

出國報告(出國類別：考察)

核二乾貯計畫相關國際間貯存現況技術交流

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：魏昌錫組長

派赴國家/地區：美國

出國期間：107年10月30日~107年11月10日

報告日期：107年12月17日

摘要

考量核二廠現已進入用過核子燃料乾式貯存設施興建計畫第二期工程投資可行性研究階段，未來將進行乾貯設施設備建造之採購作業，此次考察期間拜訪 Duke Energy 電力公司以及其設備製造廠，交流乾貯設施相關經驗，有利後續本公司乾貯計畫能夠順利推動。

2018 年 EPRI 用過核子燃料長期貯存合作計畫研討會時程為今(107)年 11 月 6 至 8 日於美國北卡羅來納州舉行，除汲取國際乾貯管制、研發、及使用單位的相關經驗與技術外，另與國際中具相關工作經驗之單位建立良好關係，並就相關議題進行討論，有助於強化本公司乾貯計畫之推動。

本次行程考察 Duke Energy 電力公司 BRUNSWICK 電廠的乾貯設施及其設備製造廠，及參與 2018 年 EPRI 用過核子燃料長期貯存合作計畫研討會，相關之目的、過程、及心得與建議，於本報告中敘述之。

目 次

摘 要	ii
目 次	iii
圖目錄	iv
表目錄	vi
一、目 的	1
二、過 程	1
三、心 得 及 感 想	33
四、困 難 與 特 殊 事 項	33
五、建 議	34
六、附 錄	35
附錄一：EXTENDED STORAGE COLLABORATION PROGRAM (ESCP) AGENDA	36

圖目錄

圖 2-2-1-1 混凝土屏蔽模組，單層式，DSC 進出口前，設置有移動式混凝土牆	4
圖 2-2-1-2 C 級鋼構倉庫	5
圖 2-2-1-3 DSC 採垂直擺放	5
圖 2-2-1-4 DSC 三層上蓋板	6
圖 2-2-1-5 試焊/解焊練習設備	6
圖 2-2-1-6 專用運輸車上的水平運送護箱	7
圖 2-2-2-1 訪客接待櫃台呈現歡迎參訪字樣	11
圖 2-2-2-2 全程由 CHT 人員陪同	11
圖 2-2-2-3 HSM-MATRIX 分四層灌漿建造	12
圖 2-2-2-4 HSM-MATRIX 的軌道設計	12
圖 2-3-1-1-1 ESCP 組織架構	13
圖 2-3-1-2-1 DOE 的合作單位	14
圖 2-3-1-2-2 CISCC 發生的條件	14
圖 2-3-1-2-3 CISCC 的演變過程	15
圖 2-3-1-3-1 用過燃料相關法規	16
圖 2-3-1-3-2 用過燃料的安全標準	16
圖 2-3-1-4-1 PCT 溫度實際量測值和安全分析值	17
圖 2-3-2-1-1 MAINE YANKEE 密封鋼筒上表面樣品分析	17
圖 2-3-2-2-1 CISCC 裂紋成長率和溫度關係圖	18
圖 2-3-2-4-1 雷射激發，以超音波偵測的感測器	19
圖 2-3-2-4-2 感測器信號處迴路	19

圖目錄

圖 2-3-2-4-3 掛在機器人載具上的感測器	20
圖 2-3-2-4-4 裂紋深度之信號顯示	20
圖 2-3-2-5-1 密封鋼筒內部被動式溫度、壓力、及濕度偵測迴路	21
圖 2-3-2-5-2 密封鋼筒內部偵測器可運作的環境	21
圖 2-3-2-6-1 進行搭架、及吊走上方混凝土頂蓋	23
圖 2-3-2-6-2 工作人員檢視上部焊道	23
圖 2-3-2-6-3 載具及檢測設備	24
圖 2-3-2-6-4 載具及檢測設備進入通風道	24
圖 2-3-2-6-5 錄影設備在通風道所看到的密封鋼筒	25
圖 2-3-2-6-6 密封鋼筒表面採樣的分析結果	25
圖 2-3-2-6-7 通風道的溫度、及輻射劑量	26
圖 2-3-2-7-1 NDE 檢查設備之研究開發現況	26
圖 2-3-2-9-1 韓國對金屬屏蔽護箱、及混凝土屏蔽護箱的運用概念	27
圖 2-3-2-10-1 通用密封鋼筒檢視及維修設備	28
圖 2-3-2-11-1 CM&R 相關計畫	29
圖 2-3-2-11-2 CM&R 學校合約	29
圖 2-3-3-3-1 密封鋼筒的 SCC 評估及對策	30
圖 2-3-3-6-1 隨時間增加之氦氣累積	31

表 目 錄

表 2-1、 <u>出國行程</u>	2
表 2-2、 <u>金屬屏蔽護箱的強項、及弱項</u>	4

一、目的

考量核二廠現已進入用過核子燃料乾式貯存設施興建計畫第二期工程投資可行性研究階段，未來將進行乾貯設施設備建造之採購作業，藉由此次考察期間將拜訪 Duke Energy 電力公司以及其設備製造廠，參訪期間將洽詢乾貯設施相關經驗，俾利後續本公司乾貯計畫能夠順利推動。

本公司因乾貯相關業務需求已於 104 年加入美國電力研究所 (EPRI) 高放射性廢棄物暨用過核子燃料計畫，參與 EPRI 用過核子燃料長期貯存合作計畫研討會 (ESCP)，將有助於本公司獲得用過核子燃料乾式貯存經驗諮詢及業界交流之機會。

2018 年 EPRI 用過核子燃料長期貯存合作計畫研討會時程為今 (107) 年 11 月 6 至 8 日於美國北卡羅來納州舉行，除能汲取國際電廠相關經驗與技術外，另能與國際中具相關工作經驗之電廠建立良好關係並就相關議題進行討論，有助於強化本公司乾貯計畫之推動。

二、過程

(一) 出國行程

行程共計 12 天，10 月 30 日由桃園國際機場出發，搭乘長榮航空公司班機至美國紐約甘迺迪國際機場 (JFK)，次日抵達北卡羅萊納州首府夏洛特市。於 11 月 1 日至 11 月 5 日期間考察 Duke Energy 電力公司 BRUNSWICK 電廠的乾貯設施及其設備製造廠。

於 11 月 6 日至 11 月 8 日期間，參加 2018 年 EPRI 用過核子燃料長期貯存合作計畫研討會，議程如附錄一所示。11 月 6 日主要討論用過燃料、及熱傳分析部份。11 月 7 日主要討論非破壞性檢測技術 (NDE)、氯鹽引起的應力腐蝕龜裂 (CISCC)、及密封鋼筒的維護及修補 (CM&R)。11 月 8 日主要討論各國際組織的

現況及成果分享。

11 月 8 日由夏洛特機場出發返國，11 月 9 日於甘迺迪國際機場轉機，次日抵達我國桃園國際機場。行程如表 2-1 所示：

表 2-1、出國行程

「核二乾貯計畫相關國際間貯存現況技術交流」行程規劃表

日期	活動內容
107/10/30	去程（台北－紐約）
107/10/31	轉機（紐約－夏洛特）
107/11/1~107/11/5	拜訪 Duke Energy 公司及其設備製造廠討論乾貯相關議題
107/11/6~107/11/8	參加 2018 EPRI Extended Storage Collaboration Program
107/11/9~107/11/10	返程（夏洛特－紐約－台北）

(二) 拜訪 Duke Energy 公司及其設備製造廠討論乾貯相關議題

1、訪問BRUNSWICK電廠的乾貯場(ISFSI, Independent Spent Fuel Storage Installation)

BRUNSWICK電廠屬於DUKE電力公司的一個BWR-4核能電廠，此行DUKE電力公司派MARTTHEW先生接待及介紹。BRUNSWICK電廠乾貯計畫由DUKE電力公司規畫，維護及操作則交給BRUNSWICK電廠負責。

第一道進廠大門前，因連繫問題，資料未建置而無法進入。協調後，重填資料，重新核准，前後花了一個小時，快速完成上述程序，通過了第一道門。保安人員攜帶長短槍，並使用反射鏡查看汽車底盤，也目視後車箱、每一個座位、及引擎蓋內，確認一切符合安全標準後放行。

第二道門(可類比本公司核能電廠之主警衛室)，安全檢查嚴謹度高於登機要求，另於小房間，安全人員對電力公司陪同人員及訪客宣讀兩頁的安全守則。

電廠設有高爾夫球車，場區移動相當方便快捷，做為來往乾貯場(ISFSI, Independent Spent Fuel Storage Installation)的交通工具。

乾貯場(ISFSI, Independent Spent Fuel Storage Installation)門口不設警衛，由挑高10米以上的警衛塔做統一監控，均帶長短槍。乾貯場為單層圍籬，門以簡單的鑰匙上鎖方式管理，純為防止人員誤入而設。安全管制區邊界則為雙重圍籬。基於安全理由，均不得拍攝安全圍籬、及警衛塔。

乾貯場(ISFSI, Independent Spent Fuel Storage Installation)有兩幢混凝土屏蔽模組，為單層式，DSC(Dry Shielded Canister)進出口前，設置有移動式混凝土牆，如圖2-2-1-1。

乾貯備用器材另存於室內倉庫，倉儲等級為C級，為室內型的鋼構倉庫，以通風扇換氣(如圖2-2-1-2)，非鋼筋混凝土建築，但專用。倉庫內存有下列設備：

- DSC(Dry Shielded Canister，可類比為NAC公司的TSC, Transportable Storage Canister)採垂直擺放，具方向性，以不失其圓度(如圖2-2-1-3)。DSC下端有屏蔽板，約1呎厚，鍛造，端末裝有推拉機構，做為DSC水平推入、或水平抽出混凝土屏蔽模組的連結器。上端蓋有三層，由下而上，有導架(為第0層)、第一層厚板(約20公分，屏蔽用，有一缺口，供抽水、抽真空用)、第二層板(約2吋)、第三層板(約2吋)，如圖2-2-1-4。
- 有一試焊、及解焊訓練設備(如圖2-2-1-5)。
- 水平運送護箱為不銹鋼製，放在專用運輸車上，厚度約9吋，車子的兩個側邊有鉛板，約一個鉛磚厚，如圖2-2-1-6。每運送一個DSC，人員總劑量約80mrem。

- 另隔一小房間，因置有NUHOMS(TN,TransNuclear公司的乾貯設備型號，NUtech Horizontal Modular Storage system)的溫度、輻射即時監控儀器盤，有溫度控制之空調設備。

出第二道門，有門框偵檢設備，及歸還出入證。進入乾貯場(ISFSI, Independent Spent Fuel Storage Installation)，無TLD配帶要求，視為一般區。出第一道門，不做檢查，直接開車離去。

訪問BRUNSWICK電廠過程中，和Duke Energy公司意見交換摘要如下：

- BRUNSWICK乾貯案，採最有利標，如考慮市占率、CP值、占用空間、價錢。
- BRUNSWICK乾貯案，採用通用執照，不須另作安全分析。
- BRUNSWICK乾貯案，選用NUHOMS的主要理由有用地面積、屏蔽能力、防震能力、及防洪能力。
- BRUNSWICK乾貯場進行乾貯設備監測、老化管理(AMP)。
- DUKE電力公司不認為有CISCC發生。假設有龜裂情形，目前可在燃料池進行處理(機組為BWR-4，處在延役的20年中)，除役後可在TN(TransNuclear公司)的熱室進行處理。
- DUKE電力公司處理中子偵檢器及控制棒的方式，不以燃料乾貯方式辦理。
- BRUNSWICK乾貯場高於海平面26呎。
- BRUNSWICK電廠，提供900個工作機會給社區，社區電廠共榮，沒有反核的問題。
- 在美國建立乾貯場，只要NRC同意即可。目前只有明尼蘇達州例外，額外需要州政府的同意。

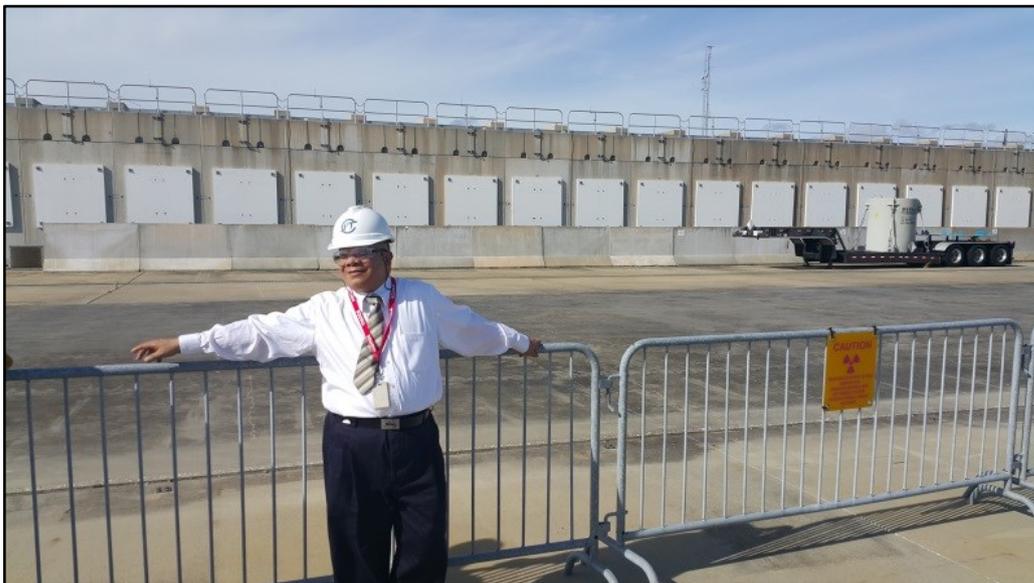


圖2-2-1-1混凝土屏蔽模組，單層式，DSC進出口前，設置有移動式混凝土牆



圖 2-2-1-2 C 級鋼構倉庫



圖2-2-1-3 DSC採垂直擺放



圖2-2-1-4 DSC三層上蓋板



圖2-2-1-5 試焊/解焊練習設備



圖2-2-1-6專用運輸車上的水平運送護箱

2、訪問BRUNSWICK乾貯設備製造廠-CHT(Columbiana Hi Tech, LLC)

(1)、進入CHT之行政配合程序

- 停車場最接近大門處，提供訪客專設停車位。
- 訪客接待櫃台大螢幕打出歡迎台灣電力公司參訪之字樣，如圖2-2-2-1。
- 填寫CHT公司資訊保密切結書。
- 詢問訪客中午用餐喜好，提早準備。
- 依據天氣近況，調整室內討論及室外現場參訪行程。
- 全程不允許攝影及錄影，若訪客對部份設備希望有照片，則另由專人提供。
- 全程由CHT人員陪同，如圖2-2-2-2。

(2)、CHT公司專人簡報及導覽

- CHT公司全名：Columbiana Hi Tech, LLC簡稱CHT，為TN(TransNuclear公司)的子公司，有2個廠區，舊場區在Greensboro，另一個新廠區在Kernersville。後者的地址在1621 Old Greensboro Road Kernersville, NC 27284。占地2英畝，有4條生產線(BAY)，預計明年再增加2條。CHT的總裁是Jim Mccam。由TN(TransNuclear公司) Orano VP Christopher接待，經理Chris White簡報及生產線導覽。
- 品保制度以10CFR50.55 APP B為基準，曾支援NAC的生產製造。

- 目前用在BWR電廠的NUHOMS系列產品，主流產品是61BTH，新一代是EOS-89BTH，均已取得NRC通用執照，惟EOS-89BTH用在受損燃料部份，預計明年可取得證照。
- 目前用在PWR電廠的NUHOMS系列的新一代產品是EOS-37PTH。
- 61BTH和EOS-89BTH在燃料初始濃度、燃耗、冷卻年數等規格均相同，惟熱負載部分，前者為30KW，而後者為50KW，兩者有下列差異：
 - 61BTH提籃使用不銹鋼製作，格架間有中子吸收板，以焊接方式固定。89BTH在格架處有三層，鋁板擔任熱傳功能，碳鋼板擔任結構功能，含B4C之鋁板擔任吸收中子的功能，格架不以焊接方式固定，改採栓鎖方式固定。
 - 61BTH邊緣塊以不銹鋼製作，89BTH的邊緣塊則以鋁製作。
 - ◆ 註：INER-HPS(核研所(INER)技轉自NAC公司的乾貯設備型號)亦使用鋁製導熱圓盤

(3)、議題討論

(3A)、NUHOMS避免CISCC(Chloride-Induced Stress Corrosion Cracking)的方法

- 密封鋼筒的材料不採用304不銹鋼，改採雙相鋼(DSS, Duplex Stainless Steel)。
- 調整MATRIX的方向，即以側邊面對盛行風。
- 可另加外層密封鋼筒(OUTTER CANISTER)，建議準備數個備用即可。

(3B)、就密封鋼筒的材料選用雙相鋼(DSS)部份

- DSS材料可選用料號2205、或2304。
- DSS密封鋼筒表面在100°C以下，DSS不發生CISCC。另就氯鹽特性而言，密封筒表面在100°C以上，氯鹽不會潮解，即DSS密封鋼筒不會發生CISCC。
- 密封鋼筒選用304、或DSS，價格不變。

(3C)、混凝土屏蔽模組MATRIX介紹

- 預估明年底可取得MATRIX的執照，已有WOLF CREEK電廠下訂單
- MATRIX 可適用三種尺寸的乾貯筒，可存放INER-HPS、及MAGNASTOR的密封鋼筒。
- 以最小3+2而言耐震為0.8G，若長度增加，或兩排背對背一體建造，其耐震度更高
- 頂層高度為27呎，第一層密封筒中心點高度為6.5呎，第二層密封筒中心點高度為17呎
- 建造時，分四層灌漿，第一層構造為置放第一層密封筒之用，第二層構造為第一層構造的頂板，並做為支撐第二層構造之用。第三層構造為置放第二層密封筒之用，第四層構造為第三層構造的頂板。

詳如圖2-2-2-3

- 第一層構造不錨定在基板上，增加對地震的緩衝能力
- 正面混凝土牆厚為3呎8吋，間隔板厚度為1米，第四層構造即頂板厚度為4呎。
- 每一屏蔽模組，其寬度為25呎，屏蔽模組間之操作空間需求，在HSM要40呎。在MATRIX，因有軌道的設計，30呎已足夠，如圖2-2-2-4。
- 使用MATRIX，不需要吊車
- MATRIX內部可裝設攝影機、UT、EDDY CURRENT、溫度計等設備，要偵測密封筒360度的變化時，可使用慢速迴轉機構轉動密封筒，做全面性的偵測。
- 採用現地澆鑄，以3+2而言，重量即達1.2百萬磅，不宜他地澆鑄。
- 水泥使用4000~5000磅/吋2規格的。

(3D)、HSM-MATRIX的優勢

- 乾貯場現場，不須使用吊車。
- 耐震強。
- 輻射屏蔽效果強。
- 熱負載高(上層45KW，下層50KW)。
- 占地小(FOOT PRINT)。
- 若置於室內，屋頂傾倒，結構不受影響。
- 可加額外活動屏蔽混凝土塊。
- 分層一體建造，抗震強。
- 方塊間作業空間縮小至30呎。
- 可置數種呎吋的密封鋼筒。
- 有空間可安裝各種偵測設備。
- 有機構可迴轉密封鋼筒，易於做360度表面檢查。

(3E)、金屬屏蔽護箱的強項、及弱項

表2-2、金屬屏蔽護箱的強項、及弱項

項目	強項	弱項
運輸功能	以螺栓設計， <ul style="list-style-type: none"> ■ 無密封鋼筒的金屬屏蔽護箱，可快速取出/裝載用過燃料。 ■ 有密封鋼筒的金屬屏蔽護箱，可快速取出/裝載密封鋼筒。 	無密封鋼筒的鑄造金屬屏蔽護箱，不適宜在低溫環境下運輸。
結構功能	金屬結構堅強，適合運輸。	無密封鋼筒的鑄造金屬屏蔽護箱，不適宜在低溫環境下運輸。
熱傳功能	適合較低熱負載。	不適合較高熱負載。因較厚的金屬屏蔽層、及其內部的中子吸收材料降低熱傳能力
密封功能	無密封鋼筒的金屬屏蔽護箱，適合短期貯存。 有密封鋼筒的金屬屏蔽護箱，適合長期貯存。	無密封鋼筒的金屬屏蔽護箱，不適合長期貯存，國外有金屬墊圈洩漏案例報告。係為了可快速取出/裝載用過燃料，故以螺栓設計，以金屬墊圈止漏。金屬墊圈必須定期更換，及加裝金屬墊圈洩漏偵測(註：不含筒身、及筒底的洩漏偵測)。
屏蔽功能	可符合工作人員劑量限制。	不能符合一般民眾劑量限制。考量運輸、及吊運荷重限制，金屬屏蔽不能太厚，使輻射劑量較高，必須置於室內，以牆壁降低場界劑量，是歐、日採室內貯存的主要考量。
價錢	無	<ul style="list-style-type: none"> ■ 有密封鋼筒的金屬屏蔽護箱的價錢，是混凝土屏蔽護箱/屏蔽模組的2倍(約)。 ■ 無密封鋼筒的金屬屏蔽護箱的價錢，是混凝土屏蔽護箱/屏蔽模組的3倍(約)。 ■ 運輸執照有效期限在國外為5年，5年後要重新認證、或法規變更無法認證而需重新採購，將需要額外的投資。
製造	國外製造。	不易技轉國內製造。

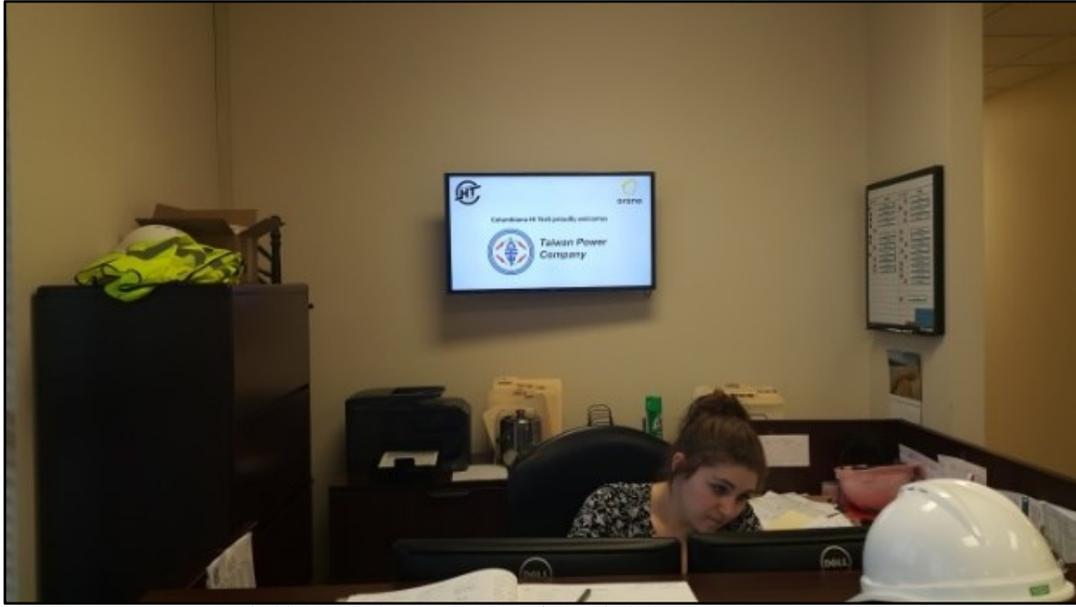


圖 2-2-2-1 訪客接待櫃台呈現歡迎參訪字樣



圖 2-2-2-2 全程由 CHT 人員陪同

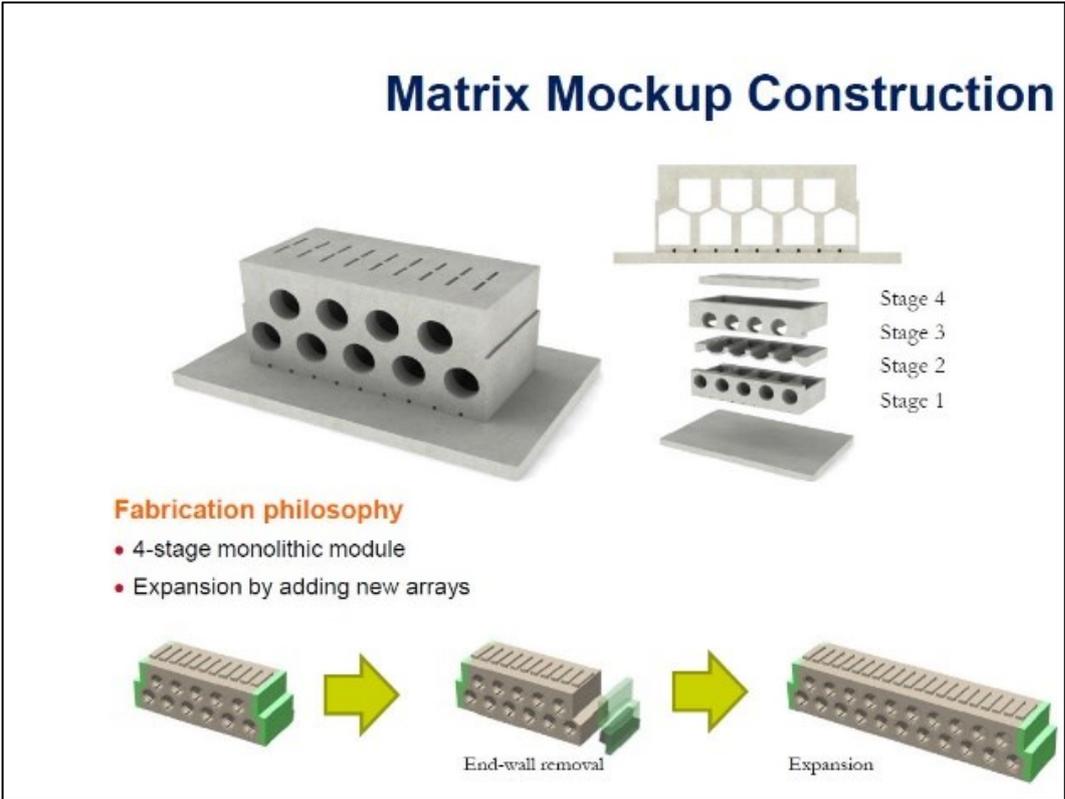


圖 2-2-2-3 HSM-MATRIX 分四層灌漿建造

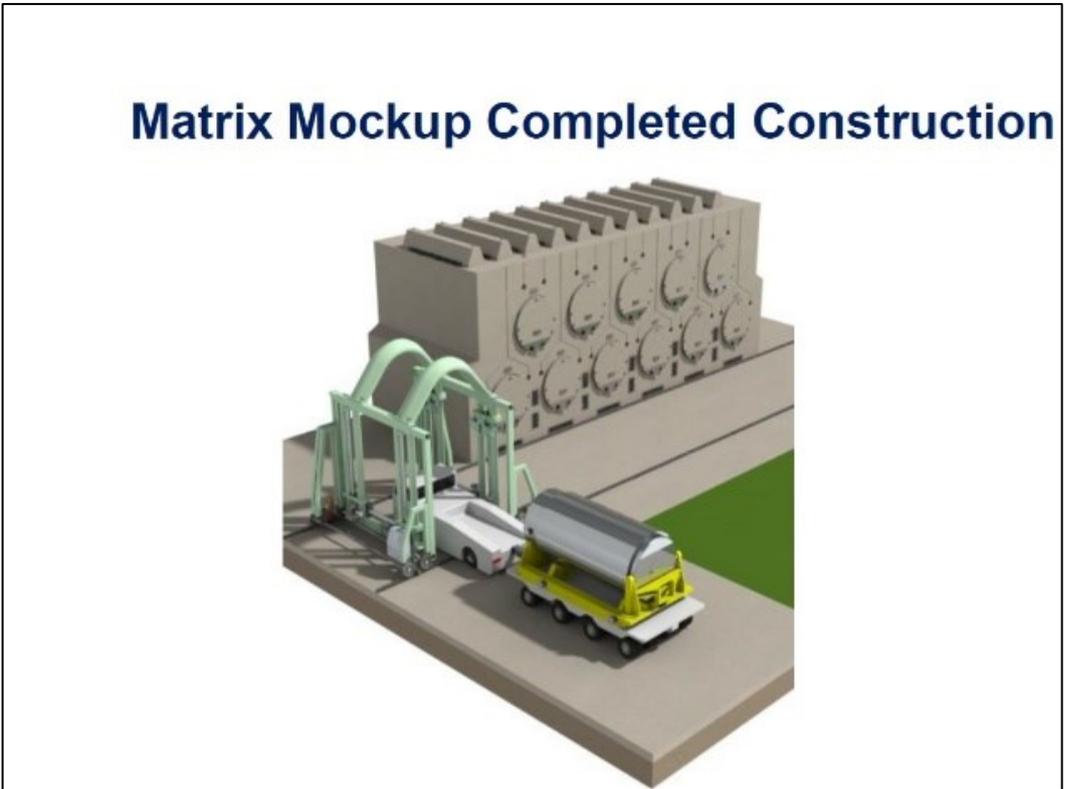


圖 2-2-2-4 HSM-MATRIX 的軌道設計

(三) 參加 2018 EPRI Extended Storage Collaboration Program

EPRI(Electrical Power Research Institute) ESCP(Extended Storage Collaboration Program)其主要功能是以EPRI為中心，以乾貯延壽為目的，建立平台共同討論。各組織以合作的方式，將努力成果分享給各參與會員。會議共有三天，議程詳如附件一，主要重點如下：

- 第一天主要討論ESCP工作重點、用過燃料、及熱傳分析部份。
- 第二天主要討論非破壞性檢測技術(NDE)、氯鹽引起的應力腐蝕龜裂(CISCC)、及密封鋼筒的維護及修補(CM&R)。
- 第三天主要討論各組織的現況及成果分享。

1、第一天各組織報告重點

(1)、EPRI ESCP做開幕報告

EPRI ESCP 2018冬季會議開幕，說明ESCP組織架構，詳如圖2-3-1-1-1

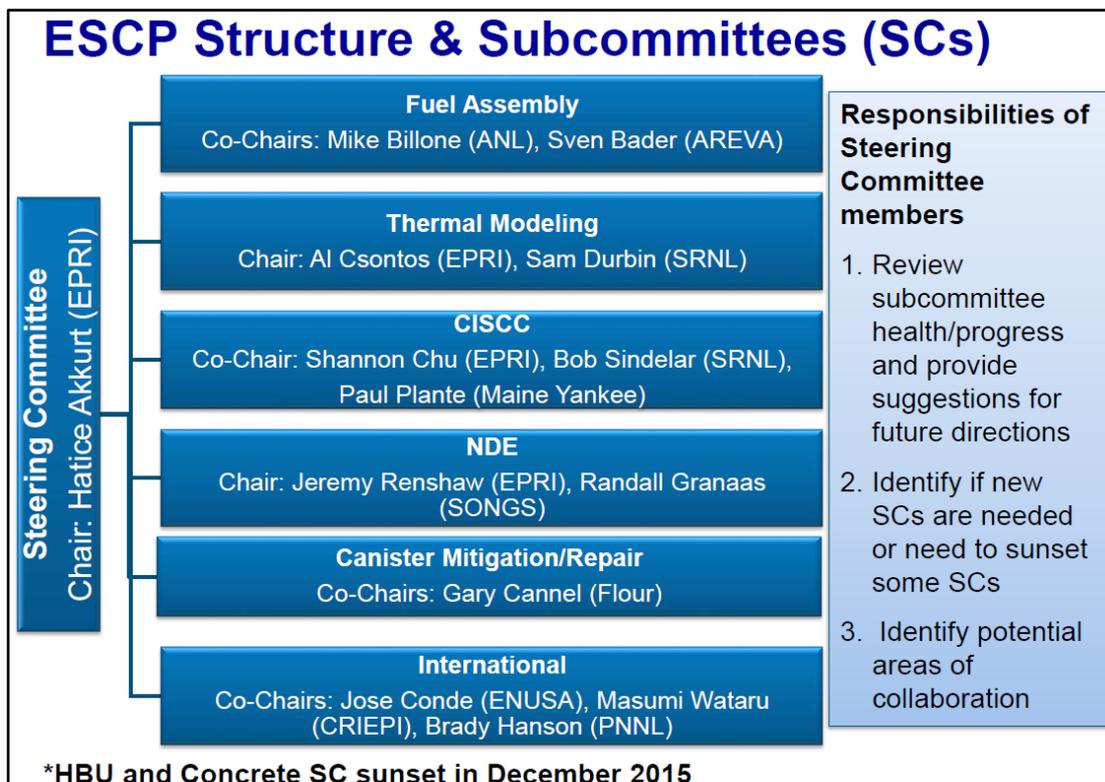


圖2-3-1-1-1 ESCP組織架構

(2)、DOE R&D計畫現況報告

(2A)、DOE支援的R&D計畫，其相關業界、項目、及經費，如圖2-3-1-2-1

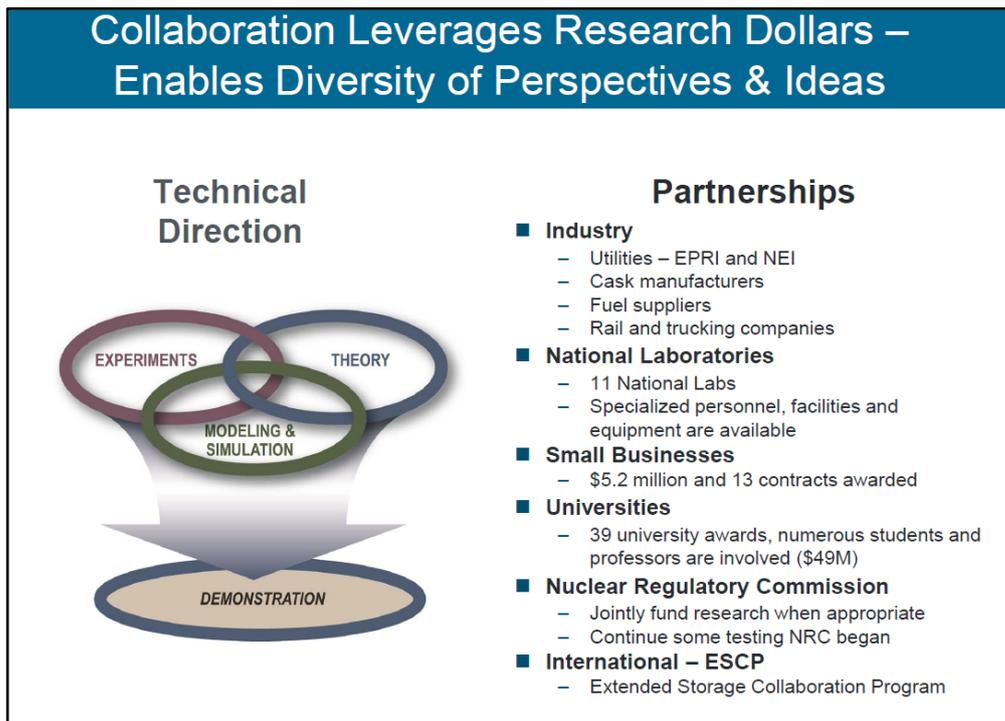


圖2-3-1-2-1 DOE的合作單位

(2B)、CISCC(Chloride Induced Stress Corrosion Crack)之發生，需要三個條件同時存在(如圖2-3-1-2-2)。要審視下列問題，確認是否有發生的可能：

- 乾貯場場址是否有氯鹽存在？
- 密封鋼筒材料是否對氯鹽敏感？
- 密封鋼筒焊接後是否存在張應力？



圖2-3-1-2-2 CISCC發生的條件

(2C)、CISCC演變過程，詳如圖2-3-1-2-3。密封鋼筒完整性，應探討的工作有：

- 研發偵測CISCC、及修補的技術
- 瞭解密封鋼筒如何、及何時可能會有裂紋。如塩水的穩定性、裂紋的成長模型
- 瞭解CISCC發生蝕穿的後續現象
- 瞭解環境對裂紋成長的影響

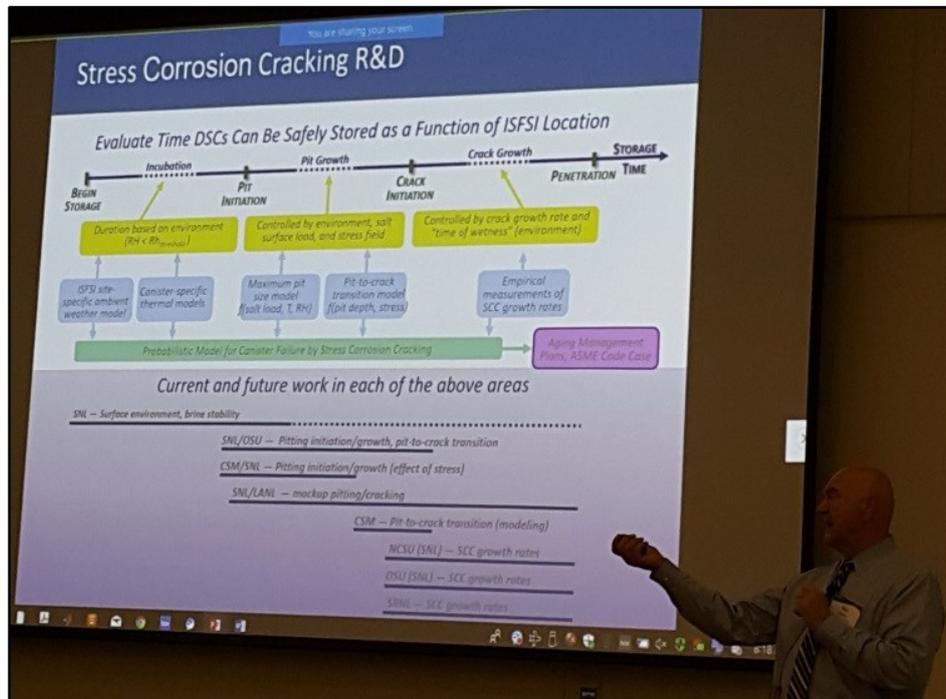


圖2-3-1-2-3 CISCC的演變過程

(3)、NUREG-2224 高燃耗的貯存及運輸草案，用過燃料相關法規如圖2-3-1-3-1。對高燃耗燃料乾貯時，列為**破損燃料必須先裝罐**，再置入密封鋼筒。

用過燃料的安全標準如圖2-3-1-3-2，即

- 良好的**散熱能力**
- 良好的**次臨界狀態**
- 良好的**輻射屏蔽**
- 良好的**密封能力**

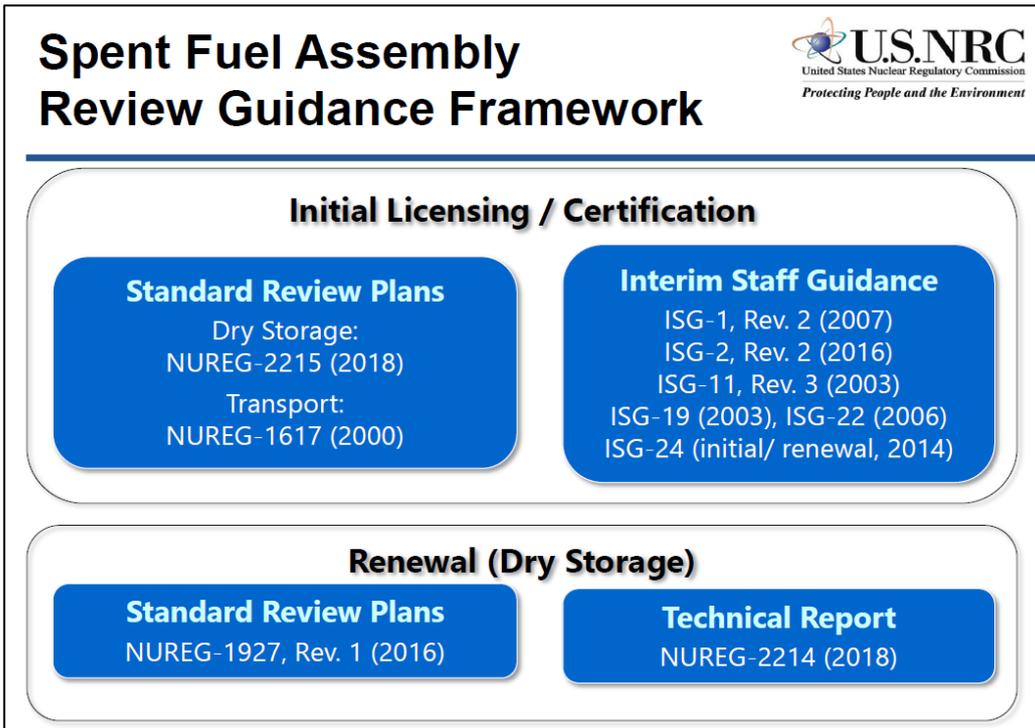


圖2-3-1-3-1用過燃料相關法規

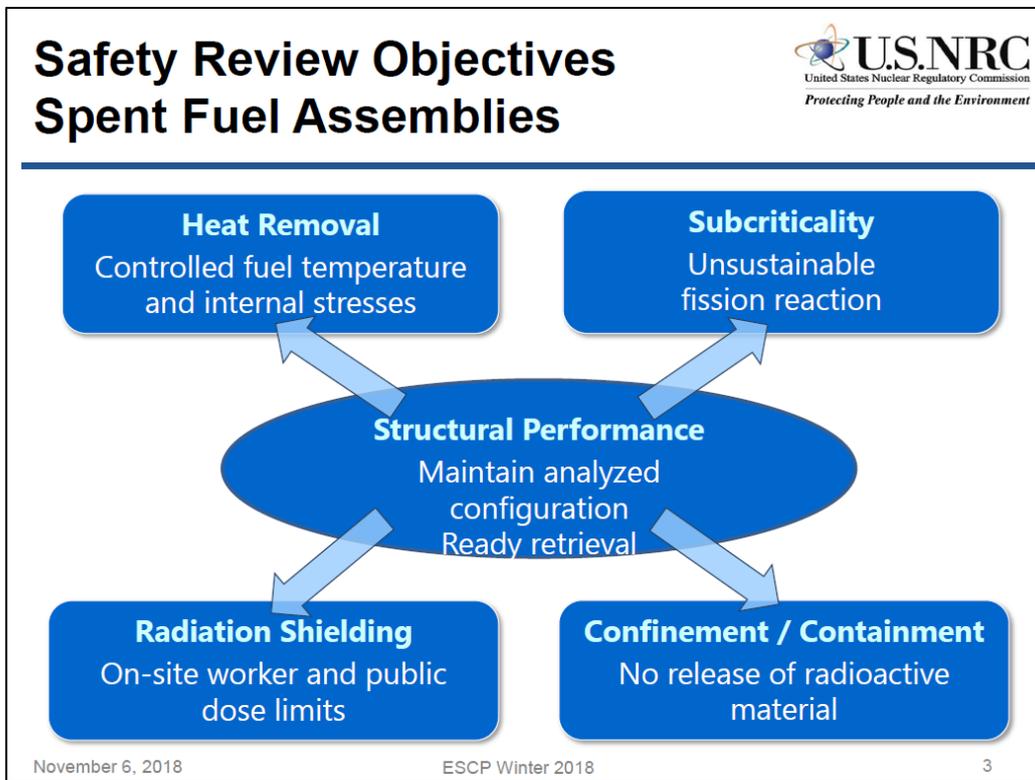


圖2-3-1-3-2 用過燃料的安全標準

(4)、ORNL 燃料棒溫度偵測，詳如圖2-3-1-4-1。PCT溫度實際量測值和安全分析值有120°C的差距。(註：LAR, License Amendment Request)

▪ **Steady state PCTs from all models and measurements significantly lower than the design licensing basis:**

Parameter	FSAR	LAR	Best-Estimate	HBU Cask Measurements
PCT (model vs data)	348°C	318°C	254-288°C	229°C
Heat Loadouts	36.96kW	32.934kW	30.456kW	30.456kW
Ambient Temperature	100°F	93.5°F	75°F	75°F
Design Specifics	Gaps	Gaps	Gaps	No Gaps?

圖2-3-1-4-1PCT溫度實際量測值和安全分析值

2、第二天各組織報告重點

(1)、美國桑迪亞國家實驗室(SNL)，對乾貯密封鋼筒的CISCC研究做報告，重點有：

- 總目標：預估CISCC蝕穿密封鋼筒的地點及時間
- 當密封鋼筒表面溫度下降，第一個潮解的氯鹽是MgCl₂
- 當MgCl₂在80°C以下、35RH以上，即開始潮解
- 表面腐蝕發生在MgCl₂潮解處
- MAINE YANKEE 密封鋼筒表面氯鹽分析，均小於 100mg/m²，其主要來源應為花粉、及植物纖維。樣品分析數據，詳如圖 2-3-2-1-1。

Sample #	Cl ⁻ , mg/m ²
MY-1	36.0
MY-2	28.3
MY-3	5.8
MY-4	5.6
MY-5	31.8
MY-6	74.4

圖2-1-1 MAINE YANKEE密封鋼筒上表面樣品分析

(2)、美國能源部的SRNL負責對乾貯CISCC裂紋成長研究， CISCC裂紋成長率和溫度倒數負相關，如圖2-3-2-2-1所示

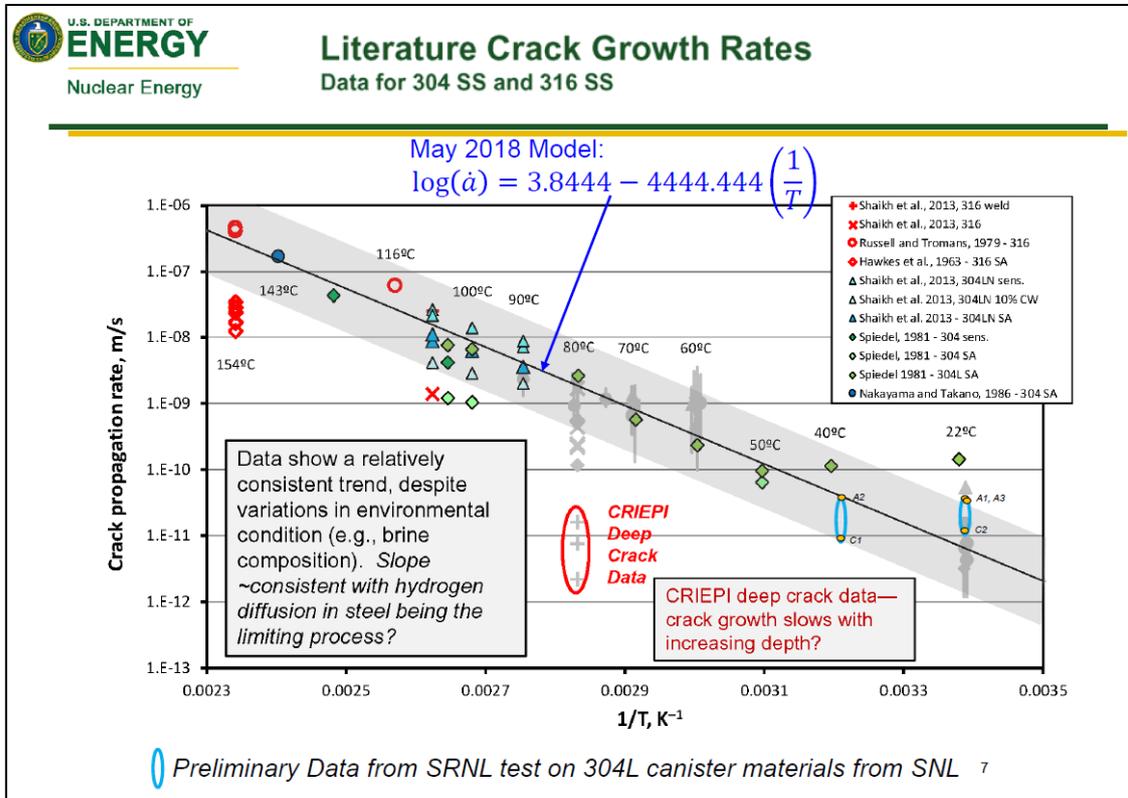


圖2-3-2-2-1CISCC裂紋成長率和溫度關係圖

(3)、西班牙ENUSA建立各階段的數學模型，認為PIT(麻點)產生和許多因素有關，但重點是密封鋼筒表面不再是乾的，在MgCl₂能潮解在表面上的時點開始出現。

(4)、加州Intelligent Optical Systems運用雷射及超音波偵測SCC裂紋深度。以雷射激發，以超音波偵測，感測器如圖2-3-2-4-1所示。其信號處理迴路，如圖2-3-2-4-2所示。掛在機器人載具上，進入密封鋼筒和VCC之間的通風道，如圖2-3-2-4-3所示。以人為特製的裂紋做測試，可得到如圖2-3-2-4-4所示的裂紋深度之信號顯示。其主要特點有：

- 不接觸待測表面
- 可在表面粗糙、彎曲、腐蝕的表面運作
- 可做精確的深度量測
- 在高溫、高輻射下，不影響其功能

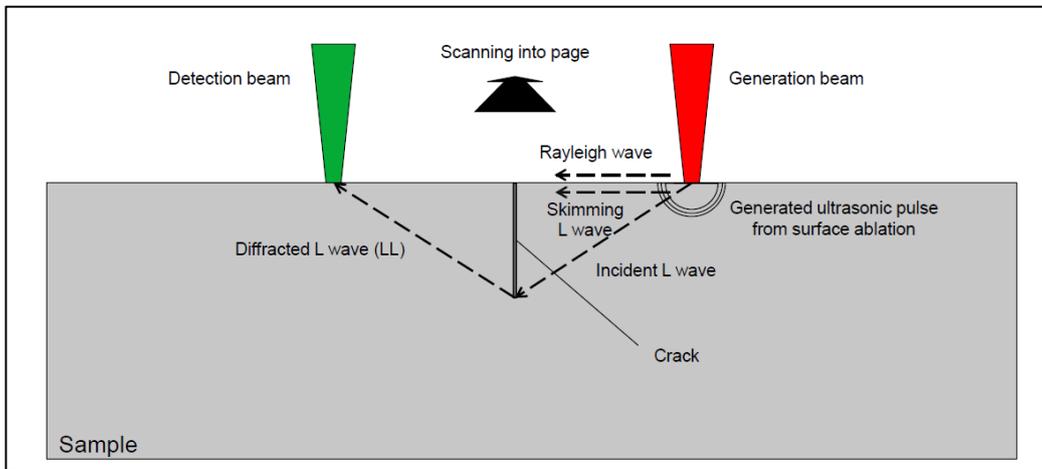


圖2-3-2-4-1雷射激發，以超音波偵測的感測器

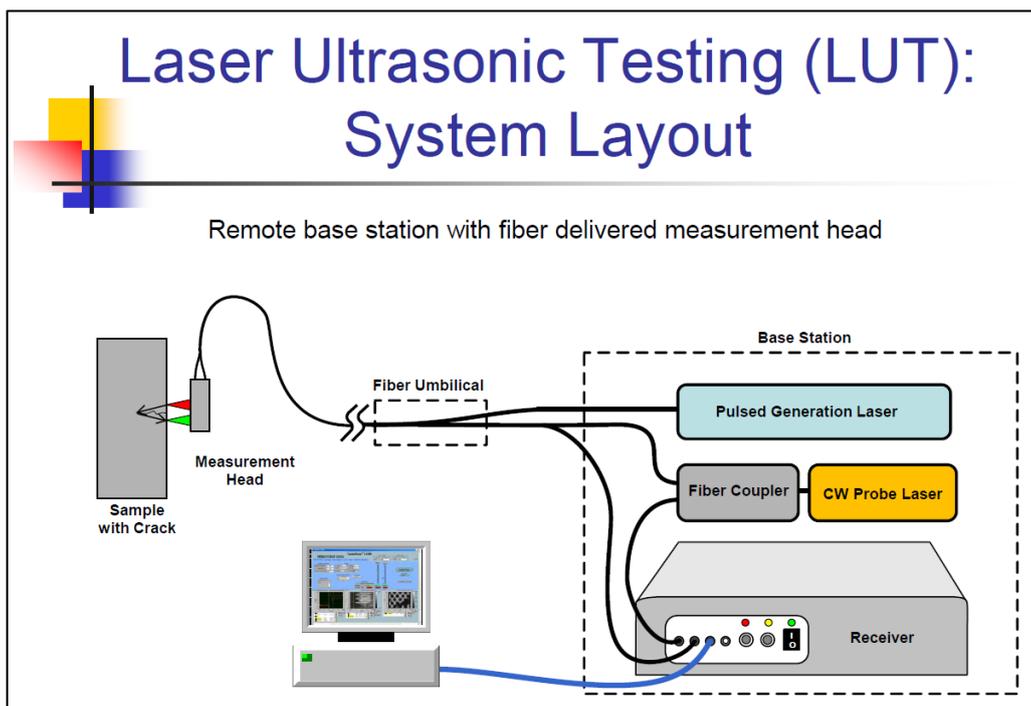


圖2-3-2-4-2感測器信號處迴路

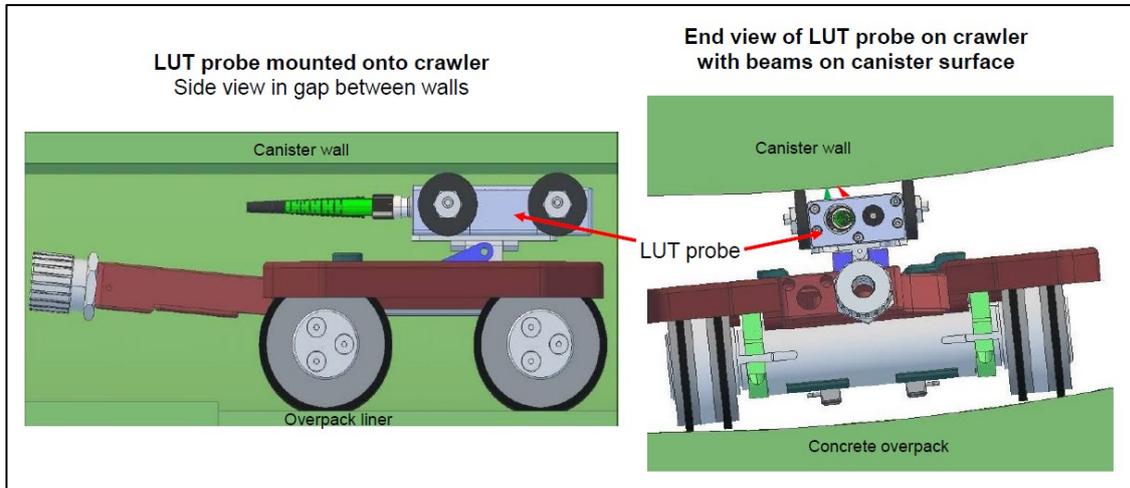


圖2-3-2-4-3掛在機器人載具上的感測器

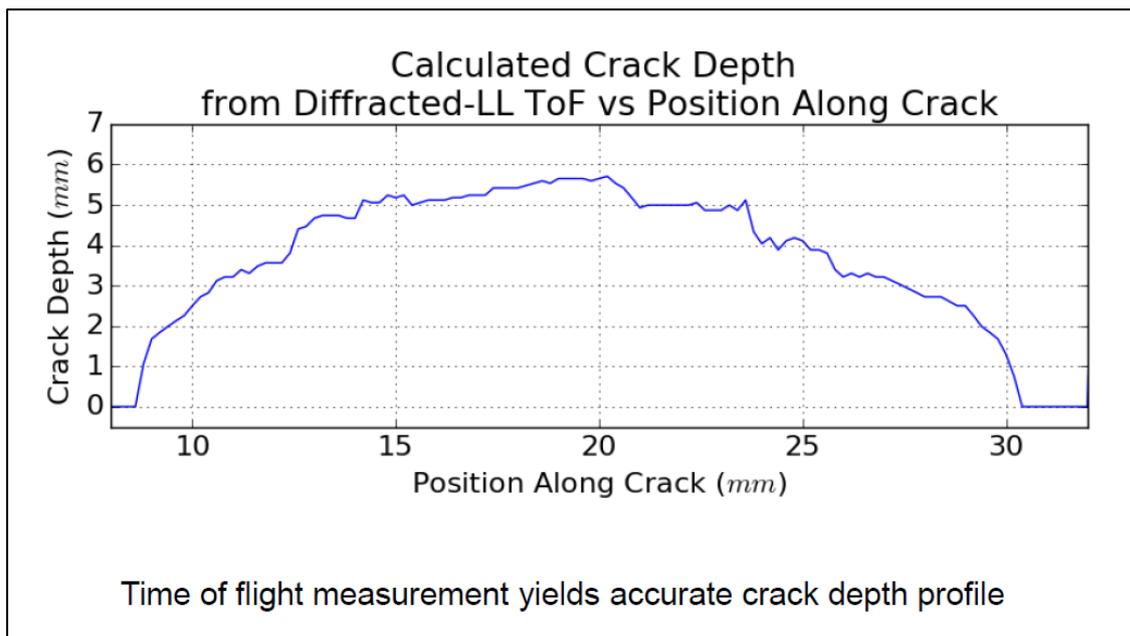


圖2-3-2-4-4裂紋深度之信號顯示

(5)、X-wave Innovation Inc推出密封鋼筒內部被動式壓力溫度偵檢器，透過超音波將信號傳出去。其設計概念如圖2-3-2-5-1所示。感測器在35000REM/HR下7小時，其功能仍維持正常。目前可提供溫度、壓力、及濕度偵測，其可運作的環境，如圖2-3-2-5-2所示。

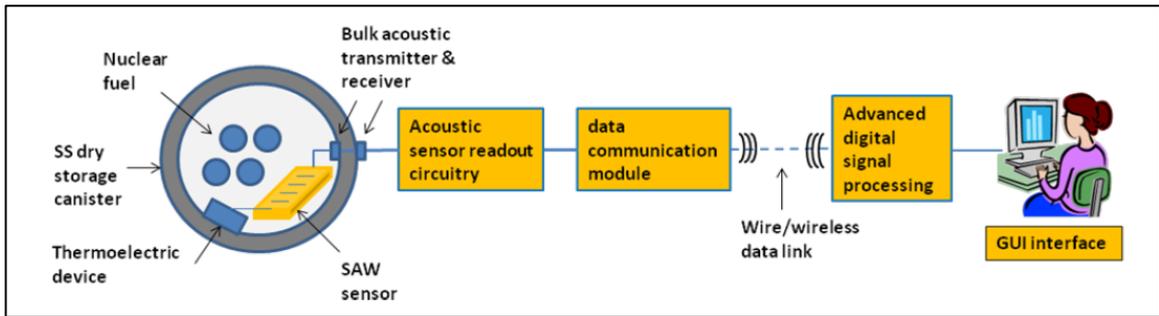


圖2-3-2-5-1密封鋼筒內部被動式溫度、壓力、及濕度偵測迴路

SAW Sensor/component endurance

Tests\Component	SAW	Pressure capacitor	Pd resistor	TiO ₂ Nanoparticles film
Temperature	320 °C	320 °C	Up to 350 °C	320 °C
Pressure	--	-14 to 90 psig	--	--
Humidity (RH)	0-100 %	0-100%	--	0-100%
Boric acid solution (3000ppm at 150°F for 150 hrs)	No change in response after 3 days	No change in response after 1 day	Change in response	Change in response

圖2-3-2-5-2密封鋼筒內部偵測器可運作的環境

(6)、MAINE YANKEE進行NAC之MPC/UMS型號密封鋼筒的檢查。選定TSC-22後，進行搭架、及吊走上方混凝土頂蓋，如圖2-3-2-6-1所示。接著工作人員進入TSC上方，檢視上部焊道情形，如圖2-3-2-6-2所示。工作人員準備載具及檢測設備，如圖2-3-2-6-3所示。載具及檢測設備進入通風道，如圖2-3-2-6-4所示。錄影設備在通風道所看到的密封鋼筒，如圖2-3-2-6-5所示。密封鋼筒表面採樣的分析結果，如圖2-3-2-6-6所示。通風道的溫度、及輻射劑量，如圖2-3-2-6-7所示。其他重點有：

- MPC通用執照到期日為4/10/2020
- UMS通用執照到期日為11/20/2020
- UMS的電廠有MAINE YANKEE、PALO VERDE、CATAWBA、MCGUIRE
- MPC的電廠有YANKEE ROWE、CONNECTICUT YANKEE、PALO VERDE、LACROSSE
- 運用EPRI標準檢視MAINE YANKEE乾貯設備
- MAINE YANKEE乾貯設備的檢視結果，將做為再發照的參考
- NAC簽約執行
- UMS/MPC的AMP(老化管理計畫)，檢視重點有：
 - 不銹鋼焊道是否有腐蝕、或SCC裂化
 - VCC鋼構
 - 混凝土結構
 - 依NAC QAP(品保計畫)執行
- 檢視結果：
 - 密封鋼筒無可關注之處，VCC鋼構有局部塗漆剝落
 - 密封鋼筒內部是乾燥的
 - TSC上部氬鹽累積量約在29~114mg/m²
 - TSC表面溫度範圍在84.5~116°F(環境溫度：76.4°F)
 - TSC表面劑量範圍在11.05~311R/HR
 - 整體來說，TSC/VCC均在良好狀況，無明顯的劣化。



圖2-3-2-6-1進行搭架、及吊走上方混凝土頂蓋



圖2-3-2-6-2工作人員檢視上部焊道

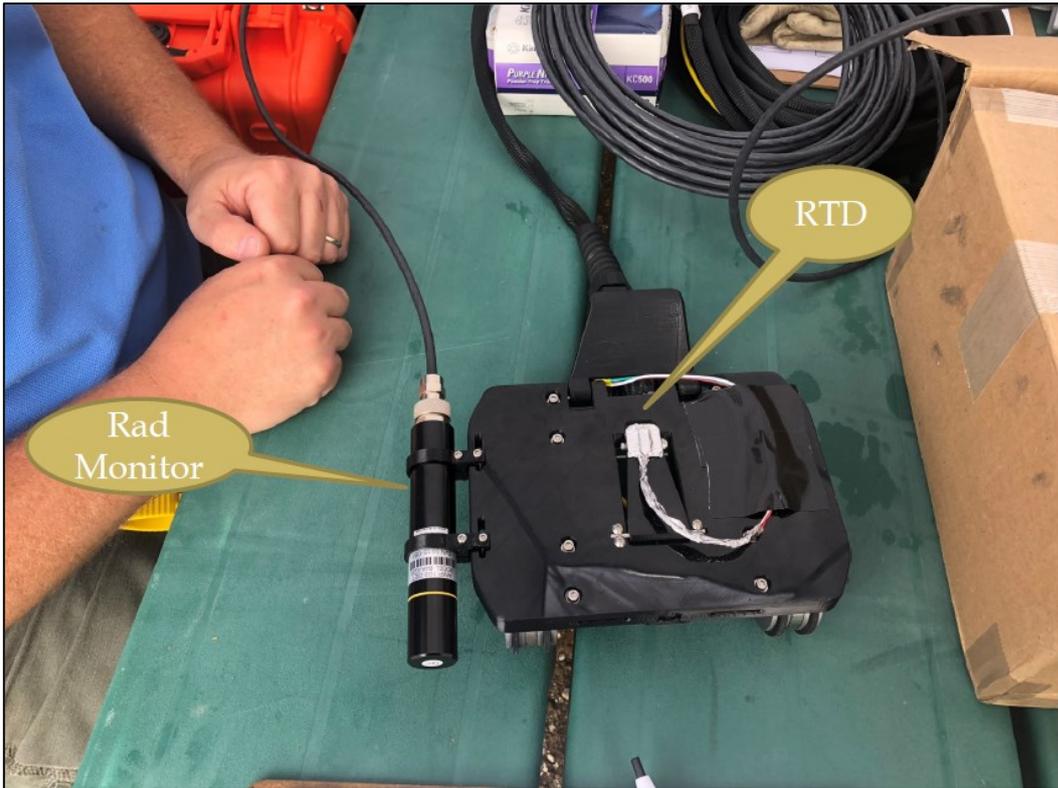


圖2-3-2-6-3載具及檢測設備



圖2-3-2-6-4載具及檢測設備進入通風道



圖2-3-2-6-5錄影設備在通風道所看到的密封鋼筒

Surface Salt Measurements Inside Two Maine Yankee VCC's

Sample	Elcometer Reading	Chloride		Nitrogen/Nitrate		Sulfate	
		Measured	Loading	Measured	Loading	Measured	Loading
1 (Top of TSC22 - Very Dusty)	2.9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	308 μg	32 mg/m^2	124 μg	13 mg/m^2	456 μg	48 mg/m^2
2 (Top of TSC22 - Relatively Clean)	Not Valid	40.8 μg	4.3 mg/m^2	12 μg	13 mg/m^2	ND	N/A
3 (Top of TSC22 - Most Dusty)	6.3 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	350 μg	37 mg/m^2	159 μg	17 mg/m^2	569 μg	60 mg/m^2
8 (Top of TSC22 - Very Dirty)	N/A	272 μg	Swipe	152 μg	Swipe	768 μg	Swipe
9 (Top of TSC22 - Dirty)	N/A	52.3 μg	Swipe	19.3 μg	Swipe	83.2 μg	Swipe
10 (Top of the Shield Plug-TSC22)	1.1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	44.2 μg	4.7 mg/m^2	6.3 μg	0.7 mg/m^2	124 μg	13 mg/m^2
SPE-01 (Top of the Shield Plug-2016 TSC2)	0.5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	28 μg	2.8 mg/m^2	ND	N/A	73.1 μg	7.3 mg/m^2
SPE-02 (Top of the Shield Plug-2016 TSC2)	0.7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	43 μg	4.3 mg/m^2	2.5 μg	0.2 mg/m^2	107 μg	10.7 mg/m^2

Note: 1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2 = 10 \text{ mg}/\text{m}^2$

圖2-3-2-6-6密封鋼筒表面採樣的分析結果

2018 TSC 22 Dose Rate and Temp. Data										
7/25/18 Maine Yankee Pre-Application Inspection Temperature/Radiation Data for VCC55/TSC22										
VCC Outlet Vent Location									Ambient Temperature	
South		East		North		West		AVG = 76.4 °F		
Vent Opening (Top)	Temp °F	Rad R/hour	Temp °F	Rad R/hour	Temp °F	Rad R/hour	Temp °F	Rad R/hour	Δ T = 9.4 °F	
1'	98	30.85	99	22.1	95	26.4	90	27.22		
2'										
3'									Dose at ID Edge of Outlet Vent	
4'	109	308.6	111	202	94.5	204.2	90.6	199.7	South = 2.3 R/hr	
5'										
6'										
7'	115	311	116	216.8	91.5	240.5	88	217.8	East = 1.84 R/hr	
8'										
9'									North = 2.1 R/hr	
10'	109	259.2	109	213.1	86.5	249.3	86	217.8	West = 3.2 R/hr	
11'										
12'										
13'										
14' (Bottom above bevel)	87	11.05	87	16.1	[Couldn't touch]	22.4	84.5	14.45		
Radiation Instrument				Temperature Instrument						
Model	Serial Number		Model	Serial Number						
AMP 100	5015-081		Solo 4848	RTT Box 2						
AMP 200	7711-022									

圖2-3-2-6-7通風道的溫度、及輻射劑量

(7)、EPRI之NDE檢查設備之研究開發現況，詳如圖2-3-2-7-1所示。

Item	NAC Robot	Holtec Robot	TN Dual Robot	TN Top Vent Robot
VT Inspection	Done	Done	Designed	Done
Eddy current inspection	Done	Done	Done	Done
Dose Measurement	Done	Done	Done	Done
RTD Measurement	Done	Done	Fabricated	Fabricated
Thermal Camera	Done	Removed from List	Removed from List	Removed from List
Surface Cleaning Capability	Done	Done	Done	Done
Field Trial(s)	Done	Done	Need	Need
Surface Cleaning Test	Done	Done	2nd Tier Need	Done

圖2-3-2-7-1 NDE檢查設備之研究開發現況

(8)、HITZ(Hitachi Zosen)對密封鋼筒的老化偵測及減輕CISCC的辦法，使用ZSP(Zirconia Shot Peening)、WJP(Water Jet Peening)，可將張應力改變為壓應力，去除發生CISCC的條件之一。

(9)、斗山重工簡報韓國對金屬屏蔽護箱、及混凝土屏蔽護箱的運用概念，如圖2-3-2-9-1所示。

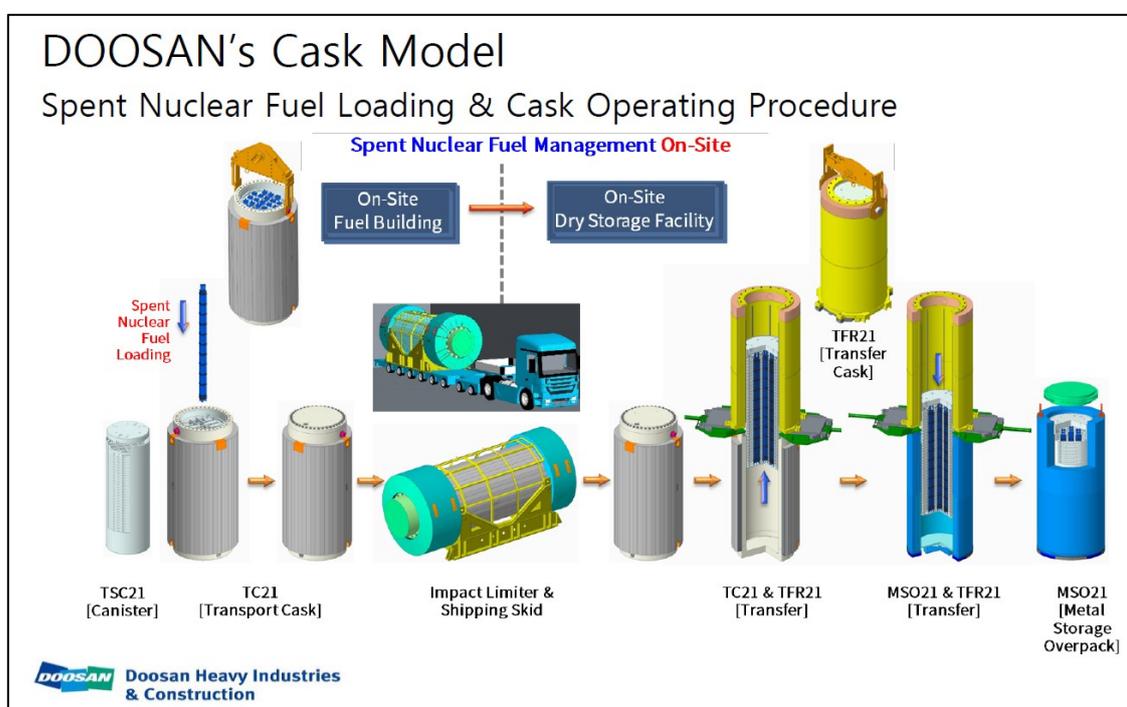


圖2-3-2-9-1韓國對金屬屏蔽護箱、及混凝土屏蔽護箱的運用概念

(10)、美國橡樹嶺國家實驗室(ORNL)，提出開發通用密封鋼筒檢視及維修之概念設計(MERF, Mobile Examination Remediation Facility)，如圖2-3-2-10-1所示。其必要性有，

- 電廠除役後，無燃料池可使用
- 雖乾貯執照第二次可延長40年，但額外要求定期檢查的老化管理
- 老化管理要求的配套，是要有預防及維修機制
- 現行維修機制是基於有燃料池的狀況

其主要設計要求有：

- 圍阻設備，防止修理時發生污染擴散
- 避免懸掛中檢修，防止重量負荷問題
- 適用於垂直、及水平乾貯系統

其他設計要求有：

- 可迴轉的工作平台
- 尺寸可置入各種尺寸的密封鋼筒及檢修設備
- 可轉移密封鋼筒至運輸護箱、或傳送護箱
- 使用UT/ECT設備
- 有應力釋放設備
- 焊接使用GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)，焊接溫度 $<800^{\circ}\text{C}$
- 模組化
- 可移動
- 可換氣
- 可除污

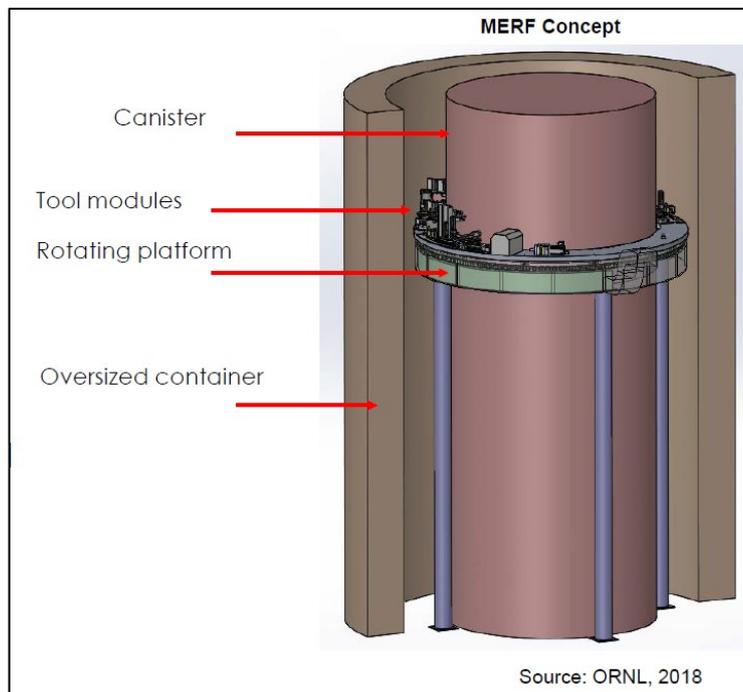


圖2-3-2-10-1通用密封鋼筒檢視及維修設備

- (11)、EPRI ESCP的CM&R(Canister Mitigation & Repair)報告，推動原因為
- 社會需求
 - CISCC及NDE次會議要求
 - ASME XI CODE CASE需求

CM&R相關計畫(如圖2-3-2-11-1所示)及學校合約(如圖2-3-2-11-2所示)

External Activities Table		
▪ Tabulated list of CM&R development efforts external to the ESCP SC has been developed to maintain awareness of on-going activities		
Project/Activity	Technical Contact	Affiliation
In Situ Stress Corrosion Crack Repair and Prevention for Nuclear Waste Canisters	Kyle Johnson	VRC Metal Systems
Mobile Examination & Remediation Facility (MERF)	Stylios Chatzidakis	Oak Ridge National Laboratory
DCSS Repair & Mitigation via FSW	Glenn Grant/Ken Ross	Pacific Northwest National Laboratory
PNNL NRC Mockup - Inspection Focus - horizontal canister design	Ryan Meyer	
CISCC Analysis and Competitive Benchmarking	Mychailo Toloczko	Diakont
Stainless Canister In-Situ Robotic Flaw Mitigation/Repair Using Weld Overlay: Feasibility Assessment	Edward Petit de Mange	
Crack Repair with FSW (proof of concept to support recent NEUP submission)	Tracey Nelson	Brigham Young University
Spent Fuel Canister Residual Stress Analysis/Chemistry of SCC/CISCC Model Development	Charles Bryan	Sandia National Laboratory
Peening during fabrication for CISCC Mitigation	Unknown	Holtec
DOE Nuclear Energy University Program Funding Opportunities (2018 CINR FOA)	Multiple Contacts	Multiple Universities (see next slide)
Geopolymer Repair Development for Dry Cask Storage Systems	Marc Kuntz	Électricité de France (EDF) / EPRI
CISCC Mitigation Technology for Canisters through Surface Stress Improvement (SSI) Technology	Sungwoo Cho	Doosan / KHNP / EPRI

© 2018 Electric Power Research Institute, Inc. All rights reserved. **EPRI** | ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

圖2-3-2-11-1 CM&R相關計畫

DOE Nuclear Energy University Program (NEUP) Awards
▪ Five NEUP awards (\$4M total) were granted by the DOE in 2018 to develop repair and mitigation technologies for dry cask storage canisters:
1. University of Cincinnati (Contact: Vijay Vasudevan): Development of Repair and Mitigation Methods for Enhancing Stress Corrosion Cracking Resistance of Austenitic Stainless Steel Spent Nuclear Fuel Canisters
2. University of Idaho (Contact: Indrajit Charit): Friction Stir Based Repair Welding of Dry Storage Canisters and Mitigation Strategies: Effect of Engineered Barrier Layer on Environmental Degradation
3. Purdue University (Contact: Janelle Wharry): Cold Spray Repair & Mitigation of Stress Corrosion Cracks in Spent Nuclear Fuel Dry Storage Canisters
4. Ohio State University (Contact: Antonio Ramirez): Repair and Mitigation of Chloride-Induced Pitting and Chloride-Induced Stress Corrosion Cracking in Used Nuclear Fuel Dry Cask Canister Materials
5. University of Wisconsin (Contact: Frank Pfefferkorn): Low-Force Solid-State Technologies for Mitigation of Stress Corrosion Cracking in Dry Storage Canisters

圖2-3-2-11-2 CM&R學校合約

3、第三天各組織報告重點

- (1)、西班牙ENUSA公司，負責美國以外地區之EPRI -ESCP國際乾貯次會議，今年在慕尼黑舉行，由德國GRS做東。
- (2)、德國GRS為核能安全技術研發單位，支援德國核能安全管制單位BMUB。德國現況有，
 - 尚無最終處置場
 - 用過燃料2019年改聯邦擁有
 - 高燃耗定為65GWD/MT以上
 - 增加乾貯延壽之研究計畫
- (3)、日本CRIEPI研究重點，有鋁合金的老化研究、金屬屏蔽護箱的METAL GASKET的密封效能分析、及密封鋼筒的SCC評估及對策(如圖2-3-3-3-1)。

<h2>Countermeasures for SCC</h2>	
Method	Example
Decrease residual stress	Laser welding
Stress relaxation	Annealing
Apply compression stress	Shot peening, Ball-burnishing, Water jet peening
Use high-Cr, high-Mo material	Duplex stainless steel, Super austenitic stainless steel
Use SCC free material	Titanium, Ferrite Steel
Isolate from chloride	Painting, Corrosion resistant plating
Decrease salt deposition	Sea salt particle collection, Washing
Keep salt dry	Keep surface temperature high
Design standard	Threshold salt density, etc.
Operational standard	Crack growth evaluation

圖2-3-3-3-1密封鋼筒的SCC評估及對策

(4)、A. 韓國研究單位KAERI做15米墜落測試，引起許多關注。要點有：

- 模擬吊運可能的最大高度
- 1/3尺寸運輸護箱，內置一組1/3尺寸模擬燃料束
- 無撞擊緩衝器
- 墜落至混凝土基板
- 先行模擬計算

模擬及實做均證實

- 沒有護套損壞
- 燃料可取出
- 密封完整

B. 韓國研究單位KAERI做密封鋼筒抽真空乾燥及灌氦乾燥測試，引起許多關注。
抽真空乾燥所花時間，比灌氦乾燥為長。

(5)、南卡大學以實驗及模型來說明乾貯真空乾燥及氦氣循環乾燥方式。由DOE提供資金，針對水棒、破損燃料棒、及各式燃料束的組件，實測工業界乾燥法所殘留的水，並建模型進行分析。

(6)、歐洲JRC(Joint Research Centre)研究乾貯百年後的燃料再取出研究，主要探討燃料的ALPHA衰變造成晶格損壞、及氦氣累積(如圖2-3-3-6-1)等，自然造成燃料丸的硬度降低、晶格消失、及熱擴散能力降低。

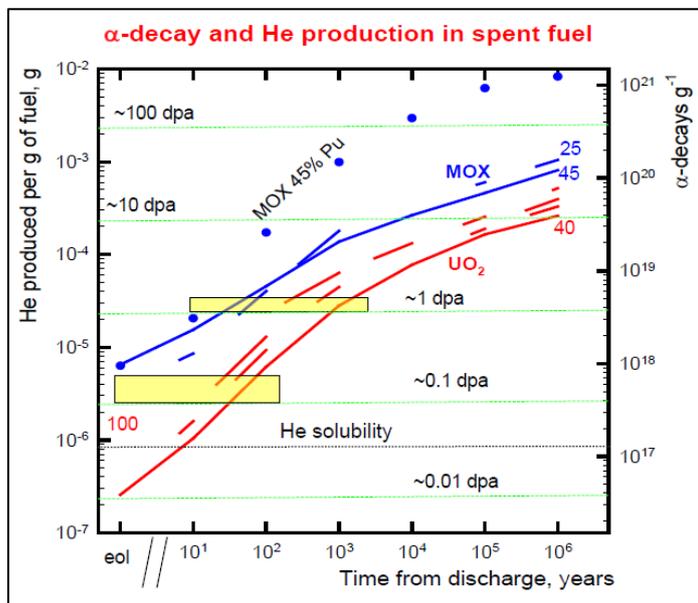


圖2-3-3-6-1 隨時間增加之氦氣累積

(7)、德國STUDSVIK公司的任務，2031確定最終貯存場址，2050最終貯存場址開始營運(最理想的情況下)，及研究CASTOR貯存超過40年的可行性。

(8)、加拿大WHITESHELL實驗室進行燃料檢查及轉置計畫。加拿大核子實驗室，因

WHITESHELL實驗室即將除役，擬轉置WHITESHELL實驗室的混凝土乾貯裝置移至CHALK-RIVER實驗室，並已獲加拿大管制單位(CNSC)的執照許可。混凝土乾貯裝置於1978啟用，已有40年歷史，預計2020轉置完成。目前檢視發現碳鋼提籃並無明顯的腐蝕、及燃料並無減損。

- (9)、加拿大國家實驗室(CNL)於1978年，已建置長期乾貯研究計畫。
- (10)、英國EDF電力公司SIZEWELL B電廠2017年已建置7座雙層密封鋼筒系統。雖然SIZEWELL B電廠乾貯採用雙層密封鋼筒，設計壽命為100年。但衰變熱降低後，氯鹽仍有極低侵入的可能，引起CISCC，進而影響密封鋼筒完整性。雖密封鋼筒完整性降低的可能性極低，仍設計乾貯溫差監控做為密封鋼筒之失壓偵測。

三、心得與感想

- (一) 美國杜克電力公司受訪人員表示，目前美國在電廠內建造乾貯場，只要 NRC 同意即可，只有一個州例外，需要州政府同意。
- (二) 美國杜克電力公司受訪人員表示，目前美國在電廠內建造乾貯場，如果選用已經取得通用執照的乾貯設備，不須另做安全分析。
- (三) 參訪美國杜克電力公司 BRUNSWICK 電廠的乾貯場，發現密封鋼筒新品、備品、及操作設備均置於鋼構倉庫，並未設置空調設備，必要時啟動小型風扇。
- (四) 參訪 EPRI，發現美國持續投資在 304 不銹鋼 CISCC 的研究、及後續的老化管理上，以因應必須延役的密封鋼筒乾貯設備的照顧。
- (五) 參訪 EPRI，對於防制密封鋼筒發生 CISCC，EPRI 專家認為，若資金足夠，雙相鋼(DSS, Duplex Stainless Steel)、或雙層密封鋼筒(DWC, Double Wall Canister) 是目前的選擇。
- (六) 美國 NRC、及歐州國家的管制單位，都參加了 ESCP 論壇，希望就最新的技術，做最適當的管制
- (七) 美國許多國家實驗室、歐州國家的核能研究單位、及日本及韓國的核能研究單位均派員參加 ESCP 論壇並做技術分享簡報。

四、困難與特殊事項

在 EPRI-ESCP 論壇中，最終貯存是個目標，但乾式中期貯存的延役已是許多國家的看法，如

- ESCP 論壇在 EPRI 成立，就是為了乾式中期貯存的延役
- 美國 MAINE YANKEE 電廠已做執照到期前的檢查，為乾貯延役申請做準備
- 德國 GRS 已受國家委託辦理終期地質貯存，但 2050 完成並無把握，研究既有乾貯設備延役辦法是其替代方案。

但乾式中期貯存的延役在國內，是尚未引起注意的題目。

五、建議

美國核能管制單位、美國能源部、美國核能國家實驗室、美國大學、歐州國家的核能研究單位、及日本韓國的核能研究單位，持續參加 ESCP 論壇並扮演一定的角色，反而參加的電力公司是少數。目前非核家園是國家政策，應有核能主管單位、核能研究單位、核能學術單位參與此國際級的論壇，在高標準的終期地質處置實現前，掌握最佳的用過核燃料貯存技術及方向。

六、附 錄

附錄一： **EXTENDED STORAGE COLLABORATION PROGRAM (ESCP) AGENDA**

附錄一： EXTENDED STORAGE COLLABORATION PROGRAM (ESCP) AGENDA



**EXTENDED STORAGE COLLABORATION PROGRAM (ESCP)
AGENDA**

EPRI Charlotte Office, 1200 West WT Harris Blvd
Building 3, Conference Room 741_A-F
Charlotte, North Carolina 28262

DATE: TUESDAY, NOVEMBER 6, 2018		
TIME	TOPIC	PRESENTER
7:30 a.m.	Breakfast/Registration	
8:00 a.m.	Welcome and Review of Agenda	Hatice Akkurt (EPRI)
8:20 a.m.	DOE R&D Program Overview	Ned Larson (DOE)/ Sylvia Saltzein (SNL)
8:50 a.m.	NRC Updates	Mike Layton (NRC)
9:20 a.m.	NUREG-2224, Dry Storage and Transportation of High Burnup Spent Nuclear Fuel	Ricardo Torres (NRC)
10:00 a.m.	Break	
10:30 a.m.	Sister Rod Test Results: Destructive Test Results to Date	R. Montgomery, B. Bevard (ORNL)
11:00 a.m.	Sister Rod Tests	Brady Hanson (PNNL)
11:20 a.m.	HBU Demo Gas Sampling Results	Charles Bryan (SNL)
11:40 a.m.	HBU Demo Thermal Modeling Benchmark Results	Aladar Csontos (EPRI)
12:00 p.m.	Lunch	
1:00 p.m.	Summary of Phase 1 Dry Cask Simulator Validation Results	Sam Durbin (SNL)
1:15 p.m.	Phase 1 Organizational Results: CIEMAT	Luis Herranz (CIEMAT)
1:30 p.m.	Phase 1 Organizational Results: ENUSA	Marta Barahona Galban (ENUSA)
1:45 p.m.	Phase 1 Organizational Results: NRC	Abdelghani Zigh (NRC)
2:00 p.m.	Panel Discussion: Strategic Directions for Thermal/Fuel Nexus <ul style="list-style-type: none"> • Ned Larson (DOE) • Mike Layton (NRC) • Mike Billone (ANL) • Albert Machiels • Ricardo Torres (NRC) • David Castrillón Cabaleiro (ENSA) 	Chair: Aladar Csontos (EPRI)
3:00 p.m.	Break	
3:30-5:30 pm	Subcommittee Meetings <ul style="list-style-type: none"> • Fuel assembly subcommittee • Mitigation/Repair subcommittee 	
6:00-8:00 p.m.	ESCP Reception – Hilton Charlotte University 8629 JM Keynes Drive, Charlotte, North Carolina, 28262, USA	

EXTENDED STORAGE COLLABORATION PROGRAM

November 6-8, 2018 – Charlotte, NC

DATE: WEDNESDAY, NOVEMBER 7, 2018		
TIME	TOPIC	PRESENTER
7:30 a.m.	Continental Breakfast	
8:00 a.m.	CISCC: MgCl Experimental Work, Model Development, and Future work	Charles Bryan and Eric Schindelholz (SNL)
8:40 a.m.	Update on SCC Crack Growth Rate Testing and Large Plate Test Plan	Bob Sindelar (SRNL)
9:00 a.m.	Characterizing and Predicting the Pitting and Stress Corrosion Cracking Behavior of Stainless Steel in Atmospheric Environments	James Burns (VU)
9:30 a.m.	Diagnostics of Chlorine Induced Stress Corrosion Cracking Using Laser Ultrasonics	Marvin Klein (Intelligent Optical Systems)
10:00 a.m.	Break	
10:30 a.m.	Passive, Wireless Sensor System for Remote and Long-Term Monitoring of Internal Conditions of Nuclear Waste Casks	<i>Uday Singh (X-wave Innovations)</i>
10:50 a.m.	Using the Acoustic Emission NDE method to Detect SCC in Dry Storage Canisters	Bruce Greer (EPRI)
11:10 a.m.	Pre-application Inspection of the NAC UMS and MPC Systems at Maine Yankee	Neil Fales (Maine Yankee)
11:30 a.m.	NDE Inspection Activities	Jeremy Renshaw (EPRI)
12:00 p.m.	Lunch	
1:00 p.m.	Development effort on mitigation and detection of aging of canisters	Masanori Gotoh (Hitachi Zosen)
1:20 p.m.	Peening mitigation	Sungwoo Cho (Doosan)
1:40 p.m.	Update on Dry Storage Canister Remediation Capability Development	Stylianos Chatzidakis (ORNL)
2:00 p.m.	Mitigation/Repair reports	Gary Cannell (Fluor)/Jon Tatman (EPRI)
3:00 p.m.	Break	
3:30-5:30 pm	Subcommittee Meetings <ul style="list-style-type: none"> • Thermal Modeling Subcommittee • NDE followed with CISCC Subcommittee 	

EXTENDED STORAGE COLLABORATION PROGRAM

November 6-8, 2018 – Charlotte, NC

DATE: THURSDAY, NOVEMBER 8, 2018		
TIME	TOPIC	PRESENTER
7:30 a.m.	Continental Breakfast	
8:00 a.m.	Overview of International Subcommittee Activities	Jose Conde (ENUSA)
8:20 a.m.	Overview of GRS Activities	Maik Stuke (GRS)
8:40 a.m.	CRIEPI Activities	Masumi Wataru (CRIEPI)
9:00 a.m.	Update of Korea Research on Safety Management of Spent Nuclear Fuel	Woo-seok Choi & Seunghwan Yu (KAERI)
9:20 a.m.	Canadian Dry Stored Fuel Inspection and Examples	Eli Simova (CNL)
9:40 a.m.	Experimental Determination and Modeling of Used Fuel Drying by Vacuum and Gas Circulation for Dry Cask Storage	Travis Knight (USC)
10:00 a.m.	BREAK	
10:30 a.m.	CIEMAT's Activities in the Area of Used Fuel Storage	L.E. Herranz, F. Fera, J. Penalva (CIEMAT)
10:50 a.m.	JRC Activities	Vincenzo Rondinella (JRC)
11:10 a.m.	PIE of KKB Special Fuel Rods and SCIP IV Back-end Tasks	Joakim Karlsson (Studsvik)
11:30 a.m.	Transportation Test Results, Shaker Table and 30cm Drop	Elena Kalinina (SNL)
12:00 p.m.	Lunch	
1:00 p.m.	Temperature Difference Monitoring System to Detect Depressurisation	Chris Sigournay (EDF)
1:20 p.m.	ENSA Thermal Testing	David Castrillón Cabaleiro (ENSA)
1:40 p.m.	Technical Gaps Related to Transportation-Storage-Transportation Issues	Aladar Csontos (EPRI)/Rod Mccullum (NEI)
2:00 p.m.	Contingency Planning for Degraded Canister Systems	Shannon Chu (EPRI)
2:40 p.m.	Measurement of Particulate Retention in Microchannel Flows	Sam Durbin (SNL)
3:00 p.m.	BREAK	
3:30 p.m.	Panel Discussion: ESCP – Progress to Date and Path Forward <ul style="list-style-type: none"> • Mike Billone (Fuel) • Jeremy Renshaw (NDE) • Shannon Chu (CISCC) • Gary Cannell (Mitigation/Repair) • Aladar Csontos (Thermal Modeling) • Jose Conde (International) • Mike Layton (NRC) • Ned Larson (DOE) • Zita Martin (TVA) 	Chair: Hatice Akkurt (EPRI)
5:15 p.m.	Closing Remarks	Hatice Akkurt (EPRI)
5:30 p.m.	Adjourn ESCP meeting	