

出國報告（出國類別：開會）

參加 2017 年國際核能除役研討會(ICOND 2017)

服務機關：原子能委員會

出國人 職 稱：技正
姓 名：亓允中

出國地區：德國亞琛、奧地利維也納

出國期間：106 年 11 月 25 日至 106 年 12 月 3 日

報告日期：107 年 3 月 5 日

摘要

自 2011 年福島事故之後，德國政府決定在 2022 年前將剩餘的核電廠關閉，因此特別針對除役需求，由德國 Aachen 核能訓練機構(AiNT)著手辦理「核能除役國際研討會」(International Conference on Nuclear Decommissioning; ICOND)，地點即為 Aachen，它提供了核能界除役相關專業技術與經驗的交流、溝通及討論的平台，現已為全球最受重視之大型國際核除役會議之一。

今年舉辦日期為 2017 年 11 月 27-30 日，有 15 國以上 320 餘名專家共襄盛舉，討論核電廠在執行除役新世紀之時，即將面臨的挑戰，擬定執行除役之最佳計畫，核設施除役經驗回饋及放射性廢料管理策略等，此外，在技術精進方面，針對切割技術、輻射污染偵測技術、放射性廢棄物處理及貯存均有探討。

我國於 2018 年底亦將面臨核一廠正式除役，相關除役前整備工作均已陸續展開。鑒於國內核電廠除役業務之重要性，有必要與國際進行交流與對話。本次獲大會邀請擔任開幕當日主講人(Speaker)，在大會中介紹台灣核電廠除役現況及挑戰，對增進國際友誼、強化台灣好感印象、及建立爾後交流管道，均有莫大助益。

目 次

	頁碼
壹、目的	1
貳、出國行程	2
參、過程紀要	3
肆、心得與建議	14
伍、附件	16

壹、目的

自 2011 年福島事故之後，德國政府決定在 2022 年前將剩餘的核電廠關閉，因此特別針對除役需求，於 2011 年 5 月，由德國亞琛工業大學(RWTH Aachen University)獨立出來的組織 AiNT (Aachen Institute for Nuclear Training) 專責辦理除役相關之訓練課程、顧問諮詢等服務，而「國際核能除役研討會」(International Conference on Nuclear Decommissioning; ICOND)，即為其承辦之重要大型國際會議，地點即在 Aachen，它提供了核能界除役相關專業技術與經驗交流、討論的重要平台。

ICOND 會議自 2012 年開始，本次已是第六屆，主要雖以歐洲核設施除役相關議題為主體，但技術專業無國界，討論範圍及參與國家並不設限，除邀請歐美俄羅斯等國參與分享各國核設施除役技術及經驗外，對亞洲除役現況亦非常歡迎，期使各核能相關單位能透過參與交流，增進瞭解各國除役計畫內容與管制(理)實務現況，亦可獲得寶貴國際核電廠除役經驗，而德國除役作業屬於先驅領導地位無愧，除具備多所核子燃料處理設施或研究用核子反應器除役經驗，且目前德國已有 21 部核電廠機組正在除役階段，另有 3 部機組則已完成除役作業的經驗，非常適合我國未來執行相關除役事項之參考，並有助於我國核能除役安全管理制工作之推展與精進。

我國於 2018 年底亦將面臨核一廠正式除役，相關除役前整備工作，均已陸續展開。鑒於國內核電廠除役業務之重要性，有必要積極參與國際活動，與先進國家進行交流與對話，俾瞭解核電廠除役最新發展與進程。本次即基於此目的，構思撰寫論文(The Challenges of Nuclear Decommissioning in Taiwan) 投稿大會，並獲大會審核通過，大會主席並力邀擔任議題主講人(Speaker)，設想能為國家及服務單位爭取國際聲譽及發言機會，極富正面意義，故而首肯。期盼透過大會，讓國際學者專家瞭解台灣在除役工作上的努力，進而增進國際核能合作及深化國內技術發展。

回程則順道拜訪本會駐奧地利代表處代表陳彥甫君，一同討論了奧地利質子與重粒子治療中心(MedAustron)運作狀況，蒐集了一些輻射防護方面的資料，謹供本會參考。

貳、出國行程

此次公差自 106 年 11 月 25 日起至 106 年 12 月 3 日止，共計 9 天，行程如下：

日期	行程	摘要
106 年 11 月 25~26 日	台灣→法蘭克福 →亞琛(Aachen)	去程
106 年 11 月 27~30 日	亞琛	參加 2017 年 ICOND 研討會， 並擔任大會主講人
106 年 12 月 1 日	亞琛→法蘭克福→維也納	回程順道拜訪本會駐奧地 利維也納代表處代表，討論 歐洲先進質子放射治療發 展近況及技術交流可行性 評估。
106 年 12 月 2 日	維也納	資料整理
106 年 12 月 3 日	維也納→台灣	返程

參、過程紀要

以下將此次參加 ICOND 會議及拜會本會駐奧地利維也納代表處之內容摘要如下：

一、ICOND 會議紀要

在 11 月 27 日有個會前會，議題集中在研究用核能設施除役，雖然與核電廠規模不同，但與會者都非常專注投入討論，獲益匪淺。講員分別來自挪威、荷蘭、瑞士、法國、芬蘭及德國本國，議題包括挪威 OECD（經濟合作發展組織）Halden Project (OECD HRP)，它是一個 OECD-NEA（Nuclear Energy Agency）支持的國際研究計畫，聚焦在增進安全可靠的先進創新除役技術。荷蘭 Low Flux Reactor 是有 50 年歷史的研究用反應器，在 2016 年開始除役，2017 年完成作業，預計在 2018 年上半年所有 LFR 廢棄物會移至 COVRA。瑞士則講述其核能應用濫觴及 1944 年即開始的除役作業，包括 1944 年的 Diorit (因故延至 2012 年完成拆除)，2000 年的 Saphir (2008 年完成)，及 2017 年的 Proteus (預計 2020 年完成)。芬蘭 FiR 1 TRIGA 研究用反應器是集教育、BNCT 及同位素產製一體的 250kW 老設施 (1962-2015)，未來很快就會除役，參加此會即為預先因應。法國 Fichet 博士則介紹一種新發展的 α 、 β 量測技術-Digital Autoradiography，為一種非破壞性技術，值得注意。德國則主要在陳述研究型設施拆除後的清除、復原作業規劃與執行。

在 11 月 28 日議程中，議題包括核設施除役與廢料管理新的管制架構、EnBW 核電廠除役作業及其經驗與策略、Leningrad 核電廠除役經驗等。

1. 核設施除役與廢料管理新的管制架構議題中，依據放射性廢棄物責任法案，全體核能業者必須支付新成立的放射性廢棄物管理基金，之後放射性廢棄物的最終責任由核能電廠移轉至德國政府。其中包含放射性廢棄物基本處理費用，並含未來可能增加的風險基金。雖然如此，核能業者仍然必須負責核子設施除役、拆除及放射性廢棄物裝桶的責任。此外，為了控制公司營利，核能業者可整合成一管理企業，共同處理核子設施除役和拆除等作業，但為了強化核能業者後續相關責任，避免因公司結構的改變造成後續除役上的經濟風險，法上亦限制核能業者必須至少持有此管理企業一半以上的股份。

2. EnBW 核電業者除役作業及其經驗與策略簡報，EnBW 核電業者旗下菲利普斯堡(Philipsburg)2 號機及 Neckarwestheim 2 號機仍運轉中，其餘菲利普斯堡 1 號機、Neckarwestheim 1 號機預計於今年永久停機進入除役階段，而 Obrigheim 電廠則已於 2008

年進入除役階段，具有豐富的除役經驗。菲利普斯堡 1 號機、Neckarwestheim 1 號機自 2011 年永久停機後，於 2013 年提出申請除役許可執照，2017 年則取得除役許可執照，後續預估核設施除役作業須 10~15 年，最後土地復原則約莫須 3~6 年。Obrigheim 電廠於 2005 年就已停止運轉，並於 2008 年進行除役拆除作業，目前汽機廠房已全部清空，反應器壓力槽亦已於 2016 年完成切割作業，當前則正在執行反應器壓力槽周圍的生物屏蔽牆拆除作業。EnBW 核電業者除役策略為：重新調整除役期間營運方針及組織，主要考量人員工作安全及經濟因素，重新訓練原有員工學習除役作業技能，運用自己公司員工完成核設施除役作業，同時不斷與員工進行溝通，並使用新科技協助除役工作等。

3. 另有關 Leningrad 核電廠除役經驗，俄羅斯講者簡介該國目前有 10 座(35 機組)運轉中，4 座建廠中，對外輸出 18%核電所發的電量 (27.9GW)。2017 年有 5 部機組核電廠已進入或在準備除役作業，預計 2028 年會有 17 部機組永久停機開始除役。Leningrad 核電廠位於聖彼得堡 80 公里處，該電廠建於 1967 年，共有 4 部 RBMK 型式各 1000MW 機組，俄羅斯主要管制核電廠運轉執照、過渡期運轉執照 (post-operational period) 及除役與拆除執照。只有在反應爐內用過核子燃料完全移除且機組永久停機，才可進行除役，在這之前都必須符合運轉執照相關要求。此外，在俄羅斯僅允許立即拆除核設施，不可延遲除役拆除作業。Leningrad 核電廠除役計畫已於 2015 年批准，該電廠運轉及過渡期運轉執照期為 1973~2018 年，2018~2023 年則進入除役執照期，這階段主要執行用過燃料束退出作業，及除役規劃與準備作業，2023~2052 年則實際執行現場除役作業。過渡期仍然要執行輻射防護及水化學作業，並且仍要有運轉規範。當反應爐仍存放有用過核燃料束，則 70%的電廠系統仍必須要可用，若僅用過燃料池置有用過核燃料束，則 35%的電廠系統仍必須要可用，當所有用過核燃料束移出反應爐及用過燃料池時，則僅須維持通風系統、輻射監測及電源供應正常即可。目前正準備一些除役所需的資料，例如：建築、結構、組件所需的 3D 模型圖、環境輻射調查或預估未來產生放射性廢棄物數量。

在 11 月 29 日上午的議程中，議題包括核設施除役費用超支研究、發展核電除役工程最佳化項目計劃、瑞士核電除役和放射性廢物最終處置資金、核能部門開始發展的計劃管理、除役知識管理等項目。

1. 核設施除役費用超支研究議題中，介紹慕尼黑再保險公司是根據德國法律組織的再保險公司，並規劃由慕尼黑再保險公司或其附屬之保險子公司和再保險子公司來管理核設施除役費用的財務風險。雖然慕尼黑再保險公司已將諸多風險、不確定性因素，及業

績、財務狀況等通盤納入考量，但仍可能會與實際狀況間出現重大差異，因此慕尼黑再保險公司不會承擔這些重大差異所引發的責任。會中講者另介紹慕尼黑再保險公司已建立電腦模型程式，探討複雜的除役項目將所產生的延誤風險及成本。

2. 發展核電除役工程最佳化項目計劃議題中，提及核反應器的除役和拆除作業在今後幾十年，將成為核領域重點部分，因此需要很強的工程管理及規劃能力，以達成降低除役成本的目標。對此，講者認為使用電腦程式做出工程管理決策，就可以得到最佳的解決方案，因此該公司發展相關工程管理及成本估算電腦模型程式，並說明該程式是已使用部分核能業者合作所提供的數據進行測試驗證，希望未來能做為核設施除役最佳化選擇，協助業者以最小的總成本，完成核設施拆除作業。

3. 瑞士核電除役和放射性廢棄物最終處置資金議題中，說明瑞士電力公司有義務安全處置放射性廢棄物，故應分別向除役及最終廢棄物處理基金帳戶繳納款項，以支付電廠運轉產生的廢棄物處理費用。為了確保前述資金充裕，業者需每五年定期重新估算相關成本，此外，若核電業者倒閉，或者發生不可預見的情況時，亦需要重新預估除役成本。而成本預估作業必須根據廢棄物處理方案，以最新的科技及當下適用的價格來預估。同時瑞士核電業者必須考慮建造地下隧道、深層地質儲存庫和日後變化等因素，來估算數十年後將發生的費用。

4. 核能部門開始發展的計劃管理議題中，講者主要說明 CH2M 集團之計劃管理重要性及管理項目，且管理項目必須明確，以訂定出人力和相關資源需求計畫。此外另亦介紹該公司成功協助客戶的案例：美國西部（Golden，Colorado）的一個前核武器生產基地 Rocky Flats 廠，原美國能源部預估相關除役成本為 370 億美元，且除役時程需 65 年（2060 年完成除役），但該公司接手管理後，除降低了除役成本，亦縮短了除役時程。該案例最終使用 70 億美元於 2005 年完成除役，該廠址現在是一個野生動物保護區，被列為美國“所有清理(除役)計劃的典範”。

5. 除役知識管理議題中，講者先介紹 IAEA（國際原子能總署）組織架構，並說明 2018 年 1 月將在核能部(Department of Nuclear Energy)下的核燃料循環和廢棄物技術處(Division of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology)成立除役和環境整治科(Decommissioning and Environmental Remediation Section)。另介紹 IAEA 有一個免費的線上學習平台（原 CLP4Net），並提供相關使用教學資料，且該平台針對「用過燃料束和放射性廢棄物管理、除役和環境整治」議題，目前總共有 45 個相關專題領域，共有 93 個課程。最後介紹 IAEA

於 2007 年成立之國際除役網絡平台 (IDN, International Decommissioning Network)，邀請各國參加此共享平台，以促進成員國間的合作、人員培訓、知識與信息共享，及核設施的安全及其除役效益。

11 月 29 日下午的議題包括德國小型鈉冷核反應器 (KNK) 的拆除計畫、以線鋸拆解反應器內組件的最佳化方式、核設施除役的通風概念、反應器除役的最佳化規劃以及 GKNi 的反應爐壓力容器和反應器內部裝置的拆除的狀況介紹等項目。

1. 在小型鈉冷核反應器 (KNK) 拆除計畫議題中，講者主要簡介德國熱功率 60 MW 小型鈉冷核反應器 (KNK) 於 1991 年 08 月開始停機進行除役的案例，該設施係分 10 階段完成除役作業及“綠地”目標。其中第 9 階段除役作業，係使用機械遙控設備拆除生物屏蔽牆，並展示以模擬設備進行遠端設備拆卸作業及訓練，說明該反應器成功除役經驗。

2. 以線鋸拆解反應器內組件的最佳化方式議題中，先介紹鋼絲鋸的工業切割應用，及其使用優勢，而最新科技發展下，新型鋼絲鋸已經可以同時切割不同的材料。而拆除核電廠時所面臨的挑戰，包括對複合磨削鋸條的熱效應將影響鋸條壽命，再介紹金剛石線鋸切割過程的原理及應用。最後結論包括提升生產力和刀具壽命的目標相反，當熱負荷過大時，刀具壽命會立即結束，使用模型輔助的設計將可解決此類問題，以降低除役成本。

3. 核設施除役的通風概念的議題中，主要介紹該公司通風機械相關設備之應用，說明除役中核電廠若裝設額外的通風系統，將可避免濕氣進入核設施，過濾粉塵，有利於除役作業環境。

4. 反應器除役的最佳化規劃議題中，介紹核電廠永久停機後，除需先取得政府除役許可外，另亦須先了解組件的放射性，方能先規劃拆除作業時的分割和包裝，以及定義量測區域和樣本數量，預估除役成本。講者介紹可利用 Monte-Carlo 方法和開發程式，成功預估物體輻射活度，並以中子活化方式來測定 PWR 和 BWR 所產生之放射性物質數量。

5. GKNi 反應爐壓力容器及反應器內部組件拆除狀況議題中，GKNi 核業者規劃在反應爐拆除池外面執行切割後組件裝箱作業，並以遠程機械來控制裝箱站，達到員工劑量合理抑低 (ALARA)。最適化裝箱作業提到應盡量減少高劑量廢料桶的數量、並使用鋼製容器來裝中劑量廢料。另應加強裝箱作業過程之屏蔽，裝載站也要附加屏蔽板，並利用遠程控制來減少停留的時間，及圍阻體內工作的員工數。首次裝箱必需要有良好的規劃，例如須預先計算出廢料桶的輻射劑量率，以有效降低工作人員的輻射劑量。

在 11 月 30 日的議程中，主要議題為針對除役時所需要之廢料桶輻射測量及低放射性

及中級放射性檢驗及相關規劃等，對於即將進入實際除役階段的我國核能電廠，相關做法值得參考。

1. 在廢料桶輻射測量議題中，提到德國法規要求廢料桶表面平均為 2mSv/h，局部最大劑量率可容許 10mSv/h，距離廢料桶 1 或 2 米處輻射量不能高於 0.1 mSv/h。但由於廢料桶表面測量劑量並不能得知桶內所有具活性的核種訊息，因此獲知桶內部特定核種活度是很重要的事。一般廢料桶輻射劑量率取決於：1.廢料桶組成材料 2.放射性核種分佈/核種存量 3.放射性核種的活性 4.容器的幾何形狀和屏蔽等四種要素。一般使用銻偵檢器測量貯存桶內部核種特性及表面劑量率，但廢料桶內部物質分佈將明顯影響輻射劑量率的測量，故同時使用整體掃描與分段掃描兩種方法測量。簡報結論為使用進步型分段式伽瑪掃描儀，並應用創新算法進行數據分析，可以獲得更精確的量測結果，不但可符合 DIN ISO 11929 標準，測量廢料桶時還可以忽略其內部放射性核種不均勻分佈的狀況。同時，使用此方式區分高低階放射性廢棄物，亦可節省後續處理成本。

2. 在中低階放射性廢棄物玻璃化議題中，講者說明中低階放射性廢棄物玻璃化可降低裝載容量外，亦容易持久保存。這方法主要藉由放射廢棄物與玻璃分子結合作業，結構張力強，不容易分解或遷移，同時在製造過程中也可避免一些有毒氣體揮發，是良好的放射性廢棄物處理方式。

3. 在核廢料管理之有毒/無毒材料量子分析議題中，講者提及核廢料管理遭遇的問題，包括必須針對廢料桶內部物質特性進行分析，以避免最終處置對地下水造成污染，但廢料桶特性分析之取樣是侵入性的，既昂貴又耗時，因此該團隊研發以中子活化技術，產生瞬發和延遲伽瑪之物理原理，藉偵測所產生之光能譜及各化學化合物之能譜，反推廢料桶內部物質特性。

4. 在 3D 輻射偵測核設施污染議題中，介紹該團隊所開發之遠端遙控機械設備及應用軟體，可避免人員在有高污染風險的區域工作，減少人員輻射曝露量，並展示數個英國現場偵測核設施輻射作業實況，及軟體即刻分析並繪出現場輻射強度分布圖。

5. 最後議題討論以遠端遙控機械設備執行除役核設施混凝土取樣作業，該研究團隊介紹使用自動化工具替換手動工作，除可協助人員在有高污染風險的區域工作，減少人員高輻射曝露率外，亦可控制降低採樣成本。這款機器人取樣設備主要由移動單元及機器人手臂組成，並使用特定的工具連接到機器人手臂來執行特定的除役機械操作。這個移動機器人單元可在小範圍內移動和操作，可越過障礙或爬樓梯，執行土木工程結構或混凝土

鑽孔和完整抽取樣品等機械作業，可順利解決除役核設施混凝土岩心難以遂行取樣作業之困擾，除操作簡單、操作時間亦減少，同時擁有高效取樣技術（樣品完整性，且測量數量倍增）。目前此遠端遙控除役機器設備已初步測試完成，該研究團隊將開發一種專用於混凝土污染鑑定的取樣工具。

以上研討議程，對我國核能電廠除役的規劃及未來執行拆除之技術，提供了可行性方案，可供國內執行核電廠除役之拆除作業之重要參考。

二、奧地利質子與重粒子治療中心(MedAustron)

奧地利政府於 2005 年出資成立 EBG MedAustron GmbH 公司，開始計畫興建質子與重粒子治療中心 MedAustron，設施地點位在維也納新城，是奧地利唯一且最重要的質子與重粒子治療中心。MedAustron 的加速器系統是由歐洲核子研究組織(CERN)設計開發，採用同步加速器型式，質子束能量最高可達 250 MeV，碳離子能量最高可達 400 MeV/u。MedAustron 設有三間治療室，分別提供不同照射方式(水平射束、水平/垂直射束與旋轉機頭等)，供醫學物理師設計治療計畫。該中心規劃全年 24 小時不間斷提供治療服務，每年可治療約 1200 名患者。除了治療用途外，另外有一間非臨床用照射室提供質子/重粒子照射，可應用於醫學物理、輻射生物、實驗物理等領域之研究。

MedAustron 設施興建完成後，於 2016 年取得歐盟醫療器材指令 93/42/EEC 許可認證，自該年底即開始使用質子束治療病人，2017 年預估可治療 150 位病人，期望逐年增加治療服務人數，目標在 2020 年要達到設計服務能量。

該治療中心口碑、素質、及研究品質均在水準以上，可考慮為未來本會參訪研習之對象。

肆、心得與建議

本次以主講人身份參與大會，討論核電廠在執行除役時面臨的種種問題及挑戰，頗受禮遇，表示本會也有能力輸出對等經驗，而非僅是座下賓而已。個人深感專業及實力之重要，唯有展現實力，才能拓展國際活動空間，贏得專業敬重及對待。

在簡報完之後，有南韓朋友、TUV 副總裁、德國教授、瑞典工程師、ARUP 助理處長，以及包括大會主席 Kettler 博士等，紛紛前來向本人詢問問題或致意，表達對報告的興趣及

對台灣的善意，這是本次行程收獲最大的地方，不辱使命確實為國家及本會爭取到國際友誼及曝光度。直到返國後，尚與主席 Kettler 博士來往信件問候，Kettler 主席也希望本會能持續參與及支持 ICOND 大會，對促進德國與我國雙方核能交流合作，遠遠超出預期效益及本人想像。本人也希望後繼有人，能維持住與 ICOND 得來不易的交情。南韓朋友朴博士等更為積極，從主動自我介紹，追蹤詢問，到回國後寄賀年卡給本人，情誼感人，再再表現出南韓的積極面。

另外，因已預期國家處境艱困，本次復又因不明原因，ICOND 大會原先將本人單位歸類於中國(CHINA)之下，復經本人不卑不亢去信大會請求更正 TAIWAN (R.O.C.)，大會也從善如流，故在正式的議程及大會手冊中，均予以修正，表達極大善意，也算額外花絮了。

伍、附件

附件一 第六屆 ICOND 會議議程

附件二 MedAustron 相關資料



大會主席Dr. Kettler致歡迎詞



開始簡報



會場EUROGRESS入口海報



MedAustron入口

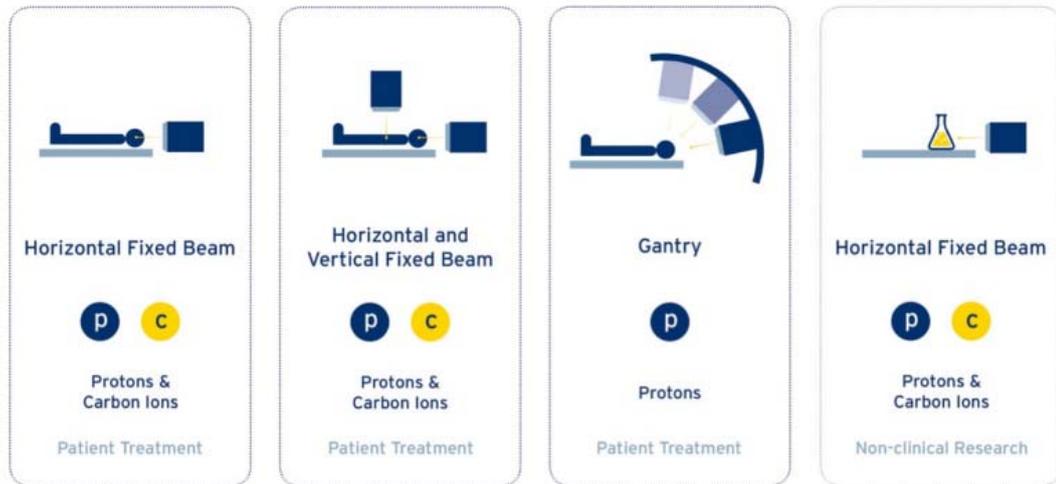


MedAustron模型鳥瞰



MedAustron設施

Irradiation room configuration



MedAustron射束示意圖