

出國報告（出國類別：開會）

參加世界核能運轉協會(WANO)東京中心
在日本濱岡核能電廠舉辦的「劑量抑減研
討會」報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：何偉課長

派赴國家：日本

出國期間：自 95.9.18 至 95.9.23

報告日期：95.10.31

出國報告審核表

出國報告名稱：參加世界核能運轉協會(WANO)東京中心在日本濱岡核能電廠舉辦的「劑量抑減研討會」報告		
出國人姓名(2 人以上，以 1 人為代表)	職稱	服務單位
何 偉	保健物理課長	核能發電處
出國期間：95 年 9 月 18 日至 95 年 9 月 23 日		報告繳交日期：95 年 10 月 31 日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9. 其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2. 退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3. 其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人 單位 主管處 總經理
 : 主管 主 管 副總經理 :

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加世界核能運轉協會(WANO)東京中心在日本濱岡核能電廠舉辦的「劑量抑減研討會」報告

頁數 33 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司 / 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

何偉/台灣電力公司/核能發電處/課長/(02)2366-7074

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會

出國期間：95.9.18-95.9.23

出國地區：日本

報告日期：95年10月31日

分類號/目

關鍵詞：劑量抑減

內容摘要：(二百至三百字)

此次劑量抑減研討會，除美國 Hatch 電廠保健物理課長專題報告劑量抑減的一般性原則外，日本島根電廠提出注氫後乾井輻射增建的具體結果，日本濱岡電廠則提出注鋅的劑量抑低成果，核一廠目前已執行注氫，核二廠亦很快將執行注氫，因此日本的經驗可供我國參考。同時我國亦提出集體劑量的產生有輻射場強度、輻射工作數量及維修品質等三項因素，保持長期連續運轉、提升容量因數及縮短大修工期均可抑減集體劑量。日本近年來由於執行重大改善工程如爐心側板更換等造成集體劑量抑減的瓶頸，傳統上日本對於水化學處理及輻射場劑量率的降低處於領先水準，這些技術經驗可供我國學習。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw>)

目 次

	<u>頁數</u>
一、目的	5
二、過程	5
三、心得	5
四、建議事項	33

一、目的

台灣電力公司為世界核能發電協會的會員，有義務支持 WANO 的活動，WANO 邀請本公司派員參加在日本濱岡核能電廠舉辦的劑量抑減研討會，本次任務藉由參加劑量抑減研討會的機會，除了瞭解及吸收其他 WANO 會員國在劑量抑減上的新知識外，亦將我國對劑量抑減的研究和努力發表論文供其他國家核能電廠參考。

二、過程

95 年 9 月 18 日 往程(台北→東京)

95 年 9 月 19 日 東京→濱岡電廠

95 年 9 月 20~22 日 濱岡電廠

95 年 9 月 23 日 返程(東京→台北)

工作紀要：

在濱岡電廠參加為期二天的抑減劑量研討會，另外一天參觀濱岡電廠 5 號機 ABWR 設施。

三、心得

(一)美國 Hatch 核能電廠的劑量抑減措施

美國 Hatch 核能電廠的劑量抑減措施包括緊密的水化學控制、策略性移除射源、工程管制、自我管理、個人參與、重點的保健物理作業支援、改良及增強的訓練及適當的大修及非大修規畫。電廠外的組織對改善電廠績效亦甚有助益，例如美國核能運轉協會 (INPO)經常藉由經驗的共享及優良典範的討論來改善核能電廠的劑量抑減績效。這些標竿已廣為美國各核能電廠所認同及採用。

1. 射源移除

射源移除可有許多方法，但要確保整個團隊參與並且要有鄭式的組織管道，射源移除團隊應由電廠許多部門組成，而且聚焦在劑量抑減，電廠的文件及長短程計畫應支持劑量抑減團隊的發現。射源移除的策略應遍及全廠並且改善電廠效率，相關的議題包括加鋅、添加貴金屬、超音波清洗燃料棒、化學除污、改良的樹脂技術及採購管制。加鋅是使用耗乏鋅(DZO)，鋅與鈷在管路中產生競爭，增加鋅含量可以讓被活化的鈷從管壁及閥體中釋放出來，但是要考慮確保燃料的完整性。各電廠應求出自己可以接受的含鋅量並經常對此量作評估。加鋅作業通常被一群包括廠家、化學、保健物理、工程、維護及運轉人員所監測。添加貴金屬(NMCA)技術的發展是用來抑低晶間應力腐蝕(IGSCC)效應並減少因加氫後產生的高輻射及管壁增加的 Co-60 效應。NMCA 技術是將爐水管壁撲鋪上一層

鉑及銻金屬，可以減少飼水注氫的濃度達到同樣的保護效果，因此可降低管路的輻射劑量率，藉管壁渣垢組成的改變及釋入溶解及不溶解的垢渣組成慢慢產生了化學除污的效應，Hatch 電廠注氫量為 10SCFM 降低了很多輻射。

另一種降低場輻射的方法是用超音波將燃料棒清洗如圖 1 所示，其原理為利用汽泡的形成及崩解打碎積渣輻射源如圖 2 所示，燃料清潔可降低一次系統管路積存之鈷，依 GE 模式可降低 25~30% 工作劑量，每次大修可降低乾井人員劑量 0.99~1.14Sv，Callaway 電廠執行結果劑量顯著減少，減少積存 heavy crud 對 NMCA 電廠可容許較多的貴金屬添加量，本法用過濾器收集廢棄物因此會產生一些高輻射過濾器廢棄物。



圖 1. 超音波燃料清洗裝置

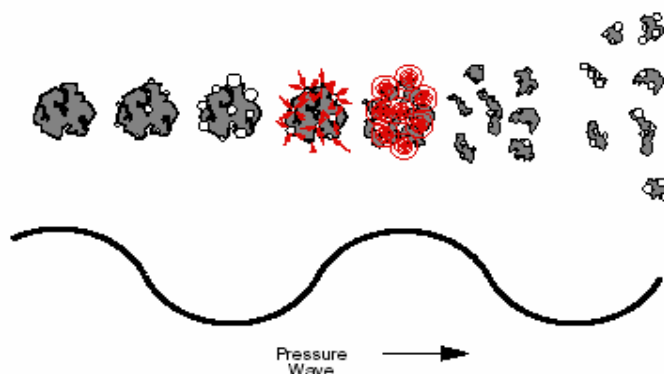


圖 2. 超音波將垢渣擊碎

改善樹脂床的技術亦可移除輻射源，使用樹脂可將微小的放射性顆粒從廢棄物中移除，許多美國電廠使用的樹脂是 PRCO2 及多孔性樹脂，若使用結果如廠家宣稱的設計功能，則可減少大量的放射性微粒。化學除污亦是一種移除射源的方法，通常使用鹼性的過錳酸鹽，可分為全系統除污及部分系統除污，大部分電廠都採用部分系統除污，化學除污可在大修中執行不會影響電廠運轉。化學除污會產生一些高放射性的樹脂，其除污因數可達 50~60%。若要持續執行劑量抑低，移除鈷是很重要的，含鈷的設備很多例如控制棒葉片及飼水閥等，設備材料採購的管控有助於對 Co-60 的管控，對於鎳鈷鎳合金製作的閥類應保持清潔並防止異物入侵，另外利用 X 光螢光分析採購設備中之鈷含量亦可對減少鈷含量有所助益。

2. 工程管控

- ◇ 及早介入工程的劑量抑低過程會有很好的劑量抑減成果
- ◇ 不同區域設置永久屏蔽需作分析
- ◇ 確定需設置永久屏蔽的區域並作成本效益分析
- ◇ 對於多數的工作應作臨時屏蔽的考慮
- ◇ 工程部門應樂於支持維護高核安水準
- ◇ 確保屏蔽有適當地支撐並專業地懸掛
- ◇ 非大修及大修均應有時程
- ◇ 設備的可靠性是減少劑量工作流程的重要因素
- ◇ 工程部門決定劑量抑減成敗而劑量抑減須全廠支持
- ◇ 確系統可應付大修尖峰
- ◇ 藉嚴格的工程程序書及政策來縮短維修作業
- ◇ 各部門經常討論系統狀況

3. 工作控制

- ◇ 詳細的工作計畫對於抑減電廠劑量是必要的
- ◇ 大修及非大修時程均須全廠各部門參與
- ◇ 必須訂定挑戰性但可達成之劑量抑低目標
- ◇ 審查大修工作準備能確保適當地完成準備作業
- ◇ 通常大修劑量佔全年劑量的 60~65%
- ◇ 大修計畫需全年執行並訂定期追蹤
- ◇ 大修計畫須同時由管理階層及工作階層審查
- ◇ 各課課長須有大修時程
- ◇ 電廠高階主管須對大修計畫挑戰

4. 運轉控制

- ◇ 大修工作前須作好水質淨化
- ◇ 大修初期儘量執行沖洗以降低劑量率
- ◇ 以程序書管制上述步驟

5. 管理階層的參與

- ◇ 管理階層應有其部屬之劑量資料
- ◇ 管理階層應主動積極參與劑量抑減工作
- ◇ 電廠高階主管須以大看板追蹤管制劑量
- ◇ 所有管理階層應參與 ALARA 會議
- ◇ ALARA 會議可使管理階層審察高劑量事件
- ◇ 各部門主管應提出劑量改善方案
- ◇ 劑量抑減的流程: 提出, 批評, 挑戰, 審查, 修改及執行

6. 訓練

- ◇ 利用訓練改善電廠營運績效
- ◇ 確保劑量抑減基礎已建立並審查過
- ◇ 執行電廠在職訓練並確保延伸的訓練教材正確
- ◇ 對於困難的工作採用模擬訓練
- ◇ 使用流程模擬訓練以建立團隊合作及瞭解以改善績效
- ◇ 第一線管理人員必須參與訓練及決策
- ◇ 訓練應該導引及支持第一線工作使其能作持續的改善

7. 全廠人員的參與

- ◇ 工作階層人員對劑量抑減的接受才是成功之鑰
- ◇ 須從實際工作且有經驗的人學習
- ◇ 在計畫上採用電廠員工經驗是作好劑量抑減最重要的
- ◇ 採用員工的建議、吸取經驗回饋並對需求作出回應
- ◇ 對整體工作力量作妥適安排

8. 保健物理

- ◇ 必須成為 ALARA 成功的鬥士
- ◇ 永遠要建立挑戰目標
- ◇ 對團隊提供劑量抑減的專業知識
- ◇ 建立長程 ALARA 的目標
- ◇ 使用遙感偵測、自動偵測、電視導覽現場等技術減少劑量

(二) 日本濱岡核能電廠注鋅作業對抑減再循環管路輻射強度之經驗

日本濱岡電廠是本次劑量抑減研討會的地主，該廠有 5 部機組，除 5 號機為 ABWR 無再循環管路故不須考慮注鋅，其餘 4 部機均執行加氫水化學及注鋅作業。濱岡電廠的劑量抑減方法主要有射源移除及 ALARA 作業兩個方向，其中減少放射性的飼入是靠淨化設備的改善，移除放射性是靠化學除污，而減少管路內的放射性累積則利用注鋅設施，圖 3 是濱岡電廠的注鋅系統示意圖，由於天然鋅含有 48% 的 Zn-64，鋅-64 被中子活化後會產生具放射性的 Zn-65 而造成工作劑量，因此濱岡電廠採用耗乏鋅的氧化物(DZO)，耗乏鋅含有的 Zn-64 小於 1%，故不會造成輻射場增建。圖 4 是注鋅所使用的 DZO 粉末。

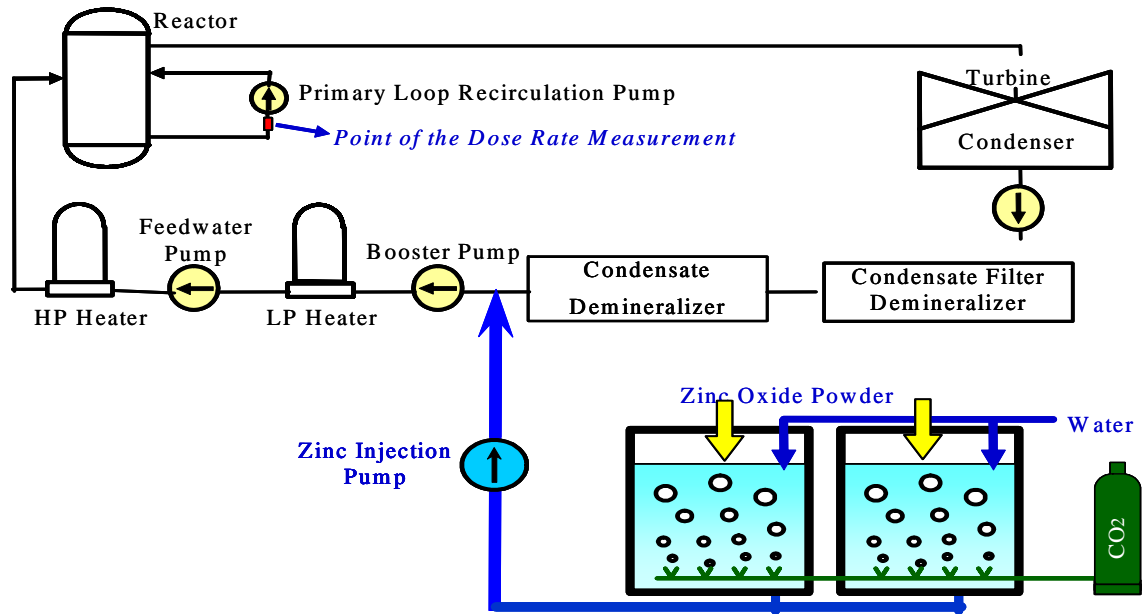


圖 3. 濱岡電廠注鋅系統示意圖



圖 4 注鋅用之 DZO 粉末

注鋅的功能如圖 5 所示，若未注鋅時，燃料護套表面附著的 Co-60 及 Mn-54 會溶入水中造成輻射背景值的升高，注鋅後會在燃料護套表面形成緻密的氧化物層，只有少量的放射性物質會釋入爐水中，因此不會增加爐水的輻射強度，在圖 6 中剛好反過來，當爐水通過未注鋅的管路時，鈷錳等放射性物質會附著在管壁上造成管路輻射劑量率上升，當注鋅後，由於會在管壁表面形成緻密的氧化物層，因此鈷錳等放射性物質不會在管壁上聚積，因此管路輻射強度不會增加。圖 7 是濱岡電廠一號機再循環管劑量率變化趨勢，注鋅後再循環管路的輻射劑量率確實不再增加，圖 8 是濱岡電廠一號機 Co-60 管壁沉積率變化情形變化的情形，注鋅後對 Co-60 管壁沉積率亦有抑制做作用。濱岡電廠認為由於注鋅有利於減少 Co-60 管壁沉積率，因此對於抑減該廠的集體劑量甚有助益，濱岡電廠將持續進

行注鋅作業並評估其成果。

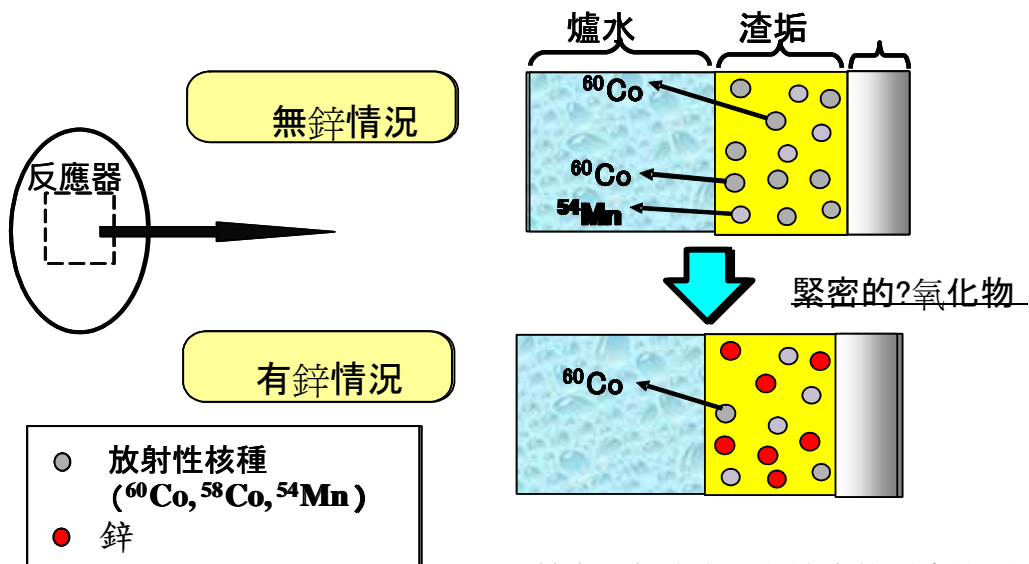


圖 5. 鋅在燃料護套上對爐水的反應機制

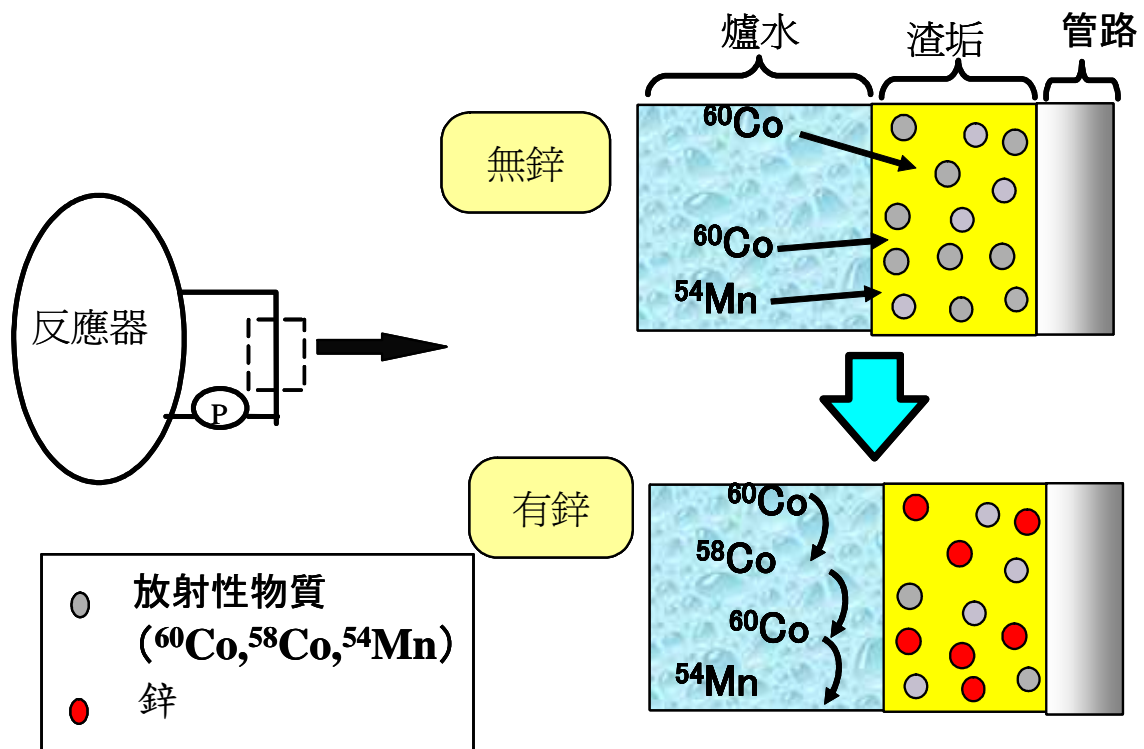


圖 6. 鋅在管路上對爐水的反應機制

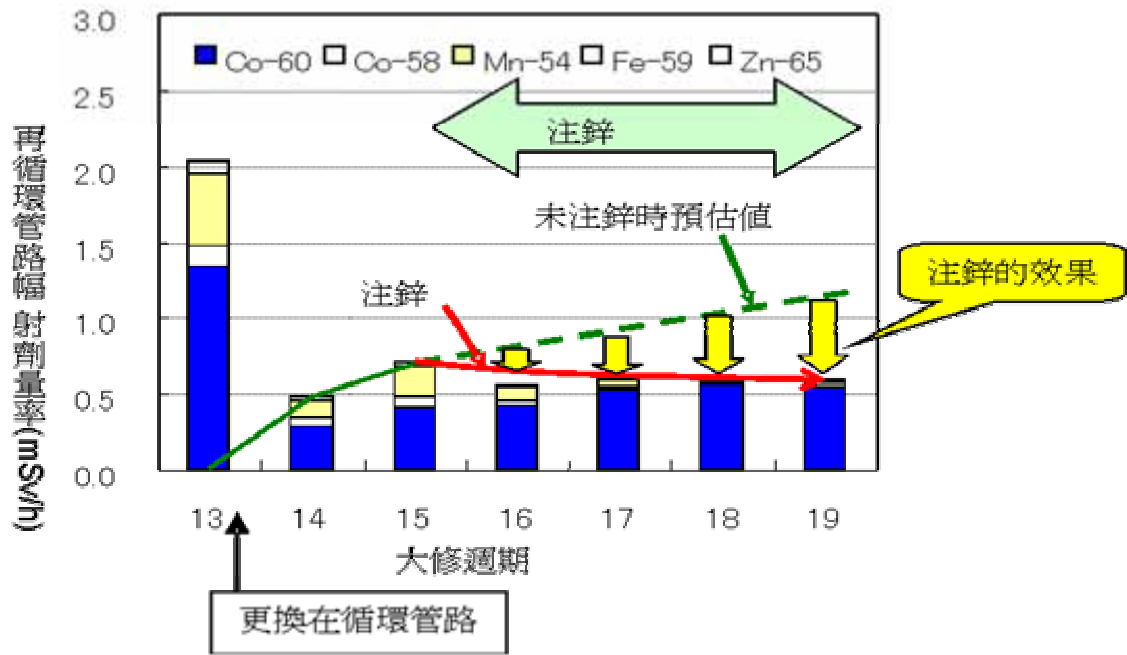


圖 7. 濱岡電廠一號機再循環管劑量率變化趨勢

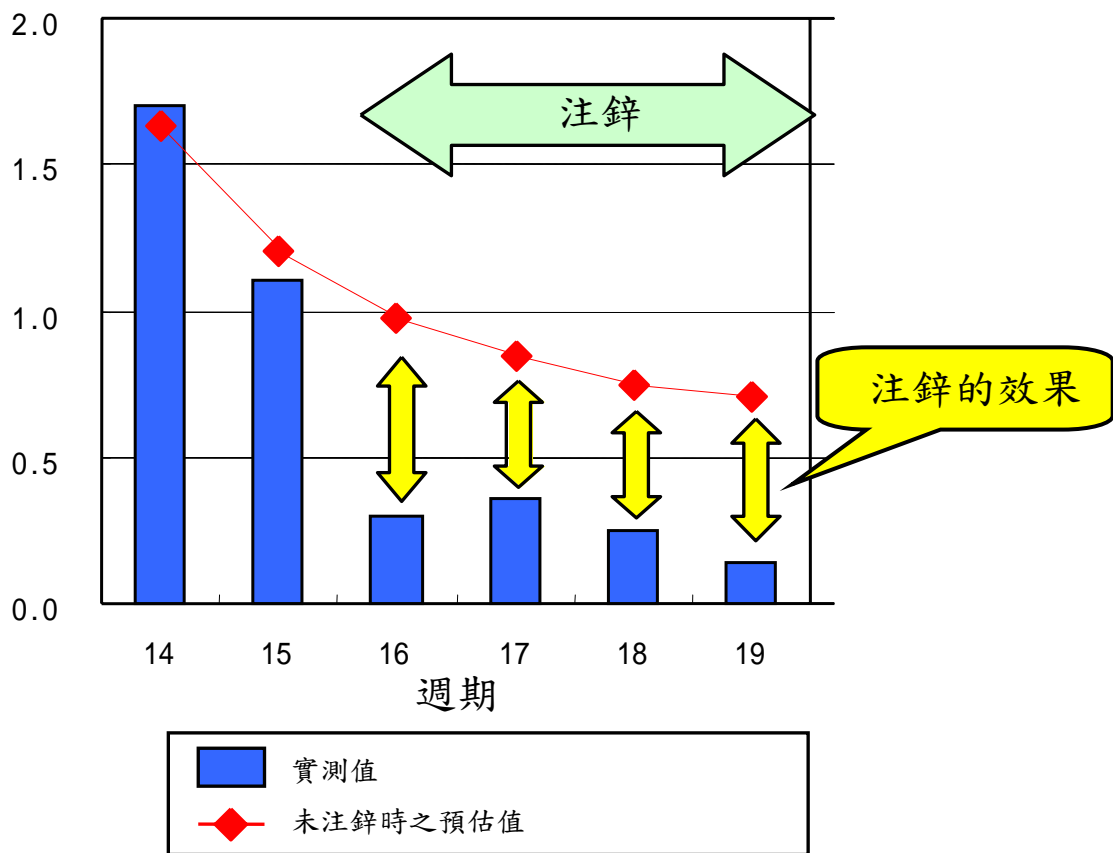


圖 8. 濱岡電廠一號機 Co-60 管壁沉積率變化情形

(三)中國大陸秦山電廠的大修輻射防護經驗

秦山第二期工程共四部 650MW 的 PWR 機組，均為中國大陸自行設計及建造，表 1 為秦山電廠的負載因數，表 2 是秦山電廠的集體劑量，績效不錯，秦山電廠的劑量管控措施包括(1)撰寫輻射防護文件(2)成立 ALARA 團隊(3)在維修作業執行過程檢視輻防作業(4)高輻射作業實施模擬訓練(5)經驗回饋及保守性決策。

表 1. 秦山電的負載因數

	2003	2004	2005
Unit 1	81%	82.2%	92.7%
Unit 2			85.2%

表 2. 秦山電廠的集體劑量

	2003	2004	2005
Collective Dose	320	570	370
WANO Median Value	710	610	733

1. 撰寫輻射防護文件

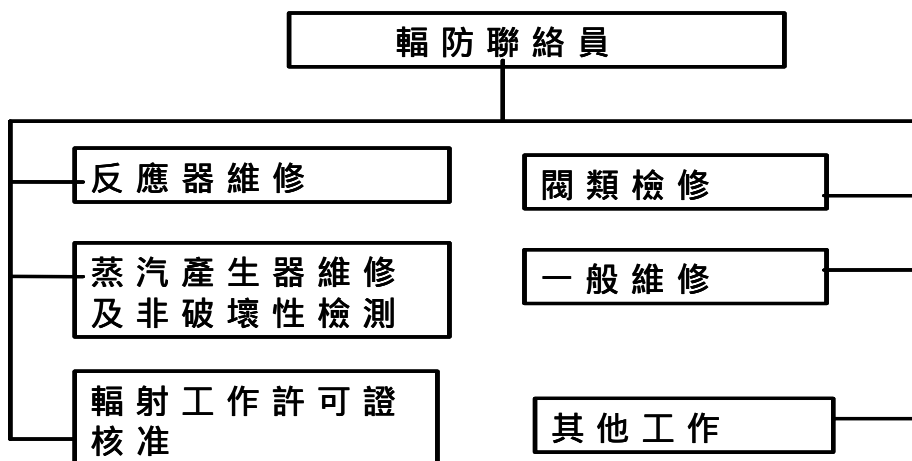
填寫 ALARA 作業表，分析維修工作之輻射風險，確認工作前輻射狀況及輻射防護措施，工作項目區分為(1)反應器維護作業(2)蒸汽產生器維護作業(3)核島區閥檢修作業(4)反應爐冷卻泵維修作業(5)一般維修作業。

2. 成立 ALARA 團隊

須成立 ALARA 團隊的高輻射工作包括(1)反應器壓力槽維修作業(2)核島區閥檢修作業(3)核島區之非破壞檢測，主要是蒸汽產生器維修作業。ALARA 團隊的負責人由輻防工程師擔任，成員包括維修部門工作人員、領班及輻防人員。ALARA 團隊的功能包括(1)工作前協調會議由維修人員簡報作業流程，輻防人員作 ALARA 指引及經驗回饋(2)設定 ALARA 劑量目標(3)對高輻射作業實施模擬訓練。

3. 在維修作業執行過程檢視輻防作業

秦山電廠要求輻射防護部門成立特定的負責檢視系統，指定一名與大修小組介面聯絡員，參與大修會議，主持每日輻防會議，並依據大修時程安排工作。維修作業的輻防工作則是各別指派輻防工程師擔任如下圖所示。



大修期間輻防組織圖

此項維修輻防監測作業包括反應器廠房不同運轉狀況下輻射強度的監測，個別工作地點的數據均可在電廠電腦網路中查詢。

4. 高輻射作業的模擬訓練

目前僅在蒸汽產生器的一次側執行，每次大修蒸汽產生器擋板的拆裝均實施模擬訓練。

5. 經驗回饋

在研讀 WANO SOER 2001-1 重要運轉經驗報告後，秦山電廠在反應爐下方集水池超高輻射區裝設了兩道鎖以確保輻射安全，當兩道鎖同時開啓後才可進入而門鎖鑰匙是由輻防運轉工程師保管。另一污染管制的經驗案例是一號機第 1 次大修時因缺乏輻防經驗，地面及人員污染事件層出不窮，隨後依據此次經驗回饋制定對策，對策包括對維護人員施以特別之防範污染訓練，輻射防護及去污人員加強巡視現場，糾正違規人員並協助工作人員脫除輻防裝備，在主要通道進出口設置黏踏墊，增加污染偵測的頻次，發現污染後立即去污，拆解閥前要先確認管內水已洩光。

6. 結語

在大修期間，秦山電廠將集體劑量管控良好，2003~2005 年期間均低於 WANO 中間值，未來的願景是進入前四分之一優良行列。

(四) 日本島根核能電廠的注氫經驗

島根電廠是中國電力公司唯一的核能電廠，有 BWR 兩部機組容量各為 460 及 820MW，其為改善應力腐蝕龜裂於 1997 年 9 月開始進行一號機之加氫水化學試驗，1998 年開始正式注氫，表 3 為島根電廠實施注氫運轉情形，島根電廠的注氫濃度並不高僅為 0.4ppm，故其對汽機廠房的輻射影響約升高 1.5 倍，這種輻射強度是可以接受的。但根據島根電廠的研究，飼水注氫後確實在乾井再循環泵出口垂直管路上會產生顯著的 Co-60 核種沉積而造成輻射增強如圖 9 及圖 10 所示。HWC 將爐水中的氧化狀態環境轉成還原狀態環境，因水中含氧量減少，附著在燃料棒表面、爐底銹垢及爐心組件上的金屬氧化物由 Fe_2O_3 轉化成 Fe_3O_4 ，轉化過程中，含 Co-60 的不溶解顆粒及可溶性 Co-60 離子釋出進入爐水再沉積於再循環管壁上，造成乾井內輻射背景的增加。如圖 11 所示，在注氫環境下(低含量過氧化氫)，爐水係處於還原性環境，鉻氧化物會黏附在管壁上，在無注氫環境下，附著在管壁的鉻氧化物會形成離子溶入水中，如圖 12 所示，**連續 300 天的注氫運轉增加了來自爐水中鉻的沉積，由 HWC 轉為 NWC 時會將鉻離子溶出造成管路內部沉積量不均勻**，表四為再循環泵出口管路高輻射劑量點形成機制，主要是再循環泵及彎肘處的漩渦擾動對水流產生較大的影響，再循環泵出口流量擾動及環境的改變增加了部分管壁內鉻氧化物的溶解造成管路劑量的不平均，停止注氫後爐水中的放射性濃度增加，再循環泵出口管路放射性核種沉積呈現局部增加，最後造成再循環泵

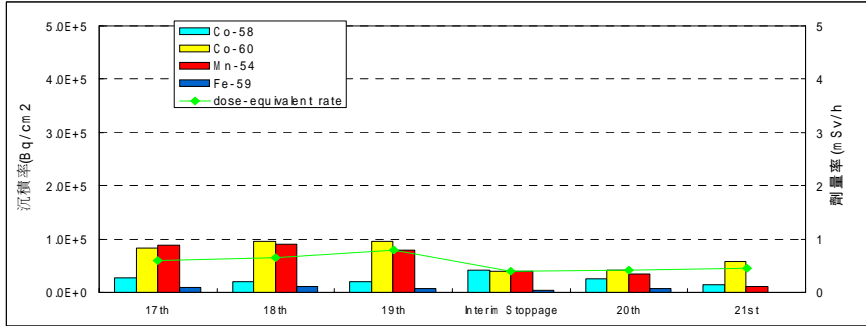
出口管路輻射增加。圖13是島根電廠第22燃料週期注氫模式改變情形，在注氫濃度改變後，爐水導電度及鉻酸濃度的轉變情形如圖14所示，島根電廠第22次大修再循環管路輻射強度變化如圖15及圖16所示，圖17是說明23次大修以後HWC環境輻射的沉積機制，在 HWC 環境下（低過氧化氫濃度），低保護能力的外層（亞鐵鹽）及含Co-60的內層(亞鉻酸鹽)較易形成，因此會造成Co-60的累積，而在 NWC環境下會形成緻密外層阻止外層（亞鐵鹽）及含Co-60的內層(亞鉻酸鹽)的成長，因此會降低Co-60的累積。圖18是島根電廠目前輻射的狀況（25次大修），明顯的是注氫後再循環管路輻射強度確有增加。圖19顯示即使在化學除污後再循環管路輻射強度很快恢復。因此注氫後須配合注鋅方可抑減輻射劑量率。

表 3. 島根電廠實施注氫運轉情形

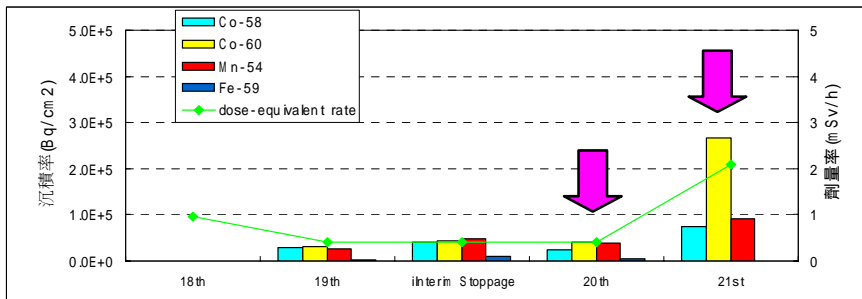
日期	Outage/Cycle	飼水注氫濃度 (ppm)	說明
1998 年 1 月	20 次大修	—	• 裝置注氫設備（拖車系統）
1998 年 2 月	EOC21	0~0.7 0.50	• 注氫測試(每次增加 0.1ppm) • 開始連續注氫
1999 年 3 月	EOC22	0.45	• 執行逐漸注氫及定期停止注氫 • 因對主蒸汽輻射監測器影響而改變注氫濃度
1999 年 5 月~ 2000 年 5 月	22 次大修	—	• 執行爐心側板(CORE SHROUD)更換(使用 HOP 方法執行爐內化學除污)
2000 年 4 月	EOC23	0.40	• 因對主蒸汽輻射監測器影響而改變注氫濃度
2001 年 12 月	EOC24	0.40	• 執行逐漸注氫及定期停止注氫
2005 年 2 月	EOC25	—	• 再循環管檢修工作(使用 HOP 方法執行再循環泵進出口管路化學除污)
2005 年 8 月	EOC26	—	• 前處理氧化運轉 • 執行逐漸注氫及定期停止注氫

再循環管路輻射劑量率的變化 (泵A 第21次大修)

PLR(A) 進口垂直管路

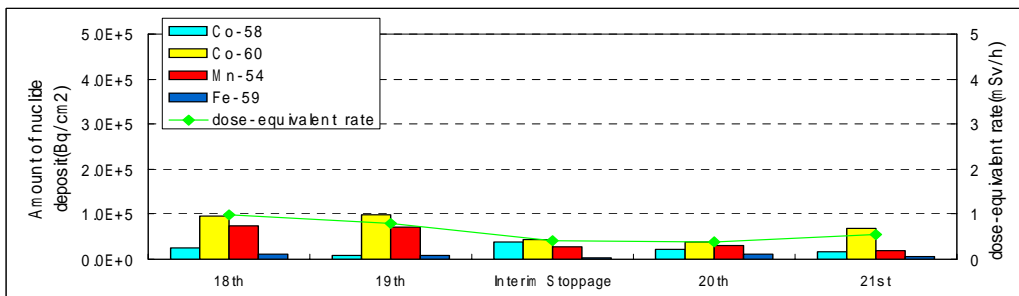


PLR(A) 出口垂直管路



再循環管路輻射劑量率的變化 (泵B 第21次大修)

PLR(B) inlet vertical piping



PLR(B) outlet vertical piping

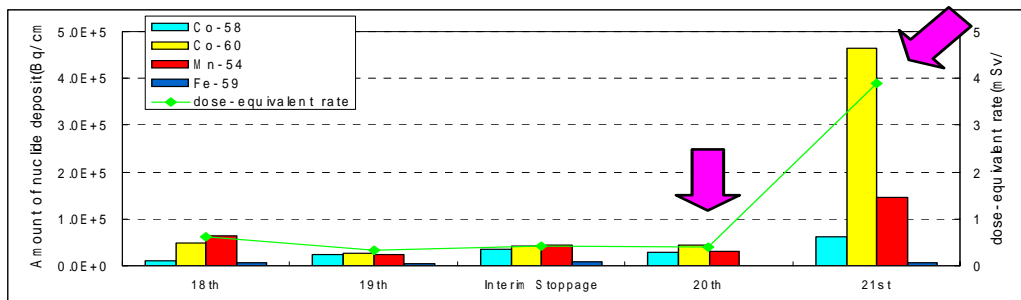


圖 9. 乾井內再循環管路與注氫輻射增建的關係

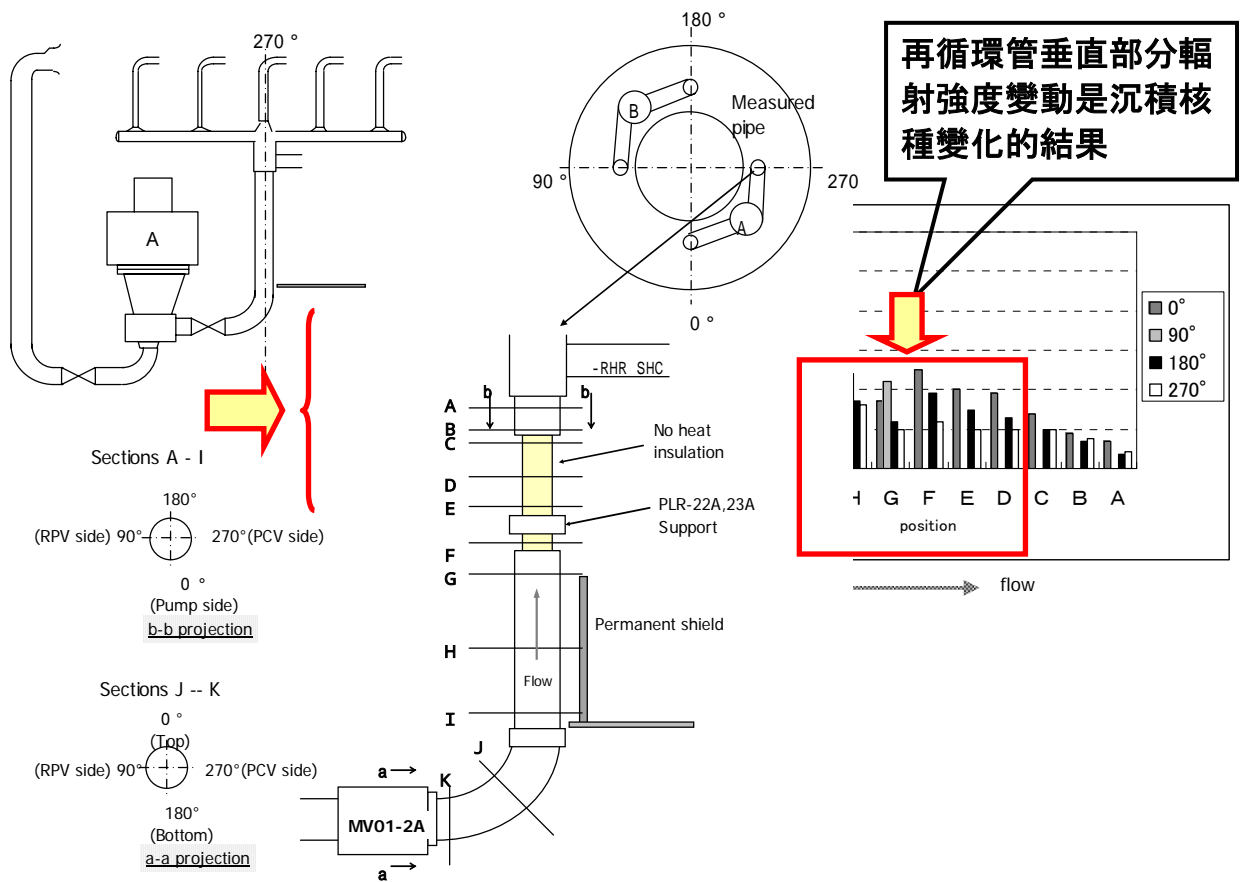


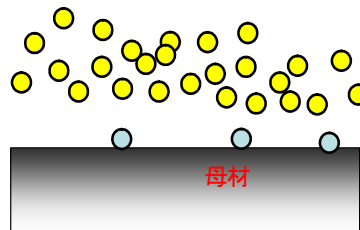
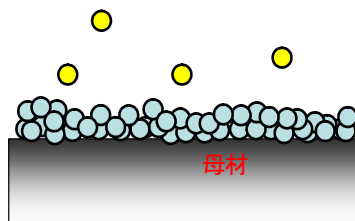
圖10. 島根電廠再循環泵出口垂直管路輻射變化(21次大修)

HWC 環境下

NWC 環境下

● Cr_2O_3 (不可溶性)

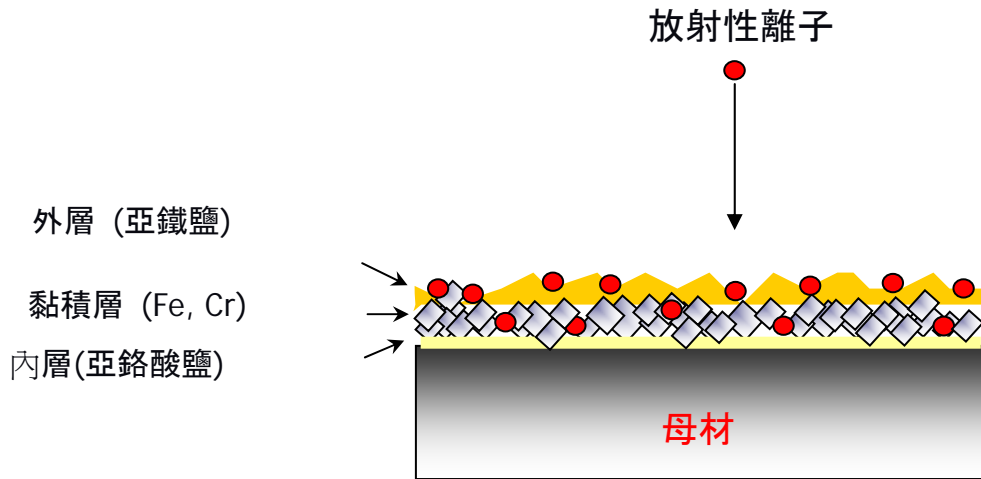
● CrO_4^{2-} (可溶性)



在注氫環境下(低含量過? 化氫)
 爐水係處於還原性環境?? 化物
 會黏附在管壁上

在無注氫環境下, 附著在管壁的
 ?? 化物會形成離子溶入水中

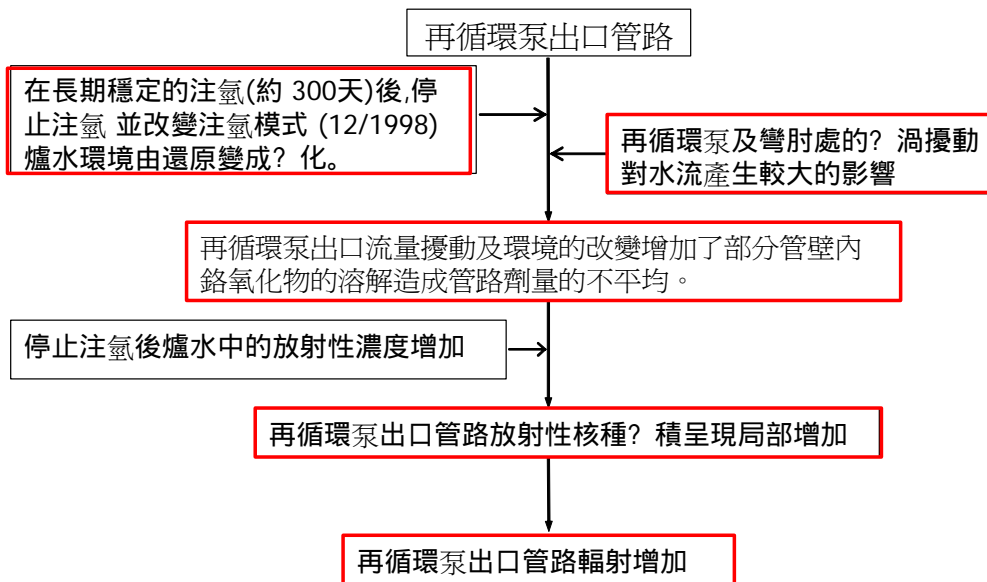
圖11. 注氫與停止注氫環境下鉻離子的變化



島根一號機第21次大修
 連續300天注氫運轉增加來自爐水中鉻的沉積, 由
 HWC轉為NWC時會將鉻離子溶出造成管路內部沉積
 量不均勻

圖12.再循環出口管路輻射增強的機制

表四、再循環泵出口管路高輻射劑量點形成機制



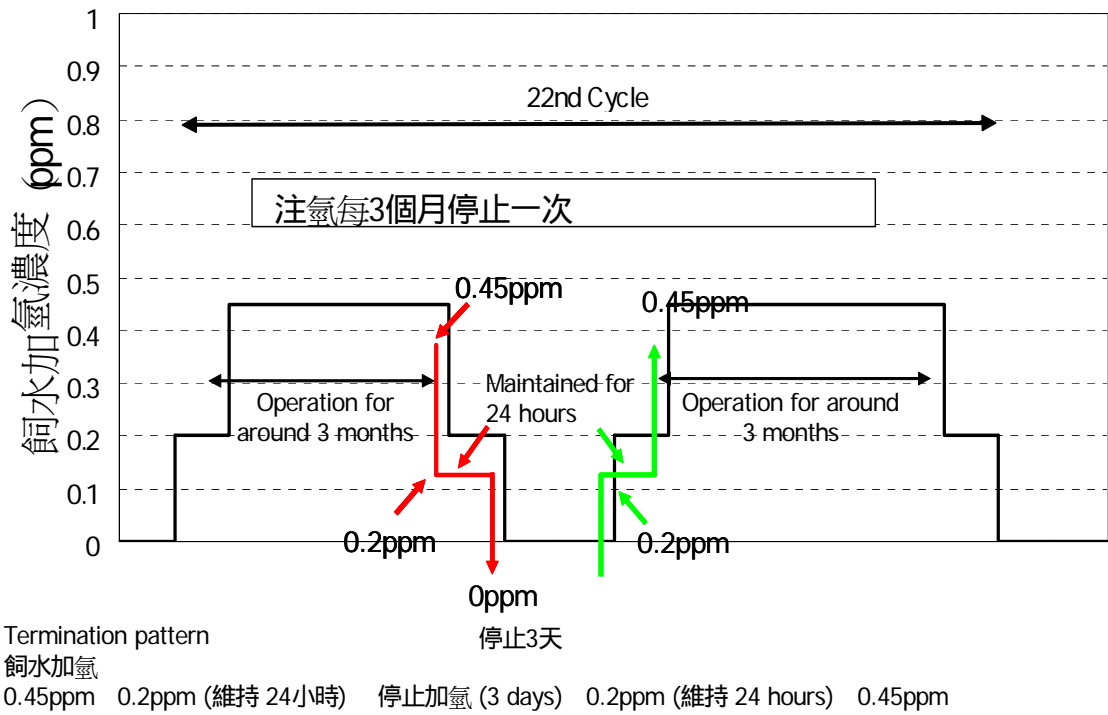


圖13. 島根電廠第22燃料週期注氫模式改變情形

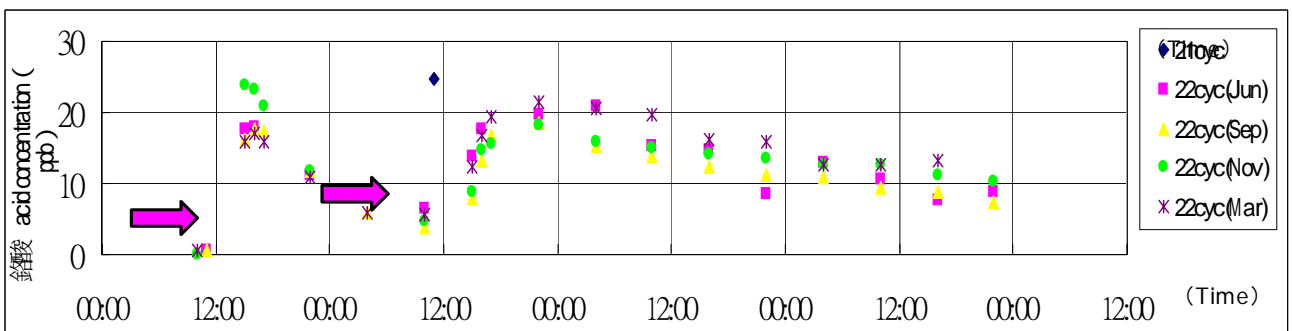
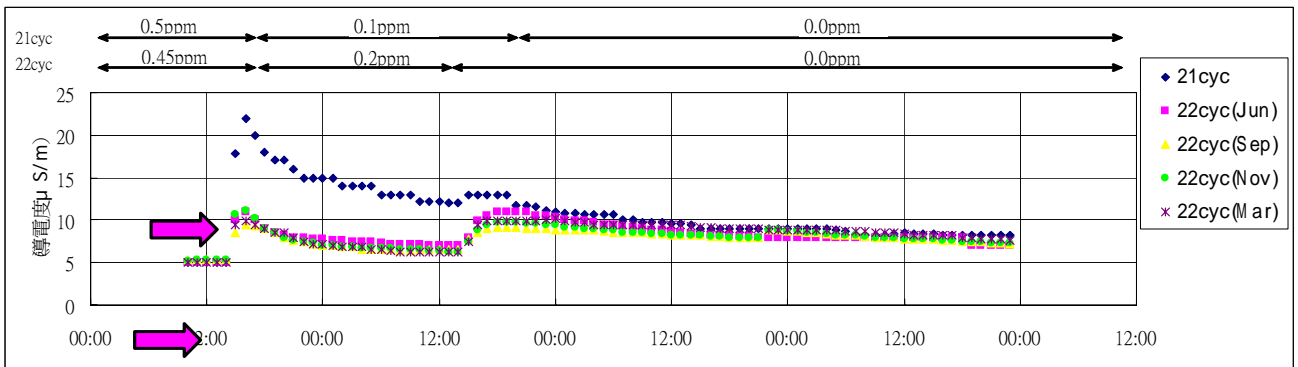
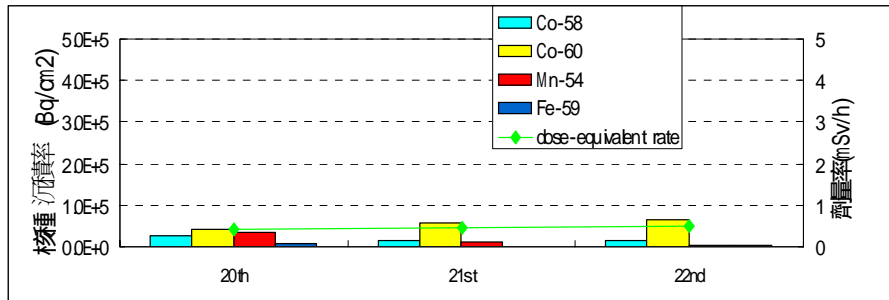
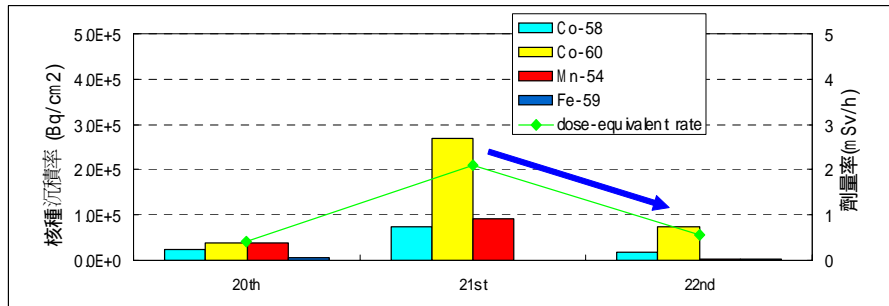


圖14. 爐水導電度及鉻酸濃度轉變 (21及 22週期)

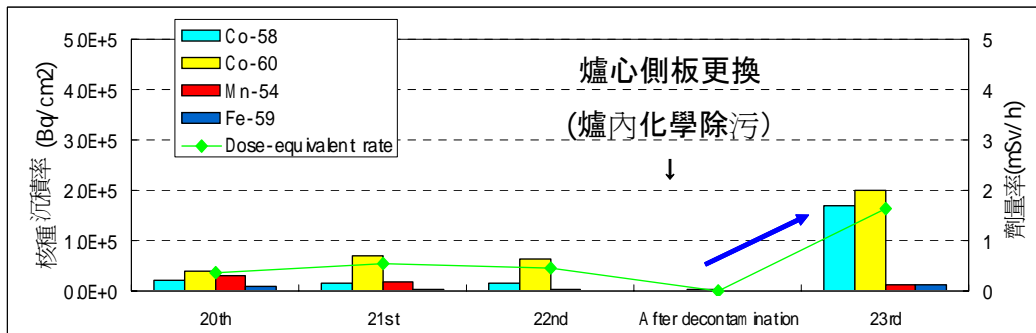
再循環泵A入口垂直管路



再循環泵A出口垂直管路



再循環泵B入口垂直管路



再循環泵B出口垂直管路

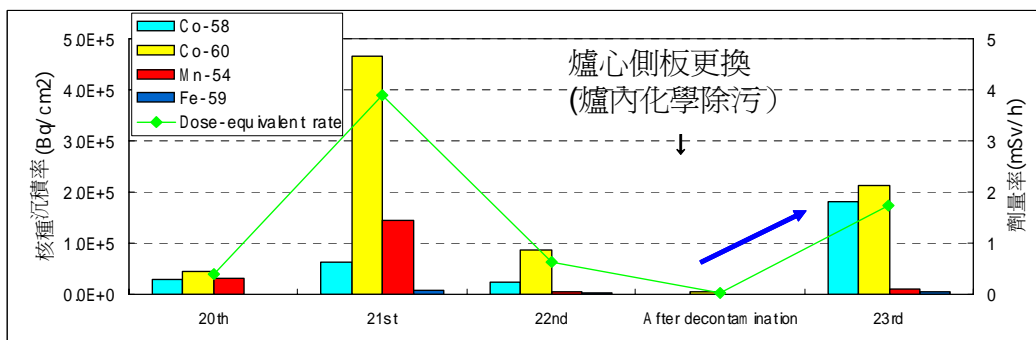


圖16. 島根電廠第22次大修再循環管輻射強度變化

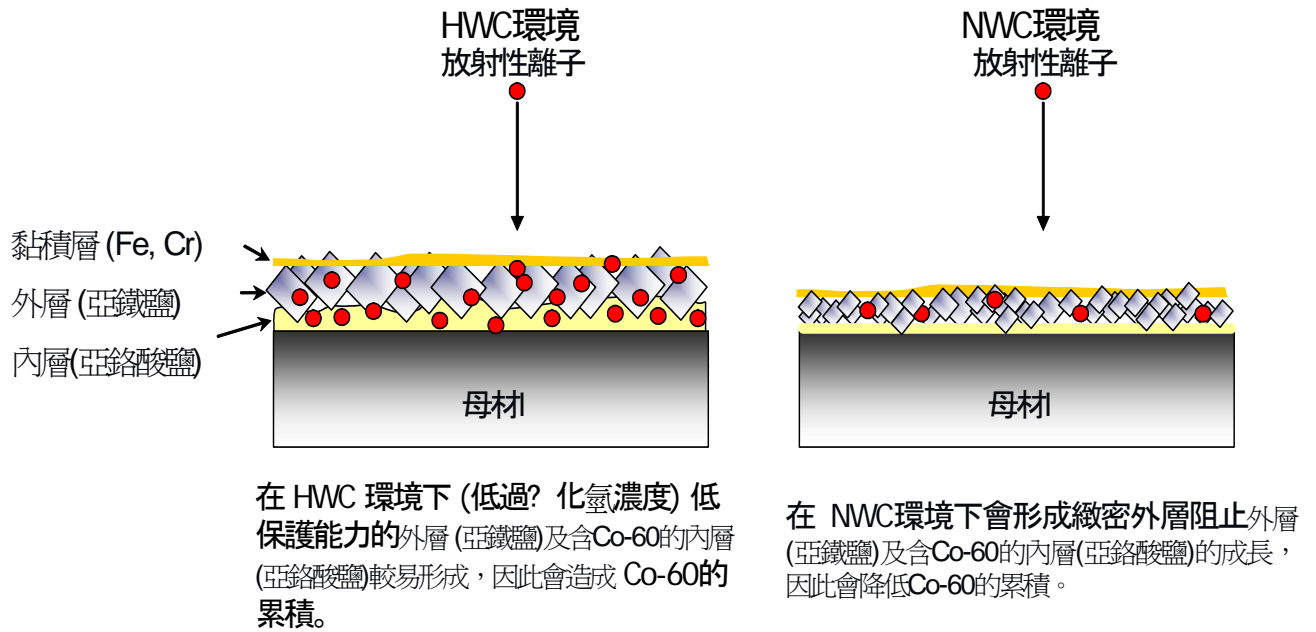
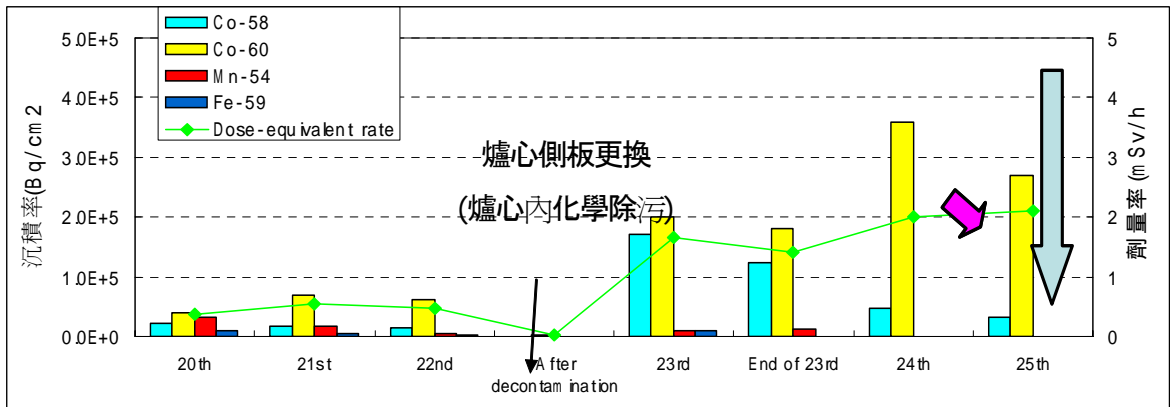


圖17. HWC環境輻射的沉積機制 (23次大修以後)

再循環泵入口垂直管路

再循環管路檢修工作
(化學除污)



再循環泵出口垂直管路

再循環管路檢修工作
(化學除污)

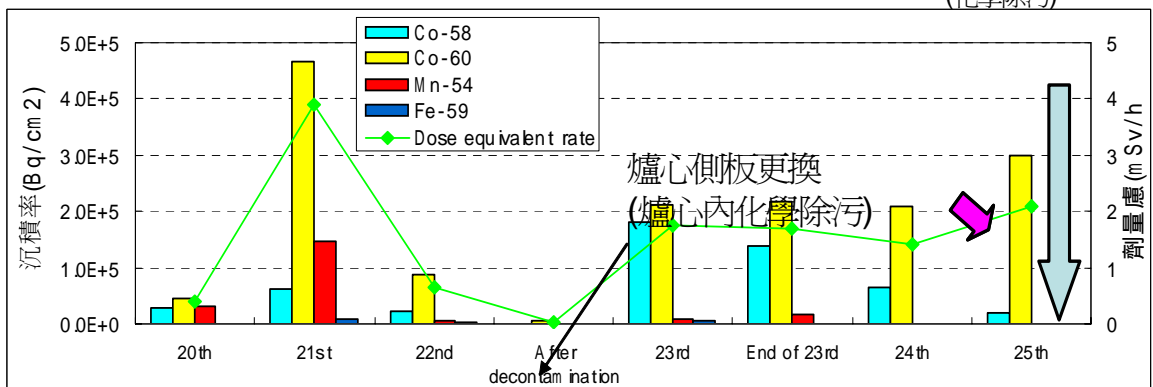


圖18. 島根電廠目前輻射狀況 (25次大修)

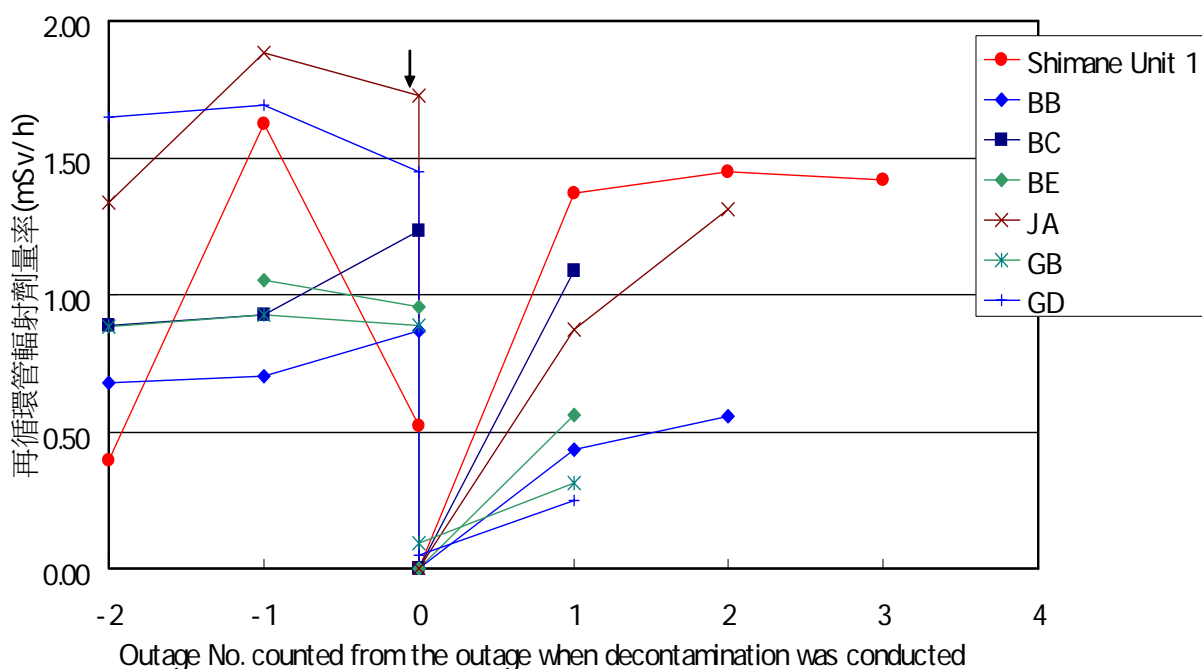


圖19. 島根電廠化學除污後再循環管輻射變化 (與其他電廠比較)

(五) 巴基斯坦的劑量抑減經驗

巴基斯坦的 Chashma 核能電廠是由中國大陸興建的壓水式電廠，平常運轉輻射不高，主要的集體劑量來自大修，當大修時反應爐開蓋後，氧氣進入爐水產生氧化作用，造成放射性腐蝕產物剝離而形成輻射劑量的來源，此種情形的對策是在未停機前即執行強迫氧化作用，再利用淨化系統移除產生的放射性物質，如此則可控制劑量。通常是加入過氧化氫來進行氧化反應，表五是其除污成效，由於該項作業數壓水式電廠一般例行作業故不再贅述。

表五、第2次大修移除成果

	加 H ₂ O ₂ 前	最大值	移除後
核種/活度	Bq/m ³		
Co-58	5.94E+08	2.07E+09	1.18E+08
Sb-122	7.66E+07	1.14E+09	1.55E08
Sb-124	4.07E+07	6.63E+08	1.46E+08

(六)濱岡電廠的劑量抑減作業

在 1990 年以前，濱岡電廠的集體劑量一直穩定地減少如圖 20 所示，然而最近由於執行大型維修工程如再循環管路的更換而造成集體劑量抑減的困難，因此濱岡電廠視 ALARA 作業為品保的一部分。圖 21 是濱岡電廠平時與大修劑量的比較，大修劑量佔 70% 以上與我國類似，圖 22 是乾井劑量佔大修劑量比例，約為 60% 以上亦與我國類似。

圖 20. 濱岡電廠的集體劑量趨勢

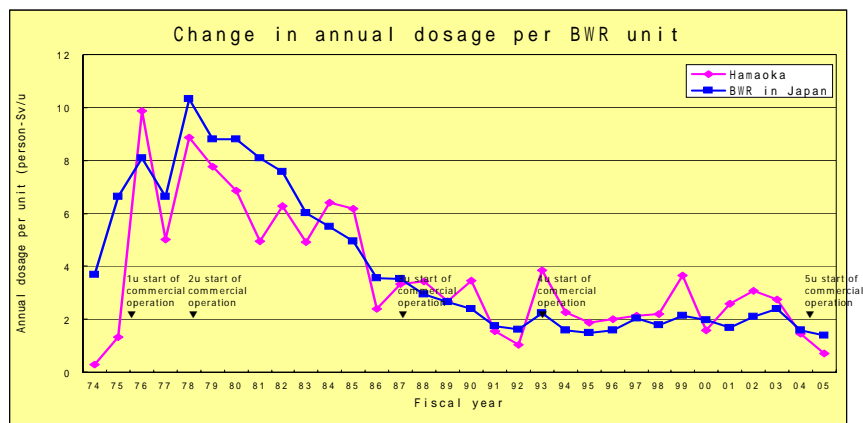


圖 21. 濱岡電廠大修與平時劑量比較

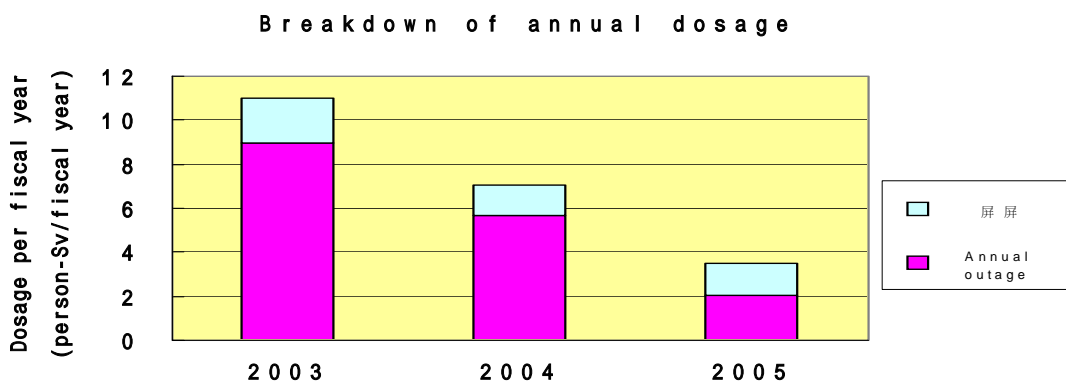
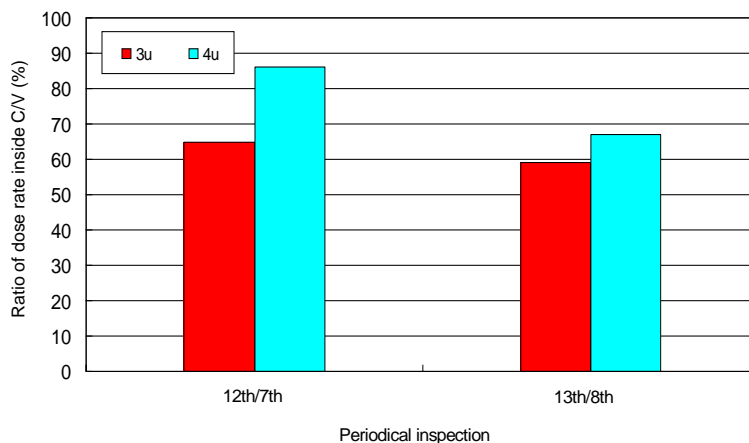


圖 22. 乾井劑量所佔比例



濱岡電廠採用的劑量抑減方法有(1)屏蔽(2)化學除污(3)警示及資訊裝置(4)激勵劑量抑減制度(5)沖洗輻射源(6)將工作移至高輻射區作業(7)採用自動遙控設備。

1. 屏蔽

乾井內裝設永久屏蔽及半永久屏蔽如圖 23 所示，在反應器廠房裝設一般屏蔽如圖 24 所示，表 6 為其屏蔽效益。

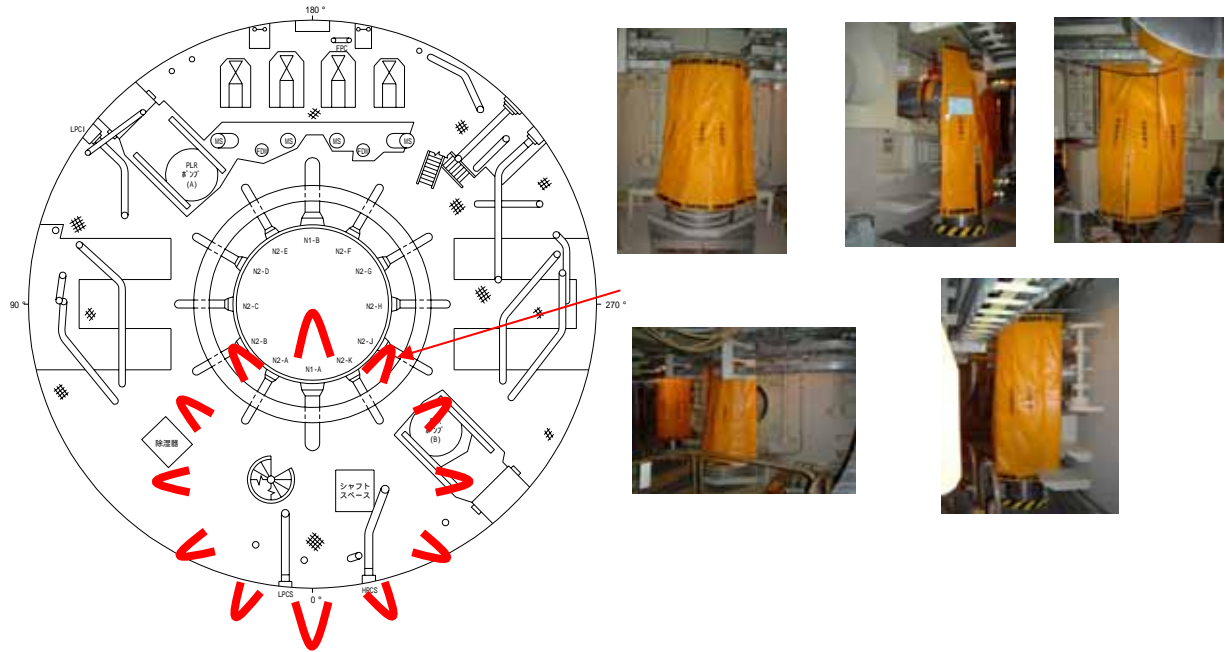


圖23. 濱岡3號機乾井內屏蔽

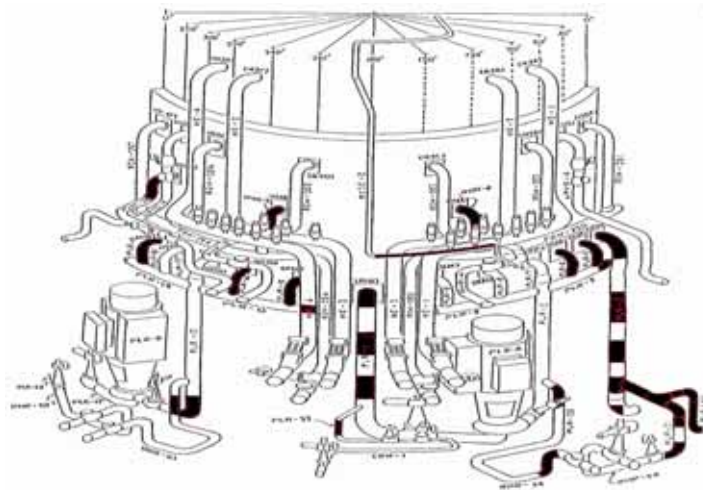


圖 24. 濱岡電廠反反應器廠房之一般屏蔽

表 6. 屏蔽效益 mSv/h

	屏蔽前	屏蔽後	效果
劑量率	0.21	0.14	減少 33%

2. 化學除污

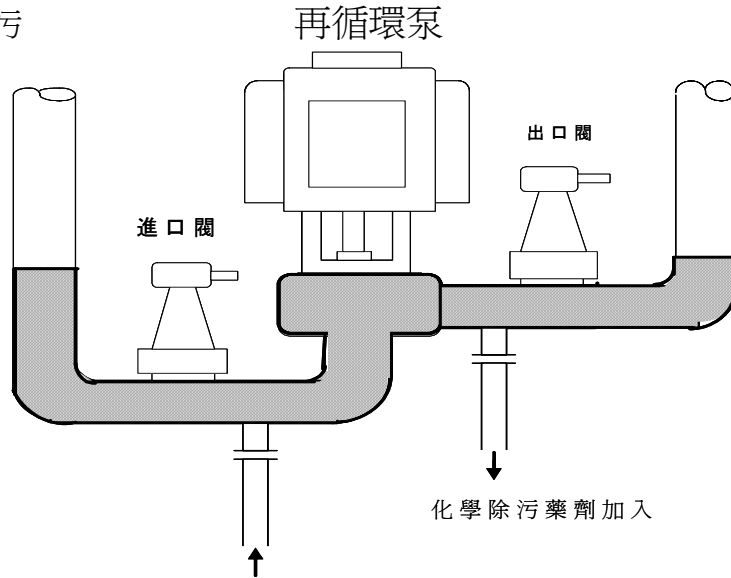


圖 25. 再循環泵之化學除污作業

利用化學除污降低再循環管路輻射劑量亦是濱岡電廠採行的抑減劑量的方法之一，除污效果良好如圖 26 所示。

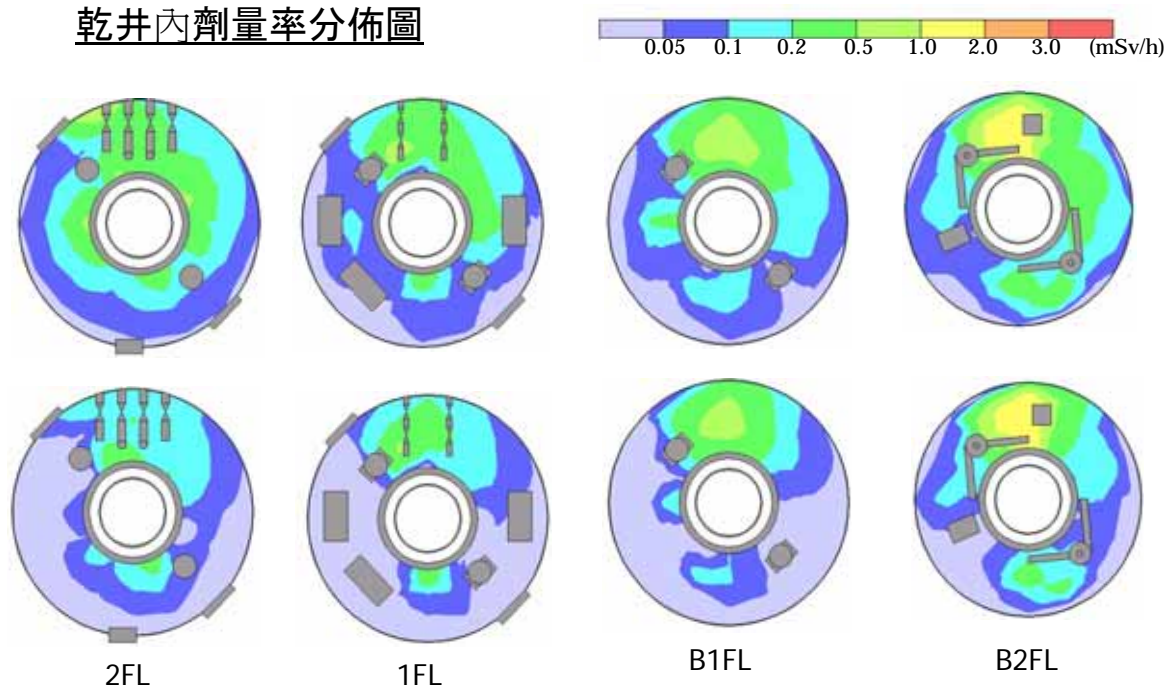
3. 警示及資訊裝置

對於高輻射管路為避免工作人員無警覺接受不必要之輻射劑量，因此須有一些警示裝置，傳統的文字警示容易被現場忽略，因此濱岡電廠以閃爍燈泡圍繞高輻射管路作為警示如圖 27 所示，此種措施核一廠早在 10 年前就已引進。另一種對輻射工作人員劑量抑低有用的措施為輻射資訊看板電腦化如圖 28 所示。

4. 激勵劑量抑減制度

自 1994 年起，濱岡電廠就已採行激勵劑量抑低的措施，適用於全廠員工，例如當傳送爐水淨化樹脂從 A 槽到 B 槽時，為了抑減劑量將傳送泵作了一些修改，增加了 6 個噴射口使樹脂更易攪動，改善後的效益如圖 29 所示。

乾井內劑量率分佈圖



	前	後	效果
再循環泵 (A)	2.2	0.14	93.6%
再循環泵 (B)	1.9	0.17	91.1%

圖26.去污前後輻射比較: mSv/h



圖 27. 警示燈泡



圖 28. 輻射資訊看板

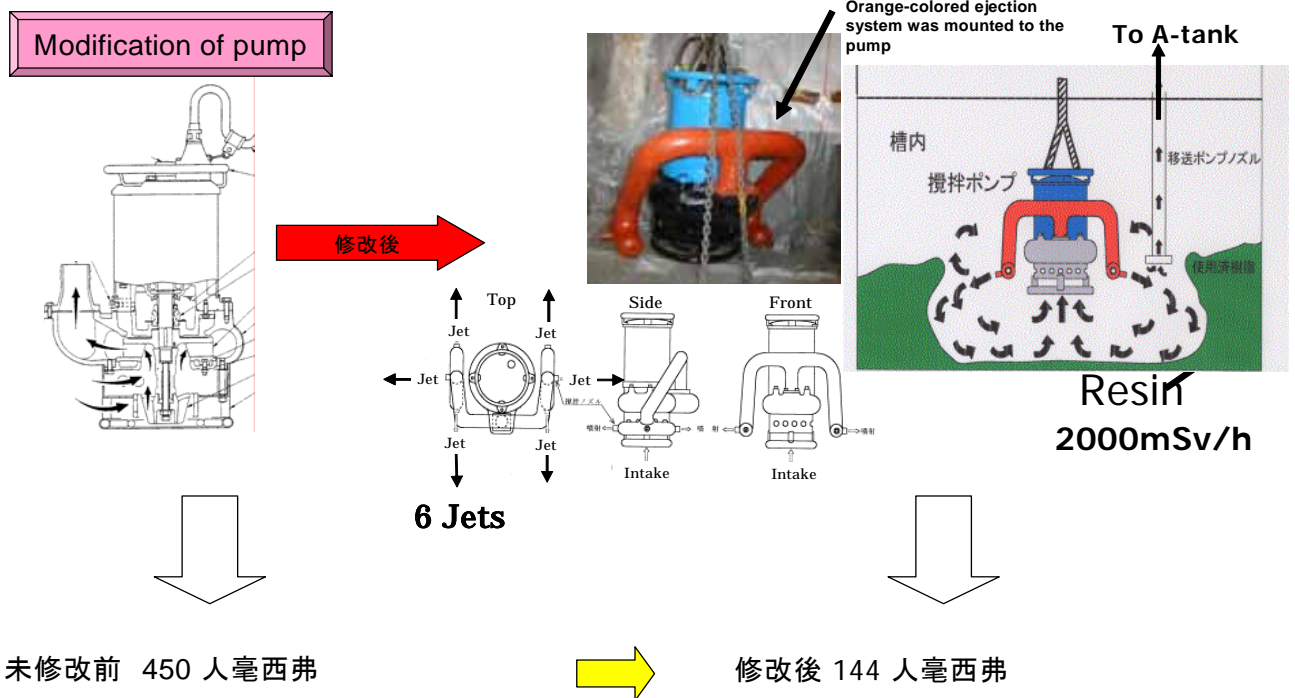
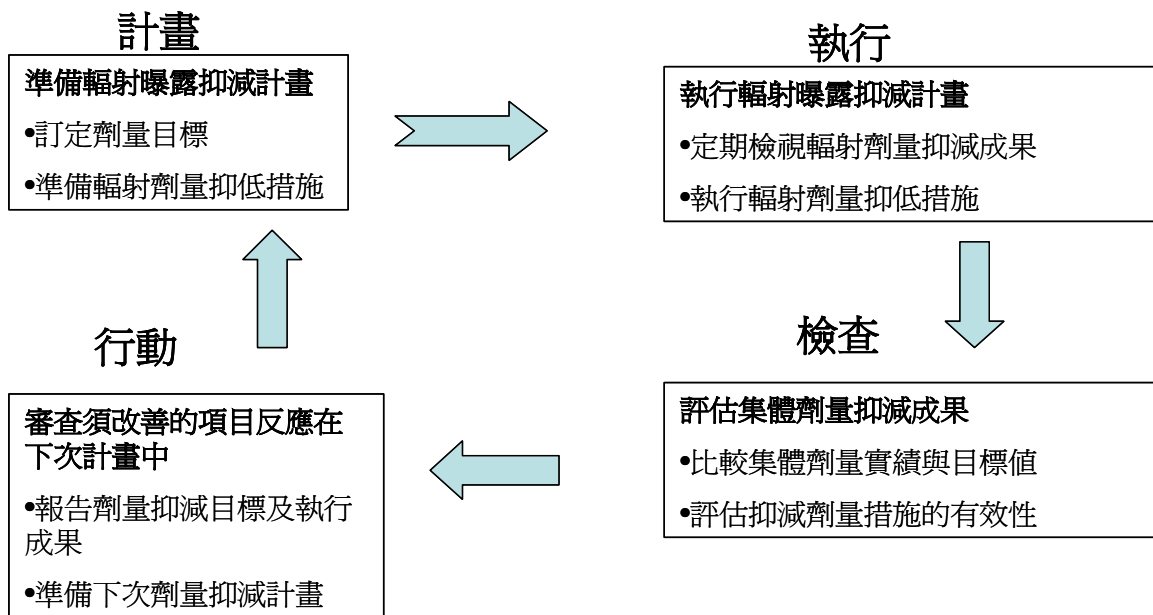


圖 29. 樹脂傳送泵的改善

5. 高階主管對劑量抑低的承諾

濱岡電廠由高階主管訂定品質政策及劑量抑低目標，然後全廠共同努力來達成目標，管理階層再審視執行的成果。下面是劑量抑低作業的流程：



(七)台電公司的輻射劑量抑減策略

影響集體劑量的因素有(1)工作地點的輻射劑量率(2)維修品質(3)維修工作量，傳統上輻射劑量的抑減著重在降低工作環境的輻射劑量率，相關的議題包括射源移除、水化學處理及裝設屏蔽。但是有時候花費許多時間及金錢去改善輻射劑量率後，集體劑量卻未明顯下降，因此台電公司改從運轉及維護的觀點提出抑低集體劑量的策略，運轉上的策略包括(1)保持長期連續運轉(2)提升容量因數(3)延長燃料週期。維護上的策略包括(1)縮短大修工期(2)運用適當的人力(3)減少非計畫停機的次數(4)避免非預期劑量。

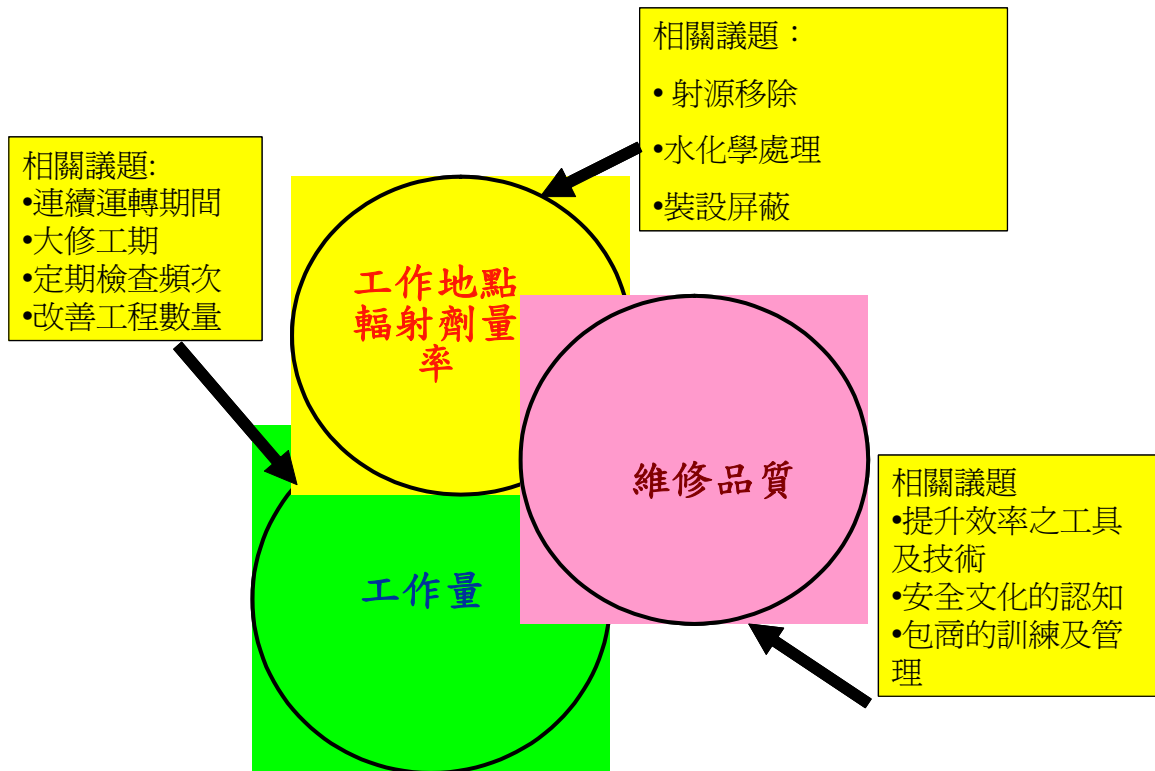


圖 30. 影響集體劑量的因素

(八)東京電力公司 ALARA 計畫的改善挑戰

圖 31 是東京電力公司集體劑量的趨勢，ABWR 新電廠的集體劑量明顯較低，圖 32 則是日本電廠集體劑量與其他國家之比較，近年來日本電廠的劑量抑減已遇瓶頸，東京電力公司作了一些 ALARA 的改善努力如下：

1. 輻射場的控制

(1)射源移除

- 藉飼水注氧以減少腐蝕產物
- 設備採用低鈷材質
- 飼水及冷凝系統設備採耐天候的不銹鋼材料
- 冷凝水採用雙重淨化系統
- 沖洗及化學除污

(2)屏蔽

- 一次圍阻體內採用永久性屏蔽
- 高輻射工作採用臨時屏蔽

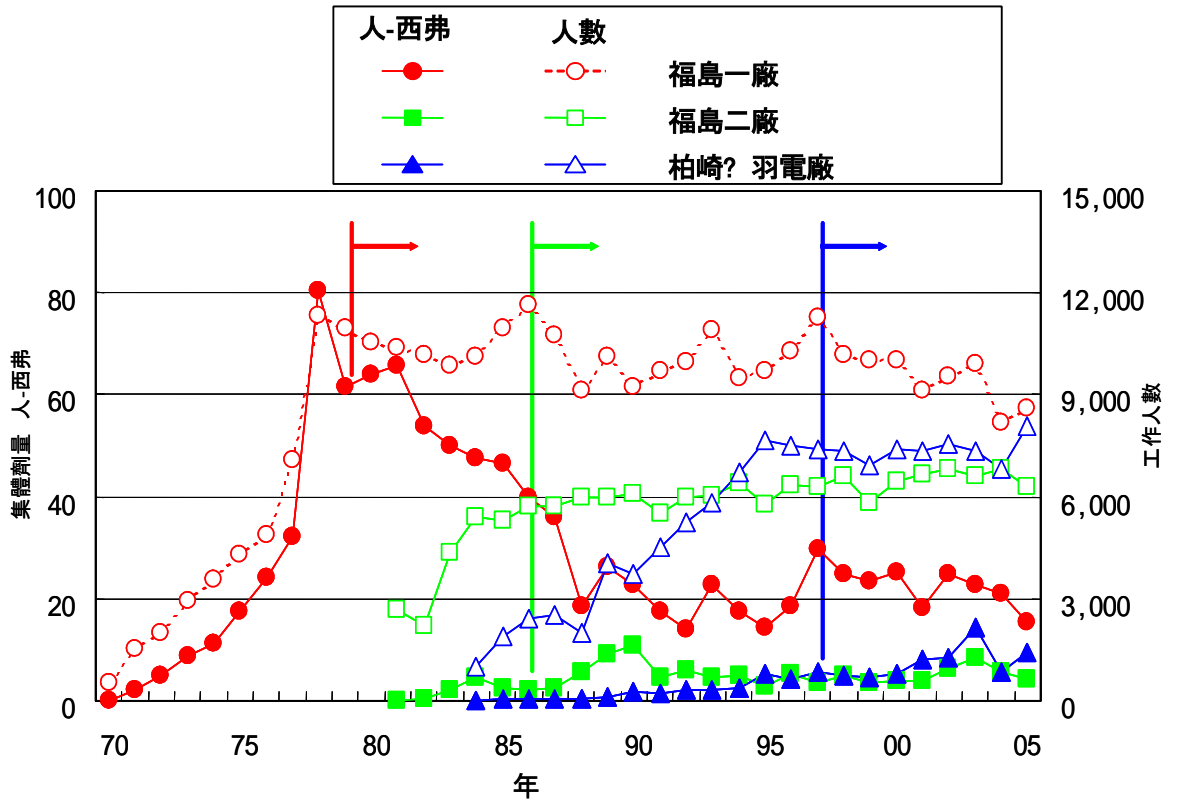


圖 31. 東京電力公司的集體劑量趨勢

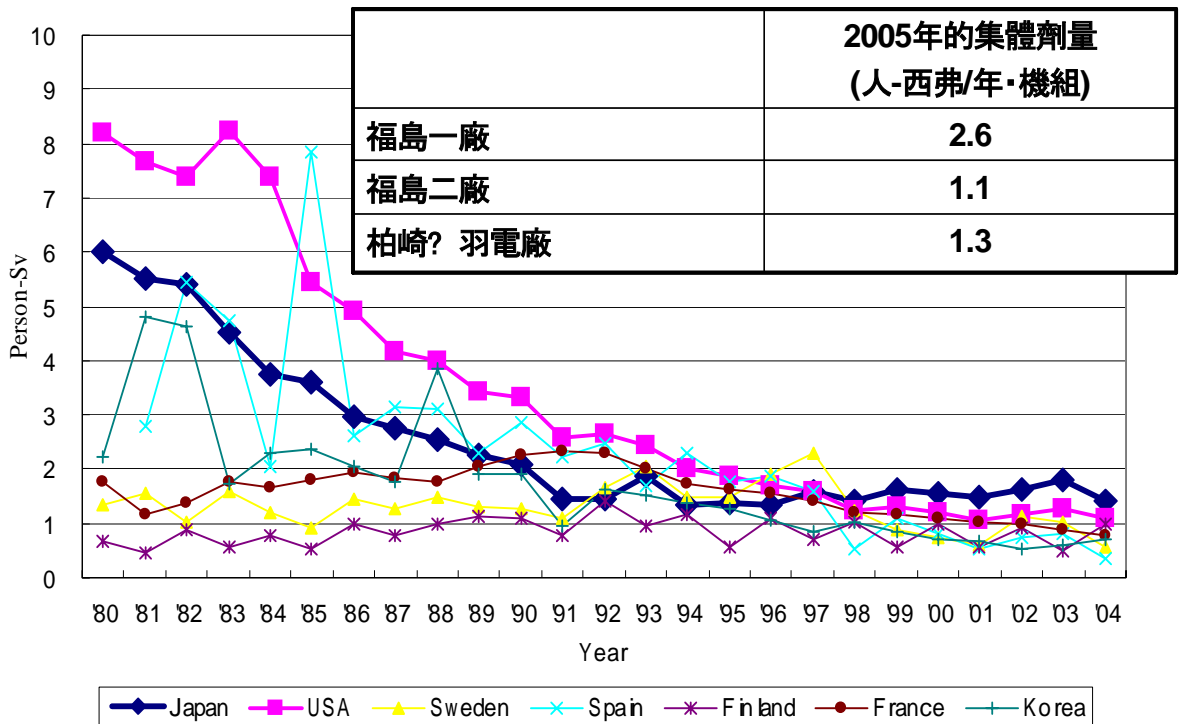


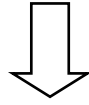
圖 32. 各國年集體劑量之比較

2. ALARA 管理

(1) 目標

重新塑造 ALARA 管理目標

- 審視 ALARA 管理 “As-Is” 過程
- 確認 “As-Is” 與 “To-Be” 過程
- 重點放在輻射防護與維修部門在工作計畫及大修後階段的介面



將 ALARA 考量融入工作中使其更有效率及更有有效

(2) 執行方向

- 成立 “劑量目標管控審查小組”
- 小組成員：
組長：輻射防護課長
固定組員：輻射防護、輻射安全、化學部門人員
臨時組員：維修人員

(3) 找出盲點

- 是否缺乏中長期目標
- 是否內部維護部門與保健部門缺乏溝通

(4) 基本政策

由輻射防護及管理部門提出，再由總處的核能管理階層主管核准，每年檢討執行成果並決定是否須重審。

(九) 印度電廠延壽計畫之劑量抑減

印度的主要延壽計畫工作包括非破壞性檢測、冷卻管更換、飼水管更換、蒸汽產生器更換、安全度升級，劑量抑低的工作包括計畫、劑量分配、基層組織、訓練及考照、品保、劑量管理及管理審查。

1. 計畫

包括整體流程、模組的準備及時程安排。

2. 劑量分配

研究劑量貢獻主要來源、評估輻防狀況、適當的物資準備及人力須需求。

3. 基層組織

模擬訓練的設施、初材料準備、空間需求、設備及容器、廢棄物處理設施及材料處理設施

4. 訓練

體檢及執照、輻防訓練、工安及環境管理、現場觀察評估、品質及證照管理、知識訓練及評估、實際操作的最後鑑定

5. 品質保證

詳細的程序書及檢查表、系統及流程的線上查看、多階系統的檢查、每週審視及計畫、主管機關定期檢查

6. 劑量管理

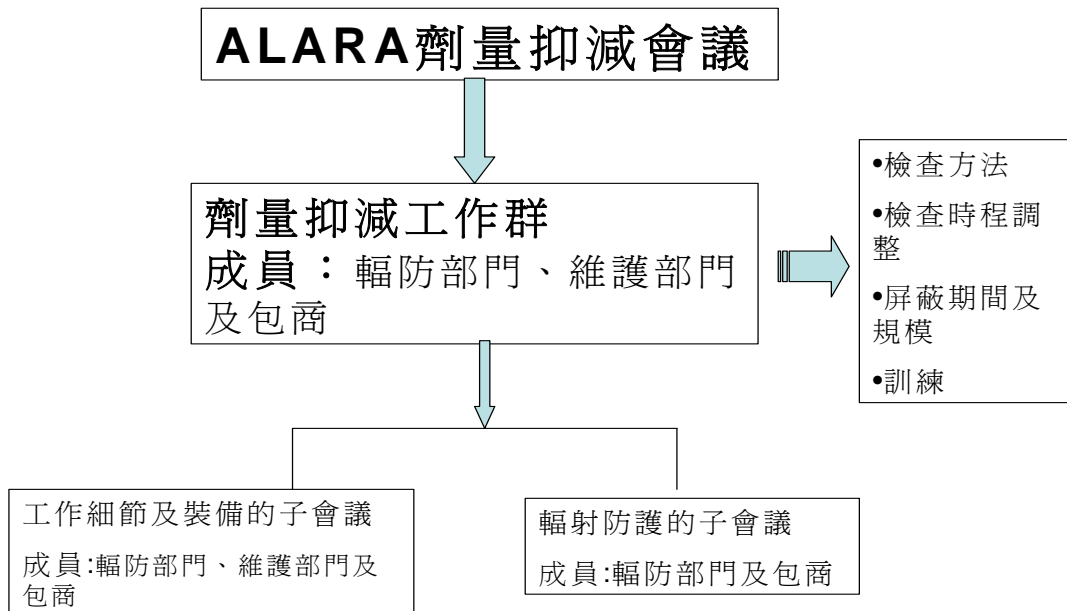
ALARA 會議定期開會、劑量警報計的使用、工作前簡報、電腦連線劑量管制系統及輻射工作許可證系統。

(十)日本仙台電廠的劑量抑減作業

日本九州電力公司的仙台核電廠共有兩部 890MW 的 PWR 機組，本次研討會該電廠提供的一些實務經驗可供參考，分述如下：

1. ALARA 溝通

過去的缺失包括工作人員與輻防人員間缺乏溝通，ALARA 作業的執行並不徹底，目前組織型態改為下圖方式：

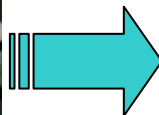


2. 檢查的時程

- (1)電廠停機期間限制進入高輻射區
- (2)改變蒸汽產生器灌水的時程

3. 臨時屏蔽的設置

在主要工作區域設置臨時屏蔽



4. 提醒工作人員輻射安全

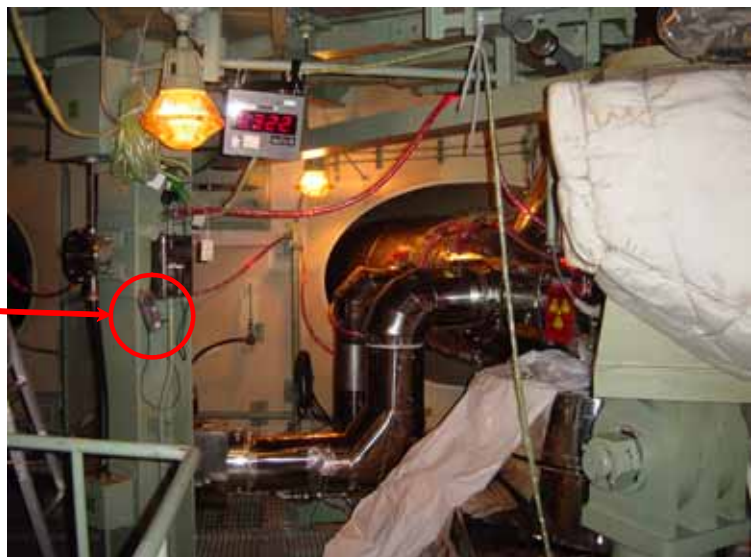
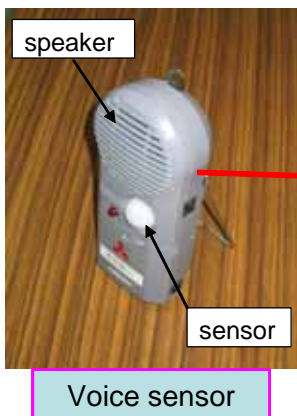
(1) 設置警示高輻射閃爍燈泡



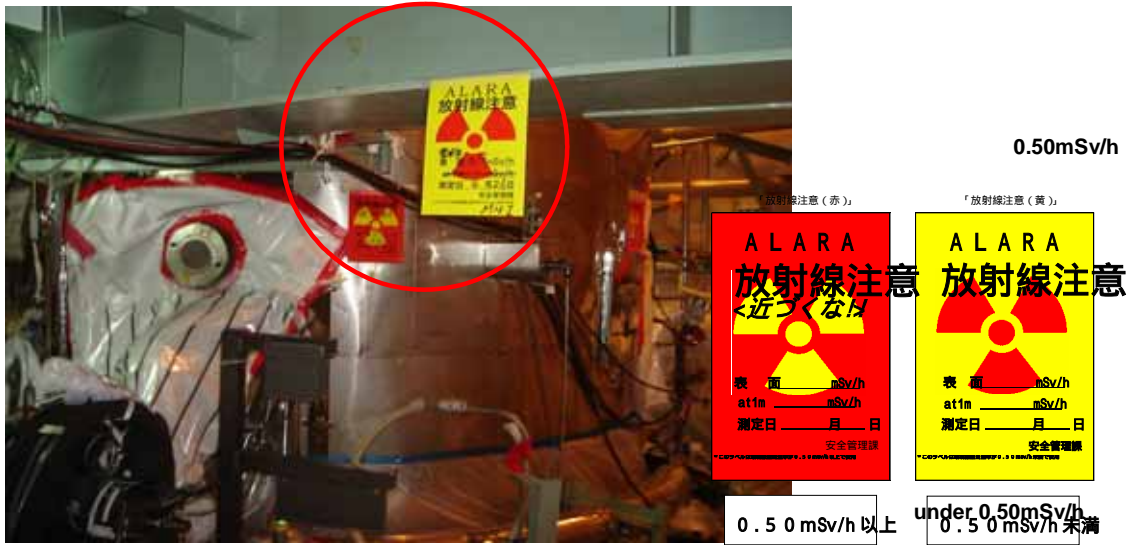
(2) 裝設區域輻射偵檢器



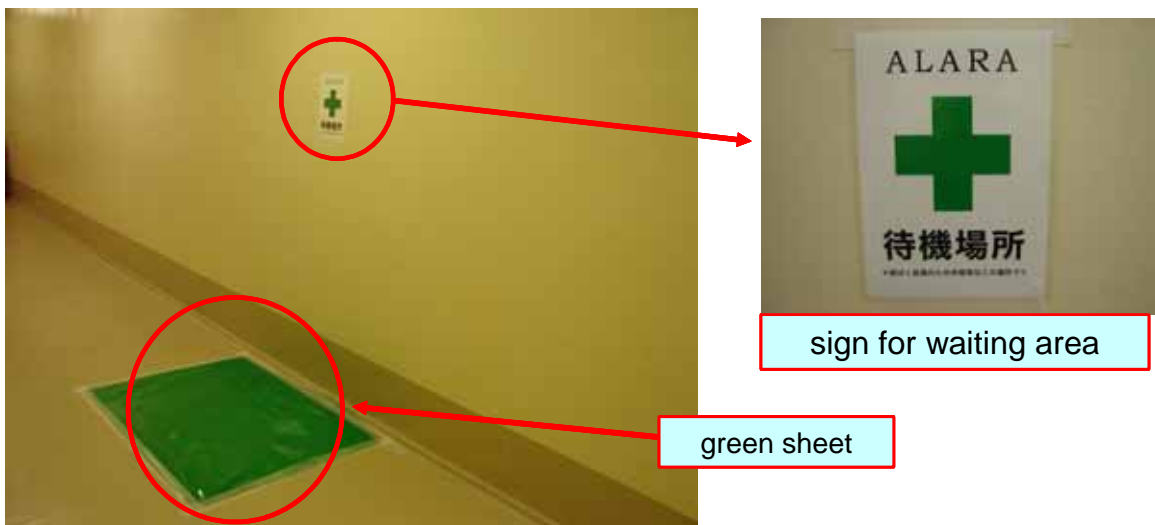
(3) 裝設感應聲音警示裝置



(4)設置警示標誌

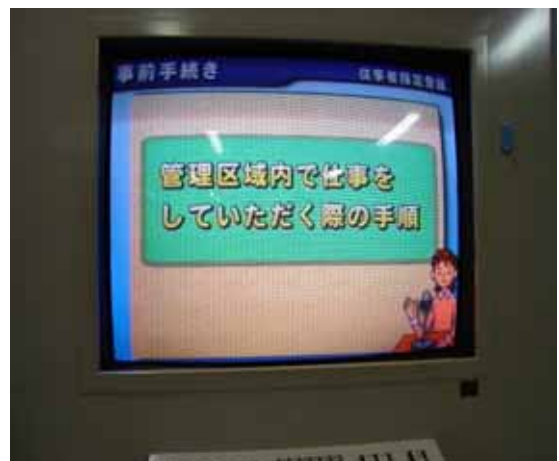


(5)設置低輻射待命區



5.改善工作人員對輻射防護的認知

(1)在休息區設置電腦教學裝置



(2) 輻射防護管理巡視

- 執行與其他公司聯合輻射防護巡視。
- 巡視主要作業包括確認劑量抑減措施的情況，給予工作人員有關劑量抑減的指導及確保待命區持續執行。

6. 改善輻防管理作業

(1) 公佈員工劑量

(2) 改善人員劑量警報計增加閃光及振動功能



(3) 確認輻防管理系統

確保有適量輻防管理人員負責巡視檢查，輻防管理人員需配戴臂章。



(4)改善工作區域的偵測

高輻射區選點偵測，執行劑量率易變化區域輻射偵測，避免不同公司重複偵測。

7. 執行輻射防護的再訓練教育

(十一)結論

WANO 的組織及其活動是一個很好的國際平台，亞洲方面參與本次劑量討論的國家中，感覺巴基斯坦及印度的技術水平較差，中國大陸由於缺乏輻防經驗亦無特殊可學習之處，美國請來的專家雖然劑量抑減的理論很多，但未舉實例又無圖片說明，因此不易徹底瞭解吸收。日本的專家代表都很年輕，因此提出的劑量抑減方法有些是舊方式，但儘管如此日本的水準在亞洲還是最高的。本次會議重點如下：

1. 劑量抑減措施包括緊密的水化學控制、策略性移除射源、工程管制、自我管理、個人參與、重點的保健物理作業支援、改良及增強的訓練及適當的大修及非大修規畫。
2. 注鋅後對 Co-60 管壁沉積率亦有抑制做作用。濱岡電廠認為由於注鋅有利於減少 Co-60 管壁沉積率，因此對於抑減該廠的集體劑量甚有助益，濱岡電廠將持續進行注鋅作業並評估其成果。
3. 在 HWC 環境下（低過氧化氫濃度），低保護能力的外層（亞鐵鹽）及含Co-60的內層（亞鉻酸鹽）較易形成，因此會造成 Co-60的累積，而在 NWC環境下會形成緻密外層阻止外層（亞鐵鹽）及含Co-60的內層（亞鉻酸鹽）的成長，因此會降低Co-60的累積。島根電廠目前輻射的狀況明顯的是注氫後再循環管路輻射強度確有增加，即使在化學除污後再循環管路輻射強度很快恢復。因此注氫後須配合注鋅方可抑減輻射劑量率。
4. 影響集體劑量的因素有(1)工作地點的輻射劑量率(2)維修品質(3)維修工作量，傳統上輻射劑量的抑減著重在降低工作環境的輻射劑量率，從運轉及維護的觀點則抑低集體劑量的策略在運轉上包括(1)保持長期連續運轉(2)提升容量因數(3)延長燃料週期；在維護上包括(1)縮短大修工期(2)運用適當的人力(3)減少非計畫停機的次數(4)避免非預期劑量。

四、建議事項

- (一) WANO 舉辦的研討會對於我國核能電廠的營運及地位均甚有幫助，我國應儘量派適當人員參加，並且發表具專業水準的論文以提升各國對本公司技術水平的形象，由於研討會參加人員來自各電廠，藉此技術交流研討會可吸取國際先進知識，以使我國核能發電水準能達到國際水平。
- (二) 建議本公司對年輕人材的培育應有系統執行，基本上分為 3 大方向及步驟，(1) 世界潮流及核能發電大方向的瞭解(2) 現場實務細節的(3) 本公司營運的困難及重點問題。
- (三) 核一廠及核二廠相繼執行注氫後，根據 GE 公司預測及本次研討會日本島根電廠提出的數據，乾井內再循環管輻射劑量率將大幅升高，尤其核二廠升高幅度很大值得研究注意改善，由日本濱岡電廠注鋅的結果來看確實可抑低輻射劑量率，因此值得我們繼續觀察濱岡電廠的後續發展。