

出國報告（出國類別：開會）

獲邀參加世界核子物料管理協會第65屆年會 (INMM 65th annual meeting)

服務機關：核能安全委員會 王錫勳薦任技正
與姓名職稱：核能安全委員會 林琦峰薦任技正
國家原子能科技研究院 秦佳珺研究助理

派赴國家/地區：美國/奧勒岡州

出國期間：113年7月19日至113年7月27日

報告日期：113年10月8日

摘要

本次出國公差係獲得美國輻射源保安辦公室(Office of Radiological Security, ORS)邀請，由核能安全委員會及國家原子能科技研究院共同派員，於核子物料管理協會(Institute of Nuclear Materials Management, INMM)第 65 屆年會與美方合作發表論文「台美輻射源終期管理之最佳實務」(Best Practices for Radioactive Source End-of-Life Management in the United States and Taiwan)，論文主軸為台美雙方之輻射源終期管理的技術交流。我方人員除與美方共同發表論文，促進台美管制技術交流，亦藉由參加國際研討會的機會，蒐集國際上輻射源終期管理、保安管制及專業管理技術之相關資訊。

目次

摘要.....	i
目次.....	i
一、目的.....	1
二、過程.....	1
(一) 行程.....	1
(二) 出席「世界核子物料管理協會第 65 屆年會」.....	1
1. 主辦單位概述.....	1
2. 會議議程及議題.....	1
3. 台美合作論文發表紀要.....	2
4. 口頭論文重點紀要.....	4
三、心得及建議.....	23
附件.....	25

一、目的

美國能源部國家核子保安局(National Nuclear Security Administration, NNSA)轄下之輻射源保安辦公室(Office of Radiological Security, ORS)負責推動美國輻射源保安政策，與我方透過台美合作平台長期交流輻射源保安及管理技術與機制，為深化雙方技術交流，美國輻射源保安辦公室提議與我方就「廢棄之高活度密封射源終期管理與處置技術」合作撰寫國際會議論文，並特別來信邀請本會及國原院參加核子物料管理協會(INMM)第 65 屆年會，以共同完成論文發表。

本次出國公差除與美方共同發表論文，促進台美管制技術交流，亦藉由參加國際研討會的機會，蒐集國際上輻射源管制及專業管理技術之相關資訊，因會議議題包含核子物料及放射性物質保安管制，故由核能安全委員會核物料管制組、輻射防護組、及國家原子能科技研究院化學工程研究所共同派員參加，

二、過程

(一)行程

日期	地點	工作內容
7月19日	美國	路程(台北-美國)
7月20-25日	美國	參加國際核子物料管理協會第65屆年會 (INMM 65th annual meeting)
7月26-27日	台北	路程(美國-台北)

(二)出席「世界核子物料管理協會第65屆年會」

1. 主辦單位概述

本會議的主辦單位核子物料管理協會(Institute of Nuclear Materials Management, INMM) 成立於 1958 年，其會員來自國際上的產、官、學、研等領域，會員人數迄今已成長至超過上千人，為一歷史悠久且頗具規模的國際組織，協會宗旨係透過增進科學知識、專業技術、最佳實務及政策對話等面向，達成核子物料及其它放射性物質的安全與保安等任務。協會轄下共有 6 個核子物料管理部門，分別為「設施營運」、「國際保防」、「物料管理」、「防止核擴散」、「核子保安」及「包裝、運送、移置」部門。核子物料管理協會負責運作美國國家標準協會(American National Standards Institutes, ANSI)核子物料標準 N14及 N15的審訂委員會，顯見該協會充分具備專業知能與技術資源可供專家諮詢交流。

2. 會議議程及議題

核子物料管理協會每年 7 月均舉辦國際年會，年會中安排超過 50 個

以上涉及核子物料管理所有面向的發表會，涵蓋的議題包含保安、防止核擴散、國際保防、設施營運、包裝與運輸、用過核子燃料、資訊保證 (information surety)、檢查、圍阻與監視、量測技術、核子處理、教育訓練等，提供核子物料管理所有面向最新技術的交流機會。本次年會為協會舉辦之第 65 屆年會，議程表詳如表1。

3. 台美合作論文發表紀要

美國能源部(DOE)國家核子保安局(NNSA) 輻射源保安辦公室(ORS)與我方共同發表論文探討廢射源安全管理議題，並邀請我方核能安全委員會(以下簡稱核安會)與國家原子能科技研究院(以下簡稱國原院)參加世界核子物料管理協會(INMM)第65屆年會，雙方於「射源和物料生命週期管理」(Source and Material Lifecycle Management)分組會議中，由我方核安會與美方勞倫斯利佛摩國家實驗室(Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL)共同簡報「台美輻射源終期管理之最佳實務」(Best Practices for Radioactive Source End-of-Life Management in the United States and Taiwan)(如附件)。本次出國公差人員會場活動剪影如圖 1。

本合作論文中，美方及我方就國內廢射源的處置技術及管理現況進行交流。美國能源部輻射源保安辦公室(ORS)與能源部轄下國家實驗室合作，為第 3 類放射源或較低劑量廢棄射源開發了一種成本非常低的臨時貯存方案。它設計使用現成材料，在大約 40 小時內可建造完成，並且可以現場建造，無需昂貴的工業設備。可安全就地存放(Secure In-Place Storage, SIPS)，其設計壽命可達 10 年以上，由圍繞密封、混凝土和鋼筋所組成，如圖 2。美國輻射源保安辦公室(ORS)目前向全球管制機構或其他負責機構提供 SIPS 支援，並可提供由 ORS 資助之人力技術等至現場建造 SIPS，該計畫預計於2025年進行，美方認為 SIPS 臨時貯存方案將可減輕廢射源對遺失和被盜的風險。ORS 另協助廢射源之遣返和運送(如圖 3)，並提供運送容器及技術能力服務，及協助與製造商聯繫以運返給供應商。ORS 另開發筒倉貯存系統(Silo Storage System, S3)(如圖 4)，根據使用者需求提供長期貯存功能，該系統可降低客製化貯存系統涉及之額外工作與成本，模組化設計可允許使用者依據貯存需求進行擴充。類似設計已在美國實施了近 60 年。

我國國原院自民國67年起暫代貯存報廢之廢棄射源，接收核能電廠以外醫、農、工、學術及研究等單位所產生之廢棄射源，常見的廢棄射

源包含核子醫學加馬相機 Co-57射源、密度量測用之 Co-60射源、儀器控制用之 Cs-137射源及研究用 Po-210射源等。國原院核對廢棄射源資料後，把廢棄射源存放在統一制式規格之金屬箱子，外表面標示輻射標誌，考量到貯存空間的利用，金屬容器會堆疊，較大型廢棄射源則會放在貯存架上，所有廢棄射源集中放置在建物內管理。為維持廢棄輻射源保安，國原院由國家警察負責院區安全管制任務，院區圍牆裝設有刺鐵絲網，大門前夜間增設拒馬、鐵柵欄以防止外力破壞及非法侵入，並於大門設置車輛輻射監測系統，貯存館舍另設置兩道門禁管制，並有設置監視器，經由多重防護，避免廢棄射源遺失遭竊

會中我方並就與會人員對我方簡報內容與台灣廢射源管理之相關提問，進行答復說明。有關分組會議與會人員之提問與答復重點彙整如下：

(1)國原院目前貯存的廢射源主要是包含那些核種？

答復說明：國原院目前貯存廢射源所含核種和大部分國家雷同，主要是鈷-60(Co-60)、銻-137(Cs-137)及銥-192(Ir-192)等核種。

(2)國原院從何時開始承接台灣之小產源廢射源？

答復說明：1979年國原院開始代為接收處理台灣小產源單位產生之廢棄物(包含廢射源)，目前安全貯存於國原院內合格的放射性廢棄物貯存設施內。

(3)台灣是否有廢射源最終處置場？

答復說明：台灣目前無廢射源最終處置場，未來將移入放射性廢棄物集中式貯存設施或最終處置場。

(4)國原院有接收來自中國的廢射源嗎？

答復說明：沒有。

(5)國原院有使用國際間模組化通用運輸(OPTImal Modular Universal Shipping, OPTIMUS) 容器，執行廢射源運送和貯存嗎？

答復說明：沒有。

有關本次台美合作發表論文，會前核安會、國原院與美方召開3次視訊會議，透過視訊會議雙方進行論文架構討論及任務分工，並確認撰寫方向，並藉由視訊會議討論彼此對廢射源之管理實務經驗與分享可行技術，進一步強化國際交流合作。我方完成台灣廢棄輻射源管理概況說明資料與美方論文彙整後，雙方於美國波特蘭 INMM 第65屆年會共同發表研究成果，順利完成本次合作。

4. 口頭論文重點紀要

因年會口頭論文所涉領域甚廣，本次出國人員依其專業分項陳述所蒐集到的資訊。

(1) 高活度射源運輸的 OPTIMUS 容器

本報告由美國 NAC 公司 Mike Valenzano 先生簡報，說明為有效解決高活度射源的運輸需求，美國開發「模組化通用運輸(OPTImal Modular Universal Shipping, OPTIMUS)」容器以滿足產業需求。OPTIMUS 容器開發，從原先專為低活度放射性物質運送設計，逐漸提升至能夠處理貯存更高活度放射性物質。目前 OPTIMUS 容器可適用於高活度射源的運送及貯存，並可容納更多數量的高活度射源(例如 Cs-137和 Co-60)。模組化生產之運送容器 OPTIMUS-H 適用於高活度內容物，OPTIMUS-L 適用於低活度內容物，兩者皆可透過公路、鐵路或海運大批運送放射性物質，容器具屏蔽功能並可滿足運送要求。OPTIMUS-L 容器之實體與示意情形分別如圖 5、圖 6所示。

OPTIMUS-H 容器具有厚實的加馬輻射屏蔽，適用於運送高放射性物質(radioactive materials, RAM)，而 OPTIMUS-L 容器適用於需要較少伽馬屏蔽的放射性物質。OPTIMUS-H 和-L 容器均採用相同密封容器(Cask Containment Vessel, CCV)設計。惟由於不同用途屏蔽需求，OPTIMUS-H 及-L 之外包裝設計亦有所不同。OPTIMUS-H 的外包裝由厚壁外屏蔽組成(Outer Shield Vessel, OSV)和衝擊限制系統(Impact Limiter System, ILS)，而 OPTIMUS-L 的外包裝包括不銹鋼組件，填充硬質聚氨酯泡沫，具有抗衝擊和耐熱性。表2為 OPTIMUS-H 和-L 容器細部尺寸。

NAC 在正常運送(Normal Conditions of Transport, NCT)及假設事故(Hypothetical Accident Conditions, HAC)之自由墜落測試條件下，對屏蔽組件進行結構分析，OPTIMUS-L 符合 ASME 規範的允許應力範圍。另最大可屏蔽活度高達2,800居里的 Cs-137和5居里的 Co-60，對應情節下最大熱負載約為13.5瓦，低於 CCV 腔體內空氣對流50瓦的限制。證明熱分析 CCV 腔體內屏蔽元件的組件溫度，在正常運送條件(NCT)和假設事故條件(HAC)下皆可以接受。

(2) OPTIMUS-L 容器獲得 NRC 對 HALEU 的認證

本報告係 NAC 公司 Mike Valenzano 先生簡報，先進核反應器使用的高含量低濃縮鈾(high-assay low-enriched uranium, HALEU)燃料，其特點是

U-235濃縮度在5%至20%之間，被認為是目前正在開發的幾種先進反應器設計中的首選燃料。目前美國供應的 HALEU 燃料，大部分來自愛達荷國家實驗室(Idaho National Laboratory, INL)的實驗型增殖反應器。燃料精煉後，污染物仍會殘留在新生產的燃料中，因此即使作為新燃料，該燃料也必須採用 B 型容器進行運送。儘管核工業在安全運送大量低濃縮鈾和高濃縮鈾物料方面擁有數十年的經驗，但隨著這種新型燃料潛在的大規模生產，HALEU 燃料的運送面臨一系列挑戰。

2019 年 INL 為美國 HALEU 燃料的運送制定了管制建議。經確認 OPTIMUS-L 容器可符合規定的容器規範，因為其有效負載能力大、尺寸小、重量輕、處理程序簡單、及可簡化設施內的裝卸操作，使其成為運送各種形式 HALEU 燃料的理想容器。美國能源部(DOE)亦對 OPTIMUS-L 容器進行了結構、熱、密封、屏蔽和臨界等安全評估，以評估是否符合適用的法規要求。

OPTIMUS-L 容器於2021年獲得加拿大核安委員會(CNSC)認證(Certified in Canada CDN/2099/B(U)F-96 Rev. 1 issued 8/2021)，獲准於加拿大使用，另於2024年獲得NRC認證(Certified in U.S. (No. 9390) Rev. 3 issued 1/2024)，成為美國第一個獲認證可運送 HALEU 燃料的較大型容器。OPTIMUS 運送容器經過認證為 B(U)F 型容器，適合運送各種放射性物質，包括中階放射性廢棄物(ILW)、超鈾廢棄物(TRU)、照射後燃料廢棄物(IFW)、用過燃料碎片及反應器組件等，另 OPTIMUS-L 容器也可運送各種高活度密封源。OPTIMUS-L、OPTIMUS-H 之容器分解圖，分別如圖 7、圖 8。

(3) 美國鈷照射器減量計畫及加州大學之實務經驗

美國輻射源保安辦公室有三大施政方針，分別為「防護」、「移除」及「減量」，其中的「減量」係利用可發生游離輻射設備取代既有的高活度射源，藉此降低射源遭運用於恐怖攻擊而對民眾生命安全帶來的風險，為此美國輻射源保安辦公室於 2014 年啟動了鈷照射器減量計畫(Cesium Irradiator Replacement Project, CIRP)，目標於 2027 年底移除美國國內運用於血液照射的鈷照射器。

美國輻射源保安辦公室透過鈷照射器減量計畫提供經濟誘因，對設施經營者補貼至多 50% 的新設備購置費用，並對舊射源報廢提供補助。美國輻射源保安辦公室也持續向設施經營者宣導移除射源的優點，例如

可減少其保安全管理成本、無需考量射源衰變的影響、避免恐攻威脅等，美國輻射源保安辦公室在研討會上特別指出美國的血銀銀行因 X 光照射設備可明顯減少照射時間，均已參與銻照射器減量計畫。

美國加州大學的輻防管理人員 Carolyn MacKenzie 於研討會中展示該校的銻照射器減量成果，依據講者的說明，該校於 2017 年尚有 44 台銻或鈷照射器，迄今該校已移除 40 台(另有 1 台已計畫今年移除)，並透過銻照射器減量計畫購入 26 台 X 光照射器，目前尚未移除的射源照射器為 2 部加馬刀及 1 個銻照射器，因特殊實驗需求故尚不考慮汰除。除美國輻射源保安辦公室提供的經濟誘因外，維持保安所需的成本，以及被保險公司排外的隱藏成本，均為該校移除舊射源所考量的因素。

除了行政考量，加州大學在移除舊射源及改用 X 光設備前，曾召開多次技術討論會議並進行相關研究，研究成果亦發表也投稿於“Operational Radiation Safety”期刊論文，加州大學的結論是 X 光照射器於大部份應用可取代銻照射器。X 光照射器的優勢在於不需考慮保安問題且易於操作，也可提供 X 光影像、螢光管等功能，X 光照射器與銻照射器的等價性(equivalency)與能量及樣品厚度有關，尚需透過更多的比較實驗來為兩種輻射源建立連結。若實驗需以超高輻射劑量照射數日，或針對特定加馬射線進行研究，則為 X 光照射器尚無法取代銻照射器的少數情形。

就 X 光照射器的建置及維護而言，其建置成本除設備本身的購置費用外，尚需考量電路及冷卻管路配置，且需為其提供穩定的電源，此外，X 光管等組件均為耗材，尚需不少維護費用，惟考量保安成本及美國輻射源保安辦公室提供的經濟誘因，加州大學認為整體上改採 X 光照射器是正確的決定。

(4) 移動式射源運輸保安系統

美國太平洋西北國家實驗室(Pacific Northwest National Laboratory, PNNL)所研發的移動式射源運輸保安解決方案(Mobile Source Transit Security (MSTS) Solution)，係應用於非破壞檢測等作業場所用之高活度移動式輻射源，這些輻射源存放在作業現場或在運輸途中的時間佔其生命週期 70% 以上，傳統應用於固定式輻射源的保安措施已無法滿足這些移動式射源的保安需求。藉由採用移動式射源保安系統，可即時掌握輻射源去向，有效強化射源保安強度。

圖 9 為非破壞檢測用之移動式射源運輸保安系統，系統硬體包含輻射

源監控晶片(Persistent Monitoring Tag, PM-Tag)、保安運送箱(Secure Transport Box, STB)、整合保安容器(Integrated Secure Container, ISC)、整合保安室(Integrated Secure Room, ISR)及雲端伺服器等，其中輻射源監控晶片的功能為監測輻射及振動訊號並記錄 GPS 位置，保安運送箱為移動式載具，整合保安容器與整合保安室則為固定式載具。系統運作時，輻射源監控晶片會持續透過近場通訊(Near Field Communication, NFC)發送訊號至保安運送箱及整合保安室(或整合保安容器)的接收模組，再由接收模組的通訊晶片發送訊號至雲端監控中心。若輻射源監控晶片與保安運送箱、整合保安容器或整合保安室長期失聯，或偵測到輻射偵測值異常或不明振動，系統便會產生警示訊號，監控晶片 PM-Tag 會透過無線通訊直接發送定位訊號至雲端監控中心，以即時提供射源流向資訊。

移動式射源運輸保安系統需綜整多項通訊、感應及輻射偵測功能，因此筆者好奇向講者詢問在測試過程中是否常發生誤警報的情形，講者表示會考量輻射作業的特性，利用一些過濾條件（例如射源失聯 6 小時以上才發出警示訊號），且隨著技術演進，發生誤警報的頻率也愈來愈少。

(5) 中亞無主射源搜尋管理(以亞美尼亞為例)

蘇聯解體後，其境內許多工業及醫療設施對放射性物質疏於管理，造成許多無主射源流落在外，當地政府均成立因應單位，而美國輻射源保安辦公室也為亞美尼亞、喬治亞及塔吉克等國提供技術支援。

亞美尼亞監管單位對於無主射源的搜尋計畫，大致可分為 4 個步驟：

- i. 查閱檔案資訊，篩選可能發現無主射源的位置：解譯可能使用射源的醫、工、學、研設施，確認這些設施接收的放射性物質數量，審視可能仍留在這些設施的無主射源證明文件(含型式、核種、序號、設計活度、製造商、製造日期、物理形式、容器材質及尺寸等資訊)，與政府輻射源管理系統及檢查紀錄進行比對。
- ii. 排序場所搜尋優先度：依據國際原子能總署「輻射源安全和保安行為準則」的射源分類，將排序分為 3 個級別，含有第 1 類及第 2 類的高風險射源給予最優先排序，其次為第 3 類射源，最末為第 4 類及第 5 類射源；各級別再依射源的物理狀態、設施運作情形、現場安全情形及設施位置，再進一步微調各設施的排序優先度，以擬定最終的設施搜尋排程。
- iii. 整合現有資料：設施資料包含運作情形、建物與房間位置(特別是廢金

屬、貯藏室、垃圾場、實驗室、安全管制室等可能有輻射源的區域)、保安措施及運作時間；射源資料包含射源的型式與活度、製造商、製造日期、序號、尺寸及容器；設施聯絡人資料包含管理人員、技術人員及可協助搜尋射源的技術人員；政府輻射源管理系統也有部分設施檢查紀錄可供參考。

- iv. 現場搜尋及射源辨識計畫：應包含設施細部資訊、搜尋隊成員及其技能說明、設施聯絡人及其可提供的協助、搜尋時程、可用的搜尋設備、搜尋方法說明、輻射防護措施、緊急應變措施，以及發現無主射源後的運送、貯存、保安及聯絡對象等資訊。

亞美尼亞的監管單位自 2010 年迄今共發現超過 500 件第 5 類至第 3 類射源，核種包含鈷-57、鈷-60、鋇-90、銻-137、碳-14、氡、鐳-226、銻-241、銻-239、鈾-238及耗乏鈾容器等（如圖 10）。

(6) 結合偵檢器與機器人完成自動巡邏作業

由 Brookhaven National Laboratory 與 University of Massachusetts Lowell 合作撰寫，Lohith Annadevula 先生報告。報告介紹了一種由 Physical Sciences Inc (PSI)開發的 GRID 偵檢器和機器人(如圖 11)結合來進行自動巡邏任務。GRID 偵檢器由多個 Kromek D3S 偵檢器組成，使用者可藉由 Spot-Core(載荷計算機)讓機器人沿著預先規劃設定的路徑進行巡邏並使用 GRID 偵檢器進行輻射測量，當檢測到放射性物質時，機器人會從當前路徑偏離並移向射源位置，並且可以設定忽略一些射源，找尋指定射源。

在報告中有展示一段影片，機器人預先記錄兩個輻射源的最高輻射數值，並把兩個射源放在巡邏路徑上不同位置，在機器人行進過程中偵測到 Am-241射源，成功忽略並繼續前行執行巡邏任務，並成功偵測到 Co-60射源，離開預先設定的巡邏路徑，跑到 Co-60射源前進行一分鐘測量產生 Co-60 Gamma 能譜。

該自動巡邏任務系統具有以下一些潛在應用：

- i. 核物料安全：該系統可應用於大型公共區域中的核物料安全，自動化巡邏任務可幫助快速且有效地偵測、定位和識別放射性物質，從而提高核物料的安全性。
- ii. 邊境安全：系統可應用於國境或海關等地方的邊境安全監控。通過 GRID 輻射偵檢器和機器人，能夠自動進行區域巡邏，及時偵測和識別可能存在的放射性物質或輻射源。

- iii. 設施保安：該系統也可以在各種設施中部署，例如核電廠、研究實驗室、醫院等。它可以提供一個自主且高效的方法來進行設施內部的輻射監測和巡邏任務，幫助設施內部放射性物料管理。
- iv. 其他政府部門應用：該系統也具有其他政府部門應用的潛力。例如在恐怖主義防範方面，能夠利用此系統加強輻射源迅速定位與探測；在反恐領域中也能廣泛使用。

(7) 超寬頻即時定位系統應用於輻射源位置資訊的視覺化

由 Los Alamos National Laboratory 的 Allison Davis 小姐報告。放射性物料生產或貯存設施或放射性物質生產設施都需要定期掌握其物料或放射性物質的狀態，包括監視、監控和盤點。研究人員藉由 Ultra-Wideband(UWB) Radio Frequency Identification(RFID)技術精準掌握包件位置，精度可達30厘米，再結合報告中所提到的軟體程式 Blender 和 Uchronia Project Blender Game Engine(UPBGE)，Blender 具有內置的 Python API，用於視頻遊戲和動畫創作。Uchronia Project Blender Game Engine(UPBGE)允許數據在逼真的環境中及時視覺化呈現。研究人員利用 WISER UWB system 接收定位數據，並由 Blender 軟體查詢數據，在 UPBGE 軟體建造模擬環境實現欲掌握之包件在移動時即時呈現在 3D 及 2D 畫面。此應用可提升工作人員盤點效率，進而降低工作人員的輻射曝露。

為了測試 RFID 技術在核設施中的應用，研究人員使用了一個模擬的放射性物質生產設施測試環境(如圖 12)。這個環境包含鋁製手套箱和不銹鋼容器。研究人員開發了一個貼近真實環境的2D 及 3D 畫面(如

圖 13)，可以在模擬環境中觀察放射性物質的即時移動。

(8) 巴西 NDT 輻射源管理

由 Maxim Technology and Industrial Inspection Ltd 的 Araujo C.M.與 Brazilian Institute of Radiological Sciences 的 Da Silva F.C.A.合作撰寫。報告提到巴西在工業照相進行非破壞檢測工作(其工作流程如圖 14)，面臨輻射源安全相關問題，此類射源如 Ir-192、Se-75及 Co-60，國際原子能總署 2004 年 1 月公布的「輻射源安全和保安行為準則」(The Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources)中被歸類在第2類，運輸射源的車輛可能會被搶劫、竊盜，被有心人士當作髒彈使用，將放射性物質用於惡意目的引發全球對輻射有害影響的擔憂，IAEA 在 1993 年至

2022 年在全球記錄了 4,075 起事件，其中 62% 與運輸過程中的遺失或被竊有關。

為提升此類射源安全管理，防止非法使用，巴西監管組織國家核能委員會(National Commission for Nuclear Energy, CNEN)在 2019 年經由 NN-2.06 標準制定核能安全系統的要求，其中包括放射照相檢測及放射性射源運輸，並與世界核子保安研究所(World Institute for Nuclear Security, WINS)等機構的合作來提升相關專業人員的專業知識，確保全球對輻射源實體防護的理解。

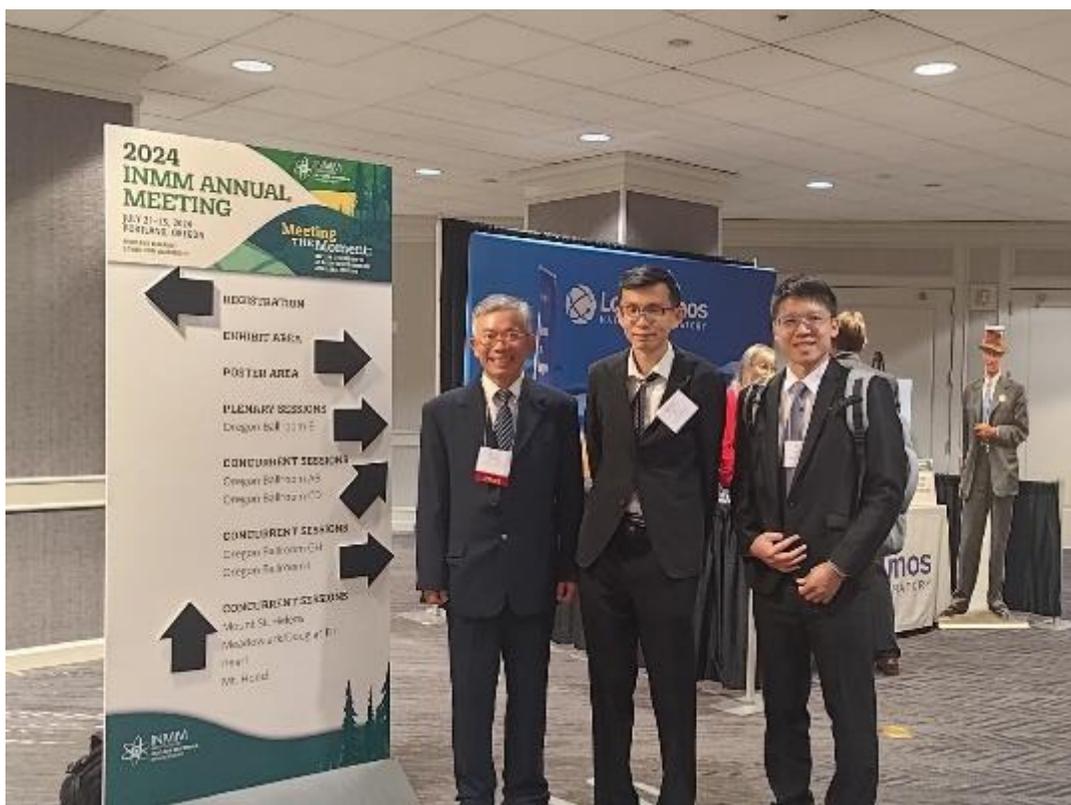
在技術創新方面，巴西與美國(NNSA/ORS)啟動一項國際合作，由美國太平洋西北國家實驗室 PNNL 開發移動式射源運輸保安系統，提供對射源在運輸過程中的持續監控和安全保護，射源結合 MSTs，用 GPS 定位，無論從業者設施內至作業場所運輸過程中，都能掌握射源位置，發生異常事件，會及時提供警報給非破壞檢測業者。

表1 核子物料管理協會第65屆年會議程表

Schedule last updated July 16, 2024														
Saturday, July 20, 2024		Sunday, July 21, 2024		Monday, July 22, 2024			Tuesday, July 23, 2024			Wednesday, July 24, 2024			Thursday, July 25, 2024	
				Speaker Breakfast 7:15 am - 7:45 am			Speaker Breakfast 7:15 am - 7:45 am			Speaker Breakfast 7:15 am - 7:45 am			Speaker Breakfast 7:15 am - 7:45 am	
				Break 7:45 am - 8:00 am			Break 7:45 am - 8:00 am			Break 7:45 am - 8:00 am			Break 7:45 am - 8:00 am	
				Welcome & Awards Ceremony 8:00 am - 9:00 am			Morning Plenary 8:00 am - 8:45 am			Morning Plenary 8:00 am - 8:45 am			Concurrent Session 12 (Technical Session 12) 8:00 am - 10:00 am 9 Concurrent Session Rooms/ 6 - 20 minute slots	
Rad Security Overview Workshop 8:00 am - 5:00 pm	Board Meeting 8:00 am - 5:00 pm	Working Group Meetings 8:30 am - 12:00 pm		Opening Plenary Session 9:00 am - 10:15 am			Concurrent Session 4 (Technical Session 4) 8:50 am - 10:30 am 9 Concurrent Session Rooms/ 5 - 20 minute slots			Concurrent Session 8 (Technical Session 8) 8:50 am - 10:30 am 9 Concurrent Session Rooms/ 5 - 20 minute slots			Refreshment Break 10:00 am - 10:25 am	
				Exhibit Hall/Poster Session I/Refreshment Break 10:15 am - 10:50 am 14 presenters			Exhibit Hall/Poster Session III/Refreshment Break 10:30 am - 11:00 am 9 presenters			Exhibit Hall/Poster Session V/Refreshment Break 10:30 am - 11:00 am 7 presenters			Closing Plenary Session 10:30 am - 12:30 pm	
				Concurrent Session 1 (Technical Session 1) 10:50 am - 12:30 pm 8 Concurrent Session Rooms/ 5 - 20 minute slots			Concurrent Session 5 (Technical Session 5) 11:00 am - 12:20 pm 8 Concurrent Session Rooms/ 4 - 20 minute slots			Concurrent Session 9 (Technical Session 9) 11:00 am - 12:20 pm 8 Concurrent Session Rooms/ 4 - 20 minute slots				
		Lunch on Own 12:00 pm - 1:00 pm		Lunch on Own 12:30 pm - 2:00 pm		EC Lunch with Plenaries 12:30 pm - 2:00 pm	Lunch on Own 12:30 pm - 2:00 pm		Fellows Lunch 12:30 pm - 2:00 pm	Lunch on Own 12:30 pm - 2:00 pm		ORS Grant Lunch 12:30 pm - 2:00 pm	Student Paper Competition Wrap Up Meeting 12:30 pm - 2:00 pm	
		Student Paper Competition Kick Off 1:00 pm - 2:00 pm		Concurrent Session 2 (Technical Sessions 2) 2:00 pm - 3:40 pm 8 Concurrent Session Rooms/ 5 - 20 minute slots			Concurrent Session 6 (Technical Sessions 6) 2:00 pm - 3:40 pm 8 Concurrent Session Rooms/ 5 - 20 minute slots			Concurrent Session 10 (Technical Sessions 10) 2:00 pm - 3:20 pm 8 Concurrent Session Rooms/ 4 - 20 minute slots				
		Technical Division Meetings 2:00 pm - 5:00 pm		Exhibit Hall/Poster Session II/Refreshment Break 3:40 pm - 4:30 pm 16 presenters			Exhibit Hall/Poster Session IV/Refreshment Break 3:40 pm - 4:30 pm 12 presenters			Refreshment Break 3:20 pm - 3:40 pm				
				Concurrent Session 3 (Technical Sessions 3) 4:30 pm - 5:50 pm 9 Concurrent Session Rooms/ 4 - 20 minute slots			Concurrent Session 7 (Technical Sessions 7) 4:30 pm - 5:50 pm 9 Concurrent Session Rooms/ 4 - 20 minute slots			Concurrent Session 11 (Technical Session 11) 3:40 pm - 5:00 pm 9 Concurrent Session Rooms/ 4 - 20 minute slots				
				First Time Attendee Orientation 5:00 pm - 6:00 pm		Regional & Student Chapter Meeting 6:00 pm - 7:00 pm			Annual Business Meeting 5:00 pm - 6:00 pm					
				President's Exhibit Hall Welcome Reception 6:00 pm - 8:30 pm		Women of Mass Distinction 6:00 pm - 7:30 pm			INMM Mixer 7:00 pm - 8:30 pm					

表2 OPTIMUS-H 和-L 容器細部尺寸

Packaging Physical Attributes	Packaging Design	
	OPTIMUS®-H	OPTIMUS®-L
Outer Diameter ⁽¹⁾ , m (in)	Ø1.88 (Ø74.2)	Ø1.24 (Ø49)
Outer Length ⁽¹⁾ , m (in)	2.11 (83.2)	1.78 (70.0)
Cavity Diameter, m (in)	0.83 (Ø32.5)	0.83 (Ø32.5)
Cavity Length, m (in)	1.19 (47.0)	1.19 (47.0)
Packaging Tare Weight, kg (lb)	11,204 (24,700)	2,722 (6,000)
Max. Contents Weight, kg (lb)	3,311 (7,300)	1,429 (3,150)
Max. Gross Weight, kg (lb)	14,515 (32,000)	4,173 (9,200)
Gamma Shield Thickness ⁽²⁾ , cm (in)	≥ 20.3 (8.0)	≥ 3.3 (1.3)



(a)



(b)

圖 1 本次出國公差人員活動剪影 (a)會場合照；(b)王錫勳技正與美方代表 Camille Tisler 共同發表簡報論文。



圖 2 安全就地存放 (Secure In-Place Storage, SIPS)



圖 3 美國輻射源保安辦公室協助廢棄射源遣返和運送

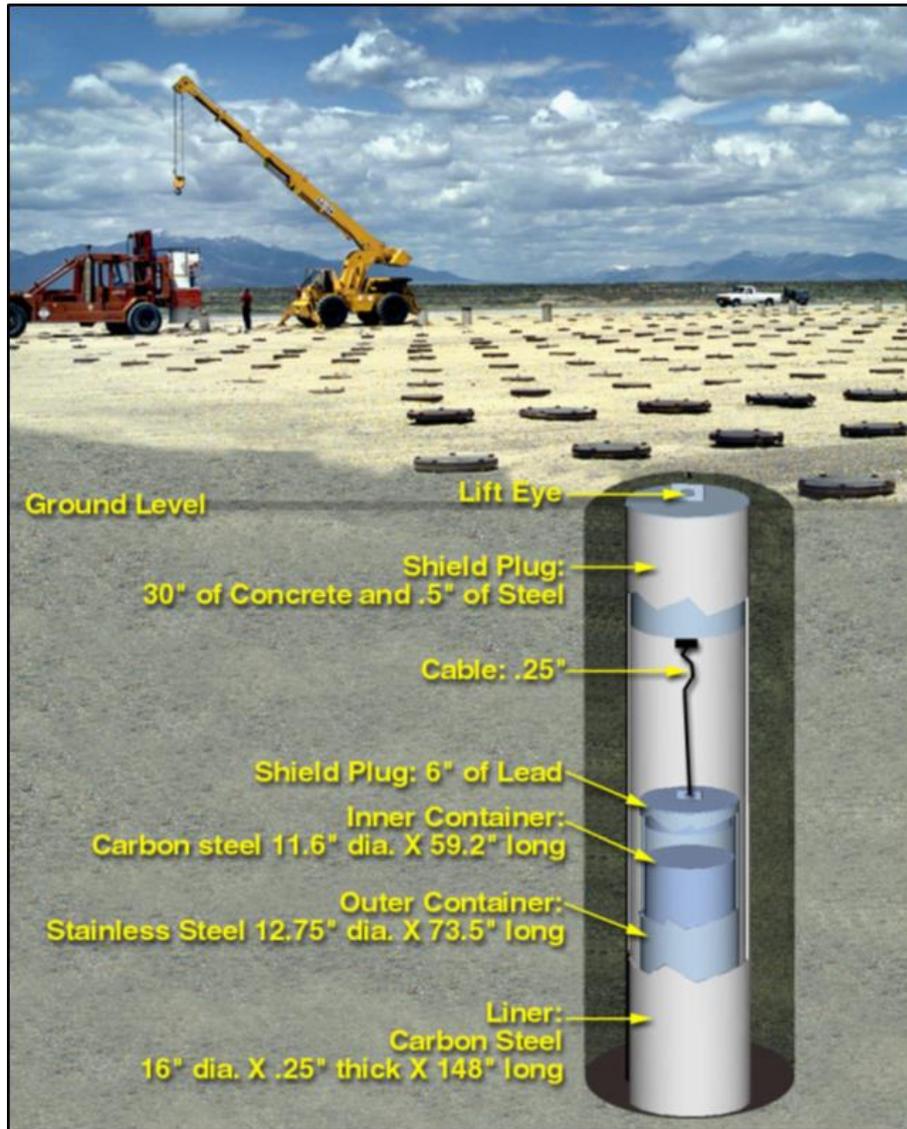


圖 4 筒倉貯存系統 (Silo Storage System , S3)



圖 5 OPTIMUS-L 容器實體圖

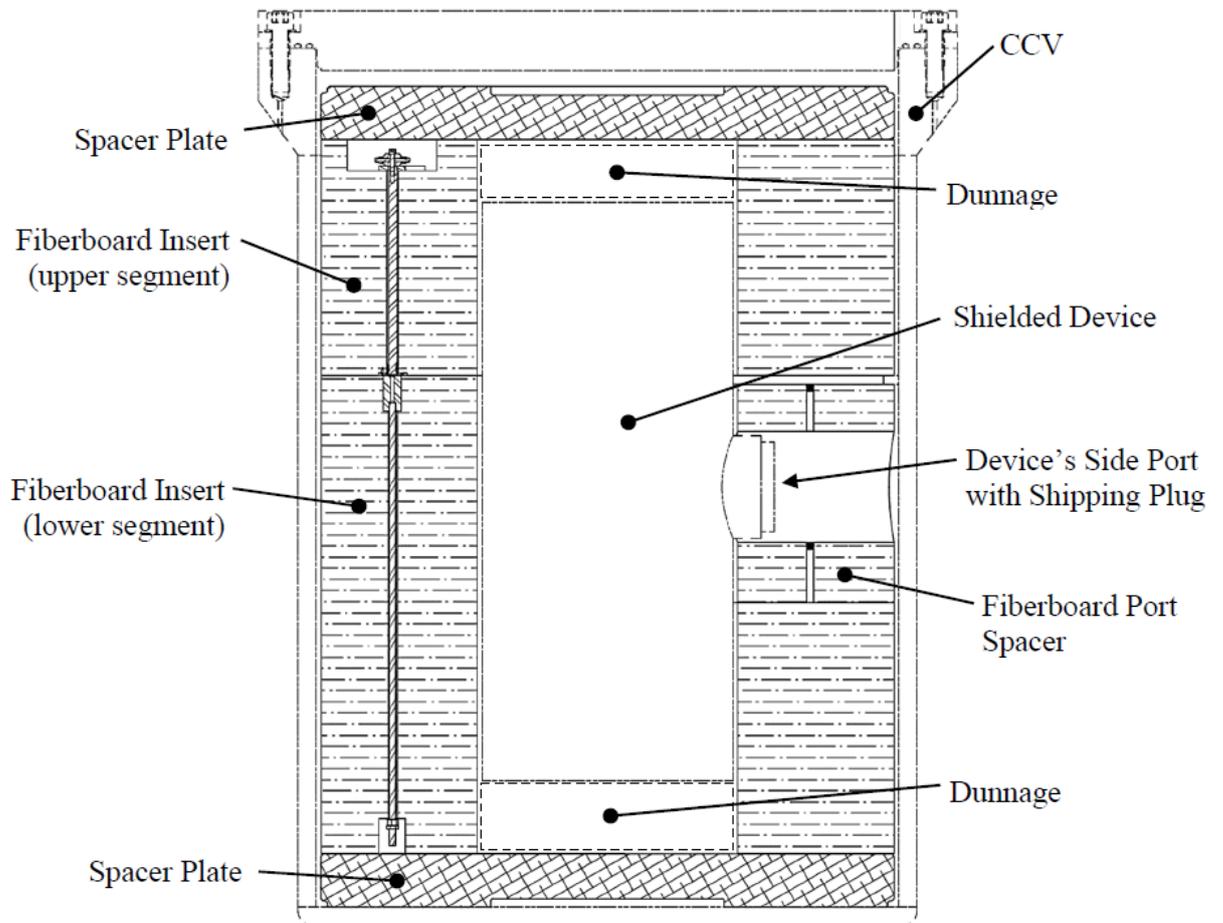


圖 6 OPTIMUS-L 容器示意圖



圖 7 OPTIMUS-L 容器分解圖



圖 8 OPTIMUS-H 容器分解圖

ISR and ISC

PM-Tag

STB

Software

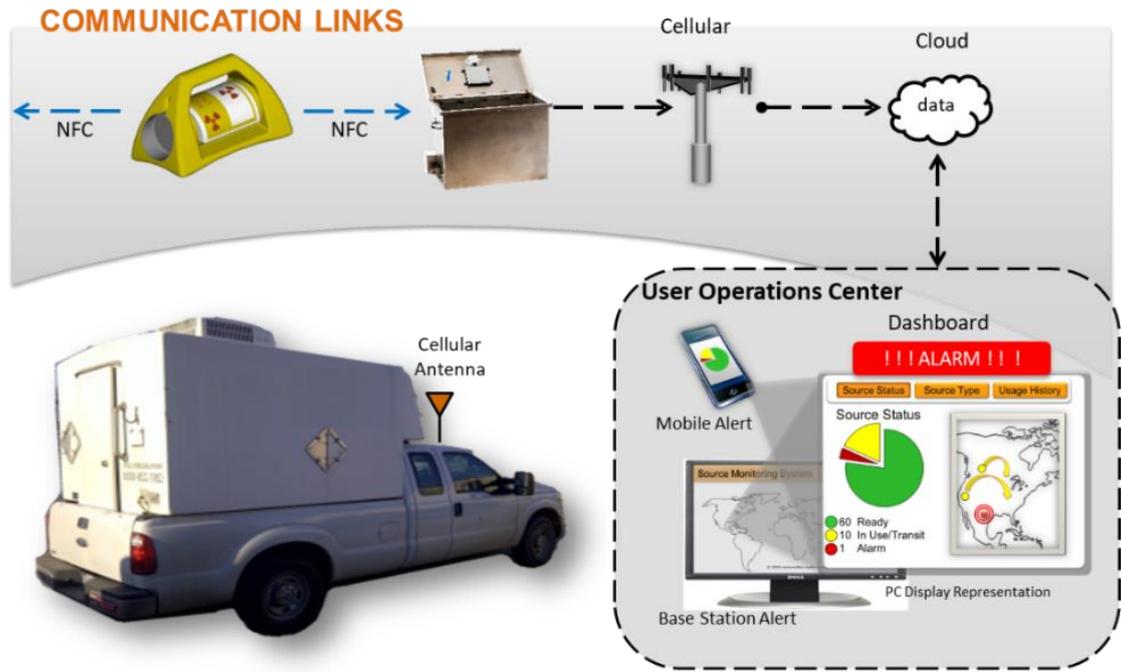


圖 9 移動式射源運輸保安系統(非破壞檢測)



a)



b)



c)



d)



e)



f)

圖 10 亞美尼亞監管單位搜尋到的輻射源案例 (a)於化學公司尋得之銻-90射源；(b)於化學公司尋得含有5件射源的運送容器；(c)研究機構的銻-239射源；(d)天然氣公司承裝耗乏鈾的容器；(e)研究機構的氬及碳-14射源；(f)天然氣公司承裝耗乏鈾的容器。

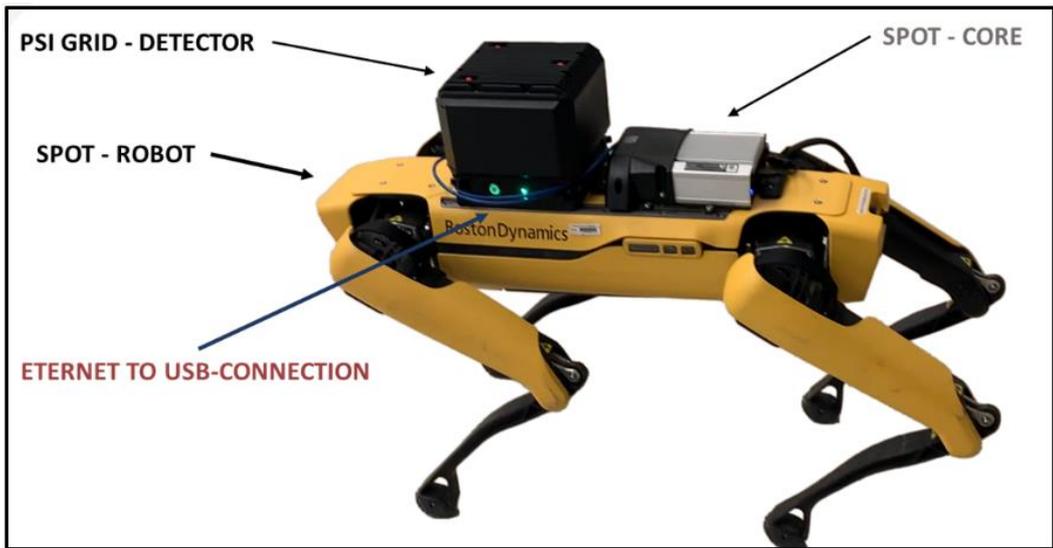
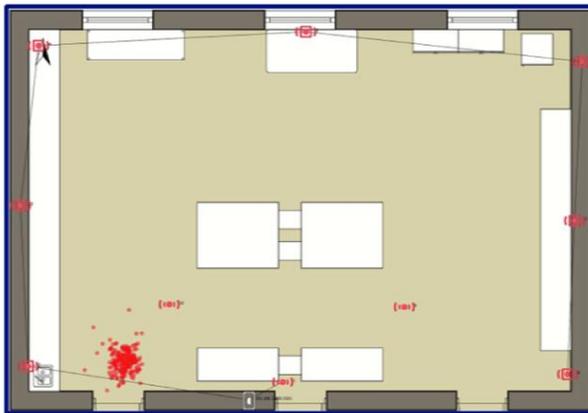


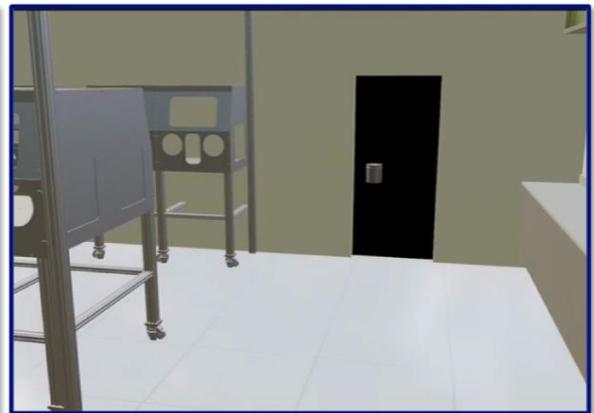
圖 11 輻射偵檢器與機器人結合示意圖



圖 12 模擬的放射性物質生產設施測試環境(包含鋁製手套箱和不銹鋼容器)



WISER 2D Visualization



Blender 3D Visualization

圖 13 開發貼近真實環境的2D 及3D 畫面

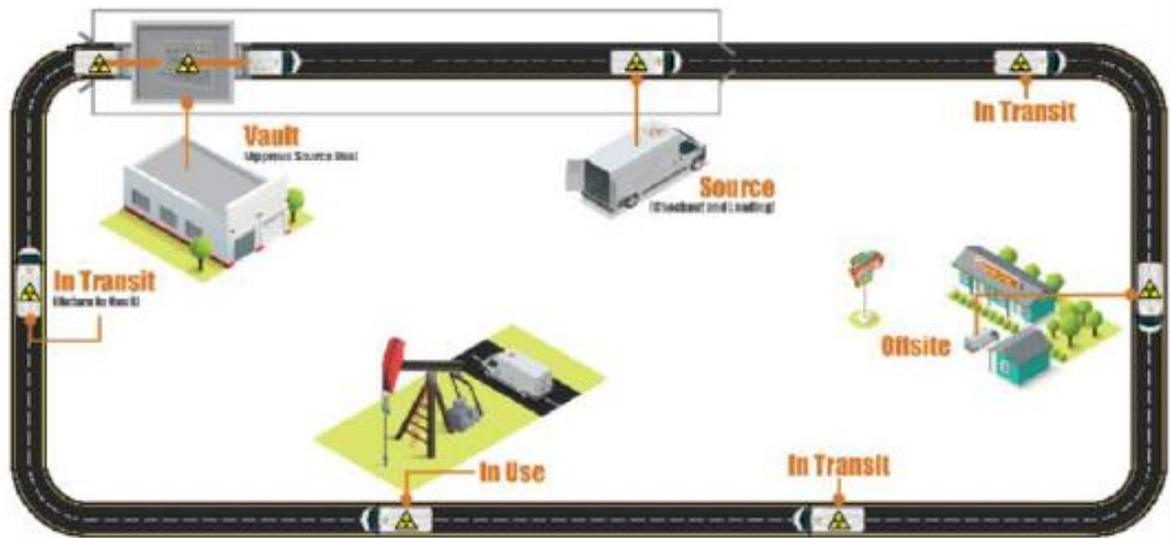


圖 14 非破壞檢測工作流程

三、心得及建議

- (一) 本次獲邀赴美參加 INMM 第 65 屆年會，會中簡報我國對廢射源之安全管理作法，並瞭解美國現階段針對廢射源管理之容器與貯存技術(OPTIMUS、SIPS、S3)發展情形。相關資訊除提供管制機關瞭解美方後端管理作業實務外，各項技術可供國內放射性廢棄物設施經營者及研發單位未來執行相關作業之參考。
- (二) 依美方簡報說明，出於安全考量，美國輻射源保安辦公室(ORS)可協助廢射源之遣返和運送，並提供運送容器及技術能力等服務。相關資訊建議我國放射性廢棄物設施經營者持續關注，並提供國內廢射源管理作法之參考。
- (三) 國際間對於放射性廢棄物之貯存、處理或運送作業已有豐富經驗，建議國內放射性廢棄物設施經營者，於進行放射性廢棄物之貯存、處理、運送技術研發或有執行相關作業時，可參考國際間常用作法與現有最佳技術之成功案例，並強化與核能先進國家資訊技術交流，俾能精益求精提升放射性廢棄物之管理安全。
- (四) 核子物料管理協會所舉辦的年會為全世界核子與輻射安全管理機關相當重視的研討會，國際原子能總署 IAEA、美國國家核子保安局 NNSA 及加拿大核安會 NSC 均派員參加本次 INMM 年會。年會探討的議題除放射性廢棄物管制及輻射源保安外，尚涉及核子保防、小模組核子反應器(SMR)管制及民眾教育與溝通等國人關切的議題，可留意國際核子物料管理協會的動態，以掌握國際上核子與輻射安全管理相關之最新資訊。
- (五) 透過年會提供學術和技術交流的平台，可讓我國了解國際間核子物料管理領域的最新動態與挑戰。會議涵蓋多個主題，包括核子物料保障與安全、檢查、包裝和運輸、放射性廢棄物管理、教育和培訓等，有助於相關從業人員專業知識和實際執行作業之提升，例如，關於核子物料的包裝與運輸技術進步，以及訊息保密性與安全監控技術的提升，這些新技術值得後續學習及應用。
- (六) 參加本次年會會議，與美國能源部輻射安全保安辦公室(Office of Radiological Security, ORS)共同發表論文中，國原院主要提供我國接收廢棄射源的管理經驗。針對放射性廢棄物管制，許多國家因土地遼闊或當地戰亂動盪，並緊鄰其他國家，在管制上有很大挑戰；我國雖情境不同，國原院在廢棄物管理及其貯存設施安全仍採取謹慎負責的態度並符合相關法規標準來執行，以確保民眾及環境安全。
- (七) 本屆年會的議程安排豐富，超過50場的簡報會議，同個時段有 5 到 8 個會議同時在進行，來自世界各地的專業人士共同探討全球核子物料管理的挑戰及經驗分享，實為寶貴經驗，建議國原院相關專業領域同仁持續關注國際核子物料管理協會資訊，積極參與此年度會議，藉由國際間的技術與經驗交流，提升國內

核子物料管理及創新技術水準並與國際接軌，更有助於促進我國與全球國家之合作機會。

Best Practices for Radioactive Source End-of-Life Management in the United States and Taiwan

Camille Freestone, LLNL
Kristin Hirsch, ORS
Samantha Bowers, ORS
Chi-Feng Lin, NSC
HSI-HSIUN WANG, NSC
CHIA-CHUN CHIN, NARI

July 22, 2024



LLNL-PRES-866311

End-of-Life Management – A Global Challenge

- Disused sealed radioactive sources (DSRS) are a global security issue
 - Access, cost, and public opinion are the biggest challenges
 - Return to supplier can be costly; some suppliers are no longer in business
 - Long term secure storage may not exist, or may not have capacity for the full inventory of DSRS
 - Permanent disposal is rarely an option
- Highly radioactive material in the wrong hands can cause catastrophe through environmental degradation, injury, death, and public panic

Unprotected, abandoned, or orphaned radioactive sealed sources present a risk to national security, human health, and safety.

Innovation and Collaboration in End-of-Life Management



Assistance with Removal and Repatriation:

- Provision of NNSA-developed transport containers
- Trainings and capacity-building activities on source conditioning and storage options
- Assistance connecting with manufacturers for return to supplier

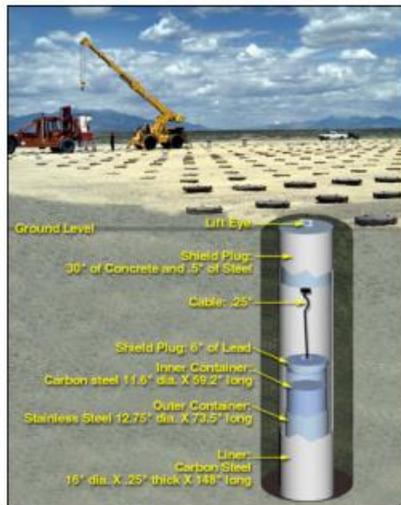
Secure Storage Facility:

- Designed for secure storage of all categories of radiological sources
- Administered by local responsible authority

Innovation and Collaboration in End-of-Life Management

Low-cost, short-term Storage:

- Rapidly-deployable temporary, secure storage of up to 10 years for Cat 3-5 sources
- Built on site with affordable construction materials



Scalable Long-term Silo Storage:

- Optimized silo storage system for radioactive sources, including Cat 1 & 2
- Generic design scalable to partner needs



Mobile Hot Cell:

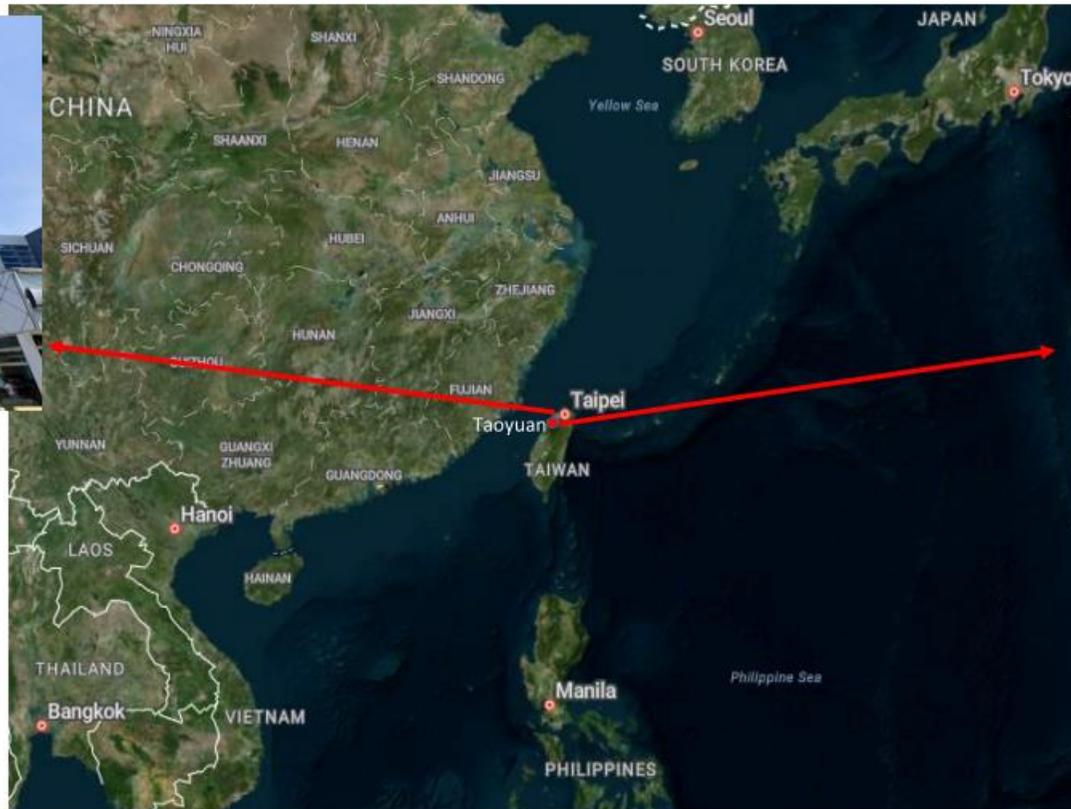
- Designed to be assembled and shipped in multiple pieces
- Scalable to account for varying source activity and protection needs
- Robotics to allow for operator distance

Disused Radioactive Sources Management in Taiwan



Nuclear Safety Commission(NSC):

- Location: New Taipei City
- The safety authority over the atomic energy related affairs in Taiwan
- Reviewing applications for the disposal of disused radioactive sources



National Atomic Research Institute (NARI) :

- Location: Taoyuan City
- Targeting nuclear safety, nuclear back-end, nuclear medicine, radiation applications for public welfare, as well as new energy and cross-field system integration as primary development pillars
- NSC entrusted NARI in 1978 to temporarily store disused radioactive sources

Types and Sources of Received Disused Radioactive Sources

- NARI is responsible for receiving disused radioactive sources generated by medical, agricultural, industrial, academic, and research institutions outside of nuclear power plants.



Co-57 source(Nuclear Medicine
Gamma Camera Calibration)



Cs-137 source
(Instrumentation Control)



Po-210 source(Research)



Co-60 source
(Density measurement)

Disused Radioactive Sources Stored by NARI



Check disused sources and documents



Stored in Sheet metal container



Centrally stored in Building 075



Metal container for disused radioactive sources



Storage rack



Disused radioactive sources

Disused Radioactive Sources Security Management by NARI



Security management of the main gate of the NARI:

- National Police Security Control
- The walls of the NARI are equipped with barbed wire
- Barricade and iron fences are increased in front of the gate at night
- Vehicle radiation monitoring system in gateway



Security Management of storage facilities :

- Double security gates of 075 building, each locked
- Surveillance of 075 Building

Global Impact

- ORS' research and development provides a variety of options built on existing technology used domestically
- Taiwan's infrastructure and processes provide an exemplar in centrally securing devices at the end of their useful life
- One-size-fits-all approach will not work in all geographies, social settings, or political environments
- Innovation and collaboration are critical to providing a variety of solutions



This work was performed under the auspices of the U.S. Department of Energy by Lawrence Livermore National Laboratory under contract DE-AC52-07NA27344. Lawrence Livermore National Security, LLC