

出國報告（出國類別：其他）

OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)
第 50 屆技術諮詢組(TAG)會議

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳鴻斌 研究員

派赴國家：義大利

出國期間：100 年 5 月 7 日~100 年 5 月 15 日

報告日期：100 年 6 月 13 日

摘要

本次公差為參加歐洲經濟合作組織核能署 (OECD/NEA) 之核設施除役合作計畫 (Cooperative Program on Decommissioning, CPD) 第 50 屆技術諮詢組 (Technical Advisory Group, TAG) 會議，該會議每年舉行兩次，目的為除役技術及經驗之交流回饋，並且履行會員參加 CPD/TAG 會議之責任，我國自 2000 年開始以 TRR 除役計畫名義加入 CPD，即陸續派員參加該計畫之 TAG 會議，上一次參加為 2010 年之 TAG-48 會議。

TAG-50 會議於 2011 年 5 月 9-13 日於義大利 Metera 舉行，由義大利 SOGIN 公司主辦，合計共 10 國 14 個除役計畫之 16 位專家與會。5 月 9-11 日為閉門會議，內容包含各參與計畫除役狀況簡報研討、工作小組報告和 CPD 會務執行情形等。本屆會議計有核反應器除役簡報 9 篇，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，共有 15 篇簡報。5 月 12 日會議則安排參觀 SOGIN 公司之鈾鈢精煉實驗研究設施及放射性廢棄物處理設施。5 月 13 日討論本次 TAG50 會議結論。

此次會議取回資料及會務內容，除了對於各會員簡報精要彙整之外，亦彙整對於國內除役值得參考的資料，所得重點包括：(1) 電動力學 (Electro-kinematic method) 方法應用於污染泥土除污；(2) 義大利 Sogin 公司發展 α 廢液水泥固化系統；(3) 日本 Fugen 電廠除役計畫發展除役經費預估模式；(4) CPD 專題研究—遙控技術於除役工作之應用。

目前參與 CPD 之國家及計畫已達 43 個。國際上大型的除役計畫包括美國 DOE 所屬研究設施、法國 CEA 所屬核能設施、一度為國際上規模最大的德國 EWN 電廠除役等，均為 CPD 之正式會員。TAG 會議對新申請加入之除役計畫審查的態度及資格日趨嚴謹，且對會議品質及研討效率更形重視，我國以非 OECD/NEA 會員國而能參與為 CPD 會員，對於會籍之維護應持續審慎。本次會議 (TAG50) 規劃時會員表達參與的情形如往常，但因接連發生日本福島地震海嘯事件，再加上臨會前國際上蓋達組織相關議題，包括日本、歐洲、美洲國家

多國代表會前均表達無法成行，以至於本次會議僅有 10 國 14 個除役計畫之 16 位專家與會。相較於前一次 TAG49（我國未參加），有 42 個除役計畫與會提供簡報減少很多。

除役為核能設施生命週期重要的一環，世界各國藉由核設施安全除役，亦證明核能應用的安全性。除役工作需要長期、穩定的資源投入，方能顯現效益。CPD 關注核設施場地復育議題，持續於各種國際場合推動技術合作，TAG 亦開始考量是否成立新的專案研究，針對核設施場地復育議題匯集資訊及國際經驗。我國執行核設施除役工作後期亦將面臨場地復育程技術需求，值得注意國際發展趨勢。

關鍵詞：核設施除役、拆除、除污

目 次

(頁碼)

| | |
|--|----|
| 摘 要..... | i |
| 一、目的..... | 1 |
| 二、過程..... | 2 |
| 2.1 OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)技術諮詢組(TAG)會議現況.. | 2 |
| 2.2 公差行程及會議內容..... | 5 |
| 2.2.1 核反應器除役簡報內容摘要 | 7 |
| 2.2.2 核燃料循環設施除役簡報內容摘要 | 13 |
| 2.2.3 新會員申請..... | 17 |
| 2.2.4 其他討論事項..... | 18 |
| 三、心得..... | 20 |
| 3.1 電動力學 (Electro-kinematic method) 方法應用於污染泥土除污 | 20 |
| 3.2 義大利 Sogin 公司發展 α 廢液水泥固化系統..... | 25 |
| 3.3 日本 Fugen 電廠除役計畫發展除役經費預估模式..... | 27 |
| 3.4 CPD 專題研究—遙控技術於除役工作之應用 | 29 |
| 四、建議事項..... | 34 |
| 附錄一、CPD 官方網頁..... | 35 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 附錄二、TAG-50 與會名單 | 37 |
| 附錄三、TAG-50 會議內容 | 42 |
| 附錄四、TAG-50 會議議程 | 44 |
| 附錄五、場地復育議題 NEA 相關動向參考文件 | 46 |
| 附錄六、TAG 遙控技術專題研究報告目錄 | 48 |

一、目的

本次國外出差係奉派參加歐洲經濟合作組織核能署（OECD/NEA）之核設施除役合作計畫(Cooperative Program on Decommissioning, CPD)第 50 屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，時間為 2011 年 5 月 9-13 日，於義大利 Matera 舉行，由義大利 SOGIN 公司主辦。我國自 2000 年開始以 TRR 除役計畫加入 CPD，提供 TRR 燃料池清理執行狀況及所發展之相關技術，並從會議中與各國除役專家技術交流及討論，取回各國即時的除役相關資訊。

本次國外公差之目的如下：

- (1) 了解各參與計畫之除役最新執行現況。
- (2) 蒐集各類除役、拆除、除污及廢棄物處理之最新技術。
- (3) 參訪會議安排之核設施除役現場，實地瞭解執行情形及經驗交流。
- (4) 聯繫國際核設施除役相關專家/主管，建立技術交流管道。
- (5) 履行我國參加 CPD/TAG 會議之責任，提供 TRR 除役計畫執行現況及進度、燃料池清理相關技術、和爐體拆除規劃及程序發展。

二、過程

2.1 OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)技術諮詢組(TAG)會議現況

CPD 計畫成立於 1985 年。其目的為促進國際上核能設施除役科技之技術交流。計畫起始，會員包括 8 個國家的 10 個除役計畫，至 2006 年已經成長至 12 個國家的 43 個除役計畫，包括 27 個核子反應器及 16 個核燃料循環設施之除役計畫。我國以唯一非 NEA 會員國身分，能參與成為 CPD 計畫之正式會員（表一）。CPD 官方網頁說明 CPD 成立目的及執行現況，以及較早期即已參與貢獻本合作計畫之基礎會員如附錄一。

目前全世界已經有 49 個除役計畫受惠於 CPD 之技術交流。經由 CPD 計畫的技術交流，期能提供最安全、最經濟、最環保的核設施除方法。尤其是新近從事核能設施除役者，經由 CPD 技術交流，能避免經歷昂貴的學習歷程。近年加入會員之申請頻繁，國際上大型機構之核能設施除役計畫不斷申請加入，包括美國 DOE、European Commission 的大型核能設施等。這個趨勢表示核能設施除役的重要性逐漸受到重視。

表一、CPD 官方網頁上所列正式會員及參與之除役計畫

| 會員 | 除役計畫 |
|-------------------|---|
| Belgium | BR3-PW, Eurochemic Reprocessing Plant |
| Canada | Gentilly-1, NPD, 204 A/B Bays, Tunney's Pasture facility; 204A/204B Bays, Chalk River |
| France | PHENIX, EL4, G2/G3 Marcoule, Rapsodie Cadarache, Basic Nuclear Facility No. 57, ELAN IIB, AT1 La Hague, UP1 reprocessing plant, Bugey 1, APM Marcoule, Melusine, ATUE |
| Germany | Lingen, MZFR Karlsruhe, KKN Neideraichbach, Greifswald, HDR, WAK, AVR, KNK |
| Italy | Garigliano, Latina |
| Japan | JPDR Tokai, JRTR Tokai, Fugen, Tokai 1 NPP, JAPCO plutonium fuel fabrication facility |
| Republic of Korea | KRR1 and KRR2 research reactors, KAERI uranium conversion facility |
| Slovak Republic | Bohunice A-1 |
| Spain | Vandellos 1, PIMIC project |
| Sweden | Studsvik Active Central Laboratory |
| United Kingdom | Co-precipitation Plant Sellafield BNFL 204, Primary separation plant |

| | |
|----------------|--|
| | Sellafield, Prototype Fast Reactor Dounrey |
| Chinese Taipei | Taiwan Research Reactor |

CPD 由管理委員會(Management Board, MB)與技術諮詢組(TAG)組成，其中 MB 目前由 24 個組織代表組成，每年開會一次，負責一般庶務與計畫方向。TAG 則已成長至 50 項計畫參加，每年開會二次，我國限於國外公差名額，初期約每隔 3 或 4 屆派員參與一次，近年則每兩屆派員與會一次。

CPD 目前每年會費為 3,000 歐元。自 2008 年起，本所參加 CPD 之代表人，在管理委員會委員(MB)為馬殷邦所長；而技術諮詢委員會(TAG)為陳鴻斌。自 2001 年開始之 TAG 會議，本所陸續派員參加，上一次參加為 TAG-48 會議，2010 年 5 月 17-21 日由陳鴻斌與會。本屆則於 2011 年 5 月 9-13 日，由陳鴻斌奉派參加第 50 屆 TAG 會議，並報告 TRR 除役現況及進度，TRR 燃料池清理、燃料安定化進度、再利用及混凝土外釋，並強調用過燃料安定化及高活度樹脂污染樹脂處理程序發展等，提供 TRR 較具特色之燃料池清理和爐體拆除之技術交流和經驗回饋。

本次會議 (TAG50) 規劃時會員表達參與的情形如往常，但因接連發生日本福島地震海嘯事件，再加上臨會前國際上蓋達組織相關議題，包括日本、歐洲、美洲國家多國代表會前均表達無法成行，以至於本次會議僅有 10 國 14 個除役計畫之 16 位專家與會。相較於前一次 TAG49 (我國未參加)，有 42 個除役計畫與會提供簡報減少很多。

技術諮詢委員會(TAG)至今已經舉辦第 50 屆。對於此相對敏感的議題及工作內容各國能夠持續合作不輟，TAG 的運作模式至為關鍵。TAG 的運作原理是秉持 "give and take" 的精神，各會員準備其除役技術進展及除役作為並與會提供資料，各會員提供技術討論並帶回資料。CPD 內部不同的功能單元如 CPD 協調會、TAG、工作小組等，均不斷隨世界除役之改變，而有所變革。同時 CPD 已發展一套可被接受的方法，以尊重各會員之敏感資訊之機密需求。各會員謹守以 TAG 為唯一技術溝通平台，尊重其他會員，長久以來取得各會員國之信任。另一項特色是 TAG 要求會員國指派固定人員與會，其構想是，與會專家一方面必須長期實際從事除役工作，二方面熟悉 TAG 會議運作模式，方能於會議中提供深入之技術討論，是以能長時間維持會議討論一定的專家水準。本次日本的代表僅有 JAEA 的 Fugen 除役計畫派員與會，而且其代表為首次參加 TAG 會議，TAG 會議主席當面表達 CPD 的立場仍希望會員指派固定成員與會。此作法較不利於藉由參與國際會議機會兼具人員訓練之效益。

TAG 是著重於除役技術交流及經驗回饋，提供技術交流之管道。近來 TAG 會議對於新計畫申請加入 CPD 之審查，有趨於嚴格之傾向。會議中各國專家不僅對新計畫提出許多問題，並對計畫內容和所能提供之貢獻進行熱烈討論，要求新加入計畫需要依據 CPD 規章條文進行嚴格審查。我國不是 NEA 會員國，能以 TRR 計畫加入 CPD 實屬不易。CPD 提供平台讓各參與計畫能將其除役之技術、經驗與問題等，以公開與坦誠的方式討論，對於特定之議題設立工作小組研究發展。因此 TRR 計畫可以一方面提供除役之技術經驗或提出問題尋求參考技術，另一方面廣泛蒐集彙整除役資訊，做為除役技術建立和執行除役工作之參考，整體而言對本所核設施清理任務之執行助益良多，因此對於 CPD 會籍之維持和 TAG 會議之參與應更積極。

2.2 公差行程及會議內容

TAG-50 會議於 2011 年 5 月 9-13 日，於義大利 Matera 舉行，由義大利 SOGIN 公司主辦，本屆共 10 國 14 個除役計畫之 16 位專家與會。與會人員有歐洲議會(EC)代表(1 人)、法國(2 人)、德國(2 人)、義大利(1 人)、日本(1 人)、韓國(1 人)、西班牙(1 人)、瑞典(3 人)、台灣(1 人)、英國(1 人)、及 CPD 計畫聯絡人(2 人)，10 個會員單位 14 個除役計畫之 16 位專家與會。往年均派出數人與會的國家如德國、法國、及日本，本屆參加人數遽減，美國則完全不派人與會。詳細參加人員資料如附錄二。5 月 9-11 日為閉門會議，內容包含各參與計畫除役狀況簡報研討、工作小組報告和 CPD 會務執行情形等。本屆會議計有核反應器除役簡報 9 篇，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，共有 15 篇簡報。5 月 12 日會議則安排參觀 SOGIN 公司之鈾鈦精煉實驗研究設施及放射性廢棄物處理設施。5 月 13 日討論本次 TAG50 會議結論。

本次公差自 2011 年 5 月 7 日起至 2011 年 5 月 15 日止共計 9 天，主要行程如表二所示，TAG50 會議之詳細議程如下表三。表四及表五說明會議中提供簡報之專家姓名及所屬機構。TAG50 正式通知會議內容及詳細行程如附錄三、四。

會議取回 14 篇簡報資料，包含各國除役第一手現況資料，及大量除役相關技術資訊，將其精要內容彙整說明於後續各節。對於我國執行除役及廢棄物處理工作需要特別注意之資訊及可資借鏡之技術，則於下一章中詳細說明。

表二、本次國外公差主要行程

| 月/日(星期) | 工作內容重點 |
|----------------|---|
| 5/7(六)~5/8(日) | 去程，由桃園機場出發飛抵義大利羅馬，蒞日轉赴義大利南部馬特拉，5/8(日)晚，即於會場報到，並繳交、交換簡報檔。 |
| 5/9(一)~5/11(三) | 在 Matera 的小鎮 Prolicoro 的 Hotel Marinagri 會議室，參加第 50 屆 TAG 之閉門會議。詳細議程如下表三。 |
| 5/12(四) | 參訪 SOGIN 之鈾鈦精煉實驗研究設施及放射性廢棄物處理設施。 |
| 5/13(五) | 於 Prolicoro 的 Hotel Marinagri 會議室舉行本次會議之結論討論。會議結束後赴羅馬轉機。 |

5/14(六)~15(日)

回程，由義大利羅馬搭機回抵桃園機場。

表三、第 50 屆 TAG 會議詳細議程

| 議 程 內 容 | 日 期 |
|--|---------------|
| 1) Welcome, round-table introductions, organizational announcements | 5/09(一) |
| 2) Approval of agenda | 5/09(一) |
| 3) Chairman's, Co-ordinator's Remarks and Opening Business | 5/09(一) |
| 4) Reports from CPD Management Board, Bureau, WPDD | 5/09(一) |
| 5) Summary Record of TAG 49 | 5/09(一) |
| 6) Status Reports from participating projects | |
| • Reactors(詳細簡報議程如表四) | 5/09(一)~10(二) |
| • Fuel Facilities(詳細簡報議程如表五) | 5/10(二)~11(三) |
| 7) New Projects | |
| • Hamaoka NPP - Chubu Electric Power Company, Japan-Hamaoka unit 1,2, Power Reactor D&D | 5/11(三) |
| • Kurchatov Institute/MR & FRT Reactors – Russia | 5/11(三) |
| 8) Country Reports | |
| • Proposal for possible brief report on Japanese nuclear situation after Fukushima for October meeting | 5/11(三) |
| 9) Task Groups Reports | 5/11(三) |
| • (1)Remote Handling Techniques, (2) D&D of Concrete Structure | |
| • New Task Group Proposals – Review of nuclear site restoration | |
| 10) Five Year Report Status | 5/11(三) |
| 11) Future meetings of the TAG | 5/11(三) |
| 12) Discussion Session – TAG Working Methods Review and Improvement | 5/11(三) |
| 13) Site Visit – Pilot U-Th Reprocessing Plant | 5/12(四) |
| 14) Closing Remarks, meeting adjourn | 5/13(五) |

表四、第 50 屆 TAG 會議核反應器除役簡報議程

| 簡 報 議 程 | 簡報人/機構 |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1) AVR | Norbert Hess / EWN |
| 2) Barsebäck NPP | Hakan Lorentz / BARSEBÄCK |
| 3) Fugen | Masanori Izumi / JAEA |
| 4) EWN Greifswald (KGR) | Axel Backer / EWN |
| 5) Jose Cabrera NPP | Manuel Ondaro / ENRESA |
| 6) Studsvick R2 Reactor | Robert Hedvall |
| 7) KRR 1 & 2 | Un-Soo Chung / KAERI |
| 8) Taiwan Research Reactor | Horng-Bin Chen/INER |
| 9) WAGR | Steve Slater / Sellafield Limited |

表五、第 50 屆 TAG 會議核燃料循環設施除役簡報議程

| 簡 報 議 程 | 簡報人/機構 |
|---|-----------------------------------|
| 1) ATUE | Eric Gouhier / CEA |
| 2) B204 Separation Plant & B243 Solid Waste Storage Cells | Steve Slater / Sellafield Limited |
| 3) Ispra – Removal of Legacy Recovery | Francesco Basile |
| 4) SOGIN - Overview | Giuseppe Pastore |
| 5) SOGIN – Pilot U-Th Plant | Giuseppe Pastore |
| 6) Uranium Refining/Conversion Fac. | Un-Soo Chung / KAERI |

核反應器除役相關簡報摘要說明於 2.2.1；核燃料循環設施除役相關簡報摘要說明於 2.2.2；另外，2.2.3 說明新會員申請狀況；2.2.4 說明會議中其他議題討論。

2.2.1 核反應器除役簡報內容摘要

以下概述表四所列之各項簡報及研討之精要內容。本次無法出席會議單位，則保留 2010 年時各計畫之進度及執行狀況，以免資料散逸。

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 |
|-----------------|---------------------------|--|---|
| Reactors | | | |
| 1 | Phenix (TAG50 無法與會) | Philippe Fontana | <p>法國 Phenix 電廠是 CEA 最後一座快滋生反應器，位於法國南部 Marcoule nuclear site，功率 250 MWe。1973 年開始運轉，2009 年 3 月停止運轉，隨即提出除役規劃期程為 2009-2024 年，大致分為三個階段，第一階段 2009-2011 年為除污及除役準備並預計於 2011 年獲得拆除執照，第二階段 2012-2022 年為執行拆除，第三階段 2023-2024 年為除役完成；除役最終目標為整個廠區解除管制成為非核區且所有建物不拆除將其清潔至可再利用的程度。</p> <p>所需除役的廠房包含汽機廠房、蒸汽產生器廠房、反應器廠房、燃料更換廠房和公用廠房，設備拆除之規劃視活度及輻射劑量之高低採乾式或濕式拆除；除役所產生之放射性廢棄物中有液態金屬鈉需要特別處理。</p> <p>近期廠房內重型機械手及吊車系統老舊故障問題，造成工作進度瓶頸。用過燃料目前尚未移出，在地暫貯設施亦尚未規劃，也是未來重大問題。隔熱石綿目前檢測無污染，否則將造成處置困擾。</p> |
| 2 | AVR | Norbert Hess | <p>德國 AVR 實驗用核能電廠為石床式高溫氣冷式反應爐(pebble-bed high-temperature gas cooled reactor, HTGR)。運轉期間為 1967-1988 年。1994 年開始除役，預計 2015 年完成除役。反應爐已經過一段安全貯存期，規劃將 RPV 連同內部組件灌漿，然後整體放入金屬護箱移至廠內新建的暫貯設施存放。</p> <p>近期已完成金屬護箱建造、包封內部分設備拆除，包封圓頂部分拆除和 RPV 內以低密度多孔性混凝土灌漿等；準備存放 RPV 的暫貯設施亦正在興建。後續將建造吊升搬運系統，將 RPV 整體由反應器廠房運至暫貯設施存放，然後拆除廠房內剩餘設備，廠房將清潔除污至可解除管制的程度。</p> <p>安全貯存時間規劃為 60 年，最後亦將拆除分解。</p> <p>至 2011 年 5 月，已經完成 RPV 包封、臨時圍阻隔離設施拆除、RPV 周圍大型組建拆除、RPV 長期暫貯廠房整建等主要準備工作，預計於 2012 年將進行 RPV 運至暫貯廠房。</p> |
| 3 | Fugen | Noriyasu Ebara & Nobuo Ishizuka | <p>日本 FUGEN 電廠為 165MWe 之重水緩和反應器，運轉期間為 1979-2003 年，於 2008 年 2 月獲得除役許可，整個除役期程由 2008 至 2028 年。目前正執行的拆除工作為汽機廠房內的組件設備拆除；且針對反應槽內約 600 公升之重水，建立一套氬移除設備，採密閉循環的方式，並設監視系統監視；除此之外也建立一套廢棄物挑選分類設備，應用於除役產生的固體廢棄物。隔熱石綿之處理亦須審慎進行。2010 及 2011 年主要拆除海水進水系統。同時進行多項系統除污，包括重水系統氬除污。</p> <p>JAEA 同時利用 Fugen 電廠之拆除，發展核設施除役拆除經費預估技術，基本上將除役經費需求對應至人力工時需求，期望經由建立各系統拆除之人力工時預估模型，未來可以應用於大型核能電廠除役經費預估。然經由模型計算預估之人力工時需求，少於實際人力工時，且差異頗大，尚需進一步研究，調整模型參數。</p> |
| 4 | Tokai 1 | Toyoaki | 日本 Tokai-1 電廠為氣冷式反應器，功率為 166MWe，於 1998 年 3 |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|----------------------|--|--------------|---------------|----------------|------------------------------|--------|--------|------------------------------|-------|--------|--|----------------------|----------------------|------|--------|--------|--------------------|------------------|------------------|-----------|----------|------------------|-------------|------------------|------------------|
| | (TAG50 無法與會) | Yamauchi | <p>月永久停止運轉，1998年5月-2001年3月燃料移出。2001年提出除役計畫開始除役，期程至2020年。原規劃爐體安全貯存期為2001-2010年，2011-2016年拆除爐體，但已準備安全貯存往後延3年。目前主要拆除工作為蒸汽調壓槽（Steam Raising Unit, SRU）移除及拆解。</p> <p>運轉及拆除廢棄物預估總數約有19萬噸，需放置於處置場貯存之放射性廢棄物約3萬噸，正配合處置場之規範設計適用之貯存容器和廢棄物包裝系統；至於符合外釋或放行之廢棄物，依據相關準則執行外釋或放行作業，一方面可將資源再利用，一方面可減輕廠內空間不足的問題。</p> <p>爐內石墨廢棄物規劃壓碎後包裝處置。</p> <p>蒸氣產生器之拆除原評估不需使用遙控拆除，但為了準備壓力容器遙控拆除所需技術，目前以遙控方法進行拆除。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | KRR 1 & 2 | Un-Soo Chung | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Reactor Type</th> <th>TRIGA Mark-II</th> <th>TRIGA Mark-III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Total Operating Time (Hours)</td> <td>36,000</td> <td>55,000</td> </tr> <tr> <td>Total Generating Power (MWh)</td> <td>3,700</td> <td>69,000</td> </tr> <tr> <td>Max. Neutron Flux (n/cm²·sec)</td> <td>1 × 10¹³</td> <td>7 × 10¹³</td> </tr> <tr> <td>Fuel</td> <td>20%, U</td> <td>70%, U</td> </tr> <tr> <td>Moderator/ Coolant</td> <td>H₂O</td> <td>H₂O</td> </tr> <tr> <td>Reflector</td> <td>graphite</td> <td>H₂O</td> </tr> <tr> <td>Control rod</td> <td>B₄C</td> <td>B₄C</td> </tr> </tbody> </table> <p>韓國 KRR-1 及 KRR-2 均為開池式實驗用反應爐。1962年3月臨界，1995年1月停止運轉。除役期間為1997年1月-2008年12月。2000年取得除役許可後，2002年完成附屬設備拆除，2004年完成反應器及生物屏蔽拆除，剩餘主要工作為固體及液體廢棄物處理設施清理。韓國 KRR 研究用反應器除役計畫已經完成大部份工作，原規劃於2010年結束計畫，其中 TRIGA Mark-II 反應器已經過清理，作為紀念展示用。</p> <p>在2009年底 KRR1 發生池水洩漏事件。2010統計，13.5噸池水完全洩漏污染土壤。目前決定延長計畫至2014年，以便完全拆除其 TRIGA Mark-II 內部組件，並清理其所造成之污染。</p> | Reactor Type | TRIGA Mark-II | TRIGA Mark-III | Total Operating Time (Hours) | 36,000 | 55,000 | Total Generating Power (MWh) | 3,700 | 69,000 | Max. Neutron Flux (n/cm ² ·sec) | 1 × 10 ¹³ | 7 × 10 ¹³ | Fuel | 20%, U | 70%, U | Moderator/ Coolant | H ₂ O | H ₂ O | Reflector | graphite | H ₂ O | Control rod | B ₄ C | B ₄ C |
| Reactor Type | TRIGA Mark-II | TRIGA Mark-III | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total Operating Time (Hours) | 36,000 | 55,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total Generating Power (MWh) | 3,700 | 69,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Max. Neutron Flux (n/cm ² ·sec) | 1 × 10 ¹³ | 7 × 10 ¹³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fuel | 20%, U | 70%, U | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moderator/ Coolant | H ₂ O | H ₂ O | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reflector | graphite | H ₂ O | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Control rod | B ₄ C | B ₄ C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Taiwan Research Reactor | Horn-Bin Chen | <p>TRR 為重水緩和和研究用反應爐，功率40MWt，運轉期間為1973-1988年。2002年完成爐體遷移並執行安全貯存，目前主要除役工作為燃料池清理，已陸續完成用過C0-60射源、用過過濾器、燃料罐和燃料傳送管等，正在清理有金屬鈾用過燃料執行安定化後中期貯存、鈾粉收集和用過樹脂乾式暫貯等；除此之外爐體拆除規劃也開始執行。高污染樹脂之清理為目前主要困難工作。低放射性最終處置場亦為影響廢棄物處理程序之重要因素。</p> <p>2010年決定高污染樹脂朝移出暫貯方式清理，55加侖桶加上必要之屏蔽及 filter vent 準備中。用過燃料安定化工作進度達45%。池水處</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 |
|----|----------------------|---------------|---|
| | | | 理方法亦開始概念設計。 |
| 7 | WAGR | Steve Slater | <p>英國 WAGR 為氣冷式反應爐，輸出功率 100MWth，運轉期間為 1963-1981 年。燃料於 1981-1983 年間移除。於 1993 年開始反應器拆除，共分為 11 個拆除步驟，至今已完成 8 個步驟，目前正進行第 9 個拆除步驟，工作為反應槽底部組件之拆除及碎屑之清理，並於生物屏蔽開孔做為未來底部反應槽拆除等廢棄物之移除通道；反應槽內組件拆除及清理使用遙控機具設備，以大量減少人員劑量暴露；因為拆除切割機械設備問題，使得拆除工作延遲，也因為配合管制單位要求，使得經費也略為增加。</p> <p>拆除廢棄物包裝採用方形混凝土屏蔽箱，外型尺寸為 2.4m x 2.2 m x 2.2m，每箱包裝完成之重量為 30 噸至 50 噸。低階放射性廢棄物送至 Drigg / Cumbria 之國家處置場進行處置；中階放射性廢棄物則暫貯於 WAGR 暫貯廠房，待 Nirex 貯存場可以使用時再移送。</p> <p>本計畫初期即建立專用遙控拆除設備，目前評估仍認為使用遙控技術對於拆除工作之順利進行極為重要。</p> <p>2011 年 WAGR 除役計畫面臨組織調整，整個計畫併入 Sellafield 復育與除役計劃。基本考量應為資源分配問題，合併後增加人力及經費調整靈活度，以便調度較難處理的 Sellafield 除役所需資源。2011 年 WAGR 計畫經費由 4 千 1 百萬英鎊，減少為 2 千 8 百萬英鎊。目前拆除工作執行至廠內石棉材料 (asbestos) 清理完成後將暫時中斷。在目前階段，移除熱屏蔽石墨塊的工具 (遙控抓取吊運) 值得國內參考。</p> |
| 8 | Pimic (TAG50 無報告) | Manuel Ondaro | <p>西班牙 PIMIC 除役計畫內容主要為拆除老舊研發用燃料循環及其附屬設施，包括一座 JEN-01 研究用反應爐、一座燃料處理程序設施、廢液處理及貯存設施等。反應爐拆除工作主要已經完成池水移除。爐體水泥屏蔽體拆除，原規劃使用乾式鑽石索鋸切割工法，最後除污後以大型機械直接敲除。目前工作內容主要為拆除老舊研發用燃料循環及其附屬設施，包括一座 JEN-01 研究用反應爐(Building 11)、一座燃料處理程序設施(Building 18)、廢液處理(Building 13)及貯存設施(Building 53)等。Building 11 近期工作為使用乾式鑽石索鋸切割工法清理照射通道、池水移除後拆除相關系統及內襯、通風系統移除、建物清潔除污、地下鋼筋混凝土水槽開始清理；Building 18 拆除包括曾經處理鈾和鈾之 7 個手套箱及程序管線設備及清潔除污；Building 13 和 Building 53 亦進行清潔除污。</p> <p>截至 2009 年 4 月，除役過程放射性廢棄物中約有 85%是極低微放射性廢棄物及 15%是中/低放射性廢棄物，亦分別進行管理及貯存；同時也完成外釋程序，並進行外釋作業；另外對於大型物件發展表面量測技術，提送表面量測外釋程序(Surface Release Process)。</p> <p>地下貯存庫清理工作為 2010 年重點，主要疑問為周圍土壤應經過何種檢測程序，証實無污染，方可進行回填。</p> |
| 9 | Melusine (TAG50 無報告) | Eric Gouhier | <p>法國 CEA 之 MELUSINE 研究用反應爐應用範圍為材料測試、同位素生產、中子基礎研究，運轉期間為 1958 年-1993 年。曾受地震傷害之反應爐拆除之除役計畫期程為 2000 年-2009 年。除役主要困難為缺乏完整之運轉維護歷史資料。主管機關要求補作運轉歷史分析及</p> |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 |
|----|------------------------|------------------|--|
| | | | 設施周圍土壤污染盤點。目前為止已經花費 27.2M 歐元，與計畫初期估計 17M 歐元差距頗大，主要時程延誤的原因為主管單位管制要求於計畫進行中途改變，以致於部分工作重做。因為計畫經費用罄，拆除工作仍未全部完成，剩餘廢棄物均為非放射性廢棄物。 |
| 10 | EWN Greifswald (KGR) | Axel Bäcker | <p>德國 EWN 公司 Greifswald (KGR) 電廠之除役為世界上規模最龐大之除役計畫，期程為 1995 年-2010 年。計畫內容為 8 座俄式 WWER 反應爐設施拆除。因為計畫規模龐大，同時考量其區域約 30% 的民眾失業率，其主要策略為使用現有員工進行除役，以及採取大組件拆除，建立暫貯廠暫貯拆除組件，以加速計畫進行。目前發電廠房已經再利用，有造船等業界 3 家進駐。目前評估當初擬定策略已經產生相當大效益。</p> <p>至 2011 年，除役主要工作完成，計畫非常用心的彙整除役過程，製作整體除役過程說明影片，效果非常好，值得借鏡。</p> |
| 11 | Studsvick Res. Reactor | Patrik Johansson | <p>瑞典 Studsvik 包含 2 座反應器：R2 和 R2-0；其中 R2 反應器功率為 50MWt，屬於 MTR 桶槽式反應器，有 2 個實驗環路；R2-0 反應器功率為 1MWt，屬於水池式反應器。此兩座實驗用反應器於 2005 年 6 月 16 日停止運轉，非管制設備開始移除。2009-2010 年進行除役方法研究，2010-2011 年以公司員工執行量測及取樣。</p> <p>2011 年報告中，說明除役技術準備狀況，其中為了節省人力，著重發展放射性盤點數據彙整自動化相關技術，包括室外配合使用 GPS，室內使用 RFID，另外配合條碼使用，均著眼於避免人力輸入大量數據。同時，注重資訊專業人力培養及相關資源投入。目前派駐電廠執行除役相關工作已有 40 人。</p> |
| 12 | Barsebäck NPP | Hakan Lorentz | <p>瑞典 Barsebäck 電廠為沸水式反應器，有兩部機組：Unit 1 和 Unit 2，功率分別為 615MWe，運轉期間是 1975-1999 年和 1977-2005 年，除役自 2006 年開始規劃，預計 2018 年開始拆除，2025-2026 年完成環境復育，已完成除役組織架構規劃及人員工作轉任。</p> <p>除役工作尚存在著 3 個風險因素可能影響未來除役進度，此 3 個因素分別為法規和需求尚未完全發展成熟、廠址除役後最終狀態尚未決定及放射性廢棄物貯存場無法及時運轉。</p> <p>目前正在執行的工作有：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 除役拆解需求之研究分析。 ● 設備、建物、土壤和地下水等之特性調查。 ● 反應槽如何整體由廠房移出之先期研究。 ● 反應槽和內部組件拆解之先期研究。 ● 積極參與國際組織，吸收除役技術與經驗；尋求廠商配合機具研發及除役工作執行。 ● 監控除役計畫之執行。 <p>主要拆除物件為 RPV，高 20.7 m，直徑 5.5 m，空重 540 ton，含內部組件重 715 ton。目前進行拆除策略如 One-piece removal 之優缺點評估，以及開圍阻體頂蓋並以大吊車移出、圍阻體底部開洞並橫躺移出、或圍阻體底部開洞並建築拆解廠房等拆除方法研究。</p> <p>2011 年報告中，說明電廠人力目前有 10 人執行除役相關規劃，27 人執行力運轉，同時著重轉換過程中能源使用控管，避免能源浪</p> |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|---------------|---|-------|---------------------------|-----------------------|---------|--------------------|----------|----------------|------------|------------|-------------------------------|-----------------|---------|----------------------|----|----------------------------|--------|---------------------------------------|--------|------------------|-------|--------------|--|------------------|----------------|----------------|------------|------------------|------------|----|----------|----|-------|-------|--------|----|------|---------|-------|-----------------|-------|--------------------|--------|--------------------------|-----------------|----------|-----------|--|--|
| | | | 費，因此例行運轉人力仍能產生效益。目前規劃，開拆除時間可能提前至 2015 年。現階段專注議題包括放射性廢棄物外釋，歡迎同業及 TAG 成員提供經驗。另外也非常重視廠地復育，以經開始取樣及規劃。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | José Cabrera NPP | Manuel Ondaro | <p>西班牙 ENRESA 公司之 Jose Cabrera NPP D&D 計畫主要內容包括，用過燃料乾式貯存 (ISFSI)，及電廠設施拆除。經費預估為 135M 歐元 (不含用過燃料處置費用約 35M 歐元)。此除役計畫為西班牙第一個商用核電廠除役，亦為第一個用過燃料乾式暫貯案例，同時為西班牙第一個決策為立即除役之反應器。其規劃特色包括約 10 萬噸廢棄物定義為傳統廢棄物，是否有民眾懷疑之問題，以及全程計畫於 5 年內完成，均具挑戰性 (2011 年報告已延長為 7 年)。</p> <p>西班牙 José Cabrera NPP 除役由 ENRESA 公司執行。除役方式為立即拆除，除役目標為無限制使用之綠地。電廠系統基本資料如下：</p> <table border="1"> <tr> <td>Type:</td> <td>Westinghouse - 1-Loop PWR</td> </tr> <tr> <td>Net Electrical Power:</td> <td>160 MWe</td> </tr> <tr> <td>Net Thermal Power:</td> <td>510 MWth</td> </tr> <tr> <td>Fuel Elements:</td> <td>69 – 14x14</td> </tr> <tr> <td>Fuel Type:</td> <td>UO2 – enrichment 3,6% (U-235)</td> </tr> <tr> <td>Mass UO2 (core)</td> <td>20,76 t</td> </tr> <tr> <td>Control Rod (Banks):</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Reactor Vessel (Diameter):</td> <td>2,82 m</td> </tr> <tr> <td>Reactor Vessel (Height without Head):</td> <td>5,87 m</td> </tr> <tr> <td>NSSS (Diameter):</td> <td>70 cm</td> </tr> <tr> <td>Containment:</td> <td>Reinforced concrete / Stainless Steel Head</td> </tr> <tr> <td>Spent Fuel Pool:</td> <td>In Containment</td> </tr> <tr> <td>Final cooling:</td> <td>Tajo River</td> </tr> </table> <p>拆除廢棄物管理中，亦重視非放射性一般廢棄物之管理，從 2010 年計劃開始至今，以累積一般廢棄物統計如下：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>TYPE of MATERIAL</th> <th>Weight (t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fe</td> <td>1.511,72</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>72,56</td> </tr> <tr> <td>Brass</td> <td>126,63</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>5,82</td> </tr> <tr> <td>RUBBLES</td> <td>960,1</td> </tr> <tr> <td>TOXIC MATERIALS</td> <td>80,59</td> </tr> <tr> <td>NO TOXIC MATERIALS</td> <td>478,94</td> </tr> <tr> <td>TOTAL ACCUMULATED</td> <td>3.236,36</td> </tr> </tbody> </table> <p>放射性廢棄物統計如下：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catagory</th> <th>Year 2011</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Type: | Westinghouse - 1-Loop PWR | Net Electrical Power: | 160 MWe | Net Thermal Power: | 510 MWth | Fuel Elements: | 69 – 14x14 | Fuel Type: | UO2 – enrichment 3,6% (U-235) | Mass UO2 (core) | 20,76 t | Control Rod (Banks): | 17 | Reactor Vessel (Diameter): | 2,82 m | Reactor Vessel (Height without Head): | 5,87 m | NSSS (Diameter): | 70 cm | Containment: | Reinforced concrete / Stainless Steel Head | Spent Fuel Pool: | In Containment | Final cooling: | Tajo River | TYPE of MATERIAL | Weight (t) | Fe | 1.511,72 | Cu | 72,56 | Brass | 126,63 | Al | 5,82 | RUBBLES | 960,1 | TOXIC MATERIALS | 80,59 | NO TOXIC MATERIALS | 478,94 | TOTAL ACCUMULATED | 3.236,36 | Catagory | Year 2011 | | |
| Type: | Westinghouse - 1-Loop PWR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Net Electrical Power: | 160 MWe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Net Thermal Power: | 510 MWth | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fuel Elements: | 69 – 14x14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fuel Type: | UO2 – enrichment 3,6% (U-235) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mass UO2 (core) | 20,76 t | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Control Rod (Banks): | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reactor Vessel (Diameter): | 2,82 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reactor Vessel (Height without Head): | 5,87 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NSSS (Diameter): | 70 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Containment: | Reinforced concrete / Stainless Steel Head | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Spent Fuel Pool: | In Containment | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Final cooling: | Tajo River | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TYPE of MATERIAL | Weight (t) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe | 1.511,72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | 72,56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brass | 126,63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al | 5,82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RUBBLES | 960,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOXIC MATERIALS | 80,59 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO TOXIC MATERIALS | 478,94 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL ACCUMULATED | 3.236,36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Catagory | Year 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 | | | |
|----|----|-----|--------|-------------------|---------|-------|
| | | | | No. of Containers | VOL(m3) | |
| | | | I&LLW | Accumulated | 177 | 96.8 |
| | | | | Predition | 290 | 159.6 |
| | | | | TOTAL | 467 | 256.4 |
| | | | VLLW | Accumulated | 100 | 100 |
| | | | | Predition | 453 | 487.7 |
| | | | | TOTAL | 553 | 587.7 |
| | | | TOTAL | | 1,020 | 844.1 |

本計畫爐內組件切割部分工作已成功外包，經費 12M 歐元。此計畫全程經費預估為 135M 歐元（不含用過燃料處置費用約 35M 歐元）。此除役計畫為西班牙第一個商用核電廠除役，亦為第一個用過燃料乾式暫貯案例，同時為西班牙第一個決策為立即除役之反應器。其規劃特色包括約 10 萬噸廢棄物定義為傳統廢棄物，是否有民眾懷疑之問題，以及全程計畫於 7 年內完成（2010 年至 2016 年），均具挑戰性。

2.2.2 核燃料循環設施除役簡報內容摘要

以下概述表五所列之各項簡報及研討之精要內容，本次無法出席會議單位，則保留 2010 年時各計畫之進度及執行狀況，以免資料散逸。

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 |
|----|--|--------------------|--|
| | | | <u>Fuel Facilities</u> |
| 1 | Eurochemi c Reprocessi ng Plant, Dessel (TAG50 無法與會) | Robert Walthery | <p>比利時 Eurochemic 公司之燃料再處理廠除役，1987 年進行除役研究，1989 年開始除役。</p> <p>污染量測值約 125 Bq/cm² (beta) 及 200 Bq/cm² (alpha)，沒有活化廢棄物。有些污染深入混凝土結構內部，有 Hot spot 高達數個 mSv/hr 級。主要廠房長 80m，寬 27m，高 30m，分成 7 個樓層。廠房拆除總體積 56,000m³，拆除混凝土廢棄物體積約 12,500 m³，混凝土結構面積約 55,000m²，金屬廢棄物約 1,500 公噸。整棟建築物以垂直切割觀念規劃為三個區域逐步拆除，此 3 個區域分別為東區、中區和西區，首先拆出的區域為東區。</p> <p>東區拆除分為兩個階段進行，第一階段為通道、五樓和六樓的部分，第二階段為所有的房間；目前已完成東區的拆除，中區的拆除於 2010 年 5 月 17 日開工。</p> <p>在東區拆除期間，主要策略為 100% 面積經由 α 量測，西區拆除決定改為 γ 量測。估計極大部分拆除混凝土可以外釋。混凝土廢棄物將破</p> |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 |
|----|--------------------------------|------------------|--|
| | | | 碎至< 5mm，程序系統容量約 4 噸/1 天。目前經驗約 90% 混凝土廢棄物可以外釋。 |
| 2 | ATUE | Eric Gouhier | <p>法國 ATUE 燃料處理設施運轉期間為 1965 年-1996 年，30 年運轉期間處理轉化 500 公噸鈾 (UF₆→UO₂)。除役期程為 2000 年-2009 年。大型 α 污染程序設備大部份已拆除，目前執行廠房水泥牆面及地板除污方法評估及測試，結論為天花板及牆面需敲除 2 mm，地板需敲除 10 mm。</p> <p>2011 年報告中說明，當 2008 年進行至建物污染處理時，因水泥裂縫內污染狀況較嚴重，引發一系列問題。負責清理之合約廠商僅願意續簽技術諮詢，不願意繼續負責執行清理。經過協商原簽約廠商將續約，期望能接續前段作業經驗。原 2000 年估算經費 15M 歐元，2009 年重估約需 55M 歐元。廢棄物由 300 T 增加至 4000 T。原規劃 2009 年結束的清理作業，亦由於主管單位變更要求，將延長至 2014 年。水泥裂縫極強內管線為此類除役工作最大的變數，國內 016 館清理工作應為借鏡。同時，與主管單位溝通亦為執行除役工作重要工作項目，TAG 主席考量是否成立專案討論此問題。</p> |
| 3 | UP1 (TAG50 無法與會) | Philippe Fontana | <p>法國 CEA 所屬 UP1 是商用燃料處理廠，運轉期間為 1958-1997 年，目前正在進行的除役工作有兩項：核分裂產物貯存設備之洗滌和 MAR 200 水處理設備之拆除。</p> <p>核分裂產物貯存設備主要是 12 個桶槽，其容積共約 1,000m³，依據 2007 年 7 月之概估總活度為 5,400TBq，洗滌之步驟共分為 4 個階段進行，所使用的洗滌劑分別為：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fluorhydric Acid(2007 年 7 月到 2008 年 3 月，共 8 個月)。 ● Oxalic Acid(2007 年 3 月到 2008 年 3 月，共 12 個月)。 ● Na₂CO₃(Sodium Carbonate) (2008 年 3 月預計到到 2009 年 12 月，共 21 個月，至 2009 年 3 月總活度已降低到 517TBq)。 ● Cerium(預計 2010 年到 2011 年執行)。 <p>另一項工作為 MAR 200 水處理設備之拆除，工作執行較困難部分有房間和通道的數量較多且作業進出較不易、許多房間是以開放方式相連造成作業及通風困難和有污染及擴散之風險。共 21 個污染桶槽，目前清理第 14 個。計畫落後為嚴重問題。</p> |
| 4 | VEK/ WAK (TAG50 無法與會) | Klaus Hendrich | <p>德國 WAK 燃料處理設施除役期程為 1992 年-2019 年。</p> <p>WAK 主程序廠約 2000T 程序設備拆除，特色為使用遙控機械於拆除工作，複雜桶槽拆除規劃使用數位 3D 模擬。約 96% 拆除廢棄物 (4.8+E18Bq) 置入中期貯存 (interium storage)。</p> <p>WAK 另有放射性液體廢棄物貯存廠，貯存 60 m³ 高階液體廢棄物 (HLLW)，內含 7.7+E17 Bq，500 kg 鈾，16,5 kg 鈾。</p> <p>為了 WAK 之除役，於 1996 年開始投入經費建造玻璃固化廠(VEK)，2007 年 4 月至 7 月及 2009 年 5 月到 6 月兩次冷測試，2009 年 9 月熱測試運轉。預計從 2009 年 9 月運轉至 2010 年 12 月。目標為處理 60 m³ 高放射性廢棄物(7.7 x 10¹⁷ Bq)，產生 50 公噸玻璃固化體，並以 125 個容器盛裝。</p> <p>計畫規劃為，主程序廠除役：1992-1994 年申照，1995-1999 年拆除周邊設備，2000-2002 年遙控拆除部份設備，2003-2016 手動拆除主要設</p> |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 |
|----|--|-------------------|--|
| | | | 備並進行外釋，2020-2023 拆除建築物。放射性液體廢棄物貯存廠：2009-2010 液體廢棄物玻璃固化，2010-2011 申照，2008-2015 搖控拆除部份設備，2016-2020 手動拆除主要設備，2020-2023 拆除建築物。其整體除役工作規畫詳細踏實，值得借鏡。 |
| 5 | Uranium Refining/Conversion Fac. (TAG50 無法與會) | Noritake Sugitsue | <p>日本 UR/CF 為鈾提煉和轉化工廠，是一棟三層樓之建築物，在管制區內有 37 個房間需要清理除役，近期完成 6 個房間(桶槽、UF₆ 填充、氟化沈澱、冷凝捕捉、UF₄ 乾燥和 UF₄ 進料、)的整體拆除和 1 個房間(水合轉化)可以外釋組件設備的拆除，所有拆除廢棄物暫時放置於原來的房間，準備外釋的廢棄物是放置於網狀箱型容器，重量為 1000kg，共 112 箱，放射性廢棄物裝於容器桶內，每桶重量為 200kg，共 419 桶。</p> <p>此外並對拆除結果進行分析，廢棄物總量 128 噸，40%是放射性廢棄物，其中 66%是金屬，60%準備外釋廢棄物中有 86%是金屬；產生之二次廢棄物之重量約為拆除廢棄物重量之 5%；放射性廢棄物拆除成本為每噸 3.16 百萬日圓，準備外釋廢棄物拆除成本為每噸 1.78 百萬日圓。</p> <p>2010 年完成拆除約 60%設備。並測試新型鑽石塗佈圓盤鋸，原應用於混凝土切割，將擴大應用於金屬切割。</p> |
| 6 | UCP | Un-Soo Chung | <p>韓國 KRR 之燃料處理設施，為三層樓建築，2950 m² 廠房。1976 年開始運轉生產 UO₂，1992 年停止運轉，2001 年除役計劃開始，2004 年取得除役許可。除役期程為 2001 年-2009 年。經費 7.3 百萬歐元。廢液貯存池，為混凝土結構，橡膠內襯，面積 760 m²。內有 250 m³ (420 tons)泥漿(sludge)。含有 NH₄NO₃、NaNO₃ 及約 1%天然鈾。泥漿處理流程為，以 900°C 高溫乾燥泥餅餅後，泥餅壓縮貯存，處理設備之排氣處理為必要之設計。目前日處理量為 750 kg。</p> <p>從 2001 年至 2010 年計畫使用經費 11Billion 韓元 (7M 歐元)，與當初預估多 2 Billion 韓元。</p> <p>2010 年所有程序設備完成拆除。金屬廢棄物經過除污至可以外釋共 126 噸。汙染泥土嚴重，將深入盤點。</p> <p>2011 年報告說明，約 1,600 m³ 的汙染泥土目前以 200L 桶暫貯中，將以近年發展的電動力學方法處理。</p> |
| 7 | B204 Separation Plant & B243 Solid Waste Storage Cells | Steve Slater | <p>英國 Sellafield 是第一座金屬鈾燃料再處理設施除役。1952 年開始運轉，1979 年關廠。B204 主要分離程序廠房有 11 層樓高 61 公尺，煙囪位於頂樓之上，整體高度加上煙囪合計 122 公尺，廠房內有大量程序設備及管線須拆除，內部有些設施由於高輻射及地震損害無法經由廠房通道到達；整體除役期程至為 2046 年，所需經費估計超過 3 億英磅。2010 年重新估計，完成 B204 除役可能要到 2090 年。</p> <p>HANO CELL 之清理準備使用輕質(500kg/m³)泡沫凝膠(foam grout)以固定內部汙染物質，已完成輕質泡沫凝膠之特性測試，瞭解其流速和產生熱能等數據，在倒入輕質泡沫凝膠前，對於人員無法進入區域，移除牆壁上的堵塞物，使用雷射和伽馬掃描器進行內部設備及輻射劑量之量測，建立完整的廠房結構及內部重要設備的數位 3D 模型，以精確規劃拆除方法；煙囪由 600 噸強化混凝土和 20 噸不銹鋼所組成，且高度非常高，周遭建築物環繞，拆除規劃需特別注意，尤其是地震</p> |

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 |
|----|---|-----------|--|
| | | | <p>的影響。預計 2010 年 11 月完成泡沫凝膠灌注工作，通風系統改善工作亦已經完成。</p> <p>B243 固體廢棄物貯存區，因為管制單位發佈 LIS243 規範，於 2008 年修改除役策略分成四個階段：內部廢棄物移除、符合 LIS243 規範需求、接收廢棄物暫存及移除和最後的貯存區拆除，整體預計 2027 年完成，目前正進行符合 LIS243 規範需求之改善工作。2010 年進行貯存區圍阻建物之興建。2010 年重新估計，完成 B243 除役可能要到 2040 年。</p> |
| 8 | D&D of the Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (TAG50 無法與會) | Jud Lilly | <p>美國 Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (GDP)位於 Ohio 州中南部，南距 Ohio River 22 英里。GDP 廠建於 1952-1956 年，為當時美國所建 3 座鈾精煉廠之一。第二座 K-25 廠位於田納西州 Oak Ridge，簡稱 ETTP，於 1985 年停止運轉，目前除役中。第三座位於肯塔基州 Paducah，目前以 the United States Enrichment Corporation (USEC)持續運轉中。三座工廠於於 1991 年停止生產 Highly Enriched Uranium (HEU)，商業用 Low Enriched Uranium (LEU)繼續生產。GDP 於 2001 年 5 月停止運轉，處於冷停機狀態，準備進行除役，預計 2010 年 12 月發包。</p> |
| 9 | the European Commission Decommissioning and Waste Management (D&WM) Programme | F. Basile | <p>義大利 Joint Research Centre (JRC)於 1959 年轉屬於 EC，目前有員工 1800 人，其中約 70 人執行除役工作。JRC 佔地 160 英畝，共有 317 棟建築物，包括實驗用反應器、熱室、輻射化學實驗室、及放射性廢棄物管理設施。</p> <p>除役計畫工作內容包括：桶裝放射性廢棄物約 6000 桶，1230 m³，盤點約 9.30 GBq 的 Co-60 及 360 GBq 的 Cs-137，編列清理經費 43M 歐元，時程規劃至 2017 年；早期使用的放射性廢棄物貯存豎坑之清理，因為鄰近用過燃料貯存設施，造成困難。編列經費 10.5M 歐元，時程規劃至 2017 年；及中低階放射性廢棄物包括泥漿清理，編列經費 7M 歐元，時程規劃至 2017 年。</p> |

2.2.3 新會員申請

上次 TAG 會議上提出新會員申請有 3 案。其中義大利 Joint Research Centre (JRC)提出之 EC 實驗設施除役及廢棄物處理計畫及西班牙 ENRESA 公司 Jose Cabrera 核能電廠除役計畫已被接受為正式會員。另外日本 Chubu 電力公司 Hamaoka 核能電廠一、二號機除役計畫則仍需於 TAG 中提出簡報討論。但本次受福島是事件影響，日本 Chubu 電力公司無法派員與會，基本資料為 2010 年之資料，說明如下：

| 項次 | 計畫 | 主講人 | 簡報內容概要 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|--------------------|---|-------|--------|--------|------|-----|--|----------------------|--------|--------|--------------------|-------|-------|--------------|------------|------------|-------------------|-----------|------------|-----------|---------------|---------------|-----------------|--------------|--------------|----------|----------|---------|
| 1 | Hamaoka NPP D&D (TAG50 無法與會) | Motonori NAKAG AMi | <p>日本 Chubu 電力公司供電區為日本中部以名古屋為主的地區，供電 39,000 平方公里(10.5%)，1600 萬人口(12.5%)，129.7TWH/年。Hamaoka 電廠佔地 1.6 平方公里，員工 744 人，共有 5 部核能機組，核能供應電力僅占 Chubu 公司供電量 11%，遠低於日本核電 20%供電比率。其中一號機 1976 年 3 月開始運轉，二號機 1978 年 11 月開始運轉，2009 年 10 月決定停止運轉並進入除役。計畫同時包括新建 6 號機組。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Plant</th> <th>Unit 1</th> <th>Unit 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Type</td> <td colspan="2">BWR</td> </tr> <tr> <td>Thermal Power Output</td> <td>1593MW</td> <td>2436MW</td> </tr> <tr> <td>Rated Power Output</td> <td>540MW</td> <td>840MW</td> </tr> <tr> <td>Construction</td> <td>March 1971</td> <td>March 1974</td> </tr> <tr> <td>First Criticality</td> <td>June 1974</td> <td>March 1978</td> </tr> <tr> <td>Shut Down</td> <td>November 2001</td> <td>February 2004</td> </tr> <tr> <td>Cease Operation</td> <td>January 2009</td> <td>January 2009</td> </tr> <tr> <td>Duration</td> <td>27 years</td> <td>26years</td> </tr> </tbody> </table> <p>除役計畫規劃剛開始，約從 2014 年至 2038 年。</p> | Plant | Unit 1 | Unit 2 | Type | BWR | | Thermal Power Output | 1593MW | 2436MW | Rated Power Output | 540MW | 840MW | Construction | March 1971 | March 1974 | First Criticality | June 1974 | March 1978 | Shut Down | November 2001 | February 2004 | Cease Operation | January 2009 | January 2009 | Duration | 27 years | 26years |
| Plant | Unit 1 | Unit 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Type | BWR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Thermal Power Output | 1593MW | 2436MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rated Power Output | 540MW | 840MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construction | March 1971 | March 1974 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| First Criticality | June 1974 | March 1978 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Shut Down | November 2001 | February 2004 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cease Operation | January 2009 | January 2009 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Duration | 27 years | 26years | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

俄羅斯 (Russia) 已經開始與 CPD 接洽，表達有意申請加入合作計畫。本次會議亦無法派員參加。俄羅斯國內最大的研究中心 Kurchatov Institute 規劃以其所屬的 MR/RFT 研究用反應器的除役計畫申請加入 CPD。此兩座研究用反應器位於莫斯科附近。

俄羅斯 MR reactor 為水池式反應器。1963 年開始運轉，功率 20 MWt，於 1967 提升功率至 50 MWt。反應器於 1993 停止運轉，於 1996 年開始進入安全貯存。目前處於除役規劃階段。反應器運轉任務包括燃料材料測試、同位素生產、及核醫藥物研究。

第一階段工作包括用過燃料移除、實驗管移除、放射性盤點、細部拆除規劃，執行至 2010 年。2011 年至 2012 年為第二階段，進行周邊及管路設備拆除。2013 年

至 2014 年為第三階段，進行反應器拆除及反應器廠區復原。

另外，估計 Kurchatov Institute 亦需要面對大量且大面積的污染土壤清理。CPD 目前正面回應俄羅斯，期待其正式提出申請。

2.2.4 其他討論事項

(1) TAG 新任執行秘書

TAG 執行秘書 Mr. Robert Burton 於 2010 年退休，CPD 已新聘英國籍 Mr. Terry Benest 為繼任。

(2) TAG 會議型式檢討

因應會員增加，會議時間緊湊，專案討論會議型式。考量

- (1) 是否應訂定簡報時間限制及簡報檔頁數限制。
- (2) 是否應訂定簡報標準格式。
- (3) 是否可以就會員之除役計畫特性，分為反應器及燃料處理設施兩類，分別進行會議。
- (4) 是否應成立特殊議題討論時段，並由會議協調人於會前協調安排特殊議題。

初步討論結果，多數會員不贊成 TAG 會議分成反應器及燃料處理設施兩類，分別進行會議，以保持資訊溝通之完整性。但均贊成對簡報時間及篇幅設定限制規則，期能增加會議效率。

(3) TAG 未來會議安排

未來幾次 TAG 會議主辦國家需要持續協調產生，目前預定 TAG-51 由德國主辦，TAG-52 將協調西班牙主辦。

(4) 特殊協調事項

目前 TAG 會員計劃中，瑞典之 R2 及 R2-0 研究用反應器、韓國之 KRR-1 及 KRR-2 反應器、及我國之 TRR 研究用反應器，同為水池式反應器，TAG 主席 Mr. Jan Carlsson 曾於數次 TAG 中建議 3 個計畫加強合作。目前 TRR 計畫與韓國除役相關計畫主持人 Mr. Un-soo Chung 及瑞典相關

除設計畫負責人 Mr. Lennart Gustafson 維持順暢溝通管道。尤其是韓國之 KRR-1 反應器發生池水洩漏事件，值得所有水池式反應器參考其經驗及教訓。

經過會員討論，TAG 會議舉辦頻率仍維持一年兩次。我國以非 NEA 成員能參與 CPD，應對於會籍之維護持續審慎。建議一年派員與會一次。同時會議主席重申，希望會員單位指派固定人員與會，以維持議題討論之延續性及較整齊之專家水準。此次會議日本僅派 JAEA 一人與會，會議主席 Jan Carlson 對日本 JAEA 代表說明，希望派同一人與會，以求議題討論之聯貫性並保持技術討論之水準。此傾向當然不利於本所借由參與 TAG 國際會議訓練人員之效益。

三、心得

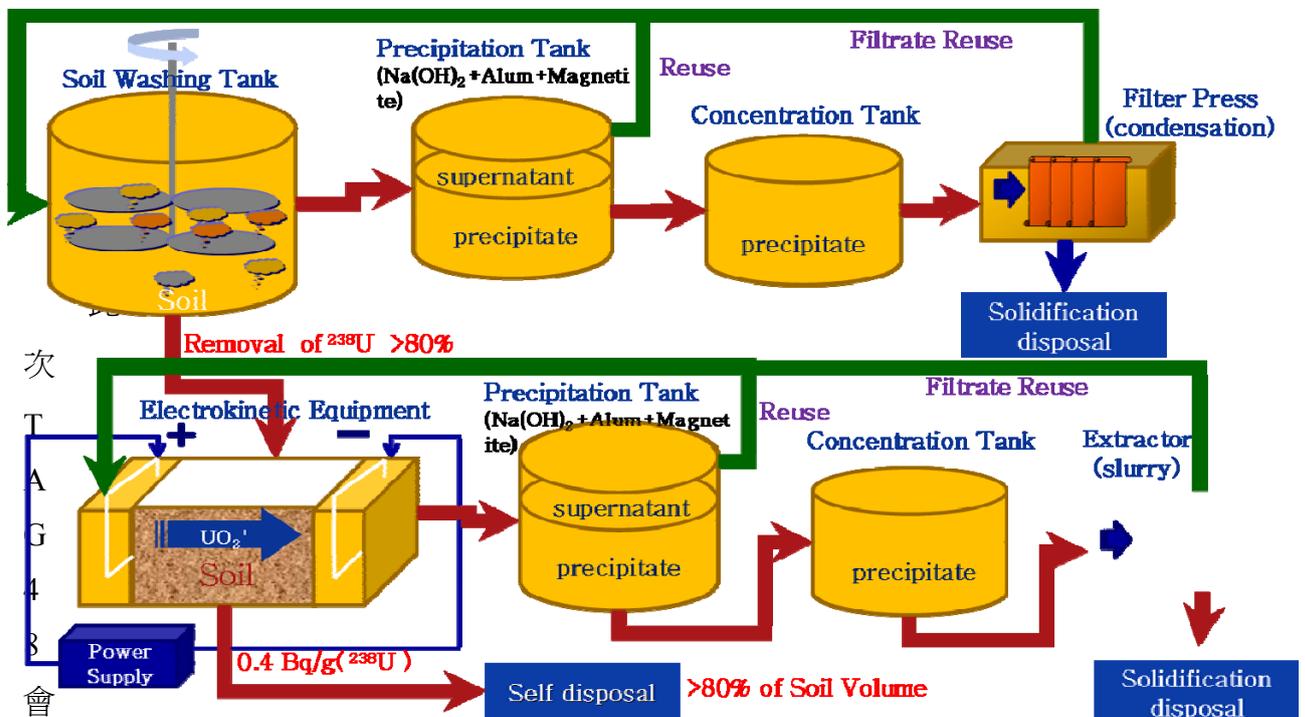
彙整 TAG-50 會議各國除役計畫、工作小組和主題討論等所提出之簡報，以下將值得繼續追蹤之除役計畫、符合除役工作之所需或技術方法是國內除役將來可以效法之部分所獲得之心得彙整說明如下。

3.1 電動力學 (Electro-kinematic method) 方法應用於污染泥土除污

國際上早期建立的研究用核能設施，目前很多已經從事約 50 年的核能研究工作。核研所成立至今亦超過 40 年。從事核能相關研究工作經過半個世紀，各國核設施均面臨場地復育的需求。

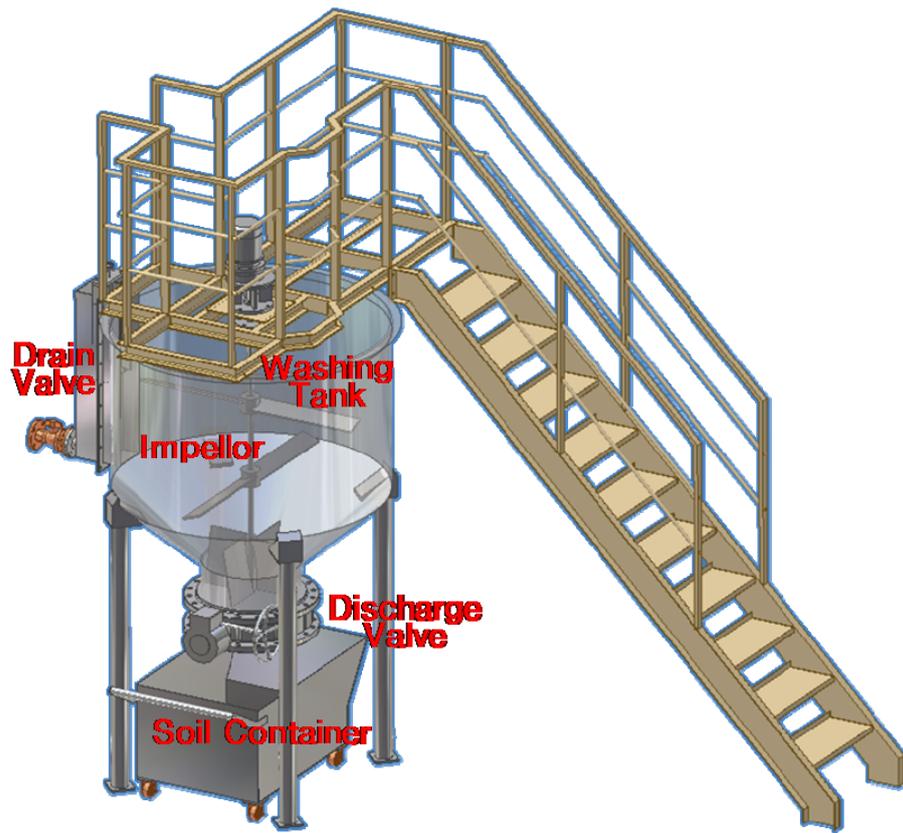
以韓國 KAERI 的鈾燃料廠 (Uranium Conversion Plant) 為例，1976 年建立，2004 年停止運轉，到 2011 年 6 月完成除役清理工作。除了一般放射性廢棄物外，從廠地清理，以大於 10Bq/g 的土壤微處理標的，總共累積有 1,600m³ 污染泥土裝桶待處理。目前以 8000 個 200L 桶盛裝暫貯。

污染泥土廢棄物，性值是污染濃度低，但是量非常龐大。一般處理程序勢必產生大量放射性液體二次廢棄物。韓國發展應用電動力學技術處理污染土壤，目前已經建立年處理量 50 桶的先導系統。系統流程如下圖。



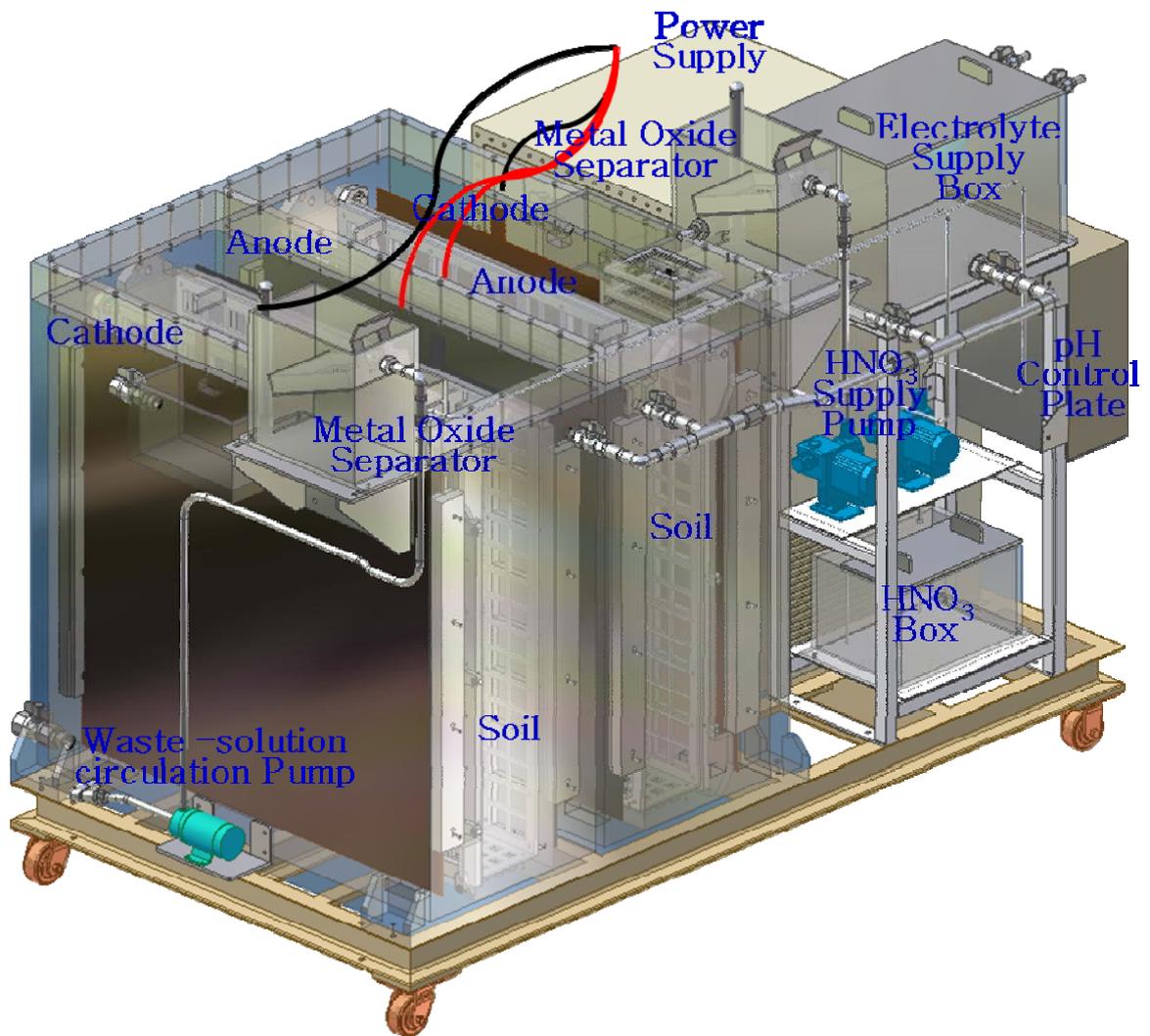
圖一、韓國 KAERI 污染泥土除污流程

先導系統部分關鍵設備已經設計完成，包括電極設備及廢液處理設備。



圖二、韓國 KAERI 污染泥土除污系統進料設備及固、液分離設備

其中移除污染泥土中鈾元素的電極設備設計如圖。



圖三、韓國 KAERI 污染泥土除污系統電極設備

目前先導系統各單元已進入測試階段，運轉測試情形如下圖。



圖四、韓國 KAERI 污染泥土除污系統運轉測試

測試數據顯示鈾-238 移除率可達 90%以上。

表六、韓國 KAERI 污染泥土除污系統測試數據

| Reagent (M) | Initial conc. (Bq/g) | Elapsed time (days) | Removal efficiency of ²³⁸ U (%) | Electric current (mA/cm ²) | Volt (V) | Waste-solution volume (ml/g) |
|--------------------|----------------------|---------------------|--|--|----------|------------------------------|
| Nitric acid (0.1M) | 17.8 | 0 | 78.7 (3.8) | 16 | 30 | Soil washing |
| Nitric acid (0.1M) | 17.8 | 5 | 87.6 (2.2) | 19.5 | 24 | |
| Nitric acid (0.1M) | 17.8 | 10 | 94.8 (0.92) | 19.5 | 17 | |
| Nitric acid (0.1M) | 17.8 | 15 | 96.5 (0.62) | 19.5 | 15 | |
| Nitric acid (0.1M) | 17.8 | 20 | 97.0 (0.53) | 19.5 | 14 | |
| Nitric acid (0.1M) | 17.8 | 25 | 97.4 (0.46) | 19.5 | 14 | |
| Nitric acid (0.1M) | 17.8 | 30 | 97.8 (0.40) | 19.5 | 14 | 3.2 |

核研所未來也有污染土壤處理的需求，國際上此類之發展值得注意。從韓國所發展的技術，鈾-238 移除率雖可達 90%以上，但是程序放大應仍困難。一般污染土壤處理主要特性是其量大且濃度低，以韓國為例，污染土壤有 1600m³，共約 8000 桶。以目前所發展的系統，年處理量為 50 桶，約需要 160 年才能處理完。處理速度為此處理程序的主要瓶頸。

韓國 KAERI 發展此程序並已經建立先導系統，相關技術發表於期刊：

”Gye-Nam Kim, Un-Soo Chung, Development of pilot-scale electrokinetic remediation technology for uranium removal, Separation and Purification Technology, 2011”