出國報告（出國類別：實習）

參加第七屆空中輻射偵測系統國際技術交流研討會

服務機關：原子能委員會輻射偵測中心
陸軍化生放核防護研究中心
姓名職稱：洪明崎 副主任
張春松 副主任
派赴國家/地區：美國/內華達州拉斯維加斯
出國期間：108 年 5 月 12 日至 19 日
報告日期：108 年 7 月 24 日

摘 要

本次奉派參加第七屆空中輻射偵測系統(AMS: Aerial Measuring System)國際技術交流研討會，於 2019 年 5 月 13 日至 16 日在美國內華達州拉斯維加斯(Las Vegas)舉行，由美國能源部國家核子保安局(DOE/NNSA)主辦，各國專家就 AMS 相關研發與應用及其訓練心得提出分享，並實際觀摩機載 AMS 儀器與數據即時通信系統，提供了與會專家相互交流的機會。

依各國簡報資料及 AMS 相關議題討論內容，提出 AMS 資料即時通信系統建置、組成 AMS 之輻射偵測儀器、分析模擬軟體與輻射偵測結果圖像化、移動式輻射偵測機載來源、整合型環境輻射偵測系統平台建置、無人機空中偵測系統建置等六項心得，另也擬出二項建議，期能精進國內 AMS 軟硬設備，並培訓專業人員，增進核子事故緊急應變能量。

目 次

壹、前言(含緣起、目的) 3
貳、行程 3
參、會議過程紀要 4
一、 摘述各國簡報重點 5
(一)美國能源部 RAP5 輻射應急訓練執行概況 5
(二)加拿大核與放射性事件應急能量 8
(三)捷克共和國機載輻射偵測 11
(四)丹麥輻射偵測專家的培訓 11
(五)法國 AMS 應急整備與實務演訓 13
(六)冰島 SPARCS 和 AVID 實務訓練 15
(七)日本 AMS 發展與核應急整備 16
(八)瑞典輻射偵測應急能量與整備 20
(九)韓國 AMS 發展與訓練 22
二、 參觀 DOE Be11 412 直升機上的 25
肆、心得 26
一、 AMS 資料即時通信系統建置 26
二、 組成 AMS 之輻射偵測儀器 27
三、 分析模擬軟體與輻射偵測結果圖像化 27
四、 移動式輻射偵測機載工具提供來源 27
五、 整合型環境輻射偵測系統平台建置 27
六、 無人機空中偵測系統建置 27
伍、建議 28
陸、附件 29
一、 2019 年空中偵測系統國際技術交流研討會議程 29

壹、 前言(含緣起、目的)

自 2011 年福島第一核電廠事故後，為落實「國內核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案」中有關空中輻射偵測作業，經台美民用核能合作管道，已由美國能源部(Department of Energy)提供我國 4 套空中輻射偵測系統(AMS: Aerial Measuring System)，確實提升了國內核子事故緊急應變空中輻射偵測的能量。為建立自主 AMS 維運及我國空中輻射偵測與地面污染輻射劑量評估技術，原能會暨所屬機關積極派員參與國際 AMS 技術交流會議及實務操作訓練。

本屆空中輻射偵測系統國際技術交流(AMS International Technical Exchange)研討會係由美國能源部國家核子保安局(DOE/NNSA)規劃在北拉斯維加斯機場舉辦，參與國家包括美國、加拿大、捷克共和國、丹麥、法國、冰島、臺灣、日本、南韓、瑞典等十個國家，各國代表合計約 40 位，本屆研討會關注的重點涵蓋各國有關空中輻射偵測系統和模擬工具培訓、即時輻射偵測資料傳輸作為、AMS 機載與車載輻射偵測演練與結果圖像化、以及空中輻射偵測系統的功能和效益展現等，其主要目的係藉由各國之研究成果或經驗分享，以提升各國空中輻射偵測應急技術與能力。

各國簡報議題包括(一)美國能源部 RAP5 輻射應急訓練執行概況、(二)加拿大核與放射性事件應急能量、(三)捷克共和國機載輻射偵測、(四)丹麥輻射偵測專家的培訓、(五)法國 AMS 應急整備與實務演訓、(六)冰島 SPARCS 和 AVID 實務訓練、(七)日本 AMS 發展與核應急整備、(八)瑞典輻射偵測應急能量與整備、(九)韓國 AMS 發展與訓練等，本報告針對各國簡報議題內容重點摘述，並提出心得分享與建議。

貳、 行程

本次赴美國行程如表 1 所示。

表 1、赴美國行程表

日期	地點	工作內容
5 月 12 日(日)	台灣桃園-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．至研討會會場簡報資料測試準備
5 月 13 日(一) ~ 5 月 16 日(四)	美國拉斯維加斯	1．參加研討會 2．參觀 AMS 相關儀器
5 月 17 日(五) ~ 5 月 19 日(日)	美國拉斯維加斯-台灣桃園	回程(美國北拉斯維加斯機場→美國麥卡倫國際機場→美國西雅圖國際機場→台灣桃園國際機場)

參、 會議過程紀要

2019 年 5 月 13 日至 16 日在北拉斯維加斯機場舉行第七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。參與國家包括加拿大、捷克共和國、丹麥、法國、冰島、日本、南韓、瑞典、臺灣、以及主辦國美國等十個國家，參與會議人數約 40 位，與會人員合影如圖 2。

圖 1　研討會會議場所外觀(美國北拉斯維加斯機場)

圖 2　與會人員合影

本屆研討會開幕由美國能源部國家核子保安局核事故政策與合作辦公室(NIPC: Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation) 負責人 Ann Heinrich 主任迎賓致詞，並講述本屆研討會所關注的重點涵蓋各國有關空中輻射偵測系統和模擬工具培訓、即時輻射偵測資料傳輸作為、AMS 機載與車載輻射偵測演練與結果圖像化、以及空中輻射偵測系統的功能和效益展現等。另由 Kirk Czap 副主任簡介 NIPC 的工作內容，包括 1.應對核與放射性事件、事故和恐怖威脅的政策制定和能力建立; 2.重大公共活動和緊急情況提供海外業務支助; 3.事故應變設備和海外培訓; 4.國際合作夥伴急救人員提供放射醫學培訓; 5.整體政府(Whole of Government)核與放射性事件(故)反恐整備和應變培訓; 6.國際輻射釋放預測模式建立能力和培訓; 7.國際空中輻射偵測設備建立和培訓;8.境外緊急行動中心的開發和支援;9.國際夥伴提供技術支援; 10.多邊核事故整備和應變政策的制定等事項，本屆研討會舉辦之目的就在執行上述第 7

項國際空中輻射偵測設備建立和培訓任務。

為了讓與會各國代表瞭解本屆研討會舉辦動機及歷年技術交流主題，由內華達州遙測實驗室（RSL: Remote Sensing Laboratory)資深專家 Piotr Wasiolek 博士簡介空中偵測系統技術交流的動機及歷年執行情形。2011 年 3 月空中偵測系統有效運用於福島第一核電廠事故，2011 年 5 月空中偵測系統執行任務轉移至日本應急組織，經過一年的資料收集，日本提出了一些有關背景、高度和地形校正、空間解析度、偵檢器特性等問題。2012 年 4 月 9 日至 12 日 RSL 在美國內華達州拉斯維加斯舉辦國際空中輻射偵測系統專題會議，其主要的目的是召集 AMS 專家討論在日本遇到的空中偵測和數據分析問題，並解析日本提出的上述問題。另也討論了 AMS 偵測結果顯示方式及數據通信問題。北歐國家建議聚集各國專家經驗，並建立一個論壇，針對與空中輻射偵測有關的具體問題進行討論，將有助於參與此類任務的組織，並找到可能的解決方案，此建議促進 RSL 舉辦 AMS 技術交流動機。自 2012 年至今(2019 年)業已舉辦 7 屆技術交流研討會，每一屆均有一空中偵測系統技術交流主題如表 2。

表 2　空中偵測系統歷年技術交流研討會主題及參與國家

年份	日期	技術交流主題	參與國家
2012	4月9日至12日	不斷改進空中偵測任務	加拿大、丹麥、法國、挪威、瑞典、瑞士、英國、美國
2013	4月15日至19日	空中偵測系統災後處理營運	奧地利、加拿大、丹麥、芬蘭、冰島、挪威、瑞典、美國
2014	4月28日至5月2日	空中偵測系統數據分析	冰島、法國、挪威、瑞典、美國、國際原子能總署(IAEA)
2015	4月20日至24日	輻射異常檢測演算法	加拿大、芬蘭、法國、冰島、挪威、瑞典、美國、國際原子能總署、北約
2016	4月11日至15日	無人航空載具用於輻射緊急情況	阿根廷、智利、加拿大、丹麥、法國、德國、日本、挪威、瑞典、瑞士、韓國、美國、原子能機構、全面禁止核子試驗條約組織(CTBTO)
2018	6月25日至29日	放射性空中偵測的不確定性	加拿大、丹麥、法國、德國、冰島、日本、韓國、挪威、瑞典、臺灣、英國、美國
2019	5月13日至16日	空中偵測的訓練和練習	加拿大、捷克共和國、丹麥、法國、冰島、日本、韓國、瑞典、臺灣、美國

一、摘述各國簡報重點

我國代表在會中發表近年來空中輻射偵測發展情形，主要內容包括進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS: Spectral Advanced Radiological Computer System)使用與演訓情形、進步型視覺化資料處理系統(AVID)數據分析演練、無人機發展情形、及未來發展方向等，與各國專家分享討論，另有關其他各國簡報內容摘述如下。

(一)美國能源部 RAP5 輻射應急訓練執行概況

1.美國防擴散和國土安全現場支援小組根據美國能源部放射性援助計畫(RAP: Radiological Assistance Program)提供聯邦和州政府放射性援助，整個美國 50 州區分 9 個區域(Region 0 至 Region 8)組成應變隊，各區域應變隊提供援助項目包括搜索丟失或隱藏的放射性物質、區域輻射監測、放射性防護建議和諮詢等。

RAP 第 5(RAP5)地區應變隊的 Frank Moore 專家提出有關該區 AMS 設備和應急訓練執行概況。RAP5 區域涵蓋美國中西部 10 州，其中有 7 州是美國 50 個最大城市之一，該區域與加拿大的邊境線超過 1600 公里，並有 26 個核反應器機組座落如圖 3。 RAP5 歸屬美國能源部國家核子保安局(DOE/NNSA)督導管理，應變任務執行運作由阿岡國家實驗室(ANL: Argonne National Laboratory)負責，該區域成員包括志願團隊(約 30 位)及 AMS 應變值勤人員(6 至 8 位)。志願團隊人員大部分為具有保健物理相關專長之 ANL 職員，也有來自美國能源部聯邦政府的專家。另 AMS 應變值勤人員必須安排定期實務培訓或參與任務援助活動，例如 RAP5 空中輻射偵測活動、大型集會場地毯式搜索、移動式監測、災後處理等如圖 4，以增進應急能力。

圖 3 美國能源部 RAP5 AMS 任務執行區域

圖 4 美國能源部 RAP5 成員執行各應變作業情形

2. 為確保美國邊境安全，2016 年 RAP5 與美國海關及邊境保衛局(CBP： Customs and Border Protection)共同合作進行空中和海上偵測作業，AMS 載具使用直升機和固定翼飛機。2016 年 4 月至 2018 年 7 月期間 RAP5 將 AMS 相關儀器安裝於 CBP ASTAR 350 和黑鷹(Blackhawk)直升機，進行 AMS 輻射偵測訓練，訓練地點包括塞爾弗里奇空軍國民警衛基地、俄亥俄州克利夫蘭市、伊利諾伊州杜佩奇縣及威斯康辛州馬尼托瓦克市等，進行 AMS 輻射偵測訓練；其 AMS 主要儀器包括 4 個至 10 個碘化鈉加馬偵檢器、1 組 12V 電池供電儀器、數據處理器及通信設備等如圖 5 所示，其偵測數據分析與圖像化工具採用進步型視覺化資料處理系統(AVID)。

圖 5 RAP5 採用航空器上之 AMS 儀器安裝實況

3. 2016 年 4 月 RAP5 在俄亥俄州克利夫蘭市舉辦 AMS 實務訓練，以鈷 60 輻射源置設在海上之船隻甲板當作搜索目標，航空器採美國海關及邊境保衛局黑鷹進行空中偵測訓練作業，偵測結果圖像化如圖 6，圖中也顯示飛行高度距海面上空約 120 公尺處鈷 60 之能譜圖。2018 年 7 月 RAP5 在威斯康辛州 Point Beach 核電廠內及其周圍地區舉辦 AMS 實務訓練，航空器採美國海關及邊境保衛局 ASTAR 350 進行空中偵測訓練作業，飛行高度及速度分別約為距地面上 150 公尺及每小時 130 公里，偵測結果圖像化如圖 7，圖中可知在乾式貯存場上空處在 2MeV 內之加馬能譜明顯上升，可能是受天空輻射散射影響，另在 Point Beach 核電廠上空處有明顯偵測到鈷 60。

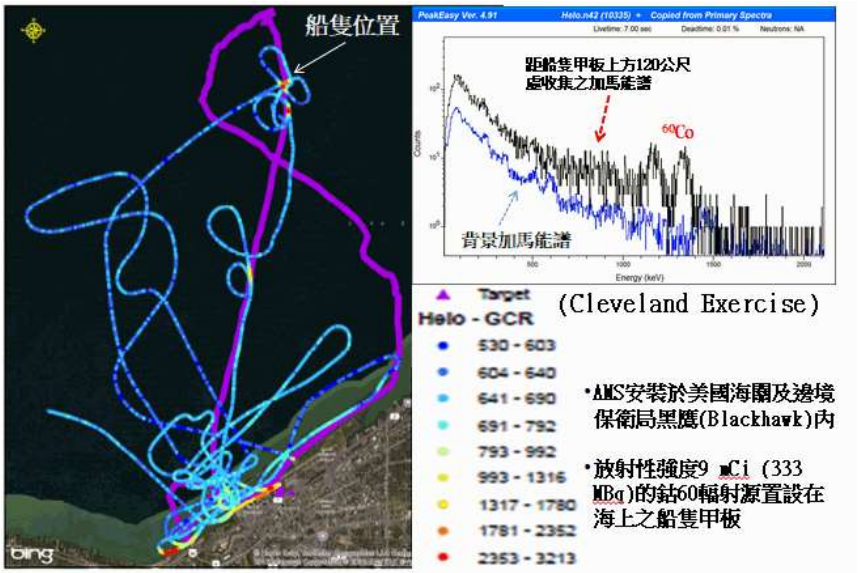

圖 6 2016 年 4 月 RAP5 在俄亥俄州克利夫蘭市偵測結果

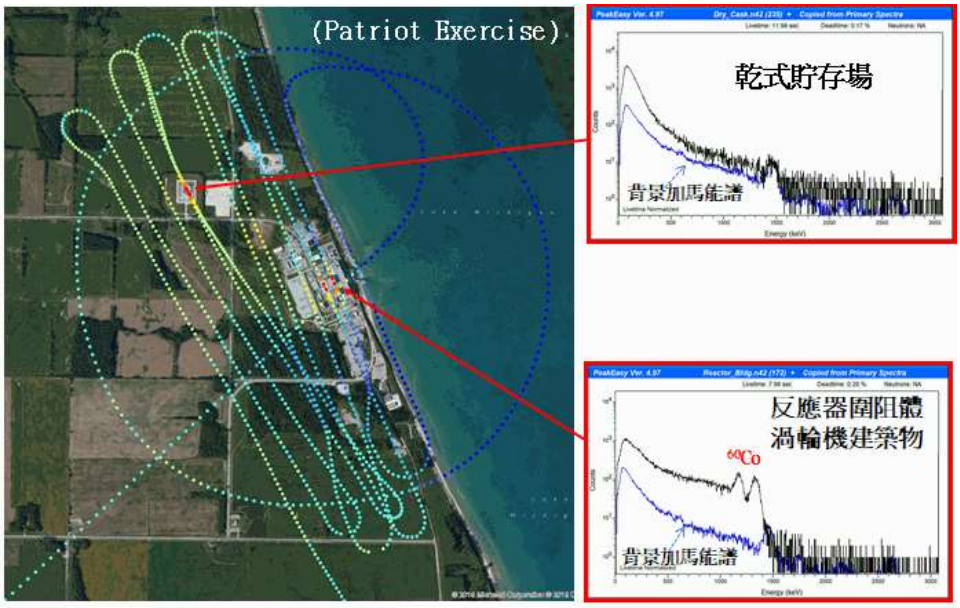

圖 7 2018 年 7 月 RAP5 在威斯康辛州 Point Beach 核電廠訓練偵測結果

(二)加拿大核與放射性事件應急能量

加拿大政府部門負責為各種自然災害、事故和安全威脅提供科學、技術和政策資訊，其中核與放射性安全事件、威脅和事故等任務由加拿大國防部及防衛組織等負責應變，加拿大民間機構提供專業協助。加拿大自然資源部災害風險專家 Reid Van Brabant 針對近 10 年來發展之輻射偵測系統應用與演訓情形提出心得分享。

1.為因應加拿大政府不預警快速部署空中和地面機動輻射系統並進行偵測調查作業需求，近年來發展一套即時遙測輻射偵測系統如圖 8 所示，該系統由碘化鈉加馬偵檢器、氦-3 中子偵檢器、高解析度光譜儀、資料存儲和全球定位系統、及即時遙測(Real-time telemetry)設備等組成。另為提高執行任務機動性也發展體積

小、堅固耐用、模組化、可移動且易於安裝之輕便型整合式偵測系統如圖 9 所示，該系統由碘化鈉加馬偵檢器、光譜儀、慣性導航系統、資料存儲和全球定位系統(GPS)、及雷射測高器等組成，可獨立安裝於車輛或飛行載具。為精進上述系統偵測結果展現圖像化及核種識別，且須具即時控制和監視功能，近年來採用 RadAssist 輔助分析展示系統如圖 10，其功能類似 AVID 數據分析處理系統。

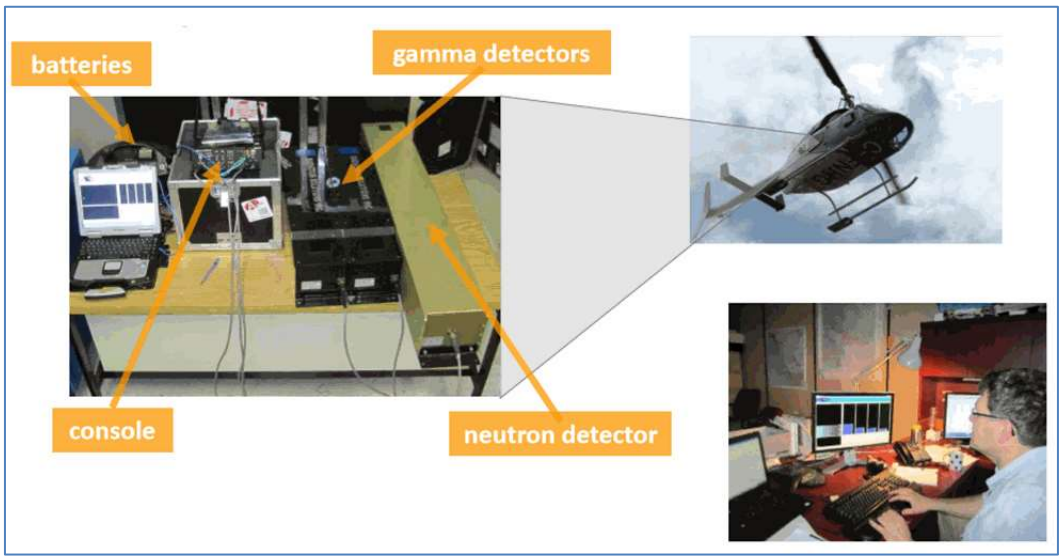

圖 8　即時遙測輻射偵測系統

圖 9　輕便型整合式偵測系統

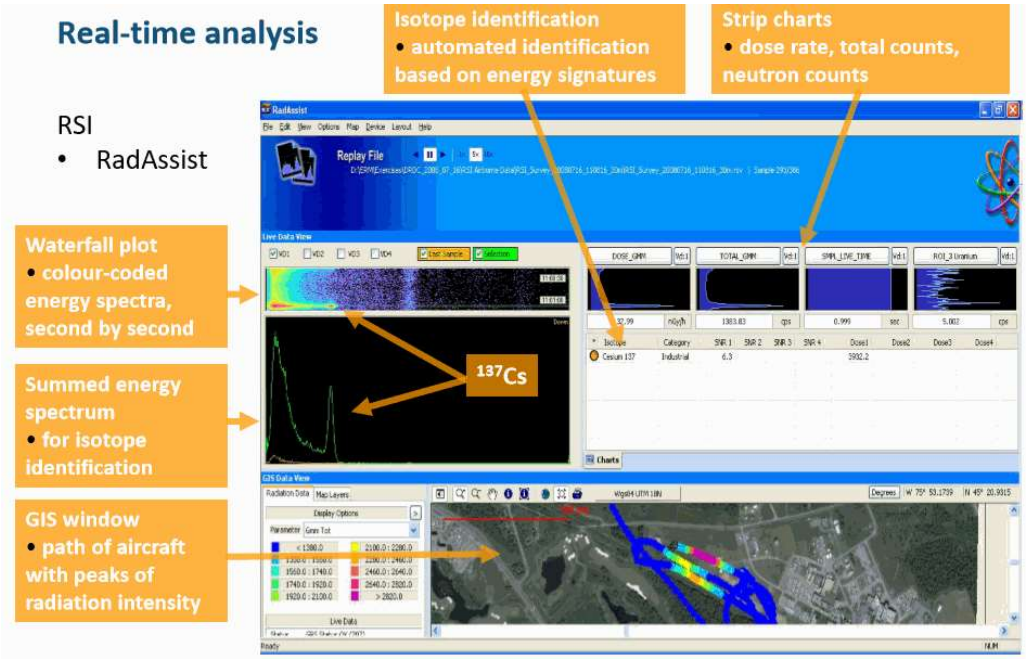

圖 10　RadAssist 輔助分析展示系統在 Windows XP 下運作畫面

2. 加拿大政府安全防衛輻射偵測應急整備作業，包括訓練內部成員和合作夥伴、不預期系統檢驗測試、加拿大城市和地區背景調查、科學研究發展、政治和文化活動事件安全支援等。自 2009 年至今，陸續利用業已開發之輻射偵測系統在北極地區和勞倫蒂安山脈(Laurentian Mountains)進行宇宙中子研究，也有時舉辦髒彈或放射性擴散裝置(RDD:Radiation Dispersal Device)應變演訓如圖 11 所示，在地面上裝設三處鑭-140 輻射源，利用直升機裝載輻射偵測系統進行搜索，即時傳送數據與分析處理，並以輻射地圖方式展現污染情形。

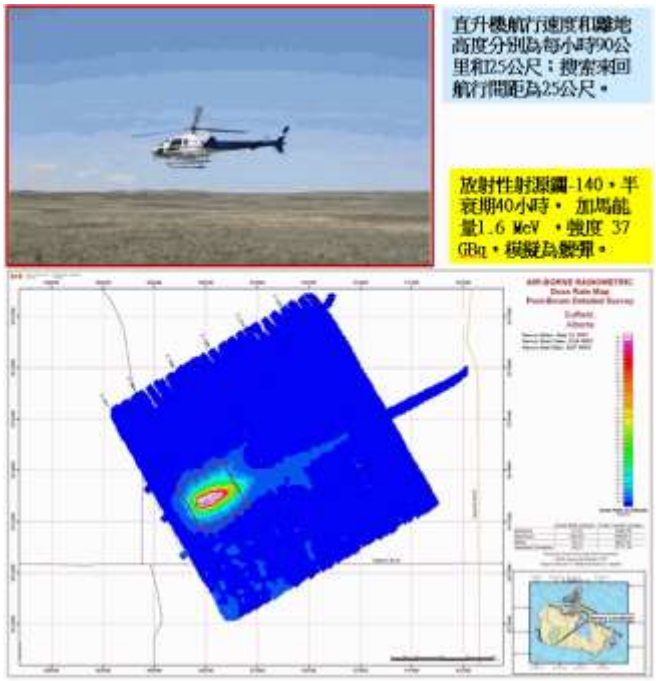

圖 11　髒彈應變演訓輻射偵測結果以圖像化展示

(三)捷克共和國機載輻射偵測

1. 捷克共和國國家輻射防護研究所輻射監測網路專家Lubomír Gryc在會中簡介捷克共和國機載輻射偵測系統發展與演訓情形。為處理核電廠事故、輻射恐怖行為、尋找丟失或非法運輸的輻射源等緊急應變整備作業，在2000年初步建置整合輻射資訊系統(IRIS:Integrated Radiation Information System)，該系統是由4組4升碘化鈉偵檢器、光譜儀、數據處理分析模組、電源組件等組成，也可附加高純鍺偵檢器。
2. 捷克共和國執行機載輻射偵測應急任務或演訓時，由國家輻射防護研究所負責IRIS儀器設備及數據分析;捷克共和國軍方或警政單位提供直升機及機組員。捷克軍方每年機載輻射偵測演訓兩次如圖12所示，而捷克員警不定期接受相關培訓作業。

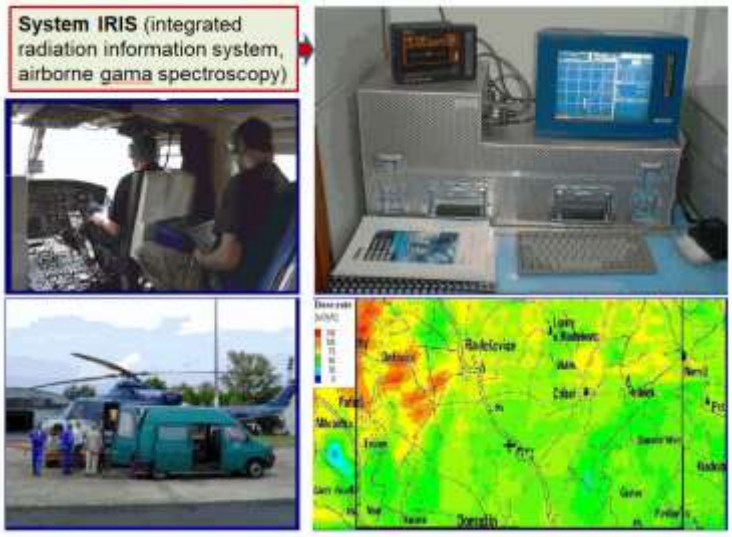

圖12　國家輻射防護研究所與軍方聯合應急演訓情形

(四)丹麥輻射偵測專家的培訓

1.丹麥緊急事務管理局（DEMA: Danish Emergency Management Agency）核安部門物理學家Sune Juul Krogh負責核安應急整備工作，其主要業務為開發移動式輻射偵測系統與方法，並與其他國家的專家建立良好的技術交流管道。為提升核應急整備能量，已開發了機載加馬射線能譜分析系統(AGSS: Airborne Gamma-Ray Spectrometry System)，該系統係由RadAssist輔助分析展示系統、MapAssist繪圖輔助系統、即時數據傳輸器、2組4升碘化鈉偵檢器、全球定位系統(GPS)、測高計、電源組件等組成，任務執行時由DEMA負責提供AGSS及其操作人員，採用軍方直升機或歐洲直升機(民間)，AGSS相關儀器安裝於直升機外掛吊艙內。另也開發了車載加馬射線能譜分析系統(CGSS: Car-borne Gamma-Ray Spectrometry System)係由RadAssist輔助分析展示系統、

MapAssist 繪圖輔助系統、即時數據傳輸器、1 組 4 升碘化鈉偵檢器、全球定位系統(GPS)、電源組件等組成，任務執行時 DEMA 負責提供裝載車輛、CGSS 及其操作人員，CGSS 相關儀器安裝於車頂平架上。

2. 針對核災害應急專家的教育訓練，地方政府輻射偵測演練與兵棋推演、參加國際機載輻射偵測系統技術交流等原則上每兩年一次， 而機載加馬射線能譜分析系統(AGSS)演訓每年 1 次為期 1 週，期間約 20 小時空中偵測的訓練。AGSS 演訓時由 DEMA 儀器操作員和丹麥空軍直升機飛行員執行，同時車載加馬射線能譜分析系統(CGSS)也執行丹麥國內主要運輸路線輻射偵測。

3. 國際演習 CONTEX 18 於 2018 年 6 月 19 日至 21 日依循國際原子能總署(IAEA)應變和援助網絡(RANET: Response and Assistance Network)架構執行，由丹麥緊急事務管理局(DEMA)協調在丹麥北部舉辦，參與國家有冰島、挪威、瑞典、芬蘭、丹麥、德國、英國、瑞士和奧地利等 9 個計約 120 人，主要裝備有 7 套高純鍺偵檢器、10 組車載加馬射線能譜分析系統、1 組機載加馬射線能譜分析系統、1 架直升機、1 架無人機、及 10 組輕便型輻射偵測器等，實況如圖 13 所示。在演習區放置了 Cs-137，Ir-192，Tc-99m，Se-75 和 In-111 等輻射源，空中輻射偵測結果如圖 14，並與陸域輻射偵測結果比較分析，以利測試空中輻射偵測的性能。針對上述國際演習執行情形，與會專家們提出一些問題討論，諸如各參與國家之偵測數據檔如何接收處理與彙整統計、GIS 檔案格式一致性、檔案容量大小、偵測數據檔如何轉換為可理解的地圖等。

圖 13　國際演習 CONTEX 18 在丹麥北部舉辦實況

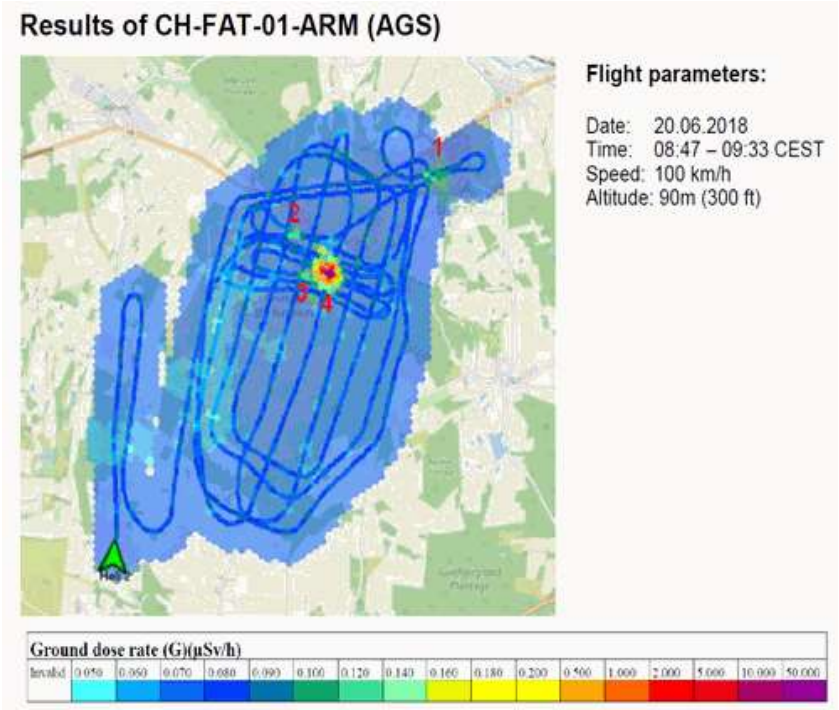

圖 14　國際演習 CONTEX 18 機載輻射偵測結果圖像化情形

(五)法國 AMS 應急整備與實務演訓

1. 法國輻射防護與核能安全研究所(IRSN :The Institute for Radiation Protection and Nuclear)工程師Erwan Manach博士說明有關法國核能電廠核安演習概況，並特別針對機動組國內外演訓心得與大家分享。IRSN隸屬於法國核能安全署(ASN: Nuclear Safety Authority)，平時負責核能安全及輻射防護之研究，提供ASN安全管制之技術支援，執行環境、健康、工業、國防等部會所委託之研究業務，並結合相關單位專家進行各項研究工作，提供民生與國防等主管機關之技術支援與諮詢。當發生核子事故時，ASN及所屬IRSN扮演重要角色，須監督核能電廠緊急搶救、事故影響評估及資訊提供等作為，並隨時提供透明化資訊予各級政府機關、一般民眾、新聞媒體、鄰近國家及國際機構，例如國際原子能總署(IAEA)及歐盟。IRSN成立緊急應變中心，包括技術緊急中心、機動組、環境監測組、醫療組、訊息溝通組、國際組、諮詢組等主要功能編組，其中機動組附屬於技術緊急中心，負責至事故現場進行取樣，執行機動性環境及人員輻射偵測(包括空中偵測)，並配置移動型實驗室進行環境樣品分析，是提供法國地方政府下達民眾防護行動命令之重要資訊來源。

2.法國現有19座核電廠，58個壓水式機組，所有核能機組均屬國營，由法國電力公司經營，每座核電廠每年應舉行廠內演習一次，主要在測試核電廠之各項應變能力，未動員核電廠鄰近民眾參與，而每三年應舉行國家級演習(即廠外演習)一次。每座核電廠每三年應舉行國家級演習(即廠外演習)一次，法國每年原則上至少有12次廠外演習，ASN及IRSN參與演練外，地方政府將動員民眾進行掩蔽、疏散等演練。由於在演習期間不容易真正部署的空中偵測系統，為提高演練效率和真實感，配備一套合適的空中偵測系統模擬工具是有其必要性。

空中偵測系統機動性高，其未固定設置於專用機載體(直升機)，為避免受限直升機調度問題，法國國內演習以往常規劃將機載空中偵測系統安裝於汽車頂架上，以車載方式進行機動輻射偵測作業如圖15所示。近幾年已計畫與私營(大型)公司簽訂合同，以便在緊急需要時處置直升機，並定期飛行。

圖 15 AMS 安裝於汽車頂架上執行作業及其偵測結果

3.為提升AMS偵測能力與增進系統模擬技術，IRSN積極參與國際相互比較的訓練，包括AGC2015(德國)、ARM2017(瑞士) 、DOE 2017(美國)等，與各國合作培訓與AMS技術交流，大部分訓練重點在於執行輻射源搜索任務及偵測結果綜合製圖等如圖16所示。

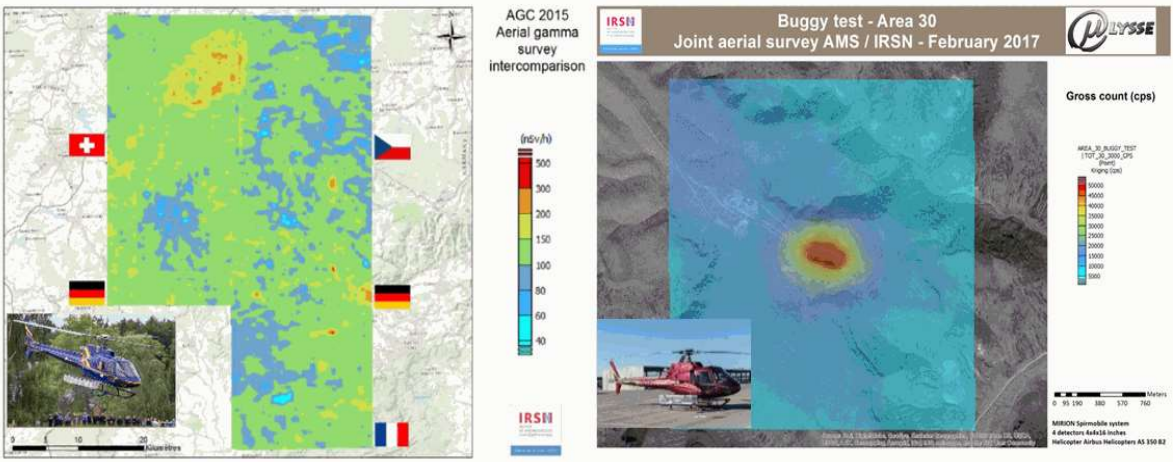

圖 16 IRSN 參與國際相互比較的訓練情形

4.法國原子能和替代能源委員會(CEA)Marine Wansek 研究員也就 HELINUC 機載加馬能譜(AGS: Airborne Gamma Spectrometry)系統開發與其使用訓練心得提出分享。HELINUC 機載加馬能譜系統由 4 個 4 公升的碘化鈉偵檢器、2 個高純鍺偵檢器(效率 70%)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、核安與輻安應急、及尋找遺失輻射源。近二十年來，法國進行國內外超過 100 次機載調查，執行任務之直升機裝置 HELINUC 機載加馬能譜系統、無線電高度計、攝像機、全球定位系統等，數據收集頻次為每秒 1 次，飛行高度和速度分別為 40 公尺和每小時 70 公里，航距 80 公尺，偵測面積為每小時 5 至 10 平方公里，由 CEA 工程師處理分析偵測數據並繪製圖像化如圖 17 所示。

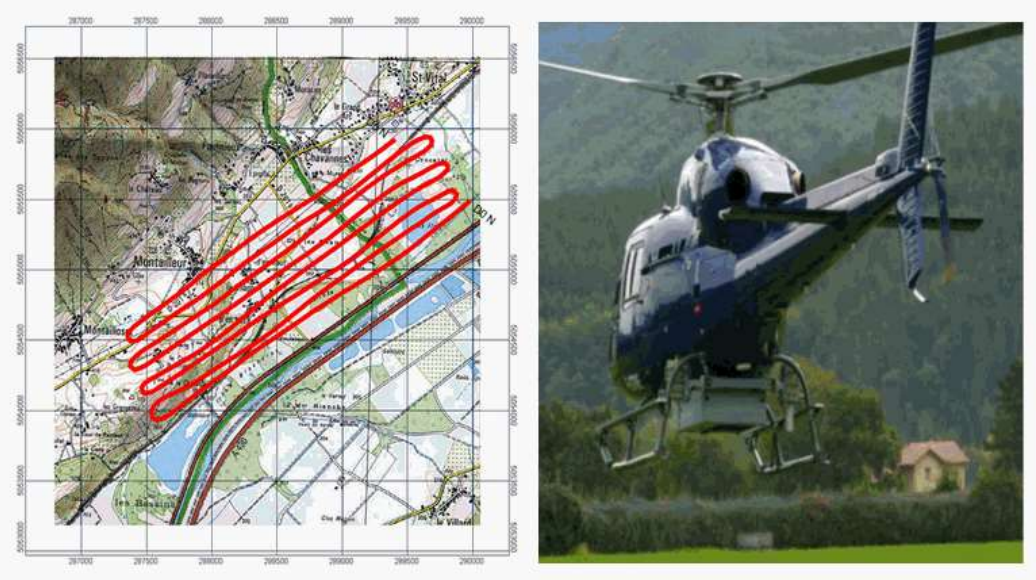

圖 17 法國 HELINUC 機載加馬能譜系統執行調查情形

(六)冰島 SPARCS 和 AVID 實務訓練

1. 為提升核安及輻安應急整備能力，冰島輻射安全局(IRSA: Icelandic Radiation Safety Authority)引進美國 SPARCS 設備和 AVID 模擬分析圖像化軟體，並持續與冰島國內海岸警衛隊、海關、警務等政府單位合作演訓。從 2011 年以來冰島輻射安全局陸續辦理應急教育訓練與輻射偵測設備實作練習，諸如與特種警察部隊舉行 2 次演習、2015 年至 2018 年期間與海岸警衛隊舉行 4 個航次空中輻射偵測作業(演習實況如圖 18)、2016 年起 SPARCS 設備安裝於汽車上進行冰島全國環境背景輻射偵測、與海關舉行不定期培訓等。

圖 18 冰島輻射安全局與海岸警衛隊國際合作演習實況

2. 為使海岸警衛隊和特種警察部隊等第一線應變人員熟悉 SPARCS 和 AVID，並有能力尋找輻射源和調查受污染地區，冰島輻射安全局於 2018 年 4 月舉辦輻

射偵測實務訓練，以壞人偷走了冰島所有的 HASS 輻射源(Co-60, Am-241, Ir-192, Cs-137)、Tc-99m 及 F18 等作為實務培訓想定情境，由第一線應變人員利用 SPARCS 設備搜尋輻射源，偵測數據藉由 AVID 分析並圖像化展現結果如圖 19。IRSA 輻射防護專家 Gísli Jónsson 就 SPARCS 和 AVID 實務訓練心得提出分享:(1)任務執行開始先行計畫(我們要做什麼及我們期待什麼);(2)備份可能的設備；(3)當你遇到問題時，你學習更快，而不是閱讀他們；(4)小心模擬數據，廣泛的輻射污染來源可隱藏較小的輻射污染來源；(5)不要忘記非專業人員的輻射防護教育等。

圖 19 2018 年 4 月輻射偵測實務訓練偵測結果

(七)日本 AMS 發展與核應急整備

1980 年日本原子力研究開發機構(JAEA: Japan Atomic Energy Agency)開發一套利用直升機進行空中輻射偵測系統，後續移轉至核安全技術中心(NUSTEC: Nuclear Safety Technology Center)管理運作。日本福島第一核電站(FDNPS: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station)發生事故時，該系統尚不足以因應環境偵測需求，因此 2011 年 3 月美國能源部國家核子保安局(DOE/NNSA)首次在福島進行機載輻射偵測作業，2012 年美國 DOE/NNSA 在福島進行機載輻射偵測結果如圖 20，JAEA 也從此支援行動中學習了 AMS 偵測方法，並精進原開發之系統。日本國內空中輻射偵測系統(AMS)執行任務分工合作關聯性如圖 21 所示，應急監測中心啟動、資訊整合、AMS 行動指導等由日本原子能規制委員會(NRA: Nuclear Regulation Authority)負責，AMS 專家調度、RSI (Radiation Solutions Inc.)系統運作、偵測與數據分析等由日本原子力研究開發機構所屬的核緊急援助和培訓中心(NEAT: Nuclear Emergency Assistance and Training Center)負責，NRA 與 JAEA-NEAT 之間執行 AMS 任務夥伴關係；另派遣飛行員及直升機操作係由日本國防部負責，以利協助 JAEA-NEAT 機載輻射偵測之執行。日本原子力研究開發機構 Tamotsu KUDO and Akira FUTEMMA 兩位專家分別簡報近年來日本 AMS

偵測發展與其應用和核應急整備情況，摘述兩位專家簡報重點如下。

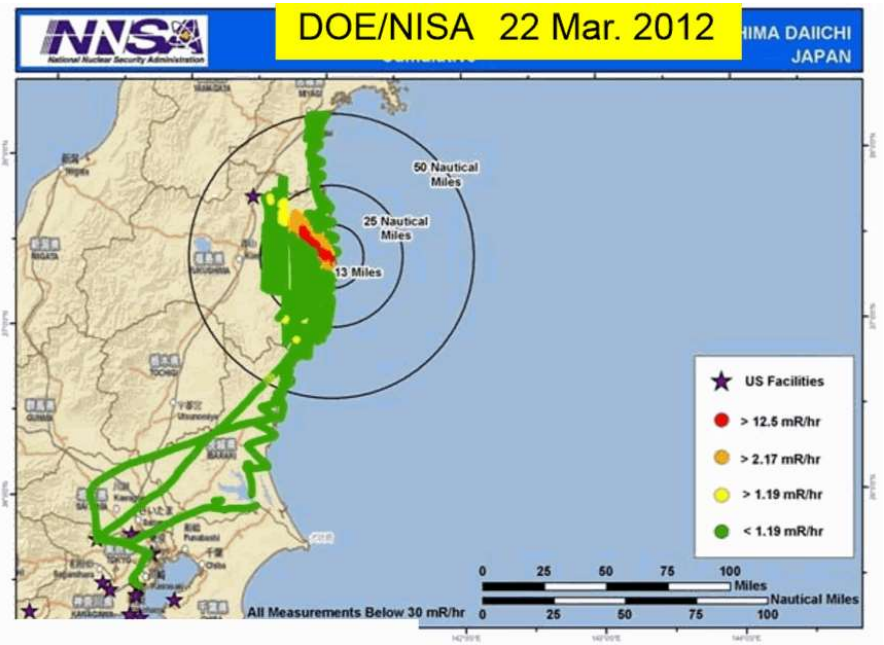

圖 20 2012 年美國 DOE/NNSA 在福島進行機載輻射偵測結果

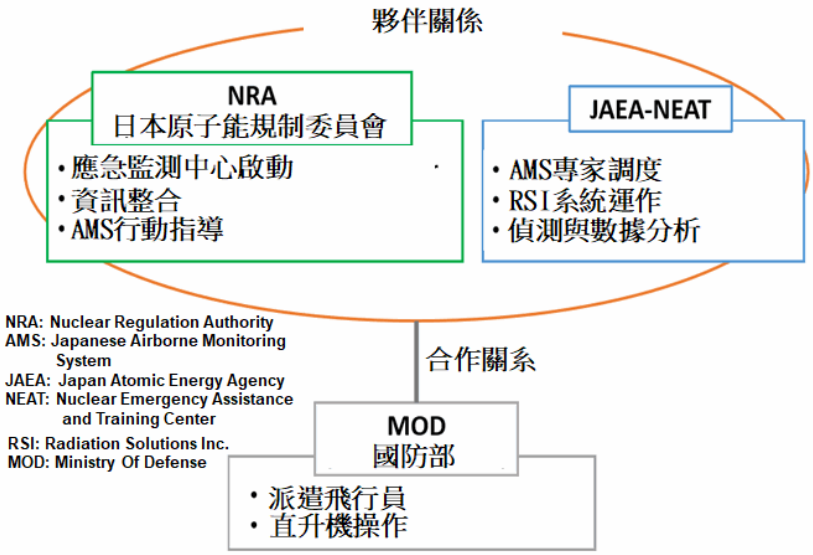

圖 21 日本 AMS 合作架構

1.近年來日本發展的 AMS 軟硬體仿似美國作法，系統總共使用了 6 個碘化鈉偵測器,每個偵測器尺寸為 2" × 4" × 16"，偵測能量範 0.02 至 3 MeV，每秒取一組計數率及加馬能譜分布圖。該系統安裝直升機的機艙內部，另也設置即時數據傳輸器、全球定位系統(GPS)、測高計、電源組件等。原則上直升機飛行速度和高度分別每小時 130 至 150 公里和 300 公尺，有關日本發展的 AMS 硬體及機載用的直升機型號如圖 22。

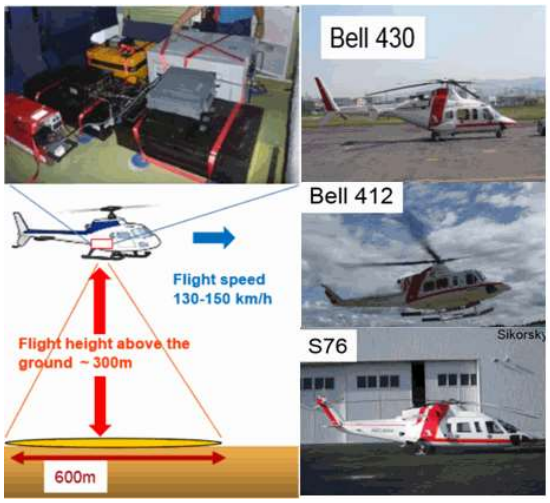

圖 22 日本 AMS 機載用的直升機型號

2.2011 年 3 月 11 日發生 FDNPS 事故後，為了解沉積的放射性核種活度隨時間的變化，JAEA 不斷以機載 AMS 方式進行 FDNPS 周圍區域輻射偵測，並精進空中輻射偵測技術與系統整合。從 FDNPP 80 公里區域的輻射劑量率變化情形如圖 23，該區域的輻射劑量率強度變化隨著沉積的放射性核種活度隨時間的衰減而降低。一般而言，空中輻射偵測結果包括來自天然放射性核種的加馬射線的影響，對於放射性銫的高劑量區域，天然放射性核種的影響可以忽略不計;但是，對於放射性銫的低劑量區域，應考慮天然放射性核種的任何影響。倘若事先已調查了低劑量區域的背景環境輻射，就可扣除背景獲得正確估計的實際輻射水平數值。

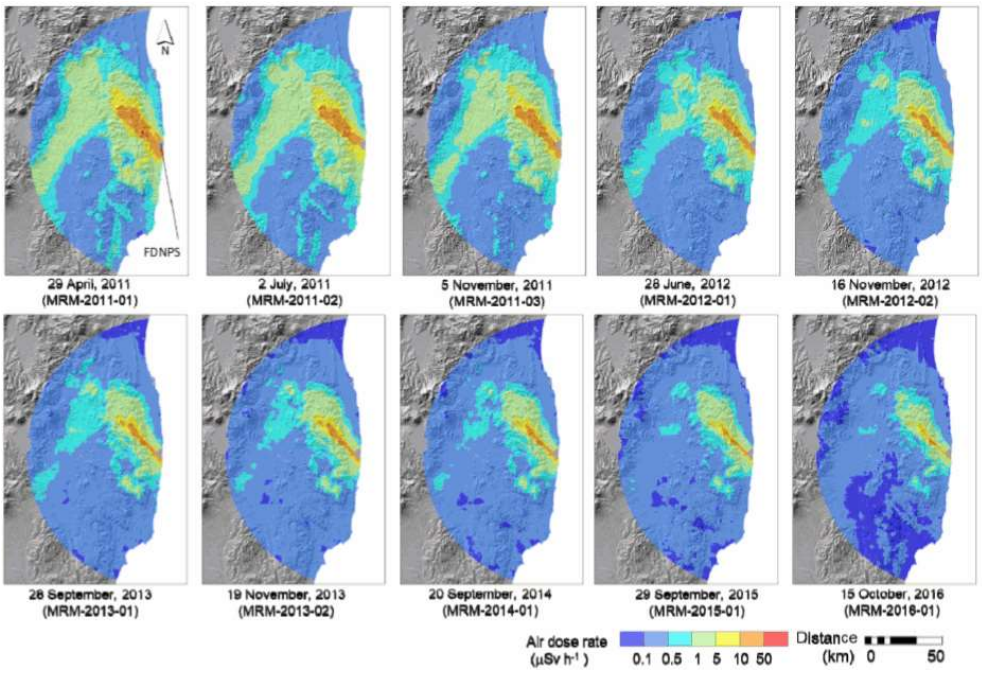

圖 23 從 FDNPP 80 公里區域的輻射劑量率變化情形(2011 年至 2016 年)

3．執行機載或車載 AMS 獲得之監測結果是日本核電廠發生核事故時民眾防護保護行動參考之一，而執行機載或車載 AMS 偵測期間資料即時遙測技術建立與否，會影響核應急輻射偵測執行效率，與會期間日本原子力研究開發機構 Akira FUTEMMA 專家提出相關通信技術發展過程。2016 年 JAEA 著手規劃 AMS 數據即時通信系統建置架構，並進行衛星通信終端設備性能測試；2017 年設計通信網路，包括 RSI 系統通信測試及相關軟硬體設計；2018 年 AMS 數據即時通信系統建置完成並安裝於核緊急援助和培訓中心(NEAT)，AMS 數據即時通信系統整體架構如圖 24，先行以車載方式進行測試，車載設備包括 RSI 系統、全球定位系統、衛星通信終端設備、衛星天線等如圖 25，每 30 秒間隔資料傳輸一次，車輛行駛路線由 NEAT 出發經過一般道路及高速公路，再回 NEAT，其路線及結果圖像化如圖 26 所示。

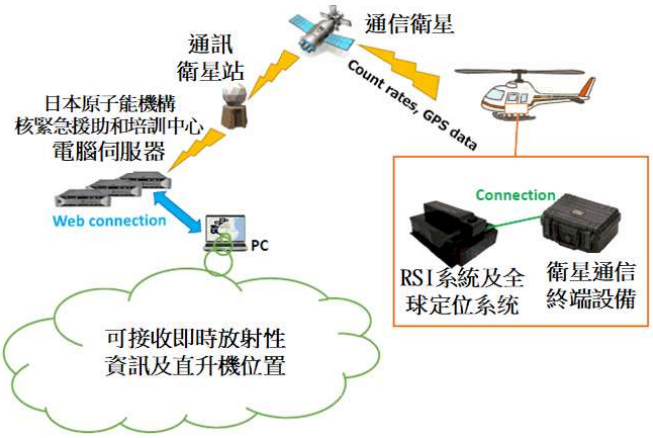

圖 24 日本 AMS 數據即時通信系統整體架構

圖 25 日本車載 AMS 相關儀器概況

圖 26 日本車載 AMS 執行測試路線及其偵測結果圖像化

(八)瑞典輻射偵測應急能量與整備

瑞典環境部輻射安全局(RSA: Radiation Safety Authority)負責政府機關輻射防護，會議期間由該局 Jonas Boson 和 Simon Karlsson 兩位專家分別簡介瑞典輻射偵測應急整備和移動式加馬能譜測定法模擬能力，綜合摘錄簡報重點如下:

1. 在核設施發生事故時瑞典環境部輻射安全局執行環境偵測、採樣和分析，並提供大氣擴散計算和輻射影響評估等輻射防護方面的專業知識與技術諮詢及建議。環境偵測應變能量與作為:(1)瑞典全國線上加馬輻射劑量率監測站網路(包括國家建置 28 站及每個核電廠周圍 30 站)，各輻射監測站自動將資料傳輸到 RSA 監控，輻射監測站外觀如圖 27；(2)由當地消防員組成的偵測隊執行空氣取樣及輻射劑量率等區域偵測作業如圖 28；(3)為執行機載及車載輻射偵測作業，RSA 建置移動實驗室及 1.5 吋溴化鑭(鈰)閃爍偵檢器人員背載(背包)系統如圖 29，並於 2019 年增購移動式 4 升碘化鈉偵測系統；(4)為成立專家應變組職，與多個政府機構和大學簽署協定，參與單位提供輻射偵測和實驗室分析的工作人員並須進行內部培訓和練習，RSA 提供偵測設備和國家演習等。

圖 27 輻射監測站外觀

圖 28 區域輻射偵測儀器及執行情形

圖 29 車載及人員背載輻射偵測作業

2. RSA 成立的專家應變組職的輻射監測訓練包括各參與組職內部培訓、RSA 舉辦年度功能性或大規模的演練等，年度大規模的演練為期 4 天，演練事項包括機載及車載輻射偵測、現場加馬能譜分析儀偵測作業、加馬劑量率偵測及取樣分析作業等如圖 30 所示。另 RSA 也負責瑞典國內核電廠演習及參與國際性 AMS 技術交流。從參與多次瑞典國內及國際輻射監測演練，RSA Jonas Boson 專家提出一些結論與大家分享，即(1)模擬能力有助於更好、更經濟的高效率演練；(2)國際合作的重要性；(3)國際援助(International assistance)並非沒有挑戰等。

圖 30 年度大規模的演練情形

3. 為提升輻射偵測演練效果與應急能力，RSA 自行開發 Nugget 軟體，該軟體平台模擬作業時可同時採用兩個碘化鈉偵測器和一個高純鍺偵測器，也可用於手持式輻射偵測儀器的模擬，並進行點輻射源或廣泛(大面積)污染評估。圖 31 顯示 Nugget 軟體平台上模擬碘化鈉偵測器偵測點輻射源(^{137}Cs)的結果並以圖像化情形，另在瑞典核安演習也常應用 Nugget 軟體模擬 HPGe 加馬能譜分析，作為人員實務教育訓練用。

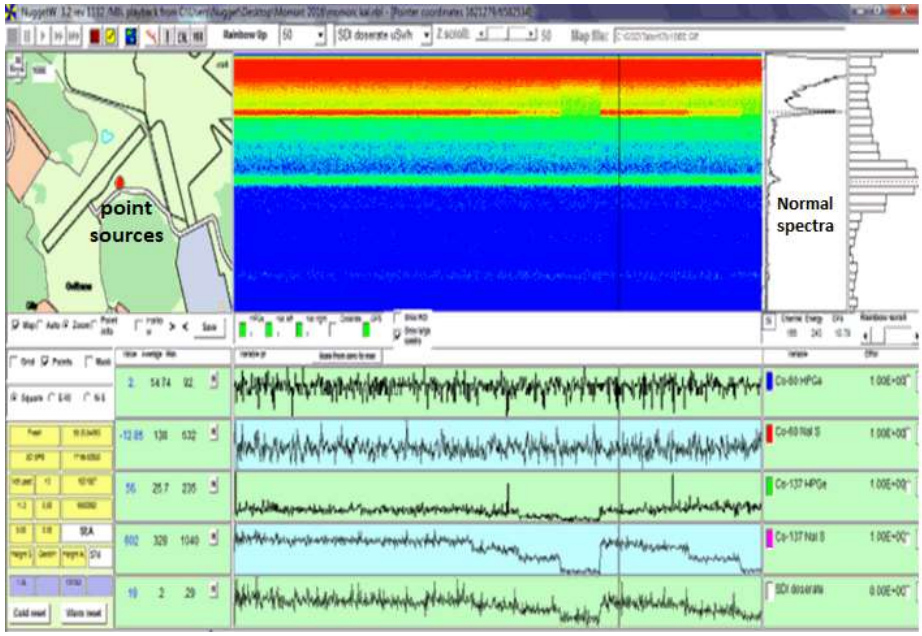

圖 31 Nugget 軟體平台上模擬碘化鈉偵測器偵測點輻射源(^{137}Cs)的結果

(九)韓國 AMS 發展與訓練

1.韓國核安全研究所 (KINS: Korea Institute of Nuclear Safety) Byoung-Jik Kim 博士和韓國原子能研究所(KAERI: Korea Atomic Energy Research Institute) Young-Yong Ji 研究員等分別簡介全國環境輻射鑑別系統和環境輻

射偵測技術訓練概況。韓國全國環境輻射鑑別系統 (SIREN: System for Identifying Radiation in Environments Nationwide)係一套整合環境加馬輻射監測網路、連續空浮放射性監測網路、區域監測站網路、氚同位素監控系統、移動式現場偵測系統、車載及機載輻射偵測系統(AMS)等資訊之綜合性系統，提供全面性的分析資訊、顯示視覺化的輻射狀況等，以利技術支援國家政府的決策，全面性掌握輻射緊急應變情況。有關機載輻射偵測系統執行結果即時傳送並匯入全國環境輻射鑑別系統，並將結果以圖像化顯示如圖 32 所示。

圖 32 SIREN 圖像化顯示 AMS 執行結果

2. KAERI 環境放射性評估小組 Young-Yong Ji 研究員就韓國機載輻射偵測系統及其應用於環境輻射偵測訓練概況提出分享。KAERI 開發一套機載輻射偵測系統(AMS)，該系統係由 2 顆 2 吋溴化鑭(鈰)閃爍偵檢器、多頻道分析及數據處理模組、全球定位系統(GPS)、電源組件等組成，其重量約 6 公斤，主要以機載、車載及現場固定點方式執行快速偵測核事件釋放的大面積地面上的放射性污染。為提高核安應急人員輻射偵測能力，不定期將 AMS 安裝於無人機在濟州島(Jeju Island)執行環境輻射偵測訓練作業如圖 33 所示，訓練內容包括 AMS 偵測原理、硬體安裝技術、即時通訊數據分析及圖像化處理等。另為強化核安應急輻射偵測能力，去年與韓國釜山市政府合作在釜山廣安海灘進行直升機空中輻射偵測及現場輻射偵測訓練，如圖 34 及圖 35。釜山警察廳負責提供直升機並由 KAERI 專家安裝 AMS 及相關組件；同時 KAERI 專家在釜山廣安海灘也設置 4 升碘化鈉偵檢器及純鍺偵檢器各 1 組，釜山警察廳設置 3 組 2 升碘化鈉，以利實務訓練及偵測結果互相比對。

圖 33 在韓國濟州島(Jeju Island)執行環境輻射偵測訓練情形

圖 34 直升機空中輻射偵測訓練地點(韓國釜山廣安海灘)

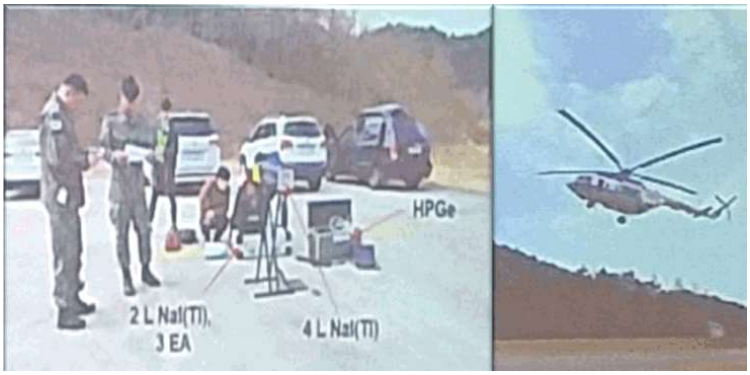

圖 35 在韓國釜山廣安海灘現場輻射偵測訓練情形

二、參觀 DOE Bell 412 直升機上的 AMS

與會期間也安排參觀裝設於美國 DOE Bell 412 直升機上的 Aerial Measuring System (AMS)，因北拉斯維加斯機場管制區內嚴密管制，與會專家分兩梯次進入機場管制區內，由 NNSA 的遙測實驗室(RSL: Remote Sensing Laboratory)人員引導並現場介紹如圖 36。現階段 RSL 將 AMS 委由美國國家安全技術有限責任公司(National Security Technologies)管理，系統操作由 AMS 專案的人員負責。原則上在飛行期間飛行高度保持不變，一般記錄在距地面(AGL: Above Ground Level)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(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，並可識別特定同位素，無論是來自天然的還是人造的。

圖 36 參觀美國 DOE Bell 412 直升機上的 AMS

RSL 的 AMS 係引用輻射解決方案公司(RSI: Radiation Solutions Incorporated)的輻射偵測系統，該公司是一家加拿大公司，主要生產航空輻射偵測系統，用於地球物理研究。AMS 使用雷達高度計進行垂直定位(地面高度)，並使用差分全球定位系統(DGPS: Differential Global Positioning Systems) 作為定位。AMS RSI 系統總共使用了 12 個碘化鈉偵測器，每個偵測器尺寸為 2"×4"×16"。這些偵測器採用四個 RSX-3 單元，每個單元包含三個碘化鈉偵測器如圖 37。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 直升機的左右兩側的外部安裝鋁吊艙(每個吊艙兩個 RSX-3)如圖 38。

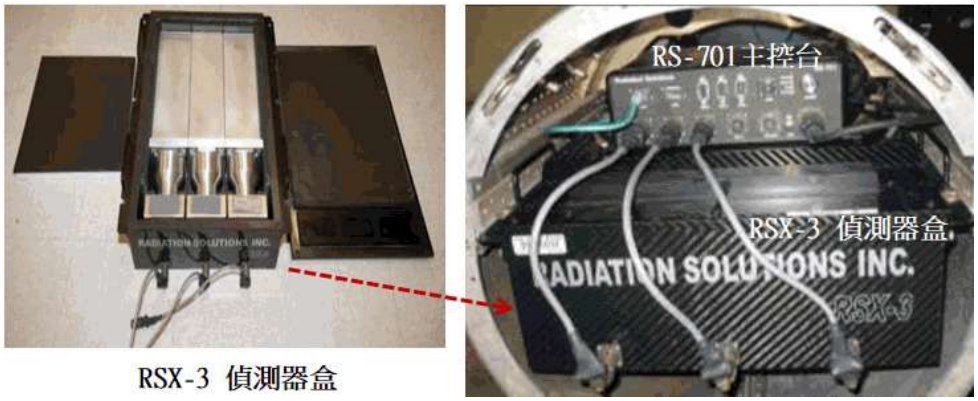

圖 37 RSX-3/RS-701 單元實體外觀

圖 38 DOE Bell 412 直升機(外掛 AMS 加馬輻射偵測儀器)

肆、心得

一、AMS 數據即時通信系統建置

各與會國家擁有之 AMS 大部分具有數據即時通信功能，諸如日本原子力研究開發機構(JAEA)於 2016 年規劃 AMS 數據即時通信系統架構，2018 年完成建置，並以車載方式順利測試。該系統係由 RSI 系統、全球定位系統、衛星通信終端設備、衛星天線等組成，其搭配 AMS 同時以機載或車載執行偵測作業，可大幅提升核子事故應急輻射偵測執行效率。

另加拿大也發展一套即時遙測輻射偵測系統，其係由碘化鈉加馬偵檢器、中子偵檢器、高解析度光譜儀、即時遙測設備、及資料存儲與全球定位系統等組成，有利於即時提供相關輻射分佈和特性資訊。綜合上述兩國之做法，值得我們學習。

二、組成 AMS 之輻射偵測儀器

碘化鈉加馬偵檢器、溴化鑭(鈰)閃爍偵檢器、高純鍺偵檢器等均可識別放射性核種，因此這些偵檢器均可作為 AMS 之輻射偵測儀器。規劃 AMS 之輻射偵測儀器發展先要考量採用的機載工具，若機載工具為直升機，則航高、航速、及擷取偵測數據間隔時間等因素可能會影響偵測儀器功能設計；若機載工具採無人機則載重將是影響偵測儀器功能設計之主要因素。

三、分析模擬軟體與輻射偵測結果圖像化

由於在演習期間不容易真正部署的空中偵測系統，為提高演練效率和真實感，配備一套合適的空中偵測系統模擬工具是有其必要性。與會國家採用之模擬工具涵蓋 AVID 數據分析處理系統、RadAssist 輔助分析展示系統、Nugget 模擬軟體等，目前較多國家採用類似 AVID 數據分析處理系統作為 AMS 輻射偵測數據之模擬與分析處理工具。

我國採用的 AVID 數據分析處理系統係引用自美國能源部國家核子保安局(DOE/NNSA)，但缺乏數據即時通信功能。上述各類模擬軟體的功能大同小異，而且均可介接匯入 AMS 輻射偵測數據，並可以各種層次之顏色轉置處理為圖像化，提高視覺化效果。

四、移動式輻射偵測機載工具提供來源

移動式輻射偵測系統採用的機載種類包括無人機、直升機和固定翼飛機等，目前各國機載以直升機為主，諸如 CBP ASTAR 350、CBP 黑鷹(Blackhawk)、日本 Bell 1430、日本 S76、美國 DOE Bell 412 等型號直升機。依各國國情的不同，機載工具提供來源大部分來自國防及救防災空勤單位提供協助，有的來自邊境防衛海關或警察單位。

為避免受限直升機調度問題，而且空中偵測系統(AMS)機動性高，法國輻射防護與核能安全研究所常未固定設置於專用機載體(直升機)，法國國內演習以往常規劃將 AMS 安裝於汽車頂架上執行機動輻射偵測作業。近幾年業已與私營(大型)航空公司簽訂合同，以利應急需要時彈性處置直升機，並可順利定期規劃 AMS 偵測訓練飛行計畫。

五、整合型環境輻射偵測系統平台建置

近年來韓國核安全研究所(KINS)發展一套環境輻射鑑別系統(SIREN)，該系統資料庫可介接來自環境加馬輻射監測網路、連續空浮放射性監測網路、區域監測站網路、氚同位素監控系統、移動式現場偵測系統、車載及機載輻射偵測系統(AMS)等資訊，屬一套偵測資訊綜合性的平台，平台上提供全面性的分析資訊、視覺化的輻射狀況等。此平台值得我國仿效建置，可提升核子事故輻射偵測應急整備能力。

六、無人機空中偵測系統建置

可能因現行各國發展之高靈敏輻射偵測系統組成儀器重量超過商用無人機無法載重負荷，本屆簡報中僅我國和韓國提到無人機 AMS 發展與應用問題。我國原能會

及所屬機關正積極精進現行空中輻射偵測儀器，然而偵測功能越好可能偵測儀器的重量越重，因此提升無人機載重能量有其必要性。

為了發展無人機可裝載之偵測系統，韓國 KAERI 已開發一套輕便型輻射偵測系統，該系統核心硬體組件涵蓋 2 個 2 吋溴化鑭(鈰)閃爍偵檢器、多頻道分析及數據處理模組、全球定位系統(GPS)、供電模組等，合計重量約 6 公斤，該重量一般商用直升機可以負荷乘載，目前韓國 KAERI 將此系統以機載、車載及現場固定點方式作為快速偵測核事件釋放的大面積地面上的放射性污染。我國可仿效韓國做法，建置本土化之輕便型空中輻射偵測系統。

伍、建議

一、我國的 AMS 硬體及 AVID 模擬分析軟體由美國能源部國家核子保安局引進，然而分析軟體方面有些功能尚未完備，特別是數據即時通信功能。為提升核子事故應急輻射偵測執行效率，建議再與美方協商增加現行我國使用 AVID 軟體的數據即時通信功能。

二、為避免受限直升機調度問題，而且空中偵測系統機動性高，建議宜規劃多元管道之機載工具來源，諸如軍方、空勤、或者與私營航空公司簽訂合同等。

陸、附件

一、2019 年空中輻射偵測系統國際技術交流會議議程

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

Nevada National Security Site-Remote Sensing Laboratory

Las Vegas, Nevada, USA

May 13 –16, 2019

DRAFT AGENDA ver 5

Participating Organizations

National Nuclear Energy Commission (CNEN) – Brazil
Radiation Solution, Inc. (RSI) – Canada
Natural Resources Canada (NRCan) – Canada
Ministry of Defense (MOD) - Czech Republic
National Radiation Protection Institute (SURO) – Czech Republic
Danish Emergency Management Agency (BRS) – Denmark
Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN) – France
French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA) – France
Icelandic Radiation Safety Authority (IRSA) – Iceland
Japanese Atomic Energy Agency (JAEA) – Japan
Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) – Korea
Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) – Korea
Swedish Radiation Safety Authority (SSM) – Sweden
Atomic Energy Council (AEC) – Taiwan
National Nuclear Security Administration Aerial Measuring System (AMS) – USA
DOE Radiological Assistance Program Region 3 (RAP 3) – USA
DOE Radiological Assistance Program Region 5 (RAP 5) – USA

Location

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

Accommodation:

Participants will arrange own accommodations.

Transportation:

Participants will arrange own transportations.

May 13 (Monday) – North Las Vegas Airport

08:00 – 08:30 Welcome, Introductions, International Program Update. **Kirk Czap, NNSA NA-81 (US)**

08:30 – 09:00 Brief History of AMS Technical Exchanges, **Piotr Wasiolek, RSL (US)**

09:00 – 10:00 *Brazil Presentation and Q&A*

10:00 – 11:00 Natural Resources Canada Safety and Security Exercises 2009-2019: A Decade of Insight
Canada (NRCan) and Q&A

11:00 – 12:00 Airborne radiation monitoring in the Czech Republic - past and present.
Czech Republic Presentation (SURE and MOD) and Q&A

12:00 – 14:00 Lunch

14:00 – 15:00 *Denmark Presentation and Q&A*

15:00 – 16:00 Training and Exercises for Aerial Gamma Measurements with Helinuc™ System.
France (CEA) Presentation and Q&A

16:00 – 17:00 *Plenary Discussions*

17:00 End of Day

May 14 (Tuesday) - North Las Vegas Airport

08:00 – 09:00 IRSN's experiences in nuclear crisis exercises (preparedness, organization, training, simulation). *France (IRSN) Presentation and Q&A*

09:00 – 10:00 Exercise and training of SPARCS and AVID in Iceland. *Iceland (IRSA) Presentation and Q&A*

10:00 – 11:00 Recent Activities of AMS around Nuclear Power Stations and Preparedness against Nuclear Emergency. *Japan (JAEA) Presentation and Q&A*

11:00 – 12:00 A simulator for measurements of radioactive distribution and the exercise for the operation. *Korea Presentation (KAERI and KINS) and Q&A*

12:00–14:00 Lunch

14:00 – 15:00 Swedish programme for radiation monitoring exercises. *Sweden Presentation and Q&A*

15:00 – 16:00 *Taiwan Presentation and Q&A*

16:00 – 17:00 *Plenary Discussions*

17:00 End of Day

May 15 (Wednesday), North Las Vegas Airport

08:00 – 10:00 Demo of US DOE Bell 412 helicopter with AMS radiation detection system

SPECIAL Session on Training Data Simulation

10:00 – 11:00 *Simulation of training data - RSI Canada and Q&A*

11:00 – 12:00 *Simulation of training data - France and Q&A*

12:00 – 14:00 Lunch

14:00 – 15:00 Simulation capabilities for Swedish mobile gamma spectrometry. *Sweden and Q&A*

15:00 – 16:00 Simulation of training data. *Mike Reed, RSL (US)*

16:00 – 17:00 Plenary discussion on training data simulation

May 16 (Thursday), North Las Vegas Airport

08:00 – 09:00 *Regional Training Concept of AMS Operations - RAP 3/CBP Experience. Ron Smith, RAP 3 (US)*

09:00 – 10:00 Regional Training Concept - RAP 5 Experience. *Frank Moore, RAP 5 (US)*

10:00 – 10:30 Prominent Hunt Exercises. *Dan Haber, AMS (US)*

10:30 – 11:00 WINGS Exercises. *Piotr Wasiolek, AMS (US)*

11:00 – 12:00 Aviation Challenges in Aerial Exercise Planning. *Mike Toland CPT Pilot, AMS (US)*

12:00 – 14:00 Lunch

14:00 – 14:30 Spatial Prediction with Observations at Multiple Spatial Scales. *Dan Fortin, PNNL (US)*

14:30 – 15:00 AMS Peer Review Process. *Warnick Kernan, PNNL (US)*

15:00 – 16:00 US Aerial Measuring System Personnel Training. *Jessica McNutt, AMS (US)*

16:00 – 17:00 Summary discussions

17:00 End of Day