

指向核能復興之羅盤

以「我廠意識」愛護電廠

以專家的關懷防範事故於未然

作者：原子力安全基盤機構(JNES)安全情報部長 水町涉

譯者：行政院原子能委員會技正 石門環

*日文原文刊載於 2005 年 6 月 ENERGY 雜誌

「我們公司」的意識

買下日本廣播公司過半股票的堀江門(Horiemon)連日引起新聞媒體的大騷動，在美國這種收買公司的事情可說是家常便飯，不會引起這樣的風波，雖然新聞熱度已經逐漸退潮，但還是餘波盪漾，到底誰獲勝、誰對，這是今後的問題。堀江社長這種凡事不在乎的新人類，與古板的人形成強烈對比，實際情況如何另當別論，但已變成電視綜藝節目最適合的話題。

在這次騷動中被檢視的是公司到底是誰的，有的意見認為公司屬於股東所有，當然由擁有過半股票的股東掌控，也有意見認為以強行收購來奪取公司無法獲得社會大眾和公司員工的認同。在多年以前，即使年輕的員工也還有「我們公司」的講法，但是現在已經不這麼講了，即使在公司上班，誰也不知道什麼時候公司會重整，以雪印乳業公司為例，不管是如何優良的公司，也不知道可以生存到何時，目前就是這樣的時代。

美國核電廠也是買賣標的

核能的世界又是如何呢？首先是電力公司負有供給電力的責任，一般民眾不得不買用該地域的電力。如果是汽車的話，不管是買豐田或是賓士，都是個人的自由，買電就無法選擇該地域以外的電力公司，這就是所謂的

公益事業。當然，美國現在也常進行核電廠的買賣，但是因為其公益性，必須經由州政府的公聽會等審查。

美國與日本最大的不同是擁有核電廠的公司規模很小，經營較不安定。現在，大規模的電力公司正收購小電力公司所擁有的核電廠，這是一種好的傾向。例如 Exelon 公司在 2004 年擁有 17 部核能機組，數量與東京電力公司相同，2005 年再買入 3 部機組，現在擁有 20 部核能機組。

世界上的優良公司安全而認真地從事核電廠的營運，可以說是非常好的事情。

「我們電廠」意識

核能發電大約提供日本國民需求電力的 3 分之 1，在這龐大利益中的陰影就是存在著潛在的風險。

核能發電是世界上最大規模的計劃(Project)之一，由各種不同領域的專家設計並營運。像這種大計劃中，各種不同專家的合作關係是不可或缺的，首先是要有專家，而且不同領域的專家必須有共同一致的目標，所謂共同目標以一語而言，就是安全性，為達成安全的目標，必須共同存有「我們電廠」(My Plant)的意識，各自在其工作崗位上努力不懈。

在黃金週(Golden Week)來臨之前，JR 福知山線因為在前一站超出停站位置而誤點，又在轉彎處超速，導致發生 JR 史上最嚴重的 107 人死亡事故。

「安全第一」只是口號，實際上經過調查後，發現 JR 為了確保列車能準時運轉，平常就以容易誤點的列車為對象，每年實施 5 次，要求誤點列車以 1 秒為單位提出報告。實際上行車安全才能確保準時，目前正在追究 JR 的經營責任。

核電廠與鐵路都以確保安全為第一使命，熱愛工作並保有「我們電廠」

的意識非常重要。如果具有“愛電廠的心”這種專家的關懷，就可以防範事故於未然，美濱事故調查委員會的最終報告已出爐，謹以此為主題進行事例研究如下。

專家的關懷

2004年11月的ENERGY月刊中刊載「以管路內流體的心情進行設計維護」，美濱事故的結果的確是最好的證明。如果想像成水流的心情，遇到轉彎處就會碰撞到管壁，頭暈目眩，當然就會把管壁削薄。2004年12月的ENERGY月刊中刊載「從敲打管路的聲音就知道薄化的專家」，其中談到限流孔(Orifice)為設備組件，不應該是一塊可以更換的板，因為下游一定會薄化，在常識上理當與管路製作成一體，一起更換，而且在進行維護保養時，專家一定會敲打管路，聽聲音就會知道薄化的情況。

此次檢查清單上的遺漏雖是問題所在，但是，如果有專家的關懷，在設計階段，或是以後的檢查時，仍然可以防範事故於未然。

管路內的激流引起事故

報告書中揭載原子力安全基盤機構與日本原子力研究所執行管路流況解析結果(圖1)。解析格子數約360萬個，這是龐大的有限元素解析結果，由此解析結果可以充份理解，引起事故的冷凝水A串管路與薄化程度較少的B串，其水流狀況完全不同。A串管路內部從上游來看，產生逆時針迴轉的強烈回旋流，破損部位之水流相當激烈，終於導致薄化。

另一方面，B串管路內部之水流則相當平穩，從上游來看，與A串情況相反，在順時針方向有相當穩定的回旋流。

當然，事故的直接原因是管路的檢查清單上遺漏該部位，以致28年來

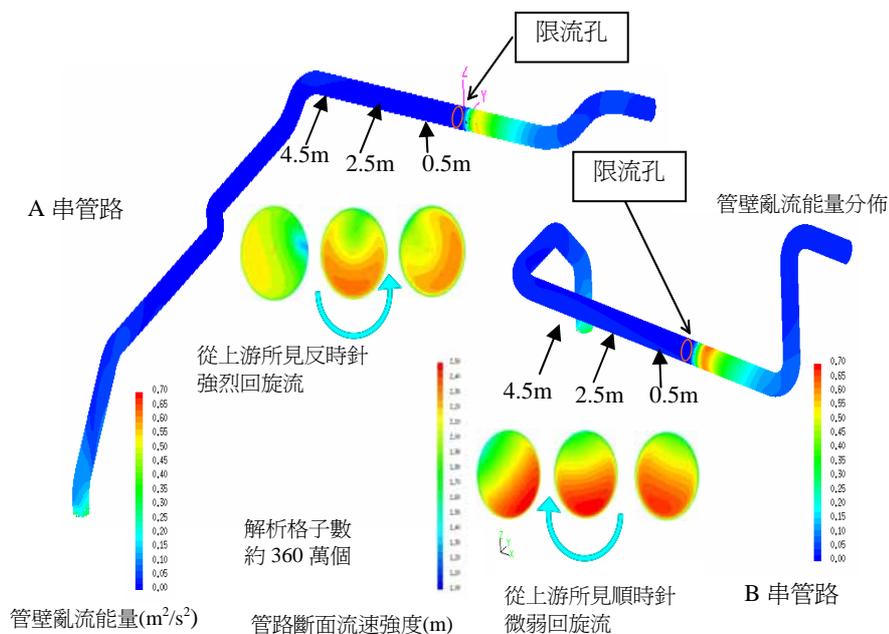


圖 1 美濱 3 號機冷凝水管路內流體解析

未曾檢查。姑且不論沒有檢查，為何 B 串管路沒有問題呢？這是事故後最令人關切之事，故將其理由敘述如下。

一邊激流另一邊平穩水流的理由

同樣材質、相同流體的 A 串與 B 串冷凝水管路，為何流況會大不相同呢？圖 2 顯示該報告書所揭載的管路配置圖，這是解釋回旋流發生機制的關鍵所在，像這樣水流不同其實相當容易了解，以結論而言，就是因為從主冷凝水集管(Header)往上升的管路長度不同。

筆者赴美濱實地調查，曾仔細查看實物，如圖 2 所示，A 串與 B 串管路由同一集管垂直上升，A 串管路上升約 85cm 後在圖 2 中往後方彎曲而行，B 串則在上升約 1.8m 後往圖 2 中之前方彎曲而行。

這種上升 85cm 與 1.8m 的差異，對其下游管路內水流的變化具有決定性的影響。A 串中流體從集管垂直向上且立即於 85cm 處再度轉彎，另一方面，B 串雖然相同，但垂直向上 1.8m，穩定之後才再彎曲。在轉彎處，A 串產生強烈的回旋流，在其下游頗遠的限流孔之後仍有影響，也因而導致

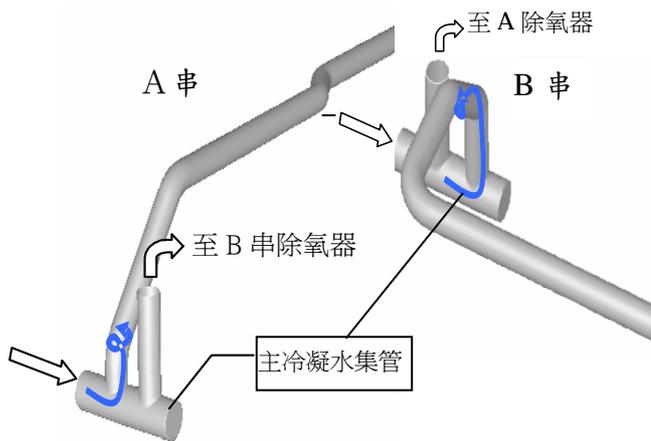


圖 2 美濱 3 號機冷凝水管路配置圖



圖 3 美濱 3 號機冷凝水管路破斷處照片

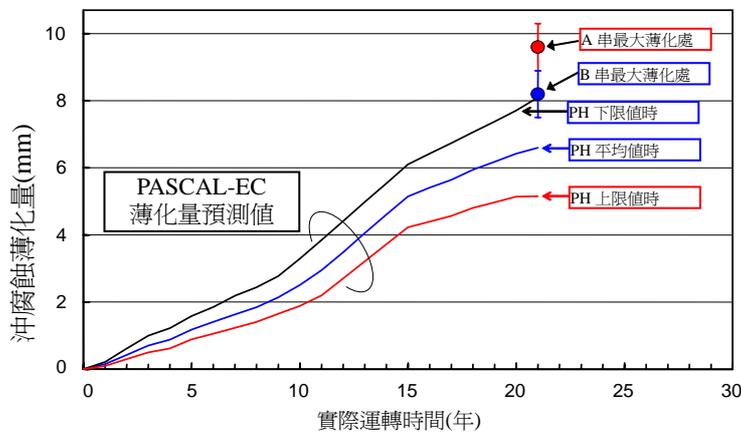


圖 4 美濱 3 號機冷凝水管路薄化量預測解析

薄化。另一方面，B 串水流在 1.8m 的垂直管安定下來之後才轉彎，產生回旋流的影響亦較小，順時針與反時針之回旋流就是因為圖 2 中管路往後行或往前行而引起相反的回旋方向。

機械是很老實的東西，因為這種設計錯誤，A 串管路就如圖 3 所示發生破斷。另外，管路薄化量預測分析結果如圖 4 所示，破斷之冷凝水管路內面狀況之放大相片如圖 5 所示，這就是沖腐蝕(Erosion Corrosion)薄化的典型鱗片狀模樣。

美濱事故得到的教訓及其反映

原子力安全保安院事故調查委員會彙整報告書，陳送經產大臣，這是

7 個章節共 52 頁的力作，第 1 章至第 5 章為事故經過與原因調查結果，第 6 章為「因應事故有關明顯的課題」，第 7 章則為令人激賞的名文「結語」，以下謹說明第 6 章、第 7 章內容。

我國為核能先進國家，運轉中機組有 52 部，綜合而言，已從興建為主的時代轉移至運轉為主的時代。我國的核能安全管制在引入初期，為了克服故障事件，主要著眼於設備組件之健全性，也就是確

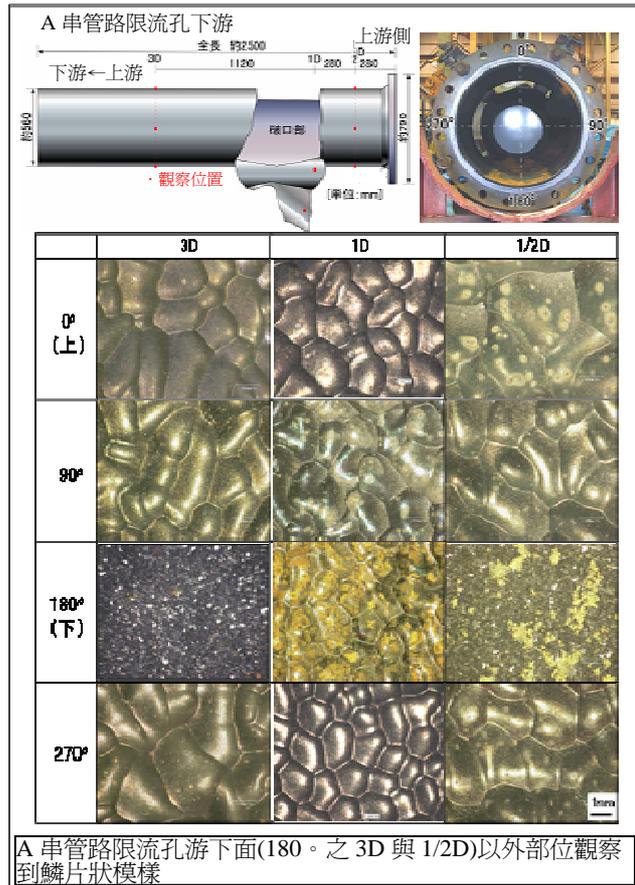


圖 5 美濱 3 號機冷凝水管路內表面放大照片

保硬體之安全，故以設備組件之管理為中心，反而疏忽電廠整體之維護管理。

由於 JCO 臨界事故的教訓，政府已認知僅將重點置於確保硬體安全將難以適當地執行安全管制，因此，不只是對硬體，政府也決定對事業者的保安活動，也就是軟體方面，納入安全管制的對象。

2003 年 10 月修訂電氣事業法與反應爐管制法，事業者執行適當之品質保證並建立維護管理體系列為法定義務，新的檢查制度開始生效。以前之品質保證與維護管理是事業者之自主活動，今後對於這些活動是否確實執行將加以檢查確認。

新檢查制度的特徵是為了達成反應爐管制法的目的，也就是防止反應爐引發災害，重新界定管制當局與事業者之任務，促使事業者提升電廠整

體之自主維護管理能力。

品質保證體制的重要性

此次美濱 3 號機事故的直接原因是檢查清單遺漏應檢查的部位，以致未能發現管路因沖腐蝕而薄化，關西電力公司之維護管理體制與品質保證體制未能充份發揮功能，安全文化未能落實，當初遺漏登錄的缺失長年未能改正。

安全不是僅在現場即可達成，為達成安全所訂定的方針必須在各階層組織具體展開，並且持續改善，進行改善時，必須評估組織有何不足之處，對人員、組織、設施、資金等「經營資源」適當地重新分配，而且以經營階層為主體，努力採行必要之行動是不可或缺的。因此，原子力安全保安院引入的品質保證制度中，指定反應爐設置者（總經理）為該事業者品質管理制度(Management System)之負責人。

電廠的老化對策

此次事故調查的結果顯示出重要的問題所在，也就是關西電力公司未能依據電廠的運轉履歷進行適當的維護管理。像這種運轉履歷的影響隨著運轉年數愈久而愈大，電廠的老化已受到社會大眾的關心。現在，綜合資源能源調查會原子力安全保安部門中已設置「老化對策檢討委員會」，預定在 8 月作成結論，此一老化對策為今後核能界的最重要問題之一，以後再另外詳細介紹。

美濱事故之總結

最終報告書中之「結語」將事故作一總結，謹將其內容彙整如下。

有關發生事故的管路破損機制，原子力安全基盤機構、原子力研究所

等單位合作，進行技術性檢討結果，確認其原因為沖腐蝕，並認為此原因是在過去經驗知識所能理解之範圍內。

此次事故以原有的科學知識應可預見、預防，但卻未能避免其發生，顯然是關西電力、三菱、日本 Arm 公司對核能設施管理不當所致，事故的根本原因是管路檢查清單的登錄疏失，長年未發現管路薄化的事實，再加上各公司維護管理、品質保證活動不當，其背景則明顯是公司的「安全文化」出現破綻。

為改善此一情況，除了經營階層實質的意識改革與努力改善以外，核能安全有關的企業文化及組織習性的改革與落實也是成功與否的關鍵。另外，反應爐設置者對於包括廠家、協力企業包商的外包業務在內，負起核能安全業務有關的一切責任，加強實質上的外包管理至為重要。

此次事故不能忘記，不斷地謙虛反省核能安全管理應有的作法，這是原子力安全保安院責無旁貸的任務。

基於這樣的認知，原子力安全保安院重新下定決心，今後將與民眾對話，一方面不斷驗證安全管理，一方面加強檢查，並以提升原子力保安檢查官之資質為首要，持續改善安全管理的作法，努力確保民眾對核能安全的信任。

以專家愛護電廠的關懷防範事故於未然

最近從堀江門騷動到尼崎車站的 JR 事故，紛紛擾擾的事件相當多，在此之際，美濱事故的最終報告書也彙整出爐，此事件已得到技術性的結論。

以堀江門為始，賺錢的故事成為電視新聞等媒體報導的主要話題，像我們這種核能界相關人員，處於日本能源的核心地位，能夠隨波逐流在最近的風潮之中嗎？在這世上，如果忽略經濟性，議論當然就不能成立，但

是重視安全與最終之經濟性息息相關，此次的美濱與 JR 事故可說是慘烈的啟示，日本的「安全第一」已經淪為口號而已。

美國發生了重視經濟性甚於核能安全的 Millstone 事件而成為大問題，日後筆者亦想說明此一事件，Millstone 遭遇到此一嚴重變故，正進行大改善，努力提升安全性。

像核能這種大規模的計畫，必須要有各種不同領域的愛護電廠的專家，以這種專家的關懷可以防範很多事故於未然。

談到美濱的管路破斷事故，就如同以前所說的那樣，

「以管路內流體的心情進行設計維護」。

「從敲打管路就知道薄化的專家」。

必須要有這樣的專家，整體而言，必須銘記在心的是此次所說的「愛護電廠的心！以專家的關懷防範事故於未然」。