

指向核能復興之羅盤

法國正逢核能文化大革命高潮

停止泵浦等不必要的分解檢查

作者：IAEA, NEA ISOE 委員會副主席[下一任(第七任)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 2006 年 4 月 ENERGY 雜誌

在上一期的文章中談到 2006 年初赴芬蘭考察，芬蘭核電廠在 7 天內完成燃料更換、創新世界紀錄。後來繼續赴巴黎，故此次特別介紹法國核能的最新訊息，深感也應該向法國學習。

核能官署升格為直屬總統

擔任 21 人考察團的團長，拜會法國核能安全暨輻射防護總局(DGSNR) Lacoste 總局長，不巧正在部長室參加緊急會議。會議結束後，Lacoste 總局長接見我們時很高興地談到：「席拉克總統在電視上談到核能官署要像美國 NRC 那樣，作為直屬總統的機關，使組織系統單純化，加速決策。因為沒有事先告知部長，忽然引爆此一發言，所以每天為了此事而手忙腳亂」。目前的 DGSNR 組織相當複雜，屬環境部、產業部、厚生部等 3 部管轄，所以想要像美國那樣，使組織單純化，最近世界核能界已經有所躍動，法國也正逢改革的高潮。

法國核能發電占全部電力的 80%

法國電力公司 (EDF) 2004 年的電源比率如圖 1 所示。

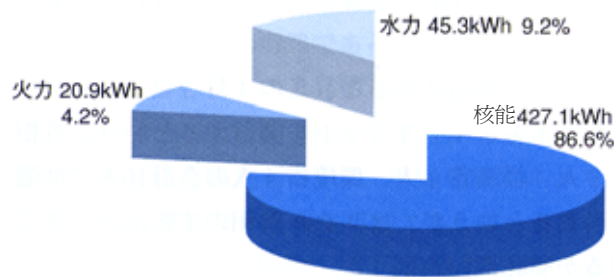


圖 1 法國的電源比率

核能為 86.6%，火力 4.2%，水力 9.2%。目前法國有 19 個核電廠、58 部機組，2004 年的發電量中，核能約 80% (78.3%)，與日本約 30% 相比，簡直宛若雲泥。法國因為核能發電比率極高，所以無法避免負載追隨運轉，實際上有 48 部機組以此方式運轉，剩下的 10 部機組和日本一樣，都是作為基載運轉。

法國核電廠的容量因素數年來維持在高水準，2004 年為 83.4%，據說 2008 年的目標是 85%，像這種朝向目標挑戰的雄心壯志，日本在以前也有類似的努力，現在卻只有羨慕不已。

筆者以前對負載追隨運轉的機組如何計算容量因素懷有疑問，此次詢問之後，其回答相當明確。負載追隨運轉中的容量因素當然是 100%，即使是兩天左右的零出力，因在熱待機下，反應爐也在運轉中，所以容量因素也視為 100%。但是，如果反應爐停止運轉，容量因素當然就是 0%，這是適當的計算方法，頗能令人信服。無論如何，法國與日本同樣是沒有石油等的資源小國，將核能作為國產的能源資源，其定位相當明確。

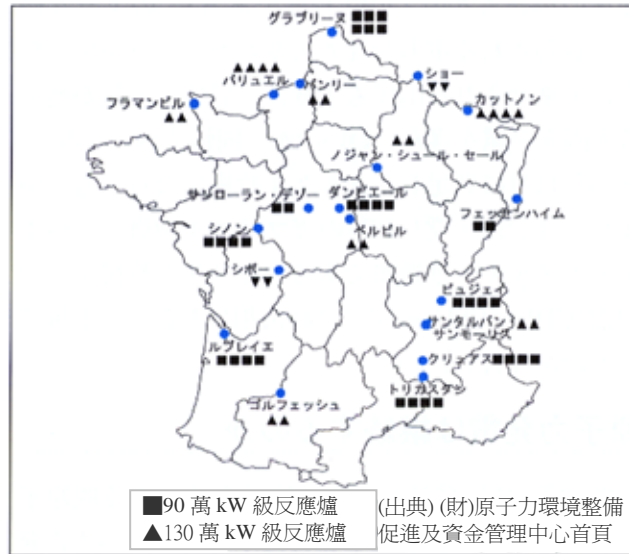


圖 2 法國的核電廠（58 部機）

停止泵浦等不必要的分解檢查

在上一期的文章中介紹芬蘭徹底執行狀態監視維護，像泵浦類的迴轉機上裝置溫度計、振動計、油分析裝置等，進行狀態監視維護。對於日本執行分解檢查，強調「如果分解檢查，作業員遭受不必要的輻射曝露，有時候還造成軸承裝反、卷尺掉落等事件，可能反而導致振動變大。泵浦等在壞掉之前一定可以從振動及聲音查覺，所以基本上是 If it works, do not touch it.（不要去碰正常動作的設備組件）」。

法國也完全一樣，就以緊急爐心冷卻泵浦為例，設置此泵是為預防萬一，使爐心不致於熔毀，在電廠壽命期間，大概不會作動。但是萬一該運轉時卻起動不了則相當棘手，所以每個月測試一次。日本也一樣，每個月測試 1 次，運轉 2 小時左右，如此算來，1 年共運轉 24 小時，再加上餘裕，假設運轉 50 小時，則 10 年運轉 500 小時，500 小時為 21 天，現在此種泵浦每 10 年分解檢查一次。

不只是核能電廠，現今泵浦在一般工廠連續運轉 1 年已是理所當然，

運轉 21 天就分解檢查的大概只有這種緊急爐心冷卻泵浦。法國決定停止此作法，據說費了 5 年的時間才獲得管制當局的同意，聽說也有很多人認為泵浦沒有必要在 10 年間就執行 1 次分解檢查。1 部核能機組中這類的泵浦有將近 100 台，法國有 58 部機組在運轉，總共近 5000 台，這就是很大的改進。另外，與時常分解檢查不同，進行狀態監視維護就可以知道其狀況，設備的性能、特性也易於了解，更新的週期也可事先預測。

據說法國將此視為核能界的文化大革命，筆者在此想大聲疾呼，狀態監視維護才是確保終極安全的途徑，在此羅盤系列文章中已寫了好幾次，這是筆者一貫的主張，也是派遣調查團到芬蘭、法國考察的最大目的，全體團員均深表同感、大家意見一致，實在值得慶幸。

法國的核能管制

法國核能管制的法令體系由以下 4 個位階所構成。

- (1) 法律（國會制定）
- (2) 法令等（政令、部會指令、通令）
- (3) 選擇性通函（Option Letter）（管制當局之指引）
- (4) 規格基準（產業界作成）

設置反應爐的相關基本事項依 1963 年的政令規定，依據此法令，管制當局可隨時赴核電廠視察，每 10 年執行 1 次的審查實際上也是大規模的視察，其重點在評估是否符合規格，指引是否需要改善。特別是第 3 次的 10 年評估，必須從老化的觀點，詳細追根究底，有時候還將運轉期間縮短。也就是說，安全的核電廠在 40 年以後還可以運轉，不好的電廠則不允許往後 10 年的運轉，也有可能只能運轉 40 年。法國與日本一樣，核電廠在取

得運轉許可時，並無設計壽命的規定，所以每 10 年檢查是否符合所有規定條件，以此方式來確保運轉安全。

核能問題原則公開

核能問題（譯者註：日文原文為英文外來語之 Trouble，也就是核電廠大大小小的“麻煩”，譯者在此暫譯“問題”，有時在其他情況下譯為“故障”，實難一概而論）即使是小問題也原則上公開，所以 2004 年才高達 650 件，其中核能安全有關者 461 件。2005 年為 755 件，核能安全有關者增至 574 件，但是，重點是“不是大問題”，顯見其貫徹“小問題也全部公開”的原則。

分析這些問題的原因，核能安全有關問題的 18% 為設備組件問題，70% 為組織、人因問題。但是，不管是否安全有關，組織、人因問題均逐漸攀高。

另一方面，反映運轉經驗的過程分成以下 4 個階段：

- (1) 即時因應：由各地方組織因應，將其作成資料庫並作一般性公開。
- (2) 定期會議時審查：重大問題、各電廠或各機組共通問題等，每 3 個月與電力公司召開一次會議。
- (3) 運轉經驗評估：每 3 年訂定主題，進行評估作業。
- (4) 每 10 年訪查核電廠：核電廠每 10 年檢查時，確認是否進行改善。

科學而合理的 3 類別定期大修檢查

法國的定期大修檢查有 ASR、VP、VD 等 3 種類別。ASP 是在只更換燃料的停機期間，在此期間內可以檢查的才檢查，通常為 25~30 天（約 1 個月）。VP 是更換燃料、進行必要的維護保養，通常為 50~60 天（約 2 個

月)，這是每隔 1 個燃料循環輪流進行。法國的燃料循環依爐型而定，有 12 個月和 18 個月 2 種循環。每 10 年的 VD 則是大規模檢查，大約進行 120 天（4 個月），不但詳細檢查，同時也事先計畫在此期間進行較大規模的改善工程。特別是第 3 次 10 年檢查時，從老化的觀點徹底檢查，如前述，依此結果決定以後的運轉期間。

圖 3 為今後 10 年間 3 種類別定期大修檢查的計畫表，像這樣訂定以 10 年為單位的大計畫，以及 3 年、1 年的詳細計畫，並以這種方式來管理。

此次訪問時，看到這種定期檢查的追蹤表單 (Follow Sheet)，共 17 頁，也就是所謂的查核表 (Check Sheet)，每次 3 種類別檢查時均註明檢查項目。法國人很有自信地說明就是因為這種有效率的檢查，管制單位與電力公司以共同的工具 (Tool) 來管理，就可以排除管制官員個人的不同見解或主觀性。訪問團成員均深表感佩，全員都認為應該學習這種既科學又合理的方法。

Sites	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
900 Mwe									
BLA		ECS	EGS-W		ECS-New	EGS		ECS-New	PR
BUG	ECS/VS		ECS-New	EGS		ECS-New	PR		PO
CHI		PO	OS	ECS-New	PR	EGS		ECS-New	
CRU	ECS/VS		PO	OS	ECS-New		EGS		ECS-New
DAM	ECS		EGS		ECS-New		EGS-W		ECS-New
FES	EGS	ECS New			EGS-W		ECS-New	PO	OS
GRA	ECS	EGS		PR		ECS-New	PO	OS	ECS-New
SLA	PO	OS	ECS-New		EGS-W		ECS-New		EGS
TRI		ECS/VS		EGS		PR		EGS	
1300 Mwe									
BEL	ECS/VS	ECS		EGS		PR		EGS	
CAT	ECS	EGS		ECS-New		PO	OS	ECS-New	
CHO	EGS	ECS/VS		PO	OS	ECS-New		EGS	
CIV	EGS-W	ECS/VS		ECS-New		EGS		PR	
FLA	ECS/VS	EGS		ECS-New	EGS		PR		EGS
GOL	PR		EGS		ECS-New		EGS-W		ECS-New
NOG	EGS	PR			EGS		ECS-New	PR	
PAL	PR	ECS New	EGS			EGS		ECS-New	
PEN	ECS			EGS-W		ECS New	EGS		ECS-New
SAL	ECS/VS	PR	ECS-New		PO	OS	ECS-New		EGS
Corporate Units									
CAPE		EGS					EGS		
UNIPE			EGS					EGS	
UTO	EGS					EGS			
Type of Evaluation									
EGS	5	4	5	4	4	5	5	4	3
PO	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PR	2	1	0	1	1	2	2	2	1
EGS et VS	9	5							
ECS New		2	3	4	4	4	3	4	5

OS:OSan/PO:Ph. Osa/PR:Peer Review

圖 3 法國核電廠大修定期檢查 10 年計畫

降低曝露劑量就有津貼

圖 4 為法國每部機組作業員曝露劑量的演變，曲線朝右側降低，可知年年改善。法國對日本 1980 年代的好成績和盡心努力的精神感到驚訝，又受到 EU（歐盟）的指令，所以核能安全暨輻射防護總局（DGSNR）宣示：「輻射防護與核能安全同等重要」，法國電力公司（EDF）董事長因此揭示口號：「除了核能安全以外，也應該努力降低集體與個人曝露劑量」，並要求在其年報中除了事故以外，也有義務就降低劑量提出報告。依據對降低劑量的貢獻度來核定津貼，降低劑量的成效因此顯現出來，1991 年為 2.4 年-西弗，2004 年為 0.8 年-西弗，降到原來的 3 分之 1。若與日本比較，法國在 1997 年超越日本，此後一直擴大差距，現在成績非常好，只有日本的一半。

法國也致力於降低核電廠的工安事件（勞動災害），圖 5 顯示世界與法國 EDF 每年勞動災害次數的演變，EDF 的成績雖比世界平均值好，但是承包商的勞動災害發生頻率較高，故認為仍有改善的空間，像這樣的指標是非常重要的。

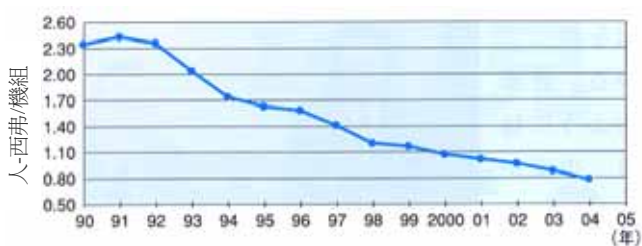


圖 4 法國降低曝露劑量實績



圖 5 勞動災害次數的演變

西歐核能管制協會 (WENRA)

西歐核能管制協會 WENRA (Western European Nuclear Regulation's Association) 的會員國如圖 6 所示，其主旨可說是西歐各國有關核能管制的協商活動，並非對各國的管制加以統一，因西歐各國各擁有其各式各樣的爐型，並不存在共通的安全尺度。因此，WENRA 至少在各會員國之間維持對安全的共同認知，共享安全文化。即使只是反應爐系統，在其每一個安全領域仍存在不少安全問題，依其重要度加以區別選擇，以建立共通的參考基準 (Reference Level) 為目標，現在仍持續進行作業中。

當然法國是會員國中的最先進國家，故以會員國的身份、以指導的立場進行活動，在接觸到各會員國的不同文化後，很意外地發現到有些極佳的理念 (Idea) 也可適用於法國，DGSNR 已把 WENRA 的成果納入其安全管制作為中。



圖 6 西歐核能管制協會會員國

聽說即使是西歐，安全文化仍有相當大的差異，對核能安全而言，國際性的規則 (Rule) 是不可或缺的。亞洲也應該要有這樣的活動，在各個不同的區域相互協商，以 IAEA 為中心，使安全有關的國際標準能夠實際發揮功能，這是非常重要的。

學習優雅法國人的核能文化大革命

去年 (2005 年) 10 月，法國管制當局的 Lacoste 總局長來日本時，話題觸及「東京的汐留已有與巴黎並駕齊驅的好吃的法國料理餐廳」，因此有

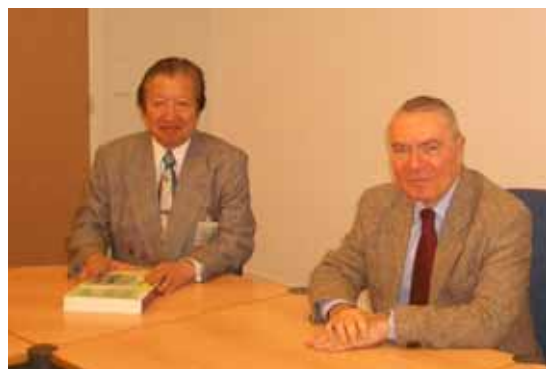
機會享受了絕佳的法國料理。此次訪問巴黎 DGSNR 本部，拜會 Lacoste 總局長，因為席拉克總統重視核能的政策，欲將核能官署改組為直接在總統之下的組織，Lacoste 總局長雖在百忙之中，仍能優閒地傾聽他談笑風生。

「日本運轉中的 54 部機加上法國的 58 部機合計 112 部機，比美國的 103 部機還多，占世界核電的 4 分之 1，雙方務必互相合作，引領世界。我認為日本風格比美國更具魅力，希望能一起動作」，又談到「法國和日本都是資源小國，核能才是救世主，科學的管制和安全運轉對兩國都很重要」。

法國人個子小而優雅（Chic），總感覺對日本人而言具有超人氣，此次住宿在離香榭麗榭大道很近的好旅館。香榭麗榭大道仍如往常一樣展現出典雅的裝飾，雖然聖誕節已過去，但最近每年節日過後拆卸裝飾物愈來愈晚，甚至 1 月份仍可觀賞到這種美景。從去年開始，改成以白色系列裝飾為主，與藍色二極體光相互輝映，呈現出巴黎的特殊風情。

法國的核電占全部電力的 80%，與日本同屬資源小國，但自信心十足，也與日本一樣，油輪每天從中東運來石油，價格與安全性都不穩定，除了國產能源的核電以外，並無其他穩定供電之途。美國布希總統也曾明確訴說此問題，芬蘭也顯現出遵守京都議定書除了核能以外，別無他途，這個世界正大幅轉向（Gear Change）核能。

日本絕不能落於人後，現在正是與相同處境的法國一起大聲疾呼、宣揚核能的時代。



Lacoste 總局長與筆者