

行政院原子能委員會  
委託研究計畫期末研究報告

# 含天然放射性物質商品之調查及管理研究 (1/4)

**Research on the radiation survey and safety management for NORM  
(naturally occurring radioactive material) contained products**

計畫編號：MM10901-0463

(GRB 系統科技計畫編號：PG10903-0133)

受委託機關(構)：行政院原子能委員會核能研究所

計畫主持人：黃珮吉

聯絡電話：(03)4711400 ext 7980

主要工作項目負責人：袁明程、李綉偉、蔡惠雯

聯絡人：盧苡欣

報告日期：109 年 12 月 10 日

## 目 錄

中文摘要.....	i
Abstract.....	ii
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目的.....	3
參、研究方法、過程、結果與產出.....	6
肆、結論與建議.....	27
伍、參考文獻.....	29
附件.....	31

## 中文摘要

含天然放射性物質之商品應用日漸廣泛且深入民生，本計畫分析不同商品之天然放射性物質添加型式及含量，建立含天然放射性物質商品之氦氣量測及校正、人員劑量評估等技術，及研擬輻射異常之含天然放射性物質商品之處理方案，以保障民眾使用相關商品之輻射安全。

關鍵字：天然放射性物質、氦氣、人員劑量評估。

## **Abstract**

The applications of products containing naturally occurring radioactive materials (NORMs) are becoming increasingly widespread and deeply involved in people's livelihood. This plan was analyzed the types and content of NORMs added in different commodities, establish techniques for radon measurement and calibration, personnel dose assessment of products containing NORMs, and develop a treatment plan for products containing NORMs with abnormal radiation to protect the radiation safety of people using related products.

**Keywords:**Naturally occurring radioactive material(NORM), radon, radiation dose evaluation.

## 壹、前言(計畫緣起)

天然放射性物質於一般商品上之應用愈趨多樣化且深入家庭，2018年於韓國發現的負離子床墊，經評估其釋放的氡氣可造成使用者約9 mSv/y的輻射劑量，數倍於全球的國民平均劑量3.1 mSv/y(聯合國原子輻射效應委員會2008)，在國內亦陸續發現類似商品，經原能會實地訪查賣場，雖未於國內發現韓國超標之負離子床墊，仍發現部分國內廠商使用負離子粉原料製作之床墊可能造成偏高之輻射劑量，後續已由行政院消保處協調商品主管機關經濟部標準檢驗局，要求業者下架、回收其產品。

行政院消保處於107年9月12日討論會議中，會議結論請標檢局及衛福部將坊間宣稱具有負離子功能之商品或食品容器列為年度優先查核及檢驗之標的，並請原能會協助判定。原能會雖於韓國負離子床墊案中初步建立了檢測與輻射劑量評估技術，然相關技術仍有精進的空間，以氡氣量測為例，天然鈾系及釷系核種衰變後會產生氡氣，而氡氣量測結果有可能會因環境條件或儀器性能的差異受到影響，故有必要研析相關量測與校正技術；至於輻射劑量評估技術，負離子粉除添加於床墊外，亦可能用於製作護具、水壺、手環等商品，為瞭解這類商品可能造成的輻射影響，故應建立其對應的輻射劑量評估模式。有鑑於此，為確保國人的輻射安全，如何快速正確的評估或量測出含天然放射性物質商品之氡氣濃度及其造成的輻射劑量，將是輻射主管機關亟待面對之問題。

故本計畫之執行內容，係考量目前因科技之進步、民眾生活品質之提高，游離輻射於民生應用之發展較過去更為快速增長。主管機關本於管制之立場，亟需針對未來游離輻射於民生應用之發展潮

流，及參考國際趨勢，預先進行研究、調查，以為日後建立合宜之  
管制規範、審查及評估之技術。

## 貳、研究目的

含天然放射性物質之商品應用日漸廣泛且深入民生，本計畫分析不同商品之天然放射性物質添加型式及含量，建立含天然放射性物質商品之氬氣量測及校正、人員劑量評估等技術，及研擬輻射異常之含天然放射性物質商品之處理方案，以保障民眾使用相關商品之輻射安全。針對此需求，本計畫今年規劃執行工作包括：氬氣濃度標準校正與測試系統硬體建置、引進氬氣參考物質與量測標準、含天然放射性物質商品之快速初篩用儀器性能評估研究、含天然放射性物質商品管理之國際文獻蒐集及協助執行含天然放射性物質商品之後市場調查。具體實施方法如下述。

### 一、氬氣濃度標準校正與測試系統硬體建置

為保持氬氣分析品質，目前量測設備以每年取得國外原廠校正報告為主，為利國內技術發展，參考國際相關文獻建立校正實驗設施，校正設備將包含可量測氬氣之密閉腔體、標準參考物質及氬氣量測儀器等，可控制氬氣標準參考物質穩定存在於密閉腔體以利氬氣量測儀之校正或驗證。

### 二、引進氬氣參考物質與量測標準

參考氬氣及其子核率衰變核種以氬氣(Rn-222)或鈷氣(Rn-220)為準，並依據國外參考標準及校正之經驗，引進含鐳-226之氬氣標準射源如 NIST SRM- 4973，或已知活度的鈷和鈷天然礦石，作為氬氣產生之物質，進而確認分析儀器準確度及標準追溯。

### 三、含天然放射性物質商品之快速初篩用儀器性能評估研究

含鈷、鈷等天然放射性物質商品，因其自然衰變過程中所

產生氡氣，可能在使用過程中因被人體吸入而危害健康，故一般係針對上述商品所產生氡氣活度濃度進行量測，並搭配該類商品使用模式進行劑量分析，以評估使用該類商品可能對人體造成之影響。

進行氡氣量測時，一般需於密閉空間中，利用連續抽氣分析方式，以取得含鈾、釷之天然放射性物質商品產生之氡氣平衡濃度，以便進行後續劑量評估；在實際量測經驗中發現，依不同樣品尺寸及其中所添加天然放射性物質數量，一般約需 2 至 5 小時始可取得氡氣平衡濃度，此種長時間量測分析方式，恐較難應用於現場稽查或民生商品普查之用，故本計畫則針對相關資訊蒐集及實驗測試，以提出可做為含天然放射性物質商品快速初篩用儀器或技術之建議。

#### **四、含天然放射性物質商品管理之國際文獻蒐集**

基於民風國情差異，鄰近我國之日本及韓國，對於含天然放射性物質商品之接受度及管理方式也有所差異，本計畫將蒐集彙整國際間(如：國際原子能總署、國際放射防護委員會等)有關含鈾、釷等天然放射性物質原料及民生應用商品相關管理資訊，以供後續研擬含天然放射性物質商品管理方案之參考，確保國人使用相關商品之輻射安全。

#### **五、協助執行含天然放射性物質商品之後市場調查**

本工作項目為協助進行抽驗商品之輻射含量量測，樣本主要源自原能會不定期抽驗或跨部會合作之聯合稽查，循例由經濟部標檢局、衛福部食藥署蒐尋市售宣稱負離子商品或參考原能會提供資訊，擬定商品購樣計畫；後續經濟部標檢局、衛福

部食藥署抽樣後之樣品送至本所進行氬氣量測、劑量曝露評估及輻射異常商品之回收銷毀等。

## 參、研究方法、過程、結果與產出

本(109)年度研究計畫工作項目依原能會核定版本計畫書執行，各項目研究過程與產出說明如後：

### 一、氬氣濃度標準校正與測試系統硬體建置

本工作本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

為了確保氬氣量測之準確性及可追溯性需進行氬量測儀器之校正，目前國內氬氣量測儀器之校正主要都送至國外認可之氬校正實驗室進行，以取得原廠校正報告為主。目前國內並無可執行氬量測儀器校正之單位，為解決送國外校正之成本及時間問題及發展相關技術，本研究建置氬氣量測儀器校正系統，氬氣量測儀器之校正系統建置主要包含氬氣量測儀器校正所使用之腔體、氬氣標準參考物質與氬氣量測儀器等。

#### 1. 氬氣量測儀器校正腔體

氬氣量測儀器校正所使用之腔體以下簡稱氬腔體，氬腔體是為了進行氬儀器校正而準備之容器，將校正儀器置於氬腔體中進行校正，可控制氬氣濃度，溫度、濕度等參數條件(López-Coto 等，2007)。氬腔體的設計主要是使校正儀器能控制在一個穩定條件下進行校正，設計時需考量腔體尺寸大小、空氣流動、氬氣來源、使用儀器、環境條件等因素。腔體尺寸越大，可同時容納儀器設備的空間越大，腔體的大小可根據使用需求進行設計，但無論是大腔體還是小腔體，需使要校正之儀器都能夠容納在腔體內。

進行校正時氬氣來源必須是已知濃度，並且必需在儀器的量測範圍內，而氬氣濃度的一致性是一重要參數，須執行溫度和濕度等參數的控制，以確保進行測試的氬氣量測儀器之性能狀態符合需求，參考國外文獻（NRSB, 2012）執行校正時之實驗室環境溫度和濕度的值必須保持在恆定範圍內，溫度必須在 18°C 至 27°C 左右，濕度必須在 20% 至 75% 之間。

參考國外文獻（Sciocchetti 等，1994）氬腔體內的空氣流動有兩種方式，即靜態和動態，氣流對於將氬氣轉移到腔體內部中很重要，空氣幫浦和風扇可以提供氣流的來源。氣流可控制氬腔體內空氣流動情況，併用以維持控制氬腔體內特定的參數範圍，例如溫度和壓力參數等。如果腔體是靜態的，則必須確認氬氣濃度的傳輸路徑，能使氬氣充滿腔體。靜態腔體是沒有空氣流通來維持腔體內氬氣濃度、壓力和濕度穩定的非穩態腔體。靜態腔體的設計必需能保持氣密。

動態腔體是指腔體內之空氣流動沒有恆定，氬氣濃度可通過氣流變化來控制以達到所需濃度，如果氬腔體內的氬氣濃度高於校正的氬氣偵檢儀所需的濃度，則可以通過計算評估併抽取出空氣來降低氬氣濃度（Vargas 等，2004）。動態腔體之空氣流動可再分為開放式和再循環兩種。在再循環條件下氬腔體內流動的空氣流出後，被重新引入腔體內以維持環境條件（Sciocchetti 等，1994）。在開放式條件下，原不存在腔體內的氬氣可能通

過傳輸到腔體的空氣介質被引入腔體中，動態的腔體因空氣流動而使氬氣濃度會發生變化，必須通過監測設備監測和控制氬氣濃度（AARST, 2015）。

本研究進行氬氣偵檢儀器校正時所使用之氬腔體為商品化之氬腔體，是由 Saphymo GmbH 所生產，氬腔體的構造如圖 1，此測試腔體為圓桶型，以不銹鋼製作，其扣除纜線、風扇等裝置的有效內容積為  $0.211 \text{ m}^3$ ，足以置入兩台以上的氬偵檢儀器。上蓋設計為氬腔體的關鍵，為了維持氣密，蓋側凹槽置有矽膠條，當上蓋與桶槽扣合時，矽膠條可提供良好的彌封效果，避免試驗氬氣自腔體逸出，上蓋細部構造如圖 2，蓋上有兩通氣閥，可供腔體連通至外部射源或偵檢儀；風扇能在桶內製造對流循環，如此有助於提高腔內氬濃度的均勻性；為連通腔內儀器、風扇的訊號和電源，蓋上也配有 2 個電源插槽及 1 個訊號插槽；此外，蓋上也有一對玻璃景觀窗，讓使用者可以觀察腔內儀器的運作狀況。

氬腔體置於本所氬氣量測實驗室中，實驗室之環境溫度和濕度保持在恆定範圍內，溫度控制在  $20^\circ\text{C}$  至  $25^\circ\text{C}$  左右，濕度控制在在 20% 至 75% 之間，在進行氬氣偵檢儀器校正期間依據氬氣標準射源之使用需求，溫度控制在  $20^\circ\text{C}$  至  $22^\circ\text{C}$  之間。

## 2. 產生氬氣之標準參考物質

本研究中目前採用的射源為美國國家標準與科技實驗室(NIST)所配製，型號為 SRM-4973 的氬氣標準射源。

### 3. 氦氣量測儀器

本研究所使用的氦量測儀有 RAD7 及 Alphaguard(P-30) 二種。其中 RAD7 為 Durrige 公司所開發製造的能譜式氦偵檢儀，儀器外觀如圖 3 所示，儀器內部含有抽氣幫浦、0.7 公升半球形的高電壓電離腔體及固態離子佈植平面矽阿伐偵檢器，其量測原理是將氦氣收集至電離腔中，而後由電離腔施加電場，收集氦的衰變子核，並由固態離子佈植平面矽阿伐偵檢器分析子核能譜，當沉積於偵檢器表面的氦子核衰變時，能直接向固態偵檢器表面發射具特定能量的阿伐粒子，偵檢器因而產生電訊號，經電路放大及調整這些訊號，並按照粒子能量產生能譜，進而推估取樣空氣中的氦濃度。儀器 RAD7 是在收集氦氣後偵測其衰變子核，並由此回推樣品中真實的氦氣濃度。需注意的是因空氣中的濕氣會嚴重影響氦衰變子核在電離腔中的收集效率，所以取樣空氣於進入儀器 RAD7 前，需先由吸濕罐或除濕器降低濕度至 10% 以下。

Alphaguard(P-30) 是由 Saphymo GmbH 生產的游離腔型氦偵測儀，儀器結構如圖 4 所示，其原理是當氦氣擴散至游離腔內，當氦氣衰變時，釋放的阿伐粒子會造成腔內氣體游離，此時游離腔的電場可收集游離粒子並產生訊號，經複雜的數位訊號處理(Digital signal processing)，可鑑別阿伐粒子的能量與強度，進而推估氦濃度。儀器本身具有內置電池，無需外接電源即可工作，量測時氦氣濃度、溫度、壓力及濕度等測量值會記錄在存儲器中，可在量測

完成後作後續之數據分析。

#### 4. 氦氣量測之校正程序

在實進行校正時需準備好所需之氦氣產生射源及要校正之儀器，儀器設備需要充份充電，確保長時間的測試即使發生斷電亦能順利完成。而標準射源 SRM-4973 的氦射氣罐，應確認存放三週以上，有累積足量的氦氣。

校正之流程如下：

- (1) 設定校正儀器參數及背景量測；開啟氦量測儀器 RAD7 及 Alphaguard (P-30) 之電源，RAD7 量測前需先由吸濕罐或除濕器降低濕度至 10% 以下。待濕度降至 10% 以下後將量測週期設定為每小時取樣量測 1 次，持續量測背景 12 小時以上，由此可以測得背景氦氣濃度  $C_{Bg}$ 。
- (2) 將二台氦量測儀置入氦腔體中如圖 5；置入後將氦腔體上蓋蓋上，確認其密閉性。
- (3) 將標準射源罐之進出氣口連接至氦腔體上蓋之進出氣口，併與幫浦連接，如圖 6，此時上蓋與射氣罐的閥門為關閉狀態；
- (4) 開啟上蓋與標準射源罐閥門，啟動射源罐連接之空氣幫浦，幫浦流量設定為每分鐘  $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ ，以此流量持續循環 15 分鐘，使氦腔體內均勻充滿氦氣；
- (5) 15 分鐘後關閉幫浦停此注入氦氣，同時關閉氦腔體上蓋之進出氣口閥門使氦腔體保持氣密，持續量測氦腔體內的氦氣 30 小時以上。

(6) 將量測結果繪製氬濃度衰變曲線，外插衰變曲線至通入氬氣的時間點，可得通入氬腔體的氬濃度  $C(0)$ 。

### 5. 氬氣校正因子評估

氬氣濃度的評估可由衰變定律來計算，根據衰變定律，在時間  $t$  時量測到的氬濃度  $C(t)$ ， $C(t)$  如公式(1) 所示，

$$C(t) = C(0) \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

其中  $C(0)$  為初始氬氣濃度， $\lambda$  為有效衰變常數(即物理衰變常數與洩漏衰變常數的總合)， $C(t)$  和  $t$  的單位分別是  $\text{Bq}/\text{m}^3$  和  $\text{h}$ ， $t$  的原點設定在氬濃度開始升高的時間點。由 Alphaguard 測得的數據所製成之氬衰變曲線示於圖 7，其擬合曲線方程式為：

$$C(t) = 1927.5 \exp(-0.0084t)$$

參照式(1)，可得  $C(0) = 1927.5 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ， $\lambda$  為  $0.0084 \text{ h}^{-1}$ ，因此可計算出氬的有效半衰期為  $3.42 \text{ d}$ ，此與氬的物理半衰期( $3.8235 \text{ d}$ )相差 10%，差異可能來自於氬腔體的洩漏。儀器校正因子 (CF)可由下式計算：

$$CF = C_{\text{ref}}(0) / (C(0) - C_{\text{Bg}})$$

其中  $C_{\text{ref}}(0)$  為參考氬氣濃度，由標準射源提供之參數估算，參考氬濃度  $C_{\text{ref}}(0)$  可由下式推算：

$$C_{\text{ref}}(0) = A_{\text{ref}}(0) / (V_c - V_m)$$

其中  $A_{\text{ref}}(0)$  為時間  $t = 0$  時射源的氬氣量，可由式(2)及式(3)及射源證書上提供的參數推估 [8]。

$$A_{\text{ref}}(0) = A_{\text{Ra}} [f_0 X + \alpha (1 - X)] \quad (2)$$

$$X = 1 - \exp(-\lambda t_a) \quad (3)$$

其中  $A_{\text{ref}}(0)$  為氬氣量， $A_{\text{Ra}}$  為膠囊內鐳-226 標準溶液的

活度(501.1 Bq)， $f_0$  為氬射出分率(0.877)， $\alpha$  為聚乙烯膠囊內的氬分率(0.057)， $\lambda$  為氬的物理衰變常數， $t_a$  為氬氣累積時間。 $V_c$  為氬腔體(0.211m<sup>3</sup>)扣除纜線、風扇等配件的淨體積， $V_m$  為儀器佔據的體積(如：RAD7 及乾燥罐佔據的體積為  $1.154 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>，Alphaguard 佔據的體積為  $4.58 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>)，而  $C_{Bg}$  為量測背景值。本實驗中， $C_{ref}(0)$  經計算得知為 2192 Bq/ m<sup>3</sup>， $C_{Bg}$  經量測為 14 Bq/m<sup>3</sup>，則校正因子(CF)經計算為 1.15。

$$\begin{aligned} CF &= C_{ref}(0) / (C(0) - C_{Bg}) \\ &= 2192 / (1927.5 - 14) \\ &= 1.15 \end{aligned}$$



圖 1. 氬腔體外觀圖

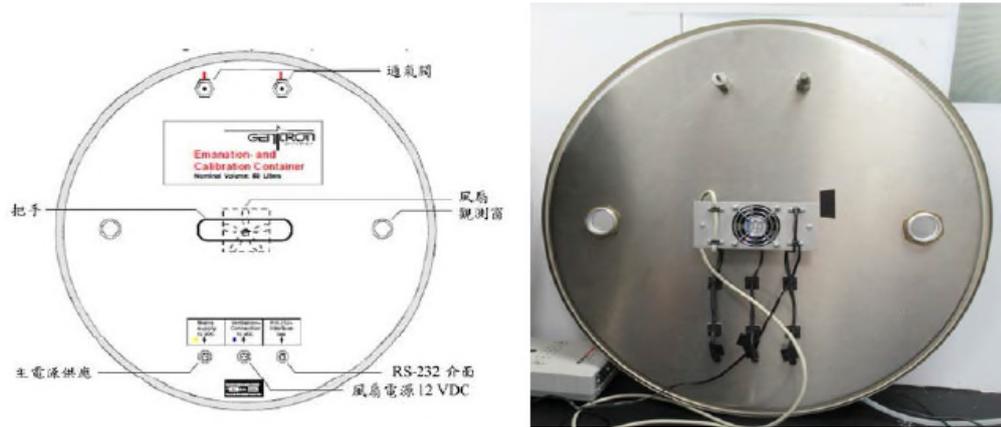


圖 2. 氮腔體上蓋細部圖



圖 3. 氡氣偵檢儀器 (RAD7)



圖 4. 氡氣偵檢儀器 (Alphaguard(P-30))



圖 5. 氡量測儀器置於氡腔體圖



圖 6. 氡量測儀器校正系統圖

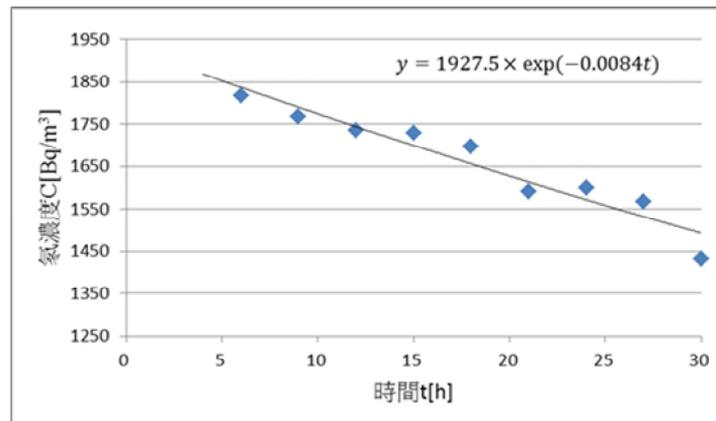


圖 7. 氡氣衰變曲線圖

### ※ 論著產出

一篇研究報告「氡氣偵檢器校正系統建置研究」(如附件一)，建立含天然放射性物質商品之氡氣量測及校正技

術，針對此需求執行氬氣濃度標準校正與測試系統硬體建置並引進氬氣參考物質與量測標準。

## 二、引進氬氣參考物質與量測標準

本工作本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

執行校正時需有能產生已知濃度氬氣之來源，一般常使用鐳 226 標準射源作為產生氬氣(氬-222)之標準參考物質，鐳-226 標準射源型式有液體及固體之型式，同時也有使用鈷-228 標準射源作為產生氬氣(氬-220)之標準參考物質。

本研究中目前採用的射源為美國國家標準與科技實驗室(NIST)所配製，型號為 SRM-4973 的氬氣標準射源如圖 8 所示，其構造為內含鐳-226 標準溶液的聚乙烯膠囊，膠囊容量  $1.8 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ ，而標準溶液的鐳-226 活度為  $(501.1 \pm 6.2) \text{ Bq}$ 。鐳-226 衰變時會產生氬-222，此氣體核種將經由擴散穿出聚乙烯膠囊，由式(2)式(3) 及射源證書上提供的參數可計算標準射源的氬氣量[8]。

$$A_{\text{ref}}(0) = A_{\text{Ra}}[f_0x + \alpha(1-x)] \quad (2)$$

$$x = 1 - \exp(-\lambda t_a) \quad (3)$$

其中  $A_{\text{ref}}(0)$  為氬氣量， $A_{\text{Ra}}$  為膠囊內鐳-226 標準溶液的活度(501.1 Bq)， $f_0$  為氬射出分率(0.877)， $\alpha$  為聚乙烯膠囊內的氬分率(0.057)， $\lambda$  為氬的物理衰變常數， $t_a$  為氬氣累積時間。標準射源一般會貯存在氣罐中，此罐體的構造主要有一玻璃內袋與兩通氣閥門。標準射源會置放在玻璃內袋，另需在氣罐內裝入約 1 ml 的純水，以將氣罐內的相對

濕度控制在 100%，藉此維持膠囊內鐳-226 標準溶液的濃度。氬氣的累積與釋放可由兩通氣閥門控制，為加速取出氬氣，閥門可經由管線連通至抽氣馬達以提供強制對流的動力來源。為了符合式(1)、(2)的適用範圍，射源及氣罐需存放於 $(21 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  的環境。

另外本研究也引進以固體鐳 226 標準射源作為產生氬氣(氬-222)之標準參考物質與使用鈷-228 標準射源作為產生氬氣(氬-220)之標準標準參考物質。

使用固體鐳 226 之標準射源為 Pylon 公司生產型號為 RN-105A 的氬(氬-222)參考物質，射源外觀如圖 9 所示，其所裝置射源活度為 10 kBq +10%，氬氣(氬-222)散發率 100%，分注氬氣活度約 10 Bq，體積為 13.96 ml，其桶型儲氣槽可連續分注活度相當氬氣氣體進行多次校正實驗，縮減等待氣體濃度平衡時間，提升實驗效率。

由於標榜含負離子商品通常添加有鈷-228 天然礦石粉，鈷-228 衰變會產生氬-220 氣體，若被人體吸入將導致輻射曝露，故該類商品為後市場調查重要檢測項目之一。目前市售之含天然放射性物質商品中，經過檢測發現也確實含有鈷-228 衰變產生之氬-220，為確認分析儀器準確度及標準追溯，本研究也採購可產生氬-220 之鈷-228 標準射源，以做為建置氬氣濃度標準校正系統之用，目前引進之鈷-228 標準射源為 Pylon 公司生產，型號為 TH-1025 的氬(氬-222)標準參考物質，射源外觀如圖 10 所示，其所裝置射源活度為 10 kBq +10%，氬氣(氬-222)散發率 100%。



圖 8. 液體鐳-226 射源產生氦-222 參考物質(NIST SRM-4973)



圖 9. 固體鐳-226 射源產生氦-222 參考物質(PYLON RN-105A)

圖片出處：PYLON 網頁



圖 10. 固體鈾-22 射源產生氦-220 參考物質((PYLON TH-1025)

圖片出處：PYLON 網頁

### 三、含天然放射性物質商品之快速初篩用儀器性能評估研究

本工作本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

含天然放射性物質之負離子商品，主要是其中含有天然鈾系或釷系放射性同位素，經持續衰變(衰變鏈如圖 11 及圖 12)，釋放出具有能量之阿伐粒子或貝他粒子，並形成另一種能量子核，直到衰變至穩定子核。

為確認市售含負離子商品中，所含天然放射性物質核種活度濃度，以及使用該類商品可能接受輻射劑量，一般係以半導體型純鍺偵檢器定量商品中加馬核種(鉀-40、釷系及鈾系)活度濃度，另外以表面輻射偵檢器於商品表面所度量得到表面劑量率，以及氬氣監測儀所測得氬氣(氬-220 及氬-222)活度濃度，配合原能會核定評估模式，進行輻射劑量評估，期間須花費 2 週左右時間。因此，提出以手持式表面污染偵檢器(GRAETZ CoMo-170，如圖 13)所測得污染計數值，作為樣品中天然放射性物質含量之快速篩檢之指標，以供現場稽核人員快速判別含天然放射性物質商品是否有輻射危害之虞。

手持式表面污染偵檢器(GRAETZ Como-170)為塑膠閃爍體偵檢器，藉以偵測阿伐、貝他及加馬輻射，以電子訊號輸出顯示污染計數值。圖 14 為該偵檢器內部架構，其中，接收入射輻射之閃爍體分為四層，如圖 15，第一層為不透光之聚酯薄膜，其厚度夠薄可使阿伐輻射粒子通過，並可避免入射輻射反射出去；第二層為具硫化鋅(ZnS)附著之閃爍體，可捕捉阿伐輻射粒子產生閃光後，能量匯入至光電

倍增管；第三層為塑料閃爍體，可捕捉貝他及加馬輻射粒子，亦產生閃光後，能量匯入至光電倍增管；第四層為反射層，可將閃爍體向四周發射的光有效地傳遞至光電倍增管中之光陰極。

經彙整 107 年至 108 年期間，抽驗含負離子床墊之表面輻射與氡氣活度濃度量測結果發現，抽驗床墊所度量得到表面污染計數值與氡氣活度濃度之間有一線性關係(如圖 16)，抽驗床墊樣品表面污染計數值(cps)與氡-220 活度濃度(Bq/m<sup>2</sup>)之間為正相關，而氡氣濃度又是影響體內輻射曝露程度之關鍵因素，因此可將床墊表面所測得高於背景之表面污染計數值(背景變動範圍為 15 cps 至 24 cps)，做為初步判別抽驗床墊是否輻射異常之快速篩選指標，以提升稽核效率。

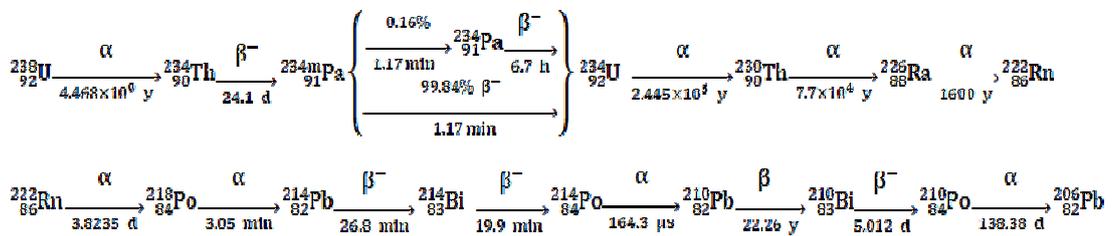


圖 11. 鈾系元素核種衰變鏈

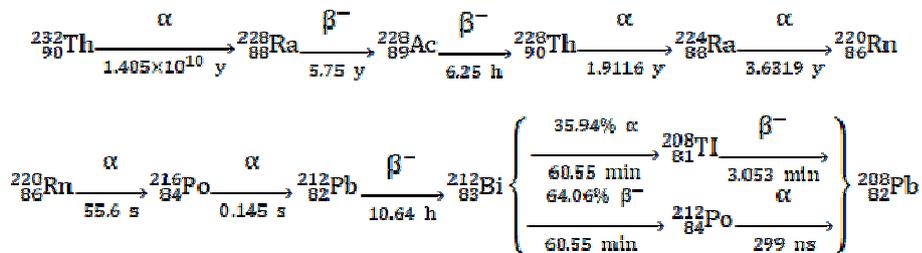


圖 12. 釷系元素核種衰變鏈



圖 13. 手持式表面污染偵檢器(GRAETZ CoMo-170)

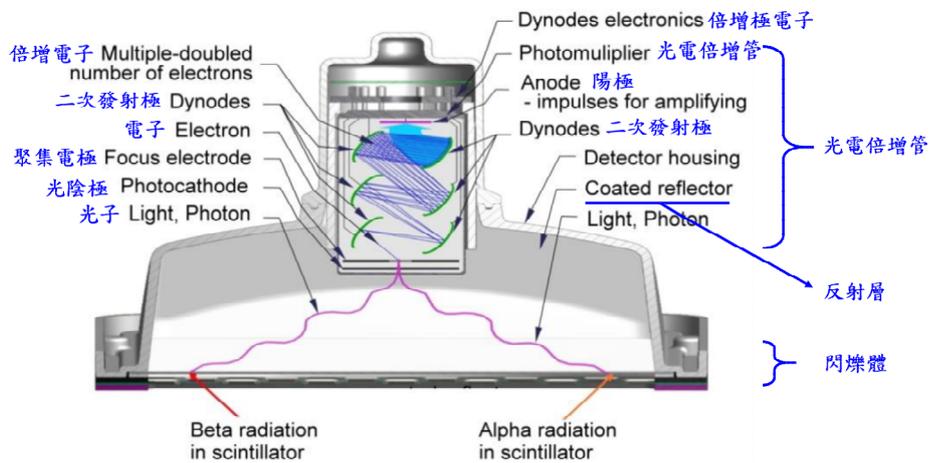


圖 14. 手持式表面污染偵檢器儀器內部架構

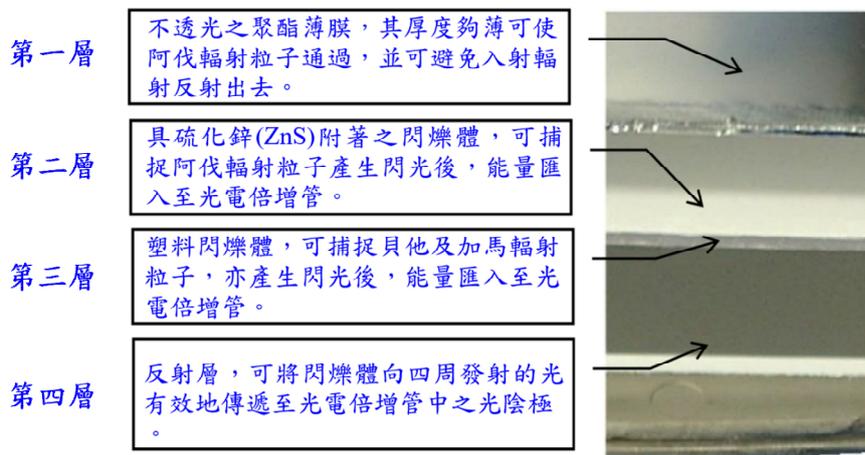


圖 15. 手持式表面污染偵檢器閃爍體之四層架構

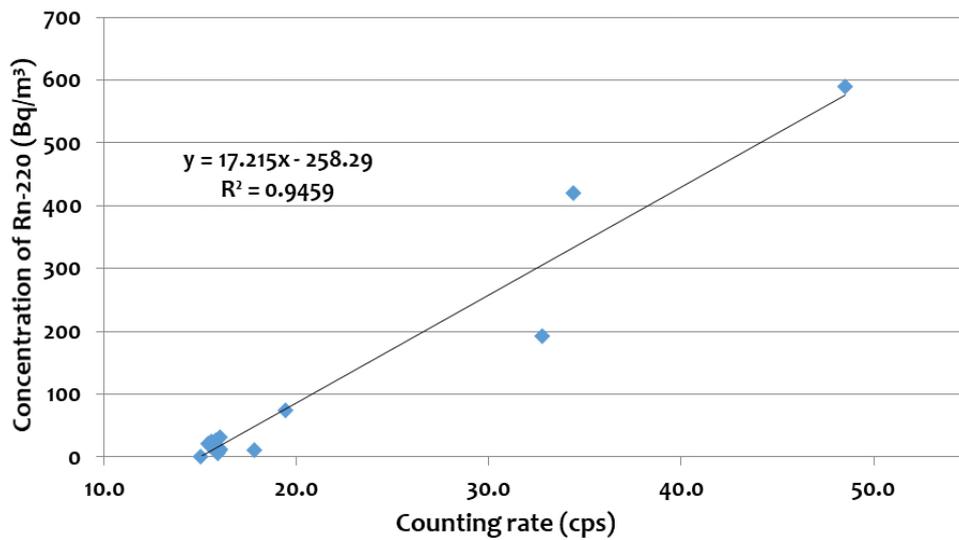


圖 16. 107-108 年抽驗床墊表面污染計數與氡氣濃度(氡-220)線性回歸分析圖

#### ※ 論著產出

本工作項目完成「含天然放射性物質商品之快速篩檢用儀器性能評估研究」一篇研究報告(如附件二)。

#### 四、含天然放射性物質商品管理之國際文獻蒐集

本工作本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

含天然放射性物質商品管理主要參考國際放射防護委員會(ICRP)及國際原子能機構(IAEA)文獻，與日本放射線醫學綜合研究所(NIRS)及韓國核能安全研究所(KINS)網頁針對含鈾、鈾等天然放射性物質原料及民生應用商品相關管理資訊，並彙整如圖 18。其中 ICRP 82 號報告對於產品之干預豁免標準為 1 毫西弗/年；IAEA 115 號報告對於鈾、鈾的濃度設定為 1 貝克/克；而其他國家如美國、日本等對

於天然放射性鈾、釷之活度濃度標準採用 1 貝克/克，劑量限值標準採用 1 毫西弗/年。在我國管制方面如圖 19，係依據「游離輻射防護法」第 4 條，天然放射性物質、背景輻射及其所造成之曝露，有影公眾安全之虞者，主管機關得經公告之程序，將其納入管理。並依據「天然放射性物質管理辦法」第 3 條所規定：「其有影響公眾安全之虞者，為所含核種活度濃度大於附表二基準值，且造成一般人之年有效劑量大於 1 mSv/yr。」。

自 2018 年韓國國內爆發 Daijin 公司生產床墊因添加獨居石負離子粉，而導致產品輻射劑量超過法規管制值之後，韓國原子能安全委員會(Nuclear Safety and Security Commission, NSSC)即開始修法以更完善含天然放射性物質商品民生應用相關管制規定，其中於 2019 年 1 月完成「Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment」法案成修訂(並於同年 7 月 16 日生效)。修訂部分有兩處，對於原物料進口部分(第 12 條條文)，要求進口商須註冊在案與原材料進口前須獲得授權，且經銷商須每半年向 NSSC 彙報原材料之分配情況。而法案內對於天然放射性所含濃度，雖仍設定為不得超過 1 貝克/克之標準，但第 15 條內文增設禁止將獨居石等原材料用於製造與人體密切接觸使用或穿著之產品，以及不得用於負離子療效與假廣告宣傳中；此外，NSSC 也針對市面上相關產品所含氡氣活度展開調查與監測，截至 109 年 10 月止已檢測 3,245 件產品，而對於有檢出者 NSSC 也已採取必

要措施，勸導販售與製造廠商停售與召回合計 38 件相關產品(2020 年 11 月)。

綜上含天然放射性物質商品管理資訊，可做為後續研擬含天然放射性物質商品管理方案之參考。

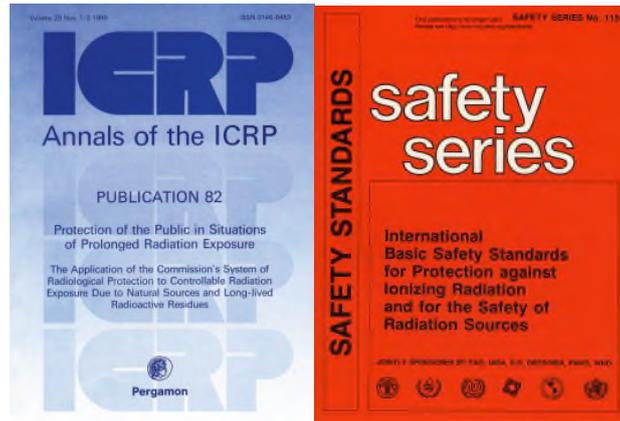


圖 17. 國際文獻 ICRP 82 及 IAEA 115 號報告示意圖

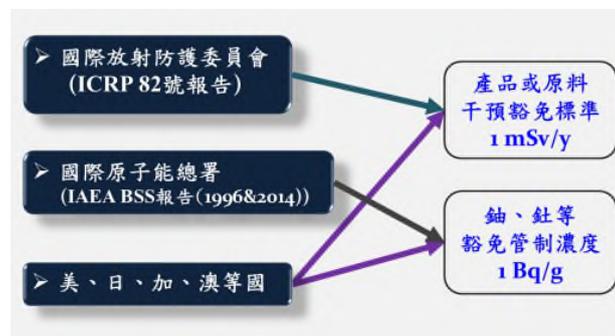


圖 18. 國際間對於含鈾、鈾原料之管制標準

天然放射性物質管理辦法	
1. 一般人之年有效劑量 > 1 mSv/yr (相當於 < 0.1 μSv/h)	
2. 且核種活度濃度依本法所列基準值(如表)	
鉀-40	10 Bq/g
鈾系列核種	1 Bq/g
鈾系列核種	1 Bq/g
其他非鉀、鈾系列天然放射性核種	1 Bq/g

圖 19. 國內對於含鈾、鈾原料之管制標準

## 五、協助執行含天然放射性物質商品之後市場調查

本工作本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

鑑於坊間除床墊外，亦有不少產品宣稱具有負離子功能，以增加商機；因此行政院消保處請標檢局及衛生福利部將此類商品列為年度優先查核及檢驗之標的，並請原能會協助輻射檢測相關事宜；108 年 1 月 17 日於原能會核能研究所(簡稱核研所)召開「市售負離子產品清查協調討論會議」，就輻射商品送核研所之檢驗流程、檢驗數量、收費標準之確認、建立輻射商品違規調查、回收之相關機制與建立各部會聯繫窗口等議題進行討論及合作分工。核研所在市售負離子商品清查跨部會合作分工中，主要負責抽驗樣品輻射檢測與劑量評估(核研所保物組)，以供主管機關判斷抽驗樣品是否符合我國輻射防護相關法規規定，以及協助回收銷毀輻射異常物(核研所化工組)等工作。

本調查為說明 108 年 1 月至 109 年 6 月期間核研所協助市售商品主責主管機關年度定期抽驗(如衛福部食藥署：

醫療器材；經濟部標檢局：眼罩、口罩或寢具等)或原能會不定期抽驗樣品之輻射檢測與劑量評估結果如表 1 及表 2 所示，輻射檢測方法及劑量評估模式如附件五所示。其中原能會送檢 18 件、標檢局送檢 27 件及食藥署送檢 10 件，共計 55 件含天然放射性物質商品送至核研所進行檢測。其中 16 件商品經檢測評估結果顯示，一般人每日使用相關商品所接受年有效劑量，超過「天然放射性物質管理辦法」所規定之年劑量限值(1.0 毫西弗)，且所含鉀-40、鈾系或釷系核種比活度，亦超過「天然放射性物質管理辦法」所規定之核種比活度限值(1.0 貝克/克)。經檢測有輻射異常之商品，後續則由核研所化工組協助回收銷毀等事宜，本調查評估結果可供後續含天然放射性物質商品後市場調查規劃之參考。

表 1. 108 年 1 月至 109 年 6 月抽驗商品統計結果(依送樣單位)

年度	送樣單位	送樣件數	劑量超標(1 毫西弗)件數
108	原能會輻防處	12	10
	衛福部食藥署	10	1
	經濟部標檢局	15	2
109	原能會輻防處	6	0
	經濟部標檢局	12	3
<b>總計</b>		<b>55</b>	<b>16</b>

表 2. 108 年 1 月至 109 年 6 月抽驗商品種類統計結果(依樣品種類)

送樣單位	樣品種類	送樣件數	劑量超標(1 毫西弗)件數
原能會輻防處	枕頭	5	4
	棉被	2	1
	圍巾/披肩	2	2
	鹽燈	2	0
	護具	2	0
	床墊	1	1
	眼罩	1	1
	地墊	1	1
	口罩	1	0
	其他(竹炭粉)	1	-
衛福部食藥署	水杯	4	0
	面膜	2	1
	護具	2	0
	水壺	1	0
	食品	1	-
經濟部標檢局	棉被	11	2
	眼罩	7	0
	口罩	5	3
	枕頭	3	0
	床墊	1	0

※ 論著產出

本工作項目完成「含天然放射性物質商品之後市場調查(108 年-109 年)」一篇研究報告(如附件三)及發表 SCI 期刊論文一篇(如附件四)。

## 肆、結論與建議

本計畫之執行內容，係考量目前因科技之進步、民眾生活品質之提高，游離輻射於民生應用之發展較過去更為快速增長。主管機關本於管制之立場，亟需針對未來游離輻射於民生應用之發展潮流，及參考國際趨勢，預先進行研究、調查，以為日後建立合宜之管制規範、審查及評估之技術，建立基礎。相關結論與建議依各子項工作具體說明如下：

### 一、氬氣濃度標準校正與測試系統硬體建置

本研究建立含天然放射性物質商品之氬氣量測校正技術，參考國際相關文獻建立校正實驗設施，校正設備包含可量測氬氣之密閉腔體、標準參考物質及氬氣量測儀器等，氬腔體之建置可控制氬氣標準參考物質穩定存在於密閉腔體以利氬氣量測儀之校正，使用鐳-226 (SRM- 4973) 標準射源之作為氬氣(氬-222)之標準參考物質進行系統測試，完成氬氣偵檢儀器校正因子評估。

### 二、引進氬氣參考物質與量測標準

本研究使用鐳-226 (SRM- 4973) 標準射源之作為氬氣(氬-222)之標準參考物質進行系統測試，完成氬氣偵檢儀器校正因子評估。考量負離子商品通常添加有鈷-228 天然礦石粉未來也將使用鈷-228 標準射源作為產生氬氣(氬-220)參考物質作為量測標準參考物質進行測試，使校正系統能更趨完備。目前已設計一脈衝式游離腔將作為量測氬氣之原級標準，未來將用於此校正系統，作為氬氣濃度之參考標準，未來建議可規劃參加國際比對，進一步取得國際認證，使氬氣量測儀器校正技術具公

信力。

### 三、含天然放射性物質商品之快速初篩用儀器性能評估研究

以 107 年至 108 年期間抽驗床墊所度量得到之表面污染計數值(cps)，與氡氣活度濃度(Bq/m<sup>3</sup>)之間有一線性關係且為正相關，而氡氣濃度又是影響體內輻射曝露程度之關鍵因素，因此可將床墊表面所測得高於背景之表面污染計數值，作為初步判別抽驗床墊是否輻射異常之快速篩選指標，以提升稽核效率。

### 四、含天然放射性物質商品管理之國際文獻蒐集

含天然放射性物質商品管理主要參考國際放射防護委員會(ICRP)及國際原子能機構(IAEA)相關文獻，與日本放射線醫學綜合研究所(NIRS)及韓國核能安全研究所(KINS)網頁資訊，可供國內後續研擬含天然放射性物質商品管理方案參考之用。

### 五、協助執行含天然放射性物質商品之後市場調查

本調查彙整 108 年 1 月至 109 年 6 月期間核研所協助市售商品主責主管機關年度定期抽驗或原能會不定期抽驗樣品之輻射檢測與劑量評估結果可供後續含天然放射性物質商品後市場調查規劃之參考。

## 伍、參考文獻

- [1]. Al-Azmi, Darwish, 2009. The use of soil gas as radon source in radon chambers. *Radiat. Meas.* 44(3), 306–310.
- [2]. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety series No. 115, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.
- [3]. LÓPEZ-COTO, I., BOLIVAR, J., MAS, J., GARCÍA-TENORIO, R. & VARGAS, A. 2007. Development and operational performance of a single calibration chamber for radon detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 579, 1135-1140.
- [4]. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon, ICRP Publication 115, *Ann.ICRP* 40(1).
- [5]. Measuring Radon Level in Singapore, Ang Wee Lin Joyce, National University Singapore.
- [6]. Moore, J. A. , Kearfott, K. J., 2005. A simple radon chamber for educational use. *Health Phys.* 89(5), S78–S84.
- [7]. NRSB. 2012. Radon Chamber Accreditation Policy [Online]. Available: <http://www.nrsb.org/images/file/RCA%20Policy%20V1201.pdf> [Accessed 28 August 2016].
- [8]. Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure, ICRP Publication 82.
- [9]. RAD7 Electronic Radon Detector User Manual, DURRIDGE U.S. Office.
- [10]. R. Colle, J. M. R. Hutchinson, and M. P. Unterweger, The NIST Primary Radon-222 Measurement System. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. Volume 95, Number 2, March-April 1990.
- [11]. SCIOCCHETTI, G., COTELLESA, G., DE FELICE, P., BALDASSINI, P., BOVI, M., TOSTI, S. & SOLDANO, E. 1994. The ENEA facilities for assessing the quality of indoor radon measurements. *Radiation Protection Dosimetry*, 56, 303-307.
- [12]. User's Manual Como-170, v20, GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH.
- [13]. VARGAS, A., ORTEGA, X. & MATARRANZ, J. M. N. 2004. Traceability of <sup>222</sup>Rn activity concentration in the radon chamber at the technical university of Catalonia (Spain). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 526, 501-509.
- [14]. 天然放射性物質管理辦法，中華民國 106 年 9 月 15 日行政院原子能委員會會輻字第 10600120861 號令修正發布。

- [15]. 市售負離子產品清查協調討論會會議紀錄，中華民國 108 年 1 月 25 日行政院原子能委員會會輻字第 1080001226 號函。
- [16]. 行政院原子能委員會負離子商品專區，擷取日期 109 年 10 月 19 日，  
[http://www.aec.gov.tw/%E7%84%A6%E9%BB%9E%E5%B0%88%E5%8D%80%/%E8%B2%A0%E9%9B%A2%E5%AD%90%E5%95%86%E5%93%81%E5%B0%88%E5%8D%80/%E9%A6%AC%E4%B8%8A%E7%9C%8B%E6%87%82%E6%80%8E%E9%BA%BC%E5%9B%9E%E4%BA%8B--2184241\\_4243.html](http://www.aec.gov.tw/%E7%84%A6%E9%BB%9E%E5%B0%88%E5%8D%80%/%E8%B2%A0%E9%9B%A2%E5%AD%90%E5%95%86%E5%93%81%E5%B0%88%E5%8D%80/%E9%A6%AC%E4%B8%8A%E7%9C%8B%E6%87%82%E6%80%8E%E9%BA%BC%E5%9B%9E%E4%BA%8B--2184241_4243.html)
- [17]. 食品中原子塵或放射能污染容許量標準，中華民國 105 年 1 月 18 日衛生福利部授食字第 1041304620 號令。
- [18]. 食品中放射性核種之檢驗方法，中華民國 105 年 5 月 19 日衛生福利部授食字第 1051900834 號公告訂定。
- [19]. 負離子枕頭、棉被、眼罩、面具及口罩輻射量測與劑量評估，中華民國 107 年 11 月 20 日行政院原子能委員會會輻字第 1070014066 號函。
- [20]. 負離子水杯、水壺、及護具輻射量測與劑量評估，中華民國 108 年 4 月 26 日行政院原子能委員會會輻字第 1080004912 號函。
- [21]. 負離子床墊輻射量測與劑量評估，中華民國 107 年 8 月 28 日行政院原子能委員會會輻字第 1070010652 號函。
- [22]. 負離子圍巾/披肩、衣服、內衣、地墊、襪子、鞋墊及洗臉機輻射量測與劑量評估，中華民國 108 年 7 月 16 日行政院原子能委員會會輻字第 1080008209 號函。
- [23]. 游離輻射防護法，中華民國 91 年 1 月 30 日總統(九一)華總一義字第 09100019000 號令制定公布。
- [24]. 游離輻射防護安全標準，中華民國 92 年 1 月 30 日行政院原子能委員會會輻字第 0920002499 號令修正發布，並自發布日施行。

## 附件

### 附件一、氡氣偵檢器校正系統建置研究

氡氣偵檢器校正系統建置研究

李綉偉 黃珮吉

#### 摘 要

含鈾系及釷系核種的天然放射性物質衰變後會產生氡氣，而氡氣量測結果有可能會因環境條件或儀器性能的差異受到影響，故有必要研析相關量測與校正技術。本報告即是說明本所建立之氡氣濃度標準校正系統，內容包括氡氣量測方法及氡氣儀器校正系統建置。

關鍵字：放射性衰變、氡氣、校正系統

核能研究所 保健物理組

## 附件二、含天然放射性物質商品之快速篩檢用儀器性能評估研究

含天然放射性物質商品之快速篩檢用儀器性能評估研究

盧苡欣

### 摘 要

本報告彙整 107 年及 108 年度抽驗床墊商品檢驗結果，提出以手持式表面污染偵檢器(GRAETZ CoMo-170)所測得污染計數值，作為樣品中天然放射性物質含量之快速篩檢之指標，以供現場稽核人員快速判別含天然放射性物質商品是否有輻射危害之虞。

關鍵字：含天然放射性物質商品、手持式表面污染偵檢器、氦氣。

核能研究所 保健物理組

II

### 附件三、含天然放射性物質商品之後市場調查(108 年-109 年)

含天然放射性物質商品之後市場調查(108 年-109 年)

盧苡欣

#### 摘 要

107 年 8 月我國得知韓國 Daijin 公司生產之床墊添加獨居石負離子粉，輻射超過法規管制值，行政院消保處立即召開跨部會會議，指示原子能委員會、經濟部標準檢驗局及衛生福利部食品藥物管理署，進行聯合稽查及相關事宜。本報告彙整 108 年 1 月至 109 年 6 月抽驗商品檢驗過程及結果，以作為含天然放射性物質商品後市場調查結果之依存。

關鍵字：天然放射性物質、氡氣、劑量評估。

核能研究所 保健物理組



## Inspection and radiation dose evaluation results for NORM-containing products in Taiwan

Ming-Hsiu Lin<sup>1</sup> · Ping-Ji Huang<sup>1</sup>Received: 22 September 2019 / Published online: 9 May 2020  
© Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary 2020

### Abstract

In 2018, “negative ion powder” mattress produced by a South Korean manufacturer producing a dose rate of > 1 mSv/year, was found to have monazite powder in it. In order to verify if other products advertised as containing “negative ion powder” were also hazardous, an investigation had been carried out by the Atomic Energy Council and Institute of Nuclear Energy Research in Taiwan. By the end of April 2019, 11 kinds and a total of 59 samples were inspected for radon content. The radiation doses for the samples were evaluated using Atomic Energy Council approval evaluation setup which was established according to the characteristics of the products. The highest concentration of <sup>220</sup>Rn among the inspected mattresses was over 10 kBq/m<sup>3</sup> and the evaluated annual dose was about 78.5 mSv. The linearity of the surface dose rate and the measured thoron gas concentration for the mattress samples was also discussed in this study.

**Keywords** <sup>220</sup>Rn · <sup>222</sup>Rn · NORM · Concentration · Internal dose · Surface dose

### Introduction

Radon is a naturally occurring radioactive material formed by slow decay of uranium and thorium found in the earth's crust, and is the major source of human exposure caused by natural radiation. The danger posed by radon is primarily due to the alpha radiation emitted by its daughter nuclides that damages DNA in the lungs. Radon is stipulated as the second leading cause of lung cancer after smoking by the World Health Organization [1]. In general, the main research topics for radon measurement include indoor radon [2–4], mining [5] and geological survey [6]. There is not much research on radon content in commercial products.

In May 2018, a housewife in South Korea found abnormally high radon concentrations around her mattress while monitoring the air quality in her room by using a commercially available Rn detector. This mattress was produced by

a South Korean manufacturer, and it was found to contain monazite powder (a naturally occurring radioactive material, NORM) in it. The thorium element contained in the monazite powder emits beta or gamma radiation during the decay process, thereby ionizing the air on the surface of the mattress and generating negative ions. Negative ions are believed beneficial to health by some people, but have never been scientifically proven. Radon gas (<sup>220</sup>Rn) formed by the decay of thorium contained in the monazite powder causes the radiation exposure, and the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC) in South Korea concluded that the annual radiation dose caused by the mattresses were above the dose limit of the public (1 mSv/year) [7].

The Atomic Energy Council (AEC), in collaboration with INER (Institute of Nuclear Energy Research) have conducted an audit on the radiation content of commercial products, which are advertised as containing “negative ion powder” and suspected to contain NORM, in August 2018, trying to find out whether there are similar products in Taiwan. As of April 2019, a total of 59 samples were inspected for radon content. The concentration of radon gas (including <sup>220</sup>Rn and <sup>222</sup>Rn) was determined, and the total radiation dose was also evaluated and compared to the dose limit (1 mSv/year) of the public in Taiwan.

**Electronic supplementary material** The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s10967-020-07196-4>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Ming-Hsiu Lin  
mhlin@iner.gov.tw

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Energy Research, No.1000, Wenhua Rd., Jiaan Village, Longtan Township 32546, Taoyuan County, Taiwan (R.O.C.)

## 附件五、含天然放射性物質商品之量測及劑量評估模式

108 年 1 月至 109 年 6 月期間，核研所協助市售商品主責主管機關年度定期抽驗，或原能會不定期抽驗樣品中，原能會送檢 18 件、標檢局送檢 27 件及食藥署送檢 10 件，共計 55 件含天然放射性物質商品送至核研所進行檢測。以上抽驗樣品依據下列原能會所核定之量測及劑量評估模式進行量測與評估。

樣品類型	體內劑量(氬氣)	體外有效劑量	備註
床墊	以距床墊邊緣 2 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。(睡眠呼吸轉換率= 0.37)每日	將床墊劃分成 9 個區塊，量測各區塊表面處輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	圖 S1
棉被	以距棉被邊緣 2 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。(睡眠呼吸轉換率= 0.37)每日	將棉被劃分成 9 個區塊，量測各區塊表面處輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	圖 S2
枕頭	以距枕頭表面 2 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。(睡眠呼吸轉換率= 0.37)每日	以距枕頭中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	圖 S3
面膜/面具	以緊鄰面膜(或面具)鼻孔位置處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品包裝建議使用時間所接受之劑量。(非睡眠呼吸轉換率= 1.0)	以距面膜(或面具)中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品包裝建議使用時間進行評估。	圖 S4
眼罩	以距眼罩邊緣 1 公分處(鼻孔位置)所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。(睡眠呼吸轉換率= 0.37)每日	以距眼罩中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	圖 S5

圍巾	以距圍巾上緣 20 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。(非睡眠呼吸轉換率=1.0)	以圍巾中心表面(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	圖 S6
地墊	以距地墊中心 70 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。(非睡眠呼吸轉換率=1.0)	以距地墊中心 38 公分處(人體性腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	圖 S7
披肩	以距披肩上緣 20 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。(非睡眠呼吸轉換率=1.0)	以披肩中心表面(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	圖 S8
護具	以距護具中心(或輻射熱點) 90 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品 16 小時所接受之劑量。(非睡眠呼吸轉換率=1.0)	以距護具中心(或輻射熱點) 20 公分處(人體性腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	圖 S9
水杯	<p>1. 飲水情節： 以緊鄰水杯杯口所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 10 分鐘時間進行評估。(非睡眠呼吸轉換率=1.0)</p> <p>2. 隨身攜帶情節： 以距水杯中心表面(或輻射熱點) 30 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日</p>	以距水杯中心(或輻射熱點) 30 公分處所測得輻射劑量率，搭配每日非睡眠時間(16 小時)進行評估。	圖 S10

	常活動(非睡眠)呼吸率及每日攜帶 16 小時時間進行評估。(非睡眠呼吸轉換率=1.0)		
水壺	以距水壺中心表面(或輻射熱點) 30 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。(非睡眠呼吸轉換率=1.0)	以距水壺中心(或輻射熱點) 30 公分處所測得輻射劑量率，搭配每日非睡眠時間(16 小時)進行評估。	圖 S11

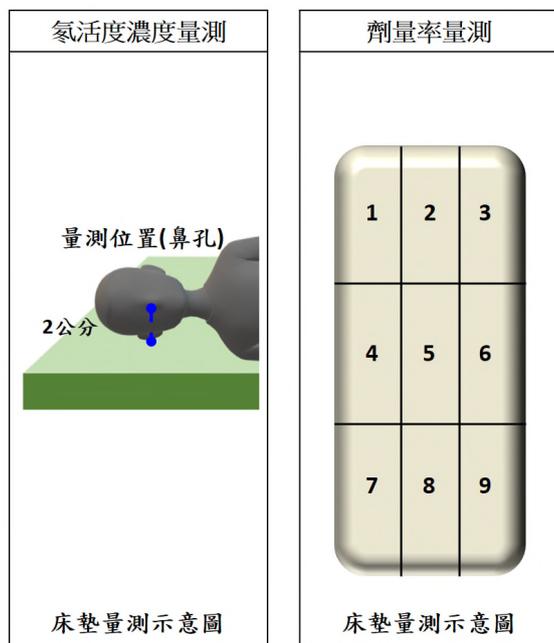


圖 S1. 床墊商品之量測及劑量評估模式

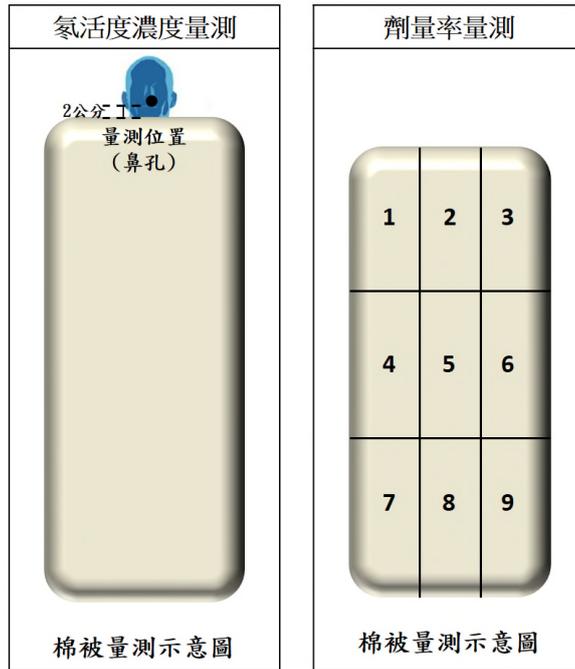


圖 S2. 棉被商品之量測及劑量評估模式

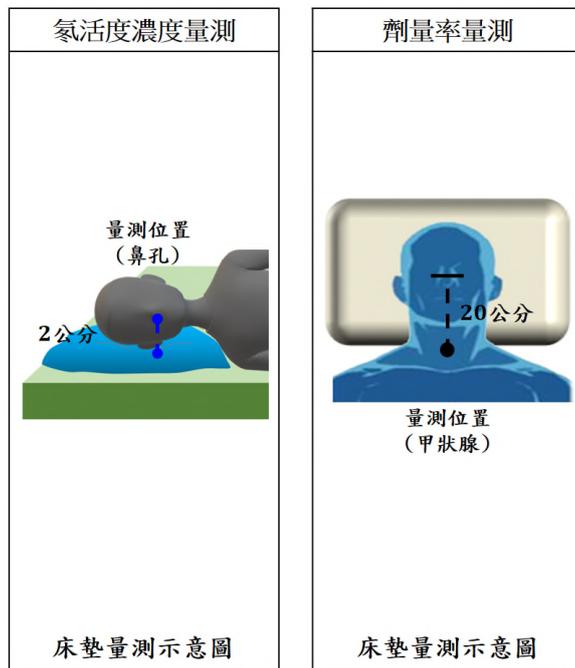


圖 S3. 枕頭商品之量測及劑量評估模式

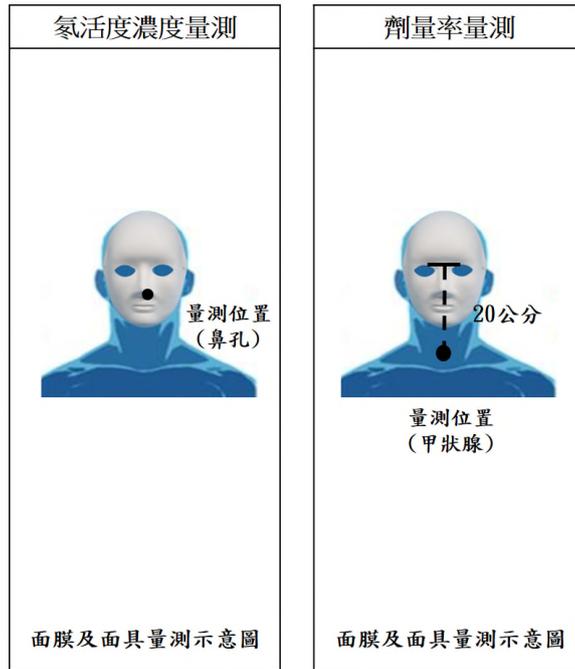


圖 S4. 面膜/面具商品之量測及劑量評估模式

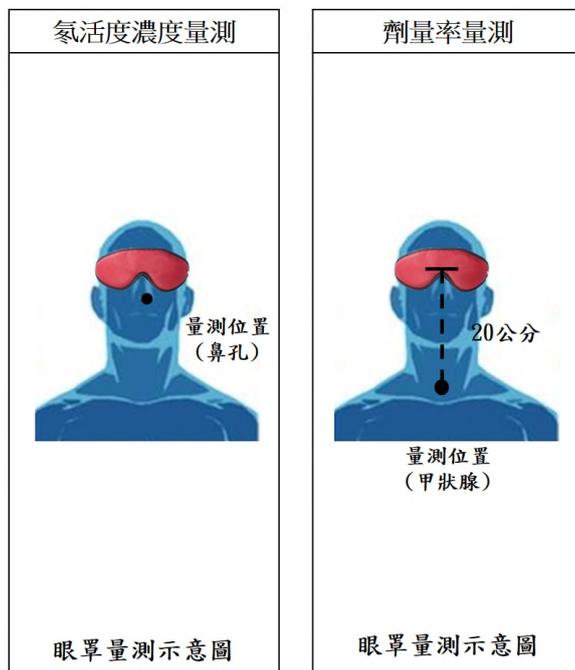


圖 S5. 眼罩商品之量測及劑量評估模式

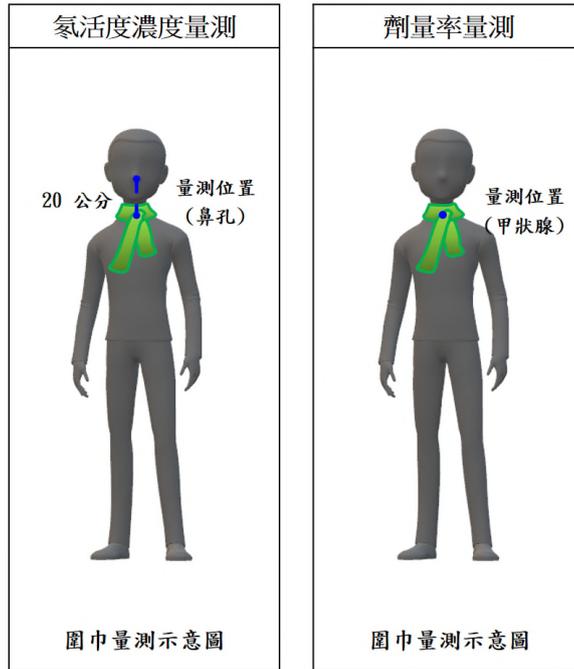


圖 S6. 圍巾商品之量測及劑量評估模式

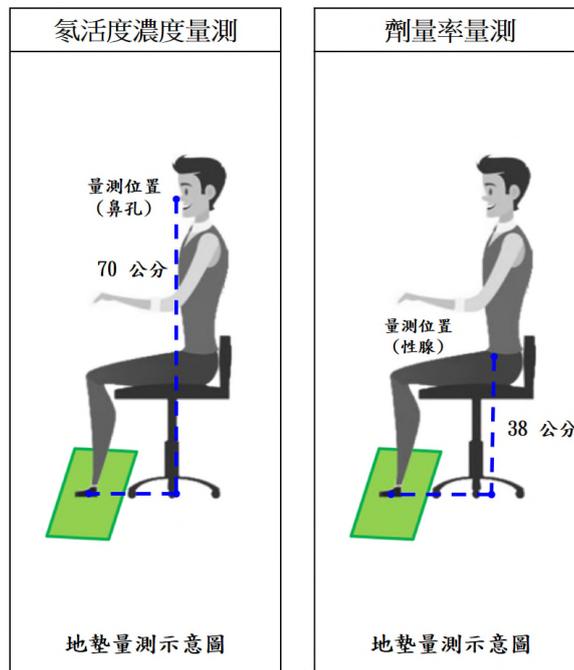


圖 S7. 地墊商品之量測及劑量評估模式

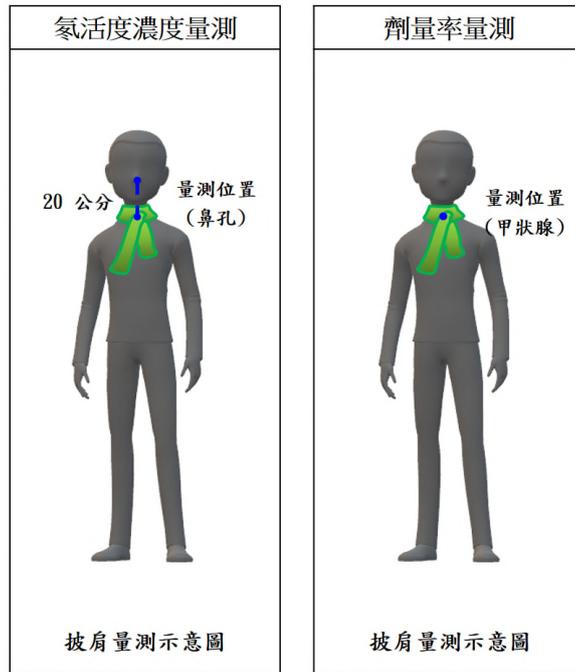


圖 S8. 披肩商品之量測及劑量評估模式

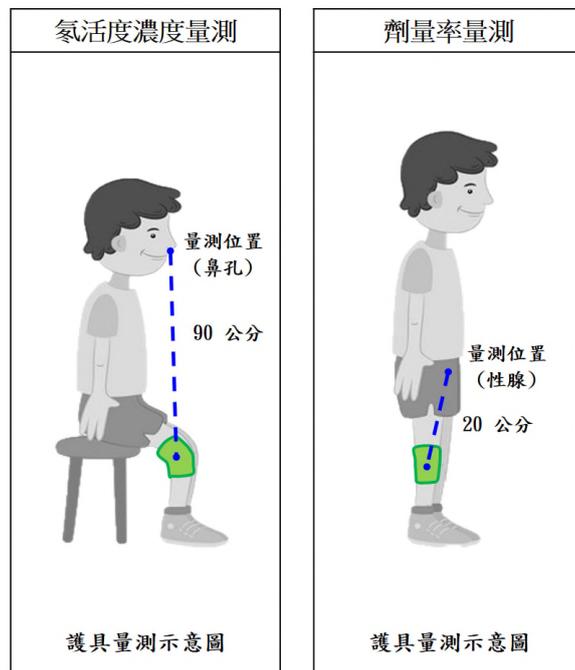


圖 S9 護具商品之量測及劑量評估模式

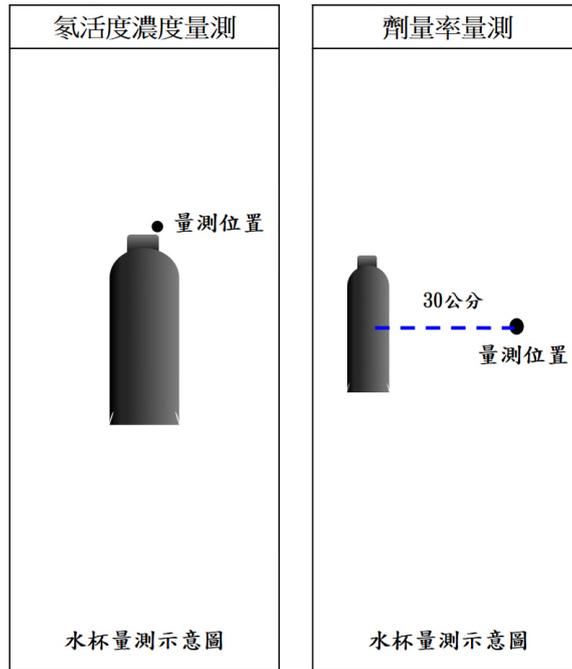


圖 S10 水杯商品之量測及劑量評估模式



圖 S11. 水壺商品之量測及劑量評估模式