空中輻射偵測技術開發

總結報告

委託單位：原子能委員會

受委單位：核能研究所 保健物理組

空中輻射偵測技術開發

總結報告

摘要

原子能委員會為落實「國內核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案總檢討報告」有關空中輻射偵測作業之檢討與精進規劃，委請本所保物組協助研發與精進空中輻射偵測技術，期能與國際發展現況做接軌，本總結報告說明四年期(自 101 年至 104 年)計畫之執行成果。

目錄

第 1 章 計畫緣起.....1
第 2 章 空中輻射偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)介紹.....3
2.1 SPARCS-A 硬體概述.....4
2.2 SPARCS-A 能量校正.....12
2.3 SPARCS-A 故障檢修.....15
2.4 SPARCS 系統現況說明.....21
第 3 章 無人載具(UAV)空中輻射偵測技術研發.....22
3.1 使用 UAV 搭載 Mob-DOSE 輻射偵檢系統執行空中偵測任務22
3.1.1 無人載具空中輻射偵測系統.....22
3.1.2 無人載具空中輻射偵測實驗.....25
3.2 使用 UAV 搭載 PGIS-2 輻射偵檢設備執行空中偵測任務.....28
3.2.1 PGIS-2 輻射偵檢設備.....29
3.2.2 無人載具飛行成果.....30
3.3 地理資訊平台系統開發.....32
3.3.1 整合 A2C 大氣擴散模式之劑量推估結果.....33
3.3.2 整合 SPARCS-A 空中輻射偵測數據.....35
3.3.3 整合 PGIS-2 空中輻射偵測數據.....36
3.4 無人載具空中輻射偵測總結.....39
第 4 章 空中輻射偵測資料即時無線傳輸技術開發.....40
4.1 SPARCS-A 空中偵測系統數據傳輸模組之研發.....42
4.2 PGIS-2 輻射偵檢設備數據傳輸模組之研發.....46
4.3 建立空中輻射劑量偵檢設備即時資料傳輸能力.....50

第 5 章 核電廠擴散模擬與統計分析 52
5.1 概述 52
5.2 核一廠沉降分布模擬評估分析 53
5.2.1 緊急應變劑量評估系統相對地理位置討論 53
5.2.2 核一廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究 54
5.3 核二廠沉降分布模擬評估分析 55
5.3.1 核二廠緊急應變劑量評估系統相對地理位置討論 55
5.3.2 核二廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究 56
5.4 核三廠沉降分布模擬評估分析 57
5.4.1 核三廠緊急應變劑量評估系統相對地理位置討論 57
5.4.2 核三廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究 58
第 6 章 相關訓練課程與操作程序書 59
6.1 國內實務訓練課程 59
6.1.1 第一場實務訓練課程 59
6.1.2 第二場實務訓練課程 64
6.1.3 第三場實務訓練課程 70
6.2 國外實務訓練課程 73
6.2.1 第一次赴美實務訓練 73
6.2.2 第二次赴美實務訓練 76
6.2.3 第三次赴美實務訓練 79
6.3 操作程序書 81
第 7 章 報告總結 84

圖目錄

圖 2-1 SPARCS-A 空中偵測系統 4
圖 2-2 SPARCS-A 空中偵測系統架構 4
圖 2-3 碘化鈉偵檢箱內部各偵檢器(含尺寸)示意圖 5
圖 2-4 碘化鈉無機閃爍晶體的發光機制 6
圖 2-5 碘化鈉閃爍偵檢器的工作原理 7
圖 2-6 左圖為光電倍增管的陽極端、右圖為偵檢器帽蓋，兩者互為鎖匙關係 8
圖 2-7 位於 SPARCS-A 偵檢箱內的 2 個控制模組(stack)，左方為 223 模組、右方為 224 模組 9
圖 2-8 資料擷取和傳送單元(ATU)的前面板(front panel) 10
圖 2-9 資料擷取和傳送單元(ATU)的後面板(rear panel) 11
圖 2-10 圖示執行能量校正之目的 12
圖 2-11 使用 K-40 射源執行高能量增益的穩定性校正 13
圖 2-12 使用 Am-241 射源執行低能量閾值設定之校正 14
圖 2-13 顯示 ATU 自動去偵測 2 個控制模組訊號之過程 15
圖 2-14 顯示 4 根碘化鈉偵檢器的計數值和 GPS 的訊號 15
圖 2-15 ATU 未找到偵檢箱訊號之應變 17
圖 2-16 兩組(四根)偵檢器都沒有訊號之應變 18
圖 2-17 單一組(兩根)偵檢器沒有訊號之應變 20
圖 3-1 Mob-DOSE 偵檢器 23
圖 3-2 資料紀錄設備 23
圖 3-3 無人載具飛行實驗紀錄 27
圖 3-4 PGIS-2 輻射偵檢設備外觀圖 29

圖 3-5 PGIS-2 輻射偵檢設備內部構造圖 29
圖 3-6 於不同高度下以無人載具進行盤旋飛行測試 30
圖 3-7 地理資訊平台系統架構 32
圖 3-8 A2C 大氣擴散模式之劑量推估結果匯入流程圖 33
圖 3-9 地理資訊平台系統內建之輻射劑量查詢功能 34
圖 3-10 空中輻射偵測數據之分析流程 35
圖 3-11 PGIS-2 模式偵測資料設定 36
圖 3-12 匯入 PGIS-2 偵測數據畫面 37
圖 3-13 匯入 PGIS-2 偵測數據後所得之向量資料 37
圖 3-14 將 PGIS-2 偵測數據以 IDW 法進行空間內插後所得之網格資料 38
圖 3-15 日本原子力研究開發機構(JAEA)所研發之無人輻射偵測飛機 39
圖 4-1 ATU 每秒資料儲存畫面圖 42
圖 4-2 ATU 寫入每秒之動態於同一個*.dat 紀錄檔中 43
圖 4-3 ATU 會自動將座標值轉換成 ArcGIS 的 SHP 檔案格式及 Google Earth 的 KML 或 KMZ 檔案格式 44
圖 4-4 PGIS-2 輻射偵檢設備外觀示意圖 46
圖 4-5 PGIS-2 輻射偵檢設備內部構造圖 47
圖 4-6 PGIS-2 輻射偵檢設備與無人載具整合研發圖 47
圖 4-7 無線傳輸與接收顯示平台示意圖 50
圖 4-8 SPARCS-A 即時無線傳輸模組介面 51
圖 4-9 PGIS-2 即時無線傳輸模組介面 51
圖 5-1 核一廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 m)，圖中紅點代表核一廠所在位置。(A 網格範圍以核一廠為中

心各向外 20 km，B 為 10 km) 53
圖 5-2 Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖。圖(A)網格範圍為核一廠為中心各向外 20 km，圖(B)網格範圍為核一廠為中心各向外 10 km。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m2) 54
圖 5-3 核二廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 m)，圖中紅點代表核二廠所在位置。(A 網格範圍以核二廠為中心各向外 20 km，B 為 10 km) 55
圖 5-4 Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖。圖(A)網格範圍為核二廠為中心各向外 20 km，圖(B)網格範圍為核二廠為中心各向外 10 km。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m2) 56
圖 5-5 核三廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 m)，圖中紅點代表核三廠所在位置。。(A 網格範圍以核二廠為中心各向外 20 km，B 為 10 km) 57
圖 5-6 Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖。圖(A)網格範圍以核三廠為中心各向外 20 km，圖(B)網格範圍以核三廠為中心各向外 10 km。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m2) 58
圖 6-1 空中偵測 SPARCS-A 實作訓練示意圖 60
圖 6-2 空中偵測遺失射源搜索成果 63
圖 6-3 相關照片紀錄 71
圖 6-4 飛行任務執行 72
圖 6-5 飛行數據分析 72

第1章 計畫緣起

2011 年 3 月 11 日，日本發生大地震後引發海嘯，導致福島第一核能發電廠發生核子事故，引發大量的放射性物質外釋，除造成當地嚴重污染外，也藉由大氣擴散途徑，影響到周邊的其他地區。雖然福島第一核能發電廠距離台灣兩千多公里，但事後卻已引發我國民眾的高度關心、甚至恐慌，造成實質的社會及經濟衝擊，備受總統及行政院長等政府高層重視。

日本 311 福島核災發生後，行政院已核定我國核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案，原能會為落實「國內核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案總檢討報告」有關空中輻射偵測作業之檢討與精進規劃，委請本所保物組協助研發與精進空中輻射偵測技術，期能與國際發展現況做接軌。為達成此目標，遂規劃以四年期限完成空中輻射偵測與大氣擴散模擬統計分析之技術建立與整合，建立核災事故後國土大範圍環境污染調查之本土化技術。此外，並依據計畫需求，向美國能源部國家核子保安總署(Department of Energy / National Nuclear Security Administration, DOE / NNSA)無償借用四套進步型輻射偵測系統，其中三套為空中的輻射偵測系統(SPectral Advanced Radiological Computer System – Aerial, SPARCS-A)、另一套為地面的輻射偵測系統(SPectral Advanced Radiological Computer System – Mobile, SPARCS-M)，並完成以無人載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)執行高輻射劑量區域空中偵測任務之技術發展與可行性評估。

本四年期之總結報告將依據101至104各年度計畫書中所承諾之工作項目來整合計畫之執行成果。各章節之內容編排如下：第1章為計畫緣起，概述本計畫之執行目的與策略；第2章為空中輻射偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)介紹；第 3 章為無人載具(UAV)空中輻射偵測技術研發；第4章為空中輻射偵測資料即時無線傳輸技術開發；第5章為核電廠擴散模擬與統計分析；第6章為相關訓練課程與操作程序書；最後，第7章為報告總結，總結本計畫之執行成果與效益。

第2章 空中輻射偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)介紹

空中輻射偵測進步型輻射能譜量測電腦系統 SPARCS-A 型號係應用於核子反應器發生意外或有放射性物質散佈事故時，將系統裝載於飛行器上執行大區域地表污染物之放射性調查工作。SPARCS-A 共具備四組大小不一且具特定方向設計之碘化鈉偵檢器(NaI detector)，其中三組不同體積的向下(down-looking)碘化鈉偵檢器係用於確認地面核種沉積劑量與輻射曝露，而另一組向上的(up-looking)碘化鈉偵檢器則係用於確保機組人員的輻射安全。

長期的使用操作 SPARCS-A 偵檢系統難免會遭遇到一些不可預期的狀況需要排除，例如線路鬆脫或偵檢器帽蓋毀損等問題。其中，線路鬆脫將會使 SPARCS-A 所顯示出來的計數率與穩定值相左，甚至完全沒有訊號；而偵檢器帽蓋毀損則會影響後方接的放大器，可能導致輸出的計數率出錯，故本章節將針對 SPARCS-A 偵檢箱內部的各個關鍵零組件進行更換測試與故障排除，同時透過台美雙邊會議之決議，與美方儀器開發單位建立聯繫管道與相關技術支援，替換或修復系統之關鍵零組件，期能有效建立自主化簡易備品製程研究技術，以達同時兼具使用操作與故障排除之目標，確保空中輻射偵測設備之可用性與偵測品質，並期望達到技術傳承之效益。

以下將依序針對 SPARCS-A 系統的相關硬體做一概述，同時亦將 SPARCS-A 系統的能量校正方法及故障檢修技術做一整理，希冀能建立我國自主化的檢測、維修與備品更換技術。

2.1 SPARCS-A 硬體概述

欲對 SPARCS-A 系統做故障檢修前，必須先對整套系統的硬體架構及其作用原理有全盤之了解，避免檢修或更換到不需更換的零組件及線路，本節將針對整套系統的運作原理做說明。

SPARCS-A 空中偵測系統主要由壹、碘化鈉偵檢箱，貳、資料擷取和傳送單元(ATU)及參、筆記型電腦等三個部分所組成(如圖 2-1 和圖 2-2 所示)，每個部分都扮演著重要的角色，以下將一一來做介紹：

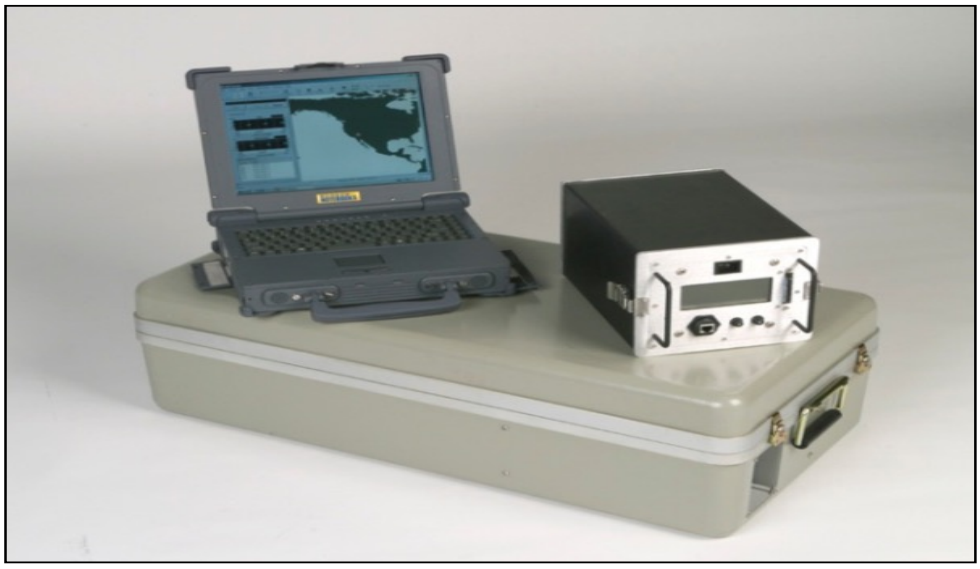


圖 2-1 SPARCS-A 空中偵測系統

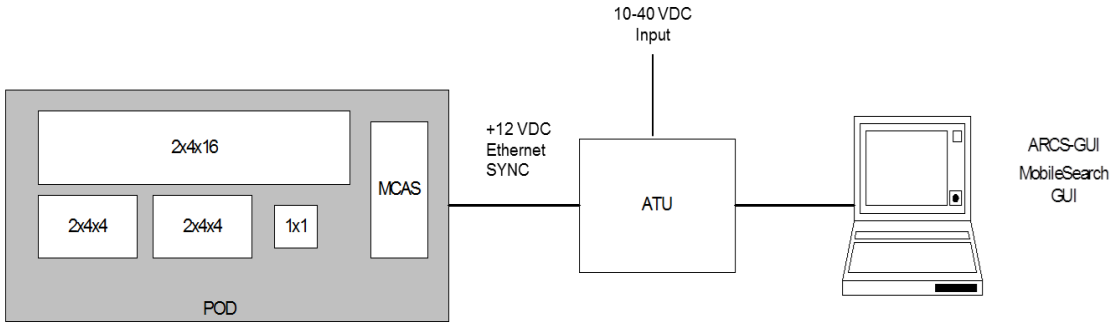


圖 2-2 SPARCS-A 空中偵測系統架構

壹、碘化鈉偵檢箱：為整個輻射偵檢系統的核心，含有 1 個 2”×4”×16” (5cm×10cm×40cm, 2L) 的 NaI 晶體、1 個 2”×4”×4” (5cm×10cm×10cm, 0.5L)的 NaI 晶體(向下偵檢器)、1 個 1”×1” (2.5cm×2.5cm)的 NaI 晶體及 1 個 2”×4”×4” (5cm×10cm×10cm, 0.5L)的 NaI 晶體(向上偵檢器)，每個晶體後方都會接上光電倍增管(photo-multiplier tube, PMT)以做訊號的放大，然後再輸出到多頻道分析儀(multi-channel analyzer, MCA)中做訊號的鑑別及處理，如圖 2-3 所示。

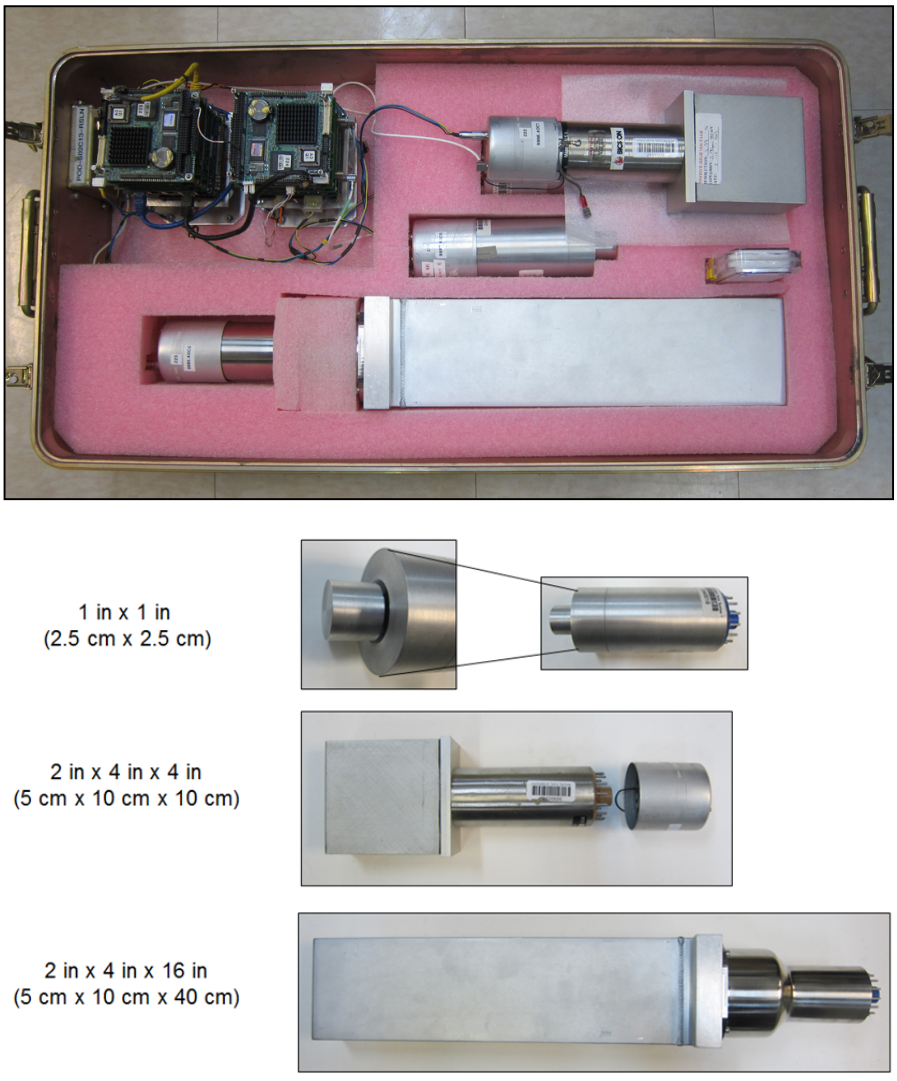


圖 2-3 碘化鈉偵檢箱內部各偵檢器(含尺寸)示意圖

碘化鈉偵檢器由固態的無機閃爍晶體所構成，具有高密度及高原子序之特性，對 X-ray 和 γ-ray 等非荷電之電磁型輻射偵測效率較佳，其發光的機制如圖 2-4 所示。晶體中電子的能階主要分成價電帶(valence band)和導電帶(conduction band)兩種，介於兩者之間稱為能隙(energy band gap)，入射之游離輻射可將電子由價電帶激發至導電帶，當電子由導電帶跳回至價電帶可以放出相當於能隙能量之光子，但利用這種方式放出的光子能量等於能隙，很容易再被晶體給吸收。

一種增加閃爍晶體發光效率的方法便是在閃爍晶體中加入稱作活化劑(activator)的雜質，活化劑會在能隙中形成雜質能階，使電子可以在活化能階上做短暫之停留，此時的活化能階常處於激發狀態，當其返回到基態時即可放出相當於其激發能的螢光，該螢光的能量會比晶體的能隙還要小，故不會再被晶體給重新吸收，使閃爍計數器對其所發出之螢光成高度透明性，符合閃爍偵檢器的要求。

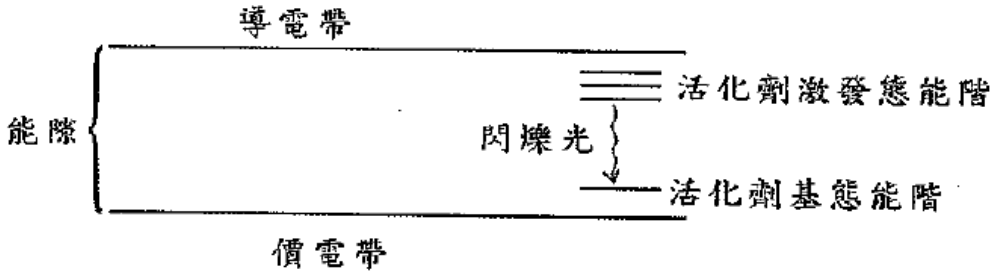


圖 2-4 碘化鈉無機閃爍晶體的發光機制

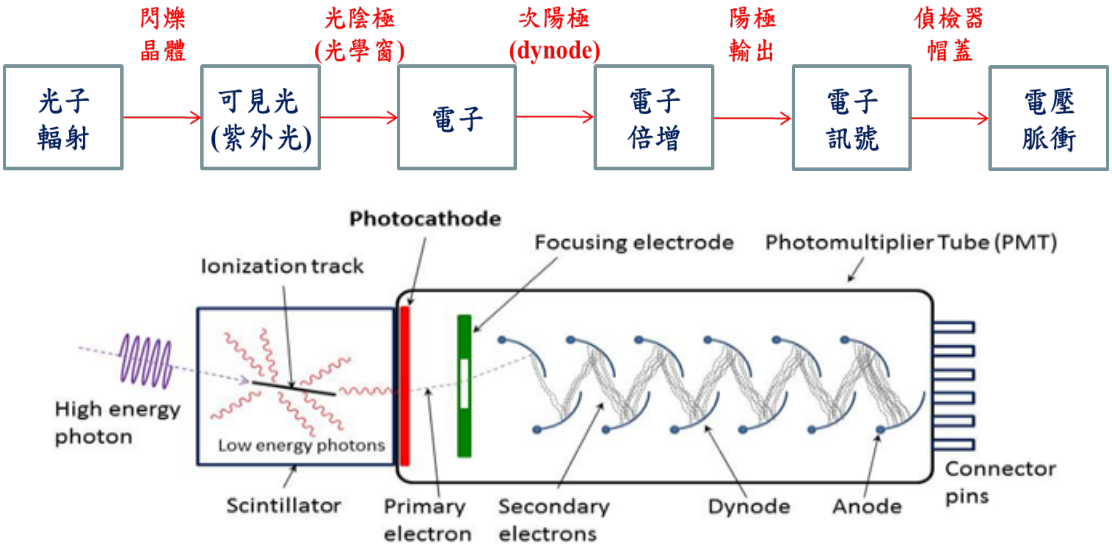


圖 2-5 碘化鈉閃爍偵檢器的工作原理

圖 2-5 呈現碘化鈉偵檢器的工作原理。光子輻射(X-ray 或 γ-ray)與閃爍晶體作用後會發出可見光和紫外光，其經過光陰極(或光學窗)後會產生光電子，此光電子經過光電倍增管(PMT)內許多的次陽極鏈(dynode chain)後，會將電子的數量倍增到 10^7 至 10^{10} 個不等，然後由陽極端輸出電子訊號，再經由偵檢器帽蓋轉換成脈衝訊號輸出。其中，光電倍增管後方所接的偵檢器帽蓋(如圖 2-6 所示)，包含前置放大器(pre-amplifier)和高壓電路系統，能透過位於光電倍增管陽極端的一系列引線(pins)，供應電壓梯度給次陽極鏈(dynode chain)，且光電倍增管的陽極端和偵檢器帽蓋兩者互為鎖匙關係，故於使用前須先確認偵檢器帽蓋已牢固在光電倍增管上，以避免未輸出訊號。偵檢器帽蓋上會印有不同的編號，編號 9995 帽蓋所對應的是 2”×4”×16” (5cm×10cm×40cm, 2L)偵檢器和 1”×1” (2.5cm×2.5cm)偵檢器；而編號 9996 帽蓋所對應的是 2”×4”×4” (5cm×10cm×10cm, 0.5L)的向上和向下偵檢器，每個偵檢器帽蓋能將產生的電子訊號轉換成電壓脈衝，此電壓脈衝將會和入射光子的能量成正比。

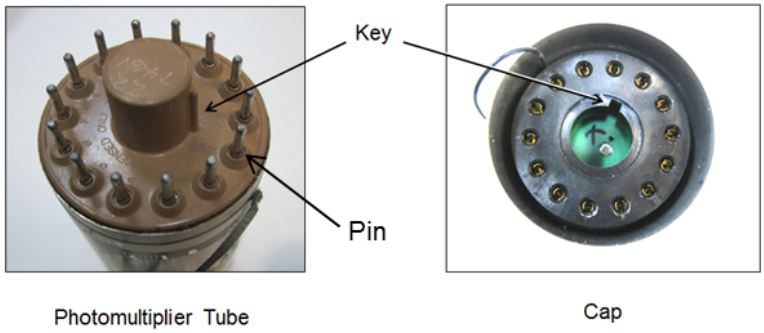


圖 2-6 左圖為光電倍增管的陽極端、右圖為偵檢器帽蓋，兩者互為鎖匙關係

透過偵檢器帽蓋輸出被些微放大的脈衝訊號後，會再經由其後方所接的放大器(amplifier)，放大訊號約 8000 倍，然後再接上脈高分析儀(pulse height analyzer, PHA)來將感興趣的訊號輸出。脈高分析儀(PHA)為分析紀錄脈衝高度或強度的電子儀器，脈衝能量的分布可以分成許多相同的寬度，先以固定的時間計測第一寬度間隔內的脈衝，然後再依序以固定的時間去計測其餘間隔內的脈衝，其又可分為單頻道分析儀(single channel analyzer, SCA)和多頻道分析儀(multi-channel analyzer, MCA)兩類。對於已知核種的放射性活度計測，利用簡單的單頻道分析儀(SCA)即可；而對於未知核種或多種複雜元素混合在一起的放射性活度計測，則必須利用多頻道分析儀(MCA)來幫忙，本 SPARCS-A 空中偵測系統因具備能譜分析能力，故運用的是 MCA。

藉由 MCA 設定低限鑑別器(lower level discriminator, LLD)和高限鑑別器(higher level discriminator, HLD)後，即可鑑別出所感興趣的訊號而後將其輸出，隨後再接上計數器，輸出計數值抑或計數值隨時間的變化(即計數率)。

每個 SPARCS-A 偵檢箱內會有 2 個控制模組(stack)，如圖 2-7 所示，左方為 223 模組、右方為 224 模組。每個控制模組內含有放大器(amplifier)、低限鑑別器(LLD)、用於類比數位轉換器(analog-to-digital converter, ADC)的零點偏移(zero offset)校正器及 2 個類比數位轉換器(ADC0 和 ADC1)。ADC0 和 ADC1 會分別對應到 2 組不同的碘化鈉偵檢器，ADC0 所對應的是編號為 9995 的偵檢器帽蓋，而編號 9995 偵檢器帽蓋所對應的是 2”×4”×16” (5cm×10cm×40cm, 2L)偵檢器和 1”×1” (2.5cm×2.5cm)偵檢器；ADC1 所對應的是編號為 9996 的偵檢器帽蓋，而編號 9996 偵檢器帽蓋所對應的是 2”×4”×4” (5cm×10cm×10cm, 0.5L)的向上和向下偵檢器，因此，倘若偵檢器帽蓋發生錯置，則可能會導致計數率(counting rate)的輸出於筆記型電腦顯示之對應錯誤。

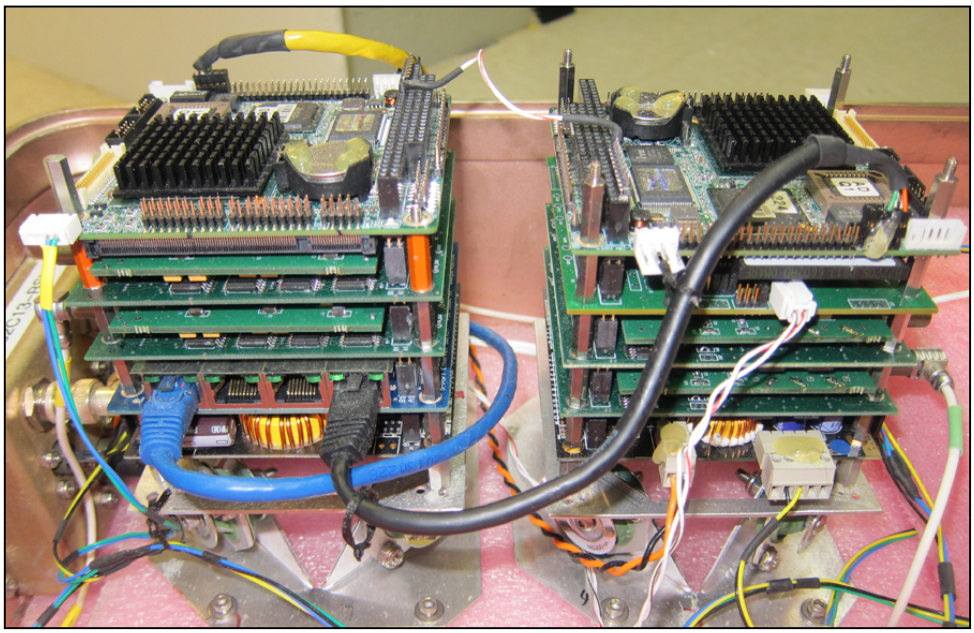


圖 2-7 位於 SPARCS-A 偵檢箱內的 2 個控制模組(stack)，左方為 223 模組、右方為 224 模組

貳、資料擷取和傳送單元(ATU)：資料擷取和傳送單元(Acquisition Telemetry Unit, ATU)可分為前面板(front panel)和後面板(rear panel)，前面板上含有 ATU 電源開關、CF 資料卡、線路斷路器、液晶輸出螢幕以及一個乙太網路連接槽，如圖 2-8 所示。其中，線路遮斷器(circuit breaker, CB)為一種過電流保護裝置，其主要的功能有兩項，一為短路保護、另一為防止過載；而 ATU 的後面板上則含有 GPS 天線連接槽、ATU 診斷用之接口(含鍵盤和 VGA 連接孔)、一個乙太網路備用連接槽、ATU 重置鈕、RS232 序列接口、10-40V 直流電壓輸入孔、碘化鈉偵檢箱訊號輸入孔，以及聲音擴音器接口等，如圖 2-9 所示。

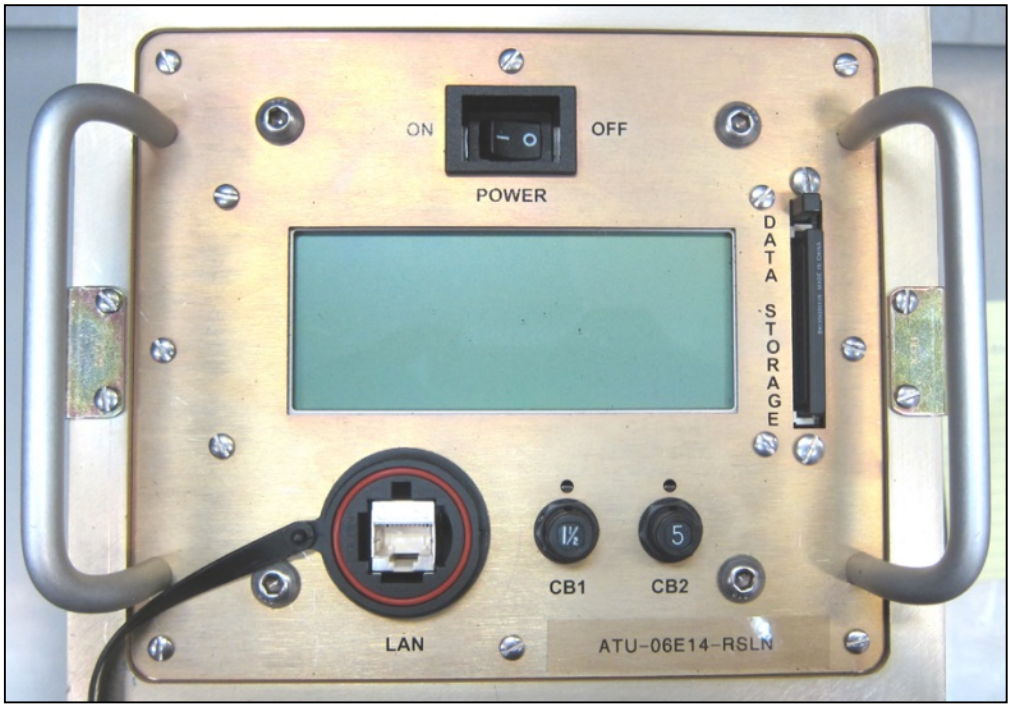


圖 2-8 資料擷取和傳送單元(ATU)的前面板(front panel)

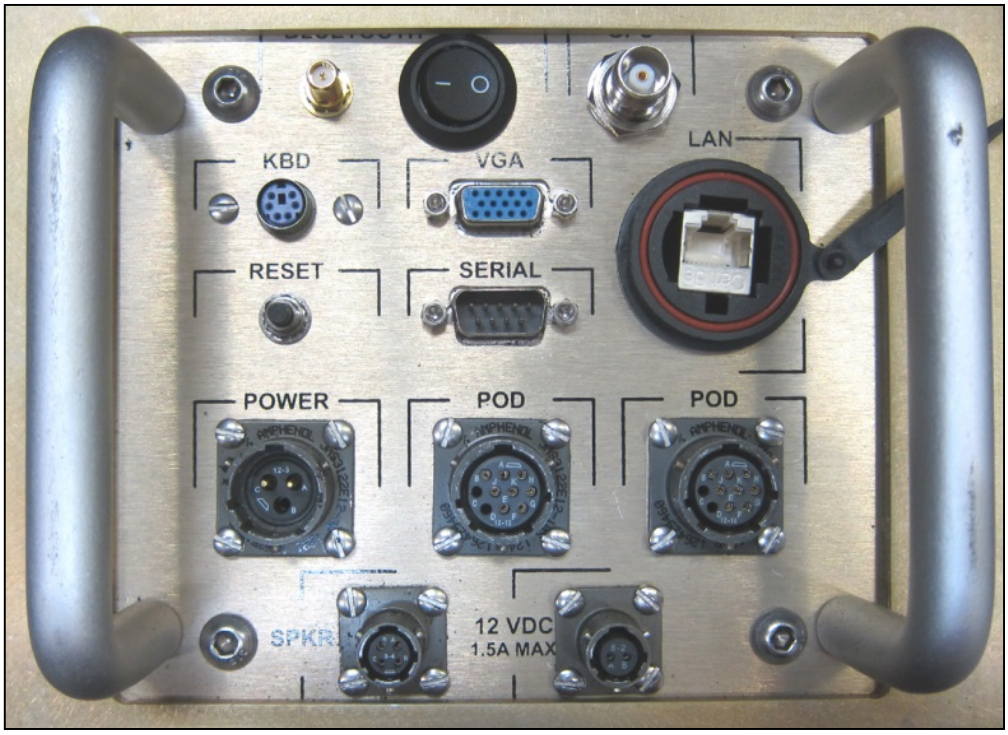


圖 2-9 資料擷取和傳送單元(ATU)的後面板(rear panel)

參、Getac 筆記型電腦：主要用途為執行 SPARCS 與 Mobile Cabin 等軟體程式控制與資料呈現。

2.2 SPARCS-A 能量校正

使用任何的輻射偵檢儀器設備之前，均需要定期做校正，而能量校正之目的在於找出入射光子能量(energy)與對應儲存頻道(channel)間之關係，如圖 2-10 所示。在執行能量校正時，需注意以下三點事項：(1)所選用之校正射源的能量要適當，即標準射源與待測射源的能量要相近。(2)最好使用具多個能峰的校正射源。(3)需定期實施校正程序。

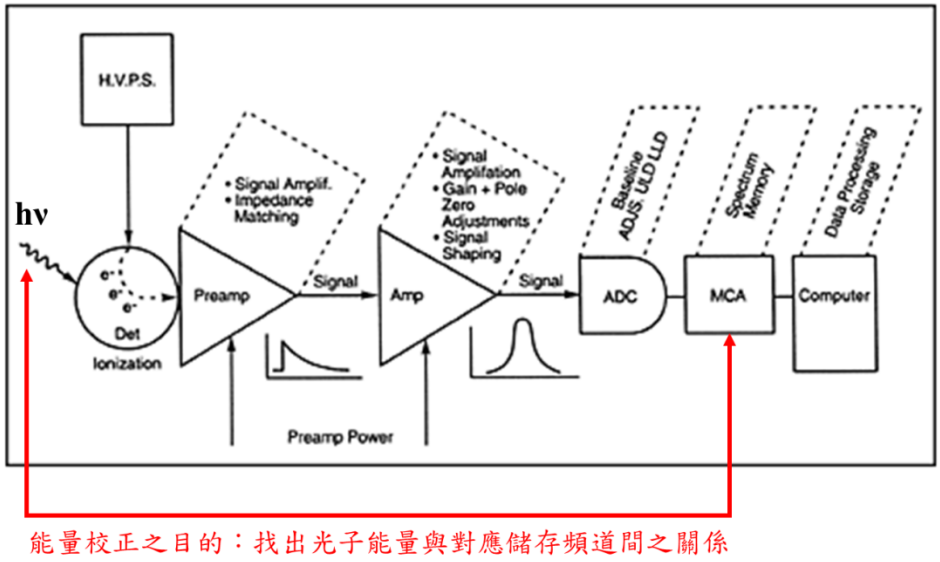


圖 2-10 圖示執行能量校正之目的

SPARCS-A 系統能量校正的程序分為兩道程序，一為高能量增益穩定性校正，二為低能量閾值設定校正。校正時開啟 RSL Mobile Calibration 程式，點擊程式內左上方的 Acquire/Connect 按鈕，即可由設定 IP 位址來連線至碘化鈉偵檢器。將 IP 位址設為 149.252.205.223 則可連線至 2×4×16 吋(5cm×10cm×40cm, 2L)的碘化鈉偵檢器(ADC0)及 2×4×4 吋(5cm×10cm×10cm, 0.5L)的向下(down-looking)碘化鈉偵檢器(ADC1)，而將 IP 位址設為 149.252.205.224 則可連線至

1×1 吋(2.5cm×2.5cm)的圓形碘化鈉偵檢器(ADC0)及 2×4×4 吋(5cm×10cm×10cm, 0.5L)的向上(up-looking)碘化鈉偵檢器(ADC1)。

針對高能量增益穩定性校正部分，使用的是鉀-40 (K-40)射源，每個 SPARCS-A 偵檢箱內均附有一盒氯化鉀(KCl)粉末，KCl 粉末中包含微量的 K-40 放射性核種，其會發射能量為 1460 keV 的加馬射線(對應的預設頻道數為 487)，該能量的加馬射線被用來穩定放大器(amplifier)的增益(gain)和最小化能量軸上的飄移(shift)，實際的校正能譜如圖 2-11 所示。

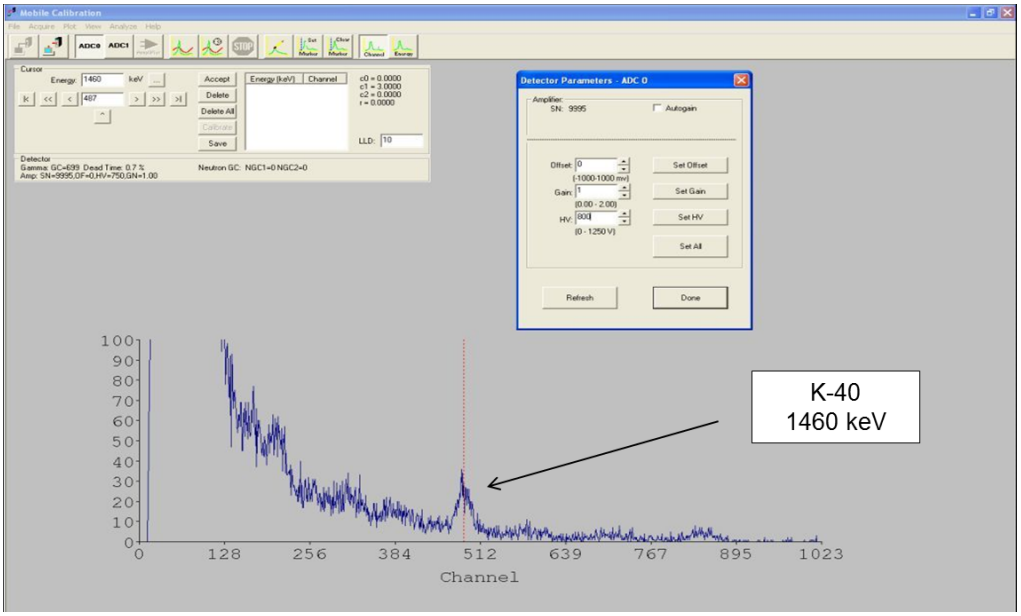


圖 2-11 使用 K-40 射源執行高能量增益的穩定性校正

針對低能量閾值設定校正部分，使用的是鋂-241 (Am-241)鈕扣狀射源，其會發射能量為 60 keV 的加馬射線(對應的預設頻道數為 20)，故一般會將低限鑑別器(LLD)設在小於 60 keV 的位置，例如 30 keV，以濾除低能量的電子雜訊干擾，實際的校正能譜如圖 2-12 所示。

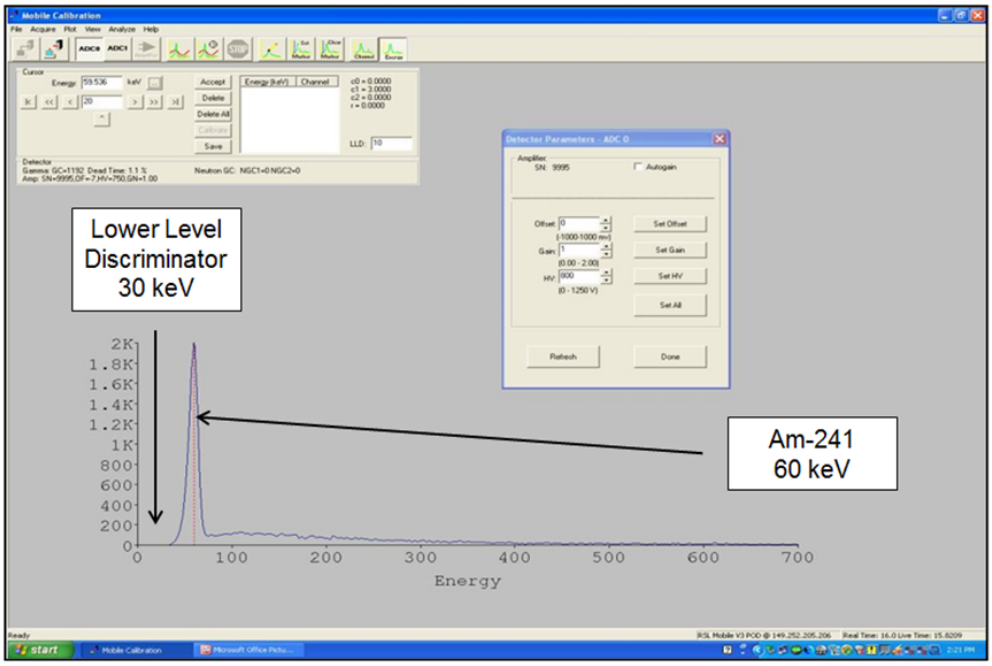


圖 2-12 使用 Am-241 射源執行低能量閾值設定之校正

2.3 SPARCS-A 故障檢修

將 SPARCS-A 系統架設完成後，啟動電源開關，會聽到喇叭發出「RSL Mobile System」的聲響，接著 ATU 會自動去偵測碘化鈉偵檢箱內的 2 個控制模組(stack)與全球定位系統(global position system, GPS)之訊號，如圖 2-13 所示。2 個控制模組(stack)中設定之 IP 位置分別為 POD 223 和 POD 224，成功偵測 POD 223 和 POD 224 約需要耗時 30 秒鐘，當 ATU 完成偵測後，喇叭又會再度發出「RSL Mobile System」的聲響。

圖 2-13 顯示 ATU 自動去偵測 2 個控制模組訊號之過程

當 SPARCS-A 系統開完機後，務必要先確認 ATU 的液晶螢幕上是否有顯示 4 根碘化鈉偵檢器的計數值和 GPS 的訊號，如圖 2-14 所示。有完整顯示代表 SPARCS-A 系統已順利啟動，即可開始執行空中輻射偵測任務；倘若沒有顯示相關的訊號，則代表碘化鈉偵檢箱內可能有線路鬆脫或故障，需要進行額外的檢測與故障排除。

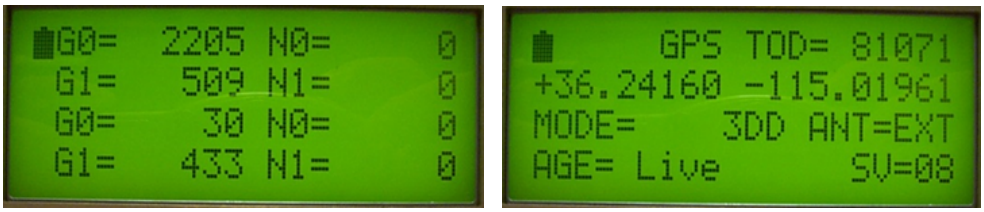


圖 2-14 顯示 4 根碘化鈉偵檢器的計數值和 GPS 的訊號

圖 2-14 中，G0 將對應到 ADC0，而 ADC0 所對應的是編號為 9995 的偵檢器帽蓋，又編號為 9995 的偵檢器帽蓋所對應的是 2”×4”×16” (5cm×10cm×40cm, 2L)的偵檢器和 1”×1” (2.5cm×2.5cm)的偵檢器；G1 將對應到 ADC1，而 ADC1 所對應的是編號為 9996 的偵檢器帽蓋，又編號為 9996 的偵檢器帽蓋所對應的是 2”×4”×4” (5cm×10cm×10cm, 0.5L)的向上和向下偵檢器。

碘化鈉晶體的體積或表面積大小將直接影響其偵測效率和偵測靈敏度，故 2”×4”×16” (5cm×10cm×40cm, 2L)偵檢器的計數率約會是 2”×4”×4” (5cm×10cm×10cm, 0.5L)向上和向下偵檢器的 4 倍(因為 2L/0.5L=4)。2”×4”×16” (5cm×10cm×40cm, 2L)偵檢器典型的計數率約為 2000，2”×4”×4” (5cm×10cm×10cm, 0.5L)向上和向下偵檢器典型的計數率約為 500，1”×1” (2.5cm×2.5cm)圓形偵檢器典型的計數率約為 30。

接著透過乙太網路線連接筆記型電腦和資料擷取傳送單元(ATU)後，從微軟 Windows 系統中啟動「SPARCS」程式，按下程式內的開始鈕「Start」後，確認碘化鈉偵檢器計數率與 GPS 訊號可以正常顯示，代表整個 SPARCS-A 系統目前是處於穩定運作的狀態。

值得一提的是，在空中偵測任務執行期間，需要隨時注意碘化鈉偵檢器的訊號是否突然有喪失，若有則代表碘化鈉偵檢箱的內部可能有線路鬆脫或故障。倘若發生此事故，建議停止空中輻射偵測任務，返航進行額外的檢測與故障排除。以下將闡述三種常會遭遇到的故障排除方法，供未來的使用者做參考，期能達到技術傳承之效。

情況一、ATU 未找到偵檢箱訊號之應變：

當資料擷取與傳送單元(ATU)沒有找到由偵檢箱輸出之訊號時，最有可能的原因有以下三個：

(1)沒有連接上乙太網路線

(2)沒有從控制模組(stack)的電源供應中輸出 12V 的電壓

(3)偵檢箱內的控制模組(stack)訊號未被導引(booting)出來

此時，可嘗試依圖 2-15 的故障排除流程來試圖做檢修：

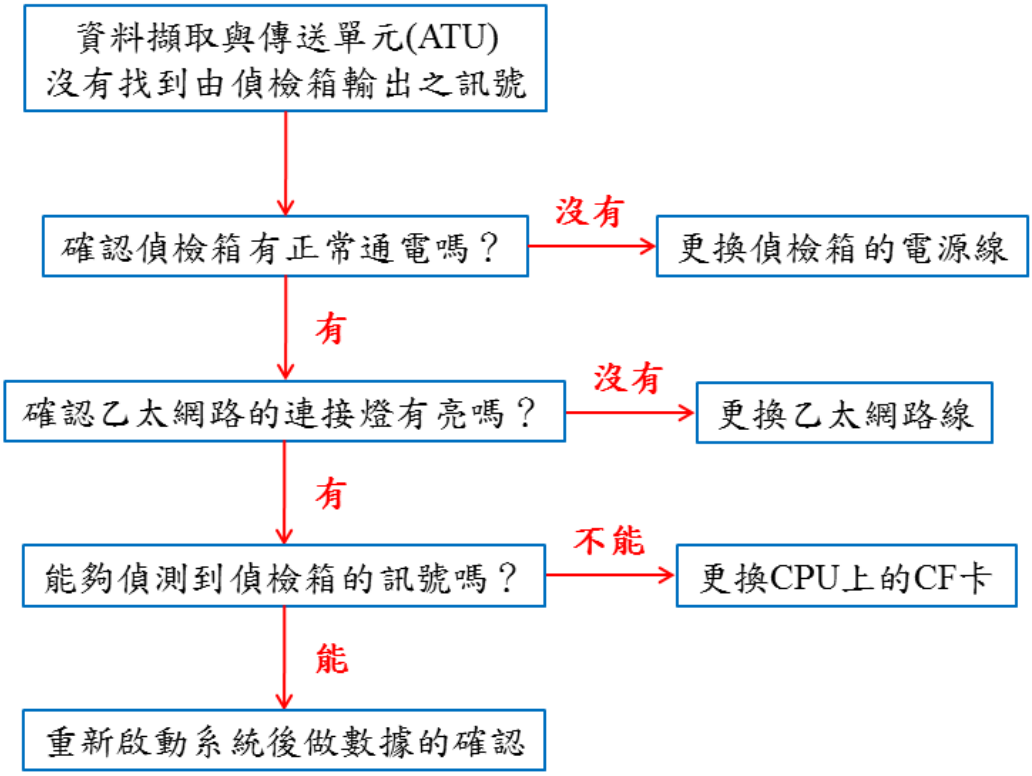


圖 2-15 ATU 未找到偵檢箱訊號之應變

情況二、兩組(四根)偵檢器都沒有訊號之應變：

當沒有任何一筆資料由每個偵檢器組中輸出時，即暗示在兩個偵檢器組中出現了某些較常見的問題，其中三個可能的原因為：

(1)沒有連接上乙太網路線

(2)沒有從控制模組(stack)的電源供應中輸出 12V 的電壓

(3) GPS 沒有輸出每秒的脈衝訊號(pulse per second, PPS)

此時，可嘗試依圖 2-16 的故障排除流程來試圖做檢修：

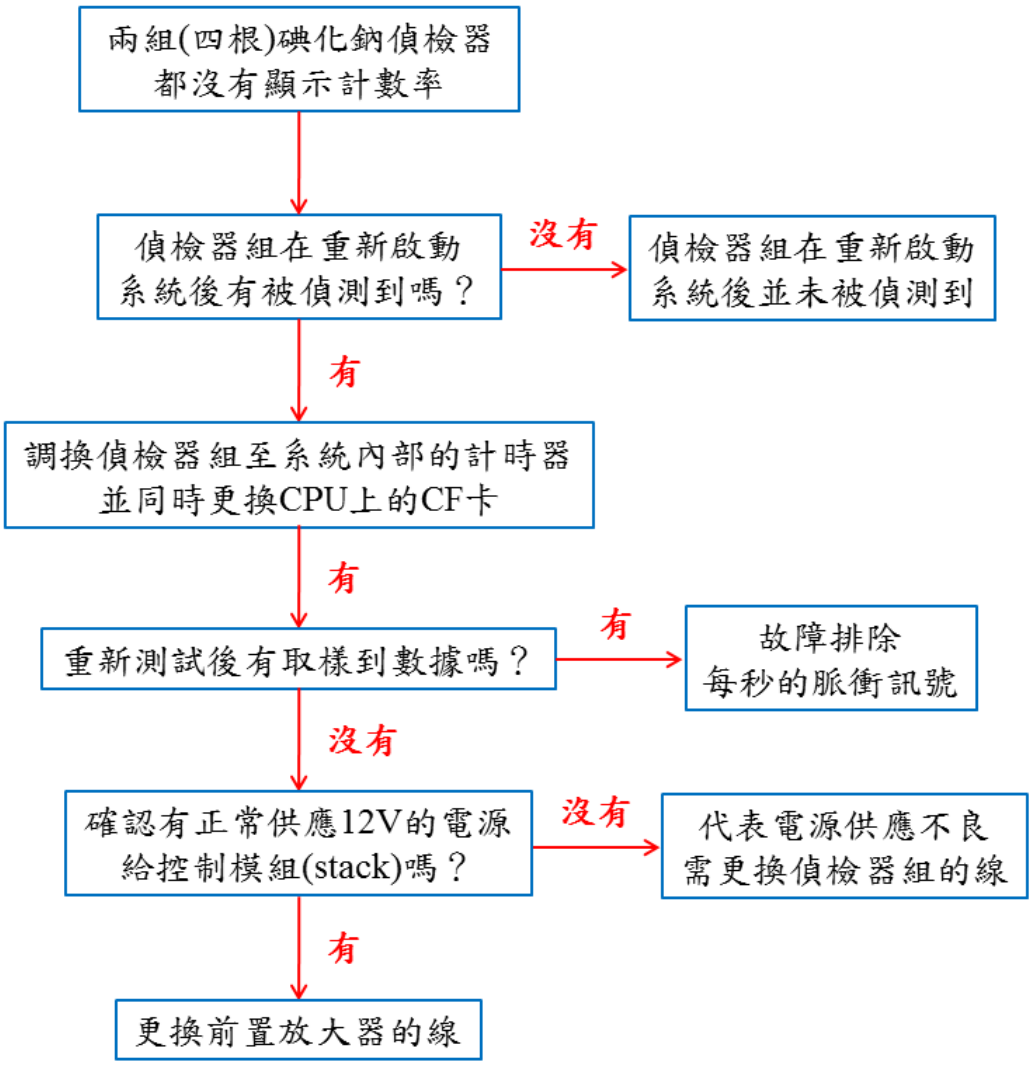


圖 2-16 兩組(四根)偵檢器都沒有訊號之應變

情況三、單一組(兩根)偵檢器沒有訊號之應變：

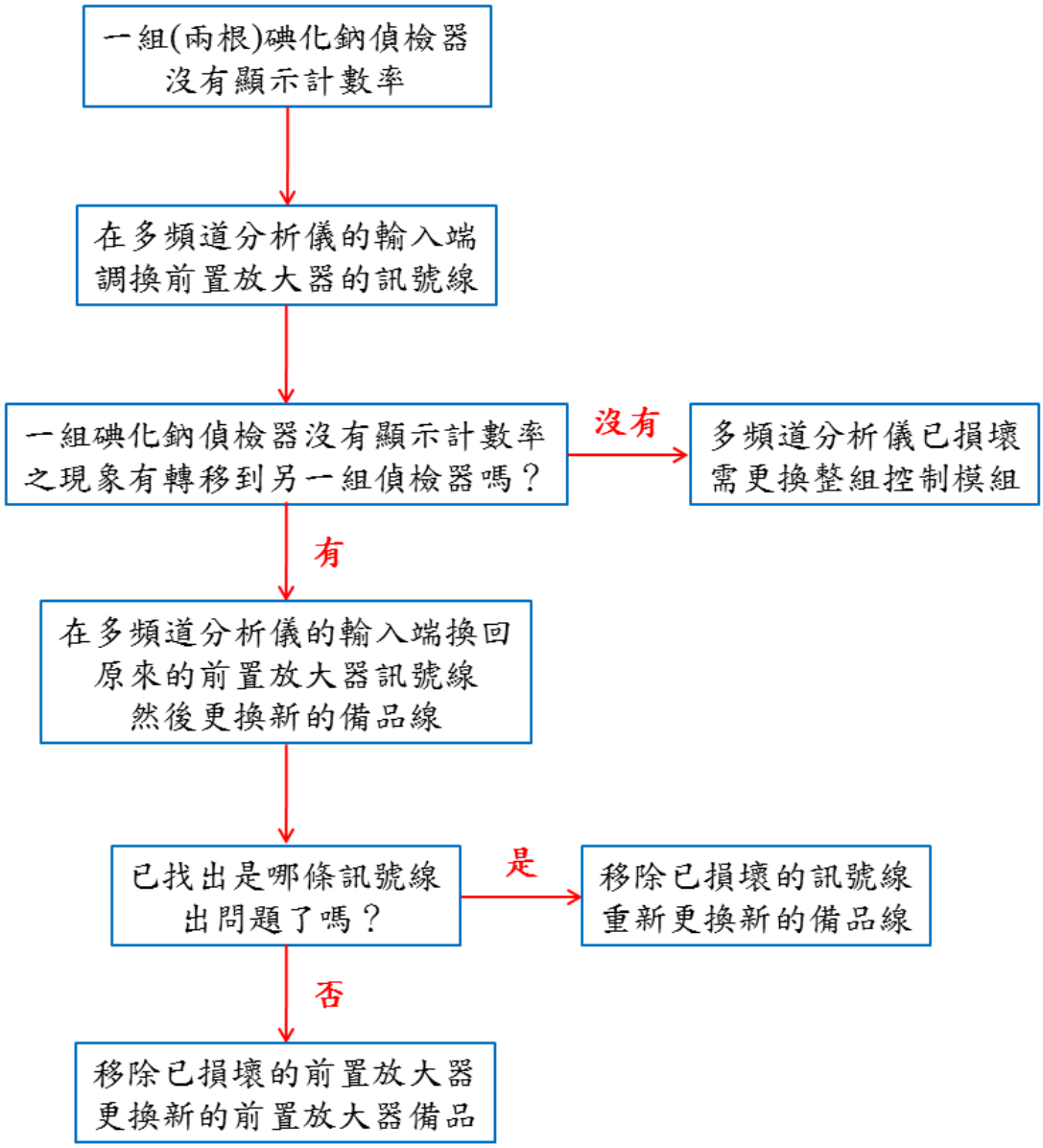
當沒有任何一筆資料由單一偵檢器組中輸出時，即暗示在兩個偵檢器組中出現了某些不常見的問題，其中三個可能的原因為：

(1)沒有供應 12V 的電壓給前置放大器

(2)某條線路可能已經損壞

(3)前置放大器可能有故障

此時，可嘗試依圖 2-17 的故障排除流程來試圖做檢修：



接續上一頁：

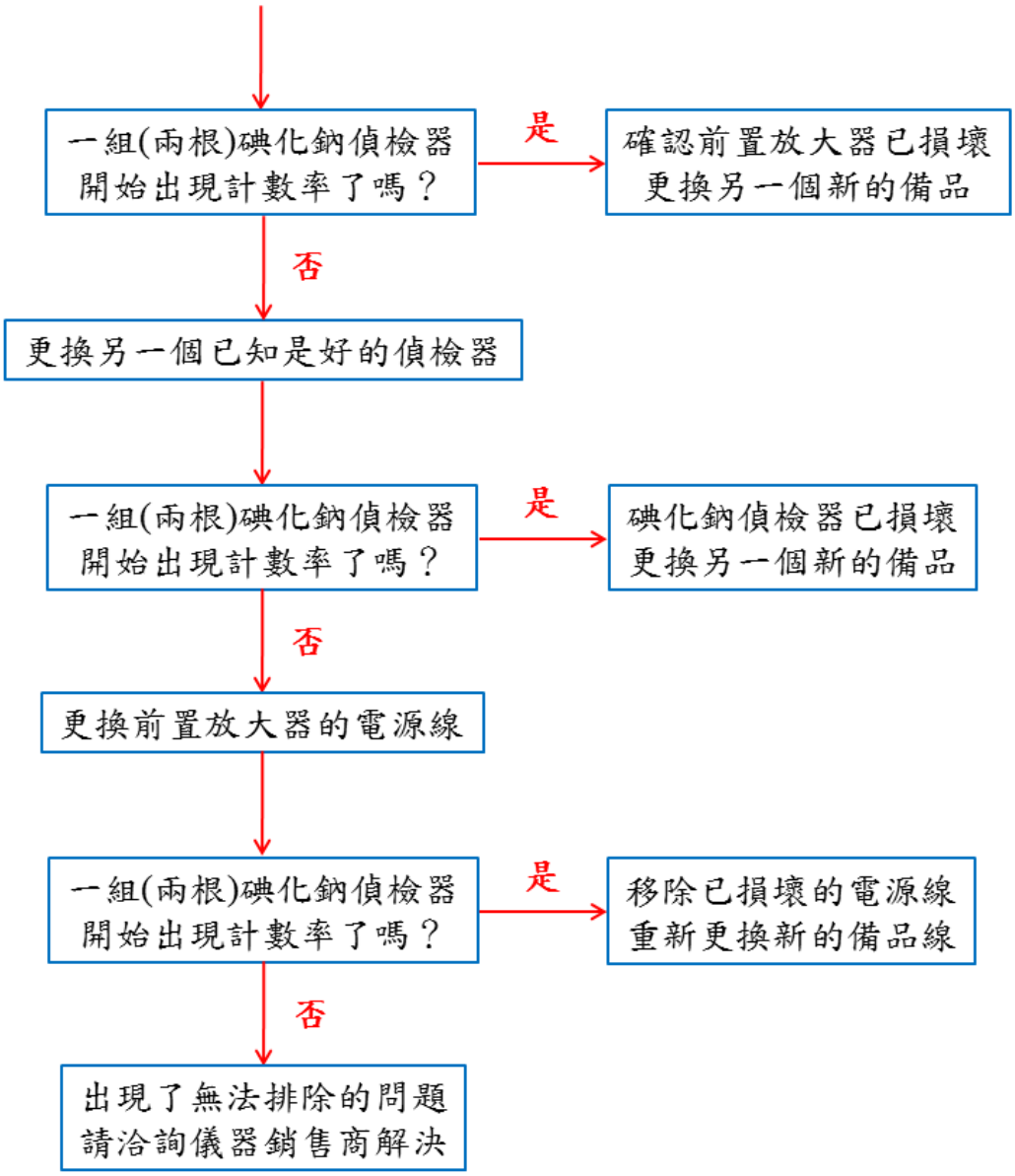


圖 2-17 單一組(兩根)偵檢器沒有訊號之應變

2.4 SPARCS 系統現況說明

美國能源部國家核子保安總署(Department of Energy / National Nuclear Security Administration, DOE / NNSA)共提供四套進步型輻射能譜量測電腦系統給我國，其中三套為空中的輻射偵測系統(SPectral Advanced Radiological Computer System - Aerial, SPARCS-A)、另一套為地面的輻射偵測系統(SPectral Advanced Radiological Computer System - Mobile, SPARCS-M)。

依據原能會會技字第 1030008501 號函，本所辦理空中輻射偵檢系統設備移交事宜，將 SPARCS-A 設備移交於國軍。因應國軍之需求，103 年 4 月 30 日於本所 008 館保健物理組辦理 SPARCS-A 移交訓練課程，針對空中輻射偵測之目的、儀器設備、系統操作介面、任務規劃、故障排除與系統功能性測試進行教學，透過訓練課程，讓國軍再次熟悉 SPARCS-A 系統，並實地進行 SPARCS-A 系統操作，加深印象，落實技術轉移、建立與本土化。最後，在確認系統功能一切正常後，完成移交手續。目前國內的四套 SPARCS 系統中，有兩套 SPARCS-A 已移交給陸軍化兵群做保管，另一套 SPARCS-A 與一套 SPARCS-M 則存放於核研所 008 館保健物理組的機房(24 hr 空調)。

DOE / NNSA 於 104 年 5 月，有再提供一組 SPARCS 設備零組件備品，供維修時使用，目前亦存放於核研所保物組的機房中。該兩套存放於核研所保物組之 SPARCS 系統，均已安裝最新版之操作軟體，該軟體具備偵測數據擷取與分析處理之功能。

第3章 無人載具(UAV)空中輻射偵測技術研發

3.1 使用 UAV 搭載 Mob-DOSE 輻射偵檢系統執行空中偵測任務

3.1.1 無人載具空中輻射偵測系統

透過本計畫採購 Pico Envirotec Inc.所開發之 Mob-DOSE 系統，Mob-DOSE 為可攜式加馬等效劑量率(Gamma Dose Equivalent Rate，簡稱 GDER)監測系統，可用於場址劑量量測、取樣位置選擇和固定式監測。儀器包含兩個能量補償的蓋革計數器(Geiger counter)，可量測的加馬等效劑量率非常廣，等效劑量率量測範圍介在 50 nSv/h 至 400 mSv/h 間，相關之詳細規格可參考表 3-1。使用者介面和資料擷取系統是採用最新發展的 Android 手機作業系統，可用於現代任何可攜式設備內，像是智慧型手機、平板電腦或者是筆記型電腦。Mob-DOSE 偵檢器透過藍芽協定進行資料傳輸；Mob-DOSE 系統允許使用者在未搭配手機裝置模式或完整存取模式進行量測。

軟體操作介面允許使用者即時控制擷取之資料和 GDER，選擇連續紀錄、監測站模式累積量測資料，或者 GPS 導航系統針對選定之調查路線或路徑點。擷取之資料會自動與 GPS 位置及時間同步，並將資料以二位元格式存在 SD 記憶卡中。

在未搭配手機裝置模式下，資料擷取並不需要裝置資料擷取設備，亦不需要透過藍芽連接，這將減低電源之消耗，所量測之資料將儲存在 Mob-DOSE 內建快取記憶體中，在進行調查偵檢之後再進行擷取資料。而完整存取模式下，Mob-DOSE 透過藍芽通訊將資料傳送，透過使用者介面提供系統設定、即時資料呈現和地面導航的全方位控制

功能。依據調查之需求，資料紀錄設備(Android 手機設備)可裝置在偵檢箱內，堅固的內部面版上，或者是與偵檢箱分開。

整套量測偵檢(蓋革計數器)系統裝置在具有保護功用的暴風箱(storm case iM2050)內(如圖 3-1)，暴風箱符合 MIL-STD-810F、FED-STD-101C 和 ATA 300 安全防護標準。如果資料紀錄設備係在偵檢箱以外的地方使用，其資料紀錄設備可安裝在車架、肘部護套(如圖 3-2)。

圖 3-1 Mob-DOSE 偵檢器

圖 3-2 資料紀錄設備

表 3-1 Mob-DOSE 規格

項目	內容
GDER 量測範圍	50 nSv/h 至 0.4 Sv/h
精準度	超過 1 μSv/h：± 20% 1 μSv/h 以下：± 40%
偵檢能量範圍	50 keV 至 2.5 MeV
偵檢器	2 個蓋革計數器
積分時間	1 至 3600 秒
內建記憶體	快取記憶體（32 MB），可儲存 50,000 筆完整紀錄
電源供應	Integrated Polymer Li-Ion 電池，7.4 V/9 Ah
操作時間	在完全操作模式下至少 12 小時
外部電源 供應器	車內 10-30 V DC，230V AC/120V DC（5A）轉換器
GPS	Ultra-Sensitive UP501 D Fastrax （Dual SAW Filter）
通訊協定	藍芽（空曠區最遠至 100 公尺）
重量	3.5 公斤
尺寸	iM2050 暴風箱 30*25*12 公分
溫度適應範圍	-20 ℃至 50 ℃
控制元件	Samsung Galaxy
通訊連接	3.0 藍芽、USB 2.0、WiFi、GSM（3G）

3.1.2 無人載具空中輻射偵測實驗

為探究無人飛行載具運用於空中輻射偵測之可行性，本研究設計一無人載具飛行評估實驗，以核能研究所廢棄物處理場上方作為無人載具空中輻射偵測之地點，搭載 Mob-DOSE 偵檢器執行空中輻射偵測。

3.1.2.1 實驗規劃

為能取得核能研究所廢棄物處理場上方詳細之輻射曝露資料，於實驗前詳細規劃飛行路線，希冀取得完善的空中輻射偵測資料。參考日本 NUSTEC 與 JAEA 之空中偵測資料，輻射偵檢器可偵測之有效範圍約為飛行高度之 2 倍。由於本次實驗之飛行高度設定為離地 30 公尺高，故輻射偵檢器之有效範圍為 60 公尺。因此，飛行間距以 50 公尺作為飛行路線規劃。實驗步驟如下：

1. 無人載具操作團隊於大草坪上架設無人載具飛行設備，作為無人載具系統操作中心。
2. 以核能研究所廢棄物處理場為飛行目標，其場界如圖中的黃色框範圍所示，飛行高度設定為離地 30 公尺高。
3. 完成飛行任務，取得空中輻射偵測資料。

3.1.2.2 實驗分析

本實驗以單旋翼載具搭載 Mob-DOSE 偵檢器於核能研究所廢棄物處理場上方執行無人載具空中輻射偵測實驗，圖 3-3 顯示實驗紀錄圖，包括無人載具搭載 Mob-DOSE 偵檢器、行前調校與無人載具任務執行。經與逢甲大學地理資訊系統研究中心團隊合作，完成此次無人載具空中輻射偵測實驗任務。

藉由 Mob-DOSE 偵檢器於飛行過程紀錄之劑量率與 GPS 資訊，將偵測資料輸入美國田納西大學環境模式研究所發展建立的 SADA (Spatial Analysis and Decision Assistant)程式進行空間分析。透過 SADA 空間分析模式，能使劑量分布之視覺化呈現更加清晰，有助於使用者或決策者執行決策之判斷依據。此外，SADA 程式還具有取樣點分析與建議之模式，可供空中輻射偵測運用於國土輻射安全調查之結果呈現與建議。

無人載具與 Mob-DOSE 偵檢器	無人載具裝載 Mob-DOSE 偵檢器
起飛前調校	搭載輻射偵檢器起飛

圖 3-3 無人載具飛行實驗紀錄

3.2 使用 UAV 搭載 PGIS-2 輻射偵檢設備執行空中偵測任務

為探究無人載具運用於空中輻射偵測之可行性並確保空中輻射偵測數據之品質，本研究採購一套商用之簡易型、輕量化，同時具備 GPS 定位功能與資料紀錄之輻射偵檢設備 PGIS-2，其中文名稱為可攜式加馬射線能譜分析儀，是由 Pico Envirotec Inc.公司所生產，具備能譜分析能力，搭配 CopterWorks AF25B 無人載具，來執行飛行實驗。

飛行實驗以本所廢棄物處理場上方作為空中輻射偵測地點，使用 CopterWorks AF25B 無人載具搭載 PGIS-2 輻射偵檢設備來執行本實驗。以下再分兩小節來對此飛行實驗做說明：第一小節先簡介 PGIS-2 輻射偵檢設備之組成與特性，第二小節則展現無人載具的飛行成果。

3.2.1 PGIS-2 輻射偵檢設備

圖 3-4 為 PGIS-2 輻射偵檢設備外觀圖，而圖 3-5 為其內部構造圖。整個偵檢設備的相關規格說明如下：PGIS-2 偵檢設備的組成為碘化鈉(NaI)閃爍晶體、活化劑為鉈(Tl)，體積為 1 公升、重量約為 7.5 kg，主要用以偵測光子輻射。

圖 3-4 PGIS-2 輻射偵檢設備外觀圖

圖 3-5 PGIS-2 輻射偵檢設備內部構造圖

3.2.2 無人載具飛行成果

本研究以 CopterWorks AF25B 無人載具，搭載 PGIS-2 輻射偵檢設備來執行飛行實驗。其相關規格說明如下：油箱容量為 5 公升，飛行時間可達 50 分鐘，可酬載之重量(不含油料)約為 11.4 kg。

為取得本所廢棄物處理場上方詳細之輻射曝露資料，遂於實驗前詳細擬定飛行路線，希冀能取得完善的空中輻射偵測資料。參考日本 NUSTEC 與 JAEA 空中輻射偵測文獻後，知輻射偵檢器可偵測之有效範圍約為 2 倍的飛行高度。由於本實驗之飛行高度設定為離地 30 米高，故輻射偵檢器之有效偵測範圍約為 60 米，而飛行間距則取 50 米作為飛行路線之規劃。

圖 3-6 為 104 年度以無人載具搭載 PGIS-2 輻射偵檢設備於台東進行不同高度下的盤旋飛行測試，最高的高度約測試到 1,200 公尺。

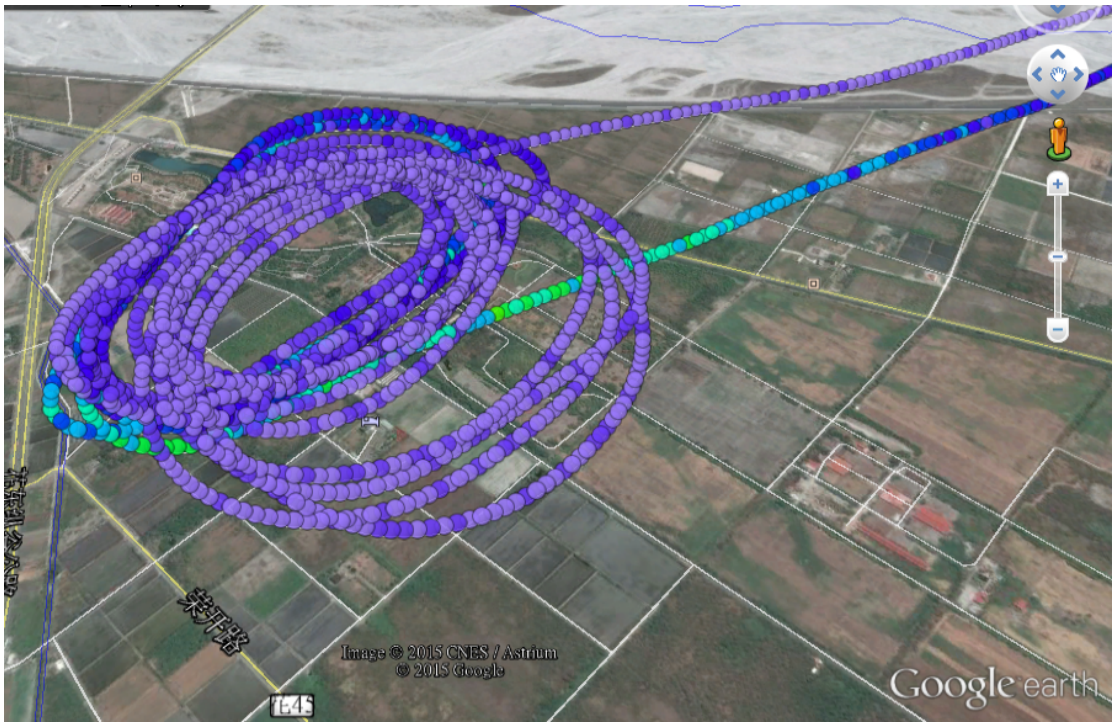


圖 3-6 於不同高度下以無人載具進行盤旋飛行測試

由飛行成果顯示，利用無人載具搭載輻射偵檢設備，進行環境輻射劑量率監測為可行辦法，未來亦可持續利用無人載具之高機動性，來執行較具危險性之任務，例如進行例行性或緊急應變時期之高輻射風險區域偵查與數值蒐集任務，以大幅降低人員勘察之風險與危害。

本研究完成了無人載具空中輻射偵測飛行實驗，由實際飛行量測數據分析結果，可有效獲得空間輻射劑量分布，這也就說明使用無人載具來執行空中輻射偵測極具發展潛力，希冀未來能將此技術給發展的更加成熟、更臻完備。

3.3 地理資訊平台系統開發

為能繪製空中輻射偵測之地表輻射劑量圖，整合 A2C 大氣擴散模式之劑量推估結果、SPARCS-A 及 PGIS-2 空中輻射偵測數據與核子事故緊急應變資訊，本所研發建置地理資訊平台系統，展示輻射劑量影響趨勢與分析空中輻射偵測數據，期能快速掌握核子事故情形。圖 3-7 為地理資訊平台系統架構，技術幕僚可以透過此地理資訊平台，匯入 A2C 大氣擴散模擬資料、SPARCS-A 及 PGIS-2 空中輻射偵測數據，展示 A2C 大氣擴散模式之劑量推估結果或空中輻射偵測之地表輻射劑量率估算，之後再結合地區資訊、人口資料、民眾防護措施規劃，提供技術人員分析與決策人員參考。

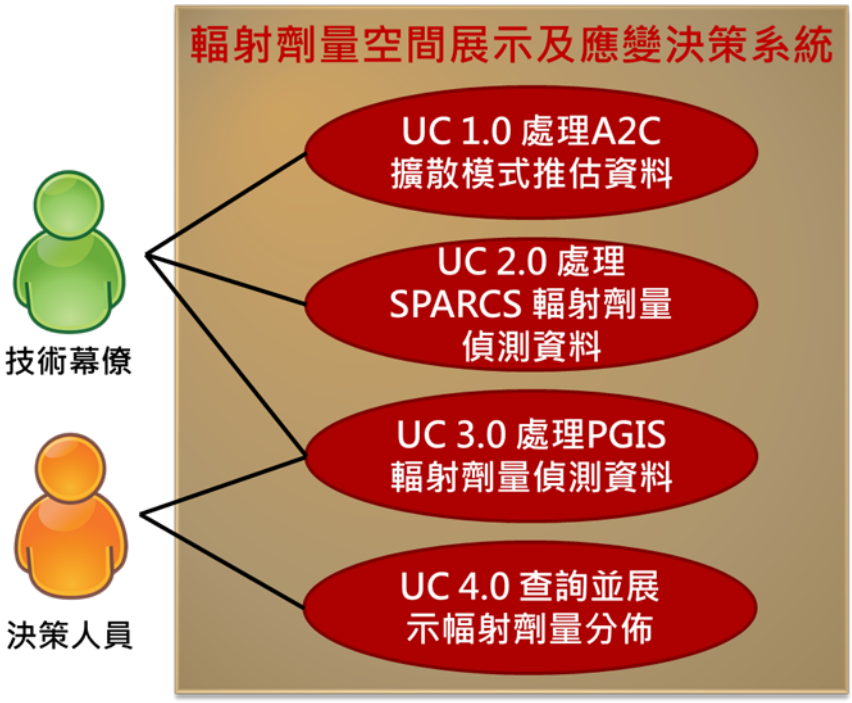


圖 3-7 地理資訊平台系統架構

3.3.1 整合 A2C 大氣擴散模式之劑量推估結果

圖 3-8 為 A2C 大氣擴散模式之劑量推估結果匯入流程圖，透過圖像化使用者介面(Graphical User Interface，簡稱 GUI)匯入 A2C 資料與選定該資料係屬哪座核能發電廠，地理資訊平台將自動轉換 txt 文字資料並執行運算。圖 3-9 為輻射劑量查詢之功能，地理資訊平台可檢視匯入之 A2C 資料，查看累積劑量、劑量等值線分析與動態播放輻射劑量，搭配相關地理資訊，可作為決策之參考與空中輻射偵測規劃之依據。

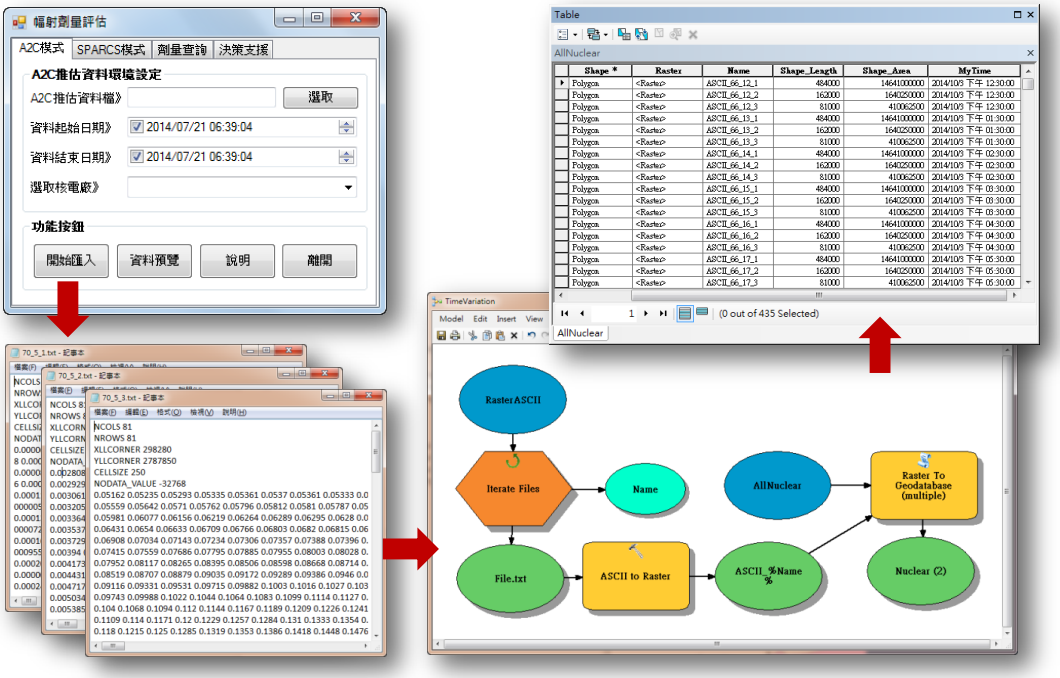


圖 3-8 A2C 大氣擴散模式之劑量推估結果匯入流程圖

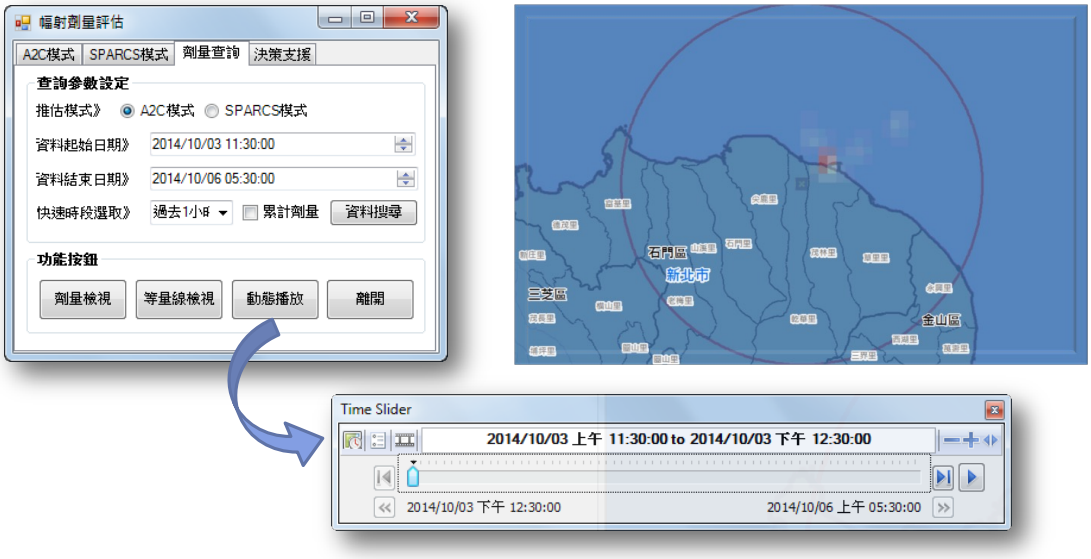


圖 3-9 地理資訊平台系統內建之輻射劑量查詢功能

3.3.2 整合 SPARCS-A 空中輻射偵測數據

圖 3-10 為空中輻射偵測數據之分析流程，使用者自 GUI 介面匯入 SPARCS-A 空中輻射偵測數據後，地理資訊平台系統會自動計算地表輻射劑量值，並立即以距離反比權重法(Inverse Distance Weighted，簡稱 IDW)進行空間內插，呈現地表輻射劑量分佈結果。圖 3-10 中的案例分析為 103 年 5 月份國軍核子事故緊急應變研討會之飛行數據，由系統自動化分析結果觀之，可明顯看到一高輻射劑量區(hot spot)，該區確為研討會之射源搜索模擬位置，證實本地理資訊平台系統之分析正確無誤。

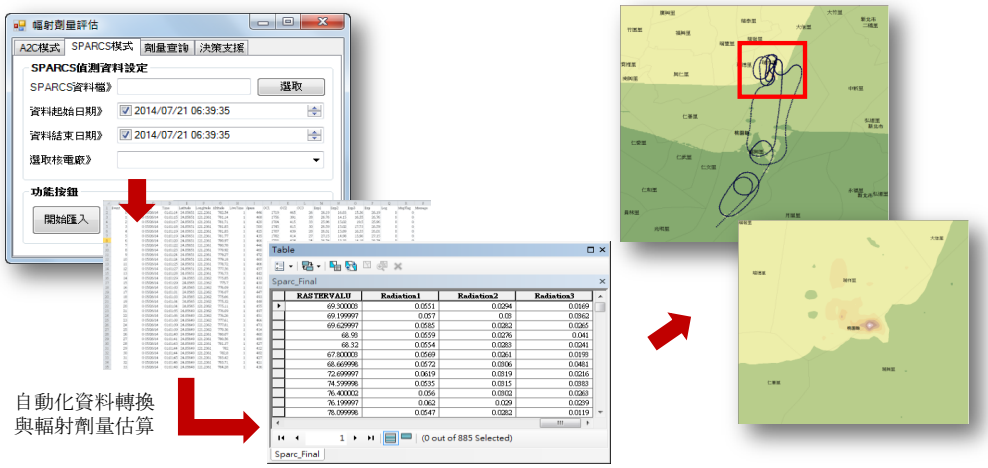


圖 3-10 空中輻射偵測數據之分析流程

3.3.3 整合 PGIS-2 空中輻射偵測數據

PGIS-2 為可攜式加馬射線能譜分析儀，使用者由 GUI 介面中匯入 PGIS-2 空中輻射偵測數據後，地理資訊平台會自動化計算地表之輻射劑量值，並立即以距離反比權重法(Inverse Distance Weighted，簡稱 IDW)進行空間內插，呈現地表輻射劑量分佈結果。

以下說明如何匯入 PGIS-2 輻射偵檢數據資料檔：

1. 於圖 3-11「輻射劑量評估」視窗中，點取「PGIS 模式」頁籤。
2. 點擊「選取」鈕，選取 PGIS 輻射劑量偵測數據檔(*.csv)。
3. 設定偵測資料日期。
4. 選取資料所在之核電廠(或其他)，由偵測數據自行判讀位置。
5. 使用者點擊「開始匯入」按鈕。

之後系統將顯示執行中之訊息，會在執行完畢後顯示匯入成功(如圖 3-12 所示)，並會在地圖中顯示匯入後的偵測資料空間點位，如圖 3-13 所示，之後將 PGIS-2 偵測數據以 IDW 法進行空間內插後所得之網格資料如圖 3-14 所示。

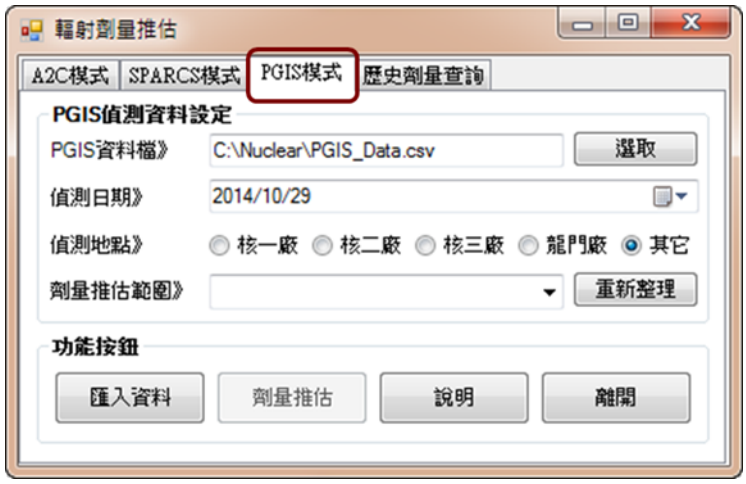


圖 3-11 PGIS-2 模式偵測資料設定

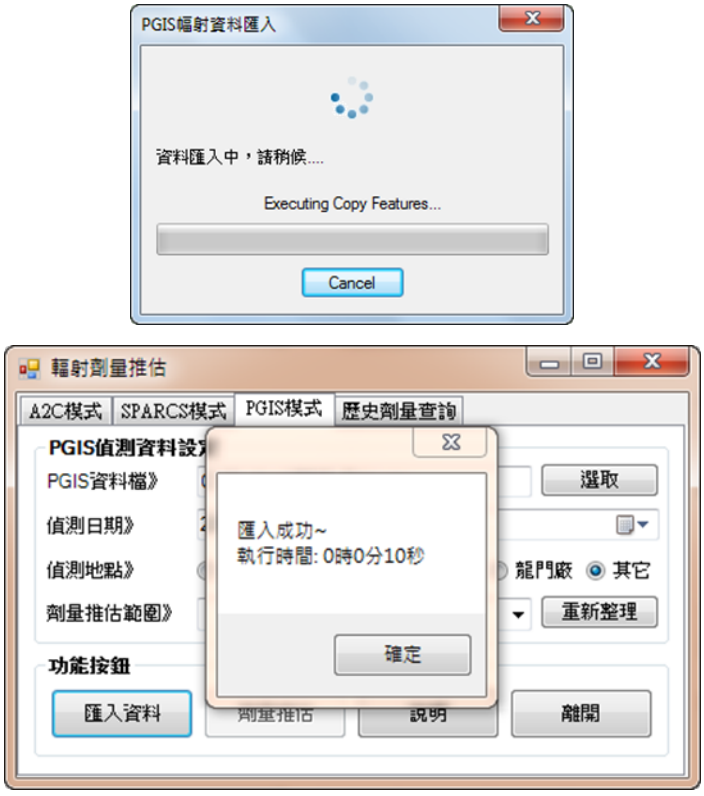


圖 3-12 匯入 PGIS-2 偵測數據畫面

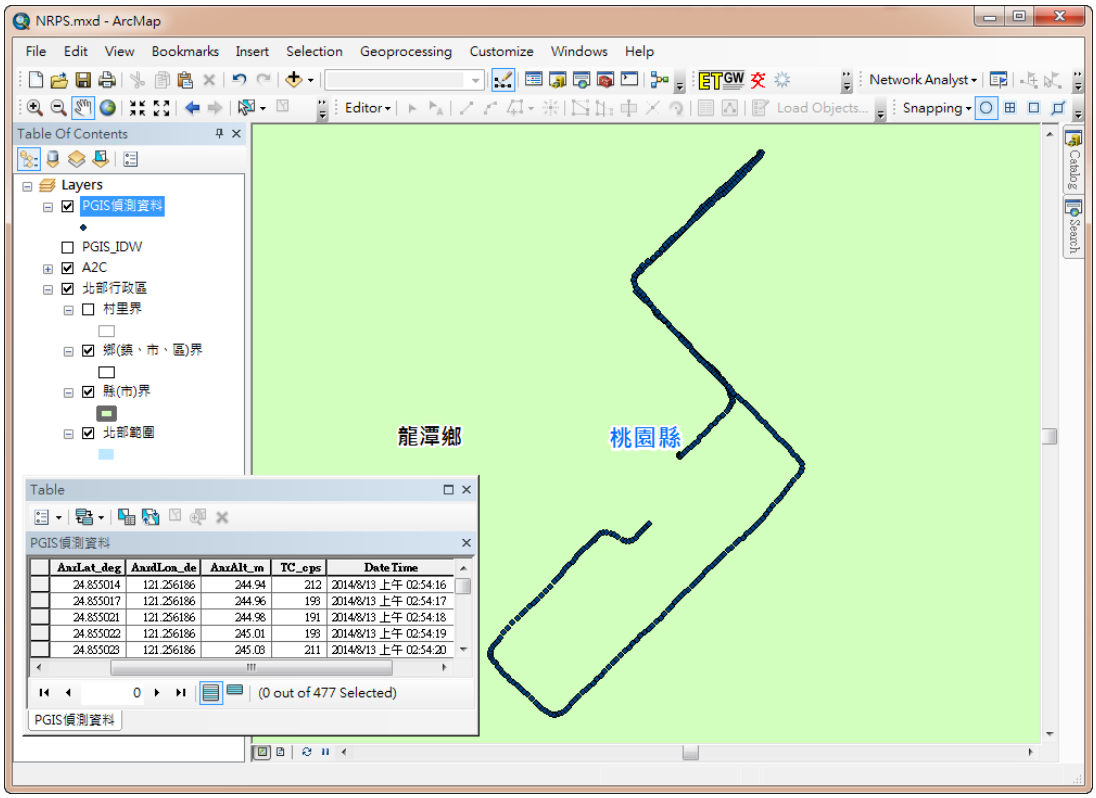


圖 3-13 匯入 PGIS-2 偵測數據後所得之向量資料

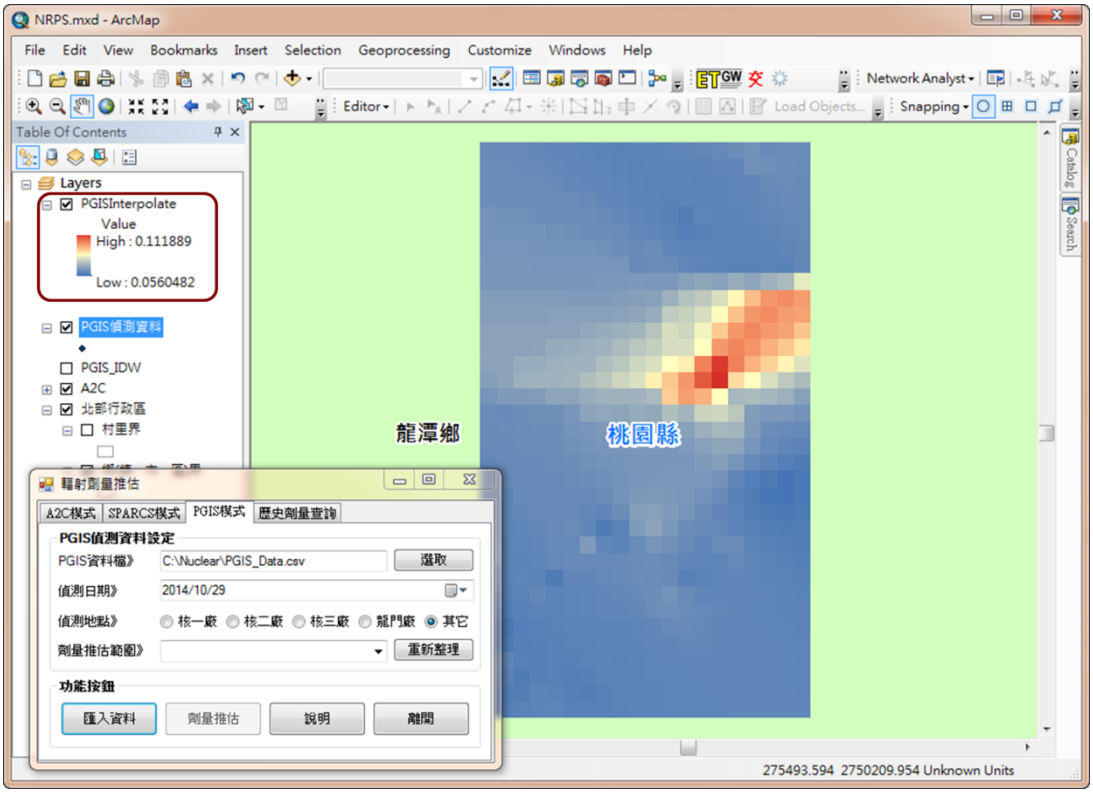


圖 3-14 將 PGIS-2 偵測數據以 IDW 法進行空間內插後所得之網格資料

3.4 無人載具空中輻射偵測總結

在空中偵測實務經驗方面，為達成空中偵測技術發展與作業程序建立，克服飛行限制等問題，本所與逢甲大學地理資訊中心合作，利用商用碘化鈉(NaI)偵檢器，配合無人載具(直升機)，進行空中輻射偵測測試並進行數據分析，以提高實驗的自主性，並將技術回饋至 SPARCS 的應用層面上，目前已有不錯的成效。

利用無人載具掛載輻射偵檢器，亦可應用於核子事故期間高輻射污染區域之偵測作業，於事故初期可協助快速取得大範圍之輻射偵測數據。日本於 311 福島事故後迄今，福島第一核電廠半徑 3 公里範圍內仍畫為禁航區，區內係採用日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)所研發之無人輻射偵測飛機(如圖 3-15 所示)來執行輻射偵測作業，協助相關復原措施之執行與規劃，從技術層面與應用價值的角度上來看，此亦為國內值得建立與推廣之技術。

圖 3-15 日本原子力研究開發機構(JAEA)所研發之無人輻射偵測飛機

第4章 空中輻射偵測資料即時無線傳輸技術開發

鑒於本所現有的空中輻射偵測設備乃屬現場單機紀錄之運作方式，且需在偵測任務執行結束後方能進行事後之分析作業，故無法針對輻射劑量空間區域之累積狀況進行即時判讀，缺乏緊急應變任務所需之即刻性，且對核子事故之影響範圍亦無法即時做監控。因此，本研究將針對本所現有之空中輻射偵測設備及單機版程式，進行解析作業。其作業內容含括：設備與單機間之傳輸方式解析、單機紀錄程式解析，以及解析程式碼與程式碼間相關紀錄欄位，並針對這些解析資料，開發一套即時資料整合系統模組，安裝於空中偵測單機版電腦中，使緊急應變中心能夠即時取得空中偵測資料，滿足立即決策之需求。

由於空中輻射偵測目前是單機作業，故無法將資料回傳至遠端。為此，為配合即時資料傳輸模組，另需再行開發出一套無線傳輸回傳模組，以便將所紀錄之各筆資料傳送至遠端。且由於空中偵測無線傳輸，需考量飛行速度與飛行高度，以建立傳輸能力架構，其包含了空中及地面如何發送、地面及遠端如何接收等，故另需再開發空中偵測單機版傳輸發送模組及遠端接收模組兩項主要程式，以便隨時接收最新資料並做即時之資料更新。

此外，傳輸能力必須額外考量若無線傳輸環境不佳時，需具備之儲存及補傳輸之能力，以避免偵測資料遺漏，且所有的空中偵測數據和結果，皆具有座標值及所對應之偵測值。為此，需針對傳輸回遠端之各筆資料，進行即時空間展示作業，以建立在視覺化下即可立即做

應變和決策之能力。同時，空間圖台必須即時展繪所接收到的各項偵測點位與資料，並整合本所現有之各項圖資資料，以利判讀與調整應變策略。

4.1 SPARCS-A 空中偵測系統數據傳輸模組之研發

SPARCS-A 空中偵測系統係由(1)碘化鈉偵檢箱、(2)資料擷取和傳送單元(ATU)及(3) 筆記型電腦共三個部分所組成，如圖 2-1 和圖 2-2 所示。ATU 用以接收碘化鈉偵檢箱之偵測數據，並即時地展示偵測點位，但 ATU 和筆記型電腦必須搭配碘化鈉偵檢箱與空中偵測直昇機一同出勤，以致所有的偵測數據皆須等待任務結束返回地面後，指揮中心方能去執行後續的數據判讀及分析，此現象並不利於緊急應變快速決策之需求。由此，本研究遂規劃進行無線數據傳輸模組之研發，但在此之前，須先進行空中偵測系統之解析。

SPARCS-A 空中偵測系統之解析程序可以細分為以下三個步驟：

- (一)、每秒儲存一筆偵測資料：

  待 ATU 與碘化鈉偵檢箱連結成功後後，ATU 會以每秒一筆資料之方式將偵測結果儲存成如圖 4-1 之格式。

圖 4-1 ATU 每秒資料儲存畫面圖

➢ (二)、每秒儲存同一檔案偵測資料：

除了每秒儲存一筆偵測資料外，ATU 還會把每秒的資料儲存在同一個檔案內，並將每秒動態即時寫入同一個*.dat 紀錄檔中，直到偵測任務結束為止，如圖 4-2 所示。

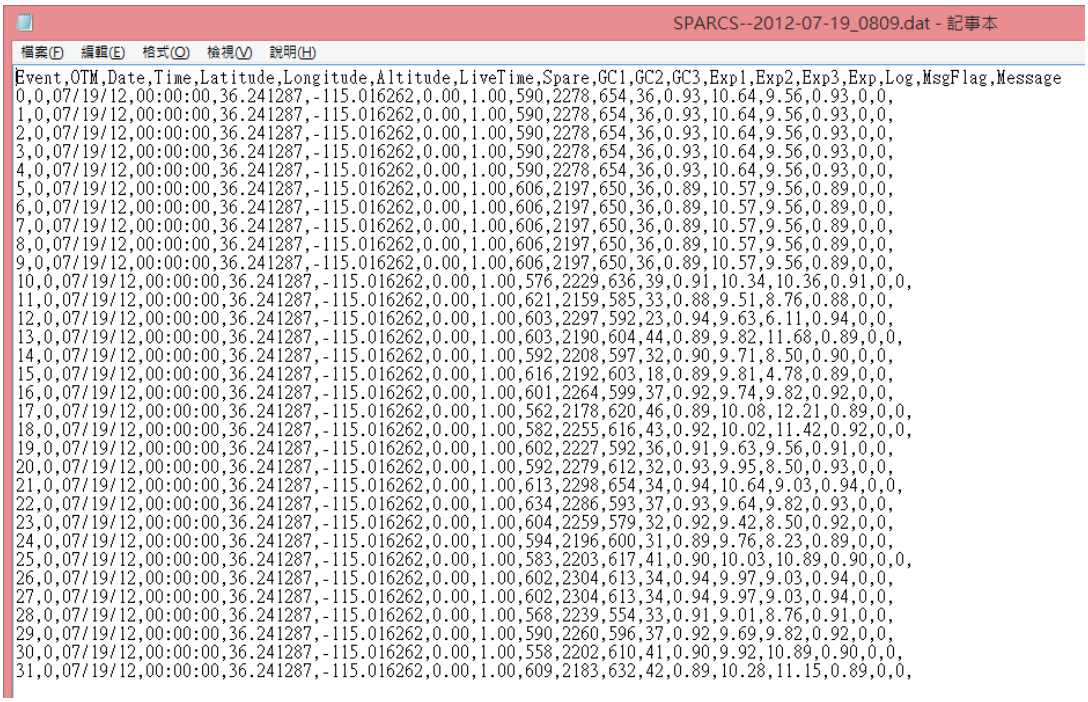


圖 4-2 ATU 寫入每秒之動態於同一個*.dat 紀錄檔中

➢ (三)、將偵測資料和座標轉換成 GIS 圖檔：

每個*.dat 紀錄檔內均含有重要的 GPS 坐標，故在偵測任務結束時，ATU 會自動地將座標值轉換成 ArcGIS 的 SHP 檔案格式及 Google Earth 的 KML 或 KMZ 檔案格式，如圖 4-3 所示。

圖 4-3 ATU 會自動將座標值轉換成 ArcGIS 的 SHP 檔案格式及 Google Earth 的 KML 或 KMZ 檔案格式

SPARCS-A 空中偵測系統無線數據傳輸模組之研發：

- (一)資料傳輸模組：

  本研究將以可延伸標記式語言(eXtensible Markup Language, XML)技術來開發無線資料傳輸模組程式，該 XML 所開發之程式，將安裝於單機版電腦中，並結合雲端的技術，將本設備之偵檢資料傳輸至雲端。目前 XML 無線傳輸模組程式仍在持續開發階段。

- (二)雲端儲存空間：

  雲端儲存空間，主要目的在提供一個儲存空間，來存放每秒一筆的偵測資料及*.dat 檔案之用，同時，可以減少本所另外購置硬體伺服器之成本以及網路頻寬。目前規劃以 Dropbox 為主，因 Dropbox 本身可以進行資料夾共享設定，且透過網際網路即可分享欲共用之檔案，因此，透過 XML 所開發之無線傳輸模組程式，

預計將以每秒一筆的偵測資料及*.dat 檔案來做即時上傳，達成檔案分享並給資料接收模組使用之目標。

- (三)資料接收模組：

  本研究將以 XML 技術來開發無線資料接收模組程式，本接收程式將到雲端資料中，提取每秒一筆的偵測資料及*.dat 檔案內容，並即時匯入地面指揮中心電腦中，亦即「輻射偵測數據推估空間展示決策系統」可以讓指揮中心立即檢視偵測結果與偵測路徑，有助於緊急應變之決策。

4.2 PGIS-2 輻射偵檢設備數據傳輸模組之研發

為探究無人載具運用於空中輻射偵測之可行性並確保空中輻射偵測數據之品質，本研究採購一套商用之簡易型、輕量化，同時具備 GPS 定位功能與資料紀錄之輻射偵檢設備 PGIS-2，其中文名稱為可攜式加馬射線能譜分析儀，是由 Pico Envirotec Inc.公司所生產，具備能譜分析之能力。

圖 4-4 為 PGIS-2 輻射偵檢設備外觀示意圖，圖 4-5 為其內部構造圖。整套偵檢設備的重要規格如下：PGIS 偵檢器的組成為碘化鈉(NaI)閃爍晶體、活化劑為鉈(Tl)，體積為 1 L，重量約為 7.5 kg，主要用以偵測光子輻射。

圖 4-4 PGIS-2 輻射偵檢設備外觀示意圖

圖 4-5 PGIS-2 輻射偵檢設備內部構造圖

PGIS-2 輻射偵檢設備除了偵檢器本身外，另配有一台 Android 行動裝置以及所對應接收偵檢器數據之 APP 程式，因此必須透過該 Android 行動裝置方能顯示各筆偵測結果，而本偵檢設備已於 103 年度之計畫成果中，展現與無人載具搭配之整合研發，如圖 4-6 所示，目前已可執行中距離之輻射偵測作業。

圖 4-6 PGIS-2 輻射偵檢設備與無人載具整合研發圖

然而，在進行無人載具空中偵測時，PGIS-2 偵檢設備與 Android 行動裝置也將一併被攜至空中飛行，各項偵測結果皆須等待任務結束返回地面後，指揮中心方可做後續之核種與累積劑量等數據分析，並不利於緊急應變快速決策之需求。由此，本研究亦規劃進行無線數據傳輸模組之研發。

PGIS-2 偵檢設備會將所有的偵測結果儲存在 Android 行動裝置上，經過程式解析後，該 Android 行動裝置上的 APP 接收程式，是透過藍芽傳輸與碘化鈉偵檢器直接做連結，且能接收 1,024 個偵檢結果，然並無法即時地做顯示。因此，本無線資料傳輸模組必須以 APP 的方式來做開發，目前將欲開發之傳輸模組 APP 的功能規劃如下：

- (一)資料傳輸模組：

PGIS-2 的 Android 行動裝置 APP 接收程式，會接收每秒 1,024 個不同頻道之偵測結果，但卻只能顯示少數幾種放射性核種，此並不利於做判斷和分析。因此，透過新開發之傳輸模組 APP，將 Android 行動裝置 APP 上每秒 1,024 個不同頻道之偵測結果完全解析後做記錄，並同時傳送到雲端儲存空間中。

- (二)雲端儲存空間：

雲端儲存空間，主要目的在提供一個儲存空間，來存放每秒 1,024 個不同頻道的偵測資料。目前規劃以 Dropbox 為主，因 Dropbox 本身有 Android APP 可以進行資料夾共享設定，且透過網路即可分享共同之檔案，因此，透過資料傳輸模組將檔案即時做上傳，達成檔案分享並給資料接收模組使用之目標。

- (三)資料接收模組：

  本研究亦將以 XML 技術來開發無線資料接收模組程式，本接收程式將到雲端 Dropbox 共享資料夾中，提取資料匯入「輻射偵測數據推估空間展示決策系統」，然後交予地面人員即時做資料的判讀與分析。

4.3 建立空中輻射劑量偵檢設備即時資料傳輸能力

欲執行空中輻射劑量偵檢設備之無線傳輸，須考量到飛行速度，以適當之飛行速度來建立無線傳輸能力。截至當前，具備高速無線傳輸能力的僅有 4G 無線上網，而 5G 無線上網需待至 2020 年。因此，本研究中所承諾之無線傳輸能力，將規劃使用 4G 門號與裝置，來供 SPARCS-A 空中偵測系統和 PGIS-2 輻射偵檢設備做空中與地面資料接收使用。

本研究已於 ArcView Desktop 上開發無線傳輸與接收顯示平台，可即時接收 SPARCS-A 與 PGIS-2 之偵測資料與顯示位置，如圖 4-7 所示，另 SPARCS-A 即時無線傳輸模組介面如圖 4-8 所示，而 PGIS-2 即時無線傳輸模組介面如圖 4-9 所示。由圖 4-7 至圖 4-9 可知，本所目前業已完成開發與建置空中偵測設備之外加式即時資料傳輸模組，建立空中輻射劑量偵檢設備即時資料傳輸之能力。

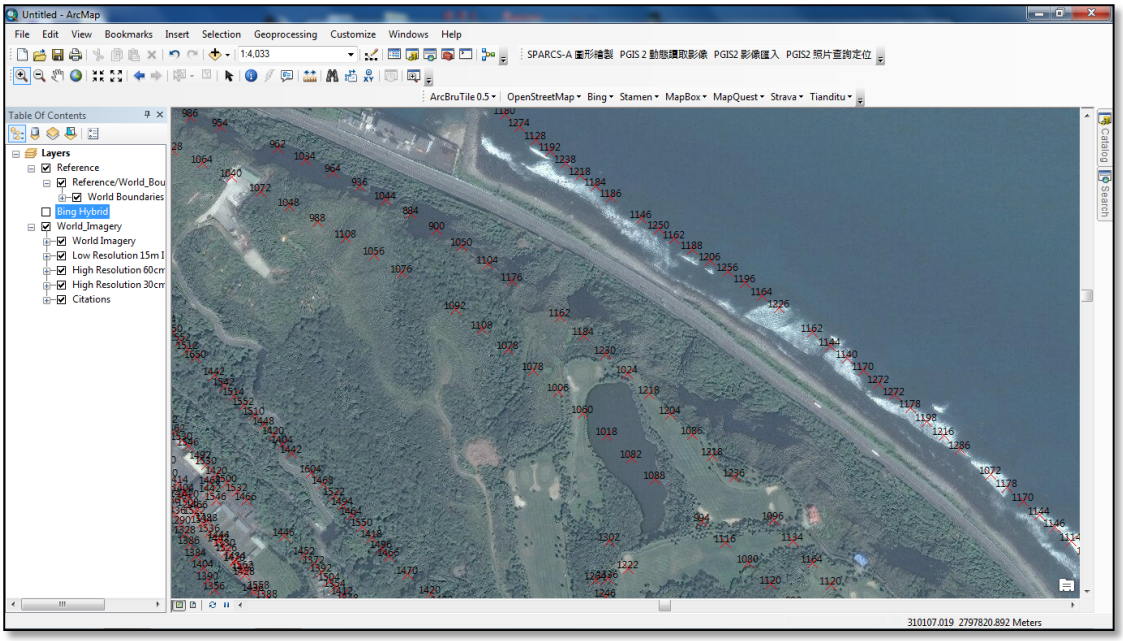


圖 4-7 無線傳輸與接收顯示平台示意圖

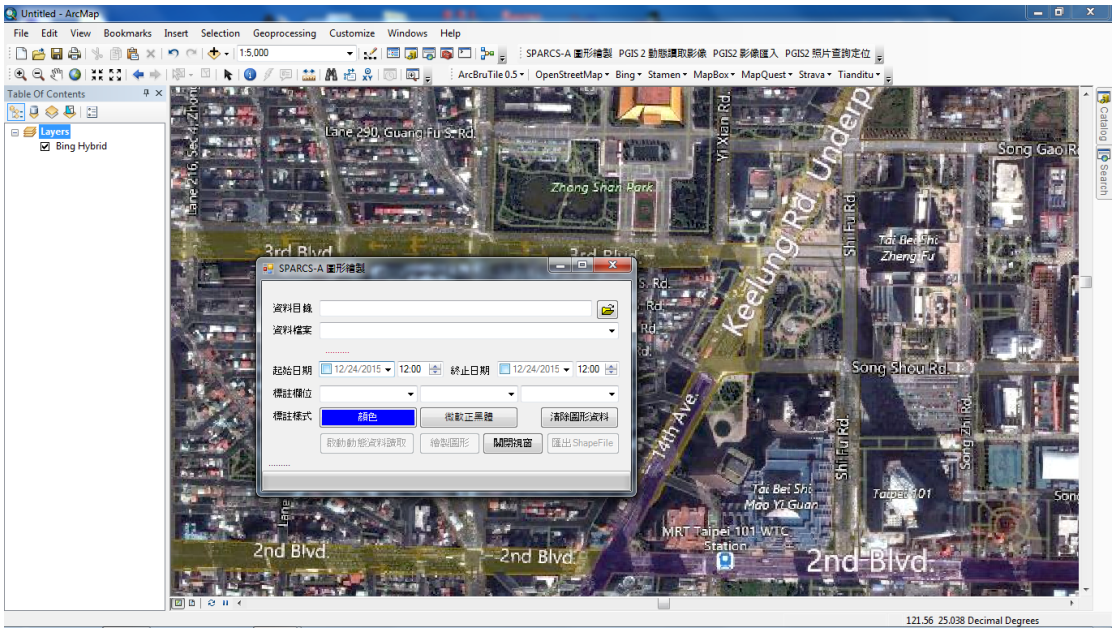


圖 4-8 SPARCS-A 即時無線傳輸模組介面

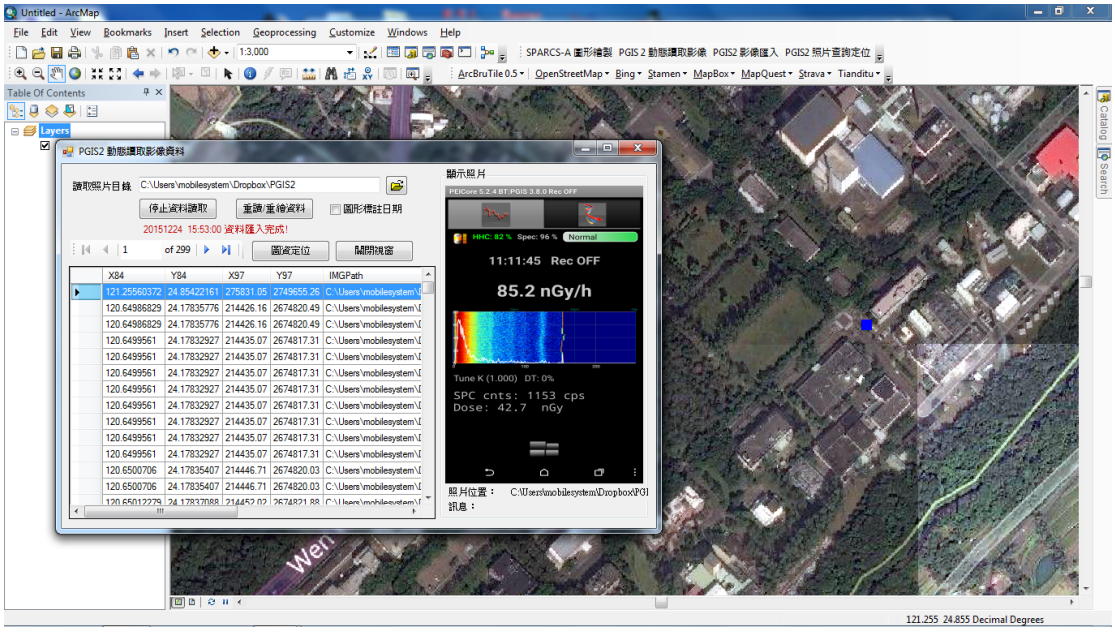


圖 4-9 PGIS-2 即時無線傳輸模組介面

第5章 核電廠擴散模擬與統計分析

5.1 概述

由於國內各座核能電廠之緊急應變計畫區有其獨特的地形特徵，目前 A2C/T&D 模式已將模式所需之地形高度資料全面更新（由原先之 1 公里提升至 250 公尺），以更加符合現今各座電廠之地形特徵，並使劑量評估模擬結果有其特有之區域分布特性。本計畫以國內目前有在商轉之核電廠作為分析對象，利用緊急應變劑量評估系統，針對我國有在商轉之三座核電廠做更深入的探討。

本研究利用現行的緊急應變劑量評估系統，針對核一、二、三廠在為期一年內，假設每天都是事故發生初始時間，進行 8 天的劑量評估計算。如此利用每日 08 時的劑量評估氣象子系統發布的 8 天預報參數，先經過混合風場得到 8 天內每小時核一廠緊急應變計畫區內的三維氣象資訊，再利用 A2C t&d/Dose 劑量評估系統進行 Cs-137 污染物排放模擬，得到 8 天的地面累積沉降量。最後，將其結果作統計分析，探討核一、二、三廠緊急應變區內之放射性物質沉降分布特性及其與地形和不同時間之關係。並作為國軍未來執行核一、二、三廠空中輻射偵測之初步建議參考。

5.2 核一廠沉降分布模擬評估分析

5.2.1 緊急應變劑量評估系統相對地理位置討論

圖 5-1 為核一廠緊急應變劑量評估系統兩個重點區域(以核電廠為中心，周圍半徑 10 km 及 20 km)之 A2C 模式地形高度圖，分析核電廠附近區域的地理特性。

(A) (B)

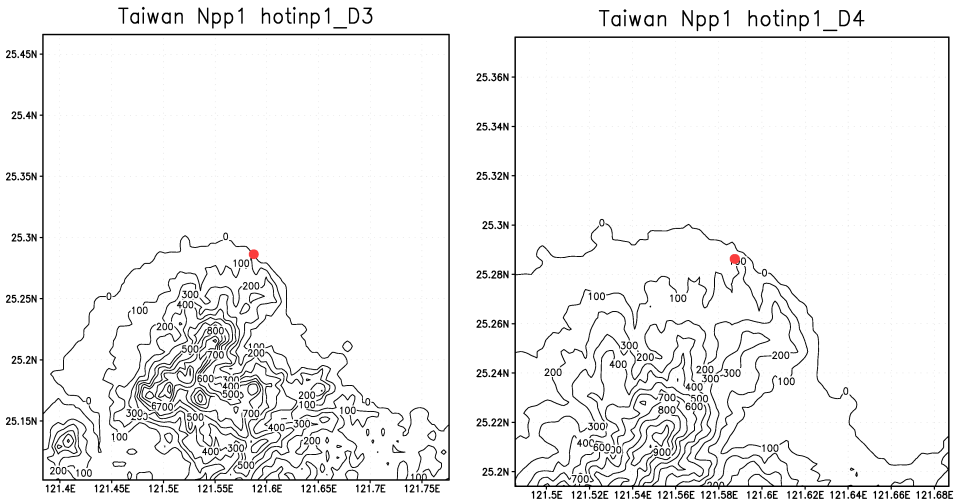


圖 5-1 核一廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 m)，圖中紅點代表核一廠所在位置。(A 網格範圍以核一廠為中心各向外 20 km，B 為 10 km)

核一廠位於新北市石門區的天然峽谷，跨乾華溪谷及小坑溪谷，西南側為大屯山火山群，離台北市直線距離約 28 公里，位於臺北盆地北方，佔地約為 245 公頃。圖 5-1(A)之半徑 20 公里的緊急應變模擬區域中(主要包含鄉鎮為石門鄉、三芝鄉及金山鄉)，而圖 5-1(B)之半徑 10 公里的緊急應變模擬區域中，則以石門區行政區尖鹿里、山溪里、石門里、茂林里、草里里等為主。

5.2.2 核一廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究

- **Cs-137 地面沉積累積量**

由2013年年平均的8天地表沉積累積量之空間分布圖(圖5-2)中，在半徑20公里範圍內之Cs-137年平均地表沉積累積量往核一廠西南方大屯火山區擴散沉降，以核電廠為中心向西南方延伸15 km，網格範圍內的沉降量較高，而北投、淡水、八里等地沉降量值約降低一個數量級，而所關心的台北盆地因為受到大屯火山的阻擋，污染物到達時皆已消散且大多被地表給吸附，故沉積量值較低。

以電廠為中心之半徑2 km範圍，整體趨勢來看污染物擴散分布位置受到東北風大環境風場影響，污染物大多數皆往西南和西方沉降擴散，呈現不對稱分布情況，此結果與核一廠所在地理位置，以及大尺度環境風場有密切關聯性。

(A) (B)

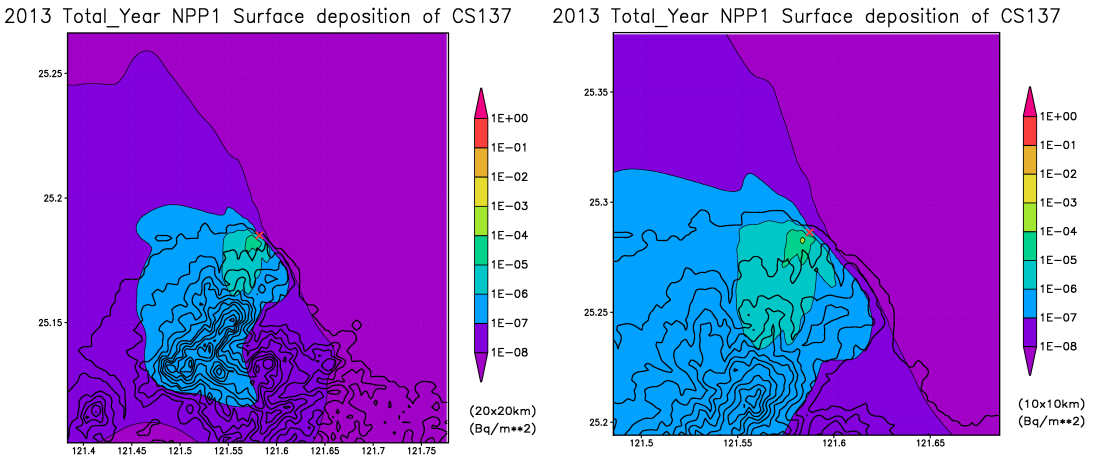


圖 5-2 Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖。圖(A)網格範圍為核一廠為中心各向外 20 km，圖(B)網格範圍為核一廠為中心各向外 10 km。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)

5.3 核二廠沉降分布模擬評估分析

5.3.1 核二廠緊急應變劑量評估系統相對地理位置討論

圖 5-3 為核二廠緊急應變劑量評估系統兩個重點區域(以核電廠為中心，周圍半徑 10 km 及 20 km)之 A2C 模式地形高度圖，分析核電廠附近區域的地理特性。

(A) (B)

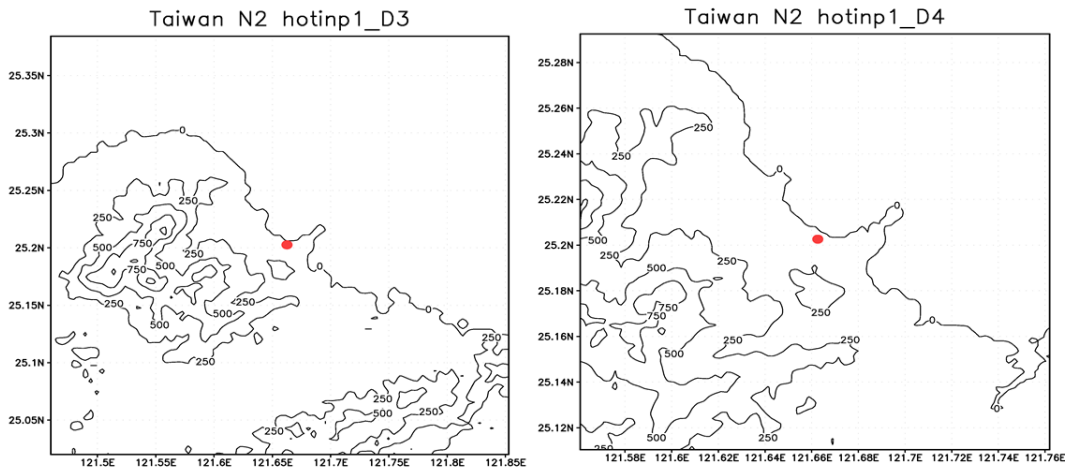


圖 5-3 核二廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 m)，圖中紅點代表核二廠所在位置。(A 網格範圍以核二廠為中心各向外 20 km，B 為 10 km)

圖 5-3(A)之半徑 20 公里的緊急應變模擬區域中(主要包含鄉鎮為萬里區、金山區及石門區)，而圖 5-3(B)之半徑 10 公里的緊急應變模擬區域中，則以萬里區行政區野柳里、清泉里、萬里里及三界里等為主。

5.3.2 核二廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究

- **Cs-137 地面沉積累積量**

由2013年年平均的8天地表沉積累積量之空間分布圖(圖5-4)中，在半徑20公里範圍內之Cs-137年平均地表沉積累積量往核二廠東北至西南方擴散沉降，而沉降量較高範圍可延伸至大屯火山區，五指山、大尖山後山和擎天崗大草原附近，而廠區半徑20 km內人口較多的內湖區，松山區、劍潭區、台北東區、新北市汐止區以及基隆市，並沒有較高沉降量值分布，大部分污染物接受到大屯火山區阻擋，並沒有直接過山。

整體趨勢來看污染物擴散分布位置主要受到東北風大環境風場影響和部分西南風影響，污染物大多數皆往東北至西南方擴散沉降，呈現東北至西南對稱分布情況。

(A) (B)

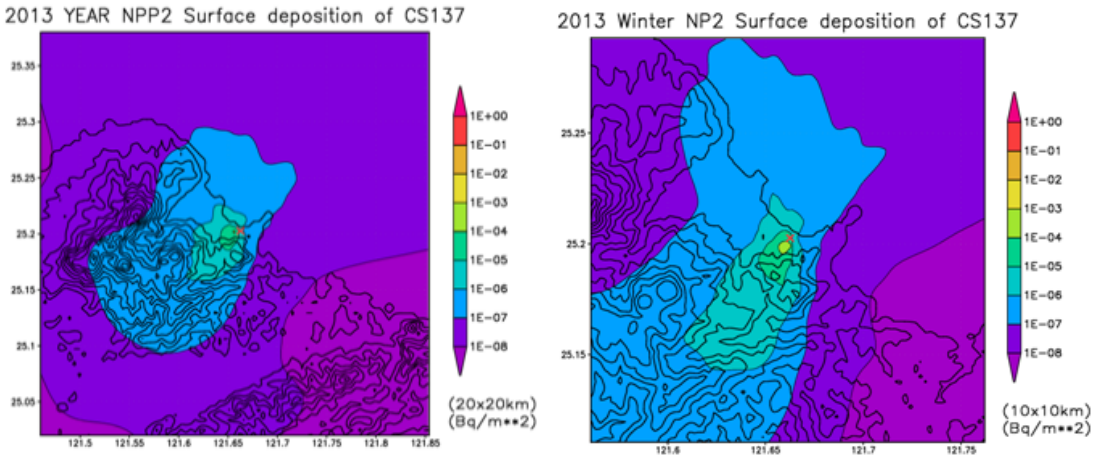


圖 5-4 Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖。圖(A)網格範圍為核二廠為中心各向外 20 km，圖(B)網格範圍為核二廠為中心各向外 10 km。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)

5.4 核三廠沉降分布模擬評估分析

5.4.1 核三廠緊急應變劑量評估系統相對地理位置討論

圖 5-5 為核三廠緊急應變劑量評估系統兩個重點區域(以核電廠為中心，周圍半徑 10 km 及 20 km)之 A2C 模式地形高度圖，分析核電廠附近區域的地理特性。

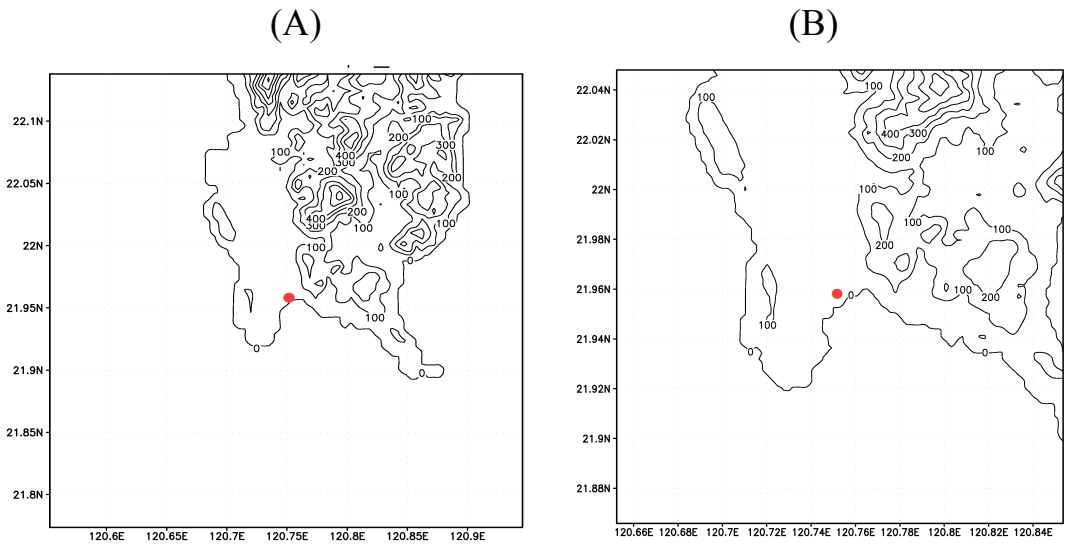


圖 5-5 核三廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 m)，圖中紅點代表核三廠所在位置。。(A 網格範圍以核二廠為中心各向外 20 km，B 為 10 km)

圖 5-5(A)之半徑 20 公里的緊急應變模擬區域中（主要包含鄉鎮為滿州鄉、車城鄉，以及恆春鎮）；而圖 5-5(B)之半徑 10 公里的緊急應變模擬區域中則以恆春鎮行政區南灣里、大光里、山海里、水泉里等為主。核能三廠南方為墾丁國家公園南灣海域。西北側為恆春鎮以及車城鄉，係核電廠鄰近區域人口較密集中；東北側則主要為地勢較高的山脈為主，如大尖山、老佛山、大山母山等。整體來看，核能三廠東北側主要為山區，南面為南灣（巴士海峽），西北側陸地區域則主要為當地人口居住處。

5.4.2 核三廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究

- **Cs-137 地面沉積累積量**

由 2012 年年平均的 8 天地表沉積累積量之空間分布圖（圖 5-6）中，在半徑 20 公里的範圍內之 Cs-137 之年平均地表沉積累積量呈現放射狀向核電廠四面八方擴散。整體趨勢來看污染物沉降分布呈現東北方低、西南方高之濃度空間分布走向，推論與核三廠所在地理位置，以及大尺度環境風場有密切關聯性。針對核能三廠風向月份時序圖分析可得知，2012 年整年度不論是夏季或者是處於季節轉換過度帶的春季，東北風分量皆佔有一定比例，使得高濃度包圍區域往西邊關山地區擴散沉降。同樣的在 8 天地表沉積累積量之空間分布圖（圖 5-6 a）中也可看到在核三廠區西側的等值線濃度較大值區較其他方向分布較廣，此應該與東邊山脈地形較高，污染物較不易越山所致。

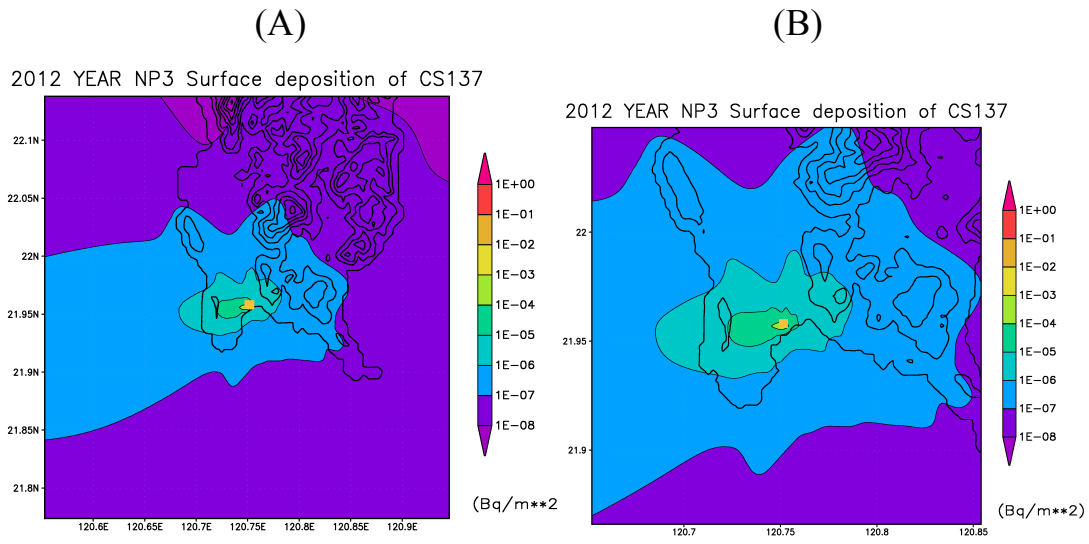


圖 5-6 Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖。圖(A)網格範圍以核三廠為中心各向外 20 km，圖(B)網格範圍以核三廠為中心各向外 10 km。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)

第6章 相關訓練課程與操作程序書

6.1 國內實務訓練課程

6.1.1 第一場實務訓練課程

6.1.1.1 訓練課程規劃

空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)操作教育訓練係由原能會主辦、國防部陸軍司令部協辦、核能研究所承辦，於101年7月26日至7月27日，假陸軍航空601旅及化學兵學校實驗訓練場辦理，訓練課程規劃邀請美國能源部(DOE)國家核子保安總署(NNSA)共 3 位講師來台，講授輻射事故緊急應變之空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統操作教育訓練。訓練對象包括：核子事故支援中心、化學兵應變人員、核子事故輻射監測中心應變人員(物管局、偵測中心、輻防處、核技處、核研所、台電人員)及國立清華大學。

訓練課程內容規劃如下：

(1) 進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A、SPARCS-M1)介紹；

(2) 空中搜索任務與運作概念；

(3) 空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)於直升機上安裝與啟動測試；

(4) 空中輻射偵測飛行搜索實作演練：

實作演練 1 － 遺失射源之道路搜索

實作演練 2 － 遺失射源之網格搜索

直升機機艙上安裝空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)，在直升機以飛離地面 50-100 m 以上、速度 50-70 節，保持恆定的高度和速度飛行至化學兵學校實驗場(預先隱藏佈置 Cs-137 活度 470 MBq 與 1,724 MBq 各 1 枚輻射源)，進行輻射偵測搜索訓練。空中偵測 SPARCS-A 實作訓練示意如圖 6-1 所示。

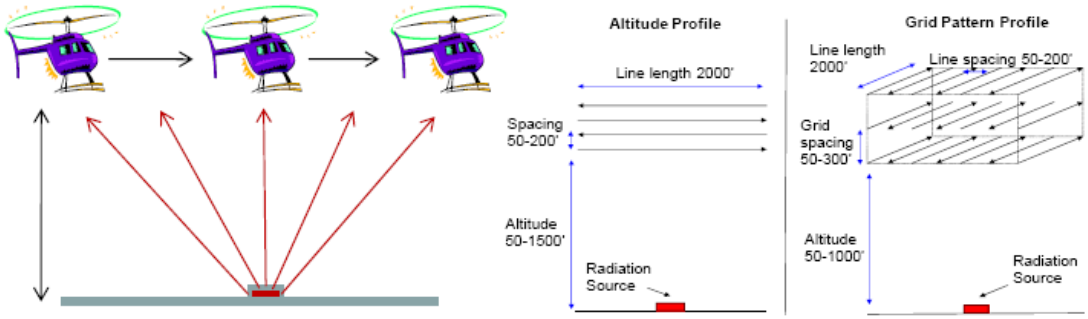


圖 6-1 空中偵測 SPARCS-A 實作訓練示意圖

(1)飛行前任務：

安裝進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)及講授飛安簡報。

(2)飛行參數：

離地面 50-100 m 以上的飛行地面；

速度 50-70 節；

保持恆定的高度和速度。

- 針對地面上多個隱藏輻射源，進行輻射偵測搜索訓練。
- 針對搜尋結果之輻射狀況，以平行間距方式進行各不同層面高度，以螺旋狀路徑網格飛行，進行輻射劑量偵測訓練。

6.1.1.2 訓練課程議程

訓練課程議程

Day 1：101 年 7 月 26 日(四)_飛行員簡報室與停機坪	
時間	課程
0900	空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)介紹
1030	休息
1045	空中搜索任務與運作概念
1200	午餐
1300	上直升機安裝空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)並執行啟動測試
1700	結束
Day 2：101 年 7 月 27 日(五)_飛行員簡報室與停機坪	
0900	飛行前解說/輻射應變團隊與機組員
1000	空中任務執行 – 遺失射源：道路搜索/網格搜索
註：機組員與應變人員將進行低空沿道路飛行及大區域網格飛行之射源搜索任務，當射源被 SPARCS-A 系統偵測到時，應變人員須通知飛行員，並以反方向再度飛行第二次以確認射源位置，機組員與應變團隊必須紀錄下畫面及 GPS 座標定位點。	
1200	午餐
1300	飛行後報告/輻射應變團隊與機組員
1500	飛行訓練成果解說
1600	訓練任務總結、結業式
1700	課程結束

6.1.1.3 具體成果展示

在陸軍化學兵學校實驗場上空執行實際飛行演練，空中搜索地面預先隱藏佈置之輻射源(Cs-137 活度 470 MBq 和 1,724 MBq 共 2 枚)，直升機以約 70 節(哩/時)之速度分別在距地面 100 ft、150 ft (50 m)、250 ft 及 300 ft (100 m)之高度下，空中搜索遺失在地面之輻射源。結果在 250 ft 之高度下，一次有輻射反應、而另一次卻沒有輻射反應；在 300 ft 之高度下，則無任何輻射反應。

空中偵測遺失射源搜索成果如圖 6-2 所示，藍色的 G 點為點射源位置，點射源周邊的紅色線則顯示輻射曝露較高之位置，綠色線顯示背景值。直升機在不同飛行高度下的輻射曝露偵檢結果如下表所示。

飛行高度(ft)	射源平均計數率(cps)	背景平均計數率(cps)
100	15,000	3,500
150	8,500	3,500
250	5,500	3,500

本台美合作案係與美國能源部(DOE)國家核子保安總署(NNSA)共同辦理〔輻射事故緊急應變之空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統操作教育訓練〕，課程內容由基礎輻射概念、個人輻射防護、空中偵測任務規劃到輻射偵測儀器之應用，以及空中偵測遺失射源之道路/網格搜索等實做演練，訓練學員認真的學習態度和熱烈的研究討論均深獲美方講師的讚賞。透過美方講師專業的講授及核研所保健物理輔導員的細心講解，讓參訓的國軍弟兄都能夠快速了解空中輻射偵測的要領，希冀能夠有效提升第一線救災之應變能力，並有效防止輻射災害之擴大，達到災害防救之目的，且能維護相關人員之輻射安全。

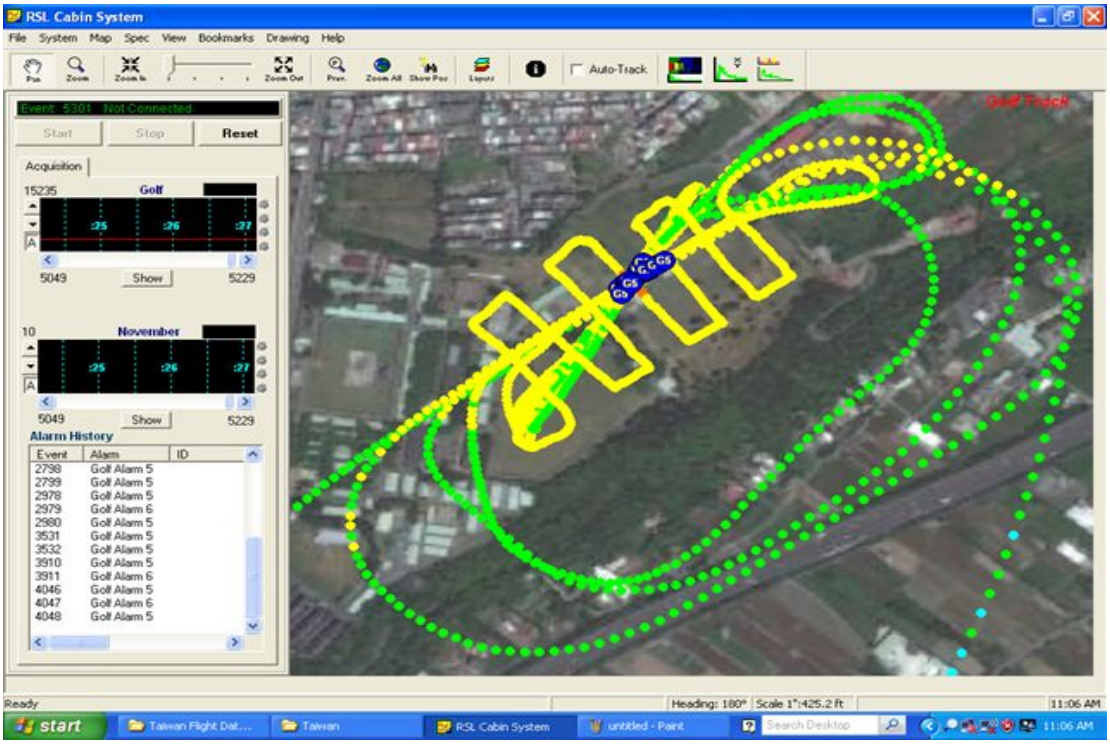


圖 6-2 空中偵測遺失射源搜索成果

6.1.2 第二場實務訓練課程

6.1.2.1 訓練課程規劃

日本 311 福島核災事件後，為強化我國空中輻射偵測作業能力，國防部陸軍司令部假台南歸仁陸航飛訓部，辦理「國軍核子事故緊急應變之空中輻射偵測訓練課程」(102 年 8 月 14 日)，核研所保健物理組立即組成專業之技術團隊，協助國防部執行本次訓練課程。

空中偵測進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)為美國能源部(DOE)國家核子保安總署(NNSA)所開發，可應用於遭受放射性核種污染環境偵測、放射性雲團外釋追蹤調查及輻射源遺失搜索等任務。

本次訓練課程之目標是希望能讓台南歸仁陸航飛訓部的國軍弟兄們了解 SPARCS-A 系統之操作原理與實務應用，並說明飛行任務的前置準備作業、任務執行間與執行任務後所應注意之事項。此外，由陸軍化學兵學校結合軍中之實務經驗講授輻射基本知識，希望能使國軍弟兄們了解輻射的基本原理、輻射防護及劑量規範。

訓練課程內容規劃如下：

✧ **認識輻射：**

「認識輻射與輻射安全防護」課程由國防部陸軍司令部蘇冠宇少校授課，蘇少校擁有輻射防護師及甲級毒性化學物質專業技術管理人員證照，於軍中擔任「AN/VDR-2 野戰輻射偵測器校正實驗室」主任及輻射防護相關工作，對輻射有相當程度之了解。

課程內容包含輻射基本原理、輻射對人體造成之健康效應影響及輻射安全與劑量管制要求，於 1 小時課程中讓國軍弟兄們能對輻射有最基本的認識。同時，蘇少校亦於課程中分享軍中執勤的實務經驗，讓國軍弟兄們能快速進入認識輻射的情境。

✧ **飛行安全與作業執行技術要領：**

飛行安全與作業執行技術要領課程由徐連靖少校介紹輻射空中載具，包含 UH-1H 直升機的裝載能力與座艙說明、不同直升機種的任務說明以及相關指揮權責分配，最後說明民國 101 年核能一廠演習時國軍空中偵測的支援情形與任務配置。

✧ **空中偵測系統執行任務與運作概念：**

空中偵測系統執行任務與運作概念課程由核研所保物組黃昭輝副研究員授課，由執行空中偵測任務之必要性、任務執行方式、SPARCS-A 元件說明到整個空中偵測應注意的程序，進行一系列完整的說明。

空中偵測之目的乃在於監測與調查輻射污染或可能擴散之範圍，例如日本 311 福島核災事件中，美方即利用空中偵測系統來評估福島外釋放射性煙羽之可能飄散範圍。飛行任務前，應先由輻射大氣擴散相關人員評估放射性煙羽可能飄散之方位與範圍，依其結果擬定空中偵測飛行路線與計畫，供飛行員於擬定飛行任務時作參考。

由於執行空中偵測任務過程所需注意之事項非常繁瑣，故課程後半段係針對空中偵測飛行程序書來進行深入的說明，讓國軍弟兄們能了解飛行前應先進行哪些儀器設備之檢查與設定；飛行中應注意之飛行速度、高度及應記錄的內容；飛行後的相關除污作業程序等。

✧ **空中輻射偵測任務實作演練前置課程：**

空中輻射偵測任務實作演練前置課程由核研所保物組張淑君副研究員授課，除接續黃昭輝副研究員之課程外，主要對於本次空中偵測飛行任務進行完整的說明。本次的飛行任務共區分成兩部分：一為國土放射性核種污染環境調查，另一為射源搜索任務。

國土放射性核種污染環境調查之目的係在核子事故發生後，能掌

握放射性煙羽因沉降所造成土地污染之範圍，推算出可能造成之劑量影響。本次任務是假設新化交流道為核能電廠發生事故，調查新化交流道至虎頭埤間的污染情況。

射源搜索任務之目的係在鎖定與縮小射源遺失的範圍，加速尋獲遺失之射源。本次任務是假設射源遺失在虎山附近，藉由來回不同飛行高度(200、150 及 100 m)做 Z 字型之飛行，確認射源遺失的位置。

✧ **實作演練：**

飛行實務演練。演練過程將人員為兩組，其中一組由核研所保物組派員組成，前往虎山訓練場設置輻射源，作為射源搜索任務之目標；另一組人員則在飛訓部內進行 SPARCS-A 儀器架設與儀器設定說明。透過實際操作演練，讓參訓學員能對 SPARCS-A 系統有更深的體會與認識。

✧ **飛行任務完成與偵測解析：**

經台南歸仁飛訓部國軍弟兄辛苦完成飛行任務並順利取得飛行任務中 SPARCS-A 空中偵測之紀錄資料，由核研所保物組盧仲信助理工程師進行資料之分析與解讀，說明整趟飛行任務之飛行路徑、偵測計數率及推測出射源可能放置的位置(射源搜索任務)。課程尾聲，由核研所保物組張淑君副研究員針對本次飛行任務成果進行通盤的說明，同時感謝國軍弟兄辛苦的任務執行。訓練課程最後由國軍陸軍司令部長官進行訓勉，期許國軍能建立空中偵測的技術與能力，俾便未來能夠因應各種輻射的偵測任務。

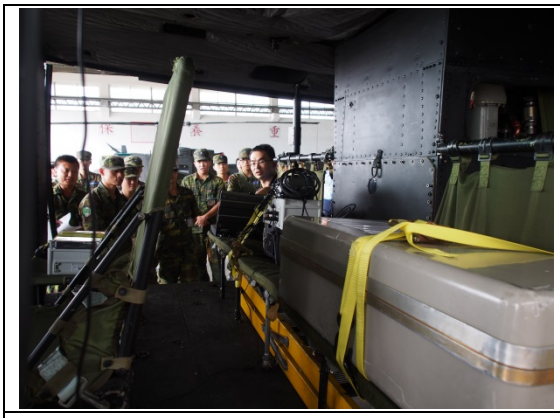
6.1.2.2 訓練課程議程

訓練課程議程

國軍核子事故緊急應變-空中輻射偵測訓練課程表 時間：102年 8月14日			
時間	題目/課程	講者/教官	備註
0830–0850	報到		飛行訓練指揮部
0850–0900	主席致詞		
0900–0940	1. 認識輻射 2. 基本輻射防護原理與劑量安全管制作為	蘇冠宇上尉 (化學兵學校)	
0940 –0950	休息		
0950 –1030	飛行安全與作業執行技術要領	王建傑少校/ 徐連靖少校 (航空六○一旅)	
1030 –1040	休息		
1100 –1210	1. 進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)介紹 2. 空中搜索任務與運作概念 3. 執行空中偵測任務之作業程序及技術整備作業	黃昭輝副研究員 張淑君副研究員 (核能研究所)	
1210– 1330	午餐、休息		
1330 –1400	進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A), 安裝與執行操作說明	盧仲信工程師 周郁翔工程師 黃昭輝 張淑君 潘宗梁 蘇淑霞 林建功 (核能研究所)	分兩組區 1.虎山訓場 2.飛訓部
1400 –1530	實作演練：分組練習 空中進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)執行： 射源搜索偵測/網格搜索(模擬空中搜索偵測)		
1530 –1550	休息		
1550 –1630	任務後成果說明	盧仲信工程師 張淑君副研究員 (核能研究所)	黃昭輝
1630– 1700	檢討與討論		
1700	歸賦		

6.1.2.3 具體成果展示

<table>
<tr><td colspan="2">認識輻射課程</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">飛行安全與作業執行技術要領與任務運作概念課程</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">實作演練課程</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">空中輻射偵測任務完成與偵測解析</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
</table>

6.1.3 第三場實務訓練課程

6.1.3.1 訓練課程規劃

為強化我國空中輻射偵測作業能力與實務經驗，透過台美民用核能合作會議 於 102 年 12 月 10 日至 12 月 12 日邀請美國能源部(DOE)國家核子保安總屬(NNSA)於 Advanced SPARCS Aerial Radiological Survey Work 訓練課程派員擔任授課講師，本次訓練課程可分為室內課程(兩日)與室外課程(一日)兩項，相關照片紀錄如圖 6-3 所示。

訓練課程內容規劃如下：

- **室內課程(102 年 12 月 10 日)：**
- 假核能研究所 035 館 2 樓會議室進行室內課程訓練，內容包含：
  (1) SPARCS-A 系統簡介及應用；
  (2) 操作觀念；
  (3) 儀器展示；
  (4) SPARCS-A 操作介面說明；
  (5) 國際上空中輻射偵測之經驗回饋。

- **室內課程(102 年 12 月 11 日)：**
- 假陸軍航空特戰指揮部第 601 旅進行室內課程訓練，內容包含：
  (1) 以核能二廠假設事故地點之 IXP 模擬結果與飛行規劃；
  (2) 台灣劑量評估系統經驗交流；
  (3) 飛行任務規劃；
  (4) 劑量回推模式；
  (5) 儀器架設教學。

- **室外課程(102 年 12 月 12 日)：**
- 假陸軍航空特戰指揮部第 601 旅進行室外課程訓練，內容包含：

  (1) 福島飛行經驗交流；

  (2) 飛行任務執行(如圖 6-4 所示)；

  (3) 飛行數據分析(如圖 6-5 所示)。

圖 6-3 相關照片紀錄

6.1.3.2 具體成果展示

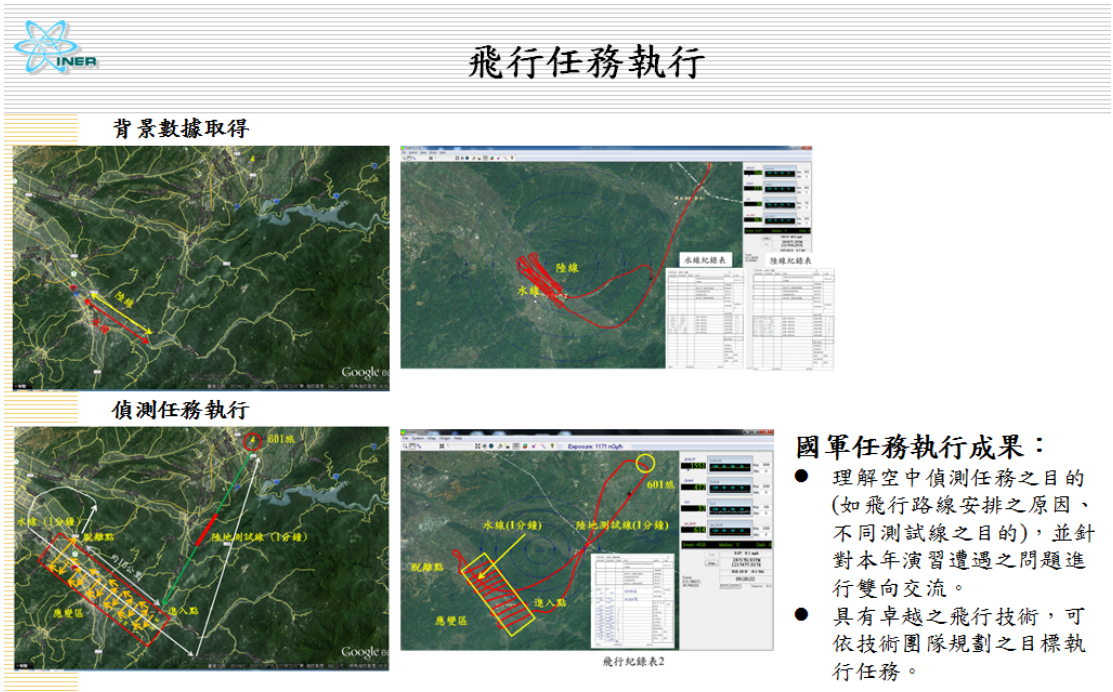


圖 6-4 飛行任務執行

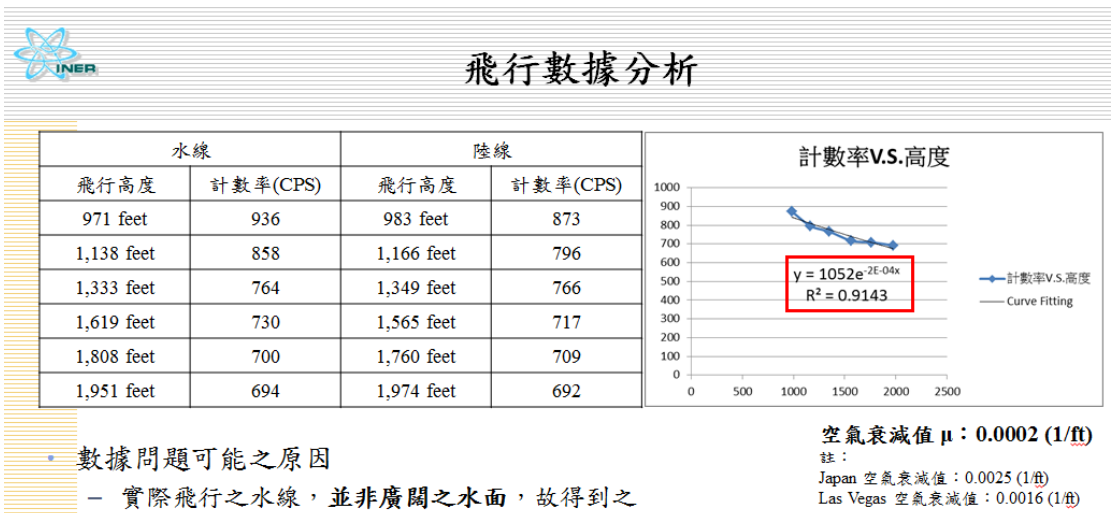


圖 6-5 飛行數據分析

6.2 國外實務訓練課程

6.2.1 第一次赴美實務訓練

6.2.1.1 摘要及目的

本次參訪行程係由美國能源部國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)規劃邀請，使台美雙方在既有之核能資訊交流管道下，於緊急應變作業規劃進行意見交流，同時並參訪 NNSA 轄下之實驗室(Remote Sensing Laboratory, RSL、Nevada Nuclear Security Site, NNSS 與 National Atmospheric Release Advisory Center, NARAC 等)，以瞭解美國相關應變作業整備工具發展現況，汲取相關經驗，以作為我方後續整備作業參考。行程由原能會核能技術處陳文芳副處長帶領相關技術團隊，進行應變與評估技術學習及經驗交流，成員有原能會核能技術處陳思嘉技士、交通部中央氣象局鄧仁星博士及原能會核能研究所盧仲信助理工程師。

6.2.1.2 訓練過程

本次公差日期為自 2014 年 5 月 3 日起至 5 月 11 日，共計 9 天，參訪行程由美國能源部(Department of Energy, DOE)國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)規劃安排，並由 NNSA 國際緊急應變與合作辦公室副處長 Ann Heinrich 全程陪同，行程概述如下：

5/3 由桃園機場飛美國洛杉磯國際機場，再轉機至拉斯維加斯麥卡倫國際機場，之後搭公車抵達住宿地點。

5/4 行前準備會議。

5/5~5/6 到達位於內利斯空軍基地(Nellis Air Force Base)之遙測實驗室(Remote Sensing Laboratory, RSL)進行為期兩天的參訪行程。第一天行程內容包含 RSL 的任務介紹、空中偵測作業(Aerial Measuring System, AMS)說明、緊急通訊網路(Emergency Communication Network, ECN)介紹、後果管理(Consequence Management, CM)輻射偵測取樣儀器展示說明，以及 International Radiological Mapping Application (IRMA)地理資訊系統訓練課程。第二天行程上午為持續 IRMA 系統操作訓練，下午為 AMS 偵測儀器 SPARCS 系統的應用解說。

5/7 搭車前往內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)，主要參觀放射性廢棄物處置設施(Radioactive Waste Management Complex, RWMC)、ICECAP、Sedan Crater、T-1 Training Area 等設施與地點。

5/8 上午由拉斯維加斯麥卡倫國際機場搭機飛往舊金山國際機場，下午前往勞倫斯利弗莫爾國家實驗室(Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL)，主要參訪國家大氣釋放諮詢中心(National

Atmospheric Release Advisory Center, NARAC)，行程內容為 NARAC 業務介紹，之後轉往其內部訓練中心進行 IXP 訓練課程，行程最後為參訪放射性支援方案(Radiological Assistance Program, RAP)位於 LLNL 附近之辦公室。

5/9 上午持續 IXP 與 HotSpot 程式實作訓練課程，下午為簡介馬紹爾群島核試爆後之改善計畫，以及參觀國家點火設施(National Ignition Facility, NIF)，最後於雙方議題討論後結束本次參訪行程。

5/10~5/11 由舊金山國際機場搭機返國。

詳細出國公差報告內容請參閱 2014 美國公差報告(I)_INER。

6.2.2 第二次赴美實務訓練

6.2.2.1 摘要及目的

本次技術交流與訓練行程係由美國能源部國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)規劃邀請，舉辦空中輻射偵測系統(Aerial Measurement System, AMS)技術交流與訓練，我國參加成員有原能會核能技術處周嘉慧技士、陸軍司令部蘇冠宇少校與張如嫻上尉，及原能會核能研究所陳韋新助理研發師與盧仲信助理工程師等共五人，與巴西、智利、墨西哥等國代表共同於位在拉斯維加斯的遙測實驗室(Remote Sensing Laboratory, RSL)，進行為期五天之AMS訓練課程，除了SPARCS儀器說明與操作及相關軟體的應用外，各國參訓成員共分成四組，由 RSL 之專家群帶領，上直升機進行空中偵測作業之實務訓練，共含括校正線螺旋飛行、水平間隔導引(Steering)飛行、目標區域空中量測、空中射源搜索，以及模擬器(Simulator)地面道路搜索等課目，課程最後並由 RSL 專家示範偵測數據處理分析與 GIS 製圖之流程。

本次訓練課程主要目的為強化國內空中偵測實務操作經驗及相關軟體應用時機與數據資料轉換處理能力。

6.2.2.2 訓練過程

本次公差日期為自 2014 年 10 月 25 日起至 11 月 2 日, 共計 9 天，參加由美國能源部國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)舉辦之空中輻射偵測系統(Aerial Measurement System, AMS)技術交流與訓練課程，共有台灣、巴西、智利，及墨西哥等 4 個國家共 11 名成員參與本課程。並由 NNSA 國際緊急應變與合作辦公室處長 Vincent J. McClelland 及副處長 Ann Heinrich 全程陪同，行程概述如下：

10/25 由桃園機場飛美國洛杉磯國際機場，再轉機至拉斯維加斯麥卡倫國際機場，之後搭車抵達住宿地點。

10/26 行前準備會議。

10/27 於內利斯空軍基地(Nellis Air Force Base)之 RSL 進行為期二天的訓練課程。首先由 RSL 主任致歡迎詞後，即開始由專家群進行 RSL 組織任務及 AMS 概述簡報，之後由各參與國家分享緊急應變執行經驗，我方由周嘉慧以福島事故後國內緊急應變整備作業之提升為題報告。下午課程為介紹 AMS 於緊急應變之任務需求、應用時機及地面支援之 Home Team 作業，隨後前往機棚說明後續實際飛行之相關注意事項，最後解說導引飛行員依規畫路線飛行的原則，與相關導航輔助設備。

10/28 於 RSL 上午排定之飛行組為莫哈維湖(Lake Mohave)螺旋高度爬升與校正線飛行，下午之飛行組為 Government Wash 水平間隔飛行導引與天然背景輻射調查。未排定上機學員進行機組員輻射安全基礎與作業曝露準則、校正線(Calibration Line)與地面信賴值(Ground Truth)、AMS 空中任務規劃及 AMS 儀器功能說明與操作練習。

10/29 前往內華達國家安全區(Nevada National Security Site,

NNSS)內之 Desert Rock Airport，本日排定飛行之二組為共同完成 NNSS 第三區(Area 3)特定區域之水平間隔輻射偵測。未排定上機學員進行 SPARCS 與 MobileCabin 程式使用與應用，及程式產生之偵測資料檔案格式解說之課程，並講解莫哈維湖校正線的資料分析結果。

10/30 上午於 NNSS 內 Desert Rock Airport 由四組學員輪流執行空中射源搜索課程，未上機學員為儀器操作與課程相關內容討論。下午為 NNSS 主要地標如 ICECAP、Sedan Crater 等參觀與解說。

10/31 前往 North Las Vegas Airport，進行空中偵測數據之分析與處理示範。最後由巴西代表分享 2014 年世界盃足球賽，賽前利用 SPARCS 針對球場周圍執行輻射偵測之經驗，及應用於巴西境內環境輻射調查之實例與成果。

11/01~11/02 回程。

詳細出國公差報告內容請參閱 2014 美國公差報告(II)_INER。

6.2.3 第三次赴美實務訓練

6.2.3.1 摘要及目的

本次國外公差行程係由美國能源部國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)規劃邀請，舉辦國際空中輻射偵測系統技術交流與訓練課程(International Training Course on Aerial Measurement System Technical Exchange)，我國參加成員有陸軍司令部蘇冠宇少校，及原能會核能研究所盧仲信助理工程師等二人，與巴西、智利、墨西哥、冰島與法國等國家代表，共同於位在拉斯維加斯的北拉斯維加斯機場(North Las Vegas Airport)，進行為期五天之 AMS 技術交流與訓練課程，主要為介紹與實作新的空中偵測數據擷取與分析處理軟體高階視覺化與資料整合系統，其中兩天並安排實際於內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)第三區(Area 3)執行上機實務訓練，並將偵測所得到之數據，利用高階視覺化與資料整合系統數據分析功能，進行數據分析與結果製圖之講解與實作。

本次訓練課程主要目的為強化國內空中偵測實務操作經驗，並更新相關軟體，同時建立國內數據資料後處理與結果製圖之能力。

6.2.3.2 訓練過程

本次公差日期為自 2015 年 10 月 31 日起至 11 月 8 日, 共計 9 天，參加由美國能源部國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA) 舉辦之國際空中輻射偵測系統技術交流與訓練課程(International Training Course on Aerial Measurement System Technical Exchange)，共有台灣、巴西、智利、墨西哥、法國與冰島等 6 個國家共 13 名成員參與本次交流與訓練。並由 NNSA 國際緊急應變與合作辦公室處長 Vincent J. McClelland 及副處長 Ann Heinrich 全程陪同，行程概述如下：

10/31 由桃園機場飛美國洛杉磯國際機場，再轉機至拉斯維加斯麥卡倫國際機場，之後搭車抵達住宿地點。

11/01 行前準備會議。

11/02 於北拉斯維加斯機場進行高階視覺化與資料整合系統的介紹與功能展示。

11/03~11/04 前往內華達國家安全區(NNSS)內之 Desert Rock Airport，並分組搭乘直升機執行第三區(Area 3)的空中偵測作業。

11/05 於北拉斯維加斯機場進行，介紹與實際操作利用高階視覺化與資料整合系統處理 Area 3 偵測數據，包含數據匯入、資料展示、雙視窗(2 Windows)演算法與結果製圖等。

10/06 介紹 IXP (International eXchange Program)與 IRMA (International Radiological Mapping Application)系統。

11/07~11/08 回程。

詳細出國公差報告內容請參閱 2015 美國公差報告_INER。

6.3 操作程序書

本節摘述本四年期(自 101 年至 104 年)計畫之相關操作程序書，期達經驗傳承之目標，各年度所撰寫之操作程序書與訓練課程講義如下所列：

- **101 年：**

  作業程序書

  1. USDOE SPARCS-A User Guide
  2. 101 年空中偵測程序書(1)
  3. 101 年空中偵測程序書(2)

  訓練課程講義

  1. USDOE Advanced SPARCS Aerial Training Agenda
  2. USDOE SPARCS-A Aerial Survey Mission
  3. USDOE SPARCS-M1 Aerial Search Mission

- **102 年：**

  作業程序書

  1. 2013_空中偵測污染調查執行規範作業程序書
  2. 2013_空中偵測輻射防護計畫與輻射安全評估
  3. 2013_空中輻射監測技術要求與作業規範指引
  4. 2013_SPARCS-A Operators Manual
  5. 2013_SPARCS-M Operators Manual
  6. 2013_AMS Detector Pods Conversion Factors

  訓練課程講義

  1. 空中偵測系統-執行任務與運作概念
  2. 空中偵測實作訓練成果 20131213
  3. 空中偵測演習任務簡報

4. 美方空中偵測 CF 推算法
5. AMS_Reachback for Taiwan
6. Operation Tomodachi
7. US DOE Aerial Response to NPP Accident Dec 2012
8. US DOE SPARCS Flight Log
9. USDOE Aerial Measurements Overview Nov 2011a
10. USDOE SPARCS-A Aerial Survey Mission May 2013
11. USDOE SPARCS-A Operators Manual May 2013
12. USDOE SPARCS-M1 Operators Manual May 2013

- **103 年：**

作業程序書

1. 空中輻射偵測系統操作手冊

訓練課程講義

1. Course Overview
2. Crew Radiation Satety_Basics
3. Aerial Missions Overview_SPARCS
4. SPARCS-M Hardware and Software
5. SPARCS-A Hardware and Software
6. AMS Aerial Mission Planning
7. Steering
8. Quality Assurance and Control
9. Calibration Lines and Ground Truth
10. SPARCS Data Management
11. AMS Data Processing
12. AMS Standard Data Products
13. SPARCS, Simulator, Telemetry
14. Introduction to AMS_2014-07-updated

15. 103_0430_移交訓練課程投影片

- **104 年：**

作業程序書

1. SPARCS 維修程序書

訓練課程講義

1. International-Aerial Measuring System (I-AMS) Training Program
2. AVID Development
3. AMS_Overview_data
4. AMS Aerial Mission Planning
5. AMS Data Analysis General Overview
6. Calibration Lines and Ground Truth
7. Exposure_and_IAEA_Ext
8. AMS Data Processing
9. Quality Assurance and Control
10. AVID Data Analysis Introduction_Dailey
11. IAEA_IRMA_Poster
12. SPARCS Advanced Training Agenda 5-26-15 with questions
13. SPARCS Advanced Training V1.3 5-21-15
14. 20150804_空中偵測
15. 20150804_機組人員輻射安全

第7章 報告總結

本總結報告彙整四年期(自 101 年至 104 年)計畫之執行成果，其中包含：101 年的「空中偵測系統操作訓練及偵測作業程序規劃」、102 年的「緊急應變之海陸空輻射劑量偵測與評估整合技術研究」、103 年的「緊急應變空中輻射劑量偵測與評估技術研究」及 104 年的「空中偵測系統技術引進與研發」。各年度的執行進度與預期成果皆有符合該年度計畫書中所承諾之目標規劃。

針對此四年期計畫，以下為結論與對未來之建議。

1. NNSA 於 2015 年 5 月 25 日至 28 日由 Mcclelland 處長帶領 3 位專家，來核研所協助 SPARCS 儀器修復，辦理儀器電路設計與原理訓練課程，此為 NNSA 首次於海外辦理本項課程；而該年度於拉斯維加斯高階視覺化與資料整合系統的訓練課程也是因應台灣的需求而開辦。主要為國內空中偵測技術研發團隊對於 SPARCS 系統之研究應用與積極態度，獲得 NNSA 的高度肯定。
2. 未來仍須透過台美雙方之合作，持續更新 SPARCS 軟硬韌體與引進高階視覺化與資料整合系統。(高階視覺化與資料整合系統目前美國 DOE 還未正式核准於國際發佈)
3. 空中輻射偵測作業除基本儀器操作外，操作人員與飛行員間的溝通與導引，均須建立完善的溝通協定，以提升規劃飛行路線之執行成果，而這需要長期之訓練與配合，建議未來能辦理操作人員與飛行員導引之訓練與實作課程，增加實務作業經驗。

4. 建議主管機關與國放部陸軍航特部隊或內政部空中勤務總隊協調，建立跨部會合作機制，開始逐步建立國內空中偵測相關之校正參數，與環境輻射基礎調查之示範。