

緊急應變人員劑量計 運用於國軍參與核子事故劑量評估介紹

作者簡介



作者邱皓意中尉，畢業於臺灣科技大學化學工程系，在營自選自用軍官班 111 年班，化生放核訓練中心士高班 106-1 期，歷任射線偵檢士、戰劑化驗士，現任化生放核防護研究中心放射技術官。

提要

- 一、個人輻射劑量計是一種用於量測輻射曝露的儀器，對於曝露於輻射環境中的工作人員，可累積工作人員在作業期間所接收到的輻射劑量，做為管理機構輻射防護作為及合理抑低的重要依據。
- 二、現行對於參與任務之人員劑量監測，依核子事故支援中心救災編組，由輻射安全暨決策諮詢組中劑量評估席位，提供所有參與任務人員之體外曝露劑量實施監測，然輻射安全暨決策諮詢組所配賦 OSLD 計讀系統，面臨原廠公司終止維修保養服務及國內代理商技術不足，如持續使用恐難維持作業所需。
- 三、以本篇研究介紹穿戴式個人劑量計與現行個人劑量計之分析比較，期能運用新式儀器設備，使人員體外劑量評估作業更為精進，以符合任務實需。

關鍵字：人員劑量計、核子事故、劑量評估

前言

國軍依中央災害應變中心作業要點成立支援中心，投入人力、物力等各項資源，實施災害搶救、交通管制、人員除污、車輛除污及重要道路除污等任務。各級部隊於核子事故各個階段待命並預備投入大量支援人力，對於所投入之人員依游離輻射防護法第 15 條規定，必須給予適當的輻射防護及個人輻射劑量監測，以確保參與任務之人員所受輻射曝露不超過劑量限度，並依主管機關規定，將監測結果告知當事人並記錄保存備查。

現行對於參與任務之人員劑量監測，依核子事故支援中心救災編組，由輻射安全暨決策諮詢組中劑量評估管制官席位，管制所有參與任務人員之體外曝露劑量，於整備階段發予個人光刺激發光劑量計(Optical Stimulated Lumine

-science Dosimeter, OSLD)，搭配計讀儀使用，可於人員結束任務後於輻射安全暨決策諮詢機動管制車內，即時計讀人員體外曝露劑量值，並提供前進指揮所做為後續任務派遣之依據，確保每位參與任務人員之法定劑量不超過劑量限值，然輻射安全暨決策諮詢組所配賦 OSLD 計讀系統為美國藍道爾(LANDAUER)公司 MicroSTAR 第一代產品，目前面臨原廠公司終止維修保養服務停止供應維修保養及國內代理商技術不足，將導致後續維修保養不易，且 MicroSTAR 第二代並無鏈結第一代系統，如持續使用恐難維持作業所需。故以本篇研究，提出近年以光刺激發光(Optically Stimulated Luminescence, OSL)技術開發之人員劑量計，期能運用在核子事故緊急應變。

現行輻射安全暨決策諮詢組劑量評估系統介紹及問題

為達成機動化、模組化及現代化等目標，輻射安全暨決策諮詢組於民國 103 年委由國家中山科學研究院研製輻射安全暨決策諮詢機動管制車，以國軍中型戰術輪車做為載具，車艙內部搭載相關輻射偵測儀器及作業軟體，可運用網際網路掌握即時輻射情資，並監控各級應變部隊動態。

劑量評估系統可依據輻射安全管制席位發佈之等輻射強度曲線圖，預先評估系統內登管人員輻射劑量剩餘值，劑量評估管制官可即時監看系統，判斷是否建議前進指揮所下達人員撤離或提升防護等級之依據，於人員結束任務後，由劑量評估管制官收回 OSLD，運用車艙內 MicroSTAR 計讀儀讀取輻射劑量值，做為下次人員劑量限值依據。

一、輻射安全暨決策諮詢組劑量計讀系統介紹

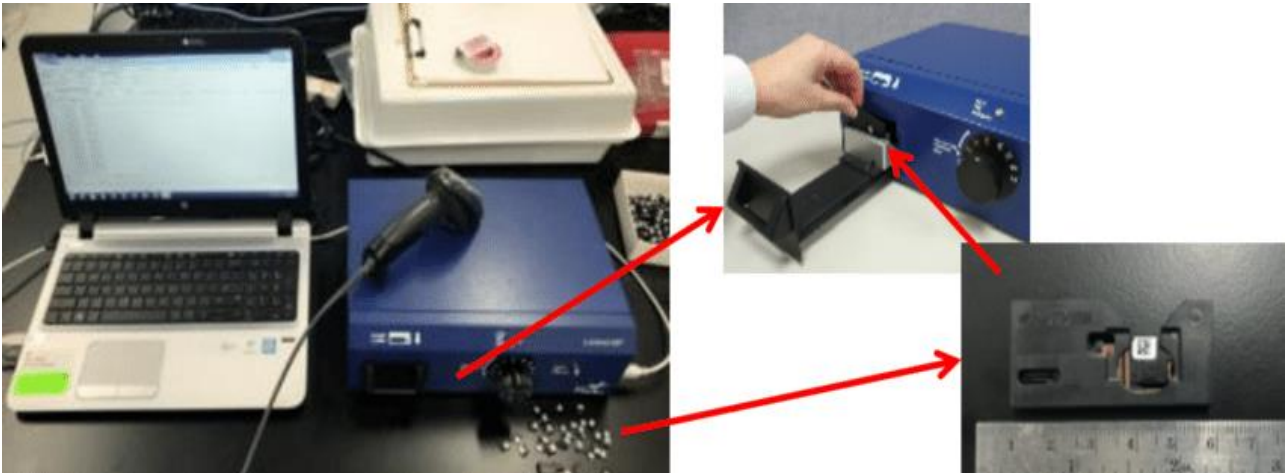
(一)背景介紹

輻射安全暨決策諮詢機動管制車搭載 MicroSTAR 光刺激發光劑量計 (Optical Stimulated Luminescence Dosimeter, OSLD)計讀系統(圖 1)，可取得人員於任務結束後之個人體外輻射劑量，並修正作業軟體內人員預估劑量，使人員劑量管制更為精準。

有別於使用熱發光劑量計(Thermo Luminescent Dosimeter, TLD)(圖 2)，須透過加熱設備取得輻射劑量且無法重複計讀，儀器設備體積過於龐大及維持費用相對昂貴，對於有限的作業艙空間較難符合需求，運用 OSL 技術

其優點具備可重複計讀、不須加熱且在環境中不易衰減，故決定搭載 Micro STAR 光刺激發光劑量計計讀系統於作業艙內，但兩者使用前皆須以迴火儀 (Annealer)(圖 3)將輻射劑量計歸零，確保累積劑量來源為人員使用時所造成。

圖 1 Landauer's MicroSTAR reader with OSL dosimeter placed in holder.



資料來源：https://www.researchgate.net/figure/Landauers-MicroStar-reader-with-OSL-dosimeter-placed-in-holder_fig2_339505747(檢索日期：2024 年 2 月 9 日)。

圖 2 熱發光劑量計計讀儀



圖 3 熱發光劑量計高溫及低溫迴火爐



資料來源：<https://rad.ypu.edu.tw/var/file/30/1030/img/470687278.pdf>(檢索日期：2024 年 2 月 9 日)

(二)工作原理

InLight 劑量計採用藍道爾公司(Landauer)的光刺激發光技術(OSL)而開發出的自動劑量測定系統，劑量計使用氧化鋁探測器($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{C}$)和 OSL 技術測量輻射量，讀取過程使用發光二極體(LED)陣列來刺激探測器，使用含光電倍增管(PMT)的高敏感度光子計數系統來探測和測量 OSL 材料發出的光，刺

激過程中釋放出的光直接與輻射劑量和刺激光強度成正比，OSL 讀取 Al_2O_3 : C 的過程可透過再分析檢驗劑量(大約每次讀取將消耗 0.2 %的信號)。¹

(三)硬體設備

配賦 MicroSTAR 計讀儀(圖 4)、計讀儀電源線、個人電腦、個人電腦電源線和 USB 線。MicroSTAR 計讀儀的儀錶盤和兩個指示燈可控制和監控計讀儀的操作過程，計讀儀透過一條 USB 線與外部電腦連接，該電腦安裝有控制資料記錄，用來分析，資料庫設置和管理的 MicroSTAR 軟體，儀錶盤有 3 個位置，可以用來測量計讀儀標準和監控計讀儀性能，測量每個標準和圖表，比較歷史值以及進行趨勢分析，H/P：原位置；DRK：關閉遮光器，關閉發光二極體，測量光電倍增器管的數值，顯示光電倍增器管內在的電子噪音音量；CAL：打開遮光器，使用內置於塑膠閃爍器的 14C 放射性物質少量豁免額測量光電倍增器管的數值，顯示光電倍增器管的靈敏度和一致性。

藍道爾公司建議在定期使用之前，應根據品質控制反應和計讀儀用法(大約每隔一個月或兩個月使用一次)，檢查計讀儀校正和定期校正情況之後再讀取品質控制劑量計，並針對下列各類型情形制訂不同的校正因數。²

- 1.是否從一個地點移動到另一個地點。**
- 2.經過修理或維護。**
- 3.是否有新的劑量計。**
- 4.是否預期曝光範圍發生變化。**

1 Landauer MicroSTAR 用戶手冊，2017 年 10 月，頁 5

2 同註 1，頁 6

圖 4 MicroSTAR 計讀儀



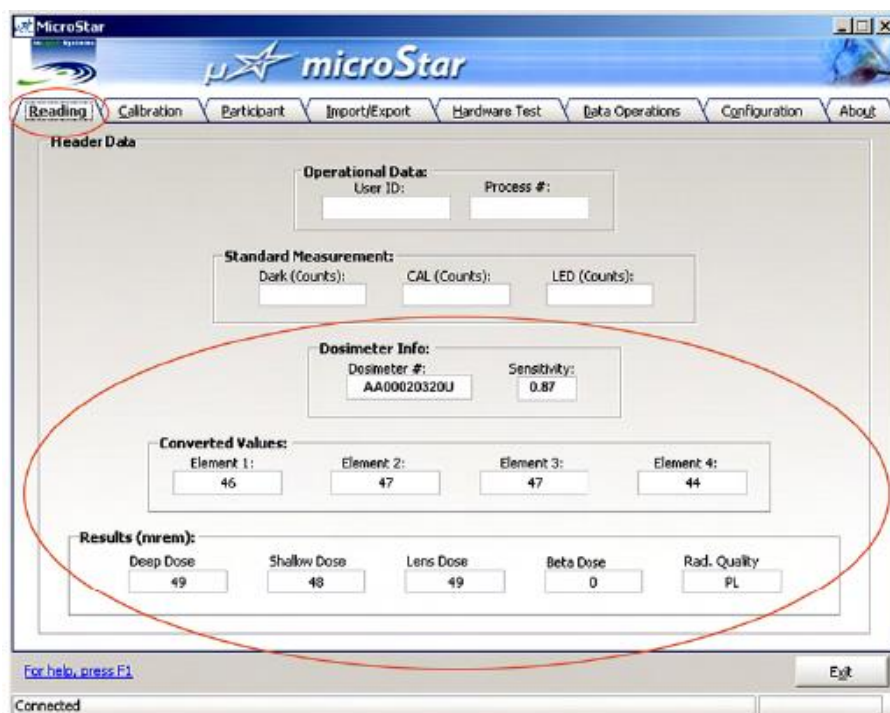
資料來源：整理自 Landauer MicroSTAR 用戶手冊，頁 5。

(四)劑量計計讀作業簡介

讀取劑量計之前，應進入配置頁籤，確認已配置好該劑量計所用的軟體及計讀儀使用該劑量計最後的高劑量和低劑量校正。

- 1.選取讀取頁籤(Reading)(圖5)並輸入劑量計標籤條碼下方的劑量計編號(圖6、圖7)。

圖 5 系統操作頁面(Reading)

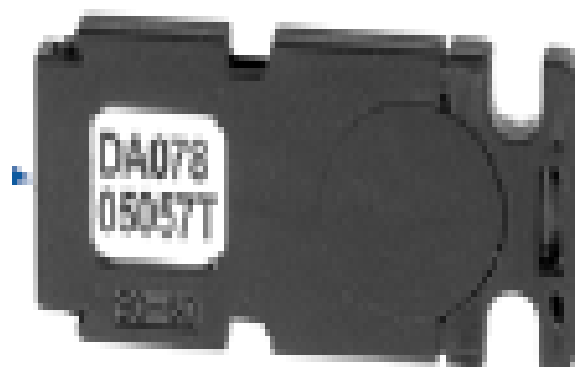


資料來源：整理自 Landauer MicroSTAR 用戶手冊，頁 26。

圖6 InLight劑量計



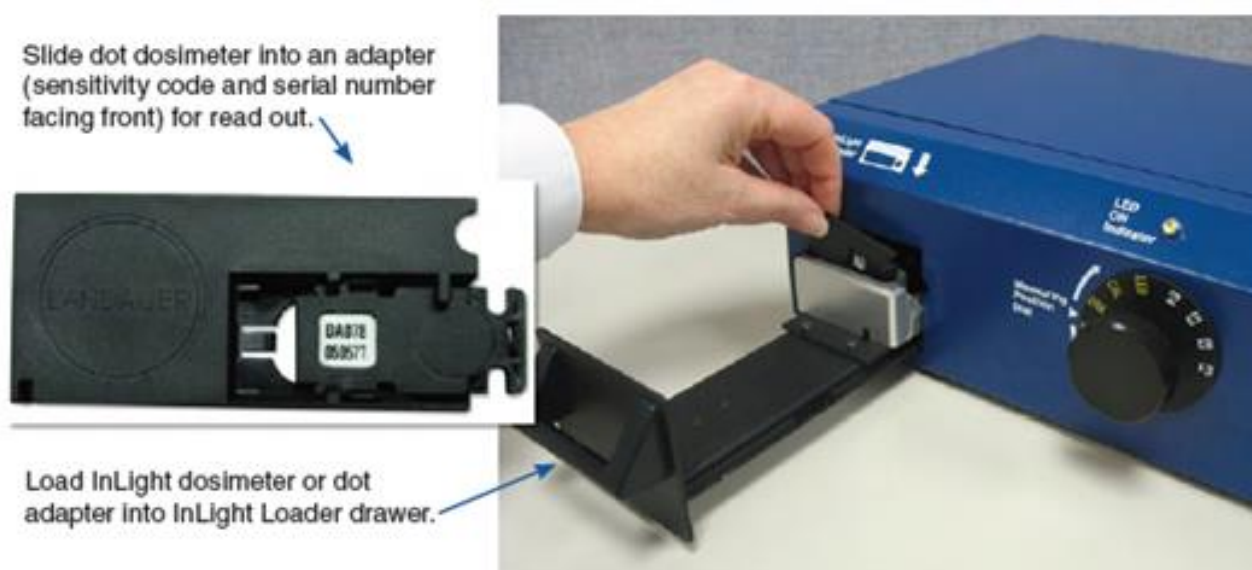
圖 7 nanoDot 劑量計



資料來源：整理自 Landauer MicroSTAR 用戶手冊，頁 27。

- 2.確保測量位置儀錶盤處於H/P，將InLight劑量計或Dot劑量計裝入InLight載入器抽屜內(靈敏度代碼和序列號朝向正前方)(圖8)，進行讀取。

圖 8 放入計讀儀抽屜

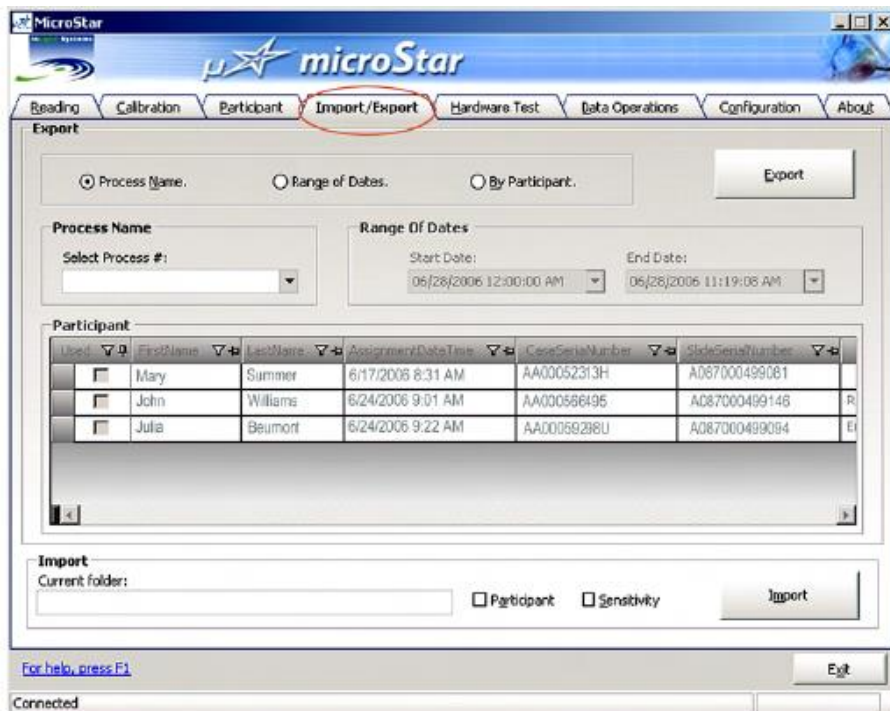


資料來源：整理自 Landauer MicroSTAR 用戶手冊，頁 28。

- 3.順時針把測量位置儀錶盤轉向位置E1，讀取第一個欄位，待出現轉換值後，繼續按照順序轉動儀錶盤(E2-E4)，直到顯示每個位置的讀取結果。當最後一個轉換值出現，系統開始計算結果，顯示深部劑量，淺部劑量，眼球劑量， β 劑量和輻射量。
- 4.資料記錄採用Microsoft Excel工作表輸出，以讀取使用者校準和標準測

量資料創建的表單，根據過程名稱及日期範圍為使用者輸出資料(圖9)。

圖9系統操作頁面(Import/Export)



資料來源：整理自 Landauer MicroSTAR 用戶手冊，頁 30。

二、MicroSTAR計讀系統問題窒礙

(一)原廠維修保養服務終止

由於美國藍道爾公司持續更新並發佈同系列產品 Micro STAR II®(圖 10)，該產品僅能使用 nanoDot 劑量計，並不相容 InLight 劑量計，間接影響輻射安全暨決策諮詢機動管制車所建置之 MicroSTAR 計讀系統面臨原廠停止供應維修保養及國內代理商技術不足等問題。目前已採購並使用之 InLight 劑量計雖有推出 OSLR 計讀儀(如圖 11)，可滿足短時間內大量讀取劑量計的需求，並內建迴火功能，但存在體積龐大不利於機動作業之缺點，故以本篇研究評估可取代或擴充現行劑量計計讀系統之儀器，確保任務遂行。

圖 10 MicroSTAR II®



圖 11 OSLR 劑量計計讀器



資料來源：<https://www.landauer.com/microstarii>、<https://www.landauer.com/product/oslr-reader-series> (檢索日期:2024 年 2 月 9 日)。

(二)劑量計迴火作業窒礙

輻射安全暨決策諮詢機動管制車並無購置光刺激發光劑量計迴火儀，現行作法採定期協請國立清華大學原子科學技術發展中心保健物理組實施迴火作業(圖 12、圖 13)，並將劑量計存管於陸軍化生放核訓練中心鉛室內，降低劑量計在平時累積之劑量，然而核子事故發生之時，恐難及時將大量劑量計迴火歸零後送發至需求單位；在時間受限狀況下，必須先行計讀劑量計內已累積之劑量值，再於任務結束後收回計讀，計算差值，程序繁複且須耗費大量人力及時間。雖可動支預算採購迴火儀，但因其體積過於龐大且維持不易，將不利於機動作業。

圖 12 OSLD 迴火儀



圖 13 OSLD 迴火儀內部構造



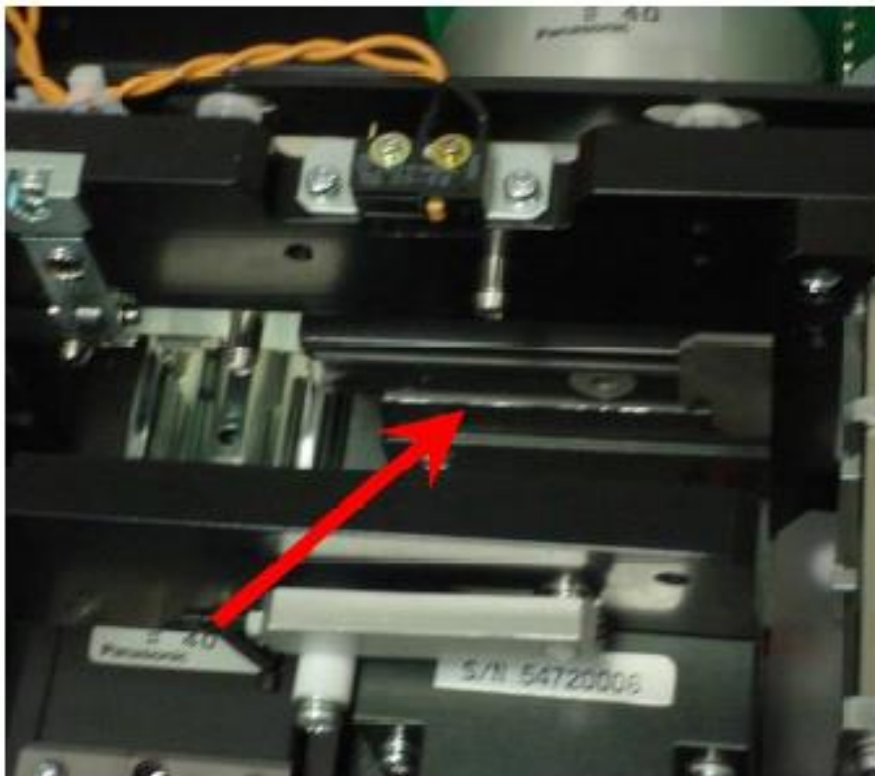
資料來源：國立清華大學原子科學技術發展中心保健物理組人員劑量實驗

室，(拍攝日期：2023 年 8 月 16 日)

(三)機動使用適切性

自輻射安全暨決策諮詢機動管制車撥交以來，主要參與核安演習及各項教育訓練等任務，發揮其機動快、開設迅速，有效達成各項任務目標，然 MicroSTAR 計讀儀雖已透過防震、防水、專用艙位等措施減低機動過程中對儀器帶來的影響，但使用時間已逾 10 年，期間兩次日本原廠技師(Nagase Landauer)實施校正時均表示，計讀儀有受潮且滑軌處(如圖 14)有咬合鬆動現象，雖可正常使用，但因前述維修保養服務即將終止原因，後續恐難修復改善。為避免因機動過程中所導致的不良影響，於後續性能提升之劑量評估系統，建議將機動適切性納入考量，如因技術現狀無法避免，亦可考量攜帶式計讀儀，藉以避免使用期間因機械因素而影響任務遂行。

圖 14 支架軌枕示意圖



資料來源：整理自 Landauer Micro STAR 用戶手冊，頁 59。

光刺激發光技術介紹

光刺激發光(Optically Stimulated Luminescence, OSL)技術應用於輻射劑量計為美國藍道爾公司(Landauer)所開發，利用氧化鋁($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{C}$)材料經輻射

照射後，電子被游離至價電帶 (valence band)，進而產生電子-電洞對 (electron-hole pairs)，電子被固體材料中存在的晶體缺陷(defect)捕捉，當固體材料再經特定波長之光源照射後，先前被陷阱捕捉的電子因獲得能量而脫離陷阱，致使電子與電洞再結合後釋放出螢光，此即 OSL 訊號。其最大的優點在於讀取訊號的過程中不須要加熱樣品，而以光學技術讀取，可避免加熱過程中激發光減弱之熱消光 (thermal quenching) 效應。³

光刺激發光劑量計(optical stimulated luminescence dosimeter, OSLD)，其靈敏度高、偵測範圍廣、誤差及體積小、計讀時穩定性高，不易受人為因素影響，並可於迴火後重複使用等優點，搭配 MicroSTAR 計讀儀讀取 OSL 訊號，可透過標準照射場校正或校正劑量計執行系統校正後，求得輻射造成的累積劑量值⁴。

圖 15 光刺激發光及熱發光示意圖

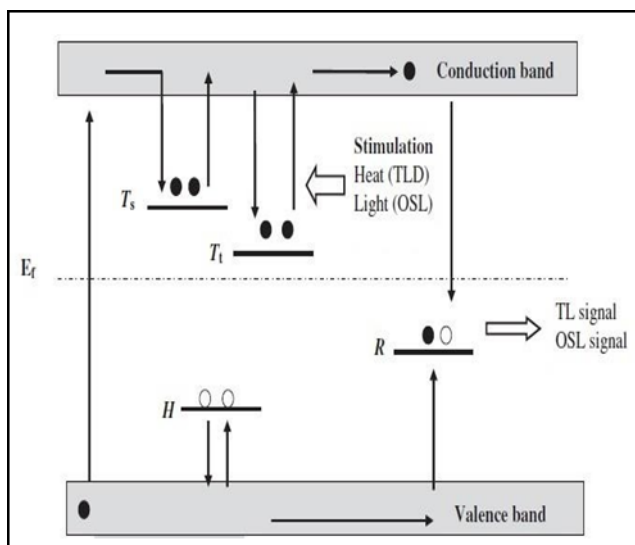
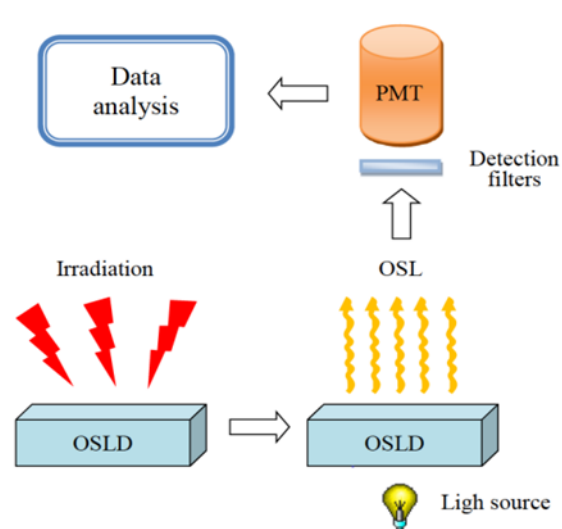


圖 16 OSLD 度量輻射的機制



資料來源：<https://hdl.handle.net/11296/9m8h5n>(檢索日期:2024年2月9日)。

緊急應變人員劑量計分析比較

緊急應變人員劑量計為利用美國藍道爾公司(Landauer)開發之光刺激發光技術(OSL)，主要使用在輻射事故緊急應變及輻射監測領域，透過 RadWatch 劑

3 丁健益、林紫綾、蘇玫嘉，《三氧化二鋁光激發光劑量計特性之研究》，《樹人學報》，15期，高雄樹人醫護管理專科學校，2018年9月，頁87

4 林昱逢，《光激發光劑量計於宜蘭地區環境輻射監測之應用與探討》，元培醫事科技大學醫學影像暨放射技術系碩士論文，2017年9月，頁9

量計(圖 17)搭配 RadLight 計讀儀(圖 18)提供緊急應變或急救人員在現場立即讀取劑量數據，大幅提高人員作業效率。

圖 17 RadWatch 劑量計



圖 18 RadLight 計讀儀



資料來源：<https://www.landauer.com/periodic-staff-monitoring>(檢索日期：2024 年 2 月 10 日)

一、RadWatch劑量計介紹

RadWatch 劑量計設計用於抵禦消防員或緊急應變人員所遭遇的作戰和其他極端環境條件，具有主要和次要感應器，次要感應器可在主要感應器在作戰條件下無法使用時作為主要感應器的備用，佩戴在手腕或胸部，它可以測量由光子和中子引起的全身劑量，內建的 RFID 晶片儲存著身份識別感應器校正數據，並且可存儲最近分析的劑量結果。⁵

運作原理為利用一個由三個 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{C}$ OSL 粉末製成的主要探測器，評估組織對中子和光子吸收的劑量(cGy)，以濾波器區分為光子能量、光子引起的劑量及中子引起的劑量，它們被塗在一張透明塑膠薄膜上，感應器中的每個盤片都被特定的濾波器組件所包裹，由手錶蓋保護，直到插入 RadLight 計讀儀中，該計讀儀會自動將滑塊定位在光學引擎上進行分析。⁶

⁵ <https://www.landauer.com/radwatch-dosimeter-watch>，檢索日期 2024 年 2 月 10 日。

⁶ 同註 5。

圖 19 RadWatch 劑量計內部構造



資料來源：<https://www.landauer.com/radwatch-dosimeter-watch>，檢索日期
2024 年 2 月 10 日。

二、RadLight計讀儀介紹

便攜式的 RadLight 計讀儀約重 2.2 公斤，採用高抗衝擊塑料製成，抗刮痕、凹痕、黴菌、真菌和化學品，不會因大量中子通量情況下而導致任何材料變得具有放射性，所有主要維修更換零件都可以從一個計讀儀換到下一個計讀儀。

RadLight 計讀儀可以在 18 °C 至 50 °C 的溫度範圍內持續使用一組四顆 AA 鹼性電池達 21.5 小時，在非常低的溫度(-10 °C 至 -20 °C)下，計讀儀的操作時間跟隨電池的低溫性能，連續操作時間將減少到正常溫度的大約三分之一。在所有溫度下的連續操作中，計讀儀每分鐘可處理 2.4 個劑量計或每小時 144 個，平均每個劑量計約 27 秒。⁷

⁷ <https://www.landauer.com/radlight>，檢索日期：2024 年 2 月 10 日。

圖 20 RadLight 計讀儀內部構造



資料來源：<https://www.landauer.com/radlight>(檢索日期：2024 年 2 月 10 日)

三、美國RadWatch-RadLight應用

表 1 美國 RadWatch-RadLight 應用

組織	用途
美國陸軍-戰術(NVLAP 法定記錄劑量認證，實驗室代碼 100518-0)	緊急應變-戰術現場使用的現場部署
國民警衛	緊急回應-分配給所有民間支援隊 (Civil Support Team ,CST)
聯邦緊急管理局	緊急應變-分配給所有 28 個區域回應地點
賓州和伊利諾伊州緊急管理計劃	緊急應變-部署 45,000 個 OSL 劑量計
核電廠	52% 的設施使用 OSL 劑量計

資料來源：<https://www.landauer.com/radwatch-dosimeter-watch>(檢索日期：2024 年 2 月 10 日)

圖 21 RadWatch-RadLight 應用(1)

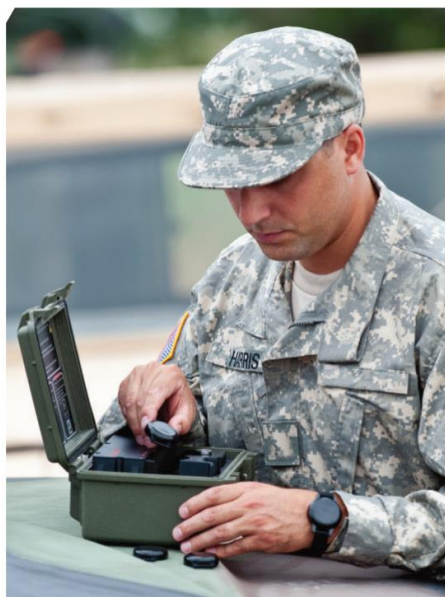


圖 22 RadWatch-RadLight 應用(2)



資料來源：<https://www.landauer.com/radlight>(檢索日期：2024 年 2 月 10 日)

四、InLight、RadWatch、nanoDot劑量計比較分析

人員輻射劑量計種類繁多，但大多為光刺激發光劑量計(OSLD)及熱發光劑量計(TLD)兩大類，兩者各有優劣，本文前段已有說明使用光刺激發光劑量計的原由背景，於本節分析比較使用光刺激發光技術之市售劑量計(InLight、RadWatch、nanoDot)及搭配之計讀儀，並納入輻射安全暨決策諮詢組於核子事故支援作業實需，來評估出適切之人員輻射劑量計。

由於核子事故發生之時，依不同階段，各行政部門及國軍須於短時間內投入參與動員，故以機動性及抗震防水做為評估之重點，計讀儀所計讀之準確性關乎設備平時保養校正及工作環境條件，若原廠設計並無建議或許可於嚴苛環境條件下作業，將導致計讀儀無法正常發揮作用。由表 2 可見，以軍用規格設計之 RadWatch-RadLight 較能於核子事故緊急應變狀況下，運用其輕量化、抗震防水及獨立作業之優勢，搭配輻射安全暨決策諮詢機動管制車作業系統，可主動掌握所有參與支援任務人員之輻射劑量。

表 2 InLight、RadWatch、nanoDot 劑量計比較表

劑量計種類	InLight		RadWatch	nanoDot
計讀儀	MicroSTAR	OSLR50 ⁸	RadLight	MicroSTAR II
機動性	定點作業	定點作業	可攜行	定點作業
抗震防水	否	否	可	否
重複計讀	可	可	可	可
迴火作業	否	可	可	可
售後服務	全球已停產	國內代理商	國內代理商	全球已停售
重量	2.5 公斤	50 公斤	2.2 公斤	2.3 公斤
批量計讀	否	可	否	否
計讀時間 (每片劑量計)	約 30 秒	約 12 秒 (1 小時 300 片)	約 27 秒	約 13 秒
工作溫度	N/A	10 °C~35 °C	18 °C~50 °C	7 °C~26 °C
電力供應	市電	市電	蓄電池 (21.5 小時)	市電
劑量計 穿戴方式	佩掛式		腕錶/佩掛式	僅佩掛式
備註	依據美國 Landauer 公司 2023 年 11 月 15 日聲明指出，因 MicroSTAR II 計讀儀 LED 光束與 nanoDot 劑量計交互作用可能導致測量不準確，故召回並停售 MicroSTAR II 計讀器及 nanoDot 劑量計。			

資料來源：整理自 <https://www.landauer.com/periodic-staff-monitoring>(檢
索日期：2024 年 2 月 10 日)

五、國內人員劑量計使用概況

依據游離輻射防護法第 15 條規定，為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測，該監測之度量及評定，應由主管機關認可之人員劑量評定機構辦理；另人員劑量評定機

⁸ OSLR 計讀儀，區分 OSLR50、OSLR250、OSLR700 三種型號供使用者選擇，各型號代表單次可計讀最大數量。

構認可及管理辦法第 3 條明訂，劑量計指熱發光劑量計、膠片劑量計、光刺激發光劑量計及其他經主管機關公告之劑量計。

RadWatch-RadLigh 計讀系統，目前未獲國內相關機構採購使用，除原設計考量外，人員劑量評定機構主要服務對象之輻射工作人員，多從事醫療、研究及設備操作等，相較支援核子事故緊急應變人員，大多定點操作，以每月送回人員劑量評定機構計讀，輪替劑量計方式即滿足作業需求。國內多數人員劑量評定機構所使用劑量計種類為熱發光劑量計(TLD)，使用光刺激發光劑量計(OSLD)對外服務機構僅國立清華大學人員劑量實驗室，台灣電力股份有限公司放射試驗室已採購 OSLR 計讀儀(OSLR 250、OSLR 700)⁹並取得認證中。

六、RadWatch-RadLight計讀系統運用成效分析

輻射安全暨決策諮詢組所使用之人員劑量計為 InLight 劑量計搭配 MicroSTAR 計讀儀，使用上面臨如維修技術服務終止、無自主迴火劑量計能力及 MicroSTAR 計讀儀滑軌咬合鬆動等問題，為確保劑量評估作業更臻完善，且貼近國軍支援核子事故緊急應變實況，輻射安全暨決策諮詢機動管制車劑量計讀系統更新，應著眼於設備之機動性、抗震防水及易於操作等特性，目的在克服設備於機動時所造成的不良影響，另一方面，如設備能在使用上能更簡易輕便，將會提升其使用彈性。

(一)預期成效評估

RadWatch-RadLight 計讀系統係由美國藍道爾公司(Landauer)開發，國內代理商引進販售，採軍用規格設計，有別於以實驗室設備執行機動開設所造成的不穩定性，RadLight 計讀儀可發揮其設計優勢，在運用於核子事故緊急應變上更能適應嚴苛環境條件。

於國軍支援核子事故緊急應變狀況下，可以各支援小隊為單位，每單位攜行一部 RadLight 計讀儀搭配多個 RadWatch 劑量計，相較現行作業模式，將劑量計配發個人待任務結束後收繳計讀，可省去往返輻射安全暨決策諮詢機動管制車的路程時間及計讀時間，各支援小隊能獨立完成劑量計的計讀作業和迴火作業，在作業人員輪替使用上更加彈性，更能及時反映作業人員當

9 同註 8。

前累積劑量值，輻射安全暨決策諮詢組劑量評估管制官亦能依據劑量評估系統預估之劑量值，主動告知小隊長實施人員輪替，並修正作業艙內劑量評估系統劑量值與實際人員劑量值，降低作業風險。

以現行計讀系統恐難於短時間內計讀大批劑量計供作業人員輪替使用，然無論是委由外部實驗室計讀或添購劑量計及迴火儀，均將受到時間及費用上的壓力，如能以此計讀系統作為更新標的或性能要求，在經濟成本允許下，將能大幅改善現行計讀系統作業窒礙，提升作業效能。

(二)限制因素分析

人員劑量評估須具備較高專業知識要求，雖可藉由輻射安全暨決策諮詢組提供專業建議及劑量判讀結果，但為有效運用此計讀系統改進現行作業模式，劑量計的計讀作業及迴火作業須仰賴各支援小隊獨立完成，故於平時，國軍參與核子事故緊急應變人員除接受輻射防護訓練外，計讀系統的操作訓練將成為必要課程之一。

此計讀系統打破原先存在實驗室的作業模式，提供使用者更為簡易的操作模式，為有效確保計讀結果，計讀儀及劑量計均須透過定期校正或檢驗來維持其有效性，故如能於建購設備同時，引進原廠技術，通過第三方認證，建立一套校正或檢驗方法，便能避免日後遭業者漫天要價，終因高昂維護成本而卻步。

緊急應變人員劑量計購置成本及優缺點比較

為符合輻射安全暨決策諮詢組作業實需，避免計讀作業因操作不慎或環境因素導致劑量計讀值有疑慮，選用光刺激發光劑量計(OSLD)，方能具有重複計讀優點，相較熱發光劑量計(TLD)亦無須配置加熱系統及冷卻系統。又 MicroSTAR II 計讀儀搭配 nanoDot 劑量計已因原廠公司聲明召回，故本節比較方案，考量後續維修保養及可實施迴火作業，以擴充現有輻射安全暨決策諮詢機動管制車 InLight 劑量計搭配 OSLR50 計讀儀或採用 RadWatch 劑量計搭配 RadLight 計讀儀，兩案實施比較。

表 4 優缺點比較表

方案 A (擴充現有設備)	考量順序	方案 B (緊急應變人員劑量計)
InLight-OSLR50		RadWatch-RadLight
	機動性	優
1.計讀儀體積較大 2.震動將導致不良影響		1.計讀儀以攜行箱方式設計 2.蓄電池供電
	環境耐受度	優
實驗室設備對環境條件要求較高		對溫度、細沙、壓力、濕度等環境條件不敏感
優	批量計讀	
1.可同時計讀 50 個劑量計 2.自動化設計		無法同時計讀多個劑量計
優	購置成本 ¹⁰ 單位：新臺幣(元)	
1.計讀儀成本需求約 600 萬 (600 萬/具，需求數：1 具) 2.劑量計成本需求約 105 萬 (3500 元/個，需求數：300 個)		1.計讀儀成本需求約 2000 萬 (400 萬/具，需求數：5 具) 2.劑量計成本需求約 60 萬 (6000 元/個，需求數：100 個)
	計讀便利性	優
1.操作步驟較繁複 2.使用前須暖機 1 小時		1.可供作業人員於現地計讀 2.計讀儀無須暖機時間
優	認證獲得	
1.國內已有機構通過認證 2.可於國內執行試驗比對		1.須參考國外引進比對方法 2.國內目前無此裝備認證

資料來源：作者整理

由表 4 顯示兩方案比較結果，優先考量項目順序依作者實際參與任務需求

10 購置成本報價為電訪代理商取得，不代表最終購置金額，訪商日期：2024 年 5 月 16 日；以 100 人區分各小隊投入支援為例，考量人員輪替作業效率，InLight 劑量計購置需求數以人數 3 倍作計算，RadWatch 劑量計可現地計讀及迴火，故需求數僅以人數計算。

而定，以緊急應變為目的而開發出的計讀系統 RadWatch-RadLight 於作者優先考量項目「機動性」和「環境耐受度」，較優於 InLight-OSLR50 計讀系統；「購置成本項目」亦為考量重點之一，由於目前市售僅 RadWatch-RadLight 計讀系統具機動作業性能，後續如國內外廠商提供具備相關性能的計讀系統，可再就各項考量項目實施綜合比較。

未來展望

國軍化學兵部隊於戰時依作戰計畫執行核子、輻射偵測、除污，於平時執行輻射劑量偵測及污染除污等災害救援任務，化學兵是國軍化生放核防護專責部隊，化生放核戰場環境具備「高污染、高危害、高毒性」特性，必須儘早採取有效防護整備降低傷損，快速應變支援¹¹。

在執行前述任務時，個人的安全防護實為重要，輻射劑量警報器提供所在環境的即時輻射劑量率，人員劑量計便可量測人員接受的體外輻射劑量，過程中隨時須仰賴儀器給予人員相關重要資訊，儀器的各項能力，如妥善度、精準度、穩定度等，將影響作戰或應變支援任務的成敗。本篇研究就緊急應變狀況下，現行劑量計計讀系統遭遇的窒礙，評估比較擴充現有設備或購置具緊急應變性能的設備，評估比較兩者的優缺點，期能成為國軍化學兵部隊未來提升裝備的重要參考。

結語與建議

緊急應變人員劑量計目的作為第一線參與核子事故緊急應變任務人員之劑量管制，使人員所接受之累積劑量不致超過法定限值，雖各類型劑量計均能用於人員劑量管制，但相對於具備機動性強及抗震防水的能力，做為實驗室內使用的劑量計計讀系統，儀器設備作業條件便過於嚴苛，導致維護管理不易，較不利於作戰或機動作業使用，在相同的技術應用下，簡易且輕便的劑量計計讀系統將可為緊急支援任務帶來更有效率的作業模式。

輻射安全暨決策諮詢機動管制車迄今已使用超過十年，以現代化、模組化、機動化為基礎設計而成，在核子事故緊急應變任務扮演不可或缺的角色；然經過歷次核安演習演練及教育訓練，已有部分軟硬體已不符實需，包含劑量計計

¹¹國防部陸軍司令部，《陸軍化學兵部隊指揮及參謀作業教範(第二版)》(桃園：陸軍司令部，民國 105 年 11 月 9 日)，頁 1-2

讀系統、輻射情資傳輸系統、作業平台圖資及載具保修等方面待更新強化，在經費預算有限情形之下，必須研討出最優先須更換或提升之軟硬體，逐步將軟硬體更新後，期能持續在輻射情資整合及輻射劑量管制發揮優異的成效。

參考資料

一、書籍

- 1.國防部陸軍司令部印頒，《陸軍化學兵部隊指揮及參謀作業教範(第二版)》，(桃園：國防部軍備局第401印製廠，2016年11月)。

二、論文期刊

- 1.丁健益、林紫綾、蘇玟嘉，〈三氧化二鋁光激發光劑量計特性之研究〉《樹人學報》，15期，高雄樹人醫護管理專科學校，2018年9月。
- 2.林昱逢，〈光激發光劑量計於宜蘭地區環境輻射監測之應用與探討〉《元培醫事科技大學醫學影像暨放射技術系碩士論文》，2017年9月。

三、網路資料

- 1.美國Landauer公司，<https://www.landauer.com> (檢索日期：2024年2月)。
- 2.元培醫事科技大學，<https://rad.ypu.edu.tw/var/file/30/1030/img/470687278.pdf> (檢索日期：2024年2月)。
- 3.巨研科技公司，<https://www.getech.com.tw/index.php?lang=tw> (檢索日期2024年2月)。
- 4.國立清華大學原子科學技術發展中心，<https://hpd.site.nthu.edu.tw/p/412-1190-2997.php> (檢索日期：2024年2月)。
- 5.https://www.researchgate.net/figure/Landauers-MicroStar-reader-with-OS-L-dosimeter-placed-in-holder_fig2_339505747 (檢索日期：2024年2月)。