



財團法人 中華民國輻射防護協會

# 輻射防護簡訊

第 143 期

發行人  
鄧希平

主編  
張似璵

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

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](http://www.rpa.org.tw) 網站

行政院新聞局 出版事業登記證  
局版北市誌字 第柒伍零號

## 特別報導

第 3 頁

### 漫談核子災區農產品容許量標準的制訂及管制

國際食品輻射容許量標準以極低的風險為基準，如果各個層面的控管都能確實執行，民眾的安全應該是無需顧慮。最重要的是政策的科學基礎及執行的方式，必須公開且透明的呈現給民眾，以取得全民的共識。

## 訓練班公告

第 9 頁

公告本會各項訓練班開課時間。

## 新聞廣場

第 11 頁

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。

## 輻防新知

第 14 頁

### 福島核子事故五年之後：甲狀腺癌的現況

福島後日本使用先進的超音波設備進行 30 萬名兒童的甲狀腺檢查，檢測到的甲狀腺癌，與全面性的檢查有關，而與輻射無關。福島事故的輻射曝露對健康影響很小、甚至不存在，但對日本的經濟負擔、後續復原和公眾焦慮可能持續幾十年。

## 輻說 – 廖彥朋專欄

第 17 頁

### 什麼？輻射沒有安全劑量居然是個沒被證實過的假說？

近幾年許多輻射應用相關組織都表達不該過度放大檢視低劑量生物效應的立場。美國醫學物理學會（AAPM）和保健物理學會（HPS）都表示：「劑量低於 50 mSv 到 100 mSv 的健康效應風險可能太小或是根本不存在。」

## 專題報導

第 20 頁

### 簡介台灣放射性廢棄物管理之輻射防護

我國已有適當的國家法規架構，嚴格要求符合國際標準的各類放射性廢棄物設施安全，並要求廢棄物減量及考量各步驟間之相關性，也顧及未來世代健康之影響與負擔。



蘭嶼貯存場(圖片來源：台電公司)

## 台灣放射性廢棄物管理之輻射防護

主編 張如琛

討論多年的電業法於今年 1 月 26 日由總統府號令修正公布，在此修正案中 2025 非核家園正式入法。隨著核電廠除役，勢必產生相當數量的放射性廢棄物，加上原本貯存在蘭嶼、核電廠及核研所的放射性廢棄物，這些核廢料將何去何從是全民必須面對的挑戰。

所有人都不希望垃圾放在自家隔壁，因此核廢料處置場和垃圾處理場一樣面臨廠址難尋的問題。低放射性廢棄物真的是洪水猛獸嗎？值得大家深入了解後再加以判斷。為了讓大眾對核廢料有進一步的認識，輻防簡訊今年將進行一系列核廢料相關報導，我們特別著重於輻射防護方面的探討。本期的專題報導『簡介台灣放射性廢棄物管理之輻射防護』就從最基本的法規面讓讀者們了解我國針對放射性廢棄物管理的輻射防護國家法規架構。

此外，為了回應大眾對輻射食品的關切，本協會海外諮詢委員陳士友博士特別由核子災區農產品輻射容許量標準的制訂及管制角度出發，進行深入淺出的說明，相信能讓您由更科學的觀點來討論此議題。

311 福島核災發生至今已近六年，本期及下期的輻防新知特別針對福島居民所受到的輻射曝露及其影響進行報導。祈願我們能記取教訓，未來不再發生核子意外事故。

歡迎賜稿，稿件請寄：

輻防協會編輯組

300 新竹市光復路二段 295 號

15 樓之 1 或

傳真 (03)572-2521 或

電郵 rpa.newsletter@gmail.com

來稿一經刊登，略奉薄酬；

政令宣導文章，恕無稿酬。

## 漫談核子災區農產品 輻射容許量標準的制訂及管制



---

國際食品輻射容許量標準以極低的風險為基準，如果各個層面的控管都能確實執行，民眾的安全應該是無需顧慮。

---

### 前言

最近國內有關進口日本福島核災區農產品一事有著相當大的討論和爭議，筆者借這個機會和國內輻防先進及同仁們針對此議題交換一下意見。

過去幾年筆者有幸領導美國國家輻射防護與測量理事會 (National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP) 在 2014 年 12 月出版理事會第 175 號報告，“大型核子或輻射事故後期復原階段的決策”(Decision Making for Late-Phase Recovery from Major Nuclear or Radiological Incidents; 請看輻防簡訊第 133 期簡介)。此報告乃是美國在日本福島核子事故後針對災區後期復原階段所建立的國家政策指南。報告中列舉災區重建可能遭遇的困難及其克服的方針，包括一些重大的社會問題例如：舉目可見的核污染、看似永遠處置不完的核廢料、家園及大片農耕地的廢棄、災區農產品及食品的出口限制等等。

五年後的今天，這些困難的解決過程已經慢慢的在福島重建的腳步中一一呈現出來了。誠如 NCRP 175 號報告指出災區的重建非得倚賴永續的經濟發展，再而發展一套優先順序然後隨著時間的演

作者

陳士友 博士

NCRP 科學委員會 SC5-1 (大型核子或輻射事故後期復原階段的決策) 主席、美國伊利諾理工學院 Director of Professional Health Physics Program

進解決社會上遭遇的難題。面對此事故，當局所要克服的困難將涵蓋諸多非典型的議題。這些問題的解決往往不包括 (或不適用) 在當前法定政策規範之下，而需要重新制訂適合的政策及法規標準。針對這一系列的挑戰，NCRP 175 號報告在許多章節中也提出一些具體的策略及方向，其中最重要的指南乃是以社會最終的風險為依據，也就是說所有花在災區重建的努力應與社會的風險成比例 (a “risk-based” approach) (套一句俗話說“錢要花在刀口上”，也就是把大部分精力花在高風險的問題上以避免無謂的浪費)。即使如此，報告中也特別提起透過社會溝通來凝聚共識的重要性 --- 任何重要的決策都需要有民意的基礎。

災區的長期復原有賴於有條理的規劃和執行，舉凡環境除汙、核廢料的處置、居民回遷及農產品的販售等。以下本文就集中討論農產品的輻射問題。

## 災區農產品的污染

目前福島災區雖然還有大約十萬人尚未回歸家園，但一切的準備都已朝長期的復原進行。在日本當局大力策劃之下，福島一些周邊的縣市已相繼恢復開放。當然，有一些縣市還有其所生產的農產品、肉類及沿海魚類受到污染的疑慮，例如(直到 2014 年)：福島、千葉、群馬、茨城、栃木、宮城、岩手、青森、長野、埼玉、靜岡、山梨、山形、新潟等地。隨著時間的演進，對可能受到污染的地方及其生產食品的管制也應隨著不同的情況而進行策略上的調整。日本政府應即時及透明的揭露正確資訊，不僅對日本的民眾如此，對輸出的國家也應作個負責任的交代。如今，各國當局對這些資訊都能確實的掌握，舉例來說，美國聯邦食品及藥物管理局在 2011 年 3 月 22 日福島事故發生後，馬上發佈一系列的進口通告 (99-33 號通告)，列舉了受到污染影響的日本縣市及嚴禁進口的食品。

## 國際食安組織

國際食品安全法典 (Codex Alimentarius) 目前被公認為全球遵守的食安典範。此法典源起於歐洲 (法典 Codex 一詞源於古歐洲)，奧匈帝國在 1891 年就訂定了食品的標準，這個標準的設定，乃是由民間專家學者們討論而成，對於該標準的遵守並沒有強制性。即便如此，它所規定的食品標準卻得到社會廣泛認同，同時在法律上也擁有一定的地位。食品安全法典一直沿用於歐洲德語系國家，被公認為全世界最嚴格的食品標準。

1961 年國際食品安全法典被國際糧食及農業組織 (Food and Agriculture Organization; FAO) 認可為國際標準，同時成立國際食品安全法典委員會專司標準的制訂。次年國際衛生組織 (World Health Organization; WHO) 也同時跟進而給予認可。當然它也和國際原子能總署 (International Atomic Energy Agency; IAEA) 維持極其密切的關係。委員會的目標是為了保護消費者的健康及安全，同時促進全世界食品交易的公平及信用。雖然法典委員會的規定並不具強制性，世界貿易組織 (World Trade Organization; WTO) 卻常常引用它所制訂的標準來解決有關國際間食品貿易上的爭議。目前國際食品安全法典委員會有 188 名會員及 240 名觀察員 (台灣目前還不是會員國)。

## 輻射容許量標準的制訂及執行

### 標準的制訂

繼 1986 年車諾比 (Chernobyl) 核子事故後，國際食品安全法典委員會歷經一系列的討論和考量，最終以合計量風險的分析方式作為標準訂定的學理基礎。為了避免標準過度繁瑣及複雜，過程中適當的挹注了一些保守的假設。在此前提下，以下是委員會於 1989 年所提供的公式，用於推導食品中輻射容許量標準 (GL; 即是每公斤的食品中能容許的放射性活度)：

$$GL = IED / (M \times ipf \times e_{ing}) \text{ (貝克/公斤) (公式一)}$$

其中，

IED = 輻射劑量的免干預上限 (1 毫西弗)

M = 個人食物的平均年攝取量 (公斤/年)

ipf = 進口消費品出自於原產地的比例

$e_{ing}$  = 輻射活度對劑量轉換值 (毫西弗/貝克)

此公式的計算基於以下的假設：

1. 輻射劑量的免干預上限為 1 毫西弗 (國際輻射防護委員會建議)。
2. 成人每年食物的平均攝取量為 550 公斤。
3. 嬰兒每年牛奶及食物的平均攝取量 200 公斤。
4. 個人的平均年攝取量中的 10% 仰賴於進口 (即比例為 0.1)。
5. 為求方便起見，所有導出的標準值 (GL) 都基於下列原則保守處理：以單位數最低完整近似值為準、輻射核種群組的選定基於類似的輻射活度對劑量轉換值。基於不同的假設和考量，嬰兒和成人的標準值分開計算(請見例子如下)。

我們以碘-131 為例，它進入人體內會集中在甲狀腺，因此對嬰兒的影響會遠大於成人。嬰兒的碘-131 容許量標準值推導結果如下：

$$GL = 1 \text{ mSv} / (200 \text{ kg} \times 0.1 \times 0.00018 \text{ mSv/Bq}) \\ = 278 \text{ 貝克/公斤}$$

若取最低完整單位數近似值 = 100 (貝克/公斤)，這就是所推薦的碘-131 食品標準。

反觀若以銫-137 為例，它進入人體內會均勻的分布，以成人為準的輻射物容許量標準值則是：

$$GL = 1 \text{ mSv} / (550 \text{ kg} \times 0.1 \times 0.000038 \text{ Sv/Bq}) \\ = 1,400 \text{ 貝克/公斤}$$

若取最低完整單位數近似值 = 1,000 (貝克/公斤)，這就是所推薦的銫-137 食品標準。

依此類推，國際食品安全法典委員會制訂了下列食品輻射容許量的標準值。此一標準應用於核災第一年後的狀況。日本福島事故後，國際間針對標準值有相當多的討論，但一般的共識是，此標準並沒有修訂的必要。

核種群組	輻射容許量標準 (貝克/公斤)	族群食用依據	最低輻射容許量標準 (貝克/公斤)***
$^{238}\text{Pu}, ^{239}\text{Pu}, ^{240}\text{Pu}, ^{241}\text{Am}$	1	嬰兒食品**	1
$^{90}\text{Sr}, ^{106}\text{Ru}, ^{129}\text{I}, ^{131}\text{I}, ^{235}\text{U}$	100	嬰兒食品**	100
$^{35}\text{S}^*, ^{60}\text{Co}, ^{89}\text{Sr}, ^{103}\text{Ru}, ^{134}\text{Cs},$ $^{137}\text{Cs}, ^{144}\text{Ce}, ^{192}\text{Ir}$	1,000	嬰兒食品**	1,000
$^3\text{H}^*, ^{14}\text{C}, ^{99}\text{Tc}$	1,000	嬰兒食品**	1,000
$^{238}\text{Pu}, ^{239}\text{Pu}, ^{240}\text{Pu}, ^{241}\text{Am}$	10	成人食品	NA (> 1)
$^{90}\text{Sr}, ^{106}\text{Ru}, ^{129}\text{I}, ^{131}\text{I}, ^{235}\text{U}$	100	成人食品	NA (= 100)
$^{35}\text{S}^*, ^{60}\text{Co}, ^{89}\text{Sr}, ^{103}\text{Ru}, ^{134}\text{Cs},$ $^{137}\text{Cs}, ^{144}\text{Ce}, ^{192}\text{Ir}$	1,000	成人食品	NA (= 1,000)
$^3\text{H}^*, ^{14}\text{C}, ^{99}\text{Tc}$	10,000	成人食品	NA (> 1,000)

\*顯示值代表有機化合物。

\*\*食品純為嬰兒食用。

\*\*\*輻射物標準值取嬰兒和成人的最低值 (在所有狀況下，嬰兒皆可代表最低標準值)。

## 執行的方法

儘管以上的標準是為各個核種制定，然而在同一食品內如果有許多不同的核種時，個人的年度劑量還是應該保持在輻射劑量的免干預上限內。因此下列的公式必須成立：

$$\sum (M \times ipf \times e_{ing})_i < IED (1 \text{ 毫西弗}) \quad (\text{公式二})$$

其中，各參數如公式一， $i$  則是代表每個單獨的核種。

多核種情況時，國際食品安全法典委員會作了如下的規範：假設核種屬單一核種群組時，各核種的輻射活度總和就必須小於該核種群組的輻射容許量標準值。例如，在某一批進口農產品中發現同時有 100 貝克/公斤 的銫-134 以及 600 貝克/公斤 的銫-137，因為這兩個核種同屬一個群組，

其標準值是 1,000 貝克/公斤，而兩個核種的總活度為 700 貝克/公斤，所以這批農產品符合標準。

然而當各個核種不屬於同一群組時，因為各群組的輻射容許量標準值考量核種的不同屬性(例如核種的半衰期及人的生理特性)，上述的方法在運用上就有困難。比如碘-131 有著很短的半衰期而它特別會被人體的甲狀腺吸收，不同於銫-137 有著很長的半衰期而且會均勻分布人體內。基於核種的不同屬性，以及上述的各種保守的因素，國際食品安全法典委員會在和各個相關國際組織取得共識後，就此規定在多核種情況下，每個核種群組可以單獨應用。例如在同一批進口農產品中發現了碘-131 及銫-137，則它們的輻射容許量標準分別為 100 貝克/公斤及 1,000 貝克/公斤。也就是說只要每個核種的活度小於所屬核種群組的標準值時，該農產品就符合規定。



福島的米全量全袋檢查

圖片來源：中川惠一教授「知輻惜福 - 福島真相」論壇演講簡報。

## 近年世界各國對災區食品的控管

全世界最嚴重的核子災難莫過於 1986 年發生在烏克蘭的車諾比(Chernobyl) 事故。此一事故總共釋放的放射性物質活度為  $1.41 \times 10^{19}$  貝克，包括  $1.76 \times 10^{18}$  貝克的碘-131 及  $8.5 \times 10^{16}$  貝克的銫-137，全世界都可檢測到這些放射性物質；其污染範圍除東歐外，還涵蓋西歐及北歐各國，污染的

農地高達兩百六十萬平方公里。正因為如此，各國(包括前蘇聯及整個歐洲)對農產品的控管也就格外的謹慎和嚴格。以上所討論的國際食品安全法典標準值，就是在這個背景下於 1989 年所制訂出來的。因為這個事件影響眾多的區域，食品的控管方式自然受到各國的重視並達成共識。數十年

後的今天，雖然還有部分汙染區尚有可觀的輻射物殘留，但在嚴格的管制下，有關車諾比農產品的進出口已經不再成為國際的議題。

2011 年的福島核子事故是繼車諾比後最大的事故。總共釋放的放射性物質活度為碘-131 約  $1.5 \times 10^{17}$  貝克，銫-137 約  $1.2 \times 10^{16}$  貝克，大約是車諾比的十分之一。事故發生之後，當局立即採取緊急措施，除了加強對環境及食品的檢測外，同時也對災區食品做出嚴格的控管。由於福島鄰近海洋，而且災害發生時利用海水進行緊急的廠內救援，大量高濃度輻射廢水引起了海域的污染，因此福島附近的海魚類也受到某種程度的污染，這是和車諾比不同的地方。另一個不同點是，福島事故的污染基本上只限於日本而沒有影響他

國。因此農產品出口的問題，在國際上大致公認為屬於日本的外交及經貿問題。然而日本在 2012 年毅然訂定了一套嚴格的標準如下（基於日本現有的核種，大多為銫-137）：

此標準將食品分成五大類，輻射劑量上限為 1 毫西弗（包括所有食品類別），採用保守的係數，因此，比起國際食品安全法典，日本制訂的標準較微嚴格。日本當局的考量除了食品的輸出外，同時要保護廣大的國內消費者（例如食用水大致是供當地居民飲用）。除了訂定嚴格的標準外，日本當局也做了一系列的控管，包括主動的檢測管制區域汙染狀況，並同時通報國際相關單位。目前在國際上尚未出現重大的爭議。

食品類別	食用水	牛奶	一般食品	嬰兒食品
輻射物標準值 (貝克/公斤)	10	50	100	50

## 美國的情況

福島事故引起了美國社會很大的關注，除了日本進口食品外，也關心外海（尤其是瀕臨太平洋的美國西岸）魚類的污染。由於美國在福島事故前後投入相當多的心力，所以對福島的諸項議題也有相當精準的評估與判斷。

美國的食品輻射容許量標準值的制訂源自核子事故緊急應變的防護指南（Protective Actions Guideline; PAG）。此標準由美國聯邦食品及藥物管理局（FDA）主導制訂，所制訂出的標準稱為導出干預基準（Derived Intervention Level; DIL）。事實上這個觀念基本上和國際食品輻射容許量標準一致而且數值雷同，只是假設的參數不同（例如美國所用的輻射劑量上限是 5 毫西弗，但是所用的進口消費比例數值卻是比較高的 30%）。然而二者都是為了因應車諾比事故而訂定，所制訂標

準的數值也都相差不大。

針對日本福島的影響，美國聯邦食品及藥物管理局於 2011 年 3 月 22 日發佈一系列的通告（如進口通告 99-33 號）。通告上明列污染所影響的日本縣市及嚴禁進口的食品，這通告一直隨時間而修正。除此之外，凡是參與製作、包裝及食品儲存的所有日本公司都須註冊並受管制，一旦發現有污染，該食品就不准進口。由於美國聯邦食品及藥物管理局有上千員工，擁有各種高科技檢測儀器的實驗室散布於各州，可以隨時偵測出污染的存在。直到目前為止，福島事故對美國的食品進口並沒有特別的影響。當然，美國聯邦食品及藥物管理局也同時和各個聯邦管制單位保持密切的合作。

## 結語

食品安全對國民的健康乃是極重要的一環，因此相關的管制單位絕對要建立一套有效且令人信服的管制機制以昭公信。近幾年發生的食安事件層出不窮，更讓民眾對食安的把關有著相當的期待。面對全新的食品輻射問題，民眾的恐慌的心理是完全可以理解的。

食品輻射安全的問題也跟其他食安問題一樣，都要回歸科學的基本面來考量，也就是要考慮到民眾的風險。以上所討論的國際食品輻射容許量的標準，就是以極低的風險為基準，如果各個層面的控管都能確實執行，民眾的安全應該是無需顧慮。

處置類似的問題，特別注意避免使用“零風險”的概念。一般而言“零風險”也就是所謂的“零檢出”，就是要做到完全無法檢測出輻射的存在，此一方法的不可行原因如下：

- 一、自然界輻射比比皆是，無論在土壤中、空氣中、水中、乃至存在食物中及人體內。例如人體內存在約 3,700 貝克的天然放射性核種鉀-40(半衰期 12.5 億年)，它對我們造成的年劑量約 0.1 毫西弗(或是相當一次的胸腔 X-光檢查)。鉀-40 同時也存在香蕉及其他食物中，要去除這些放射性物質是不可能也不必要。
- 二、冷戰時期各國所試爆的上千顆大氣核彈造成世界各地累積了不少的放射性落塵(大多是錒-90 及銫-137)。這些落塵目前已成為環境背景，而常常會在日常生活被檢測出來，要去除此環境背景相當困難。
- 三、隨著科技的演進，儀器的檢測能力大幅提升。但是從實際的角度看，若要偵測到極低的放射性活度不但曠日費時而且所費不貲，因此可行性不高，而且並無法實質的降低風險，因此事實上也沒必要。

因應福島核子事故的發生，對於食品輻射安全的檢測，最終的上策還是沿襲國際建立的軌道運行，也只有朝這方向執行食品的管制，各國才有著一致性。這個方向在管制核污染和其他食品的污染上，並沒有甚麼不同。最重要的是這些政策的科學基礎及執行的方式，必須公開且透明的呈現給民眾，以取得全民的共識。我們須謹記保護食品的安全乃是保護社會民眾的基本要務，對每一個環節都不可掉以輕心，唯此甚幸。

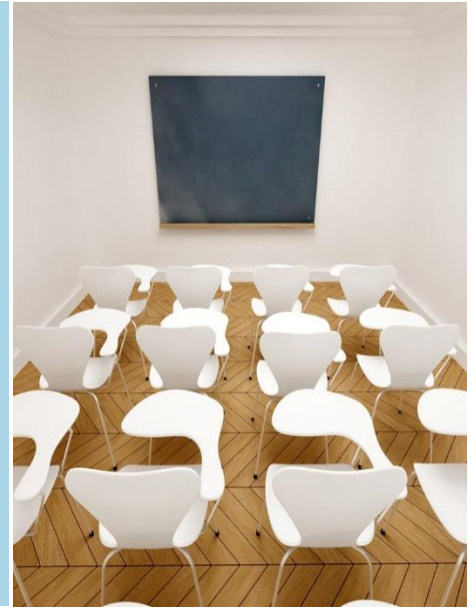
在此眾說紛紜的時候，筆者很希望藉這個機會跟國內輻防界前輩同仁們在這些議題上交換意見並希望在有些觀念上能作個澄清。

## 參考文獻

1. NCRP Report No. 175, Decision Making for Late-Phase Recovery from Major Nuclear or Radiological Incidents, National Council on Radiation Protection and Measurements (2014).
2. Alan Randell, Radionuclide Contamination in Foods: FAO Recommended Limits, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (<http://www.fao.org/docrep/u5900t/u5900t08.htm>)
3. Presentation, New Standard Limits for Radionuclides in Foods, Japan Ministry, Labor and Welfare. (<http://www.fao.org/docrep/u5900t/u5900t08.htm>).
4. U.S. FDA, Accidental Radioactive Contamination of Human Food and Animal Feeds: Recommendations for State and Local Agencies (1998).
5. Codex Alimentarius: International Food Standards, WHO and FAO. (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/en/>)
6. U.S. FDA, FDA Response to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Facility Incident: March 2014 Update. (<http://www.fda.gov/NewsEvents/PublicHealthFocus/ucm247403.htm#new>)
7. U.S. FDA, Import Alert 99-33 (updated 2016). ([http://www.accessdata.fda.gov/cms\\_ia/importalert\\_621.html](http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_621.html))
8. Stuart Gilmour, Sholi Miyagawa, Fumiko Kasuga, and Kenji Shibuga, Current Measures on Radioactive Contamination in Japan: A Policy Situation Analysis, Plos one 2016, 11(3).
9. Codex Alimentarius, GENERAL STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOOD AND FEED (CODEX STAN 193-1995). Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization (2015).



## 訓練班開課時間



### 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 小時許可類設備	A2	02 月 14 日 ~ 21 日	新竹 帝國經貿大樓
	A3	08 月 01 日 ~ 08 日	高雄 文化大學推廣部
B 組 18 小時登記備查類設備	B3	02 月 22 日 ~ 24 日	高雄 輻射偵測中心
	B4	03 月 08 日 ~ 10 日	新竹 帝國經貿大樓
	B5	03 月 15 日 ~ 17 日	台北 建國大樓
	B6	03 月 22 日 ~ 24 日	台中 文化大學推廣部
	B7	04 月 19 日 ~ 21 日	高雄 文化大學推廣部
	B8	05 月 10 日 ~ 12 日	新竹 帝國經貿大樓
	B9	05 月 17 日 ~ 19 日	台北 建國大樓
	B10	06 月 07 日 ~ 09 日	台中 文化大學推廣部
	B11	06 月 21 日 ~ 23 日	高雄 文化大學推廣部
	B12	07 月 11 日 ~ 13 日	新竹 帝國經貿大樓
	B13	07 月 18 日 ~ 20 日	台北 建國大樓
	B14	08 月 15 日 ~ 17 日	台中 文化大學推廣部

## 輻射防護專業人員訓練班

輻防師 144 小時、輻防員 108 小時

／新竹帝國經貿大樓

員 31 期	第一階段	06 月 26 日～ 30 日
	第二階段	07 月 03 日～ 07 日
	第三階段	07 月 17 日～ 21 日
	第四階段	07 月 24 日～ 27 日
進階 21 期 (原 20 期末開班)	21 - 1	08 月 16 日～ 18 日
	21 - 2	08 月 21 日～ 23 日

## 輻射防護繼續教育訓練班\*

三小時	03 月 03 日	台北
	03 月 14 日	新竹
	03 月 28 日	台中
	04 月 13 日	高雄
	05 月 26 日	台北
六小時	06 月 02 日	新竹
	04 月 26 日	新竹
	05 月 04 日	高雄
	05 月 16 日	台北

## 鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班\*

鋼	04 月 27 日～ 28 日	新竹 帝國經貿大樓
	05 月 23 日～ 24 日	高雄

## 上課地點

台北	建國大樓	台北市館前路 28 號
新竹	帝國經貿大樓	新竹市光復路二段 295 號 20 樓
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

\* 上課地點如果僅註明區域，但是沒有詳細地點，將依照當期報名人數來決定適當地點。屆時會再通知已報名的學員。

訓練班簡章可至[本會網站查詢](#)。

課程安排問題，請聯絡本會

電話 (03) 572-2224

分機 313 李貞君（專業人員、  
鋼鐵建材、  
繼續教育）

315 邱靜宜（放射物質  
與游離輻射設備）

傳真 (03) 572-2521

## 輻防新聞廣場

這裡有您最關心的證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞



### 最新證照考試日期與榜單

#### 行政院原子能委員會 106 年第 1 次輻射防護及操作人員測驗

報名期間：民國 106 年 2 月 13 日起至 3 月 3 日截止。

測驗日期：民國 106 年 4 月 29 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 - 高雄市立三民高級家事商業職業學校(高雄市左營區裕誠路 1102 號) ([相關網址](#))

### 國內訊息

#### 原能會積極查證外電報導核廢料傾倒台灣海域

有關外電報導義大利貿易商於台灣海域海拋 20 萬桶核廢料乙事，原能會非常重視，已成立專案小組進行查證。原能會要求駐外人員查證該項報導，並透過外交部洽請駐義大利代表處協助蒐集資料，以供研判。

原能會表示，1983 年倫敦海洋投棄公約已禁止各國海洋投棄核廢料，我國亦從未有核廢料海拋作業。依據國際原子能總署的統計(文件編號 IAEA TECDOC-1105)，國際間從 1946 年到 1993 年截止，共有 13 個國家進行海拋，地點位於北極洋、大西洋、與太平洋等處，尚未發現有在台灣附近海域海拋的情事。原能會將繼續蒐集以往國際核廢料海拋資料，進行研判。

依據原能會歷年輻射偵測中心，針對基隆及西子灣海水之放射性監測，結果均為正常，對於台灣沿海所產牡蠣、蛤蠣、魚類、蝦及海藻，進行放射性檢測分析結果，均符合規定，請民眾放心。歷年詳細檢測之數據，請參閱原能會輻射偵測中心「[台灣地區放射性落塵與食品調查半年報](#)」。原能會將進一步整理歷年台灣南北部海域生態調查研究之相關資料，進行查證與研判。

#### 核三廠 1 號機 106 年 1 月 24 日反應器急停之原因已釐清，原能會於 1 月 25 日同意其再起動申請

106 年 1 月 24 日 6 時 25 分核三廠 1 號機因反應爐冷卻水泵(RCP)C 台(共 3 台)跳脫，造成冷卻水 C 迴路流量低，引動反應器急停。此事件並未影響反應器安全亦不涉及輻射外洩，屬國際核能事件分級制度(INES)之 0 級事件。

原能會在接獲台電公司事件通報後，即責成駐廠視察員確認機組安全停機無輻射外洩情形，並要求台電公司須查明事件發生原因，提出必要改善措施。台電公司於 1 月 25 日下午陳送綜合檢討報告，經查 RCP C 台馬達係因其 A 相比流器線路斷線，致使其差動電驛引動跳脫，造成反應器急停。台電公司綜整此次事件之過程、原因、後續處理情形及改善措施後，於 1 月 25 日晚間依「核子反應器設施停止運轉後再起動管制辦法」之規定向原能會提出再起動申請。

原能會在完成審查並確認反應器急停之原因已釐清，台電公司並已修復相關線路、平行展開檢查、提出後續強化措施及確認現場設備均處於正常狀態後，於 1 月 25 日 23 時 10 分同意機組再起動。

### 蘭嶼核廢料的遷移正式向前邁出了一步

台電公司已於 105 年 12 月底提報「低放處置計畫替代應變方案的具體實施方案」及「蘭嶼貯存場遷場規劃報告」，原能會已於 106 年 1 月 3 日將相關資料上網公開。這兩項報告的提出，標誌著蘭嶼核廢料的遷移，正式向前邁出了一步。原能會預定於 106 年 2 月 15 日前完成這兩項報告的審查，審查結果屆時將上網公開，並要求台電公司切實辦理。

### 不偏不倚，不多不少—輻射醫療曝露品質保證

行政院原子能委員會除執行輻射安全管制，自 93 年起開始積極推動輻射醫療曝露品質保證作業，對民眾經常使用之電腦斷層掃描儀、乳房 X 光攝影儀以及放射治療設備(例如：醫用直線加速器、電腦刀及加馬刀等設備)均訂有輻射醫療曝露品質保證標準，符合標準的設備核發「輻射醫療曝露品質標籤」，原能會並要求醫療院所將標籤張貼於設備上供民眾辨識，以確保接受放射診斷與放射治療民眾的輻射安全。

實施醫療曝露品質保證作業的好處，是使放射治療設備照的不偏不倚、照的不多不少，符合醫師的醫療處方；放射診斷設備可於合理的劑量下，獲得最佳的影像品質，供醫師做最佳的診斷，以提昇國內輻射醫療品質，降低病人不必要的輻射曝露劑量。目前 1 年受惠民眾就超過 410 萬人次。

[新聞小辭典]

#### 輻射醫療曝露品質保證 (Medical Exposure Quality Assurance)

藉由每日、每週、每月、每季、每半年、每年品質保證測試的執行，以確保輻射醫療設備各方面性能均維持在一定品質。

### 106 年 1 月輻安預警自動監測日平均劑量率變動圖

106 年 1 月輻安預警自動監測日平均劑量率，均在背景變動範圍（0.2 $\mu$ Sv/hr）內。

([相關網址](#))

### 106 年 1 月輻安預警自動監測日平均劑量率變動圖

106 年 1 月輻安預警自動監測日平均劑量率，均在背景變動範圍（0.2 $\mu$ Sv/hr）內。

([相關網址](#))

## 海外信息

### 聯合國之報告顯示，福島核事故並未使癌症患者顯著增加

聯合國之輻射暴露報告顯示，福島核事故並未使癌症患者顯著增加。聯合國原子輻射效應科學委員會（UNSCEAR）秘書長馬爾科姆·克利克亦表示，任何的消息指出福島核事故造成癌症患者增加是不可信的。

此報告評估輻射物質外釋對於環境的影響。報告指出，由於福島核事故發生當時有採取防護措施，事故造成的暴露劑量較車諾比核事故小許多。並且兒童罹患甲狀腺癌的趨勢也與車諾比核事故後的趨勢不同。由於福島當地進行了廣泛且仔細的檢查，一般微小到難以檢測的甲狀腺癌也會被發現，因此增加了甲狀腺癌的罹患率。

– 摘錄自福島民報

### 美國核管相關法規（10 CFR part 20 與 10 CFR part 50, appendix I）將不再修改

美國核管會（NRC）不打算再修改部分法規（10 CFR part 20 與 10 CFR part 50, appendix I），並表示在這方面修法只會增加更多開銷且無有效的助益。委員會表示現今美國核管會的法規架構已足以保護工作人員、社會大眾以及環境。更多資訊可至 [Federal Register, Volume 81 Issue 249 \(Wednesday, 28 December 2016\) pages 95410–95412](#) 尋找。

### 英國面臨脫歐之後是否退出歐洲原子能共同體(Euratom)之問題

英國政府認為根據 2008 年歐盟修正法(2008 EU Amendment Act)，英國脫歐之後必須退出歐洲原子能共同體(Euratom)。目前各界正熱烈討論此議題。

## 福島核子事故五年之後： 甲狀腺癌的現況

福島後日本使用先進的超音波設備進行 30 萬名兒童的甲狀腺檢查，檢測到的甲狀腺癌，與全面性的檢查有關，而與輻射無關。

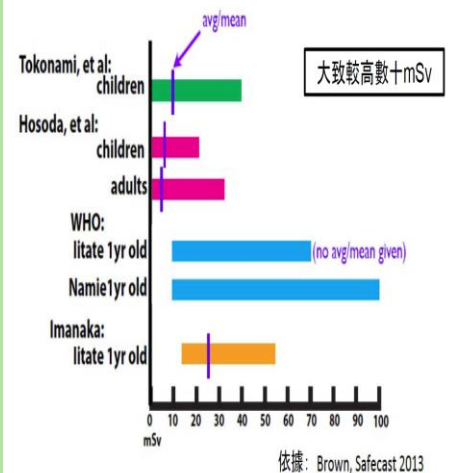
### 緣起

美國輻射防護與度量委員會(NCRP)主席約翰.伯依教授(John D. Boice, Jr)於美洲保健物理學會 2016 年 11 月電子報中報導他參加的第五屆福島輻射和健康國際專家研討會。這次研討會的重點為福島後日本使用先進、純熟的超音波設備進行 30 萬名兒童的甲狀腺檢查結果，並探討這些兒童的甲狀腺癌症狀。

### 福島跟車諾比不一樣

伯依教授首先強調「福島不是車諾比」，雖然日本政府因為無法有效溝通而失去信譽，但是日本政府在輻射防護方面做的事情，大多數是正確的，例如：立即採取撤離行動、提供避難所和管制食物供應。相反地，車諾比事故發生時，蘇聯政府幾乎沒有採取行動，兒童喝了受污染的牛奶導致了甲狀腺癌的發生。這跟日本福島事故是完全不同的情況。日本福島事件中，民眾受暴露的劑量非常低，攝取受污染的牛奶和食物的途徑受到管制，民眾劑量主要來自吸入和體外曝露。

數件福島核電事故之甲狀腺劑量評估



### 作者

張文杰

清華大學工程與系統科學所碩士，  
現為清華大學工程與系統科學系研究助理。

東京大學醫學部的中川惠一醫師是放射線科的專家，在這領域的研究已經超過 30 年。福島事故後他非常關心當地居民受到輻射暴露的情況並積極與他們接觸。中川醫師的說法也跟伯依教授相同。根據中川醫師提供的福島縣縣民健康管理調查資料結果顯示，從 2011 至 2013 年年底為止，共調查福島第一核電廠周遭的 46 萬縣民，他們所受到的體內曝露的劑量幾乎是零，主因就是日本政府實施了極為嚴格的食品管制。而來自福島事故的體外曝露累積劑量，在 3 毫西弗以內的比例占 99.3%，其餘 0.7% 也大都在 15 毫西弗以內。

## 福島的甲狀腺癌患者並未因福島事故而增加

伯依教授強調：我們非常了解甲狀腺癌。首先，甲狀腺癌是可以由輻射引起，但不是在第二天就發生，從暴露於輻射開始到可檢測出有腫瘤，約需要 5 年的時間。在此全面且詳細的調查中，觀察到的甲狀腺癌細胞，可以認為是在福島核子意外事故之前就已經存在的。

此外，世界衛生組織(WHO)、聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR)、國際原子能總署(IAEA)與福島醫學大學的研究指出，未檢測到 5

歲以下兒童得到甲狀腺癌，相反檢測到的病例都是風險低得多的年紀較大兒童和青少年。在車諾比事故中，得到甲狀腺癌的均為 5 歲以下兒童。

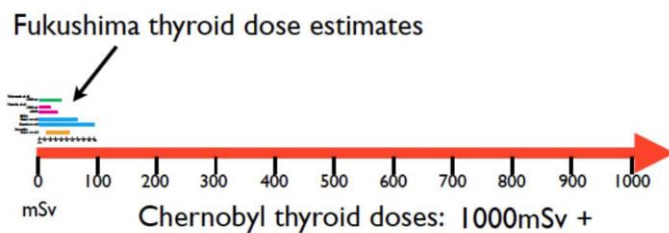
中川醫師也有相同的見解並補充說明，將福島縣民的甲狀腺癌細胞的基因變異加以解析，其結果與車諾比事故有明顯的不同。福島事故中所觀察到的癌細胞其基因變異與成人型是相同的；車諾比事故中則與成人型不同。而且，福島事故中的男女比例是 3 比 7，這和自然發生的機率相似；車諾比事故中則是 1 比 1。

甲狀腺癌會由輻射引起，但微小劑量範圍幾乎不可能引發甲狀腺癌。考慮到所有兒童接受的劑量非常微量至幾乎可忽略，所以研討會普遍的共識是：這些檢測到的甲狀腺癌，與大量全面性的檢查有關，而與輻射無關。

## 民眾的焦慮

使用先進、純熟的超音波設備來檢查 30 萬名兒童甲狀腺，發現了高比例的甲狀腺癌，雖然這些甲狀腺癌不可能與輻射暴露相關，但它們仍是真實存在的，並且已經造成了民眾的焦慮。其實在福島縣以外的區域，做相同的全面性調查時，也發現了如此高比例的甲狀腺癌和腫瘤。

此次與車諾比甲狀腺曝露劑量之差



依據：Brown, Safecast 2013



圖片來源：中川惠一教授「知輻惜福 - 福島真相」論壇演講簡報。

韓國的甲狀腺癌全面檢查研究也顯示了此一結果。韓國的健保加入甲狀腺癌檢查後，韓國的甲狀腺癌患者比例就不斷快速地上升，但死亡率卻仍保持不變。而當韓國將甲狀腺癌檢查從健保中移除後，甲狀腺癌比例就快速地下降到一般值。中川醫師進一步指出，韓國女性的甲狀腺癌已經成為韓國女性癌症發生人數的第一名，而且比第二名乳癌的發生數高出近 2 倍。甲狀腺癌發生人數第一名，這在世界各國都是很罕見的事情。

癌症健檢的重點不是在「是否罹癌」，而是「會不會因罹癌而有不良的影響」，也就是說癌症健檢的目的是為了降低癌症的致死率，不是為了找出並無生命危險或不良影響的細微癌症並治療。

對韓國醫界來說，切除甲狀腺手術的風險極小，但是可領到健保補助，所以韓國女性在癌症健檢時大都會檢查甲狀腺，發現有甲狀腺癌就接受不必要的甲狀腺切除手術。韓國切除甲狀腺手術一度風行到光是排隊等候就要半年到一年的時間，造成醫療上的巨大浪費。而且一旦切除甲狀腺，人體就無法再製造甲狀腺荷爾蒙，接下來的歲月都得服用荷爾蒙。這現象嚴重到韓國在幾年前決定把甲狀腺癌從健保中剔除，才結束這場「悲劇」。

## 啟動調查的原因是為了回應公眾的關注，而非來自科學的考量

從研究輻射效應的角度來看，沒有理由應該繼續這項全面性的調查，因為劑量是如此地微不足道，即使真的找到一個案例，也沒有足夠的統計檢定力來確定其成因為輻射暴露。然而，決定是否要繼續這項調查的，還有來自社會壓力（例如，有年幼子女的母親）、保健問題和日本政府的責任等等因素。

伯依教授建議，如果日本要繼續調查福島縣民的甲狀腺癌，應該非常清楚地說明，這是一項關於人民健康的調查，而不是一項科學研究。如果有甲狀腺癌被極敏感的超音波裝置檢測到，要清楚地告知這是因遺傳或其他因素引起，而不是由輻射引起的。

福島事故的輻射暴露對健康影響很小、甚至不存在，但對日本的經濟負擔、後續復原和公眾焦慮可能持續幾十年。世界需要了解關於輻射對健康影響的真相，然後持續關心和幫助福島人民。

## 專家介紹：

### 1. 中川惠一

東京大學醫學系附屬醫院放射線科副教授、日本厚生勞動省「癌症相關知識普及啟發懇談會」主席、「癌症對策推進協議會」委員、「癌症檢查企業 action」顧問委員會議長、日本放射線腫瘤學會理事。

### 2. 約翰·伯依 ( John D. Boice Jr. )

NCRP 主席、ICRP 委員長、UNSCEAR 美國代表、醫學教授。

## 參考資料：

1. The Boice Report #52, "Fukushima—Five Years After: Thyroid Cancer", Health Physics News, November 2016.
2. 福島真相- 日本東京大學醫學院中川惠一教授 2016 年 5 月 13 日台電公司舉辦「知輻惜福 - 福島真相」論壇。  
<https://www.youtube.com/watch?v=eF9FbPDnVIU>



## 什麼？ 輻射沒有安全劑量居然是個沒被證實過的假說？

美國醫學物理學會（AAPM）和保健物理學會（HPS）都表示：「劑量低於 50 mSv 到 100 mSv 的健康效應風險可能太小或是根本不存在。」

我真的三不五時就要被「輻射沒有安全劑量」這八個字精神虐待一下，為什麼說是精神虐待呢？因為說這句話的人往往沒讀過輻射防護學，他們可能只是讀過幾篇相關報導，或是曾經在職場的輻射安全教育課程中補眠，結果唯一聽到的八字箴言成了一生的心靈總指導，然後每次你依據當下的科學證據解釋事情的時候他們就會一直跟你鱸、一直鱸、一直鱸，鱸到你受不了放棄解釋的時候，他們就自行宣布當選。鄉親啊！這句話只是一個假說，而且還是個一百多年來從沒被證實過的假說啊！

### 為什麼需要一個假說

為什麼需要一個假說？**就是因為測量不到啊啊啊啊！！！！**  
我們都知道，輻射對人體的傷害可以分為「確定效應」和「機率效應」：確定效應（例如：脫毛、白內障等）通常發生在短時間內高劑量的輻射曝露；而機率效應（例如：癌症、遺傳性疾病等）則是隨著劑量增加而發生機率增加。依據國際輻射防護委員會 ICRP 60 號報告書，每西弗(Sv)的曝露將增加約 5% 的癌症風險(參考 1; 註 1)。

# 福說

廖彥朋 專欄



作者

廖彥朋

《台灣網民》專頁原作者，網友暱稱為「養殖戶」，自稱「周魚民的老闆」。大學念的是放射科學，發現自己沒有這方面才華，碩士轉讀醫學物理，又發現這行沒有前途，在醫院工作三年半之後帶著兩把吉他逃到日本，在京都大學醫學研究科當醫學專攻博士生。

- ✓ 長庚大學醫學物理暨影像科學碩士
- ✓ 雙和醫院醫學物理師
- ✓ 中華民國醫學物理學會醫學物理師認證
- ✓ 日本京都大學醫學研究科醫學博士生(ing)

那麼現在問題來了，如果 1 Sv 會增加 5% 的癌症風險，那麼 0.1 Sv 會不會增加 0.5% 的風險？0.01 Sv 會不會增加 0.05% 的風險？0.0001 Sv 會不會增加 0.0005% 的風險？答案是：「不知道。」因為從廣島長崎倖存者的資料顯示，近七萬名受到低於 100 mSv (=0.1 Sv) 輻射曝露的倖存者中，並無法觀察到劑量與癌症風險的線性增加關係（參考 2）。這件事情對輻射防護實務是非常困擾的，因為我們眼睜睜的看著超過 100 mSv 的曝露造成癌症風險線性增加，但同時又觀察不到低於 100 mSv 的曝露有相同的趨勢。

基於應用科學的目的，科學界（尤其是輻射防護學界）很難在這樣情況下直接否定低劑量的風險。因此，在包括國際輻射防護委員會、游離輻射生物效應委員會（BEIR）等輻射防護相關組織都建議使用「**假設**輻射沒有安全劑量的線性無低限值模型（LNT）」來**評估**低劑量風險（我這邊特別強調「評估」二字，因為很多人都誤以為這些用計算機算出來的數值是在真實世界被測量到的），這是以輻射防護為目的而採用的假設。所以在這

註解：

1. 這裡的「5%/Sv」並非絕對值，而是相對於原本的終身罹癌率所增加的風險。若以英國研究 1960 年後出生者的終身罹癌率為 50% 為假設，則每 100 mSv 將增加 0.25% 風險。
2. 在某些特定條件下，有時候我們可以將戈雷（Gy）與西弗（Sv）的數量視為相當，即便兩者的物理意義有所區別。

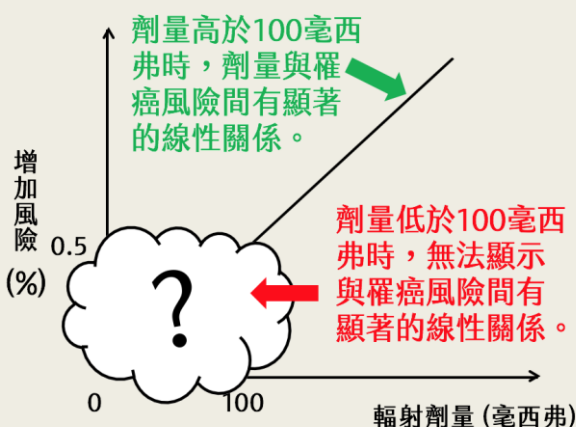
些報告中我們都會經常看到類似這樣的句子：「雖然低劑量輻射與癌症風險的關係存在不確定性、難以觀察、統計不顯著，但是我們有理由假設低於 100 mSv 時的癌症風險隨劑量線性增加。」（參考 3, 4）那個「理由」就是輻射防護規範。

### 你能想像到的曝露型態都沒推倒科學之壁

當然，有些人會想嗆我說：「你講這個是原子彈，是瞬間曝露，那累積呢？那累積呢？那累積呢？（回音）」於是乎，由歐美合作樣本數近五十五萬人的核電廠工人研究（INWORKS）在 2015 年所公布的兩份報告書給了我們一個答案：「**累積劑量低於 100 mGy 時，依舊存在不確定性、難以觀察、統計不顯著。**」（參考 5, 6; 註 2）事實上這個結果是可以理解的，因為我們知道在相同劑量下，單次曝露的傷害大於分次曝露（就像是一天曬八小時太陽會比連續半個月每天曬半小時慘一樣），因此如果單次曝露都不顯著的情況下，分次曝露應該是更難觀察到生物效應的，我這邊都還沒提到傳說中年劑量 260 mSv 的拉姆薩爾啊！

像是這陣子食品安全的問題很流行，就會有人出來嗆說：「就算你說的都是對的，那都是體外曝露不是體內，體內不一樣。」對，但是如果你反

## 輻射傷害沒有低限劑量？



國際輻射防護委員會 ICRP 60 號出版物指出，每 100 毫西弗將增加約 0.5% 的癌症風險

問這些人哪裡不一樣他們又講不出個所以然來。事實上，雖然這兩種曝露的風格是不一樣，但是造成傷害的途徑是一樣的啊！不外乎就是光子或重粒子的發射產生電子游離導致 DNA 斷裂然後絕大部分的情況下被修復加上極少部分發生變異的生物效應（我知道你讀到這裡瞌睡度已經達到 87%了），這就是為何我們最後都得將這些曝露的結果通通轉換到那個滿滿的大～平～台～：「有效劑量（單位：西弗 Sv）」。

## 學界說了什麼

基於以上的理由，近幾年許多輻射應用相關組織都表達不該過度放大檢視低劑量生物效應的立場。美國醫學物理學會（AAPM）和保健物理學會（HPS）都表示：「劑量低於 50 mSv 到 100 mSv 的健康效應風險可能太小或是根本不存在。」國際輻射防護委員會說：「直接將集體有效劑量換算成癌症死亡數是不合理也應該避免的。」聯合國原子輻射效應科學委員會（UNSCEAR）說：「不應該直接把大量人口數乘上超低劑量來評估輻射致癌的數目。」（參考 7），基本上大家對於低劑量輻射的態度可說是已經清楚到不能再清楚、明白到不能再明白了，要再撐下去只能假裝看不懂英文了。

## 老闆碎碎念

有時候有些人會問我說：「測量不到等於不存在嗎？」沒有錯，測量不到並不等於不存在，但我們也可以反過來思考：「測量不到的東西，它的存在與否真的重要嗎？」這確實是一個值得探討的哲學的問題啊，不如咱們來一合會津譽的金牌純米大吟釀再繼續討論吧！

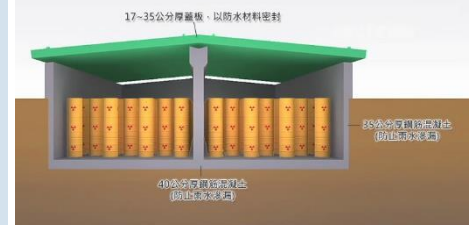


日本福島縣會津譽酒廠的純米大吟釀榮獲 2015 年世界釀造酒金牌

## 參考資料

1. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 60*. Ann. ICRP 21 (1-3).
2. Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K. *Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997*. Radiat Res. 2003 Oct;160(4):381-407.
3. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 103*. Ann. ICRP 37 (2-4).
4. *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2* (2006)
5. Leuraud K, Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, Gillies M, O'Hagan JA, Hamra GB, Haylock R, Laurier D, Moissonnier M, Schubauer-Berigan MK, Thierry-Chef I, Kesminiene A. *Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study*. Lancet Haematol. 2015 Jul;2(7):e276-81.
6. Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, Gillies M, O'Hagan JA, Hamra GB, Haylock R, Laurier D, Leuraud K, Moissonnier M, Schubauer-Berigan MK, Thierry-Chef I, Kesminiene A. *Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS)*. BMJ. 2015 Oct 20;351:h5359. doi: 10.1136/bmj.h5359.
7. Ulsh BA. *Are Risks From Medical Imaging Still too Small to Be Observed or Nonexistent? Dose Response*. 2015 May 4;13(1)

## 簡介台灣放射性廢棄物管理的 輻射防護



蘭嶼貯存場(圖片來源：台電公司)

國內放射性廢棄物各階段的管理，不但符合 IAEA 放射性廢棄物管理的九大原則；其輻射防護為達最佳化，也都訂定了劑量約束，符合 ICRP 最新的 103 號建議書之建議值。

### 前言

台灣游離輻射的應用，已廣泛用於醫學、農業、工業、研究與核能發電等，無可避免地會產生放射性廢棄物。這些放射性廢棄物須要妥善管理，才能避免其輻射危害、確保民眾安全與環境品質，且不會對未來世代附加不當的負擔。因此妥善管理放射性廢棄物是核能和平應用不可或缺的一環，也是國內民眾相當關心的議題之一。

國際原子能總署(以下簡稱 IAEA)為協助各國妥善管理放射性廢棄物，於 1995 年發行「放射性廢棄物管理原則」 [1]，內有九項基本原則，主要內容如下：

- (1) **人類健康防護**：必須使輻射劑量在人類可接受的範圍內，以確保人類的健康。
- (2) **環境保護**：使對環境的衝擊在可接受之範圍內，以確保環境品質。
- (3) **超越國境防護**：必須考量在無國境界限下，能確保全人類健康與環境。
- (4) **未來世代防護**：必須能預估未來世代健康之影響，其影響不得大於現今可接受的影響水準。

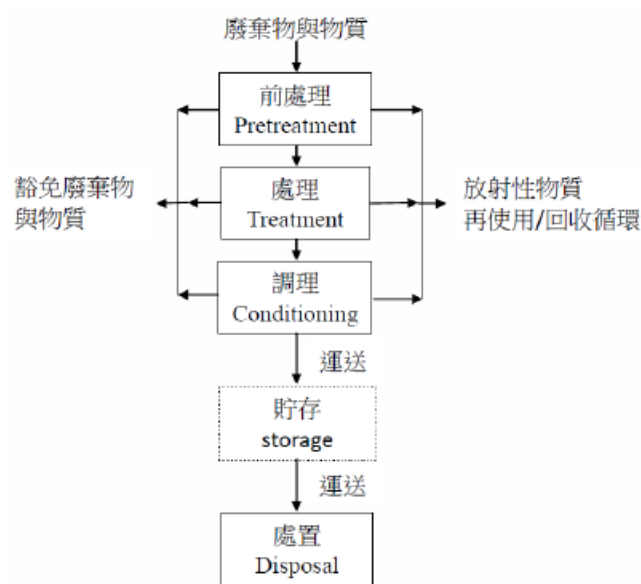
### 作者

李境和

義守大學退休教授、行政院原子能委員會放射性物料管理局退休人員

- (5) **未來世代負擔**：必須不能附加給未來世代不當的負擔。
- (6) **國家法規架構**：必須有適當的國家法規架構，此法規架構應能清楚地顯示出責任所在與獨立管制的功能。
- (7) **廢棄物產量管制**：廢棄物產生應儘可能減少。
- (8) **廢棄物產生與管理的相依性**：廢棄物產生與管理所有步驟間的相依性，必須適當地考量。
- (9) **設施安全**：廢棄物管理設施，在其使用期間應確保其安全。

在台灣，當然需要以 IAEA 放射性廢棄物管理的九大原則，來管理所產生的放射性廢棄物。管理過程的輻射防護，除了遵守國內輻射防護相關法規外，也應參考國際輻射防護委員會(以下簡稱 ICRP)對輻射防護的建議。



放射性廢棄物管理的基本步驟

## ICRP 最新輻射防護的建議


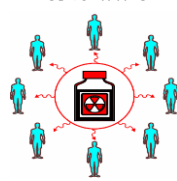
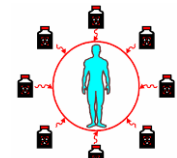
目前國內游離輻射防護安全標準，係參考 ICRP 第 60 號建議書[2]研訂而成。然而，ICRP 根據最新可用的輻射曝露數據，對於輻射防護的方

法與概念於 2007 年提出第 103 號建議書[3]，以取代第 60 號建議書。ICRP 第 103 號建議書中，仍使用有效劑量作為輻射防護的量，主要用於輻射防護設計與最佳化的預期劑量評估，判斷是否符合法規劑量限值。ICRP 已認識到極低劑量/劑量率的輻射健康效應具有不確定性，使用線性無低限值(LNT)模型是為了保守起見。因此對接受極低劑量的大量人群來說，認為不能單純地計算出危險度。有效劑量的計算將使用新修訂且經年齡和性別平均的組織加權因數。顯然有效劑量的計算是對「參考人」而非個體，故不可推估某個人的致癌危害或遺傳疾病危害。

ICRP 認為第 60 號建議書中輻射防護方法的輻射作業(practices) 與干預(interventions)，可能無法清楚區分，且難以對曝露情況(exposure situation)進行分類，因此需要以三種曝露情況來取代。分別為：(1)**規劃(planned)曝露情況**：指規劃引入或操作輻射源的情況，包括以前的輻射作業情況。(2)**緊急(emergency)曝露情況**：指在規劃曝露情況執行過程中可能發生的，或由惡意行為引起的，並需要採取緊急應變措施的情況。(3)**既存(existing)曝露情況**：指在決定採取控制措施時，已經存在的曝露情況。

ICRP 第 103 號建議書，維持輻射防護的三項基本原則：**正當性、最佳化、劑量限值**。正當性與最佳化原則，可用於上述的三種曝露情況；劑量限值原則，僅用於規劃曝露情況預期一定存在的劑量。在規劃曝露情況，採用劑量約束(dose constraint) 進行最佳化，其防護設計還應考量意外事故與惡意事件所引起的不正常曝露，稱為潛在曝露(potential exposure)；在緊急曝露與既存曝露情況，應用參考水平(reference level)進行最佳化，並將參考水平作為評估防護行動的準則，以判定是否需要採取下一步行動。劑量約束與參考水平用於輻射防護的最佳化過程，應確保已考量社會與經濟因素。選取劑量約束與參考水平時，國家的管制部門常常起主要的作用。

表 1、輻射防護的三原則、防護相關、曝露情況、防護水平之關係

防護三原則	防護相關	曝露情況		防護水平
正當性	 <p>射源相關</p>	規劃曝露		劑量約束
		緊急曝露		參考水平
		既存曝露		參考水平
最佳化	 <p>射源相關</p>	規劃曝露	正常曝露	劑量約束
			潛在曝露	風險約束
		緊急曝露		參考水平 (最大值 100 毫西弗)
		既存曝露		參考水平
劑量限值	 <p>個人相關</p>	規劃曝露		劑量限值(所有射源) 劑量約束(單一射源)

ICRP 之輻射防護，分為「射源相關」與「個人相關」的防護。「射源相關」強調該射源可能影響很多人群；「個人相關」強調在特殊的規劃曝露情況下，需要分別限制職業曝露與民眾曝露。輻射防護的三原則、防護相關、曝露情況、防護水平之關係，如表 1。

### 國內放射性廢棄物處理之輻射防護

放射性廢棄物的型態，可分為氣態、液態與固態。放射性氣體或微粒，容易造成工作場所的空浮，應加以吸附或過濾轉成固體放射性廢棄物；放射性液體或溼性放射性廢棄物不易貯存且易污染環境，應加以吸附、過濾或濃縮，再經固化作業轉成固體放射性廢棄物。

#### 核電廠放射性廢氣的處理

核能電廠放射性廢氣的主要來源為：(1) 水射解後氧同位素被活化，以  $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$  為大宗，其  $^{16}\text{N}$  的加馬能量為 6.13MeV，所幸其半衰期僅為 7.13 秒。(2) 燃料護套表面迷離鈾之分裂氣體

產物。(3) 氬氣，如水中之氬被中子活化  $^2\text{H}(n, \gamma)^3\text{H}$ 、 $^{235}\text{U}$  三分裂產生之氬氣及硼被中子活化  $^{10}\text{B}(n,2\alpha)^3\text{H}$  等。(4) 非常少量的破損燃料棒擴散出的分裂氣體產物。

放射性氣體的處理方法：(1) 因大部分的放射性氣體之半衰期都很短，故儘量延長在廠內的停留時間。(2) 利用高效率過濾器去除含放射性核種之微粒。(3) 將氣體乾燥，再以活性碳吸附惰性氣體。(4) 處理後的放射性氣體經偵測後，符合排放標準時排放。

#### 核電廠放射性廢液的處理

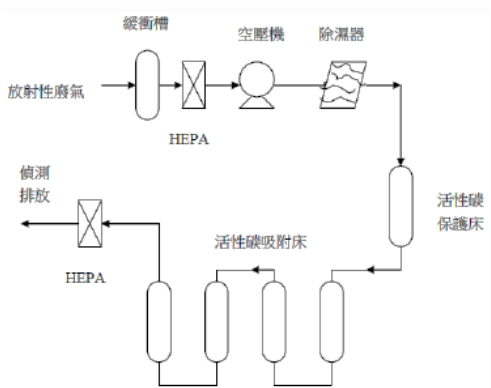
核能電廠放射性廢液的主要來源為：(1) 機件洩水、(2) 地面洩水、(3) 化學廢液、(4) 洗滌廢液。其放射性來源，有下列兩種機制：(1) 分裂產物、(2) 中子活化產物(包括超鈾核種)。分裂產物的游離輻射為貝它( $\beta$ )、加馬( $\gamma$ )與少量的中子，99.9% 的分裂產物存在用於過核燃料內，如  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 。中子活化產物是由穩定核種吸收了中子所產

生的放射性核種。通常都是結構腐蝕物的活化，如  $^{54}\text{Fe}(n, \gamma)^{55}\text{Fe}$ ； $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$  等。

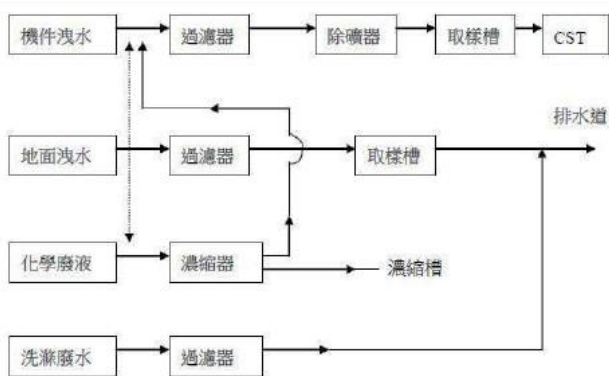
### 核電廠固態放射性廢棄物的處理

核能電廠固態廢棄物分為濕性固體廢棄物與乾性固體廢棄物。濕性固體廢棄物如濃縮殘渣、離子交換樹脂等，乾性固體廢棄物如污染防護衣物及更換下的污染設備與工具等。

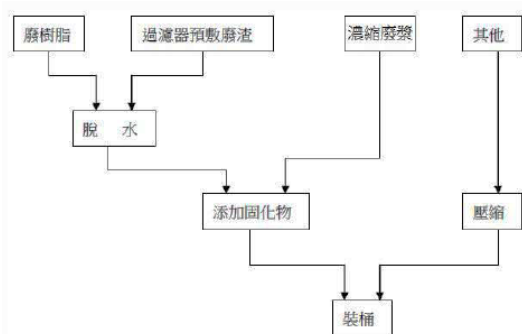
乾性固體廢棄物通常再分為可燃與可壓廢棄



放射性氣體的處理流程



放射性廢液的處理流程



放射性廢棄物的固化流程

物，經焚化、壓縮處理，以減少廢棄物的體積。然而，濕性固體廢棄物以水泥或高效率固化劑固化，再以容器盛裝，其固化體品質須符合「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」之規定。

核電廠各類放射性廢棄物處理的工作人員，都屬於輻射工作人員，每一位的輻射劑量都須符合游離輻射防護安全標準的職業曝露之劑量限度。

核電廠內放射性廢氣、廢液與廢固處理系統，其輻射防護之要求，應納入「核能電廠環境輻射劑量設計規範」中：任一核能電廠廠址，不論有多少部輕水式核反應器機組，及其他附屬設施，其所造成廠界外非限制區域中，任一民眾的年有效劑量評估值總和，每年不得超過 0.5 毫西弗。這些輻射劑量設計限值，可以視為 ICRP 第 103 號建議書之規劃曝露劑量約束。

### 國內放射性廢棄物貯存之輻射防護

放射性廢棄物產生初期具有較高的活度，須貯存一段時間，俟其活度降低後，以便吊卸、運送至最終處置場。我國目前尚無放射性廢棄物最終處置設施，為確保貯存安全，因此行政院原子能委員會放射性物料管理局(以下簡稱物管局)要求各核能設施須建置現代化貯存庫，容量足以存放設施所產生的所有放射性廢棄物。

#### 低放射性廢棄物貯存

低放射性廢棄物貯存設施在興建前，各設施經營者依法規規定檢送相關文件，經審查核准後始能興建，建造期間物管局均派員檢查施工情形，完工啟用前並經勘驗合格後，各設施經營者須提出運轉申請，經審查核准後始得正式運轉。這符合 IAEA 放射性廢棄物管理原則的原則六有適當的國家法規架構與原則九確保設施安全。

有關低放射性廢棄物貯存設施之輻射防護要求：(1) 貯存設施之輻射防護設計，應確保其對設

施外一般人所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 毫西弗，並符合合理抑低原則；(2) 核子反應器設施之貯存設施，其輻射防護設計，應符合「核能電廠環境輻射劑量設計規範」之規定。

### 用過核子燃料貯存

核子燃料使用一段時間後，必須更換、退出核反應器，稱為「用過核子燃料」。剛從反應器退出時，具有很高的放射性及熱量，必須先貯存於廠內的用過核子燃料池中冷卻，待其放射性及熱量衰減後，再進行後續處理。由於用過核子燃料含有鈾與鈾等有用資源，將其視為可回收資源進行再處理或將其視為廢棄物而直接處置，依各國的國情與社會環境，而有不同的選擇。

國內用過核子燃料，先採燃料池貯存冷卻、再採乾式貯存，其輻射設計，依 97 年前的「[放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則](#)」之規定，電廠內新增的放射性廢棄物貯存設施之輻射劑量設計，應確保其對廠址外一般人所造成之個人年有效劑量不得超過 0.05 毫西弗。

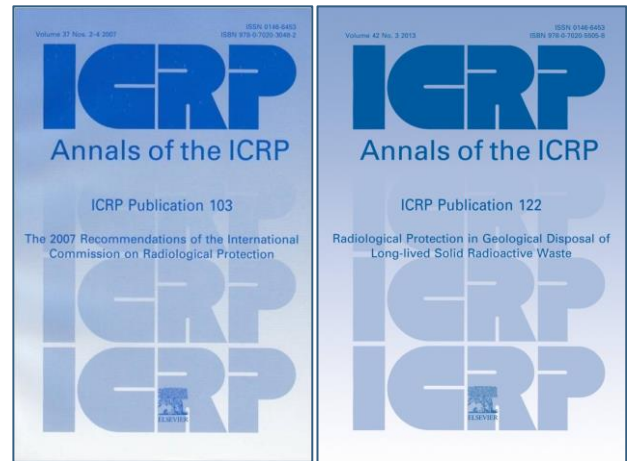
### 國內放射性廢棄物運送之輻射防護

放射性物料可分為核子原料、核子燃料(未照射過或照射過)、放射性廢棄物(表面污染物或一般廢棄物)。上述各種放射性物料的運送，都須符合「[放射性物質安全運送規則](#)」之規定。

運送的輻射防護基本要求，每次正常運送，工作人員之輻射劑量約束值為 1 毫西弗，民眾為 0.1 毫西弗[6]，這屬於規劃曝露的劑量約束。意外事故時，工作人員之輻射劑量約束值為 30 毫西弗，這是屬於潛在曝露的劑量約束。

### 國內核設施除役之輻射防護

依我國「[核子反應器設施管制法](#)」之定義，除役係指核子反應器設施永久停止運轉後，為使設施及其土地資源能再度開發利用，所採取之各項



措施。「[核子反應器設施管制法施行細則](#)」要求：(1) 於取得主管機關核發之除役許可後二十五五年內完成；(2) 除役後之廠址，若限制性使用者，其對一般人造成之年有效劑量不得超過 1 毫西弗；若非限制性使用者，其對一般人造成之年有效劑量不得超過 0.25 毫西弗。「[核子反應器設施除役許可申請審核辦法](#)」明訂除役許可申請應備之文件、審核程序及其他應遵行事項。

由於國內尚無放射性廢棄物處置場，所以核電廠機組停機後除役，原有的放射性廢棄物貯存庫與用過核子燃料乾式貯存設施都必須保留，以容納原有放射性廢棄物與除役產生的廢棄物。各類放射性廢棄物設施(不含處置設施)除役後，依「[放射性物料管理法施行細則](#)」之規定，對一般人造成之個人年有效劑量不得超過 0.25 毫西弗。

### 放射性廢棄物解除管制之輻射防護

可忽略的放射性物質或廢棄物，其管理可分為三種概念，分別為排除管制(exclusion)、豁免管制(exemption)及解除管制(removal)等。

天然放射性核種在環境中是無所不在的，如  $^{40}\text{K}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$  核種及其子核種。含這些天然放射性核種之放射性物質或廢棄物，在未經過人為因素濃縮過，通常都已長期存在於自然環境中，不宜去管理也不便去管理，故應排除於游離輻射防護之管制。



某些非天然放射性物質，經評估其使用或廢棄的劑量低於 0.01 毫西弗/年，因無輻射安全的顧慮，也無管制之必要，一開始即豁免於管制，不進入管制體系，此為豁免管制。游離輻射防護法規中有「輻射源豁免管制標準」，規範放射性物質之豁免管制量，各核種的豁免管制活度濃度與豁免管制活度。

放射性廢棄物經衰減後，當其輻射影響經確認小於 0.01 毫西弗/年後，得解除管制。解除管制之標準，在放射性物料管理法中稱為一定活度或比活度，放射性物料管理法規中也有「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」。

表 2 列出某些放射性核種之一定活度或比活度以下放射性廢棄物之限值、放射性物質之豁免管制量與運送規則豁免管制量。經比較後發現：三者的活度限值或豁免管制量都相等；每年外釋一公噸以下之廢棄物比活度限值，也與放射性物質豁免管制活度濃度及運送物質活度濃度之豁免值相等。

## 國內放射性廢棄物最終處置輻射防護

放射性廢棄物最終處置場的設計，世界各國皆採「多重障壁」的概念，也就是利用多項的防護措施，隔絕放射性廢棄物於人類生活環境之外。

### 低放射性廢棄物最終處置

低放射性廢棄物最終處置的多重障壁，包括廢棄物固化體、廢棄物容器、填充材料、工程設施、排水設施等工程障壁及天然障壁等，此種處置方式已獲國際原子能總署之認可與推薦。低放射性廢棄物最終處置都採陸地處置，可分為淺層處置與地質處置。處置場必須經過嚴密的場址選擇、環境影響評估、安全分析、興建與運轉管制及封閉與監管等程序。

低放射性廢棄物最終處置之輻射防護設計要求，應確保其對設施外一般人所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 毫西弗，並應符合合理抑低原則。ICRP 103 號建議書，對放射性廢棄物處置之建議劑量約束為每年 0.3 毫西弗。

表 2、放射性廢棄物解除管制、放射性物質豁免管制、運送規則豁免管制之比較

核種名稱	一定活度或比活度以下放射性廢棄物之限值			放射性物質之豁免管制量		運送規則豁免管制量	
	每年外釋廢棄物活度限值 (貝克)	每年外釋超過一公噸之廢棄物比活度限值 (貝克/克)	每年外釋一公噸以下之廢棄物比活度限值 (貝克/克)	豁免管制活度 (貝克)	豁免管制活度濃度 (貝克/克)	交運活度限值之豁免值 (貝克)	物質活度濃度之豁免值 (貝克/克)
Co-60	1.E+5	1.E-1	1.E+1	1.E+5	1.E+1	1.E+5	1.E+1
Ni-63	1.E+8	1.E+2	1.E+5	1.E+8	1.E+5	1.E+8	1.E+5
Sr-90	1.E+4	1.E+0	1.E+2	1.E+4	1.E+2	1.E+4	1.E+2
Cs-137	1.E+4	1.E-1	1.E+1	1.E+4	1.E+1	1.E+4	1.E+1
Th-232	1.E+4	1.E+0	1.E+1	1.E+4	1.E+1	1.E+4	1.E+1
U-235	1.E+4	1.E+0	1.E+1	1.E+4	1.E+1	1.E+4	1.E+1
U-238	1.E+4	1.E+0	1.E+1	1.E+4	1.E+1	1.E+4	1.E+1
Pu-239	1.E+4	1.E-1	1.E+0	1.E+4	1.E+0	1.E+4	1.E+0
Pu-241	1.E+5	1.E+1	1.E+2	1.E+5	1.E+2	1.E+5	1.E+2
Am-241	1.E+4	1.E-1	1.E+0	1.E+4	1.E+0	1.E+4	1.E+0

## 高放射性廢棄物最終處置

對於高放射性廢棄物(或用過核子燃料)的最終處置，國際間一致採行「深地層處置」概念，將高放射性廢棄物置放於地下數百公尺的穩定地層中，利用廢棄物體、包封容器、工程障壁及周圍岩層等構成層層保護，使其與人類生活圈隔離。

物管局已訂定了「高放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」，其中規定設施之設計，應確保其輻射影響對設施外一般人所造成之個人年有效劑量不得超過 0.25 毫西弗。ICRP 103 號建議書，對長壽命放射性廢棄物處置(高放射性廢棄物處置)的建議劑量約束值為每年小於 0.3 毫西弗。可見國內的高放處置輻射防護設計，幾乎與 ICRP 一致，是屬於規劃曝露的劑量約束。該規則中第 2 條第 4 款也對「個人年風險」做了定義：指高放處置設施每年發生意外事件之機率，與關鍵群體中個人因該事件接受輻射劑量造成罹患致死癌症機率之乘積。可見個人年風險不得超過一百萬分之一，不是單純的輻射危害風險(輻射劑量×輻射危害係數)，而是要再乘以發生意外事件的機率。

## 結語

我國已有適當的國家法規架構，嚴格要求符合國際標準的各類放射性廢棄物設施安全，並要求廢棄物減量及考量各步驟間之相關性，也顧及未來世代健康之影響與負擔，所以台灣放射性廢棄物的管理，已符合 IAEA 放射性廢棄物管理的九大原則。台灣各類放射性廢棄物管理的輻射防護，符合 ICRP 的建議值，對民眾之輻射影響遠小於天然背景輻射(約 1.6 毫西弗/年)，沒有輻射安全顧慮。

---

台灣游離輻射的應用，已廣泛用於醫學、農業、工業、研究與核能發電等，無可避免地都會產生放射性廢棄物。這些放射性廢棄物須要妥善管理，才能避免其輻射危害、確保民眾安全與環境品質，並對未來世代不會附加不當的負擔。

---

## 參考文獻

1. IAEA, The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, Vienna, 1995.
2. ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP 60, 1990.
3. ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP 103, 2007.
4. 行政院原子能委員會，原子能管制理論與實務，2015。
5. 李境和，游離輻射防護與法規，財團法人中華民國輻射防護協會，2014。
6. IAEA, Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Guide, No. TS-G-1.1 (ST-2), 2002.
7. 鄭維申、李境和、楊清田，國外固體放射性廢棄物清潔標準研擬之比較分析，2004 廢棄物解除管制清潔標準與檢測研討會，2004。