



財團法人 中華民國輻射防護協會

輻射防護簡訊

第 139 期

發行人
鄧希平

主編
張似璵

編輯委員
尹學禮 江祥輝
劉代欽 蔡惠予 魯經邦

執行編輯
張仲銘 李孝華

出版單位
財團法人中華民國輻射防護協會

地址
30017 新竹市
光復路二段 295 號 15 樓之 1

03-5722224 電話
03-5722521 傳真
01486683 統編

rpa.newsletter@gmail.com 電郵
www.rpa.org.tw 網站

行政院新聞局 出版事業登記證
局版北市誌字 第柒伍零號

協會報導

第 3 頁

人員輻射劑量異常案件處理程序及佩章使用注意事項

輻射工作人員常因好奇或懷疑佩章的靈敏度及準確性而產生刻意照射佩章的念頭，殊不知此舉將因此觸法受罰。

測驗與訓練班公告

第 7 頁

公告本會各項訓練班開課時間。

新聞廣場

第 9 頁

各項證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞。

會議紀實

第 12 頁

2016 NEA/IRPA 網路線上研討會活動記要

輻防 Q & A

第 16 頁

輻射曝露與懷孕

如果你已經懷孕或有可能懷孕，且需接受醫用 X 光或放射檢查程序時，以下的資訊可以幫助解答你的問題。

新書介紹

第 19 頁

怕輻射不如先補腦

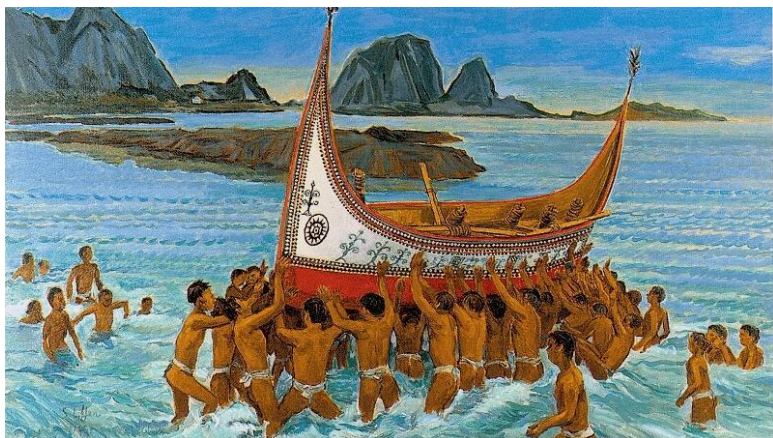
想知道「輻射到底會不會傷害我？證據是什麼？」要回答這個問題不可能完全不談到任何知識，本書探討一個核心問題：「曝露多少輻射我們才值得擔心？」

專題報導

第 22 頁

臺北榮民總醫院 重粒子癌症治療中心

臺北榮總正在籌立「重粒子癌症治療中心」，希望引進設置台灣第一台醫用同步加速器，應用加速碳離子來治療癌症。



台灣前輩畫家 顏水龍 (1903-1997) 蘭嶼畫作 ([圖片出處](#))

「輻」說

主編 張似璁

5 月上旬筆者和遠見雜誌採訪團隊一同造訪蘭嶼，進行全島的環境輻射偵測，也進入蘭嶼核廢料貯存場一窺究竟。兩天一夜的行程中，輻射偵測儀器在飛機上測到了此行中的最大值 (~0.38 微西弗/時)，約為台東機場外走廊測得數值 (~0.07 微西弗/時) 的 5 倍。而在蘭嶼所測到的最大值 (~0.074 微西弗/時，蘭嶼貯存場靠近壕溝處)，只不過與鋪滿地磚的台東機場外走廊的數值差不多。這個結果相信顛覆了很多人的想像。

輻射到底可不可怕？『怕輻射，不如先補腦』是本期簡訊特別介紹的新書。作者廖彥朋先生具有放射科學專業背景，以幽默風趣的文字，娓娓道來你我必須知道的生活輻射知識。在社會一片恐「輻」氛圍中，科學是指引我們前進的明燈。從下期開始，讓我們一起期待廖彥朋的「輻」說。

本期輻射的神奇醫術系列專題報導，介紹臺北榮民總醫院籌設中的**重粒子癌症治療中心**，與上期所介紹的長庚質子治療中心同為粒子放射治療的一種。本協會與美洲保健物理學會臺灣總會將於今年 11 月舉辦「2016 輻防新知研討會：台灣粒子放射治療腫瘤的新發展」，歡迎大家前來聽聽台北榮總及長庚醫院的專家學者們分享國內粒子放射治療的最新發展。



有鑑於蘭嶼人對核廢料輻射外洩的疑慮，《遠見》雜誌委託本會執行長張似璁及輻防師徐明傑，到當地進行背景輻射量測。

詳細報導請見 2016 年 6 月號《遠見雜誌》第 360 期：

[「蘭嶼人擔心輻射，小英總統能趕走『惡鄰居』？」](#)

歡迎賜稿，稿件請寄：

輻防協會編輯組

300 新竹市光復路二段 295 號

15 樓之 1 或

傳真 (03)572-2521 或

電郵 rpa.newsletter@gmail.com

來稿一經刊登，略奉薄酬；

政令宣導文章，恕無稿酬。

人員輻射劑量異常案件處理程序 及 佩章使用注意事項

輻射工作人員常因好奇或懷疑佩章的靈敏度及準確性，很容易產生想拿佩章去刻意照射的念頭，雖然只有少數人會實際付諸行動，殊不知此舉將造成雇主或設施經營者及自己極大困擾，並可能因此觸法受罰...

依據「游離輻射防護法」第十五條第一項之規定：「為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測」，條文中所謂「個別劑量監測」指的就是輻射工作人員佩戴如「熱發光劑量計」或「冷發光劑量計」等類型的輻射劑量佩章，監測其每月所接受的輻射劑量是否超過劑量限度並藉此鑑別該輻射作業是否符合「合理抑低」之原則。

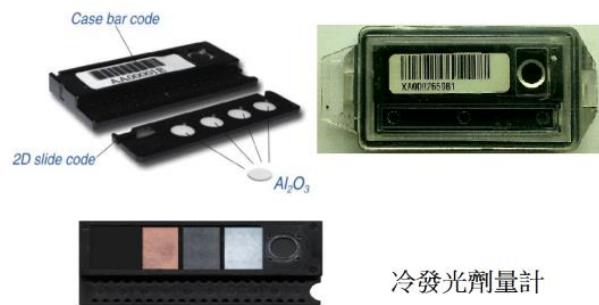
目前國內以配戴佩章作為個別劑量監測的輻射工作人員人數，依據「全國輻射工作人員劑量資料統計年報（民國 103 年度）」的統計，在 2014 年已達每年 50,438 人，並呈逐年增加的趨勢，然而，當使用佩章一段時間後，使用者常因好奇機台的輻射強度或懷疑佩章的靈敏度及準確性等因素，產生拿佩章去機台刻意照射的念頭，雖然大部分的人僅止於念想，但仍有



作者

簡文彬

輻射防護協會 企劃組組長



少數的人會實際付諸行動，殊不知此舉將造成雇主或設施經營者及自己極大困擾，並可能因此觸法受罰。

通常，佩章使用者不清楚其輻射源(如 X 光機或放射性物質等)的輻射(劑量率)強度，若拿佩章去輻射源照射，很容易造成佩章劑量超限或劑量異常，一旦發生，基於保護當事人，主管機關(行政院原子能委員會)依法必須介入調查，且劑量監測記錄必須經輻射防護人員評估及主管機關審核後方能修改，並非當事人想修改就可以修改，為避免佩章使用者因不清楚規定而受罰，茲將其相關處理程序整理如下，以供參考：

當雇主或設施經營者接獲佩章計讀單位之劑量異常或劑量超限通報，應立即依據「輻射工作人員劑量異常案件處理作業導則」(erss.aec.gov.tw/law/LawContent.aspx?id=FL012012)調查其劑量異常發生原因，並採取相關因應處理措施，例如機台立即執行輻射安全測試、令當事人停止輻射作業並接受調查等，填具該導則之附件二「輻射工作人員劑量異常案件通報表」，於下列規定時間內以傳真或其他適當方式通知主管機關：

1. 若年累積深部等效劑量超過 20 毫西弗但小於 50 毫西弗(未超限)，應於接獲計讀單位

通報後三日內為之。

2. 若劑量超過輻射工作人員劑量限度，即年累積深部等效劑量超 50 毫西弗或年累積淺部等效劑量超 500 毫西弗，或 5 年周期深部等效劑量超 100 毫西弗，應於接獲計讀單位通報後二小時內為之。

若一次的深部等效劑量超過 50 毫西弗，雇主或設施經營者應給與受曝當事人實施包括特別健康檢查、劑量評估、放射性污染清除、必要治療及其他適當措施之特別醫務監護。特別健康檢查依輻射工作人員特別健康檢查項目辦理。

主管機關接獲劑量超限案件通知，依法應派員檢查，並得命其停止與劑量超限事故有關之全部或一部之作業。

劑量異常案件發生後，雇主或設施經營者應儘速辦理下列事項，必要時須赴主管機關報告調查結果與檢討改善及防範措施：

1. 人員劑量超過輻射工作人員劑量限度者，應依規定實施調查、分析、及記錄，並將檢討改善及防範措施填具該導則(附件三)調查報告表，除報經主管機關核准者外，應於事故發生或知悉之日起三十日內，送達主管機關。

2. 人員劑量超過 20 毫西弗但小於 50 毫西

弗者，應將檢討改善及防範措施填具調查報告表，於事故發生或知悉之日起六十日內，送達主管機關。

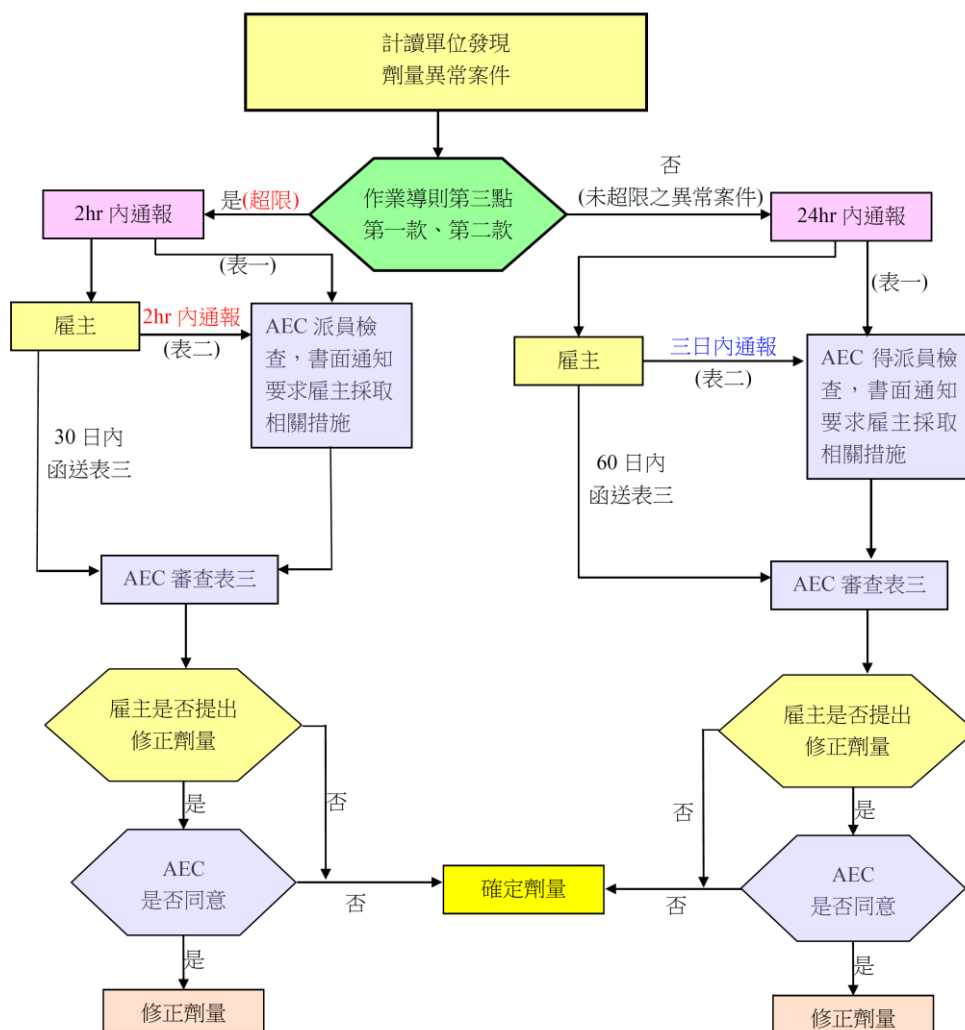
前項之調查報告表，應經輻射防護人員及受曝當事人簽認。依規定未設置輻射防護人員之場所，應委由主管機關認可之從事輻射防護偵測業務者簽署。若調查結果認定異常劑量非受曝當事人實際接受之劑量，應於調查報告表一併填列敘明，並提出劑量修正申請，報主管機關審查。

主管機關審查所提報告結果，判定後，通知計讀單位、雇主或設施經營者及受曝當事人

審查結果，計讀單位再依主管機關通知登錄其修正劑量。若審查結果確定劑量超限案件，主管機關得按違反游離輻射防護安全標準之情節，依法處分雇主或設施經營者並令其限期改善。

雇主或設施經營者應將人員劑量異常案例與劑量計使用方法及注意事項，列入所有輻射工作人員職前訓練與在職訓練課程，並留存紀錄備查。

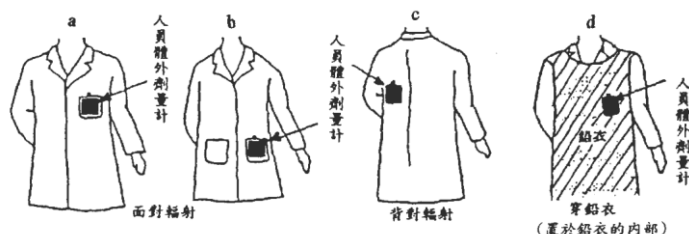
人員劑量異常案件處理作業流程請參見圖一。



圖一、人員劑量異常案件處理作業流程

佩章使用方法及注意事項

1. 佩章應戴於胸前至腰際間的衣著上或口袋內，正面朝外，如果穿著鉛衣，應將佩章置於鉛衣內，紀錄使用者實際接受之劑量。工作完畢後，應將佩章置於佩章架上或指定的存放處，不得私自攜離或任意放置。



2. 背景佩章、佩章架或佩章存放處應置於不受輻射源影響的地點，例如辦公室、休息區或更衣區等，切勿置於輻射源附近或照射室內，以免影響劑量評估之準確性。

3. 使用人不要故意將佩章打開或不慎將佩章與衣服一起送洗，可能會造成佩章損壞或內部晶片遺失等情形，佩章一旦遺失或損壞，視其損壞的程度，使用人必須付賠償費，從數百元到二千元不等。

4. 佩章無法同時監測多筆劑量紀錄，且人員劑量必須定期陳報主管機關，所以使用者一定要用自己的佩章，不得轉借或與他人交換使用，以免影響劑量紀錄之正確性。

5. 佩章僅用於監測輻射工作人員之職業曝露，如果以病人身分接受醫療曝露時，如放射診斷或治療時，不得帶佩章，如果接受過核醫藥物診斷或治療，必須等到身體表面劑量率降至自然背景值後，工作人員才可以繼續佩戴佩章。

6. 使用人不得將佩章放入 X 光機內或置於射源處，以免造成劑量異常或超限，一旦發生，主管機關必須介入調查，雇主及當事人可能因此受罰。若發現佩章遭意外曝露或不當使用，如不慎或遭人故意將佩章置於照射室內或遺留在射源附近等情形，應立即通知計讀單位，同時將佩章先寄回計讀，並詳細記錄發生原因及處理程序，以簡化（非省略）日後劑量修正或劑量異常案件調查程序。

7. 雇主應告知輻射工作人員劑量監測結果並保存其劑量監測記錄，自其離職或停止參與輻射工作之日起，至少保存三十年，並至其年齡超過七十五歲。輻射工作人員離職時，雇主應提供其曝露歷史紀錄。

輻射防護協會

TLD 佩章服務介紹

游離輻射（放射線）廣泛應用在工業、農業、學術與醫療等各領域，為確保其工作人員之安全健康，以達「合理抑低」輻射劑量之目的，特成立人員體外劑量測試實驗室，提供輻射劑量佩章服務，利用「熱發光劑量計」監測工作人員所接受之體外輻射劑量。

服務內容

- 佩章之租用：包含佩章盒、熱發光晶片及其配件。
- 佩章計讀及人員體外劑量之計算：每月評估一次。
- 劑量測試報告之定期寄送。
- 輻防相關訊息：於網頁上提供輻射防護相關之小百科、小故事或其他短文，以聚沙成塔的方式，推廣輻射防護觀念。

佩章服務諮詢專線

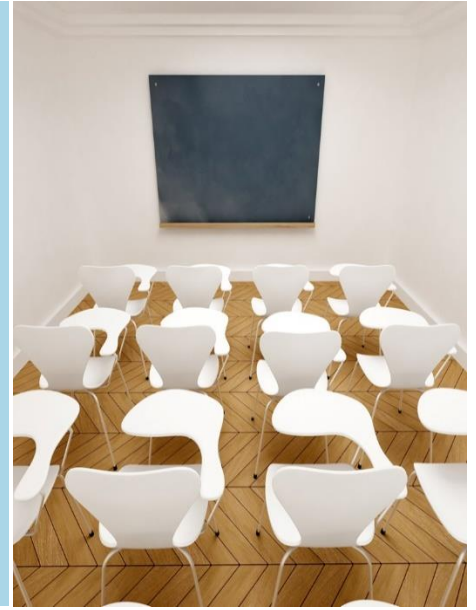
0800-022224 或

03-5722224 分機 319

劉尚艾 小姐

有興趣的朋友請蒞臨[本會網站進一步了解](#)。

各項訓練班開課時間



放射性物質或可發生游離輻射設備 操作人員研習班

A 組 36 小時許可類設備	A3	8 月 09 日 ~ 16 日	高雄 輻射偵測中心
	A4	8 月 24 日 ~ 31 日	新竹 帝國經貿大樓
B 組 18 小時登記備查類設備	B10	06 月 15 日 ~ 17 日	台北 建國大樓
	B11	06 月 22 日 ~ 24 日	新竹 帝國經貿大樓
	B12	07 月 19 日 ~ 21 日	台中 文化大學推廣部
	B13	07 月 26 日 ~ 28 日	高雄 輻射偵測中心
	B14	08 月 02 日 ~ 04 日	台北 建國大樓
	B15	09 月 06 日 ~ 08 日	新竹 帝國經貿大樓
	B16	09 月 20 日 ~ 22 日	台中 文化大學推廣部
	B17	09 月 27 日 ~ 29 日	台北 建國大樓
	B18	10 月 12 日 ~ 14 日	高雄 輻射偵測中心
	B19	11 月 02 日 ~ 04 日	新竹 帝國經貿大樓
B20	11 月 16 日 ~ 18 日	台中 文化大學推廣部	
B21	11 月 23 日 ~ 25 日	台北 建國大樓	

輻射防護專業人員訓練班

輻防師 144 小時、輻防員 108 小時

／新竹帝國經貿大樓

員 29 期

第一階段	07 月 04 日～ 08 日
第二階段	07 月 11 日～ 15 日
第三階段	07 月 25 日～ 29 日
第四階段	08 月 01 日～ 04 日

進階 20 期

20 - 1	08 月 16 日～ 18 日
20 - 2	08 月 19 日～ 23 日

輻射防護繼續教育訓練班*

三小時

07 月 07 日	台中
07 月 22 日	高雄
08 月 05 日	新竹
08 月 25 日	台北
10 月 18 日	高雄
10 月 28 日	新竹
11 月 01 日	台中
11 月 22 日	台北

六小時

09 月 01 日	台北
10 月 04 日	高雄
11 月 08 日	新竹

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

鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班*

鋼

10 月 19 日～ 20 日	高雄
11 月 10 日～ 11 日	新竹 帝國經貿大樓

各項訓練班簡章可至[本會網站查詢](#)。

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	輻射偵測中心	高雄市鳥松區澄清路 823 號
	非破壞檢測協會	高雄市前鎮區擴建路 1-21 號 6 樓
	南訓中心	

課程安排問題，請聯絡本會
電話 (03) 572-2224

分機 313 李貞君（專業人員、
鋼鐵建材、
繼續教育）

315 邱靜宜（放射物質
與游離輻射設備）

傳真 (03) 572-2521

輻防新聞廣場

這裡有您最關心的證照考試資訊、國內產官學界最新消息、以及近日全球輻防新聞



最新證照考試日期與榜單

行政院原子能委員會 105 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

「行政院原子能委員會 105 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」已於民國 105 年 5 月 7 日舉行，測驗試題與解答已公布於原能會網站。[相關網址](#)

國內訊息

Philips MicroDose Mammography SI L50 數位式乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品質保證作業操作程序書及校驗紀錄表

「Philips MicroDose Mammography SI L50 數位式乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品質保證作業操作程序書及校驗紀錄表」已公布於原能會網站，提供各界下載瀏覽。[相關網址](#)

2016 除役核電廠輻射影響評估模式(RESRAD)審查應用研討會活動紀要

原能會物管局為加強國內對核能電廠除役後環境輻射劑量的評估技術能力，邀請美國能源部 Argonne 國家實驗室專家余家禮博士，於 5 月 3 日在原能會 3 樓禮堂舉辦「2016 除役核電廠輻射影響評估模式(RESRAD)審查應用研討會」。出席此活動之單位，包括本會除設計畫審查團隊、台電公司、核能研究所、核能產業界、學術界、教育單位及民間環保人士等，約 150 人參與研討。

在研討會期間，余博士分享美國政府對核電廠除役後環境輻射劑量估計之審查經驗、核能電廠除役執照核可流程、除役公眾溝通案例，以及核設施拆除後劑量評估實務經驗。

本次美國專家講述之 RESRAD 程式為權威性環境輻射劑量評估程式，該程式獲得美國核管會與能源部認可，已實際應用於多座核電廠除役之環境輻射劑量管理。

媒體報導「核三廠爐水外洩 不停機還重啟」之原能會澄清說明

105 年 3 月 16 日核三廠 2 號機發現圍阻體內集水池水位及濕度上升，原能會駐廠視察員除現場密切監視機組運轉狀況外，並立即回報核三廠處置情形。3 月 17 日核三廠 2 號機開始降載停機，經檢查結果為反應爐冷卻水系統第 3 迴路流量傳送器之 3/8 吋洩水閥管塞洩漏，核三廠已於 18 日更換該洩水閥及管塞並測試確認不再洩漏。

為管制核能電廠再起動作業，原能會訂有「核子反應器設施停止運轉後再起動管制辦法」，以規範審查事項及內容。原能會表示，由於核三廠 2 號機洩漏率未達法規限值，尚不需依運轉技術規範降載停機。核三廠停機檢修屬自發性處置措施，檢修後再起動依法不需經原能會核准，惟原能會人員均充分掌握機組狀況，2 號機起動後運轉正常。

本次反應爐冷卻水系統流量偵測迴路洩漏事件，經原能會視察員查證，圍阻體內輻射未達警戒值，廠區外環境輻射偵測值均在正常背景範圍([國內環境輻射即時數據網址](#))，並無安全疑慮。

原能會後續已要求台電公司檢討核能電廠反應爐冷卻水系統小管路之維護策略，以提昇機組運轉之穩定性，並減少民眾疑慮。

105 年 4 月輻安預警自動監測日平均劑量率變動圖

105 年 4 月輻安預警自動監測日平均劑量率，均在背景變動範圍（ $0.2 \mu\text{Sv/hr}$ ）內。[相關網址](#)

105 年 3 月輻安預警自動監測日平均劑量率變動圖

105 年 3 月輻安預警自動監測日平均劑量率，均在背景變動範圍（ $0.2 \mu\text{Sv/hr}$ ）內。[相關網址](#)

輻射偵測中心 105 年 4 月份乳製品進口食品檢測結果

原能會輻射偵測中心至消費市場抽樣購買 25 件來自荷蘭、紐西蘭、澳洲、丹麥、法國、日本等 7 個國家的乳製品食品進行放射性含量分析，[檢測結果](#)皆符合法規規定。

輻射偵測中心 105 年 3 月份乾果核仁類進口食品檢測結果

原能會輻射偵測中心至消費市場抽樣購買 25 件來自美國、日本、泰國、巴西、德國等 8 個國家之乾果核仁類進口食品進行放射性含量分析，[檢測結果](#)皆符合法規規定。

輻射偵測中心 105 年 3、4 月份臺灣地區食用之農特產品檢測結果

原能會輻射偵測中心至消費市場抽樣購買來自宜蘭縣、南投縣、雲林縣、台中市、高雄市、台南市、屏東縣等農特產品進行放射性含量分析，檢測結果皆符合法規規定。

[相關網址 1](#)、[相關網址 2](#)

輻射偵測中心 105 年第 1 季臺灣地區自來水檢測結果

原能會輻射偵測中心採取臺灣省自來水公司所屬貢寮、新山、平鎮、大湳等 29 個給水廠之飲用水試樣進行放射性含量分析，檢測結果皆符合法規規定。[相關網址](#)

輻射偵測中心市售包裝礦泉水檢測結果

原能會輻射偵測中心至消費市場抽樣購買 15 件來自美國、日本、法國、斐濟、德國等 7 個國家之礦泉水試樣進行放射性含量分析，[檢測結果](#)皆符合法規規定。

輻射偵測中心公告 104 年下半年「臺灣地區放射性落塵及食品與飲用水調查半年報」

輻射偵測中心完成 104 年下半年「臺灣地區放射性落塵及食品與飲用水調查半年報」，相關資訊請[上網查詢](#)。

輻射偵測中心公告 104 年「臺灣地區核設施環境輻射監測年報」

輻射偵測中心完成 104 年「臺灣地區核設施環境輻射監測年報」，相關資訊請[上網查詢](#)。

輻射偵測中心公告 104 年第 4 季「臺灣地區核設施環境輻射監測季報」

輻射偵測中心完成 104 年第四季「臺灣地區核設施環境輻射監測報告」，相關資訊請[上網查詢](#)。

輻射偵測中心公告 104 年第 4 季「龍門電廠運轉前環境輻射監測季報」

輻射偵測中心完成 104 年第四季「龍門電廠運轉前環境輻射監測季報」，相關資訊請[上網查詢](#)。

海外信息

美國廢棄物管制專家公司申請興建位於德州的用過核子燃料中期貯存設施

廢棄物管制專家公司（Waste Control Specialist LLC, WCS）已向美國核管會（Nuclear Regulatory Commission, NRC）申請用過核子燃料的集中式中期貯存設施（Consolidated Interim Storage Facility, CISF）的興建及營運執照。

2016 NEA/IRPA 網路線上研討會 活動記要



NEA/IRPA 網路線上研討會(Webinar)簡介

核能署(Nuclear Energy Agency, NEA)與國際輻射防護協會(International Radiation Protection Association, IRPA)於今年 2 月至 3 月合辦「利益關係人對話(Stakeholder Dialogue)網路線上研討會(Web-Based Seminar, Webinar)」，主題為「年輕與資深專家及研究者之經驗與教訓」(Experience and Lessons for Young and Old Experts and Researchers)，其目的為鼓勵輻射防護專業人員透過庶民語言及社群媒體，與公眾、非政府組織、中央/地方政府及非輻射防護政府部門進行對話、資訊交流與分享。

本線上研討會共有三個場次，分別在台北時間 2016 年 2 月 17 日、2 月 24 日及 3 月 2 日晚上 8 點舉行，每個場次約 2 小時。除邀請輻防領域專家與會外，亦開放一般民眾註冊報名參加。參加者不但可於線上聆聽演講，也可透過網路即時提問，演講者則於小組討論會 (panel discussion) 時答覆網路觀眾所提問題。

研討會摘要與心得

第 1 場次

講題：

1. Stakeholder Involvement and the CRPPH: A Learning Process from Chernobyl to Fukushima
2. IRPA Guiding Principles for Radiation Protection Professionals on Stakeholder Engagement

原能會輻防處 郭子傑
2016.05



圖 1 NEA/IRPA 網路線上研討會實況

第一講題係由 NEA 輻射防護與公共衛生委員會(Committee on Radiation Protection and Public Health, CRPPH)主席 Mike Boyd 先生，就 CRPPH 及利益關係人(stakeholders)發表演講。CRPPH 係由管制單位與輻防專家所組成，主要功能為針對輻防議題提供管制建議。Boyd 先生強調：輻防專家雖具有輻防專業知識，但其實輻防專家僅為建議者，真正的決策者往往是利益關係人，因此「利益關係人溝通」是一項必要的議題。有鑑於此，CRPPH 已與 ICRP 合作舉辦過多場研討會，並凝具下列共識：「利益關係人溝通所涉及的範圍已由科學面向逐步擴展到社會面向」。CRPPH 在民眾溝通上已有許多經驗，這些經驗係從多次錯誤中累積而得，也正是協助決策者作正確判斷的基石。

第二講題則是由國際輻射防護協會(IRPA)主席 Renate Czarwinski 先生就 IRPA 之輻射防護溝通經驗發表演講。依 IRPA 之經驗，輻防體系能否成功不僅取決於科學的面向，也涉及抽象的哲學、道德、智慧等面向之判斷。針對利益關係人溝通，IRPA 提出 10 大建議原則：

- (1)依議題性質決定利益關係人的參與程度。
- (2)儘早展開並研擬可行的執行計畫。
- (3)確保溝通過程公開透明。
- (4)尋求利益關係人與相關專家。
- (5)明定參與者的角色責任。
- (6)依據眾人對議題的意見建立溝通目標。
- (7)建立樂於分享意見的文化。
- (8)尊重不同的觀點。
- (9)建立回饋機制，讓每次溝通經驗回饋於下一次溝通的改進。
- (10)遵循 IRPA 倫理規範(IRPA Code of Ethics)。

民眾溝通是一項長期工作，溝通策略有賴於經驗累積以逐步精進。因此，雖短期內可收成效有限，但仍需逐步建立民眾對政府的信任，方能順利推展民眾溝通工作。

第 2 場次

講題：

1. Development of release criteria for contaminated areas: Experience from the US Rocky Flats Plant situation
2. Accepted and sustainable radiological protection decisions during nuclear reactor decommissioning: Experience in Sweden from a regulator's point of view

講題 1 由風險評估公司(Risk Assessment Corporation, RAC)的 Till 博士發表關於 Rocky Flats 工廠污染外釋評估之演講。Rocky Flats 工廠位於美國科羅拉多州丹佛市的西北部，從 1952 年運作到 1989 年，為美蘇冷戰時期以鈾(Plutonium)元素製造核子武器的工廠。RAC 受當地州政府委託，進行此核武工廠運作期間，鈾外釋到廠外導致周邊社區民眾曝露之風險調查。RAC 開發了計算來自 Rocky Flats 工廠外釋到空氣中鈾的空浮濃度、表面沉積，以及終生致癌風險的評估模式。該模式整合了 37 年來，Rocky Flats 工廠例行運作以及事故情境的空浮外釋評估及大氣擴散和沉降的計算，評估結果發現四氯化碳是風險最高的化學物質。此外，由於當地的野生動物棲息地在過去 30-50 年間相對未受干擾，為各種野生動物提供了棲息，並成為重要的自然保護資源，Rocky Flats 於 2007 年成為野生動物保護區。

本場次之講題 2 則是由瑞典輻射安全局(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)的 Carroll 先生發表關於瑞典核電廠除役之演講。SSM 為瑞典輻射防護及核能管制主管機關，致力於保護國民與環境免受輻射傷害，其核心價值為「信賴」、「公正」與「開放」。瑞典現有 10 部機組，供應全國約一半的電力。該國於 1980 年通過公投，將於 2010 年開始進行

各核電廠的除役。SSM 的決策過程係秉持「溝通」、「透明」及「參與」之精神，其溝通的方式包括決策過程應予利益關係人（公眾、無政府組織等）有參與之機會，且相關資訊公開、透明，讓社會大眾有知的權利，這也是 SSM 核心價值的實踐。

第 3 場次

講題：

1. Experience and Lessons for Young and Old Experts and Researchers
2. Web Sources: Blog, Wikipedia, Webinar, Web Chat, LinkedIn Group

本場次網路研討會邀請德國萊茵 TÜV 集團的輻防專家 Sven Nagels，以及英國核能除役署(Nuclear Decommissioning Authority, NDA)的 Sophie Palmer 經理，分別介紹目前常見之社群網站與網路媒體用途與功能，並分析其優、劣勢，及與傳統媒體訊息發佈之差異。由於資訊的發達、手機的普及，現今社會的訊息傳播與溝通媒體已經由傳統的電視、廣播、報章雜誌，轉為以 Blog、YouTube、Facebook、Twitter、LinkedIn 等的網路社群媒體為主，目前 Facebook 用戶已有 8 億 4 千萬人、Twitter 的用戶亦達 2 億人。相較於傳統的溝通媒體，現在的網路社群媒體可以提供更全球化的資訊傳播，在傳播訊息的編輯上也更為容易。英國 NDA 善加利用這些網路社群平台發布有關英國核電廠除役相關資訊與宣導，藉由這些平台的宣傳力，吸引更多人來參加相關活動。

社群網站與網路媒體為全球性資訊平台，藉其可快速、甚至即時傳遞及發佈訊息，多數平台並提供互動討論功能，以作為資訊溝通與交流。但對於發佈與傳遞訊息之正確性則有待

商確，往往因文字被錯誤解讀而曲解原意，甚至是未經查證、授權或惡意發佈錯誤資訊而造成後續影響。因此需審視所發佈之訊息，以達快速傳遞訊息同時還能顧及其品質。網路社群媒體的影響力雖然已經不容忽視，但還是不能完全取代傳統媒體，並且為了避免或減少網路媒體傳播所造成的危機，需要投入更多人力時間去追蹤、處理與更正這些錯誤的訊息。利用網路社群媒體來進行溝通，是一種無法避免的溝通趨勢，但就像水能載舟、亦能覆舟，未來我們在使用這類網路社群媒體時，需要更加的謹慎、小心與有效率，尤其是處理有關核能這種對於一般公眾來說敏感的問題，需要更充分的準備、謹慎並及時的回應，利用雙向溝通機制，建立更加開放、透明的對話環境，達到更好的溝通效果。

結語

本次 NEA 與 IRPA 合辦之「利益關係人對話」網路線上研討會，主要是讓輻射防護專業人員學習透過庶民語言及社群媒體，與民眾、非政府組織、中央和地方政府，以及非輻射防護政府部門進行溝通、資訊交流與分享。由本次研討會可知，政策之推行除仰賴專業行政團隊與技術外，如何與利益關係人溝通益顯重要。原能會現已透過 Facebook（輻務小站）及 Youtube 等社群網站與網路媒體，提供核能安全宣導，使民眾能獲知相關訊息並正視輻射安全議題。未來將持續精進相關網路平台之資訊，以提供民眾正確、快速之訊息，達到溝通交流雙贏之目標。

經濟合作暨發展組織核能署 (OECD/NEA) 簡介

經濟合作暨發展組織

(Organization for Economic Co-operation and

Development, 簡稱 OECD) 於

1961 年成立，其總部設於法國巴黎，另在德國波昂、日本東京、墨西哥市及美國華府設有辦事處。

OECD 於 1961 成立時計有歐洲 18 國及美國與加拿大等共 20 個會員國，目前已增至 34 個會員國。

由於經濟發展涉及能源議題，而核能應用亦屬能源的一環，因此

OECD 將 1958 年在巴黎成立的歐洲核能署(European Nuclear

Energy Agency, ENEA)納入其組織，並於 1972 年日本加入該組織後，更名為「核能署」(Nuclear

Energy Agency, NEA)。

輻射曝露與懷孕

如果你已經懷孕或有可能懷孕，且需接受醫用 X 光或放射檢查程序時，以下的資訊可以幫助解答你的問題。

每個人每天都會接受輻射曝露。人們持續地曝露在低劑量的輻射下，這些輻射來自於食物、土壤、建築材料、空氣、與來自外太空中的輻射，這些輻射都是天然產生的，例如，香蕉含有天然射源鉀-40，空氣則含有放射性氣體氡氣。居住在美國的人們平均接受來自天然背景輻射的劑量（dose）大約是每年 3 毫西弗（註：毫西弗是輻射劑量的單位，就像公克或盎司是重量的單位）。台灣的自然背景輻射則約為每年 1.62 毫西弗）。

除了天然背景輻射，人們也可能受到醫用輻射的曝露，如醫用輻射檢查或治療。如果你已經懷孕或有可能懷孕，且需接受醫用 X 光或其他放射檢查程序時，以下的資訊可能可以幫助解答你的問題：「醫療程序中所接受的輻射曝露是否會增加孩子的健康風險？」

懷孕過程中接受醫用 X 光檢查或核子醫學（使用放射性核種）檢查，所承受的健康風險是什麼？

很多可靠的資訊指出懷孕期間接受輻射曝露時的潛在輻射效應，受下列兩項因素影響：胎兒所處的發育階段和劑量的多



小辭典

劑量(dose)：

意指受輻射曝露的物質所吸收的能量（吸收劑量）或受輻射曝露的組織所潛在的生物效應（等效劑量）的一般術語。

西弗 (Sievert, Sv)：

國際單位系統中的劑量單位，相當於 1 焦耳 / 公斤。1 西弗等於 1000 毫西弗。

編譯

輻防簡訊編輯組

資料來源

美國保健物理學會單張 Health Physics Society Fact Sheet [“Radiation Exposure and Pregnancy”](#)

Adopted: June 2010

寡。根據所知：劑量有低限值的存在，當劑量小於低限值時，並未觀察到不好的效應。

根據美國放射醫學院 (American College of Radiology)，懷孕婦女接受常規的腹部、背部、臀部、骨盆腔之 X 光檢查時，並不會對胎兒造成嚴重的風險 (ACR/ RSNA 2010)。然而，針對媽媽的胃部或臀部所做的某些特定程序（如電腦斷層或下腸胃道透視攝影檢查），則可能會給予較高的劑量。假設你服用放射性藥物（核子醫學），尿液或小腸內的放射性活度會對胎兒產生中等劑量，而某些化合物也會穿透胎盤。若你需要進行放射治療，無論是由機器產生的輻射或由核子醫學來治療，建議等孕期結束後再進行治療；若在緊急狀況下需進行治療，則應採取特殊的預防措施以保護胎兒。

極大量的輻射劑量（如：日本原子彈爆炸中懷孕的生還者）會造成胎兒畸形和神經系統的效應，但診斷程序所用的輻射劑量則低於造成這些效應的低限值。有些人討論子宮內的胎兒接受曝露後，可能得到癌症的風險，但造成這種效應的機會非常小，就算這種效應存在，其發生的機率也低於這些癌症的自然發生率，甚至遠低於整個孕期中其他風險。每次懷孕時，新生兒先天缺陷的風險約為 3 % (ACOG 2009)、發生流產的風險則約為 15 % (ACOG2002)。

大部分診斷 X 光或核子醫學程序所接受的輻射劑量並不會顯著地增加風險。若你所接受的檢查或治療可能造成胎兒接受較高的劑量，醫學物理師或保健物理師會與你的醫師共同評估可能產生的輻射劑量與風險。你也可以透過醫院放射部門或輻射安全部門來聯繫醫學物理師或保健物理師。

萬一我接受輻射曝露後才發現懷孕，該怎麼辦？

如果在接受檢查或治療後，妳才發現懷孕了並感到憂心，妳可以與開立此項檢查的醫師討論。妳與妳的醫生應該聯絡醫學物理師或保健物理師，以評估妳的胎兒所接受的輻射劑量。計算輻射劑量與了解胎兒的發展階段，有助於醫學物理師或保健物理師判斷潛在的健康風險，且妳的醫生應該知道此項資訊。

大部分的標準放射檢查與治療程序之輻射劑量低於 50 毫西弗，(美國)國家輻射防護與測量委員會 (National Council on Radiation Protection and Measurements) 與(美國)婦產科學院 (American College of Obstetricians and Gynecologists) 都同意：輻射劑量低於 50 毫西弗的標準醫療檢查並不會對你的胎兒增加潛在的健康風險，然而少部分輻射劑量超過 50 毫西弗的醫療檢查或綜合檢查則有可能增加潛在的健康風險，這取決於輻射劑量的多寡與懷孕的階段。

更多有關輻射與懷孕的問題，可由保健物理學會(Health Physics Society)網站專欄「詢問專家 (Ask the Experts)」尋找答案。

與我懷孕多久有關係嗎？

發育中的胎兒對輻射的敏感度與下列條件有關：發育的階段、劑量的多寡、總曝露的時間長度（分鐘、小時、天或、周）。胎兒對輻射最敏感的階段是在懷孕第 8~15 周，醫學物理師或保健物理師會考量全部的因素，再決定你的胎兒可能有的風險。

我目前尚未懷孕，X 光或核子醫學檢查會造成我未來的小孩有先天缺陷嗎？

針對廣島與長崎受到原子彈輻射的女性、與孕期時接受 X 光檢查、核子醫學檢查與其他醫療輻射程序的婦女的研究調查結果得知，目前沒有證據顯示會因為妳懷孕前接受 X 光或核子醫學檢查，而使你未來的小孩有發生先天缺陷的風險。自一百多年前發現 X 光後，接受醫學輻射曝露的女性人數大幅提升，但是先天缺陷或流產的機率卻沒有改變。

我還需要知道哪些事情？

當懷孕過程中妳需要接受腹部/骨盆腔的 X 光檢查或核子醫學檢查時，所需採取的預防措施是先請教你的醫生，當醫師與醫學物理師或保健物理師討論後，醫師將會幫助你決定所增加的風險是否是顯著的，如果有相當大的風險，你的醫生可能決定延遲此項程序到生產後再進行，或以其他的醫療程序替代，如超音波或磁振造影(MRI)。

如果妳懷孕了且已經預定進行腹部 X 光或核子醫學程序，卻尚未與你的醫生討論過，請告知幫你進行檢查的人你已經懷孕了，以作為預防措施。

我正在哺乳卻必須接受核子醫學檢查，該怎麼辦？

正值哺乳的媽媽需進行核子醫學檢查時，應該在接受放射藥物後暫停哺乳一段時間，核子醫學的工作人員將提供有關暫停哺乳的相關資訊。至於 X 光檢查與電腦斷層掃描檢查，母乳並不會因檢查而受影響，因此媽媽還是可以繼續哺乳。

參考文獻

- American College of Obstetricians and Gynecologists. Reducing your risk of birth defects. August 2009. Available at: http://www.acog.org/publications/patient_education/bp146.cfm. Accessed 24 June 2010.
- American College of Radiology/Radiological Society of North America. Pregnancy and x-rays. RadiologyInfo.org. March 2010. Available at: http://www.radiologyinfo.org/en/safety/index.cfm?pg=sfty_xray#part6. Accessed 6 May 2010.
- American College of Obstetricians and Gynecologists. Early pregnancy loss: Miscarriage and molar pregnancy. May 2002. Available at: http://www.acog.org/publications/patient_education/bp090.cfm. Accessed 24 June 2010.

更多資料來源

- Brent RL. Saving lives and changing family histories: Appropriate counseling of pregnant women and men and women of reproductive age, concerning the risk of diagnostic radiation exposures during and before pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 200(1):4-24; 2009.
- International Atomic Energy Agency. Pregnancy and radiation protection in diagnostic radiology, radiotherapy and nuclear medicine. 2010. Available at: http://rpop.iaea.org/RPOP/RPOP/Content/SpecialGroups/1_PregnantWomen/index.htm. Accessed 24 June 2010.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. Radionuclide exposure of the embryo/fetus. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report No. 128; 1998. Available at: <http://www.ncrppublications.org/Reports/128>. Accessed 24 June 2010.
- Radiation Answers, www.radiationanswers.org is a Web site that answers questions about radiation and was developed by the Health Physics Society.
- Stabin M, Breitz H. Breast milk excretion of radiopharmaceuticals: Mechanisms, findings, and radiation dosimetry. *Continuing Medical Education Article, Journal of Nuclear Medicine* 41(5):863-873; 2000.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission. Instruction concerning prenatal radiation exposure. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission; NUREG 8.13, Revision 3; June 1999.

怕輻射，不如先補腦

大家好，打給厚，胎嘎猴，我是
「周魚民的老闆」廖彥朋。

我的背景是醫學物理，而且還是放射診斷的醫學物理，所以在業務上接觸到的放射線絕大部分是低劑量輻射。兩年前在一個因緣際會下跟出版社談了這本《怕輻射，不如先補腦》，一開始其實出版社有點興趣缺缺，因為島內據說有「七成反核」，想要寫一本「不要那麼害怕輻射」的書還不如去反串恐核可能比較有市場，畢竟理論上全台灣最多只有三成的人真心想要搞懂輻射是怎麼一回事。

回歸到一個很基本的問題：「為何民眾總是聞輻色變？」簡單的說，就是因為「不了解」。而輻射本身是一個非常專業的學門，如果我們身處的環境是能夠隨便找一個路人討論光子能量與康普吞散射的發生機率與能譜形狀，而且跟談論台北哪一家小籠包好吃一樣輕鬆愉快，甚至暢談三小時仍意猶未盡，今天大概就不會有這些疑慮產生了，當然現實是殘酷的，一般有正當職業、無不良嗜好的正常人是無法跟我們堅持超過一分鐘的，他們只想知道「輻射到底會不會傷害我？證據是什麼？」當然，要回答這個問題不可能完全不談到任何知識的，所以我最後決定在這本書中只探討一個很核心的問題，那就是：「到底要曝露多少輻射我們才值得擔心？」。

過去數十年，輻射領域可說是成也「線性無低限假說」、敗也「線性無低限假說」，我們利用線性無低限假說訂定了許多很好的法規制



時報文化出版 (2016/03/15)

ISBN: 9789571365732

作者

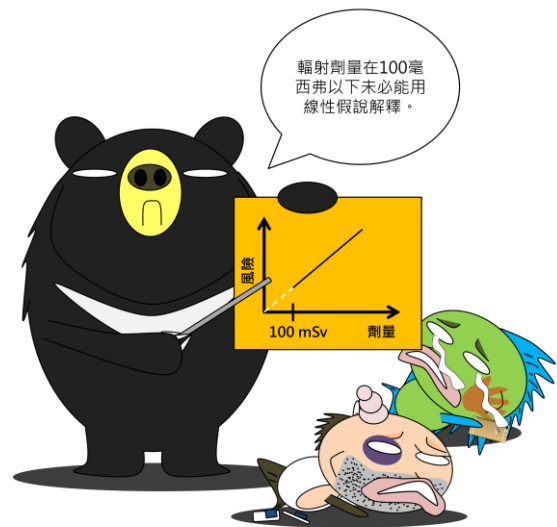
廖彥朋

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

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

度，但是也因為在民間許多線性假說的誤用導致許多莫名的恐慌。從廣島長崎原爆七十餘年的追蹤，除了在數據統計上尚無法證實低於 100 毫西弗的輻射曝露與癌症發生機率的相關性之外(參考一)，即便我們依線性假說考慮其風險，相較於現代人從 0 歲到 84 歲的終身罹癌機率(大約 50%)而言亦是微乎其微(參考二)，我們不論從科學證據的角度或臨床意義的角度，低於 100 毫西弗的輻射曝露都不足為懼。

這樣的概念這幾年在學界已經逐漸成為顯學，包括國際輻射防護委員會、美國醫學物理學會等各大組織，紛紛都發表報告書與新聞稿呼籲大眾不要對於低劑量輻射過度恐慌，許多大規模的研究都顯示，100 毫西弗這條線不僅僅適用於大人、小孩，連胎兒也是(參考三)。過去我們最疑惑的「累積低劑量」的問題也在 2015 年「國際核子工人研究」所發表的長期追蹤報告中得到了「分析低於 100 毫西弗的輻射曝露與癌症風險的結果較不精確」的結論(參考四)，更別提那些每年要被背景曝露 260 毫西弗的伊朗拉姆薩居民在過去的研究中也從未顯示任何異於常人之處了。



當然，除了一般民眾的專業知識有所落差以外，坊間一些特定人士經常用一些「聽起來很專業」的話術擾亂視聽也是非常恐怖的，他們的言論對於一般不了解狀況的民眾來說是「看起來好像很有道理」的。好比說，當你談到福島農產的時候，你說：「農產品在符合法規的前提下，其輻射劑量對人體的影響微乎其微。」這時候就會有人出來噲說：「體內曝露跟體外曝露不一樣。」是不是聽起來好像很專業但是根本沒回答到問題，這些人當然不了解我們所說的「劑量」是已經考慮核種停留在體內五十年的累積，而且你要是反問他哪裡不一樣，他就會已讀不回並且回去告訴大家你被打臉了，不要笑，現在的網路生態就是如此變態。

在社會上很多議題都跟輻射有關(不論是游離或非游離)，三不五時就有人反基地台、反電塔、反核廢料、反核廢料不處理、反核廢料被處理。民眾之所以反(我們假設跟各種利益掛鉤無關)，多半是因為「害怕這些東西會傷害我的權益」，而害怕的根源往往來至於知識的匱乏。我期待藉由這本書的出版能夠給予社會大眾一些解惑，如同我在書中所說：「知識才是真正的防護罩」，有了知識，我們自然就能夠不再杯弓蛇影、杞人憂天了。



精彩目錄

自序 我是醫學物理師

Part I 要防輻射，先補腦！

- 01 我書讀不多，你不要騙我說這個沒輻射
- 02 輻射劑量是什麼？可以吃嗎？
- 03 輻射到底多可怕？
- 04 輻射劑量「超標」就會死？
- 05 什麼是「線性假說」？

Part II X光、磁振造影，免驚！

- 06 醫師怎麼決定要不要做放射線診療？
- 07 我一年可以照幾次X光？
- 08 孕婦可以做放射性檢查嗎？
- 09 他只是個孩子啊！可以做放射性檢查嗎？
- 10 醫院的移動式X光機會殺人？
- 11 健檢的輻射劑量等於原子彈爆炸？
- 12 核磁共振是用核能做檢查嗎？
- 13 照X光為什麼不給我穿鉛衣？
- 14 放療？化療？傻傻分不清
- 15 醫美用的脈衝光也是輻射？

Part III 輻射來了，快逃啊！

- 16 吃香蕉會致癌？什麼是天然輻射？
- 17 手機電磁波是 2B 級致癌因子，還說不會死人？
- 18 微波爐煮過的食物有沒有輻射殘留？
- 19 溫泉居然也有放射性！
- 20 高壓電可能會致癌？
- 21 福島核災後，日本的食物還能吃嗎？
- 22 機場的行李X光機會讓我不孕嗎？
- 23 晒日光浴該烤到多熟比較好？
- 24 從小住在輻射屋會成為變種人？
- 25 核廢料放我家真的沒問題？

後記 科學是指引我們前進的明燈

喜歡廖彥朋的文章嗎？本刊自第 140 期開始，
將為作者特闢專欄「輻說」，請拭目以待！

參考資料

1. Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiat Res.* 2003 Oct;160(4):381-407.
2. Ahmad AS, Ormiston-Smith N, Sasieni PD. Trends in the lifetime risk of developing cancer in Great Britain: comparison of risk for those born from 1930 to 1960. *Br J Cancer.* 2015 Mar 3;112(5):943-7.
3. ICRP, 2000. Pregnancy and Medical Radiation. ICRP Publication 84. *Ann. ICRP* 30 (1).
4. Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, Gillies M, O'Hagan JA, Hamra GB, Haylock R, Laurier D, Leuraud K, Moissonnier M, Schubauer-Berigan MK, Thierry-Chef I, Kesminiene A. Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ.* 2015 Oct 20;351:h5359.

臺北榮民總醫院 重粒子癌症治療中心簡介



臺北榮總正在籌立「重粒子癌症治療中心」，希望引進設置台灣第一台醫用同步加速器，應用加速碳離子來治療癌症。

前言

根據衛生署 105 年 04 月 21 日最新統計資料，民國 102 年癌症登記年報中全癌個案數為 99,142 人，時至今日國人每年新發生癌症人數應已突破十萬人大關。癌症主要治療方式有手術切除腫瘤、化學治療、體外放射治療、標靶藥物治療及免疫治療等。而放射治療方式，一直是癌症治療不可或缺的一環，估計罹癌病患在其療程中約有一半會接受放射治療。如今針對惡性腫瘤，「重粒子放射治療」也將成為放射治療中另一項可選擇的治療方式。

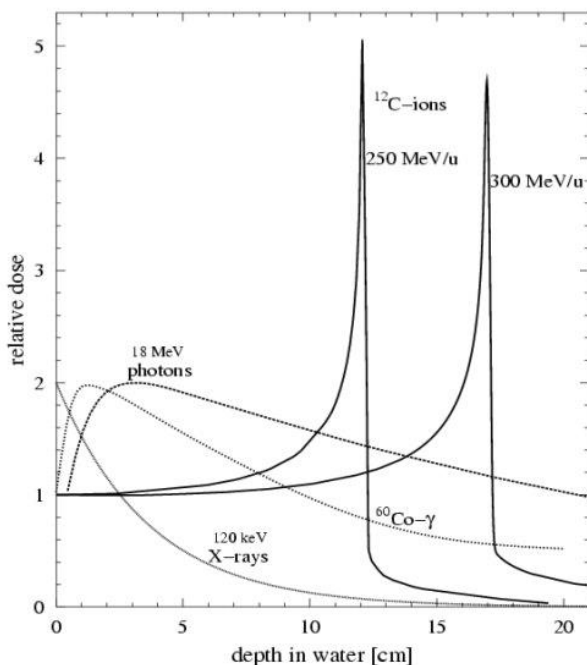
傳統醫用直線加速器所發出的 X 光，尤其針對頭頸癌、鼻咽癌、乳癌、攝護腺癌、子宮頸癌等具有相當好的療效，所以放射治療一直是主要治療或輔助手術的重要療法。然而 X 光放射治療由體外直接照射體內腫瘤部位，無可避免會造成照射路徑上正常組織之傷害，因而造成放射治療後的副作用。重帶電粒子射線，例如質子或碳離子射束，運用其優異的能量沉積特性，即布拉格峰 (Bragg peak，如圖一)，可以有效施予深部腫瘤放射治療劑量，同時降低周邊正常組織的輻射副作用。

作者

劉晉昇

臺北榮民總醫院 腫瘤醫學部

碳離子(^{12}C ions)粒子射束的優異處在於其獨特的物理特性，即知名的布拉格尖峰（參見圖一）。碳粒子射束進入人體後，會依能量大小在預定深度處釋放出大量能量而停止前進，因此在後方的組織不會接受到任何輻射劑量。將數個不同能量布拉格尖峰合在一起，就可將此峰擴展成腫瘤的大小。反之，X光在腫瘤前方組織劑量高於腫瘤，且後方尚有殘餘劑量。兩者比較，重粒子放射治療對病灶周圍的正常組織之輻射劑量大幅下降，副作用也因此降低。以國人罹患率很高的肝癌為例，正常肝臟對於輻射傷害非常敏感，由於入射能量沉積方式與行徑過程，任何X光放射治療均無法避免照射到周圍正常組織，故很難給予腫瘤高劑量治療，以致治療效果不佳。但碳離子因具有布拉格尖峰特性，可給予腫瘤極高劑量；但對於部份正常肝臟則可以完全沒有輻射劑量，再加上維持人體生命正常運作，只需用到部份肝臟功能，



圖一、碳離子(^{12}C ions)與光子劑量深度分佈圖，圖中顯示碳離子的布拉格峰曲線(擷取自 www.extreme-light-infrastructure.eu)。

讓重粒子放射治療有更大的運作空間，甚至可以採用放射手術(radiosurgeon)方式，以有效控制肝臟腫瘤。

近年來國內腫瘤放射治療快速發展，繼林口長庚醫院質子放射治療中心的正式營運、高雄長庚醫院興建中及台大醫院也著手規劃設置質子治癌中心後，臺北榮民總醫院更是規劃建置成立「重粒子癌症治療中心」。

本文的目的就是介紹「重粒子癌症治療中心」基本設施，主要是加速重粒子的同步加速器(Synchrotron)與治療室中照射系統等設備。

重粒子(碳離子)射束的特性

所有物質均由原子所構成，原子的基本結構可視為由一原子核與核外電子群所組成，原子核由質子與中子所組成，其中質子帶正電，其數目代表原子的種類及該原子在元素週期表中的順序，稱為原子序；而中子則不帶電，質子與中子兩者數目總合稱為質量數。以粒子放射治療最常見的質子、碳粒子射束為例，氫原子(^1_1H)與碳原子($^{12}_6\text{C}$)為例，氫原子核中有一質子，沒有中子，其原子序為 1 質量數亦為 1，其核外軌域有一電子，以保持原子電中性；而碳原子核中有 6 個質子、6 個中子，其原子序為 6 質量數為 12，而核外軌域有 6 個電子。所謂的質子與碳粒子治療，就是分別將氫原子與碳原子核外電子剝離一顆電子與六顆電子，使其成為帶正 1 價電荷 H^{+1} 與正 6 價電荷 C^{+6} 原子核射束，並加速至光速的 60~70%，高能量的質子與碳粒子具有穿透人體組織，能精準沉積能量於深部癌細胞，摧毀癌細胞並減少路徑上對正常組織的傷害。

帶電粒子基本加速理論

早期帶電粒子加速，是以平行電板間電位差當作加速電壓用以加速電子，由於電子帶負電被正電極所吸引、或說是電子感受到電極間存在電場與作用力，將電極間的位能轉換為動能，使得粒子獲得加速。

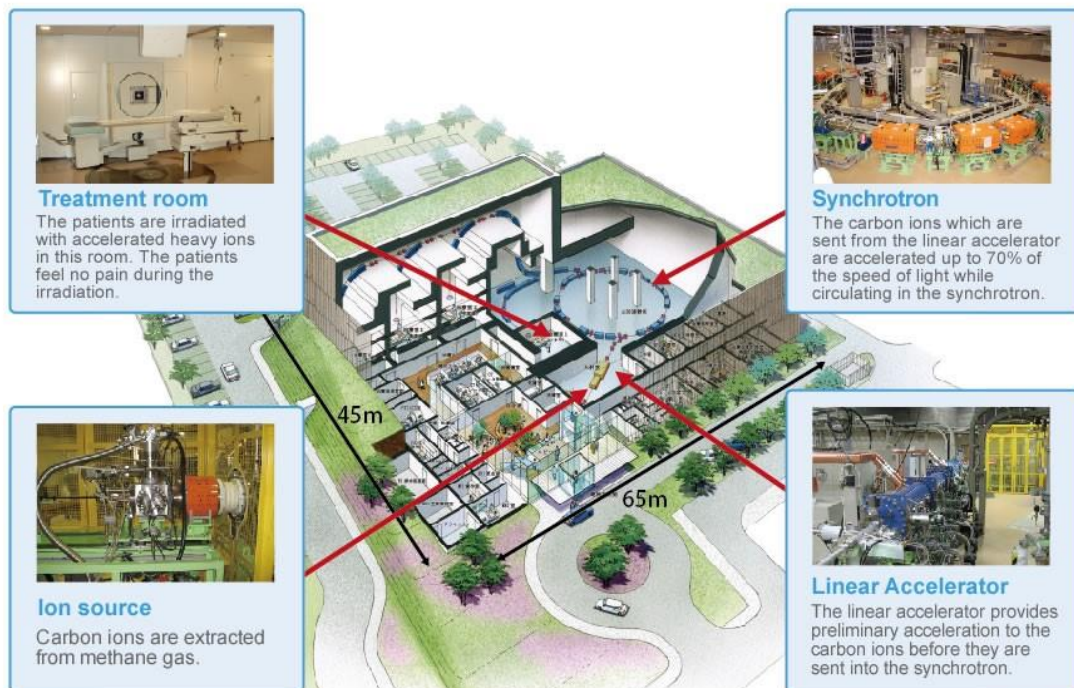
然而加速電壓在超過 300~500 kV (仟伏特)，平行電極無法維持如此高電壓而自發性放電，傳統放射治療所用的直線加速器則利用微波加速管產生共振形成極高加速電位差，讓帶電粒子在加速管得到能量獲得加速。

重粒子癌症治療中心基本設備之概述

臺北榮民總醫院與日本放射線醫學總合研究所 (National Institution in Radiological Science, NIRS) 已簽署合作備忘錄，計劃引進類似日本群馬縣群馬大學重粒子醫學中心 (Gunma University Heavy Ion Medical Center, 簡稱

GHMC)或是最新營運九州佐賀重粒子中心 (SAGA Heavy Ion Medical Accelerator in Tosu, 簡稱 SAGA HIMAT)緊緻型同步加速器與重粒子放射治療設備。NIRS 為日本政府投入研究資金所成立的放射線醫學專門研究機構，為日本重粒子治療的發源地。群馬大學附設醫院就是採用 NIRS 為推廣在醫院使用所研發之第二代重粒子放射治療設備，其中的同步加速器則為緊緻型同步加速器(compact synchrotron)。第二代重粒子癌症治療中心整體面積與造價都只有原本的三分之一，縱深 50 X 60 公尺，為地下一樓地上二樓的建築物。未來台北榮總重粒子癌症治療中心最有可能引進該組重粒子放射治療設備。

以日本群馬大學重粒子醫學中心基本設施為主要範例，介紹「重粒子癌症治療中心」的基本設備，主要可分為四大部分：離子源產生器、直線加速器、同步加速器與治療室（參考圖二）。



圖二 群馬大學重粒子醫用加速器中心(GHMC) 透視圖。

一、離子源產生器(Ion source)

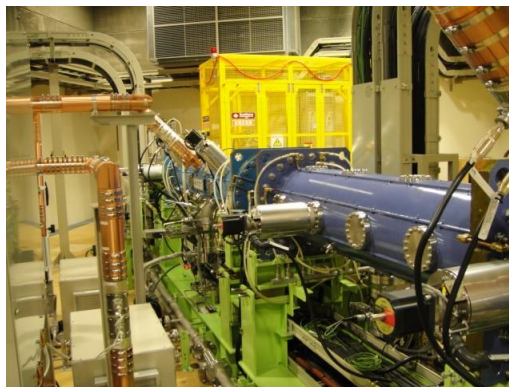
一般離子源以高電壓放電游離氣體分子以產生離子源；碳離子使用甲烷氣體(methane gas)，放電腔室只能游離部份核外電子，因為重粒子的產生必須循序漸進游離剝掉核外電子，一次游離一個電子而且越到後面越困難，因為必須克服越大的束縛能，實際上注入同步加速器前，正四價碳離子尚需先經過碳薄膜以剝離核外其餘 2 個電子。目前群馬大學重粒子中心所使用的離子源產生器為電子迴旋共振式 ECR (Electron Cyclotron Resonance) 離子源。電子迴旋共振式離子源利用微波及外加磁場來產生高密度電漿以產生離子源，值得一提的是，電子迴旋共振式離子源，可以有效率的產生電漿，特別是藉以產生大量的多電荷離子源。

二、直線加速器(Linear Accelerator)

直線加速器提供碳離子注入同步加速器前的加速，類似助跑跑道，將粒子速度提升至適合注入同步加速器(Synchrotron)；離子源產生碳離子能量僅幾十仟電子伏特(keV)，兩段直線加速器加速從 600 仟電子伏特(keV)至 4 佰萬電子伏特(MeV)再注入同步加速環。利用微波管加速原理將碳離子加速至治療深度所需能量，最高能量為 400MeV/u(治療深度為 30 公分)。

(A) 微波四極型直線加速器 (Radio-Frequency Quadrupole, RFQ 參閱圖三)適用於低能量加速，其內部構造為四葉電極板，離子射束加速至 600 仟電子伏特(keV) 後注入下一階段加速器 APF Linac。

(B) 交流相位聚焦型直線加速器 (Alternating Phase Focusing, APF linac 參閱圖三) 可加速碳核能量至每核子 4 佰萬電子伏特(MeV/u)。



圖三 群馬大學重粒子醫學中心之 RFQ 與 APF IH-DTL 直線加速器

三、同步加速器(Synchrotron)

碳離子在同步加速器管道中循環加速至光速的 70%。

同步加速器是將粒子置於環形的真空管中，沿途設置許多的磁鐵裝置用以聚焦粒子以及讓粒子在加速環中轉彎，並以微波（高頻）共振腔提供電場將粒子加速。

微波加速管 (RF Accelerator)：整個環形真空管腔中，帶電粒子只在此節加速管獲得加速能量，其餘管道均只有讓帶電粒子維持在圓形軌道中的功能，而不具有加速功能，詳見圖四微波加速管。

雙極磁鐵(Dipole Magnet)：根據其功能又稱為偏轉磁鐵（附圖五）。



圖四 同步加速器中加速環中的微波加速管 (NIRS)。

四極磁鐵(Quadrupole Magnet)：根據其功能又稱為聚焦磁鐵，其作用猶如聚(散)透鏡，使用四極磁鐵可聚焦射束粒子才不會因為彼此間產生的排斥力而散開。

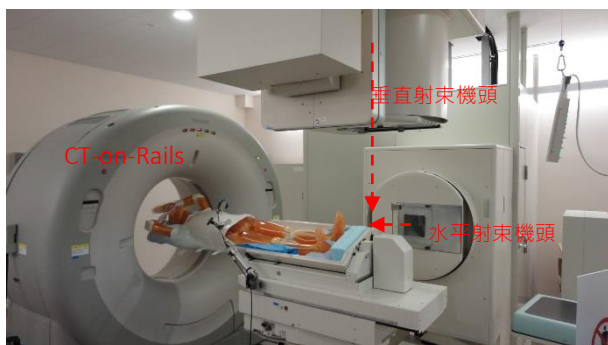


圖五 同步加速器中加速環與運輸線使用雙極磁鐵(左)偏轉射束、四極磁鐵(中)聚焦射束磁鐵(群馬大學重粒子醫學中心)。

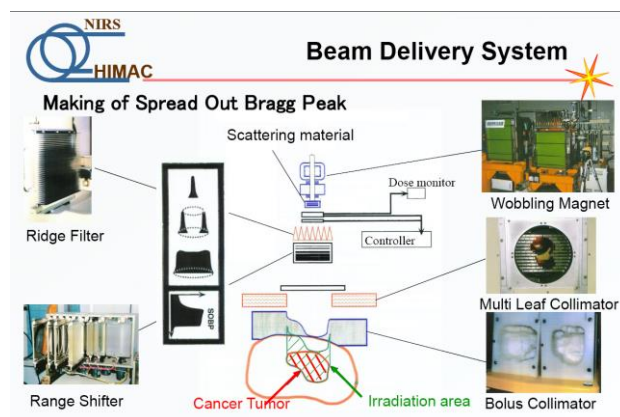
四、治療室(Treatment room)

重粒子放射治療室一般配置有射束出口(照射機頭)、治療床及影像定位攝影系統，如 X 光攝影機或 X 光電腦斷層掃描儀(CT)、雷射定位儀等。目前最新治療床設計為 6 維自由度電腦控制治療床，可上下、左右、前後移動，外加三個軸旋轉角度變換，將影像定位攝影系統所截取之病患影像與治療計劃比對，由電腦自動控制治療床，以修正病患擺設位置進行治療，達到準確放射治療。

治療室另一項重要設備為重粒子射束照射系統(圖七)，它隱藏在照射機頭後面是由多項元件所組合，沿著射束前進方向依序為擺動磁



圖六 群馬大學重粒子治療中心治療室(水平與垂直射束)，並具有電腦斷層掃描儀 (CT-on-Rails)



圖七 射束照射系統，取自 NIRS 國際訓練課程講義

鐵、散射物質、脊型濾片、射程偏移器、多葉片準直儀、組織填充物，分別介紹如下：

擺動磁鐵(Wobbling Magnet): 當碳離子射束由環形同步加速器引出經傳輸管道進入治療室時，其射束為釐米大小(~mm)猶如筆型射束(pencil beam)，而擺動磁鐵可讓射束橫截面變大品質較為均勻。

散射物質(Scattering material):將筆型碳離子射束散射成較寬射束以覆蓋住腫瘤大小。

脊型濾片(Ridge Filter):類似山型濾片，粒子射束經過不同厚度讓射束在不同深度形成布拉格峰，而不同深度布拉格峰組成擴散布拉格峰(Spread-Out Bragg Peak, SOBP)，在深度方向覆蓋住腫瘤最大厚度。

射程偏移器(Range Shifter)：可以調整整個治療深度，脊型濾片只塑造出治療區域深度方向的厚度，但仍需射程偏移器調整確實的治療深度。

多葉片準直儀(Multi Leaf Collimator)：多葉片準直儀類似照像機的光圈，可依不同深度腫瘤面積大小調整葉片開合，順著腫瘤輪廓外形沉積劑量，以避免照射到周邊正常組織細胞。

組織填充物(Bolus)：組織填充物可依腫瘤遠端(distal end)輪廓製成，使末端劑量能依腫瘤輪廓分佈以達到順形治療的目的。

結語

臺北榮民總醫院於 1992 年成立國家多目標醫用迴旋加速器中心引進臺灣第一台小型醫用迴旋加速器與正子電腦斷層掃描儀，利用分子醫學影像得以早期診斷腫瘤病灶。如今，近 25 年之後臺北榮總正籌設成立「重粒子癌症治療中心」，希望引進設置台灣第一台醫用同步加速器(Synchrotron)用以加速碳離子治療癌症。

不論從「放射物理」或「輻射生物」學理的觀點來看，重粒子放射治療都是未來癌症放射治療的趨勢。籌設「重粒子癌症治療中心」為一國家級醫療建設，不論在經費規模與人力的投入，均需整合國家各項資源與研究人力才能成功。臺北榮總將以特有優勢與條件，發展出具有臺灣獨創特色的重粒子癌症治療中心、建立優質重粒子醫療服務，並以成為重粒子放射治療領域的標竿為目標，來加速完成台灣第一座「重粒子癌症治療中心」的建置。

小辭典：重粒子、重離子或是碳離子的區別

重粒子(heavy ion)在粒子放射治療領域中，目前主要指的是碳離子或是粒子質量高於質子的粒子射束。然而世界有一些粒子治療中心也將質子歸類為重粒子的一種，主要的原因來自於高能物理或粒子物理中定義重子(Baryon)為由三個夸克所組成的粒子，並參與強交互作用的粒子，例如質子與中子。

相對於重子，另外有輕子(lepton)，是一種不參與強交互作用、自旋為 $1/2$ 的基本粒子，其中電子是最為人知的一種輕子。

值得注意的是，雖然日本常用「重粒子(日文)」代表碳離子，但它的英文名稱卻是使用 heavy ion，而不是 heavy particle，這就是為什麼翻譯日本重粒子中心名稱時，經常會造成重粒子與重離子混淆的原因。

臺北榮總於民國 100 年申請過程中，已經行政院正式公文核定為「重粒子癌症治療中心」。

參考資料

1. NIRS 網站
<http://www.nirs.go.jp/ENG/index.shtml>
2. 群馬大學重離子醫學中心 網站
<http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/en/facilities01.html>
3. Tatsuya Ohno, et al "Carbon Ion Radiotherapy at the Gunma University Heavy Ion Medical Center: New Facility Set-up" *Cancers* 2011, 3, 4046-4060; doi:10.3390/cancers3044046
4. 粒子治療合作組織(類似粒子治療學會)網站 Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG). Available online: <http://ptcog.web.psi.ch/>