

出國報告（出國類別：其他）

赴瑞典進行除役計畫分包商品保稽查、除役技術討論及參訪廢棄物處理及處置設施

服務機關：核能研究所

姓名職稱：趙椿長 研究員

李振弘 研究員

張清土 副研究員

派赴國家：瑞典

出國期間：107 年 6 月 13 日~107 年 6 月 22 日

報告日期：107 年 7 月 19 日

英 文 摘 要

The purpose of this trip is to implement a joint quality assurance audit to Sweden Westinghouse which was required by the quality assurance procedure of INER's research project. Sweden Westinghouse was a sub-contractor of INER's research project related to the development of decommission [plan](#) for Chinshan and Kuosheng nuclear power plant. After the audit, a technical discussion with Sweden Westinghouse was arranged. Topics of discussion include remote cutting, dry cutting, chemical decontamination, sampling and waste management.

In addition, several visits to facilities related to radioactive waste management were arranged. Those include Cyclife waste treatment owned by eDF, component segmentation simulation center owned by Sweden Westinghouse and low level waste repository owned by SKB. It helps to have a better understanding on the issues of segmentation, staff training, radiation protection and radioactive waste reduction and treatment.

On the visit to Studsvik, engineer from Studsvik made a brief introduction on the recent techniques related to decommission and inspection of damaged nuclear fuel. Also, INER shared the latest information on Taiwan's nuclear power plants decommission program.

中 文 摘 要

本次公差的主要目的為赴瑞典西屋公司執行委託計畫品質保證作業稽查，並參訪位於瑞典的放射性廢棄物處理與處置相關設施。

台灣電力公司委託核能研究所執行核一、二廠除役許可申請及除役作業規劃相關研究計畫，其中有關除役重要參數分析及核電廠整體拆解研究係分包委由瑞典西屋公司進行規劃。依據台灣電力公司委託計畫之「稽查作業品質程序書」規定，需針對分包廠商進行外部稽查，以符合品質管理系統之要求，本次國外公差即據以赴分包廠商瑞典西屋公司執行相關品保稽查作業。此行亦安排與瑞典西屋公司具核能電廠除役作業規劃經驗之專家，深入討論除役作業中有關遙控切割、乾式切割、化學除污、取樣分析、廢棄物處理等技術議題，以有效獲得核電廠除役作業之相關實務經驗，提升技術能力與計畫執行成效。

本次公差也安排訪問位於瑞典的放射性廢棄物處理與處置相關設施，包括 eDF 公司所屬的 Cyclife、瑞典西屋公司所屬的組件切割模擬中心、及 SKB 公司所屬之低放射性廢棄物處置設施，深入了解核設施除役高活度組件切割之人員訓練、作業規劃、動線安排、輻射防護及廢棄物減容處理之相關議題，並實地參觀低放射性廢棄物處理場，討論瑞典有關放射性廢棄物處理之國家政策規劃與執行細節，以提供計畫進行核電廠除役規劃作業之參考。

另外，本次公差亦訪問瑞典 Studsvik 公司，了解該公司對於除役作業及受損核子燃料處理等議題之技術能力與研發現況，並介紹我國核能電廠除役之現況與未來規劃。

目 次

	頁碼
英 文 摘 要	i
中 文 摘 要	ii
一、目的	1
二、過程	2
三、心得	25
四、建議事項	29

一、目的

本次公差依據台灣電力公司(以下簡稱台電公司)委託核能研究所(以下簡稱本所)執行核一、二廠除役許可申請及除役作業計畫之需求，由本所偕同台電公司相關人員，赴瑞典西屋(Sweden Westinghouse)公司執行計畫分包商之品質保證作業稽查工作，並參訪位於瑞典的放射性廢棄物處理與處置相關設施。

配合我國 2025 年非核家園之國家能源政策規劃，台電公司分別於民國 102 年及民國 105 年，委託本所進行核一、二廠除役許可申請及除役作業規劃相關研究計畫，其中有關除役重要參數分析及核電廠整體拆解研究係分包委由瑞典西屋公司進行規劃，依據台灣電力公司委託計畫之「稽查作業品質程序書」規定，需針對分包廠商進行外部稽查，以確保相關產出符合品質保證作業之要求。此外，亦安排與瑞典西屋公司具核能電廠除役作業規劃經驗之專家，深入討論除役作業中有關遙控切割、乾式切割、化學除污、取樣分析、廢棄物處理等技術議題。

本次公差也訪問位於瑞典的放射性廢棄物處理與處置相關設施，包括位於尼雪平(Nyköping)的 Cyclife 放射性廢棄物處理設施、位於韋斯特羅斯(Västerås)的組件切割模擬中心、及位於福斯馬克(Forsmark)的低放射性廢棄物處置設施，深入了解核設施除役高活度組件切割之人員訓練、作業規劃、動線安排、輻射防護及廢棄物減容處理之相關議題，並實地參觀低放射性廢棄物處置場，討論瑞典有關放射性廢棄物處置之國家政策規劃與執行細節，對於我國核能電廠除役作業及放射性廢棄物處理之規劃，均有極大的助益。

另外，本次公差亦訪問瑞典 Studsvik 公司，了解該公司對於除役作業及受損核子燃料處理等議題之技術能力與研發現況，並介紹我國核能電廠除役之現況與未來規劃。Studsvik 公司在由國際經濟開發合作組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)所成立的燃料護套完整性計畫(Studsvik Cladding Integrity Project, SCIP)中，負責開發有關受損核子燃料確認與處理相關技術，藉由本次訪問，了解該公司在核子燃料檢測、三維掃描、燃料護套腐蝕之專業技術，對於我國核能電廠在除役期間受損核子燃料之處理規劃，將有實質的幫助。

二、過程

本次公差自 107 年 6 月 13 日起至 107 年 6 月 22 日止，共計 10 天，詳細行程如下：

行程					公差地點		工 作 內 容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
6	13-14	三-四	台北	尼雪平	瑞典	尼雪平	去程
6	15	五	-	-	瑞典	尼雪平	訪問 Cyclife 及 Studsvik
6	16-77	六-日	-	-	瑞典	尼雪平	資料整理
6	18	一	尼雪平	韋斯特羅斯	瑞典	韋斯特羅斯	路程及瑞典西屋公司品保稽查
6	19	二	-	-	瑞典	韋斯特羅斯	瑞典西屋公司品保稽查、技術 討論及參訪組件切割模擬中心 處理
6	20	三	-	-	瑞典	福斯馬克	參訪 SKB 低放射性廢棄物處置 場
6	21-22	四-五	福斯馬克	台北	-	-	返程

6 月 15 日前往瑞典尼雪平，上午參訪法國電力公司 eDF 所屬的 Cyclife 放射性廢棄物處理設施，由 eDF 公司代表介紹該公司在核子燃料設計、核能電廠運轉及放射性廢棄物處理方面實務經驗，並由 Cyclife 代表介紹有關放射性廢棄物處理的各項作業與成果，會後由 Cyclife 工作人員導引參觀放射性廢棄物拆解、處理工廠的設施配置與作業流程。下午訪問 Studsvik 公司，由 Studsvik 公司代表介紹該公司在放射性廢棄物與核子燃料處理方面的專業技術能力，並由核能研究所代表介紹我國核能電廠除役之相關規劃，雙方就核能電廠除役作業中所可能面對的技術瓶頸進行深入討論。

6 月 18 日前往位於瑞典韋斯特羅斯的瑞典西屋公司，進行該公司執行本所委託研究計畫之品質保證作業稽查，由本所及台電公司分別指派稽查領隊，依據雙方品質保證作業程序書之規範執行稽查作業，瑞典西屋公司則針對稽核項目，逐一提供對應文件或電子資料，考量部分文件屬於機密或限閱性質，所有文件檢閱作業均於現地完成。

6 月 19 日於瑞典西屋公司持續進行品質保證稽核作業，並由台電公司稽核領隊，代表稽核小組於稽核後會議中說明稽核結果。在完成品質保證稽核作業後，與瑞典西屋公司技術人員針對核能電廠除役作業所需的遙控切割、乾式切割、化學除污、取樣分析、廢棄物處理等技術議題，進行深入討論與意見交換。在技術討論會議後，由瑞典西屋公司技術

人員帶領參觀該公司所屬的組件切割模擬中心，透過現地訪視了解核設施除役高活度組件切割所需工具、空間配置及動線規劃，並針對各項放射性廢棄物處理作業所需人力及物力進行深入了解。

6月20日前往位於瑞典福斯馬克，參訪 SKB 公司深入海底的低放射性廢棄物處置坑道，深入了解低放射性廢棄處置場的空間設計、貯存容量、貯存方式及安全防護措施，同時也聽取該處置場對於擴充貯存空間，作為高放射性廢棄物處理的規劃與執行現況。

為使本次公差行程獲致最大效益，前述所有行程由本所及台電公司共同參與，除了針對瑞典西屋公司的品質保證作業稽查，為個別依據自有品質保證程序書進行外，其他參訪及討論均為共同參與，並針對各自研究發展需求進行討論。

品質保證作業稽查與參訪行程參與人員

單位	人員職稱
核能研究所	工程技術及設施運轉組副組長
	化學工程組副組長
	核子工程組研究員
台灣電力公司	核後端處副處長
	核能安全處組長
	核後端處課長

參訪 Cyclife 放射性廢棄物處理設施

瑞典 Cyclife 原本隸屬於 Studsvik 公司，在 2016 年為法國 eDF 公司併購，主要服務項目著重於核設施除役及廢棄物處理相關作業，在除役作業方面，Cyclife 除了提供除役策略評估、除役計畫管理、成本管控及人員訓練等顧問服務外，同時也提供完整的放射性廢棄物處理、除役工作及設備拆除等技術服務；在廢棄物處理方面，Cyclife 所提供的服務包括放射性廢棄物分類、管理、處理及暫存設施設計等技術服務，並可利用移動式設備協助客戶於廠址內進行放射性廢棄物處理相關作業，為了降低放射性廢棄物處理所需費用，Cyclife 發展自有大型組件切割、化學除污、固化及焚化等技術，除了既有焚化技術外，Cyclife 也開發金屬熱解(pyrolysis)技術，提升金屬廢棄物處理能力。如下圖所示，Cyclife

除了位於瑞典尼雪平的處理設施之外，在英國及法國都設有處理設施，而位於法國里昂及巴黎的研究中心，則有合計約 700 名專業工程師，進行除役、廢棄物處理及安全分析等研發工作。



本次參訪 Cyclife 位於瑞典尼雪平的廢棄物處理設施，除了該廠技術人員外，同時也有來自法國里昂及巴黎研究中心的工程師共同參與討論，除了瞭解 Cyclife 在核設施除役方面的各項專業能力外，也討論我國在除役作業規劃所面臨的待解決議題，包括廢棄管路

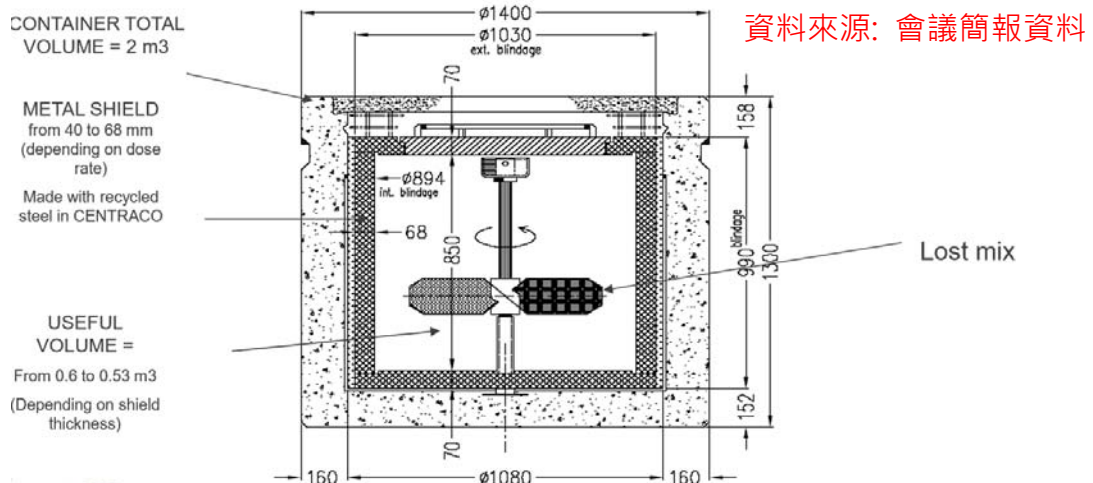
保溫材料與離子交換樹脂處理，及大型設備處理，會後則由 Cyclife 帶領參觀拆解與廢棄物處理工廠設施配置、動線規劃、輻射防護等相關設計。



核能研究所代表致贈 Cyclife 放射性廢棄物處理設施紀念品

依據我國核能電廠除役作業之初步統計結果顯示，需進行低放射性廢棄物處理的管路保溫材料數量極大，但依 Cyclife 在除役方面的經驗，大部分核能電廠保溫材料在經過處理後，高於外釋法規標準的數量極少，對於除役作業及後續低放射性廢棄物貯存計畫並無顯著影響，經討論後發現二者在數量上有差異的原因，在於我國外釋法規標準與瑞典外釋法規標準不同所致。

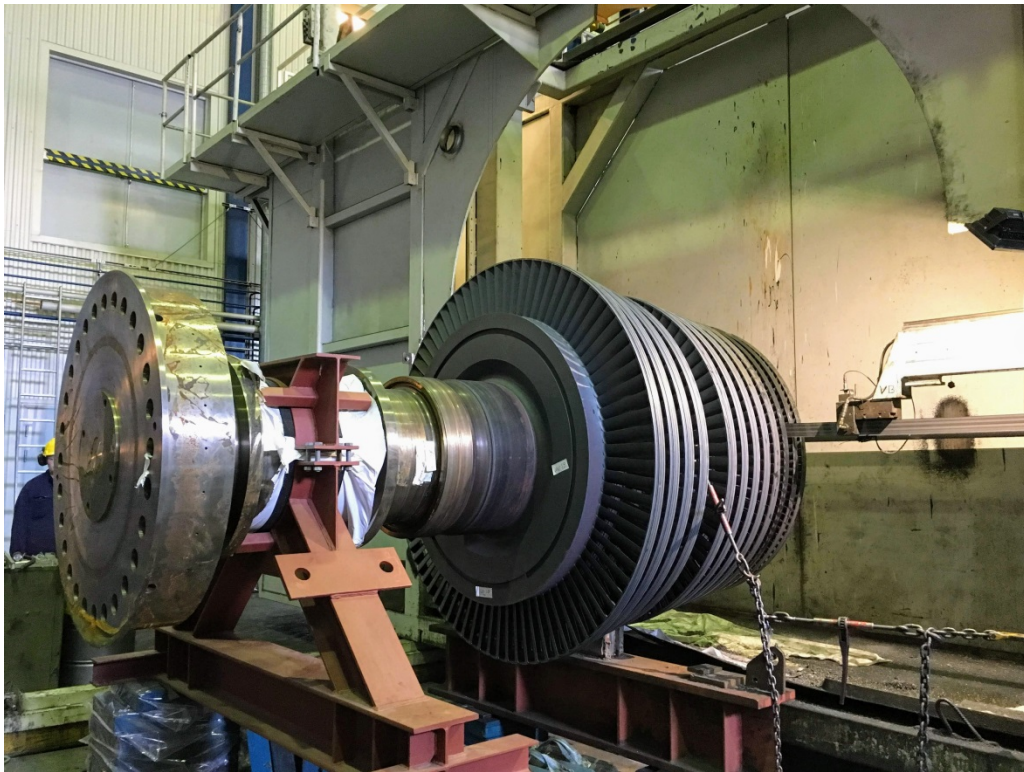
在離子交換樹脂的處理方面，eDF 公司係採用聚合反應進行廢樹脂安定化處理，將來自核能電廠所產生之廢樹脂與環氧樹脂/固化劑雙成分基質(專有配方)，於經過法國 ANDRA 管制局認證耐 300 年高完整性的 C1PG 混凝土屏蔽容器中(如下頁附圖)，進行聚合反應，所需時間約 17 小時至 35 小時，廢樹脂聚合反應混合比例是 0.61 廢樹脂與 0.39 環氧樹脂/固化劑混和，一天約可處理 1 立方米的廢樹脂。



C1PG 混凝土屏蔽容器中聚合反應

位於瑞典尼雪平的放射性廢棄物拆解處理工廠，是一座小型拆解處理工廠，其設計可容納單一大型組件(如蒸汽產生器)完整送進工廠，進行切割、除污及熔解等處理作業，廠區動線可同時容納兩部卡車在密閉的負壓環境下，於工廠內卸除所搬運物，避免非預期放射性物質外釋到環境中。由於放射性廢棄物運送程序繁複，為提高拆解工廠對於放射性廢棄物處理能量，廠區亦配置大型暫存倉庫，以降低射性廢棄物運送作業對拆解工廠處理能量的影響。該拆解工廠透過切割、除污及熔融等作業，大幅降低大型設備後續需進行外釋或放射性廢棄物貯存之體積，經過拆解工廠處理後的設備，約有 95% 的重量符合外釋標準而可執行外釋作業，而未達外釋標準的金屬廢棄物，則以客戶要求的包裝方式，運送至客戶所要求地點，進行後續放射性廢棄物貯存相關工作。依據 Cyclife 過去的經驗顯示，經過處理的鍋爐、蒸氣乾燥器、熱交換器等大型污染設備，約有 95% 至 97% 的重量可進行外釋，來自壓水式反應器的蒸汽產生器則約有 91% 的重量可進行外釋。

由 Cyclife 所建置的拆解處理工廠，其占地小、內部配置簡單，但可進行核能電廠內絕大部分大型設備切割、除污與廢棄物處理相關作業，而拆解工廠外的物料暫存區，則大幅提升拆解工廠整體處理能量，在完整輻射防護設計與規範下，亦可大幅降低相關作業對人員及環境的影響，國內核能電廠在進行除役規劃時，可考慮建置自有設備切割處理廠，集中處理核一、二、三廠共六部機組的設備切割與除污處理作業



拆解工廠內汽機轉子除污與切割作業實況

訪問 Studsvik 公司

Studsvik 公司位於瑞典首都斯德哥爾摩的西南方尼雪平，該公司創立於 1947 年，現為核能工業界著名的燃料分析應用軟體開發、核燃料處理與除役工程服務公司，年營業額約為 7 億瑞典法郎(約 24.5 億台幣)，員工人數約為 700 人，除了位於瑞典的辦公室與放射性廢棄物處理場之外，在德國、瑞士、法國、英國、美國、日本、中國大陸及阿拉伯聯合大公國均設有辦公室。

Studsvik 是國際間唯一同時具備核燃料設計與除役工程的專業公司，在核燃料相關服務包括核燃料設計、分析與管理，本所協助各核能電廠進行核燃料爐心佈局平行驗證時，即與該公司合作，以經驗證的運算軟體，確認爐心在經過核燃料填換後，符合未來核燃料燃耗規劃，並具有相關法規所要求的安全性；在其他核能相關技術服務方面，Studsvik 公司提供核設施除役相關的工程與放射性廢棄物處理諮詢服務，包括除役作業規劃、設備拆解、除污、放射性廢棄物外釋檢測等等。



核能研究所代表致贈 Studsvik 公司紀念品

訪問行程首先由 Studsvik 公司代表介紹公司現況及核能技術服務項目，然後由本所代表介紹我國核設施除役現況與除役規劃，後續討論的議題包括除役期間離子交換樹脂處理、管路保溫材料處理及用過核子燃料池中潛在受損核子燃料處理等。

Studsvik 公司主要提供核燃料設計與除役工程相關技術服務，目前主要的研發重點為受損核子燃料的處理，並協助 OECD 規劃所成立的燃料護套完整性計畫(SCIP)之執行細節。據統計結果顯示，目前有許多經證實的受損核子燃料，暫時存放在各核能電廠的用過核子燃料池中，可能造成池水放射性活度(reactivity)增加及工作人員輻射劑量增加，後續亦可能造成池水淨化所需離子交換樹脂廢棄物數量增加，而長期存放在用過核子燃料池的受損核子燃料，亦可能因為腐蝕或其他機制引發更嚴重的劣化現象。由於受損核子燃料並不適合以乾式貯存的方式進行長期處理，因此必須在核能電廠除役階段進行特別處理。受損核子燃料之處理，應在特別設計的設施中進行，因此必須先由用過核子燃料池移置到處

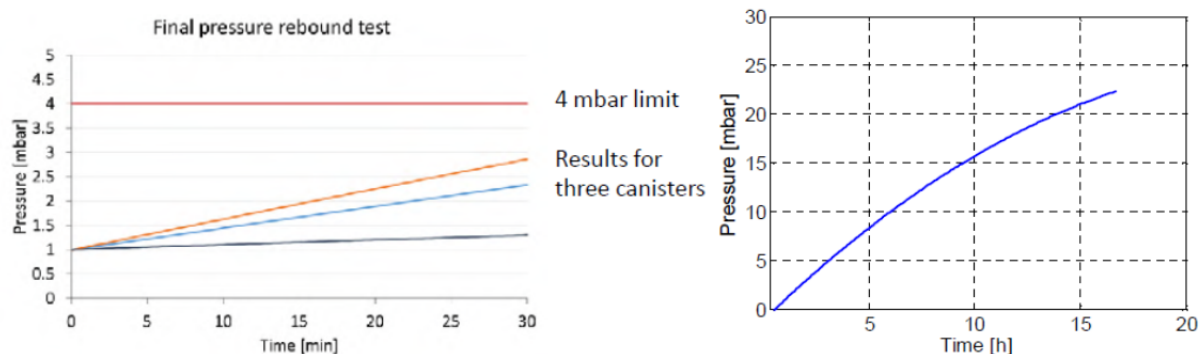
理受損核子燃料的設施(如熱室)，由於受損核子燃料具有潛在高放射性活度的特性，因此必須先密封於特製容器後進行運送作業。

目前瑞典境內估計有數百束受損燃料，存放在各核能電廠的用過核子燃料池中，Studsvik 公司於 2014 年及 2015 年分別針對沸水式反應器及壓水式反應器，進行受損核子燃料處理的先導研究，並以燃料束密封於特殊容器及密封容器廠外運送相關技術，作為研究重點，目前已完成 4 次受損核子燃料密封與運送作業。Studsvik 公司採用在容器內抽真空方式進行待處理核子燃料乾操作業，因此必須盡量縮短容器長度，以提高容器內真空乾燥的效率，因此原有受損核子燃料束必須先切割燃料束上下兩端非核子燃料棒的組件，然後移置到密封容器進行真空乾操作業，完成乾燥的核子燃料置放容器，再逐一移置到運送容器中，經過焊接密封及充填氬氣後，即可進行廠外運送作業，依目前實驗之運送容器設計，每次運送作業可以運送 12 支受損核子燃料棒。

受損核子燃料的處理必須先由核能電廠進行受損燃料棒確認作業，並將已確認受損燃料棒及疑似受損燃料棒移出核子燃料束，並經過乾燥密封作業後，運送至 Studsvik 公司的處理廠進行處理，目前預估瑞典境內各核能電廠必須進行約 20 次運送作業，將受損核子燃料運送到 Studsvik 公司的處理廠，完成受損燃料處理後的放射性廢棄物，則需經由約 10 次運送作業，將放射性廢棄物運送到高放射性廢棄物中期貯存場。

目前 SCIP 在實際運送作業與實驗測試中，已發現在受損燃料棒取出作業及真空乾燥作業相關的問題，首先在受損燃料棒取出作業中，曾遭遇燃料棒掉落或無法抽出核子燃料束的問題，因此 SCIP 認為受損燃料棒可能極為脆弱，甚至可能在取出作業中發生更嚴重破裂的狀況，抑或是受損燃料棒之掉落碎片進入燃料棒管束中，造成燃料棒卡在管束中無法取出；在燃料棒密封容器乾燥真空作業中，因真空泵抽出 Kr-85 引發潛在放射性物質外釋到廠房中的疑慮；至於運送到 Studsvik 公司的燃料棒密封容器，在經過 36 小時抽真空作業後，置放一天監控容器內壓力上升狀況，實驗顯示部分容器的壓力有些微上升的狀況(如下頁附圖)，主要導因於殘留於容器中的水，經過汽化所造成的壓力上升，這顯示燃料棒密封容器即便經過先期壓力回升測試，仍可能有水殘留在燃料棒內。而殘留在受損燃料棒內的水，在後續進行燃料棒拆解與處理過程中，可能因高溫而瞬間汽化，並造成輻射防

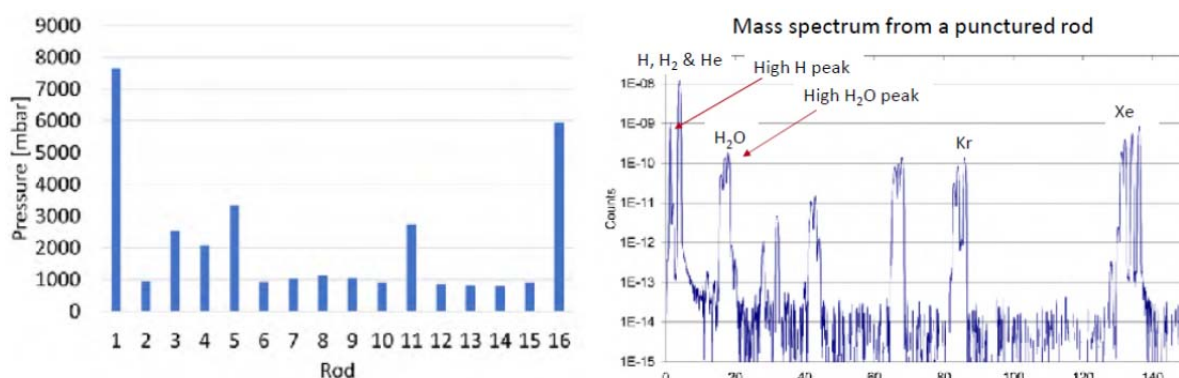
護的困擾，至於殘留在受損燃料棒的水是以何種方式滯留，以及如何清除這些殘留水的可行方式，將是 SCIP 後續的研究重點。



資料來源: 會議簡報資料

燃料密封容器在運送前(左)及運送後(右)進行壓力回升測試結果

有關疑似受損的燃料棒，Studsvik 公司採取燃料棒穿刺、護套內壓力量測及氣體成分檢測的方式，定義疑似受損的燃料棒是否有受損現象，受損燃料棒會有護套內壓低偏低，及氫氣與水含量顯著較高的現象，因此可以透過量測與檢測方式，辨識所分析燃料棒是否有破損現象。經由 16 支疑似受損燃料棒的分析結果，的確有部分燃料棒的護套壓力與正常燃料棒相同(下圖左)，因此無燃料棒受損的顧慮，而受損燃料棒的護套內氣體成分分析結果，將會顯示有比正常濃度高 1000 倍的氫與水(下圖右)，同時也間接證實燃料棒密封真空乾操作業，無法完全移除殘留在燃料棒護套內的水。



資料來源: 會議簡報資料

燃料棒護套內壓力量測結果

受損燃料棒護套內氣體成分檢測結果

從 2018 年 3 月開始，SCIP 進行為期 3 年半的燃料棒特性研究計畫，目的在於開發燃料棒安全封裝及貯存相關技術，並由位於德國的 KKB 電廠提供 12 支受損燃料棒及 1 支未受損燃料棒進行實驗(燃料棒特性(如下圖)，主要的研究重點為確認受損核子燃料在經過長期存放於用過核子燃料池後的特性，及燃料棒真空乾燥後的殘餘水量與其他殘餘化學物質，該計畫的經費規模約為一千四百萬歐元，由參與國家依境內核能電廠機組數量作為經費分攤計算基準，目前仍接受其他未參與國家申請參與，而參與 SCIP 的國家可獲得該計畫所開發之未公開數據、工程技術及其他研究成果，目前我國並未加入 SCIP 之運作。

Essential data for the 13 special fuel rods

Bundle	Rod 6)	Host FA type	Vendor	Initial Enrichment [w/o]	Enrichment at discharge [w/o]	Failed rod Position in the Lattice	Cycles of Operation	Date of Insertion	Date of discharge	Cooling time (Days)	Discharge Exposure of host FA (GWd/tU)	Discharge Exposure of fuel rod (GWd/tU)
HA012	A2	8x8-2	KWU	1.70	0.30	Peripheral	c05-c07	23.08.1986	31.07.1988	10778	26.45	24.67
HA033	D1	8x8-2	KWU	2.40	0.66	Peripheral	c05-c07	23.08.1986	31.07.1988	10778	23.65	21.62
HA033	A2	8x8-2	KWU	1.70	0.38	Peripheral	c05-c07	23.08.1986	31.07.1988	10778	23.65	21.62
HA082	A5	8x8-2	KWU	2.40	0.68	Peripheral	c05-c07	23.08.1986	31.07.1988	10778	23.63	23.13
HA082	B1	8x8-2	KWU	1.70	0.37	Peripheral	c05-c07	23.08.1986	31.07.1988	10778	23.63	21.55
HA082 ³⁾	C3 (Gd)	8x8-2	KWU	3.00/2.00	1.22	Central	c05-c07	23.08.1986	31.07.1988	10778	23.63	19.43
HA082	D1	8x8-2	KWU	2.40	0.66	Peripheral	c05-c07	23.08.1986	31.07.1988	10778	23.63	23.15
HA046	D4	8x8-3	KWU	3.80	1.07	Central	c05-c08	23.08.1986	08.10.1989	10778	30.75	32.23
VC015	C6	A108	AREVA	4.95	1.23	Central	c16-c21 ⁵⁾	27.04.2001	18.07.2007	3852	42.27	45.03
UA052	J3	SVEA-96	WSE	3.00	0.97	Peripheral	c15-c17	26.05.2000	06.03.2004	5081	27.26	26.68
UB081	A5	SVEA-96	WSE	4.70	2.50	Peripheral	c14-c15	22.05.1999	01.07.2001	6060	20.9	24.32
UA055	C8 ²⁾	SVEA-96	WSE	4.46	2.57	Central	c15-c16	26.05.2000	18.02.2002	5828	19.96	19.86
NA014 ³⁾	B2	SVEA-64	WSE	4.95	2.10	Inner ⁴⁾	c10-c11	14.07.1991	27.07.1996	7860	20.77	20.93

1) Rod sound

2) Spacer Capture Rod

3) Rod broken in two pieces

4) On diagonal towards detector

5) Cycle 21 was only 30 days long

6) Rod orientation:

KWU/AREVA Control rod corner ist rod A1
WSE Detector corner ist rod A1

資料來源：會議簡報資料

SCIP 燃料棒實驗所使用燃料棒特性表

在 Studsvik 公司介紹該公司工程服務領域及 SCIP 國際合作計畫的現況後，由本所代表介紹我國核設施的除役現況，重點包括我國除役相關法規、除役計畫相關要求、核設施現況、除役技術相關研究、及各運轉中核能電廠的除役規劃現況。依據我國法規要求，核能電廠除役應以拆除方式進行，並於運轉執照到期前三年提出除役計畫，除役計畫共分為 17 個章節，內容涵蓋環境調查、系統運轉、輻射防護、安全分析、工法排程與拆除規畫、廢棄物盤點與處理、人員訓練、保安、環境復原等主要工作項目，目前核一廠已完成除役計畫之申請、審查及核可相關作業，核二廠則將於 2018 年底完成除役計畫，並送主管機

關原子能委員會進行審查。

參與會議的 Studsvik 公司技術推廣部門代表，對於我國所開發的三維工程模擬技術極感興趣，認為可以有效提高除役作業效率，避免非預期輻射曝露與工安意外發生，而 Studsvik 公司也隨之說明該公司所研發的雷射掃描技術，除了可以精準描繪設備外部的三維結構狀況外，同時也具備設備內部掃描能力，以建立精準設備三維模型，協助設備切割作業之規劃。而因應國內除役產生之廢樹脂及現有暫存於廠內之廢樹脂待處理相關需求，會議中亦簡短討論離子交換樹脂處理技術，Studsvik 公司建議可先依我國核能電廠廢樹脂數量特性及法規要求，進行各項技術的可行性評估，再由評估結果選擇合適的處理方式，該公司也期望能有機會能就除役計畫各項工程技術提供服務。

瑞典西屋公司品質保證作業稽查

本所目前接受台電公司委託執行核一、二廠除役許可申請及除役作業規劃，並由本所與瑞典西屋公司合作進行包括拆除規劃、放射性廢棄物產量估算等研究，本次品質保證稽查作業由本所及台電公司合組稽查團隊，依據程序書要求進行如下表所示 9 個項目的品質保證稽查，整個稽查作業由瑞典西屋公司工作項目負責人現場說明工作執行規劃、進度掌控、人員訓練、紀錄保存等各項作業方法與流程，並現場提供電子檔案及紙本文件作為佐證資料，同時也回覆稽查團隊所提出的各項問題。

品質保證稽查項目

項次	內容
1	Contract Review
2	Software Quality Assurance
3	Document Control/Adequacy
4	Organization/Program
5	Nonconforming Items/Part 21
6	Internal Audit
7	Corrective Action
8	Training/Certification
9	Records

在合約要求工作項目執行規劃方面，瑞典西屋公司之計畫管理係依據第三階(Level 3)程序書執行，程序書編號為 WSE 5.1 Rev. 0 (2015 年 11 月 3 日版本)，瑞典西屋公司採購編號為 EE 16-7017，工作範圍包括海外人員訓練、除役關鍵參數分析研究報告、設備拆解規劃研究報告及技術諮詢，就前述合約工作內容，稽查重點為合約檢視及技術報告品質保證作業查核，相關作業均符合品質保證規範之相關要求。

在所使用軟體品質保證作業方面，瑞典西屋公司於執行除役計畫時曾使用輻射劑量評估相關軟體，不過訪談時確認瑞典西屋公司係採用先前其他相關計畫之成果，以比例方式進行評估，目前除了微軟公司發行之 Project 及 Office 軟體外，並未使用其他軟體，因此不適用軟體品保相關之軟體管理計畫、軟體允收驗證、軟體版次建構管控(Configuration Management)、軟體採購管控(procurement of software)與相關之軟體管理程序書管控要求。

在文件管控方面，程序書 WSE 12.1 Rev. 6.1 (2016 年 6 月 2 日版本)為工作人員日常作業必需遵循的程序書，屬於第三階程序書，因此以本國文字(瑞典文)編寫。西屋公司國際性公司，瑞典西屋公司需遵循西屋總公司所建立一階及二階品保方案，這些一階及二階品保方案皆以英文撰寫，屬於執行層面的三階程序書則主要以瑞典文撰寫，但亦有部分三階程序書發行英文版本，但在程序書有特別加註，若有必要發行英文版時，禁止直接利用如 Google 所提供之翻譯器將程序書從瑞典文譯為英文，以避免不當翻譯造成內容的偏差。在文件智財權的管控上則分為一、二、三等三個文件等級，第一級文件屬於公司智慧財產，含高度敏感智財資訊，限於公司內部使用，第二級文件則視內容區分為可對外發布及不可對外發布等兩個層級，第三級文件則為一般文件，文件對外發布並無任何限制。經查證相關程序書後，瑞典西屋公司在文件管控方面，均符合品質保證規範之相關要求。

在人員組織方面，由瑞典西屋公司說明執行合約工作內容及相關組織架構，經查證後符合程序書及相關規範之要求。

在不符合事項管制方面，瑞典西屋公司品保方案遵循西屋總公司品保方案，之一階及二階程序書，若發現輸出至美國產品之品質不符或潛在安全疑慮時，需依通報美國核管會，並依瑞典西屋公司之程序書 WSE 14.7 Rev. 5.2 (2018 年 4 月 3 日版本)先簽發文件進行改善，相關作業均符合品質保證規範之相關要求。

在內部稽核方面，程序書 WSE 4.6 Rev. 3.1 (2015 年 11 月 3 日版本)訂定瑞典西屋公司內部稽查之要求，並分別於 2017 年與 2018 年排定執行內部稽查，從規劃之內部稽查排程可看出，瑞典西屋與我國合作之除役計畫研究，自 2017 年開始執行迄今尚未執行內部稽查，另亦未規劃執行內部稽核作業，經進一步討論與澄清後，瑞典西屋公司表示與我國合作之除役計畫研究專案，涉及之品保作業管控流程與其他研究計畫之品保作業完全相同，瑞典西屋公司曾於 2018 年執行涵蓋所有委託研究計畫品質保證作業之內部稽查，文件顯示當次內部稽查的應改善事項，經我方稽查團隊討論後，同意瑞典西屋公司於 2018 年所執行之內部稽查，可適用於與本所委託之除役計畫相關研究，相關作業均符合品質保證規範之相關要求。

在矯正措施方面，檢視程序書瑞典西屋公司改善行動相關之作業程序書，包括 S 13.1 Rev. 9.0 (2017 年 10 月 25 日版本)及 W2-5.1-101 Rev. 5.1 (2018 年 1 月 29 日版本)，經查瑞典西屋公司執行與我國合作除役計畫相關研究時，並未發現任何涉及矯正措施的狀況，相關作業均符合品質保證規範之相關要求。

在人員訓練方面，瑞典西屋公司之人員訓練紀錄全部電腦化，擁有管理權限的部門經理，可從電腦上直接調閱其管理權限人員的訓練要求與訓練紀錄，瑞典西屋公司參與我國除役計畫相關研究人員，計有 Kimmy Långtröm、Gunnar Hedin、Louise Fornader、Mikael Wickman、Niklas Bergh 及 Björn Thornström 等 6 人，其直屬管理階層為除污/除役/廢料管理經理 Gunnar Hedin，在查閱前述 6 人之訓練電子紀錄後，所有訓練程序均符合品質保證規範之相關要求。

在品質保證記錄方面，瑞典西屋公司以程序書 S 5.1.1 (2016 年 12 月 12 日版本)訂定文件歸檔的方式，西屋總公司之文件歸檔採全電子化管控，所產生之文件連同紙本以彩色掃描，經驗證程序無誤後留存，不再保留紙本。瑞典西屋公司的文件管控與西屋總公司之管控方式略有不同，仍視紙本簽署文件為原始文件，並依程序書 S 5.1.1 之相關要求保存，掃描之電子檔則為紙本之備份，儲存在瑞典西屋公司之檔案伺服器上。瑞典西屋公司已完成我國核能電廠除役重要參數分析報告 R1 版，查閱該報告紙本文件 R0 版與 R1 版，並

與從電腦上調閱對應之電子檔 R0 版與 R1 版之品保紀錄，所有文件紀錄皆完整保存，符合品質保證規範之相關要求。

瑞典西屋公司執行作業程序書皆以瑞典文撰寫，符合品保作業要求，惟因語言隔閡，稽查作業的查證困難度較高，本次品質保證作業聯合稽查，非常感謝瑞典西屋公司之全力配合，以口譯的方式，將瑞典文之文件譯為英文，方便稽查人員順利完成稽查作業。

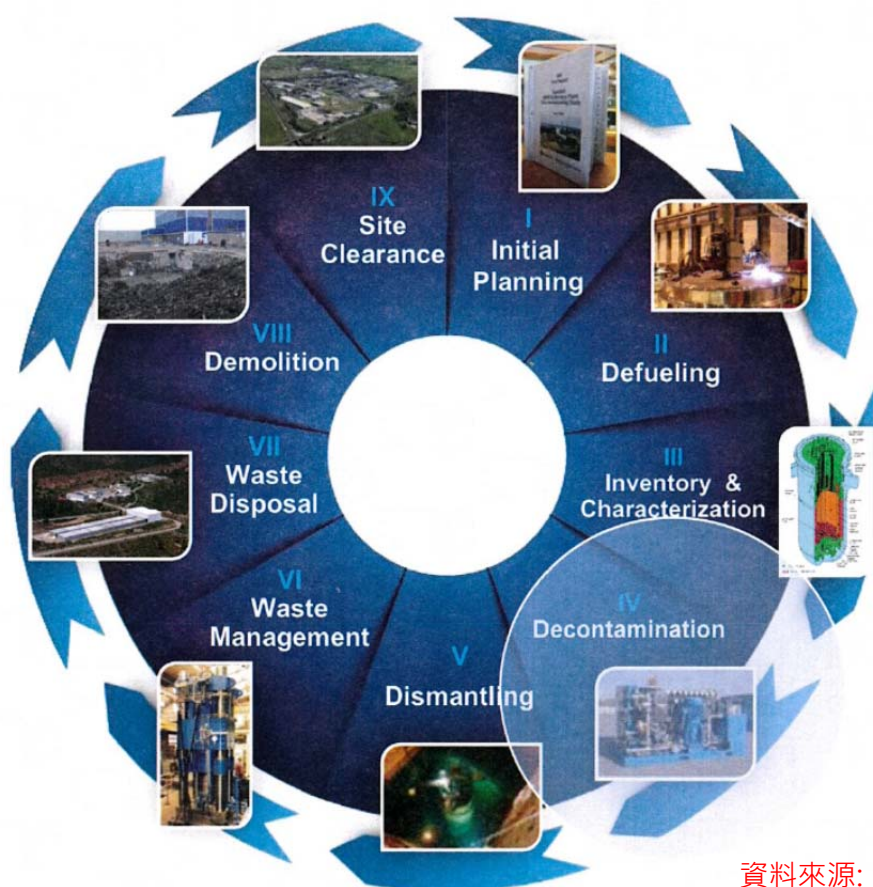
本次稽查結果顯示瑞典西屋公司之品保制度相當完整，且執行狀況良好，執行過程中，對於瑞典西屋公司是否有依規定執行內部稽提出疑義，經充分討論後，確認瑞典西屋公司於 2018 年 5 月 14 日至 18 日所執行之內部稽查，其內容足以涵蓋我國除役計畫相關研究之品保作業，所有程序、文件與記錄均符合品質保證規範之相關要求，本次品質保證作業稽查並未發現需改善之不符合項目。

除役作業技術討論

與瑞典西屋公司技術人員所進行的技術討論會議，區分為設備切割、化學除污、廢棄物處理及取樣評估等四大議題進行，各議題之討論先由瑞典西屋公司說明該公司因應除役作業需求所開發各種技術，再由與會人員針對技術細節交換意見。

基於降低人員輻射曝露及避免輻射污染擴散之考量，核能電廠除役期間高活度組件切割作業，大部分都於水下進行，瑞典西屋公司對於水下切割作業的技術發展已有近 40 年的經驗，目前也在世界各國核能電廠提供相關的技術服務，目前的研發重點包括反應爐壓力槽乾式切割技術、水下電漿弧切割技術及機械切割工具精進等。考量反應爐壓力槽及內部組件的金屬材料厚度較大，使用雷射切割的成本極大，因此開始研究乾式切割的技術發展，目前研發的重點在於如何規劃有效輻射屏蔽與開發更具效率的切割工具，以有效降低切割作業成本並保障工作人員安全。水下電漿弧切割則是目前測試中的最新切割技術，主要研究的議題包括水下電漿供應設施開發、切割設施可靠性評估、通風設施需求制訂、輻射污染擴散分析、切割效果評估及切割後水質評估等，並透過測試取得的參數進行評估，目前初步的結果顯示，依據切割物厚度定義切割速度及角度，是完成有效切割重要參數，

低於 10 公厘厚度的切割件，可用切割設備的最大速度進行切割，且不會產生切割殘渣，厚度達到 25 至 35 公厘的切割件，則可使用約 20 度的切割角度進行切割，以加快切割速度，並可降低切割殘渣數量，整體測試結果顯示水下電漿弧切割技術在未來具有極佳競爭性，尤其是進行反應爐壓力槽等厚度較高設備的切割，不過瑞典西屋公司也表示仍須進行更多測試，以驗證相關技術的可靠性及成本效益。



資料來源: 會議簡報資料

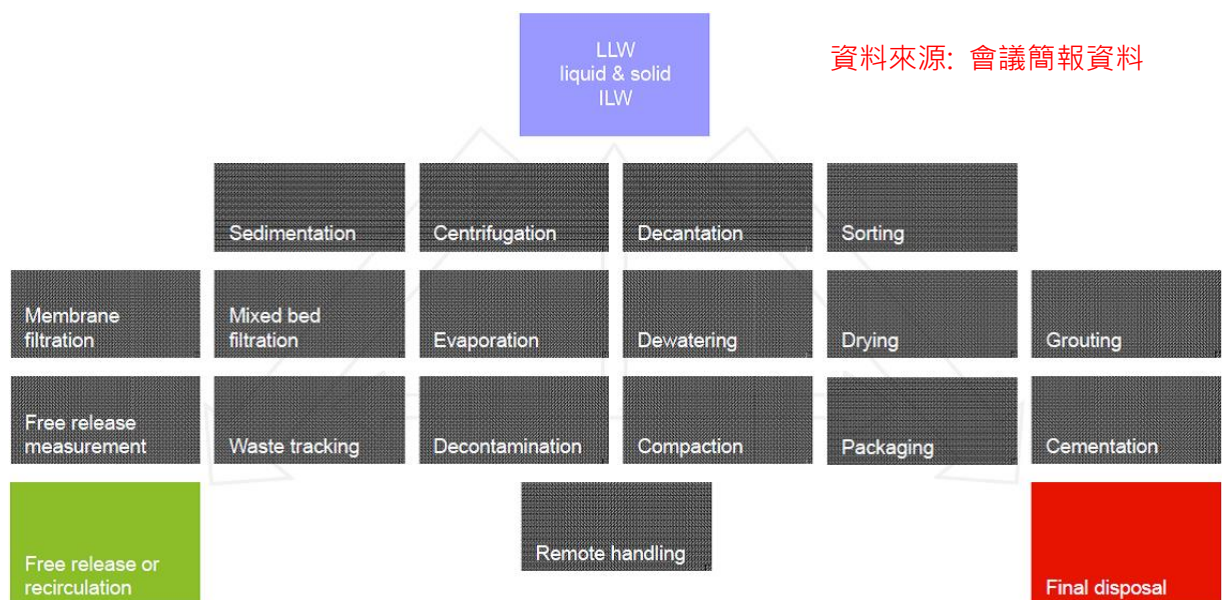
化學除污在除役作業所扮演腳色

化學除污的主要目的是在有效降低設備放射性活度，並希望能減少工作人員所接受之輻射劑量，瑞典西屋公司擁有許多化學除污經驗，曾經完成超過 300 項來自沸水式反應器及超過 40 項來自壓水式反應器的化學除污作業服務，同時執行過超過 60 個壓水式反應器反應爐冷卻水泵的化學除污作業，目前正協助 4 座核能電廠進行全系統除污作業、1 座

電廠進行全迴路除污作業、及 3 座電廠進行高污染設備除污作業。基於多年所累積化學除污經驗，瑞典西屋公司歸納降低成本及縮短作業時間的要點如下：

- (1) 由具實務經驗工作人員建立安裝、測試及運轉程序書；
- (2) 指派具實務經驗的計畫規劃人員及值班監督與具化學背景工程師；
- (3) 針對不同設備開發專用設備

低放射性廢棄物減量是除役作業的重要工作之一，經過處理且符合外釋標準的氣體、液體或固體可以透過排放、拋棄及掩埋方式，外釋到環境中，未符合外釋標準的殘餘物則須經過處理後，進行低放射性廢棄物貯存。瑞典西屋公司對於低放射性廢棄物處理，亦有多年輕驗，也開發自有包括乾燥、液體處理、固化、壓縮、貯存桶吊運、貯存桶檢測及貯存桶運送相關設備，可提供核能電廠進行全套的低放射性廢棄物處理服務。有關廢樹脂的處理，瑞典西屋公司採用熱分解法，先將廢樹脂乾燥及壓縮後，然後加熱至 150°C 以分離內含會造成廢樹脂壓縮後膨脹的氨族氣體，再經過壓縮後進行最終處理，約計可縮減 50% 廢棄物體積。



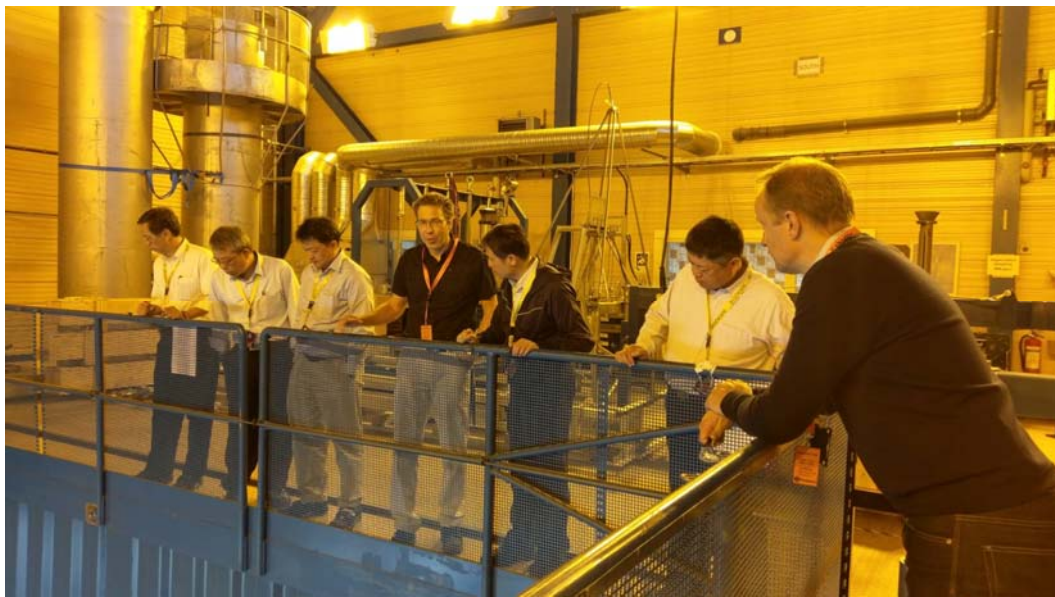
西屋公司在低放射性廢棄物處理方面的技術能力



核能研究所代表致贈瑞典西屋公司紀念品

因應除役作業的取樣分析，可區分為運轉期間、停機過渡期間及系統拆除期間等三個時段分別進行，主要目的為估算拆除組件的放射性活度。在運轉期間的取樣分析作業，可做為估算放射性廢棄物體積之重要參數，以規劃放射性廢棄物貯存容器形式與數量，並作為放射性廢棄物處置成本估算的重要依據；在停機過渡階段，可透過破壞性取樣及進入機組運轉期間無法接近區域進行取樣，因此可補足機組運轉期間無法蒐集的取樣分析資訊，使放射性廢棄物貯存容器規劃與成本估算更為精準；除役期間的取樣分析，則為因應現場工作流程規劃、輻射屏蔽規劃及外釋標準制定所進行之必要作業。不同區域或不同設備的放射性活度來源可能有所不同，可能的來源包括中子活化、沉積物污染、離子交換樹脂累積之高濃度放射性物質污染、洩漏污染等。來自中子活化的放射性活度可以透過運轉資料蒐集及理論公式進行估算，因此取樣分析的需求相對較少，而沉積物污染則具有些微不確定性，除了理論公式估算外，必須透過合適輻射偵檢器(例如高純度 HPGe 偵檢器)的偵檢結果進行修訂；至於來自洩漏污染的放射性活度，則無法以理論公式進行估算，必須透過輻射偵檢器及現場取樣，以估算正確放射性活度。瑞典西屋公司無論在理論估算、現場儀器偵檢、現場取樣方法、取樣工具及樣品放射性活度分析各方面，均累積許多現場實

務經驗，同時也開發各式取樣工具，以便利人員取樣與後續樣品分析。依據瑞典西屋公司所歸納的除役期間設備與結構物放射性活度分析流程，首先透過快速且簡單的初步調查，在避免非必要輻射曝露的前提下，蒐集各區域的放射性活度概況，以作為規劃後續細部放射性活度估算方法及現場作業之依據，現場調查則應藉由高精準度的輻射偵檢器，或現場鑽孔取樣獲取所需資訊。



參訪人員鳥瞰瑞典西屋公司組件切割模擬中心配置

參訪組件切割模擬中心

因應大量除役作業服務之工具測試與人員訓練需求，瑞典西屋公司自行建置組件切割模擬中心，以實物大小模型、深水池、原尺寸切割操作平台及切割工具，提供包括人員訓練、工具開發、切割測試等模擬環境。整個訓練中心的設計，主要以人員訓練為主要目的，除了切割相關的設備操作訓練外，亦協助人員在穿戴輻射或工安防護設備下，正確且迅速完成切割作業，瑞典西屋公司表示，所有至海內外執行與切割相關技術服務的工作人員，均需於該中心完成相關的操作訓練。本次參訪由瑞典西屋公司負責人說明該中心的人員配置、訓練規劃，並於切割操作平台上，實際感受切割物件吊運與切割工具操作之流程，

藉由全尺寸的 90 度截面的反應爐壓力槽內部組件模型，接受訓練的操作人員可以實際了解反應爐壓力槽內部的組件配置狀況，可顯著提升訓練成效，長寬約五公尺的深水池，則用於執行水下切割設備操作訓練，提供人員在不同水下能見度狀況下，正確執行各種切割工作操作。



瑞典西屋公司說明訓練使用工具



瑞典西屋公司說明深水池組件切割模擬訓練

參訪低放射性廢棄物處置場

位於瑞典福斯馬克的低放射性廢棄物處置場(簡稱 SFR)，於 1988 年開始由瑞典核燃料與廢棄物管理 (Svensk Kärnbränslehantering, 簡稱 SKB) 公司負責營運，主要功能為除了用過核子燃料之外的低、中放射性廢棄物貯存，所接收放射性廢棄物的來源，大部分為瑞典境內核能電廠運轉所產生的廢棄物，也有少量來自醫院、製藥廠、研究機構及其他工業所產生的廢棄物。SFR 的設計基準為透過管制作為，至少隔離人類接觸 500 年，此時預期絕大部分的放射性物質都會經由衰變而消失，另外也需確保所貯存廢棄物在一萬年內不會接觸人類生活圈，由於該處置場在瑞典被視為核設施，因此必須接受瑞典政府的監控與嚴格的法規管制。

資料來源: <https://corporate.vattenfall.se>

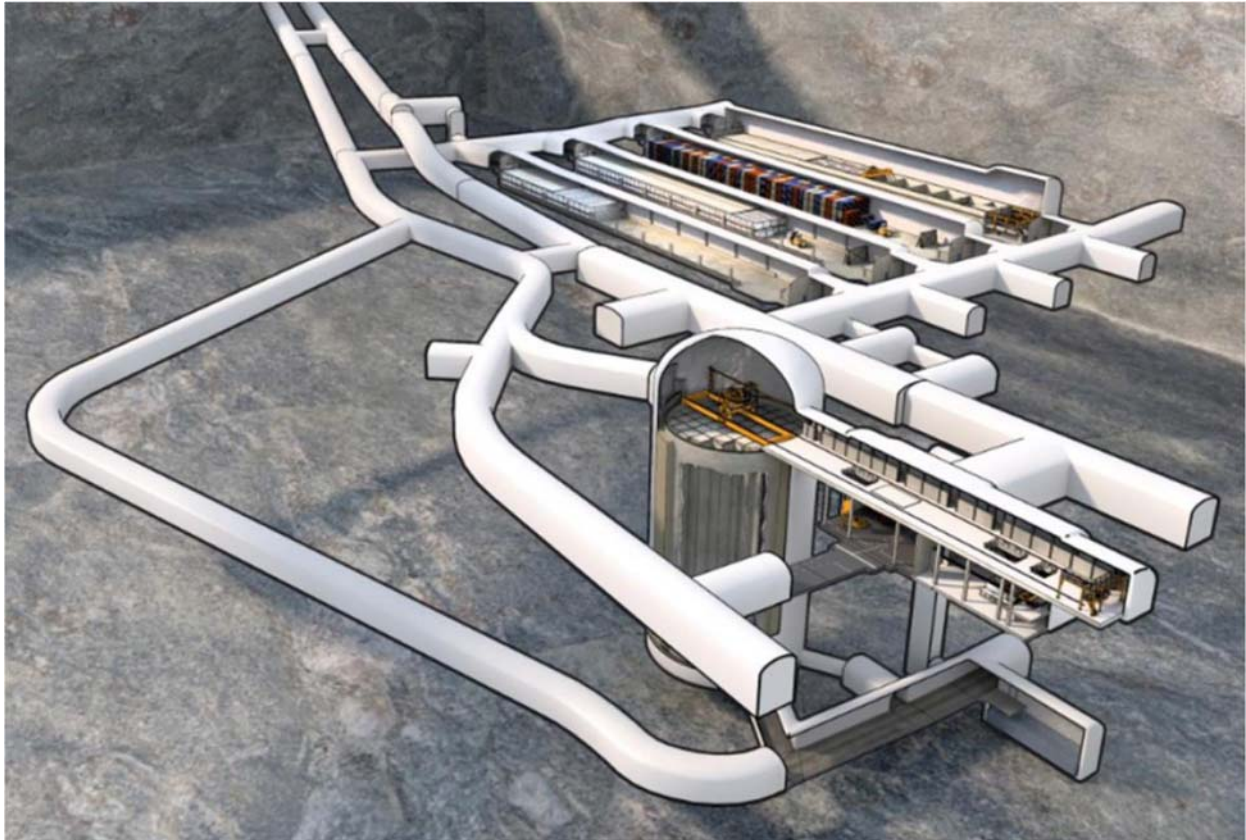


SKB 低階放射性廢棄物貯存場入口

SFR 位於波羅地海鄰近福斯馬克的海底，深度約為海平面下 50 公尺，地面入口(如上圖下方設施)則位於鄰近福斯馬克核能電廠(如上圖上方)旁的海邊，由二條長約 1 公里的隧道連接地面入口與貯存場入口，貯存場內的放射廢棄物貯存空間，主要由四條長約 160 公尺的坑道及一個約 20 公尺直徑及約 50 公尺高的圓柱狀水泥結構空間組成，另外也設置

包括控制室及運送、放射性廢棄物處置所需空間，其地下結構設計示意圖如下圖所示，實際可用於放射性廢棄物貯存的空間為 63,000 立方公尺，每年可完成貯存的放射性廢棄物容量約為 600 立方公尺。

資料來源: <http://www.skb.com>



SFR 地下結構設計示意圖

SFR 所配置的工作人員數量約 30 人，主要負責營運與管理相關工作，有關放射性廢棄物處置相關專業技術，則與鄰近的福斯馬克核能電廠合作進行，由該核能電廠提供技術服務、人員訓練與設備操作所需人力，每年營運所需經費約為四千萬瑞典幣(約合台幣一億四千萬元)。Barsebäck 核能電廠為瑞典第一個規劃拆除的核能電廠，兩部機組雖陸續於 1999 及 2005 年停止運轉，但目前尚未進行除役拆除作業，為了容納未來因應核能電廠陸續除役後，所可能產生大量金屬及結構用混凝土等低放射性廢棄物，因此 SFR 於 2014 年向管制單位提出擴充貯存容量申請，預計貯存容量可由 63,000 立方公尺擴充至 220,000 立方公尺，足以容納因應瑞典境內所有核能電廠除役所需的放射性廢棄物貯存量。



資料來源: <http://it-spots.de>

SFR 地下儲存坑道，長度約為 160 公尺



資料來源: <http://it-spots.de>

SFR 圓筒狀水泥貯存結構，直徑約 20 公尺，高約 50 公尺



SFR 擴充貯存容量計畫(藍色部分為新增貯存坑道)



核能研究所致贈 SKB SFR 紀念品

因應未來用過核子燃料處置之需求，SKB 規劃於原低放射性廢棄物處置場址旁，另設置可存放用過核子燃料的高放射性廢棄物處置場，除了考慮該場址具有地質穩定的特質外，透過溝通獲得當地民眾接受亦是重要的原因之一，SKB 於 2009 年完成場址評估，並於 2011 年將高放射性廢棄物處置的相關計畫，送交瑞典管制機關(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)審查，處置場將於獲得申照許可後，於 2020 年開始施工，並於 2025 年啟用。依據瑞典非核家園之政策規劃，現有運轉中核能電廠預估於 2030 年全部停止運轉，並進行除役相關作業，而 SKB 規劃中的高放射性廢棄物處置場，屆時將可容納瑞典境內所有核能電廠所產生的用過核子燃料。

三、心得

此次國外公差至瑞典西屋公司執行品質保證稽查作業，並參訪 Cyclife、Studsvik 及 SKB 公司放射性廢棄物處理與處置設施之心得分述如下：

1. 依據我國核能電廠除役作業之初步統計結果顯示，廠內需進行處理的管路保溫材料數量極大，但依 Cyclife 在除役方面的經驗，大部分核能電廠保溫材料在經過處理後，超過瑞典外釋法規標準的數量極少，對於除役作業及後續低放射性廢棄物貯存計畫並無顯著影響，經討論後發現二者在數量上有顯著差異的原因，在於我國外釋法規標準與瑞典相關外釋法規標準不同所致。考量我國係首次針對核能電廠除役進行相關研究，無論在技術、經驗或法規要求上，都有精進的空間，本次訪問瑞典具核能電廠除役經驗的專業人士，釐清現行所遭遇的研發困擾與問題，對於妥適未來核一、二、三廠除役作業具有極大的助益。
2. 壓水式反應器進行除役所遭遇的主要問題之一，即為體積龐大的蒸氣產生器處理，大部分核能電廠的做法是在廠址進行切割與除污相關作業後，再將高於外釋標準的廢棄物進行貯存。依據 Cyclife 目前針對蒸氣產生器的處理服務，顧客可將完整且未經切割的蒸氣產生器送往 Cyclife 所建置的拆解處理廠，由 Cyclife 代為進行切割與除污相關作業後，滿足外釋標準的金屬廢棄物，可依顧客要裝箱送回或委由 Cyclife 處理，高於外釋標準的廢棄物，則由 Cyclife 依顧客要求方式包

裝後送回，經過處理後的蒸氣產生器，約有 91%的重量可達外釋標準。由於蒸汽產生器的污染，集中在內部一次側冷卻水流經的管束，因此未經拆解的蒸汽產生器，在運送期間並無人員輻射曝露的問題，進行除役的核能電廠無需規劃大型空間進行蒸汽產生器切割與除污，再加上高效率的放射性廢棄物減容，Cyclife 針對蒸汽產生器等大型組件所提供的處理服務(包括運送、切割及除污)，可以列入我國核三廠除役規劃中，有關蒸汽產生器處理的選項之一。

3. 由 Cyclife 所建置的拆解處理工廠，其占地小、內部配置簡單，但可進行核能電廠內絕大部分大型設備的切割、除污與廢棄物處理相關作業，國內核能電廠在進行除役規劃時，可考慮建置廢棄物之切割處理廠，集中處理核一、二、三廠共六部機組的設備切割與除污作業。
4. 受損核子燃料的處理是除役作業的重要工作之一，為了預防除役期間用過核子燃料處理時可能引發的非預期污染及人員曝露的潛在風險，除了已確認受損的核子燃料外，其他長期存放於用過核子燃料池的核子燃料，亦可能因腐蝕或其他原因受損，要如何妥適評估這些潛在的受損核子燃料束，以及確認受損核子燃料束中實際受損的燃料棒，應納入未來除役作業研發重點之一，此外亦可慎重考慮加入由 Studsvik 所領導的 SCIP 國際合作計畫，以期能及時取得最新技術，使各核電廠除役作業能順利進行。
5. Studsvik 目前與我國在核燃料爐心佈局方面已有多年的合作經驗，對我國爐心佈局驗證自主化有極大的助益，除役作業亦為 Studsvik 的技術服務項目，藉由本次訪問的交流，該公司對於提供我國核能電廠除役相關技術服務，表現出相當濃厚的興趣，並允諾提供最新技術資訊，作為我國規劃除役作業的參考。我國因應非核家園之能源政策規劃，目前正積極發展除役相關技術，未來應積極與國外具除役經驗的研發及工程服務單位進行交流，蒐集除役作業最新技術發展，以期能妥適規劃我國核能電廠的除役作業。
6. 透過本次與瑞典西屋公司所進行的除役技術交流會議，深入了解瑞典西屋公司針對大型設備之水下遙控切割及乾式切割的最新技術，欲將最新技術落實在實務工

程中，瑞典西屋公司除了建置全尺寸設備實物與工作平台，作為強化人員訓練實效外，同時也開發模型製作相關技術，藉由模型切割來檢視所規劃設備切割流程的可行性，並觀察進行實物切割時所可能面對的非預期狀況。瑞典西屋公司對於所開發的最新技術，除了最上游的技術可行性確認外，對於人員訓練及因應意外狀況的先期準備，均有完整的規劃，值得作為我國在發展最新技術時之參考。

7. 位於瑞典福斯馬克的低放射性廢棄物處置場，於 1988 年開始營運，並接收來自該國核能電廠及其他工業所產生之放射性廢棄物。該處置場由 SKB 公司負責營運，貯存於該處置場的放射性廢棄物，絕大部份來自核能電廠營運所產生的廢棄物，因此目前所擁有的貯存容量，足以容納至 2030 年瑞典所有核能電廠均永久停機後的貯存容量需求。該貯存場的設計簡單，監管期間所需人力編制小，無論在設計、建造及運轉期間，均取得當地居民的認同，因此其整體設計、運轉及與當地居民溝通的經驗，值得我國在規劃低放射性廢棄物處置場之參考。
8. 瑞典福斯馬克的低放射性廢棄物處置場，除了貯存低放射性廢棄物之外，目前亦已完成高放射性廢棄物的貯存規劃，於廠址附近另覓合適空間作為用過核子燃料的終期貯存，相關設計目前正由瑞典主管機關審查中，如取得主管機關同意並獲得當地居民的同意後，所設計空間將可容納瑞典境內所有用過核子燃料之長期貯存。
9. 本次公差由本所與台電公司負責人員共同參訪位於瑞典的除役相關設施與技術顧問公司，本所目前執行台電公司委託之核能電廠除役規劃工作，參訪重點著重在於國際最新技術資訊之蒐集與了解，台電公司則為除役作業執行單位，參訪重點在於如何在有限的時間與經費下，順利完成運轉中核能電廠除役相關工作。雙方對於除役資訊有不同的需求，此行共同組成參訪團，對於除役作業相關議題可於現場進行各層面的討論，有效提升解決當前面臨問題的效率。
10. 包括放射性廢棄物處置場之設置，國際上已有前例可循，但民眾對於複雜科技的疑慮，及對意外事故後果的憂心，一直都是影響核設施設置的最大阻力，因此必須透過溝通取得當地民眾的信任。SKB 公司在 1980 年代即取得當地民眾信任，

並於福斯馬克建置低放射性廢棄物處置場，目前在原址同樣取得當地民眾支持，設置用過核子燃料高放射性廢棄物處置場，其與民眾之溝通方式與過程，值得做為我國相關管制機關、核設施營運業者及地方政府之參考。

11. 參訪瑞典 SKB 的低放射性廢棄物處置場時，場內技術人員除詳細介紹場內各項設施之設計與運轉，完整回覆參訪人員所提出的問題外，也在處置場入口，升上我國國旗表示歡迎(如下圖所示)。我國目前正面臨空前的外交逆境，看著青天白日滿地紅國旗與瑞典國旗，共同飄揚在北歐湛藍的天空中，所有參訪人員均深受感動。我國外交部官員得知相關訊息後，除了感謝此行參訪人員對於推動民間國際合作事務的努力外，亦表示未來將會以更積極的態度，協助促進民間國際交流與合作相關活動。



瑞典低階放射性廢棄物貯存場以國旗歡迎來訪貴賓

四、建議事項

1. 推廣國際技術合作交流活動

因應我國非核家園政策推動，所有運轉中核能電廠將於執照到期後開始除役相關工作，除役期間的重要工作包括用過核子燃料貯存、設備除污與拆除、放射性廢棄物處理與貯存、廠房拆除、環境復原等工作。雖然我國具有研究用反應器除役經驗，但商用核能電廠除役作業規模遠高於研究用反應器除役作業規模，因此透過國際交流蒐集最新除役技術仍有其必要性，以期能在確保各項除役作業安全的前提下，以安全、經濟的方法完成除役工作並有效減少放射性廢棄物數量。瑞典在除役作業各領域均有實務經驗，同時也積極開發新的除役相關應用技術，國際間亦有許多技術顧問公司具有核能電廠除役的技術服務經驗，建議國內無論是電力公司、核能管制機關、核能技術研發單位，應持續與具有實際除役經驗的國外相關單位進行交流，以累積更多除役經驗，協助國內核能電廠順利完成除役工作。

2. 強化除役作業相關研發工作

除役作業的最大目標，為能在有限的經費與時限下，精準完成所有環境復原工作，因此整體除役作業的規劃極其重要，我國無論在廠址環境調查、放射性廢棄物除污與減容、大型設備切割、放射性廢棄物處理等除役重要技術開發，仍有相當大的精進空間。考量我國國情之現況與特性，建議我國核能電廠除役相關權責機關與核設施營運業者，應結合國內所有研發能量，持續強化除役研發工作，開發適合我國核設施除役的相關技術，使所有運轉中核能電廠在完成能源供應的階段性任務後，也能順利完成除役與廠址再利用工作，並妥適處理放射性廢棄物，達成我國邁入使用潔淨及永續能源的政策願景。

3. 完備除役相關法規制定

雖然核一廠將於 107 年 12 月正式進入除役階段，而核一廠的除役計畫亦已獲得主管機關之核可，但我國在核能電廠除役階段的法規要求，目前尚未達到完備的階段，這使得既有或規劃中的我國核能電廠除役計畫，部分內容仍需參採美國法規要求或其他國際研究機構所制定的準則，由於法規要求是除役作業規劃的最重

要依據，完備的除役法規體系，將有助於未來除役期間之工程進行、爭議排解、經費預估與民眾溝通，建議我國除役作業相關權責機關，應積極彙整符合我國需求的核能電廠除役相關法規體系，以使所有核能電廠能在符合我國民眾期望與要求下，順利完成除役與放射性廢棄物管理之相關工作。