

出國報告（出國類別：開會）

赴美參加人工智慧高峰會及先進反應器研討會

服務機關：核能安全委員會

姓名職稱：賴弘智簡任技正、王聖舜技正

派赴國家/地區：美國/愛達荷福爾斯

出國期間：114年10月4日至114年10月12日

報告日期：114年11月24日

摘要

本次於美國愛達荷國家實驗室（Idaho National Laboratory, INL）舉辦的「人工智慧高峰會及先進反應器研討會（AI Summit and Advanced Reactors Workshop）」，係由「國際核能合作架構（International Framework for Nuclear Energy Cooperation, IFNEC）」與美國能源部（U.S. Department of Energy）以及「區域能源訓練中心（Regional Energy Training Centers, RETCs）」共同主辦，以研討部署先進反應器的進展現況、效益與挑戰。

研討會共計 4 天，前 3 天的討論聚焦人工智慧、推動先進反應器的創新與部署，以及加速先進反應器的全球整備，第 4 天則安排參訪 INL 的材料與燃料綜合設施（Materials and Fuels Complex, MFC）、先進測試反應器(Advanced Test Reactor, ATR)。

參與本次會議與國際專家交流並實地參訪愛達荷國家實驗室，有助於了解國際上在人工智慧議題與先進反應器發展之最新趨勢，以及美國於先進反應器設計開發、示範與部署方面之進展，有助於提升本會在核能安全管制與國際合作上的視野與實務應用能力。

關鍵字：國際核能合作架構、先進反應器、人工智慧

目次

摘要.....	i
目次.....	ii
壹、目的.....	1
貳、行程.....	2
參、過程.....	3
一、 參加人工智慧高峰會及先進反應器研討會	4
二、 參訪愛達荷國家實驗室	41
肆、心得與建議.....	45
伍、附件.....	46
人工智慧高峰會及先進反應器研討會議程	46

壹、目的

本次出差係代表核能安全委員會參加由國際核能合作架構（International Framework for Nuclear Energy Cooperation, IFNEC）、美國能源部（U.S. Department of Energy, DOE）及區域能源訓練中心（Regional Energy Training Centers, RETCs）共同於美國愛達荷國家實驗室（Idaho National Laboratory, INL）舉辦之「人工智慧高峰會及先進反應器研討會（AI Summit and Advanced Reactors Workshop）」。

本次研討會討論主題聚焦先進反應器設計開發、示範計畫與部署規劃，透過與美國及其他參與國交流，可了解國際上先進反應器之技術發展現況、法規需求及所面臨的挑戰，並掌握各國在政策布局與部署策略上的最新動向。此外，鑒於近年來人工智慧技術快速發展，國際間已開始探討其在核能領域的潛在應用，相關討論有助於掌握技術之最新研究進程、應用前景及限制。本次行程亦安排參訪 INL 的材料與燃料綜合設施（Materials and Fuels Complex, MFC）、先進測試反應器（Advanced Test Reactor, ATR），讓我們能更加具體了解美國在燃料實驗、材料測試與先進反應器驗證上的能量與研究環境。

整體而言，透過參與會議、與專家交流及實地參訪，可強化對全球核能科技發展與管制趨勢的了解，並進一步提升本會在核能安全管理與國際合作方面的專業能力與前瞻視野。

貳、行程

本次公務出國行程自 114 年 10 月 4 日至 114 年 10 月 12 日止，共計 9 天。其中 10 月 4 日至 5 日自我國桃園機場經由美國西雅圖到愛達荷福爾斯，10 月 6 日至 9 日出席人工智慧高峰會及先進反應器研討會，並參訪愛達荷國家實驗室，10 月 10 日至 12 日搭機返台，行程如表 1。

表 1、參加人工智慧高峰會及先進反應器研討會行程表

日期	行程內容	地點
10/4(六) ~ 10/5(日)	路程：台北→愛達荷福爾斯	去程班機
10/6(一) ~ 10/9(四)	參加人工智慧高峰會及先進反應器研討會、參訪愛達荷國家實驗室	美國愛達荷福爾斯
10/10(五) ~ 10/12(日)	路程：愛達荷福爾斯→台北	回程班機

參、過程

全球核能夥伴關係(Global Nuclear Energy Partnership, GNEP)係由 DOE 於 2006 年發起，致力推動全球使用核能之安全與和平，並減少核擴散風險，其宗旨包括：鼓勵有核能發電需求的國家以安全、受管制之方式發展核能；促進核子燃料循環與核廢料管理的國際合作；由具備再處理與濃縮技術的國家提供核子燃料服務，降低核擴散風險。GNEP 在 2010 年 6 月於迦納首都阿克拉 (Accra) 召開的會議中，轉型為 IFNEC，由美國主導，經濟合作暨發展組織核能署 (Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, OECD/NEA) 提供秘書處之支援，同時通過新的任務宣言 (Statement of Mission) 來促進核能和平用途之發展，並確保核能之擴展符合效率、安全、保安、防止核擴散等原則。IFNEC 自轉型以來，讓更多的會員國參與，並提供國際核能和平應用更廣泛的合作視野，目前 IFNEC 擁有 33 個參與國、31 個觀察國和 6 個國際組織觀察員，這些國際組織包括國際原子能總署 (International Atomic Energy Agency, IAEA)、第四代國際論壇 (Generation IV International Forum)、歐洲原子能共同體 (European Atomic Energy Community, Euratom)、全球核能婦女會 (Women in Nuclear Global, WiN Global)、世界核能協會 (World Nuclear Association) 及經濟合作暨發展組織核能署。

本次於 INL 舉辦的「人工智慧高峰會及先進反應器研討會」，係由 IFNEC、DOE 及 RETCs 共同主辦，以研討部署先進反應器的進展現況、效益與挑戰。研討會從 10 月 6 日 (一) 至 10 月 9 日 (四) 共計 4 日，由核能安全委員會賴弘智簡任技正、王聖舜技正等 2 員參加，國家原子能科技研究院亦派徐碧璘研究員、蕭伯彬副研究員等 2 員參加，如圖 1。研討會前 3 天的討論聚焦人工智慧、推動先進反應器的創新與部署，以及加速先進反應器的全球整備，第 4 天則參訪 INL 相關實驗室，議程詳如附錄，以下依研討會議程及參訪行程摘要重點內容。

一、參加人工智慧高峰會及先進反應器研討會

(一)10月6日

1. 專題演講：人工智慧與核能-核能與人工智慧

本項由愛達荷國家實驗室科學計算與人工智慧部門主任暨能源部核能辦公室人工智慧用於核能部署國家技術主任（INL Division Director of Scientific Computing & AI and DOE NE NTD for AI for Nuclear Deployment）Mr. Chris Ritter 進行演講。

Mr. Chris Ritter 說明近年來 AI 資料中心的快速興起帶動前所未有的大規模用電需求，DOE 對此已提出許多因應方案，並將部分聯邦土地資源投入尖端設施之部署。由於美國已有很長一段時間未有新建核電廠之專案，因此目前推動之相關示範計畫具有重要價值，可藉此累積經驗、強化供應鏈、培育專業人才，並降低後續興建成本。DOE 的目標非常明確，預定在明（115）年 7 月 4 日前，至少讓 3 座先進反應器達到臨界運轉，顯示美國政府對於能源供應穩定的重視。另外在 AI 的幫忙下，可顯著提升核能設計、審查程序及安全驗證之效率，透過整合資料、物理模擬與工程分析，以數位雙生模式輔助研發與決策，使人員得以更專注於驗證關鍵細節，達成人機協作之目標。

美國的核能創新生態系已逐步成形，相關企業積極投入核子燃料供應鏈之重建，目前已有 4 家業者啟動試產，以確保核子燃料穩定供應。同時，新創公司如 Atomic Canyon，以及科技巨頭微軟（Microsoft）、亞馬遜（Amazon）等亦投入資金，形成能源與科技產業間的協同效應。此外，美國總統簽署 4 項有關核能的行政命令，明定新建核能設施之審查時程上限為 18 個月，現有反應器相關審查則須於 12 個月內完成，以為 AI 發展及資料中心等高耗能設施的大規模部署，提供穩定且可靠的電力供給。

AI 技術在核能領域的應用可概分為三個主要面向：首先，藉由 AI 輔助設計與審查流程，可將傳統仰賴人工檢視的作業自動化，縮短分析與審查時間，進而加速執照審查時程。其次，數位化營運可透過 AI 技術減少人力需求、提升核能設施之營運效率，並結合自動化控制系統與資安防護機制，強化整體安全性。

第三，AI 可支援進階研究與安全驗證，整合數據分析與模擬技術，建立數位雙生模型，使核能系統之操作與決策更加精準、安全。

在政策指引下，INL 將積極推動美國國內的供應鏈建設，並開放部分程式碼與工具供外部單位申請使用，同時整合核能與其他能源，拓展至核融合、太空、國防等領域，為全球能源發展開啟新局。

2. 產業座談：能源數據關係：核能驅動人工智慧的機會與挑戰

本項由輝達建築、工程與營建暨地理空間產業行銷主管（Architecture, Engineering & Construction / Geospatial industry marketing Lead, Nvidia）Mr. Sean Young、微軟資深主任兼技術策略長（CISSP & CISM, Senior Director & Technology Strategist | Microsoft Federal, Microsoft）Mr. Bryan Lopez、美國核能協會執行董事（Executive Director, U.S. Nuclear Energy Institute）Mr. Marcus Nichol 等 3 位進行分享。

Mr. Sean Young 說明當前的 AI 發展正處於前所未有的轉型期，其影響可比擬 1990 年代網際網路革命，微軟作為 AI 領域的重要企業，擁有巨大的運算能力，已部署超過 120 萬平方英尺，採用 Nvidia 技術運作的資料中心，另外亦規劃了多個資料中心，發展如地震活動預測、氣候模式模擬的 AI 模型運算，相關規模皆已遠超傳統的雲端運算，未來新一代 AI 資料中心運算速度預計將提升 10 倍。為因應如此龐大的電力需求，核能的可靠性與穩定性，可滿足大規模 AI 資料中心的運作，微軟已將核能納為供電選項，成為驅動 AI 的關鍵。

微軟在數年前便預見 AI 與能源結合的趨勢，因此認為必須與政府及產業界建立合作，此類合作不僅涵蓋基礎設施的部署，也延伸至核能設施的管理。目前已將管理文件、資料與規範整合至資料庫，並透過 AI 優化存取效率，顯示核能與 AI 的結合正逐步落地。另外有許多專案正在執行，涵蓋管制、設計與數位運營等範圍，反映業界正積極探索 AI 在核能與能源領域的應用潛力。

在核能數位轉型中，AI 扮演關鍵角色，可協助設計、審查及安全驗證，並透過數位雙生模擬物理與工程，使得決策更為有效率。雖然現階段系統尚未成熟，但人機協作模式已有初步進展，使專業人員能專注於高階驗證與策略決策。

微軟與各產業的合作示範了 AI 與核能結合的實際可行性，並為未來能源供應穩定性、數位化管理及全球永續發展奠定基礎，對於既有或新建核能設施而言，現階段正是導入 AI 應用關鍵時期，未來將可塑造全球能源與科技的新格局。

Mr. Bryan Lopez 說明隨著眾多專案陸續推進，電力資源配置與國家政策成為關鍵因素，大家也意識到問題的急迫性，像谷歌（Google）這樣的企業在能源轉型上採取的新模式，也成為產業界的重要參考，這都顯示大型科技公司正逐步在能源領域扮演更重要的角色。

Mr. Marcus Nichol 說明 AI 在核能上的應用目前的挑戰會是如何導入經過驗證的 AI 模型與應用架構，不能因為可以用 AI 就一味地推動，應該要建立標準流程，先小規模的測試，再逐步驗證可行性。

3. 參觀視覺化應用實驗室

視覺化應用實驗室（Applied Visualization Laboratory, AVL）是 INL 與先進能源研究中心（Center for Advanced Energy Studies, CAES）共同合作，作為大學、產業與 INL 研究人員開發視覺化的模擬工具。視覺化技術延展實境（Extended Reality, XR）包括虛擬實境（Virtual Reality, VR）、擴增實境（Augmented Reality, AR）和混合實境（Mixed Reality, MR）三大分支，各自具備不同特性與應用場景，在現代工程與科學領域，相關技術正在全面改變操作、設計與教育模式。其中 MR 把真實與虛擬的世界合併在一起，讓使用者既能觀察現實世界，也能與數位內容互動，這種技術使其能在高風險操作、複雜系統模擬及教育場景中發揮關鍵作用。

INL 視覺化應用實驗室開發的 MR 環境，可讓現場作業人員進行高風險操作訓練，例如在更換反應器泵浦的操作中，一旦操作員誤啟動電源可能造成嚴重的後果，但透過 MR 反覆演練，能讓操作人員熟悉流程、預測潛在風險，降低在真實環境中出錯的機率。另外，相關技術可用於設備設計驗證，例如可透過虛擬環境來驗證閥門高度或控制介面設計之合理性，若發現問題可即時調整設計，這種虛實互動的過程，使操作安全性與設計可用性同步提升。

在研發與模擬方面，亦可應用 XR 技術，例如在反應器的研究中，透過 XR

技術將電腦輔助設計（Computer-Aided Design, CAD）模型及蒙地卡羅中子通量模擬結果視覺化，突破了傳統平面設計限制，使研究人員能在三維、沉浸式環境中全面理解系統行為，讓研究人員能更精確掌握爐心能量分布，以利進行更安全、更有效率之研究。

4. 自主設計與許可

本項由 INL 的 Mr. Peter Suyderhoud、Ms. Sonali Sinha Roy 及 Mr. Jason Andrus 等 3 位進行說明。

美國預估至 2030 年左右，約有 12% 的全國電力需求將來自資料中心，相較於 2020 年以前僅約 2% 的占比，成長幅度相當可觀。為滿足龐大的用電需求，興建核電廠的必要性日益迫切。然而，現行建廠過程往往因複雜的工程與冗長的執照審查程序，導致成本超支與時程延宕。例如 Vogtle 核電廠最終造價翻倍且期程延宕，凸顯產業界需要尋求更高效率的解決方案。

隨著 AI 技術的迅速發展，其應用已可從核電廠設計、建造到審查的各階段發揮重要功能。在設計階段，AI 可自動生成 CAD 模型，並結合有限元素分析與相關物理模擬，加速設計迭代與優化，使工程師得以專注於高價值分析工作。在文件與知識管理方面，AI 擅長資料檢索、文件轉換及跨領域資訊整合，可有效解決專案中龐雜的文檔處理與資訊交換問題。在法規審查階段，AI 可自動生成符合法規格式的文件，並比較與管制機關的規範差異，以加速審查流程，亦可在設計變更時即時評估對安全性的影響，作為是否需重新申請的參考依據。在建設與設備選擇上，AI 可自動完成管線配置、三維建模及結構分析，並根據需求與供應鏈條件提出最佳化方案。

儘管 AI 應用具有極大潛力，其導入仍面臨多重挑戰。首先，核能產業長期依賴大量文件資料，但多數內容結構化程度不足，增加 AI 系統整合難度。其次，AI 生成內容可能出現「幻覺」（hallucination），導致結果錯誤或文件不一致，必須建立嚴謹的驗證機制以確保可靠性。第三，資訊安全亦為重要課題，以確保生成結果符合法規與安全標準。未來核能產業若能結合 AI 進行設計、建設與審查，將可大幅縮短專案週期、降低成本並提升安全性，其中的關鍵會在於強

化資料庫的建置，改善數據管理與共享機制，讓 AI 技術能在核能領域的應用有所突破。

5. 自動化與遠端操作

本項由 INL 的 Dr. Ryan Stewart 及 Dr. Joe Oncken 等 2 位進行說明。

Dr. Ryan Stewart 說明數位雙生的概念，強調透過同步實體資產（真實核子反應器）與虛擬資產（模擬之核子反應器模型），可即時模擬、監控與進行異常偵測。他以 AGN-201 研究用反應器為例，團隊建立數位雙生系統，透過感測器收集功率、控制棒高度與水溫數據，結合機器學習與物理模型分析，判斷運轉狀態並發現異常。2023 年進行的實驗證明該系統能有效辨識不同類型的擾動事件，未來 2 年，團隊計畫將技術擴展至更大型的反應器，並發展自主運轉系統，實現更高程度的自動化控制。

Dr. Joe Oncken 從安全與法規面切入，分析遠端操作在美國核能管制架構下的可行性。他指出，遠端操作不僅是技術挑戰，更涉及經濟性、設計、通訊與人員配置。依系統重要性，遠端操作可分為僅監控（Monitoring Only）、允許特定指令（Allowlisted Commands）、控制非安全系統（Control of Non-Safety Systems）、控制安全重要系統（Control of Safety-Significant and Important to Safety Systems），以及控制安全相關系統（Control of Safety Related Systems）等 5 個等級。其中，僅監控與允許特定指令的操作，多數情況不需適用嚴格的網路或實體安全規範；若涉及控制非安全系統，則須評估其對電網穩定與營運的潛在影響；而對控制安全重要系統或控制安全相關系統，由於必須確保遠端操作中心、通訊路徑及所有基礎設施皆具備相同等級的安全防護，因此在實務上幾乎難以實現。

安全架構部分，應以分層防禦與系統分區方式實作，確保一旦遭入侵，影響能被限制在特定範圍。在應用方面，微型反應器（Micro Modular Reactor, MMR）因輻射源項較小且具被動安全設計，較有可能應用遠端操作，特別適合偏遠地區或電力需求急迫的地區使用，相較之下，相對較大的小型模組化反應器（Small Modular Reactor, SMR）則需更嚴格的安全驗證。

6. 參觀高效電腦中心

INL 的高效電腦中心提供強大的超級電腦，支援各類研究領域之需求，包括核能、燃料行為、材料科學、數值分析及複雜系統模擬等。該中心同時也提供運算資源給學術界、業界與政府機構，以推動科學與工程研究，如圖 2。目前 INL 最新的超級電腦為 Wind River，擁有 94,416 個處理核心、210.75 TB 記憶體，系統的峰值效能為每秒浮點運算（Peta Floating-Point Operations Per Second, PFLOPS）次數 5.3（1 PFLOPS 等於每秒一千萬億次運算），功率為 970kW。另外預計 2026 年上線之超級電腦為 TETON，擁有 393,246 個處理核心、768 TB 記憶體，系統的峰值效能為 15.57 PFLOPS，功率為 1,600kW。

由於超級電腦極為耗能，冷卻系統與電力成本大，如何設計有效的冷卻與備用電源方案以維持效率與可靠性是一大挑戰。INL 高效電腦中心之電力供應、冷卻系統、機櫃配置、地板高度、空調與水冷設計等方面，係依大型運算負載需求規劃，並考量未來擴充性，以確保系統效能與穩定運作。例如在冷卻管理上採用水冷機櫃（water-cooled racks），冷卻系統是將水從大型冷卻水塔抽取，通過管線送至伺服器室，再分配到各機櫃的設計。另外為因應可能的斷電或極端條件，中心內部亦有強大的備援組件，如備用電池系統及發電機，有助於提供穩定之服務。

7. 首日研討總結

本項由 Mr. Chris Ritter 做總結，他表示首日討論的焦點在於 AI 與核能產業的結合，探討國際合作及技術應用的前景，並強調單靠研究與技術不足以推動產業發展，真正的關鍵在於合作，雖然各國在核能應用上採取不同策略，但仍可彼此學習與交流。

有關發展藍圖，DOE 目標是在明（115）年 7 月前，至少推動 3 座 MMR 達到臨界運轉，並期望 2027 至 2028 年間能有多座投入商業應用，這些示範將能為 SMR 的設計與部署提供寶貴經驗。

至於 AI 技術，特別是生成式 AI 的發展，正快速改變核能產業，回顧 ChatGPT 的演進，AI 推理能力大幅提升，雖然伴隨更高的能源消耗，但這正是核能與 AI 相互關聯的契機。現階段 AI 在核能應用的發展階段，猶如 1998 年網際網路的

初期，未來的影響力將持續擴大並深入核能產業的整個生命週期，包括設計、運轉、維護與決策等面向。

最後，核能基礎設施結合資料中心建設已成為新趨勢，包含微軟在內的企業已在核電廠附近建設資料中心，直接利用核能來提供電力需求，提升運算效能與穩定性，預期未來此類型的合作會更加普遍。

8. 參觀 EBR-I (Experimental Breeder Reactor-I)

10 月 6 日研討會結束後，主辦單位安排參觀 EBR-I (Experimental Breeder Reactor-I) 博物館。EBR-I 是由著名核物理學家 Dr. Walter H. Zinn 領導的團隊在美國原子能委員會 (Atomic Energy Commission, AEC) 支持下設計與建造，於 1949 年動工，並於 1951 年 12 月 20 日成功點亮四個 200 瓦電燈泡，是世界上第一座發出可用電力的核子反應器，也是第一座成功展示「快中子滋生反應 (faster breeding reaction)」概念的實驗性反應器。EBR-I 的成功是人類首次透過核能產生電力，不僅象徵著核能發電時代的開端，更奠定了現代核能技術研究的基礎。

EBR-I 雖然是世界上第一座成功產生電力的核子反應器，但它在設計上與後來的商用核子反應器有顯著差異，其中一個就是控制棒的功能，因為 EBR-I 採用的是快中子增殖反應設計，不使用緩速劑，為了控制反應度，工程團隊並非透過插入或抽出吸收中子的控制棒來調整，而是設計了四個可移動的鈹 (Beryllium) 反射體區塊，環繞在反應器核心外部。當反射體靠近核心時，中子被反射回爐心，使反應度上升；反之，移開反射體則降低反應度。這種透過改變中子反射效率的方式，能有效控制爐心的反應度，但其調整速度相對緩慢，且操作需仰賴高度經驗判斷，這樣的設計反映出早期快中子反應器在工程與物理概念上仍在探索之階段。

EBR-I 雖然有控制棒的設計，但數量很少，主要由硼 (Boron) 材料製成，僅作為輔助微調反應度或緊急停機用途，由於快中子不容易被吸收，傳統控制棒材料對快中子反應的控制效果有限，因此控制棒在 EBR-I 中扮演的角色並不像在熱中子反應器那樣的關鍵。此外，EBR-I 的設計目標並非長期穩定運轉發電，而是用於實驗性地驗證「增殖反應」的可行性，這使得反應器的控制系統

偏向簡化與實驗導向，以方便進行中子行為與燃料轉換率的研究。

然而，這種以反射體為主的控制設計也暴露出潛在的風險，1955 年 EBR-I 在進行燃料測試時因操作失誤導致功率暴增，最終造成部分爐心熔毀。事後調查顯示，反射體控制反應度的變化相對遲緩，加上人員誤判使得反應過程失控。雖然事故沒有造成輻射外洩或人員傷亡，但卻得到核能史上一個重要經驗回饋。

1955 年後 EBR-I 結束運轉並退役，INL 仍繼續推動快中子反應器研究，建造了 EBR-II，全面導入多支控制棒與自動化反應度控制系統，大幅提升安全性與穩定性。現今 EBR-I 已被列為美國國家歷史地標(National Historic Landmark)，並對外開放成為博物館，館內保留了完整的控制室、反應爐本體與冷卻系統，展示核能科技發展的起點。

(二)10 月 7 日

1. 開場

第二天會議一開始由 IFNEC 主席 Ms. Aleshia Duncan 致詞，另由能源部愛達荷運作辦公室主管（Manager of the Idaho Operations Office, U.S. Department of Energy）Mr. Robert Boston 及愛達荷國家實驗室科學與技術副主任暨首席研究長（Deputy Laboratory Director for Science and Technology and Chief Research Officer, U.S. Idaho National Laboratory）Dr. Todd Combs 進行演講。

Ms. Aleshia Duncan 說明 IFNEC 從 GNEP 演變而來的歷史，是一個具包容性和整體性的社群，目標是將先進國家、新興國家及有/非核國家聚集在一起，共同討論核能的和平用途。Ms. Aleshia Duncan 說明這 10 年來持續倡導 IFNEC 作為全球核能和平使用對話的關鍵平台，而平台的力量就是來自於關係的建立，期盼與會者能積極參與，以強化這個重要的國際社群。

Mr. Robert Boston 說明 INL 是美國能源部旗下的國家實驗室之一，主要負責核能研究，佔地約 569,178 英畝（約 2300 平方公里），擁有超過 6,000 名合約員工和 125 名聯邦員工，2024 年 INL 的營運經費約為 20 億美元。INL 目前有 4 座運轉中的反應器、22 座第 II 類與第 III 類非反應器設施、49 座放射性設施等基礎建設。回顧 1980 至 1990 年代，INL 是核廢料儲存與清理場地，自 2005

年起巴特爾能源聯盟（Battelle Energy Alliance）接手經營後，實驗室轉型為研發與創新的重鎮，預算從約 4 億美元成長至超過 20 億美元。

INL 因開發耐事故燃料（Accident Tolerant Fuel, ATF）而於 2017 年重啟關閉多年的暫態測試反應器（Transient Reactor Test Facility, TREAT），TREAT 的功能類似「核能版碰撞測試」，在奈秒級時間內將功率提升至十億瓦，用於測試燃料在極端條件下的表現。先進測試反應器（Advanced Test Reactor, ATR）則能以高通量中子照射實現 1 年等於商用反應器 10 年的材料老化模擬，支持美國海軍潛艇與航母的長壽命燃料研發，驗證燃料與材料的長期可靠性。由於 TREAT 和 ATR 的成果，促使 INL 成為美國核能創新的核心，能源部已啟動反應器試驗計畫，顯示核能產業的活躍。

2025 年 5 月美國總統發布 4 項行政命令，包含振興核能產業、DOE 核子反應器測試改革、國家安全推動及核管會（Nuclear Regulatory Commission, NRC）管制任務改革，DOE 核能辦公室參與約七成行動項目，並與 NRC、國防部密切合作，以優化審查流程。最後，Mr. Robert Boston 強調其領導的法規精簡任務，將原本 1500 頁的核能規定縮減至 600 頁，僅保留具法律依據的規範，大幅提升行政效率，未來將公開新法規，顯示 DOE 核能管制體系的重大改革與現代化成果。

Dr. Todd Combs 分享自己以前在阿岡國家實驗室（Argonne National Laboratory, ANL）負責非核能領域，包括關鍵材料、電動車與電池技術、國家安全及國土安全相關研究，因預期新核能時代即將到來，在 2017 年加入 INL。回顧 INL 的歷史，在 1950 至 1970 年代曾建造、測試過 52 座反應器，幾乎全球所有核反應器設計中都能看到 INL 的技術脈絡。現今電動車的普及、AI 與資料中心的興起推升了電力的需求，同時，AI 也將反過來促進核能在設計、運轉與安全決策上的革新，由於美國與全球對新核電的需求迫切，讓核能領域再度活躍，尤其 SMR 與 MMR，將為能源供應提供新的解決方案。

美國設定 2050 年前將核能裝置容量從現有約 95GW 提升至 400 GW 的目標，推動了各種先進反應器計畫的進行，包括 Oklo 的 Aurora 計畫、Fermi America 與德州理工大學共建先進能源與 AI 園區，以及 Abilene Atomic 正在開發一種超模

組化反應器 (Extra Modular Reactor, XMR) 等，顯示美國核能新創正蓬勃發展。Dr. Todd Combs 指出距離上一次在 INL 建造反應器已超過 50 年(自 1973 年起)，但這一情況即將改變，未來幾年 INL 將迎來多個關鍵設施，包括利用原 EBR-II 除役後的圓頂，重建成微型反應器實驗設施 (Demonstration of Microreactor Experiments, DOME)，以及預計 2028 年啟用的 LOTUS (Laboratory for Operations and Testing in the United States) 測試設施。另外，多個核能計畫也將陸續進場，包括 DOE 的 MARVEL (Microreactor Application Research Validation and Evaluation)、國防部的 PELE 微型反應器、Southern 與 TerraPower 的熔融氯化物反應器實驗 (Molten Chloride Reactor Experiment, MCRE)，以及 Oklo 等企業的設施。另外 INL 亦期望迎來第 53 座新反應器，以延續過去 52 座反應器的創新傳統。

最後 Dr. Todd Combs 強調未來核能發展仍面臨供應鏈與人力資源挑戰，並鼓勵與會者積極交流、提出問題與見解，促進國際合作，這些討論將有助於共同塑造未來全球核能與創新技術方向。

2. 美國現行先進反應器、小型模組化反應器和微型反應器現況

本項由能源部核能辦公室首席副助卿 (Principal Deputy Assistant Secretary, Office of Nuclear Energy, U.S. Department of Energy) Dr. Michael Goff 進行演講。

Dr. Michael Goff 說明因為資料中心、先進製造業及電動車的快速增長，美國電力需求急速增加，使得對核能的需求日益迫切，因此核能被視為國家安全核心的一部分，國會兩黨均支持加速核能部署。能源部目前專注於四個領域：

(1) 確保現有核電廠安全可靠的運轉，並延長運轉執照至 80 年或更長；(2) 確保核子燃料供應穩定及核廢料管理完善；(3) 推動新核電部署，加速技術落地；(4) 促進國際合作，協助盟友滿足能源需求。

政府透過公私合作計畫降低先進反應器首次部署的風險，例如西屋 (Westinghouse) 輕水式反應器、X-Energy 高溫氣冷式反應器及 TerraPower 鈉冷式快中子反應器的部署、先進反應器示範計畫 (Advanced Reactor Demonstration Program, ARDP)、第三代以上小型模組化反應器的部署資助計畫，並支持 NuScale、奇異日立 (GE Hitachi)、Holtec 及 Westinghouse 等公司，重點是實現後續的第

N 次部署。

國家反應器創新中心（National Reactor Innovation Center, NRIC）則提供業界在 DOE 授權下測試反應器概念的平台，首批包括 Westinghouse 及 Radiant 的 MMR，預計在 2026 年測試，2027 年開始商業部署，而 DOE 授權的加速測試與 NRC 的合作將可簡化首次部署過程。在燃料供應方面，隨著地緣政治影響，特別是俄烏戰爭的關係，美國正投資建立國內鈾濃縮及轉化能力，並與「札幌五國」合作（包括：美國、法國、英國、日本、加拿大，是美國在核子燃料濃縮與轉化領域合作的五個國際夥伴國，名稱來源於早期一次國際會議在日本札幌舉行），確保燃料供應安全可靠。

總結而言，美國目標是 2050 年核電容量達到 400 GW，並以合作方式加速核能部署，確保安全、穩定及持續的能源供應，同時促進國際合作與技術出口。

座談部分，由大西洋理事會核能政策倡議主任（Director, Nuclear Energy Policy Initiative, Atlantic Council）Dr. Jennifer Gordon 主持，並由愛達荷國家實驗室核科學與技術副主任（Associate Laboratory Director for Nuclear Science and Technology, U.S. Idaho National Laboratory）Dr. Jess Gehin、愛達荷國家實驗室 MARVEL 微型反應器計畫負責人（MARVEL Microreactor Lead, U.S. Idaho National Laboratory）Dr. Abdalla Abou Jaoude、美國核能協會執行董事 Mr. Marcus Nichol 等 3 位進行分享。

Dr. Jess Gehin 表示其負責實驗室的所有研發計畫，包括反應器測試平台、核子燃料開發、輻照實驗、技術開發及模擬等，這些工作與 NRIC 及總統的行政命令目標保持一致。INL 持續透過公私合作，加速 ARDP 的執行，並以 MARVEL 微型反應器為例，展示如何推進反應器啟動和研發進程。

Dr. Abdalla Abou Jaoude 說明 MARVEL 專案是一個示範計畫，主要目的是強化 MMR 的研究量能，並非與其他公司競爭。MARVEL 透過安全分析、經驗回饋以及供應鏈開發，為其他公司提供技術支援，此外，MARVEL 也作為大學研究平台，鼓勵學校投入核工領域，培養下一代核能技術人才。

Mr. Marcus Nichol 說明核能市場正面臨快速變化，特別是由數據中心與大型

能源用戶帶動的電力需求成長。由於 SMR 與 MMR 能縮短建置時程，能更靈活地回應市場對快速供電的需求。現有反應器的重啟，是迅速增加核能供應的重要策略，透過提升功率、更新燃料及延長燃料循環週期等措施，可有效提升現有核電廠的經濟性與可靠性。此外，聯邦與州政府提供的稅額抵免，也支持了既有核電廠的持續運轉。

3. IFNEC 會員國與國際觀察組織的全球視角

本項由國際原子能總署小型模組化反應器平台專員（SMR Platform Coordinator, International Atomic Energy Agency）Dr. Dohee Hahn 進行說明。

Dr. Dohee Hahn 說明 IAEA SMR 平台約在 4 年前成立，目的是協調各國與各機構在 SMR 領域的相關活動，促進全球合作與知識共享。根據 IAEA 最新的全球核能發電容量預測，到 2050 年，在高經濟成長情境下，全球核電裝置容量可達 992 GW，其中約 16%（164 GW）來自 SMR。若平均每座 SMR 約 300 MW，預計全球將有超過 500 座 SMR 投入運轉。SMR 的需求增長主要來自三個方向：

（1）發電用途：應對電力需求快速上升，尤其是人工智慧與資料中心的耗能。2023 年全球約有 1.5% 電力供應給資料中心，且比例持續增加。（2）煤轉核政策：部分國家正進行以核取代燃煤發電的可行性研究，IAEA 已受邀協助評估相關前期方案。（3）非電力應用：可用於製氫與工業熱能供應。

目前西方國家尚未有 SMR 商轉發電的案例，僅有的 2 座投入運轉的 SMR 一座是俄羅斯的浮動式核電廠 Akademik Lomonosov，另一座是中國的高溫氣冷式反應器 HTR-PM。預計到 2030 年代中期，全球將有約 20 種不同設計的 SMR 在運轉，其中大多為示範型或首次部署，商業化部署仍需一段時間。IAEA 目前在多個領域協助會員國，包括能源規劃、融資模式、反應器與燃料技術、法律與管制架構、安全與保防，以及基礎設施發展等。為了促進全球核能開發與應用的一致性，IAEA 已於 3 年前啟動核能協調與標準化倡議（Nuclear Harmonization and Standardization Initiative）。有關 SMR 學校的推動情況，IAEA 在 2024 年共舉辦三期，分別在肯亞、泰國與阿根廷，共有來自 30 國、逾百名學員參與，主要對象為政府決策者與核能相關機關，內容涵蓋 SMR 部署的政策與技術，2025 年

預計在美國舉辦新一輪課程，重點將放在開發商、供應國與潛在使用國之間的互動交流。

4. 國家與組織在先進反應器之進展、優先事項與合作

本項由 11 個國家之代表分別簡要介紹該國在先進反應器的政策及規畫情形。

(1) 阿根廷

Dr. Ariel Hosid 說明儘管阿根廷屬於發展中國家，但其核能部門極具實力且發展成熟。阿根廷的核能體系由多個公私部門組成，其中包括：國家原子能委員會（National Atomic Energy Commission of Argentina, CNEA），負責全國的核能發展與研究；國家核能公司（Nucleoelectrica Argentina S.A., NASA），負責經營 Atucha 與 Embalse 2 座核電廠並供應電力；以及國家核子管制局（Autoridad Regulatoria Nuclear, ARN）作為獨立機構，負責安全管制，確保國內所有核能活動的安全與品質。此外，阿根廷也擁有多家企業，涵蓋核子燃料製造、二氧化鈾與重水生產等核工業領域。

阿根廷整體核能計畫的核心理念建立在薩巴托三角原則（Sabato Triangle Principle）上，強調科學技術體系的成功必須建立政府、產業與科學研究三方的緊密連結。因此，自核能計畫開展以來，阿根廷致力於發展本土能力、提升國產化比例，並將教育與技術培訓列為戰略重點，以培養本土專業人才並推動科學與技術職業發展。CNEA 在全球核能領域扮演積極角色，不僅培訓外國專業人員，還與多國合作推動技術訓練計畫，並以其在研究與教育領域的貢獻獲得國際認可。CNEA 同時致力於為阿根廷以外地區提供先進核能解決方案，展現其在國際核能發展中的重要地位。

(2) 法國

Dr. Sunil Felix 說明法國為確保國家在追求 2050 年碳中和目標的同時，保持核能在能源體系中的核心地位，啟動了一項核能轉型計畫。法國的策略與美國 2025 年 5 月簽署的行政命令在方向上有若干相似之處，可能

促進雙邊在反應器與核子燃料技術上的合作。

在國內層面，法國的能源轉型將分階段實現：2030 年能源結構脫碳達 58%，2035 年達 70%，2050 年完全脫碳。目前法國在電力結構部分已近乎 100%脫碳，其中核能占 75%、再生能源與水力發電占其餘部分，燃煤發電預計於 2027 年完全淘汰，儘管核能仍為主力，法國同時推動能源多元化，目標 2030 年再生能源占 26%，2035 年達 44%。為實現目標，法國制定了 4 大政策方向：（1）現有核電廠延役：延長核電廠運轉至 60 年並提升功率。（2）建造新一代大型反應器：法國總統於 2022 年啟動建設 6 座 EPR2 反應器（每座 1,650 MW），首座預計 2038 年運轉，並規劃再建 8 座以增加總計約 23 GW 容量。（3）推動創新：透過「法國 2030 計畫」支持 SMR 與先進模組化反應器研發，特別聚焦於第四代反應器（鈉冷式快中子反應器、熔鹽式與高溫氣冷式反應器），以及快滋生反應器。（4）維持閉式核子燃料循環政策：法國是少數採行核子燃料回收的國家，現階段執行單次回收（製成 MOX 燃料再利用），未來將推動多次回收，以充分利用用過核子燃料中的能量。最終目標是在 2100 年前建立由快滋生反應器與閉式燃料循環構成的永續核能系統。

在國際層面，法國積極參與 3 項倡議：（1）COP28「全球核能容量倍增」計畫，法國承諾以建設 EPR 反應器。（2）多邊融資推動，呼籲國際金融機構支援核能發展，歐洲投資銀行已率先提供 4 億歐元資助法國 Orano 公司擴建濃縮廠。（3）參與「札幌五國」合作，確保核子燃料供應鏈獨立，避免受俄羅斯影響。

(3) 迦納

Dr. Archibold Buah-Kwofie 說明迦納核能發展開始於 2012 年政府決定將核能納入國家能源結構，並因此成立了迦納核電組織（Nuclear Power Ghana, NPG）作為國家協調機構。隨後於 2015 年制定了核能發展路線圖，目標是在 2030 年前商業運轉首座核電廠。整體計畫是依據 IAEA 的里程碑方法（Milestones Approach）推進。

有關核能基礎設施發展，在完成第一階段（2019~2022 年）的評估與

政策決策後，政府於 2022 年核准進入第二階段。目前迦納正進行詳細的場址調查，針對先前選定的一個首選場址與一個備用場址進一步分析，以確認最適合建廠的地點。同時，計畫團隊也在制定管制相關文件與政策指導文件，以滿足國內核能安全與管制體系的需求。

有關利害關係人與國際合作，作為第二階段工作的一部分，政府加強了社區參與利益關係人溝通，以提高民眾對核能的理解與接受度。此外，迦納正在進行供應商技術評估與選擇，在 2021 年發布資訊徵詢後，收到 6~7 家供應商關於 SMR 的建議。2024 年迦納與 NuScale 簽署了 SMR 技術協議，目前正與廠商洽談合約。

有關能力建構與法規體系，迦納持續與國際合作，推動綜合管理系統（Integrated Management System）的建立，以確保計畫執行的有效性。政府亦持續培育核子工程、管理與管制人才，做為未來核能工業的基礎，同時，核能管制機關也已完成一系列需經國會審議核准的法規草案，以利核准核電廠址及後續階段的推展。

(4) 日本

Dr. Toru Nakatsuka 說明日本自 2011 年福島事故以來，首要任務是執行福島第一核電廠除役作業，以及重啟事故後停止運轉的反應器。近年來日本政府開始重啟相關開發計畫，並於約兩年半前正式提出新的先進反應器開發方針。日本政府選定五種重點開發的反應器技術類型：（1）大型輕水式反應器：由三菱重工、日立、東芝等民間企業主導，以國內市場為主，目前處於設計階段，預計 2030~2040 年可投入商轉。（2）小型模組化反應器：仍處於初期階段，尚未進入活躍開發期，預期 2040~2050 年進行示範運轉。（3）快中子式反應器：由日本原子能機構（Japan Atomic Energy Agency, JAEA）在大洗町的常陽（Joyo）反應器為基礎，日本在該領域具長期經驗。現正推動示範反應器計畫，主要承包商為三菱重工，預計於 2040~2050 年可示範運轉。（4）高溫氣冷式反應器：JAEA 在大洗町的 HTTR（High Temperature Engineering Test Reactor），已運行逾 20 年，由三菱重工擔任主要供應商，現處於基本設計階段，目標在 2030 年代後

期進行示範運轉。(5) 核融合：日本的核融合研究已轉移至量子科學技術研究開發機構(National Institute of Quantum Sciences and Technology, QST)，目前 JAEA 不再直接負責相關研究。

為促進技術的開發與全球化推廣，日本積極尋求國際合作，在高溫氣冷式反應器，日本正與英國合作；在快中子式反應器，則與美國與法國合作，共同參與示範計畫。此外，日本還計畫在 2030 年將 HTTR 測試反應器與氫氣生產設施（Hydrogen Production Plant）相連結，示範利用核能產氫（Nuclear Hydrogen Production）的技術潛力，作為日本能源轉型的重要里程碑。

(5) 馬來西亞

Mr. Kamarul Ariffin Bin Mohamad 說明馬來西亞的核能發展仍處於初步階段，該國核能政策歷程可追溯至 1972 年，當時成立了馬來西亞核能研究所，接著在 1982 年建立第一座研究用反應器（功率約 1 MW）。1984 年通過原子能核照法（Atomic Energy Licensing Act），並成立管制單位原子能核照局（Atomic Energy Licencing Board，2022 年改名為 Atom Malaysia）。2010 年馬來西亞政府將核能列為國家經濟轉型計畫（Economic Transformation Programme）的重要項目之一，並於 2011 年成立馬來西亞核能電力公司（Malaysia Nuclear Power Corporation, MNPC）作為核能計畫執行組織（Nuclear Energy Programme Implementing Organization, NEPIO），2018 年政權更迭後，新政府決定暫停所有核電計畫，MNPC 於 2019 年解散，核能發展也因此中止。隨著 2023 年新政府上任，核能議題重新被納入能源政策討論，2024 年 4 月，政府重新評估將核能作為能源選項的可行性，同年 11 月，在能源及水務轉型部（Ministry of Energy Transition and Water Transformation, PETRA）轄下成立新組織 MyPower，重新被指定為國家的 NEPIO。到了 2024 年底，MyPower 已完成先期可行性研究，並於 2025 年啟動全面可行性研究。

根據國家能源政策（National Energy Policy）與國家能源轉型路線圖，馬來西亞的長期目標是在 2044 年前淘汰所有燃煤發電，2050 年前達成再

生能源占比 70%。馬來西亞政府認為要實現潔淨能源轉型，核能是可行的補充選項之一，不過目前尚未決定是否正式採用核電，若採用將使用何種技術，以及核電廠的潛在場址，這些議題都將納入 MyPower 進行全面可行性評估，未來政策方向將根據可行性研究結果制定。

(6) 韓國

Dr. Sungjai Lee 說明韓國目前正經歷核能發展模式的重大轉變，從過去以公部門主導的體系轉向由民營部門主導的模式。這一轉型旨在反映 SMR 的多功能特性，使其能廣泛應用於不同領域，且更靈活地因應全球 SMR 市場的多元化需求。目前韓國正同時研發 3 種非輕水型先進反應器，分別為鈉冷式快中子反應器(SARS-100)、高溫氣冷式反應器(HECTOR)以及熔鹽式反應器(EURECA)。

為加速先進反應器的實際部署，韓國正籌劃 NUCLEAR 計畫(New Energy Using Clean Advanced Reactor)，該計畫旨在強化公私協作，加速先進反應器的示範與商業化進程，預計在 2030 年底完成示範，推動韓國邁向以先進核能實現新能源的目標。

(7) 立陶宛

Mr. Renatas Sumskis 說明立陶宛曾擁有伊格納利納核電廠(Ignalina NPP)，該廠設有兩座 RBMK 型反應器，並於 2009 年正式關閉，後續立陶宛的重心轉向核電廠除役與放射性廢棄物管理工作。2022 年起，立陶宛啟動了能源戰略修訂計畫，在過程中進行了多項評估研究，研究結果顯示，核能在未來立陶宛的發電與供熱中可以扮演關鍵角色。依據研究預測，約在 2040 年左右需要 0.4 至 0.5GW 的核能裝置容量，而到 2050 年則需約 1 至 1.5 GW。該戰略的長期目標是於 2050 年前在所有能源領域實現完全脫碳，其中電力部門的脫碳目標預計在 2030 年前完成。根據這些研究結果，立陶宛於 2024 年新能源戰略草案中設定了明確目標，重新評估在立陶宛引進核能的可行性，此項評估預計在 2028 年促成國會正式決策。同時，這一戰略也旨在恢復國家核能技術能力，並強化與潛在技術供應國（特別是美國）之合作，因此，立陶宛政府已於 2024 年夏季與

美國政府簽署核能合作協議。

在執行層面上，立陶宛政府已決定依據 IAEA 的里程碑方法，成立政府工作小組以推動該計畫，此任務將由能源部負責執行，並由前伊格納利納核電廠（Ignalinos Atominė Elektrinė）團隊在分析與研究上提供技術支援，現有的管制單位則將負責安全審查。Mr. Renatas Sumskis 特別強調面臨的 2 項挑戰：首先是人力資源與能力建構，若要啟動新核能計畫，立陶宛必須擴充專業人員的能力；其次是公眾接受度，目前立陶宛民眾對核能的支持約為五成，但全球事件（如 2011 年福島事故）可能迅速改變公眾態度，因此需謹慎推進社會溝通與信任建立。另外，立陶宛未來也會加強對 SMR 及其他先進反應器技術的認識與研究，以拓展超越傳統輕水式反應器的技術視野。

(8) 摩爾多瓦

Ms. Doina Dînga 說明摩爾多瓦正在制定 2050 年能源戰略，計畫將 SMR 作為能源安全與脫碳的長期解方，目標是在 2050 年前實現碳中和，建立安全、具競爭力且可持續的能源體系。由於摩爾多瓦電力需求不高，大型核電廠並不適合，因此 SMR 成為理想選項，預計整合約 300 MW 的容量。未來核能政策將取決於三項因素：技術成熟度、經濟競爭力與國際合作夥伴關係。另外，摩爾多瓦位於地緣政治敏感區域，因此政府必須將國家安全與民眾保護列為首要考量。

摩爾多瓦已在 COP 28 簽署到 2050 年將核能發電量提高三倍的國際承諾，並感謝美國與歐盟在能源基礎設施與政策上的支持。摩爾多瓦與羅馬尼亞簽署備忘錄，並透過羅馬尼亞切爾納沃德核電廠獲得電力供應，有助於穩定能源安全，特別是在 2022 與 2025 年兩次能源危機期間。摩爾多瓦預計在 2030 年前後決定是否興建核電廠，若確定興建預計在 2040 年前後開始運轉。

(9) 新加坡

Ms. Juliana Wai Yin Chow 說明新加坡目前電力部門約佔全國碳排放量的 40%，電力需求預計在未來幾年將持續上升，為實現 2050 年淨零排

放目標，新加坡積極研究低碳替代方案，其中核能被視為潛在選項之一。此外政府也在探索區域電網合作，目前已參與歐洲模式的跨境電網研究，並與東南亞國家聯盟（Association of Southeast Asian Nations, ASEAN）各國合作，評估從區域進口低碳能源的可行性。雖然尚未決定是否在國內部署核能設施，但政府正努力建構核能安全與先進核能技術方面的能力，為未來可能的能源轉型做準備。在國際合作方面，新加坡於去年與美國簽署 123 協議，期望未來能與更多國家展開合作，共同推動低碳能源與核能發展。

(10) 英國

Mr. Sam Oakley 說明在新政府上任以來，英國在大型與先進反應器兩方面均有重大進展，大型計畫方面，Hinkley Point C 核電廠的 2 座反應器正由法國 EDF 公司建造，預定在 2030 年初投入運轉。而 Sizewell C 核電廠也已在今年做出最終投資決定，預計在 2030 年底運轉。此外，英國正努力延役 Advanced Gas-cooled Reactor（AGR）及 Sizewell B 核電廠，以維持穩定的電力供應。

在 SMR 策略方面，英國採取三管齊下的發展方向，首先政府在 2024 年宣布 Rolls-Royce SMR 為英國交付 SMR 機組的首選業者，該計畫基於輕水式技術，目標於 2030 年建造 3 座 SMR，預期將創造大量就業並帶來龐大投資，同時 Rolls-Royce SMR 亦積極尋求與歐洲及其他地區的合作與出口機會。其次，英美兩國的核能合作關係日益緊密，在川普總統的訪問期間，英美雙方宣布了近千億美元的投資協議，展現英美企業在核能產業中的強大夥伴關係，這類合作可預見英國將持續拓展與美國及其他國家的核能夥伴關係。第三，英國重視先進核子燃料供應鏈的建立，政府已承諾投入約 3 億英鎊（約 5 億美元），支持英國企業 Urenco 建設高含量低濃縮鈾（High-Assay Low-Enriched Uranium, HALEU）燃料設施，目標於 2031 年之前為全球先進反應器提供燃料。

另外，英國在推動核能復興的同時，也重視國際合作，英國已在 G7 核能論壇與 COP 28 會議上重申共同參與的承諾，這些多邊平台正推動

全球核能創新與安全發展。在管制層面，英國正在推動管制流程簡化與許可審查加速，預期核能管制機關將發布新的架構，降低行政程序、縮短開發時程。此外，英國也正在擴大核電廠選址規劃，由大不列顛能源核能公司（Great British Nuclear, GBN）主導，開發更多潛在場址供未來開發使用。

(11) 阿拉伯聯合大公國

Ms. Slama Bakheet Almansoori 說明自己不僅代表阿聯酋核能公司（Emirates Nuclear Energy Corporation, ENEC）與國家參與此會，更是以巴拉卡核電廠（Barakah Nuclear Power Plant）所在地達夫拉地區的本地居民身份發言，強調該計畫對地方社區的深遠影響。Ms. Slama Bakheet Almansoori 指出巴拉卡核電廠不僅是發電設施，更是促進社區發展與青年就業的象徵，該廠為阿聯酋提供約 1400 MW 電力，占全國電力結構的約 25%，並每年減少約 2200 萬噸二氧化碳排放，相當於道路上減少約 500 萬輛汽車的排放量。此外巴拉卡專案在建造時程與管理效率方面也比全球平均快，同時全程維持極高的品質與安全標準。基於這些成功經驗，ENEC 成立了 ENEC Consult 子公司，旨在與全球合作夥伴分享巴拉卡的建設經驗。

巴拉卡核電廠只是阿聯酋未來核能藍圖的起點，在確保既有核電廠安全與高效運行的同時，ENEC 正積極拓展新一代反應器技術。為此成立了「業務發展與投資部門（Business Development and Investment）」，專責探索全球不同的 SMR 與 MMR 技術及合作機會。同時，ENEC 在 COP 28 期間啟動了名為 ENEC Advanced Program 之計畫，專注於全球 SMR 技術的調查、投資可行性與部署策略。該計畫也致力於協助阿聯酋減碳難度高之產業（如石油天然氣、鋼鐵與鋁生產），以評估核能在製氫、供熱、蒸汽生產與海水淡化等多元用途上的潛力。ENEC 期望與全球合作，推動核能在能源轉型與永續發展中的應用。

5. 社區參與的重要性

本項由愛達荷福爾斯市市長（Mayor, City of Idaho Falls, Idaho, United States of America）Hon. Rebecca Noah Casper 進行演講。

Hon. Rebecca Noah Casper 說明愛達荷福爾斯市人口約七萬，同時也是少數有自營電力公用事業的城市之一，因為有美國能源部的愛達荷國家實驗室以及海軍的反應器設施，因此可以說是個「核能社區」，能源組合以水力發電為主，並有風能、地熱及非碳排放能源的開發。愛達荷福爾斯市曾參與猶他州聯合市政電力系統公司（Utah Associated Municipal Power Systems, UAMPS）的無碳電力計畫（使用 NuScale 小型模組化反應器技術），雖然因財務風險過高而終止，但仍對核能的信心未減，持續規劃能源研究園區，並與 INL 及其他先進核能開發者合作，推動未來的核能應用及發展。

隨著人工智慧與資料中心的崛起，需要穩定且環保的能源，而核能正是實現這一目標的關鍵。愛達荷福爾斯是美國能源社區聯盟（Energy Communities Alliance, ECA）的創始成員，該組織致力於教育地方官員了解核能與能源部政策，我在 2020 年推動新核能倡議（New Nuclear Initiative），幫助社區領導人為新核能做好準備。自首屆論壇以來，參與人數從 95 人增至超過 250 人，顯示地方對核能知識與產業機會的強烈興趣。

Hon. Rebecca Noah Casper 說明地方政府與社區在核能設施選址與發展過程中應承擔的責任與準備工作，涵蓋從前期審慎評估到法規與社會支持等階段，主要分為 7 大項：(1)調查與確認：地方政府應確實了解相關的技術、供應商、業主及潛在客戶，確保資金來源的穩定。此外，需充分掌握核子燃料供應鏈與用過燃料的最終處理途徑，並釐清供應鏈中的風險與責任，確保所有條件都符合永續發展的目標。(2)安全性與技術可行性的驗證：地方需明確了解開發商與營運者需遵守的安全要求，包括選擇適當的場址與土地取得，確保符合核能安全與區域發展規劃。(3)公眾溝通與教育：強調應積極教育民眾與地方意見領袖，透明回應所有疑慮與問題，並與媒體合作傳遞正確資訊，提升社會對核能科技與安全的認識，建立長期信任。(4)培育地方勞動力：核設施的建設與運轉需不同類型的人力資源，地方應進行職能盤點，發展相關訓練課程與教育資源。政府可與學校、技職機構及勞工部門合作，培育長期核能人才，並透過誘因吸引

高技術勞動力回流，確保地方具備支撐核能產業的能力。(5)促進地方經濟：核能計畫可成為地方經濟的成長引擎，規劃得當的核能建設可帶動基礎建設投資，促進其他產業發展，創造經濟機會。地方應思考如何將核能計畫與長期區域發展策略結合，善用其所帶動的效應。(6)強化基礎治理：聚焦於公共設施與治理能力，地方需盤點基礎設施，如道路、電力、鐵路等，確保消防醫療等公共安全資源充足。(7)發展政策與法規：地方應推動有利於產業與人力發展的法規，教育立法者與官員了解核能的重要性，簡化地方許可與審查程序。此外，還需理解能源安全在地方、國家與國際層面的關聯，推動國際合作與經驗分享。

另外，愛達荷福爾斯市也與歐洲擁有核設施的城市聯盟（Group of European Municipalities with Nuclear Facilities, GMF）及加拿大核設施所在社區協會（Canadian Association of Nuclear Host Communities, CAM）合作，成立跨國地方政府夥伴關係，並獲國際原子能總署署長 Rafael Grossi 肯定。核能計畫的成功必須獲得當地社區的信任與支持，這正是推動核能教育與地方參與的核心信念，只有當地願意、理解並參與，核能推廣才能順利。

6. 管制準備

本項由巴拉圭放射與核能管制局局長（Minister Secretary, Radiological and Nuclear Regulatory Authority）Hon. Jorge Molina 進行演講。

Hon. Jorge Molina 說明 SMR 被視為新型核電技術係因具有建造速度快、成本低的優勢，但對於新進國家而言，核發核電廠許可仍面臨重大挑戰，傳統大型核電廠建造需花費非常長的時間（通常超過十年），而 SMR 的目標是縮短約 5 年，要達成此目標需要考慮如何與 IAEA 及已有經驗的管制機構合作。這裡有兩個核心策略包含協調化（harmonization）與模組化（modularization），模組化指 SMR 的部分組件（如反應器壓力容器）設計為獨立模組，在不同地方組合使用。協調化則是指對已獲批准的模組或組件，其他新進國家可以引用既有審查與設計資料，而不需重新研究或挑戰其安全性。至於選址因涉及地區特定因素，需依當地環境條件審查，但 IAEA 的里程碑方法提供建議性架構，有助於國家規劃相關基礎設施之建設。

座談部分，由大西洋理事會核能政策倡議主任 Dr. Jennifer Gordon 主持，並由巴特爾能源聯盟管制研究與電廠最佳化處副處長（Deputy Division Director Regulatory Research and Plant Optimization, Battelle Energy Alliance）Mr. Scott Ferrara、台灣核能安全委員會簡任技正（Senior Technical Specialist, Nuclear Safety Commission）Mr. Hung-Chih Lai、薩爾瓦多國家核能計畫執行署輻射防護師（Radiation Protection Analyst, National Agency for the Implementation of Nuclear Energy Programme）Mr. Oscar Fidel Portillo Aguilar 等 3 位進行分享。

主持人請分享者分說明各自國家在下一代核能反應器，特別是 SMR 部署與管制準備方面的現況與挑戰。

Mr. Ferrara 說明美國政府積極推動管制體系現代化，NRC 研擬 10 CFR Part 53 建立「技術包容、風險告知」的執照許可架構，DOE 推動審查流程簡化，將核能設施的審查時間縮短，降低管制負擔及促進創新。DOE 與 NRC 會協調新舊制度的銜接，確保從 DOE 許可轉向 NRC 商業執照的業者能清楚理解管制差距與轉換途徑。

Mr. Hung-Chih Lai（如圖 3）說明雖然台灣目前無運轉中的核電廠，但政府對新核能技術持開放態度，目前主要工作包括建立社會共識、完善核廢料管理、蒐集國際法規，以及維持與培育核能專業人才。政府已針對 SMR 規劃相關的研究計畫，期望透過先期研究與國際接軌，此外也積極藉由國際合作，推動技術交流及人才培育，提升我國在新核能技術發展上的研究能量。

Mr. Oscar Fidel Portillo Aguilar 說明薩爾瓦多仍處於核能計畫初期階段，已採用 IAEA 的里程碑方法作為核能發展藍圖的參據，並以 IAEA 安全標準構建管制體系，已於 2024 年通過能源法與輻防法，並建立專責管制機關，以及接受 IAEA 同儕審查：綜合監管評審服務（Integrated Regulatory Review Service, IRRS）。另外薩爾瓦多也與美國簽署戰略民用核能合作備忘錄，積極參與國際合作。

主持人請分享者就管制的挑戰與機會分享看法。Mr. Ferrara 說明最大的挑戰在於燃料供應鏈與新技術人才培育，並指出管制作為必須與新技術中被動安全系統的風險相稱，避免過度管制。Mr. Hung-Chih Lai 說明台灣面臨的關鍵問題

是人才與知識的傳承，因此需藉由國際合作進行能力提升與資料共享，以面對新技術的快速發展。Mr. Oscar Fidel Portillo Aguilar 說明該國主要挑戰是管制獨立性與人力培訓，需確保法律保障與資金穩定，同時藉由國際合作建立長期能力。

7. 供應鏈、核子燃料循環與核廢料處理

本項由愛達荷國家實驗室 MARVEL 微型反應器計畫負責人 Dr. Abdalla Abou Jaoude 進行演講。

Dr. Abdalla Abou Jaoude 說明 MARVEL 是一座熱功率 85kW，電功率小於 20kW 的小型核子反應器，設置於 INL 的 TREAT 燃料池內，使用 TRIGA 燃料、鈉鉀合金 (NaK) 作為冷卻劑、鉍作為中子減速劑，屬熱中子能譜反應器，介於輕水與快中子反應器之間。目前已完成製造與零件組裝，並在六月前完成第一階段的組件準備。

MARVEL 的目標可分為三點：(1) 啟動供應鏈、重建燃料生產線，並培訓新一代專業人才，為未來 MMR 的量產與運行建立基礎。(2) 建立測試平台：提供操作員訓練環境，驗證分析與模擬程式碼，並展示新型核能技術的實際應用。(3) 推動先導研究：進行關鍵技術開發與整合，持續推進 MMR 的研發進程。

MARVEL 專案的執行，有助強化先進反應器供應鏈、訓練人員並建立能力。供應鏈的主要挑戰包括：(1) 勞動力：需要更多受過核能培訓的專業人員。(2) 燃料供應：雖然 Centrus Energy Corp (LEU) 生產線成熟，但仍需擴展 HALEU 及三結構等向性高度穩固的核燃料 (TRi-structural ISOtropic, TRISO) 顆粒燃料之供應。(3) 法規與標準：需協調 ISO 9001 與 NQA-1 標準，使更多供應商可快速取得核能級資格，並簡化管制流程。

座談部分，由美國核能協會執行董事 Mr. Marcus Nichol 主持，並由法國駐美國大使館核能顧問 (Nuclear Counselor, Embassy of France in the U.S.) Dr. Sunil Felix、日本原子能研究開發機構華盛頓辦公室主任 (Director of Washington Office, Japan Atomic Energy Agency) Dr. Toru Nakatsuka、英國能源安全與淨零排放部多邊民用

核能處主辦（Head of Multilateral Civil Nuclear, Department of Energy Security & Net Zero）Mr. Sam Oakley、國際原子能總署小型模組化反應器平台專員 Dr. Dohee Hahn 等 4 位進行分享。

主持人說明美國目前在能源政策、國家安全政策、氣候政策、製造業政策及國際政策方面達成了一致，這是第一次所有政策方向朝向同一目標，意味著核能的推動涉及多重政策和更廣泛的應用，核能部署需要考慮新的商業模式和策略，不能僅依照傳統公用事業模式，並詢問分享者就降低新核能專案風險的看法。

分享者提到核能成本的最大的因素是融資，因為核電廠建設週期長達 10 至 12 年，直到完成後才開始獲利，因此利息成本很高，降低風險的方法包括提供建設貸款擔保、改變商業模式（如由開發商承擔建設風險，最終售電給公用事業公司或簽訂長期購電協議）、縮短建設週期以及利用先進製造技術加速施工。此外，透過政府與業界共同承擔首創專案的開發成本，對降低技術、專案及供應鏈風險具有顯著效果，也有助於重建美國核能供應鏈。另外，降低專案風險還包括嚴格控制設計要求，專注於最核心之功能，並與供應商保持早期且密切的溝通，以確保組件可製造、易維護，從而降低運營與維護成本。MARVEL 專案便是透過早期與供應商合作，驗證設計可行性並優化可製造性的一個範例。

穩定的政策與法規架構、明確的客戶需求以及長期購電協議都是降低專案風險的重要因素。另外，國家實驗室能為業界提供多方面支持，包括技術支援、模擬、測試以及先進製造技術研發。透過美國能源部推出的加速核能創新門戶（Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear, GAIN）計畫，幫助核能產業降低技術與專案風險，並加速新型核能技術的開發與商業化。同時，業界也可在實驗室現場與專家合作，形成雙向知識交流，進一步降低專案和技術風險。

(三)10 月 8 日

1. 未來技術人力之建立

本項由迦納原子能委員會核能研究所主任（Director, Nuclear Power Institute, Ghana Atomic Energy Commission）Dr. Archibold Buah-Kwofie 進行演講。

Dr. Archibold Buah-Kwofie 說明目前全球核能產業的勞動人口多達數十萬人，這個數字並不包含供應鏈相關人員。在美國，截至 2023 年，估計約有 6 萬 8 千名核能產業從業人員，同樣地，這個數字也不包括供應鏈、國家實驗室以及其他支援核能產業的相關機構人員。依據 IAEA 在 COP 28 之後的推估，到了 2050 年，因為預期屆時全球的核電機組數量將會是現在的三倍，核能產業將需要約 400 萬名專業人員。

目前核能產業從業人員大約有六成的年齡介於 34 至 50 多歲之間，因此整體來說年齡偏高，且新進人員、年輕世代與資深人員之間存在明顯的斷層，也就是中生代技術與經驗層的人才明顯短缺。這種現象很明顯地反映出在 STEM 領域（科學、技術、工程與數學），尤其是核能工程方面，人才培育管道出現不足。

到 2050 年，非洲將擁有全球有 35% 青年人口，可以善加利用這些人口潛力，包括推動更包容的青年政策、投資教育和技能訓練，因此迦納與美國能源部核能辦公室合作，共同成立了 RETCs。有關 RETCs 之活動包含：2022 年啟動了雙週的線上培訓計畫，針對 IAEA 里程碑方法中所列的 19 項核能基礎設施議題進行訓練、2023 年在迦納舉辦第一屆 USANES(US African Nuclear Energy Summit)、2024 在肯亞舉辦第二屆 USANES、2024 年 12 月，在盧安達舉辦了一場以「非洲核能融資」為主題的部長級圓桌會議，來自二十多個非洲國家的能源部長都親自出席參與、2025 年迦納主辦了第一屆 IAEA 核能管理學校，共有來自 19 個非洲國家的學員參與、2025 年啟動了以青年為主的計畫「新世代核能倡議」(Next Gen Nuclear Initiative)，挑選非洲 5 國中有社群媒體影響力的人，讓他們成為核能倡議的推廣者。

由於夥伴關係與合作非常重要性，RETCs 的設立證明了夥伴關係與合作能夠幫助達成目標，並且縮短開發勞動力所需經歷的學習曲線（learning curve），特別是對新興國家而言，透過與先進國家合作，能夠以更快的速度來縮短學習曲線，並開發出所需的勞動力。人力資源非常關鍵，因此需要確保青年能夠發展，使他們在未來成為有用的人力，RETCs 始終保持開放態度，歡迎更多抱持類似願景的夥伴加入，以協助開發下一代的人才。

座談部分，由美國 IFNEC 主席 Ms. Aleshia Duncan、英國能源安全與淨零排放部多邊民用核能處主辦 Mr. Sam Oakley、薩爾瓦多國家核能計畫執行署化學分析師（Chemical Analyst, National Agency for the Implementation of Nuclear Energy Programme）Ms. Ana Marquez、阿根廷原子能委員會核能工程師（Nuclear Engineer, National Atomic Energy Commission）Dr. Ariel Hosid 等 4 位進行分享。

主持人請分享者說明為何會踏入核能領域。Ms. Aleshia Duncan 說明原本在人力資源領域工作多年，後來在老闆的鼓勵下轉入核能領域，最初負責為美國能源部核能辦公室招募更多女性工程師，從而培養出推動女性參與核能產業的熱情，並提到自己一直對國際事務感興趣，希望能接觸不同文化與國家，這也成為她投入核能國際合作的契機。Mr. Sam Oakley 說明其在英國能源部工作，過去以通才（generalist）路線發展，涵蓋國際政策、國際貿易和國家安全等領域，因為覺得核能工作涉及大型專案、國際合作、長期影響力，同時每天都有挑戰很吸引人，期望繼續從事國際核能相關事務並持續累積專業能力。Ms. Ana Marquez 說明其背景是化學工程，之前在製藥產業，目前從事核能工作約 4 個月，主要負責核能相關的法規，特別是在環境保護與放射性廢物管理的部分。Dr. Ariel Hosid 說明其目前是專案工程師，2009 年起以研究員身份加入設計團隊，同時他任教參與教育與培訓活動，期望能夠促進核能人才的培育與產業發展。

主持人詢問分享者目前如何透過自己的角色去指導和培育下一代核能專業人才。Ms. Aleshia Duncan 表示她是 RETCs 的主要推動者之一，也參與了許多個國際青年培訓與導師計畫，並強調青年人口將是未來全球核能產業的主力，因此需要投資於他們，並提供經驗指導，幫助他們面對複雜的核能決策與挑戰。Mr. Sam Oakley 說明他在英國能源部有參與核能畢業生培訓計畫（Nuclear Graduates Scheme），這是一個為想要在核工業領域開啟職業生涯的畢業生設立的發展計劃，計畫週期為 2 年，參與者會輪調到不同核能單位工作，例如：業界、管制機關（如 Office for Nuclear Regulation 或環境署）及相關政府部門等，分享者扮演的角色是指導與管理這些學生，幫助他們了解政府政策的實務運作與行政體系，協助他們將技術背景轉化為政策思維，他認為目前的挑戰之一，

是政府內部缺乏具備技術背景的人才，但也觀察到許多理工背景的畢業生在接觸政策工作後，意外發現自己很喜歡這個領域，也更願意投入公共部門。Ms. Ana Marquez 說明年輕一代任務，是把受訓學到的專業知識內化並分享給同仁，確保經驗與能力能持續傳承與擴散。

主持人請 Dr. Ariel Hosid 介紹阿根廷核能教育與產業之間的連結。Dr. Ariel Hosid 說明阿根廷的國家原子能委員會資助三個研究機構，主要提供核子工程、材料工程、機械工程等課程，並包含物理學及研究所專業課程。從大學三年級開始，學生若通過測驗可獲得全額獎學金，但必須每學期通過所有測驗以保留獎學金資格，透過嚴格選拔與全額獎學金制度培育核能專業人才，通常畢業生畢業後在國內外核能相關產業都有良好的發展。

主持人指出核能產業需要跨領域人才，詢問分享者對於該如何平衡不同專業（工程、政策、法規、學術等）的人力配置以符合未來需求之看法。Ms. Aleshia Duncan 說明雖然目前工程師數量不足，但實際上工程師只占整個專案需求的約 15%（視專案類型與規模而定），還有其他不同領域的人才也很重要，因此她所扮演的角色是激發大家的興趣，吸引人才投入核能領域，並協助政府進行人力需求分析，另外，國家在人才培育時必須建立系統化規畫，確保教育與就業銜接，避免工程師與其他專業人才短缺或流失。

主持人請 Ms. Ana Marquez 分享作為年輕代表，當告訴朋友自己從事核能工作時，他們通常有什麼反應。Ms. Ana Marquez 表示自己可以參與薩爾瓦多核能計畫感到自豪，但也面臨學習的挑戰，同時認為需要加強核能溝通策略，朋友們對國家可以加入國際核能社群感都表示開心與支持。

主持人詢問 Dr. Ariel Hosid 對公眾接受度（public acceptance）的觀察，尤其是以他指導學生的角度出發，談學生對核能的興趣與態度。Dr. Ariel Hosid 說明他觀察到學生對核能抱持正面態度，許多人因好奇心而加入這個領域，CNEA 也會開放研究中心給高中生與大學生，提供實務操作與研究經驗，增進學生與公眾對核能的認識，不過現有推廣活動多集中在已接受核能理念的群體，尚未延伸至不了解或持保留態度的群體，由於恐懼與誤解是核能推廣的一大挑戰，未來需要加強公眾教育與宣傳，以擴大核能的接受度。

主持人詢問對於確保核能領域有足夠且合適的人才以滿足產業需求方面，所面臨的挑戰為何。Ms. Aleshia Duncan 認為挑戰包含：雖然目前已經開始在高中這個階段介紹核能知識，但應該可以在更早一些，從小學甚至六歲的小朋友就開始給予教育與啟發；目前全球女性在核能工作人口中僅約 20%，需要改善從業者性別比例不平衡的情形；建立簡單明瞭的核能術語（lexicon），讓更多人理解核能；技能型勞動力不足，除了高學歷人才，也需要焊工、技工等，社會應重視這些勞動力的工作價值。Mr. Sam Oakley 認為許多學生完成學位，但最終可能會走向傳統職業，而不是核能或相關產業，因此需要加強產業與大學的連結，讓學生了解行業需求與就業機會。Ms. Ana Marquez 說明薩爾瓦多目前最大的挑戰是缺乏核能專門教育，無論在大學或早期教育階段，都沒有針對核能的學術課程，若可以設計專門的文憑課程或將基礎核能知識納入學校教育，可以啟發年輕一代投入核能相關領域。Dr. Ariel Hosid 指出，目前全球核能產業正面臨高技術人才外流的問題，許多具專業能力的人轉往金融、資訊科技等其他產業發展，導致核能領域難以留住人才，這種情況也發生在技術人員與工程建造人員身上。主要原因之一是核能的計畫常常沒有持續性，當項目中斷或不連貫時，人才就會流失，而重新培訓這些人又需要耗費大量時間與資源，因此，他認為確保持續的專案規劃與長期發展是解決人才流失的關鍵。

與會者提出如果有年輕人對是否投入核能產業猶豫不決，特別是受到社會觀念（例如大家都希望去當醫生）影響的話，請問分享者會給什麼建議。Ms. Aleshia Duncan 說明亞洲和非洲文化確實比較重視家庭與父母意見，年輕人不像在美國那樣容易拒絕父母的期待，因此要違背家長意願其實並不容易，但資訊與教育可以改變人們的想法。父母真正希望的是孩子能夠有穩定收入照顧家庭、做有意義能回饋社會的工作，以及在工作上留下正面的影響及傳承，而投入核能產業正好能同時滿足這三個目標。Mr. Sam Oakley 認為核能產業最吸引人的地方之一，是具有長久穩定性的職涯，因為核能相關任務需要長時間、專業的投入，就算像德國這樣逐步退出核能的國家，仍然需要上萬個核能專業人才，另外核能產業的領域多元，可以在不同面向發展，不必只專精於某一部分。Ms. Ana Marquez 說明薩爾瓦多正善用政府的政策來推動核能計畫，這是一項長期性

專案，而政府與民眾普遍對計畫有信心與支持，相信這將帶來國家的正面發展。Dr. Ariel Hosid 表示應強調推動核能而不是推銷核能，要讓大眾理解核能的益處，他認為這類長期專案應將國家文化融入，而要做到這點，透明與資訊公開是關鍵。

與會者提出在推廣核能相關的人才培訓、職涯發展或新技能時，相關宣傳活動是不是也能幫助一般民眾更了解核能。另外分享核能從業人員的故事和經驗，能不能讓大眾更容易產生共鳴、用更人性的角度理解核能。Ms. Aleshia Duncan 說明核能人才發展的宣傳無法讓人們完全了解核能，要讓人們更了解核能的關鍵，是讓大家知道核能如何影響日常生活，例如電力供應和醫療應用，讓人們明白核能與他們生活息息相關，這才是改變觀點的關鍵。另外真實的故事對提升公眾理解非常重要，可讓人們看到核能的價值與實際貢獻，而不只是恐懼或負面印象。Mr. Sam Oakley 說明使用視覺化工具可以幫助人們理解核能，例如展示一個人一生使用的電量僅需一小塊核燃料，這種直觀方式能讓人更容易理解核能。Ms. Ana Marquez 說明核能計畫需要一個透明的溝通策略，清楚傳達核能計畫對日常生活的實際益處，也要建立公開的平台，讓公眾能提出疑問並進行交流，在薩爾瓦多，他們透過國際合作舉辦了利害關係人工作坊，讓各國內部單位了解計畫並進行對話。Dr. Ariel Hosid 表示核能公共溝通需要耐心與時間，要建立信任並面對偏見、誤解和恐懼。不同領域的人才（不僅是技術領域，還包括社會與人文領域）需要合作，提供高品質的資訊，讓公眾有正確的理解和擁有判斷的空間。Ms. Aleshia Duncan 補充說明並不是每個人都適合做核能溝通的義務，必須挑選適合的人。溝通時需要有創意，使用受眾能理解的語言，不必過於技術化，並聚焦於日常生活的影響，最重要的是核能的溝通必須有明確的策略，並針對不同的受眾量身設計。

2. 利害關係者參與及公眾接受的成功與挑戰

本項由愛達荷國家實驗室核能加速計畫主任（Director of the Gateway for Acceleration in Nuclear (GAIN) initiative, U.S. Idaho National Laboratory）Ms. Christine King 進行演講。

Ms. Christine King 說明 GAIN 是一個已有 10 年歷史的計畫，該計畫目的是推動先進反應器技術，並對現有的核能進行創新，首要職責是確保國家實驗室和能源部所掌握的知識，能夠被任何感興趣的人使用。GAIN 的工作一開始主要是幫助開發者，讓他們進入實驗室並與科學家配合，但發展的技術逐漸接近商業化時，就必須開始思考將在哪裡建設，以及相關社區和州是否已經做好準備。為了確保在規劃能源未來時，核能能被納入考量，並且讓人們獲得足夠資訊去評估這項技術，GAIN 的核心做法是促進雙向交流，建立可持續對話的社群。在與地方或州政府及社區溝通時，不應只強調技術細節，而是要將核能與人們日常生活相關聯，讓技術容易理解，舉例來說，就像選車需要先了解使用需求一樣，介紹核能時也應提供一個架構，帮助大家將資訊套用到自己熟悉的情境中，並用淺顯易懂的方式說明來代替專業術語。另外一個重要的部分是讓大家理解核能如何對他們有益，如果你在社區或州層面討論，但沒提到就業與經濟影響，那代表你沒有做好準備，因為比起技術大家其實更關心技術如何影響社區經濟。在這些溝通中真正的工作，是建立信任與關係，但信任不是一次就能獲得的，是需要持續、按計畫進行，如果你說三個月後回來更新相關資訊，就必須遵守承諾，這就是建立信任的方式。此外，要了解社區如何做決策、如何運作，不要自己創建新程序，而是要利用社區原本熟悉且信任的程序。

迦納原子能委員會計畫助理（Programme Associate, Ghana Atomic Energy Commission）Mr. Etonam Akaho 介紹了迦納核電計畫在利害關係人參與方面的策略、成功經驗與挑戰。Mr. Etonam Akaho 強調利益相關者互動不只是傳遞資訊，而是要讓民眾，尤其是青年積極參與，形成支持核能的社會運動，他們透過新世代核能倡議計畫，邀請非洲 5 國擁有社群媒體影響者學習核能知識，再分享給大眾，短短一週就觸及超過 30 萬人，互動超過 1 萬人，展現青年力量的重要性。在溝通策略方面，要用大眾能理解的方式，例如以生活化例子解釋被動安全或核能原理，同時要關注社區經濟與就業影響，建立信任並持續回訪，形成長期關係。當然也有許多挑戰包括語言障礙（加納有多種地方語言）與反對團體，但透過媒體教育與定期互動，能有效降低誤解。另外國際合作與訓練中心的建立，也讓民眾和媒體親眼了解核能操作和安全系統，讓核能不再只是

書本知識。

分組討論部分，首先 Ms. Christine King 請大家就為什麼要或不要發展核能進行討論，也就是要能清楚表達自己的立場和目的，因為只有講清楚「為什麼」，別人才會願意聽你並和你對話。Ms. Christine King 強調核能發展不只是技術問題，更是社區共同決策的過程，他們的角色是幫助一般人獲得充分及正確的資訊，讓大家能參與與核能相關設施（如核電廠、廢棄物設施、燃料製造工廠等）的決策，在面對想在社區推銷核能的業者時，雙方擁有的資訊能更對等，民眾也能更有信心參與討論，此外，由於核能的開發及後續生命週期非常長，重要的不是讓所有人都贊成，而是讓每個人都感到安心。Ms. Christine King 也請大家想想自己的社區是怎麼做出重大決策或推動重大改變，是先由小組先討論再提出，還是公開討論後由少數人執行？現在社區裡是否已經有其他重大事情在進行？如果有，要怎麼避免讓居民或利害關係人覺得疲乏或倦怠？

接下來 Ms. Christine King 說明核能或大型能源專案的地方層級決策與溝通策略，當國家或州層級已經表示要使用核能後，地方的決策重點就不是要不要建核電廠，而是如何支持讓專案成功，例如道路是否夠寬、基礎建設是否能支援施工團隊等，另外也說明除了傳統領導者（如市長、參議員）的決定，非傳統領導者（如退休官員、意見領袖）的參與也可能是關鍵推手，當然若地方領導者本身可能不擅長核電議題，可以透過引入合適的夥伴（專家、工程團隊、顧問等）來補足這部分。

最後 Ms. Christine King 說明要開一場公眾會議，有幾個關鍵問題需要先釐清，包含會議目標是什麼？（為了讓大家做決策前準備、單純提供資訊、引導參與者提問、是否要回答問題等）誰來主持會議？（選擇合適的組織或人來主持）什麼時候舉行會議？（選擇適合的時間，避開大型活動、假期或其他可能搶走焦點的事件）在哪裡舉行會議？（選擇適合的場地，例如有些場地大廳可展示資訊，再引導參加者進入會議廳）誰來協助規劃會議？（確定規劃團隊成員，誰負責協助執行與組織會議）最後，需要決定下一次會議什麼時候舉行？以及公眾會議召開的頻率多寡？總結來說，公眾討論的規劃要清楚目標、掌握辦理時機、安排適當場地、決定合理的頻次，才能有效促進理解、互動與信任。

3. 財務、全球協作與市場機會

本項由 IFNEC 主席 Ms. Aleshia Duncan 進行演講。

有關財務部分，Ms. Aleshia Duncan 分享她對於融資的觀點，她認為融資不一定是個挑戰，反而是一種推動的工具（enabler），並提到只要有信任就會有金流（where there is trust the money will flow），以核能為例，因為放貸機關必須信任你的國家，這意味著要有穩定的政府、良好的溝通、完善的組織、確定的政策。IAEA 的里程碑方法可以幫助國家建立這種信任，當讓人覺得已經準備充分、值得信任、可靠的時候，融資就會比較容易。例如在非洲，許多國家的總統放寬限制、修法、調整政策，讓投資更容易，這些都是打開投資大門的具體行動，所以各國政府其實有很多事情可以事先主動準備，即使現在沒有資金來興建電廠，但只要把其他該準備的事情都安排好，懂得投資的人自然會來找上門。因此作為政府必須內部先想清楚政府和產業之間的合作關係應該是什麼樣子？管制機關的角色是什麼？勞動力該怎麼培養？這些部分要能合作，國家才能真正準備好吸引投資。

有關全球夥伴關係部分，Ms. Aleshia Duncan 說明 RETCs 就是一個很好的例子，透過共同舉辦培訓與教育活動，能夠影響數十萬人，產生很大的影響力。另外，些國家表態要等 SMR 完成三個燃料循環再決定政策，這是標準的分析導致癱瘓（paralysis by analysis），因為時間不等人，美方目前會把焦點放在那些已經準備好開始行動的國家並且和這些國家合作，但她也了解這是屬國家層級的重大決策，必須準備充分才可以，因此美方也沒有催促的意思。

有關市場機會部分，Ms. Aleshia Duncan 表示市場機會不取決於別人怎麼看你這個國家，而在於你如何展現你的國家已經準備好了，只要展現決心、建立信任並推動國際合作，證明你值得投資與合作，自然能吸引外界的注意。

座談部分，由大西洋理事會核能政策倡議主任 Dr. Jennifer Gordon 主持，並由美國核能協會執行董事 Mr. Marcus Nichol、巴拉圭放射與核能管制局局長（Director, Radiological and Nuclear Regulatory Authority (ARRN)）Dr. Eduardo Galiano Riveros、哥倫比亞麥德林公用事業公司資深工程師（Senior Engineer, Medellin Public Utility (EPM)）Dr. David Galeano、阿根廷原子能委員會核能工程師 Dr. Ariel

Hosid 等 4 位進行分享。

主持人詢問訪談者是如何看待融資這件事的？對於那些屬於新進核能國家（embarking countries）的與會者來說，這些國家需要什麼？有期望從這樣一個集結了眾多國家的場合中獲得什麼？有期望從 IFNEC 或 IAEA 這樣的國際組織獲得哪些協助？

Mr. Marcus Nichol 說明融資可分為國內項目與出口項目兩類，國內項目方面，投資人會用不同的模式來評估，初期時融資的基礎主要會放在公司或組織本身的信用與能力上，而不是專案本身，因為專案本身仍然存在許多風險。等執行較為成熟後，就可以轉成專案融資（project financing）模式，也就是針對單一專案進行融資，並具體評估其風險，另外，目前在美國資金相當充裕，而且投資人對核能項目也都非常有興趣。至於出口融資，現在美國國內的出口融資來源變得更多，例如世界銀行（World Bank），都具備相當大的能力來提供這類融資。

Dr. Eduardo Galiano Riveros 說明以他們作為新進核能國家的角度，核能的高成本可透過良好融資條件管理，真正需要關注的是財務安排與長期策略，與其被巨額成本嚇到，不如討論適合的融資條件，並且想想如果不發展核能，會付出什麼代價。

Dr. David Galeano 說明最昂貴的能源就是沒有的電力（The most expensive energy is the electricity that we don't have），在評估新技術的融資時（例如核能），不能只看隔夜成本（overnight cost），而應該看更全面的指標，如平準化發電成本（Levelized Cost of Electricity, LCOE），另外銀行通常會要求看到能證明這項技術是否在市場上可行的數據。哥倫比亞最近也通過一項新法律，目的在降低國家的風險評級（country risk），因為國家風險指標是銀行在評估投資吸引力時的重要依據，當風險降低時，他們更容易取得融資。

主持人詢問阿根廷的 Dr. Ariel Hosid，該國已經有核電廠，不過在推動下一代或新核能技術時，他們在融資方面是如何考量的。Dr. Ariel Hosid 說明若阿根廷要新設核能設施，必須仰賴國際融資。從全球來看，現在有很多個國家希望把核能納入其能源組合，這樣的趨勢也促使必須尋找新的融資方式，在這樣

的情況下，多邊開發銀行或國際信貸機構的角色將會變得越來越重要。

主持人詢問現在除了有剛開始發展核能的國家（embarking countries）外，也有許多剛開始涉足核能的企業（embarking industries），如科技公司、工業用戶，針對這些企業其融資模式是否會與傳統有所不同。Mr. Marcus Nichol 說明這些新的投資者與傳統電力公司相比，在投資決策的思維架構上非常不同，這些企業往往有大量現金可運用，因此取得資金不是問題，真正的挑戰在於他們的商業模式與核能專案的投資屬性非常不同，例如傳統電力公司投資基礎設施，預期的是長回收期、穩定但相對低的報酬率，但如果科技產業的投資人，通常會期望快速回本與高利潤，因此需要一個中介角色（bridge role）來促成雙方的合作，例如政府與核能投資的機構合作，然後將其與做為最終用戶的企業，簽訂相關電力購買協議。

主持人詢問在推動新技術時，許多國家都很有興趣，但都不想第一個部署，在這種情況下，國際合作是否能幫助降低風險，具體可以怎麼做。Dr. Eduardo Galiano Riveros 說明隨著新技術的部署數量增加，單位造價應該會明顯下降，若等到幾個示範案完成，相關經驗成熟之後再投入，核能投資開始變得非常具有吸引力。Dr. David Galeano 認為公部門與私部門的合作可以解決這個問題，在哥倫比亞的策略是先觀察其他國家如何部署這些技術，並同步完備國內相關的法規。Dr. Ariel Hosid 認為國際上有些倡議，如 IAEA 的核能協調與標準化倡議可以提供幫助。

與會者詢問理論上隨著機組建置越多成本會下降，例如太陽能板價格很高，但隨著大量用戶出現，價格才逐漸下降，但如果核能市場的用戶不多，使用者可能不能享受到價格下降的好處，是否有考慮過這個議題。Mr. Marcus Nichol 說明自然的市場動態會迫使價格下降，如果開發商把價格定得很高，使用者可能會轉向其他別的產品，甚至其他選項。Dr. David Galeano 說明太陽能板價格下降主要是供需關係的結果，但全球核反應器的數量遠少於太陽能板，因此價格下降不太可能單靠大量生產來實現，有關核能的成本核心的問題是建設期間的費用，如果能縮短建設時間，就能有效降低成本，這才是可以讓價格下降的關鍵。

與會者詢問成本下降曲線通常是針對 SMR，因為預期是連續建造，那針對

大型核電廠是否適用。Mr. Marcus Nichol 表示在某些案例中，同樣的設計被重複建造（例如南韓的經驗），成本確實會下降，但不斷更改設計，可能就無法顯現出學習效應（learning rate）。



圖 1 我方代表團於 INL 會議中心合影



圖 2 我方代表團於高效電腦中心合影



圖 3 我方代表參與分組座談

二、參訪愛達荷國家實驗室

10月9日之行程為參訪 INL 相關設施。INL 為 DOE 轄下之國家級研究機構，自 1949 年由美國原子能委員會成立國家反應器測試站（National Reactor Testing Station, NRTS）起，一直是美國乃至全球核能研究的重鎮，尤其在核子反應器技術開發、核燃料循環、核物料安全與防止核擴散等領域扮演關鍵角色。

如同我國核設施之管制要求，參訪前需預先提交個人資料審查，參訪當日需核對護照換發訪客證，且廠區內禁止攝影。本次參訪重點為材料與燃料綜合設施（Materials and Fuels Complex, MFC）及其周邊設施，以及先進測試反應器（Advanced Test Reactor, ATR）。

（一）材料與燃料綜合設施

MFC 為美國核子燃料研究與發展的樞紐設施，功能涵蓋新型燃料開發、先進燃料（如 ATF 及 HALEU）的研發與製造支援、輻照後燃料與材料的檢測分析（Post-Irradiation Examination, PIE）、快中子反應器研究，乃至於太空任務用放射性同位素電源系統的生產等。MFC 核心區域擁有的多項獨特設施，重點設施包含：

1. 熱燃料檢測設施（Hot Fuel Examination Facility, HFEF）：擁有全球最大的惰性氣體熱室，用於安全處理與分析輻照後的高放射性燃料與材料。參訪時隔著數英尺厚的屏蔽窗，清晰可見內部廣闊的作業空間中佈滿了數十支精密的遠端遙控機械手臂（manipulators）。雖因管制無法於現場拍照，但仍可從 INL 網站釋出之熱燃料檢測設施現場操作畫面可知(如圖 4¹所示)，現場工作人員在控制台前透過這些機械手臂執行極其複雜的操作，例如將長燃料棒精確切割成小段、進行尺寸量測、非破壞檢測，以及取樣等作業，充分展現處理高放射性物質所需的尖端遠端操控技術與嚴謹作業流程。HFEF 在 ATF 燃料的 PIE 中扮演關鍵角色，可對高燃耗燃料棒進行各項檢測，以驗證其性能。

¹ 圖片來源：Idaho National Laboratory, Materials and Fuels Complex Booklet

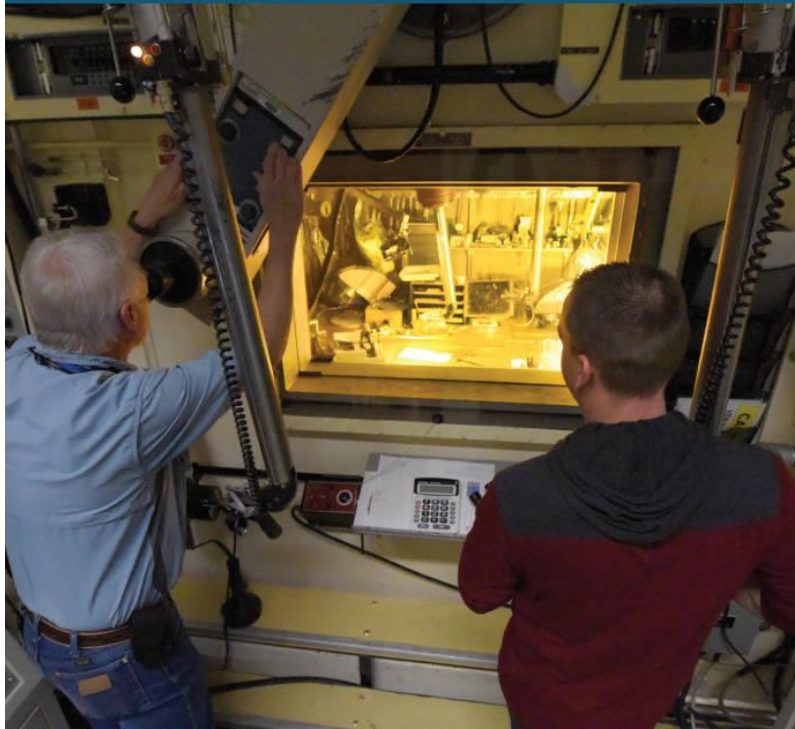


圖 4 現場工作人員於熱燃料檢測設施操作過程

2. 輻照材料特性實驗室 (Irradiated Material Characterization Laboratory, IMCL): 此實驗室配備一系列尖端的分析儀器，例如穿透式電子顯微鏡 (Transmission Electron Microscopy, TEM)、掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) 等，用於深入解析燃料和材料在承受高強度輻射和高溫環境後的微觀結構演變、元素遷移、相變化及裂變產物行為。由於實驗產生的數據量極為龐大，近年來 INL 已積極導入 AI 與機器學習技術，用於加速數據處理、識別複雜模式、建立預測模型，以更精準地預測燃料在不同環境下的行為 (例如預測潛在的失效風險)，進而優化燃料設計和提升反應器的整體安全性與經濟性。
3. 微型反應器實驗設施 (Demonstration of Microreactor Experiments, DOME): 此為 INL 近年積極建設的設施，位於 MFC 區域，旨在提供一個受管制且設施完備的場地，供民營企業進行其微型反應器原型機的實際建造、測試與示範運轉，以加速 MMR 的商業化進程。目前已有如 Radiant Industries 和 Westinghouse 等公司計畫利用 DOME 測試其各自的 MMR 設計。

(二) 先進測試反應器綜合設施

ATR 設施源於 1959 年 Phillips Petroleum 公司受託設計，旨在提供比其前身材料測試反應器 (Materials Testing Reactor, MTR) 和工程測試反應器 (Engineering Test Reactor, ETR) 更高 neutron 通量的測試環境。ATR 於 1967 年開始運轉，是目前全球功率最高的研究用反應器，最大熱功率可達 250MW，一般實驗操作功率約在 115 MW 左右。自 2007 年起，ATR 被指定為國家科學用戶設施 (National Scientific User Facility, NSUF)，擴大提供學術界及非政府研究人員使用其獨特的照射能力。

參訪期間除聽取 ATR 的整體介紹，瞭解其設計原理、運作歷史及主要任務，並進入反應器廠房參觀。圖 5²及圖 6³為 ATR 反應器頂部俯視圖及爐心，可見其複雜的實驗插件與爐心上部結構。ATR 最獨特的是其爐心設計為「蛇形」或「爪形」(serpentine/cloverleaf core design)，由 40 組燃料元件排列而成，圍繞出 9 個高中子通量區 (flux traps)，其燃料元件由 19 片彎曲燃料板組成，內含高濃縮鈾燃料 (UAlx)，外覆鋁合金護套。反應器使用輕水式冷卻，採加壓系統運作，並以大型鈹塊組成反射體。反應器頂部設有大型水池，用於燃料裝卸、實驗樣品轉移及冷卻。圖 7⁴為 ATR 水池區域的示意圖，展示了水下操作的環境，可看到相關的吊掛設備及工作平台，輻射照射後的燃料與實驗樣品在此水池中利用水的屏蔽進行處理。ATR 的一大特色是能夠在爐心不同區域提供可變的中子通量。依據介紹說明，ATR 透過其獨特的反應度控制系統，包含控制棒、頸縮區中子吸收棒 (neck shim rods)、以及 16 組可旋轉的含鉛吸收體外圍中子吸收筒 (Outer Shim Control Cylinders, OSCCs)，藉由精密協調這些控制元件的位置與角度，可在整個運轉週期中，將各實驗區的中子通量維持在實驗者所需的特定水平。ATR 提供多樣化的實驗孔道，支援靜態樣品管、儀控引導實驗及模擬商用反應器條件的加壓

² 圖片來源：Idaho National Laboratory via Industrial Equipment News, "Advanced Test Reactor Overhauled," May 1, 2022. <https://www.ienn.com/product-development/news/22131811/advanced-test-reactor-overhauled>

³ 圖片來源：Idaho National Laboratory, NET-ZERO 2031 PLAN: Transforming INL to Net-Zero Emissions 2023

⁴ 圖片來源：Idaho National Laboratory via BYU-Idaho Scroll, "Idaho and the Energy Future: A Fourth Possible Advanced Test Reactor," October 18, 2021. <https://byuiscroll.org/idaho-and-the-energy-future-a-fourth-possible-advanced-test-reactor/>

水迴路等實驗方式，對於驗證新一代反應器燃料（如 ATF）的性能至關重要。



圖 5 ATR 反應器頂部俯視圖

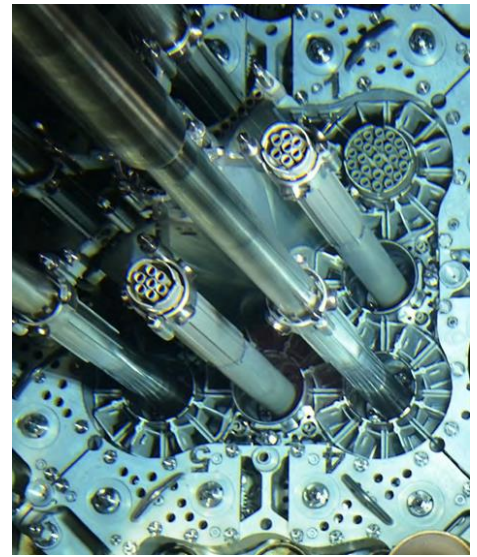


圖 6 ATR 爐心圖



圖 7 ATR 水池區域圖

肆、心得與建議

- 一、隨著 Nvidia、Microsoft、Google 等大型科技公司大量建設資料中心的同時，也陸續投入資金在核電設施的基礎建設，反映出業界認為核能是 AI 時代不可或缺的電力來源，而 AI 也為核能產業帶來了新的突破，傳統上需耗時數月的反應器設計與分析，未來可應用 AI 技術大幅縮短時程。AI 與核能的結合預期將展開技術創新，讓未來能源體系呈現更多元樣貌，建議持續關注核能在 AI 科技驅動下的發展情形，做為我國原子能科技民生應用的參考。
- 二、IFNEC 係源自 GNEP 的轉型，不僅達成國際社會對核能和平使用的共同承諾，也提供了更開放、多元的合作平台，本次在愛達荷國家實驗室舉辦的研討會，展現出跨國合作、經驗分享的價值，而我國在此國際相關領域專家匯聚的場合，與各參與專家討論交流，了解各國面對此類新技術的看法與因應作為，建議持續追蹤 IFNEC 動態，適時參與會議保持與國際原子能領域社群的互動。
- 三、核能發展的關鍵已不僅止於技術突破，更在於如何建立公眾信任與有效溝通，公眾參與應以建立信任為核心，建立透明、持續且在地化的溝通機制，將是提升公眾接受度、推動政策的重要基礎，我國已在辦理重大安全管制審查案件期間，依進度辦理公眾參與活動，建議持續推動及精進管制作業之公眾溝通。
- 四、本次參訪深刻體會到 INL 在核能前端研究的廣度與深度。MFC 具備從燃料製造支援、尖端 PIE（結合先進儀器與 AI 分析）到嚴苛事故模擬測試的完整能力，DOME 則為 MMR 提供示範場地，而 ATR 提供關鍵的材料與燃料照射測試平台，共同構成支持美國核能科技發展、確保核燃料安全可靠的關鍵基礎設施。其運作經驗與研發成果，對於我國未來不論在核設施除役、用過核子燃料管理，或是關注新興核能技術發展方面，均具高度參考價值，建議可持續推動我國研究單位與 INL 之技術交流，培育專業人才，提升我國核能研究能量。

伍、附件

人工智慧高峰會及先進反應器研討會議程

DAY 1: Monday, October 6th, 2025



DAY 1: Monday, October 6th, 2025 AI SUMMIT

7:30 | Bus arrival at the Hampton Inn and Hilton Garden Inn

7:45 | Bus departure from the Hampton Inn and Hilton Garden Inn

Note: Kindly make sure to arrive punctually at the bus pick-up location.

8:00–8:30 | Badging

8:30–9:00 | Keynote on “AI and Nuclear—Nuclear and AI”

- Mr. Chris Ritter, INL Division Director of Scientific Computing & AI and DOE NE NTD for AI for Nuclear Deployment

9:00–10:30 | Industry Panel: The Energy–Data Nexus: Opportunities & Challenges in Powering AI with Nuclear

- **Moderator:** Mr. Chris Ritter, INL Division Director of Scientific Computing & AI and DOE NE NTD for AI for Nuclear Deployment
- **Speakers:**
 - Amazon (TBC)
 - Mr. Sean Young, Architecture, Engineering & Construction / Geospatial industry marketing Lead, Nvidia
 - Mr. Bryan Lopez, CISSP & CISM, Senior Director & Technology Strategist | Microsoft Federal, Microsoft
 - Mr. Marcus Nichol, Executive Director, U.S. Nuclear Energy Institute (NEI)

10:30–10:45 | Break

10:45–11:00 | Walk to Tours

11:00–11:45 | Tours: Visualization and the Collaborative Computing Center

- High Performance Computing Center—Mr. Matt Anderson, Mr. Eric Whiting
- Visualization Laboratory—Mr. Logan Browning, Mr. Porter Zohner, Mr. Keith Wilson

DAY 1: Monday, October 6th, 2025

1

DAY 1: Monday, October 6th, 2025



11:45–12:00 | Walk Back to Meeting Center

12:15–13:00 | Lunch Presentation: Autonomous Design and Licensing

- Mr. Peter Suyderhoud, Ms. Sonali Sinha Roy, Mr. Jason Andrus, U.S. Idaho National Laboratory

13:00–14:00 | Automated & Remote Operations

- Dr. Ryan Stewart and Dr. Joe Oncken, U.S. Idaho National Laboratory

14:00–14:15 | Break

14:15–14:30 | Walk to Tours

14:30–15:15 | Tours: Visualization and the Collaborative Computing Center

- High Performance Computing Center—Mr. Matt Anderson, Mr. Eric Whiting
- Visualization Laboratory—Mr. Logan Browning, Mr. Porter Zohner, Mr. Keith Wilson

15:15–15:30 | Walk Back to Meeting Center

15:30–15:45 | Summary and Wrap up

- Mr. Chris Ritter, INL Division Director of Scientific Computing & AI and DOE NE NTD for AI for Nuclear Deployment

15:45 -- Meeting Adjourned for Day 1

16:00 | Depart for Reception at Experimental Breeder Reactor – 1 (historical monument) from the INL Meeting Center

Note: EBR-1 is located a 50-minute drive from the INL meeting center

19:30 | Depart for Hotels from the Experimental Breeder Reactor – 1

DAY 1: Monday, October 6th, 2025

2

DAY 2: Tuesday, October 7th, 2025

ADVANCED REACTORS WORKSHOP – DRIVING INNOVATION AND DEPLOYMENT

8:30 | Bus arrival at the Hampton Inn and Hilton Garden Inn

8:45 | Bus departure from the Hampton Inn and Hilton Garden Inn

Note: Kindly make sure to arrive punctually at the bus pick-up location.

9:00–9:30 | Coffee

9:30–10:00 | Opening Remarks

- Welcome from Ms. Aleshia Duncan, IFNEC Chair
- Keynote Welcomes
 - Dr. Todd Combs, Deputy Laboratory Director for Science and Technology and Chief Research Officer, U.S. Idaho National Laboratory
 - Mr. Robert Boston, Manager of the Idaho Operations Office, U.S. Department of Energy

10:00–11:15 | Session 1: Overview of Ongoing U.S. Advanced Reactor, SMR, and Microreactor Demonstration Efforts

Keynote (15 minutes)

- Dr. Michael Goff, Principal Deputy Assistant Secretary, Office of Nuclear Energy, U.S. Department of Energy

Moderator

- Dr. Jennifer Gordon, Director, Nuclear Energy Policy Initiative, Atlantic Council

Panelists (40 minutes)

- Dr. Abdalla Abou Jaoude, MARVEL Microreactor Lead, U.S. Idaho National Laboratory



- Mr. Marcus Nichol, Executive Director, U.S. Nuclear Energy Institute (NEI)
- Mr. Todd Abrajano, President and Chief Executive Officer, U.S. Nuclear Industry Council

Q&A (20 minutes)

11:15–11:30 | Break

11:30–12:50 | Session 2 Roundtable: Global Perspectives from IFNEC Member States & Observer Organizations

IAEA's SMR Platform (10 minutes)

- Dr. Dohee Hahn, SMR Platform Coordinator, International Atomic Energy Agency

Country and Organization-led Insights into Progress, Priorities, and Collaboration on Advanced Reactors (70 minutes)

- Republic of Argentina: Dr. Ariel Hosid
- Republic of France: Dr. Sunil Felix
- Republic of Ghana: Dr. Archibold Buah-Kwofie
- Japan: Dr. Toru Nakatsuka
- Malaysia: Mr. Kamarul Ariffin Bin Mohamad
- Republic of Korea: Dr. Sungjai Lee
- Republic of Lithuania: Mr. Renatas Sumskis
- Republic of Moldova: Ms. Doina Dînga
- Republic of Singapore: Ms. Juliana Wai Yin Chow
- Republic of Türkiye: Mr. Fatih Yaman
- United Kingdom: Mr. Sam Oakley
- ENEC: Ms. Slama Bakheet Almansoori

*5 minutes per country

DAY 2: Tuesday, October 7th, 2025



12:50–14:00 | Working Lunch – Collaboration Discussions

14:00–14:35 | Keynote Address

Keynote Address on the Importance of Local Community Engagement (20 minutes)

- Hon. Rebecca Noah Casper, Mayor, City of Idaho Falls, Idaho, United States of America

Q&A (15 minutes)

14:35–15:30 | Session 3 Panel: Regulatory Readiness

Keynote (15 minutes)

- Hon. Jorge Molina, Minister Secretary, Radiological and Nuclear Regulatory Authority (ARRN), Republic of Paraguay

Moderator

- Dr. Jennifer Gordon, Director, Nuclear Energy Policy Initiative, Atlantic Council

Panelists (40 minutes)

- Mr. Hung-Chih Lai, Senior Technical Specialist, Nuclear Safety Commission, Taiwan
- Mr. Oscar Fidel Portillo Aguilar, Radiation Protection Analyst, National Agency for the Implementation of Nuclear Energy Programme, Republic of El Salvador
- Mr. Fatih Yaman, Nuclear Regulatory Assistant Specialist, Nuclear Regulatory Authority of Türkiye (NDK), Republic of Türkiye

DAY 2: Tuesday, October 7th, 2025

5

15:30–15:45 | Break

15:45–17:00 | Session 4 Panel: Supply Chain, Fuel Cycle & Waste Solutions

Keynote on MARVEL Microreactor Overview (15 minutes)

- Dr. Abdalla Abou Joude, MARVEL Microreactor Lead, U.S. Idaho National Laboratory

Moderator

- Mr. Marcus Nichol, Executive Director, U.S. Nuclear Energy Institute (NEI)

Panelists (40 minutes)

- Dr. Sunil Felix, Nuclear Counselor, Embassy of France in the U.S., Republic of France
- Dr. Toru Nakatsuka, Director of Washington Office, Japan Atomic Energy Agency, Japan
- Mr. Sam Oakley, Head of Multilateral Civil Nuclear, Department for Energy Security & Net Zero, United Kingdom
- Dr. Dohee Hahn, SMR Platform Coordinator, International Atomic Energy Agency (IAEA)

Q&A (20 minutes)

17:00 -- Meeting Adjourned for Day 2

DAY 3: Wednesday, October 8th, 2025

ADVANCED REACTORS WORKSHOP – ACCELERATING GLOBAL READINESS

8:30 | Bus arrival at the Hampton Inn and Hilton Garden Inn

8:45 | Bus departure from the Hampton Inn and Hilton Garden Inn

Note: Kindly make sure to arrive punctually at the bus pick-up location.

9:00–9:15 | Coffee and Arrival

9:15–11:05 | Session 5 Moderated Group Discussion: Building the Workforce of Tomorrow

Keynote – Ghana’s Regional Energy Training Center (RETC) Efforts on Workforce Capacity Building (10 minutes)

- Dr. Archibold Buah-Kwofie, Director, Nuclear Power Institute, Ghana Atomic Energy Commission, Republic of Ghana

Moderator

- Dr. Jennifer Gordon, Director, Nuclear Energy Policy Initiative, Atlantic Council

Panelists (80 minutes)

- Dr. Nabil Mansour, Executive Manager in Nuclear Fuel Manufacturing Plant, Egyptian Atomic Energy Authority, Arab Republic of Egypt
- Ms. Ana Marquez, Chemical Analyst, National Agency for the Implementation of Nuclear Energy Programme, Republic of El Salvador
- Dr. Charles Grant, Director General, International Centre for Environmental and Nuclear Sciences, University of the West Indies, Jamaica
- Mr. Sam Oakley, Head of Multilateral Civil Nuclear, Department of Energy Security & Net Zero, United Kingdom
- Dr. Ariel Hosid, Nuclear Engineer, National Atomic Energy Commission, Republic of Argentina

Q&A (20 minutes)

11:05–11:30 | Break

11:30–12:55 | Session 6: Successes & Challenges in Stakeholder Engagement and Public Acceptance

Keynote (15 minutes)

- Ms. Christine King, Director of the Gateway for Acceleration in Nuclear (GAIN) initiative, U.S. Idaho National Laboratory

Kick-off Intervention

- Mr. Etornam Akaho, Programme Associate, Ghana Atomic Energy Commission, Republic of Ghana

Moderated Group Discussion (60 minutes)

- Ms. Christine King, Director of the Gateway for Acceleration in Nuclear (GAIN) initiative, U.S. Idaho National Laboratory

13:00–14:00 | Working Lunch – Collaboration Discussions

14:00–15:00 | Session 7: Financing, Global Synergies and Market Opportunities

Keynote (20 minutes)

- Ms. Aleshia Duncan, IFNEC Chair

Moderator

- Dr. Jennifer Gordon, Director, Nuclear Energy Policy Initiative, Atlantic Council

DAY 3: Wednesday, October 8th, 2025

Panelists (40 minutes)

- Mr. Marcus Nichol, Executive Director, U.S. Nuclear Energy Institute
- Dr. Eduardo Galiano Riveros, Director, Radiological and Nuclear Regulatory Authority (ARRN), Republic of Paraguay
- Dr. David Galeano, Senior Engineer, Medellin Public Utility (EPM), Republic of Colombia
- Dr. Ariel Hosid, Nuclear Engineer, National Atomic Energy Commission, Republic of Argentina

15:00–15:15 | Break

15:15–16:00 | Closing Session: Key Takeaways and Next Steps

- Ms. Aleshia Duncan, IFNEC Chair

16:00 -- Meeting Adjourned for Day 3

DAY 3: Wednesday, October 8th, 2025

9



Day 4: Thursday, October 9th, 2025

TECHNICAL TOURS AT IDAHO NATIONAL LABORATORY

9:00 | **Bus departure from the Hampton Inn and Hilton Garden Inn**

Note: Kindly make sure to arrive punctually at the bus pick-up location.

Please bring your passports and travel documents

Tours will include but not limited to:

- Advanced Test Reactor (ATR)
- Materials and Fuels Complex (MFC)

Taking pictures is not allowed on the INL premises.