

出國報告（出國類別：開會）

參加放射性廢棄物最終處置管理國際研討會（Dismantling Challenges : Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience 及 Cement-based Materials for Nuclear Wastes 會議）

服務機關：行政院原子能委員會放射性物料管理局

姓名職稱：高弘俊技士

派赴國家/地區：法國

出國期間：107 年 10 月 20 日至 107 年 10 月 28 日

報告日期：108 年 1 月 11 日

摘要

我國核能一廠自民國 108 年起開始進入正式除役階段，其他核能電廠也將陸續面臨除役的選項，不論我國未來核電政策為何，現有運轉中的核能電廠及其他核能研究設施與小產源放射性廢棄物的產生者已經產生一定數量的放射性廢棄物，加上核能電廠除役過程勢必會產生大量的廢棄物，這些放射性廢棄物在處理的過程中必須先進行安定化，以確保長期貯存的安全，然而除役過程中廢棄物的分類、容器的選擇、安定化添加物、固化體的性質、廢棄物所含核種...等，均對放射性廢棄物的長期貯存安全有程度上的影響；而設施除役的拆除計畫、整體施工規劃、廢棄物除污技術、廢棄物分類、拆解機具...等，最終將對放射性廢棄物的產生量、施工人員的劑量吸收及場所環境輻射造成影響，因此關係到整體除役作業的成功與否與安全考量。

本次出國公差赴法國參加 2 項國際研討會議，第一項會議針對反應器設施的除役挑戰、工業現況、未來挑戰及拆除經驗等進行回饋分享，第 2 項會議則著重於放射性廢棄物以混凝土進行安定化的過程中所遭遇的相關問題，以及安定化物質基本性質的研究，兩項研討會均由法國核電公司(SFEN)舉辦，與會者分別來自歐洲各國、美國、俄國、加拿大、澳洲、日本等，會議中國外學者及各大核能廠商講者分享於各國進行已經完成除役或現正進行除役的核能電廠機組或設施的除役工作經驗，以及最新科技技術於除役過程中的實際應用與建議，另外針對以水泥進行放射性廢棄物固化及安定化的研究進展，及新式安定化添加物質的基礎研究進行分享，相關經驗及知識具有實際參考價值，可作為我國未來放射性廢棄物的管制及電廠除役作業的重要參考。

目 次

一、	目的.....	1
二、	過程.....	2
(一)	行程概要.....	2
(二)	會議簡介.....	3
三、	心得.....	5
(一)	研討會簡報內容摘要.....	5
(二)	心得.....	39
四、	建議事項.....	42

附件一、Dismantling Challenges : Industrial Reality, Prospects and Feedback	
Experience 會議詳細議程	43
附件二、Cement-based Materials for Nuclear Wastes 會議詳細議程.....	46
附件三、The Mineral Products Association (MPA)知識文獻	55

一、目的

我國核能一廠自民國 108 年起開始進入正式除役階段，其他核能電廠也將陸續面臨除役的選項，不論我國未來核電政策為何，現有運轉中的核能電廠及其他核能研究設施與小產源放射性廢棄物的產生者已經產生一定數量的放射性廢棄物，加上核能電廠除役過程勢必會產生大量的廢棄物，這些放射性廢棄物在處理的過程中必須先進行安定化，以確保長期貯存的安全，然而除役過程中廢棄物的分類、容器的選擇、安定化添加物、固化體的性質、廢棄物所含核種...等，均對放射性廢棄物的長期貯存安全有程度上的影響；而設施除役的拆除計畫、整體施工規劃、廢棄物除污技術、廢棄物分類、拆解機具...等，最終將對放射性廢棄物的產生量、施工人員的劑量吸收及場所環境輻射造成影響，因此關係到整體除役作業的成功與否與安全考量。

為使我國電廠除役技術及放射性物料管理與國際現況接軌，確保核能電廠除役作業及放射性廢棄物管理安全，本次於 107 年 10 月 22-26 日奉派赴法國參加 Dismantling Challenges : Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience 及 Cement-based Materials for Nuclear Wastes 兩項國際研討會，藉由參加國際研討會吸收各國專家對於核電廠除役作業及放射性廢棄物管理的最新知識及經驗，做為未來相關作業的管制經驗及技術精進參考。

二、過程

(一) 行程概要

本次公差行程如表 1，主要參加兩項會議分別為：1、Dismantling Challenges : Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience 研討會及 2、Cement-based Materials for Nuclear Wastes 研討會 (詳細議程如附件一、二)，上述會議皆由法國核能學會 SFEN 主辦，會議地點位於法國亞維儂教皇宮(會議現場及簡報情形如圖 1~3)，由於 2 項會議時程相衝突，10 月 24 日 (禮拜三) 當日僅能擇一參加，因此事先選擇可以逐日報名的第一項會議的前 2 天，並參加第 2 項會議的全部行程。

表 1 公差行程摘要

日期	內容	地點與行程
10 月 20 日(六)	出發	台北-法國巴黎
10 月 21 日(日)	1、抵達法國巴黎戴高樂機場 2、路程 (戴高樂機場-Avignon)	法國巴黎-亞維儂
10 月 22 日(一)	參加 Dismantling Challenges : Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience 會議	法國亞維儂
10 月 23 日(二)	同上	法國亞維儂
10 月 24 日(三)	參加 Cement-based Materials for Nuclear Wastes 會議	法國亞維儂
10 月 25 日(四)	同上	法國亞維儂
10 月 26 日(五)	同上	法國
10 月 27 日(六)	返程	法國亞維儂-巴黎
10 月 28 日(日)	抵達	法國巴黎-台北

(二) 會議簡介

主辦單位 SFEN(Société Française d'énergie Nucléaire，法國核能學會)類似我國民間核能協會機構，成立於 1973 年，為核能交流及相關應用提供一個互動平台。SFEN 匯集了 3,600 名專業人員、工程師、技術人員、化學家、醫生、教授和學生、工業據點和法國核能研究組織。SFEN 是一家非營利性協會，其主要任務包括：核能知識及經驗交流、表彰對核能產業具有貢獻的個人及單位，並促進科學的卓越及知識的嚴謹、加強公眾溝通，為核能產業資訊公開盡一份心力、以及透過辦理及參與國際會議，強化各核能國的相互交流等。

本次會議於法國南部文化城鎮亞維儂的教皇宮舉行，由法國放射性廢棄物管理局(ANDRA)及歐洲經濟合作組織核能署(OECD/NEA)參與協辦，會議中所發表之論文來自各大核能產業廠商及各國核能研究單位與管制機構之專家學者，累積兩項會議共發表約 163 篇論文及 75 篇 poster，參與廠商並於會場展示最新模擬技術、除污及遙控機具等。

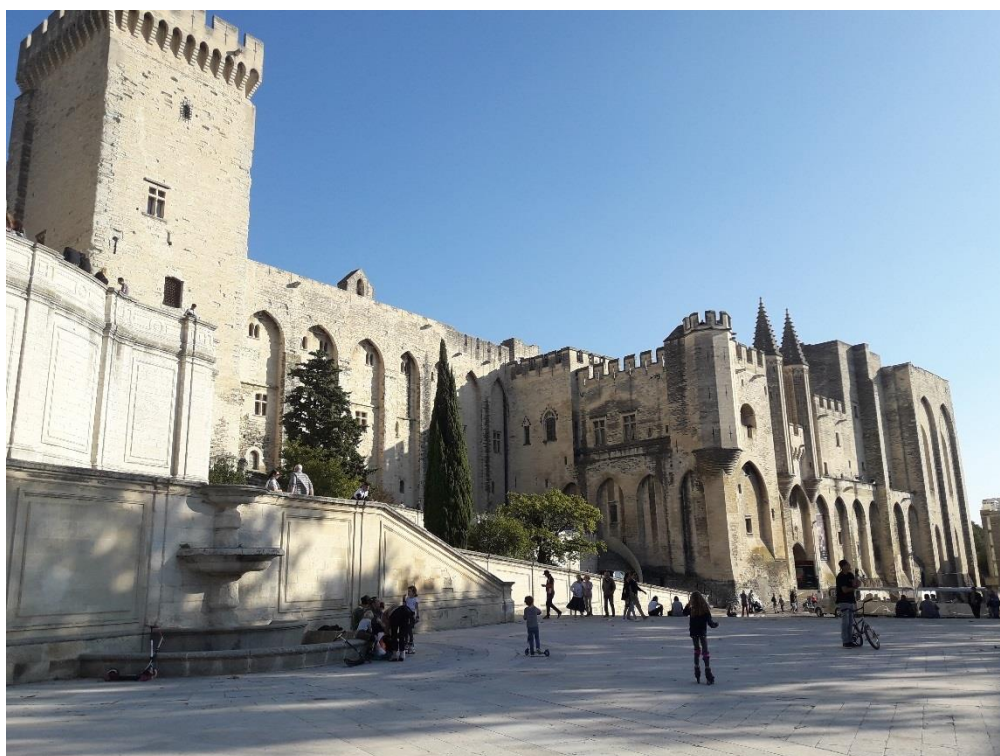


圖 1、會議場地-法國教皇宮外觀



圖 2、研討會現場及簡報情形-1



圖 3、研討會現場及簡報情形-2

三、心得

(一) 研討會簡報內容摘要

Dismantling Challenges : Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience

Day 1(107.10.22)

French Graphite Gas Reactors Dismantling Programme

本篇介紹法國石墨氣冷反應器拆解策略，EDF(Electricite De France)在法國負責 9 座反應器的拆除工作(包括一座重水反應器、一座快滋生反應器、一座壓水式反應器及六座石墨氣冷反應器)。



EDF 負責除役電廠的分布圖

全球石墨氣冷反應器的除役概況

石墨氣冷反應器建立在濃縮鈾尚未被工業製造以及以石墨作為緩和劑的年代，此時法國及英國同時發展了 UNGG 及 Magnox 兩種反應器，這些反應器有些輸出至義大利、西班牙與日本，另外俄國設計的石墨氣冷反應器(RBMK)雖然有些許不同，但關於拆解的策略，特別是石墨的取出策略則是一樣。全世界使用石墨氣冷反應器的國家包括英

國(27 座停止運轉，14 座運轉中)、法國(9)、德國(2)、義大利(1)、西班牙(1)、俄國(9)、烏克蘭(4)、立陶宛(2)、日本(1)及美國(1)等，這些反應器只剩下英國還有 14 座在運轉中，其餘的 54 座已經停止運轉，只有 2 座(美國的 Frot Saint Vrain-FSV-以及英國的 Windscale WAGR)完全拆解完畢，本篇介紹的法國石墨氣冷反應器規模是 2 座已被完全拆解的 10 倍大，因此 EDF 面臨技術的挑戰並且是全球首例。

法國石墨式反應器與美、英的石墨式反應器規模比較表

	BUG1 540MWe	CHA2 210 MWe	FSV 320 MWe	WAGR 33 MWe
Concrete volume (m ³)	24000	14600	5000	1300
Number of bricks	15780	25000	1500	3444
Internal volume (m ³)	9000	9000	1250	255
Number of Heat exchanger	54	96	12	4

Table 1. Dimensions of EDF's reactors and dismantled reactors (FSV/WAGR)

EDF 石墨氣冷反應器的除役情境

由於設計的緣故，此種反應器有大量的水泥結構以及緻密與複雜的內部結構(金屬及石墨塊)，選擇合適的切割環境(空氣中或水下)是控制風險的重要因子，美國的 UNGG 反應器在選擇空氣中切割或是水下切割的主要考量為以下幾點：不同拆解階段的技術風險必須足以確保核能安全、必須限制輻射在環境中的釋放、拆解過程元件的最佳化、產生廢棄物體積及品質的最佳化、以及環境及工作人員接受劑量的最佳化等。而國際上對於石墨氣冷反應器的認知標準則是採用空氣中切割方式，主要考量則包括：爐體的建造方式無法了解防水密封情形、由於建造方式的緣故要從頂部進入反應器有困難以及要達到防水的前置作業繁複等。

EDF 在 2005 年考慮拆解過程所需時程及可能產生的劑量的平衡後，選擇以濕式切割方式處理 4 部反應器，但結果發現水下切割的時程遠大於預期，並面臨一些問題，如腐蝕、水密封性、二次廢棄物的增加等，於是到了 2015 年 EDF 決定將所有機組全部以乾式切割的方式進行拆解，6 部機組拆解順序如下：上層混凝土蓋板拆除後加蓋、在反應器上方設置手動遙控機具、於架設平台進行拆解作業、拆解爐體內部上層結構、拆解石墨層，拆解下層爐

心支撐金屬結構，Chinon A2 機組拆解估計需耗時 25 年，拆解前準備作業需花費 5-7 年的時間。

風險轉移策略

為了減少拆解時程，EDF 建造一個新的反應器模型以便於評估拆解過程中可能遭遇的風險，並發展出一套 3D 電腦模擬工具，以及經由鑽心取樣方法(取樣樣本總長 25 公尺，直徑 14 公分)獲得對石墨氣冷反應器內部活度分布的深入了解，EDF 已經取得第一代反應器燃料管道的鑽心取樣數據，其餘爐心金屬部分的取樣正在進行中。

石墨廢棄物的管理策略

EDF 花了 15 年的時間針對石墨廢棄物進行取樣及研究，並對拆解策略進行修正，近期也完成針對石墨包裝以及熱處理的實驗，相關研究成果有發表一篇回顧文章。

石墨氣冷反應器的除役策略(總結)

- 所有 6 部石墨機組將採取乾式切割作為主要拆解方式
- Chinon A2 反應器將作為第一部拆解的石墨氣冷反應器，正式拆解前將建造反應器模型進行冷測試，以降低可能的風險

French Inventory of Radioactive Materials and Waste : Forecast of Radioactive Waste Including Dismantling Waste

法國放射性物料管理局(ANDRA)從 2004 年開始每年會對國家放射性物料及廢棄物統計清單進行更新，每 3 年發表一篇報告，清單會描述現有廢棄物數量並對未來產生的廢棄物數量進行預測，並據以訂定放射性廢棄物管制方案，最新一次發表於 2018 年 7 月。

法國放射性廢棄物來源包括核能電廠、軍事國防、研究領域、工業領域及醫藥等，依廢棄物所含活度(非常低階、低階、中階及高階)及所含核種之

半衰期(非常短半衰期(低於 100 天)、短半衰期(低於 31 年)以及長半衰期(高於 31 年)) 2 項原則進行分類，共制訂了 5 項分類方式進行管理，分別為：

高階廢棄物(HLW)，主要為用過核子燃料再處理產生之廢棄物，比活度大於每公克數十億貝克。

中階長半衰期廢棄物(ILW-LL)，主要亦為用過核子燃料再處理產生之廢棄物，比活度介於每公克一百萬至十億貝克。

低階長半衰期廢棄物(LLW-LL)，主要為第一代石墨氣冷反應器產生之石墨廢棄物以及含鐳廢棄物，石墨廢棄物的比活度介於幾萬至幾百萬貝克/公克；含鐳廢棄物的比活度介於幾十至幾千貝克/公克，此類廢棄物尚包含用過密封放射性物質、瀝青以及鈾轉換使用到的剩餘殘渣等。

低中階短半衰期廢棄物(LILW-SL)，主要為核電廠、核子燃料循環設施、研究中心及生醫中心等設施運轉及除役時所產生的廢棄物，比活度介於幾百至 1 百萬貝克/公克

非常低階廢棄物(VLLW)，主要為核電廠、核子燃料循環設施、研究中心運轉、保養及除役時所產生，比活度低於 1 百貝克/公克。

法國放射性廢棄物清單的數據是由廢棄物的產生者及持有者提供，ANDRA 負責審查提報的數據是否符合規定，本篇報告統計截至 2016 年止，取得設施執照的廢棄物設施之統計數據。

截至 2016 年，法國放射性廢棄物的統計表(m³)

Category	Volume at the end of 2016	Difference for 2016-2013
HLW	3,650	+ 440
ILW-LL	45,000	+ 1,260
LLW-LL	90,500	- 570
LILW-SL	917,000	+ 39,600
VLLW	482,000	+ 46,200
Waste without disposal solutions	1,800	- 1,970
Total	~1,540,000	~ + 85,000

本篇報告另外進行幾項情境假設方式，用以預測未來各設施運轉周期內

以及中期及除役開始時可能產生的廢棄物數量。

Knowledge Transfer for Preparation of Final Decommissioning Plans for Taiwan Nuclear Power Plants

本篇西屋公司報告台灣核能電廠的除役概況，並報告該公司於國外核能電廠除役作業的知識及經驗分享，以及分別於西班牙及瑞典辦理二次教育訓練課程的過程，參與訓練人員主要為核能研究所及台電公司員工。

An International Perspective on Large Boiling Water Reactor(BWR) Vessel and Internals Removal, Packaging and Transportation

本篇 Orano 分享該公司在世界上進行 BWR 反應器除役及組件切割的活動及經驗，以及如何利用這些經驗執行美國大型 BWR 機組的反應器拆除作業，摘述如下：

模擬訓練

拆解大型機組時，對於拆解程序進行事前模擬是作業成功的關鍵，進行模擬的優點有安全、減少劑量、較有品質、風險轉移、可估算費用及妥善時程安排等，以 Trojan 電廠為例，事前模擬可避免承包商轉換時的相關風險。

切割工具

利用磨料水噴射切割技術的切割經驗如下表介紹：

Plant/ Facility	Cutting Method	Selection Basis	Overall Assessment
Maine Yankee	Ultra-High- Pressure Abrasive Water Jet Mechanical Cutting	No thermal cutting allowed	Integrated testing of equipment made for a successful project. Tool optimization was needed for the abrasive water jet & to maintain water clarity
Millstone 1	Mechanical Cutting	Reliability Mechanical Techniques	Mechanical cutting was acceptable. Proper tooling is essential. Tooling modification/optimization was required.
Rancho Seco	Mechanical Cutting Hydraulic Press Separation	Reliability Mechanical Techniques	Mechanical cutting was acceptable. Proper tooling is essential. Tooling modification/optimization was required.

Stade	Mechanical Cutting Abrasive Water Jet	Reliability Cutting Speed and Airborne Contamination Control	Successfully performed reference project, 1st commercial Pressurized Water Reactor (PWR) with full RV and RVI segmentation performed in Europe.
Würgassen	Mechanical Cutting Abrasive Water Jet	Reliability Cutting Speed and Airborne Contamination Control	1st ever commercial BWR with full RV and RVI segmentation performed in Europe. The project was performed on schedule and budget.
Orano RV and RVI Segmentation Experience			

從 Connecticut Yankee 電廠拆除使用的切割技術及廢棄物包裝技術作業時獲得許多寶貴的經驗，功能不好的水過濾裝置及殘渣收集方式會影響切割的精確度及設備的進行，並造成多餘的管路殘留劑量，進而影響容器的盛裝效率，Orano 於是進行修正，提高切割的精準度及殘渣的收集方式以及使用較大的盛裝容器。

Lesson Learned from Maine Yankee

- 進行內部元件切割時，詳細的調查可控制及限制空浮污染及水污染的程度，Orano 使用磨料水噴射切割技術(abrasive water jet cutting technology)，加上水過濾橇(water filtration skids)，以階段方式處理大量但非常低微的污染。
- 需要設計有效的吸塵裝置，Orano 改良形狀，設計出容易清理的 tank，以及多種方法裝設及移出相關元件，當過濾收集袋達到飽和時，切割的殘渣及碎屑可直接在 tank 內部進行收集。
- 模組可以快速拆卸以適應不同的切割環境。
- 完成除污後，主要管路的沖洗及驗證。

另外經由選擇切割方式的事先模擬及訓練，Orano 也大幅改善切割的準確性及避免一些無法預期的風險。

從 Trojan 電廠獲得的切割經驗發現，乾式過濾器的研磨介質輸送系統需要源源不絕的空氣，缺少研磨介質輸送系統會大大降低效能，Orano 藉由相關經驗改善磨料水噴射切割技術，經由產生較大顆粒的殘渣降低水的使用量。

廢棄物管理、運輸及處置

Orano 發現盛裝容器的選擇大大影響運輸及處置的花費，選擇 MP197HB 盛裝容器使得運輸及容器使用的數量大大的降低。

水質管理

合適的水過濾系統是維持水質清澈的關鍵因素。

輻射防護

經由保守的劑量計算、遙控裝置的使用以及水下切割技術的應用可降低 4 成的劑量。

Particulate Foam Flotation Process for Remediation of Fukushima Contaminated Soils

銫-137 是已知的泥土固著性污染，本篇介紹利用 Particulate foam flotation process (顆粒狀泡沫浮選) 技術，降低日本福島電廠污染泥土含銫-137 的污染程度(可降低 3-7 倍)。

Day 2(107.10.23)

Session : Material and radioactive waste management

Dedicated Trench for Large and/or Heavy Waste

法國放射性物料管理局(ANDRA)為了解決除役過程中產生的大尺寸放射性廢棄物的處理、貯存問題，於 2016 年建造大尺寸廢棄物專用的貯存壕溝，壕溝尺寸長 265 公尺、寬 22 公尺，內部包括可吊卸重達 130 公噸的廢棄物的吊卸機具，總容量為 3 萬 5 千立方公尺，目前已經進貯的廢棄物包括蒸氣產生器以及大型熱交換器等。



法國大型廢棄物貯存設施內部運作情形

Remote-Handled Low-Level Waste Disposal Facility

為滿足任務需要，美國能源部 2014 年於愛達荷國家實驗室規劃建造一座可遠端處理的低放廢棄物處置設施，以提供一個可靠、永久的、實驗室等級的支持，這個設施預計可運轉 50 年，此設施的放射性廢棄物的設計及分級與美國放射性廢棄物的分級一致(排除用過燃料及超鈾廢棄物)，本篇介紹設施的建造最新情形。

Combining Chemical Decontamination and Melting for Volume Reduction of Metals Originally Classified as ILW

本篇介紹結合化學除污及熔融技術減少 BWR 反應器組件的體積，特別用於上層零件如蒸氣分離器及蒸氣乾燥器，此種零件有大體積及結構複雜的特點，若以機械切割方式將耗費大量時間，結論為適合以熔融的方式進行此類廢棄物的減量工作。

Session : Project Feedback Experience

Decommissioning of MR and RFT Research Reactors

MR 及 RFT 是俄國研究用反應器，分別於 1950 年代到達最大運轉功率 50MW 及 20MW，2008-2010 年開始除役初期作業準備工作，2009 年俄羅斯聯邦確定除役方向，並依據設施全面偵檢結果制定放射性廢棄物管理策略，其中，中低階放射性廢棄物將以混凝土及金屬容器包裝後，放置於長期貯存

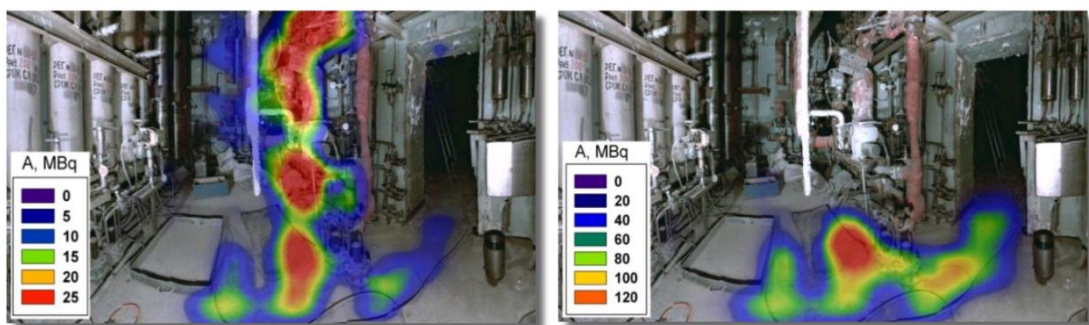
設施進行貯存；高階放射性廢棄物將放置於防漏容器中，移到 Kurchatov 高階放射性廢棄物貯存設施等待衰減。

為了降低除役過程中人員接收的劑量，必須採用遠端輻射偵檢儀器、遙控機具及抑制塵土、減少空浮等技術，利用這些技術也能評估輻射對個人及環境的影響，反應器於 2011 年取得除役許可執照，開始清理相關管路及輔助設施，2013-2014 年所有管路及設備全部拆除，拆除後劑量率由 5-20mSv/h 降低至 0.01-0.03mSv/h，2014 年開始拆除爐心，2015 年 MR reactor 容器及 RFT reactor 的石墨塊被拆除，2016-2017 年 MR reactor 基底的污染泥土被移除，這些大量工作均是使用遙控機具才得以大幅降低工作人員所接收劑量及避免空浮污染。

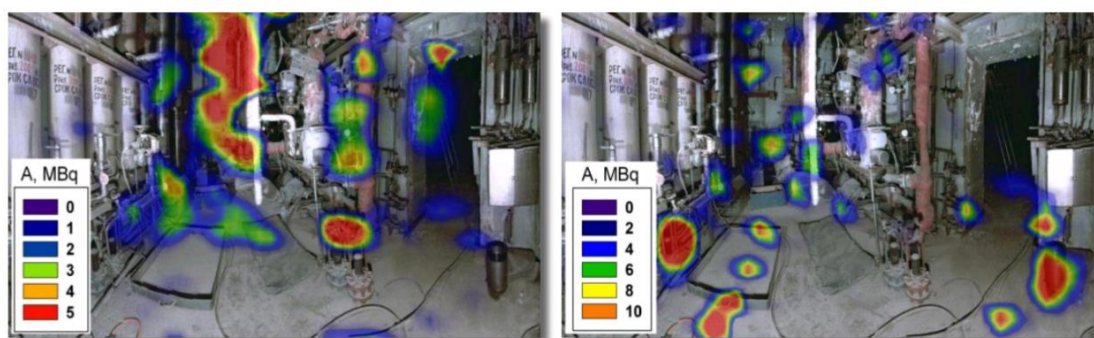


遙控式準直光譜儀

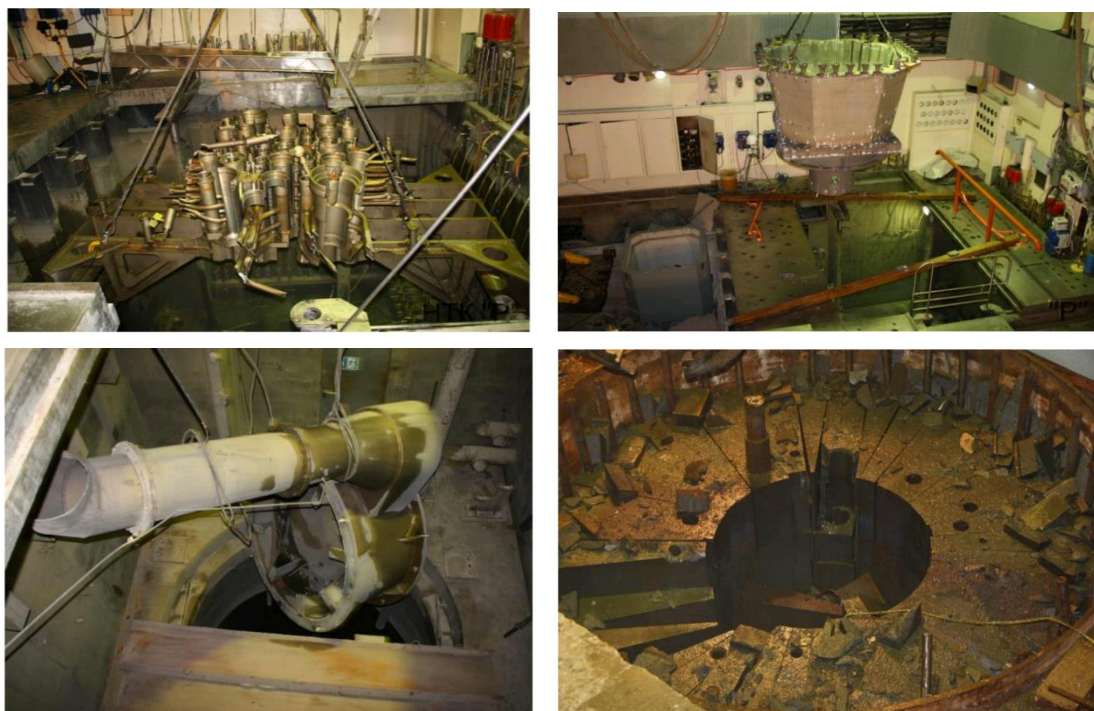
本篇詳述了遠端輻射偵檢儀器的使用、除役過程中放射性廢棄物的管理、放射性廢棄物的定性技術、MR reactor 高活度核心元件的移除技術、移除 RFT reactor 石墨塊的技術、並探討除役過程中遭遇的問題、及廢棄物再利用的法規議題、最後對除役過程人員及環境劑量進行報告。



以遙控偵檢儀進行 PVK 迴路設施房內的活度探測



移除高劑量元件後的活度分布圖



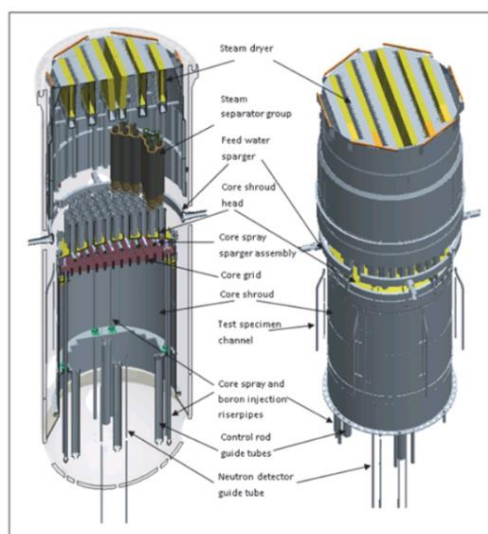
反應器內部實際拆解情形

結論：除役過程發生一些問題，首先產生的廢棄物大於反應器實際體積，這部分主要是來自地板拆解後位於地下管路及下水道管路所造成，很大一部

分的高劑量管路及石墨塊被包裝後等待衰減，分析結果所含主要核種為鈾 60 及銻 137，MR reactor 的除役活動仍在持續進行，由於發現基座底下有土壤污染情形，所以決定將整棟建築物全部拆除，另外由於除役策略事先訂定人員接收劑量不得超出個人年劑量限制的 20%，因此採遠端遙控機具進行輻射量測及偵檢的工作可滿足此項要求，本案相關經驗將做為未來核電廠除役的重要參考。

Outcome of The BARSEBACK 1-2 Reactor Vessel Internals Segmentation Project

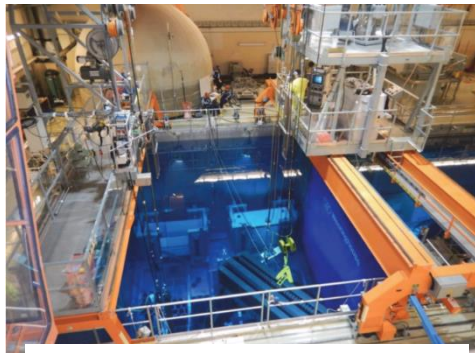
本篇西屋公司分享拆解瑞典 BARSEBACK 1-2 reactor vessel 內部元件的切割經驗，該反應器為沸水式反應器，有 2 部機組各 615MW，第一部機組於 1999 年 11 月 30 日永久停機，第 2 部機組 2005 年 5 月 31 日停止運轉，拆解專案包含 2 部機組內部組件的水下切割作業、先期的工程研究、拆解工具的製造及品保、也包含廢棄物的裝桶、盛裝容器的維護、完整的水下過濾元件以維持切割過程中水的清澈度等，2016 年，西屋公司開始本案的拆解工作，所有的切割作業均是以遙控操作的方式進行，進行實際切割作業之前，相關步驟均事先於西屋公司進行模擬作業，以確保拆解程序的最適化，2017 年 10 月已經完成 2 號機組的切割作業，2018 年開始 1 號機組的拆解。



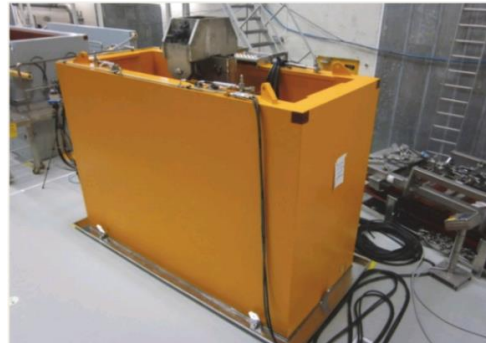
BARSEBACK 1-2 reactor vessel 內部元件圖

切割作業是在反應器廠房內部的貯存池中進行，並利用現有的工作平台及燃料更換平台作為切割作業的工作平台，另外維修及除污作業則於反應器大廳地板建構相關組件，切割產生的廢棄物尺寸大小不一，產生的廢棄物會利用一種 wet hood 系統將廢棄物取出並裝桶，最後貯存於暫存設施。

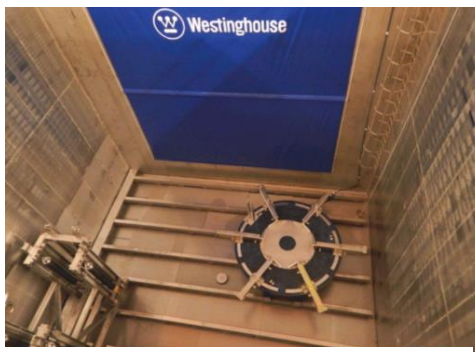
切割前的準備工作包括：貯存池的清潔、控制棒移除並放置於架上、裝設屏障防止切割碎片進入反應池以及移除貯存池中非必要拖架等，接著將反應器容器內部元件逐一移至切割池中的一個旋轉台上進行後續切割，旋轉台可使切割作業保持良好的施工彈性。



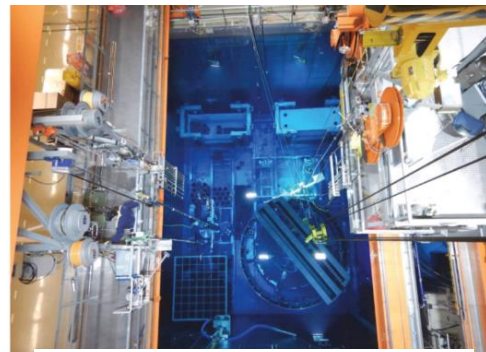
內部元件切割池



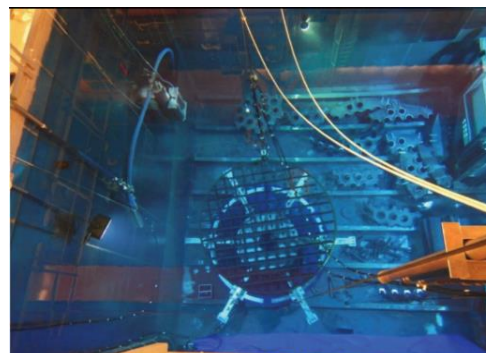
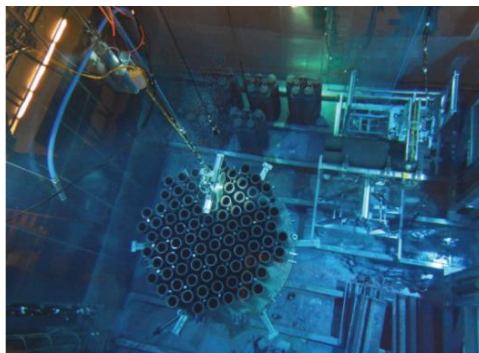
Wet hood 廢棄物移出容器



旋轉式切割台



切割工作平台



核心護罩蓋噴嘴管及燃料架切割情形

Lesson Learned：

- 1、良好的工作計畫可避免後續產生的問題
- 2、與發包單位良好的溝通可提供良好的合作關係及增加信任感
- 3、利用 3D 模擬進行切割及廢棄物包裝計劃可提高現場的切割效率
- 4、機械切割很適合進行反應器內部組件的切割並維持水質的清澈
- 5、彈性切割工具的交替使用具有相當高的價值

The Decommissioning of A PWR Experimental Facility：From Shut-Down to Removal from Site

比利時 BR2 是世界上主要的高通量材料試驗反應器(high-flux materials testing reactors)之一，具有非常獨特的特點：反應器幾何結構、功率、彈性及實驗的可行性等方面，由於長久照射導致核心設施的老化，必須進行第 3 次的維修保養工作，CALLISTO 為 BR2 的主要照射研究，於 1992 年即開始進行 PWR 的燃料及相關的物質實驗，BR2 其中的 3 個管道被用來進行上述實驗，一個壓力迴路架設於反應器的底部，因長期受到中子活化導致有很高的劑量，由於迴路老舊，必須進行更換，而這個迴路的位置複雜增加了拆解的難度，以至於必須發展策略降低人員可能接收到的劑量。

拆解策略分為 3 階段，各階段工作如下：

階段 1：分為準備期及除污期

準備期：

- 拆除 3 項 IPS(in-pile section)元件，移至熱室做為放射性廢棄物處置
- 移除 CALLISTO 管路，並讓水於管路中循環

除污期：

- 水迴路的化學除污以降低輻射劑量
- 離子交換樹脂安定化做為放射性廢棄物處置

階段 2：

- 移除 3 個過濾器至熱室做為放射性廢棄物處置
- 移除所有未受輻射污染元件
- 移除 SPR(sub-pile room)內外元件進行後續再處理

階段 3：分為金屬廢棄物及非金屬廢棄物處置

金屬廢棄物的處理

- 切割站建置
- 利用化學除污技術進行除污，達到解除管制及再利用目標
- 噴砂

非金屬廢棄物以放射性廢棄物進行處置



化學除污系統架設

Lesson Learned：

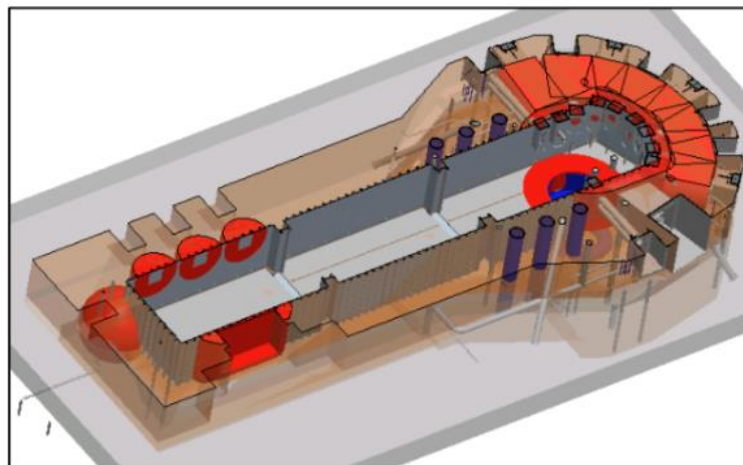
- 1、拆解前的化學除污證實是不可或缺的，可合理降低拆解劑量及增加處理效率
- 2、拆解物質的貯存、安定化及標示，需要建立安全及可追蹤的管理方式
- 3、暫貯設施空間有限，是拆除作業計畫及工法的主要考量因素

- 4、執行實際拆解作業時，廢棄物的移除路線必須事先完整規劃
- 5、經由除污可使 PWR 反應器的拆解作業產生最少量的放射性廢棄物

Demolition of The Biological Shield at The SVAFO R2 Research Reactor in Sweden

瑞典 Studsvik site 在 Nyköping 外圍有一座研究用反應器設施，內含 2 部機組(分別為 R2 及 R2-0)，目前正進行除役工作，2 部機組均位在水池中，設施周圍以混凝土包覆做為生物屏蔽，2015 年，除役第一階段 R2 機組已完成移除，第2階段將進行生物屏蔽體的拆除工作，拆除作業由西屋公司負責，主要任務為：

- 拆除所有活化、污染的混凝土以及污染的管路
- 盡可能分離清潔無污染的物質，並規劃清潔廢棄物的移出計劃，避免交叉污染
- 於生物屏蔽體地下室拆解用機具的製作



生物屏蔽概略圖-被活化之混凝土以橘色表示

本項專案規劃以遙控機具(Brokk 400)做為主要拆解工具，由於此反應器已經運轉超過 50 年，期間經過多次修正，已經與原始設計有所差異，且原始設計圖也不夠完整，牆內管線的分布資訊不夠詳細，因此拆除策略需兼顧彈性及穩健性。

Brokk 400 具備破壞、粉碎、可變換前方機具達到不同拆除的方式，使得廢棄物獲得最佳的拆解形式，並避免交叉污染的情形發生。

另外由於牆內管線分布情形未知，需假設這些管路可能有洩漏而導致牆內可能受到污染，但污染情形卻因訊息不足而無從估計。生物屏蔽牆的西側內含大量管路，必須全部移除，2016 年 8 月開始拆解西側屏蔽外部牆面(乾淨無污染)，工程設計了可以盛裝灰塵的容器(caisson)包圍整個生物屏蔽外圍，並設置負壓，使得拆除的污染不會影響附近的其他作業，西側未受污染的牆拆除的越多，越能盡早拆除深處受污染的核心部分，並繼續東側活化的混凝土之拆除工作，廢棄物容器的進出是透過水閘門，池內拆解是以遙控機具由位於鄰近房間的控制人員透過攝影機進行操作，移出的乾淨混凝土必須確保尺寸大小不超過 100mm 並以塑膠容器盛裝，以確保廢棄物外釋量測的準確性，受污染的混凝土則以不鏽鋼容器盛裝，尺寸可達 300mm，其餘金屬廢棄物則以另外的容器分別盛裝，所有具輻射污染的廢棄物需經過定性及定量分析，盛裝容器利用特定軟體進行編號管理。



清潔區域拆解前後對照圖

事前的準備是重要的，可盡量避免意外的情況發生，必須與設施單位保持緊密的關係以確保有效的管理，本案因運轉年代久遠，許多資料並不完整，因此發生許多意料之外的情況，使得拆解時程大於預期，然而整體的拆解作業仍能順利完成，剩餘外釋的量測作業還在進行中。

Cement-based Materials for Nuclear Wastes

Day 1(107.10.24)

Session 1: DESIGN OF CEMENTITIOUS MATRICES FOR WASTE IMMOBILIZATION

Improving Radionuclide Retention in Cementitious Waste Forms Through Targeted Material Addition

本篇為 review paper，主要彙整添加物質以增加混凝土中放射性核種的滯留時間，針對以過塔酸鹽限制 Tc 核種的成效及添加 Ag 以限制放射性 I 離子的遷移進行討論，雖可見成效，但由於 Ag 離子也屬於環境限制性物質，因此必須納入考量。

Improving Radionuclide Retention in Cementitious Waste Forms Through Controlled Mineral Growth

一般混凝土形成過程中，鈣礬石的生成被認為是不利於放射性廢棄物的固化品質，因為會使內部膨脹造成裂隙，導致放射性核種流失的可能，本篇提出如果廢棄物成分中含有硫酸鹽（或在高濃度硫酸鹽環境中）時，若改變混凝土的組成（以熟石灰取代飛灰），此時鈣礬石的形成反而可以增加 Tc 核種的滯留。

Grouts for Cementing The Refractory of A Radwaste Incinerator

探討瑞士可燃性焚化爐（Paul Scherrer Institut，PSI）除役產生的耐火性磚材固化時所使用的灌漿成份，此類廢棄物具多孔性質（共 4 種，孔率從 22-83%），在瑞士是以標準容器（570*570*780mm³ 不鏽鋼）填充 PSI 標準水泥漿進行固化，但由於耐火磚吸水力太強，無法使用傳統的 water-binder-ratio（WBR）為 0.5 的泥漿比例，本研究是以提高 WBR（水含量提高 13%-19.2%）做為固化泥漿的配製比例，進行最終固化品質研究，結果說明含水量高於 13%標準灌漿成份的樣品，均可達到可接受的固化品質要

求。

Evaluation of The Effects of An Organic Superplasticiser on The Microstructure of Blended Blast Furnace Slag : Portland Cement Grouts for Nuclear Waste Treatment

本篇說明英國處理中階放射性固體廢棄物主要使用波特蘭水泥 (Portland cement) 混合高爐渣 (blast furnace slag) 或粉末狀的燃灰 (purverised fuel ash) 做為固化時使用的材料，但存在所使用的水含量必須高於標準混凝土水含量的問題 (會導致殘餘廢液的流出及廢棄物滲透性提高)，多出的水份會促進活性金屬腐蝕，從而降低廢棄物長期貯存的穩定性，本研究於泥漿形成的過程添加吸水劑的方式，在改善流動性時同時降低水泥含水的比例，但添加有機吸水劑的方式並未受到英國封包中階放射性廢物方式的許可，因為可能會增加特定核種的溶解度，使得地質處置時產生核種遷移的疑慮，此篇研究上述水泥成份在添加吸水劑的情況下，所形成的固化劑具有更密集的特性，另外滲出測試確實檢測到較多的有機成份，但不意味著重金屬成分 (以 Ce 作為實驗) 也會跟著滲出，因此對泥漿的礦物性質影響並不顯著。

UNGG Waste Retrieval – Development of An Alkali-Activated Grout for Graphite Wastes Mixed to Reactive Metals Impurities

法國石墨緩和氣冷式反應器 (graphite moderated gas cooled reactors) 用過核燃料再處理時會產生特殊的放射性廢棄物，石墨及鎂合金，必須發展適合的水泥灌漿固化方法 (鎂金屬於有水環境下會產生氫氣)，於是發展出 sodium hydroxide activated ground granulated blast furnace slag (AHABFS) binder，結果顯示添加 binder 的水泥可大幅減少氫氣的產生，並且具有低放熱、低反應性及流動性佳等優點。

Development of Cement Based Encapsulation for Low Radioactive Liquid Waste in Tokai Reprocessing Plant

日本東海再處理廠負責低放液體及固廢棄物的處理技術研發，初步於水泥中添加硼酸鹽的固化方式，處理東海再處理廠產生的含硝酸廢液，但由於硼元素在日本屬於環境管制物質，因此有必要發展以水泥直接固化含硝酸廢液的水泥固化方法，然而於 2001 年日本再次將含硝酸物質列入環境管制物質，因此目前主要是將硝酸轉化為碳酸廢液後再以水泥固化方式進行處理，本篇研究主要探討水泥中添加高爐渣的固化成分，對於含碳酸廢液的固化性質相關研究，研究結果證實，添加高爐渣的水泥材質較未添加高爐渣的水泥有較佳的抗壓強度。

Session 2: CORROSION OF METALLIC WASTE IN A CEMENTIOUS MATRIX

Steel Corrosion in Matrices Designed for The Conditioning of Waste With Aluminum Metal

核電廠拆解產生的鋁金屬廢棄物可以使用 MKP (a magnesium phosphate cement-based mortar) 成份的水泥成份進行固化，本篇研究證實鋁金屬在波特蘭水泥中的腐蝕速率明顯高於 MKP 水泥，如果於 MKP 水泥成份中再添加 LiNO_3 ，則可再提升鋁金屬的抗腐蝕能力，另外有研究說明鋁金屬與碳鋼可能產生電偶腐蝕效應，本篇一併研究鋁金屬及碳鋼容器與含 LiNO_3 與否的 MKP 水泥接觸面的反應性，研究結果顯示，在缺少 LiNO_3 的情況下鋁金屬會發生氧化腐蝕現象，添加則可抑制腐蝕現象。

Reactivity of Uranium in Na-Geopolymers Containing Fluoride Ions

拆解 UNGG (uranium natural graphite gas reactor) 會產生許多鎂-鋁合金的燃料外套管廢棄物，這些廢棄物可能受到輻射鈾污染，研究指出這類廢棄物在鹼性環境下 (PH 大於 10) 有較好的抗腐蝕能力，另有報導指出，添加含氟離子可抑制鎂合金金屬的腐蝕，因此也有一些致力於探討波特蘭水泥及含氟化鈉的無機聚合樹脂 (geopolymer) 環境下，鎂-鋁合金的腐蝕特性研究，結果發現鎂-鋁合金在含氟化鈉的 geopolymer 環境下有較好的抗腐蝕現象。

本篇研究持續探討鈾在鹼性環境及 geopolymer 環境底下，氟離子的影響，結果發現缺少氟離子或 $[\text{OH}^-]/[\text{F}^-] > 2$ 時，金屬鈾外層會形成氧化鈾保護層，防止鈾繼續腐蝕，相反的，含氟離子或 $[\text{OH}^-]/[\text{F}^-] < 2$ 的條件下，鈾將會持續被腐蝕。

Reactivity of Mg-Zr in Na-Geopolymers, Role of Fluoride Ions

法國對於 UNGG 廢棄物的處理方式是將其以限制性基質（如水泥或 geopolymer）固定後以 primary packages 貯存，等確實固化後再以金屬容器密封裝填，這可能產生金屬與廢液反應產生氫氣的疑慮，研究指出，在鹼性環境下（PH 大於 10）氧化態的氫氧化鎂能保護金屬的腐蝕，因此探討此類金屬廢棄物在不同基質底下（波特蘭水泥、Na-based geopolymer）氫氣的產生，結論指出 Na-based geopolymer 是最適合作為此類廢棄物限制性基質的材料，並指出 F 離子能有效限制鎂-鋯合金的腐蝕。

Session 3: GEOPOLYMERS

Study of Metakaolin Dissolution In Geopolymers by ^{27}Al -NMR and Calorimetry Correlation

Geopolymers 是將偏高嶺土（鋁-矽酸鹽）礦物粉末與鹼基-矽酸鹽活性溶液（alkali silicate “activating” solution）進行混合的產物，形成的機制至今仍不清楚，鹼基-矽酸鹽活性溶液在其中所扮演的角色也是外界所好奇的，一些研究利用 static AL NMR 觀察 Geopolymers 形成過程液相中鋁酸鹽的組成，並利用熱計量測反應各階段的能量及熱相關參數，或是利用 Isothermal Conduction micro-Calorimetry (ICC) with in situ XRD 量測偏高嶺土在氫氧化鈉溶液中活化的反應能等，本篇研究探討偏高嶺土在活性溶液中的溶解過程，藉由改變偏高嶺土的成分，了解偏高嶺土溶解反應的熵值，最後獲得熵值與活性溶液組成成分的影響。本篇研究顯示活性溶液的組成對於偏高嶺土的溶解時所獲得的熵值並無影響，儘管如此，研究結果卻強烈暗示可能對溶液的 PH 值及濃縮反應等動力學參數具有影響。

Low-Silica Metakaolin-Based Geopolymers as Candidate Matrices for Immobilization of Cesium Ions

Geopolymer 被認為是固定放射性核種的優良選項，由於 Cs-137 對於酸性溶液及鹼性溶液均有很高的溶解度，以 Geopolymer 固定 Cs-137 被認為具有相當的挑戰，大部分用來固定 Cs-137 所選用的 Geopolymer 具有高 $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ 比例，透過加熱可使這種固化基值形成 pollucite 或 feldspathoid 等有利 Cs-137 固化的物質，然而也有研究顯示，低 $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ 比例的 Geopolymer 固化基質以氫氧化鈉溶液活化後，會產生大量的晶體結構，因此推論 Cs-137 在低 $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ 比例的 Geopolymer 不須加熱即可形成結合 Cs-137 的晶體，本研究探討 Cs-137 在低 $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ 比例的 Geopolymer 固化基質中的特性，以及此種基質對 Cs-137 的固定效果，研究結果證實低 $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ 比例的 Geopolymer 可做為固化 Cs-137 的候選基質選項。

Interaction of Strontium Ions With Metakaolin-Based Geopolymers

Geopolymer 有著高強度、酸鹼耐受性、熱耐受性及固化毒性物質的特性，被認為是用來固化 Cs 及 Sr 等放射性核種的良好材質，本篇研究 Sr 在 K-Geopolymer 與 Na-Geopolymer 的吸收情形，結果發現 Geopolymer 吸收 Sr 的能力在 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 溶液濃度低時（1mM、4 mM）隨著浸潤時間緩慢增加，當溶液中 Sr 濃度達到 8mM 時吸收能力會大幅增加，但鹼基釋出的時間與 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 溶液的濃度並無相關；另一方面，藉由測量 Geopolymer 表面的結合電位也發現 Sr 與 Geopolymer 的結合能補償 Geopolymer 表面的負電價，因此推論取代（Sr 與鹼基）與特性結合兩種方式均為 Sr 被 Geopolymer 吸收的主要機制，並發現 Sr 被 K-Geopolymer 吸收的效果大於被 Na-Geopolymer 吸收的效果。

Session 4:PHOSPHATE BINDERS

Hydration of Magnesium Potassium Phosphate Cements: Experimental Findings and Thermodynamic Modelling

鎂鉀磷酸（MKP）水泥的組成為 KH_2PO_4 與 MgO ，在加入水後經由酸鹼反應逐漸硬化，與傳統波特蘭水泥相比有許多優點：快速製備時間、較高的早期機械強度、物質與混泥土結合力較高、PH 值低、可固定重金屬、較佳的生物兼容性等，因此常被用於基礎設施的快速修補材料、含重金屬的廢料固定等用途。MKP 水泥的水和作用反應式如下： $\text{MgO} + \text{KH}_2\text{PO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (K-struvite)，其中 Mg/PO_4 的比例可能影響產物的機械強度與長期的穩定性，最佳的莫耳比尚不清楚，此篇研究探討高、低 Mg/PO_4 莫耳比的水泥性質，研究結果顯示，在低 Mg/PO_4 莫耳比時，水和作用的反應較慢，反應的過程會形成較不穩定的過渡產物而明顯增加凝固後的體積，也會降低長期貯存的抗壓強度，在高 Mg/PO_4 莫耳比時則相對穩定。

Investigation of Aluminum Nitrate As Set-Retarder of Magnesium Phosphate Cements

鎂鉀磷酸（MKP）水泥本篇簡稱（MKPCs）的缺點在於製備時間快速以及放熱反應產生的溫度較高，用於大量廢棄物固化時必須考量這些特性，研究建議可添加一些緩凝劑，本篇於 MKPCs 水泥中添加 9 水硝酸鋁做為緩凝劑，研究證實可確實延緩水泥的設置時間，同時增加水泥的機械強度。

Investigating the Impact of Resaturation on The Microstructural Properties of Magnesium Phosphate Cement Pastes

探討 MKP 固封廢棄物時，可能與水泥溶液長期浸潤而發生再飽和的影響，藉由不同浸潤時間（28 天、1.5 個月、6 個月）及不同的水泥浸潤溶液（去離子水溶液、水泥孔液），量測代表礦物學特徵的 X 光晶體繞射圖譜、熱重分析、掃描電子顯微鏡觀察；分析水泥孔溶液的組成、孔隙率等，獲得實驗數據以表格記錄如下：

以 X-ray 繞射對 MKPC 之礦物性質進行研究

Phases	MKPC 28 days (T_0)	MKPC 6 months (T_1)	MKPC 6 months in deionized water (T_1)	MKPC 6 months in simplified pore solution of CEM V (T_1)
K-struvite ($\text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	42 ± 1	26 ± 1	26 ± 1	14 ± 1
Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)	5 ± 1	5 ± 1	5 ± 1	5 ± 1
Quartz (SiO_2)	2 ± 1	2 ± 1	2 ± 1	2 ± 1
MgO	2 ± 1	1 ± 1	2 ± 1	2 ± 1
Fly ash contribution	35	35	34 ± 1	34 ± 1
Amorphous phase (difference)	14 ± 4	31 ± 4	31 ± 5	43 ± 5

Application of Phosphate Modified CAC for Incorporation of Simulated Secondary Aqueous Wastes in Fukushima Daiichi NPP, Part I: Characterization of Solidified Cementitious Systems With Reduced Water Content

處理日本福島核電廠污染廢水時，因其中含有明顯的氯及銻-90 等放射性核種，因此以傳統水泥進行固化時面臨很大的挑戰，而且伴隨著產生氫氣的風險，將 CAC（鋁酸鈣）水泥添加磷酸鹽成分獲得的 CAP 水泥可減少水泥中的含水量，因而也減少氫氣產生的風險，本篇研究將 CAC 及 CAP 兩種混凝土配方加入 3 種嚴重被氯及銻-90 所污染的二級污染廢水（濃縮廢液：指海水濃縮上清液、含鐵沉澱泥漿、碳酸泥漿），並在 35 度及 90 度 C 的環境中進行實驗，探討水泥固化的過程中水中成分的減少、副產物及水泥硬化後的微觀結構變化。結果發現在兩種水泥加入污染廢液並不會改變水泥硬化的根本反應，CAP 固化時水含量比添加純水時減少了 60%，CAC 減少 40%，另外 CAC 水泥成分中發現 Friedel's salt 而在 CAP 水泥中發現 chlorapatite；CAP 水泥的微觀結構並未觀察到任何改變。

Wollastonite-Based Brushite Cement – Hydration Process and Strontium retention

處理核設施除役過程經常會產生酸性廢液必須以波特蘭水泥進行固化，然而其強鹼的特性造成一些困擾（溫度上升及泥漿的快速硬化），因此需要進行前處理，前處理的缺點包括會增加最終廢棄物的體積、會產生金屬氫氧化物，造成需水量高於預期、以及前處理時若是添加了氫氧化鈉、氫氧化鉀，

長期貯存會產生凝膠物質而不利於貯存等缺點，本篇研究探討 wollastonite (CaSiO_3)-based brushite ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 水泥（有研究顯示這種水泥比一般材料具有強酸的耐適性），以深入了解此類水泥的特性。結果顯示：矽酸鈣與含鋁、鋅、硼砂的磷酸水溶液反應是多階段的過程、磷酸氫鈣形成前會暫時形成 MCPM: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 沉澱物質、水合作用早期會產生非晶體磷酸鹽物質，此時期往往為高鈣含量時期，鋁元素被磷酸氫鈣水泥限制的很好，滯留係數（retention coefficient）是波特蘭水泥的 100 倍以上。

Day 2(107.10.25)

Session 5: IRRADIATION

Minimization of Radiolysis Gas Production of Cement Materials Designed for Waste Conditioning (MATRICE project)

本篇嘗試經由添加塑化劑及選擇含有硫酸鈣及氧化鎂成份的水泥，減少水泥固化體受到輻射照射後可能產生的氫氣，並利用鈷-60 γ 射源照射實驗，評估上述經篩選過的固化體，經過輻射照射後所產生的氫氣量，結果發現添加塑化劑無法明顯減少氫氣的產生量，因為水泥泥漿形成的過程中仍然需要一定量的水，而氫氣的產量與水的含量有一定的比例關係，另外含硫酸鈣成份的水泥經過輻射照射後的氫氣產量與傳統波特蘭水泥性質相似（添加延遲劑則無顯著影響），但是含氧化鎂成份的水泥（特指加入延遲劑的情形）在經過輻射照後的氫氣產量與波特蘭水泥相比則減少了 3 倍，相較之下較適合作為中低階放射性廢棄物的固化材料。

Influence of Calcium to Silica Ratio on H_2 Gas Production in Calcium Silicate Hydrate

矽酸鈣水合物（簡稱 CSH），是一種非晶體結構物質，本篇以 γ 輻射照射實驗探討水在不同鈣/矽含量比例（0.8-1.6）的 CSH 物質時的分解（water radiolysis）機制，初步發現在 CSH 裡的水，產生的氫氣量比塊狀水還多，

可能是因為水受限於結構的孔隙的原因所導致，另外實驗顯示氫氣的產量隨著 C/S 比例的增加而減少。

Dihydrogen Production of Zeolite 4A Containing Geopolymers Under Gamma Irradiation

福島核電廠污染廢水的處理過程中產生了新形態的二次廢棄物，如沸石及碳酸鹽污泥等，近年來 geopolymer 被認為是可以用於限制污染污泥、廢樹脂、鎂鋅合金、沸石、銨鹽、銨鹽、有機溶液等等的安定化材質，另外沸石因為可以大量吸收銨 137 而在福島核災發生後即被用於廢棄物的安定化使用，本篇結合沸石及 geopolymer 等 2 種安定化物質，以鈷-60 射源照射樣品，評估氫氣的產量，結果發現結合兩者的安定化效果最佳，且在低劑量率的情況下氫爆的風險並不存在。

Superplasticizers Degradation in A Deep Geological Disposal for Nuclear Waste Cementitious Matrix: An Analytical Investigation.

利用水泥固化放射性廢棄物常需添加減水劑物質，這些物質在放射性廢棄物的環境下可能產生不穩定的影響，本篇研究兩種減水劑添加物質（polyaromatic sulphonate, 多芳烴磺酸鹽及 polyether based superplasticizer, 聚醚基高效減水劑）在輻射的照射下特性的改變，結果顯示前者（polyaromatic sulphonate, 多芳烴磺酸鹽）較容易變質。

Effects of Gamma Radiations on Physical-Chemicals Properties and Mechanical Behavior of Cement Materials

本篇研究法國深地質處置場 CIGEO 所使用的地質元件及建構材料在低劑量輻射照射下的物理、化學及 THM（熱、水、力學）等性質的影響，實驗在 ARRONAX cyclotron facility 進行，結果發現相關材料在低劑量輻射線照射後，彎曲強度及抗壓強度均會下降，下降的原因初判是由於含水量及方解石的有無，化學性質則未觀察到改變，為了瞭解機械強度的影響，另外進

行不同含量的 C-S-H（地質材料的主要成份）受輻射照射後的改變，結果發現鈣/矽比例不同在受到輻射照射過後一樣會降低水泥的機械強度，因此結論是，機械強度的改變不能只歸咎於 C-S-H 的含量比例，必須繼續進行相關因子的探討。

Radiation Damage Effects in High Volume Replacement Portland Cements

英國處理中階核廢料是利用波特蘭水泥與高爐渣的混合物進行固化，然而此種物質經過輻射照射後的特性尚未完全被瞭解，本篇研究利用 γ 射線照射並評估泥漿中的水分被輻射分解程度，證實照射大劑量（20 MGy）的輻射線確實使抗壓強度降低並會增加材料中的不連續結構（氣體產生後所留下），但整體而言此種材料受到輻射照射的影響比原先預估（中階廢棄物貯存期間）的穩定。

Session 6: HYDRATION (CALCIUM SULFOALUMINATE CEMENTS, LOW PH CEMENTS)

Effect of Lithium Salts on Calcium Sulfoaluminate Cement Hydration

本篇探討在 CSA 混凝土中添加鋰元素為何可以加快水泥的固化反應，發現水泥中添加鋰元素第一個出現的中間產物為 Li-AL-OH，並測量此中間產物在不同電解質中的表面電位數據，可用於後續瞭解為何添加鋰元素可以加速反應的機制。

Experimental Findings and Modelling of The Hydration of Low PH Cements Relevance of C-A-S-H Phases

利用掃描式電子顯微鏡及 MAS-NMR 等技術，探討低 PH 水泥形成過程中各元素的組成，並利用已知的資料庫進行比對，本篇仍需做更進一步的實驗。

Session 7: RADIONUCLIDES RETENTION BY CEMENT-BASED MATERIALS

Interaction of Fe(II, III) With Cement Phases in Anoxic Conditions

鐵及水泥是瑞士規劃的深地質處置場的 2 個主要元素，雖然水泥的水合反應熱力學模式已被廣泛的應用於預測固化系統的礦物及化學組成，但由於地質處置場永久關閉後內部的氧氣將快速的被消耗殆盡，而在缺氧條件下的相關熱力學模式尚未被建立，因此本研究探討水泥在缺氧的情況下，鐵的吸收及吸附情形，結果發現 3 價鐵在水和反應起 35 天後達到反應平衡，並隨著水泥中 Ca/Si 比的降低而增加，研究發現 3 價鐵在濃度低於 12,000PPM 時應屬同一吸收機制，而高於 50,000PPM 時可能與沉澱的形成有關，另外 2 價的鐵離子相關實驗仍在進行中。

Effect of Redox Conditions on Sulfur and Selenium Binding in AFm Phases

AFm 是水泥成型過程的中間產物，主要由兩層結構組成（帶正電的 $[\text{Ca}_4(\text{Al,Fe})_2(\text{OH})_{12}]^+$ 及內層帶負電的 $[\text{X} \cdot n\text{H}_2\text{O}]^{2-}$ ），由於其內層的負電特性使得它對於陰離子的置換反應可用於固定污染的 Se（硒）元素，本篇探討硫及硒元素與 AFm 結合的情形，發現硫、硒元素及 AFm 物質在還原環境下相當穩定，實驗數據表明在 AFm 夾層中插入了不同氧化還原態的 S 和 Se 陰離子。層間陰離子的大小和位置、以及存在的水分子的數量導致基礎間距和晶體對稱性的差異。在 AFm 端部構件之間形成固溶體的限制因素似乎是晶體對稱性，陰離子尺寸和相的水合狀態。

Inorganic C14 Uptake in Cement-Based Materials

本篇參照 Charlet 等人對於放射性碳-14 在水泥及黏土岩石的行為研究，去評估中階放射性廢棄物中可能含有的碳-14 水溶液之傳輸，在 Charlet 的研究已經發現無機碳離子對於黏土岩石有較差的吸附能力、在水泥中有較好的

吸附能力，對於 2 種材質而言，固態的碳酸鹽礦物對於碳 14 的延遲（滯留）有貢獻，碳 14 在方解石的吸附機制與碳同位素構成方解石的過程有關，Charlet 的研究也證實固態擴散現象可以解釋方解石吸附碳 14 的機制，本篇研究證實，在水泥中固態擴散現象也能成功解釋碳 14 的吸附，並取得可信的 K_d 值，另外針對泥漿及砂漿中因方解石含量較低，因此碳 14 的吸收可能要同時考慮碳酸鹽的結合因素。

Understanding Cement-[U,Pu,Tc] Mineral Systems for Radioactive Waste Management

本篇探討長半衰期元素在波特蘭水泥中的穩定性，以支撐現有的相關研究，該研究成功地證明了 C-S-H 相在非理想條件下保存鈾的重要性，有證據表明由於含鈾礦物的沉澱，使鈾進入 C-S-H 結構。雖然許多先前的研究已經證明放射性核種在水泥相上的小規模吸附研究的重要性，本篇在此進一步擴展這些研究，以更大規模地研究英國處置設施相關的礦物系統。

Interaction of Uranyl Ions with C-S-H Phases in The Presence of Organic Additives: A Molecular Dynamics Study

水泥被廣泛用於建構地質處置設施之結構，在水泥中添加少量的有機物質可以增強水泥結構的機械性能並影響放射性物質的流動性，本篇利用 molecular dynamics (MD) technique 分子動力學技術決定 uranyl (UO_2^{2+}) 及 gluconate(葡萄糖酸鈣)較容易結合在水泥結構的哪個位置，並利用“umbrella sampling” algorithm 傘式抽樣演算法計算不同溶液組成中 CSH 水泥表面吸附位置與陽離子的距離（以吸附自由能表示），另外由於 PH 值是影響水泥性質的重要參數，本篇設計了另一項實驗，將 OH^- 與陽離子結合以瞭解 PH 值如何影響吸附的過程，結果發現與 OH^- 結合的 uranyl (UO_2^{2+}) 能較穩定及更強的與鈣離子相結合，而鈣離子與 uranyl (UO_2^{2+}) 的吸附自由能性質相似，導致他們競爭同一個結合位置，添加物質會降低陽離子與水泥結合的鍵結能力，因此會促進 uranyl (UO_2^{2+}) 與水泥成份中鈣-葡萄糖酸鈣複合物離

子的交換取代過程，因此也解釋了為何 uranyl (UO_2^{2+}) 在添加物質的水泥中吸收能力增加的現象。

Session 8: LEACHING, DURABILITY OF CEMENT-BASED MATERIALS

Long-Duration Leaching Experiments Using High-PH Cement

英國中階放射性廢棄物總量大約 45 萬立方米，根據多重障壁的概念這些廢棄物需經過安定化(固化)、封裝之後，將之限制在深地層坑道中並已回填材料進行回填，這些回填材料可能是水泥物質，在硬岩石（如結晶岩）環境中 Nirex Reference Vault Backfill（NRVB）被認為適合作為回填材料的物質，是由 3 種物質（Portland cement (PC), hydrated lime (calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)) and limestone flour (calcium carbonate (CaCO_3))) 所組成，使得其間的緩衝溶液有較高的 PH 值，然而較高的 PH 值較不利於核種的固定，另外孔隙較多也是 NRVB 材質的特徵之一，使得氣體產生時較不會造成太大的壓力而破壞貯存的穩定性。

本篇實驗將 NRVB 回填物質在不同成分的地下水中進行較長時間（1.5years）的浸潤，經過 6 個月後，發現在不同成分的地下水環境中有不同的礦物學特性，其中波特蘭水泥的濃度一致性減少，導致水溶液的 PH 值均接近 13，另外 NRVB 在類花崗岩水溶液環境中沒有明顯的變化，而在含鹽及黏土的地下水試驗中，觀察到鈣礬石、水鎂石及碳酸鎂的增加，為瞭解更多性質的變化，實驗將會持續進行。

Ground-Water Composition in The Interaction with Low-PH OPC-SF Based Concrete

探討低 PH 值混凝土（60%波特蘭水泥與 40%矽灰混合）在不同組成地下水（低離子水、去離子水、高離子水及黏土水）的浸潤情形，結果發現在所有地下水樣本中皆產生方解石，位於混凝土表面；脫鈣現象發生於低離子

水環境中，硫酸鋁鹽產生於粘土水環境中，氯離子以泥土狀被限制在混凝土內，鎂離子以氧化鎂形式與粘土結合，水的滲透力明顯的影響混凝土聚合的過程。

Characterization and Durability Analysis of Field Concrete Samples Used for Low-Activity Nuclear Waste Storage

美國能源部低階廢棄物貯存部門進行了一項實驗，以現有處置場的水泥樣本及含放射性核種的水混合後進行耐久性實驗，量測一些主要參數（孔隙率、擴散係數等），第 2 部分取一些樣品浸潤在類孔隙具腐蝕性的水溶液中，然後觀察所有樣品的變化，第 3 部分浸潤於腐蝕水溶液的樣本全部以 68°C 的溫度保存以加速樣本變性的速度，最後將所有取得的數據以 STADIUM 進行 3 層障壁（cementitious wasteform, concrete barrier, and surrounding soil.）的模擬，並聚焦探討混凝土屏蔽層的耐久性影響。結果並沒有發現因腐蝕物質引起嚴重的擴張及裂化，所有樣品經過 1 年的浸潤後僅出現很小程度的危害，另外利用 STADIUM 模擬的結果，發現雖然腐蝕溶液硫含量很高，但長期產生的有害礦物卻相當有限。

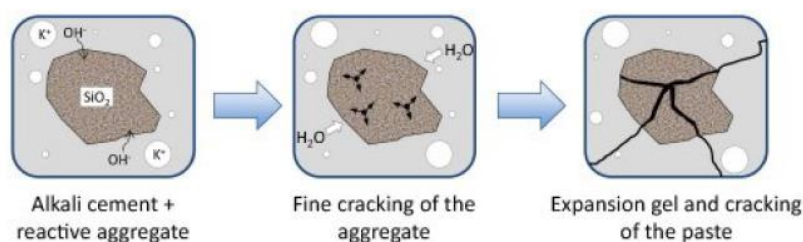
Day 3(107.10.26)

Session 9: SECONDARY PRODUCTS FORMED IN DEGRADED CEMENT-BASED MATERIALS

Use of Non-Destructive Techniques for The Monitoring of Detrimental Processes in Cemented Radioactive Waste: Application to Alkali-Silica Reactions.

2013 年在比利時的一次例行低階廢料桶的檢查時，發現桶底出現一種黃色凝膠物質，研究指出是由於鹼-矽反應（alkali-silica-reaction）所造成，此反應是由於水泥孔隙中的鹼性溶液的氫氧離子與水泥的矽反應所造成，由於此種凝膠物質具有吸水性，因此體積會逐漸增加，最後導致結構的內部擴

張壓力造成裂縫。



凝膠物質造成水泥固化體破裂之機制

重新檢視該批廢料裝桶時的內部組成成份並無法歸納出一致的肇因，但均發現高含量的二氧化矽及鹼性物質，其他尚包含氯、硫、硼、鋁、鈣等，將這些物質及可能的溶液混合共可製備出 9 種不同的混凝土樣品，然後利用幾種非破壞檢測（聲波、微波、及熱影像）的方式進行探測，以發展出檢視凝膠發展程度的方式。本研究將繼續進行為期 18 個月的檢測實驗，最後將整個過程進行檢討及評估。

Relationship Between Composition, Rheological and Swelling Properties of Alkali-Silica Gels Produced in Cemented Waste Packages

2013 年在比利時的一次例行低階廢料桶的檢查發現桶底出現一種黃色凝膠物質，研究發現其組成與民用混凝土產生的凝膠不同，本篇探討此種凝膠的組成、流變及膨脹特性並指出凝膠成型的必要元素。結論指出，從流變的觀點，此種凝膠性質比較像牛頓流體的非晶體結構，黏性接近厚質蜂蜜且隨著溫度升高及水含量的增加而減少，因此所造成固化體的輕微危害，還遠不如固化體早期成形時溫度上升的影響。

Surface Properties of Magnesium Silicate Hydrate (M-S-H)

矽酸鎂水合物（M-S-H）可以在水泥基材料與粘土的界面處形成，所述粘土來自鎂與通過水合水泥表面上的 C-S-H 脫鈣而釋放的非晶體二氧化矽的反應。更完整的了解 M-S-H 將有助於了解放射性貯存背景下水泥屏障的長期性能。本文總結了以 $1\text{H-}^{29}\text{Si}$ CP MAS-NMR 研究表面性質的研究結果，

以及基於在固體顆粒上測量的陽離子交換容量，M-S-H 在不同 pH 值下結合鎂，鈣和鹼的能力的數據。結果發現，在水泥基材料與粘土的界面處形成的 M-S-H 具有較差的序列和奈米尺寸的結構，並產生大量的矽烷醇基團。由於大量的矽烷醇基團，M-S-H 具有帶負電的表面；其表面電荷隨 pH 值升高而增加，並通過陽離子的吸附得到補償。在 pH 值低於 9 時表面電荷和陽離子的數量低，對於 M-S-H 的吸附在一價陽離子比二價陽離子有利，而在 K^+ 或 Na^+ 之間沒有觀察到顯著差異。

Zeolite Formation from Albite, Ettringite and C-S-H

波特蘭水泥伴隨高鹼性溶液與周遭岩石的矽鋁酸鹽成分反應會導致矽及鋁濃度的增加，上述過程為沸石形成的相關機制，本篇探討不同溫度下（攝氏 20、50、80 度），以兩組初始物質（albite, C-S-H and ettringite 及 $NaAlO_2$, silica fume and ettringite）在高鹼性溶液的環境形成沸石的相關性質研究，結果發現第一組實驗在 5°C 及 80°C 環境下於 3 年內觀察到沸石的形成，20°C 由於反應較慢，尚未觀察到有沸石的存在，另一組實驗樣本發現，於 20°C 及 50°C 時有發現沸石 $X(Na_2Al_2Si_2.5O_9 \cdot 6.2H_2O)$ 的存在，於 80°C 時發現沸石 Y（另一種形式）的存在，實驗結果顯示與文獻有些差異，尚需進一步的實驗探討不同沸石的溶解度。

Session 10: TRANSPORT PROPERTIES, CARBONATION

Transport Properties Evolutions of Cement Model System Exposed to Degradations: Experimental and Numerical Approaches

水泥在具腐蝕性的水溶液環境下會受到化學擾動，透過溶解及沉澱的方式影響水泥的微觀結構，此種現象符合傳輸模式的領域研究，但傳輸模式卻無法重現正確的實驗結果，特別是在阻塞性質的探討，這可能是因為孔隙度改變對運輸性能的影響模式錯誤，因此常以經驗法則進行描述。本篇以實驗探討在不同化學環境下的擴散性質，以獲得孔隙傳輸的相關數據，並將實驗結果與現有的經驗法則進行連結作為回饋。

結論是，浸出和碳化之間的主要區別在於孔隙結構的演變。雖然浸出通過氫氧鈣石溶解和 C-S-H 脫鈣誘導光滑的孔隙度演變，但碳酸化還涉及方解石沉澱，其導致孔隙度堵塞和體積增加。對於浸出，2D，3D 和 1D 模型顯示與實驗良好一致。平滑的孔隙度演變導致有效擴散效率的類似演變。然後可以用指數形式或 Archie 定律來模擬孔隙度演變。將這種反饋定律集成在一維反應傳輸代碼中，可以很好地與實驗達成一致。對於碳化，2D 模型顯示與實驗良好一致。然而，樣品表面的方解石層的沉澱阻止了 REV 的描述。

Diffusive Behavior of Tritiated Water and ^{36}Cl through Partially Water-Saturated Cement-Based Materials

本篇探討氚水（HTO）及氯（ ^{36}Cl ）在含水量 18%~100% 的硬化水泥漿的擴散參數，結果表明，當從全飽和度脫水至 $S_w = 0.18$ 時，HTO 和 ^{36}Cl 的有效擴散係數降低了 30 和 190（相應）的因子。這些結果表明，當通過不飽和 HCP 漿料擴散時，氚水在氣體之間以中等程度方式起作用，例如 H_2 、HT 或溶解的離子物質。

Controlled Artificial Cracks Generated in Mortar.

本篇介紹法國 CEA(原子能及新能源委員會)正在進行的兩項研究需要使用裂化砂漿樣品來研究砂漿裂縫中氣溶膠顆粒的遷移，並開發一種通過氣體轉移測量來控制膠結放射性廢物包裝完整性的方法。

Designing Model System for Low-PH Cement Carbonation

本篇研究設計了礦物學的膠凝材料，旨在用作耐久性研究的低 pH 值模型材料，並藉此探討漿料的主要性質（礦物學，化學成分和微觀結構）。

Session 11: MODELLING OF LONG-TERM EVOLUTION

Geochemical Modelling of The Long-Term Evolution of Chemical Conditions in Cement-Stabilized Waste Sorts (L/ILW)

本篇利用動力學模式 (GEM-Selektor v3.3 code) 模擬廢棄物在水泥環境下的長期評估, 利用模擬方式可以對不同種類的廢棄物混合物進行長期影響的探討, 可以預期的, 廢棄物的化學狀態與初始所包含的種類有很大的相關性, 特別是是否含有溶液降解的有機物質, 這類物質會生成氣體的甲烷及二氧化碳, 二氧化碳會導致水泥環境的酸化, 金屬的腐蝕會產生氫氣, 當環境的 pH 值低於 10.5 會加速金屬的腐蝕效應, 矽酸鹽聚集體在高鹼性水泥孔隙溶液中溶解, 會造成二氧化矽的釋出, 有機物質的降解、石英的溶解以及金屬的腐蝕是屬於消耗水分的反應, 而波特蘭水泥的碳酸化及 C-S-H 是屬於釋出水的反應, 水是一個長期的貯存的關鍵因子, 其存在與否以及 pH 值也與沸石的形成有關, 因為沸石會吸收鹼及水分, 本篇研究利用模擬方式提供針對廢棄物種類以及不同反應過程的新式檢視方式。

Water and Gas Transport in A Generic Cemented Waste Package During Intermediate Storage

在臨時貯存期間評估化學和運輸參數的空間異質性, 對膠結廢棄物包裝演變的影響是一項艱鉅的任務。本篇利用查表方式對臨時貯存期間廢棄物包裝的化學演變進行數值模擬, 結果發現, 鐵桶頂部的邊界條件導致鐵桶和大氣之間的氣體和水氣交換。濕度以及 H_2 和 CH_4 向大氣擴散。二氧化碳, 氮氣和氧氣進入鐵筒。在本實驗的設置中, 氧氣不參與任何化學反應, 而二氧化碳在與未降解的膠凝材料接觸時瞬間消耗。並觀察到鐵桶頂部的碳化前沿導致較低的 pH 值和孔隙率的小變化。碳化前沿的緩慢進展與回填砂漿的低孔隙度有關, 導致氣體和天然氣的低平流和擴散質量通量。另外, 水飽和度的降低會降低化學反應性, 對大氣碳酸化前沿非常緩慢進展的觀察與先前的實驗和數值研究一致。這種梯度受到碳酸化前沿的干擾, 因為在碳酸化過程中釋放出額外的水。由於重力, 鐵桶中的液體水傾向於積聚在鐵桶的底部。這部分通過毛細管力和氣相中的濕度平衡來補償。穿過混凝土/大氣界面的低質量通量和水朝向鐵桶底部的移動也限制了鐵桶的去飽和。此外, 模擬結果顯示金屬腐蝕對水和氣體通量的強烈影響...

結論，在模擬的時間段內，無法實現鐵桶中的水含量與空氣濕度之間的平衡。發現水和氣體通量受到水消耗的高度影響，因為在低 pH 值的區域中金屬腐蝕增強。甚至可以在某些區域中完全消耗游離水，使得化學反應隨後通過濕度的流入而不是通過反應動力學來控制。因此，混凝土降解不會顯著影響系統演化，因為碳酸化前沿的進展僅影響非常小體積的回填材料，並且模擬時間對於 ASR 來說太短而不能顯著降低 pH。

Temperature Effect on CEM-I and Low-PH Hydrated Cement Pastes in A Clayey Environment

在法國放射性廢物處理設計中，CEM-I 和低 pH 水泥基混凝土將用作機械支撐。這些膠凝材料的溫度可能達到 70°C，並且由於散熱廢棄物導致其接觸的主岩-但只有極少數研究調查了溫度對其長期性能的影響。CEMTEX 項目（水泥溫度實驗）在法國 Tournemire 的 IRSN 地下研究實驗室建立，以填補這種缺乏的知識。通過在 1 年、2 年和 5 年後停止的原位實驗，研究了代表性熱-水條件下，泥質岩與水泥基材料界面的地球化學和微觀結構演變。還進行擴散池實驗以測量溶液和材料隨時間的演變。

溫度影響的結論，70°C 的溫度具有增強的擴散和動力學，促進雪矽鈣石和沸石的形成。在水合 CEM I 漿料中，與在 20°C 下進行的類似研究相比，在 70°C 下礦物學改變的深度出乎意料地更小。由於碳化隨溫度升高而增加，因此總孔隙率降低，這抵消了脫鈣的影響。在低 pH 值水泥/泥質岩界面，70°C 的溫度似乎增強了早期鎂的擾動，界面周圍的孔隙度全面增加。溫度升高也影響界面的機械強度，隨著時間的推移變得脆弱。

(二) 心得

本次參加 2 項研討會對於核反應器機組除役及放射性廢棄物的安定化有更進一步的了解，首先第一個研討會主題為反應器拆解及電廠除役等有關議題，這個會議未提供與會者相關紙本摘要及發表之文章，即使會議結束後亦未提供會議摘要及文獻下載，所有摘要及議程均於會議前一天請與會者自

行下載 APP，並給與帳號及密碼登錄，相關會議資訊可一目了然，算是比較創新的作法，不過也因此對於後續的報告撰寫造成部分困難度，本項會議簡報議題涵蓋拆解策略、管理演變、拆解技術的新發展、初期輻射特性狀態調查、專案經驗回饋、放射性物料及廢棄物管理、建物及廠址復原、除役財務、公眾參與、數位對除役的貢獻、及日本福島的經驗回饋等 11 個領域，由於第 3 天行程與下一個研討會相衝突，因此僅參與前 2 天的會議，第一天會議西屋公司於當日下午簡報台灣的電廠除役現況，向與會者報告對台灣的除役經驗轉移及相關的教育訓練課程辦理情況，簡報結束後獲得 2 個問題，第一是除役這麼長期的過程會遇到的問題很多，如何在 2 次訓練課程就成功轉移相關經驗；第 2 個問題延續第一個問題，問到兩次訓練課程參與的學員的重複率，2 項問題可見各國專家對於經驗轉移及教育訓練的重視及質疑，由於事關台灣算是比較印象深刻的，對於 2 項問題西屋公司的簡報者回覆 2 次教育訓練只是個起頭，並說明台灣的參與學員雖然並不完全相同，但 2 次均有參與的單位為台電公司及核研所的內部職員，學員比例應該具有代表性，成功化解了部分的質疑。

本項會議另一個印象深刻的，是簡報過程中多次提到除役及拆解過程中使用到的遙控拆解機具以及數位模擬程式，在第二天經驗回饋相關議題的簡報中，出現一台與台灣核能研究所最新引進的遙控拆解機具，外觀有點類似小型的挖土機，這項工具機可以更換前方拆除方式的模組，在國外多項除役拆解過程均扮演舉足輕重的關鍵角色，並獲得相當成功的經驗，也因此對我國核研所選擇此項機具作為研究用反應器的拆除輔助工具增加了一定的信心，另外本次會議的贊助廠商均為國外大廠，為多數國家核能電廠或反應器實際進行除役作業的承包廠商，多數案例均提到拆解前模擬作業的重要性，許多廠商在自己的公司內部已經建立模擬作業的作業空間，以 1：1 的規模事先進行模擬，以及工作人員的教育訓練，並製作符合不同廠址的專用拆解機具、並利用模擬程式對拆解程序及計劃進行規劃，以盡可能降低除役作業的施工風險，亦可提高拆解的效率及減少工作人員的劑量吸收。

第二項研討會特別關注在以混凝土進行放射性廢棄物的安定化技術，研究領域包含水泥固化技術、金屬廢棄物的腐蝕研究、geopolymers(一種新型固化體)、磷酸鹽添加物質、輻射照射對廢棄物貯存的影響、核種遷移、放射性物質在水泥材質的瀝出及耐久性研究等議題，由於水泥固化對於放射性廢棄物的安定化扮演非常重要的角色，本項研討會對於水泥進行放射性廢棄物的處理及貯存性質的相關研究也著實令人印象深刻，然而也因討論的領域相對深入，許多簡報內容均於返台後才得以初步瞭解各專家學者在相關領域的努力為何，相關論文已初步於本篇報告簡報內容摘要中呈現、呈現內容可能難免有錯誤之處，尚祈讀者見諒，研討會進行中，主辦單位穿插安排海報發表者可逐一上台以簡短輕鬆的方式進行“廣告”，與會者還可對個別發表者進行表現評分，對於沒有充分時間廣覽所有議題的與會者來說，提供了一個重點式的說明，並對於自己有興趣的議題與作者進行更深入的討論的機會，同時由於發表海報論文的學者相對較為年輕，這種方式也逐步提供簡報者經驗的累積，可謂用心良苦。

另外對於第 2 項會議於返國後文獻閱讀的過程中，意外發現一個混凝土及相關材料的礦物產品協會 The Mineral Products Association (MPA)網站 <https://mineralproducts.org/index.php>，有許多混凝土材料的相關資訊及知識，以最常使用的波特蘭水泥來說，不同編號的波特蘭水泥就有不同的調配方式及適用條件及酸鹼性、凝結速率...等性質，並有統一的命名方式以供區別，本次參加第 2 項會議由於基礎知識的有限，導致文獻閱讀的過程中也出現許多困難，因此將該協會尋找到的知識文件下載並做為附件(附件三)，或許可作為未來需用者的參考。

很感謝物管局及單位長官提供本次國外公差機會，讓我得以見識國外專家在核電廠除役方面的各項努力，進而學習累積，本次參與的研討會內容多為實際有用的關鍵議題，相關的技術知識對於我國電廠未來的除役管制及放射性廢棄物管理提供安全要求的著力點，實有必要持續累積，以確保我國核能電廠的安全除役及放射性廢棄物的貯存安全。

建議事項

- (一) 國際上針對核能電廠除役作業，均已事先利用模擬程式及進行拆解程序模擬規劃及事前工作人員作業訓練，並佐以遙控拆解機具輔助，此種作法被證實可以有效降低拆除過程中可能產生之風險、減少拆解所需經費及減少工作人員劑量等優點，相關作法及經驗值得作為我國研究用反應器及核能電廠除役作業之參考。
- (二) 核能電廠拆解過程產生廢棄物之暫時存放場所將影響實際進行拆除時之程序及分類等作業，必須事先作好空間規劃；高劑量放射性廢棄物進行水下切割作業之切割機具及過濾裝置之選擇，以及完成切割廢棄物之移出路徑等，均是本次研討會各國專家提出應特別重視的焦點，我國相關除役及拆解作業應吸取相關經驗並儘快建立相關技術能力，以提升除役作業品質並合理降低放射性廢棄物質之產生量。
- (三) 放射性廢棄物安定化固化材質的選擇是影響長期貯存安全的重要因素，由於放射性廢棄物所包含的形式及種類各自不同，將影響放射性廢棄物長期貯存時之相互反應環境，因此必須妥善安定化材質的選擇，以常用之波特蘭水泥為例，不同型號的波特蘭水泥其相關特性包含 pH 值、凝固速率、放射性核種滯留能力、水份需用量(與氫氣的產生直接相關)、是否需添加輔助添加物質等各自不同，國外已建立相關資料庫並長期進行研究，我國可參考相關作法，逐步建立國內固化材質之相關特性研究之技術能力。
- (四) 有鑑於此次參加的 2 項國際研討會於國際上均有已完成的實際案例及經驗分享，相關拆解技術及放射性廢棄物後續處理及技術研發、維護經驗等，均足以作為我國未來核能電廠除役作業及放射性廢棄物處理、貯存相關執行單位及管制機關之參考，因此建議可持續關注相關議題之交流活動，並持續派員參加，以提升國內管制及技術能量。

附件一、Dismantling Challenges : Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience 會議詳細議程

OCTOBER, MONDAY 22

8.00	Registration • "Palais des Papes" Congress Centre Main Entrance
8.00-9.00	Paneterie & Galerie du Cloître
9.15-10.00	Conclave
Welcome & Opening	
Welcome address • Valérie Faudon, SFEN	
Opening speeches	
ORANO • Jean-Michel Romary	
IAEA • Michail Chudakov	
EDF • Sylvain Granger	
OECD-NEA • William D. Magwood	
10.00-12.00	Conclave
Dismantling Strategy, Program Development / Regulation Evolution	
Chair: Valérie Faudon, SFEN	
217 • Dismantling Strategy and Radioactive Waste Management	William D. Magwood, OECD-NEA
218 • General overview of Nuclear Dismantling	Michail Chudakov, IAEA
213 • Legal and technical framework for a safe decommissioning in France	Vincent Cloître, ASN
Dismantling strategy and Programs	Jean-Michel Romary, ORANO
069 • French Graphite Gas Reactors Dismantling Programme	Christophe Dorier, EDF
Dismantling Program and Feedback Experience	Laurence Piketty, CEA
DEM 2018: General & Useful Information	Laurence Piketty, DEM 2018 Chair
12.00	Exhibition Opening • Grande Audience
12.00-14.00	Grande Audience
14.00-15.20	Conclave
Dismantling Strategy, Program Development	
Chairs: Estelle Desroches, EDF & Con Lyras, ANSTO	
042 • French Inventory of radioactive materials and waste: forecast of radioactive waste including dismantling waste	Elodie Petry, Andra
015 • EPRI Research & Development Projects for NPP Decommissioning	Richard Reid, EPRI
030 • Knowledge Transfer for Preparation of Final Decommissioning Plans for Taiwan Nuclear Power Plants	Niklas Bergh, Westinghouse Electric Company
153 • An international perspective on large Boiling Water Reactor (BWR) Vessel and Internals removal, packaging and transportation	Frederic Bailly, ORANO
15.20-16.20	Grande Audience
16.20-18.45	Conclave
Fukushima: Feedback & Operation in Progress	
Moderator/Chair: Christine Georges, CEA	
Panel: Mitsuo Matsui, NDF • Naoto Yagi, TEPCO UK • William D. Magwood, OECD-NEA • Koichi Noda, IAEA • François Gauché, CEA •	
156 • Deep gouging : development of deep blind kerf laser cutting technology for FUKUSHIMA fuel debris retrieval	Iona Doyen, CEA
157 • Fukushima Dai-ichi fuel debris retrieval: analysis of aerosol emission and dispersion during simulants laser cutting	Emmanuel Porcheron, IRSN
209 • Particulate foam flotation process for remediation of Fukushima contaminated soils	Frédéric Thurin, ORANO DS
19.00-20.30	Welcome Cocktail • Grande Audience Sponsored by OREKA Solutions, joint subsidiary of EDF and CEA

OCTOBER, TUESDAY 23

8.30 Registration • "Palais des Papes" Congress Centre Main Entrance

9.00-10.30 Conclave

International Collaboration in Decommissioning

► Moderator: Christine Georges, CEA

Panel: IAEA, Patrick O'Sullivan • OECD-NEA, Gloria Kwong • ENISS, Alain Ensueque • EU (EC-ENER), Jean-Philippe Guisset • JRC, Pierre Kockerols • NUGENIA, Abderrahim Al Mazouzi •

10.30-12.30 Conclave

Dismantling Strategy, Program Development

► Chairs: Estelle Desroches, EDF & Boris Brendebach, BMUB

075 • The European R&D project INSIDER: acting on the upstream stages Daniele Roudil, CEA

170 • The European Project THERAMIN – Thermal treatment for radio-active waste minimization and hazard reduction Matti Nieminen, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

031 • Optimization of post dismantling radioactive waste management: innovative projects supported by Andra Laurence Petit, Andra

037 • The CHANCE project "Characterization of conditioned nuclear waste for its safe disposal in Europe" Denise Ricard, Andra

119 • International Good Practice in Preparing for Decommissioning under Operation and after Final Shutdown Boris Brendebach, BMUB

117 • ELINDER Project Pierre Kockerols, JRC

10.30-12.30 Benoît XII

Regulation Evolution / Dismantling Strategy and Program Development

► Chairs: Takahashi Kuniaki, IAEA & Patrick O'Sullivan, IAEA

214 • Implementation of the legal framework for a safe decommissioning in France Dorothee Conte, ASN

146 • IL LL waste management – ICEDA, the EDF global solution Thierry Le Courtois, EDF

143 • ORANO waste management strategy past and future Christine Lamoureux, ORANO

160 • EDF Graphite Waste Management Strategy Mathieu Charmoillaux, EDF

136 • Aspects on material and waste management strategies for decommissioning Michel Pieraccini, EDF

215 • Experience in Dismantling of Laboratories and Pilot Facilities at A.A.Bochvar Research Institute Sergei Belousov, Bochvar Research Institute of Inorganic Materials

10.30-12.30 Paneterie 1

Stakeholders Involvements & Public Acceptance

187 • In the "Occitanie" region, the PVSJ leverages innovation to organize a national industrial domain in nuclear dismantling, deconstruction and depollution Philippe Guiberteau, CEA

Dismantling Strategy, Program Development / Regulation Evolution

► Chairs: Alejandro T. Rodriguez, Westinghouse & Dorothee Conte, ASN

048 • Dismantling of EDF Chooz A PWR: from the core of the reactor to the final waste repositories Aurélie Brasch, EDF

133 • Challenges and opportunities for shaping up a robust Nuclear Decommissioning Industry Francoise Berge, PricewaterhouseCoopers

045 • Planning for a Successful Oskarshamn 1-2 Decommissioning Program Niklas Bergh, Westinghouse Electric Company

220 • Roadmap for technology development to support CANDU decommissioning and long-term waste management Ian Castillo, Canadian Nuclear Laboratories

131 • Asbestos in nuclear site: from sampling to asbestos analysis Céline Vilmain, EUROFINS EICHROM Laboratories & Bérénice Clamaron, CEA

10.30-12.10 Paneterie 2

Material and Radioactive Waste Management

► Chairs: Juan-Luis Santiago, ENRESA & Eric Lanes, ANDRA

138 • Optimising the Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning Fredrik De La Gardie, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company

041 • Optimizing the management of waste and materials resulting from decommissioning in Spain Nieves Martin Palomo, Enresa

121 • Dedicated Trench for Large and/or Heavy Waste Frédéric Legee, Andra

116 • Remote-Handled Low-Level Waste Disposal Facility John Gregory, ORANO Federal Services

107 • Combining chemical decontamination and melting for volume reduction of metals originally classified as ILW Gregor Krause, Cyclife-EDF

14.30-15.50	Conclave	Development of New D&Ds' Technologies ▶ Chairs: Annie Diet, EDF & Rick Reid, EPRI 026 • Remote Evaporator Vessel Repair by Robotics and Powder Injection Laser Welding 118 • Remote operated aspiration device for waste lying on the floor of casemates of the STEL installation in Marcoule 161 • Trajectories generation based on point cloud 044 • Presentation of a separation method for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique	John Gregory, ORANO Federal Services Mickaël Pradelle, CEA Wilfried Brouard, ORANO Carla-Olivia Krauss, KIT
14.30-15.50	Benoit XII	Project Feedback Experience ▶ Chairs: Martin Macasek, JAVYS & Gilles Giron, EDF 034 • Decommissioning of MR and RFT research reactors 058 • Outcome of the Barsebäck 1-2 reactor vessel internals segmentation project 063 • The decommissioning of a PWR experimental facility: from shut-down to removal from site 094 • Demolition of the Biological Shield at the SVAFO R2 Research Reactor in Sweden	Alexander Chesnokov, National Research Center "Kurchatov Institute" Joseph Boucau, Westinghouse Electric Company Wouter Broedcx, SCK•CEN Gunnar Hedin, Westinghouse Electric Company
14.30-15.50	Panetierie 1	Buildings & Sites Rehabilitation ▶ Chairs: Jim McCafferty, AECL & Alain Ensue, ENNIS 125 • The reversion of CERN 600 MeV synchrotron into a public exhibition hall 043 • Characterization and Decontamination of the biological shield at José Cabrera NPP 142 • Dismantling a NORM waste storage facility in the acid phosphate industry 109 • Strategy in rehabilitation of polluted & abandoned industrial sites from the first half of the 20th century in France	Marco Silari, CERN Jorge Borque Lifán, Enresa Mihaela Onofrei, ARCADIS ESG Fabien Hubert, Andra
14.30-15.50	Panetierie 2	Initial Radiological State Characterization ▶ Chairs: Sue Aggarwal, NMNT & Patrick O'Sullivan, IAEA 019 • R&D within the BR3 PWR decommissioning project 110 • Statistical characterization for nuclear D&D applications with small data sets 200 • Large components, buildings and land – An optimization example on the characterization and clearance process 003 • Geostatistics Perspectives for Sampling Optimization During Radiological Characterization	Sven Boden, SCK•CEN Bertrand Ioss, EDF Jonatan Jiselmark, Swedish Radiation Safety Authority Yvon Desnoyers, Geovariances
15.50-16.30	Grande Audience		
16.30-17.50	Conclave	Development of New D&Ds' Technologies ▶ Chairs: Andrew Szilagyi, US DOE & Michel Pieraccini, EDF 145 • Dismantling and disposal of the reactor pressure vessel internals and the RPVs of the Neckarwestheim nuclear power plant I (GKN I) 046 • Study on Kori Unit 1 Reactor Vessel and Reactor Vessel Internal Segmentation 077 • Superphenix dismantling – Development of laser cutting, operational experience & other applications 196 • System to Cut on Decommissioning	Bernhard Wiechers, Westinghouse Young Hwan Hwang, Central Research Institute, KNP Sylvain Menou, Framatome Amaia Rodriguez Sopeña, Equipos Nucleares S.A. S.M.E.
16.30-17.50	Benoit XII	Project Feedback Experience ▶ Chairs: Joseph Boucau, Westinghouse & Eric Gouhier, CEA 096 • EDF UNGG graphite gas - Heat exchangers decommissioning 134 • The dismantling of Superphenix - Status and lessons learned 174 • Project Feedback Experience from decommissioning - Low Flux Reactor 191 • Pipe cutting method at high radiation area in FUGEN	Mathieu Mahroug, EDF Véronique Bouilly, EDF Jaap Hart, NRG Hiroaki Takiya, JAEA
16.30-17.50	Panetierie 1	Buildings & Sites Rehabilitation ▶ Chairs: Rick Reid, EPRI & Mickaël Knaack, TUEV Nord 082 • An integrated methodology for hydrogeological assessment of nuclear plant aquifer 159 • Prediction reliability of chemically contaminated volumes of soils. Feedback on 23 former industrial sites (RECORD study) and lessons learnt for radioactively contaminated sites 129 • Contaminated Land Remediation on decommissioned nuclear facilities: an optimized approach 120 • Management and reuse of excavated materials : how to foster the circular economy ? (a RECORD project)	Maxime Claprod, INRS Hélène Demougeot-Renard, eOde Sarl Hugo De Palmas, EDF Emmanuel Vernus, INSAVALOR PROVADEMSE
16.30-17.50	Panetierie 2	Initial Radiological State Characterization ▶ Chairs: Alexander Chesnokov, Kurchatov Institute & Arne Larsson, Cyclife-EDF 014 • Benchmark study of TRIPOLI-4® for decommissioning purposes 208 • Initial characterisation of radioactive effluents in tanks before dismantling 038 • Sampling strategy for dihydrogen flow rate characterization of radioactive waste Management and interim storage options for radwaste pending availability of a disposal center	Cindy Le Lorec, CEA Sylvie Tillard, CEA Nadia Perot, CEA Christelle Decanis, CEA

附件二、Cement-based Materials for Nuclear Wastes 會議詳細議程

Wednesday, October 24th, 2018

08:30 Start of registration

09:00 – 09:15 Introduction Ph. GUIBERTEAU, Director of CEA Marcoule, France

Session 1: DESIGN OF CEMENTITIOUS MATRICES FOR WASTE IMMOBILIZATION

Chairs: E. COPPENS (ONDRAF), C. CAU DIT COUMES (CEA)

09:15 – 09:45 **Keynote**
Applications of cementitious materials at SRS and DOE Complex
C. LANGTON, Savannah River National Laboratory (USA)

09:45 – 10:00 *Improving radionuclide retention in cementitious waste forms through targeted material addition*
R.M. ASMUSSEN, Pacific Northwest National Laboratory (USA)

10:00 – 10:15 *Improving radionuclide retention in cementitious waste forms through controlled mineral growth*
S. SASLOW, Pacific Northwest National Laboratory (USA)

10:15 – 10:30 *Grouts for cementing the refractory of a radwaste incinerator*
A. WAELLISCH, Paul Scherrer Institute (CH)

10:30 – 10:45 *Evaluation of the Effects of an Organic Superplasticizer on the Microstructure of Blended Blast Furnace Slag / Portland Cement Grouts for Nuclear Waste Treatment*
M. HAYES, National Nuclear Laboratory (UK)

10:45 – 11:00 *UNGG Waste Retrieval – development of an alkali-activated grout for graphite wastes mixed to reactive metals impurities*
L. STEFAN, ORANO NWM Technical Department (FR)

11:00 – 11:15 *Development of Cement Based Encapsulation for Low Radioactive Liquid Waste in Tokai Reprocessing Plant*
R. MATSUSHIMA, Japan Atomic Energy Agency (JP)

11:15 – 11:45 Coffee break

Session 2: CORROSION OF METALLIC WASTE IN A CEMENTIOUS MATRIX

Chairs: L. STEFAN (ORANO), S. PERRIN (CEA)

- 11:45 – 12:00 *Aluminum wastes in cement: a new approach for assessment*
C. MC CAGUE, University College London (UK)
- 12:00 – 12:15 *Steel corrosion in matrices designed for the conditioning of waste with aluminum metal*
S. DELPECH, CNRS/IPNO (FR)
- 12:15 – 12:30 *Reactivity of uranium in Na-geopolymers containing fluoride ions*
D. RODRIGUES, CNRS/IPNO (FR)
- 12:30 – 12:45 *UNGG Waste Retrieval – Comparison of general and galvanic corrosion of magnesium alloy coupled to graphite in ordinary Portland cement and alkali-activated slag binders*
B. MUZEAU, CEA Saclay (FR)
- 12:45 – 13:00 *Reactivity of Mg-Zr in Na-geopolymers, role of fluoride ions*
C. CANNES, CNRS/IPNO (FR)

13:00 – 14:30 Lunch

Session 3: GEOPOLYMERS

Chairs: G. BAR-NES (NRCN), J.B. CHAMPENOIS (CEA)

- 14:30 – 14:45 *Study of geopolymerization mechanisms by ^{27}Al -NMR and calorimetry correlation*
J. AUPOIL, CEA Marcoule (FR)
- 14:45 – 15:00 *Direct immobilization of liquid oil in geopolymer binder: durability and irradiation*
B. PLANEL, CEA Valduc (FR)
- 15:00 – 15:15 *Low-Silica metakaolin-based geopolymers as candidate matrices for immobilization of cesium ions*
M. ARBEL-HADDAD, NRCN (ISR)
- 15:15 – 15:30 *Immobilization of Cs in microwave-cured alkali-activated fly ash*
Y. BAI, University College London (UK)
- 15:30 – 15:45 *Interaction of strontium ions with metakaolin-based geopolymers*
Y. ELAKNESWARAN, Hokkaido University (JPN)

15:45 – 16:30 Flash Presentations

Development of cement-based matrix for immobilization of ILW sludge with organic residues

B. ANDRIS, VUJE Inc (SL)

Comparative analysis of compressive strength tests at age of 28 and 90 days and density of products using chemical additives in cementing radioactive waste

V. MOTA VIEIRA, CDTN/CNEN (BR)

Setting and hardening conditions of cement pastes encapsulating evaporator concentrate

J. KOTATKOVA, Czech Technical University (CZ)

Alkali-slag cementation of heterogeneous LRAW: developments and studies

S.N. SKOMOROKHOVA, State Engineering Physical Institute (RU)

Understanding the rheology of geopolymers as a potential grouting system for nuclear waste streams

D.A. GEDDES, University of Sheffield (UK)

Evaluation of novel geopolymer-based materials for nuclear waste treatment

T. MUBASHER, University of Manchester, National Nuclear Laboratory (UK)

First immobilization of liquid oil in a GEOIL composite in CEA Marcoule

D. LAMBERTIN, CEA Marcoule (FR)

Encapsulation of strontium loaded ion-exchangers using geopolymer: the influence of cations and temperature

X. KE, University of Sheffield (UK)

The effect of gamma-irradiation on the structure and binding properties of amorphous and partially-crystalline geopolymer matrices

M. ARBEL-HADDAD, NRCN (IS)

Leaching behaviour of interfaces between high performance concrete and geopolymer mortar

C. DAVY, S. LANIER, Centrale Lille (FR)

Application of phosphate modified CAC for incorporation of simulated secondary aqueous wastes in Fukushima Daiichi NPP, Part II: Leaching test of simulated wasteforms with reduced water content

H. KINOSHITA, University of Sheffield (UK)

Design of a self-desiccating mortar using magnesium phosphate cement for the conditioning of tritiated waste: influence of the Ag₂O/MnO₂ getter on the hydration process and properties of the hardened material

O. FARCY, CEA Marcoule (FR)

Investigation of radioactive aluminium waste embedding in magnesium potassium phosphate cement based matrix in different disposal conditions

F. DRAGOLICI, National Institute for Physics and Nuclear Engineering (RM)

16:15 – 16h45 Coffee Break

Session 4: PHOSPHATE BINDERS

Chairs: B. LOTHENBACH (EMPA), Y. BAI (UCL)

- 16:45 – 17:00 *Hydration of magnesium potassium phosphate cements: experimental findings and thermodynamic modelling*
B. XU, EMPA (CH)
- 17:00 – 17:15 *Investigation of aluminum nitrate as set-retarder of magnesium phosphate cements*
S. GAUFFINET, ICB (FR)
- 17:15 – 17:30 *Investigating the impact of resaturation on the microstructural properties of magnesium phosphate cement pastes*
H. LAHALLE, LMDC (FR)
- 17:30 – 17:45 *Application of phosphate modified CAC for incorporation of simulated secondary aqueous wastes in Fukushima Daiichi NPP, Part I: Characterization of solidified cementitious systems with reduced water content*
H. KINOSHITA, University of Sheffield (UK)
- 17:45 – 18:00 *Wollastonite-based brushite cement: hydration process and strontium retention*
C. CAU DIT COUMES, CEA Marcoule (FR)

Thursday, October 25th, 2018

Session 5: IRRADIATION

Chairs: M. ALTMAIER (KIT-Ine), J. HAAS (CEA)

- 09:00 – 09:30 **Keynote**
Can radiation chemistry describe the behavior of concrete under irradiation?
J.P. RENAULT, CEA Saclay (FR)
- 09:30 – 09:45 *Minimization of radiolysis gas production of cement materials designed for waste conditioning (MATRICE project)*
D. CHARTIER, CEA Marcoule (FR)
- 09:45 – 10:00 *Influence of calcium-to-silica ratio on H₂ gas production in calcium silicate hydrate*
C. YIN, CEA Marcoule (FR)
- 10:00 – 10:15 *Dihydrogen production of Zeolite 4A-containing geopolymers under gamma irradiation*
V. CANTAREL, Japan Atomic Energy Agency (JPN)
- 10:15 – 10:30 *Superplasticizers degradation in a deep geological disposal for nuclear waste cementitious matrix: an analytical investigation*
S. LEGAND, CEA Saclay (FR)

10:30 – 10:45 *Effects of gamma radiations on physico-chemical properties and mechanical behavior of cement materials*
M. ROBIRA, Tractebel Engineering (FR)

10:45 – 11:00 *Radiation damage in high volume replacement cements*
S. KEARNEY, University of Sheffield (UK)

11:00 – 11:30 Coffee Break

Session 6: HYDRATION (CALCIUM SULFOALUMINATE CEMENTS, LOW PH CEMENTS)

Chairs: M.C. ALONSO (IETCC-CSIC), D. LAMBERTIN (CEA)

11:30 – 11:45 *Effect of lithium salts on calcium sulfoaluminate cement hydration*
J.B. CHAMPENOIS, CEA Marcoule (FR)

11:45 – 12:00 *Experimental findings and modelling of the hydration of low pH cements – relevance of C-A-S-H phases*
N. AIT MOUHEB, Karlsruhe Institute of Technology (DE)

12:00 – 12:30 Flash Presentations

Durability of magnesium phosphate mortars and of their interfaces with Portland concrete under alkaline water
C. DAVY, S. LANIER, Centrale Lille (FR)

DECIMAL - Phenomenological description of the corrosion and its impact on the durability of encapsulated magnesium wastes in hydraulic binders
B. MUZEAU, CEA Saclay (FR)

Corrosion behavior of Mg-Zr alloy in alkaline solutions and in Na-geopolymer
C.F. BARROS, CEA Saclay (FR)

Evolution of the interface between MgZr and the Na-geopolymer selected as a potential binder for the cladding waste conditioning - Impact of the corrosion inhibitor NaF
R. BOUBON, ICSM (FR)

Measurements of H₂ released by cemented radioactive waste packages
A. LE COCQUEN, CEA Cadarache (FR)

Influence of the cement composition on the behaviour under irradiation
F. DUNSTETTER, CEA Saclay (FR)

The effect of gamma radiation on the mechanical and microstructural properties of alkali-activated materials
B. MAST, Hasselt University, NuTeC (BE)

Hydrogen yields from alpha radiolysis of alternative cements and Sellafield specification blended cements
M. HAYES, National Nuclear Laboratory (UK)

12:30 – 14:00 Lunch

Session 7: RADIONUCLIDES RETENTION BY CEMENT-BASED MATERIALS

Chairs: N. MACE (CEA), E. WIELAND (PSI)

- 14:00 – 14:15 *Interaction of Fe(II, III) with cement phases in anoxic conditions*
A. MANCINI, Paul Scherrer Institute (CH)
- 14:15 – 14:30 *Effect of redox conditions on sulfur and selenium binding in AFm phases*
L. NEDYALKOVA, Paul Scherrer Institute (CH)
- 14:30 – 14:45 *Inorganic ^{14}C uptake in cement-based materials*
P. HENOCQ, Andra (FR)
- 14:45 – 15:00 *Solution chemistry of uranium in cementitious systems*
M. ALTMAIER KIT-Ine (DE)
- 15:00 – 15:15 *Understanding cement phase-[U,Tc] interactions for radioactive waste management*
A. YORKSHIRE, University of Sheffield (UK)
- 15:15 – 15:30 *Interaction of uranyl ions with C-S-H phases in the presence of organic additives: a molecular dynamics study*
I. ANDRONIUK, Subatech (FR)
- 15:30 – 16:00 Flash Presentations
- Characteristics of cement compounds after irradiation up to doses typical for high level radioactive waste*
A. VARLAKOV, Bochvar High Technology Research Institute (RU)
- Characterization of U-Phase and its prediction in cementitious materials*
T. KAJIO, Hokkaido University (JP)
- Properties of alkali-silica reaction products*
Z. SHI, EMPA (CH)
Strontium retention in Ordinary Portland Cement, low pH cement and model compounds
M. SHINER, Ben Gurion University of the Negev (IS)
- Zeolites - secondary minerals in degraded Portland cement/clay system: synthesis and thermodynamics*
B. MA, EMPA (CH)
- A long term assessment of the hydrothermal ageing and interactions of waste and backfill grouts for use in the nuclear industry*
E.J. BUTCHER, National Nuclear Laboratory (UK)
- Investigating the behavior of geopolymers in contact with cementitious solutions*
H. LAHALLE, LMDC, INSA Toulouse (FR)
- C-steel corrosion in long term geological storage*
K. LE, CNRS (FR)
- The Effect of Ca/(Si+Al) of C-(A-)S-H characterized by NMR on the sorption of alkali metal ions*
S. WATANABE, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute (JPN)

16:00 – 17:00	Coffee Break	Poster Session
---------------	--------------	----------------

- 17:00 – 17:15 *Thermodynamic description of Be(II) solubility and hydrolysis in dilute to concentrated NaCl, KCl and CaCl₂ systems*
N. CEVIRIM PAPAIOANNOU, KIT-Ine (DE)
- 17:15 – 17:30 *Retention of Re in metakaolin-based geopolymer in the presence of an organic reductant – an experimental study*
O. KLEIN-BEN DAVID, Nuclear Research Center Negev (IS)

Session 8: LEACHING, DURABILITY OF CEMENT-BASED MATERIALS

Chairs: E.J. BUTCHER (LNL) (to be confirmed), C. DAVY (EC Lille)

- 17:30 – 17:45 *Long-duration leaching experiments using high- and low-pH cements*
R. VASCONCELOS, University of Sheffield (UK)
- 17:45 – 18:00 *Ground-water composition in the interaction with low-pH OPC-SF based concrete*
M.C ALONSO, Inst of Construction Science Eduardo Torroja (ES)
- 18:00 – 18:15 *Characterization and durability analysis of field concrete samples used for low-activity nuclear waste storage*
Y. PROTIÈRE, SIMCO Technologies Inc (CA)

19:00	Conference reception
-------	----------------------

Friday, October 26th, 2018

Session 9: SECONDARY PRODUCTS FORMED IN DEGRADED CEMENT-BASED MATERIALS

Chairs : J.B. d'ESPINOSE (ESPCI), X. BOURBON (ANDRA)

- 08:30 – 08:45 *Use of non-destructive techniques for the monitoring of detrimental processes in cemented radioactive wastes: application to alkali-silica reactions*
S. BEN HADJ HASSINE, ONDRAP-NIRAS (BE), **J. ZAPPEY**, LABORELEC (BE)
- 08:45 – 09:00 *Relationship between composition, rheological and swelling properties of alkali-silica gels produced in cemented waste packages*
N. COURTOIS, CEA Marcoule (FR)
- 09:00 – 09:15 *Surface properties of magnesium silicate hydrate (M-S-H)*
E. BERNARD, EMPA, University of Bern (CH)
- 09:15 – 09:30 *Zeolite formation from albite, ettringite and C-S-H*
B. LOTHENBACH, EMPA (CH)

Session 10: TRANSPORT PROPERTIES, CARBONATION

Chairs: C. LANGTON (SRNL), L. DE WINDT (MINES PARISTECH)

09:30 – 10:00 **Keynote**
Durability and pore network of natural and anthropic porous media
C. DAVY, Centrale Lille (FR)

10:00 – 10:30 **Flash Presentations**

Chemical stability of formate in anoxic and reducing alkaline cement pore waters
J. TITS, Paul Scherrer Institut (CH)

Impact of carbonation on the uptake of radium by cementitious materials
J. KITTNEROVA, Czech Technical University in Prague (CZ)

Uptake and retention of ^{226}Ra by cementitious materials: A complementary solution chemistry and atomistic simulation study
G. DEISSMANN, Institute of Energy and Climate Research (IEK-6) (DE)

Eu(III) uptake by cementitious materials: A combined TRLS and atomistic simulation study
G. DEISSMANN, Institute of Energy and Climate Research (IEK-6) (DE)

Effect of high saline alkaline conditions onto radionuclide transport in a CEM V/A hardened cement paste
N. MACE, CEA (FR)

Development of cementitious embedding material formulations: relevance and use of analytical homogenization methods for the mechanical modelling and examinations
P. GIRARDIN, CEA Marcoule (FR)

Hydro-chemo-mechanical modelling of concrete degradation under repository conditions
A. IDIART, Amphos 21 Consulting S.L. (ES)

Reactive transport processes at a low-pH concrete / clay interface: a benchmark modelling study
A. IDIART, Amphos 21 Consulting S.L. (ES)

A systematic modelling study of concrete-bentonite interaction in radioactive waste disposal
A. IDIART, Amphos 21 Consulting S.L. (ES)

10:30 – 11h00 **Coffee Break – Poster session**

11:00 – 11:15 *Transport properties evolutions of cement model system exposed to degradations: experimental and numerical approaches*
E. L'HÔPITAL, IRSN (FR)

11:15 – 11:30 *Diffusive behavior of tritiated water and ^{36}Cl through partially-saturated cement-based materials*
S. SAVOYE, CEA Saclay (FR)

- 11:30 – 11:45 *Controlled artificial cracks generated in mortar*
I. POINTEAU, CEA Cadarache (FR)
- 11:45 – 12:00 *Designing model system for low-pH cement carbonation*
E. KANGNI-FOLI, IRSN (FR)
- 12:00 – 12:15 *Assessment of the Carbonation of the NRVB – A Potential Geological Disposal Facility Backfill Grout*
E.J. BUTCHER, National Nuclear Laboratory (UK)

12:15 – 13:45 Lunch – Poster Session

Session 11: MODELLING OF LONG-TERM EVOLUTION

Chairs: S. BEN HADJ HASSINE (ONDRAF), S. SAVOYE (CEA)

- 13:45 – 14:00 *CEBAMA – a project on cement-based-materials within the EC Horizon 2020 frame*
M. ALTMAIER, KIT-Ine (DE)
- 14:00 – 14:15 *Geochemical modelling of the long-term evolution of chemical conditions in cement-stabilized waste sorts (L/ILW)*
E. WIELAND, Paul Scherrer Institute (CH)
- 14:15 – 14:30 *Water and gas transport in a generic cemented waste package during intermediate storage*
G. KOSAKOWSKI, Paul Scherrer Institute (CH)
- 14:30 – 14:45 *Reactive transport modelling of radionuclides migration in the low pH cement/clay interface*
V. MONTOYA, KIT-Ine (DE)
- 14:45 – 15:00 *Modelling the impact of mix design on the long-term performance of concrete barriers*
A. IDIART, Amphos 21 Consulting S.L. (ES)
- 15:00 – 15:15 *Modelling the temperature effect on CEM-I and low-pH cements in a clayey environment (CEMTEX project)*
L. DE WINDT, MINES ParisTech (FR)
- 15:15 – 15:30 **Conclusion**

附件三、The Mineral Products Association (MPA)知識文獻

| Home | Contact and members | News | Mortars | Renders | Screeds | Case studies | Technical information | Links | Sitemap |



Technical information

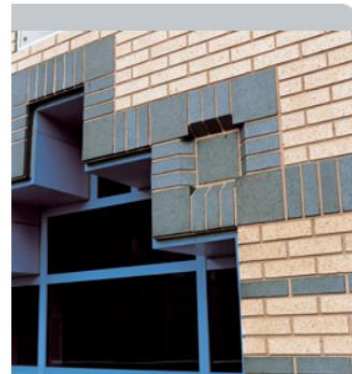
Learning texts

These learning texts will guide you through the whole process of mortar use and production, from its origins 10,000 years ago to the application of the modern factory-produced materials that are widely used on building sites today.

Whether you are an apprentice bricklayer or a seasoned specifier, the Learning Texts provide you with everything you need to know about mortar. The texts range from An Introduction to Mortar to Properties of Masonry Mortar and from Production to Quality Assurance.

You can download the learning texts as PDFs by clicking on the titles below; alternatively you can order hard copies from the association's secretary **Mick Russell** at Mick.Russell@mineralproducts.org.

- Part 1  [Introduction to Mortar](#) - 172 KB
- Part 2  [Cementitious Materials](#) - 229 KB
- Part 3  [Aggregates](#) - 418 KB
- Part 4  [Admixtures, Additives & Water](#) - 270 KB
- Part 5  [Brick and Block Production](#) - 5.3 Meg
- Part 6  [Properties of Masonry Mortar](#) - 991 KB
- Part 7  [Production, Delivery and Storage of Mortar](#) - 772 KB
- Part 8  [Mortar Testing](#) - 606 KB
- Part 9  [Specifications](#) - 238 KB
- Part 10  [Quality Assurance](#) - 180 KB
- Part 11  [Construction](#) - 156 KB
- Part 12  [Properties of Rendering Mortar](#) - 635 KB
- Part 13  [Best Practice - Potential Site Problems](#) - 664 KB



You are in: [Technical information](#) > Learning texts

In this section

-  [Introduction](#)
-  [Data sheets](#)
-  [Briefing Papers](#)
-  [Mortar News archive](#)
-  [FAQ's](#)
-  [Training and education](#)
-  [Standards](#)
-  [Learning text](#)