

出國報告（出國類別：開會）

參加**2013**年美國核管會第**25**屆管制資訊
會議暨訪問美國核管會

服務機關：原子能委員會

姓名職稱：龔繼康簡任技正兼科長

派赴國家：美國

出國期間：102年3月10日至3月17日

報告日期：102年5月17日

摘 要

美國核管會(NRC)舉辦之管制資訊會議(Regulatory Information Conference, RIC) , 是美國核管會自 1988 年起舉辦之年度會議, 參加對象包括美國聯邦政府機關、州及地方政府、核電廠業主、核工業集團與製造廠家、核能學術研究機構、利害關係團體、及國外核能相關機構等, 2013 年報名出席人員來自超過 30 個國家約 3,000 人, 是目前國際最重要之核安管制會議之一。

本次奉派赴美參加之第 25 屆「管制資訊會議」, 於 2013 年 3 月 12 至 14 日於美國鄰近華盛頓特區之美國核能管制委員會總部對面的 North Marriot 會議中心舉行, 與會人員除原能會(以下簡稱本會)核管處龔繼康簡任技正兼科長外, 本會駐美國經濟及文化辦事處科技組趙衛武副組長、本會核能研究所(以下簡稱核研所)蔡智明副研發工程師、核研所黃佳慧助理工程師亦共同出席。本屆會議內容涵蓋當前核能安全管制層面的重要議題, 諸如: 反應器運轉安全與分析技術、新型反應器研發、燃料循環設施安全、核子保防、核能安全研究、核安文化、知識傳承等議題, 並包含美國核管會於福島事故後所推動之核管行動方案, 會議除大會(plenary session)由核管會主任委員及其他 4 位委員(commissioner)分別發表專題演講外, 並於會議第一、二天下午及第三天上午同步安排 36 項技術議題, 同時設立海報專區(Poster Session), 充分讓與會專家進行討論與意見交流。

由於本次會議地點鄰近 NRC 本部, 故利用會議結束後一天(3 月 15 日), 拜訪 NRC 人員, 就相關議題進行經驗交流與分享, 除增進人員互訪, 亦有助於核管處(以下簡稱本處)管制工作之執行。整體而言, 參加核管會舉辦之管制資訊會議對國內核能安全管制而言, 極具參考價值。

關鍵字: 管制資訊會議、美國核管會、核能安全管制、福島事故後之核管行動方案

目 次

摘 要

一、目的.....	1
二、出國行程.....	2
三、過程紀要.....	3
(一) 參加 2013 年管制資訊會議(RIC)記要	3
(二) 訪問美國核管會並研討管制相關技術議題	19
四、心得與建議	25
五、附件.....	26
(一)、2013 年管制資訊會議議程.....	27
(二)、2013 年管制資訊會議照片.....	32

一、目的

美國核管會(NRC)年度管制資訊會議(Regulatory Information Conference, RIC)，自 1988 年開始已連續辦理 25 屆，是美國核管會與核能相關單位，包括州及地方政府、核電廠業主、製造廠家、核能學術研究機構、利害關係團體、及國外核能相關機構等意見交流與政策宣示之重要會議。本次奉派赴美參加之第 25 屆由美國核管會主辦之「管制資訊會議」於 2013 年 3 月 12 至 14 日於鄰近華盛頓特區之美國核能管制委員會總部對面的 North Marriot 會議中心舉行，報名與會人員包括國際原子能總署(IAEA)、經濟合作開發組織核能署(OECD/NEA)等國際核能組織及來自超過 30 個國家之代表，報名人數約 3,000 人，足見本項會議受到重視的程度。本屆會議內容涵蓋當前核能安全管制層面的重要議題(議程如附件一)，諸如：反應器運轉安全與分析技術、新型反應器研發、燃料循環設施安全、核子保防、核能安全研究、核安文化、知識傳承等議題，並包含美國核管會於福島事故後所推動之核管行動方案，會議除大會(plenary session)由核管會主任委員及其他 4 位委員(commissioner)分別發表專題演講外，並於會議第一、二天下午及第三天上午同步安排 36 項技術議題，同時設立海報專區(Poster Session)，充分讓與會專家進行討論與意見交流，對國內核能安全管制而言，極具參考價值。

由於本次會議地點鄰近 NRC 本部，故利用會議結束後一天(3 月 15 日)，拜訪 NRC 人員，就相關議題進行經驗交流與分享，除增進人員互訪，亦有助於核管處管制工作之執行。

二、出國行程

本次公差係參加 2013 年美國核管會之第 25 屆管制資訊會議，並於管制資訊會議後一天，拜訪美國核管會人員討論相關管制議題。總計本次公差行程自民國 102 年 3 月 10 日起至 102 年 3 月 17 日止，共計 8 日，行程概要如下表：

日期	行程	摘要
3/10~3/11	台北—洛杉磯— 美國華盛頓特區	去程
3/12~3/14	美國華盛頓特區	參加第 25 屆美國核管會之管制資訊會議
3/15	美國華盛頓特區 (核管會總部)	與美國核管會人員研討管制 相關技術議題
3/16~3/17	美國華盛頓特區— 洛杉磯—台北	返程

三、過程紀要

(一) 參加 2013 年管制資訊會議(RIC)記要

本屆 RIC 會議於 2013 年 3 月 12 日至 14 日舉行，會議主要議程如附件一。本次會議由反應器管制辦公室(Office of Nuclear Reactor Regulation, NRR)主任 Eric J. Leeds 及管制研發辦公室 (Office of Nuclear Regulatory Research, RES)主任 Brain W. Sheron 輪流主持。本會與會人員除核管處龔繼康簡任技正兼科長外，本會駐美國經濟及文化辦事處科技組趙衛武副組長、本會核研所蔡智明副研發工程師、黃佳慧助理工程師亦共同出席。

3.1 NRC 主任委員及委員演講擇要

本次會議 NRC 主任委員 Dr. Allison Macfarlane 及其他 4 位委員分別於會議第一天及第二天上午發表專題演講，以下僅就 NRC 主任委員及委員演講擇要簡述如下。

(1) NRC 主任委員 Macfarlane 演講

Dr. Macfarlane 是 NRC 新任主任委員(Chairman)，她於 2012 年七月就任，本次主講題目為「The Next 25 Years」。Dr. Macfarlane 首先感謝大家的付出與努力，從 1988 年 NRC 舉辦第一次 RIC 會議後，核能不斷面臨挑戰，NRC 舉辦第一次會議時，剛好在 1986 年車諾堡事件後，當時仍在對三哩島事件進行後續瞭解。兩年前的福島事件提醒 NRC 在面對國內及國際間的壓力時，必須不斷兢兢業業地履行核電設施監管職責，也由於 NRC 過去投注於科技研發和經驗的累積，讓 NRC 可以做出最好的規劃與決策。Dr. Macfarlane 表示 NRC 會記取從福島來的教訓，讓接下來的 25 年核能電廠能夠運轉得更安全。

Dr. Macfarlane 說明美國絕大多數核電廠機組都運轉得很好，但有 2 部機組因安全問題已長時間停機。NRC 過去所制訂的法規也有相當的效益，但是經過福島事故後，勢必要將事故教訓納入未來的規劃，未來監管程序將涵蓋整個燃料循環，並必須從公共政策與利益的角度來看，除了確保運轉安全，也要重視民眾切身關心的問題，務必提升民眾的信心。NRC 的責任是確保所有運轉電廠符合安全規範，同時認同美國核能工業追求傑出(excellence)而非遵循法規要求

(requirement)的理念。對於用過核燃料最終處置計畫、安全的燃料存放方式等問題，都是 NRC 未來的挑戰。目前 Crystal River 3 號機及 Kewaunee Power Station 將停止運轉開始除役，Dr. Macfarlane 說明除役處理方式包括：立即拆除、延後拆除或者是就地封存等選項。

Dr. Macfarlane 說明 NRC 去(2012)年核可了四個新機組建廠與運轉執照 (COL)，包括 Summer 及 Vogtle 電廠每廠各 2 部機組，同時 NRC 對興建反應器的設計和施工開始監督，但興建電廠品保工作仍需由經營者負責。NRC 同時與其他國家合作，進行新型反應器設計之評估，加強新反應器設計安全。

民眾溝通部分，Dr. Macfarlane 說明世界核電發展雖然受福島事故的影響，但是經過兩年的整理也要從事故中重新站穩腳步，NRC 的職責是制定好的監管原則，也開放公開討論，邀請各行各業、聯邦政府、州政府、業界、學界，以及國際同業參與，致力追求更開放及透明的管制內涵。

Dr. Macfarlane 感性地在演講中感謝每一位駐廠視察員，肯定大家努力確保公眾的健康與安全，並不斷提及對 NRC 及電廠人員的努力的感謝，NRC 將堅守崗位，確保每一部核電機組可以安全的運轉，亦確保燃料可以安全的進出口及貯存。

(2) NRC 委員 Kristine Svinicki 演講

Svinicki 委員非常的幽默風趣，一開始就以連串笑話開場，讓聽講的人歡笑連連。她的講題是「The Views of the Honorable Kristine L. Svinicki」。Svinicki 委員的演講重點在於後福島的核能監管觀點，她引用最近看過的著作與故事，說明她對於 NRC 於福島後監管決策的心得與看法，提醒執行作業及制定決策時應該要時時注意大方向是否偏差，避免陷入鑽牛角尖的議題。Svinicki 委員指出 2011 福島事故是東日本大地震的災害之一，最大的受害者是近兩萬名因地震或海嘯而死亡的民眾，但輻射本身並未造成任何人員死亡，反而是人員撤離過程造成傷亡，表示福島事故有很多值得學習與反省的地方，但不應過分專注於某些細節，必須擬定安全管制的優先順序，同時制訂一致(normalized)的管制標準，將福島經驗完整記錄保存，作為強化管制之依據。

(3) NRC 委員 George Apostolakis 演講

Apostolakis 委員的演講主題為「The Education of an Engineer in Policy Making」，他從自己是 NRC 委員的角度來談如何教育一位執行政策決定的工程師。Apostolakis 委員指出 NRC 委員會的業務就像是綜合科學、工程、法律、政策、與核能產業互動，如何讓工程師可以在短時間內完成在科學基礎上的工程計算工作，將分析結果做為法律及政策的基礎，進而推動並落實於核能產業界，實是困難任務，因此教育更顯重要。從科學與工程領域來看，技術幕僚在處理各專業領域問題的時候，同時也需要了解核能管制的結構與管制目的。從法律方面來看，NRC 是個聯合機構，肩負數種任務，涉及的法律層面因此相當廣泛。Apostolakis 委員相信政府機關太官僚、做決策時間太長，但是設計的程序應該是開放、透明、並且可邀請核能產業界參與，管制機關主要花費時間在確認全部分析都已完成、所有重要議題都已考量及充分討論。Apostolakis 委員以福島事故為例，從政策訂定、修正、推動方面觀察，雖然相關研究持續進行且對事故原因逐漸明瞭，核能電廠改善要求逐漸清晰，但 NRC 委員仍面對嚴苛的政策議題，例如：如何在核能管制架構下對超過設計基準事故做最佳定義、如何決定電廠必須落實改善項目，這些要求必須適用於保護民眾健康與安全，但每項決策都不簡單。在與核能產業互動方面，Apostolakis 委員以自身為例，由於 NRC 業務眾多繁雜、與核能產業互動頻繁，業主會要求他保證 NRC 管制做法的一致性。另外，在福島核能電廠發生事故後，他曾數次臨時被叫到白宮或國會議員服務處面談，讓他終於瞭解 NRC 幕僚出席反應器安全防護諮詢委員會 (ACRS) 的心情。Apostolakis 委員表示如果 NRC 委員工作僅攸關科學，工作會容易許多，人們常說人生就是不斷的學習，而他每天都在學習新的事情。

(4) NRC 委員 William Magwood 演講

Magwood 委員的演講主題為「Who are we」，他提到福島事故令他印象深刻，相信在福島事故發生後的數個月，世界各國核能安全管理單位都和這起事件引起的餘波奮鬥，面對如此大規模的災害造成的複雜問題。藉由福島的經驗，必須怎麼做才可以確保核能安全？民眾聽到用過燃料池的水蒸乾和燃料燒起來的言論後，怎麼化解對用過燃料池安全性的恐懼？舊式 Mark-I 與 Mark-II 圍阻體的

BWR 電廠要怎麼做？未來新電廠會變成如何？他相信此事故對核管會的許多專家們都是職場生涯中難以抹煞的重要回憶。日本福島事故後，世界各國都在努力地檢討如何來強化核能電廠因應極端天災的能力，但他也發現最後解決的方案都有類似的共通點。許多人嘗試去比較日本福島事故與前蘇聯車諾比事故及美國三哩島事故，但 Magwood 委員卻將此事件的後續影響力，與紐約世貿雙子星被恐怖攻擊的 911 事件相比擬，亦即當人們提到美國 911 恐怖事件前後，或是日本 311 核子事故前後，對於安全的思維已大不相同。

Magwood 委員的演講中特別提到日本國會 National Diet of Japan 成立一個獨立的福島事故調查委員會，他有機會在日本及美國與此委員會的主席 Kurokawa 博士會晤，並讚賞他們獨立思考、斟酌細節、及創新看法，在多數人專注專業技術及操作程序的問題時，Kurokawa 博士在報告中以日本核能發電之「安全文化」為主要檢討對象，其中被世界各國廣泛引用的一句話是：「我們必須痛苦地承認，這是一個日本製的災難 (this was a disaster "Made in Japan")」，其原因為服從命令、不敢質疑上級、執著於問題、群體主義及封閉等思維已根深蒂固於日本文化。這項坦誠的結論讓 Magwood 委員感到訝異，但同時美國核能專業人員也該深切反省自我的角色，例如：廠家及供應商們為美國 100 多部核能機組提供了許多安全運轉的服務，但目前是否面臨知識及技能之傳承，就他所知許多的廠家在計畫預算、工程分析、或跨業界的能力都受到一些挑戰與衝擊。對於電力公司核電廠的從業人員，Magwood 說明過去 30 年的努力，使得機組容量因數從 75% 上升到 90%，同時也提升了不少安全措施，然而他也憂心地指出，當降低法規(deregulation)蔚為風潮，各電力公司追求利潤而降低成本時，也降低了工程技術的能力，以往維繫龐大的工程與計畫管理團隊的情形已不復存在，而多半仰賴起廠家來，電力公司是否已準備好面對新機組的建造？最後核管會自己的同仁，雖然已建立了全球性的好名聲，也擁有最好最專業之核安管制人員，同時又是各國學習的標準，但也別忘了，在要求各持照者不能得意自滿時，也要自我反省，過去的成功可能就是未來失敗的陷阱，同時要以上述日本 Kurokawa 博士的反省，提醒核管會同仁應保持隨時質疑的態度，並提出任何可能的顧慮，不能夠因為執著在一個問題無法解決，而造成日後不可收拾的災難。Magwood 委員

以問自己「who are we」，期許所有在核能領域工作人員扮演積極角色，確保大眾的健康與安全。

(5) NRC 委員 William Ostendorff 演講

Ostendorff 委員的演講主題為「Post-Fukushima Reflections on our Regulatory Framework」，他在演講中提到美國自頒布原子能法(Atomic Energy Act)後對核能安全的一致要求，此種安全的要求不會因時間而改變。他在演講中特別強調 NRC 必須確保有足夠(Adequate)的安全管制，但重要的是足夠的安全管制不是絕對(Absolute)安全保障，足夠的安全管制不是零風險(zero risk)，但必須不斷質疑「如果某項設備壞了會造成什麼結果」。管制人員必須思考如何落實管制要求、管制的影響、如何確保安全。他同時說明管制項目必須讓經營者與利害關係者充分瞭解才有意義，同時必須不斷學習增進效能。Ostendorff 委員說明美國核能電廠在福島事故後檢查結果，機組檢查後仍可安全運轉且不會發生類似福島事故，但 NRC 已於 2012 年 3 月發布 3 項管制命令(order)要求各電廠改善，他同時說明經濟因素不是 NRC 的考量，必須提供民眾可靠(reliable)的安全保障才是關鍵，Ostendorff 委員強調 NRC 必須不斷學習才能維持高水準的管制能力。

3.2 技術議題(Technical session)演講擇要

本次管制資訊會議共有 36 項技術議題，由於議題採同時間不同場地共同舉辦方式辦理，以下僅就部分技術議題內容擇要說明如下。

(1) 嚴重事故分析與福島後現況

此議題討論嚴重事故分析程式與因應福島事故的分析結果，由 NRC/RES 系統分析部門主任 Kathy Halvey Gibson 主持，安排三位 NRC 人員與日本 JAEA 代表參與座談，議題包括：

1. DOE 福島事故分析結果
2. 用過燃料池 (SFP) 之 MELCOR 模型及分析結果
3. THALES2 程式發展與福島電廠嚴重事故分析之應用
4. MACCS 廠外危害評估

「DOE 福島事故分析結果」主講者為 SNL 的 Randall Gauntt 博士，介紹參與計畫的成員、嚴重事故現象、RCS 模擬、圍阻體失效機制、模擬結果與未來工作。計畫成員有 NRC、SNL、INL、ORNL，審查單位有 TEPCO、JNES、DOE、EPRI 等，計畫目的係使用 MELCOR 建立福島電廠一號機、二號機、三號機與用過燃料池模型，模擬用過燃料池事故、RCS 熱水流現象及圍阻體失效機制，Gauntt 博士於簡報中報告一至三號的模擬工作，用過燃料池事故模擬與分析結果由另一位講者 Hossein Esmaili 博士介紹。

DOE 分別針對一號機、二號機、三號機建立各別模型，各模型的圍阻體皆為 Mark-I，關鍵安全系統包含安全釋壓閥 (SRV)、冷凝器、RCIC (二、三號機)、HPCI 蒸汽驅動 RPV 注水系統 (三號機) 與 RHR 系統。圍阻體失效模式有 SRV 於高溫時過度反覆開關而卡死，分裂產物因此進入濕井，考量避免分裂產物大量進入大氣環境的濕井刷洗效應。主蒸汽管破裂也是圍阻體失效模式之一，分裂產物因此進入乾井空間，可能外釋到大氣環境的可能原因有乾井上蓋凸緣處密封失效及鋼製襯板熔穿。

一號機的模擬結果顯示事故發生後 4 小時左右爐心開始熔毀，銻水反應產生氫氣與高溫氣體，SRV 反覆開關將蒸汽洩放到抑壓池以調節 RPV 壓力，RPV 維持高溫高壓導致主蒸汽管破裂，分裂產物從破裂處進入乾井空間。RPV 失效後，爐心熔融物質掉落到圍阻體地板上，產生氫氣與高溫氣體，RPV 注水產生蒸汽也促使圍阻體壓力上升，造成乾井頂部凸緣處發生洩漏，蒸汽與氫氣進入反應器廠房。雖然事故後 23 小時左右停止 RPV 注水且執行圍阻體排放洩壓，終止乾井頂部凸緣處的洩漏，洩漏到反應器廠房的蒸汽持續冷凝，同時造成部分真空狀態，將外部空氣吸入反應器廠房，形成氫氣容易燃燒的條件，最後於反應器廠房產生氫氣燃燒爆炸。

二號機的模擬工作仍在持續進行中，尚未獲得確定性的分析結果。三號機的模擬工作，結果顯示事故進程與現象的趨勢與東京電力公司(TEPCO)提供的資料一致，包括 RPV 壓力、爐心水位、乾井壓力、濕井壓力等，然而，仍存有以下待確認議題：

1. HPCI 於 RPV 壓力最低時之 HPCI 注水流量的效益；

2. 執行乾井/濕井噴灑的效益；
3. 濕井淹灌 (torus flooding) 的效益；
4. RPV 洩壓後執行緊急低壓注水流量的效益；
5. RPV 洩壓的原因為主蒸汽管破裂或啓動 ADS。

此計畫將持續模擬福島一號機、二號機、三號機事故的工作，同時進行不準度量化分析，提供相關資訊以支援核電廠除役工作，並從除役過程取得相關數據與樣本，以利進行後續研究。

「用過燃料池 (SFP) 之 MELCOR 模型及分析結果」主講者為 NRC/RES 的 Hossein Esmaili 博士。為了評估用過燃料儲存的安全性，NRC 以 MELCOR 程式建立 SFP 模型，SFP 模型包含 BWR 燃料格架元件、PWR 燃料格架元件、熱輻射模型、衰變熱模型、放射性核種模型、空氣與燃料的氧化反應及水流阻力模型。事故分析的案例有完全喪失冷卻水與部分喪失冷卻水兩種情況，前者因為池水水位最終會降至底層格架以下，分析過程考慮空氣自然循環、用過燃料與空氣的氧化反應、少量/沒有氫氣產生，部分喪失冷卻水時考量蒸汽產生、蒸汽與燃料的氧化反應、氫氣燃燒、在池水水位低於底層燃料格架後產生空氣與燃料的氧化反應等。SFP 內的放射性核種盤存量係由 SCALE/ORIGEN 計算，事故分析結果的輻射源項 (外釋分率) 做為廠外輻射劑量危害分析 MACCS 程式的輸入資料。

「THALES2 程式發展與福島電廠嚴重事故分析之應用」主講者為 JAEA 的 Yu Maruyama，主要介紹 THALES2 程式、THALES2 程式的應用、福島第一電廠事故分析案例與未來工作。THALES2 是參考 MELCOR 開發的嚴重事故分析程式，可用來計算 Level 2 PRA 的輻射源項，程式中考量熱水流、爐內爐心熔損進程、爐外熔損進程與分裂產物的傳遞現象，由獨立計算模組模擬各現象。Yu Maruyama 簡報中以福島電廠二號機、三號機的事故分析為案例，考量可獲得的實際電廠資訊 (自動啓動之設備、運轉員的操作、嚴重事故處理策略)，建立分析模型，並以此模型進行注水流量、圍阻體失效位置、圍阻體失效時間、海嘯淹沒濕井等靈敏度分析，最後將分析結果與 MELCOR 分析結果進行比較。

THALES2 模擬結果顯示福島二號機事故於發生 76.5 小時後，燃料棒包覆溫度達 1173K，1.2 小時後燃料棒包覆溫度升高至 2098K，爐心開始熔損，於事故發生 81 小時後燃料支撐板損壞，接下來 6.6 小時造成 RPV 底部熔穿，與 MELCOR 分析結果比較，前兩階段的時間點相近，後兩階段的時間點差異大。THALES2 模擬結果顯示福島三號機事故進程是事故發生 44.3 小時後，燃料棒包覆溫度達 1173K，0.7 小時後燃料棒包覆溫度升高至 2098K，爐心開始熔損，事故發生 46.7 小時後燃料支撐板損壞，接下來 5.5 小時造成 RPV 底部熔穿，與 MELCOR 分析結果比較可知，前兩階段的時間點相近，後兩階段的時間點差異大。

JAEA 未來的研究方向有 (A) 持續與 OECD/NEA 進行福島事故基礎研究，(B) 更新 THALES2 不準度分析，確認待改善之重要因子，(C) 結合 KICHE 程式，加入 pH 時變計算與生成有機碘計算功能，(D) 改善輻射源項分析結果，精進嚴重事故處理策略，應用 THALES2 評估嚴重事故處理策略的有效性。

「MACCS 廠外危害評估」主講者為 NRC/RES 事故分析分組的 Keith Compton 博士，主要介紹 MACCS2 程式、MACCS2 前處理程式、WinMACCS 程式、MACCS 應用範圍。MACCS 用來評估假定輻射物質進入大氣環境後造成之風險與危害的工具，從 70、80 年代的分析工具演變而來，此工具考量大氣擴散、移動及沉積到地表的機制與民眾的輻射暴露方式，輻射暴露方式包含吸入、藉由食物或飲用水等攝取管道、體外輻射照射（地表照射、雲團照射、皮膚沉積），評估短期、中期、長期健康危害與經濟損失，進而根據分析結果訂定緊急防護行動與長期防護行動。MACCS 為 Level 3 PRA 分析工具，為了方便 PRA 前期階段分析結果、氣象資料、鄉間訪查數據與實驗數據的輸入，NRC 開發出 MACCS 前處理程式。為了提高研究效率與品質，NRC 以 MACCS2 為運算核心，開發圖形化使用介面的 WinMACCS 程式，使用者可在視窗介面建立分析模型及展示分析結果。目前使用 MACCS 程式有風險評估（如 NUREG-1150）、嚴重事故研究（如 SOARCA 計畫）、執照更新、新反應器執照取得、國際研究等。

(2) 核設施之機率式水災危害評估

此議題討論議題包括：

1. 機率式水災危害評估
2. 新反應器洪水機率評估
3. 機率式洪水危害評估
4. 流量控制器與洩洪系統的可靠度

「機率式水災危害評估」由 NRR 擔任引言，目的是召集專家小組評估極端洪水對核設施造成的風險，並討論與現行技術的差距(如數據取得和解釋、專家意見客觀性、不確定度評估)，參與討論的專家包括 NRO、EPRI、USGS(U.S. Geological Survey)及學校教授；主要分成幾項內容：

1. 討論機率洪水危害評估(Probabilistic Flood Hazard Assessment, PFHA)和應用於核設施之 PRA 方法
2. 定義洪水形成機制，用以討論 PFHA 及不確定度評估
3. 檢視過去利用 PFHA 進行評估的案例
4. 聯結極端洪水分析與 PRA，進行資訊共享

討論的洪水機制包括歷史水災紀錄、極端降水紀錄、洪水造成潰堤或潰壩、海嘯、暴潮、河川氾濫、加成效應(互依性)分析等。目前 NRO、NRR、RES 已經投入許多人力於機率地震危害分析準則 Practical Implementation Guidelines for SSHAC Level 3 and 4 Hazard Studies (NUREG-2117, Rev. 1)，再由資深地震危害分析委員會(Senior Seismic Hazard Analysis Committee, SSHAC)評斷。

「新反應器洪水機率評估」由 NRO 主講，新反應器於建廠時須調查區域最高洪水位和區域最大地下水位，用以訂定場址設計洪水水位、場址最高水位及場址高程。水災議題還是以 NUREG-0800 為主，討論的項目包括可能最大洪水、溪河的洪水、大壩失效、最大浪湧、海嘯災害、冰的危害、運河和水庫、水流改道、防洪等議題，此外，福島事件也是水災危害的防護工作檢討指標。除了洪水危害以外，洪水發生機率也是討論重點，NRC 於 2013 年 1 月 29~31 日舉行論壇 (PFHA workshop)，邀請聯邦機構、大學院校、私人企業計 250 人共同討論，尋求可行的洪水機率危害分析(Probabilistic Flooding Hazard Analysis, PFHA)方

法，目前得到的初步建議包括：

1. 利用風險告知和現有決策標準，瞭解兩者間的異同，找出潛在原因。
2. 加強聯邦、各企業、各組織及其他有關單位間的合作及協調。
3. 參考資深地震危害分析委員會 (Senior Seismic Hazard Analysis Committee, SSHAC) 之執行方法。

論壇成果並已出版報告 Final Program of the Federal Workshop on Probabilistic Flood Hazard Assessment (PFHA) (ML13024A242)，同時有錄音檔案可供參考。

「機率式洪水危害評估」包括兩項議題，其中「機率式洪水危害評估：透視機率式洪水危險性評估」由 EPRI 利用 PRA 方式檢視洪水造成的危害，一般評估洪水用的方法有三種：危害分析，脆弱度分析，量化評估，其中危害分析需要最多的數據，以往對於洪水分析多採用最大洪峰流量(Probable Maximum Flood, PMF)，PMF 是定論式(Deterministic)分析，簡化洪峰頻率及發生時間等因子；使用風險評估進行洪峰推算可考慮到歷史洪峰或極端洪峰發生的可能性，保留發生機率極低，但可能造成嚴重危害的事件；目前已經發展出一套機率式洪水危害評估(Probabilistic Flooding Hazard Assessment, PFHA)方法，搭配不同情境：河流、颶風、暴潮、水壩、海嘯等，已發展出對應的模型，其中，河流使用的 Stochastic Event Flood Model (SEFM)，已有 30 家以上的美、加機構應用。此外，也將 PMF 進行優化納入參考，以多種方法並行的方式，提供洪水危害評估更可靠的評估準則。

「機率式洪水危害評估：數據，物理特性，統計和不確定度」由 USGS 主講，討論洪水評估數據，因為過去從歷史的洪水數據資料蒐集，較少極端氣象條件，未來希望找出長期洪水週期，定義極端事件和極值，數據統計從以往物理現象、回歸公式、Pseudo-Probabilistic Methods、隨機方法，尤其針對數據的可靠度進行評估，過去數據分析時可能會排除離群值，現在則是利用古地質研究方式，回溯離群值的真實性，務求勿枉勿縱。

「流量控制與洩洪系統的可靠度」內容除洪水推算外，對洪水防護也是重

要的課題，由馬里蘭大學主講。洩洪實驗包括資料蒐集、氣象預報、流量控制、人爲/自動操作等，並以事件數列出可能造成失效的情境，找出可能造成洩洪溢流的情境，針對該情境進行模擬，並且統計數個水壩操作數據，找出可能的肇始事件包括極端降雨宣洩不及、設備故障無法升起洩水閘門、大雨造成道路崩塌、人員無法進出、通訊系統失效、週末假日人員調度不及、人員工作負荷過重等因素。

(3) 福島後國際研究現況

此議題討論福島事故後各國家與機構的研究現況，由 NRC/RES 署長 Brian Sheron 主持，安排美國、法國、日本、芬蘭與 OECD 代表參與座談，議題包括：

1. International Research – Post-Fukushima Research (RES/NRC, USA)
2. Post-Fukushima Research, IRSN Views on External Events Research (IRSN, France)
3. Post-Fukushima Safety Research in JNES (JNES, Japan)
4. Safety Research in Finland Related to Fukushima Dai-ichi Accident (STUK, Finland)
5. NEA Safety Activities Related to External Events (OECD/NEA)

「美國福島後國際研究」主講者爲 NRC/RES 署長 Brian Sheron，他表示福島後美國 NRC 委員成立近期專案小組 (Near Term Task Force, NTTF)，NTTF 提出 12 項建議，並要求幕僚訂定落實 12 項建議的期程規劃，評估其他可能的建議事項，持續追蹤需進一步研究的建議事項。根據 NTTF 研究，指出以下議題與目前成果：

1. 事故緩和策略的範疇包括圍阻體過濾排氣系統 (filtered containment venting system)、氫氣控制、電廠全黑。NRC 下令 Mark-I 及 Mark-II 圍阻體 BWR 電廠必須安裝可靠的硬管排氣系統 (hardened vent)，NRC 也使用 MELCOR、MACCS2、PRA 執行技術分析，做爲支持 Mark-I 及 Mark-II 圍阻體 BWR 電廠安裝過濾排氣系統需求的基礎。NTTF 建議 NRC 確認圍阻體

內或其他廠房內的氫氣控制能力，因此，NRC 將重新檢視各型圍阻體內的氫氣控制設備，評估氫氣洩漏至週邊廠房的可能性及其危害，並參與 OECD 氫氣生成、傳遞、減量的研究。NTTF 指出有修改因應電廠全黑規定的必要，透過 Level 3 PRA 評估風險，並由 BNL 執行延長 DC 電池運轉時間的研究。Sheron 指出，福島電廠發生事故的期間釋放了大量的放射性廢水，但目前沒有模擬廢水流動的模型，RES 正開始評估計畫，預期研究成果可做為評估放射性廢水排放的可能性，並進一步採取因應措施。

2. 用過燃料池研究：檢視若「加速」舊燃料移到乾式貯存罐的過程，對於用過燃料池事故會有何影響。過去用過燃料池風險研究顯示最具風險的事件是池水快速流失，造成用過燃料露出水面的最主要原因是地震，NRC 正在針對運轉週期具代表性之 Mark-I 圍阻體 BWR 電廠 (Peach Bottom) 分析地震帶來的衝擊，同時評估池內存放高密度與低密度用過燃料產生危害的差別。
3. 電廠風險評估：將 PRA 範疇放大到涵蓋所有放射性物質來源、所有廠內及廠外肇始事件、所有運轉模式，可能的放射性來源包含反應器、用過燃料池及多部機組，運轉模式包含全功率運轉、低功率運轉及停機狀態。預期四年時間可完成所有評估工作，目前進度是完成廠內肇始事件造成全功率運轉反應器放射性物質外釋的 Level 1 研究。

「法國福島後國際研究」主講者為 IRSN 安全研究部門主任 JC Micaelli，Micaelli 指出法國已經完成國家壓力測試，並決定強化深度防禦的能力，於每個核電廠安裝強固核心安全 (hardened safety core) 設施，該設施存有為數有限但可提供攸關運轉安全防護、動力與冷卻水的緊要功能組合，以處理遠超過設計基準事故危害。法國也持續研究地震與海嘯對於強固核心安全設施的危害。

「日本福島後國際研究」主講者為 JNES 總括參事 Masashi Hirano，簡報重點為目前福島核電廠狀況、目前核能安全法規與研究成果。Hirano 說明福島核電廠一號至三號機反應爐目前都處於穩定狀態，RPV 底部維持 30-50°C，一號機最大輻射劑量率為 11.1 Sv/h，水位約為 2.8m，二號機輻射劑量率為 73 Sv/h，水位約為 60cm，未來將在福島核電廠建造核種移除設施與地下水旁通工程，減少放射性廢水核種並阻斷放射性廢水進入地下水系統。在研究成果方面 JNES 根據美國

開發的 MELCOR 模型與實際電廠數據，重新估算福島核電廠嚴重事故進程與輻射源項；估算福島事故對環境的影響；研究有效冷卻圍阻體的方法；進行用過燃料池喪失冷卻水的熱水流實驗（噴灑冷卻、自然對流冷卻、蒸汽冷卻）；進行注入海水與硼酸的實驗；發展安全文化評估方法；計算廠外輻射對居民與工作者的輻射危害。

「芬蘭福島後國際研究」主講者為 STUK 的 Keijo Valtonen，簡報重點為目前芬蘭的核能發電現況、核能電廠嚴重事故處理策略與安全研究。芬蘭目前擁有兩座核能電廠，Olkiluoto 電廠有 2 部 ABB BWR 運轉中機組，另有 1 部 EPR 機組正在建造中，Loviisa 電廠有 2 部 VVER-440 運轉中機組。Olkiluoto 電廠的嚴重事故處理策略包含一次系統洩壓、下乾井淹灌、圍阻體注水、圍阻體過濾排氣等。Loviisa 電廠的嚴重事故處理策略包含 RCS 洩壓、壓力槽內熔渣滯留、氫氣減量與控制、圍阻體噴灑以維持長期冷卻等。

(4)風險評估：未來的挑戰與機會

此議題討論項目包括：

1. RES 風險評估
2. 新型與進步型反應器
3. 現行反應器於國際間風險告知應用
4. 南方核電公司眼中的風險告知管制
5. 業界的 PRA 觀點

「RES 風險評估」由 NRC 之 RES 負責，主要的研究目標有二項，分別是 Vogtle 電廠三階(Level 3)PRA，以及風險管理管制架構(Risk Management Regulatory Framework, RMRF)。

NRC 目前以 Vogtle 電廠為示範場址，進行三階 PRA 驗證，目前進行數位儀控研究及人為可靠度分析(Human Reliability Analysis, HRA)，資料蒐集包括蒐集 HRA 數據、HRA 方法論、火災 HRA 等，三階 PRA 驗證包括放射源在所有操作模式下所造成的危害、討論多重污染源造成之風險等，2013 年春季已討論及召

開 ACRS 小組討論會議。RMRF 工作小組則進行 NUREG-2150 內部審查，確認操作項目及提出建議。此外，RES 提供電廠進行模式訓練，工作為蒐集數據與分析、建立系統肇始事件、進行全危害模型，過程中同時對操作手冊進行修訂，同時也可以得到事件及情境中發生的共因失效機率。

「新型與進步型反應器」由 NRO 說明，目前主要進行的工作仍為新反應器的執照審查、進步型反應器運轉前置作業等，持續完成現階段申請計畫以支援未來申請。NRO 支援設計審查標準(Design-Specific Review Standard, DSRS)，進行新反應器的研究、測試計畫、管制架構等。另外針對福島事件的工作重點將著重在風險管理工作，提出加強核安與加強監管效率的方法。

「現行反應器於國際間風險告知應用」由 NRR 說明，目前風險告知已經被電廠廣泛使用，有將近一半的廠家用 NFPA 805 進行火災防護檢視；而 GSI-191 提到的圍阻體內的洩水池與爐心水流的問題，目前由南德州 Demonstration 廠進行測試評估；而 Vogtle 電廠執行 10 CFR 50.69(Risk Inform)以及建立風險管制技術規範。地震重新評估、廠外水災重新計算以及其他天災造成的危害也被納到 NTT 2.1 項目中。

3.3 海報及攤位展示

本次會議 NRC 準備之海報及攤位展示攤位，僅簡要說明其中一項內容如下。

(1) SOARCA (State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses) 計畫

為了發展反應器嚴重事故造成廠外輻射健康危害的量化分析能力，獲得最佳估算(best-estimate)結果，並建立接近真實 (realistic) 的結果，NRC 推動 SOARCA 計畫，以位於賓州的 Peach Bottom 電廠 (GE BWR，Mark-I 圍阻體) 與位於維吉尼亞州的 Surry 電廠 (西屋 PWR，乾式圍阻體) 為例，主要目的是 (A) 更新嚴重事故量化分析結果；(B) 納入早期評估所沒有考量到的電廠變更；(C) 評估電廠設施安全相關改進的潛在效益；(D) 使用先進的模擬技術(指 MELCOR/MACCS2 程式)；(E)增進 NRC 對外溝通有關嚴重事故方面的資訊。

SOARCA 重點在以符合現實的方式進行評估與詳細分析，例如採用模擬器的觀察數據、估算管路表面的氣膠粒子 (aerosol) 沈降行爲。SOARCA 整合事故

演進模型與事故後果模型，也考量到近年來各國所進行的物理實驗結果，擴充模擬範圍。

SOARCA 分析了兩個代表電廠：Peach Bottom 與 Surry，兩者均有模擬長期廠區全黑 (Long-term station blackout, LTSBO) 情節如地震事件+喪失 AC 電+電池初始不可用，也均有模擬短期廠區全黑情況 (STSBO)。Surry 電廠另單獨分析 STSBO 再加上蒸汽產生器破管 (Thermally induced steam generator tube rupture, TISGTR) 的情節以及系統介面爐水流失事故 (ISLOCA)。SOARCA 的特色之一在於考量了電廠在 911 事件後所增設的各項措施，例如建立了運轉員手動運轉蒸汽驅動泵 (在沒有電力之下) 的程序書、移動式柴油驅動泵、移動式發電機 (供電給關鍵儀器與閥件)、移動式氣瓶 (供氣開閥)、專用的補水源等。模擬廠外後果時，也考量了電廠緊急應變模式，包括緊急應變計畫、緊急宣布的時間、地方政府的保護作為程序、廠外撤離時間等數據。SOARCA 計畫的先導廠評估結果可摘述如下：

- 1.當運轉員有效運用廠內可用資源及設備、有效執行救援程序時，將可以在事故危害民眾健康前阻止事故進程、延遲事故進程或大幅降低影響；
- 2.在 SOARCA 模擬的事故序列中，即使運轉員未能成功阻止事故，事故的進程仍比以前的研究來得緩慢很多，輻射外釋量也小很多；
- 3.所有 SOARCA 模擬的事故序列都沒有致死風險；
- 4.SOARCA 模擬的事故序列顯示長期癌症死亡個人風險僅略高於美國一般人之癌症死亡年平均風險。

SOARCA 計畫執行成果已彙整為 NUREG-1935 報告，並於 2012 年 11 月正式發行，NRC 於 RIC 會議的 SOARCA 攤位提供紙本，詳細內容皆列於報告中。



OFFICE OF NUCLEAR REGULATORY RESEARCH

State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses (SOARCA)

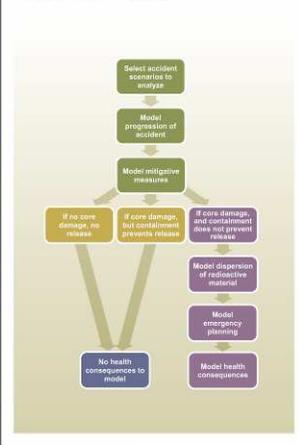
What is SOARCA?

- SOARCA was a major research project conducted by NRC and its contractors to develop best estimates of the offsite radiological health consequences for severe reactor accidents at two plants, Peach Bottom and Surry

What were its objectives?

- To update the quantification of severe accident consequence studies, particularly the 1982 Siting Study (NUREG/CR-2239)
- To incorporate plant changes not reflected in earlier assessments
- To evaluate potential benefits of security-related improvements (10 CFR 50.54(hh))
- To incorporate state-of-the-art modeling with the MELCOR and MACCS2 computer codes
- To better enable NRC to communicate severe accident-related aspects of nuclear safety to diverse stakeholders

The SOARCA Process



The Peach Bottom Atomic Power Station (left) is a General Electric boiling water reactor (BWR) design with a Mark I containment and is located in Delta, PA.

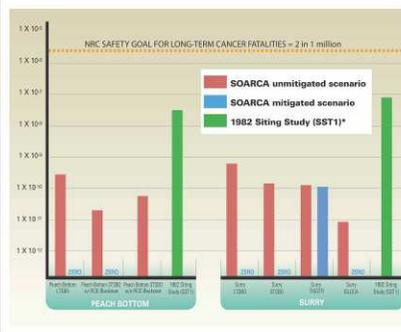


The Surry Power Station (right) is a Westinghouse pressurized water reactor (PWR) design with a large, dry subatmospheric containment and is located in Surry, VA.

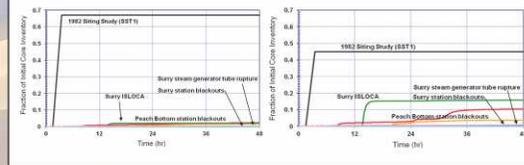
What were the project's results?

- Existing resources and procedures, when effectively implemented, can stop an accident, slow it down, or reduce its impact before it can affect public health
- Even if accidents proceed without effective intervention, they take much longer to happen and release much less radioactive material than earlier analyses suggested
- The analyzed accidents would cause essentially zero immediate deaths and only a very, very small increase in an individual's risk of a long-term cancer death relative to the average annual risk of cancer death for an individual in the U.S. from all causes

Scenario-Specific Risk of Latent Cancer Fatality for an Individual within 10 miles Assuming Linear-No Threshold Dose Response Model (per Reactor-Year)



Cesium (left) and Iodine (right) Release for SOARCA Unmitigated Scenarios and 1982 Siting Study (SST1)



MELCOR Model of Peach Bottom Reactor Building



Scenarios Analyzed in SOARCA

Reactor Site	Accident Scenario	Description
Peach Bottom & Surry	Long-Term Station Blackout (LTBLOCA)	Seismic event; loss of ac power; batteries available initially
Peach Bottom & Surry	Short-Term Station Blackout (STBLOCA)	Seismic event; loss of ac power; batteries unavailable
Surry	STBLOCA with Thermally Induced Steam Generator Tube Rupture (TIGOTR)	Variation of STBLOCA - a steam generator tube ruptures resulting in a pathway for radioactive material to potentially escape
Surry	Interfacing Systems, Loss-of-Coolant Accident (ILCOCA)	Random failure of valves ruptures low-pressure system piping outside containment

Caution: NRC does not use modification code stickers. You must not scan or use a QR code if it appears to be manipulated or modified in any way or appears not to be part of the original printing of the material.



(二) 訪問美國核管會並研討管制相關技術議題

本會與美國 NRC 已建立長期之合作關係。本次公差期間仿照過去本會的模式，除了參加核管資訊會議之外，順道利用會議後一天的時間，拜訪美國核管會本部，就管制實務問題與美方人員進行討論與經驗交換，美國核管會由台美民用核能合作國際事務部(OIP)的聯絡人 Danielle Emche 安排與接待，並依據原能會事先提供之問題清單及美國 NRC 希望本會同仁提供的資訊，安排相關人員與本會龔繼康科長、本會駐美國經濟及文化辦事處科技組趙衛武副組長、核研所蔡智明副研發工程師、核研所黃佳慧助理工程師面對面討論，過程十分緊湊。討論題目內容包括：進步型沸水式反應器(ABWR)圍阻體強化排氣設計與氫氣控制、馬克 I 型乾井保護塗料基準設計升溫曲線與實際測試升溫曲線不同之安全考量、龍門電廠防火測試採用混凝土厚度替代之適當性等事項，美方則希望本會提供龍門電廠乾井集水坑(Dry well sump)在嚴重事故對爐心熔渣(corium)的防護設計。由於本會趙衛武副組長事前妥善與美方聯繫，美方派出多位專家參與不同議題的討論，對本次參訪助益甚多。以下摘要說明與 NRC 之間的各项議題討論內容：

(1)進步型沸水式反應器(ABWR)圍阻體強化排氣設計與氫氣控制

日本福島事故發生以後，美國 NRC 成立 Near Term Task Force (NTTF)，針對日本福島事故之經驗，發布不同命令(Order)及建議事項(recommendation)，要求美國核能電廠進行不同的措施，以改善與強化核電廠運轉安全。其中 NRC 發布 EA-12-050 號命令，要求美國使用 MARK I 及 MARK II 圍阻體設計的沸水式(BWR)反應器，必須採用可靠的強化圍阻體排氣設備，以確保在長時間失去所有廠內外交流電(SBO)或圍阻體主動移熱裝置時，仍能有效移除圍阻體熱量並控制圍阻體壓力在可接受的範圍。NRC 同時要求強化的圍阻體排氣裝置必須包含長時間失去所有廠內外交流電、圍阻體冷卻能力不足時仍能讓工作人員接近與操作，另外 NRC 委員(commissioner)要求官員必須考量將圍阻體強化排氣設計併入過濾排氣(Filtration of containment vent)之要求，同時將此項目列為優先改善要求(Tier 1，NTTF 5.1)，圍阻體氫氣控制部分 NRC 則列為需中長期研究的項目(Tier 3)。由於 ABWR 圍阻體的乾井與濕井體積與設計壓力與 MARK I 相似，與 MARK II 完全一致，但 NRC 並未對採用驗證(certified)後 ABWR 設計之 South Texas

Project (STP) 3、4 號機及其他可能採用 certified ABWR 設計之電廠提出再次檢視或改善的要求。同時 STP3、4 號機在回復 NRC 命令時說明由於 ABWR 不屬於 BWR MARK I 或 MARK II 圍阻體，因此不適用。另外 ABWR 在圍阻體過壓保護系統(COPS)設計時採用爆破閥(rupture disk) 可能產生操作人員無法手動操作而必須等到圍阻體壓力達到爆破閥設計壓力才因過壓爆破排氣，以及 ABWR 乾井沒有直接排氣管道等議題。同時因歐盟國家已將氫氣控制與圍阻體排氣共同歸類為避免圍阻體失效造成環境輻射污染的項目，本會也希望了解美方在圍阻體氫氣控制方面的最新情形。

NRC 在此議題的主要會談人員為 Office of New Reactors (NRO)的 Mr. John McKirgan、Office of Nuclear Reactor Regulation (NRR) 的 Mr. Robert Denning、Office of Research (RES)的 Mr. Richard Lee、Mr. Sud Basu 及 Mr. Ed Fuller 等 5 人，他們對本會如此深入的了解及行動比 NRC 更積極表示肯定。NRC 表示美方之 EA-12-050 號命令只針對 BWR MARK I 及 MARK II 圍阻體，並未包含其他如 MARK III 或 ABWR 圍阻體設計。NRC 將 MARK III 或 ABWR 圍阻體設計之檢視列為中長期研究項目(Tier 3，NTTF 5.2)，同時必須由優先改善要求項目之經驗及技術累積，作為研擬 Tier 3 改善要求之依據。目前 NRC 官員仍在等待 commissioner 對優先改善要求(Tier 1，NTTF 5.1)是否要求增加過濾排氣的要求。

對於 ABWR 圍阻體過壓保護系統(COPS)，STP 3、4 號機申請 Combined Operating License (COL)時並未提出變更設計的要求。但在 NRC 官員要求檢視福島事件 STP 回復時說明將檢討設計資料，包含降低爆破閥的壓力設定值。NRC 目前正在檢視福島事件後相關設計變更，同時會將設計變更項目列入中長期研究項目(Tier 3，NTTF 5.2)。NRC 官員說明驗證(certified)之設計必須每 15 年檢討一次，相關設計變更也會一併考量。

氫氣控制部分 NRC 官員說明氫氣再結合器(hydrogen recombiner)是 certified 設計可燃性系統設計的一部分，STP 申請 COL 時提出終期安全報告(FSAR)不採用 hydrogen recombiner 之要求，由於 NRC 管制依據 10 CFR 50.44 對可燃性氣體在 certified ABWR 設計已做過修改，NRC 官員審查後認為 STP 申請符合設計要求。此外由於氫氣控制(NTTF recommendation 6)列在中長期研究項目(Tier 3)，目

前 NRC 仍在蒐集資料及瞭解其他國家在此議題的進展。

(2) 馬克 I 型乾井保護塗料基準設計升溫曲線與實際測試升溫曲線不同之安全考量

核一廠之馬克 I 型乾井在申請中幅度功率提升(SPU)時，提供主蒸氣管斷裂(Main Steam Line Break)設計基準事故(DBA)情況下乾井溫度升溫曲線，與美國橡樹嶺國家實驗室(ORNL)於 1978 年對乾井塗料 Carboline 195 Surfacer/Phenoline305Finish 所做的測試曲線相比，在主蒸氣管斷裂開始之 0~4 秒間，SPU 所計算出之乾井溫度升溫曲線超出 ORNL 於 1978 年對乾井塗料所做的測試，ORNL 測試達到高溫穩定區域(temperature Plateau)需要數秒的時間，雖然 ORNL 的測試所達到的高溫穩定溫度比核一廠 DBA 情況下乾井所達到的高溫穩定溫度高，但核一廠 DBA 最初之 0~4 秒間升溫速度較快，本會希望了解是否最初快速升溫會對乾井塗料造成不利影響，同時希望了解乾井塗料的審核標準。另外 ORNL 測試時在約 10,000 秒時有一段快速的溫降，本會希望了解是否會對乾井塗料造成不利影響，另外核一廠主蒸氣管斷裂 DBA 計算結果在約 600 秒時產生快速溫降，本會希望了解如果乾井溫度提早快速下降對乾井塗料的影響。

NRC 在此議題的主要會談人員為 NRR 的 Mr. Mathew Yoder，美方說明核一廠乾井溫度最初 4 秒 DBA 與 ORNL 所做的測試之差異並不重要，乾井塗料的傷害來自高溫與輻射對塗料聚合體的破壞，測試的最高溫度與持續的時間對塗料的破壞比最初升溫曲線更重要。另外快速降溫部分，美方人員認為短期溫度變化應該不會影響乾井塗料，核一廠主蒸氣管斷裂 DBA 計算結果比 ORNL 測試曲線提早溫降應該不會對乾井塗料造成影響。

(3) 龍門電廠防火測試採用混凝土厚度替代之適當性

NRC 對於防火屏障(Fire Barrier) BTP CMEB 9.5.1.有詳細說明並在 RG1.189 有相關規定。其中 RG 1.189 規定防火屏障設計必須經由耐火測試(Fire endurance testing)。NRC 同時引用 NFPA 251 及 ASTM E119 作為接受耐火測試之指引(Guideline)。NFPA 251 及 ASTM E119 同時作為防火屏障建造、材料選擇、測試樣品尺寸選擇等之指引。耐火測試通過之標準包含防火屏障必須在認可授證時

間內不能讓火焰穿過屏障或引燃另一側棉質物品、防火屏障另一側之最高溫度不能超過周圍氣溫攝氏 121 度或華氏 250 度，防火屏障必須在測試時維持完整等項目。NRC 同時規定持照者(電力公司)必須評估防火屏障測試報告及數據符合 NRC 防火要求，同時必須確保引用的資訊足以代表實際情形。NFPA 251 說明防火測試由於測試樣品製作及測試環境產生差異因此必須仔細評估，由於不是所有防火屏障都可以進行測試，耐火測試指引提供偏離測試條件時評估使用的額外資訊。

龍門電廠混凝土防火屏障材料之組成爲 Carbonate and Siliceous (85%) aggregates (波特蘭水泥 Portland II cement)，包括混凝土樓板、天花板及牆等。材料組成符合 ASTM C33，厚度符合 ACI 349、359、318、301 之要求。台電公司說明混凝土厚度 6 吋以上具備 3 小時防火時效，故符合 BTP CMEB 9.5.1 B.4 之要求。由於 BTP CMEB 9.5-1、RG 1.189 4.2.1.1、RG 1.189 4.2.1.5 已明確說明防火屏障須執行耐火測試，RG 1.189 4.2.1.5 有訂定耐火測試之接受標準，但 NRC 相關管制規範之敘述並未說明防火屏障厚度符合 ACI 349、359、318、301 要求可不必經(NRC)認可實驗室執行耐火時效測試，即認定符合 BTP CMEB 9.5.1 B.4 耐火時效之要求，因此就此問題請教美國核管會專家，並詢問核管會是否有已核准不需耐火測試即可符合 3 小時防火時效之 Carbonate and Siliceous aggregates。

NRC 在此議題的主要會談人員爲 Office of New Reactors (NRO)的 Mr. Samuel Lee、Mr. Bob Vettori、Mr. John McKirgan、等 3 人負責參與討論。美方說明他們無法立即得知龍門使用的 6 吋波特蘭水泥是否能有 3 小時的耐火時效，不過他們有一些評估方法，例如參考防火工程學會防火工程手冊第三版第四部第 10 章「決定混凝土耐火分析方法」(Society of Fire Protection Engineers Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Section 4 Chapter 10-Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Concrete Members)、美國混凝土協會(American Concrete Institute-ACI 216.1)2007 年版 ” Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies”、國家防火協會(National Fire Protection Association)出版之 ” National Fire Protection Handbook” 第 20 版 Section 19 Chapter 5 “Approaches to Calculating Structural Fire Resistance” 等。美方說明並未認可(endorse) 任何一項評估方法，必須由業者提

出分析評估證明。美方同時提供耐火評定等級實驗室網址 (<http://database.ul.com/cgi-bin/XYV/template/LISEXT/1FRAME/fireressrch.html>) 供本會出席人員參考。NRC 同時說明不是所有耐火屏障可以進行測試，NRC 管制立場(Regulatory Position) 1.8.3 及 RG 1.189 第二版之 4.2.1 及 4.3 提供已建置完成無法符合測試條件評估時所需之額外訊息。

本次討論時另外詢問核管會專家是否有已經 NRC 核准、不需進行 3 小時耐火測試、採用 Carbonate and Siliceous aggregates 混凝土的防火屏障。NRC 專家說明 NRC 並不「核准」(approve)任何防火屏障，而是業者提出評估報告，可以採用測試或分析評估方式，說明符合法規之要求項目，並由 NRC 進行審查(review)。NRC 依據 RG 1.189 “Fire Protection for Nuclear Power Plants” Revision 2 作為審查基準，可能有些審查同意報告中有防火屏障資訊，但 NRC 並未準備核准清單。依據過去經驗，混凝土防火屏障厚度介於 5.8~6.2 吋，但必須由業主進行評估。美方初步認為台電公司所提出之 ACI 349 主要為建構混凝土屏障施工所引用之工業法規，應該詳細指出相關 ACI 法規中哪一章節說明可以有 3 小時的耐火能力。另外美國興建新反應器業主已承諾耐火測試將遵循 NFPA 251” Standard Methods of Tests of Fire Resistance of Building Construction and Materials” 或 ASTM E119” Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials” 之規範，建造時並有視察員進行現場查証，以確保符合規範。

(4) 龍門電廠乾井集水坑(Drywell sump)在嚴重事故對爐心熔渣(corium)的防護設計

本項議題為美國核管會主動提出，希望經由我方提供資料，增加嚴重事故時乾井對對爐心熔渣(corium)的防護能力。美方說明在進行嚴重事故評估時，發現 MARK II 圍阻體在爐心熔毀情況下，爐心熔渣可能不會先經過原設計之抑壓池(Suppression Pool)冷卻而直接掉落於乾井底部，將減少爐心熔渣冷卻並造成乾井不利影響。美方得知龍門電廠採用 ABWR 設計，包含嚴重事故爐心熔毀時，乾井集水坑對對爐心熔渣的防護能力，因此希望瞭解相關設計，作為改善 MARK II 圍阻體嚴重事故防護能力之參考。

NRC 在此議題的主要會談人員為 Office of Nuclear Reactor Regulation (NRR) 的 Mr. Robert Denning、Office of New Reactors (NRO) 的 Mr. John McKirgan、Mr. Samuel Lee、Office of Research (RES) 的 Mr. Richard Lee、Mr. Sud Basu 及 Mr. Ed Fuller 等 5 人，美方詢問項目包含：龍門爐心熔渣防護設計是否專為龍門電廠所設計、乾井集水坑防護屏障所使用之材質、防護屏障高度、如何冷卻爐心熔渣等項目。本會龔繼康科長向美方說明龍門電廠設計採用 GE 公司標準設計(standard design)，並未採取特殊設計。關於龍門乾井集水坑防護屏障設計在龍門電廠終期安全分析報告(FSAR)第 19 章 19.4.3.8 節有相關敘述，使用材料為 alumina、高度 0.4m、乾井地板面積 79 m² 以確保爐心熔渣散熱能力達到 0.02m²/MWth 的設計值。龍門乾井集水坑防護屏障設計目的為確保爐心熔毀時爐心熔渣不會進入位於乾井底層的 2 個集水坑，避免因爐心熔渣集中堆積於集水坑產生散熱不良的問題。由於龍門電廠乾井集水坑防護屏障已經完成興建，美方專家希望未來能有機會赴現場參觀實體安裝情形。

四、心得與建議

綜合本次出國赴美參加 2013 年核管會管制資訊會議及與核管會人員討論技術議題，總結心得及建議如下：

- 一、 美國核管會每年定期舉辦之管制資訊會議，近年來報名參加國家與人數有持續增加的趨勢，尤其日本福島事故後國際間核電安全經驗交流已成為維護安全之關鍵因素，建議未來仍應持續派員參加此項會議。
- 二、 我國龍門電廠正面臨公投決定未來之關鍵階段，但目前建廠所累積之經驗與技術為美方期望分享之資訊，而龍門電廠燃料裝填前也需要 NRC 人員提供技術與經驗協助。此次參訪美國核管會本部，經由交換意見及澄清技術議題對雙方核安管制都有助益，建議未來持續進行以維繫雙方合作關係並提昇我國核安管制能力。
- 三、 美國核管會重視公眾溝通與資訊透明化，同時強調管制機關必須重視核安文化與持續學習，相關做法可作為本會加強核安之借鏡。
- 四、 美國核管會管制決策建立在長期研究與經驗累積之基礎上，同時提供民眾足夠(adequate)而非絕對(absolute)的安全保障，相關作法可供本會參考。
- 五、 美國核管會成立 Near Term Task Force (NTTF)，針對日本福島事故之經驗，發布不同命令(Order)及建議事項(recommendation)，並區分為短期及中長期項目，後續應持續收集美方相關資訊，加強我國核能電廠安全。

五、附 件

附件一 2013 年管制資訊會議議程

附件二 2013 年管制資訊會議照片

2013 年管制資訊會議議程

時間	活動及議題
Monday, March 11, 2013	
3:00 p.m.–6:00 p.m.	Early Registration Open <i>(Registration Service Desk)</i>
Tuesday, March 12, 2013	
7:00 a.m.–5:00 p.m.	Service Area Open <i>(Registration, Internet/Print Center, and Help Desk)</i>
7:30 a.m.–8:30 a.m.	Meet and Greet—Networking Opportunity
7:30 a.m.–5:00 p.m.	Technical Poster and Tabletop Presentations on Display
7:30 a.m.–5:00 p.m.	Force-On-Force Program Exhibits
8:30 a.m.–10:00 a.m.	<p>Opening Session</p> <p>Welcome and Introductory Remarks: Eric Leeds, Director, Office of Nuclear Reactor Regulation, U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)</p> <p>Keynote Speaker: The Next 25 Years Allison M. Macfarlane, Chairman, NRC</p> <p>Remarks From the Executive Director for Operations (EDO): Highlights of NRC Operations Bill Borchardt, EDO, NRC</p>
10:00 a.m.–10:30 a.m.	<p>Networking Break</p> <p>Technical Posters and Tabletop Presentations on Display Force-on-Force Program Exhibits</p>

時間	活動及議題
10:30 a.m.–11:15 a.m.	Commissioner Plenary The Views of the Honorable Kristine L. Svinicki Kristine L. Svinicki, Commissioner, NRC
11:15 a.m.–12:00 p.m.	Commissioner Plenary The Education of an Engineer in Policy Making George Apostolakis, Commissioner, NRC
12:00 p.m.–1:30 p.m.	Lunch Break Technical Poster and Tabletop Presentations on Display Force-on-Force Program Exhibits
1:30 p.m.–3:00 p.m.	Technical Sessions <ul style="list-style-type: none"> • T1 - Developments in Generic Safety Issue 191 • T2 - Knowledge Management: An International Perspective • T3 - Severe Accident Codes Analysis and Fukushima Response Activities • T4 - Construction Inspection Experience—The First Year • T5 - Enhancing Law Enforcement Tactical Responses to Commercial Nuclear Power Reactor Sites • T6 - New Procedure IP 71111.11, “Licensed Operator Requalification Program and Licensed Operator Performance” — Insights and Lessons Learned: A Panel Discussion
1:30 p.m.–3:00 p.m.	NRC Operations Center Tour #1
3:00 p.m.–3:30 p.m.	Networking Break Technical Posters and Tabletop Presentations on Display Force-on-Force Program Exhibits
3:30 p.m.–5:00 p.m.	Technical Sessions <ul style="list-style-type: none"> • T7 - Human Impacts • T8 - Status and Path Forward on the Management of Gas Accumulation in Nuclear Power Plant Systems • T9 - Probabilistic Flood Hazard Assessments for Nuclear Facilities • T10 - Small Modular Reactors—Deployment Status • T11 - Promoting Success for Emergency Preparedness Guidance • T12 - International Capacity Building and Coordination: Nuclear Safety

時間	活動及議題
	and Regulation Among New and Developed Nuclear Energy Programs
Wednesday, March 13, 2013	
7:30 a.m.–5:00 p.m.	Service Area Open <i>(Registration, Internet/Print Center, and Help Desk)</i>
7:30 a.m.–5:00 p.m.	Technical Poster and Tabletop Presentations on Display
7:30 a.m.–5:00 p.m.	Force-on-Force Program Exhibits
8:30 a.m.–9:15 a.m.	Commissioner Plenary Perspectives from a Commissioner William D. Magwood, IV, Commissioner, NRC
9:15 a.m.–10:00 a.m.	Commissioner Plenary Post-Fukushima Reflections on our Regulatory Framework William C. Ostendorff, Commissioner, NRC
10:00 a.m.–10:30 a.m.	Networking Break Technical Posters and Tabletop Presentations on Display Force-on-Force Program Exhibits
10:30 a.m.–12:00 p.m.	Special Plenary Session Panel Discussion on Operating and New Reactors: Perspectives of NRC and Industry - Moderator: Eric Leeds, Director, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC Panelists: Michael Johnson, Deputy Executive Director for Reactor and Preparedness Programs, Office of the Executive Director for Operations/NRC Tony Pietrangelo, Senior Vice President and Chief Nuclear Officer, Nuclear Energy Institute Dennis Koehl, President, Executive CEO and Chief Nuclear Officer, STP Nuclear Operating Company
12:00 p.m.–1:30 p.m.	Lunch Break Technical Posters and Tabletop Presentations on Display Force-on-Force Program Exhibits
12:15 p.m.–1:15 p.m.	Lunchtime Workshop

時間	活動及議題
	ADAMS at Work: Understanding the Public Version of the NRC's Agency Document Repository
1:30 p.m.–3:00 p.m.	NRC Operations Center Tour #2
1:30 p.m.–3:00 p.m.	<p>Technical Sessions</p> <ul style="list-style-type: none"> • W13 - Steam Generator Issues–Lessons Learned • W14 - Evolving Nuclear Fuel Pool Storage Criticality Regulations and Guidance • W15 - Part 1—International Research–Post-Fukushima Research • W16 - Risk Applications: Emerging Challenges and Opportunities • W17 - Regional Administrators' Session • W18 - Advances in Low-Level Waste Guidance: How Uniform is Your Uniform Manifest?
3:00 p.m.–3:30 p.m.	<p>Networking Break</p> <p>Technical Posters and Tabletop Presentations on Display Force-on-Force Program Exhibits</p>
3:30 p.m.–5:00 p.m.	<p>Technical Sessions</p> <ul style="list-style-type: none"> • W19 - Recent Operating Reactors Materials Issues • W20 - Spent Fuel Safety • W21 - Part 2—International Research–Post-Fukushima Research • W22 - Vendor Performance for New Construction and Safe Operation • W23 - Are You Prepared for a Hostile Action-Based Exercise? • W24 - Storage and Transportation of High Burnup Fuel
Thursday, March 14, 2013	
7:30 a.m.–10:30 a.m.	<p>Service Area Open</p> <p><i>(Registration, Internet/Print Center, and Help Desk)</i></p>
7:30 a.m.–10:30 a.m.	Technical Poster and Tabletop Presentations on Display
7:30 a.m.–12:00 p.m.	Force-on-Force Program Exhibits

時間	活動及議題
8:30 a.m.–10:00 a.m.	NRC Operations Center Tour #3
8:30 a.m.–10:00 a.m.	<p>Technical Sessions</p> <ul style="list-style-type: none"> • TH25 - Research for Long-term Operations and Subsequent License Renewal • TH26 - When Operating Experience Knocks ... Who is Answering? ... Why? ... and How? • TH27 - Radiation Protection and Health Studies • TH28 - Near-Term Task Force Recommendations 2.1 and 2.3, Status Update for Seismic and Flooding Issues • TH29 - Are We a Cyber-Savvy Industry? • TH30 - Key Insights to the Future of High Level Waste Management
10:00 a.m.–10:30 a.m.	<p>Networking Break</p> <p>Technical Posters and Tabletop Presentations on Display Force-on-Force Program Exhibits</p>
10:30 a.m.–12:00 p.m.	NRC Operations Center Tour #4
10:30 a.m.–12:00 p.m.	<p>Technical Sessions</p> <ul style="list-style-type: none"> • TH31 - Regulatory Changes That Would Improve the NRC Adjudicatory Process • TH32 - Topical Reports: Perspectives on Their Use and Benefits to the NRC and Stakeholders • TH33 - Thermal-Hydraulic Codes and Analysis • TH34 - Guidance Enhancement to Address Lessons Learned in Review of Civil Structures for New Reactors • TH35 - Beyond Sirens and Radios: Advances in Public Alert and Notification Systems • TH36 - The NRC’s Safety Culture Policy Statement—Domestic and International Initiatives

2013 年管制資訊會議照片



2013 年 RIC 會議照片(NRC 提供)

照片由左至右：美國 NRC 主任委員 Allison Macfarlane, 委員 Kristine Svinicki, 委員 William Magwood, 委員 William Ostendorff。



原能會出席人員與 NRC 人員合影

照片由左至右：原能會龔繼康博士、Kuo 顧問公司(前 NRC 處長)郭寶金博士、原能會駐 TECRO 代表趙衛武博士、NRC 陳培英博士



原能會出席人員與美國 NRC 人員合影

照片自左至右：龔繼康(AEC)、趙衛武(TECRO)、Robert Vettori(NRO)、Danielle Emche(NRC)、Robert Dennig(NRR)、黃佳慧(INER)、Sudhamay Basu(NRR)、蔡智明(INER)



原能會出席人員於會場合影

照片由左至右：趙衛武博士、龔繼康博士、郭寶金博士、蔡智明博士、黃佳慧小姐