

出國報告（出國類別：開會）

2018年台美民用核能合作會議出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：郭宛宜 助理工程師

蕭憲明 副研究員

廖俐毅 研究員

林家德 研究員

李崙暉 副研究員

派赴國家/地區：美國南卡羅萊納州艾肯郡

出國期間：107年11月3日~107年11月10日

報告日期：107年12月18日

摘要

2018 年台美民用核能合作會議(TECRO-AIT Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation ; JSCCNC Meeting)，於 11 月 3 日至 10 日假美國南卡羅萊納州艾肯郡薩凡納河國家實驗室(Savannah River National Laboratory ; SRNL)舉行，核能研究所核管技支中心廖俐毅主任等共五人，隨同原能會王重德處長組成參訪團前往與會。會議召開後，核管技支中心廖俐毅主任、核工組林家德副組長、工程組李崙暉副組長、化工組蕭憲明副研究員與同位素組助理工程師郭宛宜等五人並於 11 月 7 日訪問參訪薩凡納河國家實驗室相關設施。

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、放射性物料管理局及核能研究所等五個單位計 17 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、國家核子保障局(NNSA)、美國在台協會台北辦事處(AIT)、SRNL、桑迪亞國家實驗室(SNL)與阿崗國家實驗室(Argonne National Laboratory ; ANL)等單位計 14 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 10 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，建立相關技術；(二)重視人才培育，建立雙方實質合作管道；(三)重視台美民用核能合作會議經驗傳承；(四)關注國際核能技術發展趨勢；(五)推廣核研所研發能量；(六)汲取國際經驗，作為研發的借鏡。

關鍵字：台美民用核能合作會議、核電廠除役、廢棄物管理

目 次

| | |
|--|-----|
| 摘 要..... | I |
| 目 次..... | II |
| 圖目錄..... | III |
| 表目錄..... | IV |
| 一、目的..... | 5 |
| 二、過程..... | 5 |
| (一)行程及工作摘要..... | 5 |
| (二)台美民用核能合作會議議程..... | 8 |
| 1. 開幕致辭..... | 12 |
| 2. 議題介紹與討論(5 項)..... | 13 |
| 3. 議題介紹與討論(2 項)..... | 22 |
| 4. 議題介紹與討論(4 項)..... | 27 |
| 5. 分組討論(Group Discussion I、II、III、IV)..... | 33 |
| 6. 閉幕致辭..... | 38 |
| (三)參訪 Savannah River 國家實驗室..... | 40 |
| 1. SRNL 介紹..... | 40 |
| 2. SRNL 參訪過程..... | 41 |
| 三、心得..... | 47 |
| 四、建議事項..... | 49 |

圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1 薩凡納河國家實驗室位置圖..... | 11 |
| 圖 2 SRNL 實驗室副所長 Sharon Marra 致歡迎詞..... | 12 |
| 圖 3 原能會王重德處長致詞..... | 12 |
| 圖 4 國務院核能資深顧問 Alex Burkart 致詞..... | 13 |
| 圖 5 美國能源部/核能辦公室 Loren Friedel 簡報..... | 14 |
| 圖 6 美國目前運轉中之核能設施..... | 14 |
| 圖 7 原能會吳明哲副研究員簡報原子能委員會管制現況..... | 15 |
| 圖 8 美國 Sandia 國家實驗室 Kevin McMahon 簡報美國用過核子燃料貯運之研發 | 17 |
| 圖 9 用過核子燃料護箱之運送測試路線..... | 18 |
| 圖 10 美國 SRNL 的 Mike Serrato 簡報核子設施停機及除役創新解決方案..... | 19 |
| 圖 11 SRNL 發展之輻射 mapping 技術(SRNL GrayQb™ Radiation Mapping)..... | 20 |
| 圖 12 SRNL 研發之耐輻射聚合物及傳統 PE 袋經輻射後老化之情況..... | 20 |
| 圖 13 市售發泡材料測試其阻擋輻射能力..... | 21 |
| 圖 14 核研所蕭憲明副研究員簡報核研所研究發展現況..... | 21 |
| 圖 15 美國核管會 Mary Jane Ross-Lee 簡報美國核管會核能管制活動..... | 23 |
| 圖 16 核管會審查用過核子燃料貯存執照框架..... | 25 |
| 圖 17 原能會龔繼康科長簡報台灣核安及除役管制現況..... | 26 |
| 圖 18 清華大學施純寬教授簡報..... | 28 |
| 圖 19 美國能源部/國家核子安全總署 Jason Padilla 簡報..... | 30 |
| 圖 20 原能會賴佳琳技士簡報..... | 31 |
| 圖 21 美國能源部/國家核子安全總署 Robert Rudich 簡報..... | 32 |
| 圖 22 各分組討論實景..... | 38 |
| 圖 23 晚宴台美雙方代表互贈禮物..... | 39 |
| 圖 24 台美 2018 民用核能合作會議與會者合影..... | 39 |
| 圖 25 Savannah River Site (SRS)位置及其對應之區域分佈..... | 44 |
| 圖 26 (a) P Reactor 外觀(與 R Reactor 相似)；(b)及(c)為 P Reactor 現場除役(ISD， In-Situ Decommissioning)前、後之剖面圖..... | 45 |
| 圖 27 台方公差人員於 Savannah River 國家實驗室合影..... | 46 |

表目錄

| | |
|-----------------------------|----|
| 表 1 台方與會人員名單及所屬單位..... | 6 |
| 表 2 美方與會人員名單及所屬單位..... | 7 |
| 表 3 赴美公差行程表 | 7 |
| 表 4 2018 台美民用核能合作會議議程 | 8 |
| 表 5 參訪 SRNL 行程..... | 42 |

一、目的

台美民用核能合作會議緣起自民國 73 年(西元 1984 年)10 月 03 日,台美雙方於台北簽署「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」,自此以來,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。34 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。合作項目著重在核能領域,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議題。

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、管制現況與未來規劃方向藍圖外,經由本次定期召開的會議,更加建立雙方官員在核能專業領域之互動交流與情誼,對於未來加強雙邊推展核能技術合作、提昇國內核能安全作業及促進核能和平應用,將有極大地助益。

二、過程

(一)行程及工作摘要

本次「2018 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)轄下之薩凡納河國家實驗室(SRNL)負責承辦。由行政院原子能委員會(以下稱原能會)王重德處長率團(成員包含原能會、放射性物料管理局、核能研究所、國立清華大學及駐美代表處等五個單位代表),計 17 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 14 人出席(此次台方及美方參加人員名單及所屬單位如**錯誤! 找不到參照來源**。及所示);會中雙方除交換過去一年來在核能電廠營運與管制、核廢棄物管理、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。

本次公差期間為 107 年 11 月 3 日至 11 月 10 日共計 8 天，核研所公差人員共有五位：核管技支中心廖俐毅主任、核工組林家德副組長、工程組李崙暉副組長、化工組蕭憲明副研究員與同位素組郭宛宜助理工程師。主要行程為參加 2018 台美民用核能合作會議，進行雙方議題簡報及四個合作議題討論，並參訪薩凡納河國家實驗室(SRNL)相關設施，此次公差行程如**錯誤! 找不到參照來源**。所示。

表 1 台方與會人員名單及所屬單位

| 姓名 | 單位 | 職稱 |
|-----|----------------|-------|
| 王重德 | 原能會綜合計畫處 | 處長 |
| 賴弘智 | 原能會綜合計畫處 | 科長 |
| 吳明哲 | 原能會綜合計畫處 | 副研究員 |
| 龔繼康 | 原能會核能管制處 | 科長 |
| 余福豪 | 原能會核能管制處 | 技士 |
| 高熙玫 | 原能會輻射防護處 | 副處長 |
| 蔡親賢 | 原能會輻射防護處 | 科長 |
| 黃俊源 | 原能會核能技術處 | 副處長 |
| 賴佳琳 | 原能會核能技術處 | 技士 |
| 陳文泉 | 原能會放射性物料管理局 | 副局長 |
| 廖俐毅 | 原能會核能研究所 | 研究員 |
| 林家德 | 原能會核能研究所 | 研究員 |
| 李崙暉 | 原能會核能研究所 | 副研究員 |
| 蕭憲明 | 原能會核能研究所 | 副研究員 |
| 郭宛宜 | 原能會核能研究所 | 助理工程師 |
| 喬凌寰 | 駐美代表處科技組 | 副組長 |
| 施純寬 | 清華大學核子工程與科學研究所 | 榮譽教授 |

表 2 美方與會人員名單及所屬單位

| Name | Affiliation | Title |
|--------------------|--|--------------------|
| Alex Burkhart | U.S. Department of State / NESS | Head of Delegation |
| Kyler Turner | U.S. Department of State / NESS | Delegate |
| Jonathan Parker | U.S. Department of State / NESS | Delegate |
| Loren Friedel | U.S. Department of Energy / NE | Delegate |
| Paul Dickman | DOE / Argonne National Laboratory | Delegate |
| Kevin McMahon | DOE / Sandia National Laboratory | Delegate |
| Jason Padilla | DOE / Sandia National Laboratory | Delegate |
| Mary Jane Ross-Lee | U.S. Nuclear Regulatory Commission | Delegate |
| Maureen Conley | U.S. Nuclear Regulatory Commission | Delegate |
| Robert Rudich | National Nuclear Security Administration | Delegate |
| Ann Heinrich | National Nuclear Security Administration | Delegate |
| Jill Zubarev | National Nuclear Security Administration | Delegate |
| Jared (Kirk) Czap | National Nuclear Security Administration | Delegate |
| Charley Yu | DOE / Argonne National Laboratory | Delegate |

表 3 赴美公差行程表

| 日期 | 行程 | 行程說明 | 住宿地 |
|-----------------------|-------------------|---|-----|
| 11/3 (六) | 桃園→美國夏洛特機場 | 1. 啟程 2. 我方預備會議及團員意見交流 | 夏洛特 |
| 11/4 (日) | 美國夏洛特→奧古斯塔 | 會前討論及資料整理 | 艾肯 |
| 11/5 (一) | 2018 台美民用核能合作會議 | 1. 台美雙方議題簡報 2. 分組討論(Group I、II、III、IV) | 艾肯 |
| 11/6 (二) | 2018 台美民用核能合作會議 | 分組討論(Group I、II、III、IV) | 艾肯 |
| 11/7 (三) | 參訪薩凡納河國家實驗室(SRNL) | 參訪薩凡納河國家實驗室反應器除役 幾廢棄物處理等設施 | 艾肯 |
| 11/8- 11/10 (四) | 美國奧古斯塔機場→桃園 | 搭機返台 | -- |

(二)台美民用核能合作會議議程

2018 台美民用核能合作會議日期為 2018 年 11 月 5 日至 2018 年 11 月 7 日，假艾肯郡薩凡納河場址(Savannah River Site, Aiken, SC 29808)舉行(相對位置如圖 1 所示)，由能源部(DOE)轄下之薩凡納河國家實驗室(SRNL)承辦，協辦單位為美國國務院(DOS)、能源部(DOE)、核安管理局(NNSA)、核能管制委員會(NRC)。參加之單位除上述主辦及協辦單位外，尚包括台灣的原能會、放射性物料管理局、核能研究所、國立清華大學及駐美代表處等五個單位，共三天之議程安排如**錯誤!**找不到參照來源。所示。

表 4 2018 台美民用核能合作會議議程

| 時間 | 發表內容 |
|---------------|--|
| 第一天 | |
| 8:30 - 9:00 | Meeting Check-in |
| 9:00 - 9:45 | 開幕致詞 1. 薩凡納河國家實驗室副所長 Sharon Marra 2. 原能會王重德處長 Department of Planning 3. 國務院核能資深顧問 Dr. Alex Burkart |
| 9:45 - 10:00 | 中場休息 |
| 10:00 - 12:30 | 簡報 (30 min each) 1. DOE/NE Presentation - Moving Forward: U.S. Civil Nuclear Energy & International Research and Development Engagement, Loren Friedel, DOE/NE 2. AEC Presentation - Update of Atomic Energy Council's Activities, Ming-Zhe Wu, Associate Researcher, Department of Planning, AEC 3. DOE Presentation - U.S. DOE Spent Nuclear Fuel Storage & Transportation R&D Activities, Kevin McMahon, Manager, Nuclear Waste Disposal Research and Analysis, SNL 4. SRNL Presentation - Excess Assets -Nuclear Facility Deactivation & Decommissioning Innovative Solutions, Mike Serrato, SRNL 5. INER Presentation - Update of Current Major Research Activities at INER and Path Forward, Hsien-Ming Hsiao, Associate Researcher, INER |

| 時間 | 發表內容 |
|---------------|--|
| 12:30 - 13:40 | 午餐 |
| 13:40 - 14:40 | 簡報 (30 min each) <ol style="list-style-type: none"> 1. NRC Presentation - Recent NRC Regulatory Activities in 2018, Mary-Jane Ross Lee, Deputy Director, Division of Licensing Projects, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC 2. AEC Presentation - Update of Safety Regulations on Operating and Decommissioning NPPs in Taiwan, Jec-Kong Gone, Section Chief, Department of Nuclear Regulation, AEC |
| 14:40 - 15:00 | 中場休息 |
| 15:00 - 16:15 | 簡報 (25 min each) <ol style="list-style-type: none"> 1. TECRO Presentation - NUREG/IA Reports Contributed by NTHU in 2018, Chunkuan Shih, Professor Emeritus, Institute of Nuclear Engineering and Science, NTHU 2. NNSA Presentation - SE Asia Exercise Development Workshop, Jason Padilla 3. AEC Presentation - Overview of Current Nuclear Emergency and Response Mechanism on Public Protection Actions, Chia-Lin Lai, Associate Technical Specialist, Department of Nuclear Technology, AEC 4. NNSA Presentation- Risk and the Economic Impacts of a Radiological Dispersal Device (RDD), Robert Rudich |
| 16:15 - 16:55 | 分組討論 |
| | Group 1: Reactor Regulation and Regulatory Research Co-Chairs: <u>Mary Jane Ross-Lee</u> , Deputy Director, Division of Licensing Projects, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC <u>Jec-Kong Gone</u> , Section Chief, Department of Nuclear Regulation, AEC |
| | Group 2: Waste Management and Environmental Restoration Co-Chairs: <u>Kevin McMahon</u> , Manager, Nuclear Waste Disposal Research and Analysis, SNL <u>Wen-Chuan Chen</u> , Deputy Director General, Fuel Cycle and Materials Administration, AEC |
| | Group 3: Nuclear Science, Technology and Safeguards Co-Chairs: <u>Robert Rudich</u> , NNSA <u>Jyh-Der Lin</u> , Researcher & Director, INER |
| | Group 4: Emergency Management |

| 時間 | 發表內容 |
|---------------|---|
| | Co-Chairs: <u>Jason Padilla</u> , SNL <u>Kirk Czap</u> , Emergency Management Specialist, Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation, NNSA <u>June-Yuan Huang</u> , Deputy Director General, Department of Nuclear Technology, AEC |
| 第二天 | |
| 8:35 | Group Photo |
| 8:35 - 10:40 | 分組討論 |
| | Group 1: Reactor Regulation and Regulatory Research Co-Chairs: <u>Mary Jane Ross-Lee</u> , Deputy Director, Division of Licensing Projects, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC <u>Jec-Kong Gone</u> , Section Chief, Department of Nuclear Regulation, AEC |
| | Group 2: Waste Management and Environmental Restoration Co-Chairs: <u>Kevin McMahon</u> , Manager, Nuclear Waste Disposal Research and Analysis, SNL <u>Wen-Chuan Chen</u> , Deputy Director General, Fuel Cycle and Materials Administration, AEC |
| | Group 3: Nuclear Science, Technology and Safeguards Co-Chairs: <u>Robert Rudich</u> , NNSA <u>Jyh-Der Lin</u> , Researcher & Director, INER |
| | Group 4: Emergency Management Co-Chairs: <u>Jason Padilla</u> , SNL <u>Kirk Czap</u> , Emergency Management Specialist, Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation, NNSA <u>June-Yuan Huang</u> , Deputy Director General, Department of Nuclear Technology, AEC |
| 10:40 - 10:50 | 中場休息 |
| 10:50 - 12:00 | 分組討論(續) |
| 12:00 - 13:00 | 午餐 |
| 13:00 - 14:00 | 分組討論(續) |
| 14:00 - 16:00 | 總結會議及閉幕致詞 |

| 時間 | 發表內容 |
|-----|---|
| 第三天 | 薩凡納河國家實驗室(Savannah River National Laboratory, SRNL)參訪 |

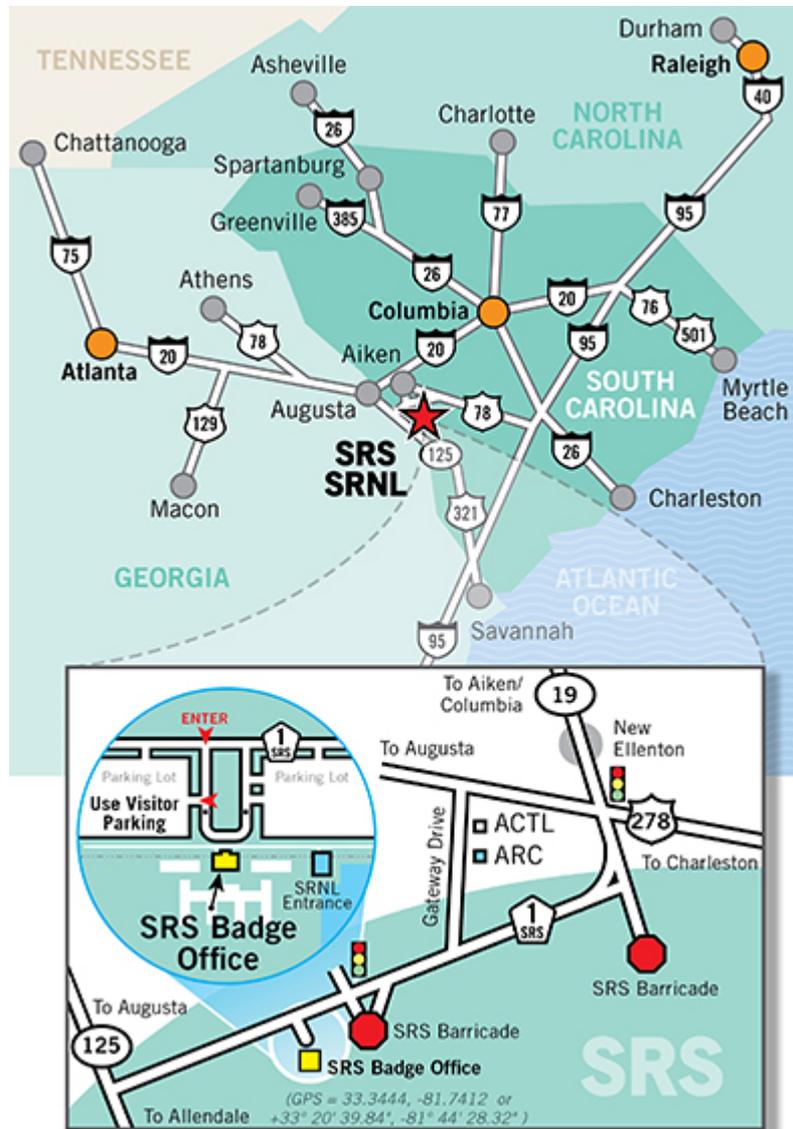


圖 1 薩凡納河國家實驗室位置圖[參考：Savannah River National Laboratory Homepage, <https://srnl.doe.gov/>]

會議流程及各時程之內容摘錄如下：



圖 2 SRNL 實驗室副所長 Sharon Marra 致歡迎詞

1. 開幕致辭

先由美方 SRNL 副所長 Sharon Marra 開場，簡介 SRNL 的現況與致歡迎詞(圖 2)，接著由原能會王重德處長致詞(圖 3)，向美方辦理此次台美民用核能合作會議表達感謝，期望會議圓滿舉行，最後由國務院核能資深顧問 Alex Burkart 博士致詞(錯誤! 找不到參照來源。)，期望雙方能藉由交流開創更多合作機會；接著請兩邊所有與會者進行自我介紹，說明來自何單位及其負責之工作項目，才開始各特定議題之簡報。



圖 3 原能會王重德處長致詞



圖 4 國務院核能資深顧問 Alex Burkart 致詞

2. 議題介紹與討論(5 項)

(1)美國核能與國際研發參與之未來展望

Moving Forward: U.S. Civil Nuclear Energy & International Research and Development Engagement，美國能源部/核能辦公室(DOE/NE)，Loren Friedel

簡報摘要：

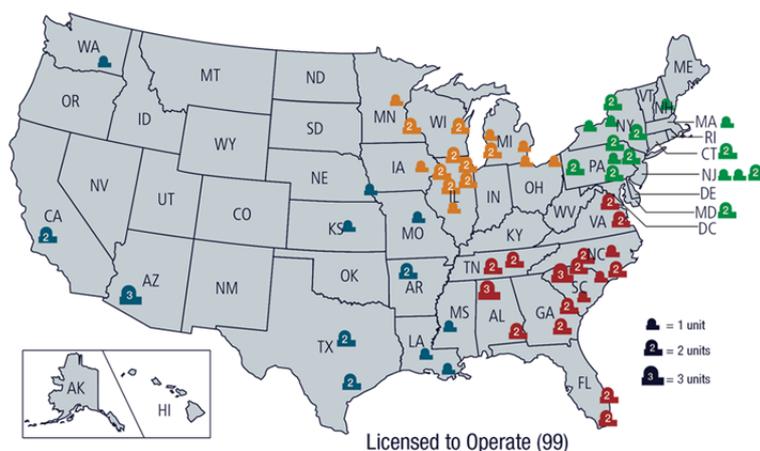
本簡報由美國能源部核能辦公室 Loren Friedel 女士簡報(圖 5)，首先提到目前美國之能源政策將核能視為乾淨能源之選項，因此美方除了維持現有核能科技優勢外，亦將致力於解決核廢料、再處理等衍生之問題。美國目前兩黨對於核能均表示支持態度，並支持進步型反應器研發、相關研究及基礎設施的更新。DOE 下轄的核能辦公室在此前提下，除致力於維持現有優勢外，亦投入進步型反應器及核燃料循環的相關工作。核能目前提供美國 20%的能源供給，有 31 個州擁有核電廠，目前有 98 座機組，統計其及分佈如圖 6 所示。目前在進步型反應器和和燃料循環研究方面，有四個重點：確保安全卻不增加資金、多元的應用、能夠量化、透過更先進的燃料使用來解決核廢料處置問題等。

接著 Friedel 女士進一步說明進步型反應器(Advanced Reactors)、核燃料循環



圖 5 美國能源部/核能辦公室 Loren Friedel 簡報

研究計畫(Fuel Cycle R&D Program)以及目前 DOE 與大學的共同研究計畫 (Nuclear Energy University Program, NEUP 與 Integrated University Program, IUP)。DOE 亦致力於相關國際合作，以促成其對民用核能科技和平應用的願景，並擴大美國核能產業的市場、有效應用研發資金、對抗氣候變遷與確保能源安全，且以此強化相關地緣政治。在現任能源部部長 Rick Perry 的推動下，DOE 致力於將核能納入乾淨能之中，而有了 NICE (Nuclear Innovation: Clean Energy Future) 倡議。DOE 的國際核能政策及合作辦公室 (Office of International Nuclear Energy



- Nuclear energy provides about 20% of U.S. electricity
- Nuclear runs at full capacity 93% of the time
- 31 states have nuclear reactors
- The U.S. has 98 of the world's 453 commercial nuclear reactors.

圖 6 美國目前運轉中之核能設施

Policy and Cooperation)主要負責國際核能安全事務的合作、相關安全評估等，並透過整合相關研究資源與成果應用，以及與其他相關機構合作來完成其任務。

最後總結，核能對於美國來說仍具一定重要性，將其視為乾淨且可靠的能源，並持續投入相關研發以確保核能使用更安全及更多元。

(2)原子能委員會管制現況

Update of Atomic Energy Council's Activities，原能會綜合計畫處國際事務科，
吳明哲副研究員

簡報摘要：

此簡報由原能會吳明哲副研究員報告(簡報情況如圖 7)，內容分成7個主題，包含台灣 2017 年電力系統統計資料及核能電廠基本資料、核一廠除役管制現況與放射性廢棄物管制、2018 年核安演習、輻射防護與環境監測、民眾溝通、核子保防與國際合作、及政府組織改造等。

簡報第一部分引用了經濟部能源局 2017 年的統計資料，說明我國各電力系統的設置容量及發電量佔比，接著並簡要說明我國核能電廠基本資訊。簡報第二部分首先說明我國非核家園政策及電業法修正，接著說明核一廠除役管制近況，

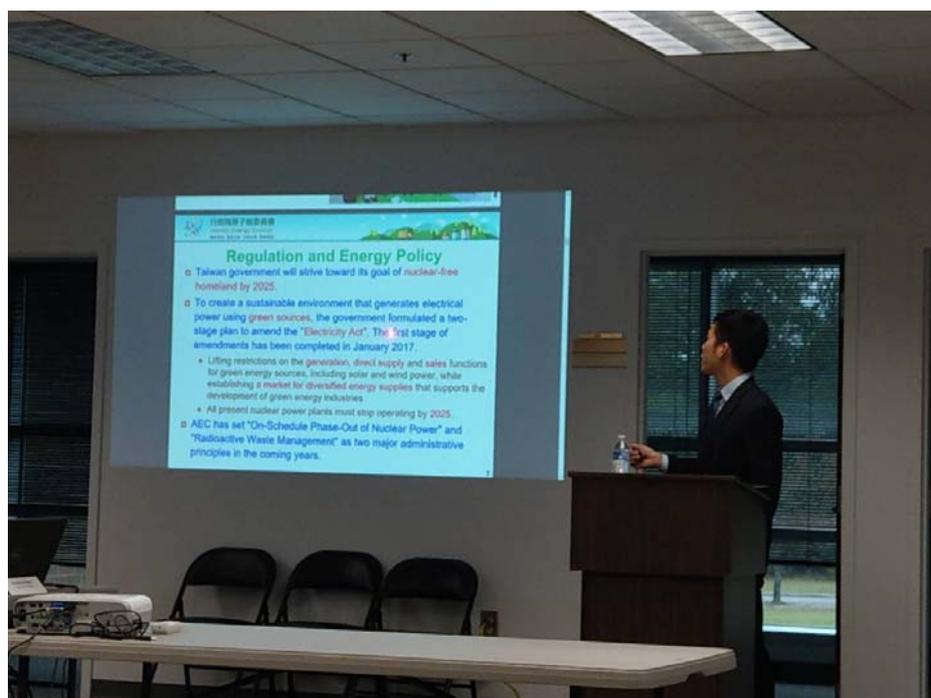


圖 7 原能會吳明哲副研究員簡報原子能委員會管制現況

簡要說明核一廠的除役時程及除役計畫審查，而放射性廢棄物管制的部分，說明我國用過核子燃料的貯存存量、廠內乾式貯存計畫執行現況、低放射性廢棄物廠內存量、蘭嶼貯存場貯存管制現況及未來台電公司將採用之集中式貯存計畫。

針對 2018 年核安演習部分，說明年度核安演習重點，包含：無人機輻射偵測示範演練、無預警抽演項目及週末演練項目等，並展示今年演習活動照片集錦；針對輻射防護與環境監測部分，介紹我國質子治療設施安全管制，以及全國環境監測站設置與今年鄰近核能電廠的量測數據；針對民眾溝通部分，說明原能會與外界溝通媒介及相關文宣資料，並設置公眾溝通平台；接著說明今年有關核二廠燃料廠房護箱裝載池設備修改案、核二廠 2 號機 107 年 3 月 28 日機組急停事件、核子事故民眾防護措施之疏散交通規劃等有關公眾參與平台的活動；在核子保防與國際合作方面，則介紹我國截至 2017 年已連續 12 年獲國際原子能總署(IAEA)認定所有核物料均用於和平用途。最後簡述行政院組織改造相關法案，說明未來原能會組改後之組織變動，以及與核研所之隸屬關係。

(3)美國用過核子燃料貯存及運送之研發

U.S. DOE Spent Nuclear Fuel Storage and Transportations R&D Activities, 桑迪亞國家實驗室(Sandia National Laboratory)核廢料處置研究及分析(Nuclear Waste Disposal Research and Analysis), Kevin McMahon

簡報摘要：

本簡報由來自 Sandia 國家實驗室的 Kevin McMahon 經理簡報(圖 8)，首先介紹一份重要文件「Gap Analysis to Support Extended Storage and Transportation of Spent Nuclear Fuel: Five-Year Delta」，該文件指出研究活動經費支出的優先順序，並指導研究人員如何分配目前及未來的研究重心，該文件出版年為 2014 年，目前正在更新中。接著 McMahon 經理介紹 3 個議題：(1)用過核子燃料完整性(Spent Fuel Integrity)、(2)用過核子燃料於延長貯存後的運輸作業(Spent Fuel Transportability Following Extended Storage)及(3)貯存系統完整性(Storage System Integrity)。



圖 8 美國 Sandia 國家實驗室 Kevin McMahon 簡報美國用過核子燃料貯運之研發針對用過核子燃料完整性的部份，分別就熱分析(Thermal Analysis)、韌性/脆性轉化溫度(Ductile/Brittle Transition Temperatures)，以及強度與金屬疲勞(Strength and Fatigue)等來探討高燃耗護套性能，結果顯示護箱進行裝載時的溫度比想像的還要低(<250°C)，且由於有較低的溫度及較低的燃料棒內部壓力，氫化物重排效應(Reorientation)被認為不會發生，另外，用過核子燃料循環式彎曲試驗(Cyclic Bending Tests)顯示燃料護套性能不會失效。目前 SNL 正與美國電力研究院(EPRI)及 Dominion 能源公司進行高燃耗用過核子燃料試驗計畫，以了解是否會發生氫化物重排效應，確認該效應影響護套強度之關係。該研究團隊模擬同一般護箱所處的條件，藉由該試驗計畫可獲取所需的相關數據，研究團隊相信會導致氫化物重排效應的發生條件不會存在這些已裝載的護箱中。

針對用過核子燃料延續貯存後的運輸作業，Kevin McMahon 介紹「國際替代用過核子燃料多式聯運測試團隊(International Multi-Modal Surrogate Spent Nuclear Fuel Transportation Test Team)」的研究活動，於 2017 年由 Ensa、PNNL 及 SNL 組成之團隊，將燃料護箱內裝載了模擬的用過核子燃料棒與燃料束以及測量儀器，藉由卡車、貨船、及火車等運輸工具，由西班牙載運至美國科羅拉多州普韋布洛郡(Pueblo)，詳細路線如列表及圖 9 所示，共產生 7 TB 的數據資料。

(1) Heavy-haul truck from within Spain (June 14, 2017)

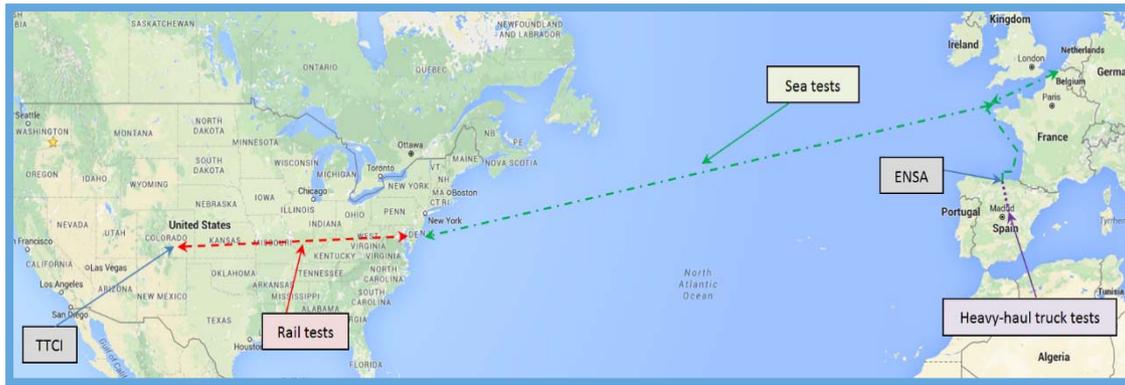


圖 9 用過核子燃料護箱之運送測試路線

- (2) Coastal sea shipment from Santander to large northern European port (June 27)
- (3) Ocean transport from Europe to Baltimore
- (4) Commercial rail shipment from Baltimore to Pueblo, Colorado (Aug 3, 2017)
- (5) Testing completed at the Transportation Technology Center, Inc.
- (6) Return trip to ENSA (September 5, 2017)

初步研究結果顯示，用過核子燃料在正常的操作條件下運送時，衝擊及震動僅會產生非常微小的壓力。另外，橡樹嶺國家實驗室(Oak Ridge National Laboratory, ORNL)亦針對用過核子燃料設計震動試驗，該試驗顯示用過核子燃料在經歷多次的震動後，並不會發生燃料護套效能失效的狀況。

最後一主題為用過核子燃料貯存系統完整性，Kevin McMahon指出304或316不銹鋼材質的密封鋼筒(canister)均有可能發生應力腐蝕劣化(stress corrosion cracking, SCC)，而焊道和熱影響區的微觀結構與成分變化將增加應力腐蝕劣化的可能性。SNL目前正研究應力腐蝕劣化的成因與影響，探討內容包含：(1)評估典型的焊接樣品、(2)評估全尺寸密封鋼桶模型的焊道殘餘應力、(3)評估典型密封鋼桶在製作過程中可能存在的內部應力、(4)評估分析密封鋼桶表面粉塵及(5)密封鋼桶表面鹽水穩定性(brine stabilities)等。

(4)核子設施停機及除役創新解決方案

Excess Assets -Nuclear Facility Deactivation & Decommissioning Innovative Solutions，薩凡納河國家實驗室(Savannah River National Laboratory)環境復育技術團隊(Environmental Restoration Technologies Group)，Mike Serrato

簡報摘要：



圖 10 美國 SRNL 的 Mike Serrato 簡報核子設施停機及除役創新解決方案

本簡報由 SRNL 環境管理委員會(Environmental Stewardship Directorate)環境復育技術團隊的 Mike Serrato 簡報(圖 10)，說明 SRNL 早年發展之核能設施至近年經歷停機、監管及除役歷程，期間伴隨相關之拆除或除污等除役技術發展，包括：除設計畫管制工具(Project planning tools)、特性調查-輻射偵測及照相(In-Process Characterization - Radiation Mapping)、耐輻射聚合物(Radiation Resistant Polymer)、非燃固定劑(Incombustible Fixatives)及 RadFoam 等。

除設計畫管制工具主要發展 3D 相關建模技術，包括使用雷射還原設施模型、利用 3D 列印技術製作設施縮尺模型、建立 3D CAD 模型及建置 3D 虛擬平台(Visualization Platform)等，此部分與核研所近年協助台電公司核一廠及核二廠除役工作，進行的電廠 3D 工程及資料庫建置相似，目的也是要協助除役初始工期之規劃、切割方法採用、設備模擬切割及廢棄物數量估算等方面，具有減少成本及溝通之效果。特性調查工作上，SRNL 發展輻射 mapping 技術，利用其專利技術 GrayQb™ Single Face (SF)設備，找出特定區域或設施之污染熱點(hot spot)，並

將其標示在影像上(如圖 11 所示)，實際使用上可以減少 50%的混凝土刮除及

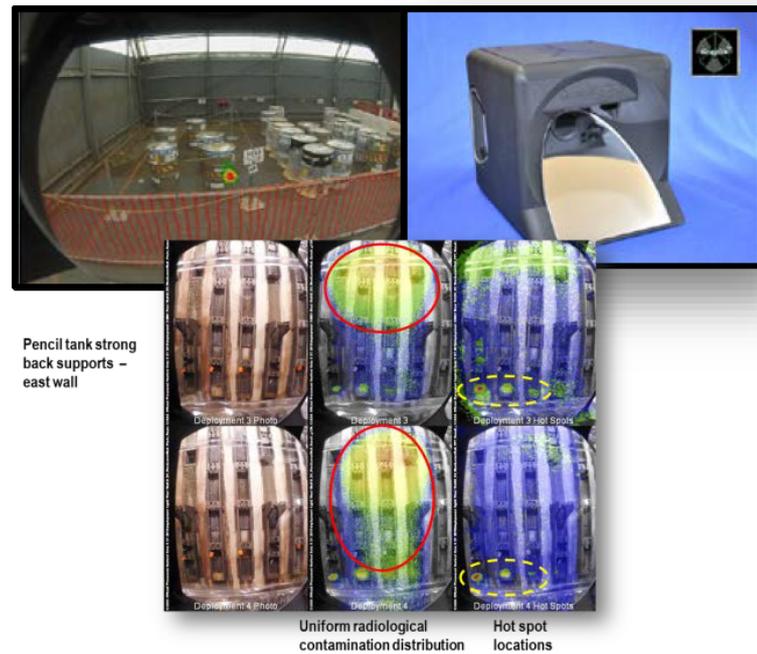


圖 11 SRNL 發展之輻射 mapping 技術(SRNL GrayQb™ Radiation Mapping) 減少工作人員之輻射暴露風險。

另外 SRNL 亦發展耐輻射聚合物(Radiation Resistant Polymer)盛裝袋，目的要取代因 α 核種引起 PE 或 Teflon 盛裝袋之老化(如錯誤! 找不到參照來源。所示)，可以減少貯存袋因老化需要更換之費用及伴隨之工作人員輻射暴露。

非燃固定劑(Incombustible Fixatives)部分，利用市售之非燃材料改良後，可應用在熱室內，主要固定設備之表面污染，目前仍在測試中，測試之項目包含溫度/濕度耐受性、輻射耐受度(5MRad 照射)、附著性(Adhesion)、耐火測試及燃燒後之重量損失(800°F 下之 Mass Loss)等。RadFoam 為發泡材料(圖 13)，開發目的是要做為鬆散污染固定(radiological contamination fixating)、防火(fireproof

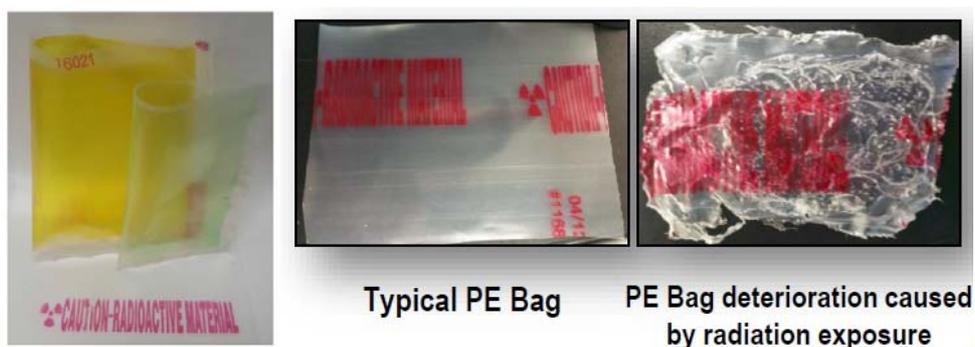


圖 12 SRNL 研發之耐輻射聚合物及傳統 PE 袋經輻射後老化之情況



圖 13 市售發泡材料測試其阻擋輻射能力

barriers)及輻射屏蔽能力(radiological shielding)等，目前尚在開發測試階段，測試項目包括溫度/濕度耐受性、輻射耐受度(5MRad 照射)、輻射屏蔽測試、附著性及機械性質、多層黏著測試(Multi-pour Adhesion)、燃燒後逸氣分析(Off-gas Analysis)、耐火測試及燃燒後之重量損失(800°F 下之 Mass Loss)等。

(5)核研所研究發展現況簡介

Update of Current Major Research Activities at INER and Path Forward，核能研究所
化工組，蕭憲明副研究員

簡報摘要：

介紹核研所研發任務並擇要說明部分研發成果，如**錯誤! 找不到參照來源。**；
簡報者摘要核研所主要三項任務：(一)核能安全(Nuclear safety)、(二)綠色能源
(Green energy)及(三)核醫藥物(Radio-biomedical)等技術之開發、應用與執行成果。



圖 14 核研所蕭憲明副研究員簡報核研所研究發展現況

在核能安全技術方面，內容包括：(1)台灣研究用反應器(Taiwan Research

Reactor, TRR)用過燃料池水清理、(2)TRR 用過燃料安定化及熱室執行現況進度、(3)六氟化鈾(UF₆)與水鍋式核子反應器(Water Boiler Reactor ,WBR)用過燃料安定化、(4)核二廠用過燃料裝載池黑度測試、(5)應用 MELCOR 2.2 於緊急應變分析、(6)台電核電廠除設計畫參與、(7)台電高放處置計畫參與及(8)搭載輻射偵檢器之無人機開發等。

在綠色能源(包含新及再生能源)開發方面，其研發成果包括：(1)配合國家創能、儲能及節能之技術整合、(2)第二代生質能技術開發及商業應用、(3)高聚光太陽光發電模組(High Concentrated Photovoltaic, HCPV)系統開發及商業應用、(4)固態氧化物燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)系統開發及商業應用、(5)液流電池之開發與應用、(6)Microgrid 智慧型微電網示範場域與技術開發、(7)Roll-to-Roll 電漿塗佈技術與應用。

在核醫藥物及核醫材應用技術開發方面，研發成果包括：(1)核研所之核醫藥物應用、(2)核研所具備之主要核醫藥物開發設施(包含 30 MeV 迴旋加速器及核醫藥物研發實驗室)、(3)核研所擁有之 17 張核醫藥物藥證及其應用、(4)正進行臨床試驗之核醫藥物：INER Ga-68 Dolacga 及 INER I-123 MIBG、(5)三維 X 光低劑量放射照影儀系統開發。

除主要任務及研發領域外，亦提及未來面對的組織改造，及非核家園等挑戰及難題，並期許核研所可持續在核能應用領域做為國內之領航者。

3. 議題介紹與討論(2 項)

此段之議題討論，為第一天下午時段第一場，共有兩個項目，如下摘要：

(1)美國核管會 2018 年核能管制活動

Recent NRC Regulatory Activities in 2018，美國核管會核反應器管制處(Office of Nuclear Reactor Regulation，NRC)，Mary Jane Ross-Lee

簡報摘要：

此份簡報由美國核管會執照審查計畫處(Division of Licensing Projects)副處長

Mary Jane Ross-Lee 代表報告(圖 15)，說明 2018 年美國核電廠安全管制狀況。

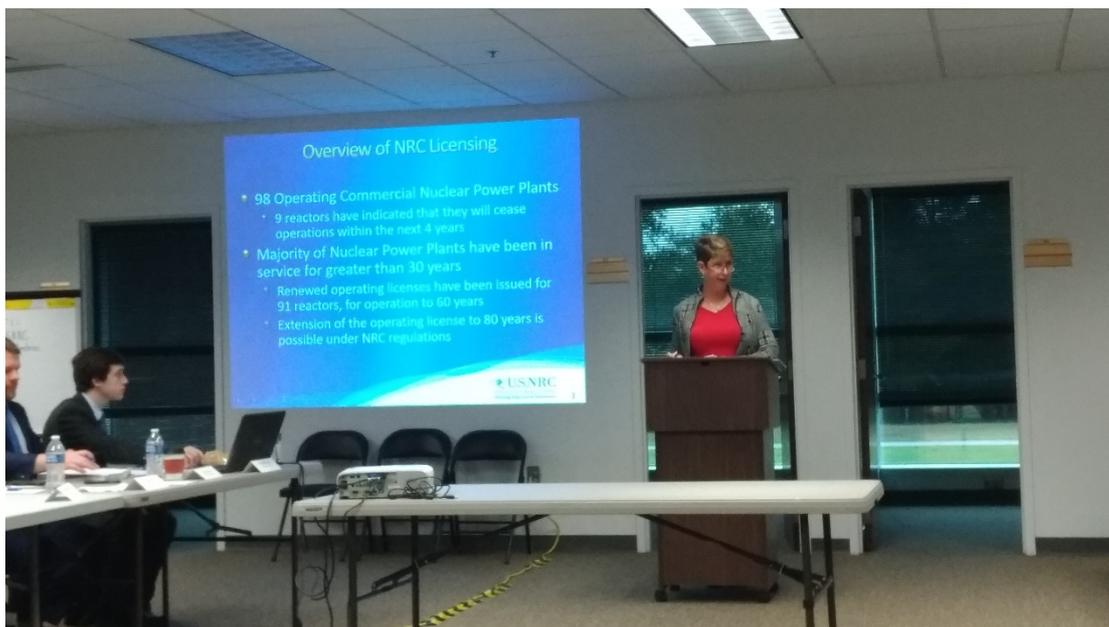


圖 15 美國核管會 Mary Jane Ross-Lee 簡報美國核管會核能管制活動內容包括美國核管會執照審查概述、核能電廠電力系統欠相(Open Phase Condition, OPC)、Anchor Darling Double Disc Gate Valve、Accident Tolerant Fuel、網路視察(Cyber Inspection)、除役法規制定、用過核子燃料貯存執照審查框架及福島事故後核管會與地震有關之活動等議題。

在核管會執照審查概述部份，Mary Jane 提到至 2018 年為止，美國共有 98 部運轉中的核能機組，其中 9 部機組將在未來四年內將停止運轉，大多數的核能機組已運轉超過 30 年，美國 NRC 已核發運轉更新執照給 91 部機組，可持續運轉至 60 年之久，核管會目前正討論延長運轉執照年限至 80 年。

在核能電廠電力系統欠相(OPC)部份，核管會依據 TI 2515/194 文件，於今(2018)年 6 月完成初步視察作業，相關視察報告可於公眾資訊系統(ADAMS)下載，視察結果顯示並沒有發現任何違規及未解決的項目：

River Bend - ML18085B197

Palo Verde - ML18103A157

Byron - ML18138A136

St. Lucie - ML18208A328

Mary Jane 亦提到耐事故核燃料(Accident Tolerant Fuel)，自福島事故後，美國能源部等相關機構便開始積極研發強化核燃料的耐事故能力，計畫相關文件(ML18261A414)亦可由 ADAMS 系統下載。在網路安全視察部份，截至 2018 年 10 月為止，核管會已完成 16 次的視察作業，並提出幾項可改善的部份：

- 關鍵數位資產及系統評估的品質
- 可攜式媒體與移動設備程序的導則
- 持續進行的監測與評估改善之週期性的導則
- 關鍵數位資產評估的附加導則

在除役法規制定的部份，自 2012 年起，美國已陸續有 7 部機組停止運轉，且另有 12 部機組可能亦會在 2018-2025 年間停機，機組停機後將涉及申請執照修訂及法規豁免等議題，美國核管會在 2016 年 10 月發布了經驗回饋報告(Lessons Learned Report)(ML16085A029)。在 SRM-SECY-14-0118 文件中，美國核管會認為在制定除役管制法規時應處理下列議題：緊急應變的分級方法、自最近停機電廠汲取經驗、核管會所核准的停機後除役活動報告、維持現有的三種除役選項及相關期程、聯邦政府、地方政府及非官方利害關係者在除役過程中的角色等。

在用過核子燃料貯存執照審查框架的部份，10 CFR 72 中闡明核管會針對用過核子燃料獨立貯存設施(Independent Spent Fuel Storage Installation, ISFSI)的相關要求，該法規限制首次發給的貯存設施執照為 40 年，經核准更新後可再延長 40 年，而集中式貯存設施(Consolidated Interim Storage Facility, CISF)可視為廠外的 ISFSI 設施。核管會審查用過核子燃料貯存設施的審查框架如下圖 16 所示。目前美國有兩個進行中的集中式貯存計畫，一個位於德州 Andrews 郡，該貯存計畫執照於 2016 年 4 月 28 日由 ISP, LLC 公司提出申請，希望能興建可容納 40,000 MTU 商用用過燃料的集中式貯存設施，核管會預計可在 2020 年 8 月完成執照審查；另一個則位於新墨西哥州 Carlsbad 與 Hobbs 市間，該貯存計畫執照由 Holtec International 公司於 2017 年 3 月 30 日提出申請，希望能興建可容納 100,000 MTU 的集中式貯存設施。

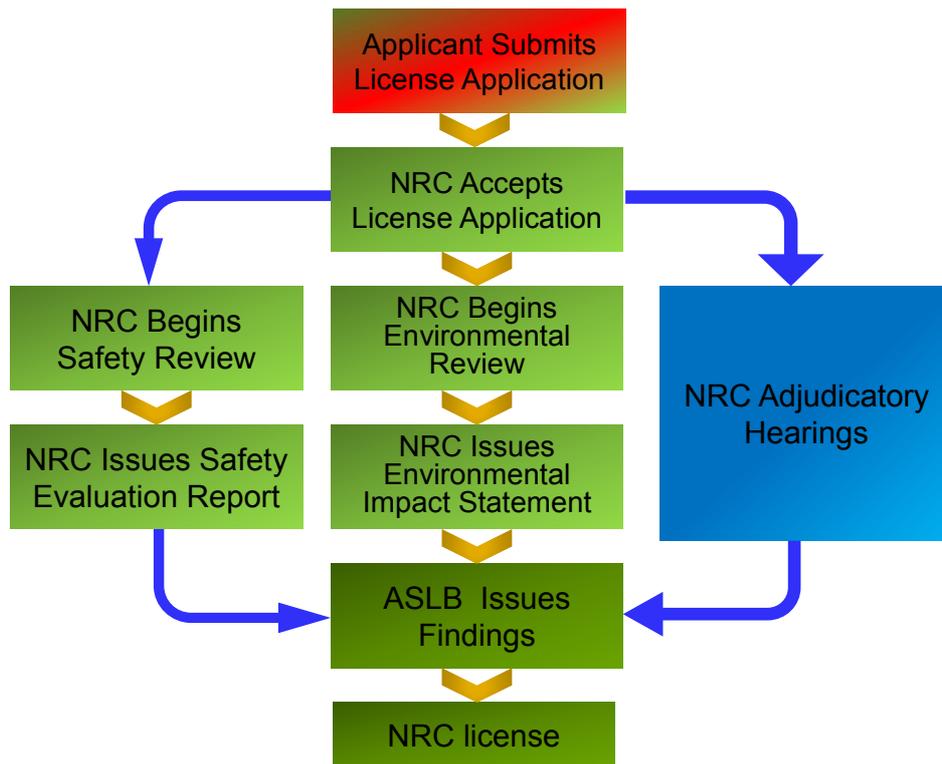


圖 16 核管會審查用過核子燃料貯存執照框架

最後則是福島事故後美國核管會有關地震的活動，Mary Jane 表示有關地震的行動方案目前均依期程進行，包含：

- 2016-2017 年完成地震危害評估
- 2016-2018 年完成 34 件高頻確認(High Frequency Confirmations)
- 2017-2018 年完成 38 件用過核子燃料池評估
- 2017-2019 將持續進行地震機率式風險評估
- 未來第二階段將有管制行動(Regulatory Action)

(2)台灣核安及除役管制現況

Update of Safety Regulations on Operating and Decommissioning NPPs in Taiwan，原能會核能管制處核安督察小組，龔繼康科長

簡報摘要：

本項由原能會龔繼康科長簡報(如**錯誤! 找不到參照來源。**)，主要係介紹2018年我國核能電廠重要安全管制活動及除役管制現況；內容分為五部分，分別為我國核能電廠管制現況介紹、近期核能電廠重要事件、我國辦理福島後安全強化措

施情形、目前辦



圖 17 原能會龔繼康科長簡報台灣核安及除役管制現況

理核能電廠除役準備作業介紹以及結論。

簡報首先說明台灣在2018年核能電廠之管制狀況，包括核電廠自動急停事件、核二廠2號機於3月28日機組升載期間，因中子偵測系統訊號動作造成反應爐急停事件等，並說明原能會開立之違規、異常事件報告等統計數據。簡報第二部分說明我國運轉中電廠及龍門電廠機組現況及重要管制活動。在核一廠部分，說明目前核一廠兩部機組維持大修停機狀態，原能會在大修期間仍依相關規定進行駐廠視察活動，其中核一廠1號機運轉執照將於2018年12月5日屆期進入除役階段，原能會於除役階段將持續進行各項視察活動。在核二廠部分，說明我國核二廠1號機自2018年10月11日開始大修，而核二廠2號機於同年6月5日成功再起動運轉，目前機組維持穩定運轉。台電公司向原能會申請，將核二廠緊鄰用過燃料池之護箱裝載池改為用過燃料貯存空間案，原能會於2017年4月6日正式核定同意本申請案，而台電公司於2018年7月10日起開始執行核二廠2號機燃料廠房裝載池設備修改案，已於9月21日完成現場施工作業，原能會將待台電公司提出完工報告後，併同原專案審查小組聯合執行完工後視察，確認各項作業符合安全要求後，才會同意核二廠2號機護箱裝載池可啟用置放用過燃料。在核三廠部分，2018年間已順利完成1號機大修作業，而2號機將於12月3日開始大修。龍門電廠部分，2018

年開始將未使用之新燃料分批運回美國，目前已分別於7月4日及9月5日進行兩次新燃料回運作業。

有關福島後安全強化部分，簡報介紹核三廠1號機在2018年大修期間，完成在圍阻體加裝被動式氫氣移除系統(PARs)及反應器冷卻水泵(RCP)加裝被動式阻斷軸封(Passive Shutdown Seal)，可以提升機組在嚴重核子事故時移除氫氣及長時間斷電時的安全餘裕。

有關除役部分，核一廠1號機運轉執照於2018年12月5日屆期，正式進入除役階段，台電公司已於2015年11月依核管法提送核一廠除役計畫，原能會已於2017年6月28日完成核一廠除役計畫審查，目前尚待環保署完成環境影響評估之二階環評審查作業後，原能會即可進行核一廠除役許可核發作業。核一廠除役計畫共分為4個階段，在第一階段(除役過渡階段)燃料仍留在爐心，台電公司規劃執行廠址特性調查、系統洩水及除污，第二階段為拆除反應爐及汽機廠房大型設備組件，在第二階段後期則進行最終場址調查以及廠址復原工作，除役工作依法規要求需於25年內完成。在核子燃料尚未完全移出核子反應器前，原能會仍持續執行各項視察管制活動，確保核一廠用過燃料仍存放於爐心中之過渡階段各項作業符合安全要求。此外，台電公司亦必須於2018年12月27日前提送核二廠除役計畫，原能會於接獲後亦將開始審查作業。未來將持續與美方就核安管制及除役議題進行交流及資訊交換，分享雙方管制技術經驗及成果。

4. 議題介紹與討論(4 項)

此議題討論為第一天下午時段第二場，共有四個項目，如下摘要：

(1)清華大學對於NUREG/IA報告之貢獻

NUREG/IA Reports Contributed by NTHU in 2018, 清華大學核子工程與科學研究所，施純寬教授

簡報摘要：

本篇簡報由施教授(如**錯誤! 找不到參照來源。**)介紹國立清華大學(NTHU)實

質參與三篇 NUREG/IA 等報告之工作。RAMP 的 NUREG/IA 報告是 NTHU 的第一篇，而在

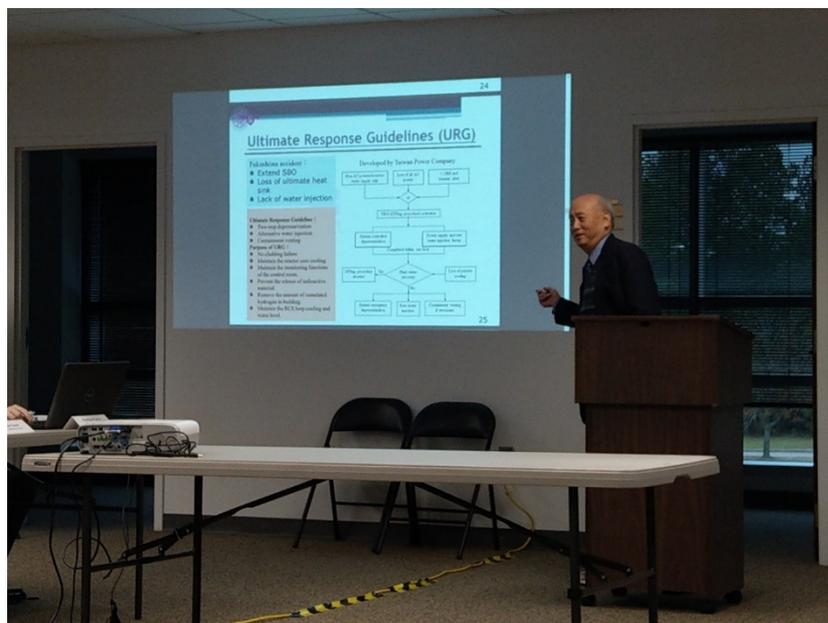


圖 18 清華大學施純寬教授簡報

CAMP 裡面，NTHU 所繳交的報告數目是全體參與國家的第一名，表現十分亮眼。NTHU 利用 RAMP 內的程式：RADTRAD 與 HABIT，進行核三廠分析方法論的建立，RADTRAD 結果並與 FSAR 做比較，而 HABIT 的結果與工業界常用的 ALOHA 做比較。利用與 FSAR 一致初始及邊界條件，RADTRAD 的分析發現在所假設的放射性物質釋放條件下，控制室、EAB 與 LPZ 的累計劑量值都比 FSAR 者稍微低一些，誤差在可以接受範圍內。而 HABIT 計算的案例是假設二氧化碳儲存槽爆裂，對控制室內二氧化碳濃度的變化影響。HABIT 的結果約比 ALOHA 低一個數量級，都低於 Reg Guide 1.78 的濃度限值。第二篇是以 CAMP 程式 TRACE，應用於核三廠長期失去交流電源事故(ELAP)分析，並討論 URG 與 FLEX 的緩解策略。若假定汽機帶動輔助飼水泵可用，在發生 ELAP 事故下，又沒有 URG 與 FLEX 時，爐心水位約在事故發生 60 小時之後，會降到燃料頂部(TAF)。而有緊急洩壓的 URG 策略，不管是在 8 或 24 小時進行緊急洩壓，都可以保持水位不致低於 TAF。至於未執行緊急洩壓的 FLEX，在 8 或 24 小時以 FLEX 規格的泵注水，也都能確保爐心水位不會降至 TAF 以下。第三篇是以 CAMP 程式 RELAP 分析核三

廠大破口冷卻水流失事故(LBLOCA)，同時也以 DAKOTA 做不確定性分析。先進行將新建立的 LOCA 分析模式結果與 FSAR 做比較，確定模式的正確性。在初始的沖放階段後，高低壓緊急冷卻系統動作開始，燃料底部約於 60 秒再度接觸水，頂部的地方則約在 500 秒再度接觸水。不確定性分析參數考慮了系統壓力、蓄壓槽壓力、蓄壓槽體積、蓄壓槽溫度、安全注水溫度及飼水溫度等。利用 DAKOTA 建立 59 組輸入檔，並自動連結 RELAP，進行分析。各組分析結果中最高尖峰燃料護套溫度是 1293 K，仍低於 10 CFR 50.46 內之準則溫度 1477.6 K。

(2) 東南亞模擬演練發展工作坊

SE Asia Exercise Development Workshop，美國能源部/國家核子安全總署 (Department of Energy/National Nuclear Security Administration, DOE/NNSA)，Jason Padilla

簡報摘要：

本簡報由美國能源部核子走私偵檢暨嚇阻辦公室(Office of Nuclear Smuggling Detection and Deterrence, NSDD)臺灣區永續經理 Jason Padilla 代表經理 Peter Rocco 進行演講(如**錯誤! 找不到參照來源。**)，美國能源部核子走私偵檢暨嚇阻辦公室與超過 60 個國家的前線及法務部門合作，主要建立夥伴關係，嚇阻、偵測及研究可能應用於恐怖攻擊的核武及放射性物質之走私行動，以及提供偵檢技術及支援。NSDD 與台灣之夥伴關係始於 95 年 5 月 25 日由臺北經濟文化辦事處與美國在台協會於華府簽訂臺美「大港倡議瞭解備忘錄」，藉由參與大港計畫(Megaports Initiative)，利用高科技輻射偵測儀器，針對進、出口貨櫃偵測是否藏匿非法核子物料及其他輻射物質，以防止恐怖份子用於製造大規模毀滅性武器或其他輻射擴散裝置，強化國際核能及放射的安全。依據 Working Group IV 雙方共同合作項目「RM-DE-EE8, “Emergency Management”」，美國能源部國家核子安全總署與原能會及財政部關務署高雄關聯合舉辦 Radiation Detection System (RDS) Exercise Development Workshop，該工作坊包括核心能力演練設計、執行成果評估、分組多國專題討論以及高雄港區門式輻射偵檢器(RPM)實地情境模擬演練，共同研擬

走私放射性物質之防堵辦法。每個分組設置觀察員依據表現進行評量，



圖 19 美國能源部/國家核子安全總署 Jason Padilla 簡報

透過追蹤及記錄演練過程，找到改善部分，最終共同修訂完成一套更完整並適合高雄關大港計畫標準作業流程，藉由此次經驗交流，提升台灣海關之輻射偵檢技術與應變能力，其成果豐碩。

(3)台灣核子事故緊急應變機制及公眾保護措施

Overview of Current Nuclear Emergency and Response Mechanism on Public Protection Actions，原能會核能技術處緊急應變科，賴佳琳技士
簡報摘要：

本簡報由賴技士負責(如**錯誤! 找不到參照來源。**)，解釋「核子事故民眾防護行動」是當核子事故發生時，為減少輻射曝露，保障民眾生命、身體安全所採行的措施，項目包括了掩蔽、疏散收容、暫時移居、服用碘片、食物及飲水管制、地區進出管制、污染清除、醫療救護等。我國目前對於核子事故民眾防護行動採三種機制併行，分別為：(1)緊急行動基準(Emergency Action Level，EAL)、(2)操作干預基準(Operational Intervention Level，OIL)及(3)劑量評估系統(Dose Evaluation System)。

因應核子事故緊急應變觀念與做法日益精進，並借鏡2011年日本福島經驗，單靠劑量評估系統恐無法快速及時提供決策參考資料，因此國際原子能總署持續

推廣核子事故應變之「預防性疏散(EAL 機制)」與「操作干預基準(OIL 機制)」概念，以期依事故危害風險提早執行相對應民眾防護行動，若事故持續惡化，則依劑量量測結果執行進一步民眾防護行動。

據此，我國在 2016 年修訂「核子事故分類通報及應變辦法」，將 EAL 機制納入，在核子事故發生初期，為爭取寶貴時間，直接依據電廠狀況(核子事故分類)執行相對應民眾防護行動。以我國目前做法為例，緊急戒備事故時，將關閉公共遊憩場所並疏散旅客；廠區緊急事故時，將發放警報，通知緊急應變計畫區內民眾進行掩蔽，並針對學生及弱勢民眾進行預防性疏散；全面緊急事故時，將先進行 3 公里內民眾疏散。2018 年我國增訂「核子事故民眾防護行動應變與決策參考指引」，除劑量評估系統與 EAL 機制，再納入 OIL 機制，若事故持續惡化，將依據環境、人員、食品的實際測量值判斷是否應執行進一步民眾防護措施。我國目前所採用 OIL 項目為 OIL1(疏散)、OIL2(暫時移居)、OIL3(飲食管制)及 OIL4(人員除污)。

我國現有核子事故民眾行動規劃，在核子事故緊急應變期採用 EAL 機制，為爭取時間直接依據核子事故類別執行相對應的防護行動；若核子事故持續惡化至有放射性物質外釋，則結合劑量評估系統與 OIL 機制，依據劑量評估系統模擬計算結果與輻射劑量率量測及取樣分析結果，對受影響區域採行相對應民眾防護行動，以達最佳民眾防護。

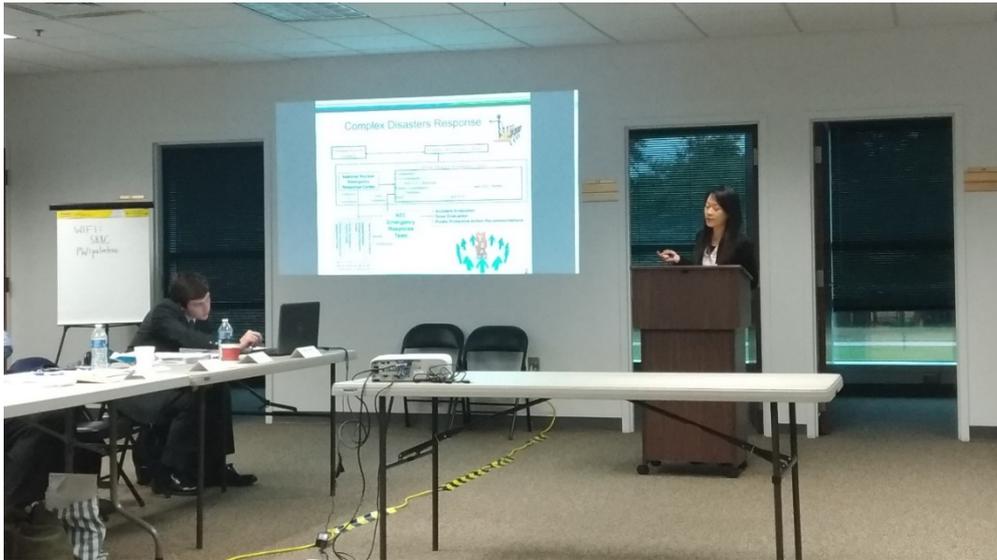


圖 20 原能會賴佳琳技士簡報

(4)美國輻射散佈器具之風險及經濟衝擊

Risk and the Economic Impacts of a Radiological Dispersal Device (RDD)，美國能源部/國家核子安全總署(DOE/NNSA)，Robert Rudich

簡報摘要：

Robert Rudich (圖 21)表示美國輻射安全局(Office of Radiological Security)主要任務為強化全球安全，避免高活度之放射性物質作為恐攻用途，其作法有三種：防護(Protect)-針對用於醫療、研究及商業用途之放射性射源所進行之防護；移除(Remove)-移除及處置廢棄之放射性射源；減量(Reduce)-藉由加速以其他可行技術取代，減少全球對放射性射源之依賴。恐怖攻擊若使用易擴散的放射性物質可能造成大規模影響及上億元的經濟損失。在工業及醫療領域很有可能被用來發展這類攻擊的射源包含：鈷-60(治療癌症之遠距放射療法及加碼刀；研發或滅菌用全景照射設施；活度 1,000-1,000,000 居里)、銥-192(工業造影用射線照相術；活度 10-100 居里)、銻-241(工業造影用油井電測(oil well logging)設施；8-20 居里)及銻-137(血液照射設施；劑量計、偵檢器校正儀；活度 1,000-50,000 居里)。歷史上核災事故擴散的銻-137 已造成嚴重的影響，



圖 21 美國能源部/國家核子安全總署 Robert Rudich 簡報

俄羅斯車諾比附近大約半個曼哈頓的區域不適宜居住、巴西戈亞尼亞事故原本是 3.3 盎司的射源演變成 40 噸的放射性廢棄物，及日本福島事故，約有 500,000 居里的鈾-137 外釋，衝擊區域達 1000 平方公里，約 180,000 居民搬遷。講者也提供模擬數據，若事故發生在紐約市，事件發生 40 分鐘，補救措施可能長達 10 年，並損失 300 億美元的 GDP。防治方法包括安裝 In-Device Delay (IDD)、以 X 光照射或非放射性技術取代鈾-137 等。

5. 分組討論(Group Discussion I、II、III、IV)

(1)第一分組(Group I) 「反應器管制與法規相關研究」

本次 Group I 分組會議主席，美方由美國核能管制委員會工程處 Mary Jane Ross-Lee 副處長擔任，而我方則由原能會核能管制處龔繼康科長擔任，原能會核管處余福豪技士擔任記錄。美方參與討論人員為 Maureen Conley 女士，我方則有綜計處王重德處長、原能會駐美科技組喬凌寰副組長、清華大學施純寬教授、核研所廖俐毅主任等人員參與，第一組議題主要與核子反應器設施管制及相關法規與程式應用等有關。

第一分組原有 19 項合作項目，會議以逐項討論方式檢視各項合作項目辦理情形，再就明年合作重點進行研商，透過相互溝通交流分享核安及除役管制資訊，討論結果為 19 個合作項目均持續進行，並綜整完成 16 項執行項目。

台美雙方同意將繼續在核安及除役管制保持密切合作，並在 CSARP、CAMP 等合作計畫持續資訊分享與合作，雙方並規劃延續 RAMP 合作計畫。另我方將邀請 NRC 官員觀摩我國 2019 年在核三廠辦理之核安演習，雙方同意持續在核電廠耐震及水災防護進行資訊分享與合作；由於核一廠將進入除役階段，但部分系統仍需維持運轉以確保用過燃料存放於爐心之安全，我方將於完成核一廠系統除役過渡期間維護管理方案審查後，與美方分享相關資訊。2019 年我方預定派員參加美方所辦理安全管制與除役相關訓練課程，美方已同意協助安排，另我方將邀請美國 Argonne 國家實驗室專家訪台，辦理除役相關 RESRAD 進階訓練課程。

| | 數量 |
|-------------------|----|
| 台美雙方討論項目 | 19 |
| ■ 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 | 19 |

(2)第二分組(Group II) 「反應器管制與研究」

本次 Group II 由原能會物管局陳文泉副局長及美國能源部桑迪亞國家實驗室 Kevin McMahon 擔任會議主席，並由核研所蕭憲明副研究員擔任紀錄，駐美代表處科技組喬凌寰副組長亦出席指導，核研所工程組李崙暉副組長等代表出席討論，美方參與人員有能源部桑迪亞國家實驗室 Kevin McMahon、阿崗國家實驗室 Charley Yu 與國務院 Alex Burkart 及 Kyler Turner 等。討論議題涵蓋用過燃料的管理、汙染及除役、照射後檢驗、低階核廢棄物的處理與處置、廢料及環境管制計畫以及安全分析工具的精進應用等項目。

Group II 針對 16 項合作項目逐項討論其過去一年的活動及現況，並新增合

作議題「高階核能廢棄物及用過核子燃料的評估 (Radiological Assessment of High Level Waste and Spent Nuclear Fuel)」，列為 AE-TP-DE-G38，雙方同意共同合作連結 RESRAD-OFFSITE 及 HYDROGEOCHEM 編碼，用來進行高階廢棄物及用過核子燃料的放射性評估工作，計畫預定明年起開始運作，中央大學葉高次教授會與阿崗國家實驗室 Charley Yu 博士討論連結編碼的細節內容。

核研所持續評估以核子物料鈾中子量測(BPCC)作為水鍋式核子反應器 (Water Boiler Reactor ,WBR)保防的候選方法，未來可能尋求 LANL 的協助(G35)；另核研所 2019 年開始進行乾式貯存窖清理工程(Dry Storage Pit cleanup engineering)，除役過程產生的廢棄物處理，提議與 ORNL 及 PNNL 持續技術資訊交流，美方已同意保持密切的聯繫(J4)；關於土壤整治議題，核研所提議 PNNL 提供 Hanford 及 Columbia River 的相關資訊，作為未來土壤整治需求的參考資料，Dawn Wellman 及蕭憲明副研員被指派為雙方聯繫窗口(DD28)；台灣電力公司方面，想了解美國用過離子交換樹脂的管理，包括處理、安定化、中期貯存、用過離子交換樹脂的處置及貯存容器及其處置等資訊，美方已同意提供(X1)；同時台電也對能源部桑迪亞國家實驗室 Kevin McMahon 提供的 2017 年公眾對於核子設施觀感的調查報告表示感謝，未來也會持續向美國能源部學習在推動公眾事務時所需大眾參與的成功案例。

對於未來的工作重點著重在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 | 17 |
| ■ 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 | 17 |

(3)第三分組(Group III) 「核子科學、先進核能科技、核醫藥物、核能安全及保防」

本次 Group III 分組會議主席，美方由美國能源部國家核子安全總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)之 Robert Rudich 負責，我方由核能研究所核子工程組林家德副組長擔任，並由同位素組郭宛宜助理工程師擔任現場會議紀錄，原能會綜計處王重德處長、綜計處賴弘智科長、輻防處高熙梅副處長、輻防處蔡親賢科長、綜計處吳明哲副研員、核研所李崙暉副組長及清華大學施純寬榮譽教授等代表出席，美方相對應的參與人員有核管會 Maureen Conley(參與 D59、D64、Z9 議案)、能源部核能局 Loren Friedel(Y3、Y4)、與國務院 Alex Burkart(出席 EE6、FF3 議案)、Kyler Turner(參與 I7、I14、I19、CC1、EE2、EE6、FF1、FF2、FF4、HH1、II1 及 II2 等議案)等。議題涵蓋保健物理(health physics)、同位素生產與應用(radioisotope production and applications)、進步型反應器(advanced reactors)、中子相關基礎科學研究(basic research)、核物料之保健物理(physical protection of nuclear material)、核子安全保防(safeguarding of nuclear material)、醫學治療(medical therapy)及環境監測(environmental monitoring)等領域。

本次第三分組，利用核研所預先整理之 2018 年合作成果及未來規劃逐條審閱，除掌握合作項目的重要進展外，藉由雙方面對面的溝通，了解需求並促進資訊交流，達成共識且持續執行合作項目共計 21 項，另新增 1 項由原能會提議之放射化學分析方法流暢度測試及訓練(Radiochemistry Analysis Method Proficiency Testing and Training)，AIT 會嘗試諮詢美國國家環境保護局對應之窗口，尋求協作之機會。

其餘重要決議包括，清華大學提議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(TU-AN-CC1，Neutron Research at Research Reactors)，及定期更新 FRAPTRAN/FRAPCON 使用執照(TU-DE-Y4，Formation of New Partnership INL/NTHU/INER/NBL for Education and Training in Nuclear Science and Technology)，皆已獲美方同意。另核研所工程組預定派兩位代表參加美方所辦理之 2019 年 ITC-28 訓練課程，美方將會協助我方人員取得邀請函 (AE-DE-EE2，

International Training Course on Physical Protection)。在國務院 EXBS 計畫的支援下，原能會於 2018 年舉辦了兩場活動，預計 2019 年 1 月與台灣海關辦理 Customs codes/Export Control List number correlation, use of trade data in risk assessment, and developing strategic community fingerprints 工作坊(AE-DE-EE3, Nuclear Export Control Training)。原能會也提議能源局核子安全總署舉辦與核安相關之實務訓練(Nuclear Security Table-top Exercise)(AE-DE-EE7, Training in Implementation of PP Standards and Guidance)，及派員參加 2019 SSAC 訓練課程，美方將會協助我方人員取得邀請函(AE-AIT-FF1, State Systems of Accounting and Control (SSAC))。台灣駐美辦事處 TECRO 同意 2019 年提供所有物料之年度庫存報告書(annual inventory report)(AE-AIT-FF4, Inventory of U.S. Obligated Nuclear Material in Taiwan)。核研所工程組預計完成用過核子燃料池內汙泥之核物料收集及安定化(complete the collection and stabilization of TRR spent fuel debris)(AE-AIT-FF2, Cooperation in Safeguards Technology)。

| | 數量 |
|-------------------|----|
| 台美雙方討論項目 | 22 |
| ■ 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 | 22 |

(4)第四分組(Group IV) 「緊急應變管理」

本次 Group IV 由原能會核能技術處黃俊源副處長以及美國 SNL 的 Jason Padilla 及 NNSA 的 Kirk Czap 擔任會議主席，核技處賴佳琳技士擔任記錄。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)、核鑑識倡議 Nuclear Forensics Initiative (AE-DE-F39)及大港倡議資訊

交流 Information Exchange on Megaports Initiative (RM-DE-FE8)」等六個合作議題。

此分組會議先逐項檢討今年 6 個合作項目實質辦理成果，再就未來進展及明年合作重點進行綜整討論，經討論後 6 個合作項目均會持續進行，共計完成 10 項具體結論，重點摘錄如下：原能會請求 NNSA 在 2019 年辦理 Counter-RDD 訓練課程；原能會將邀請 NNSA 觀摩 2019 核三廠核安演習；原能會已自桑迪亞國家實驗室(Sandia National Laboratories, SNL)取得 TurboFRMAC 程式，未來將操作以熟悉該程式應用，並於 NNSA 需要時提供使用經驗回饋；原能會核安監管中心未來每六個月將繼續透過電郵及傳真來與 NNSA 進行通聯測試；原能會歡迎與美方就空中偵測及其他偵測技術方面，有更進階的合作及訓練課程；原能會詢問 NNSA 能否在台灣舉辦更新版 AVID 及數據處理的訓練課程；NNSA 將邀請原能會參加 2019 年 3 至 4 月位於美國拉斯維加斯的 I-AMS 研討會；原能會將洽詢 2019 年辦理核子鑑識訓練課程的可能性，原能會特別關注 RDD 的犯罪現場管理；原能會歡迎與美方就二次視察技術方面有更進階的合作及訓練課程；NNSA 將致力於與原能會的進一步合作，以增加對大港計畫系統的技術回溯能力，而原能會將持續與 NNSA 展開相關活動，以強化對核事故的緊急應變管理能力(圖 22)。

| | 數量 |
|-------------------|----|
| 台美雙方討論項目 | 6 |
| ■ 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 | 6 |



圖 22 各分組討論實景

分組討論後晚宴時，由台美雙方代表互贈禮物(如**錯誤! 找不到參照來源。**)，並期許未來有更多的互動及合作持續推動。

6. 閉幕致辭

首先由台方團長綜計處王重德處長代表，感謝美方之安排與協助討論，接著美方由國務院 Alex Burkart 博士致詞，感謝台灣專家遠道而來，期待下一屆在台灣舉辦之台美會議，隨後進行全體與會人員的合影留念如**錯誤! 找不到參照來源。**。



圖 23 晚宴台美雙方代表互贈禮物



圖 24 台美 2018 民用核能合作會議與會者合影

(三)參訪 Savannah River 國家實驗室

1. SRNL 介紹

SRNL(Savannah River National Laboratory)國家實驗室位於美國能源部(DOE)下所屬的 Savannah River Site(SRS)，地處美國南卡羅來納(South Carolina)州艾肯(Aiken)郡。SRS 是 DOE 與產業合作運作的組織，建造之初主要任務是用來產生製作核武器必要之基本材料，例如氚(tritium)及鈾(plutonium-239)，以提供國家安全所需之服務，目前任務集中在放射性廢棄物處理、核能材料與環境的成本效益營運管理等工作，分別由 DOE 的 Savannah River Operation Office、Savannah River Site Office 與 Office of Site Engineering and Construction Management 三個辦公室監督。SRNL 的相對位置如前述圖 1 所示。

SRNL 是位於 SRS 內的國家實驗室，擁有之廢棄物管理技術主要在五個區域：國防武器核廢棄物處理工廠(DWPF, Defense Waste Processing Facility)、密閉桶槽、地下貯存窖、放射性廢液處理廠，以及廢棄金屬貯存坑道等。另有屏蔽熱室(Shielded Cell)、中階輻射熱室(Intermediate-Level Cell)，手套箱(Glove Boxes)等七類實驗室，可進行各項程序之改進與測試。SRNL 內員工專長範圍涵蓋物理、化學、生物、微生物、材料等基礎科學，到機械工程、化學工程、核子工程等應用科學，至 2018 年，員工共約 11,700 人(含包商及政府官員)。

SRNL 與其他多間國家實驗室、大學及產業界合作，致力發展對 DOE 至關重要之環境管理及核子保防(nuclear security)相關技術。SRNL 運用其專業人才在核子化學製造(nuclear chemical manufacturing)領域，幫助 DOE 從核廢棄物清理(nuclear waste cleanup)至防止核武擴散(defense nonproliferation)方面達到目標。在 SRNL，研究人員持續發展輻射偵測(radiation detection)之創新技術，透過奈米科技，將薄膜鍍層(thin film coating)應用於閃爍晶片(scintillation crystal)，藉由增加光從閃爍體表面之擷取可提升偵檢器之靈敏度。SRNL 提供最先進的發展超過 60 年，支援現代化、低成本設施及技術，例如熱循環吸收流程(Thermal Cycling Adsorption Process)，為一種創新的系統，能回收更多的氚氣(tritium gas)。

園區中另有艾肯郡科技實驗室(Aiken County Technology Laboratory)，擁有廢棄物處理實驗室(Waste treatment laboratories)及環境生化技術實驗室(Environmental biotechnology laboratories)等。由於 SRNL 主要任務在發展放射性廢棄物處理有關技術，對於環境與生物均須有能力控制與保護，因此衍生出環境科學與生物科技的發展需求，包括：地下水品質控制、田野調查與土地特性區分、特殊偵檢設備等。在生態系統的管理技術上，也具備水文地質與地質化學等分析能力，並能整合跨領域技術進行問題解決。SRNL 已建立豐富的資料庫，對於環境受污染物質經土壤擴散或蒸發，與地下水流動污染之模擬與應變，有能力實際控制與處理污染事件。

SRNL 近年也基於維護國土安全、能源安全與環境保護的趨勢，積極進行化石能源以外替代能源的研發。其發展重心在氫能、生質能、風能，與二氧化碳的封存等方面，同時也加強核能科技的研究。氫能方面，SRNL 成立氫能技術研究實驗室(Hydrogen Technology Research Laboratory)，有 50 年以上氫氣及其放射性同位素氚相關科技研究的經驗，投入資源進行氫氣的貯存、分離、製造，以及材料開發，並與國際車廠合作應用於交通工具。風能方面的發展，SRNL 重點在離島風機的研究，以外海的大面積佈植離島風機，才能產生經濟規模，目前也已和許多單位合作中。

美國核子武器生產及國家實驗室進行的各項反應器實驗，過程產生之放射性廢料，一部份會送至 SRNL 進行處理與處置。SRNL 內的高放射性廢棄物處理與處置設施，主要任務在處理核設施，包括生產與研發核子武器的設施、工廠與實驗室，產生的放射性廢棄物，因此化學程序、材料分析、核工、遙控系統、機器人、環境工程與管理、貯存設施等是其核心能力。

2. SRNL 參訪過程

參訪行程於 8:30 搭乘 SRNL 接駁車從飯店啟程，約 30 分鐘車程抵達坐落在艾肯郡的 SRNL，先至 Badge Office 辦理入廠區許可，由於技術與實驗室性質的

敏感性，對於訪客的安全檢查也十分仔細，在 Badge Office 經過核對護照，及事前提出申請入廠區的文件，閱讀注意事項，才取得標註參訪日期及名稱的入廠區許可證，再通過隨身行李之安檢，確保無金屬攜入才完成入廠區之程序，接駁車也需通過軍方及警犬全車檢查，才能通行。全程由 Bob Bonnett 先生擔任導覽員，參訪行程如下表 5 安排，但該次導覽並無進入任何設施內參觀，僅有停留於已除役之 C Reactor 前面解說及拍照。

整個廠區、道路及平原是由英文數字命名及分區，在冷戰期間，為保持機密性，其命名方式無規則，也無從得知該區域的設施為何。搭車導覽時，經過許多區域，包含 B、F、H、S、J 及 C-Area 等(現今已知各區域之功能，其分佈如圖 25 所示，但並非所有區域皆有參觀)，並介紹該些區域主要的設施及目前執行計畫，唯一下車停留之地為 C Reactor 設施前，由 Mike Serrato 先生講解 P Reactor 反應器之運轉及除役經過(因為 C Reactor 與 P Reactor 同型、相似度高)，經除役後之外觀剖面圖如圖 26 所示，其中圖 26 (b)及(c)為 P Reactor 經過現場除役(ISD, In-Situ Decommissioning)前、後之比較，顯示水平面高度 0 ft 以下之空間都用輕質水泥漿 (grout)填滿，煙囪及反應爐業已移除，並說明每 5 年須重新評估該設施之安全性。

參訪過程，團員詢問核種分離設施 F-Canyon 與 H Canyon 名稱之由來，Bob 答稱係因為廠房內部結構既長又深看起來貌似峽谷所以命名為 Canyon。另外，參訪過程，也看到蓋了一半而 DOE 決定不繼續蓋的 MOX fuel (Mixed Oxide fuel) 處理設施，由於 MOX fuel 已有多年之商用經驗，團員針對此設施與商用核能電廠 MOX 核燃料之關聯性提出詢問；美方答稱 SRNL 之 MOX 核燃料處理設施係由 AREVA 之關係企業承包，AREVA 是法國一家國有核能與可再生能源公司，AREVA(目前改名為 Orano)在法國之核能電廠有使用 MOX 核燃料之經驗，但是，美國所有商用核能電廠到目前為止並未曾使用 MOX 核燃料。

現場搭車導覽結束後，SRNL 安排午餐並同時進行討論，結束後全體公差人員於 SRNL 合影(如圖 27)，結束 SRS 的參訪。

表 5 參訪 SRNL 行程

| Time | Event | Location |
|-------------|---|--|
| 8:30 | Check in / Badging *Process Guests through Alpha 8 *Walk to 703-41A Ellenton Room *8:45 SRS Overview *9:15 SRNL Overview *Escort Guests Back Through Badge Office | 703-46A Badge Office 46, Aiken, SC 29803 |
| 9:00 | Commercial Bus Arrives 703-46A Badge Office *Inspection of Commercial Bus *9:15 Inspection of Hand Carried Items as Guests Board Bus *9:30 Escort Bus Through Barricade 9 | 703-46A Badge Office |
| 9:30 | Begin Site Driving Tour with Bob Bonnett *A Area: Savannah River National Laboratory / Savannah River Ecology Laboratory *M Area: Decontamination and Decommissioning (D&D) Activities / Clean-Up and Closure *F Area: F-Canyon / F Tank Farm *E Area: Low-level Waste Disposal Facilities *H Area: H Canyon / H Tank Farm *S Area: DWPF / Glass Waste Storage Buildings / Video *J Area: Salt Waste Processing Facility *Z Area: Saltstone Facility | Various |
| 10:45 | Arrive P-Area with Mike Serrato *Disembark for Poster Presentation *In-Situ Decommissioning and Demolition *11:15 Depart P-Area | P-Area |
| 11:30 | Arrive C-Area with Mike Serrato *Overview and Tour of C-Area *12:15 pm Depart C-Area | C-Area, 105-C |
| 12:45 | Arrive A-Area for Lunch *Guests Walk to 703-41A Ellenton Room *13:00 Lunch | A-Area, 703-41A |
| 14:00 | Arrive Badge Office *Collect Visitor Badges and Return to Badge Office *Tour Concludes | 703-46A Badge Office |

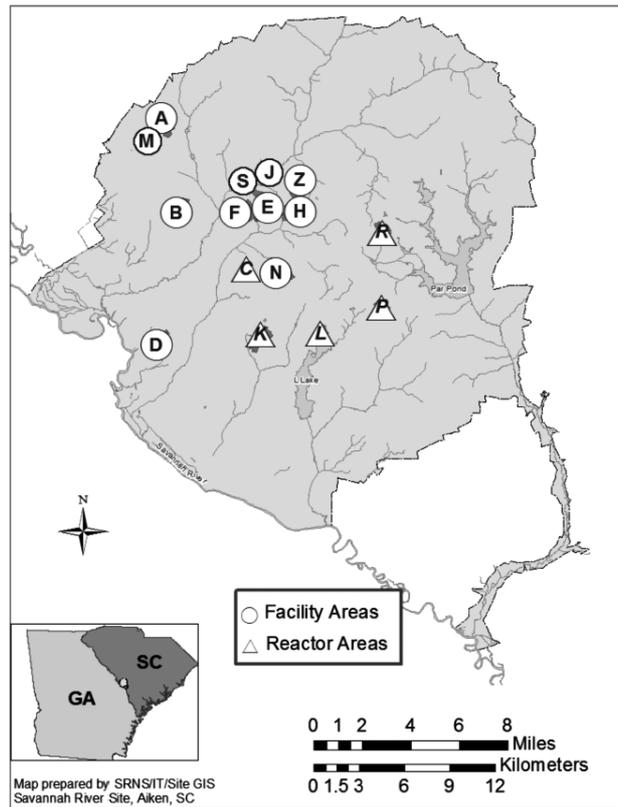
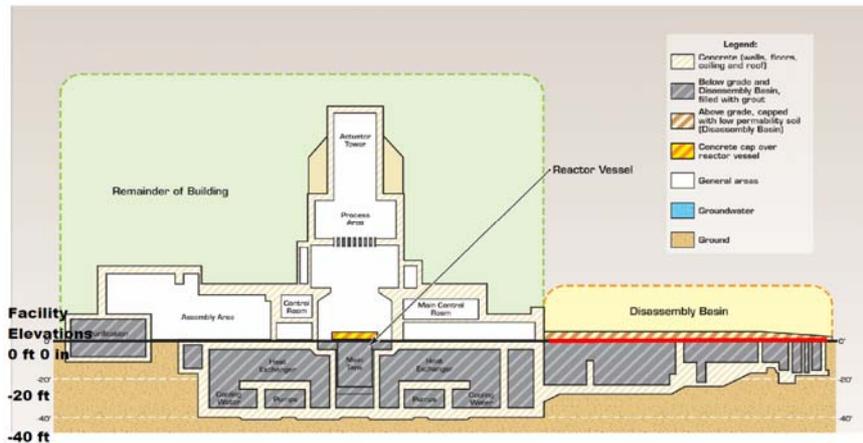


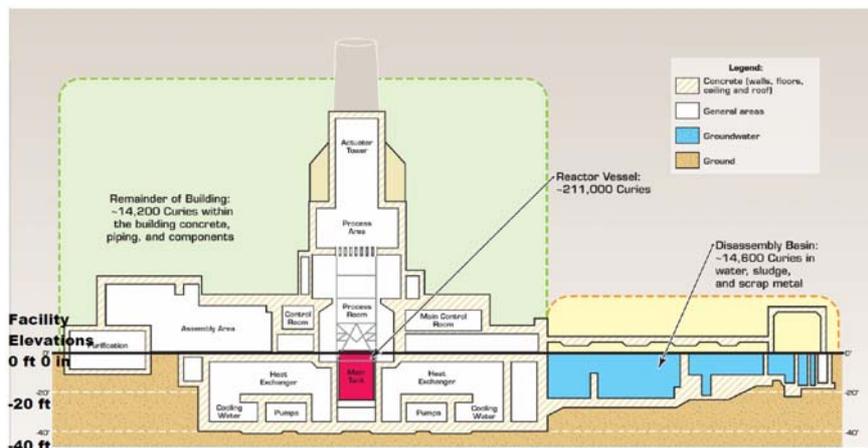
圖 25 Savannah River Site (SRS)位置及其對應之區域分佈；三角形為 reactor 位置，(C、K、L、P 及 R reactor)；圓形為其他設施地點(A 為 SRNL、M 為燃料製造廠(Fuel Fabrication Facility 已除役)、H 為 H-Canyon 及氚再處理設施(Tritium Reprocessing Facilities)、K 為 Pu 貯存設施(以前為 K reactor) [參考：Armstrong, C.R., Nuessle, P.R., Brant, H.A., Hall, G., Halverson, J.E., and Cadieux, J.R., Plutonium Isotopes in the Terrestrial Environment at the Savannah River Site, USA: A Long-Term Study. Environmental Science & Technology, 2015. 49(3): p. 1286-1293.]



(a)



(b)



(c)

圖 26 (a) P Reactor 外觀(與 R Reactor 相似)；(b)及(c)為 P Reactor 現場除役(ISO, In-Situ Decommissioning)前、後之剖面圖[參考：Langton, C.A., Serrato, M.G., Blankenship, J.K., and Griffin, W.B., Savannah River Site R-Reacto Disassembly Basin In-Situ Decommissioning, in 2010 Waste Management Symposia. 2010: Phoenix, AZ, USA.]



圖 27 台方公差人員於 Savannah River 國家實驗室合影

三、心得

此次參加「2018 台美民用核能合作會議」，參訪薩凡納河國家實驗室，首先感謝來自於核研所、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，透過事前分工，針對各議題提出現況說明及未來規畫，因此於會議中台美雙方代表皆能有效率達成共識，相信透過各議題的資訊交流，對未來計畫的執行有所斬獲。參訪心得如下：

- (一) 關於參訪行程，由於薩凡納河場址(SRS)的歷史背景，目前戮力於處理冷戰時期留下來之固態及液態核廢棄物，及有害之廢棄物及持續發展技術改善環境，包括環境管理、清理及核廢棄物管理及核物料之處置，亦負責處理及貯存用於國防之核物料，並為了核武防擴散之目標努力。SRS 在核物料管理方面，接收及處置本地或國外核反應器照射之核燃料(spent nuclear fuel, SNF)，安全的保存在 L Area 的水下貯藏設施，從 1964 以來，已接收超過 2300 桶，包含 46000 件以上之 SNF。SRS 的 K Area Complex(KAC)，原本是 K reactor 的場址，生產冷戰時期所需核物料，目前提供美國能源部鈾(plutonium)及鈾(uranium)等特別核物料(special nuclear materials, SNM)暫時的安全貯存場所。SRS 亦有兩個主要的分離設施(separations facilities)，分別為 F Canyon 及 H Canyon。F Canyon 及 H Canyon 上方的 FB line 及 HB line，為核物料化學回收(chemically recovered)及純化的地方。H Canyon 及 HB line 支援美國能源部 Enriched Uranium and Plutonium Disposition program，減少整個美國 fissile materials 的儲存量。並支援環境清理、核武防擴散及小規模、提供更安全且較便宜的核武器反應器(nuclear weapons complex)。H Canyon 也是美國唯一在運作中達生產規模的核化學分離設施，該設施從用過的燃料棒回收鈾-235 及銻-237(neptunium)。SRS 也是美國唯一萃取、回收、純化及裝載(reload)氙的設施，是現今核武器的關鍵元素。SRS 支援五個氙氣及氣體傳輸系統相關任務，包括提供氙氣、stockpile 維護、stockpile 評估、氦氣(helium-3)回收及相關研發工作。SRS 還有豐富鈾及核物料處置的經驗，Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility 將多餘的、武器可使用的鈾轉換成商業級反應器可用之型式。目前也在評估替代方案，將這些武器級的物料與其抑制劑混和(又稱為 down-blend and disposal)。此外，SRS 亦致力於包括液態

廢棄物處理、液態放射性廢棄物貯存及固態廢棄物處置相關技術建立及實施。對於環境的維護及監測亦持續進行。SRS 多樣化的放射性廢棄物處理能力，值得我國核能機關與研發單位的借鏡。

- (二) SRS 令人印象深刻的是幅員遼闊，林地佔地甚廣，場方保持環境復育，場內野鹿族群數量甚為可觀，乃至於場方甚至每年舉辦獵鹿活動以控制數量，也借此觀測場址環境輻射適居性。此種結合社區文化與環境保護的作法，相當值得我國未來規劃放射性廢棄物儲存場的參考。
- (三) 由於台灣核一廠 1 號機運轉執照於 2018 年 12 月 5 日屆期進入除役階段，除役相關經驗、用過燃料的貯存、新燃料的運送及核廢棄物的處置等，可多與薩凡納河場址交流。此次參訪較可惜之處是未能進入相關設施參觀，但藉由雙方已建立友好關係與互動基礎，對於未來核研所相關計畫的實習、進修或參訪活動，提供一個優質連繫管道，期許核研所透過積極的提出資訊交流，對於計畫執行能有所助益。

四、建議事項

此次參加「2018 台美民用核能合作會議」，及參訪薩凡納河國家實驗室之建議事項包括：

(一)積極與美方合作，建立相關技術

美國能源部旗下之實驗室擁有豐富的放射性廢棄物處理及處置、核設施除役及環境復育工作等經驗，會議上雖提供專題報告及分組議題討論，對於進一步解決問題的需求，建議積極與對應的窗口聯繫，提出需求，並進行相關設施之參訪，在時程、經費、未來應用性等因素考量下，或可透過各實驗室，建立實習機會，以期更深入了解相關技術的建立、最佳化條件或解決問題的關鍵點。

(二)重視人才培育，建立雙方實質合作管道

透過此次美國能源部核子走私偵檢暨嚇阻辦公室(NSDD)臺灣區永續經理 Jason Padilla 簡報可知，藉由來台舉辦實務訓練，對於標準流程訂定、流暢度以及提升台灣海關之輻射偵檢技術與應變能力，獲益良多。美方對於各分組主動提出之訓練活動亦表達正面的回應，建議宜持續維持開放的合作交流機會，藉由會議、訓練規劃等訊息，進而提升技術合作之成效，並且達到長遠人才培育的目標。

(三)重視台美民用核能合作會議經驗傳承

綜觀這幾年台美民用核能合作會議，歷經資深專家退休及新成員加入，顯示經驗傳承的必要性。此次會議，由於各方的努力，於會前即透過駐美代表喬凌寰副組長，轉交美方各項議題的現況及未來規劃，利於及早聯繫相對應的窗口，或邀請適合回復的美方代表出席，故建議未來仍透過預先準備，並與駐美代表處以及台美與會專家緊密聯繫，使會議進行更有效率。

(四) 關注國際核能技術發展趨勢

配合政策推動，持續精進核能技術研究以維護核能安全，是核研所至關重要的任務。藉由台美民用核能合作會議，比較台美雙方之技術進展與未來發展方向，來建立或精進所需之相關技術，以作為國內長程發展的參考規劃。

(五) 推廣核研所研發能量

薩凡納場址雖然是採用制式的導覽，但導覽員解說詳盡，搭配影片或海

報解說，有利於參訪者加深印象。且薩凡納場址的介紹傳單及網頁，圖文並茂的闡述所擁有的設施、研發能量及對環境保護的用心，可提供導覽以外，進一步了解該單位核心能力的途徑，核研所擁有許多專業技術，建議多利用網頁、影片或介紹傳單等管道，推廣相關技術及核能安全等訊息。

(六) 汲取國際經驗作為研發借鏡

核研所掌理醫農工學研等單位所產生之低放射性廢棄物的貯存及管理，另配合政府能經策略需求及面臨部分核設施除役問題，亦積極加強對核電廠除役及放射性廢棄物處理與處置等技術研發。SRS 多樣化的放射性廢棄物處理能力，值得我國核能機關與研發單位的借鏡。