

出國報告（出國類別：其他）

## 赴美國參加 2016 年台美民用核能合作 會議並訪問美國洛斯阿拉莫斯國家實 驗室(LANL)

服務機關：核能研究所

姓名職稱：樊修秀 副研究員

袁明程 研究員

李崙暉 副研究員

鄭世中 研究員

胡中興 研究員

陳明輝 研究員

派赴國家：美國

出國期間：105 年 12 月 4 日~105 年 12 月 10 日

報告日期：105 年 12 月 30 日



## 摘要

2016 年台美民用核能合作會議於 12 月 6~8 日假美國新墨西哥州阿布奎基市桑迪亞國家實驗室（Sandia National Laboratories；SNL）舉行，核能研究所綜計組陳明輝組長等共六人，隨同原能會蔡副主任委員慧敏博士參訪團，赴桑迪亞國家實驗室參加「2016 年台美民用核能合作會議（TECRO-AIT Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation；JSCCNS Meeting）」。會議召開前，化工組鄭世中組長、工程組李崙暉副組長與保物組副研究員袁明程等三人並於 12 月 05 日訪問參訪洛斯阿拉莫斯國家實驗室（Los Alamos National Laboratory；LANL）相關設施。

本次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能研究所等六個單位十八人與會，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）與阿崗國家實驗室（Argonne National Laboratory；ANL）等單位十五人與會，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 11 篇專題報告，就核能整體發展現況、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。

本次公差建議事項為：（一）積極與美方合作，建立燃料池底泥安定化及核物料監測與分析的最佳化技術，（二）關切美國核能技術發展動態與趨勢，拓展台美民用核能合作項目議題，（三）重視台美民用核能合作傳承，穩定世代接班人才，以達到長遠經營利基。

# 目 次

## 頁次

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 一、目 的                                            | 1  |
| 二、過 程                                            | 1  |
| (一) 行程                                           | 1  |
| (二) 參訪LANL核子保防實驗室                                | 3  |
| (三) 2016台美民用核能合作會議(JSCCNC)大會                     | 4  |
| (四) 2016台美民用核能合作會議(JSCCNC)大會【美方簡報】               | 9  |
| (五) 2016台美民用核能合作會議(JSCCNC)大會【我方簡報】               | 16 |
| (六) 2016台美民用核能合作會議(JSCCNC)大會【分組會議】               | 19 |
| (七) 2016台美民用核能合作會議(JSCCNC)大會【SNL Technical Tour】 | 24 |
| 三、心 得                                            | 29 |
| 四、建議事項                                           | 30 |
| (一) 積極與美方合作，建立燃料池底泥安定化及核物料監測與分析的最佳化技術            | 31 |
| (二) 關切美國核能技術發展動態與趨勢，拓展台美民用核能合作項目議題               | 31 |
| (三) 重視台美民用核能合作傳承，穩定世代接班人才，以達到長遠經營利基              | 31 |
| 五、附 錄                                            | 31 |

## 圖 目 錄

|                                          | 頁次 |
|------------------------------------------|----|
| 圖一、2016 台美民用核能合作會議全體與會人員合影               | 8  |
| 圖二、2016 台美民用核能合作會議現場側影                   | 8  |
| 圖三、用過核子燃料技術關聯架構                          | 13 |
| 圖四、SNL Technical Tour - 技術參訪議程           | 24 |
| 圖五、SNL Technical Tour - 展示中心解說           | 26 |
| 圖六、SNL Technical Tour - 核子保防安全圍籬及偵測設備    | 27 |
| 圖七、SNL Technical Tour - 核子保防延緩阻斷設備       | 27 |
| 圖八、SNL Technical Tour - 電纜耐火試驗           | 27 |
| 圖九、SNL Technical Tour - 用過核子燃料池耐火試驗      | 27 |
| 圖十、SNL Technical Tour - 核子燃料束實驗結果        | 28 |
| 圖十一、SNL Technical Tour - 反應器壓力槽底部實驗結果    | 28 |
| 圖十二、SNL Technical Tour - 容器墜落試驗          | 28 |
| 圖十三、SNL Technical Tour - 容器墜落實驗結果        | 28 |
| 圖十四、SNL Technical Tour - WIPP 場址鹽礦標本     | 29 |
| 圖十五、SNL Technical Tour - TRUPACT-II 示意圖  | 29 |
| 圖十六、SNL Technical Tour - TRUPACT-II 公路運輸 | 29 |

## 表 目 錄

### 頁次

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 表一、核研所出國公差人員名單                    | 2 |
| 表二、2016 台美民用核能合作會議（JSCCNC）行程與工作重點 | 2 |
| 表三、2016 台美民用核能合作會議（JSCCNC）大會議程    | 5 |

## 一、目的

台美民用核能合作會議緣起，台美雙方自民國73年（西元1984年）10月03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，旨在促進我國與美國在核能安全管制與核能科技發展。30年來台美民用核能合作會議早已成為我國與美國於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、用過核子燃料管理、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。

本次「2016年台美民用核能合作會議」由美方主辦，美國國務院委託能源部(DOE)轄下之桑迪亞國家實驗室(SNL)負責承辦。由本國原子能委員會（以下稱原能會）蔡慧敏副主任委員率團（成員包含原能會、放射性物料管理局、核能研究所、國立清華大學、台灣電力公司及駐美代表處等6位單位代表），計18人與會，美方則有國務院、核能管制委員會、能源部及所屬國家實驗室等單位成員共15人出席；會中雙方除交換過去一年來在核能電廠營運與管制、核廢料管理、核電廠除役、核能技術研發、核子科技、核醫藥物及緊急應變管理等方面之經驗回饋與發展等資訊外，並就雙方核能合作項目之執行情形逐一檢討，並研商未來一年之合作規劃

本次公差核能研究所(以下簡稱核研所)綜計組陳明輝組長、化工組鄭世中組長、保物組胡中興組長、工程組李崙暉副組長、保物組袁明程副研員與綜計組樊修秀副研員等，共計6人與會，並參訪桑迪亞國家實驗室(SNL)之用過核子燃料、核組件相關試驗設施場所及其核子保防與保安相關展覽室。會議召開前，由化工組鄭世中研究員、工程組李崙暉副組長與保物組袁明程副研員提前於12月03日赴美，並於12月05日訪問洛斯阿拉莫斯國家實驗室(LANL)相關設施。

此行台美雙方在既有之核能資訊交流管道上，除增進我方瞭解美國各項核能技術發展、管制現況現況與未來規劃方向藍圖外，並經由本次定期召開的會議，更加建立新世代核能專業官員之互動交流與情誼，對於未來加強雙邊於推展核能技術合作、提昇國內核能安全作業以及促進核能和平應用將有極大地助益。

## 二、過程

### （一）行程

本次公差自 105 年 12 月 04 日至 105 年 12 月 10 日共計 7 天。本次 2016 台美民用核能合作會議(JSCCNC)假美國新墨西哥州阿布奎基市近郊桑迪亞國家實驗室(SNL)舉辦，核研所奉派與會共計六人，分別於 12 月 03 日與 12 月 04 日二梯次，每梯次三人搭機赴美，出國公差人員名單(表一)、行程與工作內容重點(表二)與會議議程(105 年 12 月 06 日至 105 年 12 月 08 日)(表三)。本所第二梯次團員與行政院原子委員會蔡副主任委員慧敏博士一行八人於 12 月 04 日共同搭

機與抵達開會地點；12月05日所有團員集合，就開會內容再進行最後討論與確認；12月06-08日參加「2016年台美民用核能合作會議」，當日傍晚本所所有團員搭機返國，並於12月10日返抵國門。

表一、核研所出國公差人員名單

| 單位  | 姓名  | 職稱   |
|-----|-----|------|
| 綜計組 | 陳明輝 | 組長   |
| 化工組 | 鄭世中 | 組長   |
| 保物組 | 胡中興 | 組長   |
| 工程組 | 李崙暉 | 副組長  |
| 保物組 | 袁明程 | 副研究員 |
| 綜計組 | 樊修秀 | 副研究員 |

表二、2016 台美民用核能合作會議（JSCCNC）行程與工作重點

| 日 期         | 工 作 重 點                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 105/ 12/ 03 | <p>■ 第一組人員：鄭世中組長、李崙暉副組長、袁明程副研員<br/>去程：<br/>出發：pm 17:00 台灣桃園國際機場(TPE) (CI06)<br/>轉機：pm 17:05 洛杉磯國際機場(LAX) (AA6065)<br/>到達：pm 20:04 阿布奎基國際機場(ABQ)</p>                                                                                            |
| 105/ 12/ 04 | <p>■ 第一組人員：鄭世中組長、李崙暉副組長、袁明程副研員<br/>參訪洛斯阿拉莫斯國家實驗室 (LANL) 及會議資料準備<br/>■ 第二組人員：陳明輝組長、胡中興組長、樊修秀副研員 (與<br/>原子能委員會蔡副主任委員參訪團體會合)<br/>去程：<br/>出發：pm 17:00 台灣桃園國際機場(TPE) (CI06)<br/>轉機：pm 17:05 洛杉磯國際機場(LAX) (AA6065)<br/>到達：pm 20:04 阿布奎基國際機場(ABQ)</p> |
| 105/ 12/ 05 | <p>■ 第一組人員訪問洛斯阿拉莫斯國家實驗室 (LANL) 相關設施<br/>■ 第二組人員與原能會人員全體會合進行會議資料準備</p>                                                                                                                                                                          |
| 105/ 12/ 06 | 2016 台美民用核能合作會議，議程參見表三。                                                                                                                                                                                                                        |
| 105/ 12/ 07 | 2016 台美民用核能合作會議，議程參見表三。                                                                                                                                                                                                                        |
| 105/ 12/ 08 | <p>2016 台美民用核能合作會議，議程參見表三。<br/>(Sandia National Laboratory—Technical Tour 技術觀察)<br/>■ 第一組人員與第二組人員(核研所人員)全體返國<br/>返程：<br/>出發：pm 18:36 阿布奎基國際機場(ABQ) (UA5243)<br/>轉機：pm 23:25 洛杉磯國際機場(LAX) (CI07)</p>                                            |
| 105/ 12/ 09 | 返程：                                                                                                                                                                                                                                            |
| 105/ 12/ 10 | 抵達：am 05:50 台灣桃園國際機場(TPE)                                                                                                                                                                                                                      |

## （二）參訪 LANL 核子保防實驗室

LANL 實驗室位於美國新墨西哥州北部，隸屬美國國家核子保防局（NNSA），其任務是利用科學與技術確保美國核子威脅的安全、防護與可靠，解決新興的國家安全與能源問題。LANL 創建於 1943 年，目前員工約有 10,500 人，2016 年度預算經費約 24 億 5 千萬美元，LANL 實驗室對人員進出管制嚴格，參訪人員均不得攜帶筆電、相機、手機、行動碟等媒體影像或儲存設備。

本次公差人員主要參訪 LANL 核子保防實驗室，該實驗室從事發展鈾等物料量測技術與儀器開發，並協助原子能總署（IAEA）進行核子保防教育訓練。參訓的學員除 IAEA 視察員外，也接受來自其他國家或對此領域有興趣的實驗室及私人企業專業人員。在儀器研發方面，主要為核子保防類儀器，其中以中子及加馬射線相關量測技術與設備研發為主，有許多技術業已商品化，技轉 Canberra、Ortec 等國際知名廠家，目前 IAEA 視察員及國內輻防人員經常使用的手持式核種鑑別儀（identiFINDER, LAURUS Systems），提供現場輕便即時的加馬能譜分析與簡易核種判定；其他如中子位移計數分析（Neutron Analysis Shift Register）技術與中子符合計數器等。目前該實驗室最新的研發產品是微晶片低溫卡計加馬能譜儀，能量解析度約是純鍺偵檢器的 10 倍，LANL Dr. Andrea Favalli 宣稱此項研發中的技術與產品已接近完成階段，即將發表。

### 1. LANL 與核研所之技術合作回顧

LANL 由年資 49 年的資深研究員 Dr. Howard Menlove 為參訪人員進行 LANL 與核研所的技術合作歷程簡報，從 1980 年代起，LANL 設計 PCC（Plutonium Coincidence Counter）、TCCS（Taiwan Spent Fuel Solution Counter）等儀器協助本所進行用過核子燃料的相關檢測，演進至近年由 PCC 系統改裝而成的 SPCC（Spent-Fuel Plutonium Canister Counter），以及由 TCCS 系統改裝而成的 BPCC（Bottled Plutonium Canister Counter）系統，持續雙邊的技術合作關係，解決核研所用過核子燃料的檢測問題。

### 2. 核研所物料與 BPCC 系統現況

由核研所工程組李崙暉副組長，報告核研所現有核物料之現況及向國際原子能總署的申報流程與狀況，使 LANL 人員了解核研所於核物料申報之作業流程與所需的技術支援。

另外，由核研所保物組袁明程博士，報告 BPCC 系統目前的運作狀況、量測分析結果以及後續量測分析規畫與技術需求。

### 3. BPCC 技術討論

與會 LANL 技術專家認為核研所燃料池底泥安定化產物之化學組成複雜且不均勻，現行的 BPCC 系統量測結果易受低原子序物質干擾，而化學取樣分析，會有樣品收集不完整、分析結果無法包含所有原子組成等問題，因此 LANL 建議採用 NCC（Neutron Coincidence Counting）技術，減少低原子序物質之干擾，能獲得較為可靠的結果。

### 4. LANL 策略伙伴計畫

由 LANL 人員 Dr. Duncan McBranch 以”Strategic Partnership Projects Non Federal Entities Agreements : Overview”為題，向公差人員簡介：此策略伙伴計畫主要由能源部（DOE）提出，LANL 為執行實驗室之一，LANL 可接受非美國聯邦政府（亦即一般公司）之委託進行研發，唯研發方向需符合 LANL 的既定任務，經費由委託人（sponsor）負擔，且需事先經 NNSA/DOE 核准。

## 5. 參觀Bradbury科學博物館

Bradbury 科學博物館位於 Los Alamos 市中心，是以 LANL 第二任院長 Norris E. Bradbury 之名命名，主要介紹 LANL 的歷史與相關技術成就為主，分為防衛科技展區、歷史展區和研發展區。歷史展區主要展示原子時代、曼哈頓計畫（Manhattan Project）、LANL 歷史及人物等相關史料；防衛科技展區展示全球首枚原子彈、現今原子彈與飛彈等實體模型；研發展區展示太空科技、環境科技、生質燃料、奈米科技等。

### （三）2016 台美民用核能合作會議（JSCCNC）大會

2016 台美民用核能合作會議辦理地點為位於美國新墨西哥州阿布奎基之桑迪亞國家實驗室（SNL），本次會議台美雙方約 33 人參與，美方出席人員包括來自美國國務院、核管會、能源部及相關國家實驗室等單位，我方出席人員來自包括原子能委員會、核研所、清華大學與台電公司等單位。

第一天（12 月 06 日），首先由美方領隊國務院（DOS）代表 Dr.Alex Burkart，致歡迎詞揭開序幕，我方原能會蔡副主委慧敏博士致開幕詞，接著桑迪亞國家實驗室主任 Dr. Mark Peters 代表桑迪亞國家實驗室致歡迎詞，隨即展開依事前所規劃安排大會議程，由兩國代表於核能相關發展現況與議題之交錯的專題報告。

第二天（12 月 07 日）進行台美雙方合作議題討論，分四組針對列管合作項目逐項檢討。

第三天（12 月 08 日）安排 SNL 設施參訪，議程詳如表三，全體與會人員合影如圖一。各項報告與活動之重點說明如後。

表三、2016台美民用核能合作會議（JSCCNC）大會議程

### **Agenda for 2016 AIT-TECRO Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation**

Sandia National Laboratories: Center for Global Security and Cooperation (CGSC),

December 6-8, 2016

#### December 6: Plenary

| <u>Time</u>   | <u>Event</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <u>Location</u>         |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 7:45          | TECRO Shuttle Departs from Marriott Albuquerque Hotel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                         |
| 8:30 – 9:00   | Meeting Registration                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | SNL Badge Office (IPOC) |
| 9:00 – 9:45   | Opening Remarks <ol style="list-style-type: none"> <li>1. SNL– <i>Evaristo Bonano, Senior Manager for Advanced Nuclear Energy Programs</i></li> <li>2. AEC – <i>Dr. Huei-Min Tsai, Deputy Minister</i></li> <li>3. AIT/W-DOS - <i>Dr. Alex Burkart, Deputy Director, Office of Nuclear Energy, Safety, and Security</i></li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CGSC / Room 1154        |
| 9:45 – 10:00  | Break                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CGSC / Room 1154        |
| 10:00 – 12:30 | Presentations (30 min each) <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Overview of U.S. Nuclear Energy Future, Update of Project GAIN and International Research Programs, <i>Michael Goff, INL</i></li> <li>2. Updates of Atomic Energy Council's Activities in Taiwan – <i>Hung-Chih Lai, Section Chief, AEC/PD</i></li> <li>3. Update of the Used Fuel Disposition Campaign in the U.S.- <i>Kevin McMahon, Manager, Nuclear Waste Disposal Research and Analysis, SNL</i></li> <li>4. Overview of Taipower's Nuclear Backend Management Program – <i>Tzu-Sheng Shyur, Deputy Director, TPC</i></li> <li>5. Summary of 2016 Nuclear Security Summit and Path Forward – <i>Marc Forino, DOS</i></li> </ol> | CGSC / Room 1154        |
| 12:30 – 13:30 | Lunch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CGSC / Bistro           |
| 13:30 – 14:45 | Presentations (25 min each) <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Updates of Nuclear Regulatory Activities in Taiwan, <i>Jec-Kong Gane, Section Chief, AEC/NRD</i></li> <li>2. Major Nuclear Regulatory Activities in 2016 – <i>Tim McGinty, Director, Division of Safety Systems, NRC</i></li> <li>3. Review of Current Major Research Activities at INER, <i>Ming-Huei Chen, Division Director, INER</i></li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CGSC / Room 1154        |
| 14:45 – 15:00 | Break                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                         |
| 15:00 – 16:15 | Presentations (25 min each) <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Security Challenges with Unmanned Aerial Vehicles at Nuclear Sites and Lessons Learned – <i>Chad Monthan, SNL</i></li> <li>2. Overview of Current Research Projects in National Tsing-Hua University, <i>Shao-Wen Chen, Professor, Tsing-Hua University</i></li> <li>3. Overview of Radiological Security, Site Security, Transportation Security, and the Use of Non-Isotopic Alternative Technologies – <i>Robert Rudich, Office of Radiological Security, NNSA</i></li> </ol>                                                                                                                                                     | CGSC / Room 1154        |

## Agenda for 2016 AIT-TECRO Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation

Sandia National Laboratories: Center for Global Security and Cooperation (CGSC),  
December 6-8, 2016

|               |                                                                                                                                                                                                                                                       |                  |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 16:15 – 17:00 | Working Group Discussions                                                                                                                                                                                                                             |                  |
|               | <b>Group 1: Reactor Regulation and Regulatory Research</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Tim McGinty, Director, Division of Safety Systems, NRC</i><br><i>Shin Chang, Director, Department of Nuclear Regulation, AEC</i>                                | CGSC / Room 1154 |
|               | <b>Group 2: Waste Management and Environmental Restoration</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Benjamin Rivera, Office of Environmental Management, DOE</i><br><i>Wuu-Kune Cheng, Section Chief, Fuel Cycle and Material Control, AEC</i>                  | CGSC / Room 1155 |
|               | <b>Group 3: Nuclear Science, Technology and Safeguards</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Brian Abeyta, Deputy Program Director, Office of Nuclear Security Engagement, NNSA</i><br><i>Chung-Hsing Hu, Director, Institute of Nuclear Energy Research</i> | CGSC / Room 1150 |
|               | <b>Group 4: Emergency Management</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Kyle Turner, Nuclear Engineer, Office of Nuclear Energy, Safety, and Security, DOS</i><br><i>Ming-Te Hsu, Director, Department of Nuclear Technology, AEC</i>                         | CGSC / Room 1149 |
|               | Closing                                                                                                                                                                                                                                               | CGSC / Room 1154 |
| 17:00         | TECRO Shuttle Back to Marriott Albuquerque Hotel                                                                                                                                                                                                      |                  |
| 18:00         | TECRO Hosted Dinner at Garduño's Mexican Restaurant                                                                                                                                                                                                   |                  |

### December 7: Technical Working Group Sections

| <u>Time</u>  | <u>Event</u>                                                                                                                                                                                                            | <u>Location</u>  |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 7:45         | TECRO Shuttle Departs from Marriott Albuquerque Hotel                                                                                                                                                                   |                  |
| 8:35         | Group Photo (TBD)                                                                                                                                                                                                       | TBD              |
| 8:35 – 10:40 | Working Group Discussions                                                                                                                                                                                               | CGSC / Room 1154 |
|              | <b>Group 1: Reactor Regulation and Regulatory Research</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Tim McGinty, Director, Division of Safety Systems, NRC</i><br><i>Shin Chang, Director, Department of Nuclear Regulation, AEC</i>  | CGSC / Room 1154 |
|              | <b>Group 2: Waste Management and Environmental Restoration</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Benjamin Rivera, Office of Environmental Management, DOE</i><br><i>Wuu-Kune Cheng, Section Chief, Fuel Cycle and Material</i> | CGSC / Room 1155 |

## Agenda for 2016 AIT-TECRO Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation

Sandia National Laboratories: Center for Global Security and Cooperation (CGSC),  
December 6-8, 2016

|               |                                                                                                                                                                                                                                                       |                           |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|               | <i>Control, AEC</i>                                                                                                                                                                                                                                   |                           |
|               | <b>Group 3: Nuclear Science, Technology and Safeguards</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Brian Abeyta, Deputy Program Director, Office of Nuclear Security Engagement, NNSA</i><br><i>Chung-Hsing Hu, Director, Institute of Nuclear Energy Research</i> | CGSC / Room 1150          |
|               | <b>Group 4: Emergency Management</b><br><b>Co-Chairs:</b><br><i>Kyler Turner, Nuclear Engineer, Office of Nuclear Energy, Safety, and Security, DOS</i><br><i>Ming-Te Hsu, Director, Department of Nuclear Technology, AEC</i>                        | CGSC / Room 1149          |
| 10:40 – 10:50 | Break                                                                                                                                                                                                                                                 |                           |
| 10:50 – 12:00 | Continued Working Group Discussions                                                                                                                                                                                                                   | Same location as previous |
| 12:00 – 13:00 | Lunch                                                                                                                                                                                                                                                 | CGSC / Bistro             |
| 13:00 – 14:00 | Continued Working Group Discussions                                                                                                                                                                                                                   | Same location as previous |
| 14:00 – 16:00 | Summary of Working Groups and Signature of Summaries<br>Closing Remarks                                                                                                                                                                               | CGSC / Room 1154          |
| 16:00         | TECRO Shuttle Back to Marriott Albuquerque Hotel                                                                                                                                                                                                      |                           |
| 18:30         | AIT Hosted Dinner at the National Museum of Nuclear Science & History                                                                                                                                                                                 |                           |

### December 8: Sandia National Laboratories Facility Tour

| <u>Time</u> | <u>Event</u>                                                                                                                                           | <u>Location</u>            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 9:00        | <b>Welcome and Coffee:</b><br><i>Kevin McMahon, Manager, Nuclear Waste Disposal Research and Analysis, SNL</i>                                         | CGSC / Room 1154           |
| 9:30        | <b>Spent Nuclear Fuel Testing Review:</b><br><i>Sam Durbin, Principal Member of the Technical Staff, Advanced Nuclear Fuel Cycle Technologies, SNL</i> | Technical Area 3 / CYBL    |
| 10:30       | <b>Energetic Testing of Nuclear Components:</b><br><i>Greg Koenig, Principal Technologist, Advanced Nuclear Fuel Cycle Technologies, SNL</i>           | Technical Area 3 / Surtsey |
| 12:00       | Lunch                                                                                                                                                  | CGSC / Bistro              |
| 13:30       | <b>Technology, Training, and Demonstration Tour:</b><br><i>Jason Bolles, Creative Designer, Program Communications, SNL</i>                            | CGSC / TTD                 |



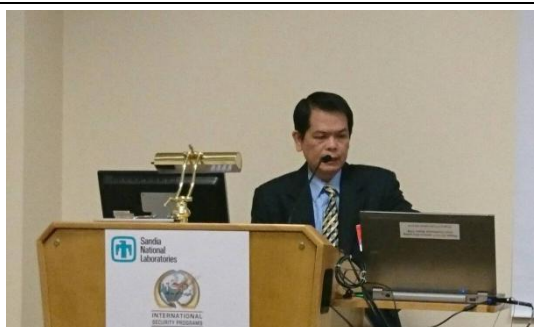
圖一、2016台美民用核能合作會議全體與會人員合影



圖二(a)、蔡副主委開幕致詞



圖二(b)、JSCCNC大會會議現場



圖二(c)、陳明輝組長報告研發現況



圖二(d)、台美雙方合作議題分組討論現場

圖二、2016台美民用核能合作會議大會現場側影

#### (四) 2016 台美民用核能合作會議 (JSCCNC) 大會【美方簡報】

台美雙方共發表 11 篇報告，就美方提出下列 6 篇內容摘錄如下：

- Overview of U.S. Nuclear Energy Future, Update of Project GAIN and International Research Programs, *Michael Goff, INL*
  - Update of the Used Fuel Disposition Campaign in the U.S.- *Kevin McMahon, Manager, Nuclear Waste Disposal Research and Analysis, SNL*
  - Summary of 2016 Nuclear Security Summit and Path Forward – *Marc Forino, DOS*
  - Major Nuclear Regulatory Activities in 2016 – *Tim McGinty, Director, Division of Safety Systems, NRC*
  - Security Challenges with Unmanned Aerial Vehicles at Nuclear Sites and Lessons Learned – *Chad Monthan, SNL*
  - Overview of Radiological Security, Site Security, Transportation Security, and the Use of Non-Isotopic Alternative Technologies – *Robert Rudich, Office of Radiological Security, NNSA*
- .....

#### 1. 美國之核能未來發展、GAIN與國際研究計畫總覽 (Overview of U.S. Nuclear Energy Future, Update of Project GAIN and International Research Programs)。

由美國能源部辦公室/愛達荷州國家實驗室 (Idaho National Laboratory ; INL) Dr. Michael Goff 介紹美國核能發展未來規畫與 GAIN 與國際研究計畫現況。美國已提出對於 2010~2050 核能領域 R&D 研究計畫之整體規劃 (包括目前執行計畫與未來中長期計畫)，以追求達到平衡與創新為最終目標，從將目前約 60%輕水式反應器運轉能力從 60 年延長達到 80 年，以及考量供應鏈與技術可行性，同步發展 GE III<sup>+</sup>、GEN IV 與小型模組化反應器 (Small Modular ; SMR)。各階段規劃之主要重點與說明如下：

- (1) 目前執行計畫(Present)：包括持續發展輕水式反應器(Light Water Reactors ; LWR)、開發意外容錯燃料(Accident Tolerant Fuel ; ATF)與輕水式反應器先進模擬聯盟(Consortium for Advanced Simulation of Light Water Reactors ; CASL)

##### ■ 持續發展【輕水式反應器(LWR)】

計畫目標以發展基礎科學研究為根基，來確保現今輕水式反應器長期運轉安全(60 年以上)與經濟效益為主，包括發展相關技術來確保現存永續核電可長期運轉、增進可靠度以及持續安全作業。計畫專注於材料老劣化研究 (Materials Aging and Degradation)、設備儀器精進升級與控制系統研究 (Advanced Instrumentation and Controls)、風險評估安全邊境特質研究 (Risk-Informed Safety Margin Characterization)、全面性系統評估分析與緊急應變研究 (Systems Analysis and Emerging Issues) 等。

## ■ 研究開發【意外容錯的燃料(ATF)】

自從西元 2011 年 03 月，日本因為發生芮氏地震規模 9.0 級強震伴隨高達 14 公尺以上的海嘯衝擊，造成福島（Fukushima）第一核電廠發生事故導致輻射外釋後，美國能源部開始積極開發與強化燃料對於突發意外的容錯能力。此類研究發展的最終目標，期望於西元 2022 年前，能研製出進步型燃料棒（Advanced Fuel Rod），可設置在現階段輕水式反應器（LWR）系統下進行測試，該燃料棒可承受冷卻系統發生失靈之意外。其目標在於(1)有效降低或消除氫氣產生（Significantly Reduce or Eliminate Hydrogen Generation）。(2)透過增加燃耗，降低用過核子燃料體積（Reduce Spent Fuel Volume through Increased Burnup）。(3)降低燃料棒受損率，增加可靠度（Reduce Fuel Pin Failures & Increased Reliability）。(4) 核電功率提升，改善經濟效益（Improve Economics & Permit Power Upgrades）。

## ■ 【輕水式反應器先進模擬聯盟(CASL)】計畫。

自西元 2010 年 07 月 01 日起，啟動 CASL 計畫，本計畫主以輕水式反應器 TVA's Watts Bar I Reactor 作為研究標的，發展構築一虛擬反應器（Virtual Reactor），以先進模擬方式來模擬真實反應器行為，主要目標在於強化安全運轉、具有經濟價值的運轉效能，以增加電力產量與延長反應器壽命。

### (2) 近程計畫(Near-term)：小型模組化反應器（Small Modular；SMR）

西元 2012 年，能源部已投資 4 億 5 千兩百萬美元進行為期 6 年之新式小型模組化反應器之工程設計、測試程序、認證作業以及向核管會申請執照作業，並透過公部門與民間企業平均攤提 50%經費來加速小型模組化反應器之商業化發展，主要期望能於西元 2020 年小型模組化反應器可實現達到正式運轉。

目前有兩項作業包括場址許可（Site Permitting）與證照申請（Licensing Activities）正在進行：美國政府機構協議（U.S. Government Interagency Agreement）關於田納西河谷管理局之 Clinch River Site 一執行先期場址許可（Early Site Permit, ESP）發展作業、預定 2019 年中可完成，政府與民間企業費用各攤提 50%；另外第二次 NuScale 公司合作協議（Second NuScale Cooperative Agreement），NuScale 公司與 UAMPS（Utah Associated Municipal Power Systems）合作，將 SMR 設置於愛荷華國家實驗室內或靠近愛荷華國家實驗室附近，目前推動證照申請活動，同樣的，政府與民間企業費用各攤提 50%。

美國政府積極開發與推動小型模組化反應器之原因，可以從潛在優勢與市場等二方面來觀察，潛在優勢在於 (1)提升安全性與保防性（Enhanced Safety and Security），(2)成本降低，使核電更可廣泛被應用（Reduced Capital Cost Makes Nuclear Power Feasible for More Utilities），(3)因為屬於模組化，可縮短建造時間（Shorter Construction Schedules due to Modular Construction），(4)近工廠之模組化系統可被複製設置，以提高供電品質（Improved Quality due to Replication in Factory-Setting），(5)可符合電力需求的增加之要求（Meets Electric Demand Growth Incrementally），(6)可透過國際間銷售，使美國成為核電技術之引領者（Re-establish U.S. Technical Leadership in Nuclear Energy via International Sales），(7)可開創高

度的國內就業機會（Domestic Job Creation Potential Very High）。而潛在市場在於(1)具有國內與國際市場（Domestic and International Utility Markets），(2)存在其他非電力相關的顧客，例如：熱處理與海水淡化（Non-Electrical (Process Heat / Desalination) Customers）。

(3) 長程計畫(Long-term): 進步型反應器(Advanced Reactors)與燃料循環(Fuel Cycle)

■ **進步型反應器(Advanced Reactors)**

全面研究發展數種技術，包括探討快速反應器技術（Fast Reactor Technologies）、高溫反應器技術（High Temperature Reactor Technologies）與進步型反應器通用技術（Advanced Reactor Generic Technologies），並建立進步型反應器法規文件架構（Advanced Reactor Regulatory Framework）與進步型反應器系統研究（包括資源、運轉與成本估算）（Advanced Reactor System Studies）。

■ **燃料循環(Fuel Cycle)**

此類研究計畫主側重精進燃料循環相關技術，來確保達到資源再利用使能源再生、降低廢棄物的產生、強化安全性以及降低風險。

(4) **加速創新核能閘門（Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear, GAIN）計畫**

此計畫在於提供核能各界在技術、管制、財務方面得以受到聯邦的支援，以便能夠推動將創新核能科技朝向商業化運用與發展。GAIN 計畫可以讓核能界在能源部單一窗口的協助下，得以接觸能源部所屬各國家實驗室之專家學者、設施、材料、及資料。此外，GAIN 計畫也包含重點研究機會及致力工業合作等事項，以確保能源部贊助之方案能夠使各公司瞭解核能之完全發展潛能。

簡報尾聲時，美國目前針對最終處置場的共識選址程序（Consent-Based Siting Process），這項作法是為提供用過核子燃料處理提供一個長久性且可持續的解決方案，為達成這項目標，能源部發展這項選址程序，以提供電力公司、一般公眾、社區民眾、利害關係人及政府單位一個協力合作的機制，讓選址過程透過更多方地參與使結果更臻完善。核能對於美國的能源策略仍相當重要，而一個強而有效的研發計畫，將強化在核能使用的安全、保安以及信賴度上所需的重要的科技進展。

2. **美國之用過核子燃料處置方案之發展現況（Update of the Used Fuel Disposition Campaign in the U.S.）**

本專題由美國桑迪亞國家實驗室 Dr. Kevin McMahon 簡報，Dr. McMahon 首先介紹美國針對用過核子燃料與高放射性廢棄物的管理策略，以及美國用過核子燃料及高放射性廢料處置的管理，係依據西元 2013 年 1 月核定的策略推動，全

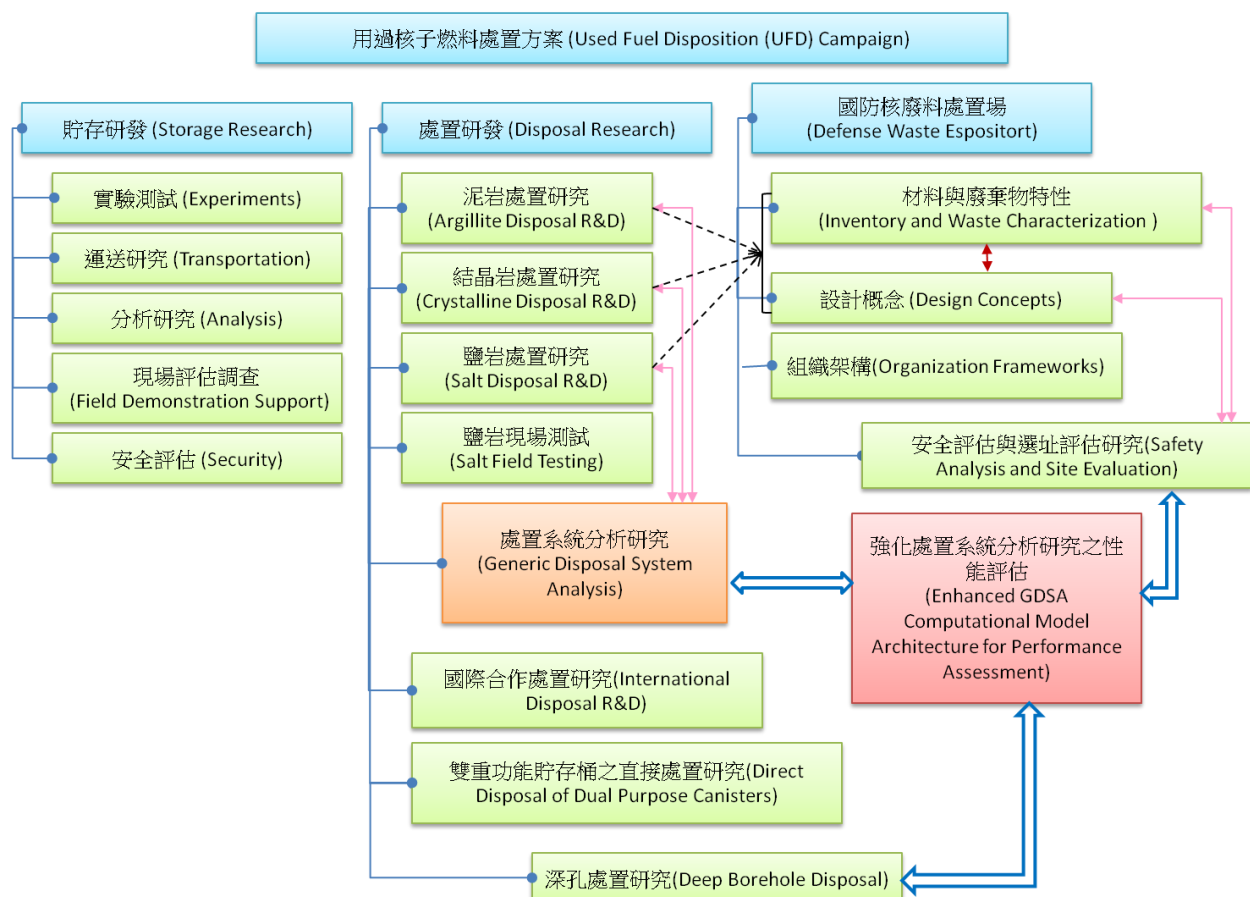
美共計有 9 座國家實驗室參與能源部的用過核子燃料處置計畫（Used Fuel Disposition Campaign）。

近十年的規劃，預定將(1)針對先導中期貯存設施進行選址、設計、申請執照、建造及開始營運；(2)就大型中期貯存設施進行選址及申請執照；(3)模擬展示處置場址的選址及特性調查作業。能源部係指定由 NE-8 負責相關業務之推動。研發活動之使命為確認各種選擇方案，藉由科學研究與技術研發，以便能順利貯存、運送及處置用過核子燃料及高放射性廢料，有關美國用過核子燃料之管理現況，至 2016 年底約有 80,185 噸用過核子燃料，其中 25,400 噸採取乾式貯存，貯放於 2,080 個護箱或金屬密封容器中；其後用過核子燃料每年約將增加 2,200 噸，裝填於 160 個乾式貯存護箱。

有關用過核子燃料處置之長期研發活動的目標定為(1)與核工業界合作以建構可獲得核管會（NRC）認可之全尺寸貯存展示設施；(2)發展運送用過核子燃料必要的技術基準，包括高燃耗核子燃料；(3)藉由整合貯存、運送及處置概念以發展用過核子燃料之運送及貯存計畫。例如發展延長貯存期間相關技術基準、發展經由長期貯存後的燃料再取出與運送之技術基準，及發展高燃耗核子燃料之運送技術基準。而就處置研發活動而言將集中於提出各種處置可行方案的技術基準、建立完整的處置概念以增加信心及發展科學及工程的分析工具以便支持處置概念之實施。

從 2017-2019 年為期 3 年的研發活動概分成三大項推動，分別為貯存與處置、國防核廢料處置場及處置技術，整體技術關聯架構，如圖三。

- (1) 貯存與處置研發：有高燃耗燃料全尺寸之貯存展示計畫，建立溫度/壓力對護套影響之預估模式並進行試驗驗證，瞭解腐蝕及應力腐蝕龜裂如何影響不銹鋼乾式貯存密封容器之功能及用過核子燃料在正常運送條件下額外負載之特徵。
- (2) 國防核廢料處置場：則以啟動國防核廢料處置計畫包括軍用高放射性廢料及許多能源部管理之用過核子燃料為主。
- (3) 發展處置技術：提出深孔現場測試規劃將於 2017 年初完成採購作業，2017 年鑽孔，2020 年完成測試；另進行雙重功能密封容器直接處置（Direct Disposal of Dual Purpose Canisters）之完整性評估，發展一般處置概念之參考案例，及為掌握泥岩、岩鹽、結晶鹽及深孔處置系統之長期功能特性所需執行之實驗及建立之分析模式。其中應力腐蝕龜裂之共通條件為腐蝕環境（Corrosive Environment）、材質敏感性（Susceptible Material）及張應力（Tensile Stress）均成立時才會發生。對於高燃耗燃料之確認資料計畫（Confirmatory Data Project）則以取得基本資料（Baseline Data）為主，其作業為從現在起選用 25 根具有雷同營運歷史之燃料棒進行測試，以瞭解並能推估貯存時可能發生的性質變化。



### 3. 2016年核子保安高峰會及未來展望 (Summary of 2016 Nuclear Security Summit and Path Forward)

自 2010 年迄今，完成諸多文件簽署與批准，包括峰會公報（Communiqués (2010, 2012, 2014)）、華盛頓峰會工作計畫（Washington Work Plan (2010)）、自訂承諾事項（House Gifts）與自願承諾事項（Gift Baskets）、聯合聲明（Joint

Statements)、進程報告(Progress Reports)與國家聲明(National Statements)等。核子保安高峰會之具體成效，包括：

- (1) 全球已有超過15個國家移除高濃縮鈾原料量。包括澳洲、智利、古巴、匈牙利、利比亞、墨西哥、羅馬尼亞、塞爾維亞、土耳其、烏克蘭、越南、烏茲別克、瑞士、阿根廷、印尼與台灣等。
- (2) 全球超過24國家透過核子保安卓越中心(Centers of Excellence; COE)訓練，強化保安能力。
- (3) 超國80個國家簽署批准主要兩項公約，包括核物料實體保護國際公約(Convention on Physical Protection of Nuclear Material; CPPNM)與國際公約核恐怖主義行為的公約(International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism; ICSANT)
- (4) 美國能源部已於36個夥伴國家內329座國際機場入境點，安裝輻射偵測設備，包括過境、機場和海港等，以打擊核物料非法運送與販賣。包括阿根廷、澳洲、亞塞拜然、孟加拉共和國、保加利亞、柬埔寨、中國、克羅埃西亞、吉布地、衣索匹亞、喬治亞、以色列、牙買加、約旦、哈薩克、肯亞、吉爾吉斯斯坦、拉脫維亞、黎巴嫩、立陶宛、馬來西亞、馬爾他、墨西哥、摩爾多瓦、蒙古、巴拿馬、菲律賓、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、蘇俄、西班牙、土庫曼、烏克蘭、越南與台灣等。
- (5) 美國能源部已於在24個夥伴國家部署96個移動式檢測系統，以打擊核物料非法運送與販賣。包括阿富汗、亞塞拜然、保加利亞、柬埔寨、古巴、吉布地、衣索匹亞、喬治亞、匈牙利、伊拉克、以色列、約旦、哈薩克、拉脫維亞、立陶宛、墨西哥、摩爾多瓦、菲律賓、波蘭、羅馬尼亞、斯洛伐克、斯洛維尼亞、塔吉克與烏克蘭等。

今(2016)年的核子保安高峰會是最後一屆峰會，2014年，歐巴馬總統將之定位為「過渡峰會」(Transition Summit)，希望過去峰會達成的努力成果能夠延續下去，並且能夠找到可行方式，繼續強化現有的核子保安機制，並讓未來全球更加致力於維護核物料安全的努力。今(2016)年03月30-31日在華府舉行的峰會，討論的議題包括核物料的竊取、核物料的散布，包含化學性及生物性事件的散布、核恐怖主義及大規模毀滅性武器恐怖主義等等。

Dr. Forino 最後表示，今年的峰會雖是最後一屆，但相關的討論不會就此而中斷，峰會所組成的聯繫小組將會在每年 IAEA 的年會中聚會，討論相關執行成果，並且亦會和包含 IAEA 和聯合國在內的國際組織繼續相關合作行動計畫。

#### **4. 2016年重要核能管制活動 (Major Nuclear Regulatory Activities in 2016)**

本專題由美國核管會 Dr. Timothy McGinty 處長簡報，McGinty 處長首先回顧過去一年美國核電廠的狀況，目前美國有 99 部運轉中的反應機組，分布在全國 60 座核電廠內，其中 65 部為壓水式反應器、34 部為沸水式反應器；在運轉執照更新的作業方面，目前有 9 部機組正在審核中。McGinty 處長隨後介紹核管會

今年主要的核照活動與進展，內容包含 NFPA 805 審查、用過核子燃料池的臨界、數位儀控等方面。最後 McGinty 處長分享核管會公眾會議的辦理經驗，核管會希望透過公眾會議與民眾共同討論面對的挑戰，並透過這些會議得到來自民眾的回饋，然而公眾會議地辦理過程也是充滿挑戰，包含對核管會員工可能有公眾發言的難處、可能未整全地處理民眾的問題或議題、時間限制、會議現場維安等等，但核管會仍努力地克服這些挑戰，以從會議中收得更多的效益，並開發個多元的管道來聽取民眾的意見，並且在過程中不斷調整聽取民意的方式。

## **5. 無人飛行載具對核設施之保安挑戰與經驗回饋 (Security Challenges with Unmanned Aerial Vehicles at Nuclear Sites and Lessons Learned)**

本專題由桑迪亞國家實驗室 Dr. Chad Monthan 代表無法前來的 Dr. Forrest Lingenfelter (國家核子安全署) 簡報，Dr. Monthan 首先提到無人飛行載具是目前在美國發展最快的產業之一，光是 2015 年即銷售近 2,000,000 部；由於無人飛行載具容易取得，也造成許多潛在非法使用的案例，也對政策、法律及技術方面產生挑戰。在政策面，目前無人飛行載具技術並未朝著符合美國聯邦航空總署 (FAA) 相關標準的方向發展；在法律面，需面對如何定義小型無人飛行載具的越位、國家安全與私人使用的爭議、干涉無人飛行載具衍生之法律議題等；在技術面上，則有開放軟體、成癮性操作、載具偵測等。由於現階段並未發展出一套整全的機制來處理無人飛行載具所衍生的議題，許多政府單位對於判斷出現在其空域的無人飛行載具是屬於一般娛樂使用或是具有惡意的使用，尤其困難，故對於無人飛行載具的飛行目的需建立一套可信賴的評估系統，並對於敏感區域設立禁航區。對於無人飛行載具的規範，我們需要對於空域所在處境有警覺，也要認知現在並沒有一個特效藥可以處理所有無人飛行載具衍生的問題，我們需要長時間地投入發展相關科技並妥善地研擬政策，以有效地建構合理且可持續的測試方式，來認知現有無人飛行載具及抗無人飛行載具系統的限制。

## **6. 輻射安全、廠區保安、運輸保安與非同位素替代技術之綜覽 (Overview of Radiological Security, Site Security, Transportation Security, and the Use of Non-Isotopic Alternative Technologies)**

本專題由國家核子安全署的 Dr. Robert Rudich 簡報，Dr. Rudich 首先提到放射性物質是無所不在，且可以合法地應用於醫療、研究與商業目的，但由於世界上仍有不法份子透過放射性物質來造成傷害，因此我們必須確保放射性物質的保安避免造成意外事件，以確保民眾和環境的安全。

輻射保安辦公室 (Office of Radiological Security) 成立的目的即在於透過不讓高活度放射性物質落入恐怖攻擊之用，來提升全球保安，為了達到這個目的，輻射保安辦公室致力於維護醫療、研究與商業目的應用的放射性物質、協助移除不再使用的放射性射源，並透過尋求可行的替代性科技來降低國際間對於放射性射源的依賴。維護放射性物質保安方面，Dr. Rudich 介紹透過偵查、延遲、回應及訓練等階段提升保安的策略，以及運送保安；在移除射源方面，Dr. Rudich 介

紹美國境內與國際間針對射源移除的工作與成果；尋求射源的可行替代性科技方面，則介紹 Cs-137、Co-60、Am-241 及 Ir-192 等射源使用的替代性科技。

#### (五) 2016 台美民用核能合作會議 (JSCCNC) 大會【我方簡報】

台美雙方共發表 11 篇報告，就我方提出下列 5 篇，包括原能會、核研所與台電公司的報告摘錄如下：

- Updates of Atomic Energy Council's Activities in Taiwan – *Hung-Chih Lai, Section Chief, AEC/PD*
- Overview of Taipower's Nuclear Backend Management Program – *Tzu-Sheng Shyur, Deputy Director, TPC*
- Updates of Nuclear Regulatory Activities in Taiwan, *Jec-Kong Gane, Section Chief, AEC/NRD*
- Review of Current Major Research Activities at INER, *Ming-Huei Chen, Division Director, INER*
- Overview of Current Research Projects in National Tsing-Hua University, *Shao-Wen Chen, Professor, Tsing-Hua University*

.....

#### 1. 我國原子能委員會管制現況(Updates of Atomic Energy Council's Activities in Taiwan)

本專題由原能會綜計處國際事務科賴弘智科長報告，說明核一廠除役管制現況、放射性廢棄物管制、105 年度核安演習、輻射防護與環境監測、民眾溝通、核子保防與國際合作等。在核一廠除役管制近況方面，介紹相關我國除役政策、時程及核一廠除役計畫審查等之現況；針對年度核安演習部分，則介紹今年度核安演習重點，包含：南部應變中心第一次全規模開設、緊急救護與核三廠夜間演習，以及擴大演習區域等；針對輻射防護與環境監測部分，特別介紹我國質子治療管制以及新增設的紅頭環境監測站；針對民眾溝通部分，則介紹本會就乾式貯存設施、蘭嶼環境平行監測及公眾溝通平台等之運作狀況；在核子保防與國際合作方面，則介紹我國已連續 10 年獲國際原子能總署認定所有核物料均用於和平用途，亦介紹今年我國與日本、美國及韓國等國家核安管制單位之交流。

#### 2. 台灣核能後端營運管理之現況(Current Status of Nuclear Backend Management in Taiwan)

本專題由台電公司核後端處徐自生副處長報告，說明核能後端營運管理作法，簡報概分五大部分，分別為低放射性廢棄物管理方案、高放射性廢棄物管理方案、集中貯存應變計畫、核一廠除役計畫及核後端基金。有關低放射性廢棄物管理方

案，以說明台灣低放廢棄物貯存概況與處置計畫作業流程及已選出之兩個候選場址為主，而有關高放射性廢棄物管理方案，則說明預估之用過燃料總量、處置計畫的管理流程、核一廠及核二廠之乾式貯存計畫，各核能電廠用過燃料池貯存量及高放廢棄物管理方案所面臨的挑戰等。集中貯存應變計畫，則說明集中貯存係高、低放射性廢棄物處置之應變方案，在國際上已有實際案例可參照，現況之進展為集中貯存的可行性評估報告已於 105 年 9 月提出，目前仍在審議中，預定年底將有結果；至於核一廠除役計畫，為因應 2025 年之非核家園政策，從 2018 年起國內的核電廠將分別停止運轉，並逐次展開除役作業，簡報時亦提出了除役之法令規定以及台電之分階段實施規劃，並說明核一廠場址再利用之規劃，且已經成立核一廠除役工作團隊以執行任務，同時亦思索未來所面臨之挑戰事項；最後則說明核後端基金，有關預估總額與已完成之徵收額，以及基金經費之分配規劃等，並就簡報尋求與會者提出建議事項。

### 3. 台灣近期核安管制現況(Recent Nuclear Safety Regulatory Activities in Taiwan)

本專題由原能會核管處龔繼康科長報告，簡報的重點在介紹台灣核電廠 2016 年的重要安全管制活動；其中包括運轉中核電廠的重要事件、福島後我國採行的二階段「國內核能電廠現有安全防護體制全面體檢」目前辦理的情形，以及原能會與美國核能安全管制委員會(NRC)在核電廠安全管制相關的相關合作等。簡報首先介紹台灣在 2016 年核能安全表現的相關統計數據，其中包括核電廠在 2016 年發生之異常事件的訊息、2016 年核一廠 2 號機於 3 月 10 日發生因人員誤操 125V DC DISTR.PANEL 1A 電源造成反應器急停事件、以及 2016 年原能會開立之違規訊息等。簡報時並說明原能會相關資料均已公布於對外網站，可以隨時在網站上查詢。

在介紹我國各核能電廠近況部分，報告時分別說明核一、二、三廠及龍門電廠各機組的現況，以及各電廠近期的重要工作項目。在核一廠部分，首先說明目前核一廠 1 號機由於在 2014 年 12 月 10 日開始大修時，發生一組燃料束（Fuel Assembly）水棒連接桿斷裂事件，原能會已完成台電公司事件分析報告審查及現場查證，並於 2015 年 6 月在網路上公佈安全評估報告（Safety Evaluation Report）。由於立法院要求原能會在機組重新起動前必須赴立法院報告，但目前立法院並未將報告案納入議程，因此目前機組並未重新起動。另外會議中也向美方說明行政院已訂定如果核一廠 1 號機要重新起動，必須先符合「窮盡一切方法、安全無虞、社會有共識」等三大前題。簡報時並說明在核一廠 2 號機目前用過燃料池已滿的情況下，台電公司必須先解決用過燃料池已經儲滿的問題，方有可能再進行大修換填燃料。簡報並說明核一廠已於 2016 年 7 月申請撤回核一廠延役申請案件，原能會已經終止審查作業。

其他核能電廠部分，會議時介紹我國核二廠 1 號機已經於 2016 年 11 月 30 日起開始大修，另外核二廠 2 號機因為 5 月 16 日發生發電機避雷器故障事件引起民眾及立法委員關切，立法委員並要求參照核一廠 1 號機模式必須赴立法院報告後才能重新起動，目前原能會已於 11 月完成安全評估報告並上網公布。另外，台電公司為解決核二廠用過燃料池已滿儲的情況，已經於 2016 年 8 月 18 日提出申請，將核二廠緊鄰用過燃料池之護箱裝載池（Cask Loading Pool）改為用過燃料貯存空間，其容量每部機增加 440 束。目前原能會已聘請學者專家與原能會同仁組成專

案審查小組，從臨界安全、燃料池冷卻能力、結構材料與耐震、輻射安全與放射性廢棄物處理、異常事故之評估，以及吊運作業安全等數個面向進行審查。在核三廠部分，2016 年間已經順利完成 2 部機組大修作業，其中 3 月及 5 月間發生二氧化碳消防系統誤動作事件引起地方政府關切，原能會、台電公司及電廠所在地方政府對於通報項目與時間也已進行協調溝通，並縮短地方政府關切事項的通報時間。龍門電廠部分，由於龍門電廠仍維持在封存狀況，因此並沒有太多改變。台電公司因經費遭刪減因此將修改封存計畫，原能會將依規定進行審查。

有關「國內核能電廠現有安全防護體制全面體檢」部分，會議時說明目前已經完成 34 項要求事項，原能會並每半年在網站上公布管制案件辦理情形。在與美國核管會合作部分，原能會已於 2016 年完成與美國核管會簽訂 Radiation Protection Code Analysis and Maintenance Program (RAMP) 以及 Simulator Training Data Collection Arrangement (SACADA) program 二項合作計畫，並且正在洽談延續 Severe Accident Research Program (CSARP) 及 Thermal-Hydraulic Code Applications and Maintenance Research Program (CAMP) 二項合作計畫。原能會並已規劃於 2017 年 4 月主辦 RAMP 春季會議，邀請美方及其他國家參與 RAMP 計畫的人員進行交流，強化原能會與美方的合作。美方對簡報表示感謝，並將持續與我國交換核電廠安全資訊。

#### 4. 核研所研發現況簡介摘要 (Review of Current Major Research Activities at INER)

本專題由核能研究所綜計組陳明輝組長報告，主要介紹核研所研發任務並扼要報告部分相關研發成果。核研所研發任務主要包括四項：（一）開發本土核能技術以支援核能安全管制及增進核電廠運轉安全，（二）開發核設施除役技術與核廢棄物管理技術及執行研究用反應器除役，（三）開發核醫藥物及核醫材相關應用技術，（四）發展新及再生能源、能源經濟與策略分析相關技術。

在核能安全技術方面研發成果包括：（1）核子事故劑量分析相關成果，（2）核二廠用過燃料池裝載池臨界安全分析，（3）開發新焊接製程(覆焊技術)以強化核電廠管路安全，（4）運轉員模擬器訓練資訊蒐集 SACADA 系統(NRC 合作計畫)執行現況，（5）假設核子事故輻射擴散評估與預測系統開發。

在核設施除役與核廢料管理技術方面研發成果包括：（1）TRR 研究用反應器除役與用過核子燃料安定化執行現況，（2）開發高效能低放射性廢棄物混凝土盛裝容器技術，（3）核電廠除役計畫規劃。

在核醫藥物及核醫材相關應用技術開發方面研發成果包括：（1）30Mev 迴旋加速器及相關核醫藥物研發實驗室，（2）擁有十數張核醫藥物藥證，供應全國五十餘家醫院，（3）三種藥物正進行臨床試驗 INER Re-188 Liposome Injection、INER [I-123]MIBG、Re-188 MN-16ET/Lipiodol，（3）三維 X 光低劑量放射照影儀系統開發。

在新及再生能源開發方面研發成果包括：（1）HCPV 聚光型太陽光電模組系統開發，（2）風機系統技術開發，（3）SOFC 固態氧化物燃料電池系統開發，（4）生質能技術開發，（5）智慧型微電網示範場域與技術開發，（6）能源經濟模型與策略技術開發。

## （六）2016 台美民用核能合作會議（JSCCNC）大會【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」、「先進核能科技、核子科學、核醫藥物、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」

本次Group I分組會議主席，美方由美國核能管制委員會安全系統處處長Timothy McGinty，我方則由原能會核能管制處張欣處長擔任。原能會核管處龔繼康科長擔任記錄。核能技術處徐明德處長及高薇喻技正、核研所陳明輝組長等員共同參與討論，第一組內容主要係針對核子反應器設施管制及相關法規與程式應用等議題。

第一組原有19項合作項目，會議採取逐項討論的方式進行，並對未來一年規劃辦理項目進行研商。藉由雙方面對面的討論與溝通，除掌握合作項目的重要進展外，並促進雙方分享核能安全管制訊息。此次本分組有兩項龍門電廠工作項目（“Pre-Operational and Start-Up Testing of Lungmen NPP”與“Operational Readiness Inspections of Lungmen ABWR Plant”），因目前電廠已封存，經雙方同意不再辦理。雙方並同意我方所提之新增一項風險評估(PRA)項目(“PRA Information Exchange”)納入未來合作內容。第一分組經討論後，台美雙方達成共識，將有18項合作計畫持續進行，美方將於2017年安排於核管會辦理雙邊核安管制技術交流會議(BTM)及觀摩美國核電廠演習，我方則邀請美國核管會代表觀摩我國2017年在核二廠辦理之核安演習。

|                   | 數量 |
|-------------------|----|
| 台美雙方討論項目          | 19 |
| ■ 結束項目            | 2  |
| ■ 新增項目            | 1  |
| ■ 移動項目            | 0  |
| 台美雙方達成共識，持續執行合作項目 | 18 |

### 2. 第二分組（Group II）「廢棄物管理及環境復原」

Group II由原能會物管局鄭武昆組長及美國能源部環境管理辦公室Dr. Benjamin Rivera擔任會議主席，並由核研所李崙暉擔任紀錄，蔡副主任委員全程出席指導，核研所鄭世中、袁明程及台電公司後端處徐自生副處長等代表出席討論，美方參與人員有能源部桑迪亞國家實驗室Kevin Mc Mahon（全程出席）、核管會（NRC）Shannon E.King（出席G-23及J-2議案）與國務院Alex Burkart（出席G-33、U-3及DD-30議案）。

Group II主要針對放射性廢棄物之處理與處置技術，環境之回復與再利用以及安全分析工具之精進應用等，逐項討論原有14項合作項目現況及過去一年的活動。國務院Dr. Alex Burkart建議新增合作議題「核研所水渦式反應器燃料安定化之核子保防合作案(Safeguard Cooperation on Stabilizing INER Water Boiling Reactor Fuel)」，列為G-35，工作內容應包括作業時程規劃，通報原能會與原子能總署作業，安定化程序開發與實驗設備建置，活度測量、劑量計算與臨界評估，後續貯放方式，以及核子保防度量。計畫預定明年起開始運作，我方由核研所負責，美方為Dr. Alex Burkart。

有關核燃料循環與核廢料處理議題討論：六氟化鈾運送國外安定化處理—2016年經向各國民間公司徵尋奧援後，AREVA TN公司在會議前將六氟化鈾處理規劃送達，遂向美方表明未來處理會委託AREVA公司，分別在美國及法國處理，Dr. Alex Burkart也提醒我方要及早填寫申請書，並完成通知原子能總署(IAEA)作業；超鈾廢棄物處理技術、廢土減容處理技術、深層處置技術等三項工作，雙方均同意繼續執行，Dr. Kevin McMahon (SNL) 將提供更新資料，我方同意分享處置研究的資訊。

總計Group II之原規劃14項合作計畫仍持續進行，另將新增一項合作計畫，最後我方也表達感謝美方的協助，促進雙方技術能力提昇，對於未來的工作重點則提出核電廠之除役安全管制，長期貯存與乾式貯存安全管制及擴大公眾參與等面向，將請美方繼續協助提供寶貴意見及參與合作計畫。

|                   | 數量 |
|-------------------|----|
| 台美雙方討論項目          | 14 |
| ■ 結束項目            | 0  |
| ■ 新增項目            | 1  |
| ■ 移動項目            | 0  |
| 台美雙方達成共識，持續執行合作項目 | 15 |

### 3. 第三分組 (Group III) 「先進核能科技、核子科學、核醫藥物、科技與防護」

本次Group III 分組會議主席，美方由美國核能安全管制局 (National Nuclear Security Administration, NNSA) 之核子保防辦公室副主任 (Deputy Program Director) Mr. Brian Abeyta，我方由核能研究所保健物理組胡中興組長擔任，並由綜計組樊修秀副研員擔任現場會議紀錄。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、醫學治療等領域。原能會、核研所與清華大學等單位分別派員參加，相對應的美方窗口亦皆派員出席。本次第三分組台美雙方，針對21項合作議題進行逐條討論，達成共識且持續執行合作項目共計21項，此外，利用核研所預先整理之2016年合作成果及未來規劃詳細審閱，會議之重要結論包括：

(1) 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。2016年與美方之主要交流活動可為研究成果發表與人才培育二種類型，希望能透過學術交流，來達到前瞻研發思維的建立與技術傳承與開創之目的。包括(1) 2016/9同位素組郭裕民、郭宛宜赴美國紐約參加2016年世界分子影像大會，發表壁報論文與展示核研所在核醫領域之研究成果，並參訪MSKCC癌症研究中心之放射性化學與分子探針影像核心設施，學習與觀察放射性藥物品管與GMP設施之操作運轉。(2)2016/10同位素組王屏燕赴美國波士頓哈佛大學醫學院Joslin糖尿病中心，研習脂肪細胞調控對糖尿病標靶診療藥物開發之應用研究。未來規畫發展項目，核研所擬提出藥物之藥物動力學研究，主以發展C-14標誌與合成技術，來達到新藥開發之目的。此類相關技術之建立與研習機會，後續將與任職於NIH/NCI之美方連絡窗口Dr. Capala聯絡討論，以尋求適合的合作或研習單位。

- (2) IN-OR-I14, “Information Exchange of Certification, Quality Control and Licensing Procedure of Radiopharmaceutical.”此一議題由核研所同位素組執行。2016年之主要活動，主要邀請美國學者來訪進行學術交流。核研所與中華民國核醫學學會、台北榮總醫院於2016/3/11在台北共同舉辦第5屆台灣核醫心臟國際學術研討會，主要是針對核醫(心肌灌注/心肌血流絕對定量)與交感神經活性影像等兩項主題進行交流。研討會邀請美國、日本、韓國及中國大陸之專家與講者分享核醫心臟相關專業經驗。來自美國之講者Piotr Slomka教授( UCLA )與陳季教授( Emory University, Atlanta )，感謝我方邀請並期盼能在台美間開創更多核醫方面的合作機會。另外，相當重要的是，歷經原能會駐美代表趙衛武副組長及美方能源部Mr . Kyler K. Tuner多方協助幫忙，2016核研所邀請美方任職於NIH/NCI Dr. Jacek Capala參加11/19於高雄榮總舉辦之 2016中華民國核醫學核醫與分子影像年會( 2016TSNMMI )以及於 11/21蒞臨核研所分享美國放射性核種治療現況(“ The Status of Systemic Radionuclide Therapy in the US”)。與Dr. J. Capala討論affibody發展趨勢，我方表達派員實習新穎技術之意願，Dr. J. Capala欣然接受，後續將與Dr. Capala聯絡尋求時機。
- (3) IN-DE-I19, “Cooperative Programs on the Development of Nuclear Imaging Instrumentation.”此一議題由核研所保健物理組執行。2016年之主要活動，包括(1) 資深醫學物理師景鴻烈( 紀念史隆凱特林癌症中心 ) 接受原能會邀請於2016/5/6-13來台舉辦講座，說明醫療診斷用X射線之基本安全與必要性能之相關要件。(2)副研究員梁鑫京於8/28-9/1赴美國加州研習放射影像感測相關技術。(3)徐明華教授( 美國約翰霍普金斯大學 ) 於8/31-9/2蒞臨核研所討論3D影像重組、偽影消除及雜訊估測技術。未來規畫發展項目，核研所擬提出質子治療方面的研究計畫，發展質子範圍監測技術以減少範圍不確定造成之衝擊，並與當地產業、研究機構、大學與醫療團體建立合作機制。後續將與Dr. Capala聯絡尋求適合的合作單位。
- (4) TU-DE-Y1, “Generation IV Nuclear Reactors.” 此一議題由清華大學執行。由於台灣目前不發展第四代反應器技術，然而為保留本項目未來的彈性，故我方提出本項目維持開放並尋求未來雙方在進階安全系統的合作，因此台美雙方同意繼續維持此一合作議題。

- (5) TU-DE-Y3, "Explore Opportunities Related to DOE Engineering Innovation Hub for Modeling and Simulation Program." 此一議題由清華大學執行。我方提出欲參加明年度SAPHIRE使用者訓練課程的需求，已獲得美方同意，目前已進入NDA文件填寫階段，待文件齊全美方將進入正式審核階段。
- (6) TU-DE-Y4, "Formation of New Partnership INL/NTHU/INER/NBL for Education and Training in Nuclear Science and Technology." 此一議題由清華大學與核研所執行。我方提出明年將更新FRAPTRAN/FRAPCON使用執照，已獲美方同意。核研所明年擬派遣研究人員赴美進行實習研究，預定前往美國Idaho國家實驗室進行用過核子燃料檢驗與照射過材料性質的研究，會中已獲美方同意。
- (7) TU-AN-CC1, "Neutron Research at Research Reactors." 此一議題由清華大學執行。我方提出明年將持續申請使用美國的中子設施進行材料與表面相關的基礎科學研究，已獲美方同意。
- (8) AE-DE-EE2, "International Training Course on Physical Protection." 此一議題由核研所工程組執行。我方預定派員參加2018美方所辦理之ITC-27 訓練課程，美方將會協助我方人員取得邀請函。
- (9) AE-DE-EE3, "Nuclear Export Control Training." 此一議題由原能會執行，我方預定與Adam Hoffman繼續保持聯繫與討論。
- (10) AE-DE-EE5, "Radioactive Source Security Cooperation." 此一議題由原能會執行。美方NNSA預定於5月22-25日來台，假新北市原能會辦理保健物理與安全管理研討會（Physical Protection and Security Management (PPSM)），原能會同意在明年(2015年)4 月配合辦理之。另外，雙方同意 持續進行高放射性物質來源的替的技術之資訊分享與合作。
- (11) AE-DE-EE7, "Training in Implementation of New PP Standards and Guidance." 此一議題由原能會執行。2017年將於台灣辦理 Security Plan Workshop已獲美方同意。
- (12) AE-AIT-FF1, "State Systems of Accounting and Control (SSAC)." 此一議題由原能會執行。我方預定派員參加2017美方所辦理之SSAC training course 訓練課程，美方將會協助我方人員取得邀請函。除此以外，我方積極爭取2018於台灣辦理SSAC training course 訓練課程之機會。
- (13) AE-AIT-FF2, "Cooperation in Safeguards Technology." 此一議題由核研所工程組執行預計透過與LANL合作，完成用過核子燃料池內汙泥之核物料量測。
- (14) AE-AIT-FF3, "Exchange of Information on Implementation of IAEA Safeguards and Additional Protocol." 此一議題由原能會執行。預定2016年度結束前，完成IAEA所要求之核子安全保防報告書一份，並經由AIT-TECRO管道傳於美方華盛頓辦公室存參。更新資訊與相關訊息交換預定於明年度台美會執行。

(15)AE-AIT-FF4, "Inventory of U.S. Obligated Nuclear Material in Taiwan." 此一議題由原能會執行。我方預定明年五月完成所有物料之年度庫存報告書（annual inventory report）。

(16)TU-OR-HH1, "Design of Medical Therapy Facility for THOR." 此一議題由清華大學執行。我方提出明年將考慮採購Li-6材料進行硼中子捕獲治療研究，商請美方協助詢問價格問題，已獲美方同意。

|                   | 數量 |
|-------------------|----|
| 台美雙方討論項目          | 21 |
| ■ 結束項目            | 0  |
| ■ 新增項目            | 0  |
| ■ 移動項目            | 0  |
| 台美雙方達成共識，持續執行合作項目 | 21 |

#### 4. 第四分組（Group IV）「緊急應變管理」

本次Group IV分組會議之主席，我方由原能會核能技術處徐明德處長以及美方由美國能源部Dr. Kyler Turner擔任，輻防處廖家群副處長及高薇喻技正參與討論。本次第四分組台美雙方達成共識，持續執行合作項目共計5項合作議題。

第四組內容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）、空中偵測及其他偵測技術Aerial and Other Detection Technique（AE-DE-F38）及核鑑識倡議Nuclear Forensics Initiative（AE-DE-F39）等五個合作議題。美方主要負責單位為能源部核子保安總署（DOE/NNSA），本分組會議先逐項檢討本分組5個合作項目之實質辦理成果，再就未來進展及明年合作重點進行綜整討論，經討論後5個合作項目均會持續進行，共計完成11項具體結論，重點摘錄如下：NNSA 將邀請原能會出席明年之EMI-SIG 會議；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；因應台灣明年辦理2017 年臺北世界大學運動會，NNSA將邀請台方觀摩美國2017世界盃的大型公眾活動整備工作，以及於明年在台灣辦理I-RAPTER-MPE訓練，以強化大型公眾活動在核子及輻射事故應變機制，確保大型活動的公眾安全；因應台灣對輻射犯罪現場管理的需求，NNSA預定於明年在台灣辦理核鑑識相關訓練以及提供輻射散布裝置（Radiation Dispersion Devices ,即輻射彈）應變經驗；美方將邀請台方參加明年舉行的技術工作坊，與我國交流緊急應變相關經驗；另外，有關NNSA目前借我國使用之2套空中偵測系統（SPARCS），美方也會隨時提供技術協助，以確保空中偵測設備的可用性；我方會持續邀請NNSA觀摩我國2017年在核二廠辦理之核安演習。

|                   | 數量 |
|-------------------|----|
| 台美雙方討論項目          | 5  |
| ■ 結束項目            | 0  |
| ■ 新增項目            | 0  |
| ■ 移動項目            | 0  |
| 台美雙方達成共識，持續執行合作項目 | 5  |

### (七) 2016 台美民用核能合作會議 (JSCCNC) 大會【SNL Technical Tour】

12 月 8 日的技術參訪安排的地點是桑迪亞國家實驗室，SNL 實驗室成立於 1948 年，以往發展重心是軍事及國防研究，隨著冷戰時期的結束，除了原有的任務及研究之外，開始轉型加入商業及民生相關的應用研究，拓展研究領域並提升實驗室的競爭力，實驗室研究領域大致可區分成核子武器 (Nuclear Weapons)、國防系統和評估 (Defense Systems & Assessments)、能源和氣候 (Energy & Climate) 及全球安全 (Global Security) 等四大領域。

SNL 共安排三個主題(如圖四):分別為用過核子燃料測試評估(Spent Nuclear Fuel Testing Review)、核能組件加能測試(Energetic Testing of Nuclear Components)及技術訓練和展示之旅(Technology, Training and Demonstration Tour)。

#### December 8, 2016

##### Building CGSC / Room 1154

9:00 Welcome and Coffee .....Kevin McMahon  
*Manager, Nuclear Waste Disposal Research and Analysis*

##### Technical Area 3 / CYBL

9:30 Spent Nuclear Fuel Testing Review ..... Sam Durbin  
*Principal Member of the Technical Staff, Advanced Nuclear Fuel Cycle Technologies*

##### Technical Area 3 / Surtsey

10:30 Energetic Testing of Nuclear Components ..... Greg Koenig  
*Principal Technologist, Advanced Nuclear Fuel Cycle Technologies*

##### CGSC / Bistro

12:00 Lunch

##### CGSC / TTD

1:30 Technology, Training and Demonstration Tour ..... Jason Bolles  
*Creative Designer, Program Communications*

圖四：技術參訪議程

上午參訪前兩項主題，由主辦單位安排兩輛公務車搭載我方成員，美方也有些其他單位會議成員自行開車一同參訪，進入實驗室區域首先通過由美國空軍警衛執勤的崗哨，接著開始映入眼簾就是一望無際的廠區，途中經過許多實驗室及實驗設施，雖無法完全了解，但有些從外觀稍可辨別，例如研究用反應器、聚光型太陽能實驗設施及運送容器墜落與貫穿實驗設施等。

車行許久終於來到第一站用過核子燃料測試評估，測試廠房是利用原爐心熔毀實驗設備改裝而成，內有一個高約三至四層樓高上方開口的大型桶槽，其上不同高度各個方向佈滿視窗，便於實驗過程中可經由視窗觀察內部的情形，桶槽內可依據不同測試評估項目，組裝所需要的實驗實體及實驗環境模擬，並利用監控設備以監視實驗的進行與實驗數據的蒐集。

參訪現場測試桶槽內為一束 BWR 核子燃料實體測試模型，模擬用過核子燃料束裝置於密封金屬容器（Canister）中，假設放置於地下（Underground），發生容器冷卻通風管道受阻無法自然通風，造成容器內用過核子燃料產生的餘熱無法順利移除，對用過核子燃料束可能造成的影響，實驗所蒐集到的資料與數據，再與各種熱流程式模擬評估的結果進行比對，以精進熱流分析評估能力。

經由實驗的驗證，能提升熱流分析評估的能力及精準性，可對於用過核子燃料貯存或處置，發生容器冷卻通風管道受阻，用過核子燃料產生餘熱造成的影響更加充分掌握，增加用過核子燃料貯存處置管理安全性。

解說人員也帶領參觀廠房外的貨櫃屋，其內展示一束核子燃料實體模型經過加熱實驗之後的結果，這是之前執行爐心熔毀實驗，模擬反應爐壓力槽內意外事故，例如爐心失水事故（LOCA）等，事故造成溫度上升對核子燃料束結構及材質的影響，結果顯示核子燃料束經由不斷的加熱，隨著溫度不斷的上升，整個結構開始扭曲變形，如再繼續升溫，核子燃料束及周遭的各種材質進而融合並開始陸續掉入壓力槽底部，接著壓力槽底部受熱影響，金屬材料有可能會產生變形，嚴重甚至會熔穿裂開，整個實驗過程觀測隨著溫度上升的各種變化並進行破壞分析。

同樣的實驗也可用於模擬用過核子燃料存放在燃料池，因失水事故所造成的影響，有可能最後會熔穿燃料池底部的金屬襯墊（Liner）；這些實驗均屬於實體模擬的破壞實驗，因此每次實驗所需的經費，解說人員說有時會高至數百萬美元。

結束第一站的參訪後接著驅車至第二站核能組件加能測試，此站主要是以戶外說明為主，首先是陳列的十餘座反應爐壓力槽底部的縮小尺寸實體模型，擺放的方式為上下顛倒，這些都是經過上述第一站模擬不同事故實驗的結果，底部有的稍微變形，有的很明顯可以看到龜裂，有的產生裂縫，更嚴重的底部翻開一個大洞，各式各樣不同的情境造成不同的結果，令人印象深刻。

接著介紹倉庫內擺放的核子燃料束實體模型，這是準備後續實驗使用，對於第一次能近距離接觸的人員，是個非常難得的經驗，經由解說人員的說明，可對核子燃料束建立一些基本知識。

在此同時，遠處有一些實驗設施，解說人員也順道介紹，包括天然氣貯槽溫度測試，聚光型太陽能實驗設施等；幾個天然氣貯槽矗立在遠處，周遭以沙堆包覆，實驗模擬溫度對天然氣貯槽的影響，有時發生爆炸的火光會達數十公尺高；

聚光型太陽能實驗設施雖在遠處，太陽聚光在反射鏡產生的光非常強烈，即使在遠處也能看得非常清楚，令人印象深刻。

下午是第三站技術訓練和展示之旅的參訪，地點則是在 SNL 的全球安全與合作中心（Center for Global Security and Cooperation，簡稱 CGSC），CGSG 內有一間展示中心，展示 SNL 研發領域及成果，展示內容主要是以海報搭配實體或數位媒體，以加深參訪人員的印象，加上解說人員非常詳細的說明每項研發，如圖五，讓每位參訪人員可於最短時間了解 SNL 的轉變及現況。



圖五：展示中心解說

SNL 研發領域包羅萬象，如同前述，除了軍事國防，亦利用其所建立的核心技術拓展至其他領域的應用，展示中心陳列的展示主題包括現場檢查和連續監測（On-site Inspection and Continuous Monitoring）、彈頭監測技術（Warhead Monitoring Technology）、衛星監測（Satellite Monitoring）、地震和超低頻音監測（Seismic and Infrasound Monitoring）、放射性核種和水中音波監測（Radionuclide and Hydroacoustic Monitoring）、國際監測系統（International Monitoring System）、國際核子保防（International Nuclear Safeguards）、作戰防護（Physical Protection - Response）、生物武器管制（Export Control : Biological Weapons and Agents）、核子武器管制（Export Control : Nuclear Weapons）、導彈技術管制（Export Control : Missile Technology）、化學武器管制（Export Control : Chemical Weapons）、高空遙控監測技術國際合作（Overhead Remote Sensing : Tool for International Cooperation）、邊境監測系統（Border Monitoring Systems）、輻射偵檢（Radiation Detection）、嚴重事故和風險評估（Severe Accident/Risk Analysis）、電力系統技術（Power System Technologies）及運輸技術（Transportation Technologies）等。

以下選擇幾項與此行較具關連性項目稍作說明，首先是國際核子保防，現場展示一些核子物料貯存設施安全維護及受車輛攻擊時可延緩或阻止的設施或設備，包含各式各樣的安全圍籬及偵測設備，如圖六，各種延緩或阻斷陸上交通設備，如圖七。

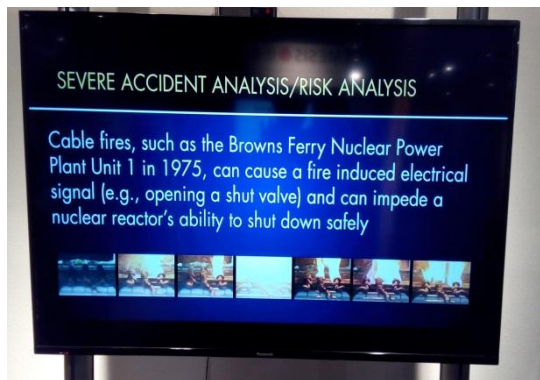


圖六：核子保防安全圍籬及偵測設備

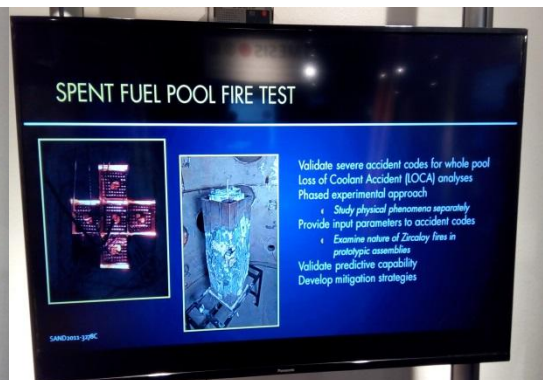


圖七：核子保防延緩阻斷設備

嚴重事故和風險評估，核能電廠各種嚴重事故模擬實驗並評估其可能造成的風險，用以改善提升安全及修訂管制法規，例如 1975 年 Browns Ferry 核電廠一號機，因電纜燃燒引起火災警報且可能造成反應器無法安全停機事故，如圖八；用過核子燃料池耐火試驗，模擬失水事故，池內貯存的使用過核子燃料溫度開始不斷的上升，對用過核子燃料、貯存隔架及池體，所造成的一連串影響及結果，如圖九，至於用過核子燃料束因溫度升高，結構變形甚至熔毀的實驗結果，如圖十所展示；在此項目也展示爐心熔毀實驗，反應器壓力槽底部所可能造成的結果，如圖十一所展示，一個反應器壓力槽底部縮小模型已變形並產生裂縫。



圖八：電纜耐火試驗



圖九：用過核子燃料池耐火試驗



圖十：核子燃料束實驗結果



圖十一：反應器壓力槽底部實驗結果

上午在 SNL 試驗廠區有看到運輸容器墜落與貫穿實驗設施，展示間也展示了運輸技術，如圖十二，發展貯存和運輸的容器，經由實驗、分析及法規等多方面互相配合，建立並應用於放射性廢棄物貯存和運輸，現場亦展示容器實體模型經過墜落測試的結果，如圖十三。



圖十二：容器墜落試驗



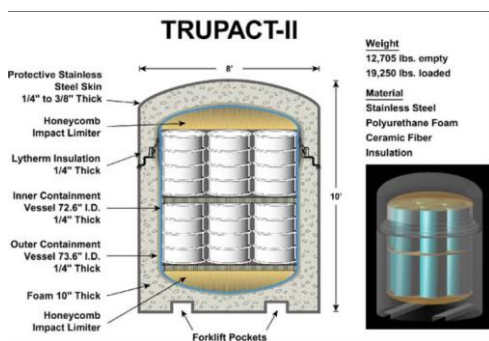
圖十三：容器墜落實驗結果

最後展示亦陳列一塊廢棄物隔離示範工廠（Waste Isolation Pilot Plant，簡稱 WIPP）廠址的鹽礦標本，代表 WIPP 廠址的地質特性，如圖十四，WIPP 是位於新墨西哥州卡爾斯巴德城（Carlsbad）外奇華胡安沙漠，主要任務是接收國防相關與 NRC 豁免管制計畫所產生放射性廢棄物安全處置驗證，SNL 許多的研發都應用在 WIPP，例如超鈾廢棄物運送器（Transuranic Package Transporter，簡稱 TRUPACT），TRUPACT 可使用鐵路或公路方式運輸，TRUPACT-II 型式運送器其示意圖及公路運輸，如圖十五及圖十六。

經由 SNL 技術參訪，能了解其任務需求及研發多面性，尤其核能領域研發及需求密切結合，技術均能落實應用。



圖十四：WIPP 場址鹽礦標本



圖十五：TRUPACT-II 示意圖



圖十六：TRUPACT-II 公路運輸

(圖十五 檢自: [http://www.nukewatch.org/wipp/WIPP/trupact\\_ii.html](http://www.nukewatch.org/wipp/WIPP/trupact_ii.html) ; 圖十六 檢自: [http://www.wipp.energy.gov/Photo\\_Gallery/Images/Transportation\\_photos/Truck2.jpg](http://www.wipp.energy.gov/Photo_Gallery/Images/Transportation_photos/Truck2.jpg) )

### 三、心得：

本次參加「2016 台美民用核能合作會議」、並參訪洛斯阿拉莫斯國家實驗室 (LANL) 與桑迪亞國家實驗室 (SNL) 相關設施之心得可歸納下列六項：

- (一) 本次相當榮幸能有此機會與原能會、放射性物料管理局、國立清華大學、台灣電力公司及駐美代表處等單位之頂尖翹楚的專家同行，參與 2016 台美民用核能合作會議。本次會議，透過事前妥適的分工與規劃，台美雙方代表皆能有效率達成共識，並於現場完成分組結論報告，顯見預備工作十分重要，且相當重要的是展現本所團隊的默契，本報告順利付梓，來自於本所與參訪團隊(原能會、放射性物料管理局、

國立清華大學、台灣電力公司及駐美代表處)之合作貢獻而完成，於此獻上至誠的感謝之意。

- (二) LANL 發展的中子符合計測技術，係利用高偵測效率的中子偵測器組，藉由量測中子進而推算出物料中的自發分裂數，再從中判定物料的量，由於它不是簡單的量測中子的量，而是量測相鄰兩中子訊號的時間關係，因此其量測結果幾乎不受 $(\alpha, n)$ 反應的影響，亦即可剔除物料中的雜質干擾，量測的結果可直接反應出核分裂數而不是中子數，目前此類產品亦受 IAEA 採用，做為國際核物料檢查之用。
- (三) LANL 發展中的微晶片低溫卡計加馬能譜儀對比於一般熟知的純鍺偵檢器而言，純鍺偵檢器它是利用加馬射線在鍺晶體中形成的電子與電洞作為訊號來源，而微晶片低溫卡計加馬能譜儀，則是利用加馬射線在晶片中的能量沈積作為訊號源，此晶片是微米等級，於極低溫下操作，收集及分析每一次與加馬射線作用時，晶片的溫度變化，進而得出每一次作用，加馬射線傳遞給晶片之能量，經過將訊號累積後形成加馬能譜，此項技術使其加馬能峰寬度約是純鍺偵檢器的 1/10。由於 Pu、U 等核種釋放的加馬射線能量多且複雜，一般的鍺偵檢器解析度不足，無法清楚分辨出各加馬能量，使用微晶片低溫卡計加馬能譜儀則可有效解決此問題。
- (四) 中子量測是核子保防的主要量測方法之一，其中以 He-3 氣體為主的比計數器是最為廣泛使用的高效率中子偵測器，但近年 He-3 日益稀少，價格日昂，LANL 正設計新的中子偵測器組用於中子符合計測技術，其偵檢器組是以 B-10 原子及一般的比例計數器氣體（如 P10 : 10 % CH<sub>4</sub> + 90 % Ar）取代 He-3 氣體，可大幅降低中子符合計測偵檢器組的建置成本。
- (五) 核子保防業務目的是要嚴格監督核子物料，建立精確之核子物料料帳，禁止核武擴散，確保原子能和平用途。核子保防度量技術可以進而支援放射性廢棄物營運管理，未來在進行電廠除役及建立放射性廢棄物處置場時，需對包件進行表面劑量測量，配合蒙地卡羅程式計算包件核種及活度，決定廢棄物的分類。國內宜與國際先進實驗室，例如 LANL，建立良好合作管道，引進先進技術，提升國內放射性廢棄物包件量測及分析的能力。
- (六) 美國國家衛生研究癌症研究中心 Dr. Capala 於本(2016)年 11 月已蒞台訪問核醫研發相關單位，包括核研所。雖然本次台美會議未能與 Dr. Capala 碰面再續情誼，但雙方已建立友好關係與奠定互動基礎，對於未來核研所的新穎藥物與醫材研發上的實習、進修或參訪活動，無不提供一與美國衛生署（FDA）或國家衛生研究院（NIH/NCI）之優質連繫管道。

#### 四、建議事項

本次參加「2016 台美民用核能合作會議」、並參訪洛斯阿拉莫斯國家實驗室(LANL)與桑迪亞國家實驗室(SNL)相關設施之建議事項，包括：

### （一）積極與美方合作，建立燃料池底泥安定化及核物料監測與分析的最佳化技術

目前本所正進行燃料池底泥的安定化與物料分析作業，由於底泥組成複雜且不均勻，以現行的 BPCC 量測技術需配合大量的化學取樣分析，才能評估雜質對中子量測的干擾貢獻，進而對安定化產物進行物料含量分析；LANL 雖認為採用中子符合計測技術，將可省去大量的化學分析時間與成本，以較為簡便的方式直接對安定化產物進行物料含量分析，仍建議本所，將進行中的燃料池底泥安定化與物料分析作業現況與 IAEA 做溝通，以既有資源及核物料管理角度考量，先與 IAEA 就核物料量測技術方法達成共識後，選用最適合的方法完成燃料池底泥的物料分析作業，必要時，在時程、經費、未來應用性等因素考量下，可透過 LANL 策略夥伴計畫，於核研所建立 NCC 技術。

### （二）關切美國核能技術發展動態與趨勢，拓展台美民用核能合作項目議題。

本國政府已積極朝向非核家園目標前進，站在國際趨勢觀察與國家安全的高度，持續精進核能技術研究以維護核能安全，直至停止運轉時點，是身為國家實驗室的本所，至關重要的角色與任務。以科學研究的角度來說，美國核能技術發展動態與趨勢，不斷朝向意外容錯的燃料、進步型反應器、小型模組化反應器、放射性廢棄物深孔處置等研究方向推進。比較台美雙方之技術進展與未來發展方向，本國更需藉由此項合作計畫，來建立或精進所需之相關技術，同時可以合作模式尋求解決問題之可能方案，應積極關切與收集相關資訊與研發成果，並持續重視台美民用核能合作，以作為本國長程發展之規劃參考。

### （三）重視台美民用核能合作傳承，穩定世代接班人才，以達到長遠經營利基。

綜觀本次議題討論的過程，可發現美方多展現正向的合作意願，且主動提出可能的訓練與交流的機會（包括雙方或多方形式之活動）；台美雙方均明確規劃明年度之合作議題與項目。但由這次台美出席與會專家成員來看，不難發現新成員的投入，顯示世代傳承（包括人脈的經營與合作經驗交流）的必要性與迫切性。此外，各項提出合作需求的項目，宜於會議前先將需求知會駐美副組長趙衛武博士，可及早邀請適合答覆或聯絡的美方代表出席，故建議各合作項目培育世代接班人才，並與駐美代表處以及台美與會專家緊密聯繫，藉由會議、訓練規劃等訊息，掌握時機以持續相關合作議題，進而擴大與提升技術合作之成效。

## 五、附 錄 無