

出國報告書(出國類別：訪問;開會)

## 2024 年台美民用核能合作會議

### 2024 AIT-TECRO

# Civil Nuclear Cooperation Meeting

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：核能安全處 游錦康 副處長

核能後端營運處 范振璉 副處長

派赴國家/地區：美國加州舊金山

出國期間：113年 12月 1日至 113年 12月 7日

報告日期：114年 1月 17日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：2024年台美民用核能合作會議

頁數 32 含附件：■是 □否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/黃惠渝/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

游錦康/台灣電力公司/核能安全處/副處長/(02)2366-7172

范振聰/台灣電力公司/核能後端營運處/副處長/(02)2365-3430

出國類別：1考察 2進修 3研究 4實習 5開會 6其他

出國期間：113年 12月 1日 至 113年 12月 7日

派赴國家/地區：美國加州舊金山

報告日期：114年1月20日

關鍵詞：台美民用核能合作會議、核電除役、核廢管理

內容摘要：(二百至三百字)

2024年台美民用核能合作會議我國由核能安全委員會(以下簡稱核安會，組改前之原子能委員會)綜合規劃組李綺思組長擔任團長領隊，成員由核安會、交通部中央氣象署、國家原子能科技研究院、國立清華大學及台灣電力公司等組成，共計19人與會，美方有國務院、核能管制委員會、能源部及所屬國家實驗室等單位派員參加。會議除交換雙方過去在核能電廠管制、核廢料管理、核電廠除役、核能技術研發及緊急應變管理等方面的發展與經驗回饋外，並逐一檢討雙方合作項目之執行情形，研商未來一年的合作規劃並安排前往加州 Lawrence Livermore National Laboratory參訪。今年度台美民用核能合作會議經副總核派由核安處游副處長及後端處范副處長出席，藉由會議的經驗交流與設施的技術參訪，掌握美國核能機構與核能電廠營運及除役、用過核子燃料中期貯存及核廢最終處置管制、規劃、策略及執行相關經驗，並瞭解美國在新核能相關研究方面的方向與前瞻性。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網(<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

## 摘要

2024 年 12 月 3 日至 12 月 5 日於美國加州勞倫斯利佛摩國家實驗室(Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL)舉行今年度「台美民用核能合作會議」(TECRO-AIT Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation)。台美雙方自 1985 年起便輪流於台灣與美國召開上開年度合作會議，除 2020 及 2021 年間受疫情影響而順延改採視訊方式辦理外，至今已邁向第 39 屆。今年度會議輪由美方主辦，台美雙方藉此會議進行核能管制與技術發展交流，並檢討及規劃雙方未來核能合作項目。

我國由核能安全委員會(以下簡稱核安會，組改前之原子能委員會)綜合規劃組李綺思組長擔任團長領隊，成員由核安會、交通部中央氣象署、國家原子能科技研究院、清華大學及台灣電力公司等組成，共計 19 人與會。美方有國務院(Department of State, DOS)、能源部(Department of Energy, DOE)暨所屬國家實驗室以及核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)等單位共計 17 名代表出席。會議中除交換雙方過去在核能電廠管制及技術研發、核能電廠除役及放射性廢棄物管制、核醫藥物與同位素應用及緊急應變管理等議題的發展與經驗回饋外，並逐一檢討雙方合作項目 2024 年執行情形，研商未來一年合作規劃。會議討論議程結束後，主辦方安排台美雙方代表參訪勞倫斯利佛摩國家實驗室(LLNL)所屬國家點火設施(National Ignition Facility, NIF)，以瞭解美國在核融合技術發展的最新成果，可作為我國未來發展之借鏡。

今年度台美民用核能合作會議經副總核派由核安處游副處長及後端處范副處長出席，藉由會議的經驗交流與設施的技術參訪，掌握美國核能機構與核能電廠營運及除役、用過核子燃料中期貯存及核廢最終處置管制、規劃、策略及執行相關經驗，並瞭解美國在新核能相關研究方面的方向與前瞻性。

關鍵字：台美民用核能合作會議、核電除役、核廢管理

## 目 錄

1.	出國目的.....	1
2.	出國行程.....	2
3.	會議紀要.....	<a href="#">3</a>
4.	心得與建議.....	24
5.	附錄.....	26
	附錄一、2024 年台美民用核能合作會議與會人員名單及所屬單位..	26
	附錄二、2024 年台美民用核能合作會議議程.....	29

## 圖 目 錄

- 圖 1. 2022 台美民用核能合作會議全體與會人員合影
- 圖 2. 台灣放射性廢棄物營運管理路徑圖
- 圖 3. 國家點火設施(NIF)
- 圖 4. 台美民用核能合作會議與會人員於國家點火設施合影
- 圖 5. 國家點火設施(NIF)基礎平面圖
- 圖 6. 國家點火設施雷射光系統之雷射間 (Laser Bay)

## 表 目 錄

- 表 1. 赴美參加2022 年台美民用核能合作會議行程表
- 表 2. 除役中核能電廠美國緊急應變計畫要求
- 表 3. 第一分組合作項目統計表
- 表 4. 第二分組合作項目統計表

## 1. 出國目的

為增進台美原子能應用、管制技術交流，自 1984年10月3日台美雙方簽署「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」後，隔年(1985)起台美雙方便輪流於台灣與美國召開「台美民用核能合作會議」(TECRO-AIT Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation)，藉此進行核能相關領域的合作交流，交流議題含括核電廠營運管制、核電廠除役管制及管理技術、輻射防護、輻射源管制、環境輻射監測、放射性廢棄物管制及管理技術、核醫藥物與同位素應用、核子事故緊急應變管理等項目，雙方交流成果實為我國核能相關技術發展奠定重要基石。該合作會議於今年已邁入第 39 屆，除2020及2021年間受 COVID-19 疫情影響改採視訊方式辦理外，其餘皆採實體方式舉行。

「2024 年台美民用核能合作會議」(2024 TECRO-AIT Joint Standing Committee Meeting on Civil Nuclear Cooperation)於 12月3日至12月5日在美國加州勞倫斯利佛摩國家實驗室(Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL)舉行。該實驗室係美國能源部所屬單位，此次受美國國務院委託負責籌辦此年度合作會議，並安排台美雙方代表參訪了勞倫斯利佛摩國家實驗室所屬的國家點火設施(National Ignition Facility, NIF)。

今年我國由核能安全委員會(以下簡稱核安會，組改前之原子能委員會)綜合規劃組李綺思組長擔任團長領隊，成員由核安會、交通部中央氣象署、國家原子能科技研究院、清華大學及台灣電力公司等組成，共計19人與會。美方有國務院(Department of State, DOS)、能源部(Department of Energy, DOE)暨所屬國家實驗室以及核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)等單位共計17名代表出席。會議中除交換雙方過去在核能電廠管制及技術研發、核能電廠除役及放射性廢棄物管制、核醫藥物與同位素應用及緊急應變管理等議題的發展與經驗回饋外，並逐一檢討雙方合作項目2024年執行情形，研商未來一年合作規劃。會議討論議程結束後，主辦方安排台美雙方代表參訪勞倫斯利佛摩國家實驗室(LLNL)所屬國家點火設施(National Ignition Facility, NIF)，以瞭解美國在核融合技術發展的最新成果，可作為我國未來發展之借鏡。

今年度台美民用核能合作會議經副總核派由核安處游副處長及後端處范副處長出席，期藉由會議的經驗交流與設施的技術參訪，掌握美國核能機構與核能電廠營運及除役、用過核子燃料中期貯存及核廢最終處置管制、規劃、策略及執行相關經驗，並瞭解美國在新核能相關研究方面的方向與前瞻性。

## 2. 出國行程

本次會議我方代表團由核能安全委員會(以下簡稱核安會，組改前之原子能委員會)綜合規劃組李綺思組長擔任團長領隊，於美東時間12月1日抵達晚間於舊金山機場(SFO)入境美國，隨後與核安會駐美羅彩月副組長會合，一同乘車前往住宿旅館辦理入住。12月2日上午，我方代表團在飯店會議室進行此次台美會議的沙盤推演討論。12月3日至5日，全體團員在勞倫斯利佛摩國家實驗室(LLNL)參加2024年台美民用核能合作會議，並參訪勞倫斯利佛摩國家實驗室所屬的國家點火設施(NIF)。後於12月6日自舊金山搭機返台，在台灣時間12月7日返抵國門，行程表詳如表1。

表 1. 赴美參加 2024 年台美民用核能合作會議行程表

日期	行程內容	地點	備註
12/1(日)	去程	台北-舊金山-利佛摩	
12/2(一)	沙盤推演會議	利佛摩	
12/3(二)	台美民用核能合作會議：專題報告	利佛摩	全體出席人員
12/4(三)	台美民用核能合作會議：分組討論	利佛摩	全體出席人員
12/5(四)	台美民用核能合作會議：設施參訪	利佛摩	全體出席人員
12/6(五)- 12/7(六)	返程	利佛摩-舊金山-台北	

### 3. 會議紀要

「2024 年台美民用核能合作會議」在 12月3日至 12月5日間於美國加州勞倫斯利佛摩國家實驗室(LLNL)舉行，此次會議台美雙方總計38員參與，其中台方出席人員共有21名，分別來自駐美代表處、交通部中央氣象署、駐舊金山辦事處、核安會、國家原子能科技研究院、清華大學以及台電公司等單位，美方出席人員亦共有 17 名，分別來自國務院(Department of State, DOS)、核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)、能源部(Department of Energy, DOE)暨所屬國家實驗室、美國能源部國家核子保安局(National Nuclear Security Administration, NNSA)、美國能源部核子走私偵測暨嚇阻計畫辦公室(Nuclear Smuggling Detection and Deterrence Program, NSDD)等單位，出席人員名冊如附錄一及會議議程如附錄二。

12月2日於飯店會議室由李組長主持沙盤推演會議並進行會議資料整理。就美方提供更新會議議程、簡報題目及我方簡報報告順序進行討論，提醒進入勞倫斯利佛摩國家實驗室(LLNL)警衛崗哨後應遵守美方規定，應全時應配戴美方核發之入場身分證件及嚴格禁止拍照與攝影。中午時則由李組長率隊與舊金山辦事處科技組顏宏偉組長及該組王志平秘書全面討論台美核能相關合作交流。

會議第一天(12月3日)先後由國務院主任Jim Warden及核安會李組長綺思代表進行開幕致詞，再由勞倫斯利佛摩國家實驗室(LLNL)首席副主任Huban A. Gowadia 進行歡迎致詞。隨即由台美雙方輪流進行專題報告。

會議第二天12月4日台美雙方依合作項目性質分成4個工作小組(Working Group)，分別就列管合作項目逐一檢討2024年執行情形，並研商未來一年的合作規劃。

會議第三天12月5日參訪實驗室內的國家點火設施(NIF)的核融合相關研究設施、人員操作中心實況、及研究現況討論。圖1. 為2024台美民用核能合作會議全體與會人員LLNL 之合影。



圖 1. 2024台美民用核能合作會議全體與會人員合影

### 3.1 台美民用核能合作會議：專題報告(12月3日)

台美民用核能合作會議的第一日進行專題報告，雙方分別就該國在核能相關管制與發展上的重點議題進行業務簡報，共計發表13篇報告(報告議程詳如附錄二)。

我方提出6篇專題報告，

- 台灣核能安全委員會現況更新  
(Updates on Nuclear Safety Commission' s Activities in Taiwan)
- 台灣核電廠管制近況  
(Recent Regulatory Activities on NPPs in Taiwan)
- 台灣核電廠除役初期期間保安及緊急應變作法  
(Implementation of Nuclear Security and Emergency Preparedness during the Early Stage of Decommissioning of Nuclear Power Plants in Taiwan)
- 國原院研究計畫概況及未來展望  
(Overview of the Research Programs at NARI and Future Prospects)
- 台灣放射性廢棄物管理策略與現況  
(The Waste Management Strategy and Current Status in Taiwan)

- 清華大學近期有關台美核能合作的核能研究活動  
(Recent Nuclear Power Research Activities Related to TECRO-AIT Nuclear Cooperation at NTHU)。

美方提出7篇專題報告，

- 美國用過核子燃料集中貯存設施之共識基礎選址作業進度與現況  
(Schedule and Status on Consent-Based Siting Process for Consolidated Interim Storage Facility for Spent Nuclear Fuel)
- 美國核電廠運轉管制現況  
(U. S. NRC Reactor Regulatory Activities on Operating NPPs)
- 美國核電廠除役管制現況  
(U. S. NRC Reactor Regulatory Activities on Decommissioning NPPs)
- 美國核電廠除役期間應變管制作為  
(Regulatory Activities for Decommissioning Nuclear Power Plants in Emergency Preparedness in the U.S.)
- 緊急應變之大氣擴散模組介紹  
(Plume Modeling For Emergency Response Operations)
- 美國在進步型反應器和國際核燃料供應的努力  
(U. S. Efforts in Advanced Nuclear Reactors and the International Fuel Supply)
- 人工智慧於核電廠運營和核能技術中之整合應用  
(Applications of Artificial Intelligence - Integration in NPP Operations & Nuclear Technology)。

**我方所提 6 篇專題報告，重點分項摘述如下：**

**(1) 台灣核能安全委員會現況更新(Updates on Nuclear Safety Commission' s Activities in Taiwan)**

本簡報由核安會池欣慶副研究員報告，內容分成6部分，包含台灣三座核能電廠現況、核電廠管制活動、放射性廢棄物管理、2024年核安應變演習、輻射防護與環境監測及公眾溝通等。

其中有關放射性廢棄物管理部份的重點，簡報說明台電公司用過核子燃料乾貯設施計畫之最新執行進度，

- 核一廠室外乾貯，台電公司已取得新北市政府核發水土保持計畫並自2024年10月起執行室外乾貯設施熱測試作業；
- 核二廠室外乾貯，新北市政府於2024年8月核定核二廠室外乾貯水土保持計

畫，台電公司預計2025年 1月開始進行施工。

- 核一、二、三廠室內乾貯設施計畫，行政院分別於2019年8月、2021年4月、及2021年10月份別同意核一、二、三廠的室內乾貯設施投資可行性計畫，台電公司正進行採購相關作業中。

## (2) 台灣核電廠管制近況(Recent Regulatory Activities on NPPs in Taiwan)

本簡報由核安會郭獻棠科長報告，報告內容主要包含台灣核能電廠現況、運轉中及除役中核電廠管制作業等。報告重點如下：

- 及台灣核電廠地震危害再評估作業與耐震補強作法
- 核三廠1號機從運轉轉換到除役之管制作業，重點在防範人為誤操作，核三廠所採取之防範措施，包含除役中1號機與運轉中2號機設備房間之顏色標示、實體隔離作法及除役中停止運轉設備標示
- 核一廠除役安全管制作業，介紹已完成之廠房設備拆除作業及目前正進行之除役拆除作業，以及審查中之除役設備拆除作業計畫
- 核二廠除役安全管制作業，介紹「核二廠護箱裝載池復原案安全分析報告」安全審查結果，以及「核二廠廠址歷史資料評估(HAS)」報告審查要求
- 核三廠除役安全管制作業，介紹除役計畫審查方式及結果

## (3) 台灣核電廠除役初期期間保安及緊急應變作法(Implementation of Nuclear Security and Emergency Preparedness during the Early Stage of Decommissioning of Nuclear Power Plants in Taiwan)

本簡報由核安會保安應變組蔡易達技士報告，報告重點如下：

- 本篇報告首先說明目前核能一廠及核能二廠反應器爐心仍有用過核子燃料，因此緊急應變整備作業與核子保安的管制要求與運轉中的電廠相同，
- 說明我國核子事故緊急應變機制、整備作為、核子保安管制作業等內容。
- 核子保安部分，說明核安會制定嚴格的核子保安管制要求，除審查核能電廠訂定的保安計畫外，並定期執行視察作業，也要求核能電廠設施經營者強化核子保安文化，建立評估指標以推動持續改進，亦透過定期辦理演習視察提出視察報告供其進行改善，同時為與國際接軌，我國定期與DOE/NNSA合作辦理教育訓練。

#### (4) 國原院研究計畫概況及未來展望(Overview of the Research Programs at NARI and Future Prospects)

本簡報由國原院綜合企劃處劉杰助理研究員報告，簡報中介紹國原院之近期研發成果及未來展望：

國原院綜合企劃處劉杰助理研究員在此簡報中介紹國原院之近期研發成果及未來展望，在研發成果部分主要分為：核安與核後端 (Nuclear Safety and Nuclear Back-End)、輻射應用(Radiation Application)、新能源與系統整合(New Energy and System Integration)等三大領域的技術研發與執行成果。

- 核安與核後端方面(Nuclear Safety and Nuclear Back-End)：
  - ①小型模組化反應器(Small Modular Reactors, SMRs)研究發展規劃概述；
  - ②量化風險評估(Probabilistic Risk Assessment, PRA)技術進展與應用；
  - ③台灣研究用核反應器(Taiwan Research Reactor, TRR)除役拆解、用過核子燃料池清理之執行進度。
- 輻射應用方面(Radiation Application)
  - ①70 MeV迴旋加速器計畫之說明與建置進度；
  - ②以鎳68-多蕾克鎳進行肝功能評估之臨床試驗進展；
  - ③長效型核醫標靶治療藥物(Lu-177- INER-PSMA)研製現況與臨床試驗規劃。
- 新能源與系統整合方面(New Energy and System Integration)
  - ①森林廢棄物轉高價值綠色化學品之負碳生質精煉技術(FixCarbon)之研發簡要說明；
  - ②MW級微電網機組控制策略平台建置及應用說明；
  - ③國內首座Tokamak之建置規劃與國際合作之管道建立說明。
- 最後在未來展望部分，說明國原院於改制為行政法人後的目標，並期許繼續在核能安全、核廢料管理、核醫學、輻射應用及新能源與系統整合等領域穩步前進，迎接挑戰，貢獻於國家政策的達成。

#### (5) 台灣放射性廢棄物管理策略與現況(The Waste Management Strategy and Current Status in Taiwan)

本簡報由本公司核能後端處范振聰副處長報告，內容主要分成 3 部分，包含廢棄物營運策略、現況說明及展望等。

- 廢棄物營運策略：

台電公司將核能事業由「核電廠營運」轉換為「核電廠除役及廢棄物營運管理」。整體核廢營運管理路徑圖如下：

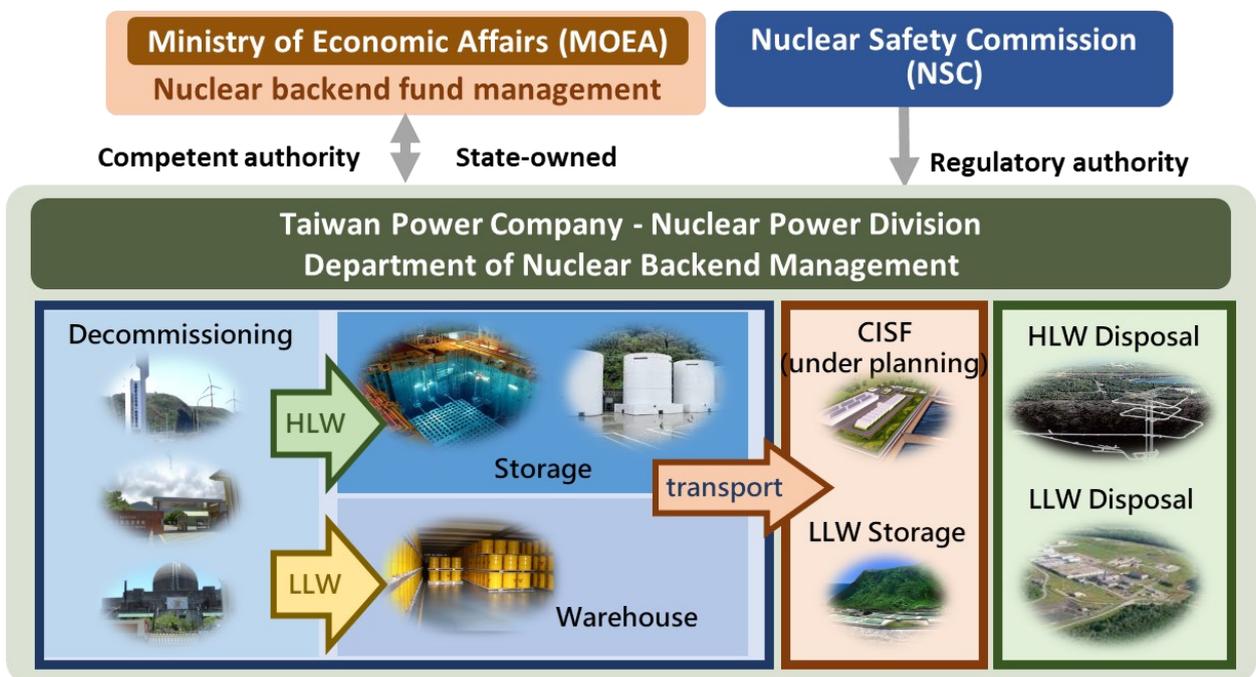


圖 2. 台灣放射性廢棄物營運管理路徑圖

● 現況說明：

➤ 核電廠除役

① 台電公司核電廠除役作業目標：

- 在取得除役許可後 25 年內完成除役作業。
- 除役期間產生之放射性廢棄物必須安全管理貯存。
- 除役完成後土地外釋以非限制性使用為目標(對一般人造成有效劑量  $< 0.25\text{mSv/yr}$ )。

② 核一廠除役進度說明：

- 已完成工項：聯絡鐵塔拆除作業、氣渦輪機(室內乾貯設施用地)拆除作業、BOP 側輻射特性調查、離廠再確認中心(CCC, Clearance Confirmation Center)建置。
- 進行中工項：用過核燃料乾式貯存設施申照/興建、廢棄物管理區域(WMA, Waste Management Area)建置、#3號低放射性廢棄物貯存庫申照/興建。

➤ 用過核燃料乾式貯存計畫進度說明

① 核一廠室外用過核燃料乾式貯存設施：新北市府已核發水保完工證明，目前進行熱測試中。

② 核二廠室外用過核燃料乾式貯存設施：新北市府已核定發水保計畫，預計2025年1月開始施工。

③核一、二、三廠室內用過核燃料乾式貯存設施計畫：目前進行招標程序中，預計2025年間決標開始設計。

➤ 低階放射性廢棄物最終處置計畫說明

①依低放處置選址條例已選定兩處候選場址，分別為金門縣烏坵鄉及台東縣達仁鄉。

②依選址條例，須由金門縣及台東縣辦理地方公投來決定場址。惟兩縣皆婉拒辦理地方公投，以致低放處置場址難以確定。台電公司持續積極進行地方溝通，以期能有所突破，早日確定低放處置場址。

➤ 高階放射性廢棄物最終處置計畫說明

①高放最終處置計畫目前進行至「候選場址評選與核定階段」。

②規劃於2025年底前提報選址前本土結晶岩安全論證報告(SNFD2025 Report)。

③為完善高放最終處置選址程序，經濟部已設置「放射性廢棄物處置專案辦公室」，以推動高放處置選址條例立法作業。

➤ 中期暫時貯存設施計畫

①為因應高低放處置選址程序未能突破之困境，行政院國家永續發展委員會非核家園推動專案小組於2019年3月第4次會議達成推動興建「放射性廢棄物中期暫時貯存設施」之共識。

②後續請經濟部督促台電公司強化論述，持續辦理核廢社會溝通工作。

● 展望：

➤ 台電公司會遵循法規，在兼顧安全與品質的前提下完成核電廠除役作業。

➤ 台電公司會積極推動用過核燃料乾式貯存設施之建置，儘快將反應爐及用過燃料池之燃料移出，以加速除役作業之進展。

➤ 台電公司會配合經濟部「放射性廢棄物處置專案辦公室」之運作，積極辦理高放處置選址條例立法作業。

## (6) 清華大學近期有關台美核能合作的核能研究活動(Recent Nuclear Power Research Activities Related to TECRO-AIT Nuclear Cooperation at NTHU)

本簡報由清華大學吳幸慈助理教授報告，報告重點如下：

- 核子反應器安全方面，清華大學持續進行有關熱流分析相關研究；
- 中子應用方面，依序介紹硼中子捕獲治療(Boron Neutron Capture Therapy, BNCT)在醫療研究實例及使用中子束(Neutron Beam)提升對靜態和動態物理特性的研究，並且應用這些物理特性以強化現有科技。

美方所提出之 7 篇專題報告，重點摘述如下：

(1) 美國用過核子燃料集中貯存設施之共識基礎選址作業進度與現況  
(Schedule and Status on Consent-Based Siting Process for Consolidated Interim Storage Facility for Spent Nuclear Fuel)

本簡報由美國能源部(DOE)共識基礎選址小組主任Marla Morales以視訊連線報告，強調基於共識在用過核子燃料集中貯存設施選址的重要性，該程序可讓可能受影響的民眾與團體，於選址過程中充分表達意見，並取得共識及支持，避免過去「先決策、再辯護」的選址模式，從而確保選址過程的公平性與資訊公開。

Marla Morales指出，本計畫目的在建構一個聯邦監管之用過核子燃料集中貯存設施將，目前全美各地之用過核子燃料集中貯存管理。此設施規劃最快於2038年完工啟用，待高放射性廢棄物最終處置設施在運出作最終處置。高放最終處置設施最快於2060年開始營運。

為了實現上開目標，能源部將採行「共識基礎選址」計畫，確保選址過程所有利害關係人(stakeholder, 如：州議會、地方政府、地方民眾與原住民部落等)都能參與，並應增進其對選址過程的理解，讓相關民眾及團體在選址過程的初期階段即能獲得充分資訊，並表達意見。

目前能源部已進入共識基礎選址計畫的第二年，主要工作目標為建立組織架構，並瞭解一般民眾及團體對核廢料議題的態度，美國能源部資助數個團體來協助進行溝通與調查，此一過程不僅是意願的表達，更期待藉由該過程建立雙方的信任關係，並逐步展開實質性的溝通。

Marla Morales主任表示，能源部透過共識基礎選址計畫，來確保相關民眾及團體的參與及支持，並取得社會各界的信任，將有助於實現設置用過核子燃料集中貯存設施目標，以及後續最終處置設施選址作業之進行。

(2) 美國核電廠運轉管制現況(U.S. NRC Reactor Regulatory Activities on Operating NPPs)

本簡報由美國核能管制委員會(NRC)核子反應器管制署(Office of Nuclear Reactor Regulation, NRR)轄下反應器監管處(Division of Reactor Oversight) Russell Felts處長報告，說明美國運轉中核電廠狀態、小型模組化反應器(Small Modular Reactor, SMR)與先進核反應器審照情形、及法國核電廠安全注水管路應力腐蝕龜裂事件之經驗回饋及核融合技術管制狀態。重點摘述如下：

- 美國境內運轉中核電廠機組計94部(63部PWR及31部BWR機組)，平均運轉年期約為42年。其中78部機組獲NRC審查同意延役運轉(License Renewal)，

運轉執照年限延長至60年；6部機組獲NRC審查同意再延役運轉(Subsequent License Renewal)，運轉執照年限延長至80年。

- 美國核電廠運轉執照可透過10 CFR Part 50及Part 52等2種審照途徑，大部分運轉中核電廠機組(除Vogtle核電廠3號及4號機組外)係採取Part 50審照途徑，須先獲取興建許可，完工後再取得運轉執照，方得運轉。Vogtle核電廠3號及4號機組(AP1000型機組)，則採取Part 52審照途徑。
- Part 52審照途徑，包含ESP(Early Site Permit)、COL(Combined Construction Permit and Operating License)、SDA(Standard Design Approval)、ML(Manufacturing License)、DC(Design Certification)等型態執照審查。例如NuScale US460 SMR (VOYGR-6)採取此審照途徑，正申請獲取標準設計許可(Standard Design Approval)。
- 因應發展中先進核反應器申照作業，目前NRC正進行10 CFR Part 53相關法規及指引研訂，以提供具有技術包容性(Technology Inclusive)、風險告知(Risk Informed)及績效基準(Performance Based)之審照途徑。
- 有關美國SMR與先進核反應器審照情形，除NuScale 輕水式VOYGR-6 SMR正申請SDA外，其餘非輕水式SMR，例如泰拉能源(TerraPower)已提出鈉冷卻快中子反應器設計，並將於懷俄明州林肯縣(Lincoln County, Wyoming)興建凱默勒核電廠1號機組(Kemmerer Unit 1 Project)，NRC於2024年5月開始審查其興建許可，預計審查時程為27個月。
- 有關法國核電廠安全注水管路應力腐蝕龜裂事件之經驗回饋，經美國業界進行檢驗，並未發現有類似之安全注水管路應力腐蝕龜裂情形，故NRC並無將此事件列為高風險及高安全性之經驗回饋議題。
- 有關核融合技術管制，NRC因應核能創新與現代化法案(Nuclear Energy Innovation and Modernization Act, 以下簡稱 NEIMA)要求，須於2027年前建立具技術包容性管制架構。目前NRC係採取 Byproduct Material Framework-10 CFR Part 30 管制核融合技術，並將於NUREG-1556中新訂核融合裝置(Fusion Machine)專卷(Volume)，以作為核融合裝置審照指引。
- 美國已進入除役之核電廠機組，包括帕利塞茲(Palisades)核電廠及三哩島核電廠1號機(Three Mile Island Unit 1)重啟議題，Russell Felts處長補充說明由於此二電廠狀況不同，NRC係採個案審查途徑(Ad Hoc Approach)進行審查，並將設備及運轉人員狀況列為審查要項，以確認是否可回復至原持照基準。

### (3) 美國核電廠除役管制現況(U.S. NRC Reactor Regulatory Activities on Decommissioning NPPs)

本簡報由美國NRC之NRR處長Russell Felts報告，說明美國除役中核電廠狀態、除役管制法規與指引及其他除役相關議題。重點摘述如下：

- 美國有16座除役中核電廠機組正進行除役拆除作業，包含Fort Calhoun、Crystal River、San Onofre 2號及3號機等，並採取持照者自行執行或發包廠商、執照暫時或永久轉移等不同除役拆除作業模式。
- 美國核電廠除役法規係於1997年參考3座核電廠除役經驗訂定，並規範60年內完成除役。為讓運轉中核電廠順遂過渡到除役階段，NRC已在訂定新法規並預期於近期發布。新除役法規(Regulatory Improvements for Production and Utilization Facilities Transitioning to Decommissioning)包含16項技術領域，**並將減少業者提出執照修改及法規豁免申請之需求**。
- 美國核電廠執照終止解除管制(License Termination)必須符合輻射劑量標準，並規定於10 CFR 20 Subpart E法規中；目前美國完成除役之核電廠皆採取非限制使用之輻射劑量標準。**NRC並需執行獨立偵檢與取樣**(Independent Surveys and Sampling)，確認業者所執行之廠址最終狀態偵檢(Final Status Surveys)。
- 當業者向NRC提出停機後除役作業報告(Post Shutdown Decommissioning Activities Report)、解除除役管制計畫時，NRC必須辦理**除役公聽會**(Mandatory Decommissioning Public Meetings)，民眾關切議題則包含核電廠除役流程、NRC視察計畫、財務考量、緊急應變、用過核子燃料貯存、輻射安全、環保議題、電廠保安等；NRC並鼓勵業者成立或參與當地社區諮詢委員會(Local Community Advisory Boards)，以增進公眾溝通與參與。
- NRC並於2023~2024年針對除役核電廠視察或管制發現，發布以下資訊通告以供業者參用
  - IN 23-04 “Operating Experience Related to Fire Events at Decommissioning Nuclear Power Plants in the United States”
  - IN 24-01 “Minimization and Control of Contamination Involving Discrete Radioactive Particles at Decommissioning Facilities”
- 另於2023年開始辦理除役經驗回饋研討會(Decommissioning Lessons Learned Workshop)並開放公眾參加。

(4) 美國核電廠除役期間應變管制作為(Regulatory Activities for Decommissioning Nuclear Power Plants in Emergency Preparedness in the U.S.)

本簡報由美國NRC之NRR處長Russell Felts報告，說明美國核子事故聯邦政府的職責與分工、核能電廠除役階段緊急應變計畫(EP)及核子保安管制要求的調整。

其中針對除役階段緊急應變計畫，主要隨著風險的降低進行調整，如於核能電廠停止運轉初期將維持運轉中的要求，直到用過核子燃料完全離開爐心，進入用過核子燃料池充分冷卻後(如100天以後)，考量用過核子燃料已沒有足夠的熱能導致熔毀造成輻射外釋至廠外，使輻射劑量足以啟動美國環保署的民眾防護行動指引(Protective Action Guides)，持照者通常會申請免除廠外輻射緊急應變計畫，NRC會根據具體情況逐案評估，例如美國除役之Indian Point核電廠已經轉向透過全災害概念之災害應變方式，主要透過一般輻射災害的廠外應變支援進行應變，因此取消了10英里(約16公里)的緊急應變計畫區(EPZ)要求。針對除役中核能電廠美國緊急應變計畫要求的調整可參考表2，該表亦適用於用過核子燃料皆已移置於乾式貯存狀態之核電廠。

表 2. 除役中核能電廠美國緊急應變計畫要求

狀態	運轉中核電廠	除役中核電廠
目的	主要針對核電廠的各種緊急狀況進行應對	專注於用過核子燃料池之意外事件
廠外應變	需包括緊急應變計畫區(EPZ)及民眾預警系統(ANS)	全災害概念之災害應變方式進行規劃，並協調廠外消防、醫療組織支援
事件分類	由異常事件(Unusual Event)至全面緊急事故(General Emergency)	由異常事件至緊急戒備事故(Alert)
事故通報	15分鐘內通報州政府	知會(Prompt)業管單位
應變組織	專門應變組織及廠外設施	廠內指揮中心
演習	每兩年進行一次聯合演練	每兩年進行一次廠內演習，並邀請廠外應變組織參與

而在核子保安管制方面，除役中核電廠雖然造成事故風險已降低，惟針對入侵偵測、警報、廠內應變，及廠外支援等保安重要關鍵措施仍嚴格維持，針對保安管制要求之調整時序如下：

- 核電廠停止運轉且用過核子燃料皆已移出爐心後，允許可不先經過核管會核准就可以調整相關實體保安，例如把控制室移除於緊要區範圍內等，而資安方面仍要遵守RG 5.71之規範。
- 除役核電廠經過足夠的衰減時間後(如 BWR為10個月，PWR為16個月)，在用過核子燃料還沒完全移至乾式貯存前，仍需維持用過核子燃料貯放設施的防護，惟可免除資安方面之管制要求。
- 除役核電廠所有用過核子燃料皆已移至乾式貯存後，實體防護主要針對用過核子燃料獨立貯存設施(Independent Spent Fuel Storage Installation, ISFSI)進行防護，直到所有用過核子燃料皆移出設施後，即可免除保安管制。
- 而針對用過核子燃料獨立貯存設施(乾貯)，需有獨立且專用的緊急應變及保安計畫。

#### (5) 緊急應變之大氣擴散模組介紹(Plume Modeling For Emergency Response Operations)

本簡報由美國LLNL的Lee Glascoel博士報告，主要以「美國國家大氣釋放諮詢中心簡介」說明。重點摘述如下：

- 美國國家大氣釋放諮詢中心(National Atmospheric Release Advisory Center, NARAC)提供大氣擴散運算模型供緊急應變決策人員作為防護行動的參考，以保護受影響區域的民眾，亦能評估許多不同類型的放射性大氣釋放事故：如核能電廠事故、放射性物質爆炸擴散事故、工業意外事故、運輸交通意外事故等。有關核電廠事故的實際應用上，NARAC 模式曾應用於車諾比事故、三哩島事故以及日本福島事故。
- NARAC系統包含Atmospheric Data Assimilation and Parameterization Tool (ADAPT)及Lagrangian Operational Dispersion Integrator (LODI)等模型，可進行高解析度大氣和粒子擴散模擬，並運用機器學習進行射源項分析，NARAC與NRC緊密合作，以共同應對核子事故。

#### (6) 美國在進步型反應器和國際核燃料供應的努力(U.S. Efforts in Advanced Nuclear Reactors and the International Fuel Supply)

本簡報由美國DOE之 Dr. Kyler Turner報告，說明美國在進步型反應器和國際核燃料供應鏈的努力。重點摘述如下：

- 美國現今共有94座商用反應器，供應美國18%的電力，佔潔淨能源的47%，並提供475,000個工作機會。目前已經有一個SMR取得認證(Certified)。

- 截至COP 29 會議期間，美國與其他30個國家一起發布2050年前將核能裝置容量將增加至三倍的宣言。
- 美國小型模組化反應器(SMR)呈現出多面向的發展趨勢。在技術層面，美國採取多元化的發展路線，包括輕水反應爐、鈉冷快中子反應爐等不同類型，每種技術都有顯著進展，美國政府對SMR的支持力度相當大，將其視為潔淨能源技術的重要組成部分，透過提供資金支持、制定支持性法規等方式，積極推動其發展和部署；企業界也展現高度參與熱忱，不僅有NuScale Power、TerraPower、Holtec、GE Hitachi等公司投入研發和商業化。
- 除SMR外，大型進步型反應器的設計營運也有持續進展，西屋AP-1000目前在美國和中國營運，美國Vogtle 3 號和 4 號機最近投入商轉，並且美國能源部持續支持 Gen III+ SMR的研發。
- 巨型資料管理中心的電力需求也在改變潔淨能源的格局例如：
  - Amazon 於2024.10.16公佈直接投資X-Energy，
  - Google 於2024.10.14公佈與 Kairos Power 簽署購電協議，
  - Microsoft 於2024.9.2日公佈與Constellation 簽署重啟三哩島1號機組的購電協議。
- 美國在國際核燃料供應的努力，如TRISO Fuel的研發及運用在SMR 與 Microreactor方面，美國能源部支持X-energy建造製造TRISO Fuel設施，並將運用高含量低濃縮鈾(HALEU)。HALEU的可用性將為確保許多 TRISO 燃料在反應器正常運作的重要因素。2024年10月17日美國能源部宣布選擇四家公司提供濃縮鈾服務，幫助美國建立HALEU供應。
  - 註：TRISO Fuel是 TRi-structural ISotropic燃料的簡稱，它由低濃縮鈾氧化物製成，周圍有三層石墨和碳化矽的陶瓷層。每個粒子都比罌粟籽小，但它的層狀外殼可以保護內層的鈾，即使在反應器中最極端的條件下也不會熔化。

## (7) 人工智慧於核電廠運營和核能技術中之整合應用(Applications of Artificial Intelligence - Integration in NPP Operations & Nuclear Technology)

本簡報由美國DOE的Daniel Nichols以視訊連線報告，分享目前人工智慧(AI)在核能領域的應用以及具體項目和成果，整理AI在核能領域的應用及具體項目和成果方面說明如下：

- AI在核能領域的應用：AI在核能領域多種面向的應用，
  - 首先可應用於監控和管理安全及非安全系統、非破壞檢測、異常檢測、自主控制等，這些應用主要透過風險預警提高核電廠的運營效率和安全性。
  - 其次可應用於產製相關報表及報告，供管理和稽核人員參考，確保實體安全之外，亦能兼顧數位網路安全。

➤ 此外可透過機器學習的模型，進行效益預測與最佳化。

- 具體項目和成果：在概述AI應用於核能領域的各種面向之後，也分享幾個具體的AI項目，這些項目預計能夠節省大量成本。其中，借助AI進行爐心中子通量監測校準應用，於一個三年期計畫，預計能節省約8,000萬美元。

### 3.2 台美民用核能合作會議：分組討論(12月4日)

台美民用核能合作會議第二日的議程為分組討論，雙方依合作項目屬性分成：

- (1) 反應器管制與法規相關研究(Reactor Regulation and Regulatory Research)，
- (2) 廢棄物管理與環境復原(Waste Management and Environment Restoration)，
- (3) 核子科學、科技、保安及保防(Nuclear Science, Technology, Security, and Safeguards)，
- (4) 緊急應變管理(Emergency Management)

各分組進行分組討論，就列管合作項目檢討2024年執行情形，並研商未來一年合作規劃，討論結束後各分組雙方主持人共同簽訂綜合結論(Discussion Summary)。本次台電公司由核安處游副處長參加第一分組「反應器管制與法規相關研究」會議，由核後端處范副處長參加第二分組「廢棄物管理與環境復原」會議。第一分組與第二分組之總結摘要如下：

- 第一分組:反應器管制與法規相關研究(Reactor Regulation and Regulatory Research)

第一分組主要討論之內容為反應器管制與管制研究相關議題，合作項目共計15項。第一分組由我方核安會核管組趙衛武副組長與美方NRC之NRR處長Russell Felts擔任共同主席。美方參與討論人員為NRC 官員Marline Dominic，我方與會討論人員則有核安會綜合規劃組李綺思組長、吳明哲科長、池欣慶副研究員、核安管制組郭獻棠科長、台電公司核能安全處游錦康副處長及核安會駐美國代表處科技組羅彩月副組長，並由Marline Dominic官員及郭獻棠科長擔任紀錄。

第一分組原有15項項目，經逐項充分討論檢視各項合作項目現況，研商明年合作重點項目與方式，討論結果為15項合作項目繼續執行。與台電公司業務相關之重點討論及後續工作擇要摘述如下：

➤ 台美協定(Agreements)部分：

- 台美雙方有4項協定，其中1項為台美技術合作及資訊交換，另外3項協定，為CAMP(熱流程式應用及維護計畫)、CSARP(嚴重事故研究計

- 畫)、RAMP(輻防程式分析及維護計畫)等計畫研發程式應用之協定。
- CAMP與CSARP部分協定於2029. 1. 30到期，我方將持續參與相關程式使用者會議。
  - RAMP協定於2024年6月14日到期，並已展期到2025年6月14日，雙方預期在2025年完成續約作業。
- 台美雙邊技術會議(Bilateral Technical Meeting, BTM)：
- 2025年台美雙邊技術會議(BTM)預定於美國辦理，美方並視我方需求，安排現場參訪及技術交流議題。
  - 有關BTM相關討論議題可包含「除役核電廠機率式風險評估(Probabilistic Risk Assessment)」、「超越設計基準事件相關視察作業與結果(Inspection Activities and/or Results Related to MBDBE(Mitigation of Beyond Design-Base-Event))」、「除役核電廠留用設備老化管理及用過核子燃料池運作經驗回饋(Lessons Learned on Aging Management and Spent Fuel Pool Operations)」、「除役核電廠管制經驗(Regulatory Experience on Decommissioning Nuclear Power Plant)」等項。
- 緊急應變與保安：
- 2025年核安會將與NRC持續執行每年2次之核安監管中心通訊測試，NRC將與核安會協調我方派員赴美觀察核電廠緊急應變演練相關事宜。核安會規劃邀請NRC派員觀察核三廠2025年緊急應變演練；
  - 核安會與NRC將持續就核子保安管制，進行雙方技術交流。

**表 3. 第一分組合作項目統計表**

2024年台美雙方第一分組合作項目統計	數量
會前合作項目總計	15
結束數量	0
新增數量	0
移入數量	0
移出數量	0
會後合作項目總計	15

- 第二分組:廢棄物管理及環境復原(Waste Management and Environment Restoration)

第二分組主要討論內容為廢棄物管理及環境復育等議題，合作項目共計15項。第二分組由我方核安會核物管組李彥良副組長與美方能源部Kyler

Turner擔任共同主席，美方參與人員包括阿崗能源部國家實驗室(ANL)的Paul Dickman領域專家、NRC的Russell Felts處長及Marine Dominic官員；我方參與人員包括台電公司的范振聰副處長、國原院李崙暉副所長及核安會核物料管制組李東陽技士。本次第二分組，經過台美雙方面對面協商討論後，合併其中2項內容相近議題，各項工作將持續進展。

第二分組15個合作項目內容，主要可區分包括用過核子燃料管理、除污與除役、輻射照射後之檢查、低放射性廢棄物處理與處置，以及美方能源部環境復育計畫項目等5大方向。與台電公司業務相關之重點討論及後續工作擇要摘述如下：

- 在用過核子燃料管理方面，
  - 有關乾式貯存之申照議題將與美方持續交換資訊(G23)。
  - 在深化雙方合作的部分，雙方均同意在2025年互相就用過核子燃料與放射性廢棄物管理國家報告書(2024年版)進行同儕審查(G34)。
- 在除污與除役議題方面，
  - 核安會期望美方的核管會能於2025年，適時安排我方同仁至除役核能電廠，進行相關工作訓練(OJT)，以對除役低放廢棄物安全管制作業更加熟稔(J2)。
  - 美方能源部將與國家原子能科技研究院，持續對於研究用反應器中石墨廢棄物管理及除污與拆除作業進行交流(J4)。
- 有關輻射照射後檢查及低放射性廢棄物處理與處置方面，
  - 持續與我國台電公司就低放射性廢棄物分類、處理、除污、設施除役及最終處置等項目，提供意見交換(X1)。
- 與美方能源部合作的5個項目內容，
  - 有關民眾溝通與參與事項，美方同意加強有關用過核子燃料集中貯存設施之共識基礎選址作業及策略的經驗交流，與社會溝通的資訊與經驗分享(DD12)。

**表 4. 第二分組合作項目統計表**

2024年台美雙方第二分組合作項目統計	數量
會前合作項目總計	15
結束數量	0
新增數量	0
移入數量	0
移出數量	0
合併數量	1
會後合作項目總計	14

### 3.3 台美民用核能合作會議：參訪國家點火設施(NIF) (12月5日)

#### 3.3.1 NIF介紹

NIF隸屬勞倫斯利佛摩國家實驗室(LLNL)，NIF是一座慣性約束核融合(Inertial Confinement Fusion, ICF)實驗裝置，提供超過2百萬焦耳(MegaJoules, MJ)的雷射能量，產生超過1.8億華氏度的溫度和超過1000億倍地球大氣壓力的壓力。這些極端條件導致目標中的氫原子在受控熱核反應中融合並釋放能量。

NIF使用雷射(Laser)達成極大高溫高壓施加於一小粒氫燃料球上啟動核融合反應。NIF也是人類史上最大的ICF設施和世界上最大的雷射裝置，其目標是實現點火，以令其融合燃料進入點燃狀態以啟動核融合反應，也是第一種長期運轉核融合的研究之門。有別於使用電漿包覆的托卡馬克裝置，外部能量的輸入必須全程不中斷以維持電漿。



圖 3. 國家點火設施 (NIF)

(圖片取自維基百科)

#### 3.3.2 NIF參訪過程

於12月5日由美方安排NIF參訪導覽行程，經安全檢查後，由LLNL大門警衛崗哨進入NIF設施參訪，與會人員於參訪設施前合影(如圖 4)，參訪行程主要分為設施簡報與背景介紹及核心實驗室與設施參觀，簡報內容以介紹設施歷史、背景及核心實驗室與設施參觀方面進行，並說明參訪過程也應遵守美方規定全程禁止拍照及攝影。



圖 4. 台美民用核能合作會議與會人員於國家點火設施合影

### 3.3.3 NIF設施導覽介紹

進入設施後，首先NIF導覽專家開始進行簡報並說明NIF的歷史與使命。並開始簡要說明其工作原理：目標燃料靶球是使用一個小型氫燃料球，直徑不到頭髮絲大小，通常由氘和氚組成，這個燃料球被放置在靶室的中心；採用雷射系統激發上開目標以開始反應，NIF 配備了世界上最強大的雷射系統，總共有192束雷射光，這些雷射光束會同時聚焦在燃料球上。在反應的過程中可大致區分為三個階段，

- 第一階段為內爆過程，當雷射光束擊中燃料球時，燃料球的外層會迅速蒸發，產生一個反向的爆炸波，將內部的燃料壓縮到極高的密度和溫度，這個過程稱為內爆。
- 第二階段為核融合反應，在前述內爆過程中，燃料球內部的壓力和溫度達到足夠高的程度，此時使氘和氚原子核發生融合，並釋放出大量的能量。
- 第三階段為點火，點火是指核融合反應達到自持狀態，即反應產生的能量足以維持進一步的融合反應，這是 NIF 的主要目標。

NIF於2022年首次實現核融合點火的歷史性突破，這是科學史上的重大成就。實驗採以192束雷射光，輸入約2.05 MJ雷射光能量，聚焦燃料球，使其發生核融合點火反應，產生約3.15 MJ融合能量。實驗結果成功實現了能量淨輸出，這表示著釋放的能量超過了雷射光輸入的能量，且實驗證明了該過程的穩定性，為未來的核融合研究提供了重要的數據和經驗。簡報中還提到NIF的多重使命包含以下幾個方面：

- 核融合研究：

NIF的主要目標是實現慣性約束核融合(Inertial Confinement Fusion, ICF)，這是一種通過雷射光內爆燃料靶球來達到核融合反應的技術。

- 國防應用：

由於高溫且高壓特性，NIF 也被用於模擬核武器的爆炸過程，這些實驗有助了解核武器爆炸的性能和行為。

- 基礎科學研究：

NIF 提供了一個高能量密度物理學的研究平台，包括等離子體物理、材料科學和天體物理學。

- 技術創新：

NIF 的運作需仰賴先進的雷射光技術、精密光學系統和複雜的數據處理技術以及特殊材料的應用，這些技術發展不僅推動了NIF科學研究，還促進了相關領域的技術創新和應用。

### 3.3.4 NIF設施核心實驗室與設施參觀

NIF廠房總面積約三個足球場大(NIF基礎平面圖如圖 5)，雷射產生器系統在中間偏右共配備192束雷射光，左上方則是光學玻璃組件，經由藍色管線進到上方擴大器（紫色）幾層強化後純淨的光束進入紅色的彙總器達到銀色大型真空球體內。這些雷射光束能夠同時聚焦在燃料靶球上，靶室是一個直徑約10公尺的球形結構，用於容納和定位燃料靶球，並進行核融合實驗。在導覽專家的帶領下，參觀了NIF的幾個核心設施，包括雷射增益系統、實驗控制中心和靶室等。

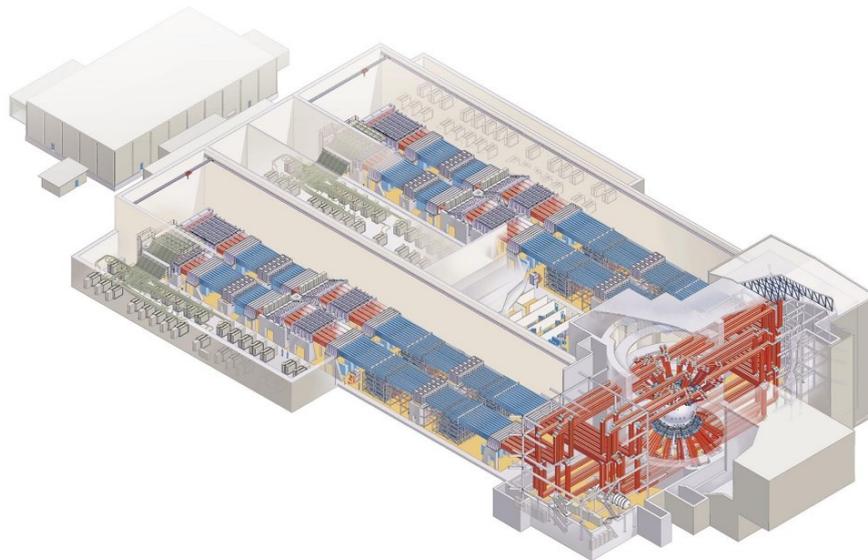


圖 5. NIF基礎平面圖

（圖片取自維基百科）

NIF的成功運作依賴於多項關鍵技術。以下是其中幾個主要技術：

- 高能雷射光系統：

NIF 配備了世界上最強大的雷射光系統（如錯誤！找不到參照來源。所示），共有192束雷射光。這些雷射光束能夠同時聚焦在燃料靶球上，提供高達2.1 MJ的能量，雷射光系統的精確同步和高能量輸出是實現核融合反應的關鍵。



圖 6. 國家點火設施雷射光系統之雷射間 (Laser Bay)  
(圖片取自維基百科)

- 燃料靶球技術：

燃料靶球通常由氘和氚組成，並被設計成能夠在雷射光內爆過程中均勻塌縮。這些靶球需要極高製造精度，以確保內爆過程的對稱性和效率。

- 內爆技術：

內爆技術是指通過雷射光加熱燃料靶球的外層，使其迅速蒸發並產生反向爆炸波，將內部燃料壓縮到極高的密度和溫度。這個過程需要極高的精度和控制，以實現有效的核融合反應。

- 診斷和監測技術：

NIF配備了先進的診斷和監測系統，用於隨時監測實驗過程中的各種參數，如溫度、壓力和能量輸出。這些系統能夠提供精確的數據，幫助分析和強化實驗。各操作台均配置有緊急停止裝置，據導覽專家表示可以就現場狀況立刻下達處理命令，確保人員及設備安全。

- 超低溫技術：

燃料靶球需要在極低溫下保存，以保持氘和氚的固態。NIF使用超低溫技術來冷卻和保存燃料靶球，確保其在實驗過程中的穩定性。

- 零震動和熱漲冷縮技術：

為了確保實驗的精確性，NIF的設備必須克服震動和熱漲冷縮的影響。廠房內有些部分的地基是分隔獨立結構，這種設計確保震動不致影響雷射光束聚焦及同步作業；另外室內溫度變動則須要維持在很小範圍內，才能保證設備能夠正常運作。

NIF於2022年首次實現核融合點火的歷史性突破，這是科學史上的重大成就。親臨現場後，更進一步瞭解其設施規模之龐大。不僅深刻體驗到美國NIF尖端科技實力及其對核融合研究的重視，因為核融合為清潔能源的希望之一。其能源發展方向可作為我國發展相關核技術的借鏡，我國亦應持續關注核融合的發展

## 4. 心得與建議

### 4.1 心得

- (1) 美國核電廠除役期間緊急應變計畫管制，主要因應用過核子燃料貯存的情境風險逐漸降低，核電廠持照者會申請免除廠外輻射緊急應變計畫，目前NRC會根據具體情況逐案評估，未來將以通案原則審查縮減緊急應變計畫區(EPZ)的申請，而 EPZ縮減是本公司努力的目標，本公司將持續掌握美國除役法規的發展。
- (2) 美國能源部共識基礎選址小組(Consent-Based Siting, Office of Nuclear Energy, DOE)辦理用過核子燃料集中貯存設施選址作業，希望透過共識基礎的選址模式，讓所有利害關係人(stakeholder)於能充分參與，透過充分的資訊揭露與分享，增進其對選址過程的理解。我國未來在推動高低放最終處置場及中期暫時貯存設施選址作業程序時，應在與利害關係人達成一定程度的共識下進行選址程序，選址過程中需強化公眾參與，讓利害關係人充分表達意見，在取得共識再作成決策前，以順遂選址作業之進行。
- (3) 有關美國小型模組化反應器(SMR)的發展呈現出多面向的發展趨勢。在法規方面，美國核管會(NRC)持續完善相關監管框架，確保SMR的安全性和可靠性。儘管發展態勢良好，美國的SMR產業仍面臨建造成本、安全性提升和核廢料處理等挑戰需要克服，在各界關注下，SMR技術預期將在全球能源轉型過程中扮演關鍵角色。基於上述發展趨勢，本公司應持續關注並蒐集美國SMR的最新發展動態，同時密切追蹤美國管制機關的監管立場，以掌握產業脈動與法規演進。」
- (4) 透過本次台美核能合作會議，已蒐集美國近期核能發展的現況及美國核管機關在核電廠運轉及除役管制法規架構的發展近況，並針對雙邊協定及技術交流活動進行未來合作方向的規劃，透過面對面討論與意見交流，展現具體顯著之成果，有助於我國強化各項核能議題包括核電廠營運與除役、用過核子燃料中期貯存與核廢最終處置以及新核能之技術發展。

### 4.2 建議

- (1) 參與台美民用核能合作會議可獲得美國在核能管制及核廢發展的最新進展，如出國員額及時間允許應可配合派員出席，持續透過實體會議的參與，進行台美雙邊技術交流，精進我國核電廠運轉與除役安全及放射性廢棄物管制及管理實務作業。
- (2) 有鑑於高低放射性廢棄物最終處置計畫選址推展不順利，我國參考國際作法規劃推動「放射性廢棄物中期暫時貯存設施」計畫。建議可請美國核管會於來年的「台美

雙邊技術會議(BTM)」進一步分享CISF(Consolidated Interim Storage Facility)有共識之選址程序(Consent-Based Siting Process)如何進行及建造執照的申請與審查程序。

- (3) 美國目前正有18個核電廠除役、3個核電廠考慮重啟，其美國核管會於核電廠運轉過渡到除役階段相關法規的管制作為例如：安全度(PRA)評估的要求、緊急應變區(EPZ)的縮減，亦建議於來年「台美雙邊技術會議(BTM)」做更詳盡的分享並與核安會共同討論。
- (4) 本次會議美方簡報人工智慧(AI)於核電廠運營和核能技術中之整合應用，鑒於AI應用技術的蓬勃發展，應持續關注美國AI技術應用於核電廠運營和核後端營運的技術發展。

## 5. 附錄

### 附錄一、2024年台美民用核能合作會議與會人員名單及所屬單位

表 1、我方赴美參加2024年台美民用核能合作會議名單及所屬單位

No.	Name	Affiliation	Job Title
1	LEE, CHI-SZU	Nuclear Safety Commission	Director
2	CHAO, WEI-WU	Nuclear Safety Commission	Deputy Director
3	LEE, YEN-LIANG	Nuclear Safety Commission	Deputy Director
4	HORNG, TZE-CHIEH	Nuclear Safety Commission	Senior Technical Specialist
5	WU, MING-ZHE	Nuclear Safety Commission	Section Chief
6	CHEN, SZU-CHIA	Nuclear Safety Commission	Section Chief
7	GUO, SHIAN-TANG	Nuclear Safety Commission	Section Chief
8	KUO, TZU-CHIEH	Nuclear Safety Commission	Section Chief
9	CHIH, HSIN-CHING	Nuclear Safety Commission	Associate Researcher
10	LI, TUNG-YANG	Nuclear Safety Commission	Associate Technical Specialist
11	TSAI, YI-TA	Nuclear Safety Commission	Associate Technical Specialist
12	TENG, JEN-HSIN	Central Weather Administration	Researcher
13	WU, HSING-TZU	National Tsing Hua University (NTHU)	Assistant Professor
14	CHEN, MING-HUEI	National Atomic Research Institute (NARI)	Vice President
15	LEE, LUN-HUI	National Atomic Research Institute (NARI) / Department of Nuclear Facilities and Engineering Technology	Deputy Director

No.	Name	Affiliation	Job Title
16	CHANG, MING-CHENG	National Atomic Research Institute (NARI) / Department of Isotope Application Research	Deputy Director
17	LIU, CHIEH	National Atomic Research Institute (NARI) / Department of Planning	Assistant Researcher
18	FAN, CHEN-TSUNG	Taiwan Power Company / Department of Nuclear Backend Management	Deputy Director
19	YU, CHIN-KANG	Taiwan Power Company / Department of Nuclear Safety	Deputy Director
20	WANG, CHIH-PING	Taipei Economic and Cultural Office in San Francisco / Science and Technology Division	Officer
21	LUO, TSAI-YUEH	Taipei Economic and Cultural Representative Office in Washington DC / Science and Technology Division	Deputy Director

表 2、美方與會參加2024年台美民用核能合作會議名單及所屬單位

No.	Name	Affiliation
1	WARDEN, JIM	Department of State
2	VOGTMAN, LOUIS	Department of State
3	FELTS, RUSSELL	Nuclear Regulatory Commission
4	DOMINIC, MARLINE	Nuclear Regulatory Commission
5	GANGEWERE, MEGAN	Nuclear Regulatory Commission
6	HIRSCH, KRISTIN	Department of Energy/NNSA
7	BOWERS, SAMANTHA	Department of Energy/NNSA
8	STEWART-SMITH, MART	Department of Energy/NNSA
9	MOLITERNO, MATTHEW	Department of Energy/NNSA
10	BATEMAN, JESSICA	Department of Energy/NNSA
11	LEE, BENJAMIN	Department of Energy/NNSA&NSDD
12	TURNER, KYLER	Department of Energy/NE
13	WONG, MANDY	Department of Energy/NNSA
14	FRITZ, STANLEY J. "CAP"	Department of Energy/Sandia National Laboratories
15	FREESTONE, CAMILLE	Department of Energy/Lawrence Livermore National Laboratory
16	GLASCOE, LEE G.	Department of Energy/Lawrence Livermore National Laboratory
17	DICKMAN, PAUL	Department of Energy/Argonne National Laboratory

## 附錄二、2024年台美民用核能合作會議議程(1/4)

### Agenda for TECRO-AIT JSC Meeting on Civil Nuclear Cooperation

Location: Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA

Dates: December 03-05, 2024

Tuesday, December 03 – Day 1		
Time/Location	Description	Participant(s)/Speaker(s)
08:20	Depart Residence Inn and Homewood Suites, Livermore	All - Black Tie Transportation Escorted by Julie Marchand
08:45 – 09:15	LLNL Site Badging, Bus Inspection	All - Westgate Badge Office
09:15	Transport to Bldg. 170	
09:30 – 10:00 Bldg. 170, Rm. 1091	Opening Remarks and Hospitality	James R. Warden, Director, Office of Nuclear Energy, Safety, and Security, DOS  Chi-Szu LEE, Director, General Planning Office, NSC
10:00 – 10:20 Bldg. 170	Group Photograph	All
10:20 – 10:30 Bldg. 170, Rm. 1091	BREAK (10 minutes)	All
10:30 – 10:40	LLNL Welcome	Huban A. Gowadia, Principal Associate Director, Global Security
10:40 – 15:40 Bldg. 170, Rm. 1091	Plenary Presentations	All
10:40 – 11:00 Bldg. 170, Rm. 1091	Updates on Nuclear Safety Commission's Activities in Taiwan	Hsin-Ching CHIH, Associate Researcher, General Planning Office, NSC
11:00 – 11:20 Bldg. 170, Rm. 1091	Schedule and Status on Consent-Based Siting Process for Consolidated Interim Storage Facility for Spent Nuclear Fuel	Marla Morales, Director for Consent-Based Siting, Office of Nuclear Energy, DOE – Via Webex
11:20 – 11:40 Bldg. 170, Rm. 1091	Recent Regulatory Activities on NPPs in Taiwan	Shian-Tang GUO, Section Chief, Nuclear Regulation Office, NSC
11:40 – 12:00 Bldg. 170, Rm. 1091	U.S. NRC Reactor Regulatory Activities on Operating NPPs	Russell Felts, Director, Division of Reactor Oversight, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC

## 附錄二、2024年台美民用核能合作會議議程(2/4)

Tuesday, December 03 – Day 1 (continued)		
Time/Location	Description	Participant(s)/Speaker(s)
12:00 – 12:20 Bldg. 170, Rm. 1091	Implementation of Nuclear Security and Emergency Preparedness during the Early Stage of Decommissioning of Nuclear Power Plants in Taiwan	<i>Yi-Ta TSAI, Associate Technical Specialist, Nuclear Security and Emergency Response Office, NSC</i>
12:20 – 13:00	Working LUNCH	<i>All</i>
13:00 – 13:20 Bldg. 170, Rm. 1091	U.S. NRC Reactor Regulatory Activities on Decommissioning NPPs	<i>Russell Felts, Director, Division of Reactor Oversight, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC</i>
13:20 – 13:40 Bldg. 170, Rm. 1091	Regulatory Activities for Decommissioning Nuclear Power Plants in Emergency Preparedness in the U.S.	<i>Russell Felts, Director, Division of Reactor Oversight, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC</i>
13:40 – 14:00 Bldg. 170, Rm. 1091	Overview of the Research Programs at NARI and Future Prospects	<i>Chieh LIU, Assistant Researcher, Department of Planning, NARI</i>
14:00 – 14:20 Bldg. 170, Rm. 1091	Plume Modeling For Emergency Response Operations	<i>Lee Glascoe, Program Leader, LLNL Nuclear Emergency Support Team</i>
14:20 – 14:30	BREAK (10 minutes)	<i>All</i>
14:30 – 14:50 Bldg. 170, Rm. 1091	The Waste Management Strategy and Current Status in Taiwan	<i>Chen-Tsung FAN, Deputy Director, Department of Nuclear Backend Management, TPC</i>
14:50 – 15:10 Bldg. 170, Rm. 1091	U.S. Efforts in Advanced Nuclear Reactors and the International Fuel Supply	<i>Kyler Turner, Senior Advisor to the Assistant Secretary, Office of Nuclear Energy, DOE</i>
15:10 – 15:30 Bldg. 170, Rm. 1091	Recent Nuclear Power Research Activities Related to TECRO-AIT Nuclear Cooperation at NTHU	<i>Hsingtzu WU, Assistant Professor, Institute of Nuclear Engineering and Science National Tsing Hua University</i>
15:30 – 15:50 Bldg. 170, Rm. 1091	Applications of Artificial Intelligence – Integration in NPP Operations & Nuclear Technology	<i>Daniel Nichols, Program Manager for Advanced Sensors and Instrumentation, Office of Nuclear Energy, DOE – Via Webex</i>
15:50 – 16:0	BREAK (10 minutes)	<i>All</i>

## 附錄二、2024年台美民用核能合作會議議程(3/4)

Wednesday, December 04 – Day 2		
Time/Location	Description	Participant(s)/Speaker(s)
08:15	Depart Residence Inn and Homewood Suites, Livermore	All - Black Tie Transportation Escorted by Julie Marchand
08:40	Westgate Badge Office for Bus Inspection and Badge Check	All - Escorted by Julie Marchand
08:55	Transport to Bldg. 170	All
09:00 – 13:00	Working Group Discussion & Presentations Bldg. 170, Multiple	All
<b>Working Group I:</b> <i>Reactor Regulation and Regulatory Research</i>		Co-Chairs - TECRO: Wei-Wu CHAO, Deputy Director, Nuclear Regulation Office, NSC  AIT: Russell Felts, Director, Division of Reactor Oversight, Office of Nuclear Reactor Regulation, NRC
<b>Working Group II:</b> <i>Waste Management and Environmental Restoration</i>		Co-Chairs - TECRO: Yen-Liang LEE, Deputy Director, Fuel Cycle and Materials Regulation Office, NSC  AIT: Kyler Turner, Senior Advisor to the Assistant Secretary, Office of Nuclear Energy, DOE
***Discussion for a proposal to split/reorganize working group***		
<b>Working Group III:</b> <i>Nuclear Science, Technology, Security, and Safeguards</i>		Co-Chairs - TECRO: Ming-Huei CHEN, Vice President, NARI  AIT: Kristin Hirsch, Director, National Nuclear Security Administration, Office of Radiological Security
***Discussion for a proposal to split/reorganize working group***		
<b>Working Group IV:</b> <i>Emergency Management</i>		Co-Chairs - TECRO: Tze-Chieh HORNG, Senior Technical Specialist, Nuclear Security and Emergency Response Office, NSC  AIT: Mart Stewart-Smith, Senior Foreign Affairs Analyst, NNSA/NA-81

## 附錄二、2024年台美民用核能合作會議議程(4/4)

Thursday, December 05 – Day 3		
Time/Location	Description	Participant(s)/Speaker(s)
08:00	Depart Residence Inn and Homewood Suites, Livermore	<i>All - Black Tie Transportation Escorted by Julie Marchand</i>
08:30	Westgate Badge Office for Bus Inspection and Badge Check	<i>All - Escorted by Julie Marchand</i>
09:00 – 10:00	Site Tour of the National Ignition Facility	<i>All</i>
10:00 – 10:30	Transport Back to Hotel	<i>All - Black Tie Transportation</i>