

出國報告（出國類別：其他）

赴德國參加 **OECD/NEA**
核設施除役合作計畫(**CPD**)
第 **43** 屆技術諮詢組(**TAG**)會議

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所
姓名職稱：簡任研究員施建樑、簡任副研究員陳鴻斌
派赴國家：德國 Usedom 島、Greifswald 及 Rheinsberg
出國期間：96 年 10 月 20 至 28 日

摘要

本次公差係奉派參加每年舉行兩次會議之 OECD/NEA 核設施除役合作計畫 (CPD)第 43 屆技術諮詢組(TAG)會議，該會議為我國在核設施除役方面僅有之國際參與，本所自 2000 年以 TRR 除役計畫加入後，僅分別於 TAG-30(2001.05), 31(2001.11), 35(2003.10), 40(2006.05)等屆會議有派員參加。TAG-43 會議於 96 年 10 月 22-26 日，假德國 Usedom 島 Heringsdorf 鎮之 MARITIM Hotel Kaiserhof 旅館舉行，由德國 EWN 公司主辦。共計有比利時(2)、加拿大(1)、法國(6)、德國(6)、義大利(1)、日本(2)、韓國(1)、斯洛伐克(1)、西班牙(1)、瑞典(3)、台灣(2)、英國(3)、OECD/NEA 秘書(1)及會議秘書(1) 31 位，加上 EWN 主辦單位接待人員 2 人，總共 33 位與會。10 月 22-23 日為閉門會議，由現任 TAG 主席德國 Luis Valencia(現為 Karlsruhe GmbH 除役/廢棄物處理主管)主持會議，分別由與會人員簡報所參與計畫之執行現況。本屆會議計有核燃料循環設施除役簡報 8 篇，核反應器除役簡報 16 篇，加上新增計畫一項，共有 25 篇簡報。在各計畫執行現況結束簡報與討論後，緊接著進行工作小組現況說明，接著由 OECD/NEA 秘書 Patrick O'Sullivan 則做 CPD 管理委員會報告。針對 TAG 未來會議安排，下一屆(TAG-44)會議，將由比利時 Belgoprocess 主辦，時間為 2008 年 5 月下旬。另外，**會議主席 Luis Valencia 建議 TAG-45 由台灣主辦**，時間為 2008 年 10 月下旬，若台灣無法主辦則改由英國 Sellafield 主辦。其他事務包括由法國 CEA Eric Gouhier 報告將於 2008 年 9 月 28 日至 10 月 2 日，假法國 Avignon 舉行每五年一次之核設施除役、拆除、除污及再利用國際會議。10 月 23-26 日則分別安排赴 Greifswald 及 Rheinsberg NPP 參訪，結束全程會議及參訪活動。

TAG-43 會議各計畫簡報內容，重點包括：(1)幾個設施之遙控拆除技術之成功展示，包括德國 Greifswald 及 Rheinsberg NPP 之反應器水下拆解、3D 動畫模擬等；(2)廢棄物管理之執行，包括特性調查(characterization)、分類、暫貯衰

減、外釋量測；(3)計畫管理之執行，包括拆除計畫之規劃、計畫執照之申請、利益共同人(stakeholder)之溝通、人力/經費運用與管理、資訊管理系統之推行。對於本次國外公差之建議如下：未來至少每年均須派員參與一次會議，除對該會議做出貢獻外，亦充分掌握最新之除役狀況及技術；由於時間長久，爲了能傳承，未來之會議應儘量有同一人或同一組人輪流前往，另應提攜年輕新人加入，幾年後由新人接手，本所參與 CPD 計畫才能可長可遠；本次 TAG 主席 **Luis Valencia** 建議由台灣主辦 TAG-45 會議，基於國際參與之義務，可考慮接受該項建議。

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)會議之由來 與現況.....	2
2.1.1 我國參加 CPD 除役計畫之由來.....	2
2.1.2 CPD 除役計畫之發展方向.....	3
2.1.3 CPD 工作小組之活動現況.....	5
2.1.4 CPD 除役計畫之經驗回饋.....	5
2.1.5 CPD 未來工作.....	7
2.2 行程及內容.....	7
2.2.1 核燃料循環設施除役簡報內容摘要.....	10
2.2.2 核反應器除役簡報內容摘要.....	11
2.2.3 新增計畫簡報內容摘要.....	16
2.2.4 其他報告.....	16
2.2.5 Greifswald NPP 參訪.....	17

2.2.6 Rheinsberg NPP 參訪	21
三、心得	22
3.1 加拿大 NRX 實驗反應器之燃料池清理	22
3.2 實驗用反應器內石墨廢棄物之處理	23
3.3 水下操作水刀切割參數評估	26
3.4 德國 EWN/Greifswald 電廠除役	27
3.4 數位 3D 工程模擬之應用	31
四、建議事項	33
附錄 A、TAG43 參加人員名單	附錄-1
附錄 B、核燃料循環設施除役簡報	附錄-2
附錄 C、核反應器除役簡報	附錄-46
附錄 D、Whiteshell Laboratories Decommissioning Project (WLDP) ...	附錄-134
附錄 E-1、德國 Karlsruhe GmbH Luis Valencia 報告	附錄-142
附錄 E-2、加拿大 Bob Burton 報告	附錄-147
附錄 F、參訪 Greifswald NPP 上午行程簡報	附錄-152
附件 G、參訪 Greifswald NPP 下午行程簡報	附錄-172
附錄 H、參訪 Rheinsberg NPP 簡報	附錄-184

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 43 屆技術諮詢組 (TAG)會議，時間為 96 年 10 月 22-26 日，假德國 Heringsdorf Usedom 島之 MARITIM Hotel Kaiserhof 旅館舉行，由德國 EWN 公司主辦。我國自 2000 年開始加入 CPD 計畫，即陸續派員參加該計畫每年兩次之 TAG 會議，我國是以 TRR 除役計畫參加，故每次均將計畫進度向與會代表簡報，並相互討論給建議。故本次國外公差之目的如下：

- (1) 履行我國參加 CPD/TAG 會議之責任；
- (2) 了解各國參與計畫之最新執行現況；
- (3) 蒐集各類除役、拆除及除污之最新技術；
- (4) 參訪核設施除役現場，感受實務；
- (5) 認識國際核設施除役相關專家/主管，建立未來之諮詢團隊。

二、過程

2.1 OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)技術諮詢組(TAG)會議之由來與現況

核設施除役合作計畫(Cooperative Program on Decommissioning, CPD)係於 1985 年，依據 OECD(NEA)章程第 5 章所成立。已由原 9 個組織 10 項計畫，成長為目前的 23 個組織 42 項計畫(如表 1 所示)。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 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 則由 42 項計畫之代表們參加，每年開會二次(5, 10 月份各一次)，42 項計畫包括 26 反應器、7 再處理廠與 1 同位素處理廠。針對某些特殊議題，則成立工作小組(Task Groups)：目前有除役成本、除役中輕微污染物料之再循環與再使用、除役結合除污，以及外釋量測。

表 1、CPD 參加組織/國家

國 家	組 織
比利時	Belgoprocess NV, CEN.SCK
加拿大	AECL/EACL
台灣	INER
法國	AREVA NC, CODEM GIE, CEA,EDF
德國	AVR, EWN, FZK, WAK
義大利	SOGIN
日本	JAEA, JAPCO, RANDEC
韓國	KAERI
斯洛伐克	SE-VYZ Bohunice
西班牙	CIEMAT, ENRESA
瑞典	SKB
英國	BNFL, UKAEA

2.1.1 我國參加 CPD 除役計畫之由來

CPD 計畫始於 1985 年，以各國除役技術資訊交流為目的。交流內容包括：除役工作規劃、除役相關研究之進展及數據、除役工作執行結果及所獲得之經驗。參

加此合作計畫之會員幾乎都為 NEA 之會員國，包括亞洲之日本及南韓。我國以 TRR 除役計畫自 2000 年加入 CPD 計畫，會員名稱為 Chinese Taipei (TRR)，為惟一非 NEA 會員國而參與 CPD 者。

TAG：Technical Advisory Group，TAG 為 CPD 計畫唯一之除役技術交流管道，會員出席技術討論會，簡報除役工作進度及除役技術心得。2003 年進行舊約修訂之工作，自 2004 年起施行新約，並成立管理委員會(Management Board，2004 年以前稱為 Liaison Committee, LC)管控 CPD 計畫，各會員國派一人參加管理委員會。負責審核 TAG 年度計畫及財務報告，審查除役計畫現況，以及審核 CPD 計畫新會員加入之申請。依據管理委員會議決議，目前每年會費為 3,000 歐元。自 2007 年起，本所參加 CPD 之代表人，在管理委員會委員(MB)：為楊清田副所長；而技術諮詢委員會(TAG)：為除役計畫主持人施建樑。

本所過去參與 CPD/TAG 之狀況，為 2001 年 5 月 07-10 日涂光權奉派參加第 30 屆 TAG 會議報告 TRR-II 計畫規劃；2001 年 11 月 12-16 日黃評、謝榮春奉派參加第 31 屆 TAG 會議報告 TRR 爐體遷移規劃；2003 年 10 月 9-10 日葉陶然奉派參加第 32 屆 CPD/LC 會議(法國巴黎)，參與新合約討論並維護我代表名稱及會員國權益，另提報我國除役工作之近況” TRR Removal and Dismantling Project”；2003 年 11 月 06 日 Dr. Hans Riotte 來訪，洽談 Cooperation & NEA's Activities 及 Development in Radiation Protection & Regional Asian Aspects；2003 年 10 月 18-25 日陳鴻斌、喬凌寰奉派參加第 35 屆 TAG 會議(加拿大)，報告 TRR 爐體遷移成果；2003 年 12 月 04 日新約草案奉原能會初審核定，CPD 正式合約於 2004 年 11 月完成簽約。2004 年 10 月 14-15 日吳瑞堯代表參加 CPD/MB 會議(法國巴黎)，提報 TRR 除役工作之近況；2006 年 5 月 8-12 日謝榮春、陳鴻斌奉派參加第 40 屆 TAG 會議(德國)，報告 TRR 燃料池清理及燃料外套管清理成果。而本屆，則於 2007 年 10 月 22-26 日，由施建樑、陳鴻斌奉派參加第 43 屆 TAG 會議(德國)，並報告 TRR 燃料池清理、燃料安定化進度、再利用及混凝土外釋。

2.1.2 CPD 除役計畫之發展方向

過去 20 年來，CPD 計畫經由 TAG 內之資訊交換與審查，有下列結論：

- (1) 除役可在安全、有效經費及環境友善之下被執行，
- (2) 現行之技術在各除役活動中，被證實它們的效能及成果，

- (3) 將核設施之設計、建造與運轉經驗加以回饋，對於除役計畫之可靠的規劃、費用評估及成功地實施，有相當地助益，
- (4) 藉由國際研討會及在 CPD 內部會議，散播最佳實踐與資訊分享，證實在有效合作與支援主導除役計畫新挑戰時，為一好的基礎，
- (5) 除役期間，放射性風險相較於非放射性，顯得十分小，
- (6) 未來仍需更進一步的國際合作，以建立永續的法規與指引，以達成不會有負擔或過度保守的目標；另建立一相容且國際接受的概念，以導出解除管制、豁免管制及授權外釋限值是必要的，
- (7) 當除役往發展為一全面成熟工業移動時，實有需要增加主管機關、履行者與國際標準組織間之對話。

而針對上述幾個議題之討論，有下列之建議與結論：

- (1) 阿伐污染區域外釋之挑戰

在燃料設施除役計畫，則有阿伐污染區域解除管制之問題，通常所需時間較原規劃長；除了大多主管機關要求的極低污染的量測，其他還有先前宣告已清除之牆壁活度重現，以及自混凝土牆壁滲出的污染；故有時在宣告清除前，混凝土表面幾公分須剷除。

- (2) 連續申照

某些計畫如 MZFR, WAK 與 Greifswald，計畫期程長，且須經好幾個次申照(sub-license)，於拆除期間逐一獲得執照，並非一次核照；如 MZFR 正在 8 個次執照下進行除役。如此一來，計畫需要大量準備主管機關要求的文件與會議，可能的優點為計畫管理被迫需提前在每一階段詳細分析。在法國則採用除役執照更新處理之方式：

- 由部會命令獨一授權整個除役計畫，
- 某些關鍵里程碑由安全主管機構經安全審查後確認，
- 運轉人內有一經授權之程序，用來核准在關鍵里程碑間執行的工作。

有些計畫的時程則被不同型式之組織重整，而嚴重影響：私有化、公司重組、新公司策略定義不同的除役計畫結束點、預算困難。

2.1.3 CPD 工作小組之活動現況

(1) 除役成本

1989 年，CPD 因各計畫在經費預估時有很大差異，而成立本工作小組，以建議經費項目/組合清單，1995 年重組並與 IAEA 與 EC 合作重設除役成本架構；然而 2002 年，由於要求填寫實際成本數據失敗而結束。

(2) 再循環與再使用

1992 年成立，針對廢棄物外釋，分別於 1996, 2001 年出版報告。

(3) 除役結合除污

1992 年 10 月成立，準備一”state of art”除役結合除污報告(1999)，包括分解組件及建築物表面之除污。

(4) 外釋量測

1996 年 12 月成立，由再循環與再使用小組所建議，研究極低活度量測。

2.1.4 CPD 除役計畫之經驗回饋

(1) Dry abrasive blasting

本方法在金屬組件之除污上，為一安全、有效率與成本節省之技術，且二次廢棄物量少，可以一般工業方式組裝；同時除污後再加以熔鑄，做成鑄錠以無條件外釋。

(2) 切割技術

機器與工具的參數指出好的成效特性，然而，所需準備工作、所需工作組織、二次廢棄物增加或額外限制，均可能大大地降低個別成效速率，故一有效的切割工具，仍可導致較低有效率之切割技術。建議對每一案例，做全面評估；並也為未來高放射性廢棄物貯存槽切割所需之設備發展，給適

當的資訊與見解。

(3) 工業級機械人

CPD 之經驗顯示，機械人之角色不如早期預期；故應不要集中在完全遙控/機械人方法，而應改採備有屏蔽之長操作工具，或藉由儘早確認並移除高輻射源，以創造一較少不友善的環境。在德國 WAK 再處理廠除役計畫，特別建造一模擬測試設施，並配備有監視系統，以訓練人員；不過，實際拆除時，仍需較預期多的人力。在比利時 BR3 除役計畫，分別向英、法採購機械人手臂，經過複雜且費錢之訓練，第一支從來未進入管制區使用，第二支只部分使用。也有成功使用機械人之範例，如 BNFL B204 分離廠就曾使用遙控機具自貯存容移除外殼；BNFL 亦成功地整合工業級機械人，在處理高放廢棄物之切割與包裝。

(4) 混凝土生物屏蔽拆除

使用方法有：鑽石鋸與鑽心(diamond sawing & coring)、水刀(abrasive water jet)、可控爆裂(controlled blasting)、鑽石線鋸(diamond wire sawing)、圓形鋸(circular saws)、遙控操作 BROKK 機器。

(5) 混凝土表面除污

地板與牆壁用混凝土剷除器；自動化增進生產力；小型電動水壓鏈單元，使用在污染深部穿透區域；微波使用在混凝土除污；去除混凝土表面之雷射束。

(6) 供氣式防護衣之使用

不同燃料廠除役計畫，有其不同解決在阿伐污染區使用供氣式防護衣，所產生令人不舒服因素的辦法；在有些計畫中，該因素反而較最高容許劑量，對生產力有更大的限制；新的發展為開發具較好呼吸與冷卻之防護衣，以及做更仔細的規劃，以減少使用這種防護衣之需求。

(7) 外釋準則之經驗回饋

除役執行者認為按實際的情節發展一套國際標準是有需要的；用來推導外

釋限值之模式與計算是需要校驗與校正；這均須根據現行實踐的數據，以避免過度保守；此外，除放射性風險外，其他健康與環境風險亦應考量。

(8) 除役之成本估計

制定一標準的除役費用項目不容易。

(9) 公眾關係與公眾參與

公平、公開、自願、分享、安全承諾。

2.1.5 CPD 未來工作

核設施除役在未來幾十年為核能市場中重要一環，除役經驗將與核設施之設計、建造及運轉同等重要。CPD 由 1985 之 10 個計畫，歷經 20 年成長為 42 個，其理由為：

- (1) 參與純粹為自願，依據施與受不(give & take)原則。
- (2) TAG 會議為惟一深入自由、公開與坦誠討論之論壇，並能相互比較實際問題。
- (3) CPD 已發展一套可被接受的方法，以尊重敏感資訊之機密。
- (4) 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。

2.2 行程及內容

本次公差自 96 年 10 月 20 日起至 96 年 10 月 28 日止共計 9 天，實際工作共 5 天，相關重點工作內容如下表 2。TAG-43 會議參加人員計有比利時(2)、加拿大(1)、法國(6)、德國(6)、義大利(1)、日本(2)、韓國(1)、斯洛伐克(1)、西班牙(1)、瑞典(3)、台灣(2)、英國(3)、OECD/NEA 秘書(1)及會議秘書(1) 31 位，加上 EWN 主辦單位接待人員 2 人，總共 33 位與會；詳細參加人員資料如附錄 A。

表 2、本次國外公差主要行程

月/日(星期)	工作內容重點
10/20(六)~21(日)	去程，由台北出發經阿姆斯特丹飛抵德國柏林，再轉 Usedom 島。
10/22(一)~23(二)	在 Usedom 島 Heringsdorf 鎮之 MARITIM Hotel Kaiserhof 旅館，參加第 43 屆 TAG 會議。詳細議程如下表 3。
10/24(三)	參訪 Greifswald NPP，聽取廠址再利用、廢棄物處理。
10/25(四)~26(五)	參訪 Rheinsberg plant，聽取遙控拆卸技術展示。
10/27(六)~28(日)	回程，由德國柏林經阿姆斯特丹至桃園機場

表 3、第 43 屆 TAG 會議詳細議程

議 程 內 容	日 期
1) Welcome	10/22(一)
2) Approval of agenda	10/22(一)
3) Summary Record of TAG 42	10/22(一)
4) Chairman's Remarks and Opening Business	10/22(一)
5) Election of TAG Chair, Vice-Chair	10/22(一)
6) Status Reports from participating projects	10/22(一)
• Fuel Facilities(詳細簡報議程如表 4)	10/22(一)~23(二)
• Reactor Projects(詳細簡報議程如表 5)	10/23(二)
6) New Projects (If Required)	10/23(二)
7) Task Groups Report	10/23(二)
8) Reports from CPD Management Board, Bureau, WPDD	10/23(二)
9) Future meetings of the TAG	10/23(二)
10) Other Business/Matters	10/23(二)
11) Closing Remarks	

表 4、第 43 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) Dessel 再處理廠	Walthery, Robert /Belgoprocess
2) NRX 燃料處理及貯存場	Ingham, Paul /AECL
3) APM	Thiebaut, Valerie /CEA
4) VEK/WAK	Hendrich, Klaus /WAK
5) UCP	Chung, Un-Soo /KAERI
6) B204	Mort, Paul /Sellafield
7) ATUE	Gouhier, Eric /CEA

表 5、第 43 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	Valenduc, Pierre /
2) Brennilis	Boyelle, Hubert /edF
3) Bugey	Boyelle, Hubert /edF
4) Phenix	Soldaini, Michel /CEA
5) AVR	Pohl, Peter /GmbH
6) KNK	Valencia, Luis /
7) MZFR	Preditl, Erwin /
8) FUGEN	Takashi, Iijima /JAEA
9) Tokai-1	Tsuyoshi, Hirahashi /JAPC
10) Triga Mark II_III (KRR-1, 2)	Chung, Un-Soo /KAERI
11) Garigliano/Latina	Mariani, Annafrancesca /Sogin
12) Bohunice A1 NPP	Sedliak, Dusan /Jays 斯洛伐克
13) Pimic (JEN-1)	Ondaro, Manuel /ENRESA
14) TRR	Chen, Horng-Bin /INER
15) WAGR	Benest, Terry /UKAEA
16) Melusine	Gouhier, Eric /CEA
17) WLDP→ 新增計畫	<u>Ingham, Paul /AECL</u>

2.2.1 核燃料循環設施除役簡報內容摘要

以下分別就表 4 之各項簡報做一概述，簡報資料如附錄 B。

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
<u>Fuel Facilities</u>			
1	Eurochemic Rep. Plant	Robert Walthery	比利時 Eurochemic 公司之燃料再處理廠除役。主要廠房長 80 m，寬 27 m，高 30 m，分成 7 個樓層。廠房拆除總體積 56,000 m ³ ，拆除混凝土廢棄物體積 12,500 m ³ ，混凝土結構面積 55,000 m ² ，金屬廢棄物 1,500 公噸。7 層樓燃料處理實驗室廠房，內有 40 個大型燃料處理實驗室及設施需除污/拆除，污染情形約為 125 Bq/cm ² (beta)及 200 Bq/cm ² (alpha)清理。目前主要工作為，(1)實驗室廠房之混凝土除污及拆除，(2)廠房走廊部份拆除混凝土之外釋量測，(3)四座程序桶槽拆除方法研究，包括兩座 45 m ³ 雙層壁圓筒槽，兩座 212 m ³ 單層壁圓筒槽，(4)整棟大樓最後拆除方法規劃，(4)大量混凝土碎塊之外釋量測程序規劃。
2	B204 Fuel Bays (AECL)	Paul Ingham	加拿大 NRX 燃料池清理，包括 1200 m ³ 水池及 500 m ³ 沙池。第一期為期 2 年，經費 3 百萬歐元，第二期為期 3 年，目標為完全拆除 1600 m ³ 之燃料池及其 4000 m ³ 之建物，經費 7 百萬歐元。目前 NRX 之池水處理以離子交換及過濾方式每日處理 60,000 公升。
3	APM CEA	Valerie Thiebaut	法國 CEA 所屬之 APM 燃料處理設施除役規劃現況，除役期程規劃為 2008 年-2020 年。
4	VEK/WAK	Klaus Hendrich	德國 WAK 燃料處理設施除役期程為 1992 年-2019 年。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。為了 WAK 之除役，於 1999 年-2003 年投入經費建造玻璃固化廠(VEK)，2004 年-2007 年試運轉，2008 年-2009 年運轉目標為處理 60 m ³ 高放射性廢棄物(7.7 x 10 ¹⁷ Bq)，產生 50 公噸玻璃固化體，並以 125 個容器盛裝。
5	UCP	Un-Soo Chung	韓國 KRR 之燃料處理設施，為三層樓建築，2950 m ² 廠房。1976 年開始運轉生產 UO ₂ ，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 m ² 。內有 250 m ³ (420 tons) 泥漿(sludge)。含有 NH ₄ NO ₃ 、NaNO ₃ 及約 1%天然鈾。泥漿處理流程為，以 900°C 高溫乾燥泥餅後，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。
6	Sellafield	Paul Mort	英國 Sellafield 第一座金屬鈾燃料再處理設施除役。1950 年代建造，1979 年關廠。11 層樓廠房高 61 m，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。除役期程為 2007 年-2034 年，經費估計 1 億 7 千萬英鎊至 3 億 5 千萬英鎊。清理 HANO CELL 污染之方法為，以四個月時間，緩慢(500 mm/d)倒入 730 m ³ 輕質(500 kg/m ³) 泡沫凝膠(foam grout)以固定污染物質。泡沫凝膠能輕易的以人工剷除清理。倒入泡沫凝膠之前，先以雷射掃描建立內部桶槽設備管線的數位 3D 模型，並用以估計到入之凝膠覆蓋屋污染設備之高度。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。

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
7	ATUE	Jean-Guy Nokhamzon	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。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。

2.2.2 核反應器除役簡報內容摘要

以下分別就表 5 之各項簡報做一概述，簡報資料如附錄 C。

項次	計畫	主講人	簡報內容概要																																													
Reactors																																																
1	BR3	Pierre Valenduc	比利時 BR3 電廠為歐洲第一座 PWR，1962 年開始運轉，1987 年停止運轉，功率 41MWth。為歐洲第一座除役電廠，亦為歐洲議會除役研究計畫中之電廠除役示範計畫。燃料於 2002 年裝入護箱(Castor casks)，運送至 Belgoprocess 乾貯 50 年。1994 年-1995 年拆除爐內組件。1999 年-2000 年水下切割拆除 RPV。2003 年拆除 RPV 頂部及底部。1991 年-2002 年管線設備以 CORD Process 除污後拆除。2001 年-2005 年蒸氣產生器以 MEDOC Process 除污後切除。1997 年-2006 年清理輔助廠房。2004 年-2005 年清理燃料池。BR3 除役活動於 2007 年 10 月完成舊排氣系統拆除後結速。其中煙囪之拆除前以 ISOCS 掃描量測，評估污染狀況。																																													
2	Brennilis (EL4)	Hubert Boyelle	法國屬於 EDF 之 70 MWe 重水反應器，運轉期間為 1976 年-1985 年。1994 年移出重水。目前主要問題為州議會通過反核團體提出之法案，以資訊不透明為由於 2007 年 6 月停止該反應器之除役許可，因此除役工作暫時停頓。EDF 承諾于 2008 年中提送新的除役報告，以取得新的除役許可。																																													
3	Bugey 1	Hubert Boyelle	<p style="text-align: center;">法國 EDF 除役中之核設施有 9 座</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>反應器類型</th> <th>名稱</th> <th>功率</th> <th>運轉期間</th> <th>規劃除役期限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PWR 1 座</td> <td>Choose A</td> <td>300 MWe</td> <td>1967-1991</td> <td>2019</td> </tr> <tr> <td>Heavy water reactor 1 座</td> <td>Brennilis</td> <td>70 MWe</td> <td>1967-1985</td> <td>2017</td> </tr> <tr> <td>Fast breeder reactor 1 座</td> <td>Creys-Malville</td> <td>1,240 MWe</td> <td>1986-1997</td> <td>2028</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">Gas-graphite reactor 6 座</td> <td>Chinon A1</td> <td>70 MWe</td> <td>1963-1973</td> <td>2028</td> </tr> <tr> <td>Chinon A2</td> <td>200 MWe</td> <td>1965-1985</td> <td>2028</td> </tr> <tr> <td>Chinon A3</td> <td>480 MWe</td> <td>1966-1990</td> <td>2028</td> </tr> <tr> <td>Saint-Laurent A1</td> <td>480 MWe</td> <td>1969-1990</td> <td>2028</td> </tr> <tr> <td>Saint-Laurent A2</td> <td>515 MWe</td> <td>1971-1992</td> <td>2028</td> </tr> <tr> <td>Bugey 1</td> <td>540 MWe</td> <td>1972-1994</td> <td>2021</td> </tr> </tbody> </table> <p>Bugey 1 電廠除役現況為 IAEA stage 1。1996 年至今，主要完成燃料移除，管路清空，一般系統管路拆除。目前主要工作為除役許可申請及除役準備。</p>	反應器類型	名稱	功率	運轉期間	規劃除役期限	PWR 1 座	Choose A	300 MWe	1967-1991	2019	Heavy water reactor 1 座	Brennilis	70 MWe	1967-1985	2017	Fast breeder reactor 1 座	Creys-Malville	1,240 MWe	1986-1997	2028	Gas-graphite reactor 6 座	Chinon A1	70 MWe	1963-1973	2028	Chinon A2	200 MWe	1965-1985	2028	Chinon A3	480 MWe	1966-1990	2028	Saint-Laurent A1	480 MWe	1969-1990	2028	Saint-Laurent A2	515 MWe	1971-1992	2028	Bugey 1	540 MWe	1972-1994	2021
反應器類型	名稱	功率	運轉期間	規劃除役期限																																												
PWR 1 座	Choose A	300 MWe	1967-1991	2019																																												
Heavy water reactor 1 座	Brennilis	70 MWe	1967-1985	2017																																												
Fast breeder reactor 1 座	Creys-Malville	1,240 MWe	1986-1997	2028																																												
Gas-graphite reactor 6 座	Chinon A1	70 MWe	1963-1973	2028																																												
	Chinon A2	200 MWe	1965-1985	2028																																												
	Chinon A3	480 MWe	1966-1990	2028																																												
	Saint-Laurent A1	480 MWe	1969-1990	2028																																												
	Saint-Laurent A2	515 MWe	1971-1992	2028																																												
	Bugey 1	540 MWe	1972-1994	2021																																												

項次	計畫	主講人	簡報內容概要												
			反應器高 9 m 直徑 15 m，內有 852 根燃料容量。壓力容器高 56 m 直徑 28 m。主要廢棄物包括 2,000 公噸石墨。EDF 目前除役核設施中，共有石墨 17,000 公噸，包括 Bugey 2,900 公噸，Chinon 5,900 公噸，及 St Laurent 8,500 公噸。法國放射性廢棄物分類中，石墨屬於中低階($< 3.7 \times 10^3$ Bq/g)長半衰期(>30 年)廢棄物。法國 ANDRA 國家放射性廢棄物貯存機構負責石墨處置。ANDRA 處置場規劃 2007 年-2009 年選址，2012 取得建築執照，2013 年開始運轉。ANDRA 石墨處置規格尚未決定。目前 EDF 石墨廢棄物包裝的設計目標為可以使用 300 年之混凝土護箱。長方形貯存箱尺寸 2.7 m × 1.9 m × 1.8 m，體積 9.2 m ³ ，厚度有兩種分別為 200 mm 及 300 mm。每只造價 8 千至 1 萬歐元。雛型產品測試中(包括墜落測試)。Bugey 1 反應器中石墨取出、包裝、密封及運送程序規劃設計中。												
4	Phenix	Michel Soldaini	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，預定 2009 年停止運轉。目前決定停止運轉後，立即進行除役，規畫除役期程為 2009 年-2023 年。初期須移除燃料及液態金屬鈉。												
5	AVR	Peter Pohl	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 年-1988 年。1994 年開始除役。經過一段安全貯存期，最新的策略為將灌漿的 RPV 連同內部組件移至貯存設施(2009 年)，原廠地除役至綠地(2013 年)。目前灌漿方法已經決定，準備工作進行中。												
6	KNK	Luis Valencia	為德國 20 MWe 快滋生反應器。運轉期間為 1971 年-1991 年。規劃以 10 期分別申請許可除役至綠地。目前爐體及爐內組件拆除約 95 %。 <table border="1" data-bbox="571 1205 1455 1460"> <tr> <td>組件</td> <td>內部組件</td> <td>爐體</td> </tr> <tr> <td>材質</td> <td>steel</td> <td>steel</td> </tr> <tr> <td>Co-60 活度 [Bq]</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">8.5×10^{13}</td> </tr> <tr> <td>累計拆除重量 [公噸]</td> <td style="text-align: center;">26.2</td> <td style="text-align: center;">16.612</td> </tr> </table> <p>拆除主生物屏蔽之特殊設備設計、製作及測試完成。總拆除經費估計約 309.2 百萬歐元。其中除役期間之運轉經費為 114.3 百萬歐元，拆除經費為 155.1 百萬歐元，反映出歐洲國家核設施除役之經費需求及分配型態，值得參考。</p>	組件	內部組件	爐體	材質	steel	steel	Co-60 活度 [Bq]	8.5×10^{13}		累計拆除重量 [公噸]	26.2	16.612
組件	內部組件	爐體													
材質	steel	steel													
Co-60 活度 [Bq]	8.5×10^{13}														
累計拆除重量 [公噸]	26.2	16.612													
7	MZFR	Erwin Prechtl	為德國 57MWe 重水式多功能研究用反應器。運轉期間為 1965 年-1984 年。除役期程為 1987 年-2010 年，分為 8 期除役至綠地。目前主要工作為 RPV 及爐內組件拆除，及生物屏蔽拆除之 Mock-up 測試。 <table border="1" data-bbox="683 1787 1347 2007"> <tr> <th colspan="2">RPV</th> </tr> <tr> <td>重量</td> <td>約 400 公噸</td> </tr> <tr> <td>尺寸</td> <td>高 7.7 m，直徑 4.4 m</td> </tr> <tr> <td>內部劑量率</td> <td>≥ 11 Sv/h</td> </tr> <tr> <td>總活度</td> <td>approx. 1×10^{16} Bq</td> </tr> </table>	RPV		重量	約 400 公噸	尺寸	高 7.7 m，直徑 4.4 m	內部劑量率	≥ 11 Sv/h	總活度	approx. 1×10^{16} Bq		
RPV															
重量	約 400 公噸														
尺寸	高 7.7 m，直徑 4.4 m														
內部劑量率	≥ 11 Sv/h														
總活度	approx. 1×10^{16} Bq														

項次	計畫	主講人	簡報內容概要																																																
			<p>拆除廢棄物目前裝箱貯於 Karlsruhe 之中期貯存場。</p> <p>RPV 各部份拆除方法說明如下：</p> <table border="1" data-bbox="518 405 1513 875"> <thead> <tr> <th>拆除方式</th> <th>整件移除，於中期貯存場切割</th> <th colspan="2">帶鋸/圓盤鋸</th> <th colspan="2">水下電漿切割，水下 CAMC</th> <th>帶鋸/圓盤鋸</th> <th>帶鋸/圓盤鋸，電漿切割</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RPV component</td> <td>Absorber rods, guide tubes, cooling channels</td> <td>RPV-lid</td> <td>Upper spacer, spacer support ring</td> <td>Moderator tank</td> <td>Thermal shield 厚度 70mm 至 130mm</td> <td>Lower spacer (2 pieces)</td> <td>RDB-body</td> </tr> <tr> <td>Material</td> <td>Austenite, zircaloy</td> <td>Ferrit, austent. cladding</td> <td>Ferrit, austent. cladding</td> <td>Austenite</td> <td>Austenite</td> <td>Ferrit, austent. cladding</td> <td>Ferrit, austent. cladding</td> </tr> <tr> <td>總活度 [Bq]</td> <td>2.2×10^{14}</td> <td>2.3×10^{11}</td> <td>7.2×10^{12}</td> <td>7.9×10^{15}</td> <td>9.8×10^{12}</td> <td>2.9×10^{13}</td> <td>3.4×10^{13}</td> </tr> <tr> <td>Co-60 活度 [Bq]</td> <td>4.1×10^{13}</td> <td>1.6×10^{10}</td> <td>6.1×10^{11}</td> <td>7.7×10^{13}</td> <td>7.1×10^{12}</td> <td>5.7×10^{12}</td> <td>6.2×10^{11}</td> </tr> <tr> <td>重量 [公噸]</td> <td>70</td> <td>71</td> <td>65</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>101</td> </tr> </tbody> </table>	拆除方式	整件移除，於中期貯存場切割	帶鋸/圓盤鋸		水下電漿切割，水下 CAMC		帶鋸/圓盤鋸	帶鋸/圓盤鋸，電漿切割	RPV component	Absorber rods, guide tubes, cooling channels	RPV-lid	Upper spacer, spacer support ring	Moderator tank	Thermal shield 厚度 70mm 至 130mm	Lower spacer (2 pieces)	RDB-body	Material	Austenite, zircaloy	Ferrit, austent. cladding	Ferrit, austent. cladding	Austenite	Austenite	Ferrit, austent. cladding	Ferrit, austent. cladding	總活度 [Bq]	2.2×10^{14}	2.3×10^{11}	7.2×10^{12}	7.9×10^{15}	9.8×10^{12}	2.9×10^{13}	3.4×10^{13}	Co-60 活度 [Bq]	4.1×10^{13}	1.6×10^{10}	6.1×10^{11}	7.7×10^{13}	7.1×10^{12}	5.7×10^{12}	6.2×10^{11}	重量 [公噸]	70	71	65	22	30	35	101
拆除方式	整件移除，於中期貯存場切割	帶鋸/圓盤鋸		水下電漿切割，水下 CAMC		帶鋸/圓盤鋸	帶鋸/圓盤鋸，電漿切割																																												
RPV component	Absorber rods, guide tubes, cooling channels	RPV-lid	Upper spacer, spacer support ring	Moderator tank	Thermal shield 厚度 70mm 至 130mm	Lower spacer (2 pieces)	RDB-body																																												
Material	Austenite, zircaloy	Ferrit, austent. cladding	Ferrit, austent. cladding	Austenite	Austenite	Ferrit, austent. cladding	Ferrit, austent. cladding																																												
總活度 [Bq]	2.2×10^{14}	2.3×10^{11}	7.2×10^{12}	7.9×10^{15}	9.8×10^{12}	2.9×10^{13}	3.4×10^{13}																																												
Co-60 活度 [Bq]	4.1×10^{13}	1.6×10^{10}	6.1×10^{11}	7.7×10^{13}	7.1×10^{12}	5.7×10^{12}	6.2×10^{11}																																												
重量 [公噸]	70	71	65	22	30	35	101																																												
8	FUGEN	Takashi Iijima	<p>日本 FUGEN 電廠除役執行拆除切割方法評估，以決定不同拆除對象選用之拆除工具，評估結果：</p> <table border="1" data-bbox="707 1066 1321 1335"> <thead> <tr> <th>拆除對象</th> <th>切割工具</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平板狀物件</td> <td>Plasma Arc(or Laser)</td> </tr> <tr> <td>雙層管</td> <td>Abrasive Water Jet</td> </tr> <tr> <td>管路</td> <td>Roller Cutter</td> </tr> <tr> <td>混凝土</td> <td>Wire Saw</td> </tr> <tr> <td>二次細切</td> <td>Band Saw</td> </tr> </tbody> </table> <p>其中對於水刀切割技術應用於爐內組件切割進行有系統之研究。針對水刀 (Abrasive water jet cutting method, AWJ) 技術應用於爐內雙層管切割，以實驗決定切割參數。採用水刀系統之超高壓泵最大輸出壓力 245 MPa。並以水下雙層管切割為評估對象，經由實驗尋求研磨料量及切割速度之最佳參數。主要結論為：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 確認超高壓水刀切割可以應用於爐內雙層管路切割。 ● 確認超高壓水刀切割可以應用於爐內板狀物件切割，切割厚度可 150 mm。 ● 以實驗決定水刀中研磨料供應量參數以減少二次廢棄物量。 ● 使用水刀切割必須針對二次廢棄物性質配合設計水處理系統。 	拆除對象	切割工具	平板狀物件	Plasma Arc(or Laser)	雙層管	Abrasive Water Jet	管路	Roller Cutter	混凝土	Wire Saw	二次細切	Band Saw																																				
拆除對象	切割工具																																																		
平板狀物件	Plasma Arc(or Laser)																																																		
雙層管	Abrasive Water Jet																																																		
管路	Roller Cutter																																																		
混凝土	Wire Saw																																																		
二次細切	Band Saw																																																		
9	Tokai-1	Tsuyoshi Hirahashi	<p>日本 Tokai-1 電廠於 1998 年 3 月永久停止運轉，1998 年 5 月-2001 年 3 月燃料移出。2001 年提出除役計畫，開始除役。爐體安全貯存期為 2001 年-2010 年。預計 2011 年-2016 年拆除爐體。2017 年拆除廠房建築。已經執行 5 年汽機及相關設備拆除，目前主要拆除工作為蒸汽調壓槽 (Steam Raising Unit) 移除。爐內組件之一為石墨，其類型、重量、活度及規劃之處理方法如下表：</p>																																																

項次	計畫	主講人	簡報內容概要																				
			<table border="1" data-bbox="515 286 1520 432"> <thead> <tr> <th>石墨類型</th> <th>重量</th> <th colspan="2">活度</th> <th>規劃處理方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>石墨塊</td> <td>1,670T</td> <td>1.4 x 10¹⁴ Bq</td> <td>about 1 x 10⁵ Bq/g</td> <td>Burial</td> </tr> <tr> <td>石墨燃料套管</td> <td>820T</td> <td>5.5 x 10¹² Bq</td> <td>about 1 x 10⁴ Bq/g</td> <td>Incineration</td> </tr> </tbody> </table> <p>石墨燃料套管取下之型態為石墨碎片及粉末，規劃之處理方法為加入固態廢棄物焚化爐混合焚燒。固態廢棄物焚化產生之氣體導入二燃室。石墨以 50 kg/h 速率置入專用焚化爐，並以 30 % 含氧量之空氣助燃，燃燒溫度為 1,300 °C。石墨焚化爐產生之氣體亦導入二燃室，與固態廢棄物焚化爐產生之氣體混合燃燒。二燃室之排氣經由冷卻、陶瓷過濾、HEPA 過濾、scrubber 洗滌等程序後排放。整套流程設計容量為 0.7 T/day (約 130 T/y)，C-14 排放為 9.12 x 10¹¹ Bq/y，6 年內完成全廠石墨燃料套管之處理。有效焚化處理的前題為，必須發展一套可行之程序，以有效分離混合在石墨碎片/粉末中之金屬碎片。</p>	石墨類型	重量	活度		規劃處理方法	石墨塊	1,670T	1.4 x 10 ¹⁴ Bq	about 1 x 10 ⁵ Bq/g	Burial	石墨燃料套管	820T	5.5 x 10 ¹² Bq	about 1 x 10 ⁴ Bq/g	Incineration					
石墨類型	重量	活度		規劃處理方法																			
石墨塊	1,670T	1.4 x 10 ¹⁴ Bq	about 1 x 10 ⁵ Bq/g	Burial																			
石墨燃料套管	820T	5.5 x 10 ¹² Bq	about 1 x 10 ⁴ Bq/g	Incineration																			
10	Triga Mark II_III (KRR-1, 2)	Un-soo Chung	<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，目前主要工作為固體及液體廢棄物處理設施清理。</p> <p>固體廢棄物量如表。</p> <table border="1" data-bbox="643 1088 1390 1256"> <thead> <tr> <th>2007/06/30 unit : ton</th> <th>Radioactive</th> <th>for Release</th> <th>Total</th> <th>2007/06/30 unit : ton</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>metal</td> <td>18</td> <td>163</td> <td>181</td> <td>metal</td> </tr> <tr> <td>concrete</td> <td>260</td> <td>1,746</td> <td>2,006</td> <td>concrete</td> </tr> <tr> <td>others</td> <td>17</td> <td>35</td> <td>52</td> <td>others</td> </tr> </tbody> </table> <p>混凝土廢棄物 87% 外釋，金屬廢棄物 90% 外釋。</p>	2007/06/30 unit : ton	Radioactive	for Release	Total	2007/06/30 unit : ton	metal	18	163	181	metal	concrete	260	1,746	2,006	concrete	others	17	35	52	others
2007/06/30 unit : ton	Radioactive	for Release	Total	2007/06/30 unit : ton																			
metal	18	163	181	metal																			
concrete	260	1,746	2,006	concrete																			
others	17	35	52	others																			
11	Garigliano /Latina	Annafrancesca Mariani	<p>義大利 SOGIN 公司之 Latina 核電廠為 650 MWt 之氣冷式反應爐，運轉期間為 1964 年-1986 年。1,425.4 公噸之用過核子燃料已運至 BNFL。目前除役主要工作包括廢棄物暫貯設施建立、通風管路拆除、及燃料池清出之泥漿固化處理。主要由電廠技術人員執行除役之規劃及設計。暫貯於地下貯槽之泥漿體積約 12 m³，規劃以 400 公升水泥固化桶處置。另外，SOGIN 公司之 Garigliano 核電廠為 160 MWe 之 BWR，運轉期間為 1964 年-1978 年。1982 年停止運轉。燃料已經移除。目前主要工作為除役需求整件廠內供電及通風系統，以及移除管路之石棉材。</p>																				
12	Bohunice A1 NPP	Dusan Sedliak	<p>斯洛伐克共和國主要的核設施包括 VVER-440 型反應爐共 8 個機組，KS-150 型 1 個機組。另有中期貯存場、廢棄物處理場、及廢棄物處置場各 1 座。Bohunice V1 NPP 之 2 座機組分別於 1986 年及 1988 年停止運轉。規劃除役期程為 2012 年-2025 年。Bohunice A1 NPP 為斯洛伐克第一座核能發電廠，具有實驗及研究性質之 KS-150 型，可於運轉中更換燃料，為氣冷式，重水緩速，使用天然鈾為燃料，運轉功率為 110 MWe。運轉期間為 1972 年-1977 年。1976 年更換燃料作業時，發生燃料噴出反應爐之嚴重事故。</p>																				

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
			1977 年發生反應爐內局部過熱造成爐心損壞，重水進入冷卻氣體循環管路，導致一次系統污染。燃料已於 1983 年-1990 年間運至俄羅斯。除役工作於 1988 年開始，分為 5 期，將於 2033 年完成除役。為了除役已經建立廢棄物處理中心、檢整及除污設施、瀝青廠及玻璃固化廠。除役第一期 1998 年-2008 年主要工作為移除並處理廠內液體廢棄物，以及設備表面除污。第二期 2008 年-2016 年拆除氣體管路，水純化廠、焚化爐及附屬廠房。
13	Pimic (JEN-1)	Manuel Ondaro	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，下一階段工作為爐體水泥屏蔽體切割，將大量使用乾式鑽石索鋸切割工法。目前主要困難為因為環保因素，廢液不准排放。燃料處理程序設施之拆除包括曾經處理鈾和鈾之 7 個手套箱及程序管線設備。放射性廢棄物外釋程序及設備建立中。拆除廢棄物量盤點為 5,456 公噸，估計一般廢棄物為 4,980 公噸，外釋廢棄物約 162 公噸，低放廢棄物約 270 公噸，高放廢棄物約 44 公噸。
14	TRR	Horng-bin Chen	TRR 為重水緩和用研究用反應爐，功率 40 MWt，運轉期間為 1973 年-1988 年。目前主要除役工作為燃料池清理。金屬鈾用過燃料 35 根執行安定化後中期貯存。混凝土及金屬外釋已經踏出第一步。TRR 廠房再利用於金屬除污。未來工作重點為高活度樹脂移貯、池水清理、及爐體拆除規劃。
15	WAGR	Terry Benest	英國 WAGR 為氣冷式反應爐，輸出功率 100 MWth，運轉期間為 1963 年-1981 年。燃料於 1981 年-1983 年間移除。於 1993 年架設專用遙控機構以執行約 75 mSv/h 劑量率之爐內組件拆除，目前拆除階段為爐內組件拆除之尾聲，將於 2007 年完成 RPV 之拆除。拆除設備包括吊車、機械手、及切割設備，設備之故障維修為主要工作延遲原因。拆除廢棄物包裝為方形混凝土屏蔽箱，外型尺寸為 2.4 m x 2.2 m x 2.2 m，每箱包裝完成之重量為 30 公噸至 50 公噸。所有 LLW 於 Drigg / Cumbria 之國家處置場進行處置。中階廢棄物則暫貯於 WAGR 站貯廠房。目前拆除廢棄物包括 60 箱 LLW 及 114 箱 ILW。拆除廢棄物中包括石綿及過濾器，正評估減容方案。目前評估採取現場壓縮減容，壓縮量約為 60 % 體積。壓縮程序中氣體排放處理方法為主要設計考量之一。目前設計方案為壓縮桶加裝排氣過濾裝置，並為其設計壓縮過程之保護機構。未來工作主要為生物屏蔽體及廠房建築拆除。已執行生物屏蔽體取樣分析氬及其他放射性核種活度，結果顯示生物屏蔽體內層 1/3 之活度超過 LLW 處置限值。
16	Melusine	Eric Gouhier	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設施周圍土壤污染盤點。目前包括表面除污及前池拆除之外包合約為 360 萬歐元。等待核准外包之工作包括：表面除污 18.9 萬歐元；辦公室清理 4.4 萬歐元；吊車拆除 9.3 萬歐元；VLLW 支撐架拆除 2.1 萬歐元。

2.2.3 新增計畫簡報內容摘要

本次會議由加拿大 AECL 提出一項 **Whiteshell Laboratories Decommissioning Project (WLDP)**，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	WLDP 新申請加入 CPD 之計畫	Paul J. Ingham	加拿大之 Whiteshell Laboratories 1964 年成立。主要核設施包括 WR-1 實驗用反應爐、B300 放射性同位素實驗室、燃料測試設施、熱室、除污中心、放射性廢液處理設施等。於 2003 年獲得加拿大首次核准之實驗及研究用核設施除役許可。其中 WR-1 反應爐運轉期間為 1966 年-1986 年，運轉功率 60MWt。整個 WL 除役計畫包括多項設轉換為施停止運轉、安全貯存、設施拆除、及廠地復原，期間為 2003 年-2062 年。其中 WR-1 之除役期間規劃為 2005 年-2041 年。至 2007 年 9 月，已完成一座中子產生器及一座范氏加速器拆除。目前主要工作為建立廢棄物運送設施。

2.2.4 其他報告

(1) 工作小組現況說明

由德國 Karlsruhe GmbH Luis Valencia 報告有關遙控拆除技術工作小組之現況、未來規劃、小組成員，以及準備出版之技術報告格式與內容，詳如附錄 E-1。另由加拿大 Bob Burton 報告有關污染混凝土除污與拆除技術工作小組之現況，以及準備出版之技術報告格式與內容，詳如附錄 E-2。

(2) CPD 管理委員會報告

(3) TAG 未來會議安排

下一屆(TAG-44)會議，將由比利時 Belgoprocess 主辦，時間為 2008 年 5 月下旬。另外，會議主席 Luis Valencia 建議 TAG-45 由台灣主辦(先前

由 Luis Valencia 私下徵詢，施、陳表示需返國請示，並需有一封函件 /e-mail，將於 1-2 個月內回覆)，時間為 2008 年 10 月下旬，若台灣無法主辦則改由英國 Sellafield 主辦。由於過去 20 年來，CPD/TAG 之主辦國，大多集中在法、德、英等國，韓國與日本則分別辦過一次；本屆 TAG 會議，本所提報之 TRR 除役內容，涵蓋燃料安定化、鈾粉收集、場地再利用及混凝土塊外釋等，與會人員咸認為十分獨特且很有興趣；此外，也希望來本所現場參訪，以進一步了解實際狀況，故特別要求由本所舉辦 TAG-45 會議。

(4) 其他事務

由法國 CEA Eric Gouhier 報告將於 2008 年 9 月 28 日至 10 月 2 日，假法國 Avignon 舉行每五年一次之核設施除役、拆除、除污及再利用國際會議；論文摘要之截止日期為 2007 年 12 月 15 日。

2.2.5 Greifswald NPP 參訪

10 月 23 日上午由 EWN Axel Baecker 簡報“EWN Decommissioning Projects”，以及“Treatment and conditioning of radioactive waste and dismantled material”，接著參訪 Greifswald NPP，兩篇簡報如附錄 F，當天下午則由 EWN Ralf Borchardt 簡報“The Remote Dismantling Project in Greifswald NPP”，接著參訪中期貯存場(Interim Storage North)及廢棄物分解處理場 (warm workshop)，簡報如附錄 G，內容摘要如下：

項次	計畫	主講人	簡報內容概要																																																						
<u>Site visiting facilities</u>																																																									
1	EWN Greifswald (KGR) 除役計畫	Axel Bäcker	<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 年-2010 年。計劃內容為 8 座俄式 WWER 反應爐設施拆除。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>unit</th> <th>type</th> <th>power MWe</th> <th>operation</th> <th>shut down</th> <th>produced energy GWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.KGR</td> <td>WWER230</td> <td>440</td> <td>1973</td> <td>18.12.1990</td> <td>41,321</td> </tr> <tr> <td>2.KGR</td> <td>WWER230</td> <td>440</td> <td>1974</td> <td>15.02.1990</td> <td>40040</td> </tr> <tr> <td>3.KGR</td> <td>WWER230</td> <td>440</td> <td>1978</td> <td>28.02.1990</td> <td>36028</td> </tr> <tr> <td>4.KGR</td> <td>WWER230</td> <td>440</td> <td>1979</td> <td>02.06.1990</td> <td>32077</td> </tr> <tr> <td>5.KGR</td> <td>WWER213</td> <td>440</td> <td>1989</td> <td>29.11.1989</td> <td>240</td> </tr> <tr> <td>6.KGR</td> <td>WWER213</td> <td>440</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">ready for commissioning</td> </tr> <tr> <td>7.KGR</td> <td>WWER213</td> <td>440</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">building erected major components installed</td> </tr> <tr> <td>8.KGR</td> <td>WWER213</td> <td>440</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">building erected major components installed</td> </tr> </tbody> </table>	unit	type	power MWe	operation	shut down	produced energy GWh	1.KGR	WWER230	440	1973	18.12.1990	41,321	2.KGR	WWER230	440	1974	15.02.1990	40040	3.KGR	WWER230	440	1978	28.02.1990	36028	4.KGR	WWER230	440	1979	02.06.1990	32077	5.KGR	WWER213	440	1989	29.11.1989	240	6.KGR	WWER213	440	ready for commissioning			7.KGR	WWER213	440	building erected major components installed			8.KGR	WWER213	440	building erected major components installed		
unit	type	power MWe	operation	shut down	produced energy GWh																																																				
1.KGR	WWER230	440	1973	18.12.1990	41,321																																																				
2.KGR	WWER230	440	1974	15.02.1990	40040																																																				
3.KGR	WWER230	440	1978	28.02.1990	36028																																																				
4.KGR	WWER230	440	1979	02.06.1990	32077																																																				
5.KGR	WWER213	440	1989	29.11.1989	240																																																				
6.KGR	WWER213	440	ready for commissioning																																																						
7.KGR	WWER213	440	building erected major components installed																																																						
8.KGR	WWER213	440	building erected major components installed																																																						

項次	計畫	主講人	簡報內容概要														
			<p>計畫主要策略：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 直接拆除，無安全貯存期。 2. 引進計畫管理。 3. 建立廠內用過燃料中期貯存及大型拆除組件中期貯存及處理廠。 4. 以電廠原有員工執行除役，而非歐洲核設施除役常見之外包形式。 5. 廠地釋出供其他工業使用。 <p>計畫管理：</p> <p>計畫成立之初及建立計畫管理，並 2 年定期更新管理現況資料。規劃之除役工作項目共 7,312 項，包括時程控制、計畫經費、文件管理、資源管理、廢棄物管理、輻射管理、系統生命週期、計畫分析等除役各層面管理工作。</p> <p>拆除策略：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 盡量以大組件拆除，貯存於廠內中期貯存設施。主要之大組件包括 5 座反應爐 RPV (214 公噸/座)，30 座蒸氣產生器 (166 公噸/座)，5 座調壓槽 (107 公噸/座)。 2. 大組件貯存以等待輻射劑量衰減後切割處理。 3. 用過燃料亦於廠內中期貯存設施貯存。 4. 現場拆除需要降低劑量率，才使用現場除污。 <p>廢棄物管理策略：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在最終處置場未能運轉情況下擬定此策略。 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。 3. 儘早建立廢棄物外釋放行程序。 4. 儘早建立大型組件廢棄物處理方法及設備。 5. 不於拆除現場執行組件切割處理。 6. 避免拆除程序之瓶頸，規劃足夠之廢棄物緩衝存放場地。 <p>用過燃料以 18 個 CASTOR 貯存桶中期貯存。</p> <p>中期貯存廠房 (ISN)：</p> <p>廠房面積 2 萬平方公尺，240 m 長 x 140 m 寬 x 18m 高。 目前 8 個貯存區共貯存 110,585 公噸廢棄物。</p> <p>除役經費：</p> <table border="1" data-bbox="563 1749 1468 2083"> <thead> <tr> <th colspan="2">Decommissioning Costs KGR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Concept planning</td> <td>7,63</td> </tr> <tr> <td>Licensing</td> <td>65,83</td> </tr> <tr> <td>Project controlling</td> <td>14,54</td> </tr> <tr> <td>Dismantling monitored area</td> <td>43,45</td> </tr> <tr> <td>Remote dismantling</td> <td>113,11</td> </tr> <tr> <td>Dismantling controlled area</td> <td>67,47</td> </tr> </tbody> </table>	Decommissioning Costs KGR		Concept planning	7,63	Licensing	65,83	Project controlling	14,54	Dismantling monitored area	43,45	Remote dismantling	113,11	Dismantling controlled area	67,47
Decommissioning Costs KGR																	
Concept planning	7,63																
Licensing	65,83																
Project controlling	14,54																
Dismantling monitored area	43,45																
Remote dismantling	113,11																
Dismantling controlled area	67,47																

項次	計畫	主講人	簡報內容概要										
			<table border="1" data-bbox="563 248 1469 533"> <tr> <td>Dismantling controlled area</td> <td>67,47</td> </tr> <tr> <td>Refurbishing</td> <td>121,12</td> </tr> <tr> <td>Material (Waste) Management</td> <td>386,82</td> </tr> <tr> <td>Remaining operation</td> <td>833,00</td> </tr> <tr> <td>總計</td> <td>1,653,00 (1635 百萬歐元)</td> </tr> </table> <p data-bbox="496 573 1533 734">由於決定先以大型組件拆除，等待劑量率衰減後切割處理之策略，估計縮短除役時間約 3 年，尤其是細部拆解所需之遙控設備使用通常拖延拆除時程。同時節省除役經費 15 %至 30 % (200-400 百萬歐元)，主要原因為大量降低需要最終處置之廢棄物量，另外拆除設備及容器需求亦大量節省。</p> <ul data-bbox="496 775 1533 1765" style="list-style-type: none"> ● 廢棄物檢整及除污設施 (Warm Workshop) : Greifswald (KGR)電廠除役，除了大型組件直接暫貯於 ISN 之外，其餘拆除廢棄物於 Warm Workshop 進行切割檢整及除污，符合外釋限值者則進入外釋程序，否則仍運至 ISN 暫貯。除污設備包括高壓水除污、噴砂除污、電化學除污及化學除污。 ● 高壓水除污： 除污包封 7.0 m 長 × 4.0 m 寬 × 4.5 m 高，配備 2,000 bar 高壓水柱設備以執行除污。附屬設備包括 1 公噸吊車，旋轉架，排氣及過濾系統，水處理系統。1 人全副著裝於除污包封內操作除污設備，另 1 人於包封外安全監視。 ● 噴砂除污： 除污包封 8 m² × 2.5 m 高，配備 10 bar 之手持噴砂設備以執行除污。附屬設備包括旋轉架，排氣及過濾系統，噴砂研磨料回收處理系統。1 人全副著裝於除污包封內操作除污設備，另 1 人於包封外安全監視。 ● 化學除污及電化學除污： 磷酸除污槽 5 m³ 1 座，2.5 m³ 2 座。電化學除污槽 2 m³ 2 座，2,000 A 及 1,000 A 整流設備各一套。除污劑不再生處理。 ● 污染熱切割包封： 切割包封 7.0 m 長 × 4.0 m 寬 × 4.5 m 高，配備 1 公噸吊車及熱切割設備，附屬設備有排氣及過濾系統。 其餘設備包括剪床、各式帶鋸切割機、及電纜剝皮機。 ● 廢棄物減整設施： 暫貯於 ISN 之大型組件廢棄物，亦配備剪床、帶鋸切割機、及電將切割設備，另外還設置高壓減容設備及貯存桶乾燥設備。 	Dismantling controlled area	67,47	Refurbishing	121,12	Material (Waste) Management	386,82	Remaining operation	833,00	總計	1,653,00 (1635 百萬歐元)
Dismantling controlled area	67,47												
Refurbishing	121,12												
Material (Waste) Management	386,82												
Remaining operation	833,00												
總計	1,653,00 (1635 百萬歐元)												
2	EWN Greifswald (KGR) 廢棄物管理		<p data-bbox="496 1845 1082 1883">EWN 除役計畫中，拆除廢棄物分類方法：</p> <table border="1" data-bbox="544 1901 1489 2089"> <tr> <td data-bbox="544 1901 643 1966">A 類</td> <td data-bbox="643 1901 1489 1966">Unrestricted release</td> </tr> <tr> <td data-bbox="544 1966 643 2029">B 類</td> <td data-bbox="643 1966 1489 2029">Restricted release or disposal as conventional waste</td> </tr> <tr> <td data-bbox="544 2029 643 2089">C 類</td> <td data-bbox="643 2029 1489 2089">19 Special disposal aims</td> </tr> </table>	A 類	Unrestricted release	B 類	Restricted release or disposal as conventional waste	C 類	19 Special disposal aims				
A 類	Unrestricted release												
B 類	Restricted release or disposal as conventional waste												
C 類	19 Special disposal aims												

項次	計畫	主講人	簡報內容概要																														
			<table border="1" data-bbox="539 248 1489 506"> <tr> <td data-bbox="539 248 643 309">C 類</td> <td data-bbox="643 248 1489 309">Special disposal aims</td> </tr> <tr> <td data-bbox="539 309 643 369">D 類</td> <td data-bbox="643 309 1489 369">Decay storage</td> </tr> <tr> <td data-bbox="539 369 643 430">E 類</td> <td data-bbox="643 369 1489 430">Reuse or utilization in nuclear facilities</td> </tr> <tr> <td data-bbox="539 430 643 506">F 類</td> <td data-bbox="643 430 1489 506">Disposal as radioactive waste</td> </tr> </table> <p data-bbox="496 544 1536 707">估計之拆除廢棄物量約 1,800,000 公噸，其中無污染拆除廢棄物約有 1,235,000 公噸（68.6%）以一般廢棄物放行；可能有污染之拆除廢棄物約有 565,000 公噸，其中經檢測可以外釋約佔總數之 21.4 %，其餘包括廠內限制性使用、暫貯等待衰減、及需處置之廢棄物量佔 10%。</p>	C 類	Special disposal aims	D 類	Decay storage	E 類	Reuse or utilization in nuclear facilities	F 類	Disposal as radioactive waste																						
C 類	Special disposal aims																																
D 類	Decay storage																																
E 類	Reuse or utilization in nuclear facilities																																
F 類	Disposal as radioactive waste																																
3	EWN Greifswald (KGR) Remote Dismantling	Ralf Borchardt	<p data-bbox="496 786 1536 902">EWN/Greifswald 之 W-230 壓水式反應爐，RPV 內部之主要組件包括爐內管路組件 (Protected tube unit)、爐心框 (Core basket)、反應爐腔 (Reactor cavity)、及反應爐腔底座 (Reactor cavity bottom)。</p> <p data-bbox="496 909 1536 987">除了 RPV 本身直接運至 ISN 暫貯外，其餘組件均切割檢整後再運至 ISN 暫貯。</p> <table border="1" data-bbox="518 1025 1511 1503"> <thead> <tr> <th data-bbox="518 1025 694 1108"></th> <th data-bbox="694 1025 877 1108">外型尺寸</th> <th data-bbox="877 1025 997 1108">重量</th> <th data-bbox="997 1025 1145 1108">總活度</th> <th data-bbox="1145 1025 1332 1108">距離 1m 之輻射劑量率</th> <th data-bbox="1332 1025 1511 1108">切割貯存</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="518 1108 694 1198">爐內管路組件 (Protected tube unit)</td> <td data-bbox="694 1108 877 1198">3190 mm Φ x 6962 mm H</td> <td data-bbox="877 1108 997 1198">27.25 公噸</td> <td data-bbox="997 1108 1145 1198">6.43 E+13 Bq</td> <td data-bbox="1145 1108 1332 1198">1.90 E+02 mSv/h</td> <td data-bbox="1332 1108 1511 1198">乾式切割站</td> </tr> <tr> <td data-bbox="518 1198 694 1288">爐心框 (Core basket)</td> <td data-bbox="694 1198 877 1288">3080 mmΦ x 3930 mm H</td> <td data-bbox="877 1198 997 1288">22.4 公噸</td> <td data-bbox="997 1198 1145 1288">8.67 E+15 Bq</td> <td data-bbox="1145 1198 1332 1288">7.30 E+04 mSv/h</td> <td data-bbox="1332 1198 1511 1288">濕式切割站</td> </tr> <tr> <td data-bbox="518 1288 694 1377">反應爐腔 (Reactor cavity)</td> <td data-bbox="694 1288 877 1377">3660mmΦ x 8122 mm H</td> <td data-bbox="877 1288 997 1377">36.8 公噸</td> <td data-bbox="997 1288 1145 1377">1.98 E+15 Bq</td> <td data-bbox="1145 1288 1332 1377">1.70 E+3 mSv/h</td> <td data-bbox="1332 1288 1511 1377">濕式切割站</td> </tr> <tr> <td data-bbox="518 1377 694 1503">反應爐腔底座 (Reactor cavity bottom)</td> <td data-bbox="694 1377 877 1503">3065 mmΦ x 2980 mm H</td> <td data-bbox="877 1377 997 1503">23.0 公噸</td> <td data-bbox="997 1377 1145 1503">5.36 E+13 Bq</td> <td data-bbox="1145 1377 1332 1503">1.10 E+02 mSv/h</td> <td data-bbox="1332 1377 1511 1503">濕式切割站</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="496 1541 1536 1704">爐內組件拆除工時中，用於切割檢整工時約佔 44%，用於除污及設備維護約佔 55%。主要的切割工具包括圓形銑刀、水平及垂直帶鋸切割（乾式及水下）、電將切割（乾式及水下）、氧乙炔切割、水下 CMAC 切割、線鋸機、水刀切割、鑽石索鋸切割。</p> <p data-bbox="496 1711 1536 1789">反應爐 RPV 直接運貯以及爐內組件以大件吊出切割，均需要於有限廠房空間中設計建立專用之吊運設備。</p>		外型尺寸	重量	總活度	距離 1m 之輻射劑量率	切割貯存	爐內管路組件 (Protected tube unit)	3190 mm Φ x 6962 mm H	27.25 公噸	6.43 E+13 Bq	1.90 E+02 mSv/h	乾式切割站	爐心框 (Core basket)	3080 mmΦ x 3930 mm H	22.4 公噸	8.67 E+15 Bq	7.30 E+04 mSv/h	濕式切割站	反應爐腔 (Reactor cavity)	3660mmΦ x 8122 mm H	36.8 公噸	1.98 E+15 Bq	1.70 E+3 mSv/h	濕式切割站	反應爐腔底座 (Reactor cavity bottom)	3065 mmΦ x 2980 mm H	23.0 公噸	5.36 E+13 Bq	1.10 E+02 mSv/h	濕式切割站
	外型尺寸	重量	總活度	距離 1m 之輻射劑量率	切割貯存																												
爐內管路組件 (Protected tube unit)	3190 mm Φ x 6962 mm H	27.25 公噸	6.43 E+13 Bq	1.90 E+02 mSv/h	乾式切割站																												
爐心框 (Core basket)	3080 mmΦ x 3930 mm H	22.4 公噸	8.67 E+15 Bq	7.30 E+04 mSv/h	濕式切割站																												
反應爐腔 (Reactor cavity)	3660mmΦ x 8122 mm H	36.8 公噸	1.98 E+15 Bq	1.70 E+3 mSv/h	濕式切割站																												
反應爐腔底座 (Reactor cavity bottom)	3065 mmΦ x 2980 mm H	23.0 公噸	5.36 E+13 Bq	1.10 E+02 mSv/h	濕式切割站																												

2.2.6 Rheinsberg NPP 參訪

10月26日上午由EWN Dr. Krause 簡報”Decommissioning of Nuclear Power Plant Rheinsberg”，以及由EWN Jörg Möller 簡報 “ Dismantling the installations in the reactor in the Rheinsberg nuclear power plant”，接著參訪 Rheinsberg NPP、外釋量測，以及 ALfR 舊處置場之拆除，兩篇簡報如附錄 H，內容摘要如下：

項次	計畫	主講人	簡報內容概要
<u>Site visiting facilities</u>			
1	EWN Rheinsberg NPP 除役	Dr. Krause	<p>德國 EWN 之 Rheinsberg NPP 為俄式 WWER-70 (PWR)反應爐，輸出功率 70MWe，運轉期間 1966 年-1990 年。除役計畫期程為 1995 年-2012 年，執行除役之現有員工約 170 人。廢棄物處理及暫貯設施與 EWN/Greifswald 共用。大型組件亦運送至 Greifswald 處理。</p> <p>廢棄物暫貯設施 ALfR 清理，主要困難為 5 座廢液桶槽中，2 座沒有雙層桶設計，有洩漏污染土壤現象。清理方式為加蓋大型臨時廠棚提供圍阻功能，於廠棚內部進行拆除工作。土壤逐步挖掘經由檢測篩檢處理。</p> <p>Rheinsberg NPP 除役期間之經費估計為 432 百萬歐元，其中運轉維護費用為 144 百萬歐元（約佔 33 %），除役費用為 288 百萬歐元（約佔 67 %），除役費用中，140 百萬歐元為拆除經費，15 百萬歐元為除役設備費用，107 百萬歐元為廢棄物處置費用，廠房拆除及清理費用為 26 百萬歐元。</p>
2	EWN Rheinsberg NPP 除役工法	Jörg Möller	特色為大量使用 3D 模擬及實際照片輔助除役之規劃及工法之設計。

三、心得

各國除設計畫提出之報告中，值得繼續追蹤其除役作為，或其除役作為與國內除役需求相關，或其除役技術之發展值得效法者，彙整於本節。

3.1 加拿大 NRX 實驗反應器之燃料池清理

加拿大 NRX 反應爐之燃料池清理工作包括 1200 m³ 水池及 500 m³ 沙池清理。NRX 燃料池於 1950 年代開始有池水洩漏現象，至 2005/06 年一天損失池水約達 1500 公升。2006 年移除池水始解決此問題。TRR 之反應爐與 NRX 反應爐為同型之研究用反應爐，燃料池結構亦相似，為無內襯之水池。目前 TRR 燃料池加速清理中，以避免發生類似洩漏情形。圖 1 及圖 3 為池水洩漏之環境影響分析。



圖 1、加拿大 NRX 燃料池

目前 NRX 之池水處理以離子交換及過濾方式每日處理 60,000 公升。TRR 燃料池未來池水及池壁處理亦可借助於 NRX 之處理經驗。

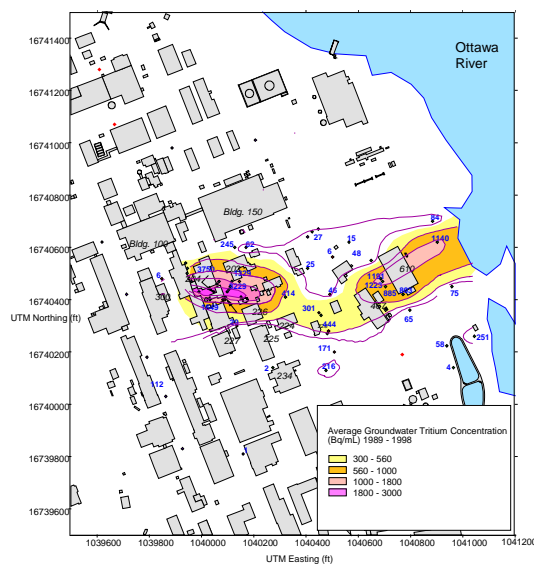


圖 2、地下水氚含量分析

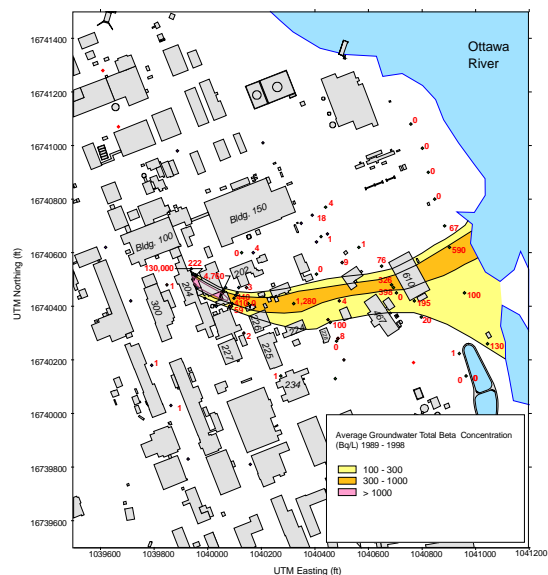


圖 3、地下水 β 分析

3.2 實驗用反應器內石墨廢棄物之處理

目前處於安全貯存狀態之 TRR 反應爐，爐內組件拆除方法已經開始評估規劃作業。TRR 反應爐內於反應槽周圍及熱中子室分別使用石墨為反射體，以避免中子散逸。石墨為長半衰期廢棄物，且為管制物質，於除役廢棄物中須特別處理。本次 TAG 會議中，法國 Bugey 1 電廠除役及日本 Tokai-1 電廠除役分別提及石墨之處理規劃，值得繼續收集其研究結果，以供未來 TRR 爐內組件拆除時，石墨處理方法之參考。

EDF 目前除役核設施中，共有石墨 17,000 公噸，包括 Bugey 2,900 公噸，Chinon 5,900 公噸，及 St Laurent 8,500 公噸。法國放射性廢棄物分類中，石墨屬於中低階($< 3.7E+3$ Bq/g)，長半衰期(> 30 年)廢棄物。法國 ANDRA 國家放射性廢棄物貯存機構負責石墨處置。ANDRA 處置場規劃 2007 年-2009 年選址，2012 取得建築執照，2013 年開始運轉。ANDRA 石墨處置規格尚未決定。目前 EDF 石墨廢棄物包裝的設計目標為可以使用 300 年之混凝土貯存箱。長方形貯存箱尺寸 2.7 m \times 1.9 m \times 1.8 m，體積 9.2 m³，厚度有兩種分別為 200 mm 及 300 mm。每只造價 8 千至 1 萬歐元。雛型產品測試中(包括墜落測試)。Bugey 1 反應器中石墨取出、包裝、密封及運送程序規劃設計中。

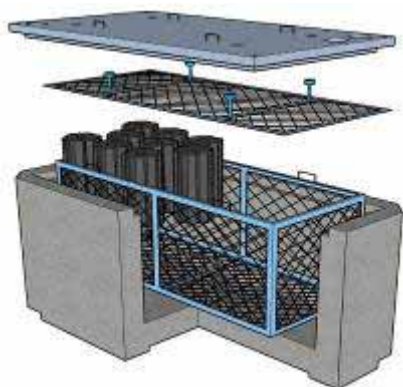


圖 4、法國 EDF 之石墨處置包裝設計



圖 5、法國 EDF 之石墨貯存箱雛形



圖 6、法國 EDF 之石墨裝箱吊運



圖 7、法國 EDF 之石墨處置混凝土封箱



圖 8、法國 EDF 之石墨貯存箱墜落測試

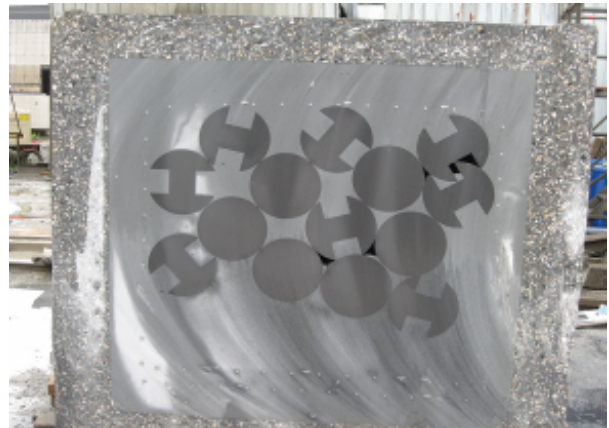


圖 9、法國 EDF 之石墨貯存箱灌漿剖面分析

日本 Tokai-1 電廠爐內組件之一為石墨，曾於 2003 年設計爐內石墨取樣設備，以取得爐內石墨之輻射數據。其石墨類型、重量、活度及規劃之處理方法如下：

表 6、日本 Tokai-1 反應爐石墨類型及處理規劃

石墨類型	重量	活度		規劃處理方法
石墨塊	1,670T	1.4E+14 Bq	about 1E+5Bq/g	Burial
石墨燃料套管	820 T	5.5E+12 Bq	about 1E+4Bq/g	Incineration

石墨燃料套管取下之型態為石墨碎片及粉末，規劃之處理方法為加入固態廢棄物焚化爐混合焚燒。固態廢棄物焚化產生之氣體導入二燃室。石墨以 50 kg/h 速率置入專用焚化爐，並以 30 %含氧量之空氣助燃，燃燒溫度為 1,300°C。石墨焚化爐產生之氣

體亦導入二燃室，與固態廢棄物焚化爐產生之氣體混合燃燒。二燃室之排氣經由冷卻、陶瓷過濾、HEPA 過濾、scrubber 洗滌等程序後排放。整套流程設計容量為 0.7 T/d (約 130 T/y)，C-14 排放為 $9.12E+11$ Bq/y，6 年內完成全廠石墨燃料套管之處理。有效焚化處理的前題為，必須發展一套可行之程序，以有效分離混合在石墨碎片/粉末中之金屬碎片。



圖 10、日本 Tokai-1 電廠爐內石墨取樣設備

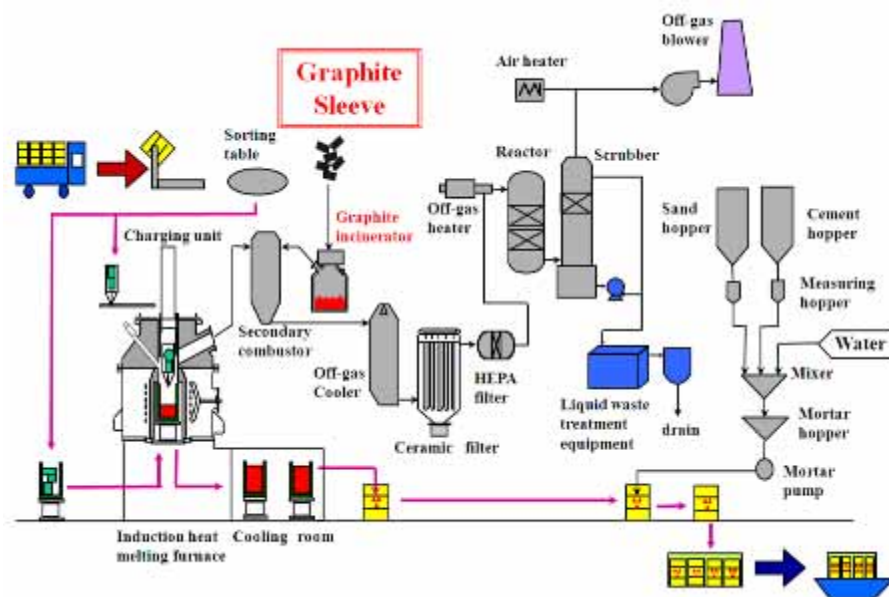


圖 11、日本 Tokai-1 電廠石墨焚化處理流程設計

3.3 水下操作水刀切割參數評估

TRR 爐內組件包括上生物屏蔽、上下熱屏蔽、屏蔽固定架、環熱屏蔽、旁熱屏蔽、石墨反射體、反應槽等，不同形狀，不同材質之組件。拆除方法及工具選用為必要之評估。尤其是上熱屏蔽及反應槽切割，均需要先就其內部管狀燃料通道進行切割，以水刀進行管內切割為普遍之拆除方法。日本 FUGEN 電廠除役執行拆除切割方法評估，並對於水下操作之水刀切割作業，進行有系統之研究，其研究情形值得繼續追蹤。另外，金屬長期於高輻射狀態下照射材質會變脆，各種切割方法如何調整參數為不易評估之技術，本次 FUGEN 電廠之切割方法評估中尚未提及，亦值得注意蒐集相關技術資訊。

針對爐內組件不同形狀及材質，選用最適合之拆除方法及切割工具，評估結果如下表：

表 7、FUGEN 電廠爐內組件切割方法評估

拆除對象	切割工具
平板狀物件	Plasma Arc(or Laser)
雙層管	Abrasive Water Jet
管路	Roller Cutter
混凝土	Wire Saw
二次細切	Band Saw

其中特別對於水刀（Abrasive water jet cutting method, AWJ）切割技術應用於爐內組件切割進行有系統之研究。採用水刀系統之超高壓泵最大輸出壓力為 245 MPa。並以爐內雙層管切割實驗，經由實驗尋求研磨料量及切割速度之最佳參數。主要結論為：

- 確認高壓水刀切割可以應用於爐內雙層管路切割。
- 確認高壓水刀切割可以應用於爐內板狀物件切割，切割厚度可 150 mm。
- 以實驗決定水刀中研磨料供應量參數以減少二次廢棄物量。
- 使用水刀切割必須針對二次廢棄物性質配合設計水處理系統。



圖 12、日本 FUGEN 電廠
內管水刀切割設計



圖 13、日本 FUGEN 電廠水
刀切割高壓泵設備



圖 14、日本 FUGEN 電廠水刀
切割實驗



圖 15、日本 FUGEN 電廠
水刀切割實驗結果：
Zr 材質雙層管

圖 16、日本 FUGEN 電廠水
刀切割實驗結果：
SUS 材質雙層管

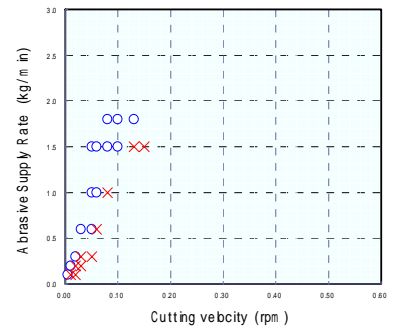


圖 17、日本 FUGEN 電廠水刀
切割實驗數據：
SUS 材質雙層管

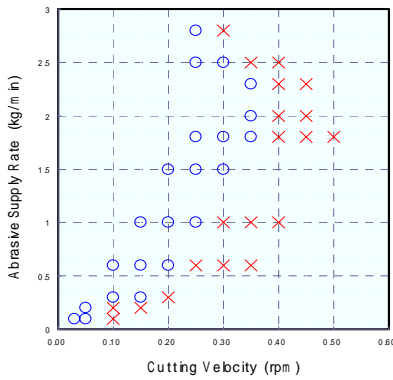


圖 18、日本 FUGEN 電廠
水刀切割實驗數據：
Zr 材質雙層管

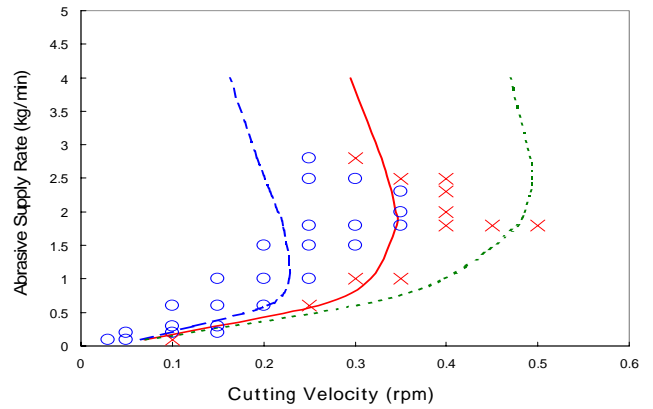


圖 19、日本 FUGEN 電廠水刀切割實驗數據：
決定研磨料使用量

3.4 德國 EWN/Greifswald 電廠除役

TRR 爐內組件拆除規劃中，組件拆除策略影響拆除工法、廢棄物質量、人員接受劑量率、拆除場地及設施需求等甚鉅，最終並將直接反映至拆除之成本。德國 EWN 電廠除役，由於計劃規模龐大，於除役之初即擬定大組件拆除，經過中期貯存輻射劑

量衰減後始進行切割處理，其策略擬定及其影響，值得分析借鏡。另外，目前核研所對於放射性金屬廢棄物之處理流程進行整合性規劃，德國 EWN/Greifswald 電廠金屬廢棄物切割檢整設施之配置亦值得參考。

德國 EWN/Greifswald 電廠拆除策略：

1. 盡量以大組件拆除，貯存於廠內中期貯存設施。主要之大組件包括 5 座反應爐 RPV (214 公噸/座)，30 座蒸氣產生器(166 公噸/座)，5 座調壓槽(107 公噸/座)。
2. 大組件貯存以等待輻射劑量衰減後切割處理。
3. 用過燃料亦於廠內中期貯存設施貯存。
4. 現場拆除需要降低劑量率，才使用現場除污。

廢棄物管理策略：

1. 在最終處置場未能運轉情況下擬定此策略。
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。
3. 儘早建立廢棄物外釋放行程序。
4. 儘早建立大型組件廢棄物處理方法及設備。
5. 不於拆除現場執行組件切割處理。
6. 避免拆除程序之瓶頸，規劃足夠之廢棄物緩衝存放場地。

除役經費：

Decommissioning Costs KGR	
Concept planning	7,63
Licensing	65,83
Project controlling	14,54
Dismantling monitored area	43,45
Remote dismantling	113,11
Dismantling controlled area	67,47
Refurbishing	121,12
Material (Waste) Management	386,82
Remaining operation	833,00
總計	1,653,00 (1635 百萬歐元)

由於決定先以大型組件拆除，等待劑量率衰減後切割處理之策略，估計縮短除役時間約 3 年，尤其是細部拆解所需之遙控設備使用通常拖延拆除時程。

同時節省除役經費 15 %至 30 % (200-400 百萬歐元)，主要原因為大量降低需要最終處置之廢棄物量，另外拆除設備及容器需求亦大量節省。

廢棄物檢整及除污設施(Warm Workshop)：

Greifswald (KGR)電廠除役，除了大型組件直接暫貯於 ISN 之外，其餘拆除廢棄物於 Warm Workshop 進行切割檢整及除污，符合外釋限值者則進入外釋程序，否則仍運至 ISN 暫貯。除污設備包括高壓水除污、噴砂除污、電化學除污及化學除污。

高壓水除污：

除污包封 7.0 m 長 × 4.0 m 寬 × 4.5 m 高，配備 2,000 bar 高壓水柱設備以執行除污。附屬設備包括 1 公噸吊車，旋轉架，排氣及過濾系統，水處理系統。1 人全副著裝於除污包封內操作除污設備，另 1 人於包封外安全監視。

噴砂除污：

除污包封 8 m² × 2.5 m 高，配備 10 bar 之手持噴砂設備以執行除污。附屬設備包括旋轉架，排氣及過濾系統，噴砂研磨料回收處理系統。1 人全副著裝於除污包封內操作除污設備，另 1 人於包封外安全監視。

化學除污及電化學除污：

磷酸除污槽 5 m³ 1 座，2.5 m³ 2 座。電化學除污槽 2 m³ 2 座，2000A 及 1000A 整流設備各一套。除污劑不再生處理。

污染熱切割包封：

切割包封 7.0 m 長 × 4.0 m 寬 × 4.5 m 高，配備 1 公噸吊車及熱切割設備，附屬設備有排氣及過濾系統。

其餘設備包括剪床、各式帶鋸切割機、及電纜剝皮機。

廢棄物減整設施：

暫貯於 ISN 之大型組件廢棄物，亦配備剪床、帶鋸切割機、及電將切割設備，另外還設置高壓減容設備及貯存桶乾燥設備。



圖 20、德國 EWN/Greifswald 電廠除役大型組件中期貯存



圖 21、德國 EWN/Greifswald 電廠除役大型組件運送



圖 22、德國 EWN/Greifswald 檢整除污設施：高壓水



圖 23、德國 EWN/Greifswald 檢整除污設施：
高壓水柱操作



圖 24、德國 EWN/Greifswald 檢整除污設施：
噴砂研磨



圖 25、德國 EWN/Greifswald 檢整除污設施：
化學及電化學除污槽



圖 26、德國 EWN/Greifswald 檢整除污設施：熱切割設備

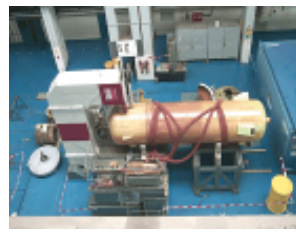


圖 27、德國 EWN/Greifswald 檢整除污設施：機械切割設備

3.4 數位 3D 工程模擬之應用

TAG 會議中，各計畫執行除役工作，從除役規劃、拆除工法評估、拆除工具設計、場地設備佈置等各層面，大量使用數位 3D 工程模擬及影像整合技術，亦值得效法。

數位 3D 工程模擬應用於除役工作具有下列效益：

- (1) 提升除役工作之效率及品質，進而保障作業安全：

核設施之生命週期從建造、運轉、維護、到除役，由於需要輻射防護，存在許多工作人員不易接近、進出及長時間滯留的工作環境。在此危險及複雜環境中 (Hazardous Environment) 之任何作業，藉由虛擬 3D 空間模擬，可以達到虛擬工程所能提供的非量化決策參考資訊、靈活的模擬呈現、及連結大量工程資訊等效益。在工程應用中，3D 模擬應以“資訊”的角色視之。3D 模擬所提供的視覺輔助，不僅可以為非量化決策的參考，也可以經由 3D 模型整合成為量化工程資訊的介面。

- (2) 數位 3D 工程模擬配合工程資料庫與視覺輔助能提升除役管理及拆除作業之效率與品質，進而保障作業安全，對於未來國內核能電廠除役、廢棄物處置之規劃建立，為極有應用價值之技術。

- (3) 有效整合除役知識管理：

數位 3D 工程模擬整合核設施文字、圖件、影像、3D 空間等各種工程資訊，包含顯性資訊(explicit information)及隱性知識(tacit knowledge)，對於除役工作複雜的整合性技術需求具有大量的非量化效益。

- (4) 彙整除役技術經驗，以利除役知識之傳承：

除役工作需要長時間持續的投入，專業技術的經驗傳承為核能業界極為重視之問題。同時，除役工作必須整合各種專業技術，不同專長之人力必須予以訓練以從事除役工作。數位 3D 工程模擬之視覺輔助功能及資料庫連結功能為最有效率之溝通媒介。

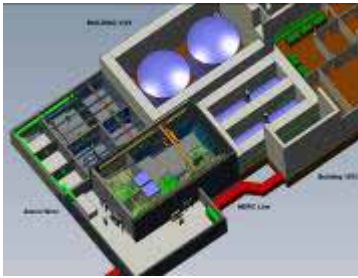


圖 28、比利時 Belgoprocess 設施清理規劃



圖 29、德國 WAK 燃料處理程序設備拆除

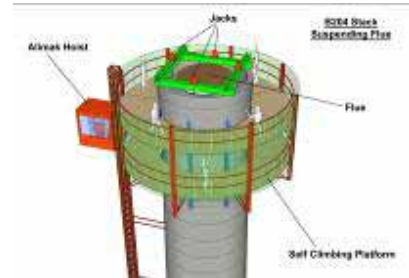


圖 30、英國 Sellafield 煙囪拆除規劃

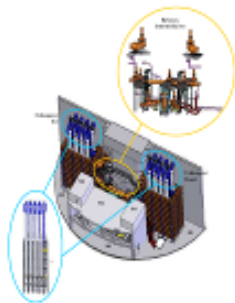


圖 31、法國 EDF/Brennilis 熱交換器拆除規劃

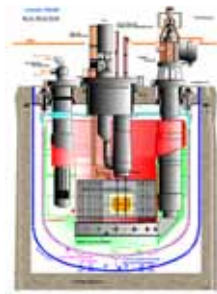


圖 32、法國 EDF/Phenix 爐內組件拆除規劃

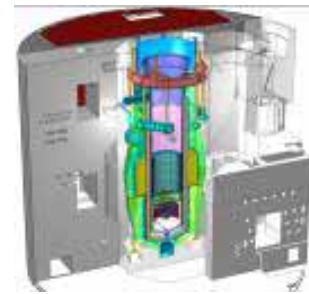


圖 33、德國 KNK 反應爐拆除規劃



圖 34、德國 KNK 組件拆除工具設計



圖 35、日本 Tokai-1 電廠除役規劃

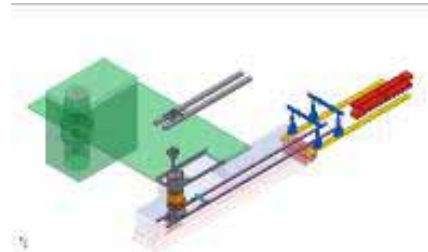


圖 36、德國 EWN/Greifswald 大型組件拆除規劃

四、建議事項

- (1) 本所包括 TRR 之各核設施，在未來 20 年內，均須面臨拆除，故未來至少每年均須派員參與一次會議，除對該會議做出貢獻外，亦充分掌握最新之除役狀況及技術。
- (2) 由於時間長久，爲了能傳承，未來之會議應儘量有同一人或同一組人輪流前往，所攜回資料除了應充分展現在國外公差報告內外，亦應藉由簡報與討論傳遞給相關同仁；另外，在短期內，應提攜年輕新人加入，幾年後，由新人接手，本所參與 CPD 計畫才能可長可遠。
- (3) 本次 TAG 主席 **Luis Valencia** 建議由台灣主辦 TAG-45 會議，基於下列理由：a. 國際參與之義務與回饋，b. 有機會邀請國外除役專家蒞所建議本所除役方向，c. 藉機展示本所如高效率減容及電漿熔融等技術。綜合上述，可考慮接受該項建議。若本所接受且原能會亦同意的話，則應由本所與原能會共同組成工作小組，儘速進行相關籌劃作業，包括 TAG-45 會議籌備工作規劃(組織、經費、時程)、透過原能會駐 OECD 代表協調 CPD/TAG、催促 CPD/TAG 儘速正式來函、構思會議舉辦地點與內容、研擬技術參訪行程、相關庶務(含接送、旅館、餐飲、接待、會議紀錄等)工作規劃，以及本所除役/廢棄物處理技術展示規劃。
- (4) 有關污染混凝土除污與拆除技術工作小組之現況，以及準備出版之技術報告格式與內容，經參閱其內容，本所可於混凝土切割及外釋量測方面做出貢獻，建議由工程組/保物組共同參與。