

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(2/4)

Research on the emergency-response technology for the radioactive events(2/4)

計畫編號：110- - - -

(GRB 系統科技計畫編號：PG11003-0036)

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：盧仲信、許玉霞、林聰得

聯絡人：彭恩琪

報告日期：110 年 12 月 27 日

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目的.....	2
一、強化輻射應變技術.....	3
二、完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP.....	3
三、放射性物質擴散分析能力建立.....	3
四、建置遠端遙控行動式輻射偵測平台.....	3
五、建置輻射災害應變資訊平台.....	4
參、研究方法、過程、結果與產出.....	5
一、強化輻射應變技術.....	5
二、完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP.....	17
三、放射性物質擴散分析能力建立.....	24
四、建置遠端遙控行動式輻射偵測平台.....	71
五、建置輻射災害應變資訊平台.....	95
肆、結論與建議.....	125
一、強化輻射應變技術.....	125
二、完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP.....	126
三、放射性物質擴散分析能力建立.....	126
四、建置遠端遙控行動式輻射偵測平台.....	127
五、建置輻射災害應變資訊平台.....	128
伍、參考文獻.....	130

中文摘要

為提供輻射災害緊急應變防災、救災人員之教育訓練與應變所需資源，本計畫擬建置輻災防救訓練研發中心基地，協助解決現今輻射災害防救訓練場所、裝備與教材不足之問題，研擬國內輻射彈爆炸事件應變策略，透過開發應變所需之遠端遙控輻射偵檢技術，以及核子事故以外類型之輻射災害管理技術與平台，擴大輻射災害的應變效益及效能。針對前述目的，本計畫執行工作包括：

1. 強化輻射應變技術
2. 完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP
3. 放射性物質擴散分析能力建立
4. 開發遠端遙控行動式輻射偵測平台、應變資訊平台

關鍵字：輻射災害、緊急應變

英文摘要

In order to provide the education, training and resources of radiation disaster response and disaster relief personnel, this project plans to build a radiation disaster prevention and rescue training research and development center to help solve the current shortage problems of radiation disaster prevention and rescue training sites, equipment and teaching materials. This project also plans to expand the effectiveness of response to radiation disasters by developing domestic dirty bomb incident response strategies, remote control radiation detection technologies, and the radiation disaster management technology and platform other than nuclear accidents. For the aforementioned purposes, the implementation of this project includes:

1. Enhance the radiation disaster response technology
2. Complete operating procedures for the emergency equipments and preparation.
3. Research and development of radiation incident response technology (establishment of radioactive material diffusion analysis capability)
4. Develop remote control mobile radiation detection platform and response information platform

Keywords: radiation disaster, emergency response

壹、前言(計畫緣起)

輻射應用隨科學技術發展遍布農、工、商、醫用等各行業，先進國家日益重視其潛在伴隨之輻射災害事件預防與救災，並因應國際化之社會發展，為消弭使用輻射源惡意攻擊對民眾的威脅，逐步研析、規劃相關之應變策略。

當輻射災害事件或輻射彈爆炸事件發生，初始數小時的應變作為，影響各階段整體救災執行策略與成效，第一線應變人員需負有多工的任務，例如確認輻射外釋狀況、污染分布情形、導入搶救生命行動、民眾防護行動措施建議，回報現場狀況等等。這些任務在第一線應變人員抵達現場內數分鐘即開始執行，初始應變活動效能與協調狀況，將決定後續其他支援之組織團隊與資源抵達現場，接續救災行動的執行成效。因此，進行輻射事件應變技術開發與研究，對我國提升災害防救能量至為重要。

貳、研究目的

為提供輻射災害緊急應變防災、救災人員之教育訓練與應變所需資源，本計畫擬建置輻災防救訓練研發中心基地，協助解決現今輻射災害防救訓練場所、裝備與教材不足之問題，並研擬國內輻射彈爆炸事件應變策略，透過開發應變所需之遠端遙控輻射偵檢技術，以及核子事故以外類型之輻射災害管理技術與平台(輻射災害應變資訊平台)，提升輻射災害的應變效益及效能。

因此，本計畫今年執行工作如圖 1。

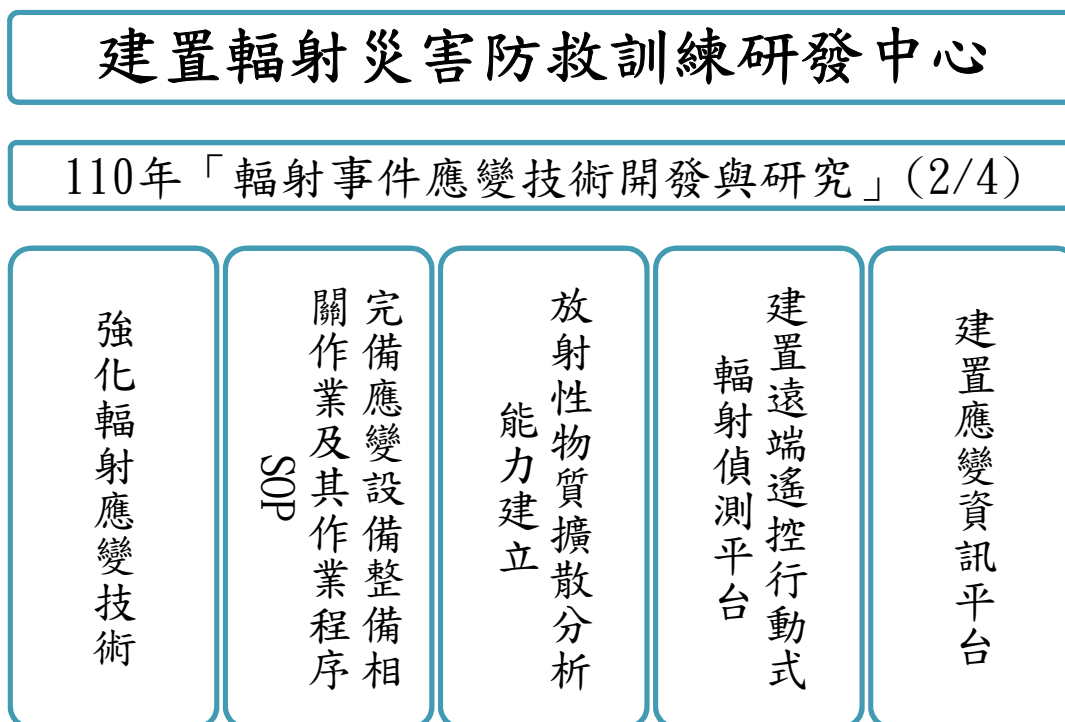


圖 1 110 年度計畫主要工作項目

其中具體內涵包括下列5個主題(子項工作項目)，係依據原能會110年度政府科技發展中程個案計畫書之指示而訂定，報陳原能會

審查同意後執行。

一、強化輻射應變技術

因應可能之輻射災害潛勢，規劃應變訓練所需之戶外場地，辦理輻射應變技術隊(以下簡稱輻應隊)訓練，改善現今輻射災害防救訓練場所與教材不足之問題。

二、完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

促進輻應隊成員對於現場快速核種分析，以及簡易污染偵檢之熟稔度，研析應變所需二級設備，以及二級人力需求，以協助現場應變作業。

三、放射性物質擴散分析能力建立

納入我國建物分布模型，研析輻射彈爆炸參數，精進輻射彈爆炸事件放射性物質污染擴散分析準確性，據以評估劑量分布狀況，提供輻應隊規劃人力、裝備與時間之細部參考。

四、建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

結合地面遠端遙控載具、人機介面、機械手臂、夾具、偵檢頭、收納艙設計，建立遠端遙控行動式輻射偵測平台(以下簡稱偵測平台)，以遠端遙控方式，即時定位、回傳環境偵測資訊，以及夾取與回收包裹。

五、建置輻射災害應變資訊平台

結合電子地圖建立輻射災害應變資訊平台(以下簡稱資訊平台)主要功能，包含提供人員資訊、儀器資訊、事件資訊、具定位功能偵檢器網路傳輸資訊之接收與顯示，與現場應變人員手動輸入資訊之接收與顯示，提供指揮中心、幕僚、現場應變人員即時圖像化之溝通管道。

參、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，各項研究方法、過程與產出詳述如下：

一、強化輻射應變技術

(一)研究方法

因放射性物質已廣泛應用於工業與醫學項目，放射性物質運送活動隨之日益頻繁，本研究參考美國能源部(UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY)，提供給第一線應變人員之放射性物質運送意外模擬處置案例(該公開影片網址為<https://www.youtube.com/watch?v=GV7ERu7DTdA>)，規劃輻災防救訓練研發中心基地戶外場地(以下簡稱基地戶外場地)，針對放射性物質運送意外處置之建置平面圖，並應用於本年度之輻應隊年度訓練。

另外，考量都會區大型單層多隔間建築，發生藏匿惡意射源威脅事件，參考 2010 年原子能委員會輻射事故應變作業種子教官訓練課程，規劃搜索核心長廊多房格局射源之建置平面圖。

(二)研究過程

基地戶外場地位於核研所 102 館外空地，長約 100 公尺，寬約 50 公尺，周圍有土丘及植樹，為一長方形之草地。由於

空間所限，經研究團隊討論後，建議針對不同的訓練重點或案例，動態進行布置，以發揮最大效用。

首先針對放射性物質運送意外處置之基地戶外場地建置，觀摩前述美國能源部影片提供之應變處理程序，考量我國輻應隊相對應之應變行動，包含進行區域管制、人員準備儀器、著裝、進入現場，進行偵測、回報；人員退出現場、卸下儀器與裝備；安全官對人員進行表面污染偵檢、回報等。

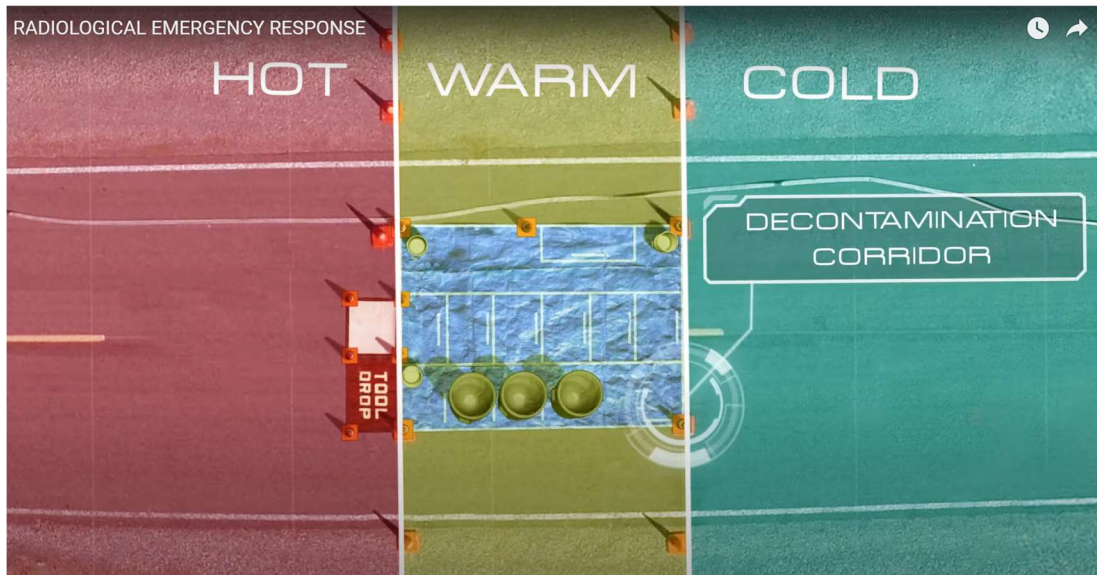


圖 2 放射性物質運送意外處置分區

(<https://www.youtube.com/watch?v=GV7ERu7DTdA>)

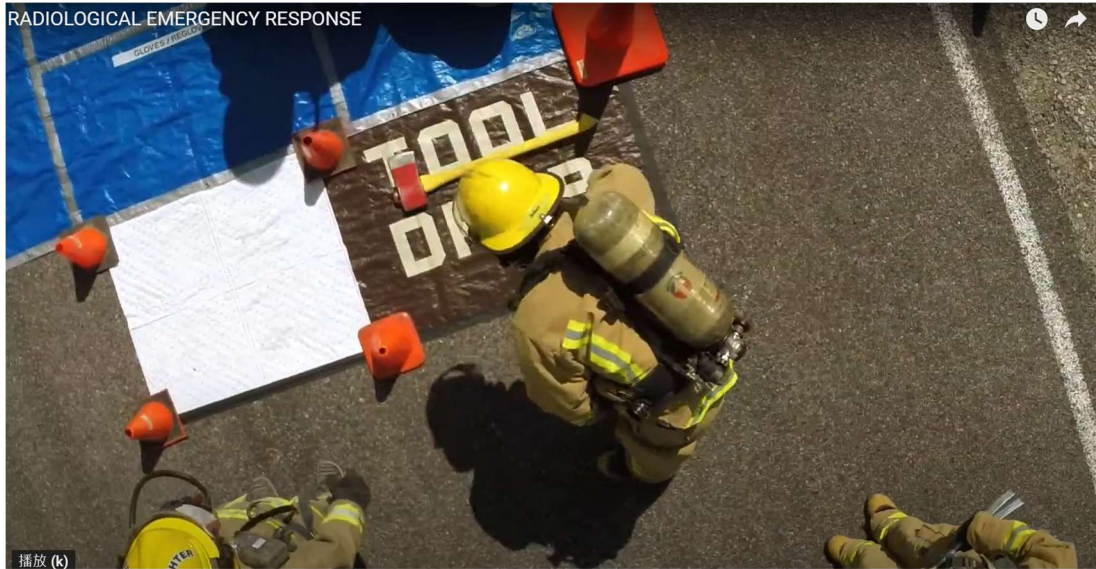


圖 3 退出現場之工具暫存區(<https://www.youtube.com/watch?v=GV7ERu7DTdA>)

並另外加入本研究建置之偵測平台偵測與回收功能，在人員進入現場前先進入偵測，提供初始數據供後進之人員在執行任務時的防護與時間參考，隨後由人員進入現場偵測確認，再由偵測平台夾取並回收包件，最後由人員確認現場環境輻射偵測已恢復正常等程序，併同考量規劃。

而針對搜索核心長廊多房格局射源之基地戶外場地建置，參考 2010 年原子能委員會輻射事故應變作業種子教官訓練課程如圖 4、圖 5，設計複雜格局建物，以使分散隔絕之團隊人員或偵測平台間，練習射源搜索之任務分配、回報、路線規劃、進退場時間之掌握。

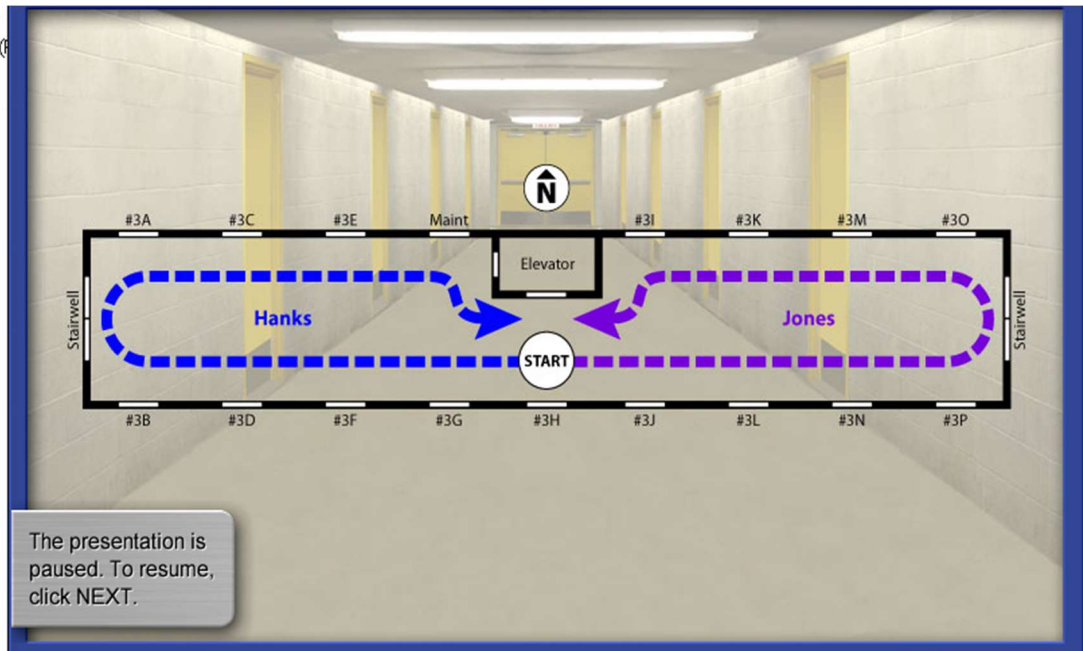


圖 4 核心長廊之搜索重點(2010 年原子能委員會輻射事故應變作業種子教官訓練課程-National Nuclear Security Administration 講師講義)

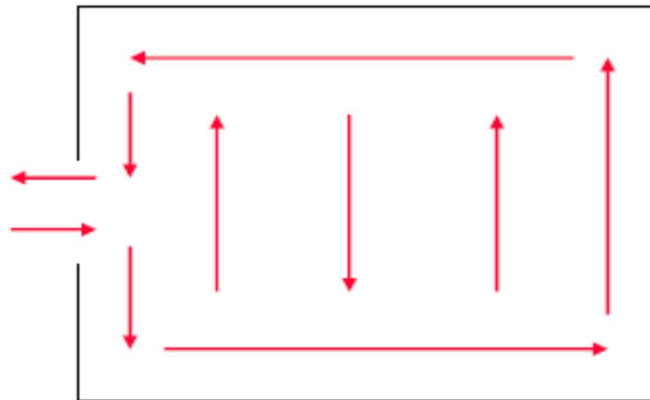


圖 5 各獨立房間之搜索路線(2010 年原子能委員會輻射事故應變作業種子教官訓練課程-National Nuclear Security Administration 講師講義)

(三)研究成果

完成 2 種戶外場地平面建置圖，如圖 6、圖 7。



圖 6 輻射災害應變訓練研發中心戶外場地建置平面圖一

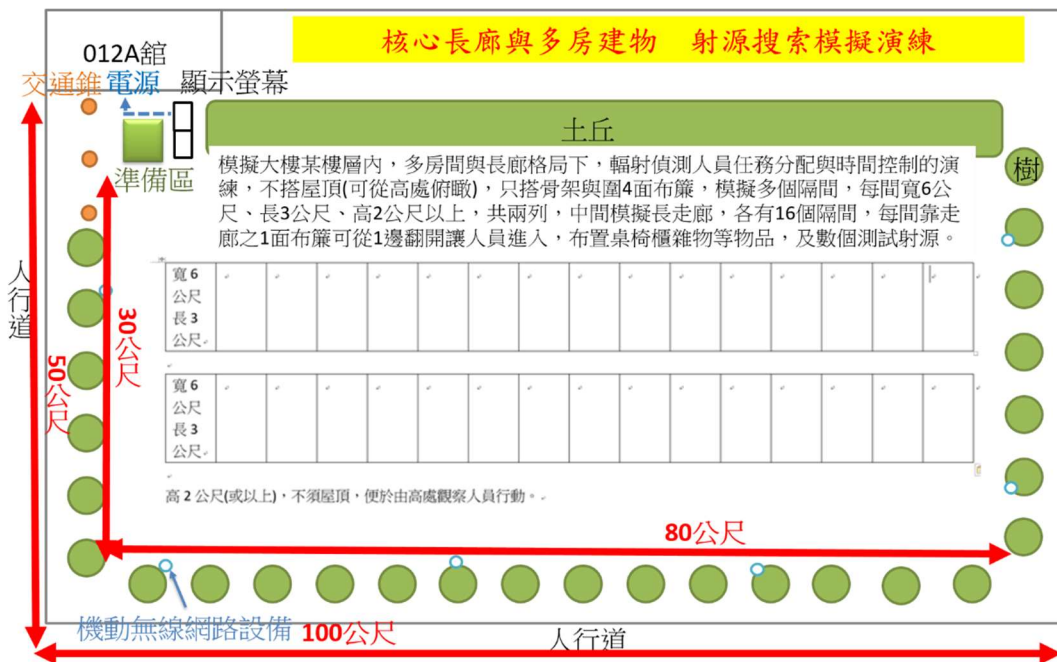


圖 7 輻射災害應變訓練研發中心戶外場地建置平面圖二

110年10月13日完成一場次共5小時之輻應隊訓練課程，訓練辦理報告一份，及各課程之教材及上課影片。訓練對象為原能會各局處及所屬相關單位(物料管理局、核能研究所、輻射偵測中心)，任務編組之輻應隊成員共36人。課程表如表1。

表 1 輻應隊訓練課程表

時間	課程名稱	課程內容說明	時數 (小時)	講師
9:00 至 09:50	輻射偵檢方法	輻射偵測原理、偵檢器數值評估、表面污染的分類、量測方法。	1	核研所朱葦翰 助理研究員
10:00 至 10:50	輻射偵檢儀器與防護裝具操作	identiFINDER2、6150 AD4 (6150 ADt)、AT1125A、DG5、RADEYE PRD、CoMo170、擦拭測試、個人防護裝具操作說明。	1	核研所陳韋新 助理研究員
11:00 至 11:50	核醫藥物運送輻射防護要求	介紹核研所核醫藥物種類、運送包裝方法、運送相關文件、規範、流程，運送包裝回收、儲放地點與處理方式。	1	核研所江昭志 副工程師
12:00 至 12:50	經驗交流座談(全體講師、助教與學員)			
13:00 至 13:50	放射性物質運送意外模擬演練	放射性物質運送意外偵測人員與偵測平台模擬演練、國際消防救護影片討論。	1	核研所表明程 副組長
14:00 至 14:50	輻射應變技術隊程序書	事件通報、種類研判、輻應隊成立、聯繫動員、現場應變作業、災情回報、陳報長官與撤除程序說明。	1	原能會林貞絢 科長
15:00 至 15:20	綜合討論與問卷(全體講師、助教與學員)			

本次訓練輻射偵檢方法課程中，繼 109 年辦理之戶外及室內，搜尋加馬射源基礎個人與團隊實作訓練，今年更通盤精進說明儀器特性，進階教授表面污染量測實務，促使學員在熟稔基礎加馬輻射偵檢儀器操作之餘，加強輻射污染之現場應變與量測能力，更通徹了解所使用的輻射偵檢儀器，降低誤判現場狀況之可能性。

在輻射偵檢儀器與防護裝具操作課程中，為克服防疫需求，舉辦即時線上課程，而無法面對面指導操作課程之問題，藉由預錄之各式常用加馬輻射偵檢儀器操作影片提供學員進行複習，並新增手提式快速核種分析儀器，以及表面污染量測儀器使用說明影片。另外於課後發放每位學員練習用之個人防護裝具，鼓勵學員撥冗練習，共計有 23 位輻應隊成員(含課前已完成相關示範演練影片之 2 位助教，佔全體學員之 64%)，完成個人防護裝備穿脫練習如圖 8，再由助教就影片內容，個別提出書面建議。



圖 8 學員個人防護裝具操作剪影

在核醫藥物運送輻射防護要求課程中，介紹常見之核醫藥物甲型包件運送包裝方法、運送相關文件、規範、流程，運送包裝回收、儲放地點與處理方式，使學員明瞭其設計與運送須注意之事項。

在放射性物質運送意外模擬演練課程中如圖 9，播放預錄之輻應隊技術組現場應變作業影片，模擬放射性物質運送意外中，由輻應隊技術組人員進行輻射偵測、表面污染量測；利用遠端遙控偵測平台進行輻射偵測行動，回收放射性物質包件；技術組人員進行現場再偵測，人員與偵測平台退場污染偵檢等應變作業。協助學員思考，提出質疑，相互討論、學習，推演比模擬影片更佳、或不同情境下的作法，凝聚未來萬一事件發生時之共識、亦修正模擬影片中不足之處。

例如課堂中學員與講師及助教討論到儀器包模之考量，輻應隊技術組模擬影片中，因假定包件並未起火冒煙、內容物為固態之 Ra-226，污染偵檢儀器，現場輻射污染之機率極低的狀況下，並未包模處理；而美國地方政府應變模擬影片中，因現場有起火燃燒之現象，在有疑似輻射污染的狀況下，將污染偵檢儀器予以包模，以便降低儀器受到污染的機率；其中，講師與助教也特別提醒，偵測面不可包住，以免降低對低能量輻射之靈敏度。

同樣的，在今年輻應隊技術組模擬影片中，假設現場輻射污染之機率極低、也沒有太多尖銳、粗糙物品需要處理，包件與車輛均極易辨視，人員僅需進行輻射偵檢的狀況下，進場人員手套僅著一層。而去年輻應隊戶外演練中，建議學員著兩層手套的考量在於去年戶外場地布滿尖石、與長及小腿之雜草，並需搜尋肉眼不可見之射源，手部須加強防護的緣故。經相互討論後，取得共識，即使現場輻射污染之機率極低、也沒有太多尖銳、粗糙物品需要處理，仍可更保守應對，在手部操作影

響不大的狀況下，應該再加著一層手套，以保護應變人員之安全。

學員亦發現偵測平台回收包件中，以機械手臂搭配夾具，夾取包件並放進平台上的收納艙的演練中，最後在夾具放開包件時，因包件離收納艙底仍有稍許距離，是否可能會造成包件本身的微微震動之議題，研發團隊經討論後，將精進艙底避震措施，可期待未來提供包件回收運送過程中更高的安全性。



圖 9 放射性物質運送意外模擬演練

在輻射應變技術隊程序書課程中，針對輻射應變技術隊之事件通報、種類研判、輻應隊成立、聯繫動員、現場應變作業、災情回報、陳報長官與撤除程序及流程等進行說明，提供學員整體、跨功能單位之程序概念。並針對原能會輻射災害第一線應變人員手冊，介紹最近將精進改版之章節，並說明改版之緣由，協助輻應隊成員了解應變流程與組織架構，提升相互溝通之效率。



圖 10 輻射應變技術隊程序書課程

二、完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

(一) 研究方法

使用原能會相關處室及輻應隊常用之手持式核種辨識儀 (IdentiFinder2) 與污染偵檢器 (CoMo170)，建立使用手冊，以及其操作與維護影片各 1 份。參考日本大阪市與福岡市核生化恐怖攻擊應變模擬行動影片 (網址為 <https://reurl.cc/e9lz27>、<https://reurl.cc/jqZWK2>)，進行輻應隊二級應變人力、設備需求之評估。

(二) 研究過程

參考日本大阪市與福岡市核生化恐怖攻擊應變模擬行動影片，應變人員除了必要之一級設備 (個人防護裝備、偵檢器、通訊器等)，為協助應變行動，應有相關配套之二級設備，如應變防護背包 (置放個人防護裝備與儀器)、現場摺疊桌 (文件登記、儀器暫放)、管制區劃分用具、防潮地墊 (裝備檢查與暫放)、攜行袋等，可由單人機動攜帶與迅速布置，克服車輛無法通行或環境惡劣之場地限制，如圖 11、圖 12。



圖 11 日本福岡市核生化恐怖攻擊應變模擬行動(<https://reurl.cc/e9lz27>)



圖 12 日本大阪市核生化恐怖攻擊應變模擬行動(<https://reurl.cc/jqZWK2>)

(三)研究成果

完成手持式核種辨識儀(Identifinder2)與污染偵檢器(CoMo170)使用手冊如圖 13、圖 14，以及其操作與維護影片各 1 份如圖 15、圖 16。

2 手提式 γ 核種分析儀 identiFINDER2 儀器簡介

identiFINDER 2 (硬體版本編號 ULK-NG, 下稱 identiFINDER 2) 為手提式數位能譜分析及劑量率計測儀, 內含有碘化鈉偵檢器(NaI detector), 及蓋格米勒管(Geiger-Muller Tube), 功能如下。

1. 可量測 γ 劑量, 累積劑量範圍 $<1\text{Sv}$ 。
2. 可量測 γ 劑量率, 劑量率範圍 $<10.00\text{mSv/h}$ 。
3. 提供簡易、自動核種辨識功能, 量測能量範圍 $20\text{keV}-3\text{MeV}$, 解析度 4% (環境溫度 20度 C , 能峰 662keV)。

儀器外觀介紹如圖 2-1。

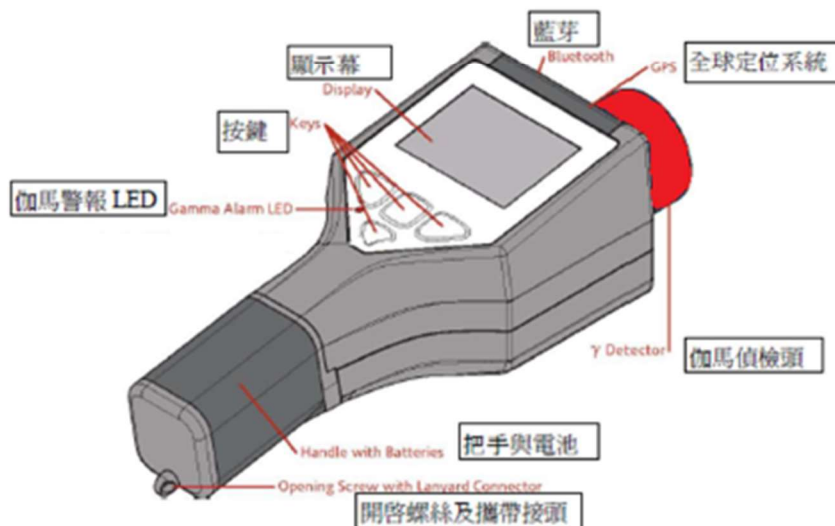


圖 2-1 identiFINDER 2(編號 ULK-NG)外觀介紹

7 污染偵檢器 CoMo 170 基本操作

7.1 按鍵與顯示螢幕

CoMo 170 之顯示螢幕與按鍵如圖 7-1。



圖 7-1 CoMo 170 之顯示螢幕與按鍵

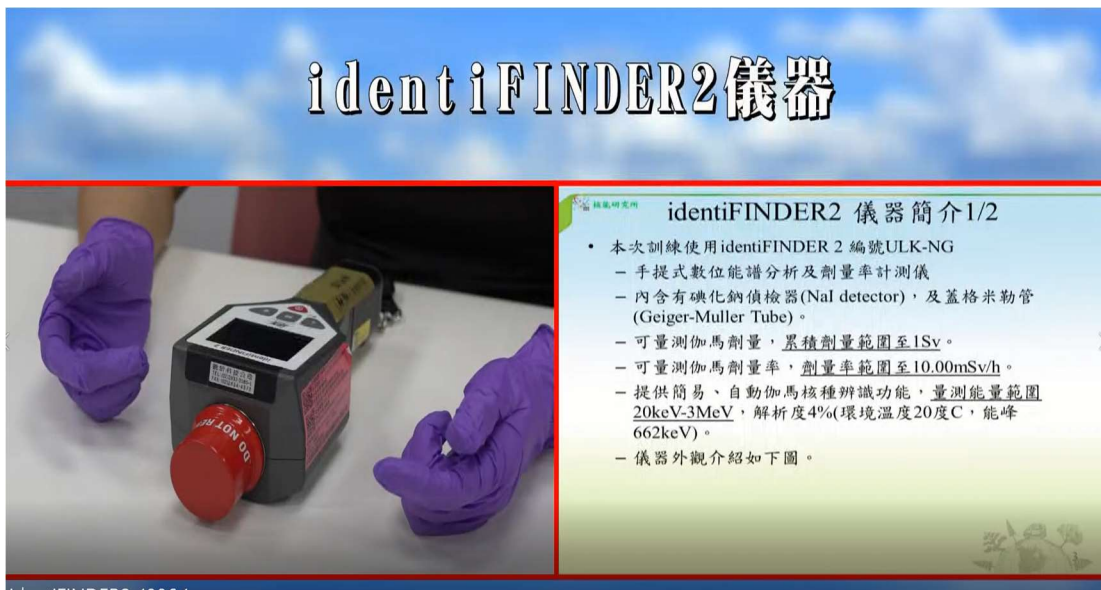


圖 15 手持式核種辨識儀(IdentiFinder2)操作影片



圖 16 手持式污染偵檢器(CoMo170)操作影片

完成二級設備需求評估如圖 17、圖 18，而為記錄與控管進入現場之輻應隊人員與裝備，除了一級偵測人力，應至少派出一位二級人力，負責現場進出人員或物品污染偵檢與紀錄。



圖 17 二級設備評估建議一



圖 18 二級設備評估建議二

三、放射性物質擴散分析能力建立

(一) 研究方法

本年度預計開發輻射彈爆炸參數資料庫並建置引入至 CALPUFF 模式，以提升進行輻射彈事件污染擴散分析準確度與真實性。以及建置系統化三維近似建物資料轉換模組，透過蒐集到的三維近似建物模型資料引入 CALPUFF 模式，以更精確模擬我國國土地形、地貌與現有建物狀況。

針對輻射彈爆炸參數，本計畫蒐集國內外輻射彈爆炸文獻報告，並進行輻射彈爆炸之探討與評析，開發(或引進)及建置輻射彈爆炸參數模組，以資料庫方式引入輻射災害事件污染擴散影響評估系統。接著利用簡易建物附近街廓尺度的輻射彈爆炸放射性物質污染擴散進行案例測試。

為提升街廓尺度的真實性，本計畫透過蒐集三維近似化建物模型資料，並透過解析了解建物資料轉換模組；建立系統化建物資料轉換模組，並將假想輻射災害事件區域的資料轉換為可供 CALPUFF 模組使用的建物模型資料；接著應用建物資料轉換模組進行模擬假想輻射災害事件的運跑測試及評估。

(二)研究過程

1.開發建置輻射彈爆炸參數模組

根據國際原子能總署(IAEA, International Atomic Energy Agency)的放射源分類研究報告中，依據便攜性、相對較低的安全性（容易獲得）、相對較高的活性度及物理化學性質進行篩選，如銻-238、釷-210、錒-241、鐳-90、銻-137、釷-252、鈾-60、鐳-226 和銻-192，皆是較可能被用於「輻射彈」之輻射物質。2018 年 J. F. Pereira 等人使用美國的 NARAC HotSpot 模式，以 2016 年里約奧運會期間奧運選手村發生髒彈爆炸的情境進行模擬，並考慮了兩種代表性放射性核種銻-137 和錒-241 的放射性擴散裝置（髒彈）爆炸，其爆炸當量(TNT 當量)設定為 1.36 kg。其結果以有效劑量(E)和放射性物質在土壤中的沉積形式顯示，此研究可以提供決策者和相關輻射安全機構用於輻射防護與緊急應變之規劃參考。根據不同的放射性物質和以 Pasquill 穩定性等級分類不同環境穩定度條件，並以公尺為單位分析與爆炸地點距離關係，進行模擬。圖 19 和圖 21 分別為銻-137 和錒-241 兩種模擬情境下，其有效劑量總量的等值線分布，圖 20 和圖 22 分別為銻-137 和錒-241 兩種模擬情境下，其地面沉降量(kBq/m^2)與爆炸點的距離關係分布。



圖 19 模擬情境 I 下銫-137 有效劑量(Sv)分布圖，並疊加在 Google Earth 地圖上。

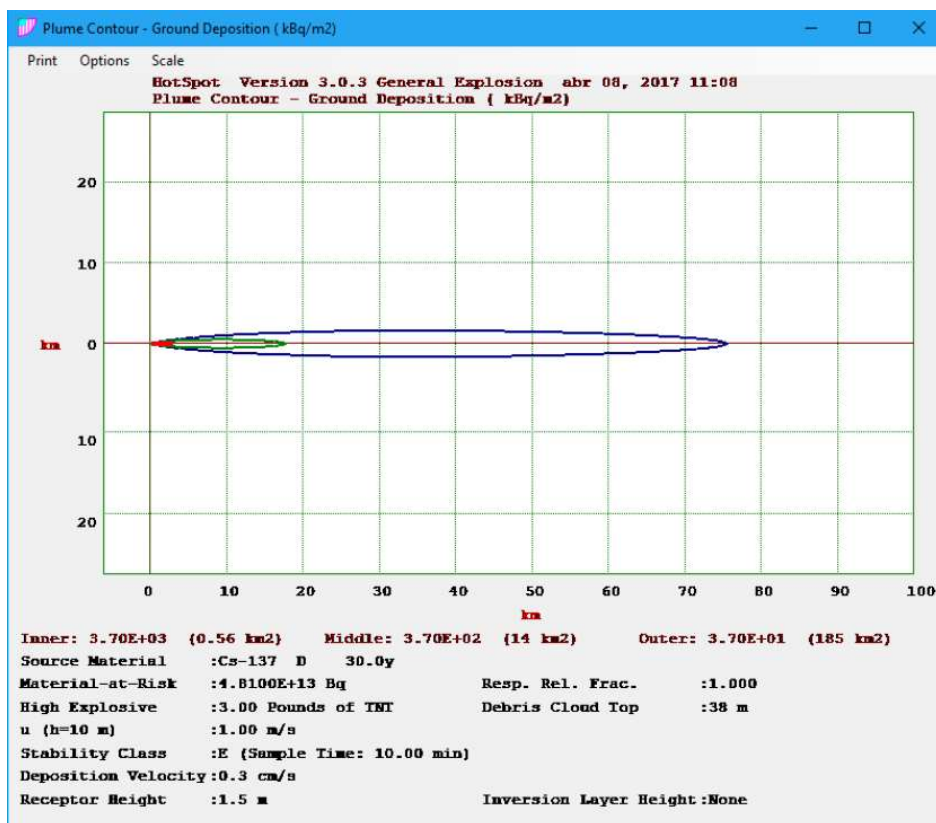


圖 20 模擬情境 I 下銫-137 地面沉降量(kBq/m²)分布

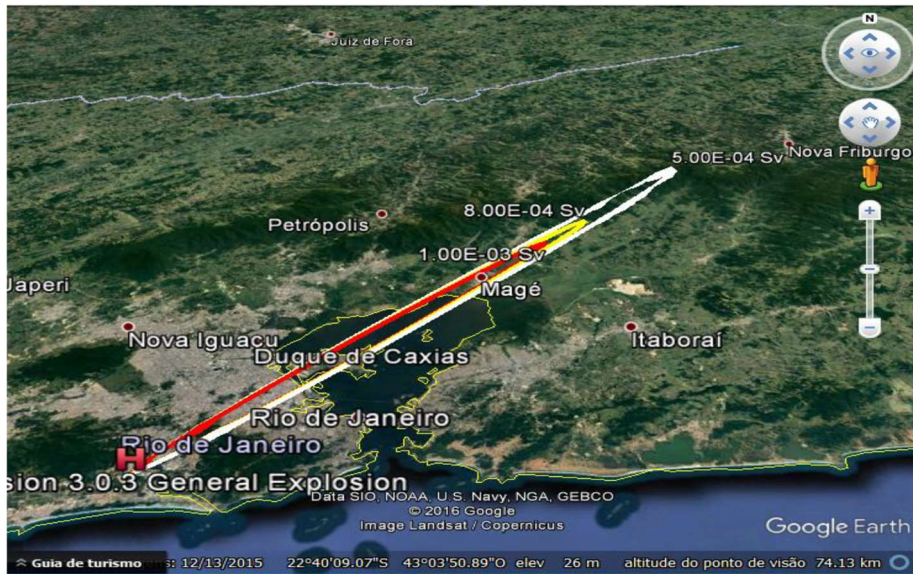


圖 21 模擬情境 II 下銻-241 有效劑量(Sv)分布圖，並疊加在 Google Earth 地圖上。

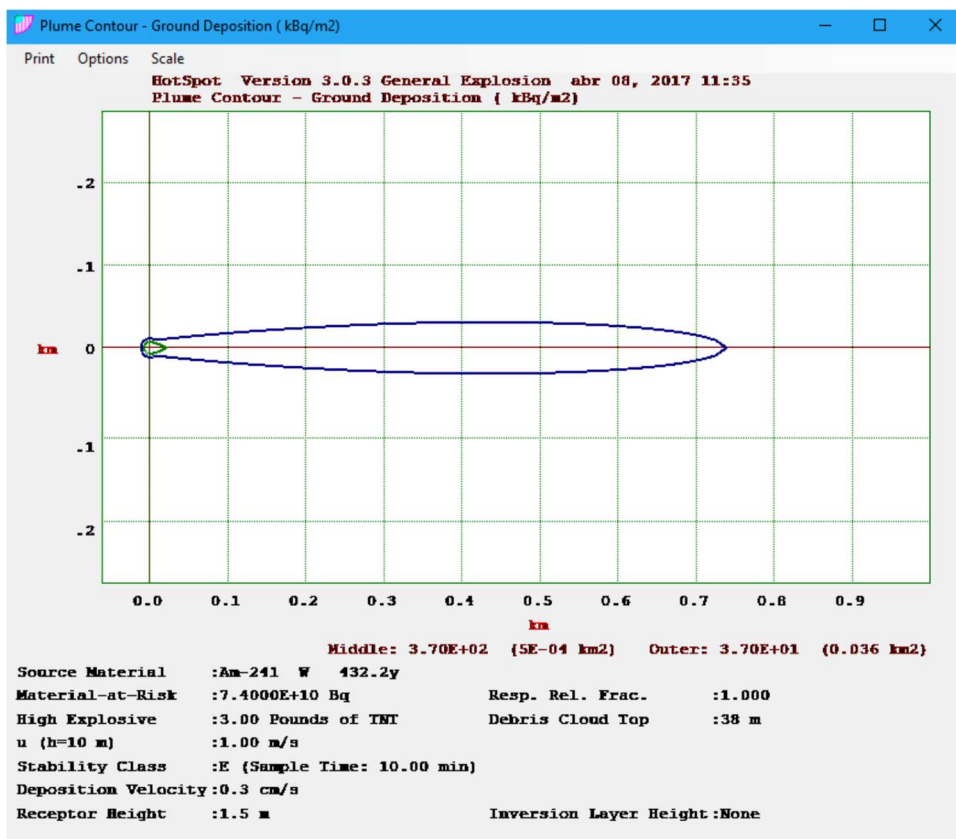


圖 22 模擬情境 II 下銻-241 地面沉降量(kBq/m²)分布

其研究結果(表 2)顯示銻-241 的距爆炸點 10 m 最大有效劑量高於銇-137 約 20 倍，而從距爆炸點 10 m 最大地面沉降量來看，銇-137 則高於銻-241 三個數量級。

表 2 使用 ICRP 60 數據的兩種情境的結果(J. F. Pereira et al., 2018)

Scenario Number	Radio-nuclide	Source Term (Bq)	Maximum E (mSv)	Maximum E inner area (km ²)	Maximum ground deposition (kBq/m ²)	Maximum ground deposition inner area (km ²)
I	¹³⁷ Cs	48.1 TBq	419	3.2	2.2x10 ⁵	0.56
II	²⁴¹ Am	74.0 GBq	8900	176	3.3x10 ²	0.0005

依據 Glasstone S. 等人(1997)對於核子事故爆炸的研究，提到核子武器爆炸帶來的破壞除了放射性物質的影響外，還有爆炸產生的大量熱量，以及所有物質都轉化為氣態而形成極熱且高度發光(白熾)的空氣和氣體武器殘渣球團，伴隨空氣爆裂的典型火球(Fire Ball)如圖 23 所示，其直接的物理性破壞周遭設施或民眾生命安全。

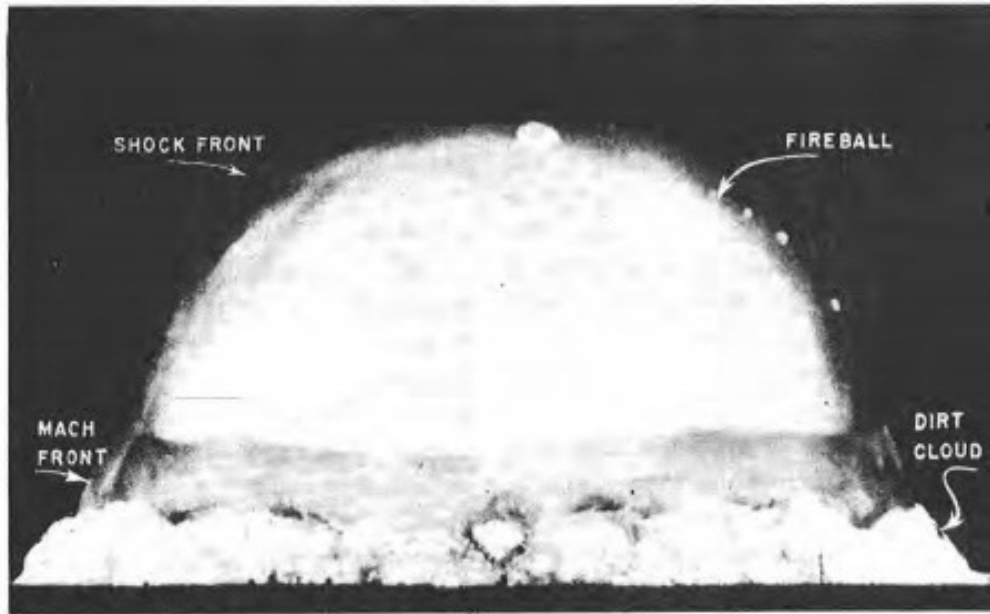


圖 23 核子武器在地面爆炸形成之火球示意圖

火球的大小隨著爆炸產生的能量而增加。由於流體動力和輻射因素的複雜相互作用，對於相同爆炸當量之爆炸其位在空中引爆或地表引爆，火球影響最小半徑差別不大。平均半徑和當量之間的關係大約為：

$$R=90 W^{0.4}$$

其中 R 是以英尺為單位的火球半徑，1 英尺(feet)等於 0.3048 公尺(m)；W 是以千噸(kt) TNT 當量為單位的爆炸當量，1 千噸相等於 1,000,000 公斤(kg)。而爆炸當量與火球影響的最大高度其關係近似(如圖 24)方程式則為：

$$H=180 W^{0.4}$$

其中 H 是爆炸高度的最大值單位為英尺。

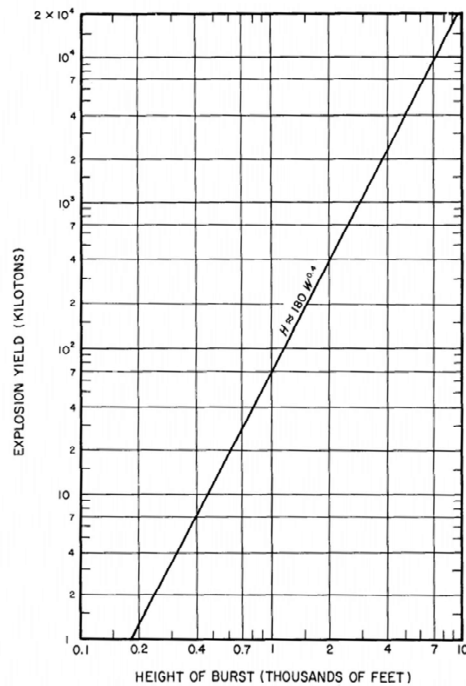


圖 24 每千噸 TNT 當量爆炸與火球最大影響高度的近似關係

CALPUFF 模式中點源的釋放預設為連續釋放與爆炸釋放為單一次性釋放有所差異，故進行輻射彈爆炸參數資料庫的參數模組的開發，首先需理解 CALPUFF 模式中需輸入有關點源的初始釋放的煙團大小的參數，其相關設定在 CALPUFF 使用者手冊(User Guide version5, Scire et al. 2000)提到設置初始 Puff 的大小有兩項參數為 Sigy(m)及 Sigz(m)，其相關系統代碼以 FORTRAN 程式語言方式進行相關編輯如圖 25、圖 26、圖 27、圖 28 所示，將其原先連續以常數釋放率的部分，改成可以改變釋放率的部分，並在原先 CALPUFF 參數設定中改成讀取釋放率可以自行定義之文字檔。

```

c -----
c --- Loop over point sources with CONSTANT emissions
c -----
c
  if(npt1.gt.0) then
    do i=1,npt1
      call POINTS1(i,nspec,ndhrb,nsecb,ndhre,nsece,
& dt,smxi,ldb,mfact,metfm,np,
& newpuf,problem)
    enddo
  endif
c -----
c --- Loop over point sources with VARIABLE emissions
c -----
c
  if(npt2.gt.0) then
c --- Update variable emissions from PTMARB files
c --- Loop over files to check/update all sources
    do ip=1,nptdat
c --- File unit number
      io=iopt2+ip-1
c --- Check if last emission period used in previous step extends
c --- into current timestep (beginning of step < end of q-period)
      iq=nstep2(ip)
      call TPERIOD(-1,ndhrb,nsecb,ndhrqb2(iq,ip),nsecqb2(iq,ip),
1 ndhrqe2(iq,ip),nsecqe2(iq,ip),ilocate)
      if(ilocate.EQ.0) then
c --- Reset emissions data arrays so that last emission period
c --- of previous step is first period of current step
        if(iq.GT.1) then
          ndhrqb2(1,ip)=ndhrqb2(iq,ip)
          nsecqb2(1,ip)=nsecqb2(iq,ip)
          ndhrqe2(1,ip)=ndhrqe2(iq,ip)
          nsecqe2(1,ip)=nsecqe2(iq,ip)
          do i=ibsrc2(ip),iesrc2(ip)
            tstak2(1,i)=tstak2(iq,i)
            exitw2(1,i)=exitw2(iq,i)
            do is=1,nse2
              qstak2(ixrem2(is),1,i)=qstak2(ixrem2(is),iq,i)
            enddo
          enddo
          nstep2(ip)=1
        endif
      endif
    enddo
  endif

```

圖 25 CALPUFF 模式之程式代碼

```

c ---
elseif(ilocate.EQ.1) then
c --- First set of emissions data this step must be read in
  nstep2(ip)=0
  else
    write(io6,*)
    write(io6,*)'ERROR -- PTMARB begin time exceeds current',
1 ' start time'
    write(io6,*)' -- current begin time :',ndhrb,nsecb
    write(io6,*)' -- PTMARB begin time :',
1 ndhrqb2(iq,ip),nsecqb2(iq,ip)
    stop
  endif
c --- Are new emissions data needed?
  if(nstep2(ip).EQ.0) then
    ilocate=1
  else
    call TPERIOD(1,ndhre,nsece,ndhrqb2(1,ip),nsecqb2(1,ip),
1 ndhrqe2(1,ip),nsecqe2(1,ip),ilocate)
  endif
c --- Read new emissions data if needed
211 if(ilocate.EQ.1) then
  continue
  call RDEM2(io,mfpt2(ip),npt2,nse2,cid2,ibsrc2(ip),
& iesrc2(ip),verparb(ip),t2btz2(ip),ldb,
& io6,ibegh,ibegs,iendh,iends,em2dat,ieof)
  if(ieof.EQ.1) then
    write(io6,*)
    write(io6,*)'EOF in PTMARB.DAT file ',ip
    write(io6,*)'Halted at current end time :',ndhre,nsece
    write(*,*)'EOF in PTMARB.DAT file ',ip
    write(*,*)'Halted at current end time :',ndhre,nsece
    stop
  endif
c --- Test emissions period relative to beginning of timestep
  call TPERIOD(-1,ndhrb,nsecb,ibegh,ibegs,iendh,iends,iloc)
c --- Keep reading if emission period ends before start of step
  if(iloc.EQ.1) goto 211
c --- Test period relative to end of timestep
  call TPERIOD(1,ndhre,nsece,ibegh,ibegs,iendh,iends,iloc)
  if(iloc.EQ.-1)then

```

圖 26 CALPUFF 模式之程式代碼 (續)

```

write(io6,*)
write(io6,*)'ERROR: PTEMARB begin time later than ',
'end of timestep'
1
write(io6,*)' -- current end time :',ndhre,nsece
write(io6,*)' -- PTEMARB start time :',ibegh,ibegs
stop 'Halted in INITPUF -- see list file'
endif
c --- Swap variable emissions data (em2dat) into /PT2/ arrays
nstep2(ip)=nstep2(ip)+1
iq=nstep2(ip)
if(iq.GT.mxqstep) then
1
write(io6,*)'ERROR: PTEMARB has too many periods ',
'in the current timestep'
write(io6,*)' -- current end time :',ndhre,nsece
write(io6,*)' -- PTEMARB start time :',ibegh,ibegs
write(io6,*)' -- Max allowed (MXQSTEP) ',mxqstep
stop 'Halted in INITPUF -- see list file'
endif
ndhrqb2(iq,ip)=ibegh
nsecqb2(iq,ip)=ibegs
ndhrqe2(iq,ip)=iendh
nsecqe2(iq,ip)=iends
c --- Loop over sources
do i=ibsrc2(ip),iesrc2(ip)
tstak2(iq,i)=em2dat(1,i)
exitw2(iq,i)=em2dat(2,i)
syipt2(iq,i)=em2dat(3,i)
szipt2(iq,i)=em2dat(4,i)
lqneg=.FALSE.
do is=1,nse2
k=is+nvarpt
qstak2(ixrem2(is),iq,i)=em2dat(k,i)
if(qstak2(ixrem2(is),iq,i).LT.0.0) lqneg=.TRUE.
enddo
c --- Report problem if any emissions are negative
if(lqneg) then
write(io6,*)
write(io6,*)'***** FATAL *****'
write(io6,*)'ERROR in subr. INITPUF -- Invalid ',
'1 emission rate (must NOT be negative)'

```

圖 27 CALPUFF 模式之程式代碼 (續)

```

write(io6,*)' -- PTEMARB Source = ',i
problem=.TRUE.
endif
enddo
c --- Get another period of emissions data if the end of the
c --- timestep is not within the period just read
if(iloc.EQ.1) goto 211
endif
do i=ibsrc2(ip),iesrc2(ip)
call POINTS2(ip,i,nspec,ndhrb,nsecb,ndhre,nsece,dt,
& smxi,ldb,mfact,metfm,np,newpuf,problem)
enddo
enddo
endif

```

圖 28 CALPUFF 模式之程式代碼 (續)

並依據上述兩個爆炸當量影響的水平半徑及高度之方程式建置如表 3 所示的函數資料庫，以此代入 CALPUFF 中設置初始 Puff 的大小的 Sigy 及 Sigz 參數設定。以上述兩個步驟建置爆炸模組至 CALPUFF 模式內。

表 3 爆炸當量與火球爆炸影響距離之關係

TNT當量(kg)	火球爆炸影響最小半徑(m)	火球爆炸最大影響高度(m)
0.1	0.043	0.087
1	0.109	0.218
1.36	0.124	0.247
5	0.208	0.416
10	0.274	0.549
25	0.396	0.792
50	0.522	1.044
1000000	27.432	54.864

2.建置系統化三維近似建物資料轉換模組

此次本計畫向國土測繪中心申請，說明為維護國家安全及緊急事故應變之評估，以跨部會合作與結果共享前提下，取得三維近似建物資訊。建物資訊依模型細緻度等級區分的版本中，共取得了 LOD1 與 LOD3 兩類，LOD1(近似建物)共包含 21 縣市(僅台北市除外)，而關於 LOD3(精緻建物)則以 5 種群組為限，包含玉山國家公園、金門縣特定古蹟或景點、部分的政府機關建物、新竹市特定建物及新竹縣特定建物。本計畫主要採用三維近似建物(LOD1)為主。

誠如前述，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，一般使用上直接使用 Google Earth 等軟體開啟展示(圖 29)，圖裡綠色曲線圈示的建物模型，即展示軟體呈現的擬真結果，而另外右邊展示的黃色陰影三維近似建物模型，是未定位且未貼附建物外觀材質貼圖的三維框架結構，因應計畫需求在於擷取出三維近似建物的輪廓相關定位座標及該建物之高度，故 KMZ 類型的檔案須解壓縮分解成 KML 檔與 DAE 檔，此兩種檔案則皆可使用一般文字編輯軟體進行編輯，或使用 Google Earth 等軟體開啟展示，但以展示方式時，無法進行任何編輯。



圖 29 三維近似建物模型示意圖，建物模型檔以 Google Earth 軟體開啟展示。

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。

圖 30 為國土測繪中心產製的建物模型資訊範例，藍色實線所連結即代表該建物之輪廓，主要資訊由 DAE 檔提供，該建物輪廓由多個特定點依序順時鐘連結而成，各點定位座標如圖中右下列表，此範例建物為 8 個特定點所構成，定位座

標以建物參考點為原點，該資訊由 KML 檔中提供，國土測繪中心產製的建物模組，建物參考點與特定起始點位置同，特定起始點為建物輪廓的第一點，但此起始點相對於每個建物來說，並無規則性的方位起始。

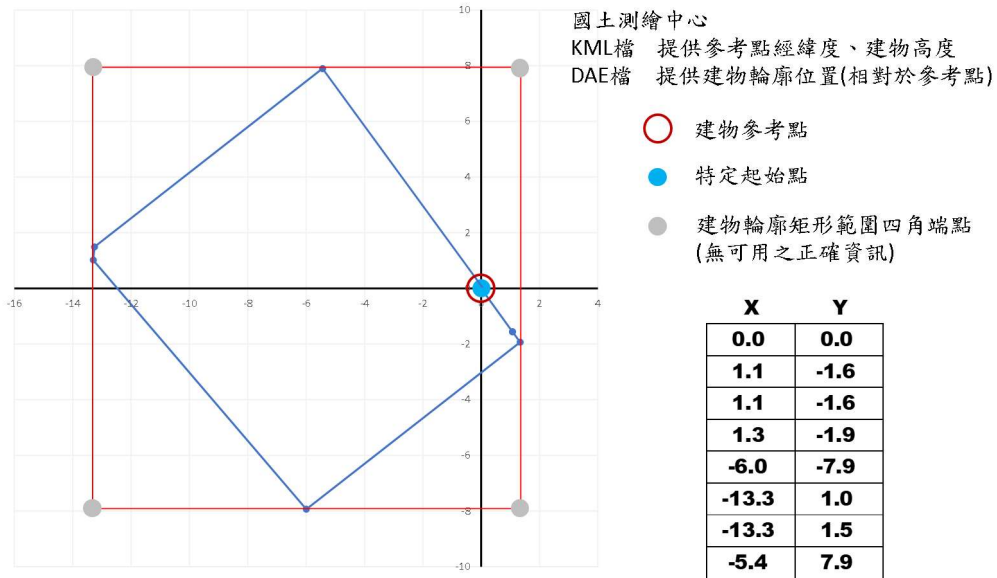


圖 30 國土測繪中心產製建物模型資訊範例圖，該範例建物為 8 點連結之建物輪廓，座標距離單位為公尺。

圖 31 為委外產製的板橋區建物模型資訊範例，建物輪廓及來源檔案同前範例，輪廓各點定位座標如圖中右表，此範例建物為 22 點所連結之建物輪廓，與前者不同是定位座標參考點不在建物輪廓上，而是在建物輪廓矩形範圍的西南側端點，如圖中紅色圓圈所在，關於不同產製單位的產品，選擇的建物參考點不同之處，影響甚大，若未釐清其參考點之定義，可能造成建物位置錯誤或多建物重疊，因此產製單位的部分應格外注意確認。

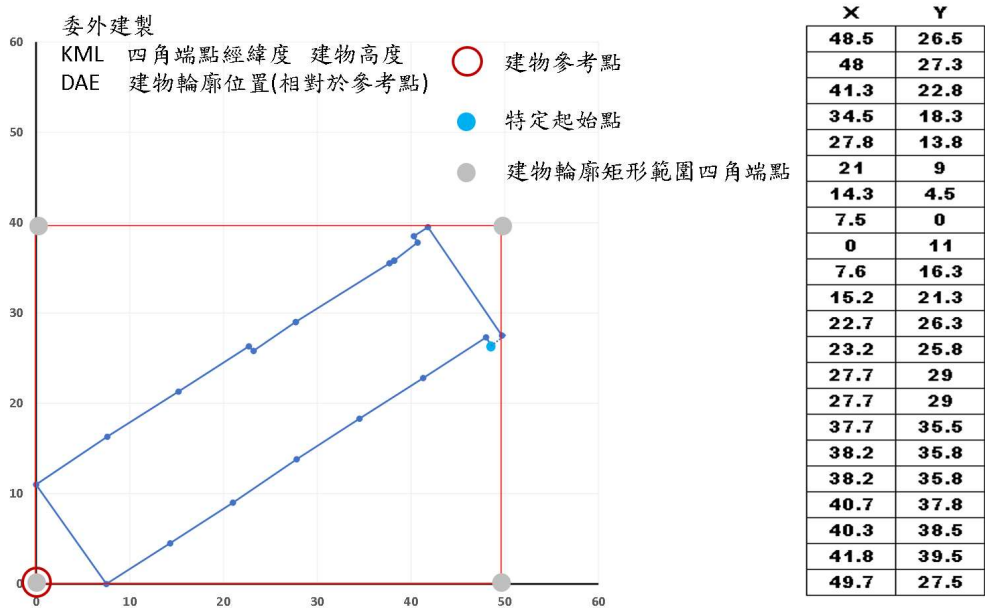


圖 31 新北市委外產製建物模型資訊範例圖，該範例建物為 22 點連結之建物輪廓，座標距離單位為公尺。

就示範區域新北市的建物模型資訊而言，圖 32 右側為建物模型資訊轉換模組流程，如圖中左側所示，委外產製共有 195 個目錄，內含共計 34435 個 KMZ 檔，另外國土測繪中心產製為 5 個 KMZ 檔，但內含共計 45369 棟建物。根據原始的 KMZ 檔無法直接進行系統化 CalPuff 建物組態檔的轉換，故透過設計的建物資訊轉換模組流程，來將所有建物逐一地從 KMZ 檔中(一對一或一含多)分建單一建物專屬的資訊 TXT 檔，以利後續建物組態系統化應用。

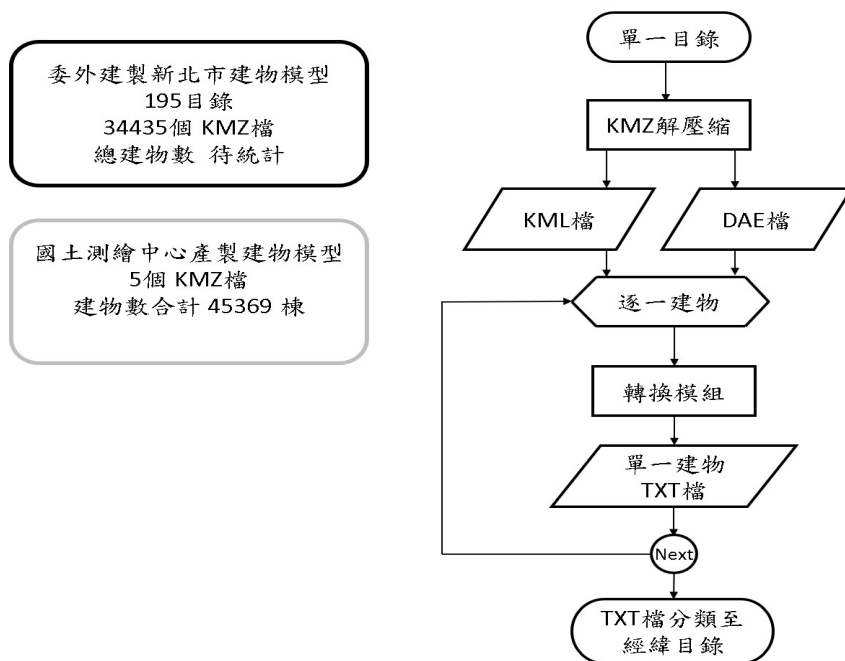


圖 32 建物資訊轉換模組流程圖。左側為示範區域新北市建物模型資料之初步統計，右側為建物資訊轉換流程。

流程從單一目錄開始，目錄名稱並無太規則性的定義，有些以行政區名稱，部分直接以無關聯性的數字命名，因此不適合直接以流程迴圈形式納入流程，流程首先是將 KMZ 解壓縮，分解出 KML 及 DAE 檔案組，由於 KMZ 部分是一含多組的 KML 及 DAE 檔案，而每組的檔案裡又會有包含多棟建物在其中，因此在解壓過程確保各組 KML 與 DAE 檔案間對應及單一建物相關等資訊之對應順序是極為重要。

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。

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(User Guide version5，Scire et al. 2000)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，各參數說明如圖 33 所示；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，如圖中綠色虛線範圍，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。

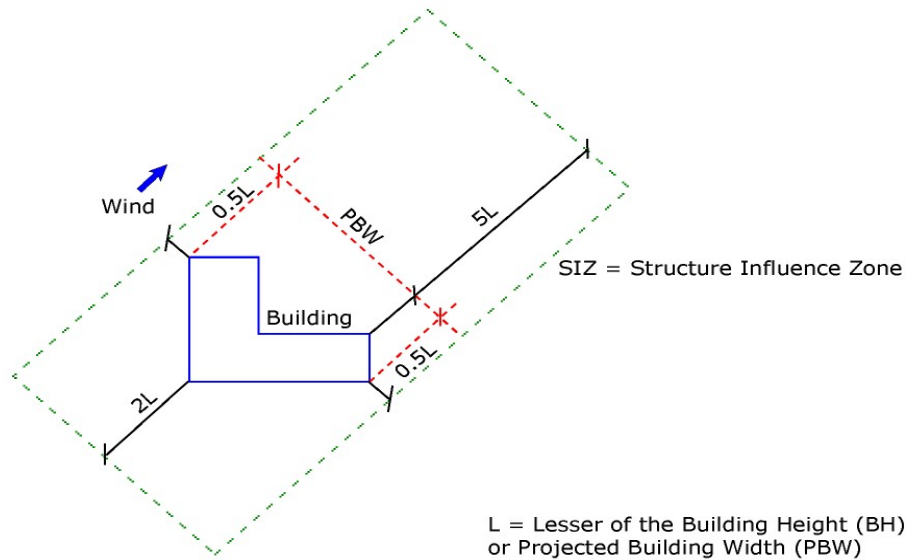


圖 33 BPIP 建物影響區域(SIZ)示意圖，L 為建物高度(BH)與建物投影寬度(PBW)擇其小者。(摘自 ontario.ca)

計畫將在人口較密集的都市區進行 CALPUFF 的模擬，考量到即使數百公尺範圍內的建物，仍有相當數量，不宜以個案方式執行，因此必須透過系統化的方式，將會影響的所有建物

資訊一次性提供給 BPIP 程序模組，以便取得 CALPUFF 所需之建物組態設定，簡言之，未來 CALPUFF 建物組態檔以系統化產出時，只需要輸入模擬標的(如輻射彈)之位置即可產出所需之建物組態設定，目前預設是 1km 半徑影響範圍，仍可依需求調整其範圍大小。

(三)研究成果

1.CALPUFF 模式引入輻射彈爆炸參數模組模擬測試

先針對連續釋放與單一次釋放的模擬測試，並以銻-90 作為測試核種，核種銻-90 在 CALPUFF 組態檔之乾沉降參數設定如表 4，其輻射彈位置及其爆炸當量大小設定如表 5。

表 4 CALPUFF 組態檔之核種銻-90 乾沉降參數設定。

SPECIES NAME	Sr-90
DIFFUSIVITY (cm²/s)	0.1876
ALPHA STAR	1.0
REACTIVITY	2.0
MESOPHYLL RESISTANCE (s/cm)	25.0
HENRY'S LAW COEFFICIENT (dimensionless)	18.0

表 5 輻射彈位置及爆炸當量參數設定。

POINT SOURCE	Bomb
X (km)	355.29519
Y (km)	2769.56472
Stack Height (m)	0.3
Stack Diameter (m)	0.3
Emission Rates (Bq/s)	7.40E+10
爆炸當量(TNT)	1.36kg
Sigy (m)	0.124
Sigz (m)	0.247

其 Stack Height 與 Stack Diameter 的設置表示輻射彈的大小之高為 0.3 公尺及直徑為 0.3 公尺，模擬測試時間積分間距為 1 分鐘，總共模擬時間為 15 分鐘，模擬範圍直徑約 1 公里 (緯度為 25.02861111 °N 至 25.03737306 °N；經度為 121.56 °E 至 121.5697094 °E)，解析度為 3 公尺(總網格數為 330x340)。用上述的參數將未引入爆炸模組 (圖 34 至圖 39)和引入爆炸模組之 CALPUFF 模式模擬結果(圖 40 至圖 45)進行比較，兩個模擬皆未將建築效應代入的，而分別從兩種模擬結果中第二筆時間就可以看出有明顯差異未引入爆炸模組屬於點源連續釋放會呈現長柱狀延伸，即典型的高斯分布；有引入爆炸模組的結果則因點源只有一次釋放，則呈現煙團隨著風向移動的變化，且同樣運行模擬至 15 分鐘，引入爆炸模組的濃度分布在第 6 筆時間(第 5 分鐘~6 分鐘)時已經沒有煙團濃度的影響，即因風向和風速的影響讓煙團移出模式設定之範圍。

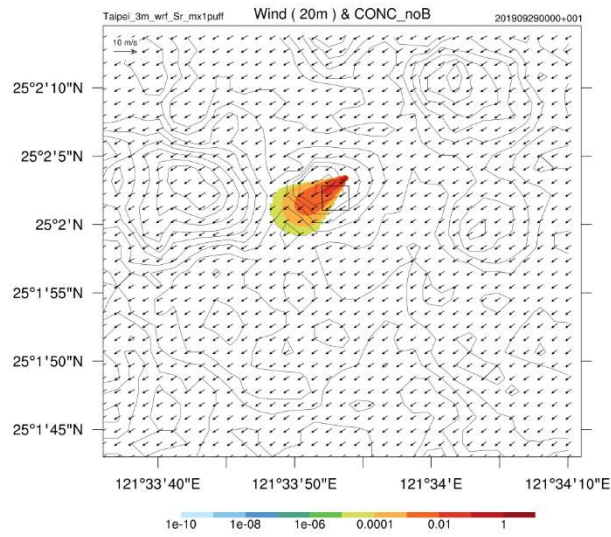


圖 34 未加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

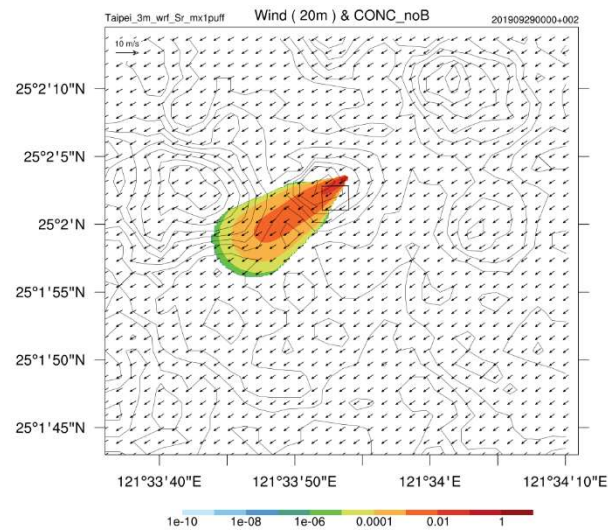


圖 35 未加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

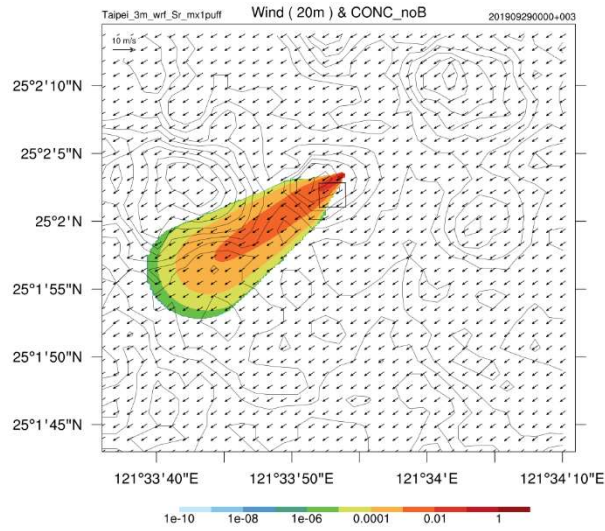


圖 36 未加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 3 筆時間(第 2~3 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

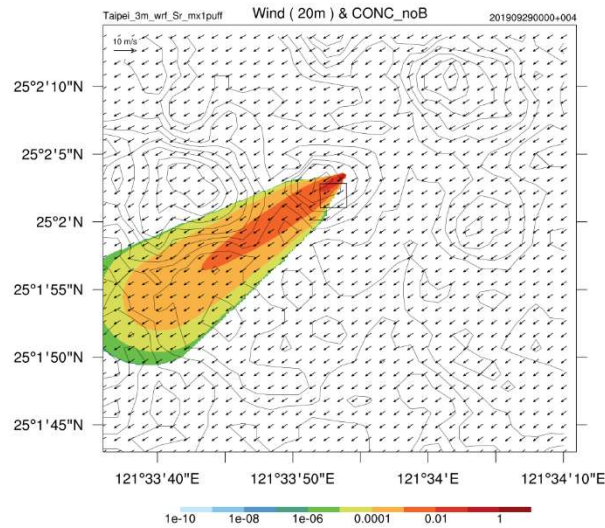


圖 37 未加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 4 筆時間(第 3~4 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

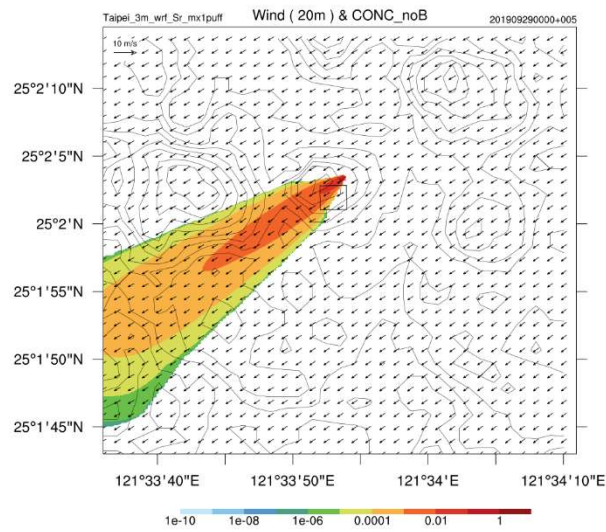


圖 38 未加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 5 筆時間(第 4~5 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

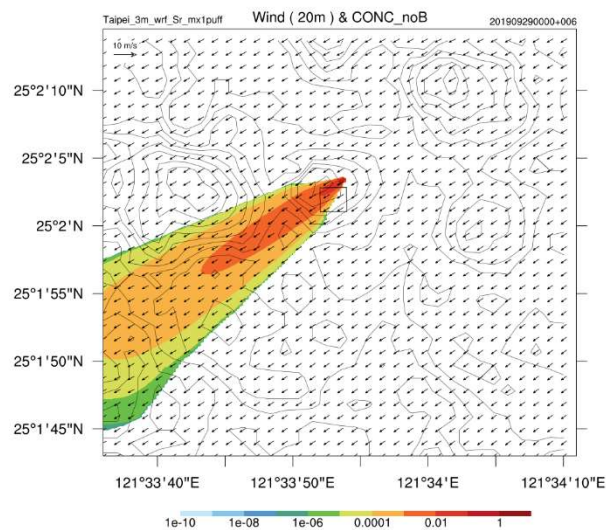


圖 39 未加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 6 筆時間(第 5~6 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

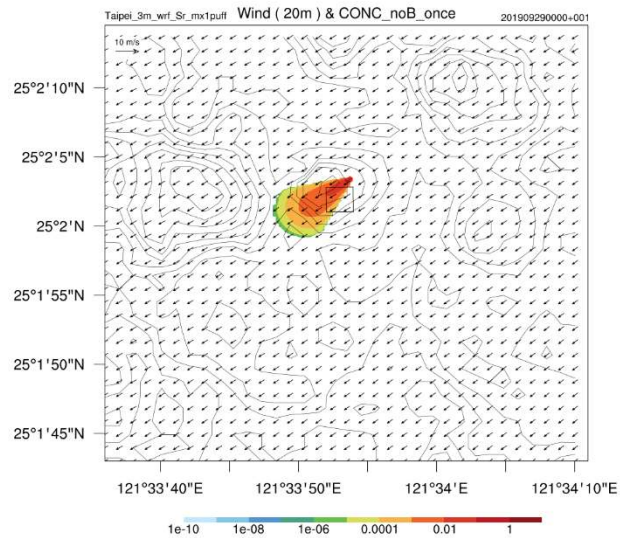


圖 40 加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

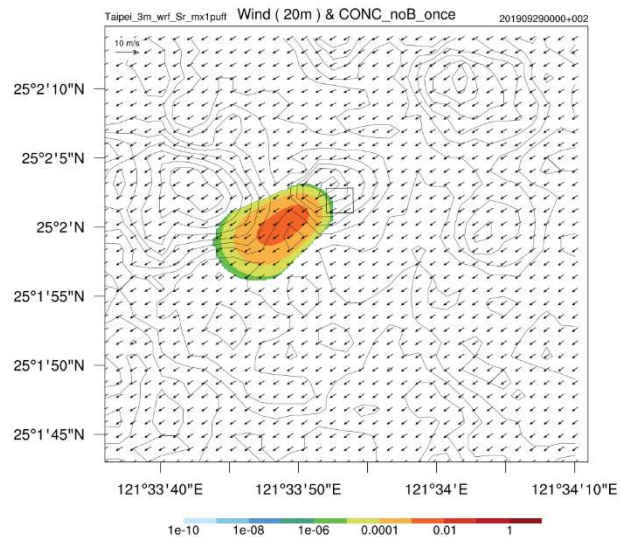


圖 41 加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃

度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

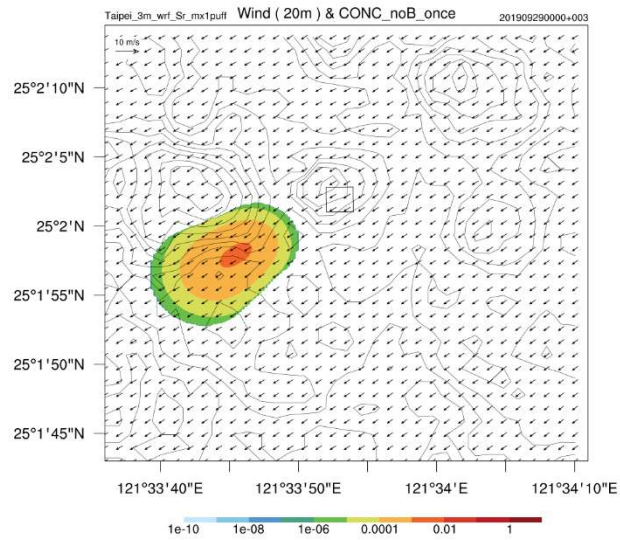


圖 42 加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 3 筆時間(第 2~3 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

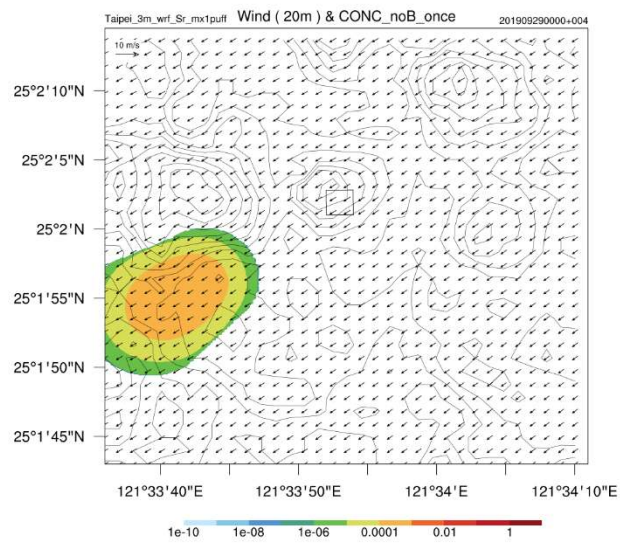


圖 43 加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之

CALPUFF 模擬第 4 筆時間(第 3~4 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)

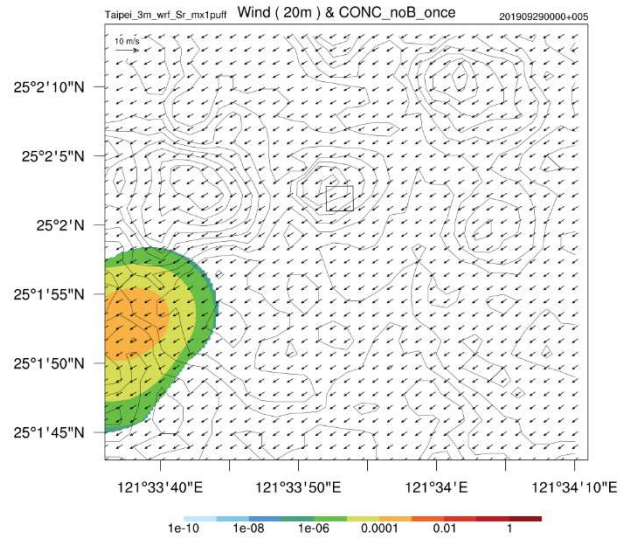


圖 44 加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 5 筆時間(第 4~5 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

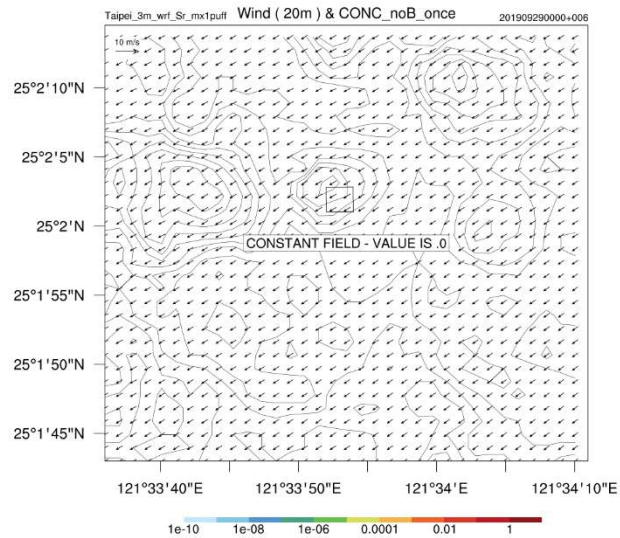


圖 45 加入爆炸模組之輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 6 筆時間(第 5~6 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

接著測試在不同之爆炸當量的模擬結果，其爆炸當量的計算函數式如研究方法中提到的計算方程，並根據表 2 中的 0.1kg、1kg、5kg、10kg、25kg、50kg 和 1kt 的爆炸當量進行模擬，其他模擬參數則如同表 3 和表 4。模擬結果如圖 46 至圖 51 所示，在迷你型核子武器的範圍內(0.1kg~50kg 爆炸當量)的模擬結果差異不大，且從函數式的結果亦可得知其因爆炸當量太小，其火球影響之水平範圍與垂直距離均在 1 公尺以內，當前模式的解析度為 3 公尺，則差異就不顯著。當若爆炸當量達到 1kt 時的模擬結果，則可看到顯著差異，迷你型的爆炸當量模擬結果均模擬至第 5 筆時間內尚有煙團濃布分布影響，而 1kt 則至第 4 筆時間則煙團已移出模擬範圍。

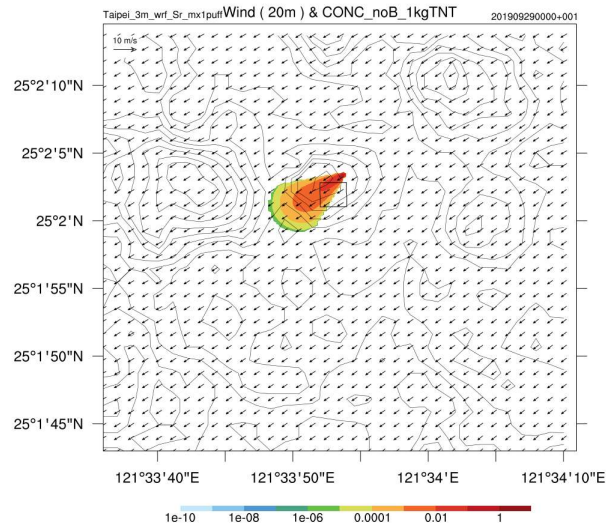


圖 46 加入爆炸模組之 1kg 爆炸當量的輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

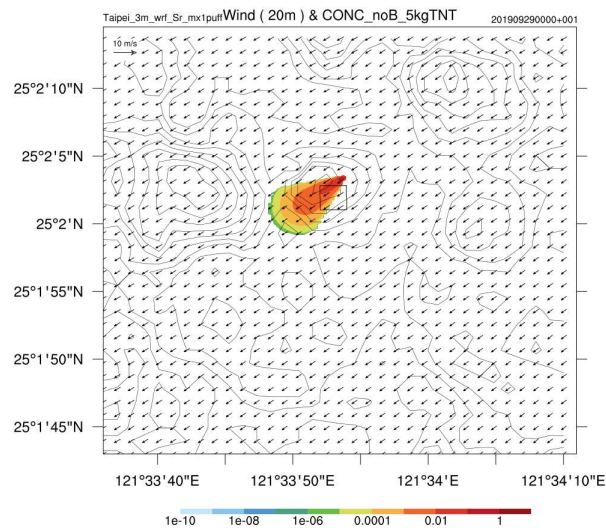


圖 47 加入爆炸模組之 5kg 爆炸當量的輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

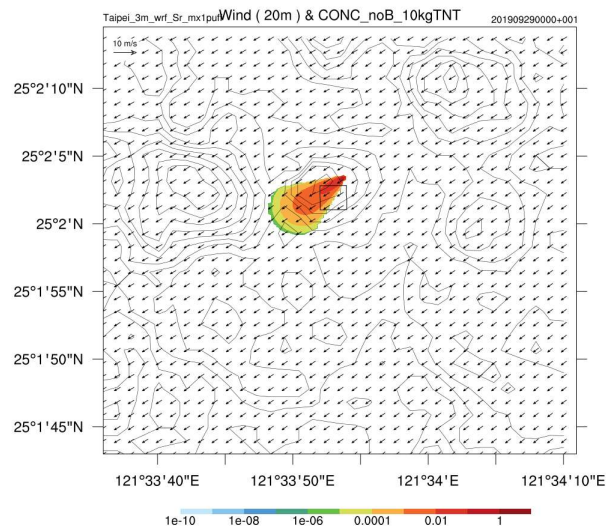


圖 48 加入爆炸模組之 10kg 爆炸當量的輻射彈內含鋇-90 核種無建築物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

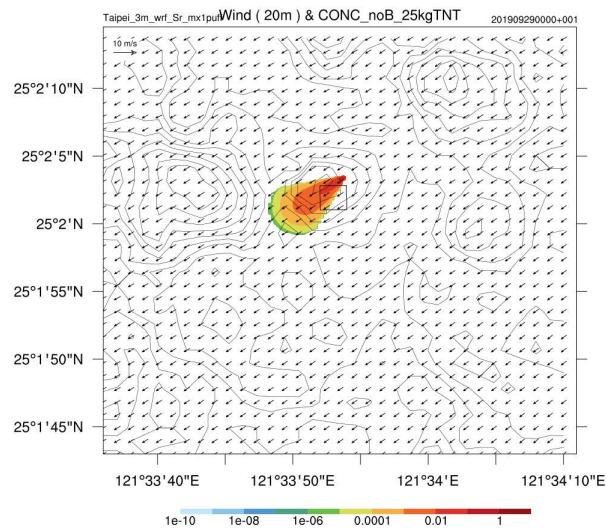


圖 49 加入爆炸模組之 25kg 爆炸當量的輻射彈內含鋇-90 核種無建築物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

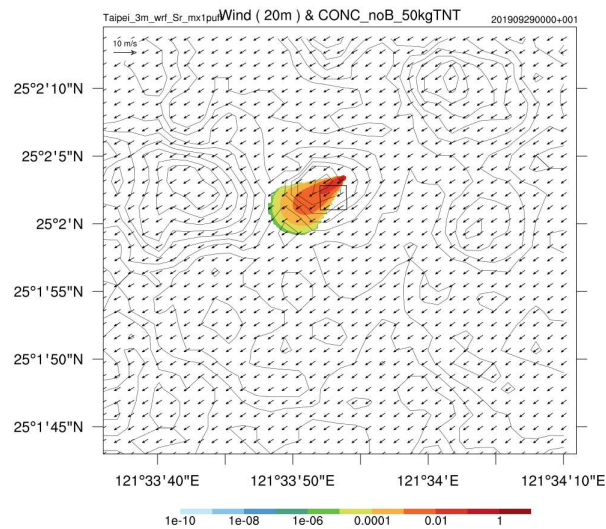


圖 50 加入爆炸模組之 50kg 爆炸當量的輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

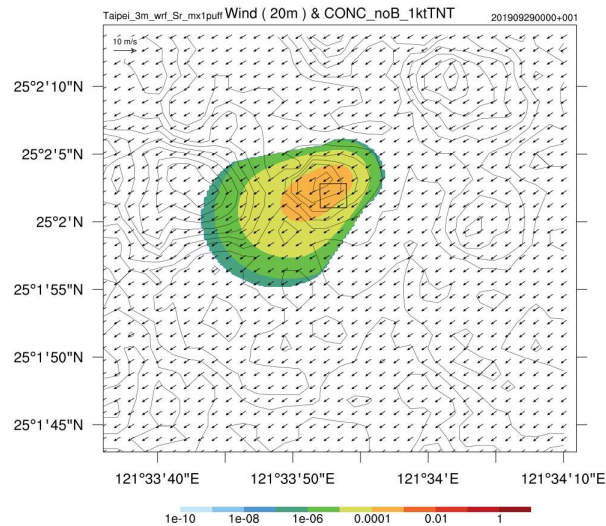


圖 51 加入爆炸模組之 1kt 爆炸當量的輻射彈內含鋇-90 核種無建物影響之 CALPUFF 模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

2.應用三維近似建物資料模擬測試

因應 110 年度的全國運動會(簡稱:全運會)由新北市政府舉辦，故本次計畫選擇二個小區域作為模擬測試地點時，其一選在板橋運動場附近(如圖 34)，另外，選擇一個在臺灣南部交通樞紐地點的高雄火車站附近(如圖 35)，兩個區域模擬範圍皆以表 5 中各中心點半徑 1 公里的範圍，其模式設定中四個邊角的經緯度分別如表 5 所示。接著，向內政部國土測繪中心取得的三維近似建物資料庫中，取得各建物之三維近似建物資料，再透過建物模型資訊轉換模組將輻射彈位置(如表 6)以 1 公里半徑影響範圍之三維近似建物模型資料轉為 CALPUFF 模式所需之建物模型組態資料。

本次計畫模擬測試兩個區域且在各區域內選擇輻射彈設置點(如圖 36 至圖 37 所示)，個別進行模擬情境如下:1.輻射源在無建物影響下連續釋放之模擬，2.輻射源在有建物影響下連續釋放之模擬，3.輻射彈爆炸在有建物影響下之模擬。首先利用 CALMET 模式將中央氣象局區域模式之逐時氣象場(CWB/WRF)空間解析度 3 公里(如圖 38)進行降尺度處理成空間解析度 3 公尺並內插成逐分鐘風場變化，設置模擬時間為 15 分鐘，兩個區域的模擬皆將 CALPUFF 模式中假設輻射彈核種為鈾-241，其乾沉降參數設置如表 7 所示，而輻射彈的爆炸當量參數則如表 8 所示，參考 2018 年 J. F. Pereira 等人研究以爆炸當量 1.36Kg 及核種鈾-241 去設定模式進行模擬。

圖 40 至圖 41 為在板橋運動場 1 的位置無建物影響下連

續釋放輻射源的模擬結果，由於風速風向較於穩定，其污染擴散方向一致朝西南西方向行進，與相同位置上有建物影響連續釋放輻射源的模擬結果(如圖 42 至圖 43)進行比較，可以看到在板橋運動場 1 位置西南側有一明顯大型建物為板橋體育館(如圖 36)，其受到建築效應形成繞流且污染物容易堆積在建物下風處即建物西南側，且在建物兩側污染物累積濃度較小，與建築物周遭環流結構(如圖 39)相似。

當氣流流經矩形建築物時，建築物周遭流場結構可略分為四個部分。迎風面渦漩—當戶外氣流靠近建築物時，部分氣流會由建築物的上方與建築物的兩側繞過，部分氣流則會沿建築物的迎風面向下流動，在建築物的前方形成迎風面渦漩氣流。背風面下沖氣流—當戶外氣流靠近建築物時，部分氣流會沿著建築物的迎風牆面向上流動，在越過屋頂後產生氣流分離的現象。然後，這氣流受到上方空氣壓力的影響，逐漸向下運動，在建築物下游約建築物寬度 3~6 倍處觸及地面，形成背風面下沖氣流，使得這些污染物不易擴散。角隅氣流—當氣流由建築物兩側繞過時，流體會有加速的現象。同時，在建築物角隅處，渦漩分離的現象也會造成較強風速，因此在建築物側風面經常出現地表強風區域。相同地點再加入爆炸模組之模擬結果如圖 44 至圖 45 所示，模擬結果亦有受到建築效應影響之濃度分布特徵，在單一次釋放源情境下，污染物順著風勢朝西南西方向移動，其污染物在此次模擬至第 8 筆時間即第 7 至 8 分鐘內的累積濃度分布，已超出模擬範圍，故呈現無濃度累積分布的情形。

高雄火車站 1 釋放點源設置周遭位置如圖 37 所示，由於此次向國土測繪中心取得高雄車站附近之建物資訊尚未將預計於 2023 年完工新建的高雄火車站進行建模，故本次模擬結果則尚未考慮新建的高雄火車站的建築效應，本次模擬高雄火車站的風向多為東北風，在無建物影響下其模擬結果之污染物擴散方向大多沿著風向朝西南方移動，從圖 38 中可以知道本次引入之 CWB/WRF 的大環境風場主要以東北風為主，臺灣北部屬於迎風面風速較強，西南部受到臺灣地形複雜之影響則屬於尾流弱風區，故在無建物影響下模擬結果與相同模擬情境下的板橋運動場，其高濃度分布較為集中(如圖 46 至圖 47)。

從圖 35 中可以看到高雄火車站周遭建物分布，大多因主幹道切分成一個一個的建物區塊，在模擬有建築效應影響下明顯與無建物影響的模擬結果有所差異，同於建築物周遭環流結構圖分布，污染物容易堆積在建物下方處，故其累積濃度較高範圍大多呈現在建物的西南側(如圖 48 至圖 49 所示)。另外，由於高雄火車站 1 的釋放點源東南側建物密集，而高雄火車站 1 點源西側是平坦道路，故角隅氣流造成的分布會有些不對稱。高雄火車站 1 的釋放點源加入爆炸模組的模擬結果如圖 50 至圖 51，其污染物分布與板橋運動場模擬測試結果相似，一樣沿著風向朝西南方移動，但由於風速較板橋運動場弱，故模擬至第 15 筆時間即第 14 至 15 分鐘內的累積濃度分布，尚在此次模擬設定範圍內，且其濃度累積分布外觀呈現較板橋運動場模擬結果更近似圓形。

表 5 應用三維近似建物資料模擬測試模擬區域中心點及四個邊角點經緯度。

Target locations	中心點	SW	NE	SE	NW
板橋運動場	121.4575000, 25.0138800	121.4477062, 25.0047491	121.4672953, 25.0230102	121.4675194, 25.00495546	121.4474791, 25.0228046
高雄車站	120.3029917, 22.6382570	120.2934473, 22.6290694	120.3125374, 22.647442	120.3128886, 22.6293965	120.2930935, 22.6471168

表 6 應用三維近似建物資料模擬測試輻射彈設置位置。

輻射彈位置名稱	中心點
板橋運動場1	25.013565, 121.457138
高雄車站1	22.637700, 120.302850

表 7 應用三維近似建物資料模擬測試 CALPUFF 組態檔之核種銻-241 乾沉降參數設定。

SPECIES NAME	Am-241
DIFFUSIVITY (cm²/s)	0.0750
ALPHA STAR	1.0
REACTIVITY	2.0
MESOPHYLL RESISTANCE (s/cm)	25.0
HENRY'S LAW COEFFICIENT (dimensionless)	18.0

表 8 應用三維近似建物資料模擬測試爆炸當量參數設定。

POINT SOURCE	Bomb
Stack Height (m)	0.3
Stack Diameter (m)	0.3
Emission Rates (Bq/s)	7.40E+10
爆炸當量(TNT)	1.36kg
Sigy (m)	0.124
Sigz (m)	0.247

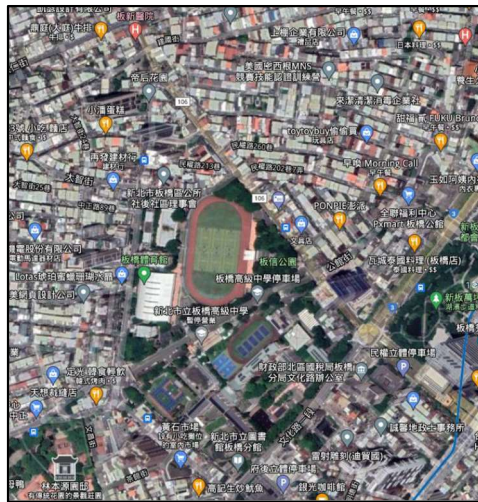


圖 34 板橋運動場周遭



圖 35 高雄火車站周遭



圖 36 板橋運動場 1 之輻射彈設置位置，紅色標誌為釋放點源位置

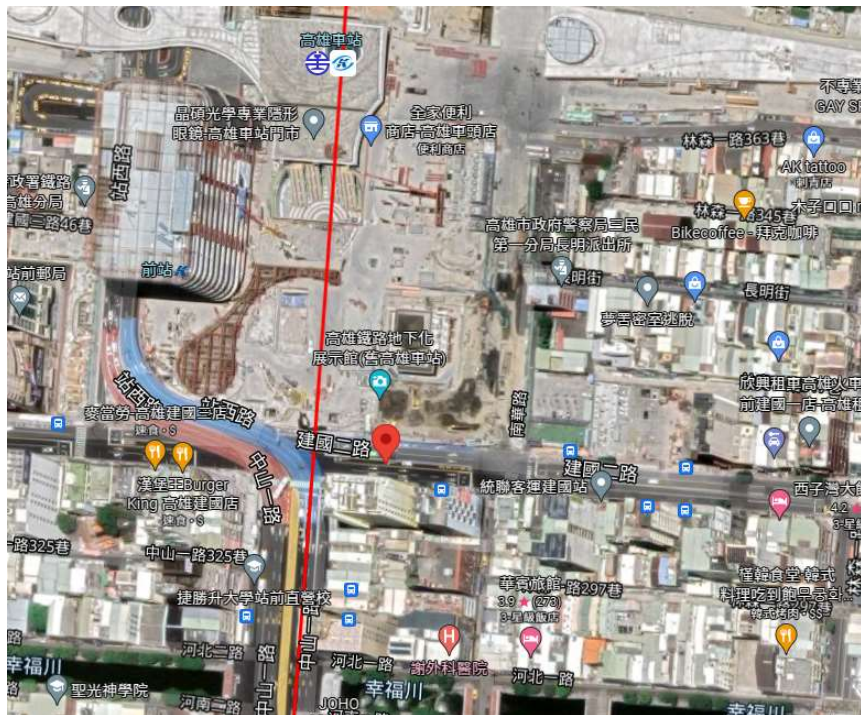


圖 37 高雄火車站 1 之輻射彈設置位置，紅色標誌為釋放點源位置

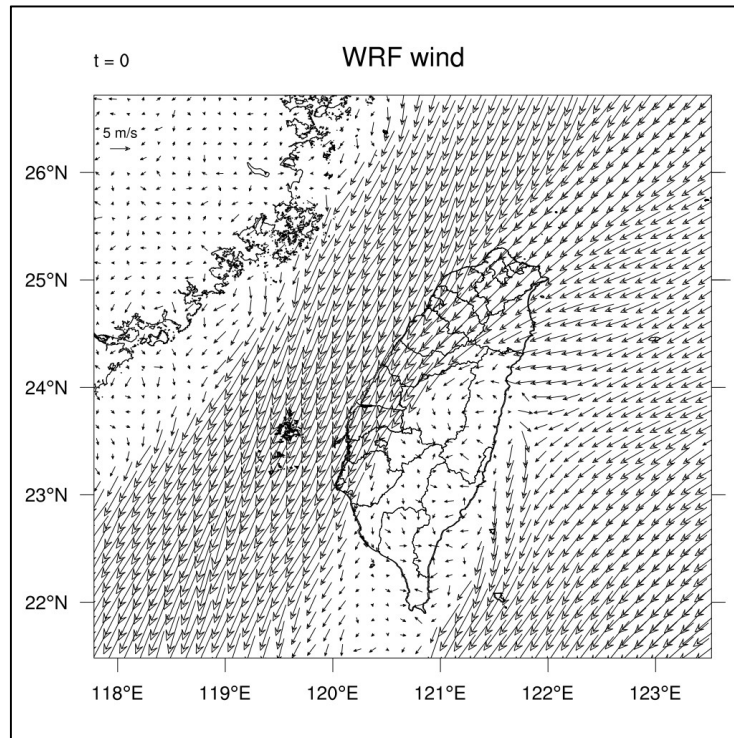


圖 38 CWB/WRF 地面風場

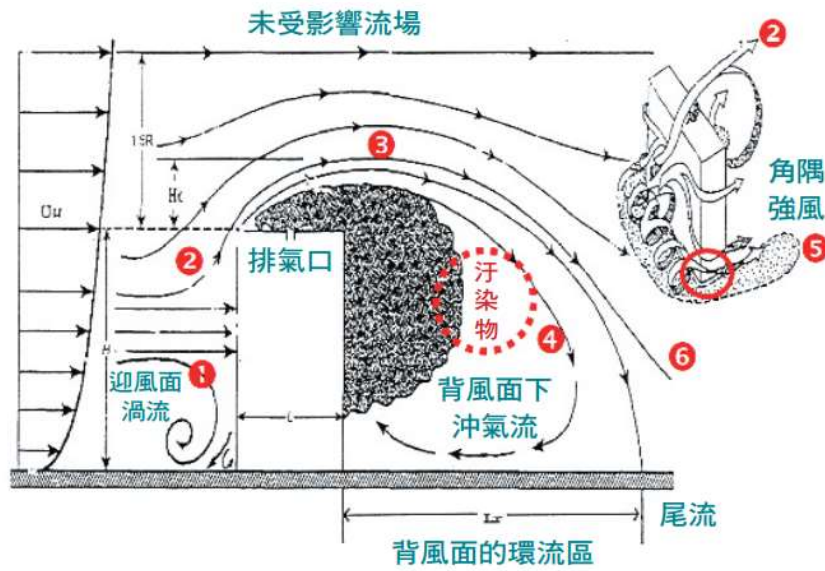


圖 39 建築物周邊流場結構示意

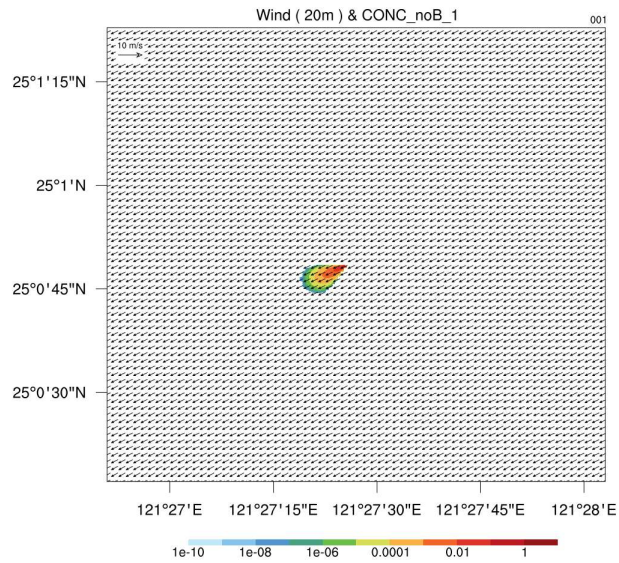


圖 40 板橋運動場 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且無建物影響之模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

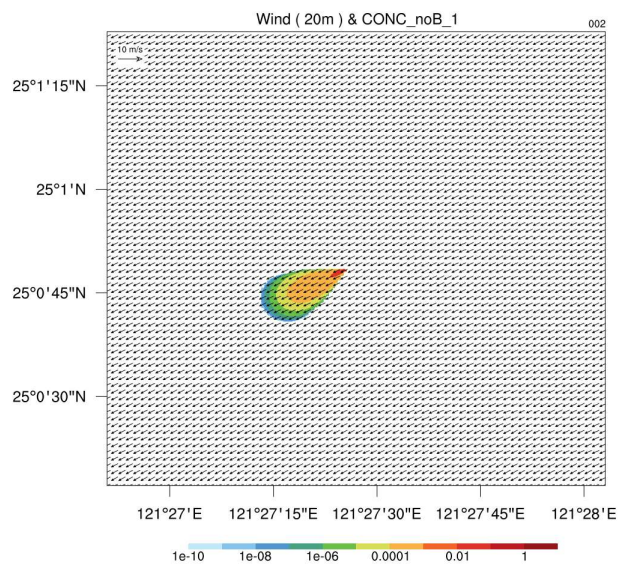


圖 41 板橋運動場 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且無建物影響之模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

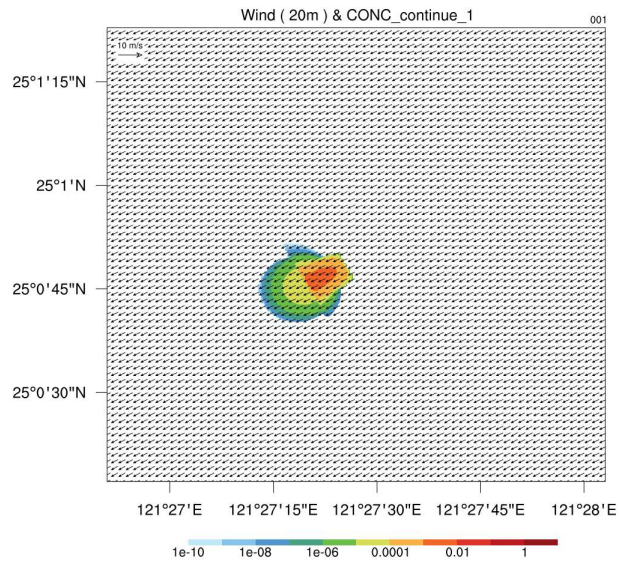


圖 42 板橋運動場 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

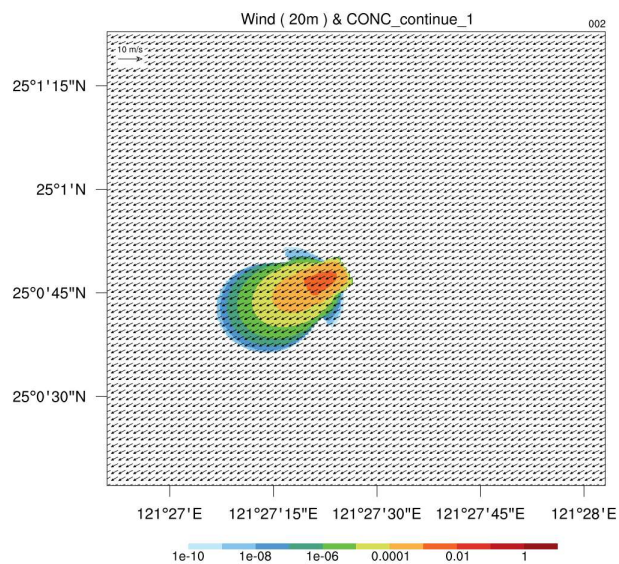


圖 43 板橋運動場 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

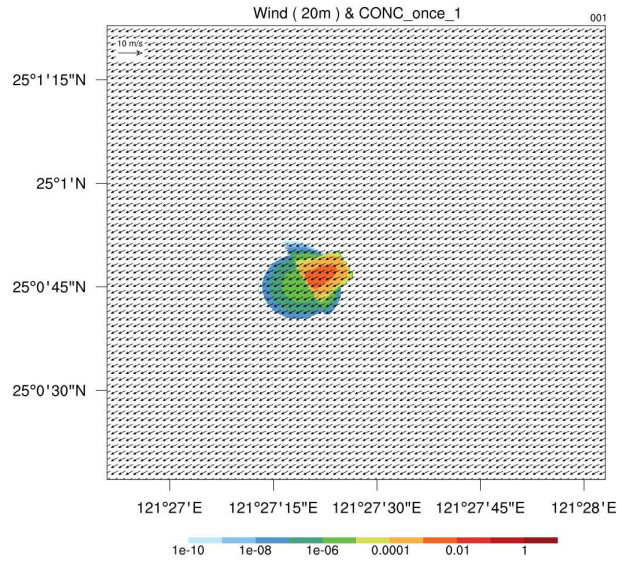


圖 44 板橋運動場 1 位置上，加上爆炸模組之輻射彈內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

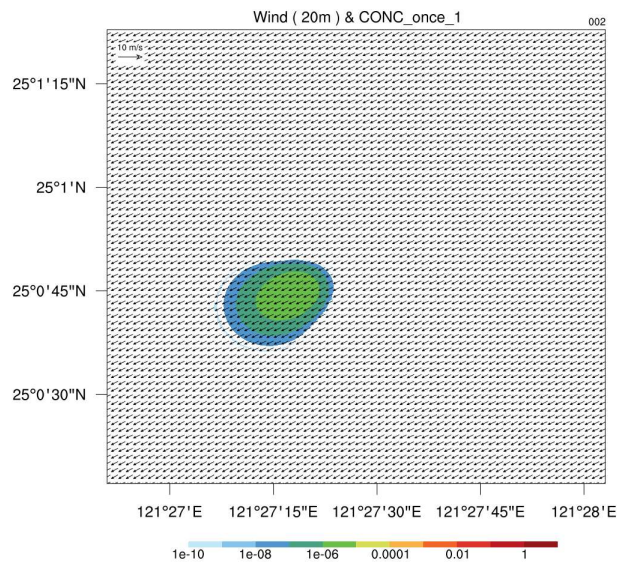


圖 45 板橋運動場 1 位置上，加上爆炸模組之輻射彈內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

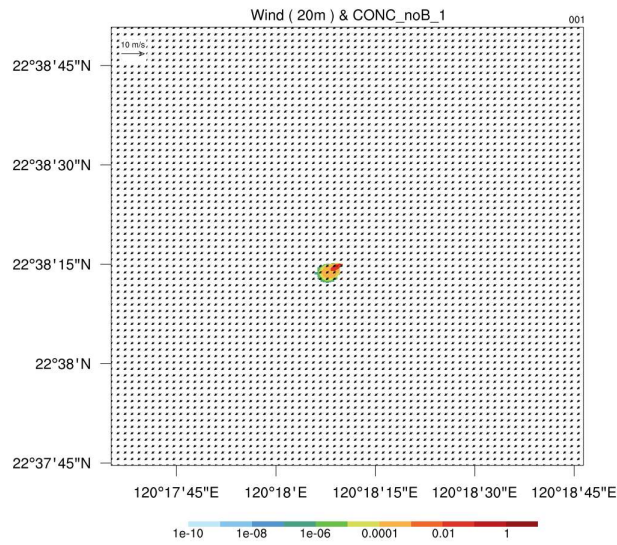


圖 46 高雄火車站 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且無建物影響之模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

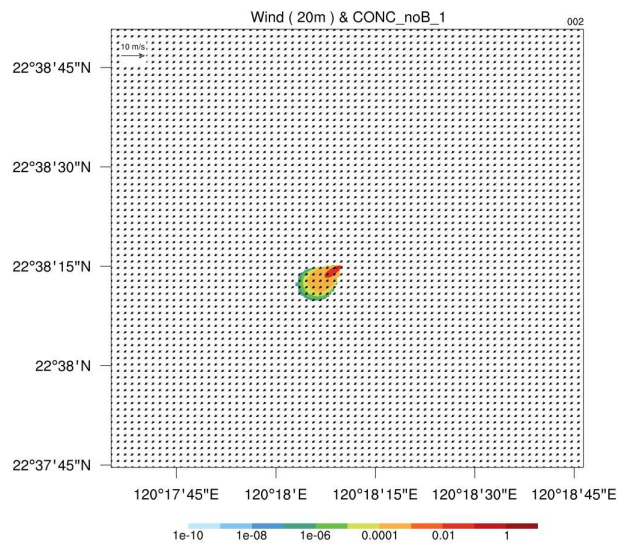


圖 47 高雄火車站 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且無建物影響之模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

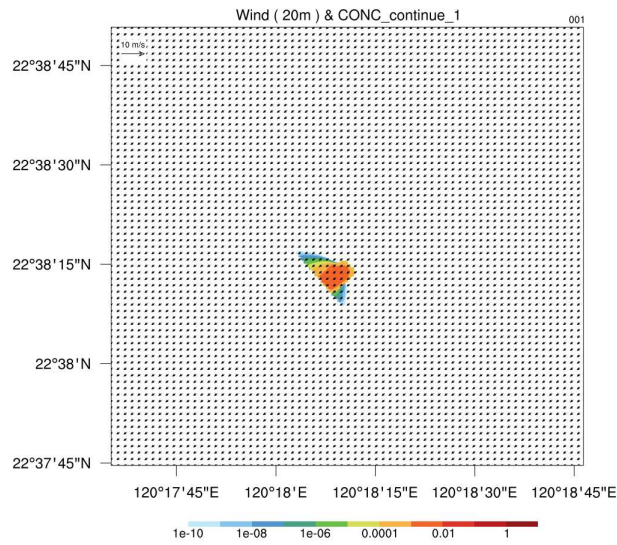


圖 48 高雄火車站 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

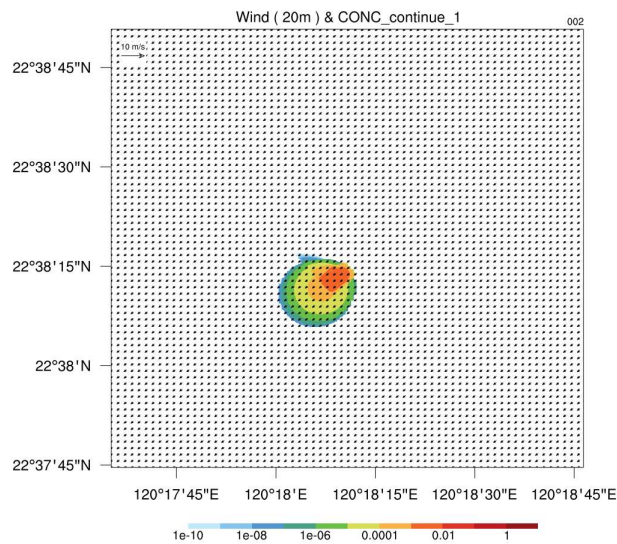


圖 49 高雄火車站 1 位置上連續釋放之輻射源內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

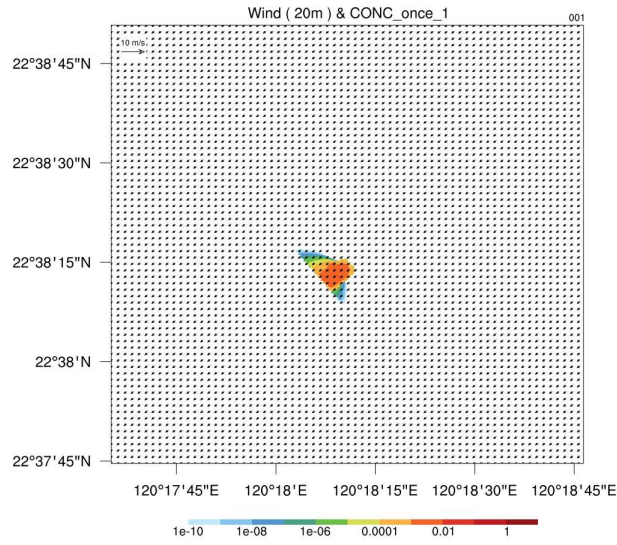


圖 50 高雄火車站 1 位置上，加上爆炸模組之輻射彈內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 1 筆時間(第 0~1 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

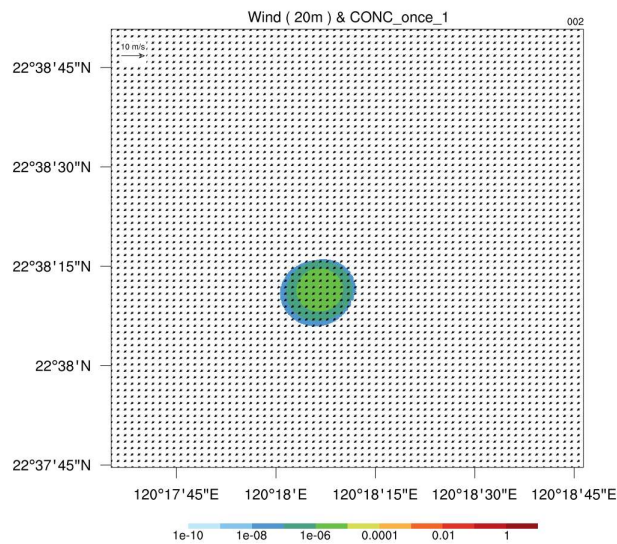


圖 51 高雄火車站 1 位置上，加上爆炸模組之輻射彈內含銻-241 核種且有建物影響之模擬第 2 筆時間(第 1~2 分鐘內)積分結果 (填色部分為濃度柱狀累積分布單位為 Bq/m^3)

3. 建置 CALPUFF 與 RESRAD RDD 兩模組的上下游資料轉換模組

因應 RESRAD RDD 程式所需資料建置 CALPUFF 輸出資料轉換模組，此模組以 NCL(The NCAR Command Language) 程式語言進行轉換。NCL 是美國國家大氣研究中心 (NCAR) 計算與信息系統實驗室的產品，由美國國家科學基金會贊助，是一種免費的直譯語言，是大氣科學研究中的常用語言，可繪製許多類型的圖及處理絕大部分的資料分析。NCL 具有強大的文件輸入和輸出。它可以讀寫 netCDF-3、netCDF-4 classic、netCDF-4、HDF4、二進制和 ASCII 數據。它可以讀取 HDF-EOS2、HDF-EOS5、GRIB1、GRIB2 和 OGR 文件 (shapefiles、MapInfo、GMT、Tiger) 等資料格式。NCL 亦可搭配 shell script, Unix/Linux command line, Fortran 語言使用，可快速大量的將數值模式模擬的結果圖形化。

轉換模組透過 NCL 程式語言將 CALPUFF 輸出之二進制數據轉成 CSV 格式如表 9 所示，將每筆時間輸出網格點上對應之濃度大小。另外為了提供 RESRAD RDD 使用者可以迅速找出模式模擬範圍內的實際巷道街弄網格點對應之放射性物質濃度，則須將 NCL 輸出之圖形直接疊加到 Google map 上，故本模組將使用 NCL 程式語言搭配 NCL_GETools 進行轉換，NCL_GETools 是由 Mohammad Abouali 在 2013 年夏季 SIParCS 實習計劃期間開發的，適用 NCL 生成 KMZ 輸出的函數資料庫。NCL 版本需要更新至 6.2.0 之後才可使用，並需要將 NCL_GETools 資料庫放到指定位置。

其圖形轉化輸出 KMZ 檔可直接由 Google map 或 Google Earth 程式開啟，並可以直接從對應的巷道街弄與濃度分布(如圖 52 和圖 53)再透過 RESRAD RDD 轉成劑量，用以評估分析區域內或鄉、鎮、里內需要進行緊急應變措施之規劃。

表 9 CALPUFF 輸出網格點上對應之濃度大小。

LAT	LON	CONC
25.030554	121.559998	0.00838169
25.030581	121.559998	0.00883946
25.030607	121.559998	0.0221246
25.030634	121.559998	0.0233135
25.030661	121.559998	0.0414918
25.030687	121.559998	0.0436811
25.030714	121.559998	0.0629271
25.030741	121.559998	0.0711317
25.030767	121.559998	0.100217
25.030794	121.559998	0.105315
25.030821	121.559998	0.110597
25.030848	121.559998	0.148009

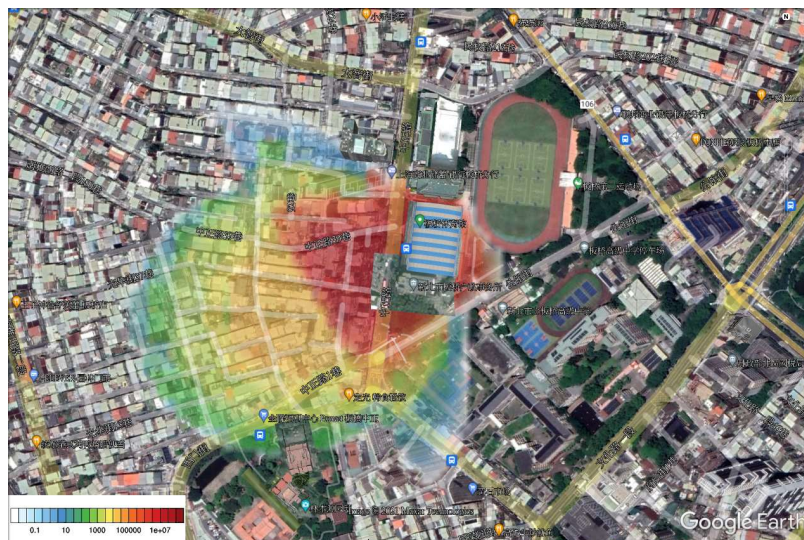


圖 52 CALPUFF 模式應用三維近似建物資料模擬測試模擬板橋運動場區域結果轉換 KMZ 格式，並以 Google Earth 程式開啟。

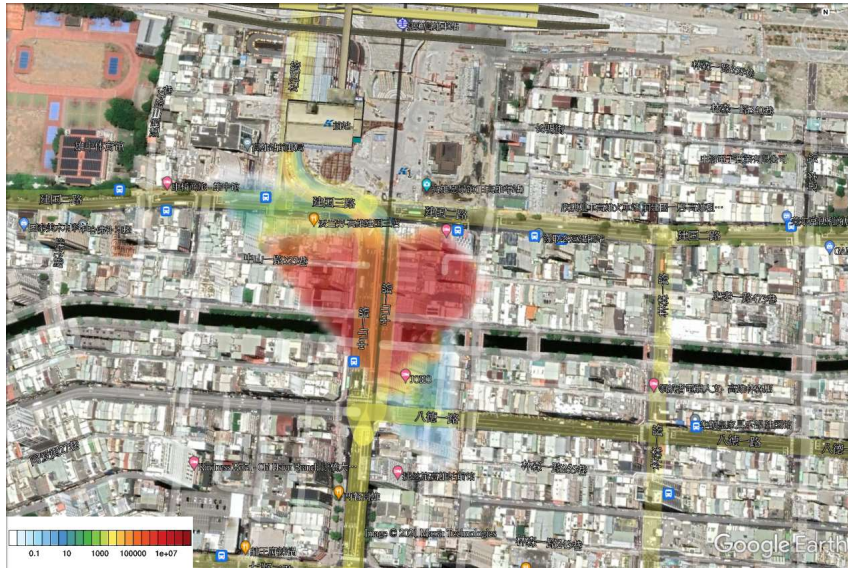


圖 53 CALPUFF 模式應用三維近似建物資料模擬測試模擬高雄火車站區域結果轉換 KMZ 格式，並以 Google Earth 程式開啟。

四、建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

(一) 研究方法

行動式輻射偵測載台可經由遠端操控，執行輻射偵測、環境感測、環景影像監視與量測數據整合通訊，讓控制人員於遠端遙控操作人機介面，可即時傳輸監測資訊，使應變人員進入現場前，預先了解狀況與潛在之危害，降低應變人員遭受輻射曝露風險。參考圖 52 遠端遙控輻射偵測平台之技術研發示意圖，以上年度計畫建置之六輪式載具底盤動力模組，搭載遠端通訊傳輸模組、GPS 定位及商規六軸機械手臂等硬體系統整合，採遠端遙控載具進行環境探索、輻射偵蒐與物件夾取應用等任務，支援輻射災害緊急應變任務需求，並可將相關偵測資訊經由網路通訊傳輸，直接傳送至緊急應變雲端資訊平台。相關研究開發機能，可依計畫執行現況需求，適度策略式滾動修正載具規格。

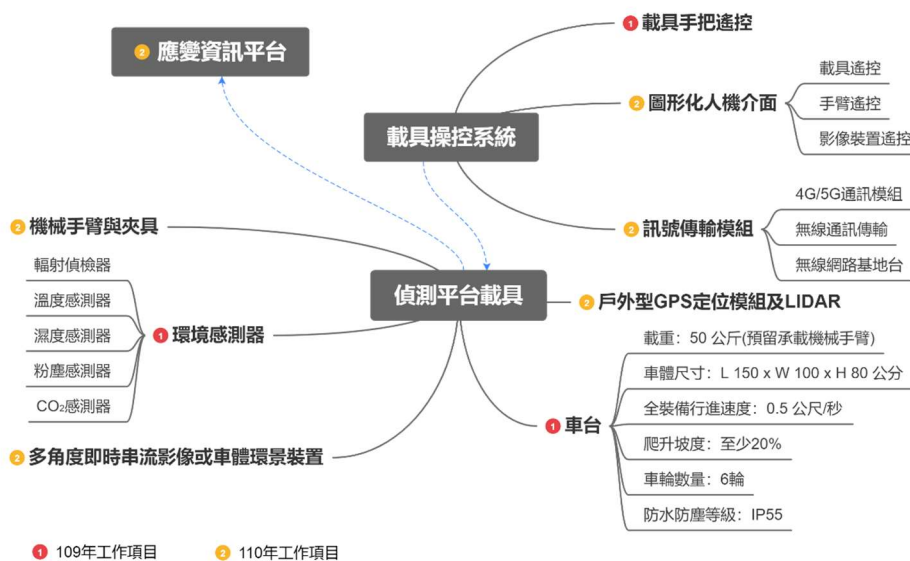


圖 52 遠端遙控輻射偵測平台之技術研發示意圖

依據遠端遙控輻射偵測平台研發近程規劃，年度工作目標主要可區分為操控端(含遙控、通訊與傳輸機能)、環境偵測(如：輻射、座標及影像等)、及應變處置機能(探測、物件夾取及運送等)等三個區塊。配合上年度計畫建置之載具底盤動力模組，依輻射災害緊急應變任務需求，採模組化模式，選擇擴充遠端遙控輻射偵測平台各式機能，計畫初期曾先行評估各式機能之模組化平台所需經費，相關模組所需設備經費如表 6 所示。依據計畫工作查核會議決議，選取搭載 EPSON-VT6 機械手臂、搭配大夾抓(依據緊急應變演練需求，夾取核醫藥物甲級包件，並搭配電控收納艙間設計)、GPS 定位及採取 5G WiFi/4G LTE 通訊傳輸模組。依上述需求設計遠端遙控行動式輻射偵測載具，如圖 53 所示，在上年度製作的六輪式底盤動力模組基礎上，搭載機械手臂與各式感測元件，並可執行長距離遙控作業，即時回傳所需環境偵測資訊。

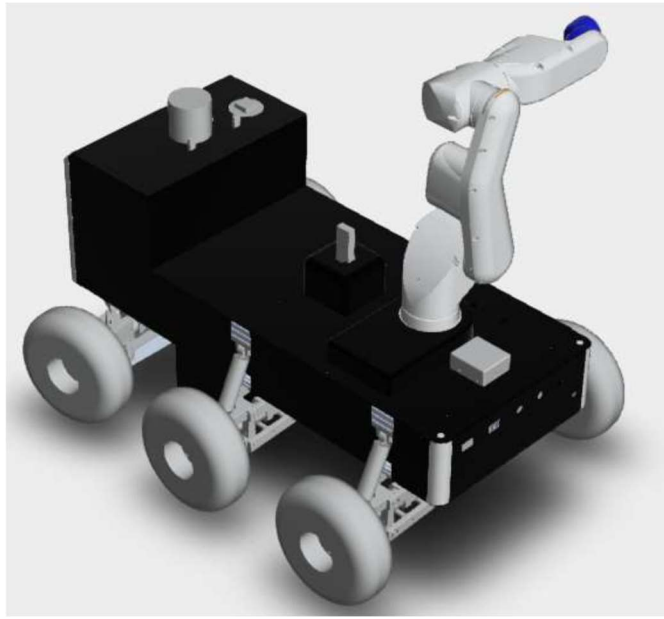


圖 53 搭載機械手臂之遠端遙控輻射偵測載具示意圖

在計畫開工會議中，要求在報告中陳述偵測平台加載選擇甲型包件需求敘述，其主要是關於假想之危險物，因乙型包件設計可承受極嚴重之意外事故，相關運送規範與計畫、人力要求亦極為嚴謹，因意外造成損壞外洩之機率極低；而甲型包件設計可承受一般交通意外衝擊，其中部分核醫藥物為常見之甲型包件，雖然甲型包件內容物外洩之輻射健康風險較低，但因核醫藥物為能細微掌控輻射強度，對於使用在病患上的時間限制較大，其運送頻次大，以避免核種衰變影響藥效，而最外層包裝通常為紙箱，外觀易遭擠壓或破壞、扭曲造成民眾疑慮，故緊急應變演練規劃以核醫藥物甲型包件運送意外為假想案例。因應目前案例與經費限制，也使得本期規劃機械手臂先行製作大夾抓模具，其使用電動缸搭配雙片式夾爪設計(如圖 54 所示)，以利夾取核醫藥物甲型包件，採用電動缸制動主要是可直接使用載具上

方電力系統作動，避免氣壓缸還需在載具搭載氣壓機具。在機械手臂接頭處採取可拆卸式模組部件，可因應多元化物件夾取需求，設計不同形式夾爪模組。

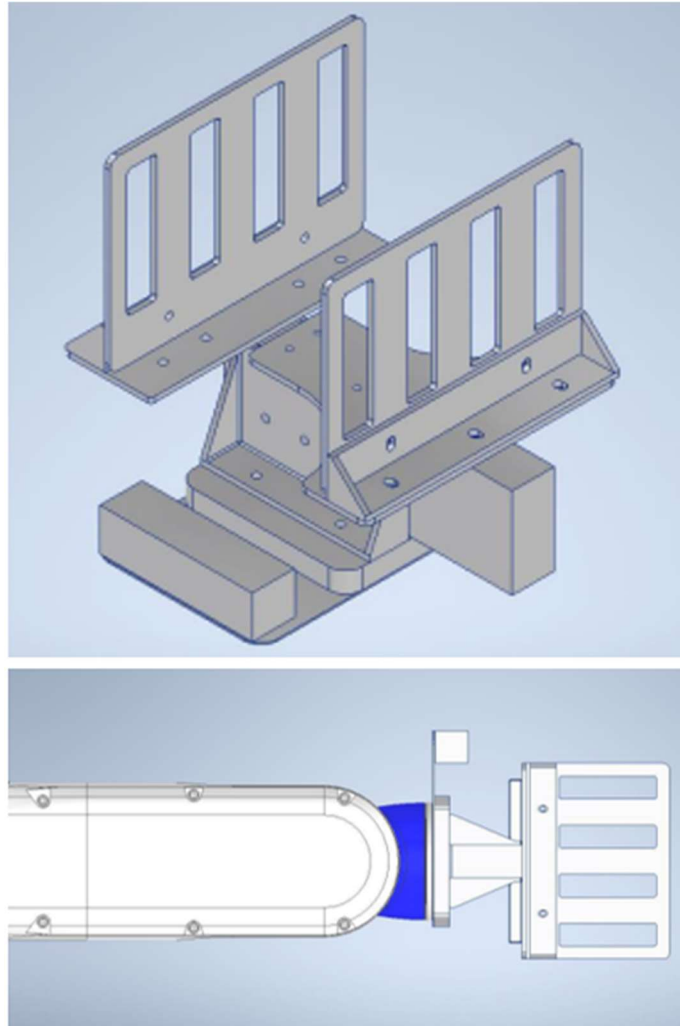


圖 54 雙片式電動夾爪設計圖

此外，在會議中也決議緊急應變演練過程中，需將演練物件移除，當載具夾取物件移動過程中，可能產生鬆脫掉落情況，所以需在既有載具平台上，加裝樣品收納艙間(參考圖 55)。其可在機械手臂夾取標的物件後，先行放置於車台

上之電動收納艙件內，避免載具移動過程中發生輻射物件掉落，造成二次危害影響。電動收納艙設計為程式控制開閉，可在中控端進行開關控制，承載負載至少 3 公斤，預估可搭載兩件甲級包件空間尺寸。

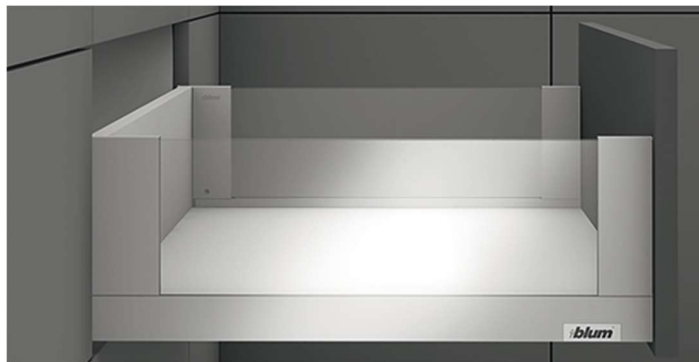


圖 55 伸縮式收納艙概念設計圖

基於可靠度與精準度考量，評估採量商業量產型 6 軸機械手臂，手臂基座連同控制箱使用面積需小於 600*600mm，手臂連同控制箱重量需小於 50 kg，以符合載具底盤動力模組設計。依據表 6 規格評估，經計劃預算與新冠疫情影響貨件交期等因素，選用載具搭載商規 EPSON-VT6 六軸機械手臂(如圖 56 所示)，此手臂擺幅可達 1000mm，至少可承載 3kg(最大負載 6kg)，且可直接使用載具上的直流電力系統，節省逆變器空間與降低轉換損耗。

表 6 遠端遙控行動式輻射偵測平台擴充模組費用評估表

名稱		機能			預估價錢	備註
1	戶外型移動載具底盤動力模組	六輪設計，具 80 公斤承載能力，具 RC 遙控、車台影像、環境感測通訊與擴充介面機能。			30 萬	109 年完成
2	環境感測與輻射偵檢器	具備環境感測模組，含溫/濕度、PM2.5 及 CO ₂ 感測器與資料傳輸模組。 載具已建置環境感測模組擴充節點，可適用數位型輸出介面輻射偵檢器連結應用，規劃架設於機械手臂上。 1. 空間劑量偵測器(約計 15 萬，含資料計讀儀) 2. 表面活度偵測器(約計 25 萬，含資料計讀儀)輻射偵檢器。			15~25 萬 (輻射偵檢器)	借用
3	GPS 定位模組	GPS-RTK 模組，可於戶外場域進行公分級距(20cm)定位。			6 萬	搭載
4	5G 通訊模組	已具 WiFi-5G 與 4G LTE 通訊模組。5G 訊號模組擴充(約計 2~4 萬)，需另外購置 5G Sim 卡與月租費用(月租費 799 元以上)。			4 萬 (月資費另計)	未選用
5	自主避障移動與地圖建製模組	光學雷達(3D 16 線 LIDAR)避障、視覺里程定位回溯，超音波防護，地圖建模處理與遠端中控室操控。 邊界特徵明顯場域可自主移動操控，空曠處與地面落差變化大場域，以遠端遙控操作為主。施行物件夾取任務時，以遠端遙控操作載具接近待夾物。			45 萬	未選用
6	機械手臂	UR5e (約 75 萬)	EPSON-VT6 (約 85 萬)	UR10e (約 120 萬)	75~120 萬	搭載 EPSON-VT6 機械手臂
		最大擺幅 850mm	最大擺幅 1000mm	最大擺幅 1300mm		
		重量 34 kg 負載 5kg	重量 40kg 負載 6kg	重量 47kg 負載 10kg		
		最大耗電量 570W	最大耗電量 1.2kW	最大耗電量 615W		
		載具正後方夾取範圍 25cm	載具正後方夾取範圍 40cm	載具正後方夾取範圍 55cm		

		手臂 IP54/ 控制器 IP44	未測試，同款 AC 機型 IP67	手臂 IP54/ 控制器 IP44		
		手臂交期： 2.5~3 個月	手臂交期： 1.5~2 個月	手臂交期： 2.5~3 個月		
		遠端中控影像視覺操控夾取物件機能			30 萬	未選用
7	各式夾爪 與治具 採替換式 模組設計	小夾抓（夾取原子筆鋼管尺寸），具 電磁鐵磁吸機能。			15 萬	未選用
		大夾抓（夾取小包裹紙箱 22cm x 20cm x 18cm，核醫藥物甲級包件）， 電控啟閉收納艙間（承重 3 kg， 500(L) x 150(W) x 165(H) mm）			20 萬	選用，並搭 載遠端電 控收納艙。

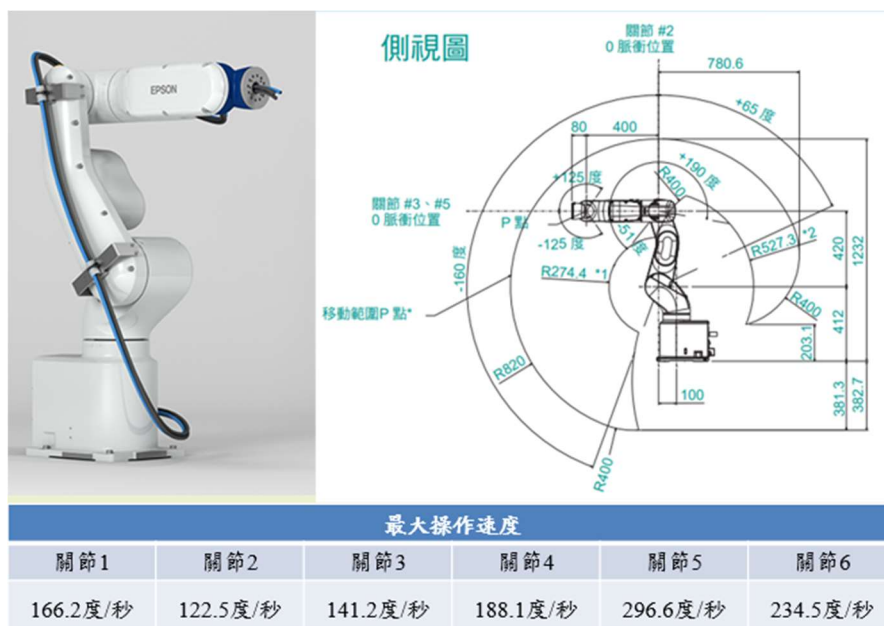


圖 56 EPSON-VT6 六軸機械手臂外視圖

計畫年度目標為：發展地面遠端遙控載具即時偵測數據回傳，整合機械手臂與遠端操控機能，具備物件偵測與夾取功能。彙整上述需求資訊，遠端遙控行動式輻射偵測平台建置工作計有下列五項。

- 搭載機械手臂與控制系統整合
- 電動夾爪設計製作
- GPS-RTK 定位系統與環境偵測模組整合
- 影像串流系統建置與擴展操控範圍
- 環境監測資料雲端傳輸作業

計畫期中查核時，審查意見曾要求期末報告中納入偵測平台研發必要性，以及跟一般商用載具功能性差異比對說明。當處裡緊急應變事件時，在未知或高危害的輻射場域，人員可遠端操控載具偵測環境狀態，確認輻射源位置，並支援緊急處置作業，此機制可大幅降低人員體外暴露危害。在初步與商用可承控載具平台差異性比對上，計畫開發的載具，可因應使用需求架設感測元件，並具遠端程控機能。現有商行程控載具單價高，以警政系統常使用的彈藥移除機器載具 I-Robot Packbot 510 為例(如圖 57 所示)，國內消防單位曾採購兩組，每台售價約台幣 850 萬元，經網路查詢大量購買 1000 台，可以將售價壓低至 10 萬美金，且該機種目前僅能近端遙控操作。此外，仿生型式的 Boston Dynamics BigDog 機器犬(如圖 58 所示)式屬於可程控型的載具平台，該款機械犬 2005 年開始研發。波士頓動力公司原是一家美國的工程與機器人設計公司，其經多方轉手後，目前經營權屬於韓國現代集團，且在 2020 年底已開始對外銷售，空機型號售價約 8 萬美金，此款仿生型載具可遠端程控操作，但程控與機械手臂模組需要另外購買。



[<https://www.popsoci.com/german-researchers-want-bomb-squad-robots-to-see-inside-suitcases/>]

圖 57 多功能防爆機器人(I-Robot Packbot 510)



[<https://xw.qianzhan.com/analyst/detail/329/200619-d95cfcfc.html>]

圖 58 波士頓動力犬

此外，台電公司 110 年核安演習曾出動遙控偵測車展示，該款偵測車與計畫投入開發之偵測載具差異，已彙整成表 7。遠端遙控行動式輻射偵測平台是依計畫需求，專屬開發製作，屬於功能多元化的特製開發產品，基本成本較高，可遠端中控操作探索環境資訊，並即時回傳偵測資訊與物件移除等機能。而台電偵測車體近似於網路販售之中國製遙控車台，上方裝載輻射偵檢器，採用近端遙控方式，由人員目視可達範圍操控偵測車進入場域記錄環境資訊，再將量測資料送出計讀。此外，量產物件也是單價成本重要參考依據。

計畫開發之遠端行動式輻射偵測平台，與現有國際商用偵測平台比較，具有便宜、可遠端操控、即時傳輸環境偵測資訊、整合機械手臂應用與後續機能擴充彈性佳等特點。

表 7 輻射偵檢載具差異評估表

	台電履帶車	戶外型輻射偵檢載具
適用場域	戶外	戶外
驅動方式	雙馬達 / 履帶式 / 差動轉向	6 馬達 / 6 輪驅動 / 前輪轉向
電池	12V/7Ah	動力鋰電池 48V24AH*2
越障能力	至少 60 mm	至少 50 mm
車體尺寸	L 63.5 * W 46.0 * H 20.5 [cm]	L 160 * W 80 / H 70 [cm]
載重能力	10 kg 以上(空車重) / 30 kg(載重)	110 kg(車重含機械手臂) / 20 kg(載重)
通訊方式	無	4G LTE(免佈建)+Wi-Fi
操作距離	遙控 100m	手持遙控 50m 遠端操控(4G LTE 涵蓋範圍)
定位方式	無	GPS RTK 可擴充 3D LiDAR SLAM + 視覺 SLAM
搭載配件	無	環境感測器、機械手臂、電動收納艙
即時影像	無	多鏡頭 (車台環景影像)
雲端連線	無	雲端資料儲存通訊界面
載具功能	 <p>網路販售之相似載具</p>	即時遙控操作、視覺輔組、GPS 定位、4G 通訊傳輸、環境監測、支援機械手臂夾取試件。 可擴充：類 3D 光達(光學量測與避障)、地圖建模、路徑導航。

(二)研究過程

遙控行動式輻射偵測平台主要運行環境為戶外場域，計畫初期規劃場域是以戶外平整路面地形，隨著緊急應變演練任務調整，為適應多元化場域應用，考量崎嶇路面、草地與沙灘場景等多元地貌，大幅提升使用場域複雜度。此外載具搭載機械手臂，與遠端操作等作業需求，滾動式修整載具車體架構與通訊傳輸模式。

因應輻射事件緊急應變與多元化場域應用需求，戶外型移動載具底盤動力模組規劃 6 輪式傳動底盤車台，採全驅輪組傳動架構，由前輪轉向方式操控載具運動，先前完成載具底盤動力模組已更換成越野型人字胎面，大幅提升輪胎抓地力，達到多元地貌應用需求。因應經費與計畫進程事宜，在計畫查核會議中，決議此載具暫不考慮高強度輻射源對電子元件之影響，但可於載具外部以防水防塵包膜方式(部分外露部件可沖洗)，減低輻射塵污染影響。

為因應緊急應變技術開發與研究需求，建置遠端遙控行動式輻射偵測平台，使用先前計畫中製作的六輪式底盤動力模組搭載商用型 EPSON-VT6 六軸機械手臂，為了增加載具運動穩定性，提升機械手臂夾取範圍，並在既有底盤動力模組上擴增電動收納艙間，必須適度調整載具上電控模組配置，在有限的載具空間中，盡量將所有電路套件移撥到車頭部位，為兼具載具重心，降低戶外運行翻覆危機，評估需將機械手臂降低安

裝基座，直接嵌入六輪式底盤動力模組(如圖 59、圖 60 所示)，圖中可明顯觀察到機械手臂基座已下潛至安裝至載具底盤動力模組內部，此方式可大幅降低載具重心，並提升手臂夾取地面物件運動能力。

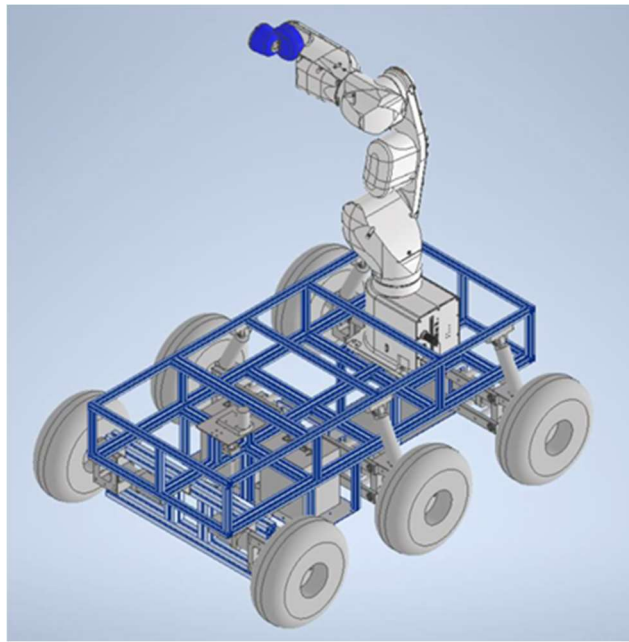


圖 59 機械手臂嵌入車台機構圖

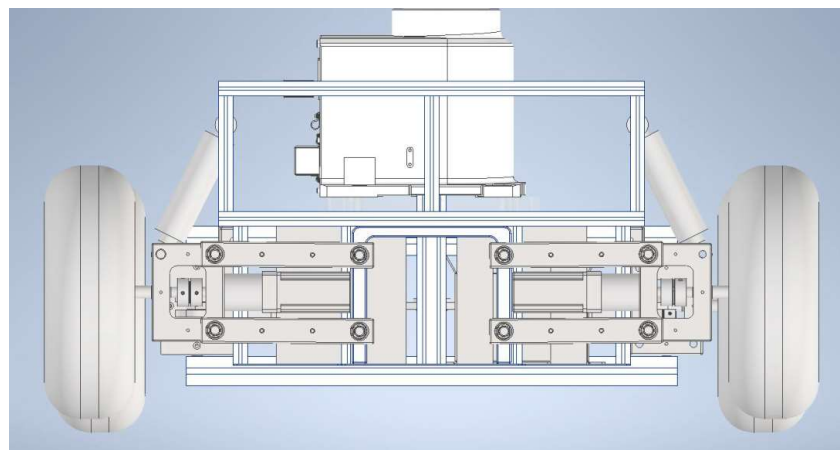


圖 60 機械手臂嵌入車台機構側視圖

另規劃將載具動力電池模組移裝至載具中前段低部位置，直接作為載具艙間配重使用，消除搭載機械手臂影響載具重心偏移問題。為避免機械手臂負載運作時，會影響載具上的電壓電流供應，採取獨立式電力系統能有效的提升穩定性，可維持載具運算及資料傳輸的電力品質。由圖 61 可觀察到載具前方底部配置有兩顆可替換式動力鋰電池模組，其分別獨立支援載台運動與機械手臂電力供應，每顆電池容量達 24AH 電容量。載具上方安置有電力表與緊急制動開關(圖 62)，可清楚查看電池電量，至少可提供載具連續運作 1 小時以上，作業期間亦可隨時更換備用電池模組。

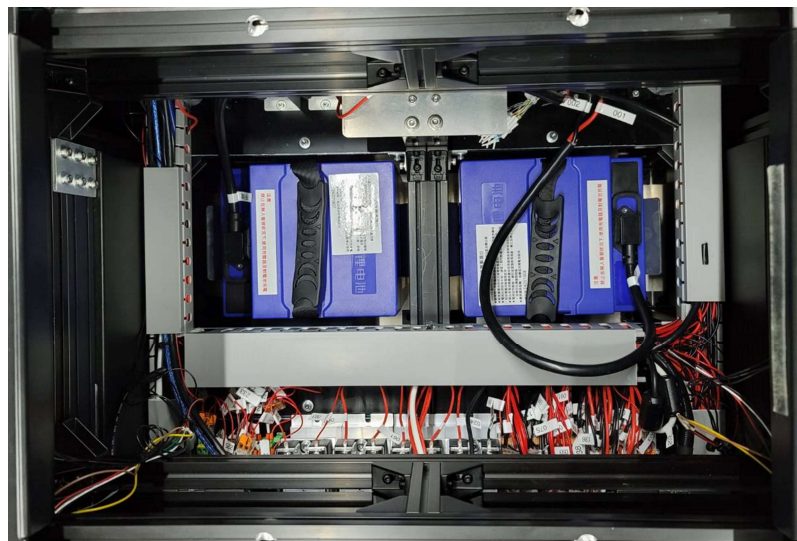


圖 61 獨立式電源模組配置

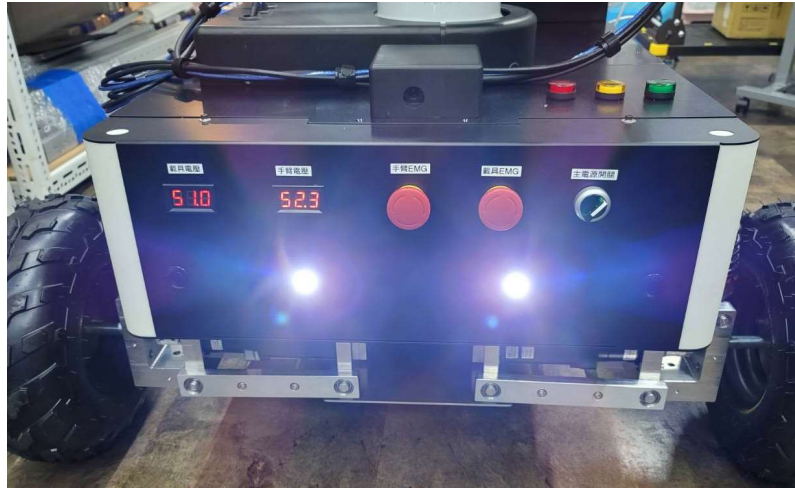


圖 62 載具電力顯示與緊急開關設置

因應現有載具有限的空間配置中，初期規劃收納艙件配置於載具車頭前方區塊，因搭載多元機構組件，為提升載具運動穩定性，考量盡可能壓低載具重心，在載具動力電池基座向下安放配置後，將電池上方騰出空間作為電動收納艙間設置區域。載具電動收納艙間由原先規劃的車手部位移至此區域，可降低載具車頭高度，亦有助於載具戶外運動操控穩定性。電動收納艙間採取側滑蓋開艙門設計(圖 63)，可在機械手臂夾取物件後，可直接迴轉放置於收納艙間內，此收納艙間規劃可放置兩組核醫藥物甲型包件樣品，並可直接於中控端操控艙門啟閉作動。

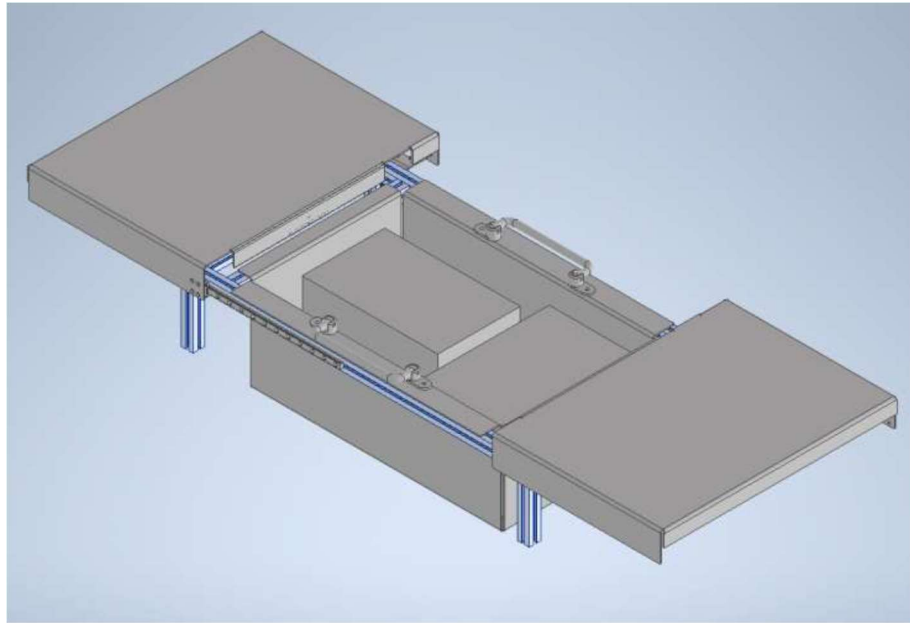


圖 63 電動滑蓋式收納艙間設計

前述章節已提出本次緊急應變演練需求的夾取物件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 64 所示，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。機械手臂夾爪上可選擇搭載輻射偵檢器或表面活度偵檢器，可利用載具上機械手臂進行物件輻射探查作業。圖 65 為機械手臂夾取樣品放置於收納箱的測試畫面，夾取物件可順利放置於電動收納艙內。



圖 64 電動雙片式夾爪成品展示



圖 65 物件夾取與收納艙放置測試展示

載具底盤動力模組採六輪獨立驅動，每輪搭配 70W 功率的直流無刷馬達，並配置機械式絕對式編碼器，在臨時斷電情況下，也能掌控馬達絕對運作角度。前輪採用電子差速機制運作，具有良好的轉向控制性能，並能依照行走現況調配電子差速，可防止輪胎打滑狀態，影響載具定位精確度。因應載具搭

載機械手臂、收納艙間設計、電控系統與動力電池配置變動，更新強化載具車體懸吊機構(如圖 66 所示)，車體懸吊升級成雙橫樑機構設計，可提升軸向支撐強度。搭配高功率 BLDC 馬達及行星減速機(具體積小、抗震性佳、定位精準等優勢)，提供穩定輸出動力與操控精確性，並選用彈簧與阻尼混合式避震器，實體機構成品如圖 67 所示，大幅增加車體支撐性與吸震能力，提升載具戶外場域運動性能。

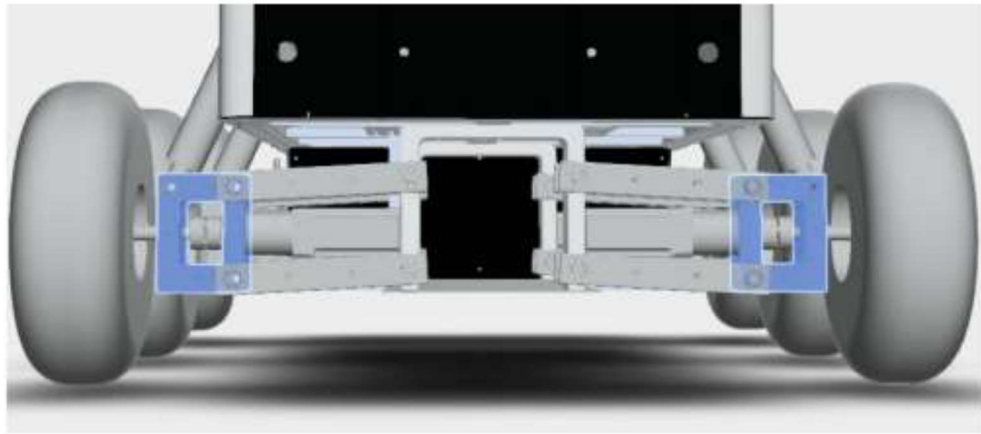


圖 66 雙橫樑車體懸吊機構



圖 67 車體懸吊與避震結構強化實體圖

據傳輸，任何一個節點故障都不影響網絡的連接，可靠性非常高，且當網絡中斷時可自動修復，確保網路連線高速流暢。遙控行動式輻射偵測平台於 Wi-Fi Mesh 涵蓋場域內作業時，與工作站及 IOT 裝置等連網設備緊密連結，作業場域內的設備都能輕易透過 4G LTE 行動網路連結雲端資料。在戶外場域實作演練中，可依作業場域範圍任意擴充 Mesh 模組，其可由行動電源提供電力，一般場域可由人員協助佈放 Mesh 模組，在未知的危害環境中，可利用車載機械手臂佈放 Mesh 模組，藉此可大幅擴展載具遙控操作範圍。此外，當戶外環境的 5G 行動網路通訊更加穩健後，載具可替換 5G 行動網路模組，提供更好的影像串流與通訊傳輸品質。

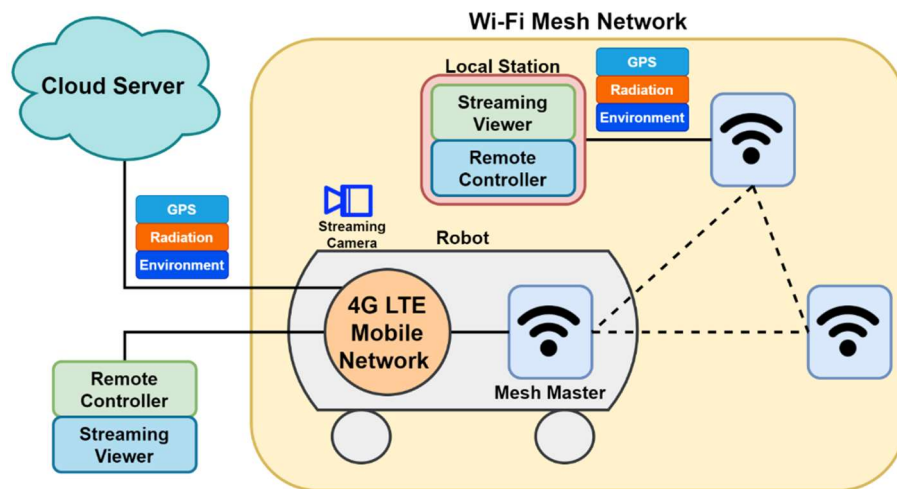


圖 69 載具網路通訊架構圖

為使行動式輻射偵測平台內部多個子系統能夠順利相互通訊，採用全網路通訊機制，讓所有的資料交換接能夠過網路通訊完成，採用全區域通訊架構具有非常好的穩定性以及擴充性，能夠快速地與其他系統互相整合，這對於未來網路連結

建構更為普遍化與傳輸速率提升後，可更為便利於通訊傳輸與遠端操控應用，方便後續與雲端系統整合，達到多機協作、遠端資料蒐集及監控等作業需求。現階段規劃載具紀錄 GPS 位址與輻射劑量可上傳到雲端平台，已完成載具 iner1001 代碼設定，並於 11 月下旬成功由載具直接傳送相關資訊於雲端系統後台資料庫內(如圖 70)。

+ 選項							
← T →							
	sid	equipment	timeserial	data	MSSQL	created	
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001	1637656122	0.0555	N	2021-11-23 16:28:42	編輯 複製 刪除
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001	1637691931	0.0555	N	2021-11-24 02:25:33	編輯 複製 刪除
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001	1637691960	0.2355	N	2021-11-24 02:26:02	編輯 複製 刪除
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001	1638495613	0.2355	N	2021-12-03 09:40:11	編輯 複製 刪除

+ 選項							
← T →							
	sid	equipment	timeserial	data	MSSQL	created	
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001_GPS	1637656122	25.037092,121.543117	N	2021-11-23 16:28:42	編輯 複製 刪除
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001_GPS	1637691931	25.037092,121.543117	N	2021-11-24 02:25:33	編輯 複製 刪除
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001_GPS	1637691960	25.037092,121.543117	N	2021-11-24 02:26:02	編輯 複製 刪除
<input type="checkbox"/>	32	Iner1001_GPS	1638495613	25.037092,121.543117	N	2021-12-03 09:40:11	編輯 複製 刪除

圖 70 載具資訊上傳雲端資料庫資訊

經歷多次計畫查核作業，續滾動式檢討計畫需求，開發地面遠端遙控載具實體成品如圖 71 所示，可即時回傳環境偵測資訊，整合機械手臂與遠端操控機能，具備環境探索與夾取功能。依實際演練應用需求，新增暫時放置夾取物件的電控收納艙間(可於中控端操控艙門啟閉)，並配合搭載六軸機械手臂，需將車載電路重新移裝配置，強化底盤懸吊裝置，優化現有六輪式載具底盤動力模組。整合環境偵測、GPS 定位與遠端通

訊傳輸模組，建構圖形化人機介面，可於中控端採遠端遙控載具，進行環境探索、輻射偵蒐與物件夾取等應用，支援輻射災害緊急應變任務需求。



圖 71 遠端遙控行動式輻射偵測平台實體展示

因應年度輻射應變技術隊訓練，10月初於核研所 008 館前方戶外場域，進行放射性物質運送意外事件應變模擬演練，使用遠端遙控行動式輻射偵測平台進行意外現場探測，進行運送車輛與放射性物質偵測，即時傳輸探測位址、放射性物質輻射劑量與現場畫面回中控端，再由現場指揮官下達後續應變處置，載具協助將放射性物質移除，相關過程可參考圖 72 展示，含蓋行動式輻射偵測平台抵達現場，現場安管人員放行進入、場域探測(含事故車輛與放射性物質偵測)、偵測資訊回報、放射性物質偵測夾取、放置於車載收納艙間、放射性物質

臨時運送與後續離場的載具輻射污染偵測等作業。

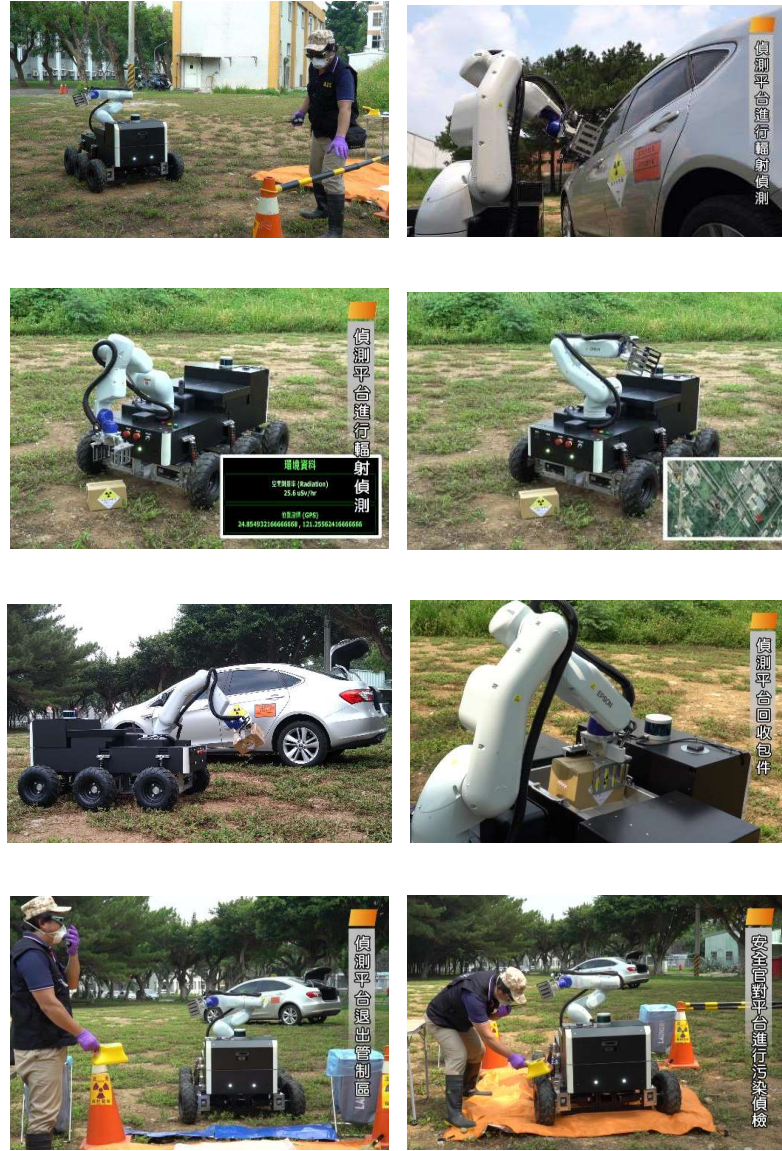


圖 72 放射性物質運送意外事件應變模擬演練

(三)研究成果

計畫年度產出實體的遠端遙控行動式輻射偵測平台乙部，載具搭載商規機械手臂與車台影像串流模組、環境偵測元件與 GPS 定位模組套件，採 WiFi 5G/4G LTE 行動網路通訊模式建構遠端操控平台，可遙控載具執行射源偵測作業，並即時回傳偵測數據。實際已應用於 110 年底的緊急應變演練作業。

五、建置輻射災害應變資訊平台

(一)研究方法

以美國國土安全部文件 U.S. Homeland, “RDD Response Guidance”, 2016.做為資訊平台針對輻射彈爆炸事件研析事件資訊之功能需求，而其他輻應隊任務相關、非輻射彈爆炸事件之輻射事件，則以國際原子能總署文件 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “Manual for First Responders to a Radiological Emergency”, 2006 做為研析資訊平台應變時之功能之參考來源。

另外，為因應輻應隊平時整備需求，延續去年完成之使用者介面，建立資訊平台於平時可建立、編輯之應變人員名單、輻應隊組隊名單、以及儀器資料功能，於研究過程中稍做調整並建立相關功能。

(二) 研究過程

考量應變過程中，於電子地圖上進行線上繪圖功能，可協助指揮中心與現場輻應隊成員之間的溝通，選用線上繪圖程式庫較為完整之 Google 電子線上地圖，依據去年已完成之使用者介面設計，於研究過程中稍做調整並建立相關功能。

1.事件資訊功能需求計有:

- (1)爆炸現場之輻射強度量測結果
- (2)顯示應變人員初始熱區與疏散區
- (3)各相關區域與下風處之輻射強度量測結果

2. 人員資訊功能需求計有:

- (1)服務單位、人名、電話、手機、輻應隊職稱、資訊最新更動日期與更新人員人名(預計包含輻應隊與各縣市對口單位人員名單)。
- (2)提供搜尋框與自動完成功能搜尋人名。
- (3)提供各欄位排序功能與下載報表功能。
- (4)提供新增、刪減人員、異動此筆資訊之人員人名與留存三年內紀錄之功能。
- (5)依使用者權限提供瀏覽或編輯功能。

3. 儀器資訊功能需求計有:

- (1)欄位計有:種類、名稱、型號、數量、保管單位、保管地點、保管人名、電話、手機、資訊最新更動日期、更新資訊之人名、圖片。
- (2)提供搜尋框與自動完成功能搜尋儀器。
- (3)提供各欄位排序、數量統計功能與下載報表功能。
- (4)依使用者權限提供瀏覽或編輯功能。

(5)提供使用者新增儀器種類與名稱功能。

4. 訓練資訊功能需求計有：

(1)提供搜尋輸入框與自動完成功能搜尋。

(2)依登入者權限提供講義、影片上傳、下載、刪除功能。

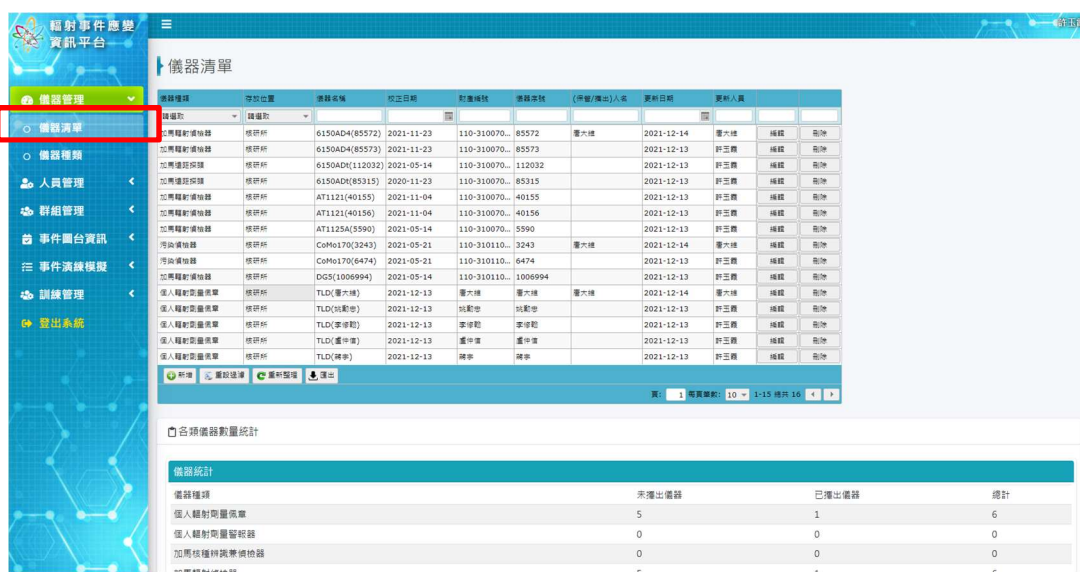
(3)提供新增、刪減、編輯課程、講義、影片、異動此筆資訊
之人員人名與留存三年內紀錄之功能。

(三)研究成果

依據前述各功能需求，今年度已完成資訊平台管理端主要
功能(因功能眾多，僅擇要分述):

1. 儀器管理

選取「儀器清單」功能選項，將出現目前已儲存之儀器清單如圖 73。



儀器種類	存放位置	儀器名稱	初次日期	對應編號	儀器本號	(備用/備出)人名	更新日期	更新人員		
加馬種射量儀	儀器部	6150AD4(85572)	2021-11-23	110-310070	85572	廖大維	2021-12-14	廖大維	維護	刪除
加馬種射量儀	儀器部	6150AD4(85573)	2021-11-23	110-310070	85573		2021-12-13	許三義	維護	刪除
加馬種射量儀	儀器部	6150AD4(112032)	2021-05-14	110-310070	112032		2021-12-13	許三義	維護	刪除
加馬種射量儀	儀器部	6150AD4(85315)	2020-11-23	110-310070	85315		2021-12-13	許三義	維護	刪除
加馬種射量儀	儀器部	AT1121(40155)	2021-11-04	110-310070	40155		2021-12-13	許三義	維護	刪除
加馬種射量儀	儀器部	AT1121(40156)	2021-11-04	110-310070	40156		2021-12-13	許三義	維護	刪除
加馬種射量儀	儀器部	AT1125A(5590)	2021-05-14	110-310070	5590		2021-12-13	許三義	維護	刪除
污染偵測器	儀器部	CoMo170(3243)	2021-05-21	110-310110	3243	廖大維	2021-12-14	廖大維	維護	刪除
污染偵測器	儀器部	CoMo170(6474)	2021-05-21	110-310110	6474		2021-12-13	許三義	維護	刪除
加馬種射量儀	儀器部	DGS(1006994)	2021-05-14	110-310110	1006994		2021-12-13	許三義	維護	刪除
個人種射量儀	儀器部	TLD(廖大維)	2021-12-13	廖大維	廖大維	廖大維	2021-12-14	廖大維	維護	刪除
個人種射量儀	儀器部	TLD(邱勳忠)	2021-12-13	邱勳忠	邱勳忠	邱勳忠	2021-12-13	許三義	維護	刪除
個人種射量儀	儀器部	TLD(李偉勳)	2021-12-13	李偉勳	李偉勳	李偉勳	2021-12-13	許三義	維護	刪除
個人種射量儀	儀器部	TLD(盧中漢)	2021-12-13	盧中漢	盧中漢	盧中漢	2021-12-13	許三義	維護	刪除
個人種射量儀	儀器部	TLD(陳幸)	2021-12-13	陳幸	陳幸	陳幸	2021-12-13	許三義	維護	刪除

儀器種類	未攜出儀器	已攜出儀器	總計
個人種射量儀	5	1	6
個人種射量儀	0	0	0
加馬種射量儀	0	0	0
污染偵測器	0	1	1

圖 73 儀器清單

將右方卷軸向下捲，可查詢各類儀器數量統計，以及未攜出(尚可調用)之儀器存放位置統計如圖 74。

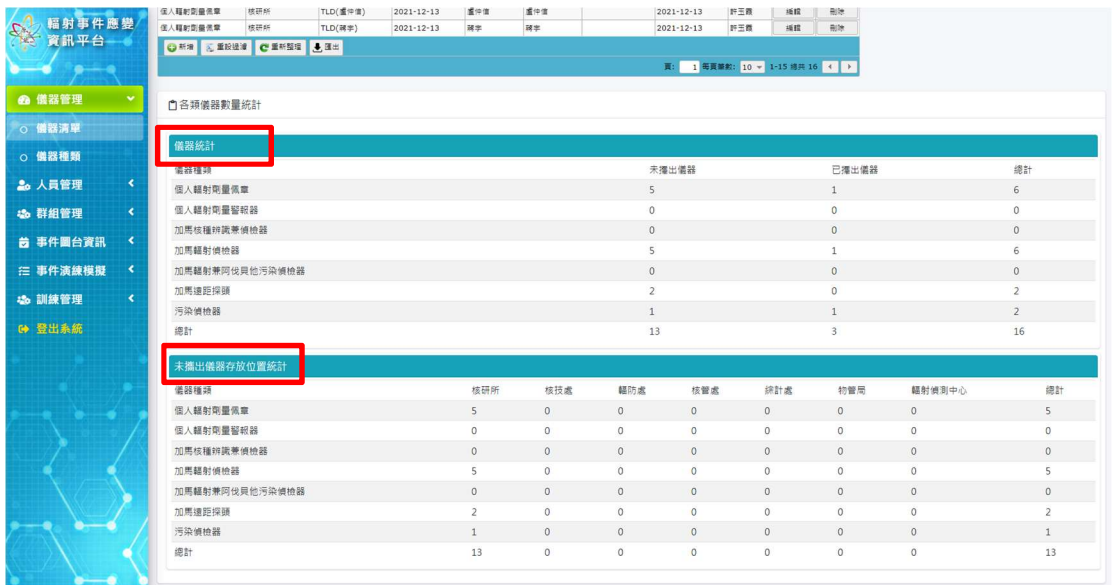


圖 74 儀器統計結果

2. 人員管理

選取「帳號管理」功能選項，將出現目前已儲存之帳號清單如圖 75。

帳號管理								
人名	單位群組	電話	手機	羅德隊職稱	更新日期	更新人員		
	請選取							
何播	統計處	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):新聞組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):新聞組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):新聞組(組員)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
侯政宇	羅防處	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部支援小組(組員)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
劉任哲	羅射偵測中心	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):技術組南部支援小組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):技術組南部先遣小組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):技術組南一小隊(分組長) 羅德隊(輻射彈事件):技術組南二小隊(分組長) 羅德隊(輻射彈事件):技術組南二小隊(分組長)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
劉德銓	核技處	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部先遣小組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):技術組北部支援小組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):技術組南一小隊(組員)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
劉文照	羅防處	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物質意外事件):(隊長)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
吳昌時	核技處	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):參謀組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):參謀組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):參謀組(組員)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
周榮源	核技處	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部先遣小組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):技術組北部支援小組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):技術組南三小隊(組員)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
周政毅	羅射偵測中心	0222320000	0988000000	羅德隊(輻射彈事件):技術組南二小隊(組員)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
周景辰	核技處	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):參謀組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):參謀組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):參謀組(組員)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除
唐大維	核研所	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部支援小組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):技術組北部先遣小組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):技術組北三小隊(組員)	2021-12-14	鄭裕勝	編輯	刪除
姚勳忠	核研所	0222320000	0988000000	羅德隊(放射性物料管理意外事件):技術組南部支援小組(組員) 羅德隊(放射性物質意外事件):技術組南部支援小組(組員) 羅德隊(輻射彈事件):技術組北一小隊(分組長) 羅德隊(輻射彈事件):技術組北三小隊(分組長) 羅德隊(輻射彈事件):技術組北二小隊(分組長)	2021-12-10	許玉霞	編輯	刪除

圖 75 帳號清單

點選「單位群組」下拉式選單，可篩選查看各局處之帳號清單之狀況如圖 76。

帳號管理			
人名	單位群組	電話	手機
	請選取		
何璿	請選取		0988000
侯政宇	嘉義縣		0988000
劉任哲	屏東縣		0988000

圖 76 利用下拉式選單篩選帳號

例如選取「核技處」篩選，可列出目前核技處隸屬於輻射應變技術隊(以下簡稱輻應隊)之成員，資料包含人名、單位群組、公務電話、手機號碼、其輻應隊之職稱、資料更新日期、資料更新之人員，如圖 77。

帳號管理

人名	單位職組	電話	手機	職應隊職稱	更新日期	更新人員		
	核技處							
劉傳廷	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部先遣小組(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):技術組北部支援小組(組員) 籍應隊(輻射彈事件):技術組南一小隊(組員)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
吳昌時	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):參謀組(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):參謀組(組員) 籍應隊(輻射彈事件):參謀組(組員)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
周崇源	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部先遣小組(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):技術組北部支援小組(組員) 籍應隊(輻射彈事件):技術組南三小隊(組員)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
周豐辰	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):參謀組(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):參謀組(組員) 籍應隊(輻射彈事件):參謀組(組員)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
張維廷	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部預備組員(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):技術組北部預備組員(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):技術組南部預備組員(組員) 籍應隊(輻射彈事件):技術組南二小隊(組員)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
戈元	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):技術組北部預備組員(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):技術組北部預備組員(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):技術組南部預備組員(組員) 籍應隊(輻射彈事件):技術組南三小隊(組員)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
李瑞恩	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件)(副隊長) 籍應隊(放射性物質意外事件)(副隊長) 籍應隊(輻射彈事件)(隊長)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
林貞尚	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):參謀組(組長) 籍應隊(放射性物質意外事件):參謀組(組長) 籍應隊(輻射彈事件):參謀組(組長)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
洪子傑	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(輻射彈事件):技術組北一小隊(副組長) 籍應隊(輻射彈事件):技術組北三小隊(副組長) 籍應隊(輻射彈事件):技術組北二小隊(副組長)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
羅玉芳	核技處	0222320000	0988000000	籍應隊(放射性物料管理意外事件):參謀組(組員) 籍應隊(放射性物質意外事件):參謀組(組員) 籍應隊(輻射彈事件):參謀組(組員)	2021-12-10	許玉鑫	編輯	刪除
				籍應隊(放射性物料管理意外事件):參謀組(組員)			編輯	刪除

圖 77 篩選帳號結果

3. 事件圖台資訊

(1) 事件狀態

選擇事件狀態如圖 78，平台將提供結合電子表單或電子地圖及繪圖工具，以瀏覽或新增、刪除、編輯事件資訊、輻應隊程序書相關電子通報單、依隊長指示發布之主要任務等功能如圖 79。

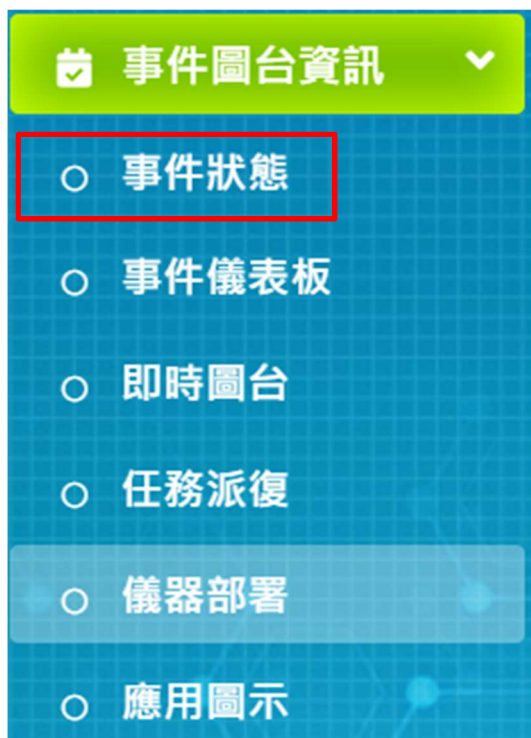


圖 78 選擇事件狀態

事件狀態

事件狀態

事件名稱	區域	事件狀態	任務數	更新日期	更新人員	事件任務		
1124事件	北區	正常	2	2021-11-24	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
基隆港事件處理	北區	正常	14	2021-11-09	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
大安區事件處置	北區	正常	7	2021-10-07	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
核一廠戶外測試	北區	正常	1	2021-11-24	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
核研所測試110年	北區	正常	1	2021-12-21	許玉霞	事件任務	編輯	刪除
金山測試	北區	正常	4	2021-11-01	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除

[+](#) 新增
 [↺](#) 重設過濾
 [↻](#) 重新整理

頁: 1 每頁筆數: 10 1-6 總共 6

附錄 2: 輻射事故電子通報單 新增電子通報單

回報時間	回報資料
2021-12-06 18:22	查看
2021-12-06 15:41	查看

頁: 1 每頁筆數: 5 1-2 總共 2

附錄 4: 輻射應變技術隊之事故現場處理電子回報單 新增電子回報單

回報時間	回報資料
2021-12-06 19:57	查看
2021-12-06 19:37	查看

頁: 1 每頁筆數: 5 1-2 總共 2

圖 79 事件狀態

(2) 查看通報單

此功能須具備事件圖台資訊之瀏覽員、讀寫員或管理員
權限方可使用。

選擇「查看」如圖 80，平台提供查看通報單資訊如圖 81。

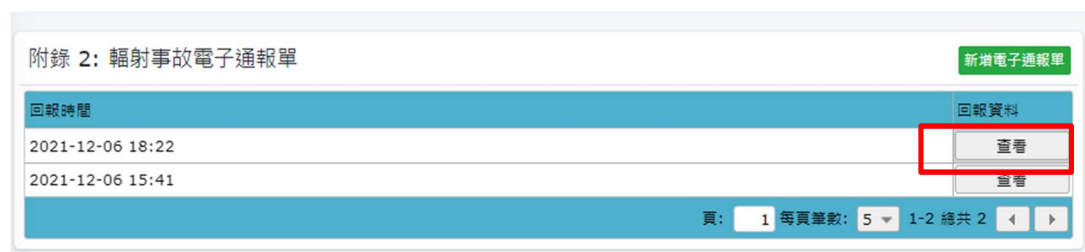


圖 80 查看通報單

附錄(2) 輻射事故通報單

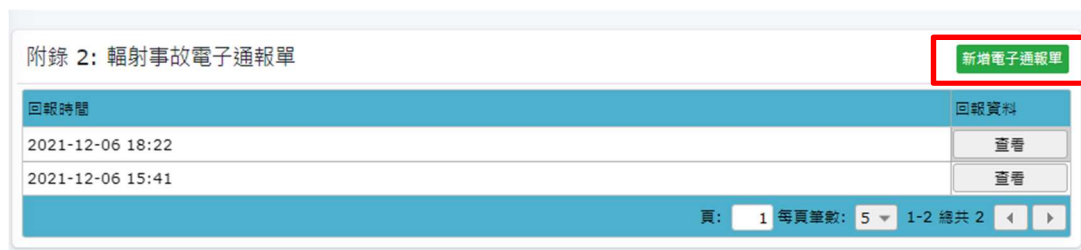
通報日期	2021-12-06	通報時間	18:22
通報者姓名	王OO	連絡電話	0911
事故發生時間	12-06	事件地點	TAI
事件種類	<p><input checked="" type="checkbox"/> (一) 放射性物質意外事件。</p> <p><input type="checkbox"/>1.發現輻射異常物或放射性物質容器有破損現象。</p> <p><input type="checkbox"/>2.發現建物或建築材料(如鋼筋)受輻射污染。</p> <p><input type="checkbox"/>3.人員輻射劑量超過游離輻射防護安全標準所定之劑量限度。</p> <p><input type="checkbox"/>4.輻射作業場所排放超過游離輻射防護安全標準所定之排放物濃度。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>5.放射性物質遺失或遺竊者。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>6.輻射工作場所因災害(如火災)致有輻射安全疑慮者或災害現場人員需確認放射性物質使用場所者。</p> <p><input type="checkbox"/>7.發現放射性落塵或有食物、飲用水受輻射污染。</p> <p><input type="checkbox"/>8.其他。</p> <hr/> <p><input type="checkbox"/> (二) 放射性物料管理及運送意外。</p> <p><input type="checkbox"/>1.處理過程事件。</p> <p><input type="checkbox"/>2.運送過程事件。</p> <p><input type="checkbox"/>3.貯存過程事件。</p> <p><input type="checkbox"/>4.處置過程事件。</p> <p><input type="checkbox"/>5.保安事件。</p> <p><input type="checkbox"/>6.外國船舶載運放射性物料違法通過我國臨海事件。</p> <p><input type="checkbox"/>7.民眾請願遊行示威事件。</p> <p><input type="checkbox"/>8.保防物料或器材遺失、短少或損壞。</p> <p><input type="checkbox"/>9.其他。</p> <hr/> <p><input type="checkbox"/> (三) 輻射彈事件。</p> <p><input type="checkbox"/>1.疑似輻射彈。</p> <p><input type="checkbox"/>2.輻射彈未爆炸。</p> <p><input type="checkbox"/>3.輻射彈已爆炸。</p> <hr/> <p><input type="checkbox"/> (四) 不明輻射災害事件。</p>		
現場狀況概述	<p>(一) 輻射異常發生地點：</p> <p><input type="checkbox"/>輻射作業場所或受控管區域。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>一般民眾可靠近區域。</p> <p>(二) 現場是否有輻射防護人員：</p> <p><input type="checkbox"/>姓名及電話：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>否。</p> <p>(三) 是否知道輻射源(污染源)資料：</p> <p><input type="checkbox"/>是。</p> <p>活度/比活度：</p> <p>射源型序號：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>否。</p> <p>(四) 輻射作業場所或輻射異常物是否已隔離：</p> <p><input type="checkbox"/>是</p> <p>場所空間或表面輻射劑量率：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>否</p> <p>(五) 距輻射異常物 1 公尺處之，輻射劑量率：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>不知道。</p> <p>*註：值勤同仁應提醒外界偵測人員注意自身輻射安全。如輻射異常物輻射劑量率過高，則無須限定於 1 公尺處執行偵測。</p> <p>(六) 現場是否有輻射污染情況：</p> <p><input type="checkbox"/>是</p>		

圖 81 通報單

(3) 新增通報單

此功能須具備事件圖台資訊之管理員權限方可使用。

選擇「新增電子通報單」如圖 82，進入填寫新通報單如圖 83，最後選擇「送出」存檔如圖 84，或選擇「關閉」不存檔。



The screenshot shows a web interface for '附錄 2: 輻射事故電子通報單' (Appendix 2: Radiation Incident Electronic Report). A red box highlights the '新增電子通報單' (Add Electronic Report) button in the top right corner. Below the title bar is a table with two columns: '回報時間' (Report Time) and '回報資料' (Report Data). The table contains two rows of data: one for '2021-12-06 18:22' and another for '2021-12-06 15:41', each with a '查看' (View) button. At the bottom of the interface, there is a pagination control showing '頁: 1 每頁筆數: 5 1-2 總共 2' and navigation arrows.

回報時間	回報資料
2021-12-06 18:22	查看
2021-12-06 15:41	查看

頁: 1 每頁筆數: 5 1-2 總共 2

圖 82 選擇新增通報單

輻射事故通報單

通報者姓名：**必填**

請在此輸入姓名

連絡電話：**必填**

請在此輸入連絡電話

事故發生時間：**必填**

請在此輸入事故發生時間

事件地點：**必填**

請在此輸入事件地點

事件種類：

(一) 放射性物質意外事件。

1.發現輻射異常物或放射性物質容器有破損現象：

2.發現建物或建築材料(如鋼筋)受輻射污染：

3.人員輻射劑量超過游離輻射防護安全標準所定之劑量限度：

4.輻射作業場所排放超過游離輻射防護安全標準所定之排放物濃度：

5.放射性物質遺失或遭竊者：

6.輻射工作場所因災害(如火災)致有輻射安全疑慮者或災害現場人員需確認放射性物質使用場所者：

7.發現放射性落塵或有食物、飲用水受輻射污染：

8.其他:

若需回報，請在此輸入

(二) 放射性物料管理及運送意外。

1.處理過程事件：

2.運送過程事件：

3.貯存過程事件：

4.處置過程事件：

5.保安事件：

6.外國船舶載運放射性物料違法通過我國臨海事件：

7.民眾請願遊行示威事件。

8.保防物料或器材遺失、短少或損壞：

圖 83 填寫新通報單

事件嚴重性評估：

(一) 人員傷亡情形？

有。

沒有。

(二) 是否會影響社會輿論或引起民眾重大關注？

業者或相關人員有通知媒體或已有媒體在場。

已影響民眾大型聚會或日常活動進行。

已有民眾聚集抗爭。

另有其他災害事故（火災、水災及交通運輸事故等）。

(三) 對現場輻射安全有無影響？

放射性物質有逸出之可能，且輻射作業場所無法控制事件之演變。

現場輻射劑量率高於 20 微西弗/小時($\mu\text{Sv/hr}$)。

經偵測距輻射源其任一表面一公尺處之輻射劑量率已超過每小時100 微西弗($\mu\text{Sv/hr}$)以上時。

(四) 對環境及民眾輻射安全有無影響？

環境輻射劑量率高於 0.5 微西弗/小時。

放射性排放物濃度經研判或分析超過游離輻射防護安全標準。

輻射作業場所放射性物質有排放至環境之可能。

送出

關閉

圖 84 通報單存檔

(4) 編輯事件狀態

此功能須具備事件圖台資訊之讀寫員或管理員權限方可使用。

選擇「編輯」如圖 85，進入編輯狀態如圖 86。

事件名稱	區域	事件狀態	任務數	更新日期	更新人員	事件任務		
1124事件	北區	正常	2	2021-11-24	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
基隆港事件處理	北區	正常	14	2021-11-09	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
大安區事件處置	北區	正常	7	2021-10-07	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
核一廠戶外測試	北區	正常	1	2021-11-24	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除
核研所測試110年	北區	正常	1	2021-12-21	許玉霞	事件任務	編輯	刪除
金山測試	北區	正常	4	2021-11-01	鄭裕勝	事件任務	編輯	刪除

新增 重設過濾 重新整理

頁: 1 每頁筆數: 10 1-6 總共 6

圖 85 選擇編輯事件狀態



圖 86 編輯事件狀態

i. 事件主旨

輸入事件主旨如圖 87。



圖 87 輸入事件主旨

ii. 事件狀況

以下拉式選單選擇事件狀況如圖 88。

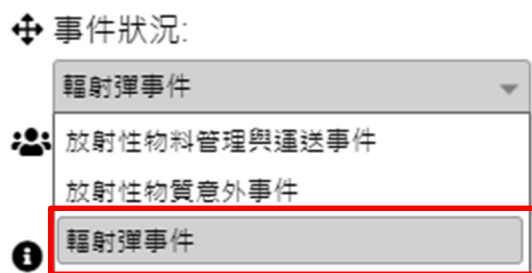


圖 88 選擇事件狀況

iii. 事件發生地點

事件發生地點可以輸入經緯度再按下「設定」如圖 89，平台將自動判定其應變分區，且電子地圖中心點將自動移至該地點如圖 90。



圖 89 輸入事件發生地點之經緯度



圖 90 依經緯度自動移動電子地圖中心點

事件發生地點也可以輸入關鍵字再按下「設定」如圖 91，平台將自動判定其應變分區，且電子地圖中心點將自動移至該地點如圖 92。

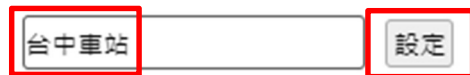


圖 91 輸入事件發生地點之關鍵字

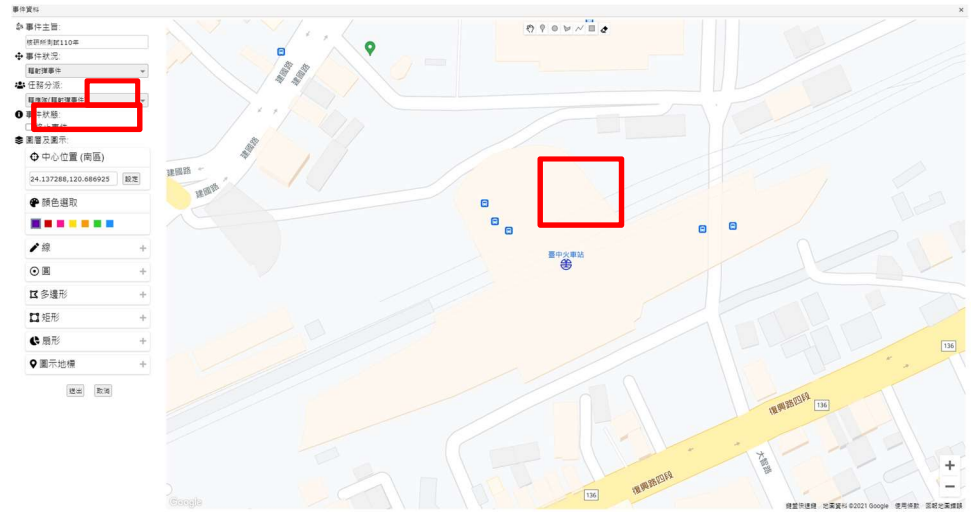


圖 92 依關鍵字自動移動電子地圖中心點並判斷經緯度

事件發生地點也可以輸入住址再按下「設定」如圖 93，平台將自動判定其應變分區，且電子地圖中心點將自動移至該地點如圖 94。

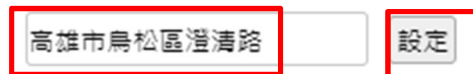


圖 93 輸入事件發生地點之住址

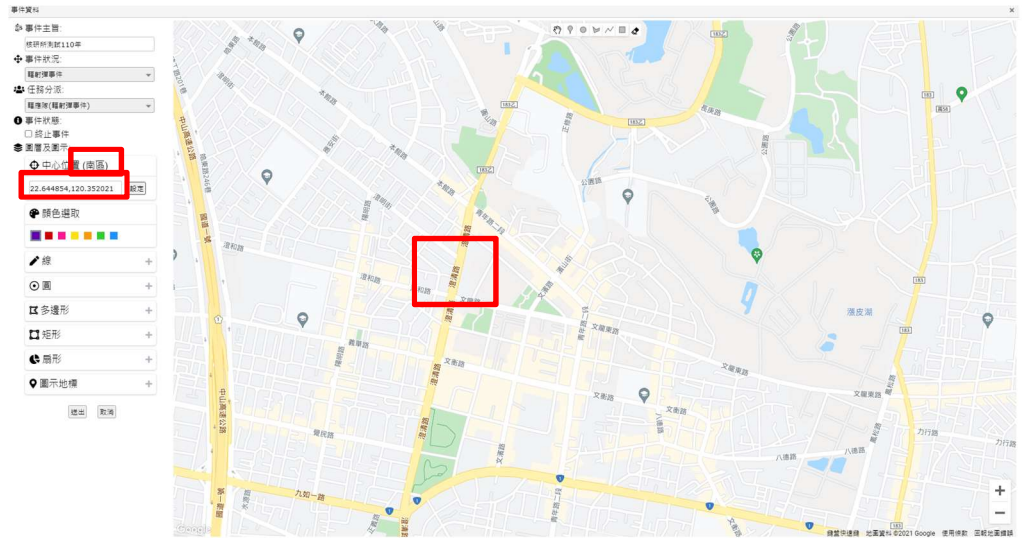


圖 94 依住址自動移動電子地圖中心點並判斷經緯度

iv. 在電子地圖上繪圖

平台提供在電子地圖上繪製直線、圓圈、多邊形、矩形、扇形、或加上圖示地標的功能，各種圖案均提供選取顏色如圖 95，可以輸入經緯度、半徑、角度或長度繪製如圖 96，以及以游標在電子地圖上繪製如圖 97，共 2 種方法來繪圖。

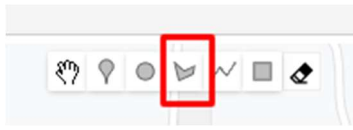


圖 95 選取顏色進行繪圖

<p> 線</p> <p>起點位置: <input type="text"/></p> <p>終點位置: <input type="text"/></p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="繪"/></p>	<p> 圓</p> <p>中心點位置: <input type="text"/></p> <p>半徑(公尺): <input type="text"/></p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="繪"/></p>
<p> 多邊形</p> <p>頂點位置: <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="繪"/></p>	<p> 矩形</p> <p>左上起點位置: <input type="text"/></p> <p>右下終點位置: <input type="text"/></p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="繪"/></p>
<p> 扇形</p> <p>中心點位置: <input type="text"/></p> <p>方位角(度): <input type="text" value="0"/></p> <p>圖心角(度): <input type="text" value="22.5"/></p> <p>半徑(公尺): <input type="text"/></p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="繪"/></p>	

圖 96 以輸入經緯度、半徑、角度或長度繪製圖案

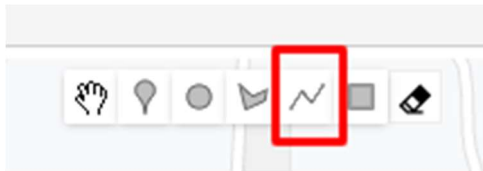
繪製多邊形工具



繪製多邊形，[起點]及[終點]需結合成同一點才會呈現多邊形



繪製直線(路徑)工具



繪製直線(路徑)時，在終點選取後，需再點選停止繪製才會呈現直線(路徑)



圖 97 以游標在電子地圖上繪圖

v. 在電子地圖上加上圖示

輸入想加上圖示位置之經緯度如圖 98，並選取圖示如圖 99，再按下「繪圖」，平台將在電子地圖上該地點顯示圖示，如圖 100。



圖 98 輸入想加上圖示位置之經緯度

選取圖示





Close

圖 99 選取圖示



圖 100 在電子地圖上加圖示

vi. 刪除電子地圖上之圖案或圖示

按，點選欲刪除之圖案如圖 101，再按橡皮擦，即可刪除該圖案如圖 102。

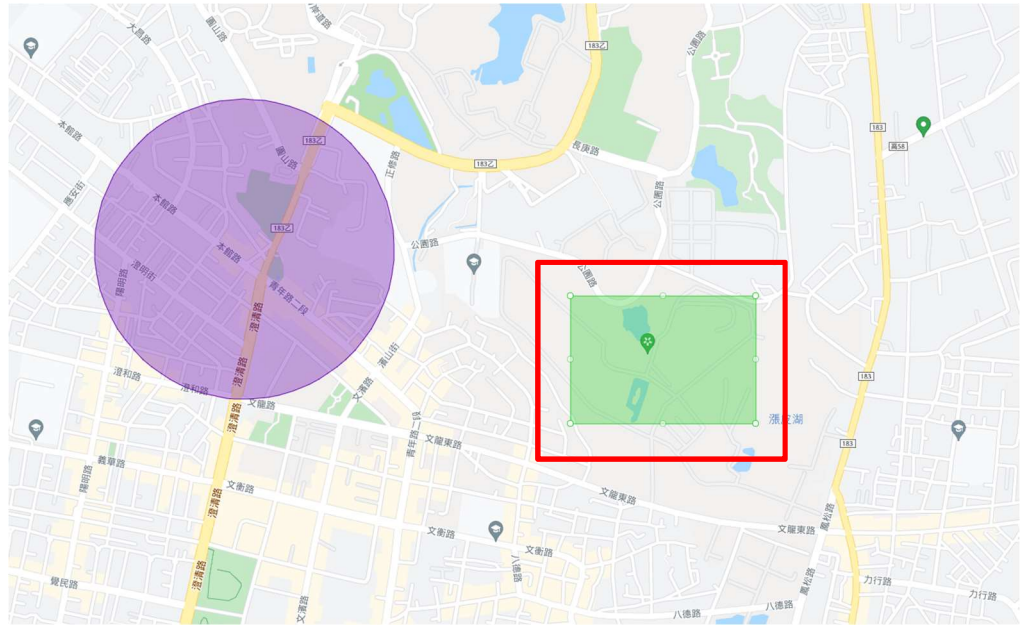


圖 101 點選欲刪除之圖案

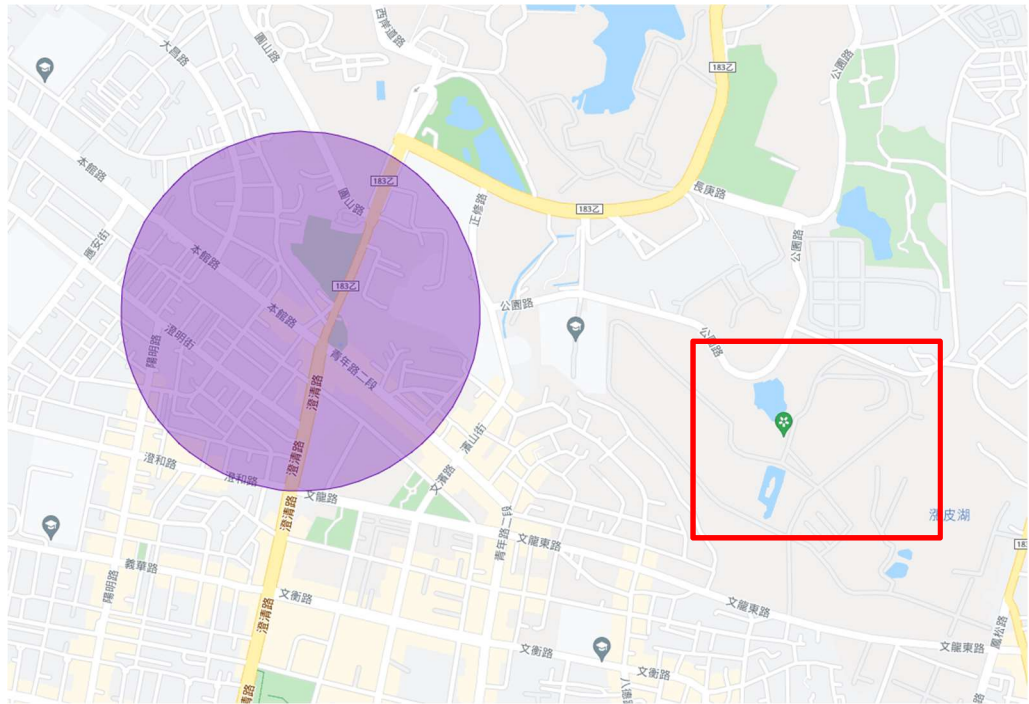


圖 102 刪除電子地圖上的圖案

(5) 儀器部署

查看此功能如圖 103，須具備儀器管理之瀏覽員或讀寫員或管理員權限方可使用。可查看各儀器攜出或庫存狀況、攜出人員名單與組別、校正日期、儀器種類、財產編號與序號等資訊，並可以下拉式選單篩選或以名稱排列順序，方便查看。

按「編輯」鍵可以下拉式選單，指派攜出人員如圖 104，須具備儀器管理之讀寫員或管理員權限方可使用，其中人員之電話與手機由平台自帳號資料中帶出。指定好後，按下「修改」鍵儲存，不儲存則按下「取消」鍵離開編輯。

儀器名稱	儀器種類	校正日期	財產編號	儀器序號	攜出組別	攜出指派	更新日期	更新人員	
	請選取				請選取				
6150AD4(85572)	加馬羅射偵檢器	2021-11-23	110-3100709-0...	85572	技術組北三小隊	霍大維	2021-12-14	霍大維	編輯
6150AD4(85573)	加馬羅射偵檢器	2021-11-23	110-3100709-0...	85573			2021-12-13	許玉農	編輯
6150ADt(112032)	加馬遠距探頭	2021-05-14	110-3100709-0...	112032			2021-12-13	許玉農	編輯
6150ADt(85315)	加馬遠距探頭	2020-11-23	110-3100709-0...	85315			2021-12-13	許玉農	編輯
AT1121(40155)	加馬羅射偵檢器	2021-11-04	110-3100709-0...	40155		許玉農	2021-12-24	許玉農	編輯
AT1121(40156)	加馬羅射偵檢器	2021-11-04	110-3100709-0...	40156			2021-12-13	許玉農	編輯
AT1125A(5590)	加馬羅射偵檢器	2021-05-14	110-3100709-0...	5590			2021-12-13	許玉農	編輯
CoMo170(3243)	污染偵檢器	2021-05-21	110-3101103-0...	3243	技術組北三小隊	霍大維	2021-12-14	霍大維	編輯
CoMo170(6474)	污染偵檢器	2021-05-21	110-3101103-0...	6474		許玉農	2021-12-24	許玉農	編輯
DG5(1006994)	加馬羅射偵檢器	2021-05-14	110-3101103-0...	1006994			2021-12-13	許玉農	編輯
TLD(霍大維)	個人羅射劑量儀器	2021-12-13	霍大維	霍大維	技術組北三小隊	霍大維	2021-12-14	霍大維	編輯
TLD(姚勳忠)	個人羅射劑量儀器	2021-12-13	姚勳忠	姚勳忠			2021-12-13	許玉農	編輯
TLD(李修勳)	個人羅射劑量儀器	2021-12-13	李修勳	李修勳			2021-12-13	許玉農	編輯
TLD(盧仲偉)	個人羅射劑量儀器	2021-12-13	盧仲偉	盧仲偉			2021-12-13	許玉農	編輯
TLD(蔣宇)	個人羅射劑量儀器	2021-12-13	蔣宇	蔣宇			2021-12-13	許玉農	編輯

圖 103 查看各儀器攜出或庫存狀況

編輯資料

儀器名稱: 6150AD4(85572)
儀器種類: 加馬輻射偵檢器
校正日期: 2021-11-23
財產編號: 110-3100709-0054-0000344
儀器序號: 85572
儀器攜出指派: 雷大維 ▾
電話: 0222320000
手機: 0988000000

修改 取消

圖 104 編輯指派攜出儀器之人員

4. 訓練管理

目前已儲放本平台使用手冊之處如圖 105，提供上傳或下載功能。

The screenshot displays the '訓練管理' (Training Management) page. On the left is a navigation menu with options like '儀器管理', '人員管理', '群組管理', '事件圖台資訊', '事件演練模擬', '訓練管理', '訓練管理', '異動資料', and '登出系統'. The main content area is titled '訓練管理' and contains two data tables.

Table 1: Training Courses (訓練課程)

課程名稱	講師人名	單位	(講義/影片)數	更新日期	更新人員	課程資料
應變資訊平台系統操作	網隊威龍		2	2020-11-24	鄭裕勝	講義/影片 編輯

Buttons: 新增, 重設搜尋, 重新整理

Page: 1 / 每頁筆數: 10 / 1-1 總共 1

Table 2: Course Lectures/Video (課程講義、影片)

授課年度	檔案說明	課程檔案	更新日期	更新人員	
109	輻射事件應變資訊平台系統操作手冊	PDF	2020-11-24	鄭裕勝	編輯
110	輻射事件應變資訊平台系統操作手冊	PDF	2021-11-23	鄭裕勝	www.jqvidg.com

Buttons: 新增, 重設搜尋, 重新整理

Page: 1 / 每頁筆數: 10 / 1-2 總共 2

圖 105 訓練管理畫面

肆、結論與建議

本計畫相關結論與建議，依各子項工作具體說明如下：

一、強化輻射應變技術

本次輻應隊年度訓練採線上問卷調查方式，共成功回收 30 份問卷，回收率 86%，各堂課程之滿意度調查結果統計如表 8，非常滿意與滿意的比例為回收成功問卷之 97%左右。

表 8 各堂課程之滿意度調查結果

	輻射偵檢方法	輻射偵檢儀器與 防護裝具操作	核醫藥物運送 輻射防護要求	放射性物質運送 意外模擬演練	輻射應變技術 隊程序書
非常滿意	47%	50%	47%	50%	50%
滿意	50%	47%	50%	47%	47%
尚可	3%	3%	3%	3%	3%
不滿意	0%	0%	0%	0%	0%
非常不滿意	0%	0%	0%	0%	0%

學員認為此次訓練最大的收獲有：對實際應變流程更了解、更能掌握輻射應變隊的組織執掌與任務執行、複習偵檢器原理、認識各種儀器、除了學習防護裝具的使用，也更瞭解輻應隊的成立時機、輻射防護觀念等。

學員建議有：可以定期開設放射性物質意外事故處理、輻射彈應變之實務課程、建議增加國外輻災案例說明、化災應變隊交

流參訪、開設實務操作課程，開設除污作業及國外案例等，以及建議下午的課程一點半以後開始、偵檢器操作影片應提供給有關人員觀看熟悉操作等，均將盡量做為未來輻應隊年度訓練課程規劃之重要參考。

二、完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

建議未來依經費餘裕狀況，逐漸添購二級設備，以協助應變行動，增加人員移動與作業效率，並再審視考量其必要性，部分(或全部)納入輻應隊程序書內。

三、放射性物質擴散分析能力建立

本年度規劃的主要工作項目目的主要在於提升輻射彈事故的劑量影響評估系統模擬在城市中輻射彈爆炸事件污染擴散分析準確度與真實性，強化後處理及繪圖系統以供與 RESRAD RDD 評估程式之介接應用。在開發建置輻射彈爆炸參數模組工作項目中，透過文獻了解依據便攜性、相對較低的安全性(容易獲得)、相對較高的活性度及物理化學性質進行篩選，如銻-238、鈾-210、錒-241、錒-90、銻-137、鈾-252、鈾-60、鐳-226 和銻-192，皆是較可能被用於「輻射彈」之輻射物質，且輻射彈屬於易於隱藏、攜帶的核子武器，彈體總重不超過 30 公斤的迷你型核子武器，具有隨身攜行、跨境托運及容易預置的特性，故在設置爆炸當量參數時需考慮其特性。

而在測試輻射彈爆炸參數模組時，可以明顯看到非連續釋放時煙團隨著風向進行移動甚至隨著時間移出模式模擬範圍及當爆炸當量較小時，尚需增加模式空間解析度，才能測試出迷你型爆炸當量之間差異。本年度從國土測繪中心取得到臺灣本島及外島地區約 440 萬個三維近似化建物模型資料，透過建置系統化的建物模型資訊轉換模組，將建物資料引入至 CALPUFF 模式內，經由兩個小區域的模擬測試，可以清楚知道在釋放點源的周遭建物影響下，其污染物擴散濃度分布亦會因建物密集程度與道路分布會有所差異，其分析結果有助於提升進行輻射彈爆炸事件污染擴散分析準確度與真實性。

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，以上年度完成的底盤動力模組為基底，建置遠端遙控行動式輻射偵測平台。滾動式策略修訂，擴增可於中控端操控的車載收納艙間，配合搭載六軸機械手臂，強化底盤懸吊裝置，優化現有六輪式載具底盤動力模組。並整合環境偵測、GPS 定位與遠端通訊傳輸模組，建構圖形化人機操控介面，採用 WiFi 5G 及 4G LTE 網路通訊模式建構大範圍訊號鏈結，可於中控端遠端遙控載具，進行環境探索、輻射偵蒐與物件夾取等應用，已實機支援輻射災害緊急應變任務演練。成功將載具偵測的 GPS 位址與輻射劑量值，直接上傳到雲端資料庫，供輻射災害應變資訊平台展示應用。計畫未來可考量功能型夾爪設計、各式輻射偵檢模組、車載操控安全防護、高速影像串流與 5G 通訊傳輸、多機協作式操控運作等平台

機能擴充，以滿足多元化緊急應變需求。

五、建置輻射災害應變資訊平台

今年已完成主要功能，建議後續納入輻應隊訓練中使用，依使用者回饋修正，並持續建置延伸功能如下：

111 年完成事件資訊延伸功能：

- 1.取樣與觀察資訊功能。
- 2.發展應用程式介面，接收遠端輻射偵測平台回傳之影像。
- 3.可篩選顯示不同事件資訊圖層，可選定某時間間隔，於地圖該期間內之各偵測/取樣。

112 年完成事件資訊進階功能：

- 1.任務管理功能。
- 2.可分類、排序、彙整儲存資訊，配合行政院「推動 ODF-CNS15251 為政府文件標準格式實施計畫」，可匯出符合開放文檔格式（Open Document Format，以下簡稱 ODF）之報表，及 PNG 檔、SVG 檔。
- 3.可由使用者上載套疊 KML 檔或 SHAPE 檔至資訊平台圖

層，與上載 JPG、PNG 檔至資訊平台資訊庫。

4.可由使用者在地圖上繪製與顯示圖案與下載為 JPG、PNG 檔。

伍、參考文獻

1. White, J. Harvey, and H. Farnstrom, K., “Testing of Mobile Surveillance Robot at A Nuclear Power Plant,” Robotics and Automation, IEEE International Conference on Proceedings, vol.5, pp.7–14, 1987.
2. National Urban Security Technology Laboratory. 2017. Radiological Dispersal Device(RDD) Response Guidance Planning for the First 100 Minutes.
3. Chang, J.S., 1990. Appendix E, NAPAP Report 4, The regional acid deposition model and engineering model. In Acid Deposition: State of Science and Technology, Vol I, Emissions, Atmospheric Processes, and Deposition, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 20402-9325.
4. Draxler, R.R., 1996: Trajectory optimization for balloon flight planning. Weather and Forecasting, 11, 111-114.
5. Drew R. Michanowicz, 2016: A hybrid land use regression AERMOD model for predicting intra-urban variation in PM_{2.5}. Atmospheric Environment., 131, 307—315.
6. Dodla, V.B.R., Gubbala, C.S. and Desamsetti, S. (2017). Atmospheric dispersion of PM_{2.5} precursor gases from two major thermal power plants in Andhra Pradesh, India. Aerosol Air Qual. Res. 17: 381–393.
7. Hicks, B. B., 1986: Differences in wet and dry particle deposition parameters between North America and Europe. In Aerosols: Research, Risk Assessment, and Control Strategies, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 973-982.
8. Hosker, R.P., 1984: Flow and diffusion near obstacles. In: Atmospheric Science and Power Production. R. Randerson, Ed, DOE/TIC-27601, National Technical Information Service, Springfield, VA.
9. Huber, A.H. and W.H. Snyder, 1982: Wind tunnel investigation of the effects of a rectangular-shaped building on dispersion of effluents from short adjacent stack. Atmospheric Environ., 17, 2837-2848.
10. Isakov V., Venkatram A., Touma J.S., Koracin D., 2007, ”Evaluating the use of

outputs from comprehensive meteorological models in air quality modeling applications. "Atmospheric Environment, Vol. 41, No. 8, pp. 1689-1705.

11. Kesarkar A.P. Dalvi M., Kagainalkar A., Ojha A., 2007, "Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM10 dispersion over Pune, India." Atmospheric Environment, Vol. 41, No.9, pp. 1976-1988.
12. Kreyszig, E., 1968: Advanced Engineering Mathematics. 2nd Ed., J.Wiley and Sons, New York, 898 pp.
13. Legg, B. J., and M. Raupach, 1982: Markov chain simulation of particle dispersion in inhomogeneous flows: the mean drift velocity induced by a gradient in Eulerian velocity variance. Boundary- Layer Meteorol., 24, 3-13.
14. Levy, J.I., J.D. Spengler, D. Hlinka, D. Sullivan, and D. Moon, 2002: Using CALPUFF to evaluate the impacts of power plant emissions in Illinois: model sensitivity and implications. Atmospheric Environ., 36, 1063-1075.
15. Orloff K.G., Kaplan B., Kowalski P., 2006, "Hydrogen cyanide in ambient air near a gold heap leach field : Measured vs. modeled concentrations." Atmospheric Environment, Vol. 40, No.17, pp.3022-3029.
16. Pettersen, S., 1940: Weather Analysis and Forecasting. McGraw-Hill Book Company, New York, 221-223.
17. 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.
18. Scire, J.S. and L.L. Schulman, 1980: Modeling plume rise from low-level buoyant line and point sources. Proceeding Second Point Conference on Application of Air Pollution Meteorology, 24-28 March, New Orleans, L.A., 133-139
19. Schulman, L.L. and J.S. Scire, 1981: The development and capabilities of the BLP Model. In: Proceeding APCA Specialty Conference on Dispersion Modeling from Complex sources, St. Louis, MO.

20. Schulman, L.L., D.G. Strimaitis and J.S. Scire, 1997: Addendum to ISC3 User's Guide: The Prime Plume Rise and Building Downwash Model, Earth Tech, Inc. Concord, MA
21. Stein A.F., Isakov V., Godowich J., Draxler R.R., 2007, "A hybrid modeling approach to resolve pollutant concentrations in an urban area." *Atmospheric Environment*, Vol. 41, No. 40, pp. 9410-9426.
22. U.S.EPA (2004). User's guide for the AERMOD terrain preprocessor (AERMAP). North Carolina 27711: US EPA, Environmental Protection Agency.
23. Van der Hoven, I., 1968: Deposition of particles and gases. In *Meteorology and Atomic Energy*. D. Slade (Ed.), TID-24190, NTIS, Springfield, VA, 445 pp.
24. Venkatram A., Isakov V., Yuan J., Pankratz D., 2004, "Modeling dispersion at distances of meters from urban sources" *Atmospheric Environment*, Vol. 38, No. 28, pp.4633-4641.
25. Walmsley, J. L., and M.L. Wesely, 1996: Modification of coded parameterizations of surface resistances to gaseous dry deposition. *Atmos. Environ.*, 30, 1181-1188.
26. Wesely, M.L., 1989: Parameterizations of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmos. Environ.*, 23, 1293-1304.
27. Zhou Y., J.I. Levy, J.K. Hammitt, and J.S. Evans, 2003: Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case study in Beijing, China. *Atmospheric Environ.*, 37, 815-826.
28. Anil Mahtani, Luis Sanchez, Enrique Fernandez and Aaron Martinez, "TEffective Robotics Programming with ROS - Third Edition," Chapter2, 2016.
29. Roy Thomas Fielding, "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures," Doctor of Philosophy in Information and Computer Science. University of California, Irvine, 2000. CHAPTER 5 Representational State Transfer.
30. Desmond King-Hele, "Erasmus Darwin's Improved Design for Steering Carriages--And Cars," *Notes and Records of the Royal Society of London* Vol.

56, pp. 41-62., 2002.

31. 行政院原子能委員會，ERS-AEC-016 程序書，輻射應變技術隊技術組處理輻射彈爆炸事件動員程序書(第二版)，106 年 6 月 21 日。
32. 行政院原子能委員會，ERS-AEC-015 程序書，輻射應變技術隊輻射彈爆炸事件現場應變作業程序書(第一版)，105 年 11 月 7 日。
33. 行政院環保署，1998 年七月，「空氣品質模式評估技術規範」
34. 張能復，2004 年，「軌跡模式在污染來源追蹤及污染源影響評估應用能力之探討研究」。
35. 曠永銓，周武雄，習良孝，2006 年七月，「CALPUFF 模式在台灣地區的模擬驗證與應用」，中興工程季刊，第九十四期，頁 85-92。
36. 李建忠，劉易，2013 年，「高空氣象資料在 AERMOD 預測中的適用性分析研究」，環境科學與管理，38(9)：24-27。
37. 呂世宗、林松錦、張哲明，1996，「ISC 大氣擴散模式對火力電廠環境影響評估適用性之研究」，中華民國環境保護學會會誌第十九卷第一期，p.24-46。
38. 江旭程、何彌亮、李正忠，1991，「不同空氣品質模式計算結果之比較」，大仁學報第九期，p.98-107。
39. 劉文得，1999，「以 ISC 模式評估氣象因子對空氣污染物擴散之敏感度」，東南工業專科學校東南學報第二十二期，p.163-172。
40. 元曉琴，2000 年，「穩定度判斷對空氣品質模式之影響—台中火力發電廠個案研究」，碩士論文，國立中興大學。
41. 林陽聲，1998 年，「地理資訊系統運用於空氣品質異常分析之研究」，碩士論文，國立中興大學環境工程學系。
42. 林春利，2001 年，「台中火力發電廠硫氧化物排放減量對中部地區空品之探討」，碩士論文，私立東海大學。

43. 廖崇園，2000 年，「應用 ISCST3 擴散模式和 CMB 受體模式評估實施 PM10 檢量管制後對空氣品質之影響」，碩士論文，國立中興大學。
44. 李賢衛，2002 年，「空氣污染物排放與總量管制增量限值變異之研究—以園區硫氧化物排放為例」，碩士論文，高雄第一科大環境與衛生工程系。
45. 霍慶，蔡旭暉，宋宇，2012 年，「全國大氣擴散輸送模態與區劃研究」，環境科學學報，32(2): 360366。
46. 陳帝文，2015 年，「澎湖群島大氣汞污染物濃度時空分佈及化學特徵分析」，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所。
47. 張億閔，2014 年，「台灣海峽周邊地區大氣汞時空分佈及污染來源解析」，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所。
48. 馬京津，張英娟，2009 年，「應用 HYSPLIT 模式分析華北夏季水氣輸送路徑」，第十四屆全國大氣環境學術會議論文集 (2009 / 02) ， p.70 – 75。
49. 余嘉裕，林能暉，謝和修，林宗嵩，2008 年，「東南亞地區春季前推軌跡群集分析及氣候影響」，大氣科學，36 卷 4 期 (2008 / 12 / 01) ， p.287 – 301。
50. 林群燁，2010 年，「沙塵暴對台南地區大氣氣膠物化特性之影響」，碩士論文，成功大學環境工程學系。
51. 黃威巽，2006 年，「2001 年東亞硫沉降之模擬」，碩士論文，中央大學大氣物理研究所。