

出國報告（出國類別：其他）

OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)
第 61 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：日本

出國期間：105 年 10 月 16 日~104 年 11 月 21 日

報告日期：105 年 11 月 10 日

摘要

本次公差為參加歐洲經濟合作組織核能署（OECD/NEA）之核設施除役合作計畫（Cooperative Program on Decommissioning, CPD）第 61 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 TRR 除役計畫名義加入 CPD，即陸續派員參加該計畫之 TAG 會議，上一次參加為 2015 年 10 月之 TAG-59 會議。

TAG-61 會議於 2016 年 10 月 16-21 日於日本 Ningyo Toge 舉行，由日本 JAEA 主辦合計共 10 國、21 個除役計畫，28 位專家與會。10 月 17-19 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 14 篇，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，核設施除役材料回收及再利用工作小組專題簡報 1 篇，福島除役現況國家報告簡報 3 篇，除役於拆解期間所產生受危害性物質污染之廢棄物管理專題報告 4 篇，共收集 28 份簡報資料。10 月 19 日下午參訪 JAEA Ningyo-Toge 中心了解其鈾採礦、濃縮及轉化設施之除役與場址復原情形與除役廢棄物管理狀態。10 月 20 日參訪日本位於兵庫縣的 Super Photon Ring 8 GeV (SPring-8) 中心與 Spring Angstrom Compact free electron Laser (SACLA) 設施。目前 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。

目次

一、目的.....	1
二、過程.....	2
(一) 公差行程及會議內容	2
(二) TAG 60 會議與會成員決議事項摘錄	9
(三) NEA 近期在除役的活動及展望摘錄	10
(四) 新計畫申請加入 CPD.....	11
(五) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論	11
(六) 日本 NINGYO-TOGE ENVIRONMENTAL ENGINEERING CENTER 設施參訪	12
三、心得.....	15
(一) 日本國內福島核電廠除役現況報告與心得	15
(二) 拆解與廢棄物管理期間遭有害物質污染之除役議題與心得	22
(三) 日本 FUGEN 電廠除役現況與心得.....	24
四、建議事項.....	26

表目錄

表一、本次國外公差主要行程.....	4
表二、第 61 屆 TAG 會議詳細議程	4
表三、第 61 屆 TAG 會議燃料循環設施除役簡報項目	7
表四、第 61 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目	8
表五、第 61 屆 TAG 會議核設施除役場地復原及除役物資再利用工作小組簡報項目	8
表六、第 61 屆 TAG 會議國家報告簡報項目	9
表七、第 61 屆 TAG 會議專題簡報項目	9
表八、第 61 屆 TAG 會議核設施除役現場參訪項目	9
表九、福島意外後日本國內核電廠狀態摘錄表.....	16
表十、日本國內所有除役中核電廠列表（不含福島核電廠）.....	17

圖目錄

圖一、OECD/NEA CPD/TAG 架構示意簡圖	3
圖二、目前 WPDD (除役與拆解工作小組) 主要計畫	11
圖三、日本原子能署(JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY)研發中心分佈地圖	13
圖四、NINGYO-TOGE ENVIRONEMENTAL ENGINEERING CENTER 設施分佈圖	13
圖五、NINGYO-TOGE 中心發展歷史示意	14
圖六、NINGYO-TOGE ENVIRONEMENTAL ENGINEERING CENTER 設施除役規劃	14
圖七、福島核電廠四部機組反應爐內燃料狀態	17
圖八、福島核電廠除役與復原時程	17
圖九、福島核電廠四部機組內用過燃料移除作業情形	18
圖十、福島核電廠污染水生成與管理原則	19
圖十一、福島核電廠主要水管理系統	19
圖十二、福島核電廠污水處理設施	20
圖十三、福島核電廠污水處理流程	20
圖十四、福島事故污染場界內廢棄物貯存區配置圖	21
圖十五、石綿危害警示與拆除作業	23
圖十六、BELGOPROCESS 含石綿廢棄物之拆除作業人員防護著裝示意	23
圖十七、FUGEN 電廠運轉歷史	25
圖十八、日本 FUGEN 電廠除役計畫時程	25
圖十九、日本 FUGEN 核電廠除役外釋系統架構	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61屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，TAG-61 會議於 105 年 10 月 16-21 日於日本 Ningyo-Toge 舉行，由 JAEA 主辦，合計共 10 國、21 個除役計畫，共 28 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與輻射應用中心，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清除和爐體拆除規劃。

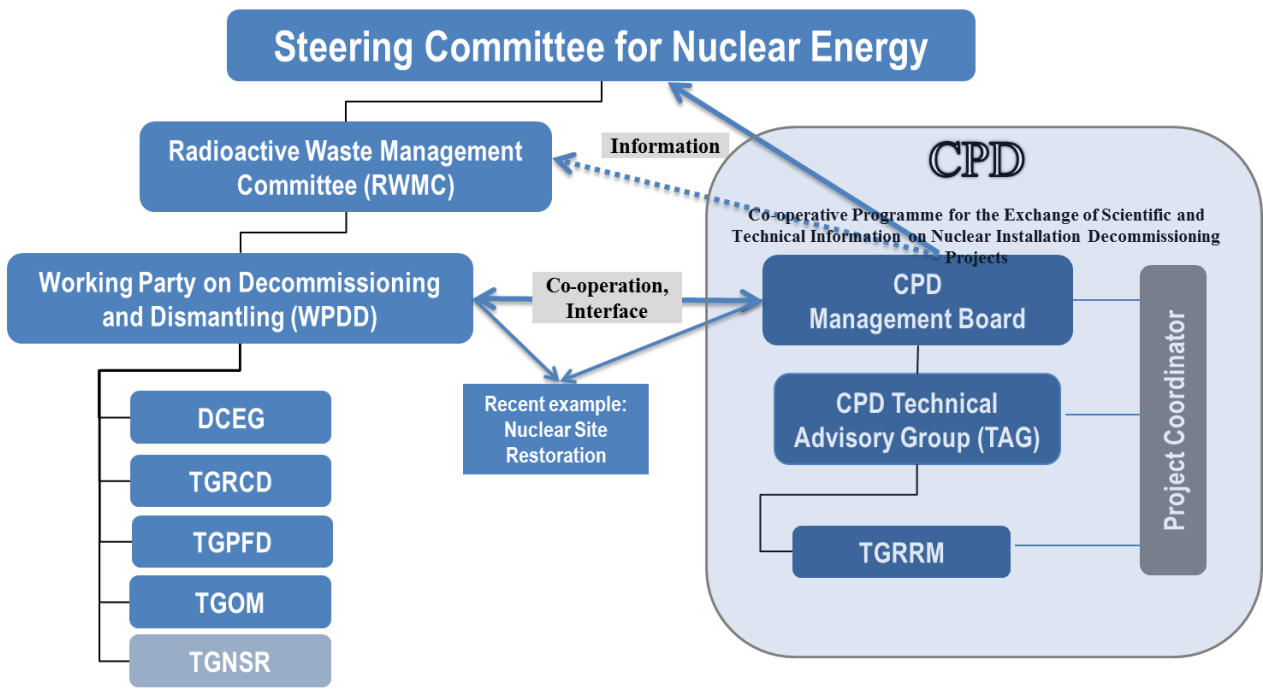
二、過程

(一) 公差行程及會議內容

CPD 的管理架構示意圖如圖一，係由管理委員會 (Management Board, MB) 與技術諮詢組 (TAG) 所組成，歸屬於 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，主要目的是作為核設施除役及安裝經驗資訊交換與分享平台。成立初期成員為 8 個國家的 10 個除役計畫，至 2016 年已成長至 68 個，共 15 個國家及歐盟；我國自 2000 年開始以 TRR 除役計畫加入 CPD，提供 TRR 燃料池清理執行狀況及所發展之相關技術，亦於本次會議上簡述 TRR 用過燃料乾式貯存孔清除與爐體拆解規劃，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。CPD 所彙集的資訊主要來至每年兩次的 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。

TAG-61 會議於 2015 年 10 月 17-21 日於日本 Ningyo-Toge 舉行，由 JAEA 主辦，10 月 17-19 日為會議討論，內容包含各參與計畫除役狀況及進度簡報研討、工作小組報告和 CPD 會務執行情形等。本屆會議計有核反應器除役簡報 14 篇，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，核設施除役材料回收及再利用工作小組專題簡報 1 篇，福島除役現況國家報告簡報 3 篇，除役於拆解期間所產生受危害性物質污染之廢棄物管理專題報告 4 篇，共收集 28 份簡報資料。10 月 19 日下午參訪 JAEA Ningyo-Toge 中心了解其鈾採礦、濃縮及轉化設施之除役與場址復原情形與除役廢棄物管理狀態。10 月 20 日參訪日本位於兵庫縣的 Super Photon Ring 8 GeV (SPring-8) 中心與 Spring Angstrom Compact free electron Laser (SACLA) 設施。

本次公差自 105 年 10 月 16 日起至 105 年 10 月 21 日止，主要行程如表一所示，TAG 61 會議之詳細議程規劃如下表二。表三至表八說明會議中提供簡報之專家姓名及所屬機構。會議取回 28 篇簡報，包含各國除役第一手現況資料，及詳細除役相關技術資訊。本章第二節至第五節分別說明 TAG 會員組成之專家小組工作狀況、新計畫申請加入 CPD、未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃等議題之討論結果。對於我國執行除役及廢棄物處理工作需要特別注意之資訊及可資借鏡之技術，則於下一章中詳細說明。



圖一、OECD/NEA CPD/TAG 架構示意簡圖

表一、本次國外公差主要行程

月/日(星期)	工作內容重點
10/16(日)	去程，由松山機場出發，至日本東京羽田機場，轉機至日本岡山機場。晚上 19:00 於旅館大廳報到。
10/17(一)~10/19(三)	在日本 Ningyo Toge，參加第 61 屆 TAG 之技術討論會議。詳細議程如下表二。
10/20(四)	參訪 RIKEN SPring-8
10/21 (五)	TAG 後續會議舉辦地點及資訊系統管理討論；回程，由岡山機場至東京羽田機場回抵松山機場

表二、第 61 屆 TAG 會議詳細議程

TAG 61 - 17th – 21st October 2016

Japan Atomic Energy Agency-JAEA; Ningyo Toge – Japan

Meeting Agenda

Status report durations are shown as requested by presenters with 5 - 10 minutes added for discussion. Timing is for guidance only. Agenda items may be changed on the day.

Sunday 16 th October				
Ca. 18:00		Hotel Check-in		
Monday 17 th October				
08.30		Assemble in Conference Room for meeting, <i>Transfer presentations to Coordinator's computer</i>		45
	1	Introduction		
09.15		i. Welcome by the TAG Chairman	Chairman	5
09.20		ii. Round Table Introductions		15
09.35		iii. Administrative and organizational remarks	Chairman, Coordinator, Host	15
09.50	2	Approval of agenda	Chairman	5
09.55	3	Chairman's, Co-ordinator's Remarks and Opening Business	Chairman, Coordinator	15
10.10	4	NEA and CPD activities status	Inge Weber	30
10.40		Coffee Break		30
11.10	5	Summary Record of TAG 60 – decisions tracking	Coordinator	5
	6	Country Reports		
11.15		i. Plan for Decommissioning of the Fukushima Daiichi reactors	Noriyuki Saito	40
11.55		ii. Challenges for Enhancing Fukushima Environmental Resilience	Tadahiko Tsuruta	40

13:35		iii. Fukushima Daiichi Decommissioning - TEPCO	Noriyuki Saito	25
	7	Project Status Reports:		
14.00	7b	i. Hamaoka NPP Decommissioning	Motonori Nakagami	25
	7a	Status Reports from Fuel / other Nuclear Facilities		
14.25		i. The Decommissioning of HLLW-tanks at Belgoprocess	Bart Ooms	55
15.50		ii. Riso Hot Cells Decommissioning	Bjarne Rasmussen	30
16.20		iii. Uranium Refining/ Conversion/Enrichment Facility Decommissioning	Yusuke Ohhashi	20
16.40		iv. JRTF Decommissioning Program	Ryuji Mimura	20
17.00		v. D&D of the Gaseous Diffusion Plant at Portsmouth	Jud Lilly	35
17.35		vi. PFFF (Plutonium Fuel Fabrication Facility) Decommissioning	Meiji Kuba	30
18.05		Organisational announcements	Host, Chairman	10
Tuesday 18th October				
09.00		Assemble in Conference Room for meeting, <i>Transfer remaining presentations to Coordinator's computer; Announcements by Chair/Host</i>		15
	7b	Status Reports from Reactor Facilities		
09.15		ii. Bohunice V1 NPP Decommissioning	Joseph Haring	30
09.45		iii. Fugen Decommissioning	Koichi Kitamura / Hiroaki Takiya	30
10.15	Coffee Break			30
10.45		iv. Jose Cabrera NPP Decommissioning	Manuel Ondaro	40
11.25		v. TRR Decommissioning - Taiwan	Huang Chun-Ping	25
12.50		vi. DR3 Riso Decommissioning	Per Holtzmann	25
13.15		vii. R2 and R2-0 Studsvik	Victoria Taubner	25
13.40		viii. Kori unit 1 Decommissioning	Wook Sohn	25
14.05		ix. Brennelis Decommissioning	Michel Velon	30
14.35		x. Grenoble site Decommissioning	Eric Gouhier	25
15.00	Coffee Break			30
15.30		xi. PHENIX Decommissioning	Eric Gouhier	30
16.00		xiii. Triga Mark II & III – KAERI	Sang Bum Hong	35
16.35		xiv. Tokai & Tsuruga-1 Decommissioning – JAPC	Hitoshi Ohata	20
16.55		xv. Sellafield - Primary Separation Facility, Intermediate Waste Recovery, Active Demonstrators, General Decom Update	Mike Askew	25
17.20		Organisational announcements	Chairman/Host	10

Wednesday 19th October				
08.30		Assemble in Conference Room for meeting, <i>Announcements by Chair/Host</i>		5
	8	New Projects (status)		
08.35	8a	i. – JAEA – Tokai Reprocessing Plant ii. TAG Members discussion of the project during which Tetsuo Kozaka is not present iii. TAG present conclusion of discussion	Tetsuo Kozaka & Masanori Okano All Chairman	30
09.05	9	Topical Session – “Decommissioning issues arising during dismantling and waste management of material contaminated by hazardous material” 1) Introduction	Chairman	05
		2) Members presentations		
09.10		i. Hazardous waste from decommissioning and final disposal in sweden	Claes Johansson	25
09.35		ii. Management of hazardous material during decommissioning activities of Belgoprocess	Bart Ooms	25
10.00		Coffee Break		15
10.15		iii. Hazardous material management during Decommissioning activities of ENRESA	Manuel Ondario	30
10.45		iv. Portsmouth D&D hazardous material management	Jud Lilly	40
11.25		3) Discussion and round-up	Chairman & All	05
		4) Topic for TAG 62	Chairman & All	10
12:20		Transfer to Ningyo-toge center		15
12:35		Site visit		235
16:30		Transfer to Uranium glass museum		15
16:45		visit		30
17:15		Transfer to Kamisaibara Culture Center		15

Thursday 20th October				
Technical tour to Spring-8 and Himeji area				
10.00		Visit of Spring-8 and Himeji area		
Friday 21st May October				
09.15		Assemble in Conference Room for meeting, <i>Announcements by Chair/Host</i>		5
0920	10	Status - TAG Knowledge Base Discussion of further steps	Chairman, Coordinator Inge Weber	25
	11	Task groups		

09.45		i. Task Group on Recycling and Reuse of Materials – Presentation final report main issues	TG Chairman Bart Ooms	50
10.35		Coffee Break		20
10.55	12	Future meetings of the TAG	Chairman	35
		TAG 62, May 14-19, 2017- Copenhagen i. Barseback and Danish Decommissioning. Short presentation in preparation of TAG 62	Danish Decomm.	20
		ii. TAG 63 October 2017- CEA/EDF/AREVA France – to be discussed between the CEA/EDF/AREVA and confirmed at TAG 61.		
		iii. TAG 64: May 2018 - Enresa or AECL Canada		
		iv. TAG 65: October 2018 – AECL Canada or WAK Germany		
11.30	13	Closing remarks, meeting adjourn.	Chairman	10

表三、第 61 屆 TAG 會議燃料循環設施除役簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Belgoprocess, HLLW-tank	Bart Ooms/Beloprocess/Belgium
2) Riso Hot Cell	Bjarne Rasmussen/Riso National Laboratory/Danish
3) Uranium Refining/Conversion/Enrichment Facility Decommissioning	Yusuke Ohhashi/JAEA/Japan
4) JRTR Decommissioning Program	Ryuji Mimura/JAEA/Japan
5) D&D of the Gaseous Diffusion Plant at Portsmouth	Jud Lilly/Portsmouth/DOE USA
6) PFFF (Plutonium Fuel Fabrication Facility)	Meiji Kuba/ JAEA/Japan

表四、第 61 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	Joseph Haring /javys/Slovak
2) Fugen NPP	Koichi Kitamura & Hiroaki Takiya/JAEA/Japan
3) Jose Babrera NPP Decommissioning	Manuel Ondaro/ ENRISA/Spain
4) TRR	Chun-Ping Huang /INER/Taiwan
5) DR3 Riso	Victoria Taubnerl/SVAFO/Sweden
6) Kori unit 1 Decommissioning	Wook Sohn/KHNP/Korea
7) Brennelis	Michel Velon /EDF/France
8) Grenoble site Decommissioning	Eric Gouhier/CEA/ France
9) PHENIX Decommissioning	Eric Gouhier/CEA/ France
10) Triga Mark II & III – KAERI	Sang Bum Hong/KAERI/Korea
11) Tokai & Tsuruga-1 Decommissioning – JAPC	Hitoshi Ohata/JAEA/Japan
12) Sellafield – Primary Separation Facility, Intermedaite Waste Recovery, Active Demonstrators, General Decom Update	Mike Askew/UK

表五、第 61 屆 TAG 會議核設施除役場地復原及除役物資再利用工作小組簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
Task Group on Recycling and reuse of materials – Presentation final report mail issues	Bart Ooms/ Belgoprocess/ Belgium TG Chairman

表六、第 61 屆 TAG 會議國家報告簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Plan for Decommissioning of the Fukushima Daiichi reactors	Noriyuki Saito/ TEPCO/ Japan
2) Challenges for Enhancing Fukushima Environmental Resilience	Tadahiki Tusruta/ JAEA/Japan
3) Fukushima Daiichi Decommissioning - TEPCO	Noriyuki Saito/ TEPCO/Japan

表七、第 61 屆 TAG 會議專題簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Hazardous waste form decommissioning and final disposal in sweden	Claes Johansson/SKB/Sweden
2) Management of hazardous material during decommissioning activities of Belgoprocess	Bart Ooms/ Belgoprocess/Belgium
3) Hazardous material management during Decommissioning activities of ENRESA	Manuel Ondaro/ENRISA/Spain
4) Portsmouth D&D hazardous material management	Jud Lilly/ Portsmouth /USA

表八、第 61 屆 TAG 會議核設施除役現場參訪項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) JAEA Ningyo-Toge Outline of the decommissioning project	Ningyo-Toge Environmental Engineering Center JAEA
2) RIKEN Spring-8 Center	RIKEN/Hyogo Japan

(二) TAG 60 會議與會成員決議事項摘錄

- 1) 所有 TAG 會議中所取得的資訊僅能在成員間流通不能外流，除非取得作者的同意。

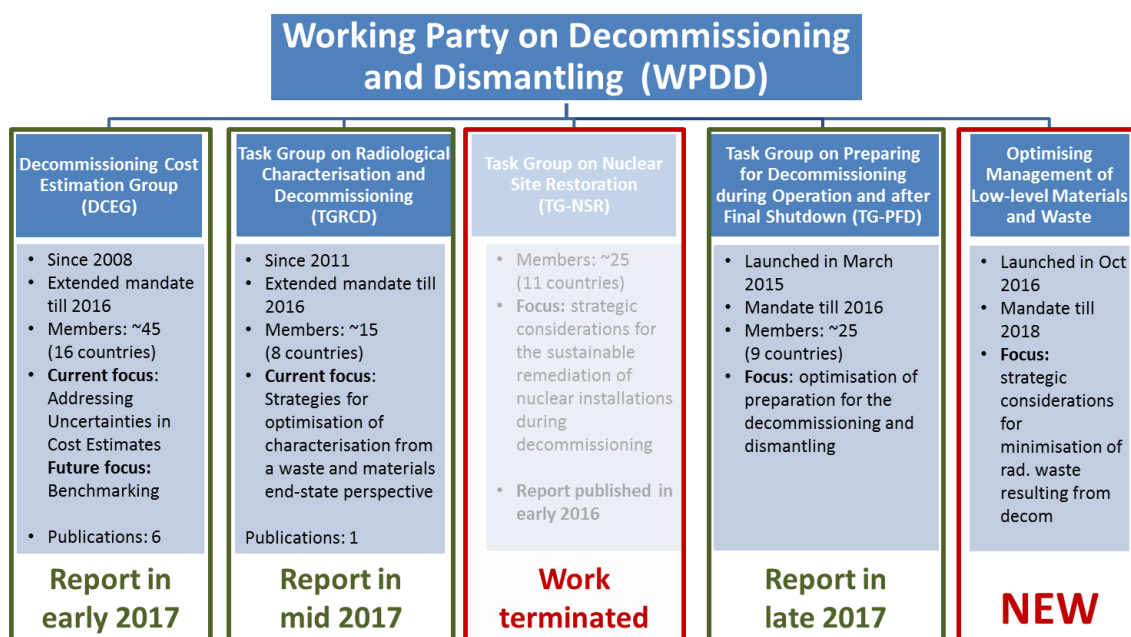
- 2) 所有 TAG 60 出席者同意韓國除役計畫 Kori unit 1 對 CPD 的工作有貢獻，並建議 KHNP 計畫 Kori unit 1 應該受管理委員會（Management Board, MB）邀請在 2016 年 11 月申請加入 CPD。
- 3) 所有 TAG 60 出席者同意 PDC 除役活動對 CPD 的工作有貢獻，並受邀至 MB 申請加入 CPD。
- 4) TAG 61/TAG 62 的專題分別訂為“Decommissioning issues arising during dismantling and waste management of hazardous material”與“Site remediation issues to consider in planning and execution of a nuclear decommissioning project”。
- 5) 所有從 TAG 39 到 TAG 60 的資料已經收錄到協調員(Coordinator)購置之兩只硬碟內，一只為協調員保存，另一只硬碟則交由 NEA 觀察員（目前為 Inge Weber 女士）設置於雲端儲存系統與管理。

(三) NEA 近期在除役的活動及展望摘錄

本次 TAG 會議 NEA 輻射防護及放射性廢棄物管理部門（Division of Radiation Protection and Radioactive Waste Management）派觀察員 Inge Weber 女士與會並說明近期 NEA 的除役活動與展望。

近期 NEA 之核能領域指導委員會(Steering Committee for Nuclear Energy)指出 NEA 的成員國對於核設施除役的重要性之意識已明顯高漲，2017 年至 2022 年 NEA 的策略規劃亦面臨更多除役工作需求的壓力，在 2016 年 4 月的會議上有“Financing of Decommissioning”議題的政策辯論。所屬的放射性廢棄物管理委員會 RWMC 亦有以下三項主要活動：1. 除役是整合放射性廢棄物管理的一部分；2. RWMC 將更多聚焦在除役活動；3. 2016 年 4 月在 RWMC 的會議上 CPD 分別報告。因此，再 NEA 內除役已經成為顯學。RWMC 所屬的 WPDD 成立於 2001 年預計任務至 2020 年，目前主席為西班牙 Enresa 的 Juan-Luis SANTIAGO，與會的資深專家來至於 21 個國家、歐盟與 IAEA 主要包含管制、執行、廢棄物管理組織、研究所等單位，每年召開一次全體會員會議，2016 年則在義大利羅馬舉辦（10/25-27），而目前 WPDD 的主要計畫如圖二所示。今年度 NEA 亦發刊兩份成果報告，包含 2016 年 5 月發行的“Strategic Considerations for the Sustainable Remediation of Nuclear Installations”，本報告主要基於 NEA 於 2014 年“Nuclear Site Remediation and Restoration during

Decommissioning of Nuclear Installations”的報告，增加決策者、管制者、執行單位及除役相關利害關係人的觀點，所有 NEA 再放射性廢棄物管理與除役的刊物均可以免費取得（<http://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2016/7290-strategic-considerations.pdf>）。另一份刊物為“Financing the Decommissioning of Nuclear Facilities”共 23 頁，提供除役財務、成本估算與資金基本知識，亦可於官網上免費取得本（<http://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2016/7326-fin-decom-nf.pdf>）。



圖二、目前 WPDD（除役與拆解工作小組）主要計畫

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 的任一委員會，1985 年根據 NEA 法規第五條 (Article 5) 設立，相關組織與成員已敘於上一章，於此不再贅述。

(四) 新計畫申請加入 CPD

今年申請加入 CPD/TAG 之計畫為日本 JAEA 的 Tokai Reprocessing Plant，並邀請 Mr. Tetsuo Kozaka 與 Mr. Masanori Okano 簡報。簡報後 TAG 61 所有成員討論並接受此案。前期 (TAG 59 與 60) 新增的計畫包含 Rosatom with A.A. Bochvar Institute、Korea Hydro & Nuclear Power in the pipeline of affiliation。

(五) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論

會議中討論未來 TAG 62、TAG 63、TAG64 會議的主辦國，討論後決議：

TAG 62：2017 年 5 月 14-19 日，由瑞典 Barsback 及丹麥 Riso 兩單位合辦

TAG 63：2017 年 10 月，規劃由法國 CEA/EDF/AREVA 主辦

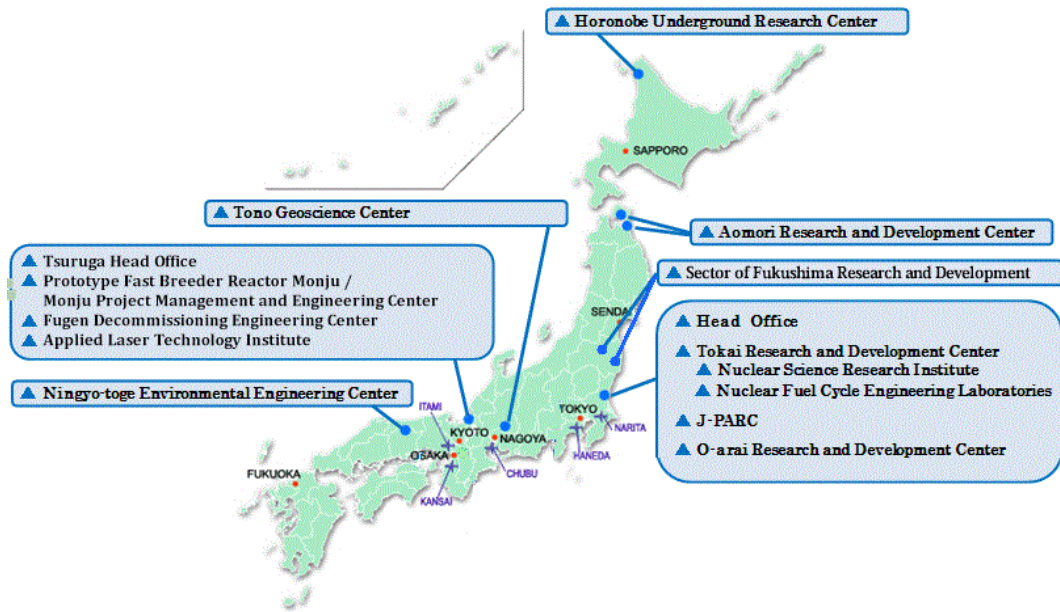
TAG 64：2018 年 5 月，規劃由西班牙 Enresa 或加拿大 AECL 主辦

TAG 65：2018 年 10 月，規劃加拿大 AECL 或德國 WAK 主辦

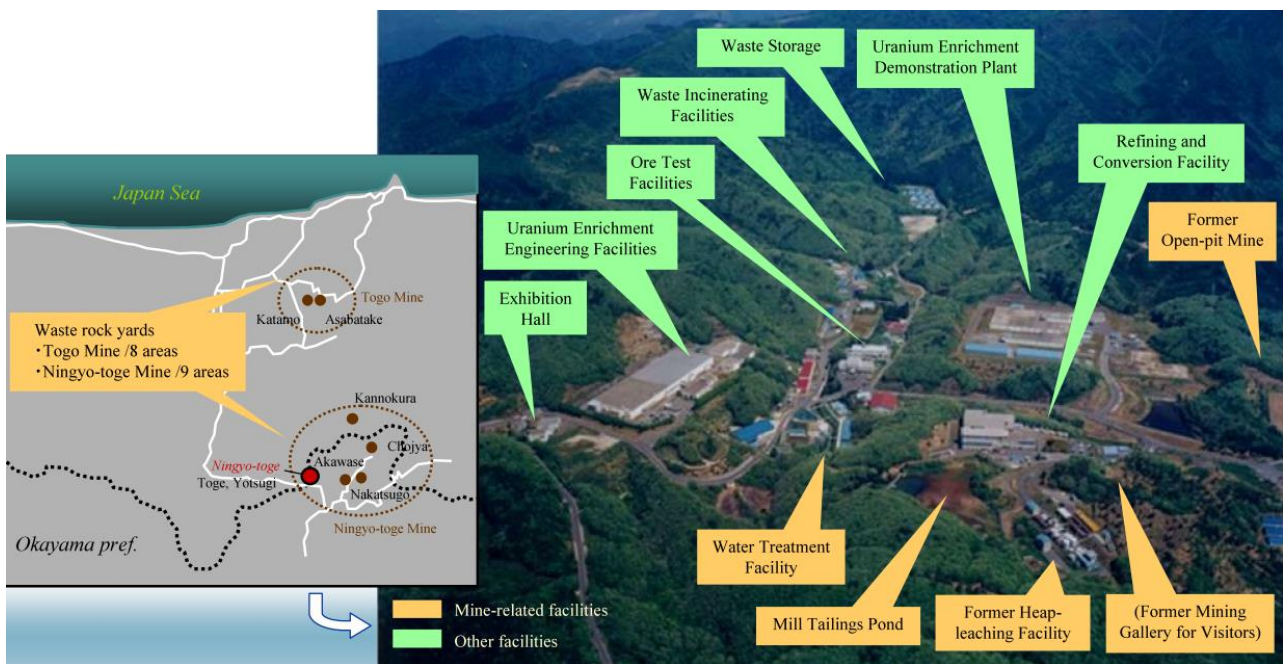
(六) 日本 Ningyo-Toge Environmental Engineering Center 設施參訪

日本原子能署(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)所有之研發中心如圖三所示，其中 Ningyo-Toge Environmental Engineering Center 目前員工共 147 人，另有包商協助維護設施與執行拆解除污工作約 137 人，主要設施包含濃縮鈾試驗場 (UEPP, Uranium Enrichment Pilot Plant)、濃縮鈾驗證場(UEDP, Uranium Enrichment Demonstration Plant)、鈾精鍊與轉化場 (URCP, Uranium Refining & Conversion Plant) 以及露天採礦區、前採礦設施及礦渣貯存池等，如圖四、圖五所示。Ningyo-Toge 中心於 1957 年開始，1955 年時發現鈾礦石沈積並於 1958 年為發現的鈾礦命名為“Ningyoite”。探勘、採礦與精鍊的歷史為：1955-1972 年間進行鈾礦石的探勘、1959-1987 年間採礦、1964-1981 年間洗選礦及精鍊、1976-1998 年間鈾礦石精鍊測試，至今最主要任務在於關閉礦場之整治量測研究與調查；濃縮鈾與轉化場之設施興建歷史為：1979-1997 氣體離心濃縮試驗場(Gas Centrifuges Enrichment Pilot Plant)、1982-1999 精鍊與轉化場建立，迄今主要進行除污與拆解技術之發展。1989 至 2001 年間商用規模的濃縮驗證場運轉測試，技術已轉移予民間廠商 JNFL-REP，並持續擔任技術協助與支援工作。

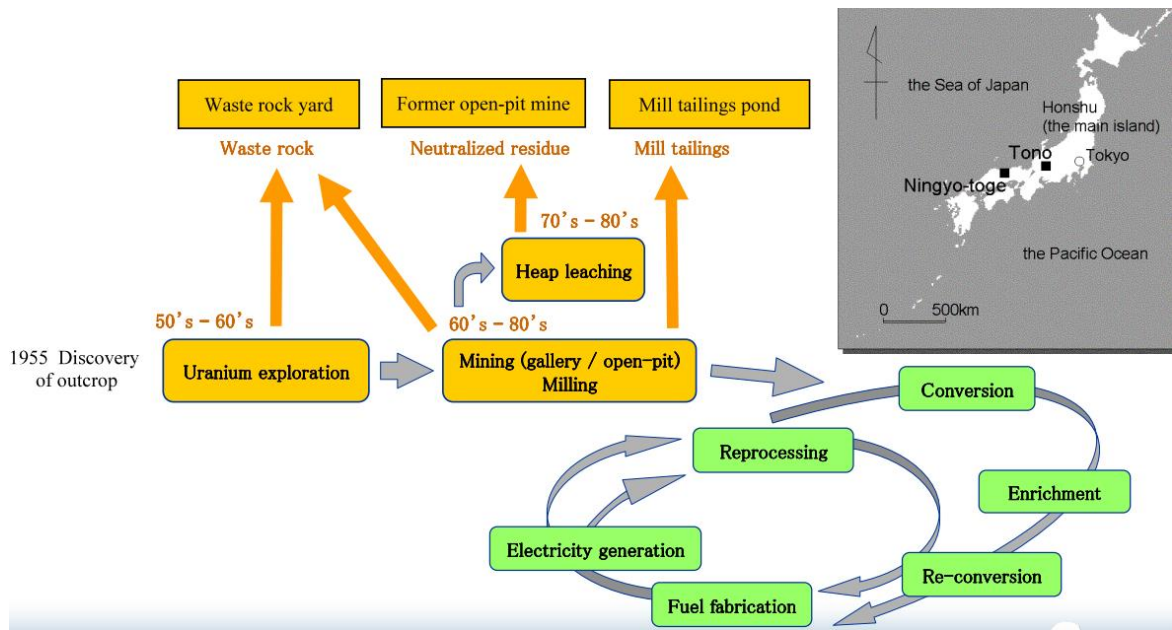
目前 Ningyo-Toge Environmental Engineering Center 最主要的後端計畫即除役工程的研發與執行(如圖六)，其中設施除污與拆解最適化研究的重點在：1. 降低成本、減少工作人員負擔、減少暴露劑量與廢棄物產生；2. 改善拆解工作場址的安全與保安；3. 減少危害與風險層級。而設施除役計畫的研發主題則包含：1. 清洗出 Gas Centrifuges Cascades 內殘留的鈾；2. 處理並分離 Gas Centrifuges 敏感資訊(遵循防止核武擴散條約)；3. 設施除污與拆解的資料庫；4. 廢棄物盤存估算、分類、再量測、重包裝與鈾回收；5. 非破壞性量測創新技術發展；5. 關閉礦場整治之量測研究與調查。



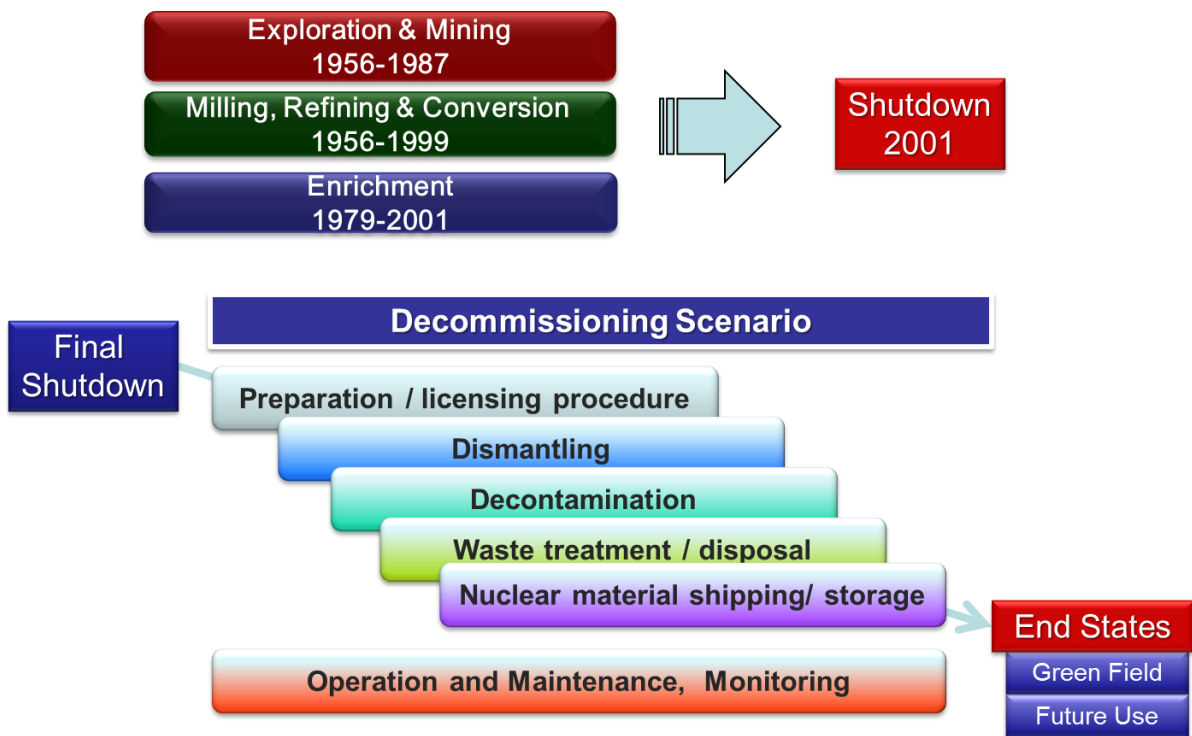
圖三、日本原子能署(Japan Atomic Energy Agency)研發中心分佈地圖



圖四、Ningyo-Toge Environmental Engineering Center 設施分佈圖



圖五、Ningyo-Toge 中心發展歷史示意



圖六、Ningyo-Toge Environmental Engineering Center 設施除役規劃

三、心得

本章由 TAG-61 會議各國除役計畫、工作小組和專題討論等所提出之簡報中，彙整國際與國內關注的福島核電廠除役與復原情形，拆解與廢棄物管理期間遭有害物質污染之除役議題等資料分別說明如下：

(一) 日本國內福島核電廠除役現況報告與心得

在 2011 年 3 月 11 日福島核電廠意外發生後，日本核電廠目前有 3 部機組恢復運轉、2 部機組受法院命令停機、2 部已取得重啟許可、19 部準備重啟中、16 部評估中、6 部永久停機、而有 4 部機組進入除役拆解階段，詳如表九所列，日本國內所有除役中的核電廠（不含福島）共 10 部機組（表十）。

福島核電廠四部機組反應爐內的用過燃料分別是 1 號機 392 束、2 號機 615 束、3 號機 566 束及 4 號機 1533 束，目前持續注入冷卻水控制爐內溫度，依 2016 年 10 月的監測結果顯示目前燃料池、一次圍阻體與反應器壓力槽的溫度已控制良好（20~30°C），而 4 號機內的所有燃料束也以全數移除（圖七）。而整個福島核電廠的除役與復原計畫分為三階段，第一階段 2012 年起計 2 年內移除燃料池內的燃料，第二階段 2014 年起 10 年內移除破損燃料，第三階段計畫 30~40 年完成除役（圖八）。依東京電力公司的規劃一號機內的用過燃料規劃 2020 年底開始移除置 2022 年完成，在此之前需於燃料池上方興建拆除廠房，移除瓦礫並安裝頂蓋，今年已完成拆裝廠房的工程，如圖九左上。二號與三號機則分別規劃 2020、2017 年底進行用過燃料移除，前置廠房及機具持續有工程在進行中。2013 年 11 月 8 日四號機的用過燃料已完全移除。

福島核電廠意外事故發展至今，廠界內及沿海區域內的污水整治處理情形均受到各界的關注矚目，而東京電力公司提出的遭放射性物質污染水的三大管理方針：1. 移除污染源；2. 避免水流經污染源；3. 遭污染水不洩漏。因此，首要係掌握地下水文，並於核反應器廠區設置地下不透水牆阻斷，並於上游設置地下水導流機制，使地下水不再流入廠內，針對反應器附近沿海域也建立不透水牆，使得廠內的污水侷限於該區域不再排入海中，詳細管理配置如圖十所示，而整區的管線及水管理系統如圖十一所示。污水的處理系統與處理流程如圖十二與圖十三所示，包含鈾/鋇過濾設備、脫鹽設施及多核種移除設施，經處理後的水則暫置於貯存槽內（Storing tank area），其中剩餘的核種是氚。

此外，因福島核電廠外部區域遭放射性物質污染的瓦礫、土壤、修剪樹枝、污水及防護衣物等也已分別依其污染程度與輻射劑量率強度集中貯存於規劃的區域內，如圖十四所示。然而，除了遭放射性物質所污染的廢棄物以外，輻射工作人員的防護衣具等二次廢棄物隨著除役、清理與復原的工作持續進行，所產出的數量也相當可觀，如無有效的管制與減容估計到了 2028 年固體廢棄物的貯存量將來到 750,000 m³ 之譜，因此，2016 年 3 月新建置的焚化爐已開始進行防護衣物的焚化減容工作，以目前的成效預估可大幅抑低固體廢棄物的貯存量。即使針對可燃廢棄物進行減容，其他無法減容的固體廢棄物如瓦礫與土壤，預計仍需要新增的貯存場所堆置。

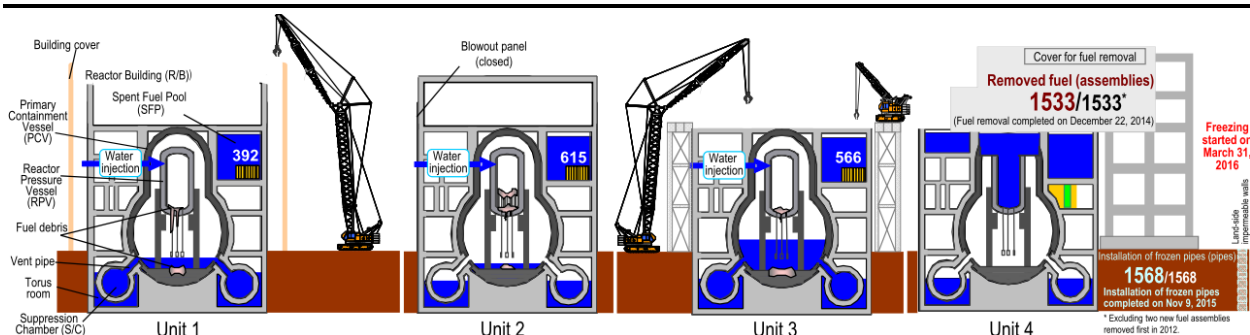
福島核電廠的意外事故處理至今已逐步的聚焦處理策略與技術，相關單位投入龐大的資源進行環境空浮與水污染監測，目前主要的放射性核種為 ¹³⁷Cs。此外，針對遭污染的瓦礫、土壤及林木等也已進行集中貯存，從其經驗中發現除既有遭放射性污染的廢棄物外，清理過程為防護作業人員之安全亦產生相當可觀的二次廢棄，如無有效的減容（如焚化）處理，廢棄物的貯存與未來處置空間將會是非常嚴峻的問題。

表九、福島意外後日本國內核電廠狀態摘錄表 2016.9 更新

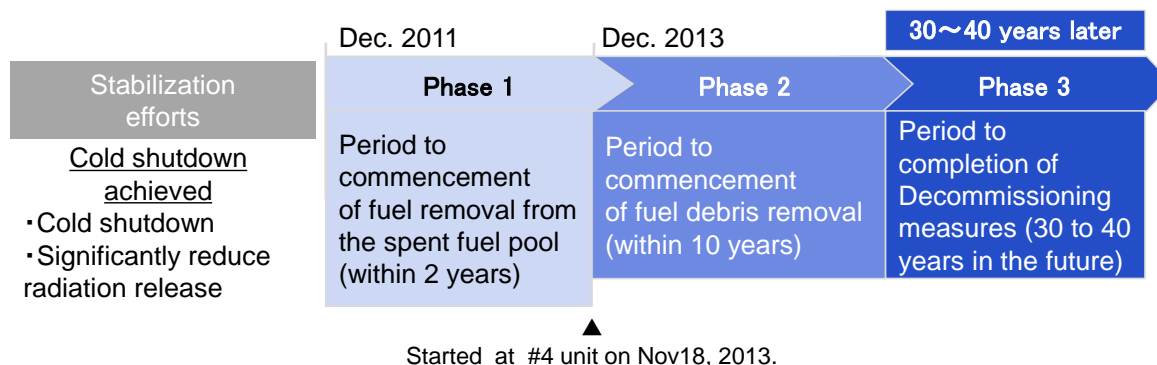
Status	Units	Note
Under operation	3	Sendai-1: 2015. 09 re-started Sendai-2: 2015.11 re-started Ikata-3: 2016. 08 re-started
Stopped by temporary court order	2	Tkahoma-3/4
Re-start permitted	2	Takahama-1/2
Under re-start preparation	19	Tokai-2 Tsuruga-2 and others
Under consideration	16	
Permanently stopped	6	2015 Stopped:Tsuruga-1 and 4 units 2016 Stopped: Ikata-1
Under D&D	4	Tokai, Hamaoka-1/2 and Fugen
Under recovery operation	6	Fukushima Daiichi

表十、日本國內所有除役中核電廠列表（不含福島核電廠）

Plant	Operator	Type	Capacity	Commercial Operation starts	Shutdown Date
Tokai-1	JAPC	GCR	166 MW	1966.Jul.25	1998.Mar.31
Fugen	JAEA	ATR	165 MW	1979.Mar.20	2003.Mar.29
Hamaoka-1	CHUBU	BWR	540 MW	1976.Mar.17	2009.Jan.30
Hamaoka-2	CHUBU	BWR	840 MW	1978.Nov.29	2009.Jan.30
Tsuruga-1	JAPC	BWR	357 MW	1970.Mar.14	2015.Apr.27
Mihama-1	KANSAI	PWR	340 MW	1970.Nov.28	2015.Apr.27
Mihama-2	KANSAI	PWR	500 MW	1972.Jul.25	2015.Apr.27
Genkai-1	KYUSHU	PWR	559 MW	1975.Oct.15	2015.Apr.27
Shimane-1	CHUGOKU	BWR	460 MW	1974.Mar.29	2015.Apr.30
Ikata-1	SHIKOKU	PWR	566 MW	1977.Sep.30	2016.May 10



圖七、福島核電廠四部機組反應爐內燃料狀態



圖八、福島核電廠除役與復原時程

Unit 1

Regarding fuel removal from Unit 1 spent fuel pool, there is a plan to install a dedicated cover for fuel removal over the operating floor^(*).

Before starting this plan, the building cover will be dismantled to remove rubble from the top of the operating floor, with anti-scattering measures steadily implemented.

All panels were removed by October 5, 2015. Operation of sprinklers started on June 30, 2016 as a measure to prevent dust scattering. Suction of rubble was completed on August 2, 2016. Dismantling of wall panels started on September 13, 2016.

Dismantling of the building cover will proceed with radioactive materials thoroughly monitored.



<Dismantling of wall panels>



Flow of building cover dismantling

Unit 2

To facilitate removal of fuel assemblies and debris in the Unit 2 spent fuel pool, the scope of dismantling and modification of the existing Reactor Building rooftop was examined. From the perspective of ensuring safety during the work, controlling impacts on the outside of the power station, and removing fuel rapidly to reduce risks, we decided to dismantle the whole rooftop above the highest floor of the Reactor Building.

Examination of the following two plans continues: Plan 1 to share a container for removing fuel assemblies and debris from the pool; and Plan 2 to install a dedicated cover for fuel removal from the pool.

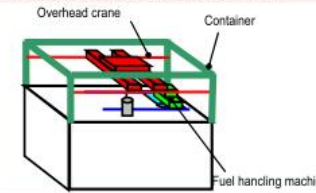


Image of Plan 1

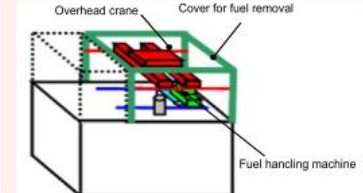


Image of Plan 2

Unit 3

To facilitate the installation of a cover for fuel removal, removal of large rubble from the spent fuel pool was completed in November 2015. Measures to reduce dose (decontamination and shielding) are underway. (from October 15, 2013)

To ensure safe and steady fuel removal, training of remote control was conducted at the factory using the actual fuel-handling machine which will be installed on site (February – December 2015).

After implementing the dose-reduction measures, the cover for fuel removal and the fuel-handling machine will be installed.



Fuel gripper (mast)



Manipulator

Fuel-handling facility (in the factory)

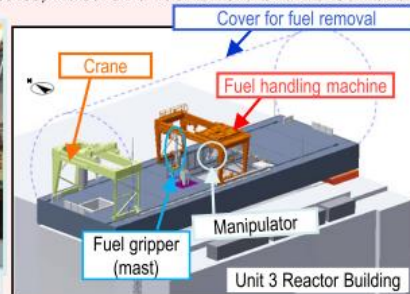


Image of entire fuel handling facility inside the cover

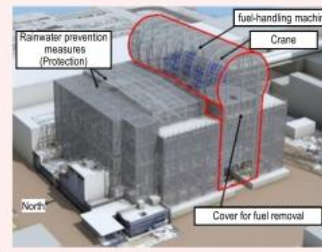


Image of the cover for fuel removal

Unit 4

In the Mid- and Long-Term Roadmap, the target of Phase 1 involved commencing fuel removal from inside the spent fuel pool (SFP) of the 1st Unit within two years of completion of Step 2 (by December 2013). On November 18, 2013, fuel removal from Unit 4, or the 1st Unit, commenced and Phase 2 of the roadmap started.

On November 5, 2014, within a year of commencing work to remove the fuel, all 1,331 spent fuel assemblies in the pool had been transferred. The transfer of the remaining non-irradiated fuel assemblies to the Unit 6 SFP was completed on December 22, 2014. (2 of the non-irradiated fuel assemblies were removed in advance in July 2012 for fuel checks)

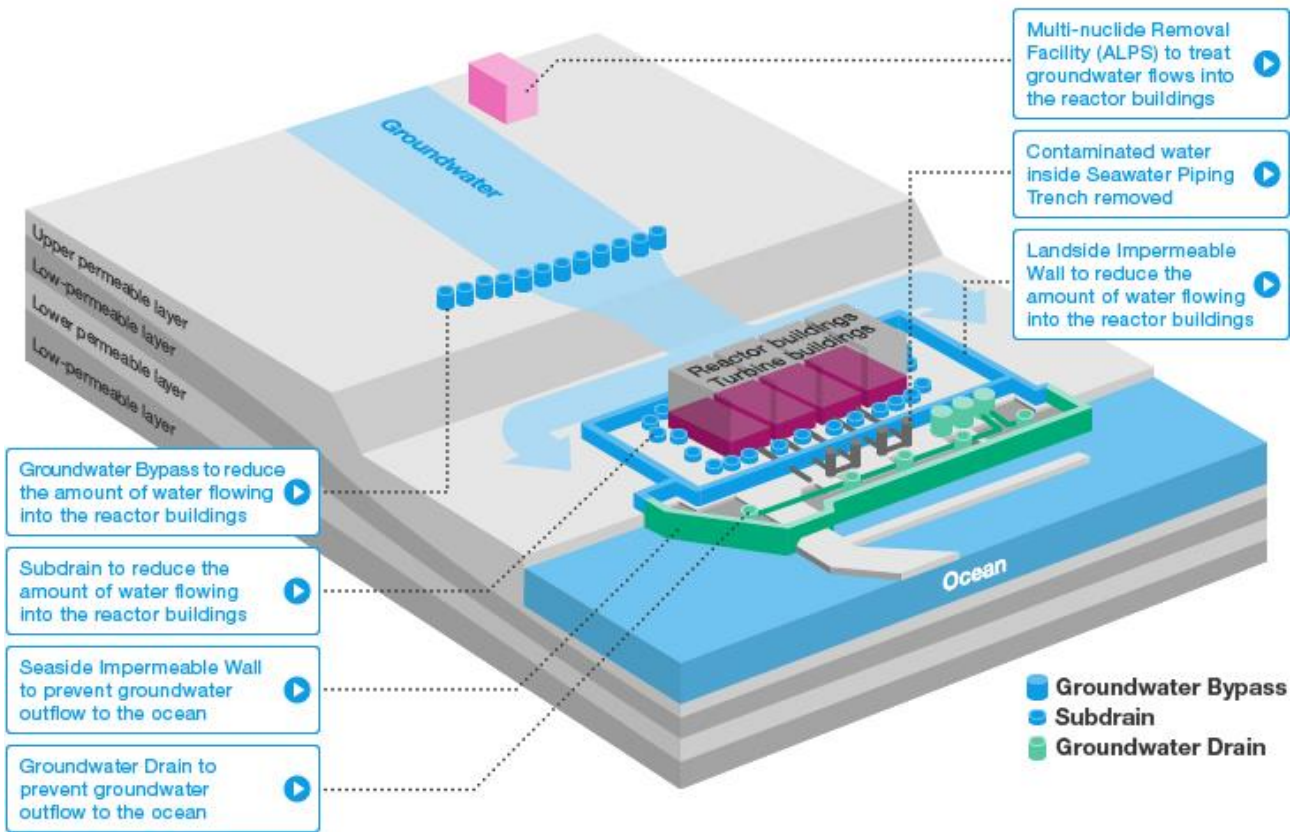
This marks the completion of fuel removal from the Unit 4 Reactor Building. Based on this experience, fuel assemblies will be removed from Unit 1-3 pools.

^{*} A part of the photo is corrected because it includes sensitive information related to physical protection.

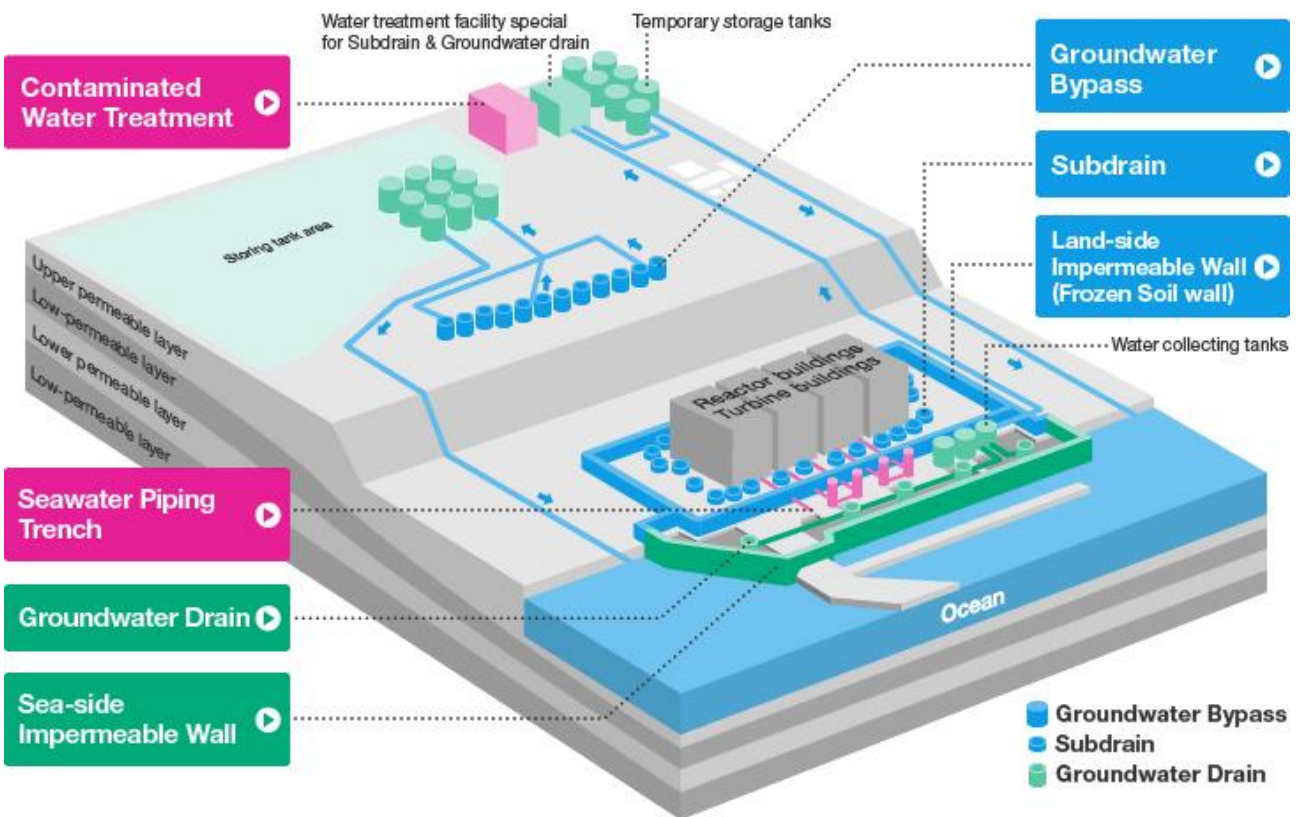


Fuel removal status

圖九、福島核電廠四部機組內用過燃料移除作業情形
(<http://www.tepco.co.jp/en/decommission/index-e.html>)

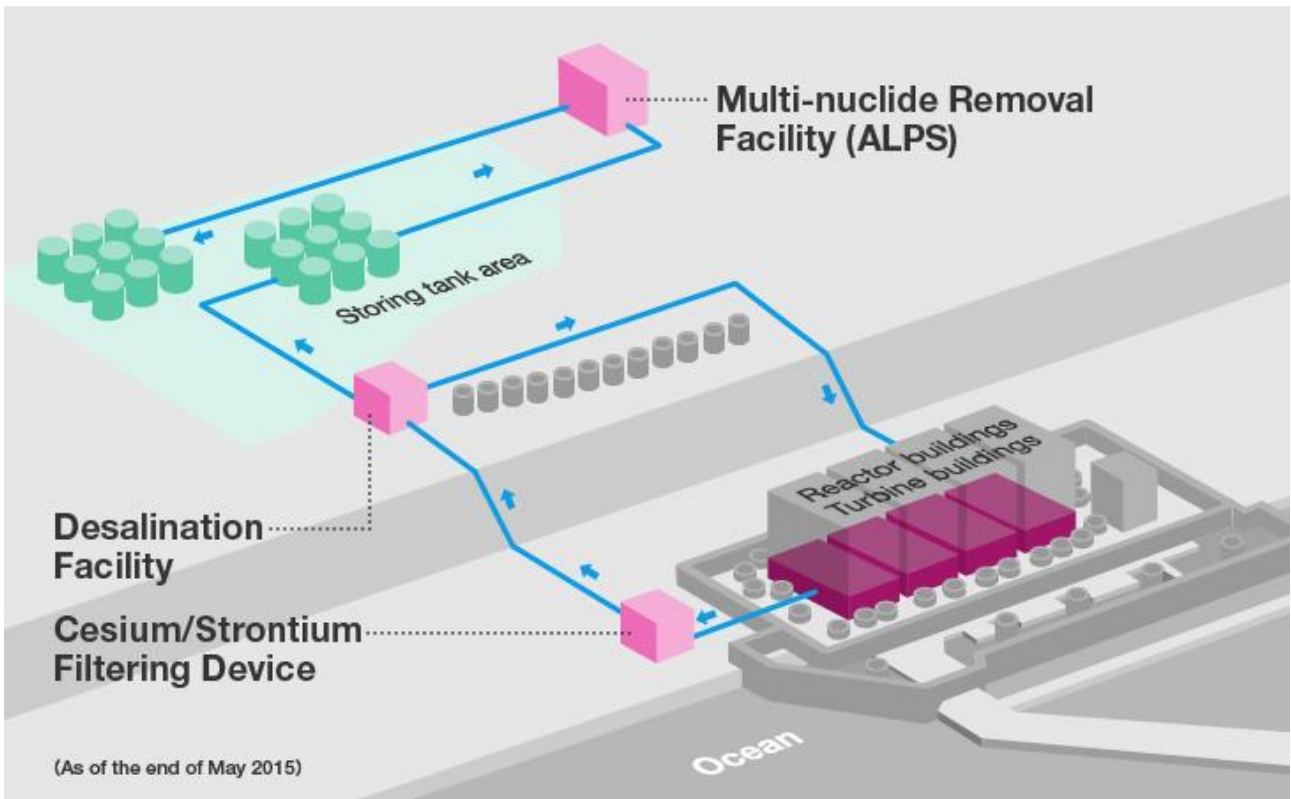


圖十、福島核電廠污染水生成與管理原則

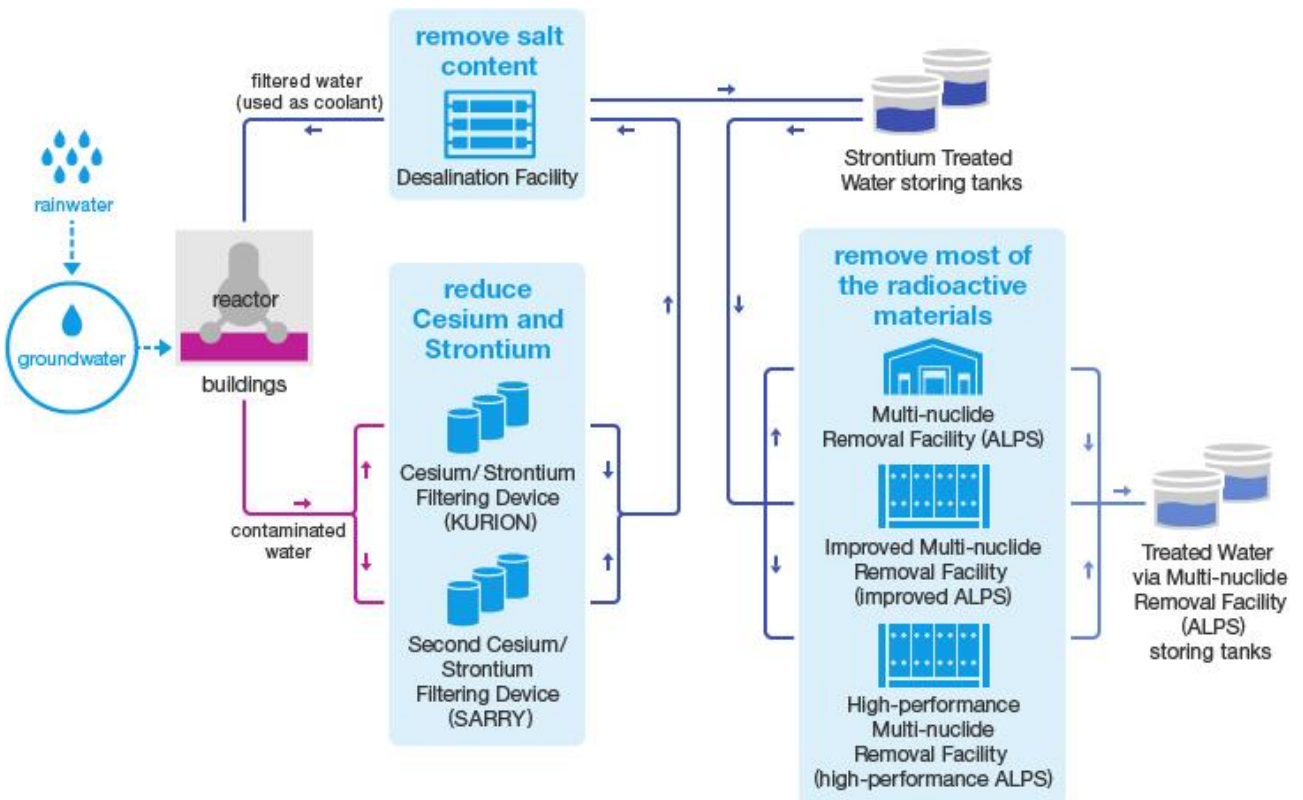


圖十一、福島核電廠主要水管理系統

(<http://www.tepco.co.jp/en/decommission/planaction/alps/index-e.html>)



圖十二、福島核電廠污水處理設施



圖十三、福島核電廠污水處理流程

(<http://www.tepco.co.jp/en/decommission/planaction/alps/index-e.html>)

(二) 拆解與廢棄物管理期間遭有害物質污染之除役議題與心得

早年的核設施的除設計畫多數僅考量所產生的放射性廢棄物管理，與一般可外釋廢棄物。然而含有害物質的廢棄物包含重金屬（鉛、汞、鎳、鎘）、多氯聯苯、多環芳香烴、氟氯碳化物及石綿(Asbestos)等物質的管理已越來越受到各方重視。本次會議中比利時 Belgoprocess 特別指出核設施除役中的石綿廢棄物問題：石綿歸類為一級人類致癌物質，已被證實可引發石綿肺症、間皮瘤與肺癌等。石綿係纖維狀水合矽酸鹽礦之總稱，主要分為蛇紋石(溫石綿，或稱白石綿)及角閃石(褐石綿、青石綿、角閃石、陽起石及透閃石)。商業上普遍應用溫石綿、褐石綿與青石綿等三種，工業用途則以溫石綿用量最大。石綿因具有多種特性，包括：防火性、耐高溫、絕緣、耐磨損、耐酸鹼、耐腐蝕、耐高張力、纖維柔軟、可撓性、可紡性等，其用途非常廣泛。鑑於石綿的高度致癌性，歐盟國家已在 2005 年全面禁用石綿製品，日本與南韓則分別於 2006 與 2009 年全面禁用；至 2013 年底，全球已有超過 50 個國家全面禁採、禁用石綿。加拿大原本是石綿礦的生產大國，也在 2012 年宣布封礦，全面停產。早期的建築、廠房與核設施中也存在許多石綿材料，如石綿瓦、防火毯、保溫棉、天花板與地板磚等。因此，拆除這類的建築或廠房時為了保護工作人員避免暴露於石綿纖維的危害環境，首要辨識確認這些材料使用的地方，並且在施工期間應避免使用鑽、錘、切、鋸、破壞、移動或擾動這些材料，如果必須破壞拆除則應該在濕的環境下進行圖十五。以目前 Belgoprocess 的經驗而言，拆解與管理含石綿的廢棄物首要工作是盤點其所在處所、總量、用途及風險度，再依其風險等級（擴散性）分級標示之後進行妥適的取樣分析判斷是否遭放射性物質污染，僱用合格的作業人員(或經單位訓練合格者)進行拆除工作，且整個拆除作業的人員防護，採用供氣式面具並著全身防護衣如圖十六所示。

在美國有害事業廢棄物的主管機關為環保署，係依資源保護暨回收法（Resource Conservation and Recovery Act，簡稱 RCRA）管制，而含放射性物質的有害事業廢棄物亦受此規範，而有害廢棄物的定義係指含有可燃性、腐蝕性、反應性與毒性其一或數個特性的廢棄物。四類 RCRA 列舉的有害廢棄物，且所列舉出的有害廢棄物其處置選擇亦受到限制，如不得掩埋處置且處理技術亦有限制。如下：

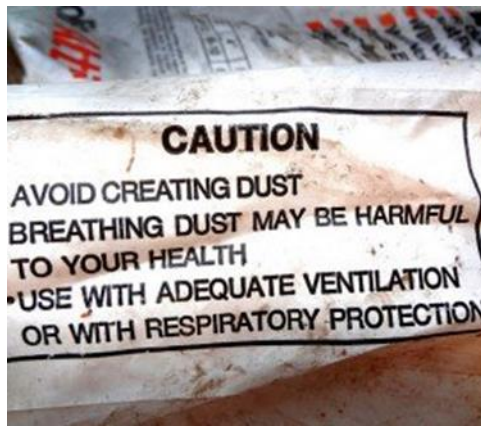
F List：廢溶劑、戴奧辛廢棄物、石油精鍊廢水處理污泥、多源滲出液等

K List：有機化合物製造業、無機化合物製造業、農藥製造業、鋼鐵生產與焦炭等

P List：砷、三氧化砷、氯丙腈、氰化鹽等

U List：丙酮、乙醯氯、丙烯腈、苯胺、偶氮絲氨酸等

我國有害事業廢棄物的主管機關為環保署，相關規定訂於廢棄物清理法中有害事業廢棄物認定標準，依第四條有害特性認定之有害事業廢棄物種類包含：一、毒性有害事業廢棄物；二、溶出毒性事業廢棄物；三、戴奧辛有害事業廢棄物；五、腐蝕性事業廢棄物；七、反應性事業廢棄物；八、石綿及其製品廢棄物。核設施除役階段的有害事業廢棄物管理可依循前述規定規劃，並參考國外的管理經驗，因此有必要持續追蹤此一議題在國際上的發展進度。



圖十五、石綿危害警示與拆除作業

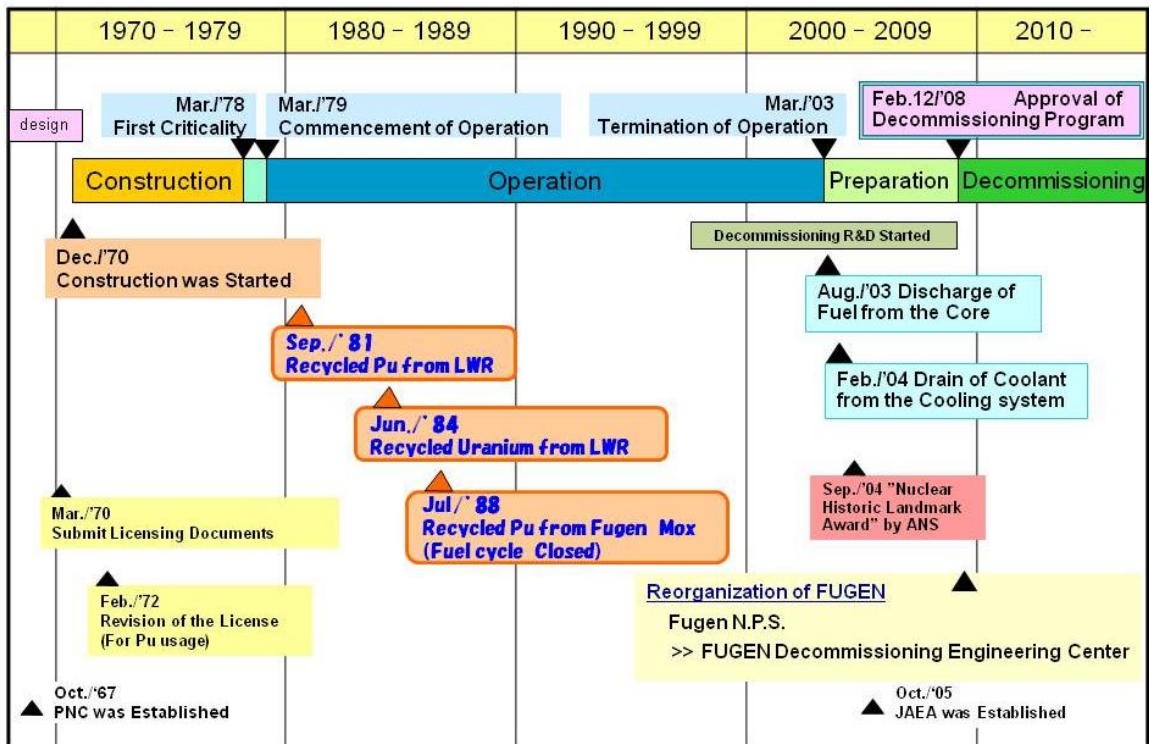


圖十六、Belgoprocess 含石綿廢棄物之拆除作業人員防護著裝示意

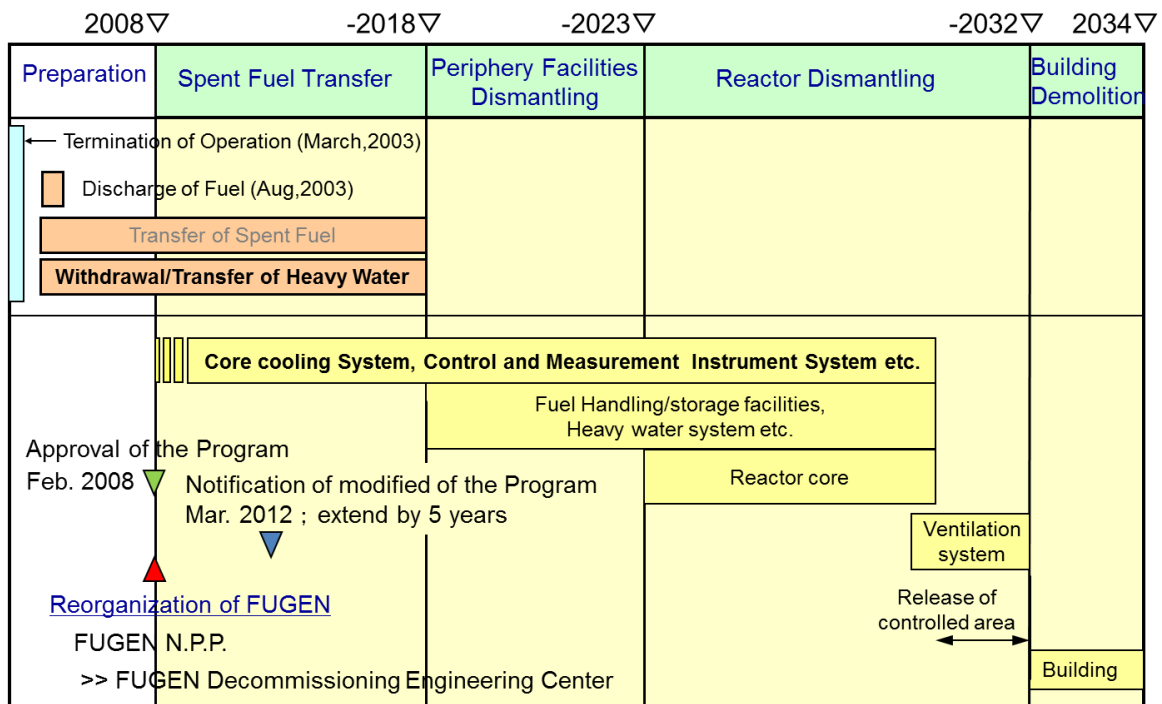
(三) 日本 Fugen 電廠除役現況與心得

日本 Fugen 電廠為 Advanced Thermal Reactor 重水式反應器是日本最小的核能發電廠也是唯一使用 MOX 燃料的廠，1979 年商轉至 2003 年三月終止運轉，2008 年 2 月除役計畫核准，運轉歷史如圖十七所示。由於此核反應器的形式與本所 TRR 相近，因此關於其內部反應槽的調查與附屬設施除污等經驗，均值得本所規劃 TRR 除役工作參考。Fugen 電廠的除役計畫時程如圖十八所示，在其終止運轉後 2003 年八月所有用過燃料已全數退出，目前主要是重水的取出及傳送運貯，爐心冷卻水系統及控制量測系統亦陸續拆除中。根據 Fugen 電廠的估計除役時所拆解的廠房、設備、管線及其他雜項物件，在未計入除污約計有 360,000 公噸，其中需依放射性廢棄物進行處置的約有 50,000 公噸，其餘為非放射性物件與無污染的地下結構廠房。而除役中所產生的廢棄物中有大部分不含放射性物質，抑或是其放射性活度濃度極低微，依國際原子能總署之規範，當所含的放射性物質低於天然輻射的 1/100 即歸屬於可外釋物質，而 JAEA 在執行 Fugen 核電廠除役準備建立外釋系統如圖十九所示。而 Fugen 的外釋目的主要是法律規定的預定程序，且使材料盡可能的再利用或以處理或處置方式經國家確認後可以作為工業廢棄物。2015 年 2 月 13 日，從汽機廠房所拆除與移出的物件約有 1000 公噸，JAEA 依其國內反應器管制法(Reactor Regulation Law)向主管機關核子管制署(Nuclear Regulation Authority)申請外釋系統中導入評估這些物件的放射性核種活度濃度之量測技術與方法許可。

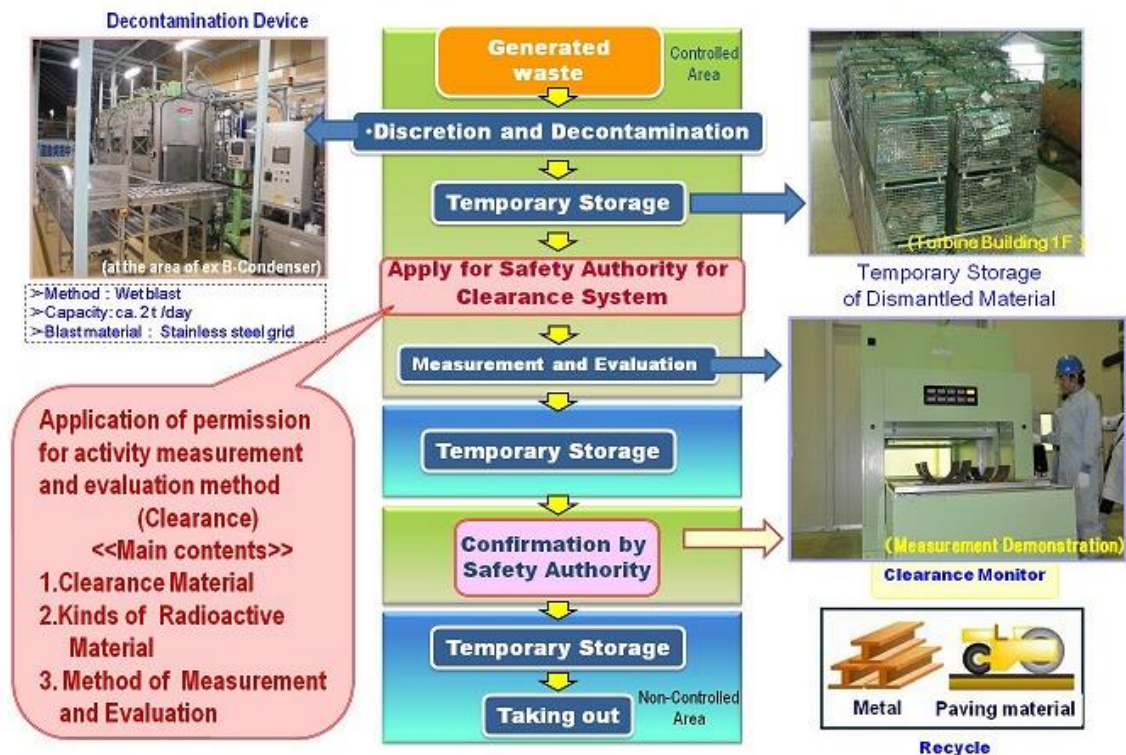
我國係依放射性物料管理法規中「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」第四條規定辦理外釋計畫，而日本雖有法律規定外釋計畫為預定程序至今尚未成立權責機關，因此所有除役設施所產生且經其 NRA 許可為可外釋物質僅能於場內暫貯，待權責機關成立後方能執行外釋（含回收再利用）。另一方面，日本與歐盟因資源再利用的原則，正積極推動核設施除役衍生之非放射性廢棄物的回收再利用，相關推動的成果與經驗值亦得我國持續關注。不論是各國執行核設施除役的經驗或我國執行 TRR 及其附屬設施除役的經驗中顯示，大多數的廢棄物係屬於無污染的廢棄物，或遭微量放射性物質污染經除污後可達外釋標準的廢棄物，這類廢棄物必須妥善規劃其後續的處置方法，例如金屬廢棄物可朝回收再利用之處理方向，以紓解除役期間作業及倉貯空間的壓力，並進一步達到資源再利用的永續發展目標。



圖十七、Fugen 電廠運轉歷史



圖十八、日本 Fugen 電廠除役計畫時程



圖十九、日本 Fugen 核電廠除役外釋系統架構

四、建議事項

- (一) 日本 Fugen 核電廠與 TRR 相似，其爐內取樣方法與經驗建議參考其作法評估 TRR 之應用可行性。
- (二) 韓國原子能研究所的 KRR 1 & 2 除役計畫已進入執行最終狀態偵檢 (Final Status Survey) 階段，可參考其經驗規劃 TRR 除役第二階段之執行與最終狀態偵檢。
- (三) 核設施除役拆解與廢棄物管理期間遭有害物質污染之議題值得作為國內之借鏡，建議應持續關注其發展狀況與進度。
- (四) CPD/TAG 會議是取得國際核設施除役資訊的有效平台，我國 TRR 除役計畫亦是會員，建議所內應持續參與以取得國際核設施除役及廢棄物管理最新的資訊。