

出國報告（出國類別：開會）

赴美國參加第68屆美洲保健物理學會  
(Health Physics Society, HPS)會議

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：蕭展之技士

派赴國家/地區：美國/馬里蘭州

出國期間：112年7月22-28日

報告日期：112年8月29日

## 摘要

職本次奉派赴美國參加位於美國馬里蘭州國家港口蓋洛德飯店（Gaylord National Resort, National Harbor, Maryland）舉辦之第68屆美洲保健物理學會(Health Physics Society, HPS)年會（68<sup>th</sup> Health Physics Society Annual Meeting）。會議為期5天（112年7月23日至27日），每天有6個會議室於同一時段，依照不同主題進行專題演講、口頭論文報告及特別主題演講；會議期間另有論文壁報展示及廠商機構設置攤位。本次會議研討主題大致分為：加速器保健物理、管制發照、非游離輻射、氦氣議題、政府機構與保健物理學會關係、國土反恐、醫用保健物理、劑量評估程式、除污、放射性廢棄物、體外劑量評估、標準制定、風險評估、除役、體內劑量評估、軍職人員劑量、環境監測、女性輻射防護、學術保健物理、緊急應變與國土安全等，雖然因為每個報告時間僅15-20分鐘，也僅開放2-3個問題提問，但現場人員皆踴躍發言與討論。職就現場參訪、美洲保健物理學會與美國相關政府機關關係、體外劑量評估、將保健物理原則於輻射災害緊急應變中執行、迴旋加速器輻射安全、民眾及環境之輻射防護、劑量重建、無線即時劑量佩章等方面進行闡述與心得分享。

## 目次

一、目的.....	4
二、過程.....	5
(一) 行程.....	5
(二) 現場參訪.....	5
(三) 會議討論主題內容.....	8
1.美洲保健物理學會與美國相關政府機關關係.....	8
(1)美國核能管制委員會(NRC).....	8
(2)美洲保健物理學會(HPS).....	11
(3)美國政府監督辦公室(U.S. Government Accountability Office, GAO).....	12
2.體外劑量評估.....	12
3.將保健物理原則於輻射災害緊急應變中執行.....	15
4.迴旋加速器輻射安全.....	16
5.民眾及環境之輻射防護.....	17
6.劑量重建.....	19
7.無線即時劑量佩章.....	20
三、心得及建議.....	21
四、附錄：大會手冊.....	22

## 本文

### 一、目的

為精進我國輻射防護與管制技術及法規，原能會多年來持續參與國際輻射防護與管制技術相關會議，並依國際最新技術及趨勢，檢討回饋至管制需求，使我國輻射安全管制標準與國際接軌，以確保我國核能電廠、工業、醫療、農業、研究等輻射民生應用之安全。本(輻射防護)處業務職掌負責可發生游離輻射設備及物質之輻射安全管制，藉由派員參與輻射防護與管制技術相關國際會議，蒐集各國在輻射防護與管制之技術與經驗，以充分掌握近年及未來輻射防護與管制的重點及趨勢，維繫與引進國際合作管道，以精進我國輻射防護與管制技術相關法規，將輻射安全管制標準與國際接軌。此外，藉由參加主辦國家安排之輻射作業設施參訪行程及討論，可以了解國外實務操作技術及運作經驗，作為我國輻射防護管制實務應用與管制法規趨勢之參考。

美洲保健物理學會(Health Physics Society, HPS)係鼓勵輻射防護領域之人士與相關領域之人士互傳資訊、改善公眾瞭解輻射防護之問題與需要，以供國際採參及納入各國管制法規與實務應用。此外，國際輻射防護相關組織亦定期舉辦國際會議，邀集各國管制機關及學者專家共同參與，對游離輻射防護與管制技術進行經驗分享及技術交流。會議討論議題可供我國輻射防護管制相關技術精進參考。2023年第68屆美洲保健物理學會(Health Physics Society, HPS)年會，於7月23日至7月27日美國馬里蘭州國家港口蓋洛德飯店 (Gaylord National Resort, National Harbor, Maryland) 舉辦。

## 二、過程

### (一)行程

日期	地點	工作內容
7月22日	美國	路程(台北-美國)
7月23-27日	美國	參加第68屆美洲保健物理學會(Health Physics Society, HPS)年會
7月28-29日	台北	路程(美國-台北)

### (二)現場參訪

本次 HPS 年會在美國華盛頓哥倫比亞特區(District of Columbia, D.C.) 所在之馬里蘭州蓋洛德飯店(Gaylord National Resort)舉辦。



圖1 會議海報。



圖2 蓋洛德飯店外觀

會議現場可區分為各分組會議區、海報展示區、廠商攤位區、二手偵檢儀器競標區等區域。每天同時有6個會議室依據不同主題召開會議，參加人員可依據各自需求自由選擇擬出席之會議。海報展示區則由各研究單位報名張貼研究成果海報，現場不一定有海報作者在現場解說，若有興趣，可以在現場留下聯繫資訊，會後由海報作者聯繫。廠商攤位區則有廠商布置相關宣導文宣、儀器、背板，並派員在現場解說。二手偵檢儀器競標區則放置許多骨董級的偵檢儀器，讓有興趣的參加人員採取靜態紙本競標，待展示結束後，由主辦單位通知出價最高者買回該設備。

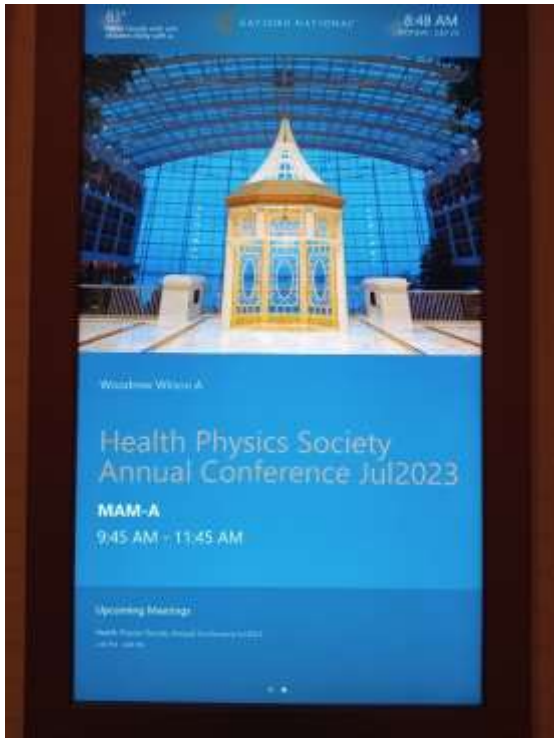


圖3 各分組會議門口電子告示牌



圖4 各分組會議門口實體告示牌



圖5 會議現場主持人區背板



圖6 會議室投影布幕



圖5 展示廳門口立牌



圖6 本次會議識別證

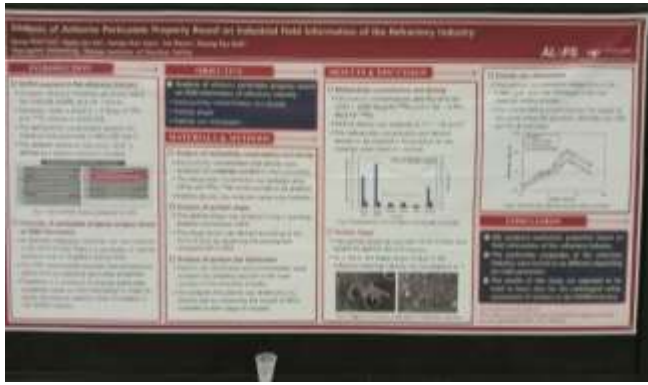


圖7 海報展示及下方可留聯絡資訊小杯子

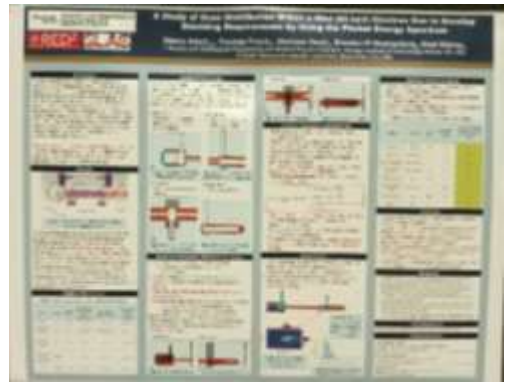


圖8 海報展示



圖9 廠商攤位



圖10 美國核能管制委員會攤位及該會人員



圖11 骨董偵檢器靜態(紙本)競標



圖12 紀念品競標

### (三)會議討論主題內容

#### 1.美洲保健物理學會與美國相關政府機關關係

##### (1)美國核能管制委員會(NRC)

美國核管會有一套該會自行訂定的輻射防護系統，這套系統已經運作數十年，世界上多參照該系統之邏輯進行輻射防護。核管會在合理抑低精神下，要求使用可發生游離輻射設備或放射性物質之使用者所受到的輻射曝露劑量需低於核管會核准的劑量限值。使用者在使用可發生游離輻射設備或放射性物質前需向核管會申請許可證並接受檢查，以確認使用者有遵守核管會的規定並安全的使用可發生游離輻射設備或放射性物質。

核管會的輻射防護系統包含以下法規：輻射工作人員及民眾的劑量限制、可發生游離輻射設備或放射性物質的監測及標示、在輻射區域及其周圍張貼標誌、通報可發生游離輻射設備或放射性物質遺失，核管會對於不遵守規定的行為進行裁罰。

美國核管會要求許可證持有者在使用可發生游離輻射設備或放射性物質時，應確保單一民眾每年受到的劑量不超過1mSv，以達到輻射曝露合理抑低精神。對於從事輻射工作的成年人，應確保該員工每年受到的輻射曝露劑量不超過50mSv，並且配戴劑量計進行輻射曝露劑量監測。

如果美國地方州政府同意使用與核管會相同的標準來管理可發生游離輻射設備或放射性物質，美國核管會與州長可以簽訂協議，授予地方政府管制可發生游離輻射設備或放射性物質的權力，州政府可以管制該州內的所有輻射源，但是核能電廠、高活度放射性核物料、高放射性廢棄物則不歸州政府管轄。目前已經有35個州與美國核管會簽訂了該協議。



圖13、14 美國核管會總部





圖15、16 本次會議核管會簡報重點：NRC 招募人員管道包含獎學金計畫、外部招募、核能管制學長學弟介紹、研究所獎學金計畫、高中大學招募會。

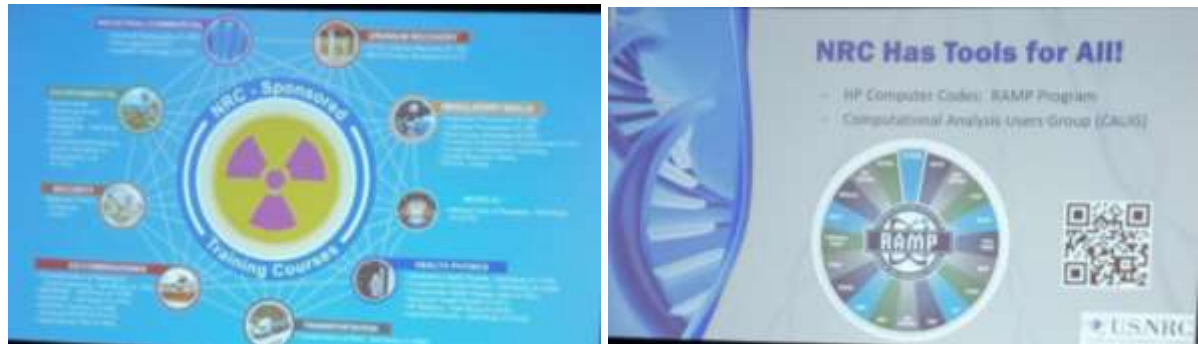


圖17、18 本次會議核管會簡報重點：NRC 利用協力廠商及訓練課程來管制所有與輻射相關所有領域，並且有輻射防護電腦程式分析及維運計畫(Radiation Protection Computer Code Analysis and Maintenance program, RAMP)，用來支援各項管制。



圖19、20 本次 NRC 的講者是特蕾莎·克拉克(Theresa Clark)女士，目前擔任核管會核子原物料與保安辦公室-材料安全、保安、地方政府計畫司副司長。

依據美國政府對放射性物質管制分工，其管制作為由環境保護署 (EPA)、食品和藥物管理局 (FDA)、核管理委員會 (NRC)及州政府共同管理，例如美國環保署負責制定放射性同位素的空氣排放和飲用水標準；食藥局管制用於製造放射性核子醫學藥物之直線加速器設備製造及使用，再由州政府對此類設備操作行為進行管制。然而，最主要對放射性設備與物質的

管制機關為核管會，該機關透過核發許可及監督管制放射性設備與物質來確保民眾及環境之健康安全。核管會管制範圍包含鈾鈾礦產、濃縮鈾鈾物質、核反應器生產之放射性物質、耗乏鈾鈾等，並依據聯邦法規10 CFR 第20章節之輻射防護標準來規範放射性設備與物質的使用，對輻射防護部分的要求包含輻射工作人員與民眾的劑量限值、單一放射性核種的曝露限值、放射性物質數量與核種紀錄、輻射工作場所及周圍張貼輻射警告標誌、通報可發生游離輻射設備或放射性物質遺失、違反法規之罰則等。目前全美國約有兩萬多張有效之可發生游離輻射設備或放射性物質之許可證照，其中約四分之一由核管會管理，其餘則由各州政府管理，可見由各州政府管理之可發生游離輻射設備或放射性物質許可執照數量約為核管會本身管理數量之三倍。其餘未與核管會簽訂協議的州，則由核管會對該州之放射性設備與物質進行管制；另外核管會也對簽訂協議州內部分可發生游離輻射設備或放射性物質保留管制權，例如核反應器、印地安人保護區、軍事基地等。為了使各州政府對於放射性設備與物質有一致的管制作為，核管會請各協議州依據綜合材料性能評估程序(Integrated Materials Performance Evaluation Program, IMPEP)，確認各州政府依據該程序進行管制，以達到各州具相同的管制作為，並且透過該程序進行核管會與各州的管制績效審查，確保全美國有一致性的管制。核管會提供技術支援及營運管制資訊資料庫給州政府使用，並在各分區辦公室派駐協調聯絡官，作為核管會與州政府的主要聯繫管道，該官員也擔任尚未簽約州政府、核反應器或其他聯邦事務之聯繫窗口。在核管會總部，核子原物料與保防辦公室(Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, NMSS)為各州提供支援，每位該辦公室的技術職員均負責簽約州不同之業務，包含各州之管制計畫、管制資訊資料庫、其他相關資訊溝通協調。各州政府可在原子能法允許的條件下，監督州內醫學及工業用放射性設備與物質之使用、天然放射性核種管制(鐳、氡氣)、粒子加速器及其生產的放射性物質管制，核管會不會再對州政府管制範圍進行監督，但是州政府不會對核能電廠、高活度核子燃料、高放射性廢棄物進行監督。核管會雇用數百名輻射防護專業人員執行保健物理業務，鑒於各國對保健物理專家有大量需求，核管會以透過支援經費的方式由其他機構組織來培訓保健物理專家，並採用各種招募策略及宣傳來發掘潛在保健物理專家候選人，並於該候選人同意加入後，盡力協助培訓並留下這些專業人員，以因應核管會各種管制需求。

## (2) 美洲保健物理學會(HPS)

美洲保健物理學會成立於1956年，是一個由專門從事輻射安全的專業人員組成的科學組織，該組織透過輻射安全專業人員達到確保輻射安全落實之目的。該組織的成員分布在全美各州有關輻射安全之科學與技術部門，包含大專院校、政府機關、醫療機構、研究中心、工業等，該學會在美國為獨立的非營利科學組織，不隸屬任何政府及私人公司。該學會中有一個政府關係計畫，該計畫的目的在於促進該學會與美國國會、聯邦機構(核管會、環保署、食藥局)、及特定非政府組織間的溝通聯繫。聯繫的領域包含與輻射工作人員、民眾、環境等領域中牽涉輻射防護相關的立法與法規，聯繫人員分成三類：聯邦機構聯絡員、國會聯絡員、政府關係委員會。聯邦機構聯絡員負責可能影響保健物理科學、教育、研究經費之修法及追蹤立法進度。國會聯絡員及聯邦機構聯絡員每半年會在華盛頓 DC 拜會選定的機構及國會工作人員。政府關係委員會負責研擬民眾對輻射防護相關問題提出建議之回應。

保健物理學會中的政府關係委員會負責對可能影響保健物理學術界之法規與立法進行審查與提供建議，讓保健物理學會建立在放射科學與輻射安全領域具獨立專業之地位，並且能夠訂定符合最新科學進展與履行輻射安全之立法、法規及公共政策。在學會成員參與之下，來自不同領域的保健物理專家學者共同發表了對於尚未立法之管制行為之評論，該評論發表後，管制機關會召集不同觀點及不同專業領域的專家學者對該評論進行回復，這樣的過程不但可促進保健物理學會會員的專業發展，亦可幫助保健物理學會達到確保輻射安全之使命。保健物理學會中的國會聯絡員的目的在於讓學會成員有機會與參議員、眾議員、議員所屬員工、國會中各委員會等人員，就保健物理學會與國會共同關注之輻射安全議題每半年進行一次在國會山莊的會議討論。聯邦機構聯絡員負責監督各聯邦機構的各項活動，安排總統與這些機構的首長會面，並協助總統對於擬討論的法規進行溝通與討論。



圖21 HPS 總部

### (3)美國政府監督辦公室(U.S. Government Accountability Office, GAO)

美國政府監督辦公室類似我國監察院，該室的工作由國會委員會交辦，或是依據國會委員會報告中之要求辦理，工作內容在於為國會、行政機構首長、民眾提供最新且無黨派的事實資訊，目的為改善政府效能並替納稅人節省幾十億美元。

在2022年發表的一份報告中，政府監督辦公室發現核管會目前的許可證驗證系統不足以防止利用偽造之許可證去購買高風險可發生游離輻射設備或放射性物質。政府監察辦公室成立了兩間空殼公司，並偽造了兩張放射性設備物質使用許可證(該許可證非由核管會核發)，再用偽造許可證的影本向兩間放射性物質銷售廠商購買三種放射性物質，並付款取得發票。然而政府監督辦公室在交貨點交的時候拒絕收貨，以確保該放射性物質可以退回原出貨人。政府監督辦公室的調查顯示核管會目前的許可證驗證流程完整性可能有漏洞，並且該辦公室也向核管會提出解決該漏洞的建議。

政府監督辦公室也對核管會的國家物料計畫(National Materials Program, NMP)提出建議。該計畫是一個大型規範，核管會及所有簽訂協議州政府都應該在該規範下進行放射性設備及物質之監督，該計畫的目標是有效利用管制資源同時保護與放射性設備物質危害相關的民眾健康、安全、保安、及環境。雖然持有放射性設備物質使用許可執照者對安全使用其擁有的放射性設備物質負有主要責任，但是核管會及州政府會透過嚴格的檢查與執法來確保使用者合乎法規。最近幾年核管會及州政府正在考慮是否針對第三類放射性物質加強輻射源安全及監察。2021年核管會批准了該會員工的建議，並指示該會員工研擬一份法規草案，內容要求許可證持有者記錄第三類射源的轉讓數量，並向該許可證頒發的機構申報轉讓射源類型、運送方式。這是核管會回應政府監督辦公室所做的政策。

## 2.體外劑量評估

聚乳酸(poly-lactic acid, PLA)是一種環保、可利用玉米黃豆聚合之生物可降解性樹脂，此研究探討聚乳酸作為固體輻射偵檢器之潛力。劑量範圍介於0.1 mGy (毫戈雷) 至100 kGy，在此能量範圍內，加馬-中子-阿伐轉換對於保健物理學、生物醫學及核子工業應用十分重要。此研究利用普渡大學研究用反應器中10 千瓦能量之鈷-60為加馬光子射源，結果發現聚乳酸樹脂

在分子結構、溶解速率、磨耗效率、流體變化學、孔隙率等係數，與吸收加馬輻射劑量有良好相關性。

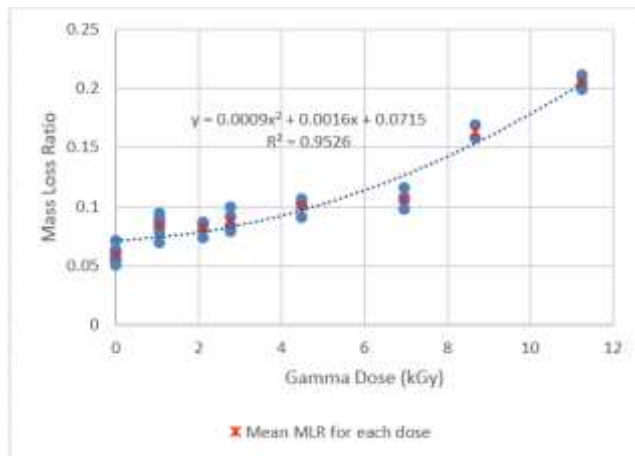


圖22 加馬輻射劑量0~11kGy 與聚乳酸質量損失關係

由圖22所示，隨著加馬輻射劑量累積，從0到約11 kGy，聚乳酸材料之質量損失隨著輻射劑量率累積而質量損失量越高。在輻射劑量7 kGy 以下時，聚乳酸材料之質量損失量與輻射劑量接近線性正相關，超過7 kGy 之輻射劑量後，質量損失量與輻射劑量則有顯著轉折更為陡峭斜率之線性正相關。但是研究者簡單用一二次方程式趨勢線作代表。

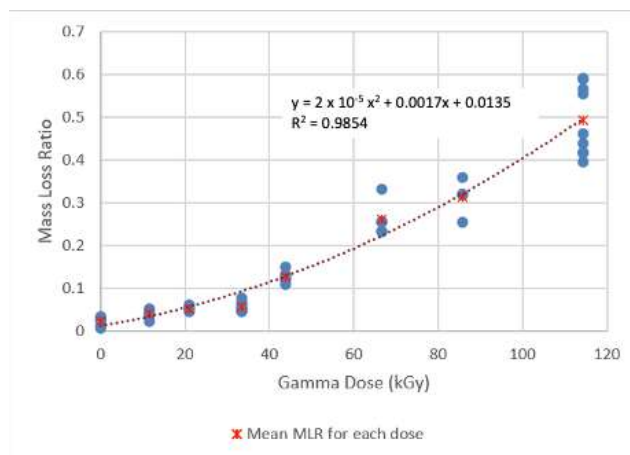


圖23 加馬輻射劑量11~120 kGy 與聚乳酸質量損失關係

由圖23顯示，隨著加馬輻射劑量由11 kGy 上升到120 kGy，尤其是70 kGy 以上之後，雖然各數據點之間的差異(標準差)越來越大，但是趨勢上仍保持輻射劑量與質量損失呈正相關。

Dose (kGy)	Mean	1 $\sigma$	Median	Max.	Min.
0	0.0596	0.0064	0.0600	0.0708	0.0502
1.0	0.0843	0.0079	0.0857	0.1016	0.0914
2.1	0.0820	0.0057	0.0836	0.0867	0.0741
2.8	0.0872	0.0087	0.0841	0.0998	0.0788
4.5	0.1002	0.0054	0.1012	0.1060	0.0914
7.0	0.1065	0.0072	0.1064	0.1155	0.0979
8.7	0.1635	0.0083	0.1635	0.1694	0.1577
11.2	0.2052	0.0061	0.2047	0.2115	0.1995

表1 加馬輻射劑量0~11kGy 與聚乳酸質量損失關係

Dose (kGy)	Mean	1 $\sigma$	Median	Max.	Min.
0	0.0240	0.0093	0.0266	0.0348	0.0082
11.4	0.0407	0.0097	0.0420	0.0541	0.0240
21.0	0.0537	0.0064	0.0534	0.0618	0.0463
33.4	0.0586	0.0113	0.0562	0.0775	0.0475
43.8	0.1278	0.0154	0.1250	0.1514	0.1097
66.7	0.2618	0.0405	0.2539	0.3316	0.2328
85.8	0.3134	0.0432	0.3202	0.3587	0.2547
114.4	0.4922	0.0813	0.4610	0.5908	0.3954

表2 加馬輻射劑量11~120 kGy 與聚乳酸質量損失關係

表1及表2是輻射劑量由0~120 kGy 與聚乳酸質量損失之數值，由一個標準差之數值越來越大顯示多次實驗重複差異性隨著輻射劑量上升而有越大差異，表示若要求數據精確度在一定標準之下時，可以量測之輻射劑量也會限制於某一數值之下。例如如果要求實驗精準度之一個標準差必須小於0.01時，則此材料僅可用於輻射劑量小於21 kGy，超過輻射劑量33.4 kGy 以上時，則無法滿足此一標準差需求。

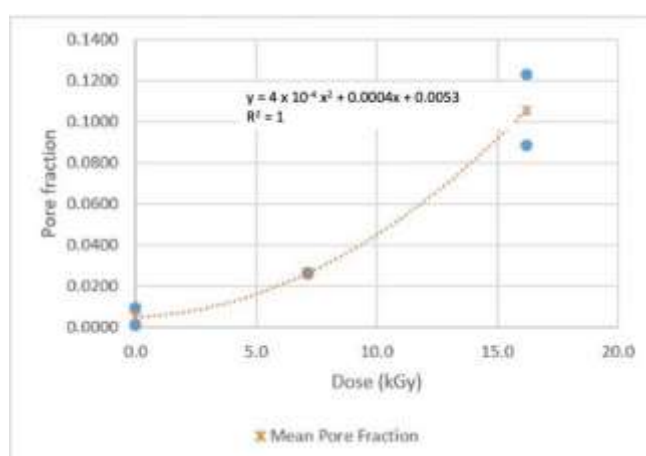


圖24 加馬輻射劑量0~16 kGy 與聚乳酸孔洞率關係

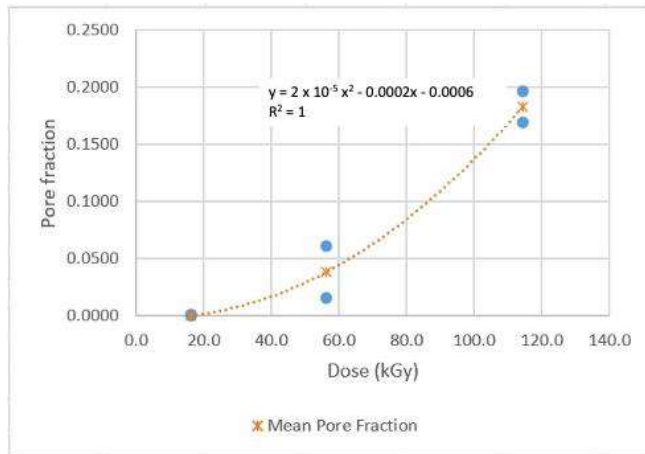


圖25 加馬輻射劑量16~114 kGy 與聚乳酸孔洞率關係

聚乳酸受到輻射照射時，會產生孔洞。而孔洞面積占整體試片面積比率則為孔洞率。由圖24及圖25則顯示聚乳酸試片之孔洞率會隨著加馬輻射劑量上升而造成更多孔洞，線性關係較為接近二次方程式趨近。

由上述結果顯示，聚乳酸質量損失及試片孔洞率對輻射劑量都有正相關，但是由於質量損失可能無法即時回應所受到之累積輻射劑量，但是此種紀錄累積輻射劑量之優點為體積很小，適合無法使用一般輻射偵檢器之場所。而孔洞率也許可以透過光學元件方式即時計算透光率來用於即時累積輻射劑量，可以設定若孔洞率高於一定數值時發出警報聲光，避免人員曝露過量輻射劑量。

### 3.將保健物理原則於輻射災害緊急應變中執行

國際輻射防護委員會對於輻射防護三項基本原則是正當性、最適化及劑量限值。對於正當性及劑量限值在認知上較容易理解與量化，但是對於最適化的概念則較為抽象。最適化如果用一個簡單的定義來說，可以解釋成用較少的資源來做較多的事情、用同樣的電量用更久的時間、或是從資源獲得的利益最大化。然而，如果要在輻射災害緊急應變中如何將保健物理原則最適化，則具有相當難度並且難以量化。例如將輻射曝露量減少到某一物理數值並推算可能的機率效應是可以達到的，但是如果在緊急應變時加入其他影響因素：例如在有限的疏散路線下可能發生塞車的情形、疏散時間長達數月數年等長時間對心理的影響、森林火災、地震、海嘯等其他複合型災害所造成之危險環境及其衍伸之緊急應變作為，在上述這些條件之下時，保健物理學者如何進行輻射防護最適化是有相當挑戰性的。

國際原子能總署鼓勵會員國在制定、驗證、最適化之輻射防護行動時，考量核子事故或輻射災害緊急應變時，這些行動依然能夠被有效執行。特別是如何在緊急情況下執行最適化之具體技術指引，提供保健物理學家在需要向緊急應變指揮官提供輻射防護行動時參考。緊急應變可區分為幾個階段：準備階段、行動階段、復原階段。在準備階段時，因尚未有其他影響因素，因此能夠將準備之緊急應變事物做最適化準備，例如最適的應變物資、人員、車輛、輻射防護設備等。

然而，當事故進入行動階段時，從一開始就有必要審查之前已經規劃之保護行動或保護策略之適當性。例如地震或嚴重惡劣天氣條件可能會損壞交通基礎設施，使得如果按照疏散計畫轉移人員反而變得比不轉移還危險，此時就必須採取替代之最適化保護措施，例如以就地掩蔽行動取代。在準備階段就要考慮此類可能性，屆時才可有效進行替代性最適保護措施，避免不必要之延誤。一旦實施了替代性的最適保護措施，需考慮災害即時情況及任何可獲得之新資訊，定期重新評估已經實施的措施，以確認輻射防護行動及策略是否適合繼續施行，確保在該情境下所採取之行動是最適方案。特別是在發布或是新資訊有顯著變化時，這種重新評估更是需要，例如有關放射性落塵沉降模型預測有顯著修正時，可能會導致對於適合之輻射防護措施進行實質性修正。當特定高風險人員已經開始進行緊急輻射防護行動時，優先事項就會從是否實施緊急防護行動轉變為隨著情況演進而是否需擴大或減小緊急輻射防護行動，或者實施進一步之輻射防護行動，以修正並最適化之過程來修正準備階段所做假設與實際情形不同所造成之應採取之緊急輻射防護應變行動不同。

當事故之緊急狀態已經穩定下來，需要考慮中長期之復原階段，例如在滿足解除輻射防護行動或恢復正常社會經濟活動之條件下，民眾可以返回事故地點。在此期間規劃與實施之行動可能不太急迫，但仍需依據最新資訊，並進行充分討論及最適化，以確保輻射防護措施在任何時候都是利大於弊，以提供最適之保護。在復原階段，應變行動重點在於恢復社區功能，因此需要針對特定緊急應變狀態及特定地點進行最適化之安排與行動。

#### 4. 迴旋加速器輻射安全

利用將一台舊的醫用直線加速器重新安裝在一棟多功能之新大樓之機會，藉由安裝前後執行輻射偵側，以確保同大樓中其他設備及相關人員採



取行動來消除可避免之失誤。雖然在大樓建造前已經預先知道會有加速器進駐安裝，並且已經事先由外部輻射防護評估設計公司進行屏蔽計算，但因為此大樓中會有其他實驗室，故此屏蔽規劃也需經相關人員(美國國家標準與技術研究院 **National Institute of Standards and Technology, NIST**、建築公司、實驗室負責人、實驗室工作人員、大樓輻射防護安全部門等)共同討論確認後才進行施作。輻射防護安全部門要求在加速器安裝房間之相鄰房間或實驗室之預估輻射劑量率需遠低於各實驗室之管限制值。然而，除了法規管限制值之外，有些實驗室要求必須低於**10 μR/h** 背景輻射才能進行該實驗室所需之實驗。該大樓聘請第三方廠商執行安裝前與安裝後之輻射劑量率測量，以驗證所施作之屏蔽完整性。另外輻射防護安全部門進行了獨立內部輻射測量，並在醫用直線加速器安裝、測試、驗收時進行輻射劑量率測量，並在加速器完成調校後進行全大樓之輻射劑量率測量，以確保內部工作人員、外部一般民眾、及環境之輻射安全。第三方廠商及輻射防護安全部門之輻射劑量率測量結果都顯示在加速器室人員居佔位置或是相鄰實驗室人員居佔位置，皆無輻射劑量率過高之疑慮。然而，由於儀器靈敏度較高，可以量測到非常低劑量之輻射劑量率，因此所量測的數值皆低於依據屏蔽計算軟體評估之劑量率。

## 5. 民眾及環境之輻射防護

車諾比核能電廠跟福島第一核能電廠是兩起被國際原子能總署評定為等級**7**之嚴重核子事故。在這兩起事故中，對於民眾及環境影響最大、最長久之核種為半衰期長達**30**年之鈾**137**。研究結果顯示車諾比跟福島電廠周圍放射性鈾**137**濃度皆會受環境行為所影響，該環境行為包含地理、氣候、地貌、生物種類等，皆會影響放射性核種停留與遷移之數量。福島電廠外釋之鈾核種由於會與土壤及沉積物顆粒緊密的結合在一起，而且存在大量不溶於水之放射性熱玻璃狀物質微粒，上述兩原因導致福島地區河流中的放射性鈾濃度僅是車諾比地區河流中放射性鈾核種濃度十分之一以下。

然而兩者相同之處在於小湖泊及池塘中之鈾**137**濃度高於河流及水壩。溶解在水中之鈾**137**核種濃度在夏天較高、冬天較低，因為在夏天氣溫較高會提高鈾**137**之溶解係數導致較多核種溶解到水中。另外在小湖泊或池塘中，鈾核種會因為有較多銨元素可將鈾取代而釋放到水中，導致鈾**137**濃度提高。兩事故發生後，淡水區域之鈾**137**活度濃度皆隨著時間而下降。半經驗擴散模式預測模型在車諾比事故得到了良好驗證，然而同一模型在

福島電廠則顯示銫核種濃度下降之速率比模型預測還快。有兩個可能造成此一現象之原因：1.福島電廠在事故後就開始大規模的進行表層土壤移除作業，導致污染區表土層之銫<sup>137</sup>數量大量減少。2.福島縣地表河流及降雨量皆比車諾比地區還大，且坡度也較陡，導致被沖走之銫<sup>137</sup>核種較多。

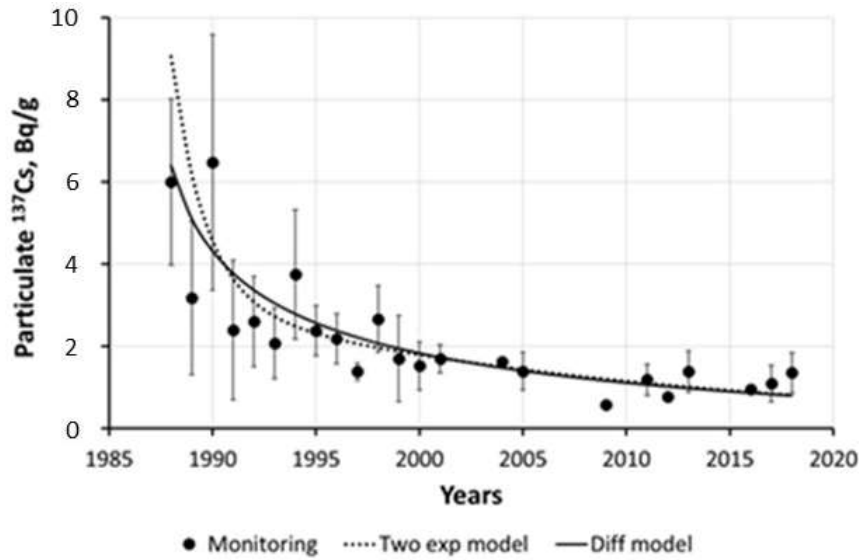


圖26 車諾比地區銫<sup>137</sup>顆粒量與模型預測較為接近。

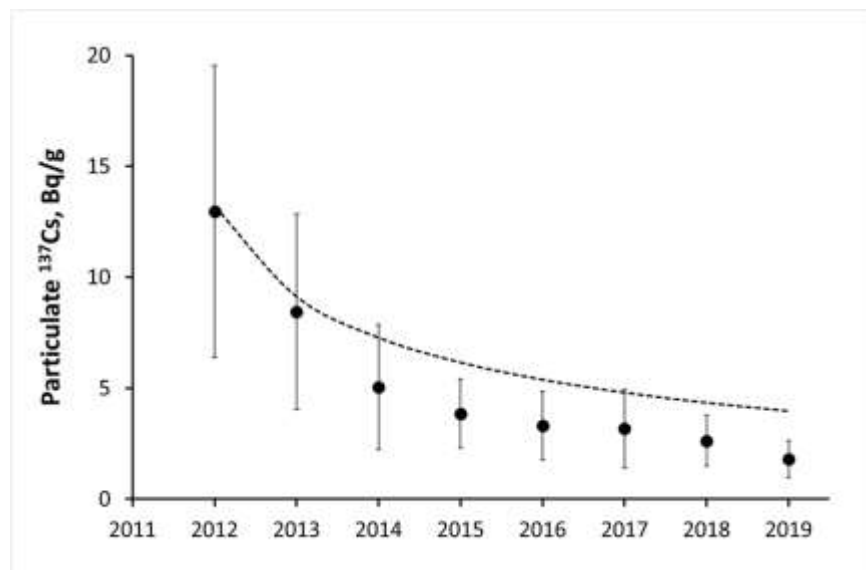


圖27 福島地區河流銫<sup>137</sup>顆粒量比模型預測(虛線)低。

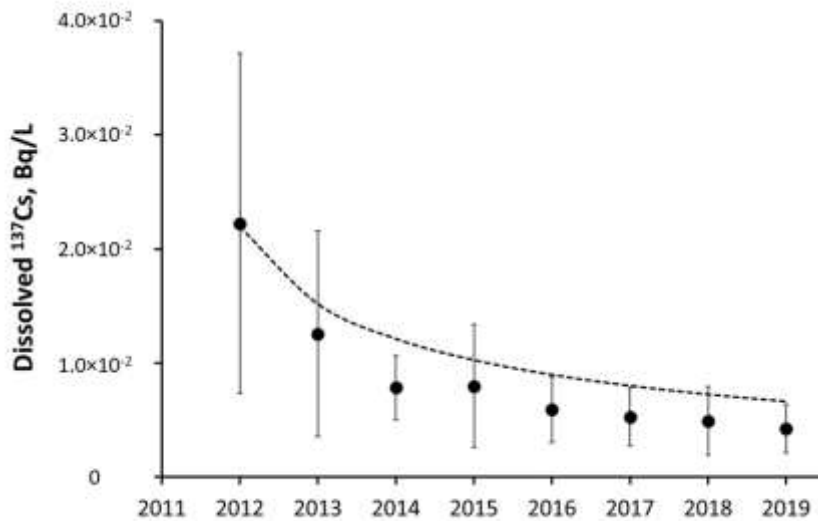


圖28 福島地區河流銫137溶解量比模型預測(虛線)低。

## 6.劑量重建

體內累積有效劑量評估，需經由保健物理師(我國為醫學物理師)根據許多假設，例如核種顆粒大小、吸入或嚥入模式、核種化學合成型式、生物代謝模型等，不同保健物理師在進行體內劑量重建時，會因為對於上述各項參數不同，導致評估出之體內劑量數值可能會有很大的差異。本次實驗是利用加拿大 CANDU 核反應器作為實驗場所，根據現場有各種核種、預計累積之有效劑量、吸入或嚥入模式、體內外生物劑量評估方法等不同條件，進行體內劑量評估比對，該實驗將在未來持續進行，目的是確認更真實之吸入或嚥入模式，並對不同評估者所得到之劑量評估進行比較，嘗試將劑量評估結果進行彙整，以作為未來進行體內劑量評估時之參考。

## 7.無線即時劑量徽章

現場有許多廠商有設攤，其中有一間公司 **Mirion Technologies**，有一位核研所前員工陳立言先生目前在該公司服務，該公司有一項產品，無線傳輸劑量徽章，該徽章內建有藍芽無線傳輸模組，可即時線上記錄、讀取、無線傳輸輻射劑量，劑量範圍0.05 mSv 至5 Sv，可偵測光子能量5 keV-6 MeV，電源使用鈕扣電池，不需每個月送計讀單位計讀，若有即時累積劑量達紀錄、調查、干預基準，即可立即停止輻射作業，避免人員劑量超限。然而，本設備因我國法規因素，尚無法取代目前 TLD，但若有需求，可供輔助劑量徽章使用。例如像是非破壞檢測業者，作業時間不定時，現在 TLD 無法知悉所計讀之劑量發生於何時，若是使用即時傳輸劑量徽章，則可經由查閱廠商申請作業時間與徽章紀錄時間，確認該廠商於作業期間是否佩戴徽章。



圖29 可即時無線傳輸之輻射劑量率徽章

### 三、心得及建議

#### (一)心得

我國因國情與美國不同，並無授權地方政府對可發生游離輻射設備或放射性物質執行管制，所有與輻射作業有關之業務皆由本會管制。然而，目前我國除了核能發電廠外，醫用與非醫用使用可發生游離輻射設備或放射性物質之使用者達數萬家，各類輻射源亦有數萬個。相較之下，本會僅能運用有限之人力以執行管制作為，因此本會已採取風險控管概念，對於較高風險之可發生游離輻射設備或放射性物質，例如非密封放射性物質生產設施、核醫藥物分裝標誌藥局、高強度輻射設施，及第1、2類密封放射性物質等，本會每年均執行現場檢查，並視需要加強查核。而風險中等之可發生游離輻射設備或放射性物質，則視設施經營者及輻射源特性，定期辦理現場檢查，例如邊境管制單位、軍事機構及銷售服務業者等。至於風險較低之輻射源，例如登記類物質或可發生游離輻射設備，本會則以辦理抽查方式或委託專業機構協助本會辦理訪查。在有限人力與經費之下，依然對於可發生游離輻射設備或放射性物質執行嚴格管制，以確保人員及環境之輻射安全。因此美國之輻防管制分工模式，雖不適用於我國，但是本會以風險評估方式將輻射源分級管制，已符合國際輻防管制趨勢。

美國監督辦公室以放餌釣魚的方式來測試購買放射性物質，雖該手法不無爭議之處，但其結果亦可供我國借鏡。特別是現在詐欺案件遍布各行各業，偽造不法文件技術日益進步，難保有心人士藉機取得輻射源進行不法犯罪行為。而我國監察院為類似美國監督辦公室之機構，目前雖尚未有監察院資助研究計畫來釣魚各部會之業務新聞發生，但該院有針對機關違失進行糾正之權，本會只要未來持續對輻射相關作業嚴格管制，或能避免造成機關違失。

#### (二)建議事項：

1. 美洲保健物理學會係鼓勵輻射防護領域之人士與相關領域之人士互傳資訊、改善公眾瞭解輻射防護之問題與需要，以供國際採參及納入各國法規管制實務應用。建議持續派員參與輻射防護與管制技術相關國際會議，蒐集各國在輻射防護與管制之技術與經驗，以充分掌握近年及未來輻射防護與管制的重點及趨勢，維繫與引進國際合作管道，以精進我國輻射防護與管制技術相關法規，將輻射安全管制標準與國際接軌。
2. 本會於審查業者申請案時，均會就具有風險之情形，加以審慎把關，且各

項許可文件，均具電子驗證功能或紙本加以蓋印，以降低偽造之可能性。本會將持續關注偽造、資安相關議題，作為本會精進相關審查程序或措施，以防範類似情事發生。

3. 目前我國依據法規採用之人員輻射劑量監測設備為熱發光劑量計，通常為每月計讀一次，若有需求則可申請緊急計讀。然而，國外新發明之人員及環境輻射劑量偵測設備及技術日新月異，例如新型材料、即時傳輸功能等，建議我國可持續派人出國考察最新輻射劑量偵測設備或技術，以確保輻射工作人員輻射安全。

#### 四、附錄：大會手冊