

核子事故車輛除汙作業程序修訂之研究

作者簡介



作者張天民上士，國立臺灣師範大學工業教育碩士、國立中央大學環境工程碩士，陸軍化生放核訓練中心士官高級班 104-2 期。現職為陸軍化生放核訓練中心防護課程組教官。

提要

- 一、雖然車輛除汙與偵檢的相關作業規範在我化學兵軍事準則中有訂定，但檢視原能會定期更新的《核子事故緊急應變作業程序書》相關內容，發現既有的程序有可檢討及精進之處。
- 二、為找出目前疏散車輛輻射偵測及除汙作業執行上的問題，本文針對現有準則內容及核安演習相關規範進行文獻探討，以作為後續程序訂定之基礎。
- 三、本文以現行核子事故人員偵測及除汙相關文件為基礎，規劃出新的作業程序包含「初偵」、「除汙」及「複偵」三區塊，並比較各規範不足之處，以提出新的作業程序建議。
- 四、本文所訂定偵測及除汙程序，係採文件分析法參考軍事準則及程序書內容所架構而成，從中可看出各規範（文件）皆有值得參考之處，但也發現部分區塊在描述及訂定上還有加強空間。

關鍵詞：核子事故、輻射偵測、輻射除汙

前言

國軍化學兵部隊在核子事故緊急應變中，依國防部及作戰區命令編成消除支援部隊執行輻射汙染除汙作業，並配合輻射監測中心執行輻射偵測任務，¹雖然車輛除汙與偵檢的相關作業規範在我化學兵軍事準則中有訂定，但檢視原能會定期更新的《核子事故緊急應變作業程序書》相關內容，發現準則既有的程序有可檢討及更精進之處，故本文旨在檢視現行準則內容及核安演習所公布相關規範（文件）中提出研析，作為後續作業之參據。因研究者過去已針對疏散民眾的偵測及除汙程序進行過探討，²此次另選定疏散車輛的偵測及除汙程序為

1 羅斯鴻、蕭英煜，〈化學兵執行核子事故緊急應變回顧與展望〉《核生化防護半年刊》，第 96 期，2013 年 10 月。

2 張天民，〈核子事故下消除支援隊對疏散民眾作業程序修訂之研究〉《化生放核防護半年刊》，第 114 期，2022

研究範圍，惟物品偵測及除汙不在本文研究之內，後續將另起專文進行討論。基於上述緣由，爰提本文以為執行。

現行車輛輻射偵測及除汙作業規範

我化學兵部隊始終秉持「依程序、按步驟、遵要領」的原則戮力於各項任務，總能深得各級長官與全國人民肯定，為找出目前疏散車輛輻射偵測及除汙作業執行上的問題，本文針對現有準則內容及核安演習相關規範進行文獻探討，以作為後續程序訂定之基礎。

一、陸軍化生放核災害救援手冊³

本手冊主要在說明各階段應變程序及作業要領，以提供陸軍相關單位平時整備及災害發生時應變之依據，就車輛輻射偵測及除汙相關內容條列如後：

(一)車輛輻射偵測

- 1.偵檢兵使用長桿式輻射偵測器，偵測汙染車輛上輻射劑量，並針對劑量值較高之處用粉筆做記號，以提醒消除兵實施重點消除。
- 2.偵測儀器之偵測頭須距離目標物表面3~5公分，且與偵測目標保持90度垂直，待偵測員讀取數值後，記錄人員實施紀錄，並將紀錄表(如表1)交由駕駛攜帶，最後由複偵人員參考。⁴
- 3.消除兵利用真空吸塵器對車廂內及車窗邊隙縫處實施除汙後，偵檢兵繼續用表面輻射汙染偵測器偵測車內空間，確定無汙染後貼上2吋寬膠帶(依車輛門窗密合程度決定是否須要膠帶封黏輔助)。
- 4.除汙後實施複偵，偵檢兵依據紀錄卡所示數據，凡超過背景值之部位，均依實施複偵測，以確定車輛是否除汙完畢，置重點於駕駛(座)艙、輪胎(含護蓋)、底盤等部位。

年10月。

³ 國防部陸軍司令部，《陸軍化生放核災害救援手冊》(桃園市：國防部陸軍司令部，2019年10月31日)。

⁴ 從圖1發現此紀錄表之設計並非為「一車一張」，因此如準則所述「交由駕駛攜帶，最後由複偵人員參考」並不適宜；另紀錄表中所使用之偵測單位為「活度」而非「劑量」，如準則「使用長桿式輻射偵測器，偵測汙染車輛上輻射劑量」之敘述並不適宜。後續準則編修時建議修正。

表 1 車輛汙染偵測紀錄表

日期： 年 月 日				
車號	汙染位置	去汙前汙染值 (cpm)	去汙後汙染值 (cpm)	備註

儀器型號： 序號： 效率：

背景值： 校正日期：

偵測人員： 核覆：

資料來源：國防部陸軍司令部，《陸軍化生放核災害救援手冊》(桃園市：國防部陸軍司令部，2019 年 10 月 31 日)，頁 5-53。

(二)車輛除汙作業

1.作業編組

作業編組包含組長、引導兵、偵檢兵、登記兼消除兵、消毒器操作手、噴灑手、洗刷手及抽水機操作手，作業職掌如表 2 所示。

表 2 車輛除汙站作業編組表

職稱	人數	職掌
組長	1	負責指揮組員執行受汙染車輛除汙作業。
引導兵	2	負責引導受汙染車輛進（出）車輛除汙站實施除汙作業。
偵檢兵	2	負責對受汙染車輛實施初（複）偵測，瞭解受汙染狀況。
登記兼消除兵	1	負責將受汙染車輛駕駛姓名等資料登錄於管制簿冊內，並以真空吸取器對車廂內及車縫處實施除汙。
消毒器操作手	1	負責操作輕型消毒器或重型消毒車。

噴灑手	1	利用高壓水柱對受汙染車輛實施初洗。
洗刷手	2	負責對受汙染車輛實施刷洗。
抽水機操作手	1	負責操作抽水機將汙水抽至汙水回收桶。

資料來源：國防部陸軍司令部，《陸軍化生放核災害救援手冊》(桃園市：國防部陸軍司令部，2019年10月31日)，頁5-64。

2.作業要領

- (1)引導兵於入口指揮車輛進入除汙站。
- (2)偵檢兵對受汙染車輛實施初偵，置重點於車身兩側、底盤及輪胎(含護蓋)。
- (3)登記兼消除兵負責將受汙染車輛車號等資料登錄於車輛汙染偵測紀錄表內，並另用真空吸取器對車廂內及車縫處實施除汙。
- (4)消毒器操作手負責操作輕型消毒器或重型消毒車，並隨時注意作業用水是否足夠。
- (5)偵檢兵對汙染車輛實施複偵，若高於輻射背景值則返回入口重複實施除汙作業。
- (6)出口引導兵指揮車輛離開除汙站。

二、核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書⁵

此作業程序書旨在明定北部(核一廠、核二廠)核子事故狀況下，疏散車輛之輻射偵測除汙作業之規範依據，防止汙染擴大。就車輛輻射偵測及除汙相關內容條列如後：

- (一)車輛須開至核子事故輻射監測中心臨時車輛偵測管制站實施車輛偵測(如表3)。**

5 行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，《設備及車輛輻射偵測除汙作業程序書》(臺北市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，2018年07月16日)。

表 3 設備車輛汙染偵測紀錄表

日期： 年 月 日

車號	汙染位置	去汙前汙染值 (cpm)	去汙後汙染值 (cpm)	備註

偵測人員：

覆核：

資料來源：行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，《設備及車輛輻射偵測除汙作業程序書》(臺北市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，2018 年 07 月 16 日)。

- (二) 首先須偵測車輛內部，尤其是人員乘坐位置附近須詳細偵測是否受到汙染。
- (三) 再偵測車輛外部，尤其是車輪及輪護蓋須詳細偵測是否受到汙染。
- (四) 當偵測到車輛受汙染，先用去汙劑擦拭，再用乾淨不織布擦拭至無汙染。
- (五) 如用去汙劑擦拭多次無法去汙乾淨，車輛內部可拆卸部分(如座椅、把手等)應拆下交由核能電廠處理，車內不可拆卸部分及車輛外部則須用噴槍水柱噴洗至無汙染。
- (六) 所有去汙用之廢棄物或去汙用水，均須回收送至核能電廠處理。
- (七) 若受檢車輛偵測無汙染時，須貼上無輻射汙染標籤始可放行。

三、核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書⁶

⁶ 行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，《車輛輻射偵測與除汙作業程序書》(高雄市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，2021 年 02 月 3 日)。

作業程序書旨在明定南部（核三廠）核子事故狀況下，輻射偵測中心（簡稱偵測中心）執行核子事故南部輻射監測中心（簡稱監測中心）任務時，環境偵測、取樣及疏散車輛之輻射偵測與除汙作業，以防止輻射汙染擴大，確保民眾健康安全。就車輛輻射偵測及除汙相關內容條列如後：

- (一)民眾駕車離開管制區域時，監測中心依核三廠事故狀況及即時環境監測結果，判定是否須進行車輛偵檢作業，偵測紀錄表如表 4。

表 4 車輛汙染偵測紀錄表

日期： 年 月 日

車號	汙染位置	去汙前汙染值 (cpm)	去汙後汙染值 (cpm)	備註

儀器型號：

序號：

效率：

背景值：

校正日期：

偵測人員：

覆核：

資料來源：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，《車輛輻射偵測與除汙作業程序書》（高雄市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，2021 年 02 月 3 日）。

- (二)車輛偵測首先須偵測車輛內部，尤其是駕駛座附近須詳細偵測是否受到汙染；再偵測車輛外部，尤其是車輪及輪護蓋須詳細偵測是否受到汙染。
- (三)執行車輛內部偵測時，首先偵測座椅之椅背、椅墊及扶手，之後偵測地板及窗戶邊緣等處是否受到汙染。若偵測輻射劑量率高於背景值時，須以偵檢器進行細部偵檢，確認汙染範圍後，以一般膠帶沾黏表面輻射塵，若無

法以膠帶黏附者，或汙染範圍面積較大時，以吸塵器吸除表面輻射塵。

- (四) 當偵測到車輛受到汙染，先用去汙劑擦拭，再用乾淨不織布擦拭至無汙染。
- (五) 如用去汙劑擦拭多次無法去汙乾淨，須用噴槍水柱噴洗至無汙染。
- (六) 所有去汙用之廢棄物或去汙用水，須有回收規劃，除汙後之廢水由支援中心負責儲存，排放前須經監測中心分析，確認在法規限值內方可依一般廢水排放，若超過管制標準，則由監測中心協調送回核能電廠處理。
- (七) 無輻射汙染或已清除輻射汙染物之車輛，張貼「車輛無輻射汙染」(如圖 1)證明貼紙於車輛前檔玻璃處，以利識別。

圖 1 車輛無輻射汙染證明貼紙



資料來源：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，《車輛輻射偵測與除汙作業程序書》(高雄市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，2021 年 02 月 3 日)，頁 7。

四、歷年核安演習評核指導與缺失

原能會聘請國內災害防救相關專家學者、相關部會實務經驗人員擔任評核委員，區分 6 項專業領域，並邀請民間團體代表擔任觀察員，共同檢視各年度核安演習各項應變作為能符合實務需求。被觀察對象包含演練規劃單位、核電廠及輻傷醫院、地方政府、輻射監測中心、新聞發布作業市與國軍支援中心等 6 類，最終將觀察結果及建議彙整成總結報告，於每年年底公布於原能會網頁。

表 5 研究整理自 105-111 年度總結報告中與本文主題相關評核指導及回覆。

表 5 歷年核安演習國軍支援中心車輛偵測與除汙評核指導與缺失

項次	年度	評核或觀察意見	評核回覆說明
1	105 ⁷	建議車輛輻射偵測，應將偵測高度提高至大型車輛頂端，並可考慮大型輻射偵測門。	程序書註明支援中心協助實施除汙作業，作業初、複偵檢及是否須除汙判定，應由輻射監測中心執行，故爾後演習輻射監測中心應考量增設車輛門框型輻射偵測器，以彌補初、複偵檢作業之不足。
2	106 ^{8 9}	基隆市政府演練（基隆市立棒球場）：在遊覽車汙染偵檢作業，這次做得較以往確實，不但量車身，也量車頂與車底。但量車頂時，偵測員須爬上爬下移動梯，有作業跌倒的風險，建議能使用車用門框偵測器測量遊覽車是否被汙染。	將轉知國軍支援中心負責。
3		大型車輛（遊覽車）除汙前/後之偵測現行均以人力為之，時效上及工安考量上有必要購置「門框式偵測裝置」。	將轉知國軍支援中心。
4	108 ¹⁰	車輛偵檢使用長桿型偵檢器，應使用於大面積汙染偵測；長桿型偵檢器用於偵測貝它和加馬射線汙染。	目前刻正向國外廠商採購門框型輻射偵檢器，後續可運用於車輛輻射偵測作業。
5		消除站的設立位置與相關交通管控：確保受汙染的車輛與人員能透過適當的作業方式標示出來，以送消除站除汙。	車輛部分則由原能會提供辨識貼紙張貼於受汙染位置。
6	109 ¹¹	車輛除汙似欠完善，汙水發現仍未完全蒐集。軍方核生化部隊於汙染廢棄水保	車輛除汙站產生之汙水，均統一回收至汙水集中桶，並由輻射監測中

7 行政院原子能委員會，〈105 年核安第 22 號演習總結報告〉，2016 年 11 月。

8 行政院原子能委員會，〈106 年核安第 23 號演習總結報告〉，2017 年 11 月。

9 本項是評核委員觀察「地方政府」演練場次過程中側寫的紀錄，而非觀察「國軍支援中心」演練場次，且最終意見回覆時僅由「地方政府」直接回覆。

10 行政院原子能委員會，〈108 年核安第 25 號演習總結報告〉，2019 年 11 月。

11 行政院原子能委員會，〈109 年核安第 26 號演習總結報告〉，2020 年 11 月。

		存偵測應有正確安全抽取方式與流程。 。汙染區撤退分流清洗除汙後，應有車輛靜置集結偵測規劃位置設計。	心後端處理。車輛除汙作業，均依初偵、沖洗、靜置及複偵之程序，確認無汙染後始可離開防護站。
7	110 12	車輛偵檢時也應使用長桿偵測器。	車輛進入除汙站前，本軍使用門框型偵測器實施初步偵檢，有遭受汙染疑慮車輛引導進入車輛除汙站實施除汙作業，完成除汙車輛於複偵區實施複偵以確保作業完成，本次演習於複偵區未使用長柄式輻射偵檢器針對底盤及車底等處實施偵檢，後續演習將納入演練使用。

資料來源：行政院原子能委員會。

現況檢討與建議

原《陸軍化生放核災害救援手冊》作業程序如圖 2 所示，本文以現行核子事故車輛偵測及除汙相關規範（文件）為基礎，針對作業程序包含「初偵」、「除汙」及「複偵」三區塊，相互比較各規範中不足之處，據以提出新的作業程序建議，作業程序繪製如圖 3 所示。

在除汙階段的汙水收集車是由台電公司派員負責，其餘作業人員由支援中心消除支援隊組成，分別為組長、偵檢兵（初偵）、登記兵、除汙兵、操作兵、偵檢兵（複偵）及引導兵等 11 員，作業編組如表 6 所示。

圖 2 《陸軍化生放核災害救援手冊》
車輛偵測及除汙作業程序

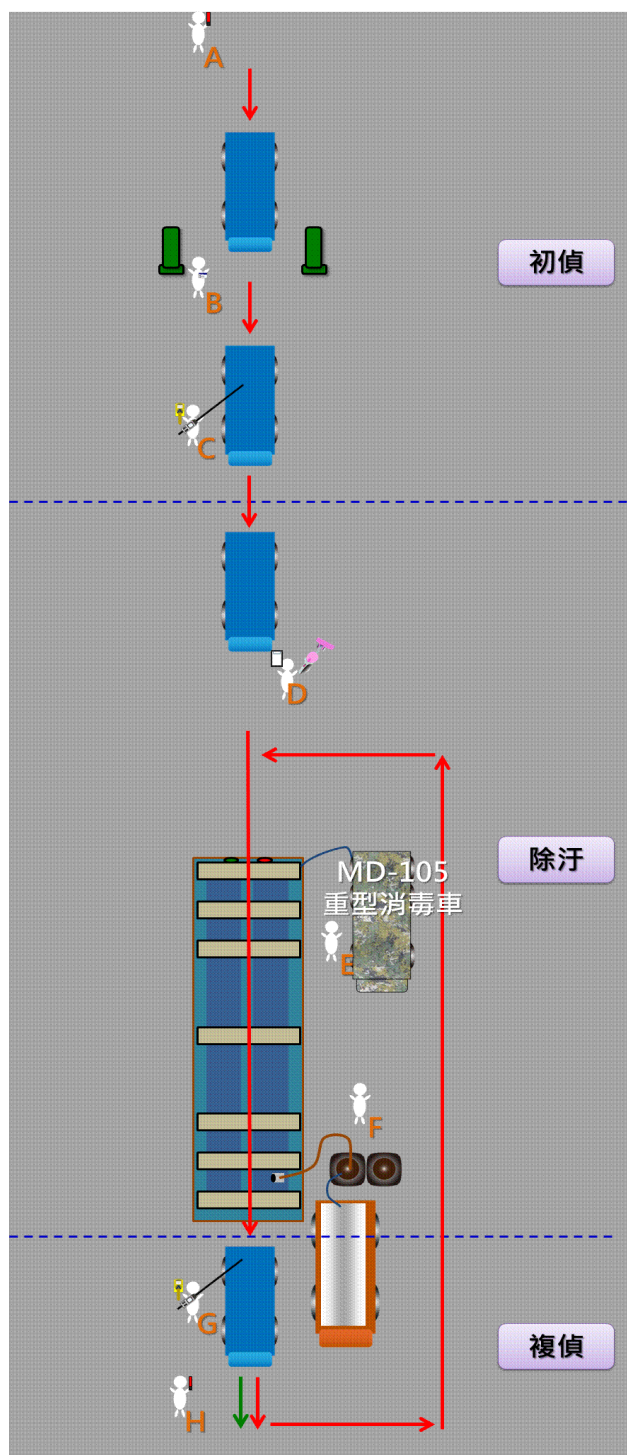
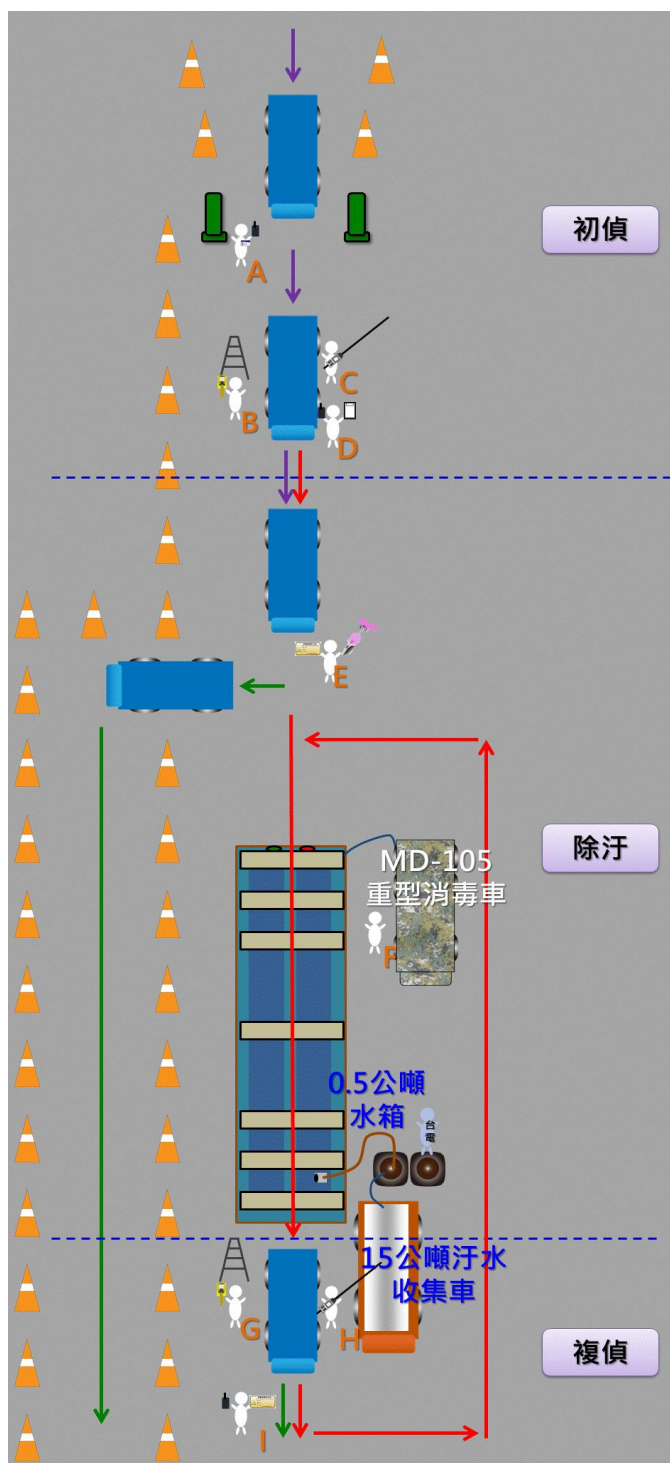


圖 3 本文車輛偵測及除汙作業程序



資料來源：本文自行繪製。

表 6 人員作業編組（單一防護站）

代號	職稱	攜帶裝備（文件）	職掌
A	組長	個人劑量警報器 對講機	● 全程指揮偵測及除汙作業。 ● 配戴個人劑量警報器掌握該區域輻射劑量變化。
B	偵檢兵	表面輻射汙染偵測器 A 字梯	● 對車輛外觀及車內實施初偵，以瞭解受汙染狀況及位置。
C	偵檢兵	長桿型輻射偵測器	● 對車頂、車底實施初偵，偵測到疑似汙染時，須協請偵檢兵 B 進行確認。
D	登記兵	作業表單 對講機	● 將車輛資料及偵測結果登記於記錄表內。 ● 透過對講機將初偵時疑似汙染位置告知引導兵 I；接收引導兵 I 的回報情形。 ● 收整記錄表，以利後續提供核子事故中央災害應變中心進行追蹤。
E	除汙兵	手提式真空吸塵器 無輻射汙染標籤	● 針對車內汙染實施物理移除。 ● 經過初偵程序判定無汙染，貼上無輻射汙染標籤後引導車輛前往疏散。 ● 若經初偵判定外觀汙染，引導車輛前往除汙。
F	操作兵	—	● 操作「MD-105 重型消毒車」搭配模組化車輛除汙站實施除汙。
G	偵檢兵	表面輻射汙染偵測器 A 字梯	● 依初偵結果對車輛外觀實施複偵，以瞭解受除汙處理狀況。
H	偵檢兵	長桿型輻射偵測器	● 依據初偵結果，對車頂、車底實施複偵，以瞭解受除汙處理狀況，偵測到疑似汙染時須協請偵檢兵 G 再進行確認。
I	引導兵	無輻射汙染標籤 對講機 乾布	● 經過複偵程序判定無汙染，使用乾布擦乾擋風玻璃，貼上無輻射汙染標籤後引導車輛前往疏散。

		● 若經過複偵程序判定仍有汙染，引導車輛前往除汙。 ● 掌握複偵狀況並隨時向組長及登記兵 D 彙報。
--	--	---

資料來源：本文自行製表。

除表 2 所列攜帶裝備（文件）外，尚應準備地圖、備用防護衣物、緊急應變計畫、作業程序書、通訊聯絡簿冊、個人劑量佩章、作業行動準據小卡、照明設備等物資。¹³

一、初偵階段

針對現行準則內容及核安演習相關規範（文件），節錄原文彙整如表 7 所示。

表 7 初偵階段相關規範作業內容整理表

規範來源	儀器	警報值	偵測要領	偵測位置	作業表單
A	長桿型輻射偵測器	背景值	偵測儀器之偵測頭須距離目標物表面 3~5 公分，且與偵測目標保持 90 度垂直	置重點於車身兩側、底盤及輪胎（含護蓋）。	車輛汙染偵測紀錄表
B	×	×	×	偵測車輛內部，尤其是人員乘坐位置附近。偵測車輛外部，尤其是車輪及輪護蓋。	設備車輛汙染偵測紀錄表
C	×	背景值	×	偵測車輛內部，尤其是人員乘坐位置附	車輛汙染偵測紀錄表

¹³李佳玲，〈人員消除作業程序之研析—以核子事故為例〉《化生放核防護半年刊》，第 102 期，2016 年 10 月。

				近。偵測車輛外部，尤其是車輪及輪護蓋。	
D	大型輻射偵測門 (105 年); 車用門框偵檢器(106 年); 大面積汙染偵測 (108 年); 長桿偵測器(110 年)	×	×	應將偵檢高度提高至大型車輛頂端 (105 年); 不但量車身，也量車頂與車底 (106 年)。	×
備註	為使表格易於閱覽，規範來源以代號取代原文件全名，其中 A 為《陸軍化生放核災害救援手冊》、B 為《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》、C 為《核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書》、D 為《歷年核安演習評核指導與缺失》；×代表無提及相關內容。				

資料來源：本文自行整理。

初偵階段旨在瞭解車輛受汙染情況及位置，在此針對「儀器」、「警報值」、「偵測要領」、「偵測位置」進行分析，以利提出後續精進建議及修訂規劃。

(一)儀器選用時機

在核子事故發生時會有數以萬計車輛實施疏散，初偵階段首要目標即為快速分辨出有無受汙染。故應先以移動式車輛門框偵測器¹⁴ (如圖 4) 進行車輛外觀快篩，疑似有汙染才進一步以表面輻射汙染偵測器¹⁵ (如圖 5)(考量作業表單中要求偵測單位為「活度」而非「劑量」) 偵測，故長桿型輻射偵測器¹⁶ (如圖 6) 並不能作為主要偵測儀器，僅適用於不易偵測到的位置(如車頂或車底) 作為輔助偵測，但偵測到疑似汙染時仍須再以表面輻射汙染偵測器進行確認。

14陸軍化學兵偵消部隊偵檢班目前僅具備 RS-201 乙款車輛門框偵測器，其偵測單位為 cpm 之活度單位，但礙於偵檢頭架設於車體兩側，所以車頂與車底將無法被偵測到。

15陸軍化學兵偵消部隊偵檢班目前具備 CoMo 170、LB 123、LB 124 及 AB 100 等 4 款表面輻射汙染偵測器，其偵測單位為 Bq、cps、cpm、Bq/cm2 等活度單位。

16陸軍化學兵偵消部隊偵檢班目前具備 FH40TG 及 MP-6 等 2 款長桿型輻射偵測器，其偵測單位為 μ Sv/h 之劑量率單位，作業時最遠可將偵檢頭延伸至 4 公尺。

圖 4 車輛門框偵測器

圖5 表面輻射污染偵測器

圖 6 長桿型輻射偵測器



資料來源：本文自行繪製。

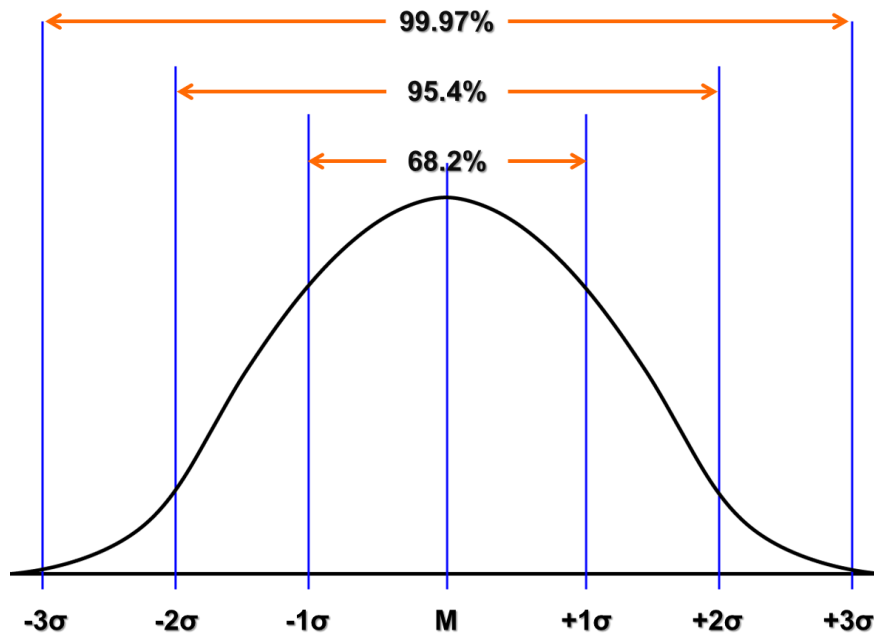
(二)警報值的設定

文件分析結果顯示現行規範中《陸軍化生放核災害救援手冊》及《核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書》明訂以「背景值」為警報限值，因此在尚未修訂警報限值的前提下執行車輛偵測時，理應以「背景值」為警報限值。但常理推論在核子事故狀況下對疏散車輛之偵測結果高機率會大於「背景值」，若仍以此作為疑似污染的警報值不僅將導致容易發生誤判，亦會大幅提升偵測與除汙人員的作業負荷；經研究者另行查閱其他文件資料，於《RMC-R-05 防護站及收容所民眾攜入物品輻射偵測作業程序書》¹⁷一文中找到較為合適之規範：「附著性放射性污染表面計測結果，其計數率(cpm)不超過儀器平均背景值加上 3 倍的標準差始可放行」。從統計學的角度來看，在常態分佈的狀態下， $M \pm 3\sigma$ 占整體機率的 99.7% (如圖 7)，故超過或低於此區間範圍都可視為極端值，¹⁸本文認為後續是否可採納警報值設定為「背景值+3 倍標準差」值得研議。

17 行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，《防護站及收容所民眾攜入物品輻射偵測作業程序書》(高雄市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，2019 年 06 月 19 日)。

18 維基百科，《68-95-99.7 法則》，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/68%E2%80%9395%E2%9399.7%E6%B3%95%E5%89%87>〉(檢索日期：2022 年 3 月 3 日)。

圖 7 常態分佈圖



資料來源：本文自行繪製。

(三)偵測要領規範

當輻射接觸到偵檢頭(Detector)時會在其有效體積內產生一定量電荷，藉由收集這些電荷以形成基本電訊，進而在顯示幕上轉換為可判讀的文字或圖形，但隨著偵測器的款式不同電荷收集的完成時間變化也很大。¹⁹相關研究指出，就車行速度對車輛門框偵測器的靈敏度而言，車行速度越慢輻射計數率越高，故建議最高車行速度為 20 公里/小時通過，而最佳偵測條件為車行速率 8 公里/小時；²⁰ ²¹同理表面輻射污染偵測器偵測時移動速度不宜大於 15 公分/秒，並且考量到粒子輻射在空氣中的射程(Range)較短，故表面輻射污染偵測器之偵檢頭距離待測車輛表面以 0.5~5 公分較合適，並以「Z 字型」的方式分區塊進行全面偵測較為周延，但相對也極為耗時。²²

19財團法人中華民國輻射防護協會，〈輻射度量〉《游離輻射防護叢萃》，2003 年 2 月。

20林明仁，〈美國大港倡議計畫輻射偵檢訓練之介紹〉《台電核能月刊》，第 321 卷，2009 年 9 月。

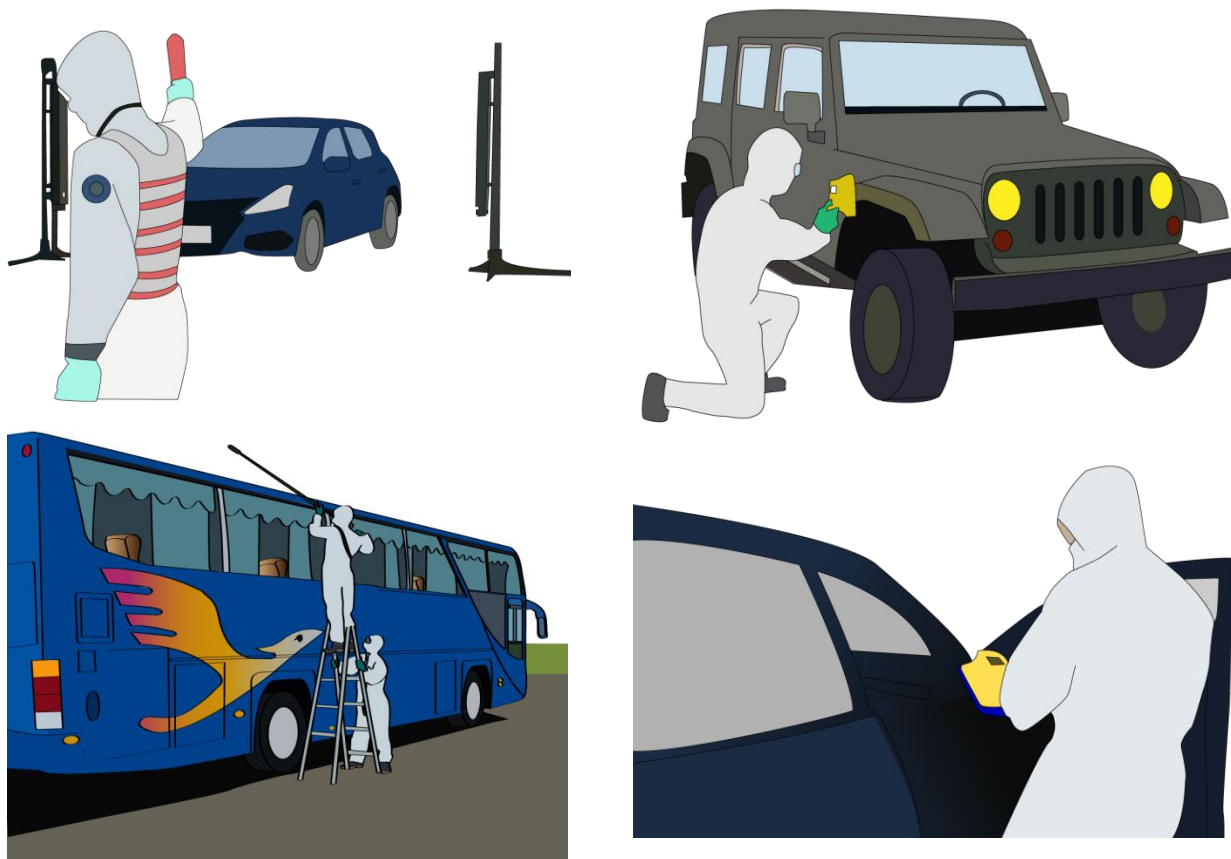
21車輛門框偵測器，可分為「固定式」與「移動式」兩類。「固定式車輛門框偵測器」多架設於常駐定點，如港口、焚化廠、垃圾場等，會駛入此類常駐定點車型的寬度與高度差異並不大，如貨櫃車或垃圾車；但「移動式車輛門框偵測器」會因應突發需要而臨時架設，如核子事故發生時架設於防護站，雖稱之為「移動式」，但礙於重量多重達數十公斤，意即無法頻繁搬動兩偵檢頭之間距，且駛入該場域之車型大、小均有，在配合大型車可以順利通過進行檢測的前提下，此間距對小型車而言就產生很大間隙，但考慮輻射之一重要特性「偵測到的輻射能量強度與距離平方成反比」，對小型車的偵測就可能產生盲點。

22經研究者教學實作數據顯示，若針對乙部小客車實施車輛偵測，偵檢班熟手使用長桿型輻射偵測器 1 台（偵測車底）須耗時 2.5 分鐘，使用表面輻射污染偵測器 1 台（外觀及車內正、副駕駛座、乘客座）須耗時 25 分鐘；若針對乙部大客車實施車輛偵測，偵檢班熟手使用長桿型輻射偵測器 1 台（包含移動梯子並偵測車頂及

(四)偵測位置

考慮核子事故發生後之落塵為附著性汙染，不僅可能分布於車體外觀，亦可能因人員上、下車或開啟循環空調等因素而進入車內，查閱現行規範與歷年評核指導，均一致建議將是類區域納入偵測範圍，但現行車輛門框偵測器設計之限制，僅能針對車體兩側進行輻射偵測，意即車頂、車底、輪胎內側與車內等處皆為門框偵測器之死角，尚須要表面輻射汙染偵測器進行輔助，如圖 8。

圖 8 車輛輻射偵測圖



資料來源：本文自行繪製。

(五)作業表單使用

《陸軍化生放核災害救援手冊》、《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》及《核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書》3 份規範(文件) 所用作業表單差異性並不大，並不影響偵測作業的運行，故本文針對此部分無建議與討論。

(六)精進建議及修訂規劃

車底) 進行輔助偵測須耗時 16 分鐘，使用表面輻射汙染偵測器 1 台 (外觀及車內駕駛座、乘客座) 須耗時 58 分鐘。

綜合以上分析與討論，本文針對此階段的精進建議及修訂規劃如後：

- 1.疏散車輛經交通管制隊引導進入防護站，通過車輛門框偵測器以偵測外觀是否遭受放射性汙染，警報值設定為「背景值+3倍標準差」。
- 2.偵檢兵以表面輻射汙染偵測器與長桿型輻射偵測器進行車外初偵，並將車外汙染確切位置告知登記兵。
- 3.偵檢兵手持表面輻射汙染偵測器進行車內偵測，警報值設定為「背景值+3倍標準差」，並將車內汙染確切位置告知登記兵，以利除汙兵以手提式真空吸塵器進行車內除汙。
- 4.登記兵將汙染位置及汙染值紀錄於作業表單（同前文表3、表4），同時將車內汙染確切位置告知除汙兵，任務結束後將所有偵測表單交予輻射監測中心。

二、除汙階段

針對現行準則內容及核安演習公布相關規範(文件)，節錄原文彙整如表 8。

表 8 除汙階段相關規範作業內容整理表

規範來源	除汙位置	除汙方式	汙水處置
A	車廂內及車窗邊緣隙	車內使用真空吸塵器 車外利用高壓水柱	利用抽水機將汙水抽至回收桶
B	車輛內部 車輛外部	用去汙劑及不織布擦拭 用噴槍水柱噴洗	除汙用之汙水均須送回核能電廠處理
C	×	以膠帶沾黏或吸塵器吸除；用噴槍水柱噴洗	汙水由支援中心儲存，經監測中心分析符合法規限值時排放，超過限值時由監測中心協調送回核電廠
D	×	×	汙水保存、偵測應有安全的抽取方式與流程

備註	為使表格易於閱覽，規範來源以代號取代原文件全名，其中 A 為《陸軍化生放核災害救援手冊》、B 為《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》、C 為《核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書》、D 為《歷年核安演習評核指導與缺失》；×代表無提及相關內容。
----	---

資料來源：本文自行整理。

除汙階段旨在對受汙染車輛進行放射性汙染移除，在此針對「除汙位置」、「除汙方式」、「汙水處置」進行分析並提出本階段的精進建議及修訂規劃。

(一)除汙位置

如前文所述，在發生核子事故時隨煙羽²³(Plume)飄散的放射性落塵會沾附於各種物體表面，不僅可能分布於車體外觀，亦可能因人員上、下車或開啟循環空調等因素而進入車內，若人員接觸就會產生粒子輻射²⁴的體外曝露(External Exposure)，²⁵進而可能透過吸入、食入與傷口接觸等方式造成人員體內曝露(Internal Exposure)，²⁶故除汙重點就應聚焦於人員易接觸到或可能長時間居占之區域(如圖 9)。就車體外觀而言，手把、車門、後置物箱門及窗戶等處是較常接觸的地方，輪胎、鋼圈與外在板金等處是人員可以輕易靠近的居占位置；從車體內部而言，手把、方向盤、排檔桿、手剎車、儀表板、置物櫃、空調出口等處是較常接觸的地方，窗戶、坐墊與靠墊等處是人員可以輕易靠近的位置。

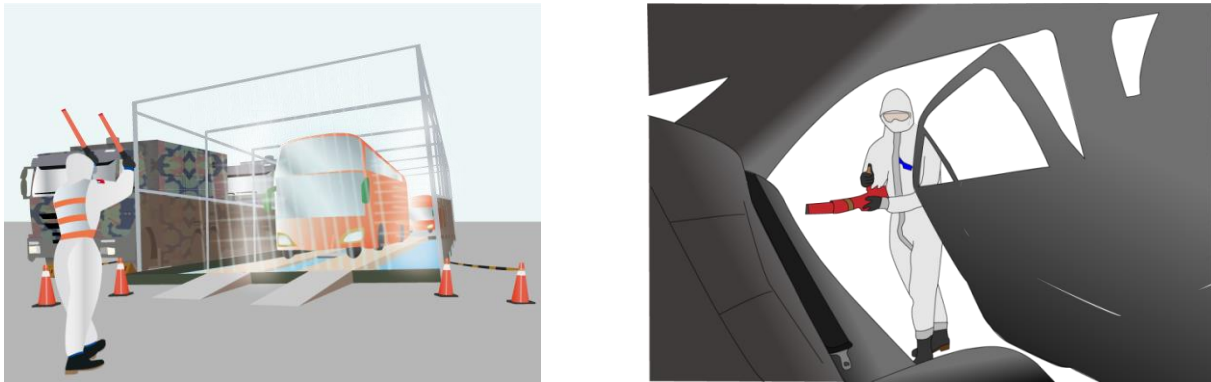
23 係指核能電廠發生爆炸時直接連續排放出來的呈羽毛狀之煙氣形成，其擴散作用與溫度有關，會影響放射性落塵擴散情形。

24 粒子輻射是藉由不穩定的原子核，或其他核反應所釋放出的產物。在本文係指 I131、Cs137、Cs134、Sr90、Sr89 等放射性核種衰變。

25 指游離輻射由體外照射於身體之曝露。

26 指由侵入體內之放射性物質所產生之曝露。

圖 9 車輛除汙示意圖



資料來源：本文自行繪製。

(二)除汙方式

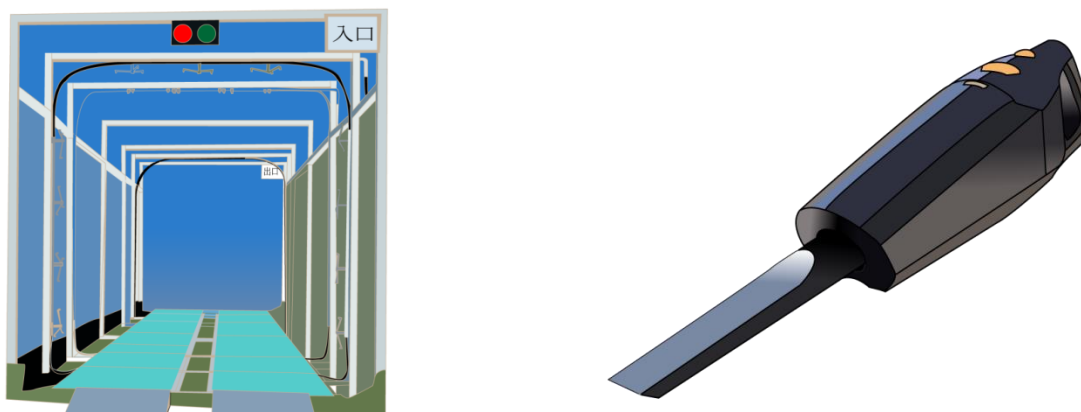
目前已有多種技術被廣泛應用於輻射汙染除汙，如擦拭、超音波清洗、高壓水槍噴洗、電解除汙及化學除汙劑等方式。²⁷從表 8 整理結果，可知現行規範中核子事故下對車輛除汙方式包含化學類的藥劑處理、物理類的吸除、擦拭或高壓水柱沖洗等方式；但考量擦拭、沾黏等方法於實際作業中費力耗時，且會徒增過多放射性廢棄物待處理。故於實際核子事故狀況下並非除汙方式之首選；因車體外在表面積較大，也為單一車輛中汙染比例最高之區域，為使除汙作業效率最大化，透過高壓水注進行外在除汙是最佳選擇，且現行消除支援隊為提升車輛除汙效能，自行研發模組化車輛除汙站（如圖 10）運用於除汙作業，透過上、下、左、右多面向的高壓水柱同時噴灑，可將車輛外觀（包含底盤）全面性進行除汙。

車內為人員搭乘空間，若採取水柱沖洗方式進行車內除汙，會因汙水無法排放導致淤積車內，不利於人員乘坐與後續疏散。化訓中心 105 年小型軍品研發結案報告指出，旋風式吸塵器針對放射性粉塵實際的集塵效能可達近 90%，經測試後符合預期的減容效果，且作業時間僅為沾黏法的 1/6，於執行核子事故應變作業期間可大量減少放射性廢棄物之產生，並降低後續處理成本，²⁸綜合以上分析，進行車內除汙時當選用真空吸塵器（如圖 10）最為適當。

27 財團法人中華民國輻射防護協會，〈放射性汙染除汙方式〉《游離輻射防護叢萃》，2003 年 2 月。

28 國防部陸軍司令部化生放核訓練中心，《手推式真空輻射汙染除汙器研發總結報告》（桃園市：陸軍司令部化生放核訓練中心，2016 年 12 月 30 日），頁 11。

圖 10 車輛除汙用裝備

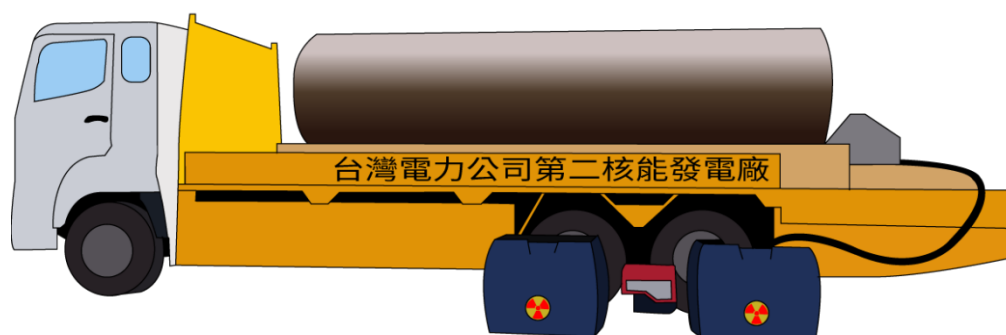


資料來源：本文自行繪製。

(三) 汙水處置

依據《放射性物料管理法》規定，放射性廢棄物的處理、運送、儲存及最終處理，應委託國內、外具有放射性廢棄物最終處置能力的業者來處理，²⁹故除汙產生的廢水須依《核子事故緊急應變作業程序書》中<物品輻射偵測作業程序>相關規範實施處理（如圖 11），^{30 31}並與台電公司協調如何回收處置，後續將於其他專文中單獨進行討論，此處不多做贅述。

圖 11 台灣電力公司汙水收集車



資料來源：本文自行繪製。

(四) 精進建議及修訂規劃

綜合以上分析與討論，針對此階段的精進建議及修訂規劃如後：

1. 除汙兵依據初偵結果針對車內汙染區域，持手提式真空吸塵器進行吸除，

29 行政院原子能委員會，《放射性物料管理法》（新北市：行政院原子能委員會，2002 年 12 月 25 日）。

30 行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，《物品輻射偵測作業程序書》（新北市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，2018 年 07 月 16 日）。

31 行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，《防護站及收容所民眾携入物品輻射偵測作業程序書》（高雄市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，2019 年 06 月 19 日）。

除汙位置應聚焦於手把、方向盤、排檔桿、手剎車、儀表板、置物櫃、空調出口、窗戶、坐墊與靠墊。

2.操作兵操作MD-105重型消毒車搭配模組化車輛除汙站，針對車體外觀進行高壓水柱沖洗，除汙位置應聚焦於手把、車門、後置物箱門、窗戶輪胎、鋼圈與外在板金。

3.現行MD-105重型消毒車的出水量每分鐘可噴灑40L~200L，³²故所用抽水馬達之功率應高於200L/min，以應付汙水之產生，而現行水箱容量為500L，³³作業時也應密切注意汙水收集的速度，必須適時更換水箱。

三、複偵階段

針對現行準則內容及核安演習相關規範（文件），節錄原文彙整如表 9。

表 9 複偵階段相關規範作業內容整理表

規範來源	儀器	警報值	偵測要領	偵測位置	無汙染標示
A	長桿型輻射偵測器	背景值	偵測儀器之偵測頭須距離目標物表面 3~5 公分，且與偵測目標保持 90 度垂直	置重點於駕駛（座）艙、輪胎（含護蓋）、底盤等部位	×
B	×	×	×	偵測車輛內部，尤其是人員乘坐位置附近。偵測車輛外部，尤其是車輪及輪護蓋	△
C	×	背景值	×	偵測車輛內部，尤其是人員乘坐位置附近。偵測車輛外部，尤其是車輪及輪護蓋	車輛無輻射汙染證明貼紙

32 國防部陸軍司令部，《MD-105 重型消毒車操作手冊》（桃園市：國防部陸軍司令部，2017 年 10 月 19 日）。

33 國防部陸軍司令部，《MDS-106 輕型消毒器操作手冊》（桃園市：國防部陸軍司令部，2019 年 5 月 6 日）。

D	大型輻射 偵測門 (105年); 車用門框 偵檢器 (106年); 大面積汙 染偵測 (108年); 長桿偵測 器(110年)	×	×	應將偵檢高度提高至大型車輛頂端(105年); 不但量車身,也量車頂 與車底(106年)	×
備註	為使表格易於閱覽,規範來源以代號取代原文件全名,其中 A 為《陸軍化生放核災害救援手冊》、B 為《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》、C 為《核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書》、D 為《歷年核安演習評核指導與缺失》; ×代表無提及相關內容,△代表有提及相關內容但無明確表單、文件或裝備。				

資料來源：本文自行整理。

由於相關規範中針對「偵測」作業並未明確區分「初偵」或「複偵」,故表 9 與前文表 7 資料僅「無汙染標示」欄位有差異,在此僅針對「無汙染標示」進行分析並提出本階段的精進建議及修訂規劃。

(一)無汙染標示

車輛是否遭受放射性汙染無法直觀從外在進行判斷,唯有透過儀器偵測才能知道其能量高低或種類,同理沒有受到汙染或已除汙完畢之車輛亦無法僅以外在進行判斷,所以在車輛上能呈現「明顯地識別」就有其必要。現行作業規範中僅《核子事故緊急應變北部輻射監測中心作業程序書》與《核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書》考慮到須進行示別,其中又以《核子事故緊急應變南部輻射監測中心作業程序書》有明確之圖示。

(二)精進建議及修訂規劃

針對此階段的精進建議及修訂規劃如後：

- 1.同前文所述，建議此階段仿照初偵時也採用車輛門框偵測器進行外在偵測；偵檢兵依據初偵結果，以表面輻射汙染偵測器對車輛內側及使用長桿型輻射偵測器對車頂、車底實施複偵實施複偵，以瞭解受除汙處理狀況，其步驟與要領同前初偵。
- 2.登記兵使用乾布擦乾擋風玻璃，貼上無輻射汙染標籤後引導車輛前往疏散；若經過複偵程序判定仍有汙染，引導車輛前往除汙。
- 3.原能會可統一以前文圖1作為疏散車輛標示用的「無汙染標示」，惟應律定其尺寸大小，且平時應先製作大量之「無汙染標示」貼紙存放於消除支援隊以利其作業。

結語

《左傳•襄公十一年》：「居安思危，思則有備，有備無患」，居安思危是一種超前的危機意識和憂患意識，面對任何事情都應作到未雨綢繆，遇到突發情況時才不至於手忙腳亂。本文所訂定偵測及除汙程序，係採文件分析法參考軍事準則及程序書內容所架構而成，從中可看出各規範（文件）皆有值得參考之處，但也發現部分區塊在描述及訂定上還有加強與修訂空間，故本文針對「初偵」、「除汙」及「複偵」三區塊，分別提出新的作業程序建議。後續將透過年度核安演習預演的時機進行驗證，並將驗證結果作為準則編修與教案修訂之參考，但是否依此實施仍須與主管機關進行專家會議達成共識。

參考文獻

一、官方文件

- (一)行政院原子能委員會，〈105年核安第22號演習總結報告〉，2016年11月。
- (二)行政院原子能委員會，〈106年核安第23號演習總結報告〉（新北市：行政院原子能委員會，2017年11月）。
- (三)行政院原子能委員會，〈108年核安第25號演習總結報告〉，2019年11月。
- (四)行政院原子能委員會，〈109年核安第26號演習總結報告〉，2020年11月。
- (五)行政院原子能委員會，〈110年核安第27號演習總結報告〉，2021年11月。

- (六)行政院原子能委員會，《放射性物料管理法》(新北市：行政院原子能委員會，2002年12月25日)。
- (七)行政院原子能委員會，《核安演習評核要項暨審查基準》(新北市：行政院原子能委員會，2016年6月8日)。
- (八)行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，《物品輻射偵測作業程序書》(新北市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，2018年07月16日)。
- (九)行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，《設備及車輛輻射偵測除汙作業程序書》(臺北市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變北部輻射監測中心，2018年07月16日)。
- (十)行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，《車輛輻射偵測與除汙作業程序書》(高雄市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，2021年02月3日)。
- (十一)行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，《防護站及收容所民眾携入物品輻射偵測作業程序書》(高雄市：行政院原子能委員會核子事故緊急應變南部輻射監測中心，2019年06月19日)。
- (十二)國防部陸軍司令部，《MD-105重型消毒車操作手冊》(桃園市：國防部陸軍司令部，2017年10月19日)。
- (十三)國防部陸軍司令部，《MDS-106輕型消毒器操作手冊》(桃園市：國防部陸軍司令部，2019年5月6日)。
- (十四)國防部陸軍司令部，《陸軍化生放核災害救援手冊》(桃園市：國防部陸軍司令部，2019年10月31日)。
- (十五)國防部陸軍司令部化生放核訓練中心，《手推式真空輻射汙染除汙器研發總結報告》(桃園市：陸軍司令部化生放核訓練中心，2016年12月)。
- (十六)財團法人中華民國輻射防護協會，〈放射性汙染除汙方式〉《游離輻射防護薈萃》，2003年2月。
- (十七)財團法人中華民國輻射防護協會，〈輻射度量〉《游離輻射防護薈萃》，2003年2月。
- (十八)林明仁，〈美國大港倡議計畫輻射偵檢訓練之介紹〉《台電核能月刊》，

第321卷，2009年9月。

二、論文

- (一)張天民，〈核子事故下消除支援隊對疏散民眾作業程序修訂之研究〉《化生放核防護半年刊》，第114期，2022年10月。
- (二)賴政國，〈核子與放射線物質事件國軍防救之研究〉《陸軍化學兵100年戰法研討會論文集》，(桃園市：國防部陸軍司令部化學兵處，2011年8月3日)。
- (三)羅斯鴻、蕭英煜，〈化學兵執行核子事故緊急應變回顧與展望〉《核生化防護半年刊》，第96期，2013年10月。

三、報章網路

- (一)維基百科，〈68-95-99.7法則〉，〈<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/68%E2%80%9995%E2%9399.7%E6%B3%95%E5%89%87>〉(檢索日期：2022年3月3日)。