

出國報告（出國類別：會議）

RMC-111-316

參加第 10 屆空中輻射偵測系統 國際技術交流研討會

服務機關：行政院原子能委員會輻射偵測中心
行政院原子能委員會核能研究所

姓名職稱：林明仁技士、陳韋新分組長

派赴國家：美國

出國期間：111 年 9 月 10 日至 111 年 9 月 18 日

報告日期：111 年 11 月 30 日

摘要

本次奉派參加第十屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會，於2022年9月12日至15日在美國內華達(Nevada)州拉斯維加斯(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、捷克共和國、英國、德國、法國、冰島、挪威、臺灣、南韓、巴西等11個國家，各國專家就空中輻射偵測系統於執行上遭遇到極端條件現況進行交流，並就相關研發與應用及其訓練心得等提出分享，並實際觀摩機載空中輻射偵測系統儀器及於9月13日參訪內華達國家安全區(Nevada National Security Site，以下簡稱NNSS)，增加各國與會專家相互交流的機會，有助於提升我國空中偵測作業技術能力。

目 次

壹、出國目的	1
貳、出國行程	2
參、會議過程紀要	3
肆、心得	44
伍、建議事項	46
陸、附件	47

圖 目 錄

圖 1：北拉斯維加斯機場研討會會議場所	3
圖 2：第 10 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會參加人員合影.....	3
圖 3：飛行員 Mike Toland 在北拉斯維加斯機場介紹空中偵測飛行任務.....	7
圖 4：加拿大 John Buckle 先生分享空中輻射偵測在極端環境下的挑戰.....	9
圖 5：2019 年於馬鞍山核電廠周圍之輻射基線背景調查結果.....	11
圖 6：2020 年於國聖核電廠周圍之輻射基線背景調查結果.....	12
圖 7：2021 年於金山及馬鞍山核電廠周圍之輻射基線背景調查結果.....	12
圖 8：說明空中偵測數據經地形修正後某偵測點的總計數值出現負值之解決方案	13
圖 9：陳韋新分組長致贈會議主持人 Dr. Piotr Wasiolek 典藏紀念品.....	13
圖 10：1991 年(核災發生後 5 年)車諾比禁區內量測到的輻射分布地圖.....	14
圖 11：2021 年(核災發生後 35 年)車諾比禁區內量測到的輻射分布地圖.....	15
圖 12：德國聯邦警察空勤隊共有 94 架警用空中巴士直升機	16
圖 13：冰島海岸防衛隊 FREYJA 近海巡邏艇	17
圖 14：華盛頓特區都市區特別飛行規則區(SFRA)及飛行限制區(FRZ)	18
圖 15：1992~2003 年捷克共和國空中偵測礦坑輻射劑量率變異情形.....	19
圖 16：挪威海域輻射及核子緊急情況下的北歐搜救手冊	20
圖 17：挪威海域輻射及核子緊急情況下的北歐搜救手冊的主要內容.....	21
圖 18：美國國家核子保安總署(NNSA)遙測實驗室(RSL)據點	22
圖 19：美國執行空中輻射偵測任務所用之 Bell 412 直升機	23
圖 20：地形校正與 K 權重係數及 DEM 解析度影響.....	24
圖 21：IRSN 危機機動小組之各式輻射偵測儀器及設備	25
圖 22：IRSN 無人機執行小區域空中輻射偵測作業	26
圖 23：挪威海岸巡防隊採用的 FLIR SkyRanger R70 無人機.....	27

圖 24：挪威無人機空中輻射偵測性能介紹	28
圖 25：英國 Bristol 大學的 Dean Connor 博士介紹代數重建技術(ART).....	29
圖 26：英國採用瑞士 WINGTRA 無人機公司研發的定翼無人機	30
圖 27：WINGTRA 定翼無人機搭配 AARM 無人機自主機載系統，可即時定位輻射量測結果並繪製放射性核種的輻射分佈地圖	31
圖 28：NNSA 的 Mikli 先生談到 AVID 軟體的升級現況及未來的技術交流	32
圖 29：加拿大 RSI 公司發布韌體更新訊息.....	33
圖 30：加拿大 RSI 公司發布軟體更新訊息.....	34
圖 31：美國製的無人機(UAS)機型	35
圖 32：UAS 中心無人機掛載的蓋隔偵檢器及輻射劑量率偵測範圍	36
圖 33：Frenchman Flat 用於觀看地上核試爆後景像的長凳.....	37
圖 34：Bilby 核彈坑.....	38
圖 35：ICE CAP 地下核試爆監測塔.....	39
圖 36：Sedan 核彈坑.....	40
圖 37：二戰美國海軍路易斯維爾號巡洋艦的砲塔	41
圖 38：APPLE II 地上核試爆後遺留下的 2 層樓木屋殘骸.....	42
圖 39：T-1 放射/核輻射事故緊急應變能力培育訓練場	43

表 目 錄

表 1：第 10 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會之交流議題安排表5

壹、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規劃在北拉斯維加斯機場(North Las Vegas Airport)舉辦，參與國家包括美國、加拿大、捷克共和國、英國、德國、法國、冰島、挪威、臺灣、南韓、巴西等11個國家，各國代表(含實體與視訊)合計約30多位。本屆研討會關注的重點涵蓋各國有關空中輻射偵測在極端條件(包含地形、氣候等)下飛行所面臨的不同挑戰，會議的主要目的係希望由各國之空中偵測成果展示或飛行實務經驗分享，提升各國空中輻射偵測應變之技術與能力。

貳、出國行程

本次出國公差的技术交流會議時程為自 9 月 10 日(六)至 9 月 18 日(日),會議議程安排如附件,出國行程概述如下:

日期	地點	工作內容
9 月 10 日~11 日	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→美國北拉斯維加斯機場) 2. 會議簡報資料討論與準備
9 月 12 日~15 日	美國拉斯維加斯	參加第 10 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會
9 月 16 日~18 日	美國拉斯維加斯→台灣桃園國際機場	回程(美國北拉斯維加斯機場→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)

參、會議過程紀要

2022年9月12日至15日在北拉斯維加斯機場舉行第10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、捷克共和國、英國、德國、法國、冰島、挪威、臺灣、南韓、巴西等11個國家，參與會議人數約30多位，與會人員合影如圖 2。



圖 1：北拉斯維加斯機場研討會會議場所



圖 2：第 10 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會參加人員合影

本屆研討會由美國DOE/NNSA核事故政策與合作辦公室(Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation，以下簡稱NIPC)副主任Kirk Czap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係涵蓋各國有關AMS介紹和數據後處理之軟體培訓規劃、即時輻射偵測資料傳輸方法、AMS 機載與無人機(Unmanned Aerial Vehicle，以下簡稱UAV)輻射偵測演練，以及AMS的功能和效益展現等。AMS技術交流旨在提升各國的緊急應變能力，並鼓勵與國際友好夥伴合作，以強化美國和全球的應變整備量能。透過辦理年度技術交流會議，可使各國專家有一溝通平台可以討論和分享核災和核恐怖主義的威脅及應對，以及在應對這些威脅時如何提高各國應變能力的一些技術工具、相關政策和實務方法。

本屆研討會的主席為Piotr Wasiolek博士，其退休前是美國NNSA的專案經理，於今(2022)年5月份已退休，但仍持續接受NNSA委託，為AMS部門效力，目前的職務身分為顧問。Dr. Wasiolek表示，因為COVID-19疫情影響，前兩年都改辦理線上會議，NNSA團隊收到了希望親自參加交流的合作夥伴國家的積極回應，在疫情逐漸趨緩之際，終於促成此次的空中輻射偵測技術交流實體會議。此次會議所有與會國家的簡報內容都很豐富，有說明空中偵測遭遇到的極端天氣、數據收集系統以及如何快速有效評估數據的獨特情況，另外有些國家也分享許多無人機在空中偵測方面的開發現況和實務應用。

第 10 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會之交流議題安排表如表 1，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 1：第 10 屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會之交流議題安排表

日期	國家	交流議題
9 月 12 日	美國	(一)空中輻射偵測在極端條件下的飛行任務
	加拿大	(二)空中輻射偵測在極端環境下之應變量能
	臺灣	(三)空中輻射偵測發展現況介紹
	德國	(四)2021 年於車諾比禁區的輻射分布地圖
	德國	(五)執行車諾比禁區內之空中偵測任務
9 月 13 日	美國	內華達國家安全區(NNSS)參訪
9 月 14 日	冰島	(六)海岸防衛隊介紹
	美國	(七)遙測實驗室針對限航區飛行的介紹
	捷克共和國	(八)空中輻射偵測介紹
	挪威	(九)海域輻射及核子緊急情況下的北歐搜救手冊
	美國	(十)懷俄明州國防相關鈾礦調查之空中偵測經驗
	美國	(十一)能量補償地形修正 AMS 數據
	法國	(十二)地形影響空中輻射偵測數據的探討
9 月 15 日	挪威	(十三)利用無人機飛越北冰洋巡邏
	英國	(十四)AGS 數據處理精要
	英國	(十五)定翼無人機介紹
	美國	(十六)AVID 軟體升級及未來的技術交流
	加拿大	(十七)RSI 公司產品介紹
	美國	(十八)俄亥俄州無人機中心介紹

一、美國空中輻射偵測在極端條件下的飛行任務

內華達州國家安全區飛行員Mike Toland在北拉斯維加斯機場的停機坪上，以貝爾(Bell) 412雙引擎直升機為例，分享他在極端條件和城市環境中駕駛NNSA雙引擎Bell 412直升機的經驗，如圖 3。Mike Toland隸屬於AMS團隊，該團隊有三架飛機和六名飛行員隨時待命。他們是全世界唯一擁有執行這項任務專用飛機的空軍單位。

美國AMS係採用加拿大一家主要生產航空輻射偵測系統的公司，即輻射解決方案公司(Radiation Solutions Incorporation, RSI)的輻射偵測系統。原則上在飛行期間飛行高度保持不變，一般記錄在距地面(Above Ground Level, AGL) 15公尺到91公尺之間。每1秒記錄1筆加馬射線能譜，以70節(約100~150公里/小時)的速度飛行，飛行間距約30公尺。其獲得的加馬射線能譜資料，可以區分天然放射性與人造放射性同位素。

AMS 使用雷達高度計進行地面高度的垂直定位，並使用差分全球定位系統(Differential Global Positioning Systems, DGPS)作為定位。該定位系統係安裝在尾翼處，主要為安全固定，不受螺旋槳干擾。因定位器與偵檢器並不在同一位置，所以需進行位置修正。

AMS 系統總共使用了 12 個碘化鈉閃爍偵檢器，每個偵檢器的尺寸為 2" × 4" × 16" (2L)，Bell 412 直升機左右兩側各配有 6 個(共 12L)碘化鈉閃爍偵檢器，全機共配有 24L 碘化鈉閃爍偵檢器，大幅提升 AMS 的偵測靈敏度。這些偵檢器採用四個 RSX-3 單元，每個單元包含三個碘化鈉偵檢器。RS-501 單元將每個 RSX-3/RS-701 單元的輸入組合在一起，並提供配電單元和 DGPS。四個 RSX-3 箱安裝在 Bell 412 直升機外部左右兩側的鋁吊艙內。

Mike Toland 也分享沙漠的酷熱氣候是 NNSA 遙測實驗室飛行員在規劃任務並確保其成功時需要考慮的關鍵要素。因為飛機不耐熱，當天氣非常炙熱時，空氣將更稀薄，因此發動機將不會產生那麼多的動力，旋翼葉片也沒有那麼多的空

氣可以使用，這會對直升機的性能產生負面的影響。

另外，Mike Toland和其他NNSS飛行員在面對緊急應變情況或支援重大公共活動(例如：拉斯維加斯大道上的新年前夜的跨年慶祝活動)時所駕駛的直升機，科學家總是希望能飛得更低，因為你飛得越低，輻射偵測的效果就越好。所以，AMS在任務開始前必須召開一個行前會議進行討論，確認該次任務到底可以飛到多低？電力線和高樓是飛行團隊在飛行前必須重視的眾多障礙之一，尤其是在城市環境中。通常，直升機上正駕駛專責飛行任務，而副駕駛則負責監視和尋找任何未出現在飛行航線上的潛在危險(例如：無人機、無線電通信和電線)。

Mike Toland也提到，因為任務的獨特性質要求精確和安全考量，所以他們從不在夜間執行任務，也從不使用直升機自動駕駛功能。Mike Toland和他的團隊接受任務之前的一個主要考慮因素是直升機單引擎失效圖表，這攸關如果直升機失去了一個引擎，飛行團隊可以根據溫度、壓力和高度爬升飛回家嗎？這是一件非常重要的事情。我們的目標是使任務達到科學團隊所需的精度，但安全仍是他們的首要考慮因素。



圖 3：飛行員 Mike Toland 在北拉斯維加斯機場介紹空中偵測飛行任務

二、加拿大空中輻射偵測在極端環境下之應變量能

加拿大自然資源部是加拿大聯邦政府部門之一，負責管理自然資源、能源、礦物與金屬、森林、地球科學、測繪、遙測等。加拿大自然資源部專家 John Buckle 分享於極端條件(極端寒冷和下雪等)下的輻射調查經驗，如圖 4。

在寒冷氣候下，2012 年加拿大西北地區首府黃刀鎮(Yellowknife)與加拿大空軍聯合進行空中輻射調查，使用數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)和 GPS 定位高度，以 Cs-137 為輻射源，可正確地偵測到。進行針對人造核種偵測，發現對比變好，因為背景衰減。冬天有挑戰，但也有優勢，John Buckle 說在渥太華，當我們有大雪覆蓋時，自然背景可能會減少，因此這對繪製異常輻射源是有好處的。冬天執行空中偵測考慮的因素包括：溫度對儀器的影響、機組人員的健康及飛安、航空飛行器的限制。

有關城市環境，2015 年汎美運動會進行背景輻射調查，在賽事前進行空中和車載地面偵測，空中偵測採用 AS-355 雙引擎直升機搭載 16L 的 NaI 偵檢器，直升機飛行高度 300 英尺、飛行間距 100 公尺，且需要富有經驗的駕駛。另外，也曾經在城市中某一大樓放置 I-131 放射性核種進行空中輻射偵測演練。在 2014 年，全面禁止核子試爆條約組織(Comprehensive Nuclear-Test Ban Treaty Organization, CTBTO)在中東約旦舉辦核爆偵測演習，當地的地形最低係低於海平面約 420 公尺，最高係高於海平面約 1850 公尺。

有關低背景偵測，2011 年進行西岸溫哥華島偵測，當時主要因應福島事故，採 PC-12 航空飛行器搭載 40L 的 NaI 偵檢器，飛行高度為 100~300 公尺，進行離岸輻射偵測；為應對福島核電廠事故，2011 年加拿大自然資源部在溫哥華島西海岸附近的水域進行了空中輻射調查，發現劑量率水平與背景輻射一致，但觀察到 Xe-133 核種(半衰期為 5.243 天)所引發的清晰信號，因此開發出從測量能譜中擷取 Xe-133 計數率並確定對應 Xe-133 體積濃度的方法，測量結果顯示 Xe-133 的平均濃度約在 30~70 Bq 的範圍內。



圖 4：加拿大 John Buckle 先生分享空中輻射偵測在極端環境下的挑戰

三、臺灣空中輻射偵測發展現況介紹

本節課由行政院原子能委員會核能研究所保健物理組陳韋新分組長分享臺灣空中輻射偵測發展現況，簡報內容分為三個部分，一是說明臺灣的空中輻射偵測訓練及輻射基線背景調查結果，二是說明空中輻射偵檢硬體設備的升級和改良，三是說明臺灣空中偵測任務所面臨的挑戰，分述如下：

於空中輻射偵測訓練及背景基線調查結果部分，介紹臺灣的空中輻射偵測支援單位除了國軍外，於 2019 年開始加入空勤總隊，且兩者互為備援，並展示 2019 年於馬鞍山核電廠周圍、2020 年於國聖核電廠周圍、2021 年於金山及馬鞍山核電廠周圍的輻射基線背景調查結果，如圖 5、圖 6 及圖 7 所示。

於空中輻射偵檢硬體設備的升級和改良部分，說明臺灣已具備自主升級空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(Spectral Advanced Radiological Computer System, SPARCS)硬體之能力，可成功以商品化的多頻道能譜分析核儀模組，取代 SPARCS 系統現有之偵檢器帽蓋、偵檢器箱的控制模組、以及資料擷取與傳送單元(Acquisition Telemetry Unit, ATU)。現行 SPARCS 系統之輻射偵檢器為採用 Saint-Gobain Crystals 公司的碘化鈉晶體與光電倍增管整合產品，臺灣以商品化之 ORTEC Mobile (digiBASE)作為升級模組，測試其軟、硬體系統相容性後，發現 SPARCS 系統之軟、硬體皆可與 digiBASE 兼容。digiBASE 在功能上為取代 SPARCS 系統之偵檢器帽蓋、偵檢器箱的控制模組、以及 ATU 等組件，且不需 12 V 的外加直流電源供應，可直接由電腦之 USB 埠直接供電與進行資料傳輸，整套系統可簡化成筆記型電腦、GPS 接收器，以及 digiBASE 加碘化鈉閃爍偵檢器等三項，於直升機上執行空中輻射偵測作業時，可大幅降低攜帶重量與配件數量，以及於直升機上安裝固定系統的作業整備時間。

於臺灣空中偵測任務所面臨的挑戰部分，主要說明核電廠均沿著臺灣海岸線興建，所以地形條件相對較為複雜且氣候多變，尤其以馬鞍山核電廠所在的恆春半島，因地勢起伏較大，故上、下午的天氣瞬息萬變。在恆春半島的東南沿海，

直升機執行空中偵測任務時，若採固定高度隨地飛行模式並不可行且安全性低，因為恆春半島的地勢起伏相對較大，故直升機於執行任務時為了確保機上人員的安全，機頭須隨地形起伏變化做拉升；也因如此，當直升機飛越山谷區域執行空中偵測任務時，就可能會超出碘化鈉閃爍偵檢器的偵測靈敏度，導致接收到的輻射計數值很低，若再經過地形修正後，某一偵測點的總計數值則有可能會出現負的計數值，如圖 8，此唯一的解決方案為增加碘化鈉閃爍晶體的總體積(例如改採大面積碘化鈉閃爍晶體陣列的方式)，來提高輻射偵測靈敏度。

為了順暢臺美合作管道及維持臺美友好關係，陳分組長於「臺灣空中輻射偵測發展現況介紹」簡報分享結束後，亦禮貌致贈會議主持人 Dr. Piotr Wasiolek 核研所自行以離子佈植方式研製的典藏紀念品—黑鑽石刀叉組，如圖 9。

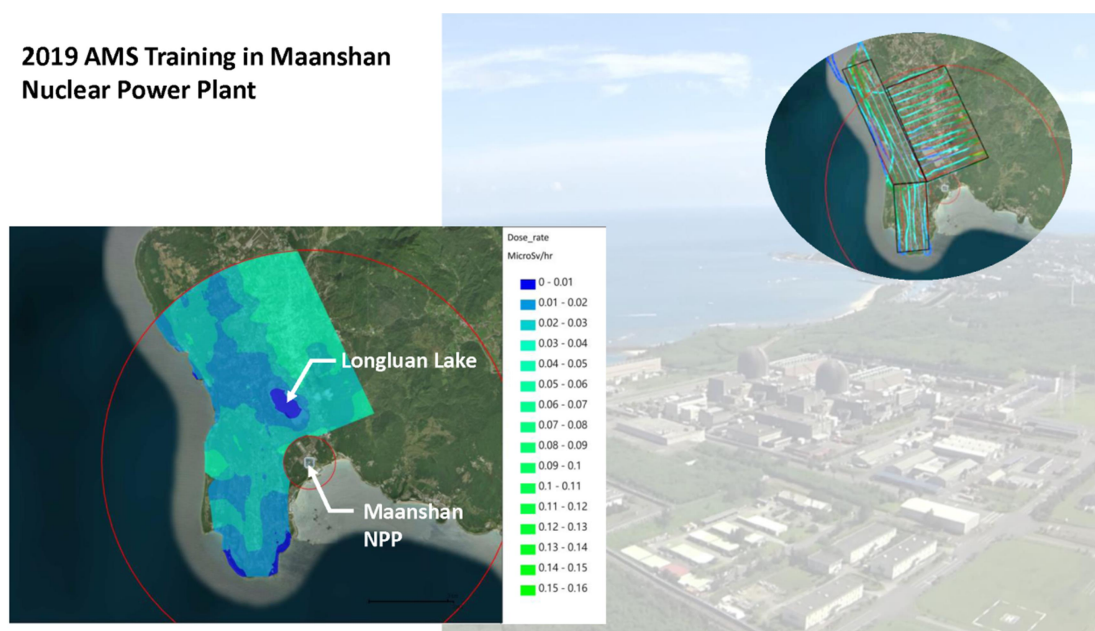


圖 5：2019 年於馬鞍山核電廠周圍之輻射基線背景調查結果

2020 AMS Training in Kuosheng Nuclear Power Plant

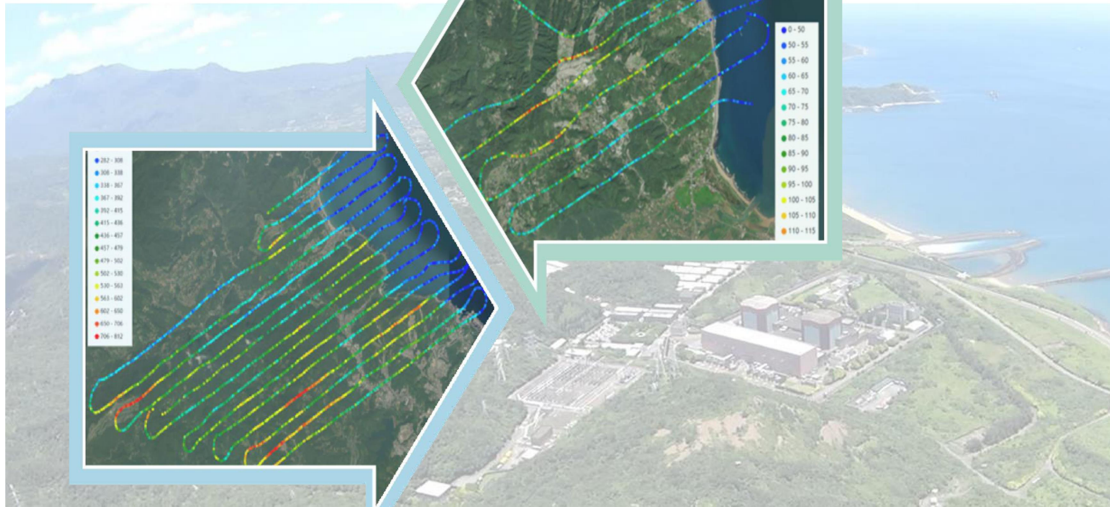


圖 6：2020 年於國聖核電廠周圍之輻射基線背景調查結果

2021 AMS Training in Chinshan and Maanshan Nuclear Power Plant

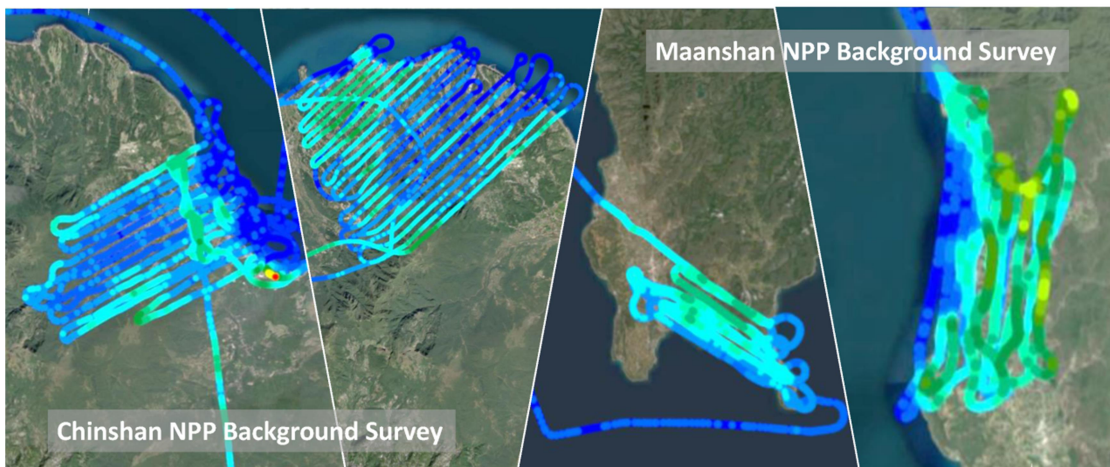


圖 7：2021 年於金山及馬鞍山核電廠周圍之輻射基線背景調查結果

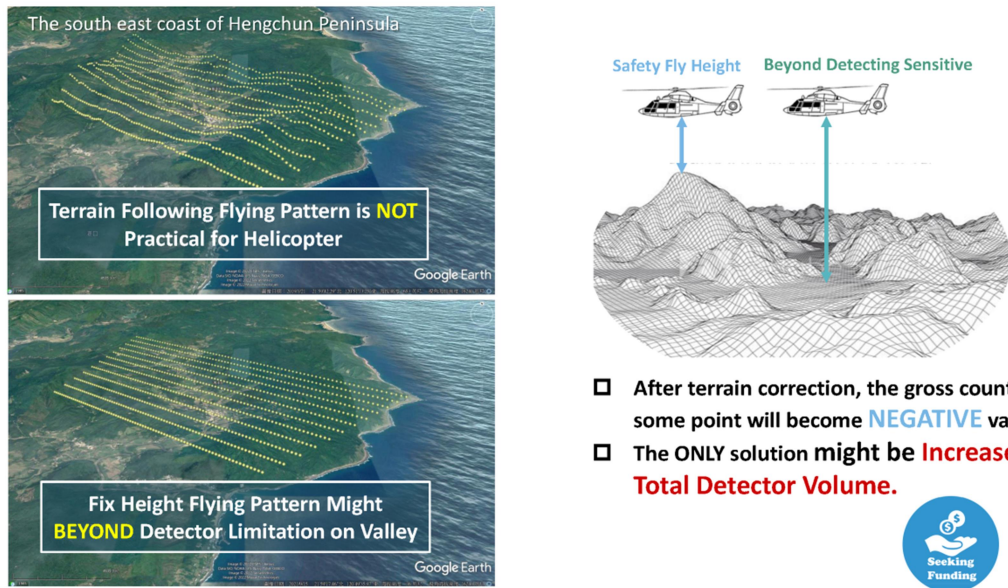


圖 8：說明空中偵測數據經地形修正後某偵測點的總計數值出現負值之解決方案



圖 9：陳韋新分組長致贈會議主持人 Dr. Piotr Wasiolek 典藏紀念品

四、德國 2021 年於車諾比禁區的輻射分布地圖

本節課由德國聯邦輻射防護辦公室(Bundesamt für Strahlenschutz, BfS)的 Alexandra Helbig 女士分享 2021 年德國於車諾比禁區的輻射調查現況，車諾比核事故發生於 1986 年，於 1991 年量測到的輻射(主要的劑量貢獻為銫-134 和銫-137 核種，半衰期分別約 2 年和 30 年)分布地圖如圖 10。德國的空中輻射偵測(Airborne)採用歐洲直升機公司(Eurocopter SA)製造的雙引擎民用直升機(型號 Eurocopter EC135)搭配大面積的碘化鈉閃爍偵檢器，於執行空中偵測任務時，其飛行速度約 120 km/h；而車載輻射偵測(Carborne)部分有 4 台專用的車輛，通常 1 車配置 2 位輻射專業人員，車內除了大面積的碘化鈉閃爍偵檢器外，尚有高純鍺偵檢器 (HPGe)，適合進行現地量測。

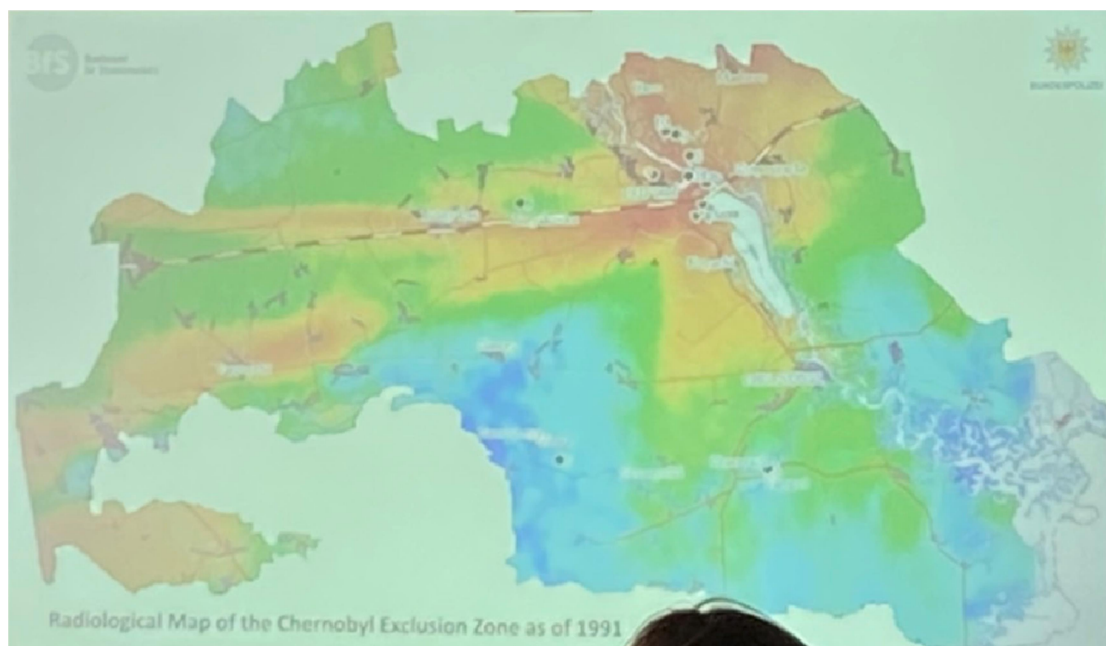


圖 10：1991 年(核災發生後 5 年)車諾比禁區內量測到的輻射分布地圖

2021 年德國於車諾比禁區內進行輻射(主要的劑量貢獻為銫-137 核種)分布地圖量測時，會先將目標區域劃分成很多個 9 km × 9 km 的方形網格，並規劃好排程，針對排程內的特定網格區域進行空中輻射偵測任務。另外，也有針對當地的土壤進行取樣分析，以扣除一些天然放射性核種的劑量貢獻，車諾比禁區內鈾-232 量測到的比活度約 5~20 Bq/kg、鉀-40 量測到的比活度約 50~400 Bq/kg。於 2021 年量測到的總加碼輻射劑量率分布地圖如圖 11，量測到的最高輻射劑量率出現在車諾比紅森林區域(註：紅森林一詞源自於 1986 年車諾比核災，造成數十平方公里面積的松樹受到高強度輻射照射後變紅而得名，現在仍是世界上核輻射污染最嚴重的區域，許多放射性核種仍存在於當地的土壤中)，於 2021 年量測到的最高背景輻射劑量率約 0.15 mSv/h。

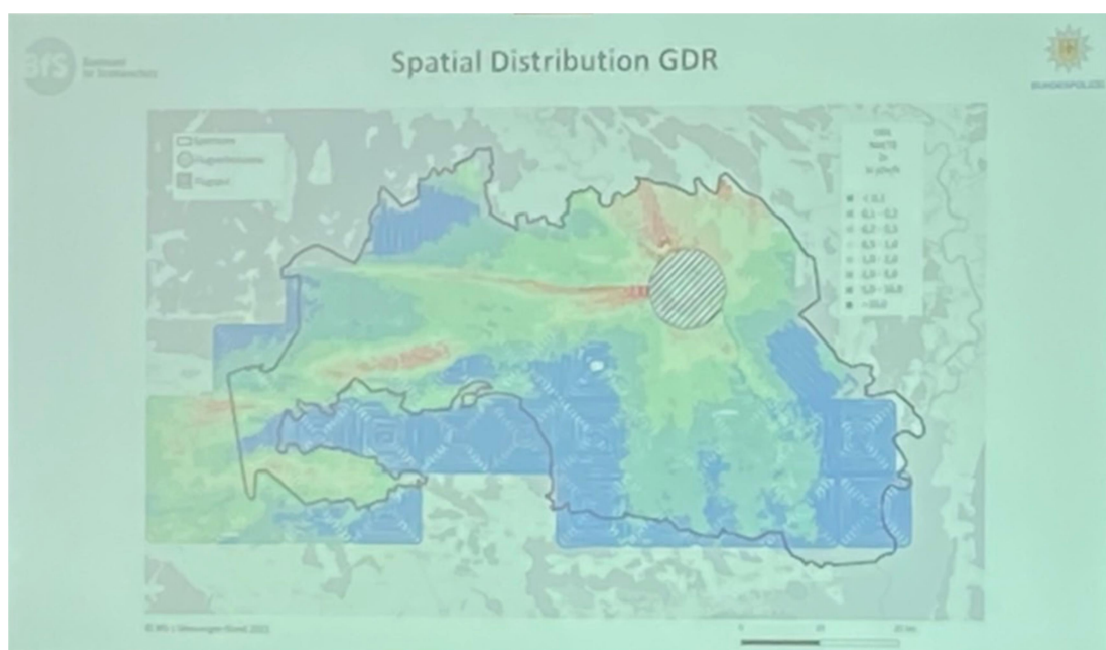


圖 11：2021 年(核災發生後 35 年)車諾比禁區內量測到的輻射分布地圖

五、德國執行車諾比禁區內之空中偵測任務

本節課的內容延續上一節課，改由德國聯邦警察空中勤務隊的 Klaus Jess 先生介紹德國聯邦警察空勤隊的任務執掌及近期與空中輻射偵測有關之任務。

德國聯邦警察空中勤務隊(在 2005 年 7 月 1 日改制前的名稱為邊境防衛隊)是德國的警察機關，隸屬於德國聯邦內政部，其角色類似於臺灣的內政部空勤總隊，惟其任務主要係負責德國邊境保安，包括出入國證件審查及海岸線巡防等，亦包含緊急的救災任務以及如車諾比核電廠事故的輻射偵測任務。

德國聯邦警察空勤隊共有 94 架警用空中巴士直升機，包含 10 架 SSH-H120、19 架 MTH-AS332、24 架 ABH-H135、19 架 LTH-H155、4 架 MTH-H215 及 18 架 ZSH-H135，如圖 12，可隨時因應相關任務需求。

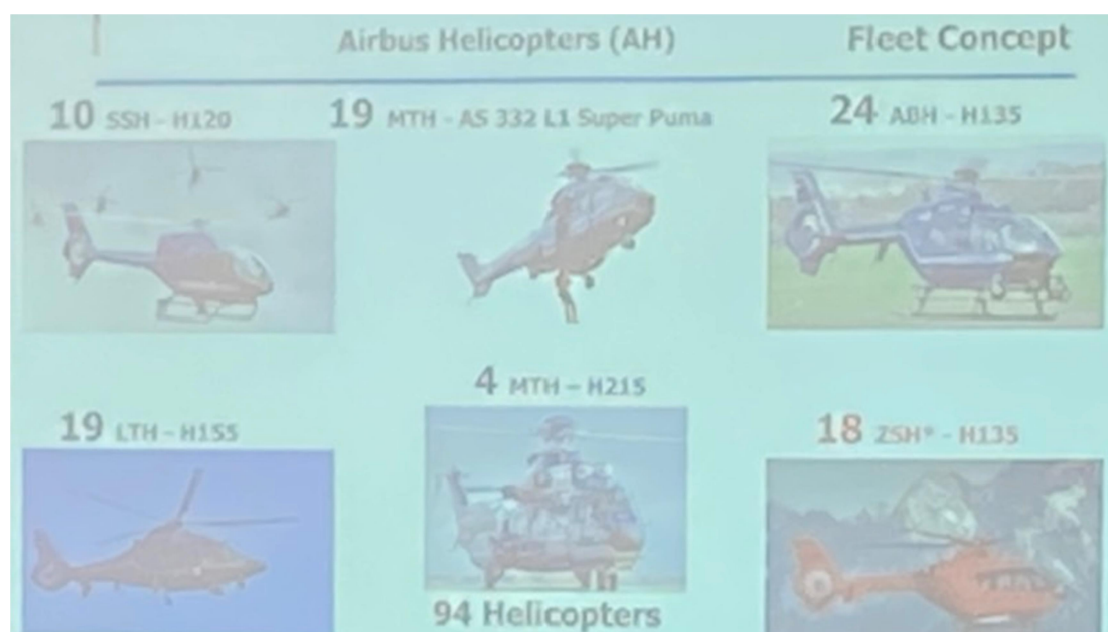


圖 12：德國聯邦警察空勤隊共有 94 架警用空中巴士直升機

德國聯邦警察空勤隊近期與核災應變有關的任務主要為 2021 年(核災發生後 35 年)與德國聯邦輻射防護辦公室(BfS)輻防專業人員一起執行車諾比禁區內的空中輻射偵測任務，得到如圖 11 所示的輻射分布地圖。

六、冰島海岸防衛隊介紹

本節課由冰島的 Valerie Ward 先生以視訊方式進行交流分享，主要介紹冰島海岸防衛隊的任務，海岸防衛隊成立於 1836 年，因為冰島沒有軍隊，所以該防衛隊必須負責冰島所有的國防、保安、搜救及救災等工作，該隊執行區域包括：冰島領海、經濟海域及冰島搜尋救援區。海岸防衛隊主要由該隊的營運中心負責各項任務的協調、規劃、海洋交管、各項監控等。該隊配備有 3 架美洲豹雙引擎直升機，用於海上支援任務；1 架 Dash 8 Q-300 客機、OPV 船艦、FREYJA 近海巡邏艇等，如圖 13，負責冰島國家保安及防禦等工作，這其中還包括炸彈拆除及舊武器訓練場地清除等。現在還有衛星監控和無人機也加入，共同執行國土防衛及搜救等任務。冰堡輻射安全局(IRSA)也是請冰島海岸防衛隊提供直升機，執行空中輻射偵測作業。



圖 13：冰島海岸防衛隊 FREYJA 近海巡邏艇

七、美國遙測實驗室針對限航區飛行的介紹

接下來報告的是在美國能源部工作 10 年的 Alexander Brid 先生，他是一位飛行員，談到美國有 7 種特殊的空域，包括：禁航區、限航區、警示區、軍事行動區、臨時禁航區及華盛頓特區。華盛頓特區特殊之處在起飛前必須有很多協調，包括：塔樓，華盛頓特區周圍的大國際空域。空中交通管制，其中一半是當我們進入小區域時，比如白宮上空，而對於白宮，我們必須有協調特勤局。國家警察局、華盛頓特區地鐵警察等。華盛頓特區都市區特別飛行規則區(SFRA)大致是一個圓形區域，以華盛頓特區為中心，半徑為 30 浬(約 33 法定英哩)，並圍繞飛行限制區(FRZ)，如圖 14。FRZ 在羅納德·裡根華盛頓國家機場周圍延伸約 15 浬(約 17 法定英哩)。FRZ 相當於民航客機的飛行禁區，只有政府飛機及某些特殊航班可以通過。凡是進入 SFRA 的飛機，就相當於進入了華盛頓的防空識別區，飛過此區間的駕駛員，需要經過事先培訓，並持續與空管人員聯繫，而且飛機也需要提前提交飛行計劃；而 DC FRZ 相當於民航客機的飛行禁區，只有政府飛機及某些特殊航班可以通過。另外，他們在飛大城市之前，會先跟當地的媒體合作發行新聞稿，這樣可以告訴民眾我們在做甚麼事情，請民眾不必憂慮驚慌。



圖 14：華盛頓特區都市區特別飛行規則區(SFRA)及飛行限制區(FRZ)

八、捷克共和國空中輻射偵測介紹

捷克共和國國家輻射防護研究所 Lubomír Gryc 先生在會中分享捷克共和國機載輻射偵測系統在飛行和數據處理的挑戰。捷克共和國由國家輻射防護研究所負責 IRIS 儀器設備及數據分析，偵檢器由 4 組 4L 碘化鈉偵檢器，裝載於 Mi17 螺旋槳直升機或 Bell 412 螺旋槳直升機上，也可附加高純銻偵檢器。捷克共和國也是由軍方或警方單位提供直升機及機組員，取決於飛行時間，若需要飛行時間較長，則選用軍方直升機。

捷克近幾年也開始發展無人機空中輻射偵測，主要用在熱點搜尋，並與警方無人機部門合作，執行實際應變任務。

有關極端條件，提到氣候、低空雲霧、地形、煙囪、風力發電機、聚落、輸配電線、熱氣球、電信基地塔、橋、礦坑等，1992~2003 年捷克共和國空中偵測礦坑輻射劑量率變異情形如圖 15。上述條件特別是霧，容易造成高度誤判，並曾在 1997 年執行空中偵測時發生空難，所以捷克共和國認為安全是空中偵測的第一考量條件。

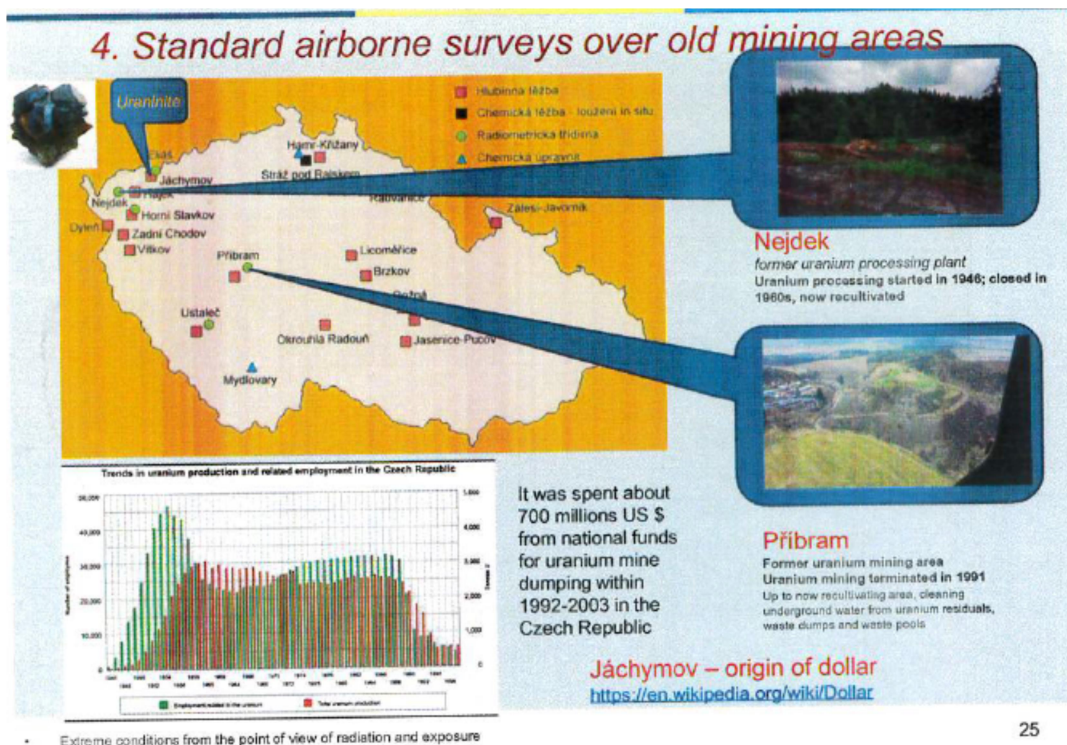


圖 15：1992~2003 年捷克共和國空中偵測礦坑輻射劑量率變異情形

九、挪威海域輻射及核子緊急情況下的北歐搜救手冊

本節課由挪威輻射和核安機關(Norway Radiation and Nuclear Safety Authority)的 Aas-Hansen 高級顧問分享挪威於 2022 年 3 月 31 日出版的海域輻射及核子 (radiological or nuclear, RN)緊急情況下的北歐搜救(search and rescue, SAR)手冊(簡稱 RN-SAR-BOOK)之摘要，如圖 16，RN-SAR-BOOK 可為北歐輻射機關(Nordic Radiation Authority)於處理涉及放射性或核物料的海上搜救作業提供統一的指導和建議，目前並未獲主管當局核准上網公開。

- RN-SAR-BOOK 可為負責協調海上搜救的救災當局提供相關的指導建議。
- 可參考 RN-SAR-BOOK 的目標群包含：特殊救援隊、志願者、環境應變當局、航運公司、船員和其他可能受海域輻射或核子救災應變影響的利害關係人。

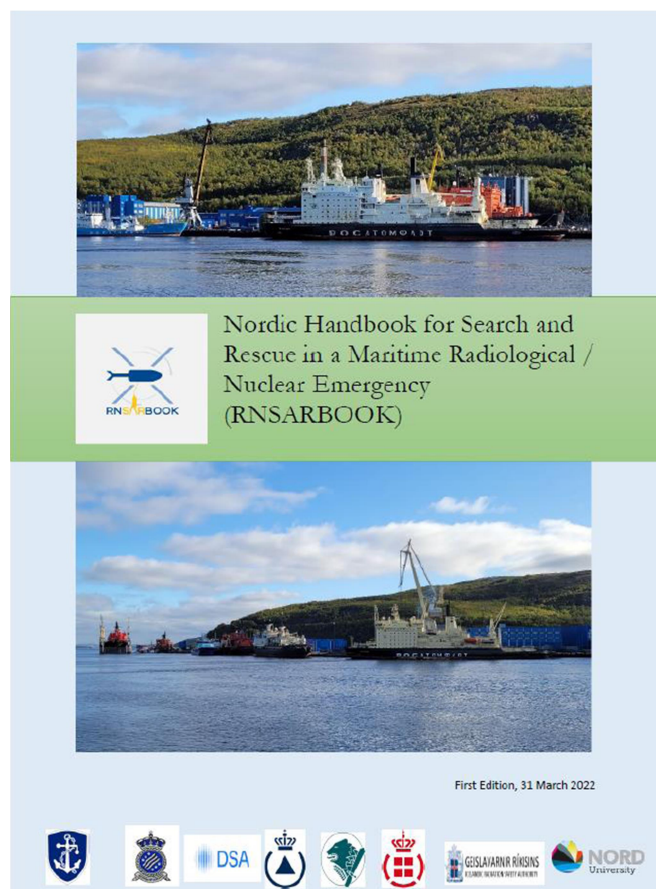


圖 16：挪威海域輻射及核子緊急情況下的北歐搜救手冊

RN-SAR-BOOK 的主要內容分成兩個部份，如圖 17：第一部份說明輻射及核子搜救作業，包含第 1~5 章，目的是要向搜救當局提供對於輻射及核子類相關術語、對於此類事故/事件如何進行運作和處理、以及對於輻射及核子搜救運作的實務介紹。第二部份說明輻射及核子搜救的相關標準作業程序，包含第 7~13 章，從救援協調中心(Rescue Coordination Center, RCC)的層面來看，標準作業程序代表了關於輻射及核子情況如何影響搜救事件的共同立場，這些程序可以幫助救援協調中心的策劃者制定他們的計畫和行動卡。此外，標準作業程序也可以指導搜救應變單位協調自己的計畫和行動卡，以確保所制定出來的計畫和程序與救援協調中心的原則相同。



Main contents of RNSARBOOK



Part 1: RN in SAR operations

- Ch. 1 Radiation and dose
- Ch. 2 Safety of responders
- Ch. 3 Radiological and nuclear emergencies at sea
- Ch. 4 Operational Plan for RNSAR emergencies
- Ch. 5 General Preparation and Exercises

The purpose of Part 1 is to offer a basic understanding of RN and its terminology to SAR authorities, offer a basic understanding of how this type of operations could play out and be handled, as well as an introduction to exercises that will benefit RNSAR operations.

Part 2: Standard Operational Procedures (SOPs) for RNSAR

- Ch. 7 SOP 1 - Assessment of the incident
- Ch. 8 SOP 2 - Determination of the restriction area
- Ch. 9 SOP 3 - Arrival to the scene of incident
- Ch. 10 SOP 4 – Boarding
- Ch. 11 SOP 5 - Rescue Operation on board the distressed vessel
- Ch. 12 SOP 6 - Evacuation and emergency towing
- Ch. 13 SOP 7 - Decontamination

The SOPs represent the common ground thoughts on how an RN situation can impose on a SAR incident, seen from the RCC's level. The procedures can assist the RCC planners in developing their plans and action cards. In addition, the SOPs can guide SAR responding units in harmonizing their own plans and action cards, ensuring that the plans and procedures developed are based on the same principles as the RCC's



圖 17：挪威海域輻射及核子緊急情況下的北歐搜救手冊的主要內容

十、美國懷俄明州國防相關鈾礦調查之空中偵測經驗

本節課由美國能源部(Department of Energy, DOE)國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)遙測實驗室(Remote Sensing Laboratory, RSL)的 Avery A Guild-Bingham 先生分享美國西部懷俄明州(Wyoming)與國防相關之鈾礦(Defense-Related Uranium Mines, DRUM)調查之空中偵測經驗。NNSA 的 RSL 有兩處，一處是位於美國東岸華盛頓哥倫比亞特區(Washington, D.C.)的安德魯斯空軍基地(Andrews Air Force Base, RSL-A)，另一處是位於美國西岸內華達州拉斯維加斯(Las Vegas, NV)的內利斯空軍基地(Nellis Air Force Base, RSL-N)，如圖 18，本節課的講者來自於 RSL-A。

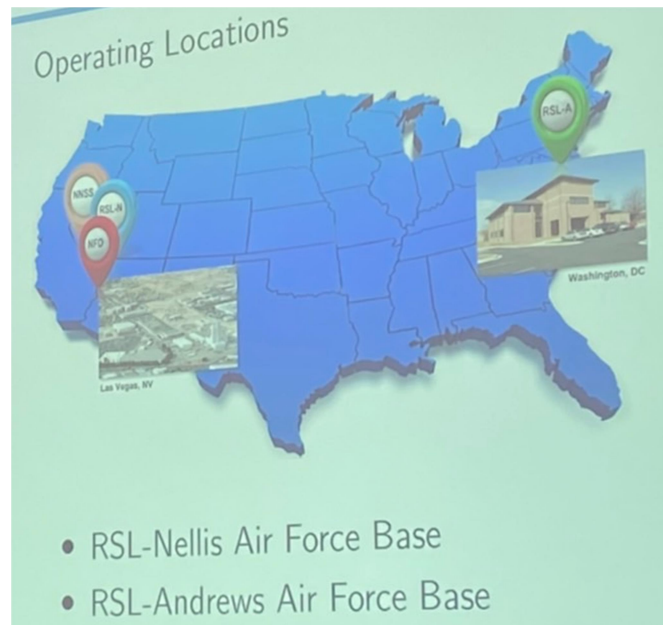


圖 18：美國國家核子保安總署(NNSA)遙測實驗室(RSL)據點

美國的空中輻射偵測最早發展於 1960 年代，最初主要用來進行核試爆後的背景輻射調查，後續也用於如三哩島核電廠事故、九一一恐怖攻擊、卡崔娜颶風天災和日本福島核電廠事故等緊急應變任務，以及與國防相關之鈾礦調查。

美國執行空中輻射偵測所用的直升機為 Bell 412 直升機，如圖 19，距地表的飛行高度約 150 英尺(約 45.7 m)，飛行間距控制為 2 倍距地表的飛行高度，約 300 英尺(約 91.4 m)，飛行速度約 70 節(約 130 km/h)，在直升機左右兩側分別配有

由 6 支 2L 的碘化鈉閃爍晶體所組成之偵檢陣列，故碘化鈉閃爍晶體的總偵測體積為 24L，可有效提升空中輻射偵測的靈敏度和 Bell 412 直升機於執行空中偵測任務時的飛行速度。



圖 19：美國執行空中輻射偵測任務所用之 Bell 412 直升機

然，美國於執行懷俄明州與國防相關之鈾礦調查時有面臨包含長滯空時間及天候條件不穩定等挑戰。例如：

- 調查雪莉盆地(Shirley Basin)的鈾礦需要安排 7 趟航次，每趟航次的飛行時間約 1.6~2.7 小時不等，但真正執行空中偵測任務的時間約 0.8~1.8 小時。
- 調查克魯克溝(Crooks Gap)的鈾礦需要安排 4 趟航次，每趟航次的飛行時間約 0.8~2.3 小時不等，但真正執行空中偵測任務的時間約 0.2~1.0 小時。
- 調查加斯山丘(Gas Hills)的鈾礦需要安排 12 趟航次，每趟航次的飛行時間約 1.3~2.6 小時不等，但真正執行空中偵測任務的時間約 0.5~1.6 小時。
- 天候條件不穩定因素包含美國西岸的野火將導致飛行的能見度降低，以及頻繁的暴雷雨和風切。

十一、 美國能量補償地形修正 AMS 數據

由 NNSA 的 AMS 小組之 Daniel Haber 先生報告地形修正能量補償 AMS 數據的處理，建立能譜和高度(AGL)的校正因子。使用 HPGE 純鍍偵檢器現場度量 5 點數值(計測時間 15 分鐘)比較。結論是地形校正會受到 DEM 解析度的影響，如圖 20，但較高的解析度需耗費更多計算時間、效益遞減等，地形校正後 AMS 數據較接近現場度量的數據。另外，也討論到 DEM 解析度，美國有 10 m 高解析度的 DEM，但台灣僅 90 m 解析度的 DEM，這也是在 AMS 數據分析上受限的。

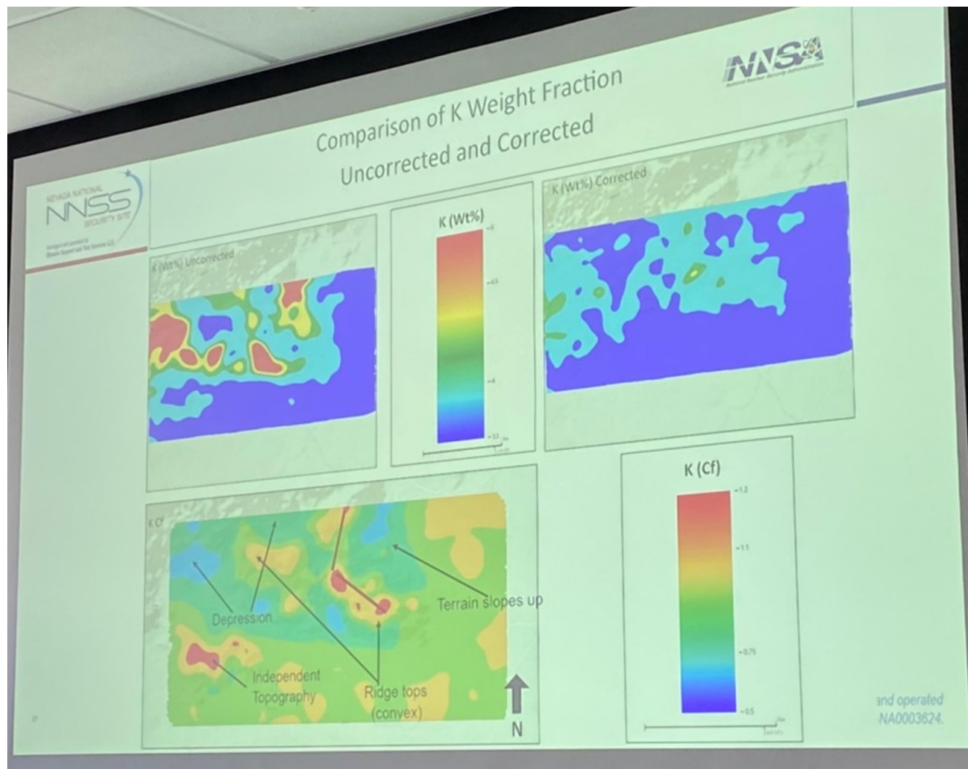


圖 20：地形校正與 K 權重係數及 DEM 解析度影響

十二、 法國地形影響空中輻射偵測數據的探討

法國輻射防護與核能安全研究所(Institute for Radiation Protection and Nuclear, IRSN)工程師 Erwan Manach 博士說明 IRSN 的現況，以及地形對空中偵測的影響與大家分享。IRSN 隸屬於法國核能安全署(Nuclear Safety Authority, NSA)，平時負責核能安全及輻射防護之各項研究工作，提供民生與國防等主管機關之技術支援與諮詢。IRSN 成立一個危機機動小組，可以每週 7 天、每天 24 小時啟動，並能夠在發生放射緊急情況時向決策者或利益關係者提供保護民眾的建議。危機小組由專家小組在受污染區域工作以測量放射性並提供輸入數據的人員組成，這些前線工作人員通常使用手持輻射偵測儀器、車載、以及包括有人機和無人機在內的空中偵測系統，如圖 21。此外，現階段也積極與民營公司簽訂 3 年期合約，以便在緊急需要時有直升機，並定期飛行和參加政府的演訓。目前 IRSN 的空中偵測系統主要由 4 個 4 公升的碘化鈉偵檢器等組成，該系統主要用於調查法國地表輻射並產製圖像，其任務包括執行放射性環境調查研究、核安與輻安應變、以及尋找遺失輻射源。



圖 21：IRSN 危機機動小組之各式輻射偵測儀器及設備

另外，法國近年也積極投入發展電池式多軸式無人機，飛行器係採用民間公

司開發的機種(包括中國和 Innovadrone 法國公司)，如圖 22，搭載 CsI 偵檢器，有效荷重約 3~4 公斤，飛行時間約 20~35 分鐘。另外也談到無人機的一些限制，包括歐洲無人機的法規、飛行時間不長(20~35 分鐘)、即時 DEM 地理高度解析度太低、高度障礙等，這些都是未來無人機輻射偵測發展必須要突破的困難。

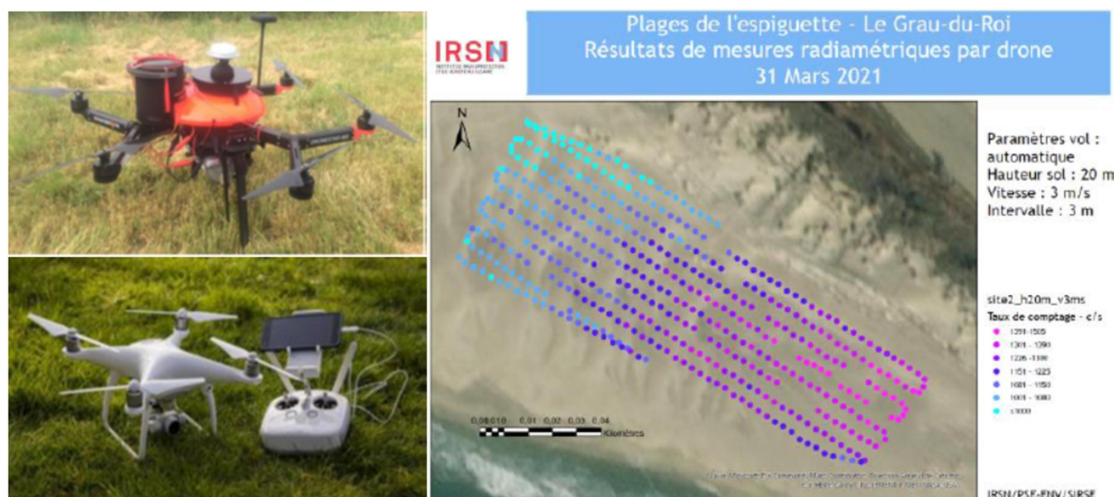


圖 22：IRSN 無人機執行小區域空中輻射偵測作業

從飛行員的回饋意見，霧、風，禁航區等是飛行的極端條件之一。事前要跟飛行員充分溝通飛行需求，飛行員在乎飛安及禁航，科學家在乎飛行高度和路線，這是法國在執行空中輻射偵測作業時提出因應的看法。

另外，也針對偵測儀器信號擷取延遲及 GPS 地形位置誤差影響輻射值的問題進行探討，IRSN 開發一套蒙地卡羅粒子遷移模擬工具試圖解決這樣的問題，在 2019 年使用在一次射源搜尋演練中，得到不錯的結果。未來 IRSN 將持續針對均勻表面污染、點射源和真實地形，比較不同地平面上高度值(HAGL)的結果。

十三、 挪威利用無人機飛越北冰洋巡邏

本節課由來自於挪威海岸巡防隊的無人機專業飛手分享挪威利用無人機飛越北冰洋(North Arctic Ocean)巡邏的相關經驗，挪威位於斯堪地那維亞半島西部，東與瑞典接壤，西鄰大西洋，海岸線極長且蜿蜒曲折，故挪威海岸巡防隊在守衛國土上扮演非常重要的角色。

也因如此，挪威的海軍艦艇數量非常多，有 2 艘長 91 m、寬 22 m、高 8.2 m 的艦艇(BISON W330 和 JARLm W331)，5 艘長 47.2 m、寬 10.3 m、高 4.3 m 的艦艇(Nornen W330、Farm W331、Heimdal W332、Njord W333、Tor W334)，3 艘長 93.2 m、寬 16.6 m、高 5.4 m 的艦艇(Barentshav W340、Bergen W341、Sortland W342)，2 艘長 105.5 m、寬 14.6 m、高 4.9 m 的艦艇(Nordkapp、Andenes)等，這些艦艇上可以停放由北約直升機工業研製的 NH90 中型雙引擎直升機，以及佈署由 Norse Asset Solutions (NAS*)廠家研製、型號為 FLIR SkyRanger R70 的無人機，如圖 23，遇到緊急情況時可以隨時出動。

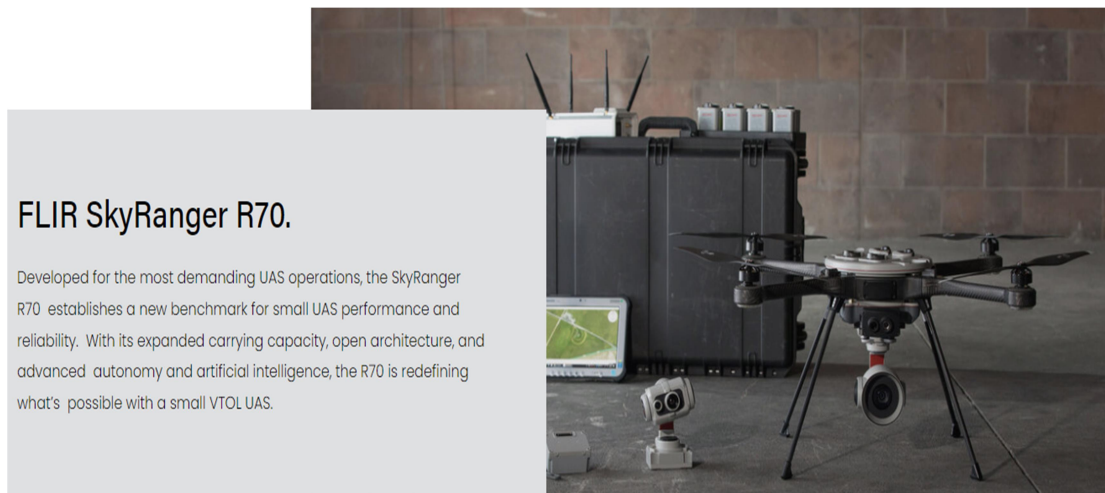


圖 23：挪威海岸巡防隊採用的 FLIR SkyRanger R70 無人機

註*：NAS 廠家的官網如連結 [UAV — Welcome \(norseassetsolutions.com\)](http://UAV-Welcome.norseassetsolutions.com)

挪威的無人機可利用 QR Code 進行起降控制，共有 900 多組 QR Code 可以隨時變換，且由軍艦艦長隨機挑選無人機起降的關鍵鑰匙，每架無人機下方都有裝配 4 個攝像鏡頭，可以準確對準 QR Code 的四個邊角進行掃描，因此，挪威海軍培育諸多無人機專業飛手，並發展利用無人機飛越北冰洋來進行巡邏，節省過往出動海軍艦艇巡邏的成本花費。

挪威的無人機空中輻射偵測，無人機下方所掛載的輻射偵檢器為 3.2 cm × 5.1 cm 的碘化鈉(NaI)閃爍(添加的螢光劑為鈾 TI)偵檢器或 2.5 cm × 3.2 cm 的溴化鏷(LaBr₃)閃爍(添加的螢光劑為鎔 Eu)偵檢器，外加 2 個蓋隔(GM)計數器，提升輻射偵測的靈敏度。能量的偵測範圍介於 20 keV ~ 3 MeV 之間，該能量區間為康普吞效應主導，與人體組織(有效原子序=7.4)所對應的能量作用區間相同。輻射劑量率偵測範圍介於 0.001 μSv/h ~ 10 Sv/h 之間，且每 0.5 秒就記錄一筆即時的輻射偵測數據，如圖 24。

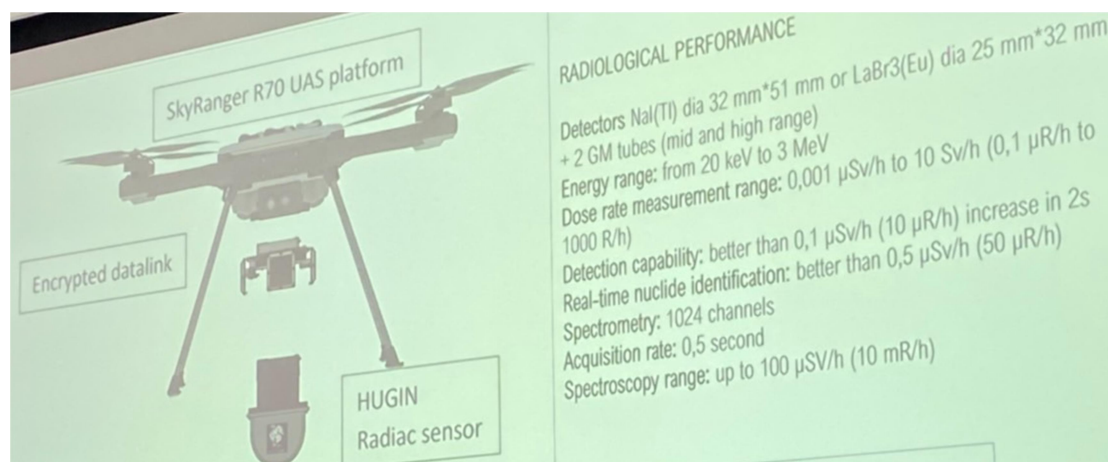


圖 24：挪威無人機空中輻射偵測性能介紹

十四、 英國 AGS 數據處理精要

本節課由英國布里斯托爾(Bristol)大學的 Dean Connor 博士介紹他的研究，以代數重建技術(Algebraic Reconstruction Technique, ART)在輻射劑量影像處理方面的應用，如。Dean Connor 博士本身有在日本福島和車諾比地區現場執行輻射度量、無人機空中偵測和地表輻射調查等的經驗，目前在英國國家核能實驗室工作。

Dean Connor 博士也談到利用 UAV 進行的空中輻射偵測技術已逐漸普及化。在數據處理方面傳統方法是將輻射計數率使用一個簡單的參數轉換為空氣中輻射劑量率，必須考量高度、偵檢器靈敏度等是複雜的。該實驗室應用 ART，結合地形高度圖資，建立了輻射計數率到空氣中輻射劑量率轉換的基本演算法，將該演算法應用於 UAV 獲取的真實輻射數據，並透過比對計算其準確性。該研究以車諾比事故後烏克蘭的布里亞基夫卡村(Buriakivka village)的廢棄物貯存設施作為案例，與傳統方法相比，ART 技術可減低大面積圖像霧化，區別不同輻射源，此技術特別適用在放射性廢棄物處理、核電廠除役等。

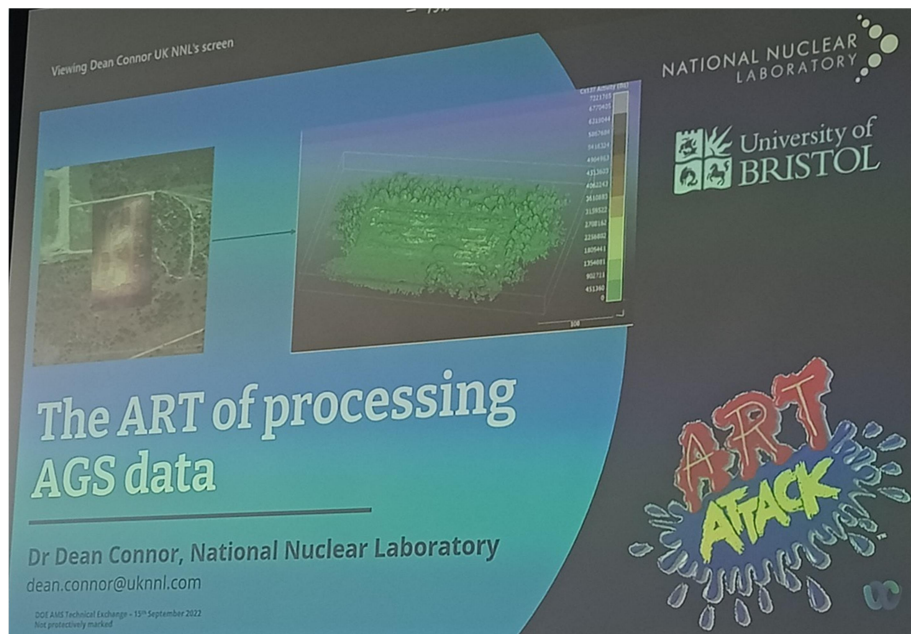


圖 25：英國 Bristol 大學的 Dean Connor 博士介紹代數重建技術(ART)

十五、 英國定翼無人機介紹

英國採用瑞士 WINGTRA 無人機公司研發、可垂直起降的定翼無人機(如圖 26)製作輻射偵測地圖，主要結合定翼飛機的巡航飛行效率與多旋翼的垂直起降著陸等優點。該定翼無人機的有效荷重約 800 克，適合初次熱點搜索，可進行較大面積偵測，找到熱點後，再以多旋翼無人機進行細部偵檢。這項實驗在英國西南部康沃爾(Cornwalls)鈾礦坑進行測試，無人機搭載 CsI 或 CZT 輻射偵檢器，共執行 5 航次，每次約 40 分鐘，高度 70 公尺，搭配由 Kromek 和 ImiTec 公司聯合提供的 AARM 無人機自主機載系統，該系統可提供放射性污染的低空測繪。

AARM 無人機自主機載系統也可提供公尺級分辨率的輻射偵測地圖，包括高劑量區域和人員難以接近的位置，可將操作員接受輻射曝露的風險降至最低。AARM 可即時定位輻射量測結果並繪製放射性核種的輻射分佈地圖，如圖 27，顯著提升輻射偵檢的結果和主管決策的效率。結論 WINGTRA 公司的定翼無人機搭配 AARM 無人機自主機載系統很適合用在核設施除役場所、例行性的輻射監測、環境背景輻射調查以及管制區內的輻射源追蹤等。



圖 26：英國採用瑞士 WINGTRA 無人機公司研發的定翼無人機

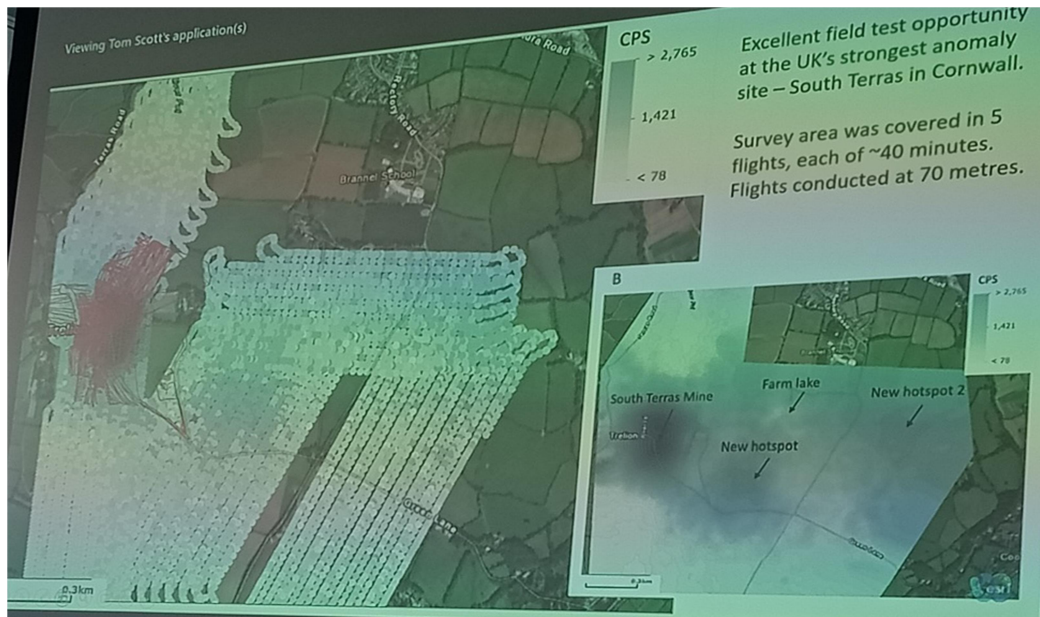


圖 27：WINGTRA 定翼無人機搭配 AARM 無人機自主機載系統，可即時定位輻射量測結果並繪製放射性核種的輻射分佈地圖

十六、 AVID 軟體升級及未來的技術交流

本節課由 NNSA 的 Mikli 先生談到 AVID 軟體的升級現況，如圖 28，目前 AVID 軟體正在進行大幅度地功能模組升級，包括規劃將 AVID 軟體放在雲端，讓每位使用者透過客戶端登入系統使用等，預計在今(2022)年底至明(2023)年初完成，最快預計在 2023 年 10 月辦理 AVID 軟體使用者教育訓練，依各國對軟體的掌握和熟練程度，AVID 教育訓練預計分成高階、中階及初階等三班授課。惟此次技術交流會議中並未公開程式升級內容等相關重要資訊，僅再次強調 NNSA 並非商業公司，開發 AVID 數據後處理分析軟體的成本花費很高，所以 AVID 軟體並不開放使用者索取程式的原始碼，僅免費提供成員國進行空中輻射偵測的數據後處理。

會後，我們也向 Mikli 先生反應臺灣目前所使用的 AVID 軟體版本較為初階，我們很期待新版 AVID 軟體的一些功能改進能讓整套軟體在操作上更為順手，也希望美方能同意免費釋出較新版本的 AVID 程式給臺灣，惟暫未獲得正面回應。



圖 28：NNSA 的 Mikli 先生談到 AVID 軟體的升級現況及未來的技術交流

十七、 RSI 公司產品介紹

本節課由加拿大 RSI 公司的老闆介紹移動式或可攜式的輻射偵檢系統，包含執行直升機空中輻射偵測常用的 RSX-0.5 (2" × 4" × 16" , 2L)碘化鈉閃爍偵檢器與 RSX-1 (4" × 4" × 16" , 4L)碘化鈉閃爍偵檢器，以及執行無人機空中輻射偵測常用的 RS-530 (3" × 3")圓柱形碘化鈉閃爍偵檢器，偵檢器的重量約 3 kg，可掛載在 DJI Matrice 600 無人機下方執行空中偵測任務，無人機(含 6 顆 TB48S 電池)的重量約 9.6 kg，在無負載情況下的滯空飛行時間約 35 min，負載 3 kg 的 RS-530 偵檢器下的滯空飛行時間約 20~25 分鐘。

另外，也同時發布一些 RSI 公司產品目前韌體(指嵌入在硬體裝置中的軟體)和軟體的更新訊息，如圖 29 和圖 30。

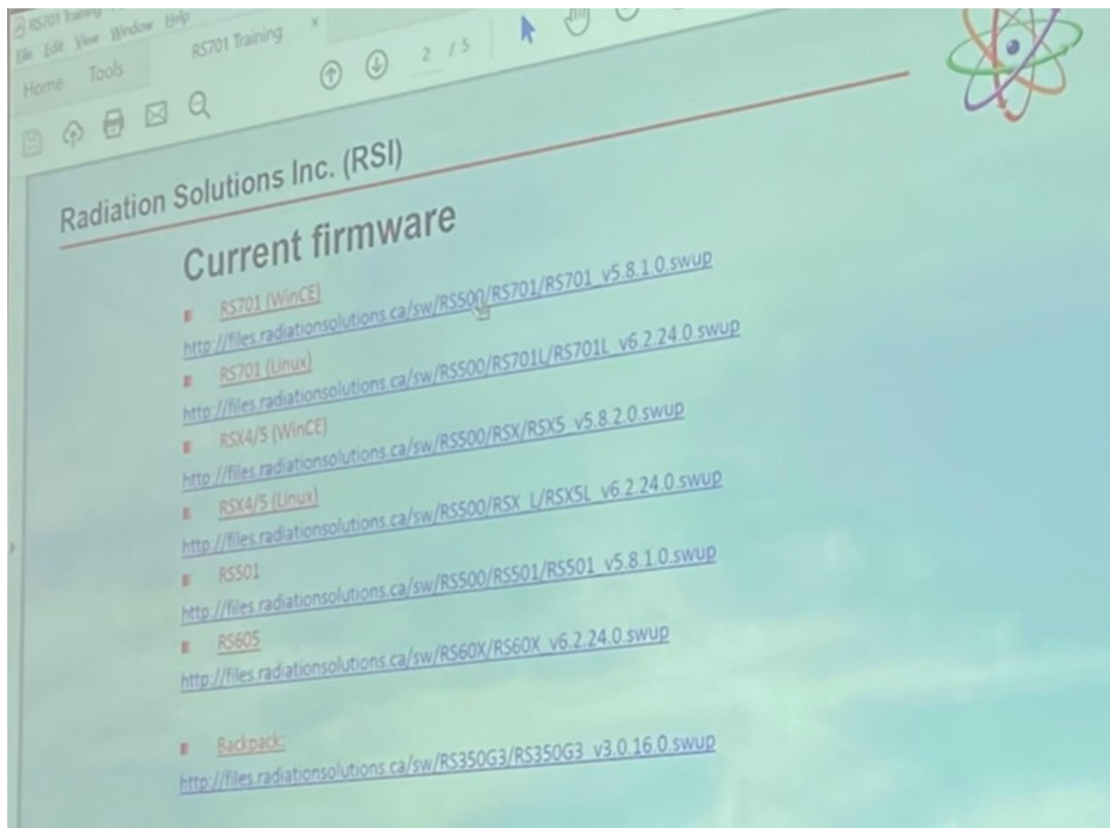


圖 29：加拿大 RSI 公司發布韌體更新訊息

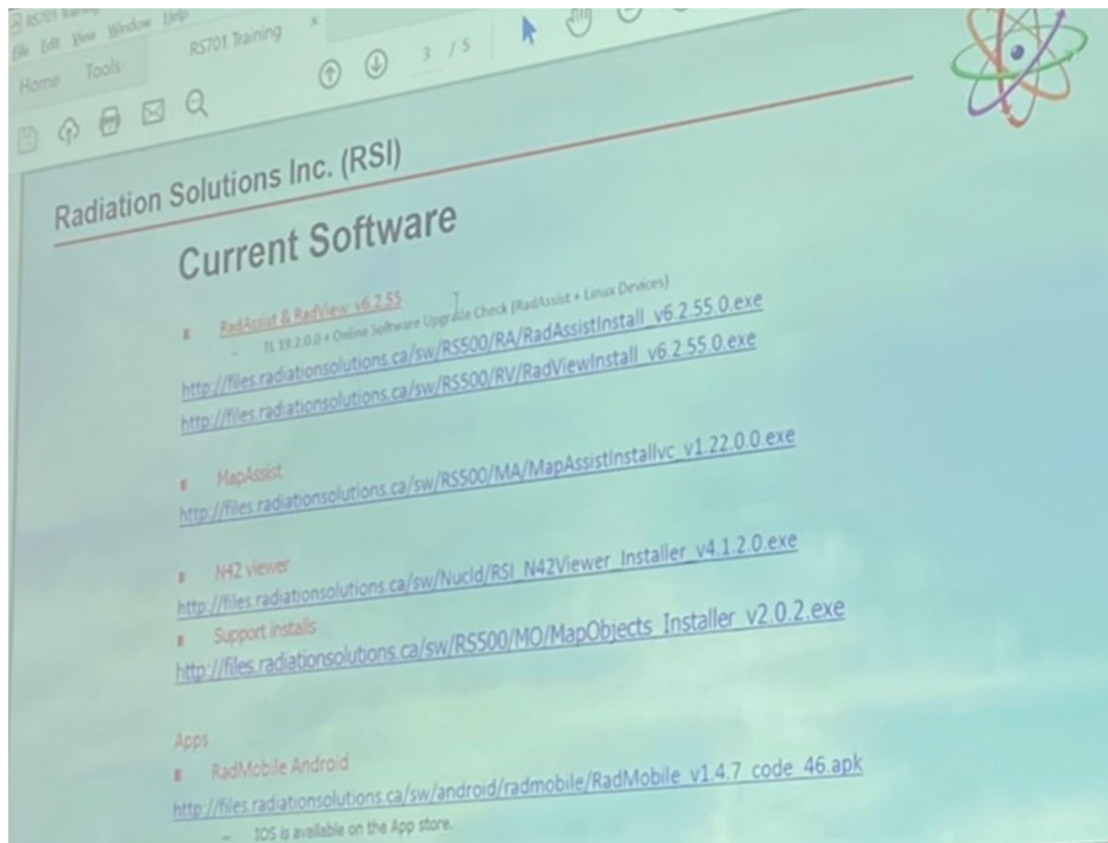


圖 30：加拿大 RSI 公司發布軟體更新訊息

十八、 俄亥俄州無人機中心介紹

本節課由美國俄亥俄(Ohio)州無人機(Unmanned Aircraft System, UAS)中心的 David Gallagher 先生介紹他所服務的無人機中心。UAS 為無人飛行器系統，定義 UAS 為 Aircraft + Sensors + Data，即 UAS 由無人機(Aircraft)本體 + 輻射偵檢器或攝像鏡頭(Sensors) + 數據資料(Data)，其中 Data 的涵義為「價值主張(value proposition)」。根據美國產品開發與管理協會(Product Development and Management Association, PDMA)的定義，所謂「價值主張」指的是一個簡短、清楚且簡單的陳述，用來說明如何衡量一個提供價值給潛在顧客之產品概念。從顧客的角度來看，就是指無人機中心能提供給顧客什麼樣的產品或服務，使顧客從 UAS 中心的提供物及供應關係中得到豐富經驗與超值利益。美國製的 UAS 機型如圖 31 所示。

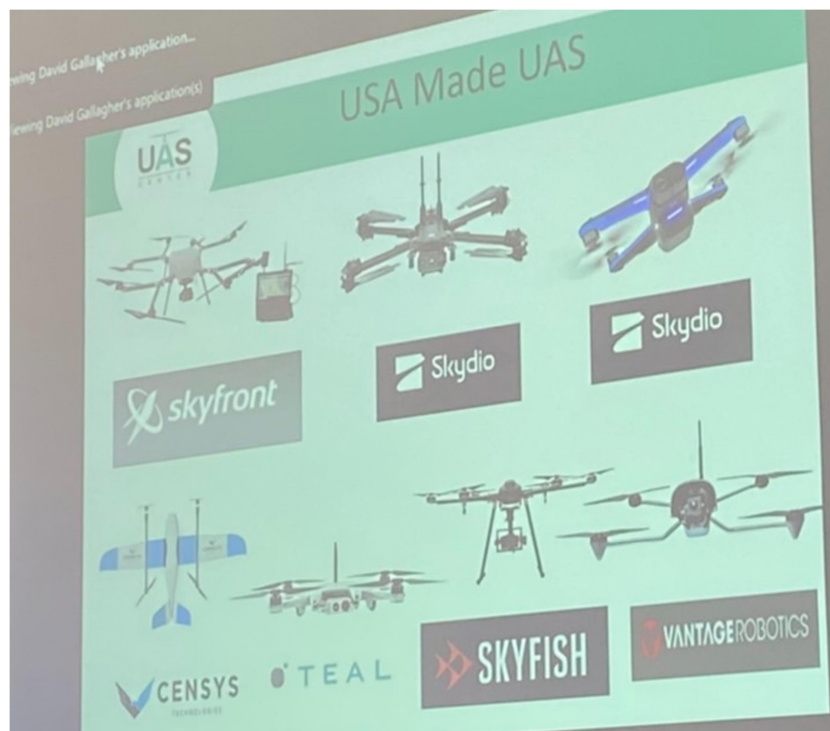


圖 31：美國製的無人機(UAS)機型

David Gallagher 先生也介紹無人航空載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)的適用時機有二：(1)當發生危險事件初期，因現有的資訊有限，幾乎無法安全進入該地區；(2)需要迅速獲得有關事件範圍和嚴重程度的準確訊息，供決策者做裁示。

另也提到於極端條件出動無人機的狀況，可參考 4D 原則：(1)危險的(Dangerous)，(2)指在高輻射污染的區域--骯髒的(Dirty)，(3)指一直需要重複作業的情境--沉悶的(Dull)，(4)指遙不可及、人員無法到達的地方--極深的(Deep)。

David Gallagher 先生接續介紹 UAS 中心無人機掛載的輻射偵檢器種類，包含中劑量率範圍(5 mR/h，約 0.05 mSv/h)及高劑量率範圍(50 mR/h，約 0.5 mSv/h)的蓋隔偵檢器，如圖 32。他們利用無人機掛載蓋隔偵檢器，來進行單一輻射源和多個輻射源的射源搜索、尋找遺失的射源，也有做一些無人機飛行速度與輻射偵檢器偵測靈敏度的試驗，並分享試驗的一些成果。



圖 32：UAS 中心無人機掛載的蓋隔偵檢器及輻射劑量率偵測範圍

十九、 赴內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)參訪

(一) 法國人公寓(Frenchman Flat)

法國人公寓，以地上核試爆遺骸集中而著稱，涵蓋 NNSS 第 5、11 區內，其中包含 5.8 平方英哩乾固湖床。1951 年至 1962 年初，曾有 14 次地上核試爆，用於觀看地上核試爆後景像的長凳如圖 33，1965 年至 1968 年初，有 5 次地底核試爆。此地區內重要設施及用途包括：放射性廢料處置設施(Radioactive Waste Management Complex, RWMC)係主要處置低階及複合性低階放射性廢棄物之設施；防擴散測試及評核(Nonproliferation Test and Evaluation Complex, NPTEC)係世界上最大有害毒物質及生物模擬物之露天測試；內華達州沙漠研究中心係主要針對 Mojave 沙漠進行生態研究。



圖 33：Frenchman Flat 用於觀看地上核試爆後景像的長凳

(二) Bilby 核彈坑

NNSA 安排參訓成員搭乘巴士至 Bilby 核彈坑(Bilby Crater)參觀，體驗地下核爆的巨大規模，如圖 34。Bilby 核彈坑位於 NNSS 第 3 區內，是美國地下核試驗系列的一部分，該爆炸的威力遠在 65 英里外的拉斯維加斯民眾都能感受到，於 1963 年 9 月 13 日形成，由 249 千噸核試驗產生，相當於 20 萬噸黃色炸藥，它在地下 2,400 英尺處引爆，並產生了一個大約 1,800 英尺寬和 80 英尺深的沉降坑。今日 Bilby 彈坑除了做為觀光景點外，地底下也設置各種監測儀器，主要做為地質、地球物理和水文數據收集，以及地下水殘留輻射監測。



圖 34：Bilby 核彈坑

(三) 地下核試爆監測塔(ICE CAP)

接下來參觀名為 ICE CAP 的地下核試爆監測塔，如圖 35，這座塔高 157 英尺，工作溫度 73 度 F，是 NNSS 的著名地標。它是為地下核試爆建造的監測塔，原訂於 1993 年春天進行的第 929 次地下核試驗，因美國總統於 1992 年 10 月簽署地下核試驗禁令後而停止，但該塔仍然保留在第 7 區試驗場內未被摧毀。

地下核試爆監測塔位於 1,600 英尺深的豎井上，塔內裝有一個 7 英尺寬的鏈條架，核子裝置綁在鏈條架底端，以乾冰冷卻至 -42 度 C，模擬導彈系統在太空中的溫度，此為 ICECAP 名稱的由來。



圖 35：ICE CAP 地下核試爆監測塔

(四) Sedan 核彈坑

Sedan 核彈坑(Sedan Crater)位於 NNSS 第 10 區，是 NNSS 最大之彈坑，於 1962 年 7 月 6 日形成，如圖 36。當時美國計畫以核武器獲得相對便宜的能源，用於開鑿工程等和平用途，如：核爆炸開運河、港口、公路和鐵路穿越山脈、露天採礦、水壩建設以及其他採石場等。核爆試驗利用 104 千噸之熱核(thermonuclear)裝置，於地下 635 英尺引爆，爆炸移除約 1,200 萬噸的土壤，產生直徑約 1,280 英尺、深度約 320 英尺的彈坑。2010 年在 Sedan 核彈坑訪客平台所測得的輻射劑量率約 130 mrem/y (1.3 mSv/y)，相當於 0.015 mrem/h (0.15 μ Sv/h)。



圖 36：Sedan 核彈坑

(五) 砲塔

砲塔是來自第二次世界大戰期間美國海軍路易斯維爾號巡洋艦的砲塔，1957年開始放置在 NNSS 第 2 區供參觀，如圖 37。它用於觀察和偵測 Shasta、Diablo 和 Whitney 三個地上核子試爆測試。在核試爆行動之前，地面核試爆測試需要一些特殊用途的掩體來容納監測設備，這監測站即由一個地上可旋轉的海軍砲塔和部分地下的混凝土掩體組成。砲塔和附近的建築物作為記錄地上核試爆數據的儀器、探測器、電力和通信設備的避難所。這些探測器的接線必須埋在 20 英尺寬、20 英尺深的溝渠中，並且通常有 1 英里或更長的長度，這些電纜有時可以重複使用。核試爆在距離砲塔不到一英里的 500 英尺塔頂上部署了一個核裝置。砲塔配有鉛襯，主要為衰減輻射用。當核試驗時，砲塔可瞄準在每個核裝置上，爆炸產生的光照射在儀器上，轉換為電子信號，到達砲塔內的各式偵測儀器。利用砲塔建造這個可重複使用的觀察平台，達到節省成本的目的。



圖 37：二戰美國海軍路易斯維爾號巡洋艦的砲塔

(六) APPLE II

APPLE II 是 1955 年 5 月第 2 次全國電視轉播的地上核試爆後遺留下的 2 層樓木屋殘骸，如圖 38。美國聯邦民防管理局(Federal Civil Defense Administration, FCDA)在 1950 年代進行 2 場全國電視轉播的地上核試爆，旨在評估核爆炸對平民社區的影響，以及測試民防組織的緊急應變能力。

APPLE II 是核試驗的代號，FCDA 建造了一個典型的美國社區，包括兩層和三層單層房屋、一個變電站、一個廣播站、一個丙烷罐加油站、一個磅秤站和其他小建築。房子裡面放著穿衣服的人體模型。幾輛美國製造的汽車和拖車房，也有人體模型，被放置在距零地不同距離和角度的地方，以測量核試爆的影響。這些房屋由不同的建築材料建造，具有不同的外觀，並配備了大量儀器來測量爆炸和核爆炸產生的超壓。該測試有三個主要目標：(1).確定曝露於原子彈爆炸的典型美國家庭會發生什麼。(2).研究使用八種不同的戶外地下家庭式庇護所所提供的保護。(3).確定為車內乘客提供的保護水平，以及核爆炸對這些車輛運行的影響。至今仍屹立不倒的兩層房屋在爆炸期間承受了約 1.7 磅/平方英吋的壓力。木結構房屋距離試驗零點(Zero point)大約 6,600 英尺。



圖 38：APPLE II 地上核試爆後遺留下的 2 層樓木屋殘骸

(七) T-1 放射/核輻射事故緊急應變能力培育訓練場

為因應 2001 年 9 月 11 日的恐怖襲擊，NNSA 的反恐行動培訓計畫決定重新利用 Apple II 測試場地，建立美國軍隊和緊急應變人員對於核和輻射事故緊急應變能力培育的訓練場，如圖 39。

T-1 訓練場將爆炸中殘留的少量放射性物質遷移到土壤表面以下，這會產生升高的背景輻射水平，剛好用來模擬來自核爆炸或多個 RDD 的廣泛放射性污染，但對參訓者的風險很小，這使得 T-1 訓練場能夠提供一個獨特、現實和安全的訓練區域。除了真實感之外，NNSA 還創建了多個訓練場景，包括出軌的火車、模擬波音 737 飛機失事、一個小鎮和多起車禍事故等。此外，除了較高的背景輻射外，還結合了工業用密封性放射源，放置在運動區域，以根據訓練目標提供不同的訓練內容。



圖 39：T-1 放射/核輻射事故緊急應變能力培育訓練場

肆、心得

- 一、空中輻射偵測需要不同技術背景人才，例如直升機駕駛、無人機飛手、儀器維護人員、輻射偵測人員、數據分析人員等專業團隊，除需長期培訓外，更仰賴互相協調分工合作才能執行，技術門檻極高。有關空中輻射偵測載具的提供，現階段除了美國有專用的 Bell 412 直升機執行空中輻射偵測任務外，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。臺灣主要仰賴軍方及內政部空勤總隊提供飛行載具，有鑑於此，原能會應繼續與軍方及內政部空勤總隊合作，透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、有關在極端條件下的空中輻射偵測作業，綜整各國的空中偵測經驗，可分為天然及人為兩部分，天然部分主要是受限於當地氣候和地形因素，人為部分則受限於管制區域或限/禁航區域、建築地貌及特殊任務需求等；無論如何，空中偵測作業的安全都是各國的首要考量。因此，在整個飛行作業規劃及環境輻射調查就顯的非常重要。另外，應於任務執行前召開行前小組會議亦有其必要性，技術人員、輻射偵檢人員和飛行員透過充分討論，在任務目標和人員安全之間取得平衡，才能順利達成指定的空中輻射偵測任務。
- 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，非常適合執行核及輻射事故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，作為核或輻射事故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、美國 NNSS 的 T-1 放射/核輻射事故緊急應變能力培育訓練場，內有許多模擬放射/核輻射事故的場景，主要目的是用來教育美國士兵和軍隊認識輻射、掌握輻射的特性、建立輻射偵測的能力，作為培育與核事故/輻射事件相關的緊

急應變能力之基地。原能會近年亦有編列相關經費，於核研所建置「輻災防救訓練研發中心」，已初步完成戶外模擬演練場地及室內人員防護裝備及儀器展示室等硬體設施，若經費允許，建議原能會或輻射應變相關單位可派員赴 NNSS 的 T-1 培訓場做更深入的參訪及交流，希冀借鏡美國之經驗，提升國內放射/核輻射事故之緊急應變量能。

伍、建議事項

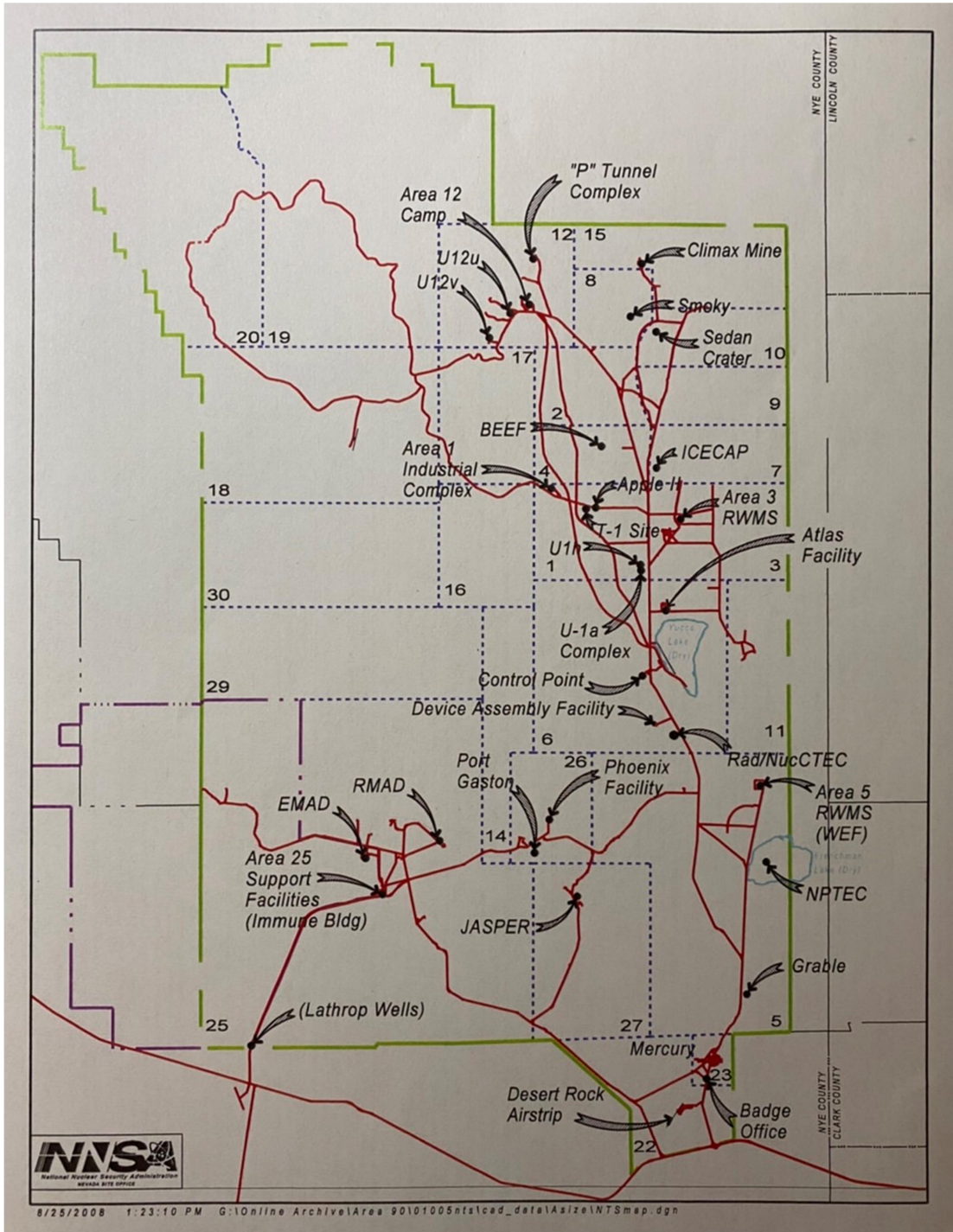
- 一、美國 DOE/NNSA 舉辦第 10 屆空中輻射偵測系統國際技術交流會議，其目的為推廣空中輻射偵測技術，並藉由各國專家的經驗分享與技術交流，提升各國的緊急應變技術量能。DOE/NNSA 現已針對 AVID 空中偵測數據分析處理軟體的功能模組進行大幅度升級作業，估計於今(2022)年底完成，並初步規劃於明(2023)年 10 月辦理 AVID 空中偵測數據分析處理軟體的教育訓練，建議我國指派與緊急應變業務相關之技術人員參加，一方面可培訓空中偵測數據分析處理人才；另一方面亦可藉由參加教育訓練，升級國內現有之 AVID 軟體版本，接軌國際趨勢。

陸、附件

附件 1 內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)分區著名地標簡圖

附件 2 2022 年第十屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會議程

附件 1 內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)分區著名地標簡圖





U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



10th AMS International Technical Exchange on Aerial Measurements Operations in Extreme Conditions

September 12 - 15, 2022

Nevada National Security Site-Remote Sensing Laboratory
Las Vegas, Nevada, USA

AGENDA

Participating Organizations

National Nuclear Energy Commission (CNEN) – Brazil
Radiation Solution, Inc. (RSI) – Canada
Natural Resources Canada (NRCan) – Canada
The Federal Office for Radiation Protection (BfS) - Germany
Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN) – France
Icelandic Radiation Safety Authority (IRSA) – Iceland
Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) – Korea
Norwegian Coast Guard – Norway
Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA) - Norway
National Commission for Nuclear Activities Control (CNCAN)- Romania
Atomic Energy Council (AEC) – Taiwan
National Nuclear Security Administration Aerial Measuring System (AMS) – USA

Location

Technical Exchange will be held at the North Las Vegas Airport, Grand Canyon Conference Room
Address: 1205 Airport Dr, North Las Vegas, NV 89032

Accommodation:

Participants will arrange own accommodations.

Transportation:

Participants will arrange own transportations.





September 12 (Monday) – North Las Vegas Airport

- 07:30 – 08:00 Welcome, Introductions, International Program Update. Kirk Czap, NNSA NA-81 (US), Inga Cacace - MSTS
 - 08:00 – 0900 Demo of the AMS Assets Bell 412 helicopter
 - 09:00 – 09: 30 Flights in Urban Environment – Mike Toland, Aviation RSL (US)
- 

- 09:30 – 10:00 Brief History of AMS Technical Exchanges, Piotr Wasiolek, RSL (US)
 - 10:30 – 11:00 Airborne Radiation Surveys in Challenging Environments for Nuclear Emergency Response – John Buckle, Natural Resources Canada (Canada)
 - 11:00 – 11:30 Aviation Technology for Extreme Flight Conditions (VIRTUAL) – new Norwegian SAR helicopters, Sivert Bing (Norway)
(20:00-20:30 Bodø)
 - 11:30 – 12:00 Activities Update of Aerial Measurement Practices in Taiwan, Wei-Sin Chen (Taiwan)
 - 12:00 – 14:00 Lunch
 - 14:00 – 15:00 Radiological Mapping of the Chernobyl Exclusion Zone—Preparing, Methods and Results, Alexandra Helbig and Birgit Seiler(Germany)
and
The German Federal Police Air Service in the Radiological Measuring Mission in Chernobyl Preparation and Execution, Klaus Jess (Germany)
 - 15:00 – 16:00 Flying and Data Processing Challenges, Lubomir Gryc (Czech Republic)
 - 16:00 – 17:00 *Plenary Discussions*
 - 17:00 End of Day





September 13 (Tuesday) – Nevada National security Site

<p>7:30 a.m. Tour participants arrive at North Las Vegas Airport (VGT) 2730 Airport Drive, North Las Vegas, NV 89032</p> <p>Badge issuance and check prior to boarding bus</p> <p>8:00 a.m. Depart for Mercury Gate 100</p> <p>9:20 a.m. Arrive at Gate 100 Badge check</p> <p>9:25 a.m. Depart for Mercury Cafeteria</p> <p>9:30 a.m. Arrive at Mercury Cafeteria Comfort break</p> <p>9:50 a.m. Depart for Icecap Ground Zero (GZ)</p> <p>10:30 a.m. Arrive at Icecap GZ</p> <p>11:00 a.m. Depart for Gun Turret</p> <p>11:10 a.m. Arrive at Gun Turret Photo opportunity</p> <p>11:25 a.m. Depart for Sedan Crater</p> <p>11:35 a.m. Arrive at Sedan Crater Photo Opportunity</p> <p>11:50 a.m. Depart for Building 6-900, Bistro</p> <p>12:20 p.m. Arrive at Building 6-900, Bistro <i>Bistro operates on cashless basis and only accepts Debit or credit cards. No cash will be accepted.</i></p> <p>1:20 p.m. Depart for Bilby Crater</p> <p>1:30 p.m. Arrive at Bilby Crater</p> <p>1:45 p.m. Depart for T-1 Training Facility</p> <p>1:55 p.m. Arrive at T-1 Training Facility Drive by briefing</p> <p>2:00 p.m. Depart for Apple II House</p> <p>2:05 p.m. Arrive at Apple II House Photo opportunity</p> <p>2:25 p.m. Depart for Frenchman Flat</p> <p>2:50 p.m. Arrive at Frenchman Flat</p> <p>3:20 p.m. Depart for Mercury Cafeteria</p> <p>3:35 p.m. Arrive at Mercury Cafeteria Comfort break</p> <p>3:50 p.m. Depart for Gate 100</p> <p>3:55 p.m. Arrive at Gate 100 Badge check</p> <p>4:00 p.m. Depart for VGT</p> <p>5:30 p.m. Arrive at VGT Tour participants depart</p>	<p>Met by Historian <i>Communications Specialist, NNSS</i></p> <p>Historian <i>Communications Specialist, NNSS</i></p>
--	--





September 14 (Wednesday), North Las Vegas Airport

Special Session on Pilot Perspective

- 08:30 – 09:00 Iceland Weather and Terrain, (VIRTUAL) Icelandic Coast Guard
(15:30-16:00 Reykjavik)
- 09:00 – 09:30 Flight in Restricted Airspaces (VIRTUAL), Alexander Brid, Aviation RSL, (US)
- 09:30 – 10:00 Break
- 10:00 – 11:00 TBD
- 11:00 – 12:00 UAVs flights over Arctic Ocean – Norwegian Coast Guard, (Norway)
- 12:00 – 14:00 Lunch

Special Session on Science Perspective

- 14:00 – 15:00 Terrain Correction for Aerial Measurements – Daniel Haber, AMS (US)
- 15:00 – 15:30 IRSN AMS Status and News – Discussions about Terrain Influence, Erwan Manach, IRSN, (France)
- 15:30 – 16:00 Placeholder, South Korea (VIRTUAL)
- 16:00 – 17:00 Plenary discussion
- 17:00 End of Day





U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



September 15 (Thursday), North Las Vegas Airport

08:00 – 11:00	Extreme Flight Ops with Unmanned Aerial Systems, Rusty Malchow Moderator Bristol University ✓ Norwegian Coast Guard State of Ohio (virtual)
11:00 – 12:00	Updates on International AVID and future exchanges
12:00 – 14:00	Lunch (Radiation Solution Inc.)
14:00 – 17:00	RSI User Group Meeting
17:00	End of Day