

指向核能復興之羅盤(三十四)

核能以綜合技術能力與平衡為要

日本傳統文化的再認識

作者：IAEA, NEA ISOE 委員會主席 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 2007 年 2 月 ENERGY 雜誌

「全體」重於「部份」

核子設施，特別是核電廠，是現今世界上最鉅大的系統，零組件的數量高達 1 千萬個數 (Order)。除此之外，重要的是必須有眾多的專家，以及具有綜合性見解的指導者來管理所有相關人員。即使號稱是專家，有時候專長領域過於狹隘的專家往往容易陷於門派偏見 (Sectionalism)，反而有害。

去年秋，經濟產業省的「檢查的理想作法檢討會」(主持人：東京大學班目春樹教授) 提出政府管制單位的新檢查制度，現在正進行此制度之設計，其重點也曾在此羅盤系列文章中介紹過，也就是不僅在定期大修時檢查，在運轉中也監視設備組件的狀態，防範故障於未然，進行狀態監視方式的維護。但是，電力公司運轉部門與維護部門一向屬於不同組織，實際上幾乎沒什麼連繫合作。去年 1 月赴芬蘭、法國的調查團，以及夏季赴美國的調查團，發現這些國家的運轉部門與維護部門都有相當良好的合作關係，並且同心協力執行狀態監視，也因為運轉的安全而獲得良好成績。因此，非常期盼我國電力公司也能有同樣的新組織登場，現在應該了解到目前已不是單純稱呼為“運轉員”或“維護員”的時代了。

另一方面，很抱歉，是不好的例子，前不久最新的鈹 (Hafnium) 板型控制棒發生龜裂 (圖 1)，如果比喻為汽車，控制棒就是具有煞車功能的裝置，也就是控制反應爐爐心的系統。筆者與相關公司技術人員在電話中談到爐心的話題時，答以：「我是管控制棒有關的機械方面的課長，對於爐心的反應方面請您去問另一位負責的課長」，令人想到最近的企業對其技術人員的管理情況可見一斑。



圖 1 鉛板型控制棒之裂紋

筆者曾經講過許多次，核能是具有鉅大能量的系統，特別是心臟部份的爐心，就是產生能源的大本營。在筆者的年代，將控制棒插入爐心，中子會有什麼樣的行為，在學生時代就被要求作這些計算，深知這是核能方面基本中的基本。自己所負責的系統如何動作、發揮其功能，如果故障的話，會變成什麼樣的後果，如果在理論上與實際上的解決方法不能深入腦海中，則絕不能號稱為專家。

當然，即使幾支控制棒故障，爐心仍可獲得控制，假設全部故障，還是可以用其他的系統來控制，這樣的設計不會有安全上的問題。但是，我們仍然期望技術人員能將這樣的知識放入腦海中來執行工作，也就是說，在運轉、維護、設計鉅大的系統時，專家應盡可能擴充其知識與技術的領域，經常性的綜合判斷與取得平衡的行動是不可或缺的。

耐震設計新指針確保「安心」

在推動核能的過程當中，一般民眾最關心的就是輻射，其中又對大地震來襲時是否會引起輻射災害最為不安。

去年年底，台灣馬鞍山核電廠近海發生規模 7.1 的大地震，該廠幾乎沒有任何損害，這也可以說明核電廠的耐震性再度獲得實際驗證（圖 2）。

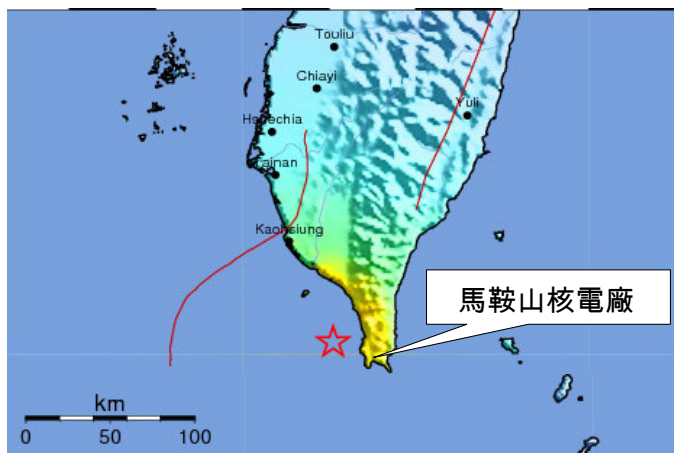


圖 2 台灣核三廠外海的地震(2006 年 12 月 26 日)

我國在去年 9 月決定新的檢查制度及耐震設計的新指針，這是 1981 年以來，歷經 25 年後的修訂。圖 3 顯示我國周邊的板塊及其境界，我國就是位於這樣的板塊上的地震國家，為了使一般民眾了解核能的安全性，有必要設定“門檻值”作為因應。此外，也為了因應以前所發生的神戶地震、鳥取西部地震等大地震，才修訂耐震指針。

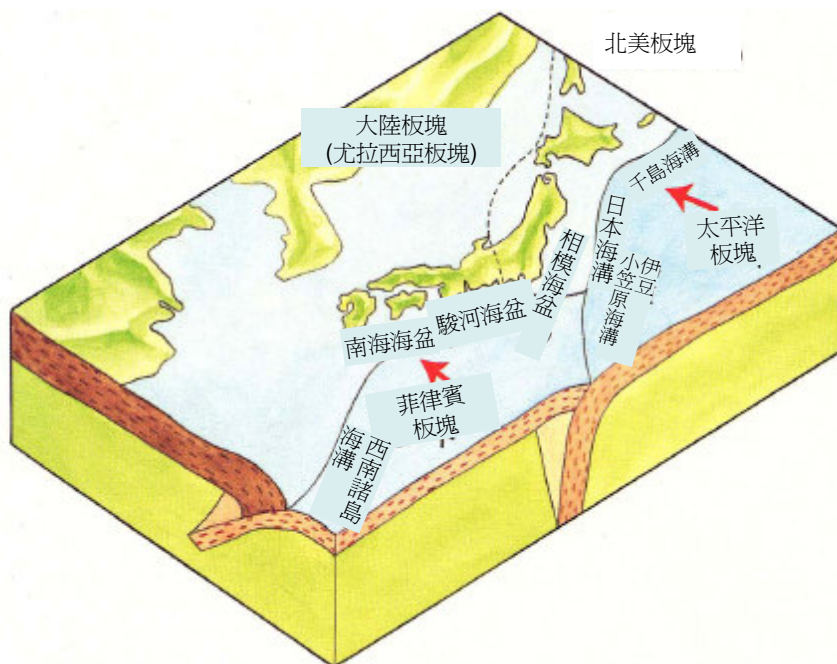


圖 3 日本周邊之板塊及其境界

雖然如此，耐震設計仍相當困難，如果以最簡單的方法來介紹新的指針，則新訂定的基準地震動 S_s 系假想比以前設計時所用的 S_2 更大的地震，並以 S_s 的大約一半的值訂定彈性設計用地震動 S_d ，在發生 S_d 地震後，經過檢查無問題後，即可很容易地再起動運轉。

在此談及耐震設計問題是想強調綜合技術能力與平衡的重要性。

首先，基本上腦海中必須牢記熱與振動正好相反，若以管路為例，管路加熱後將沿著軸向伸展，直徑雖會變大，但應力是零，完全不會損壞。但是，假設發生地震，較長的管路若不加以支撐就會搖幌而損壞，所以必須要有支架 (Support) 來支撐。為了防備大地震，必須要有很多支架，如果加熱，就會產生相當大的熱應力，對輕水式反應爐而言，PWR 的設計溫度為 343°C ，BWR 為 273°C ，因為溫度頗高，故必須考慮到此一問題。

針對以上問題，新的基準地震動的定義是「在設施營運期間，雖然極為稀少、但仍有可能發生的地震」，而且這種地震「不會使附近民眾受到顯著的輻射曝露」。如果繼續以管路為例，即使在設計時使其略為彎曲，管路也不會破斷，內部的放射性物質也不會排放出來。其次是彈性設計用地震，這是彈性範圍內的設計，同時也考慮到熱應力，在地震後不會殘留變形，檢查後即可運轉的設計。也就是說在極為稀有的大地震時，不會發生破斷，內部流體不會排放至外部，對彈性設計用地震，在設計時將熱應力納入考慮，並使其不產生塑性變形。

另一方面，如果看一下國外的耐震設計，最近美國核能管制委員會 (NRC) 訂定反應器廠房等的阻尼常數為 7%，日本在認可上是 5%，實際設計則為 3%，而反應器廠房實際進行振動實驗的結果，則大多為 10% 左右。此外，主蒸汽管路等大口徑管路實際振動實驗的結果，此阻尼常數也達到 10% 以上。如果使用這種實際上的實驗值，則沒有任何東西像核能電廠那樣耐震。

柏崎核電廠反應器廠房牆壁厚達 3 公尺，這比 6 張榻榻米厚度還厚，當初在建廠時，新聞曾經報導：「如果發生地震，就躲到反應器廠房」。

風險評估

最近常常聽到風險解析、概率論安全評估之類的說法，這對於像核電廠這種鉅大的系統進行安全性評估相當具有參考價值。

此次強調綜合技術能力與平衡感覺的重要性，而這種風險評估就非常重要。在此羅盤系列文章中也曾敘述美國參考風險資訊的管制，故在此不再說明，美國在 2000 年時引入這種管制方式，而且相當成功。美國核能管制委員會 (NRC) 前任主席 Diaz 是這種管制方法的創始者，Diaz 前主席強調他的口頭禪：「我們進行風險告知管制 (Risk Informed Regulation)，但絕不是進行基於風險的管制 (Risk Based Regulation)，也就是

說，不是將風險視為絕對，而是說將風險解析的結果也作為一個訊息，將其作為參考來進行管制」。

例如美國是針對風險上重要的系統進行檢查，以前是依據個人的專業與興趣來檢查，後來因視察員提出意見、進行檢討後，為了更具客觀性，而改為採用這種風險方式作為手段。

但是很多人誤以為視察員只是進行相對比較、檢討何者風險較大而已，實際上視察員檢討的是其發生概率是千分之一或萬分之一。圖 4 所示為美國的檢查重要度分類，即使是安全系統的設備組件，如果安全性的風險較低，亦不納入檢查的對象物，反而是常用系統如飼水泵等安全性風險高的設備才列為檢查對象。

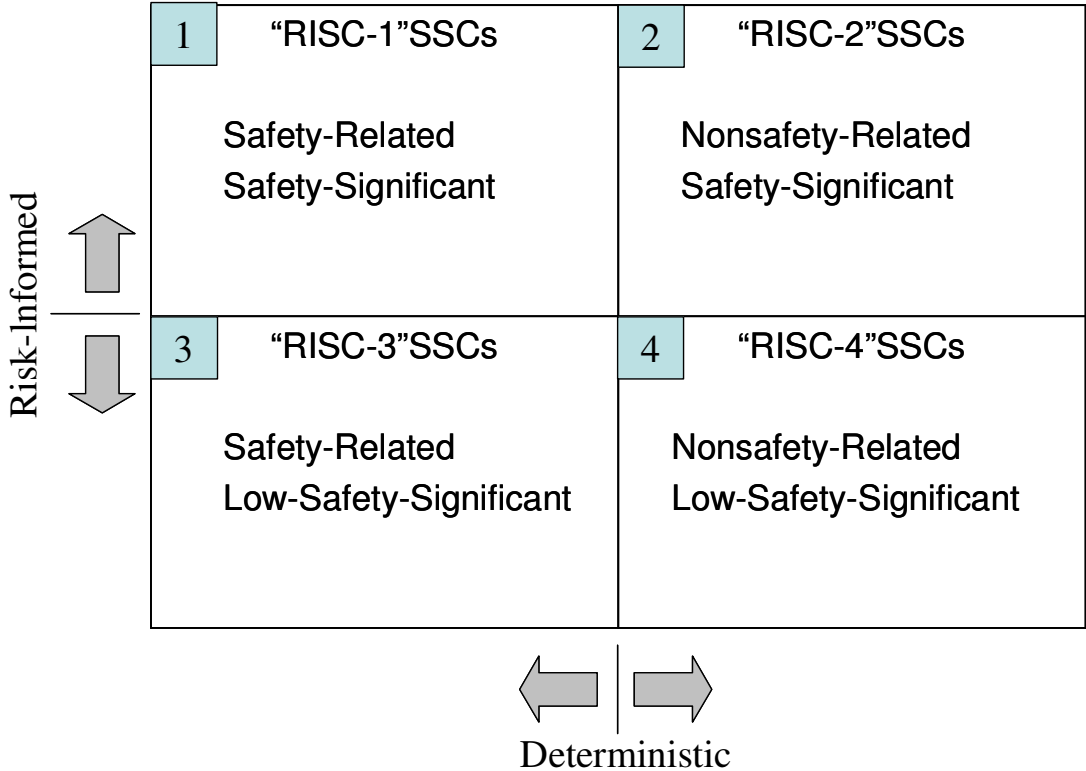


圖 4 美國的檢查重要度分類

日本有一些進行概率論安全評估的專家還是以老套的 1.23×10^{-4} 等來計算，並奉為金科玉律，實際上概率論安全評估中並沒有這樣的精度。現在世界上有 442 部核能機組在運轉中，原子爐的數據也只有這種「位數」(Order) 的數量。如果說日光燈的壽命，世界上或許有數十億的數據，絕對數量與原子爐完全不同。

也就是說概率論安全評估並不是用絕對值，而不過是以相對值來比較，是一種加深理解的手段。

去年過世的前任原子力安全委員會內田秀雄委員長有這樣的說法：「核能在設計、製造、興建、運轉、管理上要確保安全對策，但是在應用鉅大技術時，無法否定其不確定性，也因為如此，核電廠才進行概率論安全評估。但是這和買彩卷的中獎概率，或是車禍死亡人數統計具有完全不同的意義。如果買下所有的彩卷，則一定會中獎，但是發生核子事故的概率並非實際發生事故的概率，而是意味著“不會發生事故的不確定性”。假設發生重大事故時，重要的是運用所有的手段，將輻射的影響降到最低」。

這實在是至理名言，概率論安全評估就是應該像這樣來利用。

飛機和核電廠的風險

因為談到風險問題，所以在此想說明一下飛機和核電廠的風險。

筆者曾出席東京大學岩田教授所主辦的異文化交流委員會，此委員會也有航空工學與醫學部的一些教授參加。有一位航空工學的教授曾經說過：「核電廠如果發生什麼狀況，只要把它停下來就可以，所以比較輕鬆，飛機如果發生什麼狀況，則不能把噴射引擎關掉、讓它停下來，如果不一直運轉到降落為止，那麼飛機就會墜落」。筆者今年過年後，曾經從美國大富豪別墅櫛比鱗次的佛羅里達一路到紐約等地，返國後又立刻出差到瑞典、瑞士、巴黎，以前也不太會想到飛機的風險之類的事，航空學教授的話相當微妙，頗令人信服。

筆者曾聽聞巨無霸噴射客機的 4 個引擎中即使 3 個停下來也沒有問題，搭乘飛機次數相當頻繁，也很少感覺不安，核電廠的系統確實是在發生狀況時可以立即停下來，此一部份顯現出風險較低。

有關前述的地震也是一樣，因為大地震也會發生在有活斷層的地方，神戶地震時高速公路崩塌的地方也是斷層地帶。另一方面，核電廠不像高速公路那麼長，其廠址是選擇避開活斷層的地方，核電廠是點，高速公路則是線，會在某個地方有活斷層橫切而過，正如同松本清張的小說中所謂點與線的不同。

「屋簷下力士」的重要性

最近日本傲人的超優良企業發生狀況，舉世聞名的公司電池發生問題、汽車輪胎脫落問題、瓦斯沸水器、鐵路的事故、鐵路故障的復原大幅遲延、汽機的事故、數據的篡改等等，從眾多人命喪失的問題，以至於喪失信賴的問題，發生了各式各樣的狀況。

日本從很早以前就有屋簷下的力士這樣的說法，其中最具代表性的就是那些不顯

眼、默默工作的行家，不管什麼樣的職場都有這樣的人存在，現在這些難以被取代的無名英雄反而首先成為被資遣的對象，不得不引退。

例如機械的內部中有些地方的螺絲絕對無法換新，所以在這種製品到達壽命期限之前必須一直維持其功能，有的工匠就是在製作這種螺絲。暫且轉移話題，職業棒球界的松坂投手在美國大聯盟以 6 年 60 億日圓簽下合約，贏得喝采。松坂具有這種能力，雖然值得評價，但日本得以技術天國君臨世界應歸功於職場上這些無名英雄，亦即上述盡其生命於 1 支螺絲的工匠，這就是所謂屋簷下的力士，筆者確信這些人即使無法像松坂投手那樣，也應該得到評價。

對這些使日本得以富強的人們，我們的感謝實在不夠，筆者認為這就是優良企業也會發生各種狀況的原因所在。

再度認識我國的傳統文化

不只是上述螺絲的行家，日本存在著非常多的屋簷下的力士，其中令筆者感動的就是汽機平衡的名人。核電廠的汽機長度約 30 公尺，以葉片帶動旋轉，因為不能有振動，所以要檢查重量是否偏移，3 個汽機連接在一起就大約有 100 公尺長，各個汽機雖已分別取得平衡，但 3 個汽機連在一起就令人不可思議地發生振動。執行汽機平衡作業的人注視此問題，在某些地方加上小的配重，振動就停止下來，這實在是天才的技能。

去年，觀看過有很多女性粉絲的湯姆克魯茲主演的電影「末代武士」(The Last Samurai)，深受感動。聽說湯姆克魯茲看了新渡戶稻造所寫的武士道後大為感動，才製作這部電影。主人公的武士磨鍊技能，致力於集團的和諧與協調，奮戰不已，這是描述最後武士的電影。

日本具有被稱呼為名人的專家，而且以很好的團隊合作 (Team Work) 製作產品問世。現在美國有其不好的一面，就好像用刀切割羊羹般，變成一種所謂的縱切世界，也就是旁人在作什麼都不聞不問的世界。

再度重複先前所述，像核能這種鉅大的系統，超級專家、以及具有廣泛的綜合技術能力與平衡感的專家是非常重要的。

納入日本文化 集結世界最新技術

此次稍微改變主題，述說核能方面人的問題。

如同抑制振動就會發生熱的問題，如果只是單獨看一個現象，往往在此一現象改善之後，反而造成很多其他現象變得不好。核電廠內含有鉅大能源，在操作處理上應該格外慎重。

另外，除了提升專業能力以外，重要的是同時也要增廣領域、擴張視野，世界上的核能正在大幅進步、變革中，被稱為核能復興（Renaissance）的時代。因此，確實檢討世界的技術動向，並導入科學的、合理的東西，這是非常重要的。另一方面，也要把日本優良的傳統及文化保存下來，創造出世界上最佳的技術。

最近有些人主張把博士的名稱改為狹士，具有實力的博士雖然可以稱之為 Hiroshi（見多識廣之士），但最近的博士，其專業領域相當狹隘，稱之為狹士確實相當貼切。其實重要的是不只是博士、所有核能有關人士除了各自提升其專業以外，也要放眼於廣大的世界。