

出國報告（出國類別：國際會議）

出席核設施除役合作計畫(CPD)第 65 屆技術諮詢組(TAG)會議及法國核能協會舉辦 國際核能除役研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：賴文煌 副廠長

丁 宇 組長

派赴國家：德國、法國

出國期間：107 年 10 月 13 日至 10 月 26 日

報告日期：107 年 12 月 14 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：出席核設施除役合作計畫(CPD)第 65 屆技術諮詢組(TAG)會議及
法國核能協會舉辦國際核能除役研討會

頁數 42 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

賴文煌/台灣電力公司/核一廠/副廠長/(02)2638-3501 轉 3001

丁 宇/台灣電力公司/核後端處/組長/(02)2365-7210 轉 2269

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他：國際會議

出國期間：107 年 10 月 13 日至 10 月 26 日 出國地區：德國、法國

報告日期：107 年 12 月 14 日

分類號/目

關鍵詞：核設施除役

內容摘要：(二百至三百字)

TAG-65 會議於 2018 年 10 月 15 至 19 日於德國舉行，由德國 EWN(Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH)集團的 KTE(Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH) 公司主辦，合計共有 11 國及歐盟共同研發中心參加，包括 22 個除役計畫超過 30 位專家與會。會議研討內容包括各會員計畫除役執行現況、進度及技術發展及應用之簡報、工作小組報告和 CPD 會務執行情形等。本屆會議共計收集核反應器除役簡報 11 篇，核燃料循環設施除役簡報 9 篇，專題報告 3 篇，及 KTE 設施現場討論簡報 4 篇，共 27 份簡報資料。10 月 18 日參訪 KTE 公司位於 Forschungszentrum Karlsruhe 的 WAK(Karlsruhe Reprocessing Plant, WAK)核設施，10 月 19 日參訪 KTE 公司的放射性廢棄物管理部門(Waste Management Department)，並於除役現場技術討論。

DEM 2018 國際核能除役研討會於 2018 年 10 月 22 至 24 日於法國舉行，係由法國核能協會(SFEN)主辦的一個可獲得全球核能後端領域技術發展及實務經驗資訊的技術研討會，包含超過 100 場的專題簡報，彙集成 11 個主題，包括有：法規演進(Regulation Evolution)、拆解策略與計畫發展、新的除污與拆解技術開發、輻射特性調查、除役計畫經驗回饋、放射性物質與廢棄物管理、建築物 and 場址復原、拆解作業的財務問題、民眾接受度與利害關係者參與、數位化對於拆解作業的貢獻、福島電廠事故的回饋與執行作業現況等。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

一、目的	1
二、過程	3
(一)出國行程	3
(二) CPD/TAG 65 會議內容	4
(三) DEM2018 會議內容	13
三、心得	27
(一) TAG 65 及 DEM2018 會議心得	27
(二) 德國 KTE 核設施參訪心得	29
(三) 德國核設施除役現況	35
(四) 法國核設施除役現況	37
四、建議事項	41
五、附件	42
(一)台電公司金山核電廠除役計畫辦理現況簡報	42

一、目的

本次出國任務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65屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，及參加法國核能協會SFEN(Société Française d' Energie Nucléaire)舉辦的DEM 2018(Dismantling Challenges:Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience)國際核能除役研討會。

TAG-65 會議於 2018 年 10 月 15 至 19 日於德國舉行，由德國 EWN(Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH) 集團的 KTE(Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH) 公司主辦，合計共有 11 國及歐盟共同研發中心參加，包括 22 個除役計畫超過 30 位專家與會。會議研討內容包括各會員計畫除役執行現況、進度及技術發展及應用之簡報、工作小組報告和 CPD 會務執行情形等。本屆會議共計收集核反應器除役簡報 11 篇，核燃料循環設施除役簡報 9 篇，專題報告 3 篇，及 KTE 設施現場討論簡報 4 篇，共 27 份簡報資料。10 月 18 日參訪 KTE 公司位於 Forschungszentrum Karlsruhe 的 WAK(The Karlsruhe reprocessing plant, WAK)核設施，10 月 19 日參訪 KTE 公司的放射性廢棄物管理部門(Waste Management Department)，並於除役現場技術討論。

DEM 2018 國際核能除役研討會於 2018 年 10 月 22 至 24 日於法國舉行，係由法國核能協會(SFEN)主辦的一個可獲得全球核能後端領域技術發展及實務經驗資訊的技術研討會，與會人員包括核能相關產業、主管機關及學術研究機構，如 IAEA(國際原子能總署)、CEA(法國原子能和替代能源委員會)、EDF(法國電力公司)、ORANO(歐哈諾)、Westinghouse(西屋)等等。研討內容分成 11 個主題，包括有：法規演進(Regulation Evolution)、拆解策略與計畫發展、新的除污與拆解技術開發、輻射特性調查、除役計畫經驗回饋、放射性物質與廢棄物管理、建築物 and 場址復原、拆解作業的財務問題、民眾接受度與利害關係者參與、數位化對於拆解作業的貢獻、福島電廠事故的回饋與執行作業現況等。

本次出國計畫主要之目的如下：

- (一)瞭解各會員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資訊。
- (三)赴會議安排之核設施現場實地參訪及經驗交流。
- (四)聯繫國際核設施除役相關專家及主管，建立技術交流管道。
- (五)履行本公司參與 CPD/TAG 會議之義務，向 CPD 報告有關核一除役計畫規劃準備現況。

二、過程

(一) 出國行程

本次出國行程自107年10月13日起至10月26日止，任務行程如表一所示。

月/日(星期)	工作重點
10/13(六)~ 10/14(日)	去程(由桃園機場出發至德國法蘭克福機場，轉乘火車至Ettlingen Wathalden飯店並辦理報到)
10/15(一)~ 10/17(三)	會議討論（議程詳如表二）；10/16（二）本公司進行核一除役計畫規劃準備現況簡報
10/18(四)	參訪KTE/EWN WAK-site(Karlsruhe Reprocessing Plant, WAK)並進行除役交流研討
10/19 (五)	參訪KTE/EWN KTE放射性廢棄物處理設施並進行除役交流研討
10/20 (六)~ 10/21(日)	前往法國Avignon參加DEM2018國際核能除役研討會
10/22(一)~ 10/24(三)	會議討論（議程詳如表三）
10/25 (四)~ 10/26(五)	回程

表一、本次出國計畫之主要公務行程

(二) CPD/TAG 65 會議內容

1. TAG65 會議詳細過程

TAG-65 會議於 107 年 10 月 15 至 19 日在德國舉行，由 KTE 公司 (Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH) 主辦，合計共有 11 國與歐盟共同研發中心參與，並有 22 個除役計畫超過 30 位專家與會。10 月 15 至 17 日為會議討論，內容包含各參與計畫除役狀況、進度及技術簡報研討、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 11 篇，核燃料循環設施除役簡報 9 篇，專題報告 3 篇與 KTE 設施現場討論簡報 4 篇，共產出 27 份簡報資料，經所有會員同意於本會議所取得之報告、影像與資訊均屬機密，除取得個別會員之同意外不得散佈，與會者並於會議第一時間簽屬保密協定。本公司核一除役計畫安排於 10 月 16 日上午由核後端處丁宇組長進行簡報(簡報資料如附件一)。10 月 18 日參訪 KTE 公司位於 Forschungszentrum Karlsruhe 的 WAK-site(Karlsruhe Reprocessing Plant, WAK)，10 月 19 日參訪 KTE 公司的放射性廢棄物管理部門(Waste Management Department)。TAG 65 會議的議程如表二所示，TAG 65 會議過程中燃料循環與其他核設施會員簡報項目如表三所示，核反應器會員簡報項目如表四所示。

TAG 65 - 15th – 19th October 2018
KTE - Karlsruhe
Meeting Agenda

Sunday 14th October				
Arrival and Hotel check-in				
Monday 15th October				
08.30		Assemble in Conference Room for meeting, <i>Transfer presentations to Coordinator's computer</i>		30
	1	Introduction		
09.00		i. Welcome by the TAG Chairman	Chairman	5
09.05		ii. Round Table Introductions	All	15
09.20		iii. Administrative and organizational remarks	Chairman, Coordinator and Host	20
09.40	2	Approval of agenda	Chairman	5
	3	Chairman's, Coordinator's Opening Business	Chairman, Coordinator	
09.45		i. Chairman's Opening Business	Chairman	10
09.55		ii. Election of the TAG chairperson and the vice chair	Coordinator	20
10.15	4	TAG 64 Summary Record approval – decisions tracking	Coordinator	10
10.25	Coffee Break			30
	5	Project Status Reports:		
	6a	Status Reports from Fuel / other Nuclear Facilities		
10.55		i. Riso Hot Cells Decommissioning	Bjarne Rasmussen	25
11.20		ii. Sellafield Decommissioning	Bruce Wilson	25
11.45		iii. Le Hague - UP 2-400 Decommissioning	Philippe Derycke	25
12.10	Lunch			60
13.10		iv. Whiteshell Laboratories Facilities Decommissioning	Craig Michaluk	25
13.35		v. HLLW-tanks BP Decommissioning	Bart Ooms	25
14.00		vi. UP 1 - Chemical Plant Decommissioning	Eric Cantrel	30
14.30		vii. UP 1 - Decclading Facility Decommissioning	Jean-Luc Gerber	25
14.55		viii. JRC ISPRA Legacy Waste Retrieval	Francesco Basile	30
15.25	Coffee Break			30
15.55		ix. Tokai Reprocessing Plant	Masanori	30

		Decommissioning	Okano Yuji Yada	
	6b	Status Reports from Reactor Facilities		
16.25		i. Bohunice V1 NPP Decommissioning	Jozef Haring	35
17.00		ii. U-Graphite Reactors Decommissioning	Artem Izmestev	25
17.25		Administrative and organizational remarks	Host, Chairman	10
17.35	Adjourn			
Tuesday 16th October				
08.45		Assemble in Conference Room for meeting, <i>Transfer remaining presentations to Coordinator's computer,</i> Announcements by Chair/Host - administrative and organizational remarks		20
	6b	Continuation Status Reports from Reactor Facilities		
09.05		iii. Fugen Decommissioning	Koichi Kitamura	20
09.25		iv. DR3 Riso Decommissioning	Per Holtzmann	25
09.50		v. TRR Decommissioning	Chen –Phorng- Bin	20
10.10		vi. Kori 1 Decommissioning	Jung Tae-Sik Kyoungho Noh	20
10.30	Coffee Break			30
11.00		TRR Decommissioning	Huang Jhih-Jhong	20
11.20		vii. Chin Shan NPP Decommissioning	Yu Ting	25
11.45		viii. Hamaoka 1&2 Decommissioning	Motonori Nakagami Jumpei Takahashi	30
12.15	Lunch			60
13.15		ix. NPP Greifswald Decommissioning unit 1-5	Eberhard Thurow	25
13.40		x. BR 3 Decommissioning	Sven Boden	25
	7	New Projects		
14.05	7a	i. Novovoronezh NPP Decommissioning ii. TAG Members discussion of the project during which Mr. Volkov and Ms. Safronova are not present iii. TAG present conclusion of discussion	Victor Volkov All Chairman	45
14.50	Coffee Break			30

15.20	7b	i. Nuclear Decommissioning Projects on the IFE site - Norway ii. TAG Members discussion of the project during which Mr. Szöke is not present iii. TAG present conclusion of discussion	Istvan Szöke All Chairman	45
	8	Topical Session: "Different used cutting tools for dismantling, like plasma cutting, Laser cutting,"		
16.05		1) Introduction	Chairman	5
		2) Members presentations		
16.10		i. Characterization of Different cutting devices in dismantling works	Koichi Kitamura Motonori Nakagami	25
16.35		Administrative and organizational remarks	Host, Chairman	10
16.45	Adjourn			
18.00 Evening programme (by KTE)			Sightseeing tour Ettlingen	
Wednesday 17th October				
09.00		Assemble in Conference Room for meeting		
		Administrative and organizational remarks	Host, Chairman, Coordinator	10
	8	Continuation Topical Session		
09.10		ii. Laser technology used by CEA	Loana Doyen Christophe Chagnot	45
09.55		iii. Cutting tools used during dismantling at Belgoprocess	Bart Ooms	30
10.25		1) Discussion and round-up	Chairman	5
10.30		2) Topic agreement for TAG 66 Topical Session	All	15
10.45	Coffee Break			30
	9	Status - TAG Knowledge Base – Discussion of further steps		
11.15		i. Discussion about using of the KB Status and further activities	All	30
11.45	Lunch			60
12.45	10	Future meetings of the TAG		40
		i. TAG 66: May 2019 - AECL Canada Short presentation in preparation of TAG 66	Craig Michaluk	25
		ii. TAG 67: October 2019 – JRC ISPRA Italy	Francesco Basile	

		iii. To be final confirmed		
		iv. TAG 68: May 2020 - Sellafield UK – to be final confirmed		
		v. TAG 69: October 2020 - Japan - to be confirmed		
13.25	11	Closing remarks, meeting adjourn.	Chairman	10
Thursday 18th October Site visit				
07.30	Pick up at the Hotel - Transfer (Bus) from Hotel Watthalden to KTE (Eggenstein-Leopoldshafen)			
08.30 – 08.45	Arrival and Welcome			
08.45 – 09.45	General Overview – KTE Decommissioning Projects			
SITE VISIT				
Site visits: WAK-site and reactors Coffee breaks + snack/light meal (by KTE)				
09.45 – 12.15	GROUP 1 – Visit WAK-site			
09:45 – 12:15	GROUP 2 – Visit Reactor-sites			
12.30 – 13.30	Break			
13.30– 16.00	GROUP 1 – Visit Reactor-sites GROUP 2 – Visit WAK-site			
16.30	Adjourn			
Ca. 16.30 –	Transport to Restaurant “Buschmühle” (from KTE)			
Transfer by bus to evening program (by KTE)				
Friday 19th October Site visits: Waste Management Department				
07.30	Pick up at the Hotel			
08.30– 08.45	Arrival at KTE site and Remarks			

08.45– 12.00	SITE VISIT	
	Area of the Waste Management Department	
	Interim-Storages (LAW)	
	Interim-Storage (under construction)	
	Subdivided in Groups	
12.00 – 12.45	Light Snack at Research Reactor 2 (FR2)	
13.00 – 16.00	Transport to Frankfurt Airport	

表二、第 65 屆 TAG 會議議程

簡 報 題 目	簡報人/機構
1) Riso Hot Cell	Bjarne Rasmussen/Danish Decommissioning
2) Sellafield Decommissioning	Bruce Wilson/Sellafield/UK
3) Le Hague - UP 2-400 Decommissioning	Philippe Derycke /CEA/France
4) Whiteshell Laboratories Facilities Decommissioning	Craig Michaluk/AECL/Canada
5) HLLW-tanks BP Decommissioning	Bart Ooms/Belgoprocess/Belgium
6) UP 1 - Chemical Plant Decommissioning	Eric Cantrel/CEA/France
7) UP 1 - Decclading Facility Decommissioning	Jean-Luc Gerber/CEA/France
8) JRC ISPRA Legacy Waste Retrieval	Francesco Basile/JRC/EC
9) Tokai Reprocessing Plant Decommissioning	Masanori Okano & Yuji Yada//Japan

表三、第65屆TAG會議燃料循環與其他核設施會員簡報項目

簡 報 題 目	簡報人/機構
1) Bohunice V1 NPP Decommissioning	Jozef Haring/javys/Slovak
2) U-Graphite Reactors Decommissioning	Artem Izmestev/A. A. Bochvar Institute/Russia
3) Fugen Decommissioning	Koichi Kitamura/JAEA/Japan
4) DR3 Riso Decommissioning	Per Holtzmann/Danish Decommissioning Erwin Prechtl/KTE/Germay
5) TRR Decommissioning	Chen Horng-Bin/INER/Taiwan
6) TRR – Reactor Vessel Dismantling Preparation	Huang Jhih-Jhong/INER/Taiwan
7) Kori 1 Decommissioning	Kyoungho Noh/KHNP/Korea
8) Chinshan NPP Decommissioning	Yu Ting/Taipower/Taiwan
9) Hamaoka NPP Decommissioning	Jumpei Takahashi & Motonori Nakagami/CHUBU/Japan
10) NPP Greifswald Decommissioning unit 1-5	Eberhard Thurow/EWN/Germany
11) BR 3 Decommissioning	Sven Boden/ /Belgium

表四、第 65 屆 TAG 會議核反應器會員簡報項目

2. CPD 計畫會員現況

CPD 管理架構係由管理委員會 (Management Board, MB) 與技術諮詢組 (TAG) 所組成，歸屬 OECD/NEA 並提供資訊予核能領域指導委員會 (Steering Committee for Nuclear Energy)，並所屬放射性廢棄物管理委員會 (Radioactive Waste Management Committee, RWMC) 及其除役與拆解工作小組 (Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD)。CPD 計畫於 1985 年成立，主要功能係提供核設施除役及安裝經驗資訊交換與分享平台。成立初期成員僅 8 個國家的 10 個除役計畫，至 2018 年已成長至 72 個除役計畫（41 個反應器及 31 個燃料循環設施），共 15 個國家及歐盟；我國自 2000 年開始以核能研究所 TRR 除役計畫加入 CPD，本公司於 2014 年以金山除役計畫加入 CPD 成為會員，每年從參加會議中與各

國除役專家技術交流及討論，蒐集各國除役的即時相關資訊。CPD 所彙集的資訊主要來自每年兩次的 TAG 會議，TAG 會議係由其中一個成員主辦並安排核設施與場址參訪。CPD 主要成員僅限除役計畫的執行與負責單位，性質上屬於閉門會議並有半獨立運作的性質，1985 年根據 NEA 法規第五條(Article 5)設立，至 2018 年 10 月會員與參與計畫如**錯誤！找不到參照來源**。所列，粗體字為 TAG 65 出席國家與計畫項目，其中法國 AREVA 之 UP2 400 (fuel reprocessing plant)除役計畫於 2017 年 TAG 62 中會員同意加入，但協定書仍在簽署中，本次會議該單位有派員出席。OECD/NEA CPD 會員與除役計畫彙整如表五。

會員	除役計畫
比利時	BR-3 NPP , Eurochemic Reprocessing Plant, Building 105X and 122X
加拿大	204A/204B Bays Chalk River, Tunney's Pasture Facility, Whiteshell Research Laboratory, Gentilly-1, NPD PHWR
台灣	Taiwan Research Reactor (TRR), Chinshan NPP
丹麥	DR-3, Hot Cells
歐盟	JRC-ISPRA Legacy Retrieval
法國	EL 4 Brennilis, Bugey 1, Elan IIB, AT-1 La Hague, Rapsodie (FBR) Cadarache, G2/G3 Marcoule, Saclay High-Activity Laboratories , Melusine, Cadarache Facility #56, Phenix , ATUE, APM Marcoule, UP1 Reprocessing Plant Marcoule, Basic Nuclear Facility No 57, UP2 400 fuel reprocessing plant Le Hague*
德國	MZFR Karlsruhe , KNK Karlsruhe , WAK, Greifswald NPP, AVR, KKN Niederaichbach, HDR Karlstein, KKB Brunsbüttel
義大利	Garigliano NPP, ITREC U-Th reprocessing plant, Latina GCR
日本	Fugen NPP , JPDR Tokai NPP, JRTR Tokai, Plutonium Fuel Fabrication Facility, Uranium Refining/Conversion/Enrichment Facility , Tokai 1 NPP, Hamaoka 1&2 NPP, Fukushima Daiichi NPP
韓國	Triga Research Reactors KRR1&2, Uranium Conversion Facility, Kori 1*
俄羅斯	A.A. Bochvar Institute , Uranium-Graphite-Reactors (JSC "PDC UGR"), Novovoronezh NPP units No. 1-2
斯洛伐克	Bohunice A1, Bohunice V1
西班牙	PIMIC D&D Madrid, Jose Cabrera NPP, Vandellos 1

瑞典	Studsvik Active Central Laboratory (ACL), Research Reactor R2/R2-0, Barsebäck NPP
英國	BNFL Co-precipitation Plant, WAGR Sellafield , B 243 Intermediate Waste Recovery, B204 First Generation Reprocessing Plant, Active Demonstrators
美國	Portsmouth GDP, West Valley Demo. Project, FEMP, Shippingport, EBWR, Fort St. Vrain

表五、OECD/NEA CPD 會員與除役計畫彙整表

TAG65 會議中有兩項新計畫申請加入 CPD，分別為挪威 IFE 除役計畫與俄羅斯 Novovoronesh NPP 除役計畫。挪威 IFE 除役計畫由 Victor Volkov 報告，簡報內容顯示該計畫的 Halden Reactor 在 2018 年 6 月永久停機，未來的幾年內尚未進行除役的實質拆解工作，對於除役技術及經驗的貢獻不明顯，故經 TAG 成員表決結果否決其申請。俄羅斯 Novovoronesh NPP 除役計畫由 Istvan Szöke 報告，簡報內容顯示該計畫共有 7 部機組，2018 年的狀況為 1 部建造中，3 部仍運轉，1 部永久停機，2 部正在除役；目前機組 1 及機組 2 正在進行除役拆解作業，預計的除役時程為 2035 年，經 TAG 成員討論後，同意此計畫加入。近三年內 CPD 會員變動彙整如表六：

日期	計畫	狀態
2015/9/30	日本 Radwaste and Decommissioning Center (RANDEC)	退出
2014/8/6	台灣電力公司金山電廠除役計畫	加入
2015/5/24	丹麥 Dansk Dekommissionering: DR-3, Hot Cells	加入
2016/6/16	俄羅斯 Rosatom A.A. Bochvar Institute 除役計畫	加入
2017/1/3	韓國 KNHP Kroi 1 除役計畫	加入
2017	JAEA 的 Tokai Reprocessing Plant	加入
2017	Vattenfall 所有 Ringhals 一、二號機除役計畫	兩年後再申請
2017	AREVA 公司 UP2-400 除役計畫	加入
2018	JAEA 的 Monju FBR 除役計畫	三年後再申請
2018	挪威 IFE 除役計畫	否決
2018	俄羅斯 Novovoronesh NPP 除役計畫	同意加入

表六、近期 CPD 會員變動彙整表 (2015 至 2018 年)

3. 未來 TAG 會議主辦規劃

會議中討論未來 TAG 66、TAG 67、TAG 68、TAG 69 會議的主辦國，討論後決議：

TAG 66 將在今年 2019 年 5 月，由加拿大 AECL 主辦，未來兩年的 TAG 會議主辦規劃如下：

TAG 66：加拿大 AECL 主辦 (2019 年 5 月)

TAG 67：義大利 JRC Ispra 主辦 (2019 年 10 月)

TAG 68：規劃英國 Sellafield 主辦 (2020 年 5 月)

TAG 69：規劃日本中部電力 Hamaoka 主辦 (2020 年 10 月)

4. 未來 TAG 會議討論主題規劃

10 月 17 日討論後續 TAG 會議中的專題報告題目，目前規劃兩個題目，一個是針對高輻射組件的自動化遙控拆解，另一個則是佔核設施除役重量比率最大的混凝土除污及切割。經會員討論及表決，暫訂 TAG 66 的專題報告題目為自動化遙控拆解，混凝土除污及切割則列為 TAG 67 的專題報告題目。

(三) DEM 2018 會議內容

1. DEM2018 會議背景

DEM2018 是由法國核能協會 SFEN(Société Française d' Energie Nucléaire)主辦，SFEN 創立於 1973 年，是法國核能知識中心，並為核能及其應用相關者提供資訊交流平台。SFEN 與歐盟、OECD 和 IAEA 交流密切，致力於核能領域知能的提升。SFEN 是法國非營利組織，網羅了 3,600 名專業人員，包括工程師、專業技術人員、化學家、醫生、教授和學生。

2. DEM2018 會議議程

本次會議有來自 26 個不同的國家共 480 位的與會者，包含 11 個主題及超過 100 場的專題簡報，包含的主題有：法規演進(Regulation Evolution)、拆解策略與計畫發展、新的除污與拆解技術開發、輻射特性調查、除役計畫經驗回饋、放射性物質與廢棄物管理、建築物和場址復原、拆解作業的財務問題、民眾接受度與利害關係者參與、數位化對於拆解作業的貢獻、福島電廠：事故的回饋與執行中作業。DEM2018 國際核能除役研討會之議程及簡報人員與所屬機構如表七所示。

表七、DEM2018 議程

Title Date	DEM2018 詳細議程	
10/22 (MON)	法規演進(Regulation Evolution)	
	簡報題目	簡報人/機構
	Legal and technical framework for a safe decommissioning in France	Vincent Cloitre/ ASN
	拆解策略與計畫發展(Dismantling Strategy, Program Development)	
	簡報題目	簡報人/機構
	Dismantling Strategy and Radioactive Waste Management	William D. Magwood/ OECD-NEA
	General overview of Nuclear Dismantling	Michail Chudakov/ IAEA
	Dismantling strategy and Programs	Jean-Michel Romary/ ORANO
	French Graphite Gas Reactors Dismantling Programme	Christophe Dorier/ EDF
	Dismantling Program and Feedback Experience	Laurence Piketty/ CEA

	DEM 2018: General & Useful Information	Laurence Piketty/ DEM 2018 Chair
	French Inventory of radioactive materials and waste: forecast of radioactive waste including dismantling waste	Elodie Petry/ Andra
	EPRI Research & Development Projects for NPP Decommissioning	Richard Reid/ EPRI
	Knowledge Transfer for Preparation of Final Decommissioning Plans for Taiwan Nuclear Power Plants	Niklas Bergh / Westinghouse Electric Company
	An international perspective on large Boiling Water Reactor (BWR) Vessel and Internals removal, packaging and transportation	Frederic Bailly/ORANO
	福島電廠：事故的回饋與執行中作業(Fukushima: Feedback & Operation in Progress)	
	簡報題目	簡報人/機構
	Deep gouging : development of deep blind kerf laser cutting technology for FUKUSHIMA fuel debris retrieval	Iona Doyen/ CEA
	Fukushima Dai-ichi fuel debris retrieval: analysis of aerosol emission and dispersion during simulants laser cutting	Emmanuel Porcheron/ IRSN
	Particulate foam flotation process for remediation of Fukushima contaminated soils	Frédéric Thurin/ ORANO DS
10/23 (TUE)	拆解策略與計畫發展 (Dismantling Strategy, Program Development)	
	簡報題目	簡報人/機構
	The European R&D project INSIDER: acting on the upstream stages	Daniele Roudil/ CEA
	The European Project THERAMIN – Thermal treatment for radio-active waste minimization and hazard reduction	Matti Nieminen/ VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
	Optimization of post dismantling radioactive waste management: innovative projects supported by Andra	Laurence Petit/ Andra
	The CHANCE project “Characterization of conditioned nuclear waste for its safe disposal in Europe”	Denise Ricard/ Andra

	International Good Practice in Preparing for Decommissioning under Operation and after Final Shutdown	Boris Brendebach/ BMUB
	ELINDER Project	Pierre Kockerols/ JRC
	IL LL waste management – ICEDA, the EDF global solution	Thierry Le Courtois/ EDF
	ORANO waste management strategy past and future	Christine Lamouroux/ ORANO
	EDF Graphite Waste Management Strategy	Mathieu Charmoillaux/ EDF
	Aspects on material and waste management strategies for decommissioning	Michel Pieraccini/ EDF
	Experience in Dismantling of Laboratories and Pilot Facilities at A.A.Bochvar Research Institute	Sergei Belousov/ Bochvar Research Institute of Inorganic Materials
	Dismantling of EDF Chooz A PWR: from the core of the reactor to the final waste repositories	Aurélie Brasch/ EDF
	Challenges and opportunities for shaping up a robust Nuclear Decommissioning Industry	Francoise Berge/ PricewaterhouseCoopers
	Planning for a Successful Oskarshamn 1-2 Decommissioning Program	Niklas Bergh/ Westinghouse Electric Company
	Roadmap for technology development to support CANDU decommissioning and long-term waste management	Ian Castillo/ Canadian Nuclear Laboratories
法規演進(Regulation Evolution)		
	簡報題目	簡報人/機構
	Implementation of the legal framework for a safe decommissioning in France	Dorothee Conte/ ASN
	Asbestos in nuclear site: from sampling to asbestos analysis	Céline Vilmain/ EUROFINS EICHROM Laboratories & Bérénice Clamaron, CEA

民眾接受度與利害關係者參與(Stakeholders Involvements & Public Acceptance)	
簡報題目	簡報人/機構
In the “Occitanie” region, the PVSİ leverages innovation to organize a national industrial domain in nuclear dismantling, deconstruction and depollution	Philippe Guiberteau/ CEA
放射性物質與廢棄物管理(Material and Radioactive Waste Management)	
簡報題目	簡報人/機構
Optimising the Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning	Fredrik De La Gardie/ Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company
Optimizing the management of waste and materials resulting from decommissioning in Spain	Nieves Martin Palomo/ Enresa
Dedicated Trench for Large and/or Heavy Waste	Frédéric Legee/ Andra
Remote-Handled Low-Level Waste Disposal Facility	John Gregory/ ORANO Federal Services
Combining chemical decontamination and melting for volume reduction of metals originally classified as ILW	Gregor Krause/ Cyclife-EDF
新的除污與拆解技術開發(Development of New D&Ds' Technologies)	
簡報題目	簡報人/機構
Remote Evaporator Vessel Repair by Robotics and Powder Injection Laser Welding	John Gregory/ ORANO Federal Services
Remote operated aspiration device for waste lying on the floor of casemates of the STEL installation in Marcoule	Mickaël Pradelle/ CEA
Trajectories generation based on point cloud	Wilfried Brouard/ ORANO
Presentation of a separation method for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique	Carla-Olivia Krauss/ KIT

Dismantling and disposal of the reactor pressure vessel internals and the RPVs of the Neckarwestheim nuclear power plant I (GKN I)	Bernhard Wiechers/ Westinghouse
Study on Kori Unit 1 Reactor Vessel and Reactor Vessel Internal Segmentation	Young Hwan Hwang, Central Research Institute/ KHNP
Superphenix dismantling – Development of laser cutting, operational experience & other applications	Sylvain Menou/ Framatome
System to Cut on Decommissioning	Amaia Rodriguez Sopeña/ Equipos Nucleares S.A, S.M.E.
除役計畫經驗回饋(Project Feedback Experience)	
簡報題目	簡報人/機構
Decommissioning of MR and RFT research reactors	Alexander Chesnokov/ National Research Center "Kurchatov Institute"
Outcome of the Barsebäck 1-2 reactor vessel internals segmentation project	Joseph Boucau/ Westinghouse Electric Company
The decommissioning of a PWR experimental facility: from shut-down to removal from site	Wouter Broeckx/ SCK•CEN
Demolition of the Biological Shield at the SVAFO R2 Research Reactor in Sweden	Gunnar Hedin/ Westinghouse Electric Company
EDF UNGG graphite gas - Heat exchangers decommissioning	Mathieu Mahroug/ EDF
The dismantling of Superphenix - Status and lessons learned	Véronique Bouilly/ EDF
Project Feedback Experience from decommissioning - Low Flux Reactor	Jaap Hart/ NRG
Pipe cutting method at high radiation area in FUGEN	Hiroaki Takiya/ JAEA

建築物和場址復原(Buildings & Sites Rehabilitation)	
簡報題目	簡報人/機構
The reconversion of CERN 600 MeV synchrocyclotron into a public exhibition hall	Marco Silari/ CERN
Characterization and Decontamination of the biological shield at José Cabrera NPP	Jorge Borque Liñán/ Enresa
Dismantling a NORM waste storage facility in the acid phosphate industry	Mihaela Onofrei/ ARCADIS ESG
Strategy in rehabilitation of polluted & abandoned industrial sites from the first half of the 20th century in France	Fabien Hubert/ Andra
An integrated methodology for hydrogeological assessment of nuclear plant aquifer	Maxime Claproud/ INRS
Prediction reliability of chemically contaminated volumes of soils. Feedback on 23 former industrial sites (RECORD study) and lessons learnt for radioactively contaminated sites	Hélène Demougeot-Renard/ eOde Sàrl
Contaminated Land Remediation on decommissioned nuclear facilities: an optimized approach	Hugo De Palmas/ EDF
Management and reuse of excavated materials : how to foster the circular economy ? (a RECORD project)	Emmanuel Vernus/ INSAVALOR PROVADEMSE
輻射特性調查(Initial Radiological State Characterization)	
簡報題目	簡報人/機構
R&D within the BR3 PWR decommissioning project	Sven Boden/ SCK•CEN
Statistical characterization for nuclear D&D applications with small data sets	Bertrand Iooss/ EDF
Large components, buildings and land – An optimization example on the characterization and clearance process	Jonatan Jiselmark/ Swedish Radiation Safety Authority
Geostatistics Perspectives for Sampling Optimization During Radiological Characterization	Yvon Desnoyers/ Geovariances

	Benchmark study of TRIPOLI-4® for decommissioning purposes	Cindy Le Loirec/ CEA
	Initial characterisation of radioactive effluents in tanks before dismantling	Sylvie Tillard/ CEA
	Sampling strategy for dihydrogen flow rate characterization of radioactive waste	Nadia Perot/ CEA
	Management and interim storage options for radwaste pending availability of a disposal center	Christelle Decanis/ CEA
10/24 (WED)	法規演進 (Regulation Evolution)	
	簡報題目	簡報人/機構
	Decommissioning of IIN-3M pulse research reactor of JSC "Foton" in Tashkent	Vladimir Michal/ IAEA
	拆解作業的財務問題(Economic & Financial Aspects of Dismantling Operations)	
	簡報題目	簡報人/機構
	Material Balance Evaluation for Safeguards at Bulk Handling Facilities Shut-down for Maintenance, Under Partial Dismantling or Under Decommissioning	Christophe Portaix/ IAEA
	Cost Estimates for NPP Decommissioning Projects and the Emerging Role for Cost Analysis	Simon Carroll/ Vattenfall
	International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations - Achievements in its Implementation	Vladimir Daniska/ Vuje
	Geostatistics cost-benefit analyses for classification of waste during initial radiological characterization	Yvon Desnoyers/ Geovariances
	Provisions for ITER Decommissioning	David Torcy/ ITER Organization
	Impacts of different research reactor characterisation strategies on decommissioning costs within DACCORD Phase II Project	Vladimir Daniska/ Vuje
	Parametric method and software associated for dismantling cost estimation	Elise Curabet/ CEA
	新的除污與拆解技術開發(Development of New D&Ds' Technologies)	

Decontamination of HL liquid wastes for the D&D of UP1 reprocessing plant	Yves Barré/ CEA
Innovative technologies for liquid waste management based on cavitation phenomenon	Lauréanne Parizot/ UMPC
EPRI Project: Development of New or Enhanced Techniques for Concrete Decontamination	Richard Reid/ EPRI
Research on the Removal of Filler Containing Asbestos Using Wet Sandblasting Technology	Daniel Boser/ KIT
Sodium Removal from Phénix Secondary Loops	Franck Dominjon/ CEA
Treatment of cold traps of Superphenix Fast Breeder Reactor, by Thermolysis & Hot WVN	Dominique Villani/ Framatome
Different Kinds of Full System Decontamination	Michael Dr. Knaack/ TUEV NORD GmbH
First Full System Decontamination Prior to Dismantling in Japan. Recent Experiences and Results From the PWR Mihama 1 and 2 with Steam Generator Tubing of High Nickel Content Alloy I690	Pedro Moreira Do Amaral/ Framatome GmbH
Full System Decontamination at PWR Biblis Unit A+B with	Anna Prüllage/ Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH
Recent Experience with VVER Decontaminations in Europe	Randall Duncan/ Westinghouse
Overview of STRAD project for systematic treatments of radioactive liquid wastes generated in nuclear facilities	Sou Watanabe/ JAEA
Methodology for the selection and qualification of a liquid/solid separation process for HL radioactive sludge	Eric Cantrel/ CEA
Removal of Sludge from K West Basin Engineered Containers at the Hanford, WA, USA	Ketra Evans/ ORANO Federal Services
Core Waste – the legacy of operation	Thomas Eichhorn/ Orano GmbH
Design of new equipment regarding removal of dry spent fuel in waste management facility 72 Saclay	Lionel Mandard/ CEA
EDF graphite reactor dismantling testing facility	Philippe Lefevre/ EDF

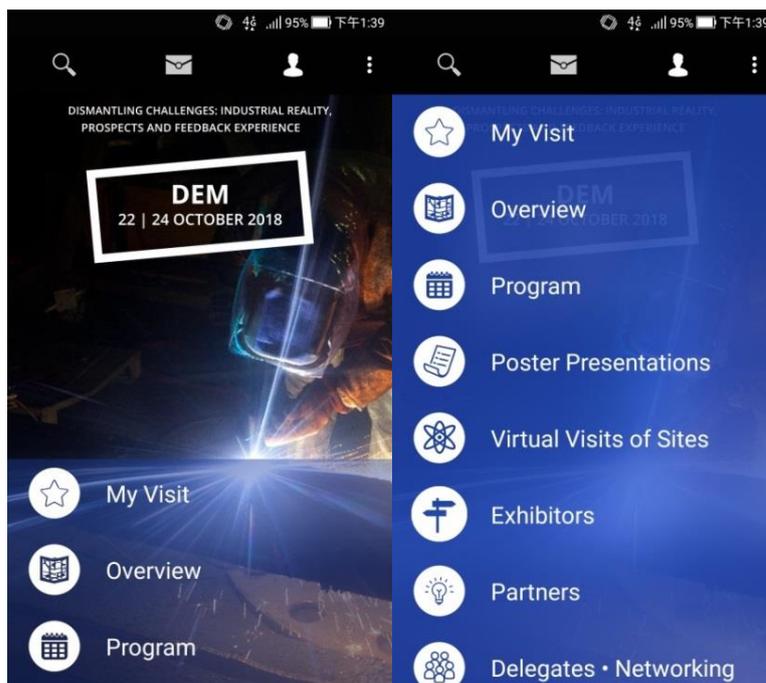
Retrieval and Conditioning of Graphite Legacy Waste in La Hague Plant	Catherine Veyer/ ORANO
The EMC: Development of a new equipment for recovering old nuclear wastes from the Fontenay-aux-Roses CEA centre	Aurélie Ithurbide/ CEA
除役計畫經驗回饋(Project Feedback Experience)	
簡報題目	簡報人/機構
Dismantling of the MAR200 dissolvers	Marielle Asou-Pothenet/ CEA
Construction of a new facility for the Decontamination and Decommissioning of HLLW storage vessels at Belgoprocess	Jos Boussu/ Tractebel
Lessons Learned from the Characterization and Clearance of the Ranstad Uranium Works	Leif Jonasson/ Swedish Radiation Safety Authority
特性調查(Initial Radiological State Characterization)	
簡報題目	簡報人/機構
CAMRAD: Development of a Multi-Megagray Radiation Hard CMOS Camera for Dismantling Operations	Vincent Goiffon/ ISAE-SUPAERO
Nanopix: an ultra-compact gamma camera for decommissioning applications	Frédéric Carrel/ CEA List
Gamma Scanning Analysis for improving the level of confidence in contamination repartition data used for radiological characterization of hot cells: onsite application	Yoann Zanella/ CEA
In Situ measurement and evaluation for decommissioning characterization of activated concrete	Sangbum Hong, KAERI
Transportable active shielding spectrometer for in-situ gamma-ray measurements	Frédéric Carrel/ CEA List
Radiological investigations in hard-to-access zones by remote OSL/FO dosimetry	Frédéric Carrel/ CEA List
3D Radiological Inventory Mock-Up to support dismantling projects	Nicolas Chapoutier/ Framatome
Radiological Characterisation for Decommissioning – International Good Practice and Experience	Arne Larsson/ Cyclife-EDF

MAUD PROJECT- Characterization by Autoradiography Tech-nique of facilities under dismantlement	Pascal Fichet/ CEA
CI-36 assessment of graphite waste by EDF engineering	Bernard Poncet/ EDF
Preparation and characterization of solid deposit samples from concentration evaporators and fission products tanks	Steve Jan/ CEA
Microfluidics tools for radionuclides analysis in acidic samples	Somasoudrame Rassou/ CEA
Radiological characterization of very-low-level radioactive waste at CERN	Matteo Magistris/ CERN
MAUD PROJECT - Development of a new portable detector for α and β surface contamination imaging	Sylvain Leblond/ CEA
數位化對於拆解作業的貢獻(Digital Contribution to Dismantling Operations)	
簡報題目	簡報人/機構
3D Digital Simulation Tools Used to Support Nuclear Facilities Decommissioning - Benefits for the Projects Progress and their Safety	Denis Depauw/ IRSN
Equipment localization thanks to a digital mock-up and deep learning techniques for the preparation of operations	Fabien Dory/ EDF
Decommissioning of legacy nuclear sites through a digital experience	István Szóke/ Institute for Energy Technology
Nuclear Decommissioning : a Systemic Approach adapted to Project Dynamics	Maxence Lafon/ CEA
MARA: a quick and easy solution for radiological investigations, ensuring the traceability of measurements	Camille Theroine/ ORANO DS
Virtual and Augmented realities in dismantling operations. Which future?	Arnaud Solente/ ORANO
A PLM approach to support nuclear decommissioning process	Vincent Cheuetet/ University Lyon, INSA Lyon, DISP Laboratory
Text mining and machine learning applied to dismantling operations documents: a practical business case	Robert Plana/ Assystem
Use and interest of a 3D immersive virtual reality room for the preparation of dismantling scenarios	Jeanne Cottaz/ Framatome

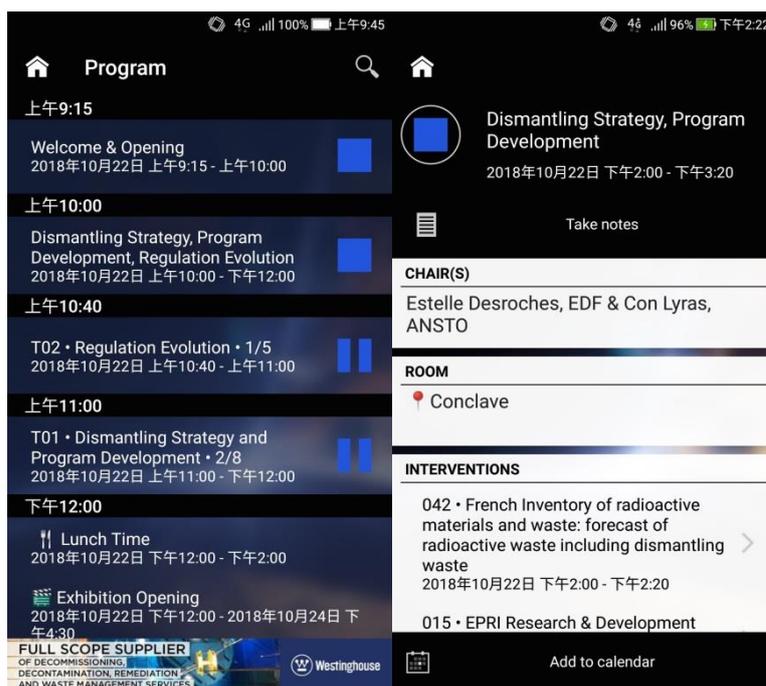
ILW waste retrieval project: the impact of new digital tools and methods on nuclear engineering	Bernard Blanc/ Assystem
Source term computation for reactor dismantling operations: Application to CEA PHEBUS facility	Maxime Soulard/ CEA
Big Data for Cask-Loading Management	Vincent Leger/ ORANO TN
Nuclear Waste Flow Management Optimization during Dismantling	Bérangère Clere Andre/ Altran
放射性物質與廢棄物的管理(Material and Radioactive Waste Management)	
簡報題目	簡報人/機構
Proven Technologies for the Solidification of Complex Liquid Radioactive Waste (LRW): Global Case Studies of Applications and Disposal Options	Dennis Kelley/ Pacific World Trade
Advantages and drawbacks of thermal treatment technologies for radioactive waste reprocessing	Elisa Leoni/ ORANO
Combustion of organics liquids wastes with a submerged thermal plasma ELIPSE process	Florent Lemont/ CEA
Study on Plasma Torch Melter for Disposal of Decommissioning Waste	Seok-Ju Hwang/ KHNP-CRI
Geomelt ® vitrification process applied for treatment and conditioning of low & intermediate activity waste	Michael Moulin-Ramsden/Veolia Nuclear Solutions
Recycling of homogeneous metals from the dismantling of nuclear facilities	Marine Zilber, ORANO
The management of radioactive waste from operation and decommissioning of high-energy accelerators: the experience of CERN	Luisa Ulrici, CERN

3. DEM2018 會議應用程式工具

DEM2018 簡報題目數量眾多，且有多個議題在不同會議室同步展開，為有效彙整及管理，DEM2018 規劃一個程式工具(App)供與會者使用，其使用介面如圖一，除了可以總覽會議議程，也可查看每一天的研討議程表(如圖二)，可幫助與會者預先選取想參加的議題。

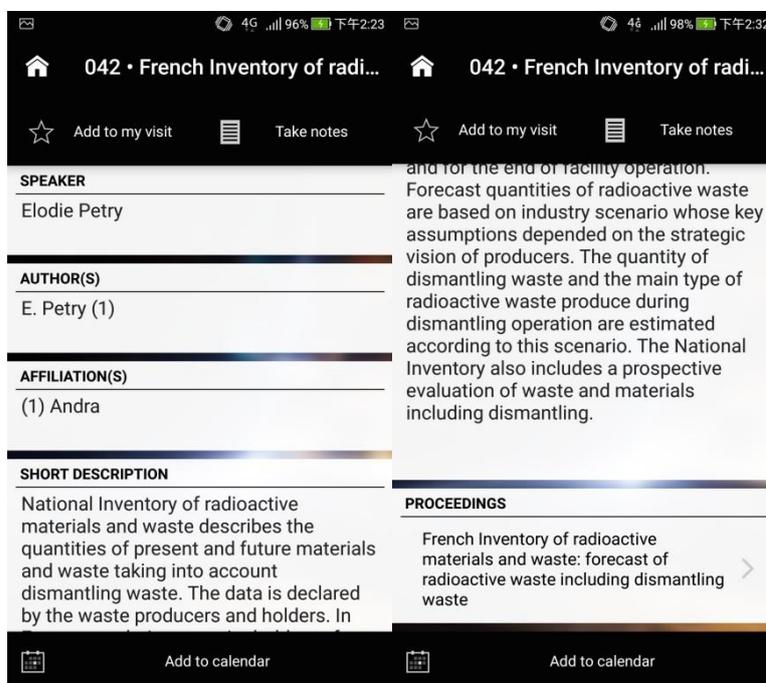


圖一、DEM2018 應用工具使用介面

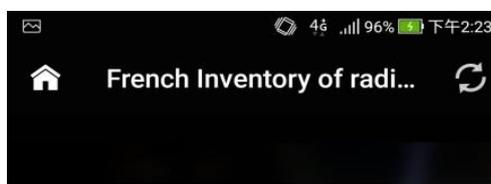


圖二、DEM2018 研討會議程表

透過該 App 可瀏覽某個關切議題的主講者、作者、聯繫單位以及簡報的簡短摘要(如圖三)，從敘述中也可確認這個題目是否如預期可提供想要蒐集的資訊，而在 PROCEEDINGS 中也有該簡報題目的論文提供讀者參考(如圖四)。



圖三、簡報題目內容摘要



EDM 2018 - Dismantling Challenges: Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience
France, Angers - 2018, October 22 [34]

French Inventory of radioactive materials and waste: forecast of radioactive waste including dismantling waste

Elodie Petry^{1*}
¹Andra, 1-7 rue Jean Monnet, 92298 Châtigny-Matigny, France
*Main Author, E-mail: elodie.petry@andra.fr

National Inventory of radioactive materials and waste is published every three years. It describes the quantities of present and future materials and waste taking into account dismantling waste. The data is declared by the waste producers and holders. The last publication of the national inventory was in July 2018 and covers the waste produced by facilities having obtained their construction permit by the end of 2016. The volumes of waste correspond to the volumes of waste conditioned. In France, regulations require holders of radioactive materials and waste to provide inventories of radioactive waste present in France and also to make production forecasts at different scales (for the end of 2020 and 2040 for the national inventory 2018). The national inventory also includes prospective evaluations of waste and materials that will be generated by authorized facilities until the end of their operating life, including dismantling to reflect any changes in energy policy affecting the nuclear industry.

KEYWORDS: national inventory, radioactive waste, forecast, dismantling waste

Introduction
Since 2004, Andra updates every year the national inventory of radioactive materials and waste and publishes the document every three years. The inventory describes the quantities of present and future materials and waste, based on existing and forecast activities, according to the remaining operating lifetime of current nuclear facilities, in order to plan current and future waste management solutions. The data is declared by the waste producers and holders. National Inventory is used as the basis for the national radioactive materials and waste management plan. The last publication of the national inventory was in July 2018.

Source of radioactive waste
The national inventory sets out the sources of radioactive waste based on five economic sectors that lead to production, holding or management of radioactive waste:
- The nuclear power sector
This includes mainly the nuclear power plants, together with the nuclear fuel production and processing plants (extraction and processing of uranium ore, chemical conversion of uranium concentrates, fuel enrichment and manufacturing, spent fuel processing and recycling).
- The defense sector
This covers mainly activities linked to nuclear deterrents, including the nuclear propulsion systems of certain ships and submarines, together with the corresponding research activities.
- The research sector
This includes research in the civil nuclear field, medical research laboratories, particle physics, agronomy, chemistry, etc.
- The industry sector (other than nuclear power plants)
This covers mainly extraction of rare earths and production of sealed sources, together with various applications such as welding inspectors, sterilization of medical equipment, sterilization and preservation of foodstuffs, etc.
- The medical sector
This includes therapeutic and diagnostic activities.

French classification of radioactive waste
The physical and chemical nature, and the level and type of radioactivity, are characteristics that differ

圖四、簡報題目論文

三、心得

TAG-65 及 DEM2018 會議重點心得，現場參訪有關 KTE 核設施除役經驗與德國 KIT 核能除役技術發展現況之概要心得，以及法國核設施除役現況分別說明如下。

(一) TAG 65 及 DEM2018 會議心得

加拿大 AECL WL (Atomic Energy Canada Limited Whilteshell Laboratories)除役計畫與歐盟共同研發中心(Joint Research Centre) Ispra 長期留存廢棄物之取出計畫，均提及早期露天設置放射性物料與廢棄物面臨清除的需求。

AECL Whilteshell Laboratories 於 1964 年開始營運，設有一座 60 MW 的有機液體冷卻研究型反應器(1965~1985 年)，並設有熱室、加速器與放射化學實驗室。2015 年 AECL 轉型成 GoCo(Government-owned, Contractor-operated)管理運轉模式，稱為 CNEA (Canadian National Energy Alliance)。TAG 62 會議提及 WL 計畫關閉整個場址 Green field 的時程由 2070 年提前至 2024 年完成，而 AECL WL 必須將所有放射性廢棄物(包含 LLW, ILW 與 HLW)運送至兩千公里外的 CRL(Chalk River Laboratories)場址；2018 年 10 月 TAG 65 會議中更新目前的狀態為：模擬試驗區建設已接近招標階段、取出設備的設計已完成大於 95%、開始建造設一些前置設備、進行準備相關的文件及包裝容器的採購作業，預計 2019 年夏季開始再取出貯存於露天設置放射性物料與廢棄物。

會議簡報後本公司代表向 AECL WL 會議代表 Craig Michaluk 請教有關核設施除役之輻射特性調查相關問題，Craig 表示非常樂意進一步交流研討並提供參考資料。2019 年 5 月 TAG 66 預計由 AECL Whilteshell Laboratories 主辦，並將安排核設施現場參訪，屆時本公司如派人參加，可就我方之需求繼續與 Craig Michaluk 討論。

TAG 65 會議有關核反應器除役項目中，日本 JAEA Fugen 電廠近期已設計爐內組件的取樣裝置，並進行實體模擬測試中，目前已完成汽機廠房內主冷凝器、部份熱交換器及大部份管線的拆除工作，有 1,000 噸的廢棄物等待外釋；日本中部電力公司的 Hamaoka 核電廠屬於 BWR (沸水

式反應器)，目前在廠房外正進行主變壓器及重油儲存槽等的拆除，廠房內正進行汽機、發電機及熱交換器等拆除。

DEM2018 會議網羅各個單位的專家學者群，並有來自 26 個不同的國家共約 480 位的與會者。在 EPRI 的會議簡報中，說明了現在全球很多電廠都面臨著除役，在 2018 年全球已有超過 120 個機組已經永久停機面臨除役，然而已經完成除役的只有 13 個機組。未來的十年，估計每年持續都有 13 部機組進入永久停機。在除役成本上，一個機組完整的除役成本大約美金 3.5~10 億，拆除一個機組的平均成本約為 6 億美金。

在核設施除役專題中，法國電力公司(EDF)以 CHINON A3 進行介紹，是一部 480MW 的 UNGG(natural uranium graphite gas-cooled reactor)機組，運轉期間自 1966 至 1990 年，簡報介紹拆除熱交換器南廠房所遭遇的困難，包含石綿的問題以及管件拆除的問題。石綿問題運用 TEM(Transmission Electron Microscope；穿透式電子顯微鏡)進行分析，在每個工項的前後都進行量測，確保石綿所造成的空浮在標準值內。在拆除管件方面，EDF 所遭遇的問題是如何將長度 13 公尺、重量 18 公噸的熱交換管進行安全傾倒，EDF 設計了一個 V 型裝置(V-block)，使熱交換管可從垂直位置傾倒至水平位置且在過程中不會使熱交換管發生旋轉。EDF 拆除南廠房總共花費了 10 年，其中 4 年進行拆除研究，實際拆除時間則為 6 年，過程共產生 2600 噸的金屬廢棄物。北廠房從 2018 年 10 月已開始進行拆除，預計 2021 年將完成熱交換器的拆除。

JAEA 介紹 FUGEN 重水式的反應器的除役，自 1979 開始商轉至 2003 停機，2008 年獲得除役許可。FUGEN 在拆除反應器核心前需要將與核心連結的管路系統拆除，執行這項工作必須要克服使用切割工具的空間限制，最後 FUGEN 經過各種工具評估後選用軌道切割機(clamshell cutting machine)來進行管線切除，這個機具在安裝後可遙控進行切割，與其他機具相比，其在切割時產生的氚(tritium)含量最低。

在廢棄物管理專方面，EDF 介紹 WasteApp，是一種可用於平板電腦和桌上電腦的行動應用程式 App，可簡化和改善 EDF 核電機組的廢棄物管理流程。運用此 App 可掌控庫存管理、掌控包裝的儲存區、減少操作員的劑量、並可隨時間進行更新。

(二) 德國 KTE 核設施參訪心得

KTE(Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe)隸屬 EWN(Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH)集團(如圖五所示)，員工約有 600 人，位於 KIT (卡 Karlsruhe Institut of Technoloy)的校區內。KTE 是由政府部門資助的公司，主要資助者為聯邦教育和研究部、巴登-符騰堡州(Baden-Wurttemberg)經濟部事務、勞工和住宅部。KTE 前身為核能研究中心，設施分布在 KIT 校區的北方，目前僅負責 KIT 核設施的除役和廢棄物管理，然而並不負責商用核反應器、實驗室或廢棄物管理設施的研究發展。



圖五、EWN 集團分布及 KTE 位置圖

KTE 位於卡爾斯魯爾(Karlsruhe)北方約 10 公里處，負責 1960 至 1980 年代為進行基礎和應用研究所建造核設施的除役工作。這些設施主要為各種類型的研究用和原型反應器，以及核燃料再處理廠(如圖六所示)。

KTE 所有核設施除役後所產生的放射性廢棄物，必須處理成適合最終處置的廢棄物包裝件，並在運送到聯邦處置庫之前進行臨時貯存。所以 KTE 目前擁有並運轉德國廢棄物量最大的中低階放射性廢棄物的臨

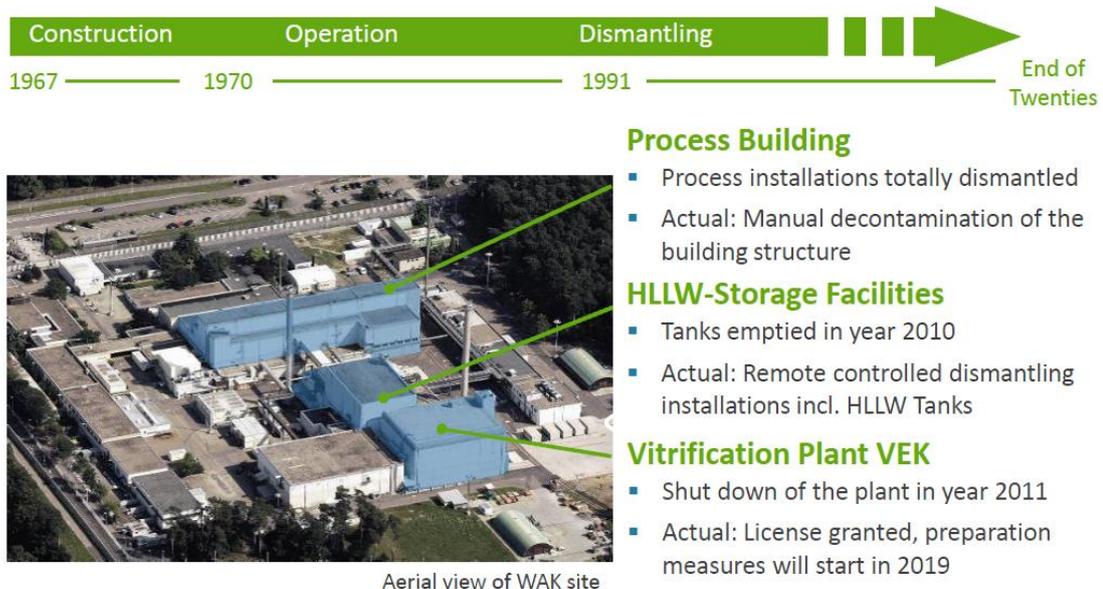
時儲存設施。一旦“Schacht Konrad”聯邦處置庫開始運作，臨時儲存在 KTE 的廢棄物包裝件將運送至聯邦處置庫。



圖六、KTE 核設施分佈圖

1. 卡爾斯魯爾再處理廠(Karlsruhe Reprocessing Plant),WAK

卡爾斯魯爾再處理廠(Karlsruhe Reprocessing Plant)，簡稱 WAK，建於 1960 年代，作為商業再處理的試驗工廠。通過再處理，可以回收用過核燃料棒的可再利用成分。從 1971 年到 1990 年，來自各種實驗和動力反應器的 200 多噸核燃料在 WAK 工廠進行再處理。鈾和鈾與核分裂產物進行分離，以便在新的燃料元件中重複使用。經由處理產生的高濃度廢棄溶液稱為高活性廢棄物濃縮物(HAWC)，留在 WAK 再處理廠的貯存建築物中。1989 年，德國放棄在 Wackersdorf 設立商業後處理廠的計劃，因此，卡爾斯魯爾的再處理業務於 1991 年宣告停止，並開始進行卡爾斯魯爾再處理廠的除役作業(如圖七所示)。



圖七、KTE 燃料再處理場 WAK 除役進程

最初幾年 WAK 的除役重點在於清空再處理建物，以便安裝所需的所有裝置。於 1996 年開始拆除工作。根據測量的輻射劑量率，決定安裝人員採取手動或遙控拆除工作。再處理的隔間從由上方的隔間大廳進入，使用遙控拆除。管道、儲存罐和其他工廠的零組件被拆除直接放入運送箱中，或者如果可能的話，不拆解將其裝入容器中並運送 KTE 的廢棄物管理設施中。

到 2002 年底主要的再處理裝置都已拆除，建物結構的後續工作仍在進行中。這項工作包括放射性除污，並且在大部份的範圍內，對 PCB 和石棉的去除進行了除污。為此目的，到目前為止已經鋸掉了大約 200 個帶有穿越裝置的混凝土塊，總共拆除了大約 16000 平方米污染的牆壁和天花板塗層。

為了固化高活性廢液成為符合最終處置條件的廢棄物，卡爾斯魯爾玻璃固化設施(Karlsruhe Vitrification Facility, VEK)應運而生。來自 WAK 工廠運轉的所有高活性廢液經由固化以進行最終處置。生產的廢棄物包裝容器，即所謂的玻璃罐，放入 Castor 護箱中於 2011 年運送到 EWN 的 Greifswald 臨時貯存設施。如此一來，WAK 再處理廠的活度減少了約 99

%。同時，高活度濃縮廢液(HAWC High-Active Waste Concentrate)貯存場所拆除工作也已經開始進行。

VEK 專門用於 WAK 再處理產生的廢液進行玻璃固化。遙控拆除這個高污染的設施是一項挑戰性的任務，預計於 2019 年開始使用遠端拆除技術。

早期用於儲存高活性廢棄物濃縮物的四個桶槽位於兩個相鄰儲存建築物的厚壁混凝土隔間中，這些體積約 60 立方米的桶槽在玻璃固化運轉結束時進行清空及沖洗，目前正進行拆解中。

由於隔間和桶槽的高劑量率，僅能使用遙控機具和裝置進行拆解。用於遙控控制的拆卸裝置基本上是市售的小型電動液壓驅動挖掘機，適用於特殊的拆卸條件。單臂機械手系統可遙控連接到挖掘機以操作各種工具，例如研磨機、往復鋸和液壓切割機。對於混凝土拆除，挖掘機可以安裝混凝土研磨機和鑿子(圖八)。2015 年，開始準備拆除四個桶槽中的第一個。第一個桶槽的拆卸於 2015 年底開始，已於 2017 年完成。



圖八、KTE 燃料再處理場 WAK HLLW 遠端拆解除役

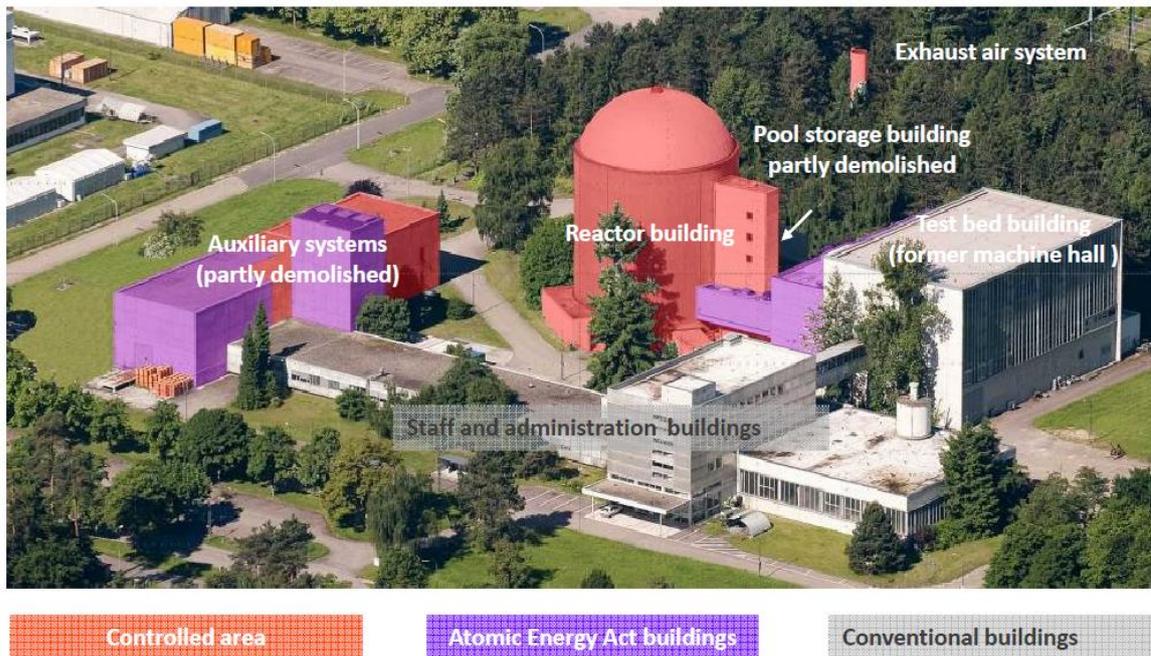
2. 多用途研究型反應器(Multi-Purpose Research Reactor) - MZFR

多用途研究型反應器，簡稱 MZFR，是一台 57MWe 的重型水冷壓水反應器(圖九)。在近 19 年的運轉過程中，在重水反應爐系統的運轉方面獲得了豐富的經驗。MZFR 於 1984 年被關閉，自 1987 年以來，反應爐一直處於除役狀態。這是 KTE 最新的除役項目。按部就班逐步清空、除污和拆除不再需要的 MZFR 建築物，再經測量依原子能法進行外釋。

MZFR 反應爐壓力容器於 1999 年至 2008 年拆除。移除了運轉結束後 99% 以上的放射性物質。反應器的總重量約為 400 噸，高度為 7.60 公

尺，直徑為 4.60 公尺，在遙控控制下進行拆卸。2010 年開始進行生物屏蔽的拆除。環形混凝土護套設計用於反應爐的輻射屏蔽。在運轉過程中，內部被活化並且被氬污染，必須遙控拆除約 370 噸活化的混凝土(圖十)。

MZFR 的除役進展順利，在安裝替代通風和電氣系統後，仍須對所有建築結構進行徹底除污，並拆除最後的運轉系統。在拆除工作之前，進行了全面的輻射測量。只有當能夠向監管機關證明未超過規定的輻射限值時，建築物才能解除管制並按一般程序進行拆除。



圖九、KTE MZFR 廠區分佈圖

Dismantling facilities (on site) and control room



Demolition excavator with tools in suspended scaffolding

Control room with operation units



圖十、遙控拆除 MZFR 生物屏蔽牆

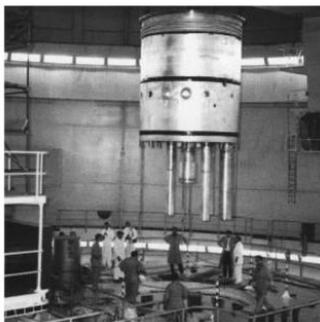
3. 研究用反應爐(Research Reactor) FR2

FR2 是德國依自有概念建造的第一座反應爐，於 1961 年 3 月投入運轉。FR2 係桶槽式反應爐，含有天然鈾燃料，使用重水作為緩速劑和主要冷卻劑。FR2 用於基本中子物理實驗，燃料開發和材料研究的中子源，此外還生產用於核醫學的放射性同位素。1981 年 12 月 21 日，FR2 在運轉 20 年後關閉，運轉時間超過 10 萬小時。直到 1996 年底才達到安全儲存的狀態。所有不需要的建築物都經過原子能法案外釋測量並被拆除。反應爐建築目前提供作為德國核技術發展之展示（圖十一）。

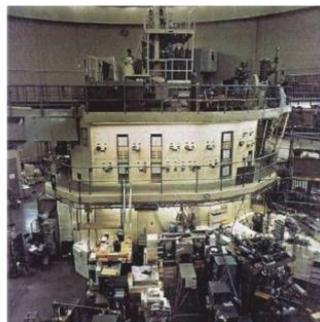
FR2 剩餘拆解的準備工作，其燃料元件位於由鋼罐包圍的鋁罐中。由反應爐組件的劑量率，推測即使考慮到自關閉後的放射性衰變，在可預見的時間內也不可能使用手動拆除。所有反應爐組件的拆卸、拆解、運輸和包裝，之後需以遙控操作完成。活化部分的生物屏蔽也將使用遙控拆除。在進行有效拆除之前，必須對基礎設施進行修改和補強。生物屏蔽周圍的上部區域將設有阻隔建物以防止污染擴散。為了切割組件，將使用在 MZFR 和其他除役計畫中成功應用的技術。首先將擬定詳細拆解程序後，計劃於 2019 年開始申請拆解執照。

Research Reactor 2 (FR2)

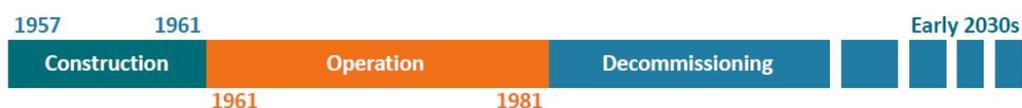
KTE



Neutron Source for Research and Development



Safe Enclosure
since 1996



圖十一、KTE FR2 建造運轉安全貯存及除役進程

(三) 德國核設施除役現況

德國核能發電國家政策演變過程中重要的轉折概述如表八。

1986 年	車諾比事故發生。德國社會民主黨改變政策，主張停用核能。
1998 年	德國社會民主黨和綠黨執政，啟動德國停用核能協商。
2000 年	政府與核能電廠經營者達成核能電廠到達 32 年使用年限後停用之協議
2002 年	修改德國原子能法
2010 年	核能技術定位為與未來再生能源的啣接技術。允許現有核能電廠延長營運年限，其中 1980 年之前營運的 7 座機組可延役 8 年，1980 年之後營運的 10 座機組可延壽 14 年。
2011 年	日本福島事故發生。國會所有政黨達成全面停用核能共識。立即停用 17 座核能電廠中的 8 座，剩下 9 座在根據修訂過後的原子能法之後，將逐步於 2022 年前停用。

表八、德國核能政策重要演變過程

2011 年 3 月福島事故前，德國 25% 電力由 17 座核能電廠供應。2011 年 3 月 11 日，福島事故發生。2011 年 5 月 29 日，德國政府宣布，將於 2022 年關閉所有的核電廠；並立即永久關閉 17 座核能電廠中的 8 座。2011 年 6 月 30 日，德國國會廢止原子能法 2010 年增修條文並恢復 2002 年增修條文。同時 Brunsbüttel 電廠宣布停止運轉。至此德國當時 17 部核能機組有 8 部停止運轉(833.6 萬瓩，佔核電容量 40%)、剩餘 9 部機組(1,200.3 萬瓩，佔核電容量 60%)在 32 年營運壽期屆滿後也不再延役。如果未來政策不變，德國核電可能於 2022 年畫上句點。

2011 年 9 月，德國西門子公司(德國 17 座核能電廠建造者)宣布完全撤出核工業。德國剩下的 4 個核電公司是 E.ON，Vattenfall，萊茵集團電力，和 EnBW。2016 年 10 月，德國 16%電力由核能供應。2018 年 9 月的現況是 7 座核能電廠運轉提供 12GWe 電力，並預估 2022 年德國將剩

餘 4 座核能電廠運轉提供 4GWe 電力，且從 2023 年 1 月 1 日起，德國將無核能電廠運轉提供電力(2018 年 9 月德國 Baden-Württemberg 邦訪問我國經濟部簡報資料)。

以上說明德國核能電廠逐步進入除役的狀況。從德國聯邦核廢料處置安全辦公室(bundesamt für kerntechnische entsorgungssicherheit)的統計資料可以看出，德國在整個核能應用領域，包括核能發電廠、研究用核反應器、核燃料循環設施進入除役的狀況如表九。

核能電廠及先導型核反應器	
運轉中	7
永久停止運轉，尚未取得除役許可	3
除役執行中	23
完成除役，解除法規管制	3
研究用核反應器	
運轉中	7
永久停止運轉，尚未取得除役許可	3
除役執行中	7
完成除役，解除法規管制	29
核燃料循環設施	
運轉中	3
永久停止運轉，尚未取得除役許可	0
除役執行中	2
完成除役，解除法規管制	9

表九、2018 年德國核設施運轉及除役現況

德國面對全國核設施大量進入除役階段，政府及持照者如何能有效推動，在核能業者方面，由於政府核能政策的反覆，提前關閉 8 座核能機組，單 2011 年 9 個月就導致 3 家德國主要電力業者超過 32.5 億歐元(1,433 億台幣)的總損失，其中 EnBW 公司虧損 8.67 億歐元(353 億台幣)；RWE 公司營收減少 15.7 億歐元(639 億台幣)；E.ON 公司虧損 8.14 億歐元(331 億台幣)。這些電力公司聯手在 2011 年於漢堡稅務法庭(Finanzgericht Hamburg)控告德國政府，求償金額超過 150 億歐元(5,700 億台幣)。瑞典 Vattenfall 電力公司也於 2011 年向華盛頓的國際投資爭端

解決中心(ICSID)提出要求德國政府賠償數十億歐元的訴訟，要循法律途徑討回公道。

歐盟法院於 2015 年 6 月裁定課徵核能燃料稅並無違憲，而漢堡稅務法庭卻於 2016 年 1 月裁定為違憲。另外在 2016 年 4 月，由 19 人組成的之財政審查的委員會(KFK)認為這些電力業者必須負擔 233 億歐元的除役基金。目前德國政府與電力業者的合作架構為，業者負責其將核能設施以立即拆除方式除役，妥善包裝其用過燃料，並適當處理除役廢棄物至完善包裝於適當容器，其後便由政府接手，負責所有放射性廢棄物，包括用過燃料，之貯存及最終處置。此合作架構被認為是德國能夠順利推動核能後端作業的關鍵

(四) 法國核設施除役現況

1. 法國核能政策

法國長期以能源安全為基礎的政策，約 75% 的電力來自核能，為世界上最大電力出口國，因其發電成本非常低，每年從中獲利超過 30 億歐元。法國一直非常積極發展核能技術，反應器、核燃料一直是重要的出口產品，且法國大約 17% 電力來自回收的核燃料。

目前法國能源政策是根據 2015 年 8 月 “綠能增長能源轉型法案”(Energy Transition for Green Growth Bill)，並在此法案框架下進行能源轉型。該法案的主要能源政策包括，促進綠能產業，創造更多就業機會和業務成長，確保能源的供應並減少石化燃料的依賴，解決燃料缺乏，並通過減少溫室氣體排放和空氣污染保護環境與人民的健康。該法案為上述的能源政策設定了量化的目標。與 1990 年相比，2030 年的溫室氣體排放量減少 40%。與 2012 年相比，2050 年的總耗能降低 50%。與 2012 年相比，2030 年石化燃料的使用量減少 30%，在 2025 年核能將降至 50%。不過法國總理在 2018 年 9 月，表示 2035 年可能是一個新的期限將核能減少至 50%，另外該國的新能源計畫預計在 2018 年底前公布。

法國核設施運轉現況，在 2016 年，核電廠發電量 384 TWh，佔法國總發電量的 71% 以上。法國是世界第二大核電生產國，平均可用率約為 79.5%。在電力供應系統中核能的可發電量達到 63,130 MWe，共由 58 個 PWR 進行運轉供應電力(34 個 900 MWe 的反應器，20 個 1300 MWe 的反應器，4 個 1450MWe 的反應器)。在 ASN(法國原子能安全委員會)的管制下，所有 EDF 的核電廠每十年將進行一次全面的安全重新評估。

福島核災的事故發生後，法國再次執行了安全評估，確認目前核電廠的安全標準已提供了足夠的餘裕對抗外部危害（地震，洪水等），並為了應對極端危險，進行了額外的預防準備。

2. 法國核能除役現況

法國目前永久停機的有 12 部機組，如表十所示，國際上除役策略普遍採用的分別是立即拆除 (Immediate Dismantling ; ID)及延緩拆除 (Deferred Dismantling ; DD)，目前法國的拆除策略皆採用立即拆除。2008 年 4 月，ASN 發布了關於除役的政策草案，建議法國核設施許可證持有者應採用“立即拆除策略，”而不是安全儲存。

表十、法國面臨除役的核電廠

核電廠	反應器 型式	功率 MWe	狀態	營運 商	商轉日 期	停機時 間	除役 策略	除役 許可 年限
BUGEY-1	GCR	540	Permanent Shutdown	EDF	1972/7/ 1	1994/5/ 27	ID	2020
CHINON A-1	GCR	70	Permanent Shutdown	EDF	1964/2/ 1	1973/4/ 16	ID	2027
CHINON A-2	GCR	180	Permanent Shutdown	EDF	1965/2/ 24	1985/6/ 14	ID	2025
CHINON	GCR	360	Permanent	EDF	1966/8/ 1	1990/6/ 1	ID	

A-3			Shutdown		4	15		
CHOOZ-A (ARDENNES)	PWR	305	Permanent Shutdown	SENA	1967/4/ 15	1991/10/ /30	ID	2019
EL-4(Brennilis)	HWGR	70	Permanent Shutdown	EDF	1968/6/ 1	1985/7/ 31	ID	2015
G-2 (MARCOULE)	GCR	39	Permanent Shutdown	COGEMA	1959/4/ 22	1980/2/ 2	ID	
G-3 (MARCOULE)	GCR	40	Permanent Shutdown	COGEMA	1960/4/ 4	1984/6/ 20	ID	
PHENIX	FBR	130	Permanent Shutdown	CEA/EDF	1974/7/ 14	2010/2/ 1	ID	
ST. LAURENT A-1	GCR	390	Permanent Shutdown	EDF	1969/6/ 1	1990/4/ 18	ID	
ST. LAURENT A-2	GCR	465	Permanent Shutdown	EDF	1971/1/ 1/1	1992/5/ 27	ID	
SUPER-PHENIX (Creys-Malville)	FBR	1200	Permanent Shutdown	EDF	1986/1/ 2/1	1998/12/ /31	ID	2025

IAEA 的資料顯示，迄至 2017 年 12 月已有 33 個法國基礎核設施(如核電廠、研究用反應器、實驗室、燃料處理裝置、廢棄物處置場等)已進行除役或是停機。

在法國目前面臨除役的反應器中，以第一代法國核電廠 UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz) 為主，UNGG 和 Magnox 兩種是氣冷式反應器 (GCR; Gas Cooled Reactors) 的主要類型，而 UNGG 反應器在國際文獻中通常簡稱為 GCR。GCR 使用石墨作為中子緩速劑，二氧化碳作

為冷卻劑，能夠使用天然鈾作為燃料，使開發它們的國家能夠製造自己的燃料，而不需依賴其他國家供應濃縮鈾。

法國的 GCR 反應器在 1960 年代建造，目前皆已面臨除役，GCR 反應器在設計上普遍都有非常厚的混凝土屏蔽、一大堆的石墨塊以及複雜的支持結構。在拆除 GCR 常碰到的技術議題，預力混凝土 (prestressed) 的切割 (最厚高達 9m 的混凝土)，金屬切割問題 (最厚達 20cm)，大量的石墨塊需要移除，大範圍遙控機具的佈署 (最大跨距達 30m)。在拆除 GCR 反應器還會面臨的一個問題就是大量的廢棄物，GCR 反應器產生的廢棄物會比 PWR 類型的反應器多 10~30 倍。

法國目前已經進行除役的 GCR 反應器中 CHINON A-3 和 BUGEY-1 進度最快，CHINON A-3 已完成了熱交換器的拆除、BUGEY-1 已拆除了反應器周遭的電機系統與管路。EDF 預計 2017-2020 要完成 Saint Laurent A2 反應器周遭電機系統與管路的拆除，預估會有 1600MT 的廢棄物其中包括 600MT 的受污染廢棄物。

四、建議事項

- (一)CPD 為目前國際間最具聲望及受到矚目的核設施除役合作計畫。以我國並不具 OECD/NEA 會員國身分的條件下，本公司能夠克服困難加入 CPD 成為正式會員，此項成果確實得來不易。依目前的規劃，核一廠將自明(108)年開始進入實質除役，對於國際除役資訊與經驗的需求將更為殷切。在預算許可的前提下，建議往後能夠比照今年的做法，增加派員出席 TAG 會議的頻次，積極參與以達到交流合作的目的。
- (二)與本公司核一廠同屬於 CPD 除役計畫的日本 Hamaoka 核電廠，機組類型都是沸水式反應器(BWR)，目前 Hamaoka 廠房外正進行主變壓器及重油儲存槽等的拆除作業，廠房內正進行汽機、發電機及熱交換器等拆除，反應爐規劃於 2023 年開始進行拆除，相關技術經驗非常值得作為我國核電廠除役拆解之規劃參考。今年 11 月在核一廠舉辦的 EPRI 國際除役技術研討會上，EPRI 專家也建議可選擇日本 Hamaoka 核電廠做為除役拆廠觀摩學習的對象。因此建議能將日本 Hamaoka 核電廠列為未來本公司赴國外進行除役技術參訪及標竿學習的目標設施。
- (三)參加本次 TAG 65 會議交流過程中，獲知一項有關核能除役訓練資源的相關訊息。主辦單位 KTE(卡爾斯魯爾核能技術公司)與其隸屬德國國營核能除役與核廢處理 EWN 公司，協同卡爾斯魯爾理工學院 KIT 之學者教授及現場核設施，已開始為核能除役業界提供包括課堂講授及核設施現場實習之全方位訓練。本公司於今年 9 月亦曾派員赴德國 RWE 電力公司所屬核電廠進行除役技術交流，建議未來雙方在核能除役技術與經驗持續進行交流外，亦可考慮利用德國國營公司所提供的核能除役技術訓練資源，強化核能除役自主核心技術的學習。

五、附件

(一)台電公司金山核電廠除役計畫辦理現況簡報