

出國報告（出國類別：會議）

## 參加第 12 屆空中輻射偵測系統 國際技術交流研討會

服務機關：國家原子能科技研究院

姓名職稱：陳韋新 副研究員兼輻安組組長

張皓婷 助理研究員

派赴國家/地區：美國/內華達州

出國期間：113 年 10 月 5 日至 113 年 10 月 13 日

報告日期：114 年 1 月 7 日

## 摘要

本次奉派參加第十二屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會，於2024年10月7日至11日在美國內華達州(Nevada)拉斯維加斯(Las Vegas)舉行，由美國能源部(Department of Energy，以下簡稱DOE)國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration，以下簡稱NNSA)主辦，參與國家包括美國、加拿大、瑞士、奧地利、捷克共和國、法國、德國、冰島、立陶宛、挪威、波蘭、瑞典、臺灣等13個國家，總與會人數約45人，各國專家就空中輻射偵測系統於該國的發展沿革及應用案例進行分享，並針對實務應用面之技術議題進行交流及討論。於10月9日參訪內華達國家安全區(Nevada National Security Site，以下簡稱NNSS)內的歷史實驗場所，於10月10日下午參訪遙測實驗室(Remote Sensing Laboratory，RSL)，並實際進內利斯空軍基地內觀摩美國空軍的機載式空中輻射偵測系統儀器，增加各國與會專家學者相互交流的機會，有助於提升我國空中輻射偵測作業技術量能。

# 目 次

一、出國目的 .....	1
二、出國行程 .....	2
三、會議過程紀要 .....	3
四、心得 .....	31
五、建議事項 .....	32
六、附錄 .....	33

## 圖 目 錄

圖 1：美國陽光海岸賭場飯店研討會會議場所.....	3
圖 2：第 12 屆空中輻射偵測系統國際交流研討會參加人員合影 .....	3
圖 3：Frenchman Flat 用於觀看地上核試爆後景像的長凳.....	24
圖 4：Bilby 核彈坑.....	25
圖 5：ICE CAP 地下核試爆監測塔.....	26
圖 6：Sedan 核彈坑.....	27
圖 7：二戰美國海軍路易斯維爾號巡洋艦的砲塔 .....	28
圖 8：APPLE II 地上核試爆後遺留下的 2 層樓木屋殘骸.....	29
圖 9：T-1 放射/核輻射事故緊急應變能力培育訓練場 .....	30

## 表 目 錄

表 1：第 12 屆空中輻射偵測研討會之行程表.....	2
表 2：第 12 屆空中輻射偵測研討會之議程表.....	4

## 一、出國目的

本屆空中輻射偵測系統(Aerial Measuring System，以下簡稱AMS)國際技術交流研討會係由美國DOE/NNSA規劃在陽光海岸賭場飯店(Suncoast Hotel and Casino)舉辦，參與國家包括美國、加拿大、瑞士、奧地利、捷克共和國、法國、德國、冰島、立陶宛、挪威、波蘭、瑞典、臺灣等13個國家，各國代表(含實體與視訊)合計約45人。本屆研討會聚焦於過去重大核子事故，如美國三哩島事故、前蘇聯車諾比事故、日本福島事故等，促使各國專家對核子事故、輻射事件的緊急應變發展，以及各國通盤性檢討和評估。此外，國際間整體的核環境正在改變，第四代核子反應器設施正興起、預測未來將會蓬勃發展；與此同時，部分核能國家正經歷持續的軍事衝突及威脅，如俄烏戰爭等，造成國際間的局勢動盪。

以此技術交流會作為一個平台，探討過去事件對國家或國際間緊急應變能力的影響，特別關注於空中輻射偵測的過去、現況與未來，掌握各國的發展策略、使用的儀器設備、人員培訓方法及實務應用經驗，參與會議最主要的目的即是希望藉由各與會國間展示空中輻射偵測成果或分享飛行實務經驗，提升各國空中輻射偵測應變之技術與量能。

## 二、出國行程

本次出國公差的技術交流會議時程為自 10 月 5 日(六)至 10 月 13 日(日)，會議議程安排如附件，出國行程概述如下表：

表 1：第 12 屆空中輻射偵測研討會之行程表

日期	地點	工作內容
10/5~10/6	台灣桃園國際機場 →美國拉斯維加斯	1. 去程(台灣桃園國際機場→美國舊金山國際機場→美國麥卡倫國際機場→美國陽光海岸賭場飯店) 2. 會議簡報資料討論與口頭發表準備
10/7~10/11	美國拉斯維加斯	參加第 12 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會
10/11~10/13	美國拉斯維加斯→ 台灣桃園國際機場	回程(美國陽光海岸賭場飯店→美國麥卡倫國際機場→美國舊金山國際機場→台灣桃園國際機場)

### 三、會議過程紀要

2024年10月7日至11日在陽光海岸賭場飯店舉行第12屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會，研討會會議場所外觀如圖 1。參與國家包括美國、加拿大、瑞士、奧地利、捷克共和國、法國、德國、冰島、立陶宛、挪威、波蘭、瑞典、臺灣等13個國家，參與會議人數約45人，與會人員合影如圖 2。



圖 1：美國陽光海岸賭場飯店研討會會議場所

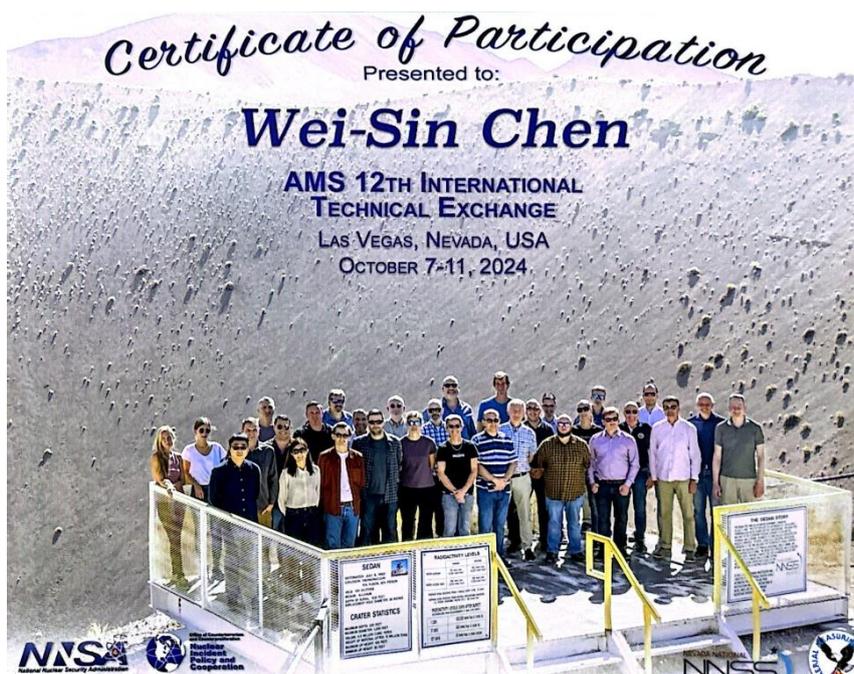


圖 2：第 12 屆空中輻射偵測系統國際交流研討會參加人員合影

本屆研討會由美國DOE/NNSA核子事故政策與合作辦公室(Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation，以下簡稱NIPC)聘用的顧問Pitor Wasiolek進行迎賓接待及會議開幕致詞，並講述本屆研討會所關注的重點涵蓋各國AMS的發展介紹，包含直升機與無人機(Unmanned Aerial Vehicle，以下簡稱UAV)以及其數據後處理、即時輻射偵測資料傳輸方法、輻射偵測演練等。

AMS技術交流旨在提升各國的緊急應變能力，並提供跨國合作與技術共享的絕佳平台，不僅有助於增進航空測量領域的專業能力，也促進國際間的合作，以強化美國和全球的應變整備量能。本次會議新增無人機最新技術、極端氣候操作案例，並加入亞洲代表性國家參與，吸引更多專家學者。同時增設實作演練與模擬操作，強化理論與實務聯繫，未來將聚焦人工智慧與自動化分析應用，提升航空測量數據處理效率與準確性。

第12屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會之議程表如表 2，本報告針對各國之簡報議題內容進行重點摘述，並提出心得分享與建議。

表 2：第 12 屆空中輻射偵測研討會之議程表

日期	國家	交流議題
10月7日	加拿大	(一) Development of Canadian Airborne Radiation Measurements for Safety and Security
	瑞士	(二) Towards Monte Carlo based Full Spectrum Modeling of Airborne Gamma-Ray Spectrometry Systems
	奧地利	(三) Aeroradiometry in Austria
	捷克	(四) 12 <sup>th</sup> AMS International Technical Exchange on Impact of Real World Events on Aerial Emergency Response
	美國	(五) Aerial Measuring System (AMS) triggering events from 1950 to 2024

10月8日	法國 CEA	(六) 12 <sup>th</sup> AMS international Technical exchange on impact of real-world (Past and future) events on aerial emergency response
	法國 IRSN	(七) Impacts of Real-World (Past & Future) Events on Aerial Emergency Response
	德國	(八) Emergency Exercises - A response to world events
	冰島	(九) Past and Future Use of Mobile Measurements in Iceland
	立陶宛	(十) Infrastructure of aerial radiation monitoring in Lithuania
	挪威	(十一) Gamma Spectrometry in Norway Past, Present and Future Challenges
10月9日	參訪	內華達國家安全區(NNSS)參訪
10月10日	波蘭	(十二) Polish capabilities and plans for aerial measurements
	瑞典	(十三) Aerial Radiation Measurements in Sweden
	瑞士	(十四) AMS exercises and international collaboration: together we are more efficient - Part 1 (十五) AMS exercises and international collaboration: together we are more efficient - Part 2
	臺灣	(十六) Aerial Measurement in Taiwan the Past, the Present, and the Future
	參訪	國家核子保安總署(NNSA)遙測實驗室(RSL)參訪
10月11日	加拿大	RSI 軟硬體介紹

## (一) 加拿大-Development of Canadian Airborne Radiation Measurements for Safety and Security

10月7日，由加拿大自然資源部(Natural Resources Canada)的 John Buckle 進行了一場題目為「加拿大空中輻射偵測的發展及其在安全與保安的應用」的報告。內容介紹了加拿大在輻射測量技術方面的悠久歷史，特別是在空中輻射測量的應用領域，並探討了該技術在地質調查、礦物勘探、環境監測及核子事故應變中的重要作用，以下是加拿大空中輻射測量技術的發展歷程:

### 1. 早期應用

加拿大的空中輻射測量技術可追溯至1960年代，最初應用於地質繪圖和礦物勘探。伽瑪射線測量技術使地質學家能夠更精確地識別地層特徵及礦產分佈，並成為輻射測量的一項核心工具。此外，空中測量技術在環境監測中的應用逐漸增加，用於評估輻射水平變化及潛在環境風險。

### 2. 核子事故緊急應變的關鍵角色

#### (1) Kosmos 954 衛星墜毀事件（1978年）

冷戰期間，蘇聯核動力間諜衛星 Kosmos 954 因運行故障於1978年墜毀，其碎片散落在加拿大西北地區，尤其是黃刀鎮附近。衛星內的放射性物質對當地造成核污染，加拿大與美國合作展開代號「晨光行動」(Operation Morning Light)，利用空中輻射測量技術迅速定位並確認污染源清理狀況，成功控制輻射影響區域。

#### (2) 911事件後的技術提升（2001年）

911事件後，加拿大強化空中輻射測量技術應用，建立聯邦核應變計劃(FNEP)和CBRNE應變團隊(化學、生物、放射性、核與爆炸物應變團隊)，並成立聯邦輻射評估團隊，定期進行核事故模擬演習，提升應變能力。這些演習增強技術能力，並促進與美國等盟友合作，例如與美國核檢測辦公室合作的跨國演習，提升核輻射威脅應對協調性。

### (3) 福島核災應對（2011年）

福島核災發生後，加拿大迅速更新應變計劃，並參與國際合作，進一步完善國內的應對體系，凸顯了空中輻射測量技術在國際緊急應變的重要性。

隨著無人機與人工智慧等技術的進步，加拿大的空中輻射測量應用範圍不斷擴大，不僅能應對核輻射威脅，還能支持環境保護與可持續發展。同時，加拿大積極推動跨國合作與數據共享，例如與美國進行跨國互操作性演習，提升全球輻射應變能力。整體而言，加拿大空中輻射測量技術的發展展示了一個國家如何將科學技術與安全戰略相結合，通過持續的研究、訓練與演習，加拿大在應對輻射威脅與環境挑戰方面奠定了堅實基礎，為全球輻射應變管理提供了寶貴經驗。

## (二) 瑞士 - Towards Monte Carlo based Full Spectrum Modeling of Airborne Gamma-Ray Spectrometry Systems

10月7日 Dr. David Breitenmoser 在研討會中介紹一項基於蒙地卡羅全光譜建模法的空中伽瑪射線光譜測量系統模型研究。研究的動機來自現有國際原子能機構（IAEA）標準中使用的經驗校準法和光譜窗口量化法的局限性，這些方法在輻射緊急情況下對大多數放射性核種的量化誤差高達 200% 以上，無法滿足實際需求。該研究的主要成果包括：

1. 開發高精度蒙地卡羅模型，將空中伽瑪測量系統與環境參數整合。
2. 建立新的模型架構，大幅提升計算速度。
3. 實現基於新模型的全能譜量化分析，將測量精度的誤差縮減至 2%。

研究結果顯示，經模型驗證後，該系統能在核事故緊急情況下提供快速且準確的輻射定量能力。同時，該模型還能有效校正地面與空中的輻射來源，並已在瑞士的空中伽瑪射線光譜測量系統中成功測試。未來，該模型計劃納

入瑞士常規輻射監測評估協議中，以提升監測能力。

新模型在精度和效率方面實現雙重突破，顯著解決傳統校準法中存在的高誤差和高成本問題，並克服低計數率的問題，提供一種穩健的機率架構，適用於多種空中輻射偵測系統和不同放射性核種的定量分析。

新模型的通用性使其有望推廣至更多國家和地區的航空輻射測量系統，促進國際標準化發展。此外，該方法還具有潛在應用價值，可擴展至地質勘探和環境監測等領域。隨著系統的複雜性增加，可引入更多高性能計算資源，以縮短模擬時間並提升應變響應能力，並在不同氣候條件和地理環境下進行實驗，驗證模型的穩定性和適用性。

Dr. David 的研究為空中伽瑪射線光譜測量技術的發展提供了新的方向，突破了傳統方法的瓶頸。建議未來與該團隊進行技術交流，探討其模型在國內輻射監測中的應用可能性，同時持續關注其在國際標準化方面的進展，為提升我國輻射監測能力提供參考依據。

### (三) 奧地利 - Aeroradiometry in Austria

10月7日 Michael Schiller 代表奧地利化生放核中心 (Chemical Biological Radiological Nuclear, CBRN) 介紹該國空中伽瑪輻射測量系統 Aeroradiometry。CBRN 作為奧地利內政部處理化學、生物、放射性和核能相關問題的主要聯絡點，配備輻射保護專家及專門的國際合作小組，在輻射監測與應變管理中發揮重要作用。

奧地利早期設立約 300 個伽瑪劑量率監測站，並在邊界部署 10 個空氣收集系統以監測周邊核設施。隨後引入空中輻射測量技術，利用直升機低空飛行（高度 80 m、速度每小時 80 km、軌跡間隔 100 至 150 m），配備四個塑膠閃爍體偵檢器，數據由 SSM-1 劑量計處理並分析。該國警察陣容中有 56 名專業輻射防護人員，定期訓練以確保設備操作和應變能力。奧地利整合直升機、車輛、船隻和固定監測站，展現高效的輻射監測應變能力。

奧地利公開輻射監測數據，建立透明管理模式，增強民眾信任，並與德國密切合作，成為國際合作典範。針對奧地利的系統運作，建議可引入更靈敏的光電倍增管和數據處理技術，以提高探測精度和速度。同時，在現有數據公開的基礎上，建立輻射地圖平台，便於政府和公眾實時掌握輻射情況。此外，建議推動與鄰國的航空輻射測量聯合演習與數據共享，進一步強化跨境應變能力。最後，為了提升在極端條件或難以到達地區的應用能力，可考慮引入無人機作為輔助技術，增強系統的靈活性與安全性。

奧地利的空中輻射測量系統展示先進的技術整合能力與透明的數據管理模式，其經驗可為國內輻射監測系統的升級提供有益的參考。同時，結合無人機技術與新型探測設備的應用，未來有望進一步提升輻射監測與應變管理的能力。

#### (四) 捷克 - 12<sup>th</sup> AMS International Technical Exchange on Impact of Real World Events on Aerial Emergency Response

10月7日主講人 Lubomir Gryc 講述捷克核輻射監測與應用技術發展，核輻射監測應對的是保障社會安全的重要環節，特別是針對核事故、軍事衝突或其他潛在輻射危害的情境下，捷克國家輻射保護研究所（SÚRO）在核輻射監測與技術應用領域累積了豐富的經驗，從車諾比事故至今，技術與實踐方面取得了顯著成就。

##### 1. 核事故與輻射監測技術的起源與發展

1986年車諾比事故促使捷克開始重視輻射監測，當時採用地質用空中能譜測量設備進行輻射調查，奠定系統化基礎。1990年代建立監測網絡，2000年起由國家輻射保護研究所自主測量，專注於鈾礦開採地區和核子事故沉降區域。2011年福島事故促進設備升級與國際技術合作。

##### 2. 先進輻射監測設備演進

### (1) RADPatrol2 系統與伽瑪光譜分析

捷克國家輻射保護研究所與 NUVIA 公司合作開發的 RADPatrol2 採用高靈敏度的 NaI(Tl) 晶體檢測器，具有<8.5%的能量解析度，覆蓋 20 keV 至 3 MeV 的能量範圍，使得放射性同位素（如 Cs-137）的檢測更為精確，提升了輻射監測的效率。

### (2) CzechRad 攜帶式監測工具

CzechRad是一款設計緊密、堅固耐用的攜帶式監測設備，具備強大的數據記錄和GPS功能，支持在線和離線數據視覺化，其高性價比和易用性，使其成為小規模輻射監測的理想工具。

### (3) 無人載具（UAV）與地面載具（UGV）應用

無人機（UAV）和無人地面載具（UGV）是現代輻射監測的重要技術之一，在捷克，UAV（如 Primoco UAV ONE 150 和 LIAZ SKYSPOTTER），能快速覆蓋大面積區域，完成複雜地形的輻射調查。UGV配備輻射檢測器，能深入危險區域進行放射源追蹤與操作，進一步提升射應變能力。

## 3. 輻射監測在軍事與應變中的應用

輻射監測在軍事與應變中應用日益廣泛。捷克利用J-RODOS系統，對鄰近核電站（如Zaporizhzhia NPP）進行實地分析，減少輻射威脅。此外，透過 UAV與UGV技術，捷克能夠深入廢棄工廠進行精準輻射調查。這些技術不僅使歷史遺物輻射殘留問題的解決，也確保調查人員的安全，突顯輻射監測技術在歷史遺址與工業場地管理中的價值。

捷克在核輻射監測技術的未來發展中，提升核監測設備靈敏度與解析度，結合無人機與地面載具技術拓展數據收集。同時建設輻射應變訓練中心，強化突發事件應對能力，特別是機器人操作與射源定位。這些舉措提升捷克的應對能力，並提供國際輻射安全參考，實現精準、高效的監測。

## (五) 美國- Aerial Measuring System (AMS) triggering events from 1950 to 2024

10月7日，本次會議主辦單位美國能源部國家核子保安總署（NNSA）邀請 Pitor Wasiolek 擔任主講人，全面回顧美國空中偵測 70 多年來的發展歷程，深入解析其在核試驗、輻射緊急應變及國際合作中的演變歷程，展現美方於核能安全與環境保護領域的進展。

### 1. 1951年至1959年：初始階段

內華達試驗場（NTS）於1951年啟用，首次進行大氣核試驗，輻射監測由 Bell H-12和Boeing B-29飛機執行。1958年，受英國溫斯喬核事故影響，美國原子能委員會（AEC）引入DC-3飛機執行監測，但因成本高，1959年將業務交由EG&G公司負責。

### 2. 1960年至1970年：技術升級與擴展

1960年，開發了ARMS II系統，並將其應用於H-500直升機和King Air A-100飛機。隨著1962年《部分禁止核試驗條約》的簽署，核試驗轉為地下進行，輻射監測技術也隨之進步。1970至1972年間，ARMS系統完成了內華達試驗場的首次全面輻射調查，為後續技術應用奠定基礎。

### 3. 1976年至1980年代：全球化與設備更新

1976年，華盛頓空中測量辦公室成立，AMS的工作重心也逐漸從核試驗場監測轉向公共安全保護，1978年，AMS 第一次參與國際任務，前往加拿大執行「晨光行動」。1979年，AMS 積極參與三哩島核事故的緊急應變，展現出在輻射應變中的關鍵作用。1987年，AMS 在澳洲完成了首次國際環境調查，進一步拓展了其全球業務的範圍。

### 4. 1990年至2024年：現代化與未來規劃

1994年，AMS 完成內華達試驗場的第二次全面調查，輻射監測技術日趨成熟。2011年，因應福島核事故的應變需求，AMS 開發新型數據處理軟件 AVID，大幅提升數據處理的效率和能力。2024年，AMS 更進一步，採

購了最新型的 AW139 直升機，進行設備升級，展現了其在技術現代化和效率提升方面的持續投入與決心。

此次會議特別強調了國際合作的重要性。AMS 的全球化參與不僅促進了技術水平的提升，也加強了公共安全意識，會議中對 AMS 設備升級的介紹，讓我深刻認識到技術革新對於提升監測效率和精準度的關鍵作用。同時，這些技術進步為我們未來改進輻射監測系統提供了重要參考，也強調了建立更緊密國際合作聯繫的必要性。

#### (六) 法國 CEA-12<sup>th</sup> AMS international Technical exchange on impact of real-world (Past and future) events on aerial emergency response

10 月 8 日，法國原子能委員會（CEA）由 Nicolas Comte 代表，分享 CEA 的空中測量系統。CEA 成立於 1945 年，初衷為促進核能的和平利用與軍事應用，隨著全球能源需求和技術進步，逐步拓展至核能開發、核安全、輻射防護等領域。CEA 近期並未參加各國會議，此次重返交流會議表示十分高興。CEA 的空中測量系統始於 1976 年，受到美國空中輻射測量系統（ARMS）與事故核檢測系統（SANDS）的啟發，並根據法國需求進行本土化開發。

##### 1. 歷史背景與系統發展

CEA 的空中偵測技術開發包括核武裝備需求及多起國際核事故，1980 年代初，CEA 首套空中偵測系統在 Alouette 3 輕型直升機上投入運行，1985 年開始用於國防緊急應變，並於 1990 年拓展至民用領域。

##### 2. 當前運營情況

現行兩套經歐洲航空管理局認證的系統，搭載 16-32 L 碘化鈉偵檢器，飛行高度 40 m、速度 70 km/h 進行偵測，可生成伽瑪輻射分布地圖，用於污染熱點追蹤。CEA 定期測量核設施周邊輻射，核威脅升級時採直升機搜索或車載與步行系統進行熱點測量。CEA 為 2024 年巴黎奧運及橄欖球世界杯提

供輻射安全支持，並完成多個城市的輻射基準數據庫建設。

### 3. 未來挑戰與應對措施

CEA 現在面臨老舊直升機更新的挑戰，需要針對新機型。然而，這些新機型的高成本和重量限制讓技術整合變得更加困難。另外，由於核設施新危險區域的評估規範調整，使執行任務的時間大幅增加，例如在土倫港 (Port of Toulon) 的測量任務從原來的 5 小時延長為 20 小時。面對未來可能的需求高峰，需要尋求外部資源來協助應對。

CEA 的報告突顯了核能與安全的深度結合。空中輻射偵測系統不僅是技術創新的典範，也為核事故提供應對的科學數據。透過定期監測和基準數據的累積，不僅可以提升事故處理效率，還可加強民眾對核能安全的信任。面對技術升級和資源限制的挑戰，CEA 在設備統一和國際合作上的努力，為其他核能國家提供了重要的參考價值。

#### (七) 法國 IRSN – Impacts of Real-World (Past & Future) Events on Aerial Emergency Response

10 月 8 日，法國輻射與核安全研究所 (IRSN) 的 Marc Gleizes 介紹了空中輻射偵測技術 (AMS) 的發展。AMS 起源於 2011 年福島核災，因傳統測量方法局限，IRSN 開始研發 AMS，結合實測數據與數學模型，精確劃定輻射影響區域。2011 至 2014 年間，IRSN 進行大量測試，包括小型飛機與直升機高空測量，並與美國能源部 (DOE) 等國際機構合作，參與核事故測量與技術交流，推動 AMS 技術在歐洲的應用與發展。

目前，IRSN 的 AMS 系統正在不斷提升應對突發事件的能力，並開始探索結合無人機測量數據的方式。此外，IRSN 也在開發統一的輻射數據處理系統，旨在將航空、車載和地面測量數據進行整合，提供更準確、即時的輻射監測結果。未來，IRSN 計畫為新型核電廠及小型模組化反應堆 (SMR)

制定輻射監測策略，並預計 AMS 將與其他技術相結合，用於評估武器化輻射源等潛在放射性威脅。

IRSN 的 AMS 系統展示其在輻射監測與核安全應變管理方面的技術實力及前瞻性思維。從福島核事故的經驗中汲取教訓，IRSN 開發的 AMS 系統強調快速反應和應對複雜地形的能力，這一技術已成為全球核應變管理的重要工具。在未來，隨著核能發展和輻射風險的多樣化，AMS 技術將持續發揮重要作用，並成為各國核安全應對的重要支柱。

#### (八) 德國 - Emergency Exercises - A response to world events

10 月 8 日，德國聯邦放射保護局（BfS）針對緊急應變演習進行分享，該機構負責德國的核能和輻射防護，主要任務是保護人民和環境免受輻射危害，並確保核能設施的安全。BfS 在核能監管、輻射防護、放射性物質管理和應變應變方面都扮演著重要角色。

自 1993 年以來，德國聯邦警察、邊界警察等單位積極與其他國家進行合作，包括奧地利、法國、丹麥、挪威等。2003 年的 ECCOMAGS 計畫這樣的大型國際測量活動，進一步促進這些國家之間的合作，並推動了輻射測量技術的共同發展。在這些演習中，技術與系統的應用發揮了關鍵作用，特別是在無人機輻射測量系統的整合與測試方面，通過高純鍺（HPGe）檢測器進行輻射檢測，並結合 AI 技術來優化動態飛行計畫和輻射曝露。

在模擬和限制方面，通過使用真實氣象數據，輻射傳播模擬變得更加精確，有助於參與者在不同輻射情境下的應變策略訓練。同時，近年不斷針對偵檢器的測量極限進行研究，以及如何避免空中偵測受輻射雲的影響，該研究對數據準確性和操作安全性至關重要。未來，建議加強模擬整體光譜數據來提升訓練效果，同時推動跨國合作與技術進步，以應對日益複雜的輻射監測需求。

這次簡報展示德國在輻射應變訓練中的先進技術與國際合作經驗，這些經驗值得我們借鑒。系統化和標準化的緊急應變流程能有效減少危機發生時的反應時間，提升應變質量。透過模擬演習，參與單位能更深入了解輻射測量系統的優勢和限制，從而為未來應對實際危機做好準備。未來應該加強跨國合作與技術進步，並推薦使用整體光譜數據來提升訓練效果。國內可借鑒德國的空中伽瑪測量技術，引進高純鍍檢測器無人機技術，強化大範圍的輻射監測能力。

#### (九) 冰島 - Past and Future Use of Mobile Measurements in Iceland

10月8日，冰島輻射安全局（Icelandic Radiation Safety Authority, IRSA）由 Gísli Jónsson 與 Kjartan Guðnason 講者針對冰島移動式輻射偵測的發展演進進行介紹，IRSA 成立於 1988 年，負責冰島的輻射安全和核能監管，確保輻射源使用不會對健康和環境造成危害。其職責包括監控輻射源、制定安全標準、提供防護教育、確保設施安全運營，以及在核事故或輻射事件中提供應對指導。此外，IRSA 同時積極參與國際條約與協議，如 IAEA 和 CTBTO 等，確保冰島輻射安全管理與全球最佳實踐接軌。

IRSA 配備多種先進移動式輻射偵測系統，包括 3 套 SPARCS 系統、2 套背包測量系統、3 套 RSI 空中偵測系統及最新版的 iAVID 與 Kromek IAV 偵測器，用於背景測量與車載輻射監測。透過參與北歐核安全研究組織(NKS) 的多項專案，IRSA 在移動式輻射偵測領域展現領先的技術能力，例如 MOBELRAD 用於車諾比污染區的伽馬測量、AUTOMORC 利用貝氏定理確定點源位置、SHIELDMORC 針對屏蔽輻射源的移動伽馬光譜測量，以及 REALMORC 在實際環境下的屏蔽輻射源搜索實驗。這些研究不僅完善了理論模型，也在實際應用中驗證了技術的可行性。在實際情境中，IRSA 的移動式輻射偵測技術被廣泛應用於北方維京演習（Northern Viking）、REFOX、

CONTEX 及 ARTIC REIHN 等國際演習。此外，IRSA 還利用 SPARCS 系統與 HPGe 偵測器進行背景輻射監測，曾在舊北約雷達站發現鈾含量稍高的土壤樣本，展現其污染調查能力。

展望未來，IRSA 計畫針對 Kromek SIGMA50 偵檢器的應用，並整合 LIDAR 技術提升測量精度，進一步拓展輻射防護的技術應用範疇。本次報告全面回顧了 IRSA 的歷史、專案成果及移動式輻射測量技術的發展，展現從基礎研究到實際應用的完整發展，為輻射監測技術的進步提供了參考範例，也啟示未來在創新與實際需求間的平衡發展方向。

#### (十) 立陶宛 - Infrastructure of aerial radiation monitoring in Lithuania

10 月 8 日，立陶宛輻射防護中心（Radiation Protection Centre, RSC）的 Julius Ziliukas 講者介紹立陶宛空中輻射監測的演進歷程及應用。作為立陶宛負責輻射安全的監管機構，RSC 負責輻射源和職業曝露管理，以及輻射防護培訓與評估。該機構還負責放射性環境監測及緊急應變管理，尤其是在核子設施及緊急應變方面，包括高危險設施、放射性廢物管理、輻射源運輸以及鄰近白俄羅斯核電站的緊急應變等。立陶宛的輻射緊急應變計畫目標是保護居民及環境免受放射性污染。立陶宛進一步根據核設施距離設置應變計畫區域，包括 30 公里內的緊急保護行動區、100 公里內的擴展計畫區，以及 300 公里內的食物和商品安全區。

在空中輻射監測方面，RSC 自 2016 年起逐步引進空中輻射測量技術，包含 MONA Envinet 設備，並於 2019 年首次於國家級演習中進行空中輻射調查。2023 年 RSC 開始參與國際演習，展示其成熟的空中偵測能力，體現出該國在輻射應變領域的技術進步與國際合作意識。RSC 的緊急運營中心（EOC）也發揮了重要作用，協調輻射監測、數據分析及應變措施執行。

立陶宛的緊急應變準備計畫還強調與鄰國核設施的潛在風險，例如距離邊界較近的 Rivne 核電廠（300 公里）及車諾比核電廠（420 公里）。通過技術創新、法律規範及跨部門合作，RSC 不僅提升了本國的輻射應變能力，也在區域核安全

穩定中發揮了積極作用。本次報告總結了立陶宛在輻射防護及空中輻射監測領域的經驗，為其他國家提供了寶貴的參考案例。

#### (十一) 挪威 - Gamma Spectrometry in Norway Past, Present and Future Challenges

10月8日，挪威輻射與核安全局(DSA)由Oscar Mork和Per Otto Hetland講者進行空中偵測的發展介紹，題目為挪威伽瑪光譜測定技術發展，威的輻射與核安全由輻射與核安全管理機構(DSA)負責，其主要職責涵蓋核安全、輻射源的使用管理以及自然輻射和放射性污染的監測與管控。此外，DSA還為衛生部、氣候與環境部、外交部以及其他需要支援的部門提供技術支持和專業意見。

##### 1. 歷史背景與車諾比事故的影響

1945年至1980年間，全球共進行543次核試驗，產生包括Cs-137、Sr-90和I-131的大量放射性核種。這些核試驗對挪威的環境產生持續性地影響，而1986年車諾比核事故更是挪威輻射防護歷史中的重要事件。當時，挪威檢測到馴鹿和羊肉等食品中的Cs-137濃度超標，導致部分肉類及乳製品被銷毀或禁售，牧民體內也出現了銫累積的情況。為了應對輻射污染，挪威實施了多項措施以降低影響。

##### 2. 輻射監測實踐與危機應對

DSA多次運用移動式實驗室對挪威不同地區進行環境輻射監測，如2011年和2019年的實地演練，顯示出其監測能力、靈活性和準確性。挪威的危機應對委員會(KU)自1993年成立以來，負責制定和執行包括撤離、除污、碘片分發以及公眾的輻射緊急應變措施，確保應對措施的高效運作。

##### 3. 海上輻射偵測與應用

為應對海上可能的輻射洩漏，挪威部署配有輻射測量裝置及即時數據傳輸功能的無人機與專用船隻，這些設備不僅可提高輻射監測效率，還為處理

核動力船舶事故提供有力支援，此外，挪威曾模擬核動力船舶事故，進行全方位的演習，包括救援、監測和疏散等演練，以完善應變能力。

未來，隨著核動力船舶設施增多，挪威預測核能安全挑戰將顯著增強，為應對這些潛在威脅，DSA 正積極投入於更先進的輻射監測設備與數據分析技術，從挪威的經驗中，可以汲取以下啟示：首先，歷史教訓的重要性不可忽視，核試驗和車諾比核事故揭示輻射擴散的跨境特性，更強調國家層面輻射監測與緊急應變的必要性，其次，技術應用與創新在核能安全管理中扮演關鍵角色，例如無人機與移動實驗室的使用，顯著提升了輻射監測的效率；第三，挪威整合多部門資源，建立快速應變機制，為輻射應變管理提供了最佳典範；最後，核能安全挑戰需強調跨國合作，包括數據共享與應變資源調配，以共同應對可能的核事故。挪威的核輻射管理體系為全球核安全管理提供相當寶貴的經驗，供各國參考。

## (十二) 波蘭 - Polish capabilities and plans for aerial measurements

10月10日，由 David Frencl 講者針對波蘭在空中輻射偵測方面的發展與計劃進行講解，波蘭國家原子能機構（Państwowa Agencja Atomistyki，PAA）下設的輻射應變中心（Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych，CEZAR）負責監測和應對國內的輻射事件。該中心在輻射事故發生時，負責協調應變措施，確保公眾安全。例如，在切爾諾貝利核事故期間，PAA 和 CEZAR 密切監測波蘭境內的輻射水平，並採取必要的防護措施，以保護居民免受輻射影響。

波蘭東部邊界即為歐盟的東部邊界，與俄羅斯、白俄羅斯和烏克蘭接壤。地理位置使其在核能安全和輻射監測方面具有重要的戰略意義。在車諾比事故期間，波蘭主要依靠地面測量和採樣為主，該技術位輻射污染偵測奠定重要基礎，此外，波蘭曾將空中偵測技術應用於 Maria 研究用反應器的相關研究中。

### 1. RSI 系統的應用

2024年3月，波蘭國家原子能機構（PAA）嘗試使用 RSI 系統協助警方搜尋遺失的工業用伽瑪射源，雖未成功尋回，但展現出其輻射緊急應變在檢測和搜索中的實際應用能力。

## 2. 未來規劃與技術升級

波蘭著眼於全面提升輻射監測能力與應變效率，計劃建立專業的劑量測量團隊，逐步增加固定式監測站數量，並擴展地面採樣能力，同時提升監測系統設備的多樣性，以應對各類輻射事件。此外，波蘭將與內政部合作，利用直升機進行空中偵測，制定緊急應變程序，進一步強化輻射監測的精準度與反應效率。核能領域方面，波蘭過去曾取消核電廠計劃，但近期選定新型反應爐，預計於2028年開始建設核電設施，標誌著核能發展的新起點，展現波蘭在能源與安全領域的前瞻性規劃。

波蘭核能設施的發展以及鄰國地緣政治局勢的變化，可能引發潛在威脅與緊急需求，對輻射應變系統提出了更高要求。波蘭需要在持續提升本國應變能力的同時，與國際社會深化合作，共同應對跨境輻射事件的挑戰，確保核安全。

### (十三) 瑞典 - Aerial Radiation Measurements in Sweden

10月10日，瑞典輻射安全管理局(SSM)的Jonas Boson 及 Simon Karlsson 講者針對空中輻射測量技術的演變及未來發展項目進行介紹，瑞典輻射安全管理局(SSM)是負責瑞典輻射保護與核安全的主要監管機構，維持全國輻射監測系統並組織緊急應變團隊。緊急應變團隊包括瑞典國防研究局、國家CBRN防禦中心等多所大學機構，提供測量與實驗室分析技術支持，形成高效的跨部門合作機制。

#### 1. 地質調查與空中輻射測量技術

瑞典主要使用Turbo Commander 690飛機搭載RSX-5和HPGe偵檢器進行輻射測量。最初這些技術應用於鈾礦探測，但隨著核能安全需求的增加，逐

步擴展至核事故及其他輻射事件的偵測。瑞典在輻射緊急應變中採用多種高度校準劑量率的方法，並以手繪地圖記錄結果的方式。整體量測流程包括每日飛行、數據傳輸及夜間數據處理等，展現高效率合作與應變能力。

## 2. 車諾比事故的影響與技術升級

1986年車諾比核事故成為瑞典加強輻射測量能力的重要契機，事故發生後，瑞典迅速升級車載與空中偵測系統，實現從地面測量到空中偵測的技術躍進。初期以地面車載設備進行輻射水平檢測，隨後將空中偵測結果繪製成輻射污染圖，為輻射監測技術的現代化奠定基礎。

未來，瑞典計劃於 2025 年引入新型飛機及硬體設備，以應對武裝衝突及核子事故後的輻射監測需求，這些技術升級將進一步鞏固其在輻射應變領域的領導地位。同時，報告強調國際合作與信息共享的重要性，為全球應對核輻射挑戰提供方向。此次報告展示瑞典在輻射應變技術與管理方面的先進經驗，為我國輻射監測及應變體系的完善提供了寶貴參考，並再次凸顯歷史教訓、技術創新及多方協作在確保輻射安全中的關鍵作用。

### (十四) 瑞士 - AMS exercises and international collaboration: together we are more efficient - Part 1

10月10日，Poretti 和 Cristina 代表瑞士國家緊急應變行動中心(National Emergency Operations Center, NEOC) 進行簡報。NEOC 作為負責統籌與指揮全國性緊急事件應對的核心機構，致力於提供即時且協調的行動管理。該中心位於政府核心緊急應變部門，整合多個部門與資源，專注於應對自然災害、技術事故、公共衛生危機及其他突發事件。

AMS 系統自 1986 年創立以來，經過多次技術改進，現已成為 NEOC 的重要量測工具之一。該系統利用 Super Puma 直升機搭載先進測量設備進行空中輻射監測，具備快速數據處理和精確地圖繪製的能力。為應對未來挑

戰，NEOC 正計畫進一步升級設備，AMS 所取得的測量數據通過 QGIS 軟體進行分析，並與其他設備的數據進行比對以驗證可靠性，數據報告涵蓋初步分析與科學研究內容，並公開於官方網站供查閱。

此外，瑞士積極參與國際演練（如 ECCOMAGS、CONTEX 和 AGC 2024 等），旨在提升核事件的跨國應對能力，並推動數據格式標準化，這些努力展現了瑞士在國際合作與輻射應變管理領域的領導地位。

這份簡報充分展現瑞士 NEOC 在核子應變管理中的技術創新與國際合作成果。AMS 系統結合先進測量技術與高效數據分析，體現科技在核輻射應變中的關鍵作用。而國際演習與標準化努力，則進一步強化了全球協作應對核風險的能力。瑞士的經驗提供了寶貴的啟示，特別是在平衡技術發展與政策實踐、確保安全與能源需求方面，值得全球學習與借鑒。

#### (十五) 瑞士 - AMS exercises and international collaboration: together we are more efficient - Part 2

10 月 10 日，瑞士的第二場簡報由 Stabilini Alberto 博士主講，內容聚焦於 AMS 空中偵測系統的演練以及國際合作。瑞士的 AMS 系統調查構想源自於 2023 年在瑞士舉行的技術交流會，目的在於提供全球 AMS 系統的現況概覽，並辨識不同系統間的相似之處和差異。調查結果顯示，來自 10 個國家的 14 名專業人員參與了此項研究，涵蓋了 AMS 系統在輻射測量中的各種應用。調查資料詳細介紹了各國使用的直升機型號、飛行參數、校準方法以及檢測設備的多樣性。所使用的評估軟體也顯示出多樣性，這突顯了統一數據格式的必要性，並且檢測設備包括閃爍檢測器、半導體檢測器和其他感應器。儘管各國系統在航空器配置和數據處理方式上有所不同，但在檢測、測量與評估方法上基本一致。

這次調查也展示了 AMS 系統在輻射災害應對、公共健康維護和科研支

持中的重要價值。未來的挑戰主要集中在數據標準化和分析方法的一致性，建議擴展調查範圍、精進演算法並提升數據處理能力，使不同系統間能進一步整合。未來考慮建立一個全球 AMS 數據共享平台，並利用機器學習等技術來優化算法，定期舉辦跨國演練，引入先進技術提升分析的準確性和一致性。

總體來說，這次 AMS 系統調查強調了技術創新與國際合作的重要性。不僅為輻射緊急應變提供了強大的技術支持，也顯示了如何通過標準化推動全球合作，未來希望更多的團隊能夠參與進來，共同推動 AMS 系統的進步，為全球輻射應變管理奠定堅實的基礎。

#### (十六) 臺灣 - Aerial Measurement in Taiwan the Past, the Present, and the Future

10 月 10 日，由陳韋新副研究員及張皓婷助理研究員分別針對台灣空中偵測技術的最新進展及其應用進行介紹，並分享歷年緊急應變演習成果，提供給各國參考。台灣的空中測量技術始於 2011 年福島核災之後，為應對未來可能發生的核災情境，相關單位引進由美國國家核子保安總署（NNSA）提供的 SPARCS 系統。自 2013 年起，空中測量系統（AMS）被納入年度核電廠緊急應變演練項目，並逐步發展為核能安全監測的重要工具，整合軍方及國家航空服務隊（NASC）的資源，共同開展技術研發與應用。

近年來，AMS 系統的硬體與軟體升級取得顯著進展，包括整合多頻道能譜分析儀（MCA）以及引進 iAVID 數據處理軟體。這些升級不僅大幅提升了數據傳輸的效率與穩定性，也縮短各系統部署及整合的時間，有效提高緊急應變能力。此外，透過與美方合作，相關人員在系統維護及故障排除方面的技能得到加強，為技術自主發展奠定了基礎。

在直升機應用之外，無人機（UAV）技術也成為核能電廠監測的重要發展方向。自 2019 年起，六軸混合動力無人機被正式導入年度核電廠演練，

其靈活性與低高度飛行特性，特別適用於核電廠除役及放射性廢料儲存設施的監測。2021 年，無人機飛控系統轉換為開源模組，以確保數據安全性，並建立了本地數據處理參數，進一步提升了測量準確性與應用範圍。

近年來在技術發展取得很大的進展，但仍面臨 GPS 數據漂移及地形特性對飛行高度精準度的影響等挑戰。針對這些問題，本院希望引進數字地形模型（DTM），以提高高度測量的準確性。同時，為應對地形起伏對量測結果的影響，增加偵檢器體積可能會是最直接的改善方式，以適應不同需求。

台灣的空中測量技術自福島核災以來，已發展為具國際競爭力的監測工具，透過軍方與 NASC 的緊密合作，相關技術在核電廠除役及輻射監測中的應用日益成熟。未來，將持續專注於技術優化與系統升級，並深化國際合作，以提升台灣在核安全領域的全球地位。

## (十七) 內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)參訪

### 1. 法國人公寓(Frenchman Flat)

法國人公寓 (Frenchman Flat) 是冷戰時期核試驗的重要場地，位於內華達國家安全場址內，從 1951 年至 1962 年間，共進行了 14 次地上核試驗，包括 1954 年著名的 Priscilla 測試，該地區被用來測試結構材料的耐久性、放射性影響，甚至進行生物模擬實驗，使用豬來模擬人類。此外，1965 年至 1968 年期間還執行了 5 次地下核試驗。其設施包括放射性廢料處置設施 (RWMC)，專門處理低階及複合性低階放射性廢棄物，以及防擴散測試與評核設施 (NPTEC)，這是全球最大規模的露天有毒化學與生物模擬測試場所，並用於研究化學和生物威脅。同時，內華達州沙漠研究中心也致力於研究 Mojave 沙漠的生態影響，為環境科學提供支持。法國人公寓還保存了冷戰時期的重要文化與歷史遺產，包括核試驗遺跡 (如 “Joe's Bar”) 以及原住民遺跡 (如 11,000 年前的石器工具)。目前，該地區主要用於存放放射性廢料、進行核技術的亞臨界測試及核災難應變訓練，同時持續進行考古調查和歷史紀錄工作。



圖 3：Frenchman Flat 用於觀看地上核試爆後景像的長凳

## 2. Bilby 核彈坑

Bilby 核彈坑是 1963 年 9 月 13 日「Operation Niblick」地下核試驗的產物，當時引爆了一枚 249 千噸核裝置，相當於 20 萬噸黃色炸藥，爆炸發生於地下 2,400 英尺處，形成了一個約 1,800 英尺寬、80 英尺深的沉降坑。這次試驗的影響遠至 65 英里外的拉斯維加斯都能感受到震動，該計畫屬美國核武發展的一部分，用於測試核爆對地質結構和軍事設備的影響。如今，Bilby 彈坑裝設了地質、地球物理和水文監測儀器，專注於地下水輻射殘留的長期觀測，並作為教育與公共導覽的地點，向參觀者展示地下核試驗的規模和影響。同時，該地區支持國際間的核武非擴散合作與研究，利用數據進行核技術安全分析。近期，內華達國家安全場（NNSS）升級輻射與地下水監測技術，並參與全球核能與核武風險的教育倡導活動，促進國際合作。



圖 4：Bilby 核彈坑

### 3. 地下核試爆監測塔(ICE CAP)

ICE CAP 地下核試爆監測塔高 157 英尺，位於內華達國家安全場 (NNSS) 的第 7 區，它是為 1993 年原計劃的第 929 次地下核試驗建造，但因 1992 年的地下核試驗禁令而未啟用。該塔設置於 1,600 英尺深的豎井上，內部裝有 7 英尺寬的診斷設備架，用於收集核試爆數據，核裝置透過乾冰冷卻至  $-42^{\circ}\text{C}$ ，模擬導彈系統在太空中的低溫環境，因此得名“ICE CAP”，目前該塔完好保存，成為核試驗物理過程模擬、核武器設計技術進步及地震監測等研究的焦點，該地與英國的合作尤為突出，兩國自 1958 年簽署《核能相互防禦用途合作協議》(MDA) 以來，一直在核技術交流與安全合作上保持緊密聯繫。此外，ICE CAP 塔內現有設施為核武器存量管理和科學研究提供數據支持，包括地下水輻射監測，以確保環境影響降至最低。這座塔成為核武器歷史、國際合作與環境保護的重要象徵，展現 NNSS 在全球核科技與安全領域的領導地位。



圖 5：ICE CAP 地下核試爆監測塔

#### 4. Sedan 核彈坑

Sedan 核彈坑位於內華達國家安全場（NNSS）第 10 區，是冷戰期間核試驗的歷史遺跡之一，也是「犁式計畫」（Project Plowshare）的重要成果之一。該計畫旨在探索核爆炸在大型工程項目中的和平用途，例如開運河、建設公路及挖掘港口。1962 年 7 月 6 日，Sedan 核試驗引爆了一枚 104 千噸的熱核裝置，深埋地下 635 英尺，產生了直徑約 1,280 英尺、深約 320 英尺的彈坑，並移除了約 1,200 萬噸土壤。這次試驗主要研究核爆在地質和施工中的潛在應用。然而，Sedan 核爆釋放的大量輻射沉降物，占美國所有核試驗總輻射沉降量的約 7%，其中包括對人類甲狀腺健康有重大風險的 I-131。由於健康和環境問題，此類核工程計畫最終停止。目前，Sedan 彈坑已成為 NNSS 的旅遊與教育景點，提供核試驗歷史及環境影響的實地觀察機會，同時也作為輻射監測的長期觀測點，為核污染研究及環境保護提供科學數據。作為核技術應用與挑戰的歷史象徵，Sedan 核彈坑提醒人們在追求創新時，需在環境與人類健康之間尋求平衡。



圖 6：Sedan 核彈坑

## 5. 砲塔

二戰巡洋艦砲塔在內華達國家安全基地，來自美國海軍路易斯維爾號巡洋艦（USS Louisville）的 Mark 9 型砲塔，配備三門 8 英吋艦炮，建造於 1930 年代。1957 年，這座砲塔從加州的海軍造船廠運送至內華達測試場第 2 區，此砲塔參與 1957 年的「Plumbbob」核試驗系列，用於觀測和偵測「Shasta」、「Diablo」和「Whitney」三次地上核試爆，該砲塔具備鉛襯準直管與 360 度旋轉功能，能精確對準核裝置，將核爆光輻射轉換為電子信號進行數據記錄。該設施包括一個地上可旋轉砲塔和部分地下的混凝土掩體，用於保護測試設備。為減少重複建設成本，相關儀器電纜埋於長達一英里或更長的深溝中，達到多次重複使用的目的。

目前，這座砲塔及其相關建築被列為 NNSS 的重要歷史遺跡，向訪客展示核試驗時期的技術進步與資源最佳化應用，作為核科學歷史的重要象徵，該砲塔見證了內華達沙漠在核試驗領域的貢獻與深遠影響。



圖 7：二戰美國海軍路易斯維爾號巡洋艦的砲塔

## 6. APPLE II

APPLE II 核試爆是美國聯邦民防管理局（FCDA）於 1955 年 5 月 5 日進行的一次地上核試驗，旨在評估核爆炸對典型美國社區的影響，並測試民防組織的應變能力。這次試驗的爆炸威力為 29 千噸，核裝置從 500 英尺高的塔上引爆，是全國第二次電視直播的核試爆。試驗場地模擬了一個典型的美國小鎮，包括住宅、加油站和廣播站等基礎設施，並放置人體模型和日常用品，採用不同建材的建築配備大量儀器，用於測量爆炸產生的壓力與影響。其中，受壓力衝擊的兩層木屋至今屹立，成為歷史見證。APPLE II 的主要目標包括測試典型美國住宅在核爆下的耐受性、評估地下避難所對居民的保護效果，以及測量核爆對車輛和車內乘客的影響。現今，該地區部分建築殘骸被保留，作為冷戰時期核武研究成果的展示，為當前的核安全與民防工作提供了基礎資料，此試驗具有重要的歷史意義，體現冷戰時期核技術的發展及其對民間社會的潛在威脅。



圖 8：APPLE II 地上核試爆後遺留下的 2 層樓木屋殘骸

## 7. T-1 放射/核輻射事故緊急應變能力培育訓練場

T-1 訓練場位於美國內華達國家安全試驗場，專門提供針對核輻射和核爆炸後應變處理的訓練，利用 1952 至 1957 年間核試爆後殘留的低輻射物質，模擬真實核事故場景，作為 NNSA 反恐行動支援（CTOS）計畫的一部分，該訓練場專注於輻射彈（RDD）、簡易核裝置（IND）和輻射爆炸裝置的應變措施。設施場景包括多樣化的模擬場景，如飛機失事、火車出軌、小鎮建築和車禍事故，提供近乎真實的環境以進行操作演練。訓練過程中使用工業密封性放射源提高輻射模擬水平，並設有設備操作實踐與場景模擬環節。訓練的目的是讓應變人員熟練使用輻射偵檢設備並增強數據處理能力，以應對核輻射事件的潛在威脅。自 1998 年以來，CTOS 已培訓約 30 萬名學員，涵蓋執法人員、急救人員和消防員等領域。NNSA 與 CTOS 亦定期舉辦會議與合作活動，例如 2024 年國內備災聯盟（NDPC）的半年度會議，確保訓練內容和技術與時俱進，以應對不斷變化的威脅。T-1 訓練場不僅是核輻射應變訓練的核心設施，也是國際合作和核安全技術進步的重要平台。



圖 9：T-1 放射/核輻射事故緊急應變能力培育訓練場

#### 四、心得

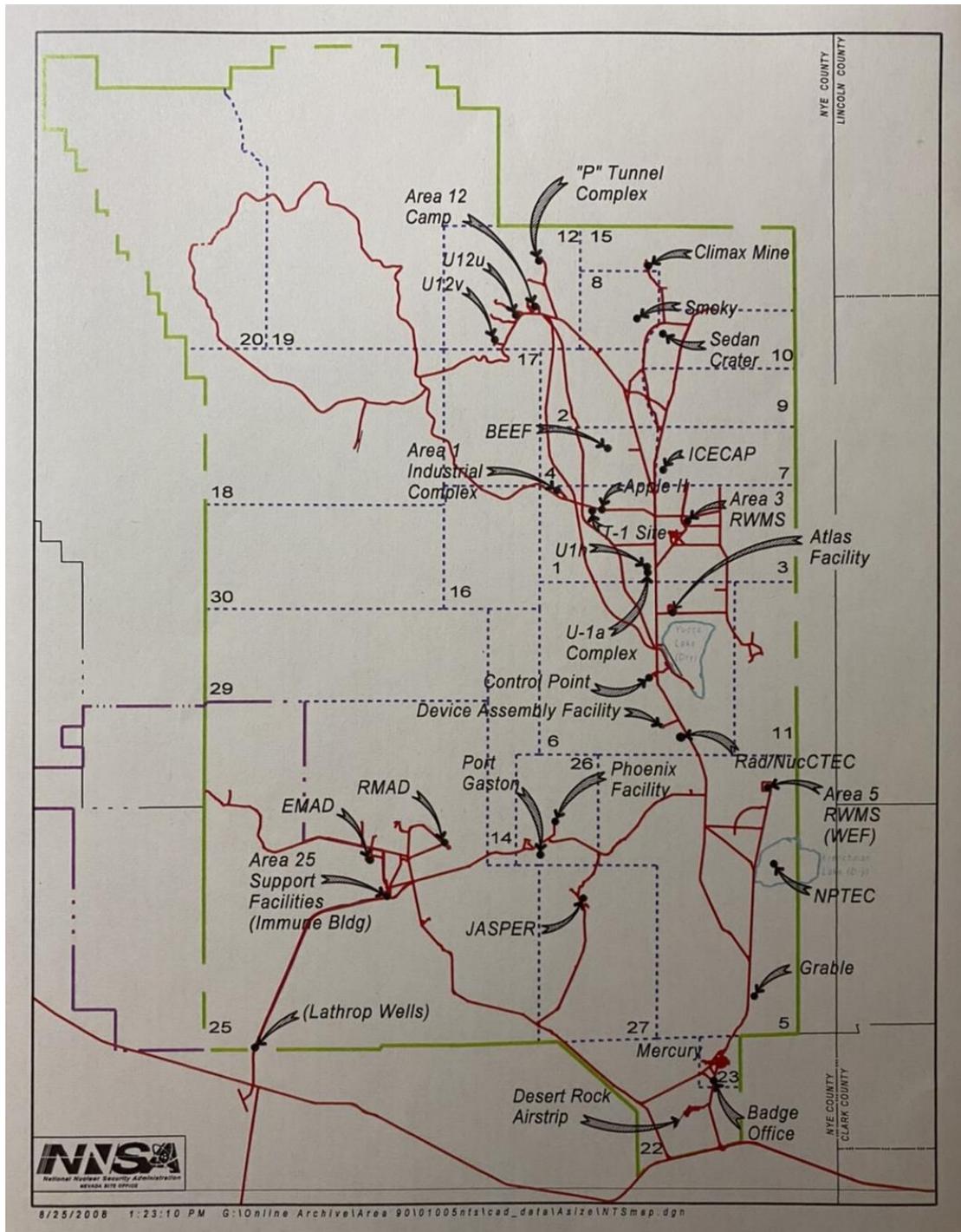
- (一)空中輻射偵測需跨領域專業團隊，包括直升機駕駛、無人機飛手、儀器維護、輻射偵測及數據分析等，需長期培訓及分工合作，技術門檻高。目前除美國有專用 Bell 412 直升機執行任務外，其他各國的飛行載具來源大部分都來自軍方、警方、邊境防衛和救災等單位協助，少部分則以和私營民間公司簽定合約的方式辦理，才能持續執行空中輻射偵測任務。有鑑於此，應通過常態性以整備及實作訓練，精進相關人員經驗與偵測量能，以利事故緊急應變空中輻射偵測任務的執行。
- (二)此次參與第 12 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會，深入了解了各國在空中輻射偵測技術上的發展與應用，對全球輻射緊急應變管理的現狀及未來挑戰有了更全面的認識。會議中展示的創新技術與案例，如無人機應用、數據實時處理技術及跨國合作演練，不僅彰顯了國際間技術共享的重要性，也為台灣空中輻射偵測能力的提升提供了寶貴經驗。
- (三)本次參訪美國內華達國家安全區，感受到美國擁有豐富的核及輻射偵測及度量的訓練場地，非常適合執行核事故及輻射事件緊急應變等訓練作業，若國內也能建立一處專門的輻射偵測訓練場所，作為應變整備及訓練使用，應有助於提升各項領域應變人員提升核應變技術能力。
- (四)本次參訪美國國家核子保安總署（NNSA）遙測實驗室（RSL），深入了解多項空中偵測儀器設備的展示，以及硬體設施如何安裝於不同機型的直升機上。實驗室展示了多種設備的搭配方式，兼具相容性與輕便性，對我國空中偵測技術的應用與發展提供了極大的啟發。此次參訪對提升國內空中偵測能力具有重要意義。建議在經費允許的情況下，核安會或輻射應變相關權責單位可以安排專人赴 NNSA 遙測實驗室進行更深入的交流與學習，藉由借鑒美國的先進經驗，進一步強化我國在空中偵測與緊急應變方面的能力。

## 五、建議事項

- (一) 美國 DOE/NNSA 舉辦第 12 屆空中輻射偵測系統國際技術交流會議，本次聚焦在探討過去輻射災害事件對國家或國際間緊急應變能力的影響，特別關注於空中輻射偵測的過去、現況與未來，掌握各國的發展策略、使用的儀器設備、人員培訓方法及實務應用經驗，提升各國空中輻射偵測應變之技術與量能。建議我國持續培訓空中偵測數據分析處理人才，另一方面亦可藉由參加教育訓練，升級國內現有之 AVID 軟體版本，接軌國際趨勢。
- (二) 在臺灣，空中輻射偵測任務主要仰賴國防部陸軍航特部與內政部空中勤務總隊提供的飛行載具。為提升任務執行效能，核安會與陸航特及空勤總隊合作，建議維持常態性的整備與實作訓練，增進相關人員的專業經驗與偵測能力，以確保在輻射災害發生時能迅速啟動空中輻射偵測任務，有效應對緊急情況。
- (三) 在技術層面上，建議未來持續引進數值地形模型 (DTM) 技術以提高飛行高度測量的精確性，並加大偵檢器體積、提升輻射偵檢的靈敏度，以適應多樣化的應用情境。此外，應強化無人機與直升機輻射偵測系統的整合能力，提升數據即時傳輸及處理效率，確保系統穩定性。
- (四) 在國際合作方面，建議積極參與更多的國際技術交流會議與聯合演練，深化與全球專家學者間的合作關係。同時，應持續關注人工智慧與自動化技術在輻射數據分析上的應用，以提升輻射監測與應變應變的效能，確保台灣在核安全領域的國際競爭力與應變能力的全面提升，接軌國際發展趨勢。

# 六、附錄

## 附件 1 內華達國家安全區(NNSS)分區著名地標簡圖



附件 2 2024 年第 12 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會議程



**Draft Agenda**  
**AMS 12<sup>th</sup> International Technical Exchange**  
**Las Vegas, NV**  
**October 7-11, 2024**

For the past 11 years Aerial Measuring System (AMS) was hosting annual meetings of aerial emergency assets from multiple countries called Technical Exchanges to be distinguished from training, conferences, or symposia. The Technical Exchanges goal was to discuss single topic related to aerial radiation detection and measurements. During the 11<sup>th</sup> Exchange in Bern, Switzerland in 2023 there was a proposal from Canada NRCan to discuss the impact of past, current and future world events, and developments on aerial emergency response. This will be the topic of the 12<sup>th</sup> Exchanges to be held in Las Vegas, NV during week of October 7-11, 2024. During the Exchange there is going to be a demonstration of the new AMS aircraft King Air 350ER and Leonardo AW139 helicopter, visit and tour of Remote Sensing Laboratory, and guided tour of NNSS.

**Draft Agenda**

<b>Monday October 7, 2024, Suncoast Hotel and Casino</b>		
09:00	10:00	Welcome and Introductions
10:00	10:30	Laurel Sinclair (Canada) introduction of the topic (virtual)
10:30	11:00	Break
11:00	12:00	David Breitenmoser (Switzerland) invited presentation
12:00	13:30	Lunch
13:30	14:30	Austria Presentation (1)
14:30	15:30	Canada Presentation (2)
15:30	16:30	Czechia Presentation (3)

<b>Tuesday October 8, 2024, Suncoast Hotel and Casino</b>		
09:00	09:30	France (CEA) Presentation (4)
09:30	10:00	France (IRSN) Presentation (5)
10:00	10:30	Break
10:30	11:30	Germany Presentation (6)
11:30	13:00	Lunch
13:00	14:00	Iceland Presentation (7)
14:00	15:00	Lithuania Presentation (8)
15:00	16:00	Norway Presentation (9)

<b>Wednesday October 9, 2024, NNSS</b>		
09:00	15:00	Nevada National Security Site guided tour



<b>Thursday October 10, 2024, Suncoast Hotel and Casino and RSL</b>		
08:00	09:00	Poland Presentation (10)
09:00	10:00	Sweden Presentation (11)
10:00	11:00	Switzerland Presentation (12)
11:00	12:00	Taiwan Presentation (13)
12:00	13:30	Lunch
13:30	16:30	Visit and Tour of RSL with Aircraft Demonstration (pictures)

<b>Friday October 11, 2024, Suncoast Hotel and Casino</b>		
09:00	13:00	Hardware and Software User Group Meeting (RSI, MIRION, IAVID, OTHERS)

**Time for presentation includes discussion/questions/breaks.**