

參加 2023 年台美民用核能合作年會心得

駐美代表處科技組 羅彩月

壹、前言

我國原子能領域的國際聯繫與合作十分密切，其中與美國的互動最具代表性。基於雙方對核能和平用途共同目標的追求，以及在確保核能安全、鞏固核子保安，與維護核子保防的共同信念，自 1984 年 10 月，台美簽定「台美民用核能合作聯合常設委員會」協定（Joint Standing Committee Civil Nuclear Cooperation, 以下簡稱 JSCCNC）。自 1985 年起，雙方輪流主辦 JSCCNC 年度會議，此合作會議是台美密切合作的具體形式。

台美雙方在核能安全、核子保防、核子保安、廢料處理、輻射防護、核子科學、核醫藥物、緊急應變等領域都有許多合作議題，各以工作項目方式逐條列表與追蹤進度。每年年會之舉行，雙方專家齊聚一堂，針對該年度合作成效及來年合作方向進行交流與討論。JSCCNC 推動至今，今年已邁入至第 38 屆年會，歷年執行結果成效卓著，也得到雙方政府相關部門廣泛的支持與參與。

2023 年會輪由我方主辦，本次也是 COVID-19 疫情期過後第一次在台北辦理之實體會議。除了為期兩天的會議外，亦安排美方與會人員於 12 月 6 日赴新竹

國家同步輻射研究中心及清華大學參觀其研究用反應器。以下謹就參加本次會議做摘要報告。

貳、台美會議紀要

2023 年台美民用核能合作會議，於 12 月 4 至 5 日假台北市內台北花園大酒店舉行。圖一為參與本屆台美會之雙方出席人員團體照。



圖一 2023 年台美民用核能合作會議與會人員合影

兩天議程分為大會專題報告與各工作項目(Work Group)分組討論，並於 12 月 6 日參訪同步輻射中心及清華大學池式反應器(THOR)。本屆會議美方代表團成員共計 16 人，分別來自美國國務院(DOS)、能源部(DOE)及所屬國家核子安全局(DOE/NNSA)、能源部國家實驗室(DOE/ANL, DOE/LANL)、核能管制委員會(NRC)、美國在台協會(AIT)等。我方出席人員則包括來自外交部、交通部中央氣象署、核能安全委員會(後略核

安會)及所屬機關輻射偵測中心、國家原子能科技研究院(後略國原院)、及清華大學、台電公司與所屬核能電廠等單位代表，全部超過 100 位國內外專家與會。

一、大會開幕及專題報告

大會開幕儀式先由外交部台灣美國事務委員會梁毅鵬參事致歡迎詞，他表示自 1984 年簽訂台美聯合執行委員會之協議後，台灣與美國開始推動相互分享核能和平應用之技術與資訊，執行今已超過三十年，我們很高興可以見證台美雙方合作關係持續拓展並且深化，並祝福會議圓滿順利，收穫滿滿。

大會繼續請 AIT/T 經濟組代表 Mr. Rashad Jones 致詞，Jones 先生代表 AIT 表達對雙方長達 38 年民用核能合作穩定與延續的祝福。

隨後由主辦單位核安會核管組趙衛武副組長代理張欣副主委致詞，他表示因立法院審查預算，趙副組長代表她歡迎大家參與 JSCCNC，尤其是對於長途飛抵台灣的美國各聯邦政府單位與國家實驗室的代表們表達熱忱歡迎之意。今年是 COVID-19 疫情之後第一次在台北辦理實體會議，讓我們可以一起檢視這一年的合作成果，同時經由雙方的努力，多年的合作成果豐富，並配合國際的最新發展勢，激盪出許多不同新的研究議題與合作方向，以加速推動原子能的和平應用。

美國代表團則由團長 Jim Warden 博

士(國務院之核能、安全與保安辦公室處長)代表美方致開幕詞(圖二)，他除了感謝我方盛情接待外，也指出今年最大的變化應屬行政院原子能委員會(AEC)因組改而成為核能安全委員會(NSC)；行政院原子能委員會核能研究所(INER)則改為國家原子能科技研究院(NARI)。今天的會議是 COVID-19 疫情爆發後第一次在台北見面，我們看到很多熟悉的老朋友，也加入很多的生力軍，這對核能和平應用研究是很好的現象。期待 AIT 與 TECRO 雙方的專家們齊聚一堂，持續交換意見並增強合作的深度與廣度，以激發更多合作構想之產生，共同致力於提升核能應用的安全與可靠性。



圖二 美方團長 Dr. Jim Warden 致詞

在開幕儀式後，隨即由雙方執行合作項目主要單位進行大會專題報告。美國能源部核能署材料與化學技術處(Office of Materials and Chemical

Technologies) 處長 Dr. Stephen Kung 首以美國能源政策為議題 (圖三), 分享美國核能扮演的角色及未來推動重點, 他表示美國目前有 93 座商業運轉的核反應器機組, 一座反應機組正在建構中; 核能供應美國 18% 的電力需求, 提供 47.5 萬個工作機會。依據 Emissions-Free Electricity in 2022 統計資料, 相較於風力 (27%) 及水力 (16%) 及太陽能 (9%), 核能是美國最大的乾淨能源供應者 (47%)。核能預算也逐年增加, 2020 年為 14.93 億美元 (1.493 Billion), 2023 年已提升至 17.73 億元。它們的任務就要讓先進核能科技滿足美國對能源、環境及經濟的需求, 為了達成這使命, 讓現有核電廠繼續營運, 並建立新的核反應機組, 也要確保核燃料的永續與安全供應, 並擴大國際間的核能合作。在核能機組的持續營運方面, 能源部提供研究經費與計畫, 以提升核電機組的營效率, 增加其使用期限, 降低營運成本, 發展先進能源材料。也朝整合能源系統及產氫示範計畫以擴大核能應用與市場。有關輕水式反應機組之永續研究計畫, 聚焦在核電廠現代化、操作之彈性化、危險告知系統之分析能力、材料研究及實體安全等方面之議題。在建置新型反應器方面, 無論是微型反應器 (Microreactor)、小型模組化反應器 (Small Modular Reactor) 及大尺寸反應器 (Large-Scale Reactor), 能源部都有

各自相關應用研究計畫在推動中。



圖三 美國能源部 Dr. Stephen Kung 分享美國核能之發展現況

有關於鈾原料的生產與供應, Dr. Kung 表示 2022 年美國向國外採購約 4 千萬磅的鈾燃料, 然美國境內只供應 19.4 萬磅的鈾, 亦即 95% 都是向國外採購, 其中加拿大、巴基斯坦及俄羅斯為最大的供應商。為確保美國鈾燃料的穩定供應, 美國制定鈾的策略, 包括確保目前反應器低豐度鈾來源之供應穩定, 使高含量低濃縮鈾 (High-Assay Low-Enrich Uranium, HALEU) 成為商業化新型反應器所需, 並使 HALEU 符合研究用反應器及醫療用同位素產製所需之鈾原料規格, 以滿足防衛國家安全之長期需求。

美國目前已核准一家公司可以執行六氟化鈾濃縮以達到 HALEU 規格之業務, 2024 年目標為產製 900 公斤的 HALEU, 以提供反應器示範用途及燃料

品質之測試。美國能源部除了所屬實驗室投入相關研究，也積極鼓勵工業界成之聯盟，互相支援，以滿足產業需求。

有關於用過核子燃料之管理方面，美國能源部重新檢視整合性棄物處理策略，對於中期貯存設施之美國能源部承諾採取聯邦同意為基礎做為選址之研究，以居民及社區意願為優先考量，並以共同合作、階段性及適應的方式來執行選址。發展高科技之鐵道運送車使能運輸用過核子燃料，並希望藉助國際合作研究來整理用過核子燃料之管理。在拓展國際合作方面，除了核能的尖端工程設計研究以推動美國之市場競爭性，他們也將針對小的或即將採用核能之國家設立乾淨能源設廠中心，他們也在中歐、東歐、東南亞等地透過雙邊核能合作機會，積極使美國技術在此些地方發揮影響力。

由美國核管會安全系統處(Division of Safety System) 副處長 Mary Jane Ross-Lee 博士報告該委員會對於運轉及除役核電廠之執照與管制作為。NRC 除了強調核電廠之安全運轉，也隨著新型反應器之設計與推動，不斷地更新法規內容，10 CFR Part 50 適用於大多數運轉中的核電廠及 NPUF (Non-power Production and Utilization Facilities)，包括研究用及測試用反應器、同位素生產用反應器等)，而 10 CFR Part 52 則適用於新的反應組（例如 Vogtle AP-1000, Small

Modular Reactors 等等)；10 CFR Part 53 將配合新型反應器之設計，融入創新技術及風險告知，並強調可衡量的結果，而不只是過程、技術或程序的監管方法而已。NRC 規劃預計在 2025 年發行 10 CFR Part 53。

Vogtle 電廠的第三及四號反應器順利完成測試與運轉，可以算是 10 CFR Part 52 輔導成功的案例。NRC 在 2023 年核發該電廠之第三號反應器運轉執照，使其順利商業運轉，四號機組也在審查中，預計年底將核發執照。Vogtle 核電廠將擁有四個反應機組，將是美國最大的核電廠，而第三四機組亦是美國二十年來唯一新裝設之反應器，這個審查與輔導程序也讓工作人員學習到許多寶貴的經驗。

有關於核電廠方面，原始核發 40 年之運轉執照，而後各電廠可以依 10 CFR Part 54 提出延役之需求，2023 年美國有 93 座反應機組，9 座仍在 40 年運轉期限內，78 座機組已更新至 60 年運轉執照，並有 6 個反應器已申請使用執照延長至 80 年。延役，核電廠老化管理是一個重要議題，NRC 也針對多方面的資料蒐集及最新研究結果與稽核員的經驗累積，也發行了多項文件供執行更新審查之參考。比較特別案例是 Diablo Canyon NPP 申請停止運轉後，又於 2023 年 11 月重新提出延長 20 年運轉執照之申請，NRC 也正在廣泛蒐集與審查資料中。

除役方面，美國目前有 16 座反應器處於除役狀態，也有 7 個機組完成除役並在安全儲存(SAFSTOR)的狀態。除役後相關土地再利用，最近的一個案例為 Zion 核電站，它在 1997 年停止運轉，並於 1999 移除燃料棒，而後在 2019 年完成大部份之除役工作，2023 年 11 月，除了少部份土地用於貯存用過燃料棒(Independent Spent Fuel Storage Installations, ISFSI)外，大部份的土地已符合非限制性用途而釋出使用。

美方另一重要簡報是美國能源部 Office of Radiological Security 的處長(Director) Ms. Kristin Hirsch 分享有關於採用非放射性之另類技術，她首先介紹主要任務是預防高活度放射性物質被用於恐怖行動中，以確保全球安全。高活度放射性同位素指的 Co-60, Ir-192, Cs-137 Am-241 等，它們可應用於醫療上的癌症治療或血品照射；工業上，它們可被應用於滅菌器及非破壞性檢測（例如油井探勘）等等。若此類放射性物質不幸落入歹徒手中，將造成很大的社會安全問題。能源部近年來推動另類的技術，例如以電力來釋出游離輻射，推動俱有自我屏障功能的 X-ray 照射器，或是工業用電子加速器等，當電力關掉，即沒有輻射釋出。美國能源部正在推動本項計畫，提供業者相關補助方案，並委託大學或研究機構做相關比較研究。美國阿岡國家實驗室(Argonne National

Laboratory)代表 Dr. Paul Dickman 分享美國對於 Generic Repository Standards 的發展現況。能源部資源外交事務分析師 Mart Stewart-Smith 分享美國對於跨邊境之核能緊急應變反應機制。

我國簡報部分，核安會代表報告過去一年我國核安管制工作的重點，首先說明因應組改，今(2023)年九月改制為核安會，它是一個獨立機構負責我國的核能及輻射安全管制；核能研究所改為國家原子能研究院，由核安會督導，法人機構之研發與人員任用更具有自主性及彈性，以提昇研究能量。

台灣電力公司代表報告我國核電廠的放射性廢棄物管理策略，說明目前面臨除役的核電廠因為用過核子燃料貯存問題尚未解決，所造成推動除役工作面臨的挑戰，以及目前因應的策略。

國家原子能研究院代表報告分二部份，首先介紹該所核設施中研究用反應器廠除役狀況與核物料處理情形，以及用過核子燃料終期貯存安全評估第二階段的概念設計。在能源技術研發方面，該所則介紹了環境與再生能源領域研究的最新進展，並以固態氧化物燃料電池、生質材料製造工業用聚乳酸、微電網的商品化應用、低廉高端電漿節能膜的製造等為例說明。至於該所具獨特性的核醫藥物與醫材的發展，則介紹肝臟造影劑及人工智慧應用於核醫影像分析等技術突破。

二、合作項目分組討論

全體會議結束之後，接著在第一天下午及第二天進行分組討論。

第一分組是以「反應器管制與法規相關研究」為主題，由美國 NRC Mary Jane Ross-Lee 博士及核安會趙衛武副組長分別擔任分組主席，雙方就核能管制之 15 項合作議題進行工作進度討論與交流，決議繼續維持 15 項合作議題。本次會議 NRC 的台灣國際事務連絡官員 Maureen Conley 帶領新任官員 Marline Dominic 與會，大家互動熱絡，讓第一次參與 JSCCNC 會議的 Marline 感受我方同仁的專業、認真與溫馨。

第二分組以「廢棄物管理及環境復原」為主題，由美國能源部 Paul Dickman 及核安會陳文泉副組長共同主持。國原院提出簡報「Status of WBR Fuels & Stabilization Planning at NARI」說明國原院對於燃料安定化之研究現況。Paul Dickman 針對此主題，也事先連絡能源部相關人員，並告知我方人員直接在國原院執行安定化研究即可；另外在合作議題討論方面，雙方同意 15 項合作議題持續推動。

第三分組以「核子科學、科技、保安及保防」為主題，由國原院徐獻星副院長及美方能部擔任分組 Kristin Hirsch 主席，DOE/NNSA 專家簡報關於美國在核子資訊安全的作為及未再使用之放射性物料之管制方案等等，我方亦提出我

國對放射性物質之管制作為報告。本分組聚焦在 23 項研究合作議題的討論，探討範圍十分廣泛，經於熱烈討論後，雙方同意就 3 項合作項目結束及合併，2024 年執行項目為 20 項。

第四分組由核安會黃俊源副組長及美能源部 Mart Steward-Smith 擔任分組主席，雙方就「緊急應變管理」為主題，進行合作議題之討論。本分組亦安排二項專題報告，邀請交通部中央氣象署鄧仁星博士介紹我國應用污染擴散模組（CALPUFF Model）於緊急應用評估之都會區放射性散評估現況；美方介紹空氣擴散模型應用於髒彈情境之演示。在合作議題討論方面，雙方同意 6 項合作議題持續推動。

2023 年 59 個合作項目，經由四個分組交換意見與討論，經部份合作項目結束或合併，總計合作項目於 2024 年之合作題目總數調整為 56 項。四個分組項目數目統計如下表：

分組	會前	新增	結案	合併	移出	移入	會後
一	15	0	0	0	0	0	15
二	15	0	0	0	0	0	15
三	23	0	1	2	0	0	20
四	6	0	0	0	0	0	6
小計	59	0	1	2	0	0	56

三、參訪活動概述

本年度台美民用核能合作年會的現場參訪地點有二個，首先參訪國家同步輻射研究中心。該中心為我國非常重要之 X 光源，具有高穿透力，可應用於電子材料及生醫等方面之應用研究，本項

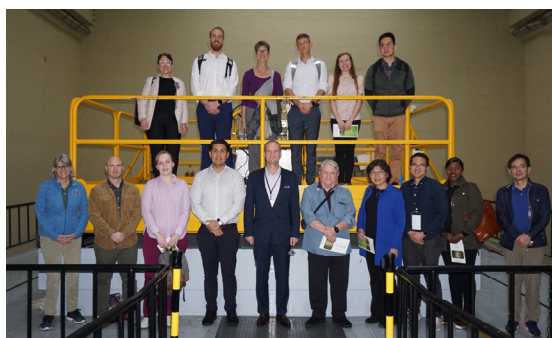
設施也開放國外研究人員來台進行相關應用研究。該中心也投入相當心力於 X 光射線管理，以確保研究人員之安全。

首先由陳昂佑博士為大家介紹該中心之發展歷史與現況，簡報結束後，一行人依序參訪了核設施管理與作業場所。美方專家多係第一次參訪該中心（圖四），對於我原子能應用面的拓展表示印象深刻，肯定該中心之所發展在地技術，符合在地需求。



圖四 參訪同步輻射中心合影

清大研究用反應器（圖五）為第二個參訪點，由該中心主任許榮鈞教授親自接待，許教授表示該校之反應器設備經改建引出中子射束以應用硼中子捕捉療法，並與台北榮民總醫院合作進行癌症治療之恩慈療法，已完成一百例以上之案例，對於頭頸部腫瘤及肝癌之治療都有很好的效果，有許多國家也都派學生來此學習本項技術。



圖五 清大研究用反應器參訪合影

參、心得與建議

綜合以上開會及參訪紀要，整理心得與建議如下：

本屆會議是 COVID-19 疫情後首次在台辦理，亦是改制為核安會後的首次台美核能合作之大型會議，也是首次由美國國務院由 Jim Warden 博士帶領 AIT 團隊來台參加。事前之充分準備與討論，包括國內各單位之間對會議議程的意見、簡報內容與順序、與美方窗口協調時程、議程單位人數飲食禁忌等，負責同仁全力投入加上縝密的規劃，使年會得以順利進行，圓滿閉幕，顯示台美雙方之合作默契與工作經驗傳承皆不因人事異動而有變化，更顯珍貴。

本次會議巧逢立法院預算審查期間，雖開幕式大會主席張副主委因公務無法親臨會場向大家致意，晚宴時仍到場感謝美方貴賓蒞臨台北參加台美民用核能合作會議，並互贈紀念品，以示台美雙方友誼長存。

台美民用核能合作推動中項目甚多，近年以核電廠除役與廢棄物處理處置相

關的技術交流頗為密切，美國在核電廠除役上已有許多成功經驗，核電廠類型與我國也有許多可參考比較之處，這方面所推動的各種形式交流，將是可見未來雙方合作的重點項目。

本會議對現有的工作項目全面地檢討進度，惟部份合作議題未能找到美方合適的聯絡對口，對於合作之推動有所限制，建議未來可以由我方即早提出建議合作對象之名單，交由 AIT 居中協調與確認後，再交由我方連絡，以利合作議題之實質推動。