

## 2019 劑量評估程式應用研討會

2019 Workshop on Dose Assessment Codes Application

2019 Dec.9 - Dec.10

### 12/9

**主題1 放射性廢棄物運送及屏蔽計算程式**  
 主持人：尹學禮 理事 / 美洲保健物理學會臺灣總會

- RADTRAN與Microshield於低放運送之人員劑量評估 賴柏倫  
輻射防護協會
- 乾貯設施輻射場特性分析與QAD程式相關應用 賴柏辰  
清華大學核工所
- 低放貯存場SKYDOSE輻射影響評估 黃昱翔  
清華大學原科中心

**主題2 醫療診斷劑量程式**  
 主持人：蔡惠予 教授 / 清華大學核工所

- 診斷X光原理簡介 練夢恩  
清華大學核工所
- PCXMC在醫療診斷上的應用 李孟秦  
清華大學核工所
- 電腦斷層攝影原理簡介 林雅傑  
長庚大學醫放系
- CT Expo在醫療診斷上的應用 詹前軒  
清華大學醫環系
- VirtualDose在醫療診斷上的應用 簡佳玉  
清華大學核工所

### 12/10

**主題3 核電廠RAMP程式應用**  
 主持人：王仲容 博士 / 核能與新能源教育研究協進會

- 利用RADTRAD進行搖控停機盤事故期間的劑量評估 簡誌宏  
台灣電力公司
- SNAP/RADTRAD核三廠燃料吊運事故與控制室適居性評估模式建立與驗證 陳雄智  
清華大學核工所
- HABIT/ALPHA核電廠控制室適居性分析評估 許文騰  
清華大學原科中心
- 結合MELCOR放射物計算進行RASCAL核三廠嚴重事故劑量評估 蔣宇  
核能與新能源教育研究協進會

清大綠能館  
創意Café (R208)

主辦單位：財團法人中華民國輻射防護協會  
 財團法人核能與新能源教育研究協進會  
 清華大學原子科學技術發展中心  
 協辦單位：國立清華大學核子工程與科學研究所

財團法人 中華民國輻射防護協會

# 輻射防護簡訊

第 154 期

出刊日期 108 年 12 月 15 日

# 本期內容

## CONTENT

2019 年第五屆「兩岸放射性廢棄物管理研討會」會議報導	1
「兩岸放射性廢棄物管理研討會」是由中華核能學會放射性廢棄物管理學術委員會召集人黃慶村博士，與中國大陸中國工程院潘自強院士共同發起，於 1999 年起首屆舉辦。20 年來在促進兩岸核能合作與技術交流上扮演相當重要的管道。此研討會研討會每兩年舉辦一次，本屆由中國輻射防護研究院(簡稱中輻院)主辦，於山西省太原市舉辦。	
診斷輻射劑量進展	5
游離輻射的發現到目前已超過一個世紀，游離輻射的和平用途可說是相當廣泛，尤其是應用在醫療方面。本文整理過去幾十年間游離輻射在醫療診斷的劑量進展，讓讀者瞭解隨著科技與技術的進步，醫療診斷的輻射暴露伴隨時間的變化。	
訓練班課程	9
公告本會各項訓練班開課時間	
輻協新聞廣場	10
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	
韓國放射部門交流計畫 (Korean Radiological Department Visit Program)	20
輻射防護協會為鼓勵國內學子從事輻射防護相關領域研究及從事國際交流而設有中華民國輻射防護協會獎學金，本年度元培醫事科技大學的獎學金得主- Ei Phyu Thae (曾美惠) 則運用這筆獎學金參加元培大學醫學影像系的韓國短期交流參訪。	
2019 劑量評估程式應用研討會	23
近年來國內原子科學相關應用正邁入新的領域與挑戰，為了實踐輻射防護協會創立的初衷，特別辦理「2019 劑量評估程式應用研討會」，期望此一研討會能成為國內劑量評估程式使用者之間的交流平台，從而達到知識分享並共同提昇國內輻防工作的專業度。	

# 2019 年第五屆「兩岸放射性廢棄物管理研討會」會議報導

編譯者 蔡世欽 博士

清華大學原子科學技術發展中心 核能技術師

中華民國輻射防護協會 顧問



## 前言

「兩岸放射性廢棄物管理研討會」是由中華核能學會放射性廢棄物管理學術委員會召集人黃慶村博士，與中國大陸中國工程院潘自強院士共同發起，於 1999 年起首屆舉辦。20 年來在促進兩岸核能合作與技術交流上扮演相當重要的管道。此研討會每兩年舉辦一次，本(2019 年)屆由中國輻射防護研究院(簡稱中輻院)主辦，於山西省太原市舉辦。我方由黃慶村博士率團參加，與會台灣團員共計 14 人。

## 研討會內容摘要

研討會議程分為**放射性廢棄物管理政策法、放射性廢棄物處理、放射性廢棄物處置、核設施退役**等 4 個主題，口頭報告篇數 30 餘篇，其中我方佔 9 篇。黃慶村博士針對臺灣核電後端營運的情勢與展望發表專題報告。報告中指出：臺灣的核能發電已有 40 年的歷史，除了保持良好的核電廠運轉績效，提供臺灣清潔、價廉與穩定的電力外，也創下了領先國際的廢棄物最小化成績。目前因用過核燃料乾式貯

存設施受到地方政府的杯葛無法啟用，連帶導致金山核電廠的除役無法進行，已使核電的進退陷入兩難的窘境。報告中也說明：臺灣核電後端營運在放射性廢棄物管理所遭遇的困境，並探討「非核家園」政策所面臨的挑戰，以及對後端營運的影響，對於 2018 年「以核養綠」公民投票的結果闡釋其意義。最後並分析說明最新的民意趨勢，以及解決核電後端問題的展望。大陸中輻院崔安熙所長，則針對大陸放射性廢棄物管理現狀和發展，進行專題報告。報告中指出：放射性廢物安全處理處置是核電安全運行的重要內容，也是核電可持續發展的關鍵因素之一。根據大陸已確定的核電發展規劃，預計十三五開始中長期內會有較為穩定的發展。目前已運轉和興建中的核電機組有相當規模，產生的廢棄物已積累一定數量，後續還會不斷增加。大陸核電運行主管部門重視核電站的廢棄物管理問題，近年來已建立一系列的法律法規和標準針對相關問題進行規範管理，並積極提昇廢棄物處理技術。

除了上述專題報告外，筆者針對這次研討會論文內容幾項特點說明如下：

## 1. 核種遷移研究為處置技術研發重點項目

放射性廢棄物最終處置攸關長時間尺度與人類生活圈的隔離，其安全分析評估之技術及手法，備受重視。基於多重障壁及核種遲滯之設計理念，透過燃料護套、包封容器、緩衝及回填材料、厚層母岩等層層關卡，減緩核種遷移速率，再透過空間稀釋核種濃度及時間衰減等因素，最終降低放射性核種影響人類生活圈風險於可接受的程度。目前放射性核種在自然環境中的遷移研究，已成為先進國家發展處置技術的重點研究項目。本次會議我方關於核種遷移的研究論文有 3 篇，占我方論文數 1/3。第一篇為筆者所發表：「銻核種在膨潤土之擴散及遲滯機制分析」。本研究提出了一種擴散實驗的新穎分析方法 (PIPIAM)，可降低擴散參數的不確定性，做為安全評估所需擴散參數分析的良好替代方案。此外本研究利用

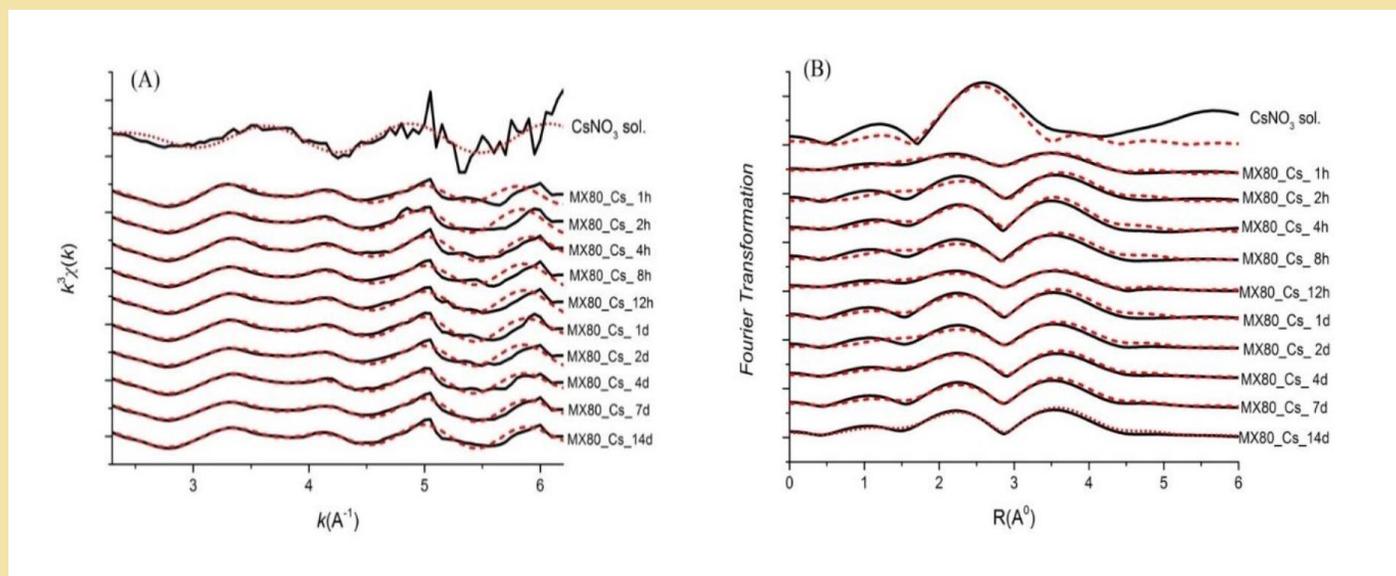
同步輻射新穎 EXAFS 光譜技術來探討不同反應時間 Cs 離子吸附在膨潤土之結構位置變化，深入了解 Cs 離子吸附於膨潤土的基本特性及機制；第二篇為清大原科中心田能全博士：「硒及碘於膨潤土與花崗岩之遷移行為研究」。此研究建立一套 IC 與 ICP-OES 之碘與硒物種定量分析方法，探討不同物種型式的生成物種：碘離子 ( $I^-$ )、碘酸根離子 ( $IO_3^-$ )、4 價硒 ( $SeO_3^{2-}$ ) 與 6 價硒 ( $SeO_4^{2-}$ ) 的遷移；第三篇為成功大學李傳斌博士 (日前轉任大陸東華理工大學核科學與技術學院)：「以光譜分析技術探討核種(素)在臺灣母岩吸附與擴散研究」。此研究以開發光譜分析微結構技術，包括: XRD(X 光繞射分析)、XRF(X 光螢光分析)、SEM/EDS(高解析電子顯微鏡)、XPS(X 光電子分析儀)來探討在不同條件下，天然母岩(如:花崗岩)與緩衝材料(如:膨潤土)可能劣化原因與放射性核種的吸附與擴散行為。

## 2. 加速器除役及放射性廢棄物管理

這是中國科學院上海應用物理研究所夏曉彬主任在會議中提出的報告。報告中提到：大陸目前在加速器科學發展上，正面臨環境安全上的新挑戰。其中，老一代粒子加速器設施面臨除役或升級改造；新一代大型粒子加速器的日常運行、維護和維修過程中，也遇到放射性廢物的安全管理問題。報告的內容包括：高能粒子加速器產生的放射性廢物的特徵分析、廢棄物盤點的調查方法和相關技術需求、加速器產生的放射性廢棄物分類，以及現行放射性廢棄物管理的相關法律/法規及技術規範的適用性等 4 個方面。建立高能粒子加速器設施運行、維護、升級、改造及除役全生命周期的放射性廢棄物管理政策，以解決後顧之憂，有效促進粒子加速器科學技術和應用的發展。相當值得做為我國之借鏡。

## 3. 高放射性廢棄物處置場址調查最新進展

中國大陸高放射性廢棄物之處置方式依其 2003 年發布之放射性污染防治法第 43 條規定：「高水平放射性固體廢物實行集中的深地質處置質處置，與世界各國所採用的處置方式相同」，提出包括新疆、甘肅、內蒙古、西南、華東作為高放處置場候選場址。2011 年 7 月確定甘肅北山地區(花崗岩地質)為中國大陸高放射性廢棄物地質處置之首選預選區，由北京地質研究院負責場址調查等相關工作。2019 年 4 月批准甘肅省北山地下實驗室的建造，預計將於 2019 年底或 2020 年就可以開挖至地下 300 至 500 公尺。儘管北山做為首選場址，已經投入大量資源進行調查及地下實驗室的研究，另一方面，以黏土岩層的調查也在進行當中。中輻院是負責黏土層調查相關工作。初步調查篩選出甘肅隴東地區、青海柴達木盆地、



銫吸附在膨潤土不同反應時間 Cs L3-edge 之 EXAFS 光譜 (a)  $k^3$  加權之  $\chi(k)$  光譜 (b) 對應的 RSFs (未修正之相位偏移)，圖上標示實驗數據(實線)及配適數據(破折線)。

內蒙古巴彥戈壁盆地等粘土岩場址重點地區，再進行綜合比對研究後，建議內蒙古巴彥戈壁盆地塔木素預選區，並在此區域內對預選地段進行了初步推薦。該地區的泥岩質經過分析發現含有特殊的主要礦物成分-沸石。沸石是火山噴發後的火山灰沉積凝固後，經過長時間的演化後生成，大多填充於凝灰岩的氣孔結構，在沉積岩中很少發現。沸石對放射性核種有很高的選擇性吸附效果，這也是塔木素預選區獲得推薦的主要原因。

### 參訪行程

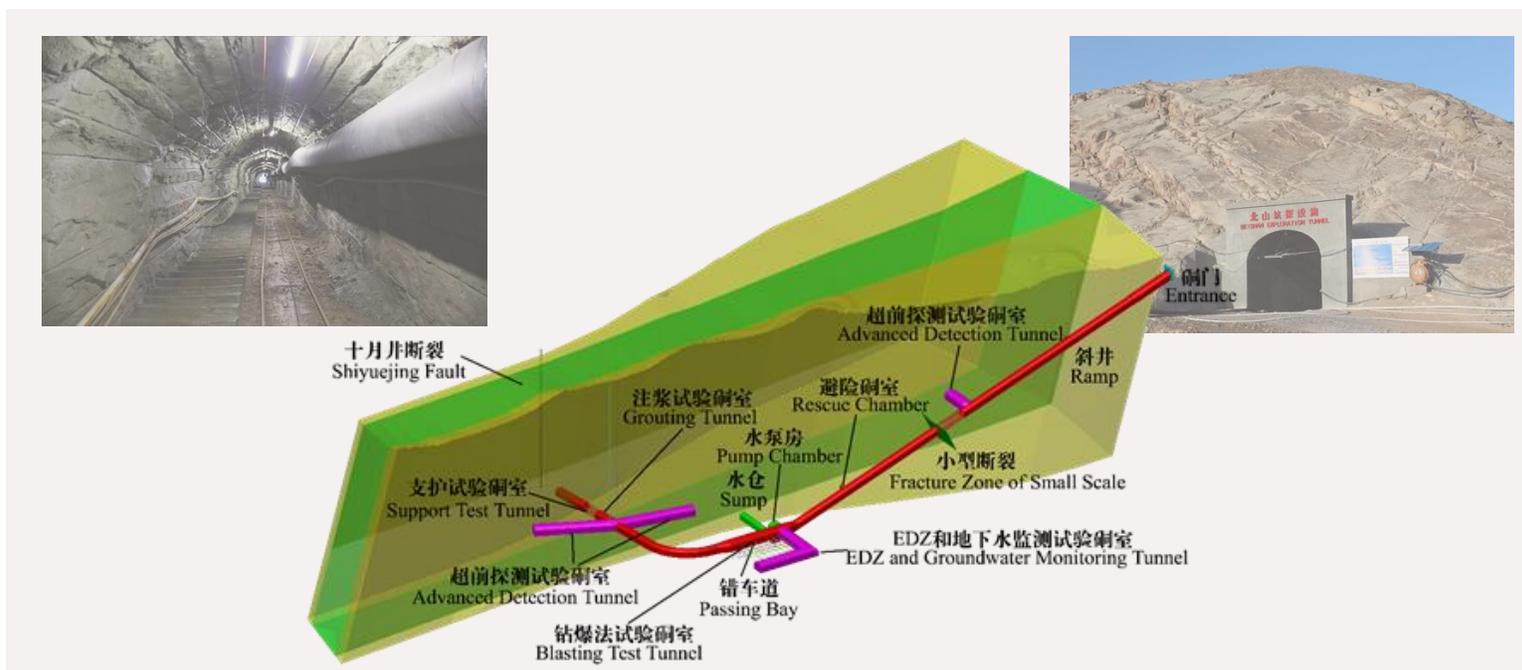
研討會結束後，大陸方面安排前往中輻院參訪。中輻院隸屬於中國核工業集團公司，成立於 1962 年，是大陸唯一專門從事輻射防護研究與應用的綜合科研機構，也是提供中核集團在核能安全管理的技術依托單位。由於中輻院實驗設施相當眾多，礙於時間有限，大陸就以下幾個重點實驗室安

排參訪：

1. 核環境模擬技術實驗室：這個實驗室是目前大陸唯一專門從事放射性核種在生態系統遷移行為和生態轉移研究的實驗室。該實驗室包括：地表水模擬實驗室、地下水模擬實驗室和野外試驗現場，以及據稱是大陸非軍事研究中，最大型之大氣邊界層風洞及配套測試設備，配備先進的測量大氣氣流和擴散參數的粒子圖像速度儀(PIV)等系統，可以用來模擬當發生核電廠緊急事故時可能的曝露情節並評估其風險。這套系統也搭配中核集團的核能電廠輸出計畫，可結合輸出國當地的地理環境資訊系統使用。
2. 廢棄物焚化技術研究室：此實驗室成立於 1974 年，是大陸核工業系統唯一的專業化廢物焚燒技術研究室，30 多年來，研究開發出固體廢物熱解焚燒、固體廢物旋風焚燒、

廢有機溶劑熱解焚燒、廢油噴霧焚燒、廢石墨固定床式焚燒等技術，實際應用於大陸核工業系統及民用領域。

3. 核設施除役與污染治理技術研究室：此實驗室從事核設施除役及除污技術研究，研發出多種除污技術，包括金屬熔煉除污、鈾-硝酸高效除污、電解除污、泡沫除污、凝膠除污、混凝土機械剝離除污等，研製出數台專用除污機具，開發出數項專用除污劑，擁有數項專利。特別值得一提的是可剝離凝膠新穎表面除污技術。該技術以凝膠為載體，可載帶除污劑，利用噴塗或刷塗的方式塗於待處理污染表面，特點是：施工便利、適用性強，以及廢料量少且容易處理(焚化)，特別適用於大面積的牆面、地面、及機具等，該技術曾獲得中核集團科學技術進步二等獎章的榮



北山坑探設施現場試驗布置示意图

圖片來源：[核工業北京地質研究院](#)

譽。

4. 放射性廢棄物處置研究室：此研究室的主要研究工作包括：放射性廢液固化技術、選址階段系統安全評估技術、放射性核種在環境介質中的遷移及相互作用機制、以及了工程屏障材料功能評估。筆者過去在相關的國際研討會中，與該研究室的核種遷移研究人員已經有過接觸，這次有機會參觀其研究設施，針對實驗設計及分析儀器實地交流，獲益匪淺。
5. 山西中輻核儀器有限責任公司：這家公司是由中輻院和山西金通投資管理有限公司出資組建，目前負責秦山、大亞灣、田灣、紅沿河等多個核電廠輻射監測系統的檢修和維

護。此外，也專業從事輻射測量儀器儀表的設計、開發、生產和銷售，以及輻射測量系統的維護與檢修技術服務等工作。公司擁有 SMT 自動生產線、步入式調溫調濕箱等大型生產和檢驗設備，主要產品有多探頭輻射監測儀、個人劑量儀、區域 $\gamma$ 監測儀、全身/手足表面污染監測儀等，目前已大量應用在核能軍事工業、核電廠、環保、衛生、工業檢測等各個部門。

### 心得結語

高放射性廢棄物處置是目前放射性廢棄物管理工作中，最複雜也是最艱鉅的任務。大陸幅員遼闊，選址工作受到政經因素的影響較小，然而高放射性廢棄物處置工作是需要多項技術整

合，且跨世代經驗傳承。各專業技術在溝通存有藩籬，此現象在兩岸都可發現。如何整合這麼多領域，對兩岸的現在與未來都是相當大的挑戰。在人才培育及經驗傳承方面，本次參訪發現：大陸方面的工作人員，甚至主管階級，都有年輕化趨勢，而臺灣在這方面就相對弱勢，技術年齡斷層現象十分嚴重，應及時做好因應措施。

我國核一廠目前已經進入除役階段，中輻院開發的核設施除役與污染治理技術，例如：可剝離凝膠新穎表面除污技術，效果及實用性都非常良好，建議相關單位未來可以引進應用於核一廠相關的除污工作。



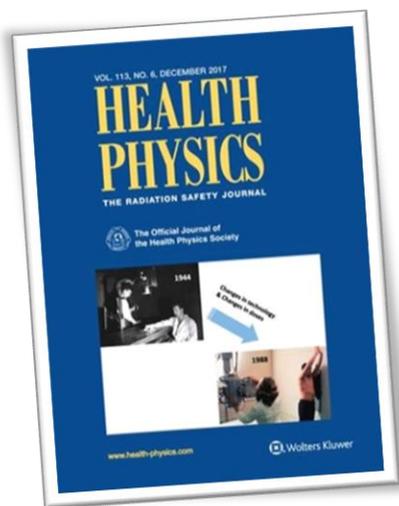
## 中國輻射防護研究院簡介



中國輻射防護研究院（簡稱“中輻院”）隸屬於中國核工業集團公司，成立於 1962 年，位於太原市國家高新技術開發園區，是中華人民共和國唯一專門從事輻射防護研究與應用的綜合科研機構，主要從事輻射防護、核應急與核安全、放射醫學與環境醫學、核環境科學、放射性三廢治理與核設施退役、輻照技術、環保技術、核電子信息技術、生物材料、職業病診斷與救治技術等領域的研究、應用及生產經營，並為國家職能部門提供輻射防護與核安全管理技術支持，目前隸屬於中國核工業集團公司。中輻院先後與國際原子能機構(IAEA)、國際放射防護委員會(ICRP)、聯合國原子輻射影響科學委員會(UNSCEAR)、世界衛生組織(WHO)以及美國、日本、法國等 40 多個國際組織、國家(地區)建立了科技合作與交流關係。



資料來源：[中國輻射防護研究院](#)



## 前言

游離輻射的發現到目前已超過一個世紀，游離輻射的和平用途可說是相當廣泛，尤其是應用在醫療方面。透過游離輻射，醫生可以更清楚地了解病人的情況，並給予合適的診斷與治療，這也是為什麼全球人口的平均壽命呈現上升趨勢的原因之一。根據內政部 107 年簡易生命表顯示，國人的平均壽命為 80.7 歲，其中男性 77.5 歲、女性 84.0 歲，皆創歷年新高。相較於全球主要國家的平均壽命，台灣的男性與女性的平均壽命均高於全球的平均水準。筆者認為這樣的結果主要歸功於台灣的健保與醫療水準。

過去幾十年間，游離輻射在醫療的使用率有顯著的增長。近期關於醫療輻射暴露的評估報告指出，從 1980 年至 2006 年之間，美國人口的人均有效劑量從 3 mSv (NCRP 1989a) 增加至 6.2 mSv (NCRP 2009)，足足增加了一倍之多。在這段期間，醫療輻射暴露對年平均有效劑量的貢獻已從 15% 增加到 48%。醫院裡與診斷輻射劑量相關的部門有醫學影像部與核子醫學部，另一個容易被遺忘但亦常接觸輻射的部門就是牙科。本文整理過去

# 診斷輻射劑量進展

作者 賴柏倫

財團法人中華民國輻射防護協會 助理研究員

幾十年間游離輻射在醫療診斷的劑量進展，讓讀者瞭解隨著科技與技術的進步，醫療診斷的輻射暴露伴隨時間的變化，以下將針對醫學影像部、牙科與核子醫學部的診斷性輻射劑量進行個別介紹。

## 醫學影像部放射線攝影檢查之劑量進展

最近一份關於醫學影像部放射線攝影檢查的醫療輻射暴露隨時間變化的研究報告是由 Dunstana R. Melo 等人在 2016 年發表的，作者們評估從 1930 年至 2010 年這 80 年間常見的

放射線攝影檢查的器官劑量之進展。其中，檢查部位包含頭骨(Skull)、鼻竇(Paranasal sinuses)、頸部軟組織(Neck-soft tissue)、頸椎(Cervical spine)、胸部(Chest)、肋骨(ribs)、胸-頸椎(Thoracic-cervical spine)、胸椎(Thoracic spine)、胸-腰椎(Thoracic-lumbar spine)、腹部(Abdomen)、骶股(Sacrum)、骨盆(Pelvis)、腰椎(Lumbar spine)與腰-骶椎(Lumbosacral spine)，涵蓋的器官包含大腦，食道，紅骨髓，甲狀腺，乳房，肺，心臟，胃，肝，膀胱，卵巢和睪丸，結腸。

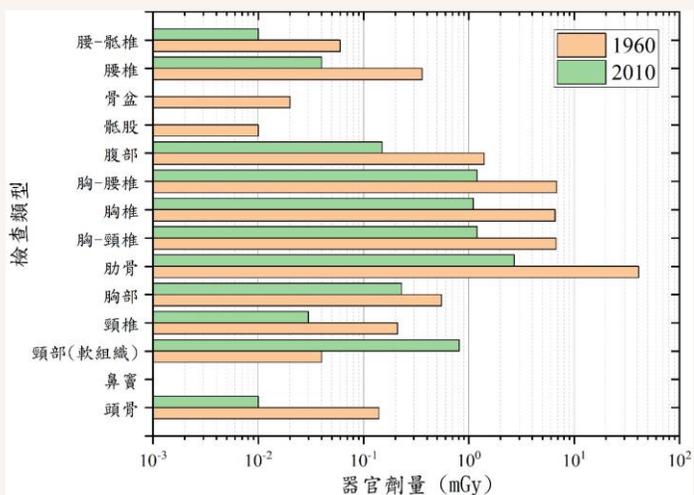


圖 1 比較 1960 年代前與 2010 年之 14 種放射線攝影檢查對肺的器官劑量。

(資料來源：參考文獻 1)

由於作者們考慮的放射線攝影技術參數是參考當時的放射師培訓的教科書 (Radiography textbook) · 書中的參數大多以中等身材體型為主 · 因此 · 得到的劑量評估結果代表的是中等身材的成人器官劑量。可以預期的是 · 單次檢查對於不同器官的劑量會有相當的差異。一般來說 · 在單次檢查中 · 照野內的劑量將會是最高的 · 鄰近檢查區域的器官劑量次之 · 離檢查區域越遠的器官劑量越低 · 如圖 1 所示。

評估的結果顯示 · 13 種器官的劑量貢獻最高的檢查集中於頭骨、肋骨與骨盆攝影檢查。其中 · 大腦的劑量 · 在 1960 年之前為 26 mGy · 與 2010 年相比減少 17 倍；食道的劑量 · 在 1960 年之前為 16 mGy · 與 2010 年相比減少 14 倍；紅骨髓的劑量 · 在 1960 年之前為 13 mGy · 與 2010 年相比減少 144 倍；甲狀腺的劑量 · 在 1960 年之前為 23 mGy · 與 2010 年相比減少 55 倍；乳房的劑量 · 在不考慮乳房攝影的情況下 · 在 1960 年之

前為 45 mGy · 與 2010 年相比減少 17 倍；肺和心臟的劑量 · 在 1960 年之前分別為 41 mGy 和 31 mGy · 與 2010 年相比均減少 17 倍；胃的劑量 · 在 1960 年之前為 26 mGy · 與 2010 年相比減少 30 倍；肝的劑量 · 在 1960 年之前為 44 mGy · 與 2010 年相比減少 35 倍；膀胱的劑量 · 在 1960 年之前為 43 mGy · 與 2010 年相比減少 39 倍。卵巢與睪丸的劑量 · 在 1960 年之前分別為 28 mGy 與 50 mGy · 與 2010 年相比 · 分別減少 58 倍(卵巢) · 50 倍(睪丸)；結腸的劑量 · 在 1960 年之前為 22 mGy · 與 2010 年相比減少 42 倍。

整體而言 · 劑量隨時間的變化是下降的 · 從 1960 年代到 1980 年代間 · 僅觀察到細微的劑量差異 · 作者們其原因來自於技術參數的細微變化；但是 · 在 1990 年代之後一直到 2000 年之間的器官劑量卻大大地減少 · 作者們將原因歸因於放射線攝影檢查設備的精進和成像技術的變化 · 如 X 光管球的總濾器厚度的增加 · 由 0.5 mm

Al 增加至 2.5 mm Al · 以及自動曝射系統(Automatic exposure control)與數位影像系統(Digital radiography)的引入等。

### 核子醫學部診斷性輻射劑量之進展

關於核子醫學部的診斷性輻射劑量進展 · 研究報告指出 · 1980 年代至 2006 年之間 · 全球執行核子醫學檢查數量從 2350 萬增至 3700 萬 (UNSCEAR 1988; NCRP 2009) · 而在此一時期 · 美國執行核子醫學檢查的數量則從 700 萬增至 1860 萬(NCRP 1989, 2009) · 因此 · 截至 2006 年為止 · 全球大約有一半的核子醫學檢查數量都在美國執行。美國人口的人均年有效劑量從 1980 年代的 0.14 mSv (NCRP 1987)增加到 2006 年的 0.77 mSv (NCRP 2009) · 幅度達 5.5 倍。進一步調查發現核子醫學檢查多集中於心臟掃描(Cardiac procedures) · 骨掃描 (Bone scan) 與胃腸道掃描 (Gastrointestinal scan) · 這三種檢查次數依序佔總數的 57% · 20%與 7%

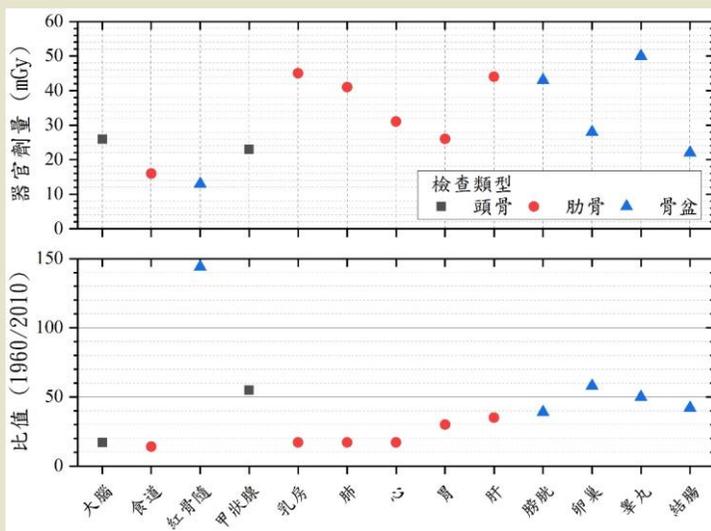


圖 2 放射線攝影檢查於 1960 年代前的器官劑量(上)與 2010 年之比較(下)。(資料來源：參考文獻 1)

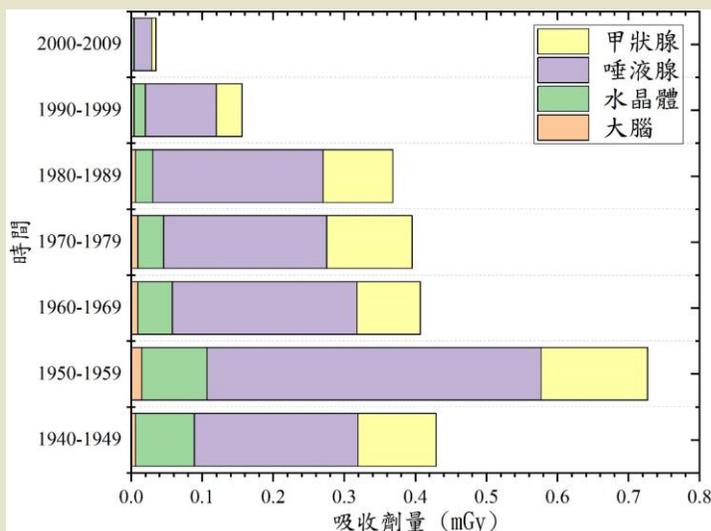


圖 3. 四種器官在牙科放射線攝影檢查之吸收劑量隨時間的變化。(資料來源：參考文獻 2)

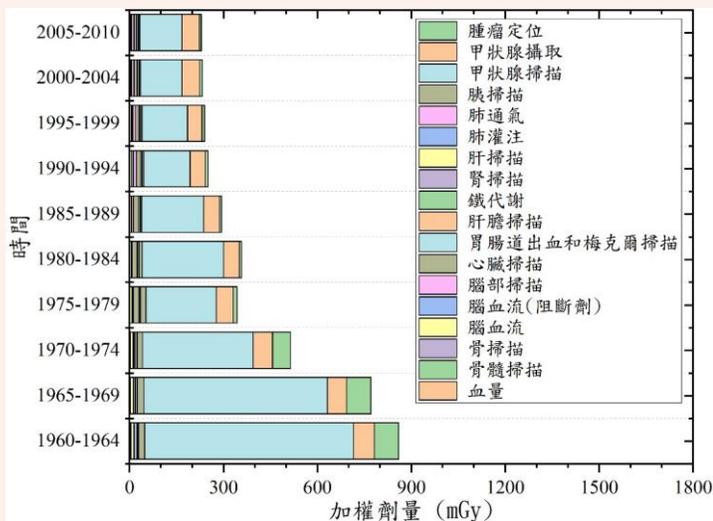


圖 4. 18 種診斷性核子醫學檢查對甲狀腺器官的劑量隨時間的趨勢。  
(資料來源：參考文獻 3)

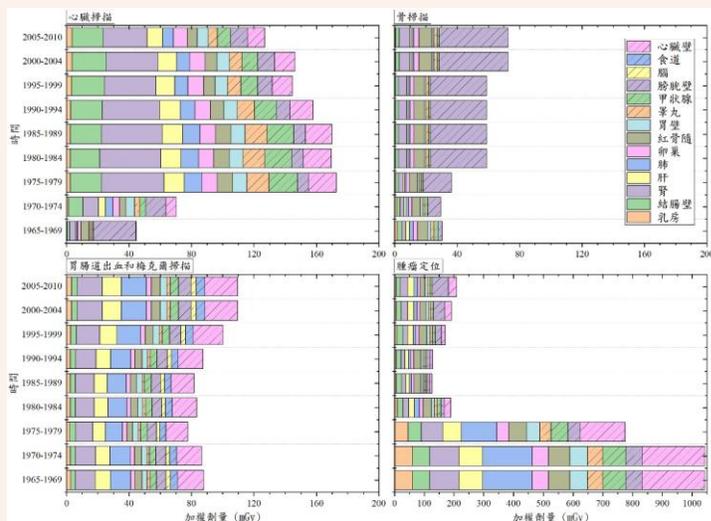


圖 5. 四種核子醫學檢查對 14 種器官的劑量隨時間的趨勢。  
(資料來源：參考文獻 3)

而其集體有效劑量則佔核子醫學檢查的 85%、9%與 1.6%。另一方面，核子醫學的治療項目僅佔其一小部分，其中，甲狀腺機能亢進和甲狀腺癌的治療比重超過 90% (NCRP 2009；ICRP 2004)。Daphné e Villoing 等人於 2017 年發表一篇研究報告，作者們計算每種檢查採用的放射性藥物研究從 1960 至 2010 年間器官的加權劑量伴隨時間的變化。其中，檢查類型包含血量 (Blood volume)、骨髓掃描 (Bone marrow scan)、骨掃描 (Bone scan)、腦血流 (Brain blood flow)、腦血流-阻斷劑 (Brain blood flow-blocking agent)、腦部掃描 (Brain scan)、心臟掃描 (Cardiac procedures)、胃腸道出血和梅克爾掃描 (GI bleeding & Meckel's scan)、肝膽掃描 (Hepatobiliary scan)、鐵代謝 (Iron metabolism)、腎掃描 (Kidney scan)、肝掃描 (Liver scan)、肺灌注 (Lung perfusion)、肺通氣 (Lung

ventilation)、胰掃描 (Pancreas scan)、甲狀腺掃描 (Thyroid scan)、甲狀腺攝取 (Thyroid uptake)、腫瘤定位 (Tumor localization)；涵蓋的器官包含乳房、結腸壁、腎、肝、肺、卵巢、紅骨髓、胃壁、睪丸、甲狀腺、膀胱壁、腦、食道、心臟壁。

根據藥物動力學的特性與標誌的放射性元素的屬性，不同類型的檢查對同一器官的劑量會有相當大的落差。一般來說，靶器官或代謝器官的劑量是最高的，對藥物的攝取率或代謝率越低則其劑量就越低。以甲狀腺為例，在 1970 年之前，甲狀腺劑量貢獻最高的前三種檢查分別為甲狀腺掃描 (666 mGy)、腫瘤定位 (78 mGy) 和甲狀腺攝取 (67 mGy)，如圖 4 所示，與 2010 年相比劑量分別減少 4.9%、11% 和 18%。相反地，圖 5 顯示近幾年診斷劑量增加的檢查項目。作者們將劑量增加的原因歸咎於檢查次數的提升或單次檢查之放射性藥物活度的增加。以胃腸道出血和梅克爾掃描為

例，所有感興趣器官的加權平均劑量，在過去的 50 年中增加了 25%。在腫瘤定位之檢查項目中觀察到了另一種現象，所有感興趣器官的加權平均劑量在 1970 年至 1984 年呈現急遽的下降，並於 1985 年至 2010 年呈現上升趨勢，其中某些器官的加權劑量是逐年增加的，例如膀胱壁，心臟壁，肺和腎臟。

### 結語

文章整理至此，筆者發現科技與技術始終來自於人性。雖然人們接受游離輻射診斷檢查的頻率逐年提升，但劑量的漲幅卻不如筆者的預期，這要歸功於放射線攝影檢查設備的精進和成像技術以及新的放射性藥物發展。



## 參考文獻

1. Dunstana R. Melo, Donald L. Miller, Lienard Chang, Brian Moroz, Martha S. Linet, and Steven L. Simon, 'Organ doses from diagnostic medical radiography—trends over eight decades (1930 to 2010)' , Health Phys. 111(3):235–255; 2016.
2. R.C. Fontana, E. Pasqual, D.L. Miller, S.L. Simon, E. Cardis, and I. Thierry-Chef, 'Trends in estimated thyroid, salivary gland, brain, and eye lens doses from intraoral dental radiography over seven decades (1940 to 2009)' , Health Phys., DOI: 10.1097/HP.0000000000001138.
3. Daphnée Villoing, Vladimir Drozdovitch, Steven L. Simon, Cari M. Kitahara, Martha S. Linet, and Dunstana R. Melo, 'Estimated organ doses to patients from diagnostic nuclear medicine examinations over five decades: 1960–2010' , Health Phys. 113(6):474–518; 2017.
4. ICRP. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. Oxford: ICRP; Publication 94, Ann. ICRP 34(2);2004.
5. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report No. 93; 1987.
6. National Council on Radiation Protection and Measurements. Exposure of the U.S. population from diagnostic medical radiation: recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report No. 100; 1989.
7. National Council on Radiation Protection and Measurements. Exposure of the U.S. population from diagnostic medical radiation: recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report No. 100; 1989a.
8. National Council on Radiation Protection and Measurements. Ionizing radiation exposure of the population of the United States: recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report No. 160; 2009.
9. UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. Exposures from medical uses of radiation, annex C. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 Report to the General Assembly. United Nations Publication, sales no. E.88.IX.7. New York,1988.
10. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I, Annex A. UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with scientific annexes. New York: United Nations; 2008.
11. Lee W. Comparative radiation doses in dental radiography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 37:962–968; 1974. DOI 10.1016/0030-4220(74)90449-6.



## 訓練班課程(108 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

**A01 高雄** 文化大學推廣部  
2 月 11 日 ~ 2 月 18 日

**A02 新竹** 帝國經貿大樓  
2 月 12 日 ~ 2 月 19 日

### B 組 18 小時-登記類

**B20 高雄** 文化大學推廣部  
11 月 13 日 ~ 11 月 15 日

**B21 新竹** 帝國經貿大樓  
11 月 27 日 ~ 11 月 29 日

**B 22 台北** 建國大樓  
12 月 4 日 ~ 12 月 6 日

**B23 台中** 文化大學推廣部  
12 月 18 日 ~ 12 月 20 日

### 109 年度

**B01 台北** 建國大樓  
1 月 7 日 ~ 1 月 9 日

**B02 高雄** 文化大學推廣部  
1 月 14 日 ~ 1 月 16 日

**B03 新竹** 帝國經貿大樓  
2 月 24 日 ~ 2 月 26 日

### 員 36 期

新竹 帝國經貿大樓  
第一階段

12 月 9 日 ~ 13 日  
第二階段

12 月 16 日 ~ 20 日  
第三階段 (109 年)

1 月 6 日 ~ 10 日  
第四階段

1 月 13 日 ~ 1 月 16 日

### 台北 建國大樓

11 月 19 日 (上午&下午)

新竹 清華大學

11 月 22 日 (上午&下午)

高雄 科學工藝博物館南館

12 月 3 日 (上午&下午)

### 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

### 鋼鐵建材輻射偵檢人員訓 練班

#### 鋼 3 新竹 帝國經貿大樓

9 月 10 ~ 9 月 11 日

#### 鋼 4 高雄 文化大學推廣部

10 月 16 ~ 10 月 17 日

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)；

314 林珏汶 (專業人員)；

315 邱靜宜 (鋼鐵建材、放射性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公布 108 年第 2 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](#)

「108 年第 2 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。

附檔下載

- [108 年第 2 次輻射防護專業測驗及格人員名單](#)
- [108 年第 2 次操作人員輻射安全證書測驗及格人員名單](#)

( 發布日期 108 年 11 月 25 日 )

### 國內新聞

- ➔ 聯合新聞網報導「日傳輻射垃圾沖入海中 原能會：未影響台灣海域」[訊息連結](#)

哈吉貝颱風日前侵襲日本造成嚴重災情，同時傳出近百袋輻射垃圾被沖入太平洋，引起恐慌。原能會主委謝曉星今天說明，事發後持續進行監測，目前未對台灣海域造成影響。行政院原子能委員會主任委員謝曉星，今天上午赴立法院教育及文化委員會進行業務報告並接受備詢。

民進黨籍立委黃國書質詢時表示，哈吉貝颱風日前重創日本，裝有輻射汙染廢棄物，例如樹枝、土壤的袋子被沖入太平洋，引發汙染疑慮，台灣鄰近海域及漁業是否會受影響，應該對外說明清楚。

謝曉星指出，事件發生之後，原能會持續進行海域的輻射監測，到目前為止的監測結果都是安全無虞。相關的資訊同步在原能會的官方網站公布，供民眾參閱。

雖然原能會第一時間就在官網上說明，不過黃國書表示，瀏覽原能會官網的人少之又少，而且可能大多都是專業人士，一般民眾更無從得知，但是「輻射垃圾被沖入太平洋」的消息，透過網路傳遞，卻有上百萬人看到。黃國書提醒謝曉星，關於核安、核能相關的訊息，原能會應該更積極的釋疑與解釋，只在官網上澄清，過於消極。

今年 9 月初，時任日本環境大臣原田義昭曾說，福島核電廠的核廢水除了直接排放入海外，沒有其他的處置方式。此番發言引起輿論譁然，並造成鄰國的憂慮。黃國書質詢時提到，韓國已經針對此事提出嚴正抗議，並要求日本向國際社會說明，原能會對於這件事應該也要有所態度。

謝曉星表示，原能會已經透過駐日代表處了解情形，並請駐日代表處協助，若有發生任何進一步的情況，立即通知原能會。此外，原能會也有聯繫日本原子力規制委員會，而得到的回復訊息指出，這只是傳聞而非正式執行的措施。謝曉星也提到，原能會與外交部間已建立合作機制，未來也不排除將這項機制進一步轉化成平台。( 發布日期 108 年 10 月 21 日 )

➔ ETtoday 新聞雲報導「荒廢 20 年幽靈工廠淪法拍 傳殘留輻射物質無人敢接手」。 [訊息連結](#)

曾於 3 年前被民眾投訴的新北市金山區「中國金屬化工廠」，是已荒廢 20 年的「幽靈工廠」，廠區內殘留著輻射物質，讓當地民眾生活在恐懼中，該工廠淪入法拍中，二拍底價約 5.28 億元。法拍業者認為，此工廠位屬偏僻，加上廠房內多處毀損，應難有人願意投標。

該工廠位於新北市金山區南勢湖路，二拍底價約 5.28 億元、單價 12.2 萬元，建坪約 4450 坪、地坪約 21885 坪，將於 11 月 5 日執行二拍拍賣，該案於 2016 年 1 月查封時，由「玉弘公司」承租，租期至 2020 年 8 月 13 日止，會根據佔有人的使用現況點交、其他部分則不點交。

據地政人員指出，該工廠建物有部分毀損，有些甚至只剩四周的柱子，另外廠內還有寺廟「玉弘宮」，內部機器還有外露，而且貼有輻射物的標記，在會同原子能委員會人員勘查時，廠內的溶解槽和沉降槽桶內，含有放射性物質衍生的廢棄物，且測量的數值已超量。而這些遺留的原料、廢棄土、礦砂、機具設備、廠房鋼構部分的放射性輻射污染，對於未來的得標者，需依照相關規定清理。

「中國金屬化工廠」於 1971 年由台日合資，主要生產工業用二氧化鈦，製造過程中會排放廢水以及刺鼻濃煙，該工廠已於 1999 年關廠停工，至今已 20 年一直荒廢中，廠內的輻射物質也都沒有人處理，對當地環境是一大隱憂。

該公司因虧損連連，陳姓負責人曾於 2014 年間，明知工廠內生產的機具可能含有輻射物，未經原能會核准，透過周姓友人找廠商出售廢鐵，賣給 3 家不知情的回收商，總數近 300 公噸廢鐵，變賣 300 多萬元，結果被測出含有放射性物質，全數退回工廠，遭到檢方起訴，法院分別判處陳、周兩人 8 個月、6 個月有期徒刑。

寬頻房訊發言人徐華辰表示，此工廠位置比較偏僻，加上廠房內部都已毀損嚴重，就算投標人接受，還要處理後續的廢棄物丟棄、以及廠房修繕等問題。而此次也是該工廠第 3 輪被放上法拍市場，2015 年進行一拍時，曾因故停拍，之後都以流標收場，預估此次法拍物件對投標人來說投標願意較低。

(發布日期 108 年 10 月 29 日)

➔ 行政院原子能委員會發布有關 108 年 10 月 29 日有關媒體轉載「荒廢 20 年幽靈工廠淪法拍 傳殘留輻射物質無人敢接手」之回應說明。 [訊息連結](#)

有關媒體轉載「荒廢 20 年幽靈工廠淪法拍 傳殘留輻射物質無人敢接手」報導，原能會本於核能安全主管機關職責，謹就報導相關內容回應說明如下：

一、有關媒體報導幽靈工廠，係為中國金屬公司金山廠，該工廠座落於新北市金山區。中金公司主要進口含天然放射性物質之鈦鐵礦為原料，以硫酸法製造二氧化鈦，其產品廣泛應用於油漆、塗料、造紙、油墨、塑膠、橡膠及陶瓷等工業。後來由於我國環保法規管制日趨嚴格，民眾環保意識抬頭，加上生產成本提高，致使金山廠自民國 88 年元月停工迄今，廠房呈現閒置狀態。

二、中金公司金山廠廠區內目前存有越南進口鈦礦砂約 2,954 噸，表面劑量率約為 0.36 微西弗/小時 (0.36 $\mu$ Sv/hr)；用於提煉礦物的原礦廢酸沉降槽 2 只及溶解槽 2 只，表面輻射劑量率約為 0.143~3.986 微西弗/小時 ( $\mu$ Sv/hr)。經檢測含有天然放射性核種鐳-226，但未含人工核種，屬輕微輻射異常。

三、這類受天然放射性物質衍生廢棄物污染的廢金屬輻射劑量很低，對民眾的健康風險影響甚微，並不是大家所認知的放射性廢棄物，更非核廢料，對場所外民眾安全與環境並無影響。原能會本於核安守護者的信念，於 96 年起將沉降槽及

溶解槽等進行列管，並依「天然放射性物質衍生廢棄物管理辦法」之規定執行管制，每月派員執行檢查，防止廠內的廢鐵金屬被不當外釋。

四、中金公司金山廠以含有天然放射性物質之鈦礦為原料生產二氧化鈦，其廢棄物含有微量天然放射性物質，並無人工放射性核種，因此不適用放射性廢棄物之管制，國際上的管理法規也是如此。再者，廠區內部分附著天然放射性物質的設備、機具及管件等廢金屬，屬於人民的私有財產，由於對廠外民眾及環境並未構成輻射安全危害，原能會無權予以強制處分。但原能會仍持續督促業者積極處理列管之天然放射性物質及其衍生廢棄物，並提供輻防專業及技術諮詢，輔導中金公司清理金山廠的衍生廢棄物，以澈底解決問題。

五、在業者完成天然放射性物質及其衍生廢棄物清理作業前，原能會除持續加強派員檢查外，並已洽請當地警察分局於金山廠區大門設置巡邏箱及監視器，加強監督管制，與大眾一起守護環境安全。

(發布日期 108 年 10 月 30 日)

➔ 原能會發布 108 年 10 月 30 日有關媒體刊載「核四燃料棒又送出 廠內剩餘燃料棒所剩無幾」之回應說明。[訊息連結](#)

108 年 10 月 30 日有關媒體刊載「核四燃料棒又送出 廠內剩餘燃料棒所剩無幾」內容報導，原能會本於核能安全主管機關職責，回應說明如下：

一、有關媒體報導「核四燃料棒又送出 廠內剩餘燃料棒所剩無幾」，並非事實，該項作業係為台電公司於 10 月 30 日執行核二廠 1 號機第 27 批次填換核子燃料的運送作業，係屬核電廠正常運轉的例行作業，並非核四廠燃料外運作業。本批次核子燃料已於今日凌晨安全運抵目的地核二廠。

二、由於核燃料屬核子保防物料，依據國際原子能總署「核物料和核設施實體防護之核子保安建議第五版」(INFCIRC/225/Revision 5)，運送時間及路線等相關運送作業資訊，有嚴格的保密要求。

三、本案台電公司於 108 年 9 月 11 日提出運送及輸入申請，經原能會審查符合「核子燃料運作安全管理規則」第 4、10 條規定，於 108 年 9 月 20 日核准。

四、本批次核二廠核燃料的輸入作業，台電公司依據原能會核備之「核子燃料運送計畫」與「核子燃料安全管制計畫」暨國際核子保防及保安規定執行運送作業，並在原能會派員嚴密監督及武裝警力安全戒護下，順利完成運送作業。

五、原能會做為全民的原能會，核安的守護者，對於台電公司核子燃料相關運送作業皆嚴格執行檢查，以確保安全。

(發布日期 108 年 10 月 30 日)

➔ 聯合報報導「大自然是高階核廢處置榜樣」。[訊息連結](#)

高階核廢料是目前我國面臨的難題，也是國際關注的環保議題。

倘若高階核廢料長存地面，千秋萬世都要面對戰爭、恐攻、天災或人為疏失造成的輻射威脅，而且後世要長期承受安全貯存的財務重擔，因此亟需設法與生活環境長期隔絕。

國際上研討過各種創意思維與處置技術，包括太空、深海、深孔等，但經評比後的共識，認為深層地質處置是最安全的方式。

縱觀人類文明發展，僅有六、七千年的時光，無從驗證要能隔絕十萬年以上的地質處置場，許多民眾也認為最終處置是不可能的任務。然而在大自然中，確實能發現與外界長期隔絕的事證，其中最常見的是黏土的阻絕能力。

義大利中部杜納若巴戶外博物館的窪地中，矗立著五十多棵化石樹，多為一九七〇年代從二百五十萬年前沉積的黏土層中挖掘出來的，被黏土包圍的樹幹與樹根，並未風化或石化，樹皮與木質依舊保持原貌，顯見周遭的黏土阻滯了氧氣與地下水的出入，大幅減緩樹木的氧化分解與取代作用，故能保存木質結構百萬年以上。

一九八一年在加拿大雪茄湖四百多公尺深處，發現全球最大的高品位鈾礦，較特別的是，礦體上下包覆了五到三十公尺厚的黏土。自十三億年前形成以來，歷經多次造山運動、地面侵蝕與抬升，礦體始終維持著穩定狀態。由於黏土透水性極低，大幅降低鈾礦與地下水的化學反應，並有效阻滯核種流失，所以水文隔絕顯然是長期保存高品位鈾礦的主因。

這些自然現象，可以佐證適合的地質環境可與外界隔絕十萬、甚至百萬年以上，也提升世人對高階核廢料處置的信心。

民選政府受公眾信賴與託付，必須負責解決民眾面臨的輻射威脅，因此各國不得不考量本身有利的自然條件，逐步探查境內地質環境，依法選出條件相對較佳的處置場址。

反觀我國，自從退出聯合國後，朝野對核廢料處置的認知難與國際接軌，又欠缺核廢料管理法規與管理機關，大量核廢料放著不管，等待後世來承受？該是立法與行政部門覺醒的時候了！

(發布日期 108 年 11 月 18 日)

➡ 行政院原子能委員會放射性物料管理局發布 108 年 11 月 18 日有關媒體刊載「大自然是高階核廢處置榜樣」之回應說明。

[訊息連結](#)

有關媒體刊載「大自然是高階核廢處置榜樣」相關報導，原能會感謝作者長期關注國內核廢料處置的議題，並提供專業意見。原能會本於放射性廢棄物安全主管機關職責，謹就相關報導內容說明如下：

一、作者於報導所提「國際上研討過各種創意思維與處置技術，包括太空、深海、深孔等，但經評比後的共識，認為深層地質處置是最安全的方式。」，依目前國際發展趨勢，誠屬事實。基本上，國際間目前對於用過核子燃料的最終處置，一致採行深層地質處置的方式，以多重障壁的設計，將用過核子燃料置放於地表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，使其與人類生活圈完全隔離。

二、我國放射性物料管理法(簡稱物管法)於民國 91 年 12 月 25 日公布施行後，原能會並陸續訂定三十餘項相關管理規範。其中，依據「高放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第三條之規定，高放射性廢棄物最終處置應採深層地質處置之方式，此一要求與目前世界潮流之發展相符。

三、全球各核能發電的國家，其最終處置計畫的完成時程各有不同，例如美國為 2048 年、德國與中國大陸約為 2050 年、韓國為 2053 年、捷克為 2065 年。目前芬蘭、瑞典、法國進展時程較快，已經決定最終處置場的地點。芬蘭及瑞典分別預定於 2023 年及 2030 年啟用處置設施，法國預訂於 2025 年啟用先導處置設施。惟核廢料設施係為高度鄰避設施，常因選址作業造成計畫時程延宕，為世界各核能國家共通的問題，也是目前多數國家所遭遇的共同困境。為因應處置設施選址作業的高度不確定性，原能會已要求台電公司應持續強化選址作業之公眾溝通，以化解社會各界疑慮，始能順遂最終處置計畫之推動。

四、台電公司依據物管法之相關規定，逐步依據核定的「用過核子燃料最終處置計畫書」推動處置計畫，計畫依階段分為「潛在處置母岩特性調查與評估」(2005~2017 年)、「候選場址評選與核定」(2018~2028 年)、「詳細場址與試驗」(2029~2038 年)、「處置場設計與安全分析評估」(2039~2044 年)、「處置場建造」(2045~2055 年)等五個階段，處置設施預定於 2055 年啟用，與前述國際間的高放處置設施啟用時程相近。另台電公司已於 2017 年完成「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」(SNFD2017 報告)，並經國際同儕審查作業。原能會另已要求台電公司的高放處置技術發展應與國際同步，並持續精進與滾動檢討我國高放處置計畫內容與技術發展，俾利依計畫規劃時程如期推動。

五、作者另提及「國內欠缺核廢料管理法規與管理機關」部分，目前國內核廢料處置業務依法係由台電公司負責，行政院已於 105 年 11 月 17 日第 3523 次院會決議通過經濟部提出「行政法人放射性廢棄物管理中心設置條例」草案，並於 105 年 11 月 18 日送請立法院審查中。該核廢專責機構，期以專責專業、公正客觀、資訊透明與公民參與等特色，爭取民眾信任，以妥善處理核廢料。

六、針對民眾倡議採用區域合作處置的方式，以解決國內核廢料的問題，區域合作處置雖符合行政院 86 年修正頒布之「放射性廢料管理方針」，也未被國際公約所禁止，然我國的用過核子燃料境外處置議題涉及國際相關核子保防協定，且需依「台、美民用原子能合作協定」執行。再者，由於國際間並無成功的合作處置案例可供依循，亦無自願提供場址做為處置設施地點的國家，因此國際間對此議題仍處於構想階段，尚無法實質解決國內核廢料問題。

七、核廢料安全貯存是專業問題，也是社會大眾關注的問題，原能會將持續秉持專業技術外，也會站在社會大眾的角度思考問題、處理問題，讓民眾可以安心放心。

(發布日期 108 年 11 月 18 日)

➡ 行政院原子能委員會發布有關媒體刊載「福島核污水 環團籲不應排放海洋」之回應說明。[訊息連結](#)

有關媒體刊載「福島核污水 環團籲不應排放海洋」乙文，提及環團呼籲原能會應持續監測日本污水對台灣附近海域帶來的影響，且應透過外交管道，要求日本政府停止排放核污水的計畫。原能會對於環保團體提出建言表達感謝，並做以下回應說明：

一、為確保我國海域及國人飲食相關之輻射安全，原能會已長期密切關注福島核電廠輻射物質對我國的影響，並與相關部會合作，持續採行多項監測防範措施，建構嚴密防護網。

二、有關日本政府對於福島核電廠污水的處理方式，原能會已透過台灣日本關係協會向日本政府表達關切，並請日方基於 2014 年台日核能管制資訊交流備忘錄之互惠精神，若未來決定將輻射污染水排入太平洋，儘早知會我方，另原能會持續透過我國駐日本代表處，蒐集日本政府所發布的福島輻射污染水資訊，以作為調整及提升因應作為之參據。

(發布日期 108 年 11 月 7 日)

➡ 行政院原子能委員會發布 108 年 11 月 13 日有關媒體報導重啟核四議題之回應說明。[訊息連結](#)

對 11 月 13 日媒體報導有關重啟核四議題，原能會謹就核能安全主管機關的立場，回應說明如下：

一、核四廠自興建以來，尚未完成所有必要之測試與認證程序，部分燃料裝填前應完成事項，包括福島強化措施設置與核四廠地質相關議題再調查評估等，亦尚未辦理完成，同時，歷經停工封存及資產維護，核四廠現階段的組織人力、機組設備狀況亦須重新檢視是否需再測試或重新購置更新。因此，現階段的核四廠並非一審核驗證，符合整體安全要求的核能電廠。

二、核四廠是否重啟，係由能源主管機關經濟部與台電公司就各項必須考量之主、客觀因素，由工程可行性及經濟效益等面向審慎評估後決定。若台電公司提出核四廠重啟申請，就核安管制觀點，台電公司必須先就重啟提出完整的規劃與現況盤點，再逐步完成核子燃料裝填前應辦之各項核安、輻安與緊急應變相關事項，以及相關起動功率測試，各階段均需經本會審核同意。最後，須經本會審核確認符合整體安全要求，發給運轉執照後，方能正式運轉。

三、本會為獨立之核能安全管制監督機關，將本於職責，以安全為最高管制原則，嚴格執行核能電廠之整體安全監督作業，做好安全把關的工作。

(發布日期 108 年 11 月 13 日)

➡ 原能會發布 108 年 11 月 13 日有關媒體報導「提及用過核燃料再處理及高階核廢料最終處置議題」之回應說明。[訊息連結](#)

有關媒體報導提及用過核燃料再處理以及高階核廢料最終處置議題，原能會本於核能安全主管機關職責，謹就國際間高放最終處置所面臨困難、用過核燃料再處理費用，以及再處理後相關廢棄物之處理問題，回應說明如下：

一、核廢料處理具有高度鄰避性，世界各核能國家都面臨艱鉅的挑戰，是國際間共通的問題。以美國與日本為例，美國自 1955 年開始推動放射性廢棄物處置場計畫，國會於 1987 年指定雅卡山(Yucca Mountain)為高放處置場址，歐巴馬政府於 2010 年暫停雅卡山處置計畫，迄今仍無法處理，川普政府上任後也未見進展。而鄰國日本自 1976 年展開高放處置研究計畫，仍尚未選定處置場址。因國內特定地質環境有限，台電公司要選定合適地點作為處置場址，其困難度與挑戰性更為艱鉅。

二、另外報導中提及「核廢料處理技術已經突破，轉化為燃料」乙節，台電公司曾在 104 年間規劃執行核一、二廠小規模國外再處理用過核燃料 1,200 束(約 214 公噸鈾)，預算費用為 113 億，意即用過核子燃料再處理每噸約需 0.52 億元。依台電公司估算，核一、二、三廠六部機組營運 40 年共約產生 5,048 公噸鈾。倘國內所有用過核燃料皆採再處理，需耗費約需 2,665 億元。此費用尚不包括再處理後產生高放射性廢棄物的貯存與處置費用，我國核能後端基金恐須倍增方能足以支應。

三、再者，即便委託國外進行用過核燃料再處理，再處理後產生的高放射性廢棄物，仍需運回國內進行最終處置，並無助於解決國內用過核燃料最終處置的問題。

四、原能會守護核能安全，核廢料處置所需之安全考量與國際標準一致，並應依相關法規規定務實面對，以保障公眾與環境安全。

(發布日期 108 年 11 月 13 日)

- ➔ 聯合新聞網報導「日法芬擁核德廢核 輻射廢料難安置」。 [訊息連結](#)

法國、日本、芬蘭都還在發展核電，但德國仍堅持廢核理念，因為現有的核廢料存儲已成為大問題，臨時設施僅容許存放數十年，這與地質條件缺乏花崗岩有關。

同為歐盟領頭羊的法國約有 75% 的電力來自核能，運用低碳排的核能來應對全球暖化，未與德國達成能源方針共識，甚至連日本也在逐步恢復核電。

德：核能不安全不永續

根據《電遊》報導，「核能既不安全，也不可永續，不具成本效益，」德國能源大臣安德烈亞斯·費希特卻在 9 月的歐盟能源部長會議上說，「因此，我們拒絕歐盟撥款來延長核電廠壽命的想法。」德國在廢核的觀念上領先他國，現今仍在運作的 7 個核電廠將於 2022 年關閉，但哪裡可存埋 28,000 立方米（約 6 座大笨鐘）的致命輻射廢棄物超過百萬年？

根據《CNN》報導，高輻射核廢料現被儲存在臨時設施中，通常位於核電廠附近，「但僅被設計用來容納核廢料數十年左右。」慕尼黑工業大學環境氣候政策主席施雷爾斯說，臨時存儲站遍布德國數十個地方，要尋找能深埋地下 1 公里的永久存放所，地質必須非常穩定，不能有地震或是滲水多孔的岩石。

芬蘭還要建核電廠

芬蘭擁有 4 個核電廠，並計劃在未來進行更多建造，芬蘭在該領域處於世界領先地位核廢料被深埋在花崗岩基岩中。施雷爾斯說，德國的問題是「它沒有很多花崗岩。」而必須將核廢料掩埋在鹽岩，粘土岩和結晶花崗岩中。目前，沒有人希望在他們家門口有一處核廢料場。

日本持續重啟核電

日本是世界第 5 大碳排放國，設定了到 2030 年將排放量從 2013 年減少 26% 到 10.42 億噸的目標。數據顯示，最新數字比 2013 年減少 11.8%。自 2011 年福島核災難以來，日本已重啟 9 座核反應爐。核能發電量佔日本發電量的 6.2%，是每年 3.1% 的 2 倍。2018 財政年度綠色能源佔發電量的 16.9%，火力發電佔 76.9%。

(發布日期 108 年 12 月 1 日)

- ➔ 原能會發布 108 年 11 月 29 日有關蘭嶼「核廢料遷出蘭嶼，拒絕福利殖民」之回應說明。 [訊息連結](#)

108 年 11 月 29 日有關蘭嶼部落文化基金會記者會之新聞稿「核廢料遷出蘭嶼，拒絕福利殖民」，原能會本於核廢料安全主管機關職責，回應說明如下：

一、核廢料為高度鄰避設施，是世界各核能國家共通的問題，核廢料確實是國內很難處理的問題。低放核廢料處置場選址作業，因地方反對而未能選定場址，致使蘭嶼場遷場計畫未有進展，必須先建立社會共識方能解決。

二、基於尊重蘭嶼居民核廢遷出的願望，原能會已於 106 年 2 月審定台電公司提報「蘭嶼貯存場遷場規劃報告」，並要求台電公司應將蘭嶼核廢料運回產地（即台電核能電廠），或是將蘭嶼核廢料送至集中式貯存設施貯放管理，以儘早落實蘭嶼貯存場遷場計畫。

三、行政院國家永續發展委員會於 105 年 11 月 3 日成立「非核家園推動專案小組」，除經濟部、原能會、環保署及其他相關部會外，並邀請民間團體、在地居民、專家學者代表共同參與，並將蘭嶼貯存場遷場規劃列為重要推動事項。108

年 3 月 15 日「非核家園推動專案小組」第四次會議決議，要求台電公司積極推動興建「放射性廢棄物中期暫時貯存設施」，並展開社會溝通。

四、原能會做為全民的原能會，在廢棄物桶尚未遷出蘭嶼之前，原能會本於職責將嚴格監督台電公司執行「提升蘭嶼貯存場營運安全實施計畫」，以增進貯存場的營運安全，並做好遷場前的準備作業。原能會亦將持續嚴密監督蘭嶼地區的環境輻射監測，切實保障蘭嶼民眾輻射安全及環境品質。

(發布日期 108 年 11 月 29 日)

➡ 大紀元報導「阿德萊德醫院研發新技術追蹤消滅癌細胞」[訊息連結](#)

阿德萊德醫院 ( RAH ) 研發的抗癌技術最近有重大突破，使其成為數十年來此類技術最大商業合約的世界首例臨床試驗。

據星期日郵報 ( Sunday Mail ) 南澳版報導，RAH 醫院開發的利用放射線追蹤和殺死癌細胞的新技術將於明年開始在肺癌和卵巢癌患者上進行臨床試驗。

RAH 癌症臨床試驗部門負責人布朗 ( Michael Brown ) 教授說，涉及 APOMAB 抗體技術的治療有望改變實體癌的治療方式，並有望提高生存率。

「該測試使用的抗體攜帶低劑量的輻射，並靶向由垂死或死亡的癌細胞產生的特定蛋白質。」布朗教授說，「輻射信號是通過 PET 掃描採集的，因此我們可看到化療對患者癌細胞的殺傷力如何。我們的試驗旨在測試抗體如何靶向特定癌細胞以提供低劑量輻射。」

「如果這種方法有效，我們可以測試另一項試驗，帶有更高劑量放射線的抗體如何破壞被放射線靶向死亡的癌細胞所圍繞的活癌細胞。」

首批試驗將針對接受化療的肺癌和卵巢癌患者，但這種方法有可能提高其它癌症治療的有效性。

南澳衛生和福利廳長韋德 ( Stephen Wade ) 說，對當地研究進行 3,300 萬澳元投資，這是阿德萊德研發技術 20 年來最大的商業合約。「在 AusHealth 的推動下，RAH 研究人員與製藥投資者建立起合作關係，這有助於快速將這一重要技術帶給患者。」他說，「這項試驗是 RAH 近十年研發的結果。相對較新的癌症治療方法具有改善治療方案和生存的潛力。」

AusHealth 是一家以盈利為目的的公司，目前正在支助該項目。該公司支持創新醫療技術的商業化，並將資金投入到阿德萊德中央地方衛生網絡的研究中。

AusHealth 董事總經理約翰森 ( Greg Johansen ) 表示，從明年起，RAH 患者將試用 APOMAB 技術。「這是世界一流的合作夥伴關係，是布朗教授及其團隊十年研發的絕頂成果。」他說，「我們期待該試驗的結果，該試驗將評估靶向放射治療的成功性，並有可能突破實體癌治療方法。」

該試驗的招募將於 2020 年初開始。

(發布日期 108 年 11 月 28 日)

➡ 中央廣播電台報導「福島清理作業減少輻射汙染 但未處理森林區」。[訊息連結](#)

法國科學家 12 日在「土壤」(Soil)期刊指出，日本福島核電廠的清理作業，已大量減少輻射汙染，但未處理的森林區域仍是一大問題。

福島核電廠於 2011 年遭大規模地震及海嘯重創，引發的核災規模僅次於 1986 年車諾比(Chernobyl)核災事故，外洩的輻射物質遍及廣大區域。日本當局鎖定

9,000 平方公里污染最嚴重土地進行補救工作。

根據「土壤」期刊上針對清理作業研究的評估，補救作業包括刮除土壤最上層五公分，已證實能降低約 80%最普遍污染源「銫 137」(Caesium 137)。

評估報告第一作者、巴黎附近氣候與環境科學實驗室研究員艾夫拉(Olivier Evrard)表示，在最接近的地區，這項方法已證明能有效處理「銫 137」。

然而，評估報告也表示，這項方法有嚴重缺點，除了迄今至少耗費 240 億歐元(270 億美元)，此處理方法也產生大量廢棄物，即 2,000 萬立方公尺表土，大多數表土可能將需安全儲存 30 年，最後再進行處理。

主要的問題是，補救工作僅在可耕地及其他易接近的土地上進行，但占污染區約四分之三的森林區域仍未經處理。

(發布日期 108 年 12 月 13 日)

➔ HiNet 生活誌報導「揪出全身癌症、腦病變「正子斷層掃描」5 分鐘搞定」[訊息連結](#)

正子斷層造影(PET)結合電腦斷層掃描(CT)是目前醫界診斷癌症、心臟病，以及腦部神經精神疾病等具突破性的重要診斷工具。中國航運公司榮譽董事長彭蔭剛先生於 2017 年被診斷出胰臟癌，經振興醫院一般外科蘇正熙教授花了近七小時施行手術，順利復原，彭先生為了感謝蘇正熙教授的「救命之恩」，決定慨捐 200 萬美金，協助醫院購置最新型五環數位廣域正子 / X 射線斷層掃描儀(PET/CT)，以回饋社會及嘉惠病友。

追蹤測定葡萄糖代謝 癌細胞無所遁形

振興醫院核子醫學部劉仁賢主任指出，氟-18(F-18)是最常用的正子同位素，劉仁賢主任表示，標誌葡萄糖(F18-FDG)後，經由靜脈注射入體內，參與細胞的代謝，追蹤測定 18F-FDG 在體內的聚積及消長，即可了解病患體內的腫瘤、罹病的器官與組織葡萄糖代謝異常的情形，可在發病早期精確診斷疾病，獲得早期治療機會。

癌細胞基因異常醣解率比正常細胞高，因此，癌腫瘤在 PET 影像中，呈現 18F-FDG 高攝取的熱點，有別 CT 以腫瘤大小以及其他影像的特徵診斷惡性腫瘤，靈敏度及專一性均高於 CT，分別高達 93%與 96%。

全身掃描只需 5 分鐘 輻射量減少一半

振興醫院新購置的數位型 PET/CT 有最長的 5 環偵測頭、靈敏度最高且高解析度，劉仁賢主任說明，與美國 MD 安德林癌症中心及梅約診所兩大國際一流醫學中心同步，全身掃描只需傳統時間的三分之一，約 5 至 10 分鐘，身體不適的癌症病患較能忍受檢查過程，正子同位素劑量也只需傳統 PET 檢查的一半，病患輻射曝露量因此降低。

以 PET/CT 作為癌病篩檢工具，根據日本及國內經驗與文獻報導，「健康人」作 PET/CT，癌病檢出率約 1.5 %左右。研究報告指出，「健康人」經多種癌病篩檢檢查及 PET/CT 診斷，早期癌症診斷率可提高到 95.7%。F18-FDG PET 檢查輻射劑量不高，輻射量大約是 10 mSv(毫西弗)，而振興醫院新購置的數位型

PET/CT 輻射量減少了一半，約 5 mSv。

PET/CT 應用 輔助冠心病疾病、失智症診斷

PET/CT 在癌病診療的應用概分為：

- 1、腫瘤偵測與良惡性腫瘤之鑑別診斷
- 2、癌病分期與預後判斷
- 3、評估治療的效果、癌病治療後疑腫瘤復發之診斷與再分期
- 4、輔助放射治療計劃。

除此之外，18F-FDG PET/CT 搭配心臟血流灌注檢查，可輔助冠心病疾病的診斷，評估梗塞後或心肌病變心肌的存活性，以及偵測血管粥樣硬化發炎程度。應用於腦疾病的診療，可協助診斷失智症等退化性腦病變及癲癇病灶定位。

彭蔭剛助醫院添置高階儀器 造福病患

振興醫院魏崢院長表示，「熙雲正子影像中心」於 2019 年 12 月 13 日正式揭幕啟用，秉持「慈善心、服務情」宗旨，提供癌症病患最優質的健康照護。近日彭蔭剛先生及其家屬又再次表達捐贈美金 100 萬元，作為培訓本院醫務人員對 5G、AI 及大數據方面的認識與應用。落實在癌症及心臟與神經精神疾病患者的照顧上，造福更多病患！

(發布日期 108 年 12 月 16 日)

## 即時訊息與新知分享

- ➔ 輻射偵測中心辦理手提輻射偵檢器校正服務，開跑了！  
[訊息連結](#)。

原能會輻射偵測中心之加馬劑量校正室，係通過國家認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)之認證實驗室，提供手提輻射偵檢器之校正服務，並出具含有 TAF 認證標誌之校正報告。

服務項目內容、收費方式請參考右方連結：[收費方式](#)

(發布日期 108 年 11 月 23 日)

- ➔ 2019 劑量評估程式應用研討會



**2019 劑量評估程式應用研討會**  
2019 Workshop on Dose Assessment Codes Application

12/9

**主題 1 放射性廢棄物運送及屏蔽計算程式**  
主持人：尹慶雲教授 / 原能會核能與核子工程研究所

12/10

**主題 2 醫療診斷劑量程式**  
主持人：曾慶平教授 / 清華大學核子工程研究所

**主題 3 核電廠 RAMP 程式應用**  
主持人：王瑞麟博士 / 核能與核子工程研究所

主辦單位：原能會、核能與核子工程研究所、清華大學、核能與核子工程研究所、清華大學核子工程研究所、清華大學核子工程研究所

輻射防護協會與核能、新能源教育研究協進會、清華大學原子科學技術發展中心共同主辦，清華大學核子工程與科學研究所共同協辦「2019 劑量評估程式應用研討會」。

主題 1：放射性廢棄物運送及屏蔽計算程式

主題 2：醫療診斷劑量程式

主題 3：核電廠 RAMP 程式應用

活動時間：12 月 9-10 日

活動地點：清華大學綠能管 R208 創意 Cafe

# 韓國放射部門交流計畫 (Korean Radiological Department Visit Program )

財團法人輻射防護協會編輯小組 / 整理報導

## 前言

財團法人中華民國輻射防護協會為鼓勵國內學子從事輻射防護相關領域研究及從事國際交流，分別在國立清華大學原子科學院、元培醫事科技大學醫學影像暨放射技術系，以及美洲保健物理學會臺灣總設置財團法人中華民國輻射防護協會獎學金。

輻射防護協會也陸續向近年之獎學金得主邀稿，刊登於輻防簡訊與大眾分享其研究成果。已刊登的清華大學歷屆獎學金得主文章有：賴柏倫 - 第 148 期

「質子治療加速器的屏蔽設計與劑量分析」；劉育容 - 第 149 期「介入性放射診療之醫療工作人員眼球水晶體劑量探討」；賴柏辰- 第 150 期「用過核子燃料乾式貯存筒介與混合式輻射遷移計算屏蔽分析應用」；楊子毅 - 第 151 期「台灣熱門航線的飛航劑量」。

本年度元培醫事科技大學的獎學金得主為 - Ei Phyu Thae (曾美惠)，曾同學運用這筆獎學金參加由元培大學醫學影像暨放射技術系郭瓊文教授所帶領的韓國短期交流參訪團 (8/28~9/2)。該生在

參訪心得報告中說道：「我認為這個參訪機會對於我的職業發展是一個重要里程碑。為了實現理想的職業目標，我將會努力以最好的方式利用已獲得的技能和知識，並繼續提升自己的水平。非常感謝在參訪期間幫助和支持我的人，希望以後還有機會與大家合作。」，認為透過這次的參訪不僅充實醫院方面的實務知識，也建立起與國外影像技術師 (Imaging Technologists) 的國際交流關係。本文是由曾同學提供之心得報告整理而成。



元培大學交流團隊與延世大學醫院放射團隊於醫院一同合影

## 韓國放射部門交流計畫-參訪行程

期間 (8/28~9/2)	行程
Day 1	抵達韓國仁川國際機場
Day 2	參訪延世大學醫院 (Severance Hospital)、新丘(Shin Gu) 大學，與大韓放射線士協會(Korean Radiological Technologist Association, KRTA)
Day 3	參訪首爾大學醫院 (Seoul National University Hospital)
Day 4	參訪清州(Cheong Ju)大學
Day 5	城市導覽
Day 6	參訪大韓防磁工程 (Dae Han Engineering Industry) 與聖瑪麗醫院 (St. Mary Hospital)；賦歸

**延世大學醫院**

Severance 醫院是延世大學醫療院所屬的醫院，也是南韓最古老與最大的大學醫院之一，設有 3,700 張床位，每年約有 3 百萬名門診病人和 1 百萬名住院病人。此次行程受邀至醫院的影像部門參訪學習，受到醫院的放射團隊與該部門的負責人熱情接待。該院資深放射治療師(Radiographers)向參訪學員說明

在執行 MRI 前應該如何確認 MR 的安全性與常規程序，雙方也藉這個機會討論日常工作量與操作程序。除了 MRI 的操作執行也利用實際影像說明 CT 掃描執行程序，能夠將課程中曾學過的程序與實際做連結。緊接著參觀醫院 X 光科、介入性放射部門、核子醫學科、癌症治療中心，以及醫院的博物館。實地參訪讓學生能夠了解到最新知識與現

場工作經驗，也了解到這座醫院建立的歷史。

**新丘大學**

參訪新丘大學放射學系過程中認識了該校的課程內容與韓國學生的校園生活。教授生動的教學也讓參訪學生對核子醫學與電腦斷層掃描有了初步的認識，並實地了解乳房攝影的過程，也獲得機會與教授進行討論。



延世大學醫院團隊介紹電腦斷層掃描



乳房攝影程序介紹



延世大學醫院放射治療中心



參觀新丘大學 Woo Chon 博物館

## 首爾大學醫院

首爾大學醫院是韓國歷史悠久的大型醫院之一，也是國立首爾醫學大學的教學醫院。該大學醫院的放射科是引領全球的研究團隊之一，在 2013 至 2017 間一共發表了 1,043 篇論文。參訪團在首爾大學醫院的醫學影像與放射部門負責人的介紹帶領下進行該部門參訪行程。在這次行程中學習到最新型的全身分子影像整合核磁共振造影 (PET/MRI)設備的操作，透過這台設備，一次檢查可以同時提供病患的分子影像(PET)與磁共振造影(MRI)等資訊。從參訪中了解，該醫院的專業放射師(Radiologists)持續透過進行大量的臨床前、過渡期、臨床和多學科研究不斷推動創新，以利推動新影像技術的發展、臨床應用與驗證。



全身分子影像整合核磁共振  
造影設備操作介紹

## 清州大學

清州大學是一所位於清州市的私立大學。此次的參訪目標是清州大學的放射科學系，系上教授們熱情的接待台灣參訪團並介紹分享系上許多教育資源與學習材料，從系上的活動報告成果得以窺知該系學生富有創造力。

### 大韓防磁工程

參訪的最後一天先到大韓防磁工程進行訪問，目的是學習了解 MR 掃描過程中使用的防護材料。負責人向參訪團說明該公司的商品特性，也讓參訪員現場看到了輕型便利的 MR 滑門等。



清州大學放射系教學材料

## 聖瑪麗醫院

聖瑪麗醫院建立於 1995 年，是仁川市頂級醫療中心之一。感謝聖瑪麗醫院的放射部門職員熱情的接待，放射部門的專家向參訪團介紹該部門的日常工作，並帶領大眾參觀解說醫院的透視室、電腦斷層掃描室，以及移動型 X 光檢測設備等。

### 結語

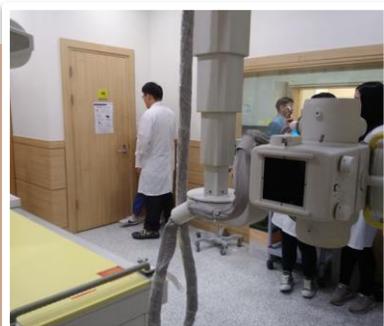
此次參訪行程訪問了 3 所醫院(其中有兩所大學醫院)、2 所大學、放射線士協會以及工程公司。透過此等機會學生得以和來自不同單位的專家、技術師進行交流，從不同角度面向進行討論進而獲得相當多寶貴的實務知識。



清州大學放射系教學設備



大韓防磁工程商  
工業化程序介紹



聖瑪麗醫院透視室



聖瑪麗醫院移動型X光檢測設備



## 2019 劑量評估程式應用研討會

作者 賴柏倫

財團法人中華民國輻射防護協會 助理研究員

作者 李孟秦、簡佳玉

清華大學核子工程與科學研究所

### 前言

近年來國內原子科學相關應用正邁入新的領域與挑戰，包含核一、二廠面臨屆齡除役，各大醫院發展質子/重離子治療中心等。在核電廠、醫療院所乃至於其他民生輻射應用，不論是進行工作人員的劑量評估、設施屏蔽設計、或是評估意外事故發生後輻射對民眾的影響，都顯示出劑量評估的重要性。

為了實踐輻射防護協會創立的初衷，特別辦理「2019 劑量評估程式應用研討會」，並邀請核能與新能源教育研究協進會、清華大學原子科學技術發展中心共同主辦，核子工程與科學研究所共同協辦，期望此一應用研討會能成為國內劑量評估程式使用者之間的交流平台，從而達到知識分享並共同提昇國內輻防工作的專業度。

### 主題一：放射性廢棄物運送及屏蔽計算程式

根據經濟部提供的放射性廢棄物貯存現況數據，國內目前有五處設有放射性廢棄物的貯存設施，包含 3 座核能電廠、核能研究所與蘭嶼低放貯存場。其中，三座核能電廠的貯存總量近 24 萬桶，核能研究所則有 1 萬 3 千桶的放射性廢棄物，蘭嶼低放貯存場在民國

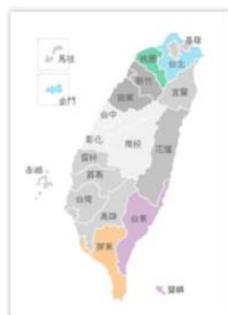
101 年檢整重裝後，貯存量為 10 萬餘桶。上述這些放射性廢棄物的來源不只有核能電廠，還包含來自全國的醫學、農業、工業、學術研究等。又，國家能源政策朝 2025 非核家園的目標邁進，可以預期的是，未來在核電廠除役時，會伴隨大量的低放射性廢棄物產出。由於低放射性廢棄物處置設施未能如期選定場址，因此，目前的應變方案為設立放射性廢棄物的中繼站，將放射性廢棄物集中貯存，該過程將涉及大量的放射性廢棄物運送與貯存場的設計與建造，輻射安全僅為其中一項評估，但卻是人人注目的焦點。

12 月 9 號上午的主題聚焦於放射性廢棄物運送與貯存場屏蔽設計與輻射安全

之議題，輻協邀請賴柏倫、賴柏辰與黃昱翔三位講者，對此進行程式操作的經驗分享。

### RADTRAN 與 MicroShield 於低放運送之人員劑量評估 - 賴柏倫

首先，講者介紹國內低放射性廢棄物貯存現況，並依據放射性物質安全運送規則，解釋低放射性廢棄物在運送時，需考慮幾個牽涉運送的問題，包含運送包件屬於哪種形式、活度限值又是多少、包件類別等。而問題的解答分別為低放射性廢棄物屬於低比活度物質，其活度限制不可超過  $10^{-4}A_2/g$ ，包件的形式為工業包件，但是，若包件表面 10 公分處之輻射強度在每小時 0.1 毫西弗以下，則可用微量包件的方式運送。



蘭嶼鄉

台東縣



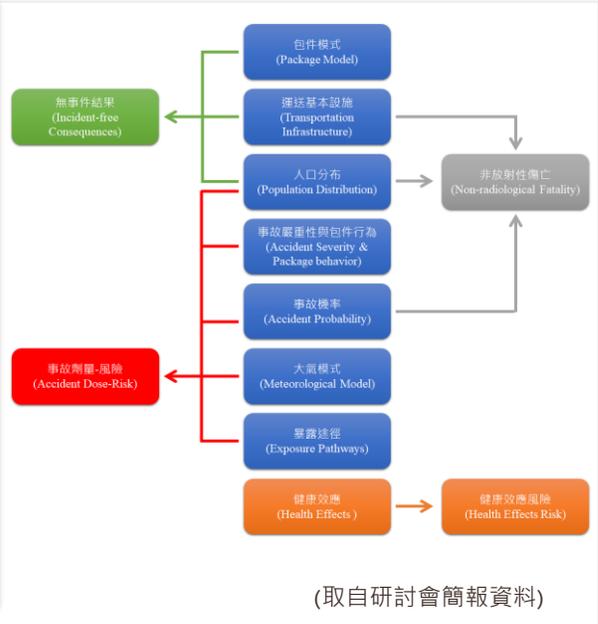
蘭嶼放射性廢棄物貯存場

總計貯存 100,277 桶

(取自研討會簡報資料)

# RADTRAN

- 光子、中子輻射
- 陸、海、空
- 正常/一般與事故運送劑量評估
- 事故與健康風險評估



接著，介紹 RADTRAN-6 與 MicroShield 兩款劑量評估程式。在 RADTRAN-6 方面，該程式起源於美國對用過燃料束的運送需求，因此，由 Sandia 國家實驗室發展一款評估運送放射性物質的劑

量與風險評估程式，該程式可評估光子與中子兩種輻射，運送模式主要以陸運較為詳盡，也可用於海運與空運的評估。在 MicroShield 方面，這款程式基於點核仁法評估劑量，優點是可以快

速地得到劑量，對於實際應用相當便利，且是經過美國國家標準協會(ANSI)的驗證。最後，講者為了讓與會者了解程式如何評估人員劑量以及運送的劑量水平，透過兩程式的應用與搭配，呈現一個以實際的運送案例計畫內容為主的劑量評估。

在問題與討論方面，與會者認為講者的案例參數過於保守，而講者強調，不同的目的與參數，會有不同的結果。在輻射安全的角度，儘管參數過度保守，並與實際情況有極大差距，但評估結果是符合規定的。若要精確地評估人員劑量與風險，則需要盡可能真實的輸入數據，包含放射性核種的種類與其活度、距離包件一米的劑量率以及運送工具與路線相關資訊。

### 乾貯設施輻射場特性分析與 QAD 程式相關應用 - 賴柏辰

由於 QAD 程式發展的歷史相當久遠，最近一期更新的版本是 1991 年發布的 QAD-CGGP-A。因此，講者以目前市面上可取得管道的 QAD 程式清單作為程式沿革的介紹。QAD 是一款基於 Kernel Integration 系統並廣泛用於屏蔽劑量評估的程式，簡單的說，其原理與 MicroShield 相同，均透過將射源切割成數個子單元，藉由積分每個子單元對偵檢器的劑量貢獻，以得到劑量率。QAD 的計算核心是由 Los Alamos 國家實驗室發展，後續參與程式發展的團隊眾多，其中也包含台灣的核能研究所。近期，QAD 程式最新的版本為 1995 年發表的 QAD-CGGP-A，透過 Combinatorial Geometry(CG)的加入，使得程式對於屏蔽的描述可以更為貼近現實，透過 Buildup Factor

(GP)的導入，以將散射輻射的貢獻納入考慮。另外，由於 QAD 的是一款 FORTRAN 語法的程式，對剛接觸的使用者相當不友善，因此，韓國的 Hanyang 大學團隊將其搭配 MATLAB

發展成 EASY-QAD，從字面上的意思就可以了解其發展目的。透過可視化的介面，讓使用者不僅可以更加清楚與了解對於問題的描述，進到程式端後是否有分歧或錯誤，也讓劑量評估結果的後

## EASYQAS Input

(取自研討會簡報資料)

- **EASYQAD**
  - Material
  - Source
  - Shields
  - Output (detector)

處理更加輕鬆，有多種呈現方式讓使用者選擇。延續 QAD 程式介紹，講者透過幾個簡單且典型的驗證案例，向與會者顯示 QAD-CGGP-A 以及其他擁有相同功能的輻射屏蔽劑量評估程式的評估結果，各個程式的評估結果相近，但計算時間卻有相當大的差異，尤其是以蒙地卡羅方法為主的程式。講者強調，

根據問題的複雜程度，有不同的做法，在問題的初步評估上，QAD 是一款相當有用的且保守的程式。

最後，講者向與會者介紹並分享用過核子燃料乾式貯存輻射特性分析研究成果。在這項研究中，講者手上擁有兩種評估劑量的利器，包含快速保守的決定論法與精確卻耗時的蒙地卡羅法，講者

利用兩者的優勢，進行輻射場的特性分析。在精彩簡報的尾聲，講者提到 QAD 程式對於用過核子燃料乾式貯存場的輻射場分析將會是一項利器，特別是在初步規劃階段，但是，QAD 無法處理天空散射輻射，因此，需要其他程式補足這一塊。

### 低放貯存場 SKYDOSE 輻射影響評估 - 黃昱翔

本主題最後一個報告是天空散射輻射的劑量評估程式介紹。首先，講者先解釋甚麼是天空散射輻射，天空散射輻射指的是接近大地表面的輻射源，向天空方向發射出的輻射線經由空氣分子散射後回到地面的現象。接著，延續前一個講者的提出議題，解釋為什麼放射性貯存場的場界輻射劑量貢獻中，天空散射輻射的劑量貢獻與直接輻射不相上下，甚至有更高的貢獻。造成的原因很簡單，因為當輻射源至偵測點的直接途徑上具有足夠厚度的屏蔽但頂部的屏蔽不足。由於能夠處理天空散射輻射的方法或程

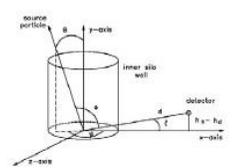
式不只一種，包含 1958 年 Lynch 提出的線束響應函數法 (Line Beam Response Functions)、1968 年 Kitazume 提出的單一散射近似法 (Single-scattering Method)、1996 年 Shultis 提出的線束積分法 (Integral Line-beam Response Method) 以及 2004 年許任均與江祥輝教授提出的首次碰撞核仁積分法等。因此，講者以易取得、免費、使用方便為出發點，介紹由美國堪薩斯州立大學 J.K. Shultis 教授基於線束積分法發展一款射源項為光子輻射的天空散射輻射劑量評估的程式，名為 SKYDOSE。SKYDOSE 內建三種模式供使用者選擇，包含 Silo、

Wall 與 Box，其目的是協助使用者決定輻射向天空發散的角度。需要輸入 SKYDOSE 的資訊也相當簡化，包含在輻射源至偵測點直接途徑上的屏蔽材質、密度厚度，以及空氣密度還有偵測點與輻射源的距離等。講者透過典型的驗證案例，向與會者展示 SKYDOSE 是如何評估天空散射輻射。

最後，講者以蘭嶼低放貯存場為例，使用精確卻耗時的 MCNP 蒙地卡羅與快速卻保守的 SKYDOSE 兩項程式，對此進行天空散射輻射的評估，兩者的評估結果相當一致。這樣的結果也補足了前一未講者對於放射性貯存場的輻射場分析不足的那一塊。

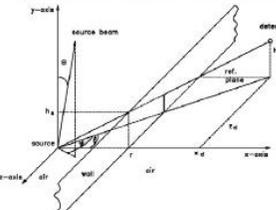
## Geometries Used in SKYDOSE

**Silo: Open Silo**



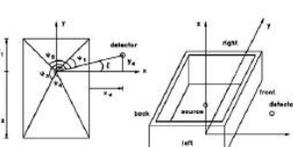
$$R(d) = \sum_{g=1}^G \frac{f_g S_p}{4\pi} \int_0^\pi d\varphi \int_{\omega_0}^1 d\omega \cdot R$$

**Wall: Infinite Wall**



$$R(d) = \sum_{g=1}^G \frac{f_g S_p}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{\omega_{min}}^1 d\omega \cdot R$$

**Box: Open Rectangular Building**



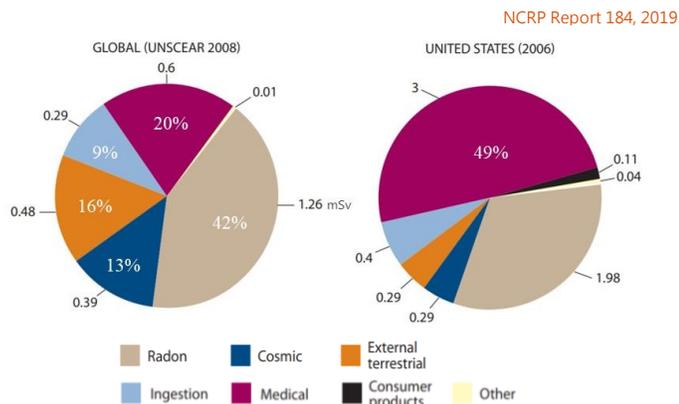
$$R(d) = \sum_{g=1}^G \frac{f_g S_p}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{\omega_{min}(\varphi)}^1 d\omega \cdot R$$

(取自研討會簡報資料)

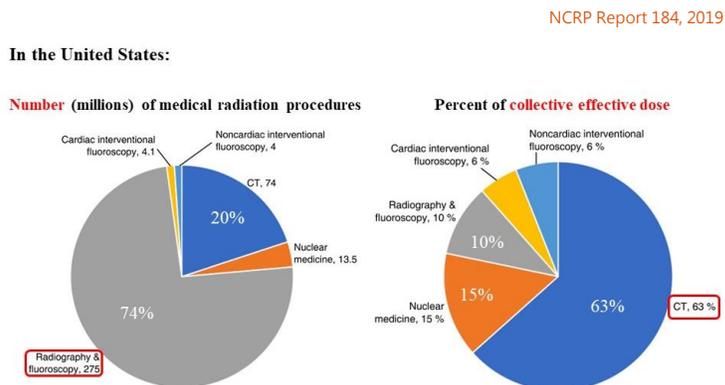
### 小結

從今天上午的主題可以發現，程式發展有其目的性，根據目的不同，可以採用不同方法或程式，相同問題可由多個程式間的搭配解決，亦可由單一的蒙地卡羅法劑量評估程式解決，而決定問題的結果不僅僅是程式，更重要的是使用者鍵入程式的參數，這些參數是實際值還是假設值，若是假設值的話，是基於甚麼目的而假設的。若要質疑計算結果，是否先對參數給個問號。

## Why we have to evaluate the effective dose?



## Why we have to evaluate the effective dose?



### 主題二：醫療診斷劑量程式

根據美國輻射防護委員會 (NCRP, The National Council on Radiation Protection and Measurements) 於 2009 發表的 160 號報告指出，美國民眾 2006 年醫療輻射曝露劑量占國民劑量 49%，2019 年發表之 184 號報告進一步指出，其中電腦斷層掃描(CT, computed tomography)約占醫療暴露劑量的 63%，且其占比在十年內有明顯上升的趨勢。目前原子能委員會委託輻防協會及清華大學核工所蔡惠予教授針對此議題進行國人醫療暴露劑量的評估，因此 12 月 9 號下午的主題聚焦於醫療診斷劑量之議題，並由清華大學核工所蔡惠予教授團隊進行相關程式的介紹。

### X 光診斷與介入性診療劑量評估 - 練蒙恩、李孟素

臨床常見的 X 光檢查類型，包含一般 X 光、乳房攝影、介入性診療（含心導管與血管攝影）及電腦斷層掃描(CT, computed tomography)等。練蒙恩博士研究生首先講述 X 光管之基本結構與成像原理，並針對臨床攝影參數（於一般 X 光包含有管電壓、電流、

濾片、照野、射源與影像接收器距離等；於 CT 則包含 Pitch 與 Beam collimation）進行解釋，闡述各個參數於臨床上的作用與對劑量的影響，使聽眾對於 X 光診斷與介入性診療劑量評估有了初步認識。

劑量是檢視輻射作用的一個重要指標，因此在這個主題特別帶大家認識診斷參考水平，依度量劑量之目標不同可分為以假體量測的「劑量指標」與透過

ICRP 報告之組織加權因素計算之「病人劑量」。但因病人劑量難以實際度量，需多透過程式進行模擬，故臨床診斷參考水平多使用劑量指標。而不同診斷設備或檢查目的不同，在臨床上會有不同表達的劑量指標，在一般 X 光，會使用皮膚入射劑量(ESD)；乳房攝影適用平均乳腺劑量(Dg)；介入性診療使用劑量面積乘積(DAP)（部分國家稱為 KAP），此劑量指標是針對射束出口的

## 診斷 X 光之機器種類

(取自研討會簡報資料)

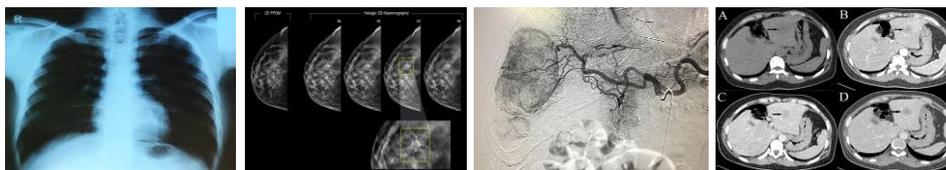


一般X光

乳房攝影

影像引導類流程  
(介入性、非介入性)

電腦斷層



<https://simple.wikipedia.org/wiki/X-ray>  
<https://www.itnonline.com/article/pacs-software-provides-follow-mammo-recalls-and-biopsy>  
<https://baptistmsimaging.com/procedures/vascular-interventional-radiology/>  
<https://affordablesan.com/blog/ct-scan-cost-california/>

劑量量測，因此消除了與距離平方反比的劑量特性；電腦斷層方面則使用CTDIvol 作為劑量指標。

為了建立醫療人員及患者輻射劑量防護概念，需要透過計算後的有效劑量來進行規範，因此接下來由李孟秦碩士研究生進行 PCXMC 於醫療診斷上應用的介紹。PCXMC 是一個適用於病患接受一般 X 光與介入性診療下以蒙地卡羅方法來進行有效劑量模擬計算的軟體，計算結果包含 29 個器官劑量，以及使用 ICRP60、ICRP103 之組織加權因子計算之有效劑量。除了為大家展示操作範例外，也回顧幾篇應用 PCXMC 的國外文獻。最後針對 PCXMC 內建的模型假體與現今基於病患影像等等的擬人假體差異，進行有效劑量方面的探討。

問題討論方面，有聽眾提出為何乳房劑量可以直接代表乳房攝影之有效劑量的疑問，此問題是由國立清華大學蔡惠予

### PCXMC 操作介面

(取自研討會簡報資料)

The screenshot shows the PCXMC software interface with several key sections:

- Flowchart:** 設定X光輸出 → Monte Carlo → 建立能譜 → 輸入 X光機顯示值
- 病人基本資料 (Patient Basic Information):** Age (0, 1, 5, 10, 15, Adult), Phantom height (178.60), Phantom mass (73.20), Standard (178.6, 73.2), Arms in phantom (checked).
- 射束幾何資訊 (Beam Geometry Information):** FSD (80.00), Beam width (20.00), Beam height (20.00), Xref (0.0000), Yref (0.0000), Zref (10.0000), Projection angle (270.00), Cranio-caudal angle (0.00), LATR=180 AP=270, LATL=0 PA=90, (pos) Cranial X-ray tube, (neg) Caudal X-ray tube.
- Field size calculator:** FID (110), Image width (18), Image height (24), Calculate button, Phantom exit-image distance (5.0).
- Organ Selection:** A list of organs with checkboxes, including Pancreas, Uterus, Liver, Upper large intestine, Lower large intestine, Small intestine, Thyroid, Urinary bladder, Gall bladder, Stomach, Salivary glands, Oral mucosa, Kidney, Tymus, and Pharynx/trachea/sinus.
- Visuals:** A 3D model of a pen-like phantom and a 2D cross-sectional diagram of a human torso with colored organs and a yellow X-ray beam path.

副教授為聽眾解惑，由於進行乳房攝影時不太會照射到乳房以外的其他器官，因此直接以乳房作為劑量計算之對象即可。另一聽眾的問題則是針對介入性診

療於 PCXMC 模擬時，是否有依照臨床操作分為照相與透視模式，講者解釋於實際模擬時會分開計算再加總，並將所有操作參數取中位數來進行模擬。

### 電腦斷層掃描劑量評估 - 林雍傑、詹前軒、簡佳玉

隨著醫學掃描儀器的進步與發展下，電腦斷層掃描(CT, computed tomography)已成為醫療放射診斷中不可或缺的利器，隨著 CT 普及率的提升，民眾醫療輻射曝露亦逐年遞增，本議題由三位研究生分別針對 CT 原理與劑量計算、CT-Expo 劑量計算軟體應用與 VirtualDose 劑量計算軟體應用進行介紹。

首先由林雍傑博士研究生簡介 CT 發展的歷史與 CT 成像原理，並針對 CT 儀器的演進，介紹了第一世代 CT 至第六世代 CT 的發展歷程，而對於 CT 劑量評估的方法，亦解釋了 CT 劑量指標 (CTDI, computed tomography dose

index)的定義，並逐步將 CT 劑量指標換算為有效劑量(effective dose)，為

後續軟體應用的介紹進行鋪陳。最後統整了現今已商業化之五種 CT 劑量計算

### Components of CT Scan

(取自研討會簡報資料)

The diagram illustrates the components of a CT scan:

- Gantry:** The main structure housing the X-ray tube and detectors.
- Data Acquisition System:** Receives data from the detectors.
- Operating Console:** The control interface for the operator.
- X-ray tube:** Generates x-ray beams.
- Filters:** Used to filter the x-ray beams.
- Collimator:** Narrows the beams of x-rays.
- Detectors:** Detects the x-rays passing through the patient's body.
- Computer:** Processes the data from the detectors.

## CT-Expo (Module-*Calculate*)

(取自研討會簡報資料)

- ✓ Age Group : Adult / Child / Baby
- ✓ Gender
- ✓ Scan range
- ✓ Scanner model



### Calculate

1. Age Group: Adult | Gender:  male  female

3. Scanner Model: Manufacturer: General Electric | Scanner: Revolution CT (small body)

2. Scan Range

Scan Range Data (Slice Positions)		
Scan Range z from z-	to z+	L [cm]
0	45	45

Scanner Data for Scan Region "Body"					
${}_m\text{CTDI}_{w,r}$ [mGy/mAs]	$U_{ref}$ [kV]	$P_{B,H}$	$k_{CT}$	$k_{OB}$	$\Delta L$ [cm]
0.056	120	0.34	0.65	1.29	1.6

軟體，包含有 CT-Expo、VirtualDose、ImPACT、ImpactDose 與 WAZA-ARI，比較其使用之假體的不同與模擬建構程式的差異。

對於 CT 原理與劑量計算有初步概念後，接著由詹前軒碩士研究生介紹 CT-Expo 劑量計算軟體於醫療診斷上的應用。CT-Expo 是一款使用數學假體配合蒙地卡羅模擬建構而成的劑量計算軟體，使用上主要可分為四種模式，第一種模式(Calculate)須輸入的參數較為繁雜，但自由度也相對較高，可依照臨床取得之參數直接進行劑量計算；第二與第三種模式(Standard 與 Light)所需輸入的參數較少，但對於一些機台設定的限制較多，最大的好處在於可直接與 CT-Expo 先前調查之文獻結果進行比較；最後一種模式(Benchmarking)則可用於設計不同檢查程序應使用之參數數值，並與 CT-Expo 先前調查之劑量結果進行比對。最後針對 CT-Expo 之劑量評估不準度，有文獻指出約達正負 20 至 30%，主要原因與數學假體有關，未來若朝向更擬真的假體發展，應可有效降低劑量評估不準度。最後由簡

佳玉碩士研究生介紹 VirtualDose 這款劑量計算軟體，VirtualDose 具有三大優勢：有別於 CT-Expo 與 PCXMC 使用較簡易的數學假體進行劑量計算，VirtualDose 是使用自身團隊所開發的擬真假體(Virtual Phantom)進行模擬，能夠以更趨近於真實的情況來評估有效劑量；除了可以計算 CT 劑量外，也能評估介入性放射診療 (IR, interventional radiology) 的輻射劑

量；免安裝軟體，直接使用瀏覽器上網即可於網頁面中進行劑量計算。對於 VirtualDose 在輻射診斷上的應用，於 IR 與 CT 領域中各舉一臨床案例，實際計算之有效劑量結果皆與參考文獻或國際報告結果相符，表示使用擬真假體進行劑量評估不但趨近於真實情況，亦可取得準確度較高的劑量結果。

下午的主題圍繞著醫療診斷劑量進行討論，為後續評估國民醫療輻射曝露劑量進行前期準備，預計於 2021 年完成國內各項醫療診斷輻射劑量的調查工作，並獲得我國國民醫療輻射曝露劑量。

### 後記

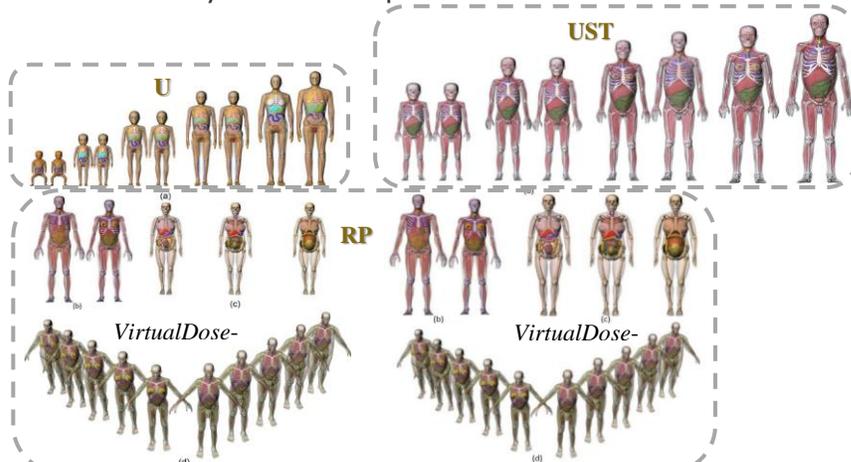
12 月 9 日的研討會在與會者的熱烈參與中圓滿落幕。電廠與醫療方面的劑量評估計算是輻射防護協會所重視的兩大區塊，今年為協會籌辦相關研討會的第二年，期盼來年有更多不同單位的講員及與會者參與，也希望能此一討論平台能激盪出更精彩的交流火花，從而達到知識分享並共同提昇國內輻防工作的專業度。

## VirtualDose

(取自研討會簡報資料)

- Combines a family of
  - anatomically realistic human phantoms

A. Ding et al., 2015



發行人  
張似璵

執行編輯  
陳 瑋

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