

行政院及所屬各機關出國報告

出國類別：實習

## 赴美國日本參加核能四廠

### 運轉維護幹部技術訓練

#### 出國報告

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：修護處機械工程師  
核二廠核能工程師  
修配課機械工程師

姓名：李汪國  
康力仁  
董其元

出國地區：美國、日本

出國日期：89.5.16~89.11.11

報告日期：90.1.3

G3/  
          C08902982

# 目 錄

	頁數
壹、 出國任務與行程.....	2
貳、 實習內容.....	3
一、進步型沸水式反應爐技術訓練.....	3
二、分科專業訓練—機械組.....	14
三、美國北卡州 <b>Brunswick</b> 電廠技術交流.....	17
四、反應爐內部循環泵與微調控制棒驅動機構維修訓練.....	19
五、進步型沸水式反應爐製造廠家及 <b>ABWR</b> 電廠參觀.....	22
參、 實習心得與感想.....	23
肆、 建議事項.....	25
伍、 附件.....	27

## 壹、出國任務與行程

本次出國係第二批核四運轉維護技術幹部訓練，前往美國、日本接受進步型沸水式核能電廠(ABWR)有關之技術訓練。本組任務為學習ABWR相關之機械維護技術，分別前往美國加州San Jose廠商奇異公司之訓練中心、美國北卡羅萊納州Southport之Brunswick核能電廠及日本的柏崎刈羽核能電廠、日立公司與東芝公司。

本次出國期間自89年5月16日至89年11月11日，共計180天，行程如下：

- 一、89年5月16日至89年9月2日：美國加州San Jose，於奇異公司之訓練中心上課與實習；
- 二、89年9月2日至89年10月21日：美國北卡羅萊納州Southport，於Brunswick電廠之訓練中心上課與實習；
- 三、89年10月21日至89年11月5日：日本柏崎刈羽電廠，於該電廠之訓練中心上課與實習；
- 四、89年11月6日至89年11月11日：參觀日本日立公司、東芝公司及柏崎刈羽電廠。

## 貳、實習內容

本次出國受訓成員依專長分為機械組、核工組、化學組、電算組、儀控組、保健物理組、品保\品管組及領隊共二十四名，各組因專長不同，訓練內容略有差異，本組茲就機械專業部分之訓練內容敘述如下：

### 一、進步型沸水式反應爐技術訓練

#### (一)ABWR介紹

1. 進步型BWR電廠簡介。
2. 主廠房—反應器廠房、氣機廠房、控制室廠房、輔助燃料廠房等等之規化設計。
3. 廠內系統簡介—反應器流程、圍阻體、反應器壓力槽、爐心與燃料、反應器控制、反應器附屬系統、緊急系統、爐心中子偵測等。
4. ABWR安全的加強：Recirculation Piping改為Reactor Internal Pump(RIP)，消除爐心燃料區以下破管LOCA之潛在風險(圖一)。
5. ABWR操作及維修的改進：Hydraulic CRD改為Fine Motion CRD(FMCRD)，以馬達驅動Drive Piston，可微調抽插控制棒，增加功率控制之精準性(圖二)。

#### (二)Reactor Pressure Vessel Internals

1. RPV的安全功能。
2. RPV的主要組件頂蓋、底蓋、鎖緊螺栓、密封、殼環、RIP馬達機殼、連接管噴嘴、支持群板、爐心支持結構、爐心支持側板、蒸氣分離器、蒸氣乾燥器、RIPs等等。
3. RPV連接管穿越孔蒸氣管噴嘴、飼水管噴嘴、LPFC/SDC 回水穿越孔、SDC 取水穿越孔、HPCF 噴嘴、儀器孔、排水孔。

#### (三)Reactor Pressure Vessel Instrumentation

1. RPV之儀器指示—溫度、水位、壓力、真空度等。
2. 安全有關係統—反應器保護、特殊安全設施、爐心緊急冷卻、偵測與隔離系統、安全停機之系統及顯示儀器。
3. 水位儀器種類、偵測範圍、功能—窄幅、寬幅、停機灌水範圍、燃料區範圍、反應爐爐穴範圍等。
4. 各階水位保護/控制功能/及設定點基準—第八、第七、的六、第四、第三、第二、第一階半、第一階水位。
5. 爐心溫度、壓力、流量儀器。

#### (四)Fuel

1. 燃料組成—燃料元件及控制棒。

2. 燃料元件—燃料棒、底板繫板、指扣彈簧、燃料匣、間隔板、頂部繫板
3. 燃料丸—尺寸、材值、密度、濃縮度、形狀。
4. 燃料棒分類及組成—底部栓塞、護套、燃料丸、充氣室、充氣室彈簧、逐氫材料、頂部栓塞。
5. 燃料束及其構造—底部繫板、燃料棒、繫棒、水棒、間隔板、伸縮彈簧、頂部繫板。
6. 燃料組。
7. 燃料元件方向辨認。

#### **(五)Fuel Handling / Vessel Tooling**

1. 燃料操作系統有：(1)燃料裝換平台；(2)主吊車與燃料鉤；(3)輔助吊車；(4)控制系統；(5)電腦系統。
2. 燃料儲存與檢查：(1)新/用過燃料儲存池；(2)新/用過燃料儲存架；(3)新燃料檢查台。

#### **(六)Fuel Pool Cooling & Clean-up 燃料池冷卻及淨化系統**

1. 用過燃料池。
2. 溢流緩衝槽。
3. 燃料池水泵。
4. 過濾式除礦器。
5. 熱交換器。
6. 燃料池溫度、水質。
7. 運轉模式分爲正常運轉模式、正常熱負載運轉模式、最大熱負載運轉模式、燃料換添運轉模式、抑制池淨化運轉模式、反應爐爐穴/乾燥器/汽水分離器灌水模式、反應爐爐穴/乾燥器/汽水分離器洩水模式、燃料池補水模式、過濾器除礦器旁通運轉模式。
8. 控制與連鎖。
9. 其它系統介面關係。

#### **(七)Suppression Pool Clean Up 抑壓池淨化系統**

1. 主要設備流程介紹。
2. 運轉模式分爲正常運轉模式、大修前燃料換添運轉模式、大修後燃料換添運轉模式、燃料池補水模式、RBCW溢流緩衝槽補水模式。
3. 運轉模式。
4. 控制與連鎖。
5. 其它系統介面關係。

#### **(八)RWCU 爐水淨化系統**

1. 爐水再循環及爐水淨化。

2. 主要設備包括再生式熱交換器、非再生式熱交換器、爐水淨化再循環泵、過濾式除礦器。
3. 運轉模式分為反應爐起動運轉、反應爐功率運轉、熱待機運轉、熱停機且RIP不可運轉、添換燃料運轉、爐頂噴灑模式。
4. 儀器與控制介面。
5. 連鎖與跳脫機構。

#### (九)FMCRD 微調控制棒驅動機構

1. 微調控制棒驅動機構概述(圖三)。
2. 主要設備有：滾珠導螺桿及螺帽組件、微調控制棒殼、聯結短柄、外管、驅動軸、Spool Piece、微調控制棒馬達、煞車、分離偵測器、緩衝組件、電氣接線、防棒設出設計、棒位置指示器、同步信號產生器、控制棒葉片(圖四)。
3. 操作方式：以馬達控制驅動活塞，進行抽插動作。
4. 儀控及連鎖：組棒信號、SCRRI、棒分離偵測、ARI/急停的後備、封環洩漏偵測。
5. 系統關連：RPV、再循環水控制系統、棒控制與資訊系統(RC&IS)。

#### (十)Control Rod Drive (CRD) Hydraulics 控制棒液壓驅動器

1. 功能：預期暫態未急停(ATWS)時，提供替代棒插入(ARI)液壓急停(CRDHS)。並可提供高壓水給予FMCRD、RIP、RWCU的沖淨水。
2. 詳細說明：正常的控制棒是以電動驅動，急停時由蓄壓器提供控制棒液壓動力快速插入。
3. 操作方式：正常運轉、起動停機控制棒插入及抽出、SCRAM、替代控制棒插入。
4. 儀控及連鎖。
5. 系統關連。

#### (十一)RCIS棒控制與資訊系統

1. RCIS組件：棒控制附屬系統、RWM、ATLM、遙控通信箱、File Control Module、棒伺服組、微動驅動器控制箱、反向控制器、棒煞車控制器開關箱。
2. 運轉模式：自動、半自動、手動控制棒移動模式。
3. All-Rod-In(控制棒全入)機制。
4. RCIS的旁通。
5. 相關連系統。

#### (十二)Recirculation System (RCIR)

1. RCIR組件：馬達機殼、擴散管、轉子、靜子、伸長管、冷卻器。
2. 十只RPV內置型垂直循環泵RIP，環狀分部裝於RPV底部(圖五)。
3. RIP組成：內置泵、循環水馬達、伸長管。
4. 擴散管將冷卻水速度水頭轉換成壓力水頭。
5. 循環水馬達機殼是反應器壓力邊界完整性的一部份。

6. 馬達的設計：中空柱狀磁核、防反轉設計、浸泡於冷卻水中直接冷卻。
7. 馬達冷卻水由反應器廠房冷卻水系統提供。
8. 水封：主水封、次水封。
9. RIP電氣控制。

### (十三)Recirculation Flow Control System (RFC)

1. 再循環流量控制：提供十台RIP 110%，九台RIP 100%的流量控制，控制反應爐介於65-100%功率範圍時，不必借助抽控制棒，僅靠再循環流量控制系統即可改變爐心功率。
2. 系統：三組容錯數位控制器、可調速速度驅動器、馬達發電機組、變壓器感應元件、警報設施。
3. 保護跳脫功能：選擇插入、組棒、所有RIPs轉回、RIPs跳脫訊號、單一RIP跳脫訊號、阻止RIP啟動邏輯。
4. 爐心流量儀器：CPdP、PdP。

### (十四)Start Range Neutron Monitoring (SRNM)起動階中子偵測系統

1. 起動階中子偵測系統：提供反應爐起動階段至15%的功率暫態保護。
2. SRNM：具10個控道，每一控道含一個偵檢頭、前置放大器、信號處理器及旁通單元。
3. SRNM監測反應爐在Source & Intermediate Power Range的功率，當達到或超過設定值時，SRNM會提供跳脫信號給RPS與RCIS，使反應爐停機或進一步抽控制棒。
4. SRNM組件的說明。
5. 運轉模式分為Startup Mode、Run Mode、Refuel Mode。

### (十五)Power Range Neutron Monitoring (PRNM)功率階中子偵測系統

1. 功率階中子偵測系統：監測爐心功率。
2. PRNM：含局部功率監測(LPRM)、平均功率監測(APRM)、震盪功率監測(OPRM)。
3. PRNM的組件：LPRM偵檢頭/殼、LPRM/APRM/OPRM的Chassis、旁通單元、數據通訊功能單元。
4. 運轉：Startup Mode、Run Mode、Refuel Mode。

### (十六)Automatic Thermal Limits Monitor及Multi-Channel Rod Block Monitor

1. 自動熱值偵測(ATLM)：當爐心熱限值超過容許範圍，ATLM會引發阻棒及阻止流量增加的信號。
2. 多頻道阻棒偵測器(MRBM)，也是設計來停止控制棒抽出，及預防燃料損壞，為ATLM的後備。
3. 最小臨界功率比(MCPR)與最大線性熱產生率(MLHGR)的計算。

### (十七)Main Steam System (MS)

1. 蒸汽系統包括：主蒸汽系統、汽機旁通、抽氣系統。

2. 主蒸汽系統上各元件有主蒸汽管、流量限制器、安全釋壓閥、主蒸汽隔離閥、主蒸汽管洩水系統、反應器爐蓋通氣閥等。
3. 各項設備目的說明。

#### (十八) Main Turbine

1. 主蒸汽系統來之蒸汽推動汽機，出力137萬KW。
2. 主汽機含一座高壓汽機、兩只汽水分離再熱器、三座低壓汽機主要機件、潤滑油系統、EHC系統、汽封系統。
3. 各項設備包括：機殼、轉子、蒸汽閥、其它(含汽封、汽機洩水閥、低壓排汽室噴水系統、蒸汽排放系統、釋壓膜片、轉子接地裝置、轉子軸向移動測定器、軸位測微器、封油環、慢車迴轉齒輪、轉子零速指示器、監視儀器等)。
4. 汽機支持系統：汽封系統、抽氣系統、潤滑油系統、慢車迴轉齒輪、軸承推升油、油泵控制、液壓控制系統、液壓動力單元、汽機跳脫系統、汽機控制。

#### (十九) Steam Bypass & Pressure Control (SBPC)

1. 蒸汽旁通與壓力控制(SBPC)，於啓動、運轉、停機時控制汽機旁通閥，傳送訊號到電氣-液壓控制系統(EHC)，來控制汽機控制閥(TCV)的開度，借以控制反應器的壓力。
2. SBPC控制反應器的壓力，使反應器跳脫，汽機-發電機跳脫，主蒸汽隔離，安全釋放閥打開的可能性減至最小。控制方法是將超過壓力之蒸汽直接旁通至冷凝器去。
3. 系統：三重容錯數位控制器、主蒸汽系統、主蒸汽旁通系統。
  - (1)主蒸汽系統：主蒸汽平衡器
  - (2)旁通系統：旁通閥之安排、旁通閥制動器液壓管之安排、旁通系統失去動力時。
4. 操作、起動主蒸汽旁通：
  - (1)正常運轉：自動負載跟隨、汽機速度/負載控制。
  - (2)負載不平衡時：主蒸汽旁通或停機。

#### (廿) Main Condenser 主冷凝器

1. 冷凝水系統：含冷凝器、蒸汽空氣噴射器、冷凝水真空泵、及相關管路、閥、儀器等。
2. 冷凝器共有三個殼體，每一殼體又有二組管排箱，目的為接受汽機排汽、洩水，旁通系統蒸汽、加熱器排汽、洩水，冷凝器抽氣洩水，汽封蒸汽冷凝洩水，其它排氣及洩水
3. 蒸汽空氣噴射器與冷凝水真空泵用來排除空氣及氣體。
4. 設備說明：冷凝器殼體、熱井、汽機排氣罩、冷凝器水箱、蒸汽空氣噴射器、冷凝水真空泵。



### (廿一)Offgas Systems (OG)

1. 廢氣系統含冷凝空氣抽氣，及氣體放射性廢棄物處理兩段：
  - (1) 冷凝空氣抽氣送至汽機房加熱、通氣、空調系統(TBHV)處理凝結等。
  - (2) 氣體放射性廢棄物處理過程加氧，和反應爐之加氫混合凝結為水，凝結水再經冷凝、乾燥後放射物質由碳床吸收。
2. 廢氣系統：過濾空氣、放射性同位素Krypton、Xenon、Iodine、氮、氫及氧等，放射性衰變後再放出大氣。
3. 設備說明：廢氣抽氣器、吹氣器、過濾器、冷凝器、冷卻冷凝器、再生氣體冷卻器、氫氧結合、乾燥器、保護床、活性碳衰變床、儀器控制。

### (廿二)Water Systems 水系統

1. 水系統含反應爐廠房冷卻水系統(RBCW)，反應爐廠房廠用海水系統(RBSW)，補充水系統(MW)，循環水系統(CWS)，汽機廠房冷卻水系統(TBCW)，汽機廠房廠用海水系統(TBSW)等。
2. RBCW有三個閉迴路區，發生DBE時，經RBSW將機組安全停機所需的輔助設備的熱量排放到外界。
3. RBCW運轉模式：Normal Operation、Shutdown Cooling、Operation in Response To Emergencies。
4. RBSW在當Normal Operation、Shutdown Cooling操作或發生LOCA時，提供冷卻水的功能。
5. RBSW運轉模式有：Normal、Shutdown、Hot Standby、Hot Standby LOPP、Suppression Pool Cooling with 97° S/P Temperature等Modes。
6. 其它尚有MWS、CWS、TBCW、TBSW等系統之說明。

### (廿三)Condensate Polishing (Con-Demins)

1. 凝結飼水系統：四台各具1/3額定量的凝結水泵及凝結水增壓泵，提供四條從冷凝器熱井到反應器飼水泵之取水系統，正常時只3台凝結水泵及3台凝結水增壓泵運轉，第四台凝結水泵及凝結水增壓泵備用。
2. 凝結水清潔系統(CPS)主要設備：混合床、深床除礦器、CPS預洗過濾器、CPS預洗過濾器空器儲箱、CPS濾布過濾器，CPS預洗過濾器逆洗系統。

### (廿四)Feedwater System

1. 飼水系統：含3台汽機驅動飼水泵，2串高壓飼水加熱器，及相關管路、閥，馬達驅動飼水泵1台做為起動用。
2. 正常運轉時由2台各55%容量之汽機驅動飼水泵，由各自供水線從凝結水系統取水。
3. 設備說明：汽機驅動飼水泵、馬達驅動飼水泵、第一段高壓飼水加熱器、第二段高壓飼水加熱器等。

4. 系統操作模式：Startup、Normal Operation、Shutdown、RCIC Injection、Test、Other Transients、One String of HP Feedwater Heaters Isolated、Loss Offsite Power、Final Feedwater、Temperature Reduction、Turbine Trip等Modes。

#### (廿五)FWC/FWPTS

1. 飼水控制系統：飼水控制系統在各種反應爐操作模式下，用RPV水位、蒸汽流量、飼水流量、RWCU流量，來自動控制反應爐的水量。
2. 系統控制器：容錯數位控制器(FTDC)、Master Level Controller、Master Flow Controller、Loop Master Flow Controller、RWCU Blowdown Flow Controller。

#### (廿六)Moisture Separator Reheater (MSR)

1. 汽水分離再熱器：高壓汽機做功後出來的蒸汽流經汽水分離再熱器，並由主蒸汽引出一些蒸汽將汽水分離並再熱後，再進入低壓汽機做功。
2. 汽水分離再熱系統：共 A、B兩串平行操作系統。
3. 系統設備：汽水分離再熱器、加熱蒸汽管路、低溫再熱蒸汽管路、高溫再熱蒸汽管路、汽水分離器排水槽排氣及管路。

#### (廿七)Feedwater Heaters Vents & Drains

1. 飼水加熱：汽機做功之冷凝水經飼水系統加熱後再進反應爐。
2. 飼水加熱排氣：排除飼水加熱器非凝結氣體。
3. 飼水加熱器：為水平、兩級、U型管狀熱交換器。

#### (廿八)Generator / Excitation System

1. 電流：電流產生之三要素為導體、磁場及兩者的相對運動。
2. 發電機：發電機轉子由汽機帶動，靜子線圈切割導體轉子，使發電機轉換轉動機械能成為電能。
3. 相關設備：靜子線圈、氫氣冷卻、二氧化碳清除、氫氣封油、發電機匯流排冷卻、發電機監視。

#### (廿九)EDG's 緊急柴油發電機

1. 緊急柴油發電機：三台EDG位於反應器廠房，一台Swing (SDG)位於輔助燃料廠房。
2. EDG自動起動訊號：
  - (1)該區4.16 KV匯流排電壓低於75%之正常輸出。
  - (2)高乾井壓力。
  - (3)Level 1反應器水位。
3. SDG自動起動訊號：
  - (1)當EDG起動而該區4.16 KV匯流排電壓低於75%之正常輸出。
  - (2)EDG起動失效。
4. 柴油發電機系統：燃油系統、潤滑油系統、冷卻系統、起動空氣系統、進排氣

系統。

### (三十)Electrical Power Distribution

1. 電力分佈系統：分廠外與廠內電力。
2. 廠外電力系統：廠外電力輸送網(345KV及161KV)、開關場、開關場至變壓器之高壓電路、主及輔助變壓器、發電機及斷電器、隔離匯流排。
3. 廠內電力系統：安全中壓電力系統(Class 1E MVD EDG)、緊急柴油發電機及低壓電力系統(Class 1E LVD EDG)、蓄電池及直流電系統、儀控及緊要電力。
4. 設備：主變壓器、發電機斷電器、輔助變壓器、備用輔助變壓器、緊急柴油發電機、13.8KV匯流排、4.16KV匯流排、480V負載中心與馬達控制中心。
5. 電廠負載：共同、正常、及緊急負載。

### (三一)直流與緊急電源

1. 直流電系統：分為Class 1E 125VDC、Non-Class 1E 250VDC、Non-Class 1E 125VDC三個系統。
  - (1)Class 1E 125VDC：負載區 I、II、III、IV及0。
  - (2)Non-Class 1E 250VDC：控制廠房負載群A&B與汽機廠房負載群A&B。
  - (3)Non-Class 1E 125VDC：負載群A&B&C。
2. 直流電系統：蓄電器組、充電器、直流負載中心、分電盤、及其控制監測保護。

### (三二)Vital AC 緊要交流電系統

緊要交流電系統分為不斷電Class 1E CVCF、Non-Class 1E CVCF、Computer CVCF三個系統：

1. Class 1E CVCF：I、II、III、IV及0 負載區，其中 I、II、III、IV之Maintenance Bypass Switch、Main Distribution Panel位於控制廠房，而Division 0之Maintenance Bypass Switch、Main Distribution Panel、Step-down Transformer位於輔助燃料廠房。
2. Non-Class 1E CVCF：負載群A&B&C。
3. Computer CVCF：負載群A&B。

### (三三)Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC)

安全有關之加熱通風空調系統(HVAC)分為控制廠房HVAC(CBHV)、反應器廠房HVAC(RBHV)、反應器廠房水泵室通風(RBPV)、輔助燃料廠房HVAC(ABHV)。

### (三四)Plant Air Systems

廠房空調系統含常用空氣系統、儀用空氣系統、氮氣系統、呼吸空氣系統。

### (三五)Process Rod Monitor

1. 流程輻射監測：監測反應器廠房HVAC、燃料處理區HVAC排風口、控制室活動區CRHA空氣吸入口、乾井洩水槽出口、主蒸汽管等的輻射計量。
2. PRM設備與偵檢頭：輻射偵檢組件、取樣組件、等動能探針、取樣管、取樣盤、

過濾器信號處理單元、幅射性的查核與校正源。

3. 幅射偵測支系統：

- (1) 離線偵測：處理後廢氣、機組煙囪排氣、處理前廢氣、廢氣廠房通風排氣、備用氣體處理排氣、液體廢料排放、DW分裂產物取樣、通風煙囪排氣。
- (2) 線上偵測：主蒸汽管渠道區、活性炭床房通風排氣、汽機廠房通風排氣、反應器廠房通風排氣、控制廠房通風進氣、備用氣體處理系統排氣、燃料處理區通風排氣、反應器廠房冷卻水內漏、乾井洩水槽廢液排放等。

**(三六)Area Rod Monitor**

1. 區域放射偵測目的是將各廠區內之選定位置的 $\gamma$ 射線的劑量，提供做為控制室的顯示與記錄。
2. 功能：
  - (1)提供測量、指示、警報與記錄及廠區重大幅射量之警報。
  - (2)幅射外洩時，提供廠區電腦分析，及輔助流程幅射監測系統(PRM)和幅射外洩(LDIS)偵測之用。
  - (3)偵測廠內幅射物之移動。
3. 設備組件： $\gamma$ 幅射偵檢頭、現場輔助單員(指示及警報)、數位訊號處理單元。

**(三七)Normal Plant Operations**

1. 電廠正常起動停機
  - (1)IOP 201程序：為起動及冷或熱停機至45%。
  - (2)IOP 202程序：為45% 到 100% 功率改變的操作。
  - (3)IOP 203程序：為停機自 45% 功率下降以下。
2. 程序書與規範抵觸：以技術規範為主。
3. IOP 201程序：主冷凝器建立真空、準備抽控制棒、抽棒至臨界、反應爐加熱、加熱至1.03 MpaG、加熱至6.55 MpaG、加熱至6.55 MPaG、轉換到運轉模態、汽機及發電機起動、發電機並聯並負載、反應器功率加到25%、反應器功率加到45%。
4. 反應爐操作圖：功率及循環水流量軌跡特性圖。

**(三八)Plant Computer System (PCS)**

主要廠用電腦系統：顯示系統、安全參數系統、爐心監測、警報與警示系統、功率產生控制系統、線上程序書、運轉規範監視器、熱效能監視器、歷史/暫態記錄分析資料庫、報告撰寫機、電廠構型資料庫系統。

**(三九)Automatic Power Regulator (APR)**

1. 自動功率調整器主要功能是經由適當指令改變控制棒的位置，或改變反應爐再循環水的流量，以控制反應爐的功率。APR與PGCS抵觸時PGCS優先。
2. APR系統架構：一組具備執行控制流程、三重容錯功能的控制處理器、提供其它

系統介面進行信號傳遞的三個通道。

3. 操作運轉：(1)功率運轉模式；(2)啟動模式；(3)熱停機模式；(4)冷停機模式；(5)更換燃料模式等。

#### (四十)Abnormal Plant Operations

不正常操作程序：AOP 501.1、AOP 506.2、AOP 512.1、AOP 524.4 等程序。

1. AOP 501.1：Scram Recovery。
2. AOP 506.2：Stuck Open SRV。
3. AOP 512.1：Open RIP Trip。
4. OP 524.4：Loss of Offsite Power。

#### (四一)Reactor Protection System (RPS)

1. 反應爐安全保護系統：防止燃料溫度過高、反應爐壓力過高、反應爐安全保護限制放射物外洩。
2. 引起Scram信號：(1)中子偵測出過高；(2)反應爐高壓力；(3)反應爐低水位；(4)乾井高壓力；(5)主蒸汽隔離閥關閉；(6)汽機關斷閥關閉；(7)汽機控制閥快速關閉；(8)抑制池高溫；(9)強烈地震；(10)控制棒驅動液壓單元充水集管壓力偏低；(11)手動。
3. RPS架構設備：(1)儀器控道；(2)跳脫邏輯支控道；(3)動作器支控道；(4)手動急停支控道。

#### (四二)SSLC

1. 安全系統邏輯是ABWR的自動保護決策樞紐，執行自動或手動反應器跳脫、系統隔離、安全保護的動作。
2. SSLC由緊要多工系統(EMS)之四個分離電力獨立之儀控區(I、II、III、IV)運作。
3. 系統設備包括：數位跳脫模組、類比跳脫模組、跳脫邏輯單元或安全系統邏輯單元、旁通單元、平面顯示控制器、輸出邏輯單元、ATWS邏輯單元、抑制池溫度監測計算模組。

#### (四三)Multiplexing

多工系統包括可擴展性功能之分散系統，具備各種特定功能的軟、硬體模組，以及連結各個模組達成系統功能的通訊網路架構。有緊要多工系統(EMS)及非緊要多工系統(NEMS)。

#### (四四)Primary and Secondary Containment

1. 一次圍組體含完全包封反應器系統、乾井、與壓力抑制室，含加強鋼筋水泥內襯鋼板壓力槽、濕井加壓區、下乾井區、少量水平通洩管、池內延伸水平通氣管、抑制池。
2. 二次圍組體基座含反應器廠房區，完全包封一次圍組體，提供暫時性的保留一次圍組體洩漏出之放射性物質，再經處理後才放至外界。

#### (四五)Standby Gas Treatment System (SGTS)

1. 備用氣體處理系統為兩串各100%容量之平行處理系統，處理一次或二次圍組體出來出之氣體。
2. 每串SGT含氣水分離器、氣水分離加熱器、預先過濾器、高效率空氣過濾器(HEPA)、木碳床吸收器、過HEPA後過濾器。

#### (四六)PCIS/Leak Detection & Isolation (LDI)

1. 放射物洩漏偵測與隔離系統使用溫度、壓力、輻射及流量感測信號的儀器控制方式來指示及警告反應器壓力邊界的放射物洩漏。
2. 由安全系統邏輯與控制(SSLC)來執行。

#### (四七)Standby Liquid Control (SLC)

1. 備用硼液控制系統能將中子毒素溶液注入反應器，中子毒素可吸收中子。所以SLC為可在爐心循環的任何時刻，不需用控制棒，而能將反應爐由全功率停機的後備方法。
2. SLC的主要設備主件：硼液、硼液儲存槽、儲存槽電熱器、試驗槽、兩台排量式泵、兩個馬達操作注入閥、圍組體隔離閥、移動式洩水收集筒、取樣盤、儀控系統。

#### (四八)Residual Heat Removal System (RHR)

1. 餘熱移除系統：
  - (1)LOCA時或爐心隔離冷卻(RCIC)或高壓注水(HPCF)失效之低水位暫態時，RHR能補水恢復水位。
  - (2)緊急停機或冷機時，RHR能移除熱量以冷卻機組。
  - (3)本系統能用抑壓池冷卻或圍組體噴水運轉模式，以移除釋放到抑制池或圍組體的熱量。
2. RHR有三個迴路(A、B、C)，正常時由抑壓池取水，必要時由反應爐或燃料池取水。A迴路經由飼水管路A注入到反應爐，B&C迴路直接穿越反應爐壓力槽進入反應爐。
3. 設備含抑壓池吸水集管、RHR水泵、熱交換器、管、閥。
4. 運轉模式：低壓灌水模式、抑壓池冷卻模式、停機冷卻模式、燃料池冷卻模式、圍組體噴水模式、消防水補水模式、試驗運轉模式。

#### (四九)High Pressure Core Flooder (HPCF)

1. 高壓注水系統：LOCA時，緊急爐心冷卻用，有兩個迴路。
2. HPCF主要由冷凝水儲存槽取水，抑壓池後備取水，經噴水環直接噴灑於燃料上方。
3. 設備包括取水口過濾器、水泵、馬達、可試驗止回閥、最低流量閥、凝結水槽及凝結水傳送系統。

#### **(五十) Reactor Core Isolation & Cooling (RCIC)**

1. 爐心隔離冷卻系統：
  - (1)也是LOCA時，提供RPV的補水，緊急爐心冷卻用。
  - (2)小破管的LOCA時，僅靠RCIC就能補充維持水位在爐心頂部，以避免自動洩壓(ADS)之動作。
  - (3)偵測到RCIC之蒸汽管線有破管或洩漏時，會自動關閉圍組體之隔離閥。
2. RCIC主要由冷凝水儲存槽取水，抑壓池後備取水，經由飼水之噴水環直接噴灑於降流區。
3. 組件包括RCIC泵、推動RCIC泵之汽機、取水口過濾器、管路充水系統、凝結水槽、管、閥。

#### **(五一) Automatic Depressurization System (ADS)**

自動洩壓系統主要功能為在管路小破、高壓系統故障等原因，而無法將爐水補回，且反應爐壓力仍高時，使低壓灌水系統無法補水，自動釋壓系統將開啓8個安全釋壓閥，使反應器壓力下降，以便LPCF迅速補水。

#### **(五二) Plant Transient Analysis**

1. 暫態事故分析是對假設設備故障及預期流程擾動之效應，加以檢視，以驗證電廠系統與設備之設計是否可承受此等故障或事件之後果。
2. 事件分類：反應器冷卻水溫度降低事故、反應器系統壓力增加事故、反應器冷卻水流量降低事故、爐心反應度與功率分佈異常事故、爐心冷卻水存量增加事故、爐心冷卻水存量減少事故、放射性物質從次系統或設備釋放、預期暫態未急停。

#### **(五三) Startup Testing 起動測試**

內容主要說明未來燃料裝填後電廠負責執行的Startup Test之計劃、進度及組織，並對41個測試項目做簡要介紹。包括「起動測試手冊」(Sam—Startup Administration Manual)及「起動測試程序書」(Startup Test Procedure)。

#### **(五四) Engineering Drawings, Documents, Records & Files**

係認識各式工程圖面與資料的種類用途、管理，以及電腦查詢、調閱功能之訓練。將文書數位資料管理的任務交由B&V公司負責，此資料庫功能強大且完善。

## **二、分科專業訓練—機械組**

### **(一) 機械材料**

本課程內容著重在核能設備設計上材料之考慮、核電廠材料使用上曾經產生之變化及問題，RPV材料在輻射及高溫環境下之監測。除課堂講授外另外還實做金屬材料

在各種溫度下之敲擊破壞Charpy Test實驗。

1. 材料學，高溫下材料之韌性脆化，材料之潛變。
2. 常用核能設備材料之分類、適用性說明及選用。
3. IGSCC、IRSCC機制。
4. 核能設備使用STALLITE材料產生放射線釋出，討論合金上單金屬鈷等對放射環境之影響。
5. Charpy Test之理論，溫度變化曲線實驗， $RT_{NDT}$ 求法。
6. 實做金屬材料在各種溫度下之敲擊破壞 Charpy Test實驗。
7. ASME Code上核能之材料、壓力容器、製造、檢驗、裝設、維護之規定說明。
8. RPV如何做幅射及高溫環境下之材料試片、材質變化監測。

## (二)非破壞檢驗

1. VT、PT、MT、UT、RT、ET之訓練課程及實做。
2. ASME Code上非破壞檢驗之規定。
3. ASME Code上其它相關之規定。

## (三)主蒸汽關斷閥(MSIV)

本期之上課內容除以投影片課堂講授外，另有現場MSIV拆裝之工廠實做實習。

1. MSIV閥與系統連結之說明。
2. MSIV閥圖面零件解說，開閉氣動控制系統、開閉速度控制、開閉時導引閥及主閥動作順序、拆裝時間隙保持等說明。
3. 舊型MSIV閥拆卸、組裝，程序訓練。
4. 模擬核電廠現場，限制空間內要拆裝傾斜之MSIV閥，吊架裝設之探討。
5. MSIV閥接觸止漏方式、材質，維修時磨修止漏方法及工具說明。試漏方法。
6. 另外MSIV系統設計顧問Nieh先生，從設計角度方面說明MSIV及解答講師及學員提出之各個問題。

## (四)核能化學

1. ABWR水化學概述：核電廠之化學控制。
2. 反應器冷卻水化學基本原理：水容解、水導電度與PH值、水中之氣體容解、反應器水中腐蝕物之化學行爲、水幅射及幅射氣體產物、加氫水化學之化學技術基礎。
3. ABWR之水質控制：水質控制的目地、雜質的來源、暫態狀況、水化學控制參數水質規範、水化學偵測、GE的化學資料庫。
4. 水化學在材料腐蝕及IGSCC的影響
5. 水淨化技術：過濾技術、離子交換床及反應、凝結處理細統、過濾及除礦系統RWCU系統、液體廢棄物處理。
6. 放射化學：放射衰變及成長、樣本及幅射值測量、Gamma值譜分析。
7. BWR之幅射產物：水可容物值、溶解產物，溶解物來源，燃料完整分析，失效燃料、



腐蝕產物。

8. BWR系統腐蝕產物的轉換：燃料表面腐蝕物生成及燃料失效、材料表面腐蝕物生成及輻射生成。
9. 輻射偵測：過程輻射偵測、區域輻射偵測。
10. BWR冷卻技術專題：HWC及NMCA技術、輻射廢棄物管理。

#### (五)各型反應爐之設計

1. 認識反應爐內部組件之名稱及位置。
2. 學習各種反應爐專用工具之使用。
3. 分辨BWR 2~6各型電廠反應爐設計之異同。
4. 研習ASME Code Section XI相關法規。
5. 瞭解Mark I ~ Mark III及ABWR電廠Containment、Fuel Pool及Refueling Floor設計之異同。

#### (六)燃料填換樓技術指導員(Refueling Floor Technical Director, RFTD)之職責

1. 注意工作安全：
  - (1)隨時注意工作人員身心狀況。
  - (2)隨時提醒現場危險因子。
2. 掌握工作效率：
  - (1)工作進行中，隨時想到下一件工作及其與其他工作之介面，並預作安排。
  - (2)利用現場吊車〈Overhead Crane, Refueling Bridge & Auxiliary Platform〉不同之性能，將工作合併進行。
  - (3)利用燃料填換樓Dryer/Separator Pool、Reactor Cavity及Spent Fuel Pool三池分離的特性，配合可使用之吊車，充分並行工作，以節省Critical Path的時間。

#### (七)燃料填換有關係統

1. 爐水冷卻系統：包括RWCU、FPCCU及RHR Shutdown Cooling Mode。
2. 水質淨化系統：包括RWCU及FPCCU。
3. 大修灌水及洩水系統：
  - (1)灌水：主要由Condenser Hotwell經Condensate Pump經Condensate Demineralizer經Feedwater Line灌水至反應爐。
  - (2)洩水：至CST、Condenser、Suppression Pool或Radwaste。

#### (八)反應爐燃料填換RFTD(Refueling Floor Technical Director)相關職責與技能

1. 學習安排反應爐燃料填換期間各項工作排程。
2. 練習反應爐燃料填換專用工具之使用。
3. 實際演練反應爐蓋、蒸汽乾燥器及汽水分離氣器之搬移及組裝。
4. 研習燃料填換平台之控制電路圖及問題排除(Trouble Shooting)。
5. 瞭解反應爐燃料填換前，各項事前準備工作及注意事項。

**(九)練習反應爐燃料填換專用工具**

1. 反應爐螺栓(RPV STUD)拉伸器：包括液壓動力供給器、拉伸器和螺栓安裝及拆解之程序。
2. 反應爐乾燥器及汽水分離器吊架(carousal)：包括吊架固定門銷之Engage及Disengage與不同吊搬作業之轉換。
3. 反應爐側板蓋螺栓(Shroud Head Bolt)拆裝工具：包括安全作業方式及SHB拆裝程序。

**(十)RFAO (Refueling Floor Activity Operation)訓練**

1. 燃料填換機器操作。
2. 實際之燃料挪移和吊運、LPRM Dry Tube之更換。
3. 燃料支撐塊和控制棒葉片移動與安裝。
4. Fuel Bundle之channeling與de-channeling，LPRM移動與安裝。

**(十一)VT / IVVI Examination Level III**

1. 目視檢測程序之發展及相關法規之演進。
2. 潛在損壞及損壞分析之探討。
3. VT-3目視檢測程序，包括泵浦、閥門和組件支架檢測與系統壓力測試。

**三、美國北卡州 Brunswick 電廠技術交流**

**(一)幅射防護進廠訓練**

**(二)吊具及起重訓練**

各種吊耳、吊鉤、Turnbuck、合成纖維吊繩、Come along 等等的使用及相關規範。

**(三)維護法則 Maintenance Rule -- a(4) Paragraph**

1. a(4) Paragraph適用範圍。
2. 評估基準與方法。
3. 維護法則a(4) Paragraph作業程序與相關部門責任。

**(四)AOV氣動閥致動器之維護**

1. 核能電廠氣動閥之種類。
2. 氣動閥內部構造。
3. 氣動閥致動器之檢修程序。
4. 故障排除Trouble Shooting及問題改善。

**(五)GE公司之燃料工廠參觀**

1. 燃料護套及控制棒之加工製造。
2. 燃料丸裝填和燃料束之組裝。
3. 燃料濃縮與燃料丸之製造。

#### (六)機械軸封

1. 機械軸封之原理及各種機械軸封之設計。
2. 機械軸封安裝標準程序。
3. 故障原因與排除方法。

#### (七)泵浦維護實做練習

1. End-suction Pump之拆解及回裝。
2. 多級式CRD泵浦之拆解、回裝及故障排除(找出並排除Shaft無法轉動之原因)。
3. 直立式Vertical 2-stage Sea Water Pump之拆解及回裝。

#### (八)閘閥、球閥及擺臂式止回閥的閘座和閘盤之維修研磨。

1. 拆解閘閥並Blue check檢查閘座密合度。
2. 使用EFCO工具研磨閘座。
3. Swing Check止回閥之閘座研磨，因閘座面傾斜較閘閥為大，故研磨工具須另加裝傾斜塊，以調整傾斜角度。
4. 球閥研磨時應先測量閘座接觸面角度或由圖面取得相關資料後，安裝適當角度研磨盤之研磨工具施工。

#### (九)維護法則(Maintenance Rule)之規劃、建立和實行

1. Brunswick電廠最初實施MR時所使用的程序書（包括所涵蓋之所有SSCs）。
2. BNP電廠MR之Performance Criteria。
3. 對於無法達成MR paragraph a(2)之SSCs瞭解其如何研擬改善方案並訂定目標值，以及如何定期檢討改進。
4. 瞭解Brunswick電廠依10CFR50.65 paragraph a(3)所述的執行評估方案。
5. BNP規劃中之paragraph a(4)作業程序。

#### (十)RCIC之Turbine的維修

1. RCIC系統說明。
2. RCIC之Turbine的拆裝、維修及調整。
3. RCIC之Turbine之調速閥的拆、裝、調整。
4. RCIC之Turbine之跳脫測試。

#### (十一)HPCI之Turbine的維修

1. HPCI系統說明。
2. HPCI之Turbine的拆裝、維修及調整。
3. HPCI之Turbine之跳脫測試。

## 四、反應爐內部循環泵與微調控制棒驅動機構維修訓練

### (一)柏崎刈羽電廠介紹、訓練中心觀摩

柏崎刈羽電廠按照全尺寸之BWR5/ABWR建造一個模擬BWR5/ABWR(各一半)的模擬反應爐訓練大樓，樓高8層(含地下6層)，裝置有ABWR之RIP及FMCRD拆裝訓練設備，RIP為Hitachi製，FMCRD為Toshiba製(該模擬設備製造商恰與核四相反，但構造相似)，規模完善。

RIP原理及拆裝示範由日立公司擔任，FMCRD則由東芝公司負責，兩公司皆為RIP以FMCRD的設計製造廠家，講師對於內部結構、動作原理、拆裝程序及技巧，熟稔，學員問題，皆能即時且精確回答，再配合動作熟練之技術員協助拆解示範，可使學員充份了解各項功能。

本次訓練課程得來不易，故全體受訓學員皆非常認真學習，受訓過程中除對不明瞭之處，不斷提出問題找出正確答案外，全程並以一部數位像機、兩部V-8錄影機拍照及錄影存檔。本組成員在此接受反應爐內部循環泵(RIP)與微調式控制棒驅動機構(FMCRD)維修訓練獲益良多。

### (二)RIP之拆裝維修(圖六)

1. RIP拆解訓練，依柏崎刈羽電廠相關程序書。
2. RIP回裝訓練，依柏崎刈羽電廠相關程序書。
3. RIP拆裝設備工具解說。

### (三)反應爐內部再循環水泵(RIP)

#### 1、反應爐內部再循環水泵之概述：

RIP 泵計有 10 部平均分佈裝在 RPV 槽底部。為軸流、濕式與變速馬達泵，並藉由 RIP 改變速度而調整功率大小輸出，當 RIP 泵轉速達 40%~100%之間時，可達額定功率輸出 65%~100%，另可藉由 7、8 台 RIP 的運轉，仍可達到電廠機組降載運轉。在爐心末期，所有控制棒抽出時，則爐心流量可逐漸增加至 110%以維持 100%功率輸出。

循環水泵本身有馬達冷卻、馬達沖淨系統供馬達冷卻及洗淨，及馬達軸封膨脹、馬達供電系統等。泵馬達軸封膨脹系統，用以防止 RPV 爐水往下流至馬達，在 RIP 要進行維護時，二次軸封可封閉，並洩掉馬達側室內的水，拆卸馬達進行維修等。基於達成這樣的功能，循環水泵設計含如下之三大主要件：

#### (1)泵本體

泵本體位於反應器內，靜止部份為 Diffuser，轉動部份為葉片(Impeller)，泵葉片為單段式，由一長軸及其泵馬達所驅動。長軸裝於扣緊套管(Stretch Tube)內，泵馬達裝於反應器外部之泵管殼座上，方便從反應器外部拆解檢修。

## (2) 泵馬達

泵馬達部份裝置於馬達金屬殼內，而馬達金屬殼則焊接在泵管嘴殼座上，在馬達金屬殼底端的馬達蓋，同時可做為防轉止推軸承基座。

## (3) 扣緊套管 (Stretch Tube)

是一支如中空螺栓的薄套管，上部凸緣及底部螺紋可扣緊固定 Diffuser。

## 2、RIP 維修概述：

- (1) 各項施工機具、備品、電、水、空氣、液壓管線之準備，並檢測、試運轉。
- (2) 馬達注水系統、熱交換器洩水系統、熱交換器逸氣系統、二次密封加壓系統、排水等之接管及準備。
- (3) 系統設備四周須有足夠的空間供安裝、拆卸、維修。
- (4) 反應器底樓裝設有泵及馬達拆裝台架及吊裝、移動等機具。
- (5) 反應器樓填換燃料吊、台車(Refueling Platform)有專用吊具，於反應器上方拆、裝及吊運泵浦葉片、軸及 Diffuser。反應器樓另有各式吊具及專用存放架。
- (6) 每次大修拆檢 2 台，主要拆檢更換馬達、軸封等。2 台 RIP 馬達備品預備，拆下之馬達檢修作下次大修之準備。
- (7) 工作從爐底拆卸馬達，再至 Refueling Floor 拆卸吊運泵浦葉片、軸及 Diffuser。
- (8) 維修工作約五天可完成。拆裝順序步驟為馬達移除，泵軸移除，二次密封拆解，二次密封回裝，第泵軸回裝，馬達回裝與復原。
- (9) 拆裝時，一次密封及二次密封適當交換作用、加壓防水密封，以利馬達、泵軸、葉輪等移除。一次密封為軸環坐落在 Stretch Tube 頂端上，密合閉水。防止爐水沿著 Stretch Tube 往下流。二次密封為馬達軸封，主要在拆卸馬達時封閉軸封，並洩掉馬達側室內的水，防止爐水往下流入馬達區，以便拆卸馬達進行維修等。
- (10) 馬達拆卸完成後，再拆卸泵軸及 Impeller 等，吊出以目視檢查後回裝，若有問題，才進一步檢查 Diffuser Wear Ring 及相關部位。
- (11) 二次密封及墊圈、O-Ring 等消耗品及軸承部份一律更新。
- (12) 馬達冷卻之熱交換器每次大修抽一台以 PT-VT 方式檢查。
- (13) 泵軸組件吊移時，注意燃料機械、吊車及其相關之連鎖之使用，以避免發生碰撞、彎曲或傷及反應器頂蓋凸緣槽之情形。
- (14) 泵浦葉片、軸及 Diffuser 必須可以被 Refueling Platform 裝上專用吊具，將之吊離開，送到 RPV 外專用儲存架上存放。

## (四) FMCRD 訓練(圖七)

1. FMCRD 拆解訓練，依柏崎刈羽電廠相關程序書。
  2. FMCRD 回裝訓練，依柏崎刈羽電廠相關程序書。
- FMCRD 拆裝設備工具解說。

## (五)微調控制棒驅動機構 (FMCRD)

FMCRD 是用來控制爐心控制棒的位置調整之用。FMCRD 驅動使控制棒上下移動的方法，是步進馬達驅動滾珠導螺桿轉動，而導螺桿之軸承螺帽會沿著導螺桿軸移動，並推動與控制棒葉片相互連結之中空活塞管。所以當滾球導螺桿軸承螺帽上下移動時，中空活塞管推動控制棒葉片插入爐心或退出爐心。

FMCRD 除控制爐心控制棒插入、抽出功能的位置調整之外。另外並有密封功能，即控制棒驅動液壓系統供應沖淨水，用以防止異物由反應爐流進控制棒機構。和急停功能，用高壓水灌注到驅動機構線軸短管下方，以使控制棒快速插入反應爐。並且馬達轉動滾球軸承螺帽往上升追隨到與控制棒同步。

### 1、微調控制棒驅動系統組件

FMCRD 是由(1)上部組件;(2)線軸短管(Spool Piece)及(3)馬達，三個部份組成。

(1)上部組件共有: 滾珠導螺桿及軸承螺帽組件，中空活塞管(Hollow Piston)，導管(Guide Tube)，聯結短柄(Coupling Spud)，外管(Outer Tube)，驅動機構殼(FMCRD Housing)，及驅動軸(Drive Shaft)

滾珠導螺桿與馬達驅動軸藉線軸短管(Spool Piece)之驅動軸連接，而滾珠導螺桿之軸承螺帽則附於其上。故滾珠導螺桿軸承螺帽可在驅動軸心的螺線上滑動作上下動作。

急停後當滾球軸承螺帽的上端接觸到中空活塞管下端時，將會使中空活塞管內的兩個彈簧推動門鎖被維持在收起的位置。

中空活塞管位於滾球螺帽(Ball Nut)的上端，與控制棒利用插旋鎖(Bayonet Lock)偶接。控制控制棒插入與抽出動作。在急停時，液壓施加在中空活塞管，與滾球螺帽分離，以達到快速插入動作。

FMCRD 導管係用以導引 FMCRD 之軸向動作。

聯結短柄是以螺紋及針銷固定在中空活塞管的上端。並有四根指扣套座套住控制棒葉片的底端。

外管為不鏽鋼管，承受微調控制棒驅動機構殼的密封。並用來承受急停時最大的系統壓力。

控制棒殼焊在柱管(Stud Tube)上，而柱管又焊接在反應爐底蓋上。在控制棒殼的下端有一個凸緣。

驅動軸有三個部份即步進馬達轉軸、線軸短管軸、滾珠導螺桿軸。並以栓槽聯結器連接。

### (2).線軸短管(Spool Piece)

線軸短管內含有驅動軸中段、徑向滾珠軸承(Radial Ball Bearing)、止推軸承、分離偵測機構、封環及填料(Packing)組件。

線軸短管拆下維修時，防轉動裝置會嚙入，以阻止驅動軸的螺紋部分轉動，因而防止了控制棒的移動。

(3).微調控制棒馬達

驅動馬達為步進式的馬達。能精確的控制 FMCRD 的速度與棒位。並另有一煞車機構附在馬達上。

(4).其它:

FMCRD 其它部份還含有分離偵測器 (Separation Sensing)、緩衝組件 (Buffer Assembly)、棒位置指示器、同步信號產生器 (Synchro Signal Generator)、防止控制棒射出、及控制棒自由掉落限制等。

2、FMCRD 反應爐底拆、裝

(1).FMCRD採備品經分解、點檢後作更換。

FMCRD分解、點檢用以確認FMCRD的完整性要點如下:

- a.上部組件在特殊工作台上拆、裝，並分解至滾珠導螺桿及軸承螺帽組件、中空活塞管、導管、聯結短柄、外管等都分離之細部外觀、彎曲檢查，螺栓的非破壞檢查，磨擦測試及動作試驗等。
- b.線軸短管管內組件、軸承、墊襯更換檢查，外觀檢查、動作試驗。
- c.馬達外觀檢查，電流、電壓、扭力測試。

(2).反應爐槽低部，微調控制棒驅動系統的拆卸及安裝:

此部份之FMCRD拆裝工作也由專業機器設備處理。維修前備妥各項施工機具、備品並檢測、試運轉完成，相關之電氣、水、空氣、液壓管線檢查。其拆開依馬達、馬達殼架、線軸短管、本體依序進行，安裝時則順序相反。裝置完畢後再做各種試驗、急停測試等。

## 五、進步型沸水式反應爐製造廠家及ABWR電廠參觀

(一)參觀GE在日本之分公司。

(二)參觀HITACHI海岸工場及大甕的臨海工場: Reactor、CRD及RIP之製造,以FMCRD為主。

(三)參觀柏崎刈羽電廠六、七號機ABWR控制室及機組設備(圖八)。

(四)參觀TOSHIBA公司: Reactor、CRD、RIP之製造及燃料再處理,主要以RIP為主。

(五)參觀IHI: 重機械製造廠,承接TOSHIBA之RPV及其相關配件之鋼板件壓延焊接成型工作。

## 參、實習心得與感想

### 一、國外電廠工作態度嚴謹、成效好：

(一)Brunswick電廠：該廠之營運績效良好，由以下例子可見一斑：

- 1.該電廠嚴格要求工作人員須佩戴安全眼鏡、配章、安全帽及工安鞋，即使在訓練中心實習工廠也不例外，學員有時忘記帶配章，還被要求回住處拿來才上課。
- 2.該電廠規定參觀人員須由電廠員工全程陪同，且電廠員工須先進後出，門禁管制並有電腦程式監控。某日一位講師陪同本組組員進現場參觀，出來時不慎比本組組員早刷卡，隨後本組組員即無法刷出，此事件並被列為電廠人因疏忽。
- 3.本次受訓，本組有許多機會與Brunswick電廠員工一起實做Pump及Valve之拆裝，該電廠備有FME(Foreign Material Exclusion)異物入侵防範專用袋及紅色零件袋，當設備拆解後，學員即自然地將拆下的零件分裝入紅色零件袋，並立即將設備的Open End罩上FME專用袋，「防範異物侵入系統」從訓練中即養成習慣，可大幅降低Debris進入爐心的機率，為一相當良好的作業典範。
- 4.維護人員必需定期回訓，並再確認資格，所以養成遵照程序書工作的習慣，工作程序標準化，即使拆裝工作做到一半，換個人來做也不會出錯。並且養成對程序書的閱讀快又順且理解力很強。
- 5.養成工作前後一定要做 Pre-Post Job briefs、工作區清理、安全隔離、異物防侵、工業安全、吊掛作業、高架上作業、化學品控制、設備清理、工具排序、拆裝零件排序、註記、裝袋、記錄等的習慣。

(二)柏崎刈羽電廠：

- 1.該電廠要求工作人員除著工作服、安全帽及工安鞋外，個人安全繩也是標準配備。當我們在見習RIP及FMCRD拆裝時，只要工作須移除圍欄、Grating或有墜落疑慮時，工作人員立即隨手扣上安全繩，由此可見，安全文化已融入員工生活習慣。
- 2.該電廠訓練中心設有一簡報室，陳列歷年電廠重大事件之肇因分析報告及受損設備或組件之實品及各式照片，供政府官員或媒體採訪時簡報之用，如此可使電廠營運透明化，解除外界疑慮，極具正面意義。
- 3.電廠的訓練設備最齊全，甚至有動態反應器跳機模擬、RIP、FMCRD 等之Mock Up。程序書編寫充滿插圖輔助說明，所以雖然工作人員程度不高，但工作滿意程度很強。
- 4.電廠的重大設備都由原廠家東芝、日立來維護，東芝、日立並有大批人員長期駐廠，所以本次跟隨學習的對向是東芝、日立原廠。而參觀東芝、日立也看到原廠



也有 RIP、FMCRD 等設備，作開發、試驗、試運轉之用，所以維護工作的技術支援、上下整合很完整，所以工作滿意度很高。

## 二、維護法則學習心得：

(一)維護法則實行流程：如所附流程圖(圖九)。

(二)當某SSC之運轉實績低於管制程序書所設定之基準時，該SSC即視為進入10CFR50.65段落a(1)所述之狀況，列為應高度注意須限期改善者，須以某程序管制並定期報告，追蹤進度。而負責之系統工程師須儘速執行肇因分析及擬定改善方案，並訂定完成目標(Goal)，譬如：改善案完成後，於某設定期限內必須達成所設定之基準(可靠度或可用率等等)，當整個改善案擬訂妥善，立即申請召開電廠專家會議(Expert Panel)來評估肇因分析是否合理、改善方案是否可行，及所定目標是否足夠等等，經專家會議審查通過後即執行改善計劃。直至所訂定之目標(Goal)達成前，該SSC仍屬於10CFR50.65段落a(1)所述之狀況，須持續列管追蹤，如此不斷地改進，以求更臻完善。

(三)維護法則不僅如上述對所屬範圍內每個SSC進行監視，並且須定期(通常為每個燃料週期)執行自我評估檢討，並考核成效，使得此法則更為順暢和有效。

(四)根據Brunswick電廠經驗，維護法則不但可提高各SSC之可用率，進而增加電廠之容量因素(Capacity Factor)，並可避免過度保養，降低維護成本，成果顯著。

## 三、Brunswick電廠組織架構簡介：

該電廠維護部門組織架構與本公司目前所採用按專長(機、修、儀、電)編組方式不同，據瞭解前者為Brunswick改良後者而成，實施後組織效率維護品質大幅提昇，可供未來核四參考，其組織概述如下：

(一)FIN(Fix It Now) Team立即檢修隊：

由各專長技術人員輪調組成，合機、修、儀、電、運(EO)及HP技術員及一名值工師帶隊，負責電廠平時運轉，現場急需立即處理之狀況，如系統洩漏和緊急異常事件。

(二)Plan Engineer計劃工程師：

分配各責任系統及設備，執行大修及平時矯正保養(Corrective Maintenance)之工作計劃，包括程序書、備品準備、工作指令Work Package(含程序書、工作命令、申

請文件、注意事項等)及各專案工作。

(三)專長技術人員：

分爲燃料填換樓、機、電、儀各組人員，由領班負責調派人力與追蹤進度，技術人員負責預防保養及根據工作計劃執行維護工作。

## 肆、建議事項

### 一、實體模型訓練：

- (一)GE公司訓練中心：當本組接受RFAO(Refueling Floor Activity Operations)及RFTD(Refueling Floor Technical Director)訓練時，GE利用其實體模型讓學員實際體驗吊燃料及Double Blade Guide，並實際至爐心認識爐內組件，印象相當深刻。
- (二)柏崎電廠訓練中心：柏崎電廠僅有2部ABWR機組，即斥資建造教學用之ABWR實體模型，該中心即利用此模型教學，讓學員實際觀摩RIP及FMCRD之拆裝分解，學習成效相當顯著。
- (三)建議：目前本公司林訓中心已建造一座反應爐實體模型，深信對未來提昇同仁技能大有幫助，惟未來若有建新型電廠，亦應建造教學用之實體模型，以實體模型教學，對學習效果幫助頗大，值得投資。

### 二、參觀GE燃料工廠：

參觀GE公司GNF燃料工廠時，陪同人員介紹目前最新型CRB名爲Marathon，其使用期可長達整個電廠營運壽命而不需更換，可減少用過CRB之廢料處置成本，經濟效益較目前使用之Duralife-230型CRB更佳，建議未來可考慮採用此型CRB。

### 三、國外生活：

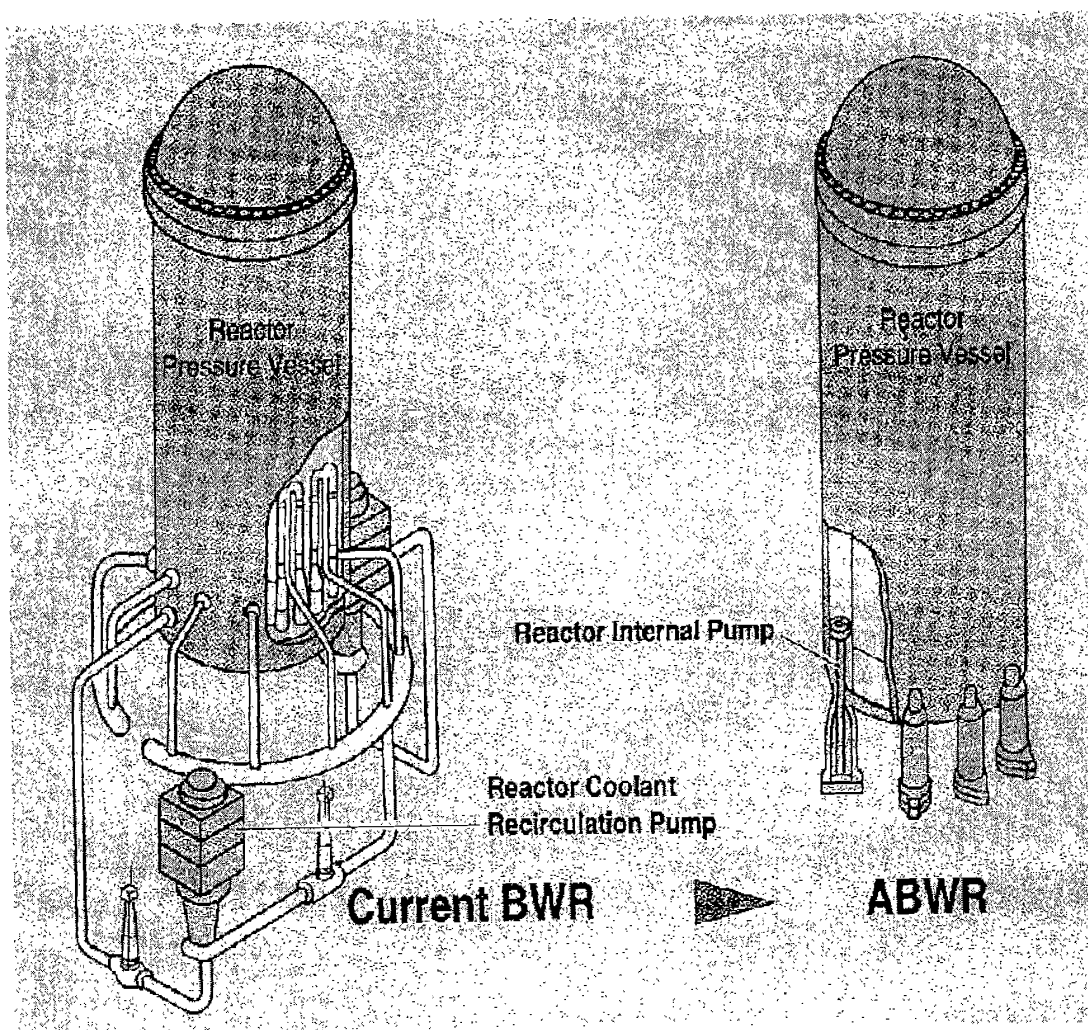
- (一)美國San Jose：本次受訓第一站GE公司，位於美國高科技重鎮-矽谷，近幾年來，由於電子業蓬勃發展，該地區已躍居全美第七大城市，不論食衣住行各方面之生活費用，皆已成長數倍之多，政府對該地區所訂之生活費已呈明顯低估，建議公司洽政

府相關部門，商請調整San Jose之生活費。

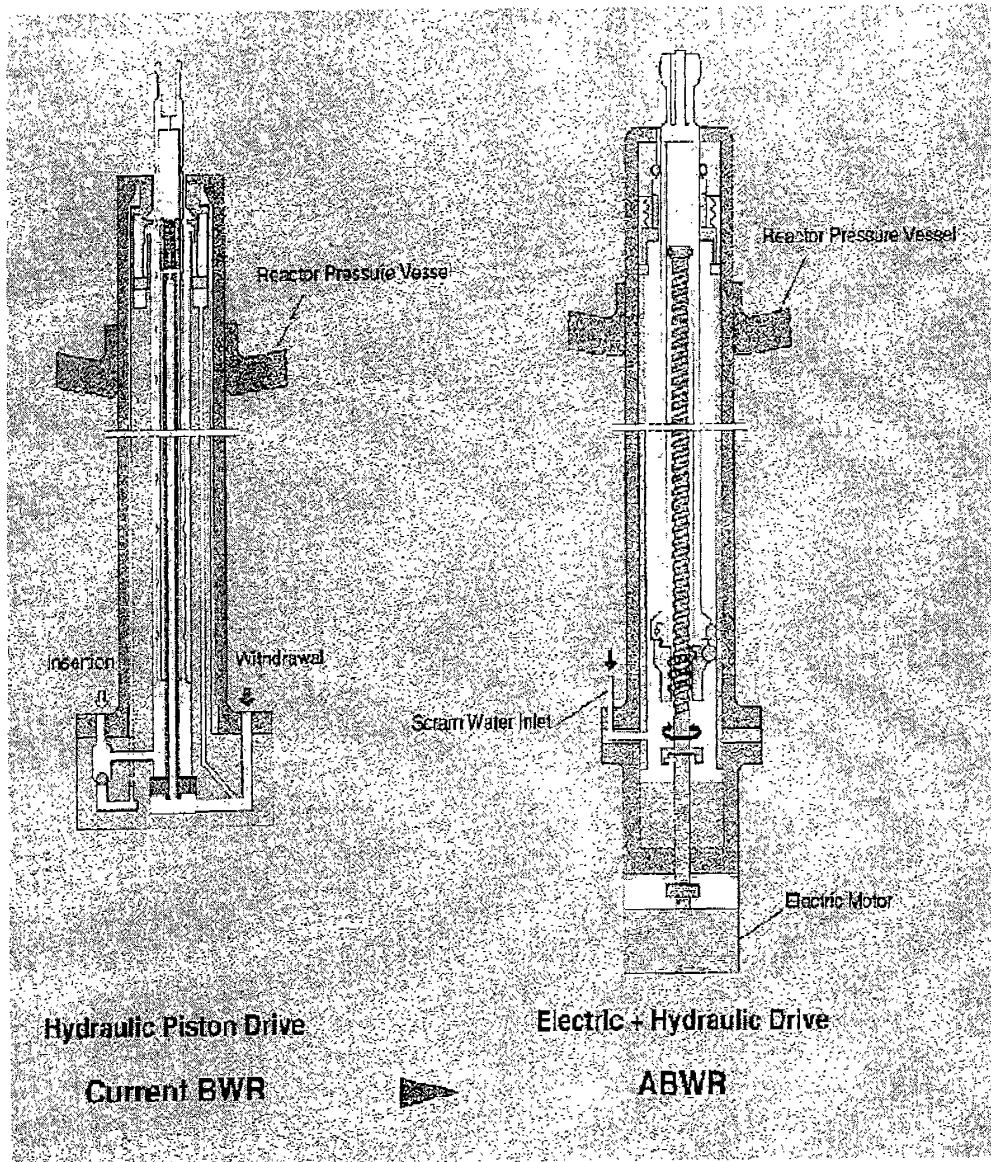
- (二)本次出國受訓，本組共計變換4次受訓地點(San Jose、Southport、柏崎、東京)，而每變更一次受訓地點，房子須重租(短天期之訓練無法租房子，只能住旅館，費用更高)，一切生活起居也需重新打理，故建議變更受訓地點，生活費應重新計算較為合理。

伍、附件

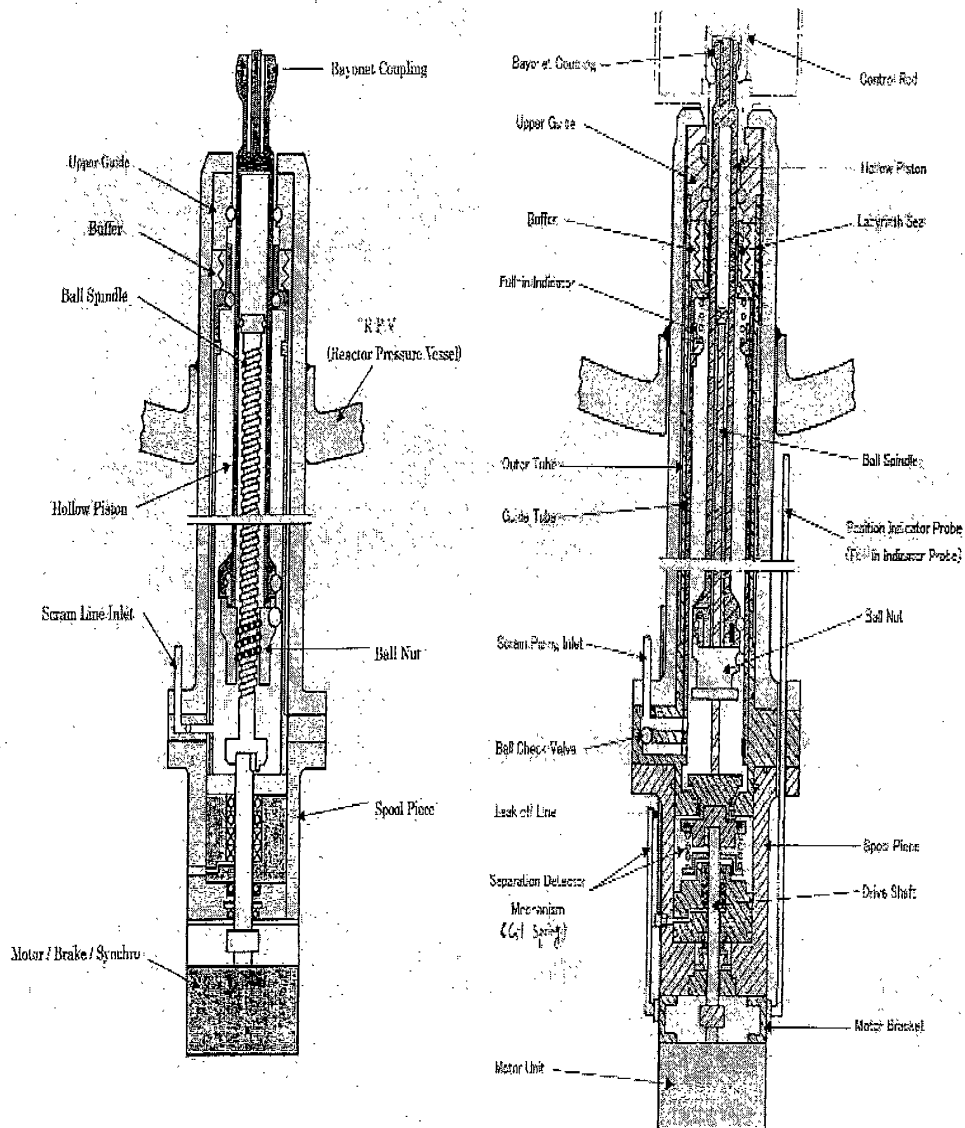
圖一 現行 BWR 與 ABWR 之比較



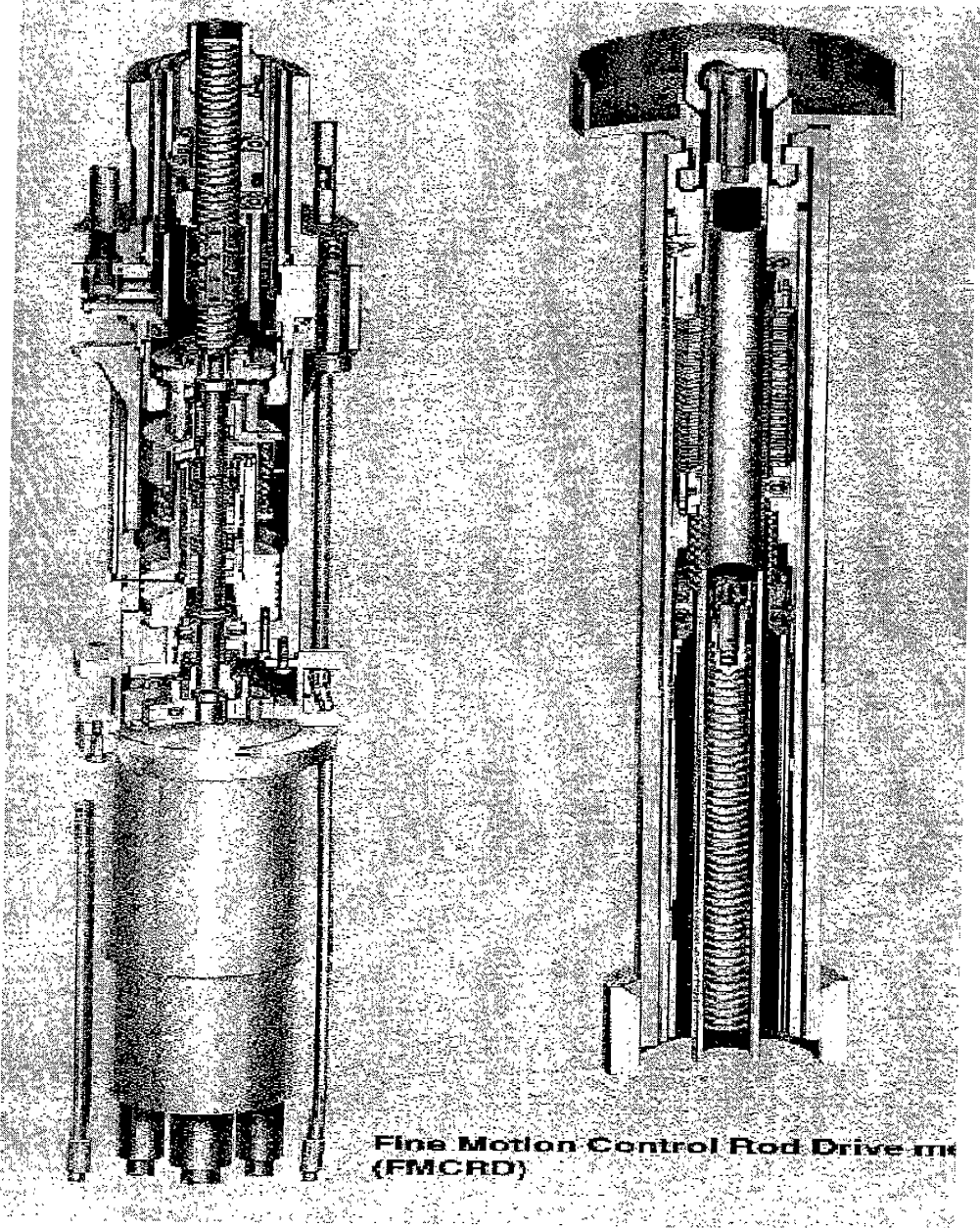
圖二 傳統CRD與FMCRD之比較



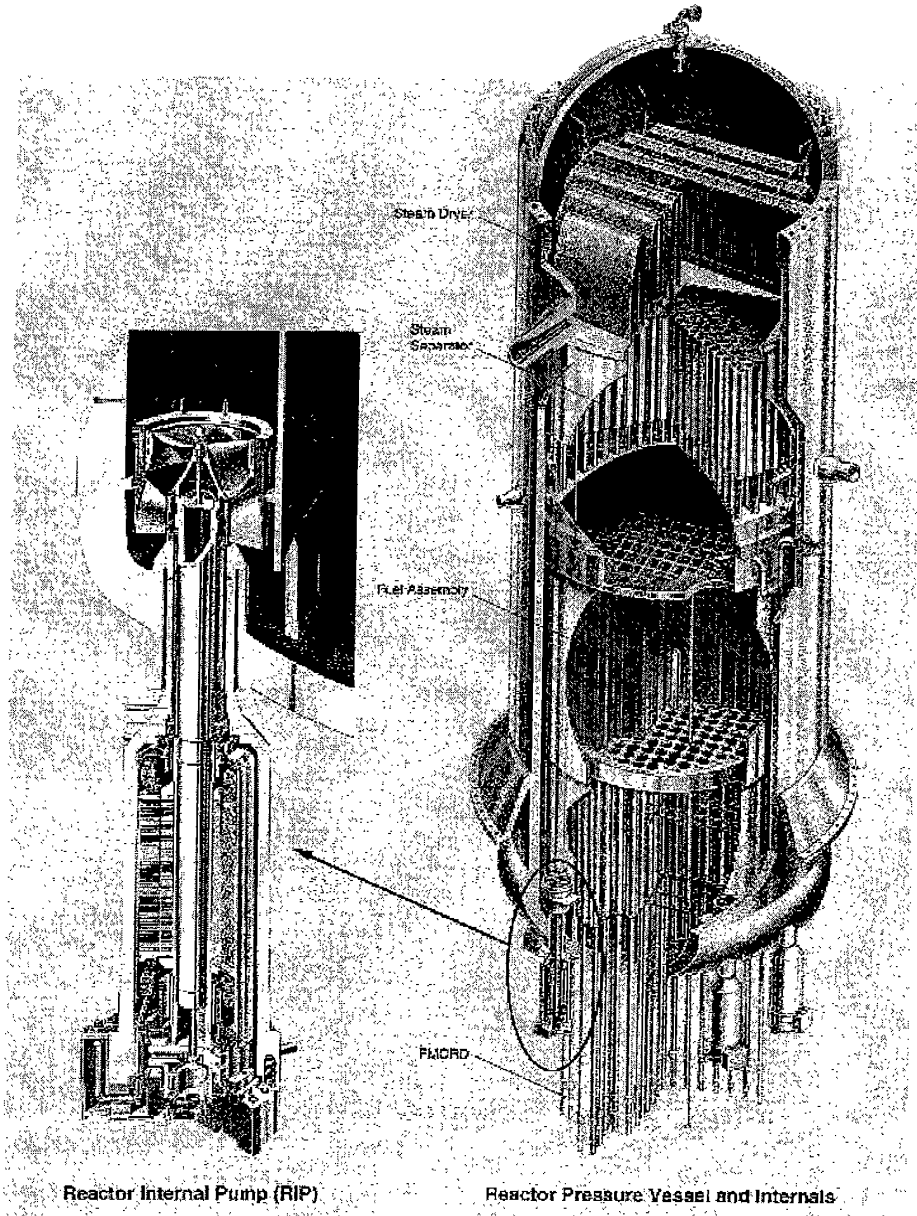
圖三 微調控制棒驅動方式圖解



圖四 微調控制棒驅動機構剖面圖

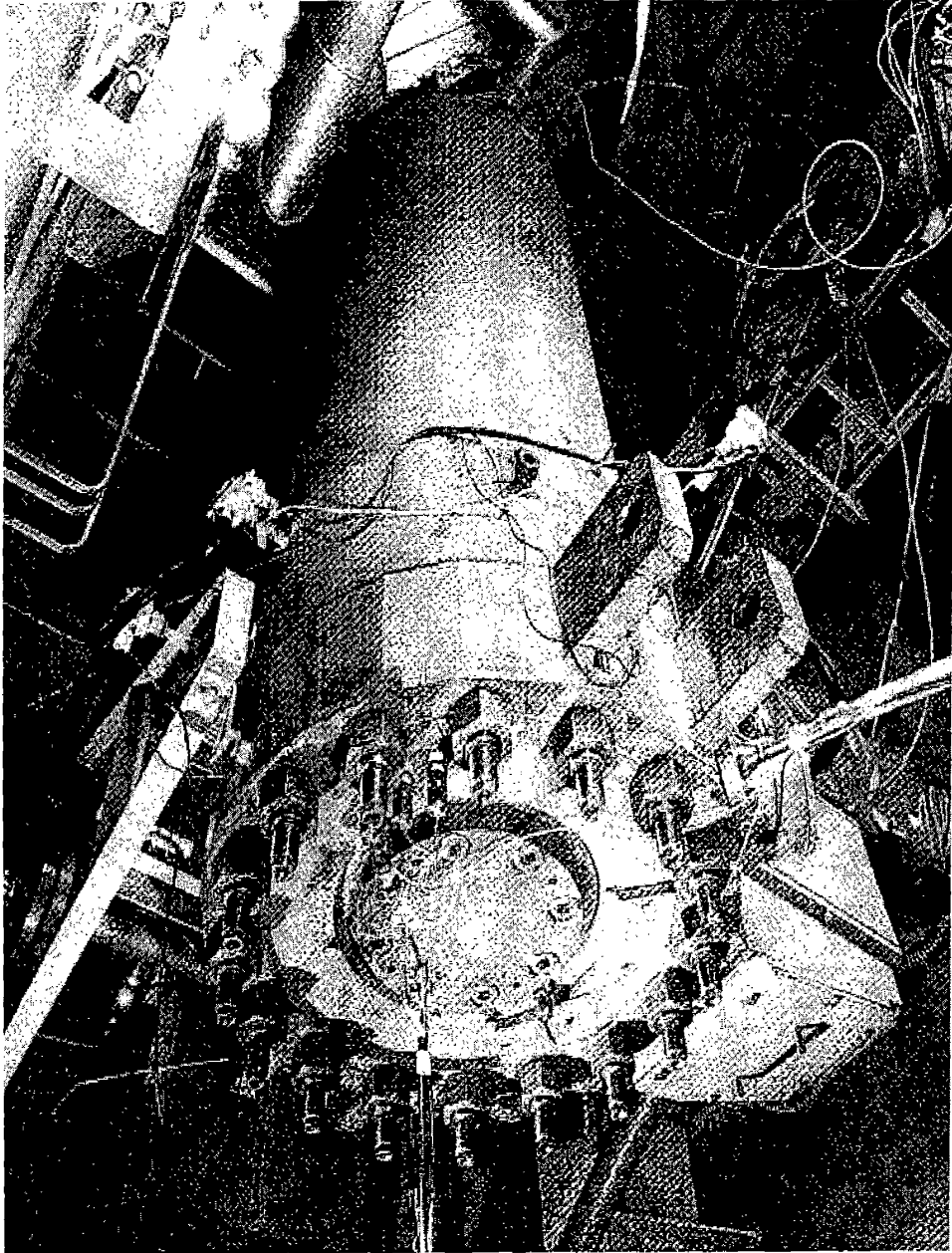


圖五 RIP位置及剖面圖

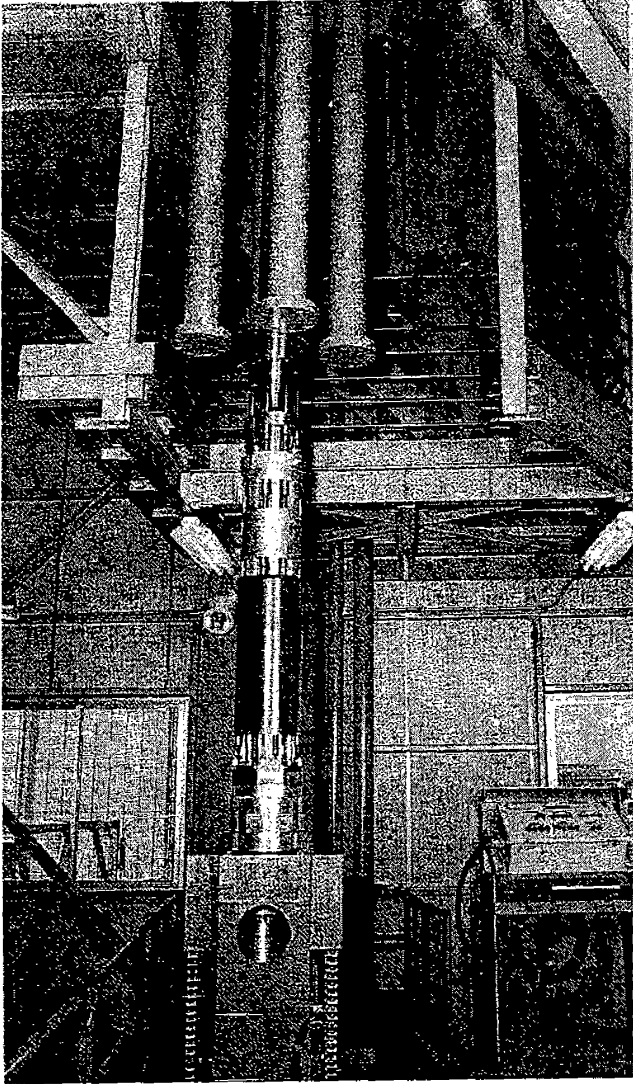
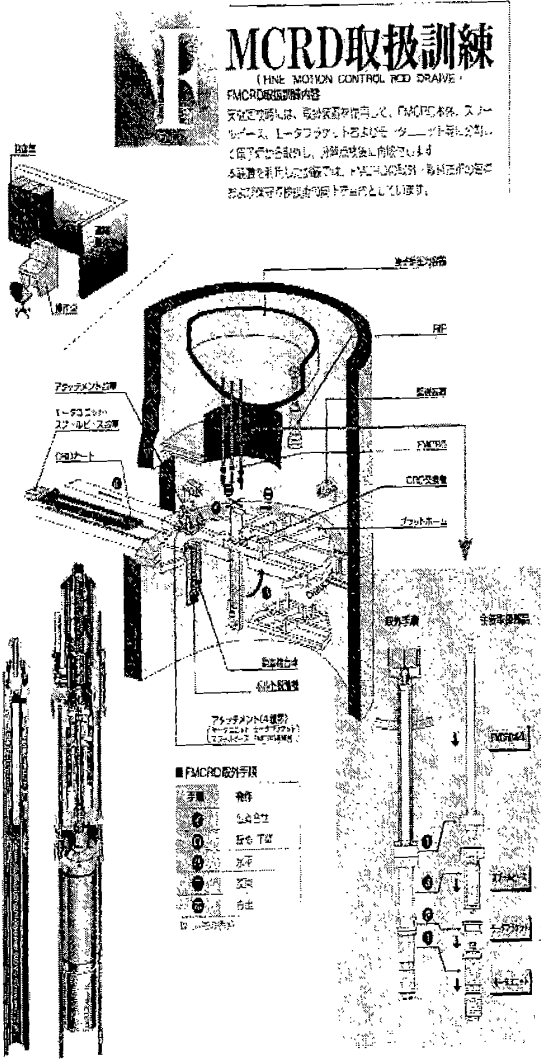




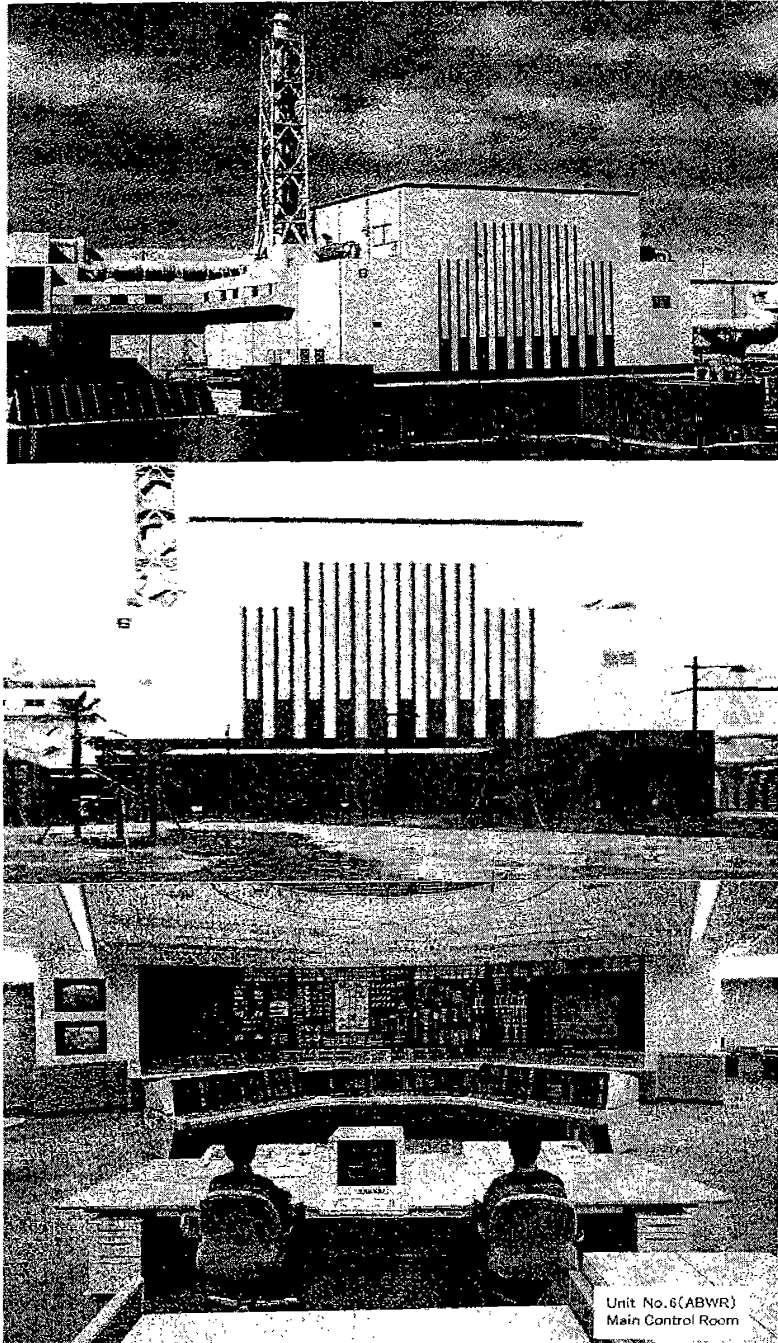
圖六 RIP維修訓練設備實體模型



圖七 FMCRD維修訓練設備實體模型



圖八 柏崎刈羽電廠6號機外觀及控制室



圖九 維護法則實行流程圖

