

出國報告（出國類別：其他）

OECD/NEA 核設施除役合作計畫(CPD)  
第 55 屆技術諮詢組(TAG)會議

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳鴻斌 研究員

派赴國家：日本

出國期間：102 年 10 月 20 日~102 年 10 月 25 日

報告日期：102 年 11 月 22 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 55 屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，該會議每年舉行兩次，目的為除役技術及經驗之交流回饋，並且履行會員參加 CPD/TAG 會議之責任。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 2012 年 10 月之 TAG-53 會議。

TAG-55 會議於 102 年 10 月 21-25 日於日本水戶市(Mito City)舉行，由日本 JAPC(Japan Atomic Power Company)主辦，合計共 8 國、13 單位、11 個除役計畫之核設施除役專家與會。與會人員包括比利時(2 人)、斯洛伐克共和國(1 人)、法國(2 人)、西班牙(1 人)、瑞典(1 人)、義大利(1 人)、台灣(1 人)、英國(2 人)、及主辦單位包括日本原子力研究院(JAEA)、JAPC、東京電力公司(TEPCO)10 人，共 21 位專家與會。受於日本天然災害影響，尤其是會議前兩天襲擊東日本區域的颱風，包括德國、美國、瑞典等多位專家臨時取消行程，未能與會，以致與會人數較往常三十餘人少。10 月 21-22 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 10 篇，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，核設施除役場地復原工作小組專題簡報 1 篇，國家除役概況簡報 2 篇，除役技術專題報告 8 篇，及包括福島(Fukushima-Daiichi)核能電廠清理現況、日本 JAEA 燃料循環設施、日本 JAPC 公司東海一號電廠除役概況簡報共 5 篇。本次會議共收集 32 篇簡報。5 月 23 日參訪日本福島(Fukushima-Daiichi)核能電廠除役。5 月 24 日參訪日本 JAEA 核燃料循環設施及日本 JAPC 公司東海一號核能發電廠除役。

日本政府及東電公司持續處理福島事件，處理過程中許多問題及作為，是輻射作業從業人員最好的教材。例如大量污染液體貯存不易的事實、環境污染回復的困難程度、現代社會

民眾及媒體的反應模式、作業人員包括心理層面的管理、政府應有的作為等，均值得持續觀察借鏡。東京電力公司的 Fukushima Daiichi NPS 除役計畫已參加 CPD 計畫，CPD/TAG 會議是取得資訊有效平台。日本政府於 2013 年 8 月 1 日宣告建立 IRID(International Research Institute of Nuclear Decommissioning, IRID)平台，顯示不論日本是否能繼續使用核能，核能電廠生命週期中的後端時期，已是無可避免的來臨，必須正視面對。IRID 的功能設定中，發展處理福島事故善後所需技術佔相當份量，值得繼續追蹤其研發工作進展。

日本 54 座核能發電機組全面停止運轉後，在面對 2013 年 7 月更新的核能電廠安全規範及社會大眾疑慮下，有多少機組有機會能重新開始運轉，是一個值得觀察的指標。若有相當數量的核能機組無法恢復運轉，日本電力產業、全國電力供應的生態、乃至國家能源安全、減碳成效等，均將面臨長遠衝擊。因應此衝擊，日本核能電廠除役會計制度的變革已經完成行政程序，於 2013 年 10 月 1 日生效。此發展趨勢值得國內參考。

西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役，目前進行至準備 RPV 拆解切割。這兩年來這個除役計畫的進度，包括爐內組件拆解等工作，均為核能電廠除役的核心工作。此時加強與負責 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役工作的 ENRESA 公司技術交流，對於國內即將面對核能電廠除役的規劃準備，將有極大效益。

關鍵詞：核能電廠除役、核設施除污除役

# 目 次

(頁碼)

摘 要 .....	i
一、目的 .....	1
二、過程 .....	2
(一) 公差行程及會議內容.....	2
(二) 核設施除役場地復原工作小組工作狀況.....	10
(三) 未來 TAG 會議專題議題規畫討論 .....	11
(四) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論 .....	11
三、心得 .....	12
(一) 福島核能電廠(Fukushima Daiichi NPS)清理現況.....	12
(二) 日本成立核能除役國際研究機構(International Research Institute of Nuclear Decommissioning, IRID).....	22
(三) 日本核反應器除役相關法令修改.....	25
(四) 日本 JAEA 新建放射性廢棄物減容中心 .....	27
(五) 西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役.....	29
四、建議事項.....	48

## 表目錄

表一、本次國外公差主要行程.....	3
表二、第 55 屆 TAG 會議詳細議程 .....	3
表三、第 55 屆 TAG 會議燃料循環設施除役簡報項目 .....	8
表四、第 55 屆 TAG 會議核反應器除役簡報項目 .....	8
表五、第 55 屆 TAG 會議核設施除役場地復原工作小組簡報項目 .....	8
表六、第 55 屆 TAG 會議國家除役概況簡報項目 .....	9
表七、第 55 屆 TAG 會議除役計畫管理專題簡報項目 .....	9
表八、第 55 屆 TAG 會議核設施除役現場參訪簡報項目 .....	10
表九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役經費估計 .....	31

# 圖目錄

圖一、	Fujushima Daiichi NPS 現況 .....	12
圖二、	Fujushima Daiichi NPS 防地震清潔島指揮中心 .....	13
圖三、	Fujushima Daiichi NPS 清理規劃(一).....	13
圖四、	Fujushima Daiichi NPS 清理規劃(二).....	14
圖五、	Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池受損廠房清理 .....	14
圖六、	Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池清理工法 .....	14
圖七、	Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池清理覆蓋結構 .....	15
圖八、	Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池清理吊車 .....	15
圖九、	Fujushima Daiichi NPS 三號機受損廠房清理示意圖 .....	16
圖十、	Fujushima Daiichi NPS 三號機受損廠房遙控清理 .....	16
圖十一、	Fujushima Daiichi NPS 三號機用過燃料池清理工法 .....	17
圖十二、	Fujushima Daiichi NPS 清理固體廢棄物分類 .....	17
圖十三、	Fujushima Daiichi NPS 清理固體廢棄物暫貯 .....	18
圖十四、	Fujushima Daiichi NPS 防止污染水擴散作為 .....	18
圖十五、	Fujushima Daiichi NPS 港區阻隔牆 .....	19
圖十六、	Fujushima Daiichi NPS 凍土牆 .....	19
圖十七、	Fujushima Daiichi NPS 抽出地下水 .....	20
圖十八、	Fujushima Daiichi NPS 污染水貯槽區 .....	20
圖十九、	Fujushima Daiichi NPS 污染水貯槽 .....	21
圖二十、	Fujushima Daiichi NPS 防止貯槽洩漏作為 .....	21
圖二十一、	IRID 運作架構.....	22
圖二十二、	IRID 運作組織.....	23
圖二十三、	IRID 研發議題聚焦.....	24

圖二十四、IRID 國內及國際合作平台.....	24
圖二十五、日本 JAEA 新建放射性廢棄物減容中心(AVRF).....	28
圖二十六、AVRF 主要功能.....	28
圖二十八、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠.....	29
圖二十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 用過燃料乾式暫貯 (ISFSI) .....	30
圖三十、 西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 主要設備拆除進度.....	31
圖三十一、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_鋸切碎削.....	32
圖三十二、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_圓盤鋸切割.....	33
圖三十三、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_線鋸切割(一).....	33
圖三十四、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_線鋸切割(二).....	34
圖三十五、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_人工排除障礙.....	34
圖三十六、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_高放射性廢棄物檢整.....	35
圖三十七、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_水下切割控制系統.....	35
圖三十八、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器的內箱吊入反應器水池.....	36
圖三十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器的內箱裝載.....	36
圖四十、 西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器的內箱封蓋.....	37
圖四十二、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器的內箱吊出.....	38
圖四十三、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器的內箱封焊.....	38
圖四十四、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器的內箱吊運出廠(一).....	39
圖四十五、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器的內箱吊運出廠(二).....	39
圖四十六、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解_乾貯容器運往暫貯廠.....	40
圖四十七、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃(一).....	40
圖四十八、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃(二).....	41
圖四十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃(三).....	41
圖五十、 西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃_鋸切規劃(一).....	42
圖五十一、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃_鋸切規劃(二).....	42



圖五十二、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃_鋸切規劃(三).....	43
圖五十三、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃_管嘴切割 .....	43
圖五十四、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役_NSSS 拆解_大管徑管路切割(一).....	44
圖五十五、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役_NSSS 拆解_大管徑管路切割(二).....	44
圖五十六、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役_NSSS 拆解_大管徑管路切割(三).....	45
圖五十七、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役_NSSS 拆解_大型桶槽切割.....	45
圖五十八、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役_NSSS 拆解_大型設備切割.....	46
圖五十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役_NSSS 拆解_熱切割.....	46
圖六十、 西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役_NSSS 拆解_不鏽鋼設備切割.....	47

## 一、目的

本次國外出差係奉派參加歐洲經濟合作組織核能署（OECD/NEA）之核設施除役合作計畫(Cooperative Program on Decommissioning, CPD)第 55 屆技術諮詢組(Technical Advisory Group, TAG)會議，TAG-55 會議於 102 年 10 月 21-25 日於日本水戶市(Mito City)舉行，由日本 JAPC(Japan Atomic Power Company)主辦，合計共 8 國、13 單位、11 個除役計畫之核設施除役專家與會。我國自 2000 年開始以 TRR 除役計畫加入 CPD，提供 TRR 燃料池清理執行狀況及所發展之相關技術，並從會議中與各國除役專家技術交流及討論，取回各國即時的除役相關資訊。

本次國外公差之目的如下：

- (一) 了解各參與計畫之除役最新執行現況。
- (二) 蒐集各類除役、拆除、除污及廢棄物處理之最新技術。
- (三) 參訪會議安排之核設施除役現場，實地瞭解執行情形及經驗交流。
- (四) 聯繫國際核設施除役相關專家/主管，建立技術交流管道。
- (五) 履行我國參加 CPD/TAG 會議之責任，提供 TRR 除役計畫執行現況及進度、燃料池清理相關技術、和爐體拆除規劃及程序發展。

## 二、過程

### (一) 公差行程及會議內容

TAG-55 會議於 102 年 10 月 21-25 日於日本水戶市(Mito City)舉行，由日本 JAPC(Japan Atomic Power Company)主辦，合計共 8 國、13 單位、11 個除役計畫之核設施除役專家與會。與會人員包括比利時(2 人)、斯洛伐克共和國(1 人)、法國(2 人)、西班牙(1 人)、瑞典(1 人)、義大利(1 人)、台灣(1 人)、英國(2 人)、及主辦單位日本原子力研究院(JAEA)、JAPC、東京電力公司(TEPCO)約 10 位專家。受於日本天然災害影響，尤其是會議前襲擊東日本區域的颱風，包括德國、美國、瑞典等多位專家臨時取消行程，未能與會。10 月 21-22 日為會議討論，內容包含各參與計畫除役狀況簡報研討、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 10 篇簡報，核燃料循環設施除役簡報 6 篇，核設施除役場地復原工作小組專題簡報 1 篇，國家除役概況簡報 2 篇，除役技術專題報告 8 篇，及包括福島(Fukushima-Daiichi)核能電廠清理現況、日本 JAEA 燃料循環設施、日本 JAPC 公司東海一號電廠除役概況簡報共 5 篇。本次會議共收集 32 篇簡報。5 月 23 日參訪日本福島(Fukushima-Daiichi)核設施電廠。5 月 24 日參訪日本 JAEA 核燃料循環設施及日本 JAPC 公司東海一號核能發電廠除役。

本次公差自 102 年 10 月 20 日起至 102 年 10 月 25 日止，主要行程如表一所示，TAG55 會議之詳細議程規劃如下表二。由於實際會議時問題討論熱烈，時間大幅延後，TRR 簡報時間由第一天推延到第二天中午。一些會務討論議題亦挪至周五討論。表三至表八說明會議中提供簡報之專家姓名及所屬機構。

會議取回 32 篇簡報資料，包含國除役第一手現況資料，及大量除役相關技術資訊，將其精要內容彙整說明於後續各節。對於我國執行除役及廢棄物處理工作需要特別注意之資訊及可資借鏡之技術，則於下一章中詳細說明。

表一、本次國外公差主要行程

月/日(星期)	工作內容重點
10/20(日)	去程，由桃園機場出發，經由日本東京成田機場搭公車約 2.5 小時轉往水戶市(Minto City)。
10/21(一)~10/22(二)	在日本水戶市(Minto City)，參加第 55 屆 TAG 之技術討論會議。詳細議程如下表三。
10/23(三)	參訪日本東京電力公司(TEPCO)位於福島之 Fukushima-Daiichi 核能電廠
10/24(四)	參訪位於 Tokai 地區，JAEA 之燃料處理廠及 JAPC 之東海一號核能電廠
10/25(五)	討論會務及後續 TAG56、TAG57、TAG58 規劃。回程，由日本東京成田機場回抵桃園機場

表二、第 55 屆 TAG 會議詳細議程

**TAG 55 Tokai 21<sup>th</sup> – 25<sup>th</sup> Oct 2013**

**Meeting Agenda**

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

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

<b>Sunday 20th October</b>		
18.30-20.30	Registration at Hotel Lobby (Secretariat) <i>Bring recorded presentations</i>	All members

<b>Monday 21<sup>st</sup> October</b>				
07.50		Meet in Hotel Lobby		10
08.00		Bus leaves Hotel.		60
09.00	1	Welcome, round-table introduction, organisational announcements.	Chairman	20
09.20	2	Approval of agenda	Chairman	5
09.25	3	Chairman's, Co-ordinator's Remarks and Opening Business	Chairman, Coordinator	10

09.35	4	Summary Record of TAG 54	Chairman, Coordinator	5
	5a	Status Reports from Fuel Facilities:		
09.40		i. CEA fuel facility projects:	Jean-Guy Nokhamzon	30
10.10		Coffee Break		20
10.30		ii. Eurochemic	Bart Ooms	30
11.00		iii. JRC - Ispra	Francesco Basile	30
11.30		iv. Sellafield B243 & B204	Steve Slater	25
11.55		v. Uranium refining and conversion plant	Noritake Sugitsue	20
12.15		Lunch		60
		vi. Plutonium Fuel Fabrication Facility	Masatoshi Watahiki	
	5b	Status Reports from Reactor Facilities:		
13.45		i. Bohunice A1 NPP	Martin Macasek	30
14.15		ii. Brennelis NPP	Michel Velon	30
14.45		iii. Fugen	Hirokazu Hayashi	25
15.10		Coffee Break		20
<del>15.30</del>		<del>iv. Greifswald</del>	<del>Axel Backer</del>	<del>30</del>
16.00		v. Hamaoka	Monotori Nakagami	25
16.25		vi. Jose Cabrera	Manuel Ondaro	30
16.55		vii. Studsvik Research Reactors R2 and R2-0	Robert Hedvall	15
17.10		viii. TRR	Horng-Bin Chen	25
17.35		<i>Adjourn Time available for TAG Business</i>		
<b>Tuesday 22<sup>nd</sup> October</b>				
07.50		Meet in Hotel Lobby		10
08.00		Bus leaves Hotel.		60

09.00		Assemble and announcements	Chairman	10
	5b	Status Reports from Reactor Facilities continued:		
09.10		ix. WAGR	Steve Slater	25
	6	New Projects (status)		
09.35		i. Chinshan NPP Unit 1 & 2 (Taipower Company, Taiwan)	Chairman	05
09.40		ii. Danish Dekommissioning	Chairman	05
9.45	Coffee Break			20
	7	Country Reports:		
10.05		i. Decommissioning of the Thetis reactor in Ghent	Robert Walthery	30
10.35	8	Topical Session – Project Organisations - Introduction		Terry Benest
		a) Members presentations		
10.45		<del>i. NPP decommissioning project starting queries</del>	<del>Hakan Lorentz</del>	20
11.05		ii. JAYVS viewpoint	Martin Macasek	20
11.25		<del>iii. Completed NPP Decommissioning project experience</del>	<del>Axel Backer</del>	20
11.45	8	b) Discussion		45
12.30	Lunch <i>Should members have unanswered questions following the topical session discussion they should formulate written questions during the lunch break for submission and discussion later as shown below:</i>			60
13.30	8	c) Submit written questions		5
	9	Task Groups		
13.35		i. Task Group on Nuclear Site Restoration – Progress report	Terry Benest	15
13.50		ii. Possible new Task Group – subject suggestions.	Chairman	05
	10	Future meetings of the TAG		Chairman
13.55		i. May 2014 – Sellafield		05

14.00		ii. October 2014 – Choice from AVR, JRC-Ispra or Belgoprocess		05
14.05		iii. October 2014 - Choice from AVR, JRC-Ispra or Belgoprocess		05
14.10	8	Topical Session d) Discussion of any written Questions.		30
14.40		e) Subject for Topical Session at TAG 56		10

<b>Tuesday 22<sup>nd</sup> October Continued</b>				
14.50	Coffee Break			20
15.10	5	Fukushima-Daiichi Progress Report	Tepco	40
15.50	7	An Introduction to the International Research Institute for Nuclear Decommissioning	IRID(JAPCO)	20
16.10	11	Closing remarks.	Chairman	15
16.25	Adjourn <i>Time available for TAG Business</i>			

<b>Wednesday 23<sup>rd</sup> October Special Site Tour to Fukushima-Daiichi</b>			
07.50	Meet in the Hotel Lobby		10
08.00	Bus leave hotel		180
11.00	Arrive at J-Village - lunch		60
12.00	Bus leave J-Village		40
12.40	Arrive at Fukushima-Daiichi Site Visit		150
15.10	Leave Fukushima-Daiichi for J-Village		40
15.50	Arrive at J-Village for Short Meeting		40
16.30	Leave J-Village for Hotel		180
19.30	Arrive at Hotel		

<b>Thursday 24th October</b>		
07.50	Meet in the Hotel Lobby	10
08.00	Bus leave hotel	60
09.00	Arrive at JAEA	200
	Presentation & Site Tour of JAEA and JRTRF	
12.20	Lunch at restaurant in front of JAEA	50
13.10	Bus leaves the Restaurant	10
13.20	Presentation & Site Tour of Tokai-1	160
16.00	Return to Meeting Room and Coffee Break	30
16.30	Option to continue TAG meeting business	120

<b>Friday 25<sup>th</sup> October</b>		
	Option to continue TAG meeting business	
	Personal arrangements for transport to the airport	



表三、第 55 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) CEA fuel facility project	Jean-Guy Nokhamzon / CEA/France
2) Eurochemic	Bart Ooms/ Belgoprocess/Belgium
3) JRC-Ispra	Francesco Basile /EC/Italy
4) Sellafield B243 & B204	Steve Slater / Sellafield/England
5) Uranium refining and conversion plant	Noritake Sugitsue /JAEA/Japan
6) Plutonium Fuel Fabrication Facility	Masatoshi Watahiki/ JAEA/ Japan

表四、第 55 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 A1 NPP	Martin Macasek/ /Slovenia
2) Brennelis NPP	Michel Velon /CEA/France
3) Fugen NPP	Hirokazu Hayashi/ JAEA/Japan
4) EWN Greifswald NPP	Axel Backer/EWN/German
5) Hamaoka NPP	Monotori Nakagami/Chubu/Japan
6) JOSÉ CABRERA NPP	Manuel Ondaro/ ENRISA/Spain
7) Studsvick R2 Reactor	Robert Hedvall/ /Sweeden
8) Taiwan Reaearch Reactor	Hornng-Bin Chen/INER/Taiwan

表五、第 55 屆 TAG 會議核設施除役場地復原工作小組簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Task Group on Nuclear Site Restoration – Progress report	Terry Benest /CPD TAG Programme Coordinator

表六、第 55 屆 TAG 會議國家除役概況簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Organization Outline & Present Activities of International Research Institute for Nuclear Decommissioning (IRID)	Dr. Tadashi OUMI/JAPC/Japan
2) Decommissioning of the Thetis Research Reactor in Ghent, Belgium	Robert Walthéry/Belgoprocess/Belgium

表七、第 55 屆 TAG 會議除役計畫管理專題簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Introduction to TAG 55 Topical Session Project Organisation	Terry Benest
2) CEA's DD&R Project Organization	Jean-Guy Nokhamzon/ CEA/France
3) CEA's Nuclear Facilities Clean-up	Jean-Guy Nokhamzon/ CEA/France
4) JAVYS Project organisation Organizations	Martin Macásek
5) JOSÉ CABRERA NPP D&D Project Organization	Manuel Ondaro/ ENRESA/ Spain
6) Project organisation Eurochemic	Bart Ooms / Belgoprocess/Belgium
7) JRC ISPRA D&WM PROJECT ORGANISATION	Francesco Basile/EC/Italy
8) Project organization issues EWN/KGR	Axel Bäcker/EWN/Germany

表八、第 55 屆 TAG 會議核設施除役現場參訪簡報項目

簡 報 項 目	簡報人/機構
1) Fukushima Daiichi Now and the Future - Progress of Mid-and-Long Term Roadmap Toward Decommissioning -	Eiichiro Ito/TEPCO /Japan
2) History of the JRTF Decommissioning Program	Nobuyuki NAKASHIO etc/ JAEA/Japan
3) The Decommissioning Program of JRTF CEA's Nuclear Facilities Clean-up	Nobuyuki NAKASHIO etc/ JAEA/Japan
4) Present Status of Waste Treatment for Volume Reduction	Nobuyuki NAKASHIO etc/ JAEA/Japan
5) Present Status of Tokai-1 Decommissioning Project	

## (二) 核設施除役場地復原工作小組工作狀況

TAG 的核設施除役場地復原工作小組工作於 2011 年 10 月獲得 CPD 管理會議決議通過。工作小組成員由比利時、加拿大、法國、德國、義大利、日本、韓國、美國、及英國等專家組成。於 2012 年 2 月舉行 Kick-off 會議，會議決定小組工作從 2012 年 3 月開始。

本工作小組的任務為經由 OECD 會員國家在核設施除役後廠地復原的案例，以問答方式，並經過分析，組成工作報告以供會員參考。

目前工作進度概況說明如下：

1. 準備案例收集格式及方法，2012 年 3 月到 6 月。
2. 國家等級核設施除役後廠地復原概況收集，完成。
3. 核設施計畫等級核設施除役後廠地復原概況收集，完成。
4. 細部案例分析，完成。
5. CPD 會員核設施除役計畫主持人意見提供，完成。
6. 案例實證資料收集，共 29 個一般問答及 9 個國家等級問答彙整，完成。
7. 案例實證比對分析，發包給 Stefan Thierfeldt 公司，分析報告於 2013 年 5 月完成。

8. 目前完成之階段成果發表於 2013 年 ICEM 會議。
9. 目前所有章節初稿已完成。
10. 第十次遠距工作討論會議規劃於 2013 年 11 月舉行。
11. 第四次工作進度會議規劃於 2013 年 12 月在巴黎舉行。
12. WPDD 要求增加核設施廠地復原之研究範圍拓展包括策略議題。
13. 後續規劃於 2014 年 3 月至 2015 年 3 月進行會員審查。
14. TAG 會員有意願提供貢獻者，請聯繫工作小組主持人 Dr. Peter Orr  
[peter.orr@environment-agency.gov.uk](mailto:peter.orr@environment-agency.gov.uk)

### (三) 未來 TAG 會議專題議題規畫討論

TAG 會議除了會員計畫提供除役概況、進度、技術、及經驗教訓外，亦規劃每次會議之專題討論。最近幾次會議之專題集中於除役計畫管理。經過數次 TAG 會議充分討論，會員代表均認為獲益良多。本次會議討論大家認為未來有討論價值的新議題。經過會員提議，有下列議題提出：

1. Smart & new measurement instrument
2. Container and package method
3. Virtual reality application
4. Cutting technology and tool development
5. New decontamination method
6. Remote handling technology

經過會員討論後表決，決定 Container and package method 及 Virtual reality application 為下次 TAG56 會議討論專題。

### (四) 未來 TAG 會議地點及主辦單位規劃討論

會議中討論未來 TAG56、TAG57、TAG58 會議的主辦國，討論後決議：

1. TAG56：2014 年 5 月，英國，Sellafield 為主辦單位
2. TAG57：2014 年 10 月，德國，AVR 或 Karsrule 為主辦單位
3. TAG58：2015 年 5 月，義大利，JRC-Ispra 為主辦單位

### 三、心得

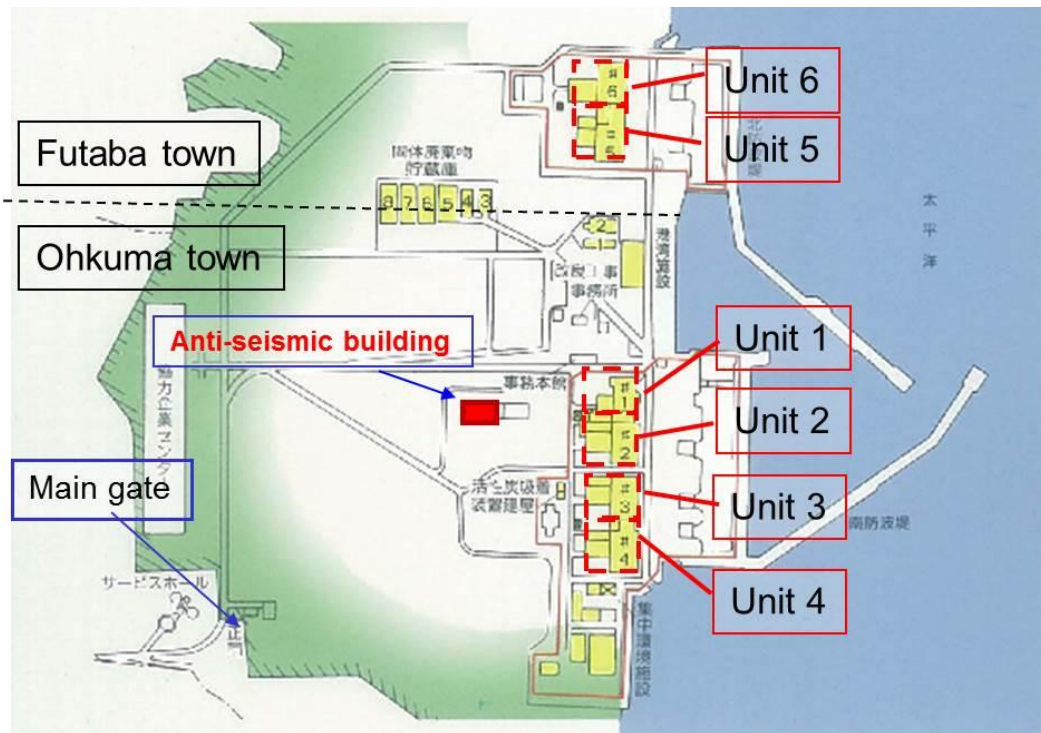
彙整 TAG-55 會議各國除役計畫、工作小組和主題討論等所提出之簡報，以下將值得繼續追蹤之除役計畫、符合除役工作之所需或技術方法是國內除役將來可以效法之部分所獲得之心得彙整說明如下。

#### (一) 福島核能電廠(Fukushima Daiichi NPS)清理現況

此次 TAG55 會議，日本主辦單位安排於 10 月 23 日參訪東京電力公司福島核能電廠(Fukushima Daiichi NPS)。圖一為福島核能電廠事故前的照片及受損的四部機組目前的外觀。東京電力公司在福島核能電廠廠區內，另外興建一座二層樓建築，該建築窗戶全部封閉並加裝鉛屏蔽，備有獨立汽渦輪機電源，及專用通風空調系統，且建築與地基裝設地震隔離系統，為污染廠區內一防地震清潔島，作為污染廠區清理的最前進指揮中心，位置如圖二。清潔島內每日約有 70-80 位員工在內工作，整個福島核能電廠廠區內每日約有 3000 人進行清理工作。原有福島核能電廠員工則全部移至附近女川核能電廠(Fukushima Daini NPS)工作。TAG55 成員搭乘巴士繞行廠區一周，以巴士內量測的空間劑量率，最高的地點為三號機外靠近港邊，測得  $690 \mu\text{Sv/h}$ ，顯示目前三號機污染情形最嚴重。



圖一、Fujushima Daiichi NPS 現況

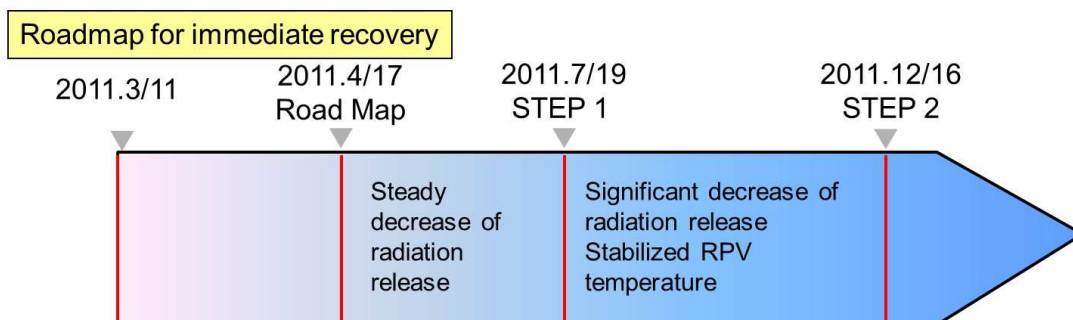


圖二、Fujushima Daiichi NPS 防地震清潔島指揮中心

目前主要清理作業為 1.四號機用過燃料池清理、2.三號機用過燃料池清理、及 3.防止放射性污染水擴散。

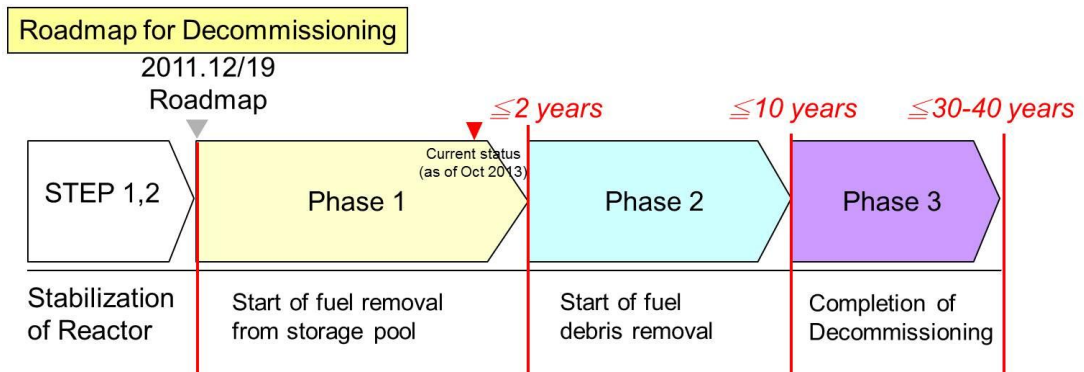
### 1. 四號機用過燃料池清理

福島核能電廠的清理作業從事發當年立即處理時期(圖三)有效控制事故惡化，降低溫度及空間劑量率之後，進入為期兩年的用過燃料池處理時期(Phase 1，圖四)。目前已備妥移除四號機用過燃料池燃料所需設備。



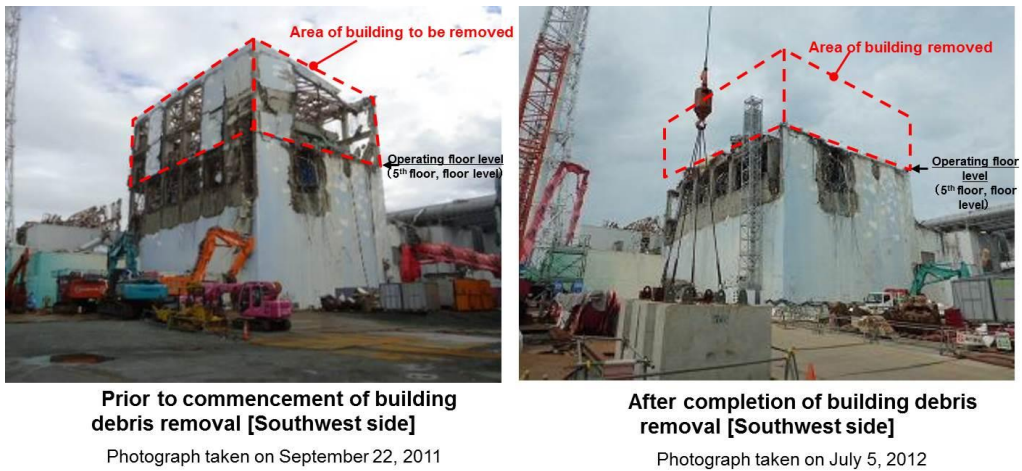
圖三、Fujushima Daiichi NPS 清理規劃(一)



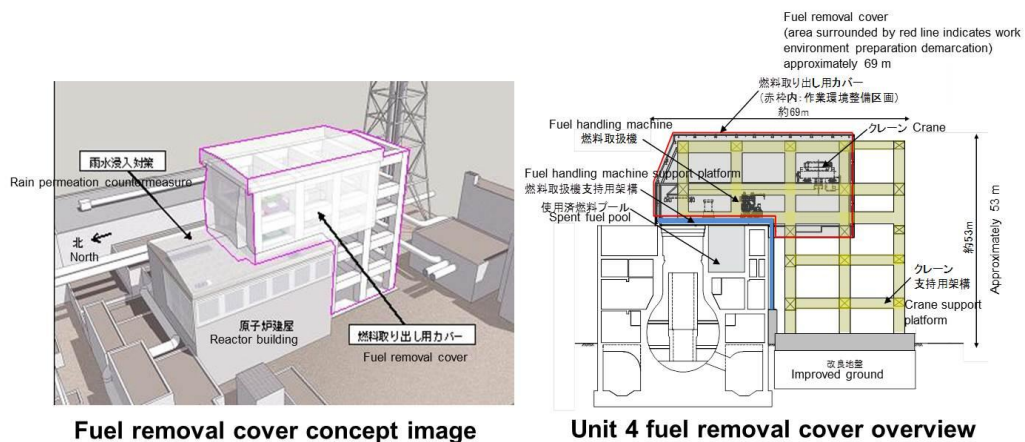


圖四、Fujushima Daiichi NPS 清理規劃(二)

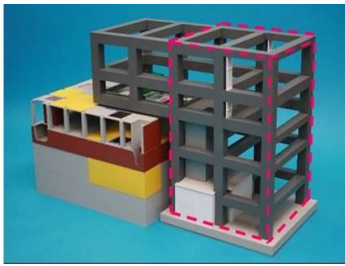
四號機原廠房受損主要為屋頂部分，從 2011 年 9 月開始清除，至 2012 年 12 月完成清除(圖五)。主要工法為重新建造一棟新的結構緊鄰四號機建築並覆蓋在其上。到 2013 年 9 月，已經完成移除燃料用的設備設置，主要為覆蓋式屏蔽及吊車，如圖六至圖八。



圖五、Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池受損廠房清理



圖六、Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池清理工法



Concept image of completed fuel removal cover

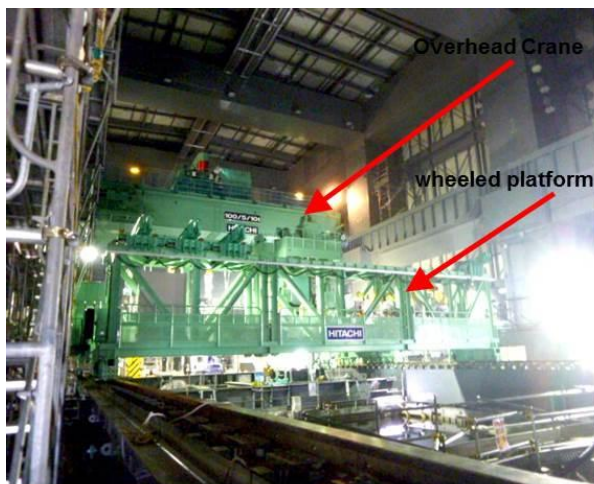


Completed fifth section of framework  
Photograph taken on April 10, 2013



Fuel Removal Cover  
Photograph taken on July 20, 2013

圖七、Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池清理覆蓋結構



Inside the Fuel Removal Cover  
Photograph taken on July, 2013

圖八、Fujushima Daiichi NPS 四號機用過燃料池清理吊車

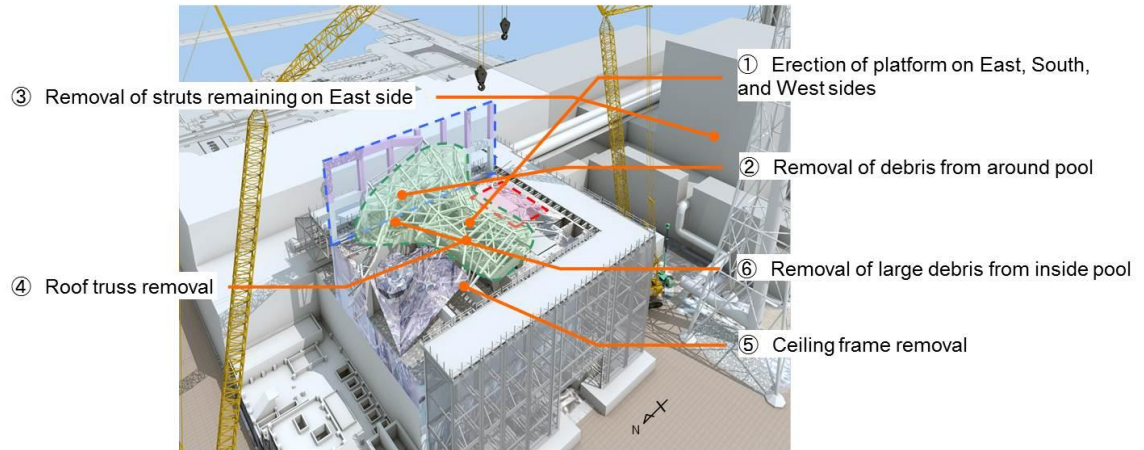
由於四號機環境劑量率相對較低，可以由工作人員接近並於劑量率較低處從事清理工作。

## 2. 三號機用過燃料池清理

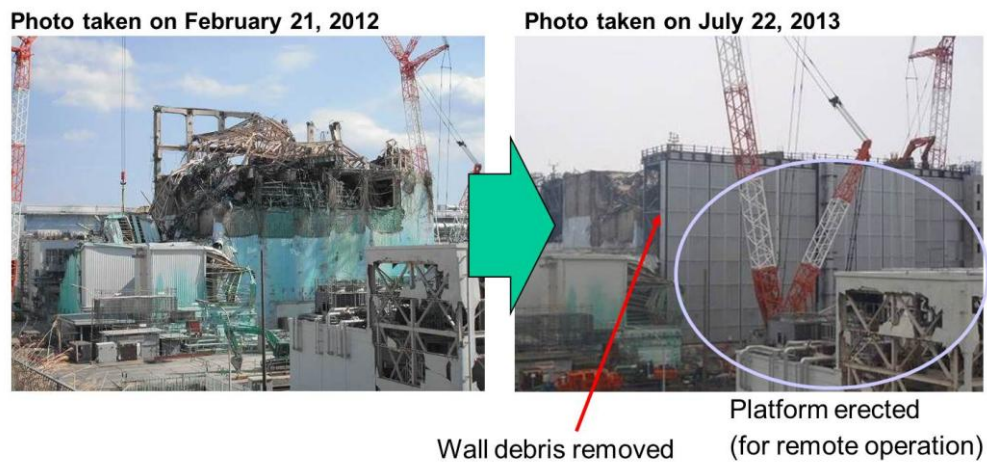
三號機附近目前空間劑量率仍高，清理工作相對困難。移除受損廠房的工作示意如圖九。移除廠房殘骸的工作必須使用遙控機具。到 2013 年 7 月，已經大致完成廠房殘骸清理，如圖十。



※Debris removal plans may change in accordance with site conditions

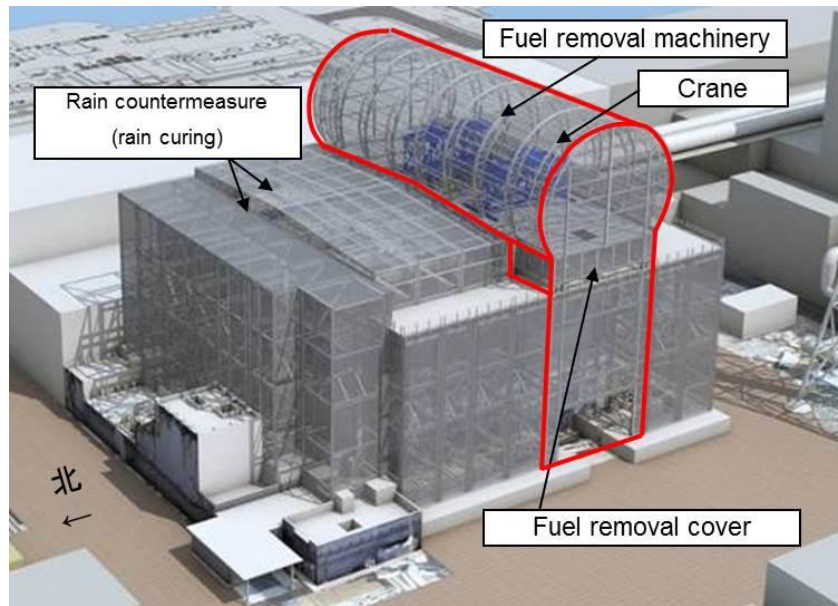


圖九、Fujushima Daiichi NPS 三號機受損廠房清理示意圖



圖十、Fujushima Daiichi NPS 三號機受損廠房遙控清理

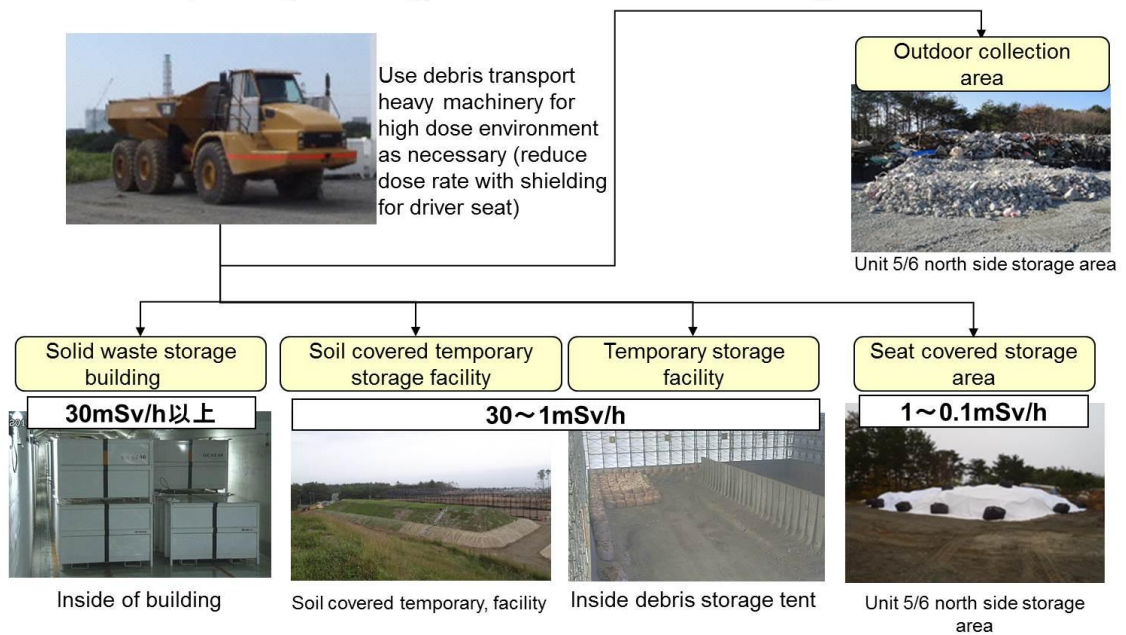
三號機用過燃料池清理工法如圖十一。以鋼架結構覆蓋建築作為屏蔽(54 公尺 x19 公尺 x57 公尺)及防雨屋頂，內置吊車準備移出用過燃料。



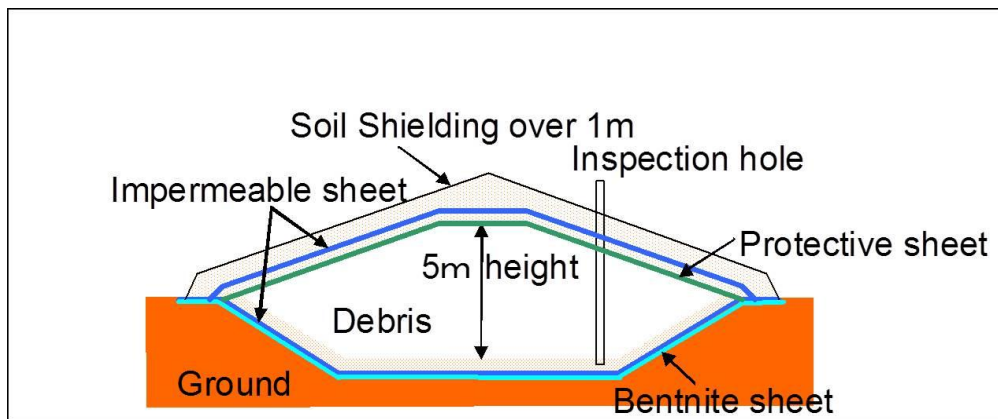
圖十一、Fujushima Daiichi NPS 三號機用過燃料池清理工法

清理集中的廠房殘骸等廢棄物，經過量測分類，以劑量率分成 30mSv/h 以上、30-1mSv/h、及 1-0.1mSv/h 三級，暫貯於新建的遮蔽敞篷內，如圖十二、圖十三。

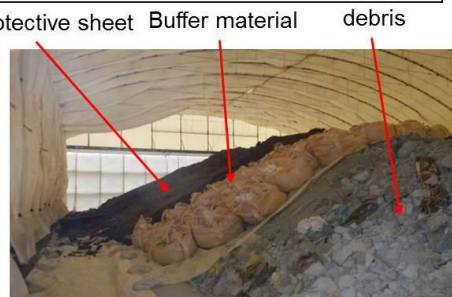
**■ Classify collected debris by surface dose rate, and move to temporary storage area to secure safety**



圖十二、Fujushima Daiichi NPS 清理固體廢棄物分類



Condition of 1<sup>st</sup> facility (photographed on March 27)



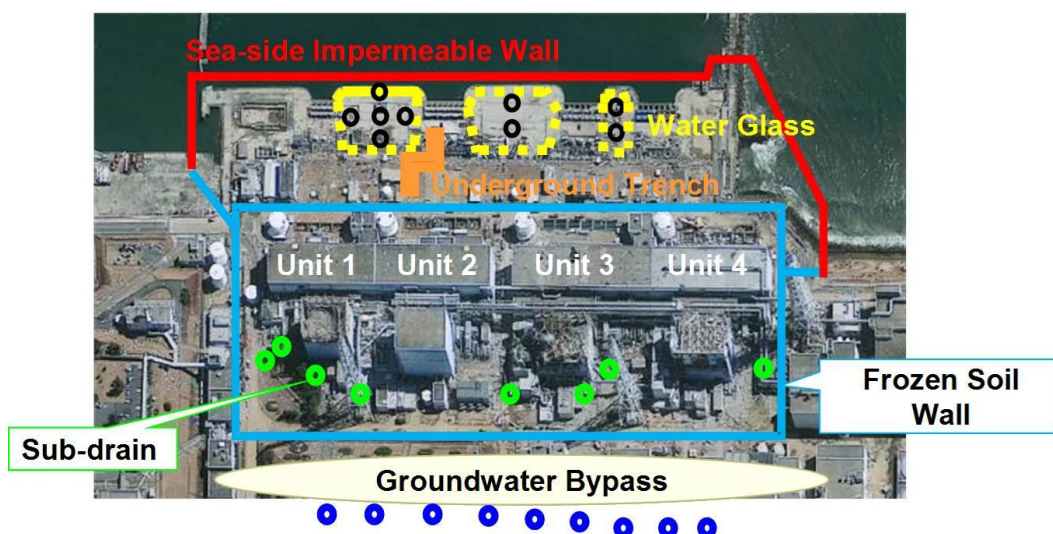
Interior of the 1<sup>st</sup> Facility (as of Nov. 1)

圖十三、Fujushima Daiichi NPS 清理固體廢棄物暫貯

### 3. 防止放射性污染水擴散

目前偵測到靠近海邊地下水有污染，懷疑污染水洩漏至港區海水。目前立即的處置作為包括(如圖十四)：

- (1) 防止地下水被污染
- (2) 防止污染地下水流入海
- (3) 減少地下水流入廠房污染區



圖十四、Fujushima Daiichi NPS 防止污染水擴散作為

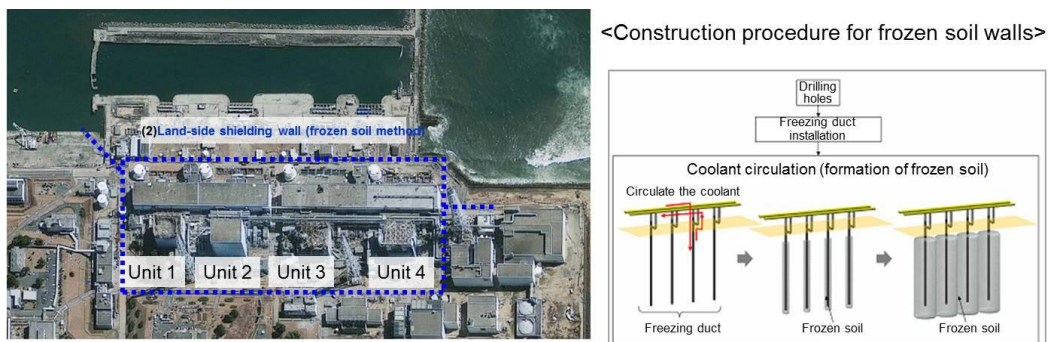


防止放射性污染水擴散第一個措施為，在海岸打下深 18-27 公尺深的鋼板樁，如圖十五，包圍一號機到四號機的沿海港區，阻隔港區海水及港外海水，期望能阻止海域受到進一步污染。



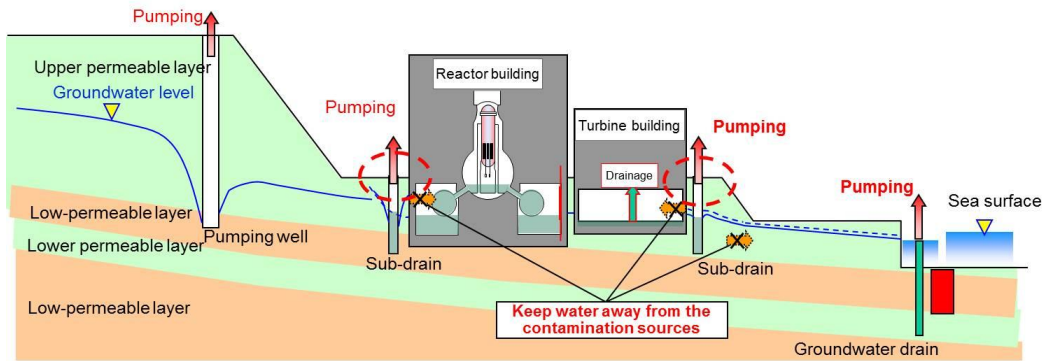
圖十五、Fujushima Daiichi NPS 港區阻隔牆

第二個措施為，在一號機到四號機周圍，建築地下凍土牆，以阻止污染區域地下水流至港區，如圖十六。



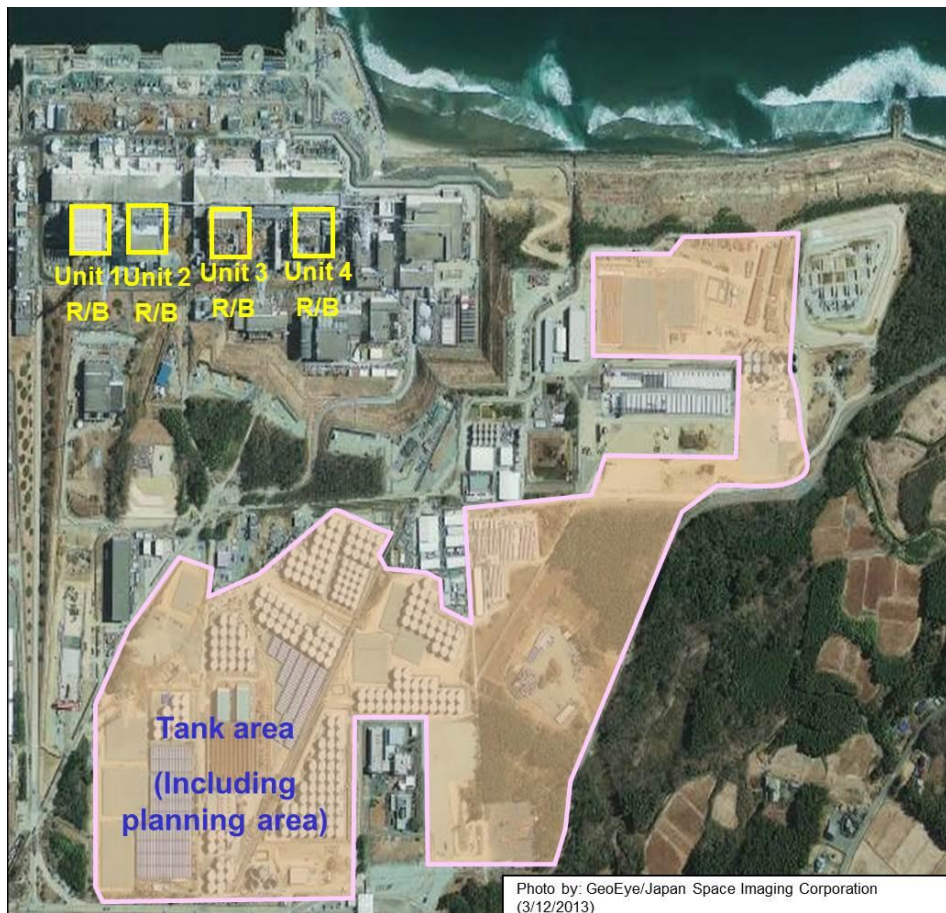
圖十六、Fujushima Daiichi NPS 凍土牆

第三個措施為，抑低流入污染區地下水量。具體作法為在一號機到四號機周圍，抽出地下水，抑低地下水位，降低流入污染區地下水量，如圖十七。



圖十七、Fujushima Daiichi NPS 抽出地下水

日前發現污染水貯槽發生洩漏，約 300 噸污染水從貯槽漏出，污染部分區域泥土及地下水。廠區內規劃約可容納 930 個大型污染水貯槽的貯槽區(圖十八)，目前已經安裝 300 個貯槽，每個大型貯槽(圖十九)約可貯存 1000 噸污染水。針對洩漏問題，已經在貯槽周圍建立 30 公分高護欄如圖二十。目前漏水點附近空間劑量率約  $20 \mu\text{Sv/h}$ 。



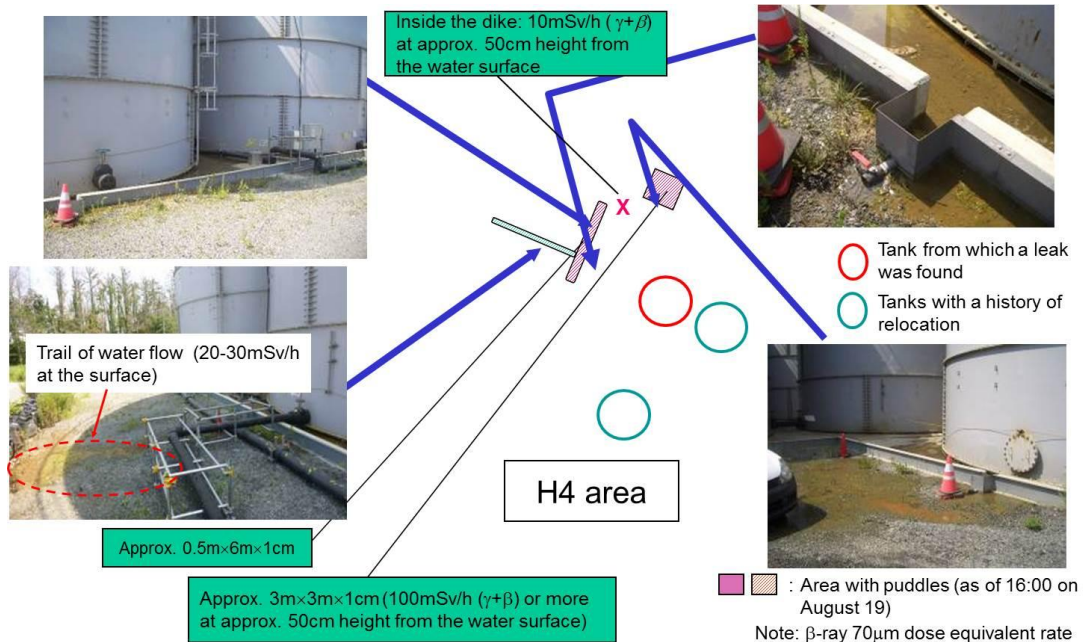
圖十八、Fujushima Daiichi NPS 污染水貯槽區





## Flange-type Tank

圖十九、Fujushima Daiichi NPS 污染水貯槽



圖二十、Fujushima Daiichi NPS 防止貯槽洩漏作為

日本政府及東電公司持續處理福島事件，處理過程中許多問題及作為，是輻射作業從業人員最好的教材。例如大量污染液體貯存不易的事實、環境污染回復的困難程度、

現代社會民眾及媒體的反應模式、作業人員包括心理層面的管理、政府應有的作為等，均值得持續觀察借鏡。東京電力公司的 Fukushima Daiichi NPS 除役計畫已參加 CPD 計畫，CPD/TAG 會議是取得資訊有效平台。

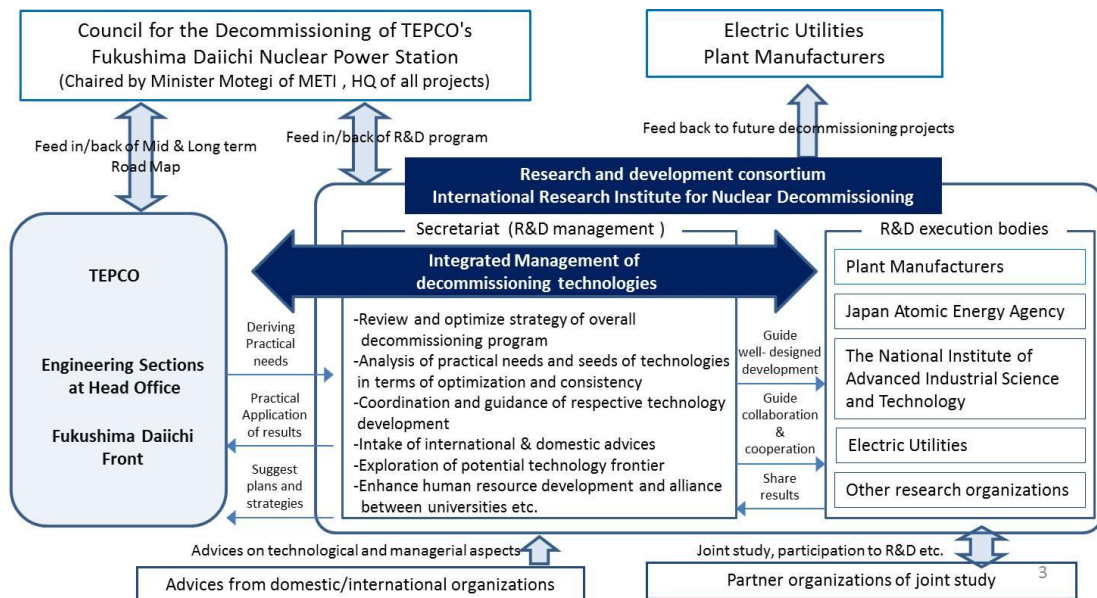
## (二) 日本成立核能除役國際研究機構(International Research Institute of Nuclear Decommissioning, IRID)

日本政府於 2013 年 8 月 1 日宣告成立 IRID，旨於加強核能除役技術基礎，致力於技術研發，協助 Fukushima Daiichi NPS 除役計畫。機構成立第一次會議於 2013 年 8 月 8 日召開，正式開始運作。

在發展核反應器除役技術的基本構面上，聚焦於：

1. 加速 Fukushima Daiichi NPS 除役，復原環境，保障安全。
2. 盡早復原福島區域，建立國內信心。
3. 因應未來核設施除役需求，提升安全水準。
4. 培育、累積、提升相關技術。

從運作架構圖(圖二十一)中，IRID 由日本產經省主導，組成 Fukushima Daiichi NPS 除役的委員會來執行，透過東京電力公司、Fukushima Daiichi NPS 清理前進機構(位於 Fukushima Daiichi NPS 南方約 20 公里之 J-Village)、及位於東京市機構總部之技術團隊，協調運作。並整合核能設施供應商、日本原子力研究所(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)、學院機構、電力公司等形成研發工作執行本體，引進國際技術及組合研發團隊。

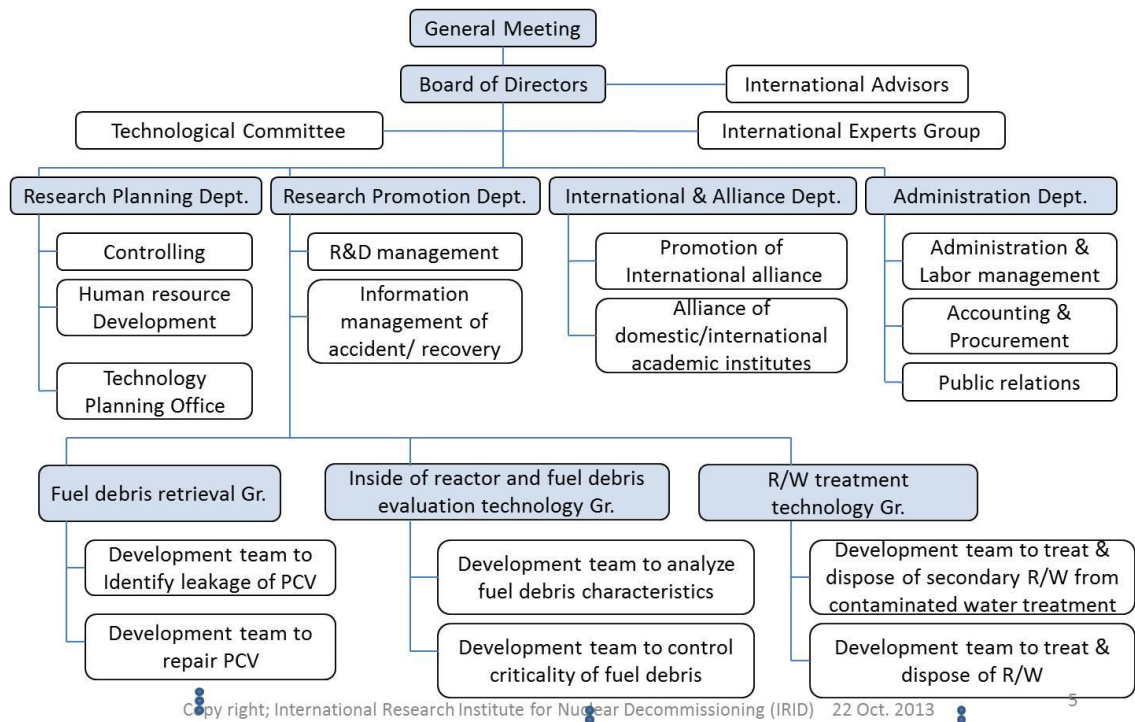


圖二十一、IRID 運作架構

IRID 運作經費由政府機關、核能相關產業、電力公司偕同出資，包括

1. 日本原子力研究所(JAEA)、National Institute of Advanced Industrial Science and Technology。
2. Toshiba Corporation, Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd., Mitsubishi Heavy Industries, Ltd。
3. Hokkaido Electric Power Company, Tohoku Electric Power Company, Tokyo Electric Power Company, Chubu Electric Power Company, Hokuriku Electric Power Company, Kansai Electric Power Company, Chugoku Electric Power Company, Shikoku Electric Power Company, Kyushu Electric Power Company, The Japan Atomic Power Company, J-POWER, Japan Nuclear Fuel Limited。

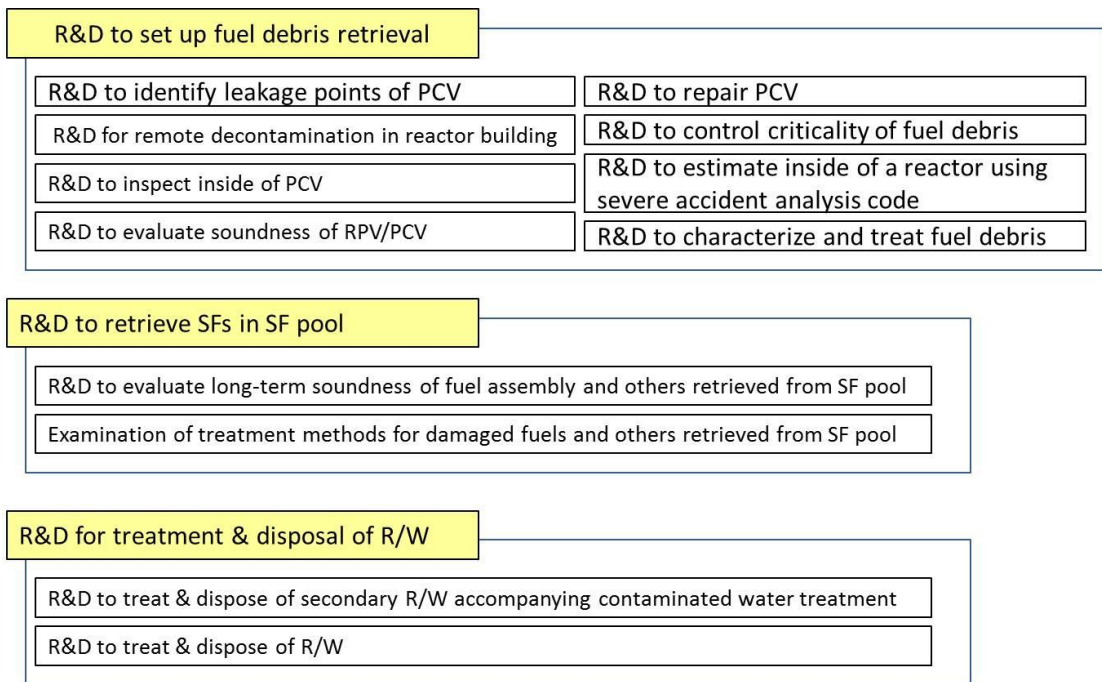
從實際運作組織(圖二十二)中可知，除了國際及日本國內研究活動之促進及整合外，目前 Fukushima Daiichi NPS 實際問題的解決為技術研發重心。



圖二十二、IRID 運作組織

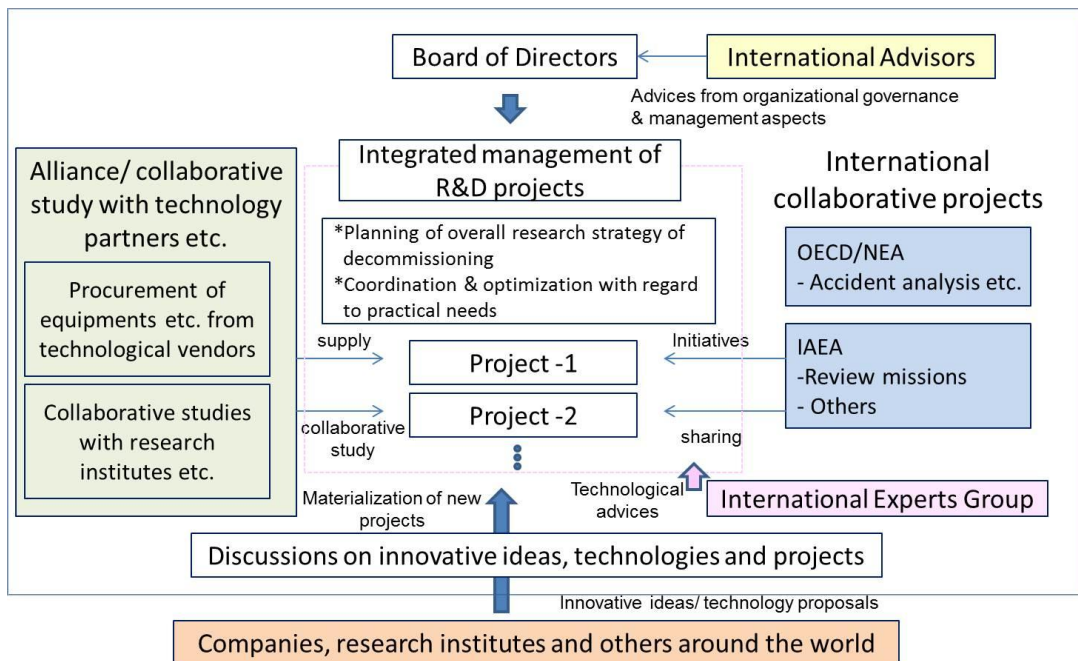
解決 Fukushima Daiichi NPS 實際問題的技術需求則聚焦成三個方向；一是爐內毀損之燃料，二是用過燃料池及用過燃料，三為放射性廢棄物處理及處置。如圖二十三。





圖二十三、IRID 研發議題聚焦

在引進國外研究能量方面，從圖二十四中顯示，IRID 建立國際及日本國內合作平台。



圖二十四、IRID 國內及國際合作平台

目前經由技術委員會評估研究成立議題。基本議題包括毀損燃料取出之設備發展、壓力容器內毀損燃料評估方法、及放射性廢棄物處理、遙控技術整合應用等。於 2013

年 9 月 23 日舉辦為期一周之國際專家團隊會議，並於 2013 年 9 月 25 日開始接受研究議題申請，2013 年 10 月 23 日 IRID 開始審查，2013 年 11 月中旬日本政府審查。

日本政府建立 IRID 平台，顯示不論日本是否能繼續使用核能，核能電廠生命週期中的後端時期，已是無可避免的來臨，必須正視面對。IRID 的功能設定中，發展處理福島事故善後所需技術佔相當份量，值得繼續追蹤其研發工作進展。

### (三) 日本核反應器除役相關法令修改

日本核能電廠安全規範於 2013 年 7 月更新。目前停機中的核能電廠必須符合此新版安全規範，才能取得許可重新啟動運轉。無法滿足新安全規範要求的核能電廠因此必須進入除役階段。此一情勢演變，導致必須進一步整頓核能電廠除役安全規範。另一個立即必須調整的是核能電廠除役會計制度(即後端基金)。以目前的情勢，不能排除日本因為相當數量的核能機組必須進入除役的可能性，短時間內造成除役後端基金管理上以及電力公司財務上驟升的壓力。核能電廠除役安全規範及相關管理法規也因此都需要修改。

新版的核能電廠安全規範主要內容包括：

1. 須立即完備：著眼於多重不確定性，評估地震及海嘯之設計基準
2. 須立即完備：防止海嘯發生時，海水從取水或排水地下管道進入核能電廠
3. 須立即完備：天然災害防衛(包括火山爆發、颶風、外部火災等)
4. 須立即完備：防衛斷管造成淹水(包括地震引發)
5. 須立即完備：防火措施
6. 須立即完備：靜態設備多重設置(Redundancy)，包括備用排氣系統過濾設備、導管等
7. 須立即完備：因應設計基礎事件如地震及海嘯等，緊急應變中心完備性
8. 須立即完備：注水系統、熱移除系統、供電系統的常設或移動式替代系統
9. 須立即完備：防止圍阻廠房(Primary Containment Vessel, PCV)過壓損壞設施(意即排放過濾器 filter vent)
10. 須立即完備：防止圍阻廠房(PCV)及反應器廠房氫氣爆炸
11. 須 5 年內完備：防止恐怖攻擊的安全設計及設置

從 2013 年 7 月 8 日開始生效的日本新版核能電廠安全規範，到 2013 年 10 月 21 日

止，已有 14 案(12 PWR, 2 BWR)申請審查，目前日本 NRA(Nuclear Regulatory Authority)已經開始審查。

而新版的核能電廠除役安全規範的審查導則，目前已完成公告閱覽，將於 2013 年 12 月 18 日生效。要符合新版的核能電廠除役安全規範，核能電廠除役計畫必須載明：

1. 核能電廠除役期間，可能發生的意外事件包括種類、規模、及衝擊。
2. 著眼於用過核子燃料貯存設施冷卻水可能發生洩漏，必須說明防止用過燃料受損及防止用過燃料發生臨界的系統設置，或者必須充分說明不需要此種系統設置的理由。
3. 上述防止用過燃料受損及防止用過燃料發生臨界的系統設置的維護及管理。

核能電廠除役會計制度的變革，要點分為基本管理變革、後端基金管理變革、及設備資產折舊管理變革三方面。

基本管理變革：

1. 核能電廠發電及除役業務必須屬於同一電力公司。
2. 核能電廠除役，必須視為電力公司業務範圍的一部分。
3. 電力公司能使用核能供應電力的前提，為長程核能電廠除役將能完整執行。
4. 不論核能電廠停止運轉的原因為何，核能電廠的發電和除役，必須視為公司同一業務。

由於核能電廠除役會計制度基本變革的影響，導致核設施後端基金系統及資產折舊系統也必須因應修改。

核能電廠後端基金(Decommissioning Reserve Funding system)管理變革：

1. 核能電廠後端基金收取年限，從原來 40 年延長為原則上 50 年，意即，40 年運轉期間加上 10 年停止運轉期間。
2. 核能電廠停止運轉時，後端基金收取不足金額，視為累計虧損(Lump loss)，意即，核能電廠停止運轉後，可以繼續收取後端基金 10 年。
3. 原來後端基金之收取係根據電力產出量計算，目前改為每年固定。

這些管理變革將導致日本電費收取，可以不以電力產出為計算基準。

核能電廠設備資產折舊 (Installation/Equipment Asset Depreciation system) 管理變革：

1. 在核能電廠停止運轉時間點上，設備資產登記剩餘價值，視為累計虧損(Lump loss)，意即，設備資產在除役期間可以繼續攤銷/折舊(amortized/depreciated)。

## 2. 除役期間購置的設備，可以攤銷(amortized)。

這些管理變革的目的，為緩解日本短期間內可能因為大量核能發電機組同時停止運轉，導致急遽上升的電力公司財務壓力。

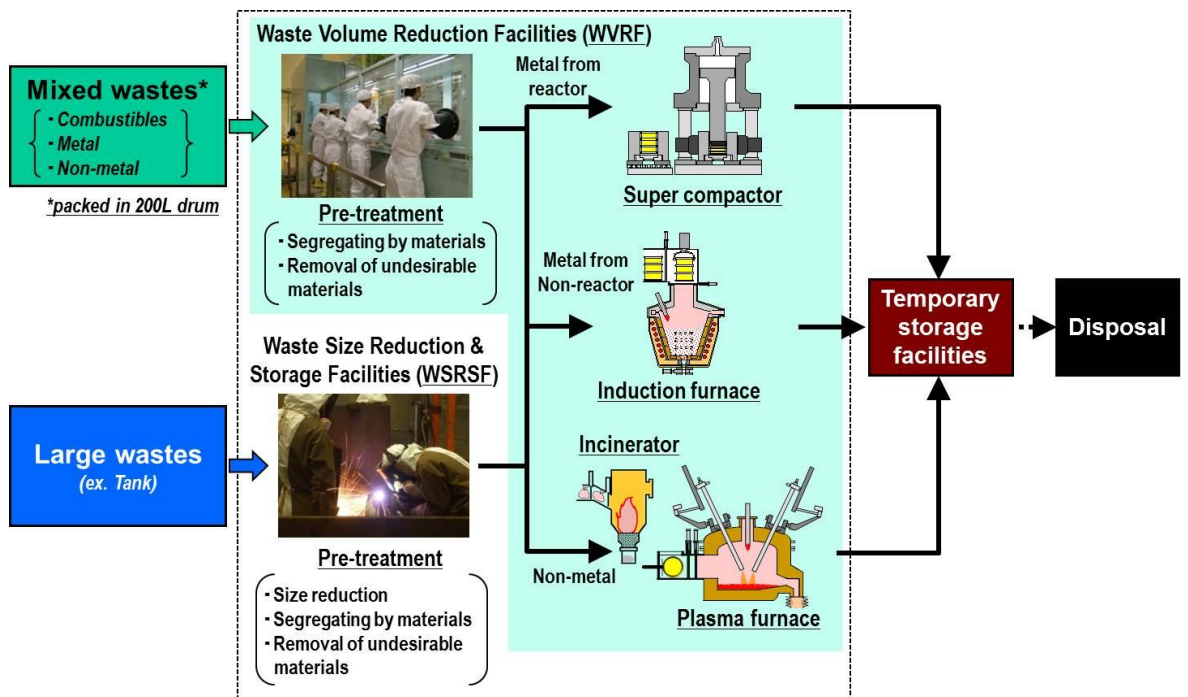
日本 54 座核能發電機組全面停止運轉後，在面對 2013 年 7 月更新的核能電廠安全規範及社會大眾疑慮下，有多少機組有機會能重新開始運轉，是一個值得觀察的指標。若有相當數量的核能機組無法恢復運轉，日本電力產業、全國電力供應的生態、乃至國家能源安全、減碳成效等，均將面臨長遠衝擊。因應此衝擊，日本核能電廠除役會計制度的變革(電氣事業會計規則/原子力発電施設解体引当金に関する省令)已經完成行政程序，於 2013 年 10 月 1 日生效。此發展趨勢值得國內參考。

### (四) 日本 JAEA 新建放射性廢棄物減容中心

日本 JAEA 位於東海村的 Nuclear Science Research Institute(NSRI)，新建完成一座固體放射性廢棄物減容中心(Advanced Volume Reduction Facilities, AVRF)，如圖二十五。AVRF 主要功能為處理雜項低放射性廢棄物。前處理程序包括分離 AVRF 不處理將直接處置物質如鉛、鋁，不燃燒或融化物質如矽膠(Silicone)及鐵氟龍(Teflon)，及不分解設備如電纜、馬達、Pump 等。再進行切割，利用熱切割、電漿切割、機械切割等將廢棄物分解成小於 0.3 公尺長。減容設備包括 Super compactor、感應熔爐、電漿融爐、及焚化爐等。原則上可燃物以焚化爐減容；非金屬以電漿融爐減容；大於 1 公分厚的鐵件以感應熔爐減容；大於 1 公分厚鐵件則以 Super compactor 壓縮減容(圖二十六)。



圖二十五、日本 JAEA 新建放射性廢棄物減容中心(AVRF)



圖二十六、AVRF 主要功能

AVRF整廠已經完工，目前進行測試。測試量已達900桶。建廠經費約230億日圓。



## (五) 西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役

西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠(圖二十八)建於 1963 年，2006 年停止運轉。決策為立即除役，除役目標為無限制使用之綠地。為西班牙第一個決策為立即除役之核反應器，同時為西班牙第一個商用核能電廠除役，亦為西班牙第一個用過燃料乾式暫貯案例。於 2006-2010 年進行用過燃料移除及系統除污。從 2011 開始進行除役，預計 7 年完成除役。此除役計畫規劃的特色，包括全程計畫規劃為 7 年，是否能如期完成除役；以及將約 10 萬噸廢棄物定義為傳統廢棄物，是否引發社會質疑之問題，均具挑戰性。另一特色為，JOSÉ CABRERA NPP 除役，由西班牙國營企業的 ENRESA 公司負責執行，除役期間 JOSÉ CABRERA NPP 產權轉移給 ENRESA 公司。



圖二十八、西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠

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

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

Mass UO <sub>2</sub> (core)	20,76 t
Control Rod (Banks):	17
Reactor Vessel (Diameter):	2,82 m
Reactor Vessel (Height without Head):	5,87 m
NSSS (Diameter):	70 cm
Containment:	Reinforced concrete / Stainless Steel Head
Spent Fuel Pool:	In Containment
Final cooling:	Tajo River

用過燃料已經完成乾式暫貯 (ISFSI)。約 175 噸用過燃料，包裝於 12 座乾式貯存容器，暫貯於電廠內，如圖二十九。計畫規畫以 5 個階段完成除役，第一段主要進行除役盤點及完成用過燃料暫貯，第二階段為拆除規劃及準備階段，第三階段拆除主要設備，第四階段移除附屬設備及建物拆除，第五階段執行環境復育。目前進度為第三階段約執行 55%。

目前廢棄物統計為，高階（用過燃料）175 噸；中階（ILW）43 噸，中低階（LILW）2,492 噸，低階（LLW）1,443 噸，一般廢棄物約 10 萬噸。



圖二十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 用過燃料乾式暫貯 (ISFSI)

於 2003 年估計之除役經費，不包含用過燃料部分，共約 135 M€。

表九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役經費估計

PROJECT MAIN ACTIVITIES	Cost(M€ 2003)
Engineering & Basic Project	34
Previous Activities after Shutdown + NSSS Decon	5
Transition Activities (2006-2010)	6
Dismantling & Decom Execution	29
Material & Rad Waste Management	11
Site Restoration	23
Others	4
(Un-Expected (%))	20%
SPENT FUEL MANAGEMENT NOT INCLUDED ( ~ 35 M€)	
<b>TOTAL</b>	<b>135</b>

目前重要組件拆除已完成大部分，如圖三十。下一階段主要工作為拆解 RPV。

**1.- Main Coolant Pump (2013)**

Preparatory Activities (100%)  
 Remove of Engine (100%)  
 Intermediate Leg Cuttings (75%)  
 Cutting of pump impeller (75%)

**2.- Pressurizer (2013)**

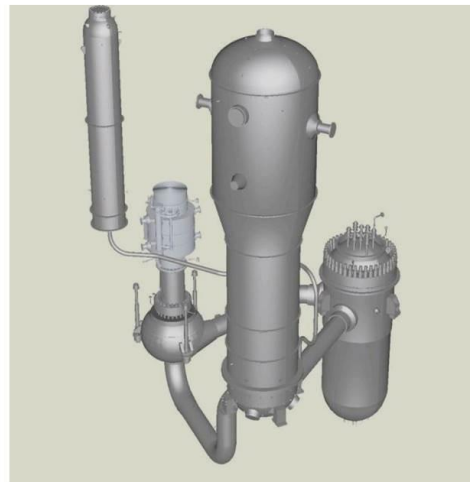
Preparatory Activities (100%)  
 Cuttings (100%)

**3.- Steam Generator (2013-2014)**

Scaffolding (100%)  
 Remove of lagging (100%)  
 Preparatory Activities (100%)  
 Cuttings (25%)

**4.- RPV (2013-2015)**

Kick-off Meeting May-2013  
 Preparatory Activities (2013-2014)  
 Cuttings (2014-2015)



圖三十、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 主要設備拆除進度

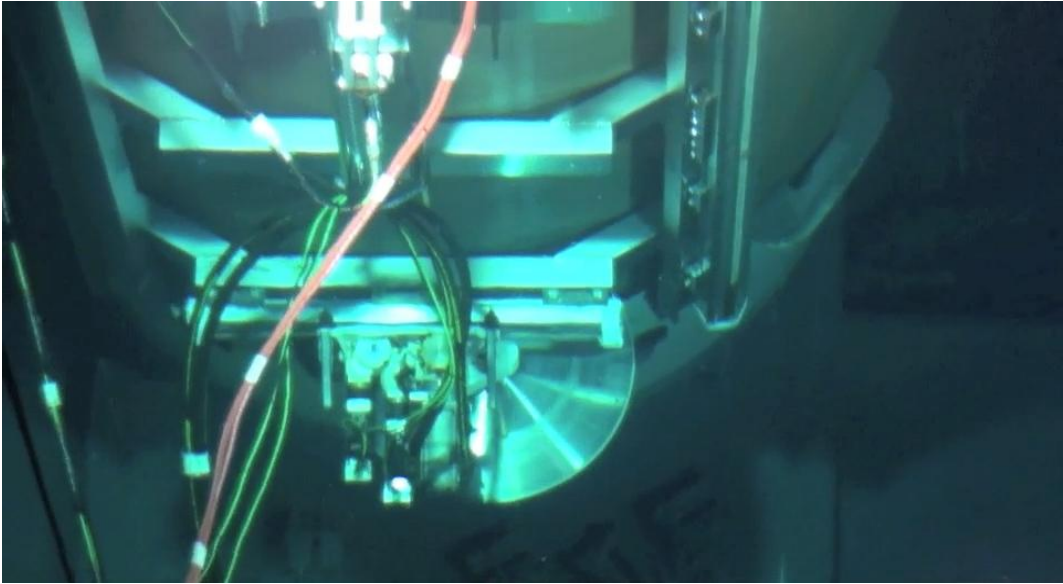


### 爐內組件拆解

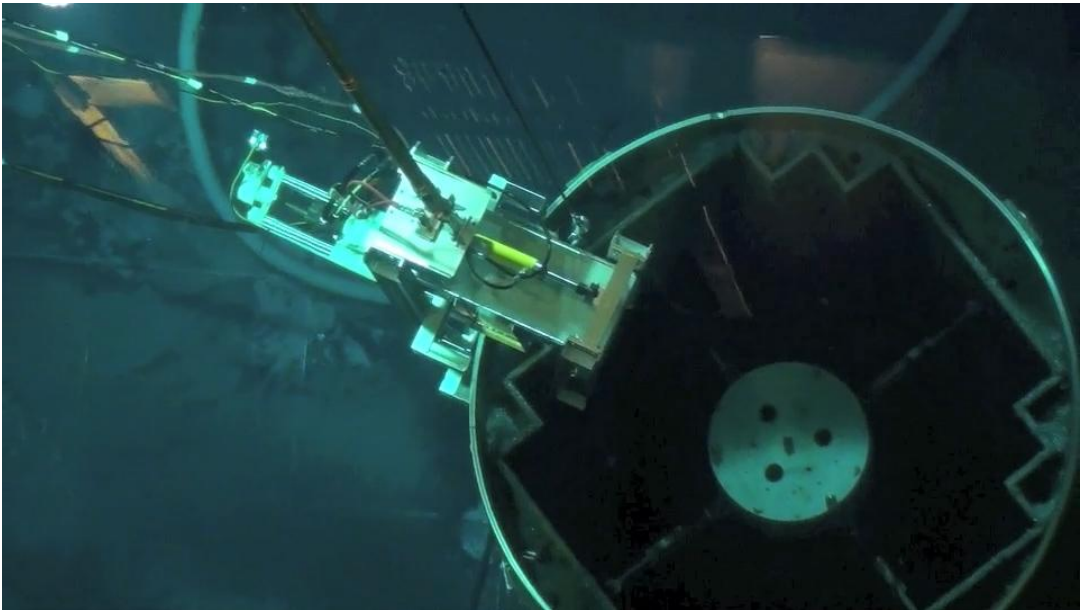
本計畫爐內組件切割部分工作由(歐洲)西屋公司承作，計畫經費約 12M 歐元。主要切割工為法為鋸切。水下切割共通性問題包括作業過程中，水的能見度會降低，儘管本案選擇機械切割而非熱切割，切割碎屑的收集及水的能見度降低問題仍然造成困擾，如圖三十一。經由從新規劃水下移動式過濾系統，此問題已經解決。圖三十二為水下圓盤鋸切割；圖三十三及圖三十四為水下線鋸切割。機械鋸切的可靠度及切割速度等在核設施除役已有較多經驗。已經完成除役切割之比利時 BR3 重要組件水下切割經驗，也是推薦用機械鋸切為主要方法。然爐內水下切割受限於環境、空間等因素，在工具安裝、或機具故障等情形下，仍無法完全避免須由潛水人員人工排除障礙的機會，如圖三十五。切割下的高放射性廢棄物檢整影響整體工作品質及後續處理成本甚鉅。圖三十六為爐內組件拆解高放射性廢棄物檢整情形。水下作業包括工具安裝、定位，拆解切割，廢棄物檢整、吊裝等，遙控系統的應用是關鍵之一。如圖三十七。



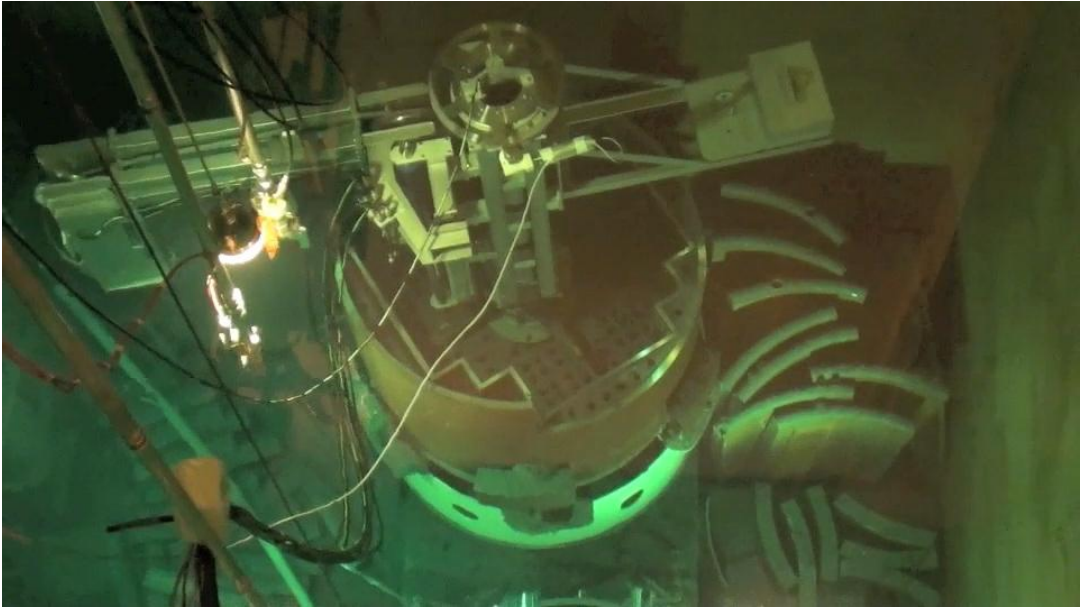
圖三十一、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_鋸切碎削



圖三十二、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_圓盤鋸切割



圖三十三、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_線鋸切割(一)

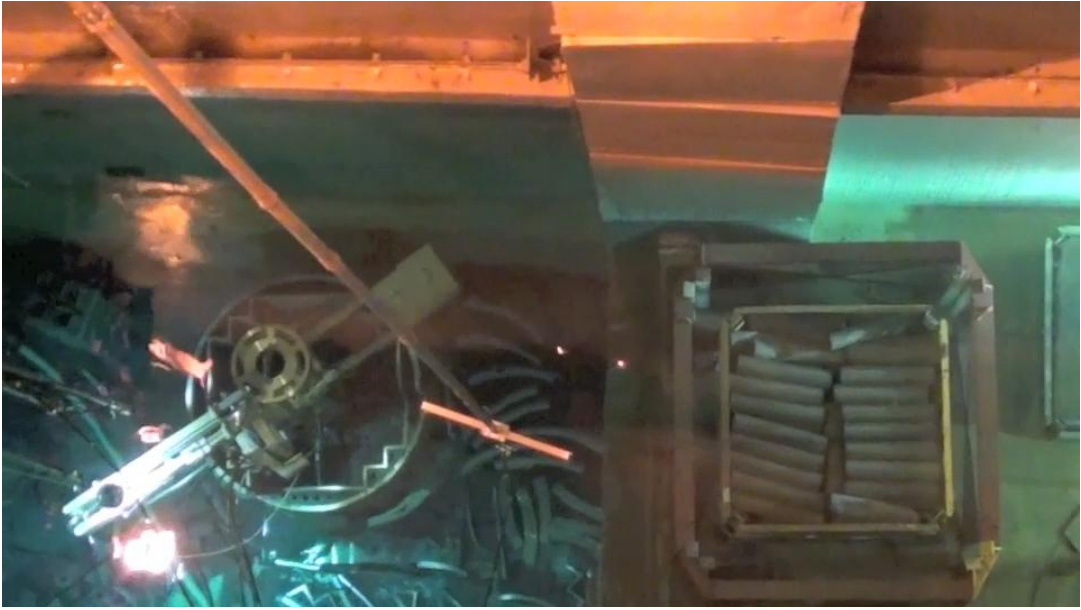


圖三十四、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_線鋸切割(二)



圖三十五、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_人工排除障礙





圖三十六、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_高放射性廢棄物檢整

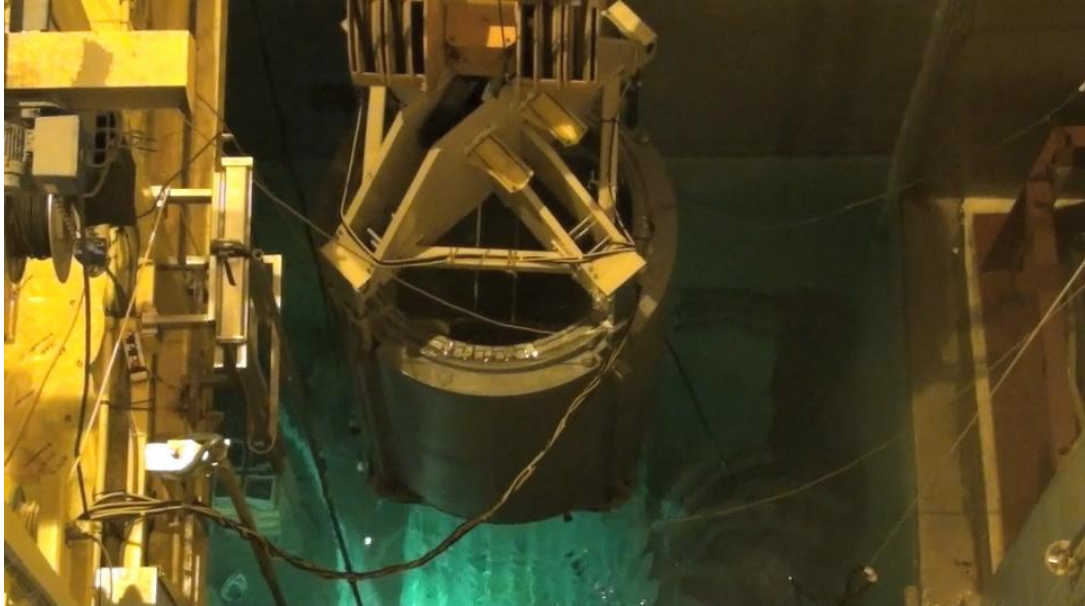


圖三十七、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_水下切割控制系統

#### 爐內組件拆解高放射性廢棄物以用過燃料乾貯容器貯存

估計產生放射性廢棄物總共約4,000噸中，主要環路等設備拆除產生的廢棄物約400噸，其中43噸由爐內組件等拆除所產生的中階廢棄物將以4個用過燃料乾式貯存容器盛裝。乾貯容器的內箱直接進入反應器水池內。高放射性廢棄物直接於水下檢整裝載(圖三十八、圖三十九、圖四十)。容器內配合切割規劃下所產生的廢棄物廢棄物形狀，預

先設計分隔結構，目的為內部裝載物的穩定，如圖四十一。容器吊出水池(圖四十二)後進行封焊，如圖四十三。吊運出廠後與用過燃料一起暫貯管理。如圖四十四、圖四十五及圖四十六。



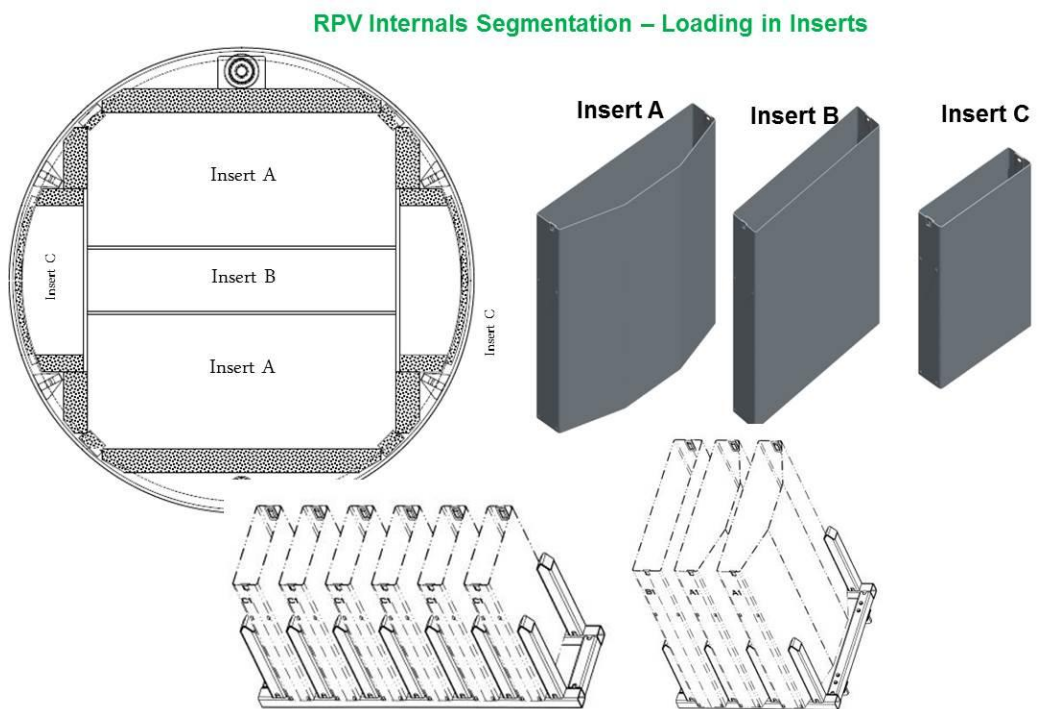
圖三十八、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱吊入反應器水池



圖三十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱裝載



圖四十、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱封蓋

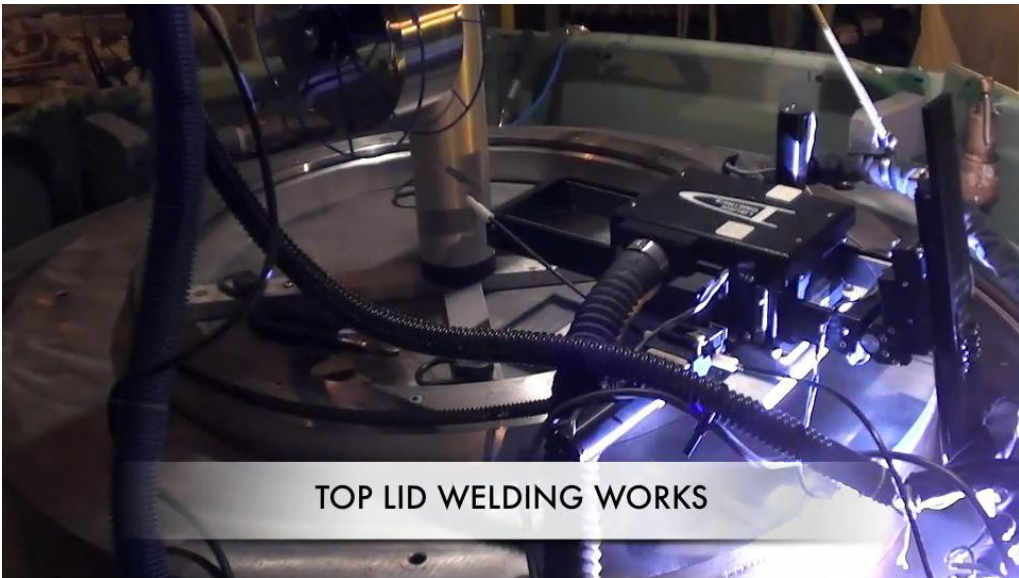


圖四十一、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱裝載設計





圖四十二、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱吊出



圖四十三、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱封焊



圖四十四、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱吊運出廠(一)



圖四十五、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器的內箱吊運出廠(二)

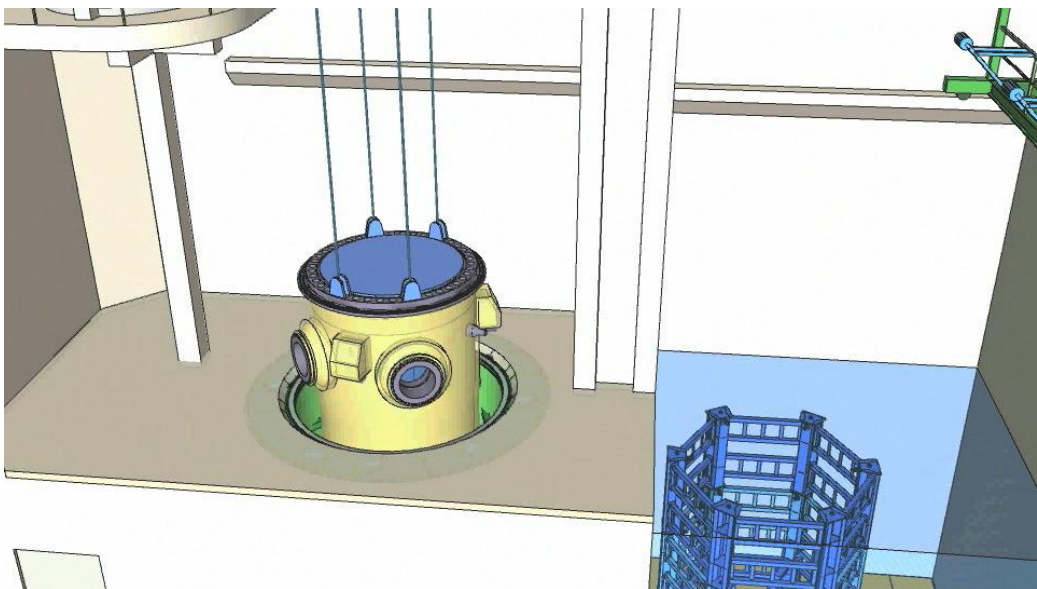




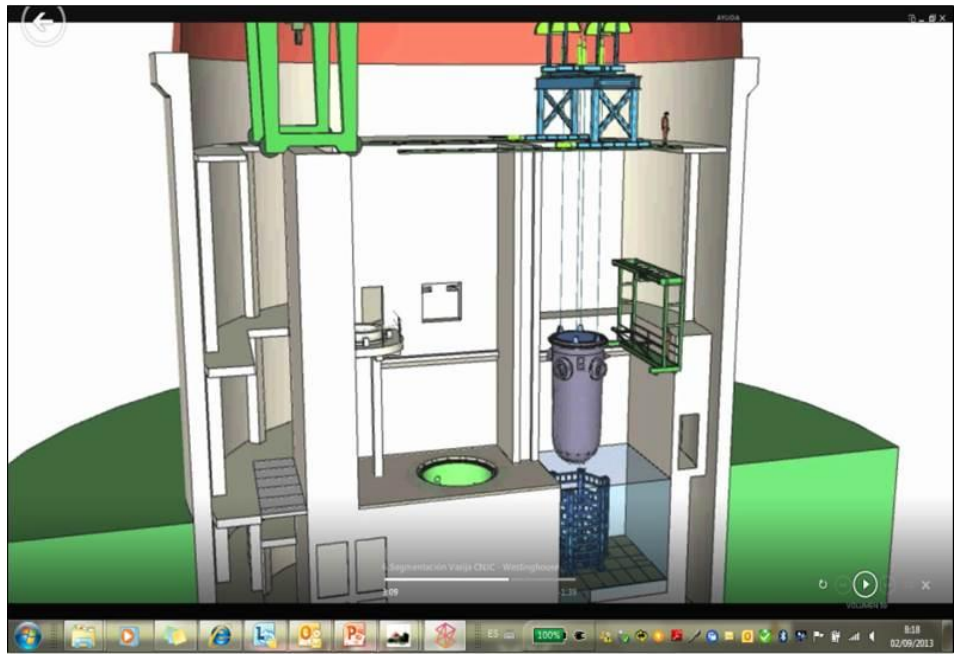
圖四十六、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐內組件拆解\_乾貯容器運往暫貯廠

### RPV 拆解規劃

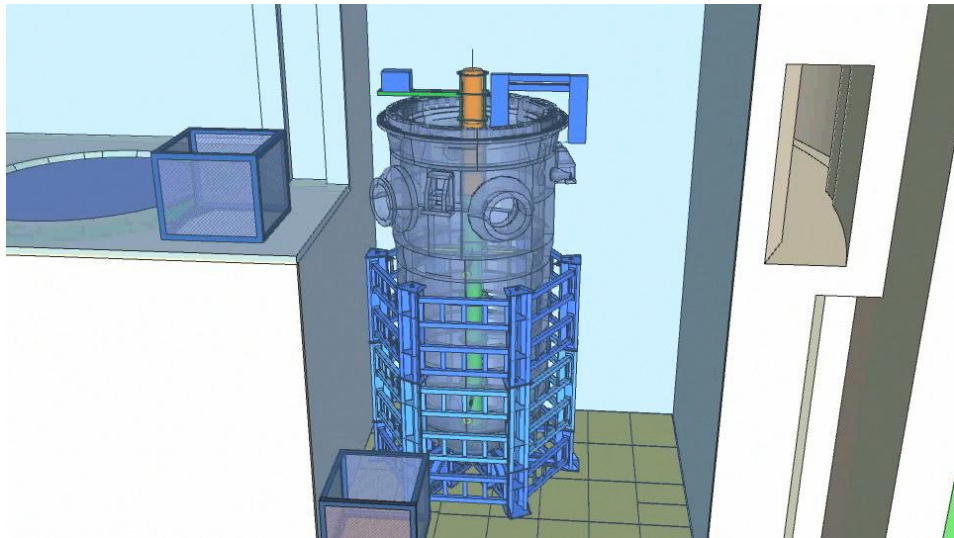
於 2013 年 10 月爐內組件拆解完成後，目前正進行 RPV 拆解的細部規劃設計。規劃將 RPV 吊出，於用過燃料池進行切割拆解。如圖四十七、圖四十八、及圖四十九。主要切割工具仍採用水下機械鋸切，原來用於爐內組件切割的工具設備，經過重組後將用於 RPV 切割。各種線鋸、圓盤鋸的固定及安裝規劃如示意圖五十、圖五十一、圖五十二。而 RPV 的管嘴則採用索鋸切割，如圖五十三。



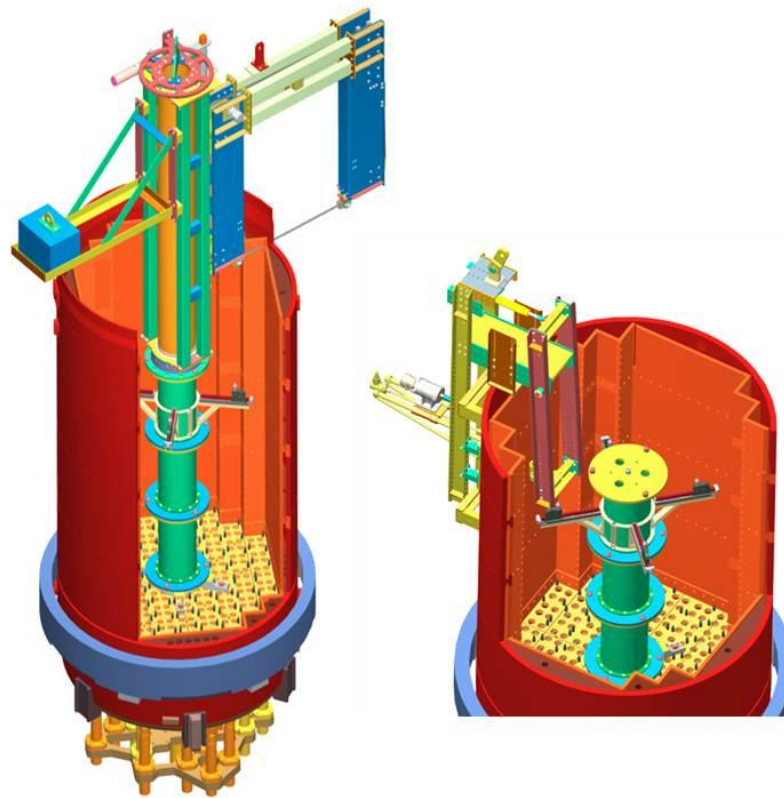
圖四十七、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃(一)



圖四十八、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃(二)

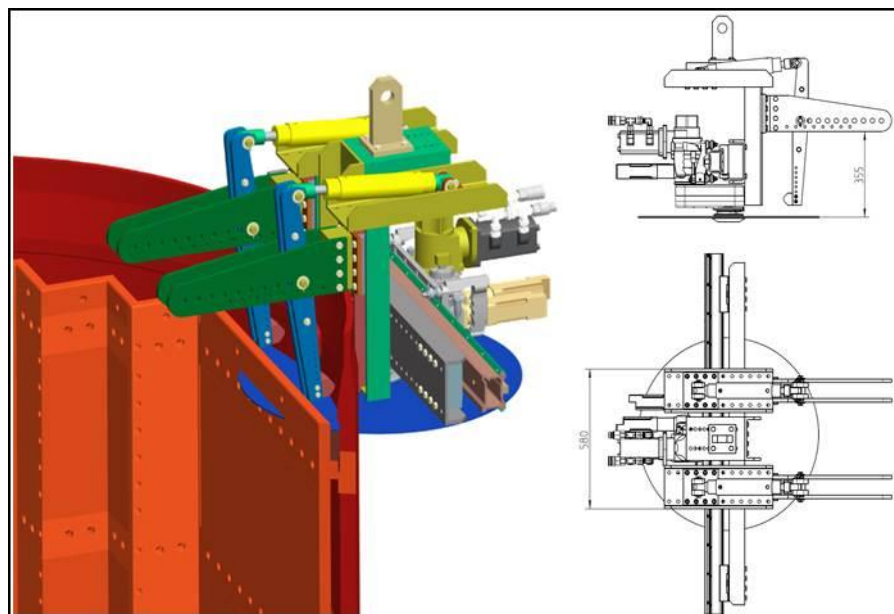


圖四十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃(三)



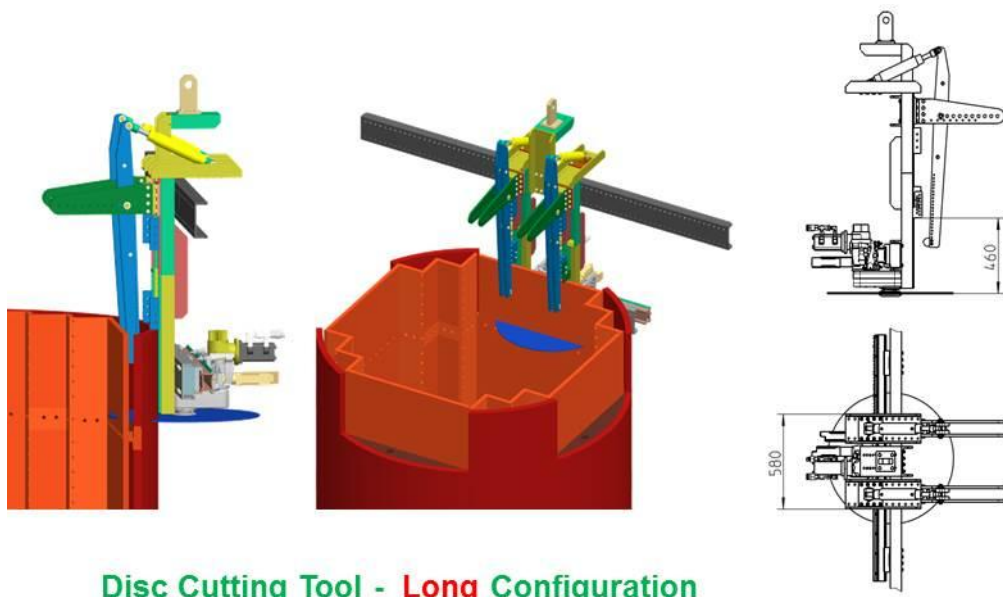
**Band Saw on Center Column**

圖五十、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃\_鋸切規劃(一)



**Disc Cutting Tool - Short Configuration**

圖五十一、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃\_鋸切規劃(二)



**Disc Cutting Tool - Long Configuration**

圖五十二、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃\_鋸切規劃(三)



**Diamond Wire Tool – Cutting of Nozzles**

圖五十三、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 爐體(RPV)拆解規劃\_管嘴切割

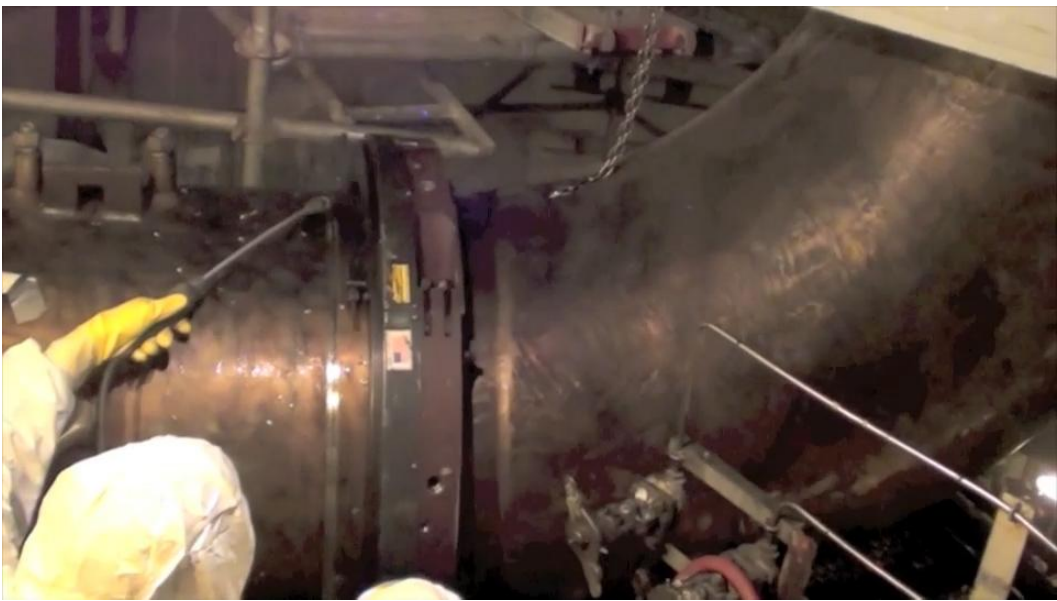


## NSSS 組件拆解

主要系統拆解必須注意人員劑量管控。因為管線設備特性及形狀多樣化，不論採用何種拆解工法，人力不可避免。原則上仍以機械切割為主。如大管徑管路切割，使用管路切割機(圖五十四、圖五十五、及圖五十六)、大型桶槽及設備切割因地制宜，以鑽石所鋸切割，如圖五十七及圖五十八。工具安裝不易情形下仍然無法避免用熱切割，如圖五十九。不鏽鋼設備切割仍以機械鋸切較適宜，如圖六十。



圖五十四、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役\_NSSS 拆解\_大管徑管路切割(一)



圖五十五、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役\_NSSS 拆解\_大管徑管路切割(二)



圖五十六、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役\_NSSS 拆解\_大管徑管路切割(三)



圖五十七、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役\_NSSS 拆解\_大型桶槽切割





圖五十八、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役\_NSSS 拆解\_大型設備切割



圖五十九、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役\_NSSS 拆解\_熱切割



圖六十、西班牙 JOSÉ CABRERA NPP 除役\_NSSS 拆解\_不鏽鋼設備切割

西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役，目前進行至準備 RPV 拆解切割。這兩年來這個除役計畫的進度，包括爐內組件拆解等工作，均為核能電廠除役的核心工作。此時加強與負責 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役工作的 ENRESA 公司技術交流，對於國內即將面對核能電廠除役的規劃準備，將有極大效益。

## 四、建議事項

- (一) 目前 CPD/TAG 會議是取得國際核設施除役資訊的有效平台。國際上大型的核設施除役計畫均已加入，如美國能源部(DOE)的 EM 計畫、法國 CEA 的清理計畫、日本 JAPC、JAEA 核設施除役等；近年更有商用核能電廠陸續開始進入除役，如西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役、日本浜岡核能電廠除役、日本福島核能電廠除役等。國內應持續參加 CPD/TAG 會議，以取得國際核設施除役最新的資訊。
- (二) 日本政府及東電公司持續處理福島事件，處理過程中許多問題及作為，是輻射作業從業人員最好的教材。例如大量污染液體貯存不易的事實、環境污染回復的困難程度、現代社會民眾及媒體的反應模式、作業人員包括心理層面的管理、政府應有的作為等，均值得持續觀察借鏡。
- (三) 日本政府於 2013 年 8 月 1 日宣告建立 IRID( International Reaearch Institute of Nuclear Decommissioning)，IRID 平台，顯示不論日本是否能繼續使用核能，核能電廠生命週期中的後端時期，已是無可避免的來臨，必須正視面對。IRID 的功能設定中，發展處理福島事故善後所需技術佔相當份量，值得繼續追蹤其研發工作進展。
- (四) 日本 54 座核能發電機組全面停止運轉後，在面對 2013 年 7 月更新的核能電廠安全規範及社會大眾疑慮下，有多少機組有機會能重新開始運轉，是一個值得觀察的指標。若有相當數量的核能機組無法恢復運轉，日本電力產業、全國電力供應的生態、乃至國家能源安全、減碳成效等，均將面臨長遠衝擊。因應此衝擊，日本核能電廠除役會計制度的變革已經完成行政程序，於 2013 年 10 月 1 日生效。此發展趨勢值得國內參考。
- (五) 西班牙 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役，目前進行至準備 RPV 拆解切割。這兩年來這個除役計畫的進度，包括爐內組件拆解等工作，均為核能電廠除役的核心工作。此時加強與負責 JOSÉ CABRERA 核能電廠除役工作的 ENRESA 公司技術交流，對於國內即將面對核能電廠除役的規劃準備，將有極大效益。