

緊急應變之海陸空輻射劑量偵測與評估整合技術 期末報告

摘要

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，委請本所協助辦理 102 年度海陸空輻射劑量偵測與評估整合技術研究。本技術研究報告包括國內空中偵測之發展現況與程序、海域擴散機制與台灣南灣海域特性、無人載具輻射偵測之技術開發與評估以及核三廠劑量影響趨勢分析及背景輻射偵測技術。

委託單位：原子能委員會輻射防護處

受委單位：核能研究所

目錄

摘要	i
目錄	ii
附圖目錄.....	vi
附表目錄.....	viii
第 1 章前言	1
第 2 章採購美方空中輻射偵測設備(SPARCS-A)2 套及儀器性能測試 驗證.....	2
2.1 SPARCS-A 空中輻射偵測設備採購執行.....	2
2.2 SPARCS-A 設備檢查與故障排除	3
2.2.1 SPARCS-A 故障排除檢測流程	3
2.2.2 SPARCS-A 故障檢測與修復	7
第 3 章建立國軍與海巡署執行空中與海域偵測任務之標準程序及技 術整備作業，並辦理相關訓練.....	8
3.1 國軍空中偵測任務之標準程序、技術整備作業及訓練.....	8
3.1.1 空中偵測任務概述.....	8
3.1.2 空中偵測/監測/搜索任務與運作概念.....	9
3.1.2.1 空中偵測/監測/搜索任務與運作.....	9
3.1.2.1.1 空中偵測任務	9
3.1.2.1.2 放射性煙羽評估任務	9
3.1.2.1.3 沉降評估任務	10
3.1.2.1.4 調查任務.....	11
3.1.2.1.5 地面任務.....	11
3.1.2.2 飛行輻射偵測任務執行.....	12

3.1.2.3 任務規劃.....	14
3.1.2.4 飛行任務編組.....	17
3.1.2.5 飛行前簡報.....	17
3.1.3 空中偵/監測污染調查.....	18
3.1.3.1 空中偵/監測污染調查.....	18
3.1.3.2 空中偵/監測污染調查規範作業程序.....	19
3.1.3.2.1 目的.....	19
3.1.3.2.2 討論事項.....	19
3.1.3.2.3 空中偵/監測調查規範作業程序.....	22
3.1.4 空中輻射源搜尋調查.....	26
3.1.4.1 空中輻射源搜尋調查.....	26
3.1.4.2 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序.....	27
3.1.4.2.1 目的.....	27
3.1.4.2.2 討論事項.....	27
3.1.4.2.3 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序.....	29
3.1.5 國軍核子事故緊急應變-空中輻射偵測訓練課程.....	35
3.1.5.1 訓練目的.....	35
3.1.5.2 訓練課程說明.....	35
3.2 海域輻射偵測技術建立.....	41
3.2.1 福島核能電廠事故海洋擴散評估.....	41
3.2.2 海洋擴散機制.....	43
3.2.2.1 物理傳輸機制.....	43
3.2.3 環境變數.....	45
3.2.3.1 氣象.....	45
3.2.3.2 海象.....	45

3.2.3.3 地象.....	46
3.2.4 台灣南灣海域之特性.....	46
3.2.4.1 南灣地形.....	46
3.2.4.2 南灣風場.....	47
3.2.4.3 南灣水文.....	47
3.2.4.4 過去研究.....	48
3.2.5 國內海洋流場與污染相關研究單位.....	50
3.2.6 未來展望.....	51
第 4 章整合規劃並完成以無人載具執行高輻射劑量區空中偵測任務 之技術發展可行性評估.....	54
4.1 無人載具空中輻射偵測系統.....	54
4.2 無人載具.....	57
4.2.1 無人載具概述.....	57
4.2.1.1 無人載具應用現況.....	57
4.2.1.2 無人載具應用實例.....	59
4.2.1.3 無人載具類型比較.....	60
4.2.2 空中作業流程說明.....	68
4.2.2.1 基本環境資訊蒐集.....	68
4.2.2.2 任務規劃.....	68
4.3 無人載具空中輻射偵測實驗.....	70
4.3.1 無人載具空中輻射偵測實驗規劃.....	70
4.3.2 無人載具空中輻射偵測實驗分析.....	72
4.4 無人載具執行空中輻射偵測可行性說明.....	75
第 5 章配合年度核安演習任務計畫，完成核三廠各種季節特性之劑量 影響趨勢分析及背景輻射偵測.....	76

5.1 劑量影響趨勢分析	76
5.1.1 概述	76
5.1.2 核能三廠緊急應變劑量評估系統模擬結果與統計分析....	76
5.1.2.1 核能三廠緊急應變劑量評估系統模擬設定	76
5.1.2.2 核能三廠緊急應變劑量評估系統相對地理位置分析.	78
5.1.3 核三廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究	80
5.1.4 章節總結	96
5.2 評估緊急應變計畫區之環境背景輻射特性之技術與程序.....	97
5.2.1 概述	97
5.2.2 核能電廠環境背景資訊	98
5.2.3 核能電廠環境背景輻射特性評估作業	99
5.2.3.1 取樣	100
5.2.3.2 直接輻射劑量度量	100
5.2.3.3 放射化學分析與放射性核種活度計測	100
5.2.4 核電廠環境背景輻射偵測、取樣與分析程序	102
5.2.5 民眾劑量估算	103
5.2.6 章節總結	105
5.3 核事故發生後快速輻射偵測之技術與程序	119
5.3.1 概述	119
5.3.2 人員衣物快速偵測	119
5.3.3 食品輻射快速檢測	120
5.3.4 未來展望	121
第 6 章報告總結	123
參考文獻	124
詞彙表 Glossary	125

附圖目錄

圖 2.1 SPARCS-A 故障排除圖.....	6
圖 2.2 本組檢測 SPARCS-A 故障原因圖.....	7
圖 3.1 放射性煙羽評估任務偵測飛行示意圖.....	10
圖 3.2 放射性物質沉降評估任務偵測飛行示意圖.....	11
圖 3.3 調查任務偵測飛行概述示意圖.....	11
圖 3.4 核子事故空中偵測飛行流程概述示意圖.....	14
圖 3.5 飛行載具安裝各類型調查偵/監測裝備設置示意圖.....	21
圖 3.6 國軍核子事故緊急應變之空中輻射偵測訓練課程剪影.....	40
圖 3.7 日本福島事故 I-131 於海洋中濃度之數值實驗.....	42
圖 3.8 SIROCCO 評估福島海洋擴散示意圖.....	43
圖 3.9 南灣海底地形等高線圖與位置.....	47
圖 3.10 南灣海域 22 公尺深潮汐流之模式.....	49
圖 4.1 Mob-DOSE 偵檢器.....	55
圖 4.2 資料紀錄設備.....	55
圖 4.3 無人載具飛行控制架構.....	64
圖 4.4 WiFi 記憶卡傳輸機制.....	66
圖 4.5 地面站架構圖.....	67
圖 4.6 航空電子/攝影系統架構圖.....	68
圖 4.7 無人載具飛行實驗範圍與路徑規劃圖.....	71
圖 4.8 無人載具飛行實驗紀錄.....	73
圖 4.9 無人載具輻射偵測路線圖.....	73
圖 4.10 SADA 程式空間劑量分析結果.....	74

圖 4.11 日本無人載具空中輻射偵測示意圖	75
圖 5.1 衛星合成影像圖(google map data).....	79
圖 5.2 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 公尺).....	79
圖 5.3 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 公尺).....	80
圖 5.4 Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖.....	85
圖 5.5 Cs-137 季平均地表沉積累積量之空間分布圖(20 公里).....	86
圖 5.6 Cs-137 季平均地表沉積累積量之空間分布圖(10 公里).....	87
圖 5.7 Cs-137 月平均地表沉積累積量之空間分布圖(20 公里).....	88
圖 5.8 Cs-137 月平均地表沉積累積量之空間分布圖(10 公里).....	89
圖 5.9 Cs-137 年平均累積有效劑量之空間分布圖	90
圖 5.10 Cs-137 季平均累積有效劑量之空間分布圖(20 公里).....	91
圖 5.11 Cs-137 季平均累積有效劑量之空間分布圖(10 公里).....	92
圖 5.12 Cs-137 月平均累積有效劑量之空間分布圖(20 公里).....	93
圖 5.13 Cs-137 月平均累積有效劑量之空間分布圖(10 公里).....	94
圖 5.13 日本進口食品及台灣漁產品輻射檢測流程圖	122

附表目錄

表 3.1 出勤任務規劃表(範本).....	15
表 3.2 空中偵測任務飛行紀錄.....	16
表 3.3 飛行前簡報事項.....	18
表 3.4 空中輻射偵測訓練課程表.....	37
表 4.1 Mob-DOSE 規格.....	56
表 4.2 遙控無人載具民航應用項目.....	58
表 4.3 國內遙控無人載具應用概況.....	59
表 4.4 各類型無人載具比較.....	60
表 4.5 旋翼型無人載具相關設備.....	62
表 4.6 無人載具飛行實驗 GPS 座標表.....	71
表 5.1 乾沉速度分類之核種.....	78
表 5.2 RAPTAD/DOSE 程式所採用各核種不同途徑之 DCF 值列表..	95
表 5.3 國內輻射偵測單位執行核一廠環測作業之項目.....	106
表 5.4 國內輻射偵測單位執行核二廠環測作業之項目.....	109
表 5.5 國內輻射偵測單位執行核三廠環測作業之項目.....	112
表 5.6 輻射偵測中心之環境輻射監測作業與品質管制相關作業程序書	115
表 5.7 台電放射試驗室之環境輻射監測作業與品質管制相關作業程序 書.....	117
表 5.8 食品中原子塵或放射能污染之安全容許量.....	121

第1章 前言

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，原能會委請核能研究所（以下簡稱本所）協助辦理 102 年度海陸空輻射劑量偵測與評估整合技術研究（原子能委員會 102 年 2 月 1 日會輻字第 1020002260 號）計畫（以下簡稱本計畫）。本所遂於 102 年 3 月 21 日提出研究計畫書，並業經審核同意。本報告依據計畫書所提出之工作項目，闡述計畫執行之成果與建立之技術。章節編排如下：第 2 章為採購美方空中輻射偵測設備（SPARCS-A）2 套及儀器性能測試驗證，說明 SPARCS-A 之採購現況與故障排除技術建立；第 3 章為建立國軍與海巡署執行空中與海域偵測任務之標準程序及技術整備作業，並辦理相關訓練，說明空中輻射偵測任務建立之目的與程序以及協助辦理之空中輻射偵測訓練情形；第 4 章為整合規劃並完成以無人載具執行高輻射劑量區空中偵測任務之技術發展可行性評估，說明無人載具用於空中輻射偵測之技術評估情形；第 5 章為配合年度核安演習任務計畫，完成核三廠各種季節特性之劑量影響趨勢分析及背景輻射偵測；最後第 6 章為計畫總結。

第2章 採購美方空中輻射偵測設備(SPARCS-A)2套及儀器

性能測試驗證

進步型輻射能譜量測電腦系統 SPARCS-A 型號 (Spectral Advanced Radiological Computer System-Airborne, 簡稱 SPARCS-A), 本計畫將其定義為 SPARCS-A 空中輻射偵測設備, 係用於核子反應器意外或放射性散布事故時, 裝載於飛行器(直升機)上執行大區域地表放射性污染調查工作。為強化我國國土大範圍空中輻射偵測之能力, 本工作項目預定採購美國能源部國家核子安全局(U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration, 簡稱 US DOE/NNSA)開發之 SPARCS-A 空中輻射偵測系統。

2.1 SPARCS-A 空中輻射偵測設備採購執行

本工作項目依據台美民用核能合作會議第 IV 分組合作項目「F38 Aerial and Other Detection Techniques」之協議, 雙方自 101 年即協議可引進 SPARCS-A 空中輻射偵測設備 2 套, 強化國內空中輻射偵測作業之能力。全案 SPARCS-A 設備的採購溝通皆透過駐美國台北經濟文化代表處科技組趙衛武副組長與美國能源部聯繫, 原訂規劃於 102 年 8 月送交 SPARCS-A2 套予我國, 款項經費預估美金 13 萬, 分 7 月與 12 月支付 30%及 70%, 於 102 年 09 月 13 日取得美方提供之 SPARCS-A 報價單, 本計畫原已依政府採購法完成國內 SPARCS-A 採購程序, 也完成擬定雙方在台美民用核能合作會議架構下的簡易採購文件及合約; 然, 於 102 年 10 月 25 日接獲美方通知, 告知因雙方均屬政府官方單位, 美國能源部無法販售 SPARCS-A 空中輻射偵測設

備，但可於 12 月台美核能合作會議年會期間，攜帶 2 套 SPARCS-A 設備來台灣，以長期借用方式留置台灣，並可辦理進階空中輻射偵測訓練，且美方將酌收相關訓練之補償費用。

2.2 SPARCS-A 設備檢查與故障排除

美方於民國 101 年在我國辦理 I-SPARCS、I-RAPTER 及 I-MED 系列訓練課程後，無償借給我國 SPARCS-A 與 SPARCS-M 系統各一套，提供我國進行緊急應變輻射偵測之整備與技術建立。於 102 年核安第 19 號演習期間，國軍執行空中輻射偵測演練過程發現 SPARCS-A 系統之偵檢儀器訊號輸出異常，疑似發生故障。經通報協調後，於 102 年 10 月 09 日由輻射偵測中心派員將 SPARCS-A 與 SPARCS-M 送至本組，進行 SPARCS-A 設備檢查與故障原因檢測。

2.2.1 SPARCS-A 故障排除檢測流程

針對 SPARCS-A 之故障，美方專家 Rick Maurer 博士提供故障排除檢測流程如下：

步驟 1.

關閉電源，小心打開偵檢箱上蓋，移除向上（up-looking）與向下（down-looking）偵檢器（5 cm × 10 cm × 10 cm）周邊之泡綿。

步驟 2.

移動偵檢器或相關線材之前，再次確認系統電源已經關閉。

步驟 3.

進行檢測的部分為偵檢器、偵檢器帽蓋、從偵檢器帽蓋連接至計算機疊間（computer stack）的線材（訊號線和電源線）以及所有的連接頭（圖 2.1-3a、3b、3c），此過程將確認是一個或多個組件導致系統出錯。目標在於確認向上偵檢器、偵檢器帽蓋或連接至

計算機疊間的線材是否故障。

步驟 4.

檢查所有的線路和與兩個計算機疊的連接（圖 2.1-4a），確認所有的線路皆在正確的位置，特別注意在圖 2.1-4b 與圖 2.1-4c 中的灰色和綠色連接頭。確認所有的線路穩固的與連接頭連接，並且連接頭牢固的與主機板連接。小心的拆除並重新安裝，檢查是否有線路損壞。

步驟 5.

接下來，確認向上偵檢器的偵檢器帽蓋有正確安裝，試著拆除並重新安裝，此偵檢器帽蓋為連接偵檢器之核心。同時確認線路安裝正常並試著拆除後重新安裝（圖 2.1-5a）。

步驟 6.

執行測試，啟動偵檢器（過程將產生電壓，請小心）。

步驟 7.

開啟資料擷取與傳送單元（Acquisition Telemetry Unit，簡稱 ATU）並啟動 SPARCS 軟體，確認故障是否已經排除，若已順利排除故障，則關閉系統電源，將泡綿安裝回適當位置、偵檢箱上蓋蓋合，並將 4 個鎖存器牢牢鎖上。如果故障依舊存在，關閉電源並將偵檢器帽蓋交換（圖 2.1-7a、7b 及 7c）後重新啟動系統，若依舊出現異常，請接著執行後續步驟。

步驟 8.

關閉電源，將向上偵檢器與向下偵檢器作上記號，拆除向下偵檢器帽蓋上的線材，而將向上偵檢器帽蓋上之線材正常連接，同時確認所有連接至偵檢器帽蓋上與計算機疊之線材安裝正確（圖 2.1-8a、8b、8c 及 8d）。

步驟 9.

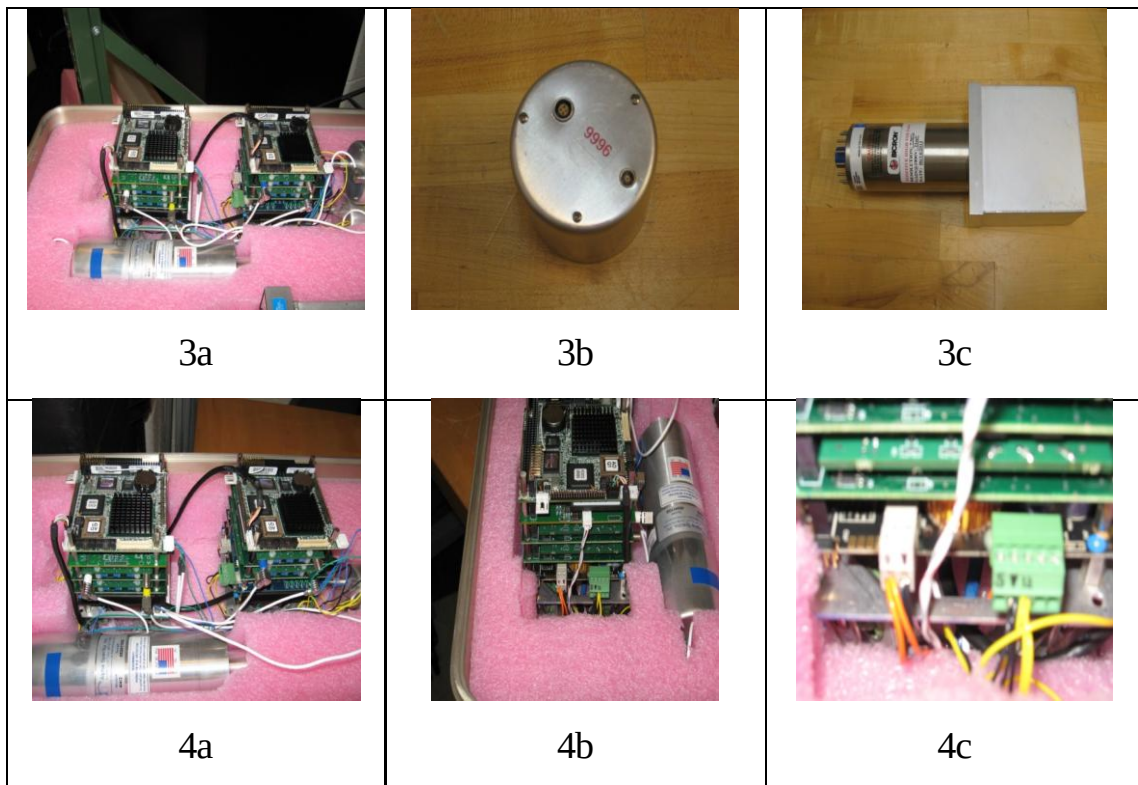
開啟系統電源並執行 SPARCS 軟體，若向上偵檢器可正常運作，代表向上偵檢器及其帽蓋為正常。若無法正常運作，代表偵檢器或偵檢器帽蓋故障，需進行換置。

步驟 10.

若向上偵檢器可正常運作，則將系統電源關閉，將向下偵檢器帽蓋與向上偵檢器之線材連接，請確認所有線材皆正確安裝。

步驟 11.

開啟系統電源並執行 SPARCS 軟體，若無法正常運作，可能是因計算機疊出現問題。若可正常運作，代表可能是因線路鬆脫造成的故障。



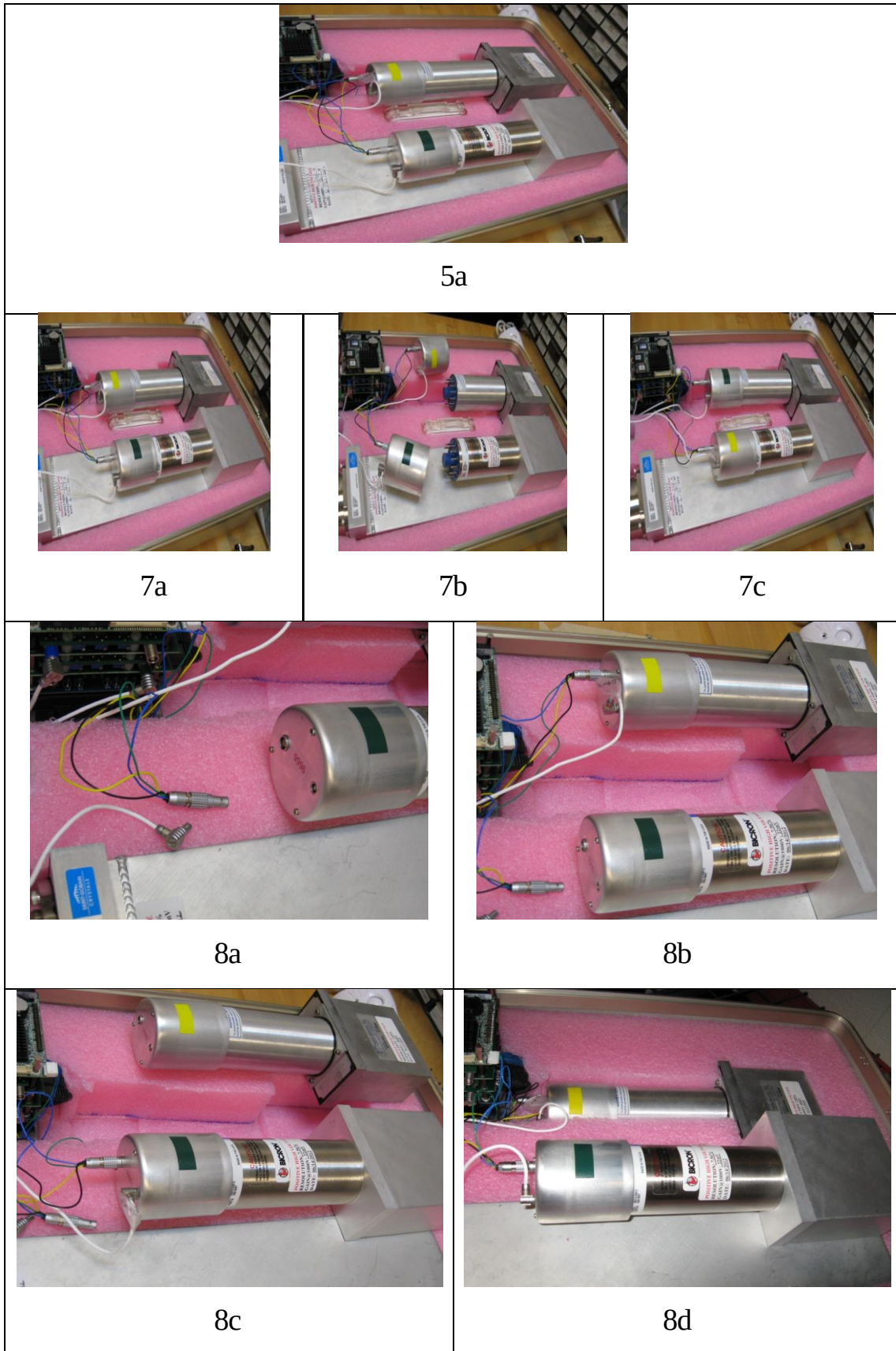


圖 2.1 SPARCS-A 故障排除圖

2.2.2 SPARCS-A 故障檢測與修復

根據 2.2.1 節所述美方專家 Rich Maurer 博士提供之故障排除檢測流程，本組發現向上偵檢器之帽蓋有濃厚的燒焦味，因偵檢器帽蓋毀損造成偵檢器訊號無法傳遞，導致 SPARCS 軟體無法偵測到偵檢器的存在。因向上及向下偵檢器的線路皆連接至同一個計算機疊上，故一個偵檢器帽蓋損毀造成 SPARCS 軟體誤判為兩個偵檢器皆出現問題而無法顯示訊號。經過反覆確認及測試，本組確認向上與向下偵檢器本體皆為正常，且向下偵檢器帽蓋亦為正常，僅向上偵檢器帽蓋毀損，相關檢測故障設備圖可參照圖 2.2。檢測結果並於 102 年 11 月 5 日寄送美國儀器開發專家 Rich Maurer 博士。美方也於 12 月台美核能合作會議年會期間，攜帶損壞設備備品順利完成修復。



圖 2.2 本組檢測 SPARCS-A 故障原因圖

第3章 建立國軍與海巡署執行空中與海域偵測任務之標準

程序及技術整備作業，並辦理相關訓練

3.1 國軍空中偵測任務之標準程序、技術整備作業及訓練

3.1.1 空中偵測任務概述

空中偵測系統(Aerial Measuring System，簡稱 AMS)的用途是因應當發生核子反應器意外或放射性物質散布事故的緊急情況時，可以提供一個快速的輻射和污染的偵測與監測調查。空中偵測系統利用飛行載具裝載平台和配備特殊偵檢系統裝備，於飛行進行中偵/監測在空氣中的放射性物質，以及調查在地面上的輻射污染。我國空中偵測系統裝備目前採用先進的進步型輻射能譜量測電腦系統，進行資料擷取、收集以及儲存，並分析飛行間調查與記錄的放射性監測資訊。SPARCS-A 可記錄加馬輻射計數率、能譜資料等，並配備全球定位系統（Global Positioning System，簡稱 GPS）座標之模組化，偵測結果除可直接繪製於內建 SPARCS-Cabin 程式的展示平台，並可輸出與 Google Earth 相容之 GIS 檔案格式，供中央核子/輻射事故緊急應變團隊進行數據處理與分析，得出輻射污染危害之劑量率、放射性核種和污染濃度分布圖，執行事故危害程度研判與應變決策，並能提供第一線應變人員有關輻射安全防護措施和復原清理行動。

3.1.2 空中偵測/監測/搜索任務與運作概念

3.1.2.1 空中偵測/監測/搜索任務與運作

3.1.2.1.1 空中偵測任務

空中偵測系統的用途是因應當發生核子反應器意外或放射性物質散布事故的緊急情況時，可以提供一個快速的輻射和污染的偵測與監測調查。依污染物外釋的時程，可以區分如下：

1. 正常運轉期/整備期

(1). 背景與環境調查（城市、燃煤/燃氣/核能發電廠、煤灰、礦產與礦渣）。

(2). 遺失的射源(未有放射性物質散布)。

2. 外釋中（主要考量空浮活度濃度）

(1). 核種鑑定。

(2). 判定放射性煙羽擴散方向與邊界。

3. 外釋後（主要考量地表沉降活度濃度）

(1). 核種鑑定。

(2). 沉降範圍。

(3). 沉降特性。

3.1.2.1.2 放射性煙羽評估任務

空中偵測系統應用於判定放射性煙羽擴散情形的程序如下：

1. 界定放射性煙羽方向與範圍

(1). 由電腦預測模式取得放射性煙羽影響方向、範圍與即時劑量率趨勢

(2). 擬定空中輻射偵測飛行計畫及飛行參數，包括影響範圍趨勢圖、飛行路線、型式、方向、距離、速度及高度等資訊。

2. 偵測判定放射性煙羽擴散情形

- (1). 依據空中輻射偵測飛行計畫，先取得位於事故外釋點上風向之背景值，於事故電廠點之上風向往下風向之方向飛行。。
- (2). 飛行方式有二，一是僅沿煙羽邊緣飛行，此時偵檢器讀值須維持不高於背景值 10 倍若高於背景值 10 倍則需駛離。另一是採快速穿越煙羽方式，以重點式掌握煙雨邊界。

3. 確認預測模式計算結果

經由空中偵測數值之結果，確認電腦預測模式之結果是否正確，如圖 3.1。

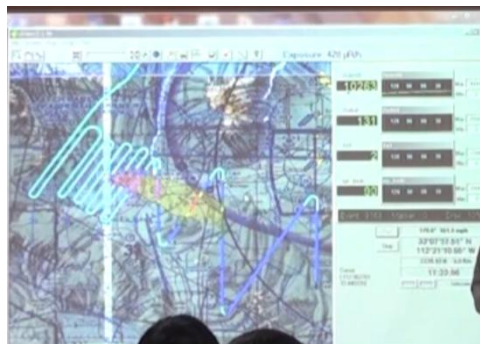


圖 3.1 放射性煙羽評估任務偵測飛行示意圖

3.1.2.1.3 沉降評估任務

空中偵測系統應用於判定沉降範圍的步驟如下：

1. 涵蓋全部緊急應變計畫區之範圍。
2. 持續往下風向方向飛行，直到判定出沉降範圍的終點。
3. 沿沉降區域的中心線返航，繪製偵測結果如圖 3.2 所示。

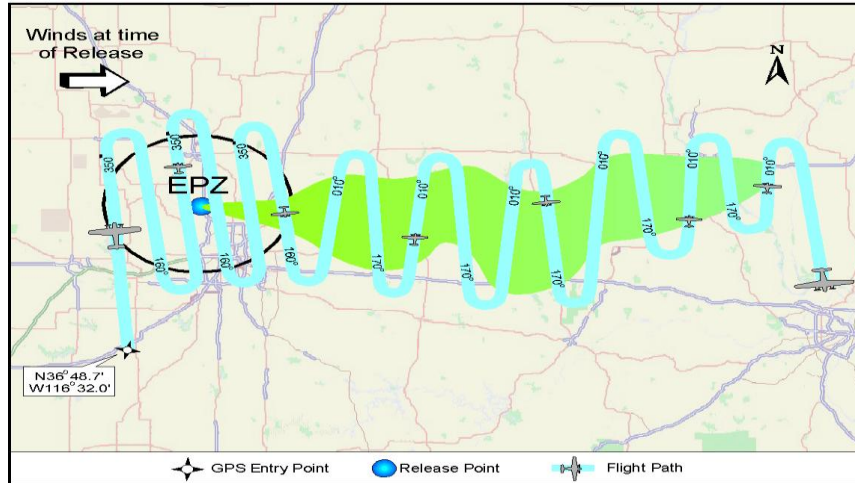


圖 3.2 放射性物質沉降評估任務偵測飛行示意圖

3.1.2.1.4 調查任務

空中偵測系統亦可應用於背景資料研究、射源搜尋。

1. 以平行飛行路徑涵蓋目標區域。
2. 飛行平行間隔須小於 2 倍的飛行高度。
3. 繪製調查結果如圖 3.3 所示。

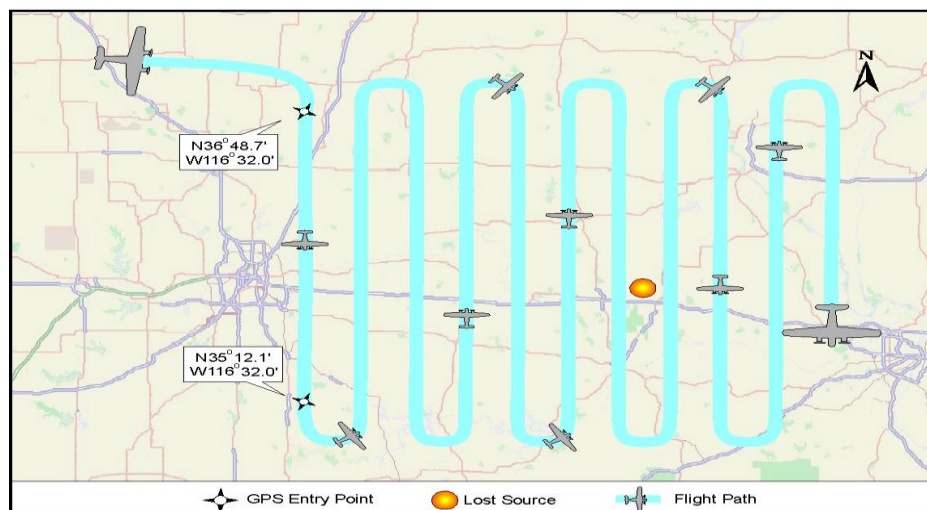


圖 3.3 調查任務偵測飛行概述示意圖

3.1.2.1.5 地面任務

空中偵測系統亦可應用於地面的任務，包括：

1. 補充現行地面團隊之調查裝備。
2. 執行特殊關注地點之地面調查工作（道路、鐵路、港口）。

3.1.2.2 飛行輻射偵測任務執行

執行核子事故空中偵測飛行流程概述如圖 3.4 所示，分別說明如下：

✧ 任務規劃

1. 機組員複查任務、通訊、程序、危險因子、飛安與輻射防護。
2. 飛行參數：高度、速度、飛行間距、曲折式路線的實際指北針航向等。
3. 進入點為由外釋點上風處的緊急應變計畫區（Emergency Planning Zone，簡稱 EPZ）8 公里邊界開始。

✧ 飛行前 SPARCS 系統的作業

每次飛行前進行偵檢器能量校正、確認 GPS 正常運作並將地圖/衛星影像載入系統。

能量校正：每次飛行前利用 $10\ \mu\text{Ci}$ （370 kBq）Am-241（低能量 60 keV）以與偵檢器內含的 K-40（高能量 1460keV）射源，進行所有碘化鈉偵檢器之能量校正。

系統設定：確認偵檢器數據與計數率蒐集能力的再現性，GPS 正常運作及合適的道路地圖或衛星影像顯示正常。（注意，GPS 在停機棚中無法定位）

✧ 飛行前地面數據量測-品管用途

每次飛行前，量測 1 分鐘地面加馬輻射數據（同一起降地點）。

✧ 測試航線-（地表加馬+背景輻射）/品管用途

每次飛行任務中，飛行至量測區域途中，於該飛行高度在測試航

線上飛行 1 分鐘，蒐集背景輻射資訊。

✧ 量測區域上方曲折式飛行路線

於量測飛行高度由進入點進入量測區域。由外釋點(Release Point，簡稱 RP)上風處的 8 公里緊急應變計畫區開始以曲折路線飛行，並往下風向進行。

✧ 水線-加馬射線背景

每次飛行過程中，以距離地面 1,000 英尺高度在空曠水線上飛行 1 分鐘。

✧ 測試航線-(地表加馬射線+背景)/品管用途

每次飛行過程中，由量測區域返航途中，於該飛行高度在測試航線上飛行 1 分鐘，蒐集背景輻射資訊。

✧ 飛行後地面數據-品管用途

每次飛行結束後，量測 1 分鐘地面加馬輻射數據(相同一起降地點)。

✧ 飛行後 SPARCS 系統的作業

每次飛行結束後，下載並儲存量測數據，完成飛行記錄，並準備量測數據產出。

✧ 任務後報告

機組員複查任務、通訊、程序、危險因子、飛安與輻防。

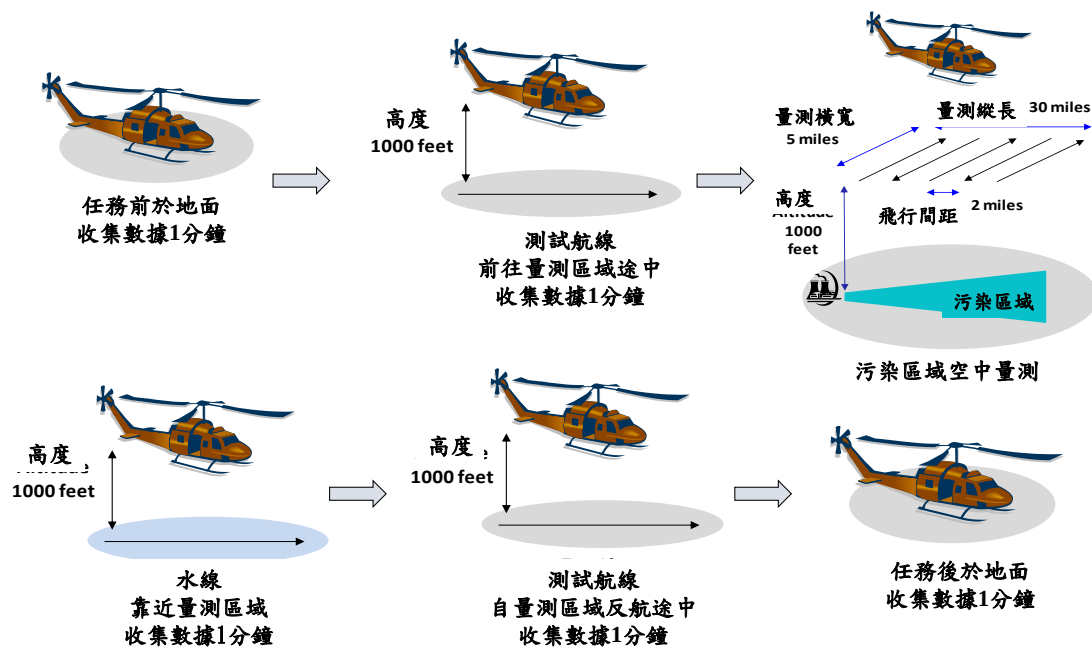


圖 3.4 核子事故空中偵測飛行流程概述示意圖

3.1.2.3 任務規劃

任務的規劃以書面計畫書告知所有成員任務需求與預期目標，內容如下：

✧ 規劃涵蓋項目

1. 量測對象（射源、活度、屏蔽）。
2. 量測方法（量測平台、地面速度、高度、界線、航線間距）。
3. 數據需求（量測之品保/品管、校正紀錄、調查資料）。

✧ 任務參數

1. 飛行高度（地表高度，Above Ground Level，簡稱 AGL）。
2. 航線間距（一般為 2 倍之飛行地表高度）。
3. 起始點。
4. 初始方向。

✧ 任務規劃範本

1. 出勤任務規劃表(範本)如表 3.1。

2. 空中偵測任務飛行紀錄如表 3.2。

表 3.1 出勤任務規劃表(範本)

首航線		
起始點	緯度_____	經度_____
概略航向_____	磁航向	地理航向(擇一)
航線間距_____		
總行線數_____		
行進方向_____	磁航向	地理航向(擇一)
任務地面速度_____	節	
任務高度_____	英尺	

表 3.2 空中偵測任務飛行紀錄

調查地點：頁					
起始時間	結束時間	路線#	說明	航班#	日期
			記錄每項任務的開始/結束時間或飛行路線		
				飛機類型	
			飛行前 1 分鐘地面數據	飛機編號	
			測試航線量測高度	飛行員 1	
			水線量測高度	飛行員 2	
			飛行後 1 分鐘地面數據	操作員 1	
				操作員 2	
			高度分布 1 分鐘在 600、800、1,000、1,200、1,400、1,400 feet(地面)	偵測系統	SPARCS-A
			高度分布在 1 分鐘在 600、800、1,000、1,200、1,400、1,400 feet(水面)		
				偵測系統 SPARCS-A	
				偵測頭	校正
		1	偵測路線 1	5x10x40 cm	
		2	偵測路線 2	5x10x10 cm	
		3	偵測路線 3	2.5x2.5 cm	
				飛行參數	
				偵測高度 (feet)	
				速度(knots)	
				行距(feet)	
				溫度	
				空氣壓力	
				Heading 1	
				Heading 2	
				釋放點(RP)	
				緯度	經度
				進入點(EP)	
				緯度	經度
簽名：組長(隊長)：操作員：					

3.1.2.4 飛行任務編組

飛行任務編組區分如下：

1. 輻射專業/任務編組指揮官

提供任務的技術指引，訂定飛行參數，以獲得最佳的偵測靈敏度，並主持飛行前簡報。

2. 輻射技師

與機械技師一同安裝 SPARCS 系統，並進行功能操作測試。於飛行任務時監看筆記型電腦螢幕，提報輻射異常狀況。

3. 機長

協調飛行器操控，並提出飛行計畫與放棄執行計畫之飛行限制，於飛行執行前簡報。

4. 駕駛

執行飛行操控。

5. 機械技師

協助輻射技師安置 SPARCS、放置 GPS 與連接機上電源。

3.1.2.5 飛行前簡報

飛行前之簡報內容應包含下列事項（表 3.3）：

表 3.3 飛行前簡報事項

項目	內容		
放射性調查 任務資料	任務說明	任務需求	標準作業程序
	飛行安全、危險告知與預防措施	氣象	依職位介紹機組成員
飛行資料	進入點路徑(由上風向進入)	決定飛行高度	訂出調查區域/線座標
機組員職責	機組員資格/適當性	個人防護裝備	上機順序
	機組員於飛行中的行動	通訊器材的使用	
飛行器配備	滅火器/位置/操作	急救箱/位置	安全帶/駕駛員安全帶/操作
	無線電耳機/位置/操作		
緊急狀況	緊急逃生設施/位置/操作	救生設備位置	特殊救生設備用法
	迫降程序	逃生口與會合程序	
放射性安全	艙內持序空氣監測	機組員配戴劑量警報器	
事故應變劑量限值	調查任務：0.015 Sv	管控處理任務：0.025 Sv	最大可容許限值：0.05 Sv

3.1.3 空中偵/監測污染調查

3.1.3.1 空中偵/監測污染調查

測量地面污染的執行方式包括採集土壤樣品的實驗室分析、現場加馬能譜測量法或空中能譜測量法。針對大面積污染範圍調查，若需具代表性的調查結果，則實驗室樣品分析與現場加馬能譜測量法，必須採集更多樣品進行分析，需付出相當龐大之人力、時間與資源。

空中能譜測量法為一快速偵測大面積範圍的方法，對於空中能譜測量，最好使用高純鍺能譜儀偵測器（High-purity Germanium，簡稱

HPGe)，有些情形也可使用 NaI (Tl) 偵測儀器。通常應用於鈾礦探勘的空氣污染測量，裝設一個容積為 16~50 公升之大容量 NaI (Tl) 閃爍偵測儀器，這些偵測儀器也可使用於空中偵/監測污染調查評估（特別針對僅有少數加馬發射放射性核種的受污染區域）。

空中加馬能譜測量法需考量各種因素影響所造成的不確定度，例如土壤中放射性核種分布、放射性核種測定轉換因子、地形結構（森林、建築物等）與其他未知的因素。空中偵測必須知道偵測儀器對光子能量與入射角度（包括直升機本身的屏蔽）的反應能力，所以空中偵測使用前的能譜儀校準極為重要。

飛行時應避免通過受污染的空氣層，以避免人員接受曝露和偵測設備受到污染。如懷疑飛機可能通過受污染的空氣層，降落後需檢測飛機機身與偵測儀器，確認污染程度。

3.1.3.2 空中偵/監測污染調查規範作業程序

3.1.3.2.1 目的

應用空中能譜量測以確認大面積地表污染及判定放射性核種污染範圍，俾供採取即時防護行動和後續清理行動。

3.1.3.2.2 討論事項

1. 空中能譜測量為一快速且進行大面積污染偵測的方法。量測可使用 HPGe 或 NaI (Tl) 偵測儀器。
2. 空中加馬能譜量測受到地形（森林、建築物等）的結構和其他因素，用於偵測地表土壤中的放射性核種的污染分布和分布轉換係數之間會有不同的差異性。
3. 測器的反應光子能量和入射角的函數（包括直升機本身可能的自我屏蔽）必須確知。因此，進行空中測量前加馬能譜儀需先行校

準。定期檢查可確保加馬能譜儀系統的正常運作。

4. 對於快速確定並研判地面污染範圍，可比較地面取樣分析結果與空中偵測結果予以校準。

5. 一般情況，直升機搜尋偵測使用下列不同的搜尋飛行模式：

(1). 平行軌跡搜尋 (Parallel Track Search) -PT

敘述：平行直線飛行軌跡，飛行軌道間相隔 300 公尺。

適用範圍：應用於平坦或丘陵地形測量。

(2). 線搜尋 (Line Search) -LS

敘述：沿著指定的路線飛行（如道路，鐵路軌道，河流），與平行飛行軌道的距離為 300 公尺。

適用範圍：沿交通幹線量測。

(3). 輪廓線（沿等高線）搜尋 (Contour Search) -CS

敘述：沿地形等高線飛行。

適用範圍：應用於深切或山區地形量測。

(4). 穿越搜尋 (Penetration Search) -PS

敘述：從不同的地標軌道穿越飛行。

適用範圍：快速檢測污染範圍的區域邊界（圖 3.1），於執行放射性煙羽落塵沉降調查時，飛行方向與風向呈直角，往下風方向迂迴繞行通過（圖 3.2）。

平行飛行線可採用寬距，藉以偵測大面積，然進行初步評估則建議採行緊密飛行行距，可得到較佳的繪圖資料。各類型應用於空中偵測加馬能譜儀系統的偵測結果可繪製污染範圍。最重要的是，需要同時蒐集測量參數（海拔高度、飛行速度、座標、測量時間等），以繪製污染範圍圖。飛行載具安裝各類型調查偵/監測裝備設置示意如

Ошибка! Источник ссылки не найден.，本程序為一般性空中規範

作業程序，在實際緊急應變過程中，需依所使用的特定能譜儀系統制定特定偵測程序，例如使用進步型輻射能譜量測電腦系統 (SPARCS-A)。

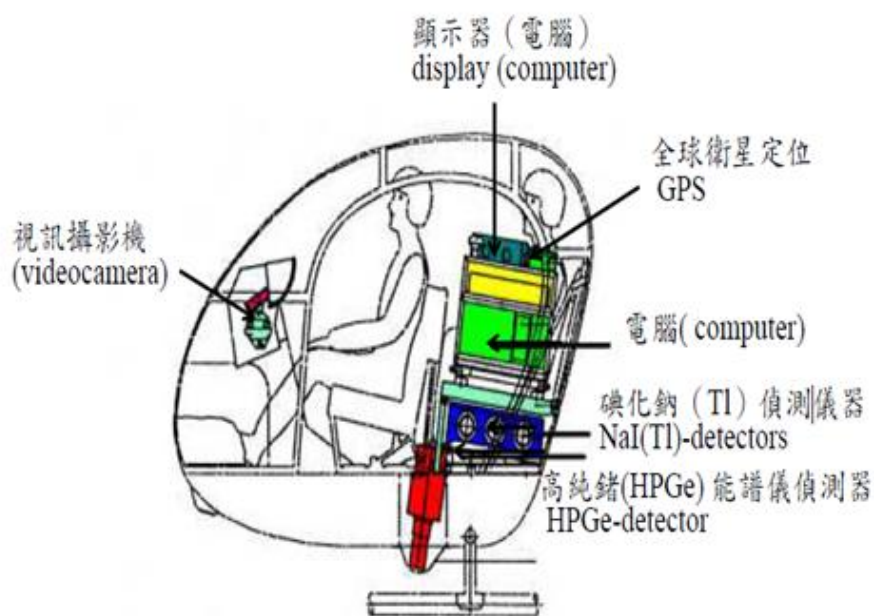


圖 3.5 飛行載具安裝各類型調查偵/監測裝備設置示意圖

對於本節偵/監測污染調查規範作業內容，以下簡單進行總結整理與注意事項提醒。

項目	內容
應用分析	加馬輻射放射性核種分析
幾何條件	加馬能譜系統能夠安裝在直升機或固定翼飛行載具上。使用 HPGe 或 NaI (Tl) 偵測儀器
取樣類型	不需取樣
偵測基礎	土壤、空氣
MDA	1~5 kBq/m ² (取決於儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及土壤中的放射性核種分布)
量測時間	10~300 s/cycle(測量時間取決於儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及在土壤中的放射性核種濃度和分布)
精準度	30~50%(取決於土壤中的放射性核種分布、偵測範

	圍地形結構、偵測儀器效率、測量時間)
✧	偵測系統校正後，不得改變或調整系統的設定值
✧	執行空中偵測人員於受到輻射曝露劑量達設定值時應立即回航
✧	飛行時應避免通過受污染的空氣層，以避免人員接受曝露和偵測設備遭受污染。如懷疑通過受污染的空氣層，降落後需檢測飛機機身與偵測儀器，確認污染程度
✧	空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行(150~1500 公尺雲層下的可見性)

3.1.3.2.3 空中偵/監測調查規範作業程序

任務派遣之前

步驟 1.

設備/補給品整備。

1. 一般偵測設備（手提式 β/γ 輻射偵測器 1 部）。
2. 個人防護裝備（劑量佩章、個人劑量示警器、防護衣物、呼吸面具）。
3. 空中加馬射線能譜儀系統。
4. 直升機或固定翼飛機。
 - (1). 環境分析/輻射評估單位人員現況簡報與分派任務。
 - (2). 準備適當的偵測設備、個人輻射防護裝備。
 - (3). 偵測儀器、設備測試檢查。
 - (4). 獲得氣候條件與預報情況的資訊。
 - (5). 獲得有關偵測範圍的資訊。
 - (6). 從輻射偵測評估/環境分析處接受使用相同座標系統的資料。

步驟 2.

根據環境分析/輻射偵測評估的說明。

- (1). 設置直讀式個人劑量示警警報。

(2). 穿戴適當的個人防護裝備。

飛行前檢查

步驟 3.

檢查空中加馬射線能譜儀系統安裝無明顯損壞，檢查正常。

步驟 4.

飛行載具（飛機）機艙上選擇一個適當的檢測器的安裝位置（檢測器的安裝位置，以盡量減少受到直升機或飛機的組件自我屏蔽影響，如油箱等）。

步驟 5.

檢查加馬射線能譜儀系統安裝於直升機或固定翼飛機的機械、電器安裝的適應性。

步驟 6.

加馬射線能譜儀系統與飛行器電氣連接檢查，包括雷達高度計和 GPS 的網路連線。若加馬射線能譜儀系統採行動電池連接供電，需檢查供應的電池。

步驟 7.

當加馬射線能譜儀系統使用高純銻偵測器時，出發前必須檢查偵測器使用液態氮的填充狀況。

注意事項：

若需使用液態氮，其容積盡可能不超過 5 公升。如液態氮在小空間機艙發生洩漏，可能造成成員缺氧性窒息。此外，洩漏的液態氮也會影響飛行視線，也可能導致眼睛、皮膚損傷和設備的損壞。

步驟 8.

依據製造商或自訂的程序書，開啟測量系統進行基本功能測試檢查。

步驟 9.

設定適當的測量參數，例如測量時間、測量數據貯存週期的設定。

步驟 10.

在執行飛行之前，需進行：

1. 無線電通訊配置檢查。
2. GPS 檢查。
3. 雷達高度計檢查及合格的校正。
4. 地面背景輻射量測（SPARCS-A 需已架設在機艙內）。
5. SPARCS-A 偵測系統高低能量校正檢查。

注意事項：

直升機或固定翼飛行器上操作人員的執行程序、飛行任務所需要的許可證明、燃料與潤滑油、後勤補給等，必需遵守國家飛行相關法令規定。

步驟 11.

紀錄保存：所有日誌、檢查表、工作表的相關數據資料。

飛行測定

步驟 12.

按照環境分析/輻射評估單位人員提供的預定飛行路線，飛往預定地區，並依測量序列進行偵測。

1. 前往量測區域途中測試航線。
2. 污染區域空中量測。
3. 靠近量測區域水線。
4. 自量測區域返航途中測試航線。

根據不同的情況和主管機關的要求，建議飛行的參數如下：

- (1). 飛行高度：飛行時根據地形和景觀（樹林、建築物、電

力線等)。使用直升機，一般飛行離地面 90~120 公尺以上，飛行高度盡可能保持恆定（直升機應該盡量遵循地形結構，安全第一）。固定翼飛機的飛行高度通常較高。

- (2). 飛行速度：按照與直升機或飛機使用的特性。直升機的飛行速度建議在每小時 60~150 公里之間。

說明：

測量參數（高度、飛行速度、座標、測量時間）的收集與貯存應同時有相對應的輻射偵測數據。這些數據可用來繪製污染範圍圖。

- (3). 在飛行調查中檢查。

說明：

依據程序書，在空中調查期間應檢查能譜系統的增益、高壓、能峰位置、能量漂移等。檢查測量數據、高度、GPS 數據不但明顯有用且必須做。空中調查檢查可事先依個人習慣性步驟訂出所需的檢查項目。

飛行著陸

步驟 13.

按照儀器使用程序再行檢查、確認測量系統的功能正常。所有相關數據應記錄於日誌並保存。通知執行環境分析與輻射劑量評估單位有關空中量測中任何的差異事項。

步驟 14.

建立偵測數據應用的格式化，並備份所有的測量數據。

步驟 15.

直升機、飛機機身、機艙內和偵測設備之使用後表面污染檢查，

確認污染狀況。

分析/評估

步驟 16.

由偵測結果能譜紀錄中，確定檢測之污染範圍。

步驟 17.

依量測能譜判定污染的放射性核種。

步驟 18.

放射性核種活度使用下面的公式估算

$$C = \frac{10 \times (N - N_b)}{t \times C_f \times P_\gamma \times SF}$$

C=測得的放射性核種表面活度 (kBq/m²)

N=峰值能量 E 的計數值

N_b=能量 E 高峰的背景計數值

t=測量現場時間 (s)

C_f=在能量 E 偵測器的校正因子(cm²)

P_γ=γ 射線發射率為能量 E

SF=屏蔽係數

步驟 19.

在日誌與工作表中記錄所有結果與測量參數。

步驟 20.

繪製單一放射性核種的落塵分布圖。

3.1.4 空中輻射源搜尋調查

3.1.4.1 空中輻射源搜尋調查

執行地面上輻射源搜尋，其執行方式通常採用手持輻射偵測儀器步行方式搜尋或以車載量測系統車輛行動偵測方式搜尋，此法須耗費

較多的人力資源與偵測時間。

空中加馬能譜測量法利用飛行載具裝載平台和配備偵檢系統，可以進行快速、大面積搜尋地面上的加馬輻射源（高活度），因此一般認為空中搜尋偵測是最合適的方法。NaI（Tl）為空中搜尋最適當之偵測儀器。另監測系統上的高壓游離腔、比例計數器、蓋格（GM）偵測器等也適合輻射劑量率的量測使用。空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行（150~1500 公尺雲層下的可見性）。

3.1.4.2 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序

3.1.4.2.1 目的

為提供大範圍地面搜尋偵/監測、輻射確認定位和辨識異常使用之加馬輻射源，以供採取即時防護行動和後續清理行動。

3.1.4.2.2 討論事項

1. 空中搜尋偵/監測為一快速且大範圍地面搜尋偵測輻射源的方法。
NaI（Tl）為最適當之偵測儀器。另監測系統高壓游離腔、比例計數器、蓋格（GM）偵測器等也適合輻射劑量率的量測使用。
2. 偵測器的反應對光子能量和入射角度（包括直升機本身可能的自我屏蔽）必須確知。因此，進行空中測量前光譜儀需先行校準。
另高壓游離腔、比例計數器、蓋格（GM）偵測器等應用於空中偵測，仍須進行檢測器的效率校正，以符合運作使用。
3. 任何搜尋偵/監測行動規劃時，應考慮以下幾點：
 - (1). 首先應搜尋可疑輻射源的位置，在搜尋領域時須優先考慮到人口密集地區。
 - (2). 飛行路線之間距和飛行高度依可疑輻射源的數量、活度和監測儀器系統的靈敏度規劃。

(3). 使用具飛航功能的飛機或直升機載具。

(4). 地面和飛航之間的通信。

4. 一般情況，直升機的搜尋偵測使用下列不同的搜尋飛行模式：

(1). 平行軌跡搜尋（Parallel Track Search）-PT

敘述：平行直線飛行軌跡，飛行軌道間相隔 300 公尺。

適用範圍：應用於平坦或丘陵地形測量。

(2). 線搜尋（Line Search）-LS

敘述：沿著指定的路線飛行（如道路，鐵路軌道，河流），與
平行飛行軌道的距離為 300 公尺。

適用範圍：沿交通幹線量測。

(3). 輪廓線（沿等高線）搜尋（Contour Search）-CS

敘述：沿地形等高線飛行。

適用範圍：應用於深切或山區地形量測。

(4). 穿越搜尋（Penetration Search）-PS

敘述：從不同的地標軌道穿越飛行。

適用範圍：應用於深切或山區地形量測。

本程序為一般性空中輻射源搜尋偵/監測調查規範作業程序。在實際緊急應變過程中，需依所使用的特定能譜儀系統制定特定偵測程序，例如使用進步型輻射能譜量測電腦系統（SPARCS-A）。

對於本節偵/監測污染調查規範作業內容，以下簡單進行總結整理與注意事項提醒。

項目	內容
應用分析	加馬輻射放射性核種分析
幾何條件	加馬能譜系統能夠安裝在直升機或固定翼飛行載具上。使用高純鍺(HPGe)能譜儀偵測器或 NaI (TI) 偵測儀器
取樣類型	不需取樣

偵測基礎	土壤、空氣
MDA	1~5 kBq/m ² (取決於儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及土壤中的放射性核種分布)
量測時間	10~300 s/cycle(測量時間取決於儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及在土壤中的放射性核種濃度和分布)
精準度	30~50%(取決於土壤中的放射性核種分布、偵測範圍地形結構、偵測儀器效率、測量時間)
◇ 偵測系統校正後，不得改變或調整系統的設定值 ◇ 執行空中偵測人員於受到輻射曝露劑量達設定值時應立即回航 ◇ 飛行時應避免通過受污染的空氣層，以避免人員接受曝露和偵測設備遭受污染。如懷疑通過受污染的空氣層，降落後需檢測飛機機身與偵測儀器，確認污染程度 ◇ 空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行(150~1500 公尺雲層下的可見性)	

3.1.4.2.3 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序

任務派遣之前

步驟 1.

設備/補給品整備。

1. 一般偵測設備（手提式 β/γ 輻射偵測器 1 部）。
2. 個人防護裝備（劑量佩章、個人劑量示警器、防護衣物、呼吸面具）。
3. 空中加馬射線能譜儀系統。
4. 直升機或固定翼飛機。
 - (1). 環境分析/輻射評估單位人員現況簡報與分派任務。
 - (2). 準備適當的偵測設備、個人輻射防護裝備。
 - (3). 偵測儀器、設備測試檢查。
 - (4). 獲得氣候條件與預報情況的資訊。
 - (5). 獲得有關偵測範圍的資訊。
 - (6). 從輻射偵測評估/環境分析處接受使用相同座標系統

的資料。

步驟 2.

根據環境分析/輻射偵測評估的說明。

(1). 設置直讀式個人劑量示警警報。

(2). 穿戴適當的個人防護裝備。

飛行前檢查

步驟 3.

檢查空中加馬射線能譜儀系統安裝無明顯損壞，檢查正常。

步驟 4.

飛行載具（飛機）機艙上選擇一個適當的檢測器的安裝位置（檢測器的安裝位置，以盡量減少受到直升機或飛機的組件自我屏蔽影響，如油箱等）。

步驟 5.

檢查加馬射線能譜儀系統安裝於直升機或固定翼飛機的機械、電器安裝的適應性。

步驟 6.

加馬射線能譜儀系統與飛行器電氣連接檢查，包括雷達高度計和全球定位系統（GPS）的網路連線。若加馬射線能譜儀系統採行動電池連接供電，需檢查供應的電池。

步驟 7.

當加馬射線能譜儀系統使用高純銻偵測器時，出發前必須檢查偵測器使用液態氮的填充狀況。

注意事項：

若需使用液態氮，其容積盡可能不超過 5 公升。如液態氮在小空

間機艙發生洩漏，可能造成成員缺氧性窒息。此外，洩漏的液態氮也會影響飛行視線，也可能導致眼睛、皮膚損傷和設備的損壞

步驟 8.

依據製造商或自訂的程序書，開啟測量系統進行基本功能測試檢查。

步驟 9.

設定適當的測量參數，例如測量時間、測量數據貯存週期的設定。

步驟 10.

在執行飛行之前，需進行：

1. 無線電通訊配置檢查。
2. 全球定位系統(GPS)檢查。
3. 雷達高度計檢查及合格的校正。
4. 地面背景輻射量測（SPARCS-A 需已架設在機艙內）。
5. SPARCS-A 偵測系統高低能量校正檢查。

注意事項：

直升機或固定翼飛行器上操作人員的執行程序、飛行任務所需要的許可證明、燃料與潤滑油、後勤補給等，必需遵守國家飛行相關法令規定。

步驟 11.

記錄保存：所有日誌、檢查表、工作表的相關數據資料。

飛行測定

步驟 12.

按照環境分析/輻射評估單位人員提供的預定飛行路線，飛往預定地區，並依測量序列進行偵測。

根據不同的情況和主管機關的要求，建議飛行的參數如下：

- (1). 飛行高度：飛行時根據地形和景觀（樹林、建築物、電力線等）。使用直升機，一般飛行離地面 90~120 公尺以上，飛行高度盡可能保持恆定（直升機應該盡量遵循地形結構，安全第一），固定翼飛機的飛行高度通常較高。
- (2). 飛行速度：按照與直升機或飛機使用的特性。直升機的飛行速度建議在每小時 60~150 公里之間。

說明：

測量參數（高度、飛行速度、座標、測量時間）的收集與貯存應同時有相對應的輻射偵測數據。這些數據可用來繪製污染範圍圖。

步驟 13.

在飛行偵測調查中。觀察儀器偵測系統，量測劑量讀數連續的輸出結果。

說明：

依據程序書，在空中調查期間應檢查能譜系統的增益、高壓、能峰位置、能量漂移等。檢查測量數據、高度、GPS 數據不但明顯有用且必須做。

注意：

在下大雨的時候，土壤中的天然放射性物質氡氣核種產生的變化，因此，輻射劑量率或計數率量測結果可能會高於 2 倍左右。

步驟 14.

如果計數率或儀器的偵測劑量率讀數超過預定水平（至少兩次來回偵測），即飛行返回到偵測發現異常位置，並減少偵測軌跡網格路徑間距搜尋，更精確地搜尋到詳確異常位置。

說明：

通常由耳機的音響聽見，也可做為判別異常的輔助工具。如飛機上備有偵測記錄器，需以偵測所得的讀數劑量、異常最高劑量率位置處、位置座標（經度，緯度）、飛行高度等紀錄儲存，並繪製圖列印。

步驟 15.

通報地面指揮官，相關輻射異常範圍位置，並依環境分析/輻射評估單位提供的評估分析結果，指示後續執行的行動。

步驟 16.

繼續搜尋模式，直到確認所有的異常輻射源位置。

飛行偵測檢查：

在飛行偵測中，檢查如測量數據、偵測異常位置、高壓、能峰值、能譜變化、海拔高度、GPS 紀錄等。

飛行著陸

步驟 17.

按照儀器使用程序再行檢查、確認測量系統的功能正常。所有相關數據應記錄於日誌並保存。通知執行環境分析與輻射劑量評估單位有關空中量測中任何的差異事項。

步驟 18.

建立偵測數據應用的格式化，並備份所有的測量數據。

步驟 19.

直升機、飛機機身、機艙內和偵測設備之使用後表面污染檢查，確認污染狀況。

分析/評估

步驟 20.

由偵測結果能譜紀錄中，確定搜索之輻射源位置。

步驟 21.

利用量測能譜確認輻射源的放射性核種。

步驟 22.

估算空中偵測輻射源之活度執行推算地面輻射源活度公式

$$A = \frac{(N - N_b) \times 4 \times \pi \times d^2 \times 10^{-2}}{t \times P_\gamma \times \frac{R_0}{\phi} \times e^{-\mu_a \times d} \times SF}$$

A=輻射源活度

N=峰值能量 E 的計數值

N_b=能量 E 高峰的背景計數值

t=測量現場時間 (s)

$\frac{R_0}{\phi}$ =響應因子

P_γ=γ 射線發射率為能量 E

SF=屏蔽係數

d=偵測器和輻射源之間的估計距離

$$d = \sqrt{h^2 + d_0^2}$$

d₀=估算劑量點的距離 (m)

h=高度 (m)

步驟 23.

確定的劑量讀數 (淨計數率或淨劑量率) 為發現異常時的最高劑量讀數 (計數率或劑量率) 減去於飛行高度時測量的劑量背景值 (計數率或劑量率)。

淨計數率或淨劑量率=量測最高計數率或劑量率-測量的背景值

步驟 24.

考慮偵測效率後之輻射源活度，使用下列計算式：

$$A = \frac{R}{\epsilon}$$

A =輻射源的活度 (MBq)

R =淨計數率或淨劑量率 (s^{-1})

ϵ =偵測器使用效率 (計數的活度 s^{-1}/MBq 或單位劑量率/ MBq)

3.1.5 國軍核子事故緊急應變-空中輻射偵測訓練課程

3.1.5.1 訓練目的

日本 311 福島核災事件後，為強化我國空中輻射偵測作業之能力，國防部陸軍司令部於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 08 月 14 日)，本組組成專業技術團隊協助國防部執行訓練課程。

SPARCS-A 為美國能源部國家核子安全局所開發，可運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搜索等任務。本次訓練目標希冀使台南歸仁陸航飛訓部的國軍弟兄了解 SPARCS-A 系統之操作原理及實務應用，並說明飛行任務的前置作業準備、任務執行期間與執行後應注意之事項。此外，由陸軍化學兵學校結合軍中實務經驗教授輻射基本知識，希望能使國軍弟兄對輻射原理、輻射防護與劑量限值有基本認識。

3.1.5.2 訓練課程說明

本次訓練課程內容如表 3.4，課程包含基礎認識輻射、飛行安全與飛行任務流程說明之室內課程與空中輻射偵測之實作課程，最後進行飛行結果解析，相關訓練課程剪影如圖 3.6。

✧ 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上尉授課，蘇上尉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，對輻射有深入之了解。

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能對輻射有最基本的理解。同時，蘇上尉於課程中分享軍中執勤的實務經驗，讓國軍弟兄能更加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本組黃昭輝副研究員擔任講師，由執行空中偵測任務必要性、任務執行方式、SPARCS 元件說明至整個空中偵測應注意的程序進行一系列完整的說明。

空中偵測目的是在於監測與調查輻射污染或可能擴散之範圍，例如日本福島 311 事件中，美方即利用空中偵測系統來評估福島外釋放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，依其結果擬定空中飛行路線與計畫，供飛行員擬定飛行任務時參考。

由於執行空中偵測任務過程需注意之事情非常繁瑣，故課程後半段針對空中偵測飛行程序書進行深入的說明，讓國軍弟兄能瞭解飛行前應先進行哪些儀器設備檢查、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。

✧ 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本組張淑君副研究員擔

任講師，除接續黃昭輝副研究員之課程外，主要對於本次空中飛行任務進行完整的說明。本次任務分成兩塊：國土放射性核種污染環境調查及射源搜索的任務。

國土放射性核種污染環境調查目的係於核事故發生後，能掌握放射性煙羽因沉降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之間的污染情況。

射源搜索之目的在於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、100 公尺）Z 字型飛行，確認射源位置。

✧ 實作演練

飛行實務演練。演練過程將人員為兩組，其中一組由本組派員組成，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，讓學員能對於 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，由本組盧仲信工程師進行資料分析解讀，說明整趟飛行任務的飛行路徑紀錄、偵測計數率以及推測出射源可能放置的位置（射源搜索任務）。課程尾聲，由本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，期許國軍能建立此空中偵測的技術與能力，便於未來因應各種輻射偵測任務。

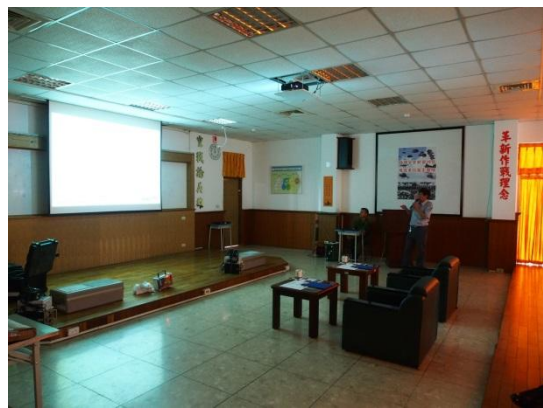
表 3.4 空中輻射偵測訓練課程表

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 (航空六〇一旅)	
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		

認識輻射課程



飛行安全與作業執行技術要領與任務運作概念課程



實作演練課程





空中輻射偵測任務完成與偵測解析



圖 3.6 國軍核子事故緊急應變之空中輻射偵測訓練課程剪影

3.2 海域輻射偵測技術建立

本節係依序說明福島核能電廠事故對海洋擴散之評估經驗、海洋擴散需考慮的機制、進行海域模擬前應先蒐集之資料、台灣南灣海域特性與過去的研究經驗、國內海洋大學評估模式發展現況，最後說明未來對於海洋輻射偵測技術發展之規劃。

3.2.1 福島核能電廠事故海洋擴散評估

2011 年 3 月 11 日日本東北發生芮氏規模 9 的強震引發海嘯，造成福島第一核電廠機組受損，使得放射性物質包含碘和銫排入太平洋中，其中在福島縣沿海和海底沉積物發現高濃度的 ^{131}I 和 ^{137}Cs 。日本原子力研究開發機構（Japan Atomic Energy Agency，簡稱 JAEA）亦透過海洋擴散模式 SEA-GEARN 和海洋環流模式 OGCM 預測 ^{131}I 和 ^{137}Cs 的擴散，並藉由大氣擴散模式 WSPEEDI-II 同時將 ^{131}I 和 ^{137}Cs 的沉降考慮進海洋擴散模式，評估在 2011 年 3 月 12 日至 4 月 30 日期間之海水放射性物質濃度，圖 3.7 為結合直接外釋至海洋與大氣沉降造成之海水表面 ^{131}I 之濃度。福島第一核能發電廠在 3 月 15 號大氣外釋達到最大量，導致大量放射性核種沿著福島縣、茨城縣和宮城縣海洋沉降，致使離岸區以及宮城縣東北部離岸區在 3 月 17 日海水表面濃度高於 10 Bq/L。接著 ^{131}I 受親潮海流的影響，使得在 3 月底在南岸出現高濃度（Hideyuki et. al.）。

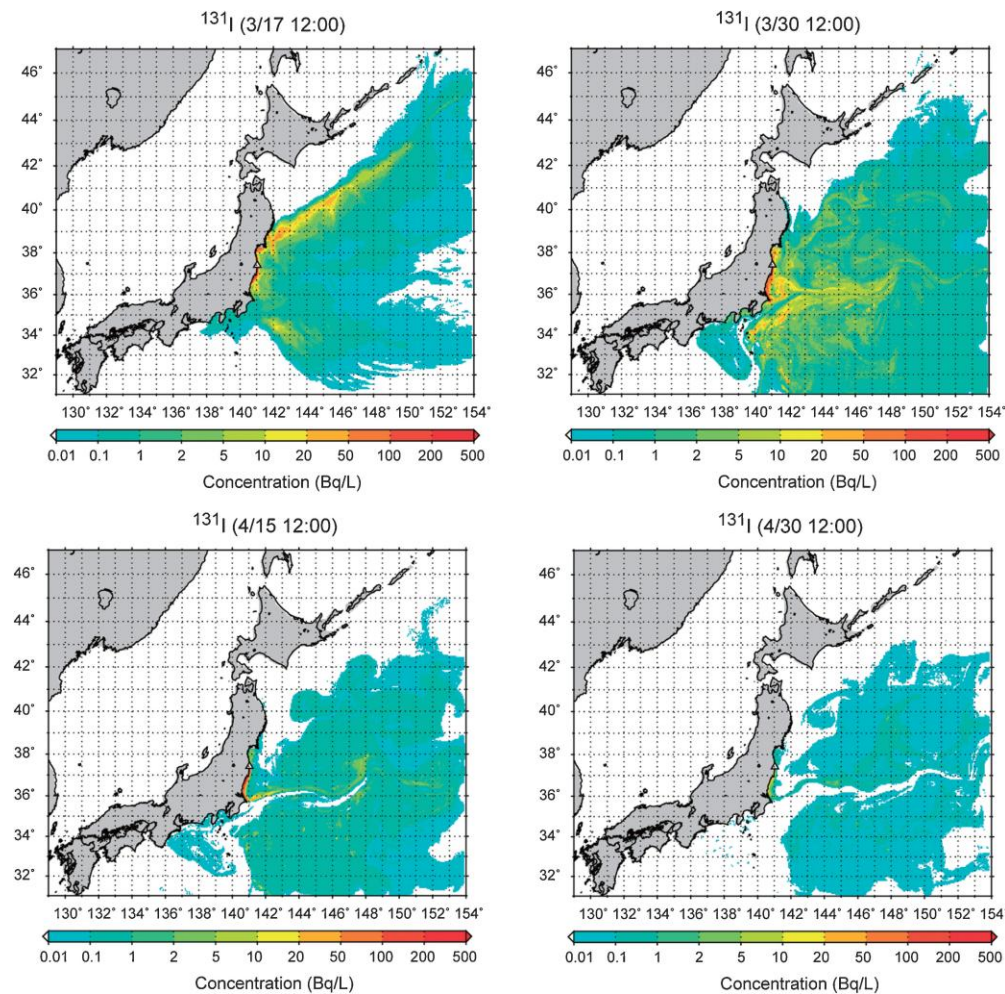


圖 3.7 日本福島事故 I-131 於海洋中濃度之數值實驗

此圖為結合直接外釋至海洋與大氣沉降造成之海水表面 ^{131}I 之濃度數值實驗。

SIROCCO 海洋評估團隊，於福島事故後受到國際原子能總署（International Atomic Energy Agency，簡稱 IAEA）請託，使用 3D SIROCCO 海洋循環模式（3D SIROCCO ocean circulation model）評估福島電廠排放的放射性核種在海水中的擴散情況（如圖 3.8），詳細模擬結果與動畫可參考下列網址。

（http://sirocco.omp.obs-mip.fr/outils/Symphonie/Produits/Japan/SymphoniePreviJapan.htm#Tra1S_field）

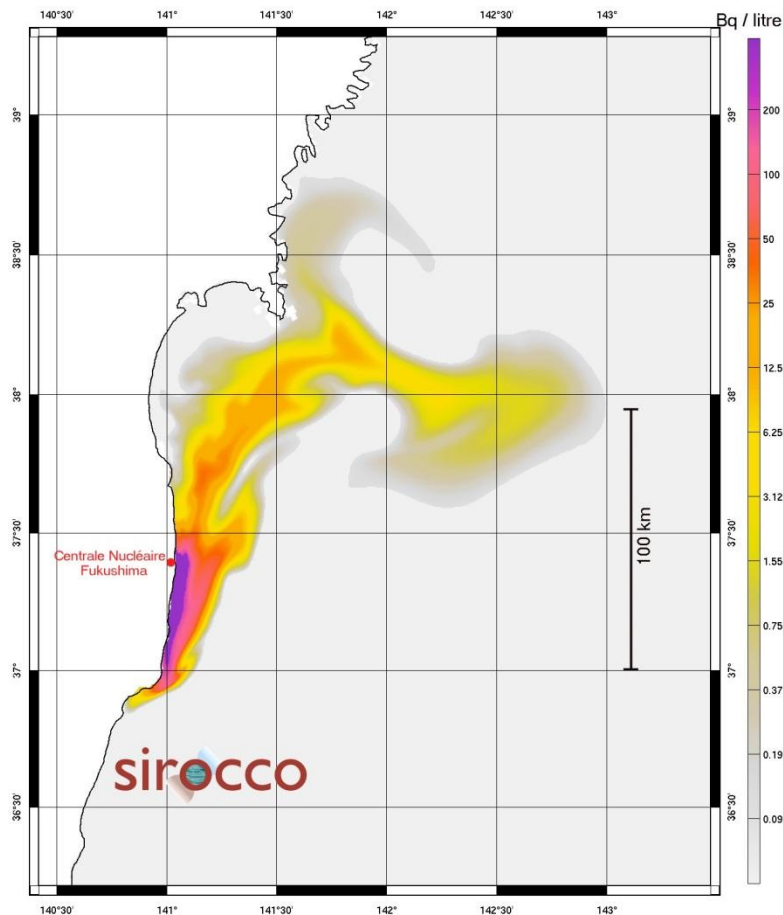


圖 3.8 SIROCCO 評估福島海洋擴散示意圖

3.2.2 海洋擴散機制

各種不同物質在海洋中之擴散機制不盡相同，需考慮其物理傳輸機制，包括海水對流、分子擴散、海水沉降、氣象、海象、地象等，以及生化傳輸機制，如化學作用、化學分解、生物分解等，由上述可知，影響整個海洋擴散之因素相當多，故要能完整模擬海洋擴散仍深具難度，需對有興趣探討之海域進行長時間調查與資料蒐集分析。以下針對海洋擴散之物理傳輸機制進行簡介（行政院環境保護署 EPA-88-U1E1-03-001）。

3.2.2.1 物理傳輸機制

於海洋中，物質與其環境進行物理擴散傳輸之機制，分別如下：

- (1). 傳輸 (Advection)：由外界水流系統傳送，如受到潮流、恆流或排放物本身具有之速度，導致物質直接被水體帶動之現象。
- (2). 對流 (Convection)：是一種因靜水體不穩定所引起的垂直傳輸現象，其中密度對於垂直對流佔有很大的因素，當冬季寒流來襲時，水表面因預冷而增加密度，造成水表面水之密度增加而下沉，導致垂直方向之傳輸。
- (3). 分子擴散 (Molecular Diffusion)：水顆粒因分子運動而產生隨機擴散之現象。
- (4). 紊流擴散 (Turbulent Diffusion)：流體中因污染物濃度梯度所引起之分散現象稱為擴散，而因紊流運動特性所致之擴散作用，則為紊流擴散。
- (5). 剪力流 (Shear Flow)：由於流體在不同位置與不同流速受剪力影響所發生之傳輸現象。
- (6). 延散 (Dispersion)：是由於剪力流與橫向擴散聯合效應造成顆粒或污染團散播的現象。
- (7). 混合 (Mixing)：分子擴散；紊流擴散、延散及傳輸等過程使物質與水體產生混合或稀釋。
- (8). 蒸發 (Evaporation) 或降雨 (Precipitation)：水表面因蒸發或降雨造成表面水密度改變，造成對流之現象。
- (9). 顆粒沉降與底床捲增 (Particle Settling and Entrainment)：顆粒受重力之影響而沉降，此過程亦與物質密度息息相關。當紊流通過床底造成顆粒上升的過程，稱為底床捲增現象。
- (10). 水團浮升 (Buoyant)：物質 (污染團) 密度小於周遭水體時，將會因浮力而有上升之現象。

3.2.3 環境變數

欲對感興趣之海域進行數值模擬之前，環境資料的蒐集為先決條件，海流的特性會受到氣象、海象和地形影響而有所不同，故完整且詳細的資料將有助於模擬的正確性，以下將對模擬前可能需調查之環境變數進行說明。

3.2.3.1 氣象

- (1). 氣壓：氣壓是引起海水面變化的主要原因，若有氣壓梯度則會生成所謂的梯度風。
- (2). 風：因氣壓梯度、地形及局部氣流的熱力學變化而產生，其風速、風向可影響海面波浪之大小及方向。
- (3). 日照、溫度、濕度：此三項將會影響水體的水溫及蒸發量。
- (4). 降水：影響水表面之密度改變。

3.2.3.2 海象

- (1). 潮汐：潮汐現象是海水受日、月等天體引力，再加上地球自轉的影響而產生之週期性變化。
- (2). 海流：海流可分為碎波帶以外之海流（如恆流、潮流、風驅流），與碎波帶以內因為波浪破碎所產生之近岸流。以台灣而言，附近海域主要係受黑潮恆流之影響。潮汐引起之海水水平方向運動，稱之為潮流，其週期與潮汐變化應相同。長期風吹海面會引起海水流動即為風驅流，而風吹亦可能引起垂直流動，稱之為湧昇流（up welling）。近岸流之成因主要由波浪所引起，近岸流之流況與海岸地形密切，嚴重影響了污染物在近岸的擴散傳輸的分佈與流向。
- (3). 波浪：波浪對於排放於海中之污染性物質有加強混合稀釋的作

用。

(4). 海水性質：係指溫度、鹽度、密度、酸鹼度、溶氧量等。

3.2.3.3 地象

指海岸地形、水深、海岸線變化、地質情況等，皆有可能影響海流流向與物質擴散之情況。

3.2.4 台灣南灣海域之特性

3.2.4.1 南灣地形

台灣最南端之海灣，稱之為南灣，為恆春半島的一個半封閉型海灣，介於貓鼻頭與鵝鑾鼻兩海岬之間。兩海岬之間距離約為 14 公里，東邊海岬稱為鵝鑾鼻（O-Luan-Bi，簡稱 OLB）；西邊海岬稱為貓鼻頭（Mou-Bi-Tou，簡稱 MBT）。兩岬並不對稱，東邊的鵝鑾鼻較為突出，為台灣本島最南之地，與西太平洋為鄰；貓頭鼻的西側與台灣海峽為鄰；南方半封閉型之開口則面向呂宋海峽。

在南灣海域西半部沒有明顯的大陸棚，但在南灣海域的東半部則有一大約 5 公里寬之大陸棚，平均深度約 30 至 50 公尺且 50 公尺的等深線大致平行海岸線，一直延伸到鵝鑾鼻南方約 5 公里處才漸漸深化並形成海脊（submarine ridge）。在貓鼻頭東南方約 2 公里處有一類似橢圓柱體之海底山，最高的地方在海面下約 50 公尺。從南邊的海底山到北邊的陸地中間，形成兩端有開口東西走向的弧形峽谷（arc-shaped channel），其深度約是 120 公尺且自海底山北緣向左右兩端深化，最深處深達 150 公尺，是南灣較深的部份（江凱勛，2012 年），圖 3.9 為台灣南灣海底之地形等高線與位置圖（Lee et al., 1999 年）。

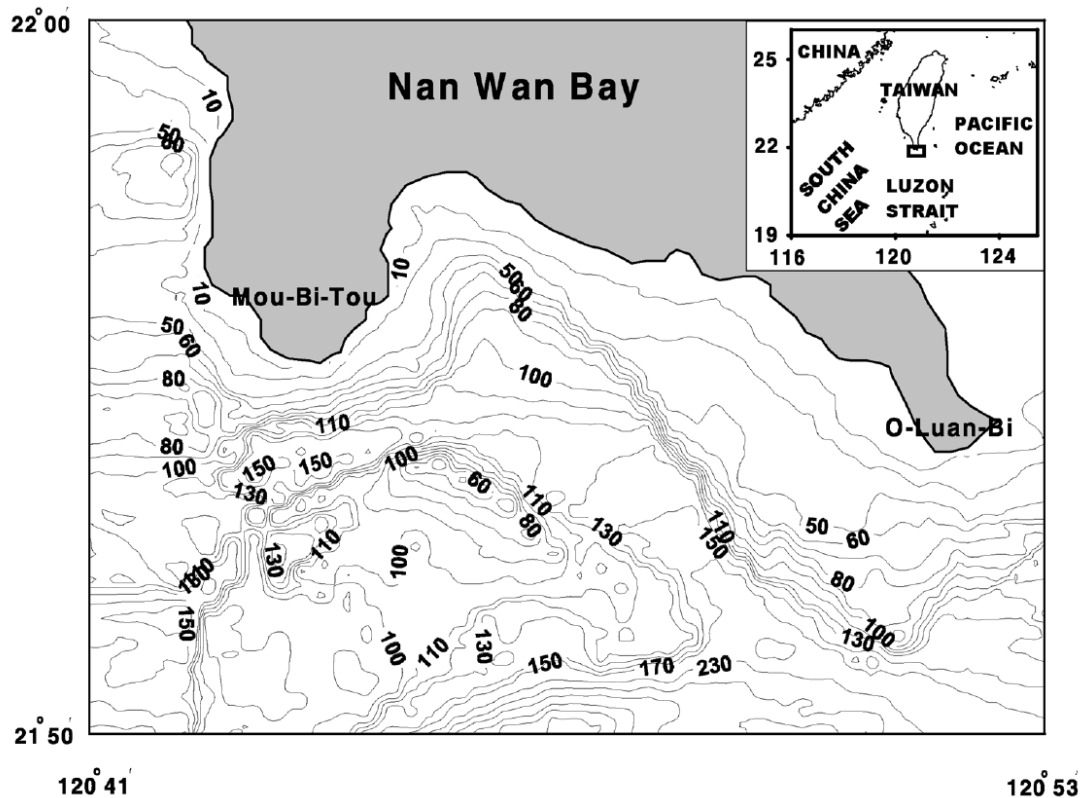


圖 3.9 南灣海底地形等高線圖與位置

3.2.4.2 南灣風場

影響南灣海域之海流主要可分為：天體引力引起的潮汐與蒙古高壓大氣系統控制。台灣每年冬季盛行東北季風（10 月至隔年 4 月）；夏季則是受到西南季風盛行而控制（5 月至 9 月）。

冬季時，強烈的東北季風常造成南灣當地出現落山風而以離岸風的型態吹向南灣海域，強烈的離岸風會造成表面海水被吹離，可能會造成海岸區內有冷水湧升之現象。

3.2.4.3 南灣水文

南灣海域位處於西太平洋、南中國海及呂宋海峽交會地帶，其害水運動受到潮汐、黑潮入侵及南海循環影響，也會受到季節性變化風場的影響。灣內受到貓鼻頭海岬及東半部陸棚的地形屏障作用，使得南灣西半部之流場變化相當複雜（Lee et al., 1999）。

3.2.4.4 過去研究

過去研究中，有專家學者專門針對台灣南灣海域進行研究，根據 Lee et al. 一系列的研究探討，發現在南灣半封閉式海灣內，潮汐期間會引發氣旋渦漩，接著出現反氣旋渦漩，同時會誘發湧升流的出現，造成海水溫度下降。

在較低的低潮（lower low water）期間，南灣北部位在貓鼻頭的東邊，會形成一個氣旋渦漩，此氣旋渦漩逐漸擴大，一直持續到較低的低潮至較低的高潮（lower high water）期間；反氣旋渦漩則是在較低的高潮、較高的低潮（higher low water）及較高的低潮（higher high water）期間出現，而在進入較高的高潮期間，反氣旋渦漩擴展至整個海域。圖 3.10 將南灣完整潮汐分為五個時期，分別為大退潮、小漲潮、小漲潮末期、小退潮及大漲潮，五個不同的潮汐階段引發的海流變化。兩氣旋渦漩皆引起湧升流的出現，造成溫度驟降，其中在海灣中部及西部地區，一般來說每日會因氣旋渦漩及反氣旋渦漩的出現引發湧升泉造成兩次降溫，而在海灣東部（鵝鑾鼻西邊）會因反氣旋渦漩引發湧升泉導致一次降溫（lee et al., 1999 年）。

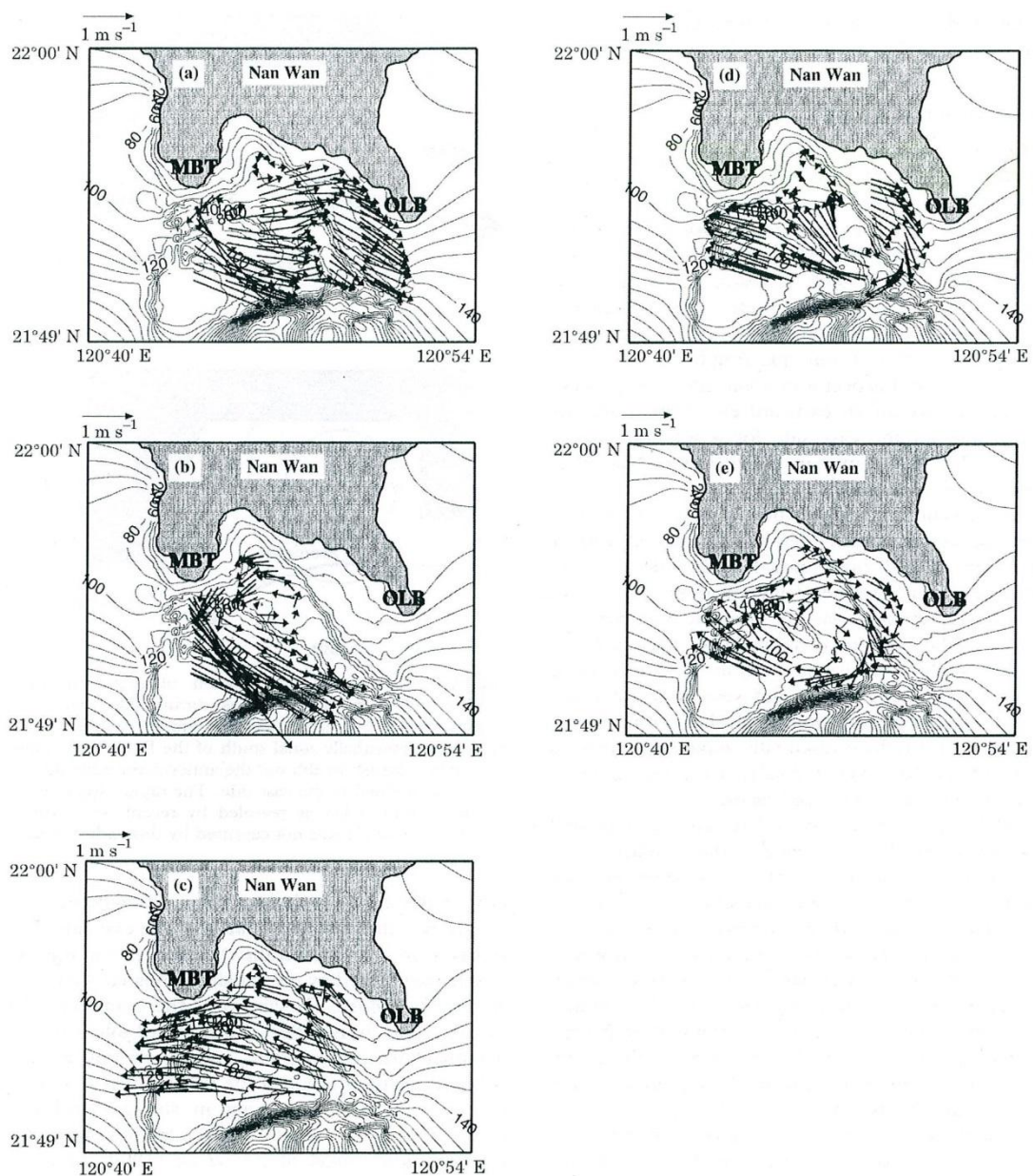


圖 3.10 南灣海域 22 公尺深潮汐流之模式

此圖為運用杜卜勒流速儀（Acoustic Doppler Current Profiler，簡稱 ADCP）探查南灣海域 22 公尺深之海流現象。其中編號 a 至 e 分別代表大退潮、小漲潮、小漲潮末期、小退潮及大漲潮。

於謝孟松的碩士論文中曾對南灣海域夏季及冬季潮汐渦漩進行研究分析，發現渦漩結構消失的深度並不相同，從最淺為 26 公尺至

最深達 94 公尺，當水深超過 70 公尺時，渦漩結構開始受到海底地形影響而遭受破壞，造成渦漩結構逐漸消失（謝孟松，2008 年）。

於江凱勛的碩士論文中曾探討落山風與南灣冷水湧升之現象，發現風場對於南灣東部海域有著驅動底層冷水湧升的效應，也是南灣海域週期性降溫的現象因素之一，特別是在漲潮期間，風場可做出約 1 °C 的貢獻（江凱勛，2012 年）。

3.2.5 國內海洋流場與污染相關研究單位

台灣東向太平洋、西有台灣海峽、南接南海、北臨東海，係屬四面環海的海島型國家，流經台灣之洋流有黑潮恆流、南海海流及中國沿岸流，故海洋深深影響台灣之生活形態，包含經濟、交通等皆受到海洋之影響。

為能充份掌握海洋之特性，國內有許多大專院校皆設有相關之研究單位，例如國立海洋大學環境資訊系、國立成功大學水利及海洋工程學系、國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系、國立中山大學海洋環境及工程學系、高雄海洋科技大學海洋環境工程系暨研究所與台灣海洋科技研究中心等，其研究領域多方發展，包含海洋工程、海洋資訊、海洋環境等，透過上述研究單位與資訊整合，讓我們逐步解開海洋之神秘面紗。

以台灣海洋科技研究中心（以下簡稱海科中心）為例，海科中心為台灣政府海洋科技之幕僚，掌握海洋環境為政府提供海洋科技資訊。海科中心之研究分為五大主軸，分別為臺灣海域長期水文觀測與分析、海洋災害防治研究、國家海洋資料庫與資訊網建置、海洋探測科技研究及海事工程研究。於臺灣海域長期水文觀測與分析研究中，主要建立海洋物理、化學、生態環境、地質與數值模式發展之平台，運用雷

達、錨碇台及氣象浮標系統等資源進行觀測，並經由觀測資料驗證所開發之數值模式，藉以充份掌握台灣週邊洋流及潮汐之特性；海洋災害防治研究中，經由觀測資料得到海底地質及地形結構，探討海底管路及海底電纜之安全設置區域，同時監控海底地震與板塊位移，並掌握臺灣板塊特性；國家海洋資料庫與資訊網建置研究中，經由整合性海洋資料庫之建立與資訊平台之架設，提供海洋探測、海洋時事、海洋活動、海洋知識及海洋機構之資料，供政府、研究單位、教育單位及民間組織使用；海洋探測科技研究中，透過水下無人探測載台及近岸自主式無人載具，執行深海探測之作業與近岸資料蒐集；海事工程研究中，藉由海上風場及紊流場量測技術之建立，除提供海科中心海象預測及海象模擬之資料外，亦可用於探討離岸風力發電所需之風場分析與評估。

綜觀我國對於海洋之研究與發展，我國對於海洋流場、海洋污染已具有相關之評估能力，惟目前尚未建立針對放射性物質之相關海洋污染擴散評估與模式，未來可考慮結合海洋與原子能兩大領域之專業，共創海洋輻射污染擴散之評估能力。

3.2.6 未來展望

為能建立海域偵測任務之標準程序及技術整備作業，強化我國海域輻射偵測之能力，考量海流評估所需考慮之參數複雜度、不同季節及深度之海水交換機制不盡相同，不同物質之擴散機制亦有所差別，故於「緊急應變之海陸空輻射劑量偵測與評估整合技術研究」計畫成立初期，本組便積極與國立海洋大學李宏仁教授與羅耀財教授聯繫，希冀能建立良好的合作關係。李宏仁教授之研究專長為物理海洋學、三維環流數值模式與海洋觀測，同時對台灣南灣海域有著長時間的觀

查，深入的探討及研究南灣海域，並於 1999 年期間提出一系列的研究論文，深獲國際肯定；羅耀財教授之研究專長為海洋數值模式、河口動力與電腦模擬，藉由結合兩位教授之研究專長，使核子事故緊急應變對於海洋洋流之評估更加完善。

日本福島核能電廠因海嘯導致電廠反應爐冷卻系統受損，故必須不斷以大量海水灌入降溫，造成大量受放射性污染之污水存放於電廠內。近期報章新聞指出，日本東京電力公司宣佈，在福島第一核能電廠排水渠取樣發現放射性物質，由於該排水渠通向外海，不排除放射性污染水已經由排水渠流入海洋，對此議題，國內媒體對此議題亦相當重視。由此經驗學習到，放射性污染水若不慎外洩，經由海洋擴散效應，恐造成近海甚至遠海海域受到放射性污染，然我國對此尚未建立完整的評估與模擬機制。

民國 102 年核安 19 號演習期間，海上偵測與取樣分析之演練項目於輻射監測中心前置作業時有熱烈討論，並以海科中心提供之洋流觀測資料，作為解說之素材。因此建立台灣地區電廠周邊海洋流場特性，提供核子事故緊急應變海上偵測與取樣路徑範圍之建議，可有效提升海上偵測規劃之合理性、效率及可靠性。

綜上所述，建立完整與健全的海域輻射偵測技術甚為重要，惟本研究計畫海域輻射偵測技術研究部分，因海洋大學兩位教授對於核子輻射領域較為陌生，故對承接相關計畫非常謹慎，兩位教授亦花費不少時間與精力理解相關輻射議題並與本組討論，致使研究期程有所延後，導致最終因時間急迫與不足而無法進行海域輻射偵測評估相關之研究。同時，藉由核安 19 號演習經驗回饋，與考量未來北部核能安全演習可能面臨相同之議題，故仍建議未來建立台灣核能電廠周邊海流評估模式，相關研究議題如下：

1. 蒐集與研究日本福島事故之海洋擴散分析技術。
2. 評析國內發展海洋擴散模式技術之現況、適用性及應用成果。
3. 以核能三廠為例，分析台灣南部海域之流場特性。
4. 以北部核能電廠為例，分析台灣北部海域之流場特性。
5. 建立海流評估模式並應用於核子事故緊急應變偵測範圍評估的技術分析。

第4章 整合規劃並完成以無人載具執行高輻射劑量區空中

偵測任務之技術發展可行性評估

4.1 無人載具空中輻射偵測系統

本計畫採購 Pico Envirotec Inc.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 Meter 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 4.1。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 4.1），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 4.2）。



圖 4.1 Mob-DOSE 偵檢器



圖 4.2 資料紀錄設備

表 4.1Mob-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 μ Sv/h： $\pm 20\%$ 1 μ Sv/h 以下： $\pm 40\%$
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 $^{\circ}$ C 至 50 $^{\circ}$ C
控制元件	Samsung Galaxy
通訊連接	3.0 藍芽、USB 2.0、WiFi、GSM（3G）

4.2 無人載具

無人載具為一種高機動性之遙感探測平台，廣泛運用在各種領域。核能發電在台灣是一種相當經濟的電力生產管道，但仍需在安全性上面嚴謹的掌握各個環節；為因應突發的核能事件，本計畫利用高機動性的無人載具技術，搭載輻射偵檢器，評估無人載具技術整合輻射偵檢儀器，進行輻射資訊蒐集的可行性，在面對緊急應變時，完成第一手資訊蒐集，提供主管單位參考。

4.2.1 無人載具概述

無人載具的應用特色是能執行 3D 任務（Danger、Dirty、Dull），它有各種名稱，包括 Drone、RPV、ROA 與無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle，簡稱 UAV）。Drone 泛指任何用無線電訊號來控制的無人靶機；RPV（Remotely Piloted Vehicle）是指從遠方遙控無人載具運作；ROA（Remotely Operated Aircraft）則是美國航空總署 FAA 的官方用詞。

4.2.1.1 無人載具應用現況

無人載具出現於 1917 年，早期的無人載具的研製和應用範圍主要是在軍事上，後來逐漸用於作戰、偵查及民用遙測飛行平台。20 世紀 80 年代以來，隨著資訊科技的迅速發展以及各種新型感測元件的不斷問世，無人載具系統的性能不斷提高，應用範圍和應用領域也隨之迅速拓展。由於其具有輕便、隱蔽性佳、機動靈活、使用成本低等特點，目前世界各國已發展各種用途，各種性能指標的無人載具類型達數百種之多。

目前世界各國投入無人載具研發的國家有美國、法國、中國、德國、印度、以色列、約旦、巴基斯坦、英國與南非等，發展的目的大

多以軍事用途為主。而無人載具的應用，除了上述的軍事用途外，其應用領域大致可整理如表 4.2；國內各單位之應用狀況如表 4.3。

表 4.2 遙控無人載具民航應用項目

用途	功能	
空間資訊	航空攝影、DEM、正射影像、製圖應用、地物屬性分類與調查、3D-VR實景等	
科學應用	候鳥觀測與追蹤、氣動力、結構、控制等實驗平台等	
軍事用途	空中偵查	武器攻擊
	電子對抗與干擾	戰鬥訓練用靶機
	訊號傳輸（通訊）	指揮管制
太空用途	地形探測（著陸點選擇）	任務中繼
防災用途	即時救災（搜索救難）	森林火災監視
	環境監控/測	輻射偵測
民生用途	交通監控	氣象監控
	農藥噴灑	海岸巡防與緝私
	電訊中繼服務	病蟲害防治
	空中攝影與廣告	漁農業畜牧管理
	國土資源規劃與監測	油管與電纜監測
	打擊犯罪防恐保安	訊號傳輸中繼

表 4.3 國內遙控無人載具應用概況

應用單位	應用業務	備註
經濟部航太小組	研發與應用綜整	產業發展與協調
原子能委員會	輻射偵測	平時/緊急輻射偵測
災防中心	災害即時資訊蒐集	緊急性災害
水土保持局	山坡地監測	坡地災害與坡地資訊
林務局	國有林地監測	堰塞湖與林班地
水利署	業務資訊蒐集	河川監控
營建署	業務資訊蒐集	國家公園與新市鎮開發
環保署	業務資訊蒐集	汙染監測
地方政府	業務資訊蒐集	重大建設環境資訊蒐集
民間單位	應用領域廣泛	建案、廣告、新聞...等

4.2.1.2 無人載具應用實例

UAV 機動性高、飛行高度低、同時可安全快速的獲取高解析度的地面影像，高解析度影像可顯示較多的地表細節變化，常用在救災或土地管理的相關領域上或是大比例尺地圖製作、生態環境評估、監測農作物生長、災害後測量及地形圖繪製、數值高程或地表模型製作…等。例如施錦揮等人（2010）應用旋翼型 UAV 拍攝 2010 年發生於高速公路國道 3 號七堵路段地區的崩塌走山影像，產製 DSM（Digital Surface Model）及 3D 立體模型，並和崩塌前期 DTM（Digital Terrain Model）資料做比對，量測崩塌範圍面積、崩塌地形坡度、坡向分析及土方計算，讓救災策略更快速精確評估。曹鼎志等人（2010）

則運用 UAV 拍攝莫拉克風災復舊潭二號橋野溪的影像，和災前的遙測影像做比對，了解災後集水區整治情形及成效，讓相關單位做災後土石流疏散避難之更新。另外也有學者運用 UAV 於海岸線變化之監測，黃昭雄等人（2005）以 UAV 監測鹽寮的福隆沙灘，並進行濱線變化量測，分析海岸線長期的趨勢變化。Ollero et al., (2006) 探討 UAV 運用於森林火災上的監測，UAV 使用防火的材質並裝有火災感應器。平時做森林的監測，有火災警報時，可立即派遣 UAV 前往災害發生處，做火災的監測、定位並拍攝火災影像，提供第一手的資訊給救災人員。取得的影像可做事後火災影響的評估，像是燒毀面積的計算。而政府為了強化山坡地管理，也引進高精度影像 UAV 進行山坡地巡查，監控山坡地濫墾的情形，發現濫墾情形時還可成為執法研判的圖資，UAV 除了監控土石流及山坡地管理，也可監督工程進度及施工情形，節省人力及時間。

4.2.1.3 無人載具類型比較

遙控無人載具概略可分為定翼型與旋翼型(又分單旋翼與多旋翼)，國內在上述各領域皆有單位採用。各類型載具概述如表 4.4 所示。

表 4.4 各類型無人載具比較

載具型式	單旋翼	多旋翼	定翼
載重	15kg	1kg	3.5kg
作業高度	30m-3,000m	0-300m	100m-2,000m
飛行模式	可任意改變航線、高度與角度	可任意改變航線、高度與角度	依照設定航線飛行，較難變更
滯空時間	60min	10min	90~120min

載具型式	單旋翼	多旋翼	定翼
起降空間	定點起降(小如車頂)	定點起降(小如車頂)	需較大空間或跑道
酬載相機	高解析度單眼相機	消費型相機	高解析度單眼相機
定點拍攝	可定點停旋拍攝	可定點停旋拍攝	無法定點停旋拍攝
主要用途	防救災，攝影，環境 觀測等多感知器載具	觀測，攝影	軍事，觀測，攝影
特性	全空域飛行、籌載重 量高	低空飛行、籌載重量 低	中高空飛行、籌載重 量高
適用地形	山區與平地	都會區與平地	空域開闊區域與平地
範例照片			

本計畫使用之旋翼型無人載具設備，其特性、功能及規格（表 4.5）分述如下。

(一). 無人載具特性概述

1. 巡航速度約 60~120 公里，並可於 8 級風力（不含）以下（即風速 34 kt 以下），於離地高度 200 公尺以上空層運作。
2. 旋翼無人飛機具垂直起降能力（可於二平方公尺內完成起降作業），起降場為平坦之地面或平面（如車頂）。
3. 滿載時起飛後以時速 80 公里飛行之續航力，約 30~60 分鐘。
4. 滿載起飛後實際飛行高度最高達海拔 3800 公尺；最大作業半徑 15~30 公里。
5. 機體本身及油箱滿載重量不計，具額外酬載重量 5 公斤（含）以上能力。

在無人飛行載具上面搭載了 GPS/INS/IMU 結合的感測器，以及感光耦合元件(Charge Coupled Device，簡稱 CCD)與數位相機(Digital Camera，簡稱 DC)等設備，GPS/INS/IMU 感測器接收到資訊後，將資訊流透過轉頻器轉頻，並利用無線電裝置傳送訊號到地面，途中為了不讓訊號被外界異質物所干擾減弱訊號，需加裝強波器來增強訊號的強度，而在地面站經由天線接收器接收到訊號後，將資料透過解頻器轉換成電腦可解析的訊號，並且顯示於控制圖台上；如此一來，GPS/INS/IMU 與 CCD 所接收到的資訊即可即時傳送到地面控制站台，以供操作者更精準、更輕易的操控無人飛行載具。GPS/INS/IMU 與 CCD 所接收到的資訊非但可即時傳送到控制圖台，還可以將拍攝影像當時的方向、角度、高度、時間等資訊回傳給資料後製處理判識人員，輔助影像矯正，提高影像的精準度。

表 4.5 旋翼型無人載具相關設備

性能諸元	元件外觀
1.無人載具系統 ➤ 引擎排氣量 15cc，木精燃料引擎(左側機型) ➤ 引擎排氣量 80cc，汽油引擎(右側機型) ➤ 長/高/重量：1.32m/0.35m/5.3kg(左側機型) ➤ 長/高/重量：4.22m/0.6m/20.4kg(右側機型) ➤ 最大載重 6 kg(左側機型) ➤ 最大載重 20 kg(右側機型) ➤ 油箱 1,000cc，最大續航時間 30min(左側機型) ➤ 油箱 2,000cc，最大續航時間 60min(右側機型) ➤ 最大飛行半徑 15~30km，最大飛行高度 3.8km ➤ 使用紅外線感知器與三軸陀螺儀，即時解算機	

性能諸元	元件外觀
身姿態並輔助旋翼 UAV 停懸。	
2.高解析度相機 ➤ 有效畫素：2,110 萬 ➤ 影像大小：5,616×3,744 pixels ➤ 快門：1/8,000 秒至 30 秒	
3.即時監控系統 ➤ 雙顯示 LCD 液晶螢幕。 ➤ 飛航資料系統：顯示航高、航速、航向、返航方位距離、引擎轉速、溫度等資訊。 ➤ 地面即時監控系統：包含飛行控制子系統、影像接收子系統、飛航情報圖台等。	
4.微波影像傳輸器 ➤ 發射頻率為 1.2GHz ➤ 發射功率 1 W ➤ 使用 12V 直流電源 ➤ 傳輸距離 10~15 公里	

(二). 飛行控制架構

本計畫採用無人載具設備，除本身飛行所需動力單元之外，另具備 GPS 接收器、高度計、陀螺儀、姿態儀、飛行控制電腦、與地面控制站（GCS）連絡之通訊與資料傳輸設備等。飛行控制架構圖如圖 4.3 所示，主要分為兩大部分空中載具與地面站，空中載具除機具本身之飛行與動力元件外尚包含控制馬達、訊號接收機、OSD 影像產生器與飛行姿態偵測原件;地面站包含遙控器、訊號強波器、訊號發射機與地面站資訊顯示平台。

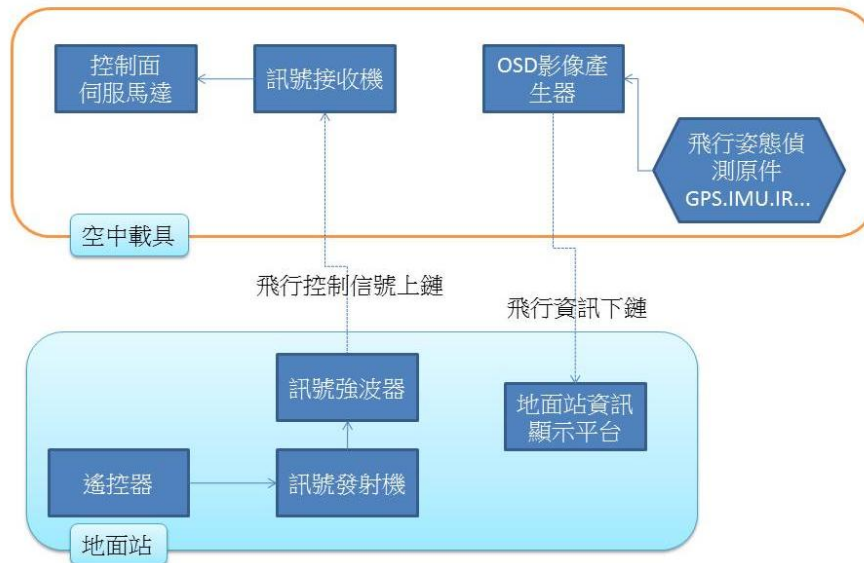


圖 4.3 無人載具飛行控制架構

(三). 機載設備

為賦予無人飛行載具執行空拍任務，飛行載具上必須搭配 GPS、慣性導航系統（Inertial Navigation System，簡稱 INS）、CCD、DC、無線電裝置等裝置。

I. GPS

搭載在無人飛行載具上指的是可收發衛星信號的 GPS 晶片組。現今的 GPS 感測器為了求更精準的點位，很多都已結合了慣性測量單元（Inertial measurement unit，簡稱 IMU），IMU 是測量物體三軸姿態角(或角速率)以及加速度的裝置。一個 IMU 內會裝有三軸的陀螺儀和三個方向的加速度計，來測量物體在三維空間中的角速度和加速度，並以此解算出物體的姿態。為了提高可靠性，還可以為每個軸配備更多的感測器。一般而言 IMU 要安裝在受測物體的重心上。IMU 大多用在需要進行運動控制的設備，如汽車和機器人上。也應用在需要用姿態進行精密位移推算的場合，如潛艇、飛機、飛彈和太空飛行器的慣性導航設備等。

II. 慣性導航系統

慣性導航系統又稱陀螺儀、加速儀，為一獨立自主性高的導航元件，利用加速儀計算載具角速度與線性加速度，經積分後可得到速度，再將速度積分後可得到移動的距離，進一步得知載具目前的位置，所得到的資訊也比 GPS 還來得精準。由於採用慣性移動的原理，所以側滑角的角度會隨著時間產生飄移現象。為了解決 GPS 訊號中斷、INS 角度飄移問題，現行常將兩種裝置搭配在一起，GPS 可代替 INS 提出位置訊息，解決飄移問題，而 INS 慣性導航的精準度即可以彌補 GPS 精準度不足的問題。

III. 感光耦合元件

感光耦合元件是一種集成電路，上有許多排列整齊的電容，能感應光線，並將影像轉變成數位信號。

無人飛行載具搭載 CCD 影像裝置，把在高空的影像即時回傳到地面控制平台上，如此便可清楚知道目前載具的角度、方向，以利空拍任務。

IV. 無線電裝置

為一無線電波的頻率，通過無線電波傳播信號的技術，訊息轉成訊號之後是以波的形式存在，穿越空氣傳送，最後被天線接收，然後傳送到接收器。無線電技術的原理在於，導體中電流強弱的改變會產生無線電波。利用這一現象，通過調製可將信息加載於無線電波之上。當電波通過空間傳播到達收信端，電波引起的電磁場變化又會在導體中產生電流。通過解調將信息從電流變化中提取出來，就達到了信息傳遞的目的。無人飛行載具利用無線電裝置傳遞載具的操控訊號與 CCD 的影像訊號。

V. WiFi 無線傳輸記憶卡

利用 Wi-Fi 802.11b/g/n 點對點的傳輸模式 (Ad-Hoc) 在裝置之間

建築一座無形的橋樑，透過這個橋樑來傳輸影片和資料，不需要透過外界的網路，克服了訊號和網路的傳輸障礙，可即時將資料下載到地面站、平板或筆記型電腦（圖 4.4）



圖 4.4 WiFi 記憶卡傳輸機制

(四). 地面控制站

地面控制站就如同一個小型的電腦，裡面存放了導引飛行系統，負責執行導引飛行的指令，將飛行指令傳輸到無人飛行載具上，無人飛行載具上的 GPS 接收機輸出訊號給地面控制站，控制站比對目前的位置、導航點的位置、目前的速度與行進方向進行計算，然後再對伺服機控制器輸出訊號，而伺服機便可驅動各個舵面、飛機的姿態與方位。

地面站為無人飛行遙控載具之控制中樞，負責發送控制訊號至飛行載具與接收載具的感測器資料與即時影像，其架構如圖 4.5 所示。地面站主體利用天線接收模組接收與發送訊號至飛行載具，而地面主體包含相機即時影像顯示、飛行 CCD 影像顯示與儀表顯示電腦。其中儀表顯示電腦可以顯示各項飛行載具感測器資訊，包括飛行高度、姿態、空間坐標與氣壓，並負責儲存與處理。除了飛行器本身的資訊，CCD 所傳回的即時影像經收頻器、轉頻器，轉換地面控制站可解析的影像數據，在地面控制站上顯示即時影像，以利操控無人飛行載具。



圖 4.5 地面站架構圖

(五). 航空電子/攝影系統

針對地表資料獲取方面建置航空電子/攝影系統，該系統讓載具操作者能於地面站操控載具上所搭載之感測器進行地表資料獲取，可於地面站接收載具所拍攝的即時影像，並於遠端操控載具所配置之數位相機對地表進行拍攝動作，其架構如圖 4.6 所示。該系統將飛行資訊與即時影像等感測器資訊整合後發送回地面站，並接收由地面站所發送之攝影腳架控制訊號，進行拍攝角度之調整與相機快門操控。



圖 4.6 航空電子/攝影系統架構圖

4.2.2 空中作業流程說明

為使無人載具輻射偵測任務能順利且安全執行，於任務出發前需針對飛行地點之環境進行環境資料蒐集及任務規劃，方可達到無人載具輻射偵測任務之最大效果。

4.2.2.1 基本環境資訊蒐集

針對無人載具輻射偵測任務範圍，先行蒐集任務地區相關資訊，包括有地形、水文、交通、行政區界等環境基本資料、遙測影像資訊、其他資訊等，並將上述蒐集之環境基本向量資料與遙測影像資料，進行圖資套疊，以利於空拍任務執行前，先行對於任務區域有基本的了解，並可做為後續現地勘查與航線規劃之參考依據。

4.2.2.2 任務規劃

一個完整的無人載具輻射偵測任務，必須進行相關前置準備作業，可有效提昇作業之執行效率與避免意外產生。

(一). 作業時間規劃

無人載具輻射偵測任務需依照目標區之地勢走向及任務區大小等，規劃可執行拍攝作業時間以及需要的作業時間。一般而言，上午為較佳之作業時間，可避開中午 GPS 衛星訊號較差等因素之影響。此外，部分區域因周邊環境因素(如高樓等)，不適用上述之通則，需針對其特殊性進行作業時間規劃。

(二). 天候資訊

無人載具輻射偵測任務能否確實完成，天候因素為最重要之影響因子。故於任務執行前，需先行調查目標區近期(約 3 至 5 天)之天候狀況，包含：晴雨天、雲量、能見度、相對濕度、風力(陣風)、預測圖分析以及規劃之作業時間內雲層分布情形等。

(三). 航線規劃

依照無人載具輻射偵測任務區之地形地勢與風力風向等現地環境資料，進行航線規劃，以求作業執行上之準確度與效率。

4.3 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，本計畫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。

4.3.1 無人載具空中輻射偵測實驗規劃

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. 實驗設計之飛行路線如圖 4.7 中紅色箭頭所示，相關之 GPS 定位資料如表 4.6。
4. 完成飛行任務，取得空中輻射偵測資料。



圖 4.7 無人載具飛行實驗範圍與路徑規劃圖

表 4.6 無人載具飛行實驗 GPS 座標表

名稱	GPS 座標	名稱	GPS 座標
地標 1	121°15'23.20"東 24°51'22.38"北	地標 2	121°15'28.05"東 24°51'17.73"北
地標 3	121°15'34.43"東 24°51'29.45"北	地標 4	121°15'32.85"東 24°51'30.95"北
1	121°15'28.93"東 24°51'19.61"北	2	121°15'24.48"東 24°51'23.59"北
3	121°15'25.81"東 24°51'24.75"北	4	121°15'29.80"東 24°51'21.13"北
5	121°15'30.59"東 24°51'22.88"北	6	121°15'27.12"東 24°51'25.94"北
7	121°15'28.45"東 24°51'27.14"北	8	121°15'31.27"東 24°51'24.64"北
9	121°15'32.26"東 24°51'26.20"北	A	121°15'29.74"東 24°51'28.33"北
B	121°15'31.02"東 24°51'29.56"北	C	121°15'33.31"東 24°51'27.59"北
D	121°15'24.62"東 24°51'20.46"北	E	121°15'25.79"東 24°51'19.16"北
F	121°15'31.27"東 24°51'24.64"北		

4.3.2 無人載具空中輻射偵測實驗分析

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 4.8 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。

圖 4.9 為本次實驗飛行路徑之 Google Map 截圖，圖上不同顏色之圓點代表劑量率的差異。受限於飛行當日氣候與設備條件之故，實際飛行路徑與規劃路徑有所差異，但仍順利完成無人載具空中輻射偵測實驗。從實驗結果可知，廢棄物處理場廢液貯存桶區域之上方有較高之輻射劑量率，分佈約為 0.42 至 0.83 $\mu\text{Sv/h}$ 。

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，廢棄物處理場上空之劑量分布分析結果如圖 4.10。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。



圖 4.8 無人載具飛行實驗紀錄

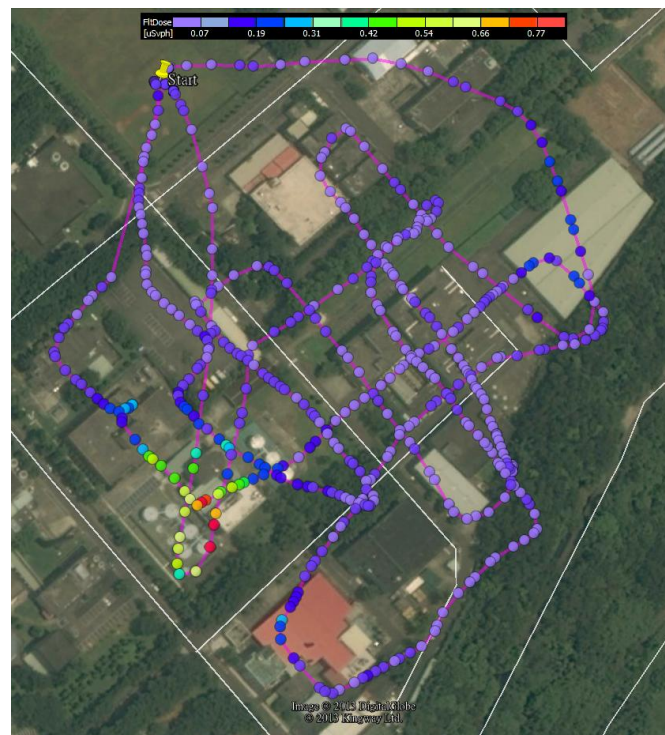


圖 4.9 無人載具輻射偵測路線圖

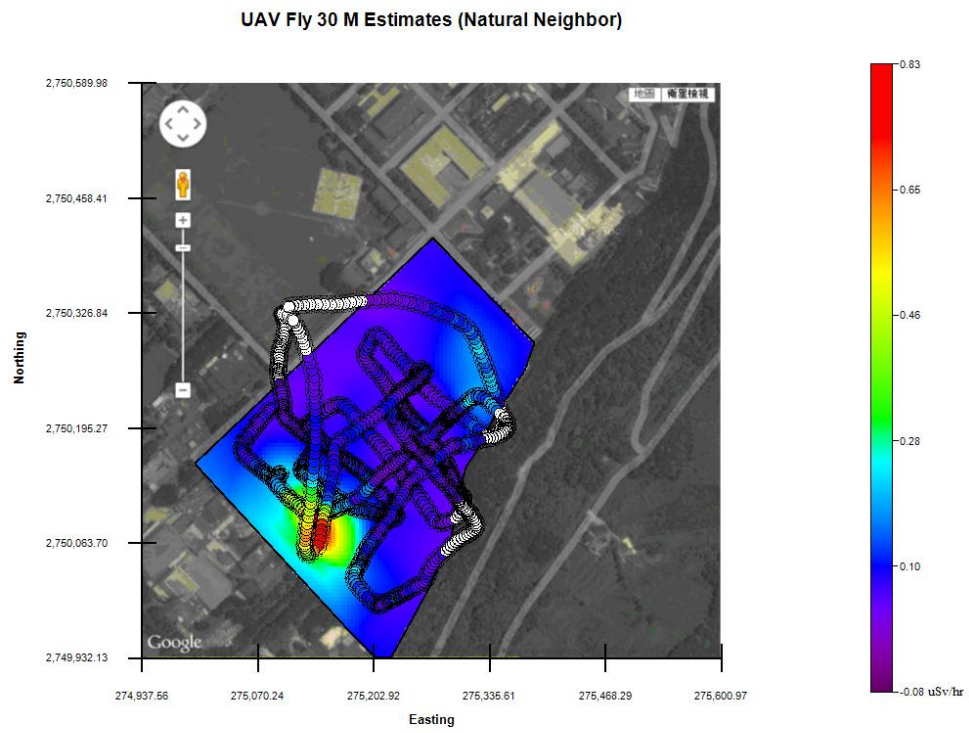


圖 4.10 SADA 程式空間劑量分析結果

4.4 無人載具執行空中輻射偵測可行性說明

本年度完成無人飛行載具空中偵測可行性評估，於實際飛行量測數據分析結果，可有效獲得輻射劑量之空間分布，說明無人載具執行空中輻射偵測相當具有發展之潛力。未來，若搭配不同類型輕量化之輻射偵檢器（如碘化鈉偵檢器），可更進一步獲得輻射能譜資訊，與特定污染放射性核種之定量分析。

日本於福島事故後，日本原子力研究開發機構（JAEA）亦使用無人空中飛行載具，執行福島電廠區域，進行高輻射劑量區域之量測，與輻射污染除污效果之驗證工作，其系統架構如圖 4.11。因此本計畫未來規劃與逢甲大學地理資訊中心合作，開發國內無人空中飛行載具輻射偵測系統，與現行 SPARCS 系統相互配合，建構完整之空中偵測能力。

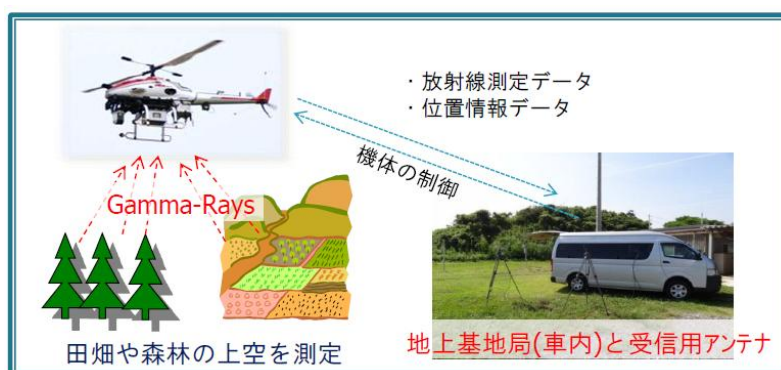


圖 4.11 日本無人載具空中輻射偵測示意圖

圖片出處：<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/pdf/helicopter.pdf>

第5章 配合年度核安演習任務計畫，完成核三廠各種季節特性之劑量影響趨勢分析及背景輻射偵測

5.1 劑量影響趨勢分析

5.1.1 概述

為掌握核能電廠若發生核子事故對周遭環境之劑量影響趨勢，本計畫委託中央氣象局（以下簡稱氣象局）評估氣象局全球模式作業系統在各電廠附近之 8 天預報結果。一方面了解氣象局全球預報模式在各電廠區之預報能力，提供系統發展人員做為系統改進的依據與標準；另一方面可供緊急應變劑量評估人員做背景參考，增進評估人員對劑量評估結果的了解與解析能力。

由於各核能電廠區之緊急應變計畫區有其獨立不同的地形特徵，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），並新增高解析度地表利用資料引入模式中，這些較符合現今各電廠地形特徵數據，使得劑量評估計算結果有其特有之區域分布特性。本計畫以核能三廠作為分析對象，利用緊急應變劑量評估系統，針對此現象做更近一步的深入探討，可讓我們更了解核能三廠之輻射擴散特性，未來亦可回饋至緊急應變計畫區內民眾防護措施之分析及規劃。

5.1.2 核能三廠緊急應變劑量評估系統模擬結果與統計分析

5.1.2.1 核能三廠緊急應變劑量評估系統模擬設定

利用現行的劑量評估系統，針對核能三廠廠區，挑選 2012 年為

主要討論年份(假如 2012 年缺資料,由前一年遞補,以此類推至 2010 年),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,因此共有 359 組模擬結果資料以供分析。

氣象場 (HOTMAC) 部分,利用每日 08 LST 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(共 192 小時)期間包含中小尺度局部環流變化之每小時三維精緻氣象資訊,以核能三廠為中心,向外周圍半徑 20 公里(網格解析度為 500 公尺)以及周圍半徑 10 公里(網格解析度 250 公尺)範圍內。

污染物排放 (RAPTAD) 設定部分,選定以核能三廠 (218.922、2429.516 UTM 座標) 為中心進行之核事故情境模擬,以 Cs-137 為主進行單位濃度 (每分鐘 $1.0E+00$) 單一核種釋放模擬,並參考乾沉降速度 0.001 m/s Cs-137 放射源模組(表 5.1),每個個案模擬時間為 192 小時(11,520 分鐘),在考量不影響其運算結果又不增加其運算速度下,設計每小時在核三廠中心排放 10 個煙陣進入大氣中,並連續排放至模擬運算時間結束(共 11,520 煙陣釋放)。在利用劑量評估系統中之雲團大氣擴散分析,得到 8 天的地面累積濃度,以及累積有效劑量。最後將其結果作統計分析,探討核三廠區緊急應變計畫區內輻射劑量之區域分布特性及其與地形和不同時間之關係。

表 5.1 乾沉速度分類之核種

乾沉降 速度	0.0 cm/s	0.1 cm/s	0.3 cm/s	0.5 cm/s	0.9 cm/s	2.0 cm/s
核種	Kr-85、 Kr-85m、 Kr-87、 Kr-88、 Xe-133、 Xe-135	Rb-86、 Cs-134、 Cs-136、 Cs-137	I-131、I-132、 I-133、I-134、 I-135、Sb-127、 Sb-129、Te-127、 Te-127m、 Te-129、 Te-129m、 Te-131m、Te-132	Co-58、 Co-60、 Mo-99、 Tc-99m、 Ru-103、 Ru-105、 Ru-106、 Rh-105	Ba-140	Ce-141、Ce-143、 Ce-144、Y-90、Y-91、 Zr-95、Zr-97、 Nb-95、La-140、 Pr-143、Nd-147、 Np-239、Pu-238、 Pu-239、Pu-240、 Pu-241、Am-241、 Cm-242、Cm-244、 Sr-89、Sr-90、Sr-91

5.1.2.2 核能三廠緊急應變劑量評估系統相對地理位置分析

首先我們先透過衛星影像及地形高度分析核能三廠附近區域的地理特性(圖 5.1)，再利用緊急應變劑量評估系統研析兩個重點區域(圖 5.2 和圖 5.3)(以核電廠為中心，周圍半徑 10 公里及 20 公里)之 A2C 模式地形高度圖，探討兩個緊急應變區內所包含之城鎮相對區域。由圖 5.1 可知，核能三廠因鄰近馬鞍山而別名馬鞍山發電廠，為唯一一座落於南台灣的核能發電廠。圖 5.2 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 5.3 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。核能三廠南方為全台最美麗之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，其中包含恆春國中、大光國小、恆春工商、山海國小、水泉國小等現行緊急應變區集結點。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。

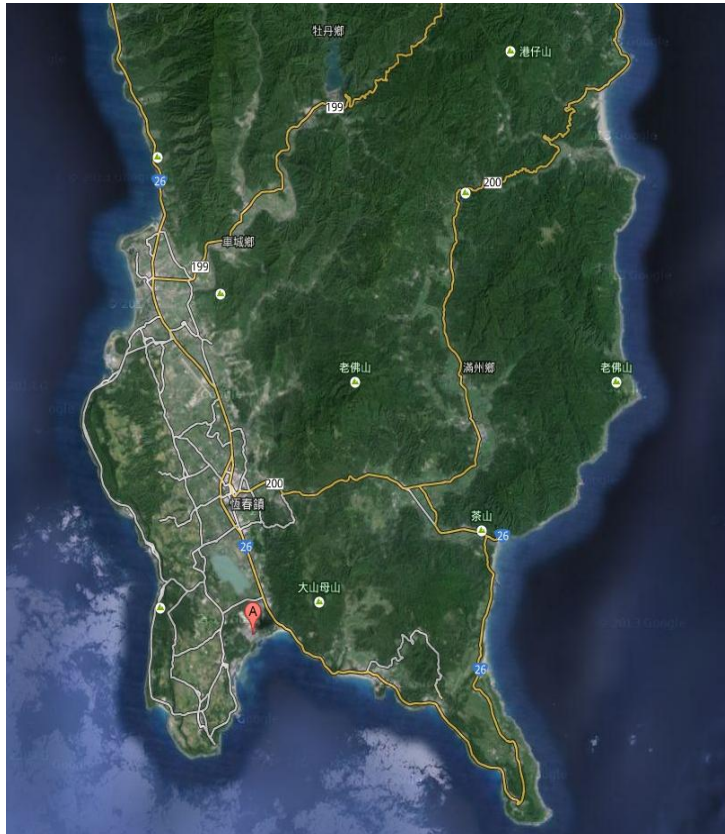


圖 5.1 衛星合成影像圖(google map data)

圖中紅點區代表核三廠中心相對位置

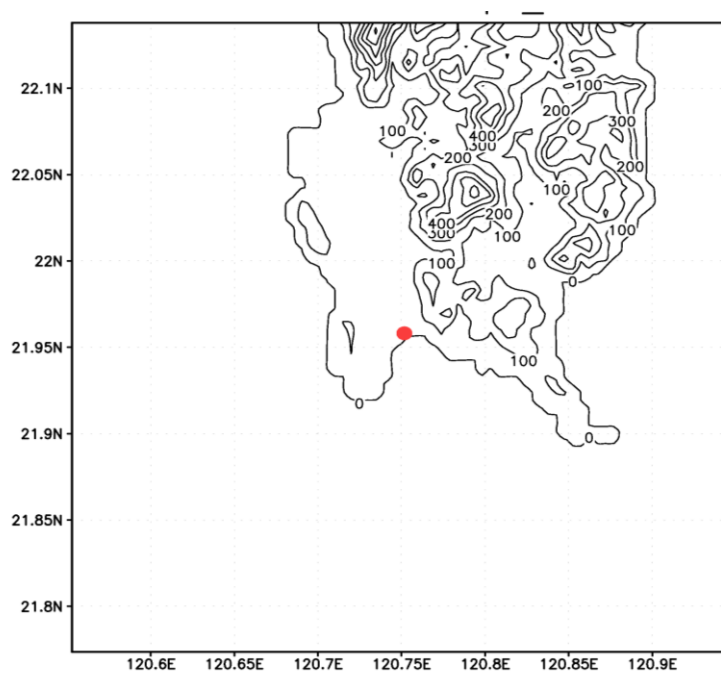


圖 5.2 核三廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 公尺)

圖中紅點代表核三廠所在位置，網格範圍以核三廠為中心各向外 20 公里。

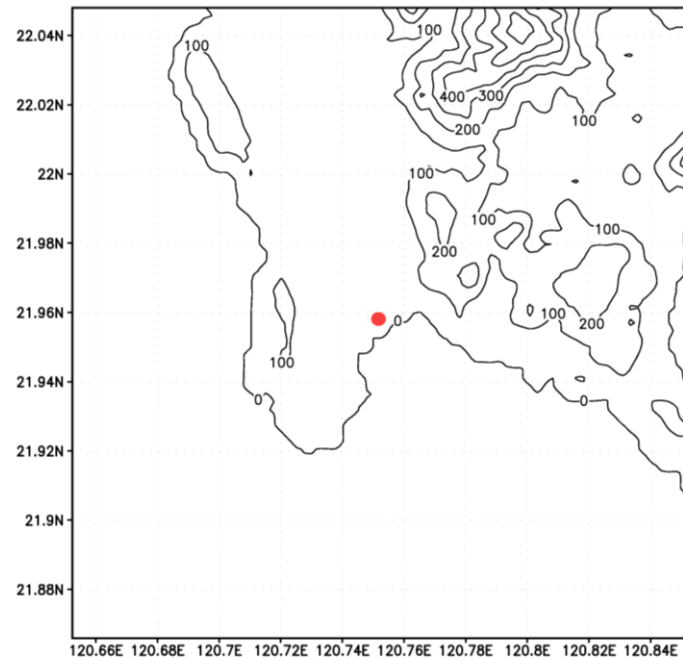


圖 5.3 核三廠區域地形高度分布圖，黑色實線為地形高度等值線(間距 100 公尺)

圖中紅點代表核三廠所在位置，網格範圍以核三廠為中心各向外 10 公里

5.1.3 核三廠緊急應變劑量評估系統模擬結果分析與統計研究

1. 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 5.4）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，以核電廠為中心向外各 20 公里延伸，網格範圍內（圖 5.4 a）沉降量值幾乎可達 $10^{-7}(Bq/m^2)$ 以上，以中心向外 10 公里範圍網格內(圖 5.4b)沉降量值亦可達 $10^{-6}(Bq/m^2)$ 以上， $10^{-4}(Bq/m^2)$ 等值線大約以廠為中心之半徑 2 公里範圍，比照每

年核安演習時之情境， $10^{-4}(Bq/m^2)$ 等值線所包圍的地區為核電廠事故發生時影響嚴重區域，而位於核三廠緊急應變計畫區內的車城國中及墾丁國小鵝鑾分校兩收容站，剛好位於沉降量分布值較低處 $10^{-7}(Bq/m^2)$ ，此集結點安排處也與這次分析結果相符合對應，屬於相對安全區域。整體趨勢來看污染物沉降分布呈現東北方低-西南方高濃度空間分布走向，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 $10^{-3}(Bq/m^2)$ 等值線包圍區域往西邊關山地區擴散沉降，由於核三廠西方有大光國小、水泉國小和水泉國水龍泉分校這三個集結點，此是值得緊急應變規劃時需要特別注意的地方。同樣的在 8 天地表沉積累積量之空間分布圖（圖 5.4 a）中也可看到在核三廠區西側的 $10^{-4}(Bq/m^2)$ 等值線包圍之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。

如果我們以 Cs-137 季平均地表沉積累積量之空間分布圖（圖 5.5 及圖 5.6）探討地表沉降分布季節變化的特性，以下分成春（3、4、5 月），夏（6、7、8 月），秋（9、10、11 月），冬（12、1、2 月），四個季節分別做討論分析，可分析除了季節變化造成的風向轉變導致空間分布不相同外，因地形特性造成局部環流效應，所扮演角色並不輸於季節變換，且有可能對緊急應變造成決定性的影響。如前面章節討論所敘，台灣位於歐亞大陸東南側以及太平洋之西側，地處溫、熱帶之氣候過度區，特殊地理位置使台灣夏季常受到西南季風、梅雨及颱風之影響，冬季則受到東北季風區影響，此風向的轉變使得冬半季時地表沉積量朝西南南海面延伸（圖 5.5 c、d 和圖 5.6 c、d），而夏半季

時污染物朝東北方之山區陸地延伸（圖 5.5 b 和圖 5.6 b），而有趣的是位於冬夏過度帶的春季（圖 5.5 a 和圖 5.6 a），污染物分布位置盡與整年度空間分布大致相同，因此在春季季平均分布在此就略過不進行討論。在 2012 年夏季季平均來看，在 10 公里範圍的結果圖（圖 5.6）中，地表沉積大於 $10^{-4}(Bq/m^2)$ 之較大值區有向東北和西北延伸的現象，推論恆春鎮市區和滿州鄉受到輻射塵沉降影響程度會較大，假如夏季時發生核子事故有放射性物質外釋時，建議位於核三廠北方南灣里應該盡快疏散，在疏散路線上的（北方）恆春國小南灣分校也較不適合擔任集結站。

而在冬半季時，受到大陸冷高壓逐漸成熟並繼續發展，東北季風越來越強，一波波冷空氣南下，有強烈大陸冷氣團影響台灣的機會，當大陸冷高壓達強盛時期，平均氣溫是一年中最冷的季節。如有鋒面系統影響，常伴隨強烈大陸冷氣團南下，使氣溫急速下降。Cs-137 地面沉降量值較大區域順著穩定且持續東北季風往西南角貓鼻頭公園延伸，再轉向西方台灣海峽，使得廠區西南邊的山脈有明顯的較大值區（圖 5.5 d 和圖 5.6 d），尤其在 10 公里範圍的結果圖（圖 5.6 d）中，在廠區西南邊的山腳地區可明顯看到區域極大值區（地表沉積大於 $10^{-4}(Bq/m^2)$ ）。

圖 5.7 及圖 5.8 為 2012 年為期一年的 Cs-137 月平均地表沉積累積量之空間分布圖，我們可很清楚的看到一年內各個月月平均累積沉積量演化情形，另外也可搭配模式分析場和預報場時風向時間序列互相分析比對，亦可了解核三廠區在夏季（6、7、8 月）時，地面沉積散佈較平均與當時較常出現些突發性天氣（如梅雨鋒面、西南氣流、午後局部熱對流和颱風等）風場散步較凌亂有關，而冬季（11、12、1 月）時，強而穩定的東北季風與地表沉積往西南方輸送相吻合，推

論冬季時輻射塵散佈位置較容易掌握與推算。此可供核三廠緊急應變主管及決策單位更詳細的參考，以利採取應變措施，通知民眾並執行各種必要的防護行動。

2. Cs-137 累積有效劑量

本研究中累積有效劑量之計算方法為，利用 RAPTAD/DOSE 模式依照每個不同預報場風場（共 359 組），進行 Cs-137 射源模組 8 天的模擬，本程式所採用之劑量轉換因數共分四組，影響有效劑量者為呼吸攝入途徑（單位：Sv/Bq）、空氣浸身途徑（單位：Sv-m³/Bq-hr）與地表輻射途徑（單位：Sv-m²/Bq-hr），影響甲狀腺等價劑量者為呼吸攝入途徑（單位：Sv/Bq），請參照更新後的各核種不同途徑之 DCF 值（請參考表 5.2），由於本次研究中主要是模擬 Cs-137 放射模組，因此只探討有效劑量這部分。利用 RAPTAD/DOSE 模式已計算出即時劑量率（Sv/hr），乘上時間一小時（1hr）後累積相加即可得到 8 天 192 小時累積劑量(Sv)，最後再將 8 天的累積劑量去做年平均、季平均以及月平均進行分析與討論。

RAPTAD/DOSE 系統的主要應用時機在於：當例行之核安演習訓練或萬一之核子事故發生，核能電廠產生輻射物質外釋情節，需要評估輻射外釋物質可能造成電廠周圍之民眾輻射劑量時，可應用本系統配合氣象局即時之天氣風場預報資料，進行未來 8 天之即時劑量率與累積劑量評估分析，以提供決策者重要的資訊參考。

由 2012 年年平均的 8 天累積有效劑量之空間分布圖（圖 5.9）來看，與 8 天地表累積劑量分布情況（圖 5.4）有部分相似之處。高劑量區域相對位置主要往廠區西方關山延伸，整體趨勢來看高劑量空間分布同樣呈現東北方低-西南方高趨勢走向，以有效劑量分布相對位置可知，廠區東北方地勢較高，劑量較難越過山脈，而西側地勢較平

坦，外加上東北季風吹撫下，使得劑量值向西方擴展。

圖 5.12 及圖 5.13 為 2012 年整年的月平均累積有效劑量分布圖和圖 5.10 及圖 5.11 季平均累積濃度分布圖，我們可很清楚的看到一年中的有效劑量空間分布演化情形，此可供核三廠緊急應變主管及決策單位在安排疏散路線上的參考依據。

整合前面討論之結果，2012 年整年度的 Cs-137 地面沉積累積量和累積有效劑量之統計分析，由於整年度的地面沉積量和累積有效劑量空間分布情況有部分相似，因此以下總結部分就已地面沉積量 (Bq/m^2) 做主要討論。我們可知除了鄰近廠區附近的地區為想當然必為高地表沉積量區外（等值線 $10^{-4} (\text{Bq/m}^2)$ 範圍約為廠中心半徑 5 公里範圍），在其廠區西南方的貓鼻頭公園及關山區域，此方位極大值區在冬半季時尤為明顯（可大於 $10^{-4} (\text{Bq/m}^2)$ ），夏半季時則較弱；另外在核三廠北邊、北北東方的恆春鎮市區亦有局部極大值區，此最主要會發生在夏半季（也可大於 $10^{-4} (\text{Bq/m}^2)$ ），甚至在七、八月份大尺度西南季風盛行吹拂下，西南風與白天局部環流向岸流（海風、上坡風、谷風），部分 Cs-137 輻射塵甚至可以越過廠區西北方山脈地形，沉降在滿州鄉東側佳樂水風景區以及南仁湖生態保育區；在冬半季（尤其是 10 月至 12 月）此現象則減弱很多。因此如果在（廠區半徑 20 公里）緊急應變計畫區內要設置收容站時，廠區西北方台 26 線附近的車城國中，廠區東南方附近的靠海地區（如墾丁國小鵝鑾分校），現行這兩個收容站從整年度平均地表沉積來看量值較低，因而適合設置收容站。

如果要在（廠區半徑 10 公里）緊急應變計畫區內要設置集結站時，夏季可以優先考慮廠區西南方（大光國小、水泉國小、水泉國小龍泉分校），冬季時則可轉換至廠區西北方位的（如恆春國小南灣分

校，恆春鎮市區的恆春工商，墾丁國小)，目前國內在應變核子事故災害時，除固定每年定期舉行廠內演習外，還輪流舉辦不同廠區核安演習，目的就是為了訓練當緊急事故發生時，臨場應變與各單位配合之能力，因此挑選正確且適合的收容站，集結站以及疏散路線，有利於民眾能夠在最短時間內，緊急疏散安置於安全地方，降低核子災害損傷。

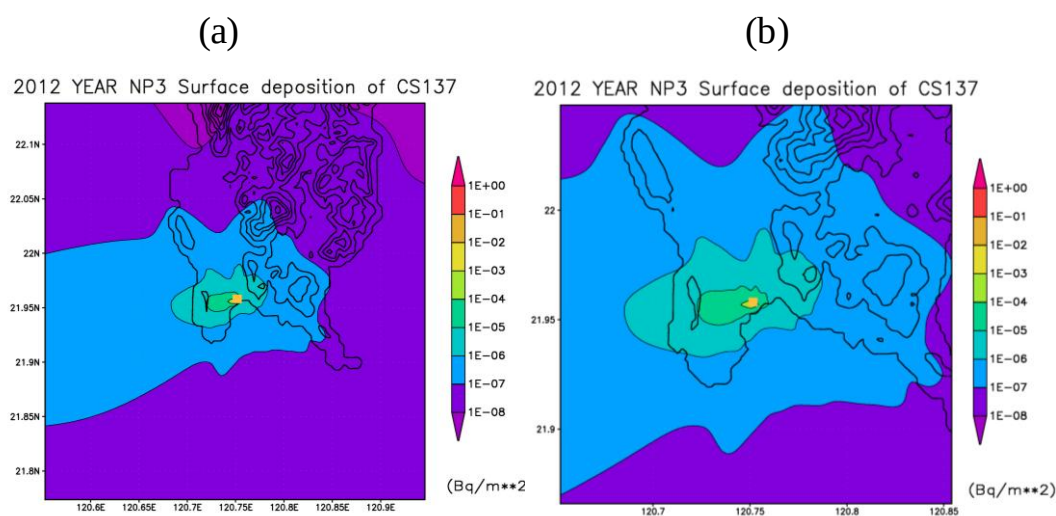


圖 5.4Cs-137 年平均地表沉積累積量之空間分布圖

圖 a 網格範圍為核三廠為中心各向外 20 公里；圖 b 網格範圍為核三廠為中心各向外 10 公里。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)，細黑色實線也為地表沉積累積量(Bq/m^2)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線（間距 100 公尺），圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

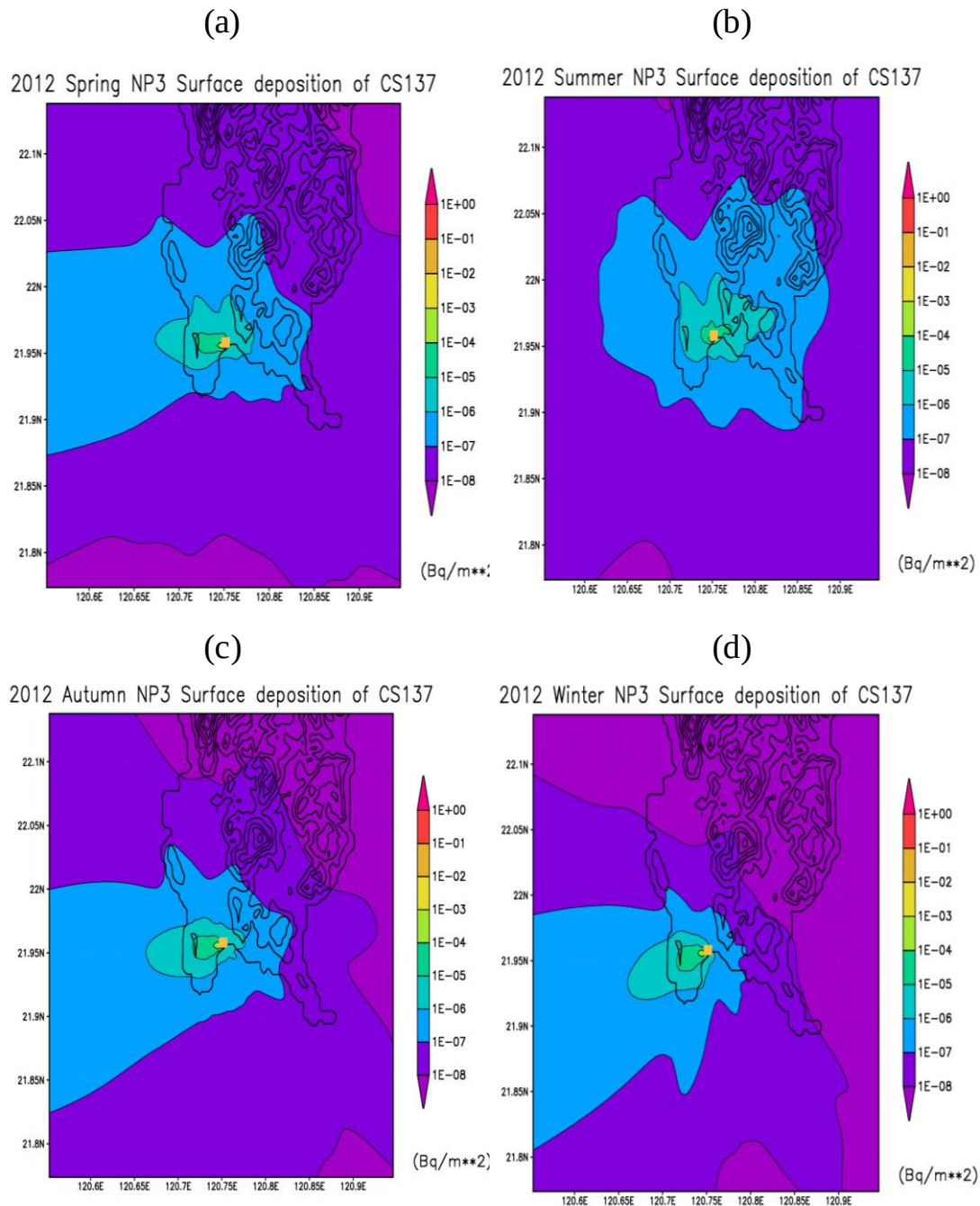


圖 5.5Cs-137 季平均地表沉積累積量之空間分布圖(20 公里)

圖 a、b、c、d 四季皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 20 公里。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)，細黑色實線也為地表沉積累積量(Bq/m^2)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線（間距 100 公尺），圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

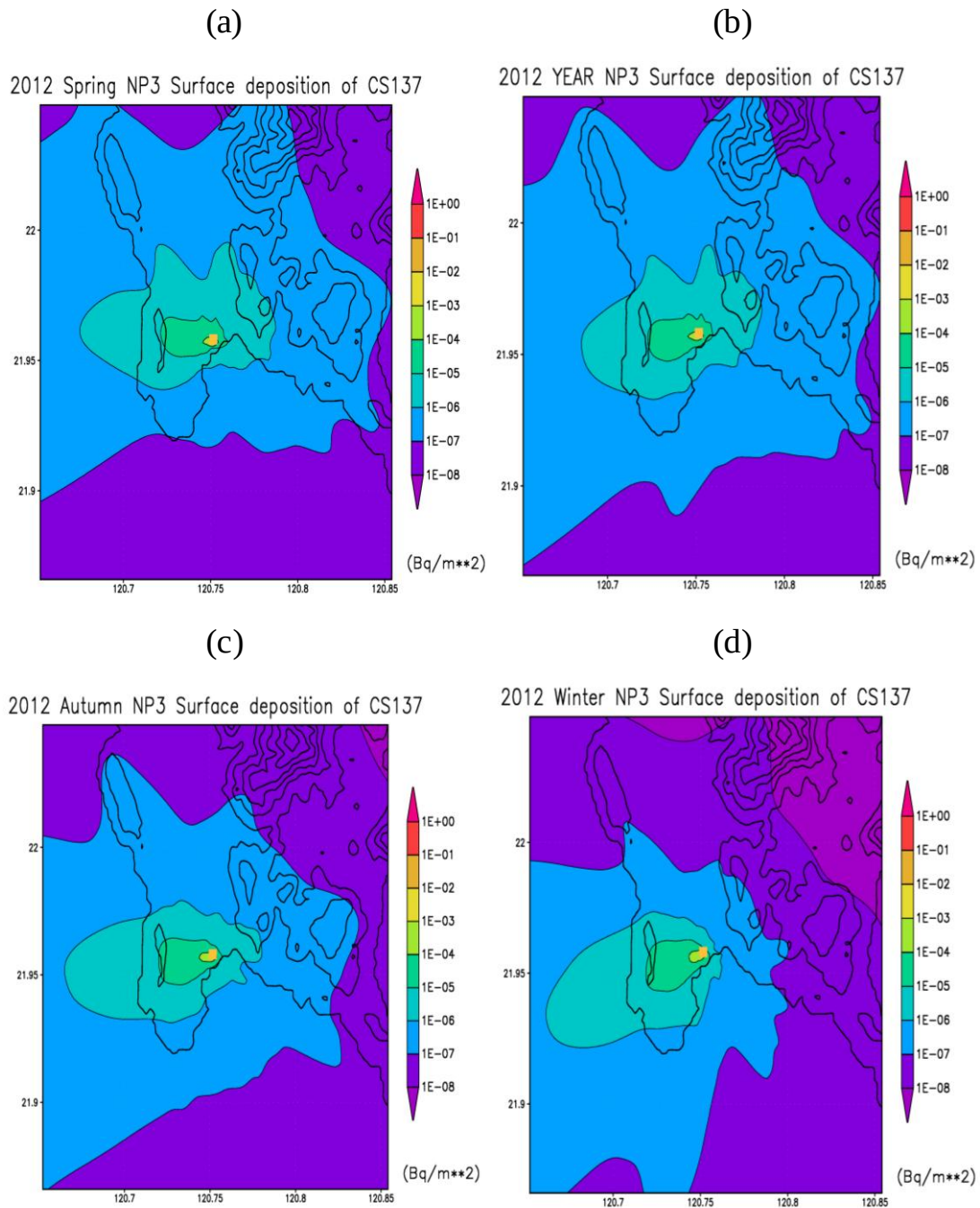


圖 5.6Cs-137 季平均地表沉積累積量之空間分布圖(10 公里)

圖 a、b、c、d 四季皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 10 公里。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)，細黑色實線也為地表沉積累積量(Bq/m^2)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線（間距 100 公尺），圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

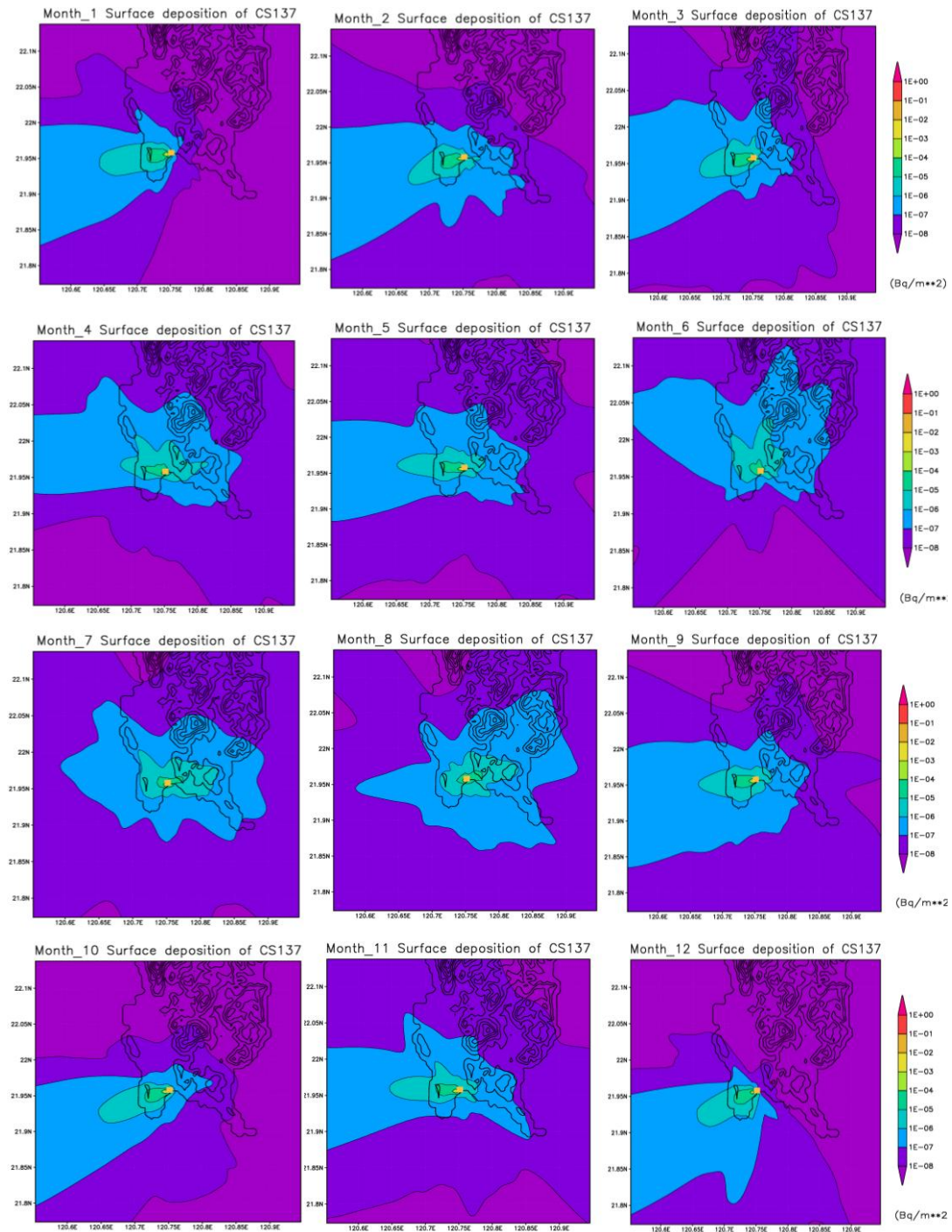


圖 5.7Cs-137 月平均地表沉積累積量之空間分布圖(20 公里)

此圖皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 20 公里。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)，細黑色實線也為地表沉積累積量(Bq/m^2)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線(間距 100 公尺)，圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

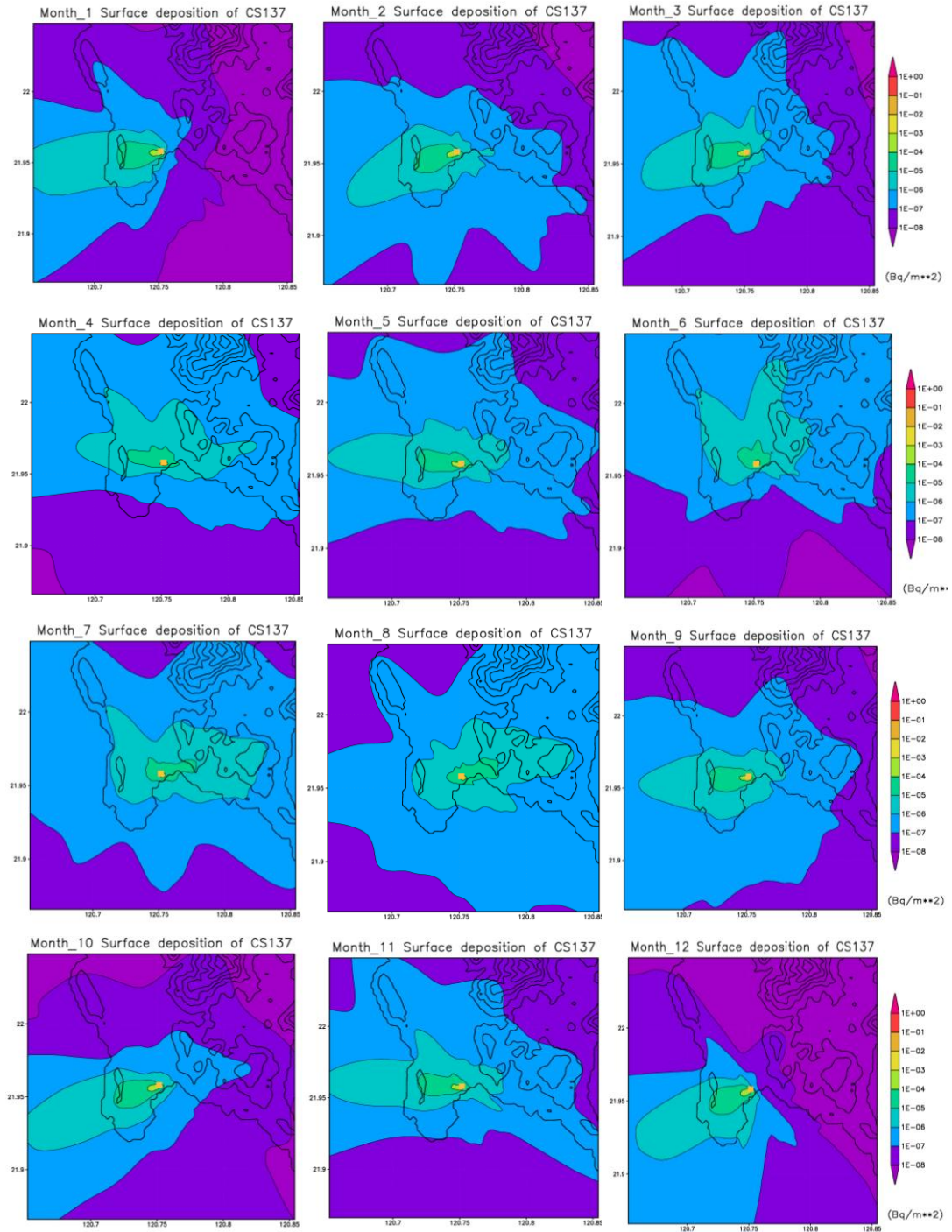


圖 5.8Cs-137 月平均地表沉積累積量之空間分布圖(10 公里)

此圖皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 10 公里。色階為 Cs-137 地表沉積累積量(Bq/m^2)，細黑色實線也為地表沉積累積量(Bq/m^2)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線(間距 100 公尺)，圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

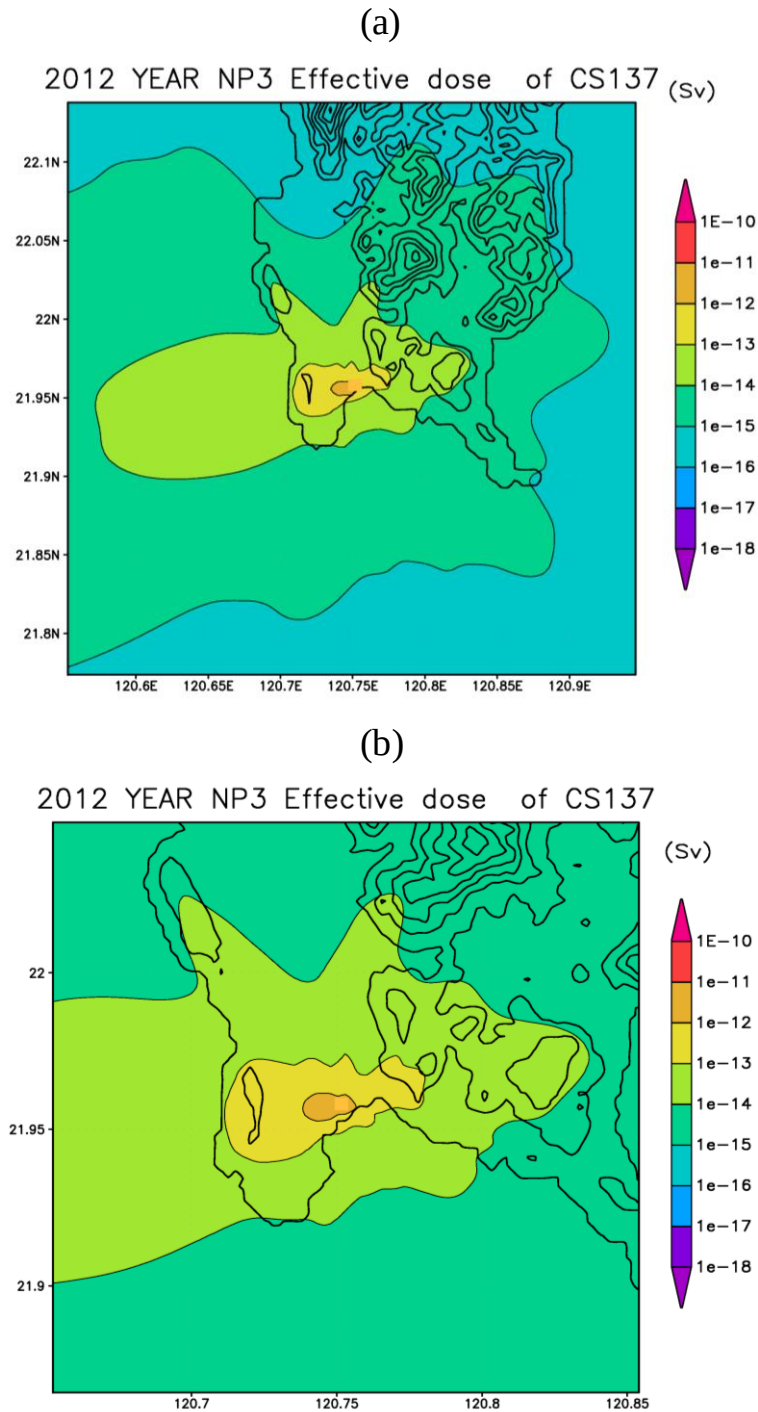


圖 5.9Cs-137 年平均累積有效劑量之空間分布圖

圖 a 網格範圍為核三廠為中心各向外 20 公里；圖 b 網格範圍為核三廠為中心各向外 10 公里。色階為 Cs-137 累積有效劑量(Sv)，細黑色實線也為累積有效劑量(Sv)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線（間距 100 公尺），圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

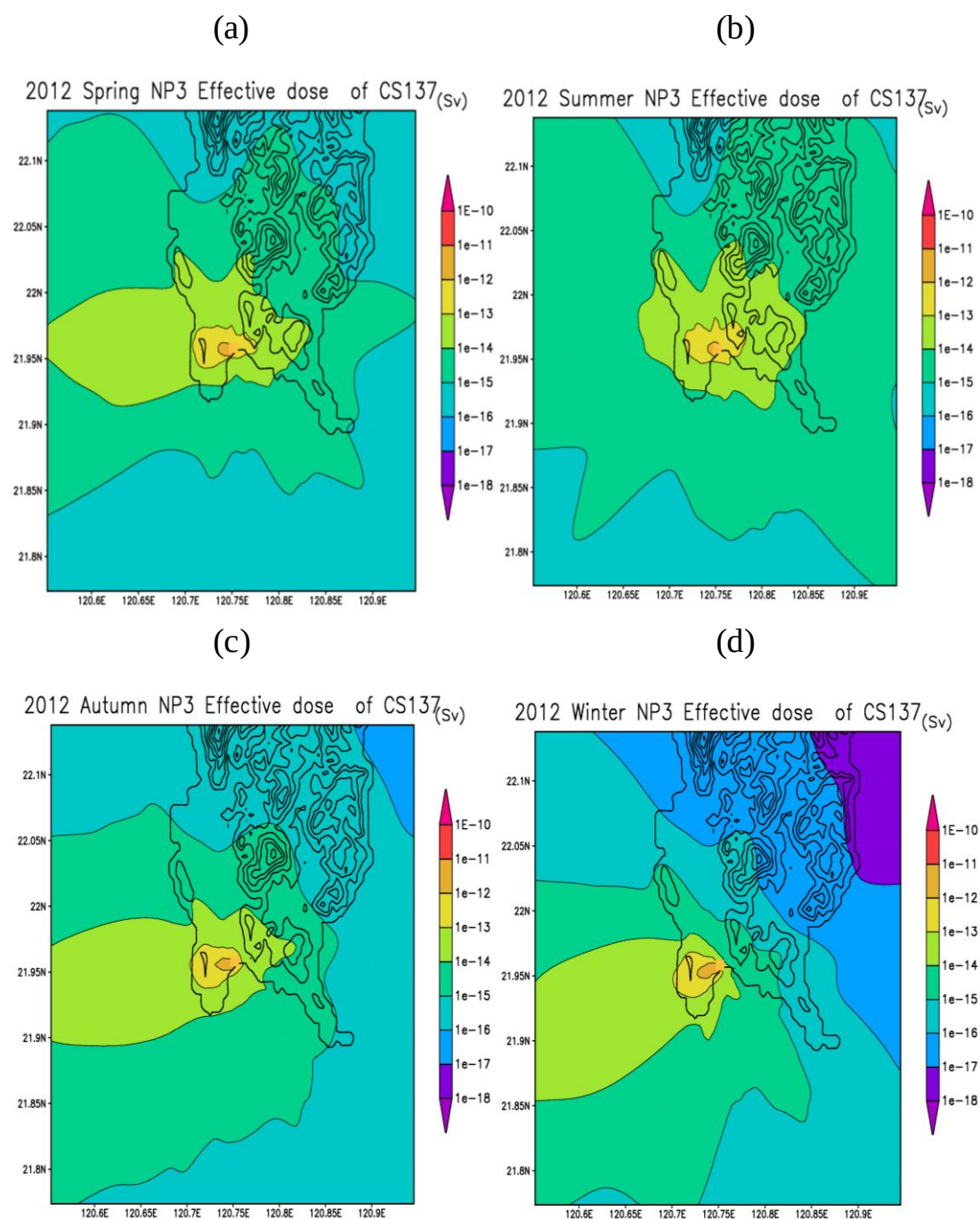


圖 5.10Cs-137 季平均累積有效劑量之空間分布圖(20 公里)

圖 a、b、c、d 四季皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 20 公里。色階為 Cs-137 累積有效劑量(Sv)，細黑色實線也為累積有效劑量(Sv)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線(間距 100 公尺)，圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

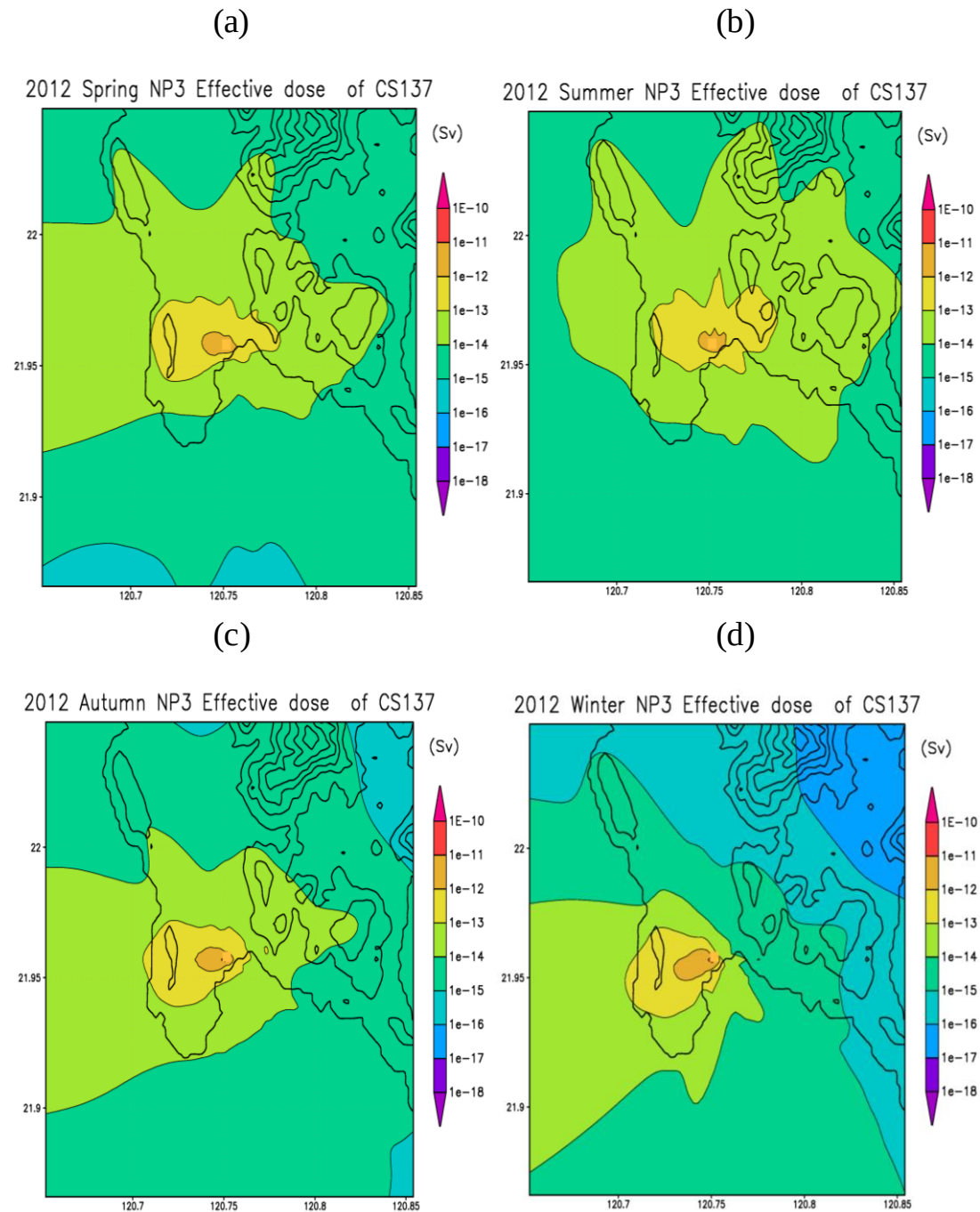


圖 5.11Cs-137 季平均累積有效劑量之空間分布圖(10 公里)

圖 a、b、c、d 四季皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 10 公里。色階為 Cs-137 累積有效劑量(Sv)，細黑色實線也為累積有效劑量(Sv)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線(間距 100 公尺)，圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

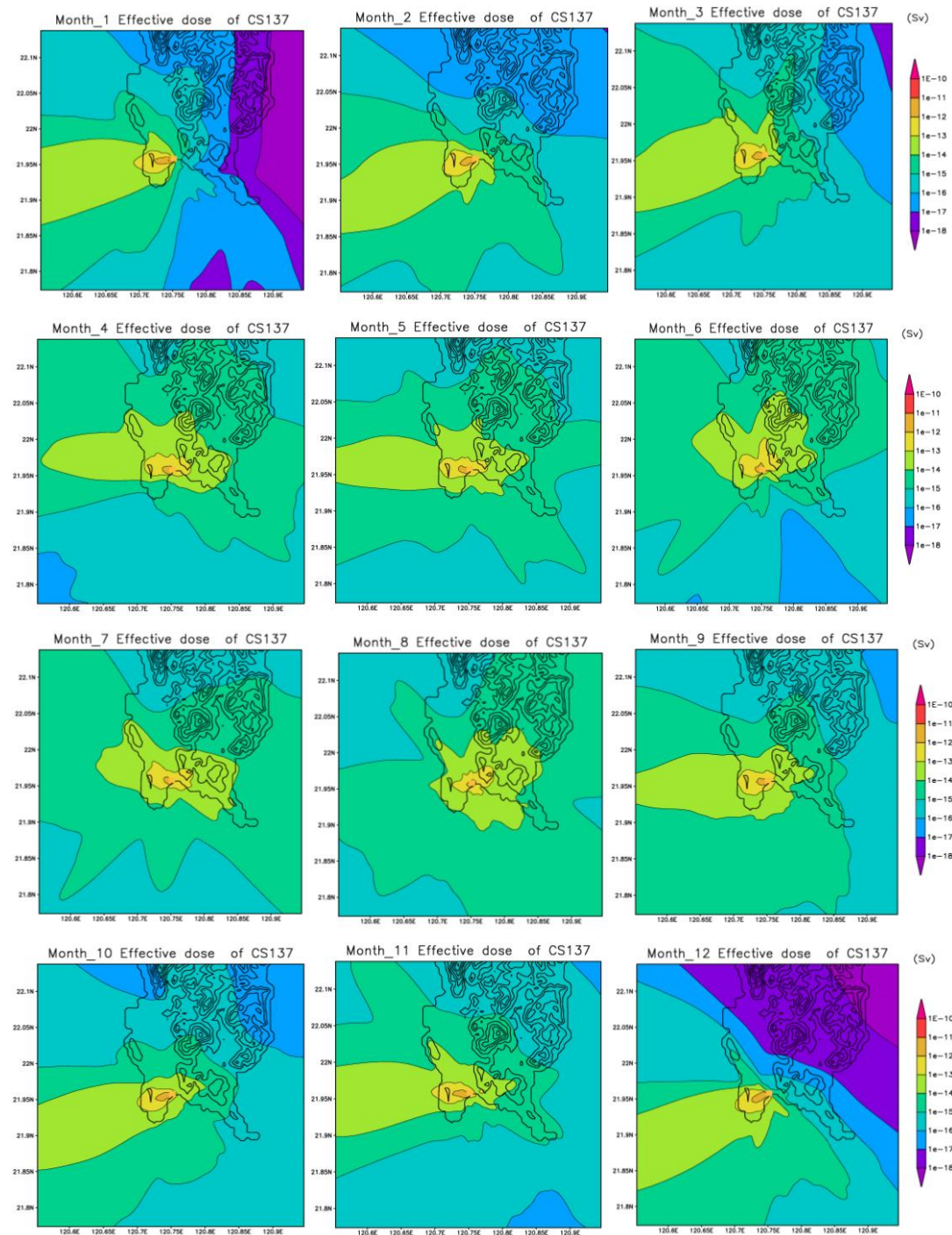


圖 5.12Cs-137 月平均累積有效劑量之空間分布圖(20 公里)

此圖皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 20 公里。色階為 Cs-137 累積有效劑量(Sv)，細黑色實線也為累積有效劑量(Sv)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線（間距 100 公尺），圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

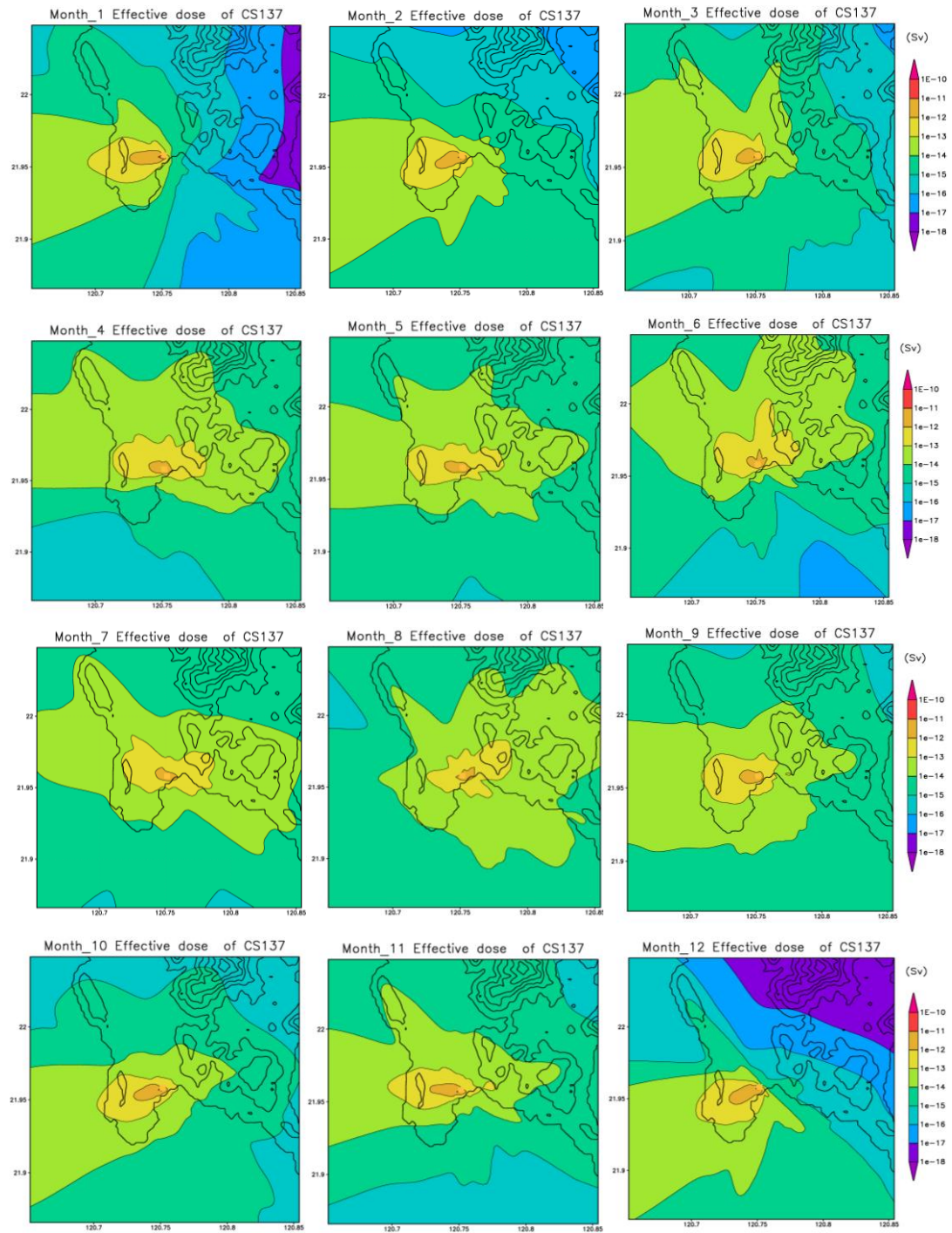


圖 5.13Cs-137 月平均累積有效劑量之空間分布圖(10 公里)

此圖皆以網格範圍為核三廠為中心各向外 10 公里。色階為 Cs-137 累積有效劑量(Sv)，細黑色實線也為累積有效劑量(Sv)，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線（間距 100 公尺），圖中黃色方框代表核三廠所在位置。

表 5.2 RAPTAD/DOSE 程式所採用各核種不同途徑之 DCF 值列表

	有效劑量 DCF			甲狀腺等價劑量 DCF
	DCF1	DCF2	DCF3	DCF4
	呼吸攝入途徑	空氣浸身途徑	地表輻射途徑	呼吸攝入途徑
核種	(Sv/Bq)	(Sv·m ³ /Bq·hr)	(Sv·m ² /Bq·hr)	(Sv/Bq)
KR-85	0.00E+00	8.64E-13	3.78E-14	0.00E+00
KR-85M	0.00E+00	2.47E-11	5.65E-13	0.00E+00
KR-87	0.00E+00	1.43E-10	3.02E-12	0.00E+00
KR-88	0.00E+00	3.50E-10	6.23E-12	0.00E+00
XE-133	0.00E+00	4.79E-12	1.42E-13	0.00E+00
XE-135	0.00E+00	3.96E-11	9.00E-13	0.00E+00
I-131	2.00E-08	6.08E-11	1.31E-12	3.90E-07
I-132	3.10E-10	3.78E-10	7.92E-12	3.60E-09
I-133	4.00E-09	9.94E-11	2.22E-12	7.60E-08
I-134	1.50E-10	4.39E-10	9.11E-12	7.00E-10
I-135	9.20E-10	2.71E-10	5.29E-12	1.50E-08
RB-86	9.30E-10	1.78E-11	6.01E-13	7.40E-10
CS-134	6.60E-09	2.54E-10	5.33E-12	6.30E-09
CS-136	1.20E-09	3.58E-10	7.31E-12	1.00E-09
CS-137	4.60E-09	3.34E-13	1.08E-14	4.40E-09
TE-127	1.30E-10	1.20E-12	3.71E-14	2.80E-12
TE127M	7.40E-09	4.03E-13	3.08E-14	8.60E-10
TE-129	3.70E-11	1.03E-11	4.10E-13	3.50E-13
TE129M	6.60E-09	5.62E-12	2.05E-13	1.00E-09
TE131M	9.40E-10	2.36E-10	4.82E-12	2.70E-09
TE-132	2.00E-09	3.36E-11	7.63E-13	4.30E-09
SB-127	1.70E-09	1.12E-10	2.43E-12	4.10E-11
SB-129	2.30E-10	2.42E-10	4.93E-12	8.60E-12
SR-89	6.10E-09	1.57E-12	2.47E-13	4.60E-11
SR-90	3.60E-08	3.54E-13	5.90E-15	2.80E-10
SR-91	3.70E-10	1.18E-10	2.62E-12	1.20E-11
BA-140	5.10E-09	2.91E-11	6.84E-13	2.70E-10

5.1.4 章節總結

利用混合風場得到 2012 整年度 8 天內每小時核三廠區緊急應變區範圍內的三維精緻氣象資訊，再利用現行劑量評估系統模擬 (Cs-137) 輻射塵排放，得到 8 天的地面累積濃度，以及累積有效劑量。最後將其結果作統計分析，探討核三廠區緊急應變計畫區內之輻射劑量之區域分布特性及其與地形和不同時間點之關係。

由整年度地表沉積累積量之空間分布可知，高劑量分布位置如以核三廠區為中心點，整體呈現東北方低-西南方高趨勢走向，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。因此如果在（廠區半徑 20 公里）緊急應變計畫區內要設置收容站時，廠區西北方台 26 線附近的車城國中，廠區東南方附近的靠海地區（如墾丁國小鵝鑾分校），現行這兩個收容站從整年度平均地表沉積來看量值分布較低，因而適合設置收容站。而如果要再（廠區半徑 10 公里）緊急應變計畫區內要設置集結站時，夏季可以優先考慮廠區西南方之（大光國小、水泉國小、水泉國小龍泉分校），冬季時則可轉換至廠區西北方位的集結站（如恆春國小南灣分校，恆春鎮市區的恆春工商，墾丁國小）。

5.2 評估緊急應變計畫區之環境背景輻射特性之技術與程序

5.2.1 概述

政府及核能電廠在發生重大核子事故或輻射外釋到環境事件後，為了恢復原狀或降低污染，應執行復育措施。復育措施的輻射參考水平即 EPZ 範圍之環境輻射背景特性，因此核電廠於正常運轉期間，便應依據相關的作業程序書執行各項環境輻射偵測及分析作業，藉此蒐集與彙整 EPZ 範圍之環境輻射背景特性。

環境輻射背景特性之評估項目，可參考國內輻射監測單位個別制定的環境輻射監測作業計畫。目前國內針對核電廠週遭環境施行輻射監測的單位有行政院原子能委員會輻射偵測中心及台灣電力公司放射試驗室，此二單位依據主管機關公布之「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」與「環境輻射監測規範」，每年制訂環境輻射監測作業計畫，此計畫之目的為：(1) 推算與評估民眾可能接受輻射劑量，並確認是否低於法規限值；(2) 確實瞭解環境中放射性物質的累積狀況；(3) 評估設施排放的放射性核種對周圍環境之影響；(4) 驗證設施之安全運轉及放射性物質排放管制；(5) 提供設施附近正確環境輻射資訊。

環境輻射監測作業計畫的內容主要包括量測核能電廠與環境之輻射水平及分析外釋物質與環境樣品中放射性核種含量。監測計畫中也包括其他方式的量測、調查與資料收集作業，如相關環境特性（氣候、水文、土壤種類等）、人口特性（年齡分布、飲食習慣、職業等）、與經濟特性（土地利用、水資源、農業技術等）之數據資料。輻射監測計畫的範圍與輻射源的特性、外釋介質、放射性核種成分組成、物理與化學性質、以及環境參數有關，且需符合相關輻射防護法規與品

保作業的要求。不同的技術與方法應用於不同的外釋射源（煙囪，排放管線等）與環境放射性污染偵測（參考台灣電力公司核能發電廠，102 年環境輻射監測計畫）。

以下敘述國內核電廠環境背景資訊、輻射特性評估作業內容，以及使用環境偵測結果推算曝露劑量的方法，藉此說明評估 EPZ 範圍環境背景輻射特性之技術與程序。

5.2.2 核能電廠環境背景資訊

以下說明臺灣地區運轉中的核電廠之環境背景資訊。

1. 核能一廠

核能一廠座落於台灣最北端新北市石門區濱海地區淡金公路邊，本地區地形成不規則多角狀，山巒重疊峰峰連脈，平原狹小而成帶狀，河川溪流均源自於大屯山北流注入東海。本地氣候屬於亞熱帶海洋氣候，因地形影響，冬季東北季風凜烈，夏季則受西南氣流及海陸風之影響。

本地區北面臨海，有淡金公路經過，因此緊急應變計畫區內人口多數集中在沿海地區。從東南方到西南西方緊急應變計畫區內，山巒重疊人口稀少，有產業道路對外交通，居民多以種茶為主，附近主要特殊的產物有地瓜、芋頭與茭白筍。

2. 核能二廠

核能二廠座落於新北市萬里區大鵬里基金公路邊，地處萬（萬里）金（金山）要衝。本區山峰連脈，平原少而分散，境內溪流系出多支，均北流注入東海。氣候全年多雨，雨季長達九個月，近年來則有趨緩現象。附近鄉民多以務農為生，間以漁業為輔，重要農作產物如水稻、甘藷、芋頭、茭白筍等，並輔以畜牧。

本區三面環山，一面臨海，山明水秀，景色怡人，因此境內頗多知名休閒旅遊勝地，為北海岸地區休閒消暑的最佳去處，緊急應變計畫區內人口多數集中在野柳、萬里與金山與基隆市區。依長期氣象觀測結果顯示核能二廠之風向在冬季主要吹東北季風，在夏季則受海陸風之影響仍以吹西南風為主。

3. 核能三廠

核能三廠位於屏東縣恆春鎮的馬鞍山，位處台灣本島最南端，三面環海，東濱太平洋，西沿台灣海峽，南臨巴士海峽與菲律賓遙遙相望。主要河川東門溪，發源於山腳里，恆春鎮主要農產品以稻米、洋蔥為主，龍鑾潭為農業灌溉主要水利設施，鎮轄內有省畜產試驗所發展畜牧事業。由於依山傍水，風景秀麗，氣候與植物景緻極富熱帶情調，具有特異風格之觀光遊憩資源，在緊急應變計畫區內著名的觀光地區有貓鼻頭、南灣海水浴場及關山日落，因此人口集中在大光、南灣、恆春地區。

5.2.3 核能電廠環境背景輻射特性評估作業

表 5.3 至表 5.5 所示為輻射偵測中心與台灣電力公司執行之核電廠環境背景輻射特性評估作業項目，作業項目取決於電廠本身特性及其環境背景，其內容包含偵測與取樣分析等作業，依作業位置的差異，可大致分作陸地與海域兩類，陸地類項目包括直接輻射、大氣、淡水、植物、農畜產物及土壤等；海域類項目包括海水、海產物、岸沙及海底沈積物等。分析類別有劑量率量測以及總貝他、加馬能譜、氡、放射性碘、銇-90 等作業。此外，根據核種鑑別的需求，分析作業也有層次的差異，藉此達到篩選的效果並爭取時效，譬如當空浮微粒的總貝他活度超過一定數值時，才會進行偵測時間較長的加馬能譜分析。

環境輻射監測作業的具體內容及原理臚列如下：

5.2.3.1 取樣

考量依核電廠類型及其週遭特有的作物等因素，可參考各單位規劃之取樣種類收集各類試樣，取樣方法則可依照監測單位對應的取樣程序執行（請參照 5.2.4）。

5.2.3.2 直接輻射劑量度量

1. 高壓游離腔偵檢器配合通信傳輸

高壓游離腔偵檢器配合通信傳輸用於線上即時監測不同方位的直接輻射劑量率。高壓游離腔為輻射感測器，包含加馬離子腔以及電源供應/監測範圍自動切換電路、微處理系統等分析電路。當入射輻射粒子進入充滿超高純度氬氣的離子腔，會在有效體積內游離或激發氬氣分子而產出離子對，產出的帶電粒子經電場作用分別被電柱收集，錶頭計所測出的游離電流大小與自由空氣中之曝露率將呈正比關係。測得的劑量率資訊會利用有線或無線的方式回傳至工作站，並加入伺服器資料庫供後續分析。

2. 熱發光劑量計

熱發光劑量計（Thermo Luminescence Dosimeter，簡稱 TLD）用於度量累積劑量值，是一種固態晶體物質，當受到游離輻射照射時，晶體內之電子能量狀態會發生變化。經加熱後，這些電子藉能階的變化釋出可見光，總放光量與輻射劑量成正比，釋出之可見光以光電倍增管度量並轉化為電子信號。經過詳細校正並配合電腦軟體之運算，即能正確評估輻射劑量。

5.2.3.3 放射化學分析與放射性核種活度計測

環境試樣中放射性核種活度計測分為總貝他分析、加馬能譜分析

和單一核種分析 3 大類。

1. 環境試樣總貝他分析

空氣微粒總貝他分析係由空氣微粒取樣器取得的空浮濾紙經隔夜靜置及上膠處理後，再以低背景比例計測系統度量濾紙的總貝他活度。低背景比例計測系統為一種充氣式偵檢器，其計測原理是利用輻射與偵檢器內的氣體作用產生離子對，再利用氣體增殖現象增加離子數目以放大信號，由信號（脈衝）的強弱可推得輻射強度，並可使用鑑別器辨識阿伐與貝他信號，藉此分離出所關注的貝他信號。

2. 加馬能譜分析

針對空氣微粒、生物試樣及沉積物試樣（土壤、岸砂及海底沉積物）等環境試樣，分別經個別方式前處理後，裝入特定樣式之計測皿中，以純鍺偵檢器、能譜放大器、類比數位信號轉換器、多階能譜分析儀等所組成的加馬能譜分析系統進行放射性核種活度之度量。純鍺偵檢器是半導體偵檢器的一種，當輻射進入半導體內，半導體會因游離作用而產生電子-電洞對，再利用外加電場在電子與電洞間形成一電子流，此電子流由兩端的電極所收集，而於外電路電阻上感應一脈衝訊號，脈衝訊號的大小與加馬射源輻射量成正比，半導體偵檢器即利用此特性來度量輻射。

3. 單一核種分析

核種分析包括銨-89 及銨-90、氙及碘-131 等放射性核種活度分析，其流程概述如下：

A. 銨-89 及銨-90 核種活度分析

水樣、空氣微粒及生物試樣等環境試樣，經高溫灰化後，以濃硝酸消化(digestion)；消化液經草酸鹽、硝酸銨沈澱步驟純化後，再利用液體閃爍計測系統 2 次度量試樣的謝倫可夫輻射(Cerenkov radiation)

計數率，最後再以數學公式計算出銻-89 及銻-90 核種活度。

B. 氙核種活度分析

海水、淡水試樣經直接蒸餾法純化後，加入閃爍液均勻混合，再利用液體閃爍計測系統度量氙核種活度。

C. 碘-131 核種活度分析

牛、羊奶試樣經 2 次陰離子交換樹脂之吸附後，再利用加馬能譜分析系統度量碘-131 核種活度。

用於碘-131 分析的加馬能譜分析技術已於前段說明，此處不再贅述；另一方面，對於分析放射銻與氙的液態閃爍分析技術而言，此技術基本上包含三個重要的作用機制：(1) 輻射線與閃爍液作用，閃爍液被激發，在回到基態時放出光子；(2) 偵測光子的光電倍增管和前置放大器，把光訊號轉換成電子訊號；(3) 線性放大器將電子訊號進行放大，以便分析及記錄。其中閃爍液由溶劑、第一閃爍體、第二閃爍體及少量助溶劑所組成。試樣與閃爍液直接混合，射線能量大部份被溶劑分子吸收，溶劑分子被激發可相互傳遞能量，同時把能量傳遞給有機閃爍體，將閃爍體激發，處於激發態的分子在返回基態時會釋放出光子。試樣在閃爍液中產生的光子被光電倍增管內的光陰極吸收，轉變產生光電子，緊接著這些光電子被管內的倍增電極逐級放大後在光電倍增管的陽極上產生脈衝信號，這些信號再經由放大器放大後，由計數器分析及記錄。

5.2.4 核電廠環境背景輻射偵測、取樣與分析程序

為使各項作業達到最穩定及最理想之工作狀況，國內的核能電廠環境輻射監測單位對偵測、取樣、樣品前處理、分析等作業均訂有標準作業程序書及品質管制作業程序書，除嚴格管制計測儀器的背景及

效率值外，並以空白分析、複樣分析及參考試樣分析等方式，維持分析品質。輻射偵測中心、台電放射試驗室之環境輻射監測作業與品質管制相關作業程序書分示於表 5.6、表 5.7，其中台電公司對於核三廠的環境輻射偵測是由其放射試驗室核三工作隊執行，因此有一套專屬該工作隊的程序書。

5.2.5 民眾劑量估算

環境輻射劑量評估，係依據原能會「游離輻射防護安全標準」及「環境輻射監測規範」之附件四「體外及體內劑量評估方法」執行，分別計算關鍵群體每季接受體內約定有效劑量與體外有效劑量。體外有效劑量評估方法採用熱發光劑量計及地表沉積放射性核種計算；體內約定有效劑量評估方法以環境試樣實測值，考慮吸入與攝入兩種途徑來計算。

1. 體外有效劑量評估方法：

A. 熱發光劑量計

淨季劑量 = (TLD 最大值 - 鄰近地區之天然背景值) × 佔用因數

式中鄰近地區之天然背景值定義如下：依據 99 年 7 月 14 日原能會會輻字第 0990010255 號函，以各站本身過去 5 年的季劑量平均值加三倍標準差作為背景值。

環境 TLD 的監測，對於瞭解體外輻射劑量的貢獻是非常重要的。通常環境中的輻射，包括來自地表及大氣的加馬射線、宇宙射線、核爆試驗廣泛擴散與沈積於地表的放射性核種輻射及來自核設施釋放物的加馬射線等。這些輻射量在空間分佈的不均勻性，隨時間變化的變動非常明顯，而輻射所呈現的能量範圍及方向分佈也有所差異。此外，TLD 擺設高度、附近地形及建築物等的影響也非常顯著。因此，

一般環境 TLD 監測結果深受①量測儀器的性能及量測條件的變化；
②下雨及大氣層等氣象因素改變；③地理、地形、地上物等自然條件
的變化；④宇宙射線強度的改變⑤核爆試驗落塵的沈降；以及⑥核設
施運轉狀況的變化等變動因素的影響。

B. 熱發光劑量計

$$\text{淨季劑量} = 2190 \times S \times K \times H$$

式中

佔用時間：每季取 2190 小時

S：指土壤所造成之居住屏蔽因數

K：單位面積放射性活度

H：Cs-137 核種的劑量轉換係數

2. 體內淨劑量評估方法：

A. 吸入途徑評估公式如下

淨季劑量(mSv)

$$\begin{aligned} &= \text{空浮核種活度(Bq/m}^3\text{)} \times \text{呼吸率(m}^3\text{/h)} \\ &\times \text{佔用時間(h)} \times \text{吸入核種劑量轉換因數(mSv/Bq)} \end{aligned}$$

式中

佔用時間：每季取 2190 小時

呼吸率(m³/h)：依據「游離輻射防護安全標準」中附表四放射
性核種管制限度第六項及 ICRP 第 71 號報告推
導如下：

年齡	≤ 1 歲	1-2 歲	2-7 歲	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲
呼吸率 (m ³ /h)	0.119	0.215	0.363	0.638	0.838	0.925

劑量轉換因數 (DCF, mSv/Bq): 參考「游離輻射防護安全標準」

附表三之五。

B. 攝入途徑

淨季劑量(mSv)

= 環境試樣核種活度 × 每季攝入量 × 劑量轉換因數
× 市場稀釋修正 × 由調理等減少的修正

式中

每季或年攝入量可參考行政院農業委員會公佈之「糧食供需年報」，各年齡層飲水量可參照據游離輻射防護安全標準及參考美國核管會“Regulatory Guide 1.109”報告：

年齡層	< 1 歲	1-2 歲	2-7 歲	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲
每季飲水量(L)	128	128	128	128	128	183
每年飲水量(L)	510	510	510	510	510	730

劑量轉換因數：³H = 6.4×10^{-8} mSv/Bq；¹³⁷Cs = 2.1×10^{-5} mSv/Bq；

⁹⁰Sr = 2.3×10^{-4} mSv/Bq

(參考「游離輻射防護安全標準」附表三之四，原則上劑量轉換因數採各年齡層之最保守值(最大值)計算關鍵群體之劑量，但考量一歲以下之嬰兒以乳類製品為主食。)

5.2.6 章節總結

本節敘述國內核電廠環境背景資訊、輻射特性評估作業內容，以及使用環境偵測結果推算曝露劑量的方法，藉此說明評估 EPZ 範圍環境背景輻射特性之技術與程序。

表 5.3 國內輻射偵測單位執行核一廠環測作業之項目

	輻射偵測中心		台電放射試驗室	
偵測項目	試樣別	分析類別	試樣別	分析類別
直接輻射	熱發光劑量計	累積劑量	熱發光劑量計	加馬劑量／季
	高壓游離腔	劑量率	高壓游離腔	加馬劑量／小時
大氣	空浮微粒 ¹	總貝他、加馬能譜 ³	空氣微粒 ⁴	總貝他 ⁵ 、加馬能譜 ⁶ ／週、加馬能譜 ⁶ ／季、銻-89、90
			空氣碘 ⁹	放射性碘／週
	水盤	總貝他、加馬能譜 ³	落塵	加馬能譜／月、總活度 ⁷
植物	草樣	總貝他	草樣	加馬能譜 ⁶ ／半年、銻-89、90
	相思樹	加馬能譜 ³	相思樹(陸地)	加馬能譜 ⁶ ／月
水樣	飲用水	總貝他 ² 氚	飲水 ⁹	加馬能譜 ⁶ 、氚／季、銻-89、90、放射性碘
	河川水		河水	加馬能譜 ⁶ 、氚／季、銻-89、90
	地下水		池水	加馬能譜 ⁶ 、氚／季、銻-89、90
	池水		地下水	加馬能譜 ⁶ 、氚／季、銻-89、90
	海水	總貝他 ² 加馬能譜 ³ 氚	定時雨水	加馬能譜 ⁶ ／月、氚／季、銻-89、90
			定量雨水	加馬能譜 ⁶ 、氚、銻-89、90
			海水 ⁸	加馬能譜 ⁶ 、氚／月、銻-89、90
農畜產物	牛奶	加馬能譜 ³ 、碘-131	果類	加馬能譜 ⁶ ／年、銻-89、90
	羊奶			
	茶葉	加馬能譜 ³	茶葉	加馬能譜 ⁶ ／半年、銻-89、90
	雞		家禽	加馬能譜 ⁶ ／半年、銻-89、90
	鴨		芋頭	加馬能譜 ⁶ ／年、銻-89、90
	稻米		稻米	加馬能譜 ⁶ ／收穫期、銻-89、90

	甘藷		根菜（地瓜）	加馬能譜 ⁶ ／年、鋇-89、90
	葉菜類		蔬菜（葉菜）	放射性碘、加馬能譜 ⁶ ／半年、鋇-89、90
	茭白筍		莖菜（茭白筍）	加馬能譜 ⁶ ／年、鋇-89、90
	麻竹筍			
海產物	海魚	加馬能譜 ³	海生物（海魚）	加馬能譜 ⁶ ／季、鋇-89、90
	海藻	加馬能譜 ³	海藻（海域）	放射性碘、加馬能譜 ⁶ ／年、鋇-89、90
		鋇-90	海菜	放射性碘、加馬能譜 ⁶ ／年、鋇-89、90
	貝類	加馬能譜 ³		
沉積物	土壤	加馬能譜 ³	土壤 ⁸	加馬能譜／半年、銻-239
	岸沙		岸砂	加馬能譜／季
	海底沉積物		海底沉積物	加馬能譜／半年

（註 1-3：輻射偵測中心；註 4-9：台電公司）

註 1：每週空浮微粒總貝他活度超過調查基準之百分之三十時，即進行加馬能譜分析。

註 2：水樣總貝他活度超過調查基準之百分之三十時，即進行加馬能譜分析。

註 3：任何試樣加馬能譜分析發現銻-137 活度超過調查基準之百分之三十時，即進行鋇-90 分析。

註 4：空氣微粒為連續抽氣，每週更換濾紙濾罐。

註 5：每週空氣微粒總貝他分析結果超過 4 毫貝克/立方公尺，方執行加馬能譜分析。

註 6：加馬能譜分析中發現銻-137 大於原能會規定之 AMDA（可接受最小可測量）時，方執行鋇-89；鋇-90 分析。

註 7：落塵加馬能譜分析總活度若超過 3.00E+02 貝克/平方公尺·天，則加強監測。

註 8：海水加馬能譜和氡分析僅於對照、出、入水口三站按月執行，當上述各站分別發現電廠排放核種或氡活度大於原能規定之可接受最小可測量（acceptable minimum detectable amount，簡稱 AMDA）時，分別於其餘各站全面執行上述加馬能譜分析或氡分析。

註 9：空氣碘分析中發現有碘-131 有活度時，方執行各站飲水（含對照站）之放射性碘分析。

表 5.4 國內輻射偵測單位執行核二廠環測作業之項目

	輻射偵測中心		台電放射試驗室	
偵測項目	試樣別	分析類別	試樣別	分析類別
直接輻射	熱發光劑量計	累積劑量	熱發光劑量計	加馬劑量／季
	高壓游離腔	劑量率	高壓游離腔	加馬劑量／小時
大氣	空浮微粒 ¹	總貝他、加馬能譜 ³	空氣微粒 ⁴	總貝他 ⁵ 、加馬能譜 ⁶ ／週、加馬能譜 ⁶ ／季、銥-89、90
			空氣碘 ⁹	放射性碘／週
			落塵	加馬能譜／月、總活度 ⁷
植物	草樣	總貝他、加馬能譜 ³	草樣	加馬能譜 ⁶ ／半年、銥-89、90
	相思樹		相思樹(陸地)	加馬能譜 ⁶ ／月
水樣	飲用水	總貝他 ² 氬	飲水 ⁹	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銥-89、90、放射性碘
	河川水		河水	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銥-89、90
	地下水		池水	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銥-89、90
	山泉水		地下水	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銥-89、90
	池水	總貝他 ² 加馬能譜 ³ 氬	定時雨水	加馬能譜 ⁶ ／月、氬／季、銥-89、90
	排放水		定量雨水	加馬能譜 ⁶ 、氬、銥-89、90
	海水		海水 ⁸	加馬能譜 ⁶ 、氬／月、銥-89、90
農畜產物	牛奶	加馬能譜 ³ 、碘-131	果類	加馬能譜 ⁶ ／年、銥-89、90
	羊奶			
	茶葉	加馬能譜 ³	家禽	加馬能譜 ⁶ ／半年、銥-89、90
	雞		芋頭	加馬能譜 ⁶ ／年、銥-89、90
	鴨		稻米	加馬能譜 ⁶ ／收穫期、銥-89、90
	稻米		根菜（地瓜）	加馬能譜 ⁶ ／年、銥-89、90
	甘藷		蔬菜	放射性碘、加馬能譜 ⁶ ／半年、銥-89、90
	葉菜類			

	茭白筍		莖菜（茭白筍）	加馬能譜 ⁶ ／年、 鋇-89、90
	麻竹筍			
海產物	海魚	加馬能譜 ³	海生物(海魚)	加馬能譜 ⁶ ／季、 鋇-89、90
	海藻	加馬能譜 ³	海藻(海域)	放射性碘、加馬能 譜 ⁶ ／年、鋇-89、 90
		鋇-90	海菜	放射性碘、加馬能 譜 ⁶ ／年、鋇-89、 90
	貝類	加馬能譜 ³		
沉積物	土壤	加馬能譜 ³	土壤 ⁸	加馬能譜／半 年、銻-239
	岸沙		岸砂	加馬能譜／季
	海底沉積物		海底沉積物	加馬能譜／半年

（註 1-3：輻射偵測中心；註 4-9：台電公司）

註 1：每週空浮微粒總貝他活度超過調查基準之百分之三十時，即進行加馬能譜分析。

註 2：水樣總貝他活度超過調查基準之百分之三十時，即進行加馬能譜分析。

註 3：任何試樣加馬能譜分析發現銻-137 活度超過調查基準之百分之三十時，即進行鋇-90 分析。

註 4：空氣微粒為連續抽氣，每週更換濾紙濾罐。

註 5：每週空氣微粒總貝他分析結果超過 4 毫貝克/立方公尺，方執行加馬能譜分析。

註 6：加馬能譜分析中發現銻-137 大於原能會規定之 AMDA 時，方執行鋇-89；鋇-90 分析。

註 7：落塵加馬能譜分析總活度若超過 3.00E+02 貝克/平方公尺·天，則加強監測。

註 8：海水加馬能譜和氡分析僅於對照、出、入水口三站按月執行，當上述各站分別發現電廠排放核種或氡活度大於原能規定之 AMDA 時，分別於其餘各站全面執行上述加馬能譜分析或氡

分析。

註 9：空氣碘分析中發現有碘-131 有活度時，方執行各站飲水（含對照站）之放射性碘分析。

表 5.5 國內輻射偵測單位執行核三廠環測作業之項目

	輻射偵測中心		台電放射試驗室	
偵測項目	試樣別	分析類別	試樣別	分析類別
直接輻射	熱發光劑量計	累積劑量	熱發光劑量計	加馬劑量／季
	高壓游離腔	劑量率	高壓游離腔	加馬劑量／小時
大氣	空浮微粒 ¹	總貝他、加馬能譜 ₃	空氣微粒 ⁴	總貝他 ⁵ 、加馬能譜 ⁶ ／週、加馬能譜 ⁶ ／季、銔-89、90
	水盤	總貝他、加馬能譜 ₃		空氣碘 ⁹
	空中水汽	氬	落塵	加馬能譜／月、總活度 ⁷
植物	草 樣	氬、總貝他、加馬能譜 ³	草樣	加馬能譜 ⁶ ／半年、銔-89、90
	相思樹		相思樹(陸地)	加馬能譜 ⁶ ／月
水樣	飲用水	總貝他 ² 、氬、排放水：加馬能譜	飲水 ⁹	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銔-89、90、放射性碘
	地下水		河水	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銔-89、90
	山泉水		池水	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銔-89、90
	池 水		地下水	加馬能譜 ⁶ 、氬／季、銔-89、90
	排放水	定時雨水		加馬能譜 ⁶ ／月、氬／季、銔-89、90
	海 水	定量雨水		加馬能譜 ⁶ 、氬
		總貝他 ² 加馬能譜 ³ 氬		海水 ⁸
農畜產物	羊 奶		加馬能譜 ³ 、碘-131	羊奶
		果類		加馬能譜 ⁶ ／年、銔-89、90
	雞	加馬能譜 ³	家禽	加馬能譜 ⁶ ／半年、銔-89、90
	鴨			加馬能譜 ⁶ ／收穫期、銔-89、90
	稻 米		稻米	加馬能譜 ⁶ ／年、銔-89、90
	根莖類		根菜	加馬能譜 ⁶ ／年、銔-89、90

	蔬菜類		蔬菜	放射性碘、加馬能譜 ⁶ ／半年、鋇-89、90
	洋蔥		莖菜（洋蔥）	加馬能譜 ⁶ ／年、鋇-89、90
海產物	海魚	加馬能譜 ³	海生物(海魚)	加馬能譜 ⁶ ／季、鋇-89、90
	海藻	加馬能譜 ³ 、鋇-90	海藻(海域)	放射性碘、加馬能譜 ⁶ ／年、鋇-89、90
	貝類		海菜	放射性碘、加馬能譜 ⁶ ／年、鋇-89、90
沉積物	土壤	加馬能譜 ³	土壤 ⁸	加馬能譜／半年
	岸沙		岸砂	加馬能譜／季
	海底沉積物		海底沉積物	加馬能譜／半年

（註 1-3：輻射偵測中心；註 4-9：台電公司）

註 1：每週空浮微粒總貝他活度超過調查基準之百分之三十時，即進行加馬能譜分析。

註 2：水樣總貝他活度超過調查基準之百分之三十時，即進行加馬能譜分析。

註 3：任何試樣加馬能譜分析發現銫-137 活度超過調查基準之百分之三十時，即進行鋇-90 分析。

註 4：空氣微粒為連續抽氣，每週更換濾紙濾罐。

註 5：每週空氣微粒總貝他分析結果超過 4 毫貝克/立方公尺，方執行加馬能譜分析。

註 6：加馬能譜分析中發現銫-137 大於原能會規定之 AMDA 時，方執行鋇-89；鋇-90 分析。

註 7：落塵加馬能譜分析總活度若超過 3.00E+02 貝克/平方公尺·天，則加強監測。

註 8：海水加馬能譜和氡分析僅於對照、出、入水口三站按月執行，當上述各站分別發現電廠排放核種或氡活度大於原能規定之

AMDA 時，分別於其餘各站全面執行上述加馬能譜分析或氚分析。

註 9：空氣碘分析中發現有碘-131 有活度時，方執行各站飲水（含對照站）之放射性碘分析。

表 5.6 輻射偵測中心之環境輻射監測作業與品質管制相關作業程序書

程序書編號	程序書名稱
EMS-QM00	環境偵測組品質手冊
EMS-M02	環境試樣分析作業流程
EMS-M11	環境試樣取樣作業程序書
EMS-M16	化學實驗室管理作業程序
EMS-M21	放射化學分析品管作業程序
EMS-O01	累積試樣總貝他活度與加馬能譜分析之前處理操作程序書
EMS-O02	生物試樣總貝他活度與加馬能譜分析之前處理操作程序書
EMS-O03	淡水試樣總貝他活度與總阿伐活度分析之前處理操作程序書
EMS-O04	空浮微粒試樣總貝他與加馬能譜分析之前處理操作程序書
EMS-O05	海水試樣總貝他分析之前處理操作程序書
EMS-O08	植物試樣氡活度分析之前處理操作程序書
EMS-O09	水樣氡活度前處理操作程序書
EMS-O10	空中水汽氡活度分析之前處理操作程序書
EMS-O11	水樣加馬能譜分析直接計測之前處理操作程序書
EMS-O25	生物試樣鋇-90分析操作程序書
EMS-O26	水樣鋇90分析操作程序書
EMS-O28	土壤試樣鋇90分析操作程序書
EMS-O29	落塵試樣鋇90分析操作程序書
EMS-O30	試樣鋇-90分析效率校正作業程序書
EMS-O101	Eclipse XLB1低背景比例計測系統操作程序書
EMS-O102	PerkinElmer Tri-Carb 2900TR低背景液體閃爍計數器操作程序書
EMS-O103	GENIE-2000 加馬能譜分析系統標準操作程序書
EMS-O104	低背景液體閃爍計數器 ALOKA LSC-LB5 品質管制標準操作程序
EMS-O105	低背景液體閃爍計數器 ALOKA LSC-LB5 標準操作程序

程序書編號	程序書名稱
EMS-O106	WPC-9550 低背景比例計測系統操作程序書

表 5.7 台電放射試驗室之環境輻射監測作業與品質管制相關作業程序書

程序書編號	程序書名稱	程序書編號	程序書名稱
QM-001	台灣電力公司放射試驗室品質手冊(ISO/IEC 17025)	RL-TEM-003	核三工作隊環境偵測作業方法管理程序
QM-002	台灣電力公司放射試驗室品質手冊(適用 ISO9001：2008)	RL-TEM-004	核三工作隊環境偵測品質管制作業程序
RL-EM-001	環境偵測品質系統作業程序	RL-TEM-010	核三工作隊環境偵測化學實驗室管理作業
RL-EM-003	環境偵測作業方法管理程序	RL-TEM-011	核三工作隊環境偵測品質系統作業程序
RL-EM-004	環境偵測品質管制作業程序	RL-TEO-001	核三工作隊環測取樣設備操作手冊
RL-EM-006	環境偵測化學實驗室管理作業程序	RL-TEO-002	核三工作隊核設施外環境輻射偵測試樣取樣操作手冊
RL-EO-003	環境輻射偵測試樣取樣操作手冊	RL-TEO-003	核三工作隊核設施外環境輻射偵測試樣前處理操作手冊
RL-EO-004	環境偵測試樣管理作業手冊	RL-TEO-004	核三工作隊環境偵測灰化設備操作手冊
RL-EO-006	環境偵測灰化設備操作手冊	RL-TEO-005	核三工作隊環境落塵試樣分析化學處理作業程序
RL-EO-007	環境落塵試樣分析化學處理作業手冊	RL-TEO-006	核三工作隊環境偵測加馬能譜分析系統操作手冊
RL-EO-008	環境試樣總貝他分析作業手冊	RL-TEO-007	核三工作隊低背景貝他計測系統操作手冊
RL-EO-009	環境試樣放射性鋇分析作業手冊	RL-TEO-008	核三工作隊環境試樣總貝他分析化學處理作業手冊
RL-EO-010	環境水樣氚分析化學處理作業手冊	RL-TEO-009	核三工作隊環境水樣氚分析化學處理作業手冊
RL-EO-012	環境水樣碘分析化學處理作業手冊	RL-TEO-010	核三工作隊環境牛、羊奶試樣碘分析化學處理作業手冊
RL-EO-014	環境偵測加馬能譜分析作業手冊	RL-TEO-012	核三工作隊環境直接輻射高壓游離腔操作手冊
RL-EO-015	環境偵測低背景貝他計測系統操作手冊	RL-TEO-023	環境偵測試樣管理作業手冊
RL-EO-018	環境直接輻射熱發光劑量計計讀儀操作手冊	RL-TEO-026	環境偵測化學處理相關設備操作手冊
RL-EO-026	環境試樣總阿伐分析化學處理作業手冊	RL-TEO-029	Parkard 2900TR (QuantaSmart)液態閃爍計測系統操作手冊
RL-EO-030	Parkard 2900TR (QuantaSmart)液態閃爍計測系統操	RL-TEO-031	核三工作隊 GENIE 2000 加馬能譜分析操作手冊

程序書編號	程序書名稱	程序書編號	程序書名稱
	作手冊		
RL-EO-031	環境直接輻射即時系統操作手冊	RL-TEO-032	核三隊環測監測報告作業程序

5.3 核事故發生後快速輻射偵測之技術與程序

5.3.1 概述

自車諾比、三哩島、福島等核事故發生後，國人相當關注生活所及的物品是否受到輻射污染，尤其食品、衣著等民生用品如沾染放射性物質，有相當大的可能會經由攝入途徑導致人體遭受體內污染。因此，核事故發生後，有極大的必要對這些物品進行輻射篩檢，減少國人可能接受到的輻射劑量。然而，民生相關用品涉及的層面廣泛，數量龐大，執行篩檢時，除應考慮度量的準確度外，尚需顧及業者與民眾希冀加快時程的要求，因此實有必要建立快速輻射偵測的技術與程序。依篩檢型式，國內現有的輻射快篩技術與程序分述如下，並以日本食品快速檢測作為說明。

5.3.2 人員衣物快速偵測

日本共同社報導，福島核災發生後，福島縣 42 萬人中，有 67 人經檢出受到輻射污染，其遭受污染的部位主要在鞋子及衣物。有鑒於此，我國原子能委員會於事故發生後迅速在松山、小港及桃園國際等三個機場建立旅客輻射快速監測機制，從該年 3 月 16 日至 3 月 18 日止，於松山、小港及桃園國際等三個機場共檢日本測一萬八千多人次，超出警報設定值者共有三十八人，其中輻射量較高的有二人。

於機場設置的旅客輻射快速監測機制具有兩階段，分別為使用門框監測器進行初篩及使用手持式偵檢器度量放射性。門框監測器可量測總加馬計數率，當旅客通過該監測器時，若身上的總加馬活度超過警戒值（設置點計數率加上三個標準差）而導致監測器發出警報，便由現場值勤人員以手持式偵檢器量測身體局部的污染狀況，確認受污染的衣物類型（外套、上衣、外褲或鞋等）、污染量並對污染核種進

行初步鑑定，經旅客同意，再協助其進行衣物除污。藉由以上的程序，可迅速而有效地防止輻射污染擴散至我國社會。

5.3.3 食品輻射快速檢測

日本核災發生後，為避免人民的恐慌及確保民眾安全，政府規劃針對台灣本島及周邊海域之海水、飲用水、灌溉用水及各類農漁牧產品，以及日本進口食品、酒類及飼料進行放射性含量檢測。由於樣品數量龐大，除由輻射偵測中心負責執行外，也由原子能委員會核能研究所分擔此項緊急任務。就核能研究所的部分，自事發的 2011 年 3 月至 2013 年 11 月底為止，檢驗樣品量共達 43,776 件，迄今仍持續檢驗樣品中；此外，受驗食品需經檢驗確認放射性未超標後，方可由主管機關（衛生署（現名衛生福利部）、國庫署等）放行，然許多受驗樣品為生鮮食品，民眾希望能快速提貨以減少損失。綜合以上目的，應採行食品輻射快速檢測機制。

根據「食品中原子塵或放射能污染安全容許量標準」（表 5.8），關注核種為加馬發射核種碘-131、銫-134 及銫-137，因此需對受測食品進行加馬核種鑑別，確認食品是否含有關注核種，如發現關注核種，則進一步確認其含量是否超過上述容許量標準。圖 5.14 為核能研究所的食品及農產品輻射快速檢測流程，此流程中，主要是藉由對食品進行 1,000 秒的定性量測而將其中的受污染者篩選出來，從接收與登錄樣品，簡易的前處理與秤重，到 1,000 秒加馬核種定性初篩，每件樣品僅約耗時 20~30 分鐘，若在食品中測出關注核種，便額外量測 6,000 秒以定量量測關注核種，確認其含量符合容許量標準。待檢驗完送測單位的所有樣品後，便會開立一份輻射檢測報告給該單位，供其作為放行與否的依據。

5.3.4 未來展望

就輻射快篩檢測的角度而言，除了要確認量測結果有足夠的準確性，也應確保流程簡單化以爭取時效。一般而言，國際上量測機構的做法大致有三個方向：①量測總活度或劑量率；②減少前處理，採行非破壞檢測；③連續量測流程（例如輸送帶）。國內的輻射快篩程序也可依此方向開發修改。

表 5.8 食品中原子塵或放射能污染之安全容許量

放射性核種 \ 食品種類	乳品與嬰兒食品	其他食品
碘-131	55 Bq/kg	300 Bq/kg
銫-134 與銫-137 總和	370 Bq/kg	370 Bq/kg

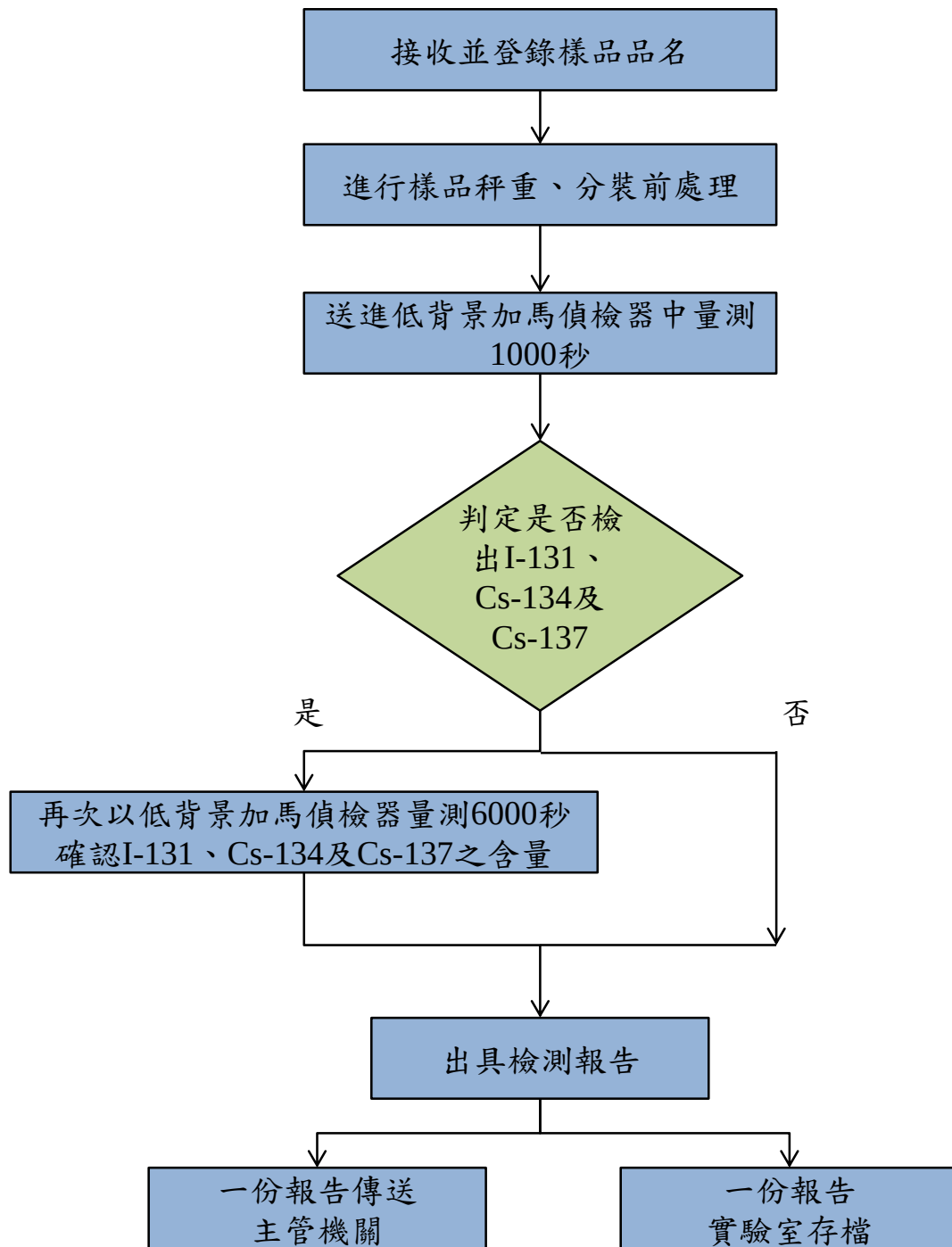


圖 5.14 日本進口食品及台灣漁產品輻射檢測流程圖

第6章 報告總結

日本福島核子事故後，政府與國人對於輻射安全、輻射偵測與劑量評估之要求日趨重視，故規劃一系列精進方針與實踐之方向，本計畫係整合國內「陸」、「海」、「空」之輻射偵測與劑量評估能力。

「陸」藉由氣象資料庫之數據整合分析，呈現核能三廠在不同季節之劑量影響趨勢與分布，可供決策者初始判斷之參考。同時，針對國內核能電廠周邊之背景調查情形與技術進行整合性說明，並對於核子事故期間，如何執行人員及污染物之快篩程序解說；國內過去對於「海」域輻射之技術尚未建立，藉由此計畫，探討海域輻射偵測所需考量的海洋擴散機制與環境影響因子，分析國內海洋擴散之評估能力，對未來海域輻射技術建立與研究有拋磚引玉之效；「空」闡述國內 SPARCS-A 設備與訓練實作課程之辦理情形以及空中偵測程序，並開發無人載具輻射偵測之技術。參考日本福島近事故電廠區域採用無人載具進行高劑量區輻射偵測，本計畫執行成果展現我國無人載具輻射偵測之能力與可行性，可作為未來無人載具輻射偵測技術建立之參考依據及方向。

參考文獻

- [1] Jung- Jen Lee, Shenn-Yu Chao, Kuang-Lung Fan, Yu-Huai Wang and Nai-Kuang Liang, “Tidally Induced Upwelling in a Semi-Enclosed Basin: Nan Wan Bay”, *Journal of Oceanography*, Vol. 53, pp. 467-480, 1997.
- [2] Hideyuki KAEAMURA, Takuya KoBAYSHI, Akiko FURUNO, Teiji IN, Yoichi ISHIKAWA, Tomoharu NAKAYAMA, Shigeki SHIMA and Toshiyuki AWAJI, “Preliminary Numerical Experiments on Oceanic Dispersion of ^{131}I and ^{137}Cs Discharged into the Ocean because of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster”, *Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY*, Vol. 48, No. 11, p. 1349-1356 (2011).
- [3] H.-J. Lee, S.-Y. Chao, K.-L. Fan and T.-Y. Kuo, “Tide-Induced Eddies and Upwelling in a Semi-enclosed Basin: Nan Wan”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49, 775-787, 1999.
- [4] Hung-Jen Lee, Shenn-Yu Chao and Kuang-Lung Fan, “Flood-ebb disparity of tidally induced recirculation Eddies in a Semi-enclosed basin: Nan Wan Bay”, *Continental Shelf Research*, 19, 871-890, 1999.
- [5] 行政院環境保護署，海洋水污染擴散環境影響評估技術之研究成果報告書，1999。
- [6] 謝孟松，南灣海域潮汐渦漩特性之研究，碩士論文，2008。
- [7] 蘇清河，南灣海域營養鹽通量之研究，碩士論文，2009。
- [8] 汪凱勛，落山風與南灣冷水升之交互作用，碩士論文，2012。
- [9] 台灣電力公司第一核能發電廠，102年環境輻射監測計畫，2013。

詞彙表 Glossary

中文	英文全文	英文縮寫
地表高度	Above Ground Level	AGL
可接受最小可測量	Acceptable Minimum Detectable Amount	AMDA
杜卜勒流速儀	Acoustic Doppler Current Profiler	ADCP
資料擷取與傳送單元	Acquisition Telemetry Unit	ATU
空中偵測系統	Aerial Measuring System	AMS
感光耦合元件	Charge Coupled Device	CCD
輪廓線搜尋	Contour Search	CS
數位相機	Digital Camera	DC
數值高程模型	Digital Elevation Model	DEM
數值地形模型	Digital Terrain Model	DTM
美國能源部	Department of Energy	DOE
數值地表模型	Digital Surface Model	DSM
緊急應變計畫區	Emergency Planning Zone	EPZ
加馬等效劑量率	gamma dose equivalent rate	GDER
蓋革計數器	Geiger Metercounter	GM
全球定位系統	Global Positioning System	GPS
高純鍍能譜儀偵測器	High-purity Germanium	HPGe
國際原子能總署	International Atomic Energy Agency	IAEA
慣性測量單元	Inertial measurement unit	INU
慣性導航系統	Inertial Navigation System	INS
日本原子力研究開發機構	Japan Atomic Energy Agency	JAEA
線搜尋	Line Search	LS
美國國家核子安全局	National Nuclear Security Administration	NNSA
穿越搜尋	Penetration Search	PS
平行軌跡搜尋	Parallel Track Search	PT
進步型輻射能譜量測電腦系統-空中偵測系統	Spectral Advanced Radiological Computer System-Airborne	SPARCS-A
外釋點	Release Point	RP
無人飛行載具	Remotely Operated Aircraft	ROA
無人飛行載具	Remotely Piloted Vehicle	RPV

中文	英文全文	英文縮寫
熱發光劑量計	Thermo Luminescence Dosimeter	TLD
無人飛行載具	Unmanned Aerial Vehicle	UAV

Instructions on Technical Details and Standard Operating Procedure of the Aerial Measuring System

by

Chao-Hui Huang

ABSTRACT

The function of the Aerial Measuring System (AMS) is to provide a fast measurement and survey of radioactive contamination in a nuclear and radiation accident emergency.

The AMS uses the Spectral Advanced Radiological Computer System (SPARCS) to collect, record, and analyze radiation data. This system can record spectral energy data and the level of Gamma radiation and contamination. With the Global Positioning System (GPS) module, the AMS can make maps of radiation emission and contamination distribution. The AMS can also diagnose radioactive nuclide and activity distribution of radioactive contamination. It provides the emergency response teams of central and local governments with useful information to judge damage levels and to make policy decisions.

Keywords: Aerial Measuring System (AMS); Nuclear and Radiation Accident;
Spectral Advanced Radiological Computer System (SPARCS).

Health Physics Division
Institute of Nuclear Energy Research

空中偵測系統 (Aerial Measuring System, AMS)

空中輻射監測的技術要求與作業規範指引

黃昭輝

摘 要

空中偵測系統(Aerial Measuring System, AMS)用途，為因應當核子反應器意外或放射性物質散布事故時，於緊急情況提供一個快速的輻射和污染的偵測與監測調查。

空中偵測系統(Aerial Measuring System)裝備採用先進的進步型輻射能譜量測電腦系統(Spectral Advanced Radiological Computer System, SPARCS)，調查與記錄監測放射性資訊擷取收集與儲存分析。系統可記錄加馬輻射與污染程度、能譜資料等，並配備全球衛星定位（GPS）座標之模組化，結果可繪製輻射照射和污染程度分布圖，以及確認輻射污染危害的放射性核種和活度分布。提供中央與地方核子/輻射事故緊急應變團隊進行事故危害程度研判與應變決策有關輻射安全防護措施。

關鍵字：空中偵測系統、核與輻射事件、進步型輻射能譜量測電腦系統

目 錄

1. 概述	1
2. 空中偵測/監測/搜索任務與運作概念.....	2
2.1 空中偵測/監測/搜索任務與運作：	2
2.1.1 空中偵測任務.....	2
2.1.2 煙羽評估任務.....	2
2.1.3 沉降評估任務.....	3
2.1.4 調查任務	4
2.1.5 地面任務	4
2.2 飛行輻射偵測任務執行.....	5
2.3 任務規劃	7
2.4 飛行任務編組.....	9
2.5 飛行前簡報	9
2. 空中偵/監測污染調查.....	11
2.1 空中偵/監測污染調查	11
2.2 空中偵/監測污染調查規範作業程序.....	12
2.2.1 目的.....	12
2.2.2 討論.....	12
2.2.3 空中偵/監測調查規範作業程序	16
3. 空中輻射源搜尋調查	21
3.1 空中輻射源搜尋調查	21
3.2 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序.....	21
3.2.1 目的.....	21
3.2.2 討論.....	21
3.2.3 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序.....	24
4. 結論	30

圖目錄

圖 2-1 煙羽評估任務偵測飛行概述示意圖	3
圖 2-2 沉降評估任務偵測飛行概述示意圖	3
圖 2-3 調查任務偵測飛行概述示意圖	4
圖 2-4 核子事故空中偵測飛行流程概述示意圖	6
圖 2-5 飛行載具安裝各類型調查偵/監測裝備設置示意圖	14

表目錄

表 2-1 出勤任務規劃表(範本).....	7
表 2-2 空中偵測任務飛行記錄表.....	8

1. 概述

空中偵測系統(Aerial Measuring System, AMS)的用途是因應當發生核子反應器意外或放射性物質散布事故的緊急情況時，可以提供一個快速的輻射和污染的偵測與監測調查。空中偵測系統是利用飛行載具裝載平台和配備特殊偵檢系統裝備，於飛行進行中偵/監測在空氣中的放射性物質，以及調查在地面上的輻射污染。空中偵測系統裝備採用先進的進步型輻射能譜量測電腦系統，擷取收集與儲存分析所調查與記錄的放射性監測資訊。系統可記錄加馬輻射與污染程度、能譜資料等，並配備全球衛星定位（GPS）座標之模組化，偵測結果可繪製輻射照射和污染程度分布圖，以及確認輻射污染危害的放射性核種和活度分布。系統的輸出結果可以提供中央與地方核子/輻射事故緊急應變團隊進行事故危害程度研判與應變決策，並能提供第一線應變人員有關輻射安全防護措施和復原清理行動。

空中偵測系統(AMS)的應用如下：

- 空中偵/監測污染調查
- 空中輻射源搜尋調查

空中偵測系統(AMS)功能的應用如下：

- 部署於固定翼飛行載具的輻射能譜檢測系統：

固定翼飛機可以提供快速反應和檢測受影響區域的放射性污染程度，以確定輻射劑量水平。檢測結果可確認地面輻射污染位置，並可繪製受影響區域範圍的輻射污染程度分布圖。

- 部署於直升機飛行載具的輻射能譜檢測系統：

直升機應用於已初步確認地面輻射污染範圍，再利用直升機飛行較低高度，執行密集軌跡的地面輻射污染檢測調查，以提供定量評估與分析。

2. 空中偵測/監測/搜索任務與運作概念

2.1 空中偵測/監測/搜索任務與運作：

2.1.1 空中偵測任務

空中偵測系統(Aerial Measuring System, AMS)的用途是因應當發生核子反應器意外或放射性物質散布事故的緊急情況時，可以提供一個快速的輻射和污染的偵測與監測調查。依污染物外釋的時程，可以區分如下：

1. 外釋前

(1)背景與環境調查 (城市、燃煤/燃氣/核能發電廠、煤灰、礦產與礦渣)。

(2)遺失的射源。

2. 外釋中 (空浮活度)

(1)外釋同位素鑑定。

(2)判定擴散速度與方向。

3. 外釋後 (沉降活度)

(1)外釋同位素鑑定。

(2)散佈範圍。

(3)散佈特性。

2.1.2 煙羽評估任務

空中偵測系統應用於確定放射性煙羽擴散的程序如下：

1. 界定空浮煙羽方向與範圍

(1)取得位於外釋上風向之背景值。

(2)沿煙羽邊緣飛行，維持偵檢器讀值在背景值 10 倍左右。

2. 確認預測模式計算結果，如圖 2-1 所示。

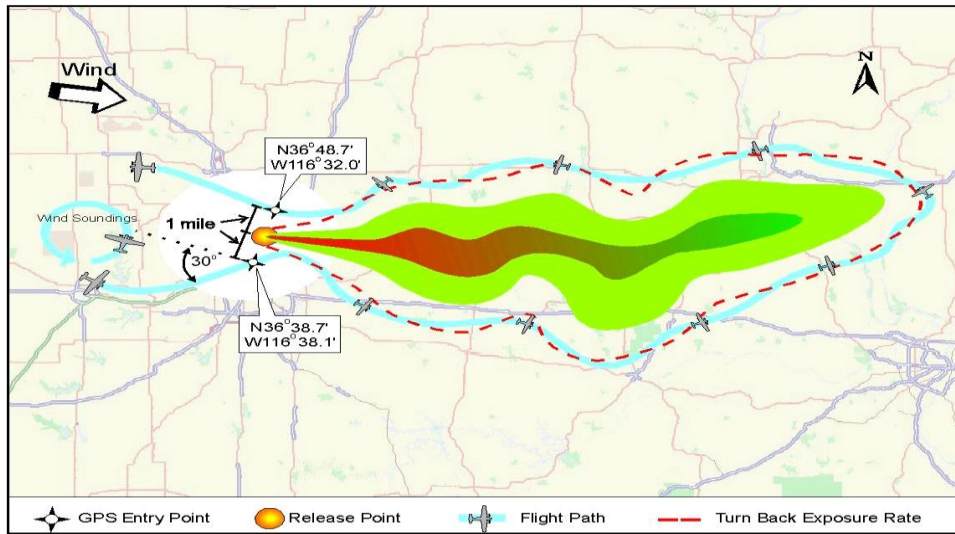


圖 2-1 煙羽評估任務偵測飛行概述示意圖

2.1.3 沉降評估任務

空中偵測系統應用於判定沉降範圍的步驟如下：

1. 涵蓋全部緊急計畫區域。
2. 持續往下風向方向飛行，直到判定出沉降範圍的終點。
3. 沿沉降區域的中心線返航，繪製偵測結果如圖 2-2 所示。

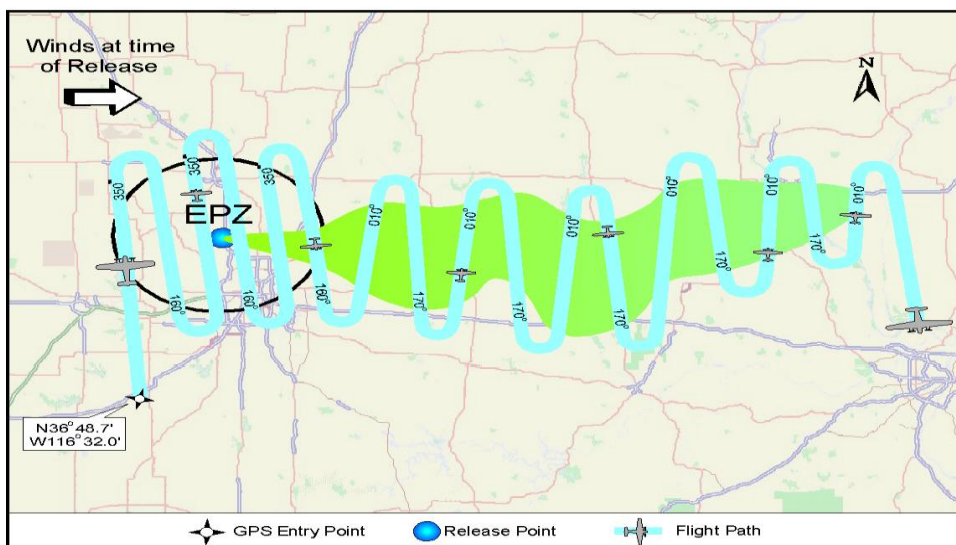


圖 2-2 沉降評估任務偵測飛行概述示意圖

2.1.4 調查任務

空中偵測系統應用於涵蓋 100%目標區域範圍的背景資料研究、射源搜尋、意外事故的放射性散布、或沉降污染特性調查的步驟如下：

1. 以平行飛行路徑涵蓋目標區域。
2. 飛行平行間隔須小於 2 倍的飛行高度。
3. 繪製調查結果如圖 2-3 所示。

目的為確定與界定放射性地表沉降之區域位置，以作為民眾防護行動(如掩蔽或疏散)下達的依據。

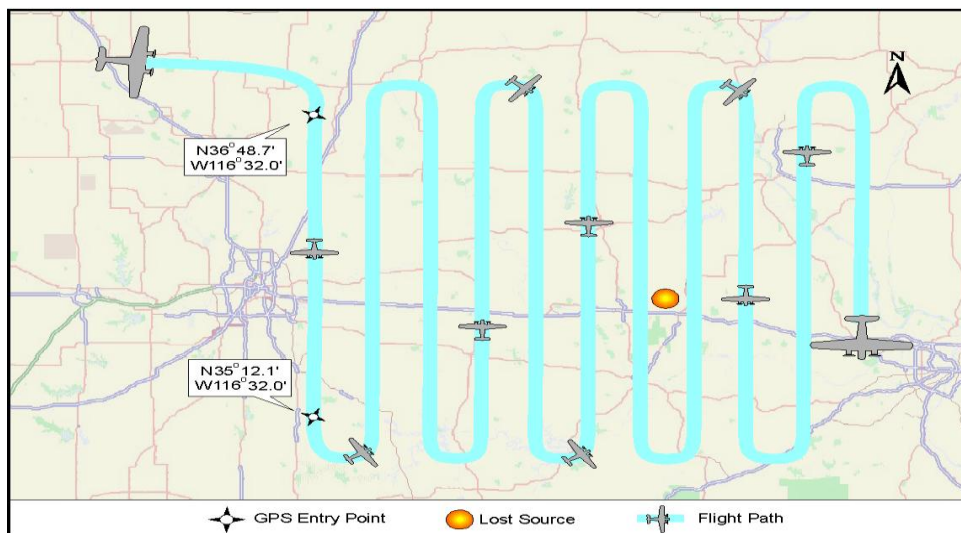


圖 2-3 調查任務偵測飛行概述示意圖

2.1.5 地面任務

空中偵測系統亦可應用於地面的任務，包括：

1. 補充現行地面團隊之調查裝備。
2. 執行特殊關注地點之地面調查工作 (道路、鐵路、港口)。

2.2 飛行輻射偵測任務執行

執行核子事故空中偵測飛行流程概述如圖 2-4 所示。分述如下：

任務規劃

1. 機組員複查任務、通訊、程序、危險因子、飛安與輻防。
2. 飛行參數：高度、速度、飛行間距、曲折式路線的實際指北針航向等。
3. 進入點為由外釋點上風處的緊急應變計畫區(EPZ)10 英哩邊界開始。

飛行前 SPARCS 系統的作業

每次飛行前，能量校正，GPS 運作，地圖/衛星影像載入，起飛記錄。

能量校正 – 每次飛行前，利用 10 μ Ci (370 kBq) Am-241 (低能量 60 keV) 以與偵檢器內含的 K-40 (高能量 1460 keV) 射源，進行所有碘化鈉偵檢器能量校正檢查。

系統設定 – 確認偵檢器數據與計數率收集能力的再現性，GPS 運作，與合適的道路地圖或衛星影像顯示正常。
(GPS 在停機棚中無法定位)

飛行前地面數據量測 – 品管用途

每次飛行前，量測 1 分鐘地面加馬輻射數據 (同一起降地點)。

測試航線 – (地表加馬 + 背景輻射) / 品管用途

每次飛行過程中，至量測區域途中，以量測高度在測試航線上飛行 1 分鐘。

量測區域上方曲折式飛行路線

於量測飛行高度由進入點進入量測區域。由外釋點(RP)上風處的 10 英哩緊急應變計畫區(EPZ)開始以曲折路線飛行，並往下

風向進行。

水線 – 加馬射線背景

每次飛行過程中，以距離地面 1000 英尺高度在水線上飛行 1 分鐘。

測試航線 – （地表加馬射線 + 背景）/品管用途

每次飛行過程中，由量測區域返航途中，以量測高度在測試航線上飛行 1 分鐘。

飛行後地面數據 – 品管用途

每次飛行結束後，量測 1 分鐘地面加馬輻射數據（相同一起降地點）。

飛行後 SPARCS 系統的作業

每次飛行結束後，下載並儲存量測數據，完程飛行記錄，並準備量測數據產出。

任務後報告

機組員複查任務、通訊、程序、危險因子、飛安與輻防。

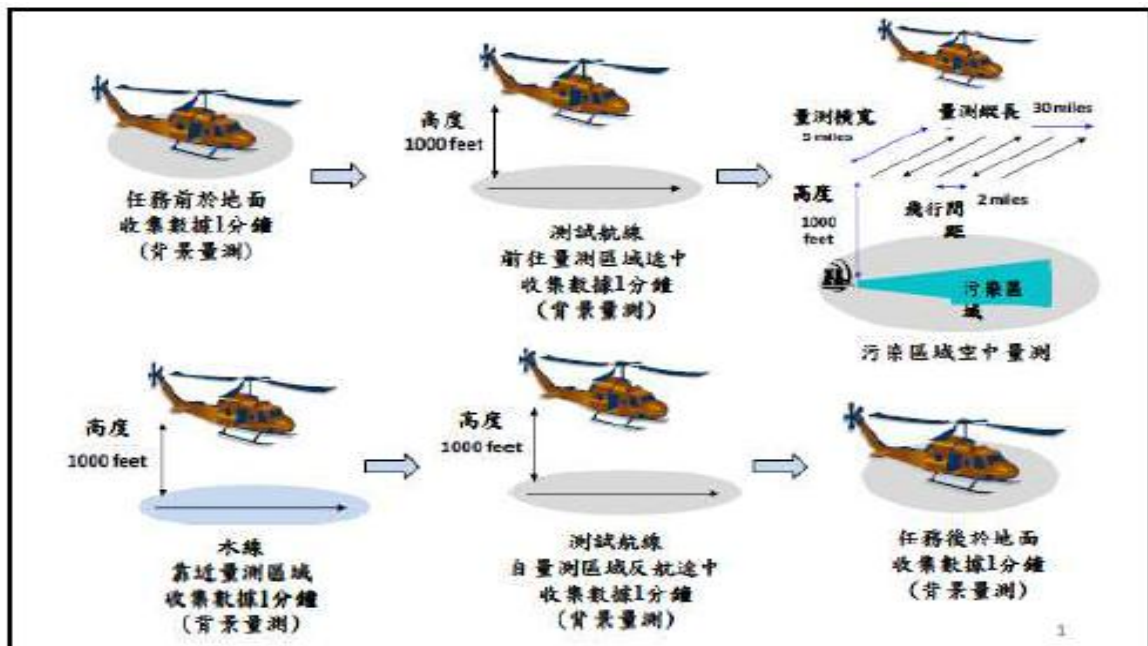


圖 2-4 核子事故空中偵測飛行流程概述示意圖

2.3 任務規劃

任務的規劃以書面計畫書告知所有成員任務需求與預期目標，內容如下：

規劃涵蓋項目：

1. 量測對象 (同位素射源、活度、屏蔽)。
2. 量測方法 (量測平台、地面速度、高度、界線、航線間距)。
3. 數據需求(量測之品保/品管、校正紀錄、調查資料)。

任務參數：

1. 飛行高度(地表高度 -AGL)。
2. 航線間距(一般為 2 倍之飛行地表高度)。
3. 起始點。
4. 初始方向。

任務規劃範本

出勤任務規劃表(範本)如表 2-1。

空中偵測任務飛行記錄如表 2-2。

表 2-1 出勤任務規劃表(範本)

首航線：			
起始點	緯度_____	經度_____	
終止點	緯度_____	經度_____	
概略航向 _____	磁航向	地理航向	(擇一)
航線間距 _____			
總行線數 _____			
行進方向 _____	磁航向	地理航向	(擇一)
任務地面速度 _____節			
任務高度 地表高度 _____英尺			

表 2-2 空中偵測任務飛行記錄表

調查地點：				頁	
起始時間	結束時間	路線 #	說 明	航班 #	日期
			記錄每項任務的開始/結束時間或飛行路線		
				飛機類型	
			飛行前 1 分鐘地面數據	飛機編號	
			測試航線量測高度	飛行員 1	
			水線量測高度	飛行員 2	
			飛行後 1 分鐘地面數據	操作員 1	
				操作員 2	
			高度分佈 1 分鐘在 600、800、1000、1200、1400、1600 feet (地面)	偵測系統	SPARCS-A
			高度分佈 1 分鐘在 600、800、1000、1200、1400、1600 feet (水面)		
				偵測系統 SPARCS-A	
		1	偵測路線 1	偵測頭	校正
		2	偵測路線 2	5 x 10 x 40cm	
		3	偵測路線 3	5 x 10 x 10cm	
				2.5 x 2.5 cm	
				飛行參數	
				偵測高度 (feet)	
				速度(knots)	
				行距(feet)	
				溫度	
				空氣壓力	
				Heading 1	
				Heading 2	
				釋放點(RP)	
				緯度	經度
				進入點(EP)	
				緯度	經度
簽名： 組長(隊長) 操作員					

2.4 飛行任務編組

飛行任務編組區分如下：

輻射專業/任務編組指揮官

提供任務的技術指引，並訂定飛行參數，以獲得最佳的偵測靈敏度，並主持飛行前簡報。

輻射技師

與機械技師一同安裝 SPARCS 系統，並進行功能操作測試，於飛行任務時監看筆記型電腦螢幕，並提報輻射異常狀況。

機長

協調飛行器操控，並提出飛行計畫與放棄執行計畫之飛行限制，並進行飛行前簡報。

駕駛

執行飛行操控。

機械技師

協助輻射技師安置 SPARCS、放置 GPS 與連接機上電源。

2.5 飛行前簡報

飛行前之簡報內容如下：

放射性調查任務資料

1. 任務說明。
- 2 任務需求。
3. 標準作業程序。
4. 飛行危險/預防。
5. 氣象。
6. 依職位介紹機組成員。

飛行資料

1. 進入點的路徑(由上風向進入)。

2. 決定風高。
3. 訂出調查區域/線坐標。

機組員職責

1. 機組員資格/適當性。
2. 個人防護裝備。
3. 上機順序。
4. 機組員於飛行中的行動。
5. 通訊器材的使用。

飛行器配備

1. 滅火器/位置/操作。
2. 急救箱/位置。
3. 安全帶/駕駛員安全帶/操作。
4. 無線電耳機/位置/操作。

緊急狀況

1. 緊急逃生設施/位置與操作。
2. 救生設備位置。
3. 特殊救生設備用法。
4. 緊急氧氣使用。
5. 迫降程序。
6. 逃生口與會合程序。

放射性安全

1. 艙內持續空氣監測。
2. 機組員配戴劑量警報器。
3. 定義返航輻射限值。

事故應變限值：

調查任務：0.015 Sv。

管控處理任務：0.025 Sv。

最大可容許限值：0.05 Sv。

2. 空中偵/監測污染調查

2.1 空中偵/監測污染調查

測量地面污染的執行方式包括採集土壤樣品的實驗室分析、現場加馬能譜測量法，或空中能譜測量法。針對大面積污染範圍調查，若需具代表性的調查結果，則實驗室樣品分析與現場加馬能譜測量法，必須採集更多樣品進行分析，所費時間較多。空中能譜測量法為一快速偵測大面積範圍的方法，對於空中能譜測量，最好使用高純鍺(HPGe)能譜儀偵測器，有些情形也可使用 NaI (TI) 偵測儀器。通常應用於鈾礦探勘的空氣污染測量，裝設一個容積為 16~50 公升之大容量 NaI(Tl) 閃爍偵測儀器，這些偵測儀器也可使用於空中偵/監測污染調查評估。(特別針對僅有少數加馬發射放射性核種的受污染區域)。

空中加馬能譜測量法需考量各種因素影響所造成的不確定度，例如土壤中放射性核種分布、放射性核種測定轉換因子、地形結構(森林、建築物等)與其他未知的因素。空中偵測必須知道偵測儀器對光子能量與入射角度(包括直升機本身的屏蔽)的反應能力，所以空中偵測使用前的能譜儀校準極為重要。

飛行時應避免通過受污染的空氣層，以避免人員接受曝露和偵測設備受到污染。如懷疑飛機可能通過受污染的空氣層，降落後需檢測飛機機身與偵測儀器，確認污染程度。

2.2 空中偵/監測污染調查規範作業程序

2.2.1 目的

應用空中能譜量測來確認大面積地表污染及判定放射性核種污染範圍，以供採取即時防護行動和後續清理行動。

2.2.2 討論事項

1. 空中能譜測量為一快速且進行大面積污染偵測的方法。量測可使用高純鍺(HPGe) 能譜儀偵測器或 NaI (TI) 偵測儀器。
2. 空中加馬能譜量測受到地形（森林、建築物等）的結構和其他因素，用於偵測地表土壤中的放射性核種的污染分布和分布轉換係數之間會有不同的差異性。
3. 偵測器的反應光子能量和入射角的函數（包括直升機本身可能的自我屏蔽）必須確知。因此，進行空中測量前加馬能譜儀需先行校準。定期檢查可確保加馬能譜儀系統的正常運作。
4. 對於快速確定並研判地面污染範圍，可比較地面取樣分析結果與空中偵測結果予以校準。
5. 一般情況，直升機搜尋偵測使用下列不同的搜尋飛行模式：

(1)平行軌跡搜尋(Parallel Track Search) — PT：

敘述：平行直線飛行軌跡，飛行軌道間相隔 300 公尺。

適用範圍：應用於平坦或丘陵地形測量。

(2)線搜尋(Line Search) — LS：

敘述：沿著指定的路線飛行（如道路，鐵路軌道，河流），

與平行飛行軌道的距離為 300 公尺。

適用範圍：沿交通幹線量測。

(3)輪廓線(沿等高線) 搜尋(Contour Search) — CS：

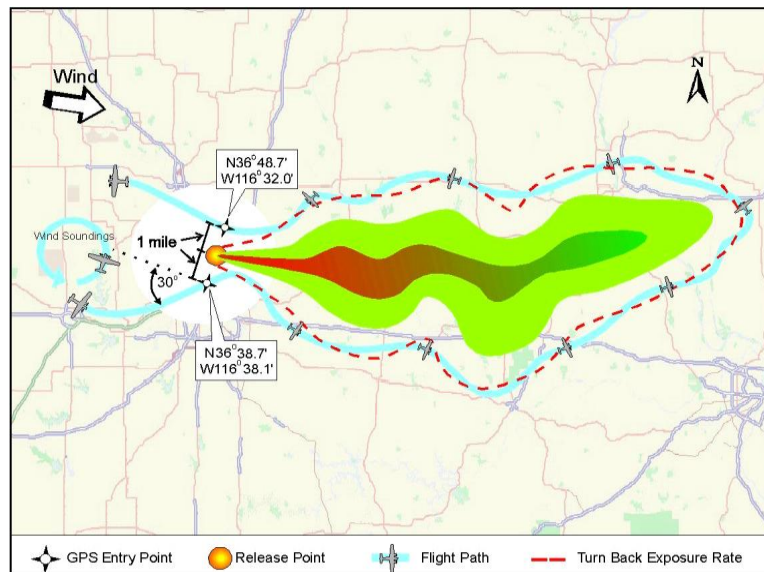
敘述：沿地形等高線飛行。

適用範圍：應用於深切或山區地形量測。

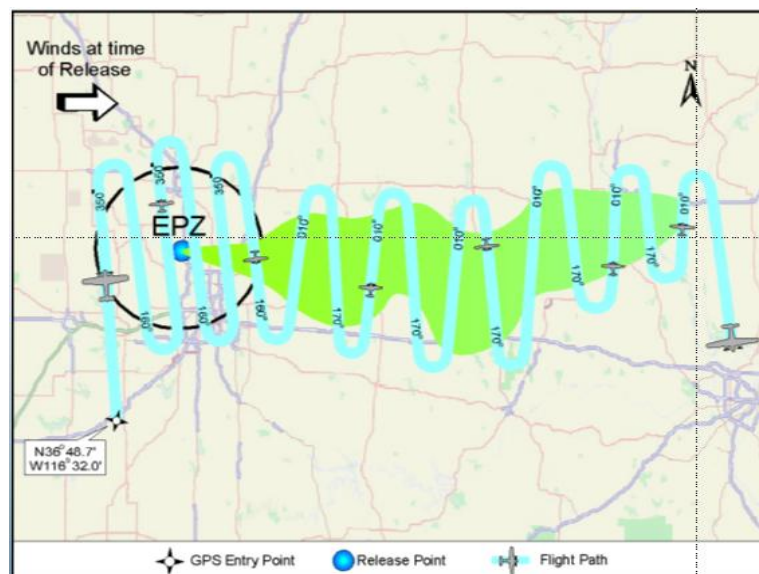
(4)穿越搜尋(Penetration Search) — PS：

敘述：從不同的地標軌道穿越飛行。

適用範圍：快速檢測污染範圍的區域邊界。如下圖所示。



於執行輻射煙羽落塵沉降調查時，飛行方向與風向呈直角，往下風方向迂迴繞行通過，如下圖所示。



平行飛行線間寬距可以偵測大面積，初步評估需緊密的行距，可以得到較佳的繪圖資料。各類型應用於空中偵測加馬能譜儀系統的偵測結果可繪製污染範圍。最重要的是，需要同時蒐集測量參數（海拔高度、飛行速度、座標、測量時間等），以繪製污染範圍圖。飛行載具安裝各類型調查偵/監測裝備設置示意如圖 2-5。

本程序為一般性空中規範作業程序。在實際緊急應變過程中，需依所使用的特定能譜儀系統制定特定偵測程序，例如使用進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)。

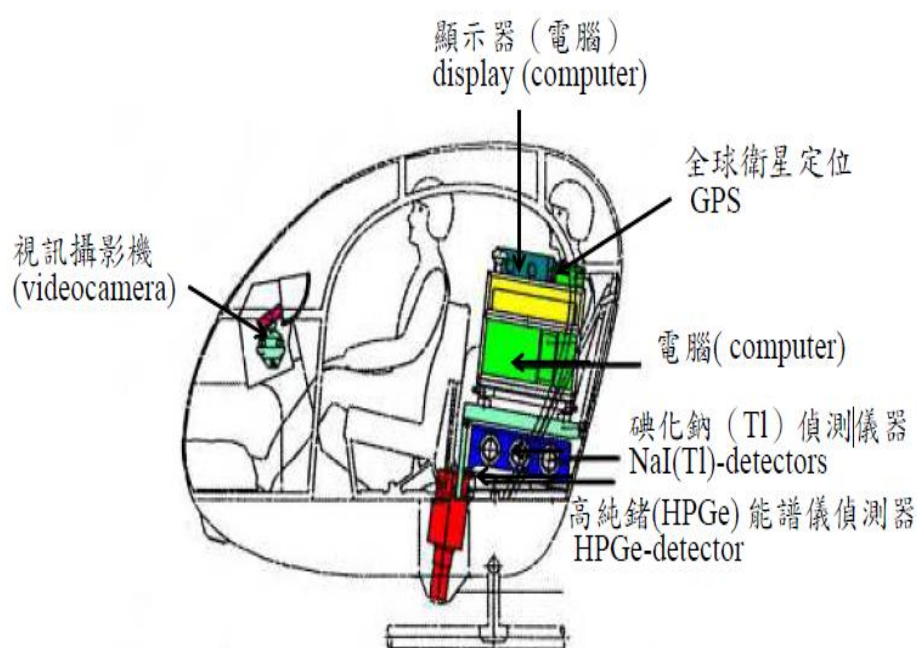


圖 2-5 飛行載具安裝各類型調查偵/監測裝備設置示意圖

總結

應用分析：加馬輻射放射性核種分析。

幾何條件：加馬能譜系統能夠安裝在直升機或固定翼飛行載具上。使用高純鍺(HPGe) 能譜儀偵測器或 NaI (Tl) 偵測儀器。

取樣類型：不需採樣。

偵測基礎：土壤、空氣。

MDA：1~5 kBq/m²(取決於儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及土壤中的放射性核種分布)。

測量時間：10~300 s/cycle(測量時間取決於儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及在土壤中的放射性核種濃度和分布)。

精確度：30~50%(取決於土壤中的放射性核種分布、偵測範圍地形結構、偵測儀器效率、測量時間)。

限制/警告

- 1.飛行時應避免通過受污染的空氣層，以避免人員接受曝露和偵測設備遭受污染。如懷疑通過受污染的空氣層，降落後需檢測飛機機身與偵測儀器，確認污染程度。
- 2.空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行(150~1500 公尺雲層下的可見性)。

2.2.3 空中偵/監測調查規範作業程序

任務派遣之前

Step 1

設備/補給品整備

- 一般偵測設備(手提式 β/γ 輻射偵測器 1 部)。
- 個人防護裝備(劑量佩章、個人劑量示警器、防護衣物、呼吸面具)。
- 空中加馬射線能譜儀系統。
- 直升機或固定翼飛機。
 - (1)環境分析/輻射評估單位人員現況簡報與分派任務。
 - (2)準備適當的偵測設備、個人輻射防護裝備。
 - (3)偵測儀器、設備測試檢查。
 - (4)獲得氣候條件與預報情況的資訊。
 - (5)獲得有關偵測範圍的資訊。
 - (6)從輻射偵測評估/環境分析處接受使用相同座標系統的資料。

Step 2

根據環境分析/輻射偵測評估的說明：

- (1)設置直讀式個人劑量示警警報。
- (2)穿戴適當的個人防護裝備。

飛行前檢查

Step 3

檢查空中加馬射線能譜儀系統安裝無明顯損壞，檢查正常。

Step 4

飛行載具(飛機)機艙上選擇一個適當的檢測器的安裝位置。

(檢測器的安裝位置，以盡量減少受到直升機或飛機的組件自我屏蔽影響，如油箱等)

Step 5

檢查加馬射線能譜儀系統安裝於直升機或固定翼飛機的機械、電氣安裝的適應性。

Step 6

加馬射線能譜儀系統與飛行器電氣連接檢查，包括雷達高度計和全球定位系統（GPS）的網路連線。如加馬射線能譜儀系統採行動電池連接供電，需檢查供應的電池。

Step 7

當加馬射線能譜儀系統使用高純鎇偵測器時，出發前必須檢查偵測器使用液態氮的填充狀況。

注意：

若需使用液態氮，其容積儘可能不超過 5 公升。如液態氮在小空間機艙發生洩漏，可能造成成員缺氧性窒息。此外，洩漏的液態氮也會影響飛行視線，也可能導致眼睛、皮膚損傷和設備的損壞。

Step 8

依據製造商或自訂的程序書，開啟測量系統進行基本功能測試檢查。

Step 9

設定適當的測量參數，例如測量時間、測量數據貯存週期的設定。

Step 10

在執行飛行之前，需進行：

- 無線電通訊配置檢查。
- 全球定位系統(GPS)檢查。
- 雷達高度計檢查及合格的校正。

- 地面背景輻射量測(SPARCS-A 需已架設在機艙內)。
- SPARCS-A 偵測系統高低能量校正檢查。

注意事項：

直升機或固定翼飛行器上操作人員的執行程序、飛行任務所需要的許可證明、燃料與潤滑油、後勤補給等，必需遵守國家飛行相關法令規定。

Step 11

記錄保存：所有日誌、檢查表、工作表的相關數據資料。

飛行測定

Step 12

按照環境分析/輻射評估單位人員提供的預定飛行路線，飛往預定地區，並依測量序列進行偵測。

- 前往量測區域途中測試航線。
- 污染區域空中量測。
- 靠近量測區域水線。
- 自量測區域返航途中測試航線。

根據不同的情況和主管機關的要求，建議飛行的參數如下：

(1)飛行高度：飛行時根據地形和景觀（樹林、建築物、電力線等）。使用直升機，一般飛行離地面 90～120 公尺以上，飛行高度盡可能保持恆定(直升機應該盡量遵循地形結構，安全第一)。固定翼飛機的飛行高度通常較高。

(2)飛行速度：按照與直升機或飛機使用的特性。直升機的飛行速度建議在每小時 60～150 公里之間。

說明：

測量參數（高度、飛行速度、座標、測量時間）的收集與貯存應同時有相對應的輻射偵測數據。這些數據可用來繪製污染範圍圖。

(3)在飛行調查中檢查。

說明：

依據程序書，在空中調查期間應檢查能譜系統的增益、高壓、能峰位置、能量漂移等。檢查測量數據、高度、GPS 數據不但明顯有用且必須做。空中調查檢查可事先依個人習慣性步驟訂出所需的檢查項目。

飛行著陸

Step 13

按照儀器使用程序再行檢查、確認測量系統的功能常。所有相關數據應記錄於日誌並保存。通知執行環境分析與輻射劑量評估單位有關空中量測中任何的差異事項。

Step 14

建立偵測數據應用的格式化，並備份所有的測量數據。

Step 15

直升機、飛機機身、機艙內和偵測設備之使用後表面污染檢查，確認污染狀況。

分析/評估

Step 16

由偵測結果頻譜紀錄中，確定檢測之污染範圍。

Step 17

依量測能譜判定污染的放射性核種。

Step 18

放射性核種活度使用下面的公式估算。

$$C = \frac{10 \cdot (N - N_b)}{t \cdot C_f \cdot p_\gamma \cdot SF}$$

C =測得的放射性核種表面活度 (kBq/m²)

N = 計數的峰值能量 E

NB = 能量 E 高峰的背景計數

T = 測量現場時間 (s)

C_f = 在能量 E 偵測器的校正因子(cm^2)

P_γ = γ 射線發射率為能量 E

SF = 屏蔽係數。

Step19

在日誌與工作表中記錄所有結果與測量參數。

Step20

繪製單一放射性核種的落塵分布圖。

3. 空中輻射源搜尋調查

3.1 空中輻射源搜尋調查

執行地面上輻射源搜尋，其執行方式通常採用手持輻射偵測儀器步行方式搜尋或以車載量測系統車輛行動偵測方式搜尋，其必須採取更多人力裝備資源，進行偵測所費時間較多。空中加馬能譜測量法利用飛行載具裝載平台和配備偵檢系統，可以進行快速、大面積搜尋地面上的加馬輻射源（高活度），因此一般認為空中搜尋偵測是最合適的方法。

NaI (Tl) 為空中搜尋最適當之偵測儀器。另監測系統上的高壓游離腔、比例計數器、蓋格(GM)偵測器等也適合輻射劑量率的量測使用。

空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行(150～1500 公尺雲層下的可見性)。

3.2 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序

3.2.1 目的

為提供大範圍地面搜尋偵/監測、輻射確認定位和辨識異常使用之加馬輻射源，以供採取即時防護行動和後續清理行動。

3.2.2 討論事項

1. 空中搜尋偵/監測為一快速且大範圍地面搜尋偵測輻射源的方法。NaI (Tl) 為最適當之偵測儀器。另監測系統上壓游離腔、比例計數器、蓋格(GM)偵測器等也適合輻射劑量率的量測使用。

2. 偵測器的反應對光子能量和入射角度（包括直升機本身可能的自我屏蔽）必須確知。因此，進行空中測量前光譜儀需先行校準。另高壓游離腔、比例計數器、蓋格(GM)偵測器等應用於空中偵測，仍須進行檢測器的效率校正，以符合運作使用。
3. 任何搜尋偵/監測行動規劃時，應考慮以下幾點：
 - (1) 首先應搜尋可疑輻射源的位置，在搜尋領域時須優先考慮到人口密集地區。
 - (2) 飛行路線之間距和飛行高度依可疑輻射源的數量、活度和監測儀器系統的靈敏度規劃。
 - (3) 使用具飛航功能的飛機或直升機載具。
 - (4) 地面和飛航之間的通信。
4. 一般情況，直升機的搜尋偵測使用下列不同的搜尋飛行模式：
 - (1) 平行軌跡搜尋(Parallel Track Search) — PT：

敘述：平行直線飛行軌跡，飛行軌道間相隔 300 公尺。

適用範圍：應用於平坦或丘陵地形測量。
 - (2) 線搜尋(Line Search) — LS：

敘述：沿著指定的路線飛行（如道路，鐵路軌道，河流），與平行飛行軌道的距離為 300 公尺。

適用範圍：沿交通幹線量測。
 - (3) 輪廓線(沿等高線) 搜尋(Contour Search) — CS：

敘述：沿地形等高線飛行。

適用範圍：應用於深切或山區地形量測。

(4) 穿越搜尋(Penetration Search) — PS：

敘述：從不同的地標軌道穿越飛行。

適用範圍：快速檢測污染範圍的區域邊界。

本程序為一般性空中輻射源搜尋偵/監測調查規範作業程序。在實際緊急應變過程中，需依所使用的特定能譜儀系統制定特定偵測程序。例如使用進步型輻射能譜量測電腦系統 (SPARCS-M1)。

總結

應用分析：加馬輻射放射性核種分析。

幾何條件：加馬能譜系統能夠安裝在直升機或固定翼飛行載具上，使用 NaI (Tl) 偵測儀器。

取樣類型：不需採樣。

偵測基礎：土壤、空氣。

MDA：1~5 kBq/m²(取決於，儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及在土壤中的放射性核種分布)。

測量時間：10~300 s/cycle(測量時間取決於，儀器偵測效率、飛行高度、放射性核種，以及根據在土壤中的放射性核種濃度和分布)。

精確度：30~50%(取決於在土壤中的放射性核種分布、偵測範圍地形結構、偵測儀器效率、測量時間)

限制/警告

1. 偵測系統校正後，不得改變或調整系統的設定值。
2. 空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行(150~1500 公尺雲層下的可見性)。
3. 執行空中偵測人員於受到輻射曝露劑量達設定值時應立即回航。

3.2.3 空中輻射源搜尋偵監測調查規範作業程序

被派遣之前

Step 1

設備/補給品整備

- 一般偵測設備、個人防護裝備
- 空中加馬射線能譜儀系統
- 直升機或固定翼飛機

- (1)環境分析/輻射評估單位人員概述介紹現況簡報與分派任務。
- (2)準備適當的偵測設備、個人輻射防護裝備。
- (3)偵測儀器設備測試檢查。
- (4)獲得氣候條件與預報情況的資訊。
- (5)獲得有關偵測範圍的資訊。
- (6)從輻射偵測評估/環境分析處接受使用相同座標系統的資料。

Step 2

根據環境分析/輻射偵測評估的說明：

- (1)設置直讀式個人劑量示警警報。
- (2)穿戴適當的個人防護裝備。

飛行前檢查

Step 3

檢查空中加馬射線能譜儀系統安裝無明顯損壞，檢查正常。

Step 4

飛行載具(飛機)機艙上選擇一個適當的檢測器的安裝位置。

(檢測器的安裝位置，以盡量減少受到直升機或飛機的組件自我屏蔽影響，如油箱等)

Step 5

檢查加馬射線能譜儀系統安裝於直升機或固定翼飛機的機械、電氣安裝的適應性。

Step 6

加馬射線能譜儀系統與飛行器電氣連接檢查，包括雷達高度計和全球定位系統（GPS）的網路連線。如加馬射線能譜儀系統採行動電池連接供電，需檢查供應的電池。

Step 7

依據製造商或自訂的程序書，開啟測量系統進行基本功能測試檢查。

- 1.該設備應設置警戒值及可聽見的警示音響。
- 2.該偵測設備應有一個快速的反應時間。(小於 5 秒的時間常數)。
- 3.偵測儀器的效率，以一個週期的測量時間(1~5 秒)為輻射的強度劑量讀數紀錄。

Step 8

設定適當的測量參數，例如測量時間、測量數據貯存週期的設定。

Step 9

在執行飛行之前，需進行：

- 無線電通訊配置檢查。
- 全球定位系統(GPS)檢查。
- 雷達高度計檢查及合格的校正。

注意事項：

直升機或固定翼飛行器上操作人員的執执行程序、飛行任務所需要的許可證明、燃料與潤滑油、後勤補給等，必需遵守國家飛行相關法令規定。

Step 10

記錄保存：所有日誌、檢查表、工作表的相關數據資料。

飛行測定

Step 11

按照環境分析/輻射評估單位人員提供的預定飛行路線，飛往預定地區，並依測量序列進行偵測。

根據不同的情況和主管機關的要求，建議飛行的參數如下：

(1)飛行高度：飛行時根據地形和景觀（樹林，建築，電力等）。使用直升機，一般飛行離地面 90～120 公尺以上，飛行高度盡可能保持恆定(直升機應該盡量遵循地形結構，安全第一)。固定翼飛機的飛行高度通常較高。

(2)飛行速度：按照與直升機或飛機使用的特性。直升機的飛行速度建議在每小時 60～150 公里之間。

說明：

測量參數（高度、飛行速度、座標、測量時間）的收集與貯存應同時有相對應的輻射偵測數據。這些數據可用來繪製污染範圍圖。

Step 12

在飛行偵測調查中。觀察儀器偵測系統，量測劑量讀數連續的輸出結果。

說明：

依據程序書，在空中調查期間應檢查能譜系統的增益、高壓、能峰位置、能量漂移等。檢查測量數據、高度、GPS 數據不但明顯有用且必須做。

注意：

在下大雨的時候，土壤中的天然放射性物質氡氣核種產生的變化，因此，輻射劑量率或計數率量測結果可能會高於 2 倍左右。

Step13

如果計數率或儀器的偵測劑量率讀數超過預定水平(至少兩次來回偵測)，將飛行返回到偵測發現異常位置，並減少偵測軌跡網格路徑間距搜尋，更精確地搜尋到詳確異常位置。

注意：

通常由耳機的音響聽見，也可做為判別異常的輔助工具。如飛機上備有偵測記錄器，需以偵測所得的讀數劑量、異常最高劑量率位置處、位置坐標(經度，緯度)、飛行高度等紀錄儲存。並繪製圖列印。

Step14

通報地面指揮官，相關輻射異常範圍位置，並經依環境分析/輻射評估單位提供的評估分析結果，指示預估後續執行的行動。

Step15

繼續搜尋模式，直到所有的異常輻射源位置確認。

飛行偵測檢查：

在飛行偵測中，檢查如測量數據、偵測異常位置、高壓、能峰值、能量變化的頻譜、海拔高度、GPS 紀錄等。

飛行著陸

Step 16

按照規定的儀器使用程序再行檢查測量系統的功能確認正常。所有相

關數據日誌中的記錄保存。通知執行環境分析與輻射劑量評估的建置。

Step 17

建立偵測數據應用的格式化，並備份所有的測量數據。

Step 18

直升機、飛機機身、機艙內和偵測設備之使用後的表面污染檢查，確認污染狀況。

分析/評估

如果使用能譜儀分析

Step 19

由偵測結果之能譜紀錄中，確定檢測之污染範圍。

Step 20

利用量測能譜確認輻射源的放射性核種。

Step 21

估算輻射源活度使用下面的公式。

$$A = \frac{(N - N_b) \cdot 4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 10^{-2}}{t \cdot p_\gamma \cdot \frac{R_o}{\Phi} \cdot e^{-\mu_a \cdot d} \cdot SF}$$

A=輻射源活度

N=計數的峰值能量E

NB=能量E高峰的背景計數

T=測量現場的時間(s)

Ro/Φ=響應因子

P_γ=γ射線發射率為能量E

μ_a=在空氣中的加馬射線能量E線性衰減係數 (m⁻¹)

SF=屏蔽係數

d =偵測器和輻射源之間的估計距離

$$d = \sqrt{h^2 + d_0^2}$$

d₀=估算劑量水平的距離 (m)

h =高度 (m)

如果使用劑量率儀器分析

Step 22

確定的劑量讀數(淨計數率或淨劑量率)為發現異常時的最高劑量讀數(計數率或劑量率)減去於飛行高度時測量的劑量背景值(計數率或劑量率)。

淨計數率或淨劑量率 = 量測最高計數率或劑量率 - 測量的背景值

Step22

評估輻射源的活度，使用下列計算式：

$$A = \frac{R}{\epsilon}$$

A =輻射源的活度 (MBq)

R =淨計數率或淨劑量率 (s⁻¹)

ε=偵測器使用效率 (計數的活度 s⁻¹/ MBq 或單位劑量率/ MBq)

Step 23

記錄保存：所有日誌、檢查表、工作表的相關數據資料。

4. 結論

空中偵測系統(Aerial Measuring System, AMS)，為因應當發生核子反應器意外或放射性物質散布事故的緊急情況時，可以提供一個快速且可確認的大面積地表污染及判定放射性核種污染範圍的偵測與監測調查，以及提供輻射意外事件之大範圍搜尋偵/監測、輻射確認定位和辨識異常使用之加馬輻射源等防護監測調查行動。

本程序為在緊急應變過程中，執行一般性空中偵測規範作業程序。提供中央與地方核子/輻射事故緊急應變團隊進行事故危害程度研判與應變決策有關輻射安全防護措施和後續清理行動。

輻射事故緊急應變教育訓練
空中偵測 SPARCS-A 系統輻射偵測演練

輻射防護計畫與輻射安全評估

核能研究所

中華民國 102 年 06 月

辦理輻射事故緊急應變訓練 空中偵測 SPARCS-A 系統輻射偵測演練

輻射防護計畫與輻射安全評估

1.輻射防護計畫

1.1 計畫目的

核能研究所(以下簡稱本所)為配合原能會輻射防護處會輻字第 XXXXXXXXXX 號函職權交辦訂於 102 年 6 月 26 日假歸仁飛訓部辦理「空中偵測 SPARCS-A 系統操作教育訓練」計畫。空中偵測 SPARCS-A 系統輻射偵測演練擬於歸仁飛訓部及虎山訓練場辦理 SPARCS-A 偵測系統實習演練課程(102 年 6 月 26 全日)。為有效維護輻射偵測實作演練，訓練課程中之輻射作業場所(歸仁飛訓部及虎山訓練場)其輻射安全，並能預防輻射意外或污染事故之發生與擴散。依游離輻射防護法第 10 條規定，依輻射工作場所之設施、輻射作業特性及輻射曝露程度，劃分輻射工作場所為管制區及監測區。管制區內應採取管制措施；監測區內應為必要之輻射監測，輻射工作場所外應實施環境輻射監測。前項規定若涉及管制區與監測區之變更時，應擬定計畫報請主管機關核准同意後實施。

1.2 輻射作業演練項目

1.移動偵測方式的輻射搜索

(1)於壘球場大草坪上隱藏輻射源。

(2)將 SPARCS M-1 型偵測系統安裝於箱型車上，以車速 20~30 公里/小時行駛於道路上，執行輻射源搜索訓練。

2.模擬核子事故空中偵測地面輻射搜索調查

(1) 於訓練場上隱藏輻射源。

(2) 直升機機艙上安裝 SPARCS 系統，在直升機場進行示範和定點測試練習，以及直升機以離地面 50-100 公尺以上，速度 50~70 節保持恆定的高度和速度飛行至訓練場(預先布置隱藏輻射源)，進行輻射偵測搜索訓練。

(3) 機組員與應變人員沿道路及大區域網格區域進行射源搜索任務，當 SPARCS 系統偵測到射源時，應變人員通知飛行員，並由反方向再度執行第二次以確認射源位置，機組員與應變團隊必須紀錄畫面及 GPS 的射源定位點。

空中偵測 SPARCS 實作訓練示意如圖 1。

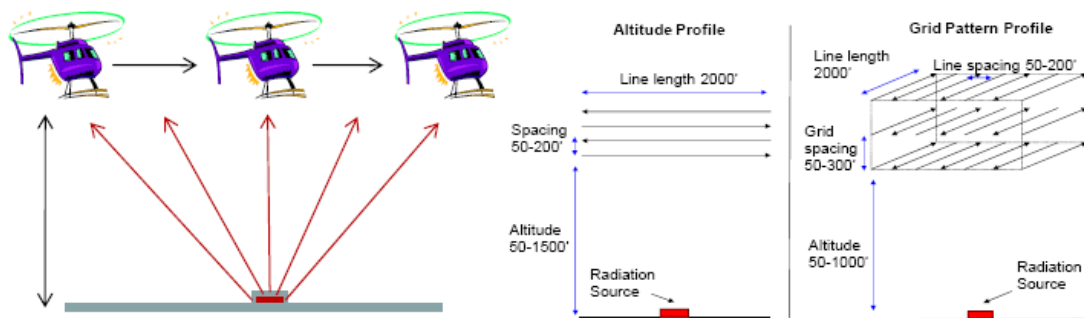


圖 1 空中偵測 SPARCS 實作訓練示意圖

1.3 地區管制及管制作業

1.3.1 場所輻射區域之劃分

依據本所輻射防護計畫之輻射及污染區域劃分標準，規定各設施劃分有監測區及管制區，管制區又劃分為低、中、高輻射區、非污染區、低、中、高污染區等，各設施輻射區域劃分標準說明如附件一。

訓練場，依場所區域劃定為監測區之清潔區。該區域面積廣闊，平常並無人員於此從事輻射作業，針對 SPARCS 輻射偵測實習演練作業，擬建置臨時輻射管制區域，以落實輻射管制作業。

訓練場上模擬假設距離長 100 公尺×寬 50 公尺面積範圍劃分臨時

低輻射管制區域及作業場所位置：如圖 1 SPARCS 系統偵測作業場所位置示意圖。

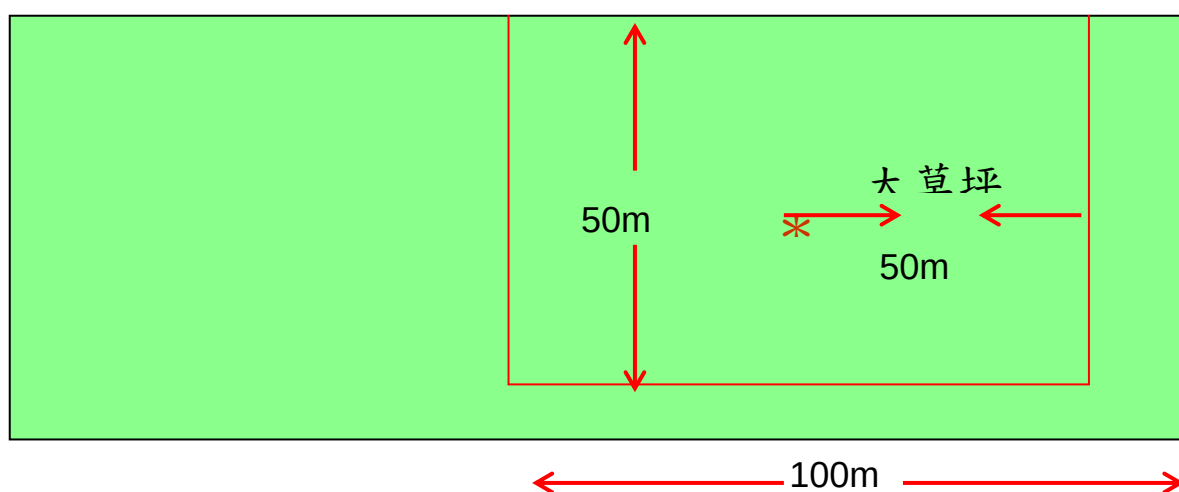


圖 1 SPARCS 系統偵測作業場所位置示意圖

1.3.2 臨時管制區域輻射防護管制措施

- (1) 臨時管制區域於執行輻射偵測實驗時，需建立管制作業與周圍環境偵測，並記錄保存。
- (2) 非必要人員不得任意進入，避免不必要的曝露
- (3) 人員進入作業場所需佩戴人員劑量佩章並予管制。
- (4) 臨時管制區域出入門口位置貼有明顯的輻射示警標誌及使用注意事項。
- (5) 作業時，工作人員須確實瞭解安全作業程式與步驟，以確保作業人員的安全。
- (6) 各放射性實驗室等輻射作業場所外之環境，其輻射劑量率均低於輻射劑量管制限值之規定一般人之年有效劑量不超過 1 mSv，以每年50週，每週40小時計算得知，此區域輻射劑量率限值小於0.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，可符合法規劑量限度之要求。

1.3.3 輻射監/偵測之設置

- (1) 輻射作業場所設有輻射偵測器，以隨時了解場所輻射狀況及異常變化。
- (2) 場所指派具輻射防護人員認可證書者負責維護防護安全。

1.3.4 放射性物質樣品之管制

- (1) 樣品計測時需經防護措施，確保無污染顧慮。
- (2) 放射性物質樣品之作業場所與貯存需上鎖並由專人登錄管理。

1.4 人員管制

1. 訓練學員實習輻射偵測作業時，須於具備輻射安全證書或輻射防護人員認可證書人員指導下從事操作訓練。
2. 訓練人員需配戴劑量佩章。

1.5 意外事件之通報及處理

發生意外事件後，依本所各類意外緊急應變立即通報程序進行通報外，需負責處理並進行事故原因調查、分析、記錄，且於規定期限內將書面報告陳報主管機關。

1.6 紀錄保存

1. 至少保存3年：
輻防偵測或監測儀器、設備每年定期校正、紀錄。
2. 至少保存5年：
 - (1) 臨時輻射作業區輻射偵檢紀錄。
 - (2) 放射性物質之測試報告、樣品擦拭報告偵測紀錄。

2. 場所之輻射安全評估

2.1 SPARCS 偵測系統輻射作業情形

於(2) 直升機機艙上安裝 SPARCS 系統，在直升機場進行示範和定點測試練習，以及直升機以離地面 50-100 公尺以上，速度 50~70 節保持恆定的高度和速度飛行至訓練場(預先布置隱藏輻射源)，進行輻射偵測搜索訓練。機組員與應變人員沿道路及大區域網格區域進行射源搜索任務，當 SPARCS 系統偵測到射源時，應變人員通知飛行員，並由反方向再度執行第二次以確認射源位置，機組員與應變團隊必須紀錄畫面及 GPS 的射源定位點。搜索/模擬偵測調查 SPARCS 實作訓練示意如圖 2。

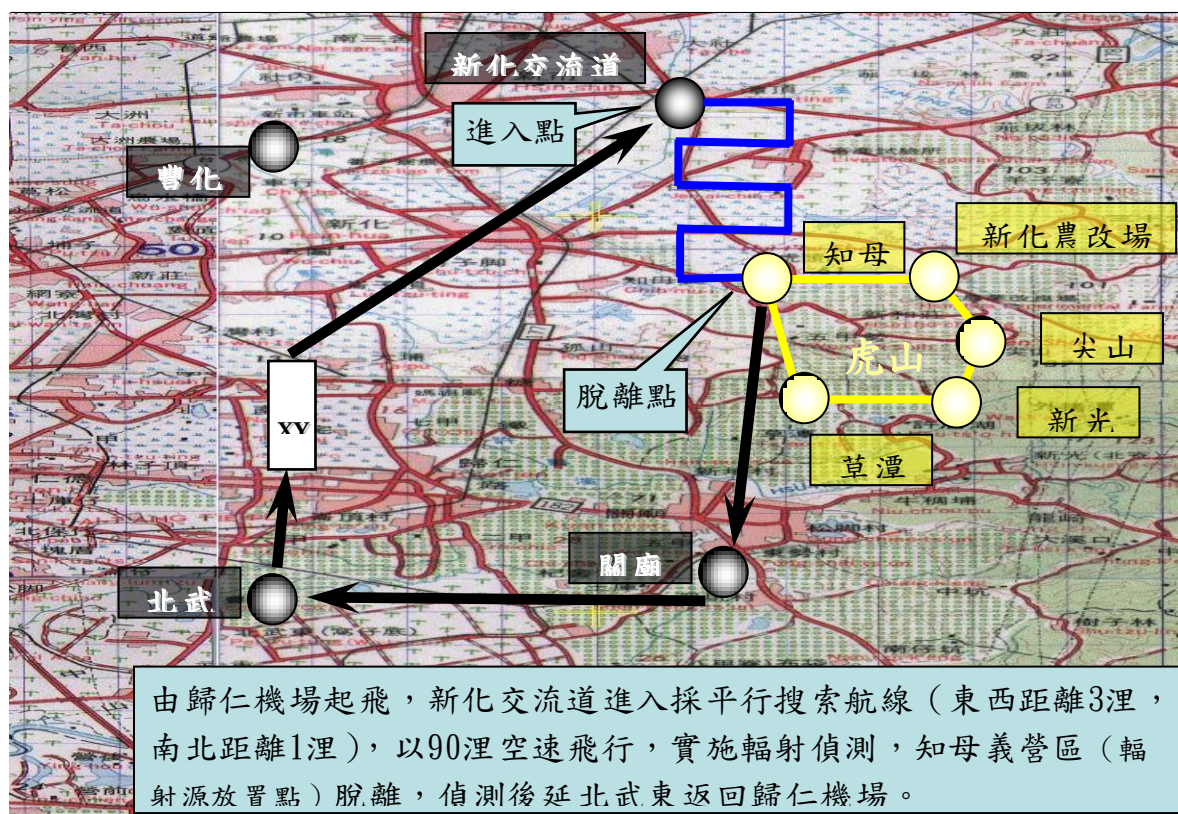


圖 2 SPARCS 系統實作偵測示意圖

2.2 使用樣品核種、活度、型態

SPARCS偵測作業：

樣品核種	活度(Bq)	數量(個)	型態(ø 1.2 cm×4 cm)	型式
Cs-137	1.72×10^9	1	密封式鉛罐	單向窗口式
Cs-137	3.7×10^8	1	密封式鉛罐	單向窗口式



圖3 密封式輻射源

2.3 輻射安全評估

2.3.1 訓練場上輻射源佈置

依1.2節及2.1節 SPARCS系統輻射偵測作業情形，使用Cs-137活度 3.7×10^8 Bq (10 mCi)、 1.72×10^9 Bq (46.6 mCi)，分別佈置於訓練場上(輻射源佈置距離偵測道路約35~50公尺)，執行偵測定點測試及輻射源搜索/模擬偵測調查演練。保守假設訓練使用輻射源，其對相關隔鄰與工作人員之影響劑量，以及周圍環境之影響劑量，採用屏蔽計算分析程式MicroShield V5.08，評估距操作位置距離劑量率結果如表2-1。(計算輸入檔附件二)

表2-1 空中偵測SPARCS輻射作業劑量推估結果

使用樣品 核種	活度 (Bq)	距操作位置距離		
		距 30 公分 (mSv/h)	距 35 公尺 (mSv/h)	距 50 公尺 (mSv/h)
使用 Cs-137	3.7×10^8	3.201×10^{-1}	2.246×10^{-5}	1.077×10^{-5}
使用 Cs-137	1.72×10^9	$1.492\times 10^{+0}$	1.033×10^{-4}	5.019×10^{-5}

由以上評估結果，SPARCS系統輻射偵測作業，其輻射源佈置於壘球場大草坪上，輻射源距離偵測道路約35~50公尺以上，當臨時輻射管制區劃分輻射源距離道路35公尺位置之劑量率為 $0.1\mu\text{Sv/h}$ ，距離50公尺位置之劑量率為 $0.05\mu\text{Sv/h}$ ，且周圍環境均為空曠區域，作業管制範圍大於50公尺，本訓練計畫對於道路上有行人時並無輻射影響，故無安全之顧慮，且作業時將執行適當的輻射防護管制措施。

2.3.2 空中飛行輻射源搜索

執行直升機空中飛行偵測定點測試及輻射源搜索演練。保守假設訓練使用輻射源，其對相關隔鄰與工作人員之影響劑量，以及周圍環

境之影響劑量，採用屏蔽計算分析程式MicroShield V5.08，評估距操作位置距離劑量率結果如表2-2、表2-3。(計算輸入檔附件三)

表2-2 空中偵測SPARCS輻射作業劑量推估結果

使用樣品核種	活度(Bq)	距操作位置距離		
		距 30 公分(mSv/h)	距 5000 公分(mSv/h)	距 10000 公分(mSv/h)
使用 Cs-137	3.7e+08	3.201e-001	1.077e-005	2.430e-006
使用 Cs-137	1.72e+09	1.492e+000	5.019e-005	1.132e-005

表2-3 空中偵測SPARCS輻射作業劑量推估結果

使用樣品核種	活度(Bq)	距操作位置距離		
		距 200 公分(mSv/h)	距 300 公分(mSv/h)	距 600 公分(mSv/h)
使用 Cs-137	1.72e+09	3.306e-002	1.467e-002	3.655e-003

2.4 放射性物質樣品運送

下列輻射源樣品均於本所所區內運送至場所教學使用：

樣品核種	活度(Bq)	數量(個)	型態(ø 1.2 cm×4 cm)
Cs-137	1.72×10^9	1	密封式鉛罐
Cs-137	3.7×10^8	1	密封式鉛罐

1. 劑量限值

參與運送工作人員及駕駛之輻射曝露劑量，均遵照游離輻射防護安全標準及放射性物質安全運送規則之規定。

運送車輛駕駛及副駕駛座位，其輻射強度不得超過 0.02 mSv/h (放射性物質安全運送規則第七十一條)。

2. 輻射劑量

每一個密封式樣品鉛罐均裝置於鉛罐內運送，其劑量率為：

(1) 鉛罐表面：小於 $50\text{ }\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 距離鉛罐 2公尺位置：背景值(小於 $0.1\text{ }\mu\text{Sv/h}$)。

(3)駕駛位置：小於 $20\text{ }\mu\text{Sv/h}$

附件一

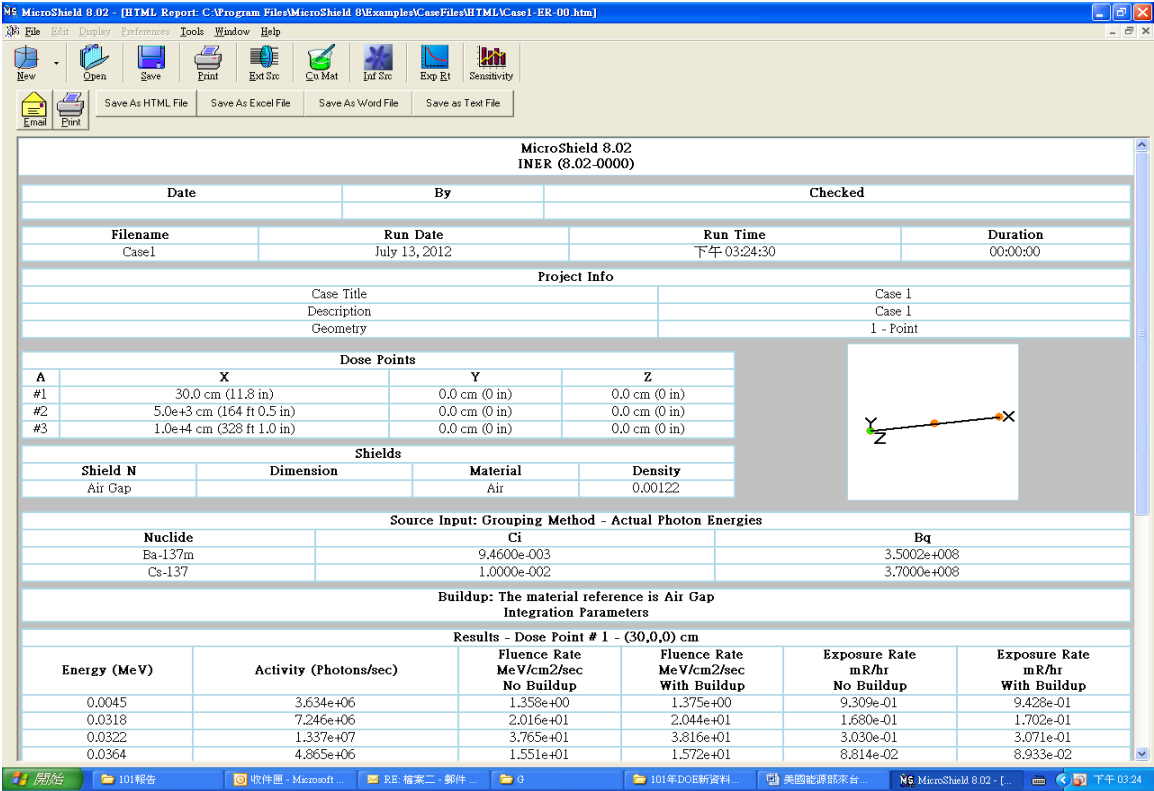
核能研究所輻射及污染區域劃分標準

區域名稱		輻射劑量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	附著污染($\text{Bq}/100\text{cm}^2$)		適用區域
			阿伐污染	貝他、加馬 污染	
監 測 區	清潔區	< 1	背景	背景	本所所界內道路 及行政區
	示警區	< 7.5	背景	背景	各輻射工作場所 內主要通道及辦公區
管 制 區	低輻射區	< 25			
	中輻射區	< 1000			
	高輻射區	> 1000			
	非污染區		背景	背景	
	低污染區		< 0.4	< 4	
	中污染區		0.4~4	4~40	
	高污染區		> 4	> 40	

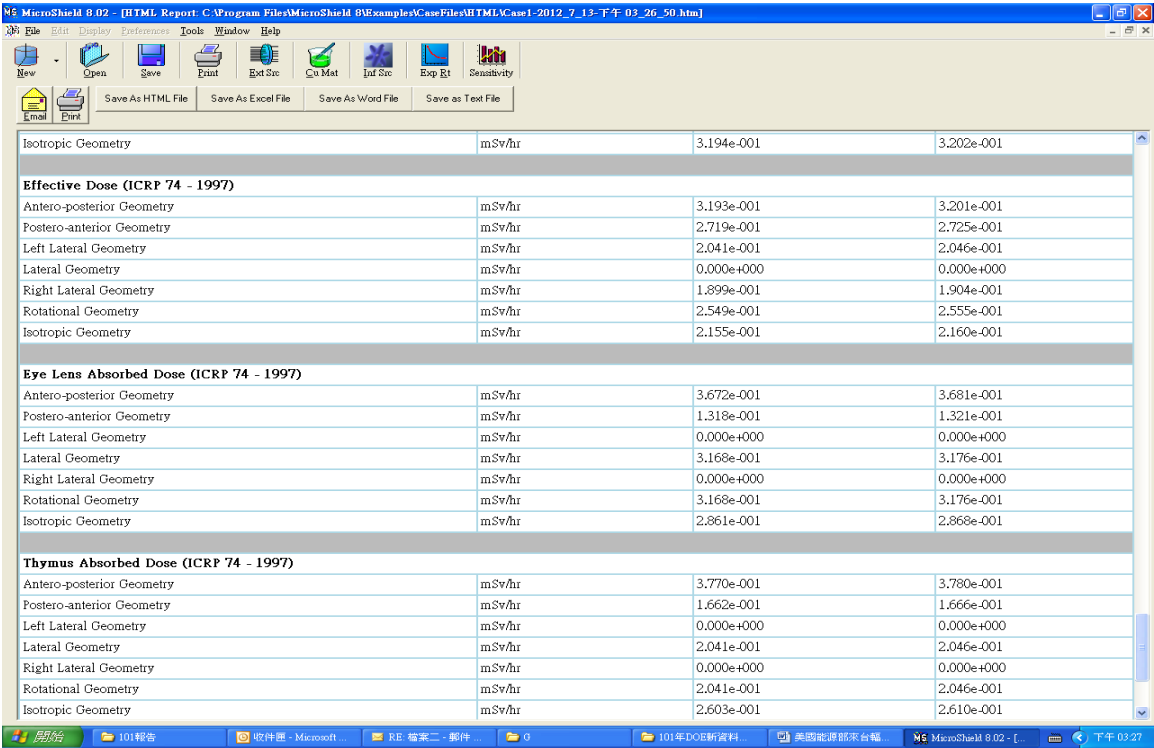
附件二

空中偵測SPARCS輻射作業場所輻射劑量計算結果

核種：Cs-137 活度：10 mCi



30公分



50公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-2012_7_13-下午 03_29_33.htm]			
File Edit Display Preferences Tools Window Help			
New Open Save Print Ext Src Cut Mat Inf Src Exp Rt Sensitivity			
Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File			
Email Print			
Rotational Geometry mSv/hr 7.353e-006 1.132e-005			
Isotropic Geometry mSv/hr 7.169e-006 1.078e-005			
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry mSv/hr 7.164e-006 1.077e-005			
Postero-anterior Geometry mSv/hr 6.121e-006 9.186e-006			
Left Lateral Geometry mSv/hr 4.595e-006 6.896e-006			
Lateral Geometry mSv/hr 0.000e+000 0.000e+000			
Right Lateral Geometry mSv/hr 4.278e-006 6.419e-006			
Rotational Geometry mSv/hr 5.733e-006 8.609e-006			
Isotropic Geometry mSv/hr 4.848e-006 7.278e-006			
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry mSv/hr 8.187e-006 1.235e-005			
Postero-anterior Geometry mSv/hr 2.947e-006 4.436e-006			
Left Lateral Geometry mSv/hr 0.000e+000 0.000e+000			
Lateral Geometry mSv/hr 7.100e-006 1.068e-005			
Right Lateral Geometry mSv/hr 0.000e+000 0.000e+000			
Rotational Geometry mSv/hr 7.100e-006 1.068e-005			
Isotropic Geometry mSv/hr 6.407e-006 9.643e-006			
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry mSv/hr 8.442e-006 1.271e-005			
Postero-anterior Geometry mSv/hr 3.748e-006 5.619e-006			
Left Lateral Geometry mSv/hr 0.000e+000 0.000e+000			
Lateral Geometry mSv/hr 4.602e-006 6.901e-006			
Right Lateral Geometry mSv/hr 0.000e+000 0.000e+000			
Rotational Geometry mSv/hr 4.602e-006 6.901e-006			
Isotropic Geometry mSv/hr 4.602e-006 6.901e-006			

35公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-ER-00.htm]

FileEditDisplayPreferencesToolsWindowHelp

NewOpenSavePrintExt SrcCut MatInf SrcExp RtSensitivity

EmailPrint

Save As HTML FileSave As Excel FileSave As Word FileSave As Text File

Date		By	Checked	
Filename	Run Date		Run Time	Duration
Case1	December 7, 2012		下午 01:46:05	00:00:00
Project Info				
Case Title			Case 1	
Description			Case 1	
Geometry			1 - Point	

Dose Points

A	X	Y	Z
#1	3.5e+3 cm (114 ft 10.0 in)	0.0 cm (0 in)	0.0 cm (0 in)

Shields

Shield N	Dimension	Material	Density
Air Gap		Air	0.00122

Source Input: Grouping Method - Actual Photon Energies

Nuclide	Ci	Bq
Ba-137m	9.4600e-003	3.5002e+008
Cs-137	1.0000e-002	3.7000e+008

Buildup: The material reference is Air Gap

Integration Parameters

Results					
Energy (MeV)	Activity (Photons/sec)	Fluence Rate MeV/cm2/sec No Buildup	Fluence Rate MeV/cm2/sec With Buildup	Exposure Rate mR/hr No Buildup	Exposure Rate mR/hr With Buildup
0.0045	3.634e+06	1.568e-07	2.269e-07	1.075e-07	1.555e-07
0.0318	7.246e+06	4.185e-04	1.192e-03	3.486e-06	9.929e-06
0.0322	1.337e+07	7.971e-04	2.294e-03	6.415e-06	1.846e-05
0.0364	4.865e+06	3.896e-04	1.232e-03	2.214e-06	7.000e-06
0.6616	3.149e+08	9.743e-01	1.293e+00	1.889e-03	2.507e-03
Totals	3.441e+08	9.759e-01	1.298e+00	1.901e-03	2.543e-03

Y

Z

X

開始

收

美

Tr

G

M

文

R

附

I

富

Is

I

語

附

本

W6 M

下午 01:46

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\BTML\Case1-2012_12_7-下午 01_46_51.htm]

File Edit Display References Tools Window Help

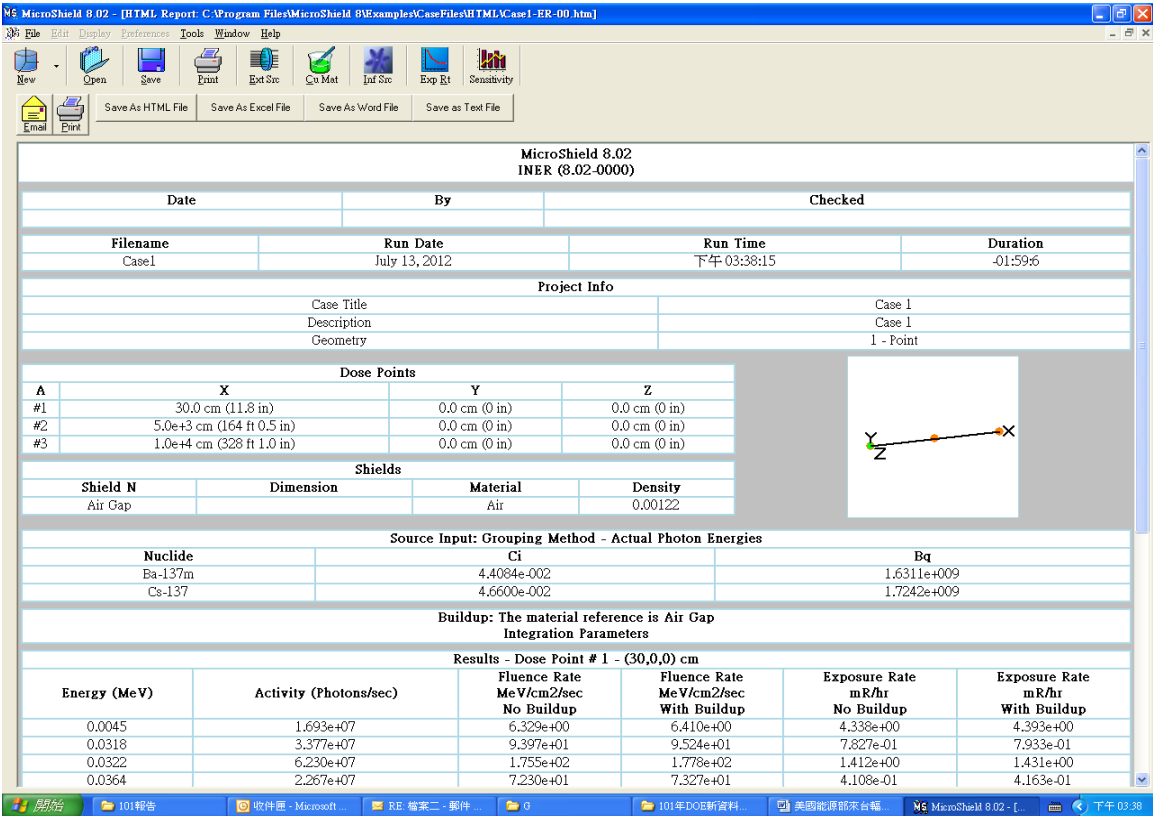
New Open Save Print Ext Src Co Mat Inf Src Exp Et Sensitivity

Email Print Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save as Text File

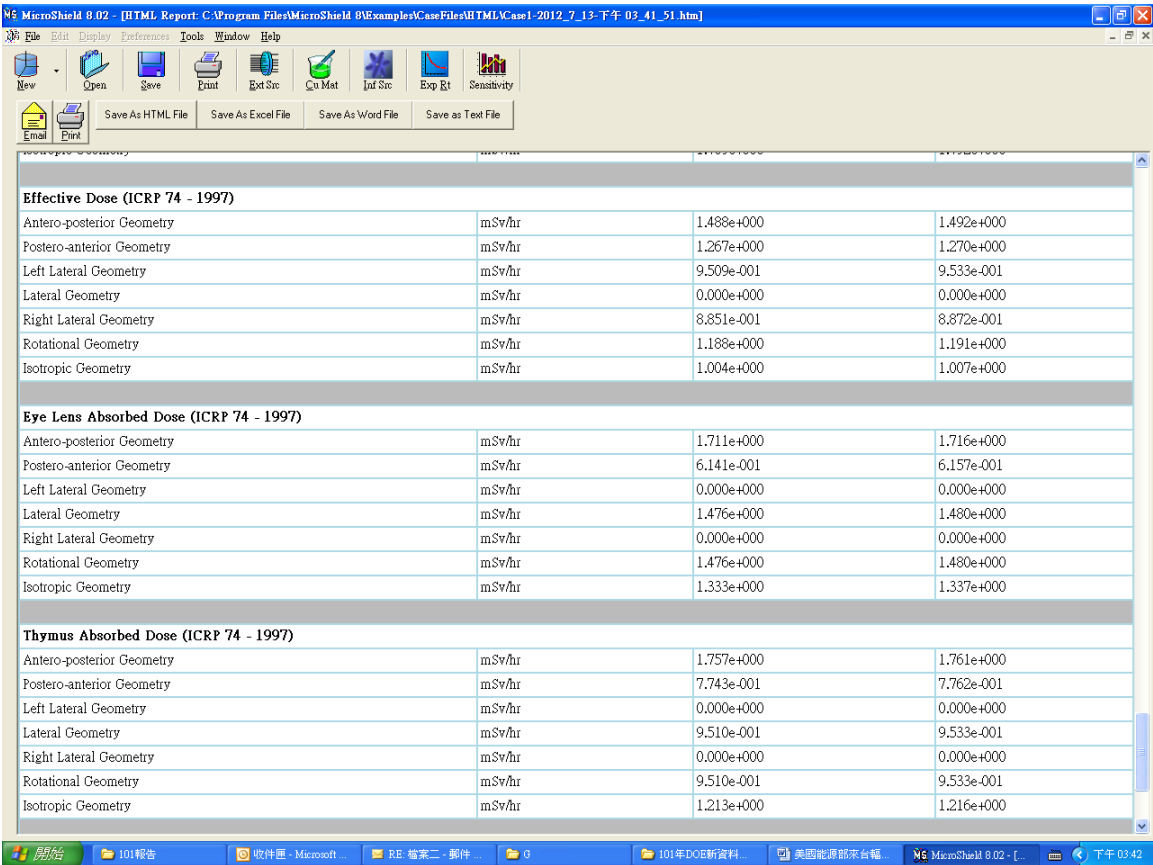
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.685e-005	2.246e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.439e-005	1.913e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	1.080e-005	1.436e-005
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	1.005e-005	1.337e-005
Rotational Geometry	mSv/hr	1.348e-005	1.794e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.140e-005	1.516e-005
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.928e-005	2.580e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	6.935e-006	9.260e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	1.670e-005	2.228e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	1.670e-005	2.228e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.508e-005	2.012e-005
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.987e-005	2.651e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	8.808e-006	1.170e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	1.082e-005	1.436e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	1.082e-005	1.436e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.376e-005	1.832e-005

开始 收 美 Tr G M 文 R 附 I... 官 tx I... 附 本 N6 M... 下午 01:47

核種：Cs-137 活度：46.6 mCi



30公分



50公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-2012_7_13-下午 03_43_05.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

New Open Save Print Ext Src Cut Mat Inf Src Exp Rt Sensitivity

Email Print Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

Rotational Geometry	mSv/hr	3.510e-005	5.274e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.341e-005	5.022e-005
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.338e-005	5.019e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	2.852e-005	4.281e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	2.141e-005	3.213e-005
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	1.993e-005	2.991e-005
Rotational Geometry	mSv/hr	2.671e-005	4.012e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.259e-005	3.392e-005
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.815e-005	5.755e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.373e-005	2.067e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	3.308e-005	4.977e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	3.308e-005	4.977e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.986e-005	4.494e-005
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.934e-005	5.922e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.747e-005	2.619e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	2.145e-005	3.216e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	2.145e-005	3.216e-005

101 報告 收件匣 - Microsoft... R.E. 檔案二 - 郵件... 101 年 DOE 新資料 美國能源部不台帳 MicroShield 8.02 - 下午 03:43

35公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-ER-01.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

New Open Save Print Ext Src Cut Mat Inf Src Exp Rt Sensitivity

Email Print Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

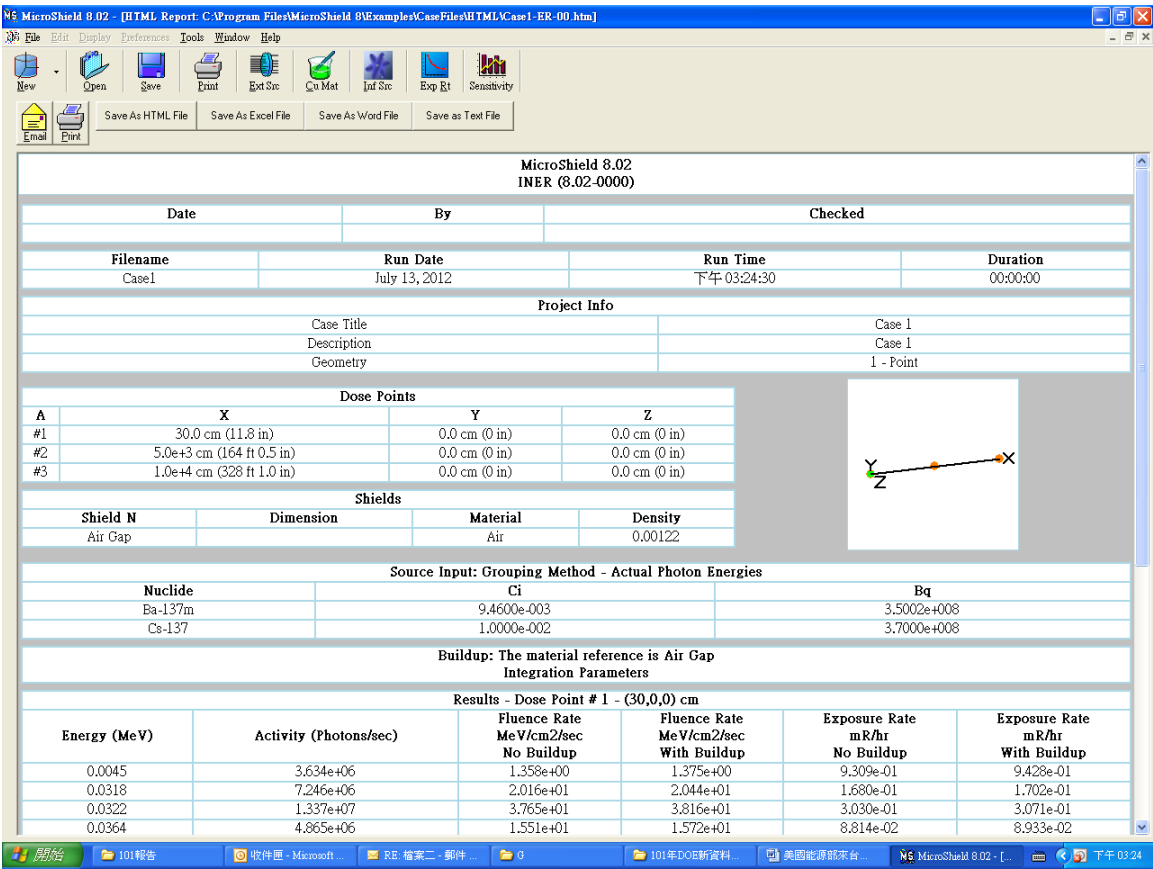
Date	By	Checked
Filename	Run Date	Run Time
Case1	December 7, 2012	下午 01:51:40
Duration		01:59:46
Project Info		
Case Title	Case 1	
Description	Case 1	
Geometry	1 - Point	
Dose Points		
A	X	Y
#1	3.5e+3 cm (114 ft 10.0 in)	0.0 cm (0 in)
		0.0 cm (0 in)
Shields		
Shield N	Dimension	Material
Air Gap		Air
		Density
		0.00122
Source Input: Grouping Method - Actual Photon Energies		
Nuclide	Ci	Bq
Ba-137m	2.1758e-005	8.0505e+005
Cs-137	2.3000e-005	8.5100e+005
Buildup: The material reference is Air Gap		
Integration Parameters		
Results		
Energy (MeV)	Activity (Photons/sec)	Fluence Rate MeV/cm2/sec No Buildup
0.0045	8.357e+03	3.606e-10
0.0318	1.667e+04	9.626e-07
0.0322	3.075e+04	1.833e-06
0.0364	1.119e+04	8.961e-07
0.6616	7.244e+05	2.241e-03
Totals	7.913e+05	2.245e-03
		Fluence Rate MeV/cm2/sec With Buildup
		5.219e-10
		2.742e-06
		5.276e-06
		2.834e-06
		2.975e-03
		2.986e-03
		Exposure Rate mR/hr No Buildup
		2.472e-10
		8.018e-09
		1.476e-08
		5.091e-09
		4.344e-06
		4.372e-06
		Exposure Rate mR/hr With Buildup
		3.577e-10
		2.284e-08
		4.246e-08
		1.610e-08
		5.767e-06
		5.849e-06

101 報告 收件匣 - Microsoft... R.E. 檔案二 - 郵件... 101 年 DOE 新資料 美國能源部不台帳 MicroShield 8.02 - 下午 01:51

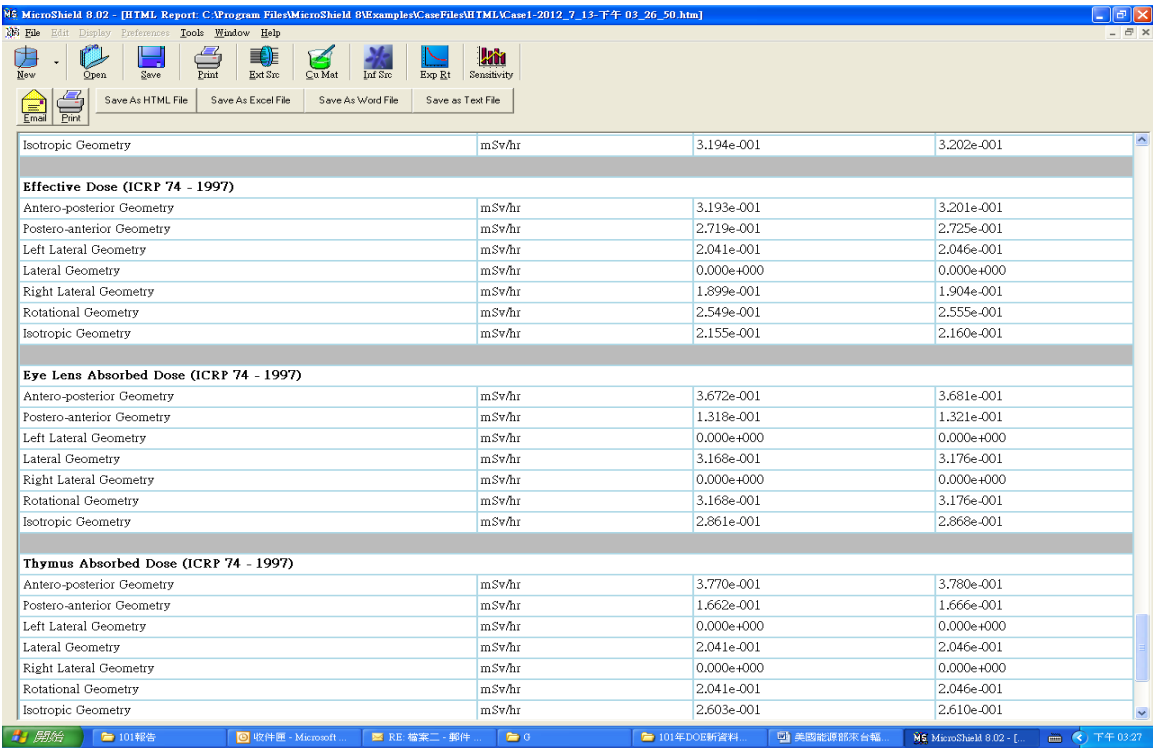
MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\BTML\Case1-2012_12_7-下午 01_52_57.htm]			
FileEditDisplayReferencesToolsWindowHelp Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save as Text File			
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.878e-008	5.168e-008
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.876e-008	5.165e-008
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	3.309e-008	4.400e-008
Left Lateral Geometry	mSv/hr	2.484e-008	3.303e-008
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	2.313e-008	3.074e-008
Rotational Geometry	mSv/hr	3.100e-008	4.125e-008
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.621e-008	3.487e-008
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	4.434e-008	5.935e-008
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.595e-008	2.130e-008
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	3.842e-008	5.124e-008
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	3.842e-008	5.124e-008
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.468e-008	4.627e-008
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	4.569e-008	6.098e-008
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	2.026e-008	2.690e-008
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	2.487e-008	3.304e-008
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	2.487e-008	3.304e-008
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.165e-008	4.213e-008

附件三 空中飛行偵測SPARCS輻射作業場所輻射劑量計算結果

核種：Cs-137 活度：10 mCi



30公分



50公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-2012_7_13-下午 03_29_33.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

New Open Save Print Ext Src Cut Mat Inf Src Exp Rpt Sensitivity

Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

Rotational Geometry	mSv/hr	7.353e-006	1.132e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	7.169e-006	1.078e-005
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	7.164e-006	1.077e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	6.121e-006	9.186e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	4.595e-006	6.896e-006
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	4.278e-006	6.419e-006
Rotational Geometry	mSv/hr	5.733e-006	8.609e-006
Isotropic Geometry	mSv/hr	4.848e-006	7.278e-006
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	8.187e-006	1.235e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	2.947e-006	4.436e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	7.100e-006	1.068e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	7.100e-006	1.068e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	6.407e-006	9.643e-006
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	8.442e-006	1.271e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	3.748e-006	5.619e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	4.602e-006	6.901e-006
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	4.602e-006	6.901e-006
Isotropic Geometry	mSv/hr	6.052e-006	9.071e-006

101報告 收件匣 - Microsoft... RE: 檔案二 - 郵件... 0 101年DOE新資料... 美國能源部來信檔 MicroShield 8.02 - 下午 03:29

100公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-2012_7_13-下午 03_30_28.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

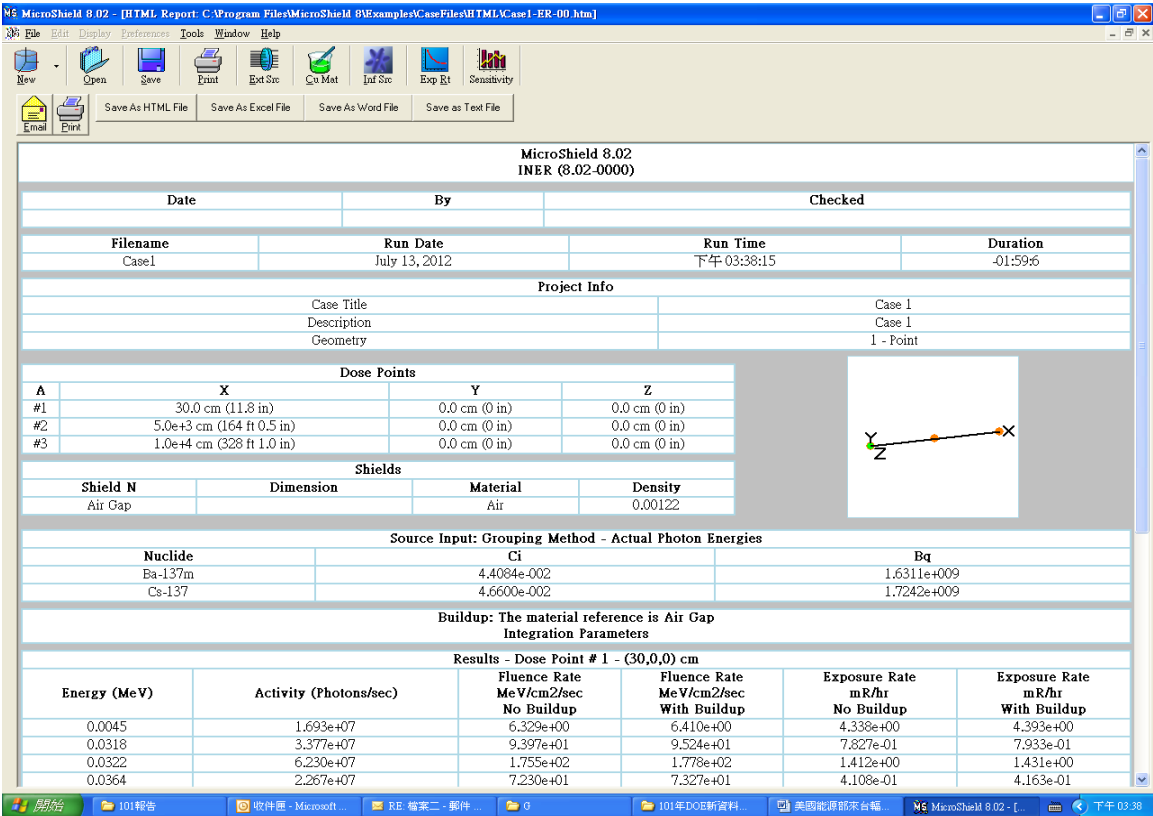
New Open Save Print Ext Src Cut Mat Inf Src Exp Rpt Sensitivity

Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

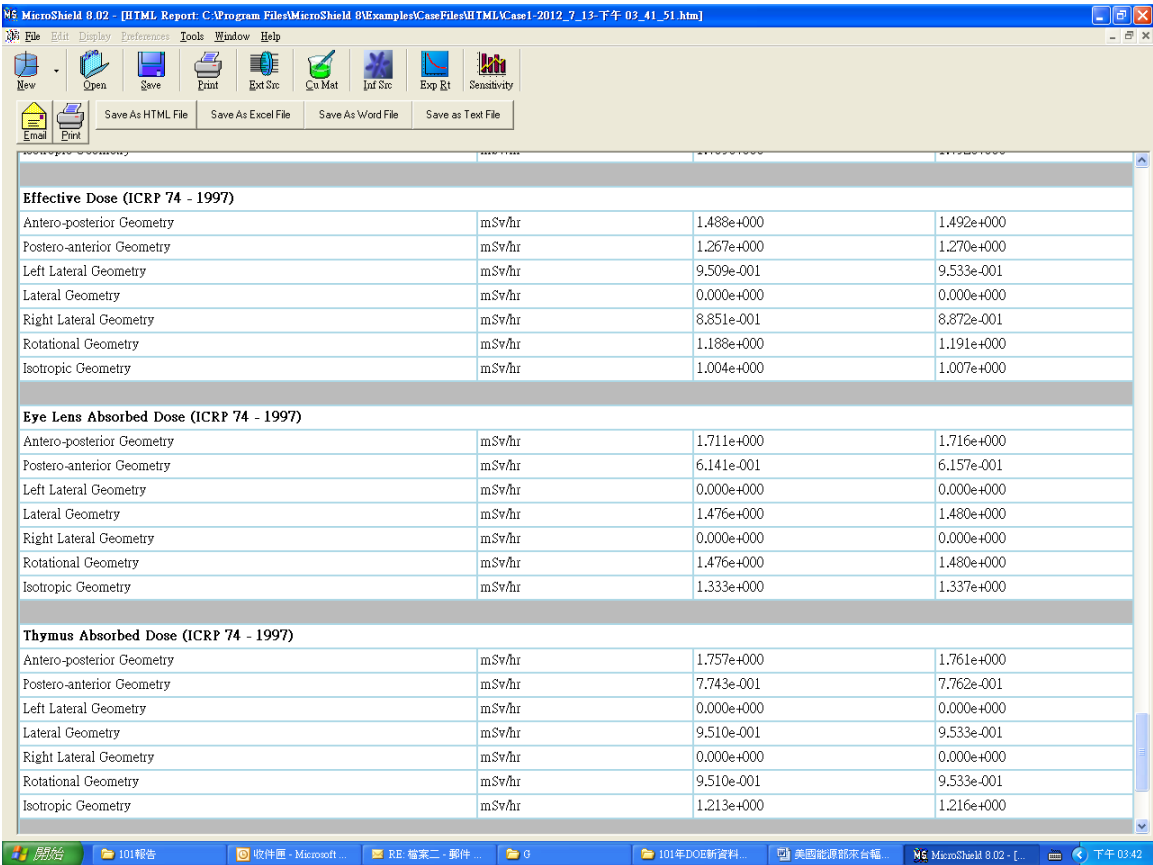
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.118e-006	2.430e-006
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	9.559e-007	2.077e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	7.177e-007	1.559e-006
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	6.681e-007	1.452e-006
Rotational Geometry	mSv/hr	8.950e-007	1.945e-006
Isotropic Geometry	mSv/hr	7.569e-007	1.645e-006
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.275e-006	2.775e-006
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	4.593e-007	9.989e-007
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	1.107e-006	2.408e-006
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	1.107e-006	2.408e-006
Isotropic Geometry	mSv/hr	9.992e-007	2.173e-006
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.316e-006	2.863e-006
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	5.856e-007	1.272e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	7.191e-007	1.562e-006
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	7.191e-007	1.562e-006
Isotropic Geometry	mSv/hr	9.137e-007	1.986e-006

101報告 收件匣 - Microsoft... RE: 檔案二 - 郵件... 0 101年DOE新資料... 美國能源部來信檔 MicroShield 8.02 - 下午 03:30

核種：Cs-137 活度：46.6 mCi



30公分



50公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-2012_7_13-下午 03_43_05.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

New Open Save Print Ext Src Cut Mat Inf Src Exp Rpt Sensitivity

Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

Rotational Geometry	mSv/hr	3.510e-005	5.274e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.341e-005	5.022e-005
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.338e-005	5.019e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	2.852e-005	4.281e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	2.141e-005	3.213e-005
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	1.993e-005	2.991e-005
Rotational Geometry	mSv/hr	2.671e-005	4.012e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.259e-005	3.392e-005
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.815e-005	5.755e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.373e-005	2.067e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	3.308e-005	4.977e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	3.308e-005	4.977e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.986e-005	4.494e-005
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.934e-005	5.922e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.747e-005	2.619e-005
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	2.145e-005	3.216e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	2.145e-005	3.216e-005

開始 101報告 收件匣 - Microsoft... RE 檔案二 - 郵件... 0 101年DOE新資料... 美國能源部平台... MicroShield 8.02 - 下午 03:43

100公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\HTML\Case1-2012_7_13-下午 05_30_30.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

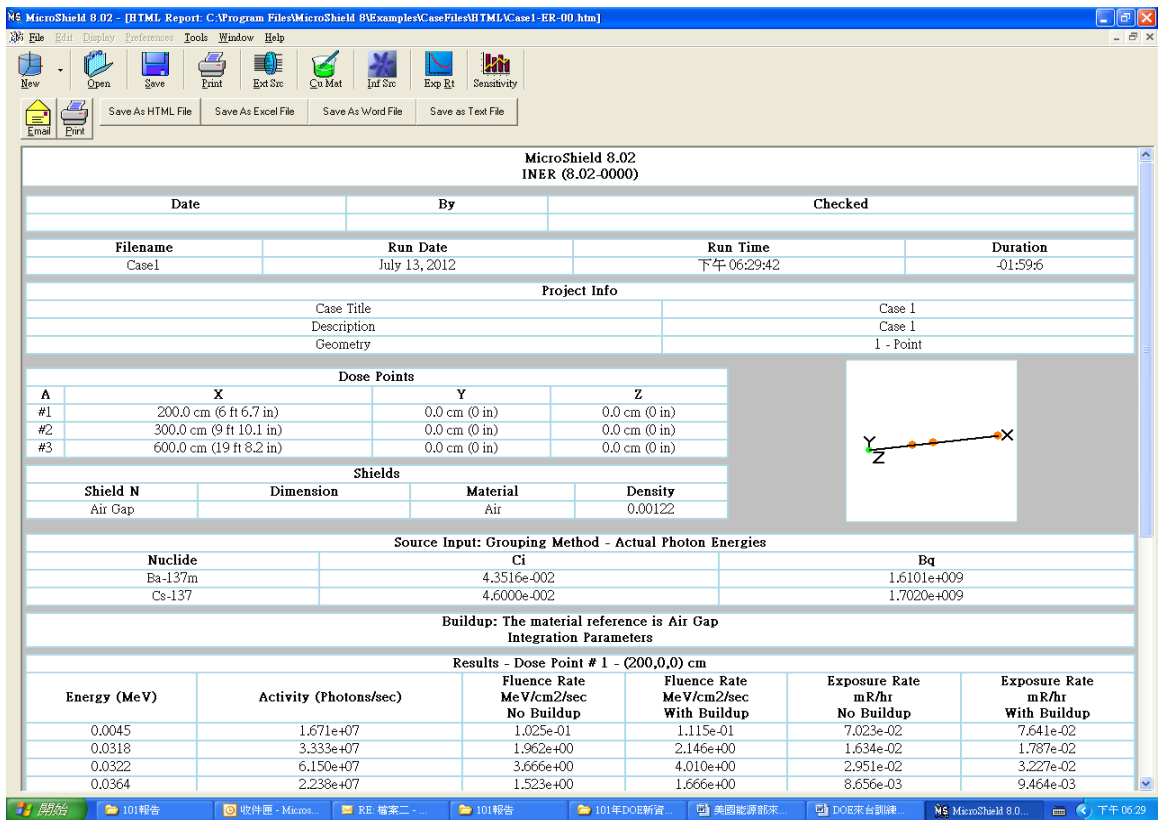
New Open Save Print Ext Src Cut Mat Inf Src Exp Rpt Sensitivity

Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

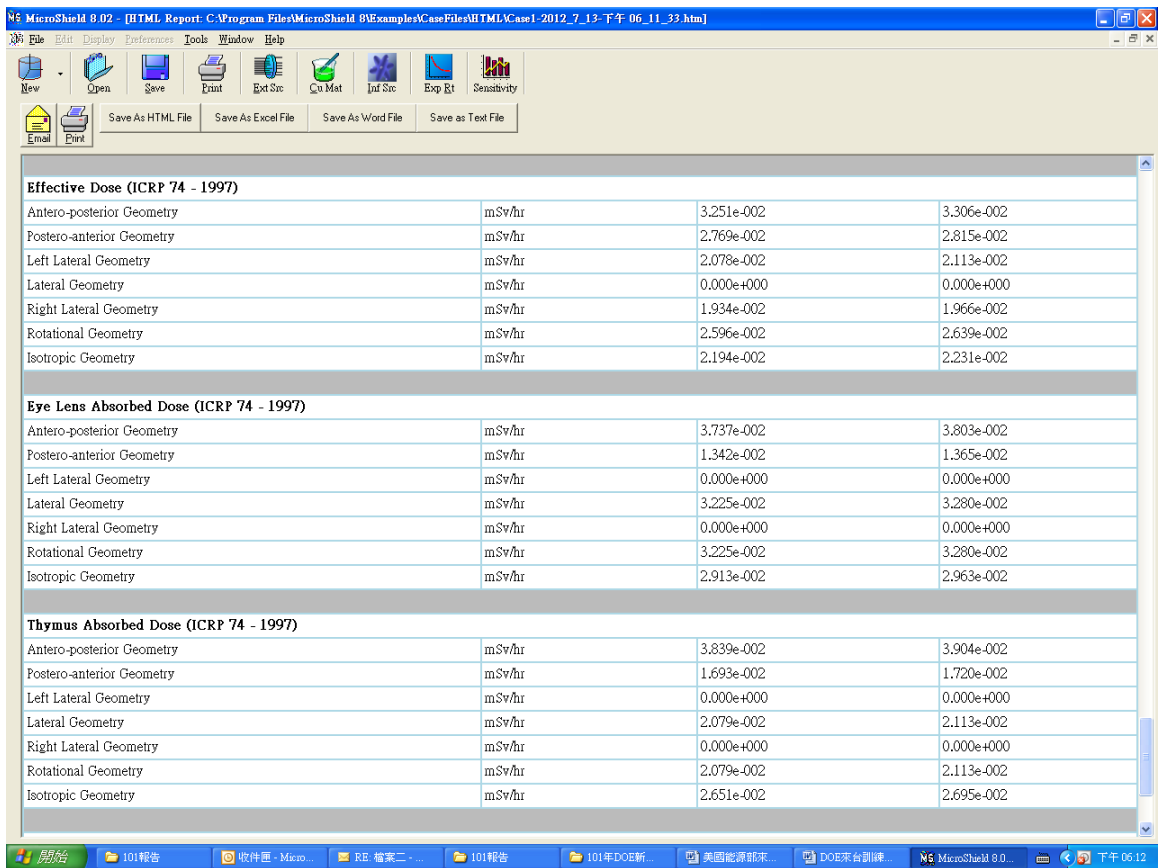
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	5.209e-006	1.132e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	4.454e-006	9.678e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	3.344e-006	7.266e-006
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	3.113e-006	6.764e-006
Rotational Geometry	mSv/hr	4.171e-006	9.064e-006
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.527e-006	7.665e-006
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	5.942e-006	1.293e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	2.141e-006	4.655e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	5.160e-006	1.122e-005
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	5.160e-006	1.122e-005
Isotropic Geometry	mSv/hr	4.656e-006	1.013e-005
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	6.135e-006	1.334e-005
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	2.729e-006	5.928e-006
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	3.351e-006	7.278e-006
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	3.351e-006	7.278e-006
Isotropic Geometry	mSv/hr	4.258e-006	9.254e-006
Uterus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			

開始 101報告 收件匣 - Micro... RE 檔案二 - ... 101報告 101年DOE新... 美國能源部來... MicroShield 8.0... DOE來省訓練... 下午 05:30

核種：Cs-137 活度：46.6 mCi



2公尺



3公尺

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\BTML\Case1-2012_7_13-下午 06_12_29.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

New Open Save Print Ext Src Cu Mat Inf Src Exp Rt Sensitivity

Email Print Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	1.503e-002	1.541e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.432e-002	1.468e-002
Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.431e-002	1.467e-002
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.219e-002	1.249e-002
Left Lateral Geometry	mSv/hr	9.150e-003	9.378e-003
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	8.516e-003	8.728e-003
Rotational Geometry	mSv/hr	1.143e-002	1.171e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	9.660e-003	9.902e-003
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.645e-002	1.688e-002
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	5.905e-003	6.058e-003
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	1.420e-002	1.456e-002
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	1.420e-002	1.456e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.282e-002	1.315e-002
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	1.690e-002	1.733e-002
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	7.452e-003	7.636e-003
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	9.151e-003	9.377e-003
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000

開始 101報告 收件匣 - Micro... RE 檔案二 - ... 101報告 101年DOE新... 美國能源部來... DOE家台訓練... MicroShield 8.0... 下午 06:13

MicroShield 8.02 - [HTML Report: C:\Program Files\MicroShield 8\Examples\CaseFiles\BTML\Case1-2012_7_13-下午 06_30_37.htm]

File Edit Display Preferences Tools Window Help

New Open Save Print Ext Src Cu Mat Inf Src Exp Rt Sensitivity

Email Print Save As HTML File Save As Excel File Save As Word File Save As Text File

Effective Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.476e-003	3.655e-003
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	2.962e-003	3.112e-003
Left Lateral Geometry	mSv/hr	2.223e-003	2.336e-003
Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Right Lateral Geometry	mSv/hr	2.069e-003	2.174e-003
Rotational Geometry	mSv/hr	2.777e-003	2.918e-003
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.347e-003	2.466e-003
Eye Lens Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	3.993e-003	4.207e-003
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.434e-003	1.509e-003
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	3.448e-003	3.627e-003
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	3.448e-003	3.627e-003
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.114e-003	3.276e-003
Thymus Absorbed Dose (ICRP 74 - 1997)			
Antero-posterior Geometry	mSv/hr	4.104e-003	4.318e-003
Postero-anterior Geometry	mSv/hr	1.811e-003	1.902e-003
Left Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	2.224e-003	2.335e-003
Right Lateral Geometry	mSv/hr	0.000e+000	0.000e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	2.224e-003	2.335e-003
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.836e-003	2.980e-003

開始 101報告 收件匣 - Micro... RE 檔案二 - ... 101報告 101年DOE新資 美國能源部來... DOE家台訓練... MicroShield 8.0... 下午 06:31

核子事故緊急應變

國軍航空

空中偵/監測污染調查執行規範作業程序書

核能研究所

中華民國一〇二年八月二十日

核子事故緊急應變

國軍航空

空中偵/監測污染調查執行規範作業程序書

一、目的

空中偵測系統(Aerial Measuring System, AMS)用途，為因應當核子反應器意外或放射性物質散布事故時，於緊急情況，提供一個快速的輻射和污染的偵測與監測調查。空中偵/監測並可量測確認大面積地表污染及判定放射性核種污染範圍，以供採取即時防護行動和後續清理行動。

明定國軍航空執行核子事故北/南部輻射監測中心（以下簡稱本中心）輻射偵測隊機動空中偵/監測污染調查規範作業程序，俾於核能一廠、核能二廠、核能三廠、龍門核電廠發生異常事件時，能確實及時地執行事故電廠鄰近空域空中輻射偵測任務。

二、適用範圍

核能一廠、核能二廠、核能三廠、龍門核電廠演習或發生核子事故時，國軍航空隊，對於事故電廠鄰近地區執行空中輻射偵/監測作業之依據。

空中偵測系統(AMS)的應用：

1. 空中偵/監測污染調查
2. 空中輻射源搜尋調查

三、依據文件

1. 核子事故緊急應變法(民國 94 年 7 月 1 日施行)。
2. 核子事故緊急應變基本計畫(民國 98 年 5 月 27 日修正)。
3. 核子事故輻射監測中心作業要點(民國 94 年 7 月 1 日生效)。
4. 核子事故緊急應變北/南部輻射監測中心空中機動偵測儀作業程序書(民國 102 年 6 月 28 日/民國 102 年 8 月 xx 日生效)。

四、通則說明

1. 空中能譜測量為一快速且進行大面積污染偵測的方法。量測可使用高純鍺(HPGe) 能譜儀偵測器或 NaI (Tl) 偵測儀器。
2. 空中加馬能譜量測受到地形（森林、建築物等）的結構和其他因素，用於偵測地表土壤中的放射性核種的污染分布和分布轉換係數之間會有不同的差異性。
3. 偵測器的反應光子能量和入射角的函數（包括直升機本身可能的自我屏蔽）必須確知。因此，進行空中測量前加馬能譜儀需先行校準。定期檢查可確保加馬能譜儀系統的正常運作。
4. 對於快速確定並研判地面污染範圍，可比較地面取樣分析結果與空中偵測結果予以校準。
5. 一般情況，直升機搜尋偵測使用下列不同的搜尋飛行模式：

(1) 平行軌跡搜尋(Parallel Track Search) — PT

敘述：平行直線飛行軌跡，平行飛行軌道間隔距離須小於 2 倍的飛行高度(或間隔距離為 300 公尺)。

適用範圍：應用於平坦或丘陵地形測量。

(2) 線搜尋(Line Search) — LS

敘述：沿著指定的路線飛行（如道路，鐵路軌道，河流），與平行飛行軌道的距離須小於 2 倍的飛行高度(或間隔距離為 300 公尺)。

適用範圍：沿交通幹線量測。

(3) 輪廓線(沿等高線) 搜尋(Contour Search) — CS

敘述：沿地形等高線飛行。

適用範圍：應用於深切或山區地形量測。

(4) 穿越搜尋(Penetration Search) — PS：

敘述：從不同的地標軌道穿越飛行。

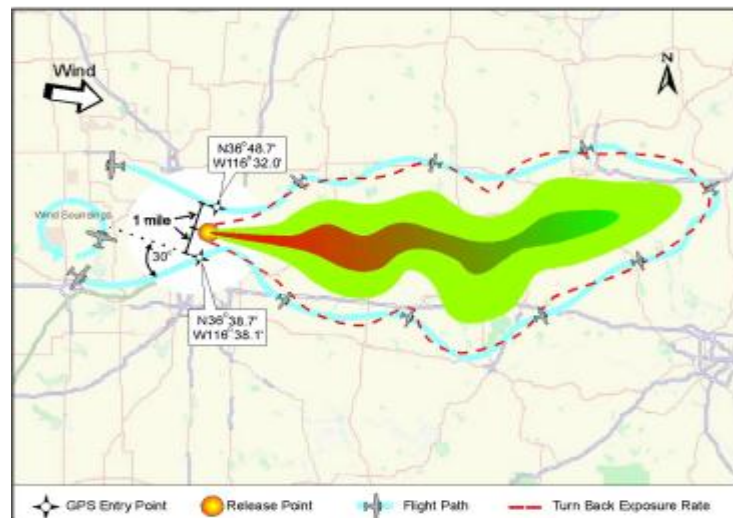
適用範圍：快速檢測污染範圍的區域邊界。

6. 空中偵測飛行任務：

(1) 煙羽評估任務：

適用範圍：界定空浮煙羽擴散方向與範圍。

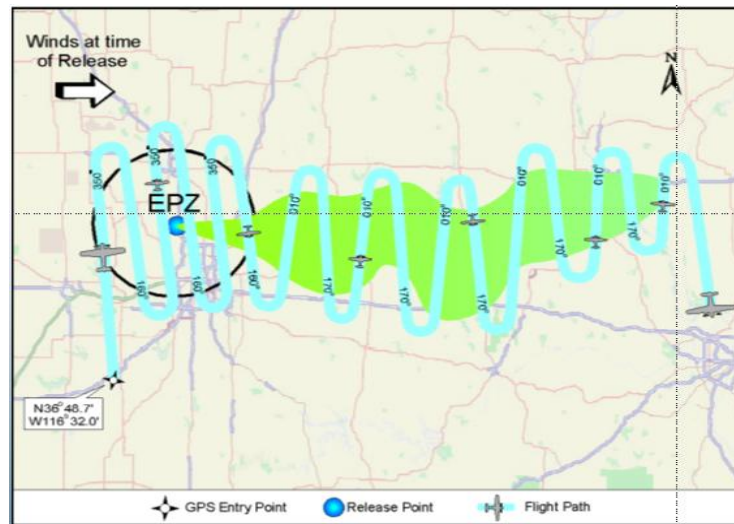
執行偵測：— 取得位於外釋上風向之背景值。
— 沿煙羽邊緣飛行，維持偵檢器讀值在背景值 10 倍左右。
— 於快速檢測污染範圍的區域邊界。如圖示。



(2) 沉降評估任務：

適用範圍：判定沉降範圍。

執行偵測：— 涵蓋全部緊急計畫區域。
— 持續往下風向方向飛行，直到判定出沉降範圍的終點。
— 沿沉降區域的中心線返航飛行偵測。
— 於執行輻射煙羽落塵沉降調查時，飛行方向與風向呈直角，往下風方向迂迴繞行通過，如圖示。

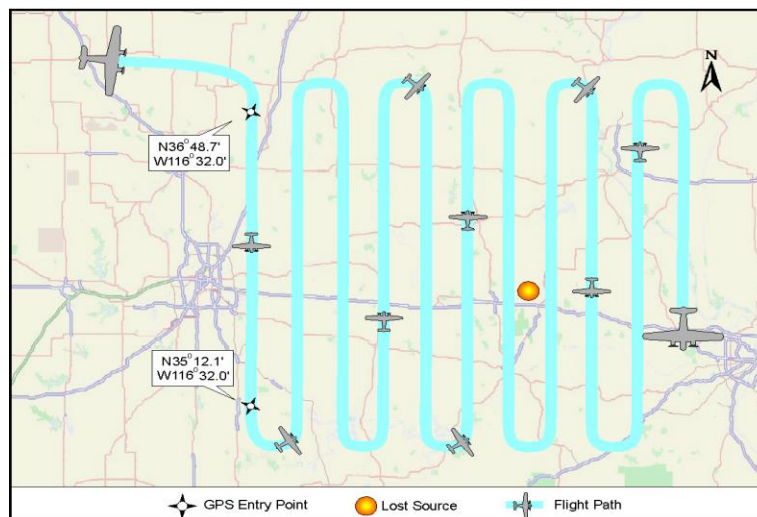


(3) 調查任務：

適用範圍：背景調查、射源找尋、放射性散布的意外事故、或沉降污染特性調查。

執行偵測：— 以平行飛行路徑涵蓋目標區域，如圖示。

— 平行飛行間隔須小於 2 倍的飛行高度。



7. 各類型應用於空中偵測系統的偵測結果可繪製污染範圍。需要同時蒐集測量參數（海拔高度、飛行速度、座標、測量時間等），以繪製污染範圍圖。

8. 空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行(150～1500 公尺雲層下的可見性)。
9. 本程序為一般性空中偵/監測調查規範作業程序。在實際緊急應變過程中，需依所使用的特定能譜儀系統制定特定偵測程序，例如使用進步型輻射能譜量測電腦系統(SPARCS-A)。
10. 劑量安全管制限值；
 - (1) 劑量率： 1 mSv/h 且/或 總劑量： 5 mSv 。
 - (2) 事故應變劑量限值；
 - 調查任務：0.015 Sv
 - 管控處理任務：0.025 Sv
 - 最大可容許限值： 0.05 Sv

五、飛行任務編組/權責

任務編組指揮官

提供任務的技術指引，並訂定飛行參數以獲得最佳的偵測靈敏度；進行飛行前簡報。

輻射操作

與機械技師一同安裝SPARCS系統，並進行功能操作測試，於飛行任務時監看筆記型電腦螢幕，並提報輻射異常狀況。

機長

協調飛行器操控，並提出飛行計畫與放棄執行計畫之飛行限制，進行飛行前簡報。

駕駛

協調飛行操控。

機械技師

協助輻射技師安置SPARCS，放置GPS與連接SPARCS電源。

限制/警告

1. 飛行時應避免通過受污染的空氣層，以避免人員接受曝露和偵測設備遭受污染。如懷疑通過受污染的空氣層，降落後需檢測飛機機身與偵測儀器，確認污染程度。
2. 空中搜尋偵測，需於氣象條件良好的白天，執行目視飛行(150~1500 公尺雲層下的可見性)。

六、空中偵/監測調查規範作業程序

(一) 任務派遣之前

Step 1

設備/補給品整備

- 一般偵測設備(手提式 β/γ 輻射偵測器 1 部)。
- 個人防護裝備(劑量佩章、個人劑量示警器、防護衣物、呼吸面具)。
- 空中輻射能譜量測電腦系統 SPARCS-A (SPectral Advanced Radiological Computer System-Aerial)。
- 直升機或固定翼飛機
 1. 準備適當的輻射偵測設備、個人輻射防護裝備。
 2. 輻射偵測儀器、SPARCS-A 設備測試檢查。
 3. 獲得氣候條件與預報情況的資訊。
 4. 獲得有關偵測範圍的資訊。
 5. 從輻射偵測評估/環境分析處接受使用相同座標系統的資料。
 6. 環境分析/輻射評估單位人員現況簡報與分派任務。

Step 2

任務規劃 (飛行計畫)

任務的規劃以書面計畫書(飛行計畫)告知所有成員任務需求與預期目標，內容如下：

- 規劃涵蓋項目：

1. 量測對象 (同位素射源、活度、屏蔽)。
2. 量測方法 (量測平台、地面速度、高度、界線、航線間距)。
3. 數據需求(量測之品保/品管、校正紀錄、調查資料)。

- 任務參數：

1. 飛行高度(地表高度 -AGL)。
2. 航線間距(一般為 2 倍之飛行地表高度)。
3. 起始點。
4. 初始方向。

- 任務規劃及記錄表：

1. 出勤任務規劃表(範本)如表 1。
2. 空中偵測任務飛行記錄如表 2。

(二) 任務派遣飛行前簡報

Step 3

飛行前簡報說明

- 任務資料。

1. 任務說明
2. 任務需求
3. 標準作業程序
4. 飛行危險/預防
5. 氣象
6. 依任務職位介紹機組成員

- 飛行資料

1. 到進入點的路徑(由上風向進入)
2. 決定風高
3. 訂出調查區域/線坐標

- 機組員職責
 1. 機組員資格/適當性
 2. 個人防護裝備
 3. 上機順序
 4. 機組員於飛行中的行動
 5. 通訊器材的使用
- 飛行器配備
 1. 滅火器/位置/操作
 2. 急救箱/位置
 3. 安全帶/駕駛員安全帶/操作
 4. 無線電耳機/位置/操作
- 緊急狀況
 1. 緊急逃生設施/位置與操作
 2. 救生設備位置
 3. 特殊救生設備用法
 4. 緊急氧氣使用
 5. 迫降程序
 6. 逃生口與會合程序
- 放射性安全
 1. 機艙內持續空氣監測
 2. 機組員配戴劑量警報器
 3. 定義返航輻射限值

Step 4

根據環境分析/輻射偵測評估的說明：

1. 設置直讀式個人劑量示警警報。
2. 穿戴適當的個人防護裝備。

(三) 飛行前檢查

注意事項：

直升機或固定翼飛行器上操作人員的執执行程序、飛行任務所需要的許可證明、燃料與潤滑油、後勤補給等，必需遵守國家飛行相關法令規定。

Step 5

檢查空中輻射能譜量測電腦系統安裝無明顯損壞，檢查正常。

Step 6

飛行載具(飛機)機艙上選擇一個適當的檢測器的安裝位置。

(檢測器的安裝位置，以盡量減少受到直升機或飛機的組件自我屏蔽影響，如油箱等)

Step 7

檢查加馬射線能譜儀系統安裝於直升機或固定翼飛機的機械、電氣安裝的適應性。

Step 8

輻射偵檢系統 SPARCS-A 與飛行器電氣連接檢查，包括雷達高度計和全球定位系統（GPS）的網路連線。如偵檢系統採行動電池連接供電，需檢查供應的電池。

Step 9

當加馬射線能譜儀系統使用高純鍍偵測器時，出發前必須檢查偵測器使用液態氮的填充狀況。(如無，本項則免執行)

注意：

若需使用液態氮，其容積儘可能不超過 5 公升。如液態氮在小空間機艙發生洩漏，可能造成成員缺氧性窒息。此外，洩漏的液態氮也會影響飛行視線，也可能導致眼睛、皮膚損傷和設備的損壞。

Step 10

開啟 SPARCS-A 測量系統進行基本功能測試檢查。

Step 11

設定適當的測量參數，例如測量時間、測量數據貯存週期的設定。

Step 12

在執行飛行之前，需進行：

- 無線電通訊配置檢查。
- 全球定位系統(GPS)檢查。
- 雷達高度計檢查及合格的校正。
- 地面背景輻射量測(SPARCS-A 需已架設在機艙內)。
- SPARCS-A 偵測系統高低能量校正檢查。

注意：

1. 飛行前 SPARCS 系統：

每次飛行前，能量校正，GPS 運作，地圖/衛星影像載入，起飛記錄。

2. 飛行前地面背景輻射量測：

每次飛行前，量測 1 分鐘地面加馬輻射背景（同一起降地點）。

Step 13

記錄保存：所有日誌、檢查表、工作表的相關數據資料。

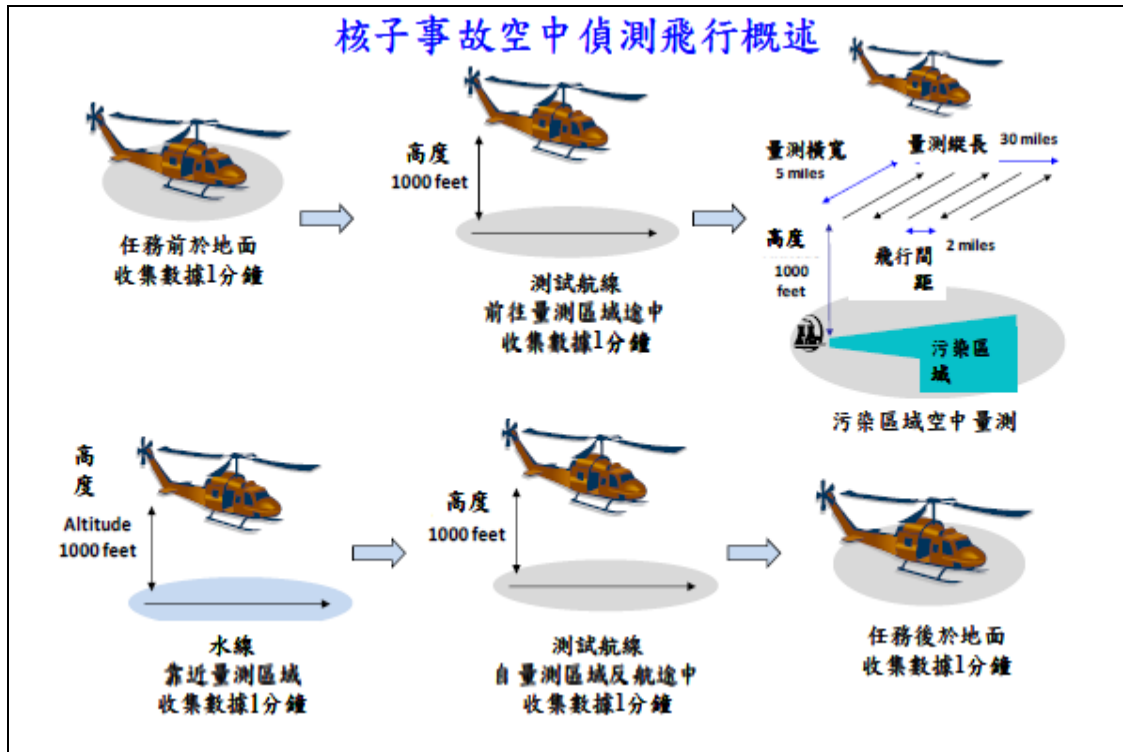
(四) 飛行測定

Step 14

按照輻射監測中心技術組/輻射偵測隊評估提供的預定飛行路線，飛往預定地區，並依測量序列進行偵測。如下列圖示：

- 前往量測區域途中測試航線
- 污染區域空中量測
- 靠近量測區域水線
- 自量測區域返航途中測試航線

核子事故空中偵測飛行概述



注意：

1. 測試航線 - 地表加馬 + 背景輻射：
每次飛行過程中，至量測區域途中，以量測高度在測試航線上飛行 1 分鐘。
2. 量測區域上方曲折式飛行路線：
於量測飛行高度由進入點進入量測區域。
由外釋點(RP)上風處的 10 英哩緊急應變計畫區(EPZ)開始以曲折路線飛行，並往下風向進行。
3. 水線 - 加馬射線背景：
每次飛行過程中，以距離地面 1000 英尺高度在水線上飛行 1 分鐘。
4. 測試航線 - 地表加馬射線 + 背景：
每次飛行過程中，由量測區域反航途中，以量測高度在測試航線上飛行 1 分鐘。

根據不同的情況和主管機關的要求，建議飛行的參數如下：

1. 飛行高度：飛行時根據地形和景觀（樹林、建築物、電力線等）。使用直升機，一般飛行離地面 90~120 公尺以上，飛行高度盡可能保持恆定(直升機應該盡量遵循地形結構，安全第一)。固定翼飛機的飛行高度通常較高。
2. 飛行速度：按照與直升機或飛機使用的特性。直升機的飛行速度建議在每小時 60~150 公里之間。
3. 在飛行調查中偵測檢查。

說明：依據程序書，在空中調查期間應檢查能譜系統的增益、高壓、能峰位置、能量漂移等。檢查測量數據、高度、GPS 數據不但明顯有用且必須做。空中調查檢查可事先依步驟訂出所需的檢查項目。

說明：
測量參數（高度、飛行速度、座標、測量時間）的收集與貯存應同時有相對應的輻射偵測數據。這些數據可用來繪製污染範圍圖。

(五) 飛行著陸

Step 15

1. 按照儀器使用程序再行檢查、確認測量系統的功能常。
2. 任務後地面背景輻射量測(SPARCS-A 需架設在機艙內)。

Step 16

所有相關數據應記錄於日誌並偵檢量測數據建立保存。通知輻射監測中心技術組執行環境分析技術組與輻射偵測隊劑量評估單位有關空中量測中任何的差異事項及偵測結果提報。

Step 17

直升機、飛機機身、機艙內和偵測設備之使用後表面污染檢查，確認無污染狀況。

Step 18

機組人員全身表面污染檢查，確認無污染狀況。

機組人員身體表面，飛機、直升機機身、機艙內和偵測設備之使用後表面污染偵檢，如發現有污染狀況，應與清除，需確認無污染。

表 1 出勤任務規劃表

首航線：			
起始點	緯度_____	經度_____	
終止點	緯度_____	經度_____	
概略航向	_____磁航向	地理航向	(擇一)
航線間距 _____			
總行線數 _____			
行進方向	_____磁航向	地理航向	(擇一)
任務地面速度 _____節			
任務高度 地表高度 _____英呎			

表 2 空中偵測任務飛行記錄表

調查地點：				頁	
起始時間	結束時間	路線 #	說 明	航班 #	日期
			記錄每項任務的開始/結束時間或飛行路線		
				飛機類型	
			飛行前 1 分鐘地面數據	飛機編號	
			測試航線量測高度	飛行員 1	
			水線量測高度	飛行員 2	
			飛行後 1 分鐘地面數據	操作員 1	
				操作員 2	
			高度分佈 1 分鐘在 600、800、1000、1200、1400、1600 feet (地面)	偵測系統	SPARCS-A
			高度分佈 1 分鐘在 600、800、1000、1200、1400、1600 feet (水面)		
				偵測系統 SPARCS-A	
		1	偵測路線 1	偵測頭	校正
		2	偵測路線 2	5 x 10 x 40cm	
		3	偵測路線 3	5 x 10 x 10cm	
				2.5 x 2.5 cm	
				飛行參數	
				偵測高度 (feet)	
				速度(knots)	
				行距(feet)	
				溫度	
				空氣壓力	
				Heading 1	
				Heading 2	
				釋放點(RP)	
				緯度	經度
				進入點(EP)	
				緯度	經度
簽名： 組長(隊長) 操作員					