



檢查程序



暫放



Radioactive Waste:

HLW-High Level Waste

ILW-Intermediate Level Waste

LLW-Low Level Waste

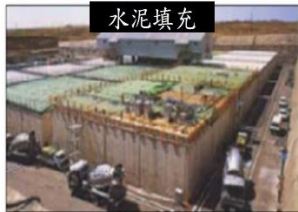
圖引用自IAEA



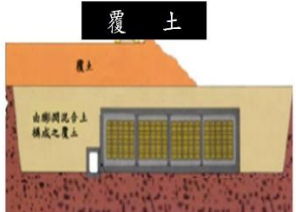
交付運送



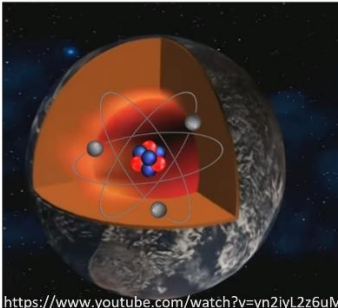
坑道內部



水泥填充



覆土



<https://www.youtube.com/watch?v=yn2iyL2z6uM>

財團法人 中華民國輻射防護協會

# 輻射防護簡訊

第 179 期

出刊日期 113 年 2 月 1 日

日本低放處置流程(圖引用自核安會)

## 本期內容

### CONTENT

#### 放射性廢棄物管理原則與輻射安全要求

1

核能、輻射與放射性同位素應用於發電、工業和醫學，難免會產生放射性廢棄物，對於這些應用的國家，應負責任地去管理這些放射性廢棄物，尤其是放射性廢棄物管理各階段的輻射安全。

#### 淺談地殼中蘊藏的巨大能量-輻射能

5

地震的發生原因，地質學常以板塊擠壓解釋之，但地球表面的地殼板塊為何會擠壓運動，怎麼會有如此巨大神秘的能量去推動板塊呢？實際上，地殼內蘊藏的能量，主要(>50%)來自地殼內放射性核種釋出所累積的輻射能。

#### 訓練班課程

7

公告本會各項訓練班開課時間

#### 輻協新聞廣場

8

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

#### 放射性廢棄物管理與 ICRP103 輻防的相關性

12

核能設施與放射性同位素應用設施的運轉與除役，難免會產生放射性廢棄物，而我國核能電廠都規劃設有放射性廢氣處理系統、廢液處理系統，與固化系統以處理其運轉與除役所產生的放射性廢棄物。

# 放射性廢棄物管理原則與輻射安全要求

作者 李境和  
 義守大學助理教授(退休)

放射性廢棄物的安全管理，離不開輻射防護的工作。由於核能、輻射與放射性同位素應用於發電、工業和醫學，難免會產生放射性廢棄物。對於這些應用的國家，應負責任地去管理這些放射性廢棄物，且應避免由於當代人享受便利的福祉而帶給後代子孫不當的負擔。尤其應注意放射性廢棄物管理各階段的輻射安全。

## 放射性廢棄物的種類與管理

參考文獻[1]定義「放射性廢棄物」為廢棄放射性物質及受放射性物質污染的物體，將被處置且不再使用。放射性廢棄物的產生，來自於核能使用如核能電

廠，也來自於醫療、農業與工業的同位素使用。

放射性廢棄物依其物理型態，可分為氣態、液態或固態廢棄物；依放射性強度，可從可忽略到很高的放射性(如用過核燃料)；依體積與數量，可從很小的廢密封射源，到核能電廠除役的大量廢棄物等。放射性廢棄物也可能含有化學或生物的有害物質。

放射性廢棄物管理的基本步驟，可分為前處理 (pretreatment)、處理 (treatment)、調理(conditioning)、貯存(storage)及最終處置(final disposal)等步驟[2]，各步驟間可能會涉及運送，如圖 1 所示。

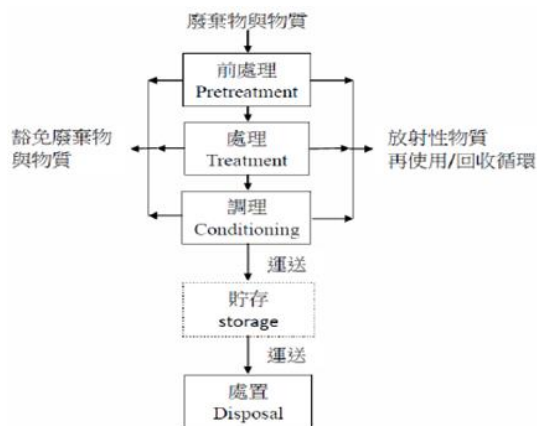


圖 1、放射性廢棄物管理的基本步驟



日本低放處置流程(圖引用自核安會)

前處理是去選擇最佳處理方法的過程，包括廢棄物產生後之收集、分離、化學調整、與除污，提供廢棄物分類的機會。通常分類為豁免廢棄物、可再使用/回收廢棄物、及需最終處置的放射性廢棄物。

處理是藉改變放射性廢棄物的性質，以增進安全與經濟的過程。它包括的步驟：如過濾、離子交換、及凝結 (coagulation) 與沉澱，以移除放射性核種；且為減容，包括焚化與壓縮。某些部分廢棄物被考慮除污移除放射性核種後，將不再是放射性廢棄物。

調理是改變放射性廢棄物成為安全形式的過程，用於吊卸、運送、貯存與處置。廢棄物被固化、封閉在容器內、且額外被包裝轉成廢棄物固化體(waste form)。

放射性廢棄物產生初期具有較高的活度，須在各貯存設施內貯存，俟其活度降低後，以便吊卸、運送至最終處置場，並可降低工作人員的輻射劑量。

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

表 1 國際原子能總署(IAEA)放射性廢棄物管理原則

原則 1：人類健康防護(Protection of human health)	放射性廢棄物管理，必須使人類健康防護在可接受的水平。
原則 2：環境保護(Protection of the environment)	放射性廢棄物管理，必須提供環境保護在可接受的水平。
原則 3：超越國境防護(Protection beyond national borders)	放射性廢棄物管理，必須考量超越國境下確保人類健康與環境上可能的效應。
原則 4：未來世代防護(Protection of future generations)	放射性廢棄物管理，必須預估未來世代健康之影響，不得大於現今可接受的影響水平。
原則 5：未來世代負擔(burdens on future generations)	放射性廢棄物管理，必須不能附加給未來世代不當的負擔。
原則 6：國家法規架構(national legal framework)	放射性廢棄物管理，必須在國家的法規架構內，包括責任的清楚定位與獨立管制功能的法規。
原則 7：放射性廢棄物產生量的管制(control of radioactive waste generation)	放射性廢棄物的產生，必須保持在可行的最少量。
原則 8：放射性廢棄物產生與管理的相關性(radioactive waste generation and management interdependencies)	放射性廢棄物的產生與管理間之相關性，必須適當考量。
原則 9：設施的安全(safety of facilities)	放射性廢棄物管理設施之安全性，在其使用期間應適當確認。

多項的防護措施，隔絕放射性廢棄物於人類生活環境之外，以確保公眾與環境免於受到游離輻射的傷害。

#### 放射性廢棄物管理原則與管理系統

國際原子能總署(IAEA)為協助各國妥善管理放射性廢棄物，以確保人類健康與環境，避免帶給後代子孫不當的負擔。IAEA 於 1995 年發行「放射性廢棄物管理原則(The Principles of Radioactive Waste Management)」，該管理原則有九大原則[1]，如表 1。

管理放射性廢棄物的第一優先，不論它們的特性與體積，最終要安全的處置他們。IAEA 管理原則 7，限制放射性廢棄物的產生量，如解除管制系統。

這些都是為了降低風險源的目的與抑制廢棄物處理與處置的費用。IAEA 管理原則 8，強調廢棄物產生、處理、運送、貯存與最終處置等管理系統之相關性，必須適當考量它們的作業、安全與符合相關法規與要求。IAEA 管理原則 9，要求放射性廢棄物管理各步驟中的處理設施、貯存設施、運送作業與處置設施，都必須確認其安全性。

#### 輻射安全要求

IAEA 放射性廢棄物管理九大原則的原則 1(人類健康防護)、原則 3(超越國境防護)、原則 4(未來世代防護)、原則 9(設施的安全)，都涉及游離輻射的防護，因此須滿足國際放射防護委員會(ICRP)提出最新版的輻射防護規定。

ICRP 建議書的基本目的，是為防止輻射曝露對人類和環境的有害效應，提出一適當的防護水平，但不過份限制可能與曝露相關的有益於人類活動。ICRP 輻射防護體系的目的，主要是保護人類健康。健康目標是明確的，對游離輻射進行管理和控制，以防止確定性效應，並使機率性效應的危害降低到可合理達到的程度。

在輻射防護管制方面，ICRP 有排除與豁免的兩種概念：(1)從輻射防護法規中排除的一些曝露情況，通常是基於這種曝露情況用管制方法是無法控制的(不可能管制的，故排除)；(2)對被認為是不合理的管制情況，需要部份或全部從輻射防護管制



劑量限值	劑量約束與參考基準
從職業曝露保護工作人員及從民眾曝露保護代表人	
	
在規劃曝露情境中來自所有管制射源	在所有曝露情境中來自單一射源

圖 2 劑量限值與保護工作人員和公眾的劑量約束和參考基準形成對比

要求中豁免，這常常是基於管制的努力與相關危害比較，被認為是多餘的(不需要管制，故豁免)。因此，法規框架應允許管制機構有權對某些情況，採取排除或豁免其管制要求。排除和豁免的區別不是絕對的，不同國家的管制機構可以作出不同的決定。

ICRP 於 2007 年提出新版的輻射防護建議書(ICRP-103)[3]，該建議書係根據輻射曝露的生物和物理的最新可用科學資訊，在等價和有效劑量的數值上更新了輻射加權因子與組織加權因子，並更新了輻射的危害係數。且維持了委員會輻射防護的三項基本原則，即正當性(justification)、最佳化 (optimisation) 和 劑 量 限 值 應 用 (application of dose limits)。

正當性與最佳化原則，在三種的曝露情境都適用；劑量限值應用僅適用於規劃曝露情境所引起的預期一定存在的劑量。這些原則定義如下：

(a)正當性原則：任何改變曝露情境的決定，都應當是利大於弊。

(b)最佳化原則：在考量經濟與社會因素後，一切曝露應合理抑低(受曝露人員的數量及個人所受劑量的大小)。

(c)劑量限值應用原則：除病患的醫療曝露外，任何個人受到來自管制射源規劃曝露情境的劑量總和，不可超過委員會確定的劑量限值。

ICRP 建議在管理輻射時，作了兩個簡化：(1)第一個簡化，確認個人可能遭受到幾種類型的輻射曝露，這些曝露均應分開處理。例如輻射工作人員，因工作受到輻射源的曝露，也作為公眾受到環境中輻射源的曝露，還可作為病患接受醫療曝露。ICRP 的政策仍然是對因工作受到曝露的控制，不必受到其他輻射源曝露控制的影響。ICRP 建議把曝露分為三類：職業曝露、公眾曝露、醫療曝露，不要試圖對同一人所受不同種類的曝露作相加。(2)第二個簡化，在處理由多種曝露途徑時，對與射源相關途徑和與個人相關途徑，加以區別。

為了曝露的實際控制，ICRP-60 建議書把引起這些曝露的事件(event)和情境(situation)，分為兩類控制：干預(interventions)與輻射作業(practices)。輻

射作業的定義為由於引入新射源、曝露途徑和個人，或由於改變從現存射源到個人的曝露途徑，而增加人類活動的曝露，及增加個人受到的曝露或增加曝露的人數。干預定義為藉影響現存情況，而降低人類活動的總曝露。這些人類活動可以是移開既已存在的射源、改變曝露途徑、或減少受曝露的人數。ICRP-103 建議書，已由基於過程的方法，發展為基於曝露情境(exposure situation)的方法，分為規劃(planned)、緊急(emergency)和既存(existing)曝露情境。

(a)規劃曝露情境：係指慎重引入和操作射源的情境。規劃曝露情境既可以引起預期會發生的曝露(正常曝露)，也可以引起預期不會發生的曝露(潛在曝露)。

(b)緊急曝露情境：係指在一個規劃曝露情境的運轉期間可能發生的，或來自於一個惡意行為的，或其他意外的情況，並需要採取緊急行動，以避免或降低有害後果。

(c)既存曝露情境：係指在不得不作出管制決策時，就已經存在的曝露情境，包括緊急事件發生後的持續曝露。

ICRP-103 建議書強調最佳化原則，應以相同方法用於所有曝露情境。對於參考人的劑量限制，在規劃曝露情境下為劑量約束(dose constrain)，在緊急和既存曝露情境下為參考基準(reference level)。隨著最佳化防護策略的執行，如果結果顯示超過了約束值或參考基準，則應進行原因調查。

個人劑量若遠小於確定性效應的閾值時，ICRP 認為來自個別射源對個人劑量的貢獻影響與來自其他射源的劑量影響是無關的。為了許多目的，每個射源或射源群通常可以單獨處理。然後有必要考慮該射源或射源群對受曝露個人的曝露程度。此過程稱為“射源相關”方法。ICRP 強調射源相關方法的重要性，因為可以對射源採取行動，以確保可保護一群人免受該射源的危害。

在規劃曝露情境的特殊情況，需要對職業劑量總量和公眾劑量總量分別進行限制時。ICRP 將此類與個人相關的限制稱為

劑量限值，相對應的劑量評估稱為“個人相關”。

圖 2 說明在規劃曝露情境下，個人劑量限值的應用與在所有情境下為了射源的防護使用劑量約束或參考基準之間概念上的差異性。

集體有效劑量是在職業曝露領域內，用於比較不同的輻射防護技術和防護程序的最佳化工具，不是要將集體有效劑量用作為流行病學研究工具，把它用於危險預估是不合適的。

ICRP 還說明了三項基本原則(正當性、最佳化、劑量限值應用)如何適用於射源相關和個人相關，及射源相關如何適用於所有可控制的情境。正當性與最佳化兩項原則與射源相關，且都適用於所有曝露情境。劑量限值應用原則與個人相關，適用於規劃曝露情境。我國放射性廢棄物管理的要求，已完全遵循國際原子能總署(IAEA)放射性廢棄物管理的九大原則。而 IAEA 也認為放射性廢棄物管理是核能設

施與放射性同位素應用設施的一部分，且經各國管制機關的核准，也已具備正當性。

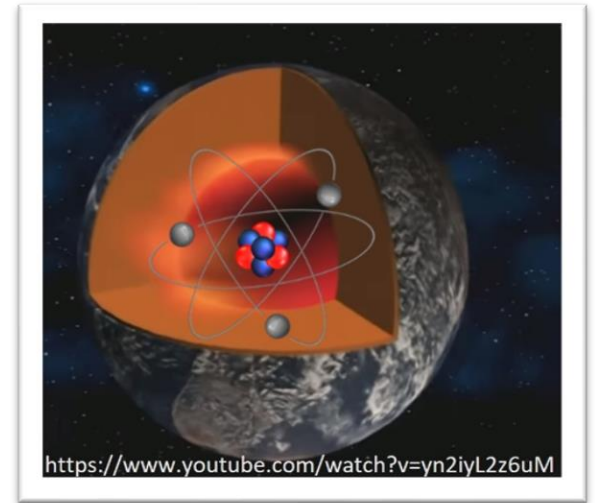
## 參考文獻

- [1] Shinya Nagasaki and Shinichi Nakayama, Radioactive Waste Engineering and Management, Springer, 2014.
- [2] IAEA, Establishing a National System for Radioactive Waste Management-Annex Basic Steps in Radioactive Waste Management, IAEA Safety Series No. 111-S-1, 1995.
- [3] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP-103, March 2007.

# 淺談地殼中蘊藏的巨大能量-輻射能

作者 陳拓榮

中山醫學大學醫學影像暨放射科學系



地震的發生原因，地質學(geology)常以板塊擠壓解釋之，例如 311 地震是因太平洋板塊被本州北部板塊往下擠壓所造成。但地球表面的地殼板塊為何會擠壓運動，怎麼會有如此巨大神秘的能量去推動板塊呢？實際上，地殼內蘊藏的能量，主要(> 50%)來自地殼內放射性核種釋出所累積的輻射能。

## 地球的天然輻射

### 重的天然放射核種

我們知道地球的元素，原子序除了 43 (Tc，鎳)和 61 (Pm，鉅)外，從 1 到 92 的元素都是現存地球天然的物質[1]。但這些天然的核種(nuclides)，並不是都是穩定的，原子序介於 82 到 92 範圍的核種，絕大多數是不穩定的，也就是具有放射性。以下將原子序大於 82 的核種，稱為「重」的核種；小於 82 的核種，稱為「輕」的核種。這些重的核種可歸類成三支不同的放射衰變系列，分別是以釷-232、鈾-238、和鈾-235 為首，最後分別衰變至鉛-208、鉛-206 和鉛-207。在專業上常以它們質量數變化的規律，使用  $4n$ 、 $4n+2$  和

$4n+3$  系列衰變命名之[2]。地球迄今約有 46 億年( $4.6 \times 10^9$  y)的年齡[1]，而  $^{232}\text{Th}(4n)$ 、 $^{238}\text{U}(4n+2)$ 、和  $^{235}\text{U}(4n+3)$  的半衰期分別為  $1.4 \times 10^{10}$  y、 $4.5 \times 10^9$  y、和  $7.0 \times 10^8$  y，因為它們的半衰期和地球年齡相當，所以地球仍普遍存在此三系列的核種。當然您會發現怎麼少了  $4n+1$  系列的衰變，原因是在地球創造之初，也是有此系列的。但因  $^{237}\text{Np}$  的半衰期( $2.1 \times 10^6$  y)遠小於地球的年齡，即相當至今在地球的  $^{237}\text{Np}$  已經歷過 2,150 次的半衰期，所以地球幾乎已無  $^{237}\text{Np}$  蹤跡。此系列( $4n+1$ )已衰變走到僅剩  $^{209}\text{Bi}$  和  $^{205}\text{Tl}$ 。而  $^{209}\text{Bi}$  的半衰期長達  $1.9 \times 10^{19}$  y，因地球可找到  $^{209}\text{Bi}$ ，所以由它的存在推估  $^{237}\text{Np}$  曾存在地球。 $^{209}\text{Bi}$  還會釋出阿伐粒子衰變到  $^{205}\text{Tl}$  [3]。

### 輕的天然放射核種

地球的天然放射性核種，除三支不同的放射衰變系列外，常見的還有鉀-40 ( $^{40}\text{K}$ )、氬( $^3\text{H}$ )及碳-14 ( $^{14}\text{C}$ )。鉀-40 的半衰期( $1.2 \times 10^9$  y)也和地球年齡相當，所以仍未完全衰變，迄今還有一些存在

於我們周遭和地殼內部。蔬菜的養份來自泥土，它們也須吸收鉀原子養份，而吸收的鉀原子中就有微量的鉀-40。我們身體透過食物的消化與營養的攝取，遂也將部份鉀-40 留存在我們的體內。以 60 公斤的人為例，身體內約有 0.015 克的鉀-40，相當是 4,000 Bq 的活度。天然的鉀-40 每秒在身體中衰變 4,000 次，衰變過程釋出貝它粒子與加馬射線，將會造成體內的劑量。另外，氬及碳-14 是經由宇宙射線與穩定元素作用產生，氬及碳-14 都是純貝它衰變，且其釋出的動能較小，體內劑量風險貢獻不及鉀-40。以食入核種評估， $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{40}\text{K}$  造成的成人(工作人員)約定有效劑量分別： $1.8 \times 10^{-5}$ 、 $5.8 \times 10^{-4}$ 、 $6.2 \times 10^{-3}$  Sv/Bq [4]，相對風險為 1：39：4,132，所以體內輻射的風險主要來自  $^{40}\text{K}$ 。

### 輻射蛻變蘊藏巨大的能量

這些天然放射性核種以阿伐( $\alpha$ )、貝它( $\beta$ -)或電子捕獲(EC)等形式衰變，釋出多樣的阿伐粒子、貝它粒子和加馬射線等能量，這些輻射能量的外顯表露就是

熱量累積和溫度的升高。地殼內不太深處(例如 100 公尺的深度)溫度高的區域，或可藉由細縫熱流或溫泉等熱傳導，將內部熱量逐漸引流到地球表面。但地球半徑厚達 6400 公里[5]，更深處的熱量多數是無處宣泄的。雖然單次輻射衰變的能量僅些微，但許多放射核種之輻射能經年累月堆積導致目前地底深處是呈熔漿形式的。越深處，溫度越高，地殼底部( the base of the crust)的溫度約為 1,000°C，地函底部(the base of the mantle)的溫度約為 3,500°C，地心(earth's center)的溫度約為 6,000°C [6]。而在熔漿裡的核種，它並不會因溫度高的關係，而停止它們的衰變特性。放射核種仍會持續衰變，導致能量持續累積，所以地球就須不時以地

震或火山噴發等方式，將地殼內累積的熱量排出。目前地球釋出輻射能量的主要為  $4n$  和  $4n+2$  系列，隨後是  $^{40}\text{K}$  和  $4n+3$  系列[12,19]。以  $^{235}\text{U}(4n+3)$  系列釋出的能量為比較對象(1.0)。 $^{232}\text{Th}(4n$  系列)： $^{238}\text{U}(4n+2)$  系列： $^{40}\text{K}$ ： $^{235}\text{U}(4n+3)$  系列 = 26：23：9：1 [7]。

您還在懷疑嗎？天然輻射時時刻刻伴隨您我左右，但我們卻無感於它們的存在；您我遭遇的地震，看到火山爆發的新聞，都是由地球的天然輻射所造成的。只是科學昌明的今天，科學家對地殼內熱量的流向與外溢的地點，仍無法預測。颱風與地震，在台灣都是屬於氣象署的業務，但實際氣象署僅能預測颱風，它並無法預測地震的時間。地震為中央氣象署「地震測報中心」的職掌，

由中心的名稱可知它的業務是監測與報告發布，並無預測的功能。而發生的地震，常以正常或不正常能量釋放的術語歸類和發布。它是由統計過去數十年地震監測的結果所定義，地震發生的頻率與級別相差不大，稱為正常能量釋放。而假設以往監測某地區地震的頻率是每年會發生一次芮氏 5 級的地震，而在此地區今天卻發生一個規模 6 級以上的地震，那麼就會被定義成不正常能量釋放 [8]。但個人認為所有氣象署關於地震發布的正常與不正常的能量釋放，大致僅是適用於局部地區短時間對地震觀察的現象。若是長時間的觀察，因為地殼內的能量一定需要適度的釋放，它們都是內部輻射衰減造成的熱能外溢，也就是其實都是地球正常的能量釋放。

## 🔍 參考文獻

1. [https://www.angelo.edu/faculty/kboudrea/periodic/physical\\_natural.htm](https://www.angelo.edu/faculty/kboudrea/periodic/physical_natural.htm), accessed 30 Nov 2023.
2. Johns HE, Cunningham JR. The Physics of Radiology, 4th ed. Charles C Thomas, Springfield, IL, 1983;241-243.
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Neptunium>, accessed 30 Nov 2023.
4. ICRP 119, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, 2012.
5. World Geodetic System (WGS-84). Available online from National Geospatial-Intelligence Agency. <https://www.nga.mil/Pages/Default.aspx>, accessed 30 Nov 2023.
6. <https://openpress.usask.ca/physicalgeology/chapter/3-3-earths-interior-heat/>, accessed 30 Nov 2023.
7. Donald L. Turcotte; Gerald Schubert (25 March 2002). Geodynamics. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-66624-4.
8. <https://www.thenewslens.com/article/173663>, accessed 30 Nov 2023.



## 訓練班課程(113 年度)

放射性物質或可發生游離  
輻射設備操作人員研習班

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

輻射防護繼續教育訓練班  
(3/6 小時)

### A 組 36 小時-許可類

**A1 高雄** 文化大學推廣部

1 月 23 日~1 月 30 日

**A2 新竹** 帝國經貿大樓

2 月 19 日~2 月 23 日

### B 組 18 小時-登記類

**B1 台北** IEAT 會議中心(取消)

1 月 6 日~1 月 7 日

**B2 新竹** 帝國經貿大樓

1 月 10 日~1 月 12 日

**B3 高雄** 文化大學台中教育中心

1 月 31 日~2 月 2 日

**B4 台北** IEAT 會議中心

2 月 21 日~2 月 23 日

**B5 台中** 文化大學台中教育中心

3 月 5 日~3 月 7 日

**B6 新竹** 帝國經貿大樓

3 月 19 日~3 月 21 日

**B7 高雄** 文化大學台中教育中心

4 月 9 日~4 月 11 日

### 員 44 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

113 年 7 月 1 日~7 月 5 日

第二階段

113 年 7 月 8 日~12 日

第三階段

113 年 7 月 22 日~26 日

第四階段

113 年 7 月 29 日~8 月 1 日

### 進階 25 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

113 年 8 月 14 日~16 日

第二階段

113 年 8 月 19 日~21 日

### 台北 建國大樓

1 月 17 日(上午&下午)

新竹 經濟部專研中心

1 月 26 日(上午&下午)

高雄 科學工藝博物館南館

2 月 6 日(上午&下午)

台中 文化大學推廣部

3 月 28 日(上午&下午)

### 鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班

**鋼 1 高雄** 文化大學推廣部

4 月 23~4 月 24 日

**鋼 2 新竹** 帝國經貿大樓

6 月 13~6 月 14 日

### 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  
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

課程安排問題，請聯絡本會，電話(03) 572-2224

分機 313 李貞君(繼續教育)；

315 邱靜宜(鋼鐵建材、放射物質與游離輻射設備)

傳真(03) 572-2521315





## 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 113 年第 1 次「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」公告及簡章。[訊息連結](#)

113 年第 1 次「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」，訂於 113 年 4 月 27 日舉行，報名日期為 113 年 2 月 5 日至 3 月 1 日，採網路報名，相關事項請點選下方→(相關連結)  
相關連結：[輻防及輻安測驗](#) (發布日期 113 年 1 月 15 日)

### 國內新聞

- ➔ Yahoo!新聞報導「44 億貝克/公升輻射污染水濺灑福島核電工影響海放處理信用」[訊息連結](#)

10 月 25 日日本福島核電廠發生工安事件。處理核災污染水相關作業的核電工，遭到每公升 44 億貝克的高污染輻射污染水潑灑後，送到醫院繼續清除污染。

此事暴露了處理過程的粗糙，加上官方說法在事後屢屢修正，甚至事發一個月後都還在修正，影響日本民眾對於核污水處理的信心。

據東京電力消息，10 月 25 日早上 10 點 40 左右，五名核電工正在清洗核污染水過濾裝置出口管線，連接儲存清洗廢水水槽的水管脫落，「洗淨廢液」飛濺，人員遭遇污染。

據日本公害問題記者政野淳子的說明，這次核電工遭污染的來源，是只有經過「事前處理」的福島輻射污染水。(發布日期 112 年 12 月 23 日)

- ➔ 鉅亨網報導「日本核能監管單位解禁 全球最大核電廠邁向重啟」[訊息連結](#)

據日本 NHK 報導，日本原子能管制委員會 (NRA) 決定取消對東京電力公司位於新潟縣柏崎刈羽核電廠的事實上的運作禁令，為重啟這座大型核電廠掃清最大障礙。

柏崎刈羽核電廠位於東京以北約 250 公里處，擁有 7 座核子反應爐，自 1985 年以來開始投入使用。據公開資料顯示，柏崎刈羽核電廠總容量為 8.2 吉瓦，是世界最大核電廠之一。

在 2011 年福島核電廠洩漏事故發生之後，這座核電廠被關閉。2017 年，日本監管機構表示，該核電廠的第 6 號和 7 號反應爐符合福島核事故後的安全協議，為其重啟鋪平了道路。

然而，2021 年 1 月起，柏崎刈羽核電廠接連暴露出門禁卡違規使用、入侵檢測設備故障等問題，顯示該核電站在反恐和安全措施等方面存在較多漏洞，同年 4 月被要求停止運作。日本核能監管機構本月稍早表示，圍繞核電廠的安全問題現已得到糾正。

儘管如此，該公用事業公司仍必須清除其他障礙才能恢復運作，例如獲得當地政府的批准。

日本一直在轉向使用核能，以加強能源供應、減少對進口化石燃料的依賴並減少溫室氣體排放。然而，東京電力等電力生產商需要透過監管機構制定的嚴格協議，才能重啟自 2011 年福島核災以來，一直處於關閉狀態的反應爐。

(發布日期 112 年 12 月 27 日)

➔ Yahoo!新聞報導「日本能登半島強震 78 死，核電廠廢水溢出狀況全球關注...為何他說失水產生的核災遠比反應爐更嚴重」[訊息連結](#)

日本石川縣能登半島元旦發生規模 7.6 強震，截至周四(1/4)上午 9 點，已造成 78 人死亡，其中珠州市、輪島市災情嚴重，部分區域幾乎被夷為平地，可能有上千戶房屋全毀，目前縣內仍有約 3 萬戶停電。

輪島早市 200 間房屋被大火燒毀

核電廠周邊輻射數值無異常，各核電廠用過燃料池均安全

除了災區亟待重建外，各界也關心東京電力公司確認位於新潟縣柏崎市柏崎刈羽核電廠 2、3、6、7 號機組反應爐廠房頂層燃料池內水溢出，雖然建築物外沒有洩漏或損壞，但由於水中含有放射性物質，東電也進行輻射數值測量。

日方強調，核電廠周邊的輻射數值沒有出現異常，各核電廠用過燃料池的都安全。

柏崎刈羽核電廠在 1985 年起啟用，有 7 個核子反應爐，核電廠總容量為 8.2 吉瓦，是全球大型核電廠之一。在 311 地震和福島核災後停止營運，原訂在 2023 年 12 月 27 日定期會議中解除營運禁令。

燃料池失水產生的核災，遠比反應爐更嚴重

綠色消費者基金會董事長方儉在臉書發文說，為什麼外電報導日本地震，特別強調核電廠的燃料池？因為在 311 核災後，大家才發現，美式核電廠的燃料池失水產生的核災，遠比反應爐更嚴重。

使用過的燃料棒，在退出爐心後已停止鈾連鎖反應，但在整個衰變過程，依舊會持續發熱，因此必須放在核電廠中的燃料池，進行冷卻循環，利用水來隔絕輻射。

台灣使用的過核燃料無法送到國外處理，從 1978 年啟用核電廠以來，用過的燃料棒都放在燃料池，密度是世界最高。

福島第一核電廠漏水，一度可能須撤離 250 公里半徑內 3000 萬人

方儉表示，從國際原子能總署 NEA 到 2015 年才解密的報告中，附上當年福島第一核電廠 4 號機驚心動魄的 2 個月情況描述，時任日本首相菅直人也證實，如果再漏水無法控制，就要撤離 250 公里半徑內的 3000 萬人，包括東京都。

「車諾比事故後 1 年，在美國 Brookhaven 國家實驗室 1987 年的燃料池失水嚴重事故報告中就提到，輕水式反應爐的燃料池失水嚴重事故比車諾比核災更嚴重」。

方儉說，因為燃料棒的銦合金護套，在失水高溫下是會自燃，產生氫爆的。美國 Sandia 國家實驗室在 2011 年 2 月就完成了這項實驗，證明燃料池核災的危害。

「這些都不是反核團體的說法，全都是國際最有聲望、經驗的研究機構的論據」。

方儉說，如果這還不刺激，台灣核一廠 2 部機組的燃料池底部都漏水，「我親眼目睹過，監察院 2013 年也有糾正報告在案」。這也就是為什麼國際上都特別關注能登半島這個全球最大核電廠之一的燃料池水溢出後續狀況。

由方儉發佈於 2024 年 1 月 1 日 星期一

為什麼外電報導日本地震，特別強調核電廠的燃料池？因為在 311 核災後，大家才發現，美式核電廠的燃料池失水產生的核災，遠比反應爐更嚴重。從國際原子能總署 NEA... ( 發布日期 113 年 1 月 4 日 )

- ➔ Yahoo!新聞報導「抽驗漁港水產魚貨日本食品 台中市未檢出放射性核種」[訊息連結](#)

因應日本去年排放福島核廢水入海，為了讓食安把關更全面，台中市政府啟動「水產及日本食品輻射監測專案」，由衛生局與農業局聯手查驗上市前的漁港水產漁獲、市售端水產及日本食品，從 112 年 8 月 24 日，日本開始排放核廢水後，到 112 年 12 月 31 日，台中市衛生局食安處查核日本食品標示 1060 件，抽驗日本食品及水產品共 313 件，檢驗放射性核種，結果都沒有檢出。

台中市食品藥物安全處表示，台中市 111 年由市府提撥第二預備金 500 萬元自行購置純銻偵檢器，針對輻射檢測的第一線指標核種「銻」，可依需求自行採檢送驗。

食安處表示，「水產及日本食品輻射監測專案」主動將檢驗範圍延伸到水產源頭，從源頭的漁港水產魚貨到市售日本食品，全數納入抽驗範圍，而統計從 111 年起到 112 年 12 月 31 日，已抽驗水產及日本食品 1,162 件，檢驗放射性核種，結果都沒有檢出。

食安處進一步說明，實體及網路販售的日本食品標示也是積極查核重點之一，市府至今共查核 6,089 件，查獲 7 件未依規定標示，其中 5 件已依違反食安法第 22 條規定裁處 3 萬元，其餘 2 件則移請源頭桃園市與新北市衛生局依法處辦，相關稽查或抽驗結果，可上「台中食藥安智慧雲-食安 GIS 專區」( <https://gov.tw/eyj> ) 及「台中市核食食安專區」( <https://gov.tw/oqj> ) 查詢。

食安處提醒，食品業者進口日本食品於各販售通路 ( 含網購食品及代購 ) 銷售，均應依食品安全衛生管理法，向衛生福利部食品藥物管理署辦理輸入食品查驗及申報產品有關資訊，如輻射檢測證明、產地證明等；產品外包裝應依同法第 22 條完整包裝食品、第 25 條散裝食品規定標示，違者處 3 萬至 300 萬元罰鍰；另依台中市訂定「台中市食品安全衛生管理自治條例」第 10 條之 1，進口日本食品，產地應以中文揭露至都道府縣，未依規標示且屆期不改正，將依法裁罰。( 張文祿報導 )

( 發布日期 113 年 1 月 11 日 )

- ➔ 聯合新聞網報導「核電廠延役專家：技術可行」。) [訊息連結](#)

國民黨團提出將推動修法讓核電廠延役，能源學者認為，現有的三座核電廠都具備延役的條件，技術上絕對可行，因此對修法樂觀其成，但還可以更加完備。

不過，環團則對此持保留態度。綠色和平氣候與能源專案主任方君維表示，不贊同核電重啟，因為國際趨勢皆朝淨零轉型的方向邁進，重啟核電等於是讓台灣往後退。她認為核能與再生能源開發，雖能同時進行，卻有競合關係，勢必會影響到綠電發展進

度，例如以往要發展地熱時，也在開發核電，導致地熱發展遭排擠；她強調核電緩不濟急，政府應專注在再生能源開發，以解決缺電問題。

清大核子工程與科學研究所特聘教授葉宗洸表示，現行規定，核電廠必須在機組執照到期前五年提出延役申請，修法即便通過，也只適用目前執照尚未到期的核三廠一號、二號機兩部機組，而已經除役的核一、核二廠則不適用。

葉宗洸指出，如果希望有更多的機組延役，那執照已經到期的核一、核二廠四部機組也要列入考慮，建議可以增訂一項條文，讓到期機組經過必要的安檢措施後可以繼續使用。

清華大學特聘教授、中華民國核能學會理事長李敏也認為，全世界共有一三七座反應爐運轉超過四十年，其中最久的已經有五十五年，台灣核電廠延役在技術上「絕對可行」。

李敏說，現在卡著核電廠無法延役的五年條款並不是法令，而是實施細則，法規管制單位可以用行政裁量來改變，但藍委為了表達對這個議題的態度來對政府施壓，那提出來修法也未嘗不可，至於修法通過與否則是政治問題。(發布日期 113 年 1 月 24 日)

➡ 台灣新生報報導「核安會：台灣周邊海域海水、漁獲檢測無輻射異常」。 [訊息連結](#)

核能安全委員會就我國因應日本含氫廢水排放配套措施最新進度提出說明，核安會表示，將持續透過跨部會合作進行我國海域輻射監測，去年度完成海水、漁獲等各式海域樣本取樣分析已逾四二七〇件，包含海水氫及海水銫取樣分析共計五九八件，臺灣周邊海域漁獲與遠洋漁獲氫及銫檢測共計三一八二件，皆無輻射異常情形。核安會與農業部、衛福部、海委會仍會持續嚴密監控，守護我國海域輻射安全。

核安會表示，每週於「放射性物質海域擴散海洋資訊平台」，定期更新「跨部會輻射監測整合儀表板」以及「一週擴散預報概述」，並可隨時連接至「國際監測資訊即時看」，提供民眾一次掌握輻射安全資訊。(發布日期 113 年 1 月 28 日)

# 放射性廢棄物管理與 ICRP103

## 輻防的相關性

作者 李境和

義守大學助理教授(退休)

核能設施與放射性同位素應用設施，在申請設置時已說明其正當性並獲得管制機關的核准；而這些設施的運轉與除役，難免會產生放射性廢棄物，故 IAEA 在放射性廢物的處置前管理 (Predisposal Management of Radioactive Waste) [1]，認為放射性廢棄物管理是核能設施與放射性同位素應用設施的一部分，因此不需要個別去證明其正當性。

放射性廢棄物的型態：氣態、液態與固態。放射性氣體或微粒：容易造成空氣污染，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。

IAEA 放射性廢棄物管理過程中的「前處理」、「處理」與「調理」，國內統稱為處理，沒有再細分。國內核能電廠都有放射性廢氣處理系統、廢液處理系統，與固化系統。

### 放射性廢棄物處理

台灣核電廠內放射性廢氣、廢液與廢固處理系統，若與電廠一起興建，其輻射

防護應納入「核能電廠環境輻射劑量設計規範」中，(1)每一部機組的輻射劑量設計限值如下：(a)放射性液體外釋：廠界外任一公眾的年有效劑量，不得超過 0.03mSv；任一身體器官年等價劑量，不得超過 0.1mSv。(b)放射性惰性氣體外釋：廠界外任一公眾所年有效劑量，不得超過 0.05mSv。皮膚年等價劑量，不得超過 0.15mSv。(c)放射性碘、氬及微粒(半化期超過 8 天者)：廠界外任一公眾器官的年等價劑量，不得超過 0.15mSv。(2)任一核能電廠廠址的輻射劑量設計限值：不論有多少部機組及其他附屬設施，廠界外任一公眾的年有效劑量總和不得超過 0.5 mSv。

放射性廢棄物處理設施之輻射防護設計，依「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 5 條第 1 項之規定：應確保其對設施外公眾所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 mSv，並符合合理抑低原則。第 2 項之規定：核子反應器設施之廢棄物處理系統，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。故「核能電廠環境輻射劑量設計限值」與「放射



性廢棄物處理設施之輻射防護設計」，ICRP-103 號建議書認為單一「處理設施」為「射源相關」，可歸屬於規劃曝露情境對公眾劑量的劑量約束。

### 放射性廢棄物貯存

放射性廢棄物產生初期具有較高的活度，須在各貯存設施內貯存，俟其活度降低後，以便吊卸、運送至最終處置場。我國尚無放射性廢棄物最終處置設施，為確保貯存安全，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。現代化貯存庫需具備：(1)良好的輻射屏蔽功能、(2)輻射偵檢設備、(3)易操作的吊卸設備、(4)良好的貯存環境。

放射性廢棄物貯存設施之輻射防護設計，依「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 14 條第 1 項之規定：應確保其對設施外公眾所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 mSv，並符合合理抑低原則。第 2 項之規定：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。

故「放射性廢棄物貯存設施之輻射防護設計」，ICRP-103 號建議書認為單一「貯存設施」為「射源相關」，可歸屬於規劃曝露情境對公眾劑量的劑量約束。

在核能電廠從事放射性廢棄物處理與貯存作業的工作人員，可能受到多個射源(反應器運轉、廢棄物處理設施、廢棄物貯存設施等)之影響，考量工作人員的多項曝露途徑，ICRP-103 認為工作人員個人受到多射源的曝露為「個人相關」，可歸屬於規劃曝露情境對職業劑量的個人劑量限值。

### 放射性廢棄物運送

國內放射性廢棄物運送，須符合「放射性物質安全運送規則」之規定，應先提報運送計畫及意外事故應變計畫，經核安會審查核准後執行。除專用運送外，包件外表面及運送工具外表面之最大輻射劑量率不得大於 2mSv/h；係假設每次裝運的過程，工作人員靠近包件與運送工具外表面之時間為 0.5 小時，則工作人員劑量會小於  $2 \times 0.5 = 1$  mSv，這可歸屬於規劃曝露情境對職業劑量的劑量約束。距運送工具表面外 2 米處之最大輻射劑量率不得大於 0.1 mSv/h；係假設在每次運送過程對 2 米外的公眾影響時間是 1 小時，則公眾劑量會小於  $0.1 \times 1 = 0.1$  mSv，這可歸屬於規劃曝露情境對公眾劑量的劑量約束。所以放射性廢棄物每次運送，工作人員之輻射劑量約束值為 1mSv，民眾為 0.1mSv，都屬於規劃曝露的劑量約束。

「放射性物質安全運送規則」第 53 條規定，運送低比活度物質或表面污染物體之數量，以每一包件、物體、物體之集合，在無屏蔽情況下，距其外表面三公呎處之輻射強度，不得大於 10 mSv/h。低放射性廢棄物係屬於比活度



圖 1 低放射性廢棄物的暫時貯存(圖引用自 IAEA)

物質，所以低放射性廢棄物之運送，須滿足 53 條之規定。係假設運送發生意外事故情況，包件之包裝已毀壞無屏蔽功能，並假設工作人員為處理此事故，平均離包件之距離為 3 公尺，且須處理 3 小時。故可確保工作人員接受的劑量小於  $10 \times 3 = 30$  mSv，可歸屬於緊急曝露情境對職業劑量的參考基準。

### 放射性廢棄物處置

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，以確保民眾與環境免於受到游離輻射的傷害。

低放射性廢棄物最終處置都採陸地處置，可分為地表處置與近地表處置。近地表處置是將廢棄物放置於地表下最深不超過 30 公尺處的處置方式；高放射性廢棄物則採深地質處置(通常深度超過 300 公尺)則是將廢棄物放置於較深的岩層中。

「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第 8 條之規定，其輻射防護設計應確保其對設施外公眾所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 mSv，並應符合合理抑低原則。ICRP 60 號與 103 號建議書，對放射性廢棄物處置都建議劑量約束，每年小於 0.3 mSv。

「高放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第 9 條規定：高放射性廢棄物處置設施之設計，應確保其輻射影響對設施外公眾所造成之個人年有效劑量不得超過 0.25 mSv。第 10 條規定：對設施外關鍵群體中個人所造成之個人年風險，不得超過一百萬分之一。ICRP 60 號與 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)都建議劑量約束，每年小於 0.3 mSv。可見國內的高、低放射性廢棄物處置之輻射防護設計，幾乎與 ICRP 的建議值一致，屬於規劃曝露的劑量約束。

表 1 台灣放射性廢棄物各管理階段的輻射防護劑量限值與劑量約束

放射性廢棄物管理		職業劑量	公眾劑量	曝露情境	限制的劑量
處理	核能電廠內	有效劑量：5 年不可超過 100 mSv · 平均 20 mSv/y；單一年不可超過 50 mSv。	有效劑量：合併入電廠 · 每年不可超過 0.5 mSv。	規劃曝露	職業劑量：個人劑量限值 公眾劑量：劑量約束
	非核能電廠內	同上	有效劑量：每年不可超過 0.25 mSv。	規劃曝露	職業劑量：個人劑量限值 公眾劑量：劑量約束
貯存	核能電廠內	同上	有效劑量：合併入電廠 · 每年不可超過 0.5 mSv。	規劃曝露	職業劑量：個人劑量限值 公眾劑量：劑量約束
	非核能電廠內	同上	有效劑量：每年不可超過 0.25 mSv。	規劃曝露	職業劑量：個人劑量限值 公眾劑量：劑量約束
運送	正常運送	有效劑量：每次運送小於 1 mSv	有效劑量：每次運送小於 0.1 mSv	規劃曝露	職業劑量：劑量約束 公眾劑量：劑量約束
	意外事故	有效劑量：小於 30 mSv。	隔離公眾靠近。	緊急曝露	職業劑量：參考基準
處置	低放處置	有效劑量：5 年不可超過 100 mSv · 平均 20 mSv/y；單一年不可超過 50 mSv。	有效劑量：每年不可超過 0.25 mSv。	規劃曝露	職業劑量：個人劑量限值 公眾劑量：劑量約束
	高放處置	同上	有效劑量：每年不可超過 0.25 mSv。 個人年風險：不得超過 10 <sup>-6</sup> 。	規劃曝露	職業劑量：個人劑量限值 公眾劑量：劑量約束、風險約束

## 結論

為達到放射性廢棄物管理的最佳化與劑量限值，台灣管制機關對放射性廢棄物處理設施、貯存設施與處置設施及其間的運送作業，都有嚴謹的輻射防護設計，符合國際放射防護委員會(ICRP)最新的建議書(ICRP-103)號內對規劃曝露情境的劑量約束(彙整說明如表 1)，符合 ICRP 最佳化與劑量限值的要求。

在台灣輻射防護管制區內極低微放射性廢棄物，也可依「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，申請解除管制。不但符合 IAEA 放射性廢棄物管理原則的原則 7(放射性廢棄物產生量的

管制)，也可增加有用資源的回收並減輕環境的負擔。

## 參考文獻

- [1] IAEA, Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards No. GSR Part 5, 2009.
- [2] Shinya Nagasaki and Shinichi Nakayama, Radioactive Waste Engineering and Management, Springer, 2014.
- [3] IAEA, Establishing a National System for Radioactive Waste Management-Annex Basic Steps in

Radioactive Waste Management, IAEA Safety Series No. 111-S-I, 1995.

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



**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