



財團法人 中華民國輻射防護協會

輻射防護簡訊

第 171 期

出刊日期 111 年 10 月 15 日

本期內容

CONTENT

核醫應用-神經內分泌瘤治療

1

神經內分泌腫瘤(NET)的臨床診治需要多學科的合作，才能實現其個體化治療。NET 治療方式有:選擇性體內放射性治療(SIRT)和胜肽受體放射性核素療法(PRRT)兩種治療。近年醫界發現用以檢視癌細胞分佈的核子醫學掃描方法，可以轉化成追擊癌細胞的強力武器。

手持式加馬能譜分析成像系統-放射性廢棄物貯存設施之建物土地設備拆除前偵檢

5

美國電力研究所(EPRI)於 2019 年底發表除役期間手持式加馬能譜分析儀應用，內容有核子設施除役之建物、土地、設備拆除前，各種條件下手持式加馬能譜分析系統進行偵檢，本篇從放射性廢棄物貯存設施除役偵檢作業中選取範例加以介紹說明。

訓練班課程

8

公告本會各項訓練班開課時間

輻協新聞廣場

9

各項證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞 全球輻防新聞

游離腔煙霧偵測器的輻射安全

13

為強化某些消費性產品的功能，會在產品中摻入少量放射性核種。考量這種消費性產品提供民眾使用是否適當，筆者參考國際報告與自身經驗，以游離腔煙霧偵測器為例說明。

手持式加馬能譜分析成像系統-放射性廢棄物貯存設施之廢棄物與設備偵檢

18

美國電力研究所(EPRI)發表除役期間手持式加馬能譜分析儀應用，本篇作者從放射性廢棄物與設備的偵檢選取範例加以介紹說明，並對手持式加馬能譜分析儀應用的心得結論分享。

核醫應用-

神經內分泌瘤治療

作者 俞長青 博士

高雄榮民總醫院核子醫學科組長

前言

在人體健康中，有這樣一類危及著人類的生命安全，潛伏在人類正常細胞中生存很久；或者侵襲，數月間侵占人體正常器官，最終導致生命的潰敗。此類一直隱匿在身體中的「隱藏殺手」，就是近幾年被廣泛討論的——神經內分泌瘤(NET)。神經內分泌瘤有些人並不熟悉，因為它非常罕見，在全部惡性腫瘤中的比例不足 1%。事實上，賈伯斯正是患了胰腺的神經內分泌瘤而去世的。由於這種腫瘤非常複雜，且發病率較低，臨床醫生對於神經內分泌腫瘤的疾病特點不太熟悉的話，非常容易被誤診，等到腫瘤長大，做 CT(電腦斷層)或 MRI(磁共振造影)發現時，往往已經是疾病晚期，甚至出現多處轉移，錯過治療的最佳時機，患者生存時間大大降低。

神經內分泌腫瘤作為一種相對少見且疑難的腫瘤，臨床對它的認知才剛剛開始，這類腫瘤許多生物學特性還有待去總結和發現，臨床的規範化治療也逐步在探索和修正，但是值得肯定的是，這類腫瘤的臨床診治需要多學

科的合作，發揮各專業之所長，才能實現神經內分泌腫瘤的個體化治療。NET 治療方式臨床應用有兩種：(1)選擇性體內放射性治療(SIRT)和(2)胜肽受體放射性核素療法(PRRT)兩種治療。治療癌症，最有效的方法是手術「一刀切」，將腫瘤徹底剷除。然而一些已擴散的腫瘤就難以用手術清除。近年醫學界發現用以檢視癌細胞分佈的核子醫學掃描方法，可以轉化成追擊癌細胞的強力武器。

治療神經內分泌腫瘤的作用機制

目前使用最多使用 PRRT 治療的是神經內分泌腫瘤。PRRT 即「胜肽受體放射性核素療法」(Peptide receptor radionuclide therapy, PRRT)，是一種利用放射性同位素治療癌症的方法。與鈷-90 不同的是，PRRT 是以靜脈注射方式把核素注入人體，全身性追蹤癌細胞後殺死他們。為何 PRRT 較多用於治療神經內分泌腫瘤？神經內分泌細胞存在於身體很多位置，不侷限於一個器官，故在不同器官都有機會出現神經內分泌腫瘤。神經內分泌腫瘤比較多發現在胰臟、腸臟、肺部、

核醫應用-

神經內分泌瘤治療

俞長青

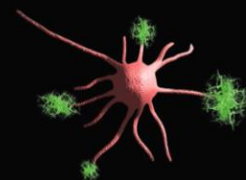


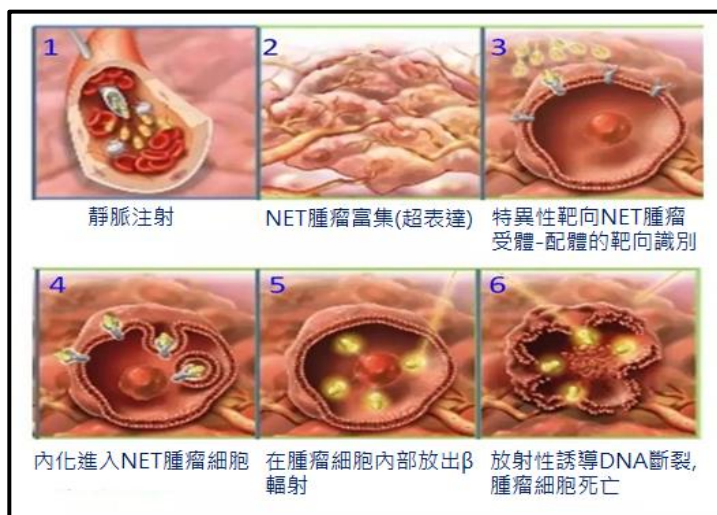
Image by Gerd Altmann from Pixabay

肝臟及膀胱，當這些器官內的神經內分泌細胞變異，就會形成癌症。

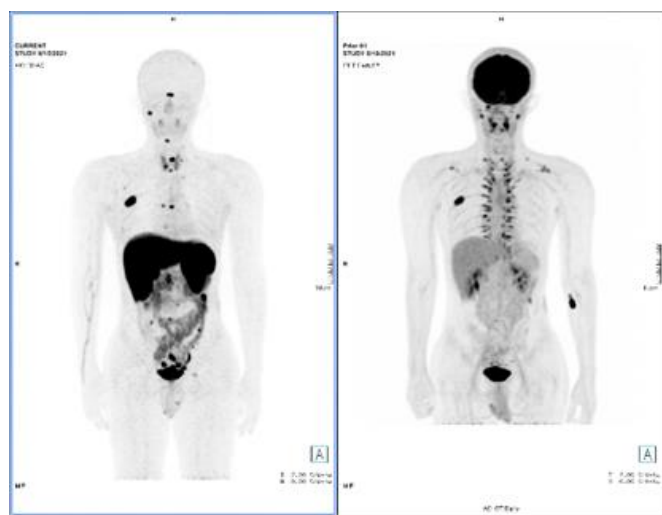
神經內分泌腫瘤分為「功能性腫瘤」和「非功能性腫瘤」兩種。部分神經內分泌腫瘤會荷爾蒙，這類就屬於功能性腫瘤，例如分泌胰島素，或分泌一些物質引致經常性腹瀉或分泌一些物質令病人經常面紅、血壓高等，另一類沒有分泌荷爾蒙，不影響身體內分泌功能的，就是非功能腫瘤。Lutathera 是一種 Lu-177 標記的生長抑素類似物，屬於肽受體放射性核素療法(PRRT)，通過與一種稱為生長激素抑制素受體的細胞結合而起作用，該生長抑素受體可能存在於某些腫瘤上。在與受體結合之後，藥物進入細胞，釋放輻射來損傷腫瘤細胞，如圖一。

功能成像技術

核醫科生長抑素受體顯像(SRI)有 SPECT 以及 PET/CT 兩種，其中 ^{18}F -FDG PET/CT 顯像，核醫學專業所提供的功能成像技術在 NET 診治多學科團隊中發揮了無可替代的獨特作用。



圖一. Lutather (Lu-177 dotatate)殺死 NET 腫瘤的作用機制

圖二. ^{18}F -FDG PET Scan 顯像

功能成像最突出的代表就是正電子發射電腦斷層攝影 (Positron Emission computed Tomography · PET)。

^{18}F -FDG PET/CT 顯像輔助

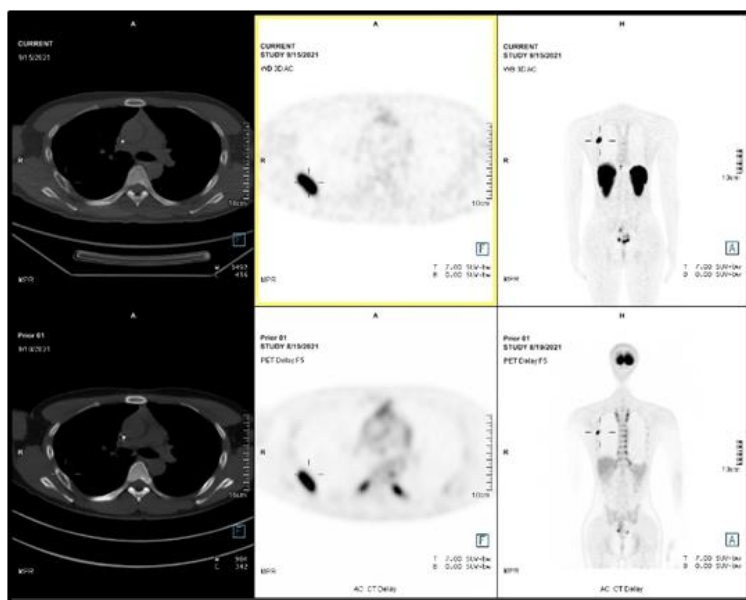
用放射性同位素標記葡萄糖類似物，從而反映腫瘤細胞葡萄糖代謝特點。葡萄糖是人體正常細胞尤其是腫瘤細胞的最重要能量來源，腫瘤具有異常增生、侵襲以及轉移的特性，所以就比正常細胞更多的能量去支持。 ^{18}F -FDG PET/CT 顯像從葡萄糖代謝的角度反映了腫瘤在機體的分布以及生存狀態，為臨床診治提供了全面而準確的依據，如圖二。腫瘤的葡萄糖代謝水平是與惡性程度相關的，即惡性程度越高，葡萄糖代謝也越活躍，常見的肺癌、胃癌、腸癌等腫瘤有這樣的規律，神經內分泌腫瘤這類特殊的腫瘤也有這樣的規律。這些規律對於神經內分泌腫瘤預後的判斷、治療方案的選擇尤為重要。

核醫專業的生長抑素受體顯像 (Somatostatin Receptor Imaging, SRI)，是針對神經內分泌腫瘤的相對特異性顯像，與傳統的 CT 和 MRI 等

解剖成像不同，它屬於功能成像範疇，全身掃描不僅可以輔助診斷和分期，更重要的是可以指導臨床評估病灶的生長抑素受體表達水平，以決定是否適合應用生長抑素受體類似物(奧曲肽或蘭瑞肽)的治療，這對於神經內分泌腫瘤的診斷和治療無疑是大有益處的，並且也應該成為一項必不可少的檢查。

神經內分泌腫瘤即便是惡性程度很低，也會伴有多發轉移，而且多是以首先發現轉移病灶而就診，但患者的生存期要顯著高於傳統意義上的癌症。生長抑素受體顯像與葡萄糖的代謝顯像都是反映神經內分泌腫瘤「生物學性格」的重要手段，對臨床制定個體化治療方案有不可替代的作用。多種功能成像評價神經內分泌腫瘤生物學特點以提供與指導臨床個體化治療方案的確定。目前，神經內分泌瘤的早期治療主要以“手術切除”為主，其他輔助治療手段包括化療，靶向治療，局部射頻消融等。近年來，PRRT 療法已成為不少神經內分泌腫瘤患者關注的「救命利器」。

在大多數神經內分泌腫瘤細胞中，富集(也稱超表達)有大量的特殊類型的表面受體，這種蛋白質分布於細胞表面，附著於體內的一種激素叫做生長激素抑制因子(圖一)。奧曲肽是一種實驗室合成的激素，可以準確的識別「生長抑素受體」並附著在腫瘤細胞上，從而進一步發揮治療作用。PRRT 治療就是巧妙地利用了這個靶向機制，首先將「奧曲肽/蘭瑞肽」和放射性核素(^{111}In ， ^{90}Y ， ^{177}Lu)相結合，構建成新型複合藥物，注射到患者體內，藉助「受體-配體的靶向識別」作用，捕捉到腫瘤細胞，繼而將放射性核素導入腫瘤組織，釋放高能量的 β 射線，最終殺滅腫瘤細胞，也可以稱之為「靶向內照射治療」。放射性肽能夠具有高度選擇性的破壞神經內分泌腫瘤細胞的能力，同時可以限制正常組織曝露於輻射之中；相較於化療具有相對溫和的副作用。



圖三 ^{68}Ga PET/CT Scan 顯像

NET 目前患病原因未明，但有小部分個案屬於遺傳性，患者基因出現突變。如何運用 PRRT 治療神經內分泌腫瘤？以下有更深入探討：

定性 ^{68}Ga -奧曲肽 PET/CT 顯像

功能性神經內分泌腫瘤如在較後期才發現，很多時已經出現轉移，一般需要接受同位素 In-111(Indium-111)追蹤腫瘤，隨著正電子掃描普及化之後，開始轉用其他藥物，例如 Ga-68(Gallium-68)加葡萄糖 F-18 做正電子掃描，可以更準確地掌握癌細胞侵犯的範圍，如圖三。 ^{68}Ga -奧曲肽 PET/CT 顯像是專門針對神經內分泌腫瘤的特異性顯像。多數神經內分泌腫瘤都會過度表達生長抑素受體，這個生物學特性可以作為診斷和治療這類腫瘤的途徑，而生長抑素類似物（如奧曲肽、蘭瑞肽等）是治療神經內分泌腫瘤的重要手段。 ^{68}Ga -奧曲肽 PET/CT 顯像的目的不僅在於腫瘤的診斷分期，還可作為腫瘤是否適合生長抑素類似物治療的判斷依據。因此這

類顯像可說是神經內分泌腫瘤的「剋星」。與 ^{18}F FDG PET/CT 顯像相反，這類顯像與腫瘤的惡性程度呈負相關。目前，由於 ^{18}F FDG PET/CT 顯像和 ^{68}Ga -奧曲肽 PET/CT 顯像價格昂貴，很多醫院的科室沒有能力予以引進使用，加上其放射性同位素所需要的核素半衰期短，並且需要在一定範圍的區域內配迴旋加速器，目前此種顯像技術已在歐美廣泛應用，國內僅少數幾家醫院有開展。

神經內分泌腫瘤的病情分為三級，第一級及第二級適用於 PRRT 療程；其中第一級的擴散性神經內分泌腫瘤，通常會吸收 Ga-68 或 In-111，可以用 PRRT 及荷爾蒙治療。第二級的則會同時吸收兩種同位素，亦可以用 PRRT 做治療；第三級病情大部分會吸收葡萄糖 F-18，由此可知癌症細胞的分布，評估腫瘤範圍，這類型的則適合接受化療，特別是腫瘤位於肺部，細胞分裂速度快即惡性程度高的腫瘤。PRRT 通常用於治療神經內分泌性腫瘤 (NETs)，包括類癌瘤，胰腺胰島細胞

癌，小細胞肺癌，嗜鉻細胞瘤(形成於腎上腺的一種罕見腫瘤)，胃-腸-胰腺(胃部，腸和胰腺)神經內分泌腫瘤，和對於放射性碘治療無應答的罕見的甲狀腺癌。換言之，只有表現出是生長抑素受體的神經內分泌腫瘤才適合 PRRT 治療。患者需要在專業醫生指導下，首先要進行生長抑素受體檢測，生長抑素受體顯像(SRI)技術包括： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -OCT-SPECT 和 ^{68}Ga -OCT-PET 掃描，可以判斷體內表達生長抑素受體腫瘤細胞的數量和分布範圍。SRI，是針對於神經內分泌腫瘤的一種特殊顯像，可以輔助診斷、分期並且指導確定治療方案。患者具有晚期和/或進展期神經內分泌腫瘤，對於其他藥物治療無反應且不適合手術的患者，PRRT 的主要目標是幫助緩解症狀，停止或延緩腫瘤進展和提高總生存率。且 PRRT 靶向內放療特異地破壞腫瘤細胞，對正常組織的影響小，尤其對轉移復發的病例有很好的腫瘤控制率，能有效減輕症狀並延緩病情發展並能夠顯著提高疾病生存期。

PRRT 治療過程

病人身體有放射性物質接受 PRRT 治療可以離開醫院嗎？根據原委會游離輻射防護法規規定，當病人體內輻射物質下降至某個程度，就可以離開醫院，所以醫生師或輻防人員會監測病人體內的輻射劑量。

如病人患的是功能性神經內分泌腫瘤，接受治療後腫瘤可能會大量釋放荷爾蒙，因而產生相關的症狀，可能出現腹瀉、血壓升高、血糖急降等，故治療時會與內分泌專科醫師共同診斷病人，例如病人治療後出現血糖低，就要開立處方以適當藥物維持血糖平穩。

PRRT 療程預計每兩至三個月做一次，一次做四次治療，即為期約一年，如病情持續穩定受控，就可以暫停治療。

治療期間病人大約每半年做一次影像掃描，監控腫瘤收縮程度。某些病人需要密切監督，可能需要較頻繁地進行掃描。其可能的治療副作用為身體虛弱、體重下降等。

PRRT 注意事項與輻射防護

(1) 靜脈注射藥物過程需要在有輻射防護監管的特別病房內進行，過程約為 30 分鐘。之後醫師會監控病人體內輻射劑量，當下降至安全水平時，病人可以回到普通病房。

(2) 由於輻射物質會由小便排出，故治療後病人要接受保護措施，包括注射胺基酸以保護腎臟，一般要住院兩晚。病人出院後即可正常與家人接觸，但醫師會建議病人減少接觸兒童與孕婦時間。從事某些職業的病人，

例如幼稚園教師，會建議暫時離開工作崗位。這類治療雖然目前未有影響生育的證據，但醫師亦建議生育期內的病人，接受治療半年內不要孕育下一代。

結語

診斷神經內分泌腫瘤，需要進行細針抽組織活檢(biopsy)，或外科手術切除後做病理切片化驗，分析細胞分裂程度來斷定。因腫瘤發生位置，病人會有不同症狀，例如有些病人會經常性腹瀉，可能是腫瘤分泌一些物質令腸道蠕動活躍引致，或荷爾蒙分泌引致病人血糖過低，所以臨床症狀可以很廣泛。

醫學界近年出現“theranostics”的概念，即診斷和治療同步進行，原理是能將能量較低用以診斷的同位素(通常是 γ 射線或正電子同位素)由診斷模式變成治療模式，即由用 Ga-68 做檢查，換成 Lu-177 用來治療。其特點是 Lu-177 會發出 γ 射線，可以做為劑量

的界定及進行掃描，另外它亦會發出 β 射線，從而達到殺死腫瘤的目標。

其好處第一是治療的位置與做掃描時見到有癌細胞位置相同;同時第二個好處是能集中治療有問題的細胞，減少影響其他正常細胞。目前這類概念亦開始應用於治療其他癌症，例如前列腺腫瘤。雖然只是將診斷的同位素換成治療性的同位素，但過程不容易，要讓放射性物質能黏上癌細胞，需要高超的技術。神經內分泌腫瘤作為一種相對少見且疑難的腫瘤，臨床對它的認知才剛剛開始，這類腫瘤許多生物學特性還有待去總結和發現，臨床的規範化治療也逐步在探索和修正，但是值得肯定的是，這類腫瘤的臨床診治一定需要多學科的力量。只有發揮各專業之所長，才能實現神經內分泌腫瘤的個體化治療，核子醫學所提供的功能成像和治療角色在 NET 診治多學科團隊中發揮了重要且獨特的作用。

手持式加馬能譜分析成像系統應用- 放射性廢棄物貯存設施之建物土地 設備拆除前偵檢

作者 徐世融
台灣電力公司核能一廠

美國電力研究所 (Electric Power Research Institute, EPRI) 於 2019/11 月發表-除役期間手持式加馬能譜分析儀應用^[1]，其內容有核子設施除役之建物、土地、設備拆除前，各種條件

下應用手持式加馬能譜分析系統進行偵檢，本篇從放射性廢棄物貯存設施除役偵檢作業中選取範例，並以性質類別劃分說明。

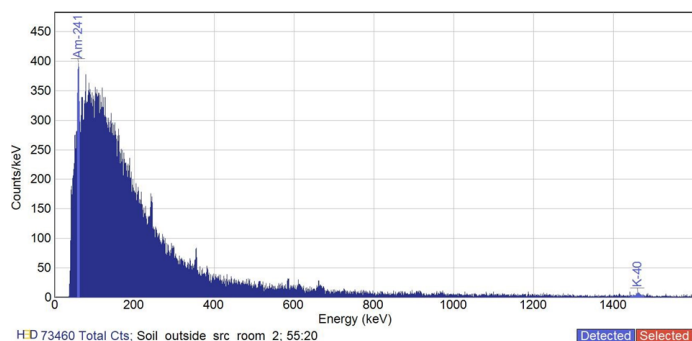
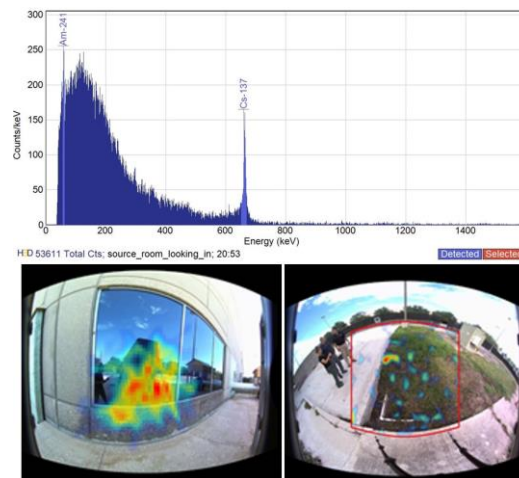


圖 1 受影響土地-能譜分析



圖 2 受影響土地-熱點判斷



A. 受影響土地

距離土地中心 3.7 公尺處進行偵檢，量測時間 55 分鐘，環境背景劑量率為 0.044 微西弗/時。有效偵檢面積評估為 2.4 x 6.1 公尺。CZT 測得熱點區域有 Am-241 核種(圖 1)，後續對熱點區域(圖 2)執行取樣實驗室核種分析，測得 Cs-137 15.7Bq/kg (外釋標準為 400 Bq/kg)，但未測得 AM-241(MDA 16.1Bq/kg，外釋標準為 740Bq/kg)。同時以 ISOCS 進行量測比對，無測得 Am-241(MDA 15.9Bq/kg)，測得 Cs-137 15.5 Bq/kg(MDA 1.78Bq/kg)。由 Cs-137 量測結果推斷，與歷史核子武器試爆產生之沉積量相當。在如此低微活度、與環境背景值相差無異的狀況下，不同量測儀器所造成的判斷往往將產生分歧，雖然 CZT 量測結果較為保守並非正確，但其熱點判定供後續進一步的量測，例如取樣分析或 ISOCS 偵檢，節省相當多的人工掃描時間。

B. 嚴重污染外窗(牆)

發生嚴重污染，但熱點位置與核種資訊不足，以 CZT 距離外窗 2.4 公尺量測 20 分鐘，測得 Am-241 與 Cs-137 及熱點位置(圖 3、4)。環境背景劑量率為 0.06 微西弗/時。後續對熱點區域進行擦拭測試，測得非固著性污染阿法粒子 8000 dpm 與貝他粒子 1,450,000 dpm。

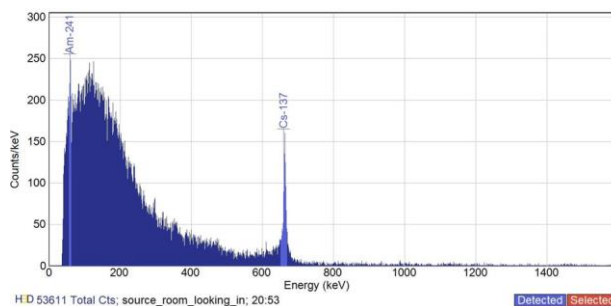


圖 3 受影響外窗(牆)-能譜分析

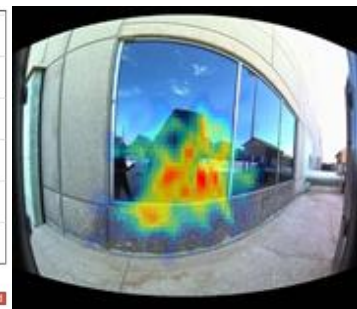


圖 4 受影響外窗(牆)-熱點判斷

C. 受影響設備-實驗室管路

以 CZT 對可能中等程度受影響之實驗室管路進行測量，測量時間 13 小時 35 分鐘，環境劑量率為 0.69 微西弗/時。依判斷此區域管路外部污染程度可能較低，其內部管路可能無污染。CZT 量測結果顯示 CS-137 核種位於儀器後方的高輻射區(圖 5、6)，而非存於待測物，初步判定待測物無污染。後續對此管路拆除並進行傳統式表面污染量測，並無發現污染。

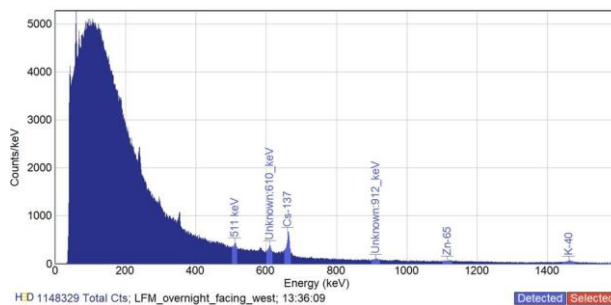


圖 5 受影響設備-實驗室管路-能譜分析



圖 6 受影響設備-實驗室管路-熱點判斷

D. 可能受影響設備-除溼器

空氣除溼器位於受影響程度較低之區域，但其進氣口接近受影響程度較高之區域，可能吸入空浮粒子，故以 CZT 進行量測。量測時間為 21 分鐘，距離 30 公分，無測得核種(圖 7、8)。後續對該組件以傳統量測方式如表面污染量測及接觸劑量率量測，結果均為背景值。此種量測方式可針對本身受影響程度較低或非受影響區域，懷疑可能受到非預估途徑而造成影響，後續可執行的複判(如對 HSA 複判)。可節省許多除役成本。

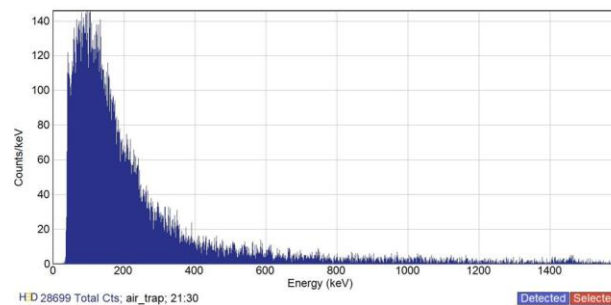


圖 7 受影響設備-除溼器-能譜分析

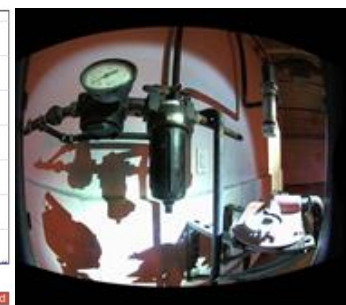


圖 8 受影響設備-除溼器-熱點判斷

E. 未受影響設備-排水管

排水管位於未受影響區域，以 CZT 進行量測，量測時間 1 小時 31 分鐘，距離 45 公分。量測結果僅測得天然核種 K-40(圖 9、10)。此為 HSA 階段初判為未受影響設備之複判範例。

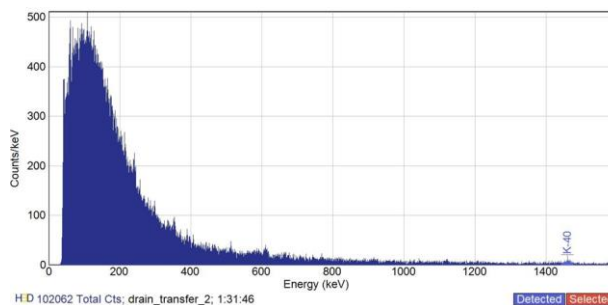


圖 9 未受影響設備-排水管-能譜分析



圖 10 未受影響設備-排水管-熱點判斷

F. 未受影響設備-屋頂通風及排水管路

屋頂通風及排水系統初判為未受影響設備，但考慮氣體排放粒子可能會沉降、沉積因而對設備管路造成影響，故進行 CZT 的量測。量測時間 16 小時 37 分鐘量測結果僅測得天然核種 K-40 及其他未知低能量核種(圖 11、12)，未含人工核種。此為 HSA 階段初判為未受影響設備之複判範例。

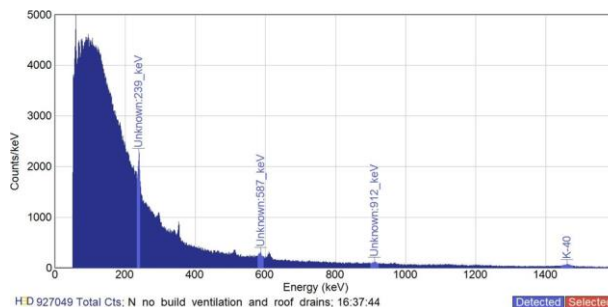


圖 11 未受影響設備-屋頂通風及排水管路-能譜分析

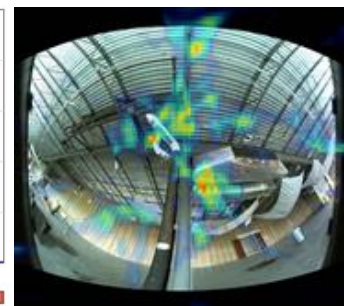


圖 12 未受影響設備-屋頂通風及排水管路-熱點判斷

G. 受影響建物-高污染區

高污染區遍佈不連續熱點，須對此區域之結構鋼體、混凝土結構物進行拆卸、除污動作。以 CZT 量測 35 分鐘，距離 3 公尺可偵檢整個高污染區範圍，測得 CS-137 核種及熱點位置(圖 13、14)。量測結果可協助後續界定偵檢作業、整治範圍等進而減少成本。

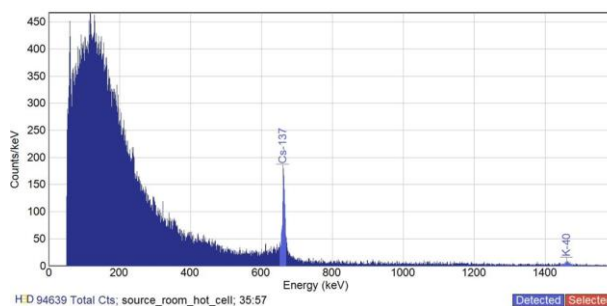


圖 13 受影響建物-高污染區-能譜分析

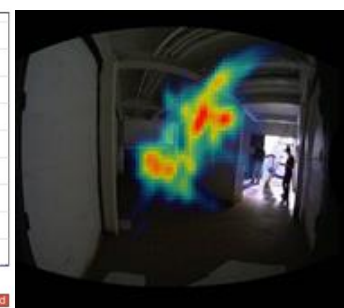


圖 14 受影響建物-高污染區-熱點判斷

H. 受影響設備-通風系統

對受影響區域天花板通風系統以 CZT 進行量測，量測時間 15 分鐘，距離天花板 5.8 公尺，量測有效面積為 3.7 x 3.7 公尺。測得 Am-241、Cs-137、Tl-202 核種及熱點位置(圖 15、16)。後續對通風系統進行拆除及表面污染量測，測得熱點區域有 21,120dpm 阿伐粒子及 165,000dpm 貝他粒子非固著性污染。

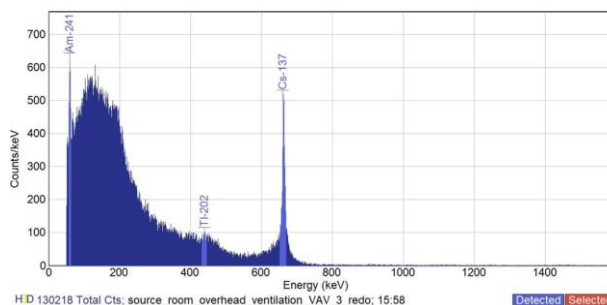


圖 15 受影響設備-通風系統-能譜分析

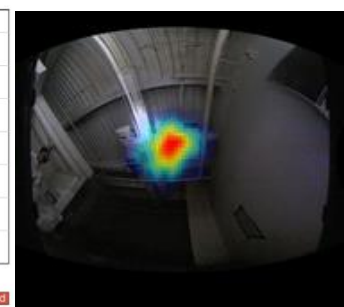


圖 16 受影響設備-通風系統-熱點判斷

I. 受影響設備-高效能濾網

高效能濾網臨時架設於除污及拆除現場，用於過濾空浮粒子，作業結束後可能為受影響設備。以 CZT 量測 1 小時 1 分鐘，測得些微 Cs-137 核種(圖 17、18)。但後續使用表面污染量測，無法判別受污染。主因是核種若埋藏於設備深處且活度很小，其阿伐貝他粒子無法穿透出表面，僅加馬粒子能穿出，且傳統手持式表面污染量測無核種鑑別能力，粒子數很可能在背景變動範圍內因而忽略。以此範例得知加馬能譜分析技術能更有力的找到深埋或被屏蔽的放射性物質，且搭配具有定位能力的成像系統對於整體量測作業將更有效率。

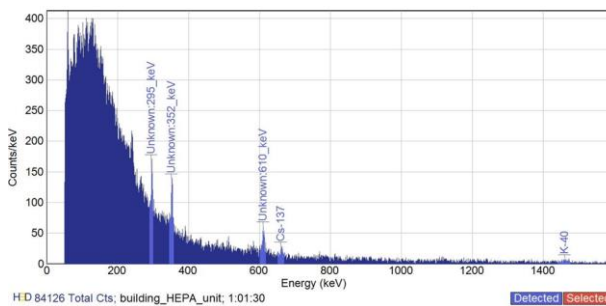


圖 17 受影響設備-高效能濾網-能譜分析

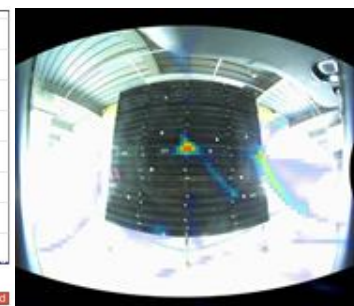


圖 18 受影響設備-高效能濾網-熱點判斷

J. 受影響設備-空氣壓縮機

空氣壓縮機位於受影響區域，以 CZT 量測 46 秒測得 Cs-137 核種及熱點位置(圖 19、20)。再以另一角度量測 4 分鐘，距離 1.5 公尺，求得 Cs-137 核種及熱點位置(圖 21、22)，通過兩個方向的交叉比對，可得更知射源更具體之定位。後續在拆除作業執行期間對熱點區域進行拭跡試驗，在空壓機內部測出高達 1,171,000dpm 貝他粒子之非固著性污染。

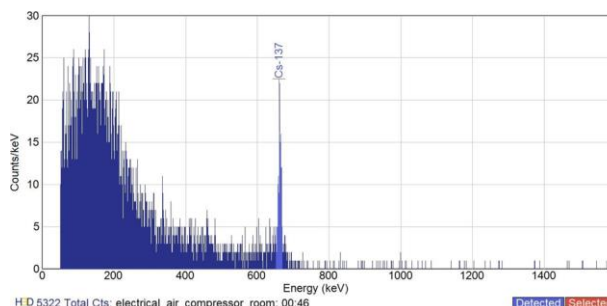


圖 19 受影響設備-空氣壓縮機-核種分析 1

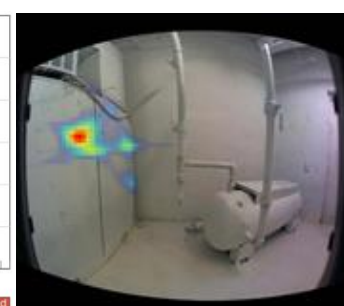


圖 20 受影響設備-空氣壓縮機-熱點判斷 1

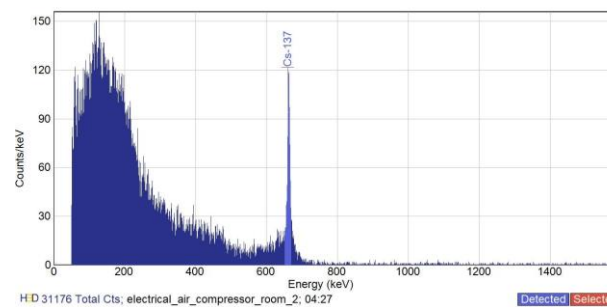


圖 21 受影響設備-空氣壓縮機-核種分析 2

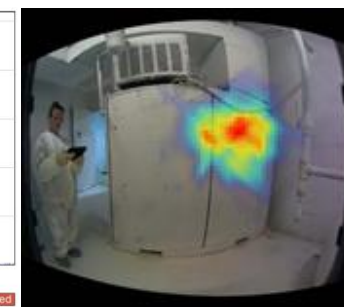


圖 22 受影響設備-空氣壓縮機-熱點判斷 2

K. 未受影響設備-大型變壓器

對位於未受影響區域之大型變壓器進行量測，由於大型變壓器持續通電並投入使用，使用傳統方式量測將有安全顧慮，故以 CZT 量測 48 分鐘，變壓器無測得核種(圖 23、24)，測得之 Cs-137 核種可能存於環境土地(歷史核子武器試爆沉積)。若以傳統式加馬能譜分析則可能誤判 Cs-137 存於變壓器中。此為 HSA 階段初判為未受影響設備之複判範例。

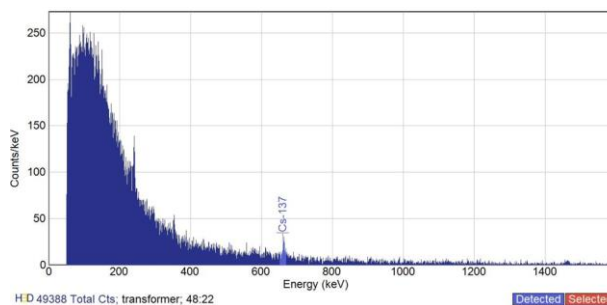


圖 23 未受影響設備-大型變壓器-能譜分析



圖 24 未受影響設備-大型變壓器-熱點位置

表一 放射性廢棄物貯存設施偵檢範例彙整表

項次	待測物	量測時間	量測距離	量測結果	備註
A	受影響土地	55 分鐘	3.7 公尺	Am-241，較為保守並非完全正確，其熱點判定供後續進一步的量測，節省大量人工掃描時間。	後續實驗室核種分析測得 Cs-137 15.7Bq/kg。 ISOCS 測得 Cs-137 15.5 Bq/kg。
B	嚴重污染外窗(牆)	20 分鐘	2.4 公尺	Am-241、Cs-137	後續測得 8000dpm 阿法粒子與 1,450,000dpm 貝他粒子非固著性污染。
C	受影響設備-實驗室管路	13 小時 35 分鐘	無資訊	無、初判待測物無污染	管路拆除後進行傳統式表面污染量測，並無發現污染。
D	受影響設備-除溼器	21 分鐘	30 公分	無、初判待測物無污染	後續以傳統量測方式如表面污染量測及接觸劑量率量測，結果均為背景值。
E	未受影響設備-排水管	1 小時 31 分鐘	45 公分	K-40(天然核種)	未受影響設備之複判範例。
F	未受影響設備-屋頂通風及排水管路	16 小時 37 分鐘	無資訊	K-40(天然核種)	未受影響設備之複判範例。
G	受影響建物-高污染區	35 分鐘	3 公尺	Cs-137	協助後續界定偵檢作業、整治範圍等進而減少成本。
H	受影響設備-通風系統	15 分鐘	5.8 公尺	Am-241、Cs-137、Tl-202	拆除後測得 21,120dpm 阿伐粒子及 165,000dpm 貝他粒子非固著性污染。
I	受影響設備-高效能濾網	1 小時 1 分鐘	無資訊	Cs-137	後續使用表面污染量測，無法判別受污染。此範例得知加馬能譜分析技術能更有力的找到深埋或被屏蔽的放射性物質，且搭配具有定位能力的成像系統對於整體量測作業將更有效率。

J	受影響設備 - 空氣壓縮機	46 秒及 4 分鐘	1.5 公尺	Cs-137	透過兩方向量測的交叉比對，可得更知射源更具體之定位。後續進行拭跡試驗，在空壓機內部測出高達 1,171,000dpm 貝他粒子之非固著性污染。
K	未受影響設備 - 大型變壓器	48 分鐘	無資訊	變壓器本體無核種，Cs-137 可能存在於環境土地。	由於大型變壓器持續通電並投入使用，使用傳統方式量測將有安全顧慮。若以傳統式加馬能譜分析則可能誤判 Cs-137 存於變壓器中。此為未受影響設備之複判範例。

參考文獻

[1] Use of Portable Gamma Detector Systems During Decommissioning, EPRI, 2019/11。

[2] TPC&EPRI 2018 Workshop- Review of MARSSIM and the Site Characterization Process, EPRI, 2018/11/14。



訓練班課程(111 年度)

放射性物質或可發生游離
輻射設備操作人員研習班

A 組 36 小時-許可類

A1 新竹 帝國經貿大樓

1 月 11 日~1 月 17 日

A2 高雄 文化大學推廣部

2 月 08 日~2 月 15 日

(以上為 112 年度)

B 組 18 小時-登記類

B20 台北 進出口同業公會

10 月 19 日~10 月 21 日

B21 新竹 帝國經貿大樓

10 月 26 日~10 月 28 日

B22 台中 文化大學推廣部

11 月 16 日~11 月 18 日

B23 高雄 文化大學推廣部

11 月 23 日~11 月 25 日

B24 台北 進出口同業公會

12 月 07 日~12 月 09 日

B25 新竹 帝國經貿大樓

12 月 14 日~12 月 16 日

輻射防護專業人員訓練班：
輻防員(108 小時) / 輻防師
(144 小時)

員 40 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

12 月 26 日~30 日

第二階段 112 年

1 月 03 日~06 日

第三階段

2 月 06 日~10 日

第四階段

2 月 13 日~17 日

輻射防護繼續教育訓練班
(3/6 小時)

高雄 科學工藝博物館南館

11 月 3 日(上午)

台北 進出口同業公會

11 月 10 日(上午)

台中 文化大學推廣部

11 月 23 日(上午)

新竹 經濟部專研中心(暫)

11 月 29 日(上午)

鋼鐵建材輻射偵檢人員訓
練班

鋼 1 新竹 帝國經貿大樓

5 月 04 日~5 月 05 日

鋼 2 高雄 文化大學推廣部

5 月 09 日~5 月 10 日

(以上為 112 年度)

上課地點

台北

建國大樓：台北市館前路
28 號

進出口同業公會：台北市中
山區松江路 350 號

新竹

帝國經貿大樓：新竹市光復
路二段 295 號 20 樓

經濟部專研中心：新竹市光
復路二段 3 號

台中

文化大學推廣部：台中市西
屯區台灣大道三段 658 號

高雄

國立科學工藝博物館-南館：
高雄市三民區九如一路
797 號

文化大學推廣部高雄教育
中心：高雄市前金區中正
四路 215 號 3 樓

課程安排詢問，請聯絡本會，電話 (03) 572-2224
分機 313 李貞君 (繼續教育) (輻防專業人員)；
分機 315 邱靜宜 (操作放射性物質與游離輻射設備、偵檢鋼鐵建材)
傳真 (03) 572-2521



輻防新聞廣場

最新證照考試日期與榜單

- ⇒ 行政院原子能委員會 111 年第 2 次輻射防護及操作人員測驗。[訊息連結](#)

報名期間：民國 111 年 8 月 1 日起至 8 月 19 日截止。

測驗日期：民國 111 年 10 月 22 日(星期六)。

測驗地點：

台北試區：考試院國家考場(台北市文山區木柵路 1 段 72 號)

高雄試區：高雄市立新興高級中學(高雄市新興區五福二路 218 號)

詳細報名簡章等相關測驗資料，請點選下方(相關網站)即可下載瀏覽。

相關連結：[輻防及輻安測驗](#)

國內新聞

- ⇒ 世界新聞網報導「政策大轉彎 日相宣布擬建新世代核電廠」。[訊息連結](#)

因為戰爭與潔淨能源的考量，使部分國家重新考量對核能的使用。日本首相岸田文雄 24 日在能源會議中下令，相關單位研擬興建新世代核電廠。日本政府至今所採取的立場是「不考慮新建或改建核電廠」，如今岸田表示考慮建設新核電廠，將是 2011 年 311 大震核災後日本核電政策首度大轉變。

德國延後關閉最後三座核電廠

無獨有偶，德國官員也在日前表示，德國計畫延後關閉最後 3 座核電廠，以便在俄羅斯限制天然氣供應後，因應今年冬季可能出現的能源短缺窘境。在俄烏戰爭後，民調顯示四分之三德國民眾支持延役。

據華爾街日報報導，這象徵德國首次背離在 2011 年日本福島核災後加速推動的非核家園政策，但總理蕭茲尚未決定是否延後關閉核電廠，此舉也可能須經國會表決。但蕭茲曾表示，維持核反應爐運作是合理的，暗示延役。

加州最後核電廠考慮延長運作

加州州長紐森(Gavin Newsom)則在 8 月 12 日提案，建議讓加州最後一座核電廠「魔鬼谷核電廠」(Diablo Canyon Nuclear Power Plant)延長運作 5 到 10 年，以維持電力穩定供應。該廠原定 2025 年關閉，批評人士則警告延長營運將破壞加州環保。

甫於數周前宣布跨足核電領域的印度最大發電商國營 NTPC，據悉也正在研議另一個大規模核電計畫，顯示印度總理莫迪正加快推動核能的步調。據德勤分析師米甚拉指出：「以碳足跡的觀點而言，核電是最佳的基載電力形式，在印度邁向淨零的過程中扮演關鍵角色。」

今年因酷熱及烏俄戰爭影響，一面因用電大增，一面又因俄羅斯減少供應天然氣，使得各國皆面臨能源短缺的挑戰。加上各國要回應或承諾聯合國 SDGs 的減碳目標，讓核電該不該繼續運用，再成為話題。

日本因受福島核災影響，最受矚目。但岸田首相 24 日在官邸召開實現減碳社會的「綠色轉型」會議上，針對新世代核電廠的研發、現有核電廠延長使用年限等做出新的指示，格外引人關注。

岸田表示，俄烏戰爭改變全球能源樣貌，日本必須思考可能的危機狀況。另外，專家說，日本電網並未和鄰國相連，又無法增加化石燃料產量因應能源供需，因此必須重視能源安全。

日本當前已面臨缺電隱憂，還計畫在 2050 年達成碳中和，岸田指示相關單位，在年底前彙整出因應措施。日本已設定 2030 年核電將占全國發電量 20%，在 2020 年這個數字不到 5%，新世代核電廠的研發、建設將是主要研議的項目。

日擬興建改良型輕水反應爐

岸田說的新世代核電廠是指安全性較高的改良型輕水反應爐 (Light Water Reactor, LWR)，日本經濟產業省審議會已彙整 2030 年代進行商業運轉的工程表方案。

另外，日本現行法規規定，核電廠原則上運轉 40 年，最長運轉 60 年，到期就廢爐，岸田也下令相關單位研議延長核電廠運轉期限。

日本政府擔心今年冬季和明年會有缺電的問題，因此考慮加快重啟核電廠。日本國內核電廠有 33 座機組，福島核災後一度全面停機，後來有些重啟。岸田今年 7 月就訂下應加快重啟核電廠方針，將善用有重啟過的 10 座機組，明年夏天以後要增強為 17 座機組運作。

電力公司申請重啟的機組有 25 座，17 座已通過原子能規制委員會的安全審查。其中 10 座獲得地方政府同意並已重啟，但目前實際運轉的僅 6 座。日本政府將積極促使爭取核電廠所在地居民的理解，期待明年夏天以後重啟。(發布日期 111 年 8 月 25 日)

➡ Yahoo 新聞報導「烏克蘭電廠周遭遭砲擊 原能會：密切監控環境輻射值」。 [訊息連結](#)

行政院原能會自俄烏戰爭爆發後，密切掌握國際相關核安與環境即時監測資訊，原能會於昨 (十) 日就有關烏克蘭札波羅熱核電廠最新情勢提出說明。

國際原子能總署 (IAEA) 於維也納時間九日晚間發布緊急聲明，表示札波羅熱核電廠情況危急，持續的砲擊使得電廠不大可能恢復穩定外電線路，且員工所處環境惡劣，員工安全及營運能力備受威脅，呼籲應立即停止在該區域的所有砲擊行動，也表明建立安全防護區是防止核電廠事故的唯一途徑。

原能會表示，將持續關注有關俄烏戰爭相關核安資訊，並作好各項應變準備，目前歐洲及我國六十三座環境輻射值正常，原能會將全時監控環境輻射變化，守護我國輻射安全。(發布日期 111 年 9 月 10 日)

➔ 聯合新聞網報導「廣東、福建核電廠再擴容 大陸今年新增 10 座核電機組」。 [訊息連結](#)

大陸國務院總理李克強 13 日主持召開國務院常務會議，為提升能源保障能力和促進綠色發展，會議決定，核准已列入規劃、條件成熟的福建漳州二期、廣東廉江一期核電專案。這是大陸年內第二次核准新核電專案。

澎湃新聞報導，大陸為兼顧能源自主供給與低碳轉型，今年以來已通過多項新建核電專案。今年 4 月 20 日召開的國常會決定，在嚴格監管、確保絕對安全的前提下有序發展核電。當時宣布核准已納入規劃的浙江三門、山東海陽、廣東陸豐三個核電新建機組專案。

至此，2022 年以來已有 5 個新項目、總計 10 台核電新機組獲得核准。

報導稱，今年是繼 2008 年的 14 台機組獲批後，十餘年來核電核准速度和數量最高的一年。最新獲批的兩個項目的所在地福建、廣東，均為沿海核電大省。

漳州核電廠位於福建省漳州市雲霄縣列嶼鎮，規劃容量按 6 台百萬千瓦級壓水堆核電機組考慮，一次規劃、分期建設。漳州核電 1、2 號機組已於 2019 年 10 月、2020 年 9 月開工建設。二期專案 3、4 號機組為擴建工程，與前兩台機組一樣採用「華龍一號」三代核電技術，單台機組額定電功率為 1212MW，單機建設工期為 58 個月。該項目業主為中核集團控股的中核國電漳州能源有限公司。

2021 年 1 月「華龍一號」全球首堆福清核電 5 號機組投入商業運行後，福建省建成投產的核電機組達到 9 台，核電在運容量大陸全國第二，核電占比大陸全國第一。漳州核電 3、4 號機組的建設有助於進一步推進福建省能源結構優化，滿足電力負荷快速發展的需要、保障該省能源供應安全。

廣東廉江核電則是新開發的核電廠址，擬規劃建設 6 台百萬千瓦級壓水堆核電機組，一次規劃、分期建設，由國家電投集團所屬的國核湛江核電有限公司負責開發。一期工程 1、2 號機組位於廣東省廉江市車板鎮，擬建兩台 CAP1000 第三代先進壓水堆核電機組，單台機組的建設工期 56 個月。

報導稱，截至 2022 年 6 月底，中國在運核電機組 54 台，總裝機容量為 5578 萬千瓦，位列全球第三；在建及核准核電機組 23 台，繼續保持世界第一；在運在建核電機組數為全球第二。核電供應著大陸全國 5% 的發電量。但無論是核電裝機量還是發電量占比，均低於全球平均水準。

零碳排放、出力穩定、高能量密度的核電，是大陸實現碳達峰、碳中和目標不可或缺的主要手段之一。(發布日期 111 年 9 月 15 日)

- ➡ 中時新聞網報導「東北首座核電站供暖專案將啟動 預計目標曝光」。[訊息連結](#)

位於大連瓦房店市的遼寧紅沿河核電站是大陸東北的首座核電站，也是東北最大的電力能源投資項目。根據央視報導，近日隨著 6 台機組全面投產，成為大陸運裝機容量最大的核電站、也是世界第三大核電站，在運總裝機容量達到 670 萬千瓦，並作為東北首個核能供暖項目，預計今年冬天周邊紅沿河鎮的居民就能用上核能供暖，計畫供暖面積達 24.24 萬平方公尺，比傳統煤電供暖效率更高。

據了解，紅沿河核電站總投資近 900 億元人民幣，2 期工程 5、6 號機組投運以來，為東北經濟發展提供源源不斷的「綠色動能」。據測算，6 台機組滿發條件下，年發電量可達 480 億千瓦時，約占遼寧省社會用電總量 20%，等效於減少標煤消耗約 1452 萬噸，減排二氧化碳約 3993 萬噸，相當於種植 10.8 萬公頃森林。

據指出解，紅沿河核電站 2 期工程 5、6 號機組，採用了 38 項重大技術改進，具備 3 代核電的技術特徵，提升安全性能和發電水準，且設備大陸國產化率達到了 80%。其中蒸汽發生器、汽輪發電機等關鍵核電設備均由大陸廠家製造。

(發布日期 111 年 9 月 26 日)

- ➡ 科技新報「黑潮發現大量銫，原能會：無輻射異常，對國人無影響」。[訊息連結](#)

近日研究發現，黑潮深水輸送著 60 年前美俄核彈試爆遺留的大量放射性銫 137。原能會表示，調查顯示台灣周邊海域海水及海生物的放射性銫活度遠低於法定基準，並無輻射異常現象，對國人也無任何影響。

國立中山大學海洋科學系講座教授陳鎮東最新研究指出，黑潮深水輸送著 60 年前美俄核彈試爆遺留的大量放射性銫 137，且含量遠超福島核爆 2016~2018 年每年釋出海洋一千倍，可能輸送至東北角湧升海域被蝦蟹藻類吸收，若人類捕食恐受影響。

原能會新聞稿說明，媒體報導稱海洋深水放射性銫會湧升至表層水處，可能被藻類、海洋生物吸收後影響人類一事，因目前並無輻射異常事故，對國人無影響。

原能會指出，原能會輻射偵測中心 107~110 年委託國立中山大學協助執行台灣海域環境輻射背景調查，協助海水、沉積物、岩心等樣品取樣及數據分析等工作。而根據歷年海域輻射調查結果顯示，台灣周遭海域中放射性銫，黑潮 200~400 公尺深處有較強輸送量，會於台灣東北角湧升至東海表面，這項發現獲世界頂尖期刊《海洋污染公報》刊登。

原能會解釋，國際無核子武器試爆，海洋人工放射性物質相當微量，輻射偵測中心調查結果顯示台灣周邊海域海水及海生物放射性銫活度，均遠低於我國「環境輻射監測規範」紀錄基準，並無輻射異常現象。

原能會強調，未來因應日本福島第一核電廠含氫廢水排放海洋，原能會已規劃海域監測計畫，持續監控台灣周邊海域環境輻射變化，確保輻射安全。(發布日期 111 年 10 月 04 日)

游離腔煙霧偵測器的輻射安全

作者 李境和

義守大學助理教授(退休)

為了提升人類生活福祉與安全，生產廠商會強化某些消費性產品的功能或特殊物理或化學特性，而故意摻入少量放射性核種，例如預防火災警告用途的游離腔煙霧偵測器，目前提供給民眾的消費性產品大多數屬於這種類型。考量這種消費性產品是否可提供民眾使用，製造商或進口商應先確認該消費性產品提供民眾使用具有正當性，也應符合輻射防護與安全的最佳化原則。筆者以游離腔煙霧偵測器說明有意摻入放射性核種於消費性產品中應考量的事項與做法^[1]，介紹如下：

游離腔煙霧偵測器

含有射源的游離腔煙霧偵測器已廣泛提供民眾使用。它們的使用係藉火災警告來挽救生命，是具有非常重要的防災功能。結合光學煙霧偵測機制而不是射源的偵測器已經開發出來，並且作為游離腔煙霧偵測器的替代品也可供民眾使用。從歷史上看，游離腔煙霧偵測器被認為對快速燃燒的火災之反應更快，而光學煙霧偵測器較適合悶燒火災(smouldering fire)之偵測。某些偵測

器結合了游離腔煙霧偵測器和光學煙霧偵測器，以偵測快速燃燒和悶燒火災。管制機關在考量游離腔煙霧偵測器的正

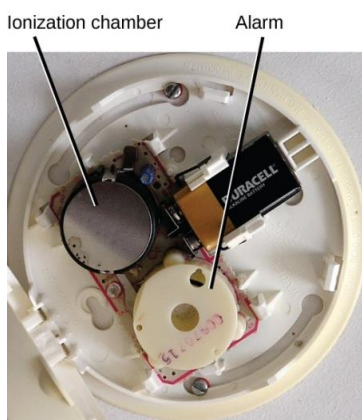
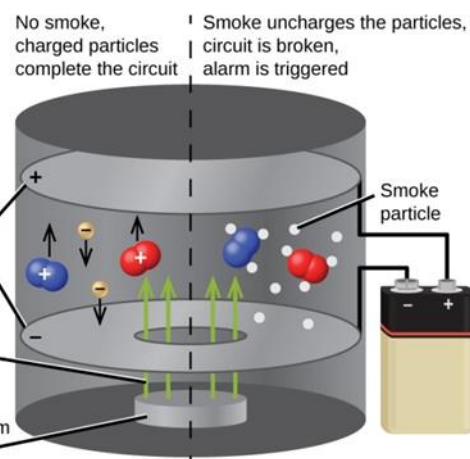


圖 1 游離腔煙霧偵測器的內部構造

當性時應考慮這些問題。

游離腔煙霧偵測器的構造和原型測試之標準，已由 OECD 核能署 (OECD Nuclear Energy Agency, OECD/NEA) 於 1977 年發布，隨後於 1992 年由英國國家輻射防護委員會 (the United Kingdom National Radiological Protection Board, NRPB) 修訂和更新^[2]。該出版物仍然被用作為游離腔煙霧偵測器的設計、構造和性能的公認標



準。典型游離腔煙霧偵測器的內部構造有游離腔、警報器與乾電池，如圖 1；游離腔煙霧偵測器的偵測原理，係藉射

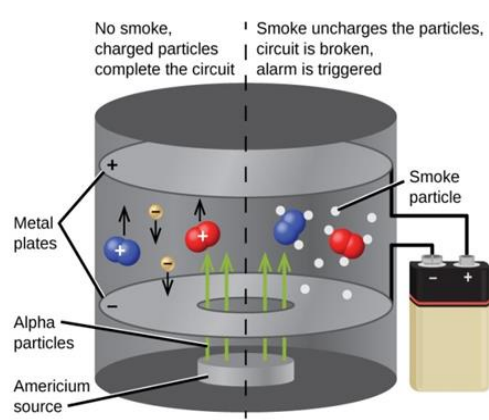


圖 2 游離腔煙霧偵測器的偵測原理

源射出的α粒子游離空氣，再藉兩電極板收集正負離子，使電路導通；當煙霧微粒飄進游離腔，將阻礙空氣被游離，使電路不通，進而觸發警報，如圖 2。

游離腔煙霧偵測器中的射源活度通常大於 GSR 第 3 部分中的豁免值。NRPB 執行了民眾在正常使用符合規定標準的游離腔煙霧偵測器與在預期事故中接受劑量的評估，作為制定游離腔煙霧偵測器

標準的工作之一部分。該評估顯示，正常使用情況下劑量仍滿足 10 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ 和低機率(事故)情況下劑量仍小於 1 mSv/y 的豁免劑量標準。

一旦正當性問題得到解決後，管制機關對滿足結構和類型試驗標準的游離腔煙霧偵測器的型號，藉核准的類型，應考量游離腔煙霧偵測器豁免於法規管制。

這種方法並不排除管制機關在核准的類型中規定其他條件，例如處置要求和任何附加標籤要求。對於目前市場上可用的許多游離腔煙霧偵測器，類型測試資訊可從製造商處獲得。

含有微量放射性核種或是會產生微量游離輻射的消費性產品，是否可提供民眾使用？製造商或進口商應先確認該消費

性產品提供民眾使用具有正當性，也就是必須有淨利益；且其正當性必須先獲得管制機關的認可，才可提供民眾使用。而此消費性產品除了具有正當性外，也應符合輻射防護與安全的最佳化原則，特別是所要使用的射源及其活度之選擇，應充分考慮其最佳化，使民眾能安全地使用這些消費性產品外並能維護環境安全。



參考文獻

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Safety for Consumer Products, IAEA Safety Standards Series, No. SSG-36, IAEA, Vienna (2016).

[2] NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD, "Radiological protection standards for ionisation chamber smoke detectors", Documents of the NRPB, Vol. 3, No. 2, NRPB, Chilton (1992) 9–20.6. NRC Decommissioning 網頁

手持式加馬能譜分析成像系統應用- 放射性廢棄物貯存設施之廢棄物與設備偵檢

作者 徐世融
台灣電力公司核能一廠

美國電力研究所 (Electric Power Research Institute, EPRI) 是美國從事與電力的產生、輸送與使用相關的研究開發的非營利機構，於 2019 年發表「除役期間手持式加馬能譜分析儀應用」^[1]，有對核子設施除役之建物、土地及設備拆除前，各種條件下應用手持式加馬能譜分析系統進行偵檢的應用。本篇作者節錄放射性廢棄物貯存設施除役偵檢作業中的範例說明，也對未來應用於我國除役偵檢提出建議看法。

A. 廢棄物桶

廢棄物桶含有 16.7GBq 的 Am-241 核種，以 CZT 量測 43 秒，距離 1.8 公尺，即測得核種及熱點位置(圖 1、2)。由此可知，對於高強度射源，CZT 能在非常短的時間測得核種及位置。

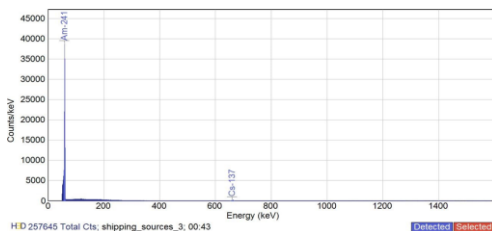


圖 1 廢棄物桶-能譜分析



圖 2 廢棄物桶-熱點判斷

B. 通風管路

拆除下來的通風管路將進行運送及處置，以 CZT 量測 1 小時 1 分鐘，距離 1.8 公尺，測得 Cs-137 核種及熱點位置(圖 3、4)。以傳統量測方式測得讀數為背景值。可得知 CZT 其能譜分析及定位能力與傳統量測方式相比有相當大

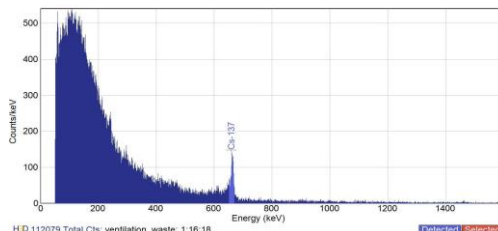


圖 3 通風管路-能譜分析

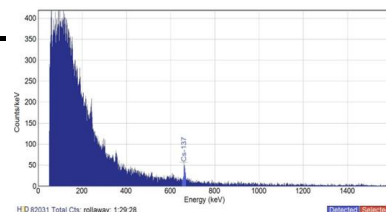
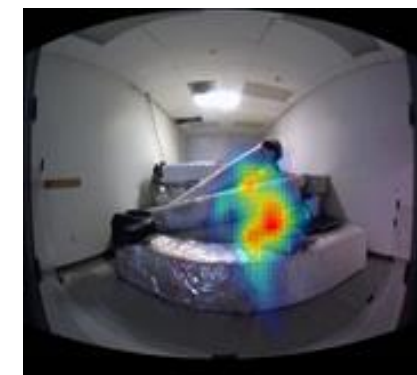


圖 4 通風管路-熱點判斷



C. 通風系統零件

拆除下來的通風系統零件(已包裝)將進行運送及處置，以 CZT 量測 30 分鐘，距離 1.8 公尺，測得 Cs-137 核種及熱點位置(圖 5、6)。以傳統量測方式測得讀數為背景值。可得知 CZT 其能譜分析及定位能力與傳統量測方式相比有相當大的優勢。

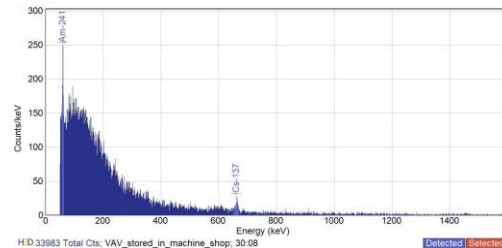


圖 5 通風系統零件-能譜分析

D. 用過輻防衣物及雜項廢棄物

用過輻防衣物及雜項廢棄物(已包裝)需運送及處置，以 CZT 量測 42 分鐘，距離 3 公尺。測得 Cs-137 核種及位置(圖 7、8)。該熱點區域表面接觸劑量率為 0.3 微西弗/時。

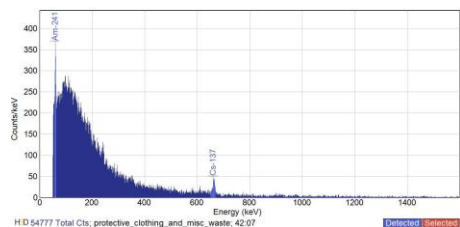


圖 7 用過輻防衣物及雜項廢棄物-能譜分析



圖 8 用過輻防衣物及雜項廢棄物-熱點判斷

另以 ISOCS 距離該容器 1.2 公尺處，等間距移動量測 4 次，每次 4000 秒，定量結果為 Cs-137 275.65Bq/kg。

放射性廢棄物貯存設施偵檢範例彙整後如表一。

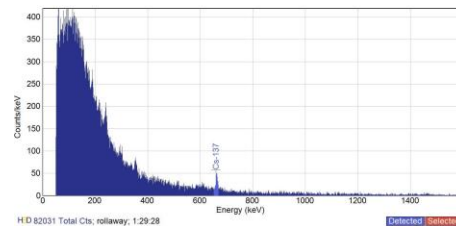


圖 9 放射性廢棄物大型箱型容器-能譜分析



圖 10 放射性廢棄物大型箱型容器-熱點判斷

E. 放射性廢棄物大型箱型容器

放射性廢棄物大型箱型容器(2005 公斤重)準備運送至處置場，以 CZT 進行量測，量測時間為 1 小時 29 分鐘，距離 3 公尺，測得 Cs-137 核種(圖 9、10)。

表一 放射性廢棄物貯存設施偵檢範例

項目	待測物	量測時間	量測距離	量測結果	備註
A	廢棄物桶-待處置	43 秒	1.8 公尺	Am-241	廢棄物桶含有 16.7GBq 的 Am-241 核種，可知高強度射源 CZT 能在非常短的時間測得核種及位置。
B	通風管路-待處置	1 小時 1 分鐘	1.8 公尺	Cs-137	以傳統量測方式測得讀數為背景值。可得知 CZT 其能譜分析及定位能力與傳統量測方式相比有相當大的優勢。
C	通風系統零件(已包裝-待處置)	30 分鐘	1.8 公尺	Cs-137	以傳統量測方式測得讀數為背景值。可得知 CZT 其能譜分析及定位能力與傳統量測方式相比有相當大的優勢。
D	用過輻防衣物及雜項廢棄物-待處置	42 分鐘	3 公尺	Cs-137	表面接觸劑量率為 0.3 微西弗/時。

項目	待測物	量測時間	量測距離	量測結果	備註
E	放射性廢棄物大型箱型容器	1 小時 29 分鐘	3 公尺	Cs-137	以 ISOCS 定量結果為 Cs-137 275.65Bq/kg。

結論

國外除役實務偵檢經驗，已廣泛應用手持式加馬能譜分析成像系統於除役各式偵檢作業，例如用於輻射特性調查的初步篩選、建物土地整治前後的偵檢、廠址最終狀態的確認偵檢、高解析度鑑別易測核種、全方位找出熱點分布與強度、可對難以達到的區域進行偵檢、時間拉長亦可於環境級使用等功能，並已有大量核子設施採用此類型設備。

台灣電力公司核一廠針對除役廢棄物離廠量測程序之國際相關參考標準外，另加補充對低微、極低微活度偵檢測試及熱點定位測試。參考國外經驗與核一廠

實驗結果，手持式加馬能譜分析成像系統其定性(判斷人工核種有或無)與污染定位方面的能力是非常強大的，即使是 0.0094 Bq/cm² 之表面活度(總活度 19Bq)亦能辨識顯示，而量測簡單面射源後之活度估算誤差率可達 5%以下，量測高活度桶型射源誤差值，也落在我國一定活度或比活度以下廢棄物解除管制之加馬量測技術規範 TAF-CNLA-T12(2)第 5.2.4(2)項能力試驗評估基準要求之間，雖然對於其他較複雜幾何條件如桶型、箱型或不規則形狀射源之定量能力仍需進一步研究，但對於認定清潔之建物、土地或設備物質有足夠信心，若能通過定性判別為無核種或小於

儀器偵測極限(如 <0.0094 Bq/cm²、19Bq)，則應無需執行後續定量偵檢。

雖然國際核子設施除役目前主要以 ISGS 為具移動性、核種分析及定量能力之儀器。但我們可以效仿國外電廠應用手持式加馬能譜分析成像系統之偵檢實務案例，靈活運用於除役期間各式各樣需求的偵檢作業，相信可以對我國除役作業的偵檢提供相當的貢獻。

參考文獻

[1] Use of Portable Gamma Detector Systems During Decommissioning, EPRI,2019/11。

發行人
張似璵

主編
劉代欽

執行編輯
林珏汶

編輯委員
尹學禮
江祥輝
劉代欽
蔡惠予
魯經邦



出版單位

財團法人中華民國輻射防護協會

行政院新聞局 出版事業登記證

局版北市誌字 第柒伍零號

地址

30017 新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1

03-5722224 電話 | 03-5722521 傳真

01486683 統編

rpa.newsletter@gmail.com 電郵 | www.rpa.org.tw 網站