



財團法人 中華民國輻射防護協會

輻射防護簡訊

第 158 期

出刊日期 109 年 8 月 15 日

本期內容

CONTENT

硼中子捕獲治療 - 外釋標準的建立與工作人員劑量評估

1

本文利用硼中子捕獲治療後病患的量測資料進行分析，對於公眾曝露而言，建立病患外釋的標準，針對硼中子捕獲治療的工作人員，進行職業曝露的劑量評估。

整合式中子能譜確認裝置用於 THOR BNCT 的射束特性與中子能譜測量

5

隨著清華大學硼中子捕獲治療病例愈加頻繁，中子射束的品保品管也需要建立更加完整的程序，如何在短時間內得到更多的特性資訊成為了品保量測的一大挑戰。

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

ICRP 在 103 號報告發行後續的發展應用

13

本篇作者整理 ICRP 持續關注非人類物種有關動物、植物的輻射防護概念與應用，並發展其劑量評估系統與參考動植物的評估方法。另外也首次對輻射防護有關倫理學提出了系統性的論述，並對於如核災或輻射事故後長期居住污染區域的住民提供防護指引。(陸地生態系各種曝露途徑圖，引用自 ICRP114)

飛行中宇宙射線之輻射防護-ICRP132 號報告摘述與心得

17

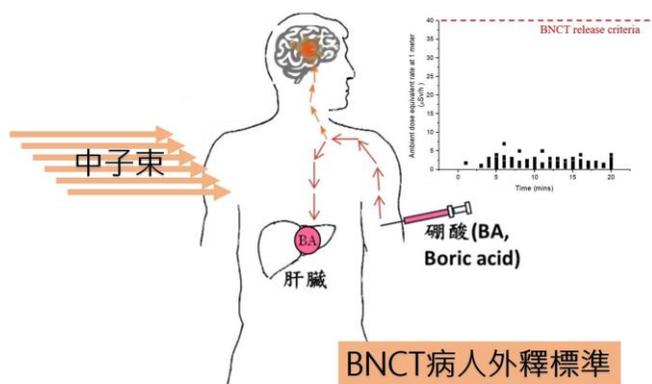
ICRP 於 2016 年出版 132 號報告，報告內容針對飛行中受到宇宙射線曝露之乘客與機組人員，提出輻射防護之相關建議，作者摘述報告中要點並分享個人心得與看法

硼中子捕獲治療 - 外釋標準 的建立與工作人員劑量評估

作者 詹前軒

國立清華大學生醫工程與環境科學研究所 碩士班

國立清華大學原科院輻防協會獎學金 109 年得主



BNCT病人外釋標準

前言

硼中子捕獲治療 (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT) 利用中子射束與含硼藥物，經由核反應後產生的阿法粒子與鋰核進行放射性治療，帶有高動能的兩個重荷電粒子，行徑的距離分別各小於一個細胞的大小，因此又被稱為標靶放射性治療。除此之外，由於腫瘤與正常組織對於含硼藥物的吸收程度不同，一般正常組織吸收含硼藥物的濃度遠低於腫瘤細胞，達到只破壞腫瘤細胞而保護一般組織的效果。然而，身體中存在著各種不同的元素，在治療的過程中也將與中子產生核反應，當核反應產生的產物為加馬射線時，因加馬射線穿透力強，將造成環境的輻射劑量率上升。本文利用硼中子捕獲治療後病患的量測資料進行分析，對於公眾曝露而言，建立病患外釋的標準，針對硼中子捕獲治療的工作人員，進行職業曝露的劑量評估。

病患活化核種分析

為建立硼中子捕獲治療後病患的外釋條件，需先了解治療後病患的活化核種。本實驗利用校正過後的手提式高

純度銻鋰偵檢器進行量測，校正的射源使用 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 與 ^{152}Eu 。為了確保量測的能譜具有參考性，量測時間至少 10 分鐘以上，每組實驗量測包含背景與病患測量。每位治療的病患皆通過台北榮民總醫院人體試驗委員會與台灣衛生福利部食品藥物管理署的審查。根據從 2017 年 3 月以來接受恩慈療法的 50 位病患量測結果， ^{49}Ca 、 ^{38}Cl 、 ^{24}Na 為主要的病人活化核種，詳細內容整理於表一。

外釋標準的建立

接受硼中子捕獲治療的病患，活化核種具有多樣性，而非單一性的放射性核種，因此利用量測周圍等效劑量率 (Ambient dose equivalent rate) 作為外釋標準較為適當。建立的準則依據美國輻射防護與度量委員會 (National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP) 第 37 號報告與美國核能管制委員會 (Nuclear Regulatory Commission, NRC)

	Radionuclide	Patients / Total patients (%)
1	^{49}Ca	50/50 (100%)
2	^{38}Cl	50/50 (100%)
3	^{24}Na	50/50 (100%)
4	^{56}Mn	21/50 (42%)
5	^{42}K	18/50 (36%)
6	^{51}Ti	14/50 (28%)
7	$^{116\text{m}}\text{In}$	12/50 (24%)
8	^{52}V	12/50 (24%)
9	^{128}I	12/50 (24%)
10	^{27}Mg	6/50 (12%)
11	^{198}Au	3/50 (6%)
12	^{214}Bi	1/50 (2%)

表一、50 位硼中子捕獲治療後病患的活化核種

	Radionuclide	Specific gamma ray constant (R/mCi-hr at 1 cm)	Physical half-life (h)	Activity at or below which patients may be release (mCi)	Dose rate at 1 meter at or below which patients may be release ($\mu\text{Sv/h}$)
1	Ca-49	13.4	0.15	360	4.8×10^3
2	Cl-38	7.2	0.62	160	1.1×10^3
3	Na-24	19.4	15	2.4	46
4	Mn-56	9.2	2.58	29	2.7×10^2
5	K-42	1.4	0.21	2400	3.4×10^3
6	Ti-51	2.6	0.1	2700	7.2×10^3
7	In-116m	13.5	0.9	57	7.7×10^2
8	V-52	7.6	0.06	1400	1.1×10^4
9	I-128	0.6	0.42	2800	1.7×10^3
10	Mg-27	5.4	0.16	8200	4.4×10^4
11	Au-198	2.9	64.6	15	43
12	Bi-214	8.4	0.33	250	2.1×10^3

表二、活化核種的外釋標準

Activated radionuclides	Half-life	Energy peak (keV)	Intensity (%)
^{49}Ca	8.7 min	2062	Double escape
		3084	90.7
^{38}Cl	37.2 min	1642	33.1
		2168	44.4
^{24}Na	15.0 h	1369	99.9
		1732	Double escape
		2243	Single escape
		2754	99.9

表三、BNCT 病患主要的活化核種資訊

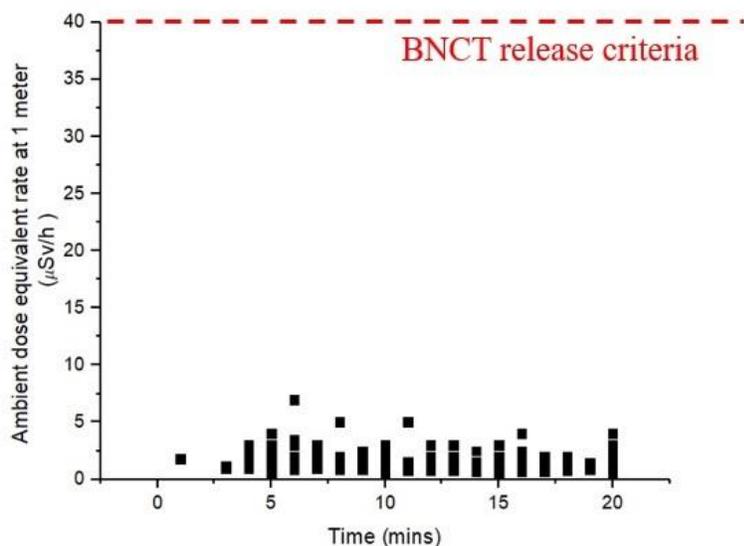
8.39 號規範指引。首先須先確立硼中子捕獲治療後病患的各種活化核種，分別計算各個核種對於一公尺處的最大放射性活度限值，此規範的準則依據國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)第 103 號報告建議，一般人之年有效劑量限度不得超過一毫西弗進行計算，如公式一與公

式二所示。然而利用活度值作為外釋條件相對不易管理，因此透過放射性核種的活度限值，計算各個核種在一公尺處的周圍等效劑量率限值，作為外釋條件的準則建立。計算如公式三所示。由表二的結果得知， ^{24}Na 與 ^{198}Au 為劑量限值相對嚴格的二個活化核種，分別在一公尺處的外釋條件為 46 和 43 $\mu\text{Sv/h}$ 。有鑑於此，以輻射防

護的觀點而言，接受硼中子捕獲治療後的病患，外釋準則應分別低於該兩項核種的劑量限值，因此，外釋準則訂為一公尺處的周圍等效劑量率為 40 $\mu\text{Sv/h}$ 。

$$\text{公式一：} D(\infty) = \frac{1.44 \Gamma Q_{max} T_p (1)}{r^2}$$

(半衰期小於一天的核種)



圖一、BNCT 病患在 1 公尺的周圍等效劑量率

公式二： $D(\infty) = \frac{1.44 \Gamma Q_{max} T_p (0.25)}{r^2}$

(半衰期大於一天的核種)

公式三： $\dot{D}(r) = \frac{\Gamma Q_{max}}{r^2}$

輻射偵檢器的選用

保健物理的測量上，對於周圍等效劑量率的偵測可使用蓋格充氣式偵檢器或塑膠閃爍偵檢器。硼中子捕獲治療後的病患，主要活化核種衰變的加馬射線能量介於 1.3 MeV 至 3 MeV 之間，詳細資訊如表三所示。以光子與物質作用來說，此段能量區間以成對

效應最為顯著，若使用蓋格充氣式偵檢器進行量測，須特別注意此段能量區間的響應函數是否有高估的情形。一般來說，有機偵檢器中的塑膠閃爍偵檢器能在較寬的光子能量範圍下，提供較平坦的能量響應，因此，在本實驗中選用塑膠閃爍偵檢器當成環境劑量率評估的工具。以過去接受硼中子捕獲治療-恩慈療法的病人而言，一公尺的環境輻射劑量率皆遠低於所建立的外釋條件標準。

BNCT 工作人員劑量評估

硼中子捕獲治療後的病患，具有暫時的放射性，對於治療後執行醫療行為的工作人員來說，亦會造成額外的輻射劑量。以國際放射防護委員會第 103 號報告的建議，輻射工作人員的職業暴露限度為每連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。本文透過塑膠閃爍偵檢器，量測治療後病患體表的周圍等效劑量率，進行 BNCT 工作人員的劑量評估。在 20 分鐘內，每隔五分鐘量測一次，再將劑量率透過指數衰變函式進行擬合，評估 BNCT 病患在治療結束當下的周圍等效劑量率與有效半衰期。以過去接受硼中子捕獲治療-恩慈療法的病人中得知，無論治療病患腫瘤為頭頸癌還是腦瘤，平均周圍等效劑量率為 30-40 µSv/h，平均有效半衰期為 15 分鐘。透過擬合的函式進行積分，評估工作人員在不同病患的治療療程下，接受的輻射劑量分布。以工作人員執行醫療行為 20 分鐘為例，工作人員在一個病人治療的療程中，因病患活化所接受的輻射劑量 80% 低於 10 µSv，最高不超過 20 µSv。

Treatment site / Field number	Ambient dose equivalent rate (µSv/h)
Treatment site	
Head and neck cancer	37.4 ± 19.6
Brain tumors	41.2 ± 23.6
Field number	
Single field	37.0 ± 18.1
Double fields	38.7 ± 18.4

表四、治療結束當下病患體表的周圍等效劑量率

Treatment site / Field number	Effective half-life (mins)
Treatment site	
Head and neck cancer	15.6 ± 7.1
Brain tumors	14.4 ± 8.2
Field number	
Single field	14.8 ± 5.4
Double fields	15.0 ± 5.2

表五、病患體表周圍等效劑量率的有效半衰期

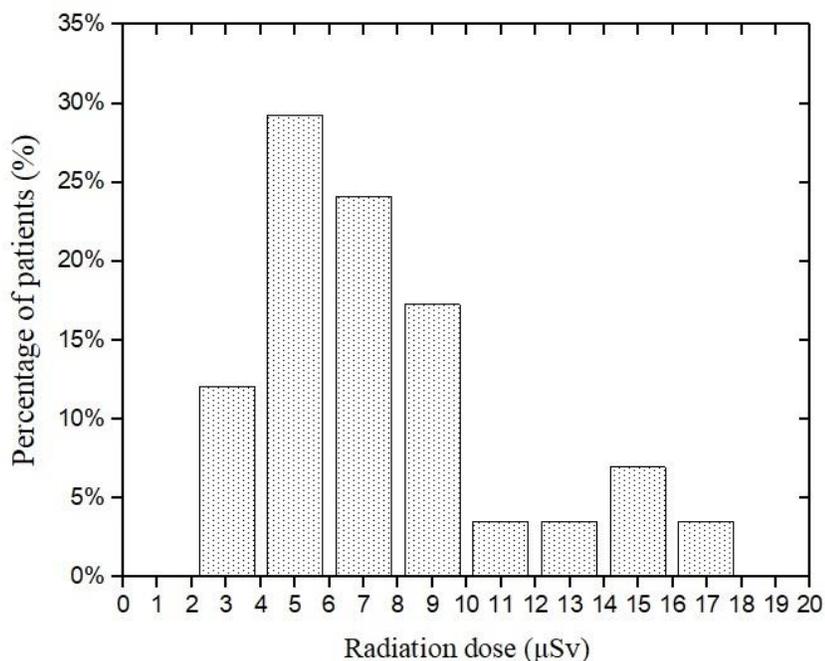
結語

硼中子捕獲治療後的病患具有暫時的放射性，本文透過治療後的量測資料進行分析。49Ca、38Cl、24Na 為主要的三個活化核種，以病患的活化核種資料為基礎，建立外釋條件為距離一公尺周圍等效劑量率 40 μSv/h，在過往的病患測量數據顯示，周圍等效劑量率皆遠低於此標準。職業曝露分

析上，工作人員在一個病人治療的療程中，因病患活化所接受的輻射劑量最高不超過 20 μSv，其中超過 80% 低於 10 μSv。由此可見，無論是公眾或職業曝露，硼中子捕獲治療因病人活化所造成的輻射劑量，皆遠低於國際放射防護委員會第 103 號報告所建議的劑量限值。

參考文獻

1. NCRP. Precautions in the Management of Patients Who Have Received Therapeutic Amounts of Radionuclides. NCRP report No. 37. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; 1970.
2. NRC. Release of Patients Administered Radioactive Material. Regulatory Guide 8.39 Revision 1. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission; 2020.
3. ICRP. Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP publication 103. Ann ICRP 2007;37(2-4).



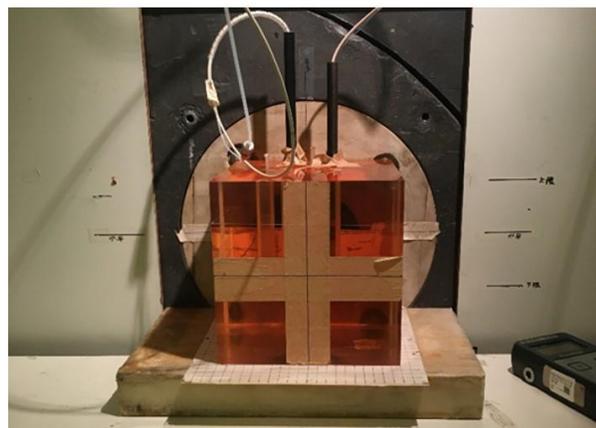
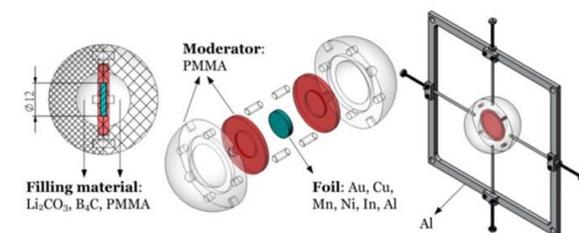
圖二、病患活化對 BNCT 工作人員的劑量分布

整合式中子能譜確認裝置用於 THOR BNCT 的射束特性與中子能譜測量

作者 李慈安

國立清華大學核子工程與科學研究所 碩士班

國立清華大學原科院輻防協會獎學金 108 年得主



前言

硼中子捕獲治療 (boron neutron capture therapy, BNCT) 為一種利用硼作為標靶放射治療方法。硼中子捕獲治療的原理為將含硼藥物以靜脈注射方式注入待治療之病人體內，在進行照射前，無毒且無放射性的含硼藥物累積分布於腫瘤部位，同時正常的細胞只含有較低硼濃度。當進行照射時，位於組織內的熱中子會與硼發生 $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ 反應，產生高線性能量轉移 (Linear Energy Transfer, LET) α 粒子和與 α 粒子運動方向相反的 ^7Li ，如圖 1.1，產物行走距離大約在 12 至 13 μm ，平均動能約為 2.33 MeV。由

於產物的射程距離約等於一個細胞的直徑， α 粒子和 ^7Li 可有效殺死腫瘤，可有效減少周遭正常組織細胞並受到傷害。

這種治療方法的關鍵在於癌細胞對於含硼藥物的吸收與高強度的超熱中子，清華開放式水池式反應器 (THOR) 為台灣唯一研究用反應器，於 2004 年將原先的中子射源改建為適合進行 BNCT 的超熱中子束，並於 2010 年進行第一例的臨床試驗。原先無法以傳統治療方式醫治的頭頸癌病例在 BNCT 治療後，生活品質有明顯的改善，甚至完全痊癒。硼中子捕獲治療沒有明顯的副作用，較

常見的有掉髮或是口腔黏膜破損，這也大幅改善病人治療後的不適症狀。截至 2019 年 1 月已累積 26 例的臨床與超過 100 例緊急治療經驗，治療頻率相當頻繁。隨著 BNCT 治療病例的增加，對於治療成效與品質方面，THOR-BNCT 超熱中子束的品保與品管 (QA/QC) 程序的必要性也愈加重要。

現行 QA/QC 量測實驗

現行的 QA/QC 量測實驗，通常於照射前一天與當天早上進行，並分為雙游離腔及雙箔片活化兩種方法。因為 THOR-BNCT 為中子與光子的混合場，量測時我們使用腔壁為鎂壁、填充氣體為氫氣的游離腔，其對於中子的靈敏度較低，可用於量測光子劑量；另一支則是 ICRU 45 報告建議做為中子吸收劑量量測之標準儀器，腔壁為 A-150 組織等效塑膠、填充氣體為甲烷基的組織等效氣體之游離腔，用於量測光子與中子劑量。藉由兩隻

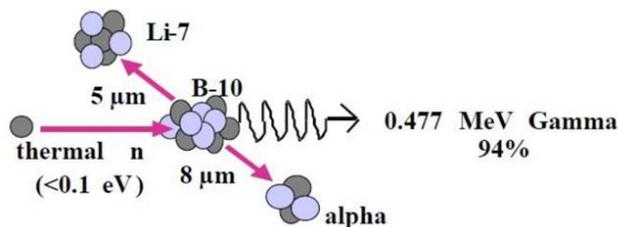


圖 1.1. 硼中子捕獲反應示意圖

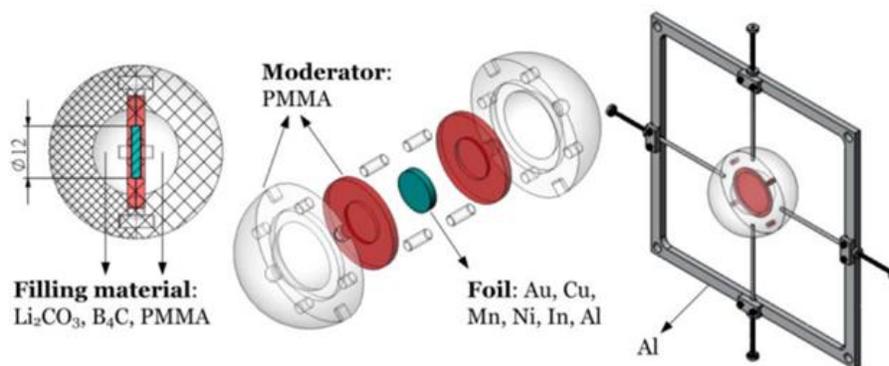


圖 1.3. 改良式球型偵檢器結構示意圖

游離腔的實驗結果比對後可以確認中子與光子的劑量是否有所變化。中子射束品保亦利用雙箔片活化分析方法檢測中子強度與特定能量的中子譜，雙箔片法係利用金鋁箔片和純銅箔片進行中子活化照射，藉由高純銻偵檢器量測活化產物的衰變加馬射線，推算出箔片的照射活度與反應率，純銅箔片所含有的銅元素傾向與低能量的熱中子發生核反應，而金鋁箔片的金元素則對於能量較高的超熱中子有較高的反應機率，因此我們可以對特定

能量能譜分布與中子射束的強度積分值進行驗證。

然而 THOR-BNCT 的中子束能量分布非常廣，能量可從 10^{-10} 至最高 20 MeV，若只使用兩種箔片進行品保量測，所能得到的能譜資訊相當有限，再加上每年 THOR 都有例行的歲修與大修，可能使 THOR-BNCT 的中子能譜有所改變。中子能譜分布的改變可能會讓 BNCT 治療計畫之目標劑量與腫瘤的真實劑量有所差異，同時也可能使正常細胞接受到不必要的劑量，

這都不是我們所樂見的。為了確保 BNCT 的治療品質與監測中子能譜的改變趨勢，我們建立了一套確認中子能譜的 QA/QC 方法及程序。

中子活化分析與中子能譜量測

中子活化分析是為一種物理分析技術，常用於分析樣品所含的微量元素。中子活化分析原理為中子與樣品發生核反應形成不穩定的放射性產物，這些放射性產物會衰變成穩定元素時放出衰變輻射，由於不同放射性產物會放出特定能量組合的衰變輻射，因此我們可以利用偵檢器量測衰變輻射能量，分析樣品含有元素種類，也可以透過衰變輻射的計數量進一步計算出放射性產物的活度以及元素的含量。不僅如此，樣品的活化程度正比於中子場的中子通率，我們可以更進一步利用中子與樣品的活化反應率推算出中子場的通量。中子活化分析的過程中，我們常將照射中子的樣品稱為活化偵檢器，因為活化偵檢器只和中子發生核反應，加馬射線的照射並不會使偵檢器活化，因此中子活化偵檢器具有良好的中子與加馬射線鑑別度，十分適用於如 THOR 超熱中子束的中子與光子混合場進行中子射束量測。

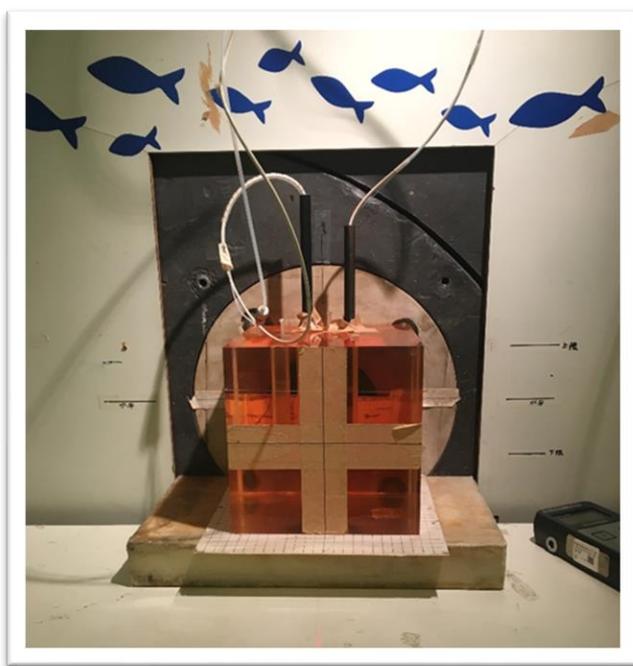


圖 1.2. 射束品保量測實驗架設

傳統的活化偵檢器多為金屬細線或箔片，在選擇活化材料時，必須根據研究目的與不同的照射狀況、偵檢器與活化產物核種之的性質甚至材料與物理性質都必須列入考慮，以確保量測結果的準確度與可信度。偵檢器對於中子的靈敏度與核種本身的特性有關，天然元素與材料的與大多與相似能量範圍的中子作用，改變的空間有限。有鑑於此，改良過後的活化偵檢器是利用包覆中子緩速體或吸收體來改變偵檢器的特性，如圖 1.3，透過不同包覆材料的組合，這種活化偵檢器只和特定能量的作用，來增加偵檢器的偵測準確度和效率。

一般而言，要量測如此廣泛能量的中子能譜需要 8 至 10 個不同的活化偵檢器，一次只照射一個偵檢器，每個偵檢器接擺放於同一位置照射。照射時間則依照偵檢器特性有所不同，短則 10 分鐘，最長的照射時間長達 6 小時。執行一次完整的活化照射時間往往需要三周到一個月的時間。

MAXED 中子能譜反解演算

偵檢器的反應率為偵檢器響應函數與中子通量乘積對能量的積分值，響應函數 (Response function) 的定義為單能量中子與偵檢器的反應率。由於偵檢器的數量通常小於中子通量的能群數，在數學上中子通量並不唯一，因此會有無限多個可能的解，這個計算的過程便稱為能譜反解計算 (Neutron spectrum unfolding)，為了解決這個問題，有許多數學演算法試圖計算出一個最適合的近似解。其中疊代反解計算 (Iterative unfolding method) 為其中一個有效的計算方法，利用初始能譜當作參考值，根據偵檢器的反應率與及響應函

```

C:\U_M_G\FC\bin\MXD_FC33.exe
Andreas Zimbal,   Andreas.Zimbal@ptb.de
Frank Langner,   Frank.Langner@ptb.de (UMGPlot)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
Department 6.5, "Neutron Radiation"
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
GERMANY

*****
*                                     *
*               Copyright Notice for U_M_G               *
*                                     *
* The programs in the UMG package were prepared          *
* by employees of the Physikalisch-Technische          *
* Bundesanstalt (PTB). All rights in the programs       *
* are reserved by the PTB. Neither the German          *
* Government nor the PTB makes any warranty,           *
* express or implied, or assumes any liability or      *
* responsibility for the use of this software.          *
*                                     *
*****

NAME OF FILE WITH INPUT DATA? :

```

圖 1.4. MAXED 執行介面

數作為計算的依據，每一次完成計算，根據響應函數與結果能譜計算出理論反應率與實驗值比較，再把結果當作下一次計算的初始能譜，逐次修正，計算出最有可能的中子能譜解。

另一個常見的計算方法是由 UMG 公司所開發出的中子能譜反解的程式

MAXED，根據熵值最大化原理進行能譜反解計算，我們可給予中子活化分析偵檢器反應率測量值與測量誤差兩限制條件來決定一個為正值且可相加的機率分佈函數，此分佈函數便是所求的中子能譜。這種方法可以達到整體最佳化的結果，同時也可以減少不連續的現象。

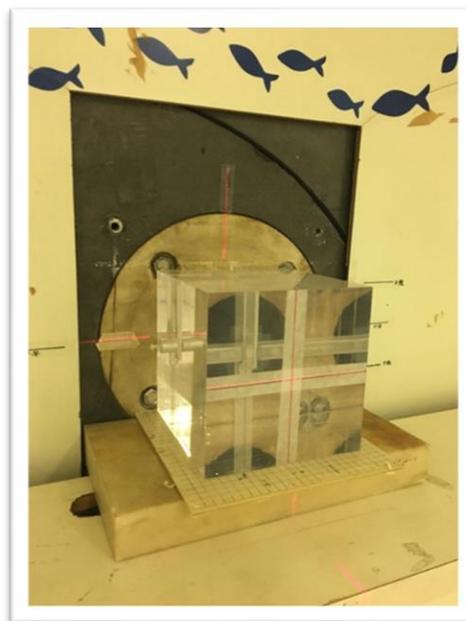


圖 1.5. 整合式中子能譜確認裝置實驗架設

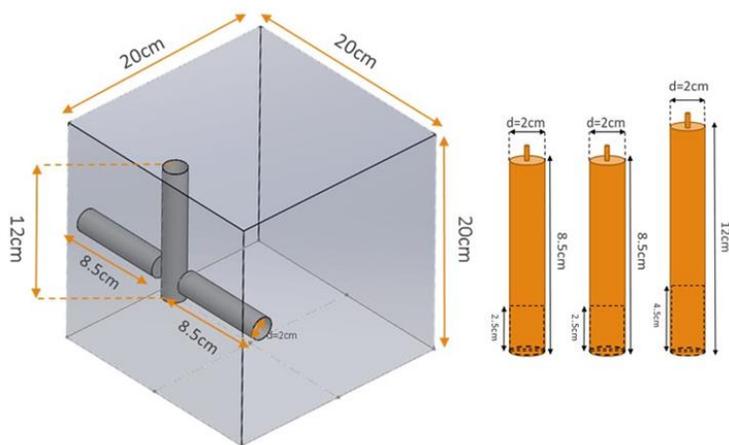


圖 1.6. 整合式能譜確認裝置之設計簡圖

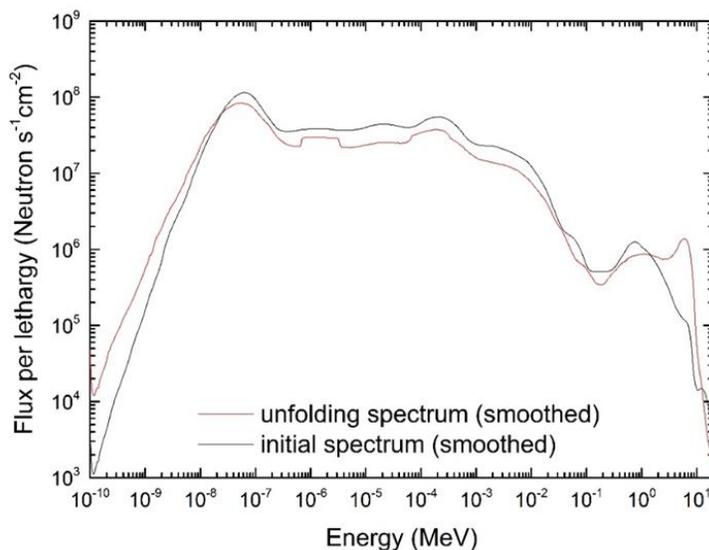


圖 1.7. 新定義初始能譜與整合式中子能譜確認裝置實驗反解完能譜

整合式中子能譜確認裝置

於前文提到，目前 THOR-BNCT 中子射束品保需要發展出一套能夠量測所有能量範圍的中子能譜之裝置，但傳統的中子活化分析需要非常長的照射時間，這與 QA/QC 想要在短時間內驗證中子射束特性得目標剛好相反。

為了能夠在較短的時間內得到比現在更多的資訊，我們設計了一個整合式的中子能譜確認裝置如圖 1.5，其特色在於能夠同時照射所有的活化偵檢器，且照射時間只需要 30 分鐘，活化後的箔片將依序進行加馬能譜計測，不但能夠大大減少實驗所需的時間，同時也能有相當的準確度。整合式中子能譜確認裝置將活化偵檢器擺放於裝置表面與內部同時進行照射，裝置的設計示意圖如圖 1.6。

傳統的活化照射實驗，由於一次只照射一個偵檢器，所有偵檢器的照射位置是固定的，然而整合式中子能譜確

認裝置的活化偵檢器則放置於不同的位置接受中子照射。因此整合式能譜確認裝置在進行中子能譜反解計算時需要考慮箔片於不同位置接受中子照射的影響，為此我們重新定義了裝置們也計算出新的裝置的參考能譜，做為訂定品保通過標準。

結論

傳統利用中子活化量測中子能譜往往需要相當長的時間進行照射與量測，若要將中子能譜也加入例行品保的項目之一，執行一次品保程序將會非常耗時與需要相當大的照射成本。因此本研究新設計的整合式中子能譜確認裝置結合了所有偵檢器於裝置中，只需進行一次活化照射，照射時間為 30 分鐘，即可進行偵檢器的活度計測，可以有效減少活化照射的時間，提高反應器的照射服務的效率。

目前整合式中子能譜確認裝置已有初步的實驗結果與相對應的步驟程序，未來將持續改良並精進實驗裝置的量

測準確度，更進一步提升量測效率，目標做為年度或每季的中子能譜品保之實驗裝置，提升 THOR-BNCT 的中子射束 QA/QC 的完整度，並確保 THOR-BNCT 的品質與治療效率。

參考資料

- [1] International Atomic Energy Agency, "Current Status of Neutron Capture Therapy," IAEA-TECDOC-1223, Vienna, 2001.
- [2] 林怡君, "利用成對游離腔測量混合輻射場中輻射劑量率," 博士學位, 生醫工程與環境科學系, 國立清華大學, 2013.
- [3] 黃俊愷, "中子活化分析與硼中子捕獲治療之應用," 博士論文, 核子工程與科學研究所, 國立清華大學, 2017.
- [4] 林姮孝, "球型中子活化偵檢器用於 THOR BNCT 中子能譜測量的特性與應用," 碩士論文, 核子工程與科學研究所, 國立清華大學, 2015.



訓練班課程(109 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

A3 新竹 帝國經貿大樓

7 月 15 日~7 月 22 日

A4 高雄 文化大學推廣部

8 月 11 日~8 月 18 日

B 組 18 小時-登記類

B13 台中 文化大學推廣部

7 月 21 日~7 月 23 日

B14 高雄 文化大學推廣部

7 月 28 日~7 月 30 日

B15 台北 建國大樓

8 月 18 日~8 月 20 日

B16 新竹 帝國經貿大樓

8 月 25 日~8 月 27 日

B17 台中 文化大學推廣部

9 月 8 日~9 月 10 日

B18 高雄 文化大學推廣部

9 月 15 日~9 月 17 日

B19 台北 建國大樓

10 月 13 日~10 月 15 日

B20 新竹 帝國經貿大樓

10 月 20 日~10 月 22 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 37 期

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

7 月 1 日~3 日

7 月 6 日~7 日

第二階段

7 月 8 日~10 日

7 月 13 日~14 日

第三階段

7 月 27 日~7 月 31 日

第四階段

8 月 3 日~8 月 6 日

進階 23

新竹 帝國經貿大樓

第一階段

8 月 12 日~8 月 14 日

第二階段

8 月 17 日~8 月 19 日

輻射防護繼續教育訓練班
(3/6 小時)

台中 文化大學推廣部

7 月 16 日(上午&下午)

台北 建國大樓

8 月 4 日(上午&下午)

新竹 經濟部專研中心

8 月 11 日(上午&下午)

高雄 科學工藝博物館南館

10 月 7 日(上午&下午)

台中 文化大學推廣部

10 月 27 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
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

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 23~9 月 24 日

鋼 4 高雄 文化大學推廣部

10 月 6~10 月 7 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 林珣汶 (專業人員)；

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 109 年第 2 次輻射防護及操作人員測驗

[訊息連結](#)

報名期間：民國 109 年 8 月 3 日起至 8 月 21 日截止。

測驗日期：民國 109 年 10 月 24 日(星期六)。

測驗地點：

台北試區：考試院國家考場(台北市文山區木柵路 1 段 72 號)

高雄試區：高雄市立三民高級家事商業學校(高雄市左營區裕誠路 1102 號)

詳細報名簡章等相關測驗資料，請點選下方(相關網站)即可下載瀏覽。

相關連結：[輻防及輻安測驗](#)

國內新聞

- ➔ 聯合報報導「瑞典偵測到微量放射性物質 原能會：台灣環境輻射正常」。 [訊息連結](#)

6 月 27 日國際原子能總署發布，聯合國全面禁止核試驗條約組織 (CTBTO) 在瑞典設置的輻射監測站，偵測到 Ru (鈷) -103、Cs (銻) -134 與 Cs (銻) -137 微量放射性物質。我國原能會表示，已立即加強監控全國 58 處即時環境輻射監測站數據變化，目前國內環境輻射監測值均為正常。

CTBTO 執行秘書 Lassina Zerbo 表示，這三種放射性物質主要來自核分裂產物，瑞典偵測到的輻射量略高於背景輻射範圍，但對人體不會有健康上的危害。原子能總署已依作業程序進行調查，請 CTBTO 組織內國家，提供是否在國內已偵測這些放射性物質，以及是否有於大氣排放放射物物質的相關活動。

原能會的核安監管中心及輻射偵測中心，偵測我國 58 處即時環境輻射監測站數據變化，目前監測值均為正常。原能會表示，將密切注意國際間監測結果與相關回應說明，並蒐集資訊蒐集及發布，讓民眾掌握相關最新訊息。(發布日期 109 年 6 月 29 日)

- ➔ 台灣新生報報導「苗鯉魚潭環境輻射監測站上線」。 [訊息連結](#)

原能會輻射偵測中心所屬苗栗縣鯉魚潭環境輻射監測站正式上線！原能會表示，在原能會網站上除原有的五十八個測站外，新加入鯉魚潭環境輻射監測站，每隔五分鐘更新即時監測數據，民眾上原能會官網 www.aec.gov.tw 或全民原能會 App 就可以看到全國五十九個環境輻射監測站的即時資訊。

原能會表示，要特別感謝經濟部水利署中區水資源局鯉魚潭水庫管理中心提供場地等資源，原能會輻射偵測中心負責輻射監測相關技術與設備，使全國環境輻射監測網再添一個生力軍，加強環境輻射監測。(發布日期 109 年 7 月 9 日)

- ➔ 香港 01 報導「國家核安全局通報寧德核電站運行事件 指無放射性輻射」。 [訊息連結](#)

通報指出，事發 6 月 20 日下午 2 時 59 分，寧德核電廠 1 號機組當時正處於換料停堆模式 (RCS)，按計劃要執行安全殼噴淋和隔離階段 B 綜合試驗 (T1EIE001)。惟在 A 列手動隔離閥 1RRI039/060VN 未恢復開啟的情況下，運行人員執行程序外操作，遠控關閉 B 列電動隔離閥 1RRI040/059VN，導致乏燃料水池失去冷卻。及至 3 時 08 分，運行人員發現異常後重新開啟 1RRI040/059VN，恢復正常冷卻，前後共中斷 8.5 分鐘。

通報指，事件是違反寧德核電廠運行技術規範中「PTR 系統兩列必須可用，其中至少一列運行以保證乏燃料水池的冷卻」的規定。事件過程中，乏燃料水池溫度由攝氏 30.85 度上升至 30.95 度，但仍然滿足運行技術規範的溫度範圍要求，同時各控制系統響應正常，反應堆處於安全狀態，三道屏障完整，無放射性釋放。過程中對機組運行未產生明顯影響，無放射性後果、無人員照射、無環境污染。

通報特別提到，按照國際核事件分級表 (INES)，1 級至 3 級為事件，4 級至 7 級為事故。0 級是屬於偏差，不在 INES 表內，也不在核應急範圍內，僅用於核電廠糾正偏差和經驗反饋。國家核安全局要求各核電廠營運單位汲取本次運行事件經驗教訓，強化換料停堆模式下的綜合試驗管理，采取有效措施避免運行人員操作錯誤而導致的類似事件。(發布日期 109 年 7 月 9 日)

- ➔ Hinet 生活誌報導「質子治療癌症新利器！林口長庚具「抗輻射壓力測試」能力」。 [訊息連結](#)

質子是治療癌症的新利器，但在太空卻可能破壞衛星電子元件，導致運作失常，甚至失靈。林口長庚紀念醫院質子暨放射治療中心「粒子物理暨照射核心實驗室」，可模擬太空近地軌道上的高能質子輻射狀況，提供衛星執行任務的安全檢測，7 月 21 日正式加入由國家實驗研究院太空中心所發起的「太空環境輻射驗測聯盟」，協助國家航太產業發展與國內電子產業再升級。

提升國內醫療水準 引進高能質子設備服務病患

除引進高能質子設備服務病患，林口長庚紀念醫院邱政洵副院長表示，另有一間規劃為實驗室，2016 年與清華大學共同建置「粒子物理暨照射核心實驗室」，2019 年 7 月取得原能會核可之高強度輻射設施使用許可證，提供基礎輻射生物、醫學物理研究、電子元件輻射驗測之多功能照射平台，供國內外學者研究使用。

加速抗輻射壓力測試 推動航太產業向上發展

這座實驗室可提供 70~230 MeV 高能量質子，能模擬衛星在太空近地軌道上長期接受的輻射劑量，並觀察其發生單一事件效應的機率，藉此預測衛星元件、模組或系統在太空環境下的性能。長庚醫學研究部郭昶甫主任指出，團隊任務是在地面負責執行及規劃衛星組件之「加速抗輻射壓力測試」，利用高能質子射束，在短時間內，模擬並給予該衛星在執行任務期間，在軌道上接受到的太空輻射劑量。

植入高精密電子接受質子治療 需經過抗輻射壓力測試評估林口長庚質子中心王俊傑主任強調，病患體內如有植入式高精密電子醫材 (如心臟節律器、人工電子

耳)、微晶片(如人體植入晶片、生物超級電容)、生物醫材等(如人工關節、血管支架),在病患接受質子治療的同時,也需要考慮到高能質子,是否影響到機器的正常運作及物質分子結構改變等問題;因此,為了因應未來的癌症治療趨勢,對於植入式醫材與高精密帶電醫療器材的產業發展,產品的抗輻射壓力測試,也需納入考量。(發布日期 109 年 7 月 29 日)

- ➡ 自由時報報導「阿拉伯聯合大公國 啟用阿拉伯世界首個核電廠」。 [訊息連結](#)

阿拉伯聯合大公國已啟用阿拉伯世界首個核電廠巴拉卡(Barakah),該廠位於卡達東邊的波斯灣沿岸,阿聯希望核電廠未來能負擔 4 分之 1 的能源需求。

據《BBC》報導,巴拉卡核電廠共有 4 座反應爐,採用南韓技術建造,原定於 2017 年啟用,但由於各種安全問題一直被延後,如今終於有 1 座反應爐展開了核分裂發電。

一些能源專家質疑經營巴拉卡核電廠的必要性,因為在充滿政治風暴和恐怖主義的地區,太陽能無疑更便宜、更環保、更有意義。

去年,與阿聯、沙烏地阿拉伯競爭激烈的卡達,就曾痛斥巴拉卡會對地區和平與環境造成嚴重威脅。此外,和阿聯敵對的伊朗,更是與巴拉卡核電廠隔著波斯灣相望。(發布日期 109 年 8 月 2 日)

- ➡ 台灣新生報報導「核安演習兵推 2 策略 4 面向」。 [訊息連結](#)

因應基隆市中山區、安樂區及七堵區等三區十二里,位於核能二廠緊急應變計畫區之內,今年度配合行政院原子能委員會辦理一〇九年核安第二十六號演習,以重大天然災害併同核子事故為演習主情境想定,規劃這次演習情境與項目,以驗證基隆市於核子事故發生時之應變能力,強化民眾、學校師生及志工團體知能。

今年的核安演習,分為兵棋推演及實兵演練兩個部分辦理,這次演習兵棋推演由林永發副市長擔任主持人、消防局陳龍輝局長擔任指揮官,民政處等十二個市府相關局處、台電公司等四個事業單位及基隆市後備指揮部等,日前於基隆市災害應變中心一同參加推演。中央災害應變中心假定北海岸發生地震,引起道路中斷、斷電及核能二廠核子事故等狀況,這次演習的重點秉持超前部署、分區分時疏散策略,強調旅、遊客勸離、關閉觀光遊憩地區、學生及弱勢族群疏散、環境輻射監測等面向。

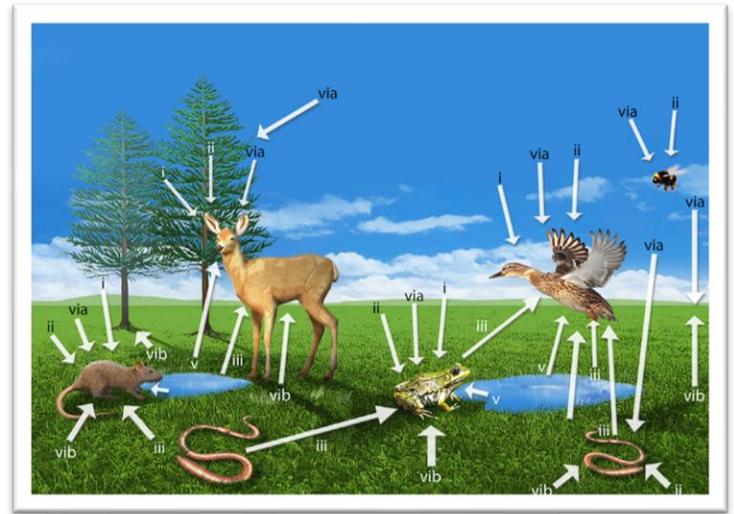
因應新冠肺炎(COVID - 19)疫情,今年度特別加入防疫相關議題,亦將散布假訊息、因大屯火山群餘震不斷須另擇避難收容處所等相關議題列入重點處置事項,即時發布新聞澄清、針對違法民眾因應作為、備援避難收容處所選定及防疫作為。

此外,為提高推演擬真性,推演期間,由中央主管機關隨機擇定情境發布無預警狀況,並限時回傳核子事故中央災害應變中心前進協調所工作平台,以檢視基隆市緊急應變處置機制,推演過程順遂圓滿。(發布日期 109 年 8 月 12 日)

ICRP 在 103 號報告發行 後續的發展應用

作者 魯經邦

台電公司退休保健物理從業人員



圖片(引用自 ICRP114)

概論

ICRP 在 103 號報告發行後，持續關注輻射防護有關動物、植物的輻射防護概念與應用，並發展人類以外物種劑量評估系統與參考動植物評估方法，也在輻射防護建立以來首次對輻射防護有關倫理學提出了系統性的論述，對於如核災或輻射事故後長期居住污染區域的住民提供防護指引，對受到宇宙射線曝露的空服員的輻射防護與太空人的輻射評估計算，陸續發行補充或指引等相關文獻。例如：

1. 輻射防護在環境保護的概念與應用 (ICRP 108)，不同曝露情境下環境保護的應用與推定關切參考基準值的建立 (ICRP 124) 等。
2. 輻射防護系統倫理學的基礎，介紹四個核心的倫理價值觀-行善、審慎、正義與尊嚴，與我們所熟悉的正當性、最適化與限制性的關聯 (ICRP 138)。
3. 航空機組人員曝露於源自宇宙射線，建議作為職業曝露有關 (ICRU 84)，發

展適用於太空人的太空特殊情況曝露專用的風險與評估 (ICRP 123)。

103 號報告後續文獻簡介

茲將 ICRP103 號報告之後續發行的文獻目前為止，關於輻射防護在非人類物種的防護，輻射防護核心倫理學，空服員與太空人的輻射風險評估，以及核子事故污染區長期居民眾的指引有關的報告依編號順序整理其要如下。(註：文稿之摘述是參考各該報告的摘要改寫而成)

ICRP103 號報告之後續發行的文獻簡介

NO.108 Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. (環境保護-參考動物與植物的概念與應用) (Ann. ICRP 38 (4-6), 2008)

本報告是就 ICRP103 號報告所提環境保護(人類以外物種的輻射防護)議題的建議，ICRP 在本報告中提供了進一步的具體地論述，主要有參考動物與植

物 (Reference Animals and Plants) 概念的引進、參考動物與植物的曝露途徑、參考動物與植物劑量轉換因數的計算、輻射效應及其與參考動物和植物的關聯、以推定關切基準來表達效應之評估等。ICRP 也在結論中強調，這份報告只是初步的介紹，還有許多問題仍需要解決，未來的文獻將進一步討論諸如 RBE，曝露模型的資料庫，劑量學也可能再精進，代表性生物的選定以及基本方法在不同曝露情況下的應用等問題。

NO.109 Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. (ICRP 建議在緊急曝露情境下人員防護的應用) (Ann. ICRP 39 (1), 2009.)

本報告的目的是為 103 號報告中有關緊急曝露情境的實施提供更具體的建議，主要內容有界定緊急曝露情境下防護的目標、緊急工作人員的防護、緊急曝露情境的描述、ICRP 輻射防護系統

在緊急曝露情境下的應用、緊急曝露情境應變的安排與參考基準、防護策略的執行及復原等。

NO.111 Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. (核子或輻射事故後長期污染區域居民之防護) (Ann. ICRP 39 (3), 2009.)

本報告係針對核子或輻射事故後長期污染區域居民之防護提供指引，主要內容有此類事件對受影響人口的影響，包括人類曝露的途徑，曝露人群的類型以及曝露的特徵等；也解釋了 2007 年建議如何適用於這類既存曝露的情境，如考慮防護策略的正當性和最適化及納入與應用參考基準來推動最適化程序。本報告還考慮了主管機關和受影響人口同時參與防護策略的實務，它強調了受影響人口和當地專業人員直接參與曝露情境管理的效益，並強調了國家和地方各級當局創造條件並提供有利於人民參與和

賦權 (empowerment) 的責任。從這個角度描述了輻射監測，健康監測以及受污染食品和其他商品管理的作用。附件總結了輻射和核子事故造成的長期受污染地區的過往經驗，包括在採取補救措施時遵循的放射學判準。

ICRU 84 Reference Data for the Validation of Doses from Cosmic-Radiation Exposure of Aircraft Crew. (為航空機組人員受宇宙射線曝露劑量驗證目的所定之參考數據) (prepared jointly with ICRP). (Journal of the ICRU 10 (2), 2010)

航空機組人員曝露於源自銀河和太陽的高強度宇宙射線以及與大氣、飛機及其內含物產生的二次輻射。ICRP 建議將商用噴氣飛機運行中機組人員曝露於宇宙輻射中作為職業曝露。除遇罕見，強烈，高能的太陽粒子事件外，飛機內部的輻射場大體上為均勻者，且劑量通常可預測。相當於其他輻射作業場所中非計畫曝露的事件通常不會在航空機器內發生。機組人員例行年劑量評估是以有

效劑量率的計算值以及工作人員名冊為依據的。在常規輻射防護中，可追溯的測量是整個劑量評估系統的基礎，且應定期以測量來驗證劑量評估方法。本報告的目的是提供從測量中得出的參考數據，可以將這些參考數據與例行以計算評估年劑量的結果進行比較以進行驗證。在飛機曝露於銀河系源的宇宙射線的周圍等效劑量率的參考值涵蓋了在最近完成的太陽週期 23 內的三個不同時段內地磁相關緯度的範圍，提供了周圍等效劑量和有效劑量的關係，從而可以從周圍等效劑量的值換算有效劑量。這些參考值應對國際上之機組人員劑量評估的一致性有所助益。

NO.114 Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. (參考動物與植物的遷移參數) (Ann. ICRP 39(6), 2009.)

ICRP 在第 103 號報告中，納入了「環境保護」一章，並表示，針對這一難題，將進一步發展一套方法，設定一組參考動植物 (Reference Animals and

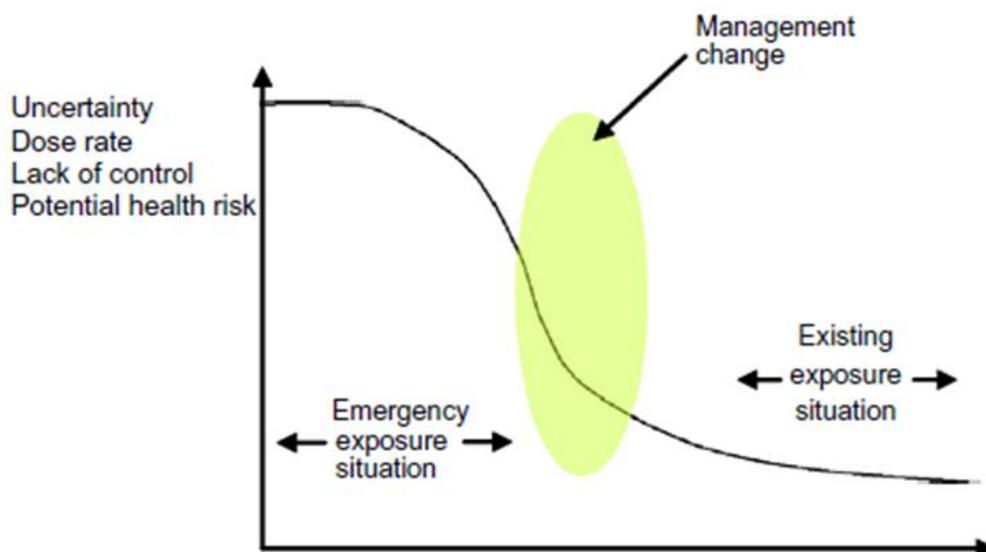


圖 1 發生緊急曝露後隨時間演變到既存曝露情境的過程(引用自 ICRP109)

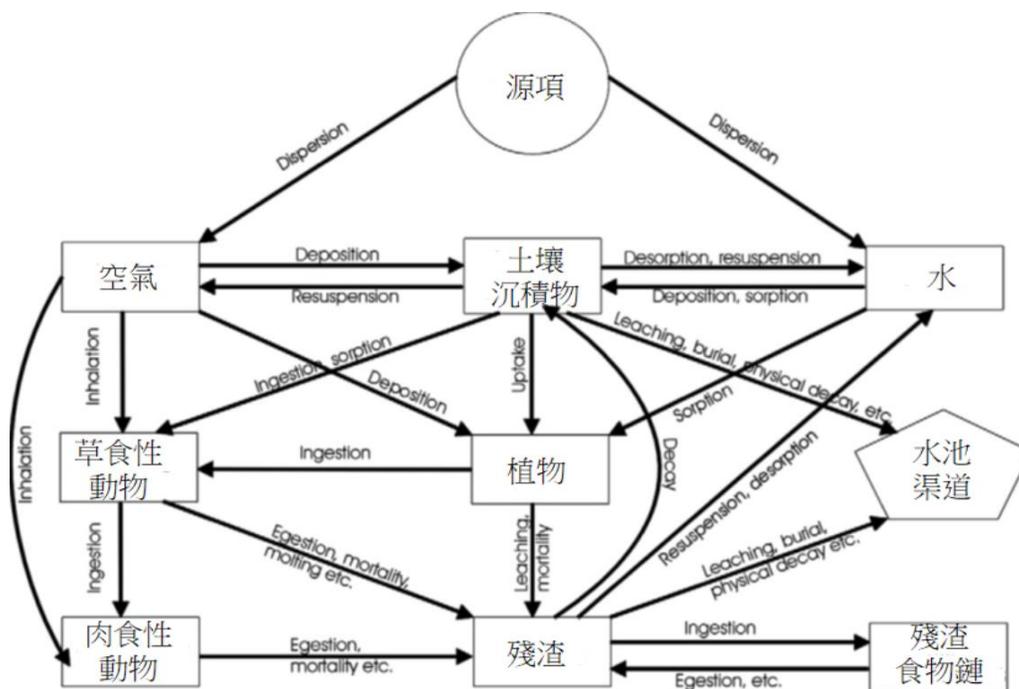


圖 2 影響生態系中放射性核種行為的過程(ICRP114)

Plants, RAP) 據以建立輻射曝露與劑量和劑量輻射效應之間的關係，適用於不同類型的動植物。本報告重點是介紹用於模擬放射性核種在環境中轉移的方法。

NO.122 Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste. (長半化期固體放射性廢棄物地質處置的輻射防護) (Ann. ICRP 42(3), 2013)

ICRP 對於放射性廢棄物處置的議題過去曾發行過三份重要的報告，分別為 ICRP 46 號報告、77 號報告及 81 號報告，其中第 81 號報告就是針對長半化期固體放射性廢棄物處置的防護建議。本報告針對長半化期固體放射性廢棄物地質處置的輻射防護部分依據 103 號報告更新了過去報告的內容，不過 ICRP 也聲明，過去的建議未於本報告檢討者仍然適用。本報告主要內容在說明 2007 年的建議如何應用在長半化期

固體放射性廢棄物地質處置的輻射防護，包括保護未來世代的價值、輻射防護原則、管理長半化期固體放射性廢棄物的策略、ICRP 輻射防護系統在長半化期固體放射性廢棄物地質處置設施之應用、防護指標（代表性個人及環境保護）等等。

NO.123 Assessment of Radiation Exposure of Astronauts in Space (太空人在太空的輻射曝露評估) (Ann. ICRP 42(4), 2013)

一般 ICRP 輻射防護系統所稱職業曝露，並未將太空中進行太空職業活動期間太空人的曝露納入（因為他們受到的曝露是來自於該環境中的天然輻射源的游離輻射）。本報告中所述的曝露評估和與風險相關的方法僅限用於太空中的特殊情況，不適用於地球上的任何其他曝露情境。本報告的內容主要包括太空中的輻射環境介紹、輻射防護之量及其在太空之應用、輻射通量與劑量之度量

方法、太空飛行器內及行星表面之輻射場、人體之輻射場與劑量、太空中之輻射防護實務等。

NO.124 Protection of the Environment under Different Exposure Situations (不同曝露情境下的環境保護) (Ann. ICRP 43(1), 2014)

本報告說明了環境保護的架構及 ICRP 輻射防護體系如何在這個架構中適用，主要內容包括 ICRP 環境保護的架構（防護的目標、參考動物與植物、推定關切參考基準 (Derived Consideration Reference Levels, DCRL) 與曝露途徑、ICRP 輻射防護體系的適用（曝露情境的型態、防護原則、依據 DCRL 所訂之環境保護參考值）、執行（選定代表性生物及其與參考動物與植物之關係、其他考量及利害關係人參與）及符合性 (Compliance) 等。

NO.125 Radiological Protection in Security Screening. (安全篩檢的輻射防護) (Ann. ICRP 43(2), 2014)

使用游離輻射執行人與物的安全性篩選的趨勢正在迅速增加，本報告就這類篩檢作業的輻射防護提供了建議，主要的內容包括安全篩檢系統的介紹（反向散射技術、傳輸技術及主動偵測技術）、輻射防護原則（曝露情境與曝露分類，對個人、物料及裝載貨物篩檢的正當性，設計、安裝、操作與維護之最適化，物料及裝載貨物篩檢之最適化，劑量限度及溝通與和利害關係人的互動）及特殊狀況（駕駛與偷渡者之曝露）之考量。

NO.132 Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation. (飛行中對宇宙射線的輻射防護) (Ann. ICRP 45(1), 2016)

ICRP 的輻射防護系統涵蓋了飛行受到宇宙射線曝露的輻射防護，本報告即依據 ICRP 2007 年建議、新的航空曝露數據以及全球的經驗為飛行中的宇宙線曝露提供了指引。主要內容包括飛行中

宇宙線曝露的特性、ICRP 輻射防護系統在機組人員及乘客的適用與執行，並以附錄提供了特定航班路線相關的宇宙射線數據。

NO.136 Dose Coefficients for Nonhuman Biota Environmentally Exposed to Radiation. (人類以外生物受環境輻射曝露的劑量係數) (Ann. ICRP 46(2), 2017)

本報告對於先前的 108 號及 124 報告所發展的人類以外物種的劑量評估方法及劑量係數做了精進與修正，主要內容有 ICRP 對人體以外生物的劑量評估系統介紹、原有劑量評估系統的擴充、劑量係數在曝露評估上之應用等。

NO.138 Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. (輻射防護系統的倫理學基礎) (Ann. ICRP 47(1), 2018)

儘管 ICRP 長期以來已經體認輻射防護不僅是科學的議題，而且涉及道德與智慧，但 ICRP 出版的文很少明白探討輻射防護系統之倫理學基礎的議題。本報告的目的是說明 ICRP 在發展輻射防護

系統時如何應用道德價值觀達到一個目標，即就倫理如何成為這個系統的一部分，呈現一個前後一致的觀點。這樣做有助於釐清在 ICRP 103 中強調實現輻射防護體系目標之一貫的價值判斷。儘管本報告主要針對輻射防護社群，但也期望為主管機關、設施經營者、工作人員人、醫療專業人員、患者、公眾及其為保護人身和環境而採取的行動者解惑。本報告首先提出自 1928 年 ICRP 第一次發行輻射防護系統出版品的科學、道德和實務演變的關鍵歷程。其次介紹了現有制度的四個核心倫理價值觀：行善/不傷害原則、審慎、正義與尊嚴。並討論了這些核心倫理價值觀與輻射防護的正當性、最適化及劑量限度原則的關聯。本報告最後提出了實際執行輻射防護系統之關鍵步驟所需的價值觀，其重點是責任、透明和包容。

NO.142 Radiological protection from naturally occurring radioactive material (NORM) in industrial processes (天然放射性核種在工業應用的輻射防護) (Ann. ICRP 48(4), 2019)

工業上涉及天然放射性物質（NORM）的作業可能引起多種危害而放射危害不一定占主要比例，但在某些情況下，如果不考慮適當的管制措施，可能會造成工作人員或公眾受到顯著的日常曝露。大量 NORM 的排放也可能導致其中的放射和非放射成分對環境的有害影響。本報告的目的就是為涉及 NORM 的作業之輻射防護提供指引，主要內容包括 NORM 曝露的特性、ICRP 輻射防護系統在工業上涉及 NORM 作業輻射防護上的應用與執行及常見造成 NORM 曝露的工業活動簡介。

The image shows a software interface for calculating dose coefficients for non-human biota. It is titled "Input parameters" and contains several sections:

- Ecosystem:** Radio buttons for "aquatic" (selected) and "terrestrial".
- Exposure:** A dropdown menu for "Pathway" set to "internal".
- Mass of organism:** A text input for "Mass [kg]" with the value "1.0" and a unit multiplier "[10⁻⁶ ... 10³]".
- Shape of organism:** A text input for "Shape" with the value "1: 1.0 : 1.0" and a unit multiplier "[0 ... 1]".
- Radionuclide:** A dropdown for "Element" set to "Cs" and a dropdown for "Mass number" set to "137".
- Effect of radioactive progeny:** A dropdown for "Method" set to "time-integral activities ratio" and a text input for "Time [d]" with the value "365.2425".

A green "Start" button is located at the bottom left of the form.

圖 3 用於非人類物種環境曝露劑量係數計算—BiotaDC V1.5 的輸入介面 (ICRP 136)

飛行中宇宙射線之輻射防護-

ICRP132 號報告摘述與心得

作者 尹學禮
輻射防護協會顧問



前言

ICRP132 報告於 2016 年出版，針對飛行中受到宇宙射線曝露之乘客與機組人員，提出之輻射防護相關建議。由於我國的游離輻射防護安全標準正積極規劃配合 ICRP103 號報告修正中，而宇宙射線對飛行中乘客與機組人員之影響，也是一項需要討論的課題。以下將概要說明此份 ICRP 報告之特點並提出個人的心得與建議。

報告內容有前言，飛行中受宇宙射線曝露之特性，乘客與機組人員之防護系統，執行相關之防護措施，以及結論，其重點如下：

1. 宇宙射線包含由太空及太陽而來之高能粒子，隨著緯度與距地表高度之增加而增加。
2. 考量飛航旅行人數、飛行高度與飛行時間之日益增加，宇宙射線對乘客與機組人員之輻射劑量亦隨之增加，需發展相關之防護策略。

3. ICRP 認為受宇宙射線之曝露，為既存之曝露情境。

4. ICRP 認為受宇宙射線之曝露，對偶爾與經常搭乘飛行之旅客屬於公眾曝露，而對機組人員係為職業曝露。

5. ICRP 建議依個人搭乘之頻率，採防護措施分級方式之策略。對偶爾搭乘之旅客，僅需提供有關宇宙射線之相關資訊，不需採取任何防護措施。對經常搭乘之旅客，鼓勵視需要自行評估所受到之劑量，並據以考量是否調整其飛行頻次。對經常搭乘且所受劑量與機組人員相當者之旅客，ICRP 建議由個人與公司針對其個案情況，以協調決定其需求。針對機組人員，ICRP 建議其公司應告知機組人員相關資訊，評估其所受之劑量且完整記錄，並應考量參考水平之規範，適時合宜的調整飛行班表。

6. 使用經過驗證之程式以評估機組人員與乘客之劑量，大部分情況是合宜足夠的。(簡訊 151 期)

7. 經常搭乘之婦女旅客，於懷孕時可自行考量調整其飛行頻次，以減少對胚胎或胎兒之劑量影響。針對懷孕之機組工作人員，公司應當調整其工作，使胚胎或胎兒在剩餘之妊娠期間所受之劑量，符合相關之劑量標準限度。

8. ICRP 建議管制單位與航空公司應加強宣導，建立相關利益相關人對宇宙射線與相關資訊之了解，並培養職業工作人員之輻射防護文化。

背景說明

當飛行高度大於 10000 米時，劑量率約為海平面處之 150 倍達 $7\mu\text{Sv/h}$ 。ICRP 以往著重機組人員(特別是懷孕機組人員)之防護，而此報告並將考量搭乘旅客之防護。ICRP 對飛行中之輻射劑量提出是既存曝露的概念(ICRP-39)，並建議飛機駕駛人員應以職業曝露方式來管理，但不需作個人之劑量監測記錄(ICRP-60)，經常搭乘的旅客，其接受之劑量約在 1mSv/y 範圍，只有

機組人員會經由宇宙射線接受到較高之輻射劑量(ICRP-75)。ICRP 與 ICRU 合作出版之 ICRU-84 號報告中，說明飛行高度與宇宙射線之分佈情形，並驗證人員受到之劑量，有助於全球各國管制單位與航空公司統一對機組人員之劑量評估。本報告係補充 ICRP-123 號報告中有關控制宇宙射線的相關事項，並考量 ICRP-103 號報告之精神，提出對機組人員、偶爾搭乘之乘客、經常搭乘之乘客以及懷孕婦女之輻射防護相關建議。

飛行中宇宙射線之相關特性

V. Hess 於 1912 年乘氣球達地表 5300 米高度發現是平地劑量之 4 倍。(註：經持續之研究而獲得 1936 年之諾貝爾物理獎)，並說明於協和號上機組人員佩戴劑量計之量測，以及俄國 Tupolev-

144 超音速客機上量測之劑量會高達 $300\mu\text{Sv/h}$ 。地球持續受到高能粒子之曝露，包括來自銀河之宇宙射線(GCR)與太陽之宇宙射線(SCR)，並偶爾受到太陽高能粒子爆炸之曝露(SPE)，GCR 與 SCR 合稱為一次宇宙射線，其主要成分均為質子，前者之質子能量，高達 10^{20} eV 而後者則通常小於 10^6 eV。

高能的質子與大氣中物質作用，產生了多種粒子與加馬射線，稱為二次宇宙射線，是構成人們受到輻射曝露的主要來源。太陽風產生的磁場會使低能 GCR 產生偏轉而不進入地球軌道，因此太陽活動力比較強時，GCR 會比較低。宇宙射線之粒子會受到地球磁場的影響而偏轉，靠近赤道附近，磁場與地面平行，因此較少粒子會進入大氣低層，而在接近地磁兩極處，磁場幾乎與地表垂

直，有較多之一次宇宙射線會進入大氣層，並產生二次宇宙射線。針對飛行高度 12,000 米，於赤道附近之劑量主要來自中子、電子與質子，而在兩極處，劑量之主要貢獻來自中子。此外，在飛行中遇到暴風雨時產生的加馬射線閃耀，則是由電子經閃電加速而產生者，與宇宙射線並無關係。

評估飛行時受到宇宙射線劑量，電腦程式是先將大氣中分割成許多立方體區域，預為評估每一立方體中之宇宙射線劑量率，再考量飛行經過之立方體與時間，可得到整個飛行會受到宇宙射線的劑量，相關結果並可用機上人員量測的資料做驗證。歐盟於 2004 年出版飛行中周圍等效劑量率之量測與計算彙編資料，可用以檢視機組人員劑量評估的一致性。

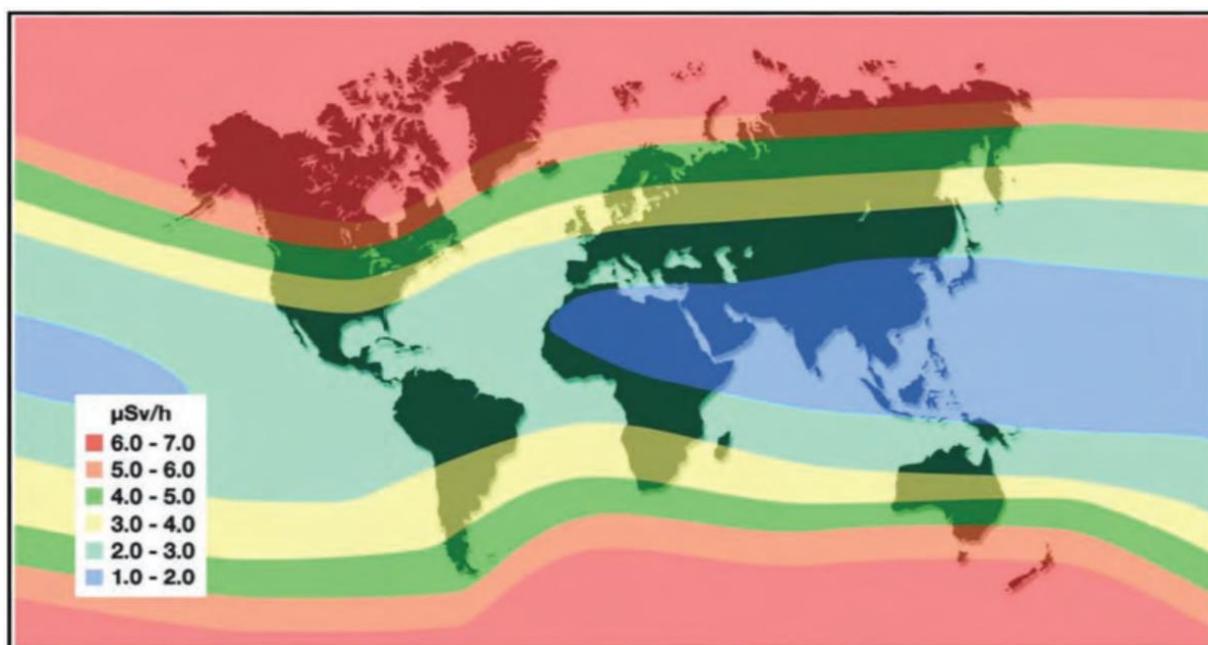


圖 1 宇宙輻射的地磁屏蔽：環境劑量率，按緯度和經度於 2002 年 12 月在海拔 11000 公尺處。(圖引用自 ICRP 132)

2008 年 UNSCEAR 評估機組人員之年有效劑量平均為 1.2~5mSv，最大者為 6~7 mSv。美國機組人員之年有效劑量平均為 3.1mSv，日本機組人員之年有效劑量平均為 1.7mSv，而駕駛員則會高至 3.8mSv。

有關機組人員之流行病學研究，過去 25 年之研究顯示癌症致死率偏低，這可能與健康工作效應有關，黑色素瘤與腦癌比率偏高，白內障風險較高，心血管死亡率較低。另外黑色素瘤與皮膚癌風險偏高，則可能與日光浴或淺色皮膚有相關性，亦有發現男性前列腺癌會有增加之情形。惟相關研究並未有游離輻射對機組人員健康影響之確切結論。ICRP 建議應持續研究，包括針對日夜節律的差別與曝露於飛機油氣對機組人員健康可能的影響。

對乘客與機組人員之防護系統

ICRP-103 號報告的防護系統是針對所有之輻射曝露，而不論其大小與來源，並說明了既存、規劃與緊急三種曝露情境，宇宙射線對飛行之影響是屬於既存曝露情境。輻射之曝露可以分為職業曝露、公眾曝露與醫療曝露三種類別，其中職業曝露是指在工作中所受到之曝露，傳統上 ICRP 限制職業曝露係指能合理認定管理階層應負責之曝露。ICRP 認為偶爾與經常搭乘者所受宇宙射線之曝露為公眾曝露，而機組人員所受之曝露為職業曝露，並針對此三群人分別擬訂防護之方式。

首先要針對飛航需求是否具有正當性做探討，是否是利大於弊，以決定是否針對宇宙射線之輻射曝露擬定防護策略，通常由政府權責單位判定其利弊得失，以權衡其是否具有正當性。雖然對空勤人員與搭乘飛行的旅客，能採行的防護控制方式非常有限，惟 ICRP 認為執行

防護是具有正當性的，特別是考慮到機組人員所受到個人劑量與集體劑量之情況。接下來再依最適化的原則來推導出最有效的防護行動，即是考量社會與經濟因素，使個人接受的劑量，受曝露民眾的數量，依合理抑低曝露的原則，使個人劑量低於某限定值的程序，ICRP 建議於最適化過程應採用個人劑量的標準。

於既存曝露之情境下，大於參考水平之劑量時，被認為是不可以規劃進行的，而必須規劃適當之防護行動。ICRP-103 號報告中建議於既存曝露情境之參考水平應在 1~20 mSv/y 範圍，旅客選擇飛行可獲得快速舒適而安全之旅行，而機組人員之直接受益為受雇。為防護飛行中之宇宙射線，ICRP 建議其參考水平值為 5~10 mSv/y。參考水平並非劑量限度，而是指要維持劑量小於此值並採取合理抑低措施，至於劑量限度則只適用於規劃之曝露情境，惟有些管制單位為強化其限制效果，決定針對機組人員採用職業曝露的限度。針對既存曝露情境其最佳化的程序包括：(1) 評估曝露之情況，(2) 指出可能之防護方案，以促使合理抑低，(3) 依現況選擇並執行最合宜之防護方案，(4) 定期審查曝露之情況，並評估是否需要再改善或是否有新的改善方案。ICRP 並建議於最佳化時要考量利益相關者之觀點與其關切之處。

執行 ICRP 之防護系統

考量宇宙射線對飛航輻射劑量的防護措施，似乎只有飛行時間與路線的選擇。惟減少飛行時間會使更多人受到曝露，在飛航高度與緯度做調整時，雖然降低高度會使輻射劑量減少，但事故機率會增加，而且油費等相關成本會增加約

5%。而在低緯度飛航也會增加飛行的距離、時間與成本。故針對飛航時宇宙射線之影響，ICRP 建議依個人受輻射劑量之程度，採分級方式的防護原則。

考量宇宙射線造成飛航人員之劑量，需區分搭乘者是因為個人之原因亦或是依其雇主之要求。偶爾搭乘之旅客其所受之劑量很低，而經常搭乘之旅客，其劑量會較高，應提供評估的方法以了解其受曝露之情形，而機組人員所受之劑量通常較高，則需要做適當之輻射防護管理，包括定期之個人監測或航班之調整等措施，使符合參考水平之劑量值。

對偶爾搭乘之旅客，雖然其所受之劑量很低不需要任何特殊之防護，為確保旅客有知的權利，可主動提供宇宙射線的相關資訊，達到資訊透明化的目的，應鼓勵管制單位、航空公司、消費者聯盟及旅行社多加宣導，例如在網頁上提供資訊及免費之劑量計算方式等。針對個人或職業之關係經常搭乘飛行之旅客，仍較機組人員所受宇宙射線之劑量為少，航空公司對此類旅客需提供宇宙射線之相關資訊，鼓勵自行評估個人所受之曝露劑量，若係為公務搭乘之旅客，有些人(例如飛行安全官等，搭乘時數達 500 小時/年)與機組人員所受之劑量相當，建議需與空勤人員做相同等級之管理。針對機組人員之防護管理，可透過教育與訓練告知機組人員有關之資訊，每年用相關的電腦程式評估機組器實測相關之飛行劑量作確認。ICRP 認為機組人員有定期之健康檢查，並不需要因宇宙射線之劑量而做特定額外之醫學檢查。為遵守參考水平之劑量值，於合宜情況下可調整相關個人之航行名冊(班表)(包括頻次、目的地等)。ICRP-82 報告說明於既存曝露情境下，針對飛航乘客中之懷孕婦女不需任何防護措

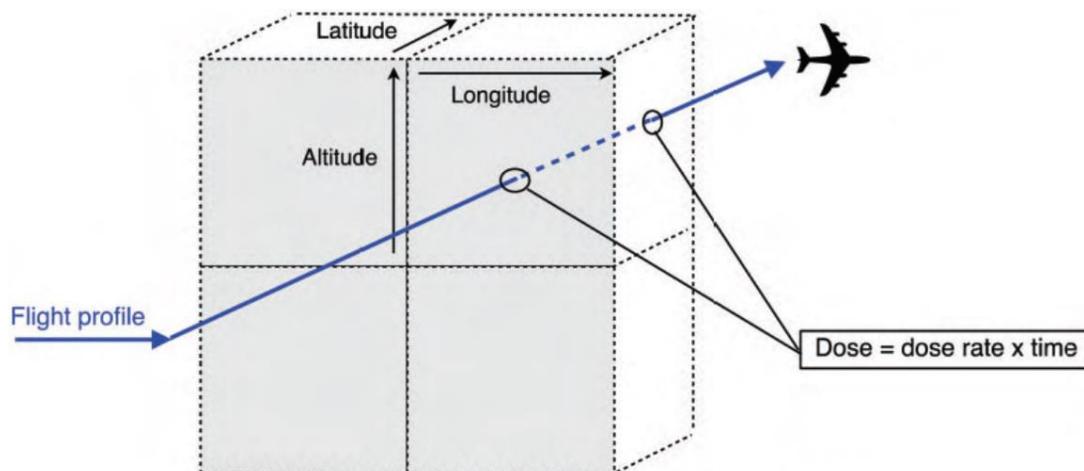


圖 2 由程式評估宇宙輻射劑量的範例（圖引用自 ICRP-132）

施，但認為應提供已懷孕或期望懷孕婦女有關飛行中宇宙射線曝露之資訊，供其瞭解並可視需要調整其行程。針對為職業曝露之機組人員，ICRP-103 報告建議需保護懷孕機組人員之胚胎或胎兒，確保其剩餘之妊娠期間，胚胎或胎兒所受之劑量小於 1 mSv。由於懷孕是以自行告知為準，為避免於告知時胚胎或胎兒可能已接受超過 1 mSv 之劑量，ICRP 建議應針對女性機組人員及經常搭乘之旅客，預為告知宇宙射線對胚胎或胎兒可能之風險。

大部分民眾每天都會受到宇宙射線的照射，或不清楚飛航旅行的時候宇宙射線會造成較高的輻射劑量。近年來由於相關知識廣泛的傳播，使大家更為關心飛行中宇宙射線劑量的問題。ICRP 建議應該將宇宙射線與其他風險共同看待，讓個人可以更全面瞭解，以幫助做必要的選擇與決定。

結論

此報告於結論中，再次強調前幾章中的重點。宇宙射線一直存在我們生活的環境，而也影響著飛航旅行的乘客與相關的機組人員，對偶爾搭乘飛行的旅客，因劑量甚低無需做特別之防護，但可提供相關宇宙射線與劑量影響的資訊。對經常搭乘的旅客，除提供相關資訊外，亦應免費提供可評估所接受劑量的方式或電腦程式，對經常因工作搭乘而其所接受之劑量與機組人員相當者，應與其雇主討論工作，使與空服人員有相同層級的管理方式。對機組人員，ICRP 建議之參考水平為 5~10mSv/y，當評估之劑量接近參考水平時，最有效的方法是調整飛行的班表。ICRP 並建議要採合理抑低措施，提供有關飛行宇宙射線之充分資訊，使民眾、經常搭乘者與機組人員瞭解由飛行所得到之宇宙射線劑量，以及經由飛行所獲得的相關利益。

心得與建議

1. 針對宇宙射線對飛航旅客與機組人員之劑量影響，ICRP 建議採取分級式的防護策略，甚具參考價值。
2. 我國之游離輻射防護安全標準，刻正參考 ICRP-103 號報告積極修訂中，有關飛航乘客與機組人員之防護方式與標準，建議應於適當時機納入管理規範。
3. 若將機組人員納為工作人員加以劑量管理，其涉及之相關單位與機構甚多。建議未來於擬定標準草案時，應與飛航相關管制單位(交通部、勞動部)，各航空公司及其他利益相關者，先做充分之溝通，使能順利推行。

發行人
張似瓌

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