

行政院原子能委員會  
委託研究計畫期末研究報告

## 輻射事件應變技術開發與研究 (3/4)

## Research on the emergency- response technology for the radioactive events(3/4)

GRB 系統科技計畫編號：PG11103-0354

受委託機關(構)：原子能委員會核能研究所

計畫主持人：袁明程

聯絡電話：(03)4711400 ext 7673

主要工作項目負責人：許玉霞、林聰得、鄧仁星

聯絡人：許玉霞

報告日期：111 年 12 月 29 日



## 中文摘要

今年完成之工作重點計有建置訓練研發中心展示室，提出輻射應變技術隊程序書精進建議。持續發展放射性物質擴散模擬分析能力，整合 RESRAD RDD 建置轉換資訊模組、優化 CALPUFF 模式、完成臺灣建物資訊資料庫轉換模組。增加輻射事件應變資訊平台（下稱資訊平台）匯入遠端遙控行動式輻射偵測平台（下稱偵測平台）影像、簡訊發送通知功能。增加偵測平台影像匯至資訊平台功能、建置夾取非破壞性檢測導管夾具。完成輻射偵測團隊課程與資訊平台及偵測平台使用教學。

關鍵字：輻射災害、緊急應變

## 英文摘要

The focus of the work completed this year includes the establishment of a training and R&D center display room, and suggestions for improving the program book of the Radiation Response Technical Team. Continue to develop the simulation and analysis capabilities of radioactive material diffusion, integrate RESRAD RDD to build and convert information modules, optimize the CALPUFF model, and complete the Taiwan building information database conversion modules. Increase the radiation event response information platform (hereinafter referred to as the information platform) to import the remote control mobile radiation detection platform (hereinafter referred to as the detection platform) image files, SMS notification function. Added the function of importing images from the inspection platform to the information platform, and built a clamp for non-destructive inspection catheters. Complete the radiation detection team course and the teaching of using the information platform and detection platform.

Keywords: radiation disaster, emergency response

## 目錄

一、	前言 .....	1
二、	研究目的 .....	2
(一)	強化輻射應變技術 .....	2
(二)	完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP.....	2
(三)	放射性物質擴散分析能力建立 .....	2
(四)	建置遠端遙控行動式輻射偵測平台 .....	2
(五)	建置輻射災害應變資訊平台 .....	3
三、	研究方法、過程、結果與產出 .....	4
(一)	強化輻射應變技術 .....	4
(二)	完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP.....	16
(三)	放射性物質擴散分析能力建立 .....	22
(四)	建置遠端遙控行動式輻射偵測平台 .....	58
(五)	建置輻射災害應變資訊平台 .....	69
四、	討論與建議 .....	76
(一)	強化輻射應變技術 .....	76
(二)	完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP.....	76
(三)	放射性物質擴散分析能力建立 .....	76

(四)	建置遠端遙控行動式輻射偵測平台 .....	77
(五)	建置輻射災害應變資訊平台 .....	78
五、	參考文獻 .....	79

## 附圖目錄

圖三-1 訓練研發中心相關圖片 .....	6
圖三-2 訓練研發中心展示室試運轉當日圖片 .....	7
圖三-3 訓練現場防疫作為 .....	9
圖三-4 111 年輻應隊訓練全體人員合照.....	10
圖三-5 輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則課程相關照片 .....	11
圖三-6 輻射偵測團隊作業桌上模擬演練課程相關照片 .....	14
圖三-7 遠端遙控行動式輻射偵測平台功能說明與實作課程 .....	15
圖三-8 輻應隊程序書與核研所程序書污染區域劃分標準 <sup>[4][5]</sup> .....	19
圖三-9 IAEA 文件與 NUSTL 影片熱區擴大劃分標準 <sup>[2][3]</sup> .....	20
圖三-10 桃園國際機場二航廈輻射彈假想擺放位置 .....	29
圖三-11 台中國家歌劇院輻射彈假想擺放位置 .....	30
圖三-12 桃園國際機場輻射彈事件模擬範圍 .....	30
圖三-13 黃色框為台中國家歌劇院輻射彈事件模擬範圍 .....	31
圖三-14 黃色框為台南市永樂市場輻射彈事件模擬範圍 .....	31
圖三-15 黃色框為新北市市政府輻射彈事件模擬範圍 .....	32
圖三-16 黃色框為高雄市漢神巨蛋輻射彈事件模擬範圍 .....	32
圖三-17 根據操作指引分類 11 種核種對應可停留時間及計算網格上可停留時間及空間劑量率 .....	40
圖三-18 CALPUFF 輸出的空氣活度濃度分布轉換成空間劑量率 ....	41
圖三-19 CALPUFF 模擬桃園國際機場輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	42
圖三-20 CALPUFF 模擬桃園國際機場輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	42

圖三-21 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	43
圖三-22 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	43
圖三-23 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。 .....	44
圖三-24 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。 ....	44
圖三-25 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。 .....	45
圖三-26 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。 ....	45
圖三-27 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	46
圖三-28 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。 .....	46
圖三-29 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	47
圖三-30 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。 .....	47

圖三-31 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。.....	48
圖三-32 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。.....	48
圖三-33 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。.....	49
圖三-34 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。.....	49
圖三-35 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。.....	50
圖三-36 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。.....	50
圖三-37 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。.....	51
圖三-38 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。.....	51
圖三-39 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累	

積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	52
圖三-40 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。 .....	52
圖三-41 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	53
圖三-42 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。 .....	53
圖三-43 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	54
圖三-44 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。 .....	54
圖三-45 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	55
圖三-46 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。 .....	55
圖三-47 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。 .....	56
圖三-48 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為南風，核	

種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。	56
圖三-49 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m <sup>3</sup> )。	57
圖三-50 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為 mSv/h)。	57
圖三-51 GAM100 加馬射線照射器。	59
圖三-52 電動雙片式夾爪展示	60
圖三-53 市售機械手臂常用夾爪類型	60
圖三-54 磁吸性機能性管式夾爪架構示意圖	61
圖三-55 管件及箱體待夾物件樣品	62
圖三-56 管式夾爪配置電磁裝置	62
圖三-57 管式夾爪與電磁模組操作介面	63
圖三-58 管式樣品抓取試驗	63
圖三-59 夾爪端搭載 Intel D435i 深度相機	64
圖三-60 圖像式物件夾取流程圖	65
圖三-61 中控端圖像視覺夾取操作畫面	65
圖三-62 圖像視覺夾取-物件框選	66
圖三-63 圖像式視覺物件夾取測試與電動收納	66
圖三-64 輻射偵測平台鏡頭配置與即時影像串流	67
圖三-65 影像擷取流程設計規劃圖	68
圖三-66 手動上傳圖像資料至核研所雲端空間	68
圖三-67 資訊平台研究產出圖示一	71
圖三-68 資訊平台研究產出圖示二	73

圖三-69 資訊平台研究產出圖示三 .....	74
圖三-70 資訊平台研究產出圖示四 .....	75

## 附表目錄

表三-1 111 年輻應隊年度訓練課程表.....	7
表三-2 課後滿意度調查結果統計表 .....	16
表三-3 緊急進出事故區域之停留時間 .....	27
表三-4 桃園市及台中市之輻射彈假想擺放位置及 5 公里模擬範圍邊界 經緯度。 .....	28
表三-5 模擬設定核種釋放率 .....	28
表三-6 台南市、新北市及高雄市之輻射彈假想擺放位置及 1 公里模擬 範圍邊界經緯度 .....	28
表三-7 建物組態檔運跑時間示意圖 .....	29
表三-8 不同水平解析度下 CALMET 及 CALPUFF 的運跑時間 .....	38
表三-9 不同垂直分層下 CALMET 及 CALPUFF 的運跑時間 .....	38
表三-10 5 層垂直解析度下 CALMET 及 CALPUFF 的運跑時間 .....	39

## 一、前言

我國行政院原子能委員會(下稱原能會)為促進輻災防救技術發展，改善訓練場所與教材不足之問題，於 108 年開始推動成立輻災防救訓練研發中心(下稱訓練研發中心)，協商本所提供 012A 館 1 樓與其側門相鄰之戶外空地，做為訓練研發中心室內及戶外基地。

從而透過委託本所進行本研究計畫，期程自 109 年至 112 年，預計共 4 年，由本所規劃、進行訓練研發中心各項工作：

- 強化輻射應變技術
- 完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP
- 放射性物質擴散分析能力建立
- 建置遠端遙控行動式輻射偵測平台
- 建置輻射災害應變資訊平台

今年為整體計畫之第 3 年，重點工作計有完成建置訓練研發中心展示室，提出輻射應變技術隊程序書精進建議。持續發展放射性物質擴散模擬分析能力，整合 RESRAD RDD 建置轉換資訊模組、優化 CALPUFF 模式、完成臺灣建物資訊資料庫轉換模組。增加資訊平台匯入偵測平台影像、簡訊發送通知功能。增加偵測平台影像匯至資訊平台功能、建置夾取非破壞性檢測導管夾具。輻應隊訓練規劃延續 109、110 年個人基礎課程，開始進入輻射偵測團隊訓練，並首度引入資訊平台及偵測平台使用教學。

## 二、研究目的

### (一) 強化輻射應變技術

為展示我國輻射應變技術與設備，例如放射性物質擴散模擬分析、偵測平台、應變平台、輻射偵檢儀器、個人防護裝備等，提供國內外災防體系貴賓、協力團隊來訪與交流，與應變人員訓練時使用，建置訓練研發中心展示室。

為使大規模輻射事件（例如輻射彈爆炸事件）發生時，輻應隊應變人力與資源能有效整合運用，今年輻應隊訓練開始納入輻射偵測團隊桌上型演練相關課程、及偵測平台與應變平台之教學。

### (二) 完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

輻應隊平時整備工作需要與時俱進，針對輻射應變技術隊程序書提出精進建議，並視經費狀況，補足相關應變設備或器材。

### (三) 放射性物質擴散分析能力建立

為將 109 年至 110 年間放射性物質擴散模擬分析研究成果之空間濃度分布轉換為地面劑量分布，提供應變時更直覺式的資訊，故整合 RESRAD RDD 建置轉換資訊模組，並建置匯出劑量評估分布圖層功能。

為提升整體模擬程式運算速度，降低分析所需的時間，以提高資訊的時效性，今年進行優化 CALPUFF 模式，並完成內政部臺灣建物資訊資料庫轉換模組，建立應變時模擬程式可初次應用之資料庫。

### (四) 建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

因應非破壞性檢測射源脫落需回收之事件，設計偵測平台搭載導管夾取夾具，降低回收射源時，應變人員近距離靠近射源時間與人員劑量。

為提升應變時資訊交換效能，增加偵測平台影像匯至資訊平台功能。

#### (五) 建置輻射災害應變資訊平台

為提升應變時資訊交換效能，增加資訊平台顯示偵測平台影像功能，以及疊加前述劑量評估分布圖層至電子地圖功能。為使輻應隊能迅速收到出勤通知與報到，建置簡訊發送通知出勤與登入資訊平台報到之功能。

### 三、研究方法、過程、結果與產出

本年度研究計畫工作項目依原能會核定版本計畫書執行，各項目研究方法、過程與產出詳述如下：

#### (一) 強化輻射應變技術

##### 1. 研究方法

輻應隊訓練參考美國國家都市安全技術實驗室 (National Urban Security Technology Laboratory, 下稱 NUSTL) 於 2017 年 11 月所發行之報告[1]，及 NUSTL 於 2019 年所公開之影片 (編號 LLNL-VIDEO-764457) [1]，設計輻射彈事件初期 100 分鐘應變情境範例影片，搭配應變資訊平台依應變時序設計課題，透過課堂講授、情境模擬、案例分析、示範演練、實物操作、分組討論等方式進行。

##### 2. 研究過程

有關訓練研發中心展示室之初步建置，大部分所需之財物採購與安裝，經由公開招標採最低標方式完成。此外，依共同供應契約，裝設數位講桌之電腦設備、分離式冷氣；依本所開口合約進行網路佈放、無線網路基地台裝設；為與所內各館門牌統一樣式，門牌則另以小額採購辦理。

本次輻應隊訓練，與 109、110 年著重於個人基礎訓練不同，進入輻射偵測團隊課程，故採用應變範圍較為廣大之輻射彈爆炸事件作為標的。輻射彈爆炸事件參考 NUSTL 報告[1]，依時間軸分為 5 階段「任務」(整體應變策略): 辨別(Recognize)、通報(Inform)、啟動(Initiate)、量測與圖像化(Measure & Map)、疏散與監測(Evacuate & Monitor)，各階段共分 10 個「戰術」(可執行的應變行動)，戰術則由各獨立運作的區域或應變單位執行。

其中，戰術 8<sup>[1]</sup>輻射狀況量測與繪圖，和戰術 10<sup>[1]</sup>監測與除污

的內容，與我國輻射彈事件主管機關原能會轄下之輻應隊，協助地方處理職責有最密切關係。考量我國國情，以及監測與除污屬於事件初期應變期的末端，跨越到中期的部分，預期當輻應隊抵達現場時，盡速協助輻射狀況量測與繪圖當是首要工作。

除參考文件外，課程亦搭配資訊平台與電子地圖，與放射性物質擴散模擬分析圖層結果，進行設計，提供學員時序性、圖像化等情境模擬桌上型演練內容。

### 3. 研究產出

訓練研發中心相關圖片如圖三-1，初步建置完成展示室可供10人左右之團體參訪或訓練，展有各項輻應隊常用之輻射偵檢儀器，搭配戶外空間可進行應變平台或偵測平台使用訓練。



展示室原貌 (111.01.11)



展示室簡報空間現況 (111.11.11)



展示室儀器陳列現況 (111.11.11)



戶外場地現況 (111.11.11)

圖三-1 訓練研發中心相關圖片

展示室並於10月6日併同輻應隊年度訓練開始試運轉如圖三-2，課程表如表三-1。



輻應隊 A 組學員合照



輻應隊 B 組學員合照

圖三-2 訓練研發中心展示室試運轉當日圖片

表三-1 111 年輻應隊年度訓練課程表

時間	課程名稱	時數	主持人/講師
8:30 至 8:50	量體溫、報到	-	本所 彭恩琪、盧仲信
8:50 至 9:00	開場	-	原能會黃俊源副處長、 本所袁明程副組長
9:00 至 9:50	A 組:遠端遙控偵測平台功能說明與實作 B 組:輻射偵測團隊作業桌上模擬演練 I II	1 小時	A 組:本所林聰得博士 B 組:本所黃昭輝(前)副研 究員
10:00 至 10:50	A 組:輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則 B 組:輻射偵測團隊作業桌上模擬演練 III - 1	1 小時	A 組:本所楊雍穆副研究員 B 組:本所黃昭輝(前)副研 究員

11:00 至 11:50	A 組:輻射偵測團隊作業桌上模擬演練 I II B 組:輻射偵測團隊作業桌上模擬演練 III-2	1 小時	A 組:本所黃昭輝(前)副研 究員 B 組:本所楊雍穆副研究員
12:00 至 12:50	經驗交流	-	本所 彭恩琪、盧仲信
13:00 至 13:50	A 組:輻射偵測團隊作業桌上模擬演練 III - 1 B 組:輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則	1 小時	A 組:本所黃昭輝(前)副研 究員 B 組:本所楊雍穆副研究員
14:00 至 14:50	A 組:輻射偵測團隊作業桌上模擬演練 III-2 B 組:遠端遙控偵測平台功能說明與實作	1 小時	A 組:本所黃昭輝(前)副研 究員 B 組:本所林聰得博士
15:00 至 15:20	綜合討論 掃 QR Code 簽退、填寫問卷、賦歸	-	本所許玉霞

訓練現場因應國內嚴重性傳染肺炎疫情，實施多項防疫措施，包含透過掃描 QR-Code 方式簽到退，與填寫課後問卷，以降低群聚時間，並備有額溫計、消毒酒精、快篩試劑、醫用口罩等防疫物資如圖三-3，參與人員除用餐、飲水、照相外，均須全程配戴醫用口罩；全體參訓人員開幕合照如圖三-4。



圖三-3 訓練現場防疫作為



圖三-4 111 年輻應隊訓練全體人員合照

輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則課程由本組楊副研究員雍穆主講，搭配情境模擬影片依時序解說，並提供進一步補充資料，如圖三-5。



圖三-5 輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則課程相關照片

輻射偵測團隊作業桌上模擬演練課程延續前述輻射彈事件應變情境與導則，由本所保健物理組退休人員黃(前)副研究員昭輝深入探討輻射偵測與繪圖，及疏散與監測任務，讓學員學習輻射彈事件之爆炸區域、下風向 1 公里橫切線、鄰近區域之偵測與繪圖任務，以及 10 點測量計畫、偏遠地區等大區域(wide area)及設施之團隊輻射偵測規劃，評估疏散瓶頸點(chokepoint)、與人員污染偵檢站(checkpoint)設立地點。接續依輻應隊應變時序與任務，同時示範介紹資訊平台各功能予學員，亦請氣象局助教事先模擬板橋運動場發生輻射彈事件劑量分布範圍，並產出 KMZ 格式的檔

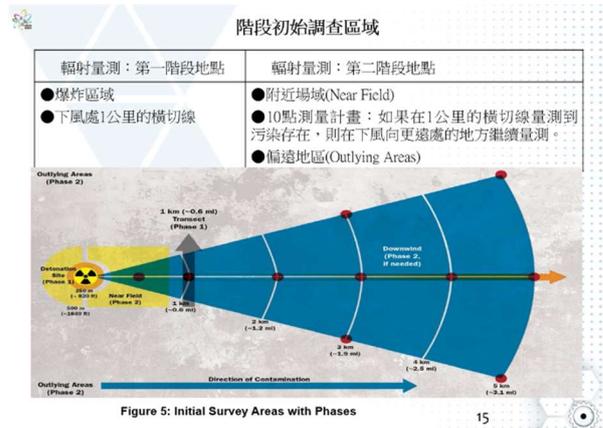
案。KMZ 檔內部包含了主要的 KML 檔案與零個到多個支援檔案，而 KML 檔案是種多功能的地理數據格式，在 Google 發展下，它可以將網頁、圖片、模型..等各種媒體檔案應用於 Google 地球相關軟體中（Google Earth，Google Map, Google Maps for mobile...），用於顯示地理資料（包括點、線、面、多邊形，多面體以及模型...）。而現在很多 GIS 相關企業也追隨 Google 開始採用此種格式進行地理資料的交換。將這些檔案使用壓縮（ZIP）工具包裝成一個的單位，所有檔案就可被儲存在 KMZ 檔裡並以單一個體進行傳送與分享，藉此可提供學員於課堂中上載並疊加至資訊平台之電子地圖上，學習協助未來事件發生時預擬警戒區、疏散區及疏散瓶頸點與偵測計畫，在訓練研發中心展示室大型觸控螢幕，進行應變資訊平台管理端網頁操作，並鏡像講師應變資訊平台現場端手機操作畫面，加入放射性擴散模擬劑量分布，並經由展示室提供無線網路、配合學員手機，完成偵測團隊桌上型演練如圖三-6。



上課照片



黃昭輝講師



輻射量測區域示意圖



應變平台線上繪圖功能

簡訊通知

Step 1: 簡訊種類

出勤  準備

Step 2: 組別

技術組南二小隊

技術組南一小隊

技術組北二小隊

技術組北三小隊

技術組北一小隊

參謀組

發送簡訊通知出勤

0911518270

radresp.radmon.info/m2

「111年輻應隊訓練」於「2022-07-07」於「新北市板橋體育場」發生，您為「技術組北一小隊組員」，請點選「<http://xhost.tw/m/>」登入成功後，前往「核研所」集結，您的直屬長官為「蘇軒毅，北一測站1」，手機號碼為「0988000000」。>

輻射事件應變資訊平台  
現場端

請輸入使用者名稱(e-mail)

請輸入密碼

登入

點選簡訊登入報到



線上儀器部署

線上任務回報

疊加放射性物質擴散模擬劑量率圖

管理端與現場端同步演練

圖三-6 輻射偵測團隊作業桌上模擬演練課程相關照片

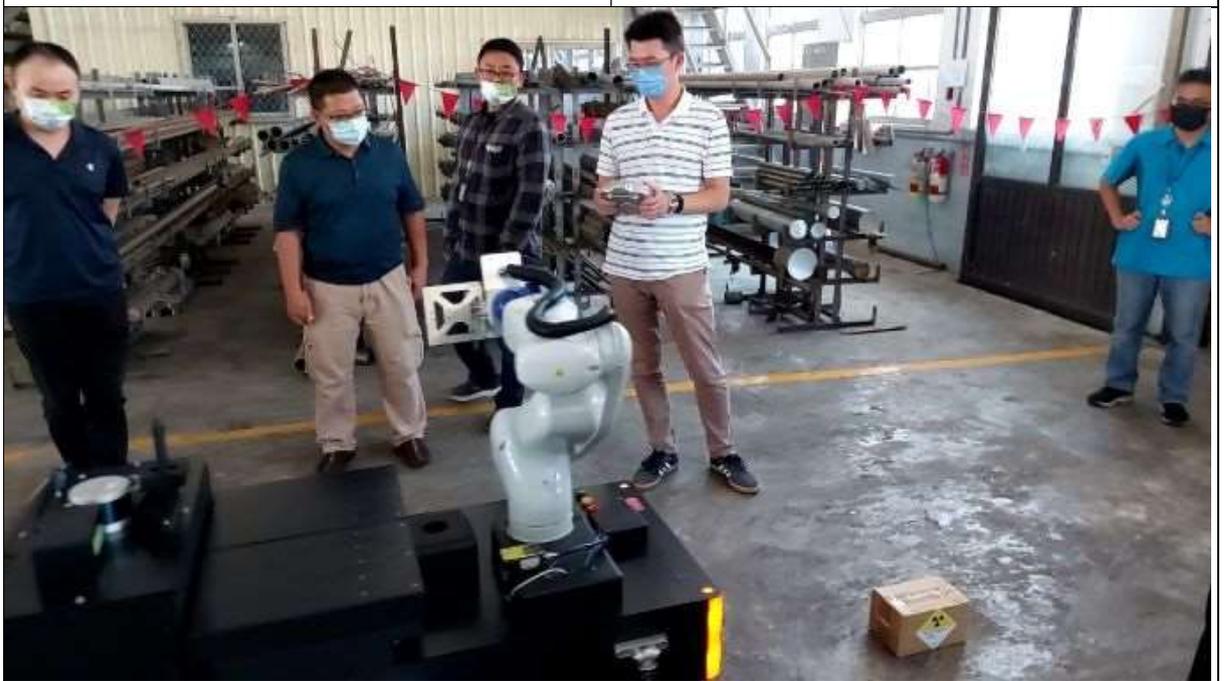
遠端遙控偵測平台功能說明與實作課程由本所林聰得博士與鍾正邦助理工程師主講，進行功能說明與操作教學，並經由實機操作遠端遙控載具移動、機械手臂夾取及收納搬運等訓練如圖三-7，使學員可於輻射事件緊急應變處置時，善用本平台提升處置效率並強化作業人員安全。學員反應熱烈，紛紛表示課程時間不夠。



偵測平台硬體架構設計介紹



學員操作照片一



學員操作照片二

圖三-7 遠端遙控行動式輻射偵測平台功能說明與實作課程

本次輻應隊訓練共計 31 位學員參加，回收 26 份課後有效問卷。課程滿意度部分，以輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則課程滿意度最高(非常滿意加上滿意)為 96.15%，輻射偵測團隊作業桌上模擬演練課程與遠端遙控偵測平台功能說明與實作課程，則各有 92.31%與 88.46%。課程時數部分，學員認為剛剛好的比例各課程均在 73%以上，應刪減時數的比例(應刪減 25 分鐘加上應刪減

50 分鐘)，均在 4%以下；應增加的比例(應增加 25 分鐘加上應增加 50 分鐘)以遠端遙控偵測平台功能說明與實作課程最高，為 26.92%，時間不足為造成課程滿意度下降之原因；輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則課程與輻射偵測團隊作業桌上模擬演練課程，則各為 11.54%及 23.08%。

表三-2 課後滿意度調查結果統計表

滿意度	輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則	輻射偵測團隊作業桌上模擬演練	遠端遙控偵測平台功能說明與實作
非常滿意	46.15%	53.85%	46.15%
滿意	50.00%	38.46%	42.31%
尚可	3.85%	7.69%	11.54%
不滿意	0.00%	0.00%	0.00%
非常不滿意	0.00%	0.00%	0.00%
總計	100.00%	100.00%	100.00%

## (二) 完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

### 1. 研究方法

參考美國國家都市安全技術實驗室 (National Urban Security Technology Laboratory, 下稱 NUSTL)於 2017 年 11 月所發表之準則<sup>[1]</sup>，” 下稱 NUSTL 文件；NUSTL 於 2019 年所公開之影片編號 LLNL-VIDEO-764457<sup>[2]</sup>，下稱 NUSTL 影片；與國際原子能總署 (International Atomic Energy Agency)於 2006 年 10 月所發表之手冊<sup>[3]</sup>，下稱 IAEA 文件；以及本所 111 年 5 月訂定之「核能研究所共

通性輻射防護作業程序」<sup>[4]</sup>，下稱本所作業程序，檢視原能會於 105 年 11 月訂定之「輻射應變技術隊輻射彈事件現場應變作業程序書」<sup>[5]</sup>，下稱輻應隊程序書，提出相關修訂建議。

## 2. 研究過程

### (1) 出勤裝備

- A. 因爆炸事件發生時無法立即量測高放射性濃度煙羽是否已外釋與沿散，加上可能伴隨著城市高樓大廈林立地貌的複雜風場，亦無法即時預測 1 公里內雲團的移動，極需呼吸防護裝具。NUSTL 文件建議位於現場初始第 0-15 分鐘之應變人員，呼吸防護裝具是正壓式全面型供氧式防護面具，然而應變車輛之駕駛可能無法使用，則建議配戴全面罩式具 P100 或 HEPA 濾棉之面罩，並全程關緊車輛門窗，開啟室內循環。
- B. 因輻應隊為第二線到達現場協助輻射偵測之專家，適用於位於現場第 15 分鐘後之應變人員，放射性雲團已經過現場，剩下再懸浮吸入曝露的威脅相對降低許多，使用淨氣式呼吸防護具已足夠提供良好的防護。NUSTL 文件建議使用半面罩式具 P100 或 HEPA 濾棉之面罩，若能直接使用全面罩式可提供更佳的防護。另外，應穿著盡量減少皮膚曝露的值勤服裝以及手套，半罩式面罩應搭配護目鏡防止體表污染。
- C. 參考 NUSTL 文件，第 1 階段輻射偵測目的在於了解是否因特定風向使污染擴散。其中應派出第 1 小隊 2 名隊員負責蒐集輻射資訊，判定危險輻射區域範圍(每小時 100 毫戈雷) 及重新界定熱區邊界，估計輻射污染強度與方向，以及事件現場是否有  $\alpha$  污染。須使用手持具高(戈雷/小時)與低(微戈雷/小時)程偵檢器，另建議準備快速加馬核種辨識儀器輔助判定污染種類。

- D. 第 2 小隊 2 名隊員負責調查下風處 1 公里穿越線，手持低(微戈雷/小時)程並兼具有  $\alpha$  與  $\beta$  污染偵檢器之偵檢器確認是否隨風延散放射性物質。
- E. 第 2 階段第 3 小隊需手持低(微戈雷/小時)程偵檢器，及有  $\alpha$  與  $\beta$  污染偵檢器之偵檢器。負責量測調查引爆區及往污染方向約 1 公里之間的鄰近區域，目的在於確認真正的熱區邊界及輻射污染沉積位置。熱區(大於每小時 100 微戈雷)的區域廣度，可能因城市風場及城市峽谷地貌，將會是複雜而混亂的蹤跡而非圓形或橢圓形。

(2) 熱區初始範圍(未進行輻射或污染量測前)

- A. 目前在輻應隊程序書第 3 頁，以每小時 100 微西弗劃定或依 IAEA 文件第 38 頁訂定熱區範圍。
- B. 而 IAEA 文件第 38 頁建議爆炸點方圓至少 400 公尺為初始熱區安全邊界，經輻射或污染量測後，再依定義擴大熱區範圍。
- C. 另 NUSTL 文件第 21 頁建議爆炸點方圓 250 公尺為初始熱區，經輻射或污染量測後，再依結果擴大熱區範圍，並建議初始掩蔽區為爆炸點方圓 250 至 500 公尺之間，經輻射或污染量測後，再依結果擴大至爆炸點下風向 2 公里區域，或縮小掩蔽區至爆炸點方圓 250 公尺內之範圍，可更有效分配應變能量，使距離爆炸點較近、風險較高之熱區民眾疏散較為順遂。
- D. 因此本研究建議初始之熱區及掩蔽區改採 NUSTL 文件建議。

(3) 熱區擴大劃分標準-依輻射污染程度

- A. 經查輻應隊程序書第 3 頁，伍、已爆彈作業程序之一、輻射防護程序之(二)之 2，有關輻射彈爆炸事故現場污染程度管制區劃分標準，與本所作業程序第 35 頁，輻射工作場所輻射與

污染區域劃分標準，其中低、中、高污染區劃分標準相同如圖三-8，此標準較適合用於平時的輻射管制，於災害發生時恐過於嚴苛，可能阻礙緊急應變資源有效分配，且輻應隊程序書並未訂有相對應低、中、高污染區須執行之應變或防護作業。建議應另尋適合之標準，做為輻應隊程序書中熱區劃分標準之一部分，從而可依據輻應隊程序書熱區管制作業，進行輻射彈爆炸事故現場應變人員與民眾防護措施。

<p>2. 有關輻射彈爆炸事故現場污染程度管制區劃分標準：</p> <p>(1) 低污染區(冷區)：阿伐附著污染<math>&lt;0.4 \text{ Bq}/100\text{cm}^2</math>，貝他/加馬附著污染<math>&lt;4 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2</math>。</p> <p>(2) 中污染區(暖區)：阿伐附著污染<math>0.4\sim 4 \text{ Bq}/100\text{cm}^2</math>，貝他/加馬附著污染<math>4 \sim 40 \text{ Bq}/100\text{cm}^2</math>。</p> <p>(3) 高污染區(熱區)：阿伐附著污染<math>&gt;4 \text{ Bq}/100\text{cm}^2</math>，貝他/加馬附著污染<math>&gt;40 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2</math>。</p> <p><b>輻應隊程序書輻射彈爆炸事故污染管制區劃分標準</b></p>	核能研究所輻射工作場所輻射及污染區域劃分標準					
	區域名稱		輻射劑量率 ( $\mu \text{ Sv/h}$ )	非固著污染 ( $\text{Bq}/100 \text{ cm}^2$ )		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	各輻射作業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	$\geq 1000$			
	區	非污染區		背景	背景	
		低污染區		$<0.4$	$<4$	
中污染區			$<4$	$<40$		
高污染區			$\geq 4$	$\geq 40$		
核研所輻射工作場所污染區域劃分標準						

圖三-8 輻應隊程序書與核研所程序書污染區域劃分標準<sup>[4][5]</sup>

- B. 接續參考 IAEA 文件第 73 頁，有關輻射事件安全邊界/熱區之劃分標準，以及 NUSTL 影片，有關輻射彈事件熱區定義如圖三-9，兩者劃分標準相同，均建議熱區內人員疏散時，盡量進行人員污染偵檢(熱區外則未提及)之防護作為。
- C. 因此建議將輻應隊程序書第 3 頁，伍、已爆彈作業程序之一、輻射防護程序之(二)之 2 刪除低、中、高污染區之定義，修訂

為與前述 IAEA 文件及 NUSTL 影片相同之標準。

Criteria determining the boundary of the inner cordoned area	
<b>For use by first responder monitor:</b> Ambient dose rate of 100 $\mu\text{Sv/h}$ at 1 metre (Table 1 and Table 4 of Instruction 1)	
<b>Related criteria (for use by radiological assessor only):</b> > 1000 $\text{Bq/cm}^2$ gamma/beta deposition <sup>43</sup> > 100 $\text{Bq/cm}^2$ alpha deposition <sup>43</sup>	
IAEA 文件熱區擴大劃分標準	
NUSTL 影片熱區擴大劃分標準	

圖三-9 IAEA 文件與 NUSTL 影片熱區擴大劃分標準<sup>[2][3]</sup>

#### (4) 初始室內掩蔽區域

輻應隊程序書與 IAEA 文件並無建議室內掩蔽區域範圍，建議依 NUSTL 文件訂定為爆炸點方圓 250 至 500 公尺處，以利熱區內民眾疏散，與應變人員布置及行動。

### 3. 研究產出

#### (1) 出勤裝備

A. 建議使用半面罩式具 P100 或 HEPA 濾棉之面罩加上護目鏡，

若能直接使用全面罩式可提供更佳的防護，另穿著盡量減少皮膚曝露的值勤服裝以及手套。

- B. 第 1 小隊 2 名隊員至少須攜帶具高(西弗/小時)與低(微西弗/小時)程偵檢器，及快速加馬核種辨識儀器各 1 台。
- C. 第 2 小隊 2 名隊員至少須攜帶低(微西弗/小時)程偵檢器，及有  $\alpha$  與  $\beta$  污染偵檢器之偵檢器各 1 台。
- D. 第 3 小隊 2 名隊員至少須攜帶低(微西弗/小時)程偵檢器 1 台，若第 1 小隊確認下風向有污染，則須加上有  $\alpha$  與  $\beta$  污染偵檢器之偵檢器 1 台。

(2) 熱區初始範圍(未進行輻射或污染量測前)

建議修訂輻應隊程序書第 3 頁，伍、已爆彈作業程序之一、輻射防護程序之(二)之 1 中，熱區劃定程序，改為：

「初始以爆炸點方圓 250 公尺畫定，若於初始熱區外測得直接環境輻射劑量率達到每小時 100 微西弗以上，再予以擴大納入熱區。」

(3) 熱區擴大劃分標準-依輻射污染程度

建議刪除輻應隊程序書第 3 頁，伍、已爆彈作業程序之一、輻射防護程序之(二)之 2 中，低、中、高污染區之定義，增修為：

「如果有阿伐污染，以阿伐污染偵檢器在地面上 0.5 公分處，每平方公分每分鐘 6,000 計數來劃定熱區邊界。」

「如果有貝他/加馬污染，以貝他/加馬污染偵檢器在地面上 1.5 公分處，每平方公分每分鐘 60,000 計數來劃定熱區邊界。」

(4) 初始室內掩蔽區域

建議增加輻應隊程序書第 4 頁，伍、已爆彈作業程序之一、輻射防護程序之(二)之 5 如：

「爆炸點方圓 250 至 500 公尺處為初始室內掩蔽區。」

### (三) 放射性物質擴散分析能力建立

#### 1. 研究方法

111 年預計整合系統中 CALMET 模式及 CALPUFF 模式的操作檔，讓系統使用更加便利，並評估提升模式運算時間的可行性。並藉由 110 年度蒐集之臺灣各區域(除臺北市之外)建物資料透過建物資訊轉換模組轉換成 CALPUFF 模式所應用之資訊，再選擇實際重點場所，結合地形地物資料，進行放射性物質擴散案例運跑，預計完成臺灣五個區域的放射性物質擴散案例運跑後，透過整合 RESRAD RDD 之結果建置資訊轉換模組，提供網格化資料之結果，並將模擬結果顯示於地理資訊平台。

##### (1) 開發轉換資訊應用模組

延續 110 年輻射彈事故市區小尺度氣象模式建立服務案成果，將 CALPUFF 模式輸出之輻射污染空氣活度濃度，參照 RESRAD RDD 的計算方法，轉換輸出成網格化的緊急應變人員進入現場可停留時間。並依據國內外 RESRAD RDD 相關文獻報告，開發轉換資訊模組，將提供模擬運跑後將結果用以與 RESRAD RDD 軟體結果比較。

##### (2) 優化 CALPUFF 模式

延續 110 年輻射彈事故市區小尺度氣象模式建立服務案成果，需整合 CALMET 模式及 CALPUFF 模式的操作檔，讓系統使用更加便利，並提供優化前後運算時間之比較報告。

##### (3) 引入臺灣建物資訊資料庫

延續 110 年輻射彈事故市區小尺度氣象模式建立服務案成果，透過系統化三維近似建物資料轉換模組將三維近似化建物模型資料轉化成 CALPUFF 可使用之建物模型資料庫，再

選擇實際重點場所，結合地形地物資料，完成 5 個區域放射性物質擴散案例模擬並提供報告。

## 2. 研究過程

### (1) 開發轉換資訊應用模組:

參考美國輻射彈事故緊急應變之操作型指引手冊，其中 A 類操作型指引是用於 RDD 事故早期，針對第一時間處理與緊急工作人員防護決策的指引，根據表三-3 所列 11 種核種建置 RESRAD RDD 資訊轉換模組，其假設核種若為 Cs-137，模式模擬出的空氣活度濃度為  $5\mu\text{Ci}$ ，則造成  $0.05\text{mSv}$  可停留時間為 37/5 分鐘，而 CALPUFF 模式輸出之空氣活度濃度單位為貝克(Bq)，其  $\mu\text{Ci}$  與 Bq 的關係為:

$$1 \mu\text{Ci} = 37,000 \text{ Bq}$$

透過單位轉換則可將 CALPUFF 輸出之空氣活度濃度轉換成緊急進出事故區域之停留時間，而指引上是針對  $0.05$  西弗(Sv)劑量可停留時間，其停留時間與空間劑量的關係為:

$$\text{空間劑量率}(\mu\text{Sv} / \text{h}) = [ 0.05(\text{Sv}) * 1\text{E}6(\mu\text{Sv}/\text{Sv}) ] / [\text{可停留時間}(\text{h})]$$

### (2) 優化 CALPUFF 模式:

- A. 由於緊急應變輻射災害事故劑量評估系統內主要由即時預報氣象資料降尺度系統(CALMET)及輻射彈事件污染擴散影響評估系統(CALPUFF)組成，其各別執行時皆需要各別的控制檔(CALMET.inp 及 CALPUFF.inp)，其內容可達 2000 多行，

但其兩者內容在模擬上多有重複的輸入資訊，故透過 C shell 程式語言進行整合兩個模式的操作檔。藉由統一設定讓使用者方便操作設定模式進行模擬。為了符合緊急應變輻射災害事故所需，需要進一步了解提升模式運算時間之可行性，藉由分析系統內兩個所需較長的運跑時間的模組進行評估分析。

- B. 目前已完成臺灣本島及外島地區約 440 萬個三維近似化建物模型，從建物模型資訊中可理解到，如此龐大數量之建物模型建置，除了國土測繪中心本身產製外，也包含了委外建置的廠商或單位，建物模型的資訊檔，主要以 KMZ 檔為主。經 KML 與 DAE 的檢視後，不同產製單位的建物資訊檔，主要格式框架雖相同，唯建物各細節資訊的描述，如各建物模組定位參考點、項目名稱及敘述文字的使用上，都有些許不同，因此在三維近似建物模型資訊的擷取方面，會依產製單位，使用個別的轉換輸出模組，以目前選定的範例區域新北市板橋區來說，就有兩個產製單位，一者是國土測繪中心，另一者是委外台灣地理資訊學會孫樹國博士有關的產製單位。
- C. 解壓縮後的檔案會先經過重新編列的命名，才會進入轉換模組及逐一輸出建物的 TXT 檔，而 TXT 檔的命名上，已設計為包含建物定位參考及其原始目錄名稱等訊息，以便回溯找出處理之原始檔，進行相關檢視，而轉換模組最主要是從原有的建物模型檔中，利用關鍵字串進行擷取多行的必要資訊，再以新格式編列至每一建物的 TXT 檔，輸出的檔案內含資訊，有建物參考點經緯度、建物輪廓點數、逐點的建物輪廓 UTM (Universal Transverse Mercator coordinate system) 座標及建物高度，考量臺灣地理位置，UTM 座標系的選用區域編碼是 EPSG : 32651，及 WGS84 經緯度分區編碼 EPSG : 4326，以

兩者進行 UTM 與經緯度間的轉換，UTM 單位為公尺。

- D. 三維近似建物資料的取得，於計畫所要求之目的，將建物所導致的影響效應納入 CALPUFF 擴散模式模擬計算中，因此擴散模式是如何以參數函數或模組形式將建物的下洗效應表現出來是此建物組態檔系統化設計初衷，在早期 CALPUFF 使用者手冊<sup>[6]</sup>，中提到 CALPUFF 建物下洗效應，是以工業污染源複合模式(Industrial Source Complex Model 3, ISC3)的程序為概念，並有 Huber-Snyder 與 Schulman-Scire 兩種演算法可選擇，而在較新版的 CALPUFF(version6 以後)，則改變為 ISC 與 PRIME 兩種演算法。整合上述多種的 CALPUFF 建物下洗演算法後，可歸納建物資訊在輸入到 CALPUFF 模擬所需的組態設定檔中時，是以 ISC3 方式的概念來處理，而 BPIP (Building Profile Input Program, BPIP) 正是設計來輸入建物相關資訊參數的程序模組，然在系統化新版 CALPUFF 建物組態時，PRIME 演算法的需求，是必須先透過 BPIP 模組計算出所需的建物 36 方位資訊，包含建物高度(BH)、建物投影寬度(PBW)、建物長度(BL)、迎風面建物投影寬度中間點相對座標(XBADJ、YBADJ)，來輸入 CALPUFF 模擬組態檔的設定；而 ISC 演算法的需求則與 PRIME 法相近，僅需要建物高度及建物投影寬度的 36 方位資訊。從 BPIP 計算的參數來說，主要即為了提供建物影響區域(Structure Influence Zone, SIZ)的推算，CALPUFF 建物下洗演算法透過輸入的建物相關資訊，計算因建物影響而改變的擴散行為。
- E. CALMET 主要是氣象模型，用來產生氣象場。CALMET 利用品質守恆定律對風場進行判斷，並在三維網格中生成風場和溫度場等氣象資訊。此評估報告透過在相同模擬範圍內改變

三維網格的水平解析度與垂直解析度來了解其不同解析度造成之運跑時間的差異。模式主要設定其模擬時間為 15 分鐘累積(900s)一筆的結果，模擬範圍為板橋第二運動場的半徑 1 公里的範圍，模擬的核種假定為 Cs-137，其輻射彈爆炸當量則參考國外文獻為 1.36kgTNT，核種活度則假設為 20mCi，並在 15 分鐘內釋放完輻射濃度，故其釋放率則為  $8.2E+5$  每秒貝克，而垂直解析度為 10 層分別為 20 公尺、40 公尺、80 公尺、160 公尺、300 公尺、600 公尺、1000 公尺、1500 公尺、2200 公尺及 3000 公尺。而透過整合 RESRAD RDD 資訊轉換模組將 CAPUFF 輸出的柱狀累積空氣活度濃度分布轉換成空間劑量率。等值線代表數值由藍至紅分別為  $1E-5$ 、 $1E-4$ 、 $1E-3$ 、 $1E-2$ 、0.1、0.2、0.5 及 1，空間劑量率單位則為 mSv/h。

(3) 引入臺灣建物資訊資料庫:

- A. 本年度預計模擬 5 個區域皆為臺灣的直轄市內，接著利用 110 年建置之建物模型資訊轉換模組先將臺灣縣市中建物較多的兩個直轄市(台中市及桃園市)先建立在臺灣建物資訊資料庫。並因應選擇人潮眾多的擺放位置，故選定輻射彈假想擺放位置分別為桃園國際機場二航廈及台中國家歌劇院如圖三-10 至圖三-11 所示，其模擬半徑皆為 5 公里如圖三-12 至圖三-13 所示，其相對應的經緯度如表三-4 所示。接著透過建物模型資訊轉換模組將輻射彈附近建物資訊轉換成 CALPUFF 建物參數進行模擬，模式設定時間間隔為 30 分鐘，空間解析度為 30 公尺，核種有 2 種(Cs-137 及 Ir-192)、爆炸當量設定為 1.36KgTNT，釋放率為逐漸遞減如表三-5 所示。
- B. 依據前項工作內容建議，模式主要設定其模擬時間為 15 分鐘累積(900s)一筆的結果，模擬範圍分別為台南市永樂市場(如

圖三-14)、新北市市政府(如圖三-15)及高雄漢神巨蛋(圖三-16)附近的半徑 1 公里的範圍，如表三-6 所示各模擬範圍的四個角落(東南角、西南角、西北角、東北角)的經緯度及輻射彈擺設之經緯度，模擬的核種假定為 Cs-137，其輻射彈爆炸當量則參考國外文獻(J. F. Pereira et.al,2018)[7]假設為 1.36kgTNT，核種活度則假設為 20mCi，並在 15 分鐘內釋放完輻射濃度，故其釋放率則為 8.2E+5 每秒貝克，而垂直解析度為 10 層分別為 20 公尺、40 公尺、80 公尺、160 公尺、300 公尺、600 公尺、1000 公尺、1500 公尺、2200 公尺及 3000 公尺，水平解析度為 15 公尺，風向則挑選了 4 個方位角的風向來進行輻射污染擴散模擬，風向分別為東風、北風、南風、西風。

表三-3 緊急進出事故區域之停留時間

可提供之 量測類型	活度/ 曝露率 <sup>b</sup>	導致 0.05 西弗(5 侖目)劑量可停留的時間 <sup>a</sup>											
		最短時間	Am-241	Cf-252	Cm-244	Co-60	Cs-137	Ir-192	Po-210	Pu-238	Pu-239	Ra-226	Sr-90
無呼吸防護面具													
表面濃度	1 $\mu$ Ci/cm <sup>2</sup>	47 min	59 min	4.4 h	1.7 h	16 h	61 h	48 h	6.4 h	52 min	47 min	5.9 h	130 h
空氣濃度	1 $\mu$ Ci/m <sup>3</sup> <sup>c</sup>	28 s	36 s	2.6 min	1 min	9.7 min	37 min	29 min	3.9 min	31 s	28 s	3.5 min	1.3 h
曝露率	1mR/h <sup>d</sup>	36 s	4.4 h	360 h	12 min	7,100 h	6,400 h	7,100 h	36 s	6.2 min	2.6 min	1,900 h	2,800 h
配備全面罩呼吸防護裝具(防護因子=100)													
表面濃度	1 $\mu$ Ci/cm <sup>2</sup>	16 h	95 h	74 h	170 h	16 h	68 h	48 h	2,200 h	88 h	80 h	22 h	340 h
空氣濃度	1 $\mu$ Ci/m <sup>3</sup>	9.8 min	57 min	45 min	1.7 h	9.8 min	41 min	29 min	22 h	53 min	48 min	13 min	3.4 h
曝露率	1mR/h	3.5 h	420 h	6,000 h	21 h	7,100 h	7,100 h	7,100 h	3.5 h	100 h	4.4 h	7,000 h	7,100 h
配備供氣式全面罩呼吸防護裝具(防護因子=1000)													
表面濃度	1 $\mu$ Ci/cm <sup>2</sup>	16 h	620 h	86	1,600 h	16 h	68h	48 h	22,000 h	860 h	800 h	22 h	340 h
空氣濃度	1 $\mu$ Ci/m <sup>3</sup>	9.8 min	6.2 h	52 min	16 h	9.8 min	41 min	29 min	220 h	8.6 h	8 h	13 min	3.4 h
曝露率	1mR/h	34 h	2,800	7,000 h	200 h	7,100 h	7,100 h	7,100 h	34 h	100 h	43 h	7,100 h	7,100 h

表三-4 桃園市及台中市之輻射彈假想擺放位置及 5 公里模擬範圍  
邊界經緯度。

Target locations	中心點	SW	NE	SE	NW
桃園國際機場	121.232150°, 25.076190°	121.183254°, 25.030456°	121.281069°, 25.121904°	121.282330°, 25.031635°	121.181921°, 25.120721°
台中國家歌劇院	120.640997°, 24.163455°	120.592665°, 24.117566°	120.689365°, 24.209332°	120.690989°, 24.119085°	120.590971°, 24.207807°

表三-5 模擬設定核種釋放率

時間(s)	釋放率(Bq/s)
0~1800	7.4E+10
1800~3600	3.7E+10
3600~7200	1.85E+10
7200~14400	0.925E+10
14400~21600	0.4625E+10
21600~32400	0.23125E+10
32400~43200	0.115625E+10

表三-6 台南市、新北市及高雄市之輻射彈假想擺放位置及 1 公里  
模擬範圍邊界經緯度

模擬地點	輻射彈位置	SW	SE	NW	NE
台南永樂市場	22.997702°N 120.198967°E	22.661043°N 120.293667°E	22.661371°E 120.313113°N	22.679090°E 120.293313°N	22.679418°E 120.312761°N
板橋市政府	25.013060°N, 121.466090°E	25.003929°N 121.456296°E	25.004134°E 121.476109°N	25.021985°E 121.456070°N	25.022189°E 121.475886°N
高雄漢神巨蛋	22.670231°N 120.303214°E	22.661043°N 120.293667°E	22.661371°E 120.313113°N	22.679090°E 120.293313°N	22.679418°E 120.312761°N

表三-7 建物組態檔運跑時間示意圖

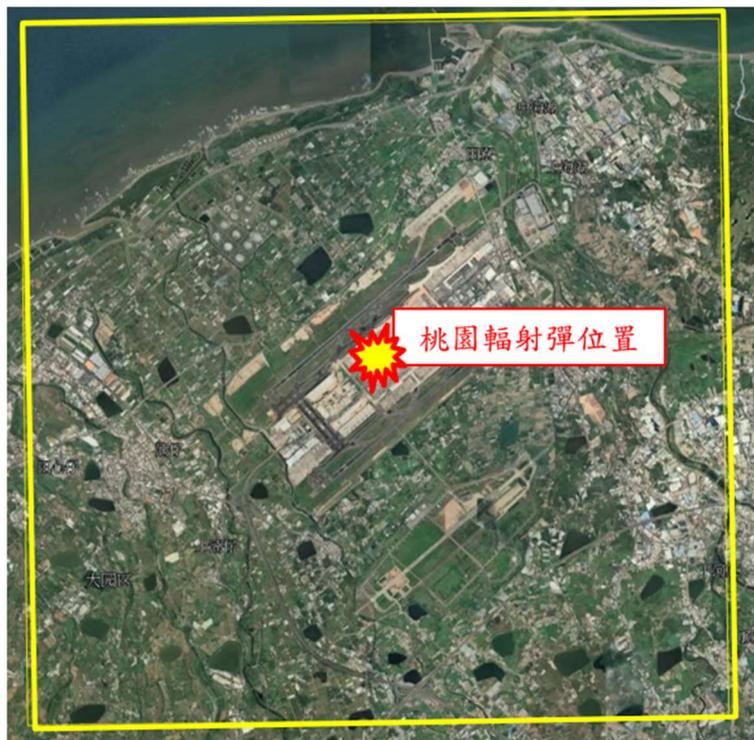
Target locations	中心點	從國土測繪中心原始檔產製模擬所需 建物組態檔的運跑時間	從建物資料庫產製模擬所需 建物組態檔的運跑時間
板橋運動場1	25.013565, 121.457138	3h28m52s	5m06s
高雄車站1	22.637700, 120.302850	7h25m19s	6m45s
板橋運動場2	25.014409, 121.458506	3h41m45s	6m17s
高雄車站2	22.638529, 120.303789	7h12m15s	6m19s
桃園國際機場	25.076190° 121.232150°	9m31s	7s
台中國家歌劇院	24.163455° 120.640997°	2h12m26s	47s



圖三-10 桃園國際機場二航廈輻射彈假想擺放位置



圖三-11 台中國家歌劇院輻射彈假想擺放位置



圖三-12 桃園國際機場輻射彈事件模擬範圍



圖三-13 黃色框為台中國家歌劇院輻射彈事件模擬範圍



圖三-14 黃色框為台南市永樂市場輻射彈事件模擬範圍



圖三-15 黃色框為新北市市政府輻射彈事件模擬範圍



圖三-16 黃色框為高雄市漢神巨蛋輻射彈事件模擬範圍

### 3. 研究產出

#### (1) 開發轉換資訊應用模組:

方程式以 NCL 程式語言方式進行相關編輯如圖三-17 所示，以建置資訊轉換模組，並透過資訊轉換模組將 CAPUFF 輸出的空氣活度濃度分布轉換成空間劑量率，如表三-7 所示，以 110 年兩個區域(板橋第二運動場及高雄車站)模擬結果進行資訊轉換，模擬核種為 Cs-137，對應操作指引造成 0.05mSv 可停留時間為 37 分鐘，透過資訊轉換模組進行轉換成空間劑量率分布。透過後處理系統輸出空間劑量率分布 KMZ 檔可應用至地理資訊平台，利用等值線方式應用在地理資訊平台較容易判別所在區域，而等值線代表數值由藍至紅分別為  $1\text{E}-5$ 、 $1\text{E}-4$ 、 $1\text{E}-3$ 、 $1\text{E}-2$ 、0.1、0.2、0.5 及 1，空間劑量率單位則為 mSv/h。

#### (2) 優化 CALPUFF 模式:

先前 109 年計劃中，經評估後引入美國 Sigma Research Corporation(今 Earth Tech, Inc.的研究部門) CALPUFF 作為輻射災害事件污染擴散評估系統的主要模組，主要模組中污染擴散影響評估系統，為了評估街廓尺度的污染擴散，引入目標區域的建物情況為必要條件，為此一目的，使用國土測繪中心所提供之三維近似建物資料檔來建立擴散模式所需的建物組態，在建置測試期間，要完成建物組態檔所花費時間如表三-7 中間欄位所示，從原始檔處理至擴散模式輸入的建物組態檔，少則 9 分 31 秒，多者長達 7 小時 25 分鐘，其所需時間多寡與原始檔案總數有關，最短時間是目標區域桃園第二航廈鄰近，從原始 773 檔( 3297 棟建物)中轉換資訊並篩選出所需 1402 棟建物，而後經參數化產出建物組態檔，而處理時間最長的區域高雄車站 1 周邊，則是 12922 原始檔

(97780 棟)中選出 10529 棟建物來建立建物組態檔。

為符合緊急應變所需之考量，本工項在建立建物組態檔方面，改以轉換資訊後之建物資料庫來取代原始檔，確實大幅度縮短了建立組態檔所需時間，如表三-7 右邊欄位所示，依目標區域內建物數多寡而花費時間從 7 秒鐘到 6 分 45 秒不等，時間花費上，除了主因建物總數會影響外，另外運跑硬體(一般伺服器正常狀態)的工作負載情況也會有約±30 秒左右時間上的差異。此建物組態檔建立所需時間是與主要模組中 CALMET 處理時間並行，因此緊急應變上，仍視 CALMET 所花費時間為主，若 CALMET 處理時間經解析度調整後，讓運跑時間縮短至 7 分鐘以內，則現行建物組態建立的運跑流程仍有需要再精進縮短至 5 分鐘以內。

首先透過不同水平解析度來評估，由於國土測繪中心提供的 LOD1 的解析度為 3 公尺，故將模式從水平解析度 3 公尺進行模擬，並逐倍數增加解析度，依序為 6 公尺、9 公尺、12 公尺、15 公尺、18 公尺、21 公尺、24 公尺、27 公尺及 30 公尺。其模擬運算時間如表三-8 所示，水平解析度越精細，三維網格數相對多，其模式運跑時間亦增加許多，耗費最長時間為模擬水平解析度 3 公尺時 CALMET 所需時間為 5 小時 14 分鐘，最短時間為模擬水平解析度 30 公尺 CALMET 所需時間為 15 秒。

在不同垂直解析度分析下將水平解析度 3 公尺與 30 公尺，分別為耗費最長時間及最短時間，將其垂直解析度更改為 5 層及 3 層，其 5 層為 20 公尺、40 公尺、80 公尺、100 公尺、3000 公尺；3 層為 20 公尺、100 公尺、3000 公尺。其評估結果在變動垂直解析度時其減少運跑時間效益較更改水平解析度時來的少，其結果如表三-9 所示，從垂直分層 10 層變動至 5 層時，水平解析度 3 公尺的 CALMET 運算時間從 5 小時 14 分減少至 5 小時 6 分，而變

動至 3 層時 CALMET 運算時間減少至 5 小時 3 分，其減少時間仍然不足符合緊急應變的需求。透過表三-8 與表三-10 比較來看在相同的水平解析度下，將垂直分層從 10 層改成 5 層，其各別測試運算時間的結果差異不大，在水平解析度 3 公尺至 12 公尺的運算時間仍超過 15 分鐘的運算時間，水平解析度 15 公尺至 30 公尺則都可以在 15 分鐘內完成運算。透過在相同的水平解析度下作垂直解析度的改變測試運算時間，可以得知改變垂直解析度對於於 CALMET 模式及 CALPUFF 模式的運算時間效益較差。為了符合緊急應變所需，利用 CALPUFF 模擬輻射事件時，建議可以使用水平解析度 15 公尺及垂直層可以沿用過去分為 10 層的方法，進行假想事件模擬。

### (3) 引入臺灣建物資訊資料庫:

已完成全臺灣本島 5 個直轄市(除台北市外)、10 個縣、3 個市及離島 3 個縣的所有 3 維近似建物資料庫(LOD1，未含 LOD3)，總計共 4,210,164 間建物。並利用此建物資料庫建立本年度假想的輻射彈事件(5 個直轄市)模擬之建物組態檔。

桃園國際機場模擬結果(圖三-19 至圖三-20)顯示，模擬期間風向主要為東北風，核種 Cs-137 及 Ir-192 之空氣活度濃度累積皆往西南風向累積，且風速皆在 10m/s 左右。台中國家歌劇院模擬結果如圖三-21 至圖三-22 所示，其風向主要為北北西風，風速則較桃園國際機場的弱，大約在 2~3m/s，風速較強的區域其擴散形狀較為細長，風速較弱的區域則呈扇形。透過資訊轉換模組將核種 Cs-137 及 Ir-192 之空氣活度濃度轉換成空間劑量率如圖三-23 至圖三-24 所示，其等值線代表數值由藍至紅分別為  $1\text{E}-5$ 、 $1\text{E}-4$ 、 $1\text{E}-3$ 、 $1\text{E}-2$ 、0.1、0.2、0.5 及 1，空間劑量率單位則為 mSv/h。

台南市永樂市場為台南市中西區的一座傳統市場，為一棟兩

層樓的加強磚造建築，興建於民國 52 年（1963 年）4 月，有 234 個攤位。地點位於國華街和民族路的交叉路口，與相鄰的水仙宮市場形成一大範圍的市集，其附近有眾多知名觀光景點及小吃。在假想輻射彈位置附近建物多為 2 至 3 層矮建物，且密集度很高。風向為東風時柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量結果(如圖三-27 至圖三-28)，往風向下游方向累積濃度，由於輻射彈位置西南側之永樂市場建物影響較大，且其建物為北東北-西南西走向，其擴散分布結果會有些偏折現象；當風向為北風時，柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量的結果分布往風向的下游擴散(如圖三-29 至圖三-30)，從空間劑量的結果可以明顯看到受到假想輻射彈位置南側之建物影響，1mSv/h 空間劑量在釋放 15 分鐘後距離假想輻射彈位置距離最遠可達 136 公尺；當風向為南風時，柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量的結果分布往北側擴散分布(如圖三-31 至圖三-32)，1mSv/h 空間劑量在釋放 15 分鐘後距離假想輻射彈位置距離最遠可達 125 公尺；當風向為西風時，柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量的結果分布往風向的下游擴散(如圖三-33 至圖三-34)，其假設輻射彈位置東側有較其他側較平坦的圓環道路，15 分鐘釋放結果 1mSv/h 空間劑量分布距離可達假設輻射彈位置 100 公尺處。

**新北市政府**於 2002 年完工，大樓樓高 140.5 公尺，共三十四樓，樓板面積有 15 萬 9 千多平方公尺，其假想輻射彈位置附近大多為高樓建物，且建物與建物的距離為 4 個車道寬的道路大約 12 公尺至 14 公尺，西北方向為廣場及公園綠地。風向為東風時柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量結果(如圖三-35 至圖三-36)，往風向下游方向累積濃度，由於西側有一廣場及公園綠地較無明顯建物影響；當風向為北風時，柱狀空氣活度濃度累積分布及空間

劑量的結果分布往風向的下游擴散(如圖三-37 至圖三-38)，從南向街景圖顯示道路較為寬廣約 12 至 14 公尺寬，兩側建物影響空氣活度濃度往下游延伸擴散較長，空間劑量累積亦較低；當風向為南風時，柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量的結果分布往北側擴散分布(如圖三-39 至圖三-40)，假想輻射彈位置東北側有一百貨大樓，其百貨大樓為地上 50 層之建物其高達 213 公尺，故在柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量的分布結果均有明顯受到此建物影響並堆積在建物前，並在風向下游建物後側亦形成繞流造成輻射污染堆積；當風向為西風時，柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量的結果分布往風向的下游擴散(如圖三-41 至圖三-42)，其相同受到 213 公尺高的板橋大遠百百貨大樓影響，柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量分布有些偏折現象。

高雄市漢神巨蛋購物廣場，簡稱高雄漢神巨蛋，建物為地上 9 層、地下 1 層，建物面積為 32,535 坪，漢神巨蛋位在假想輻射彈的西南側。大致柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量分布結果皆為往風向的下游擴散累積，但在風向為南風及西風時(如圖三-47 至圖三-50)，其柱狀空氣活度濃度累積分布及空間劑量分布結果較風向為東風及北風時(如圖三-43 至圖三-46)有明顯差異。

表三-8 不同水平解析度下 CALMET 及 CALPUFF 的運跑時間

水平解析度	網格數	CALMET運算時間	CALPUFF運算時間
3m	674x678x10	5h14m	47s
6m	337x339x10	1h18m	32s
9m	225x226x10	39m16s	25s
12m	169x170x10	19m38s	20s
15m	135x136x10	9m49s	14s
18m	112x113x10	4m54s	9s
21m	96x97x10	2m27s	3s
24m	84x85x10	1m14s	2s
27m	75x75x10	37s	1s
30m	67x68x10	15s	1s

表三-9 不同垂直分層下 CALMET 及 CALPUFF 的運跑時間

水平解析度	網格數	CALMET運算時間	CALPUFF運算時間
3m	674x678x10	5h14m	47s
	674x678x5	5h6m	46s
	674x678x3	5h3m	46s
30m	67x68x10	15s	1s
	67x68x5	14s	1s
	67x68x3	14s	1s

表三-10 5層垂直解析度下 CALMET 及 CALPUFF 的運跑時間

水平解析度	網格數	CALMET運算時間	CALPUFF運算時間
3m	674x678x5	5h6m	46s
6m	337x339x5	1h9m	30s
9m	225X226X5	35m15s	24s
12m	169X170X5	17m10s	19s
15m	135X136X5	6m40s	12s
18m	112X113X5	3m24s	8s
21m	96X97X5	1m37s	2s
24m	84X85X5	54s	1s
27m	75X75X5	35s	1s
30m	67X68X5	14s	1s

```
if (model.eq."CONC_Cs137") then
  per_stay_time = 37
end if

if (model.eq."CONC_Ir192") then
  per_stay_time = 29
end if

if (model.eq."CONC_Am241") then
  per_stay_time = 36/60
end if

if (model.eq."CONC_Cf252") then
  per_stay_time = 2.6
end if

if (model.eq."CONC_Cm244") then
  per_stay_time = 1
end if

if (model.eq."CONC_Co60") then
  per_stay_time = 9.7
end if

if (model.eq."CONC_Po210") then
  per_stay_time = 3.9
end if

if (model.eq."CONC_Pu238") then
  per_stay_time = 31/60
end if

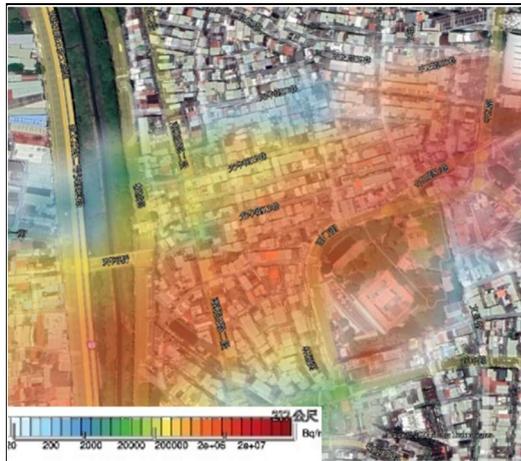
if (model.eq."CONC_Pu239") then
  per_stay_time = 28/60
end if

if (model.eq."CONC_Ra226") then
  per_stay_time = 3.5
end if

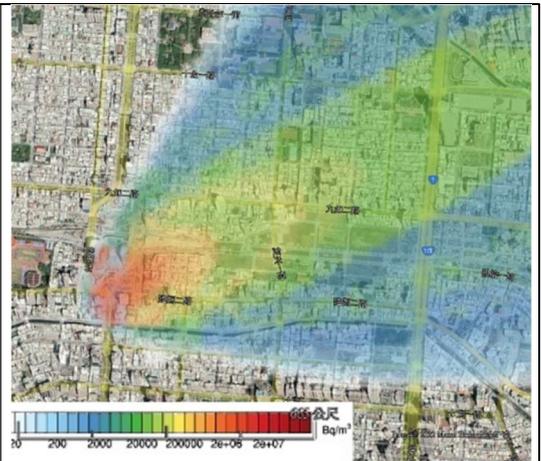
if (model.eq."CONC_Sr90") then
  per_stay_time = 78
end if

k = dt-1
do i = 0,ny-1
  do j = 0,nx-1
    if (puff(k,i,j).eq.0) then
      stay_time(i,j) = spv
      dose_rate(i,j) = 0
    else
      stay_time(i,j) = (per_stay_time)/(puff(k,i,j)*(37000)^-1)
      dose_rate(i,j) = (0.05*1e6)/(stay_time(i,j)/60)
    end if
  end do
end do
```

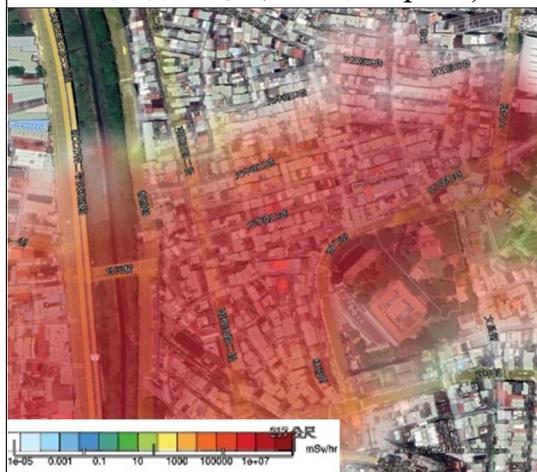
圖三-17 根據操作指引分類 11 種核種對應可停留時間及計算網格上可停留時間及空間劑量率



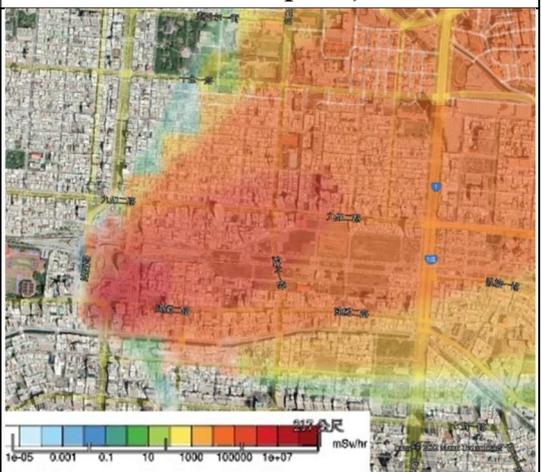
輻射彈事件模擬在板橋第二運動場(填色部分為空氣活度濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )



輻射彈爆炸模擬在高雄車站(填色部分為空氣活度濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )

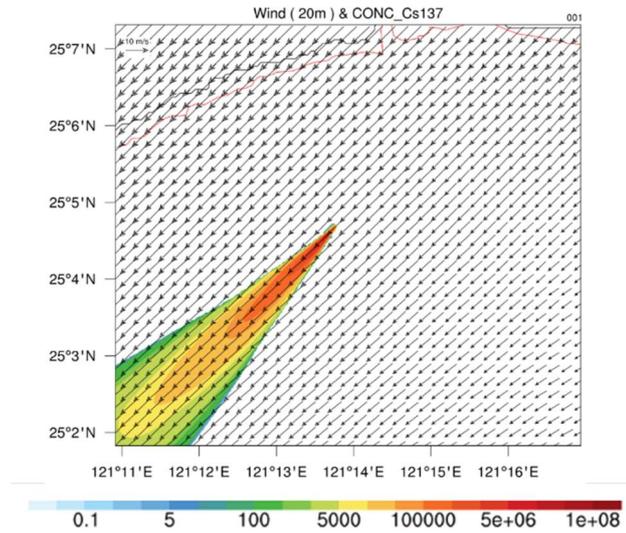


輻射彈事件模擬在板橋第二運動場(填色部分空間劑量率分布單位為  $micro Sv/m^3$ )

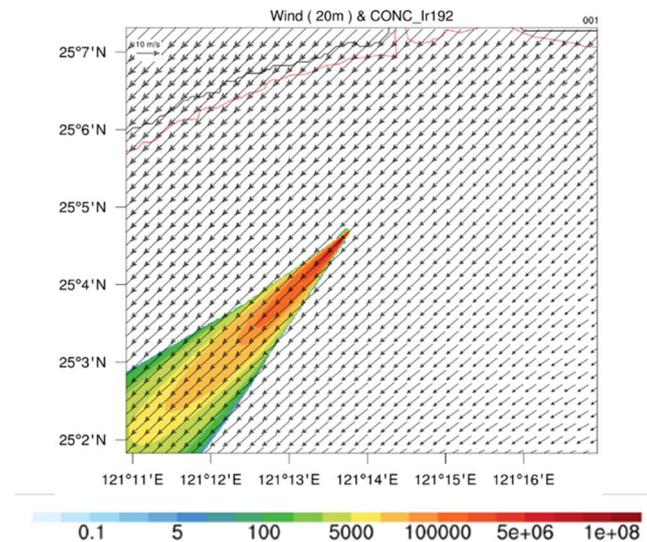


輻射彈爆炸模擬在高雄車站(填色部分空間劑量率分布單位為  $micro Sv/m^3$ )

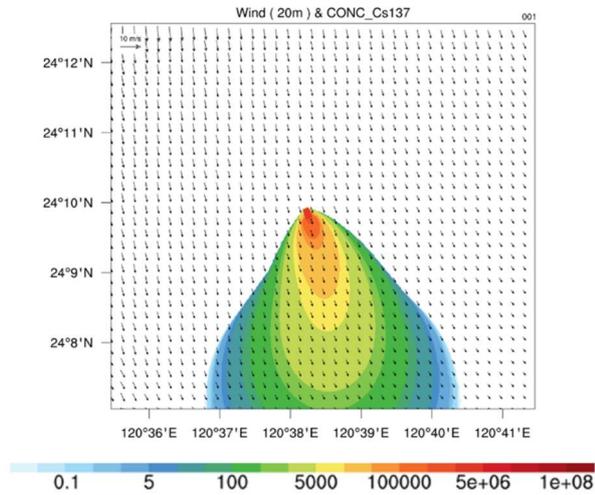
圖三-18 CALPUFF 輸出的空氣活度濃度分布轉換成空間劑量率



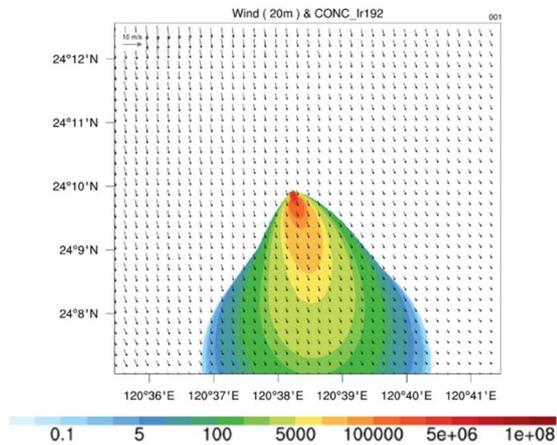
圖三-19 CALPUFF 模擬桃園國際機場輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



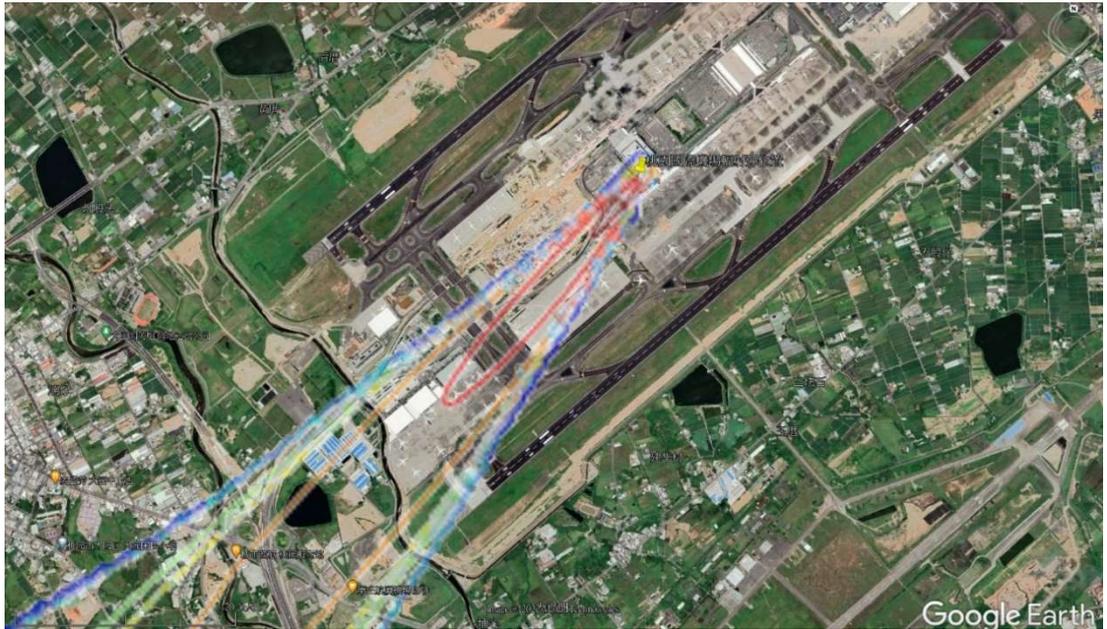
圖三-20 CALPUFF 模擬桃園國際機場輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



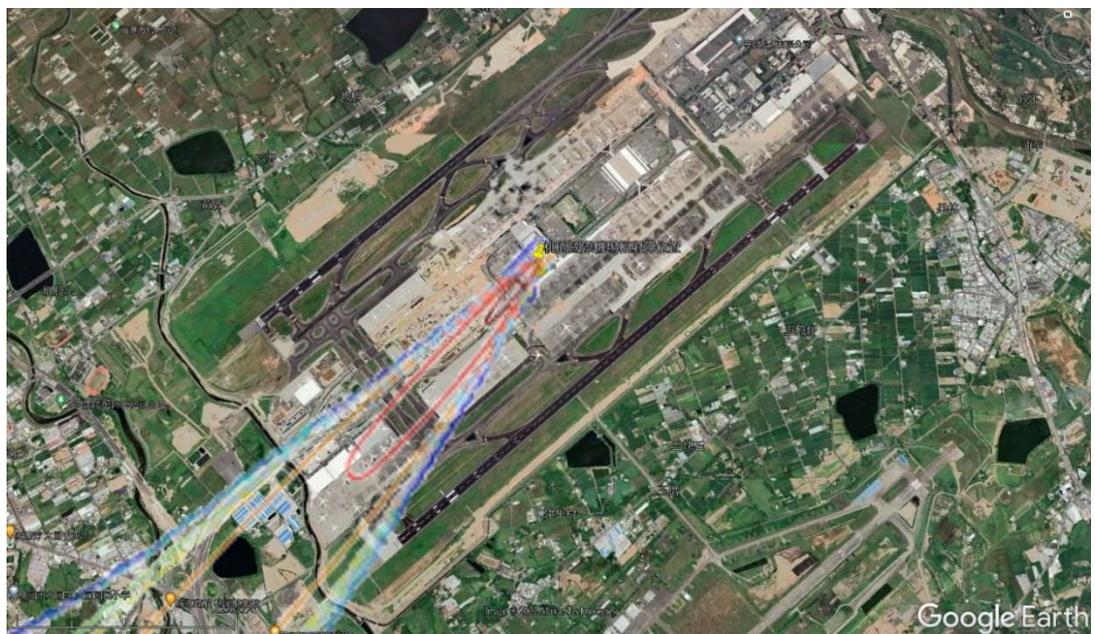
圖三-21 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



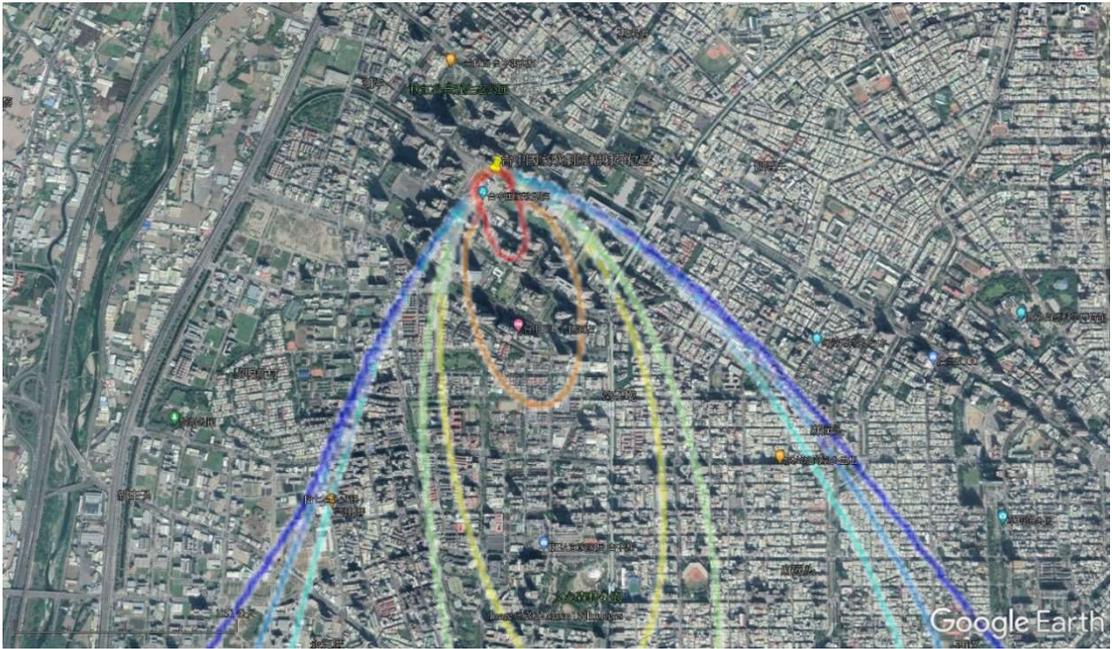
圖三-22 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



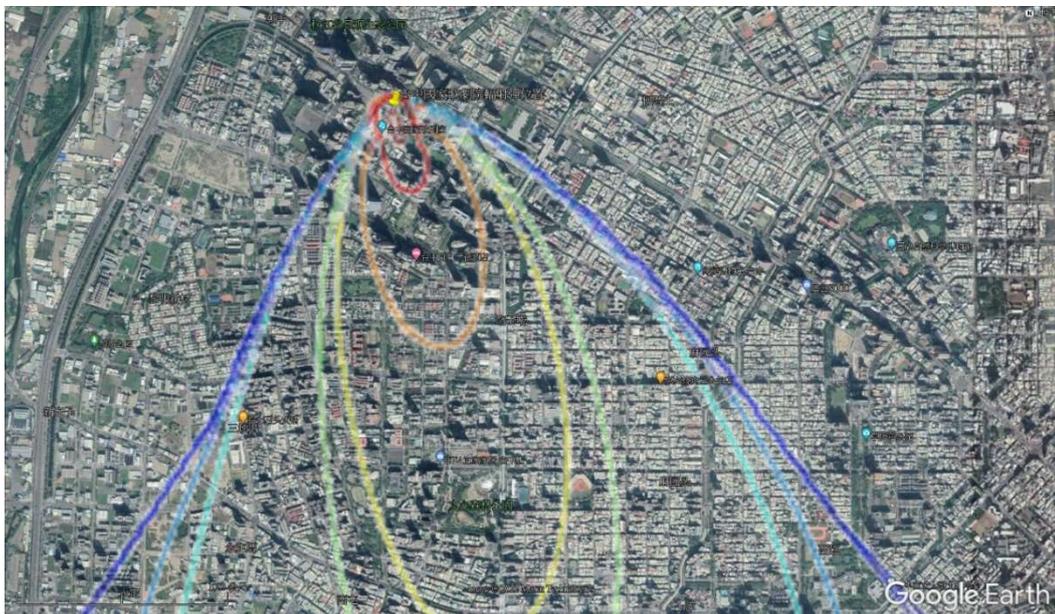
圖三-23 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。



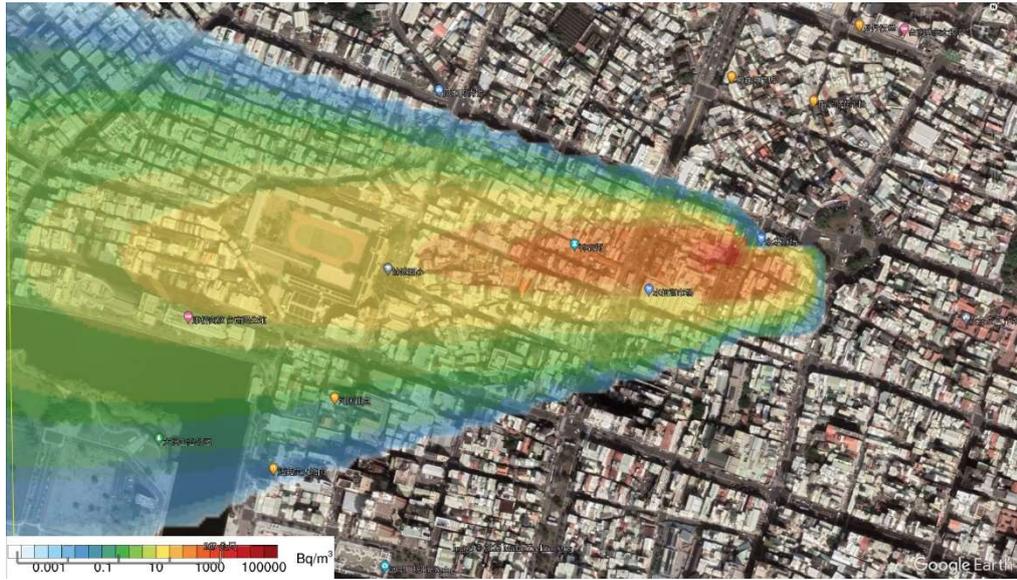
圖三-24 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。



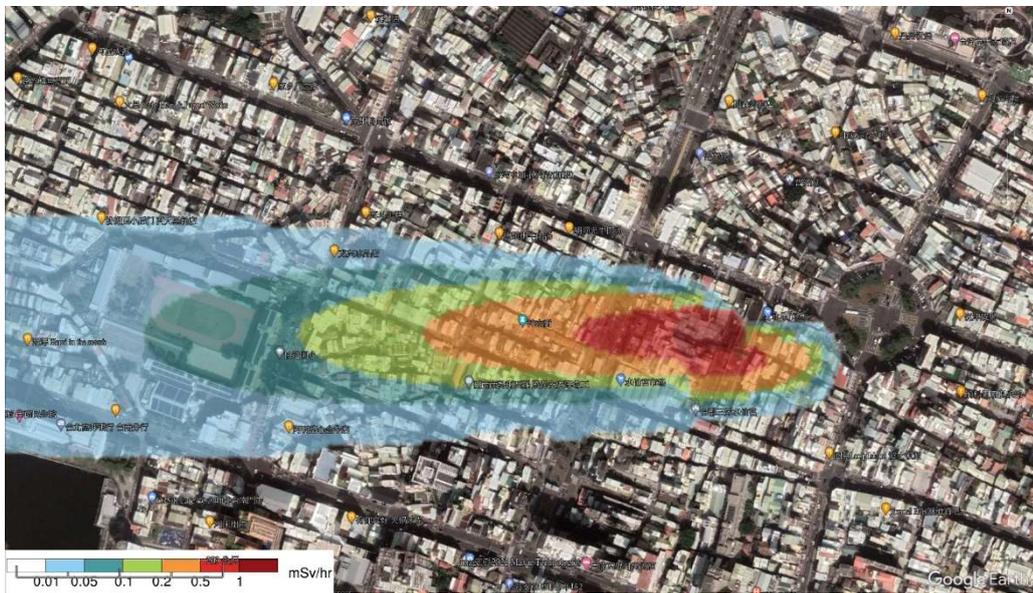
圖三-25 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Cs-137，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。



圖三-26 CALPUFF 模擬台中國家歌劇院輻射彈事件，核種為 Ir-192，第 1 筆時間(第 0~30 分鐘內)空間劑量分布 (等值線單位為 mSv/h)。



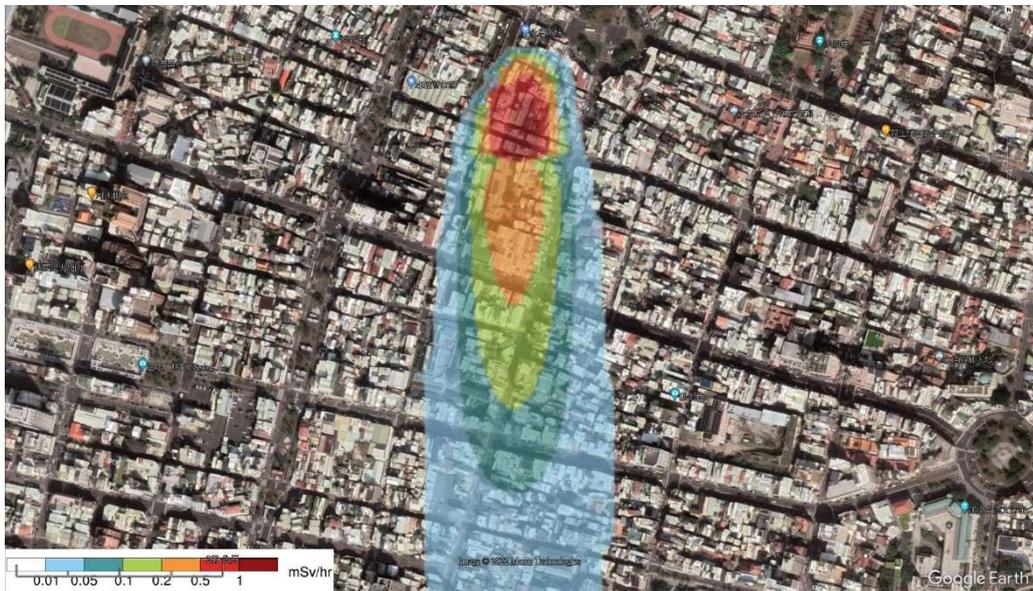
圖三-27 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



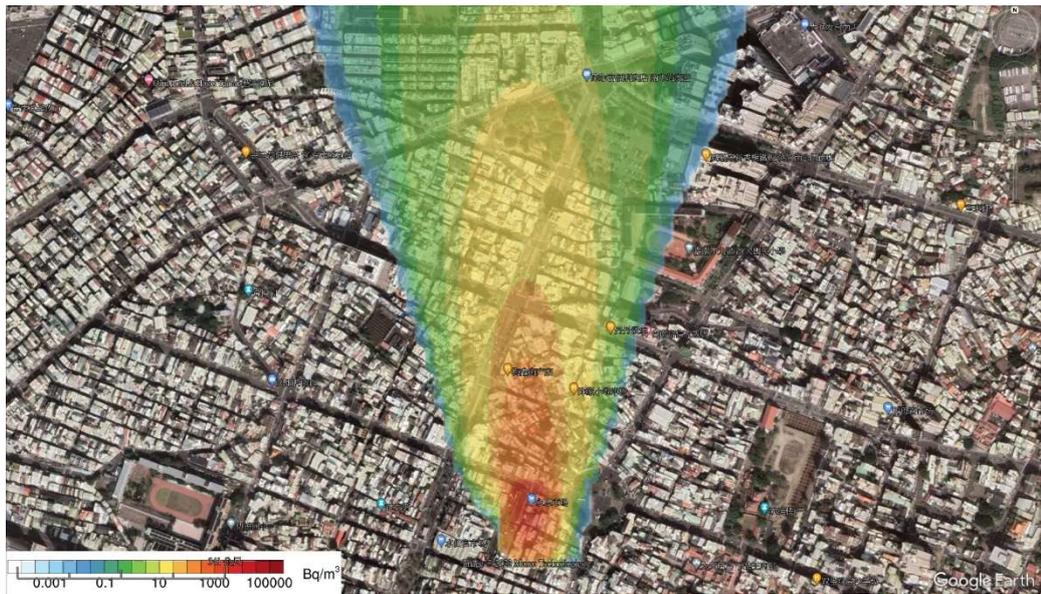
圖三-28 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



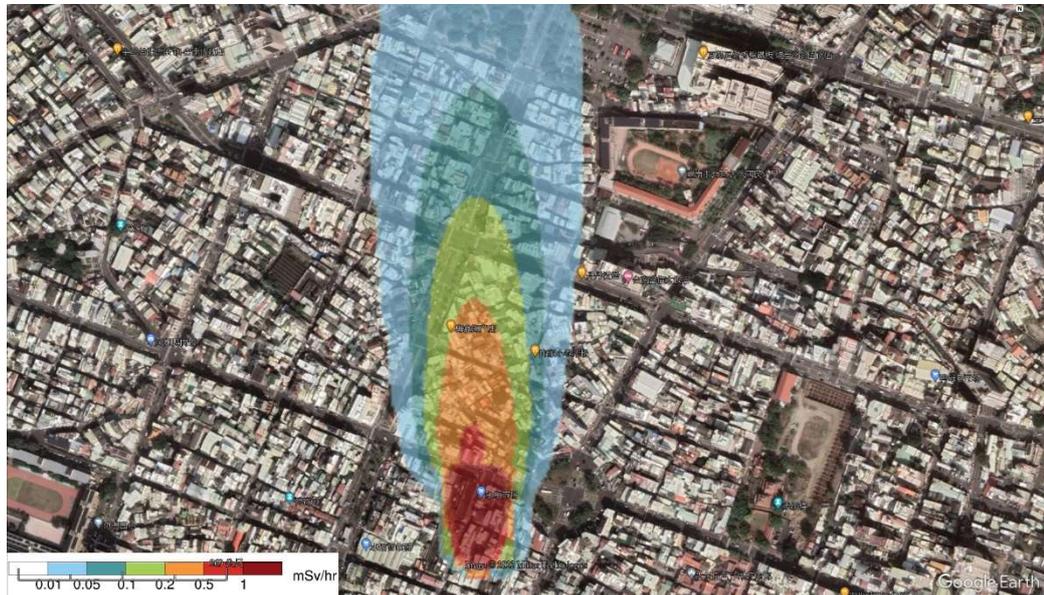
圖三-29 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



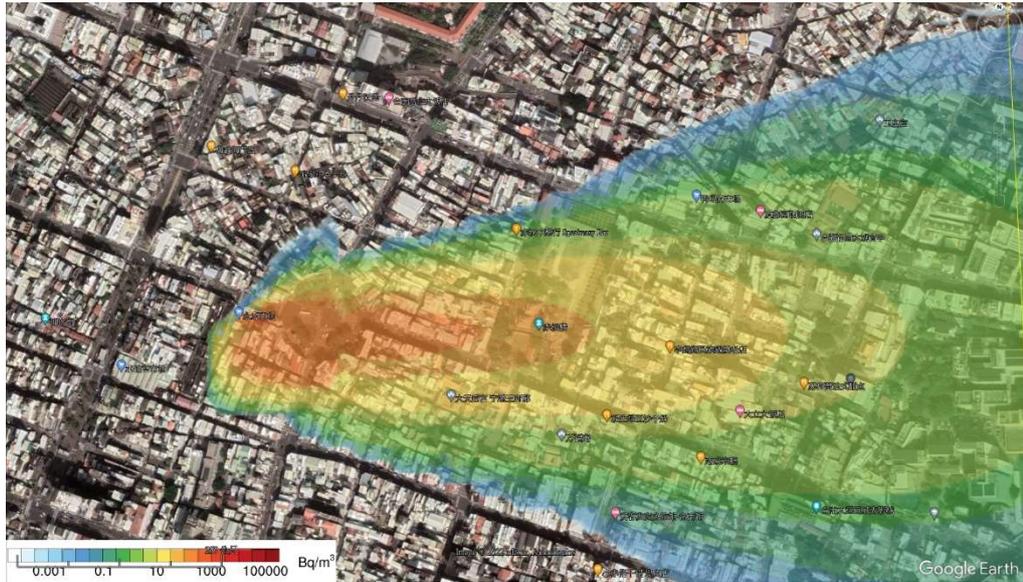
圖三-30 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



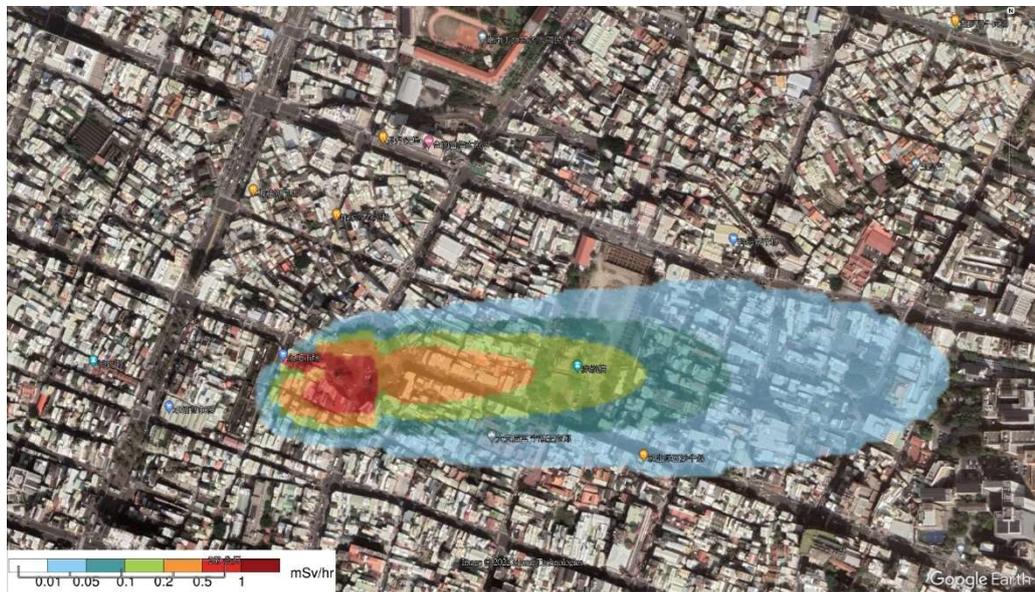
圖三-31 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



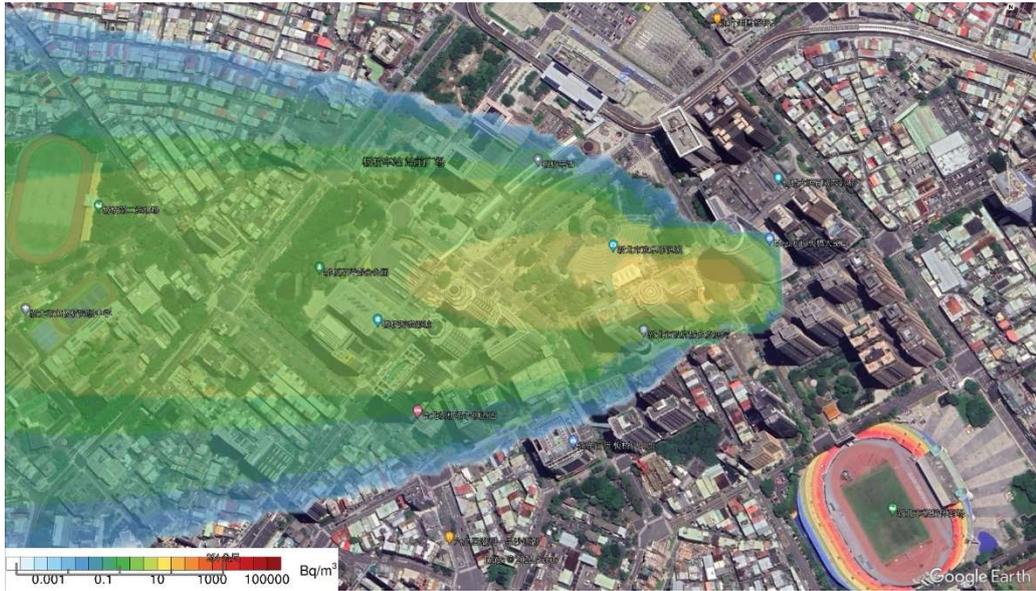
圖三-32 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



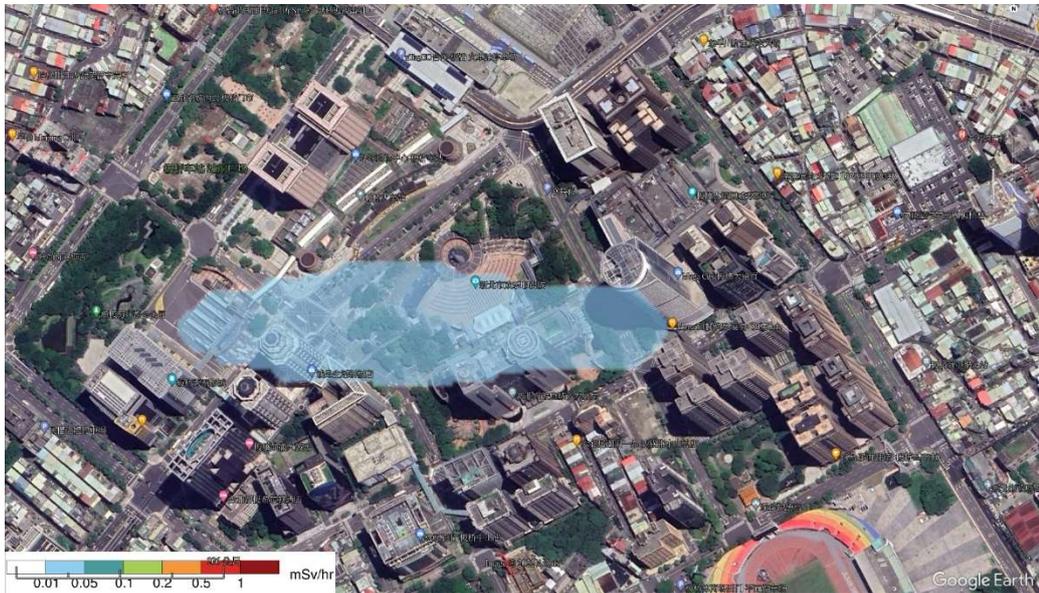
圖三-33 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



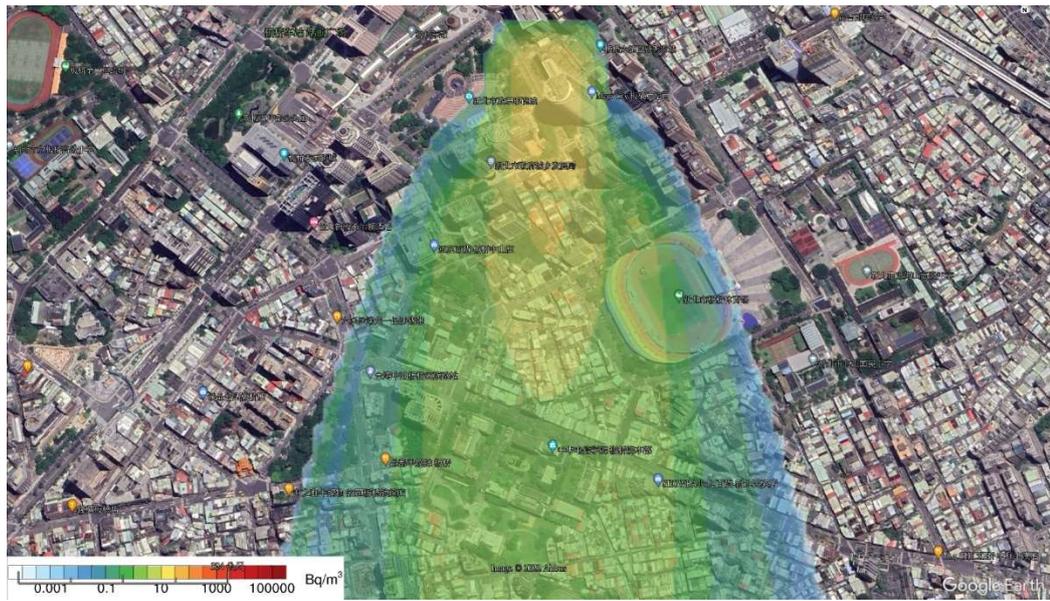
圖三-34 CALPUFF 模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



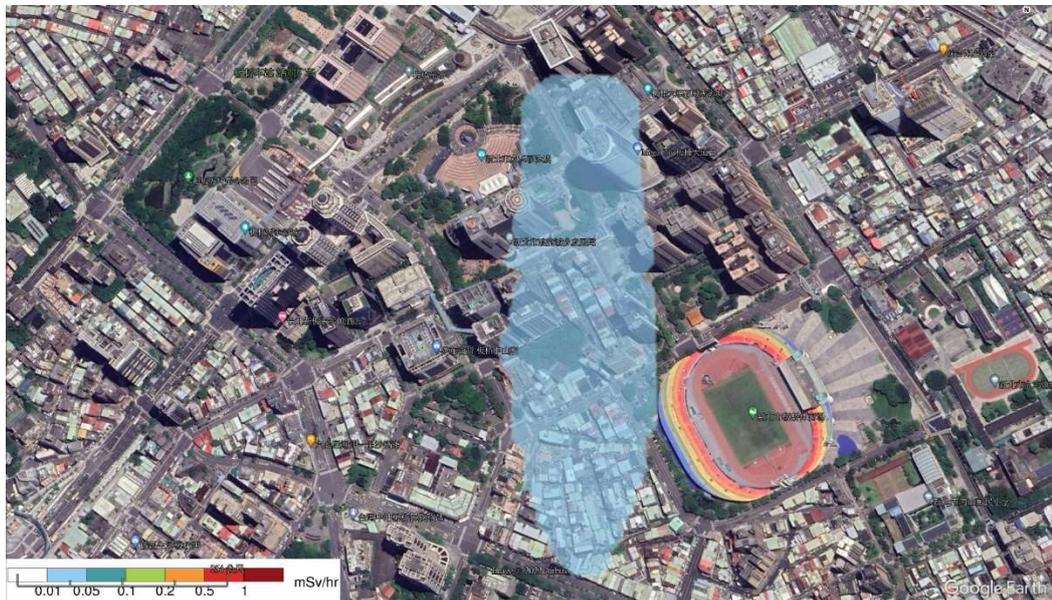
圖三-35 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



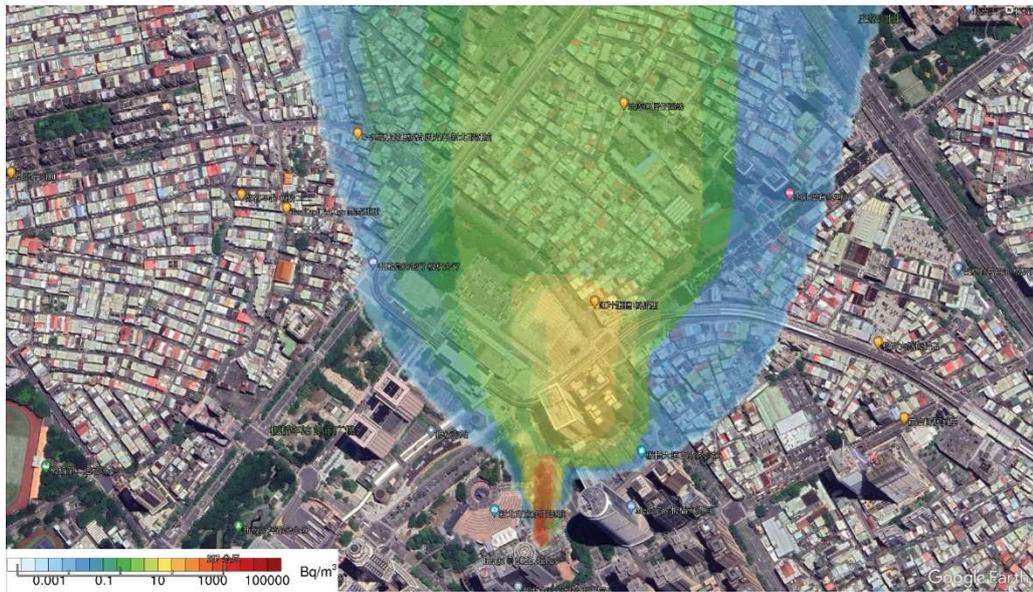
圖三-36 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



圖三-37 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



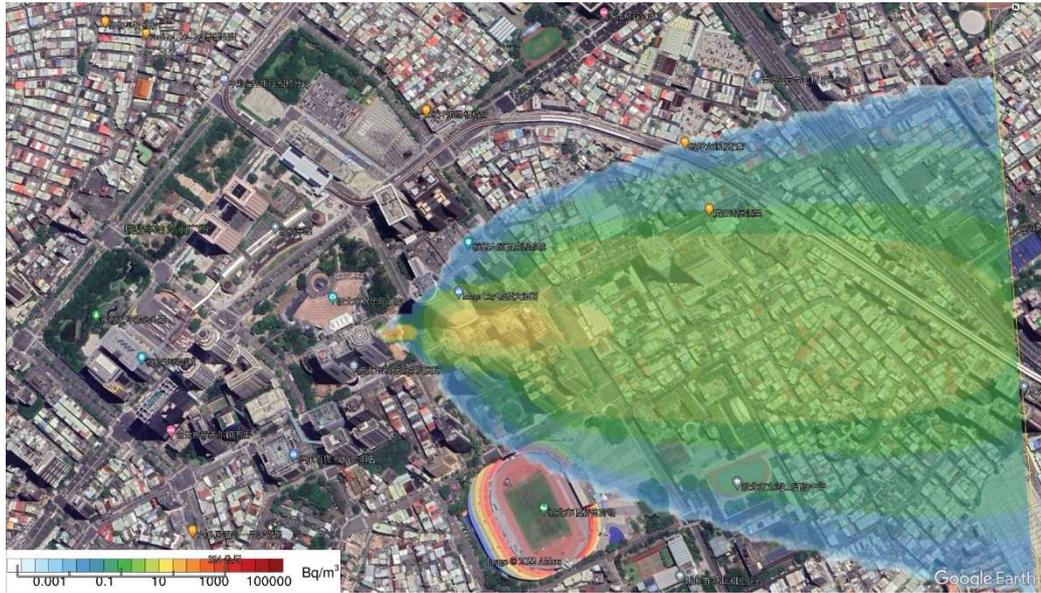
圖三-38 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



圖三-39 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



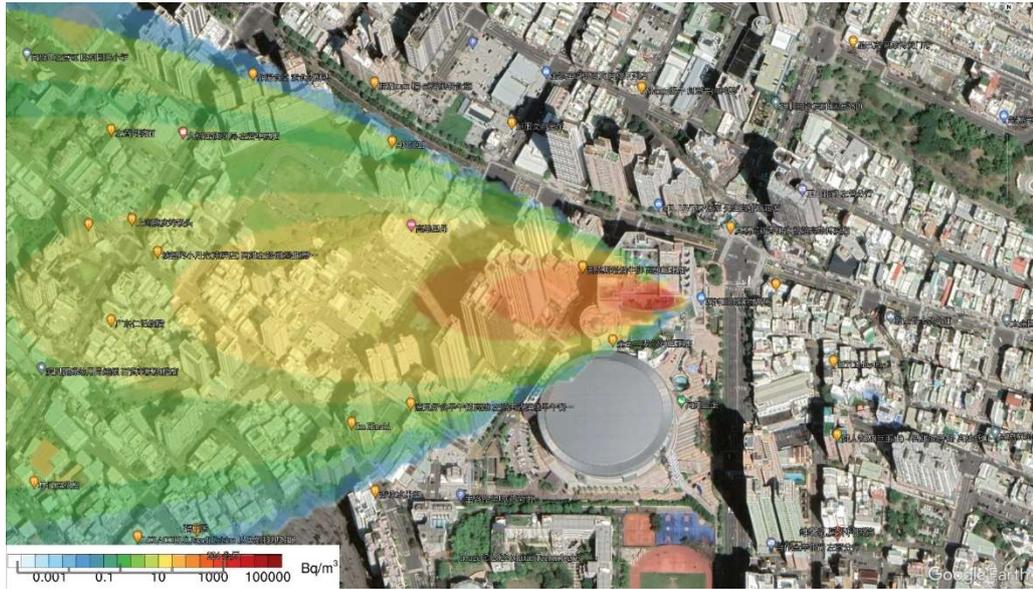
圖三-40 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



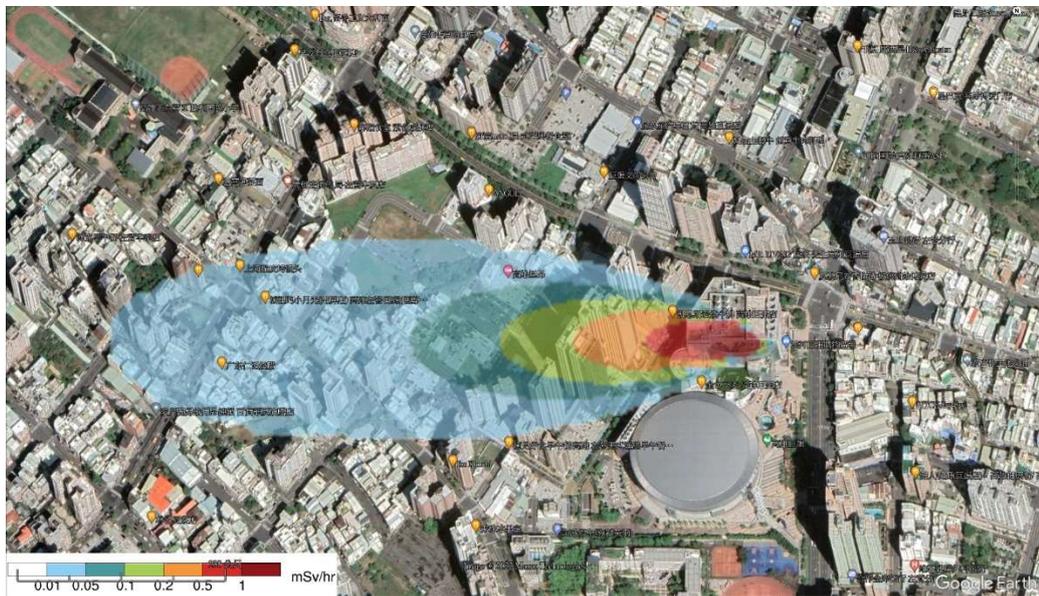
圖三-41 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



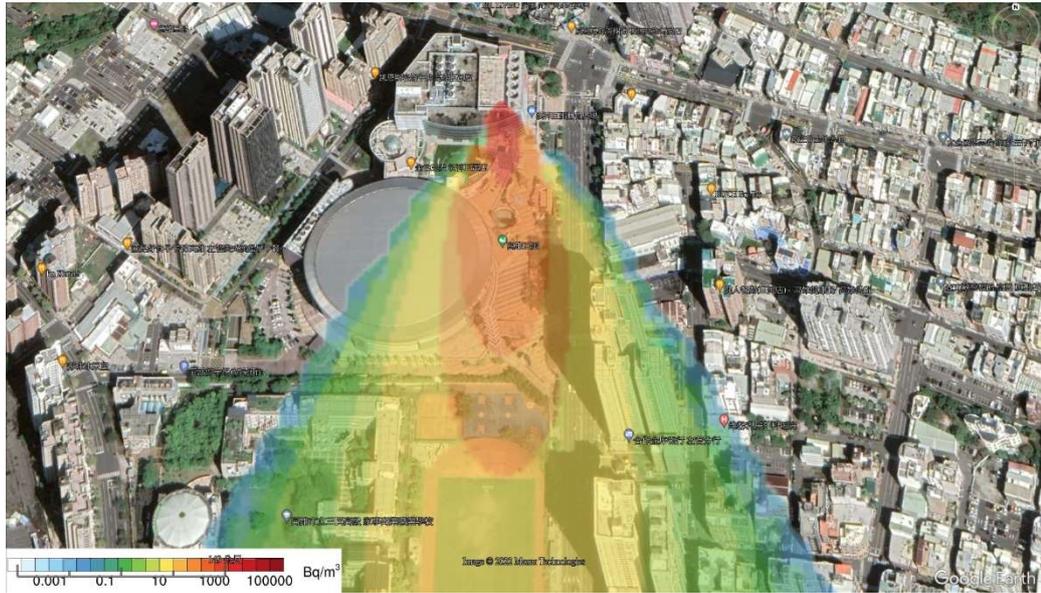
圖三-42 CALPUFF 模擬新北市市政府輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



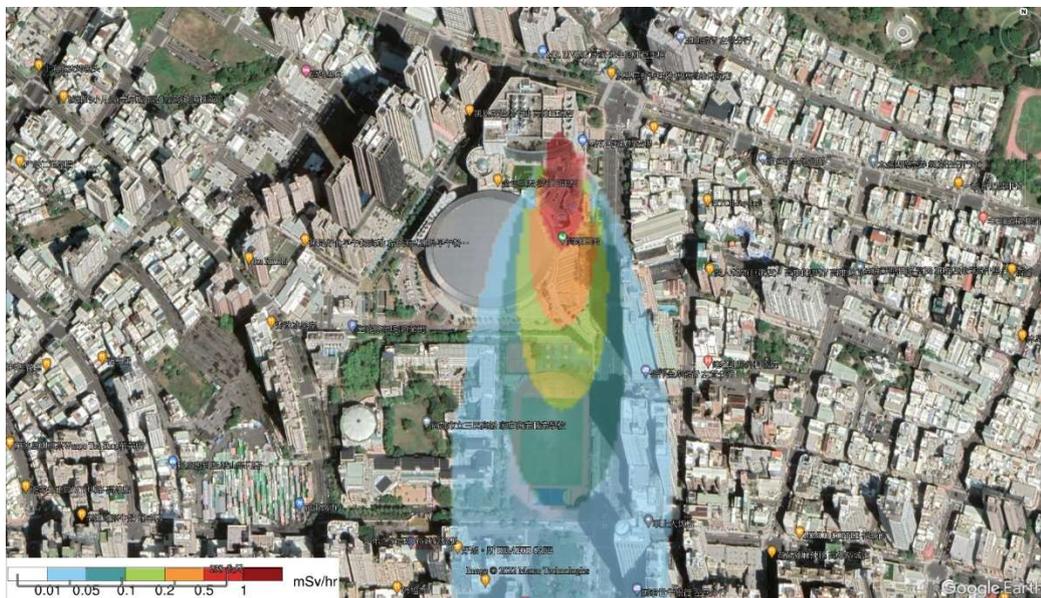
圖三-43 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



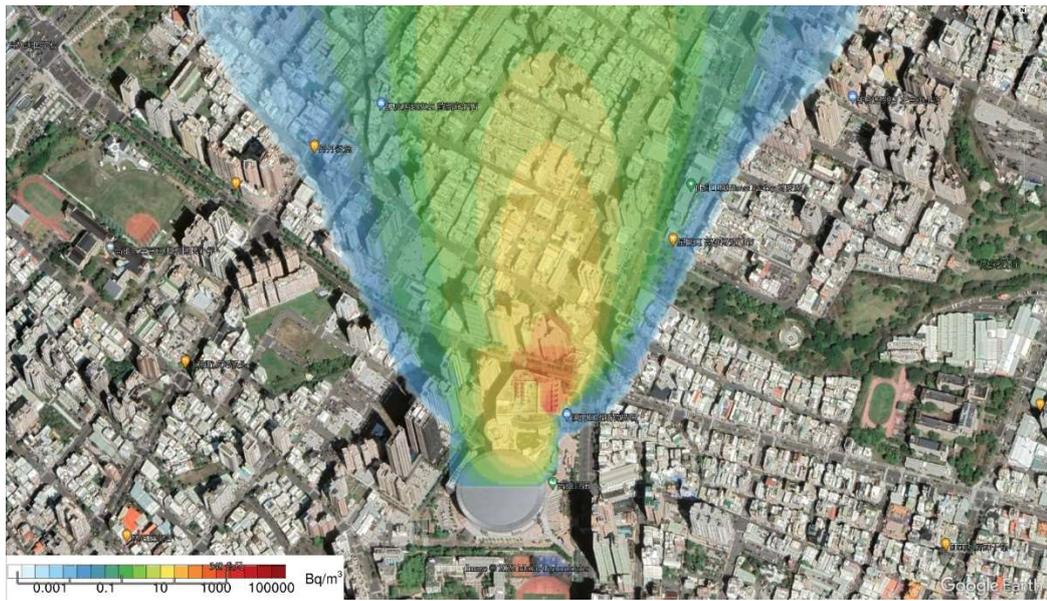
圖三-44 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為東風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



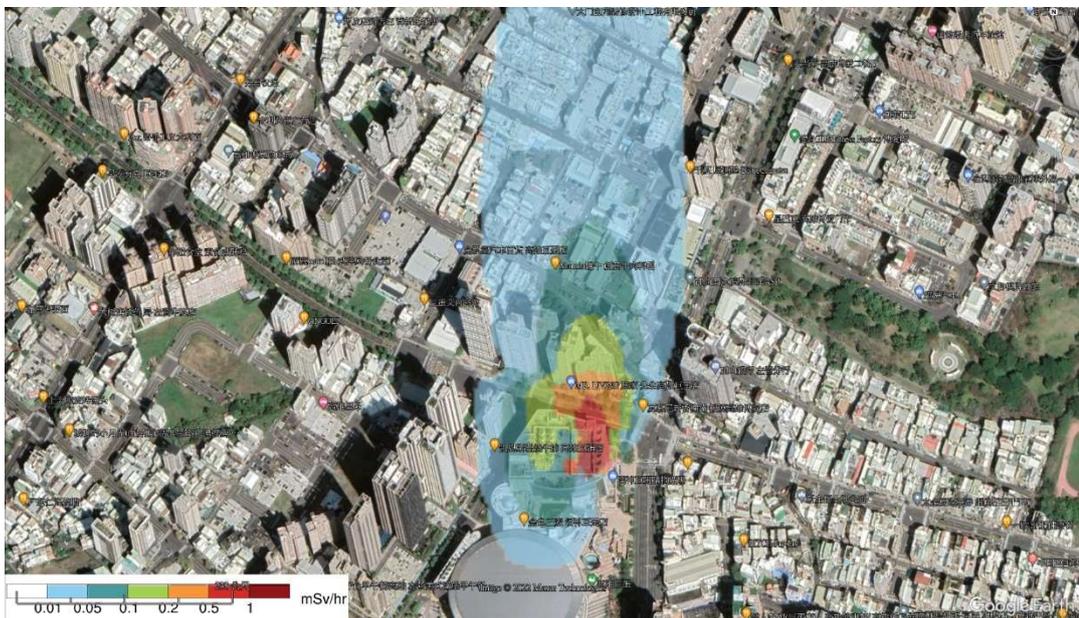
圖三-45 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



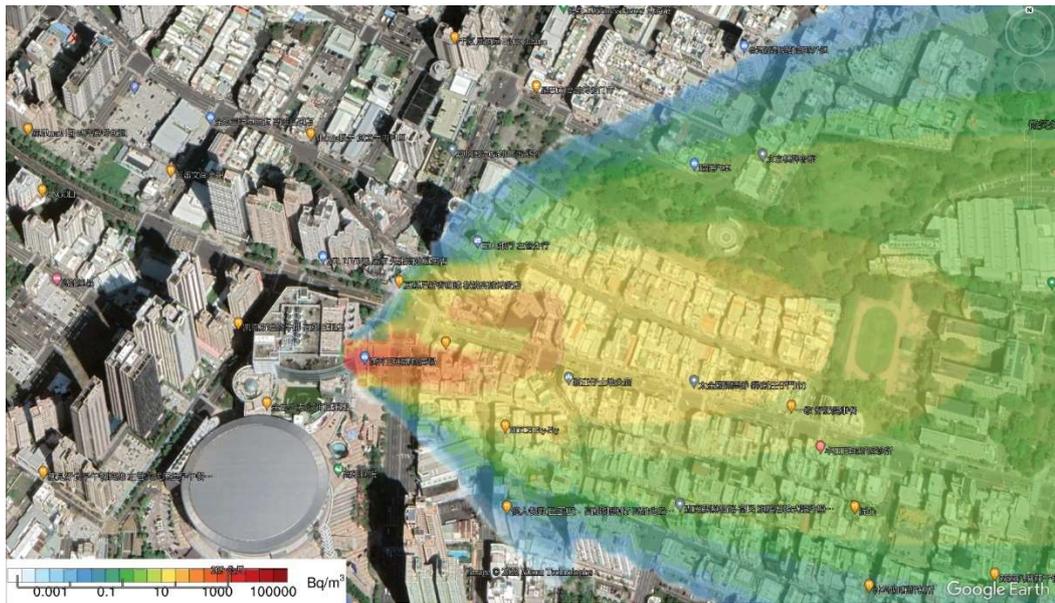
圖三-46 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為北風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



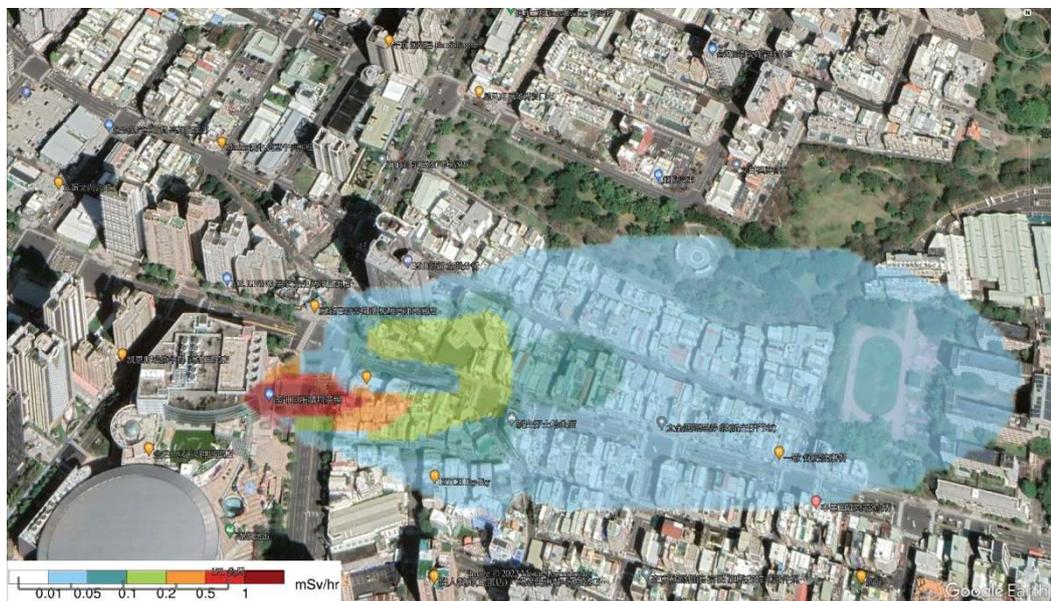
圖三-47 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



圖三-48 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為南風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。



圖三-49 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積柱狀空氣活度濃度分布(填色部分為濃度柱狀累積分布單位為  $Bq/m^3$ )。



圖三-50 CALPUFF 模擬高雄市漢神巨蛋輻射彈事件，風向為西風，核種為 Cs-137，15 分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為  $mSv/h$ )。

#### (四) 建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

##### 1. 研究方法

輻射偵測平台規劃功能型夾爪設計、輻射偵檢模組、影像串流與雲端通訊傳輸等平台機能擴充，以滿足緊急應變任務需求。採取可拆卸式模組設計，可依物件規格，設計不同形式夾爪模組。此外，整合車載多組影像監測器，進行影像串流與雲端通訊傳輸應用，精進應變資訊平台即時展示環境輻射偵測資訊顯示功能，與遙控載具圖像匯入功能，提升指揮中心與現場人員即時應變資訊。

計畫依緊急應變演練作業階段性任務需求，因應非破壞性檢測射源脫落需回收之事件，以 GAM100 加馬射線照射器(如圖三-51 所示)射源遺落在探測傳輸管內為例，經剪除斷落射源的管件後，再利用輻射偵測平台夾取與回收具放射性的管件，降低回收射源時，應變人員近距離靠近射源時間與人員劑量。此外，為提升應變時資訊交換效能，將增加偵測平台影像匯至資訊平台功能。為達到此階段緊急應變演練作業需求，本年度計畫工作項目規劃有：管式功能型夾爪設計、載具通訊網路配置設計、圖像式物件夾取概念設計與環境影像匯入雲端通訊傳輸等事項。



圖三-51 GAM100 加馬射線照射器。

## 2. 研究過程

在上一年度計畫中，輻射偵測平台已完成箱體式功能型夾爪機構設計、環境偵測(含空間輻射劑量)，定位模組(GPS)與雲端通訊傳輸等平台機能擴充，符合現階段緊急應變任務需求。先前因應緊急應變演練需求，載具設定的夾取物件目標為核醫藥物甲級包件，故計畫中設計可拆換電動雙片式夾爪，實際成品如圖三-52所示，夾取物件可順利放置於電動收納艙內。夾爪上方搭載深度相機與輻射偵檢器，深度相機可判讀夾爪與待夾物的距離，方便遠端操控人員判斷物件夾取現況。



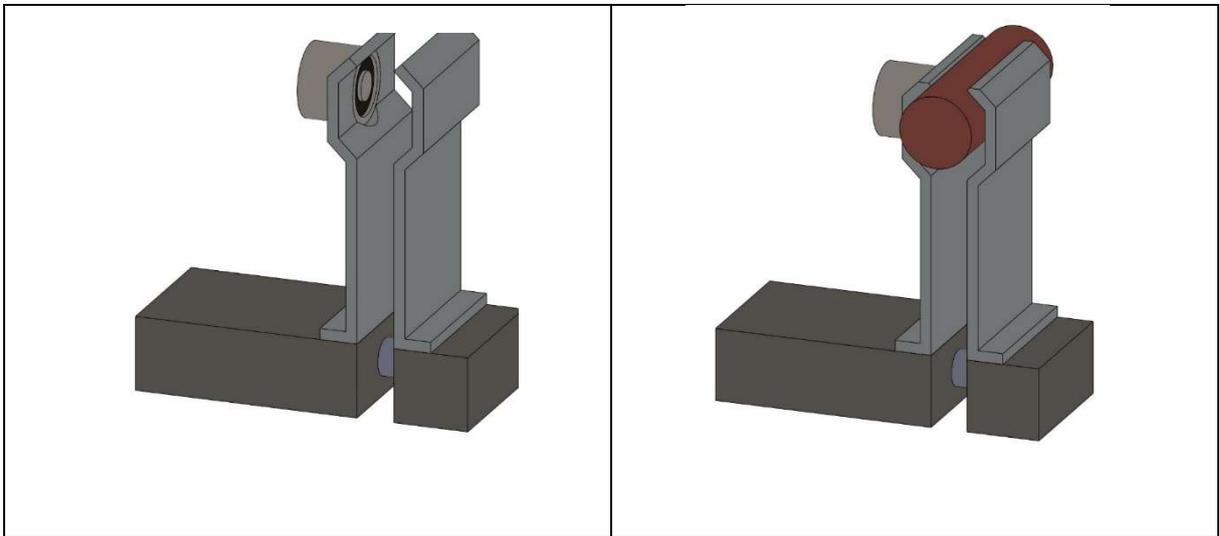
圖三-52 電動雙片式夾爪展示

今年度規劃輻射偵測平台機械手臂搭載管式夾爪模組設計，用以因應小型化物件夾取需求，因應緊急應變演練需求，初期以參考爆裂物夾取機制與現行市售常見機械手臂配置夾抓樣式，有兩爪、三爪或吸盤式夾爪(如圖三-53 所示)等設計概念，並適時評估磁吸式設計需求，建構多元化物件夾取機能。



圖三-53 市售機械手臂常用夾爪類型

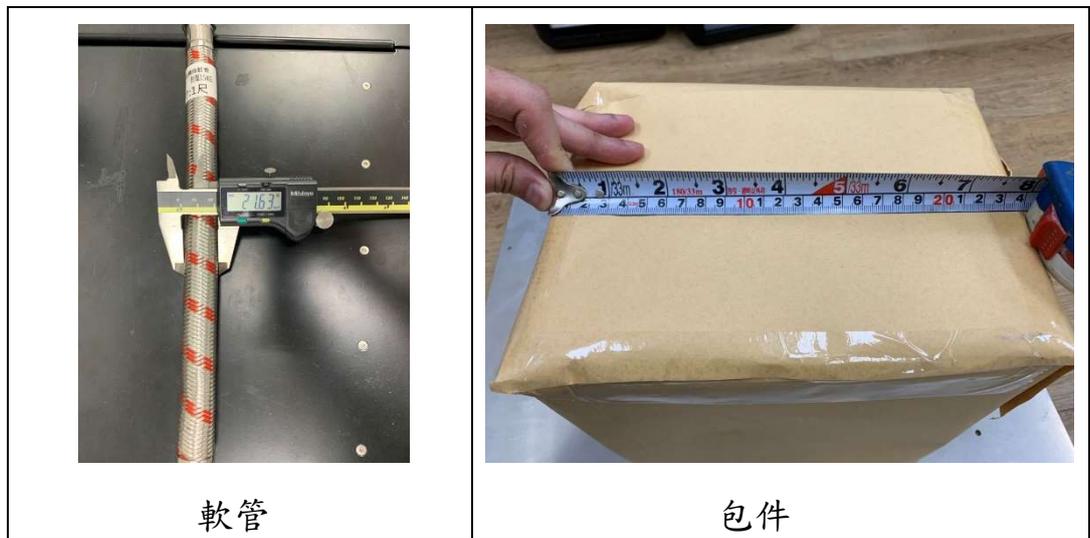
評估現行機械手臂夾爪機能，規劃採用兩爪式夾爪設計，可有較大的應用空間彈性，可採用現行電動缸或馬達齒輪組帶動機構樣式。電動式夾爪具有夾取速度、力道及位置精準控制的優勢，夾爪尖端考量增加電磁吸附機制，可增加夾爪夾持穩定性，此機制有助於鐵、鈷、鎳等磁吸材質夾取輔助，其基礎設計概念如圖三-54 所示，當夾爪抓取可磁吸的管式物件時，可在遠端開啟電磁開關，輔助管件抓取。此外，規劃滑軌式夾片鎖固機制設計，可因應待夾物件尺度規格，靈活調整夾片間距。



圖三-54 磁吸性機能性管式夾爪架構示意圖

管式功能型夾爪已完成硬體製作，利用現有電動缸控制夾爪開閉闔動作，夾爪行程可依需求調整，採快拆機構，可直接人力免工具進行調整，夾取下列兩種物件如：a.外徑約 20mm，長 200mm 之不鏽鋼編織軟管及 230mm\*240mm\*180mm 箱體（如圖三-55 所示）。管式夾爪上裝取 KL-P20 電磁鐵，具 3 公斤吸附能力(如圖三-56 所示)，控制電路與操作程式已整合於現有輻射偵測平台與操作頁面內(如圖三-57 所示)，該圖為載具現有之控制程式，紅框處為管式夾爪模組控制程式，已整合於輻射偵測平台操作頁面中，

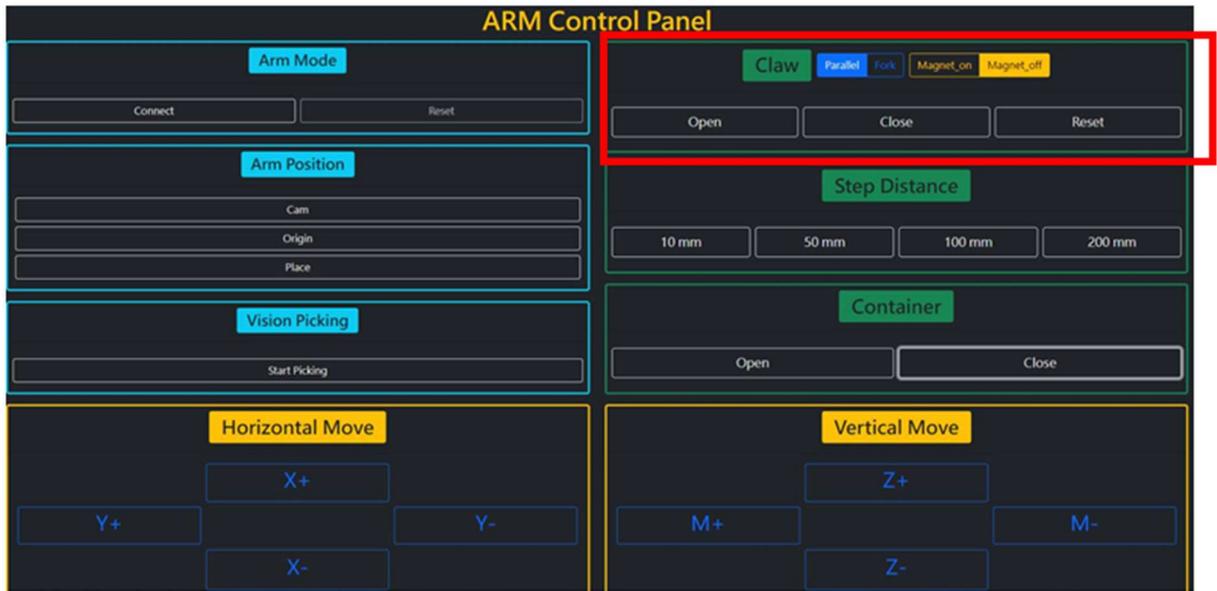
可操作夾爪之開閉及電磁鐵開關。



圖三-55 管件及箱體待夾物件樣品



圖三-56 管式夾爪配置電磁裝置



圖三-57 管式夾爪與電磁模組操作介面

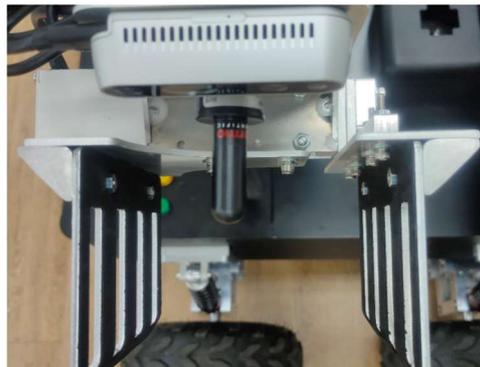
計畫中採用圖三-58 的管件及箱體樣品進行夾取測試，此部分由人員替換管式夾爪後，操作輻射偵測平台上之機械手臂進行試驗樣品抓取，圖三-15 可清楚觀察到地面上的鋼絲軟管被抓取後，順利的放置於平台上的收納艙間。



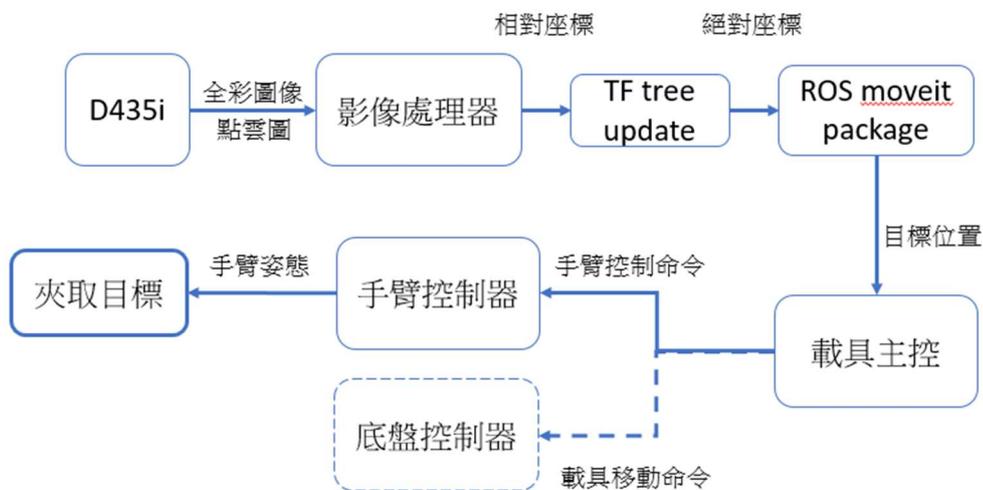
圖三-58 管式樣品抓取試驗

去年計畫已完成核醫藥物甲級包件箱體夾取作業，輻射偵測平台機械手臂夾爪端搭載 Intel D435i 深度相機(如圖三-59 所示)，

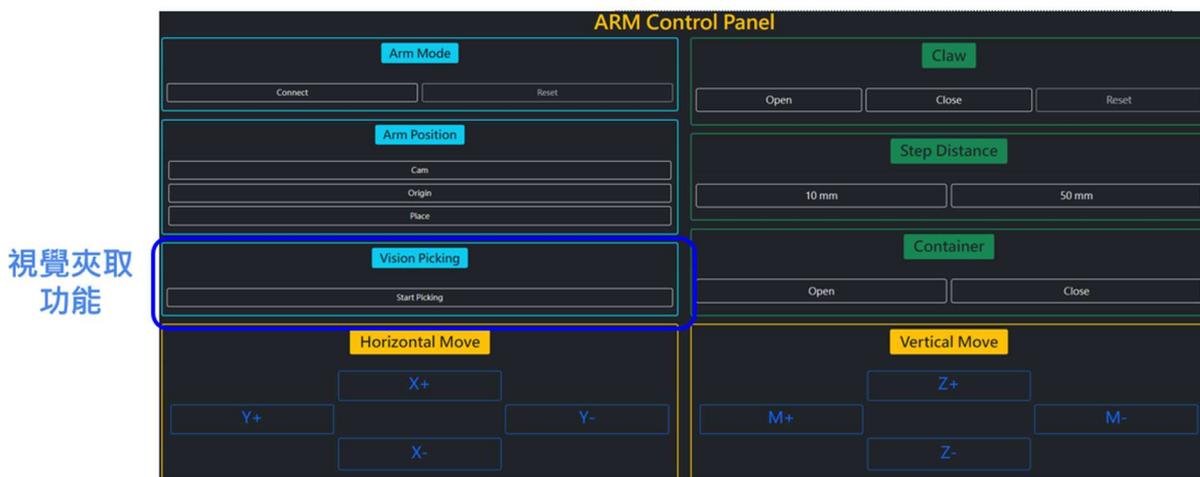
可作為待夾物件影像識別與景深判讀。為了提升遠端操控人員物件夾取效益，計畫中利用夾爪上方 Intel D435i 深度相機的影像識別與景深判讀功能，導入圖像式物件夾取設計概念，如圖三-60 所示，由深度相機擷取待夾物件影像，經影像處理器轉換成輻射偵測平台之座標體系，經載具主控電腦發出命令，移動載具到適當位置(此部分機能尚未完成，目前由人員遠端遙控載具到目標物位置)，再對機械手臂發出命令，讓機械手臂自行完成物件對位抓取，並自動放置於平台上的收納艙間，此部分功能已整合於現行的輻射偵測平台操作程式頁面中(如圖三-61 所示)。現階段僅完成箱體物件之圖像式夾取機能開發，使用圖像式物件辨識與定位架構，可輔助人員遠端操控機械手臂，提升物件夾取成功率。



圖三-59 夾爪端搭載 Intel D435i 深度相機



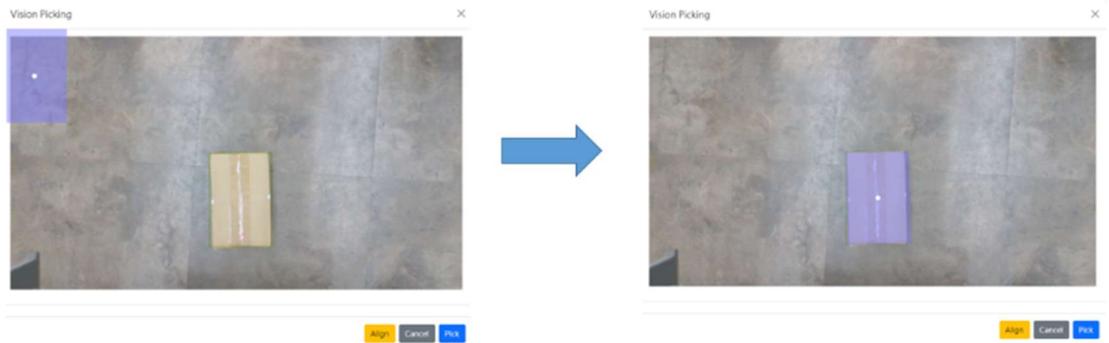
圖三-60 圖像式物件夾取流程圖



圖三-61 中控端圖像視覺夾取操作畫面

當夾爪上方 D435i 深度相機擷取到帶夾物件時，經影像處理器轉換成輻射偵測平台之座標體系，即可開啟中控端的視覺夾取功能，點選功能按鈕後會開啟獨立視窗(如圖三-62 所示)，將辨識框拖曳至目標工件上，再點選 Align 按鈕，手臂會開始辨識及移動位置，確認紫色目標框於工件正上方後點選 Pick 按鈕，即可完成

目標物夾取，並自動放置於平台電動收納艙間內，相關圖像式視覺物件夾取作業可參考圖三-63 所示。



圖三-62 圖像視覺夾取-物件框選



圖三-63 圖像式視覺物件夾取測試與電動收納

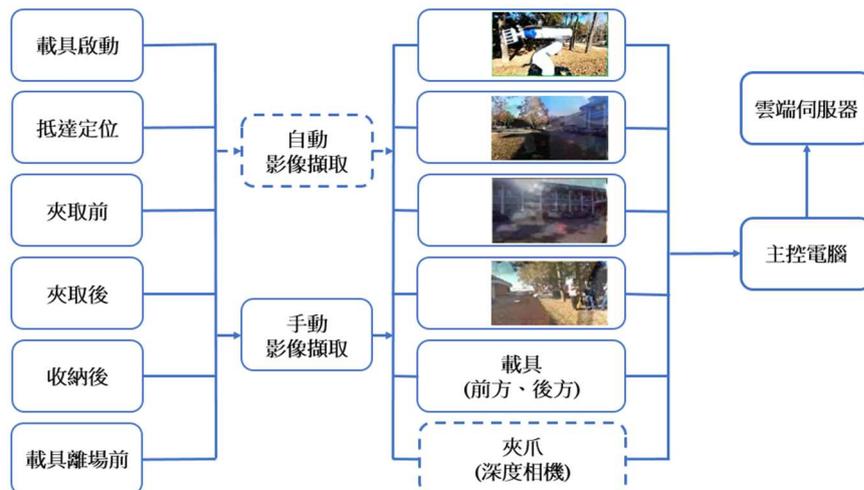
輻射偵測平台影像擷取與串流應用測試作業中，載具上搭載全景攝影機，車體前後嵌入 720P 攝影鏡頭，及機械手臂上裝設 Intel D435i 深度相機，可在遙控載具偵測環境場域時，經由全區域通訊架構，即時傳輸，載具探索影像皆可串流至中控端，如圖三-64 所示。影像資訊於中控端畫面中，除直接觀察環境影像，與偵

測待夾物件需求外，也有助於遠端遙控輻射偵測平台操作，降低載具運動過程撞擊危害。



圖三-64 輻射偵測平台鏡頭配置與即時影像串流

輻射偵測平台影像擷取流程設計規劃如圖三-65 所示，在平台工作運作週期中，中控端可直接觀察載具周圍的環境影像資訊，在影像流程設計中，初期有評估影像自動擷取機制，唯受限通訊傳輸速度、資料庫容量及使用效益等因素，現階段僅能使用手動擷取模式，依現場指揮官需求，手動開啟紀錄模式，將輻射偵測平台環境影像資訊儲存於主控電腦中。在環境影像資訊上傳雲端伺服器資料庫，因應現階段對外租用雲端資料庫空間與傳輸路徑限制，可在中控電腦中採手動方式，將圖像資料上傳至核研所雲端資料庫中(如圖三-66 所示)，再將連結位址轉發到輻射災害應變資訊平台內，可協助指揮中心或緊急應變工作人員，由雲端資料庫下載現場影像資訊，有助於現場應變任務評估使用。



圖三-65 影像擷取流程設計規劃圖



圖三-66 手動上傳圖像資料至核研所雲端空間

### 3. 研究產出

計畫年度完成多功能夾爪設計與製作，可因應待夾物件樣式，採快拆更換成箱體片式管件夾爪，管件夾爪具電磁吸取輔助功能。完成核醫藥物甲級包件之箱體帶夾物影像辨識夾取機能擴充，配合夾爪上方深度相機擷取即時影像，可在控制端畫面中圈選特定待夾物件，快速夾取核醫藥物甲級包件到載具收納艙間。輻射偵測平台採 WiFi 5G/4G LTE 行動網路通訊模式建構遠端操控平台，可遠端遙控輻射偵測平台執行射源偵測作業，即時回傳偵測數據與環境圖像資訊。遠端遙控行動式輻射偵測平台基礎操作機能已

於「111年輻射應變技術隊年度訓練」中演練應用。

## (五) 建置輻射災害應變資訊平台

### 1. 研究方法

依輻應隊運作需求及原能會資安要求，新增簡訊通知出勤準備、顯示偵測平台傳送之影像等各功能及多項升級資安要求。

### 2. 研究過程

- (1) 為初次查看大規模輻射彈爆炸事件各階段偵測區域與偵測點之建議，若為「輻射彈事件」，依發生地點，可選擇風向角度自動產生，並可各自顯示於電子地圖之半透明圖層如 Figure6<sup>[1]</sup> (1km Transect)、Figure7<sup>[1]</sup> (Near Field)、Figure8<sup>[1]</sup> (10-Point Monitoring Plan)。
- (2) 為提供資訊分析人員直覺、圖像式大量偵測資訊彙整，增加可開關之「輻射劑量率」圖層，於地圖上以每小時為單位，不同顏色之標示表示直接輻射劑量率偵測紀錄，分為綠色 0.5  $\mu$  Sv/h(不含)以下、黃色 0.5  $\mu$  Sv/h(含)至 20  $\mu$  Sv/h(不含)、橘色 20  $\mu$  Sv/h(含)至 100  $\mu$  Sv/h(不含)、紅色 100  $\mu$  Sv/h(含)至 1mSv/h(不含)、紫色 1mSv/h(含)以上。於地圖上點選標示後顯示：測量數值、日期時間、記錄人員姓名、儀器。
- (3) 為提供輻應隊人員登入時所在位置，以利人力派遣或援助，增加可開關之「事件與人員」圖層，於地圖上以標示顯示事件發生位置與各人員登入時所在位置。
- (4) 為提供輻應隊現場技術組人員應變能量資訊，以利資源調動或援助，於地圖上點選技術組人員標示後顯示：職稱、姓名、所攜帶之儀器、其「現場回報」內容。
- (5) 因應輻應隊程序書規定，各類型事件於不同月份、不同地點，對應不同的技術組出勤人員，為利決策者迅速掌握出勤名單及發送

簡訊通知，增加依本次事件類型、發生地點、發生時間，以醒目標示顯示技術組成員。

- (6) 為利決策者迅速調整出勤名單及發送簡訊通知，提供具「事件管理」編輯或管理權限之使用者，增加、刪減、替換成員的功能(僅限於本次事件，不更動「輻應隊」之「各組管理」原登載之名單)，與勾選成員通知出勤、準備或不通知，以及編輯發送簡訊通知至成員手機號碼的功能。
- (7) 為便捷簡訊通知出勤作業，及登入平台報到作業，即時提供出勤人員足夠、有用的第一步資訊，出勤成員之簡訊通知如下(「」的部分為預先自動帶入):「事件名稱」於「發生年月日」於「發生地點」發生，您為「收簡訊者輻應隊職稱」，請點選「平台現場端連結」登入成功後，前往「收簡訊者所屬原單位」集結，您的直屬長官為「收簡訊者所屬長官名字與輻應隊職稱」，手機號碼為「收簡訊者所屬長官手機」。
- (8) 為能迅速掌握輻應隊成員是否收到簡訊及報到狀況，增加可瀏覽發送簡訊給各成員的日期時間，各成員登入平台現場端連結或平台管理端連結之日期時間與統計功能。
- (9) 為能蒐集偵測平台影像資訊，提供技術組人員輻射防護等參考，新增「偵測平台影像」，提供顯示偵測平台回傳之影像檔。

### 3. 研究產出



輻射彈事件 1 公里橫切線區



輻射彈事件鄰近區域偵測點



輻射彈事件 10 點測量計畫



「輻射劑量率」圖層以不同顏色標示輻射劑量率，點選標示後顯示數值、時間、記錄人員、儀器

2022-10-06 00:00-23:59

**回報資訊**

- 分派任務:測量
- 回報時間:2022-10-06 11:37
- 量測值(α):10 cps
- 量測值(β):10 cps
- 量測值(γ):50 μSv/h

- 分派任務:測量
- 回報時間:2022-10-06 11:37
- 產製報告記錄表:[直接輻射偵測記錄表](#)
- 量測值(α):10 cps
- 量測值(β):10 cps
- 量測值(γ):50 μSv/h



「事件與人員」圖層標示事件發生位置與人員登入時所在位置  
點選人員標示後顯示職稱、姓名、攜帶之儀器、「現場回報」內容

圖三-67 資訊平台研究產出圖示一

輻應隊：輻應隊(放射性物質意外事件)		簡訊通知	隊長變更
組別		組員	
技術組南部先遣小組		組別	姓名
技術組南部支援小組		隊長	劉文熙
技術組北部預備組員		副隊長	李綺思
技術組北部先遣小組		技術組北部先遣小組	聶至謙 組長
技術組北部支援小組		技術組北部先遣小組	葉俊良 組員
		技術組北部先遣小組	張富涵 組員

依事件類型、發生地點、時間，醒目顯示技術組成員

編輯資料

事件分類：輻射彈事件

組隊名稱：輻應隊(輻射彈事件)

隊長：  
李綺思

副隊長：  
黃俊源

待選名單：

何璠	侯政宇	劉任哲	劉德銓	劉文熙	吳昌蔚	周宗源
周政毅	周昱辰	唐大維	姚勳忠	尤建偉	張富涵	張維廷
戈元	李修翰	李奇勇	李平邦	杜若婷	林品均	林明仁
林清源	林貞綸	柯亨合	氣象測試	洪子傑	洪進達	王文志
王濬儒	王錫勳	盧仲信	簡子鈞	羅玉芳	聶至謙	葉俊良
蔡念純	蔡易達	蔣宇	蘇軒銳	袁懿宏	許玉霞	賴佳琳
賴曉君	鄧之平	鄭凱文	鄭敬瀚	鄭裕勝	陳冠傑	陳又新
陳章新	陳鴻斌	高薇喻	黃朝群			

組隊備註：

修改 取消

提供具權限之使用者，增刪、替換成員



圖三-68 資訊平台研究產出圖示二

簡訊發送狀態

事件:A隊應變訓練 (2022-10-06 13:35:06)

姓名	門號	發送情形
蘇軒銳	09	成功發送
賴曉君	09	成功發送
陳又新	09	成功發送
蔡易達	09	成功發送
王滄儒	09	成功發送
張維祚	09	成功發送
鄭敬瀚	09	成功發送
吳昌蔚	09	成功發送
林品均	09	已發送 <small>確定該手機已收到簡訊且回應狀態。</small>
張富涵	09	已發送

顯示第 1 至 10 項結果，共 14 項

[上一頁](#)
[1](#)
[2](#)
[下一頁](#)

可瀏覽發送簡訊給各成員的日期時間

帳號登入狀態

Name	Browser	Platform	REMOTE IP	GPS	LatestTime
					2022-10-06 00:00
劉任哲	Google Chrome 106...	Linux	114.137.35.130	0,0	2022-10-06 14:34:18
吳昌蔚	Apple Safari 15.3	Mac OS	101.10.4.239	24.8395,121.273	2022-10-06 15:09:44
周宗源	Google Chrome 100...	Linux	180.217.226.149	24.8554,121.2528	2022-10-06 12:28:53
周昱辰	Google Chrome 105...	Linux	39.9.65.118	24.8545,121.256	2022-10-06 11:46:06
張維祚	Apple Safari 15.4	Mac OS	101.10.60.204	24.8549,121.2555	2022-10-06 14:31:25
洪子傑	Apple Safari 15.6.1	Mac OS	49.216.18.37	24.8392,121.2726	2022-10-06 11:45:20
羅玉芳	Apple Safari 604.1	Mac OS	1.200.137.129	24.8606,121.2238	2022-10-06 12:28:59
蔡易達	Google Chrome 103...	Linux	106.64.97.187	24.8545,121.256	2022-10-06 14:33:01
蘇軒銳	Google Chrome 99.0...	Linux	111.71.16.130	24.8545,121.256	2022-10-06 14:11:15
許玉霞	Google Chrome 88.0...	Linux	118.163.113.26	24.8545,121.256	2022-10-06 14:40:26
賴曉君	Apple Safari 15.6.1	Mac OS	27.247.73.135	24.8547,121.2558	2022-10-06 14:26:01

[重設過濾](#)
[重新整理](#)

頁: [1](#) 每頁筆數: [20](#) 1-11 總共 11

可瀏覽各成員登入平台之日期時間與統計功能

圖三-69 資訊平台研究產出圖示三

輻射事件應變  
資訊平台

偵測平台影像

影像說明	資料連結	更新日期	更新人員		
加馬輻射偵檢器	JPG	2022-10-26	鄭裕勝	編輯	刪除
111年核安第28號演習實兵演練-環境輻射偵測演練	URL	2022-10-26	鄭裕勝	編輯	刪除

新增

頁: 1 每頁筆數: 10 1-2 總共 2

新增「偵測平台影像」

編輯資料

影像說明: 111年核安第28號演習實兵演練-環境輻射偵

使用(直播/影像)連結:  是

(直播/影像)連結位置:

修改 取消

編輯資料

影像說明: 加馬輻射偵檢器

使用(直播/影像)連結:  是

上傳影像檔案:  未選擇檔案。

上傳進度: 0%

修改 取消

提供顯示偵測平台回傳之影像檔

圖三-70 資訊平台研究產出圖示四

## 四、討論與建議

### (一) 強化輻射應變技術

有關輻應隊訓練中，輻射彈事件初期 100 分鐘應變導則課程，少數學員反應時間不足，希望更深入講解，以及轉化為國內適用之導則。建議未來或可於此題目引入中央其他相關部會，或地方政府第一線應變人員講師或學員，以國內實際救災體系與經驗來精進探討，期望能轉化成更適合國內使用的導則。有學員反應希望再多花一些時間，更熟悉資訊平台操作。因本次訓練為輻應隊首次接觸資訊平台實作課程，功能眾多，又是團隊作業需要時間互相配合，一時不容易完全上手。建議未來可繼續安排進階題目，進行團隊實作複習與延伸演練。而遠端遙控偵測平台功能說明與實作課程，約有 27%、最多學員反應時間不夠。建議可綜合考量本所人力及場地，挑選合適時段，增加時數或降低學員人數，以提升學員操作練習機會。

### (二) 完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

今年主要完成輻應隊輻射彈爆炸事件出勤裝備建議，包含各式偵檢儀器與人員防護裝備。同時草擬輻應隊輻射彈爆炸事件現場處置相關程序修訂建議，可待來年進行細部討論。10 月已就輻應隊各項裝備盤點後，購置 50 只半面罩(L 號)，補足半面罩所需，未來每年亦建議定期盤點，汰舊換新、新添置等以維持應變不時之需。

### (三) 放射性物質擴散分析能力建立

本年度將整合系統中 CALMET 模式及 CALPUFF 模式的操作檔，讓系統使用更加便利，並評估提升模式運算時間的可行性。並藉由 110 年度蒐集之臺灣各區域(除臺北市之外)建物資料透過建物資訊轉換模組轉換成 CALPUFF 模式所應用之資訊，再選擇實際重點場所，結合地形

地物資料，進行放射性物質擴散案例運跑，預計完成臺灣五個區域的放射性物質擴散案例運跑後，透過整合 RESRAD RDD 之結果建置資訊轉換模組，提供網格化空間劑量率資料之結果，並可將模擬結果顯示於地理資訊平台。

本年度透過模擬不同水平解析度及垂直解析度來評估未來整個系統要符合緊急應變所需，再更改水平解析度的模擬結果中可得到較有效益的減少 CALMET 運跑時間，其模擬結果差異再水平解析度 15 公尺時有些微差異，但大致上模擬結果分布趨勢相同。而在垂直解析度上的變化，模式運跑時間減少效益較小，其模擬結果因皆為網格點上柱狀累積結果，故無明顯差異。為了符合緊急應變所需，未來利用 CALPUFF 模擬輻射事件時，建議可以使用水平解析度 15 公尺及垂直層可以沿用過去分為 10 層的方法，進行假想事件模擬。

透過建置臺灣建物資料庫的方法可以顯著減少整體模式運跑時間，而在模擬範圍內建物的多寡，會顯著影響建物轉換成組態檔時的運算時間。未來在運跑模式時可以在針對建物轉換的運算時進行平行化運算方法，讓其運跑時間再下修。

#### (四) 建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

因應輻射事件應變技術開發需求，以上年度完成的行動式輻射偵測平台為主體。滾動式策略修訂，完成管式功能型夾爪硬體製作與測試，擴增核醫藥物甲級包件圖像式物件夾取機能，輔助人員遠端操控機械手臂，提升物件夾取成功率。輻射偵測平台搭載全景攝影機，車體前後嵌入 720P 攝影鏡頭，及機械手臂上裝設 Intel D435i 深度相機，載具探索影像皆可串流至中控端。並採手動上傳雲端資料庫，再將連結位址轉發到輻射災害應變資訊平台內，可協助指揮中心或緊急應變工作人員，由雲端資料庫下載現場影像資訊，有助於現場應變任務評估使用。建議未來建立網狀網路通訊傳輸配置，擴充遠端遙控行動式輻射偵測平台

操作範圍，持續因應計畫需求，適度增加操作訓練，滾動式策略修訂，提升平台操作機能，以滿足多元化緊急應變任務。

#### (五) 建置輻射災害應變資訊平台

資訊平台經輻應隊訓練學員與助教實地操作後，提出多個可再改善之處，建議納入未來修訂內容：編輯出勤人員時，下拉式名單目前為眾多人員排列，可改為以處室等單位分類後，再出現人員名稱，減少參謀組搜尋人員時間；檢視簡訊發送結果時，以目前出勤名單為範圍，再以輻應隊分組單位分類後，表列出傳送各分組各人員簡訊成功或失敗等結果，讓參謀組或主管可初次一目了然簡訊發送結果；放射性物質擴散模擬劑量分布等高線圖之線條可再細一點，以免遮蓋電子地圖過多空間，導致無法分辨路名或區域等路標；任務分派時，由隊長/副隊長指示參謀組分派各組任務後，各組人員應皆可針對該組任務，進行回復，不需在應變資訊平台上，層層指派至各人(目前有三層指派動作，希望簡化至一層)，指派至個人的動作應由各組組長視現場情況，回歸傳統機動口頭或通訊分派，較符合效率要求。現場端尚須加上輻射彈事件之爆炸區域、下風向 1 公里橫切線、鄰近區域，以及 10 點測量計畫、偏遠地區之偵測地點與地區圖層疊加功能。

## 五、參考文獻

- [1]. National Urban Security Technology Laboratory, “Radiological Dispersal Device(RDD) Response Guidance Planning for the First 100 Minutes”, 2017.
- [2]. <https://www.youtube.com/watch?v=qDOQApRmk5Q>, 20220630.
- [3]. International Atomic Energy Agency, ” Manual for First Responders to a Radiological Emergency”, 2006.
- [4]. 行政院原子能委員會核能研究所，「核能研究所共通性輻射防護作業程序」，111 年 5 月。
- [5]. 行政院原子能委員會，「輻射應變技術隊輻射彈事件現場應變作業程序書」，105 年 11 月。
- [6]. Scire, J.S., D.G. Strimaitis and R.J. Yamartino, 2000: A User’s Guide for CALPUFF Dispersion Model (Version 5). Earth Tech, Inc., Concord, MA.
- [7]. J. F. Pereira, and J. U. Delgado, 2018: Dirty bomb radiological simulations: two explosion scenarios using the Rio 2016 Olympic games Athletes’ Village as a model. Brazilian Journal of Radiation Sciences, vol. 6, no. 2, pp. 1-18.