

核能安全委員會委託研究計畫

111-112 年全程研究成果報告

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 2 年 1 2 月 4 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.....	7
一、研析蒐集文獻及檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇 ..	7
二、撰擬業者實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案) 建議書.....	34
三、撰擬主管機關審查標準或程序(草案)建議.....	34
四、辦理業者溝通或說明會.....	34
五、推動既存曝露管理所需技術盤點建議.....	40
伍、結 論.....	42
陸、參考文獻.....	43
附件一、既存性曝露業者自主管理指引(草案)建議書.....	46
附件二、主管機關審查標準或程序(草案)建議書	
附件三、「既存性曝露之輻防護管理趨勢及國內因應策略」業者 座談說明會(會議議程及簡報資料).....	
附件四、既存性曝露管理規範研析 111 年度成果報告.....	

中文摘要

ICRP-103 報告書提出了既存性曝露情境的概念，既存性曝露之輻射源可分為天然輻射源與人造輻射源，其中之天然輻射源包含宇宙射線及天然放射性物質(naturally occurring radioactive 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。ICRP 建議各國對既存性曝露之天然輻射源進行調查，並依據各國狀況適度建立輻防管理作法。本計畫分二年期進行，於第一年(111 年)已蒐集與研析部分國際輻防組織與國家就既存性曝露管理之具體做法或規範、初步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。本年(112 年)為第二年，已完成提出既存性曝露業者自主管理指引(草案)建議書與主管機關審查標準或程序(草案)建議書，完成辦理三場次業者座談說明會，以及提出 111-112 年全程研究成果報告。

關鍵詞：既存性曝露情境、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 puts forward the concept of the existing exposure situation. The radiation sources of the existing exposure can be divided into natural radiation sources and artificial radiation sources. The natural radiation sources include cosmic rays and naturally occurring radiative material (NORM), including radon gas, NORM industry, building materials, etc., while the artificial radiation source is the exposure of nuclear or radiation accident residues. ICRP recommends that countries conduct investigations on existing natural radiation sources of exposure, and appropriately establish radiation protection management practices based on the conditions of each country. This project is carried out in two years. In the first year (2022), the specific practices or guidelines of international radiation protection organizations and countries on the management of existing exposures have been collected and analyzed, and the industry scope that meets the existing exposure management in Taiwan has been preliminary reviewed, in addition, the existing exposure management specification (draft) proposal has been proposed and the feasibility and impact have been evaluated, and two expert discussion meetings and one industry discussion and explanation session have been completed. This year (2023) is the second year of the project, and have proposed the self-management guidelines (draft) proposal for the existing exposure industry and the review standard or procedure (draft) proposal for the competent authority, and complete three explanatory seminars for industry practitioners, and proposed a full report on the 2-year research results from 2022 to 2023.

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

壹、前言(計畫緣起)

國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, 以下簡稱 ICRP)提出之輻防建議報告書[1-4]為各國制訂輻防管制法規或管理準則之主要依據，而 ICRP 於 2007 年提出其 103 號報告建議書(以下簡稱 ICRP-103)係為目前 ICRP 最新之輻防管制建議書[5]。ICRP-103 提出了三種輻射曝露情境，包括計畫性曝露(planned exposure situation)、緊急性曝露(emergency exposure situation)及既存性曝露(existing exposure situation)，並進一步描述其管制(理)概念。

ICRP-103 提出之既存性曝露係指當決定採取相關管制或管理規劃時，其輻射曝露狀況就已經存在者；既存性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 radioactive 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。ICRP 建議各國對既存性曝露之天然輻射源進行調查，並依據各國狀況適度建立輻防管理作法。

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。近期核安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，以利核安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。

本計畫分二年期進行，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。於第一年期(111 年)已蒐集與研析部分國際輻防組織與國家就既存性曝露管理之具體做法或規範、初步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。本年期(112 年)為第二年，將提出既存性曝露業者自主管理指引(草案)建議書與主管機關審查標準或程序(草案)建議書，以及完成辦理三場次業者座談說明會。

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就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。

本年期(112 年)規劃將持續蒐集與研析國際輻防組織與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，並提出既存性曝露業者自主管理指引(草案)建議書與主管機關審查標準或程序(草案)建議書，以及完成辦理三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。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、 持續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及檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇

本計畫於 111 年已蒐集與研析部分國際輻防組織與國家就既存性曝露管理之具體做法或規範，112 年將持續蒐集與分析國際組織及各國對上述宇宙射線曝露之空勤人員、職業曝露氬氣、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，作為本計畫於 111 年提出之我國天然輻射源既存性曝露管理規範與審查導則建議書之精進參考依據。目前所蒐集之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		文獻重點彙整情形
ICRP	ICRP 142, Radiological Protection from Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Industrial Processes (2019)	已彙整於 111 年期末報告
Korea	Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment	已彙整於 111 年期末報告
Arpana	Guide for Radiation Protection in Existing Exposure Situations (2017)	已彙整於 111 年期末報告
HSE	Working with ionising radiation. Ionising Radiations Regulations 2017	已彙整於 111 年期末報告
NIRS	Guideline for Ensuring Safety of Raw Materials and Products Containing Uranium or Thorium	規劃彙整於 112 年報告
Cosmic Ray		
Korea	Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment	已彙整於 111 年期末報告
Arpana	Guide for Radiation Protection in Existing Exposure Situations (2017)	已彙整於 111 年期末報告
EU	RP 156, Evaluation of the implementation of radiation protection measures for aircrew	已彙整於 111 年期末報告
EU	RP 140, Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew	已彙整於 111 年期末報告

ICRP	ICRP 132, Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation. (2016)	規劃彙整於 112 年報告
Building Material		
EU	RP 112, Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials	已彙整於 111 年期末報告
IAEA	SRS117, Regulatory Control of Exposure Due to Radionuclides in Building Materials and Construction Materials (2023)	已彙整於 112 年期末報告
Radon		
ICRP	ICRP 126, Radiological Protection against Radon Exposure. (2014)	已彙整於 111 年期末報告
USA	NCRP-103, Control of Radon in Houses (2015)	已彙整於 111 年期末報告

二、 撰擬業者實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案)建議書

ICRP-103 報告建議強化輻防最適化原則，使其能以相同方式應用於所有曝露情境，對個人劑量賦予限制，即計畫性曝露情境中的劑量約束及緊急性與既存性曝露情境中的參考基準(reference level)。計畫性曝露情境、既存性曝露情境及緊急性曝露情境與劑量約束及參考基準之關係可參考表 2。

表 2 計畫性曝露情境、既存性曝露情境及緊急性曝露情境與劑量約束及參考基準之關係表

	 職業曝露 Occupational Exposure 因工作而導致的工人曝露	 公眾曝露 Public Exposure 公眾成員的職業和醫療以外的曝露，不包括正常的地區自然背景輻射	 醫療曝露 Medical Exposure 在診斷或治療過程中的患者、幫助患者提供支持和安慰的協助者以及生物醫學研究志願者
 計畫性曝露情境 Planned Exposure Situation 可以提前計劃輻射防護並合理預測照射量的情況	劑量約束/個人劑量限度 例如： 在醫院，鈾礦場，或核電廠工作	劑量約束/個人劑量限度 例如： 拜訪一家醫院，住在核電廠附近	劑量約束/診斷參考基準 例如： 病人協助者、生醫研究試驗者 / 接受X放射診斷患者
 既存性曝露情境 Existing Exposure Situation 當必須做出控制決定時已經存在的情況	參考基準 例如： 飛機機組人員和太空人受到宇宙射線曝露	參考基準 例如： 搭飛機的乘客 住家裡的氡氣	不適用
 緊急性曝露情境 Emergency Exposure Situation 意外情況可能需要緊急防護措施Unexpected	參考基準 例如： 立即對事故做出反應	參考基準 例如： 在重大事故期間	不適用

本計畫規畫於 112 年，以 111 年所提出之既存性曝露管理規範(草案)建議書為基礎，撰擬業者實施輻防最適化原則、考量劑量合理抑低之自主管理措施或指引。規劃未來由業者對其既存性曝露進行自我把關之自主管理做法，包括自主管理條件、自主管理事項等進行評估與提出主管理措施或指引建議，以確保在業者之自主管理下，能確保人員之輻射安全無虞。相關實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案)建議書將於初步撰擬完成階段，安排與天然輻射源既存性曝露管理行業(利害關係人)進行溝通。

自主管理措施或指引預計涵蓋之行業別包括航空業、含氬氣作業場所、國內 NORM 工業、建材業等涉及既存性曝露且國際間已有相關認知或國際組織建議須納入管理者。上述實際章節內容或架構及涵蓋行業將於後續(每季查核點)與核安會確認，並依確認後之意見進行自主管理措施或指引(草案)建議書撰擬。

三、 撰擬主管機關審查標準或程序(草案)建議

112 年亦規畫將撰擬主管機關(核安會) 對業者提送實施劑量合理抑低之自主管理措施申請案進行審查之審查標準或程序(草案)建議，初步規劃之審查程序包括程序審查(查核申請文件應有的項目與內容資料的完整性，確認其符合審查範圍所規定之基本要求，其資料的詳細程度足供進行後續實質內容審查)、實質內容審查(包括逐項審查要點與接受基準) 及審查發現(說明審查結果，詳列各項審查要點與接受基準及經與相關法規要求比對後之符合情形)等。相關審查標準或程序(草案)將於撰擬階段即與主管機關進行密切溝通，以期於計畫期末能提出適用且可行之主管機關審查標準或程序(草案)建議書。

四、 辦理至少 3 場業者溝通或說明會

主管機關核安會期許於我國訂定、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 112 年規劃持續邀集既存性曝露管理受影響之利害關係團體（包括宇宙射線、職業曝露氬氣、建材、

NORM 工業等業者)，就草擬之業者實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案)建議書與主管機關審查標準或程序(草案)建議等進行說明與溝通，瞭解其困難與實務問題，蒐集回饋建議，進而研議因應對策或精進規範草案。

112 年預計辦理業者溝通或說明會之時間與場次如下：

規畫於 112 年第三季起至第四季間辦理三場次，對業者實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案)建議書與主管機關審查標準或程序(草案)建議(112 年)等進行說明與溝通，瞭解執行可能之困難，作為修改或調整相關建議書之參考。

五、提出全程研究成果報告

本計畫規劃於 1112 年第四季將提出全程研究成果報告，將參考辦理業者溝通或說明會後之回饋與建議，修改與精進既存性曝露管理規範(草案)建議書、既存性曝露業者自主管理指引(草案)建議書與主管機關審查標準或程序(草案)建議書，供主管機關作為未來法規訂定或修改之參考，使業者與主管機關有所依循，以提升輻射安全之管制/管理效能。

肆、 主要發現與討論

一、研析蒐集文獻及檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇

(一) 國際輻防組織或其他國家就既存性曝露管理之具體做法

A. 本年度針對所蒐集之日本文部科學省(MEXT)於 2009 年提出之「含鈾、鈷原材料及產品安全保障指引」(Guideline for Ensuring Safety of Raw Materials and Products Containing Uranium or Thorium)進行研析，其重點彙整如下：

1. 此指引的目的為降低在處理含鈾或含鈷的原料和產品時受到不必要輻射的健康風險，要求製造商和進口商進行自我管理並採取措施的事項如下：
 - (1) 減少生產場所工作人員和附近居民不必要的輻射曝露，確保安全。
 - (2) 通過減少消費性產品對用戶不必要的輻射曝露來確保安全。
2. 含有鈾或鈷的材料須受日本關於放射性核種放射性濃度及其數量的「核子反應器管制法」的管制。對於核原料中鈾和鈷的申報規定值為：鈾或鈷的放射性濃度設定為 74 Bq/g (固態核原料 370 Bq/g)，其數量規定為“鈾的三倍量加上鈷的總量”在 900 克以上。核燃料材料的使用許可數量規定，天然鈾或耗乏鈾 300 克以上，鈷 900 克以上。規定使用濃縮鈾無論數量多少都需要獲得許可。
3. 含有放射性濃度和數量低於上述值的鈾或鈷的原料、工業產品和消費性產品不受「核子反應器管制法」的約束。
4. 根據指引，特定原料(specified raw materials)是指以下含有鈾或鈷的材料：
 - (1) 礦石和礦砂：如獨居石、氟碳鈾礦、鋳石、鈾鐵礦、磷礦、鈾礦、鈷礦、鈷礦（金紅石、鈷鐵礦等）及粉煤灰。
 - (2) 添加了精煉(refine)鈾和鈷的金屬、玻璃等。精煉鈾和鈷指不含子核種之鈾和鈷。
5. 本指引所指的中間產品等，是指使用特定原料加工而成的初級產品、半成品、工業產品和消費性產品以外的副產品。將製造工序中產生的不良品進行再利用，將廢棄物回收再製造其他產品時，應與中間品等同樣處理。原料本身如焊條，但在製造過程中使用，此類產品也應按與中間產品等相同的方式處理。如果中間產品等被用作其他製造業的原料，此類產品可能會導致加工這些產品的生產機構的工作人員受到輻射曝露。因此，將中間產品等作為原料進行加工的情況也適用於該指引。

6. 由特定原料加工而成的產品或使用特定原料加工而成的中間產品等，供普通家庭使用且未經進一步加工或不用於工業用途的，應界定為消費性產品。此外，用於商業目的的產品也應定義為消費性產品。例如，家用水療機、裝飾品和石材，水療設施中使用的石材瓷磚也應視為消費性產品。
7. 從事製造業的標的製造商，為擁有滿足下列條件一、條件二的生產設施的生產企業（包括個人）：
- 條件一：以特定原料為原料加工成中間產品，或者以特定原料加工成的中間產品為原料加工成其他中間產品的生產機構。
- 條件二：將天然鈾或鈾的放射性濃度可能超過 1 Bq/g 或精煉鈾或鈾的放射性濃度可能超過 10 Bq/g 的特定原料或中間產品用作原料和加工的生產機構
8. 消費性產品(不包括中間產品等)的標的製造商和進口商是指滿足以下條件一和條件二的消費性產品的製造商和進口商(包括個人)：
- 條件一：使用特定原料製造或使用特定原料加工或進口的中間產品等與人體接觸或接近(一公尺以內)使用的消費性產品
- 條件 2：對於含有天然鈾或鈾的消費性產品，鈾或鈾的放射性濃度可能超過 1 Bq/g 且數量可能超過 8,000 Bq 的消費性產品。對於含有精煉鈾或鈾的消費性產品，放射性濃度可能超過 10 Bq/g 且數量可能超過 80,000 Bq 的消費性產品。
9. 生產消費性產品或工業產品的標的製造商須依該指引管理，要求其採取下表所列措施(表 3)：

表 3 生產消費性產品或工業產品的標的製造商須採取的措施

	從事製造業的標的製造商(加工特定原料和中間產品等的製造商)應採取的措施	標的消費性產品製造商和進口商應採取的措施
管理目的	通過減少生產場所的工作人員和居住在附近的居民不必要的輻射來確保安全。	通過減少用戶在使用消費性產品時不必要的輻射曝露來確保安全。
步驟 1	[確定標的製造商] 根據有關加工中使用的原料類型和鈾或鈾的放射性濃度的資訊，確定標的製造商。	[確定標的製造商和進口商] 根據產品中所含原料的種類、鈾或鈾的放射性濃度和數量以及產品的使用方式等資訊，確定標的製造商和進口商。

步驟 2	【輻射劑量率的測量】 標的製造商應使用測量儀測量其工作環境（原料、廢棄物、產品等）的輻射劑量率。	【輻射劑量率的測量】 標的製造商和進口商應使用測量儀測量消費性產品的輻射劑量率。
步驟 3	[曝露劑量的評估] 根據步驟 2 規定的輻射劑量率測量結果，計算附近工作人員和居民的曝露劑量。	[曝露劑量的評估] 根據步驟 2 規定的輻射劑量率測量結果計算使用者的曝露劑量。
步驟 4	[減少輻射曝露的措施] 如果輻射曝露估計超過 1 mSv/y，則採取必要措施減少曝露劑量。	[減少輻射曝露的措施] 如果輻射曝露估計超過 1 mSv/y，則採取必要措施減少曝露劑量。
步驟 5	[提供資訊] 提供中間產品等運送目的地的資訊。	[提供資訊] 向消費性產品用戶提供和呈現資訊。
步驟 6	【檔案製作與教育】 製作並保存必要的紀錄並進行必要的教育訓練。	[記錄的製作] 製作並保存必要的紀錄。

10. 特定材料和其他材料應在可以提供充分通風的地方處理。特別是在可能產生粉塵的情況下，應採取適當的防護措施，如佩戴口罩、手套等防護用品。

11. 標的製造商應當進行下列評估：

(1) 評估生產企業工作人員的曝露劑量

對工作場所(包括廢棄物存放場所)的輻射劑量率進行測量，結合工作時間計算工作人員一年的受曝露劑量。

(2) 生產/作業場所附近居民的曝露劑量評估

對生產/作業場所邊界進行輻射劑量率測量，評估其附近居民一年的受曝露劑量。

(3) 測量頻率原則上每年一次。但是，在下列情況下，由於曝露劑量可能增加，應額外進行測量：

(a) 特定原料等總量增加

(b) 特定原料的種類、產地、供應商等發生變化

(c) 設備或產品的製造方法和規格變更

(d) 特定原料等的生產作業時間、工作場所或保管場所的變更

(e) 生產/工作設施邊界的變化

(f) 廢棄物處理方法的改變

12. 減少曝露劑量的改進措施

標的製造商應當採取以下措施降低曝露劑量：

- (1) 如果工作人員的曝露劑量估計超過 1 mSv/年，應採取以下措施將其曝露劑量保持低於 1 mSv/年：
 - (a) 減少特定原料等或產品的庫存量
 - (b) 將廢棄物存放在多個地方而不是一個地方
 - (c) 縮短從事工作的時間
 - (d) 建造屏蔽
- (2) 生產場所及其周邊居民的受曝露劑量估計超過 1 毫西弗/年時，應採取以下措施將其受曝露劑量控制在低於 1 毫西弗/年：
 - (a) 減少特定原料等或產品在生產場所的庫存量
 - (b) 使儲存或使用場所遠離生產場所的邊界
 - (c) 建造屏蔽

13. 資訊提供：

- (1) 標的製造商應提供中間產品等的運輸目的地以及有關中間產品等中所含鈾或鈷的以下資訊，以評估曝露劑量和安全處理：
 - (a) 產品名稱和製造商
 - (b) 特定原料等種類及產地(或加工地)
 - (c) 產品中鈾或鈷的放射性濃度和數量
 - (d) 鈾或鈷的物理化學性質
 - (e) 操作和儲存注意事項
- (2) 標的製造商將其控制下的廢棄物交付第三方填埋場處置時(包括廢棄物經過中間處理的情況)，他們應確認在此第三方處的曝露劑量不超過 1 mSv/年。

14. 檔案製作與教育

標的生產企業應製作並保存以下記錄：

- (1) 測量和評估記錄
測量和評估記錄應包括測量日期、測量人員姓名、測量結果、評估方法和結果等書面資訊，相關記錄應保存五年。
- (2) 教育記錄

如果工作人員的曝露劑量估計會超過 1 mSv/年，則應提供有關個人曝露情況、減少曝露方法和預防措施的教育訓練。含鈾、鈷物質的處理和教育訓練記錄應當保存，相關記錄應保存三年。

B. IAEA SRS 117 建築材料和建築材料中放射性核種曝露的監管控制
(Regulatory Control of Exposure due to Radionuclides in Building Materials and Construction Materials) (2023) 重點彙整如下：

1. IAEA SRS 117 報告由四個章節組成。第 1 章規定了出版物的目標和範圍；第 2 章描述了可能引起關注的建築和建築材料的類型，以及可能引起關注的輻射類型；第 3 章描述了政府和當局的作用和責任，並在建築和建築材料的監管控制方面向監管機構或其他主管當局提供指導；第 4 章則為建築和建築材料的製造商、生產商、供應商和最終使用者提供實用指導，以證明符合要求。

2. 鑒定含有放射性核種的建築和建築材料

- 絕大多數建築和建築材料不會導致曝露在 1 mSv/a 的參考基準以上。然而，在某些情況下，建築和建築材料中放射性核種的濃度確實會導致從輻射防護的角度來看，通常認為值得關注的曝露水準（即高於 1 mSv/a）。在輻射科委對輻射劑量和來源的審查中[10]，一些國家報告了 10 mSv/a 甚至更高的有效劑量（僅限體外曝露）。

3. 全國建築和建築材料中天然放射性調查

- 政府可對該國使用的建築和建築材料產生的輻射曝露進行有代表性的調查，並確定有可能引起高於參考基準的輻射之基本材料。調查需要涵蓋用於生產建築和建築材料的原材料、再利用和回收材料。這包括在該國生產的任何材料，以及從其他國家進口的材料。
- 政府或指定的主管當局可以編製一份其想要監管的材料清單。此類材料的範例如下：

➤ 天然來源的材料：明礬頁岩、建築和建築材料或其天然火成岩來源的添加劑，如花崗岩(例如花崗岩、正長岩、正片麻岩)、斑岩、凝灰岩、火山

灰岩(火山灰)和熔岩。

- 含有來自加工 NORM 的工業殘留物的材料：粉煤灰，磷石膏，磷渣，錫渣，銅渣和赤泥(鋁生產的殘留物)。
- 鋼鐵生產中的殘留物。
- 有條件清除的材料，以便在建築行業中重複使用。
- 由回收廢料製成的建築 和建築材料的金屬部件。

4. 建築和建築材料中的人工放射性核種

- 建築和建築材料中人造放射性核種的一些最常見來源是在鋼鐵生產過程中熔化的輻射源。監測製造設施中的廢金屬以及進口金屬是一種慣例[11]。這對於包括地震易發地區的國家尤其重要，在這些地區，建築物的建造中使用了大量的鋼鐵和金屬。
- 烏克蘭發生了不同類型的事件，其中在一棟公寓樓的混凝土牆內發現了一個含有放射性 ^{137}Cs 膠囊。該輻射源最初是輻射水平計的一部分，在採石場丟失了。採石場的礫石用於生產住宅大樓的混凝土，該射源位於其中一間臥室的牆壁上。兩個家庭在這個公寓里住了九年多，當被發現時，已造成了大量的輻射曝露結果。

5. 在建築和建築材料中重複使用清除的材料

- 公眾對建築和建築材料的輻射曝露主要是天然放射性提高的結果；然而，由於過去的做法、意外污染或清除或豁免材料的重複使用，人造放射性核種可能發生在建築和建築材料中。
- 材料可以在進一步考慮的情況下清除.....條件是在合理可預見的情況下，任何個人因清除材料而預計產生的有效劑量在一年內約為 $10\ \mu\text{Sv}$ 或更少。為了考慮到低概率情境，可以使用不同的標準，即任何個人在這種低概率情景下預計產生的有效劑量在一年內不超過 $1\ \text{mSv}$ 。

6. 現有建築物材料中的放射性核種

- 在 IAEA GSR 第 3 部分要求建立之前建造的建築物可能包含具有高濃度 NORM 或人造放射性核種的材料資訊，這些材料可能導致曝露在 $1\ \text{mSv/a}$ 參考基準以上。例如，捷克、羅馬尼亞和瑞典，在 1970 年代，鐳含量較高的材料被用於建造住宅。此外，在鈾礦周圍地區也發生了未經授權使用

尾礦的情況，居民將尾礦用作房屋地基的回填。

- 對人口的相同保護水平，例如相同的參考基準，適用於所有建築物，無論建造年份如何。如果有理由懷疑在建造建築物中使用了 NORM 或人工放射性核種含量較高的材料，則可能需要進行特別調查以查明此類建築物，並在有正當理由的情況下採取補救行動。

7. 提供建築和建築材料中放射性核種的資訊

- IAEA GSR 第 3 部分指出：“監管機構或其他有關當局應實施保護策略，包括：確保向受曝露的個人提供關於潛在健康風險以及減少其曝露和相關風險的現有手段的資訊。”
- 就 NORM 而言，建築和建築材料的衍生活度濃度通常比一般清除水準更嚴格(即 ^{232}Th 和 ^{238}U 衰變系列為 1 Bq/g， ^{40}K 為 10 Bq/g)。

8. 政府和主管機關的責任

- IAEA GSR 第 1 部分的要求 4 規定，“政府應確保監管機構在其安全相關決策中具有有效的獨立性”。

9. 控制建築和建築材料中放射性核種的法律框架

- 政府負責建立保護和安全的法律框架，並建立一個負責制定和執行條例的主管機關。
- 如果國家或地區調查表明，該國(或境內某一地區)的建築業嚴重依賴建築材料，這些材料通常含有較強的天然放射性水準，並導致代表人的有效劑量超過 1 mSv/a，則可以考慮高於 1 mSv/a 的參考基準，考慮到健康保護、社會、經濟、環境和文化方面。政府也有責任將這一決定傳達給其公民和相關材料生產者。
- 建築和建築材料還受其他特定法規和標準的約束，其中包括規範和標準化建築材料的物理，化學和生物特性的綜合措施。
- 在歐盟(EU)，建築產品法規構成了與健康和安全的建築材料不同特性的監管基礎。這包括防止游離輻射。建築離子產品法規反映在歐盟成員國的國家法規、標準和建築規範中。
- 在加拿大，對建築和建築材料的某些特性的測試標準和要求已經到位，包括指定的檢測頻率。

- 需要注意明確界定不同政府部門、主管機關、建築材料生產商、建築公司、建築師和其他方面的責任領域和界限，以避免利益衝突或監管差異。例如，主管機關可能負責制定法規，而建築安全部門可能負責核查這些法規在建築和建築材料方面的遵守和執行。或者，也可以指定共同管理安全機構單獨負責這兩項任務。
- 德國的《輻射防護法》以及相關的《輻射防護條例》規定了對建築和建築材料的要求，包括 1 mSv/a 的參考基準。然而，合規性的驗證由建築工程研究所（Deutsches Institut für Bautechnik）進行，該研究所通常負責德國建築和施工材料的批准。
- 政府有責任提供必要的財政、技術和人力資源，以可靠和有效地實施輻射風險控制的要求，包括對涉及放射性核種的建築和建築材料。例如，實施對建築材料的要求需要特定的人力和技術資源，例如進行可靠劑量評估的合格專家和能夠測量建築物放射性含量的獨立實驗室。

10. 控制建築和建築材料中放射性核種的分級方法

- 控制各種建築和建築材料以實現輻射防護目的既不可行也沒有必要。因此，建議採用分級辦法，只管制可能引起高於既定國家參考基準的建築和建築材料。
- 作為分級辦法的一部分，預先選擇可能與輻射防護目的有關的材料和工業殘留物可能是有用的。
- 根據國際原子能總署《安全標準叢書》中 NO.RS-G-1.7 提供的建議，包括每種放射性核種 ^{226}Ra 和 ^{228}Ra 的最大活度濃度定為 1 Bq/g；排除、豁免和清除概念的應用等。主管機關應為建築業提供指導，包括行政和技術方面的指導。

11. 控制建築和建築材料中放射性核種的監管框架

- 要建立一個監管框架，解決由於建築和建築材料而造成公眾曝露的所有原因，並確定負責的各方(例如製造商、建築商)。
- 建立建築和建築材料的監管要求，包括不超過 1 mSv/a 的參考基準(對於現有建築和新建建築)。對於現有建築物，參考基準可用於支援對公眾的保護，並在超過參考基準的情況下採取糾正措施。

12. 關於含放射性核種的建築和建築材料的法規和指引

- 一旦主管機關或政府指定的其他機構確定了參考基準，法規就需要定義負責方，以確保建築和建築材料符合要求。建築材料的生產商和製造商、進口商、貿易商和建築公司可被視為此類材料生命週期不同階段的責任方，因此可以負責證明遵守法規。
- 在引入有關建築和建築材料輻射防護的新法規要求和指引時，重要的是要驗證合規性責任是否分配給了製造商和最終使用者，以及此類材料的進口商。

13. 證明符合含放射性核種的建築和建築材料的要求

- 為了證明符合含有放射性核種的建築和建築材料的監管要求，材料的生產商、進口商、貿易商或最終使用者需要進行放射性測量。這可以在組織內部完成，也可以由獨立的測量服務提供者完成。在任何一種情況下，測量都需要符合品保要求並使用經主管機關批准的方法。
- 建築和建築材料所討論的測量樣品需要有代表性。由於某些原材料的不均勻性，可能必須考慮特殊的取樣程式(例如，散裝材料的取樣，或原材料供應商更換時)。
- 在一些國家，採石場對開採用於生產建築和建築材料的原材料進行分類，以確定該材料是否適合住宅或公共建築。然而，由於岩體的不均勻特徵，需要對正在開發的生產塊或批次進行單獨測試，以證明合規性。
- 如需證明符合現有建築物的參考基準，加馬劑量率測量是適當的方法。

14. 建立含有放射性核種的建築和建築材料的篩選工具

- 為國家法規提供依據的參考基準以 1 mSv 的年有效劑量值為基礎。年有效劑量的計算可能很複雜，只能由輻射防護專家完成。因此，將篩選工具納入條例或指引是一種非常普遍的做法，以便提供一種更簡單的方法來證明符合參考基準。
- 篩選工具可以是基於 ^{40}K 、 ^{226}Ra 和 ^{232}Th 的測量活度濃度指數的簡單計算。此公式的一個例子是北歐國家輻射防護主管機關在 2000 年建議的以下活度指數計算(在以下的公式 (1) 中表示為 AI)：

$$AI = \frac{C_{\text{Th-232}}}{200} + \frac{C_{\text{Ra-226}}}{300} + \frac{C_{\text{K-40}}}{3000}$$

其中 $C_{\text{Th-232}}$ 、 $C_{\text{Ra-226}}$ 和 $C_{\text{K-40}}$ 是 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 和 ^{40}K 的活度濃度，分別以 Bq/kg 表示。如果 AI 計算的結果低於國家法規或指引中設定的閾值，則建築材料的使用應符合 1 mSv/a 的參考基準。

15. 含放射性核種的建築和建築材料不合格

- 如果發現不合格的情況，主管部門需要在國家法規或指引規定的時限內通知主管機關。因此，監管框架需要包括通知責任的細節、提交的資訊、通知的時限以及確定要通知哪個部門。

16. 何時通知主管當局

- 法規或指引需要具體規定通知主管機關的條件，一般而言，在以下情況下，通知可能是合適的：
 - 新的建築物或建築材料進入市場，並被評估為引起高於 1 mSv/a 的輻射曝露(由製造商、進口商或貿易商的通知將在法規中定義);
 - 現有建築物或建築材料被評估為由於成分的變化而具有高於 1 mSv/a 的輻射曝露（由製造商或貿易商的通知）；
 - 現有建築物被評估為產生超過 1 mSv/a 的輻射曝露(由建築物擁有者(可以是建築公司或開發商)發出的通知，將在法規中定義)。

17. 通知中要提交的資訊

- 對於建築和建築材料，通知中提交的資訊可能包括以下內容：
 - 建築物或建築材料的原產地。
 - 供應商、貿易商、進口商或製造商的名稱和位址。
 - 所有相關放射性核種的活度濃度由合格的內部實驗室或外部測量服務提供者確定。
 - 不合規原因：
 - 將測量的活度濃度與法規或指南中規定的值進行比較;
 - 劑量評估表明 已超過既定的參考基準;
 - 不遵守分析的結果。
 - 建築和建築材料的預期用途。
 - 使用此建築或建築材料的理由。

- 對於現有建築物，此類資訊可能包括以下內容：
 - 建築公司、開發商或建築物擁有者的名稱和位址。
 - 建築物的位址。
 - 建築物的當前和預期用途。
 - 劑量率測量結果的記錄在建築物內的不同房間或位置。
 - 不合格的原因：
 - 測得的劑量率或活度濃度超過法規或指南中規定的值；
 - 劑量評估表明已超過既定的參考基準；
 - 不遵守分析的結果。
 - 建議的改正措施和後續測量。

18. 對合格的內部實驗室和外部測量服務提供者的監管要求

- 建築和建築材料中的放射性以及現有建築物中的加馬劑量率的測量，需要由符合主管機關或其他主管當局規定要求的實驗室進行。這種要求可包括國家機構的認證或有關部門的批准。
- 擁有自己合格實驗室的大型建築和建築材料生產商可能有義務將一定比例的樣品發送給獨立的測量服務提供者，以確認或驗證其測量結果。
- 需要建立適當的品質保證體系，以確保所有測量結果準確無誤，並可追溯到國家或國際標準。

19. 含放射性核種的建築和建築材料的測量方法

- 各國需要建立劑量評估程式和方法，以確保一致性。根據曝露是由於現有建築物還是由於建築物和建築材料，需要不同的測量方法。根據建築和建築材料中放射性核種的活度濃度，可以使用考慮材料厚度和密度以及佔用時間等參數的模型來估計對代表性人員的年有效劑量。
- 對於現有建築物，加馬劑量率的測量可用於估計居住者的年有效劑量。

20. 測定建築和建築材料中放射性核種的活度濃度

- 準確測定建築和建築材料中放射性核種的活度濃度對於劑量評估和篩選工具的應用是必要的。不同的方法可用於確定建築和建築材料中放射性核種的活度濃度；最常用的方法是加馬能譜分析法。

- 提交測量的所有樣品必須代表相關建築或建築材料。如果樣品不能反映材料內部的實際放射性含量，則高品質測量結果幾乎沒有用處。作為樣品製備的一部分，只有當它以預期使用形式代表材料時，才有必要進行均質化。
- 通常，測量天然存在的放射性核種 ^{40}K ， ^{226}Ra 和 ^{232}Th 的活度濃度將是主要焦點。
- 加馬能譜分析儀設備需要具有可追溯的校正。

21. 測定含有放射性核種的建築物中的加馬劑量率

- 在現有建築物中，可以使用直接測量加馬劑量率來證明符合建築材料的劑量參考基準，可以使用下列方法：
 - 直接測量加馬劑量率和直接計算年有效劑量。這是證明合規性的一種簡單有效的方法，特別是如果在法規或指引中設定了加馬劑量率的衍生參考基準。
 - 測量天然存在的放射性核種的活度濃度，以計算由於 NORM 引起的劑量率。此方法可用於在法規中設定的衍生參考基準以 NORM 的劑量率表示的情況下證明合規性。

22. 建築和建築材料製造商

- 含有放射性核種的建築和建築材料的製造商和生產商可能包括木材、混凝土、礦物、粘土、天然和工程石材、磚塊、地板產品和建築金屬的供應商。建築和建築材料製造商在供應這些材料時提供其公司名稱、位址和聯繫資訊，以實現可追溯性，並且這些材料通常由合格的實驗室進行測試和評估輻射防護(化學和物理特性)以外的目的。出於輻射防護目的，建築和建築材料應有清晰的標籤或文件，說明產品的名稱、來源和成分及其預期用途。
- 製造商在將原材料用於建築和建築材料之前負責原材料的連續性，並需要考慮材料類型和來源等因素。地質考慮因素常常是確定可能發現天然來源放射性核種活度濃度較高的地區的良好一般指引。製造商可向相關主管部門索取更多資訊。
- 製造商和生產商需要謹慎行事，避免在建築和建築材料中使用鈾礦場的鈾礦。
- 製造商和生產商需要確保採集具有代表性的樣品來確定建築和建築材料中放射性核種的活度濃度。

- 如果在用於生產建築或建築材料的原材料中測量放射性核種的活度濃度，生產者可以使用這些結果根據原材料的混合比例和生產過程中的品質變化等來估計最終產品中放射性核種的活度濃度。生產商有責任核實其產品的估計活度濃度和濃度指數是否低於有關主管當局規定的允許值。
- 建築和建築材料的生產商需要由合格的實驗室測量其產品中的活度濃度。可以是自己的實驗室，也可以是獨立的測量服務提供者。所使用的測量方法和劑量估計方法需要符合主管機關提供的任何法規或指引。
- 如果懷疑建築和建築材料中存在人造放射性核種，生產商需要向主管機關報告，並諮詢合格的實驗室，以進一步識別放射性核種並調查材料中的放射性影響。

23. 建築和建築材料供應商

- 鼓勵建築和建築材料供應商，包括貿易商、分銷商和進口商，確保以下幾點：
- 僅提供帶有技術規格的標籤材料；
 - 放射性核種活度濃度離子的測量已由合格的實驗室進行(實驗室測試可由材料的製造商、生產商或進口商或外部服務提供者提供)；
 - 建築和建築材料符合國家法規或指南中定義的任何適用活動指數。
 - 證明合規性的文件可以作為任何協定中對材料性能的基本要求之一。
- 當供應商在國際上購買或銷售建築和建築材料時，他們成為進口商或出口商，還需要確保材料符合其他國家的相關要求和法規。
- 進口商和出口商需要注意，即使建築物或建築材料中放射性核種的活度濃度低於一般清除水平，這些材料仍可能超過個別國家規定的參考基準。

24. 建築和建築材料的最終使用者

- 建築和建築材料的最終使用者(消費者)包括設計師、建築商、安裝人員和建築擁有者。鼓勵最終用戶選擇和使用帶有明確聲明技術規格的標籤材料。還鼓勵他們要求提供活度濃度測量的結果以及證明材料符合輻射防護要求的任何計算、評估報告或證書。
- 建築和施工公司可能還需要通過劑量率測量和/或提供證據證明僅使用符合國家法規和/或指引的建築材料來證明最終施工的合規性。

25. 證明含有放射性核種建築和建築材料符合要求

- 為了確認建築物或建築材料是否符合輻射防護要求，需要以下資訊：
 - 建築材料的原產地。
 - 供應商和生產商的名稱和位址。
 - 所有相關放射性核種的活度濃度，由合格的內部實驗室或外部測量服務提供者確定。
 - 基於以下一項或多項的合規性確認：
 - 將測得的活度濃度與法規或指南中規定的值進行比較;
 - 對測量的活度濃度應用合適的篩選工具的結果;
 - 對年度有效劑量的評估以及與既定參考基準的比較(包括計算假設和參數的詳細說明)。
 - 執行測量的合格內部實驗室或外部測量服務提供者的聯繫方式。
- 為了確認現有建築物中的建築和建築材料符合參考基準，需要以下資訊：
 - 建築物內不同房間或位置的劑量率測量結果。
 - 基於以下一項或多項的合規性確認：
 - 將劑量測量結果與法規或指南中規定的值進行比較;
 - 評估年度有效劑量並與既定參考基準進行比較(包括對假設和參數的計算的詳細描述)。
 - 執行測量的合格內部實驗室或外部測量服務提供者的聯繫方式。

C. ICRP 132 飛行中宇宙射線之輻射防護

此份建議報告是 ICRP 於 2016 年出版，係針對飛行中會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。報告內容包括前言，飛行中接受宇宙射線曝露之特性，針對乘客與機組人員之防護系統，執行相關之防護措施，以及結論等章節，並匯總說明報告的重點，包括：

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 建議維持曝露合理抑低，選擇之劑量參考基準在 5~10 毫西弗範圍內。
6. ICRP 建議依個人搭乘之頻率，採分級方式防護措施之策略。針對偶爾搭乘之旅客，僅需提供有關宇宙射線之相關資訊，並不需採任何之防護措施。針對經常搭乘之旅客，鼓勵可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。針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，並應考量參考基準之規範，適時合宜的調整飛行航班名冊。
7. 大部分情況下，使用經過驗證之電腦程式以評估機組人員與乘客之劑量是合宜足夠的。
8. 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。
9. 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。

報告第一章前言是背景說明，主要內容包括：

- 飛行高度大於 10000 米時，劑量率達 $7\mu\text{Sv/h}$ 為海平面處之 150 倍。
- ICRP 以往著重於機組人員(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 之前的相關報告：
 - ICRP-9 號報告首次討論有關在飛行中之輻射劑量；
 - ICRP-39 號報告提出飛行是既存曝露的概念；
 - ICRP-60 號報告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-75 號報告提出經常搭乘的旅客，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 與 ICRU 合作出版之 ICRU-84 號報告說明了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。
- ICRP-132 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。

第二章說明飛行中宇宙射線之相關特性，主要內容包括：

- 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，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} 電子伏特而後者則通常小於 10^6 電子伏特，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 公尺，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。

- 2008 年 UNSCEAR 評估機組人員之年有效劑量平均為 1.2~5mSv，而最大者為 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會偏低，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會有其相關性，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。

第三章說明 ICRP 對乘客與機組人員之防護系統，主要內容包括：

- ICRP-103 號報告其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、計畫與緊急三種曝露情境，而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。
- 其次就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，依合理抑低產生曝露的原則，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，大於參考基準之劑量時，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基準應在 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 建議其參考基準值為 5~10 mSv/y。
- 參考基準並非劑量限度，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計畫之曝露情境，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。

第四章說明執行 ICRP 之防護系統，主要內容包括：

- 考量宇宙射線對飛航輻射劑量的防護措施，似乎只有針對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，而且費油且相關成本會增加約 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，使符合參考基準之劑量值。
- 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。
- 針對因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人員所受之劑量，此外，也應定期用儀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。為遵守參考基準之劑量值，於合宜情況下可調整相關個人之航行名冊(包括頻次、目的地等)。
- 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。
- 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。

(二) 國際間常見之管理措施

1. 宇宙射線曝露之空勤人員

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。目前僅由國家級的單位做空勤人員劑量之追蹤。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。

德國是針對在德國註冊之航空公司，與總部在德國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 負責空勤人員劑量之管理，而空勤人員之劑量資料係由民航主管 CAA 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。

英國是針對在英國之航空公司，以及主要業務在英國之公司。任何航空公司不得雇用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空勤人員。任何航空公司不得雇用空勤人員使其有可能接受之有效劑量大於每年 20 mSv。監測方式可使用 CARI-7，EPCARD，SIEVERT

PN, PCAire 或功能相當之電腦程式。民用航空管理局(CAA) 得以書面要求航空公司(經營者) 提供空勤人員宇宙射線之曝露紀錄。

比利時是由聯邦核管制機構(FANC)負責空勤人員之劑量管理。捷克航空公司委託國家科學院之核物理研究所，執行空勤人員之劑量計算。

芬蘭依 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 年開始監測空勤人員之宇宙射線劑量，使用的是 EPCARD 與 CARI6 電腦程式。愛爾蘭之空勤人員輻射劑量，是由航空公司使用 EPCARD 與 CARI6 電腦程式評估，並每年彙總送至輻射防護研究院。

韓國依 2014 年修正之天然環境中輻射防護指導法，針對宇宙射線之安全管制。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。

日本之教育文化運動與科學技術部，於 2006 年要求國內航線之航空公司自願遵守相關的指引，要求由自願之航空公司維持空勤人員受宇宙射線曝露之有效劑量小於每年 5 mSv。劑量計算係採用 NIRS 自行發展可供公開使用的 JISCARD EX 程式。

加拿大運輸部 2001 即發布了商業和商務航空諮詢通告(CBAAC) (2006 修訂):「在飛機上工作的空勤人員曝露於宇宙輻射的管理措施」，建議航空業者制定計畫，以管理在飛機上工作的空勤人員的宇宙射線曝露。其管理重點包括：(1)空勤人員可能接受年劑量超過 1 mSv 時，航空運營商應將其視為職業曝露，並應採取管理措施。(2)使用電腦程式計算劑量，航空運營商記錄每位每年可能超過 1 mSv 的空勤人員的累積劑量。(3)建議採用 6 mSv 的干預水平，當空勤人員劑量接近 6 mSv 時，航空運營商將採取措施調整其工作時間表。(4)飛機內的輻射通量相當均勻，因此無需對個人單獨監測，建議使用現有的路線劑量數據來預測空勤人員劑量。(5)飛行高度超過 50,000 英尺(1 萬 5 千公尺)的飛機應配備區域監測設備或從衛星或地面站獲取監測資訊以測量航線劑量。加拿大運輸部規劃將制定與此主題相關的法規。

美國並未有針對空勤人員之管制或管理規範，惟由運輸部與聯邦航空管理局於 2014 發布通告，說明宇宙射線對空勤人員與乘客知可能之劑量影響，建議之劑量評估 CARI-6 程式，並說明輻射曝露可能造成之風險。

2. 氬氣

歐洲許多國家已經針對住宅及工作場所訂定有氬氣之參考基準，其數值

約在 150~1000 Bq / m³，另外，飲水中的氡氣也是要考量的問題，其大概範圍是針對公共水源為 50~500 Bq/L，而針對私人水源則為 200~1000 Bq/L。

針對住宅部分氡氣之參考基準，歐盟各國之參考基準範圍，針對現有住宅，強制性的參考基準為 200~1000 Bq / m³，建議性的參考基準為 150~1000 Bq / m³；針對新建住宅，強制性的參考基準為 200~1000 Bq / m³，建議性的參考基準為 150~400 Bq / m³。其他世界各國對現有住宅與新建住宅多採用同樣的參考基準，例如包括美國採用 150 Bq / m³，澳洲與以色列採用 200 Bq / m³，加拿大是採用 800 Bq / m³。大部分國家是由國家級的單位負責立法與執法。

針對工作場所部分氡氣之參考基準，歐盟各國之參考基準範圍，針對現有工作場所，強制性的參考基準為 400~1000 Bq / m³，建議性的參考基準為 150~1000 Bq / m³。其他世界各國對現有工作場所與新建工作場所多採用同樣的參考基準，例如包括美國採用 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。多是由國家級的單位負責立法與推行。

針對飲用水之參考基準，美國環保署則於 1998 年公佈，針對公眾用飲用水中氡氣之含量不得超過 150 Bq / L，並說明供 25 人以上使用之水源為公眾用水。目前包括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，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。

3. 涉及 NORM 行業

ICRP 認為在大多數情況下，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。(ICRP-142)。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)。

ICRP 亦認為 NORM 不存在導致人體組織反應或立即危及生命的緊急情況(ICRP-142)，建議於既存性曝露情境下對工作人員之參考基準為年有效劑量 1~20 mSv，並儘量不要超過 10 mSv；對公眾之參考基準建議為年有效劑量小於 1 mSv (ICRP-103)。

目前各國之對涉及 NORM 行業之輻射安全管理，大多參考上述 ICRP 之建議；少數國家有將相關趕至建議納入其法規，如韓國於 2014 年修正之天然環境中輻射防護指導法，該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等；英國及澳洲於 2017 年分別提出游離輻射法批准的實踐導則和指引及既存曝露情況下的輻射防護指引，這些導者或指引即遵循上述 ICRP 對涉及 NORM 行業之輻射防護與管理建議。

4. 建材

歐盟於 1999 年即制定了關於建築材料天然放射性的放射防護原則 (RP 112 報告)，供其會員國參考。RP 112 報告建議，管制應考慮總體國情而建立劑量標準。只有在一些非常特殊的情況下，建築材料造成之年有效劑量才會超過 1 mSv。如果源自建築材料的加馬輻射使公眾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。建築材料天然放射性的年有效劑量之參考基準應參酌各國天然放射性物質使用之現況及影響範圍，建議參考基準為 0.3~1 mSv/y (不含背景值)。

RP 1121 建議使用活度濃度指數(I)作為建築材料的輻射安全評估指標，活度濃度指數(I)應考慮建築物中使用材料的方式，並以下列方式推導，以確定是否滿足劑量標準：

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

其中 C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K 分別為建築材料中鐳、釷、鉀之活度濃度 (Bq/kg)。

活度濃度指數(I)不得超過以下值 (具體取決於劑量標準以及建築物中使用材料的方式)：

劑量標準	0.3 mSv/y	1 mSv /y
大量使用的材料，例如 混凝土	$I \leq 0.5$	$I \leq 1$
表層及其他限制使用的材料： 瓷磚、板材等	$I \leq 2$	$I \leq 6$

不同國家建築材料天然放射性相關標準要求列於表 4。

表 4. 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 Israel	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 (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.

(三) 檢視我國符合既存性曝露管理行業之範疇

本計畫參考國際組織建議與各國管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，於 111 年已初步分類彙整出國內符合既存性曝露管理之行業類別；本年度則進一步依據國際文獻彙整之可能劑量影響程度及國內業者數量或工作人員人數，評估國內較可能符合既存性曝露管理行業之範疇，說明如下。

1. 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，經調查經營國際航線之國籍民用航空運輸業，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。

ICRP 認為接觸宇宙射線為既存性曝露情況，所有飛機乘客(偶爾和經常旅客)的曝露應被視為公眾曝露，空勤人員的曝露應視為職業曝露；制定和執行保護策略很重要。ICRP 132 (2016) 指出空勤人員的平均年有效劑量約為數 mSv (1.2 - 5 mSv，取決於航空公司提供的航線)，最大值約為 6 - 7 mSv (UNSCEAR, 2008)。ICRP 建議空勤人員的職業曝露劑量參考基準(Reference Level)，通常訂在每年 5-10 mSv 範圍。歐盟 EURP-156 (2009)亦建議評估空勤人員之劑量，並且針對年有效劑量小於 1 mSv 以及 1~6 mSv，或大於 6 mSv 之空勤人員，做不同的管理建議。目前已有德國、英國、愛爾蘭、比利時、芬蘭、澳洲、韓國、日本及加拿大等國家，有訂定相關法規或指引對其國籍航空業之空勤人員進行管理或要求自主管理。

國內亦有學者評估我國國籍航空之飛航空勤人員年均有效劑量為 1.70 到 3.29 mSv，2006-2018 平均值(13 年)為 2.29 mSv/y[31]。

基於上述國際文獻、各國對空勤人員之管理現況及我國國籍航空之飛航空勤人員年均有效劑量值與各國管理趨勢，建議可參考所彙整之各國作法，將我國國籍航空業者納入符合既存性曝露管理行業之範疇，建議業者逐步施行自主管理措施。

2. 涉及 NORM 行業及建材業

依據 ICRP142 報告中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(表 5)：

表 5 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 (ICRP142)

	行業或作業
可能受到 NORM 相關輻射曝露的行業	1. 稀土元素的提取 2. 金屬鈦及其化合物的生產和使用 3. 礦石的開採和加工(用於核燃料循環的鈾或鈾除外) 4. 石油天然氣開採、加工處理過程(油礦場、煉油廠) 5. 二氧化鈦顏料的製造 6. 磷酸鹽開採和加工業 7. 鋇石和氧化鋇工業 8. 金屬生產 9. 化石燃料(主要是煤炭)的燃燒(火力發電廠) 10. 水泥熟料爐生產與維修 11. 水處理(淨水廠) 12. 地熱能生產(地熱發電廠) 13. 建築材料生產與加工

依據表 5 列出之涉及 NORM 工業行業於進行網路搜尋與電話諮詢等初步調查，國內可能涉及 NORM 之行業初步彙整之結果如下(表 6)：

表 6 初步彙整之國內可能涉及 NORM 之行業及建材業者概況

項次	行 業	概 況 說 明
1	礦石的開採與加工(包括石油/天然氣開採)	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 年底，現存礦業權數計 142 礦(含海域 5 礦、陸上 137 礦)。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。
2	金屬生產	國內具鋼鐵熔爐業者計有 17 家，其他金屬如錫、銅、鋁、鈮/鉬、鈹等的生產或販售亦有約 5 家業者。
3	化石燃料(煤炭)的燃燒	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。
4	水泥熟料生產	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。
5	二 氧 化 鈦 (titanium dioxide) 顏料的製造	國內有一家業者，為目前國內唯一之二氧化鈦製造商；惟其業於 112 年 8 月停業。

6	稀土元素提取	國內所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，經電話訪查，均為非稀土元素提取(挖採)之業者。
7	鋁石(zircon)和氧化鋁(zirconia)工業	原有 2 家業者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，經電話訪查，其使用量均為微量或已停止使用生產。
8	地熱能生產	國內有一家地熱發電廠。
9	水處理與淨化	國內淨水處理廠業者有進行浸水或沉澱淨化水質。
10	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)。

註：本表係透過網路搜尋相關關鍵字及相關政府機關網站資訊及電話聯繫詢問方式進行調查之結果彙整。

表 7 ICRP142 對可能涉及 NORM 相關行業類別之工作人員劑量評估結果(僅體外曝露和粉塵之體內曝露，不包括接觸氬)

作業類別	活度濃度最高的放射性核種	年有效劑量(mSv)		
		最小值	平均值	最大值
礦石的開採(鈾礦以外)	^{238}U 系與 ^{232}Th 系	1.3	3	5
石油和天然氣生產	^{226}Ra (水垢/污泥)			0.5
石油生產/管路清洗			0.6	3
二氧化鈦顏料生產	^{232}Th (原料) ^{226}Ra , ^{228}Ra (水垢)			0.27
磷礦石儲存	^{238}U 系			0.28
磷肥生產	^{238}U (原料與產品) ^{226}Ra (殘留物)			0.5
耐火陶瓷的製造和使用		~0.01		1.5
錫、鋁、鈦、鈮礦石加工	^{232}Th (原料、產品和爐渣) ^{226}Ra (殘留物)	0		3.2
銅冶煉	^{226}Ra (爐渣)			<1
採煤	^{238}U , ^{226}Ra		2.75	
燃燒煤炭	^{210}Po (灰垢)	0		<1
飲用水處理	^{226}Ra (污泥)			<1

表 7 為 ICRP 142 對可能涉及 NORM 相關行業類別之工作人員劑量評估結果(僅體外曝露和粉塵之體內曝露,不包括接觸氬),其中以礦石的開採(鈾礦以外)作業類別之工作人員劑量評估結果較大,平均年劑量值為 3 mSv/y,最大年劑量值為 5 mSv/y;此外,年劑量值超過 1 mSv/y 者,尚有石油生產/管路清洗、耐火陶瓷的製造和使用(金屬生產業)以及採煤業者。

彙整國內調查情形(表 6)及表 7 之 ICRP 142 相關行業工作人員劑量評估結果,以及考量目前國內已無採煤業者;國內較可能納為可能涉及 NORM 相關行業類別為:礦石的開採與加工業者、石油生產/加工業者、金屬生產業者。此部分仍雖有 ICRP 的初步劑量評估可供參考,但 ICRP 建議該結果為其抽樣評估結果,考量各國天然資源分布不同,建議各國仍須自行評估國內狀況取得各國之數據做為是否進行管制依據;因此,本研究建議後續可規劃持續對國內礦石開採與加工業者、石油生產/加工業者、金屬生產業者等作進一步現場訪查或抽樣調查、評估其可能之曝露情況與實際影響程度。

此外,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,天然石材加工與銷售業者相關公會也已對其會員實施自主管理,且核安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規定,因此建議可持續現場訪查業者自主管理情形;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及耐火陶瓷的製造者等是否須亦納入管理,本研究亦建議後續進一步對天然石材以外之其他建材作進一步現場訪查或抽樣調查、評估其可能之曝露情況與實際影響程度。

3. 受氬氣曝露影響之行業;

國內受職業曝露氬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,及地熱能生產但可能之曝露情況與其實際影響程度,尚須進一步調查。然而,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。

二、撰擬業者實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案)建議書

本計畫規畫以第一年所提出之既存性曝露管理規範(草案)建議書為基礎，撰擬業者實施輻防最適化原則、考量劑量合理抑低之自主管理措施指引。自主管理措施指引預計涵蓋之行業別包括國內航空業、含氬氣作業場所、NORM 工業、建材業等涉及既存性曝露且國際間已有相關認知或國際組織建議須納入管理者。初步撰擬之自主管理措施指引(草案)建議書如附件一。

三、撰擬主管機關審查標準或程序(草案)建議

初步規劃之審查程序包括審查目的、程序審查(查核申請文件應有的項目與內容資料的完整性，確認其符合審查範圍所規定之基本要求，其資料的詳細程度足供進行後續實質內容審查)、審查要點與接受基準(實質內容審查，包括逐項審查要點與其接受之基準)及審查發現(說明審查結果，詳列各項審查要點與接受基準及經與相關法規要求比對後之符合情形)等。包括國內航空業、含氬氣作業場所、NORM 工業、建材業等涉及既存性曝露之(主管機關)自主管理措施審查標準與程序(草案)建議書如附件二。

四、辦理業者溝通或說明會

112 年規劃於第三季起至第四季間辦理三場次業者溝通或說明會，對業者實施劑量合理抑低之自主管理措施或指引(草案)建議書與主管機關審查標準或程序(草案)建議(112 年)等進行說明與溝通，瞭解執行可能之困難，作為修改或調整相關建議書之參考。

本計畫已分別於 112 年 9 月 28 日、11 月 17 日及 11 月 23 日分別於台北市、高雄市及台中市辦理「既存性曝露之輻防護管理趨勢及國內因應策略」業者座談說明會(會議議程及簡報資料如附件九)(總計 3 場次)。邀請國內可能涉及 NORM 影響相關的主要行業包括礦石的開採和加工、石油天然氣開

採和加工、金屬生產、化石燃料燃燒(燃煤電廠)、水處理(自來水淨水廠)、地熱能生產、水泥熟料爐生產與維修、建築材料加工及銷售等相關業者，於座談會中報告相關國際組織之輻防管理建議及趨勢、各國目前作法等資訊，並針對國內業者應進行之自主管理措施及主管機關對業者提出自主管理措施之審查等建議，進行說明與溝通，聽取與會相關業者對於相關管理作法之意見，作為後續國內主管機關推動管理對策之參考。當日業者座談說明會之照片分別是於圖 1(北部：台北場)、圖 2(南部：高雄場)及圖 3(中部：台中場)。

(一) 北部：台北場

1. 會議議程：

會議日期：112/9/28(五)

會議時間：9:30-12:00

會議地點：集思北科大會議中心 噶瑪廳(202 會議室)

(台北市忠孝東路三段 1 號，億光大樓 2 樓)

2. 出席會議之單位與人數：(共 18 人)

- (1) 台灣電力股份有限公司 (4 人)
- (2) 台灣中油股份有限公司煉製事業部桃園煉油廠 (1 人)
- (3) 台北市自來水事業處 (1 人)
- (4) 台灣區磁磚發展協會 (1 人)
- (5) 台灣區石礦業同業公會 (2 人)
- (6) 台灣區石礦製品同業公會 (1 人)
- (7) 清水地熱電力股份有限公司 (1 人)
- (8) 核能安全委員會輻射防護組 (2 人)
- (9) 國立清華大學原子科學技術發展中心 (5 人)



圖 1 「既存性曝露之輻防護管理趨勢及國內因應策略」業者座談說明會
(112 年 9 月 28 日北部：台北場)之照片

(二) 南部：高雄場

1. 會議議程：

會議日期：112/11/17(五)

會議時間：9:30-12:00

會議地點：有機體事業有限公司綜合會議室
(高雄市左營區重信路 608 號 2 樓)

2. 出席會議之單位與人數：(共 16 人)

- (1) 台灣自來水公司第六區管理處南化給水廠 (1 人)
- (2) 台灣自來水公司第七區管理處澄清湖給水廠 (1 人)
- (3) 中宇環保工程股份有限公司 (1 人)

- (4) 台灣中油股份有限公司煉製事業部大林煉油廠文書處 (1 人)
- (5) 中國鋼鐵股份有限公司 (2 人)
- (6) 台灣電力公司 (2 人)
- (7) 核能安全委員會輻射防護組 (3 人)
- (8) 國立清華大學原子科學技術發展中心 (5 人)



圖 2 「既存性曝露之輻防護管理趨勢及國內因應策略」業者座談說明會
(112 年 11 月 17 日南部：高雄場)之照片

(三) 中部：台中場

1. 會議議程：

會議日期：112/11/23(四)

會議時間：9:30-12:00

會議地點：集思台中新烏日會議中心 史蒂文生廳(402 會議室)

(台中市烏日區高鐵東一路 26 號 4 樓)

2.出席會議之單位與人數：(共 15 人)

- (1) 中龍鋼鐵股份有限公司 (1 人)
- (2) 台灣中油股份有限公司煉製研究所 (2 人)
- (3) 台灣自來水公司第四區管理處烏日營運所 (1 人)
- (4) 台灣自來水公司第四區管理處豐原給水廠 (1 人)
- (5) 台灣電力公司 (2 人)
- (6) 台塑石化股份有限公司 (1 人)
- (7) 核能安全委員會輻射防護組 (2 人)
- (8) 國立清華大學原子科學技術發展中心 (5 人)



圖 3 「既存性曝露之輻防護管理趨勢及國內因應策略」業者座談說明會
(112 年 11 月 23 日中部：台中場)之照片

(四) 會議討論事項

1. 討論國際管理趨勢及各國目前作法
2. 業者自主管理與主管機關管理審查建議

(五) 會議回饋事項與回應建議

回饋事項 1：針對國內可能受到既存性曝露影響的產業行業，如有需要使業者自主管理，建議建立合宜指標，使自主管理作業更合理可行且有一致的標準，做為涉及 NORM 業者或建材業者自主管理時的參考。(北部場)

回應建議：未來將持續規劃對國內涉及 NORM 業者及建材業者進行作業場所現場訪查或產品抽樣調查，進一步評估相關人員可能接受之輻射曝露影響程度，藉以評估是否須納入既存性曝露管理或自主管理，如須納管或自主管理，則建議提供相關導則或指引供業者依循參考。

回饋事項 2：目前部分公會(如台灣區石礦製品同業公會)已有自主管理作法，公會也會建議會員抽樣原材料去檢測，確保輻射安全無虞。(北部場)

回應建議：目前台灣區石礦製品同業公會及台北使石材商業同業公會已對其會員實施自主管理，對其天然石材商品進行輻射安全把關，可為相關業者典範；核安會每年會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規定，建議未來仍持續現場訪查業者自主管理情形。

回饋事項 3：國內石礦開採是礦物局的管理範圍，目前已無開採煤礦，大部分石礦開採作業涉及天然放射性影響可能不大，但仍可進行實際現場訪查進一步了解。(北部場)

回應建議：ICRP 建議各國仍須自行評估國內狀況、取得各國之數據做為是否進行管制依據；因此，建議後續仍可再規劃委託學研機構對相關業者作進一步現場訪查或抽樣調查，以評估其可能之曝露情況與實際影響程度。

回饋事項 4： 針對燃煤電廠未來的管理方式以及工作人員佩章配戴的需求，需要再進一步了解，並且親自至現場取樣與評估後再建立合宜的做法。(南部場)

回應建議：建議後續可再規劃委託學研機構對相關業者作進一步現場訪查或抽樣調查，以評估其可能之曝露情況與實際影響程度。

回饋事項 5： 目前正在建立我國之氬氣的量測標準，未來即可實際應用並做為涉及 NORM 業者自主管理時的參考。(南部場)

回應建議：國原院目前有一氬氣檢測實驗室已建立氬氣檢測技術，可供相關業者需要進行氬氣測量時之參考；建議持續追蹤我國之氬氣的量測標準建立情形。

回饋事項 6： 淨水廠淤泥或濾材回收煉油生產與加工後續產出的衍生物都會交由下游廠商及環保業者處理，建議管理的對象可納入處理廢棄物者。廢棄物的後續處理及再利用目前都有相關機關做抽驗來管制，建議可以與其他機關配合於抽樣項目加入輻射檢測。(南部場、中部場)

回應建議：後續對於經評估後須納入管理或自主管理之業者，將提供相關導則供管理參考，包括相關廢棄物處理流程之人員輻射安全亦會一併納入考量，以確保相關人員及民眾之輻射安全。

五、推動既存曝露管理所需技術盤點建議

推動既存曝露管理所需技術支援，如檢測方法、量測技術、評估模式等，分別說明如下：

(一) 宇宙射線曝露之空勤人員

劑量評估方法：用於空勤人員劑量評估之電腦程式；可使用 CARI-7，EPCARD 等程式或功能相當之程式。

(二) 職業曝露氬氣

劑量評估方法：氬氣的量測標準(待建立)及國內氬氣偵檢器之校正標準與校正場所(待建立)。

(三) 涉及 NORM 工作場域及建材

劑量評估方法：1. 工作人員及一般民眾的劑量評估，包括體外曝露及體內曝露之偵測技術(參考附件三之附錄 3-1：輻射劑量率測量方法及附錄 3-2：年劑量評估方法)。

2.以加馬核種分析技術進行建材活度濃度分析，評估活度濃度指數(I)。

伍、 結論

本研究延續 111 年成果，持續蒐集與研析國際組織及各國對含天然放射性既存性曝露情境之管理具體做法或規範，新增日本文部科學省提出之「含鈾、鈷原材料及產品安全保障指引」(Guideline for Ensuring Safety of Raw Materials and Products Containing Uranium or Thorium) (2009)、IAEA SRS 117 建築材料和建築材料中放射性核種曝露的監管控制 (Regulatory Control of Exposure due to Radionuclides in Building Materials and Construction Materials) (2023)及 ICRP 132 飛行中宇宙射線之輻射防護(Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation)(2016)研析重點彙整，並已草擬完成包括國內航空業、含氬氣作業場所、NORM 工業、建材業之既存性曝露業者自主管理措施指引(草案)建議書(附件一)與提出自主管理措施時主管機關審之查標準或程序(草案)建議(附件二)；除了 112 年度成果外，第一年(111 年)之研究成果彙整亦列於附件四供參考。此外，亦進一步檢視與調查分析我國符合既存性曝露管理行業之範疇；除了航空業者外，國內較可能涉及 NORM 相關行業類別為：礦石的開採與加工業者、石油生產/加工業者、金屬生產業者。於第三季起至第四季間已完成辦理三場次「既存性曝露之輻防護管理趨勢及國內因應策略」業者座談說明會，對象涵括國內、可能涉及 NORM 工業、建材業以及含氬氣作業場所之業者，與業者進行交流說明與溝通，聽取與會相關業者對於相關管理作法之意見，並提出推動既存性曝露管理所需技術盤點建議作為後續國內主管機關推動管理對策之參考；業者座談說明會之會議議程及簡報資料列於附件三。

本計畫團隊分別於 112 年 3 月 23 日至核安會進行 112 年第一季工作進度報告、於 6 月 15 日進行了第二季工作進度報告、於 10 月 7 日進行了第三季工作進度報告，並依規劃於 112 年 6 月 30 日前發文提送 112 年度期中報告。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所規劃之工作項目。

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) Arpansa: 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] 行政院核能安全委員會，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.
- [30]IAEA, 2023. Regulatory Control of Exposure Due to Radionuclides in Building Materials and Construction Materials. No. SRS 117. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [31]許榮鈞等人，系統化與客製化的飛航輻射劑量研究，109 年原子能科技合作計畫論文集。