

出國報告（出國類別：其他）

赴韓國參加 OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)第 46 屆技術諮詢組(TAG)會議

服務機關：核能研究所

姓名職稱：李崙暉  
陳鴻斌

派赴國家：韓國

出國期間：98 年 05 月 10~98 年 5 月 16 日

報告日期：98 年 06 月 16 日

## 摘要

本次公差為參加 OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)第 46 屆技術諮詢組 (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 2007 年之 TAG-43 會議。

TAG-46 會議於 98 年 5 月 11-15 日，假韓國之韓國原子能研究所(KAERI)之國際核能訓練與教育中心(INETC)舉行，由韓國 KAERI 主辦，合計共 10 國 22 個除役計畫之 27 位專家與會。5 月 11-13 日為閉門會議，內容包含各參與計畫除役狀況簡報研討、TAG-46 會議主題-“核設施除役後場地復原”之技術討論、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 12 篇，核燃料循環設施除役簡報 8 篇，新增計畫簡報 1 篇，工作小組簡報 1 篇，主題討論簡報 2 篇，共有 24 篇簡報。5 月 13-15 日會議則分別安排赴韓國大田 KAERI 之鈾轉化廠及韓國首爾 KRR-1&2 參訪，期間有 3 篇工作簡報，研討研究用核設施除役最後階段之場地復原。

此次會議簡報及會務內容，彙整所得重點包括：(1)除役計畫之執行進度，拆除廢棄物處理及處置方式；(2)反應槽壓力容器(RPV)採用不同的拆除模式，德國的 Greifswald 和 AVR 是採整體拆除的模式，英國 WAGR 是採分解拆除的模式；(3)土壤特性調查量測技術及方法之應用，包括韓國 KRR-1&2 及法國 Fontenay Aux Roses，以及韓國對污染土壤清洗所提出電化學清洗技術之發展；(4)混凝土結構體除污與拆除技術工作小組所探討之方法及技術之彙整評估；(5)TAG 對新申請加入之除役計畫審查的態度及資格日趨嚴謹；(6)會議中討論並獲得共識，將更注重會議品質。

此次會議特別要求會員加強除役技術交流或回饋，且對於新申請加入 TAG 之新計畫所採取之審查態度及資格有趨於嚴格之傾向，因此對於會員資格之維

持及會議之參與應更積極。

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.....	3
2.2.1 核反應器除役簡報內容摘要 .....	6
2.2.2 核燃料循環設施除役簡報內容摘要 .....	9
2.2.3 新增計畫簡報內容摘要.....	12
2.2.4 其他事項.....	12
2.2.5 參訪 KAERI 之鈾轉化廠及相關設施除役 .....	14
2.2.6 參訪 KEPCO 之 KRR-1&2 除役.....	15
三、心得 .....	16
3.1 英國 WAGR 電廠之爐體拆除 .....	16
3.2 比利時 BR3 電廠之煙囪拆除及廠房除污設備.....	18
3.3 $\alpha$ 污染設備整體移除後之減容措施 .....	19
3.4 土壤特性調查之量測方法.....	21

3.5 污染土壤清洗程序發展.....	26
3.6 核設施混凝土結構體除污與拆除技術 .....	28
四、建議事項.....	30
附錄 A、TAG-46 參加人員名單 .....	附錄-1
附錄 B、核反應器除役簡報 .....	附錄-2
附錄 C、核燃料循環設施除役簡報.....	附錄-61
附錄 D、新增計畫簡報 .....	附錄-88
附錄 E、新計畫接收準則 .....	附錄-90
附錄 F、工作小組簡報.....	附錄-92
附錄 G、TRR 提送 CPD 計畫資料庫之內容.....	附錄-94
附件 H、土壤特性調查和復原簡報.....	附錄-97
附錄 I、參訪 KAERI 之鈾轉化廠及相關設施除役簡報.....	附錄-104
附錄 J、參訪 KEPCO 之 KRR1&2 除役簡報 .....	附錄-107
附錄 K、TAG-43 會議資料舉辦技術研習 .....	附錄-110

## 一、目的

本次國外出差係奉派參加 OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)第 46 屆技術諮詢組 (TAG)會議，時間為 98 年 5 月 11-15 日，假韓國之韓國原子能研究所(KAERI)之國際核能訓練與教育中心(INETC)舉行，由韓國 KAERI 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，取回各國龐大的除役相關資訊。

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) 認識國際核設施除役相關專家/主管，建立未來技術交流管道。
- (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

核設施除役合作計畫(Cooperative Program on Decommissioning, CPD)由管理委員會(Management Board, MB)與技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)組成，其中 MB 目前由 23 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 49 項計畫參加，每年開會二次，我國限於國外公差名額，約每隔 3 或 4 屆派員參與一次。

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)為馬殷邦副所長；而技術諮詢委員會(TAG)為除役計畫主持人陳鴻斌。自 2001 年開始開始之 TAG 會議，本所陸續派員參加，上一次參加為 TAG-43 會議，2007 年 10 月 22-26 日由施建樑及陳鴻斌報告 TRR 燃料池清理、燃料安定化進度、再利用及混凝土外釋。而本屆，則於 2009 年 5 月 11-15 日，由陳鴻斌、李崙暉奉派參加第 46 屆 TAG 會議，並報告 TRR 除役現況及進度、燃料池清理(用過燃料安定化、鈾粉收集及用過樹脂移貯)和爐體拆除規劃及程序發展等，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。

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。本次 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源，做為除役技術建立和除役工作之參考，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-46 會議於 98 年 5 月 11-15 日，假韓國之韓國原子能研究所(KAERI)之國際核能訓練與教育中心(INETC)舉行，由韓國 KAERI 主辦。與會人員有比利時(2 人)、法國(5 人)、德國(2 人)、義大利(1 人)、日本(4 人)、韓國(4 人)、西班牙(1 人)、瑞典(3 人)、台灣(2 人)、英國(3 人)及 CPD 計畫聯絡人(1 人)，10 國 22 個除役計畫，合計共 27 位除役及廢棄物處理專家與會。詳細參加人員資料如附錄 A。本次公差自 98 年 5 月 10 日起至 98 年 5 月 16 日止共計 7 天，主要行程如表 2 所示，TAG46 會議之詳細議程如下表 3。表 4 及表 5 說明會議中提供簡報之專家姓名及所屬機構。

會議取回 26 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 2、本次國外公差主要行程

月/日(星期)	工作內容重點
5/10(日)	去程，由桃園機場出發飛抵韓國仁川機場，再由機場經首爾至大田。
5/11(一)~12(二) 5/13(三)上午	在大田的 KAERI 之會議室，參加第 46 屆 TAG 會議。詳細議程如下表 3。
5/13(三)下午	參訪 KAERI 之鈾轉化廠及相關設施除役，現場簡報並討論鈾轉化廠除役及廢棄物處理。
5/14(四)~15(五)	由大田至首爾。 參訪韓國目前由電力公司(KEPCO)管理，位於首爾之 KRR-1&2 研究用反應器，現場簡報並研討 <u>KRR-1&amp;2 廠址及建物之最終輻射偵測和 KRR-1&amp;2 除役之歷程</u> 。
5/16(六)	回程，由首爾至仁川機場，再由機場出發飛抵桃園機場。



表 3、第 46 屆 TAG 會議詳細議程

議 程 內 容	日 期
1) Welcome, introductions, meeting logistics (TAG Chairman, KAERI Management)	5/11(一)
2) Approval of agenda	5/11(一)
3) Chairman's, Co-ordinator's Remarks and Opening Business • Election of Officers (TAG Chair, Vice Chair)	5/11(一) 5/11(一)
4) Summary Record of TAG 45	5/11(一)
5) Status Reports from participating projects • Reactors(詳細簡報議程如表 4) • Fuel Facilities(詳細簡報議程如表 5)	5/11(一)~12(二) 5/11(一)~12(二) 5/12(二)
6) New Projects	5/12(二)
7) Proposed CPD Database Status	5/13(三)
8) Task Groups Reports Status	5/13(三)
9) Reports from CPD Management Board, Bureau, WPDD	5/13(三)
10) Future meetings of the TAG	5/13(三)
11) Other Business/Matters	5/13(三)
12) Topical Session (Current Practices for Soil Characterization and Remediation)	5/13(三)
13) Closing Remarks	5/13(三)
14) Visiting the decommissioning of Uranium Conversion Plant in KAERI at Daejeon	5/13(三)
15) Visiting the decommissioning of KRR-1&2 in KEPCO at Seoul	5/14(四)~15(五)

表 4、第 46 屆 TAG 會議核反應器除役簡報議程

簡 報 議 程	簡報人/機構
1) BR3	Eric Cantrel / SCK – CEN
2) Phenix	Philippe Fontana / CEA
3) Greifswald	Axel Backer / EWN
4) AVR	Norbert Hess / EWN
5) Garigliano/Latina	Annafrancesca Mariani / SOGIN
6) Fugen	Noriyasu Ebara & Nobuo Ishizuka / JAEA
7) Tokai 1	Toyoaki Yamauchi / JAPCO
8) Pimic	Manuel Ondaro / ENRESA
9) Studsvick Res. Reactor	Lennart Gustafson / STUDSVIK
10) Barsebäck NPP	Hakan Lorentz / BARSEBÄCK
11) Taiwan Research Reactor	Horn-Bin Chen / INER
12) WAGR	Terry Benest / UKAEA

表 5、第 46 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) Eurochemic Reprocessing Plant at Dessel	Robert Walthery / Belgoprocess
2) NLF 165	Michel Jeanjacques / CEA
3) Elan IIB	Guy Decobert / AREVA – NC
4) UP1	Philippe Fontana / CEA
5) APM	Jean-Luc Gerber / CEA
6) SOGIN Trisaia Itrec	Giuseppe Pastore / SOGIN
7) Uranium Refining/Conversion Fac.	Noritake Sugitsue / JAEA
8) B204 Separation Plant & B243 Solid Waste Storage Cells	Steve Slater / Sellafield Limited

## 2.2.1 核反應器除役簡報內容摘要

以下分別就表 4 所列之各項簡報及研討之精要內容做一概述，簡報資料如附錄

B。

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
<b>Reactors</b>			
1	BR3	Eric Cantrel	<p>比利時 BR3 電廠為歐洲第一座 PWR，功率 41MWth，1987 年停止運轉，亦為歐洲第一座除役電廠，除役工作雖已持續進行約 20 年，整個除役計畫準備延長至 2020 年，最終目標為綠地(Green field)且廠址內無暫存設施。</p> <p>近期除役工作完成適用於中/低放射性廢棄物最終處置的混凝土貯存容器、高約 60 公尺的煙囪以 ISOCS 掃描量測並完成拆除，完成中子屏蔽桶(NST)內的儀用管線及支架遙控拆除準備工作，設置新的切割工作站，完成廢棄物和通風廠房之清理準備等。迄今除役產生之廢棄物總量約 2,215 噸，其中放射性廢棄物約 188 噸，不到總數的 10%，其餘廢棄物是以外釋或再利用的方式處理。</p>
2	Phenix	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>
3	Greifswald	Axel Backer	<p>德國 EWN 公司 Greifswald (KGR)電廠之除役為目前世界上規模最龐大之除役計畫，期程為 1995-2013 年，總經費預計為 32 億歐元。計畫內容包含 8 座俄式 WWER 反應爐設施拆除，每座功率分別為 440MWe，其中 Unit 1-5 到 1990 年止分別陸續停止運轉。</p> <p>除役基本策略：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 拆除規劃時是依據系統，拆除執行時是依據房間。</li> <li>2. 拆除從低污染/低輻射量的 Unit 5 機組開始。</li> <li>3. 拆除原則由低污染/低輻射量到高污染/高輻射量。</li> <li>4. 使用現有的商用機械設備。</li> <li>5. 現場拆除需降低輻射劑量時，才使用現場除污。</li> <li>6. 盡量以大組件拆除，貯存於廠內暫時貯存設施，大組件貯存以等待輻射劑量衰減後切割處理。主要之大組件包括 5 座反應爐 RPV (214 噸/座)，30 座蒸氣產生器 (166 噸/座)，5 座調壓槽 (107 噸/座)。</li> </ol> <p>Unit 1-5 之 RPV 不切割，使用特別設計的屏蔽和傳送設備(STD)移送至廠內的中期貯存場貯存，其中 Unit 1 和 2 的爐內組件是有進行拆</p>

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
			<p>除，其餘的就不拆除，其原因為可以減少拆除時間和經費，且可做最佳化之輻射防護，整個工作預計於 2010 年完成。</p> <p>廢棄物管理依照下列策略進行：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在最終處置場未能運轉情況下擬定此策略。</li> <li>2. 建立廠內用過燃料中期貯存設施，大型拆除組件中期貯存設施及處理設施。</li> <li>3. 儘早建立廢棄物外釋放行程序。</li> <li>4. 儘早建立大型組件廢棄物處理方法及設備。</li> <li>5. 不於拆除現場執行組件切割處理。</li> <li>6. 避免拆除程序之瓶頸，規劃足夠之廢棄物緩衝存放場地。</li> </ol> <p>至 2009 年 3 月，產生之廢棄物約 20 萬噸。</p>
4	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，預計於 2009 年第二季獲得運轉執照。</p> <p>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>
5	Garigliano/ Latina	Annafrancesca Mariani	<p>義大利 SOGIN 公司之 Garigliano 核電廠為 160MWe 之 BWR，運轉期間為 1964-1978 年，1982 年停止運轉。目前繼續移除反應器廠房內的石綿，已經拆除了 13 噸的石綿，預計 2009 年底可以完成此項工作；準備於廠內興建暫時貯存設施，已經開始整地、污水排放管線和地基建立等工作；後續規劃興建廢液處理設施和廠區內之配電系統，也開始著手規劃管溝清理和煙囪拆除等工作。</p> <p>Latina 核電廠為 650MWt 之氣冷式反應爐，運轉期間為 1964-1986 年。1425.4 噸之用過核燃料已運至 BNFL。整個除役計畫是架構於 2009 年可以使用國家貯存設施，但至今尚無國家貯存設施，嚴重影響除役廢棄物處理，因此 SOGIN 公司暫停大部分的除役工作，並重新研擬除役計畫，準備改成反應器廠房以安全貯存的形式規劃，已經開始準備提出新的除役計畫並重新申請。目前持續進行的工作有建造廠內貯存設施和污泥沈澱物處理設施。</p>
6	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。</p>
7	Tokai 1	Toyoaki Yamauchi	<p>日本 Tokai-1 電廠為氣冷式反應器，功率為 166MWe，於 1998 年 3 月永久停止運轉，1998 年 5 月-2001 年 3 月燃料移出。2001 年提出</p>

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
			<p>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>
8	Pimic	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(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)，預計今年 6 月取得核准。</p>
9	Studsvick Res. Reactor	Lennart Gustafson	<p>瑞典 Studsvick 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。目前正在進行拆除執照的申請。</p>
10	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，預計到 2025 年完成拆除，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"> <li>● 除役拆解需求之研究分析。</li> <li>● 設備、建物、土壤和地下水等之特性調查。</li> <li>● 反應槽如何整體由廠房移出之先期研究。</li> <li>● 反應槽和內部組件拆解之先期研究。</li> <li>● 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。</li> <li>● 監控除役計畫之執行。</li> </ul>
11	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</p>



項次	計畫	主講人	簡報內容概要
			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。
12	WAGR	Terry Benest	<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>

## 2.2.2 核燃料循環設施除役簡報內容摘要

以下分別就表 5 所列之各項簡報及研討之精要內容做一概述，簡報資料如附錄 C。

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
<b>Fuel Facilities</b>			
1	Eurochemic Reprocessing Plant, Dessel	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。主要廠房長 80m，寬 27m，高 30m，分成 7 個樓層。廠房拆除總體積 56,000m<sup>3</sup>，拆除混凝土廢棄物體積約 12,500 m<sup>3</sup>，混凝土結構面積約 55,000m<sup>2</sup>，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；至 2008 年 9 月已完成東區的拆除，目前進行中區的拆除，預計於 2010 年完成，至於西區則規劃於 2012 年拆除完成。</p>
2	NLF 165	Michel Jeanjacques	<p>法國 NLF 165 燃料再處理 R&amp;D 廠，廠內有多棟廠房，自 1961 年開始使用，於 1995 年前陸續停止運轉，是屬於含有 <math>\alpha</math> 污染之核設施；除役先由編號 52.2 廠房開始，共規劃四個階段：1983-1987 年為清潔階段，移除燃料、燃料樣本和廢棄物；1989-1995 年為第二階段，實驗設備拆除和熱室清潔；1999-2000 年為第三階段，建立新的通風管線；2007-2012 年為第四階段，拆除各實驗室混凝土結構，目前至進行此階段工作，約完成 10%。至於編號 18、54 和 91 的主廠房合計樓板面積約 9,800m<sup>2</sup>，廠房空間約 109,000m<sup>3</sup>，採兩個階段規劃：1995-2009 年為第一階段，放射性物質射源移除、放射性廢棄物處理移除、桶槽管線清潔除污和建物之清潔，至 2008 年底已進行至編號 18 廠房之清潔；2005-2018 年為第二階段，拆除手套箱、桶槽等實驗設備，其中</p>

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
			手套箱是採整體拆除的方式進行。
3	Elan IIB	Guy Decobert	<p>法國 AREVA NC 之 Elan IIB 為一座生產 Cs-137 和 Sr-90 射源之廠房，廠房長 45.8m，寬 27m，高 15.9m，面積 1230m<sup>2</sup>，體積 17,300m<sup>3</sup>，除役工作預計於 2019 年完成。</p> <p>整個拆除最重要的部分是編號 900-905 的 6 個房間，為射源生產之程序設備，其內有屏蔽磚、桶槽、管線和機具設備等；拆除共分成 16 個程序，已完成程序 1(編號 900 房間之屏蔽磚拆除)、程序 5(桶槽吊運設備發展建造)和程序 8(電力系統重整)，正在進行中的有程序 6(編號 902、903 和 904 房間之清理，運轉廢棄物移除)和程序 16(編號 900 房間之拆除研究)。</p>
4	UP1	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 1,000m<sup>3</sup>，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"> <li>● Fluorhydric Acid(2007 年 7 月到 2008 年 3 月，共 8 個月)。</li> <li>● Oxalic Acid(2007 年 3 月到 2008 年 3 月，共 12 個月)。</li> <li>● Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(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)。</li> <li>● Cerium(預計 2010 年到 2011 年執行)。</li> </ul> <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。</p>
5	APM	Jean-Luc Gerber	<p>法國 CEA 所屬之 APM 燃料處理設施，運轉期間為 1965-1997 年，除役期程規劃為 2008-2020 年，廢棄處理設施的拆除為目前正在進行的工作，預計於 2009 年 6 月完成；此外也完成廢液轉送手套箱之拆除，採整體包封移除的方式。</p>
6	SOGIN Trisaia Itrec	Giuseppe Pastore	<p>位於義大利 Trisaia 的 Itrec 先導型燃料處理廠，廠內亦有固體廢棄物貯存場，正在執行的工作包含高放射性廢棄物及低放射性廢棄物之處理、除役初期工作和整體除役規劃等三項。</p> <p>高放射性廢棄物及低放射性廢棄物之處理部分已設置小型的廢棄物管理場所進行廢棄物管理，進行金屬廢棄物處理，很多放射性土壤貯存桶有鏽蝕的現象，準備設計製造符合中期/長期貯存的特殊不銹鋼貯存容器。</p> <p>除役初期工作部分有高放射性廢棄物貯存場移除和復原，64 根用過核子燃料已委託 AREVA 公司設計貯存容器準備執行乾式貯存，含鈾/鈾之溶液固化廠部分已完成設計且建造實體模擬設施準備進行驗證。整體除役規劃完成整廠的輻射特性調查，進行主要拆除動作的概念設計。</p>
7	Uranium Refining/Conversion Fac.	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、UF<sub>6</sub> 填充、氟化沈澱、冷凝捕捉、UF<sub>4</sub> 乾燥和 UF<sub>4</sub> 進料、)的整體拆除和 1 個房間(水合轉化)以外釋組件設備的拆除，所有拆除廢棄物暫時放置於原</p>

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
			<p>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>
8	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 億英鎊。</p> <p>HANO CELL 之清理準備使用輕質(500kg/m<sup>3</sup>)泡沫凝膠(foam grout)以固定內部污染物質，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，尤其是地震的影響。</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。</p>



### 2.2.3 新增計畫簡報內容摘要

本次會議由法國 CEA 提出 SACLAY Nuclear Licensed Facilities 除役計畫申請加入 CPD，會議簡報 Dismantling of Saclay Nuclear Licensed Facilities Project (DEMSAC)，簡報資料如附錄 D，簡報概述如下：

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
1	DEMSAC 新申請加入 CPD 之計畫	Michel Jeanjacques	法國之 Saclay Nuclear Licensed Facilities 除役計畫包含 NLF49(高活度實驗室，簡稱 LHA)、NLF35(放射性廢液處理廠，簡稱 STEL)和 NLF50 的一部份(簡稱 LELIMENE)。 NLF49 高活度實驗室是多功能目標的 R&D 實驗室，1957 年建造，總面積為 20,000m <sup>2</sup> ，以一條長約 200m 之通道連接 16 棟實驗室和 1 棟辦公室建物，目前正在進行拆除的工作，整體除役限定於 2018 年完成，經費預估約 83 百萬歐元，其中有 0.4 百萬歐元是用於氚特性研究。 NLF35 放射性廢液處理廠是收集、貯存和處理放射性廢液，建造於 1964 年，目前正在進行清洗和拆除的工作，拆除工作規劃 2008-2013 年，總經費預估 28 百萬歐元。 至於 LELIMENE 則是處於停止運轉的狀態，目前僅對其進行監視和維護，尚未開始除役。

### 2.2.4 其他事項

#### (1) TAG 主席 / 副主席改選

因為 TAG 主席已懸缺一年，所以本次會議舉行主席 / 副主席的選舉，選舉結果由瑞典 Jan Carlsson 當選主席，比利時 Robert Walthery 當選副主席，任期由 2009 年 5 月至 2012 年 5 月共 3 年。

#### (2) 新增計畫審查

法國 CEA 所提 SACLAY Nuclear Licensed Facilities 除役計畫加入 CPD 案，會議討論氣氛嚴肅且發言踴躍，顯示 TAG 審查新計畫加入之門檻日趨嚴格，最後會議通過接受，但仍須經過管理委員會之審核；往後申請加入之新計畫應符合 CPD 新計畫申請加入接受準則，其內容如附錄 E。

### (3) 工作小組現況說明

由比利時 SCK - CEN 之 Eric Cantrel 報告有關混凝土結構體除污與拆除技術工作小組之現況，工作進度和彙整發展之技術方法，以及準備出版之技術報告格式與內容，預計於 2010 年 1 月完成技術報告，詳如附錄 F。另由加拿大 Bob Burton 報告有關遙控拆除技術工作小組之現況與目前遭遇之問題，因為缺乏各計畫之支持與參與，仍無法有效推動。

### (4) CPD 資料庫現況說明

CPD 計畫聯絡人 Bob Burton 依據管理委員會議決議進行 CPD 資料庫更新工作，於 2009 年 1 月寄出表格供會員填寫後寄回，但成效不彰，因此利用此次會議告知會員盡快回覆，會議結束後會再發一次催繳通知，如果再沒有任何回覆，將於下次管理委員會提出並處理；TRR 計畫在收到催繳通知後，已於 5 月 27 日填妥資料回覆，TRR 計畫送交 CPD 資料庫之內容如附錄 G。

### (5) TAG 未來會議安排

下一屆(TAG-47)會議，將由加拿大 AECL 主辦，時間預定為 2009 年 10 月 19-23 日。另外再下一屆 (TAG-48) 會議，安排由瑞典 STUDSVIK/BARSEBÄCK 主辦，預定時間則為 2010 年 5 月，至於 TAG-49 會議，可能的舉辦地點為法國或義大利。

### (6) 主題討論

本次會議的主題討論題目是「土壤特性調查和復原」，共有韓國 KAERI 和法國 CEA 提出簡報，簡報資料如附錄 H，簡報概述如下：

項次	題目	主講人	簡報內容概要
1	The Development of Electrokinetic-flushing Technology for a Radioacti	Kay Nam Kim	韓國有鑑於處理污染土壤之現有清洗方法有除污效率低且產生較多之二次廢棄物，因此發展一套適用於處理韓國污染土壤之清洗程序，稱為電化學沖洗技術(Electrokinetic-flushing Technology)，這是一種結合電化學技術和土壤沖洗技術的新方法，經過不斷的實驗和最佳化操作條件測試，終於發展成功，並且選用實際污染土壤完成性能驗證。 最佳試劑為濃度 0.01M 的硝酸(Nitric Acid)；單位面積使用之電流由 10mA/cm <sup>2</sup> 增加至 20mA/cm <sup>2</sup> ，其對 Co-60 和 Cs-137 之移除率也增加；土壤之顆粒較大，Cs-137 的移除率也較大；對於比活度 1,825Bq/kg 的污染

	ve Soil		土壤，使用 20mA/cm <sup>2</sup> 電流密度經過 50 天之後，Co-60 和 Cs-137 之移除效率分別為 99.9%和 94.3%。
2	Cleansing of the Fontenay Aux Roses Site	Jean-Guy Nokhamzon	<p>法國 Fontenay Aux Roses 廠址清理，應用於土壤特性調查量測所發展的量測方法有實驗室拖車(Laboratory Vehicle)、包封房間(Containment Room)和 TFA 廢棄物量測(TFA Waste Measurement)等三種。</p> <p>實驗室拖車內配有兩套量測儀器，造價約 30 萬歐元，採移動式方法機動性高，拖車停在哪裡就可以量測附近的表面土壤數據，車內亦有數據處理系統，可結合衛星定位產出 2D 土壤污染分佈圖。</p> <p>包封房間是將所要量測的區域變成密閉空間，內有輻防和通風過濾系統等，造價約 20 萬歐元，適用於有污染土壤之不同深度取樣。</p> <p>TFA 廢棄物量測是建立量測區，造價約 7 萬歐元，使用加馬能譜儀進行 TFA 土壤廢棄物之樣品分析。</p> <p>正在發展的技術為土壤特性調查 3D 影像系統，將調查之數據結合 GIS(Geographic Information System)，利用軟體功能獲得 3D 影像，對於土壤污染之分佈及深度可完全顯現，可完全掌握除役區域內之土壤特性，對於後續之清理工作可提供充足之資訊。</p>

### 2.2.5 參訪 KAERI 之鈾轉化廠及相關設施除役

5 月 13 日下午由 KAERI 之 Doo Seong Hwang 簡報「鈾轉化廠之除役」，接著參訪位於大田 KAERI 內之鈾轉化廠、廢液貯存池和放射性廢棄物貯存設施，簡報如附錄 I，簡報內容摘要如下：

項次	題目	主講人	簡報內容概要
<b>Site visiting facilities</b>			
1	Uranium Conversion Plant	Doo Seong Hwang	<p>韓國 KAERI 之鈾轉化廠，為 3 層樓建築，廠房面積 2,950m<sup>2</sup>，於 1976 年開始運轉生產 UO<sub>2</sub>，1992 年停止運轉，2001 年除役計畫開始，2004 年取得除役許可，除役期程為 2001-2010 年，經費 10 佰萬美元；除役最終目標為移除所有放射性物質且建築物提供再利用。至於 2 個廢液貯存池，為混凝土結構，有橡膠內襯，面積共 760m<sup>2</sup>，內有約 300 噸泥漿含 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>、NaNO<sub>3</sub> 及約 1%天然鈾。</p> <p>鈾轉化廠內全部 27 個房間已完成 26 個房間之拆除，只剩下通風室；建築物內部混凝土進行除污，已完成約 65%；移除 4 個屋水池周遭受污染之土壤；拆除之金屬廢棄物於廠內直接執行鎔鑄工作。1 個廢液貯存池已經完成泥漿之清理，另 1 個也接近完成的階段。</p> <p>至 2009 年 4 月產生之放射性廢棄物約 159 噸，可以外釋之廢棄物約 75 噸。</p>

## 2.2.6 參訪 KEPCO 之 KRR-1&2 除役

5 月 14-15 日參訪 KEPCO 之 KRR-1&2，首先是由 KAERI 之 Sang Bum Hong 簡報「KRR-1&2 之廠址和建物最終狀態調查」，簡報如附錄 J，接著由 KAERI 之 Un Soo Chung 簡報「KRR-1&2 除役之歷程」，接著參訪 KRR-1&2 之除役現況，簡報內容摘要如下：

項次	題目	主講人	簡報內容概要
<b><u>Site visiting facilities</u></b>			
1	KRR-1&2 Final Status Survey of the Site & Building	Sang Bum Hong	<p>韓國 KRR-1 及 KRR-2 均為開池式實驗用反應爐。其中 KRR-1 功率 250kW，運轉期間 1962-1995 年；KRR-2 功率 2MW，運轉期間 1972-1995 年。自 1997 年開始除役規劃，2000 年取得除役許可，至今拆除工作已完成，進入最後的廠址和建物之最終狀態調查(Final Status Survey, FSS)階段。</p> <p>工作執行是依照 MARSSIM 執行，使用的程序為輻射量測和廠址調查程序 (Radition Survey and Site Investigation Process, RSSI Process)，程序分為 4 個步驟：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 廠址歷史資料評估(Historical Site Assessment)。</li> <li>● 範圍調查(Scoping Surveys)。</li> <li>● 特性調查(Characterization Surveys)。</li> <li>● 改善措施驗證調查(Remedial Action Support Surveys)。</li> </ul> <p>廠址取樣分析根據污染情形依序分成三類：Class 1、Class 2 和 Class 3，其執行方法不同；輻射劑量量測使用加馬能譜儀且應用 2 種量測方法：Measurement in Lab.和 ISOCS application，此兩種方法各有其優缺點，互相配合使用。</p> <p>韓國沒有廠址外釋限值，參考 IAEA 和美國 NRC 及 EPA 之限值為 10~300 <math>\mu\text{Sv/y}</math> 之間，訂定廠址外釋限值為 100 <math>\mu\text{Sv/y}</math>，執行最終狀態調查僅有少數的土壤需做改善措施，其方法為將污染土壤移除；未來完成最終狀態調查後，需提出最終狀態調查報告(FSSR)送審。</p>
2	An Issue on Monuments from KRR-1&2	Un Soo Chung	<p>韓國 KRR-1 及 KRR-2 除役過程中，對於除役最終狀態之確定，各相關單位或人員，包含管制單位、電力公司、除役單位、地方政府、附近居民和環保團體等，因為觀點和利益的不同，使得除役目標多次的變更，增加除役工作的負擔和不便，最後終於確定 KRR-2 完全除役，KRR-1 保留反應爐，且經過清潔除污後做成展示紀念館，以紀念韓國核能之發展。</p>

### 三、心得

彙整 TAG-46 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 英國 WAGR 電廠之爐體拆除

英國 WAGR 電廠之爐體如圖 1 爐體剖面示意圖所示，採拆解的方式進行除役，因此發展出許多適用於其爐體之拆除及切割機具設備。圖 2 為遙控拆除機器，人員在轉盤上操縱機器，機械臂可深入爐體內部，搭配各種工具進行拆解工作。圖 3 為 RPV 垂直切割情形。圖 4 為 PRV 水平切割，圖 5 為以機械手執行反應槽內碎屑清理情形，圖 6 為以抓取器移除切割的部分。

TRR 爐體正在進行拆除技術研究，上述所提的爐體拆除切割概念及機具，值得蒐集相關技術資訊，做為發展 TRR 爐體拆除程序及工法之參考。

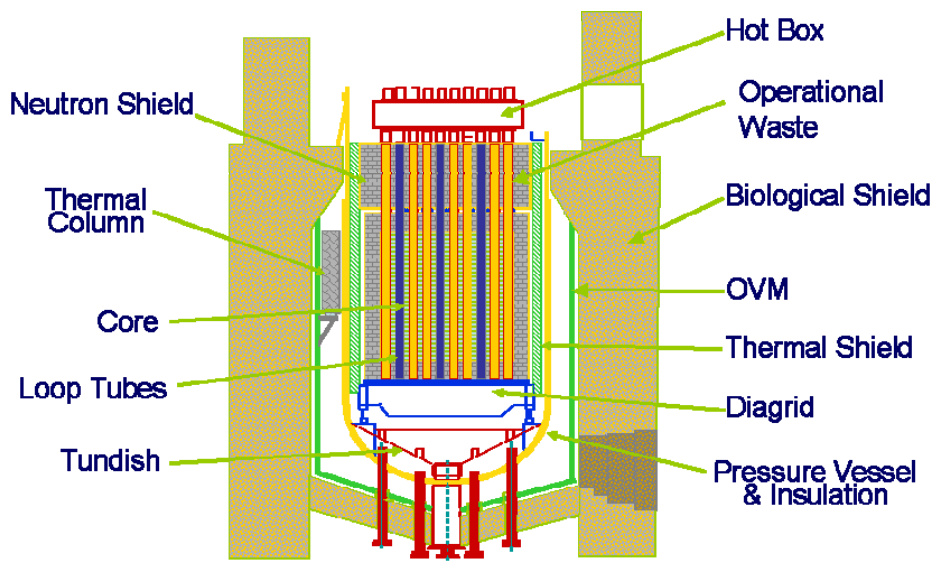


圖 1. 英國 WAGR 爐體剖面示意圖



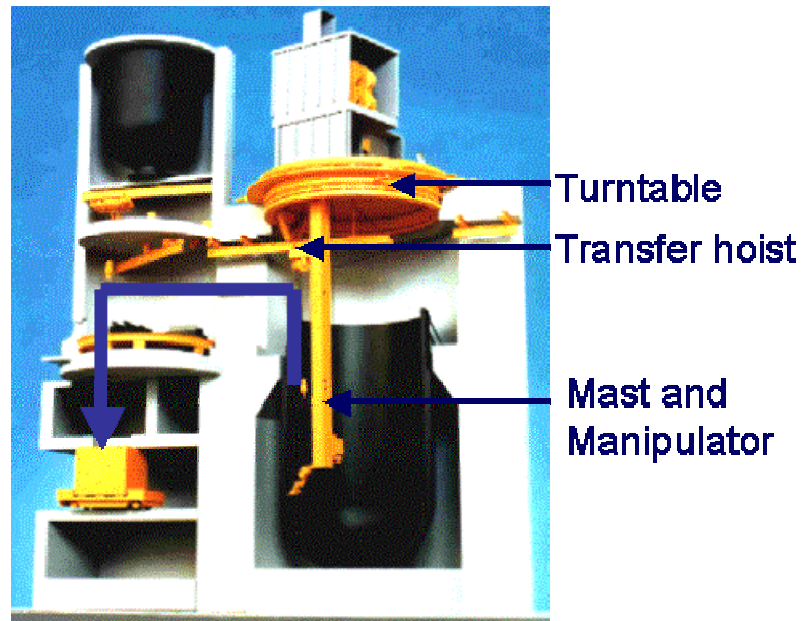


圖 2. 英國 WAGR 遙控拆除機器



圖 3. 英國 WAGR RPV 垂直切割情形



圖 4. 英國 WAGR RPV 水平切割情形

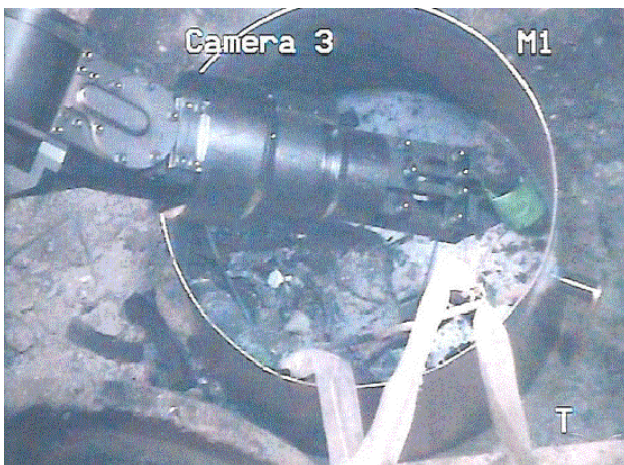


圖 5. 英國 WAGR RPV 內碎屑清理

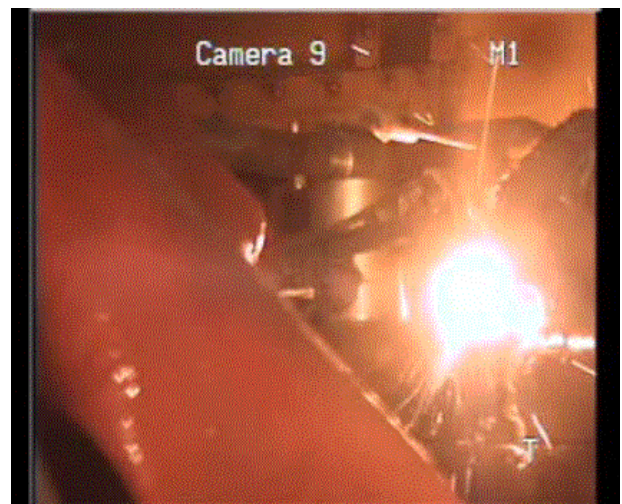


圖 6. 英國 WAGR 抓取器移除切割的部分

### 3.2 比利時 BR3 電廠之煙囪拆除及廠房除污設備

比利時 BR3 電廠之煙囪高約 60m 如圖所示，先做輻射偵檢量測，然後再做拆除工程，其中輻射偵檢量測是採用 ISOCS 量測方法，以偵檢儀器放入煙囪內部進行，所得到的表面活度量測數據如圖 7 所示，拆除採一般的拆除方式分成三部分執行，第一部份為離地面 58-60m 的頂端部分，以人工使用氣動工具的方式進行拆除，第二部分為離地面 8-58m 的中間部分，使用液壓震動破碎機進行拆除，第三部分為離地面 0-8m 的底層部分，使用挖土機吊掛錘球的方式執行拆除工作，其工作情形如圖 8 及圖 9 所示。

TRR 除役中煙囪也是拆除的項目之一，TRR 煙囪高約 50m，為鋼筋混凝土建造，基座為八角型，深入地下約 6.5m，整體規模與 BR3 電廠之煙囪相當，將來準備拆除時，BR3 所採用的量測方法及拆除方式值得參考。

BR3 電廠除役對於廠房的除污設備有自行發展或特別訂製，圖 10 為用於牆面除污之設備，圖 11 為用於天花板除污之設備，以 X-Y 支架為導引，圖 12 為用於高污染區除污所訂製的核能級 Brokk 180 裝置，可採遙控的方式進行除污，圖 13 為自我清洗過濾之高效率真空設備。

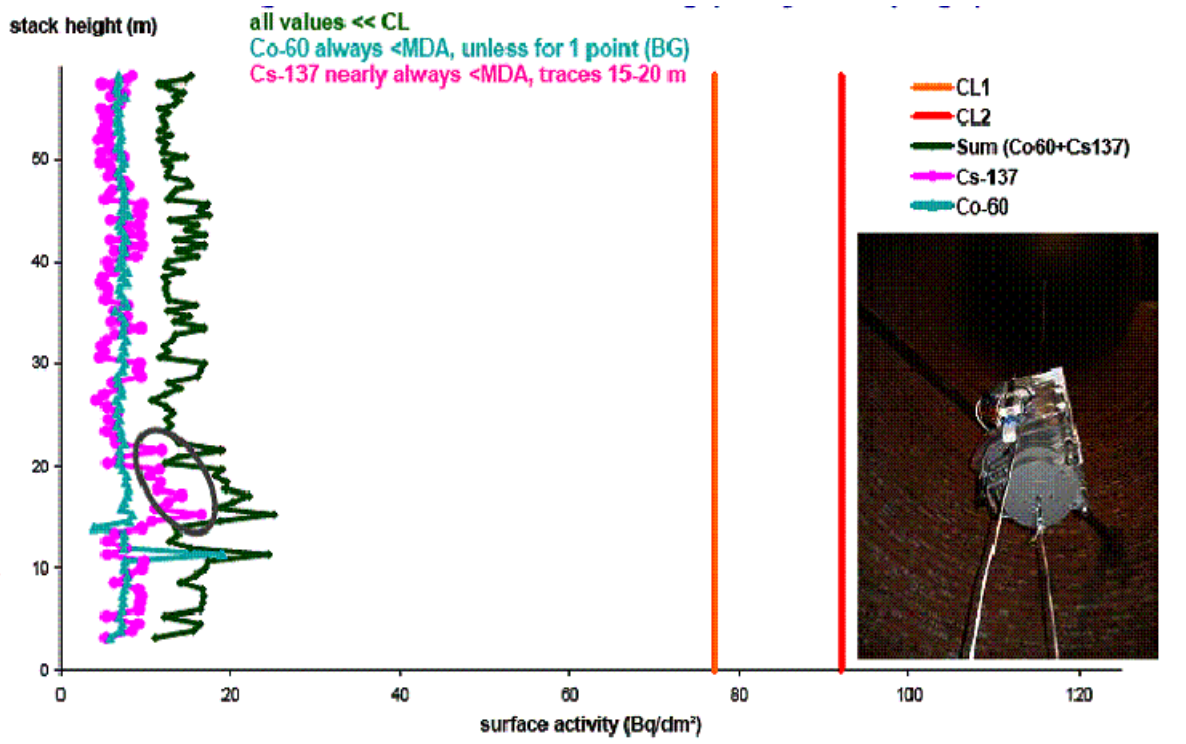


圖 7. 比利時 BR3 煙囪內部量測及數據資料





圖 8. 比利時 BR3 煙囪拆解施工情形(1)



圖 9. 比利時 BR3 煙囪拆解施工情形(2)

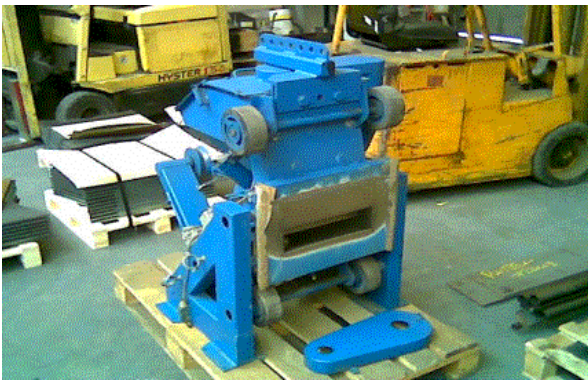


圖 10. 比利時 BR3 牆面除污設備

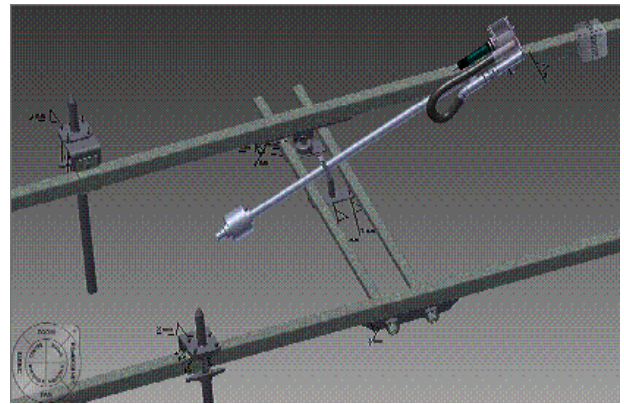


圖 11. 比利時 BR3 天花板除污設備



圖 12. 比利時 BR3 高污染遙控除污設備



圖 13. 比利時 BR3 高效率真空設備

### 3.3 $\alpha$ 污染設備整體移除後之減容措施



核研所 016 館所拆除之手套箱屬  $\alpha$  污染之放射性廢棄物，已採整體拆除的方式完成拆除，手套箱放置於貯存容器內存放於 TRU 廢棄物貯存設施。然 TRR 除役計畫繼續在執行，陸續會有放射性廢棄物必須進入 TRU 廢棄物貯存設施貯存，檢視現有貯存空間現況，將來可能會有貯存空間不足的問題產生。

法國 NLF165 燃料再處理 R&D 廠亦屬於含有  $\alpha$  污染之核設施，除役過程中也有為數眾多的手套箱需拆除，其採行的方法是最後是將其完全拆解，如此可減少廢棄物所需的貯存空間，手套箱拆解流程如圖 14 所示。

因此對於同樣是  $\alpha$  污染的手套箱是否需由貯存庫取出，進行拆解的程序後再重新包裝放回貯存庫貯存是值得深思的問題。

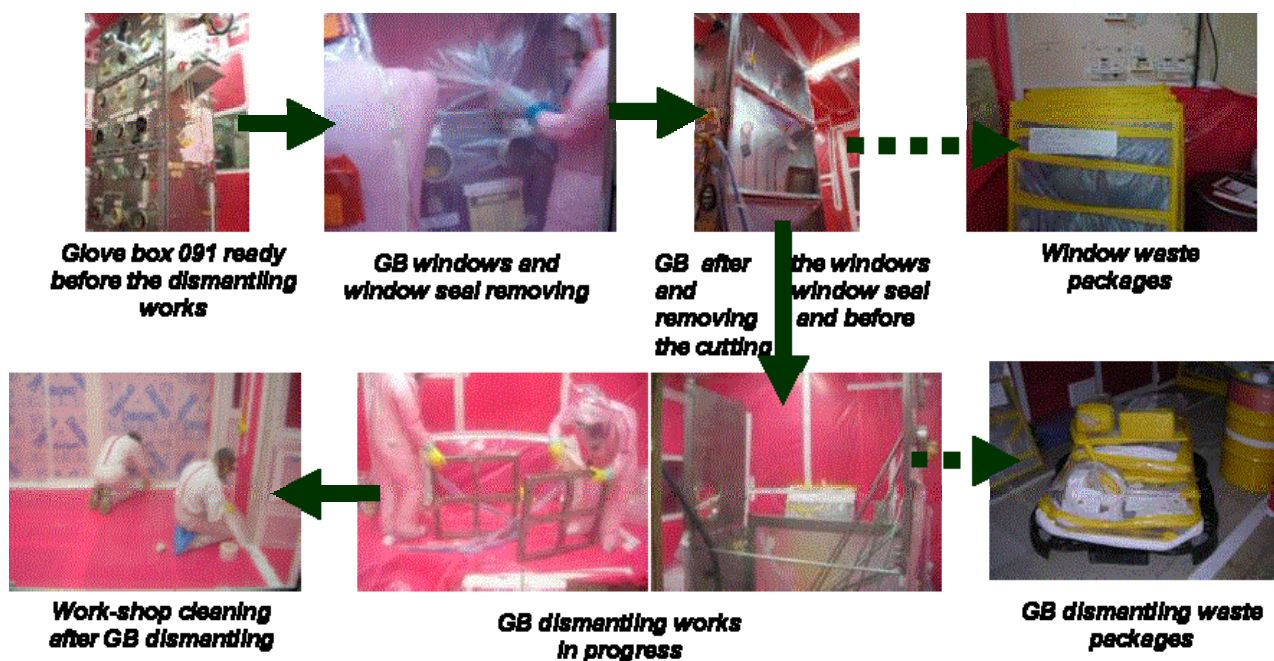


圖 14. 法國 NLF165 手套箱拆解流程

### 3.4 土壤特性調查之量測方法

核設施除役進入最後階段必須提出最終狀態調查報告送管制單位審查，以判定核設施除役是否符合除役計畫所訂之最終狀態目標，最終狀態調查其中一項工作就是土壤特性調查，因為核設施廠址範圍有些非常廣大，如何能在合乎法規的情況下，以最有效率的方式進行量測是非常重要的。

韓國 KRR-1 和 KRR-2 是依照 MARSSIN 執行，廠址面積約 47,417m<sup>2</sup>，如圖 15 所示，程序分為 4 個步驟進行：

- 廠址歷史資料評估(Historical Site Assessment)。
- 範圍調查(Scoping Surveys)。
- 特性調查(Characterization Surveys)。
- 改善措施驗證調查(Remedial Action Support Surveys)。

量測採用 Measurement in Lab.和 ISOCS application 兩種方法，如圖 16 所示，前者可獲得較精確之結果，但較費時也需較高成本，適用於小範圍量測，後者量測結果可能會有 10~20% 誤差，但可節省時間金錢，適用於大範圍量測；兩種量測結果再進行比較做修正，圖 17 至圖 19 為幾種不同狀況下使用兩種量測方法結果之比較。

法國 Fontenay Aux Roses 廠址清理，對於土壤特性調查量測所發展的量測設施有實驗室拖車(Laboratory Vehicle)、包封房間(Containment Room)和 TFA 廢棄物量測(TFA Waste Measurement)等三種。

實驗室拖車如圖 20 所示，可進行表面之輻射量測及取樣分析，拖車內有各式量測設備及樣品分析儀器，亦配有氣象數據蒐集儀器，拖車機動性高可在量測範圍內隨處執行量測任務，同時亦結合 GPS 將數據成為分佈圖，如圖 21 所示；對於污染土壤設置簡易式的包封房間其流程如圖 22 所示，配置有通風過濾系統，圖 23 為其房間之外觀，圖 24 為包封房間內污染土壤取樣之工作情形；對於 TFA 廢棄物以袋裝的方式使用加馬能譜儀進行量測，圖 25 為 TFA 廢棄物放置情形，圖 26 為執行 TFA 廢棄物量測方式，在 1 年期間完成 2,000 袋 TFA 廢棄物之量測。

除此之外強化軟體技術發展，結合地理資訊和 GPS 等多種工具，對於輻射劑量、活度和污染等調查資訊做各種層面之顯現及應用，甚至可以空間的方式表現調查結果，圖 27 為土壤調查的各種不同呈現方式。

TRR 附屬之燃料乾貯場(DSP)除役前後和未來 TRR 最終狀態調查，都必須對土壤

進行調查，上述所提韓國 KAERI 和法國 CEA 使用之技術和方法，已有實際應用的績效和成果，因此這些技術和方法對於 TRR 除役應有非常大的幫助，值得繼續追蹤，並深入研究探討，及早提出因應對策。

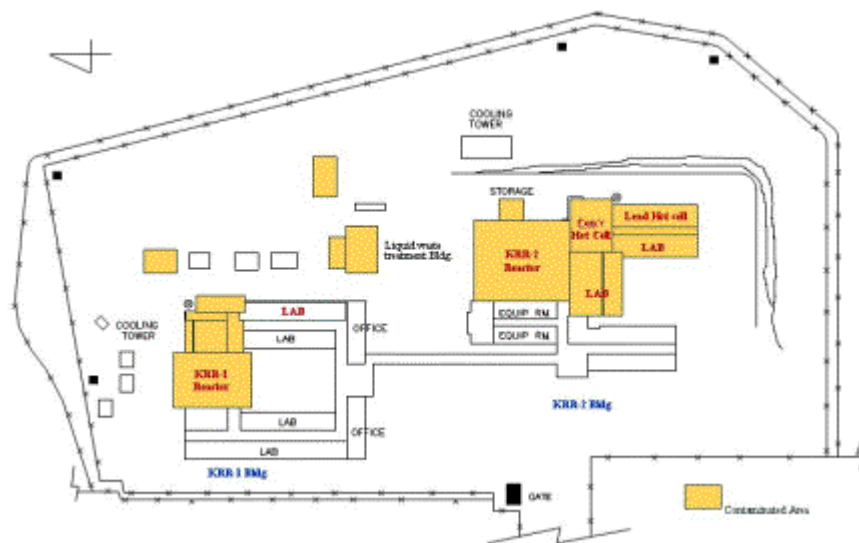


圖 15. 韓國 KRR-1&2 廠區平面示意圖

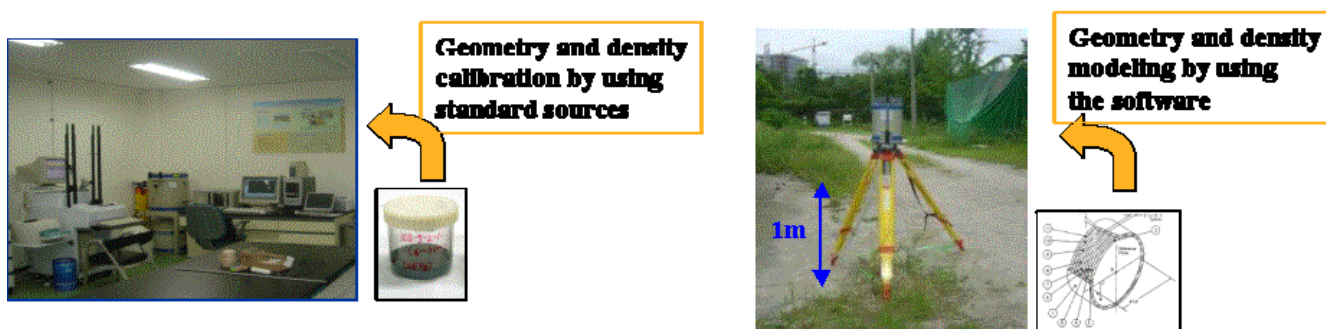


圖 16. 韓國 KRR-1&2 Measurement in Lab.和 ISOCS application 兩種量測方法

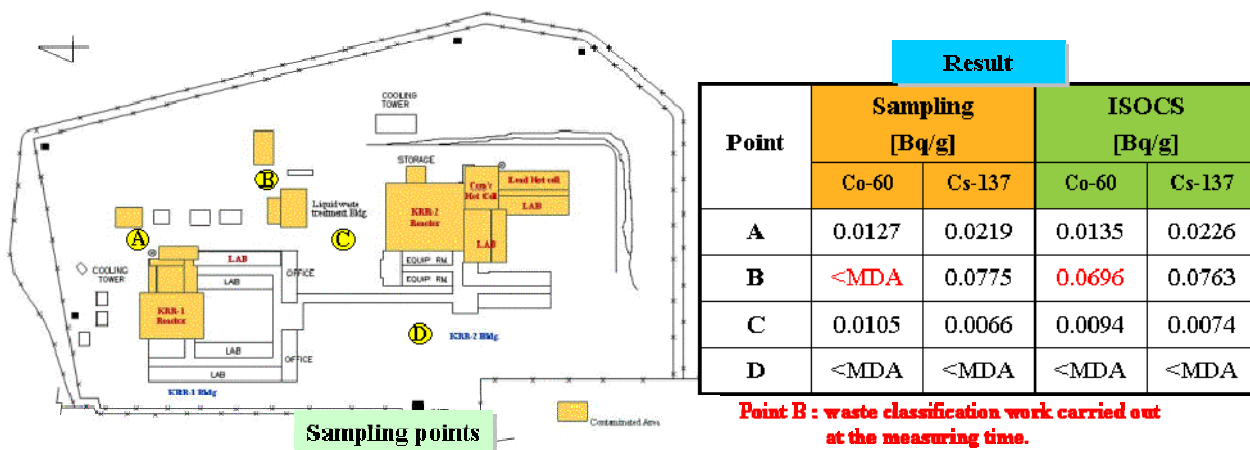
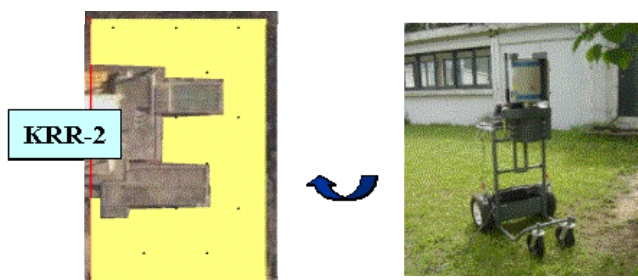


圖 17. 韓國 KRR-1&2 廠區取樣兩種量測方法結果比較



Decontamination work ISO CS measurement

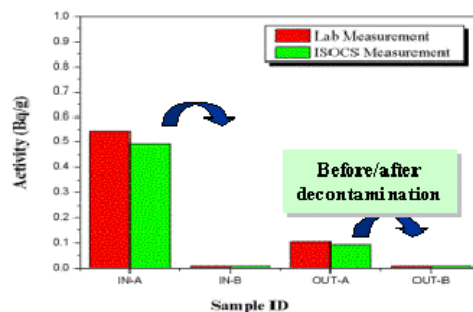
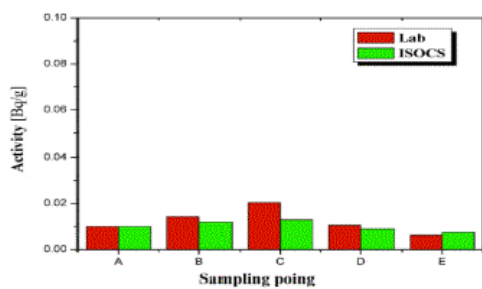


圖 18. 韓國 KRR-1&2 小區域兩種量測方法結果比較

圖 19. 韓國 KRR-1&2 建物表面兩種量測方法結果比較



圖 20. 法國 Fontenay Aux Rose 實驗室拖車

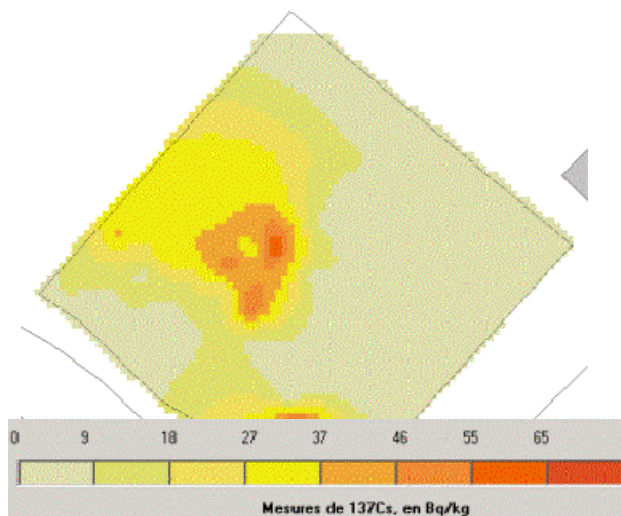


圖 21.實驗室拖車量測數據圖



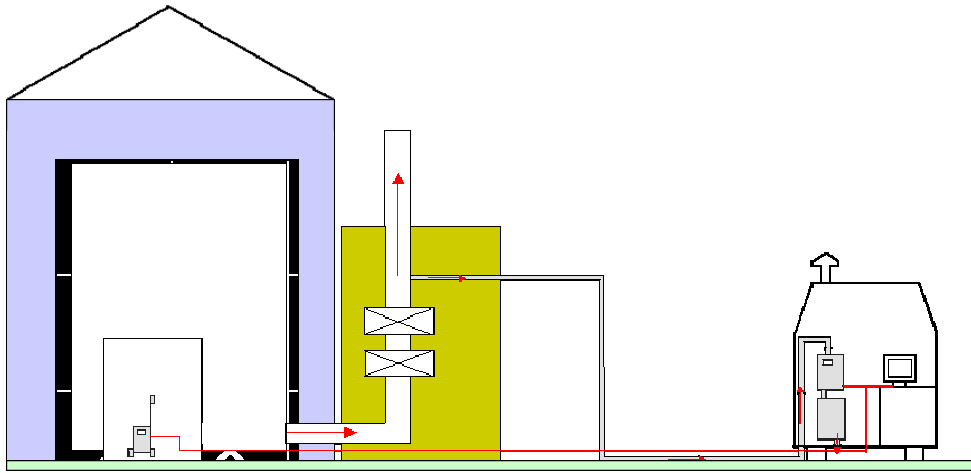


圖 22. 法國 Fontenay Aux Rose 簡易式包封房間流程



圖 23. 簡易式包封房間外觀



圖 24. 包封房間內污染土壤取樣工作情形



圖 25. 法國 Fontenay Aux Rose TFA 廢棄物放置



圖 26. TFA 廢棄物量測方式

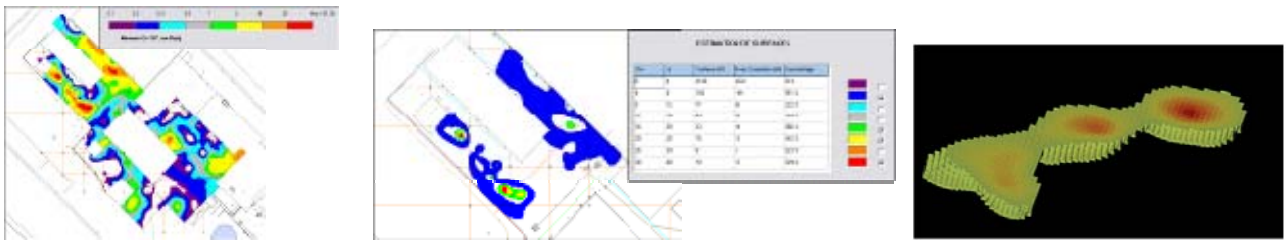


圖 27. 法國 Fontenay Aux Rose 土壤調查的各種不同呈現方式

### 3.5 污染土壤清洗技術發展

韓國針對其核設施除役污染土壤的特性，發展一套污染土壤清洗技術，稱為電化學沖洗技術(Electrokinetic-flushing Technology)，這是一種結合電化學技術和土壤沖洗技術的新方法，經過實驗證明污染土壤經過程序的清洗可以大幅降低污染情形，甚至可以達到外釋的標準。

實驗設備如圖 28 所示，包含電源供應、試劑調配、土壤清洗槽和廢液處理等四大部分，實驗用之污染土壤所含核種為 Co-60 及 Cs-137，實驗調整之參數包含電極材質選用、試劑選用、試劑濃度、電流密度和土壤粒徑等，其實驗數據如圖 29 至圖 32 所示。

實驗結果顯示，電極材質以鍍鉑之鈦金屬材質(簡稱 DSA)最穩定，其可耐較高之電流密度而不會溶解；0.01M 濃度之硝酸(Nitric Acid)為最佳試劑；清洗使用電流密度增加，對 Co-60 和 Cs-137 之移除率也增加；整體而言新發展的程序較原有的方法有較佳的移除率，使用 0.01M 濃度之硝酸，注射率為 2.6ml/g，加上 10mA/cm<sup>2</sup> 的電流密度清洗 20 天之後，對 Co-60 及 Cs-137 之移除率為 99.8% 和 99.4%。

目前核研所儲存的污染土壤，如能發展更有效率的清洗除污方法，增加外釋和放行的數量，一方面可減少貯存庫的貯存壓力，另一方面亦可降低污染土壤後續處理處置的費用，因此韓國所發展的電化學沖洗技術值得繼續深入研究，並進而成為可以處理實際污染土壤的技術。

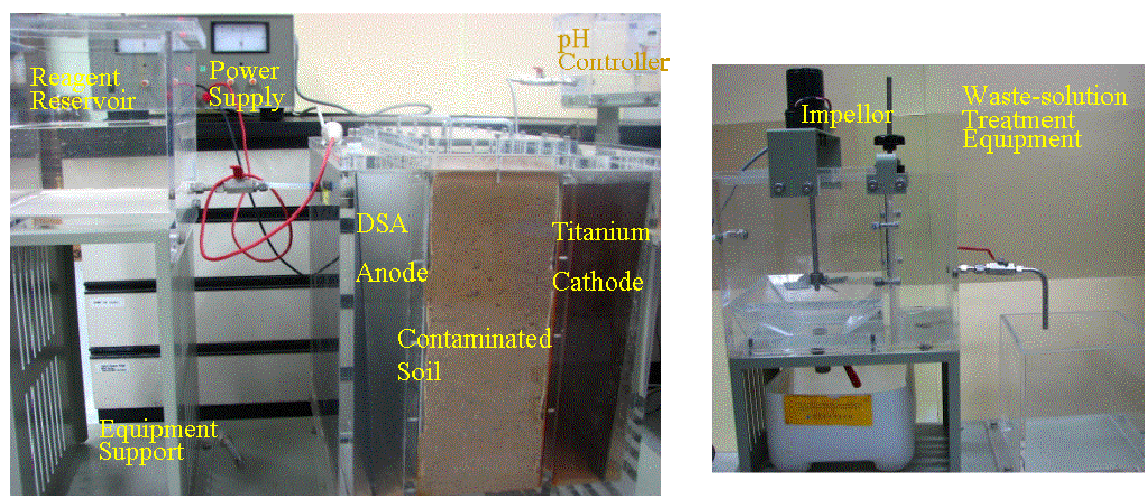


圖 28. 韓國污染土壤清洗實驗設備

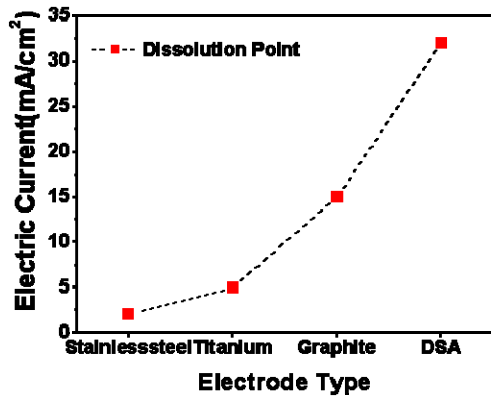


圖 29. 韓國電化學沖洗程序電極材質實驗

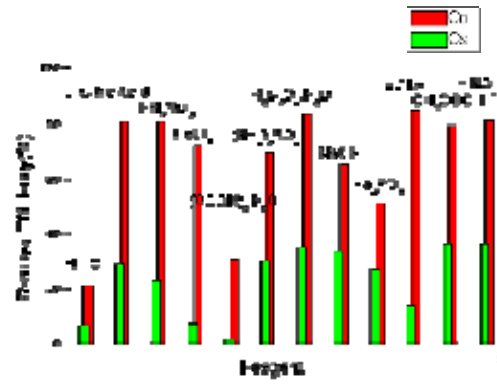


圖 30. 韓國電化學沖洗程序不同試劑實驗

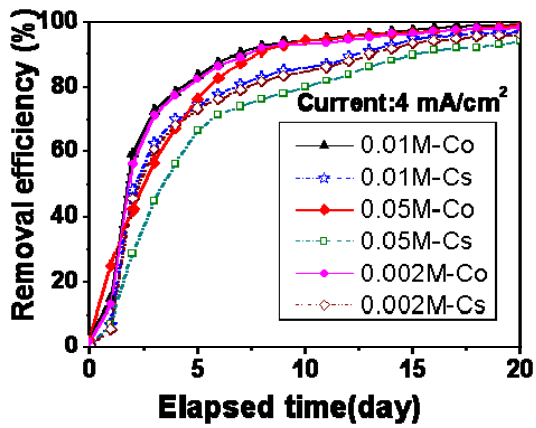


圖 31. 韓國電化學沖洗程序試劑濃度實驗

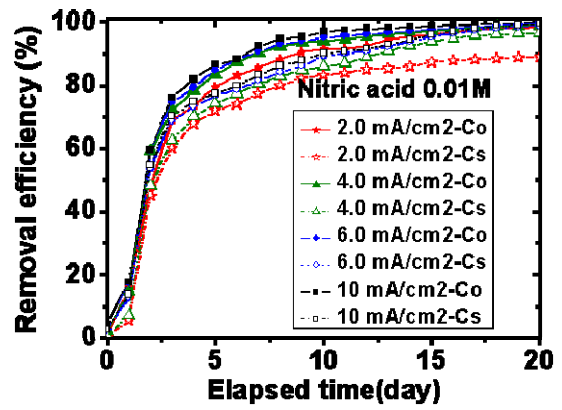


圖 32. 韓國電化學沖洗程序電流密度實驗



### 3.6 核設施混凝土結構體除污與拆除技術

TAG 之工作小組對混凝土結構體除污與拆除技術資料彙整及調查研究已接近完成，共彙整 CEA、BELGOPROCESS、SCK-CEN、EWN、ENRESA 和 FzK 等公司有關於此方面之技術和經驗，同時亦參考 USA DOE 和 IAEA/NEA 相關之報告，將各種除污及拆除之方法設備做比較評估，圖 33 為遙控操作震動破碎機評估範例，圖 34 為混凝土研磨程序評估範例。

工作小組準備將成果整理成報告，報告的架構章節如圖 35 所示，預計於 2009 年 10 月的 TAG-47 會議中提出，2010 年 1 月完成最後的定稿；所內混凝土結構體除污與拆除雖已有水鍋式反應器(WBR)生物屏蔽和 TRR 濕貯槽之經驗，但報告的內容仍是極具參考價值，可提昇未來執行混凝土結構體除污與拆除之技術層次，達到提昇工作安全、減少人員輻射暴露和降低費用的目的，因此對報告的出版應繼續追蹤。

PROCESS DESCRIPTION	REFERENCE TOOL	KEY FEATURES	MATERIAL	PROCESS PERFORMANCES		OPERATING MANPOWER (ex. EHS supporting staff)	PROCESS AVAILABILITY RATE (%)	SAFETY & ENVIRONMENTAL ISSUES		SOURCE	
				Yield	Unit			Type	Importance	reference	date
Jackhammer (BRH) installed on mechanical device. This heavy equipment is used to destroy entire walls and floor.	BROKK 180 (mechanical device with an hydraulic jackhammer BRH).	Weight: 1930Kg this device is laid on 4.62m <sup>2</sup>	Armed Concretes, Concretes	Conceined to destroy blocks and volumes. The working performance can reach 3 to 5 m <sup>3</sup> /day.	m <sup>3</sup> /day	1 coordinator + 1 workman (2 persons). They have to work together	Once installed the disoperability rate is around 60%.	Safety: An information panel is laid on the floor to inform the personnel. The area has to be delimited. Workers have to be sensibilized at security rules. Safety equipment: EPI protection (gloves, helmet, security shoes) + auditive protection is mandatory	+++ Safety rules are mandatory	[2] p8, 9, 10 [3]	2007, 2008



圖 33. 遙控操作震動破碎機評估範例

Process	Media	Project	Objective (depth of attack)	Production rate (MWT)	Avail. Rate (%)	Remarks
Large-Jet	PU foam with alumina	SCK-CEN - BR3	Remove paint (< 1 mm)	5 m <sup>2</sup> / h	50 % (incl. work preparation)	- compressed air - abrasives and debris are manually collected on the floor, sieved and sponges are recycled - 3 operators - waste balance : 15 kg / m <sup>2</sup> (dust + spent abrasives)
Shot blasting	Steel grit	CFA - ATJE		7 - 9 m <sup>2</sup> / h	33 % (Inc. work preparation)	- compressed air - steel balls are recycled - grit lifetime ~ 1000 cycles
Shot blasting	Steel grit	CEA - A-1	Remove a thin concrete layer (4-5 mm)	2 m <sup>2</sup> / h	77 % (incl. work preparation)	- compressed air - continuous grit recycling - waste balance ~ 40 kg/m <sup>2</sup> (dust + spent abrasive)

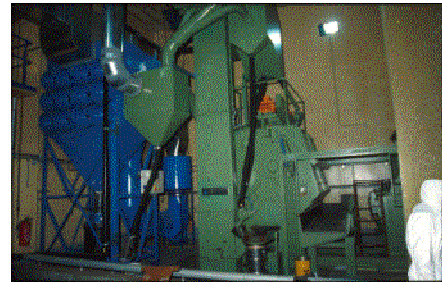
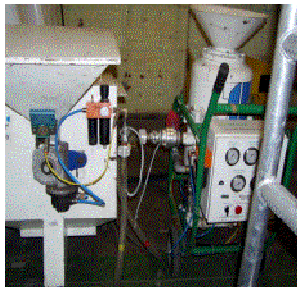


圖 34. 混凝土研磨程序評估範例

I.	INTRODUCTION
II.	CURRENT SITUATION
III.	CONCRETE D&D
	1. Decontamination techniques
	• Objectives
	• Scarifying techniques
	• Abrasive blasting techniques
	• Problematic/inadequate techniques
	• Other techniques
	2. Concrete dismantling and demolition techniques
	3. Safety Issues
	4. Conclusions
IV.	STRATEGY FOR BUILDING AND CONCRETE STRUCTURES CLEAN UP
	1. Introduction
	2. Regulatory aspects
	3. International recommendations & guidelines
	4. D&D scenario
	5. Inventory & characterization
	6. Management of activated concrete
	7. Procurement issues
V.	RADIOLOGICAL SURVEY
	1. Characterization & inventory methods
	• Theoretical calculations
	• In situ characterization techniques
	• Destructive assay
	• Destructive methods
	• Optimization of radiological survey
	• On going R&D
	2. Final radiological survey
	• Methodologies used by TG members
	• Survey optimization
VI.	CONCRETE MATERIAL MANAGEMENT
	1. Free released material
	2. Reuse of radioactive rubble
	3. Disposal
VII.	CASE STUDIES
	1. Euro chemie
	2. Melusine
	3. Vandellos

圖 35. 混凝土結構體除污與拆除報告之架構章節

## 四、建議事項

- (1) 上次參加之 TAG-43 會議取回之大量簡報技術資料，以組織學習之方式，分配相關工作同仁研讀，並結合本身除役經驗，共舉辦 27 場技術研習報告(如附錄 K)，對於充分吸取國外技術經驗，精進核研所核設施除役規劃與執行能力，提升除役作業之安全及效率，極有助益；此次 TAG-46 會議亦取回大量技術資料，將適時採同樣的模式，提供所內同仁研討。
- (2) 核設施除役為一結合除污、拆除拆解和廢棄物處理等項目的整合工作，尤其是在除役初期的階段，就應對除役所產生的廢棄物之處理及處置應有完善之規劃，如此除役工作才能順利推動。避免如義大利 Latina 核電廠因廢棄物貯存設施之問題，造成大部分除役工作停止和計畫必須變更之困境，影響環境安全甚鉅。
- (3) TRR 除役後期將面臨處理大量污染土壤所需之特性量測和環境復原之問題，此次會議提出相關之污染土壤特性調查量測及評估方法和污染土壤清洗除污技術發展之資訊值得深入探討研究並注意其後續發展。
- (4) 有關 TAG 之混凝土結構體除污與拆除技術工作小組已經完成此部分之研究，目前正在進行資料彙整及技術報告之編寫，預計於 2010 年 1 月完成技術報告，其內容包含會員之技術發展和經驗回饋，將來出版後值得深入研究，做為本所發展執行混凝土結構體除污與拆除之參考。
- (5) 核設施除役時間長久，因此除了除役工作之執行，應有經驗傳承和世代交替之規劃做互相配合，才能一方面完成本所核設施除役，一方面人才及技術繼續維持，以後應用於國內核設施之除役。
- (6) 此次會議進行時，會議主席特別要求會員加強除役技術交流或回饋，且對於新申請加入 TAG 之新計畫所採取之審查態度及資格相對嚴格；因此對於會籍之維持及會議之參與應更積極。