

出國報告（出國類別：開會）

參加 2009 年亞洲核能電廠
水化學與腐蝕研討會
報告

服務機關：台灣電力公司 核能發電處

姓名職稱：高瑞廷 主辦水處理專員

派赴國家：日本

出國期間：98.10.27~31

報告日期：98.12.15

目 次

	(頁碼)
一、目的	2
二、過程	3
三、心得	4
四、建議事項.....	30
五、附錄 (大會議程和論文發表題目).....	31

本 文

一、目的：

- (一)「亞洲核能電廠水化學與腐蝕研討會」至今年 2009 年為第九次舉辦，該研討會的前身是從 1993 年起台灣與日本之間的「中日核能電廠水化學討論會」，本國為本研討會之創始會員國，之後韓國加入參與主辦，目前是由台灣、日本及韓國三國輪流主辦，本年度研討會是輪由日本原子力學會水化學部門主辦。近年來多有其他亞洲、美國、及歐洲等核能發電的國家參與，故相當具國際性。
- (二)「2009 年亞洲核能電廠水化學與腐蝕研討會」於 98 年 10 月 28 日至 10 月 30 日在日本名古屋舉辦且順利完成。會議內容為沸水式及壓水式一、二次側核能電廠水化學及相關核能技術之運轉經驗與新研發技術之發表，參與者除各國核能電廠水化學深具運轉經驗者外，各國核能技術研發單位與知名之核能技術公司也積極參與該次會議。因此派員參與此次會議，除可取得日本、韓國及其他國際上核能電廠水化學運轉經驗及材料防蝕論文與最新資訊外，還可與各國核能水化學專家建立聯絡管道，方便日後交換各項業務資訊，以做為台電沸水式及壓水式一、二次側水化學營運之技術來源與回饋。
- (三)因應本次會議職高瑞廷代核三廠整理編寫「核三廠改良停機化學程序降低大修人員劑量之成功經驗(Shutdown Chemistry Optimization at Maanshan NPP)」一篇投稿，這也是目前國際核能技術討論重點之一，核三廠在努力經過數次停機化學作業持續改良後，最近的人員劑量已逐年下降，表現亮麗，透過邀稿在國外發表，對於公司技術形象有提昇的效果。

二、過程：

(一)參加 2009 年亞洲核能電廠水化學與腐蝕研討會

本研討會之論文發表於 98 年 10 月 28 日至 29 日兩天在日本名古屋舉行，研討會之主題可分為(1)沸水式(BWR)和壓水式(PWR)核電廠水化學運轉經驗、(2)水化學對燃料完整性、材料腐蝕及輻射劑量抑低等之影響、(3)核電廠水化學基礎研究、(4)廢料營運管理、(5)核電廠水化學未來技術發展等。本次論文共有 63 篇，分別有 32 篇口頭報告，31 篇以壁報方式發表。參加人員總共 176 人，來自 9 個國家，以主辦國日本參加的人數最多。比起兩年前 2007 年於台灣舉辦時的參加人數 62 人多出一百多人。

比較前次 2007 年於台灣主辦和今年度 2009 年日本主辦之研討會的人數和論文數如下：

亞洲研討會	論文篇數					參參人數					地點
	台灣	日本	韓國	其他	總數	台灣	日本	韓國	其他	總數	
2007年台灣	12	14	7	0	<u>33</u>	32	24	6	0	<u>62</u>	台灣台北
2009年日本	9	35	8	11	<u>63</u>	11	136	9	20	<u>176</u>	日本名古屋

本研討會雖然主要是亞洲的台灣、日本、韓國等三國的水化學會議，包括電力公司、學校、研究機構、及製造廠家等核能領域方面的專家，但卻吸引了來自美國、印度、德國、瑞士、瑞典、及中國大陸等國的核能專業人士參與。在台灣方面，本公司、清華大學、核能研究所、及工研院材化所各有代表共 11 人出席。

此次會議台灣總共發表有九篇論文，包括台電公司三篇(核發處朱方組長，高瑞廷，及核三廠陳孟仁課長)、本公司委託清華大學葉宗洸教授之研究成果兩篇、本公司委託核能研究所溫冬珍組長及高大宇博士之研究成果各一篇、本公司委託工研所材化所之研究成果一篇、以及清大退休的林建昌博士發表一篇輻射劑量抑低之回顧等。

(二)參訪日本中部電力公司的 Hamaoka(濱岡)電廠

第 3 天 10 月 30 日參訪中部電力公司位在靜岡縣南方海邊的濱岡電廠，中部電力公司的總部就設在名古屋市內，從名古屋趨車前往濱岡電廠約 3 個小時的車程，抵達時先參觀展示館。

下午先有 10 分鐘的簡報，再進入廠內的模擬中心參訪，廠方特別帶領我們參觀「失敗案例回廊」，內容全都是過去數十年來機組曾經發生過之事件，之後再參觀模中控制室，然後我們再搭上車沿著一號機至五號機繞著廠房外一周，但無法進入廠房內參觀，這是美中不足之處。至此就正式結束參觀行程。

三、心得

心得分為 BWR 水化學、PWR 一次側水化學、PWR 二次側水化學、放射廢料處理、和濱岡電廠參訪心得等五大項議題，而和與會專家當面討論的內容，以及和核能一、二、三廠、龍門廠的相互比較的探討，則併入各議題之內分別陳述，詳如下述。

(一) BWR 水化學與腐蝕討論：

1. 日本原子力發電(JAPC)公司所屬之東海(Tokai)-2 機組 30 年水化學運轉歷史回顧 (Paper 1)
2. 日本中部電力公司所屬之濱岡(Hamaoka)電廠 5 部機組 30 年輻射劑量抑減歷史回顧 (Paper 5)
3. BWR 化學除污後再污染速率抑低方法 (Poster 27)

(二) PWR 一次側水化學與腐蝕討論：

1. EPRI 之 PWR 一次側水化學指引最新展望 (Poster 30)
2. PWR 一次側水化學運轉模式討論 (與 AREVA 資深化學專家交流)
 - (1) 歐洲 PWR 一次側高溫 PH 之鋰硼濃度控制模式 (含 Paper 31)
 - (2) PWR 一次側高溫 PH 模式 (與 AREVA 資深化學專家交流)
3. PWR 一次側加鋅 (含 Paper 31、Poster 21)
4. PWR 一次側停機水化學 (與 AREVA 資深化學專家交流)
5. 日本新電廠 Tomari-3(PWR)一次側建廠試運轉階段加鋅處理 (Paper 32)

(三) PWR 二次側水化學與腐蝕討論：

1. PWR 二次側蒸汽產生器化學清洗作業 (Paper 7)
2. PWR 二次側 FAC 問題探討 (Paper 16)

(四) 放射廢料處理討論：

1. 日本中部電力公司濱岡電廠之金屬低放射性廢棄物以甲酸除污成果報告 (Paper 28)

(五) 濱岡電廠參訪心得

(一) BWR 水化學與腐蝕討論：

1. 日本原子力發電(JAPC)公司所屬之東海(Tokai)-2 電廠 30 年水化學運轉歷史回顧：

(Paper 1 : Water Chemistry Evaluation during 30 years of Operational Experience at Tokai-Daini NPP(BWR))

日本 JAPC 電力公司旗下目前只有兩部機組，分別為 Tokai-2(BWR)和 Tsuruga-2(PWR)，雖是小公司，但確致力於研究發展，並勇於嘗試改進水化學運轉策略，雖然過去幾次改善曾經失敗或沒有達到預期成果，但經過多年來不斷的改善累積經驗，至最近幾個週期在水化學方面的成果逐漸顯現，從文章中可發現特別在水質淨化、管路劑量和人員劑量的抑低、及燃料完整性的表現都非常亮麗，而在結構材料的保護上也是採用現今國際上最新技術，因此本篇 paper1 是一重量級文章，非常值得本公司學習，內容包含過去實際應用在運轉上的技術，以及未來即將採用的水化學策略。本文詳述 Tokai-2(BWR)電廠 30 年來水化學運轉改善措施及經驗，十分有價值，在重要的參數上也和核能一、二廠四部機組作一比較，因此摘述如下：

(1)、前言

Tokai-2 為 BWR-5 電廠於 1978 年 11 月商轉，在 2008 年剛好 30 周年，機組容量因素達 74%，在不久的將來會功率提昇 5%，本電廠水處理設備方面，冷凝水除礦器也是屬於 Deep bed only 設計和核一、二廠相同，在過去多年來針對冷凝水除礦器的(1)原始設計變更、(2)採用不同型態的樹脂、(3)樹脂清洗方式的改變，以及最近(4)採用 ARCS 的清洗方式等不斷改善後終能達到維持超低的飼水 Fe 濃度 0.09ppb (2009 年)，相當於安裝冷凝水過濾器(CFD)的效果，且遠優於核一、二廠的現況大約 0.9~1.5 ppb，非常值得學習。

Tokai-2 從 1985 年開始，經歷人員劑量上昇達 9.3man-Sv/year，因此擬定以水化學的改善措施來抑低背景劑量，將目標設定在小於 4 man-Sv/cycle，而近年來的成果約在 1.6 man-Sv/year，約處在日本機組群的中間位置。

從過去舊電廠 Tsuruga-1(BWR)(已除役)於開始運轉時經驗到飼水鐵高達 30ppb，約等於 300~400 kg/cycle 鐵進入到爐心，在第 5 年(3.5 有效運轉年 EFPY)時再循環管路(PLR)為 3mSv/hr，人員劑量約 6~9 man-Sv/year。經努力降低飼水鐵至 3ppb，及 PLR 管路劑量降至 0.6 mSv/hr，最終的人員劑量從 1977 年最高的 20 man-Sv/year 抑低至 2~3 man-Sv/year。

從上述舊電廠經驗，控制管路輻射劑量的關鍵是抑低飼水鐵和鈷濃度，減低入侵爐心的鏽垢(CRUD)，最主要有兩大方向(1)從冷凝水中移除 crud，改善冷凝水除礦器對 CRUD 的移除效率，因 Tsuruga-1 沒有加裝冷凝水過濾器，為 Deep bed only 電廠，(2)控制飼水系統中 crud 的產生，從冷凝水除礦器出口注入氧氣，此法非常有效。

(2)、建廠設計、建造、和試運轉階段之改進

2.1 設定水化學目標

目標設定詳如下表，並派遣化學人員參與建廠設計和建造部門

Annual occupational dose	<100 man · Rem/yr (<1mSv/y)	
PLR dose rate	<100mRem/hr (<1mSv/hr)	
Feedwater	Fe	<3ppb
	Co	<1ppt
	DO	20~30ppb
Reactor water cond.	<0.1μS/cm	

2.2 系統和設施的設計改善

吸取了舊電廠經驗，Tokai-2 從建廠設計和建造階段，即導入上述兩大方向的水化學控制措施。

- (1)改變原始設計，加大 CD 樹脂槽的直徑，使通過的水流流速從原來的 120 m/hr 降至 108 m/hr。
- (2)爲了在飼水管壁上能形成較爲緻密的 Hematite film，而在冷凝水除礦器出口端注加氧氣。
- (3)爲了使反應爐於停機時快速達到乾式儲存的情況(Dry-Storage condition)，設計上加大 equipment drain collector tank 的容量，以便在短時間內接收排放洩水。
- (4)加大爐水淨化系統(RWCU)設計容量從 1%增大至 2%。
- (5)爲了精確量測水中腐蝕產物之生成、傳遞和累積而增加更多的取樣系統，也採用同步流速探針(ioskinetic probe)和鈦合金取樣系統來評估 Co 元素的情況。

2.3 適當材料選擇

- (1)冷凝器材質選用更具抗候性的 SMA41A 鋼材。
- (2)在雙相流區管路上如加熱器洩水管和蒸汽抽氣管選用一種低合金鋼，可抗 FAC。
- (3)將泵和閥件之耐磨耗組件之鈷基 stellite 改爲非鈷之 colmonoy 材料。

2.4 品質管制、沖洗、和儲存

另外在建造階段，則強化組件製造和安裝的品質控制(QC)手段，從採購、儲存、防止異物入侵、揮發性抗腐蝕試劑的應用、避免鹽害等方面來管制。還有運轉前使用熱水來徹底進行管路沖洗和清潔，然後在 hot drain off treatment 後乾式儲存。長期而言，則在功能試運轉測試之後用純水溼式儲存或乾式儲存。短期存放而言，則使用純水進行最低流量的循環，而反應爐起動時，則冷凝水和飼水系統當然要用除礦

器儘可能的沖洗(flushing)。

(3)、運轉階段的水化學改善措施

3.1 冷凝水除礦器(condensate demineralizer(CD))內部構造之改善

在機組功能測試階段就發現 CD 的離子交換能力和 crud 移除能力降低，肇因於大量水流直接注入樹脂槽中沖撞到樹脂，因內部擋板(baffle plate)是凸面狀，而分水盤(sprinkle plate)無法覆蓋全面的樹脂，因此設計改善裝置詳如下圖：擋板改為凹面狀，而分水盤改為圓形以覆蓋全面的樹脂。

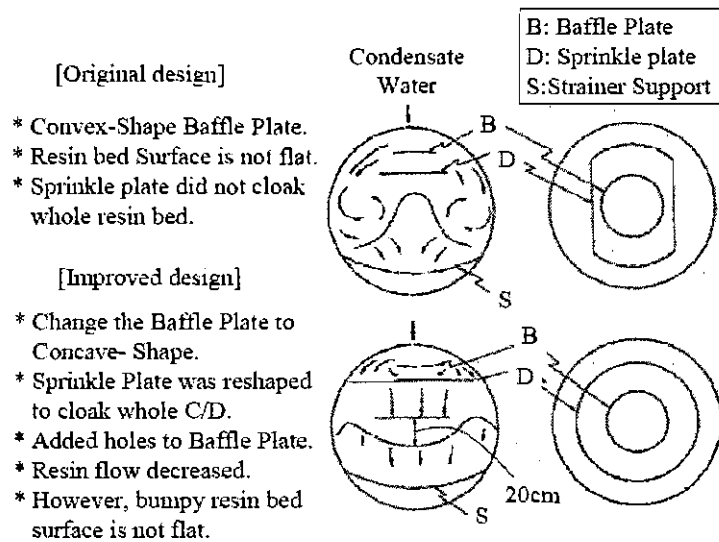


Fig. 3 Modification of the Inner Structure of the Condensate Demineralizer

3.2 運轉開始至第 10 週期 (1989 年)

這一個階段的方向是維持運轉在上述 B.1 水化學目標之內。

(1) 飼水不溶鐵(crud)都能維持在 2.5ppb 之下，每年進入爐心 crud 的飼入量約 100kg/year 之內，但有逐年減少中，從 CY-1 的爐水鐵濃度 10ppb，降至 CY-10 的 5ppb，詳如下表。而在停機和起階段的飼入量約為整個週期的 10%而已。

項目/週期	CY-1 → CY-10
飼水不溶鐵 crud	2.5ppb → 1.2ppb
爐水鐵 Fe	10 ppb → 5 ppb
飼水鈷 Co	60 ppt → 20ppt

但因飼水取樣系統內第一隔離閥為鈷基 stellite 材質，干擾水中 Co 的分析濃度，因此更換為非鈷之 colmonoy 材質，Co 濃度分析變得更為準確。

(2)PLR 管路劑量從 CY-1 的 0.3mSv/hr 逐漸昇高到 CY-11 的 0.7mSv/hr，人員劑量也同步上昇，因此決定抑低飼水不溶鐵，經 1985 年使用一種輻射劑量評估 model 來決定放射性、傳送、及沈積後重新訂定新的目標如下表：以維持 PLR 管路劑量在 1mSv/hr 之下。

Item	Target Value
Feedwater Fe	< 1ppb
Feedwater Co	< 10ppt

3.3 週期 11 (1990 年) 至週期 15 (1996 年)

這一階段主要是改善 CD 的 crud 移除效率至 90%以上，同時維持上述舊和新的水化學目標。

離子交換樹脂能吸附 Crud 是因為有界面電位(zeta potential)，因 crud 組成爲 Fe_2O_3 ，在 PH \approx 7 時的界面電位爲正電，而陽離子樹脂爲負電，因此 crud 主要是吸附在陽離子樹脂之上。

當樹脂因氧化而老化及不可避免逐漸膨脹時，反而會增加對 crud 的吸附。在 Tokai-2 於 CY-6 更換樹脂後，crud 移除效率有逐漸的提高，但只靠樹脂老化來提昇移除效率是非常緩慢的，需要數個週期。因此考慮使用新型態的樹脂。

(1)使用小顆粒樹脂(CY-7(1985 年)至 CY-15(1996 年))

由上所述 crud 吸附原理，如提高樹脂整體的表面積，則會增加吸附的面積。

因此從 CY-7 起將大顆粒 780micron 改爲 550~600micron 小顆粒，因爲根據研究 crud 的大小大都小於 10 um，如採用小顆粒樹脂，可縮小樹脂之間的空隙，降低 crud 穿越間隙的數量，詳如下圖所示。另一方面又不能太小，應考慮樹脂捕捉濾網(150 μ m)(註：應是指槽內的 underdrain)的尺寸，以免碎樹脂侵入爐心，另也要控制樹脂槽所增加的壓差。

在採用小顆粒樹脂後，crud 移除效率至 CY-11 起才提高至 90%以上，而 Fw 之 crud 降至 0.5ppb 以下，因爲此法仍是緩慢，從 CY-7 至 CY-11 才顯現出效果。

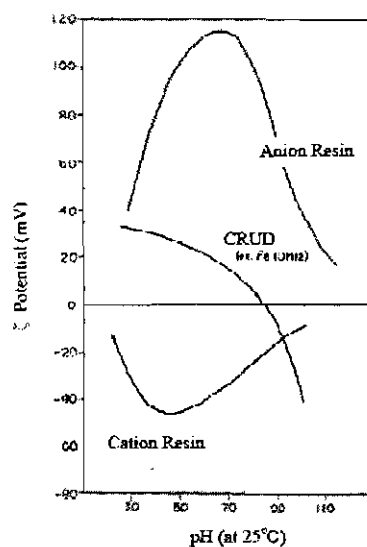
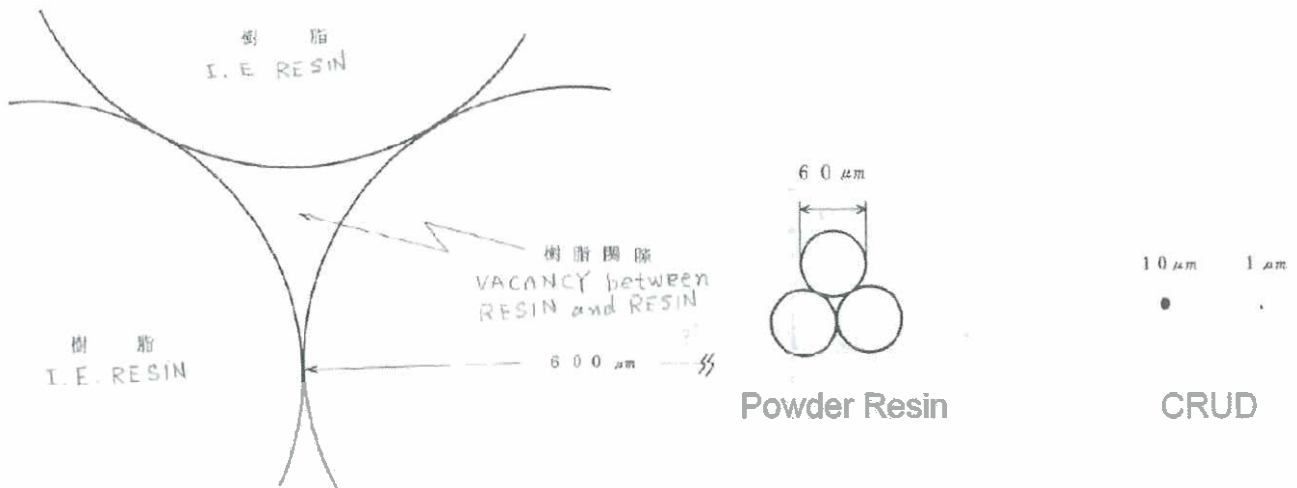


Fig. 7 ζ Potential of CRUD and Resin in Water

Comparison of Particle Size with CRUD and Resin



(2) 改用高銹垢移除樹脂 High CRUD Removing Resin(CY-16(1997 年))

傳統上使用的樹脂都是絡接率(cross-linkage)8%，而高銹垢移除樹脂則為 6%，在 CY-16 初一使用上去，其 crud 移除效率立刻提昇至 90%以上，但爐水 SO_4^{2-} 卻增加至 25ppb，是由於樹脂中的聚苯乙烯磺酸鹽(poly-styrene sulfonate)釋放出來，因此在 Ccy-16 即更換不再使用。

(3) 加裝超音波樹脂清洗系統(Ultrasonic Resin Cleaning System, URC)

但因 URC 法和傳統方法的清洗效率差異不大，而且每次清洗時排水過濾器都會又要重新清除，因此 1990 年時又廢除 URC。

(4) CRUD 移除效率改善成果

因 Tokai-2 從建廠一開始即在冷凝器採用抗候性鋼材，以及在雙相流區管路上如加熱器洩水管和蒸汽抽氣管選用低合金鋼來抵抗 FAC，而將冷凝水中鐵濃度降至幾個 ppb，比當時其他的 BWR 廠更低。因此如果 crud 移除效率能 >90%，則就像有安裝冷凝水過濾器 condensate filter(CFD)的低 crud 的電廠，所以 Tokai-2 朝向改善 crud 移效，來替代 CFD 的加裝

這一時期的飼水鐵和鈷都能維持在新目標之內。詳如下表：

Table 7 Metal Impurities in Feed water & Reactor water

	Feed water	Reactor water
Fe	max. 1.5 ppb *	5ppb
Co	1ppt	30 - 70ppt

*: Iron input into Reactor 10 - 40kg/cycle

但依前述採用小顆粒樹脂的策略不是完全適合最佳水化學情況，要花很長的時間(從 CY-7 至 CY-11)才能將 crud 移除效率提昇至 90%以上及飼水鐵濃度降至 0.5ppb 以下。所以決定回覆採用原來的大顆粒樹脂規範。

不過此階段的改善措施顯示 PLR 的劑量率從 CY-11 的 0.7mSv/hr 降至以後都維持在 0.5mSv/hr，證實過去的努力在飼水鐵濃度的降低是有效的，可抑制活化的腐蝕產物從燃料表面釋出，而保持 PLR 管路劑量之抑低。

(5)在 CD 再生系統安裝 3 步驟樹脂收集器(3 Stage Resin Collector)

由於樹脂再生過程的交互污染，爐水中 Na^+ 濃度偏高，在 1990 年 RFO-10 加裝 3 Stage Resin Collector 收集陽陰離子中間層不易分開的混合樹脂。經改善後 $\text{Na}^+ < 1\text{ppb}$ ，而爐水 PH 也從 7.2~7.5 降至 7.0。

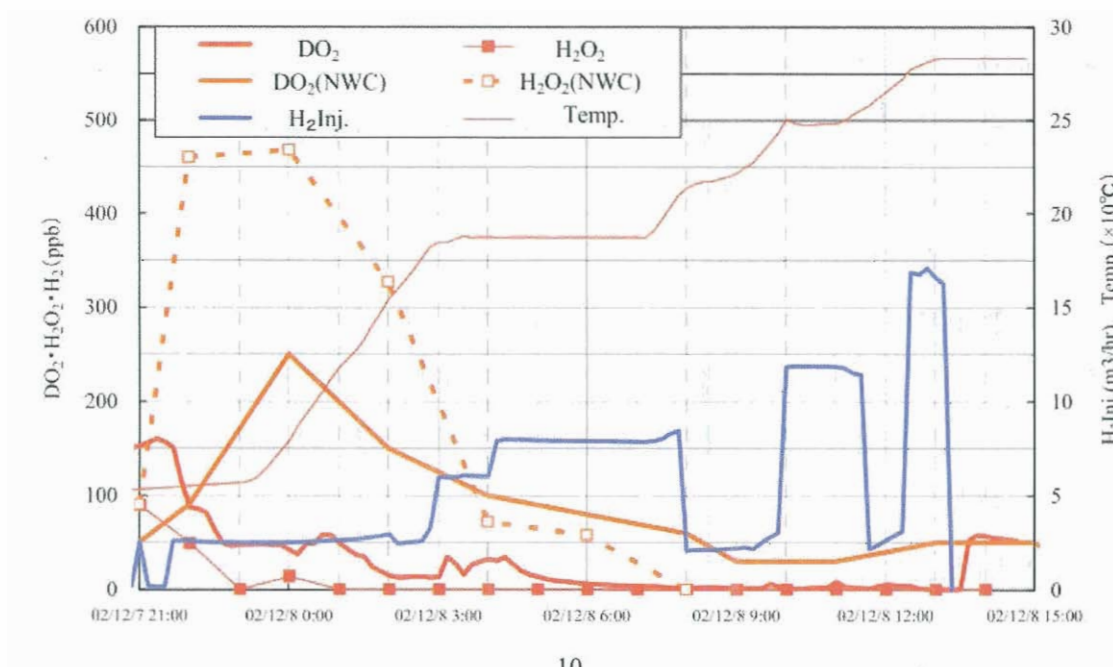
3.4 從週期 16 (1997 年)至今

(1) SCC 對策

從 1974 年美國 BWR 再循環管路旁通管(304SS)發現 Stress corrosion cracking(SCC) 以來，國內外很多 BWR 廠爐心內部例如 core shroud 都被陸續發現 SCC，因此 Tokai-2 開始硬體維護，例如 SHT、IHSI、WJP 以防止 SCC，最後在 in-core monitor housing 發現 IGSCC 於 1999 年。於是 1997 年開始採用 HWC。

(2) Startup 時的 SCC 對策

然而在起動階段避免 SCC 被誘發也是非常重要的，因此在 2002 年 RFO-19 開始進行 HWC during startup(DSHWC)測試，詳如下圖所示，發現在起動階段的溶氧減少量和預期的一樣。因此往後每次週期都執行 DSHWC。

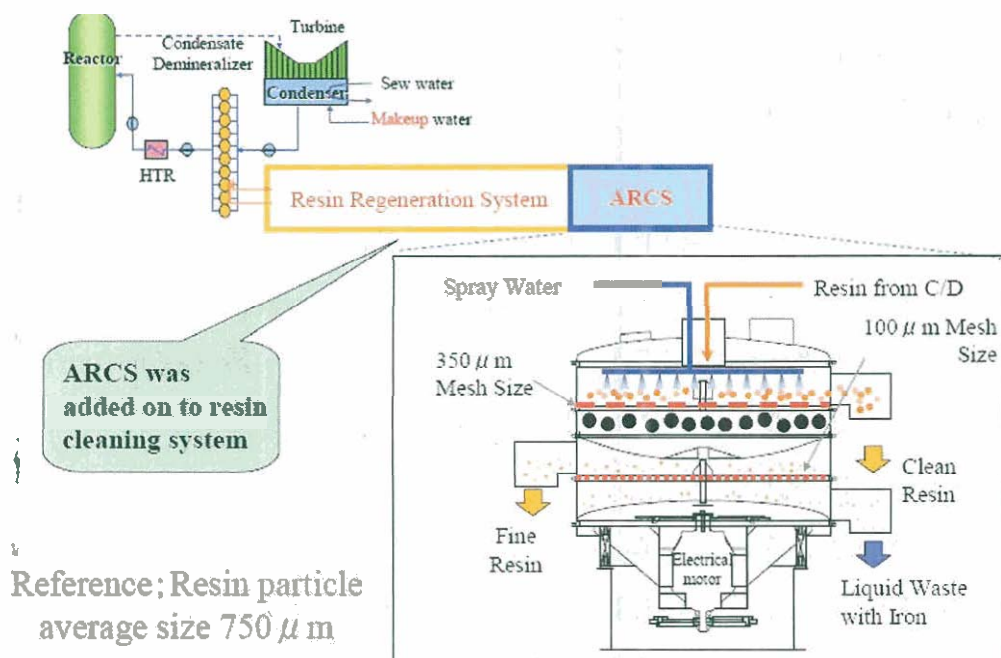


(3) 輻射劑量抑低和飼水 CRUD 抑減

爲了改善 CD crud 移除效率和移除碎樹脂來抑低爐水 $\text{SO}_4^{=}$ ，而在 2007 年 CY-23 起採用新的 ARCS(advanced resin cleaning system)後 crud 移除效率仍維持很好且 Fw Fe $< 1\text{ppb}$ ，到最近 2009 年已可達 $< 0.5\text{ppb}$ ，已等於加裝 CFD 過濾器的電廠水準了。

另爐水 $\text{SO}_4^{=}$ 可降低 20%，然而至 3 年後(2009 年)又逐漸提高，原因是樹脂使用 3 年後沒有再生，依據樹脂功能測試，如果每 400 天就再生一次，可確保爐水 $\text{SO}_4^{=}$ 維持很低。

Outline of ARCS



4. 未來的展望

JAPC 電力公司計畫未來將 Tokai-2 電廠功率提昇 5%，且延長燃料週期至 18 個月或更長，現正研究水化學的因應對策。

4.1 結構材料完整性

在 2010 年 CY-25 將採用 online NMCA 來對付 SCC 問題，而且也正研究在 2010 年功率提昇 5% 後以及在 HWC 環境下使用 NMCA 的影響，所對應爐水中輻射水解的適當注氫量，和 NMCA 及 HWC 之相對應關係之議題。此外還有功率提昇後的飼水流量增加對 FAC 之議題。

4.2 CRUD 和輻射劑量之抑低

當未來採用 NMCA 之後水中環境將由氧化態改變為還原態，這會影響 crud 的屬性，我們擔心這會改變 crud 的行為而造成輻射劑量率的升高，所以我們將於 2009 年的 RFO-24 後採用加鋅(DZO)策略。也將會詳細探討對輻射劑量的影響。

4.3 ECP 管理

水化學的控制 在慣例上都是受到水中溶氧表現所影響，但從今而起，直接觀察水的環境和結構材料界面的腐蝕反應透過 ECP 的量測，現正研究在重要區域如 PLR 管路和 lower plenum 安裝 RCP 量測點來監測 SCC。

4.4 從整廠運轉觀點看水化學品質管理

針對燃料完整性、結構材料的保護、和輻射劑量抑減三大目標，傳統水化學管理大都是各別進行，未來應整體考量尋求最適化水化學目標，特別是在功率提昇和長週期運轉之後。

Tokai-2 和核能一、二廠四部機組比較之討論，相關參數詳如下表：

- A. Tokai-2 電廠和核一、二廠冷凝水除礦器都是 Deep bed only 的設計，飼水 Fe 來源為 9.5ppb 和本公司相等，但是除礦器的除 Fe 效率非常良好，飼水 Fe：0.09ppb，約為核一、二廠現況濃度的十分之一(1/10)，這是十分難能可貴，可能原因如下：
- (1). Tokai-2 在設計上通過樹脂槽的流速較慢為 108 m/hr，而核一廠約為 120 m/hr，核二廠則未知。
 - (2). 採用單一粒徑 780um 的樹脂，而台電規範為 16mesh(1180um)至 40mesh(425um)均勻分佈之樹脂大小。
 - (3). 過去歷史皆穩定使用樹脂，約 5 至 6 個週期才更換，因為依據上述研究，使用時間越長可提高 crud 的移除效率 > 90%，而核一、二廠目前採用不再生方式，因此樹脂使用時間較短約 14 月~18 月就更換。
 - (4). 目前採用最新的 ARCS 進步式樹脂清洗方式，約 400 天再生一次，飼水鐵 < 0.1ppb，這是台電和 Tokai-2 最大的不同，也因此核二廠已向 Tokai 學習，決定採用 ARCS，現正處於設計階段，預計 2010 年採購設備。
- 另 ARCS 產生之廢液和廢棄碎樹脂可分離，也可減少廢液產生量至 1/3，有利後續濃縮處理，而廢水操作時間也縮短為 1/3，另碎樹脂和 CRUD 則直接裝桶處理。
- B. Tokai-2 電廠是在除礦器下游注氧，只保護飼水管路，上游 CPD 的溶氧較低只有 15ppb，而飼水溶氧量也只有 27ppb 低於 EPRI 的建議值應 > 30ppb。核一、二廠則是在 CPD 集管處注氧，因此能保護的管路範圍為冷凝水和飼水管路，且注氧量約 40 至 60ppb，也

大於 Tokai-2。

C. Tokai-2 電廠的腐蝕產物 Co-60 活度 $1.43E-4$ uCi/ml 與台電相當，但是其再循環管(PLR)之輻射劑量約只有台電之五分之一(1/5)，顯現水質環境控制比較良好，日本電廠大都注重飼水 Ni/Fe 比，飼水 Fe：0.09ppb 只有台電之 1/10，且 RWCU 流量為飼水量的 2%，因此 Co 在管路上的沈積較少，而核一、二廠 RWCU 設計上各只有 1.3%和 1.0%先天上也較為不利

D. Tokai-2 電廠的碘 131 = $6.48E-7$ uCi/ml 超低，顯見長期以來燃料完整性極佳，沒有燃料破損情況發生，迷離鈾背景很低。這應也有水化學因素的貢獻，因飼水 Fe：0.09ppb 超低，長期 crud 飼入爐心的量很少，因此附著在燃料護套表面的積垢較少。

特別將 Tokai-2 電廠目前水質成果和核能一、二廠現況作一比較，詳如下表

系統	化學項目	Tokai-2 CY-24	CS#1 CY-23	CS#2 CY-23	KS#1 CY-20	KS#2 CY-19	備註
CPD	Cond.(uS/cm)	0.07	0.0581	0.0583	0.0613	0.0617	Tokai-2 導電度稍高
	溶氧 (ppb)	15	64	37	51	43	Tokai-2 溶氧較低
	Fe(i) (ppb)	9.5	8.93	9.10	8.0	9.27	約相當
	Co(i) (ppb)	0.004	<0.001	<0.001	0.003	0.008	
Fw	Cond.(uS/cm)	0.06	0.0569	0.0573	0.0548	0.055	
	pH	7.0					
	溶氧 (ppb)	27	68	44	52.8	46.3	Tokai-2 溶氧量較低
	Fe(i) (ppb)	0.09	0.82	0.98	0.87	1.82	Tokai-2 之 Fe 超低
	Co(i) (ppb)	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.006	
Rx (RWCU)	Cond.(uS/cm)	0.09	0.0714	0.077	0.079	0.0828	
	pH	6.9	7.04	7.00	7.21	7.22	
	Fe(total) (ppb)	9.1	5.95	8.96	6.64	5.62	Tokai-2 爐水 Fe 稍高
	Co(total) (ppb)	0.05	0.02	0.013			
Rx 單位： uCi/ml	Co-60(s)	1.43E-4	1.25E-4	1.36E-4	9.73E-5	7.35E-5	Tokai 和台電的腐蝕產物活度相當
	Mn-54(s)	5.13E-5	1.45E-5	1.57E-5	2.21E-5	2.46E-5	
	Cs-137(s)	2.70E-6	1E-6	1E-6	5E-5	7E-5	Tokai 燃料完整性佳
	I-131(s)	6.48E-7	2.58E-6	1.53E-6	5.38E-6 (燃料破損)	2.64E-4 (迷離鈾背景)	
PLR(mSv/hr) Dose Rate	Suction	0.72	3.43	4.21	3.62	3.74	Tokai 管路劑量率約只有台電之 1/5
	Discharge	0.55	2.78	3.49	2.18	2.25	

註：Tokai-2 之金屬元素濃度和核種活度未說明是可溶或不可溶之數據。

2. 日本中部電力公司所屬之濱岡(Hamaoka)電廠 5 部機組 30 年輻射劑量抑減歷史回顧：

(Paper 5 : History of Measures Taken to Reduce Radiation Exposure at Hamaoka Nuclear Power Station)

本次日本主辦單位為擁有五部 BWR 機組的中部電力公司，發表了一篇水化學運轉歷史回顧的重要文章。從 1976 年一號機(#1)商轉以來，至今已陸續建造運轉共有五部機組，#5 為 ABWR，#1 和#2 兩部機已於今年 2009 年 1 月份因 2008 年的大地震後，為了符合日本針對核能電廠的新地震相關法規，機組設備要維護檢修的經費過大，已決定停機除役，現有#3、#4、#5 共三部機組仍在可用運轉中，2008 年則提出#6 建造之申請。

回顧過去 30 年，為了控制爐心內部和結構材料的應力腐蝕(SCC)，水化學方面主要的改善為採用加氫水化學(HWC)和貴重金屬添加(NMCA)。而為了抑低人員所受之輻射劑量的水化學方面主要改善措施有(1)在原有粒狀樹脂除礦器(condensate demineralizers, CD)外，新增預敷式粉狀樹脂除礦器(powdered resin precoated type condensate filter demineralizers, CFDs)，(2)加裝中空纖維過濾器(hollow fiber filters, HFF)和皺褶式除礦器(pleated filter)，(3)加鋅(DZO)。顯見日本電廠持續進行機組改善，以追求運轉效益之最大化，值得我國效法。

在抑低人員劑量之水化學改善措施，30 年來的運轉努力詳如下表說明：

項次	年代	措施	說明
1	1977	冷凝水系統注氧	#1 商轉即開始注氧，使冷凝水和飼水系統管路形成 fine passive film，以減少金屬不純物釋出。
2	1981	在原有 CD 外附加 CFD	在#1-RFO-4 和#2-RFO-3 加裝 CFD 幫助移除 crud，使飼水 Fe 從 15~20ppb 降至 2~4ppb。
3	1987	飼水 Ni/Fe 比之控制	維持 Ni/Fe \leq 0.5，Fe 濃度高於 Ni，可使燃料上沈積的 NiFe ferrite 累積且不會釋出，因 Co 存於 ferrite 中也不會釋出而降低管路劑量。1987 年#3 用 CFD 50%流量和從 condensate booster pump(CBP)進口注 Fe 技術兩種方式來控制 Ni/Fe=0.2，結果 CY-1 水中 Co-60 活度減少，RFO-1 再循環管(PLR)量測很低，為 0.4mSv/h。但 1993 年 #4 失敗，因 RFO-1 再循環管量測為 1.6 mSv/h，比#3 多出 4 倍。因 Ni/Fe 比方式不是很穩定，而決定停用。
4	1993	採用 HFF 前置過濾器	#4 和#5 採用中空纖維(Hollow Fiber Filter)過濾器，不用 CFD，Fw 之 Fe，比較#1 的 2ppb，可降至 0.1ppb，filter 每 8 周期更換一次。

5	1995	改用 ultra-low Fe/ high Ni	維持飼水的 Fe 低 N 高，雖爐水中活度會較高，但能調整 PLR 管路表面上晶格中的 Ni 離子，防止 Co-60 離子併入氧化膜中，來抑低輻射劑量。 #4 從 CY-2 起採用此法至今，在 RFO-2 之 PLR 管路劑量從 1.6 改善降至 0.9 mSv/h。顯見此法有效。
6	1999	以 Pleated Filter 取代 CFD	#1、#2、#3 三部機採用最新的皺褶式前置過濾器 Pleated Filter(PF)，廢除 CFD，目的有三，(1)減少廢樹脂量、(2)節省採購粉狀樹脂的經費、(3)改善 crud 移除成效。 PF 為高 1800mm 直徑 66mm 圓柱型含聚烯烴薄膜(polyolefin filter membrane)的過濾器，過濾面積比傳統的 CFD 多出 20 倍，也符合前述 ultra-low Fe/ high Ni 技術降低劑量的策略。Ffilter 每 4 周期更換一次。
7	1997	加鋅(DZO) (#1、#2 已於 2009 年除 役。#3、#4 分別於 2002 和 2005 年 起加鋅。)	#1、#2、#3、#4 從 CBP 進口處加鋅以抑低含 PLR 在內的不銹鋼管路之劑量，因 DZO 可在 fuel 表面形成緻密氧化膜控制 Co-60 的釋出，也在管路表面形成含鋅氧化膜，阻止放射性金屬離子併入內層氧化膜。而前述 ultra-low Fe/ high Ni 的技術是阻止放射性金屬離子併入外層氧化膜。 依照 Hamaoka 和日本其他廠經驗，DZO 目標濃度為 3ppb，以防止 jet pump 的裂化。各機組劑量抑低成效良好。但爐水中 Co-60 並未顯著減少，部份原因是 DZO 注加量較小。
其他抑低劑量方法			
8		化學除污	在換管或高輻射工作前，針對非爐心之其他系統進行化學除污 (1)CORD(chemical oxidizing reducing decontamination)方法：使用草酸(oxalic acid)和高錳酸(permanganic acid)，在 2000 年前曾經在各機組過執行共 4 次。除污因素可達 10。但此為舊法。 (2)CORD-CS 方法：針對含碳鋼管路之系統，曾經作過兩次，對於不銹鋼的除污因素也是 10，而對碳鋼管路之除污因素則較低為 8。 (3)Ozone process：使用高濃度臭氧水 ozone water 取代高錳酸，在 2000 年之後全面改用此法，比 CORD 產生的放射性廢水量更少，至目前共使用 5 次。對不銹鋼之 DF 為 10，對碳鋼之 DF 也較低為 6。

9	碳鋼管路空氣氧化程序(但文中未提及是否應用在新電廠試運轉階段?)	在#4 是針對 RWCU(日本稱 CUW)碳鋼管路，採用空氣氧化程序(Atmospheric Oxidation Process of Carbon Steel Piping)在 425°C 維持 2hr 以空氣氧化形成 hematite 氧化膜，來防止 Co-58 或 Co-60 沈積。 #5 則是應用在運轉中維持高溫之部份 RWCU 管路上，在 RFO-3 之 RWCU 劑量率為 3mSv/h，比起#4-RFO-3 的 8 mSv/h 為低。
10	爐水中離子不純物之監測	1990 年#1 因水質惡化而發生燃料破損，原因如下： (1)混合床樹脂再生時，Na ⁺ 洩漏。 (2)因粒狀樹脂劣化，水中 TOC(polystyrene sulfonate)昇高。 造成較高濃度 Na ⁺ 和 SO ₄ ²⁻ 同時存在爐水中，而在燃料護套表面產生 Na ₂ SO ₄ 因而破損。 因此安裝 on-line IC(最小頻度 30min)，以求詳細監測爐水水質。後續 5 部機則全部安裝。也提供為 WANO 之 PI data。

3. BWR 化學除污後再污染速率抑低方法

日本中國電力公司所屬 Shimane 一號機降低輻射劑量方法

(poster 27 : Approach of the Shimane Nuclear Power Station to reduce radiation exposure)

Shimane 一號機在 NWC 環境下再循環管路(PLR)劑量一直維持在較低的 0.5mSv/h，而在 CY-20 實施 HWC 之後再循環管路劑量上昇，RFO-22 爲了 shroud 更換作業而進行化學除污，造成原先在 NWC 之下所形成的氧化膜被去除，結果爲再污染速率從 RFO-23 一路攀升至 RFO-27 時 PLR 管路表面劑量達 1.4 mSv/h(約 3 倍)，其原因爲加氫後降低 ECP 電化學腐蝕電位，但卻增加 Co-60 的沈積量。詳如下圖所示。

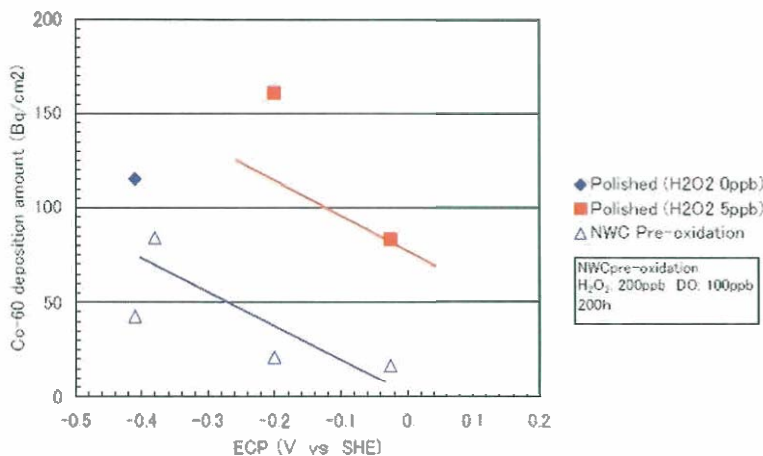


Fig.1 Relationship between corrosion potential and Co-60 deposition amount

因此電廠先於 RFO-27 第二次化學除污，採用新的技術 Hitachi- HOP (Hydrazine、Oxalic acid and Potassium permanganate) 化學除污程序(詳見前次 2007 年亞洲水化學研討會論文 paper 33(p225-230)，再於末期採取 Hi-F Coat (Hitachi Ferrite Coat, $\text{Fe}(\text{HCOO})_2$ (iron formate)、 H_2O_2 and N_2H_4 化學藥劑)程序，可在化學除污後清潔的管路表面形成薄而細緻純的 magnetite 氧化膜，就如 NWC 環境下所形成的膜類似，此膜成為氧和 Co 擴散的障壁，也降低氧化膜內層的成長 (因成長易使 Co 併入)，因此降低 Co 的沈積率。而上述化學藥劑可被催化分解以減少二次廢料。

在 CY-28 開始初期先不注氫延期 50 天，在 NWC 環境下(NWC pre-oxidation)以穩定 Hi-F Coat film，因為在 NWC 之下比起 HWC，其水中的 Co 較不易併入氧化膜內。

結果在 RFO-28 的 PLR 劑量率為 0.5 mSv/h 遠比 RFO 未除污前降低 1/3，詳如下圖，顯示化學除污後的再污染速率降低，成效良好。未來每一個步驟的貢獻和耐久性將進一步評估以確認能成為有效的永久對策。

核能一、二廠在加氫 HWC 之後也開始面臨相同的管路輻射劑量昇高的問題，這一日本新的技術很有價值能成為未來本公司 BWR 廠的選項之一。

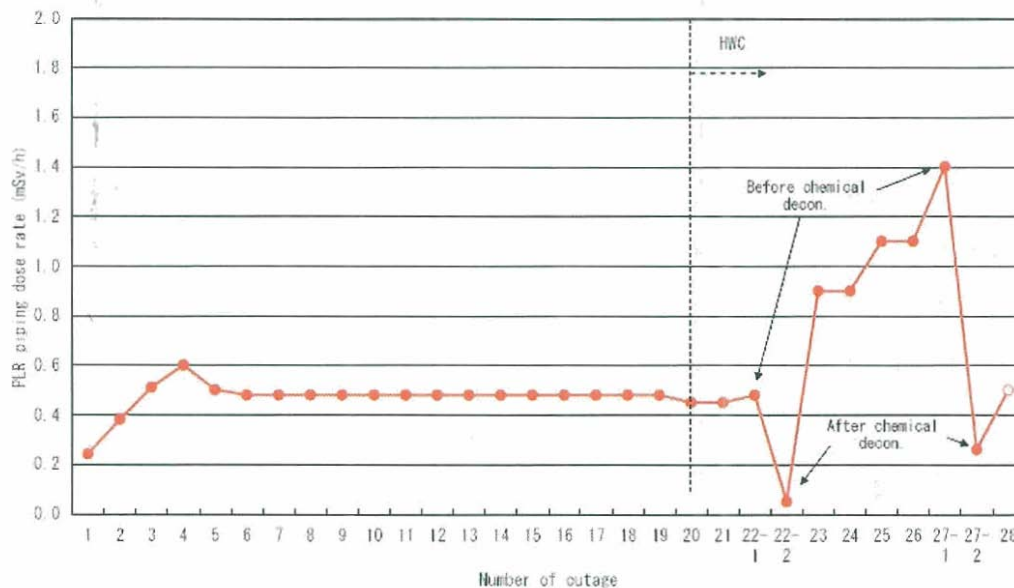


Fig.2 PLR piping dose rate

(二) PWR 一次側水化學與腐蝕討論

1. EPRI 之 PWR 一次側水化學指引最新展望

(Poster 30 : An EPRI Perspective and Overview of PWR Primary Chemistry Optimization)

EPRI 在未來對於 PWR 一次側水化學指引的方向主要的重點是(A)RCS 加鋅，和(B)提昇 RCS 溶氫，以因應日益增加的功率提昇和長周期運轉。

(1)EPRI 眾多報告已確定加鋅對劑量抑低的幫助，和降低一次側 600TT 合金 PWSCC 腐蝕的好處，且在這 15 年加鋅歷史中對各種燃料護套都沒有不利的影響，但文中也指出如電廠有 AOA 歷史，則要平衡考量加鋅可能對燃料增加的風險，本公司核三廠燃料設計屬高燃耗電廠，因此經燃料廠家西屋公司評估後，核三廠已決定暫不加鋅。

(2)提昇 RCS 溶氫以改善 600 合金和焊材的 PWSCC Crack Growth Rates(CGRs)：

EPRI 的研究顯示一次側水中的溶氫濃度在鎳-鎳氧化物(Ni to Ni oxide)的平衡式中扮演直接的角色，直接影響 ECP，而和 CGR 裂縫成長速率有關，最大的 CGR 發生在 Ni to Ni oxide 轉換電位(transition potential)之處。在 RCS 運轉溫度和溶氫範圍 4~17 cc/kg 下有最大的 CGR。

實驗室中溶氫從 35cc/kg 提高到 80 cc/kg，則在溫度 325°C 的條件下焊接材料 EN82H 的 PWSCC 可減緩 2 至 3 倍。在溶氫增加越過遠離 CGR peak 後則快速下降，對鎳基焊接材料 alloys 82 和 182 如下圖，CGR 可降低 16 倍。而對 600 合金而言，最大最低之倍數則為 3。

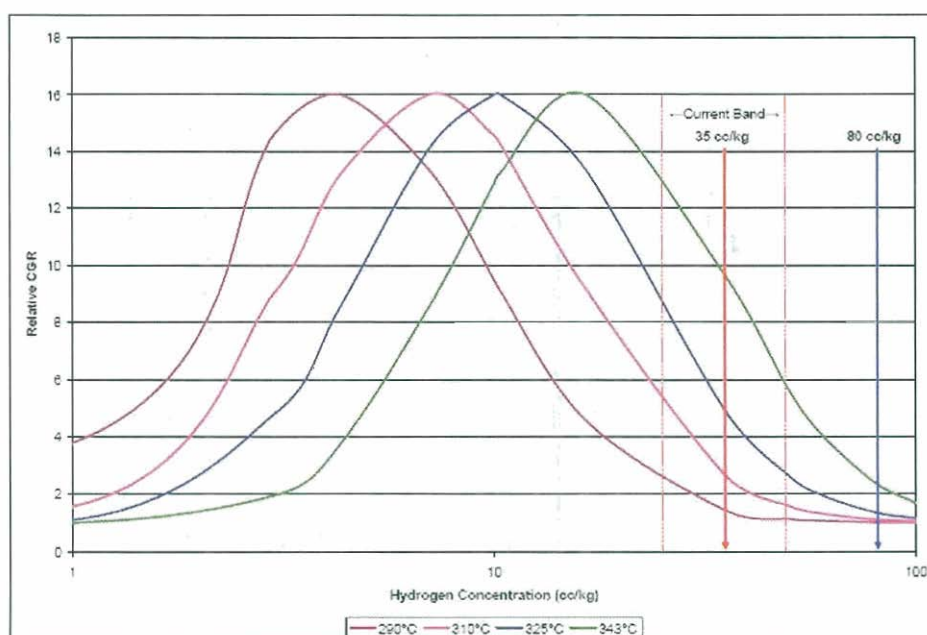


Figure 7 – Relative Crack Growth Rate as a Function of Hydrogen Concentration⁷

目前全世界 PWR 溶氫平均值為 34 cc/kg，因此實驗上從 35 cc/kg 提昇依序提昇至 45、50、60、70、及 80 cc/kg 之結果顯示如下圖，在不同溫度之下改善的倍數隨著溫度和溶氫的提昇而增加，證明提昇溶氫的好處。

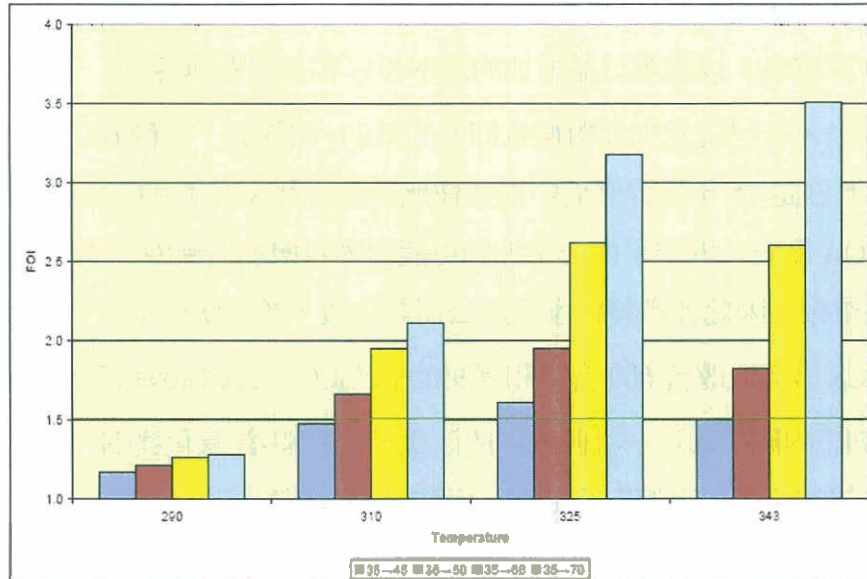


Figure 8 – Factor of Improvement in Alloy 82/182 Crack Growth Rates for Changes from 35 cc/kg Hydrogen⁷

目前 EPRI 相關單位對溶氫問題的研究和各項驗證已積極展開，如下表。未來實際應用在核能電廠變更溶氫的測試排程將訂在 2012 至 2020 年。

Table 3 - EPRI Elevated Hydrogen Program Schedule

Program	Activity	Start-End
FRP	Autoclave Testing	2008-2011
	In Reactor Testing	2010 ¹ -2014
MRP	Hydrogen-Zinc Testing	2007-2009
	Technical Basis	2008-2009
Chemistry	Safety Assessment	2009-2010
Industry	Plant Demonstration	2012-2020

1. Dependent on results of Safety Assessment

2. PWR 一次側水化學運轉模式討論 (與 AREVA 資深化學專家交流)

雖然核三廠目前因屬高燃耗電廠，基於燃料完整性考量，防止加鋅後 AOA 超過限值，已決定暫不加鋅，但筆者向 AREVA 公司資深化學專家 Bernhard Stellwag 先生請益，同時對照本篇文章西門子電廠水化學運轉模式，仍有以下幾點可供核三廠參考：

(1) 歐洲 PWR 一次側高溫 PH 之鋰硼濃度控制模式 (含 paper 31)

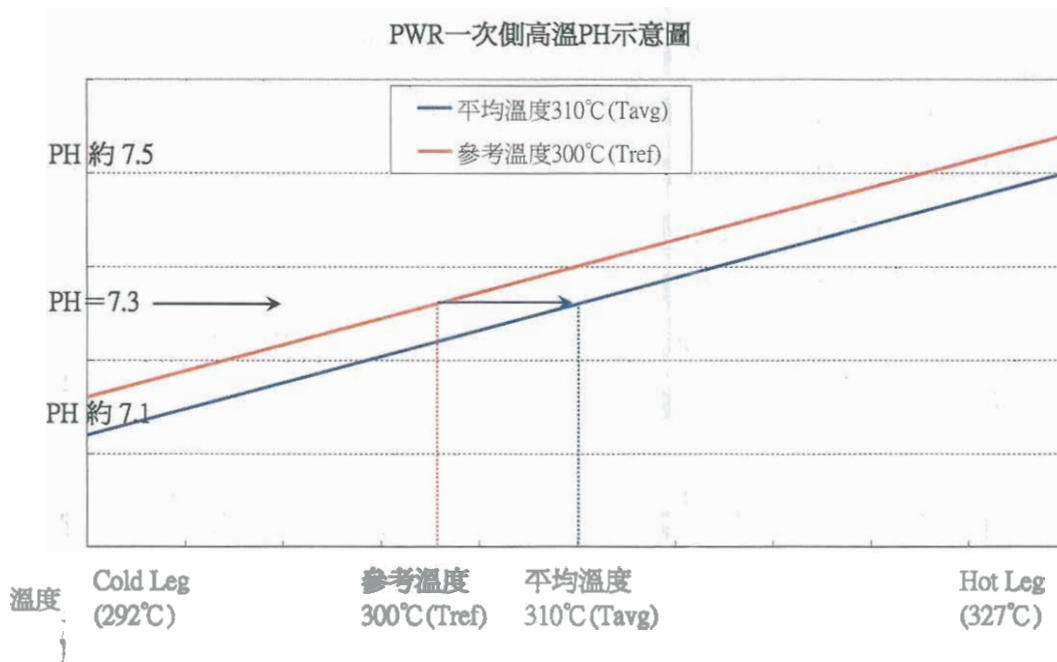
歐洲有自己的核能電廠水化學營運指引 VGB Guidelines，和我們所採用美國 EPRI 指引不同，其中因燃料因素，運轉中的爐水鋰濃度受燃料廠家限制在 $0.2\text{ppm} < \text{Li} < 2.0\text{ppm}$ 範圍，比我們核三廠的 3.5ppm 上限還要嚴格，因此機組起動(BOC)時的硼酸濃度也間接受到限制，只能在 $1300\sim 1400\text{ppm}$ 以下。爲了改善上述鋰硼濃度受到限制而不易調控爐水 pH 值之問題，其中有三個電廠採用高豐度硼酸(enriched boric acid, EBA)，其 B-10 豐度爲 30%，因此可大幅降低 BOC 的起始硼酸濃度，約只要 $700\sim 900\text{ppm}$ 的 EBA 即可，同時 BOC 的 PH 值也可以從過去的 6.9 提高至 7.0 或 7.1 來保護管材和抑低輻射增建。西門子電廠相關參數詳如下表。

Table 1: Operation characteristics of Siemens PWRs with zinc injection

Plant	Typical cycle length (days)	Operation mode	Zn start (Cycle)	Plant Age / Years with Zn injection op.	General chemistry parameters
I	300 - 430	Base load Load follow op. in last cycle	17	33/13	1300 - 1400 ppm B at BOC, Li \leq 2.2 ppm, H2 2.5 - 3 ppm pH(300°C) 6.9 - 7.5.
II	300 - 450	Base load	20	35/11	1300 - 1400 B ppm at BOC, Li \leq 2.2 ppm, H2 2.5 - 3.5 ppm, pH(300°C) 6.9 - 7.5.
III	300 - 330	Base load	28	37/7	1100 - 1200 ppm B at BOC, Li \leq 2.3 ppm, H2 3 - 3.5 ppm, pH(300°C) 6.9 - 7.4
IV	320 - 400	Base load	1	9/9	1100 - 1300 ppm B at BOC, Li \leq 2.0 ppm, 2 - 3 ppm H2, pH(300°C) 6.9 - 7.4
V	300 - 330	Frequent load reductions	23	32/6	1100 - 1200 ppm B at BOC, Li \leq 2.2 ppm, 2.5 - 3 ppm H2, pH(300°C) 6.9 - 7.4
VI	300	Base load	23	28/5	700 ppm B at BOC (EBA) Li \leq 2.0 ppm, 2.5 - 3 ppm H2, pH(300°C) 7.1 - 7.4
VII	330 - 350	Base load	26	30/4	900 ppm B at BOC (EBA) Li \leq 2.1 ppm, 2.5 - 3 ppm H2, pH(300°C) 7.0 - 7.25
VIII	300 - 330	Load follow op. in last 2 cycles	31	33/4	750 ppm B at BOC (EBA) Li \leq 2.2 ppm, 3 - 3.5 ppm H2, pH(300°C) 7.1 - 7.4

(2) PWR 一次側高溫 PH 模式

筆者向 Stellwag 先生請教，在歐洲包括法國和德國的 PWR 廠都是採用溫度 300°C(Tref)為基準條件，而非採用一次側爐水之平均溫度(Tavg)為基準條件，其優點有二，一是各廠無論其平均溫度是多少，而是採用相同之溫度條件 300°C，有利不同機組相互比較；二是在其平均溫度大於 300°C 的機組，如採用 300°C 的基準條件，則可確保一次側從冷端至熱端管路之實際 PH 值大於 Tavg 的 PH 值。示意圖詳如下：



以核三廠一次側的平均溫度是 309.5°C 例，而採用 EPRI 指引中之 310 鋰硼濃度控制圖，則一次側爐水中從冷端至熱端管路中的整體 PH 值會下降，詳如上圖中原本 300°C 紅色線所表現出的 PH 值，改為 310°C 藍色線之 PH 值。

但如平均溫度低於 300°C 之電廠，則採用 Tavg 之鋰硼控制圖較為有利。

3. PWR 一次側加鋅 (含 paper 31、poster 21)

在論文集集中有兩篇文章談到 PWR 電廠加鋅(DZA, depleted zinc acetate)對輻射劑量抑低的效果，一是口頭論文第 31 篇「Survey of Zinc Injection Experience at Siemens PWRs: Differences and Common Characteristics」，是由 AREVA 公司資深化學專家 Bernhard Stellwag 先生所發表，和壁報論文第 21 篇「Application of Zinc Injection to Reduce Radiation Sources at Takahama unit 4」。

從 1994 年美國 Farley 電廠為第一個開始加鋅的電廠以來，至今全世界已有超過 60 個電廠(23% of all PWRs)加鋅，其效果都非常良好，以日本論文中 Takahama(高濱)-4 機組加鋅 5ppb 後第一個週期大修之主要組件管路輻射劑量即有-21%至-55%的抑減。

而在歐洲的西門子共八部機組也是採用 5ppb 為限，在加鋅後 7~10 年主要組件管路之輻射劑量平均降幅為 50%。在較老的 Siemens 電廠中因 Co-60 離子都深藏在 RCS 氧化膜內層，無法被 Zn 取代，因此受限於 Co-60 的自然衰變，輻射劑量的降低較慢。而某較新電廠在第一次臨界即開始加鋅，則有很低的輻射劑量，在第 6 次大修之輻射劑量是沒有加鋅姊妹廠的 1/4。且加鋅電廠都沒有任何負面的影響。

上述看來日本和德國都是以輻射劑量抑低為目標，而非提高鋅濃度來防止一次側 PWSCC。

4. PWR 一次側停機水化學 (與 AREVA 資深化學專家交流)

筆者另詢問有關一次側停機水化學，依據最新 EPRI 水化學指引 2007 年版中對於酸性還原態這一段時期的立場，原本舊版中有建議需要 12 至 16 小時的反應時間，但最新版的 EPRI 指引中則將過去的建議值取消。Stellwag 先生表示，過去這一段時間的目的是使 $3\text{Ni}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4 + 4\text{H}_2 \rightarrow 3\text{Ni} + (3-x)\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ 的反應能充份的進行分解，但依最新的研究發現在 300°C 爐水溫度之下，對於上述反應式而言仍然太低，在此環境下上述反應是非常緩慢的。但是筆者再問，那停機降溫階段是否就可以快速降溫，以縮短酸性還原態的時間來節省停機時間？則 Stellwag 先生仍持保留態度。

因此目前在不明確的情況下，各廠的作法不同，瑞士電廠仍注重酸性還原階段的處理，但法國 EDF 艦隊則無酸性還原步驟。

5. 日本新電廠 Tomari-3(PWR)一次側試運轉階段加鋅處理

(Paper32: Zinc injection during hot functional test in Tomari unit 3)

過去無論是 BWR 或 PWR 加鋅(DZA)都是在舊電廠運轉中處理，是為改善日益增加的管路劑量和人員集體劑量。日本一新電廠 Tomari-3(PWR)預定於 2009 年 12 月商轉，已在試運轉階段約一個月的熱功能測試(Hot Functional test, HFT)階段預先加鋅，因為可在沒有鈷(Co)合金沈積在氧化膜上的干擾及阻礙之下，先形成單一 ZnCr_2O_4 合金漂亮又緻密的鋅氧化膜，更具保護效果，詳如下圖比較：

且 Tomari-3 將持續在運轉中添加 5ppb 的鋅濃度，並發下豪語，將成為全世界輻射劑量最低的電廠。

III. C.2 Injection from HFT.

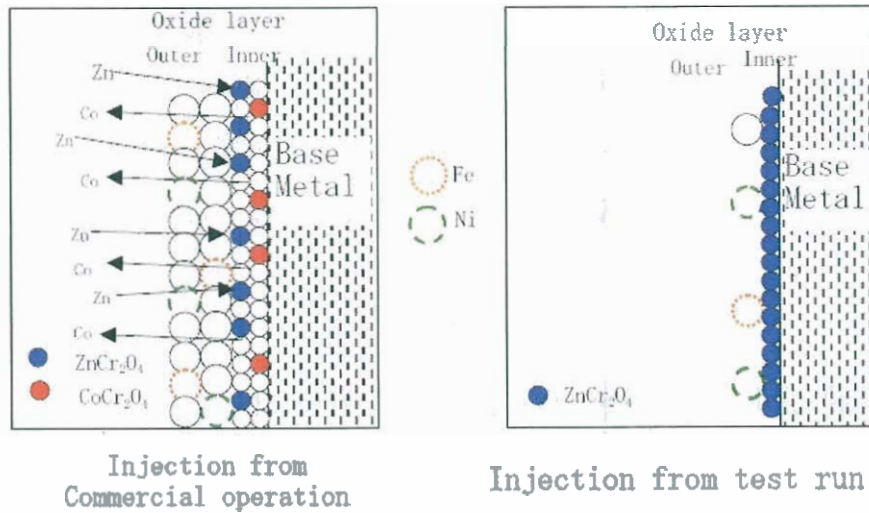


Fig.3.3 Mechanism in case of Injection from HFT

另和龍門電廠(ABWR)試運轉管路鈍化處理之比較：

我國龍門電廠也已計畫將 RWCU 管路於試運轉中 14 天的流量誘發振動測試階段(FIV)之內的適當時間進行注鹼預成膜鈍化處理(Alkaline prefilming)，兩者實際作業雖有很大的差別，但其基本理念都是在燃料未填裝且未產生放射性核種之前，預先將一次側管路鈍化處理，以降低管路輻射劑量，兩者作法大略比較如下：

	Tomari-3(PWR) 加鋅鈍化處理	龍門廠(ABWR)之 RWCU 鈍化處理
試運轉作業階段	HFT	FIV(時段在 HFT 之前)
添加物	DZA，處理期間 3~7ppb， 商轉後持續 5ppb。	無
化學條件	除氣之爐水，T=300℃ DH2：30cc/kg、Li：0.5ppm	溫度：180-220℃、pH：8.0-8.5、 溶氧：400-800 ppb
作業時間	約 1.5 月	約 100 小時

(三) PWR 二次側水化學與腐蝕討論：

1. PWR 二次側蒸汽產生器化學清洗作業：

韓國 Kori-#4 機組蒸汽產生器污泥 ASCA 化學清洗作業

(Paper 7：F model SG Sludge Removal of TSP Quatrefoil Blockage)

韓國 Kori #4 在運轉 25 年之後於 2006 年 8 月時遭遇 SG 二次側水位震盪，所以一直降低功率運轉至 93%，研判原因是 SG 上層管束支撐板（TSP，Tube Support Plate）之四葉形（Quatrefoil）流孔被積垢堵塞。

經 ASCA 化學清洗作業改善後，第一次第 17 次大修後水位從 67% 降至 61.5%，而依 Eddy Current Test 對 TSP 四葉形流孔情形量測，仍有 40%~60% 的堵塞，因此第二次於第 18 次大修再執行 ASCA 清洗，之後水位再改善降至 60.3%。

但從最後清洗量來看，核三廠首次清洗，每一台 SG 各都清洗出約 900 公斤不等的泥量，比韓國電廠多出一倍，顯現成效更為良好。

	韓國 Kori #4(ASCA)	核三廠(SCP)
清洗藥劑	EDTA：1.5%+1.5%(共兩次)	EDTA：1.8%+1.35%(共兩次)
環境條件	溫度 80°C +24 小時	溫度 80°C +32 小時
水位目標	第一次 62%超過管束頂端 第二次 52%針對 TSP 7	第一次 65%全管束清洗 第二次 49.5%針對 TSP 7 第三次 42%針對 TSP 6
污泥清除量	About 450kg / every SG	About 900kg / every SG
蒸汽壓力提昇	從 65.5→到 66.8kg/cm ²	從 67.8 →到 68.7kg/cm ²
水位改善	從 67%→61.5%→60.3%	從約 69%→→→ 約 62%
未來計畫	3 台 SG / 2outage(全管束)	1 台 SG / 1outage(全管束)

2. PWR 二次側 FAC 問題探討：

日本 JAPC 電力公司 Tsuruga-2 電廠對 FAC 之水化學改善成效 (Paper 16：Effect of Water Chemistry Improvement on Flow Accelerated Corrosion in Light-Water Nuclear Reactor)

Tsuruga-2 電廠爲了改善二次側碳鋼 FAC 腐蝕問題來維護 SG 的完整性，從 2005 年之前保守的 Low-AVT Chemistry Fw pH 9.3(低全揮發化學)，改變爲 High-AVT Chemistry Fw PH 9.8±0.2 後，SG 內鐵的累積率比過去減少爲 1/4，因此 SG 熱效率衰退的趨勢獲得改善。另一方面這也澄清高全揮發化學(High-AVT)提高 Fw pH 對於擾流較大的區域是無

效的。對照 BWR 飼水碳鋼管路薄化問題長時間以來受到溶氧控制得很成功，因為在 AVT 化學(還原環境)之下所形成的磁鐵礦氧化膜 Fe₃O₄ (Magnetite film)有較高的溶解度和多孔性比起 BWR 之溶氧控制(氧化環境)下所形成的赤鐵礦氧化膜 Fe₂O₃ (Hematite film) 章也証實 PWR 廠的 FAC 可在 AVT 極低的溶氧(2ppb)情況也可被壓制，因此提出 PWR 二次側的 Oxygenated water chemistry(OWC)來抑制 FAC，且實際應用在 Tsuruga-2 電廠。

因水中添加 NH₃ 和 N₂H₄ 造成冷凝水除礦器運轉上的困難，過去是不得已採用較低的 Low-AVT PH=9.3 的作法，而過去 18 年來飼水鐵濃度高達 Fe=4ppb，相當於每部 SG 累積 1000kg 的鐵銹且降低 SG 的熱效率，另維護、檢查、量測及更換管路薄化等引發的後續問題更是煩多。因此 2005 年後改採用增加 NH₃ 至 4ppm 來提高 PH 至 9.8，使進入 SG 內的鐵濃度改善降至 1/4，熱傳效率提昇和 Crevice 區域的不純離子濃縮率改善，使得 SG 管束的 IGA/SCC 得到減緩。

從 JAPC 旗下 Tsuruga-2(PWR)和 Tokai-2(BWR)兩個電廠的參數(下表)和結果比較可以發現，其 PWR 廠的 FAC 薄化率問題遠大於 BWR 廠，且在高溫(200°C 左右)管路上最容易發生，詳如下圖 5。

Table 1 Flow dynamics and water chemistry in condensate water and feedwater line, in Tsuruga-2 (PWR) and Tokai-2 (BWR)

	Flow velocity (m/s)	Temperature (°C)	pH (-)	Dissolved Oxygen (ppb)
Tsuruga-2 (PWR)	3-6	40-220	9.2	<5
Tokai-2 (BWR)	4-6	40-220	7.0	20-50

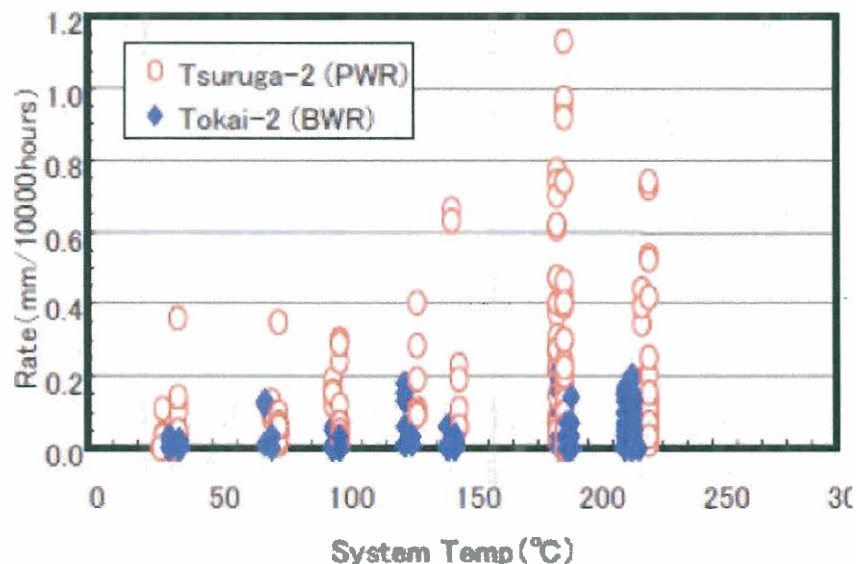


Figure 5 Wall thinning rate of CS piping observed in PWR and BWR

即使提高 High-AVT 仍無法改善高流速高擾流區的 FAC 管路薄化現象，因在彎管或高流速區的 mass transfer coefficient(MTC) 很大，造成 Fe 離子無法沈積在氧化膜上，不易形成飽和層(saturated layer)，詳如下 4-b 圖說明。

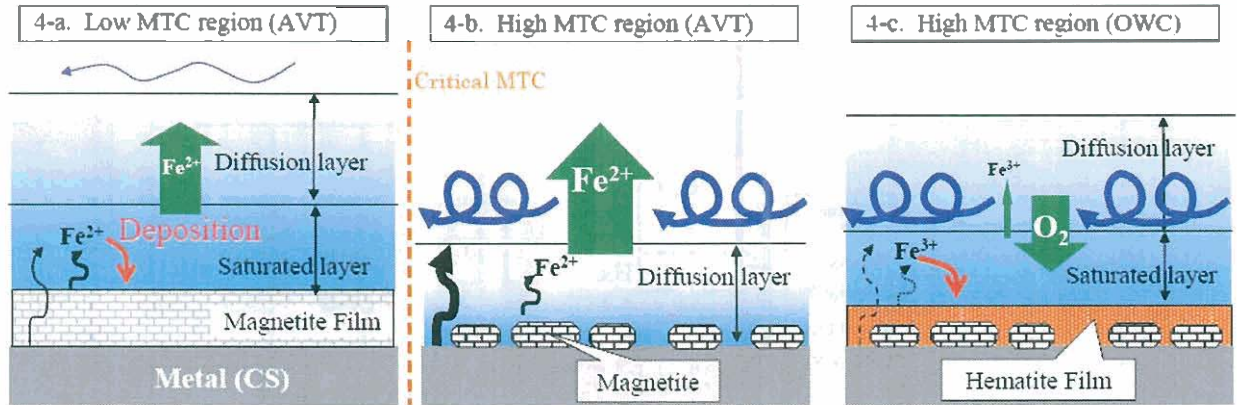


Figure 4 Estimated FAC model of CS under various MTC

因此 PWR 學習 BWR 經驗，注加溶氧以使高流速區原來還原環境下的 Magnetite film(Fe_3O_4)，改變為氧化環境下較為緻密的 Hematite film (Fe_2O_3)氧化膜，詳如上 4-c 圖。

測試實驗結果詳如下圖，顯示如溶氧為 0~0.3ppb 時 ECP 約穩定在-0.5V，而溶氧增加到 0.5ppb 時，ECP 開始提昇，當溶氧增加到 2ppb 時，則 ECP 穩定在-0.1V。另 FAC rate 實驗也發現當注氧至 2ppb 時，FAC rate 減少約一半，之後 FAC rate 則呈現穩定情況。實驗上證實只要 2ppb 的溶氧就可使氧化膜的結構從 Fe_3O_4 改變為 Fe_2O_3 。

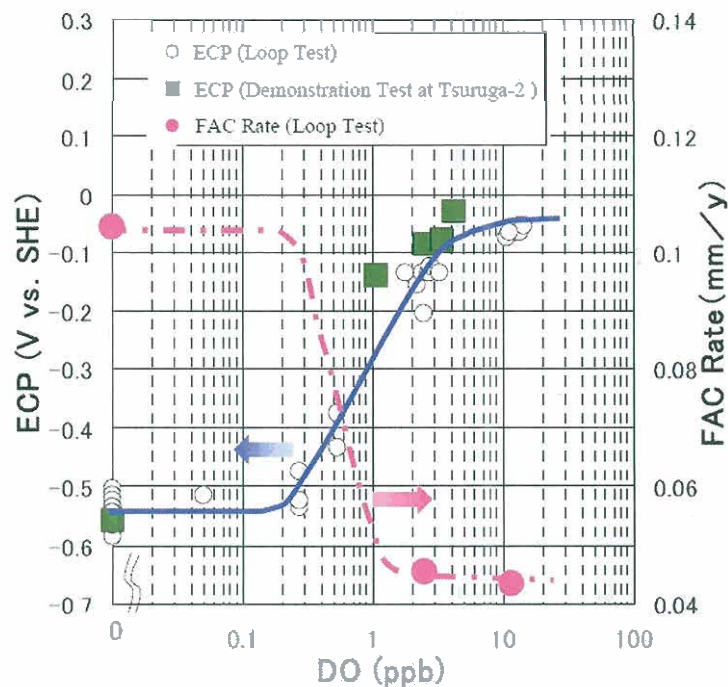


Figure 7 Behaviors of ECP and FAC rate as a function of DO concentration

測試計畫的溶氧的注入點位在低壓飼水加熱器之後的 Deaerator 的下游，如下圖粉紅色區域是希望保護到的區域，溶氧注入量以高壓飼水加熱器進口區 5ppb 為目標，最少要達到 2ppb 以改善 FAC。

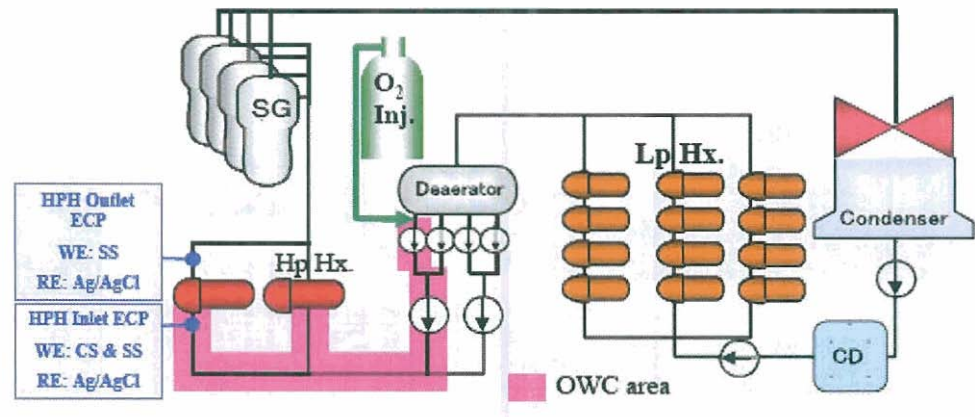


Figure 9 Schematic diagram of the facilities for oxygen injection examination

結論

1. 在採用 High-AVT 化學後，在小 mass transfer coefficient(MTC)即低流速區的 FAC 幾乎受到壓抑，但當 MTC 超過 0.7mm/s 時則無效。
2. 在高 MTC 即高流速區因 Magnetite film 的 Fe 離子一擴散掉，造成管路變薄且多孔。
3. 當管路內層表面受到 FAC 的影響而變粗糙時，管路薄化率可能自我加速。
4. 在 AVT 之下的溶氧低至 2ppb 仍能抑制 FAC，可使 ECP 提高至 -0.1V。
5. 在 Tsuruga-2，PWR 二次側 OWC 的概念被採用來將成新的方法以壓制 FAC，因此冷凝水系統和飼水系統都受到氧的保護，而最後在飼水末端則有聯胺添加以去除溶氧來保護 SG。

未來從 2010 年起 Tsuruga-2 將持續使用。2010 年將先應用在冷凝水系統，未來也會對於系統中在 High-AVT 之下，氧化膜中已存在的少量銅(Cu)作相關的影響評估實驗。

(四) 放射廢料處理討論：

1. 日本中部電力公司濱岡電廠之金屬低放射性廢棄物以甲酸除污成果報告

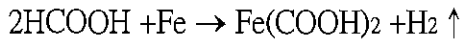
(paper 28 : small scale decontamination test of waste using Formic acid)

在日本因原子能法規的改版，使極低階的污染物有機會不須成為廢棄物，或可外釋

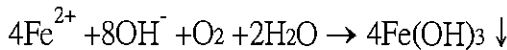
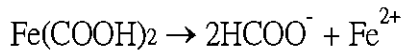
當成一般工業廢鋼鐵及再使用。在濱岡電廠有超過 90% 的受污染金屬，在經過除污因素 (DF)10 的除污過程後，可降至法規規定的乾淨程度(1.0E-01 Bq/g)以下。

他們考量除污因素、處理時間、效率、二次廢料及工作性等問題，而訂定所謂 DECOFOR 程序，採用甲酸來作為除污溶劑，只要 2% 甲酸、60°C、除污浸泡 2hr，再超音波清洗 2hr 即完成，對於不同的金屬如碳鋼、鉛、鎳、銅、鋁和合金等都很有效果。不過對於 RCS 的組件和氧化膜較厚的鋼材，則除污效果不佳。

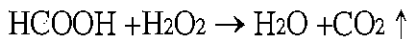
在除污程序中甲酸會滲進氧化膜和金屬基材之間，溶解金屬而達除污效果，Decontamination reaction 反應式如下：



而除污溶劑(甲酸)在重覆使用後，因濃度減少會降低除污效果，而本實驗亦設計使廢液可經過電解槽再還原與沈澱後，即可重複使用。Regeneration reaction 反應式如下：



最後除污溶劑廢液可加入雙氧水 H_2O_2 完全將甲酸分解成 CO_2 和 H_2O ，其分解反應式如下：



本實驗測試用在現場上效果良好，可當作本公司核能電廠廢棄物處理的重要參考。

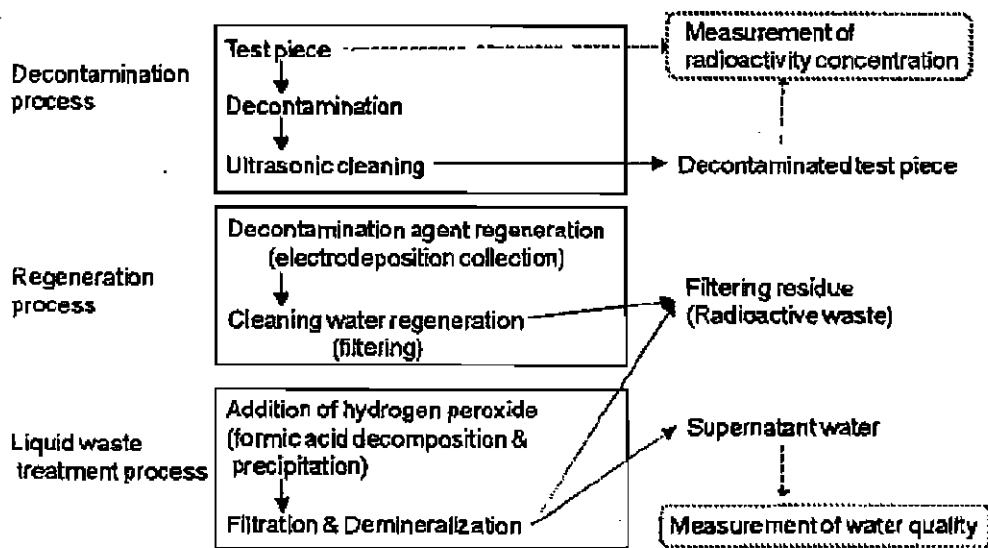


Fig. 1 Processing flowchart of the small-scale test

(五)濱岡電廠參訪心得

在 10 月 28 日至 10 月 29 日兩天的研討會議之後，第 3 天參訪中部電力公司位在靜岡縣南方海邊的濱岡電廠，中部電力公司的總部就設在名古屋市內，從名古屋趨車前往濱岡電廠約 3 個小時的車程，本次主辦單位只有安排我們參觀「電力展示館」和「模擬中心」，但沒有安排實際電廠內容參訪，較為可惜。但仍有幾點參觀心得。

- 1.在進入展示館的門口時，即有服飾整齊且彬彬有禮的接待小姐歡迎我們，顯現日本的服務精神。在展示館內的反應爐模型是比照濱岡 3 號機 1：1 全尺寸，使參觀者感覺得出反應爐的巨大，配合聲光效果向民眾展現科技的進步。館方再引導我們坐電梯上到展示館的頂樓約 60 公尺左右高度的瞭望台，可一目瞭然的眺望在小山丘外，位在海邊沿岸依序排列一、二號至五號機共五部沸水式機組。在此同時也有日本年青人的參訪團體和我們一同上樓，只見展示館的解說小姐以很流利的日本不停的解說，也和參訪來賓有很好的互動，雖然我聽不懂內容，但可見館方人員的訓練有素十分敬業，且能以宣導核能為己任。
- 2.下午先有 10 分鐘的簡報，再進入廠內的模擬中心參訪，廠方特別帶領我們參觀「失敗案例回廊」，內容全都是過去數十年來機組曾經發生過之事件，每一案例儘可能用模型或將實物直接搬來陳列，表現出組件管路破裂或儀電盤燒毀情況，再用大字報陳述失敗過程，並佐以新聞報導，以提醒電廠運轉人員，工作上的疏失，會導致不可預期的後果，這是核能安全文化很好的教材，也是核能作業透明化的誠信作法。之後再參觀模中控制室，然後我們再搭上車沿著一號機至五號機繞著廠房外一周，但無法進入廠房內參觀，這是美中不足之處。至此就正式結束參觀行程。

3.濱岡電廠五部機現況如下：

機組	功率	型別	臨界日期	商轉日期	機組現況
濱岡 (Hamaoka) 1	515	BWR	1974.6	1976.3	2009.1.30 除役
濱岡 (Hamaoka) 2	806	BWR	1978.3	1978.11	2009.1.30 除役
濱岡 (Hamaoka) 3	1056	BWR	1986.11	1987.8	停機檢修
濱岡 (Hamaoka) 4	1092	BWR	1992.12	1993.9	運轉中
濱岡 (Hamaoka) 5	1325	ABWR	2004.6	2005.1	停止運轉檢修
濱岡 (Hamaoka) 6	於 2008 年提出建造之申請				

四、建議事項

(一)、從日本 JAPC 電力公司 Tokai-2 電廠爲了改善冷凝水除礦器對不溶解鐵(crud)移除效率，和爲了移除碎樹脂來抑低爐水 SO_4^{2-} ，而在 2007 年起採用新的進步型樹脂清洗系統 (ARCS, advanced resin cleaning system)後，飼水鐵已可達 $<0.5\text{ppb}$ ，2009 年實績爲 0.09ppb ，已等於加裝冷凝水過濾器(CFD)的水準了，ARCS 設備較爲便宜方便，CFD 則爲大工程對機組衝擊較大。目前核二廠二號機飼水鐵濃度偏高約 1.5ppb ，因此已決定採用 ARCS 系統，未來如核二廠也有很好的實績時，建議核一廠也能考慮採用，在目前中量注氫 (HWC-M)情況下，如果能再降低飼水鐵濃度，後續對於人員輻射劑量的抑低和燃料完整性都有很大的幫助。

(二)、日本 BWR 電廠(含 Tokai-2 及核二廠的姊妹廠 Shimane)的起動階段注氫策略亦非常值得核一、二廠參考，依據日本多年來的研究顯示，在機組起動階段的組件所承受的拉應力是最大的時期，應力腐蝕易被誘發，經實際注氫階段測試證實，在機組起動階段的溶氧確實降低並成爲例行作業，目前已是成熟技術，而核一、二廠目前只能在功率大於 90% 以上才能加氫(HWC)。

起動階段注氫可再分爲兩部份，一爲熱停機($>100^\circ\text{C}$)至額定溫度壓力階段，需要另外加裝設備，二爲功率 5%後(SJAE 開始使用)至 90%階段，可在現有 HWC 設備上變更設計。上述兩者設計及技術上不同，建議本公司可開始進行起動階段注氫的可行性研究及引進技術。

(三)、日本 Shimane 電廠實施 HWC 後再循環管路劑量上昇約 3 倍，因此採用新的 Hitachi- HOP 化學除污技術，再於末期採取 Hi-F Coat 程序，可在化學除污後清潔的管路表面形成薄而細緻的氧化膜，化學藥劑也可被催化分解以減少二次廢料。此法效果良好廢料量少，最重要的是化學除污後的再污染速率降低，但要犧牲起動後 50 天不能注氫時期。

核能一、二廠在加氫之後也開始面臨相同的管路輻射劑量昇高的問題，建議電廠於未來選定化學除污時，能將這日本新的技術列入選項之一。

(四)、近年來 BWR 和 PWR 水化學策略和技術相互學習已十分廣泛，PWR 二次側爲了改善流動加速腐蝕(FAC)問題而學習 BWR 注氧技術，JAPC 電力公司 Tsuruga-2 電廠經多年的實際注氧階段測試證實，在高壓飼水加熱器進口區溶氧 $2\sim5\text{ppb}$ 範圍可以有效的抑低 FAC，核三廠的飼水溶氧爲 $0.1\sim0.5\text{ppb}$ ，目前是以在熱井取樣系統回流管注入空氣的方式因應溶氧偏低問題，建議本公司進一步研究是否有再改善溶氧的需求。

五、附錄 (大會議程和論文發表題目)

Program of
Symposium on Water Chemistry and Corrosion in Nuclear Power Plants in Asia 2009

Presentation Time: Plenary Session 30 min, Technical Session 15min + Q&A 5min

28-Oct-09

830 900 Registration

900 930 Welcome Address

1. PROF. Y. KATSUMURA (THE UNIVERSITY OF TOKYO)
2. M. SAKAGUCHI (CHUBU EPCO)

930 1100 Plenary Session
Chair: Keiichi Otoha (JAPC)

- | | |
|---|--|
| 1 | <i>Water Chemistry Evaluation during 30 years Operational Experience at Tokai-Daini Nuclear Power Station (BWR)</i>
Y. MEGURO, E. KADOL, H. TOBITA and K. HISAMUNE (JAPC) |
| 2 | <i>Variation of the Effectiveness of Hydrogen Water Chemistry in a Boiling Water Reactor during Power Coastdown Operations</i>
T. K. YEH and M. Y. WANG (NTU)
C. F. CHU (TAIPOWER) |
| 3 | <i>Simulated Tests for AOA of Nuclear Power Plants</i>
U. C. KIM, J. W. NA, K. S. LIM, M. H. KIM, K. M. KIM and W. Y. MAENG (KAERI) |

1100 1130 Coffee Break

1130 1230 Session 1 Operational Experience I

Chair: A. Suzuki (TEPCO) and C.Y. Kim (KHNP)

- | | |
|---|--|
| 4 | <i>Chemistry in Indian PHWRs</i>
S. V. NARASIMHAN (BHABHA ATOMIC RESEARCH CENTER) |
| 5 | <i>History of Measures Taken to Reduce Radiation Exposure at Hamaoka Nuclear Power Station</i>
M. KONDOU (CHUBU EPCO) |
| 6 | <i>Low Level Radwaste Management and Processing in Maanshan NPP</i>
M. J. CHEN (TAIPOWER) |

1230 1400 Lunch

1400 1500 Session 2 Operational Experience II

Chair: H. Nishiura (KEPCO) and J.C. Oung (ITRI)

- | | |
|---|--|
| 7 | <i>F Model SG Sludge Removal of TSP Quatrefoil Blockage (ASCA Cleaning at Kori Unit 4)</i>
C. Y. KIM (KHNP) |
| 8 | <i>Measures for the Reduction of Radiation Exposure at Higashidori Nuclear Power Station</i>
S. ITO (TOHOKU EPCO) |
| 9 | <i>Root Cause Study on the High Levels of Reactor Water Silica and Its Measures for Reduction in Taiwan BWRs</i>
T. J. WEN (INER)
S. C. SHEN, T. C. CHENG and C. F. CHU (TAIPOWER) |

1500 1540 Session 3 Fuel Issues

Chair: T. Nakamura (JAEA) and C.C. Lin (NTU)

- | | |
|----|---|
| 10 | <i>The Status of AOA and CRUD in Korean PWR</i>
W. Y. MEANG, B. S. CHOI, D. K. MIN, H. M. KWON, I. K. CHOI and J. W. YEON (KAERI)
J. I. KIM, H. S. WOO, Y. K. KIM and J. Y. PARK (KOREA NUCLEAR FUEL) |
| 11 | <i>Effect of Water Chemistry Conditions on Crud Deposition on the Surface of Fuel Cladding</i>
S. KIM and W. J. MEANG (KAERI)
M. H. KIM and C. W. WON (CHUNGNAM NATIONAL UNIVERSITY) |

1540 1610 Coffee Break

1610 1710 Session 4 Scientific Basis

Chair: K. Ishigure (JRIA) and J.P. Mittal (BHABHA)

- | | |
|----|---|
| 12 | <i>A New Method to Evaluate the Elution and Corrosion Properties of Stainless Materials in Subcritical and Supercritical Water</i>
Z. HAN and Y. MUROYA (THE UNIVERSITY OF TOKYO) |
| 13 | <i>Current Understanding on Radiation Chemistry of High Temperature and Supercritical Water</i>
M. LIN and S. YAMASHITA (JAEA)
Y. MUROYA and Y. KATSUMURA (THE UNIVERSITY OF TOKYO) |
| 14 | <i>Pulse Radiolysis Study on Reaction Kinetics and pKa Value of Hydroxyl Radical at High Temperature</i>
Y. MUROYA, H. TAKAHASHI, H. KUDO and Y. KATSUMURA (THE UNIVERSITY OF TOKYO)
M. LIN and Y. KUMAGAI (JAEA) |

Program of
Symposium on Water Chemistry and Corrosion in Nuclear Power Plants in Asia 2009

1710 1830

Poster Session	Chair: H. Hirano (CRIEPI), Y. Watanabe(Hokkaido EPCO) and T. Tsukada (JAEA)
P1	<i>Thermal Decomposition of 3-Methoxypropylamine in Secondary System of Pressurized Water Reactors</i> M. DOMAE and K. FUJIWARA (CRIEPI)
P2	<i>Radiolysis of Aqueous Solution of Hydrazine at Elevated Temperatures</i> Y. TAMOTO, Y. SAKAMOTO and Y. KATSUMURA (THE UNIVERSITY OF TOKYO) M. DOMAE and H. KAWAMURA(CRIEPI) T. OHIRA, D. AKTAGAWA and K. HISAMUNE(JAPC)
P3	<i>Water Chemistry Test at The Japan Materials Testing Reactor</i> S. HANAWA, Y. CHIMI, Y. NISHIYAMA and T. NAKAMURA (JAEA)
P4	<i>Effect of Gamma-Ray Irradiation and Crevice-like Shape on the Corrosion of Type 316L Stainless Steel in High-Temperature Water</i> Y. NAKAHARA, C. KATO and M. YAMAMOTO (JAEA) A. WATANABE and M. FUSE (HITACHI GENE)
P5	<i>The Electrochemical Impedance Spectroscopy of Stainless Steel Exposed to High Temperature Water Containing Hydrogen Peroxide</i> T. SATOH, C. KATO, M. YAMAMOTO, J. NAKANO and T. TSUKADA (JAEA) K. NODA (SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY)
P6	<i>Post-Irradiation Examination using Neutron Imaging Technique for Visualization of Hydride Precipitates in Nuclear Fuel Cladding</i> M. TAMAKI (TAMAKI MEMORIAL INSTITUTE)
P7	<i>Effect of Corrosion Inhibitors on the Deposition of Antimony on Carbon Steel and Other PHWR Primary Coolant System Structural Materials</i> V. K. MITTAL, S. BERA, S. VELMURUGAN and S. V. NARASIMHAN (BHABHA ATOMIC RESEARCH CENTER)
P8	<i>The Passivation Treatment Performed on the RWCU Piping Surface of ABWR</i> D. K. KAO and T. J. WEN (INER)
P9	<i>Development of Treatment System for Radioactive Spent Ion Exchange Resins</i> H. INAGAWA, T. IZUMI, M. HAGIWARA, T. OHTSU, T. INO and M. ARAI (EBARA)
P10	<i>Improvement of Leaching Characteristics of TOC from Condensate Demineralizer</i> T. DEGUCHI, T. IZUMI, M. HAGIWARA, Y. EGAWA and T. INO (EBARA)
P11	<i>Study of TiO₂ Deposition Behavior under Various Conditions</i> M. OKAMURA, S. YAMAMOTO and J. TAKAGI (TOSHIBA)
P12	<i>Effect of Sulfur on Stress Corrosion Cracking of Ni-base Alloys in High-Temperature Water</i> E. H. LEE, K. M. KIM, B. S. CHOI and W. Y. MEANG (KAERI)
P13	<i>New Technique for In-Plant ECP Monitoring at High Mass Transfer Rate</i> M. ULLBERG and A. MOLANDER (STUDSVIK) W. SUGINO, N. NAGATA and H. TAKIGUCHI (JAPC)
P14	<i>Influence of Environment on the Crack Growth Rate of Structural Materials in Simulated PWR Environment</i> A. JENSSEN, M. KÖNIG, K. NORRING and J. STJÄRNSÄTER (STUDSVIK)
P15	(canceled)
P16	<i>A New Approach for Reducing Recontamination after Chemical Decontamination : Consideration of Ferrite Plating Mechanism on Stainless Steel in Aqueous Solution at 90 °C</i> T. ITO, H. HOSOKAWA, M. NAGASE, M. SAKASHITA and M. FUSE (HITACHI)
P17	<i>Chemical Cleaning for Biological Fouling</i> R. DUNCAN (WH)
P18	<i>Steam Generator Tube to Tube Scale Interface Modeling</i> J.L.BARKICH (WH)
P19	<i>Updated Water Chemistry Optimization Program at NPPs of Taiwan Power</i> C. F. CHU (TAIPOWER)

Program of
Symposium on Water Chemistry and Corrosion in Nuclear Power Plants in Asia 2009

P20	<i>Shutdown Chemistry Optimization at Maanshan NPP</i> Y. L. SUN, B. CHUANG and K. H. SU (TAIPOWER)
P21	<i>Application of Zinc Injection to Reduce Radiation Sources at Takahama Unit 4</i> M. MATSUURA, M. AOKI, M. TSUKAMOTO, H. NISHIURA and S. KURODA (KEPCO)
P22	<i>The Reduction of Feedwater Iron by Using Absorption Characteristics of Cation Exchange Resin for BWR Condensate Demineralizers</i> T. SAKURAI, H. HASEGAWA and H. SANESHIGE (TEPCO) T. IZUMI, T. DEGUCHI and T. INO (EBARA)
P23	<i>Introduction of Countermeasure of Radiation Source Intensity Increase at Ikata Nuclear Power Plant</i> K. SHIMIZU (SHIKOKU EPCO)
P24	<i>Development of Hydrazine Analyzer for High Concentration of Ethanolamine</i> T. AOKI and M. GOKOKU (NIKKISO) K. UEBAYASHI and T. AONO (KEPCO)
P25	<i>Evaluation of High Flow Rate Condensate Polisher for Next PWR Plants</i> S. HARAGUCHI, K. CHOUCI and H. ASANO (KYUSHU EPCO) S. OHASHI and T. KOSUGA (ORGANO)
P26	<i>Reduction of Dose Rate by Bypass Operation of Condensate Filter at Shika Nuclear Power Station</i> H. ISHIMARU (HOKURIKU EPCO)
P27	<i>Approach of Shimane Nuclear Power Station to Reduce Radiation Exposure</i> H. KAJITANI (CHUGOKU EPCO)
P28	<i>A Study on the Behavior of Particle in Secondary System at Nuclear Power Plant</i> H. C. LEE (KHNP)
P29	<i>Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking of 316L and 690 Alloys in 400°C Supercritical Water</i> R. S. ZHOU (SHANGHAI JIAOTONG UNIV)
P30	<i>An EPRI Perspective and Overview of PWR Primary Chemistry Optimization</i> D. PERKINS (EPRI)
P31	<i>QA Practice for Online Analyzers in Water Steam Cycles</i> L. STAUB (SWAN)
P32	<i>Study for Highly Functional Resin (Macroporous Resin) Superior in Removing Micro Particles in PWR Primary Circuit</i> K. KONDOH and A. ITO (KYUSHU EPCO) R. UMEHARA and K. NAGAMINE (MHI) K. KASAHARA and N. KOGAWA (NDC)

1830 2030 Banquet

**Program of
Symposium on Water Chemistry and Corrosion in Nuclear Power Plants in Asia 2009**

29-Oct-09

900	1000	Session 5	FAC and Scale Deposition Chair: Y. Watanabe (Tohoku Univ.) and U.C. Kim (KAERI)
		15	<i>Effects of Water Chemistry Parameters on Flow Accelerated Corrosion and Liquid Droplet Impingement</i> S. UCHIDA, M. NAITOH, H. OKADA and Y. UEHARA (IAE) S. KOSHIZUKA (THE UNIVERSITY OF TOKYO) D. H. LISTER (UNIVERSITY OF NEW BRUNSWICK)
		16	<i>Effect of Water Chemistry Improvement on Flow Accelerated Corrosion in Light Water Nuclear Reactor</i> W. SUGINO, T. OHIRA, N. NAGATA, A. ABE and H. TAKIGUCHI (JAPC)
		17	<i>Deposition and Detachment Phenomena of Iron Corrosion Products on Steam Generator Tube and Equipments in PWRs Secondary System</i> H. MIYATA, Y. SHODA and N. ISHIHARA (MHI) T. OHIRA (JAPC) Y. WATANABE (HEPCO) Y. NONAKA (KYUSHU EPCO)

1000 1030

Coffee Break

1030	1210	Session 6	SCC Mitigation for Structural Materials I Chair: K. Yamazaki (Toshiba) and X.Q. Wu (IMRCAS)
		18	<i>Electrochemical Behavior of Hydrogen Peroxide on ZrO₂ Treated Type 304 Stainless Steel in High Temperature Water</i> T-K. YEH, P-Y. WU and C-H. TSAI (NTU)
		19	<i>SCC and Dose Rate Mitigation of BWRs</i> S. HETTIARACHCHI (GE-HITACHI NE)
		20	<i>In-Reactor ECP Measurements in BWR Plants</i> K. KOYABU (TEPCO)
		21	<i>Interruption of Hydrogen Water Chemistry on the Stress Corrosion Cracking Behaviors of Alloy 182 Weldment in High Temperature Water Environment</i> Y. C. LEE and C. FONG (ITRI) C. CHANG and C. F. CHU (TAIPOWER)
		22	<i>Anodic and Cathodic Polarization Curve Measurement for BWR Structural Materials in High Temperature - High Purity Water</i> M. TACHIBANA, Y. WADA, K. ISHIDA, N. OTA and M. FUSE (HITACHI GENE)

1210 1340

Lunch

1340	1440	Session 7	SCC Mitigation for Structural Materials II Chair: S. Uchida (JAEA) and T.K. Yeh (NTU)
		23	<i>Influence of Temperature and pH Value on Electrochemical Behaviors of Alloy 690 in High-Temperature Aqueous Environment</i> X. Q. WU, J. B. HUANG and E. H. HAN (IMRCAS)
		24	<i>Effects of Temperature on Corrosion of Stainless Steels under Simulated PWR Primary Water</i> T. TERACHI, T. MIYAMOTO, T. YAMADA and K. ARIOKA (INSS)
		25	<i>The Influence of Decreased Hydrogen in PWR Primary Environment on Initiation of IGSCC in Alloy 600 and Alloy 182</i> K. NORRING, A. JENSSEN and A. MOLANDER (STUDSVIK) D. AKUTAGAWA, K. DOZAKI and H. TAKIGUCHI (JAPC)

1440 1600

		Session 8	Dose Reduction I Chair: M. Fuse (Hitachi GE) and T.J. Wen (INER)
		26	<i>A Review of Corrosion Product Transport and Radiation Field Buildup in Boiling Water Reactors</i> C. C. LIN (NTU)
		27	<i>Effects of Hydrogen Water Chemistry on Chemical Decontamination in Boiling Water Reactors (BWR)</i> N. SWIFT and R. DUNCAN (WH)
		28	<i>Small-Scale Test of Chemical Decontamination for Metal Waste Using Formic Acid</i> H. INAGAKI and K. IKEDOU (CHUBU EPCO)
		29	<i>Precise Control of Fe Concentration in Feedwater for Co-60 Concentration Suppression</i> S. YAMAMOTO, Y. YAITA, Y. URUMA, H. HIRASAWA and K. YAMAZAKI (TOSHIBA)

1600 1630

Coffee Break

**Program of
Symposium on Water Chemistry and Corrosion in Nuclear Power Plants in Asia 2009**

1630	1730	Session 9	Dose Reduction II
			Chair: R. Umehara (MHI) and W.Y. Maeng (KAERI)
		30	<i>Modeling of Activity Transport of Primary Circuit by Multi-Region Model</i> B. S. CHOI and W. Y. MEANG (KAERI)
		31	<i>Survey of Zinc Injection Experience at Siemens PWRs : Differences and Common Characteristics</i> B. STELLWAG (AREVA) F. BÖTTCHER and M. JUERGENSEN (EnBW) G. HOLZ (RWE) B. MARKGRAF and S. SCHUETZ (E. ON) H. W. RICH (KKG) M. RUEBENICH (ELETRONICLEAR)
		32	<i>Zinc Injection during Hot Functional Test (HFT) in Tomari Unit 3</i> M. ISHIDA, Y. MINO, K. YAMADA and Y. AIZAWA (HEPCO) R. UMEHARA, Y. SHIMIZU, T. NISHIMURA and Z. OJIMA (MHI)
1730	1745	Poster Awards	
		H. HIRANO (CRIEPI)	
		PROF. Y. KATSUMURA (THE UNIVERSITY OF TOKYO)	
1745	1800	Closing Remarks	
		PROF. Y. KATSUMURA (THE UNIVERSITY OF TOKYO)	
		Adjourn	
30-Oct-09		Technical Visit to Hamanaka NPP (Chubu Electric Power Company)	