

出國報告(出國類別：其他)

赴美參加用過核子燃料乾式貯存資訊論壇及訪問哥倫比亞核電廠乾式貯存設施

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：林善文 組長

派赴國家：美國佛羅里達州邁阿密市及華盛頓州李奇蘭市

出國期間：95年05月07日至95年05月14日

報告日期：95年07月05日

摘 要

本次奉派赴美公差，自 95 年 5 月 07 日起自 5 月 14 日止，主要行程有二：(1)赴美國邁阿密參加美國核能研究所(Nuclear Energy Institute,NEI)主辦之乾式貯存資訊論壇(Dry Storage Information Forum)國際研討會；(2)赴美國華盛頓州李其蘭市訪問 Energy Northwest 公司 Columbia Generating Station(CGS)核電廠用過核子燃料乾式貯存設施。

職 5 月 9 至 10 日參加乾式貯存資訊論壇，係年度盛會，本屆共計約 160 人參加，共進行 39 篇簡報，分 10 節進行。主要是探討乾式貯存之管理、民眾溝通、工程實務、研究發展、技術面臨挑戰(如受損燃料定義、高熱容量護箱熱傳分析、燃耗效益、燃料於空氣中行爲等)、TAD 密封鋼桶系統的設計及申照、CoC 持照人報告最新進展、優卡山(Yucca Mountain)處置計畫及檢查經驗回饋等。大會於會議廳旁邊，日間全天提供攤位給 13 家廠商展示產品。

5 月 12 日早上赴美國華盛頓州李其蘭市(Richland)訪問 CGS 核電廠用過核子燃料乾式貯存設施，該廠爐心設計領導邊少珩(Bian, Shaw H)博士先帶領至核電廠內乾式貯存設施參觀，該設施位於一塊平坦空地，遠離核電廠邊界，圍籬措施及監測設備等保安措施完備。隨後至辦公室與反應器維修部計畫經理 Niel Zimmerman 會談，因事先電傳請教個問題，請其先作準備。Niel Zimmerman 詳細回答問題並解說護箱的吊卸作業，解說頗為專業，至 12 時始結束。職於感謝 Niel Zimmerman 後，即由邊博士接送離開 CGS，完成此次訪問任務。

目 次

	(頁碼)
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	9
四、建議事項	32
五、照片	34

一、 目的

參加美國核能研究所(Nuclear Energy Institute,NEI)主辦之乾式貯存資訊論壇(Dry Storage Information Forum)國際研討會，了解用過核子燃料乾式貯存最新資訊及目前所面臨的問題及其解決方法。

訪問美國 Energy Northwest 公司 Columbia Generating Station(CGS)核電廠，學習核電廠用過核子燃料乾式貯存運轉實務及安全管制注意事項。

二、 過程

本次公差自 95 年 5 月 07 日起自 5 月 14 日止，共計 8 天。主要行程有二：
(1)赴美國邁阿密參加美國核能研究所(Nuclear Energy Institute,NEI)主辦之乾式貯存資訊論壇(Dry Storage Information Forum)國際研討會；(2)赴美國華盛頓州訪問 Energy Northwest 公司 Columbia Generating Station(CGS)核電廠用過核子燃料乾式貯存設施。

(一) 參加乾式貯存資訊論壇

乾式貯存資訊論壇係由美國民間機構 NEI 主辦之國際研討會，探討用過核子燃料乾式貯存最新資訊，每年召開 1 次，邀請管制機關、持照人(licensees)、廠商(vendors)、顧問公司及其支援組織交換最新資訊，已成為該領域重要盛會。本屆研討會自 5 月 9 日起至 11 日止，於邁阿密大西洋外島 Key Biscayne 之 Sonesta Beach Resort 共舉行 3 天，今年美國能源部(DOE)首次與會，並提出 Yucca Mountain 高放處置設施之設計、申照及 TAD 密封鋼桶(Transportation, Aging and Disposal Canister)之進展。職於 5 月 8 日中午抵達邁阿密，搭巴士經跨海大橋約 25 分鐘車程抵達 Sonesta Beach Resort，並自 5 月 9 日起參加大會 2 天。

開幕典禮於 5 月 9 日上午於 Sonesta Beach Resort 國際會議廳舉行，由 NEI 之用過燃料管理處長 Steven Kraft 擔任主席，邀請貴賓首先由佛羅里達州 FLP 集團(Florida Power & Light Group)乾式貯存計畫經理 Alan Fata 致詞，簡報該集團用過核子燃料乾式貯存計畫之進展，該集團有 4 座核電廠(St. Lucie、Turkey Point、Seabrook Station、Duane Arnold)，2005 年 FLP 集團決定於 2012 年完成 4 座核電廠乾式貯存。其中 Duane Arnold 已開始使用，並分別提出對外、對內溝通計畫。對外溝通計畫包括通知地方、州及聯邦各級政府、核電廠資訊中心展示及邀請媒體訪問等；對內溝通包括向員工保證提供員工家人、朋友第一手資

訊，於電廠間成立溝通指導小組(communication steering team)，每月討論溝通情形及策略。

第二位貴賓為佛羅里達州眾議員 Adam Hasner，介紹佛羅里達州近年眾議院之立法過程。該州州長 Jeb Bush 係現任總統之弟，配合總統核能復興政策不遺餘力，在此背景下 Adam Hasner 兼具法律、科技背景，積極推動該州能源政策、癌症研究機構、財產保險改革及減稅之立法工作，他指出該州之經濟發展、生活品質與能源政策息息相關，為降低對石油的依賴，該州 85%火力發電比率將逐年調降，未來逐漸改以混合燃料(hybrid fuel)取代。該州未來 10 年電力需求將增加 30%，進行太陽能、氫燃料電池及核能之能源開發研究，並計畫將興建 1 座核電廠。

本屆乾式貯存資訊論壇共計約 160 人參加，共進行 39 篇簡報，因大會不提供論文，但將製作簡報光碟，收錄簡報 Power Point 電子檔，職回國後於 6 月 6 日收到光碟片。5 月 9 日上午進行 7 篇報告，第一節報告 3 篇，主要為管理進展的簡報，由 NEI 處長 Steven Kraft 與美國核管會用過核子燃料計畫辦公室(Spent Fuel Project Office, SFPO)處長 William Brach 共同擔任主席，進行以下 3 篇報告：

(1)William Brach 簡報「SFPO perspective」；

(2)NRC 高放處置設施安全處副處長 Dr. Lawrence Kokajko 簡報「High-Level Waste Repository Safety」；

(3)Steven Kraft 簡報「Used Nuclear Fuel Principles」。

9 日下午第二節探討乾式貯存溝通議題，由 NRC 處長 William Brach 擔任主席，進行 4 篇簡報如下：

(1)FPL 核能溝通經理 Tom Veenstra 簡報「Dry Storage Outreach at FPL's St. Lucie Nuclear Power Plant」；

- (2)Progress Energy 用過核子燃料監督 Steve Edwards 簡報「Communicating Used Fuel Issues at Progress Energy」；
- (3)NEI 媒體關係經理 Trish Conrad 簡報「Communicating Complexity : An In-Depth Agenda in a Real-Time Environment」；
- (4)E&E Publishing 高級報導員 Mary O'Driscoll 簡報「Communicating Used Fuel Issues – A Reporter's Perspective」。

5月9日下午發表8篇論文，第3節主題為乾式貯存申照，第4節主題為ISFSI工程議題及解決方案，均由ACI Nuclear Energy Solutions 董事長 Brian Gutherman 擔任主席，第3節進行下列4篇簡報：

- (1) Brian Gutherman 簡報「Use of Non-single Failure-Proof for Cask Handling-A Case Study」；
- (2) SFPO/NRC 高級計畫經理 Joe Sebrosky 簡報「Control of Non-safeguard, Security-Sensitive Information」；
- (3) Southern Nuclear Operation Co 申照經理 Terry Sides 簡報「Cask Licensing Basis Control Under a Part 72 General License」；
- (4) SFPO/NRC 申照及檢查副處長 William Ruland 簡報「Spent Fuel Licensing Update」。

15:30 開始第4節4篇簡報：

- (1) PSEG Nuclear 計畫經理 Brian Gustems 簡報「ISFSI Engineering Scope and Strategy-Hope Creek Lessons Learned」；
- (2) SFPO/NRC 技術審查副處長 M.Wayne Hodges 簡報「Submittal Issues and Solutions」；
- (3) Omaha Public Power District 之 Fort Calhoun Station 材料工程監督 Ken Erdman 簡報「Dry Fuel Storage Project Lessons Learned at Fort Calhoun Station」；
- (4)Enercon Services 技術服務處長 Rick McGoey 簡報「ISFSI Engineering」。

在研討會遇到台灣核能研究所黃毓皓博士及陳忠生先生,他們早我 1 天到達邁阿密,先參加 NAC International 使用者會議半天,然後 5 月 9 至 11 日參加乾式貯存資訊論壇,12 日他們將前往 McGuire 核電廠了解乾式貯存吊卸作業。在邁阿密海灘上舉行之接風晚宴上,他鄉遇故知,分外親切,與他們難得用國語聊了許多話題,也了解護箱製造對國內廠商並不困難,但應要求確實依照品質保證程序執行。

5 月 10 日上午共發表 8 篇論文,第 5 節主題為研究發展,由 Nuclear Energy Solutions/BFS 董事長 Robert Quinn 擔任主席,進行下列 4 篇簡報:

- (1) SFPO/NRC 申照及檢查副處長 William Ruland 簡報「NAS Transportation Study」;
- (2) 美國電力研究所(EPRI)核能計畫高級技術經理 Albert Machiels 簡報「EPRI Program Overview」;
- (3) SFPO/NRC 屏蔽及熱傳科之技術審查幕僚 Christopher Bajwa 簡報「Tunnel Fire Assessments」;
- (4) DOE/OCRWM 科技及國際處處長 John Wengle 簡報「DOE Office of Civilian Radioactive Waste Management Science and Technology Program」。

第 6 節為第一次綜合討論,探討受損燃料定義、高熱容量護箱熱傳分析、燃料結構完整性、空氣中燃料行爲及高燃耗燃料運送等議題,4 位評論員(panelists)均提出簡報:

- (1) SFPO/NRC 技術審查副處長 M.Wayne Hodges ;
- (2) EPRI 核能計畫高級技術經理 Albert Machiels ;
- (3) SFPO/NRC 結構材料科高級材料工程師 Robert Einziger ;
- (4) Energy Solutions/BFS 申照經理 Steve Sisley 。

5月10日下午第7節為第二次綜合討論，討論 TAD 密封鋼桶設計、申照，包括材料、臨界分析、密封鋼桶及護箱墜落荷重及熱傳要求等，第8節為符合證書(Certificate of Compliance, CoC)持有人報告該公司最新資訊，由 NEI 優卡山計畫(Yucca Mountain Project)處長 Rod McCullum 主持，5位評論員(panelists)分別為：

- (1) NRC 高放處置設施安全處工程科長 Marissa Bailey ；
- (2) EPRI 高放射性廢棄物與用過核子燃料管理計畫經理 John Kessler ；
- (3) DOE/OCRWM 系統分析與策略發展部 David Zabransky ；
- (4) Energy Solutions 董事長 Robert Quinn ；
- (5) Exelon Generation 用過核子燃料及除役處長 Adam Levin 。

第8節共發表3篇論文：

- (1) AREVA Transnuclear 市場開發副董事長 Sam Shakir 簡報「AREVA Transnuclear Update」；
- (2) HOLTEC International 申照計畫經理 Stefan Anton 簡報「Benefits of the Underground Storage Technology for Large ISFSI Sites」；
- (3) NAC International 銷售及市場副董事長 Charlie Pennington 簡報「NAC's MAGNASTOR System: Development and Licensing」。

研討會5月11日只有上午的議程，第9節報告優卡山計畫，第10節報告檢查學習經驗趨勢與議題，由 NEI 之用過燃料管理處長 Steven Kraft 先生擔任主席。

職於5月11日凌晨搭機前往華盛頓州西雅圖，再轉機抵達李其蘭市，準備下一行程的訪問，無緣聽到5月11日簡報。

第9節進行以下4篇報告：

- (1)DOE/OCRWM 系統分析與策略發展處處長 Christopher Kouts 報告「Status of OCRWM Program」；

(2)NRC 高放處置設施安全處副處長 Lawrence Kokajko 簡報「NRC Yucca Mountain Pre-application Activities」；

(3)EPRI 高放射性廢棄物與用過核子燃料管理計畫經理 John Kessler 簡報「EPRI Perspective」；

(4)NEI 優卡山計畫處長 Rod McCullum 簡報「Industry Perspectives on Yucca Mountain」。

第 10 節進行下列 3 篇報告：

(1)NRC 除役部門科長 Marie Miller 簡報「Region I Experience」；

(2)Energy Solutions-BFS 經理 Carl H. Froehlich 簡報「Zaporozhye Dry Fuel Storage : A Continuing Success Story」；

(3)Arizona Public Service 申照高級計畫經理 Glenn Michael 簡報「Palo Verde ISFSI Inspections」。

大會議程進行順利，於近中午時舉行閉幕典禮，由美國核管會 William Brach 與 NEI 之 Steven Kraft 兩位處長分別致詞後圓滿畫上句點，期待來年再見。

大會展覽會場位於會議廳旁邊，日間全天開放展示。提供攤位給 American Crane & Equipment Corporation、American Tank & Fabricating Co、AREVA Transnuclear、Westinghouse Electric Company、HOLTEC International、PCI Energy Services、GE Energy Nuclear、Shaw Stone & Webster、Columbia Hi Tech、Duratek/TRiVis、Energy Solutions、Major Tool & Machine 及 P&H/Morris Materials Handling 等 13 家廠商展示產品，演講中場休息時間各攤位人群絡繹不絕。大會並於首日下午 6 點於飯店海攤舉行自助餐歡迎晚宴，邀請全部與會人員參加，在海風及浪花的助興下，與會人員海灘上暢談許久，旅途勞頓為之紓解。

(二) 訪問華盛頓州李奇蘭 CGS 核電廠乾式貯存設施

5 月 11 日凌晨搭機前往華盛頓州西雅圖，中午抵達後再轉機飛李其蘭市 (Richland)附近的 Pasco 飛機場，搭乘飛機時間約 8 小時，因與邁阿密時差 3 個

小時，抵達李其蘭市時間為下午 2 點，住進旅館後即與 Energy Northwest 公司 CGS 核電廠邊少珩博士(Bian, Shaw H)聯絡，邊博士係原子能委員會楊昭義副主任委員華盛頓大學博士班同學，職此次簽證及聯絡時間緊迫，獲邊博士熱心安排始能成行。他盛情邀請職吃晚飯，以盡地主之誼，並另邀請二位華裔作陪，其中一位為姜祖忠先生(Energy Northwest 公司技術服務主工程師，清華 68 級)，另一位為關行先生，他們對國內核能發展非常關心，談話氣氛頗為融洽，晚餐 9 時結束。

5 月 12 日早上，邊博士早上 9 點至旅館接我到 CGS 核電廠，9 時 30 分抵達，先至乾式貯存設施參觀，該設施位於電廠內部一塊平坦空地，遠離核電廠邊界，圍籬措施及監測設備等保安措施完備。因私人訪問受限較多，只能遠觀，不能入圍籬內參觀，亦不能拍照。10 時整至辦公室與反應器維修部計畫經理 Niel Zimmerman 會談，因事先電傳請教個問題，請其先作準備。Niel Zimmerman 詳細回答問題並解說護箱的吊卸作業，解說頗為專業，至 12 時始結束。職於感謝 Niel Zimmerman 後，即由邊博士接送離開 CGS，完成此次訪問任務。

CGS 為 BWR 核電廠，於 1984 年開始商業運轉，發電量為 1157MWe，佔地 1089 公畝(acres)，反應器每 2 年裝載燃料 1 次，燃料為二氧化鈾作成陶瓷燃料丸。原先美國核能政策是直接處置，不進行再處理。惟優卡山計畫延宕後，1999 年 Energy Northwest 決定採用 HOLTEC International 產品，密封鋼桶為 MPC-68，護箱為 HI-STORM 金屬及混擬土護箱（高 5.79 米，直徑 3.35 米，裝載燃料重 178 噸），目前共完成 15 個貯存護箱(1,020 燃料束)裝載作業，目前為止並未任何意外事件發生。該廠預定於 2008 將再執行裝載護箱作業，因訪問時並無現場作業，實務操作是百聞不如一見，稍感遺憾。

三、心得

職雖僅參加 2 天研討會，收到大會簡報光碟片後，整理並擇較具代表性報告，提出心得如下。

第 1 節 William Brach 處長簡報指出 NRC 目前用過核子燃料乾式貯存及運送管制活動如下：

- (一)完成超過 40 個乾式貯存設施及護箱系統、超過 50 個品保計畫、超過 80 個運送包裝之審查，並完成超過 20 次檢查，完成保安評估，發給 PFS(Private Fuel Storage)執照；
- (二)展開與利害關係人(stakeholder)貯存及運送方面之各種活動；
- (三)參加國際運送及貯存活動；
- (四)完成 NAS 報告(The Safety Transport of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste in the United State)。

在 ISFSI 方面，NRC 已發給 26 州 42 個執照，約裝載 800 個貯存護箱，核准 15 個貯存護箱設計、8 個貯存運輸兩用護箱設計，目前有 14 個新規劃案。技術所面臨挑戰包括：高燃耗燃料(high burn up fuel)、燃耗效益(burn up credit)及新材料。另美國能源部(DOE)發展標準化密封鋼桶(即 TAD 密封鋼桶)及 NRC 因應國內外環境考量用過核子燃料管理國家策略改變等，值得國人密切注意。

NRC 副處長 Lawrence Kokajko 在高放處置管制報告指出，NRC 在高放處置扮演角色如下：

- (一)優卡山計畫之獨立安全管制機關；
- (二)推動公開之審照前期活動；
- (三)經由法制程序，訂定與環保署(EPA)相容之審照要求；
- (四)將以 3 至 4 年審查，發給 DOE 建造執照。

執照申請依據法規為 10 CFR Part 63，須經兩道管制程序：一為發給 DOE 建造

執照(10CFR63.31)；一為接收及持有執照(10CFR 63.41)。Kokajko 進一步指出，高品質之申照端視審照前期活動之良窳與品質保證計畫之有效性。TAD 密封鋼桶設計基準將受以下因素影響：各項技術要求之整合、是否抓住管制機關正確觀點及密封鋼桶對處置場造成影響之技術細節因素影響。結論是 NRC 已作好準備與 DOE 協調 TAD 密封鋼桶及其他技術議題。

NEI 處長 Steven Kraft 提出聯邦政府用過核子燃料管理及最終處置 8 大原則：

- (一)DOE 必須承擔「儘早將用過核子燃料搬出核電廠」的責任，用過核子燃料最好放入由 DOE 提供且經 NRC 核准之密封鋼桶內，或於 DOE 密封鋼桶核准前由業者裝入護箱；
- (二)聯邦政府應繼續維持其興建優卡山最終處置場計畫之承諾，並確保申照與開發進度。無論核燃料循環策略如何改變，均需建立尾料物質最終處置場；
- (三)DOE 應與核能工業界密切合作，確認 DOE 提供密封鋼桶之要求及採購，密封鋼桶的數量應最小化；
- (四)DOE 應與核能工業界及 NRC 密切合作，確認用過核子燃料搬離核電廠的實施方法，以避免業者在 DOE 密封鋼桶使用前必須裝入護箱內；
- (五)聯邦政府應對萬一 DOE 合約及承擔責任之失敗所造成簽約業者之損失進行補償，且不應使用核廢料基金(Nuclear Waste Fund)；
- (六)國會應將核廢料基金每度(kilowatt-hr)電繳納 0.1 釐(mill)美元之額度凍結，以確保所有基金並未使用於優卡山計畫；
- (七)用過核子燃料貯存與處置，不得導致核電廠停機，危害運轉中核電廠活動、換照或新電廠申照；
- (八)為核能長期國家利益著想，應評估開放及封閉兩種核燃料循環之經濟及環保利益(如燃料供應、廢棄物管理、非核子繁衍)。評估應包括最先進核燃料處理之可用性及再處理開發技術。核燃料循環應於經濟及環境利益均被認可之

時機關閉。

第 2 節進行有關溝通與敦親睦鄰的報告，FPL 集團 Tom Veenstra 簡報 St. Lucie 核電廠用過核子燃料乾式貯存溝通計畫，該集團於 St. Lucie 核電廠成立社區推動小組(community outreach team)，嘗試與 St. Lucie 社區諮詢小組建立溝通回饋機制、網站增加乾式貯存部分與納入宣導小冊等。未來將持續推動推動小組會議、確認關鍵利害關係人、提供員工最新資訊及製作乾式貯存動畫等。另外，Steve Edwards 簡報 Progress Energy 溝通計畫，明確指出用過核子燃料為最重要核能議題，其溝通策略為「核能安全第一優先」，濕式與乾式貯存及運送均為安全且使用業經驗證之科技。溝通計畫包括確認關鍵利害關係人(管制機關、民選官員、事業領袖、決策者、地方媒體、股東、員工等)，確認溝通者(發言人、媒體、電廠管理者、主要股東接觸者、員工)，對乾式貯存進度擬定談話點(talking points)，預擬問答集，用簡單、清楚、正確的語句，重複、持續及口徑一致的進行溝通。到社區民眾個人或團體會談，並儘快回應地方組織的要求。用過核子燃料之運送，重點是與地方政府事先溝通，獲地方政府支援安全戒護及意外事件緊急應變之承諾。

第 3 節 Brian Gutherman 報告 ACI Nuclear Energy Solutions 將 River Bend 核電廠(BWR 6 Mark III)垂直升降起重機採用非單一失效保障起重機(non-single failure proof crane)的案例，原先該廠申照基礎之起重機規格符合 CMAA 70(1970)、ANSI B30.2(1967)及商業設計標準，核電廠申照時曾評估 125 噸運送護箱墜落對核電廠結構影響。為符合燃料運送護箱 10CFR71 之規定，採取行政管制措施避免運送護箱離水池表面不超過 30 英尺(9 米)。然而設置乾式貯存設施，並未要求傳送護箱(transfer cask)通過 10 CFR 71 要求之 9 米墜落測試。該廠將起重機橫梁(crane beam)高度增加，傳送護箱必須吊離離水池下端 42 英尺，因此必須分析吊卸過程中發生墜落對核電廠結構、護箱及燃料之影響。該廠

工程上作法是：

- 設計降低護箱墜落機率及後果(例如在水池下方及護箱沖洗區裝設吸震器 (impact limiter)及設置備分水平移動索具，以提供暫時性單一失效保障起重機暫時性的吊卸方式；
- 用該廠 10 CFR50 申照基礎，進行墜落分析；
- 對起重機及結構進行工程詳細審查(焊接檢查、地面穿透雷達及文件研究)；
- 必要時進行檢查、修復、升級及測試；
- 必要時進行分析（護箱在吊勾上進行地震分析）；
- 品質保證計畫將起重機級數升級。

該廠申照前及早與 NRC 溝通，申照報告內容包括：

- 敘述申照基礎及與 NUREG-0554/0612 之關聯(商業級設計)；
- 備分水平移動索具，提供暫時性單一失效保障之內容敘述；
- 敘述 NUREG-0612 適用部分；
- 包括 NUREG-0554 比較模組(comparison matrix)
- 敘述所有護箱吊卸過程之工程效應，以確保其品質；
- 地震及颶風投射物意外事件分析；
- 墜落分析，至少包括裝載燃料傳送護箱墜落水池上、下端角落、護箱沖洗區、貯存護箱密封鋼桶蓋板墜入密封鋼桶及密封鋼桶墜入貯存護箱等情節；
- 以該廠申照基礎作墜落之建築物結構影響分析；
- 以該廠申照基礎之燃料進行意外事件放射性後果分析；

第 3 節 NRC 副處長 William Ruland 指出，SFPO 申照之更新，旨在增進民眾對申照程序與 NRC 幕僚建議的了解，確保民眾了解 NRC 審照目標、優先度與未來計畫，並鼓勵持續進步之回饋機制。在申照與發照方面，管制議題總結 (Regulatory Issue Summary, RIS)2004-20 提出 10 CFR 71/72 申照學習經驗，

契約規則包括申照前會議、計畫經理之聯絡、訂定導則以促進高品質申請、幕僚行政審查程序、要求增加資料(Request Additional Informations, RAIs)、補充或新資訊情況等。RIS 2004-20 重要議題包括 FSAR 更新、共同審查程序及專利資料處理等，RIS 2005-27 總結 SFPO 未來 Part 71/72 之審照活動預算及資源，排序(優先度依序為：確保運轉安全、運保運轉能力、支援除役、其他有預算貯存與運送成果、其他無預算成果等)、時程導則、適時成立矩陣工作組等。回饋機制包括：與 SFPO 例行接觸、SFPO/NEI 工作小組定期公開會議、ISG 草案網路公開評論、會議及研討會等。其他申照議題包括 Part 72 申照/ CoC 換照、特殊包裝使用許可、72.48 評估。William Ruland 最後提出結論是申照過程需由 NRC 與業者不斷的溝通，期使未來審照工作更能進行有效管理，利害關係人(stakeholder)對申照興趣將持續增加。

第4節較引人重視之簡報為 SFPO/NRC 技術審查副處長 M.Wayne Hodges 報告申照議題及其解決方案，他首先指出 SAR 是否能滿足 NRC 幕僚的需要，申請人應先思考下列事項，茲摘錄供國人學習：

(一)申請的目的：證明設計是安全的，證明符合 10 CFR 71 及 10 CFR 72 之要求，證明設計是符合相關標準(熱容量、燃料型態等)。

(二)標準為何：

法規：10 CFR 71 and/or 10 CFR 72；

標準：ASME、ANSI、ACI 等；

廠商設計基準(vendor-specific design standards)；

導則：SRP、ISG、Regulatory Guides。

(三)偏差有哪些：

例如物理模式不正確[例如：層流阻力(laminar resistance)、熱傳導、發射率數值(emissivity values)、流體剪力等]、結構模式與設計有差異(提籃、焊接區)、

燃料模式不適當、幾何太過簡化及不正確敘述等。

(四)偏差發生原因：

需要資料不完備(例如燃料護套力學特性、護套缺陷特性等)、業者想儘可能將資料扣在手上、誤解審查者的需要、假設不正確、申請者盲點、假設先前資料具可涵蓋與具代表性、NRC 幕僚關切議題的增加等。

(五)問題如何修補：

使用 EPRI or NEI 資料、業者要求製造商提供資料、引用先前審查案例、與幕僚溝通避免誤解、申照前進行獨立審查及關切正在形成中議題。

第 4 節是業者以專業經理人的角度，有關學習經驗回饋的報告，第 1 篇是 Brian Gustem 綜結 Hope Creek、Salam 核電廠經驗，提出以下建議：

- (一)應建立詳細、清晰之工作範圍，訂定計畫時程，完成組織分工(通常分為 A/E、護箱製造及申照/訓練部門)，並明確賦予責任。建立計畫時程；
- (二)應有專業詳細的財務評估；
- (三)裝載作業前 6 個月完成訓練計畫及程序變更；
- (四)發展 72.48 實施策略；
- (五)儘早撰寫 72.212 報告，準時完成；
- (六)關鍵項目付出心力[如護箱採購、電廠設備的修改(如起重機，電廠出口、門、地面等)、申照(確認申請報告格式、護箱廠商文件修正等)]；
- (七)與 NRC 經常溝通。

第 2 篇由 Ken Erdman 綜結 Fort Calhoun 實際經驗，強調長程計畫落實至工程計畫及設計計畫文件管理保存的重要性。第 3 篇由 Enercon Service 公司 Rick McGoey 針對 A/E(Architecture/ Engineering)部分之經驗回饋，報告內容詳細且具系統性，將 A/E 可分以下 3 個時期，回饋經驗如下：

- (一)規劃期：須考慮預算、人力、範圍與時程。儘早建立計畫基礎線(baseline)，

如綜結工業經驗、訂定開發計畫(考量預算、範圍與時程)、聯絡護箱廠商、參與高階計畫管理等。應規劃以下計畫：整體計畫、詳細工作項目、溝通計畫(含內部溝通與外部溝通)、申照計畫、採購簽約計畫、風險管理計畫、人員培訓計畫及品保計畫。技術部分應研究場址選擇、土壤狀況及對地震的反應、地面下干擾評估、依據場址條件選擇適當護箱製造商及系統、保安措施、起重機、吊卸設備準備、災害、意外事件(如洪水)、輻射、額外電力供應、建造程序及新建貯存建築物等。依其經驗，起重機及其結構往往在計畫後期始被發現不適當，土壤條件出乎預料使土壤結構互制作用(Soil Structure Interaction, SSI)評估複雜化，導致費用增加甚或更改場址。

(二)工程/設計期：分為計畫管理、ISFSI 場址配置圖(layout)、反應器/輔助設備/燃料吊卸廠房、修正開發程式 4 個部分：

(1)計畫管理：確定應修改軟體之數目、品保議題(建造及採購廠商管理、安全分級)、A/E 人員訓練(程序書使用、要求取得執照、驗收)、與地方、州、聯邦政府及管制機關溝通、與契約商介面(護箱製造商、起重機製造商、建造商)等；

(2)ISFSI 場址配置圖：配置圖會隨設計進程而趨詳細，應注意場址位置與開發設計的平衡。例如：保安(圍籬、燈光、設備)、電力系統、緩和坡度與排水、土壤分析、火災防護、運送路線/斜坡、基座設計、洪水分析等式與場址有關的，然而設計開發完成後，場址始能確定；

(3)反應器/輔助設備/燃料吊卸廠房：評估起重機及其結構之適當性(包括驗證單一失效保障申照基礎、進行詳細檢查、審視維修紀錄、評估吊卸重量、評估各種管制與索具、研究工業經驗等)、介面確認(對密封鋼桶、燃料、護箱，按其步驟進行詳細評估)。

(4)修正開發程式：確認修正程式數目，進行修正程式，提供修正程序之訓練，

並與早期發展之概念設計取得一致及與業者溝通等。

(三)建造與運轉期：應協調核電廠對 A/E 提供必要的支援，包括核電廠支援 A/E 人力。

第 5 節主題為研究發展，SFPO/NRC 申照及檢查副處長 William Ruland 簡報國家科學學術院(National Academic Science, NAS) 16 位科學及社會科學家經多年研究，於 2006 年 2 月提出用過核子燃料及高放射性廢棄物之運送安全研究報告。對安全之主要發現如下：

- (一)並無基本技術障礙；
- (二)無論高速公路或鐵路運送，因目前運送規則嚴謹，放射性風險均甚低；
- (三)NRC 運送規則可確保大多數可信意外事件(credible accident conditions)中之包裝密封有效性；
- (四)放射性風險已被了解，且一般來說甚低。只有在少數極端意外事件中造成長期吞沒大火情況是例外。

此外，NRC 亦對曾經發生意外事故，定期評估運送規則所訂定許可標準。NAS 主要建議如下：

(一)NRC 應另進行極端意外事件中造成長期吞沒大火之分析。(後來 NRC 完成隧道火災護箱功能分析研究，見本次研討會第 5 節 Christopher S. Bajwa 所報告之”Performance of Spent Fuel Transportation Casks in Environments Similar to the Baltimore Tunnel Fire”.)

(二)研究結果顯示 NRC 應實施操作管制與運送核子燃料限制，降低類似火災情節機率：

在鐵路運送方面，美國 30 年內(1975 至 2005)發生 131,875 次意外事件，1,726 次發生有害物質外洩，5 次發生嚴重大火，且 5 次均為單一火車出軌，僅 1 次發生在隧道內。即使 5 次嚴重大火均發生於運送用過核子燃料，因將採取

意外事件緊急應變行動、護箱置放方式及燃燒材料特性，不致造成長期吞沒大火情況。

(三)全尺寸包裝測試 (Full-scale package testing)應與電腦模擬、部分尺寸模式分析與測試同屬完整分析的一部分，為了解與驗證護箱功能的有用工具。

(四)美國境內大量核子燃料運送作業，將存在社會風險(social risk)。NRC 主要關切焦點是安全，而安全係建立在科技基礎上。除應由運送人與核能工業負起降低部分社會風險外，NRC 應將護箱安全資訊提供給運送基礎結構 (transportation infrastructure)、民眾及主要利害關係人。

(五)從技術與社會觀點，保安仍是核子燃料運送主要考量。應於大量運送作業前，對保安進行獨立審查評估。NRC 自 911 以後，已完成詳細的運送護箱功能保安評估，並增加保安措施，以因應日增威脅。

第 6 節為第一次綜合討論，探討受損燃料定義、高熱容量護箱熱傳分析、燃料結構完整性、空氣中燃料及高燃耗燃料運送等議題。SFPO/NRC 技術審查副處長 M.Wayne Hodges 首先指出，用過核子燃料運送及貯存目前所面臨的挑戰有：

(一)高熱容量護箱之熱傳分析：包括如何適當捕捉基礎物理精神[如層流阻力 (laminar flow resistance)、環狀熱傳模式]、使用適當簡化模式(如多孔性介質模式、3 維效應)、與數據比較(計算模式及計算法之品質)及不充分描述(可參考 ISG-21 給予協助)等。

(二)高燃耗燃料之運送：主要係缺少護套力學性質及鈾系元素以外之燃耗效益。可能解決方案包括 DOE 得到燃耗效益數據、Argonne 國家實驗室完成護套性質測試、再定義可接受幾何形狀、不考慮緩和劑(moderator exclusion)等。

(三)燃耗效益及其議題：目前 DOE 計畫採用法國實驗數據加上其他實驗室數據擴充數據庫，目前 ISG-8(Rev.2)只考慮鈾系元素貢獻，希望能得到分裂產物

對燃耗效益的實驗數據，期使燃耗效益亦考量分裂產物貢獻。目前尚需補強驗證(benchmark)，取得偏差與不準度，包括分裂產物及鋼系元素量測實驗、臨界實驗[取得中子截面數據]、射源項(source inventory)計算、使用護箱組成進行臨界計算、決定燃耗之實驗(實驗紀錄之品保及裝載錯誤分析(misload analysis)等)。

(四)一般議題：護箱裝載適用法規 10 CFR 50/71/72 等，目前正研究是否修法，提出修正與豁免(Amendments/exemptions)。NRC 內 NMSS 與 NRR 共同研究訂統一定一方法。

SFPO/NRC 之 Robert Einziger 在燃料結構完整性簡報指出，可分貯存及運送法規來說明：

(一)貯存：72.122(l)規定再取出性及整體破裂之保護。

(二)運送：71.55(d)(2)規定在正常運送情況下，無相當可觀之燃料再排列。71.55 規定在正常運送情況下，放射性外釋與劑量限制。71.55 及 71.99 為次臨界要求。

材料的議題包括：

(一)高燃耗燃料材料特性：許多申請者使用低燃耗燃料材料之特性作為高燃耗燃料材料之特性，未必適當。Einziger 推薦高燃耗、高含氫銦合金護套特性專書(KJ Greelhood and CE Beyer, Mechanical Properties for Irradiated Zircaloy, Trans ANS, Vol 93, Nov 2005)

(二)氫脆方向改變(hydrite reorientation)：主要議題包括氫脆改變方向最大應力、力學性質與改變方向角度的關係、NRC/EPRI/DOE 研究計畫成果暫時不公開等。

計算議題包括：

(一)申請者側向墜落(side drop)計算沒問題，惟底部墜落(end drop)計算有其因

難。

(二)修訂 ISG-12 成爲是較好的導則，目前要求 100%燃料貼著護套，以致僅護套抵抗挫曲(buckling)，修正版需計算燃料束彎形(assembly bow)，挫曲計算考慮彎形。

Robert Einziger 爲 ISG-1 撰寫人，目前修正第 2 版，他指出受損燃料(damaged fuel)的定義，主要在於燃料護套與結構組件的功能。他指出因以下理由，「受損燃料」數量應儘量減少：

- (一)受損燃料需採用非傳統吊卸處理方式；
- (二)確認受損燃料相當困難，且檢驗結果並非永遠正確；
- (三)特殊處理成本高：時間、金錢與輻射劑量。

Robert Einziger 進一步提出「用燃料棒或燃料束應用履行功能來定義受損燃料」的另一定義。亦即燃料功能應確認燃料棒及燃料束造成燃料損害的特性，而非某些事先定義的一般特性，因此「受損燃料」並非只是燃料內在特性(intrinsic property)，而與能否執行所需功能(如是否無整體破裂、是否無燃料幾何形狀再排列及是否具再取出性等)有關。貯存、運送燃料棒或燃料束之功能可分爲直接功能與間接功能兩類：

(一)直接功能：10CFR71/CFR72 直接規定，如：

- (1)72.122(l)規定再取出性(retrievability)及整體破裂(gross rupture)之保護；
- (2)72.236(h)、71.43(d) 規定與系統其他部分相容性；
- (3)71.55(d)(2)規定在正常運送情況下，未發生相當數目之燃料再排列；

(二)間接功能：

- (1)系統設計者要求燃料棒或燃料束之特性或行爲，應符合臨界、密封、熱傳等、密封等規定。
- (2)71.51 規定正常運送情況下放射性外釋及劑量限制。

(3)71.55 & 71.59 次臨界要求。

受損燃料定義方法應先確認定義應用於何階段(貯存、運送或兩者皆是)，功能需求應先確認護套功能(再取出性/結構完整、屏蔽、臨界、密封、包封、熱傳等)，並考量燃料於各種狀況之行爲及其功能。受損燃料意味燃料不能充分支援所需功能，顯示存在劣化機制。劣化若造成燃料及燃料束特性的改變，可用來確認受損燃料。

Energy Solutions/BFS 申照經理 Steve Sisley 介紹核能工業界普遍採用之 ANSI N14.33 受損燃料定義：

- (一)只考量目前損害(不考量初期或未來損害)；
- (二)基於護套與力學損害分級；
- (三)爐心歷史紀錄可用於分級參考；
- (四)基於履行設計功能能力所定義之力學損害；
- (五)允許護套缺陷之工程評估作為裝罐之替代方案。

ISG-1 應修正可與 ANSI N14.33 相容：

- (一)設計基準所涵蓋燃料組成不應被歸類為受損燃料；
- (二)取消 hard-wired 力學受損定義；
- (三)高燃耗燃料之受損定義應另訂導則；

有關燃耗效益方面，Steve Sisley 提出工業界看法：

- (一)過去一年來，護箱廠商對燃耗效益之認知並無顯著改變；
- (二)燃耗效益採計可接受之分裂產物貢獻，仍為護箱廠商及業者列為高度優先；
- (三)需更多分裂產物驗證實驗數據；
- (四)燃耗效益分析需要現實保守方法：使用反應器臨界實驗完成驗證分析(消除同位素及臨界驗證分析之同位素不準度所造成之重覆計算、反應器與護箱差異並未接受)、使用先進的統計方法結合不準度及使用告知風險的規定；

(五)探計分裂產物貢獻之燃耗效益仍待訂定導則與取得實驗數據：ISG-8(Rev2)

燃耗效益分析僅考量鈾系元素貢獻，護箱廠商希望考量分裂產物貢獻之燃耗效益能得到 NRC 許可(已獲 NRC 幕僚口頭指導及許多資訊仍為機密性)。

DOE 計畫用法國數據加上其他實驗數據擴充數據庫，仍需另訂導則，以說明燃耗效益如何應用於一般及場址有關的情況，實驗數據必須充分敘述才有用，實驗數據可用於降低程式分析結果之不準度。

此外，Robert.E.Einzig 對 NRC 將發布之 ISG-22 導則研訂提出報告，探討輕水式反應器(LWR)燃料棒或其他氧化鈾燃料在護箱裝載作業時短期暴露於氧化環境燃料棒裂開的可能性。草案於 2005 年 11 月公開徵求意見，2005 年底截止徵求意見，2006 年 03 月召開公開會議。

ISG-22 導則之訂定原因：

- (一)許多「完整燃料」(intact fuel)定義允許護套裂口小孔(pinhole)。
- (二)溫度夠高時，小孔可能在短期內傳播至整體裂開(gross breaches)。
- (三)最近某申請案件顯示使用空氣灌入護箱，結果護箱內半數水分吹出護箱且溫度超過 380°C。

Steve Sisley 解釋過去裝載護箱未發現以上現象，可能原因包括無裂開燃料、溫度太低、燃料有遮蓋、在通風口線(vent line)抽真空乾燥時未執行輻射監測、有限氧化導致分裂產物外釋量太少而偵測不到、護箱必須開蓋目視等。建議預防措施包括使用惰性氣體排水(blow-down)或抽乾護箱水分、不要將未加蓋燃料棒置於燃料線下、用紀錄與檢驗證明護箱內的完整燃料並無小孔及基於排水(抽乾)溫度隨時間的變化紀錄，證明並未發生整體劣化。

第 7 節第二次綜合討論有關 TAD 密封鋼桶之設計、申照，NRC 科長 Miss. Marissa Bailey 首先指出，TAD 密封鋼桶運送時放入 NRC 核發執照運送護箱內，TAD 密封鋼桶處置時將放入廢棄物包裝或加齡(aging)護箱內。

安全分析報告分為封閉前與封閉後兩階段，分別有不同考量：

(一)封閉前考量：

進行安全分析，應確認潛在危險、發生事件、事件過程與後果、TAD 對安全是否重要及確保 TAD 可靠度的方法，可能考量範圍包括密封鋼桶吊卸移動及 TAD 在加齡系統的功能。

(二)封閉後考量：

功能評估(performance assessment)應使用機率性風險評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)，確認特徵、事件與程序(Features, Events and Processes, FEPs)，及 TAD 密封鋼桶對廢棄物隔絕的重要性。考能考量範圍包括燃料溶解、對燃料護套保護功能的效應及臨界事件的排除等。

Miss. Bailey 最後結論是 TAD 密封鋼桶之重要性取決於封閉前與封閉後安全分析結果，TAD 之設計將受處置場吊卸與放置作業之重要性、運送法規要求及乾式貯存法規要求等因素的影響。在不同法規架構下，法規間之技術整合是必要的。

TAD 密封鋼桶是 DOE 提出的構想，由多重功能密封鋼桶(Multi-Purpose Canister)衍生而來，希望簡化優卡山高放處置場之管理作業，而要求採用標準化 TAD 密封鋼桶，惟遭受研討會與會業者之質疑，因部分業者已採用其他經 NRC 核准之密封鋼桶，若優卡山規定使用 TAD，業者仍需再花一筆費用。

DOE 處長 David Zabransky 簡報 TAD 護箱系統研發，DOE 希望簡化優卡山高放處置場之設計、申照、建照與運轉管理作業，而要求採用標準化 TAD 密封鋼桶，需符合運送、廠內貯存及處置規定，且可與 DOE 目前廢棄物包裝相容，DOE 正鼓勵工業界研發且儘早使用 TAD 系統，其優點為：

(一)整合用過核子燃料核電廠及優卡山高放處置場吊卸作業；

(二)TAD 系統可實現業者燃料包裝之吊卸經驗；

(三)TAD 系統可簡化 DOE 運轉操作及減少處置場燃料束吊卸作業；

(四)降低 DOE 設施低放廢棄物產量與工作人員輻射劑量。

DOE 將詳細列出 TAD 規格之接收標準，於申照時證明符合 10 CFR 63。有關 TAD 申照程序如下：

(一)護箱廠商將直接與業者合作向及 NRC 申請取得運送(10 CFR 71)、貯存(10 CFR 72)執照；

(二)TAD 系統設計將由 DOE 負責審查，證明符合 10 CFR 63 要求；

(三)TAD 功能規格將由 DOE 向 NRC 提出申照，由 NRC 進行審查，證明符合 10 CFR 63 要求；

Zabransky 最後結論如下：

(一)TAD 系統將可增進用過核子燃料管理與處置之運轉操作，DOE 將提出 TAD 系統之功能要求(performance requirements)；

(二)TAD 處置規格將是處置場申照的一部份，需獲 NRC 許可，始得於優卡山處置場使用；

(三)DOE 將依賴商業、工業界設計及製造 TAD 系統組件；

(四)DOE 將確認 TAD 系統之設計、申照、製造與操作，符合處置場貯存及處置要求；

(五)NRC 為 TAD 核准使用之主管機關，核准後可使用於反應器設施內貯存、送至處置場之運送及處置場。

第 8 節由 AREVA Transnuclear、HOLTEC 及 NAC 三大廠家分別報告近況，AREVA Transnuclear 目前是最大廠家，副董事長 Sam Shakir 指出目前用過核子燃料產量約為 52,000 MTU，已超過 400 裝載護箱，至 2010 年將有 20,000 MTU (45,000 束，1,200 個護箱)進行乾式貯存，2015 將達 27,000MTU (72,000 束，1,600 個護箱)。目前有 67 個運轉中反應器機組與該公司簽約進行乾式貯存，2012 將達 93 個。

Sam Shakir 指出，護箱容量因經濟考量而持續增加，惟需考量屏蔽與衰變熱之平衡容量。至於護箱熱容量的趨勢是貯存高燃耗燃料並縮短冷卻時間，設計熱容量可高於 40 kW (NUHOMS)。該公司產品分為 NUHOMS 及 TN 金屬護箱兩大類，其中 24PTH (PWR)熱容量達 40.8KW。HSM 具高熱容量及加強屏蔽模組，獲 NRC 2005 年發照，並於 H.B. Robinson 核電廠完成 4 個貯存護箱之裝載作業，燃料熱容量高達 30 KW，操作密封鋼桶工作人員輻射劑量小於 250 mrem。其中 Ft. Calhoun 因電廠起重機吊重限制僅 75 噸，無法承載 NUHOMS 傳送護箱，該公司減輕傳送護箱重量並加輔助屏蔽，成功解決起重機限制問題。新一代 NUHOMS 貯存護箱進行 44 KW 熱容量全尺寸測，並與分析數據及驗證分析結果作比較。此外 HUHOMS 各模組間可緊密接合，具良好屏蔽功能，為其特色。至於 TN 運送護箱的研發，TN-68 可運送高燃耗燃料熱容量達 30 KW，正向 NRC 申照中，TN-40 正準備墜落測試中，預定 2007 年第 2 季提出申照。

HOLTEC International 則是由申照計畫經理 Stefan Anton 報告大型 ISFSI 設施所面臨之挑戰，該公司目前開發的是 HI-STORM 100 放入地下通風模組內 (HI-STORM 100U)，優點是：

- (一)不顯眼且航空器無法接近；
- (二)排列密集(中心間距僅 12 英尺)，使用空間小；
- (三)場址形狀視可用區域形狀調整；
- (四)可用護箱抓取器(cask crawler)自兩個不同方面進入，操作方便，且不影響其他護箱；

通風模組名稱為垂直通風模組(Vertical Ventilated Module)，主要成分為蓋板 (Closure lid)及洞穴圍繞容器(Cavity Enclosure Container，CEC)，CEC 無外部穿透致使地下水無法進入 MPC 貯存洞穴。為方便除役，內部組件可以移除。空氣進出口為環狀對稱，無不利或有利任何風向。若 MPC 內部氣流阻隔系統一旦

移除，CEC 殼層與板結構可完全進行非破壞檢驗(NDE)，以確保運轉期間可隨時檢驗結構完整性。蓋板由鋼與混凝土組成，彎曲表面可增大阻抗減少輻射潺流(streaming)，頂部斜面可導引水至於護箱抓取器小道之排水池。

HI-STORM 100U VVM 特性與 HOLTEC 乾式貯存系統完全相容，相同場址可同時配置地面與地下護箱，並使用相同吊卸設備。可燃物質若進入貯存洞穴腔，燃燒將無法持久。洪水水位必須提昇至少高於基座 8.25 吋，始能到達空氣進口導管。若洪水上昇至可濺入 MPC 貯存洞穴，熱傳功能反而增強。場界劑量幾乎為背景值，可抵抗飛行器與飛彈攻擊(可升級為重型蓋板)及抵抗其他意外事件(具良好洪水、火災抵抗能力)。

NAC International 副董事長 Charles Pennington 報告 MAGNASTOR™ 系統：之開發與申照，MAGNASTOR 是以實驗為基礎開發且經驗回饋的產品，該系統可抗毀滅性軍事行動。NAC 已有執照的系統包括：NAC-S/T(金屬、貯存)、NAC-STC(金屬、貯存/運送)、NAC-MPC(混凝土、MCS 貯存/運送)、NAC-UMS(混凝土、貯存/運送，為核一廠技轉產品)。2000 年以來，多功能密封鋼桶系統(MCS)製造 216 個 TSC(Transportable Storage Canister)、220 個 VCC(Vertical Concrete Cask)及 6 個傳送護箱系統。此外，該公司完成製造金屬貯存護箱 14 個，並完成 176 個護箱之裝載。在美國目前約完成 800 個乾式貯存護箱裝載作業，其中一半是混凝土護箱系統，NAC 之 UMS 及 MPC 占美國裝載混凝土護箱 45%。

Pennington 亦提出大型護箱未來是個趨勢，除經濟理由外(降低護箱數目)，可改進功能，降低劑量增進運轉效率(降低時間、成本及劑量)及製造效率(縮短時程、減少風險)。

MAGNASTOR 設計貯存容量(37 PWR，87 BWR)，熱容量可達 35.3 kW (PWR)、33kW(BWR)，提籃(basket)使用力學最終組合(mechanical final

assembly)的新設計。密封鋼桶設計旨在改進 UMS 系統保留簡單操作特性，降低處理時間(單蓋板、兩道焊接、增強排水乾燥)，並增進操作性能(減少裝配時間、減少蓋板及焊接系統操作、減少焊接、減少 TSC 水分、減少乾燥時間、減少維修)。傳送護箱小於 115 噸且具有密封鋼桶冷卻特性。採超過設計基準事件 (beyond design basis Accident)的安全設計，除堅固、密封緊密外，可耐受過壓、穿透、衝擊及火災，可保障民眾安全。MAGNASTOR 於 2004 年 8 月向 NRC 提出執照申請，預定 2006 年取得 CoC。審照重要議題包括新提籃設計之結構穩定的問題、燃料對流冷卻之燃料及燃料提籃介面模式及密封鋼桶於 VCC 內之對流冷卻因系統容量增加導致 NRC 對模式及流量管制立場的改變等。

第 10 節介紹兩篇報告，第 1 篇為 NRC NMMS 除役科長 Marie Miller 簡報 Region I 檢查經驗，指出檢查重點在於較高風險之活動，包括：

- (一)試運轉及第 1 次裝載作業檢查：此類檢查是以系統功能為基礎，通常具顯著檢查績效，且可得到大量檢查發現。
- (二)例行性運轉檢查：檢查重點在於計畫變更部分，基於過去系統功能及過去緊急議題。

NRC 檢查分工如下：

- (一)總部：審查申照文件、核發執照及 CoC、推動廠商檢查、建立檢查導則 (inspection guidance)及支援地區分部(region)檢查計畫；

- (二)地區分部：試運轉檢查、例行性及運轉 ISFSI 檢查及保安檢查。

乾式貯存檢查為風險告知(risk-informed)，範圍包括燃料選擇、特性化與吊卸作業、重裝載作業、焊接及非破壞檢驗、輻射安全管制、技術規範之符合、保安等。另外屬性與安全貯存有關的業務，亦列入檢查範圍，包括幕僚人員的資格、廠商設計變更的知識、設備功能、燃料束的特性、密封鋼桶的準備、符合技術規範及 CoC、放置 ISFSI 的各種參數的適合性等。

Miller 對持照人如何加強做好檢查實務，建議如下：

- (一)有效使用驗證(benchmarking)及場址訪問；
- (二)有效使用工業運轉經驗；
- (三)時程應符合實際；
- (四)保守決策；
- (五)強調安全；
- (六)監督(oversight)組織的管理及參與。

例行檢查議題，則包括：

- (一)訓練及資源調動；
- (二)計畫經理人及重要員工的頻繁調動；
- (三)監督及參與現場活動之管理；
- (四)DCSS 設計變更及程序變更之 72.48 評估；
- (五)具部分實務經驗工作人員是否過度自信操作。

試運轉經驗回饋方面，Miller 提出成功試運轉之條件包括：

- (一)充分的時程；
- (二)備妥相關程序及文件；
- (三)特殊試運轉工作的適當時程；
- (四)週延的活動劃分。

檢查經驗的回饋，包括：

- (一)成功試運轉並不保證系統變更時能成功；
- (二)試運轉後燃料吊卸作業不應視為例行作業；
- (三)充分之審查及包商、廠商之監督管理，可改進功能使符合規定。

Arizona Public Service 申照計畫經理 Glenn Michael 簡報 Palo Verde ISFSI 檢查經驗回饋，Palo Verde 核電廠有 3 個反應器機組，NRC 於 2002 年 11 月起

進行 4 個月試運轉檢查，於 2005 年 3 月 7-10 日進行例行檢查，均未發現違規。
第 1 個護箱裝載於 2003 年 03 月 15 日完成。NRC 下次檢查預定於 2007 年初。
Palo Verde ISFSI 係採 NAC-UMS 系統，目前完成 41 個護箱之裝載作業，工作人員輻射劑量一直下降，最近每個護箱操作工作人員輻射劑量低於 100mrem。
護箱熱容量為 10-12 kW，真空乾燥時間為 18-26 hrs。

Michael 指出，ISFSI 檢查準備工作包括：

(一)與 NRC 負責檢查官員及早溝通；

(二)撰寫檢查員檢視文件；

(三)研閱 NRC 檢查程序：

IP60853：場內組件製造及 ISFSI 建造

IP60854：ISFSI 運轉前測試

IP60855：ISFSI 運轉測試

IP60856：10 CFR72.212 評估之審查

IP60857：10 CFR72.48 評估之審查

IP81001：保安

(四)準備裝載護箱作業表單：包括

裝載日期

熱容量

最大燃耗

最大濃縮度

裝載作業人時

工作人員集體劑量(man-rem)

- (五)準備輔助圖表，供檢查人員及工作人員確認重要檢查項目(50.59/72.48、72.212 評估報告、土木工程、護箱裝載操作、焊接、電子化計畫、保安、消防防護、燃料驗證、重裝載、品質保證、紀錄及訓練)；
- (六)各項目負責人員待命受檢；
- (七)試運準前建立 ISFSI 介面資料庫，包括各項目所有要求，分派負責人員。每一項目均需由負責人簽名；
- (八)檢查前會議各項目負責人員到場待命受檢、應作簡報並自我評估；
- (九)檢查期間每天聽取 NRC 檢查員報告，確認檢查員之未結案件(open items)；
- (十)吸取 NRC 檢查員的檢查經驗回饋；
- (十一)清楚確認每個 72.212 評估符合 72.48 要求；
- (十二)檢查後儘速回應 NRC 檢查員提出的未結案件。

本次造訪華盛頓州李其蘭市 Columbia 核電廠的 ISFSI，旨在學習了解其運轉經驗，提問與解說時間約二小時，該設施位於電廠內部一塊平坦空地，遠離核電廠邊界，圍籬措施及微波監測設備。因私人訪問受限較多，只能遠觀，不能入圍籬內參觀，亦不能拍照。因出國前電傳相關問題給反應器維修部計畫經理 Niel Zimmerman。茲將答覆及其解說整理歸納如下：

- (一)如何監測溫度、壓力及輻射(加馬及中子)：

溫度：監測空氣出口溫度，即時監測，現場每天量取 1 個溫度數據，並未連線至核電廠控制室。

壓力：不進行壓力監測，除因無法接近密封鋼桶外，先前裝載作業時，密封鋼桶焊接前已用質譜儀(mass spectrometer)已作氦氣洩漏測試(helium leak test)，有信心不會發生洩漏，且萬一洩漏，用輻射監測可得知。

輻射：固定地點定期量測加馬劑量，不進行中子量測，原因是中子不易量測，

且事前評估加馬劑量約 50mrem/hr，中子劑量約 20 mrem/h，比值約 2.5:1。

(二)運轉期間主要安全考量為何

作業時間及溫度為主要考量，控制作業時間尤其重要。

(三)垢(crud)的管理

去污至燃料水池，劑量的確較高，由保健物理人員依輻射防護原則管理即可。

(四)員工訓練

平均每人約接受 10 天訓練，委外辦理訓練。

(五)NRC 檢查狀況

第一次裝載作業 NRC 來檢查 1 次。後來難得來 1 次，檢查頻率視 NRC 對 ISFSI 的信心而定。

(六)工作人員接受劑量

平均小於 50 mrem。

(七)ALARA 措施

限制工作人員數量、工作時間及進出管制。若工作人員劑量率低於目標值，提供獎金獎勵員工。第 1 個裝載護箱，工作人員劑量為 375mrem；第 2 個裝載護箱，工作人員劑量降為 200mrem。

(八)保安

2 道圍籬措施及微波監測設備，進出管制。

(九)品質保證計畫

納入核電廠品質保證計畫，依據 10CFR50。對廠商的稽查是重點。

(十)產生廢棄物

未產生廢棄物。

(十一)貯存護箱成本

該廠產用 HOLTEC 產品，密封鋼桶 MPC-68 價格約 675,000 美元，護箱 HI-STORM 金屬及混凝土護箱價格約 250,000 美元，焊接約 90,000 美元，勞工成本 200,000 美元，其餘約 85,000 美元(包括基座、A/E 等)，共約 1,300,000 美金。

(十二)燃料檢驗

依據 ISG-1 執行，裝載前 90 天通知 NRC，NRC 並未要求開蓋檢驗(費時、費錢、劑量高)，可看過去爐心運轉紀錄決定是否檢驗。

四、建議

- (一)目前本局對於核一廠用過核子燃料乾式貯存設施建造執照審查作業已有周詳規劃，並已進行審照前期作業研究。為因應未來檢查任務，應對護箱製造、設施建造、試運轉及運轉各階段，本局應及早進行檢查人員培養訓練計畫，規劃辦理相關訓練，並於第 1 次護箱裝載作業 3 個月前完成相關訓練。本會審照時應要求業者(台電公司)及其主要承包商(核研所)提出適當的稽查計畫與稽查人員培訓計畫，因業者及主要承包商為第一、二線品質管制稽查，本會則為上位之品質保證檢查，各司其職。為有效運用國內資源，相關訓練建議應予以整合，互相支援。
- (二)因時程緊迫，本局對於乾式貯存檢查人員培訓，應尋求國際機構技術合作(如美國 NRC、日本 JNES 等)，一方面選派適當同仁出國受訓培養成種子檢查員，回國後將所學傳授給本會同仁及國內相關先進。一方面委請國外資深檢查員來台辦理研習會或訓練，提昇本會同仁檢查知能。此外，建議選擇美國 NRC 重要檢查計畫(如：美國 NRC 之 IP60853~IP60857)或 NRC、IAEA 重要檢查導則，翻譯並進行研讀，及早訂定檢查導則。
- (三)本局目前委託清華大學工程與系統科學系研訂用過核子燃料完整性檢驗相關導則，NRC 高級材料工程師 Dr. Einziger 為 ISG-1 撰稿人，職開會期間透過 Argonne 國家實驗室劉榮元博士(核工 71，麻省理工核工博士)的介紹而認識，Dr. Einziger 已口頭允諾若有疑問可逕 email 聯絡(ree1@nrc.gov)。此外，NRC 亦關切用過核子燃料因護箱裝載而短期暴露於空氣中的行為等議題，Dr. Einziger 目前正在研訂 IGS-22，建議本局多與他聯繫，或可考慮邀請他來台辦理研習會。
- (四)DOE 目前開發 TAD 密封鋼桶系統，為利於優卡山處置作業標準化多功能(貯存、運送、處置)容器，DOE 正研訂 TAD 規格及接收標準中，DOE 向 NRC

申請執照後，再由業者製造 TAD。建議可透過國際技術合作，向 DOE 及 NRC 學習處置容器相關法規及安全分析評估技術，及早進行處置容器研究。

五、照片



照片 1 乾式貯存資訊論壇國際研討會現場(一)



照片 2 乾式貯存資訊論壇國際研討會現場(二)