

出國報告（出國類別：其他）

OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)
第 57 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：103 年 10 月 11 日~103 年 10 月 19 日

報告日期：103 年 11 月 18 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 57 屆技術諮詢組 (Technical Advisory Group, TAG) 會議。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。CPD/TAG 會議一年舉辦兩次，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 2013 年 10 月之 TAG-55 會議。

TAG-57 會議於 2014 年 10 月 13-17 日於義大利 Ispra 舉行，由位於義大利之 EC JRC (The European Commission Joint Research Center) 主辦，合計共 11 國、20 個除役計畫之核設施除役專家與會。與會人員包括比利時 (2 人)、斯洛伐克共和國 (3 人)、法國 (1 人)、西班牙 (1 人)、瑞典 (3 人)、義大利 (2 人)、台灣 (3 人)、英國 (2 人)、加拿大 (1 人)、南韓 (1 人)、日本 (4 人)，共 23 位專家與會。本次會議因部分會員參加 WPDD15 (Working Party on Decommissioning and Dismantling) 年度會議，無法出席，以致與會人數較往常三十餘人少。10 月 13-15 日為會議討論，內容包含各參與計畫除役狀況及進度簡報研討、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 13 篇，核燃料循環設施除役簡報 7 篇，核設施除役場地復原工作小組專題簡報 2 篇，國家除役概況簡報 1 篇，除役技術專題報告 7 篇，及包括歐盟 JRC 機構說明等，共收集 30 篇簡報及 1 篇報告。10 月 16 日參訪 JRC 的液體廢棄物處理及貯存設施。10 月 17 日參訪 JRC 除役中的 ESSOR 研究用反應器。

西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役，爐內組件已經拆解完成，目前進行至 RPV 拆解切割。其水下切割的方法為目前逐漸形成國際標準的機械切割法。此時加強與負責 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役工作的 ENRESA 公司技術交流，對於國內即將面對核能電廠除役的規劃準備，極有助益。目前 CPD/TAG 會議是取得國際核設施除役資訊的有效平台。今年仍

有三項新計畫申請加入。大型商用核能電廠除役計畫的陸續加入，提高 CPD/TAG 會議資料參考應用性。國內應持續參加 CPD/TAG 會議，以取得國際核設施除役最新的資訊。

關鍵詞：核能電廠除役、核設施除污、除役

目 次

(頁碼)

摘 要	i
一、目的	1
二、過程	2
(一) 公差行程及會議內容.....	2
(二) TAG 會員組成之專家小組工作狀況	11
(三) TAG 知識管理	12
(四) ISOE 提議與 CPD/TAG 合作建立”核設施除役行為輻射防護資訊交流”	12
(五) 新計畫申請加入 CPD	13
(六) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論	13
三、心得	14
(一) 西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役.....	14
(二) 法國原子能與可替代能源委員會發展使用虛擬實境技術來驗證拆解作業 (Virtureality Technics – Way to verify dismantling ooperation).....	22
(三) 日本 FUGEN 核能電廠重水系統拆除.....	26
(四) 南韓最終處置場規畫.....	27
四、建議事項	32

表目錄

表一、本次國外公差主要行程.....	3
表二、第 57 屆 TAG 會議詳細議程	3
表三、第 57 屆 TAG 會議燃料循環設施除役簡報項目	9
表四、第 57 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目	9
表五、第 57 屆 TAG 會議核設施除役場地復原及除役物資再利用工作小組簡報項目	9
表六、第 57 屆 TAG 會議國家報告簡報項目.....	10
表七、第 57 屆 TAG 會議專題簡報項目	10
表八、第 57 屆 TAG 會議核設施除役現場參訪簡報項目	11

圖目錄

圖一、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠.....	15
圖二、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠主要設備拆除進度.....	16
圖三、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠主冷卻水泵切割拆解.....	16
圖四、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(一).....	17
圖五、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(二).....	18
圖六、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(三).....	18
圖七、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(四).....	19
圖八、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(五).....	20
圖九、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(六).....	21
圖十、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(七).....	21
圖十一、	西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠蒸汽產生器切割.....	22
圖十二、	MOCAP 虛擬實境系統.....	23
圖十三、	APM 設施 414 號房間：(左) 真實場景，(右) 虛擬 3D 場景	24
圖十四、	APM 設施 414 號房間之管路拆解模擬	24
圖十五、	使用 NARVEOS 軟體模擬不同任務下之人員累計劑量	25
圖十六、	日本 FUGEN 電廠重水系統.....	26
圖十七、	系統除氣方法.....	27
圖十八、	南韓慶州市獲選為中低放射性廢棄物處置場.....	28
圖十九、	中低放射性廢棄物處置場隧道挖掘.....	28
圖二十、	中低放射性廢棄物處置場佈置圖.....	29
圖二十一、	中低放射性廢棄物處置方式.....	30
圖二十二、	中低放射性廢棄物運輸船(HANJIN).....	31

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 57 屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，TAG-57 會議於 103 年 10 月 13-17 日於義大利 Ispra 舉行，由位於義大利之 EC JRC(The European Commission Joint Research Center)主辦，合計共 11 國、20 個除役計畫，共 23 位專家與會。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：

- (一) 了解各參與計畫之除役最新執行現況。
- (二) 蒐集各類除役、拆除、除污及廢棄物處理之最新技術。
- (三) 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。
- (四) 聯繫國際核設施除役相關專家/主管，建立技術交流管道。
- (五) 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

(一) 公差行程及會議內容

TAG-57 會議於 2014 年 10 月 13-17 日於義大利 Ispra 舉行，由位於義大利之 EC JRC(The European Commission Joint Research Center)主辦，合計共 11 國、20 個除役計畫之核設施除役專家與會。與會人員包括比利時(2 人)、斯洛伐克共和國(3 人)、法國(1 人)、西班牙(1 人)、瑞典(3 人)、義大利(2 人)、台灣(3 人)、英國(2 人)、加拿大(1 人)、南韓(1 人)、日本(4 人)，共 23 位專家與會。本次會議因部分會員參加 WPDD15(Working Party on Decommissioning and Dismantling)年度會議，無法出席，以致與會人數較往常三十餘人少。10 月 13-15 日為會議討論，內容包含各參與計畫除役狀況及進度簡報研討、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 13 篇，核燃料循環設施除役簡報 7 篇，核設施除役場地復原工作小組專題簡報 2 篇，國家除役概況簡報 1 篇，除役技術專題報告 7 篇，及包括歐盟 JRC 機構說明等，共收集 30 篇簡報及 1 篇報告。10 月 16 日參訪 JRC 的液體廢棄物處理及貯存設施。10 月 17 日參訪 JRC 除役中的 ESSOR 研究用反應器。

本次公差自 103 年 10 月 11 日起至 103 年 10 月 19 日止，主要行程如表一所示，TAG57 會議之詳細議程規劃如下表二。由於實際會議時問題討論熱烈，時間大幅延後，TRR 簡報時間由第一天推延到第二天上午。一些會務討論議題亦挪至周五討論。表三至表八說明會議中提供簡報之專家姓名及所屬機構。

會議取回 30 篇簡報及 1 篇報告資料，包含各國除役第一手現況資料，及大量除役相關技術資訊。本章第二節至第六節分別說明 TAG 會員組成之專家小組工作狀況、TAG 知識管理、ISOE 提議與 CPD/TAG 合作建立”核設施除役行為輻射防護資訊交流”、新計畫申請加入 CPD、未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃等議題之討論結果。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。

表一、本次國外公差主要行程

月/日(星期)	工作內容重點
10/11-12(六、日)	去程，由桃園機場出發，至義大利羅馬機場，轉機至米蘭機場，再搭巴士轉往米蘭北方之 Ispra。
10/13(一)~10/15(三)	在義大利 Ispra，參加第 57 屆 TAG 之技術討論會議。詳細議程如下表二。
10/16(四)	參訪位於 Ispra 之 JRC，包括其廢棄物處理設施、廢液處理設施等。
10/17(五)	參訪 JRC 之 ESSOR 研究用反應器除役。
10/18-19(六、日)	回程，由義大利米蘭機場回抵桃園機場

表二、第 57 屆 TAG 會議詳細議程

TAG 57 Ispra – Italy 13th – 17th October 2014

Meeting Agenda

Status report durations are shown as requested by presenters with 5 minutes added for discussion.

Timing is for guidance only. Agenda items have been taken out of sequence to make the best use of time but may be changed on the day.

Monday 13th October				
08.00		Coach collection from Hotel Con Azzura (08.10 from the Belvedere) – security scrutiny		50
08.50	1a	Assemble for meeting		10
09.00	1b	Welcome by the Ispra Site Director	Mr. Dan Claudiu Chirondojan	10
09.10	1c	Welcome Presentation by the Ispra site Nuclear Decommissioning Unit Head	Mr. Thomas Kirchner	15
09.25	1d	Welcome, organisational announcements	Francesco Basile	5
09.30	1e	Welcome and response by TAG Chairman	Robert Walthery	5
09.35	1f	Round-table introductions and organisational announcements.		15

09.50	2	Approval of agenda	Chairman	5
09.55	3	Chairman's, Co-ordinator's Remarks and Opening Business	Chairman, Coordinator	5
10.00	Coffee Break			20
10.20	4	Summary Record of TAG 56	Chairman, Coordinator	5
10.25		Report on proposal for a Joint ISOE/CPD Working Group on Radiological Protection Aspects of Decommissioning Activities in Nuclear Facilities	Chairman	5
10.30		TAG Knowledge Base/Specification for cloud storage system	Coordinator	15
	6a	Status Reports from Fuel Facilities:		
10.45		i. WAK	Joachim Dux	30
11.15		ii. UP1	Eric Cantrel	35
11.50		iii. Reprocessing Facility	Ryuji Mimura	25
12.15	Lunch Break			105
14.00		iv. ITREC U-Th reprocessing plant	Giuseppe Pastore	15
14.15		v. Ispra	Francesco Basile	20
14.35		vi. Eurochemic	Bart Ooms	50
15.25	Coffee Break			20
15.45		vii. B204 & B243	Steve Slater	20
	6b	Status Reports from Reactor Facilities		
16.05		i. Whiteshell	Brian Wilcox	20
16.25		ii. WAGR,	Steve Slater	15
16.40		iii. TRR1&2	Horng-Bin Chen	20
17.00		iv. Studsvik R2 and R2-0	Robert Hedvall	15
17.15		v. KRR 1 and 2	Jeikwon Moon	30
17.45		Organisational announcements	Francesco Basile	5
18.00	Adjourn – Coach return to hotels			

Tuesday 14 th October				
08.00		Coach collection from Hotel Con Azzura (08.10 from the Belvedere)		30
08.30		Assemble and announcements	Chairman, Host	05
	6b	Status Reports from Reactor Facilities - Continued		
08.35		i. KNK	Anja Graf	30
09.10		ii. Jose Cabrera	Manuel Ondaro	35
09.45		iii. Fugen	Koichi Kitamura	25
10.10		Coffee Break		20
10.30		iv. Chinsan NPP	Yu Ting	25
10.55		v. Brunsbuttel	Hermann Langer	20
11.15		vi. Bohunice V1 NPP	Martin Macasek Eva Hrasnova	35
11.50		vii. Bohunice A1	Roman Strazovec	20
12.10		viii. Barseback	Hakan Lorentz	30
12.40		Lunch Break		80
	7	New Projects (status):		
14.00		i. Danish Decommissioning – Riso National Laboratory	Coordinator	05
14.05		ii. Sellafield Ltd: Active Demonstrators	Coordinator	05
14.10		iii. A.A.Bochvar Institute (JSC VNIINM) request to join CPD - Leonid Sukhanov	Coordinator	05
	8	Task Groups:		
14.15		i. Task Group on Site Restoration	Coordinator	05
14.20		ii. Task Group on Recycling and Reuse of Materials	Coordinator/TG Chairman	20
	9	Country Reports:		
14.40	9a	The ISOE program and plans for the proposed Joint Working Group with CPD	ISOE Vice-Chairperson Dr. Swen-Gunnar Jahn (ENSI, Switzerland)	30
15.10	9b	Discussion of the proposed joint working group CPD/ISOE:	TAG members	30

		Aims and objectives Timescale Information for exchange Scope of work Outputs Volunteers		
15.40	9c	Decision on whether TAG members are willing to support the proposed working group.		10
15.50	Coffee Break			30
	10	Topical Session – Dose Management in Decommissioning and the ALARA principle		
		Members presentations		
16.20		i. CEA	Jean-Guy Nokhamzon	20
16.40		ii. Dismantling of core components at Forsmark 2 – case study – dose planning and output	Claes Johansson	15
16.55		i. Dose management at AECL Whiteshell Labs	Brian Wilcox	20
17.15		ii. EWN - KNK	Joachim Dux	20
18.00	Adjourn			
Wednesday 15th October				
08.00		Coach collection from Hotel Con Azzura (08.10 from the Belvedere)		30
08.30		Assemble and announcements	Chairman, Host	05
	10	Topical Session – Dose Management in Decommissioning and the ALARA principle - <i>continued</i>		
		Members presentations		
08.35		iii. EWN - WAK	Joachim Dux	20
08.55		iv. Dose management and ALARA practices at Belgoprocess	Bart Ooms	20
		v. JC NPP D&D ALARA PRINCIPLE APPLICATION	Manuel Ondaro	20

08.30		Discussion		30
09.00	11	Future meetings of the TAG	Chairman	15
		i. TAG 58, May 2015 - AVR,		
		ii. TAG 59, October 2015 – Bohunice		
		iii. TAG 60 To be agreed (Belgoprocess)		
09.15	12	Closing remarks.	Chairman	10
		Meeting continues as necessary		
10.00	Coffee Break			
		Meeting continues as necessary		
12.30	Lunch Break			
		Meeting continues as necessary		
14.30	Adjourn - Transport to hotels			

Thursday 16th October		
Visit to JRC Ispra		
	Coach collects delegates at hotel. Collection time will be confirmed on Wednesday	
am	Presentation on next visit	
	Visit to the waste management area (TAG projects and in particular the management of the liquid waste)	
Lunch Break		
pm	Presentation on next visit	
	Visit to the dismantled FARO fuel melting facility	
16.45	Coach for return to hotels	

Friday 17th October		
	Coach collects delegates at hotel. Collection time will be confirmed on Wednesday	
	Visit to the ESSOR research reactor in which pre-decommissioning activities are taking place.	
Lunch Break		
	Delegates will be transported to the airports/station as required	
14.00	Coach for return to hotels (for those staying until Saturday	

表三、第 57 屆 TAG 會議燃料循環設施除役簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) WAK	Joachim Dux / Karlsruhe/German
2) Uranium Refining/Conversion Facility	Noritake SUGITSUE/JAEA/Japan
3) Reprocessing Facility	Ryuji Mimura/ JAEA/Japan
4) ITREC U-Th reprocessing plant	Giuseppe Pastore /SOGIN/Italy
5) Ispra	Francesco Basile /EC JRC/Italy
6) Eurochemic	Bart Ooms/ Belgoprocess/ Belgium
7) B204 &B243	Steve Slater / Sellafield/England

表四、第 57 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Whiteshell	Brian Wilcox /AECL /Canada
2) WAGR	Steve Slater /Sellafield/England
3) TRR	Hornng-Bin Chen/INER/Taiwan
4) Studsvick R2/R2-0 Reactor	Robert Hedvall/SVAFO /Sweden
5) KRR 1&2	Jeikwon Moon/KARI/South Korea
6) KNK	Monotori Nakagami/Chubu/Japan
7) JOSÉ CABRERA NPP	Manuel Ondaro/ ENRISA/Spain
8) Fugen NPP	Koichi Kitamura/JAEA/Japan
9) Chinsan NPP	Yu Ting/TPC/Taiwan
10) Brunsbuttel	Hermann Langer/Vallenfall/Germany
11) Bohunice V1 NPP	Martin Macasek & Eva Hrasnova /javys /Slovenia
12) Bohunice A1 NPP	Roman Strazovec /javys /Slovenia
13) Barseback	Hakan Lorentz/Barseback/Sweden

表五、第 57 屆 TAG 會議核設施除役場地復原及除役物資再利用工作小組簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Task Group on Nuclear Site Restoration – Progress report	Terry Benest /CPD TAG Programme Coordinator
2) Task Group on Recycling and reuse of materials	Bart Ooms/ Belgoprocess/ Belgium

表六、第 57 屆 TAG 會議國家報告簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Proposal for Information Exchange on Radiation Protection Aspects of Decommissioning Activities “the ISOE view”)	Joint ISOE/CDP Working Group

表七、第 57 屆 TAG 會議專題簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Virtual Reality Technologies - Ways to Verify Dismantling Operation	Jean-Guy Nokhamzon/ CEA/France
2) Dose Management and ALARA in Decommissioning	Bart Ooms/Belgoprocess/Belgium
3) Dismantling of core components at Forsmark 2 – case study – dose planning and output	Claes Johansson/SKB/Sweden
4) ALARA Work Planning and Dose Management for WL Decommissioning Project	Brian Wilcox/AECL/Canada
5) Approach for Dose Management and ALARA Principle at WAK	Joachim Dux / Karlsruhe/German
6) JOSÉ CABRERA NPP D&D ALARA Principle and Application	Manuel Ondaro/ ENRESA/ Spain
7) Dose Management in V1 NPP Decommissioning	Ján Kaizer & Martin Macášek/javys/ Slovakia

表八、第 57 屆 TAG 會議核設施除役現場參訪簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Retrieval and Safe storage of ILLW	Francesco/EC JRC /Italy

(二) TAG 會員組成之專家小組工作狀況

長期於 TAG 中，由 TAG 會員組成專家工作小組，就特定除役相關技術擬定議題，研議、撰寫、發行技術報告。作業方式為 TAG 會議中討論研擬議題目標，再由會員組成專家工作小組，各會員專家分配工作，定期經由視訊會議及會面討論工作進度，最後完稿之技術報告，先經由 TAG 會員審查，再經由 CPD 管理會議通過，送 NEA 正式發行。此專案小組彙整撰寫之技術報告內容以除役實務經驗收集、分析，及經驗回饋為主，而非理論性質，對實際除役工作極具參考價值。

目前 TAG 專家工作小組有兩件工作中之議題，一為「除役核設施廠地復原 (Nuclear Site Restoration) 的技術狀況及實施狀況」；二為「除役物資再利用 (Recycling and Reuse of Materials)」。

第一項議題，專家小組於 2011 年 10 月獲得 CPD 管理會議決議通過成立。工作小組成員由比利時、加拿大、法國、德國、義大利、日本、韓國、美國、及英國等專家組成。於 2012 年 2 月舉行 Kick-off 會議，會議決定小組工作從 2012 年 3 月開始。本工作小組的任務為經由 OECD 會員國家在核設施除役後廠地復原的案例，以問答方式，並經過分析，組成工作報告以供會員參考。工作小組之主持人為 Dr. Peter Orr (peter.orr@environment-agency.gov.uk)。本工作小組已完成報告之彙整，並於 2014 年初出版 NEA 報告，名稱為 "Nuclear Site Remediation and Restoration during Decommissioning of Nuclear Installations"。

第二項議題之需求，始議於 TAG55 會議。並於 2013 年 11 月 CPD 管理會議中獲得同意，以 "再利用" 為訴求，研議技術報告。TAG56 會議中，決定以「除役物資再利用 (Recycling and Reuse of Materials)」為報告名稱，並選出比利時 Belgoprocess 之 Bart Ooms 為專家小組主席，參與之專家來自包括比利時 SCK-CEN 及 Belgoprocess，法國 EDF、AREVA、ANDRA、及 CEA，義大利 SOGIN，日本 JAEA，瑞典 SKB，西班牙 ENRESA，美國 DOE，及德國派駐 NEA 之專家。第一次視訊會議已於 2014

年 9 月舉行，以確定本工作報告之主題、範圍、及內容章節名稱。後續將開始收集會員提供資料彙整。

(三) TAG 知識管理

目前 TAG 已經累積 55 次會議的資料，形式包括早期的紙本報告及簡報電子檔。資料之累積不易，需要考量較安全的貯存方法，並構思如何提供查詢功能以活用資訊。在 OECD/NEA 網站上的 TAG database 只保存了部分摘要資訊，且無查詢功能。因此於 CPD 管理會議討論決議，應該開始規劃如何整理 TAG 累積的大量資訊。

TAG 會員討論此議題，結果初步認定資訊管理為專業問題，由 TAG 會員規劃無法滿足需求，將於 CPD MB 會議提議委外請專家規劃。

(四) ISOE 提議與 CPD/TAG 合作建立”核設施除役行為輻射防護資訊交流”

OECD/NEA於1992年成立ISOE (Information System on Occupational Exposure)計畫。目的是經由長期收集、分析人員劑量資料，並從設施運轉及管制各方面專家的資訊交流，結合數據分析及經驗回饋，改善核能電廠之人員輻射防護管理。從1993年開始，IAEA(International Atomic Energy Agency)經費贊助ISOE計畫，並允許非NEA會員國加入計畫。到2014年9月，ISOE計畫成員包括29個國家的76個核設施以及18個國家的20個管制單位。

ISOE計畫經由彙整提供會員之資訊及活動包括：

1. ISOE 職業暴露資料庫：為世界最大之核能電廠人員職業暴露資料庫，資料來自29個國家471個核能機組的人員輻射劑量數據。
2. ISOE 網際網路：提供計畫會員資訊交流平台。
3. ISOE 技術中心：提供會員解決問題及技術經驗交流互訪之溝通平台。
4. ISOE舉辦國際研討會：針對輻防管理、ALARA 技術等，定時舉辦國際技術研討會。
5. ISOE 刊物，包括：
 - (1) Annual reports on occupational exposure trends
 - (2) Work Management to Optimise Occupational Radiation Protection in the Nuclear Power Industry (2009).

(3) ISOE newsletters

(4) ISOE technical information sheets

6. 運轉中事故及事故後復原輻射防護專家群(Expert Group on Occupational Radiation Protection in Severe Accident Management and Post-Accident Recovery , EG-SAM)

此次TAG57會議，ISOE計畫人員Dr Jahn與會簡報，提議與CPD計畫合作，建立國際核設施除役人員劑量資訊。簡報內容包括計畫目的、執行時程、資訊交流內容、合作產出規劃、徵求志願者等。簡報後會員熱烈討論，CPD會員多數反應尚無法確認此合作對CPD會員的實際益處。ISOE計畫人員Dr Jahn意表達，從討論中，了解到除役作業實際狀況複雜，人員劑量數據須與實際狀況配合方能顯現意義。ISOE此提議未能獲得TAG會員同意，TAG會議決議，未來TAG會議繼續邀請ISOE人員與會討論，並規劃TAG會員派員參與ISOE技術討論會，說明除役作業人員保護措施。亦有TAG會員表達，此類合作較適合於WPDD執行而非TAG。TAG會議主席將於11月CPD管理會議討論此議題。

(五) 新計畫申請加入 CPD

目前聯繫申請加入CPD之計畫有三項，1.丹麥Riso National Laboratory除役計畫，2.英國Sellafield公司之Active Demonstrators計畫，3.俄羅斯的Bochvar Institute (JSC VNIINM)。

第一、二項申請，會議決議直接到CPD管理會議討論，第三項則決議將邀請Bochvar Institute 先到TAG58簡報討論。

(六) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論

會議中討論未來TAG58、TAG59、TAG60會議的主辦國，討論後決議：

1. TAG58：2015年5月，德國，AVR 為主辦單位
2. TAG59：2015年10月，斯洛伐克，Bohunice 為主辦單位
3. TAG60：2016年5月，聯繫比利時，期望由 Belgoprocess 為主辦單位

三、心得

本節彙整 TAG-57 會議各國除役計畫、工作小組和主題討論等所提出之簡報，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目前及將來可以效法之部分所獲得之心得，包括西班牙 ENRESA 公司執行之 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役之整體狀況及最新進度；以及法國 CEA 發展虛擬實境(VR)技術，應用於核設施拆解模擬；日本 FUGEN 電廠重水系統拆除以及氬移除技術；南韓國家處置場發展現況等。彙整說明如下。

(一) 西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役

為接續說明西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役現況，本報告保留 TAG55 報告中部份 JOSÉ CABRERA 核能電廠的背景資料，以維持資訊完整性，並增加目前 (TAG57) 執行進度，說明如下。

西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠（如圖一）建於 1963 年，2006 年停止運轉。決策為立即除役，除役目標為無限制使用之綠地。為西班牙第一個決策為立即除役之核反應器，同時為西班牙第一個商用核能電廠除役，亦為西班牙第一個用過燃料乾式暫貯案例。於 2006-2010 年進行用過燃料移除及系統除污。從 2011 開始進行除役，預計 7 年完成除役。此除役計畫規劃的特色，包括全程計畫規劃為 7 年，是否能如期完成除役；以及將約 10 萬噸廢棄物定義為傳統廢棄物，是否引發社會質疑之問題，均具挑戰性。另一特色為，JOSÉ CABRERA NPP 除役，由西班牙國營企業的 ENRESA 公司負責執行，除役期間 JOSÉ CABRERA NPP 產權轉移給 ENRESA 公司。



圖一、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠

JOSÉ CABRERA NPP反應器為單迴路PWR，熱功率510 MWth。電廠系統基本資料如下：

Type:	Westinghouse - 1-Loop PWR
Net Electrical Power:	160 MWe
Net Thermal Power:	510 MWth
Fuel Elements:	69 – 14x14
Fuel Type:	UO ₂ – enrichment 3,6% (U-235)
Mass UO ₂ (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

用過燃料已經完成乾式暫貯（ISFSI）。約175噸用過燃料，包裝於12座乾式貯存容器，暫貯於電廠內。計畫規畫以5個階段完成除役，第一段主要進行除役盤點及完成用過燃料暫貯，第二段為拆除規劃及準備階段，第三階段拆除主要設備，第

四階段移除附屬設備及建物拆除，第五階段執行環境復育。

此計畫目前進度，爐內組件已經拆除，其他需要拆解的主要設備（如圖二）包括主冷卻水泵、壓力槽、蒸汽產生器、RPV等。到2014年9月，主冷卻水泵及壓力槽已經拆解完畢，目前持續蒸汽產生器及RPV的拆解切割。

1.- Main Coolant Pump (2013-2014)

Preparatory Activities (100%)
 Remove of Engine (100%)
 Intermediate Leg Cuttings (100%)
 Cutting of pump (100%)

2.- Pressurizer (2013)

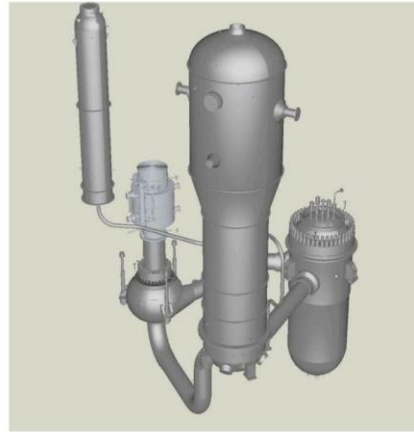
Preparatory Activities (100%)
 Cuttings (100%)

3.- Steam Generator (2013-2015)

Scaffolding (100%)
 Remove of lagging (100%)
 Preparatory Activities (100%)
 Cuttings (70 %)

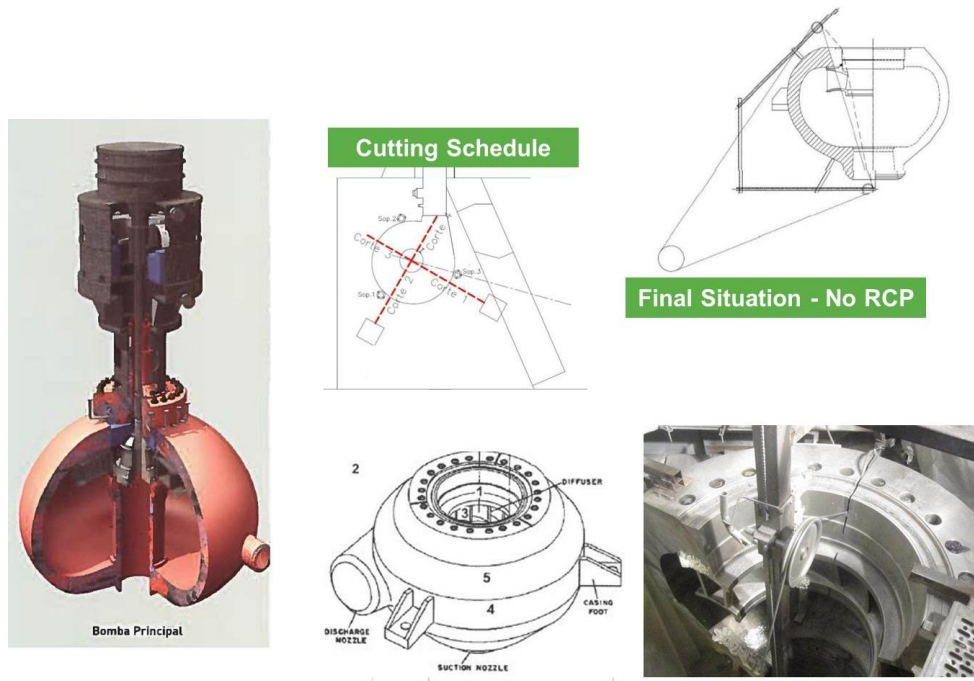
4.- RPV (2013-2015)

Kick-off Meeting (May-2013)
 Preparatory Activities (100%)
 Cuttings (10 %)



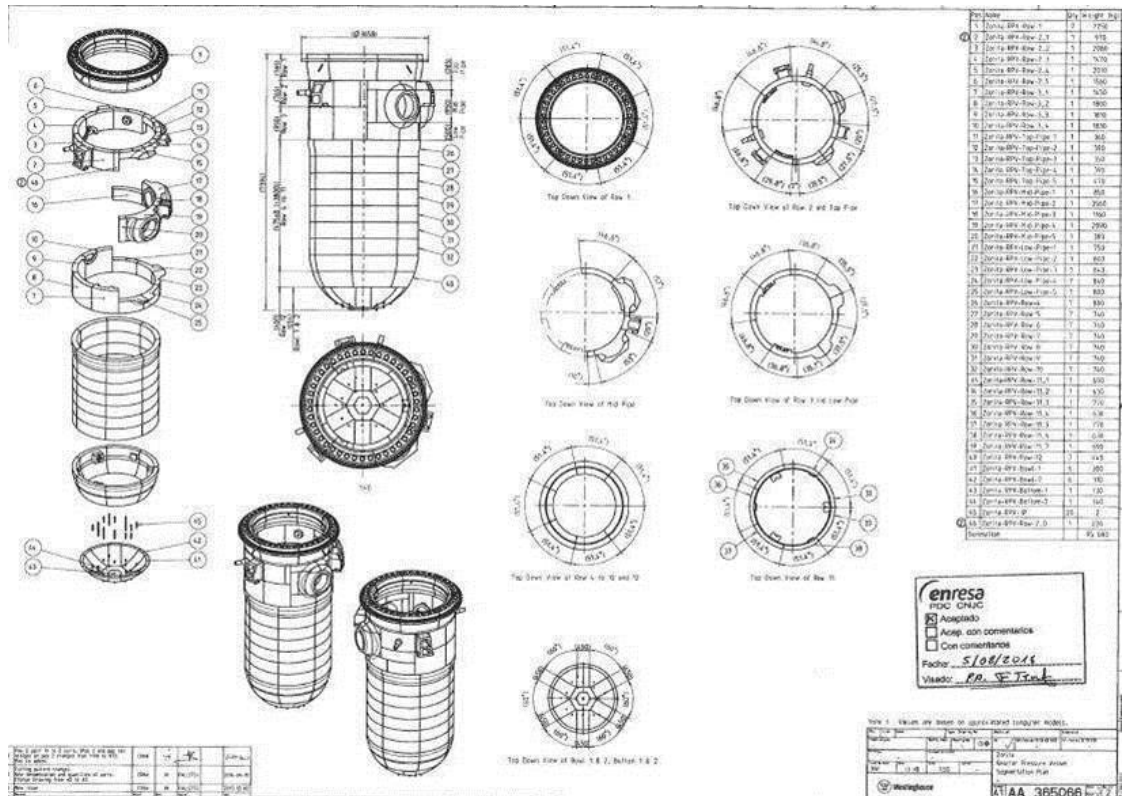
圖二、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠主要設備拆除進度

主冷卻水泵主要使用鑽石索鋸切割成四塊。拆解規劃及切割情形如圖三。後續將切割分解成88塊裝桶。



圖三、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠主冷卻水泵切割拆解

此計畫今年最主要的工作是RPV的切割拆解。基本程序為先於爐穴大塊切割，再吊運入切割水池細部切割並包裝，如圖四至圖十。切割塊件均於事前詳細模擬，包括切割線、切割工具、吊運、切割輔助工具、裝箱等。



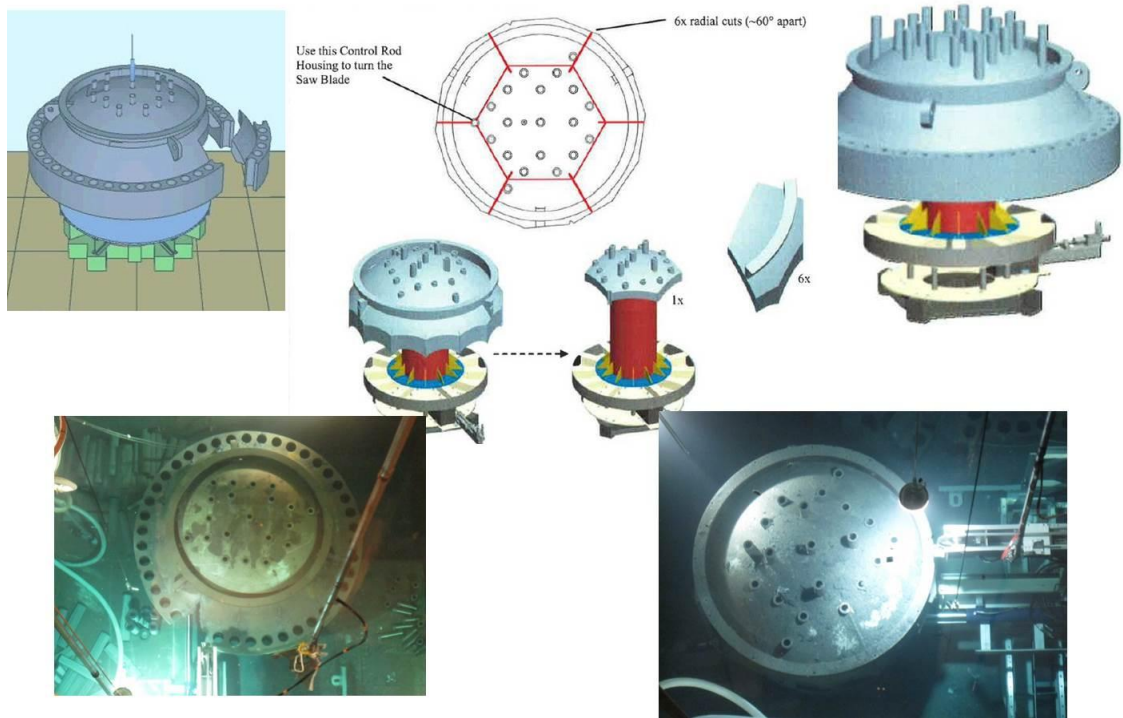
圖四、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(一)



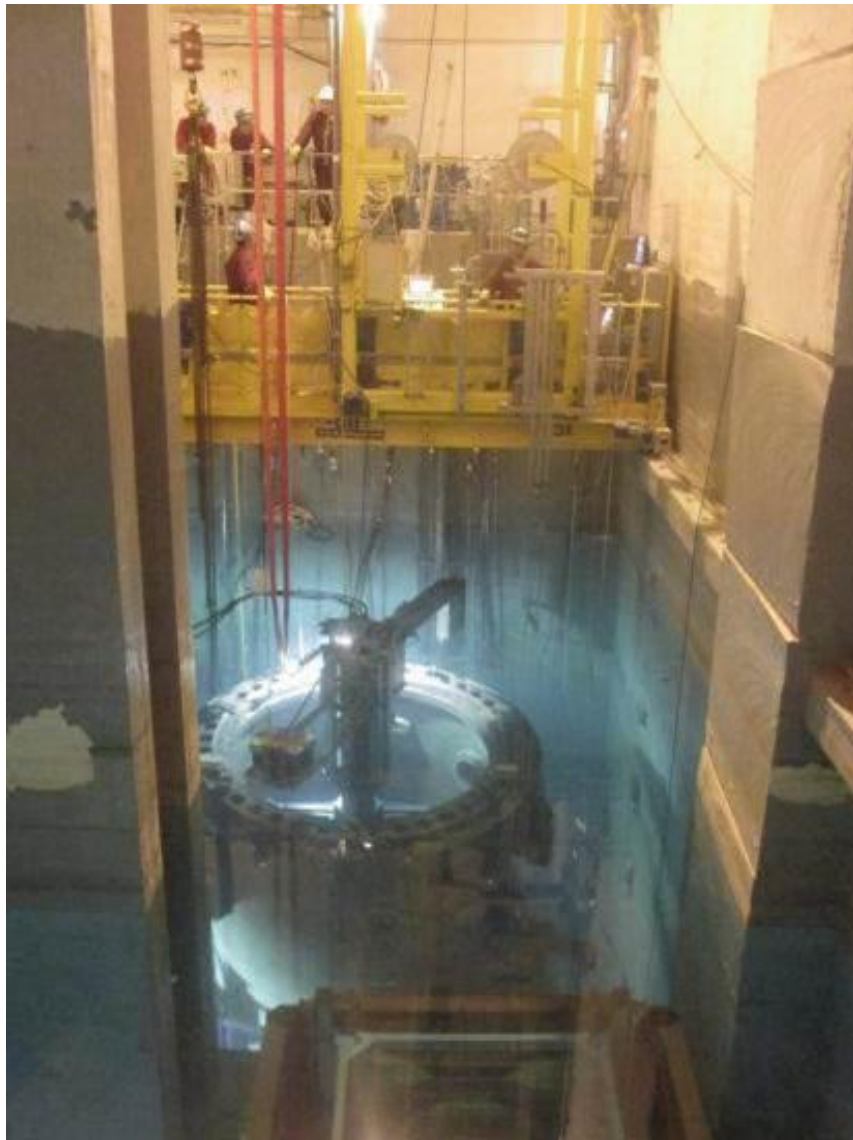
圖五、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(二)



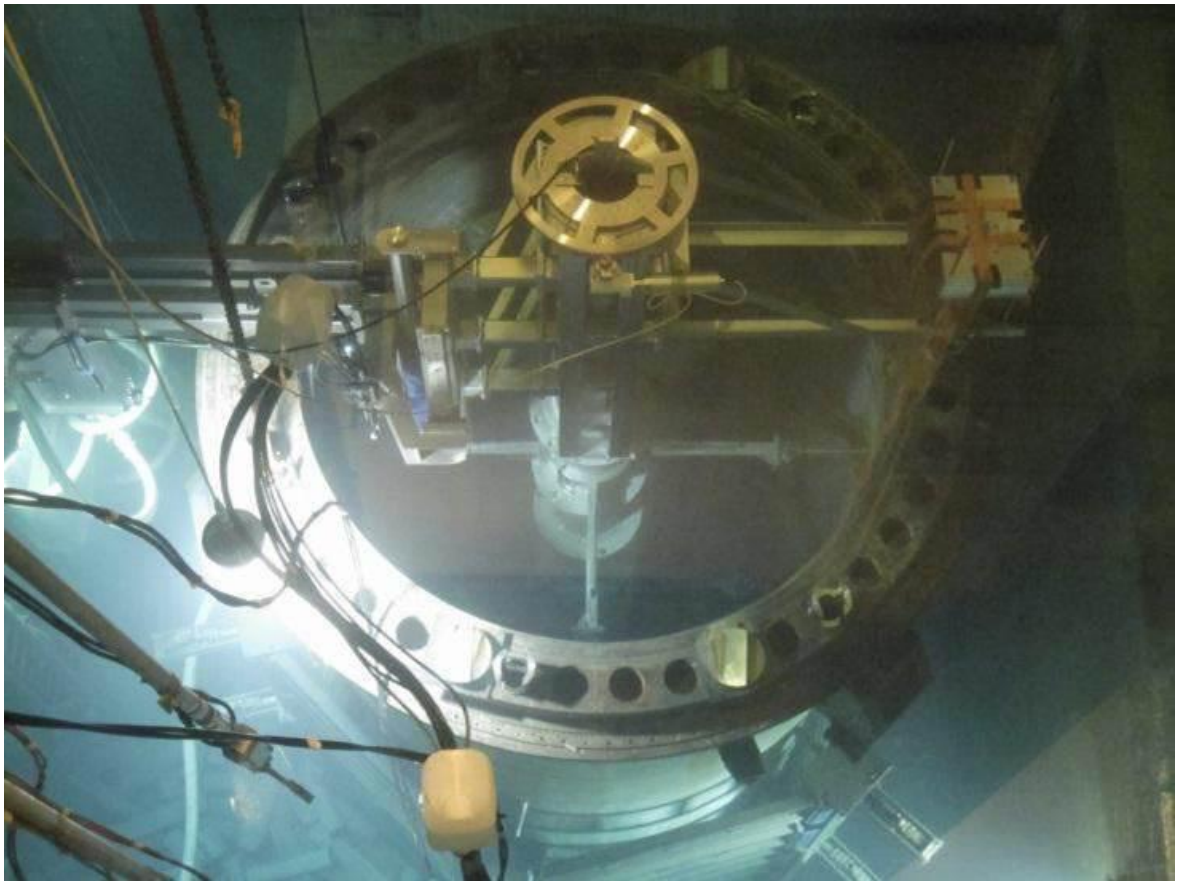
圖六、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(三)



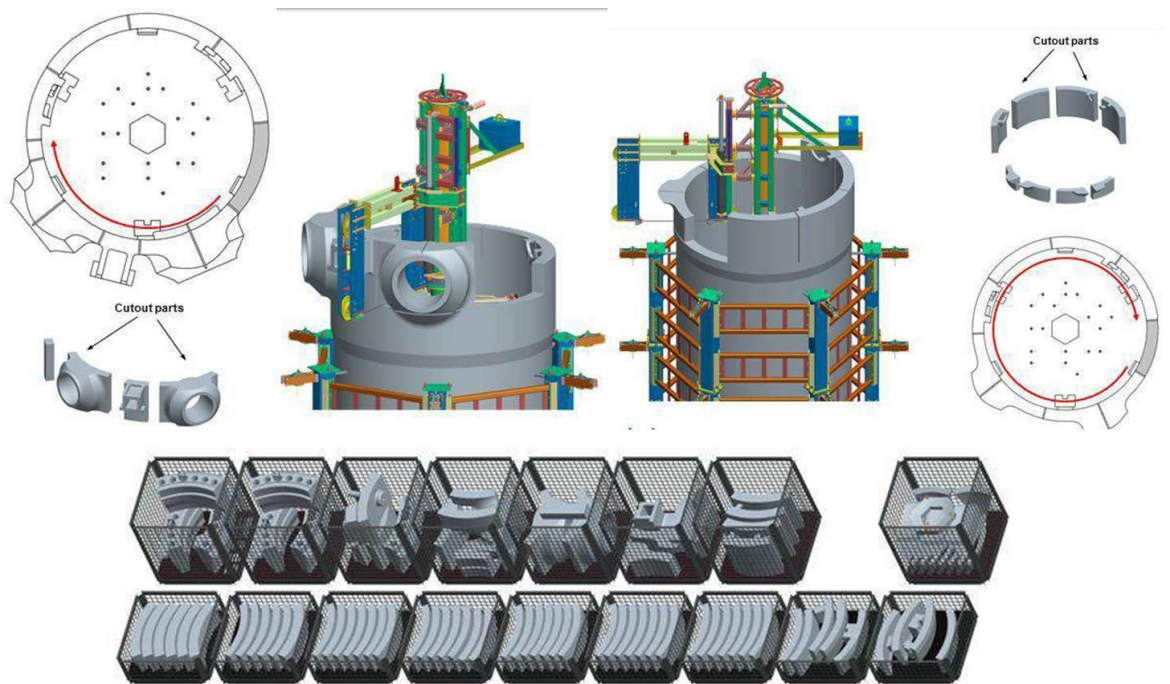
圖七、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(四)



圖八、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(五)

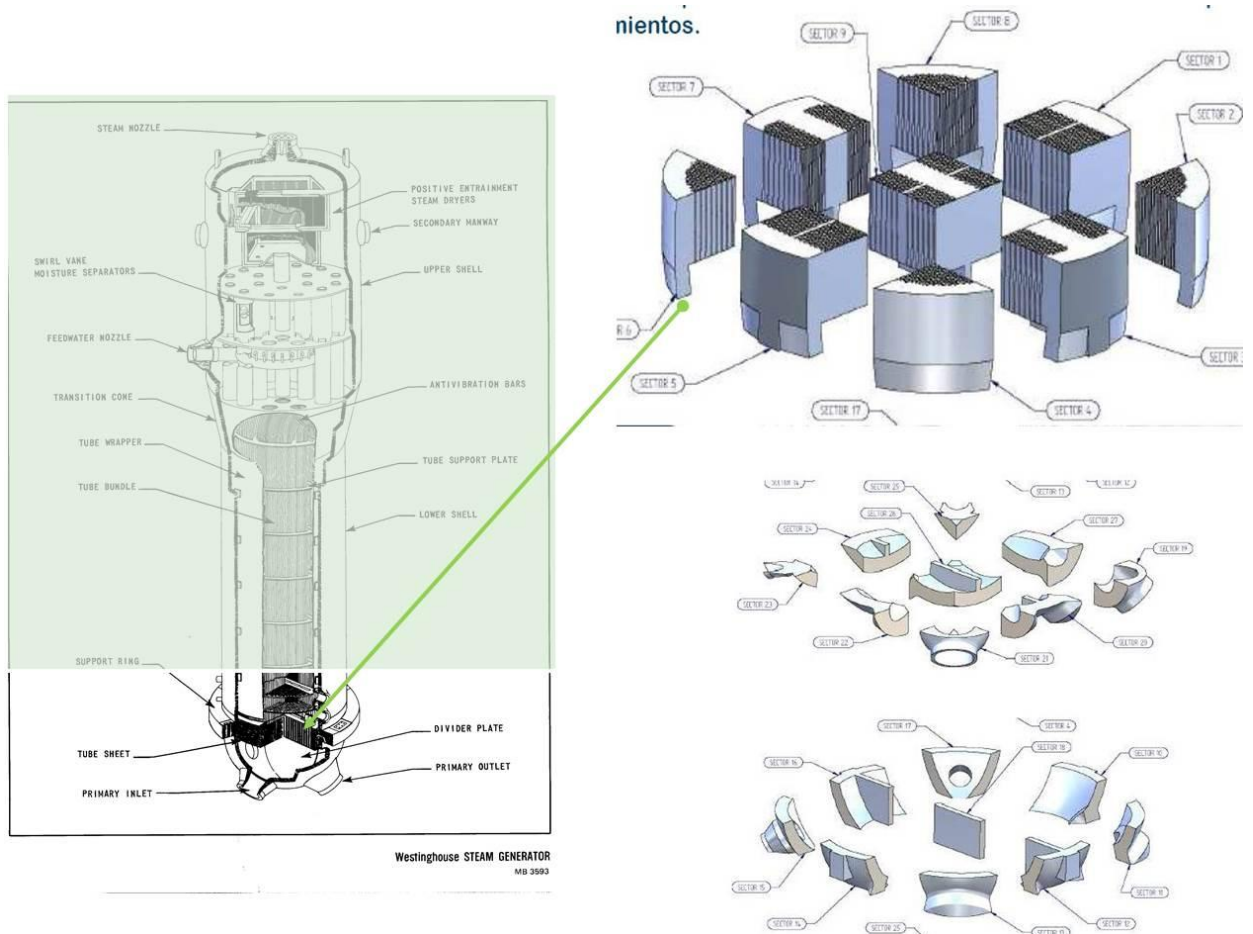


圖九、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(六)



圖十、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠 RPV 切割拆解(七)

蒸氣產生器主要部分已經完成拆解。切割工具為鑽石索鋸。部分結構切割時其結構完整性不易維持，解決方法為先灌入混凝土，再進行切割拆解。後續剩下最下端部分的切割規劃如下圖十一。



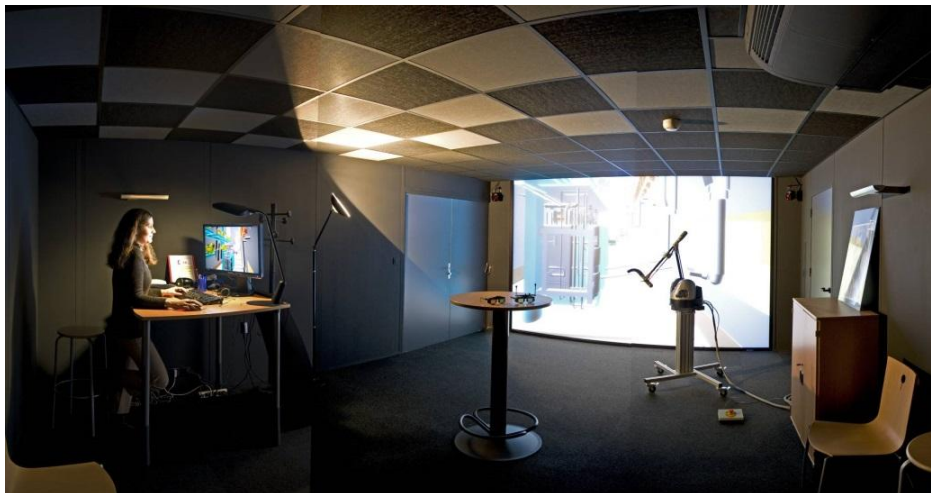
圖十一、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠蒸汽產生器切割

(二) 法國原子能與可替代能源委員會發展使用虛擬實境技術來驗證拆解作業 (Virtureality Technics – Way to verify dismantling operation)

法國原子能與可替代能源委員會(CEA, French Atomic and Alternative Energies Commission)正在執行一項研發計畫，是對除役項目提供一種創新的模擬工具，將各種軟體與硬體透過虛擬實境技術，讓使用者能與電腦模擬環境互動，而這樣的環境是真實世界與虛擬世界的模擬。虛擬實境絕大多數是透過視覺沉浸與電腦螢幕或立體顯示器來實現，當然也可包括一些附加的感覺訊息，如聲音或觸覺。

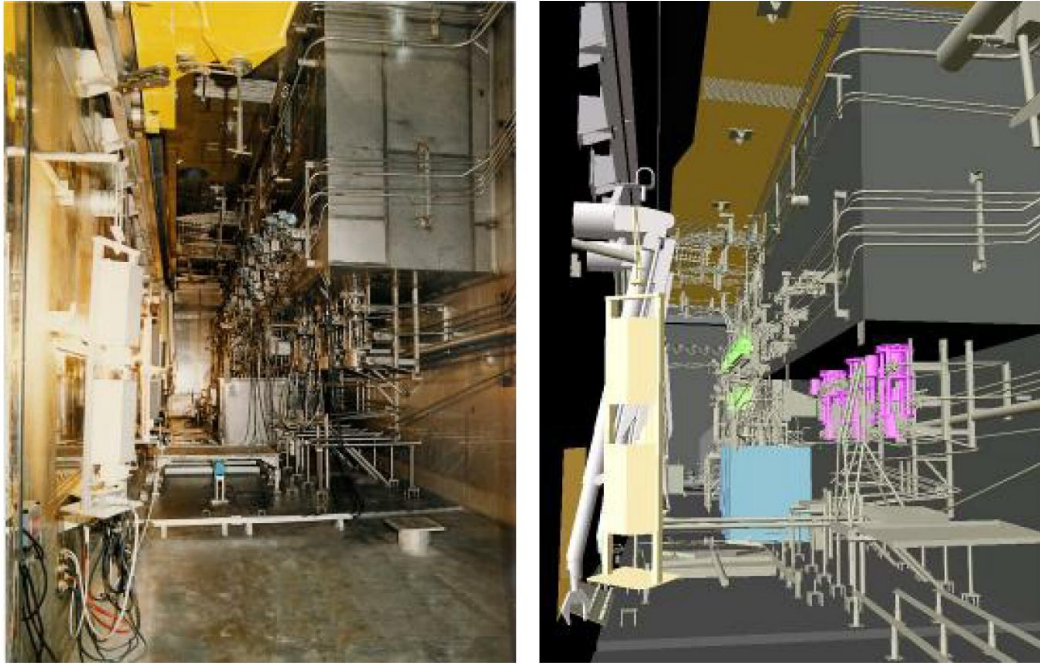
法國CEA的目標是開發不同的方法與技術來改善除役方案，在虛擬實境與模擬的工作中，有4個主要的項目，分別是為 1.拆解項目提供技術援助、2.介入方案模擬軟

體的開發與產業化、3.在虛擬實境中進行輔助示範、4.設計新的平台以驗證介入方案，並培訓工作人員。因此，法國CEA為了除役過程中之機具使用和拆解工法模擬，建置了一套MOCAP虛擬實境系統，如圖十二所示。



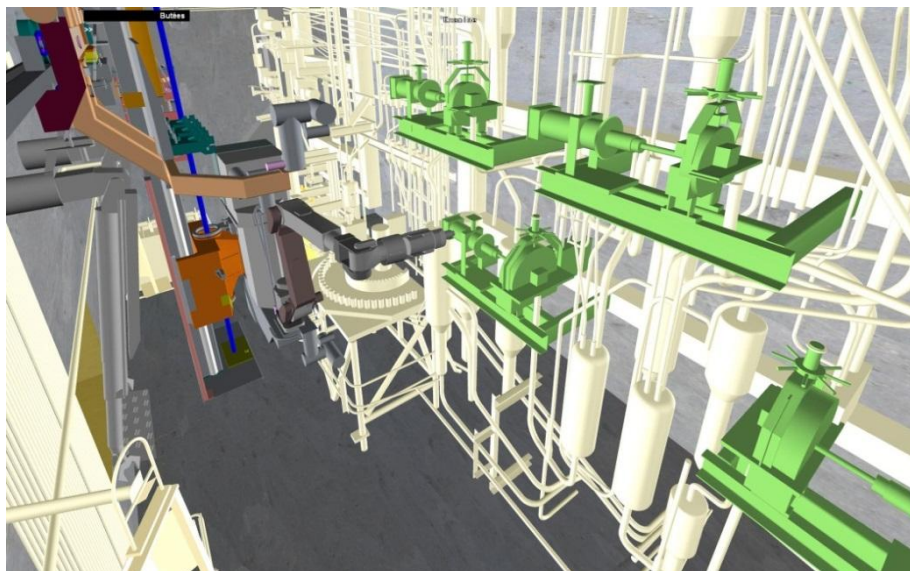
圖十二、MOCAP 虛擬實境系統

APM設施是MOCAP虛擬實境系統的第一個應用，APM設施是回收用過燃料的一個設施，它於1997年關閉，目前正在清理與拆解中。414號房間是一個化學處理室，被用來溶解用過核子燃料，其內部是相當複雜的，有5公里長的管路要切割，18噸的廢棄物要移除。414號房間是APM設施760房間中的其中一間，也是30個非常高放射性房間中的其中一間，若採用手動拆解是不安全的，因此，須利用虛擬實境來模擬拆解作業情形，這也是虛擬實境應用到拆解作業的真正考驗，圖十三為APM設施414號房間的真實場景與虛擬3D場景。



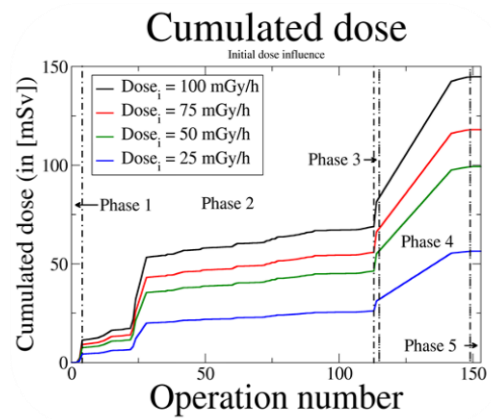
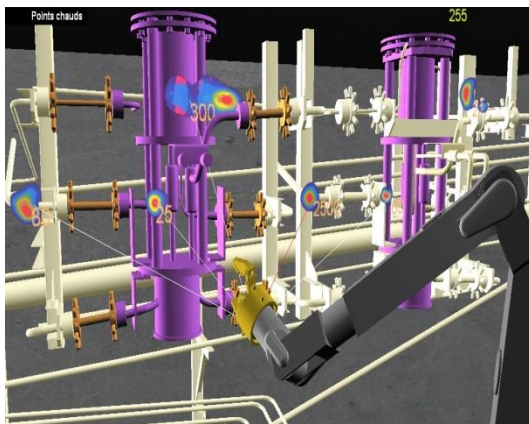
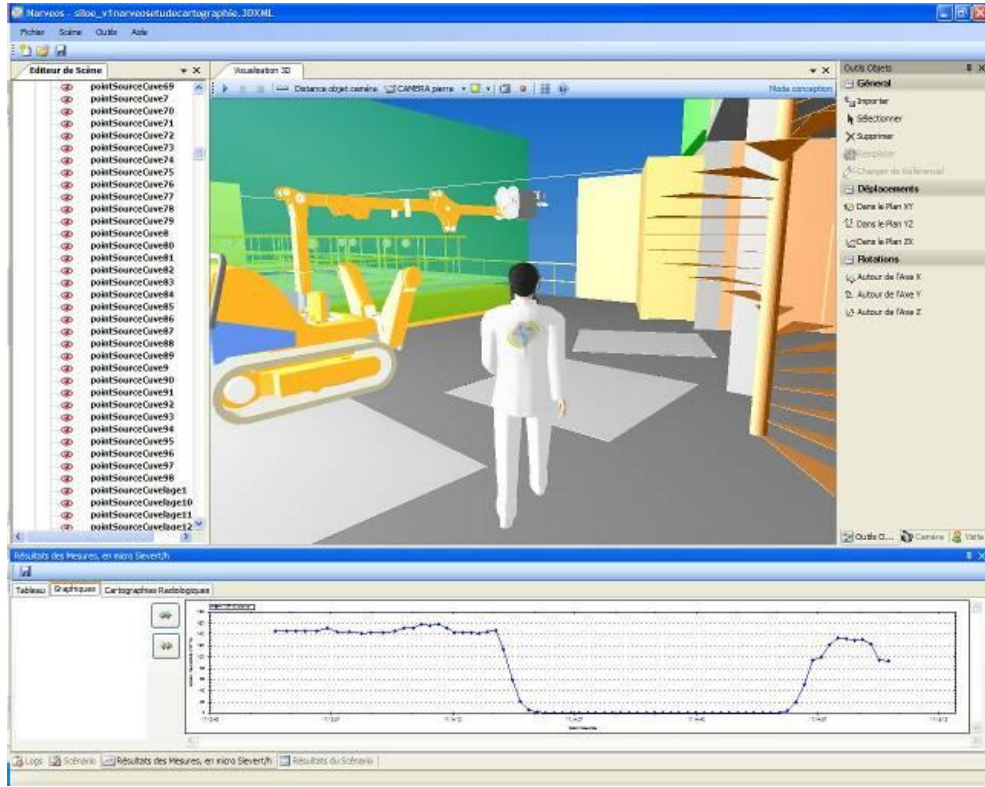
圖十三、APM 設施 414 號房間：(左) 真實場景，(右) 虛擬 3D 場景

圖十四為APM設施414號房間之管路拆解模擬，由虛擬3D場景可清楚地了解414號房間內部管路設備的分布情形，也可判斷通道的空間是否適合拆解機具通過，因此，透過MOCAP虛擬實境系統可用來尋找適合的拆解工法，並訓練工作人員對操作拆解機具的熟練度，以達到安全且快速地完成拆解程序之操作。



圖十四、APM 設施 414 號房間之管路拆解模擬

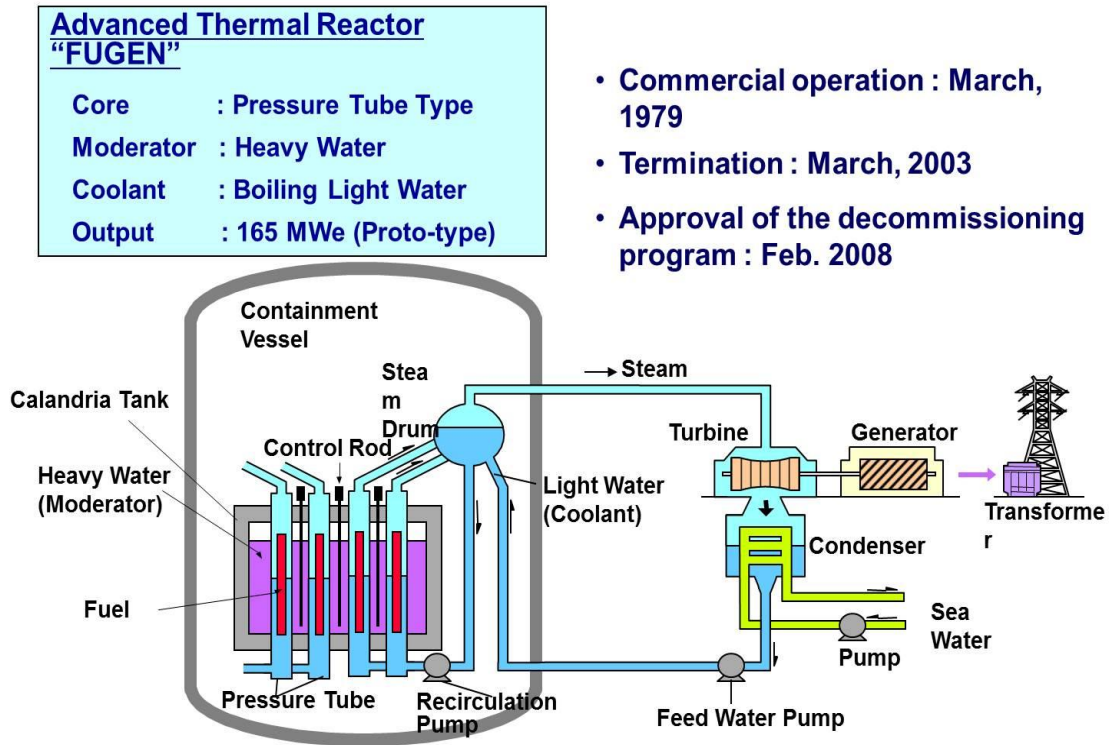
CEA開發一套輻射環境模擬軟體NARVEOS，如圖十五所示，希望透過模擬來準備在放射性環境限制下的干預任務，它的創新包括依據放射性的數據資料，結合虛擬實境技術與劑量率評估，這結果決定在放射性的數據資料上，使用者可即時地改變虛擬場景。



圖十五、使用 NARVEOS 軟體模擬不同任務下之人員累計劑量

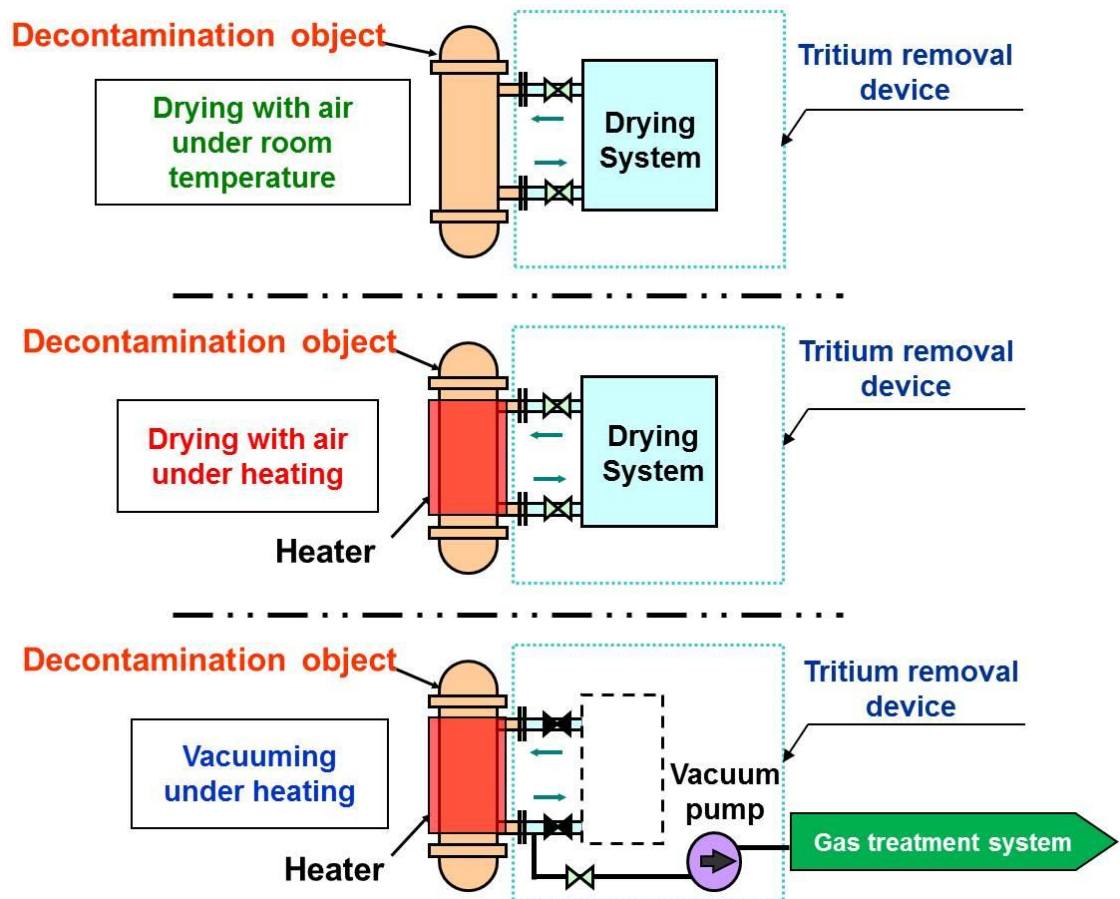
(三) 日本 FUGEN 核能電廠重水系統拆除

日本FUGEN核能電廠除役，目前重要的工作之一是重水系統的拆除，系統中重水作用為緩速劑，如圖十六。到2013年已經洩出、並運走系統中重水273m³。



圖十六、日本 FUGEN 電廠重水系統

重水卸除後，系統組件必須執行氣移除作業。移除系統中包括管線、統槽等設備中的氣，基本方法為空氣冷凝。系統中可以評估選擇導入室溫乾燥空氣、或加熱之乾燥空氣、或不導入空氣，直接加熱抽真空。如圖十七。



圖十七、系統除氚方法

目前實驗結果將先行使用第三種方法，直接抽真空。其系統尚未拆解，管線仍能維持密閉，此法仍為可行。

(四) 南韓最終處置場規畫

南韓於2005年達到共識，由慶州市獲選為中低放射性廢棄物處置場，位於慶州市東南方約28公里新月城核能電廠附近，命名為月城中低放射性廢棄物處置中心（Wolsong-Low and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Center）。如圖十八所示，此場址涵蓋之區域在大於海平面高度30公尺處，整個場址面積約長1.1公里，寬1.8公里，面積約2平方公里。處置中心位於南韓半島東南海岸，在慶州大都會區內，距市政廳東南方26.5公里處，北邊為國家公園，南邊為月城核能電廠。

在選址過程中，韓電和南韓政府曾研擬了淺層處置與岩穴處置兩種處置場設計形式，於2007年4月才確定採用位於地底80~130公尺之花崗岩床深處的岩穴（rock cavern）處置設計。



圖十八、南韓慶州市獲選為中低放射性廢棄物處置場

月城中低放射性廢棄物處置中心分為兩期進行建造，如圖十九所示，在獲得主管機關的興建及營運許可後，第一期建造即開始，進行開挖入口隧道，預計於2014年6月全部完工，包括相關的輔助設施：廢棄物接收檢驗及暫存中心、接收港口設施、運輸船隻、行政大樓及展示中心等。而第二階段建造預計在2016年開始。



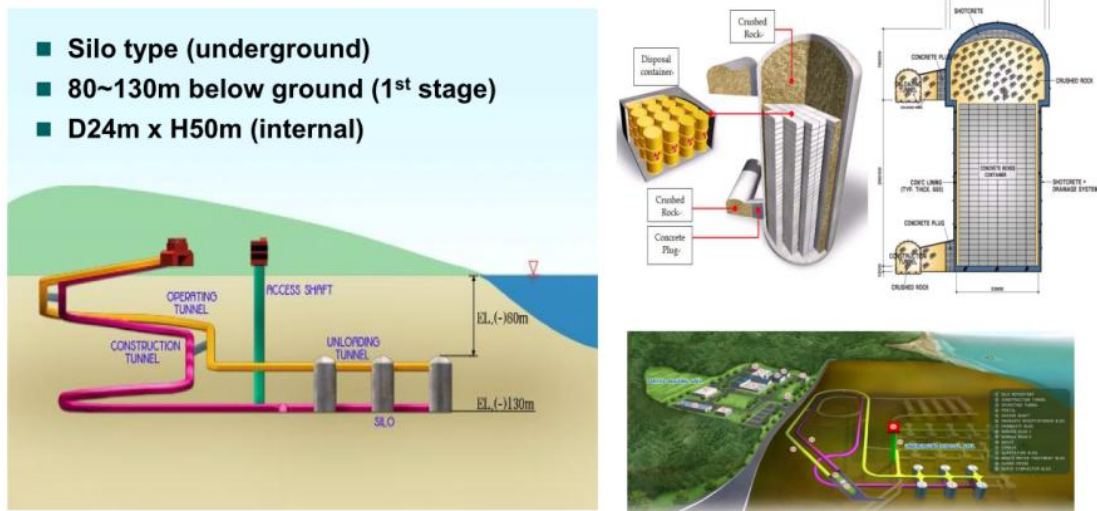
圖十九、中低放射性廢棄物處置場隧道挖掘

南韓中低放射性廢棄物處置場全貌如圖二十所示，分為地面設施、地下設施、環境友善園區及處置場。處置場之佈置分為管制區與非管制區。管制區原則不開放參觀，規劃設置有辦公大樓、運轉大樓、輻防管制站、保安管制站、氣象中心、地下筒倉營運區、廢水處理站等設施。非管制區設置有遊客中心、展覽室、休憩區、觀景台、景觀公園等設施，全區以親環境的生態園區方式規劃。

放射性廢棄物將在2015年開始被運到月城中低放射性廢棄物處置中心，處置費用：約10,000美元/桶。



圖二十、中低放射性廢棄物處置場佈置圖



圖二十一、中低放射性廢棄物處置方式

處置場第一期容量為10萬桶中低放射性廢棄物，其後逐漸擴充至最高容量80萬桶。如圖二十一所示，10萬桶廢棄物將放入6個鋼筋混凝土筒倉(silo，高(H)：50 m、直徑(D)：24 m)，約可容納約16700桶廢棄物。每一筒倉之工程障壁包含廢棄物包件、處置容器及混凝土筒倉，筒倉裝滿廢棄物桶後以土石回填剩餘空間。預計處置場最高容量時將有5個岩穴及42個筒倉。

韓國的中低放射性廢棄物主要來自於商業運轉的核能電廠、研究機構、核子燃料製造工廠及醫、農、工業的用過放射性同位素。從運輸港口至處置場約 3.7公里，運輸時以專用之運輸船隻及專用之運輸貨櫃運送，一只運輸貨櫃可裝載 8 桶，設施耐震設計可達 6.5 級，如圖二十二所示。



圖二十二、中低放射性廢棄物運輸船(HANJIN)

四、建議事項

- (一) 目前 CPD/TAG 會議是取得國際核設施除役資訊的有效平台。今年仍有三項新計畫申請加入。大型商用核能電廠除役計畫的陸續加入，提高 CPD/TAG 會議資料參考應用性。國內應持續參加 CPD/TAG 會議，以取得國際核設施除役最新的資訊。
- (二) 水下遙控切割技術為核設施除役、延役、功率提升等作業均需要的核心技術，目前較具競爭力的技術包括水刀及機械切割技術。國內應注意其技術發展趨勢，並於國內建立基本應用能力。
- (三) 使用電腦數值運算為工具，提供視覺輔助的模擬技術，已普遍使用於各式核能設施除役工作。以電腦 3D 視覺模擬來提升實體 Mock-up 效率，已形成技術應用趨勢。國內應建立基本技術應用能力。
- (四) 西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役，爐內組件已經拆解完成，目前進行至 RPV 拆解切割。其水下切割的方法為目前逐漸形成國際標準的機械切割法。此時加強與負責 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役工作的 ENRESA 公司技術交流，有助於國內即將面對核能電廠除役的規劃準備。