

指向核能復興之羅盤

向核能發電比率占 8 成的法國學習什麼

資源小國的能源政策

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 2005 年 11 月 ENERGY 雜誌

為何核能發電占極高比率

此次有機會到巴黎出差，展望法國的核能發電，嘗試將其作為指引方向的羅盤。法國的核能發電大約占總發電量的 8 成(2004 年實績為 78.3%)，是世界上比率最高的國家，目前有 58 部輕水爐在運轉中，是機組數量僅次於美國的核能發電大國，另外，有名的 La Hague 等核燃料循環，是世界上運轉規模最大的設施。

圖 1 顯示法國核能電廠分布圖，19 個核電廠中設置 58 部壓水式輕水爐(PWR)，全部由法國電力公司(EDF)運轉。因此，EDF 也是世界上最大的核



圖 1 法國核能電廠分布圖

能發電事業者。另外，快滋生式反應爐的原型爐 Phoenix 與水池型研究用反應爐則由法國原子能委員會(CEA)運轉。

圖 2 顯示 2004 年度日本與法國之比較，法國有 58 部核電機組，日本為 53 部，法國的機組數量雖然只有日本的 1.1 倍，但法國核能發電裝置

容量為 6579 萬 kW，日本為 4712 萬，法國為日本的 1.4 倍，法國的核能總發電量為 4482 億度(kWh)，日本為 2824 億度，法國為日本的 1.6 倍。

國名	法國 (曆年:2004.1.1~2004.12.31)	日本 (預算年度:2004.4.1~2005.3.31)
機組數	58	53
裝置容量	6579.2 萬 kW	4712.2 萬 kW
核能發電占總發電量比率	78.3%	29.1%
總發電量	5772 億 kWh	9705 億 kWh
核能發電量	4482 億 kWh	2824 億 kWh
參考：人口	5.98(千萬人)*	12.71(千萬人)*

*：IAEA/Country Nuclear Power Profiles-2003 Edition

圖 2 日本與法國之核能電廠

另外，包括核能發電在內的總發電量，法國為 5772 億度，日本為 9705 億度，日本反而是法國的 1.7 倍，這是因為人口的差異，法國人口為 6000 萬人(正確而言為 5980 萬人)，日本為 1.3 億人(正確而言為 1.27 億人)，日本人口為法國的兩倍以上，總發電量為 1.7 倍，這表示日本的每人電力消費量較少。

日本的總發電量雖然是法國的 1.7 倍，但法國的核能發電量則為日本的 1.6 倍，因此，法國在去年(2004 年)的核能發電量大約占總發電量的 8 成，日本則約 3 成(正確而言為 29.1%)。法國雖然有各種金屬的大規模礦床，但石油等石化燃料資源則和我國(日本)一樣，可以說是幾乎沒有，因此以核能發電為主力，並作為國策。

由火力轉換為核能

圖 3 顯示法國從 1970 年以後總發電量構成比率之演變，此圖相當有趣，1970 年火力比率最大，其次為水力，核能從 1980 年代前半開始急速增

加，超越水力與火力，1990 年代也是維持一路增加，很明顯的是火力在 1980 年代一直減少，核能的比率也因此達到大約 8 成。

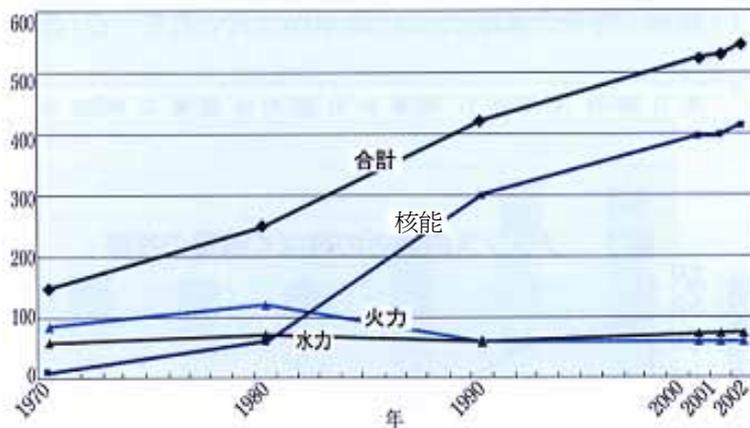


圖 3 法國總發電量構成比率之演變

圖 4 顯示發電裝置容量比率之演變，由此圖亦可看到與上述總發電量相同的傾向，1970 年代火力最大，其次為水力，1980 年代前半核能急速增加，1990 年代核能電廠的興建緩慢下來，1980 年代火力明顯降低，由此圖可以解讀法國的國家能源戰略。

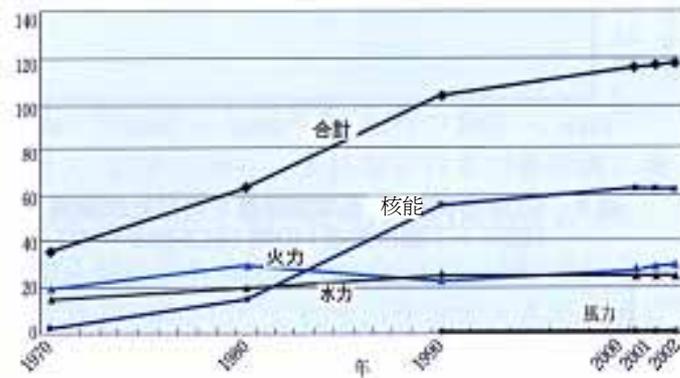


圖 4 法國發電裝置容量比率之演變

降載運轉 容量因素仍高

如圖 5 所示，法國的容量因素並不算高，這是因為前述核能發電大約佔總發電量的 8 成，並輸出電力至鄰近諸國，無法經常滿載運轉，所以才降載運轉。

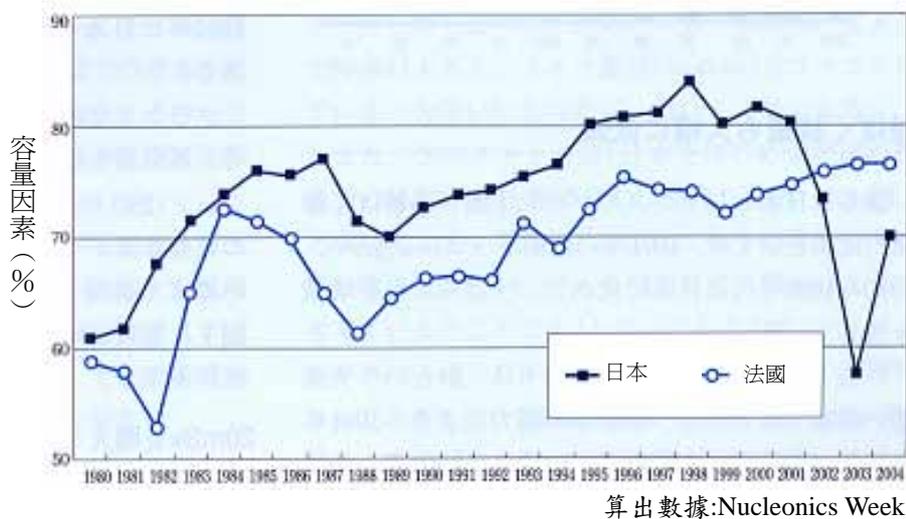


圖 5 日本與法國容量因素之演變

即使在這樣的環境條件之下，最近也慢慢改善，容量因素接近 80%，比我國最近的成績還好。

曝露劑量也大幅降低

圖 6 顯示日本與法國每部機組曝露劑量之比較，法國除了 1976 年初期發生一些狀況以外，1970~1980 年代的成績比日本更加優良。另一方面，我國以前每部機組為 6 人-西弗，成績相當差，後來經過產官學界的共同努力，1991 年降低到 4 分之 1，也就是 1.5 人-西弗，1992 年獲得世界最低曝露劑量的金牌。這是因為當時通產省執行第 2 次改良標準化，由於電力公司與廠家的努力，開發出日本型的反應爐圍阻體，在此之前一直抄襲美國的設計，後來才完成日本型輕水爐，將曝露劑量大幅降低。美國型的圍阻體相當狹窄，爐心周圍輻射線最高的區域，其作業極為困難，因此日本在此區域採用較為寬廣的空間，作業效率大幅改善，再加上水質的改善等，終能獲取金牌，這種日本型反應爐圍阻體的形狀是筆者所設計，雖然是老王賣瓜，但這也是令筆者引以為傲之事。

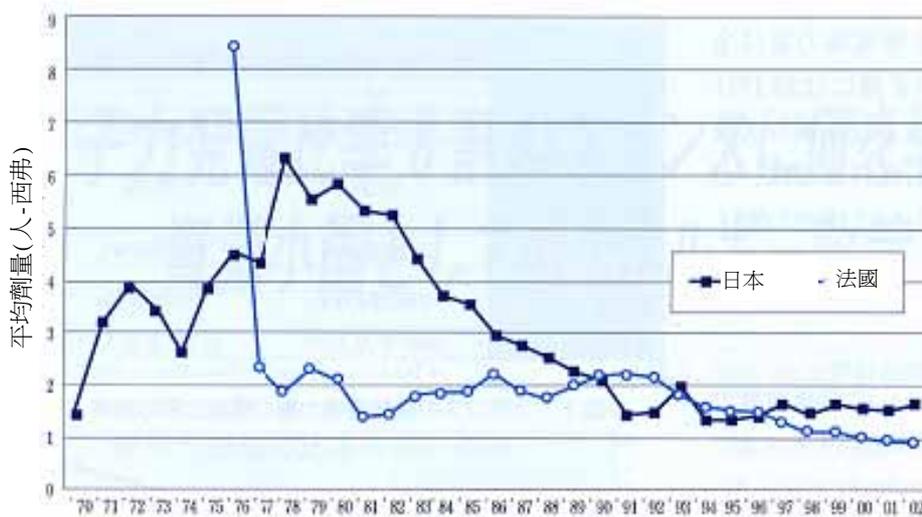


圖 6 日本與法國每部機組曝露劑量之演變

當時是日本的顛峰時期，亦即所謂 Japan As No. 1，但是在獲得金牌以後變得自大大自滿。法國則對日本的努力感到震驚，同時 EU 也有所指示，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」，因此法國電力公司(EDF)董事長提出口號：「除了核能安全以外，應該努力降低集體及個人曝露劑量」，並要求在年報中除了事故以外，也課以加入降低曝露劑量報告的義務。另外，對降低曝露的貢獻程度亦納入核定津貼(Bonus)的標準之內，降低曝露的效果因而顯現，1997 年超越日本，此後持續擴大差距。

法國在分析高曝露劑量作業後發現，劑量最高者為蒸汽生器傳熱管的營運期間檢查(ISI)，其次為一次側管路隔離閥之檢查，因此對這些作業徹底執行降低曝露劑量，加以改善。圖 7 為最近 10 年間法國降低曝露劑量之演變。

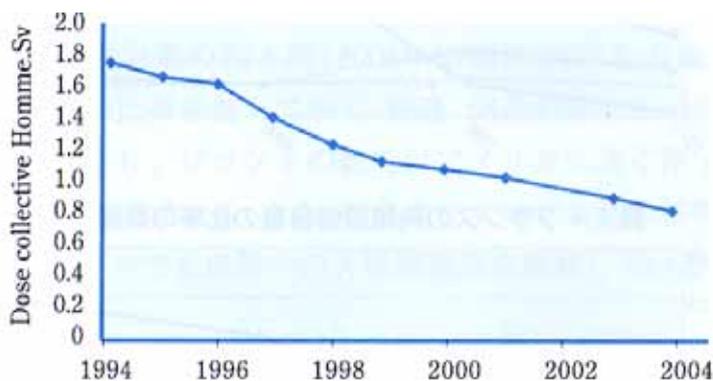


圖 7 法國近年曝露劑量之演變

超過 20mSv 之作業員人數劇減

圖 8 顯示最近 10 年間年劑量超過 20mSv 的作業員人數，由此圖可知，從 1994 年的 766 人開始持續劇減，最近則為 0。

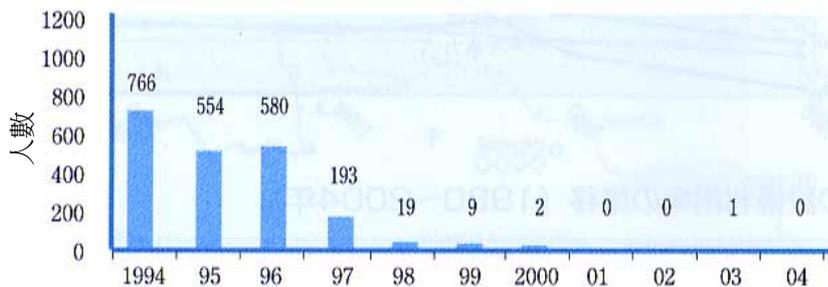


圖 8 年劑量超過 20mSv 之作業員(EDF+包商)人數(EDF 數據)

圖 9 顯示從事反應爐維護保養作業員依類別之平均個人曝露劑量演變，劑量最高者為最左邊的拆卸保溫材料等之 ISI，其他作業從 1999 年起至 2004 年也有減少的趨勢，由此可知在降低劑量方面的努力成果。

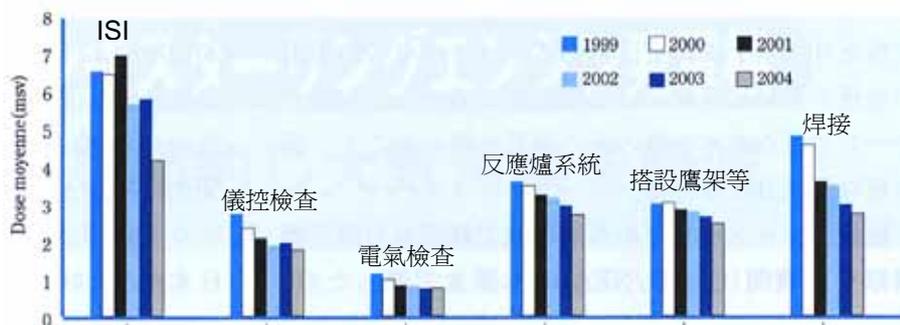


圖 9 反應爐維護保養作業員依類別之平均個人劑量之演變(EDF 數據)

比外國更嚴格的事務評估

圖 10 顯示法國的事件數量之演變，INES 雖是國際事故評估尺度，但由各國自行設定其基準，各國狀況略有不同。法國在評估 INES 尺度方面比日本等各國更為嚴格，就 1999 年至 2004 年間事件之演變而言，1999 年為 55 部機組，2000 年為 57 部，2002 年則增加到 59 部，過去 3 年 INES 尺度

為 2 級者各有 1 件，由此可知未曾發生重大事故。

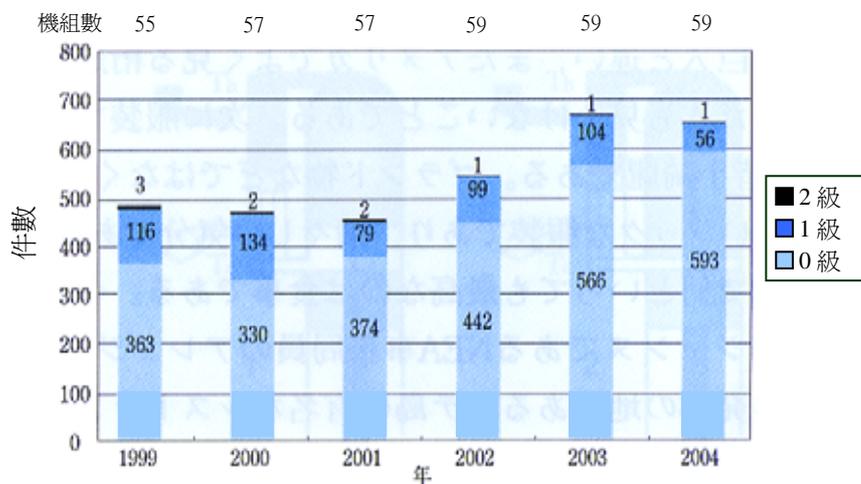


圖 10 法國每年 INES 事件數量之演變

資源小國的能源政策

這一次到巴黎出差期間，當地的電視也常常出現小泉首相，這是筆者初次經驗，原是為了報導日本與德國之比較，此次兩國選舉的結果，德國的政權完全陷入混沌狀態。另一方面，小泉政權則成為超安定政權，日德兩國狀況逆轉，法國電視頻繁報導這些消息。

這一次也和法國核能管制最高層級的核能安全暨輻射防護總局 (DGSNR) 的 Lacoste 總局長會面，這是今年(2005 年)3 月接受美國 NRC Diaz 主席在 NRC 總部頂樓招待，在那裡與 Lacoste 總局長碰面以來，再度有機會與他詳談。

偶而談及法語的話題，筆者提及「席拉克總統曾說過日語與法語像詩那樣的腔調相當類似」，Lacoste 總局長立即說明：「正如您所說的，總統以前搭乘日本的新幹線時曾睡著，醒來時車內播放廣播，那種語調感覺非常舒適，聽說就此非常喜歡」。Lacoste 總局長感覺日語就像「。。。」的小圈圈，有令人愉悅的語調，法語則為「○○○」的較大圈圈，令人感覺寬廣舒暢，英語為「□□□」似的抑揚頓挫較大，德語為「△△△」，感覺有

些生硬，談及此處，不禁開懷大笑，說來實在微妙。

另外，Lacote 總局長也感嘆「日本等主要國家的核能管制負責人時常換人，令人傷腦筋」。當我談到「您作為最高負責人也快 10 年了」時，笑著答以「即將引退，正在考慮以後要做什麼」。

法國與日本一樣沒有石化燃料，以核能發電作為能源的根源，並以此為國策，由於有他那樣秉持信念的司令官，才會採取這樣的國家政策吧。

巴黎喜歡日本人 巴黎女性喜歡日本料理

此次相隔 10 個月再度造訪巴黎，正值中秋明月時節，月光照射在旅館旁歌劇院的金色屋頂，令人印象深刻。想起以前在維也納看到歌劇院座席上的圓月，令人有一種滿足感。

每天從香榭麗榭搭乘地下鐵到經濟合作發展組織核能署(OECD/NEA)，乘坐地下鐵感覺相當舒適，思考其原因如下。

首先是體型，巴黎女性較嬌小，與日本人體型大致相同，與北歐動輒近 200 公分身高的巨人不同，也看不到美國常見的超級胖子。其次是服裝，可說是小而美，並不是什麼名牌，而是具有巴黎風格的既瀟灑又時髦的服裝，令人感覺舒暢。

巴黎最令人稱道的還是食物，這一次由一位巴黎女性的 NEA 秘書人員安排到巴黎發祥地的塞德(Cite)島有名的餐廳，以生鮭魚蔬菜為主，有很多日本人喜愛的料理。前些時候在選舉 2012 年奧運主辦城市時，在確定巴黎落敗而由倫敦勝出時，席拉克總統洩憤說出：「食物不好吃的英國、美國等文化程度低」，也因此發言而遭到物議。席拉克總統到筆者常去的天婦羅餐廳，非常喜歡日本料理，大概是想說法國和日本都是有文化的國家。

一位巴黎女性推薦筆者：「現在日本料理大流行，歌劇院內側的道路已

被壽司和拉麵店佔領，值得一看」。看了之後，令人萬分驚訝，在拉麵店前的路上，巴黎女性大排長龍，這是香榭麗榭等地絕對看不到的光景。

走進店裡一看，老闆是日本人，店員有中國人、黑人，因此中文、英文、混雜著怪裡怪氣的日文，有一種異樣的氣氛，客人有很多是巴黎的女性，真是奇妙的體驗。