

出國報告（出國類別：開會）

OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)
第 66 屆技術諮詢組(TAG)會議

服務機關：核能研究所
姓名職稱：黃君平 副研究員
派赴國家/地區：加拿大
出國期間：108 年 5 月 12 日~108 年 5 月 19 日
報告日期：108 年 6 月 12 日

摘要

本次公差為核研所薦任副研員黃君平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 66 屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議。目的為核設施除役技術及經驗之交流，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 年開始以台灣研究用反應器(TRR, Taiwan Research Reactor)除役計畫名義加入 CPD，即持續派員參加該計畫之 TAG 會議，上一次核研所派員參加 2018 年 10 月於德國舉辦之 TAG 65 會議。

TAG 66 會議於 2019 年 5 月 13-17 日於加拿大舉行，由加拿大原子能公司(Atomic Energy Canadian Limited, AECL) WhiteShell Laboratories (WL)主辦，合計共 11 國與歐盟共同研發中心參與，並有 22 個除役計畫超過 34 位專家與會。5 月 13-15 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 12 篇，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，專題報告 7 篇，共收集 25 份簡報資料，經所有會員同意會議中所取得之報告、影像與資訊均屬機密，除取得個別會員之同意外不得散佈，並已於會員協議書修訂版中載明保密協定。5 月 16 日參訪加拿大 AECL 公司，參觀其廢棄物管理區及放射性廢棄物運送作業現況，5 月 17 日參訪加拿大 WL WR-1 反應器除役。CPD/TAG 會議是取得國際核設施除役資訊的有效平台，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：核設施除役與拆解、廢棄物除污與管理、輻射防護。

目 次

一、目的.....	1
二、過程.....	2
(一) 公差行程及會議內容.....	2
(二) 上屆 TAG 65 會議與會成員決議事項摘錄.....	3
(三) NEA 近期在除役的活動及展望摘錄	8
(四) 新計畫申請加入 CPD.....	10
(五) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論	10
(六) AECL WHITESHELL LABORATORIES 除役現場參訪	11
三、心得.....	18
(一) 會議簡報與討論心得.....	18
(二) AECL WHITESHELL LABORATORIES 廢棄物管理區現場參訪心得	24
(三) AECL WHITESHELL LABORATORIES WR-1 除役現場參訪心得.....	25
四、建議事項.....	27

表目錄

表一、OECD/NEA CPD 會員與除設計畫彙整表.....	5
表二、本次國外公差主要行程表.....	6
表三、第 66 屆 TAG 會議燃料循環與其他核設施除役簡報項目	6
表四、第 66 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目	7
表五、第 66 屆 TAG 會議專題	8
表六、近期 CPD 會員變動（更新至 2019 年 5 月）	10
表七、AECL WL STANDPIPES 數量與型式	24
表八、近期 TAG 會議現場參訪各國核子反應器除役策略彙整	27

圖目錄

圖一、CPD/TAG-66 會議地點（加拿大 WINNIPEG, FORT GARRY HOTEL）	3
圖二、由會議地點(FORT GARRY HOTEL)至 AECL WL 路線	3
圖三、核設施除役與遺留廢棄物管理委員會(CDLM, COMMITTEE ON DECOMMISSIONING OF NUCLEAR INSTALLATIONS AND LEGACY MANAGEMENT)組織簡圖	9
圖四、CPD、CDLM 與 RWMC 等單位關聯	9
圖五、WHITESHELL LABORATORIES WR-1 場址全景	13
圖六、WL WR-1 研究用反應器廠房	13
圖七、WL WR-1 現址除役(IN-SITU DECOMMISSIONING)（固封）示意	14
圖八、WL WR-1 除役時程規劃	15
圖九、WL 廢棄物管理區(WASTE MANAGEMENT AREA)	16
圖十、WL 地下直立貯存管區(STANDPIPES AREA)	16
圖十一、中階放射性廢棄物掩體區(ILW BUNKERS AREA)	16
圖十二、自動化取出設備	17
圖十三、廢棄物處理及分類程序	17
圖十四、AECL 轉為政府所有包商承攬模式之運作架構	19
圖十五、斯洛伐克 BOHUNICE V1 反應器及蒸氣產生機 3D 模型	20
圖十六、纖維強化水泥容器(FIBER CONCRETE CONTAINER, FCC)	21
圖十七、TAG 66 本所 TRR 除役進度與狀態簡報	21
圖十八、瑞士 MÜ HLEBERG 核電廠場址及外觀	22
圖十九、MAESTRO 機械手臂及附屬系統	23
圖二十、WR-1 現址除役後廢棄物系統功能與設計示意	25
圖二十一、WR-1 除役風險評估項目示意	26

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(The NEA Co-operative Programme for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects, CPD)第 66 屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，TAG 66 會議於 108 年 5 月 13~17 日在加拿大舉行，由加拿大原子能公司(Atomic Energy Canadian Limited, AECL) WhiteShell Laboratories (WL)主辦，合計共 11 國與歐盟共同研發中心參與，並有 22 個除役計畫超過 34 位專家與會。

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 除役計畫執行規劃及進度、燃料池清理相關技術、用過燃料乾式貯存孔 (Dry Storage Pits, DSP)清除工程與廢棄物管理，及爐體廢棄物拆除規劃。

二、過程

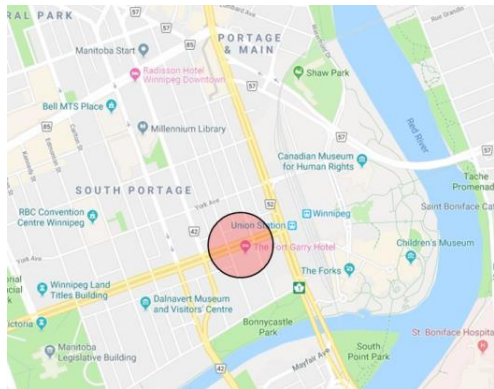
(一) 公差行程及會議內容

CPD 計畫於 1985 年成立，主要目的是作為國際間核設施除役經驗資訊交換與分享平台。成立初期成員為 8 個國家的 10 個除役計畫，至 2019 年成長至 71 個除役計畫(40 個反應器及 31 個燃料循環設施)，共 15 個國家及歐盟，最新的一期協議有效期程為 2019~2023 年。CPD 所彙集的資訊主要來自每年兩次(5 月及 10 月)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，係一閉門會議並有半獨立運作性質的單位，運作模式不同於 NEA 所屬其他委員會，1985 年根據 NEA 法規第五條(Article 5)設立。依據各成員的需要，TAG 依據重要的議題成立任務編組(Task Groups)；例如，2014 年的任務編組主題為「核設施除役期間的場址整治與復育」(Nuclear Site Remediation and Restoration during Decommissioning of Nuclear Installations)，報告已公開於 NEA 網站上。另一個任務編組係針對 1996 年所出版的「核設施除役產生之廢金屬回收再利用」報告，新增 18 年間的執行經驗更新，並於 2017 年發表刊登。最新的任務編組 2017 年成立，鎖定的議題為「高活度污染桶槽的拆解」。在 2019 年之前，CPD 定期向 NEA 的放射性廢棄物管理委員會(Radioactive Waste Management Committee, RWMC)呈報，並與旗下的 Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD)有著緊密的合作關係。

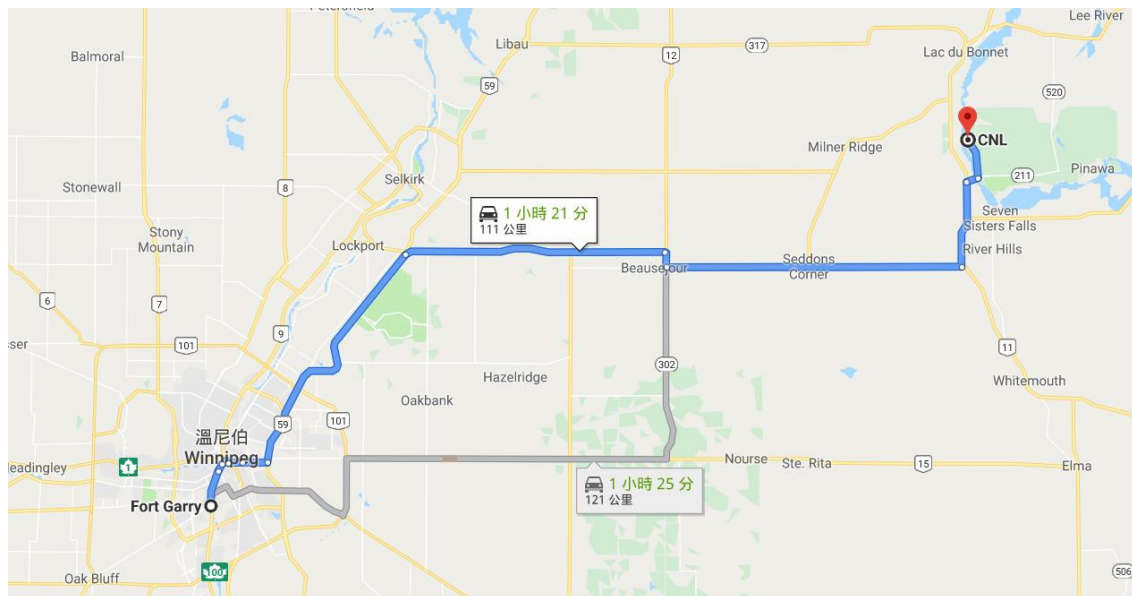
我國自 2000 年開始以 TRR 除役計畫加入 CPD，提供 TRR 燃料池清理執行現況及所發展之相關技術，並說明 TRR 用過燃料乾貯場清除程序及爐體廢棄物拆解規劃，並從會議中與各國除役專家技術交流及討論，取回各國即時的除役相關資訊。至 2019 年 5 月 CPD 會員與參與計畫如表一所示，表內灰底粗體字為 TAG 66 出席的計畫項目。TAG 66 會議由 AECL WL 主辦，於 108 年 5 月 13~15 日在加拿大舉行(圖一)，並於 5 月 16~17 日參訪 AECL WL 除役中場址(圖二)，合計共 11 國與歐盟共同研發中心參與，並有 22 個除役計畫 34 位專家與會。主要公差行程如表二所列；5 月 13-15 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 12 篇，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，與專題簡報 7 篇，共收集 25 份簡報資料，經所有會員同意會議中所取得之報告、影像、口頭說明與資訊均屬機密，除取得個別會員之同意外不得散佈，並已於會員協議書中載明保密協定。

本章第二節至第五節分別說明 TAG 65 會員決議事項、NEA 近期動態、新計畫申請加入 CPD、未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃及場址參訪情形說明。



圖一、CPD/TAG-66 會議地點（加拿大 Winnipeg, Fort Garry Hotel）



圖二、由會議地點(Fort Garry Hotel)至 AECL WL 路線

(二) 上屆 TAG 65 會議與會成員決議事項摘錄

- 1) 重新選舉 Robert Walthery 與 Manuel 擔任未來三年 TAG 正副主席。

- 2) 同意俄羅斯 Novovoronezh units 1&2 除役計畫加入 CPD/TAG (2018/11/6-7 CPD MB 正式同意加入)。
- 3) 否決挪威 IFE 除役計畫加入 CPD/TAG 會員，因仍在申請除役許可階段，短期內不會有除役實績。
- 4) 加拿大主辦的 TAG 66 會議專題為 “Tools used during remote controlled dismantling”。
- 5) TAG 67 將由 ISPRA, JRC 在義大利主辦，主辦會員應於 TAG 66 會議中說明舉辦地點與規劃行程。

表一、OECD/NEA CPD 會員與除役計畫彙整表

2019.05 更新

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
義大利	Garigliano NPP, ITREC U-Th reprocessing plant, Latina GCR
日本	Fugen NPP , JPDR Tokai NPP, JRTF 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 Facility
斯洛伐克	Bohunice A1 , Bohunice V1
西班牙	PIMIC D&D Madrid, Jose Cabrera NPP , Vandellos 1
瑞典	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
瑞士	Mühleberg NPP Decommissioning*

* TAG 會員同意加入並受邀於 2019 年 11 月赴 MB 簡報申請

表二、本次國外公差主要行程表

月/日(星期)	工作內容重點
5/12 (日)	去程，由桃園機場出發至加拿大溫哥華轉機至溫尼伯機場； Fort Garry Hotel check-in。
5/13 (一)	1. CPD 近期活動討論； 2. 燃料循環及其他用途核設施除役簡報 (6 場)； 3. 核子反應器設施除役(3 場)。
5/14 (二)	1. 核子反應器設施除役(9 場，含 TRR 除役計畫)； 2. 新申請計畫簡報說明(Mühleberg NPP Decommissioning)； 3. 專題討論—遙控拆解作業所使用之工具 (1 場)。
5/15 (三)	1. 專題討論—遙控拆解作業所使用之工具 (6 場)； 2. 討論未來專案小組成立及目標議題； 3. 討論未來 TAG 會議主辦規劃； 4. CPD/TAG 與 CDLM 之關連與合作介面討論。
5/16 (四)	參訪 WL 廢棄物管理區之運送作業及運轉情形。
5/17 (五)	1. 參訪 WL WR-1 反應器除役； 2. 至溫尼伯機場轉機至溫哥華。
5/18~19 (六、日)	回程，由溫哥華出發回桃園機場。

表三、第 66 屆 TAG 會議燃料循環與其他核設施除役簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Riso Hot Cell	Bjarne Rasmussen/Danish Decommissioning
2) Whiteshell Laboratories Facilities Decommissioning	Craig Michaluk /AECL/Canada
3) ISPRA- Retrieval of Legacy Waste	Flavio Zanovello /Joint Research Center/EC
4) EPOC Decommissioning & Introduction OSIRIS reactor decommissioning	Lionel Mandard
5) Le Hague - UP 2-400 Decommissioning	Philippe Derycke /Orano/France
6) Sellafield Decommissioning	Bruce Wilson/Sellafield/UK

表四、第 66 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目

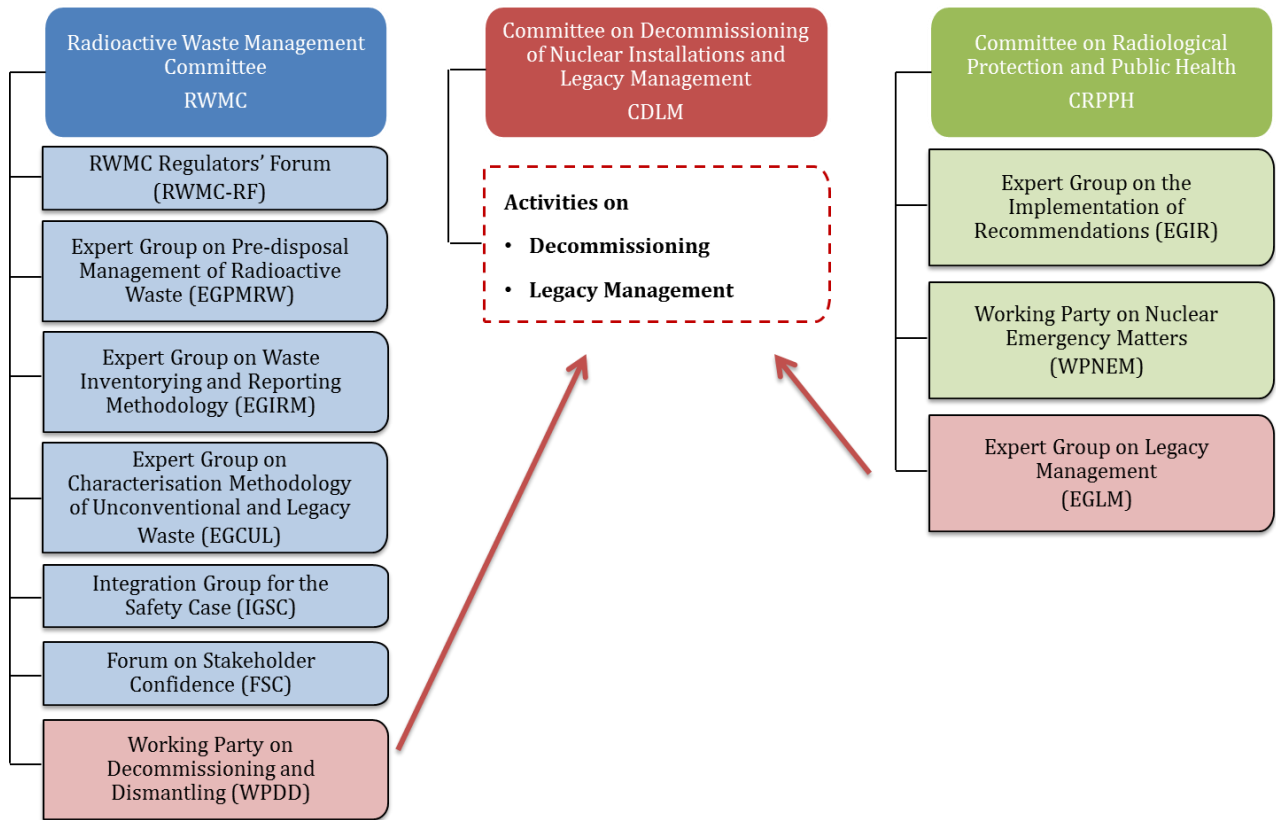
簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Bohunice V1 NPP	Martin Macasek/javys/Slovak
2) Fugen NPP	Koichi Kitamura/JAEA/Japan
3) DR3 Riso	Per Holtzmann/Danish Decommissioning/Danmark
4) TRR Decommissioning	Chun-Ping Huang/INER/Taiwan
5) Kori unit 1 Decommissioning	Seungho Lee & Sung-Phi Hwang/KHNP/Korea
6) Chinshan NPP Decommissioning	Wen Bin Chang & Hsing-Han Liu/TPC/Taiwan
7) Hamaoka NPP Decommissioning	Motonori Nakagami & Hideto Hayashi/CHUBU/Japan
8) NPP Greifswald Decommissioning unit 1-5	Ronald Strysewske/EWN/Germany
9) KTE Reactor Decommissioning	Johannes Rausch/KTE/Germay
10) R2/R2-0 Decommissioning	Christoffer Elmark/Vattenfall AB(SVAFO)/Sweden
11) JOSÉ CABRERA NPP D&D	Manuel Ondaro /ENRESA/Spain
12) BR 3 Decommissioning	Michel Estas/SCN-CEK/Belgium

表五、第 66 屆 TAG 會議專題

“Tools used during remote controlled dismantling”	
簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Cold testing of the tools for remote controlled dismantling of the biological shield of the KNK reactor	Ulrich Scholl/EWN/Germany
2) Tools used during remote controlled dismantling by CEA	Eric Gouhier/CEA/France
3) CNJC Remote Tools – RPV Internals and RPV cutting tools	Manuel Ondaro /ENRESA/Spain
4) Cutting tools used during dismantling of DR3 internals	Per Holtzmann/Danish Decommissioning/Danmark
5) Tools used during remote controlled dismantling by SCK/CEN	Michel Estas/SCK/CEN/Belgium
6) Tools used during remote controlled dismantling by EWN/Greifswald	Ronald Strysewske/EWN/Germany
7) Sellafield - Remote size reduction of redundant fuel skips	Bruce Wilson/Sellafield/UK

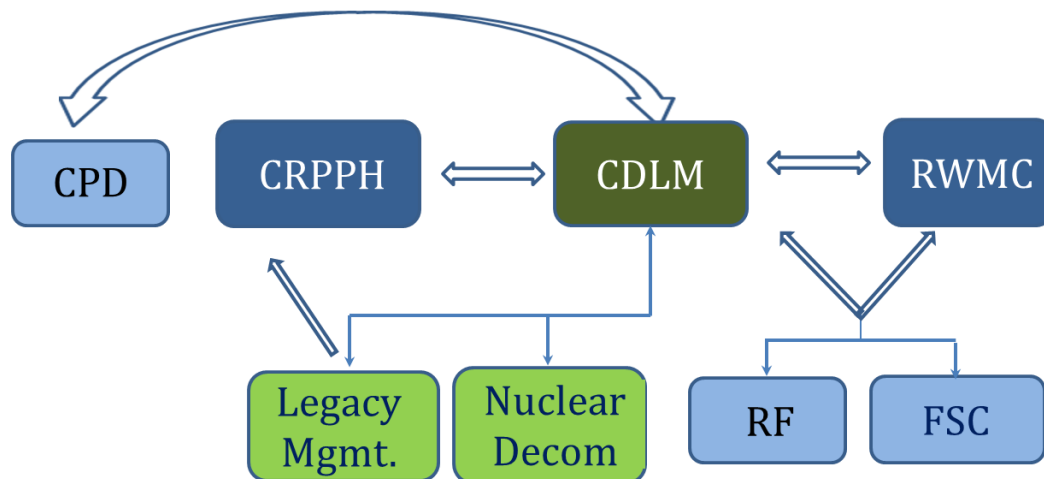
(三) NEA 近期在除役的活動及展望摘錄

除役與拆解工作組 (Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD) 於 2018 年 11 月召開最後一次會議 WPDD-19 後正式結束。2019 年 1 月 16 日核設施除役與遺留廢棄物管理委員會 (CDLM, Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management) 召開工作計畫研討會，討論 CDLM 的未來工作計畫方向，並確立其組織架構，如圖三所示。此委員會將由 RWMC (Radioactive Waste Management Committee) 組負責，而未來有關 CPD、CDLM 與 RWMC 等單位關聯如圖四所示，目前 CPD 與 CDLM 的介面合作協議初稿已傳送全數會員討論中，在本次的會議當中 (2019/5/15) 許多會員亦表達許多意見，會中討論將近兩小時。



圖三、核設施除役與遺留廢棄物管理委員會 (CDLM, Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management)組織簡圖

Work Coordination with CDLM



圖四、CPD、CDLM 與 RWMC 等單位關聯

(四) 新計畫申請加入 CPD

2019 年瑞士 Mühleberg 核電廠除役計畫申請加入 CPD/TAG，其母公司 BKW 於 2013 年決定 Mühleberg 核電廠 2019 年永久停止運轉，現已取得除役許可。會員同意該項計畫加入 CPD。近期 CPD 會員變動彙整如下：

表六、近期 CPD 會員變動（更新至 2019 年 5 月）

日期	計畫	狀態
2015/9/30	日本 Radwaste and Decommissioning Center	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 公司所有 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 Decommissioning	三年後再申請
2018/12/31	瑞典 Studsvik Active Central Laboratory (ACL), SKB	協議中止退出
2018/12/31	德國 Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH, KKB Brunsbüttel	協議中止退出
2018/10	挪威 IFE 除役計畫	否決
2018/10	俄羅斯 Novovoronezh unit 1&2	加入
2019/5/14	瑞士 Mühleberg 核電廠除役計畫	TAG 會員同意

(五) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論

TAG 67 將在今年 2019 年 10 月 6~10 日舉行，由 EC JRC 主辦，未來 TAG 會議主辦規劃如下：

TAG 68：2020 年 5 月 10~15 日，英國 Sellafield 主辦

TAG 69：2020 年 10 月，日本中部電力 Hamaoka 主辦

TAG 70：2021 年 5 月，斯洛伐克 JAVYS 主辦

TAG 71：2021 年 10 月 Russia 待確認

(六) AECL Whiteshell Laboratories 除役現場參訪

WL 於 1964 年開始營運，隸屬於 AECL，位於加拿大 Manitoba 省 Winnipeg 市區東北方約 100 公里處（圖五），為功率 60 MW 的有機液體冷卻式研究用核子反應器 WR-1 (Organic Liquid-Cooled research Reactor)的場址所在（圖六）。但隨著任務的變化，該場址開始建立各種研究系統與執行各項計畫，包括 SLOWPOKE 反應器和地下研究實驗室來研究放射性廢棄物處置，在 1980 年代，核能相關研究計畫開始減少直至 2003 年決定關閉該場址，2003 年該場址通過環境影響評估，隨後由加拿大核安全委員會(CNSC)發布場址除役許可，即開始拆除許多不再使用的建築物，並新建廢棄物處理設施。2015 年 9 月 13 日 AECL 轉型成政府所有包商承攬的 GoCo 模式(Government-owned, Contractor-operated)來管理與運轉 AECL 之場址，稱為 CNEA (Canadian National Energy Alliance)。2016 年 5 月 TAG 60 會議時 WL 計畫關閉整個場址並恢復至非限制性使用(Green field)的時程為 2070 年，2017 年 5 月 TAG 62 會議新規劃是提前至 2024 年完成，計畫提前的關鍵是政府擔負所有廢料處置與集中管理場的建置，而 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；另外 WL 近期正在執行露天式地下貯存孔(Standpipes)的內部廢棄物特性調查，核設施運轉早期是利用這些貯存孔暫貯中、低階放射性廢棄物，為清理該場址，而對早期的貯存物進行調查，並研擬其清理工法。WL 的除役計畫已進行十多年，截至 2017 年，許多原始設施已關閉，依據規劃將於 2024 年除役完成。該場址主要除役項目說明如下：

1. WR-1 的除役工作

WR-1 反應器於 1985 年關閉。反應器部分除役並處於安全儲存狀態，等待最終除役，目前由加拿大核子實驗室(Canadian Nuclear Laboratories, CNL)代表 AECL 管理執行除役作業中，WR-1 為實驗用反應爐，在 1962 年達到首次臨界。反應爐內擁有垂直的燃料匣，雖採用重水作反應度控制但使用有機液體來冷卻。在 1972 年以前，WR-1 作為加拿大設計的壓力重水式反應爐(CANDU)測試使用，

之後則提供 Whiteshell 廠區輻射照射、實驗及供熱等用途直到 1985 年。WR-1 永久停機後，原先預計採用延遲除役的策略，CNL 則提議採用現址除役(In-situ Decommissioning)方式執行（圖七），可以用更安全且有效率的方式來處理位於地表以下的圍阻體建築。其方式為將特殊設計的設備以水泥漿注入反應爐，將放射性污染物封鎖於內部，並在外表面形成保護層確保與水隔離，採取這種方法可以降低對工作人員、民眾與環境所造成的風險。針對此一方案之除役方式相關時程如圖八所示，CNL 針對 WR-1 現址除役作業所撰寫的環境衝擊聲明 (Environmental Impact Statement, EIS)由加拿大相關管制單位進行技術評估，針對 CNL 所提出之報告，由 CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission)與其他相關機構（原住民及公眾）共提出 233 條審查意見，CNL 已回復相關意見並舉行公聽會，現已取得除役（固封）的許可。

2. 廢棄物管理區

WL 的主要除役任務之一是清除位於廢棄物管理區(Waste Management Area, WMA)的 171 個露天直立地下貯存管(Standpipes)和 7 個中階放射性廢棄物掩體 (ILW bunkers)內的廢棄物，分別如圖九、圖十與圖十一所示。早期是利用這些貯存孔暫貯中、低階放射性廢棄物，為清理該場址，WL 已完成內部廢棄物特性調查，並研擬相關清理工法與設備，模擬試驗區建置中，相關自動化設備建置已趨近完成（如圖十二與圖十三），規劃 2019 年夏天將開始將廢棄物取出並檢整，規劃將所有放射性廢棄物分類完成後（包含低階放射性廢棄物 LLW，中階放射性廢棄物 ILW 與高階放射性廢棄物 HLW）運送至兩千公里外的 CRL (Chalk River Laboratories)場址集中式中期貯存。



圖五、WhiteShell Laboratories WR-1 場址全景

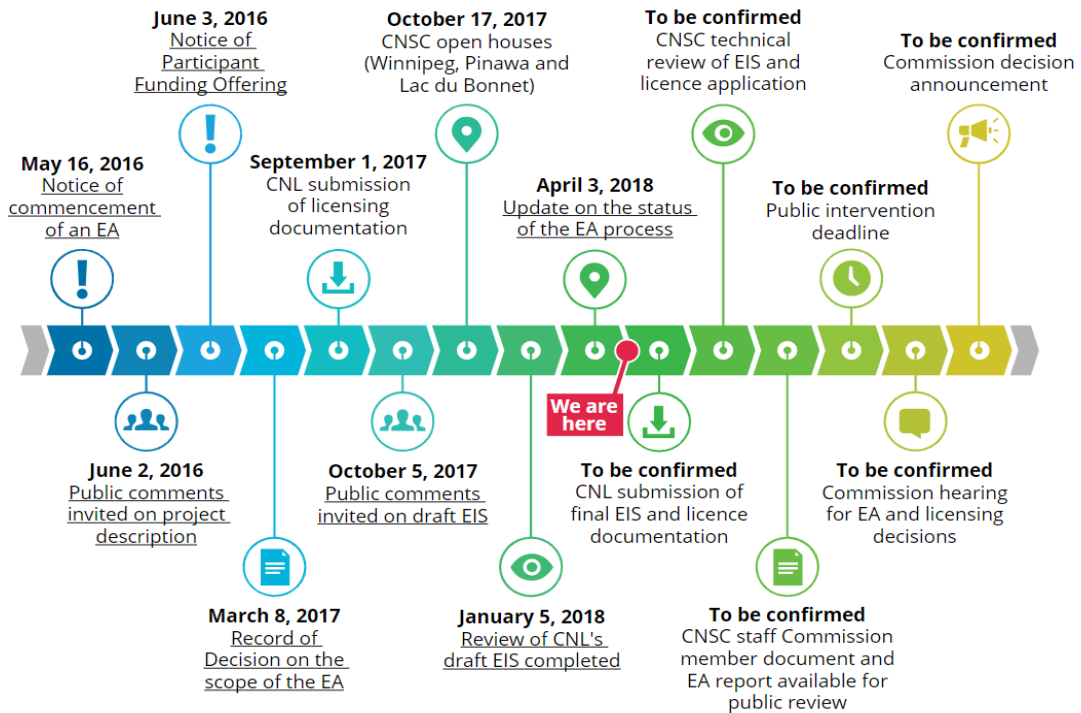
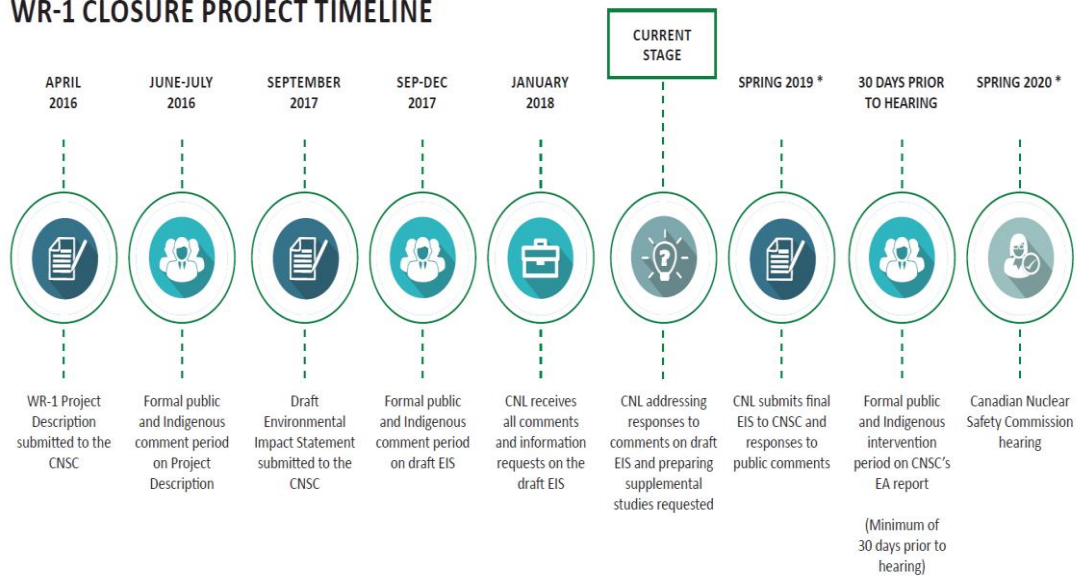


圖六、WL WR-1 研究用反應器廠房



圖七、WL WR-1 現址除役(In-situ Decommissioning) (固封) 示意

WR-1 CLOSURE PROJECT TIMELINE



圖八、WL WR-1 除役時程規劃



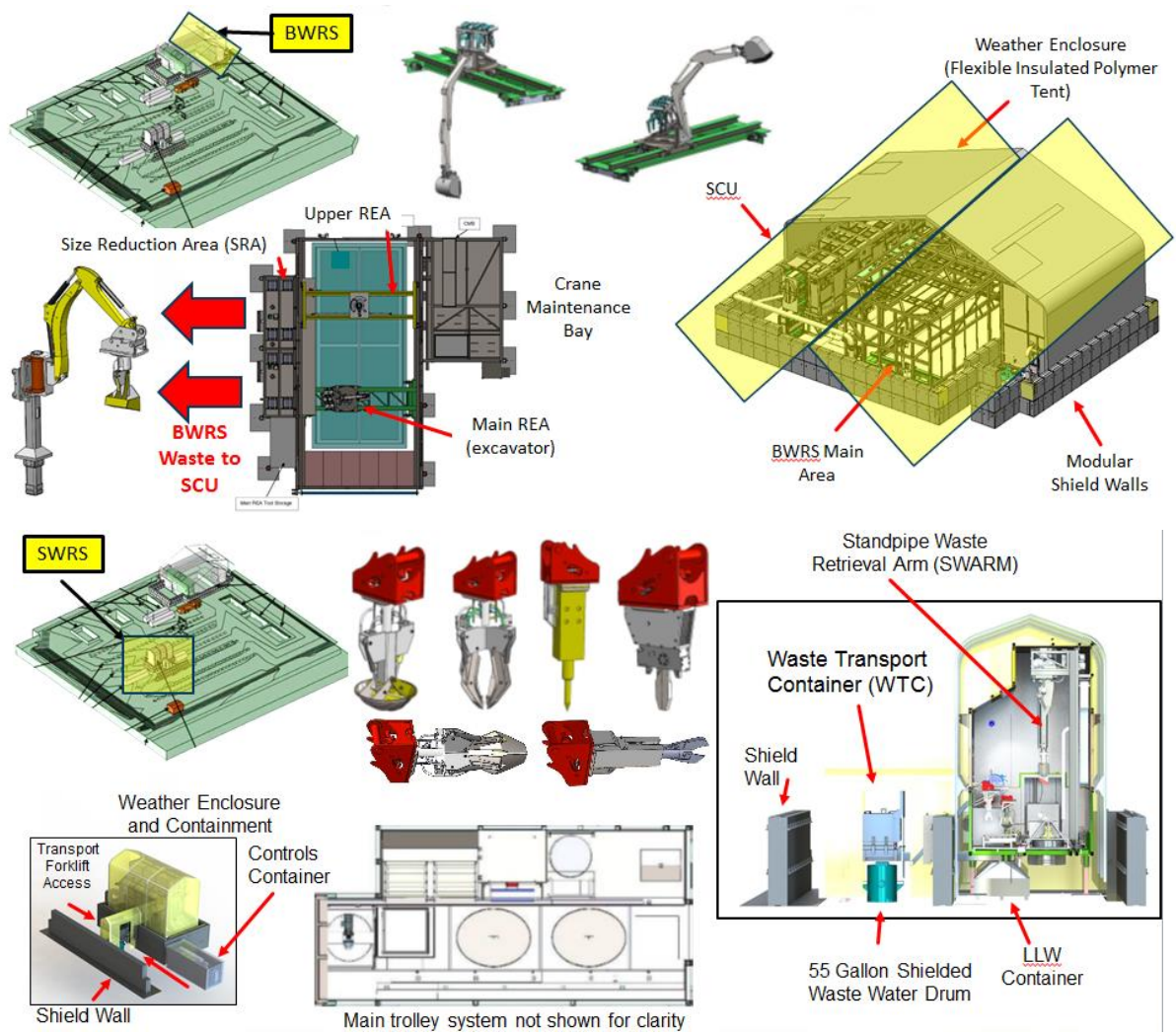
圖九、WL 廢棄物管理區(Waste Management Area)



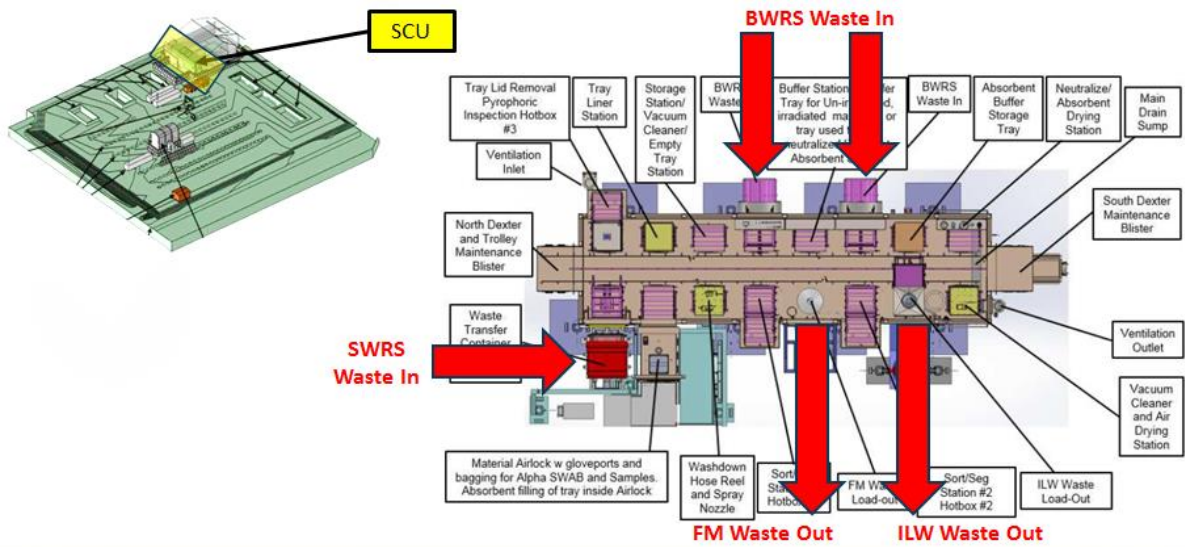
圖十、WL 地下直立貯存管區(Standpipes Area)



圖十一、中階放射性廢棄物掩體區(ILW Bunkers Area)



圖十二、自動化取出設備



圖十三、廢棄物處理及分類程序

三、心得

本章摘錄會議重點心得以期可作為本所執行核設施除役與清理計畫的借鏡，並簡述現場參訪討論中關於 WL 廢棄物管理區與 WR-1 除役經驗與狀態之概要心得。

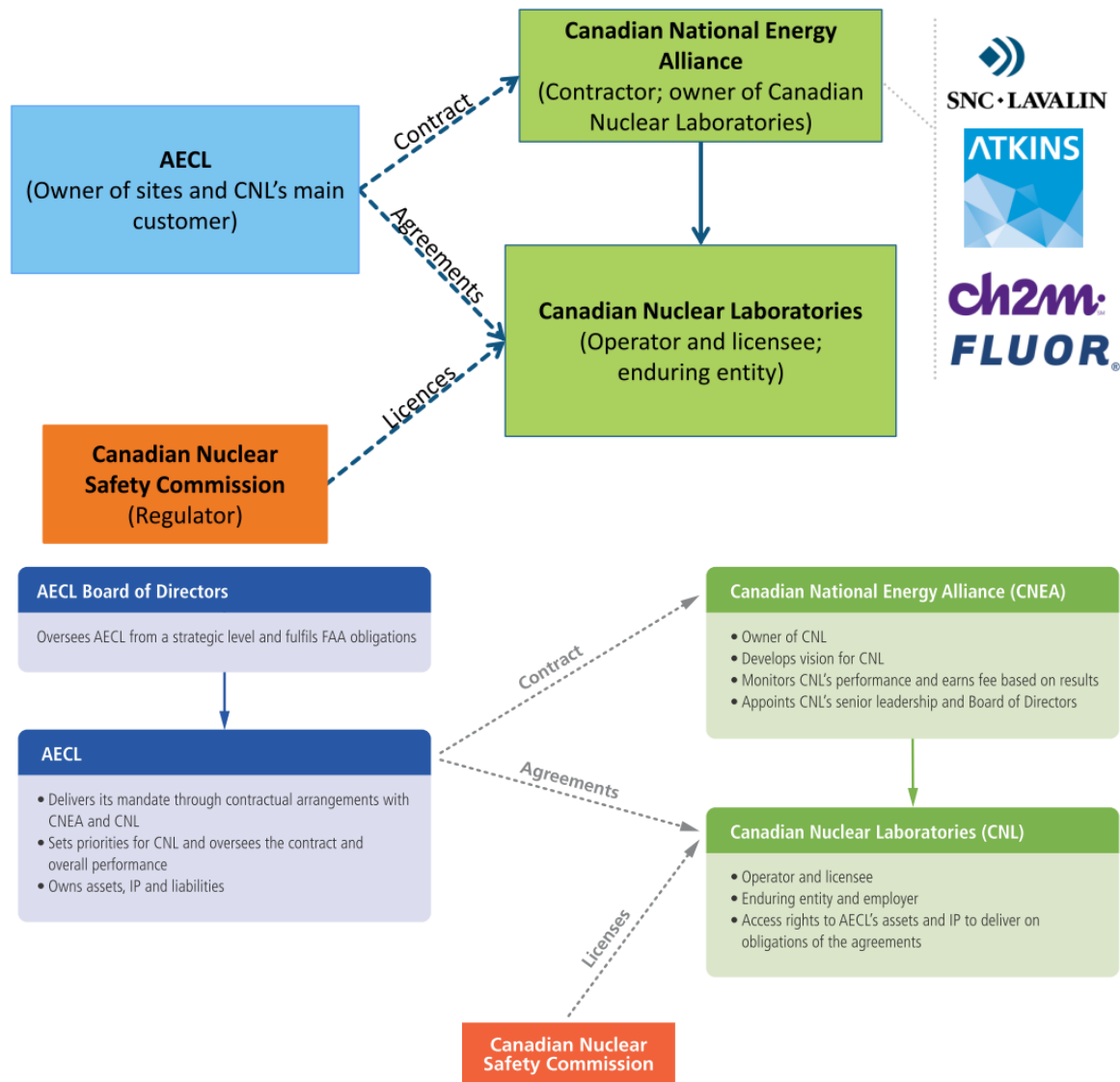
(一) 會議簡報與討論心得

1. 由於核燃料循環及其他研究用設施簡報中，以 WL 設施除役和歐盟位於義大利 ISPRA 的共同研究中心(Joint Research Centre, JRC) 遺留廢棄物再取出(Legacy Waste Retrieval)兩項與本所 TRR 燃料乾貯場清除計畫有相似情形，值得作為參考與借鏡，故摘錄這兩項計畫的執行情形簡述。

I. 加拿大 WL 設施說明重點包含 WR-1 有機液體冷卻式反應器設施除役，與廢棄物管理區作業，在 2017 年 5 月於 TAG 62 簡報時說明規劃在 2024 年 9 月場址關閉，現因為承包商在廢棄物取出等相關作業的設計有問題，可能影響安全等關鍵要因無法符合規範，設備製造也無法趕上時程，故需要延後兩年，到 2026 年 9 月才能完成。本次會議中介紹場內所有的低階及中階放射性廢液貯槽場(代碼 B200) 利用過濾、蒸發和固化處理系統；Tank 807 貯存了中低階放射性廢棄物，因輻射劑量率及污染高，故使用遙控設備敲除壁面；提出容易發生空浮的 Room 1-07 處理方法等經驗。另詳細說明 AECL 的營運模式調整的架構，如圖十四所示；AECL (員工約四十多位) 針對除役需求擬定規範及介面，再制定長期合約委由 CNEA (員工超過 3400 人) 執行，並依政府要求提供核能議題相關建議，而 CNEA 則負責除役執行、廢棄物管理、核能科技發展與建立以及 Chalk River 基礎設施及核設施提昇等任務。加拿大的核能安全委員會(CNSC) 發除役相關執照與許可給 CNL，AECL 與 CNL 之間再簽署各項協議來規範。因此，AECL 在除役與廢棄物管理上僅扮演與承包商之間的合約監督角色，不須與管制機關交涉。

II. 歐盟位於義大利之 ISPRA JRC 遺留廢棄物再取出，重點工作包含瀝青固化桶取出、Roman pits 取出、中低階放射性廢棄物與污泥管理三項。(1)瀝青固化桶的再取出設施預計 2020 第二季可建置完成；而這些瀝青固化桶的特性調查、運送及處理接近完成，最近利用非放射性假體驗證壓縮減容技術；(2)Roman pits 的清除重點在於內部廢棄物的清空，另一方面因義大利國內的處置不會接受這樣的廢棄物直接送入，後續處理程序仍與義大利的處置場負責單位協調中；(3)污泥全數收集入雙層壁的槽體中；硝酸溶液已完成特性分析，並評估其安

全貯存與固化之方式，目前設計移動式處理設施(至少兩個團隊合作中)，而最終的廢棄物包裝尚在發展中。



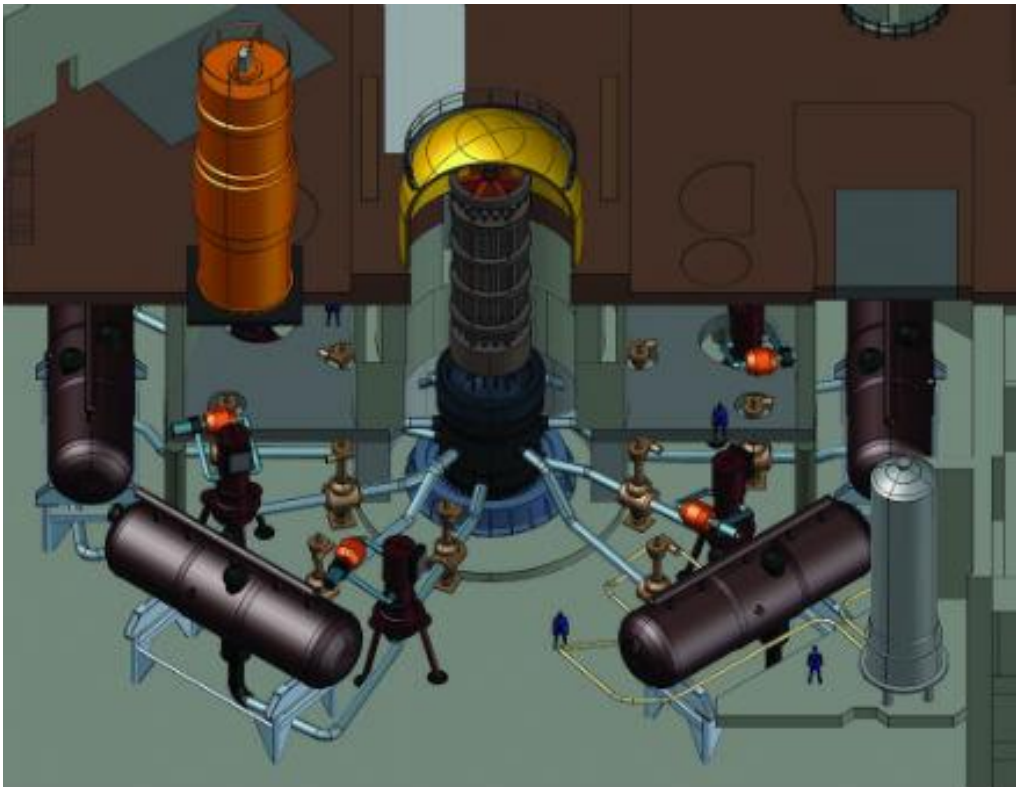
圖十四、AECL 轉為政府所有包商承攬模式之運作架構

2. 核反應器除役進度及觀察心得摘錄如下：

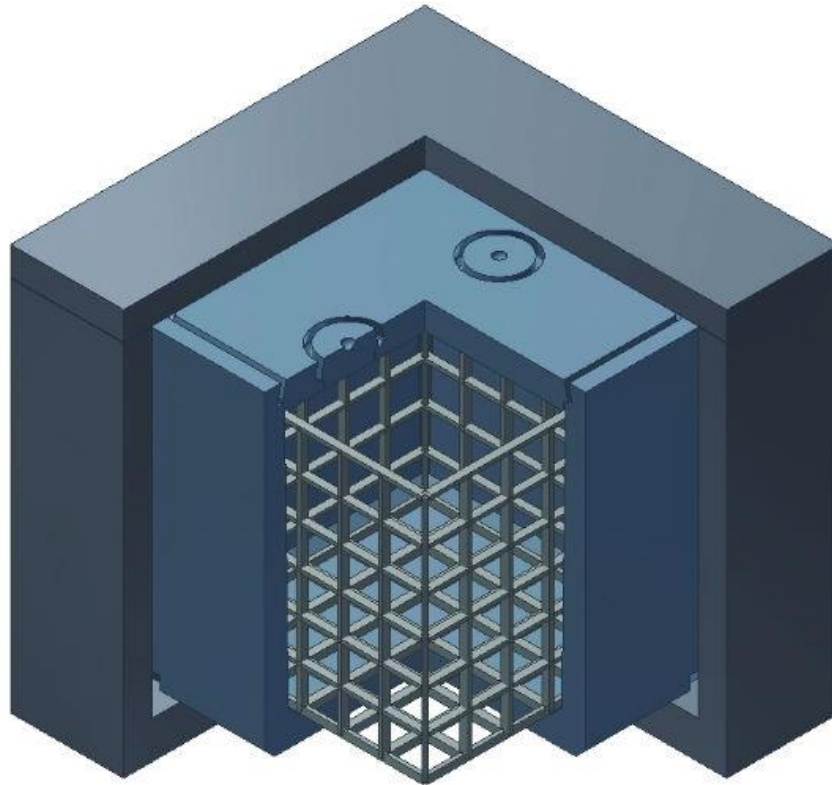
- I. 斯洛伐克 Bohunice V1 核電廠 VVER-440 反應器除役（圖十五），JAVYS (Jadrová a vyradovacia spoločnosť)於 2017 年 10 月發包給西屋公司進行反應器拆除，本次主要進度為反應器爐頂保護蓋拆解、冷卻系統拆除、上層熱屏蔽切割及緊急控制棒驅動器拆解等作業。迄今所拆除的廢棄物中有 68% 可以外釋，22% 廢棄物將進行除污，10% 可壓縮廢棄物及 0.3% 的放射性可燃廢棄物。另一方面，JAVYS 建置一套特性調查及外釋量測工作站並將原汽機廠房改建為乾式切割站，亦完成反應器廠房內建置濕式切割站之設計規劃。除役所產生之固體低階與極低微放射性廢棄物將裝於提籃後再置入纖維強化水泥容器(Fiber Concrete

Container, FCC)內，如圖十六所示。而有關中階放射性廢棄物的管理方面，規劃將使用 FCC 外加鋼屏蔽再置入 PK90 運送容器內。相關切割工具及盛裝容器規劃邏輯可作為本所 TRR 爐體廢棄物拆解規劃之參考。

- II. 日本 Fugen 除役持續進行反應爐內部鉛合金取樣設備之測試，另一項重點工作係在汽機廠房內建置解除管制所需的廢棄物暫置區，並在非管制區進行量測，整個操作程序包含進料、水洗（含研磨料）、清洗、噴氣至出料量測，最終的量測係在非污染區執行，量測符合外釋規範的物件包裝標示後再運送至非管制區貯存場所，今年執行了 50 公噸的金屬解除管制。
- III. 丹麥 DR3 Riso 除役計畫，爐內的石墨拆解至最後一層耗時很長的時間，因為早期重水曾經發生洩漏，加上鋁材料氧化的原因，使得石墨黏在反應器壁上，而且拆解完成後還需要用到真空吸取的方式將所有石墨粉體去除，共計耗費兩周的時間才完成拆除。相關的資訊與經驗應可供 TRR 爐內石墨拆除工法設計參考，將持續關注該設施除役的發展情形。



圖十五、斯洛伐克 Bohunice V1 反應器及蒸氣產生機 3D 模型



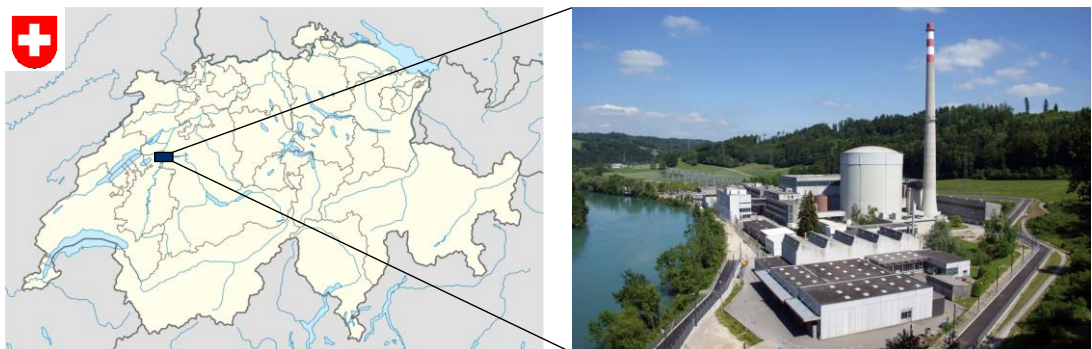
圖十六、鋼纖維強化水泥容器(Fiber Concrete Container, FCC)

IV. 本所 TRR 除役簡報安排於 2019 年 5 月 14 日，簡報現場如圖十七所示。簡報主要說明燃料池清理進度及壁面污染剷除、燃料乾貯場的清除工法及爐體廢棄物拆解工法規劃與水下切割模擬，與丹麥 DR-3 計畫主持人討論 TRR 爐體拆除所需之盛裝容器規劃，及燃料池壁面污染剷除設備形式與操作經驗。



圖十七、TAG 66 本所 TRR 除役進度與狀態簡報

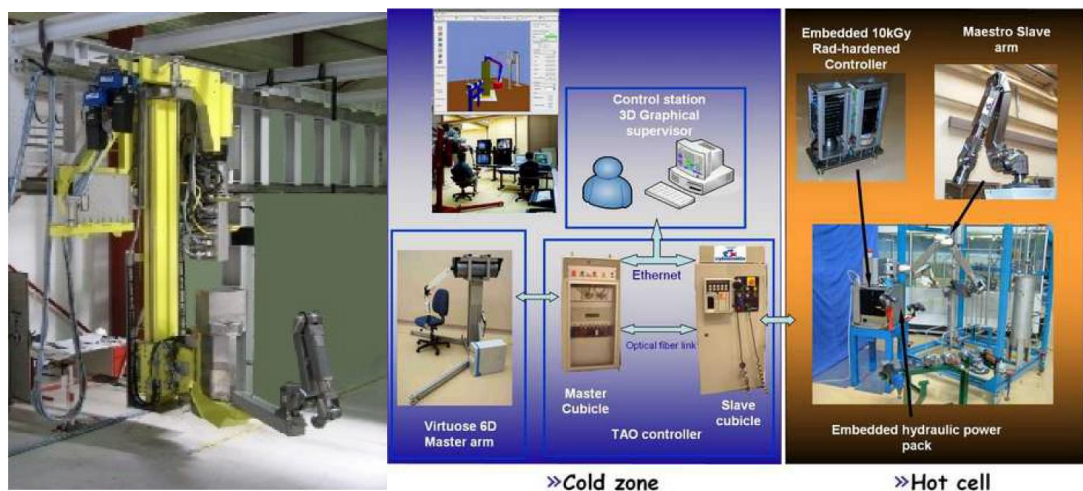
- V. 韓國 Kori 一號機除役計畫，Kori 一號機為韓國水力及核能公司所有(Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd., KHNP)，係一座功率 587 MWe 的 PWR (Westinghouse)，於 1978 年商轉，並在 2007 年取得 10 年的延役執照，2015 決定不再申請第二次延役，2017 年 6 月取得永久停止運轉許可，2017 年申請加入 CPD，除役的最終狀態為限制性使用(Brown field, site release criterion: 0.1 mSv/y)，除役期程 15.5 年包含 5 年的安全貯存過渡階段、8.5 年的除役（含 2.5 年廢棄物處理設施興建）及 2 年的場址整治計畫。雖然韓國該核電廠的除役計畫才剛起步，然而從該計畫的幾次簡報資料中可發現，韓國政府投入相當的資源於核後端的規劃與執行，係國內核電廠除役可以關注與參考的標的之一。
- VI. 瑞士 Mühleberg 核電廠除役計畫（簡稱 KKM 除役計畫，圖十八），為本次申請加入 CPD 的計畫，是 GE 設計的 BWR，1972 年商轉功率 306 MWe。2013 年 10 月 30 日母公司 BKW 決定該電廠在 2019 年要永久停止運轉，是瑞士第一座面臨除役的核電廠，目前員工有 350 位。2015 年 12 月 18 日遞交除役計畫給 Swiss Federal Office of Energy，2018 年 6 月 20 日除役審查至同年 9 月沒有任何反對意見。而該電廠至 2020 年才永久停止運轉，2019~2020 進行拆解準備及用過燃料的運送等計畫，2020~2024 年移除燃料，2024~2030 全面執行拆除工作，2031 年完成除役。雖然 KKM 電廠運轉至明年，但由於除役計畫已取得符合 CPD/TAG 的申請資格，故出席 TAG 66 之會員同意其加入。



圖十八、瑞士 Mühleberg 核電廠場址及外觀

3. 本次的專題研討係針對核設施除役所採用的遙控拆解工具使用經驗說明，包含德國、法國、西班牙、丹麥、比利時與英國等會員都提出值得參考的經驗。本節摘錄法國 CEA 與西班牙 ENRESA 之經驗與心得概要。
- I. 法國原子能和替代能源委員會(CEA)為了解決高階放射性物料及用過核子燃料，從 1996 年起就開始 MAESTRO 機械手臂（圖十九）的開發計畫迄今，由於遙

控機械手臂適合進行精密的操作，一般廣用於電子等精密加工產業，但這類的機械手臂通常無法負荷重型物件或需抵抗強後座力類型的作業。然而，CEA MAESTRO 已發展可掛載夾具、線鋸、砂輪、油壓剪、攝影鏡頭及鑽頭等工具，解決上述無法負荷重型物件或需抵抗強後座力類型的作業。由於操作 MAESTRO 相當需要專業，因此所有的操作員必須接受 5 天的理論課程和 7 天的實務訓練；其餘全系統的理論與實務訓練總計也要 14 天以上。訓練課程包含利用 3D 系統模型及虛擬實境的方式來演練。基於不同核設施的除役條件差異，各個研究機構需要發展各式的遙控載具來進行作業，除了設備研製的工業基礎能力之外，操作人員也必須要具備相當的專業能力方能勝任。



圖十九、MAESTRO 機械手臂及附屬系統

- II. 西班牙 JOSÉ CABRERA 核電廠反應槽及內部組件遙控切割工具，主要是利用水下機械切割設備執行，雖然機械切割的速率緩慢，但是具操作、人員輻射防護便利與二次廢棄物量低的優勢；執行水下切割的過程中，雖有設置切削收集機構，但仍有部份的切削會飄散沈積於水池底部，因此在完成水下切割之後的最後一道程序，就是將這些高輻射劑量率的切削收集至盛裝容器中。本所 TRR 爐內組件的切割技術與其採用的方法相似，主要選用的緣由也相同即二次廢棄物量低、作業過程安全可控，並可以免除使用熱切割法的空浮疑慮。

(二) AECL Whiteshell Laboratories 廢棄物管理區現場參訪心得

在廢棄物管理區現場參訪中主要了解包含露天直立地下貯存管、中階放射性廢棄物掩體、低階廢棄物表面掩埋場再取出作業區與用過核子燃料乾式貯存設施等。另外，亦有現場展示加拿大各種形式的盛裝與運輸容器，包含 2 m³ 大型可撓性太空包（盛裝污染土壤與破碎混凝土）、三種尺寸的貨櫃型工業包件(IP-1, IP-2)、B-25 貯存內箱與 B-25 type A(甲型)運送容器。其直立式地下貯存管與本所清除中的核子燃料乾式貯存場(TRR Dry Storage Pits, DSP)型式非常相似，設置 7 排共 171 只其內徑與貯存容積如表七所列，95 只頂部上方掩有 0.5 m 的土壤，另 76 只頂部則是露出土壤表面 0.5 m；而露天直立地下貯存管與中階放射性廢棄物掩體，兩個區域均設置有圍籬網並有緊急監視系統，現場如有碰觸則會引發警報作響。69 只直立地下貯存管貯放含有可核分裂之物質，並非單一型態，而是存有因早期處理程序不同的多種物理型態之廢棄物，如切割件、破損片、粉體、硝酸鹽與硝酸溶液、污泥等，貯存約 41~51 年之久；其餘 102 只直立地下貯存管貯放不可核分裂物質，自 1967 年運轉至 1993 年共放置了約 110 m³ 的廢棄物。

WL 仍在設計 Standpipes 內的廢棄物特性調查及取出包裝機制，與本所 DSP 清除進度相比落後許多；然而由於這些 Standpipes 仍是露天狀態未來的清除亦僅會規劃局部隔離，因此當內部這些廢棄物有效的取出之後，可預期後續的清除的工程難度低執行速率高。

表七、AECL WL Standpipes 數量與型式

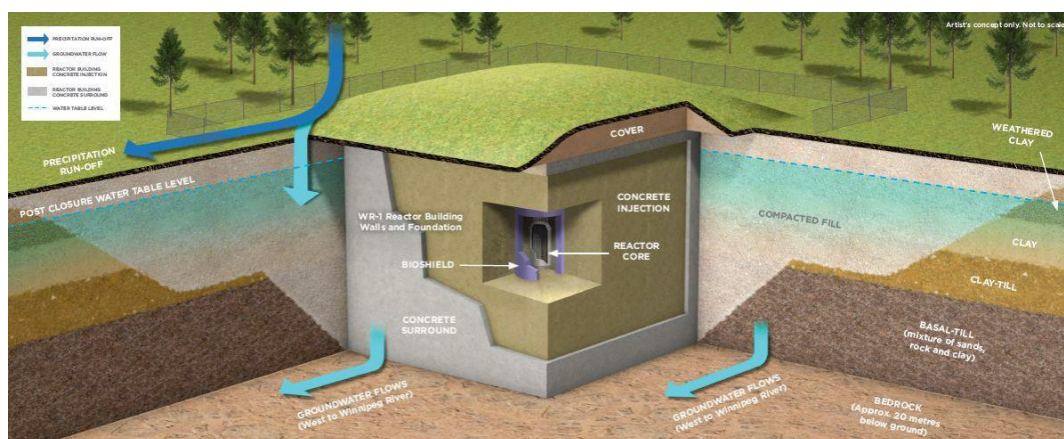
數量 (只)	內徑 (m)	容積 (m ³)
16	0.46	0.48
118	0.61	0.89
17	0.76	1.31
20	0.91	1.89

(三) AECL Whiteshell Laboratories WR-1 除役現場參訪心得

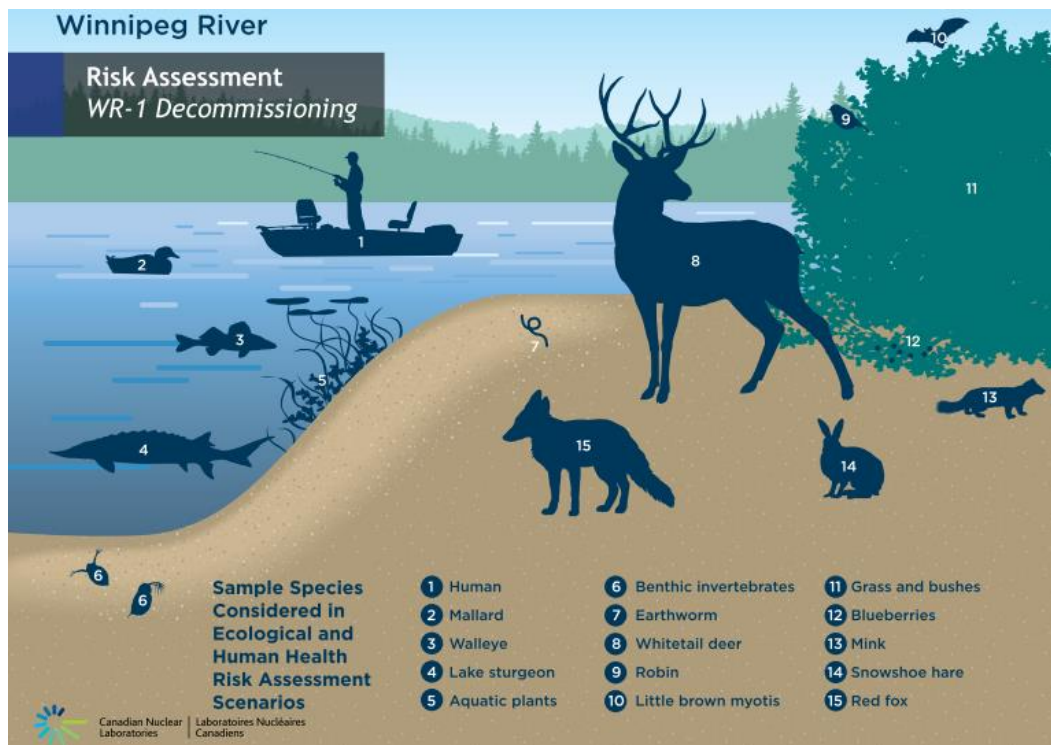
WR-1 係 1963~1965 年建置，運轉（1965~1985 年）期間使用有機冷卻液；第一期除役計畫相關作業包含移除全數燃料、洩出所有液體、第五、六層設備移除並進入 32 年的安全貯存維護待放射性衰變期；第二期除役計畫（2019~2022 年）內容包含拆除地面以上之建築體與設備，對反應爐進行固封(Entombment)，整體固封後的廢棄物系統功能與設計如圖二十所示；未來在後除役階段的主要行動為場域監控。由於 WR-1 的除役面臨相當嚴峻的挑戰，特別是建築於地面下的反應器設施除役更是棘手，故 CNL 提出現址除役的策略，即同時結合地上層拆除與地下層永久固封處置的規劃。而選用現址除役的策略主要的原因包含：

- 地上層的建築物可以使用重型機械設備拆除，而且對於反應器的衝擊相當低；
- 反應器設施位於地下約 5 層樓深，器械與人員進入作業具有相當大的難度；
- 混凝土牆、地板與生物屏蔽體厚實；
- 幾近所有的放射性都存在於爐心的金屬物件中；
- 對於作業人員更安全；
- 對於環境安全；
- 費用成本及時程有效率；
- 為驗證可行的技術。

有關 WR-1 採用現址除役的策略，CNL 於 2017 年九月提送環境衝擊聲明，其中較為關鍵的是 WR-1 固封後對於距離約 500 公尺的溫尼伯河(Winnipeg river)及環境生態影響性評估（圖二十一），就其評估結果顯示放射性核種遷移至溫尼伯河需超過 100 年的時間，且依各核種半衰期推算已達環境背景輻射之標準，另對於人類健康風險評估的結果亦指出，其輻射曝露劑量率約為限值（1 mSv/年）的萬分之一至百萬分之一。



圖二十、WR-1 現址除役後廢棄物系統功能與設計示意



圖二十一、WR-1 除役風險評估項目示意

吾人彙整 2015~2019 年參加歷屆 CPD TAG 會議，參訪核子反應器設施除役現場各國之除役執行策略，如表八所列。包含斯洛伐克 V1 核電廠(PWR)、丹麥 DR-3 研究用反應器、瑞典 Barsebäck 1&2 核電廠(BWR)及西班牙 JOSÉ CABRERA 核電廠(PWR)均採立即拆除之策略，這些國家中均具備極低微、低、中階放射性廢棄物之最終處置場或貯存場等設施；而西班牙 Vandellós-1 核反應器，經評估延後 25~30 年拆除所需之成本經濟，拆解期間輻射作業風險低，對作業人員與環境之危害小，因此成為西班牙唯一一座採延後拆除策略的核反應器。而加拿大 AECL WL 的除役目標為非限制性使用場址(Green field)，所有低、中、高階放射性廢棄物均運送至離場址兩千公里外的 CRL 集中式中期貯存場；而 WR-1 因拆解困難與後續放射性廢棄物運送等各層面風險考量，最後決定採用現址除役之策略。

除役策略的決策過程相當漫長，涉及各國的環境地理條件、設施狀態及民眾溝通等議題。AECL WL 的除役也歷經不少的大幅轉變，2017 年以前由於放射性廢棄物尚無過渡的去處，因此決定要進行安全貯存延後至 2070 年拆除，後來因政府接管放射性廢棄物的責任，選定 CRL 作為加拿大集中式中期貯存場，因此可以將 WL 除役的期程大幅

提前至 2024~2026 年，且 WR-1 經與核能與環境相關主管機關、地方政府、原住民及公眾溝通協調後，確立採固封係最適且可行之策略。

表八、近期 TAG 會議現場參訪各國核子反應器除役策略彙整

年	會議期/主辦國	反應器名稱	除役策略
2015	TAG 59/斯洛伐克	V1 核電廠	立即拆除
2016	TAG 62/丹麥	DR-3 研究用反應器	立即拆除
2016	TAG 62/瑞典	Barsebäck 1&2 核電廠	立即拆除
2018	TAG 64/西班牙	JOSÉ CABRERA 核電廠	立即拆除
2018	TAG 64/西班牙	Vandellós-1 核電廠	延後拆除
2019	TAG 66/加拿大	WR-1 研究用反應器	固封

2019 年 5 月製表

四、建議事項

- (一) 為履行 OECD/NEA CPD 會員義務，核研所應每年至少一次派員出席 TAG 會議，分享 TRR 除役進度與經驗回饋，並掌握各會員核設施除役計畫執行動態與經驗。
- (二) 因應 TRR 爐內石墨反射體之拆解管理需求，針對其易碎、貯能釋放引發燃燒及貯存安全等性質，核研所應持續蒐集丹麥 DR-3 廢石墨特性、切割、拆解與盛裝管理經驗。
- (三) TRR 爐內高活度金屬組件規劃採用水下切割之方式進行，核研所應持續關注西班牙 JOSÉ CABRERA 與斯洛伐克 V1 核電廠之水下機械切割規劃、執行與經驗回饋。
- (四) 韓國 Kori 核電廠一號機除役方起步，其所需之除役技術已有相當完善且縝密布局與執行規劃，值得作為核研所參與我國核電廠除役規劃之參考。