

出國報告（出國類別：其他）

出席第 11 屆環境復育與放射性廢棄
物管理國際研討會 (ICEM' 07)

服務機關：行政院原子能委員會放射性物料
管理局

姓名職稱：曾漢湘薦任技士

派赴國家：比利時

報告日期：96 年 11 月 9 日

出國時間：96 年 8 月 31 日至 96 年 9 月 9 日

摘要

第 11 屆環境復育與放射性廢棄物管理國際研討會在比利時布魯日 (Bruges) 舉辦，是全球性共同探討放射性廢棄物管理、工程技術更新及新科技應用於廢棄物處理之重要聚會，亦為國際原子能總署 (IAEA) 所登錄之重要性會議。此研討會每兩年舉辦一次，本屆由美國機械工程學會 (ASME)、比利時法蘭米西皇家工程師學會技術研究院 (TI -KVIV) 及比利時核能學會 (BNS) 聯合主辦，另外由美國能源部 (USDOE)、國際原子能總署、比利時核能論壇 (BNF) 及 FORATOM 參與協辦。

研討會議題涵蓋了低/中放射性廢棄物管理、用過核子燃料與高放射性廢棄物管理、設施除污與除役、環境復育、環境管理以及全球核能夥伴計畫等六大類，分別同時進行了五十七場次研討會議，與會者來自三十多個國家超過五百五十人。

目 錄

一、	目的	3
二、	過程	5
(一)	行程概要	6
(二)	會議概要	7
三、	心得	12
四、	建議事項	22

一、目的

本次出國目的為參加由美國機械工程學會、比利時法蘭米西皇家工程師學會技術研究院及比利時核能學會聯合主辦，另外由美國能源部、國際原子能總署、比利時核能論壇及 FORATOM 參與協辦之第十一屆「環境復育與放射性廢棄物管理國際研討會」。

藉由參加該會議，增進全球性放射性廢棄物管理、工程技術更新及新科技應用於廢棄物處理等發展現況之瞭解。「環境復育與放射性廢棄物管理國際研討會」亦為國際原子能總署（IAEA）所登錄之重要性會議，此研討會自 1987 年起，每兩年舉辦一次。

本次（ICEM' 07）研討會在比利時布魯日（Bruges）舉辦，超過五百五十多位人士與會。於 9 月 2 至 6 日期間有來自三十多個國家達三百多篇論文的發表，分五十七個場次分區發表，其中包含五個壁報論文(Poster)展示時段。研討會的議程依不同領域分區同時進行，大致區分為六大方向，主題如下：

1. 低/中放射性廢棄物(L/ILW)管理
2. 用過核子燃料(SNF)、分裂產物、超鈾元素(TRU)及高放射性廢棄物(HLW)管理
3. 設施除污與除役(D&D)
4. 環境復育(ER)
5. 環境管理方面(EM)之跨領域、制度面及利害關係者等議題

6. 全球夥伴(GP)與多國合作計畫

大會於現場提供程序表，至於完整的論文，將於會後彙整於光碟再寄送給與會人員。

二、過程

(一) 行程概要

(二) 參加環境復育與放射性廢棄物管理國際研討會概要

(一)行程概要

出席比利時 布魯日 ICEM' 07 研討會行程

8月31日(五)	台北至巴黎
9月1日(六)	抵達巴黎
9月2日(日)	巴黎至布魯日，研討會報到
9月3日(一)	ICEM' 07 研討會
9月4日(二)	ICEM' 07 研討會
9月5日(三)	ICEM' 07 研討會
9月6日(四)	ICEM' 07 研討會
9月7日(五)	返回巴黎
9月8日(六)	巴黎至台北
9月9日(日)	抵達台北

(二)參加環境復育與放射性廢棄物管理國際研討會概要

九月二日(日)

下上五點前往研討會會議中心報到櫃檯(位於 Oud Sint-Jan Conference Center Foyer)，完成註冊手續。



九月三日(一)

上午九點於布魯日 Royal City Theatre (距研討會會議中心步行約 20 分鐘) 舉行開幕式。

開幕式首先由美國能源部退休官員 Anibal Taboas 致詞歡迎與會者參加本次 ICEM' 07 研討會，接續由比利時 Belgoprocess 公司 Rik Vanbrabant 致詞歡迎全體蒞臨比利時，並安排精彩的樂團表演穿插於後續專題演講中。開幕式專題演講以本年度全球夥伴 (Global Partnering) 計畫為主題，邀請專題演講者如下：



Hans Forström, Director of

Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology, IAEA

Inés Triay, Chief Operating Officer - US DOE EM Program

Jean-Paul Minon, Director General of NIRAS/ONDRAF

Ute Blohm-Hieber, European Commission

Alain Mathiot, Chairman of Contact Expert Group, IAEA

下午壁報展示主題為高放射性廢棄物、用過核子燃料及超鈾廢棄物。並有九場次的討論，議題分別為：

- (1) 支持全球 G-8 夥伴計畫防止核武器擴散
- (2) 全球核能夥伴計畫之用過核燃料處置、廢棄物減量及保防議題
- (3) 除污及除役計畫：現況、方法、政策及挑戰
- (4) 專題討論：除污及除役之新興議題
- (5) 低/中放射性廢棄物之各國及國際計畫
- (6) 廢棄物減量、避免及再循環
- (7) 處置計畫：選址及處置場址特性調查、地下實驗室、工程及地質障壁
- (8) 環境復育管理方法及計畫制訂工具
- (9) 地方參與及決策過程、行為與政治活動

九月四日（二）

上午壁報展出主題為低/中放射性廢棄物管理(I)。另外有七場次之討論，分別為：

- (1) 專題討論：低/中放射性廢棄物管理之新興議題
- (2) 年輕世代網絡、工作議題及訓練規劃
- (3) 年輕世代網絡之挑戰與相關議題
- (4) 全球夥伴計畫在多國支持之放射性廢棄物管理及清除計畫
- (5) 用過核子燃料、超鈾廢棄物及高放射性廢棄物處置之風險功能評估
(I)
- (6) 除污及除役經驗學習

(7) 環境復育清除作業與舊址之經驗

下午壁報展出主題為低/中放射性廢棄物管理(II)。另外有十一場次之討論，分別為：

- (1) 專題討論：全球夥伴計畫支持放射性廢棄物管理計畫及防止核武器擴散
- (2) 俄羅斯國際放射性廢棄物管理計畫
- (3) 專題討論：核能應用之復興及其在高放射性廢棄物管理方面之衝擊
- (4) 用過核子燃料、超鈾廢棄物及高放射性廢棄物處置之風險功能評估
(II)
- (5) 用過核子燃料、分裂產物、超鈾廢棄物及高放射性廢棄物之運輸與處理
- (6) 商用核子反應器及研究用反應器之除污與除役
- (7) 低/中放射性廢棄物管理之安全考慮
- (8) 低/中放射性廢棄物特性描述、檢驗及追蹤系統
- (9) 固體廢棄物減容、處理及包裝經驗
- (10) 各國及國際之環境復育計畫
- (11) 環境復育之場址特性調查、監測及清除作業

九月五日(三)

上午壁報展出主題為除污及除役、環境復育。另外有六場次之討論，分別為：

- (1) 英國核設施舊址管理之目標與策略
- (2) 專題討論：英國 NDA 基金契約訂定、轉包選擇與安排
- (3) 鈾礦開採復育技術交流會議(I)

- (4) 非反應器核設施之除污及除役
- (5) 處置計畫：選址及處置場址特性調查、地下實驗室、工程及地質障壁
- (6) 液態廢棄物處理程序與經驗

下午壁報展出主題為目前相關計畫之進度展示(非論文發表)。另外有九場次之討論，分別為：

- (1) 專題討論：放射性廢棄物管理合法性之實現
- (2) 環境復育技術之近期發展
- (3) 鈾礦開採復育技術交流會議(II)
- (4) 專題討論：鈾礦開採復育技術交流會議(III)
- (5) 高放射性廢棄物、分裂產物、超鈾廢棄物及用過核子燃料之短期與長期貯存議題
- (6) 除役策略與設施外釋
- (7) 低/中放射性廢棄物之先進條理(Conditioning)技術
- (8) 低/中放射性廢棄物處置場址與廢棄物體之特性化及功能評估
- (9) 研究機構及一般工業所產生放射性廢棄物之管理

九月六日(四)

本日無壁報展出，主要八場次之討論，分別為：

- (1) 除污及除役技術
- (2) 污染物遷移及轉化評估
- (3) 全球核能夥伴計畫之世界性安全與保安作業
- (4) 中/低放射性廢棄物處置設施之選址、設計、建造及運轉

- (5) 用過核子燃料、分裂產物、超鈾廢棄物及高放射性廢棄物之國家及國際計畫
- (6) 高放射性廢棄物處理系統之廢棄物特性描述與近期發展
- (7) 資訊統合與決策
- (8) 鈾礦開採復育技術交流會議(IV)

三、心得

(一) 全球核能夥伴計畫

有關全球核能夥伴計畫(GNEP)之用過核子燃料處置、廢棄物減量及保防議題的討論，重點在於高放射性廢棄物的減量處理、用過核子燃料的管理、再循環利用，以及全球核能夥伴計畫活動之策略所帶來之衝擊。

由於用過核子燃料再循環使用及純化處理作業中，提取鈾元素以製造混合氧化物(MOX)燃料，使得用過核子燃料的回收再利用，反映了中長半化期超鈾廢棄物的減量效果。此用過核子燃料循環再利用成爲會議中重要討論議題，並且強調重要之技術應用。

去(2006)年，美國能源部所提議之用過核子燃料再處理循環利用，已成爲一項重要之國際合作議題，其目的在於藉此達到高放射性廢棄物減量，以及強化核子物料之保防作業。

全球核能夥伴計畫的策略乃爲全球提供一個無污染的核能，以先進技術將用過核子燃料內有用成分予以回收再利用、減少放射性廢棄物。該計畫以全球有限的能源挹注經濟、對環境友善、降低核武器擴散威脅爲前提，讓世界成爲更潔淨、更安全與更優良的居住環境爲依歸。值此美國與世界其他國家的經濟持續發展之際，能源需求也隨之提高，核能爲一項安全、潔淨、可靠且足堪大任的能源，透過全球核能夥伴計畫之建立，美國將與具備先進核能技術的國家合作，開發具有防止核武器擴散(Nonproliferation)之用過核子燃料循環新技術，以產生更多能源、減少

廢棄物與降低核武擴散之顧慮。

(二) 除污及除役(D&D)議題

有關除污及除役(D&D)議題，會議研討之重點為核能電廠反應器的除役經驗，以及如何在新一代反應器加入有利除役之設計。至於除污及除役進展現況、技術方法、政策方針，以及所面臨之挑戰，在現階段進行國際性的訊息交流亦是非常合乎時宜。加之核能已呈現全面復甦的現象，部分國家更計畫籌建新的反應器機組，除污及除役技術等相關議題及各國之執行經驗更顯重要。

對核子設施而言，除役是在設計、建造及運轉後整個生命週期的最後階段。它的過程包含設施場址之設備除污、建築物拆除、結構破壞，以及其衍生廢棄物的管理。因為大量的核子設施多在三、四十年前設計建造，以致近期內將達除役高峰，故核子設施的除役已成為非常重要的課題。

除污與除役(D&D)會產生大量的廢棄物，其中大部份具有經濟價值可以回收再利用，僅有小部份為放射性廢棄物，經有效規劃分類管理，將有助於放射性廢棄物之減量。

(三) SCK-CEN 除污及除役之經驗

比利時核能研究中心(SCK-CEN)提供其相關的經驗，值得借鏡。該中心自 1989 年即著手建立相關技術及規劃其放射性廢棄物的管理計畫。該作業有關除污及除役計畫之設施包括：BR1(一座 3.5MW 核反應器，nuclear uranium-graphite moderated-air cooled reactor)、BR2(一座研究型反

應器，high flux material testing reactor)、BR3(一座 40MW 實驗型壓水式反應器，pressurized water reactor，於 1989 年開始進行除役計畫)、核子實驗大樓及一座研究生物圈受污染的牧場。

該研究中心的除役經驗，主要集中在 BR3 反應器的除役作業，包含老舊裝備之除役，以提供其他新研發計畫所需空間的利用，以及四棟實驗大樓，在轉型為非核子研究之再利用前，均規劃進行除污作業。此除污與除役計畫亦包含了用過核子燃料及核子物料的管理計畫。

比利時核能研究中心的這項除役技術發展，以及產生廢棄物的管理計畫，目前仍持續的進行中，經費亦逐年評估編列。由該研究中心進行除污與除役計畫之經驗學習，需要重視的方向包括：

1. 應有除役作業之整體管制規劃及執照審核辦法
2. 建立除污技術與除役計畫
3. 參與人員之訓練
4. 因除污與除役過程中將產生大量廢棄物，必須進行妥適的放射性廢棄物管理規劃
5. 因應計畫的進行，必須有穩定的經費與財務支援

在此核能復甦的階段，核子設施除役的重要考量，為除役作業之整體目標包括：作業進行期間耗時最短、產生的放射性廢棄物最少，並合理抑低工作人員接受之輻射劑量。

(四) 低/中放射性廢棄物管理

對於低/中放射性廢棄物的管理議題，研討的重點即著重於管理策略議題上。範圍亦涵蓋低/中放射性廢棄物的處置設施，這些處置設施的工程設計必須能因應逐漸提升的長期環境衝擊。

整體低/中放射性廢棄物的管理議題，需包含國家層級與國際性的管理規劃、廢棄物的減量策略、再循環利用、安全考量因素、不同廢棄物種類的特性與定義、固體廢棄物的減容、處理與盛裝、液體廢棄物的處理作業等方向。

對於低/中放射性廢棄物管理的最後階段－最終處置，所應考慮之選址作業、廢棄物體特性、功能評估、處置設施設計、建造與運轉等應列入整體管理規劃中。

目前新興的議題，以極低微活度的廢棄物管理較為突顯，主要為核子設施除役所涉及之土地污染區域，或進行拆廠除役產生的大量廢棄物管理議題，也包含因應再循環利用之配套管制法規。

(五) 核能應用的復甦與高放射性廢棄物管理

為因應全球暖化問題，抑制二氧化碳排放，並尋求乾淨可靠的能源，核能的應用已再度受到國際重視。但基於能源供應與需求關係及廢棄物管理，兩者在環境上相互的影響，在本次會議上也是重要討論議題之一。

核能應用復甦的關鍵，在放射性廢棄物問題是否能順利解決，因此高放射性廢棄物之深層地質處置，顯現更迫切且具明顯的壓力。核能的持續發展，用過核子燃料及高放射性廢棄物產量的相對提高是難免的，若未能

突破處置問題，則核能復甦的阻礙力量將愈趨顯著，而這種認知與解決經驗的缺乏，也是造成反核訴求持續存在的原因。

但另一方面，因為貯存設施(storage facilities)嚴格的安全要求，以及確保能源供應而採取用過核子燃料再處理的政策，減緩了高放射性廢棄物需進行最終處置的作業時程壓力。

在此核能復甦之際，各核能應用國家可能面臨的影響及因應措施如下：

1. 各國放射性廢棄物管理策略與計畫需檢討與修正。
2. 對多國協議/倡議活動的刺激，促成更多區域性的合作，例如全球核能夥伴計畫、俄羅斯用過核子燃料及放射性廢棄物管理的多國區域合作與國際組織等。
3. 因應管理策略的改變及影響，需要從人員的教育及訓練做好基礎及實務規劃。

(六) 高放射性廢棄物最終處置

有關高放射性廢棄物最終處置議題，本次研討會相關主題涵蓋處置場址的規劃、風險-功能評估、運輸與處理、長期貯存議題、各國與國際性的管理計畫，以及高放射性廢棄物特性及處理系統發展現況。值得參考借鏡之相關訊息與經驗如下：

1. 瑞典處置場址調查與場址描述模型

瑞典核子燃料與放射性廢棄物管理公司(SKB)，目前已大致完成

位於Östhammar 及 Oskarshamn 兩地區之用過核子燃料最終處置調查場址之地表調查作業，此調查成果資料將作為場址描述模型(Site Descriptive Model)之評估依據。

建立上述場址描述模型，所要考量的專業領域包含地質 (geology)、岩石力學 (rock mechanics)、熱特性 (thermal properties)、水文地質 (hydrogeology)、水文地球化學 (hydrogeochemistry)、傳輸性質 (transport properties) 及地表之系統描述等七項。

由於這些場址調查資料成果，是來自廣泛的調查量測結果，所以必需要經過嚴謹的驗證，期使評估分析所需參數，能夠符合三維模式之解析所需。該三維模式(亦即評估空間中參數值的分佈)是由地質模式、岩石力學、熱及水文地質模式依序建立之幾何架構序列。

這些學門領域彼此具有相互關聯，在評估上需考量不同參數與因子間的影響。另一特性是可以提供地質模型回饋的訊息，尤其是在數據資料間相互評估出現不合理之地質描述時。

SKB 同時也針對場址之模擬過程，發展出模式之不確定性及信賴度的評估步驟，這些配搭的研發工作，對於場址調查計畫中所要建立的關鍵參數，給予重要的評估依據。

2. 法國處置法規建置

有關法國高放射性廢棄物地質處置場，從處置可行性研究至其

設計階段的法規架構，以及高放射性廢棄物及長半化期廢棄物之深層地質處置計畫推展，皆得力於 1991 年 12 月 30 日通過的法國廢棄物法(French Waste Act)。

依據此法的規定，法國國家放射性廢棄物管理局(ANDRA)已分別提送以泥岩及花崗岩為處置母岩之 Dossier 2005 Argile 及 Dossier 2005 Granite 兩份報告給法國政府。前項報告說明以一特定黏土層之地下處置場址處置放射性廢棄物之概念，以及其可行性研究成果，對該處置母岩特性的了解，已藉由 Meuse/Haute Marne 地下研究實驗室完成調查分析。並且藉由該處置場概念研究，可獲得各種處置概念議題及相關問題的釐清。前述兩份報告，已由國家審查委員會(National Review Board)、國家安全主管機關(National Safety Authority)及 NEA 國際審查團隊(International Review Team)完成審查。

去(2006)年 6 月 28 日通過了放射性物料及廢棄物永續管理之規劃法規(Planning Act on the sustainable management of radioactive materials and waste)，法國國會已對未來處置的工作，進一步訂定了明確的法規架構。該法規(Planning Act)對於下一個階段，亦即處置場之設計，訂出了工作時間表及其目標，要求於 2015 以前提送建造許可之申請。同時，要求處置場於 2025 前完成處置設施興建。

3. 日本處置計畫現況

有關日本高放射性廢棄物的地質處置計畫(GEOLOGICAL REPOSITORY PROGRAM)及超鈾廢棄物的處置任務，已指定由原子力發電環境整備機構(NUMO)執行。做為深層地質處置計畫的執行者，原子力發電環境整備機構已發展計畫管理需要之特殊工具(例如自願場址篩選決策之計畫管理)，該機構正在進行先期開發技術之建置，包含場址特性調查技術、處置場設計及相關之安全評估技術。這項工作之決策過程，被要求採公開透明的實務方式運作，並同時展開數個場址的調查作業。

針對原子力發電環境整備機構所執行之高放射性廢棄物處置場之選址作業，其程序包括文獻調查、初步場址調查及場址精查三個階段。在第一階段，該機構必須就自願地區評估其可行性，以篩選提供初步場址調查之地區。其作業內容則又區分為兩組因子或場址條件，供作篩選自願場址地區，及選出潛在初步調查場址(potential PIAs)。第一組因子，必須符合「特定放射性廢棄物最終處置法」(Specified Radioactive Waste Final Disposal Act)，也就是最終處置法(Final Disposal Act)之規定。第二組因子，須能夠指出更具適合性的場址。

日本最終處置法規定，相關地區經過文獻審查後，必須符合相關排除因子要求，始得成為初步調查場址，其排除式因子之規定包含五項：

- (1) 地震敏感地區

- (2) 活動斷層帶
- (3) 火山作用地區
- (4) 地殼上升/侵蝕作用明顯地區
- (5) 第四紀未固結地層區域

另外，涉及礦產資源地區者亦應避開，日本法規亦針對部分特徵之有利因子，包括地下水與母岩特性、土地利用及運輸效能等訂定規定。對於前述規定，也特別考慮相關調查成果的完整性，並且以公開透明的作法，向公眾解釋以提高接受度。

在處置技術研發方面，為確保高放射性廢棄物地質處置場，能確實隔離放射性廢棄物於人類環境，地下開挖之地窖與通道必須有妥適的封填。這些技術研發包含開挖區的回填研究、未來可能成為地下傳輸優勢通路之開挖損害或擾動帶(EDZ)研究、開挖區隧道封塞功能之評估及確認所進行的隧道封填實驗(TSX)，此實驗的執行已由日本 JNC 及加拿大 AECL 共同合作完成。而有關非均質地層特性之隧道封塞探討，及後續相關隧道封塞設計，日本已進行至概念設計階段。

(七) 環境復育與放射性廢棄物管理研討結語

國際間的能源需求，至 2030 將提昇 53%，其中核能之使用將從現今 370GWe 提升至 2030 之 450~700GWe，未來能源的發展將著重於再循環利用(Recycling)，以及核能的永續經營，目前國際間已陸續推展新型核反應器，以及核子燃料再循環利用等。

於此同時，亦將產生一些衝擊，其中以放射性廢棄物衍生之管理議題影響最大，例如高放射性廢棄物之最終處置。目前國際間已有共識，亦即對高放射性廢棄物及用過核子燃料的處置，採用深層地質處置概念，以多重障壁之設計將之隔離於人類環境之外。惟迄今仍無實際之安全運轉經驗，僅美國 WIPP 處置場有類似之經驗。但在處置計畫的推動上，芬蘭、瑞典、法國及美國等均有階段性成果。從策略發展來看” Keep wait and see” 可能是國際間未來的發展趨勢，亦即以發展安全貯存(Store)，減緩最終處置之急迫壓力，同時推展全球核能夥伴計畫(GNEP)，以因應現階段之困難議題。

四、建議事項

- (一) 全球核能夥伴計畫(GNEP)的推動，將強化核子保防措施、防止核武擴散、產生更多能源及較少廢棄物的再循環技術，並提昇處置場效能，對我國用過核子燃料管理策略將有極大之影響，建議密切注意其發展及參與機會。
- (二) 國際上對於用過核子燃料的處置趨勢，仍抱持觀望態度，適值國內核一廠乾式貯存計畫現正申請核照中，藉由嚴格安全審查把關，並透過公開透明的管制作為，提升公眾安全的信任，可適度減緩最終處置的的疑慮與急迫性。
- (三) 永續發展之關鍵在於人才與經驗傳承，有必要加強國際合作甚至自國外技術移轉，國內推動放射性廢棄物最終處置計畫，應注意國際區域合作計畫的進展與國際處置技術的研發，適時派員進行管制經驗交流與學習。
- (四) 國內低放射性廢棄物最終處置選址作業的推動，類似日本高放射性廢棄物處置選址程序，包含篩選，初步調查及場址精查，且日本地質環境特性及相關選址考慮之排除因子亦類似，建議密切注意其相關管制作業及執行推動經驗，適時提供國內管制作業參考。
- (五) 國內高放射性廢棄物最終處置計畫的推動，可參考法國法制作業及國內低放處置相關場址設置條例，明確規範推動期程，並及早建立專家審查團隊。