

出國報告（出國類別：其他）

赴美國參加 2014 年台美民用核能合作  
會議，順道訪問美國愛達荷國家實驗室

服務機關：核能研究所

姓名職稱：楊智偉 副工程師

詹瑞裕 副研究員

羅彩月 副研究員

林家德 研究員

喬凌寰 副研究員

魏聰揚 研究員

施建樑 副所長

派赴國家：美國

出國期間：103 年 11 月 1 日~103 年 11 月 16 日

報告日期：103 年 12 月 4 日



## 摘要

本次公差核能研究所施建樑副所長等共 7 人赴美國伊利諾州芝加哥市參加「2014 年台美民用核能合作會議(TECRO-AIT Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation)」，並參訪阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, ANL)相關設施。會議召開前，化工組魏聰揚組長、詹瑞裕副研究員順道於 11 月 3 日訪問 Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (PORTS)。會議結束後，核儀組楊智偉副工程師自 11 月 10 日至 11 月 14 日順道訪問愛達荷國家實驗室。

2014 年台美民用核能合作會議於 11 月 3~7 日假美國阿岡國家實驗室(ANL)舉行，美方代表包含國務院(DOS)、核能管制委員會(NRC)、能源部(DOE)及所屬單位、國家核子保防局(NNSA)、美國在台協會台北辦事處(AIT)、桑迪亞國家實驗室(SNL)、阿岡國家實驗室(ANL)等單位約 21 人與會；我方由行政院原子能委員會、駐美國台北經濟文化代表處、國立清華大學、台電公司、放射性物料管理局及核能研究所等 6 個單位 20 人與會，雙方就各項合作項目進行深度討論。

會議期間，台美雙方共計發表 17 篇專題報告，就雙方核能整體發展現況、核安全與執照更新、放射性廢棄物的處理處置、核能整體發展現況、用過燃料乾式貯存、核物料管制與核子保安、核醫藥物與同位素應用、核能技術發展等議題進行討論。另本次會議期中參觀阿岡國家實驗室(ANL)之尖端光子源含高能 X 光散射光束線(Advanced Photon Source includes High Energy X-ray Scattering Beam Line)實驗室等設施。

本次公差心得與建議事項主要包括：(1)建議效法美國能源部積極透過各種管道推廣風險評估方法與技術，以強化核能安全；(2)建議我國持續積極運用台美民用核能合作的管道，以加速我國核能技術發展；此外，建立雙方友好互動與信任，亦有助於核醫研究資源擴展；(3)針對高階放射性廢棄物深孔處置(Deep Borehole Disposal)之概念，建議謹慎收集相關資訊，注意研發成果；(4)建議國家實驗室與大學密切合作，可透過提供實習機會，為人才培養奠定基礎，形成永續經營利基。

# 目 錄

摘 要 .....	i
一、目的 .....	3
二、過程 .....	4
三、心得 .....	46
四、建議事項 .....	48

## 一、目的

台美雙方自民國 73 年 10 月 3 日，於台北簽署「北美事務協調委員會與美國在台協會間民用核能合作聯合常設委員會設置協定」以來，積極開展雙邊合作，並每年輪流於我國與美國舉辦與雙邊合作會議，促進我國與美國在核能安全管制與核能科技發展。今年適逢協定簽署滿 30 週年，30 年來台美民用核能合作會議早已成為我國與美國在核能應用研究發展之國際合作平台。合作項目包含核子嚴重事故處理、核能安全管制技術、射源管制與保健物理、核醫藥物與同位素應用、地震分析與研究、用過核燃料管理、低放射性廢棄物處理與處置技術、核子事故緊急應變、進步型反應器材料特性研發、核設施除役與環境復育等。

2014 年台美民用核能合作會議於 11 月 3~7 日假美國阿岡國家實驗室 (Argonne National Laboratory, ANL) 舉行，本次公差核能研究所(以下簡稱核研所)施建樑副所長等共 7 人參加「2014 台美民用核能合作會議」，並參訪阿岡國家實驗室(ANL)相關設施。會議召開前，化工組魏聰揚組長、詹瑞裕副研究員順道於 11 月 3 日訪問 Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (PORTS)。會議結束後，核儀組楊智偉副工程師自 11 月 10 日至 11 月 14 日順道訪問愛達荷國家實驗室。

2014 年台美民用核能合作會議，我方由行政院原子能委員會、駐美國台北經濟文化代表處、國立清華大學、台電公司、放射性物料管理局及核研所等 6 個單位 20 人與會。美方代表包含國務院、核能管制委員會、能源部及所屬單位、國家核子保防局、美國在台協會台北辦事處、桑迪亞國家實驗室、阿岡國家實驗室等單位約 21 人與會。雙方就合作項目進行深度討論，經由此次定期召開的會議，台美雙方在既有之核能資訊交流管道上，除建立新世代核能專業官員之交流與情誼外，對於加強雙邊推展核能技術合作、提昇國內核能安全作業與促進核能和平應用將有明顯助益。

## 二、過程

此次台美民用核能合作會議(JSCCNC)於美國伊利諾州芝加哥市近郊阿岡國家實驗室(ANL)舉辦，核研所共有 7 人前往，出國公差人員名單如表一。

表一、核研所出國公差人員名單

單位	姓名	職稱
所本部	施建樑	副所長
化工組	魏聰揚	組長
工程組	喬凌寰	副組長
核工組	林家德	副組長
同位素組	羅彩月	副研究員
化工組	詹瑞裕	副研究員
核儀組	楊智偉	副工程師

本次出國行程自 103 年 11 月 1 日起至 103 年 11 月 16 日止，為期 16 天，出國行程詳如表二，主要行程包括：

- (一)魏聰揚、詹瑞裕於 11 月 3 日訪問位於 Ohio 州 Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (PORTS) 乏六氟化鈾(depleted uranium hexafluoride, DUF<sub>6</sub>)轉化廠。
- (二)施建樑等全體七位核研所同仁自 11 月 4 日至 11 月 6 日參加台美會議，並參訪阿岡國家實驗室(ANL)，會議議題與行程如表三。
- (三)楊智偉自 11 月 10 日至 11 月 14 日訪問愛達荷國家實驗室，執行人為可靠度質化資料系統介面中文化議題討論。

表二、核研所人員出國行程

行程				公差地點		工作內容	
月	日	星期	地點		國名		地名
			出發	抵達			
11	1~2	六~日	桃園	辛辛那提	美國	肯塔基	去程(魏聰揚、詹瑞裕)
11	3	一	辛辛那提	芝加哥	美國	肯塔基	訪問 DUF <sub>6</sub> 轉化廠行程(魏聰揚、詹瑞裕)

續表二、核研所人員出國行程

行程					公差地點		工作內容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
11	2~3	日~一	桃園	芝加哥	美國	芝加哥	去程(施建樑、喬凌寰、林家德、羅彩月、楊智偉)
11	4	二			美國	芝加哥	台美會議第一天議程：大會 (施建樑等全體七位核研所同仁)
11	5	三			美國	芝加哥	台美會議第二天議程：分組會議 (施建樑等全體七位核研所同仁)
11	6	四			美國	芝加哥	台美會議第三天議程：參訪 ANL 相關設施 (施建樑等全體七位核研所同仁)
11	7~8	五~六	芝加哥	愛達荷 福爾斯 桃園	美國	愛達荷 福爾斯	代表團檢討會議及整理資料 回程(施建樑、魏聰揚、喬凌寰、林家德、羅彩月、詹瑞裕)
11	9	日			美國	愛達荷 福爾斯	整理資料 (楊智偉)
11	10~14	一~五			美國	愛達荷 福爾斯	赴愛達荷國家實驗室訪問(楊智偉)
11	15~16	六~日	愛達荷	桃園			回程(楊智偉)

表三、2014 年台美會議議題與行程

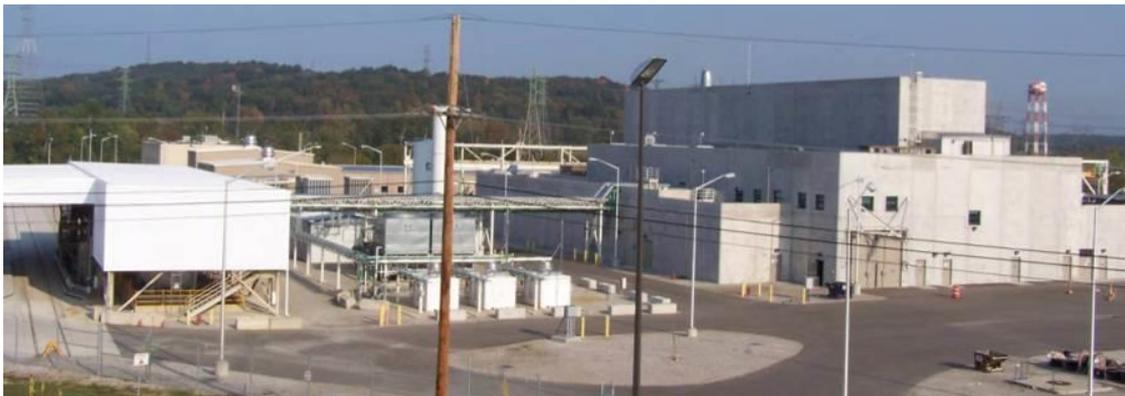
日期	時間	活動及議題
11 月 4 日	8:30	<b>Meeting Registration</b>
	9:00	<b>Opening Remarks</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ANL – <i>Mark Peters, the ALD for our nuclear programs</i></li> <li>2. AEC – <i>Dr. Shin Chang, Director, Department of Nuclear Regulation, AEC</i></li> <li>3. AIT/W-DOS - <i>Dr. Alex Burkart, Deputy Director, Office of Nuclear Energy, Safety, and Security</i></li> </ol>
	10:00	<b>Presentations</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Overview of U.S. Nuclear Energy Programs- DOE/NE (<i>William Lahneman</i>)</li> <li>2. Updates of Atomic Energy Council’s Activities in Taiwan –(<i>Hung-Chih Lai, Technical Specialist, AEC/PD</i>)</li> <li>3. Lessons Learned from WIPP Underground Fire and Radiation Release Event – DOE/EM (<i>Abe Vanluik and Roger Nelson</i>)</li> <li>4. Overview of Taipower’s Nuclear Backend Management Program – TPC (<i>Der-Fwu Lin, Chief Engineer, TPC</i>)</li> <li>5. Continued Storage of Spent Nuclear Fuel Rulemaking and its Implication on Licensing Activities – NRC (<i>Tim McGinty</i>)</li> </ol>
	13:30	<b>Presentations</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Updates of Nuclear Regulatory Activities in Taiwan (<i>Jec-Kong Gone, Section Chief, AEC/NRD</i>)</li> <li>2. Update on Aerial Measurement Workshop – NNSA (<i>Ann Heinrich</i>)</li> <li>3. Review of Current Major Research Activities at INER – (<i>Chien-Liang Shih, Deputy Director-General, INER</i>)</li> <li>4. International Cooperation on Probabilistic Safety Assessment – ANL (<i>Igor Bodnar</i>)</li> </ol>
	15:30 – 16:45	<b>Presentations (25 min each)</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Overview of Nuclear Regulatory Research Cooperation and Project Prioritization – NRC/RES (<i>Donna-Marie Sangimino</i>)</li> <li>2. Overview of Current Research Projects in National Tsing-Hua University (<i>Jenq-Horng Liang, Professor, Tsing-Hua University</i>)</li> <li>3. Overview and Status Update of the Used Fuel Disposition Campaign and Deep Borehole Demonstration Project in the U.S. – SNL (<i>Kevin McMahan</i>)</li> </ol>

續表三、2014 年台美會議議題與行程

日期	時間	活動及議題
11 月 5 日	8:35	<b>Working Group Discussions</b>
		<b>Group 1: Reactor Regulation and Regulatory Research</b> <b>Co-Chairs:</b> <i>Tim McGinty, Director, Division of Safety Systems, NRC and Shin Chang, Director, Department of Nuclear Regulation, AEC</i>
		<b>1. Discussion Presentations:</b>
		<b>a.</b> Introducing Human Reliability Database-Scenario Authoring, Characterization, and Debriefing Application (SACADA), for NPP Operators – NRC/RES ( <i>James Chang</i> )
	<b>Group 2: Waste Management and Environmental Restoration</b> <b>Co-Chairs:</b> <i>Ana Han, DOE/EM Officer, Office of Environmental Management, DOE and Wu-Kune Cheng, Section Chief, Fuel Cycle and Material Control, AEC</i>	
		<b>1. Discussion Presentations:</b>
		<b>a.</b> Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste –SNL ( <i>Kevin McMahon, Sandia National Laboratory</i> )
		<b>b.</b> Status of NDA Measurements for TRR Spent Fuel Stabilization Project ( <i>Ling-Huan Chiao, Division Deputy Director, INER</i> )
		<b>Group 3: Nuclear Science, Technology and Safeguards</b> <b>Co-Chairs:</b> <i>Ike Therios, NNSA, Office of Nuclear Safeguards and security and Chien-Liang Shih, Deputy Director-General, Institute of Nuclear Energy Research</i>
		<b>1. Discussion Presentations:</b>
		<b>a.</b> Recent Developments Nuclear Medicine in the U.S.– NIH ( <i>Jacek Capala</i> )
		<b>b.</b> Current status of radioisotopes and radiopharmaceuticals development at INER– ( <i>Tsai-Yueh Luo, Associate Researcher, INER</i> )
		<b>Group 4: Emergency Management</b> <b>Co-Chairs:</b> <i>Ann Heinrich, Deputy Director, Office of International Emergency Management and Cooperation and Ming-Te Hsu, Director, Department of Nuclear Technology, AEC</i>
	12:00	<i>Side Meeting (By invite only)</i>
	15:00	<i>Summary of Working Groups and Signature of Summaries</i>
11 月 6 日	8:30	<b>Advance Photon Source (APS)</b> Includes High Energy X-ray Scattering beam line led by Meimei Li
	10:00	<b>Nuclear Energy Exhibit</b> Tour will be led by Roger Blomquist

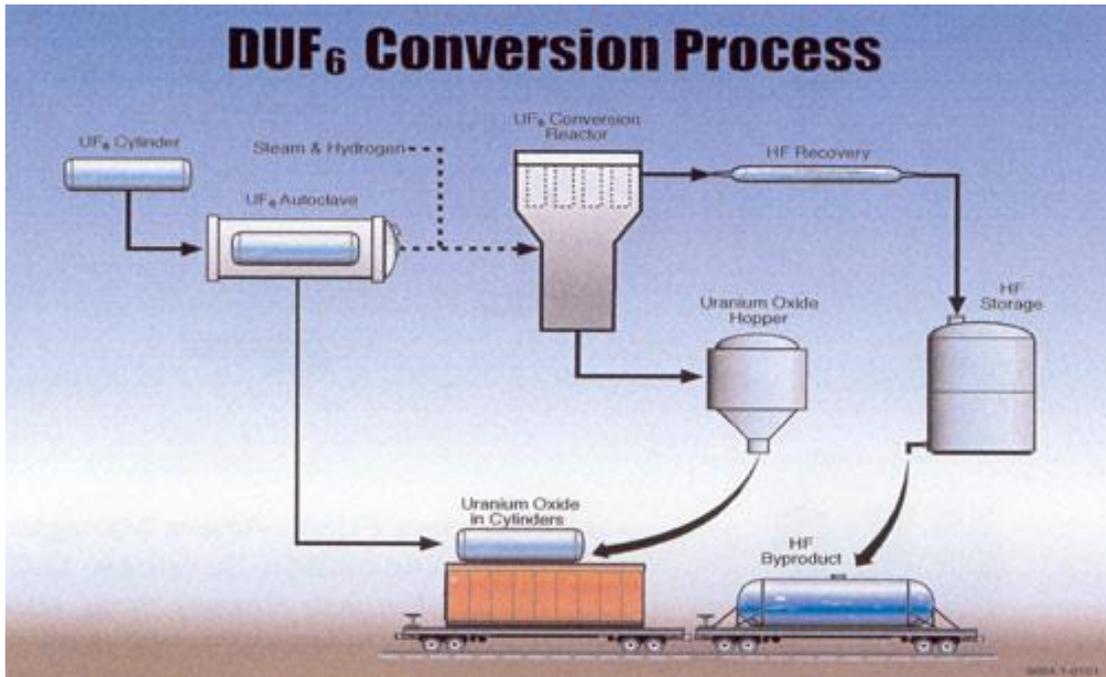
### (一) 訪問 Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (PORTS)

核研所化工組魏聰揚組長、詹瑞裕副研究員訪問 Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (PORTS)，美國現有 63,000 桶乏六氟化鈾(depleted uranium hexafluoride, DUF<sub>6</sub>)等待處理，後續產生的 DUF<sub>6</sub> 數量仍在增加中，美國能源部 (Department of Energy, DOE)共有兩座 DUF<sub>6</sub> 的轉化廠，分別為位於 Ohio 州 Portsmouth Gaseous Diffusion Plant (PORTS)與 Kentucky 州 Paducah Gaseous Diffusion Plant (PGDP)，兩座轉化廠由 DOE-EM (Environmental Management) 的 Portsmouth /Paducah Project Office (PPPO)辦公室管理與督導，兩座廠址共有七個 DUF<sub>6</sub> 的轉化程序。本次參訪的 PORTS 廠址有三個轉化程序，每年約可處理 13,500 噸的 DUF<sub>6</sub>。該廠於 2008 年 5 月建造完成，歷經兩年的運轉測試，於 2010 年 5 月正式開始運轉，Babcock & Wilcox Conversion Service (BWCS) 公司同年起取得五年 4.2 億美金的運轉合約。Portsmouth Gaseous Diffusion Plant 廠區外觀如圖一所示。



圖一、Portsmouth Gaseous Diffusion Plant 廠區外觀

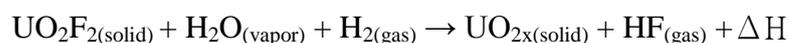
此次參訪經由 TECRO 趙衛武博士及吳全富博士協助聯繫成行，參訪行程由 BWCS 總裁 John Woolery 接待，Woolery 同時兼任 DUF<sub>6</sub> 專案的專案經理(Project manager)；DOE PPPO 則由 Matt Vick 全程陪同參訪，首先於會議室聽取 PORTS 之廠務經理(Plant manager)Robert Hogg 針對 DUF<sub>6</sub> 轉化程序簡報，DUF<sub>6</sub> 轉化程序分為進料處理、轉化反應、氧化鈾粉末處理(Oxide powder handling)、HF 回收貯放及 UF<sub>6</sub> 桶回收(Cylinder recycling)等五個步驟；PORTS 採用人機介面之整合式控制系統(ICS)，作為該廠的程序控制與設備監測。PORTS DUF<sub>6</sub> 採用乾式的轉化程序如圖二所示。



圖二、PORT DUF<sub>6</sub>轉化程序示意圖

PORTS 廠 DUF<sub>6</sub> 採用乾式的轉化程序，DUF<sub>6</sub> 桶放進高溫高壓釜 (Autoclave) 中，以電熱方式加熱將桶內固體的 UF<sub>6</sub> 蒸發為 UF<sub>6</sub> 氣體，Autoclave 底部設有輔助加熱裝置，加熱過程 Autoclave 內 DUF<sub>6</sub> 桶重量、管線壓力與流量均由 ICS 監控。DUF<sub>6</sub> 桶加熱之高溫高壓釜參數目前均針對 48 吋厚壁(Thick-walled)UF<sub>6</sub> 桶而設計，釜體內依 UF<sub>6</sub> 的蒸發速率大小，設定的溫度範圍為 200-240°F (93.3-115.6°C)，高溫高壓釜內的溫度非常均勻，可確保 UF<sub>6</sub> 蒸發速率維持一定；且有多重壓力之設定，加以本體為壓力容器之設計，UF<sub>6</sub> 桶不慎外漏時可視為安全的防護裝置。

DUF<sub>6</sub> 加熱蒸發為氣體後進到流體化床(Fluidized bed)的反應器進行轉化，UF<sub>6</sub> 與加入的氫氣與過熱蒸氣在 1,150°F (620°C) 的流體化床轉化為固體氧化鈾粉末，以過熱蒸氣可避免多餘的水分，而造成氧化鈾粉末堵塞管線，由反應器下方三個孔吹入的氮氣(N<sub>2</sub>)，除提供反應器內流體化的條件外，亦可將氫氣稀釋至安全極限下，以確保程序操作的安全性，DUF<sub>6</sub> 於反應器內產生進行氧化鈾粉末與 HF 蒸汽的化學反應式，如下所示。



DUF<sub>6</sub> 被轉化為更安定的 UO<sub>x</sub> 粉末與氫氟酸(HF)，UO<sub>x</sub> 粉末由下方的儲存槽(Hopper)所收集，氫氟酸混合氣則流經 HF 回收系統，水經冷凝後與 HF 溶液分離，HF 氣體則由過濾器過濾後產生 HF 溶液，收集至廠區外的 HF 貯存桶槽區(HF Storage Tank Farm)，HF 溶液貯放於內襯橡膠的 10,000 加侖桶槽內。

為防止 HF 桶槽洩漏而流出廠區外，貯存區設有與桶槽容量相當的護堰溝(Containment Dike)，Tank Farm 的 HF 溶液由設置於旁邊的火車或卡車運送至客戶處。廠區內的排氣(Off Gases)將反應器的排氣，分別經清水洗滌塔與 KOH (Potassium Hydroxide)洗滌塔(Scrubber)洗淨；各個反應器淨化的排氣管路集中至同一管線，最後，再流過 KOH 洗滌塔洗淨，由廠區的煙囪排出。

轉化處理後的空 UF<sub>6</sub> 桶內部先以清水與 KOH 中和乾燥，放置於最下層的 UF<sub>6</sub> 桶貯放區，貯放區設有翻轉設備可將 UF<sub>6</sub> 桶直立，進行秤重與裝填 UOX 粉末，轉化為 UOX 粉末加以處置(disposal)或再利用(reuse)，目前 DOE 並未有明確的規劃方案。

由於 DUF<sub>6</sub> 轉化程序之輻射危害雖然相對較輕，但程序中之 UF<sub>6</sub>、HF 及 H<sub>2</sub> 等屬高危害的化學物質，稍有操作不當極易產生嚴重的工安意外，PORTS 因而建置一套整合式控制系統(Integrated Control System, ICS)，如圖三。



圖三、PORTS ICS 整合監控系統人機介面

ICS 由分別基本程序控制系統(Basic Process Control System, BPCS)與獨立安全系統(Independent Safety System, ISS)所組成，均為人機介面的控制系統，BPCS 負責製程的自動控制與監控設施相關裝置的操作，而 ISS 則獨立進行控制與監視有安全疑慮的程序，Autoclave 容器內裝置 UF<sub>6</sub> 與 HF 偵檢器與警報器連線至 ISS 系統，操作異常發生時，ISS 自動連鎖關閉 DUF<sub>6</sub> 的進料及切斷 Autoclave 加熱 UF<sub>6</sub> 桶的電力，同時利用 Autoclave 的隔離閥(Isolate valve)的關閉，阻擋 DUF<sub>6</sub> (或 H<sub>2</sub>)進入下游的管線，必要時可緊急將反應系統停機。

其他非正常操作如 UF<sub>6</sub> 桶過熱、DUF<sub>6</sub> 加熱爐壓力過高及 Autoclave 門打開等狀況，ICS 均會即時監控與反應；亦即 PORTS 廠區之安全把關，均透過一套嚴格預防性的維修程序加以達成。由於氫氟酸對於管線的腐蝕嚴重，Portsmouth 廠址極為注視管線接頭處有無外漏；負責 Portsmouth 廠區維修合約的包商 Fluor-B&W 公司指出，管線接頭檢查的有效期限僅為 8 小時，每 8 小時必須再重新檢查管線接頭是否有洩漏，正因如此嚴謹的態度方可確保 PORTS 運轉多年未出工安意外。

本次核研所魏聰揚、詹瑞裕參訪在 DOE-EM 的協助下行程相當順利，對於 DOE PPPO 的 Matt Vick 與 BWCS 公司總裁 John Woolery 全程陪同深感謝意，而 PORTS 人員對於核研所提出的問題，都非常積極與熱心解答；更主動提供該廠對 UF<sub>6</sub> 桶檢驗的 Check List 資料，並於芝加哥參加台美民用合作會議期間，已由 DOE-EM 的 Lisa Phillips 以 e-mail 方式提供。本次參訪不僅與 PORTS 建立良好的關係外，能獲得進入 DUF<sub>6</sub> 轉化工廠參觀是難得經驗，收穫良多。

## (二) 台美民用核能合作會議(JSCCNC)大會

台美民用核能合作會議(JSCCNC)第一天大會議程主要安排兩國代表的簡報。美方領隊美國在台協會(AIT)代表 Alex Burkart 博士首先致歡迎詞揭開序幕，我方由原能會核管處處長張欣博士接著致開幕詞。阿岡國家實驗室(ANL)主任 Mark Peters 先生代表阿岡國家實驗室(ANL)致歡迎詞，阿岡國家實驗室(ANL)全景如圖四。



圖四、阿岡國家實驗室全景

在簡短的開幕寒暄後，進入專題報告議程，我國由原能會綜計處賴弘智技正、台電公司林德福專業總工程師、核管處龔繼康科長、核研所施建樑副所長等依序代表簡報原能會活動現況(Updates of Atomic Energy Council's Activities in Taiwan)、台電公司核能後端管理概況(Overview of Taipower's Nuclear Backend Management Program)、台灣核能管制活動現況(Updates of Nuclear Regulatory Activities in Taiwan)、近期核能研究所主要研究活動回顧(Review of Current Major Research Activities at INER)、清華大學研究專案概況(Overview of Current Research Projects in National Tsing-Hua University)等議題。

美方則依序由能源部雙邊合作署(Office of Bilateral Cooperation) William Lahneman 博士、能源部環境管理署(Office of Environmental Management) Abe Vanluik 博士與 Roger Nelson 博士、核管會 Timothy McGinty 主任、能源部國家核子保安總署(DOE/NNSA)副主任 Ann Heinrich、阿岡國家實驗室 Igor Bodnar 中心主任、核管會核能研究署 Donna-Marie Sangimino 博士、桑迪亞國家實驗室 Kevin McMahon 經理進行簡報。

美方簡報題目涵蓋美國核能專案概況(Overview of U.S. Nuclear Energy Programs)、核廢棄物隔離試驗廠經驗(Lessons Learned from the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Underground Fire and Radiation Release Event)、用過核子燃料持續貯存規則制定與請照活動(Continued Storage of Spent Nuclear Fuel Rulemaking and its Implication on Licensing Activities)、空中偵測研討現況(Update on Aerial

Measurement Workshop)、安全度評估國際合作(International Cooperation on Probabilistic Safety Assessment)、核能管制研究合作概況與優先專案(Overview of Nuclear Regulatory Research Cooperation and Project Prioritization)與美國用過核子燃料處置與深層處置展示計畫概況(Overview and Status Update of the Used Fuel Disposition Campaign and Deep Borehole Demonstration Project in the U.S.)等議題。

美方簡報內容摘要如下：

#### 1. 美國核能專案概況(Overview of U.S. Nuclear Energy Programs)

美國能源部(DOE)雙邊合作辦公室 William Lahneman 先生(請見圖五)簡報介紹該部目前的核能合作計畫。他表示美國儘管是已開發國家，但目前預估到 2040 年時，電力需求仍將較 2011 年成長 28%。2012 年核能發電佔美國電力的 19%，但在零排碳電力來源內的佔比卻達 61%，相當於每年 700 MMT 的二氧化碳減排效果，在美國能源供應裡扮演重要的角色。Lahneman 先生表示 DOE 在 2015 年的核能預算達 8 億 6 千 3 百萬美金，重點放在小型模組化反應器(Small Modular Reactor, SMR)的申照、核能反應器永續發展(包括現有輕水式與非水冷式反應器系統)、燃料循環研發、超臨界二氧化碳示範計畫(Brayton 循環轉換技術開發)，以及在愛達荷國家實驗室進行的設施改造與安全能提昇等。DOE 在核能國際合作方面，持續透過雙邊交流、多邊會議與國際商業合約等方式進行，例如有類似台美民用核能合作機制的國家尚包括阿根廷、巴西、埃及、南韓等，同時積極與中國、法國、印度、日本與俄羅斯進行核能研發合作規劃，也積極向新核能開發國家如亞美尼亞、哈薩克、烏克蘭等推廣。



圖五、William Lahneman 先生簡報能源部目前的核能合作計畫

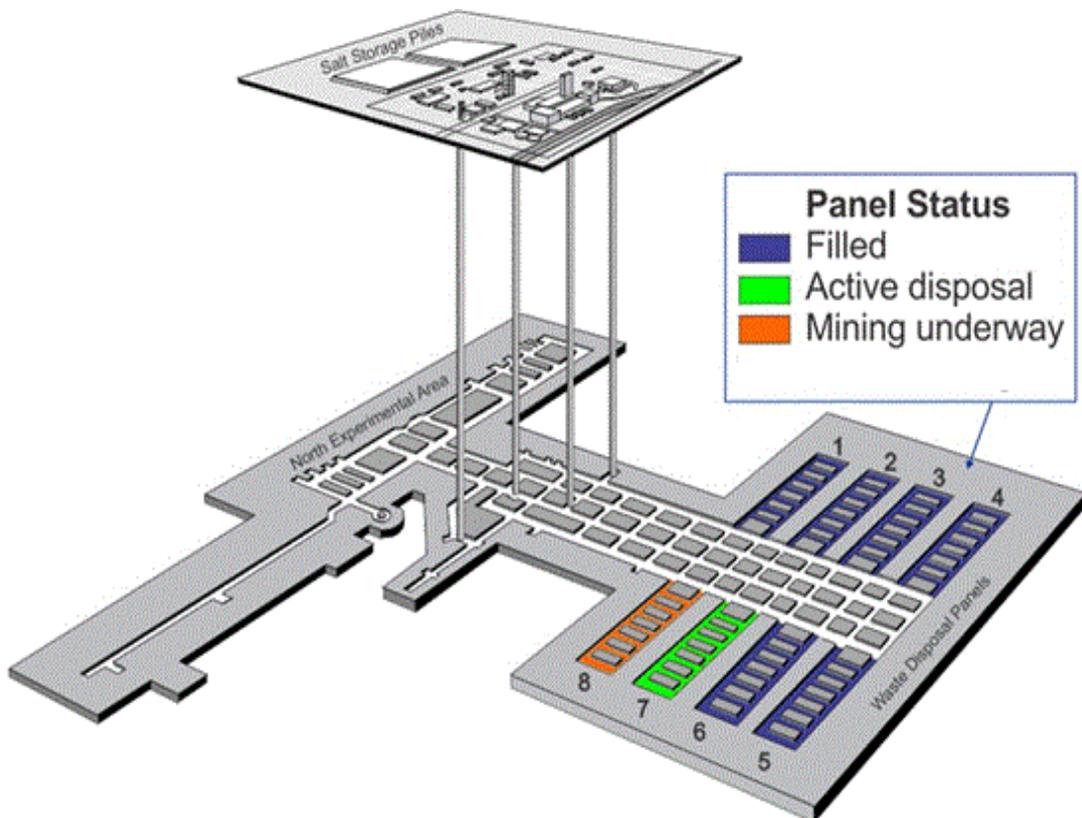
2. 美國廢棄物隔離先導廠(Waste Isolation Pilot Plant, WIPP)深層處置計畫現況(The WIPP Deep Geologic Repository: Status and Plans)

超鈾(Transuranic, TRU)廢棄物為低能量輻射，長半衰期的放射性廢棄物，主要來自於美國近 50 年來國防武器研發的 22 個歷史場址，其數量高達 77,000 噸。由於來源複雜廣泛且數量龐大，為解決燃眉之急，美國環保署(Environmental Protection Agency, EPA)針對其中已知或可檢出超鈾核種污染的廢料，認為必須予以永久封存，使與外界環境永遠隔離，因而要求美國 DOE 興建一座深層處置場址(deep disposal site)作為 TRU 廢料 10,000 年處置，以消除民眾疑慮。基於長程處置要求，WIPP 以再驗證應用(Recertification application, CCA)概念，聘請專家學者擬定廢棄物接收處置準則，以達到長期處置的安全標準。

位於美國新墨西哥州南方卡爾斯巴德東方 40 公里的廢棄物隔離先導廠(Waste Isolations Pilot Plant, WIPP)，請見圖六，即為美國能源部發展用以深層處置 TRU 廢棄物的場址，處置場址位於地底下 650 公尺，距今 2.5 億年前地質穩定的古老鹽層，TRU 廢棄物最終將在鹽層的蠕動中被封裝，故將被永久封閉，與環境隔離。

WIPP 規劃處置 6.2 萬立方呎的 TRU 廢棄物，可貯放於 WIPP 的污染廢棄物依美國環保署之聯合法規 40.CFR.191 法規要求，TRU 廢棄物定義為含  $\alpha$  輻射強度大於 100 nCi/g 且半衰期超過 20 年之超鈾同位素，進一步分為表面劑量率小於 200 mrem/hr 的接觸處理超鈾 (contact-handled, CHTRU) 廢棄物與表面劑量率大於或等於 200 mrem/hr 的遠端處理超鈾 (remote-handled transuranic, RHTRU) 廢棄物。WIPP 處置場於 1999 年 3 月獲得 DOE 許可營運，現已接收接觸處理超鈾廢棄物 (CHTRU) 廢棄物 90,627 噸，同時利用鉛屏蔽作為遠端處理超鈾 (RHTRU) 廢棄物運送桶，使其表面劑量率達到接觸處理超鈾 (contact-handled, CHTRU) 廢棄物的表面劑量率。WIPP 共接收 700 運送次數共 357 噸的遠端處理超鈾 (remote-handled transuranic, RHTRU) 廢棄物。

WIPP 運轉至今總共接收 11,894 運送次數 (長達 2 千萬公里)，無意外事件發生。圖七為 WIPP 處置場的處置現況。



圖六、廢棄物隔離先導廠



圖七、WIPP 處置場的處置現況

3. 用過核子燃料持續存放新決策與請照活動(Continued Storage of Spent Nuclear Fuel Rulemaking and its Implication on Licensing Activities)

本專題由美國核管會核能管制署(NRC NRR)主任 Timothy McGinty(請見圖八)，針對核能電廠用過核子燃料管理策略簡報 NRC 於 2014 年 9 月 19 日公告「Continued Storage of Spent Nuclear Fuel Rule」(以下簡稱新決策)，2014 年 10 月 20 日生效，以取代 1984 年公布並經多次修訂的「Waste Confidence Decision and Final Rule」。新決策與一份全面性環境影響評估(Generic Environmental Impact Statement, GEIS)一齊公布，影響評估分析假設情節包含燃料貯存池洩漏及火災。依據環境影響評估結果，用過核子燃料裝在乾式貯存護箱內可以安全管理，適用於短期(60 年)、長期(160 年)及無限期的時間範圍。



圖八、NRC NRR 主任 Timothy McGinty(圖右)與美國在台協會(AIT)代表 Alex Burkart(圖左)

這項決定的意義是，儘管還未找到高階核廢料的最終處置場所，但新建核電廠申照計畫或核電廠延長使用年限申照計畫，皆可不受「無最終處置場所」因素延滯，而可依法審查進行。

「Waste Confidence Decision」於 1984 年公布，並經 1990 年、1999 年及 2010 年多次修訂，其主要內容包含 Five findings of reasonable assurance。美國紐約州、紐澤西州、康乃狄克州、美國印第安部落政府及數個民間利益團體對 2010 年修訂版提出訴訟，美國法院於 2012 年判決 NRC 的 2010 年版修訂內容不符合美國環境政策法 (National Environmental Policy Act)。NRC 因而停止相關申照審核作業，並且啟動一項為期 2 年的環境影響評估計畫，預計以評估結果作為新決策的技術基礎。NRC 在 2013 年 9 月 13 日公告 GEIS，在全國舉辦了 13 場公開會議，接受並處理諸多民眾意見後，於 2014 年 9 月 19 日公告「Continued Storage of Spent Nuclear Fuel Rule」，2014 年 10 月 20 日生效。上述內容請參考以下兩份文件：

- (1) Continued Storage of Spent Nuclear Fuel Rule:  
<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1417/ML14177A474.pdf>
- (2) Generic Environmental Impact Statement (GEIS):  
<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1418/ML14188B749.pdf>

#### 4. 空中偵測研討會現況(Update on Aerial Measurement Workshop)

美國能源部國家核子保安總署(DOE/NNSA)副處長 Ann Heinrich(請見圖九)說明基於全球核能安全合作的概念，國際緊急管理與合作辦公室(International Emergency Management and Cooperation, IEMC)致力於輻射事故緊急應變管理訓練及技術支援；其中，空中輻射偵測技術(Aerial Measuring System, AMS)所使用的進步型輻射能譜量測電腦系統(Spectral Advanced Radiological Computer System, SPARCS)，係專為核子與放射性事故緊急應變任務設計之放射性資訊擷取與分析系統；可應用於射源搜索、預先背景資料調查及緊急應變等，輻射偵測實務飛行及數據分析則賴長期經驗累積，並透過實務演練，以達成技術建立的目標。目前具備空中輻射偵測 SPARCS 儀器的國家，包括：台灣、柬埔寨、越南、墨西哥、巴西、阿根廷、冰島、摩洛哥等。DOE/NNSA 今年(103 年)10 月於內華達州遙測實驗室(Remote Sensing Laboratory)及內華達國家安全區(Nevada National Security Site)辦理核子事故空中輻射偵測國際研習會，參訓國家包括：台灣、墨西哥、巴西、智利，課程包括空中輻射偵測系統 SPARCS 軟硬體介紹、SPARCS 儀器安裝及校正實作、空中輻射偵測航線規劃介紹、空中輻射偵測實作(如背景輻射調查、射源搜索、飛行員與科學家之間的溝通)、陸上輻射偵測實作、數據分析等。藉由此訓練，各國核能管制單位進行緊急應變技術交流，並持續精進空中輻射偵測技術。



圖九、NNSA 副主任 Ann Heinrich 說明緊急應變技術合作近況

## 5. 安全度評估國際合作 (International Cooperation on Probabilistic Safety Assessment)

阿岡國家實驗室(ANL)核工組國際核能資源合作經理 Bodnar 博士(如圖十)，簡報介紹該所推動的安全度評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)國際合作現況。Bodnar 博士以中國、亞美尼亞、日本為例，說明 Argonne 國家實驗室近年來在建立與推動 PRA 合作的成果。在中國方面，該實驗室採研討班(Workshop)與先導計畫(Pilot project)雙管齊下的方式推動合作，曾分別與大陸的嶺澳核電站與福清核電站合作，並透過中國國家能源局(National Energy Administration)的贊助，已陸續完成六次 PSA 研討班的舉辦[按國際間也將 PRA 稱為 PSA，即以「安全」(Safety)用語取代「風險」(Risk)]；主題分別是「PSA」(2010年1月於深圳)、「風險告知決策制訂」(2010年10月於 Argonne)、「廠外事件 PSA」(2012年3月於上海)、「二階 PSA」(2012年10月於海南島三亞市)、「人為可靠度分析」(2014年1月於蘇州)、「PSA 及設備可靠度數據收集與分析」(2014年7月於大連)。該實驗室並預計明年3月，在深圳舉辦「風險告知決策制訂與安全文化」研討班。ANL 與亞美尼亞的核能安全合作議題包括緊急運轉程序書、嚴重事故救援導則(包含 PRA)、反應器保護系統、訓練設備與支援等。



圖十、ANL 核工組國際核能資源合作經理 Bodnar 博士

在日本方面，今年 2 月美國 DOE 與日本經濟貿易產業省(簡稱 METI)在東京舉辦了 PRA 圓桌討論會，邀請美國資深的 PRA 專家如 Apostolakis 教授(時任 NRC 委員)與 Garrick 博士(前 NRC 核廢料安全諮詢委員會 ACNW 主席)等，討論於日本推廣 PRA 方法與應用，DOE 也正與 METI 協調建立日本 PRA 應用的路徑圖，加速 PRA 應用與地震 PRA 先進方法的研發。

6. 核能管制研究合作概況與優先專案 (Overview of Nuclear Regulatory Research Cooperation and Project Prioritization)

NRC 管制研究署(簡稱 RES)國際合作小組負責人 Sangimino 女士(請見圖十一)簡報介紹該署目前推動的國際合作計畫。RES 由三技術處與一計畫管理處，技術處包括工程處、風險分析處與系統分析處，共有 235 位職員，其中約 30% 為博士、30% 為碩士，年度合約經費約有美金 5 千萬元，其中約有 60% 以上的研究經費委託給國家實驗室。RES 最主要的任務在於提供管制決策必要的技術基礎與資訊，並提供執照與區域管制單位的技術專業，包括反應器安全程式與分析、嚴重事故研究、風險分析、輻射防護與健康效應、人因與人為可靠度、火災安全等各項專業。



圖十一、NRC RES 國際合作小組負責人 Donna-Marie Sangimino 簡報  
該署目前推動的國際合作計畫動的國際合作計畫

目前 RES 主要的國際合作計畫與安全分析程式有關，包括(熱水流分析)程式應用與維護計畫(簡稱 CAMP)、嚴重事故合作研究計畫(簡稱 CSARP)與新整合成立的輻射防護程式分析與維護計畫(簡稱 RAMP)，這些計畫總共有 27 個國家參與，以實質貢獻方式協助驗證程式並產出分析報告。我國目前也已加入這些合作計畫。除了前述計畫，RES 本身也加入國際經濟合作開發組織(OECD)的多國合作計畫如 Halden 反應器計畫等，並與法、日、德、英等國就專門的技術研究議題合作，如數位儀控、人因、PRA、燃料安全與健康效應等。

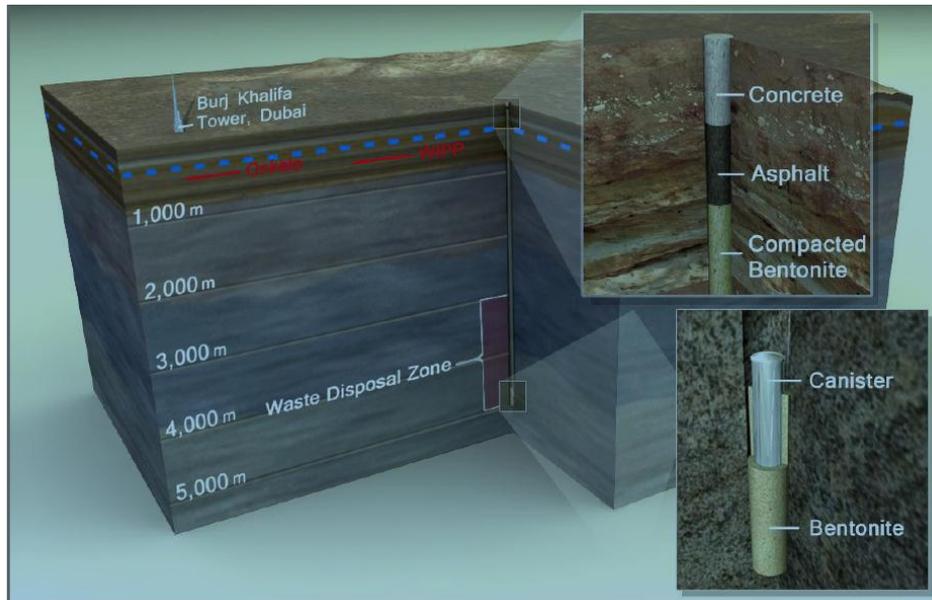
7. 美國用過核子燃料處置活動與深地層處置計畫概況與最新狀態 (Overview and Status Update of the Used Fuel Disposition Campaign and Deep Borehole Demonstration Project in the U.S.)

美國雅卡山處置計畫專注於不飽和泥岩之研究，與其他國家處置場選址研究有所不同。雅卡山處置計畫擱置後，美國用過核子燃料處置研究，轉向國際合作。希望藉由其他國家在不同母岩上之研究經驗，彌補以往不足，並加速相關選址工作進行，以期望於 2026 完成選址，2048 年處置場開始運轉。自 2012 年起，較具體之國際合作有三個計畫，分別為 DECOVALEX Project、Mont Terri Project 及 Colloid Formation and Migration Project。

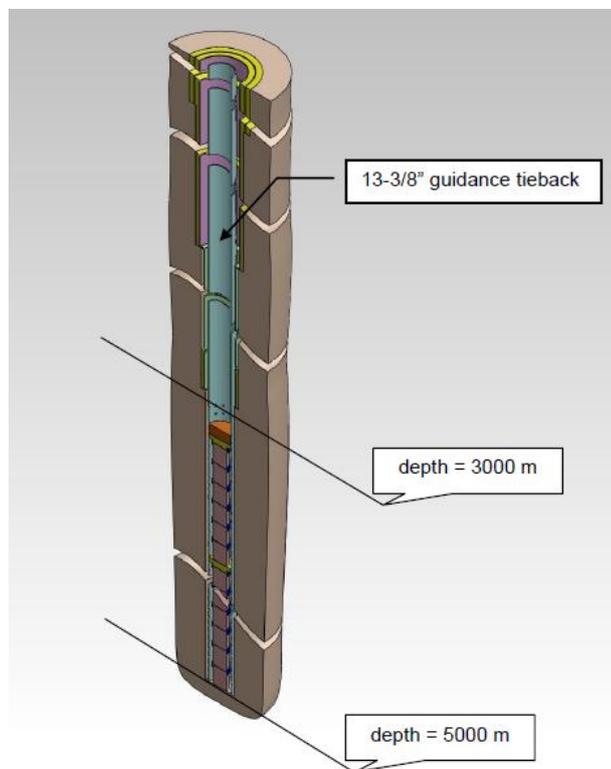
DECOVALEX 計畫主要為探討處置場中熱、水、力、化(T-H-M-C)因素，對處置場天然障壁、工程障壁及廢棄物罐等之耦合效應。目前有 12 個國家參與，其中亞洲國家分別為中國、日本及南韓。Mont Terri 計畫主要為地下實驗室工作之過去、現在與未來，分享資訊並一起規劃實驗工作項目。Colloid Formation and Migration 計畫主要探討膠體之形成、傳輸及其對天然障壁與工程障壁中核種傳輸之影響。

其次美國政府在用過核子燃料(Used Fuel)貯存與運輸方面，積極開發延長貯存技術(Extended Storage)、延長貯存後再取出及相關運輸技術、高燃耗用過核子燃料運輸技術等。對於不適合處置之未處理含鈉燃料(Sodium Bonded Fuel)，也投入人力開發研究貯存與處理技術。

另外為探討其他處置選項，深孔處置(Deep Borehole Disposal)亦為研發工作規劃項目。在經費許可範圍，美國政府擬以五年 7 千 5 百萬美元經費投入。深孔處置是將廢棄物置放於 3 公里到 5 公里深之地下岩石中，其井寬直徑約為 17 吋。處置示意如圖十二所示，詳細之廢棄物罐堆置如圖十三所示。



圖十二、深孔處置示意圖



圖十三、深孔處置廢棄物處置孔示意圖

### (三) 台美民用核能合作會議(JSCCNC)分組會議

分組討論分為「反應器管制與研究」、「廢棄物管理與環境復育」、「核子科學、科技與防護」、「緊急應變管理」等四組，平行進行年度合作議題進度檢討與新增項目討論。各分組總結摘要如下：

#### 1. 第一分組(Group I)「反應器管制與研究」

主席為我國原能會核管處的張欣處長與美國 NRC 的核反應器管制署(NRR)安全系統處處長 Tim McGinty。此次議程先由 NRC 管制研究署 James Chang(張永賢)博士代表，以「Introducing Human Reliability Database-Scenario Authoring, Characterization, and Debriefing Application (SACADA), for NPP Operators」為題提出簡報。簡報之後再進行雙方例行合作項目(Matrix)的討論。

在簡報與簡短討論之後，第一分組會議即針對分組內現有 23 項合作項目逐一進行討論，除部分合作項目決議保持進行之外，雙方也就若干合作項目提出討論，與核研所有關者如下：

- (1) IN-AE-NR-A8 項：嚴重事故研究合作計畫(Cooperative Severe Accident Research Program, CSARP)。此項目持續進行中，核研所曾於今年 5 月向 NRC 管制研究署提出希望可以取得 MELCOR 1.8.6 版程式的原始程式碼(Source code)，但當時 NRC 並未應允。本次利用台美會議，核研所再次提出希望 NRC 再考慮提供程式碼的可能，以供核研所與相關學術單位進行嚴重事故靈敏度分析之用。NRC 表示程式碼提供與否，本就有相關條件規定，但同意帶回研究，也建議核研所準備更詳細的技術理由。
- (2) IN-AE-NR-A10 項：RADTRAD 輻射後果分析與應用。NRC 目前已將 RATRAD 連同其他程式，整併到即將新成立的 RAMP (Radiation Protection Code Analysis and Maintenance Program)計畫內，目前正在準備合約草案，核研所也已準備與 NRC 簽約加入，預計明年(2015)初即可開始運作。NRC 表示 RAMP 的年費為 2 萬美元/年，一期需至少三年，亦即 6 萬美元。
- (3) IN-TP-AE-NR-B1：加入 NRC 熱水流程式應用與維護研究計畫(Thermal-Hydraulic Code Analysis and Maintenance Program,

CAMP)。核研所加入 NRC 的 CAMP 計畫已有多多年，並利用先進熱水流分析程式 TRACE 完成多項分析與國際合作研究報告。本期合約期間為 2011 年至 2016 年，相關工作持續進行中。

- (4) AE-IN-TP-NR-C18：數位儀控資訊交流。目前本項合作的主要議題在於人為可靠度資料庫程式 SACADA 的應用。核研所核儀組曾嘗試運用 SACADA 於龍門電廠數位儀控之控制室運轉員表現分析，隨著政府於今(103)年宣布龍門核電廠封存，研究重點將轉到運轉中的核一、二、三廠。利用此次會議場合，台電公司出席人員也能藉以瞭解 SACADA 的運作現況與成果。NRC 先前也促成核研所將 SACADA 系統介面改為中文化的規劃，聯繫負責維護該程式的愛達荷國家實驗室與核研所人員討論可行性與工作內容。
- (5) IN-BL-N-F20 項：PSA Application。本項工作近年的重點在於火災 PRA 方法的更新與瞭解，核研所藉由此合作項目，持續派員參加火災 PRA 課程，合作持續進行中。核研所林家德也答覆 NRC 代表，表示參加相關課程對核研所研發與計畫工作頗有助益。
- (6) AE-NR-S51 項：運轉中核電廠老化管理。核研所利用此次會議，表達希望加入此項合作項目的意願，NRC 表示只要我國協調有共識，均樂觀其成。原能會張處長表示，因為此項議題牽涉核研所接受台電公司委託進行核電廠延役與老化管理評估，所以，最好能連同台電公司一起加入，故希望核研所與台電公司協調共同參與的可能。

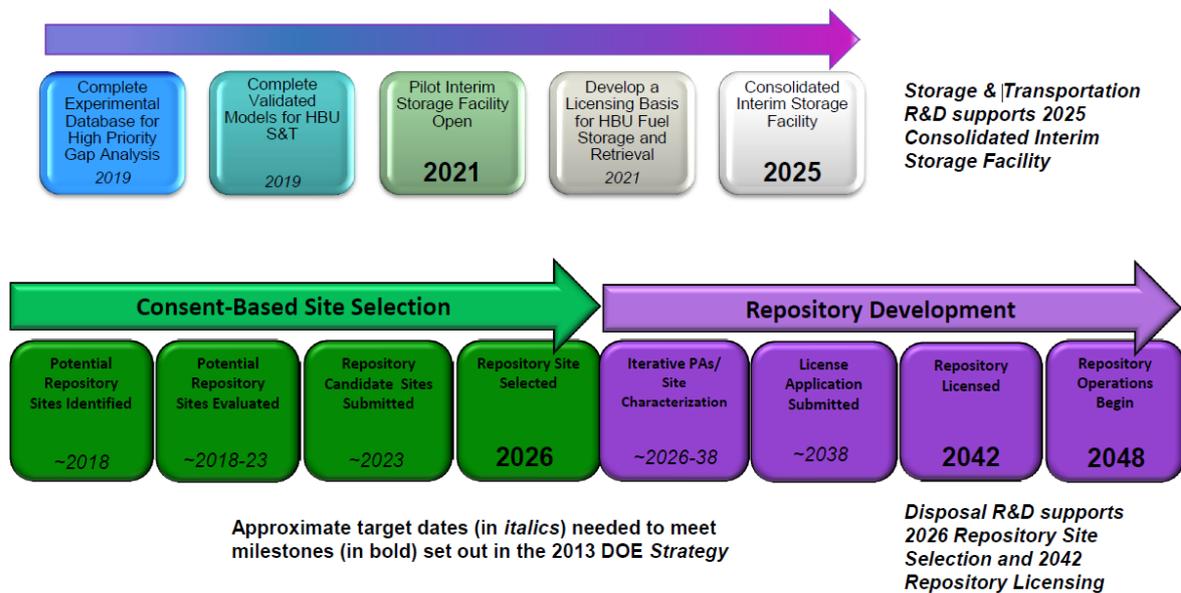
分組會議期間，透過 ANL 代表 Lee Hua 女士的引介，核研所核工組林家德與伊利諾大學香檳校區-核能電漿與輻射工程系-「社會科技風險分析」(Socio-Technical Risk Analysis)中心的博士生 Justin Pence 先生簡短會談，討論該中心的研究方向與推展國際合作的規劃，以及我方對未來合作的考量。該中心目前致力於開發社會科技風險分析方法，並嘗試物理現象(如火災與地震)、組織因素等與 PRA 之間的整合，並運用大數據(Big-Data)理論強化 PRA 的功能，屬於相當先端的研究。

2. 第二分組(Group II)「廢棄物管理與環境復育」

會議由我國原能會物管局鄭武昆組長及美國能源部環境管理(EM)辦公室外交事務專家 Ana Han 女士共同主持。我方參與討論人員包括台電公司林德福專總、核研所魏聰揚組長、喬凌寰副組長、詹瑞裕副研員及吳全富博士等；美方出席人員包括 Mr. Kevin McMahon (SNL)、Dr.余家禮(Charley Yu, ANL)及 Ms. Lisa Phillips (DOE/EM)。此次分組議程分別由 Mr. Kevin McMahon (SNL)簡報「Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste-SNL」，以及核研所喬凌寰簡報「Status of NDA Measurements for TRR Spent Fuel Stabilization Project」，然後進入合作項目討論。

桑迪亞國家實驗室(SNL)Mr. Kevin McMahon 簡報「Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste-SNL」提到目前美國有 100 個運轉中之機組(62 個核電廠)，用過核子燃料逐年增加中。雅卡山處置計畫停止後，美國政府於 2013 年元月發表用過核子燃料管理及處置策略(Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-level Radioactive Waste)，宣示美國近程及遠程之高放廢棄物管理政策。近程以中期貯存(Interim Storage)為主，遠程則建立最終處置場。

依美國能源部規劃，於 2021 年完成試驗型中期貯存場(Pilot Interim Storage)，服務停止運轉中之核電廠用過核子燃料；2015 年完成完善中期貯存設施建置(Consolidated Interim Storage Facility, CISF)，並開始運轉服務。其技術特徵為具有重包裝之能力 (Re-packaging Capacity)，以因應未來運輸及處置場之特殊要求。另一方面亦考慮其充分之貯存容量，以減少長期之廢棄物貯存經濟負擔。在無後顧之憂情況下，亦積極規劃於 2026 年完成候選最終處置場址，2042 年完成場址特性調查、處置場設計、建置執照申請等工作；2048 年完成處置場建置並開始營運。規劃詳細項目如圖十四所示。



圖十四、美國用過核子燃料管理及處置規劃

配合廢棄物處置策略發展，美國此方面之研究方向為：

- (1) 評估用過核子燃料各種處置方案(Disposal Option)對自然環境及社會之衝擊。
- (2) 進行特定母岩研究。母岩包含泥岩(Agrillite)、結晶岩(Crystalline)及鹽岩(salt)等。
- (3) 建立通用之功能及安全評估模式。發展實驗技術及理論計算之數學模式。
- (4) 開發深孔處置技術(Deep Borehole Disposal)。精進深孔處置技術基礎，用以驗證及提升技術可行性，並朝向全尺寸技術驗證努力。

為了達成目標，美國能源部積極與學術單位(各大學)、工業界及核能研究機構(如 EPRI)等合作，並聯合世界各核能國家，共同合作開發處置技術。

第二分組計 16 項合作項目，經過討論後，結案 1 項：AE-IN-AT-U2 (Irradiated Fuels and Materials Research Program from 2004 to 2014)；移往第三分組計 1 項：AE-NR-Z9 (Response and Management of Radioactive Material Events)；新增 1 項：AE-IN-AT-U3(Irradiated Fuels and Materials Research Program from 2014 to 2020)；經綜合彙整，明年將持續執行 15 項合作。我方感謝美方的協助，眾多合作項

目皆成果豐碩，促進雙方技術能力提昇，故一致同意加強合作，繼續 15 個合作項目，並將期程由 2014 調整至 2020。逐一討論所有合作項目後，為使合作項目進行順遂，決議對部分合作項目進行狀態加註說明，並將下年度行動項目明確敘明，其中與核研所有關者如下：

**(1) IN-LANL-G33 (PCC for Material Declaration of TRR Spent Fuel) :**

核研所 TRR 用過核子燃料安定化產物，經 IAEA 於本(2014)年 3 月成功執行存量查證，此項 PCC 技術居功厥偉。由燃料池回收的鈾泥，後續亦須進行安定化，而此安定化產物中所含之核物料成分極難測定，為善盡我國對國際社會核子保防之承諾，亟須尋求有效技術以測定並申報核物料數量。核研所透過駐美科學組與 Dr. Anthony Belian (LANL) 聯繫，探討將 BPCC 技術用於鈾粉安定化產物成分測定之可行性。核研所已執行鈾泥安定化測試，並將部分測試數據提供 Dr. Anthony Belian 協助分析。LANL 將持續協助發展將 BPCC 技術用於鈾粉安定化產物成分測定作業，本項合作美方執行人，由 Dr. Mike Browne and Dr. Mike Miller 更換成 Dr. Anthony Belian(LANL)。

**(2) IN-ORNL-J4 (Information Transfer on Decontamination and Dismantling of Research Nuclear Facilities) :** 因應執行 TRR 除役計畫，核研所需發展 TRU 廢棄物安定化技術。核研所希望透過台美合作安排派遣研究人員參與 Hanford 場址 K-Basin 之清理作業，加強與該設施在燃料池清理方面之經驗交流。美方同意協助安排，更換聯絡人為 Mr. Eric Pierce (ORNL)，並將項目編號由 IN-INL-J4 變更為 IN-ORNL-J4。

**(3) AE-IN-AT-U2 (Irradiated Fuels and Materials Research Program from 2004 to 2014) :** 針對核能研究所高放射性實驗室之研究與工作項目，和美方進行資訊交換與技術交流。依據台美民用原子能合作協定，從事涉及變更照射過核子燃料物理或化學成分之研發活動，須事先經雙方共同確認核子保防措施。目前雙方之共同確認協議(Joint Determination)自 2011 年至 2014 年，即將屆期。核研所依據 2013 年本會議決議，已於 2014 年 2 月將「Irradiated Fuels

and Materials Research Program from 2014 to 2020」文件送交美方。美方表達依據「合作協定」將不再需要共同確認協議(Joint Determination)，而代之以「Subsequent Arrangement」，美方正在處理中。TRR 燃料安定化處理已順利執行完畢，後續將執行燃料池回收鈾泥之安定化處理作業，已開始進行批次測試，核研所建議本項目繼續執行。綜合討論後，反映合作基礎之變更，本項目(U2)終止，另成立新項目(U3)繼續進行相關工作。

- (4) AE-IN-AT-U3 (Irradiated Fuels and Materials Research Program from 2014 to 2020)：因應高放射性實驗室後續研發活動，美方仍在準備「Subsequent Arrangement」文件，美方程序中須刊登聯邦公告(Federal Register Notice)15天，已於2014年11月4日刊登。核研所此次會議中簡報未來執行鈾泥安定化作業規劃，並提及希望對氧化鈾燃料棒安定化程序進行技術交流；美方承諾聯繫 Dawn Wellman (PNNL)進行鈾泥及氧化鈾燃料棒安定化技術專業討論。
- (5) IN-SNL-DD23 (Technology Transfer for Radioactive Waste Disposal)：針對核設施場址復育，核研所希望美方提供針對移除 Sr-90、Cs-137 或氚等核種之研究文獻。Kevin McMahon (SNL)將協助在2015年2月底前提供。另本年 Kevin McMahon (SNL)已提供“Enhancements to Generic Disposal Systems Modeling Capabilities”及“Performance Assessment Modeling and Sensitivity Analysis of Generic Disposal Concepts”兩份研究報告供核研所參考。
- (6) IN-DE-DD27 (Share Experiences and Information on Volume Reduction and Downgrade Technologies for TRU Radwaste)：核研所希望安排人員赴 ORNL 接受 TRU 廢棄物處理技術訓練，美方承諾協助安排。聯繫結果 ORNL 在2015年可提供2週訓練。
- (7) IN-DE-DD28 (Share Experiences and Information on Contaminated Soil Remediation)：核研所希望安排派員赴 PNNL 學習污染泥土減量處理及二次廢棄物處理技術，美方承諾提供聯絡窗口。聯繫結果 PNNL 聯絡窗口為 Dawn Wellman。

### 3. 第三分組(Group III)「先進核能科技」

本次 Group III 分組會議之主席分別由核能研究所施建樑副所長及美國核能安全管制局(National Nuclear Security Administration, NNSA)之技術顧問(Technical Advisor) Mr. Ike Theriois 擔任。第三分組原有 21 項合作議題，本次有二項題目分別為 Group I 及 II 轉入，主題包括保健物理、核能安全技術、同位素生產與應用、進步型反應器、核物料之物理安全與安全監控、醫學治療等，清大、原能會及核研所等單位分別派員參加，相對應的美方窗口亦皆派員出席。相較以往之台美會議，本屆較為特殊之處為美國國家衛生研究院/國家癌症中心(NIH/NCI)Dr. Jacek Capala(雅克·卡拍拉)參與會議。

會議開始，依大會主席之安排，先進行二場專題討論，分別由 Dr. Jacek Capala 報告「Nuclear Medicine in the US Recent Development」，核研所羅彩月報告「Current Status of Radiosotopes and Radiopharmaceuticals Development at INER」。

Dr. Capala 介紹美國治療用核醫之發展現況，他指出放射免疫治療(radioimmunotherapy)有其特殊性與專一性，它的優點包括：(1)輻射線破壞 DNA 雙股染色體，因此，沒有抗藥性之問題；(2)具有標靶性，可以選擇性將少量的藥物送至特定位置；(3)可利用軟體計算腫瘤與健康器官之輻射劑量，用藥相對安全；(4)Crossfire effect 可以使輻射線釋出能量影響鄰近細胞，療效更加成。

Zevalin 是一種單株抗體，已有兩種同位素標幟之商品上市，分別為 Y-90 Zevalin 及 I-131 Bexxar，可用於治療淋巴癌(LYMPHOMA)。原先，廠家對於放射免疫治療藥物寄予厚望，但上市後，藥物使用量與銷售量逐年減少，2014 年 GSK 公司決定將 I-131 Bexxar 由市場撤離。為何會有此一問題？經檢討後，主要是溝通與醫療政策及教育問題。由於醫師對於放射性藥品不熟悉甚或誤解，因此，臨床總是最後才會想到使用核醫做治療方法，此時病患之身體狀況已相當惡劣，療效不易呈現。再加上醫療資源限縮，在有限經費下，核醫也易於被犧牲。

雖然如此，研究人員仍不停努力找出更具潛力之藥品，2013 年上市之 Ra-223 RaCl<sub>2</sub> 可用於癌症轉移造成骨痛之緩解，且經臨床試驗證實可延長病患之存活期。除此之外，Dr. Capala 亦介紹 Pre-targeted cancer radiotherapy 之進展，PSMA- targeted alpha therapy(用於治療前列腺癌)、Sm-153 EDTMP(癌轉移之骨痛緩解)、I-131 MIBG(神經母細胞治療)之研究近況。他也介紹了國家衛生研究院推動 SBIR 計畫，利用政府機構之設計與支援，幫業界及小規模公司做研究。

為讓 Dr. Capala 對核研所更多了解，以利於雙方合作之推動，核研所羅彩月報告核研所之核醫藥物研究近況，介紹內容包括核研所重要之生醫研究設備、診斷用核醫藥物研發成果與近況、治療用核醫藥物之開發等。

Dr. Capala 專注於治療用核醫藥物之推動，對核研所 Re-188 Liposome 已進入 phase I 臨床試驗，並有 Re-188 MN-16ET/Lipiodol 即將申請臨床試驗，核研所之研發成果他深表讚嘆。美國 Argonne National Laboratory 之 Dr. Elena Nicole Bodnar(資深醫學研究科學家)及 Dr. Igor Bodnar 除了在 ANL 之專業研究外，美國國家能源部亦請他們負責協助喬治亞共和國推動核子醫學，希望能幫助她們的祖國提昇醫療水準，Dr. Elena Nicole Bodnar 對核研所之研發成果十分興趣，未來如有機會建立合作管道，亦可擴展我國核醫產業之範圍。

大會主席施副所長及 Mr. Ike Theriois 針對 23 項合作議題進行逐條討論，利用核研所預先整理之 2014 年合作成果及未來規劃詳細審閱，會議之重要結論包括：

- (1) 本次有二項議題由 Group I 及 II 移入 Group III，沒有新增合作項目，也沒有合併項目或結束之議題。本次會議後，Working Group III 將有 23 項合作項目。
- (2) 有關於 AE-IN-NR-D64，2014 年 6 月，美國 NRC 詢問原能會有關於台灣病患進行碘-131 治療後之外釋管制情形，原能會於 7 月完成回覆，原能會與 NRC 就輻防管制方面建立良好之互動，將繼續本項合作議題。

- (3) AE-NR-D65 合作項目，主要針對台灣部份居民在鈷-60 污染鋼筋環境之長期低背景輻射曝露之流行病學研究進行雙邊資訊交流。原能會委託我國國家衛生研究院之調查報告初稿已完成，但仍有部份結果仍待深入討論，修正版之報告尚待建立中。2014 年台美雙邊技術會議(Bilateral Technical Meeting, BTM)，原能會曾做過輻射鋼筋之流行病學調查專題報告，美方亦分享電廠附近居民之癌症危險分析報告。此部份合作議題，雙方皆表示繼續進行。
- (4) AE-IN-NR-D66 「Administrative Regulation of the Naturally Occurring Radioactive Material(NORM)」，此一議題雙方同意由 Group I 轉入 Group III 繼續執行。台美雙方於 2014 BTM 會議已交換彼此執行 NORM 及 TENORM 之經驗，原能會並依照該次會議結論之第四項，提供美方 NORM 相關資料。美方 NRC 及 EPA 亦於 2014 年 10 月 8 日提供 NORM Information 給原能會，雙方互動良好。
- (5) IN-OR-I7 「Production and Evaluation of Isotopes and New Radiopharmaceuticals」，此一議題由核研所同位素組執行。2014 年之主要活動，除了 6 月同位素組張剛瑋博士奉派赴美參加 2014 美國核醫暨分子影像學會年會(2014 SNMMI)外，我方亦在現場補充今年 10/31-11/1 核研所與台灣核醫學會共同辦理之核醫學會年會(2014TSNMMI)，邀請三位美方學者蒞會，包括 Emory University 之陳季博士及 MD Anderson Cancer Center 之楊教授(David Young)及潘亭壽教授，其中陳季教授並至核研所舉行專題演講，分享其研發成果。Mr. Ike Theriois 將此進展填入工作報告內，台美雙方同意繼續維持此一合作議題。
- (6) IN-DE-I14 「Information Exchange of Certification, Quality Control and Licensing Procedure of Radiopharmaceutical」。2012 針對本次年會之舉行，同位素組曾提出二個演講題目，希望能邀請美國 FDA 或 NIH 之專家學者蒞會，未得回應。2014 年，我方再提出二項報告之請求，經由原能會駐美代表趙衛武副組長及美方 DOE 新的連絡人 Mr. Kyler K. Tuner 之努力，終於獲得 NIH 之正面回

應，由任職於 NIH/NCI 之 Dr. Capala 出席本次會議。雙方經由簡報互相了解後，Dr. Capala 欣然同意擔任我方之聯絡窗口。

- (7) AE-DE-EE2 「International Training Course on Physical Protection」，2014 年 2 月原能會黃俊源先生及趙衛武副組長參加 World Institute for Nuclear Security(WINS)辦理之 Security Exercise Workshop，2015 年原能會將再派二位同仁參與是項會議。有關於 IAEA 即將於 2015 年 4/20-5/9 辦理之“25th edition of the IAEA International Training Course on the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities”，美方將會協助我方人員取得邀請函，但我方必須在三個月前將預訂出席人員名單提供給 AIT，以方便辦理各項申請。
- (8) AE-DE-EE5 「Radioactive Source Security Cooperation」，National Nuclear Security Administration 提議 2015 在臺灣舉辦“Regulatory Development Workshop on Radiological Source Security”研討會，原能會同意在明年(2015 年)4 月配合辦理之。
- (9) AE-DE-EE7 「Training in Implementation of New Physical Protection Standards and Guidance」。2014 年 9 月 15-18 日，原能會辦理 New Physical Protection Standards and Guidance Workshop，NNSA 派三位指導員蒞臨會議，它是一項相當成功之會議，與會者(學界或業界或原能會人員)皆收穫滿滿。原能會希望能繼續辦理相關之訓練營，NNSA 同意 2015 年將在臺灣辦理二場次研討會，探討主題分別為“**How to Conduct Physical Protection System Inspection**”及“**Physical System Contingency Planning**”。
- (10)AE-NR-Z9 「Response and Management of Radioactive Material Events」，本項議題雙方同意由 Working Group II 轉到 Group III。原能會在 2014BTM 會議，報告“**Finding and Managing Abnormal Radioactive Materials in Taiwan**”。原能會也希望可以取得進入 Nuclear Material Events Database(NMED)之路徑，以改善台灣病患之安全。

#### 4. 第四分組(Group IV)「緊急應變管理」

第四分組討論會係主要係針對緊急應變管理(Emergency Management: AE-DE-F27)、大氣擴散模組(Atmospheric Plume Modeling: AE-DE-F28), 緊急應變支援(Emergency Assistance: AE-DE-F37)及空中偵測及其他偵測技術(Aerial and Other Detection Technique, AE-DE-F38)四個合作議題。

美方主要負責單位為能源部核子保安總署(DOE/NNSA), 主談人為國際緊急應變與合作辦公室副處長 Ann Heinrich(共同主席)及遙測實驗室 RaJah Mena, 我方則由本會核能技術處徐明德處長(共同主席)及周嘉慧技士參與。除逐項檢討台美雙方合作項目之實質進展及未來展望外, 本分組討論會亦針對第四分組相關之議題由 RaJah Mena 簡報日本福島空中輻射偵測經驗及 NNSA 之輻射事件協助計畫 (Radiological Assistance Program, RAP)。

RAP 目的係為提供聯邦、州政府及地方政府事件評估(相關領域專家及專業儀器等)技術支援, 為能有效協助緊急輻射事故之決策, RAP 執行分為 9 個技術支援區域, RSL 屬第 7 個技術支援區域, RSL 的任務執掌包括: 空中輻射偵測(Aerial Measuring System, 簡稱 AMS)、輻射事故災後管理(Consequence Management, 簡稱 CM)、輻射監測及評估中心(Federal Radiological Monitoring Assessment Center, 簡稱 FRMAC)。

在簡報後, 由雙方共同主持人進行第四分組議案的討論, 會議結論如下:

- (1) NNSA 將邀請原能會出席明年 6 月 EMI-SIG 會議, 原能會表示希望在會議中分享我國緊急應變整備作業經驗;
- (2) 雙方同意於明年視需要檢視並調整更新合作意向聲明書(Statement of Intent)項下 Work Plan 的合作內容;
- (3) NNSA 預定於明年 10 月在台灣辦理 I-RAPTER-MPE 訓練, I-RAPTER-MPE 訓練主要係為強化核子及輻射事故應變機制, 確保大型公眾活動如 2017 年臺北世界大學運動會的安全;

- (4) NNSA 預定於明年 5 月在台灣辦理第二次 I-MED 進階訓練，目標為培養台灣參訓人員為未來訓練人員；
- (5) NNSA 將定期更新 SPARCS 系統零組件，並提供零組件備品，此外，雙方同意建立 NSTec 及 INER 直接聯繫管道並持續研討數據分析，未來可辦理相關研習會；
- (6) NNSA 將邀請原能會觀摩於明年 7 月 21~23 日南卡羅來納州 H.B. Robinson 核電廠“Southern Exposure”演習。

#### (四) INER-ANL 可能合作議題討論

核研所於 103 年與美國阿岡國家實驗室簽訂合作備忘錄 (Memorandum of Understanding, MOU)。為進行實質合作議題討論，本次會議期間，施建樑副所長率化工組魏聰揚組長、工程組喬凌寰副組長、核儀組楊智偉副工程師，與阿岡國家實驗室余家禮博士等共四位研究計畫主持人針對核研所提出可能合作議題，進行討論，如圖十五所示。討論涵蓋核研所物理組、保物組、燃材組、化工組與核儀組等各組提出可能合作議題。



圖十五、核研所施建樑副所長(右起第 3 位)率化工組魏聰揚組長(右起第 1 位)、工程組喬凌寰副組長(右起第 2 位)、核儀組楊智偉副工程師(拍攝者)與阿岡國家實驗室余家禮博士等研究計畫主持人討論合作議題

會談開始時，阿岡國家實驗室四位人員與核研所四位人員先進行自我介紹，阿岡國家實驗室人員並特別陳述負責的專案計畫與工作經歷，會談中，各研究計畫主持人均針對所熟悉的合作項目提出看法，並一致認為核研所提出的各項可能合作議題，阿岡國家實驗室都具有對應的研究單位，後續可進行更深入的討論與實質的合作。此外，對於可能合作議題中未提到的核電廠老化管理，也認為是阿岡國家實驗室重要研究項目之一，可納入可能的合作議題。最後，余家禮博士允諾將綜整各項議題中阿岡國家實驗室的對口單位與聯絡人，以供核研所相關單位後續進行實質合作。

## (五) 阿岡國家實驗室技術參訪行程

阿岡國家實驗室(ANL)是美國第一個成立的國家實驗室，也是美國能源部最大的研究中心，成立於 1946 年，阿岡國家實驗室有兩個實驗地，其中一個是在伊利諾州芝加哥市郊(本次參訪地點)，目前有 1,775 名科學家和工程師。每年預算約 4 億 7 千萬美元，支持二百多個研究計畫，從原子核研究到全球氣候變遷研究都包羅在內，研究範圍很廣，同時與 600 餘家公司合作進行研究。另一處是在 Idaho 州的 Snake River Valley，專為研究原子反應爐之設備等，有 800 位工作人員。

近期該國家實驗室專注於能源、生化與環保科學領域的研究。此外，著名應用物理期刊 Journal of Applied Physics 與 Applied Physics Letters 的編輯部亦設立於 Argonne 實驗室。這個美國最大的實驗室旗下涵蓋尖端電腦、大型研究設施與貴重儀器中心如尖端光子源(Advanced Photon Source, APS)(請見圖十六與圖十七)、奈米材料中心(Center for Nanoscale Materials, CNM)、電子顯微中心(Electron Microscopy Center, EMC)、Argonne 領導計算設施(Argonne Leadership Computing Facility, ALCF)等。



圖十六、尖端光子源(APS)設施空照圖及重要區域示意圖



圖十七、尖端光子源(Advanced Photon Source, APS)設施大門前標示意象

本次參訪從 11 月 6 日上午 8:30 開始，由兩位阿岡國家實驗室人員導覽，簡介各部門主要研究單位，並分成兩組參觀尖端光子源(APS)設施(請見圖十八)。



圖十八、為增進參觀解說品質，於尖端光子源(Advanced Photon Source, APS)大廳將參觀人員分成兩組

導覽人員說明尖端光子源 (APS) 設施的經費主要來自於美國能源部，該設施開放全世界科學研究者使用，使研究者能透過該項設施，在許多新的科學領域進行研究，並藉此獲得技術上的突破，目前來自各大學、產業界、醫學院及研究單位應用該設施進行實驗的研究人員(主要)已突破 5,000 位，而 APS 也從來自各方的卓越研究中獲知各領域對於科學的最新探索，舉凡材料科學、生物科學、化學、環境科學、行星科學與基礎物理等，透過尖端光子源 (APS) 設施的 X 光散射光束線，來訪的研究人員得以加速研究時程，並從中獲得詳細有效的數據(請見圖十九)。



圖十九、導覽人員利用繪製於走道牆面上的圖像進行設施簡介

導覽人員並自豪地表示尖端光子源設施的使命為提供世界級的同步輻射研究設施服務，為達成這個使命，尖端光子源設施目前聘用超過 450 名的員工協助來訪的研究人員，並達成該設施的 6 項重要目標：

- (1) 營運具高可靠度的第三代 X 射線同步加速器；
- (2) 提供具生產力的研究環境；
- (3) 改善設施提供使用者的服務；
- (4) 確保設施使用者、員工與環境的安全；
- (5) 維持一個有益於專業成長的環境；

(6) 透過於尖端光子源設施進行的研究對美國能源部及相關組織在科技上作出最佳貢獻。

於尖端光子源(Advanced Photon Source, APS)參觀結束後，接下來驅車前往位於阿岡國家實驗室 208 館(Argonne Building 208)的阿岡核能展覽室(Argonne's Nuclear Energy Exhibit)，如圖二十。展覽室成立之宗旨在於紀錄並告訴後人阿岡國家實驗室於原子時代(Atomic age)所扮演的先驅角色，以及早期的一些核能設施如何奠定核能發展的基礎。



圖二十、導覽人員歡迎我國代表團

展覽室建成於 1996 年，於重新裝潢後，2008 年 12 月 2 日重新開幕，同時紀念世界第一個實驗性原子反應爐在芝加哥建成 66 週年，展覽室分成七個區域，包括：(1)芝加哥 1 號反應堆(Chicago Pile No. 1)與早期芝加哥反應堆(Chicago Piles)；(2)早期研究文物(Early Research Artifacts)；(3)輕水與研究用反應器(Light Water and Research Reactors)；(4)高溫冶金處理技術(Pyroprocessing Technology)；(5)燃料條件化設施(Fuel Conditioning Facility)；(6)快滋生反應器(Fast Breeder Reactor)；(7)核能研究活動現況(Current Nuclear Research Activities)。

導覽人員(Roger Blomquist)簡介 1942 年 12 月 2 日，在費米(Enrico Fermi)的指導下，在芝加哥大學運動場看台下的室內球場，利用高純度的鈾和石墨，完成了所謂的芝加哥反應堆(Chicago Pile)，於是，世界上第一個實驗性原子反應爐在芝加哥建成，成功實現了可控的鏈式反應。

同時，導覽人員也透過模型解說核能快滋生反應爐(Fast Breeder Reactor，簡稱 FBR)，藉中子撞擊可孕物質如鈾-238，利用高能量中子轉化滋生為鈾-239，繼續作為可分裂核燃料。發展快滋生反應爐技術的目的是在鈾礦蘊藏量有限的條件下，經由滋生轉化可延續核分裂能源的能源供給年限。大量輕水式反應器的裝置產生了很大數量的鈾，這些鈾再循環到輕水式反應器使用時，其價值可提高至 80%，但如將這些鈾引入快滋生反應器中，其價值可提高至 140%。因此，快滋生反應器與輕水式反應器自然形成一種理想的搭配。

最後，導覽人員也解說阿岡國家實驗室對於美國近期在安全、可靠且具成本效益的核能系統發展上的卓越貢獻(請見圖二十一)。導覽人員在解說中強調核能是提供大量可靠且低成本的重要電力來源之一，因此，使電力價格能保持長期的穩定性，同時核能的應用，能夠降低發電過程中，溫室氣體的產生，進而促進環境保護目標的達成。



圖二十一、導覽人員分別介紹各區域模型展示重點與對核能應用的貢獻

## (六) 愛達荷國家實驗室參訪行程

核研所楊智偉副工程師於台美會議結束後，轉往位於愛達荷州福爾斯市的愛達荷國家實驗室(Idaho National Laboratory, INL)，以執行人為可靠度質化資料系統介面中文化議題討論，並參觀該實驗室人因系統模擬平台(Human System Simulation Laboratory, HSSL)與電腦輔助虛擬實境(Computer Assisted Virtual Environment, CAVE)等重要設施，主要目的為討論人為可靠度質化資料系統開發，以及系統介面中文化等議題。

### 1. 參觀人因系統模擬實驗室(Human System Simulation Laboratory)

人因系統模擬實驗室是一個完整的核電廠虛擬控制室實驗設施，主要用來進行數位更新與新式介面設計概念的安全性測試，模擬環境可依測試需求，轉換不同的主控制室型態。實驗室經費主要來自於能源部，目的在於透過安全測試，以達成核電廠延役評估，因此，其宗旨在於透過人員對於類比與數位的不同互動模式，評估汰換老舊類比設備對改善主控制室運轉績效的影響。該設施的效益在於透過測試，進行介面設計的評估並改善，使運轉員能夠降低在學習中之適應時間，及在符合操作正確率下的人員反應時間要求，請見圖二十二與圖二十三。



圖二十二、人因系統模擬設施使用者觀察室，用以紀錄使用者於不同劇本與介面設計下之表現結果，包括影音紀錄、程序、時間軸分析、績效數據等



圖二十三、人因系統模擬實驗團隊為使核研所人員充分了解設施運轉情境，特別開啟演練劇本，並請實驗室成員擔任值班主任、運轉員與輔助運轉員，操作過程真實度直逼傳統核電廠模擬訓練中心

## 2. 參觀電腦輔助虛擬實境(Computer Assisted Virtual Environment)

電腦輔助虛擬實境設施是愛達荷國家實驗室先進能源研究中心的重要設施，屬於洞穴型四面(左、右、前、下)虛擬實境設施，透過視覺處理與投影系統，直接投射在 3D 空間，讓數據直接與現場環境結合，使用者可透過 3D 眼鏡，觀察並與物件立體模型進行互動。參訪時該系統展示了數個 3D 圖像，例如電廠除役時拆除場景、地球地震活動、頭顱及腦部醫學模型，並可以直接利用手部或頭部動作，拉近觀察影像所呈現的數據與細節。除了做為研究用平台外，對於公眾溝通也有助益。此種直接將原先死板數字化的數據，生動地展現在現場位置模型的能力，令人印象深刻，請見圖二十四與圖二十五。

該設施許多場景均以 3D 雷射點雲圖完成建置，楊員詢問是否考慮以體感方式取代目前以 3D 滑鼠進行操控，該設施負責人回應體感確實是目前正在研究的方向，也希望與核研所進行技術交流。



圖二十四、電腦輔助虛擬實境屬於洞穴型四面(左、右、前、下)虛擬實境設施，可以展示核電廠除役、醫學放射成像、輸配電系統、地理環境調查等場景



圖二十五、除了洞穴型虛擬實境設施外，該實驗室也提供輕便型 3D 電視互動模式，並於 3D 眼鏡上裝置反光球以進行定位

### 3. 人為可靠度質化資料系統介面中文化議題討論

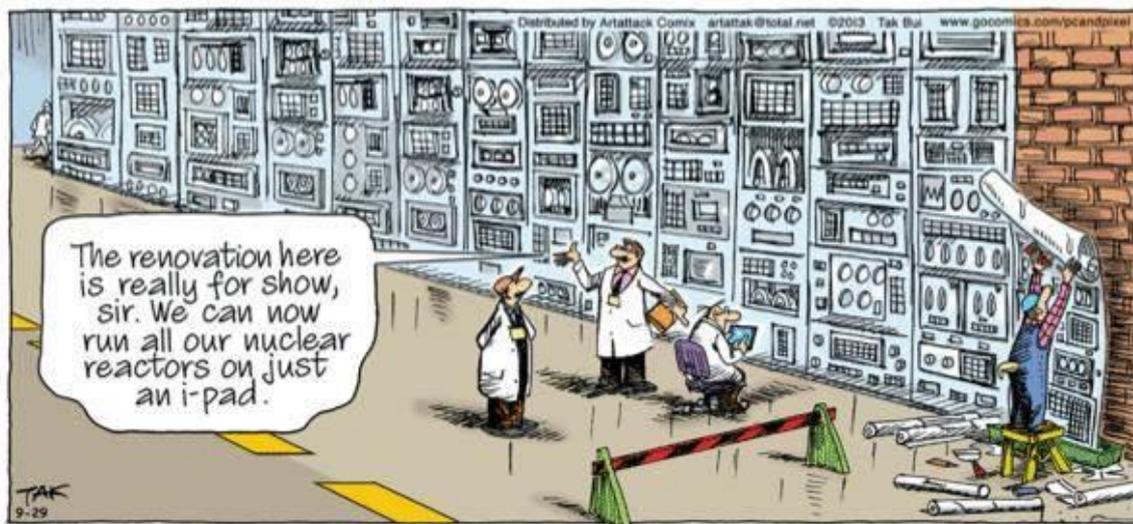
本次於愛達荷國家實驗室之主要訪問行程係討論人為可靠度資料收集系統中文化介面開發事宜，請見圖二十六，本項工作屬台美雙方例行合作項目下之數位儀控資訊交流(編號：AE-IN-TP-NR-C18)。目前本項合作的主要議題在於人為可靠度資料庫程式 SACADA 的應用。核研所核儀組曾嘗試運用 SACADA 於龍門電廠數位儀控之控制室運轉員表現分析，隨著政府於今年(103 年)宣布龍門電廠封存，研究重點將轉到運轉中的核一、二、三廠。NRC RES 先前提出由核研所、台電公司與愛達荷國家實驗室共同完成 SACADA 系統介面繁體中文版的規劃，因此，本次訪問主要與負責維護該程式的愛達荷國家實驗室人員討論可行性，並於訪問過程中進行試作。此外，由於原能會與台電公司人員於台美會議中均曾提出一些希望澄清的技術議題，楊員也利用本次訪問中進行深入的討論與澄清，如圖二十七。軟體開發負責人 Aaron Bly 提到能源部委託其研究行動裝置與 APP 應用於核電廠儀控系統之創新概念，如電腦化程序書行動化等，Aaron Bly 並於辦公室門前掛上此圖，顯示以行動裝置與 APP 開發取代傳統儀控之未來構想，如圖二十八所示。



圖二十六、楊智偉(左一)與 SACADA 研發團隊主持人 Ronald Farris(左二)、協同主持人 April Whaley(左三)、軟體開發負責人 Aaron Bly(左四)於 SACADA 系統發展與資料收集中心前留影



圖二十七、楊智偉(左一)與 SACADA 研發團隊主持人 Ronald Farris(左二)、軟體負責人 Aaron Bly(左三)於 SACADA 系統發展與資料收集辦公室討論原能會與台電公司人員關切之技術議題，以及 SACADA 系統介面繁體中文版的執行細節



圖二十八、SACADA 軟體開發負責人 Aaron Bly 提到能源部委託其研究行動裝置與 APP 應用於核電廠儀控系統之創新，如電腦化程序書行動化等概念

### 三、心得

此次參加「2014 台美民用核能合作會議」、訪問 DUF<sub>6</sub> 轉化廠、參訪阿岡國家實驗室相關設施與訪問愛達荷國家實驗室之心得可歸納下列六項：

- (一) 福島事故曝露日本在核電安全度評估(即 PRA)著力不深，乃至於沒有嚴重事故處理導引之類的缺失，或許也因為如此，美國 DOE 更積極地向核能新興國家，或過往較不重視風險評估的核能國家，推廣風險評估方法與技術。阿岡國家實驗室在 DOE 的協助之下，這兩年致力於向日本推廣 PRA 方法與應用。另外，也積極向中國大陸推廣 PRA 與風險告知決策制訂。從與美方出席人員的討論得知，透過官方的協助，參加此類推廣活動的人員有相當程度是核電工業界(電力公司與顧問公司)已退休或已不在第一線工作的資深 PRA 專業人員，專業程度深入且經驗豐富。此等人力運用的方式，頗值得我國參考，對於與我國無正式邦交的國家或如大陸一樣的特殊地區，若能透過官方的整合與組織，藉助已退休之資深專業人員，或能夠達到現職人員礙於法令而不便達成的交流與推廣目標。
- (二) 參加台美會議分組會議時，可以發現美方對於例行合作項目紀錄用字要求精準，同時，從台美民用核能合作會議的各項合作議題中，可了解美方對於許多議題的態度，都是由我方主動提出要求，美方則協助或配合。因此，建議應積極運用台美民用核能合作的管道，達到加速我方發展的目的，我方也可增加會期之外的聯繫頻率，讓美方可以經常性地回應我方的需求，以提升加速我方發展的目的。
- (三) 有關於同位素與核醫藥物研究合作議題方面，早期在美國國家實驗室執行之同位素與核醫藥物研究，因應核醫市場之需求，已陸續轉至大學研究機構等執行相關之研究，並由民間藥廠進行生產與供應。為提昇 AIT-TECRO 之合作層次，2012 年會，同位素組希望能邀請美國 FDA 或 NIH 之專家學者蒞會，未得回應。2014

年，我方再提出二項報告之請求，經由原能會駐美代表趙衛武副組長及美方 DOE 新的連絡人 Mr. Kyler K. Tuner 之努力，終於獲得 NIH 之正面回應。此一管道之開通，建立雙方之友好互動與信任，將可擴充核研所更多核醫研究資源，亦為未來之 FDA 連繫建立合作之基礎。

- (四) Dr. Capala 曾應用 Affibody 進行相關核醫治療應用，NIH 最近致力開發 Affitoxin，並執行臨床試驗，核研所羅彩月表示對這個研究議題之興趣，Dr. Capala 表示願意協助我方取得細胞株，以進行培養與純化蛋白，再做後續之核醫應用。
- (五) 美國阿岡國家實驗室之 Dr. Elena Nicole Bodnar(資深醫學研究科學家) 及 Dr. Igor Bodnar 負責執行美國國家能源部之指派，協助喬治亞共和國推動核子醫學，提昇醫療水準，Dr. Elena Nicole Bodnar 對核研所之研發成果十分興趣，未來如有機會建立合作管道，亦可擴展我國核醫產業之範圍。
- (六) 訪問愛達荷國家實驗室期間，發現該實驗室與該州的大學合作密切，除提供研究與實習機會外，也為該實驗室的人才培養奠定基礎，形成其永續經營的利基，以 SACADA 團隊成員而言，專職人員有 5 位，實習生有 3 位，此種結合區域大學的作法，對於同屬國家實驗室的核研所，以及鄰近之桃竹苗大學豐富的人力資源特性，足堪做為學習的對象。

## 四、建議事項

此次參加「2014 台美民用核能合作會議」、訪問 DUF<sub>6</sub> 轉化廠、參訪阿岡國家實驗室相關設施與訪問愛達荷國家實驗室之建議事項包括：

- (一)妥適運用退休資深人力於國際合作計畫：我國核能相關單位近幾年來退休人員為數大幅增加，遂有青黃不接之憂。唯這些退休人力具備豐富的工作經驗、知識與一定的體力，其實仍有顯著發揮的空間，若能透過適當的組織或整合，投入學研工作，可於某些國際合作或交流的場合，達成更深入與多元的成果。
- (二)美國能源部環境管理部門(DOE/EM)旗下之國家實驗室，對於放射性廢棄物處理及環境復育工作，從實際進行之實驗用反應器除役、廢棄物安定化與減廢、地下水污染整治等工作，累積相當經驗。透過台美民用核能會議雖有議題討論，但僅止於少數文件提供及專題報告，無法發揮解決問題功能。建議宜促進人員互訪，讓台灣專業人員能學習到所需解決問題之相關技術。
- (三)高階放射性廢棄物深孔處置(Deep Borehole Disposal)之概念，美國桑迪亞國家實驗室領導之計畫團隊，擬定於未來幾年進行先導型實場測試(用模擬廢棄物)，國內雖未發展此方面技術，應謹慎收集相關資訊，注意美國之研發成果，以作為國內發展參考。
- (四)美國 NIH/NCI 之 Dr. Capala 表示他有許多研究計畫與美國各大醫院及研究單位合作，未來核研所派員進修或參訪，都可以透過他來協助。為促進雙方之合作，核研所擬邀請 Dr. Capala 明年(2015 年)至核研所訪問，並順道參加 2015 年台灣核醫學會年會或 AIT-TECRO 會議，Dr. Capala 同意明年 10 月左右來台訪問。