

# 指向核能復興之羅盤

## 各國努力降低輻射曝露

### 核能潔淨化會議（ISOE）報導

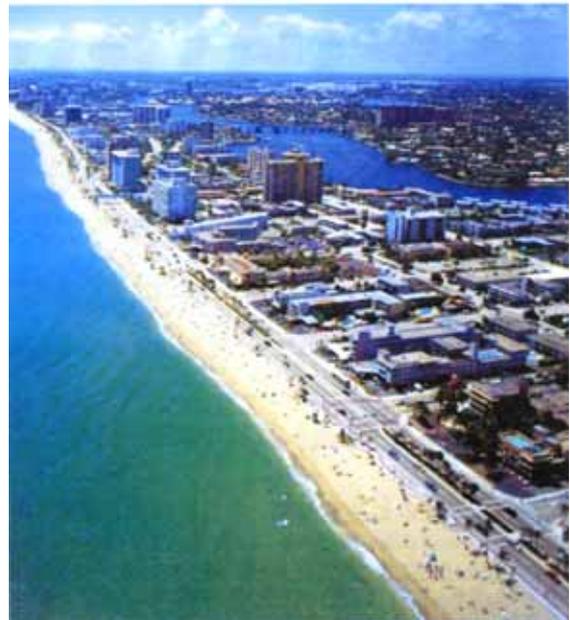
作者：ISOE 副主席（下一任主席） 水町涉

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 4 月 ENERGY 雜誌

### 大富豪的城鎮 佛羅里達的勞德岱堡

在美國佛羅里達州的邁阿密海灘北側有一個相當有名的城鎮，叫做勞德岱堡（Fort Lauderdale），被稱為「美國的威尼斯」，世界上大富豪的別墅櫛比鱗次，白色沙灘從邁阿密開始一直延續過去，沒有垃圾，實在相當美麗。無懼於 1 月的寒冬，有人游泳，也有人滑水，或由電動船拖拉著，翱翔於蔚藍天空中，實在是優雅的海岸（照片 1）。



照片 1 佛羅里達州大富豪之城  
勞德岱堡

很抱歉又談到老掉牙的事，這裡就是 1960 年代以在美國大賣座的電影「Where the Boys Are」而聞名的地方，尼爾西達卡（Neil Sedaka）和康妮法蘭西絲（Connie Francis）所唱的主題曲「Boy Hunt」也曾在日本造成大轟動，電影就是以這個城鎮為舞台，當時只是沼澤地，是短吻鱷（Alligator）棲息的地方。

在其北方的城鎮卡納維爾角（Cape Canaveral）已經改名為甘迺迪角，

成為發射太空船到宇宙的基地，也是令全世界矚目的地方。甘迺迪總統曾經宣告在 1960 年代將人類送上月球，在當時是極為冒險的壯舉，1969 年終於由阿姆斯壯（Armstrong）實現。我在前一年的 1968 年曾造訪甘迺迪角，當時美國南北意識上的差距相當大，南部堅定反對甘迺迪，也反對城鎮名稱隨意更改，我對他們仍然稱呼卡納維爾角相當驚訝，時至今日仍然如此。

另外，緊鄰的奧蘭多在日本也相當有名，那裡興建了廣大的迪斯尼樂園，也成為世界的度假聖地（Resort）。迪斯尼樂園大致是邊長 11 公里的正方形，也就是 1.2 億平方公尺的面積，有 5 個高爾夫球場，93 家休閒旅館（Resort Hotel），外國人通常停留該處一星期，在那裡優雅享樂。

這裡的南側就是邁阿密海灘，勞德岱堡就位於正中央，並轉變為世界上超高級大富豪的別墅之城，當時每 1 英畝（Acre）（4000 平方公尺）2000 美金（換算現在價格約 20 萬日圓），可說非常便宜，現在漲了 3 位數，差不多 2 億日圓左右，雖然曾因泡沫經濟而煩惱，但看到那樣的環境，如果和日本相比，實在是令人羨慕不已。

## 各國努力使核能潔淨化

在其大西洋的前方就是巴哈馬群島，我以前也曾到過巴哈馬最有名的天堂島（Paradise Island），這裡也是一點垃圾都沒有，實在是名符其實的極樂島。

職業曝露情報系統委員會（ISOE）由國際原子能總署（IAEA）與經濟合作發展組織（OECD）共同執行行政業務，2005 年在勞德岱堡舉行研討會，世界上 13 個國家約 200 人參加，圖 1 為此次研討會論文集的封面。在此“指向核能復興之羅盤”系列文章中，2005 年 1 月份曾刊載我被選舉為下一任主席，以及我在接受訪問時談及有關 ISOE 的內容。簡單來說，ISOE

就是將世界上核能電廠的輻射劑量降低，以核能潔淨化為目的而成立的委員會，也是一個在世界上 467 個核電機組配置連絡員的組織。此次研討會中，各國均就合理抑制輻射劑量（ALARA：As Low As Reasonably Achieved）的措施提出報告，同時也熱烈交換意見。

以下說明各國核能潔淨化情況，極端而言，除了日本以外，主要國家均盡全力

於核能的潔淨化，也就是降低核電廠的輻射劑量。在此所述的美國、法國、瑞典、加拿大等都有相同的認知：「核能不會釋放CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>，是乾淨的能源，一般人認為最危險的就是輻射問題，輻射線對一般民眾自不待言，對於在核電廠內工作的人員也不會發生影響，這就是核電的安全性」。

特別是法國，認為「核能之所以形象低落，就是因為每次事故時，工作人員穿著好像太空衣的異樣防護衣」，因此，「今後的目標為核電廠內一般的檢查將穿著普通服裝」，相當令人矚目。

日本在文殊電廠事故時，雖然不是輻射事故，但穿著異樣的防護衣執行檢查的景象，讓一般民眾更加深異常事態的印象。

## 美國 V. C. Summer 核電廠獲得 ISOE 獎

ISOE 委員會為了使各核電廠有潔淨化的動機，對於可看到明顯改善的核電廠頒發 ISOE 獎。另外在委員會中，依慣例選出該次會議中 3 位最佳演

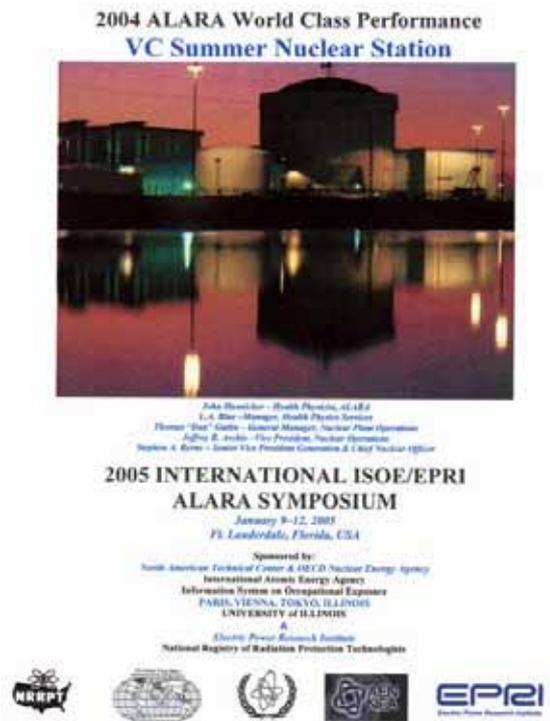


圖 1 2005 年 ISOE 核能潔淨化研討會論文集

講獎，並招待出席下次會議（於歐洲）。

這一次的 ISOE 獎由 V. C. Summer 核電廠獲得，此電廠曾被指責輻射劑量成績非常差，風評也不佳。經營者下令改善後，在美國 103 部核電機組中，大幅進步到排名前 25% 內。由圖 2 可知，2002 年時已改善到 2000 年的一半以下。若與 1996 年比較，則改善到 6 分之 1 以下，2003 年稍微高一點，那是因為進行反應爐頂蓋更換作業，即使如此，劑量值仍相當低。

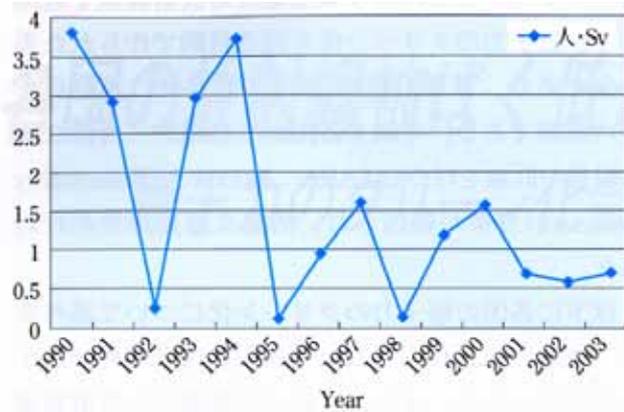


圖 2 V. C. Summer 核電廠劑量降低趨勢

V. C. Summer 核電廠屬南卡羅萊納電力公司所有，該公司副總經理在答謝致詞時宣告：「到 2009 年為止的 5 年計畫中，以進入美國的前 10 名為目標」。這正是我們 ISOE 委員會希望的事，美國各核電廠都在拼命努力。

V. C. Summer 核電廠具體上做了什麼改善呢？該公司 ALARA 負責人說明如下：

### (1) 降低射源項 (Source Term)

更換燃料而停止運轉後，迅速將硼 (Boron) 注入反應爐壓力槽內 (即所謂 Early Boration)，讓附著於燃料的放射性浮游懸濁物 (Crud) 脫落，並吸附在混床式除礦器上。另外也注入過氧化氫，背景劑量率降低到 3 年前的 3 分之 1，努力降低主要來源的射源項。這些都是日本曾經執行過的技術，但經過嚴謹的分析後，其改善相當具有成效。

### (2) 教育全體作業員

核能電廠的潔淨化，不只是因應一般民眾的訴求，而且在另一種意義

上，對作業人員也是有好處（Merit），以這種方式教育作業員，引入激勵（Incentive）的制度。

### **(3)選任 ALARA 組長**

選任 ALARA 組長，揭示目標，除了澈底實行潔淨化以外，並訂定 5 年計畫，宣告 5 年後將排名提升到美國前 10 名以內。

### **(4)訂定 5 年計畫**

核能潔淨化 5 年計畫的目標相當具有雄心壯志，首先要低於美國全體的目標值（0.65 人-西弗），達到美國前 10 名以內。具體而言，更換燃料的年度低於 0.9 人-西弗，未更換燃料時低於 0.1 人-西弗，雖然只是目標，也是令人驚嘆之值。

## **法國引入 3 次元 CAD 模型**

1980 年代時法國的輻射劑量比日本、美國好很多，1990 年時因為日本的努力而被凌駕。後來採行 1991 年的 ICRP 建議和 1996 年的 EU 指令，宣示「政府認知輻射防護與安全具有同等的重要性」，因此在年報上除了核能安全以外，也必須加上降低曝露的報告。

### **(1)10 年之間減半**

法國自從被日本超越之後，10 年之間輻射曝露降低一半，從 1992 年的 4.5 毫西弗/人至 2004 年改善到 1.8 毫西弗/人。

### **(2)以 3 次元 CAD 模型嚴密檢討**

建置核能電廠的 3 次元 CAD 模型，輸入測定劑量的數據，事前嚴密檢討檢查作業等的最適化。

其中一個例子，安全注水系統的閥門更換作業，以前為 14 人-毫西弗，檢討後減半至 7 人-毫西弗。

在設計階段，日本是世界上最早採用 3 次元 CAD 模型的國家，但是幾乎沒有像這樣在檢討檢查、更換作業上全面性採用的例子。

### **(3)作為核定津貼的項目**

法國電力當局的最高負責人在核定工作人員津貼的項目中，除了發電、安全、保防（Security）以外，也加入劑量降低的項目，以此方式作為激勵。

### **(4)穿著普通服在管制區作業**

訂定 2005 年的目標為 0.8 人-西弗/年，另外如先前所述，「停止使用目前宛如太空衣般的特異防護衣，達到在管制區內的作業穿著普通服」，揭示了美好的目標。

## **瑞典的管制者與事業者關係密切**

### **(1)成立 DORIS 計畫**

由 ISOE 的數據可知瑞典 BWR 的成績不佳，1994 年該國提出 DORIS（Dose Reduction in Swedish BWRs）計畫，政府開始著力於潔淨化。

### **(2)Plan, Plan, Plan**

潔淨化不太需要花錢，檢查的程序與事前澈底的訓練可以讓作業效率化、迅速化，並一再強調所以能夠如此在於 3 個要素，1 是計畫，2 是計畫，3 也是計畫，也就是 Plan, Plan, Plan。像這樣訂定詳實的計畫曾是日本最擅長之事，如今卻已成過去。

### **(3)管制者與事業者關係密切**

管制者與事業者都充份認知核能的重要性，採行相互信賴與協商的體制，宛如從前日本的景象。

## 加拿大採行不躁進的階段性教育

加拿大就作業員教育方面發表了相當引人興趣的報告，Bruce 核電廠有 8 部核能機組，是使用天然鈾燃料、重水的 CANDU 爐，燃料橫著置放，運轉中可以更換。Bruce-B 之 1~4 號機運轉中，Bruce-A 停機中，其 3 號機在 2004 年 1 月起動運轉。CANDU 爐的高劑量作業有燃料匣的檢查與維修、燃料進料機 (Feeder) 檢查、鍋爐檢查、緩和劑淨化系統檢查、閥類相關作業等。

Bruce 核電廠集體劑量非常高，雖然核能發電運轉協會 (INPO) 等曾指出此一問題，但該廠作業人員完全沒有這種意識。為了改變此狀況，並使作業人員具備此一意識，實施不躁進的面對面 (Face to Face) 階段性教育，特別注意不要一次給予作業員太多訊息，以免造成混亂，譬如討論類似「3 月、4 月間做了那些工作？結果如何？輻射防護的績效 (Performance) 如何？Bruce 核電廠整體上應致力於那些問題？這方面你做了那些事？有什麼問題？」等，結果獲得大幅改善的效果，而且目前仍在持續改善中。

## Exelon 公司活用遠距監測

因為此次會議在美國舉行，美國有很多令人感到興趣的報告，謹在此介紹其中的一部份。現在美國擁有最多核電機組的 Exelon 公司有 17 部機 (5 部 BWR，12 部 PWR)。(目前正協商收購 3 部機組，預期很快就會擁有 20 部機組)

Exelon 公司在 17 部核電機組引入標準的遠距監測技術，其目標為人員效率化、作業員監視、以及監測效率的提升等。

最早以 Dresden 核電廠為先導廠 (Pilot Plant)，將既有設備如攝影機、光纖、反應卡片 (Response Card) 等更新，並進行訓練。2004 年為 Dresden，

Peach Bottom, Quad Cities, 2005 年為 LaSalle, Braidwood, Byron, Limerick, Clinton, TMI, 2006 年為其他核電廠，以此順序採用遠距監測技術，在第 1 階段建置使用無線電連接 LAN 的系統，第 2 階段採用光纖。

以影像、聲音、劑量數據的遠距監測，從劑量率較低的地方或控制室即時 (Real Time) 支援作業人員，事前讓管理者擁有進入 (Access) 權，經由 LAN，可同時進行監視。此一技術領域的進展令人瞠目咋舌，這是為了因應未來電子巡查 (Survey)、行動 (Mobile) 計算機以及顯示面板等的技術發展，以便今後也能夠引進。未來也考慮應用在蒐集更加即時的巡查數據 (Survey Data)、文書化、數據檢索功能，以及洩漏、火災監視、故障率較高設備等之監視、保防、運轉員走動巡視等。

在引進這種遠距監測系統時，係涵蓋整個電廠，所以包括全體作業員在內，進行全面性檢討是相當重要的。

照片 2 是以下將敘述的費米 (Fermi) 核電廠的遠距監測系統。



照片 2 費米核電廠遠距監測系統

## 派遣調查團赴 Fermi

此次向主辦會議的 ISOE 北美技術中心所長伊利諾大學米勒教授提出派遣調查團到美國核電廠的要求，米勒教授立即介紹 Fermi 核電廠，2005 年 2 月底，原子力安全協會派出 8 人的調查團。

Fermi 核電廠位於我最早在美國居住的密西根州，是 121.7 萬瓩的 BWR，1 號機就是有名的 6 萬瓩 FBR，自從 1966 年開始運轉以來即成為熱

門話題，我在當時也常去訪問，回想起該廠將不要的鈉集中在地面上，並澆水進行瞬間處理時，好像祭典般的熱鬧。

調查結果尚未正式出爐，其概要大致如下：

第 1 類 (Class 1) 管路的 ISI 檢查，以前高應力部位分散各處，因此必須搭設多處鷹架，曝露劑量也較高，後來改成風險基準 (Risk Based) (管路破損風險) 檢查，對相鄰近的銲道進行一次檢查，降低搭設多處鷹架的需求，因此也降低曝露劑量。以風險機率歸類 (Grouping)，檢查風險較高的部位，其附近也一併進行維護保養。

降低 ISI 劑量的效果從以前 ISI 佔全部的 50% 劑量降至 20~30%，劑量為 8~10 侖目，檢查團隊 (Team) 為 4~5 侖目左右。

從工程師、作業員、並包括副總經理在內，不同階層的人自行思考、行動極為重要，也因此得以降低劑量，也就是強調電廠整體的團隊工作 (Team Work)，以公司文化創造出優良事例。

## 參考佛羅里達會議 日本再奪金牌

以上彙整佛羅里達州大富豪之城勞德岱堡的 ISOE 核能潔淨化會議中各國的努力成效，上次會議在法國里昂舉行，因此歐洲參加的人較多，這次則是美國方面的報告比較多。

各國均認為核能不會釋出二氧化碳等，是體貼環境的乾淨能源，今後也將核能定位為主力能源，但也有一致的共識認為，一般民眾唯一擔心的就是輻射線，為解決此一問題，首要之務就是安全運轉，不要讓一般民眾發生輻射災害是相當重要的。另外，在核子設施工作的人員當然也是該國的國民，所以降低劑量也是極為重要的課題。

因此，以法國為首，美國等也將降低劑量與反應爐之安全運轉併列為

同等重要性，而且認真執行，這就是核能的潔淨化。

1970 年代的日本成績非常差，到 80 年代時，盡全力改善的結果，終於在 1991 年達到世界第一，獲得金牌。但日本也因而自滿，此後又大幅縮減此方面預算，至 1997 年被美國追上之後，又被世界各國超越，現在變成世界上的劣等國家。

法國如先前所述「停止穿著像現今太空衣那樣讓一般人感覺怪異的防護衣，設法將劑量降低到可以在管制區內穿著普通服進行作業」，揭示美好的目標，因此引進 3 次元 CAD。

在美國擁有 17 部核電機組的 Exelon 公司在核電廠內連結 LAN，對影像、聲音、劑量數據進行遠距監測，建置從劑量率較低的地方或控制室即時支援作業人員的系統，今後也考慮應用在更加即時蒐集巡查數據、文書化、數據檢索功能、以及洩漏與火災監視、故障率較高設備等之監視、保障、運轉員之走動巡視等。

日本在泡沫經濟破滅後，核能也和經濟一樣迷失了 10 年，在此期間，世界持續大幅進步，日本被超越之後，差距也愈來愈大，但是日本也曾經在同樣的領域奪取過金牌，今後希望能夠發揮日本的優秀技術，認真學習海外的優良事例，產官學一起努力合作，再度獲取金牌。