

行政院原子能委員會
委託研究計畫 111 年度期末報告

既存性曝露管理規範研析
(勞務採購案)

Research and Analysis on Regulations for Existing Exposure Management

計畫編號： AEC11012049L

受委託機關(構)：國立清華大學

計畫主持人：許芳裕

共同主持人：尹學禮

聯絡電話：(03)5715131 分機 62096

計畫參與人員：林宥蓉

報 告 日 期 ： 1 1 1 年 1 2 月 5 日

目 錄

目 錄.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目的.....	2
參、研究方法與過程.....	3
肆、主要發現與討論.....	6
一、蒐集與研析國際輻防組織或其他國家就既存性曝露管理 之具體做法或規範 111 年期末結論.....	6
二、檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇.....	21
三、研擬我國既存性曝露管理規範(草案)建議書並評估可行性 及衝擊.....	26
四、辦理專家研商會議.....	28
五、辦理業者座談說明會.....	32
六、每季計畫查核情形.....	34
伍、111 年期末結論.....	35
陸、參考文獻.....	37
附件一、既存性曝露管理規範(草案)(初稿).....	39
附件二、「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」 專家會議議程及簡報資料.....	47
附件三、「含天然放射性物質商品國際管理趨勢與國內因應對策」 專家會議議程及簡報資料.....	52
附件四、「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」座 談會議程、簡報資料及空勤人員輻射防護管理指引(草案)	60

中文摘要

ICRP-103 報告書係為目前國際放射防護委員會(ICRP)最新之輻防管制建議報告書。ICRP-103 報告書提出了三種輻射曝露情境，包括計畫性曝露情境(planned exposure situation)、緊急性曝露情境(emergency exposure situation)及既存性曝露情境(existing exposure situation)。本計畫分二年期進行，工作內容包括蒐集研析其他國家就既存性曝露管理規範與具體作為，並研析我國既存性曝露管理行業(利害關係人)範疇，包含接受宇宙射線曝露之飛航空勤人員、職業曝露氬氣、建材或 NORM 工作場域等。辦理專家研商會議與業者溝通或說明會，於我國訂定、修訂或推動法規前，落實公眾參與制度，與業者充分溝通。本計畫於 111 年蒐集與研析國際輻防組織或其他國家就既存性曝露管理之具體做法或規範、檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇、提出既存性曝露管理規範(草案)建議書並評估可行性及衝擊，以及完成辦理二場次專家研商會議與一場次業者座談說明會。

關鍵詞：既存曝露情境、輻射安全、輻防管制、輻防管理、天然輻射源、天然放射性物質

英文摘要

The ICRP-103 report is the latest radiation protection control recommendation report of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). The ICRP-103 report proposes three radiation exposure situations, including planned exposure situation, emergency exposure situation and existing exposure situation. This project is carried out in a two-year period. The work includes collecting and analyzing the existing exposure management regulations and specific actions of other countries, and also analyzing the existing exposure management industry (stakeholders) in Taiwan, including aircraft crews exposed to cosmic rays, occupational exposures Radon gas, building materials or NORM workplaces. Before formulates or revises the promotion regulations in domestic, it is necessary to implement the public participation system, fully communicate with the industry, understand the difficulties, solve the problems or improve the supporting measures, so as to reduce the impact of domestic first promotion of regulations for existing exposure management in the future. Thereby, expert research conferences and explanatory meetings with industry players are planned to hold. This year (2022) project collected and analyzed the specific practices or guideline provided by the International Radiation Protection Organization or other countries on the management of existing exposures, examined the scope of existing exposure management industry in Taiwan, and proposed a draft for the management of existing exposures, evaluated the feasibility and impact, and complete the handling of two expert seminars and one industry symposium.

keywords : existing exposure situation, radiation safety, radiation protection control, radiation protection management, natural radiation source, NORM

壹、前言(計畫緣起)

世界各國制訂輻防管制法規或管理準則多依據國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, 以下簡稱 ICRP)之輻防建議報告書[1-4], 而 ICRP 於 2007 年提出 103 號建議報告書(以下簡稱 ICRP-103 報告書)係為目前 ICRP 最新之輻防管制建議報告書[5]。ICRP-103 報告書仍維持既有之輻射防護三項基本原則外, 但依據生物和物理最新可用資訊, 更新輻射加權因數及組織加權因數建議值, 且擴大管制/管理輻射曝露情境, 細分為計畫性曝露(planned exposure situation)、緊急性曝露(emergency exposure situation)及既存性曝露(existing exposure situation), 並進一步加以描述管制(理)概念。

ICRP-103 報告書建議由過去以輻射作業與干預為基礎的防護方法, 改為應用於所有可控制曝露情境之正當化、防護最適化基本原則的防護方法; 其中既存性曝露係指當決定採取相關管制時, 其輻射曝露狀況就已經存在者。既存曝露之輻射源可分為天然輻射源與人造輻射源, 天然輻射源包含宇宙射線及天然放射性物質(Naturally occurring radiative material, NORM), 包括氡氣、NORM 工業、建材等, 而人造輻射源則為核子或輻射事故殘留之曝露等。近期原能會即將推動游離輻射防護法修法作業, 即參採 ICRP-103 報告書三曝露情境管制/管理之精神, 故有必要執行既存性曝露管理規範之研析, 以利原能會後續既存性曝露管理規範法制作業, 俾利健全我國輻射防護法規體系。

目前各國對於 ICRP-103 報告書所提之既存性曝露, 部分國家(如歐美、澳洲、韓國等)依據 ICRP 建議之輻防管理作法或管理準則[6-12], 結合其國情與輻防管制實務, 訂定相關管制/管理準則, 惟大多數國家仍處研議階段。因此, 透過本研究, 規劃蒐集與研析各國對既存性曝露之天然輻射源(以下所稱之既存性曝露均指天然輻射源之既存性曝露)輻防管理作法或執行情形[8-13]、評估我國可行性並分析推動既存性曝露管理之影響衝擊, 將有助我國未來推行既存性曝露管理規範, 以期符合國際輻射安全管理趨勢。

貳、 研究目的

為配合我國游離輻射防護法修訂作業，積極辦理既存性曝露管理規範研析，草擬管制準則、自主管理規範或審查導則等，有其必要性。本計畫之研究目標即為研提適用於我國之天然輻射源既存性曝露管理規範與審查導則建議書。

本計畫分二年期進行，工作內容包括蒐集研析其他國家之既存性曝露管理規範與具體作為外，亦研析我國天然輻射源既存性曝露管理行業(利害關係人)範疇，包含接受宇宙射線曝露之飛航空勤人員、職業曝露氬氣、建材或 NORM 工作場域。於我國訂定、修訂或推動法規前，應落實公眾參與制度，與業者充分溝通，瞭解其困難，加以解決問題或健全配套措施，以降低未來我國首次推動既存性曝露管理規範之衝擊，並使業者有所依循，以提升輻射安全之管制/管理效能。

本計畫於 111 年蒐集與研析國際輻防組織或其他國家就既存性曝露管理之具體做法或規範、檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇、提出既存性曝露管理規範(草案)建議書並評估可行性及衝擊，以及辦理二場次專家研商會議與一場次業者座談說明會。

參、研究方法與過程

本計畫分二年期進行，規劃蒐集與研析國際輻防組織與各國對既存性曝露之天然輻射源輻防管理作法或執行情形、評估我國可行性並分析推動既存性曝露管理之影響衝擊，以及研析我國既存性曝露管理行業範疇。並配合我國游離輻射防護法修訂作業，研提適用於我國之天然輻射源既存性曝露管理規範與審查導則建議書。111 年為第一年期，詳細工作內容說明如下(以下所稱之既存性曝露均指天然輻射源之既存性曝露)：

一、蒐集與研析國際輻防組織或其他國家之既存性曝露管理具體做法或規範

可能接觸天然輻射源既存曝露之行業，包括接受宇宙射線曝露之飛航空勤人員、職業曝露氡氣、建材或 NORM 工作場域。本計畫蒐集與分析國際組織及各國對上述宇宙射線曝露之飛航空勤人員、職業曝露氡氣、建材或 NORM 工作場域等含天然放射性既存性曝露情境之管理具體做法或規範，作為本計畫研提適用於我國之天然輻射源既存性曝露管理規範與審查導則建議書之參考依據。各國相關管制之文獻初步彙整列於表 1。

表 1 各國相關管制之文獻初步彙整列表

NORM	
Korea	Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment
Arpansa	Guide for Radiation Protection in Existing Exposure Situations (2017)
HSE	Working with ionising radiation. Ionising Radiations Regulations 2017
NIRS	Guideline for Ensuring Safety of Raw Materials and Products Containing Uranium or Thorium
Cosmic Ray	
Korea	Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment
Arpansa	Guide for Radiation Protection in Existing Exposure Situations (2017)
EU	RP 156, Evaluation of the implementation of radiation protection measures for aircrew
EU	RP 140, Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew
ICRP	ICRP 132, Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation. (2016)
Building Material	
EU	RP 112, Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials
Radon	
ICRP	ICRP 126, Radiological Protection against Radon Exposure. (2014)
USA	NCRP-103, Control of Radon in Houses (2015)

二、 檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇

本計畫參考所蒐集研析的相關文獻，彙整各國管制(理)現況所列之既存性曝露管理行業，調查國內既存性曝露管理受影響之利害關係團體，包括受宇宙射線影響之飛航機組人員、受職業曝露氬氣影響之在坑道內的工作人員；以及礦石開採、加工，油氣回收過程，金屬生產與加工，化石燃料(煤炭)的燃燒，水處理等 NORM 工業業者；涉及天然放射性既存性曝露之建材業者，則可依據 ICRP -142 報告所列出之含天然放射性物質 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 及 ^{40}K 的建築材料類別(表 2)，檢視與調查國內符合既存性曝露管理行業之概況。

表 2 建築材料所含天然放射性物質 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 及 ^{40}K 的活度濃度(以 Bq kg^{-1} 為單位)[28]

材料 Material	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
混凝土 Concrete	1–250	1–190	5–1570
加氣混凝土 Aerated concrete	11,000	1–220	180–1600
粘土磚 Clay bricks	1–200	1–200	60–2000
石灰砂磚和砂岩 Sand-lime bricks and sandstone	18,000	11,000	5–700
天然石膏 Natural gypsum	<1–70	<1–100	7–280
花崗岩 Granite	100	80	1200
類石質凝灰岩 Lithoid tuff	130	120	1500
浮石 Pumice stone	130	130	1100
水泥 Cement	7–180	7–240	24–850
瓷磚 Tiles	30–200	20–200	160–1410
磷石膏 Phosphogypsum	4–700	19,000	25–120
高爐礦渣石和水泥 Blast furnace slag stone and cement	30–120	30–220	—

三、 研擬我國既存性曝露管理規範(草案)建議書並評估可行性及衝擊

為配合國內游離輻射主管機關行政院原子能委員會(簡稱原能會)推動我國游離輻射防護法修訂作業，本計畫依國際組織及各國對上述宇宙射線曝露之飛航空勤人員、職業曝露氡氣、建材或 NORM 工作場域等含天然放射性既存性曝露情境之管制作法及規定，並檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇及目前國內相關法規，彙整既存性曝露管理之具體做法或規範之管制精神、作法與管理趨勢，研擬適用於我國之既存性曝露管理規範(草案)並評估在國內推動之可行性及影響衝擊。評估我國可行性並分析推動既存性曝露管理之衝擊，以期協助原能會能儘速推行適用於國內之既存性曝露管理規範，符合國際輻射安全管理趨勢。

四、 辦理專家研商會議 (111 年至少 2 場)

111 年規劃將辦理專家研商會議至少 2 場，針對本計畫所檢視彙整我國符合既存性曝露管理行業之範疇，與研擬之我國既存性曝露管理規範(草案)建議書以及我國可行性及衝擊評估結果，進行研商與討論。先由本計畫研究團隊於會議前寄發相關會議通知書及會議資料，供受邀出席之專家先行審閱，會議當日則由本計畫團隊代表提出相關簡報說明，再請與會之專家學者及相關權責管理機構分別提出意見與建議，再進行意見彙整。

五、 辦理業者座談說明會 (111 至少 1 場)

主管機關原能會期許於我國訂定、修訂或推動法規前，應落實公眾參與制度，與業者充分溝通，瞭解其困難，加以解決問題或健全配套措施，以降低未來我國首次推動既存性曝露管理規範之衝擊，並使業者有所依循，以提升輻射安全之管制/管理效能。因此，本計畫 111 年規劃邀請既存性曝露管理受影響之部分利害關係團體(包括宇宙射線、職業曝露氡氣、建材、NORM 工業等業者)，徵詢原能會對邀請業者類別之意見與建議辦理座談會，就草擬之我國既存性曝露管理規範(草案)的相關建議書進行說明與溝通，瞭解業者困難與實務問題，蒐集與彙整回饋建議，進而研議因應對策或精進規範草案。

肆、 主要發現與討論

一、 蒐集與研析國際輻防組織或其他國家就既存性曝露管理之具體做法或規範

已於 111 年蒐集與分析國際組織及各國對接受宇宙射線曝露之飛航空勤人員、
氬氣曝露、NORM 工作場域與建材等含天然放射性既存性曝露情境之管理具體
做法或規範，整理之國際組織建議與各國具體做法或規範如下：

(一) 飛航空勤人員接受宇宙射線曝露之輻防管理做法

A.各國對飛航空勤人員之劑量管制 (摘自 RP-156 號報告及日韓報告)

1. 德國

輻射防護法令：輻射防護條例(Radiation Protection Ordinance, 2001)

此法令之第 4 章為宇宙輻射相關規定，針對在德國註冊之航空公司，以及總部在德國適用此法令的公司，以及註冊在其他國家而雇用符合德國勞工法律適用員工者。

輻射防護主管機構(BfS)負責飛航空勤人員劑量之管理，而飛航空勤人員之劑量資料係由民航主管(CAA)(德國為 LBA)處取得。BfS 有權使用此資料檔案，並將負責保存至員工退休後 30 年。

負責收集資料的單位包括:民航主管機關 CAA，輻射防護主管機關 BfS，各航空公司以及必要之機構。(The responsibility for the responsibility for data collection is given to the CAA, the radiation protection authority, the airlines themselves and other not closer defined institutions)。

RP-156 號報告中並未指出資料收集各單位之分工方式。

2. 英國

輻射防護法令：1974 年之工作健康與安全法(Health and Safety at Work etc. Act of 1974)，以及 1999 年之游離輻射法規(Ionising Radiations Regulations 1999，IRR99)。

英國負責輻射防護的權責單位是健康與安全委員會(HSC)以及健康與安全執行委員會(HSE)，此二單位於 2008 年 4 月合併為 HSE。

航空公司應裝置記錄維持系統，詳述於操作手冊中，以備 CAA 之檢查。航空公司應確保進行相關研究，以評估飛航空勤人員受到宇宙射線劑量之曝露。

3. 比利時

比利時之聯邦核管制機構(FANC)負責飛航空勤人員之劑量管理，相關資料直接由航空公司傳送至此機構。

4. 捷克

捷克航空公司委託國家科學院之核物理研究所，執行飛航空勤人員之劑量計算，航空公司並於 1999 年至 2007 年，做過一些飛航班次之劑量量測，已與計算值作比較。

5. 芬蘭

芬蘭之輻射防護法第 12 章有關天然輻射部分，包括對飛航空勤人員之防護，而更詳細之規定，則列於 2005 年由芬蘭輻射與核子安全機構 STUK 頒行之飛航輻射安全法規。芬蘭自 1992 年開始監測飛航空勤人員之宇宙射線劑量，使用的是 EPCARD 與 CARI6 電腦程式。

飛航空勤人員之劑量由航空公司直接送交 STUK，並儲存於 STUK 運作之國家劑量中心。

6. 愛爾蘭

愛爾蘭之飛航空勤人員輻射劑量，是由航空公司使用 EPCARD 與 CARI6 電腦程式評估，並每年彙整送至輻射防護研究院。輻射防護法第 12 章有關天然輻射部分，包括對飛航空勤人員之防護，而更詳細之規定，則列於 2005 年由芬蘭輻射與核子安全機構 STUK 頒行之飛航輻射安全法規。芬蘭自 1992 年開始監測飛航空勤人員之宇宙射線劑量，使用的是 EPCARD 與 CARI6 電腦程式。

小結：歐盟並無評估宇宙射線的責任而是由商用航空公司負責，由於航空業工作人員是以全球為市場，推動不易。目前僅由國家級單位進行飛航空勤人員劑量之追蹤，何時可將工作移至歐盟飛行安全委員會 EASA 尚未有定論。(以上資料摘自 2009 年 RP-156 報告第五章)

7. 韓國

韓國之 2014 年修正之天然環境中輻射防護指導法，共計有 31 條文。其定義

之環境輻射包括來自非核物料之天然核種，宇宙射線，地表輻射，以及廢金屬之輻射。韓國的主管機關是核子安全委員會(Nuclear Safety and Security Commission, NSSC)。此外，亦於 2021/5/24 公告了飛航空勤人員宇宙輻射安全管理規定(國土交通部公告第 2021-716 號)。

天然環境中輻射防護指導法有編訂五年期的綜合性計畫，包括針對環境輻射的防護、目前狀況的調查、相關的研究發展計畫、偵測分析有關的射源材料與副產品、副產品之處理處置與再循環使用，另外也包括如何建立宇宙射線與地表輻射的防護系統。逐年編列計畫與經費加以推動。

天然環境中輻射防護指導法第 18 條之內容是針對宇宙射線之安全管制，內容包括：航空業者應負責保護飛航空勤人員之健康與安全。航空業者應調查並分析各航線機組人員受宇宙射線之曝露以及年劑量，並依據調查與分析之結果採取相關措施，以保護飛航空勤人員之安全與健康。航空業者之中央主管機關，應規定宇宙射線之安全防護作業相關事項，包括調查與分析以及安全措施相關之程序方法，並須先行與核子安全委員會加以磋商。

2021 年公布之飛航空勤人員宇宙輻射安全管理規定，加強飛行員和機組人員的輻射劑量標準，顯著降低曝露於宇宙輻射的風險

8. 日本

美國由其聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)，告知民眾於高空飛行時受宇宙射線曝露的資訊，並提供包括空勤人員劑量評估的方法，FAA 發展了 CARI-6 程式可供不同航線之劑量計算之用。

日本之教育文化運動與科學技術部(Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT)，成立了工作小組進行為期一年半之討論，並建立相關指引管理宇宙射線對飛航空勤人員之曝露。並於 2006 年要求國內航線之航空公司自願遵守相關的 5 項指引，包括：

- (1) 維持空勤人員受宇宙射線曝露之有效劑量小於每年 5 mSv。
- (2) 空勤人員劑量可以數值模式計算。
- (3) 宇宙射線對空勤人員曝露之評估。
- (4) 空勤人員劑量紀錄之審閱與保存。
- (5) 不需對空勤人員作額外的體格檢查。

劑量計算係採用 NIRS 自行發展可供公開使用的 JISCARD EX 程式，其目前的版本已採用 ICRP 2007 年建議有關有效劑量與周圍等效劑量的轉換係數。2007 年由程式評估所得，顯示駕駛人員之平均有效劑量為每年 1.7 mSv，而機上服務員部分之平均有效劑量為每年 2.2 mSv，此數值均低於指引中每年 5 mSv 之劑量約束值。

9. 澳洲

澳洲既存曝露之輻射防護指引(Arpana 2017)係參考 IAEA GSR Part 3 由輻射防護與核能安全署(arpansa)於 2017 年所頒佈之既存曝露之指引。

Arpana 2017 重點包括事故後場址的修復、室內及工作場所中的氦氣、空勤人員受宇宙射線之曝露、在商品中之天然存在放射性物質、以及由緊急曝露情況轉至既存曝露等各種情境下的防護措施。

各種既存曝露情境之年有效劑量參考基準，包括：室內氦氣為 10 mSv，而其住宅之推導參考基準為 200 Bq/m³。宇宙射線對空勤人員之曝露為 6 mSv，商品中天然放射性物質為 1 mSv，商品中大量天然放射性物質為 1 mSv。

B. 歐洲各國飛航空勤人員劑量管制法規重點 (含歐盟、德國與英國現況):

(a) 歐盟 BSS

第 1 條 輻射防護法令：COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM Basic Safety Standards for protection against the dangers arising from exposure of ionizing radiation.

歐洲之基本安全標準 BSS，是概念性的介紹輻防相關事項，類似於準則，而並無確切需遵行之工作方式與項目，以下僅就此基本安全標準中空勤人員劑量管理的有關條文，依序提出作摘要說明。

首先空勤人員受宇宙射線曝露，應以計畫之曝露情境來做管理，而當超過劑量限度時，應以特殊之授權曝露來處理。

第 2 條 人類之活動中存在天然輻射，會造成工作人員及公眾之曝露，包括飛行中飛航空勤人員受到宇宙射線之曝露。

第 3 條 此標準排除之範疇:

(1) 受到之天然背景輻射，包括人體內的放射性核種，以及地表附近之宇宙射

線輻射。

(2) 非飛航空勤人員之工作人員與公眾在飛行中接受之宇宙射線輻射曝露。

第 9 條 職業曝露之劑量限度為有效劑量每年 20 mSv，經特別授權可達每年 50 mSv，惟仍須符合五年合計小於 100 mSv 之限度，另外皮膚與四肢之有效劑量限度為每年 500 mSv。

第 10 條 當飛航空勤人員書面告知懷孕後，航空公司(經營者) 應確保胎兒受到合理抑低之等效劑量，且於剩餘之妊娠期間內胎兒受到之等效劑量不超過 1 mSv。

第 35 條 當飛航空勤人員之年有效劑量可能超過 6 mSv 時，則應依職業曝露方式處理並符合第 9 條劑量限度之規定。當飛航空勤人員之年有效劑量可能大於 1 mSv 時，權責單位應採取相關合理的措施，包括評估飛航空勤人員之劑量、依據劑量評估結果安排相關的飛行班次，以減少受到高劑量飛航空勤人員之劑量、告知飛航空勤人員工作上的健康風險，同時針對通知懷孕的女性飛航空勤人員要符合第 10 條劑量限度之規定。

第 40 條 說明 A 類工作人員是指年有效劑量可能超過 6 mSv，或眼球水晶體之年有效劑量可能超過 150 mSv，或皮膚與四肢之年有效劑量可能超過 500 mSv 者。B 類工作人員是指非屬 A 類之工作人員。

第 52 條 說明於特殊情況經核准下，輻射工作人員之職業曝露，劑量限度，可超過第 9 條之限制，唯應於特定之情況與時段下，且符合權責單核准之最大曝露值。且僅有 A 類工作人員可接受此種特定授權曝露。

(b) 德國

德國執行現況 BfS 之補充說明(2021 年 4 月 8 日):

德國至 2003 年開始，針對飛航空勤人員大於年劑量 1 mSv 者，要做個人劑量監測與登錄的工作，由 BfS 負責劑量評估程式之品保，再經由 LBA 核准後交由航空公司進行飛航空勤人員之劑量評估。主要考量是在飛機上宇宙射線無法做合宜的屏蔽，針對長程以及北極航線，飛航空勤人員接受劑量會與游離輻射工作人員者相當，德國修正 2001 年之輻防條例，針對飛行人員可能年劑量大於 1 mSv 者，要強制做監測，決定這些人的劑量並做減少個人劑量的安排，包括航班及飛行路線的安排等等。相關個人劑量要按月做登錄確認符合相關劑量限值之規

範，而航空公司可根據實際的航線並依 LBA 核准的程式做劑量評估，確認符合現值的情形，LBA 會每月將劑量評估值交給 BfS 做登錄保存的工作。

依據 2019 年的資料顯示，飛航空勤人員總數約 41,000 人，佔所有職業輻射工作人員的 1/10，其集體劑量為 75 人西弗，佔全德國職業曝露量的 2/3。而飛航空勤人員的平均年劑量為 1.8 mSv，高於醫療人員的年平均劑量 0.32 mSv，一般輻射工作人員年劑量大於 0.5 mSv 者人數很少，這與飛航空勤人員受到宇宙射線劑量之分佈情形會有所差異。

目前飛航面對的情況是飛得太低會增加成本及污染的情形，而且可能飛行時間會更長，加上要改善宇宙射線造成飛航空勤人員劑量的方法非常有限，只能就路線與航班的安排上做調整，因此在經濟與劑量的平衡上甚難找到合宜的平衡點。

(c) 英國

法令：The Air Navigation Order, 2019 No. 1115。係依 1982 年之民航法(Civil Aviation Act)而制定。共計 29 條，相關重點摘要說明如下：

第 1 條 此命令稱為 The Air Navigation (Cosmic Radiation: Protection of Air Crew and Space Crew and Consequential Amendments) Order, 2019。於 2019 年 8 月 7 日生效。

第 2 條 專用名詞：

(1) 飛航空勤人員(crew):包括 flight crew (駕駛員，領航員，飛航工程師與飛航話務員)，cabin crew (提供旅客安全但不是 flight crew)，以及任務專家。

(2) 此法令中之宇宙射線(cosmic radiation)不包括地表之宇宙射線。

第 3 條 此命令適用之範圍包括英國之航空公司(經營者)，以及主要業務在英國之公司。

第 5 條 任何航空公司(經營者)未經授權，不得雇用有可能接受有效劑量大於每年 1 mSv 者擔任飛航空勤人員。任何航空公司(經營者)不得雇用飛航空勤人員使其有可能接受之有效劑量大於每年 6 mSv，除非該人員屬於特定飛航空勤人員(classified crew member)。任何航空公司(經營者)不得雇用飛航空勤人員使其有可能接受之有效劑量大於每年 20 mSv。

第 6 條 航空公司(經營者)應於飛航空勤人員執行任務前，確保有合宜完整的方法評估其受到宇宙射線之風險數值。

第 7 條 航空公司(經營者)應採合宜方法評估飛航空勤人員受到宇宙射線之曝露，除告知飛航空勤人員評估之劑量之外，並應據以安排工作航班，以減少受到高曝露飛航空勤人員之劑量。

第 8 條 航空公司(經營者)應告知飛航空勤人員輻射對胎兒之風險，以及及早告知

懷孕之重要性。當飛航空勤人員書面告知懷孕後，航空公司(經營者)應確保胎兒受到之劑量能合理抑低，且於其剩餘之妊娠期間內胎兒受到之劑量不超過 1 mSv。

第 9 條 航空公司(經營者)應對飛航空勤人員(非特定飛航空勤人員)受到之宇宙射線曝露作監測，以確定飛航空勤人員是否應歸類為特定飛航空勤人員。監測方式可使用 CARI-7，EPCARD，SIEVERT PN，PCAire 或功能相當之電腦程式，以評估宇宙射線造成之有效劑量。

第 10 條 航空公司(經營者)應告知飛航空勤人員相關之資訊，並提供有關之訓練。包括接受宇宙射線造成之健康風險，公司評估風險之程序，公司評估及監測飛航空勤人員受宇宙射線曝露之程序，經營者並應確認提供與飛航空勤人員相關之訓練。

第 11 條 說明有關超曝露之處理，以及人員劑量保存的規定。

第 12 條 說明有關超曝露人員之後續工作安排，並說明相關人員之年劑量限度，包括未依第 5 條授權者為 1 mSv，經第 5 條授權之特定飛航空勤人員為 20 mSv，以及其他飛航空勤人員為 6 mSv。

第 13 條 說明航空公司(經營者)將某些飛航空勤人員，分類為特定飛航空勤人員之條件及其必要之規範。

第 14 條 說明航空公司(經營者)將飛航空勤人員分類為特定飛航空勤人員，需先通過醫師之鑒定適合擔任相關工作，而且以後每 12 個月必須接受醫師之健康再鑒定。

第 15 條 說明航空公司(經營者)應保存特定飛航空勤人員之健康紀錄至 75 歲，並且至特定飛航空勤人員最後接受宇宙射線曝露後之 30 年。

第 16 條 航空公司(經營者)應對每一位特定飛航空勤人員受到之宇宙射線曝露作個別監測。監測方式可使用 CARI-7，EPCARD，SIEVERT PN，PCAire 或功能相當之電腦程式，以評估宇宙射線造成之有效劑量。

第 17 條 說明航空公司(經營者)應保存特定飛航空勤人員之宇宙射線曝露監測紀錄至 75 歲，並且至特定飛航空勤人員最後接受宇宙射線曝露後之 30 年。並應於每年 3 月底前將特定飛航空勤人員之相關監測記錄送至民用航空管理局(CAA，屬於英國之運輸部)。

第 20 條 民用航空管理局(CAA)得以書面要求航空公司(經營者)提供飛航空勤人員宇宙射線之曝露紀錄，經營者並應於 14 天內提供相關之紀錄。

表 3 為德國、英國及韓國飛航機組人員宇宙射線管理體系之彙整表。

表 3 德國、英國及韓國飛航機組人員宇宙射線管理體系彙整表

	德國	英國	韓國
--	----	----	----

法令依據	依據歐盟指令 2013/59 EURATOM 要求，德國於 2001 年修訂《德國輻射防護條例》	依據歐盟指令 2013/59 EURATOM 要求，英國於 2016 年發佈宇宙輻射：機組人員和太空員的防護命令。	自然環境輻射防護行動指引 ((kor166754, 2014 年 5 月 21 日)、飛航空勤人員宇宙輻射安全管理規定(國土交通部公告第 2021-716 號, 2021/ 5/24)
飛航管制機關	1. 德國聯邦航空局(LBA) 負責監督航空公司遵守劑量限制及接收機組人員劑量計算報告，並定期將資料轉送德國聯邦輻射防護辦公室 (BfS)。 2. 航空公司使用 LBA 批准的評估程式。	1. 英國民航局 可通過書面通知要求航空公司或經營者提供與任何機組成員曝露於宇宙輻射相關的資訊、文件或記錄。 2. 該命令列舉適用評估程式：CARI-7、EPCARD SIEVERT PN、PCAire。	1. 國際航空運輸業經營者應向 國土交通部 報告機組成員劑量曝露調查結果。 2. 國土交通部 可以命令航空運輸業經營者提交報告或數據。
輻防管制機關	1. 德國聯邦輻射防護辦公室 (BfS) 負責劑量計算評估程式質量保證。 2. 德國聯邦輻射防護辦公室 (BfS) 登錄飛航空勤人員輻射劑量。	負責輻射防護的權責單位是健康與安全委員會(HSC)以及 健康與安全執行委員會 (HSE) 。此二單位於 2008 年 4 月合併為(HSE)。	1. 國際航空運輸業經營者得向機組人員提供 核安全委員會 依自然環境輻射防護行動指引制定營運之培訓課程。 2. 核安全委員會 亦可(依 kor166754)命令航空運輸業經營者提交報告或數據。
劑量管理	● 有效劑量大於 1 mSv/y 者，要做個人劑量監測與登錄。 ● 由 BfS 負責劑量評估程式之品保。 ● 經由 LBA 核准後交由航空公司做飛航空勤人員之劑量評估。	● 有效劑量超過 1 mSv/y 者需防護措施。 ● 可能大於 4 mSv/y 者，應再用程式評估其可能接受之劑量，以確保小於 6 mSv/y 之規範。 ● 可能大於 6 mSv/y 之飛航空勤人員，需做個人之劑量監測，並調整班表使小於 6 mSv/y，保存其劑量紀錄至少 30 年且至工作人員滿 75 歲。	● 飛航空勤人員的輻射曝露劑量安全標準(有效劑量)為 6 mSv/y。 ● 對懷孕的飛航空勤人員，從確認懷孕之日起至分娩，劑量標準為 1 mSv。 ● 劑量記錄保存自最後一次飛行之日起 30 年或飛航空勤人員年滿 75 歲，以較晚者為準。

(二) 氬氣之輻防管理做法

A. ICRP-126 氬氣曝露之輻射防護

ICRP-126 報告是國際放射防護委員會 ICRP 於 2014 年出版，係針對住宅與工作場所之氬氣，說明如何保護一般民眾與工作人員。

ICRP 指出造成影響的主要是氬-222 核種，由於其子核種鈾-218 及鈾-214 會放出阿伐射線，可能造成人員致癌的風險。ICRP-60 號報告之參考基準為 1~20 毫西弗。ICRP-65 號報告建議每年 10 毫西弗之參考值，對住宅與工作場所，其推導參考基準分別為 600 Bq/m³ 與 1500 Bq/m³。ICRP-115 號報告中指出，由流行病學

調查研究，氡氣之風險係數是以往建議者的兩倍，因此修正氡氣對住宅之推導參考基準為 300 Bq/m^3 。國家要改善氡氣的影響，需要數十年以上的時間，包括預防與改善兩面的措施。在這些輻射防護過程中，利益關心者長期的積極參與，是達到改善氡氣輻射影響最有效也最重要的一環。

ICRP 126 號報告整合 ICRP-60 號報告、ICRP-103 號報告、聯合國 2009 年的 UNSCEAR 報告、ICRP-115 號報告、以及較早期的 ICRP-65 號報告。目的是針對建築物內氡氣之曝露提供輻射防護的方法。ICRP 建議國家權責單位應依其國情訂定氡氣措施計畫，評估其氡氣之推導參考基準，並建議要能合理在 $100\sim300 \text{ Bq/m}^3$ 之間。

ICRP-126 報告重點彙整如下：

1. 室外氡氣曝露通常是不需要特別關注。
2. 氡氣及其子核會造成肺癌。
3. 氡氣之曝露為既存曝露情境，只能透過曝露途徑做管控。
4. 國家要發展氡氣之防護政策，以降低國民整體曝露及個人最高曝露。
5. 制定之政策需明確、務實且對所有建物具一致性，並能分級處理不同的情況。
6. 應對新建物有防範之措施，並對現行建物建立相關整治改善措施。
7. 氡氣曝露是基於最適化的原則，搭配合宜的參考基準，ICRP 建議以年劑量 10 毫西弗為設定之基準。
8. ICRP 建議在住宅、工作場所以及其他建物均一致採用 300 Bq/m^3 。
9. ICRP 建議推導參考基準，能合理抑低在 $100\sim300 \text{ Bq/m}^3$ 範圍之內。
10. 氡氣對工作人員之曝露，通常不考慮為職業曝露，ICRP 建議可採分級的方式，以最適化檢討並採用實際之參數做進一步評估，如仍無法達到需求之目標，才針對此工作場所依職業曝露方式來管理。
11. 當受氡氣曝露之工作場所依職業曝露方式做管理時，此場所之工作人員所受之曝露，由一開始工作即應由國家權責單位認定為職業曝露。
12. 當國家之權責單位認定氡氣曝露之情況屬於規劃之曝露情境時，則應適用職業工作人員之劑量限度。

B. 美國 NCRP-103 重點

美國 1986 年調查共計 8 千萬戶中之 1 百萬戶，其室內氡氣平均濃度約為 300 Bq/m³，超過建議之改善行動基準 150 Bq/m³。氡氣主要來源是地表下土壤中的岩石礦物，可以經由減少射源的量，或者用土壤與室內抽換氣的方式，來達成減低室內氡氣濃度的目的。並沒有一種最完美的方案，必須依照個案的現實狀況去做選擇。三種建議的方案是通風、增加空氣的循環以及強化對流的方式。

C. 瑞典之氡氣立法與指引

此報告是瑞典輻射防護院於 1999 年 7 月出版，蒐集歐盟各國、歐洲非歐盟的國家，及其他國家對氡氣的法令與指引。此報告說明了各國之氡氣參考基準，彙總說明如下：

1. 針對住宅部分，歐盟各國之參考基準彙總範圍結果是：

(1) 針對現有住宅，強制性的推導參考基準為 200~1000 Bq/m³，建議性的推導參考基準為 150~1000 Bq/m³。

(2) 針對新建住宅，強制性的推導參考基準為 200~1000 Bq/m³，建議性的推導參考基準為 150~400 Bq/m³。

2. 針對住宅部分，歐洲非歐盟各國與歐盟各國者相同。有些國家有兩個推導參考基準，是說明必須要做改善，以及提供簡單的改善即可。

3. 世界各國之情況亦類似，包括美國採用 150 Bq/m³，澳洲與以色列採用 200 Bq/m³，加拿大採用 800 Bq/m³。

4. 針對工作場所，歐盟各國之參考基準彙總範圍結果是：

(1) 針對現有工作場所，強制性的推導參考基準為 400~1000 Bq/m³，建議性的推導參考基準為 150~1000 Bq/m³。

(2) 針對新建工作場所，強制性的推導參考基準為 200~3000 Bq/m³，建議性的推導參考基準為 200~1000 Bq/m³。

5. 針對工作場所部分，歐洲非歐盟各國之參考基準彙總範圍結果是：

(1) 針對現有工作場所，強制性的推導參考基準為 400~3000 Bq/m³，建議性的推導參考基準為 200~1500 Bq/m³。

(2) 針對新建工作場所，強制性的推導參考基準為 200~3000 Bq/m³，建議性的推導參考基準為 200~1500 Bq/m³。

6. 針對工作場所部分，世界其他各國對現有工作場所與新建工作場所多採用同樣的推導參考基準：

美國採用 150 Bq/m³，加拿大是採用 800 Bq/m³，以色列針對學校採用 200 Bq/m³，其他地方則採用 400 Bq/m³。

7. 歐盟內各國及歐洲非歐盟的國家，針對飲用水中氡氣含量標準的國家並不多，彙總而言，其標準的範圍大約是針對公眾飲用水為 50~500 Bq/L，而針對私人飲用水，其標準為 120~1000 Bq/L。主因為這些國家其供水系統為地下水，常常於鑽井時會透過含有鈾成分的結晶岩床，致使氡氣進入飲用水中。
8. 針對建築材料部分多數國家之參考基準為具強制性質，而針對建材考量的元素核種有鈾-232、釷-226 及鉀-40 核種，以其活度指標作管制。
9. 報告建議對氡氣較盛行之區域應強制立法，加以推動改善建物之情況，並納入規劃包括相關建築法規，使新建物室內氡氣之濃度能降低至可接受之情形。

(三) NORM 工作場域之輻防管理做法

A. ICRP 142 報告

ICRP 於 2019 年出版了第 142 號報告(ICRP 142)，其主題為「工業過程中天然存在放射性物質(NORM)的輻射防護 (Radiological Protection from Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Industrial Processes)」。此報告為處理各種工業過程中的 NORM 提供了一個極好的框架，NORM 可能會因轉移或技術增強以導致工作人員或公眾曝露的工業包括：採礦、金屬提取、水處理、磷酸鹽、化肥和能源（例如煤炭、石油和天然氣）等。鑑於所涉及的輻射曝露水平相對較低且通常會遇到低濃度的 NORM，因此建議主管機關和受影響的行業採用“分級方法”管理。本報告中包含的資訊對各個工業部門的典型輻射曝露進行了總結，並提供了支持這些數據的參考資料，本報告亦概述了如何通過所採取的正當化行動、最適化防護和使用適當的個體劑量標準來管理或規範 NORM 工業造成的曝露。

ICRP 142 報告中，第 1 章為背景介紹；第 2 章則介紹了 NORM 曝露的特徵、可能發生 NORM 曝露的行業和作業的概述，以及與 NORM 循環相關的要素。第 3 章描述了 ICRP 適用於 NORM 曝露的輻射防護系統，包括曝露情況的類型、相關的曝露類別以及要應用的基本原則。第 4 章為各種接受曝露之工作人員、公眾和環境使用綜合和分級方法實施輻射防護提供了指引。第 5 章則提供了結論。

ICRP-142 之重點如下：

1. 涉及天然放射性物質 (NORM) 的工業活動造成的照射是可控的，通過採取防護行動的正當性和防護的最適化來實現防護。
2. NORM 不存在導致組織反應或立即危及生命的緊急情況；保護工作人員和公眾的行動應考慮長期體外曝露、放射性物質攝入以及氡氣吸入。
3. 建議採用整合和分級的方法來保護工作人員、公眾和環境，包括表徵曝露情況和最適化輻射防護行動。
4. 保護工作人員所設定的參考基準（不包括氡氣造成的體內曝露），在大多數情況下，ICRP 建議各國依各自情況設定，一般建議設定工作人員的參考基準約為數毫西弗(mSv)的年有效劑量(如 5 mSv，很少會設定超過 10 mSv)。
5. 保護公眾所設定的參考基準，一般建議設定為低於幾 mSv 的年有效劑量(如< 1 mSv/y)。
6. 氡曝露應使用分級方法進行管理，如 ICRP 126 的建議。

ICRP 142 (2019)及歐盟 EU Council Directive 2013/59/EURATOM 報告(2013)列出可能導致工作人員、公眾和環境受到 NORM 相關輻射曝露的行業彙整如表 4。

表 4. ICRP 142 (2019)及歐盟 EU Council Directive 2013/59/EURATOM 報告 (2013)列出可能導致工作人員、公眾和環境受到 NORM 相關輻射曝露的行業

國際文獻	ICRP 142	EU COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/ EURATOM
------	----------	---------------------------------------

可能受到 NORM 相關輻射照射的行業	● 稀土元素的提取 ● 金屬鈦及其化合物的生產和使用（即它們的金屬性、非易裂性或可增殖性、放射性） ● 礦石的開採和加工（用於核燃料循環的鈾或鈾除外） ● 油氣回收過程 ● 二氧化鈦(titanium dioxide)顏料的製造 ● 磷酸鹽開採和加工業 ● 鋇石(zircon)和氧化鋇(zirconia)工業 ● 金屬生產（錫、銅、鐵、鋼、鋁、鈮/鈹、鈹等）(tin, copper, iron, steel, aluminium, niobium/tantalum, bis-muth, etc.) ● 化石燃料（主要是煤炭）的燃燒 ● 水處理 ● 地熱能生產 ● 水泥熟料爐生產與維修 ● 建築材料（包括用殘渣或副產品製造的建築材料）	● 從獨居石中提取稀土 ● 鈦化合物的生產和含鈦產品的製造 ● 鈮/鈹礦石(niobium/tantalum)的加工 ● 石油和天然氣生產 ● 地熱能生產 ● TiO₂ 顏料生產 ● 熱磷生產 ● 鋇石及鋇業 ● 磷肥生產 ● 水泥生產、熟料爐維護 ● 燃煤電廠、鍋爐維修 ● 磷酸生產 ● 初級鐵生產 ● 錫/鉛/銅冶煉 ● 地下水過濾設施 ● 鈾礦以外的礦石開採
---------------------	--	---

B. NORM 的影響與管理

1. 可能涉及 NORM 的劑量影響

- (1) 天然放射性物質造成曝露的情形，因地點不同行業不同而差異甚大，統計全球約有一千三百萬工作人員受到天然輻射源的曝露，每年約有 30,000 人西弗，其造成公眾之個人劑量幾乎都小於每年 1 毫西弗。
- (2) 在大多數涉及 NORM 行業的工作場所，工作人員每年接受的平均和最大評估劑量均低於幾毫西弗(mSv)，但在某些情況下，特定工作場所可能會出現較高的劑量；某些情況下，可能達幾十毫西弗(mSv)（在極少數地下礦井中大約每年 100 mSv）。
- (3) NORM 對公眾的年有效劑量估計遠低於 1 mSv/y，除非在極少數情況下，例如在建築材料中廣泛使用磷石膏(phosphogypsum)。

2. 可能涉及 NORM 的輻防管理

- (1) 由於工業上應用天然放射性物質，此為既存性曝露情境，其防護策略的正當性重點，在於決定是否採取行動以減少曝露。通常係由政府權責機構決定是否具有正當性，期間並應有利益關心者參與相關決策。

- (2) 由於天然放射性物質之工業多已存在，要決定防護策略之正當性，必須先建立相關行業之清單，並評估其輻射之風險，進而決定防護的正當性。
- (3) 針對新興的相關工業，須依實際案例個別檢視其正當性。
- (4) 於既存曝露情境下對工作人員之參考基準為有效劑量每年 1~20 毫西弗，ICRP 期望針對參考基準其有效劑量應該儘量不要超過每年 10 毫西弗。(依據 ICRP-103)
- (5) 對公眾之參考基準 $<1 \text{ mSv/y}$ 可能是最合適的。在特定情況下，需要考慮有關 NORM 排放、廢物、殘留物和可能的遺留場地的路徑。
- (6) 工業上應用天然放射性物質的範圍十分廣泛，因此對工作人員的防護，實務上須依個別工作場所及其工作條件作分級方式的管理。
- (7) 在大多數情況下，加工材料中所含之 NORM 是天然存在的，並沒有故意添加其放射性，因此涉及 NORM 的行業中工作人員的曝露通常不被認為是職業性曝露；但仍應該注意及了解他們可能接受的曝露。
- (8) 涉及 NORM 的作業場所的主要曝露途徑是體外曝露（主要是由於加馬輻射，但有時可能需要考慮對眼睛/水晶體和皮膚的 β 輻射曝露）、體內曝露（攝入放射性粉塵，以及由於氡氣及其子核引起的曝露）。
- (9) ICRP-126 報告中針對氡氣的相關管理，提出了合理的推導參考基準為 $100\sim300 \text{ Bq/m}^3$ ，若會超過時則以最適化的方式做評估，應該要小於每年 10 mSv。
- (10) 在估計工作人員劑量每年高於幾 mSv 的情況下，應根據分級方法實施持續的劑量評估計畫。
- (11) 當劑量遠高於每年幾毫西弗時，應進行個人劑量評估。對於體外輻射，應使用個人劑量計來完成。
- (12) 在塵土飛揚的 NORM 工作場所中，可能已經有一個粉塵監測程序，可用於評估吸入粉塵引起的體內曝露，或是如果體內劑量很高，則需要考慮安排合適的體內曝露測定。而應注意的是，這種曝露不太可能被認為是最適化的，適當的保護措施應該能夠減少體內曝露。

(13)工作人員劑量紀錄應保存足夠的時間。

(14)在一些涉及 NORM 的行業中，已經有一個非放射原因的健康監測計畫。不太需要專門為放射防護目的進行健康監測，除非在極少數情況下反覆接受遠高於幾 mSv 的年劑量。如果是這種情況，使用對於輻射工作人員職業曝露進行健康監測的規定，將是足夠的。

(四) 含天然放射性建材之輻防管理做法

A. 國際相關報告重點彙整：

1. 歐盟於 1999 年提出其輻射防護 112 號報告(RP 112)：關於建築材料天然放射性的放射防護原則供會員國參考，做為建議指導；RP 112 報告亦建議，如果源自建築材料的加馬輻射使公眾成員的體外曝露年有效劑量最多增加 0.3 毫西弗，則建築材料應免於對其放射性所有限制，即可予以豁免管制。年有效劑量率之限值因地制宜，應參酌各國天然放射性物質使用之現況及影響範圍，該原則建議年輻射劑量率限值為 0.3~1 mSv/y（不含背景值）。因鐳會衰變產生氡氣，建議限制室內氡氣年平均活度濃度在 200 Bq/m³ 以下。活度濃度指數為：

$$I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000}$$

其中 C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K ：建築材料中鐳、釷、鉀之活性濃度 (Bq/kg)。

2. 國際原子能總署(IAEA)亦於 2015 年提出 SSG-32 報告，對室內建材輻射安全防護及管制作法提出建議[2]。
3. 我國於 106 年 9 月應因國際發展趨勢修訂天然放射性物質管理辦法，與國際同步，採用建材活度濃度指數作為建材分類管理基準，確保建材對公眾之輻射安全。

表 5. 不同國家建築材料天然放射性相關標準要求[29]

國家 (Country)	標準 (Standard)	公式表示 (Expression) ^(a)	要求 (Requirement)	年有效劑量 (Annual Effective Dose)[mSv]
中國 China	GB 6566 (2002)	$H_{ex} = \frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{260} + \frac{A_K}{4200}$ $H_{in} = \frac{A_{Ra}}{200}$	$\leq 1,3$ ≤ 1	1
波蘭 Poland	Dziennik No.220. Item 850 (2002)	$f_1=0.00033C_K+0.0033C_{Ra}+0.005C_{Th}$ $f_2=C_{Ra}$	≤ 1 ≤ 200	1
奧地利 Austria	Ö NORM S 5200 (1996)	$\frac{a_{K-40}}{10000} + \frac{a_{Ra-226}}{10000} (1 + 0.15e.p.d) + \frac{a_{Th-232}}{600}$	≤ 1	2
以色列 Isreal	IS 5098 (2007)	$I = \frac{{}^{226}Ra}{A({}^{226}Ra)} + \frac{{}^{232}Th}{A({}^{232}Th)} + \frac{{}^{40}K}{A({}^{40}K)}$	≤ 1 (整塊,主結構) ≤ 200 (表淺,面)	0.3
捷克 Czech	SUJB Decree No. 307/2002 Coll (2002)	C_{Ra}	≤ 150 (整塊,主結構) ≤ 200 l(表淺,面) ≤ 1000 (非住宅)	1
俄羅斯 Russia	Radiation Safety Standards NRB-96 (1996)	$A_{eff}=A_{Ra}+1.31A_{th}+0.085A_K$	≤ 370 (新建築住宅 和公共建築) ≤ 740 (工業建築) ≤ 2800 (佔用區外的 道路)	1
芬蘭 Finland	Guide st 12.2 (2003)	$I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000} \text{ Houses}$ $I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000} \text{ Road,Street}$ $I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000} \text{ landfill}$	≤ 1 (整塊,主結構) ≤ 6 (表淺,面) ≤ 1 (一般使用) ≤ 1.5 (限制使用) ≤ 1	1 0.1

(a) C, A,a: activity concentration (Bq/kg); Aeff:activity effectiveconcentration; I,f,Hex, Hint:indexes.

B. 各國將建築材料天然放射性相關標準要求

目前國際上有大陸、波蘭、奧地利、以色列、捷克、俄羅斯、芬蘭等 7 國將建築材料天然放射性相關標準要求，如表 5 [29]。大陸、波蘭與捷克等三國有考量體內曝露輻射之影響，故訂定體內曝露指數限值，規定鐳-262 之活度濃度不可超過 200 Bq/kg。除捷克無規範外照射指數，其餘 6 國均有訂定體外曝露指數限值，係以考量鐳-262、釷-232、鉀-40 活度濃度指數做為評定依據。

我國現行之天然放射性物質管理辦法所定義之活度濃度指數公式與 EU RP 112 報告相符，但在結果要求上較歐盟嚴格(國內 $I < 3$ 始能用於室內，RP 112 建議 $I \leq 6$ 即可用於室內)。

二、檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇

本計畫彙整各國管制(理)現況所列之既存性曝露管理行業，調查國內既存性曝露管理受影響之利害關係團體，檢視與調查國內符合既存性曝露管理行業之初步概況，分類彙整說明如下。

(一) 受宇宙射線影響之行業

主要為經營國際航線之民用航空運輸業(按中華民國民用航空法第二條第十一款之定義，係指以航空器直接載運客、貨、郵件，取得報酬之事業)。經調查經營國際航線之國籍民用航空運輸業列於表 6，有經營長程國際航線者包括中華航空、長榮航空及星宇航空三家航空公司。

表 6 經營國際航線之我國籍民用航空運輸業

中文名稱	英文名稱	IATA 代碼	樞紐機場	備註
中華航空	China Airlines	CI	臺灣桃園國際機場	經營短、中、 <u>長程國際</u> 、兩岸定期航空客、貨運業務
長榮航空	EVA AIR	BR	臺灣桃園國際機場	經營短、中、 <u>長程國際</u> 、兩岸定期航空客、貨運業務
星宇航空	STARLUX Airlines	JX	臺灣桃園國際機場	經營中、 <u>長程國際</u> 定期航空業務
台灣虎航	Tigerair Taiwan	IT	臺灣桃園國際機場	經營短、中程國際定期航空客運業務
華信航空	Mandarin Airlines	AE	臺中國際機場	經營國內、兩岸、短程國際定期航空客運業務
立榮航空	UNI AIR	B7	臺灣桃園國際機場 臺北松山機場	經營國內、兩岸、短程國際定期航空客運業務

(二) 涉及 NORM 工業行業

依據 ICRP 142 及 EURATOM 所列出之涉及 NORM 工業行業進行網路搜尋與電話諮詢等初步調查，國內可能涉及 NORM 之工業行業說明與分析如下：

1. 礦石的開採與加工(包括石油/天然氣開採)

採礦作業中的主要曝露源是氡氣；然而，在某些情況下，通過加馬體外曝露以及吸入和攝入礦物粉塵引起的放射性核種的長期體內曝露可能很重要。

礦石加工也可能受到 NORM 的影響，工人的曝露情況在工業類型、工作場所條件、所涉及的放射性核種及其物理和化學形式等方面存在很大差異。所涉及的天然放射性核種在採掘業中，最終出現在產品和/或流出物和/或廢物中。IAEA 指出，已測量採掘業廢水中排放到環境中的沉積物 ^{226}Ra 活度可能高達 55,000 Bq/kg (IAEA, 2003)。

油氣地質構造中的水含有從儲集岩中溶解出來的 ^{228}Ra 、 ^{226}Ra 和 ^{224}Ra 及其衰變產物。當這些水隨著油氣被帶到地表時，溫度和壓力的變化會導致含鐳硫酸鹽和碳酸鈣水垢在生產設備(管道、閥門、泵等)的內壁上析出。根據採集的時間累積，大量的 ^{210}Pb 和 ^{228}Th 可能會隨著它們各自的放射性母核一起增長。鐳及其後代也可能出現在分離器和油池的污泥中，與水垢相關的主要輻射防護問題是維修和除役過程中人員除垢的體內曝露。美國地質調查局指出採出水的 ^{226}Ra 活度濃度中值約為 200 Bq/L。

經調查 107 年至 111 年國內礦業現有情況，礦場型態可分為露天礦場、地下礦場、石油及天然氣礦場以及未開工礦場等四種類型，截至 111 年 7 月底，現存礦業權數計 142 礦(含海域 5 礦、陸上 137 礦)。但因未了解各礦場在工業類型、工作場所條件、所涉及的放射性核種及其物理和化學形式等方面資訊，可能之曝露情況與其實際影響程度，尚須進一步調查。

2. 金屬生產

許多金屬的提取與生產可能會導致接觸 NORM，取決於金屬礦石的來源，因為高溫冶煉和精煉可能會從礦石中揮發出 ^{210}Pb 和 ^{210}Po ，這可能會導致在此過程中通過吸入而接觸到 NORM，當這些放射性核種沉澱和濃縮，活度濃度可能會高達 200,000 Bq/kg。非揮發性放射性核種可能集中在爐渣中(範圍從 <1000 Bq/kg 到可能 >10,000 Bq/kg)。這種曝露可能發生在錫、銅、鐵、鋼、鋁、鈮/鉍、鈹等的生產中。

經調查國內具鋼鐵熔爐業者計有 17 家，其他金屬如錫、銅、鋁、鈮/鉍、鈹等的生產或販售亦有約 5 家業者；然而，如前所述，可能之曝露情

況與其實際影響程度，尚須進一步調查。

3. 化石燃料(煤炭)的燃燒

大多數化石燃料，尤其是煤，都含有鈾和釷及其衰變產物，以及 ^{40}K ，活度濃度取決於產地及其地質。UNSCEAR 估計，2002 至 2003 年期間因煤礦開採造成的職業曝露為 23,000 人西弗，中國煤礦工人的年平均有效劑量約為 2.75 毫西弗/年。

煤燃燒產生熱量和電力會產生飛灰和較重的底灰或爐渣，底灰和爐渣中的放射性核種濃度往往高於煤(約 10 倍)，但一般不超過 5,000 Bq/kg。鉛(Pb)和釷(Po)等揮發性物質可能釋放到大氣中，或者在電廠中積聚在飛灰和燃燒器的內表(沉積垢中 ^{210}Po 活度濃度可能 >100,000 Bq/kg)。

經調查國內進行化石燃料(煤炭)的燃燒業者，主要為火力發電廠，主要業者為台電公司；可能之曝露情況與其實際影響程度，亦須進一步調查。

4. 水泥熟料生產

在水泥或混凝土建材中使用燃煤殘餘物(灰燼、石膏)是一種世界性的做法。

國內水泥熟料生產業者包括台灣區水泥工業同業公會等計有 10 家以上主要水泥熟料生產公司；可能之曝露情況與其實際影響程度，亦須進一步調查。

5. 磷酸鹽加工業

磷酸鹽岩是生產所有磷酸鹽產品的原料，也是肥料中磷的主要來源。礦石的放射性核種含量因產地而異，通常小於 3000 Bq/kg 鈾。

磷酸鹽加工可分為磷酸鹽礦石的開採和碾磨(此階段活度濃度沒有顯著提高，但可能會發生吸入和體外曝露)和濕法或熱法生產磷酸鹽產品。

現階段藉由網路關鍵字搜尋結果，國內未查有明確業者有進行磷酸鹽加工業，尚需持續調查。

6. 二氧化鈦(titanium dioxide)顏料的製造

鈦可以從鈦鐵礦(ilmenite)(其中含有獨居石雜質)和金紅石(rutile)中提取，後者可能含有較高的 ^{232}Th 和 ^{238}U 。二氧化鈦生產中的輻射曝露因礦石的類型和來源以及處理過程而異。 ^{238}U 和 ^{232}Th 的礦石活度濃度範圍為 7 至 9000 Bq/kg。處理過程可能會產生來自放射性粉塵吸入和大量的材料庫存產生的體外加馬輻射危害。在此過程中可能會出現含有鐳的沉澱物。

經調查國內有一家業者，為目前國內唯一二氧化鈦製造商；其可能之曝露情況與其實際影響程度，須進一步調查。

7. 稀土元素提取

稀土元素的最重要來源是獨居石(monazite)(Ce、La、Nd、Th)PO₄ 和氟碳鈾礦(bastnaesite)。獨居石的晶體結構接受鈾和釷，是地球上最常見的放射性礦物，活度濃度範圍為 5000 至 350,000 Bq/kg 的 ^{232}Th ，以及 10,000 至 50,000 Bq/kg 的 ^{238}U 。

在獲取稀土元素提取過程中（通過機械或化學方法），吸入粉塵並且可能會發生對工人的體外加馬輻射曝露。此外，提取過程中的流出物、殘留物和廢物中含有的釷、鐳和鈾的濃度高於原料中的濃度。

工廠尾礦形式的廢棄物可用於作為填埋材料，可能需要特定管理。

經調查國內有二家業者有進行貴金屬與稀有金屬回收精煉或稀土永久磁鐵的產品販售；可能之曝露情況與其實際影響程度，須進一步調查。

8. 鋯石(zircon)和氧化鋯(zirconia)工業

鋯石(或矽酸鋯)常從海灘沙中回收，通過重力和電磁分選對砂進行大量預處理以分離礦砂。由於大量材料吸入灰塵和體外曝露輻射，工人可能會涉及與 NORM 接觸。鋯石化學加工時，流出物可能含有 NORM，矽酸鋯的活度濃度範圍非常大，從 ^{238}U 的 200 到 74,000 Bq/kg 和 ^{232}Th 的 400 到 40,000 Bq/kg。

大多數鋯石砂用作精細陶瓷、搪瓷、釉料和衛生潔具的遮光劑。鋯英砂還可以通過將砂與氧化鋁和碳酸鈉混合，然後將混合物熔煉製成耐火材料。 ^{210}Pb 和 ^{210}Po 揮發並最終進入煙氣收集系統(可能高達 200,000 Bq/kg 的 ^{210}Pb 和 600,000 Bq/kg 的 ^{210}Po)。

目前蒐集到的業者(有 2 家)宣稱有進行加工氧化鋁製造高品質精密陶瓷產品及加工製造生產各種鋁材料產品，氬氣濃度的累積亦可能須加以注意，其可能之曝露情況與其實際影響程度，須進一步調查。

9. 地熱能生產

國內有一家地熱發電廠，須留意涉及 NORM 的影響，其可能之曝露情況與其實際影響程度，尚須進一步調查。

10. 水處理

水處理被廣泛用於去除污染物，此類過程通常會去除天然來源的放射性核種，這些放射性核種會積聚在水處理廢棄物中，例如離子交換樹脂。此類廢棄物中的活度濃度通常僅少量升高，但在處理地下水時可達到 10 Bq/g 以上。這可能對處置產生影響，但在任何情況下，諸如重金屬等化學危險成分的存在都可能需要某種形式的控制。

國內淨水處理廠業者使用之離子交換樹脂等廢棄物，可能須留意其涉及 NORM 的影響，其可能之曝露情況與其實際影響程度，尚須進一步調查。

本計畫 111 年針對 NORM 工業進行初步全面性調查與蒐集資訊，規畫於下年度(112 年)將針對可能影響較重要者進行接續深入研析。

(三) 涉及天然放射性既存性曝露之建材業者

建築材料(包含用殘渣或副產品製造的建築材料)：國內預拌混凝土或生產混凝土業者約有 404 家(相關公會：台灣區預拌混凝土工業同業公會)，磚瓦業者約有 26 家(相關公會：台灣區磚瓦工業同業公會)，建築用陶瓷業者約 63 家(相關公會：台灣陶瓷同業公會)，天然石材加工與銷售業者約 2 百多家(相關公會：台灣區石礦製品同業公會、台北市石材商業同業公會)。可能之曝露情況與其實際影響程度，尚須進一步調查(原能會目前每年對天然石材加工與銷售業者進行現場訪查，近年訪查結果均符合天然放射性物質管理辦法第 9 條之規定)。

(四) 受氦氣曝露影響之行業；

根據國際勞工組織的數據，採礦業是一個廣泛的行業，約佔世界勞動力的1%（即約 3000 萬工人，其中約 1200 萬從事煤礦開採）。採礦作業中的主要天然放射性曝露源是氦氣；在某些情況下，通過加馬體外曝露以及吸入和攝入礦物粉塵引起的長期放射性核種的體內曝露可能很重要。

NORM 曝露的一個貢獻者是氦 (^{222}Rn) 氣體，以及在較小程度上，鈷氣 (^{220}Rn) 氣體。ICRP 126 建議採用綜合方法控制氦曝露，盡可能依靠建築物或發生氦曝露的地點的管理，無論建築物的用途如何。這種方法適用於工作場所不同來源（例如來自地面、建築材料和含有 NORM 的礦物）的氦(^{222}Rn)和鈷氣(^{220}Rn)。

涉及 NORM 的行業中的氦(^{222}Rn)和鈷氣(^{220}Rn)曝露應按照第 126 號出版物的方法進行管理。如加工製造生產各種鋁材料產品，氦氣濃度的累積亦可能須加以注意，在地下水處理設施中，氦氣濃度的累積亦可能須加以注意。

國內受職業曝露氦氣影響之行業調查結果，可詳前述涉及 NORM 工業行業之礦石的開採與加工的國內礦場狀況，但可能之曝露情況與其實際影響程度，尚須進一步調查。

三、研擬我國既存性曝露管理規範(草案)建議書並評估可行性及衝擊

(一) 本計畫已提出適用於我國之既存性曝露管理規範(草案)，草案內容包括第一章總則(立法目的、法源依據與用詞定義)，第二章空勤人員之管理，第三章氦氣之管理，第四章天然放射性物質產業之管理，第五章建材放射性物質之管理，草擬之既存性曝露管理規範(草案)列於附件一。

(二) 可行性及衝擊評估

1. 空勤人員之管理

(1) 劑量評估程式：目前國際間已開發多套電腦評估程式，業者建議原能會會進行程式的認證確認，且未來先採用試辦的方式並有相對的配套措施，例如程式介面教學等。程式需配合航班的結合以因應實際飛行路線的不同，且使用上要能方便大量輸入管理資料。

(2) 劑量管理限度值：目前全球多以年劑量 6 毫西弗為空勤人員之劑量管理值，初步評估我國空勤人員之飛航劑量會符合此一管理值。

- (3) 空勤人員人數眾多，要推行管理時，程式之使用介面如何與飛航班表結合使能便於作業，是重要關鍵，建議採用同一程式做評估，以達到便利公平之目的。
- (4) 對空勤人員之劑量管理值，考量國際組織建議及多個先進國家之管理做法可訂為 6 毫西弗，未來之管理方式，國內可採每季審查劑量紀錄，若發現可能會有超過管理值時，可有時間調整後續班表以為應，避免有超過管理值的情形發生。
- (5) 航空業者建議劑量評估由公司統一作業，非由個人自行評估，一架航空飛行器上的任何人輻射劑量值皆視為一致，不造成空勤人員心理壓力。
- (6) 整體而言，於 111 年 6 月已先與民航局進行簡報會議溝通，並於 7 月舉行專家會議，又於 11 月舉辦航空業者座談及管理草案說明會議，與業者進行意見交流與溝通，初步判斷後續推動具可行性，評估對業者衝擊應在可接受程度。

2. 氬氣之管理

在大多數國家，建築材料之氬氣曝露的影響不大，但在某些特殊情況下，氬氣也不容忽視。綜觀國內室內氬氣近年調查結果均遠小於國際建議參考基準值，因此後續如需推動氬氣管理應屬可行，惟因國內氬濃度相較於國外而言屬較低，推動氬氣管理必要性與急迫性似乎不高。

3. 天然放射性物質產業之管理

本計畫雖於 111 年已進行國內涉及天然放射性物質產業之調查，但屬初步調查，其可能之曝露情況與實際影響程度，尚須進一步調查，建議於第二年(112 年)持續進行可行性及衝擊評估。

4. 建材放射性物質之管理

目前國內已有訂定天然放射性物質管理辦法，其第九條規定有經主管機關公告納管之建材的相關管理規定，且原能會目前每年對天然石材加工與銷售業者進行現場訪查，近年訪查結果均符合天然放射性物質管理辦

法第 9 條之規定，因此在推動與執行建材放射性物質之管理應具可行性，對天然石材加工與銷售業者亦無影響與衝擊；惟天然石材加工與銷售業者提出建材並非僅天然石材，其他建材如包含用殘渣或副產品製造的建築材料、混凝土業者、磚瓦業者與建築用陶瓷業者等是否須亦納入管理，此部分仍建議須進一步調查與評估其可能之曝露情況與實際影響程度，再考慮其可行性較為適切。

四、辦理專家研商會議

- (一) 本計畫於 111 年 7 月 12 日假台大集思會議中心舉行「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」專家會議(會議議程如附件三)，專家研商會議之照片如圖 1。



圖 1 「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」專家會議(111 年 7 月 12 日)當日之照片。

1. 出席會議之單位與人數：(共 15 人)

- (1) 交通部民用航空局 (2 人)
- (2) 行政院原子能委員會輻射防護處 (5 人)
- (3) 國立清華大學核子工程研究所 (1 人)
- (4) 朝陽科技大學飛行與民航人員技術系 (1 人)
- (5) 行政院原子能委員會核能研究所 (1 人)
- (6) 國立清華大學原子科學技術發展中心 (5 人)

2. 會議討論事項

- (1) 國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢
- (2) 飛航人員宇宙射線管制國內因應對策

3 會議建議事項

(1) 國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢

- A. 輻射劑量管理：ICRP 132 報告建議，飛航人員宇宙射線輻射劑量參考基準為每年 5-10 mSv 範圍。蒐集各國（德國、英國、愛爾蘭、澳洲、韓國及加拿大等國）對飛航人員輻射劑量訂為每年 6 mSv，對告知懷孕女性飛航人員劑量訂為 1 mSv。
- B. 劑量評估方式：歐盟 EU RP-156 報告建議利用電腦程式評估飛航人員之劑量。目前國際間亦開發多套電腦評估程式，如：CARI-7、EPCARD、SIEVERT PN、JISCARD EX 等。
- C. 管理體系與分工：多數國家對於飛航宇宙射線管理多訂有管理體系與機制，以利國內航空公司執行飛航人員輻射劑量評估與管理、紀錄提報、宣導與教育訓練等措施。前項管理體系涉及輻射主管機關及航空主管機關管轄範疇，大多採取跨機關合作模式。

(2) 飛航人員宇宙射線管制國內因應對策

- A. 國內飛航人員劑量調查，參考清華大學許榮鈞教授研究團隊 2020 年之研究結果，飛航人員年平均有效劑量為 1.70 至 3.29 mSv，(2006-2018) 平均值為 2.29 mSv/y。
- B. 考量國際組織建議及多個先進國家之管理做法，建議對國籍航空公司飛航人員進行劑量管理，合理抑低宇宙射線對飛航人員的影響，避免其接受超過管理值。
- C. 參考國際管理趨勢，訂定相應措施作為國內因應對策，包括相關名詞定義、劑量管理值、劑量紀錄、建議採行之管理措施、訓練與宣導等，討論結果如下：
 - 劑量管理值：建議參考多數國家將劑量管理值設定在每年 6 mSv。
 - 劑量評估方式：與會專家認為若採行簡易評估方法，除須定期更新航線資料，且航線評估劑量亦隨季節、飛行時間而有所差異，故建議可採用嚴謹並經許可之劑量評估程式做為劑量評估方式。

- 主管機關：飛航人員宇宙射線之管理涉及輻射防護及飛航安全領域，參考國際作法，建議由輻射主管機關及航空主管機關建立跨機關共同合作，有助於飛航人員宇宙射線管理之推動與執行。
- 名詞定義：飛航人員定義調整為「指我國國籍航空公司所屬之飛航組員、客艙組員」。雇主調整為「航空器使用人」。
- 其他文字修訂：女性飛航人員自發現妊娠之日起...，搭乘國籍航空之乘客調整為「女性飛航人員自告知妊娠之日起...」。搭乘我國國籍航空之乘客調整為「搭乘國籍航空之乘客」。

(3) 本次專家學者會議後，建議後續再安排航空業者等之溝通座談，以持續推動國內飛航人員宇宙射線管理作法。

(二) 本計畫於 111 年 11 月 17 日於台大集思會議中心舉行「含天然放射性物質商品國際管理趨勢與國內因應對策」專家會議(會議議程如附件四)，對國內含天然放射性物質商品管理因應對策進行討論，11 月 17 日當日專家研商會議之照片如圖 2。





圖 2「含天然放射性物質商品國際管理趨勢與國內因應對策」專家會議(111 年 11 月 17 日)之照片

1. 出席會議之單位與人數：(共 14 人)

- (1) 經濟部標準檢驗局 (1 人)
- (2) 內政部建築研究所 (1 人)
- (3) 行政院原子能委員會輻射防護處 (5 人)
- (4) 元培科技大學學放射技術系 (1 人)
- (5) 行政院原子能委員會核能研究所 (1 人)
- (6) 國立清華大學原子科學技術發展中心 (5 人)

2. 會議討論事項

- (1) 含天然放射性物質商品國際管理趨勢
- (2) 國內含天然放射性物質商品管理因應對策討論：
 - A. 負離子相關商品管理精進討論與建議
 - B. 含天然放射性物質建材管理討論與建議

3. 會議建議事項

- (1) 韓國發生負離子床墊事件以來，國內市面上也出現宣稱有負離子、能量或遠紅外線效能之商品，因可能添加含天然放射性物質之負離子粉，藉以產生負離子，同時也會造成輻射曝露，故國內應針對此類商品進行調查盤點，以瞭解是否對民眾有曝露影響。

- (2) 國際間對於含天然放射性物質之新型態消費性商品管理作法不一致。目前共通的作法是透過後市場查核機制，對含有天然放射性物質之商品進行抽樣檢測及處理。建議國內持續由原能會、經濟部標準局及衛福部食藥署等單位建立跨機關合作模式，共同執行後市場查核。
- (3) 國際案件、新聞事件或人民陳情等具迫切時效案件，則建議優先循現有跨機關合作機制處理，或由原能會邀請相關單位共同研議案件之應變及處理方式。
- (4) 內政部推動綠建材標章制度已行有多年，該標章審查程序已將天然放射性物質管理辦法之建材管理基準，納入綠建材評估要項之通則項目之一，經審查符合後才會核發綠建材標章，除符合綠建材評定基準，亦能保障建材對公眾之輻射安全。
- (5) 天然放射性物質管理辦法第 9 條，已順應國際管理趨勢，訂定活度濃度指數為建材分類管理之基準，現行規定已兼顧實務作業及管理基準之客觀性。建議未來持續蒐集國際組織對於建材相關建議，以作為精進或調整現行作法之參考。

五、辦理業者座談說明會

本計畫於 111 年 11 月 23 日台大集思會議中心舉行「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」業者座談說明會(會議議程如附件三)，對國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內擬推行之空勤人員輻射防護管理指引(草案)進行簡報說明，與業者進行溝通，瞭解執行可能之困難，作為修改或調整空勤人員輻射防護管理指引(草案)建議書之參考。當日業者座談說明會之照片如圖 3。



圖 3 「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」業者溝通說明會
(111 年 11 月 23 日)之照片

出席會議之單位與人數：(共 26 人)

- (1) 交通部民航局 (2 人)
- (2) 行政院原子能委員會輻射防護處 (6 人)
- (3) 行政院原子能委員會核能研究所 (1 人)
- (4) 中華航空公司 (4 人)
- (5) 長榮航空公司 (5 人)
- (6) 星宇航空公司 (3 人)
- (7) 國立清華大學原子科學技術發展中心 (5 人)

2. 會議討論事項

- (1) 國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢

- (2) 飛航人員宇宙射線管制國內因應對策：空勤人員輻射防護管理指引(草案)說明

3 會議建議事項

- (1) 有關空勤人員宇宙射線安全管理及劑量評估，國際間通常採用經過比對驗證之評估程式，並由航空公司執行空勤人員之劑量評估及管理措施。建議國內由飛航及輻射主管機關共同合作推動安全管理，並透過試辦計畫瞭解國內空勤人員劑量分布範圍，逐步輔導航空公司建立劑量管理的機制。
- (2) 空勤人員劑量評估程式是推動空勤人員安全管理的關鍵，其程式的友善介面及便捷程度相當重要，例如：空勤人員班表資料匯入機制及劑量統計報表輸出方式，讓程式盡量以友善好用為原則。
- (3) 有關空勤人員劑量評估程式之教學訓練、在職人員之教育訓練及搭乘航空乘客之宣導等部分，除持續研擬相關配套措施，也可以向航空公司商討合宜有效的作法。
- (4) 本座談會所提議建議事項，將作為推動空勤人員宇宙射線安全管理之參考。

六、每季計畫查核情形

本計畫每季皆受原能會查核相關進度，並安排進行簡報說明。各季安排進行簡報之時間與形式如下：

第一季：於 111 年 3 月 16 日由計畫主持人及共同主持人等人至原能會，向原能會承辦單位及相關人員進行進度簡報及討論。

第二季：因國內疫情嚴峻，故於 111 年 6 月 15 日以視訊方式由計畫主持人及共同主持人等人，於線上向原能會承辦單位及相關人員進行進度簡報及討論。

第三季：因受疫情影像，於 111 年 10 月 7 日以視訊方式由計畫主持人及共同主持人等人，於線上向原能會承辦單位及相關人員進行進度簡報及討論。

第四季：於 111 年 12 月 27 日由計畫主持人及共同主持人等人至原能會，向原能會承辦單位及相關人員進行進度簡報及討論。

伍、111 年期末結論

本計畫於 111 年蒐集與研析國際輻防組織或其他國家就既存性曝露管理之具體做法或規範、檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇、提出既存性曝露管理規範(草案)建議書並評估可行性及衝擊，以及分別於 111 年 7 月 12 日辦理「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」專家會議，11 月 17 日辦理「含天然放射性物質商品國際管理趨勢與國內因應對策」專家會議，11 月 23 日舉辦「國際飛航宇宙射線之安全管理趨勢及國內因應對策」業者座談說明會。

彙整相關研析結果，在宇宙射線的影響上，ICRP 於 2016 年針對飛行中會受到宇宙射線曝露之機組人員與乘客，提出輻射防護相關建議(ICRP 132)，國際各國亦陸續參考 ICRP 之建議，制定相關管理規範或指引，以確保其國籍航班之機組人員的輻射安全與防護管理；國內涉及宇宙射線之相關行業為有國際線航班之航空公司。

在氡氣的影響上，ICRP 建議國家權責單位應依其國情訂定氡氣措施計畫，評估其氡氣之推導參考基準，並建議要能合理在 $100\sim300\text{ Bq/m}^3$ 之間，世界各國大致採取類似管理參考基準，包括美國採用 150 Bq/m^3 ，澳洲與以色列採用 200 Bq/m^3 ，加拿大採用 800 Bq/m^3 ；而國內原能會曾委託國內學者進行居家室內氡氣調查，結果發現均在數十 Bq/m^3 範疇，因此國內氡氣情況相較於其他國家而言，對民眾影響較為輕微。

在 NORM 的影響上，大多數情況下，加工材料中所含之 NORM 是天然存在的，並沒有故意添加其放射性，因此涉及 NORM 的行業中工作人員的曝露通常不被認為是職業曝露；但仍應該注意及了解他們可能接受的曝露，ICRP 認為工業上應用天然放射性物質的範圍十分廣泛，因此對工作人員的防護，建議須依個別工作場所及其工作條件作分級方式的管理；本計畫 111 年已針對 NORM 工業進行初步全面性調查與蒐集資訊，規畫於下年度(112 年)將針對可能影響較重要者進行深入研析，並探討後續可能之分級管理。

在建材的輻射影響及管理上，IAEA SSG-32 報告對室內建材輻射安全防護及管制作法提出建議，國際上有中國大陸、波蘭、奧地利、以色列、捷克、俄羅斯、芬蘭等國已將建築材料天然放射性相關標準要求，我國亦已與國際同步，於 106 年 9 月應因國際發展趨勢修訂天然放射性物質管理辦法，採用建材活度濃度指數作為建材分類管理基準，確保建材對公眾之輻射安全。

此外，本計畫團隊分別於 111 年 3 月 16 日至原能會進行第一季工作進度報告及 6 月 15 日以視訊會議方式進行了第二季工作進度報告，6 月 30 日前發文提送 111 年度期中報告，10 月 7 日以視訊會議方式進行了第三季工作進度報告，第四季工作進度報告則於 12 月 27 日以視訊會議方式進行。

本計畫規劃於 112 年將執行之工作包括：

1. 撰擬業者實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案)。
2. 撰擬主管機關審查標準或程序(草案)建議。
3. 邀集既存性曝露管理受影響之利害關係團體，辦理至少 3 場業者溝通/說明會。
4. 提出既存性曝露業者自主管理指引(草案)建議書。
5. 提出主管機關審查標準或程序(草案)建議書
6. 提出全程研究成果報告

綜合而言，本計畫依據契約書規訂之方法與要求進行，符合原規劃之進度，並完成相關規劃工作成果。

陸、 參考文獻

- [1] ICRP, 1977. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3).
- [2] ICRP, 1984. Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation. ICRP Publication 39. Ann. ICRP 14(1).
- [3] ICRP, 1990. Optimization and decision making in radiological protection. ICRP Publication 55. Ann. ICRP 20(1).
- [4] ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1–3).
- [5] ICRP, 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2–4).
- [6] EC, 1999a. Establishment of Reference Levels for Regulatory Control of Workplaces where Materials are Processed which Contain Enhanced Levels of Naturally Occurring Radionuclides. Radiation Protection 107. European Commission, Brussels.
- [7] EC, 1999b. Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Radiation Protection 112. European Commission, Brussels.
- [8] EURATOM, 2013. Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Off. J. Eur. Union. 13: 1–73.
- [9] (英國) HSE: Working with ionising radiation. Ionising Radiations Regulations 2017.
- [10] (美國) Texas: <https://www.dshs.texas.gov/radiation/ram/norm.aspx>
- [11] (澳洲) Arpana: Guide for Radiation Protection in Existing Exposure Situations (2017).
- [12] (韓國) Korea: Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment.
- [13] 行政院原子能委員會，天然放射性物質管理辦法，2017 年 9 月。
- [14] ICRP, 2016. Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation. ICRP Publication 132. Ann. ICRP 45(1), 1–48.
- [15] UNSCEAR, 2008. Report to the General Assembly. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.
- [16] ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1).
- [17] ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).

- [18] IAEA, 2015. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. Specific Safety Guide No. SSG-32. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [19] World Health Organization (WHO), 2009. WHO handbook on indoor radon a public health perspective (WHO, ISBN 978 92 4 154767 3). WHO handbook indoor radon.
- [20] EC, 2020. Radon in workplaces. Radiation Protection N° 193. European Commission, Brussels.
- [21] IAEA, 2003. Radiation protection and the management of radioactive waste in the oil and gas industry. No. SRS 34. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [22] IAEA, 2006. Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Works Involving Minerals and Raw Materials. Safety Reports Series No. 49. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [23] IAEA, 2012. Radiation protection and NORM residue management in the titanium dioxide and related industries. No. SRS 76. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [24] IAEA, 2013. Radiation protection and management of norm residues in the phosphate industry. No. SRS 78. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [25] IAEA, 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements No. GSR Part 3. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [26] Miller, H.T., Bruce, E.D., Cook, L.M., 1991. Management of Occupational and Environmental Exposure to Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM). 1991 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Pt. 2, Production Operations and Engineering. Society of Petroleum Engineers of AIME, 6–9 October 1991, Richardson, TX, USA, pp. 627–636.
- [27] Schmidt, A.P., 2000. Naturally Occurring Radioactive Materials in the Gas and Oil Industry. Origin, Transport and Deposition of Stable Lead and ^{210}Pb from Dutch Gas Reservoirs. Department of Geochemistry, Utrecht University, Utrecht.
- [28] ICRP, 2019. Radiological protection from naturally occurring radioactive material (NORM) in industrial processes. ICRP Publication 142.
- [29] Ortiz, Josefina; Ballesteros, Luisa; Serradell, Vicente. Radioactivity reference levels in ceramics tiles as building materials for different countries. IRPA 12: 12. International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide; Buenos Aires (Argentina); 19-24 Oct 2008.