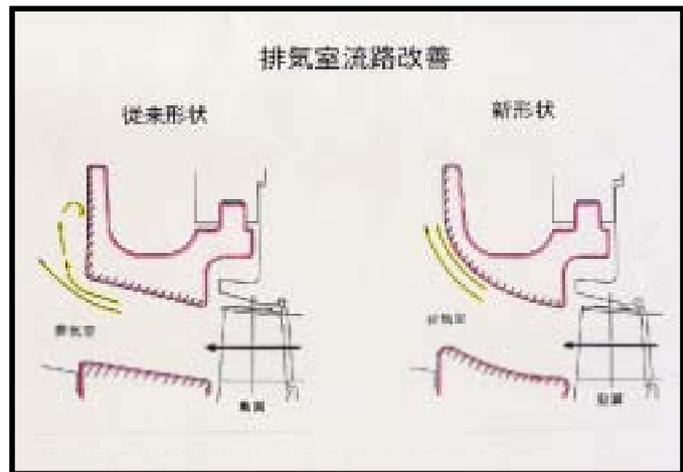
◀圖五十五、冷卻水取水幫浦

另外，五號機改變汽機葉片的形狀（如圖五十六），使廢汽流的能耗及汽機內部密封的洩漏損失減小，進而改善汽機的效率（如圖五十七）。



◀圖五十六、汽機葉片改良

▶圖五十七、汽機效率提昇



◀圖五十八、浜岡核電廠見習紀念

## 四、建 議

- (一) 青森縣六個所村附近的環境輻射偵測結果係以彩色且通俗的月報及季刊方式公諸大眾，可見其宣導之用心，當然民眾也就安心，而國內原子能委員會輻射偵測中心的環測數據除發行七十個單位外，季報及年報也均公佈在網站上，民眾隨時可以上網查詢，自動監測之資訊更已做到每小時在網站上更新，反觀台電公司在這方面卻顯得較保守，政府機構積極公開的作為反而有越俎代庖之嫌。台電公司在環測數據公開方面應該可以有更積極的作為。
- (二) 日本六個所村之低放最終處置場的經驗，包含廢棄物特性鑑定與包件接收標準擬定、處置場設計概念及相關運轉技術等，值得國內推動相關工作之借鏡參考。
- (三) 民眾的認知與支持是日本各項核設施順利建造和運轉的重要因素。本次參訪行程和研討會議題探討上，發現核能安全有關公司治理和組織管理的人文議題已漸漸受到重視，亦是未來的趨勢重點。尤以我國目前核能發展正面臨重大考驗之際，如何與社會公眾溝通，以取得社會對核能發電、核能安全與管制的肯定和信賴，相信是我國現階段必須重視的問題。因此如何將科技與人文結合，讓一般民眾也可以很正確地瞭解核能，資訊透明化和公開化更是當前取得民眾信賴的首要步驟。國內應可更積極朝向核能安全有關公司治理和組織管理方面展開作為。
- (四) 由公正客觀之第三者審查並公佈核電廠周圍環境輻射偵測結果，易為民眾所接受，值得效法。在國內興建中的核四也推動類似活動，但是其他核能電廠並未有類似組織，國內若有意加強核安宣導，這應該是值得參考的方式。

## 五、附 錄

### 1. 輻射照射之醫療過失矯正

12 月 8 日在三沢市停留的晚間新聞聽到，日本醫療學會宣布青森國立弘前病院在 4 年前的 11 年間有 217 位病人受到過量的輻射照射，原因是技師的劑量估算方法錯誤，同時也沒有查核制度，而醫師能未進一步複查，醫師與技師之間的不良溝通，以致造成醫療誤失。檢討的結果是必須確立醫師與技師之間的查核體制，也就是醫師開處方給技師而技師算出輻射劑量後再交回醫師複查(double check)，才能有效防止醫療過失。不知國內醫師與照射技師之間是否也有此種漏洞？可資借鏡。

### 2. 非核能電廠之低放射性廢棄物之最終處置計畫

上述日本核燃料公司所屬之六個所村最終處置中心僅接收來自各核能電廠的低放射性廢棄物，並不接收來自醫療體系、研究機構與其他同位素應用等所產生的低放射性廢棄物，目前情形為：

- 2.1 醫療廢棄物（醫院、診所、衛生檢查所）、放射性醫藥品及研究用廢棄物（教育機構、就機構、醫療機構、民間企業）：由日本同位素協會（Japan Isotope Institute）負責，須要處理的廢棄物則送往日本同位素協會滝沢研究所或日本原子力研究所（JEARI）處理後貯存保管，需要壓縮的廢棄物則由日本同位素協會關東第二中繼所進行壓縮後貯存保管。
- 2.2 日本原子力研究所（JEARI）所產生的廢棄物，則自行處理後貯存保管。
- 2.3 最終處置計畫規劃，於 2000 年由日本原子力研究所、日本同位素協會及核燃料循環研究所（Nuclear Fuel Cycle Institution）所成立的 RAMDEC（**R**adioactive Waste **M**anagement and Nuclear Facility **D**ecommission **T**echnology **C**enter）負責，預定自 2004 年開始進行處置場的選址作業。