

出國報告（出國類別：開會）

## OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD) 第 72 屆技術諮詢組(TAG)會議

服務機關：核能研究所

姓名職稱：黃志中 副研究員  
黃君平 副研究員

派赴國家/地區：比利時

出國期間：111 年 10 月 22 日~111 年 10 月 30 日

報告日期：111 年 11 月 25 日



## 摘要

本次公差為核研所工程組副組長黃君平及簡任副研員黃志中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 72 屆技術諮詢組（Technical Advisory Group, TAG）會議，用以交流核設施除役技術及經驗，與履行會員參加 CPD/TAG 會議之責任。CPD/TAG 會議一年舉辦兩次，我國自 2000 年起以台灣研究用反應器（TRR, Taiwan Research Reactor）除役計畫名義加入 CPD，後持續派員參加該會議。然 2020 年後受 COVID 19 疫情影響，僅於 2021 年 5 月參加 TAG 69 屆線上視訊會議；本次 TAG 72 會議於 2022 年 10 月底舉辦，考量我國入境檢疫逐步開放，故派員參加簡報 TRR 除役進度，回饋除役過程中已克服的難題，並與各國交流核設施除役經驗。

TAG 72 會議於 2022 年 10 月 24 至 28 日於比利時舉行，由比利時 Belgoprocess 及 SCK•CEN（比利時核研究中心）共同主辦，共 13 國參與，包含 18 個除役計畫與超過 29 位專家與會交流。10 月 24 至 26 日為閉門會議，內容包含各參與計畫的除役進度與技術簡報、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 14 篇，核燃料循環設施除役簡報 4 篇，專題報告 7 篇，共 25 份簡報資料，會議中取得之報告、影像與資訊均屬機密，除取得個別會員同意外不得散佈，並於會員協議書載明相關保密協定。10 月 27 日上午赴比利時 Belgoprocess 公司，參訪其所屬核燃料再處理設施除役現場作業現況，下午參訪比利時 SCK•CEN 公司 BR3 研究用反應器除役現場作業及 HADES 處置地下實驗室。並於隔日參訪 TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心。CPD/TAG 會議為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，以了解國際核設施除役動態與取得最新資訊。

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 71 會議與會成員決議事項摘錄.....	4
(三) NEA 近期在除役的活動及展望摘錄 .....	9
(四) 2015 年起 CPD 會員變動.....	13
(五) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論 .....	13
(六) BELGOPROCESS 核燃料再處理設施除役現場參訪 .....	14
(七) SCK·CEN BR3 研究用反應器除役現場及 HADES 地下處置實驗室參訪 .....	16
(八) TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心參訪 .....	20
三、心得.....	22
(一) 會議簡報與討論心得.....	22
(二) BELGOPROCESS 核燃料再處理設施除役現場參訪心得 .....	31
(三) SCK·CEN BR 3 研究用反應器除役現場及 HADES 地下處置實驗室參訪心得.....	34
(四) TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心參訪心得 .....	36
四、建議事項.....	39

## 表目錄

表一、OECD/NEA CPD 會員與除役計畫彙整表.....	5
表二、本次國外公差主要行程表.....	6
表三、第 72 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目 .....	7
表四、第 72 屆 TAG 會議燃料循環與其他核設施除役簡報項目 .....	8
表五、第 72 屆 TAG 會議專題 .....	8
表六、近期 CPD 會員變動（更新至 2022 年 5 月） .....	13

## 圖目錄

圖一、CPD/TAG-72 會議地點（比利時/安特衛普） .....	3
圖二、由會議地點（LINDNER WTC HOTEL）至 BELGOPROCESS 及 SCK.CEN 路線.....	3
圖三、CDLM 與 RWMC 組織簡圖 .....	11
圖四、RWMC、CDLM、CPD 與等單位關聯圖.....	12
圖五、BELGOPROCESS 位置圖 .....	15
圖六、BELGOPROCESS 放射性廢棄物貯存廠房 .....	15
圖七、BR 1 研究反應器 .....	17
圖八、BR 2 研究反應器 .....	18
圖九、BR 3 研究反應器 .....	18
圖十、MYRRHA 研究反應器 .....	19
圖十一、VENUS 研究反應器 .....	19
圖十二、HADES 地下研究實驗室 .....	20
圖十三、TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心 .....	21
圖十四、CEA MARCOULE – UP 1 再處理設施 .....	23
圖十五、BELGOPROCESS EUROCHEMIC 再處理設施除役實體模擬桶槽 .....	24
圖十六、斯洛伐克 BOHUNICE V1 反應器壓力容器吊運至溼式切割水槽 .....	26
圖十七、TAG 72 本所 TRR 除役進度與狀態簡報.....	27
圖十八、瑞典 VATTENFALL RINGHALS 1&2 反應器型式 .....	28
圖十九、KAERI 具有空間資訊回饋和程序模擬的遙控切割技術 .....	30
圖二十、EUROCHEMIC 過核燃料再處理設施歷史軌跡 .....	32
圖二十一、表面 HOT SPOT 偵檢.....	32
圖二十二、表面大部刨除.....	33
圖二十三、表面細部刨除.....	33
圖二十四、完成表面刨除的工作間.....	34
圖二十五、BR 3 生物屏蔽體 .....	35

圖二十六、HADES 地下研究實驗室位於 BOOM CLAY 225 公尺深處 .....	36
圖二十七、TABLOO 展示區 .....	37
圖 二十八、體驗大爆炸：探索宇宙是如何開始.....	38
圖 二十九、比利時 TABLOO 雲霧室讓輻射可以看見 .....	38
圖 三十、放射性廢棄物的旅程(A)高放射性廢棄物固化體，與(B)低放射性廢棄物固化體...	38

## 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 72 屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，TAG 72 會議於 2022 年 10 月 24 至 28 日在比利時舉行，由比利時 Belgoprocess 及 SCK•CEN（比利時核研究中心）共同主辦，共 13 國參與，包含 18 個除役計畫與超過 29 位專家與會交流。

本次國外公差之目的如下：

- (一) 了解各參與計畫除役最新執行現況。
- (二) 蒐集各類除役、拆除、除污及廢棄物處理之最新技術。
- (三) 經核設施現場實地參訪，瞭解國際除役作業執行情形。
- (四) 建立國際核設施除役相關專家/主管技術交流管道。
- (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，與爐體廢棄物拆解進度。



## 二、過程

### (一) 公差行程及會議內容

CPD 計畫於 1985 年根據 NEA 法規第五條(Article 5) 設立，以建立國際核設施除役經驗資訊交換與分享平台。成立初期成員有 8 個國家共 10 個除役計畫，至 2022 年成長至 15 個國家及歐盟，共 73 個除役計畫（43 個反應器及 30 個燃料循環設施），最新一期協議有效期程為 2019 至 2023 年。CPD 計畫運作模式不同於 NEA 所屬其他委員會，其成員僅限除役計畫的執行與負責單位，係為一閉門會議並有半獨立運作性質的單位。CPD 彙整的資訊主要來自每年於 5 月及 10 月舉辦的 TAG 會議，該會議由 CPD 計畫中挑選成員主辦並安排核設施與場址參訪。TAG 依據重要議題與各成員需求成立任務編組(Task Groups)，如 2014 年任務編組主題為「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)，該篇報告已公開於 NEA 網站；另一任務編組係針對 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，並於 2017 年發表刊登；最新任務編組於 2017 年成立，將聚焦於「高活度污染桶槽的拆解」。2019 年前，CPD 需定期向 NEA 的放射性廢棄物管理委員會(Radioactive Waste Management Committee, RWMC)呈報，並與該委員會下的除役與拆解工作組織(Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD)緊密合作。然 WPDD 於 2018 年 11 月召開最後一次會議(WPDD-19)後正式結束，CPD 轉與核設施除役和遺留廢棄物管理委員會(Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management, CDLM) 建立合作關係。

我國自 2000 年起以 TRR 除役計畫加入 CPD，提供 TRR 燃料池清理執行現況及相關發展技術資訊，並詳細說明 TRR 用過燃料乾貯場清除程序及爐體廢棄物拆解規劃，經會議中與各國除役專家技術交流及討論，取得國際即時除役相關資訊。截至 2022 年 10 月，CPD 會員與參與計畫如表一所示，該表灰底粗體字為 TAG 72 出席的計畫成員。TAG 72 會議由 Belgoprocess 及 SCK•CEN 共同主辦，於 2022 年 10 月 24 至 26 日在比利時舉行（圖一），後於 27 至 28 日參訪比利時

Belgoprocess 及 SCK•CEN 除役中場址(圖二)。公差行程如表二所列；10月24至26日為會議討論，與會內容包含各參與計畫除役狀況及技術簡報研討、專題報告和 CPD 會務執行情形等。本屆會議計有核反應器除役簡報 14 篇，核燃料循環設施除役簡報 4 篇，專題報告 7 篇，共收集 25 份簡報資料，於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 72 會員決議事項、NEA 近期動態、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-72 會議地點 (比利時/安特衛普)



圖二、由會議地點 (Lindner WTC hotel) 至 Belgoprocess 及 SCK•CEN 路線

## (二) 上屆 TAG 71 會議與會成員決議事項摘錄

- 1) 同意英國 SELLAFIED 的 Magnox Swarf Storage Silos (MSSS) Retrievals Project 除役計畫加入 CPD/TAG(2022 年 11 月 CPD MB 正式同意加入)
- 2) 重新選舉由 Robert Walthery 退休前擔任未來兩年 TAG 主席，Per Sondergard 接替 Manual Ondaro 擔任 TAG 副主席。
- 3) TAG 72 會議專題為 “Process qualification”。
- 4) 2022 年 10 月的 TAG 72，由於英國 Sellafield 難以按照之前的決議主辦，CPD-Coordinator 詢問有意願的會員來接手辦理 TAG 72，最後由比利時 Belgoprocess 及 SCK•CEN 共同主辦。
- 5) 2023 年 5 月的 TAG 73 可能在 Sellafield。
- 6) 未來幾年成員舉辦的可能性：2024 年加拿大、瑞典或日本。

表一、OECD/NEA CPD 會員與除役計畫彙整表

2022.10 更新

會員	除役計畫
比利時	<b>BR-3 NPP</b> , 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	<b>Taiwan Research Reactor (TRR), Chinshan NPP</b>
丹麥	<b>DR-3</b> , Riso 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, <b>UP1 Reprocessing Plant Marcoule</b> , Basic Nuclear Facility No 57, UP2 400 fuel reprocessing plant Le Hague
德國	MZFR Karlsruhe, <b>KNK Karlsruhe, WAK, Greifswald NPP, AVR</b> , KKN Niederaichbach, HDR Karlstein
義大利	Garigliano NPP, ITREC U-Th reprocessing plant, <b>Latina GCR</b>
日本	<b>Fugen NPP</b> , JPDR Tokai NPP, <b>JRTF Tokai</b> , Plutonium Fuel Fabrication Facility, Uranium Refining/Conversion/Enrichment Facility, Tokai 1 NPP, Hamaoka 1&2 NPP, <b>Fukushima Daiichi NPP</b>
韓國	<b>Triga Research Reactors KRR1&amp;2</b> , Uranium Conversion Facility, Kori 1
俄羅斯	A.A. Bochvar Institute, Uranium-Graphite-Reactors (JSC "PDC UGR"), Novovoronezh Facility
斯洛伐克	<b>Bohunice A1, Bohunice V1</b>
西班牙	PIMIC D&D Madrid, Jose Cabrera NPP, Vandellos 1
瑞典	Research Reactor R2/R2-0, Barsebäck NPP, <b>Ågesta decommissioning, Ringhals 1 &amp; 2 NPP</b>
英國	BNFL Co-precipitation Plant, <b>WAGR Sellafield</b> , B 243 Intermediate Waste Recovery, B204 First Generation Reprocessing Plant, Active Demonstrators, <b>Magnox Swarf Storage Silos (MSSS)*</b>
美國	Portsmouth GDP, West Valley Demo. Project, FEMP, Shippingport, EBWR, Fort St. Vrain
瑞士	<b>Mühleberg NPP Decommissioning</b>
立陶宛	Ignalina NPP Decommissioning

\* TAG 會員同意加入並受邀於 2022 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
10/22 (六)	去程，由桃園機場出發至荷蘭阿姆斯特丹史基普機場，於阿姆斯特丹住宿； Crowne Plaza Amsterdam - South check-in。
10/23 (日)	由阿姆斯特丹搭乘高鐵至比利時安特衛普 Lindner WTC hotel check-in
10/24 (一)	1. CPD 近期活動討論； 2. 核子反應器設施除役(10 場，含 TRR 除役計畫)
10/25 (二)	1. 核子反應器設施除役(4 場)； 2. 燃料循環及其他用途核設施除役簡報 (4 場)； 3. 專題討論—拆解作業前的品質控管 (6 場)。
10/26 (三)	1. 專題討論—拆解作業前的品質控管 (1 場)； 2. 討論 CPD 下一期合約； 3. 討論未來專案小組成立及目標議題； 4. 討論未來 TAG 會議主辦規劃； 5. 討論專題討論題目。
10/27 (四)	1. 參訪 Belgoprocess 核燃料再處理設施除役； 2. 參訪 SCK•CEN BR3 反應器除役； 3. 參訪 SCK•CEN HADES 地下處置實驗室；。
10/28 (五)	1. 參訪 TABLOO 放射性廢棄物安全管理遊客和會議中心； 2. 搭乘高鐵至阿姆斯特丹。 3. Holiday Inn Express Amsterdam - Sloterdijk Station check-in
10/29~30 (六、日)	回程，由阿姆斯特丹史基普機場出發回桃園機場。

表三、第 72 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構/國家
1) BR3 decommissioning project (Belgium)	Sven BODEN / SCK•CEN / Belgium
2) Bohunice V1 NPP DECOMMISSIONING	Eva HRASNOVA and Marek NOSKOVIK / JAVYS / Slovakia
3) Status of Taiwan Research Reactor Decommissioning Project	Huang Chun-Ping and Huang Jhih-Jhong / INER /Taiwan
4) Chinshan Nuclear Power Plant decommissioning projec	Chang, Wen Bin and WANG JING-YA / Taiwan Power Company / Taiwan
5) DR3 decommissioning Project	Jonas MAHLER / DEKOM / Denmark
6) Agesta decommissioning project	Nils BERGSTRAND / Vattenfall / Sweden
7) Fugen Decommissioning Project	Yasuyoshi TARUTA / JAEA /Japan
8) Fukushima decommissioning	Ihara TAKAFUMI / TEPCO / Japan
9) Ringhals 1&2 decommissioning project	Thomas NORBERG / Vattenfall / Sweden
10) KNK Decommissioning Project	Stefan ROTHSCHMITT / KTE / German
11) Decommissioning of Korea Research Reactor	Kim GEUN-HO / KAERI / Korea
12) Decommissioning of the Greifswald NPP	Thomas REINKE / EWN / Germany
13) AVR Decommissioning Project	Jan HOSEMAN / JEN / Germany
14) NPP Muehleberg	Joachim DUX / BKW / Switzerland

表四、第 72 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/國家
1) Decommissioning of HLLW-tanks at Belgoprocess	Robert WALTHERY / Belgoprocess / Belgium
2) Tokai Reprocessing plant	Saki NISHINO / JAEA / JAPAN
3) UP1 decladding project	Yann CHEVALIER / CEA / France
4) Sellafield Remediation Projects Update May 2022	Richard EDMONSON / SELLAFIELD / England

表五、第 72 屆 TAG 會議專題

<b>“Process qualification before operation”</b>	
簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Qualification of new techniques at Belgoprocess	Bert Van NOOTEN / Belgoprocess / Belgium
2) Process qualification for WCW1 and WCW2	Eva HRASNOVA and Marek NOSKOVIK / JAVYS / Slovakia
3) Qualification process at Latina NPP	Gianluigi MIGLIORE / SOGIN / Italy
4) Remote Dismantling at Greifswald NPP (example from the past)	Thomas REINKE / EWN / Germany
5) Development of the remote cutting technology with spatial information feedback and process simulation. Qualification tests	Jongh wan LEE / KAERI / Korea
6) Investigations of tank 71.21D	Hugues CHIFFLET / CEA / France
7) Examples on Process-Qualification/Demonstration	Ihara TAKAFUMI / TEPCO / Japan

### (三) NEA 近期在除役的活動及展望摘錄

核設施除役和遺留廢棄物管理委員會 (Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management, CDLM) 應核能署(NEA)成員國要求於 2018 年成立，以接替除役與拆解工作組織(Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD)，並提高 NEA 在核設施除役和遺留廢棄物管理方面的可見度。WPDD 於 2018 年 11 月召開最後一次會議(WPDD-19)後正式結束，隔年 2019 年 1 月 16 日核設施除役與遺留廢棄物管理委員會(CDLM)召開工作計畫研討會，討論未來工作計畫方向與確立其組織架構，如圖三所示。此委員會將由放射性廢棄物管理委員會 (Radioactive Waste Management Committee, RWMC)協助成立，而有關 CPD、CDLM 與 RWMC 等單位關聯如圖四所示。

雖然第一個 NEA 除役計劃可以追溯到 1978 年，但 CDLM 的創建反映了核能署的目標—為政府和其他相關利益關係者提供有關核設施除役和遺留廢棄物管理的政治、戰略和監管方面的權威、可靠的資訊。此外，委員會還致力於在其工作領域實現技術、環境、政策、金融和社會方面的最新技術的同步合作。

CDLM 提供了一個論壇，具有政策和計畫責任，經國際資深專家代表國家機構、監管和執行機構、運營商、服務提供商、研究機構和其他利益相關者交流經驗和資訊。廣義上，CDLM 感興趣的主題包括：

- 各種核設施(例如放射性廢棄物和用過核燃料貯存設施、用過核燃料再處理設施或其他核設施)和所有類型反應器的除役和拆除。
- 制定關於監控和管理遺留廢棄物、廢棄物場址和外釋遺留廢棄物場址的有用指引。

CDLM 的成員包括 NEA 成員國、歐盟委員會(European Commission, EC)與作為觀察員參與委員會工作的國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)有著密切的合作。CDLM 採用整體和永續的方法進行除役和遺留廢棄物管理。通過這種方式，CDLM 關注除役和



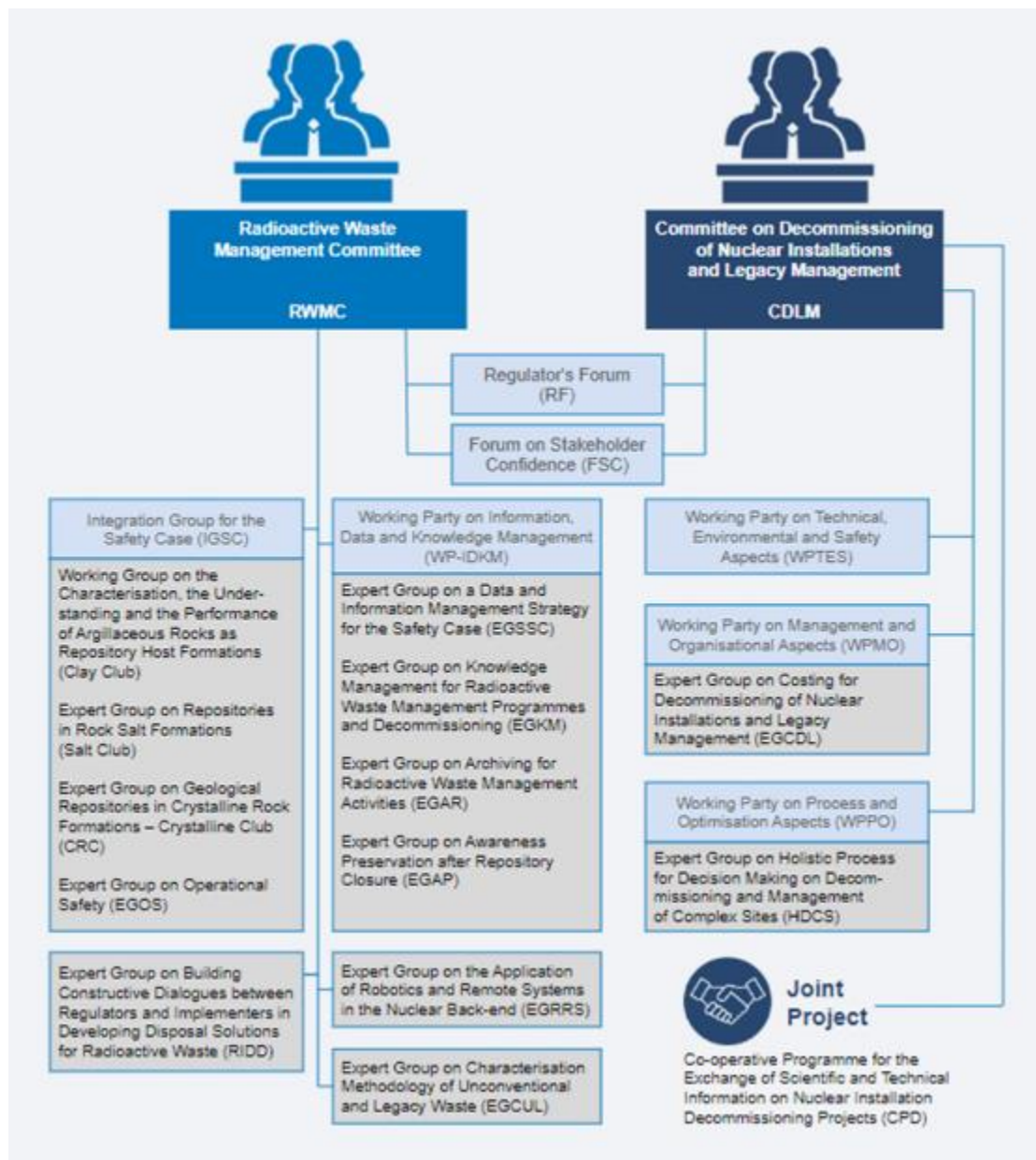
廢棄物管理的三個面向，並系統化地確定其活動包含：(1)監管和法律；(2)經濟層面；和 (3)社會層面。

NEA 放射性廢棄物管理暨除役委員會 (Radioactive Waste Management and Decommissioning Division, RWMD)協助核設施除役，和遺留廢棄物管理委員會(CDLM)進行國際同儕審查並提供專家回饋，以確保在除役前後和除役過程中所採用監管和技術方法，可以達到遺留廢棄物最佳化管理。

核設施除役國際合作計畫(CPD)是科學和技術資訊交流國際合作的計畫，在眾多核設施除役合作計畫中，是少數積極運作的組織。CPD 計畫於 1985 年啟動，其目標是交流和共享當前和未來除役計畫有用的核設施除役作業經驗資訊。CPD 計畫最初由 8 個國家的 10 個除役計畫組成，現已發展到目前在 15 個 NEA 成員國、2 個非 NEA 成員國和歐盟委員會 (EC)的 73 個除役計畫（43 個反應器和 30 個燃料循環設施）。該協議於 2019 年 1 月 1 日生效，終止於 2023 年 12 月 31 日。

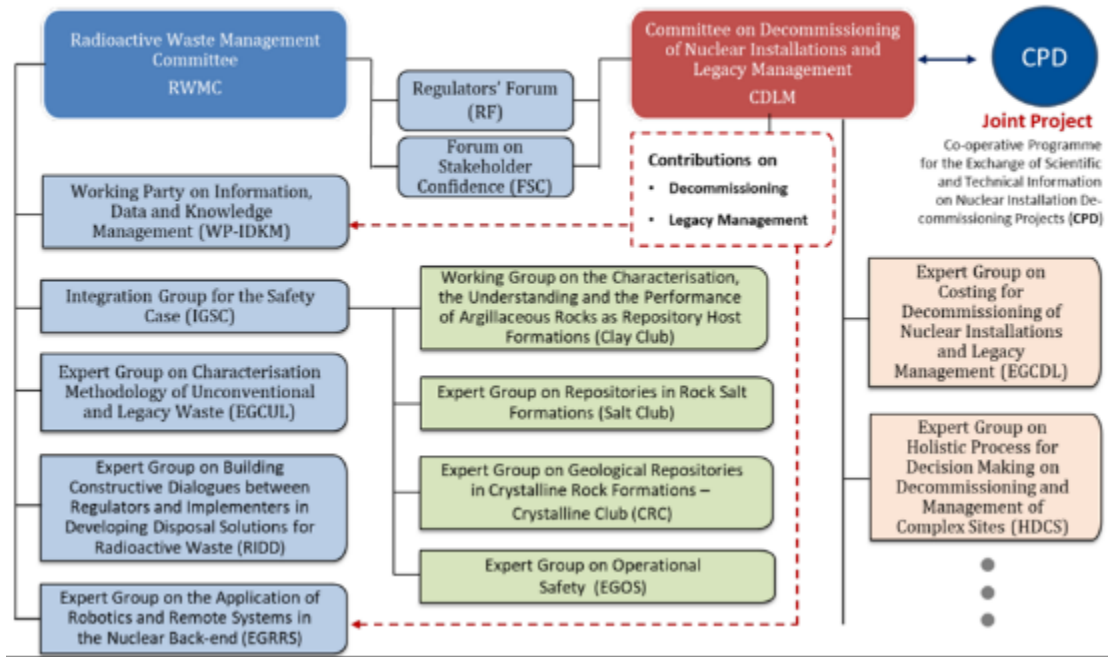
CPD 技術諮詢組(TAG)每半年舉行一次會議，會議期間參觀主辦成員的除役作業現場和交流除役經驗，讓所有成員可從中學習相關經驗。資訊交流可以優化國際除役實際作業，並鼓勵所有除役計畫使用安全、環保和具有成本效益的方法。在每年年底，CPD 管理委員會會議在法國巴黎的 NEA 總部舉行。

為了使用 CPD 積累的除役知識和經驗，在 NEA 網站上建置 TAG 知識管理資料庫，允許 CPD 成員輕鬆存取 CPD 反應器除役計畫和燃料設施除役資訊。此資料庫將根據 CPD 成員在 TAG 會議期間共享的資料不斷更新。



圖三、CDLM 與 RWMC 組織簡圖

## RWMC / CDLM and Activities



圖四、RWMC、CDLM、CPD 與等單位關聯圖

#### (四) 2015 年起 CPD 會員變動

TAG 72 無新成員申請加入 CPD，而近期會員變動彙整如表六：

表六、近期 CPD 會員變動（更新至 2022 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	加入
2019/10/8	立陶宛 Ignalina 核電廠除役計畫	加入
2020/10/20	瑞典 Ringhals 1 & 2 核電廠除役計畫	加入
2022/5/16	英國 Magnox Swarf Storage Silos (MSSS) 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 73：2023 年 5 月，英國 Sellafield 主辦

TAG 74：2023 年 10 月，日本 Chubu 主辦

TAG 75：2024 年 5 月，尚未確定

## (六) Belgoprocess 核燃料再處理設施除役現場參訪

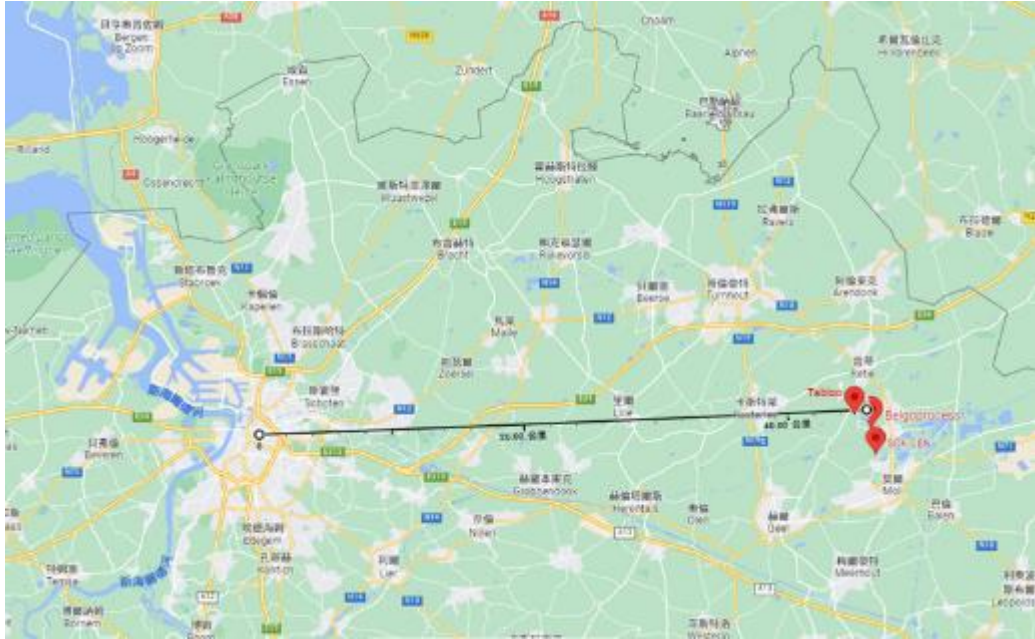
Belgoprocess 成立於 1984 年，是國家放射性廢棄物和濃縮裂變材料研究所 (National Institute for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials, ONDRAF/NIRAS) 所成立的子公司，位於比利時的 Dessel，距離安特衛普東方約 45 公里處（圖五）。Belgoprocess 代替 ONDRAF/NIRAS 處理比利時國內生產，但不是由生產者自己處理的放射性廢棄物，並貯存處理過的廢棄物（圖六）；Belgoprocess 也處理國外廢棄物，但不同之處在於處理後的廢棄物將其送回原生產國。此外，Belgoprocess 也執行停用核設施和廠址的除役作業。Belgoprocess 利用其運營的專業知識為國內和國際客戶提供商業處理和除役拆解服務。包括在設施中處理國外廢棄物、拆除核設施，以及提供熱切割技術方面的專業知識，這方面主要重點為電漿技術。

Belgoprocess 在當前眾多核應用（能源供應、醫療應用、科研、工業等）中，其主要活動於下述三個領域：

- 放射性廢棄物管理（處理、固化及放射性廢棄物處置前的中期貯存）；
- 拆除廢棄核設施、整治受污染建築物和場址、清除材料和結構的污染；
- 保存和發展新的知識和技術，並承接國家和國際商業服務專案計畫。

Belgoprocess 的歷史與 Eurochemic 的歷史密切相關，Eurochemic 是一家由跨國合作計畫於 1957 年在 Dessel 建立的實驗型用過核燃料再處理設施，針對用過核燃料進行再處理，並對新的再處理方法進行科學研究。當國際合作關係在 1970 年代末終止時，比利時政府決定接管 Eurochemic。

Belgoprocess 成立於 1984 年，為 Synatom（負責比利時核電廠的燃料管理）的子公司，用以繼續 Eurochemic 的再處理作業。1986 年，政府決定停止比利時所有再處理作業。Belgoprocess 移交給 ONDRAF/NIRAS，NIRAS 依據法規和皇家法令成立，作為比利時放射性廢棄物管理的專責機構。Belgoprocess 為 ONDRAF/NIRAS 的子公司，受委託進行放射性廢棄物的處理和貯存。1989 年，比利時核能研究中心(SCK•CEN)的廢棄物管理部門也轉移到 Belgoprocess。



圖五、Belgoprocess 位置圖



圖六、Belgoprocess 放射性廢棄物貯存廠房

## (七) SCK•CEN BR3 研究用反應器除役現場及 HADES 地下處置實驗室參訪

SCK•CEN 為位於比利時 Mol 的核能應用研究中心。成立於 1952 年，原名 Studiecentrum voor de Toepassingen van de Kernenergie (STK；核能應用研究中心)。從 1956 年到 1964 年，BR 1、BR 2、BR 3 和 VENUS 共四個研究用核反應器開始運轉。

1963 年，SCK•CEN 共有 1600 名員工，員額在接下來的幾十年中保持不變。1970 年，SCK•CEN 擴大了其在核能部門之外的研究領域，但重點仍然是核能研究。1991 年，SCK•CEN 被拆分，由新成立的佛蘭德技術研究所 (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek, VITO) 接管非核能的研究。迄今 SCK•CEN 約有 850 名員工，主要進行核能相關研究。2017 年，國際原子能總署 (IAEA) 指定 SCK•CEN 為四個研究反應器 (ICERR) 基礎的國際研究中心之一。

**BR 1：**比利時 1 號反應器 (BR 1) 是比利時的第一座研究用核反應器 (圖七)，屬氣冷式石墨緩速型反應器，於 1956 年開始運轉。一開始此研究用反應器主要用於研究反應器的中子物理，並生產放射性同位素。現用於組件的輻射照射、測量儀器的校正以及進行分析和訓練核物理專業人員。

**BR 2：**比利時 2 號反應器 (BR 2) 於 1962 年開始運轉，是一個材料測試型核反應器 (圖八)。此研究反應器亦用於生產醫用放射性同位素。BR 2 研究用反應器每年生產超過全球需求 25% 的鉬 99，在高峰期甚至高達 65%。

**BR 3：**比利時 3 號反應器是歐洲第一座壓水式核反應器 (Pressurized Water Reactor, PWR) (圖九)。BR 3 於 1962 年開使用，並於 1987 年永久停機。該反應器作為 Doel 和 Tihange 反應器的原型。歐盟委員會選擇 BR 3 作為測試計畫，以展示在實際條件下拆除反應器的技術和經濟可行性。目前，該計畫處於第三階段：將場地恢復到原有狀態。SCK•CEN 於國內和國際間分享在 BR 3 除役領域積累的專業知識。

**MYRRHA：**用於高科技應用的多用途混合研究用反應器。MYRRHA 是世界上第一個由粒子加速器驅動的研究用反應器。

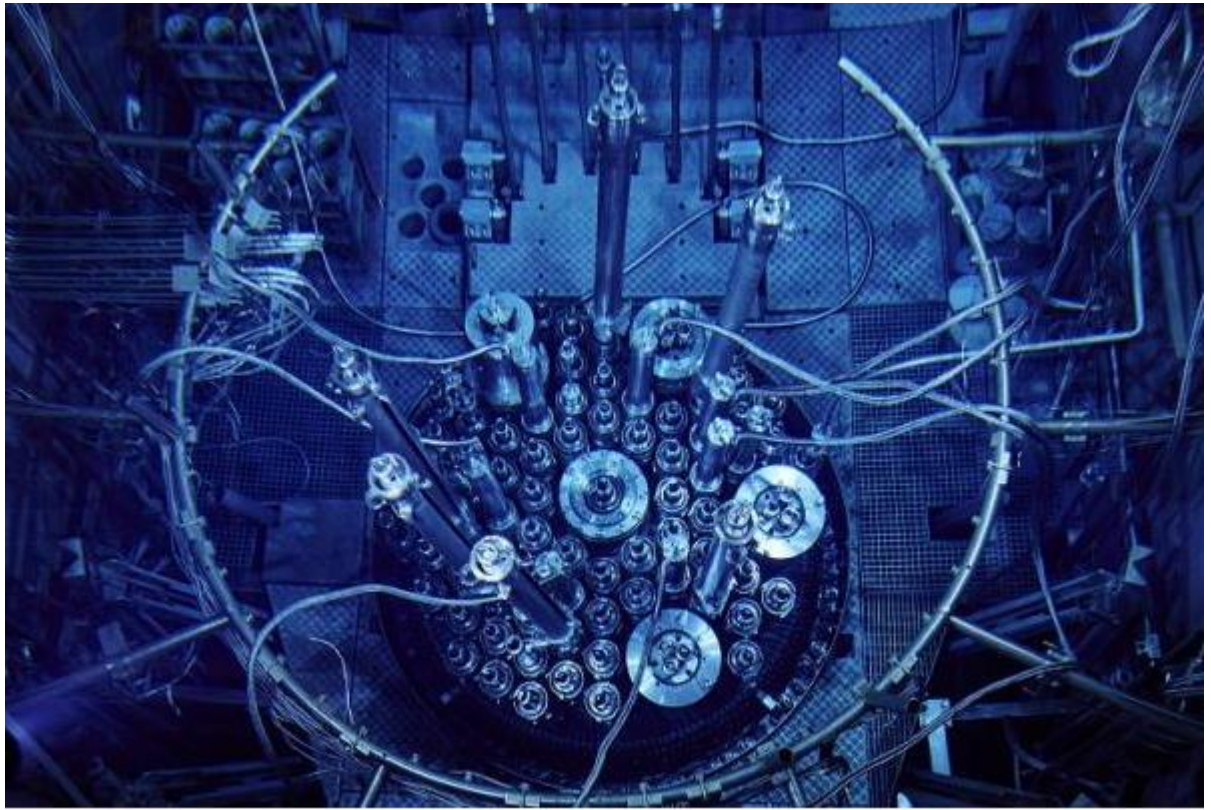
**VENUS**：Vulcan Experimental Nuclear Study (VENUS)研究用反應器於1964年運轉。VENUS 進行新反應器系統的核子反應器物理研究，並作為反應器模擬測試的實驗裝置。該反應器經過多次改建和改造，作為GUINEVERE計畫的一部分，SCK•CEN 決定將 VENUS 反應器改建為加速器驅動系統(Accelerator Driven Sub-critical System, ADS)的比例模型，於2011年首次連接粒子加速器，VENUS 是一個“零功率反應器”，其功耗只有500瓦。

**HADES**：1980年，SCK•CEN 開始在地表以下223公尺處建置地下研究實驗室(Underground Research Laboratory, URL)，研究深層黏土層地質處置的可行性。地下實驗室被命名為高活度處置實驗場所(High-Activity Disposal Experimental Site, HADES)，與希臘神話中的冥界之神同名。40多年來，在HADES 科學家們對黏土的地質力學、地球化學、礦物學和微生物學特性以及黏土與廢棄物包裝候選材料之間的相互作用進行了研究。地下實驗室 HADES 現在由 ESV EURIDICE 運營，與 SCK•CEN 和 ONDRAF/NIRAS 是經濟夥伴關係。



圖七、BR 1 研究反應器





圖八、BR 2 研究反應器



圖九、BR 3 研究反應器



圖十、MYRRHA 研究反應器



圖十一、VENUS 研究反應器



圖十二、HADES 地下研究實驗室

#### (八) TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心參訪

TABLOO 是 ONDRAF/NIRAS (負責該國放射性廢棄物安全管理的機構) 與合作夥伴放射性廢棄物研究和諮詢小組(De Studie- en Overleggroep Radioactief Afval in Dessel, Dessel, STOLA/SSTORA)與核廢棄物諮詢小組(Mols Overleg Nucleair Afval, Mols, MONA)及其所在 Dessel 和 Mol 地方市政府的一項倡議。訪客和會議中心鄰近低放射性廢棄物最終處置的場址。將貯存放射性廢棄物的場址整理成一個可以讓訪客安全參觀的景點設施。

1998 年，聯邦政府決定經參與的形式研究適合中低放射性短半衰期的廢棄物處置場，意味著需要從一開始就讓具有潛在利益關係的地方當地居民參與。附近的 Dessel 和 Mol 地方政府願意與 ONDRAF/NIRAS 一起調查可能的處置計畫，為了代表當地居民，建立了合作關係。

Dessel 與 Mol 地方政府與 ONDRAF/NIRAS 密切合作，調查各自城市處理放射性廢棄物在技術上是否可行，與社會上是否可以接受。

經過五年的研究，Dessel 和 Mol 都做出了積極的回應，並列出了他們的條件。2006 年，聯邦政府決定將低放射性廢棄物最終處置場建在 Dessel，並且需要滿足兩個夥伴關係提出的公共條件。其中之一是建立了當時被稱為資訊中心的設施，此中心最終成為 TABLOO 訪客和會議中心。



圖十三、TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心

### 三、心得

本章將摘錄會議重點心得，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有關參訪比利時 Belgoprocess 公司，與參觀其核燃料再處理設施除役現場作業現況、SCK·CEN BR 3 研究用反應器除役現場作業、HADES 處置地下實驗室、TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心之概要心得。

#### (一) 會議簡報與討論心得

1. 核燃料循環及其他研究用設施簡報中，法國 CEA Marcoule – UP 1 Decladding 設施除役和比利時 Belgoprocess HLLW-tanks 兩項有使用與本所 TRR 除役可能使用的機具，其經驗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. 法國 CEA Marcoule – UP 1 Decladding 設施除役（圖十四），對於廢棄物取出作業，在設施中會使用一些重型設備，為了增強對地面允許負載的了解，進行鋼筋混凝土圖面確認，並對部分或完全未知的鋼筋進行調查及結構分析，以確定允許的最大負載。非破壞性調查包括斷層掃描、探地雷達、測厚儀；破壞性調查包括用於混凝土力學試驗的鑽芯取樣、識別鋼筋的位置及用於拉伸試驗的鋼筋取樣。在底板進行混凝土鑽芯取樣時，地板的預期厚度為 40 cm。因此，操作程序上的混凝土鑽芯深度為 30 cm。實際上，混凝土鑽芯樣本的物理性質為  $\varnothing 100$  mm、長 20 cm，重量 3.6 公斤，也就是實際地面厚度僅為 20 cm。因此，混凝土鑽芯取樣的樣品掉落至下一層地板，但是作業人員在發生此一事件後，沒有知會設施運轉人員。造成樣品掉落根本原因為規劃圖面上難以閱讀的小字符，造成兩個取樣點錯置，導致作業人員在操作程序上設定錯誤的長度，而且也沒有設置抓取樣品的裝置。此外，設施資訊的傳遞延遲，包括樣品掉落後通報程序毫無章法等狀況，在日後通知設施運轉員時，應盡量提供足夠的資訊。在此次掉落事件後實施行動計畫包含：於運營和管理層面提高員工意識並加強現場指示，提醒人員在發生事件時立即通報與在計畫管控制期間需提高警覺，作業現場加強

安全防護措施、進行取樣點的回填、在取樣現場下方進行管制，以防有人因樣品掉落受傷。

- II. 比利時的 Belgoprocess 的 Eurochemic 用過核燃料再處理設施除役，目前進行 Building 105X / 122X 的清理工作。其清理歷程如下：1966 至 1974 進行用過核燃料再處理，1975 年桶槽 253-1b 發生事件，1985 至 1989 年在 Pamela 設施進行玻璃固化，1986 至 1991 使用  $\text{HNO}_3$ 、 $\text{NaOH}$  等漂洗，2005 年利用遠端技術檢查工作間和儲罐桶槽，包括劑量率測量、照相、取樣。2006 至 2008 年概念研究（包括輻射建模），2008 至 2023 年進行細部工程。概念設計進入工作間的機具，包含蛇型機械手臂、手臂前端夾爪、負壓及氣密設備、過濾器及旋風分離器、實體模擬桶槽、底泥取出機具、高壓清洗設備、雷射切割等。



圖十四、CEA Marcoule – UP 1 再處理設施



圖十五、Belgoprocess Eurochemic 再處理設施除役實體模擬桶槽

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，分為兩個階段，第一階段 2011 至 2014 年，第二階段 2015 至 2027 年，除役負責單位 JAVYS(Jadrová a vyradovacia spoločnosť)於 2017 年 10 月發包給西屋公司進行反應器拆除。污染系統的拆解和一次側系統的拆解於 2022 年 5 月完成，目前一次側系統已完成切割、除污和外釋，所有的高活化組件，像是 RPV 內部組件及 RPV(圖十六)皆已完成切割，並進行廢棄物管理，如 ILW 貯存在臨時貯庫中；LLW 和 VLLW 貯存在 Mochovce 的 RAW 國家貯存庫中；其它二次側組件像是蒸汽產生器、調壓器等活化程度較低的組件，使用乾式切割技術，也都已完成切割作業。目前在反應器乾井進行生物屏蔽體的活化混凝土的清除，及清理溼式切割站由於切割反應器壓力槽與爐內組件等產生的污染金屬與污泥。污染金屬的廢棄物除污效率達 98%，相關切割工具及切割清理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 除役計畫持續進行除役作業，規劃獨立的冷卻系統的計畫已提交給日本原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)，此變更管理的構想有利於減少成本，並提高未來設施管理活動的效率。周邊設施進行拆除，A 環側約有 340 噸廢棄物(2021 年 3 月完成)；B 環路側約為 580 噸廢棄物(今年 9 月完成)，輻射劑量和廢棄物重量都依規劃進行。日本 Fugen 的除役是從汽渦輪機開始的，在拆解作業過程吸取很多經驗，包括拆解程序、工作人員健康管理等經驗，且從低污染區域開始拆解，工作人員和管理人員更能學習累積現場管理的相關經驗，除役作業中最重要的是相關經驗的累積。在粉塵/煙氣控制和反應器通風系統的切割工作，考量其不易進行，為防止煙氣洩漏，使用小型排氣通風裝置，而在拆除切割工作間使用大尺寸的板材做為封閉空間。
  - III. 丹麥 DR 3 除役計畫，進行生物屏蔽體的切割，設計並建置反應器的上方新屏蔽，以利反應器週圍的生物屏蔽體的切割。DR 3 切割作業剛開始使用乾式鑽石圓盤鋸進行切割，但是鑽石圓盤鋸切割



的深度受限，造成需切割作許多小塊混凝土，增加切割時間，小塊的混凝土也易破碎；因此，改用乾式的鑽石索鋸進行切割，但使用該切割方法，需注意鑽石索鋸的冷卻及粉塵的管理。丹麥 DR 3 除役計畫相關經驗，可供 TRR 生物屏蔽體拆除工法設計參考。



圖十六、斯洛伐克 Bohunice V1 反應器壓力容器吊運至溼式切割水槽

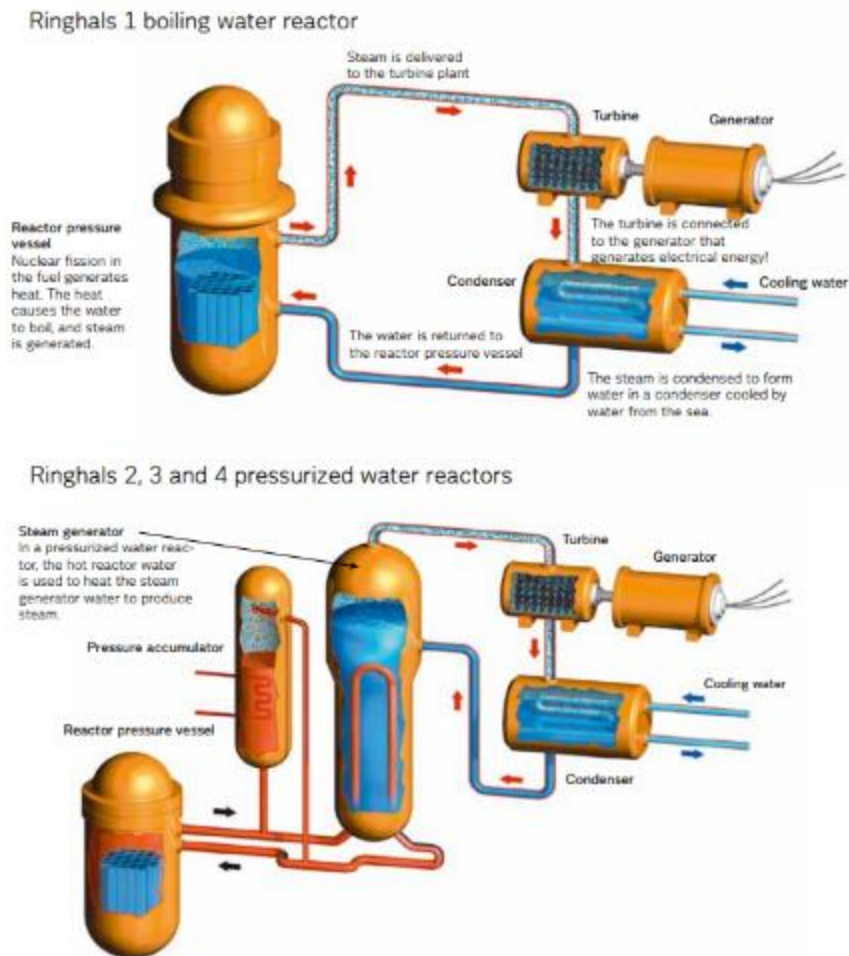
IV. 本所 TRR 除役簡報安排於 2022 年 10 月 24 日，簡報現場如圖十七所示。簡報主要說明燃料池再利用為廢棄物貯存設施、燃料乾貯場的清除工法及爐體廢棄物拆解作業現況、未來規劃與水下切割模擬，與韓國 KAERI 專家討論 TRR 燃料池壁面污染剷除的操作經驗及再利用污染隔離使用不鏽鋼板的技術。



圖十七、TAG 72 本所 TRR 除役進度與狀態簡報

V. 瑞典 Vattenfall Ringhals 1&2 除役計畫，此除役計畫特殊性在於 1 號機及 2 號機為不同型式的反應器，Ringhals 1 號機反應器型式為 BWR，功率 881 MWe，1976 年開始運轉 2020 年停機，2 號機為反應器型式為 PWR，功率 900 MWe，1975 年開始運轉 2019 年停機。Ringhals 廠址內還有 3 號機，反應器型式為 PWR，功率為 1,074 MWe，1981 年開始運轉，預計 2041 年停機；4 號機，反應器型式為 PWR，功率為 1,130 MWe，1983 年開始運轉，預計 2043 年停機。Ringhals 1&2 在 2021 年進行全系統化學除污(FSD, Full system decontamination)，期望儘可能減少除役期間的人員劑量和減少 ILW (>2 mSv/h 廢棄物的數量，預期可減少拆解工作和廢棄物的處理作業。訂定 R1 和 R2 除污因子(Decontamination Factor, DF)>10 的目標。最後 R1 除污因子 21，但 R2 除污因子僅有 2.8。主要是 PWR 的一次側系統表面積較大，且有 FSD 循環不良的地方（像是調壓器），導致使用高錳酸全系統化學除污造成的高輻射劑量的顆

粒堆積。瑞典 Vattenfall Ringhals 1&2 除役計畫的全系統化學除污經驗可作為未來國內電廠是否進行全系統化學除污的參考。



圖十八、瑞典 Vattenfall Ringhals 1&2 反應器型式

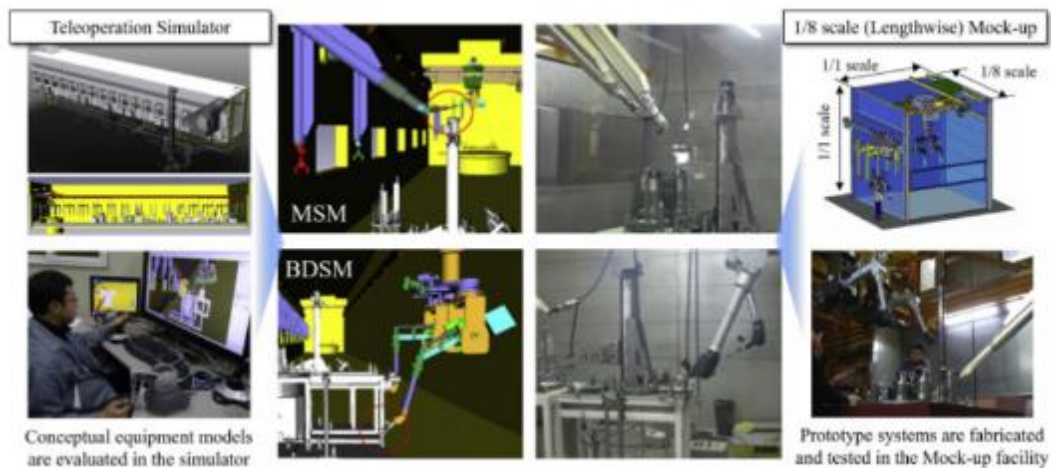
VI. 瑞士 BKW Mühleberg 核電廠 (Kernkraftwerk Mühleberg, KKM)，是 GE 設計的沸水式反應爐(Boiling water Reactor, BWR)，於 1972 年商轉，功率 306 MWe。在 2013 年 10 月，因為商業原因，決定將 KKM 運轉至 2019 年底後停機。在 2013 年至 2019 年這段時間可以為瑞士首次的核能反應器除役做準備。於停機後隔年，即 2022 年初立即開始拆除。為了清理出廢棄物處理的空間，移除廠房裡不再需要的系統組件。在反應器廠房中，自反應器上方移除了數噸廢棄物，並將所有燃料組件從反應器運送到燃料組件儲存池中，燃料組件將在池中衰變數年。隨著燃料組件儲存池獨立冷卻系

統的建置，KKM 被認為“進入除役階段”，並規劃於 2021 至 2024 年期間，拆除核設施和移除燃料組件。自 2022 年起，將燃料組件從儲存池運送到位於 Würenlingen 的中央臨時儲存設施(ZWILAG, Zwischenlager Würenlingen AG)，預計 2024 年底，KKM 中將不再有燃料組件；接續在 2025 年至 2030 年將進行除污和偵檢，確保沒有放射性物質殘留，以完成後續的除役工作；最終於 2031 年完成除役工作並使 KKM 場址再利用。目前正進行抑壓池(Torus)的拆解與爐內組件的拆解準備工作，同時還進行水池內設備修改、機具設計審查及驗證，預計 2023 年底開始進行拆解；汽機廠房持續進行拆解作業，並將汽機大廳改造成廢棄物處理設施。KKM 為 GE 設計的 BWR 反應器，與國內核一、二廠相同，一次圍阻體抑壓池的設計與核一廠相同，其除役時程較核一廠快，除役作業的各項經驗可作為未來國內核電廠學習借鏡。

3. 本次的專題研討係針對核設施除役，機具作業前的功能驗證的相關經驗進行說明，包含日本、法國、德或、韓國、斯洛伐克、義大利與比利時等會員都提出值得參考的經驗。本節摘錄韓國 KAERI 與斯洛伐克 JAVYS 之經驗與心得概要。

- I. 韓國原子能研究所(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI) 進行具有空間資訊回饋和程序模擬的遙控切割技術開發(圖十九)，其目的是發展先進的核設施遠端拆解系統，於各種環境下進行使用，以靈活應用相關切割技術。經多功能和可操縱的系統，盡量減少在現場工作時人員的近距離操作，可自動化或半自動化，適用於核設施除役環境，像是水下或是輻射作業場所。核設施拆解應用機器人的困難在於：位置不確定性（手臂末端的機具和物體的相對位置）、極端環境（輻射、水下、泥濘）。控制框架的系統配置包含：拆解過程模擬模組、整合控制模組、空間資訊處理模組。於拆解過程模擬方面，使用 CAD 內建功能進行切割模擬的工法規

劃以及基於模擬資料的成本和安全性評估。傳輸相關的切割程序給機器人。上述的工作是使用商業數位製造平台 Dassault DELMIA。另外開發空間資訊回饋技術，解決規劃數位空間與工作現場空間不一致問題，從 3D CAD 模型創建 3D 點雲（光線投射），尋找 CAD 系統和物理系統之間的轉換矩陣（3D 對正），以校正模擬模組中的切割路徑（更新機器人程式）。除數位模擬外，KAERI 也做了實體模擬以驗證技術可行性。KAERI 發展的具有空間資訊回饋和程序模擬的遙控切割技術的經驗，值得未來核研所發展 3D CAD 模型技術應用加以借鏡。



圖十九、KAERI 具有空間資訊回饋和程序模擬的遙控切割技術

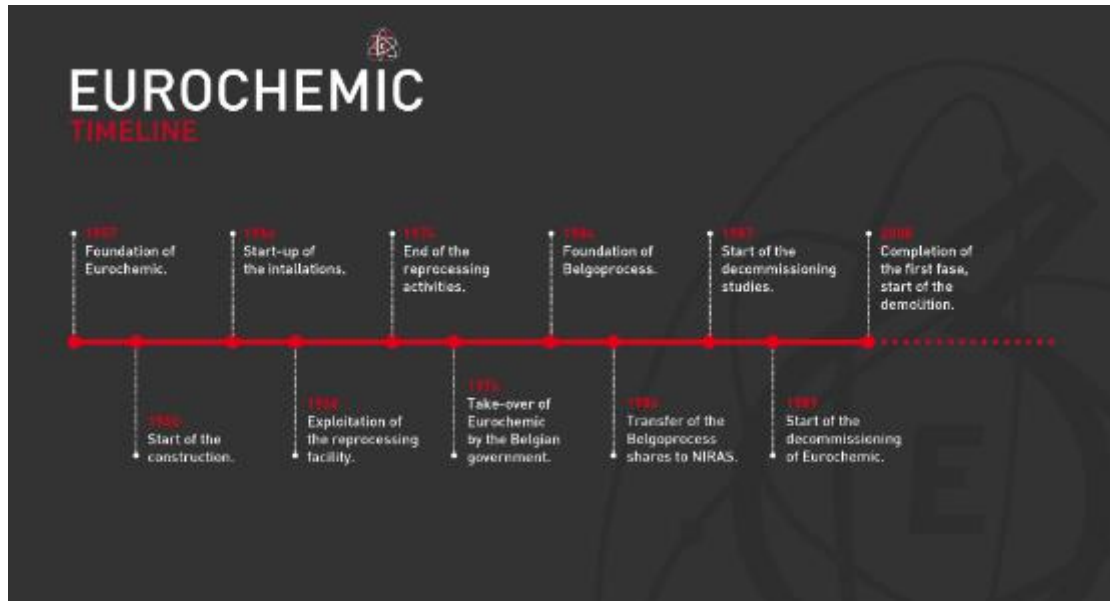
- II. 斯洛伐克 JAVYS Bohunice V1 核電廠反應槽及內部組件切割工具，主要是使用水下機械切割設備的技術，由西屋公司承包，在實際進行切割前需進行工廠驗收測試(Factory Acceptance Tests, FAT)及現場驗收測試(Site Acceptance Tests, SAT)，兩個測試都需進行實際切割對象的的模擬切割測試(Mock Up)。FAT 與 SAT 不同之處：像是現場的切割水池能見度低、斷刀後需重覆切割（帶鋸、圓鋸）、切屑收集系統及過濾裝置的效率不彰，此外實際切割底部會有碳鋼產生的鐵污泥（RPV、屏蔽組件等）皆需加以考量。本所 TRR

爐內組件的切割技術與西屋採用的方法相似，均使用機械切割，斯洛伐克 JAVYS Bohunice V1 核電廠的工廠驗收測試及現場驗收測試經驗，值得加以參考。

## (二) Belgoprocess 核燃料再處理設施除役現場參訪心得

Eurochemic 用過核燃料再處理設施於 1974 年停止再處理作業。1976 移交給比利時政府，1986 年移交給 NIRAS，1987 年開始除役研究，1989 年開始除役，2008 年完成開始拆除第一階段（圖二十）。

自 2004 年起，Eurochemic 分三區，分別為東區、西區和中區。拆除工作於 1990 年開始，目前東區設備已全部拆解、去污，準備進行廠房結構拆除。40 個工作間或 106 個工作間結構依循相似的程序進行拆除。Eurochemic 操作員每年平均接受 1.5 mSv 的輻射劑量。法律允許的最大劑量為每年 20 mSv，為減少工作間內的輻射，並降低操作員被污染的風險，將先移除每個工作間具高輻射劑量率的熱區(Hot Spot)（圖二十一）；第二階段，將使用電漿火炬切割所有金屬元件；在第三階段，混凝土牆經刮除裝置進行表面除污（圖二十二、圖二十三）；於完成刨除的空曠工作間（圖二十四），每一平方英寸檢查是否留有殘餘的放射性污染，如果檢測不到任何污染，就可以封存工作間，並於三個月後再次進行量測，如果仍未測量到污染，則可外釋工作間以進行拆解。拆解與除污作業屬勞動密集型工作，工作人員穿戴專用防護服和呼吸器。極端的體力勞動允許每天工作不超過兩個小時，總共有 56 人從事 Eurochemic 核燃料再處理設施的拆解工作。



圖二十、Eurochemic 過核燃料再處理設施歷史軌跡



圖二十一、表面 Hot Spot 偵檢



圖二十二、表面大部剷除



圖二十三、表面細部剷除

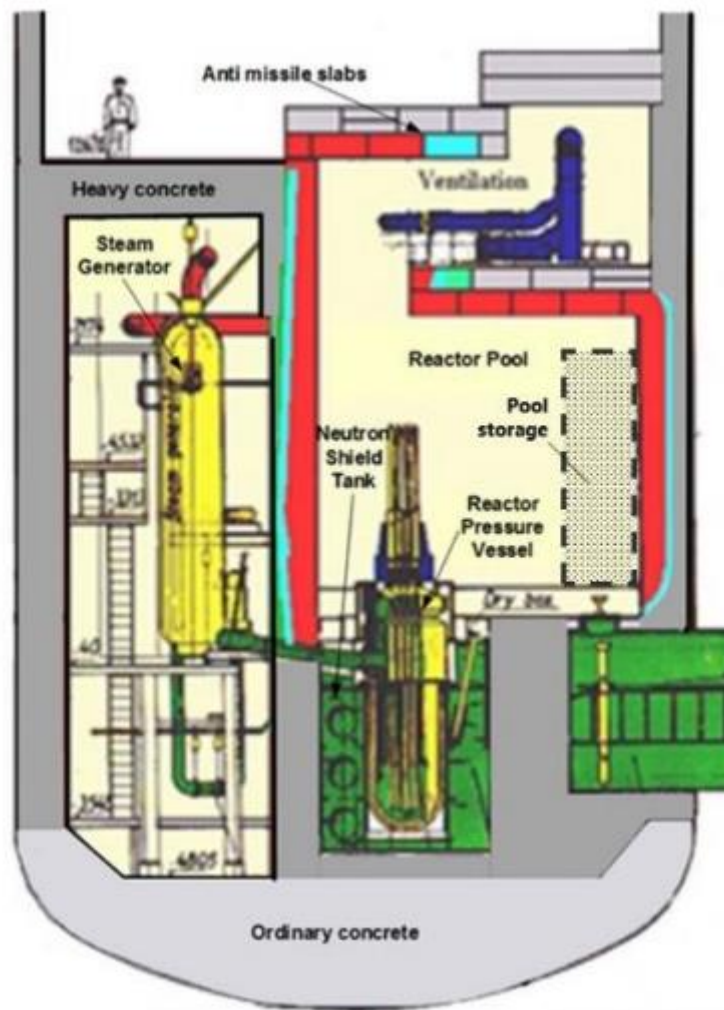




圖二十四、完成表面刨除的工作間

### (三) SCK·CEN BR 3 研究用反應器除役現場及 HADES 地下處置實驗室參訪心得

比利時三號反應器(Belgian Reactor no 3, BR 3)是西屋設計的小型壓水式反應器，1962年開始運轉，1987年停機，共計11次運轉週期，是歐洲第一個進行除役的PWR，熱功率40.9 MWth，電功率10.5 MWe (net)，一次側有1.5個迴路（1個蒸汽產生器、2個主泵、1個熱端、2個冷端），作為NPP運轉員的訓練中心和先進PWR燃料(MOX)的測試平台。2022年規劃進行BR 3生物屏蔽體的拆解（圖二十五）。生物屏蔽體不包括防飛射物平板(Anti-missile slabs)的體積622 m<sup>3</sup>，密度3.5 g/cm<sup>3</sup>，主要的活化核種為Ba-133，另外還有Eu-152、Co-60和Eu-154及其它微量核種（如H-3、C-14、Ca-41），鋼筋的主要核種為Ni-63。防飛射物平板（Anti-missile slabs）於2022年6月運往比利時政府核可選定的垃圾掩埋場。生物屏蔽體其它部分更新劑量影響評估後，開始許可申請作業，將運送到比利時政府核可選定的垃圾掩埋場，與廠內的切割平行運作。反應器廠房外壁的生物屏蔽體使用鑿岩機，以保持反應器廠房的結構完整性，其他部分則使用乾式鑽石索鋸進行切割。規劃共92塊混凝土（每塊最多約10噸），已完成準備作業切割線的標記，大約需60次的鑽芯，預計工期21週，有些切割混凝土塊需要再處理，進行除污和細切，此外準備重新分配及優化內部廢棄物管理及相關作業。



圖二十五、BR 3 生物屏蔽體

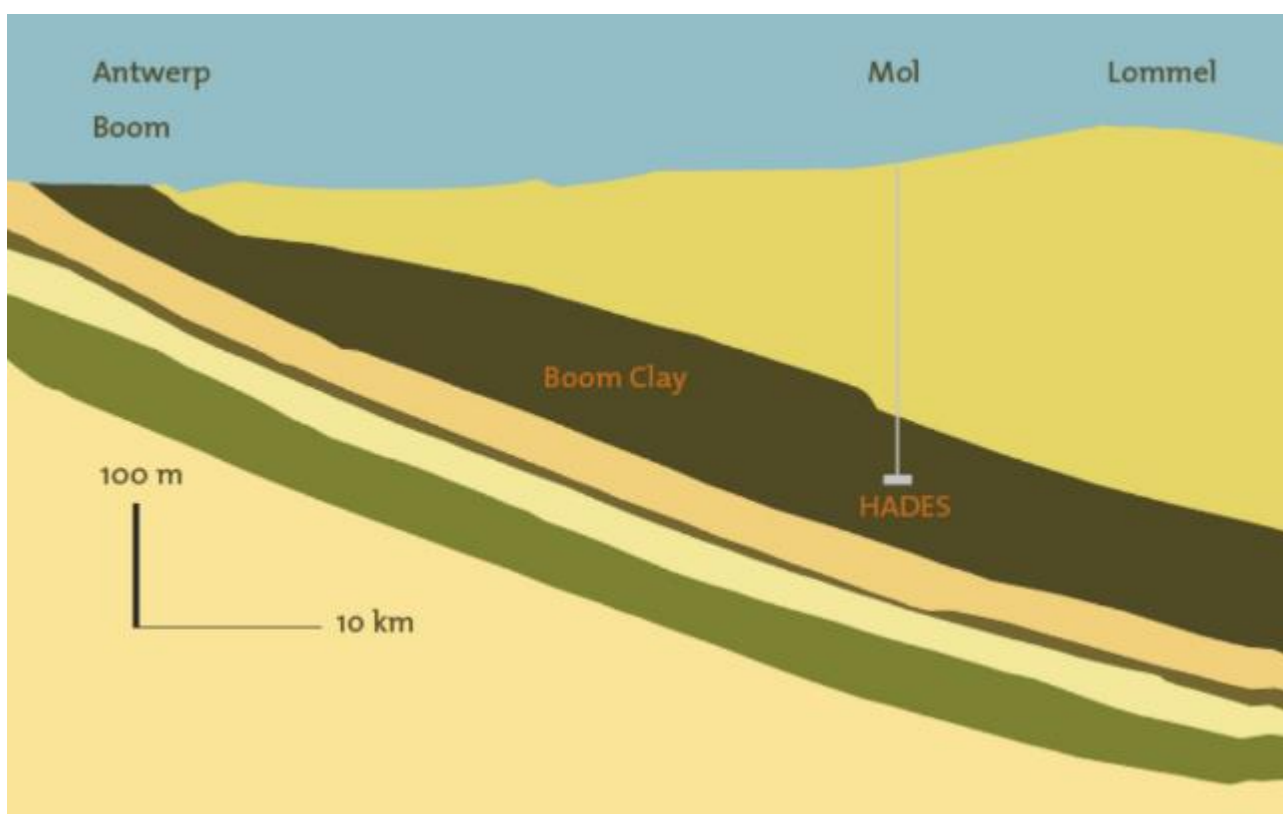
SCK•CEN 於 1980 年開始建造 HADES 地下研究實驗室。自 1995 年以來，HADES 一直由經濟利益集團（Economic Interest Grouping） EIG EURIDICE 運營，該集團是 SCK•CEN 與比利時放射性廢棄物和濃縮核分裂材料管理局（ONDRAF/NIRAS）的合作夥伴。在比利時，ONDRAF/NIRAS 負責放射性廢棄物管理並協調地質處置 RD&D 計劃。

HADES 地下研究實驗室位於 Boom Clay 225 公尺深處（圖二十六），研究放射性廢棄物地質處置的安全性和可行性方面發揮著重要角色。專家們用 HADES 來發展和測試在深層黏土中建造、運營和封閉廢棄物處置設施的技術。科學家們在實際條件下長期在深層黏土地層中進行大規模實驗，以評估在硬化性較差的黏土中進行地質處置的安全性。

HADES 享譽全球，是歐洲最古老的地下實驗室，實驗室建在深層黏土地層中，目的是研究黏土地質處置的可能性。國際原子能總署 (IAEA)將其視為廢棄物處理技術和科

學訓練的卓越中心。HADES 是一家獲得許可的核研究設施，這意味著科學家可以使用範圍廣泛的放射性示踪劑和輻射源，進行核種遷移研究。

HADES 現在是，並將繼續是一個純粹的研究實驗室。永遠不會被擴展用作放射性廢棄物的處置設施。在任何情況下，豎井和廊道都太小，並且由於進行了許多實驗，黏土已經受到干擾。然而，當在實際的處置設施進行建造工程時，HADES 可以繼續發揮作為研究設施的有用功能，如有必要，可以在其中預先測試或微調特定技術。



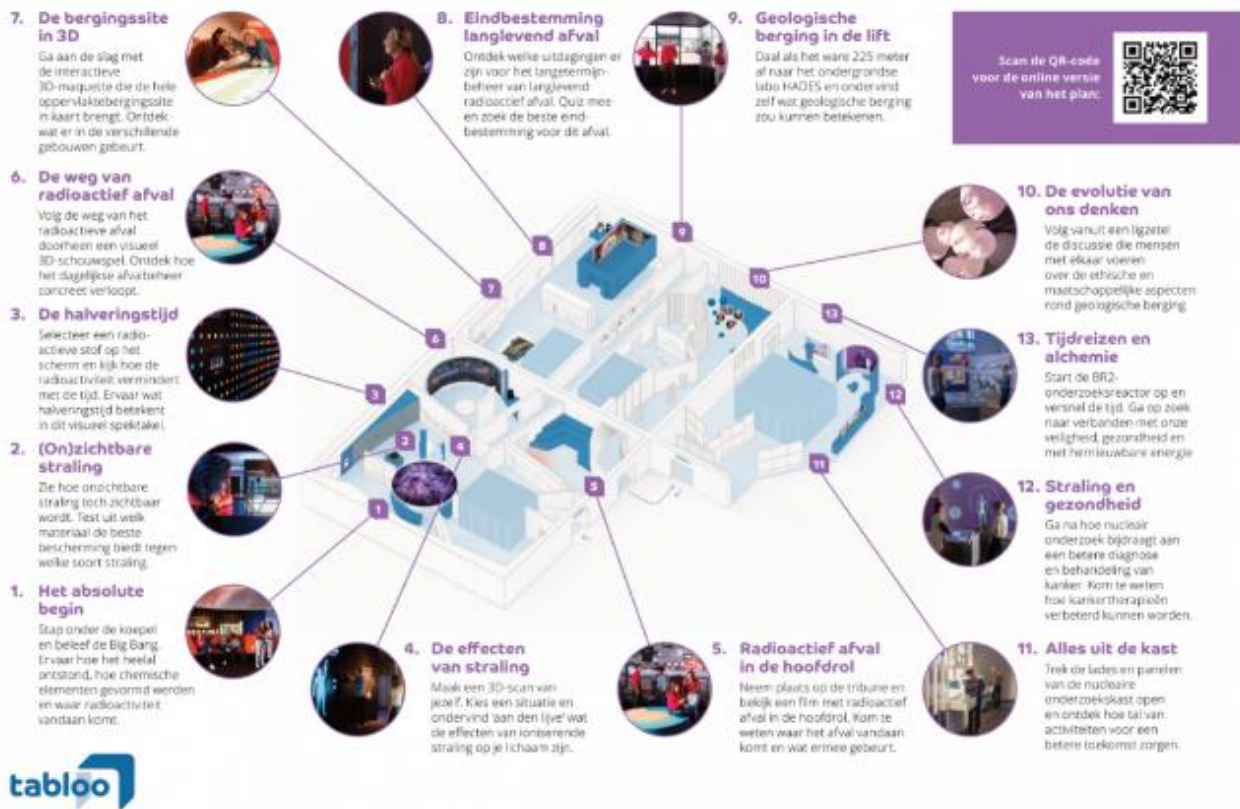
圖二十六、HADES 地下研究實驗室位於 Boom Clay 225 公尺深處

#### (四) TABLOO 放射性廢棄物安全管理訪客和會議中心參訪心得

TABLOO 是 ONDRAF/NIRAS（負責該國放射性廢棄物安全管理的機構）與合作夥伴放射性廢棄物研究和諮詢小組(De Studie- en Overleggroep Radioactief Afval in Dessel, Dessel, STOLA/SSTORA)和核廢棄物諮詢小組(Mols Overleg Nucleair Afval, Mols, MONA)及其所在 Dessel 和 Mol 地方政府市的一項倡議。訪客和會議中心鄰近低放射性廢棄物最終處置場。將貯存放射性廢棄物的場所整理成一個可以讓訪客安全參觀的景點設施。

TABLOO 這個名字源自 Esperanto 文字，原意為桌子，指的是 15 m 高混凝土結構桌子形狀的建築物。此名字代表了 ONDRAF/NIRAS 參與並希望繼續討論放射性廢棄物的議題。

TABLOO 的展示區如圖二十七所示，展示有：(1) 體驗大爆炸：探索宇宙是如何開始的(圖二十八)，化學元素是如何形成的，以及是什麼導致了放射性。(2) 看見輻射：如何讓不可見的輻射變成可見(圖二十九)，測試哪種材料對不同類型的輻射提供最好的屏蔽。(3) 輻射的影響：對自己進行 3D 掃描，選擇一種情況，然後親身體驗游離輻射對您身體的影響。(4) 放射性廢棄物的旅程：以視覺 3D 影片的形式隨放射性廢棄物經歷其處理及處置的旅程，確切了解日常廢棄物管理涉及的內容(圖三十)。(5) 地質處置作為一種解決方案：下降 225 公尺到 HADES 地下實驗室，親自了解地質處置提供的可能性。(6) 我們思想的演變：在關注有關地質處置的倫理和社會方面的辯論。(7) 發現核應用：拉開核研究櫃的抽屜和面板，發現數十項科技如何引領更美好的未來。(8) 時間旅行和煉金術：啟動 BR2 研究反應器並加快時間，整合安全、健康和可再生能源的研究。



圖二十七、TABLOO 展示區



圖 二十八、體驗大爆炸：探索宇宙是如何開始

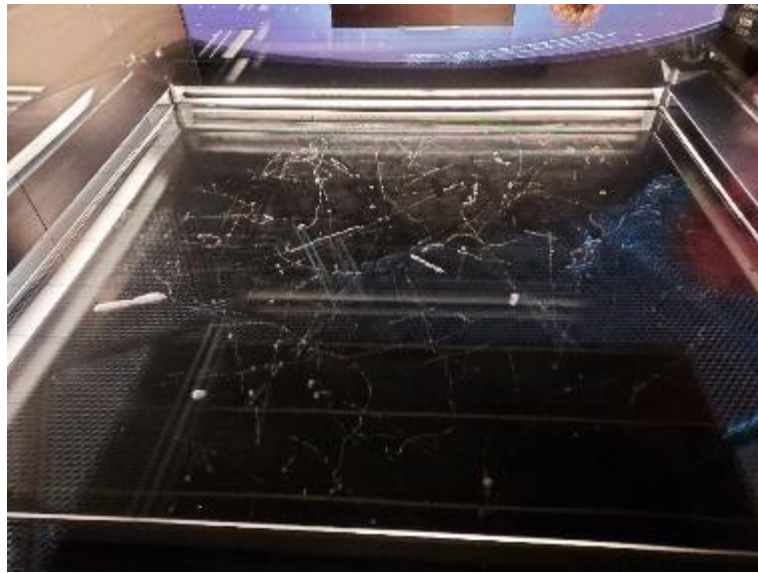


圖 二十九、比利時 TABLOO 雲霧室讓輻射可以看見



(a)



(b)

圖 三十、放射性廢棄物的旅程(a)高放射性廢棄物固化體，與(b)低放射性廢棄物固化體

#### 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) 法國 CEA Marcoule – UP 1 Decladding 設施除役進行混凝土鑽芯取樣時的經驗回饋，值得借鏡，日後 TRR 除役有類似作業需注意安全事項及通報流程。TRR 爐內高活性金屬組件規劃採用水下切割之方式進行，核研所應持續關注斯洛伐克 JAVYS Bohunice V1 核電廠之水下機械切割規劃、執行與經驗回饋，其工廠驗收測試及現場驗收測試經驗，值得加以參考。韓國原子能研究所發展具有空間資訊回饋和過程模擬的遙控切割技術，值得未來核研所發展 3D CAD 模型技術應用加以借鏡。
- (三) 比利時 Belgoprocess Eurochemic 用過核燃料再處理設施及 SCK•CEN BR3 研究用反應器的混凝土除污及切割經驗，可供未國內核設施除役加以學習。