

指向核能復興之羅盤(四十二)

愛惜電廠的心

學習斯洛維尼亞的核電廠

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 8 月 ENERGY 雜誌

斯洛維尼亞的驕傲 世界最美麗的不萊德湖

此次以“愛惜”電廠的心作為主題，“愛惜”差不多已變成死語，不太使用，電腦因此出現錯誤的訊息，“愛惜”的意思就是抱持著珍視的心情，加以疼惜。這是第 1 次到斯洛維尼亞（Slovenia），訪問 Krsko 核電廠，回憶起日本早期的核電廠，感觸良深，也更能體會此一死語的真諦。

另一個令人心動的是昭和天皇也深受感動的不萊德（Bled）湖。從巴黎飛往斯洛維尼亞的首都盧布爾雅那（Ljubljana），搭飛機時筆者要求安排 1A 的座位，這一次得以如願，從巴黎向東飛往阿爾卑斯山麓，飽覽阿爾卑斯山的雪景，飛機降落前左翼掠過山上，因太過接近而有些許恐懼，終於降落在大片森林中筆直的機場跑道，從機場往北約 1 小時，抵達斯洛維尼亞引以為傲的不萊德湖。

不萊德湖有一個湖中島，島上只有一個頗具來歷的教堂，建於 1004 年，另外還有聳立在山頂斷崖絕壁的古城，其他別無任何人造物，只有極少的一部份作為旅館（照片 1），此旅館在舊南斯拉夫時代是齊托總統的別墅，昭和天皇就是在此接受招待。

筆者的恩師 Timoshenko 教授被稱為機械工學之神，在世界上最美麗的湖泊—瑞士的萊曼（Leman）湖蓋了一間別墅，並在此長眠，後來筆者也曾到訪。這個不萊德湖比萊曼湖更加平靜安穩、非常美麗，可說是世界上數一數二的湖泊，阿爾卑斯山的雪溶化成水，源源不絕而來，蔚藍的湖水相當清澈透明。

從斷崖絕壁上的中世紀古城往外展望可說是絕世美景，令人想起中古世紀歐洲風格的騎士劍術。從此處往北行約 1 小時，有一個波賓（Bohinjsko）湖，由此搭電纜車往上，突然呈現出滑雪場，據說這是世界上唯一可以同時滑雪及游泳的場所，實在令人驚訝不已。



照片 1 阿爾卑斯山溶雪流入不萊德湖

Krsko 核電廠容量因素 98.5%

Krsko 核電廠於 1983 年開始運轉，是西屋公司 72.7 萬瓩的 PWR。當初只有 66.4 萬瓩，2000 年時蒸汽產生器更新後增加到 70.7 萬瓩，去年（2006 年）汽機更新後出力達 72.7 萬瓩，詳情後述。與剛開始運轉時比較，實際上多了 6 萬瓩，這是將具有熱能餘裕的反應爐加以有效利用，也顯現出愛惜電廠的心。

此一核電廠也曾經歷時勢的變化，在舊南斯拉夫時代興建並開始運轉，1991 年南斯拉夫解體後，因為電廠位於斯洛維尼亞與克羅埃希亞的國境上，2001 年兩國各擁有 50%，發電量也是各供電一半。

照片 2 為 Krsko 核電廠塗上美麗的不萊德湖水色。圖 1 為開始運轉後的容量因素實績，2005 年達到令人驚嘆的 98.55%，2007 年也以 90% 以上為目標，真是令人欽羨不已。這些優良的紀錄是從 2003 年起運轉 15 個月、2004 年起運轉 18 個月，慢慢累積經驗的結果，這就是全體員工以愛惜電廠的心致力於工作的明證。

此一核電廠在呈現輻射曝露時也費盡心思，如圖 2 所示，在公布輻射曝露時，將我們從宇宙與大地所接受的天然輻射、醫療所接受的輻射、以及在 Krsko 核電廠一年的輻射曝露劑量以圖表來表示，周邊住民看到此圖表後，也會對「不必擔心 Krsko 核電廠的輻射問題」表示信服，像這些小地方也顯現出愛惜電廠的心。

斯洛維尼亞是一個人口 200 萬的農業小國，工業方面主要為鋁的精鍊和水泥業，用電量不算太大。2006 年電源比率如圖 3 所示，最高為核能 29.9%，全部由 Krsko 核電廠供電，其次為火力 25.6%、輸入 24.1%、水力 20.3%。

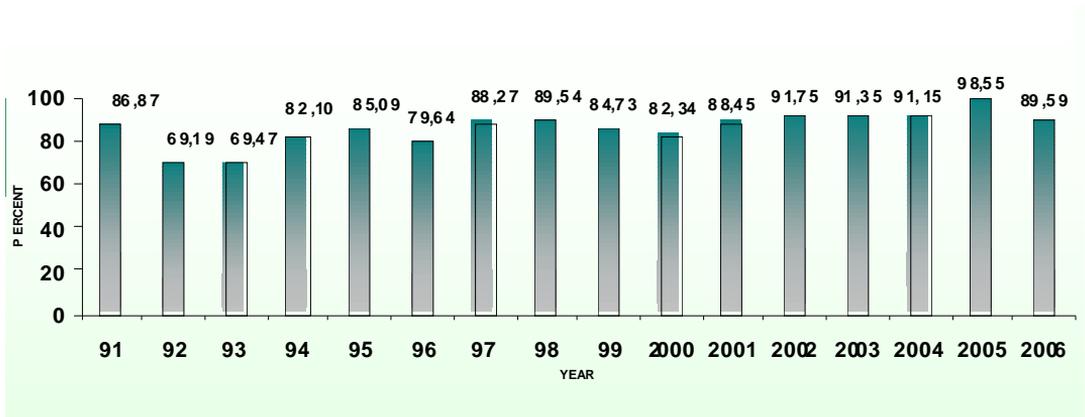


圖 1 Krsko 核電廠容量因素



照片 2 Krsko 核電廠 (中間為布里茲尼克組長)

Sv/year

年度輻射曝露劑量

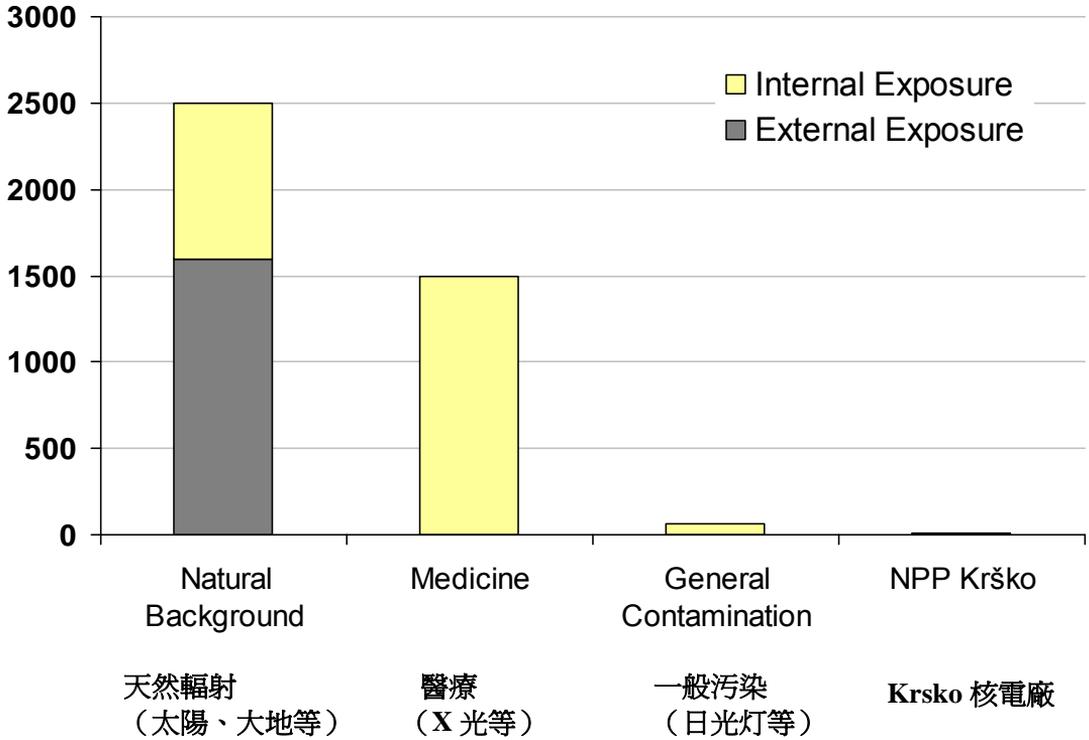


圖 2 Krško 核電廠與天然輻射、醫療輻射曝露

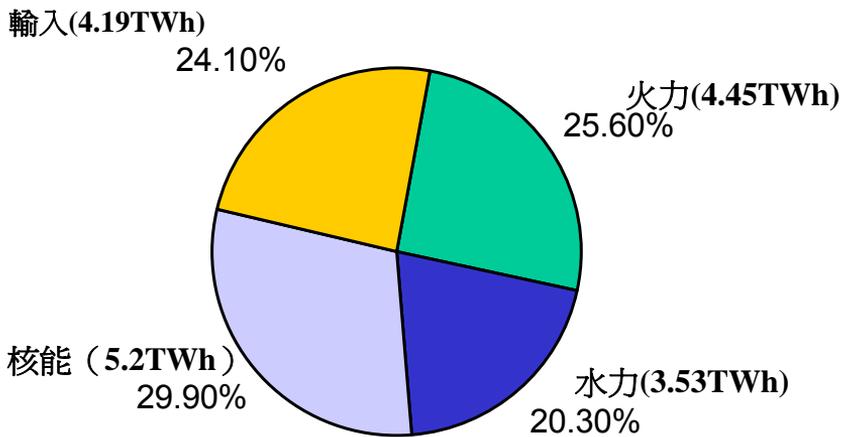


圖 3 斯洛維尼亞各種電源比率

澈底利用模擬器

筆者前往與主控制室完全一樣的模擬器參觀，深深感受到這裡的負責人是如何地珍惜這個模擬器。日本每一個核電廠都有模擬器，作為運轉員定期性訓練之用，此地的負責人則驕傲地說：「這個電廠當初沒有資金，也沒有模擬器，所以出差到美國的西屋公司受訓，因為也需要經費而只有幾個人能夠去。2000年終於有了盼望已久的預算，才有辦法購買此一模擬器，所以要澈底地善加利用。實際上獲得的最大成績就是在號稱 PWR 瓶頸的蒸汽產生器更新工程時，事前對新設計的蒸汽產生器澈底模擬，找尋出問題點，並將設計加以改善」。

Krsko 核電廠人員對於我們視為理所當然的模擬器相當珍惜，看到他們那種盡其可能善加利用的樣子，想起核能開發初期我們努力的情景，令人感動不已。日本有很多的東西，特別是價格昂貴的東西到處充斥，也不會留意到其價值，只是當作是例行訓練來使用，完全忘記那種愛惜的心，大家已經沒有那種“可惜”的精神，也不會去思考如何把東西有效活用，這就是日本的現實狀況，值得深切反省。

用三菱重工的汽機增加出力

另一種“愛惜的心”就是盡最大可能利用反應爐的熱能，也就是同樣的原子爐，如果把汽機改變，就能發出更多電力的精神。西屋公司製造的汽機發生應力腐蝕龜裂，因此將 44 吋的低壓汽機葉片換成三菱製造的 54 吋，輸出電力從 70.7 萬瓩提升到 72.7 萬瓩，增加了 2.8%，雖然說只增加 2 萬瓩，但這相當於 1 部水力發電機組，照片 3 為 Krsko 核電廠內三菱公司製造的汽機。

對三菱而言，這是第 1 部機組採用低壓汽機最後 1 級 54 吋葉片，整列葉片為 3 次元，並以 3 次元解析加以最適化，所以才能發揮這樣的性能。此一工程在 2006 年 4 月以 27 天的超短工期進行換新，據說在現場獲得相當高的評價。2006 年 89.6% 的高容量因素是在這樣的汽機更新後達成的實績，這在日本是難以想像的數字。

到這裡才知道斯洛維尼亞的“愛惜的心”是由日本引以為傲的最新技術所支持的事實，令人相當感動。日本像這樣輸出最新技術，提升效率，對體貼環境有所貢獻，也會獲得世界的感謝。

珍視愛惜的心

這是第 1 次到斯洛維尼亞訪問 Krsko 核電廠，該電廠的冷卻水取自薩瓦（Sava）河，此河在貝爾格勒（Beograd）與多瑙河匯流，是歷史上相當有名的河流。

薩瓦河北部是舊匈牙利王國，16 世紀時由哈布斯堡家族世襲，一直到第 1 次世界大戰，塞爾維亞王國也在薩瓦河旁，第 1 次世界大戰時，奧地利和匈牙利軍隊渡過薩瓦河，侵入塞爾維亞王國的首都貝爾格勒，這是兩軍激戰之地。



照片 3 更換為三菱低壓汽機提升出力 (Krsko 核電廠)

一面閱讀歷史，一面造訪斯洛維尼亞，感覺在某些地方很像從前的日本，是一個漂亮而富饒的農業國。對於昂貴的核電廠，為了確保安全，不浪費而有效率，既科學又合理地運用，進行設計改善，細緻的運轉維護保養，深深被各式各樣愛惜電廠的心所感動。

日本把昂貴的模擬器用在訓練上，斯洛維尼亞人則竭盡所能，也使用在各種設計的驗證等。另外，反應爐供給熱能具有餘裕，為了善加利用，引入世界最尖端技術的三菱重工 3 次元葉片的汽機，提升發電出力而獲得成功。

Krsko 核電廠這樣的努力終能獲得成果，從此次接待我們的輻射防護組長及其他人員身上，令人想起許久未曾感受到的那種愛惜電廠的心。

核電廠以運轉安全為第一自是理所當然，在此前提之下，也應該積極進行科學的、合理的作為，像 Krsko 核電廠這樣，只採用 3 次元葉片的最新汽機，就可以增加發電出力。美國已有三分之一的核電廠完成出力的提升，剩下的也將陸續進行。

在 Krsko 核電廠深深感受到愛惜電廠的心，也就是對昂貴的核電廠抱持珍視的心情，加以愛惜，確信只有這樣才能與運轉安全的終極目標相輔相成、杜絕浪費，讓科學的、合理的運用成爲可行之道。