

輻射事件應變技術開發研究(3/4)

Research on The Emergency-Response Technology for The Radioactive Events(3/4)

主管單位：行政院原子能委員會

袁明程¹

林聰得¹

鄧仁星²

Yuan, Ming-Chen¹

Lin, Tsung-Te¹

Jiang, Hsieh-Tang²

¹核能研究所

²中央氣象局

摘要

為解決國內輻射災害防救訓練場所、裝備與教材不足之問題，本計畫設計建置輻災訓練研發中心，研擬國內輻災事件應變策略、進行應變人員訓練及開發應變所需之輔助軟體平台；今年完成之工作重點計有建置輻災訓練研發中心展示室並辦理年度輻射應變技術隊(以下簡稱輻應隊)訓練，課程搭配開發之輻災應變資訊平台及輻射偵測平台，進行操作使用教學；另發展放射性物質擴散模擬分析能力，擴充輻射事件應變資訊平台功能及遠端遙控之輻射偵測平台，並提出輻應隊程序書之精進建議，以強化國內輻災應變量能。

關鍵詞：輻射災害、緊急應變

Abstract

To improve the shortage of the resources for prevention and response of radiation disaster, the goal of this project is to establish a R&D center for training response personnel, improving the response guidelines for radiation disaster and developing the assistant tools for response. This year the project focuses on the establishment of the R&D center display room, and the anniversary training course for emergency response team. In additions, continuing to develop the simulation and analysis capabilities of radioactive material diffusion, integrate RESRAD RDD software to build and convert information modules, optimize the CALPUFF model, and complete the Taiwan building information database conversion modules. All of the task is used to enhance the preparedness of radiation disaster in Taiwan.

Keywords: radiation disaster, emergency response

一、前言

今年完成之重點工作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。增加資訊平台匯入偵測平台影像、簡訊發送通知功能。建置夾取非破壞性檢測導管夾具。輻射應變技術隊(簡稱輻應隊)年度訓練課程規劃則延續109、110年個人基礎課程，進入輻射偵測團隊合作訓練，並首度引入輻災應變資訊平台及輻射偵測平台操作教學。

二、研究地區與研究方法

2.1 強化輻射應變技術

透過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) [2]，以摘錄 NUSTL 發行之輻射彈事件初期 100 分鐘指引影片內容，錄製適合我國之輻射彈應變情境範例影片；輻應隊年度訓練搭配輻災應變資訊平台之功能及輻射彈應變時序進行課題設計。訓練研發中心展示室經由公開招標採最低標方式，完成初步建置所需之財物採購，另依共同供應契約，裝設數位講桌之電腦設備、分離式冷氣，及依本所開口合約進行網路佈放、無線網路基地台等設備安裝。

2.2 完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

參考 NUSTL 文件、影片與 IAEA 文件，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」[4]，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」[5]，下稱輻應隊程序書，提出相關修訂建議。

2.3 放射性物質擴散分析能力建立

放射性物質擴散模擬模組於先前計畫完成基本程式架構，本年度整合系統中 CALMET 模式及 CALPUFF 模式的操作檔，讓系統運跑及使用更加便利，並提升模式評估運算時間的可行性：

- (1) 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程式轉換成適合 CALPUFF 模式所應用之資訊。
- (2) 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。
- (3) 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。

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濃度，參照 RESRAD RDD 的計算方法及國內外相關文獻報告，轉換輸出成網格化的空間劑量率，反映緊急應變人員進入事故現場可停留時間。

另透過整合 CALMET 模式及 CALPUFF 模式的作業檔，使系統使用更加便利，並提供優化前後運算時間之比較報告。

2.4 建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

甲型包件設計可承受一般交通意外衝擊，其中常見之甲型包件為核醫藥物之包件，雖外洩之輻射健康風險較低，但使用在病患上的時間限制較大，因此運送頻次較大，包件最外層包裝通常為紙箱，外觀容易遭擠壓或破壞、扭曲造成而民眾疑慮。相對乙型包件設計可承受極嚴重之意外事故，其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，故前期設計選取機械手臂搭配大夾爪，作為夾取甲型包件之設計。本年度在機械手臂接頭處採取可拆卸式模組部件，以備未來因應多元化物件夾爪夾取需求，可裝置不同形式夾爪模組；本年度另針對較容易發生的放射性物質意外事件如非破壞檢測設備之 Ir-192 射源導管脫落，設計管狀夾爪並增加電磁鐵避免夾取過程物品掉落，造成二次危害影響。

2.5 建置輻射災害應變資訊平台

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

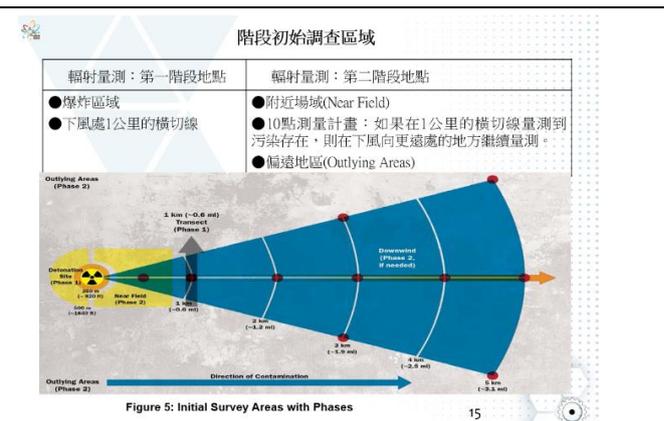
三、研究成果

3.1 強化輻射應變技術

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31人，訓練照片如圖1。展示室並於10月6日併同輻應隊年度訓練開始運作如圖2。



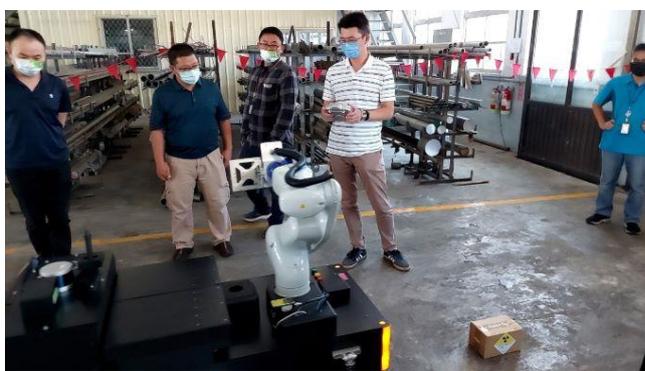
輻射彈爆炸事件情境模擬影片



輻射彈事件輻射量測區域示意圖



輻射偵測團隊作業桌上模擬演練



偵測平台操作練習

圖1、輻應隊訓練剪影



輻應隊 A 組學員合照



輻應隊 B 組學員合照

圖2 訓練研發中心展示室試運轉當日圖片

3.2 完備應變設備整備相關作業及其作業程序 SOP

完成輻射彈事件出勤裝備個人防護裝具及各式偵檢儀器、熱區初始範圍(未進行輻射或污染量測前)、熱區擴大劃分標準、初始室內掩蔽區域之修訂建議。

3.3 放射性物質擴散分析能力建立

透過資訊轉換模組將CAPUFF輸出的空氣濃度分布轉換成空間劑量率，如圖3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 $1E-5$ 、 $1E-4$ 、 $1E-3$ 、 $1E-2$ 、 0.1 、 0.2 、 0.5 及 1 ，空間劑量率單位則為 mSv/hr 。

為符合緊急應變所需之考量，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，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。

透過不同的水平解析度及垂直解析度來進行評估，其水平解析度越精細，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(如表1所示)。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，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。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。

假想的輻射彈事件模擬其核種設定皆為Cs-137，並在模式設定將風向指定四個方位角，分別為東、南、西及北風，以測試建物分布其影響擴散分布結果。台南市假設輻射彈事件位置設在台南市永樂市場附近，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間劑量結果(如圖4)，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，空間劑量的結果分布往風向的下游擴散(如圖5)，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， $1mSv/hr$ 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，空間劑量的結果分布往北側擴散分布(如圖6)， $1mSv/hr$ 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7)，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 $1mSv/hr$ 空間劑量分布距離可達假設輻射彈位置100公尺處。

表1 不同水平解析度下CALMET及CALPUFF的運算時間

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

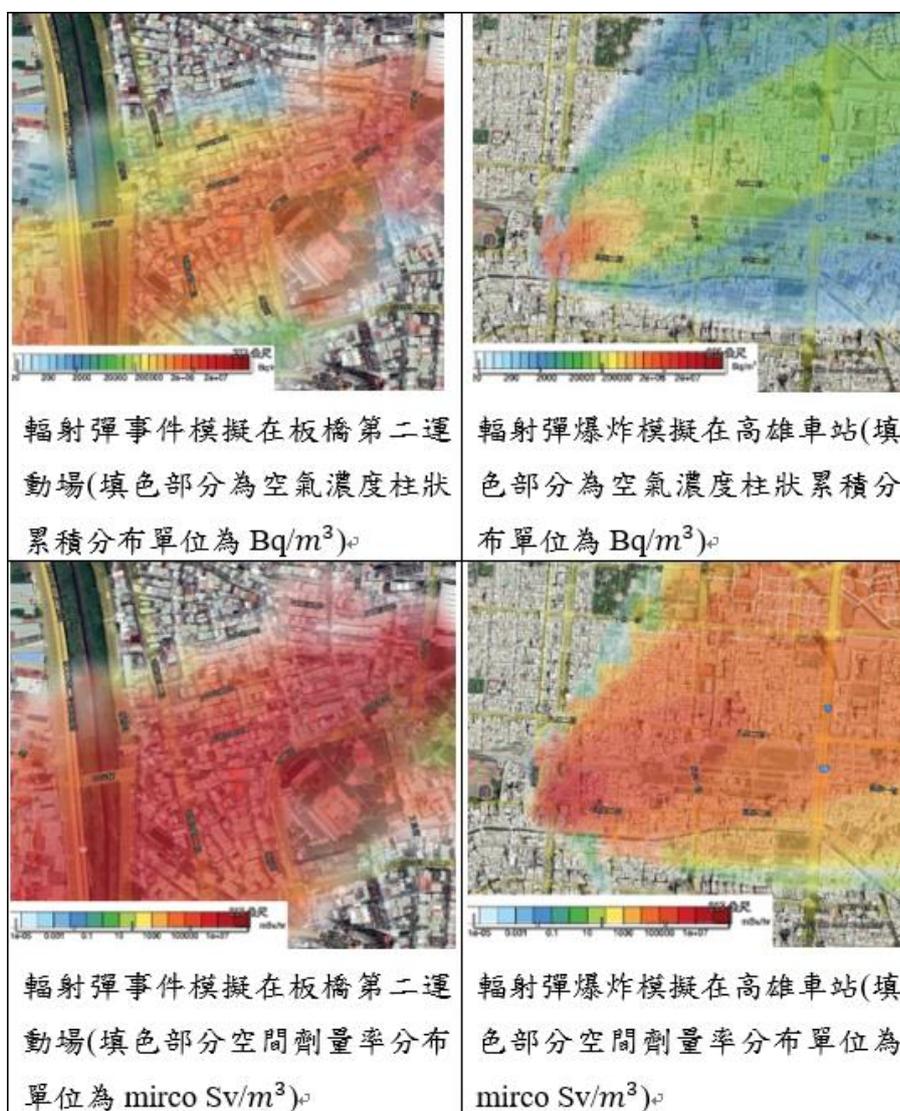


圖3 CALPUFF輸出的空氣濃度分布轉換成空間劑量率。

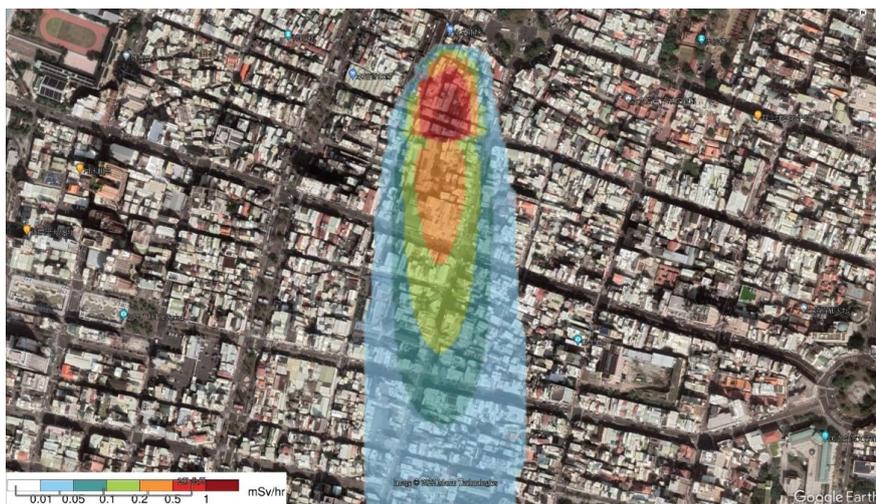


圖4 CALPUFF模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為東風，核種為Cs-137，15分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為mSv/hr)。

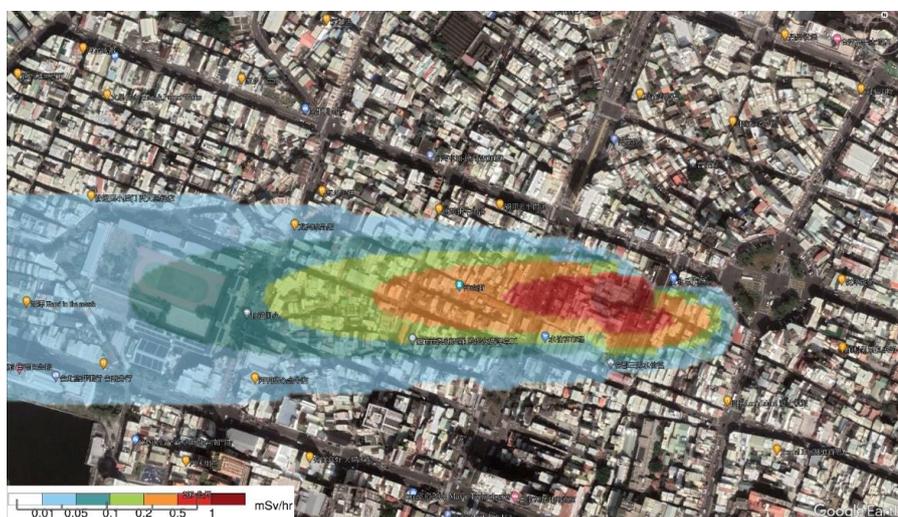


圖5 CALPUFF模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為北風，核種為Cs-137，15分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為mSv/hr)。

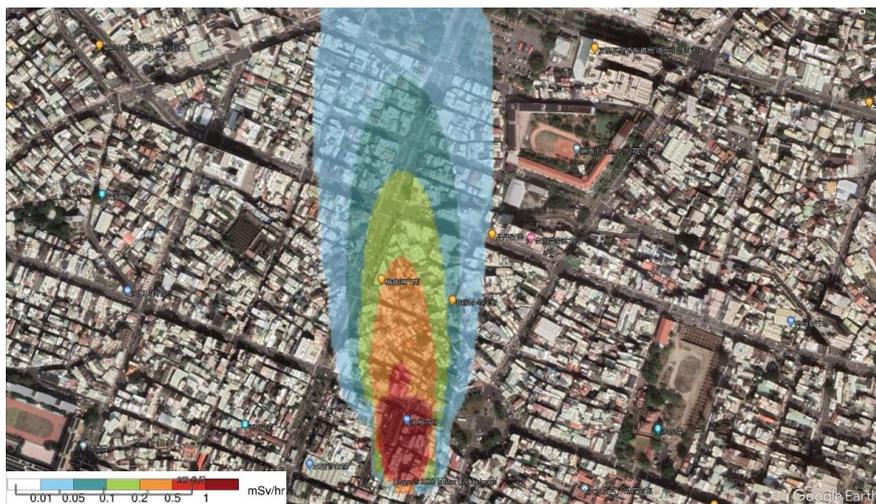


圖6 CALPUFF模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為南風，核種為Cs-137，15分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為mSv/hr)。

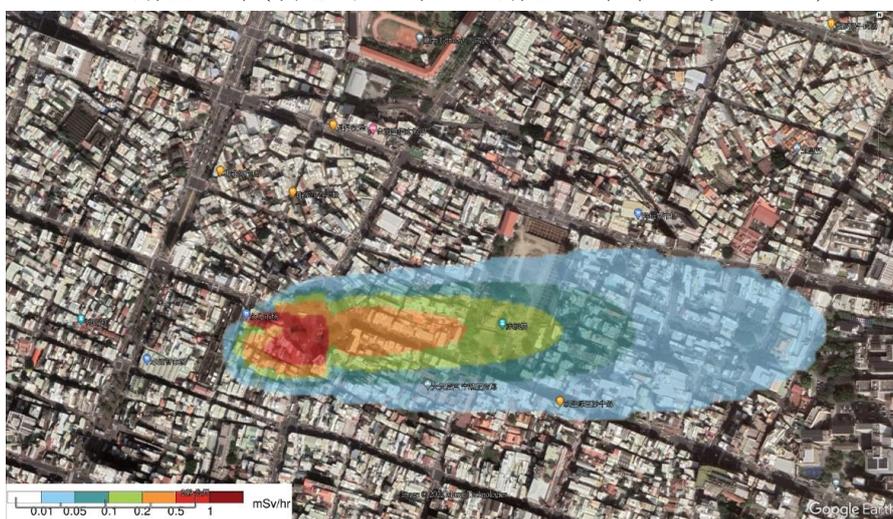


圖7 CALPUFF模擬台南永樂市場輻射彈事件，風向為西風，核種為Cs-137，15分鐘累積空間劑量分布(填色部分為空間劑量分布單位為mSv/hr)。

3.4 建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

利用夾爪上搭載之 Intel D435i 深度相機，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，如圖 8 所示，可輔助人員遠端操控機械手臂，提升物件夾取成功率。

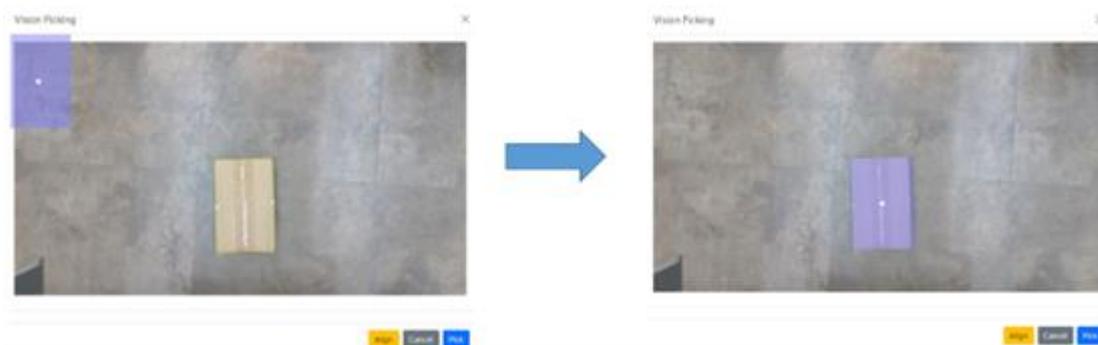


圖 8 圖像視覺夾取-物件框選

完成爪形管式夾爪功能，並增加電磁裝置做為輔助吸附功能，如圖 9 所示，利用現有電動缸控制夾爪開閉閩動作，並整合至原中控系統，如圖 10 所示，夾爪控制可依需求調整，拆卸採快拆機構，可免工具直接進行調整。



圖 9 管式夾爪配置電磁裝置

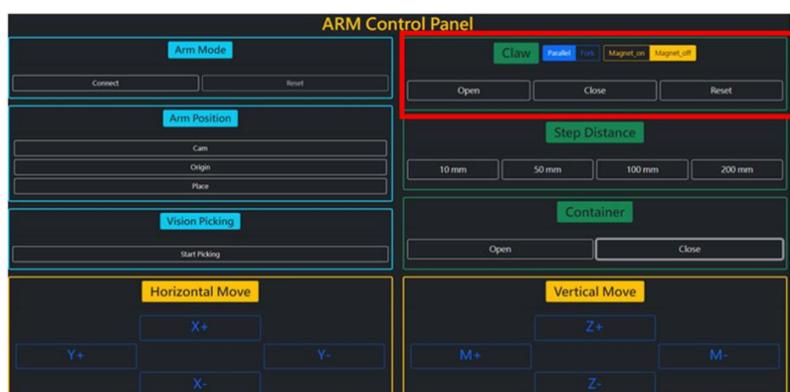


圖 10 管式夾爪與電磁模組操作介面

完成輻射偵測平台影像擷取功能，可將影像手動上傳雲端空間，以連結方式提供資訊平台進行影像回放功能，如圖 11 所示，也可利用載具區域網路進行影像串流功能。

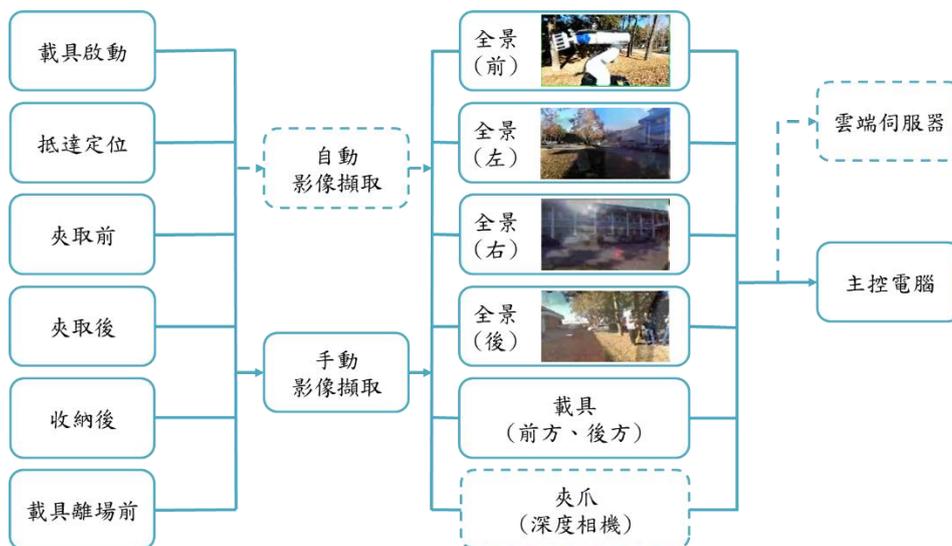
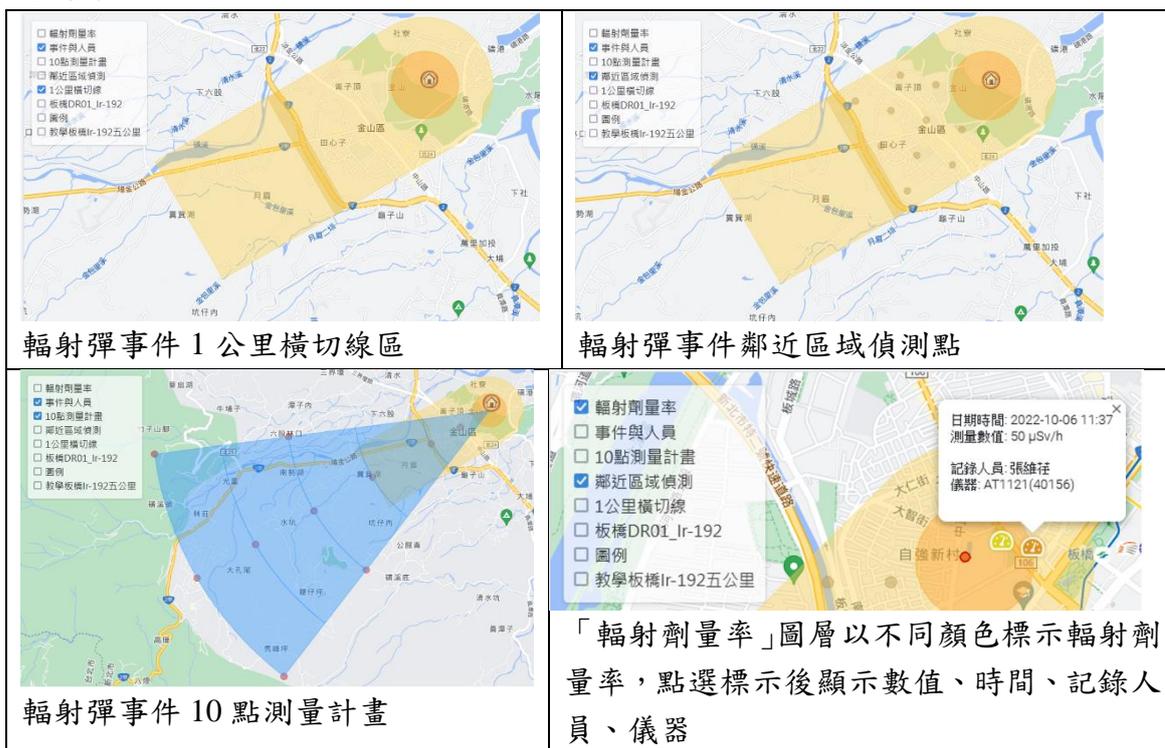


圖 11 影像擷取流程圖

3.5 建置輻射災害應變資訊平台

完成增訂之主要功能如圖 12。





「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



提供具權限之使用者，勾選成員通知、編輯簡訊發送功能；簡訊內容自動帶入：事件名稱、發生時間、地點、收簡訊者輻應隊職稱、平台現場端連結、集結地點、直屬長官與手機

圖 12 輻射災害應變資訊平台主要增訂功能

四、結論與建議

(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輻災應變資訊平台實作課程，功能眾多且是團隊作業，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。

(三) 放射性物質擴散分析能力建立

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算時間，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。未來在運算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，讓其運算時間再下修。

(四) 建置遠端遙控行動式輻射偵測平台

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。

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]. 行政院環保署, 1998 年七月, 「空氣品質模式評估技術規範」
- [7]. 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」。
- [8]. 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。
- [9]. 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。
- [10]. 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。
- [11]. 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。
- [12]. 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。
- [13]. 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。
- [14]. 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。
- [15]. 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。
- [16]. 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。
- [17]. 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。
- [18]. 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。
- [19]. Proceedings, vol.5, pp.7-14, 1987.

- [20]. National Urban Security Technology Laboratory. 2017. Radiological Dispersal Device(RDD) Response Guidance Planning for the First 100 Minutes.
- [21]. 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.
- [22]. 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.
- [23]. 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.
- [24]. 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.
- [25]. 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.
- [26]. Kesarkar A.P. Dalvi M., Kaginalkar 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.
- [27]. Kreyszig, E., 1968: Advanced Engineering Mathematics. 2nd Ed., J.Wiley and Sons, New York, 898 pp.
- [28]. 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.
- [29]. 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.
- [30]. 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.
- [31]. Pettersen, S., 1940: Weather Analysis and Forecasting. McGraw-Hill Book Company, New York, 221-223.
- [32]. 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.