

財團法人 中華民國輻射防護協會

輻射防護簡訊

第 176 期

出刊日期 112 年 8 月 15 日

本期內容

CONTENT

輻射事故犯罪現場的調查管理

1

犯罪現場涉及輻射事故，除依規定進行封鎖、保全、識別、紀錄、採集和送驗等過程，以確保證據的完整和可靠外，還必須參考 IAEA 的「核鑑識指南」，進一步採取適當的安全防護措施。

福島核電廠排放氙的幾點迷思

4

本文作者旨在針對福島核電廠擬排放氙的幾個有關的迷思，透過個人專業與經驗作說明，以免因為以訛傳訛，造成國人所謂的[風評被害]。

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

輻射防護標準的發展與科學基礎

12

LNT 模式近年在核能業引起一些爭議，如何達到“合理”抑低的合理，業者必須付出相當的花費在降低極低的劑量。NCRP 於 2018 年所發表第 27 號評論報告，“基於目前病疫學資料，LNT 模式應該繼續被使用於輻射防護的目的...沒有其他的模式能比 LNT 更能夠為輻射防護提供實際而審慎的依據”，但 NCRP 在第 180 號報告(2019)中建議將 0.01 毫西弗定為“微不足道的個人劑量”，這意指在達到某低劑量值以下就不是合理的抑低。

數位科技在核除役輻射測繪作業中的突破性助力

16

為了有助於高效完成除役作業並降低輻射風險，包括放射性風險，各國正在轉向人工智慧、混合實境(AI、XR)和三維(3D)模擬等高科技工具，這些技術可為規劃和實施項目提供極其重要的見解，特別是在可能對人有風險的情況下，從而有助於確保這些工作安全有效地進行。

輻射事故犯罪現場的調查管理

李承龍

臺灣警察專科學校/國立清華大學 副教授



根據內政部警政署頒發的「刑事鑑識手冊」，犯罪現場處理的基本程序包括封鎖、保全、識別、紀錄、採集和送驗等過程，這些都是為了確保證據的完整性和可靠性。如果犯罪現場涉及輻射事故，則必須參考國際原子能機構（IAEA）的「核鑑識指南」，並採取適當的安全防護措施。作為專業的核鑑識專家，我們的任務是分析現場的核武器或放射性物質，並追溯其來源、用途和傳播途徑，協助處理具爆炸性或危險的核武器或放射性裝置，並確認第一犯罪現場，以提供偵查方向。在進行核鑑識分析時，要遵循嚴格的品質管理和品質保證原則，並使用國際認可的測試方法和儀器。要避免偽陰性和偽陽性的結果，並進行空白試驗和對照試驗來驗證測試結果。調查管理主要的目標是提供精準、客觀和科學的核鑑識報告，以協助司法審判和國際合作。在可能存在放射性物質的犯罪現場，應該立即啟動輻射事故現場應變程序，並按照以下步驟進行處理：

一、輻射控制區的劃定和封鎖

根據輻射污染、放射性物質種類、地形地貌等因素，劃定可能受到輻射污染的区域，並採取適當的措施，如設置路障、善用物理屏障等，防止人員和車輛進出。同時，及時疏散受災地區的居民，並確保他們不離開該地區，直到排除輻射犯罪現場的可能性。如有必要，對這些居民進行個人除污或消毒。另外，根據放射性物質的特性和危害程度，以及當時的氣象條件（如風向），制定相關的撤離計劃，並限制保護區內的空中交通。

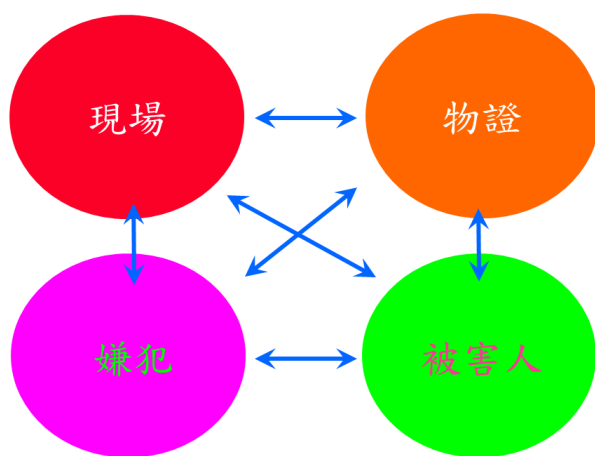
二、除污設施的建立

為了保護人員和設備免受輻射物質污染或暴露，必須在距離受災地區一定距離的地方，建立無污染區或設施。無污染區或設施應該使用可移動的設備來建造，並根據輻射事件的嚴重程度，以及需要進行除污或淨化的人員和設備的數量來設計。無污染區或設施應該由經過專業培訓的輻防人員來負責設計和管理。

三、核鑑識與犯罪現場管理之比較

核鑑識與傳統犯罪現場管理有許多相似之處，例如都需要進行資料管理、人力管理、技術管理和後勤管理等。這些管理活動在和鑑識的主要目的是協助核事件或核恐怖主義事件的偵查與防範；而傳統犯罪現場管理是協助犯罪偵查。傳統運用犯罪偵查四向連結理論（或稱桌腳理論，如下圖一），將嫌犯、被害人和跡證連結到犯罪現場，藉以證明或反駁不在場證明，或發展新的偵查線索。同理活用四向連結理論在核鑑識，可將核物質、核設施、核活動和核威脅連結起來，藉以確認或排除輻射事件的發生、放射性質的來源、核活動的目的和核威脅的真實性。傳統犯罪偵查結果展現的形式，包含口頭形式、文字敘述與型態性證據形式等，有關上述協助偵查犯罪的資料種類繁多，常見的包含六種：

（一）來自被害者的資料，包含財物損失、傷勢、人際關係、轉移跡證、案發二十四小時背景資料和二十四小時背景資料的延伸。



圖一 犯罪偵查四向連結理論

(二) 來自證人的資料，包含直接目擊證人、最先抵達現場的員警、一般民眾和線民

(三) 來自犯罪現場或物證的資料，其種類包含短暫性證物、狀態性證物、型態性證物、移轉性證物、關聯性證物。

(四) 來自嫌犯的資料，包含現場遺留的指紋、鞋印、DNA，嫌犯背景資料、犯罪模式型態。

(五) 來自鑑識資料庫的訊息，包含 DNA 資料庫、指紋資料庫、彈頭彈殼資料庫、鞋印資料庫等。

(六) 來自刑案資訊系統資料庫的訊息，包含刑案紀錄、戶籍資料、車籍資料、行車紀錄、監視錄影、通聯記錄、在監在所、網路 IP 等情資資料。

將傳統犯罪偵查方式，運用在核鑑識結果展現的形式，包含口頭報告、書面報告、數位資料和物理樣本等，其中有關協助核鑑識的資料種類繁多，常見的包含：

(一) 來自放射物質的資料，包含放射性同位素組成、化學成分、物理形

態、微量雜質、製造過程和歷史記錄等。

(二) 來自核設施的資料，包含設計特徵、運轉狀況、安全措施、監測系統和環境影響等。

(三) 來自核活動的資料，包含時間地點、參與人員、使用工具、執行方式和造成後果等。

(四) 來自核威脅的資料，包含威脅者身份、動機目標、溝通方式、可信度評估和潛在風險等。

(五) 來自核鑑識資料庫的訊息，包含國際原子能總署建立的國際核鑑識資料庫、各國或地區建立的國家或區域性核鑑識資料庫等。

(六) 來自其他情報來源的訊息，包含衛星影像、社群媒體、新聞報導、人口統計學和地理學等。

為了保障原始犯罪現場的完整性，並遵守適當的程序，犯罪現場必須進行嚴格的管理。現場管理的工作應由統一的指揮中心負責調度、指揮，該指揮中心應設置於案發的現場或現場附近，並保持適當的距離，以免干擾或破壞犯罪現場，同時也確保在指揮中

心的人員安全。指揮中心應位於核心現場以外，可利用現有的設施或房間，或視犯罪現場情況成立臨時指揮中心或移動式指揮中心，移動指揮中心具有優勢，因為它們已配備必要的物資和通信設備，且可快速部署。若需籌設長期的現場指揮中心，則應儘速成立臨時指揮所（或臨時指揮中心）。指揮中心也可如同具有通信功能的警用巡邏車輛般的簡單，所有資訊，包含勘察人員和調查任務的配置，均應通過指揮中心來協調處理。

輻射事故的犯罪現場，除了涉及輻射污染的緊急應變與清除外，還必須進行犯罪現場的鑑識工作。在此情況下，應由具有核鑑識專業的人員，如核鑑識中心主任（或核鑑識科長）、核鑑識股長或資深的核鑑識人員，負責現場指揮與協調。首先，他們應該對輻射現場進行初步的勘查與評估，確認現場的安全性、輻射危害程度、污染範圍等，然後根據現場情況，制定合適的蒐證策略與分工，並嚴格遵守核鑑識的規範與程序。在進入輻射事故的現場時，所有相關人員都必須配戴劑量計或攜帶其他輻射監測設備，並穿戴適當的防護服裝，以保障自身安全。

在蒐證過程中，應該系統性地對現場進行全面性的搜索，並對所有可能與案件有關的物證進行採集、記錄、保存、分析等處理。

一般犯罪現場常遇到的證據類型，包括以下五類：

(一) 情況性證據：事件演發的結果與刑案現場重建具有相關性，如創傷位置、火焰的大小、顏色、門窗的開關程度、按鈕的開關情形破壞等。

(二) 暫時性證據：暫時存在的物證，易於消失或變化，如氣味、溫度、煙霧或火焰顏色(不同金屬及其化合物燃燒的火焰顏色不同，如圖二)。

(三) 型態性證據：人與人或物與物實體接觸所產生之型態，如血跡型態、火燒型態、爆炸傷害型態、受害人損傷型態、建築物的破壞型態和玻璃斷裂型態、傢俱擺設型態等。

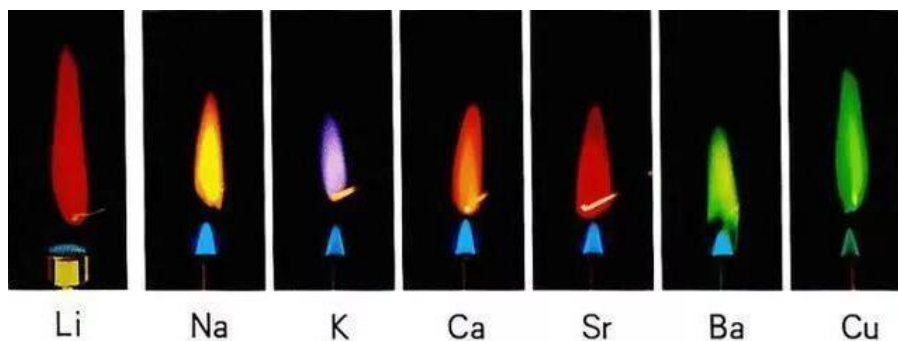
(四) 轉移性或微物跡證：兩物相接觸互相轉移之證物，是典型路卡交換原理的結果，係指當兩物體彼此接觸時，兩者之間將有微物跡證相互的轉移。如炸藥、射擊殘跡、玻璃、泥土、油漆片、血液、毛髮、指紋、腳印與輪胎痕跡。

(五) 關聯性證據：具有與現場、犯嫌、被害人或其他犯罪事實產生關聯之證物，如身分證、車輛引擎號碼等，該類型的證據，有助於在現場、車輛、設備、被害人、犯罪嫌疑人及與案件相關的物證之間建立聯繫。

為了確保犯罪現場的證據能夠有效地用於司法審判，鑑識人員必須在勘察現場與證物辨識、紀錄、採集、送驗的過程中，遵循嚴謹的標準作業程序，並建立完整的證物監管鏈。犯罪現場的紀錄方式包括攝影、錄影、繪圖、表格，以及書面筆記或錄音等。對於受到輻射汙染的犯罪現場，鑑識



圖三 拍攝犯罪現場掌紋跡證，需放置比例尺



圖二 不同金屬及其化合物燃燒的火焰顏色不同

(原圖摘自 <https://www.shejitang.com/sy/130407.html>)

人員不僅要注意自身的防護，還要考慮到採證設備的適用性和清潔性。在這種情況下，建議鑑識人員應該使用一次性的設備，並在使用後進行妥善的除汙或隔離處理，直到確認沒有殘留的放射性物質。此外，鑑識人員還要注意避免在受汙染區域停留過久，以減少輻射暴露的風險。通常在勘察犯罪現場，收集的證據可以按照以下類別進行分類和分析：

- (一) 人體或動物的組織樣本
- (二) 其他來源的生物證據，如DNA、體液、血液等
- (三) 化學物質，如毒品、藥物、爆炸物等
- (四) 核生化武器，如放射物質、生物戰劑、化學戰劑等
- (五) 爆炸物或危險裝置，如炸彈、地雷、定時器等
- (六) 微物跡證，如毛髮、纖維、玻璃、油漆、射擊殘跡、人體組織和碎片等
- (七) 壓印或印痕證據，如鞋印、工具痕跡記、彈道痕跡等
- (八) 各種型態證據，如血跡型態學、玻璃破裂型態學等
- (九) 車輛或車輛零件，如車牌號碼、引擎號碼、車輛型號等

(十) 衣物、貴重物品和個人財物，如衣服顏色、首飾款式、手機型號等。為了進行有效的犯罪現場重建，現場勘察人員必須對所有發現的跡證進行嚴格的記錄和拍攝。每個跡證都應該配有號碼牌、比例尺(如圖三)和指南針，並以垂直角度拍攝。此外，現場圖表上也應該標明跡證的名稱和號碼，以便於後續的分析和比對。當犯罪現場涉及輻射事故時，收集、保存和分析跡證的過程，需要根據現場的放射性物質的種類、狀況、污染程度和待解決的問題來制定相應的方案，以確保跡證的完整性和可靠性。

本文從核鑑識專家的視角，探討犯罪現場與輻射事故現場處理的相關性，並介紹輻射事故現場處理的基本原理和觀念。輻射事故現場處理是一門應對核物質、射源和放射性物質所造成的事故和恐怖攻擊的鑑識學科，其目標是防止和減少輻射危害，並追究相關責任，其重點包括輻射現場安全、輻射污染控制、證據收集、樣本分析、風險評估等多個環節，可為執法與國安單位提供參考，幫助其有效地預防、應對和調查輻射事故與輻射恐怖攻擊，以維護國家安全。

福島核電廠排放氙的幾點迷思

作者 陳清江

義守大學醫學影像暨放射科學系 兼任副教授

前言

日本政府於 2021/04/13 宣布，預定兩年後將現存福島核一廠含氙廢水排入海中，這一決議宣布引起當地漁民以及周邊鄰國的強烈不滿，我國也有許多相關報導，但大部分都是負面且誇大風險的報導。當時公共電視有話好說節目特別針對此議題製作專輯，以專業、理性、深入地討論氙排放引發的爭議，如圖一。節目的內容大部分都是正確的，但是節目中也有少部分的訊息，作者認為有修正進一步說明的必要，因此作者本文旨在針對福島

核一廠擬排放氙的幾個有關的迷思「myth」，透過個人專業與過往實務的經驗作澄清說明，以免因為以訛傳訛，造成國人所謂的[風評被害]。

迷思 1. 將核汙水排入海洋史無前例？

福島核一廠含氙廢水係經過先進液體處理系統 (ALPS) 過濾的含氙廢水，由於氙如同水(H₂O)的氫無法濾除，因此位於海邊的核能設施都將氙排入海中，並非史無前例。維基百科有彙整核能設施將氙排入海洋與湖泊中的實例如下表一，福島核一廠擬排放含



氙廢水 22 兆貝克/年其實是小巫見大巫 <https://en.wikipedia.org/wiki/Tritium>。

排放最多的是法國的 La Hague 核燃料再處理廠，每年 11,400 兆貝克，對英吉利海峽海域生態並沒有安全疑慮。我國的核能電廠也都也排放氙進入海洋，核三廠每年排放 36 兆貝克氙進入海洋，如表二，比福島核一廠還多 60%，對南灣海域生態也沒有安全疑慮。

迷思 2. 輻射水流動在表水層還是往下沉？

含氙輻射水排入海中，由於溫度較高，因此會在表水層流動，後因日照而蒸發，再隨雨水降落海面或地表，基本上大部分存在地表水中，相關調查研究在 1960 年代已經因為核爆落塵的監測做過相當多的實測證明。1945 年以後的核子試爆，估計釋放 1.9 億兆貝克氙至地表環境中，為地球最大的輻射汙染源。當時北半球地表水的氙曾經從天然背景 0.1 貝克/升，上升二百倍至 20 貝克/升以上，現在又降回背景水平。

圖一 (公共電視 - 有話好說) 福島核廢水排海! 氙稀釋就無危害? 周邊國家痛批日本! <https://www.youtube.com/watch?v=oyOv6u7zTt0>

表一 核能設施排放氚入海的資料彙整

Annual discharge of tritium from nuclear facilities^[17] V·T·E

Location	Nuclear facility	Closest waters	Liquid (TBq)	Steam (TBq)	Total (TBq)	year
United Kingdom	Heysham nuclear power station B	Irish Sea	396	2.1	398	2019
United Kingdom	Sellafield reprocessing facility	Irish Sea	423	56	479	2019
Romania	Cernavodă Nuclear Power Plant Unit 1	Black Sea	140	152	292	2018
France	La Hague reprocessing plant	English Channel	11,400	60	11,460	2018
South Korea	Wolsong Nuclear Power Plant and others	Sea of Japan	211	154	365	2020 ^[18]
Taiwan	Maanshan Nuclear Power Plant	Luzon Strait	35	9.4	44	2015
China	Fuqing Nuclear Power Plant	Taiwan Strait	52	0.8	52	2020
China	Sanmen Nuclear Power Station	East China Sea	20	0.4	20	2020
Canada	Bruce Nuclear Generating Station A, B	Great Lakes	756	994	1,750	2018
Canada	Darlington Nuclear Generating Station	Great Lakes	220	210	430	2018
Canada	Pickering Nuclear Generating Station Units 1-4	Great Lakes	140	300	440	2015
United States	Diablo Canyon Power Plant Units 1, 2	Pacific Ocean	82	2.7	84	2019

表二 台灣核電廠近十年排放的氣、液態氚活度 (兆貝克/年)

年度	核一氣	核一液	核二氣	核二液	核三氣	核三液
2011	1.24	0.068	0.964	0.2506	11.6	37.6
2012	0.762	0.067	0.677	0.094	10.9	37.4
2013	0.581	0.021	0.598	0.069	9.35	37.9
2014	0.516	0.045	0.833	0.08	8.56	39.3
2015	0.411	0.058	0.989	0.097	9.38	35.3
2016	0.345	0.1	0.728	0.126	9.64	36.9
2017	0.279	0.149	0.305	0.351	10.3	32.1
2018	0.203	0.069	0.772	0.052	9.67	33.6
2019	0.156	0.015	0.858	0.054	9.68	35.3
2020	0.126	0.012	0.878	0.064	9.81	32.2
平均	0.46	0.06	0.76	0.12	9.89	35.76

詳細資料可以參考美國 NCRP 62 號報告，Tritium in the environment, 1979。 <https://ncrponline.org/shop/reports/report-no-062-tritium-in-the-environment-1979/>

迷思 3. 總量 1200 兆貝克的氚排放海

中，會威脅水產品消費者的健康，未來 30~40 年，台灣沿海可能要長期承受汙水？

福島核一廠含氚廢水總量僅約 900 兆貝克。事實上台灣核電廠每年排放海中的氚約 40 兆貝克，已經排放約 40

年，總量約 1600 兆貝克氚排放海中，對台灣沿海水域生態並沒有影響，離排放口一公里的海域就降到背景水平，遠低於我國環境輻射偵測規範的紀錄基準 10 貝克/升 (AMDA，即可接受最低可測量)。

2011 年福島核電廠 311 事故當時氣、液態外釋氙估計為 3,400 兆貝克，目前北太平洋西部水體中氙活度仍在 0.3 貝克/升以下，屬天然背景變動範圍，遠低於我們的核設施例行環測偵測低限值 4 貝克/升，台灣歷年環境偵測結果也未測到 311 事故排放的氙，僅測得微量碘 131 及銫 137。

迷思 4. 洋流往北走，輻射會經過秋刀魚場，表層洄游魚類比較沒有問題，但養殖的貝類、螃蟹需要關注？

福島核一廠當地是親潮，由北往南流，到達水戶市附近與黑潮會合後向東流，並不會經過更北邊的秋刀魚場。氙水沒有生物濃縮作用，多分布在表層海水，因此對貝類、螃蟹等底棲生物不會有影響。貝類、螃蟹等底棲生物對重金屬才有顯著的生物濃縮作用。



圖二 自動發光的氙燈 (含 670 億貝克氙，152.4 mm × 5.1 mm)

迷思 5. 現在已經不用含氙的夜光錶了嗎？

1970 年以前使用鐳 226 當夜光儀表的激發源，由於鐳 226 含有較強的輻射，還會放出氦氣，曾經引發工廠女工攝入過量而導致骨癌，因此 1970 年以後改用氙和鉀 147 作為激發源，目前仍持續使用中，台灣曾經是含氙夜

光儀表和氙燈的重要生產基地，如圖二。

這種輻射發光用於稱為 betalights 的自供電照明設備，用於槍支瞄準具、手錶、逃生出口標誌、地圖燈、導航羅盤（例如目前使用的 M-1950 美國軍用羅盤）、刀具和各種其他設備。截至 2000 年，氙的商業需求為每年 400 克，成本每克約 30,000 美元。



訓練班課程(112 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

A4 高雄 文化大學推廣部
7 月 26 日~8 月 2 日

B 組 18 小時-登記類

B13 高雄 文化大學推廣部
7 月 4 日~7 月 6 日

B14 台中 文化大學推廣部
8 月 9 日~8 月 11 日

B15 台北 進出口同業公會
8 月 16 日~8 月 18 日

B16 新竹 帝國經貿大樓
8 月 22 日~8 月 24 日

B17 高雄 文化大學推廣部
9 月 5 日~9 月 7 日

B18 新竹 帝國經貿大樓
9 月 25 日~9 月 27 日

B19 台北 進出口同業公會
10 月 3 日~10 月 5 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 41 期

新竹 帝國經貿大樓
第一階段
112 年 7 月 3 日~7 日

第二階段
112 年 7 月 10 日~14 日

第三階段
112 年 7 月 26 日~28 日

第四階段
112 年 7 月 31 日~8 月 04
日

進階 25 期

新竹 帝國經貿大樓
第一階段
8 月 9 日~8 月 11 日

第二階段
8 月 14 日~8 月 16 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

7 月 20 日(上午&下午)

台北 進出口同業公會

7 月 24 日(上午&下午)

新竹 經濟部專研中心

8 月 8 日(上午&下午)

台中 文化大學推廣部

8 月 24 日(上午&下午)

**鋼鐵建材輻射偵檢人員訓
練班**

鋼 3 台中 文化大學推廣部

11 月 1 日~11 月 2 日

上課地點

台北

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「112 年第 1 次輻射防護專業測驗與輻射安全證書測驗及格人員名單」。[訊息連結](#)

「112 年第 1 次輻射防護專業測驗與輻射安全證書測驗及格人員名單」已公布於本會網站，請點選下方（附檔下載）即可下載瀏覽。

相關連結：[相關連結](#)（發布日期 112 年 6 月 7 日）

附檔下載(1)：[112 年第 1 次輻射防護專業測驗及格人員名單 \(PDF 檔案\)](#)

附檔下載(2)：[112 年第 1 次操作人員輻射安全證書測驗及格人員名單 \(PDF 檔案\)](#)

國內新聞

- 自由時報報導「中國核廢水氙含量多福島 6.5 倍 日批從沒解釋」。[訊息連結](#)

日本福島第一核電廠欲排放廢水的議題，引發周邊國家關注。其中中國曾抨擊該行為極不負責任、不可接受，而近日日本也挖出數據，回擊中國境內多座核電廠向海洋釋放的放射性物質「氙」，排放量最高的浙江秦山第三核電廠，比起福島第一核電廠高出 6.5 倍。

根據讀賣新聞指出，日本政府詳細列出中國 4 座核電廠每年的氙排放量，包括，遼寧紅沿河核電廠排放約 90 兆貝克、浙江秦山第三核電廠 2020 年排放量高達約 143 兆貝克、福建寧德核電廠也有約 102 兆貝克，以及 2021 年廣東陽江核電廠排放量約 112 兆貝克；而福島核電廠的年度排放量則控制在 22 兆貝克，甚至在 311 事故前年度排放僅約 2.2 兆貝克，濃度遠低於世界衛生組織的標準。

日本政府表示，中國當局一邊強烈反對第一核電廠排放核廢水，一邊自己釋放更高濃度的氙到海裡。日本政府官員質疑，中國從來沒有跟鄰近國家提到核電廠排氙的問題，更不要說提出任何解釋。（發布日期 112 年 6 月 26 日）

- 自由時報報導「中韓不滿福島核處理水排入海 日媒：2 國核電廠量氙含量是日本 6.5 倍」。[訊息連結](#)

日媒今日上午報導，國際原子能總署（IAEA）昨（4）日公布評估報告，認可日本福島核一廠處理水的排海計畫「符合國際安全標準」，對此日本政府最快預計今年 8 月開始排放。然而此舉引起中國、南韓強烈反對，不斷抨擊此舉極不負責任，甚至痛批 IAEA 為日本政府背書，對此日媒也挖出數據回擊，指出 2 國核電廠的氙排放量是福島的 6.5 倍。

據日媒《產經新聞》報導，儘管日本政府的決定已獲 IAEA 的背書，但日本政府目前正在加快腳步傳播相關資訊，積極說服周邊國家排放核電廠處理水的決定完全符合國際安全標準評估。報導指出，這是因為中國、南韓不站在講究證據的科學角度上做批判，更且將福島核電廠核處理水的排放問題，視為政治上的工具。

不過報導也指出，其實中國與南韓在放射性物質氙的每年排放量，足足是福島第一核電廠的 6 倍之多。從日本經濟產業省所公佈的統計結果，顯示中國位於浙江省海鹽縣的秦山第 3 核電廠，在 2020 年的氙年排放量高達 143 兆貝克，是日本福島核電廠的 6.5 倍之多；中國廣東省的陽江核電廠 2021 年氙排放量 112 兆貝克，是福島的 5 倍；遼寧省紅沿河核電廠氙排放量 90 兆貝克，則是福島的 4 倍。

接著報導同樣也舉南韓為例，指出位於南韓慶尚北道慶州市的月城核電廠，其氙排放量是福島的 3.2 倍；釜山廣域市機張郡的古里核電廠，則為福島的 2.2 倍。此外，南韓記者金俊曾在 2021 年報導中，揭露南韓核電廠也會將含有氙的核廢水排放入海，光是 2019 年就高達 204 兆貝克，且只要 3 至 4 年就能超過福島核電廠幅射廢水含有的 856 兆貝克的氙。

報導指出，未來福島第一核電廠的氙每年排放量，將控制在 311 大地震以前的標準，為 22 兆貝克以下，而該濃度更是國家規範標準的 40 分之 1，預計將稀釋至世衛組織 (WHO) 規範飲用水氙含有量的 7 分 1 後，再排放至大海和海水混合。(發布日期 112 年 7 月 5 日)

聯合報報導「今年首批日本食品
檢出輻射殘留 食藥署：經勸說
後退關」。 [訊息連結](#)

食藥署今公布最新「日本輸入食品每日輻射檢測結果」，其中愛知縣出口的「越桔萃取物」驗到銫-137，含量達 15.7 貝克/公斤。食藥署副署長林金富表示，該產品在邊境檢驗皆合格，但由於先前立法時希望主管單位能夠道德勸說業者退關，因此 6 月 17 日檢驗的「越桔萃取物」業者自行決定退關，未進入台灣市面。

食藥署自 111 年 2 月 21 日起，針對日本本地限制流通產品品項及福島、茨城、櫛木、群馬、千葉等 5 縣生產製造之野生鳥獸肉、菇類、澆油菜停止輸入查驗九 大類食品 (生鮮冷藏蔬果、冷凍蔬果、活生鮮冷藏水產品、冷凍水產品、乳製品、嬰幼兒食品、礦泉水或飲水、海草類、茶類，依風險調整查驗頻率，以加馬能譜分析碘 -131、銫 -134、銫 -137 人工核種。

根據台灣法規，食品輻射殘留量標準，銫-134 和銫-137 總和皆有定量極限，乳及乳製品、嬰兒食品每公斤皆不得超出 50 貝克，飲料、包裝水每公斤則不得超出 10 貝克，其它食品每公斤不得超出 100 貝克。

林金富說，食藥署 6 月 17 日攔截的「越桔萃取物」最終並未進來台灣，在邊境檢出銫-137 含量每公斤達 15.7 貝克，產地為愛知縣。不過，該產品依照台灣的食安法規「皆屬合法合規」。

林金富指出，先前修法時有提出進口但書，凡日本相關產地的食品有檢出微量的輻射殘留，都要對業者進行「道德勸說」，讓業者決定退運或銷毀；業者也可以決定仍要進口，合法上架販售，但經由食藥署致電、行文勸說後，進口業者都會儘量配合，「配合度相當高」。

食藥署統計，去年共 12 批日本食品被驗到微量輻射殘留，自 2011 年 3 月 15 日起累計檢驗 21 萬 2018 批，僅 249 個樣本被驗出微量輻射，檢出率 0.12%，即使檢出也都在台灣、日本的輻射標準值以內。(發布日期 112 年 7 月 11 日)

- ➔ TVBS 新聞網報導「南韓核電廠 2 號機突「停止運轉」測試中出現異常訊號」。 [訊息連結](#)

韓國全羅南道靈光的韓光核電廠 2 號機(壓水式反應爐，95 萬千瓦級)，於當地時間今(24 日)中午 11 點 57 分突然自動停止運轉。經過檢查後，目前核子反應爐與輻射數值沒有異狀，將派專家詳細調查並釐清原因後重新啟動。

綜合韓媒報導，韓光核電廠今日進行防止輸電系統負荷過重的特殊保護系統(Special Protection System; SPS)測試時，突然發出異常訊號，導致蒸氣產生器停止運作，進而使核子反應爐停止發電。韓光核電廠關係人士透露，現在核子反應爐狀況穩定，輻射數值也維持平時水準，將於調查出確切原因後，重啟反應爐運作，預估將花費 1 週以上的時間。

韓國水電與核電公司相關人士透露，冷卻蒸氣產生器的冷卻水水位急遽降低後，發出保護反應爐的低水位警報，反應爐隨即停止運轉。

韓國核能安全委員會表示，將派韓國核能安全技術院的專家到韓光核電廠，調查意外發生的詳細原因。委員會指出，目前韓光核電廠 2 號機反應爐狀況穩定，沒有發生輻射外洩等異常狀況。(發布日期 112 年 7 月 24 日)

- ➔ Yahoo 新聞報導「日最快 8 月底排核廢水...中韓強勢反彈 台灣輻射監測恐有問題」。 [訊息連結](#)

日本最快 8 月底開始排放福島核廢水，大陸、韓國皆強勢反彈，蔡政府雖承諾公開海水及生物輻射檢測數據，但是審計部報告揭露，部分輻射監測數據並未公開在「放射性物質海域擴散海洋資訊平台」，負責檢測的生物氚檢測實驗室，也尚未申請國際認證。

日本預告將在 8 月下旬至 9 月中旬期間，啟動福島核廢水排海計畫，陸、韓持續抗議，韓國民眾甚至掀起海鹽、海產品搶購與貯存潮。大陸常駐維也納聯合國和其他國際組織代表團網站 9 日發布工作文件，羅列 9 大理由，敦促日方停止強推計畫。

陸、韓反對排海 蔡政府態度「溫和」

相對於陸、韓的強烈表態，蔡政府態度「溫和」，形同接受日本排放核廢水的決定。原能會強調，已透過跨部會與食藥署、農委會、海委會等單位合作執行日本進口食品、環境生態樣品等取樣檢測。外交部則重申，未來會持續敦促日方在符合國際標準及規範下執行排放作業。

原能會曾承諾，會針對台灣鄰近海域海水及重點洄游魚類監測放射性物質，並公開監測資訊。

審計部指出，國海院已於 2022 年完成加馬輻射偵檢儀與錨碇浮標系統整合、布放及試營運，並已完成「放射性物質海域擴散海洋資訊平台」上線作業，但是浮標站偵測所得數據，並未公開於該平台，也未於海洋委員會「Ocean-Taiwan」平台之海域輻射專區揭露。

審計部報告 揪輻射監測兩大問題

審計部認為，浮標站既已建置，可對海域輻射銫-137 進行自動連續監測，並可遠端即時傳輸，對輻射異常事件具預警能力，因此為建立完整監測數據，全面提供民眾查詢，函請原能會協調國海院研議公開浮標站即時監測資訊可行性。

經查，「放射性物質海域擴散海洋資訊平台」是以燈號顯示安全與否，目前指標皆為綠燈，尚未公布完整監測數據。

原能會昨晚說，含氫廢水主要核種氫所釋放的輻射為低能量β輻射，無法以浮標的加馬輻射偵檢儀直接量測，必須將海水取樣至實驗室進行分析，我國作法與其他國家、國際原子能總署(IAEA)均相同。

原能會回應 實驗室有取得其他認證

審計部並提及，原能會核能研究所在 2022 年 6 月成立國內首間生物氫檢測實驗室，以檢測、評估日本排放核廢水對海域生態及人類攝食輻射的影響，但因國內無其他實驗室進行生物氫檢測，導致無法透過實驗室間比對申請 ISO/IEC 17025 認證。

審計部要求，持續擴充實驗室檢測能量及精進檢測技術，並積極尋覓具相同設備的實驗室進行比對，應儘早通過實驗室認證，以確保檢測品質，並提升國人信賴度。

原能會指出，該實驗室已依據 ISO/IEC 17025 的品質要求建立，目前是併入核研所既有的實驗室體系下取得財團法人全國認證基金會(TAF)認證。

日相岸田文雄預訂 18 日與美國總統拜登、韓國總統尹錫悅在華府附近大衛營舉行峰會。屆時，岸田將向美韓領袖解釋有關「核處理水」安全性與排放後應採取的措施，以取得理解。日媒報導，待岸田訪美返國，主持跨部會會議後，就會決定排放日期。(發布日期 112 年 8 月 10 日)

輻射防護標準的發展與科學基礎

陳士友

美國伊利諾理工學院

從輻射防護的歷史發展背景回顧，我們歸納出五個階段來討論輻射防護標準，藉著更多的資訊及科學數據，輻射標準日趨成熟，同時也需要更嚴格的要求與管制。

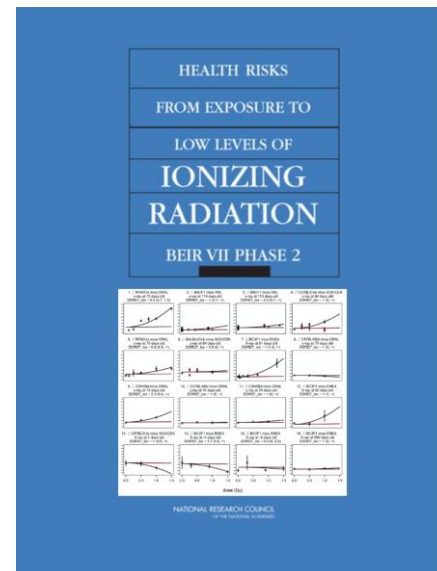
第一階段:1900 年早期

在這階段，有關輻射防護的標準都針對著 X-光對醫療人員的保護，當年的輻射知識僅僅限於人體外表的傷害(例如皮膚)，在 1925 年穆茲爵勒(Arthur Mutzcheller)，基於他的實際觀察與個人判斷，建議輻射防護標準為：不超過每個月百分之一的皮膚紅斑反應劑量(Erythema Dose)，這個標準值相當於每年 8.4 西弗(Sievert)的劑量很湊巧的是，西弗(Rolf Sievert)(註：西弗本人是國際輻防委員會的創始人，輻射劑量西弗的單位以他為紀念，他也是世界公認的“輻射防護之父”)也同時提出類似的標準；就是每年十分之一的皮膚紅斑反應劑量(每年 7.0 西弗)。相較之下，目前的 ICRP 的年劑量標準是：皮膚 0.5 毫西弗，全身 0.02 毫西弗(五年的平均值)。

第二階段:1930–1950 年代初期

隨著 ICRP 在 1928 年的成立，世界輻射標準也漸漸的邁向統一，在這階段，防護的重點繼續放在醫療人員，除了皮膚的表面之外，其他輻射效應也受關注，包括了對於其他的器官的傷害，這些效應的觀察，都是基於臨界劑量(Threshold Dose)的假設，也就是說，人體的劑量必須超過一定的限值才會造成傷害，由於 ICRU 已經將倫琴首度定為劑量單位，輻射標準因此有了更精準的科學定義，在這期間 ICRP 設定的輻射標準從每天 0.2 倫琴(1934)降低到每星期 0.3 倫琴(相當於目前的年劑量 150 毫西弗)(1951)，另外更建議醫療人員要對 X-光的光源保持適當的距離，並且在執行任務時要得到適度的休息等等。總而言之，防護的最終原則是要維持對各種輻射線的接觸“越低越好(to the lowest level possible)”(1951)。除此之外，伊凡斯在 1941 年對體內輻射防護提出在人體內鐳元素最高容許量為每公克 0.1 微居禮的劑量，由於這期間正值第二次世界大戰所以 ICRP 的運作也不得到此停滯了一段時期。

第三階段:1950 年代初–1970 年代中期



這個年代對於輻射防護是一個極為關鍵的階段，在這時段，二十年來的日本原子彈倖存者的資料終於首次得到科學的解析和詮釋，這些難能可貴的資料首度得以用來建立正確的輻射線與癌症(白血病)的關聯性，特別的是類似的癌症呈現了前所未見的發病潛伏期(Latent Period)，通常是從 2 到 25 年，在這期間，輻射防護的對象依然是著重於醫療專業人員的保護。但不久之後，一般的大眾也首次被納入防護的範圍，並將防護標準設定為輻射專業人員的十分之一，在當時，專業人員的個人年劑量是標準是 50 毫西弗，而公眾的個人年劑量則是 5 毫西弗。

ICRP 於 1950 年底到 1960 年初間連續發表了一到三號報告，在國際上從此奠定了它的領導地位，到了 1966 年，在九號報告出版後就做了重大的改變，輻射的機率效應(Stochastic Effects)開始被視為重要的輻射傷害考量。在這以前只有確定效應(Deterministic Effect)，或損害(Detriment)，才被承認，原來機率效應(例如白血病)指的是的癌症的病發機遇是隨著輻射的接收劑量成正比。

而確定性的效應，其傷害程度則是和劑量成正比，這是個截然不同的新詮釋，基於這個認知，輻射的風險就成了主要的關注，於是防護的重點就轉移到下個問題：甚麼樣的風險值是可接受的？

基於這個考量，ICRP 就作了如下的建議：“所有的劑量應該及時被抑低，同時也必須兼顧經濟和社會的因素。”在這時，ICRP 報告也同時包括了對各器官的保護，（筆者按：這項轉變就是後來所演變成的防護原則：劑量的合理抑低（ALARA），此外也對標準值絕對遵守。）在合理抑低的考量上，低劑量的風險值關係就是基於所謂的線性，無臨界點的輻射風險的模式（Linear, Non-Threshold Model, or LNT Model）（圖一），此模式的主旨是，在低劑量（小於 0.1 西弗）時，所預測的輻射風險值與劑量值相互的線性關係。由此，低劑量的風險值可以利用劑量值的直線外推（到零劑量）而取得，據 ICRP 的解釋，這個線性模式是趨向保守的估計低劑量的風險，以確保人員的安全，一直到了今天，這模式還是在法規上應用。

在這裡，筆者要特別提起 LNT 風險模式近年來在核能業界引起的一些爭議，爭議的重點在於這模式本身缺乏明確的基礎，不容易建立客觀的結論，業者往往在法規的執行上遇到困擾，而必須維持相當的花費在降低極低的劑量，如何解釋“合理”抑低的合理，就成了爭議的核心，針對此議題美國國家輻射防護及度量委員會（NCRP）在 2018 年發表了第 27 號評論報告，基於病疫學資料而對 LNT 模式及輻射防護的影響提出具體的論述，其結論是：“基於目前的病疫學資料，LNT 模式應該繼續被使用於輻射防護的目的...沒有其他的模式能比 LNT 更能夠為輻射防護提供實際而審慎

的依據。”另外，美國核能管制委員會（USNRC）在 2015 年接到人民的請願，要求廢除 ALARA 的法令規定，這項請願在 2019 年正式被核能管制委員會駁回，理由是 LNT 的模式目前還是被世界主流科學界的肯定，並無不妥的應用。近年來，例如 NCRP 在第 180 號報告（2019）中建議將 0.01 毫西弗定為“微不足道的個人劑量”（negligible individual dose），這也意謂了 ALARA 在達到某低劑量時就不再是合理的抑低（理由是代價會過分昂貴），類似的建議或許可以有效地解決如此的爭議。

第四階段：1970 年代中-1990 年代前期

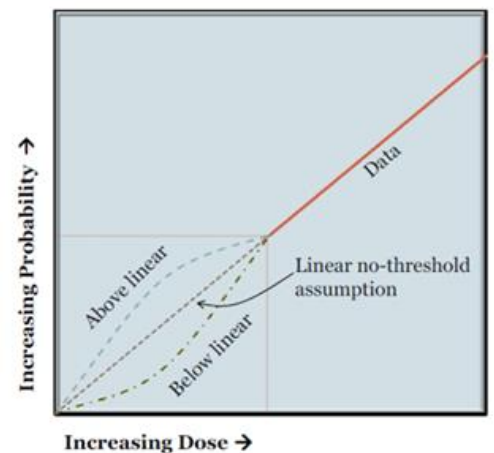
近代的防護原則從起源到成熟，都在這期間達到了蓬勃的發展，ICRP26 號報告（1977）就成了這階段的代表，這時的議題專注在輻射風險的控管上，防護的對象是個人以及其後代（例如遺傳因素），同時也兼顧到整個人類的利益，允許某些輻射的應用。在考慮利害的平衡之下，就達成了兩項重要的決策：一、積極控管機率效應的風險，和二、盡量避免確定性的傷害，另外，ICRP 又建議，現行防護標準的目的著重於保護人身的輻射安全，同時也認為，只要保護人類就足以保護環境和其他的動物，這法則從此奠定了近代輻射防護的基礎，在這些建議下因而建立了目前我們熟悉的輻射防護三大原則：

一、合理化（Justification），任何有關輻射工作計畫的實踐，必須先證明有實質的利益的存在才得進行。

二、最適化（Optimization），所有有關人員可能接受到的輻射暴露，必須達到合理的抑低（As Low As Reasonably Achievable, ALARA），同時兼顧到經濟和社會的因素。

三、劑量限值（Dose Limitation），個人的輻射劑量不得超過委員會（ICRP）制定的有關劑量限值。

在這期間，輻射劑量繼續獲得更為精準的定義，新的資訊指出輻射效應會因輻射線的種類，以及人體組織的反應而異，這些新發現是基於更多的輻射線以及人體細胞的實驗結果。因此，各個器官的輻射劑量就從原本的吸收劑量（Absorbed Dose）乘以輻射線的品質因素（Quality Factor）而成為劑量當量（Dose Equivalent），而人體的全身劑量更從各個器官的等效劑量乘以不同的組織加權係數（Tissue Weighting Factor）而得到的有效劑量當量（Effective Dose Equivalent），輻射線本身的特性（不同種的輻射線和能量）決定了不同的加權係數（品質因數），而組織加權係數則是包含了各種癌症的機遇率而設定，這些改變都是為了執行輻射風險評估而鋪路。



圖一 線性無臨界點的輻射風險的模式，到目前還是重要的防護支柱（圖像取自 NCRP）。

第五(現代)階段:1990 年代前期-目前

1990 年初期的主要的代表報告就是 ICRP 第 60 號報告(1991)·這報告建議新的輻射標準值:輻射從業人員的五年內平均年劑量不得超過 20 毫西弗·而其中任何一年不得超過 50 毫西弗。另外·先前 ICRP 第 26 號報告建議地的劑量當量改成為等價劑量(Equivalent Dose)·而有效劑量當量就改成有效劑量(Effective Dose)·其中輻射加權係數(Radiation Weighting Factor)取代了原先的輻射線品質因素(Quality Factor) ; 而組織加權係數(Tissue Weighting Factor)則從 ICRP26 更新到 ICRP30 號報告(1982)·再到 60 號報告·然後更新到最近的 103 報告

(2007)·其中·等價劑量適用於各個器官劑量(Organ Dose)的應用·而有效劑量則是用於全身劑量(Whole Body Dose)的應用。

以下是等價劑量以及有效劑量運算法則:

$$H_T = \sum H_{TR}$$

$$= \sum w_R D_{TR}$$

H_T 是等價劑量(器官劑量)

H_{TR} 是等價劑量(器官 T·輻射線 R)

D_{TR} 是吸收劑量(器官 T·輻射線 R)

w_R 是輻射線加權係數

T 是器官的類別

R 是輻射線的種類

又

$$E = \sum w_T H_T$$

E 是有效劑量(全身劑量)

w_T 是組織加權係數(器官 T)

以上· H_T 是個別器官 T 的等價劑量 ; E 是全身的有效劑量·其中個別的數據 w_R 和 w_T 可以從 ICRP103 號報告取得最新的資料·這些運算的結果是用來證明對於個人劑量限值(表一)的遵守·得以確保:(一)避免對器官引起的確定效應(Deterministic Effect)·以及(二)預防對全身引起的機率效應(Stochastic Effect)·這些再加上對劑量的合理抑低(ALARA)的管制·就能達到個人防護的目標。

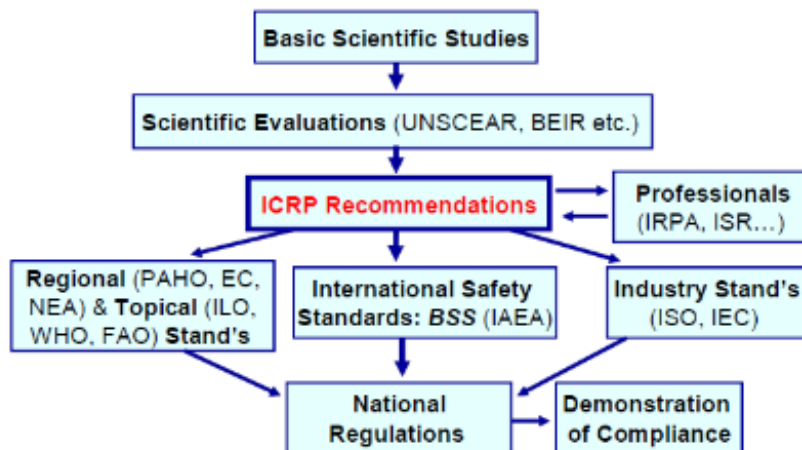
表一 現行個人年劑量的標準值*(ICRP103 號報告)

標準值項目	輻射專業人員(毫西弗/年)	公眾人士(毫西弗/年)
有效劑量(Effective Dose · E*)	20	1
等價劑量(Equivalent Dose · HT*)		
眼球的水晶體(Lens of the Eye)	150	15
皮膚(Skin)	500	50
手和腳(Hands and Feet)	500	無

ICRP60 號報告也增加幾項重要的建議:一、建立了輻射接觸情況·區分為“實踐 (Practice) ” 與 “ 干預 (Intervention) ” 的觀念·二、輻射防護的範疇擴展到核廢料的處存·緊急應變時的防護以及室內氡氣的防護。在 2007 年·ICRP 在 103 號報告中更新了幾項的建議·這些建議更清楚的匡列了防護的類別和應用的條件·主要的重點

是在建立一個比較完整·完善的輻射防護系統 (System of Radiation Protection)·為了促進輻射的管控·輻射接觸的情況區分為接觸的類別 (Exposure Category) 和接觸的情況 (Exposure Situation)·接觸的類別區分為:職業接觸 (Occupational Exposure)·公眾接觸 (Public Exposure)·以及醫療接觸 (Medical

Exposure) 三類·接觸的情況又區分為下面三類:計畫性的接觸 (Planned Exposure)·緊急性的接觸 (Emergency Exposure)·以及既存性的接觸 (Existing Exposure)·等三種情況·每一種接觸的類別都必須考慮到有關的接觸情況·以及上述的輻防三原則·除此之外·103 號報告也首次提出了對於環境和生物的防護基礎。



圖二 ICRP 和國際組織建立的輻射防護系統(圖像取自 ICRP)。

國際輻射防護機構及職責

ICRP 自 1928 年成立，一直到 1950 年代都在國際放射線協會名下運作，到了 1959 年，由於職務之便，ICRP 開始跟其他國際機構建立合作的關係。當時聯合國已近成立了許多的附屬機構，專司不同的職責，ICRP 跟各機構建立了緊密的合作關係，主要的機構包括了：聯合國原子輻射效應科學委員會(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation，UNSCEAR)，以及國際原子能總署(International Atomic Energy Commission，IAEA)。

UNSCEAR 在 1955 年成立，它的目的是要評估並且報告有關全世界的輻射水平及效應，提供世界各國政府科學依據，得以評估輻射線的風險，並建立防護機制。IAEA 在 1959 年成立，目的是要支持並提供各會員國一個堅強而可靠的國際核能安全架構，同時保障環境及人們免於輻射線的災害。

基本上，IAEA 就成為國際的核能管制委員會，提供和分享各會員國核能管制的準則和經驗，在這合作架構之下，UNSCEAR 專司輻射資訊的蒐集和分析，提供 ICRP 必要的資訊，而建立正確的輻射防護準則，繼而經由 IAEA 提供國際性的法規規範，ICRP 因此有效的結合這兩個國際機構，一同制訂完善的國際輻射防護的準則和機制(圖二)，除此之外，ICRP 也有效的聯合了其他相關的國際以及區域性的機構，建立了一個完善的國際輻射防護機制與系統，這些系統也同時擴及到其他的國際機構，包括了：世界衛生組織(World Health Organization，WHO)，國際糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization，FAO)，國際勞工組織(International Labor Organization，ILO)，等等，以及世界各個區域或專業性的組織，值得一提的 ICRP 從成立以來一直都維持了一個獨立的國際非營利組織的身分，這個獨特的身分賦予了 ICRP 充分而自主的運作功能。

如今，輻射防護的規模已經從世界各地的地方組織，進而建立了一個全世界的完整，高度合作的體系，這使得目前的輻防任務得以無瑕的推動，造福了全人類。

結論

從倫琴發現 X-光的一百多年來，輻射線的發展日新月異，其應用也廣泛的普及到各個領域，舉凡能源、工業、農業及醫學，等等，為人類帶來了無限的福祉，然而，在這幾百年來，輻射線也造成了一些不幸的事故，如何防範與降低輻射線可能造成的傷害，以保障人類最大的福利，就有賴我們輻防的專業人士一齊共勉了：萬事以安全為至上，這就是我們最好的座右銘。

數位科技在核除役輻射測繪作業中的 突破性助力

林閔瑩

商業發展研究院智慧科技服務中心-副主任

隨著越來越多的國家選擇立即拆除除役的核設施，機器人、無人機、人工智慧和其他新興數位技術將在該領域發揮越來越關鍵的作用，這些技術已在幫助推進全球核除役項目。

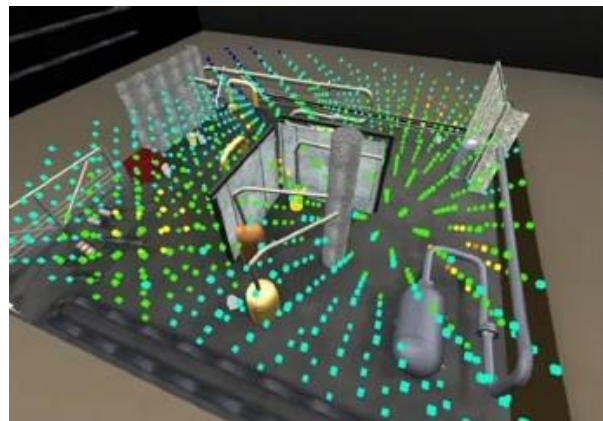
為了有助於高效完成除役作業並降低輻射風險，包括放射性風險，各國正在轉向人工智慧、混合實境(AI、XR)和三維(3D)模擬等高科技工具，隨著一些老化的核電廠和其他核設施逐步除役，這一趨勢在未來幾年似乎將進一步增強。

無論是在日本福島第一核電站等事故現場工作的抗輻射機器人，還是用於更好地規劃除役電廠拆除的3D建模，核除役部門都越來越意識到自身處於技術創

新的前沿。這些技術可為規劃和實施項目提供極其重要的見解，特別是在可能對人有風險的情況下，從而有助於確保這些工作安全有效地進行。

從歐洲到亞洲和美洲，利用前沿技術克服獨特挑戰和推進除役項目的例子比比皆是。例如，挪威能源技術研究所便是處於這一趨勢前沿的組織，它於2019年成為原子能總署(IAEA)協作中心，專注於支持原子能機構的活動和成員國核除役知識管理的數位化。該研究所已率先使用虛擬實境系統支援核環境中的維護和除役作業。

這些技術還可用於培訓工作人員，包括輻射視覺化培訓，使他們瞭解輻射狀況。能源技術研究所研究經理 István Sz ke 表示，能源技術研究所專業技術的核心是將核資產的3D數位模型與包括即時輻射物理模型和人工智慧模型結合起來，提供了重要的技術基礎。這意味著輻射視覺化的背後是實際物理學，例如，輻射傳輸模型可計算待拆除設備周圍環境中存在的輻射水準，可對其視覺化，用於規劃和培訓目的。這種做法目前在除役計畫中越來越普遍，包括在核能電廠和研究器廠的除役以及燃料循環設施的拆除方面。



最近，能源技術研究所為旨在建立整個除役過程中使用的模組化綜合資訊管理系統的國際協作提供了支援。這包括建立一個基於3D掃描和電腦輔助設計的綜合系統，或製作包含3D放射學和其他資料的建築資訊管理模型。這種模型或設計可管理所有資訊，與放射物理模型和其他系統集成並將它們全部整合到一個系統中，以支援將放射性風險降到“合理可行儘量低”的原則。

義大利和斯洛伐克的除役專案也成功地使用了數位化模擬和3D建模。義大利負責除役與放射性廢棄物管理的國有核電管理公司(Sogin)利用3D模型和類比說明為反應堆拆除和廢棄物流管理做準備。斯洛伐克核和除役公司(JAVYS)在拆除該國博胡尼斯A1和V1核電廠核能電廠部件時採用了3D模型和類比。

與能源技術研究所一樣，核電管理公司以及核和除役公司作為原子能機構除役和放射性廢棄物管理協作中心，與全球核能界分享知識和經驗。

當前的一個相關趨勢是使用機器人技術增加。由於自動化遠端操作機器人能夠更好地進入難以觸及的區域並進行工作，

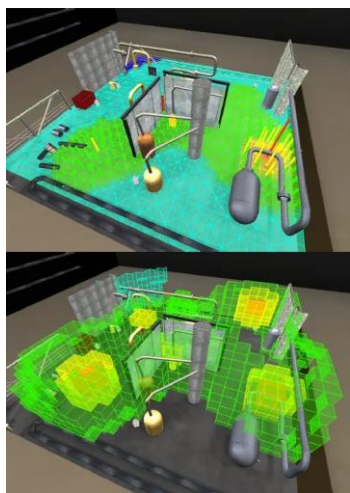


圖1 輻射視覺化3D數位模型

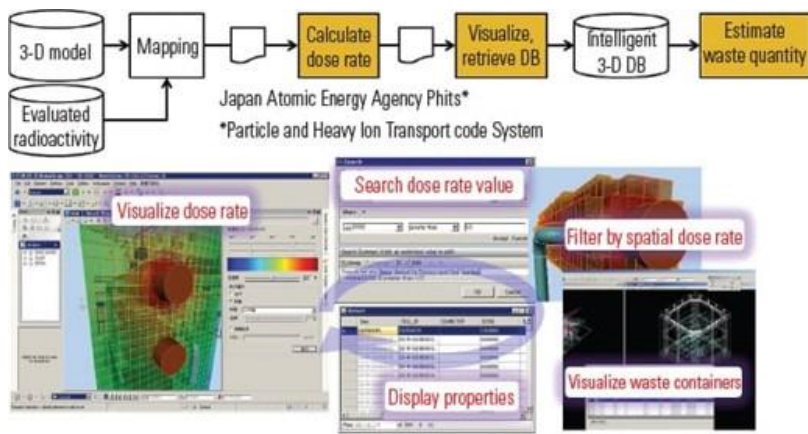


圖 2 3D 建模估算放射性廢棄物

使工作人員能夠遠離用於操縱部件的工具工作，從而降低工作人員的風險，並提高效率。攜帶感測器和 3D 系統的移動機器人越來越多地被用來掃描設施和收集資料，這些資料可用於構建場地的 3D 模型。“行業目前非常緊迫的目標之一是研究如何使用人工智慧將現在很容易製作的 3D 掃描轉化為智慧建築資訊管理模型。” István Sz ke 說，“與此相關的是設施‘數位孿生’開發，它不僅可以用來支援複雜系統的除役，而且可以搭建設施整個壽期的知識。”

3D 電腦輔助設計 (CAD)、模式識別、無線通訊和通過雲端共用資料等技術已被用來改進除役過程。使用雷射技術(或照片和視頻)的 3D 成像可能很快就會直接轉換為 CAD 系統。當前利用人工智慧能力已可以使機具從類比的 3D 模型中，識別出廠房設施經變化後的場地佈局改變現況(指核電廠運轉期間的改善工程後的裝備系統變化)，然後進行自動拆卸和材料處理。

Hitachi-GE Nuclear Energy 已為日本除役專案創建一個新的除役工程平臺，使用(3-D plant models) 3D 工廠模型，以準確計算作為放射性廢棄物管理的材料數量，同時以該系統評估作業人員的輻射劑量、人力工時數和拆除產生的放

射性廢料數量、拆除程序資料和殘餘放射性。

在 2022 年，原子能總署發起了一項旨在加強新技術和新興技術在核設施除役中作用的全球倡議。該倡議是參與規劃或實施除役和相關研究活動的組織之間的合作專案，旨在提供用於除役資料管理、規劃、許可證審批和實施的新興數位工具和技術的資訊。

原子能總署核燃料循環和廢棄物技術司司長 Olena Mykolaichuk 表示：“該專案的目的是利用參與除役的各種組織的專門知識，充分發揮新技術和新興技術的潛力。”原子能總署將在 2025 年的一份報告中發佈該專案成果，包括從幾個國家獲得的經驗資訊，以進一步支援世界各地成功實施項目除役。

新興數位技術在全球核除役中扮演關鍵角色，通過應用混合實境、虛擬實境、3D 建模和機器人技術，提高工作效率並降低風險。各國機構通過協作和知識分享推動核除役領域的發展，確保核除役工作的安全性和有效性，實現放射性風險的降低。

參考文獻

1. Jeffrey Donovan , Robots, AI and 3D Models: How High-tech

Breakthroughs Help Nuclear Decommissioning , IAEA Survey Shows, April, 2023

2. Mats Olsson , Digital tools ready for a cost-effective Decommissioning , Westinghouse Electric Sweden AB , 2017.4.24

3. WEIDA YAN1, SHUHEI AOYAMA1,etc., DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A TEMPORARY PLACEMENT AND CONVEYANCE OPERATION SIMULATION SYSTEM USING AUGMENTED REALITY, August 13, 2011

4. Kihiro Iguchi, Tsuyoshi Tajiri and Shikou Kiyota , Preparatory Activities of the Fugen Decommissioning , 12th International Conference on Nuclear. Engineering , 2004

5. Seventh American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies

NPIC&HMIT 2010, Las Vegas, Nevada, November 7-11, 2010, on CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (2010)

6. A COMPARATIVE STUDY OF RADIATION VISUALIZATION TECHNIQUES FOR INTERACTIVE 3D SOFTWARE APPLICATIONS

Michael N. Louka and Grete Rindahl, OECD Halden Reactor Project, Institute for Energy Technology

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