

核能安全委員會
委託研究計畫 112 年度期末報告

111 至 112 年度鋼鐵輻射異常物相關回收與熔煉作業
人員之輻射劑量及風險評估研究
(勞務採購案)

2022-2023 Project: Research on radiation dose and risk assessment of workers
involved in the recovery and smelting of iron and steel radiation anomalies

計畫編號： AEC11011042L

受委託機關(構)：國立清華大學

計畫主持人：田能全

共同主持人：許芳裕、張似璫

聯絡電話：(03)5715131 分機 62096

計畫參與人員：陳永泰、許皓翔、賴柏倫、陳瑋、林俊廷

報 告 日 期 ： 1 1 2 年 1 2 月 1 日

目 錄

目 錄.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iii
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目的.....	2
參、112 年之研究方法.....	3
工作項目 1. 對國內鋼鐵業者狀況進行檢/訪查.....	3
工作項目 2. 蒐集並研析國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之 應對作為.....	5
工作項目 3. 提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程 草案建議.....	7
工作項目 4. 評估國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機並提出輻 射防護措施建議.....	8
工作項目 5. 辦理研究成果之國內鋼鐵業者座談宣導會.....	9
肆、主要發現與討論.....	10
一、對國內鋼鐵業者狀況進行檢/訪查(工作項目 1).....	10
二、蒐集並研析國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之應對作 為(工作項目 2).....	17
三、提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建 議(工作項目 3).....	23
四、評估國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機並提出輻射防護 措施建議 (工作項目 4).....	24
五、辦理國內鋼鐵業者座談宣導會(工作項目 5).....	26
六、112 年完成之具體成果.....	29
伍、結論.....	31
陸、參考文獻.....	32

中文摘要

本計畫為二年期計畫(111年至112年)，規劃透過輻射防護評估程式與對國內鋼鐵業者進行現場訪查之實測數據，模擬評估鋼鐵輻射異常物回收作業過程中，相關從業人員可能接受之輻射曝露劑量及健康風險。此外，亦規劃蒐集與研析國際鋼鐵輻射異常物之管制與處置現況，適度檢視我國相關偵檢標準、程序與管理作法。本計畫於111年已探討評估各種情境下接觸不同強度人工輻射異常物從業人員之輻射劑量與風險、研擬人工輻射異常物從業人員注意事項建議；112年則提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議及輻射防護措施建議，供主管機關作為進一步鋼鐵輻射異常物之管制與處置作法參考。

關鍵詞：鋼鐵輻射異常物、輻射安全、輻防管制、最適化、輻射劑量

英文摘要

This project, a 2-year project from 2022 to 2023, uses the internationally developed commercial personnel radiation dose assessment codes and the actual measurement data of on-site inspections of domestic iron and steel industry, to simulate the exposure dose and health risks of workers involved in the recovery of iron and steel radiation anomalies during the recovery processes of different intensities of radiation anomalies. In addition, it is also planned to collect and analyze the current status of the control and disposal of international steel radiation anomalies, and appropriately reviewing domestic relevant inspection standards, procedures and management practices. In 2022, this project has discussed and evaluated the radiation dose and risk of employees exposed to different levels of artificial radiation abnormalities in various situations, and developed recommendations for precautions for practitioners of artificial radiation abnormalities; This year (2023), the draft recommendations of standard handling procedures and radiation protection measures for discovery of radiation anomalies in domestic are proposed. The proposed protective measures by this project are intended to provide to the competent authority to use as a reference for further control and disposal of steel radiation anomalous.

keywords : Iron and steel radiation anomalies, radiation safety, radiation control, optimization, radiation dose

壹、前言(計畫緣起)

國內游離輻射的主管機關為核能安全委員會(簡稱核安會)(前行政院原子能委員會)，對於鋼鐵業輻射異常物的管制，核安會要求具熔煉爐之鋼鐵業者於廠區出入口處設立門框偵檢器，對購入原料與送出之鋼鐵成品進行輻射監測，以防範放射性物質誤熔事件產生。國內每年皆有數十件鋼鐵輻射異常物之通報案件，其輻射異物來源，大多屬於鋼鐵管路或組件等廢鋼材含有天然放射性物質沉積管垢；少數屬於人造放射性物質之廢棄射源[1]。

「放射性污染建築物事件防範及處理辦法」規範[2]規定，鋼鐵業者實施原料及產品輻射偵檢，如發現有異常情形，應儘速將輻射異常物檢測出，並隔離管制妥善保管[3]，此對於接觸輻射異常物之工作人員，或是經手鋼鐵異常物之資源回收業者、運送司機等相關人員，其輻射劑量與健康風險需進一步確認與探討。

本研究團隊自 109 年接受核安會的委託，執行「109 至 110 年度鋼鐵輻射異常物相關回收與熔煉作業人員之輻射劑量及風險評估」委託計畫，研析適用於評估經手或處置鋼鐵輻射異常物之相關人員輻射影響之商業化輻射防護評估程式，並透過蒐集與研析國際鋼鐵輻射異常物之管制作法與偵檢與處理程序，及訪查與檢查鋼鐵業者偵檢與處理鋼鐵輻射異常物之現況，規劃相關評估模擬情境，以確認相關從業人員之輻射劑量與健康風險。

本期之二年期計畫(111-112 年)，規劃透過輻射防護評估程式[4-6] 與對國內鋼鐵業者進行現場訪查之實測數據，模擬輻射異常物回收作業過程中人員接觸不同強度人工輻射異常物情境[7,8]，評估鋼鐵輻射異常物回收作業過程中，相關從業人員可能接受之輻射曝露劑量及健康風險；並蒐集與研析國際鋼鐵輻射異常物之管制與處置現況[9-16]，檢視我國相關偵檢標準、程序與管理作法[3]的適切性。本計畫於 112 年則規劃提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議及輻射防護措施建議，供主管機關作為進一步鋼鐵輻射異常物之管制與處置作法參考。

貳、 研究目的

本計畫之研究目標如下：

- 一、針對各項工作單元、場所之從業人員作業環境進行分析探討。
- 二、模擬評估國內鋼鐵從業人員於不同輻射異常物接觸情境之輻射劑量與風險。
- 三、標準作業流程規劃與輻射防護措施擬訂，及對業者進行輻射安全宣導。

參、 112 年之研究方法

本計畫為二年期(111-112)計畫，規劃於每年針對通報發現鋼鐵輻射異常物後進行該件輻射異常物現場之現場調查，並對其發現至處理流程之各項工作單元、場所之從業人員作業環境進行分析探討。對於因需偵檢或處理輻射異常物的工作人員，評估其可能接受之輻射劑量與健康風險；此外，亦規劃蒐集、研析國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之應對作為建議[9-16]，並檢視我國相關偵檢標準、程序與管理作法[3]的適切性。每年度亦規劃辦理至少一場次之國內鋼鐵業者座談(研究成果)宣導會向業者宣導計畫成果所彙整國際相關管理做法與輻防建議。本計畫規畫於 112 年進行之工作項目分述如下：

工作項目 1. 對國內鋼鐵業者狀況進行檢/訪查

本計畫研究團隊將於核安會通知鋼鐵業者通報發現輻射異常物後，即安排對該鋼鐵業者之現場檢/訪查，協助核安會人員針對其發現之輻射異常物進行研判、分析、調查與追蹤其後續之處理，並對國內鋼鐵業者狀況進行檢/訪查。

除了通報之鋼鐵輻射異常物發現後至現場進行相關資訊確認外，本計畫亦規劃針對國內 17 家鋼鐵熔爐業者之鋼鐵業每年進行一次年度輻射偵檢作業進行檢/訪查，檢/訪查項目包括：

1. 鋼鐵熔爐業者基本資料確認
2. 發現異常物後之輻射偵檢作業程序
3. 門框式輻射偵檢器之警報測試及功能
4. 增設其他型式輻射偵檢器之評估
5. 輻射異常物處理機制
6. 集塵設備功能狀況
7. 副產品、事業廢棄物等之儲放及處理
8. 輻射偵檢及發現輻射異常物處理之紀錄
9. 其他(現場訪查、訪談發現)

在進行鋼鐵輻射異常物現場資訊確認時，本計畫人員亦將以手持式偵檢器(塑膠閃爍偵檢器 AT1121)對輻射異常物進行輻射劑量偵檢，在其輻射劑量

最大之表面位置、30 公分、1 公尺 (或 50 公分，視現場實際狀況而定)高，之不同平面，在每個平面之輻射劑量最大位置為中心的至少 1 m × 1 m 之面積(視現場實際狀況而定)中，各偵測 25 個位置點之劑量，以建立該平面之輻射劑量分布曲線，如圖 1 所示。

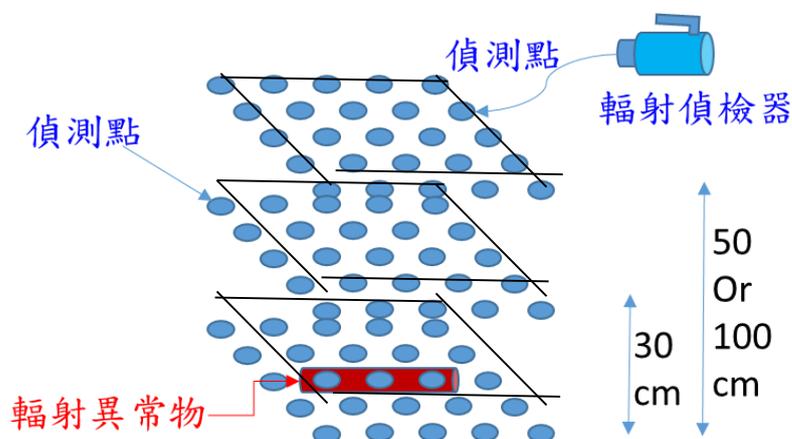


圖 1 以偵檢器對輻射異常物附近之空間進行輻射劑量偵檢之偵測點示意圖

本計畫 112 年規劃依前期建立之國內鋼鐵業者各項工作單元、場所之從業人員接觸不同強度人工輻射異常物情境，及國內鋼鐵從業人員於不同接觸情境之實測輻射劑量評估模式，以現場檢/訪查之實測劑量資料，探討評估每件通報案件於可能接觸輻射異常物之從業人員的輻射劑量與風險。

本計畫輻射風險評估方法概述如下：

以手持式輻射偵檢器測得之周圍等效劑量 $H^*(10)$ ，考量輻射異常物之評估有效能量後，依據相關轉換因子將手持式偵檢器測得之空間劑量(周圍等效劑量 $H^*(10)$)轉換為人員之有效劑量。國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, 簡稱 ICRP)分別於 1996 年、2010 年發佈了體外曝露劑量轉換係數相關建議的 ICRP 74[18]、ICRP 116[19]報告，歐洲輻射劑量學組織(European Radiation Dosimetry Group, EURADOS)亦於 1999 年提出其第 106 號輻射防護報告(Radiation Protection 106)[20]針對環境輻射監測中輻射偵檢器測得之劑量與人員有效劑量間之轉換因子進行分析討論。

在機率效應之風險評估上，本計畫對輻射工作人員採用 ICRP 建議之成年人危險度係數 $4.1 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ (ICRP-103)、 $4.8 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ (ICRP-60)；對非輻射工作人員採用一般公眾之危險度係數 $5.5 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ (ICRP-103)、 $6.0 \times 10^{-2}/\text{Sv}$

(ICRP-60) (表 1)，可用於評估工作人員與公眾之年有效劑量轉換為癌症標稱危險度之風險。

表 1. ICRP-60 及 ICRP-103 建議使用之癌症標稱危險度係數[21,22]

	ICRP-60	ICRP-103
輻射工作人員	$4.8 \times 10^{-2} / \text{Sv}$	$4.1 \times 10^{-2} / \text{Sv}$
一般公眾(全人口)	$6.0 \times 10^{-2} / \text{Sv}$	$5.5 \times 10^{-2} / \text{Sv}$

工作項目 2. 蒐集並研析國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之應對作為

美國能源部(USDOE)於 1995 年即發表了 ANL/EAD/TM- 50 報告，此報告之內容針對含放射性廢金屬回收(Radioactive Scrap Metal Recycling)的作法及管理提出說明[9]。此外，國際原子能總署亦於 2012 年提出之安全標準具體安全指南 IAEA SSG-17 報告[11]，針對金屬回收和生產工業中之孤立源和其他放射性物質的控制，亦提出了相關建議。IAEA SSG-17 提供一般金屬回收和生產行業可以使用的建議，用於保護工人、公眾成員和環境的安排；其主要重點是控制可能在金屬回收和生產行業中發現的孤立源，它還提供了有關控制可能進入金屬回收和生產行業的其他放射性物質的建議。

本計畫已研析彙整 IAEA SSG-17 報告(111 年)，提出金屬回收和生產設施的每個經營者應制定發現輻射異常物之應對計畫建議，以及廢金屬中含放射性廢棄物(輻射異常物)的管理建議，112 年將持續蒐集、研析與彙整 IAEA SSG-17 及其他如美國及歐盟等國際組織對鋼鐵輻射異常物之最新管制與處置作法，了解並擴大彙整國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之應對作為。112 年擬納入研析彙整之相關文獻列出如下：

- 美國 United States Department of Energy, Radioactive Scrap Metal Recycling, USDOE ANL/EAD/TM-50 報告[9]
- 美國 NCRP report 141: managing potentially radioactive scrap metal

(ANL/EA/CP--109482) 報告[15]

- 歐盟 European Commission, Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection No 89 報告[16]
- 聯合國歐洲經濟委員會 Recommendations on monitoring and response procedures for radioactive scrap metal. ECE/TRANS/NONE/2006/7 報告[23]

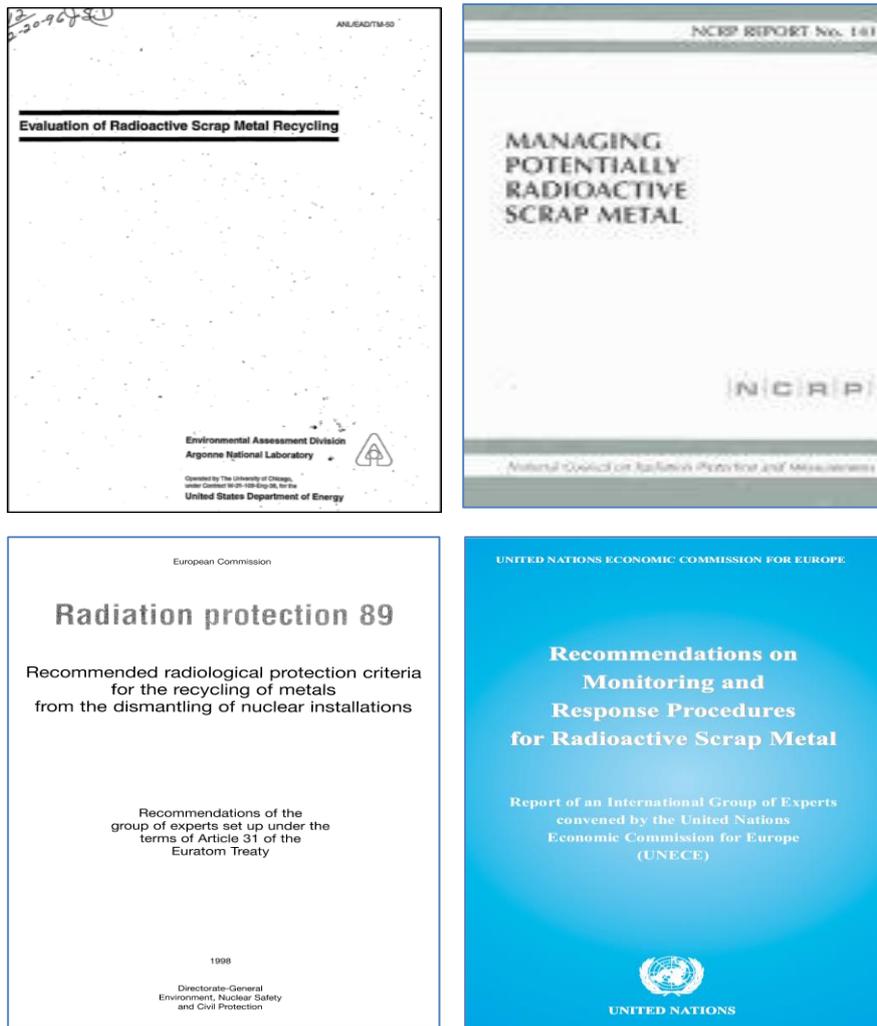


圖 2. 美國 USDOE ANL/EAD/TM- 50 報告[9](左上)、美國 NCRP report 141 報告[15] (右上)、歐盟 Radiation Protection No 89 報告[16] (左下) 與聯合國歐洲經濟委員會 ECE/TRANS/NONE/2006/7 報告[23] (右下)

工作項目 3. 提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議

國內現行之「鋼鐵業者發現輻射異常物之通報及處理作業導則」為核安會於 97 年 6 月所發布實施[3]，提供國內鋼鐵業者發現輻射異常物之通報及處理作業依循，而 2012 年 IAEA 發布之 SSG-17 報告已有更新、更完整之對金屬回收和生產設施中收到的廢金屬放射性物質監測所涉及的步驟建議，其建議之流程圖如下(圖 3)：

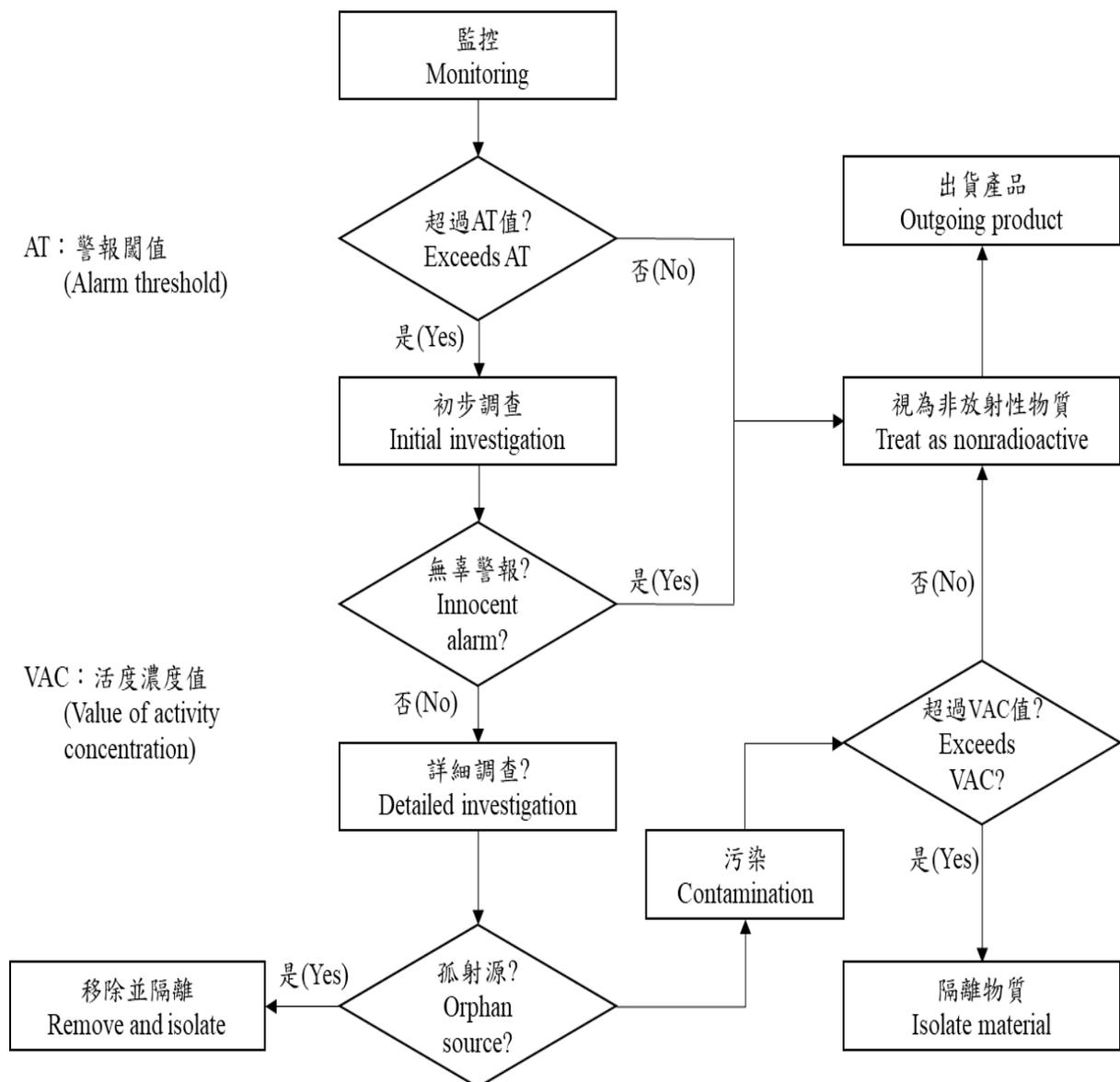


圖 3. IAEA SSG-17 之發現廢金屬中含放射性物質之監測所涉及的步驟建議流程圖[11]

監控輻射異常物的門框偵檢器通常由一個或多個垂直柱子中的偵檢器陣列組成，監控儀器根據需要調整背景輻射水平和報警閾值以監控含有廢金屬的車輛。由於輻射監測器的靈敏度在很大程度上取決於距離，車輛應盡可能接近偵檢器陣列。

IAEA SSG-17 提及主要有三種類型的警報：假警報、無辜警報和非無辜警報。假警報是由背景輻射的正常波動引起的，在門框偵檢器中，它們是由儀器對高於警報級別但低於調查基準的輻射量反應引起的。假警報也可能由附近射頻輻射的干擾引起。無辜的警報可以被證實是由於輻射以外的背景輻射在調查基準以上，但不是由於放射性物質與廢金屬混合；無辜的警報可能是由於監測器附近存在其他輻射源（例如車輛司機），該人曾為醫療診斷或治療而施用放射性核種。非無辜警報是指由高於調查基準的輻射量引起的警報，而不是無辜的警報，應對此類警報進行詳細調查。

任何警報都應經過初步調查，以確定是假警報、無辜報警還是非無辜報警。IAEA SSG-17 建議可接受的活度濃度值(value of activity concentration, VAC)，若低於其建議之 VAC 則不須通報，高於其建議之 VAC 則須進行初步調查。

此外，AEA SSG-17 建議金屬回收和生產設施的經營者應審查其處理廢金屬所涉及的各种步驟，從接收廢金屬到派送任何金屬產品或廢物，以確定輻射監測最有效的點。應考慮任何過度塗層的廢金屬或來源容器可能屏蔽。

本計畫將深入研析 IAEA SSG-17 及其他如美國及歐盟等國際組織對鋼鐵輻射異常物之最新管制與處置作法建議，提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案。

工作項目 4. 評估國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機並提出輻射防護措施建議

依據對於接觸含人工核種輻射異常物相關工作人員(如廢金屬運送司機、監視人員、輻射異常物搜尋人員、搬運人員、退運處理裝載人員、退運處理司機、卸載人員等)，評估因需偵檢或處理含人工核種之輻射異常物之人員類別，判斷與分類出可能接受較高劑量之工作族群作為關鍵群體，並

提出輻射防護措施建議。

工作項目 5. 辦理研究成果之國內鋼鐵業者座談宣導會

本計畫規劃於每年辦理研究成果之國內鋼鐵業者座談宣導會。112 年預計於第四季針對 112 年之研究成果，包括國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議、國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機與輻射防護措施建議等，辦理一場鋼鐵業者座談宣導會。

肆、 主要發現與討論

一、 對國內鋼鐵業者狀況進行檢/訪查(工作項目 1)

(一) 112 年鋼鐵業輻射異常物通報案件與訪查情形

對 112 年鋼鐵業或回收業者通報之鋼鐵輻射異常物，由國立清華大學研究團隊安排對該通報業者之現場檢/訪查，協助核安會人員針對通報之輻射異常物進行研判、分析、調查與追蹤其後續之處理。此外，並安排對國內具有大型熔爐之鋼鐵業者進行檢/訪查，了解其門框偵檢器運作情形，並對其相關輻射安全業務進行了解與記錄。

112 年截至 12 月 15 日止，總計通報 38 起鋼鐵輻射異常物，分別為 1 月通報 2 起、2 月通報 2 起、3 月通報 5 起、4 月通報 1 起、5 月通報 6 起、6 月通報 2 起、7 月通報 5 起、8 月通報 3 起、10 月通報 5 起、11 月通報 6 起、12 月通報 1 起。本計畫研究團隊已安排進行現場訪查 38 起，完成之通報輻射異常物現場訪查率約為 100%。已完成現場訪查確認之通報輻射異常物中，有四起含人工核種(Co-60:第 8 起、Cs-137:第 15 起、第 17 起及第 37 起)，其餘均為天然輻射異常物；後續處理方式有 31 件為國內處理、7 件為辦理出口，相關通報狀況及進行訪查情形列於表 2。112 年已安排進行現場訪查 38 起通報之鋼鐵輻射異常物檢測照片彙整於附件一。編號 112-01 之鋼鐵輻射異常物訪查照片如圖 4。



圖 4. 鋼鐵業或回收業者通報之鋼鐵輻射異常物(編號 112-01)

表 2. 112 年鋼鐵業或回收業者之鋼鐵輻射異常物通報案件與訪查情形

編號	發生日期	通報單位	訪查日期	輻射源	表面 5 公分處最大劑量率 (μSv/h)	後續處理方式	備註
112-01	112/01/05	高雄_燁聯鋼鐵	112/01/13	天然: Th-232	5.4	國內處理	
112-02	112/01/06	高雄_燁聯鋼鐵	112/01/13	天然: Ra-226,Th-232	2.04	國內處理	
112-03	112/02/09	高雄_燁聯鋼鐵	112/02/24	天然: Ra-226	0.35	國內處理	
112-04	112/02/28	台中_豐興鋼鐵	112/03/22	天然: Th-232	6.0	國內處理	
112-05	112/03/02	台南_長錠金屬	112/03/27	天然: Th-232	3.6	國內處理	
112-06	112/03/07	台南_長錠金屬	112/03/27	天然: Th-232	3.3	國內處理	
112-07	112/03/13	高雄_燁聯鋼鐵	112/04/26	天然: Ra-226,Th-232	5.2	國內處理	
112-08	112/03/15	高雄_益鉅金屬	112/04/26	①人工: Co-60 ②天然: Ra-226, Th-232	① 1.05 ② 17.6	國內處理	
112-09	112/03/28	高雄_益鉅金屬	112/04/26	天然: Ra-226	2.27	國內處理	
112-10	112/04/22	苗栗_東和鋼鐵	112/05/12	天然: Ra-226	17.6	國內處理	
112-11	112/05/02	高雄_益鉅金屬	112/06/17	天然: Th-232	11.1	國內處理	
112-12	112/05/16	高雄_燁聯鋼鐵	112/06/12	天然: Th-232	4.9	國內處理	
112-13	112/05/25	桃園_易佳五金	112/06/09	天然: Ra-226, Th-232	3.5	國內處理	
112-14	112/05/26	台南_長錠金屬	112/06/15	天然: Th-232	3.6	國內處理	
112-15	112/05/31	高雄_協勝發	112/06/12	人工: Cs-137	37	辦理出口	
112-16	112/05/31	台南_興永益	112/07/03	天然: U-238	52	國內處理	
112-17	112/06/09	台南_威致鋼鐵	112/07/03	人工: Cs-137	73	辦理出口	
112-18	112/06/10	台中_豐興鋼鐵	112/07/21	天然: Ra-226	3.6	國內處理	
112-19	112/07/04	高雄_燁聯鋼鐵	112/07/31	天然: Th-232	5.0	國內處理	
112-20	112/07/04	台中_豐興鋼鐵	112/07/21	天然: Ra-226, Th-232	6.9	國內處理	

112-21	112/07/11	高雄_燁聯鋼鐵	112/07/31	無法辨識	0.168	國內處理	
112-22	112/07/18	台南_興永固	112/07/31	天然: Ra-226, Th-232	2.22	國內處理	
112-23	112/07/24	台中_豐興鋼鐵	112/08/23	天然: Ra-226, Th-232	2.39	國內處理	
112-24	112/08/08	台南_華新麗華	112/09/07	天然: Th-232	5.2	國內處理	
112-25	112/08/08	台中_豐興鋼鐵	112/08/23	天然: Th-232	1.58	國內處理	
112-26	112/08/23	台南_興永固	112/09/12	天然: Th-232	3.8	國內處理	
112-27	112/10/03	台南_興永益	112/10/12	天然: Ra-226	3.5	國內處理	
112-28	112/10/11	台中_豐興鋼鐵	112/10/17	天然: Ra-226	7.5	國內處理	
112-29	112/10/12	台南_長頰金屬	112/10/24	天然: Ra-226, Th-232	7.3	國內處理	
112-30	112/10/24	台南_長頰金屬	112/10/24	天然: Ra-226	0.67	國內處理	
112-31	112/10/25	台中_豐興鋼鐵	112/11/14	天然: Ra-226, Th-232	3.8	辦理出口	
112-32	112/11/01	台中_豐興鋼鐵	112/11/14	天然: Ra-226	1.41	國內處理	
112-33	112/11/04	台中_豐興鋼鐵	112/11/14	天然: Ra-226, Th-232	3.2	辦理出口	
112-34	112/11/09	台中_豐興鋼鐵	112/11/14	天然: Ra-226, Th-232	2.63	辦理出口	
112-35	112/11/13	台中_豐興鋼鐵	112/11/21	天然: Ra-226, Th-232	5.8	辦理出口	
112-36	112/11/29	台中_豐興鋼鐵	112/12/06	天然: Th-232	0.78	國內處理	
112-37	112/11/28	台南_威致鋼鐵	112/12/13	人工: Cs-137	17.9	國內處理	
112-38	112/12/06	台中_豐興鋼鐵	112/12/11	天然: Ra-226,	1.4	辦理出口	

註：四起人工核種輻射異常物案件之補充說明：

第 8 起(Co-60)：本案輻射異常物為來自國外含廢金屬機構件本身所含 ^{60}Co 之疑似汙染件，並非為單獨之輻射源。

第 15 起(Cs-137)：本案輻射異常物為來自國外廢鐵中含 ^{137}Cs 之輻射源。

第 17 起(Cs-137)：本案輻射異常物為來自國外廢鐵中含 ^{137}Cs 之輻射源。

第 37 起(Cs-137)：本案輻射異常物為來自國外廢鐵中含 ^{137}Cs 之輻射源。

(二) 輻射異常物周圍之空間輻射劑量偵測結果

截至 112 年 12 月 1 日止，通報之總計 36 起鋼鐵業輻射異常物通報案件，已完成現場檢/訪查 35 起，射已完成對此 35 件所通報之輻射異常物現場輻射劑量偵檢，進行貼近表面位置、30 公分與 1 公尺處之最大劑量率偵測與建立不同平面所之二維平面輻射劑量分布曲線。112 年進行現場輻射劑量率偵檢之輻射異常物不同距離處之最大劑量率彙整如表 3：

表 3 112 年偵檢輻射異常物不同距離處之最大劑量率($\mu\text{Sv/h}$) (不含背景)

編號	表面位置	30 公分	1 公尺
112-01	5.306	0.236	0.024
112-02	1.946	0.096	0.024
112-03	0.250	0.130	0.007
112-04	5.902	0.282	0.020
112-05	3.498	0.228	0.050
112-06	3.198	0.198	0.037
112-07	5.116	0.246	0.035
112-08-1	0.926	0.206	0.086
112-08-2	17.476	4.576	0.166
112-09	2.146	2.046	0.296
112-10	17.477	0.667	0.094
112-11	10.999	2.479	0.449
112-12	4.790	0.220	0.009
112-13	3.421	0.431	0.054
112-14	3.488	0.278	0.030
112-15	36.864	3.464	0.234
112-16	51.911	2.211	0.191
112-17	72.907	18.504	1.054
112-18	3.510	3.110	0.096
112-19	4.904	3.404	0.074
112-20	6.810	4.410	0.350
112-21	0.082	0.874	0.018
112-22	2.100	0.170	0.004
112-23	2.295	1.915	0.132
112-24	5.100	1.170	0.023
112-25	1.482	0.782	0.060
112-26	3.705	0.425	0.050
112-27	3.381	0.491	0.005

112-28	7.400	0.260	0.027
112-29	7.202	0.852	0.073
112-30	0.572	0.512	0.026
112-31	3.800	1.390	0.480
112-32	1.410	0.360	0.110
112-33	3.200	0.960	0.192
112-34	2.630	0.510	0.187
112-35	5.800	1.130	0.222
112-36	0.780	0.178	0.111
112-37	17.900	2.180	0.300
112-38	1.400	0.310	0.108

112 年現場輻射劑量率偵檢之輻射異常物不同距離處(表面位置、30 公分及 1 公尺)最大劑量率(表 3 之數值)之平均值與最大值(不含背景)：

表面位置：平均值：8.541 $\mu\text{Sv/h}$ ；整體最大劑量率：72.907 $\mu\text{Sv/h}$ (112-17)

30 公分：平均值：1.587 $\mu\text{Sv/h}$ ；整體最大劑量率：18.504 $\mu\text{Sv/h}$ (112-17)

1 公尺：平均值：0.141 $\mu\text{Sv/h}$ ；整體最大劑量率：1.054 $\mu\text{Sv/h}$ (112-17)

已完成訪查之輻射異常物偵測報告，以及對所通報之輻射異常物進行現場輻射劑量偵檢貼近表面(5 公分)位置、30 公分與 1 公尺之不同平面所建立之平面輻射劑量分布曲線，將另行提供參考。

(三) 對於接觸輻射異常物之工作人員輻射劑量與健康風險評估

112 年通報輻射異常物案件可能接觸輻射異常物工作人員或是經手鋼鐵異常物之資源回收業者、運送司機等相關人員，其於個別通報案例之最大可能輻射劑量評估結果，列於表 4。

表 4 對於 112 年通報案例可能接觸輻射異常物之工作人員於個別案例之最大可能輻射劑量評估結果 (不含背景)

編號	廢金屬運送, 單位: (mSv)		輻射異常物搜尋, 單位: (mSv)	
	司機	檢視人員	廠內工作人員或輻防業者	搬運人員
112-01	7.08E-05	5.00E-06	1.00E-04	3.66E-04
112-02	6.51E-05	4.60E-06	9.20E-05	1.26E-04
112-03	1.98E-05	1.40E-06	2.80E-05	1.30E-04
112-04	9.62E-05	6.80E-06	1.36E-04	4.02E-04
112-05	1.42E-04	1.00E-05	2.00E-04	3.78E-04
112-06	1.39E-04	9.80E-06	1.96E-04	3.68E-04

112-07	1.19E-04	8.40E-06	1.68E-04	3.66E-04
112-08	① 2.26E-04 ② 6.11E-04	① 1.60E-05 ② 4.32E-05	① 3.20E-04 ② 8.64E-04	① 6.76E-04 ② 4.58E-03
112-09	1.21E-03	8.52E-05	1.70E-03	2.64E-03
112-10	3.31E-04	2.34E-05	4.68E-04	2.44E-03
112-11	1.30E-03	9.18E-05	1.84E-03	3.60E-03
112-12	4.25E-05	3.00E-06	6.00E-05	3.60E-04
112-13	1.30E-04	9.20E-06	1.84E-04	5.61E-04
112-14	1.02E-04	7.20E-06	1.44E-04	2.78E-04
112-15	7.47E-04	5.28E-05	1.06E-03	3.46E-03
112-16	5.41E-04	3.82E-05	7.64E-04	2.21E-03
112-17	4.26E-03	3.01E-04	6.02E-03	1.85E-02
112-18	2.72E-04	1.92E-05	3.84E-04	3.11E-03
112-19	2.09E-04	1.48E-05	2.96E-04	3.40E-03
112-20	9.91E-04	7.00E-05	1.40E-03	4.41E-03
112-21	5.09E-05	3.60E-06	7.20E-05	8.74E-04
112-22	1.13E-05	8.00E-07	1.60E-05	1.70E-04
112-23	3.74E-04	2.64E-05	5.28E-04	1.92E-03
112-24	6.51E-05	4.60E-06	9.20E-05	1.17E-03
112-25	1.70E-04	1.20E-05	2.40E-04	7.82E-04
112-26	1.42E-04	1.00E-05	2.00E-04	4.25E-04
112-27	1.42E-05	1.00E-06	2.00E-05	4.91E-04
112-28	7.64E-05	5.40E-06	1.08E-04	2.60E-04
112-29	2.07E-04	1.46E-05	2.92E-04	8.52E-04
112-30	7.36E-05	5.20E-06	1.04E-04	5.12E-04
112-31	1.64E-03	1.18E-04	2.36E-03	3.99E-03
112-32	3.08E-04	2.18E-05	4.36E-04	5.41E-04
112-33	1.33E-04	9.40E-06	1.88E-04	8.55E-04
112-34	3.42E-04	2.42E-05	4.84E-04	1.72E-03
112-35	4.64E-03	3.28E-04	6.56E-03	3.59E-03
112-36	4.53E-05	3.20E-06	6.40E-05	1.01E-04
112-37	3.11E-04	2.20E-05	4.40E-04	2.13E-03
112-38	3.68E-05	2.60E-06	5.20E-05	8.15E-04
模擬條件	100 cm, 2.83 h	100 cm, 0.2 h	100 cm, 4 h	30 cm, 1 h

註：表中工作人員最大可能輻射劑量評估之模擬條件，係參考本計畫 111 年度期末報告中所列鋼鐵輻射異常物之一般曝露情節的各項參數與假設狀況之最大時間與最短距離。

表 4 中最大可能劑量率結果係以所評估工作人員可能接受之最大劑量率乘以接觸時間計算得之，若以通報案件編號 112-17 之搜尋(搬運)人員為例，以其距輻射異常物 30 公分處作為評估距離之最大劑量 18.504 $\mu\text{Sv/h}$ 視為最大個人有效劑量率，接觸時間以 1 小時計算，則其最大個人有效劑量經計算後為 18.504 μSv 或 0.018 mSv。而機率效應(癌症)風險可以下式評估：

機率效應(癌症)風險=最大個人有效劑量(mSv) × 10⁻³ Sv/mSv × 4.8 ×10⁻²/Sv (成年人之癌症風險轉換係數值，ICRP 60)

彙整分析 112 年已完成現場訪查之 38 件通報案例，於個別案例之最大可能輻射劑量評估結果，以通報案件編號 112-17 之搜尋階段的搬運人員(以距輻射異常物 30 公分處作為評估距離) 為例，其機率效應(癌症)風險約為 8.64×10⁻⁷。

(四) 針對國內 17 家鋼鐵熔爐業者年度訪查情形

本計畫亦規劃針對國內 17 家鋼鐵熔爐業者之鋼鐵業每年進行一次年度輻射偵檢作業進行檢/訪查，112 年已於 7 月至 8 月間進行，相關訪查情形彙整列於表 5，訪查結果均符合規定。

表 5 針對國內 17 家鋼鐵熔爐業者年度訪查情形

編號	鋼鐵熔爐業年度訪查(17 家)	年度訪查日期	備註
1	華新麗華鹽水廠(台南)	7/3	均符合規定
2	威致鋼鐵(台南)	7/3	均符合規定
3	易昇鋼鐵廠(台南)	7/4	均符合規定
4	東和鋼鐵(桃園)	7/28	均符合規定
5	聯成鋼鐵(桃園)	7/28	均符合規定
6	燁聯鋼鐵(高雄)	8/7	均符合規定
7	中國鋼鐵(高雄)	8/7	均符合規定
8	龍慶鋼鐵(高雄)	8/7	均符合規定
9	海光企業(高雄)	8/7	均符合規定
10	協勝發鋼鐵(高雄)	8/7	均符合規定
11	唐榮鐵工廠(高雄)	8/8	均符合規定
12	豐興鋼鐵(台中)	8/17	均符合規定
13	中龍鋼鐵(台中)	8/17	均符合規定
14	慶欣欣鋼鐵(彰化)	8/18	均符合規定
15	東和鋼鐵(苗栗)	8/28	均符合規定
16	建順煉鋼(苗栗)	8/28	均符合規定
17	羅東鋼鐵廠(宜蘭)	8/30	均符合規定

二、蒐集並研析國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之應對作為 (工作項目 2)

本計畫已研析彙整 IAEA SSG-17 報告(2012)，此報告提出金屬回收和生產設施的每個經營者應制定發現輻射異常物之應對計畫建議，以及廢金屬中含放射性廢棄物(輻射異常物)的管理建議。112 年規劃持續蒐集、研析與彙整 IAEA SSG-17 及其他如美國及歐盟等國際組織對鋼鐵輻射異常物之最新管制與處置作法，了解並擴大彙整國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之應對作為。112 年納入研析彙整之相關文獻如下：

- 美國 United States Department of Energy, Radioactive Scrap Metal Recycling, USDOE ANL/EAD/TM-50 報告[9]
- 歐盟 European Commission, Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection No 89 報告[16]
- 聯合國歐洲經濟委員會 Recommendations on monitoring and response procedures for radioactive scrap metal. ECE/TRANS/NONE/2006/7 報告[23]
- 美國 NCRP report 141: managing potentially radioactive scrap metal (ANL/EA/CP--109482) 報告[15]

本計畫研析美國、歐盟相關文獻資料，進一步歸納彙整所研析資料如下：

1. 美國能源部(USDOE)之 ANL/EAD/TM- 50 報告

此報告之針對含放射性廢金屬(主要討論核工業產生之廢金屬)回收或處置的作法及管理提出說明，其重點彙整如下：

- 來自各種設施的相對少量的放射性廢金屬被回收供公眾使用，而核工業已回收了數千噸。
- 建議根據廢金屬的放射性特徵及其回收後可能的用途分級管理來控制健康風險，同時控制公共衛生風險和環境影響以滿足國際準則。
- 主要針對核工業之廢金屬以回收或處置方式影響討論。若選擇不回收使用放射性廢金屬，則需要生產新金屬材料。新金屬材料生產所

涉及的採礦和精煉作業將對人類健康以及空氣、土地和水資源產生重大影響。

- 在金屬精煉過程中，冶煉廠和熔爐也會產生爐渣等廢棄物。
- 礦渣為一種可銷售的副產品，可用於摻入混凝土中。通常情況下，爐渣會堆積在冶煉場周圍。
- 將放射性廢金屬回收到不受限制的用途將導致普通大眾容易接觸到的金屬產品中殘留放射性有所增加。
- 放射性廢金屬回收會造成災害的風險很小，因為所涉及的放射性水平非常低。
- 雖然災害風險極低，但對金屬曝露風險的承擔是非自願的。
- 公眾對風險可接受性的評估是複雜的，放射性廢金屬的回收是相對容易接受的。

2. 歐盟 Radiation Protection No 89 (RP 89)報告

RP 89 報告重點彙整如下：

- RP 89 報告為歐盟成員國監管機構提供了指導建議，說明在何種條件下取消對核電工業裝置中的金屬廢料、部件和設備的監管控制在放射學上是可接受的。
- 歐盟有一百多座核子反應器在運轉，其中大約有四十座，屬於研究用反應器，這些反應器已經關閉並正在除役。這代表了在監管控制下“廢棄”材料的巨大潛在壓力。這種材料的一部分(其中金屬最具經濟價值)沒有或僅有非常輕微的放射性。回收或再利用這種材料將避免不合理地分配資源來處理低活性廢物，並節省寶貴的自然資源。
- 由於金屬的經濟價值，一旦取消監管控制，就不能保證該金屬將留在取消監管控制的國家/地區，可能會流通至其他國家/地區。考慮到實現歐洲單一市場，必須在歐盟範圍內採用統一標準來避免少數國家進行特殊的監管控制。
- 1984 年歐盟成立專家小組，製定適合核設施材料回收的放射防護標準，並於 1988 年建議了直接適用於核電廠廢鋼回收的標準。同時起，歐盟出現了許多有關含微量放射性材料回收的研究，並且

也提出了有關輻射防護標準的新建議。

- 1990 年擴大和更新 1988 年的建議，建立針對金屬回收的表面污染標準，並將適用範圍擴大到核燃料循環的其他裝置，其中包括鈾濃縮、燃料生產、發電和後端處理。

3. 聯合國歐洲經濟委員會 ECE/TRANS/NONE/2006/7 報告

本報告提供了有關受放射性污染的廢金屬、活化廢金屬和含有放射源或含有放射物質的廢金屬的預防、檢測和應對的良好做法的建議和實例，並確定了政府和相關行業建立有效合作的統一方法和職責認定。報告重點彙整如下：

- 聯合國歐洲經濟委員會鼓勵各國政府和相關行業使用本報告中包含的建議和做法來製定政策，以有效監測廢金屬、金屬產品和相關廢棄物，並對任何放射性材料的發現做出反應。相關政策應會導致國際間更好地協調方式，使各國能實現更有效的預防、發現和應對廢金屬管理的做法。
- 放射性物質可以通過多種方式與廢金屬結合，它們可以通過熔化過程融入鋼鐵和金屬中。這可能會對工作人員和公眾造成健康危害以及環境問題，並且還會產生嚴重的商業影響。
- 國際原子能機構 (IAEA) 和歐盟 (EU) 致力於密封放射源和其他放射性材料的監管控制。
- 近年來發生了許多涉及在廢金屬中發現放射性物質的事件，有時甚至在熔化過程中的金屬中發現放射性物質。這些事件不僅涉及所需的回收和清理作業，而且還可能導致民眾對廢金屬作為資源失去信心。
- 放射性廢金屬定義為受放射性污染的廢金屬、活化的廢金屬以及含有輻射源或其中含有放射物質的廢金屬。它可能包括受監管控制的放射性物質和不受監管控制的放射性物質。
- 大多數國家都對廢金屬的運送進行監控，但在不同分銷鏈的監控點，監控範圍和效率也不同。國際在統一和協調廢金屬監測策略和方法上僅做出了有限的努力。聯合國歐洲經濟委員會 (UNECE) 提供了一致和統一的方法來檢測放射性廢金屬，並執行適當的應

對程序。

4. 美國 NCRP report 141 報告

本報告客觀地回顧放射性廢金屬的管理，並就放射性廢金屬的管理和處置方法提出建議，其重點彙整如下：。

- NCRP 和 ICRP 建議的輻射防護框架係基於三個主要原則：
 - (1) 輻射作業必須具有正當性，
 - (2) 防護必須最適化，
 - (3) 個人必須受到防護(需採行劑量限制)。此外，在評估輻射作業時需要考慮意外的潛在曝露。
- NCRP 指出：美國最終產生的放射性廢金屬大約有三分之一來自與天然放射性物質(NORM)或人為技術增強之天然放射性物質(TENORM)處理或加工相關的行業。在美國，商業部門製定的TENORM 法規目前屬於各個州的管轄範圍，並且各州適用的法規存在顯著差異。
- 由於 TENORM 與人造放射性材料具有相同的輻射防護問題，NCRP 建議 EPA、DOE 和美國核管理委員會(NRC) 與各州監管機構合作，開發一套廢金屬處置的管理系統。
- 制定放射性廢金屬釋放的國際標準將確保美國和其他國家對此類材料進行更好、更嚴格的管制。
- 禁止將放射性廢金屬回收到主要由兒童使用的消費品(例如玩具、嬰兒車)中、用於食品加工或準備的物品(例如器具、食品加工機)或家居用品(例如電器、住房材料)，以減少或避免放射性廢金屬與一般人群的直接接觸。
- 管理決策過程應保存記錄，並參考根據專業人員、相關組織代表和公眾的意見，相關紀錄應充分披露並以清晰明確的方式呈現。
- 鑑於公眾對一般商業中釋放放射性廢金屬的負面態度，建議(核工業)放射性廢金屬優先發展內部回收活動而不是解除管制(clearance)。
- 美國能源部 2000 年宣布推動其內部回收計畫，這一行動展現了美國能源部在持續監管控制下嚴格執行安全廢棄物回收程序的承諾，

受到公眾的好評。

NCRP 141 報告亦提出了篩選廢金屬中放射性物質的輻射偵測技術及方法，說明如下：

4.1 廢料場和工廠的廢棄物監測系統

- 現今的廢棄物(廢金屬)監測系統常使用能夠持續偵測的高容量塑膠閃爍偵測器。
- 驗證監測系統一般使用加馬輻射源(平均發射加馬能量應小於250 keV)，在距輻射源中心30 公分處提供的劑量率約為1 $\mu\text{Sv/h}$ (或1 $\mu\text{Gy/h}$)。
- 使用之監測器通常也能夠探測中子，及偵測由高能量 β 輻射(例如 ^{90}Sr 射源)照射鋼鐵所產生的制動輻射 X 射線。
- 系統應可實現每 10,000 次車輛掃描中誤報率低於 1 次的檢測能力。
- 儀器不會偵測 α 或低能量 β 輻射，因為廢料本身、裝有廢料的車輛的牆壁、偵測器的外殼以及車輛和偵測器之間的距離(通常約為1至1.5 m)造成的衰減作用。

4.2 廢料場和工廠的監測位置

- 美國鋼鐵回收商目前的做法是使用兩個平行相對的塑膠閃爍體偵測器，卡車路徑的兩側各一個。偵測器的輸出透過光電倍增管饋送到微處理器進行訊號分析。
- 車輛的存在會減少入射到偵測器的輻射，因為車輛及其負載中的金屬會吸收和散射入射的背景輻射。若輻射水平有微小的增加，例如可能來自經過車輛內的人造輻射源或被NORM或TENORM污染的廢金屬，即會被偵測到並觸發警報。
- 系統中複雜的微處理器控制電子設備也決定何時應發生警報。
- 太多的誤報(即在不存在異常輻射的情況下發出警報)，會導致成本增加(人員響應)，然後導致對系統識別真實警報情況的能力的依賴度降低。

4.2.1 入口門框偵測器監控

- 入口門框偵測器監控系統能夠實現高檢測率和最少的誤報。即使埋藏在卡車車廂的中心裝有被拆卸、熔化的或類似的低密度等級的廢金屬料中(包含屏蔽)，典型工業測量用的¹³⁷Cs 等人工加馬輻射源幾乎都能被檢測到。
- 建議降低車輛的速度並針對較低的速度最佳化系統。
- 設置監控系統的主要考慮因素應是防止輻射源在金屬廢料處理和準備過程中污染人員或設施，以及防止員工受到輻射源的體外曝露。
- 在廢金屬料存放(或處理)場，由於切割、粉碎和剪切以及一般處理活動，可能破壞輻射源的完整性；因此，大多數廢金屬料處理設施都使用了門框偵測器監控。

4.2.2 廠內監控系統

常被考慮的三種監測方式：(1) 在裝載時監控裝料桶，(2) 在處理廢料的起重機上安裝監測系統，(3)在設施內移動廢料的輸送機上安裝監測器；說明如下。

- 裝料桶監測系統可在裝載時監控廢料，其靈敏度比典型的入口門框偵測器系統稍高。
- 使用裝載裝料桶或廢料箱通過的門式監控系統，即使有高架探測器，也不是有效的監控系統，因為厚壁（即約 10 至 15 厘米的鋼材厚度）會產生顯著的衰減的廢料桶。
- 將探測器安裝在起重機或其他透過磁鐵或抓斗運送廢料的設備上是最近常用的一種方法。偵測器將相當接近抓取之少量廢料，屏蔽的減少將增加發現輻射異常物的可能性。
- 如果廢料由輸送機處理，則可以在輸送機上安裝廢料監控系統。這種方法具有高檢測效率，因為廢料覆蓋範圍極小，偵測器與廢料距離較近，所監測的廢料體積相對較小，且輸送機的速度相對較低。而由於開放式傳送系統上的偵測器非常接近，偵測系統本身可能會被鬆散的表面污染物污染，並導致背景增加，隨後偵測能力下降，或導致穩定的警報狀態對生產造成嚴重影響。
- 如果以小型卡車接收廢料，則可以在廢料仍在車輛上和正在卸載時讓

員工手動監控廢料。可以使用帶有警報設定或聲音響應的手持式儀器進行監控，同時進行其他檢查。

三、提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議 (工作項目 3)

國內現行之「鋼鐵業者發現輻射異常物之通報及處理作業導則」為核安會於 97 年 6 月所發布實施[3]，提供國內鋼鐵業者發現輻射異常物之通報及處理作業依循，而 2012 年 IAEA 發布之 SSG-17 報告已有更新、更完整之對金屬回收和生產設施中收到的廢金屬放射性物質監測所涉及的步驟建議(如圖 2)。

IAEA SSG-17 報告有關鋼鐵業者發現輻射異常物後之作業流程亦包括下列主要建議：

- 鋼鐵業者應置備輻射偵檢設備以執行下列鋼鐵原料及產品之輻射偵檢：
 - (1)運抵設施時之廢金屬原料，最好靠近現場入口處。
 - (2)熔煉過程中的樣品。
 - (3)送出前的最終產品。
- 輻射偵檢設備包括車輛門框式輻射偵檢系統及手持式輻射偵檢器等，並定期(每年)安排對輻射偵檢設備進行校正。
- 除了前述輻射偵檢設備外，亦建議在下列位置裝設固定式輻射偵檢器來監測生產流程中之鋼鐵原料及產品：
 - (1)在起重機或處理廢金屬的抓取器上；(怪手抓斗輻射偵測系)
 - (2)在將廢金屬輸送到熔爐的裝料桶桶裝載的地方。(車輛門框式輻射偵檢系統)
- 應考慮使用具有加馬能譜分析能力的手持監測設備，以確定輻射異常物中存在哪些放射性核種。

本計畫研析並彙整國際組織對鋼鐵輻射異常物之最新管制與處置作法建議，以國內既有通報處理作業文件為基礎，提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案(建議)如附件二。

四、評估國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機並提出輻射防護措施建議 (工作項目 4)

對於接觸含人工核種輻射異常物相關工作人員(如廢金屬運送司機、監視人員、輻射異常物搜尋人員、搬運人員、退運處理裝載人員、退運處理司機、卸載人員等)，依據其因需運送或偵檢或處理含人工核種之輻射異常物之人員類別與劑量評估結果(參考表 4 之結果)，判斷出可能接受較高劑量之工作族群作為關鍵群體，可能接受最大劑量之關鍵群體為輻射異常物搜尋程序中之搬運人員，主因為其接受關鍵劑量時機為在搬運時接觸輻射異常物之距離較近(本計畫以 30 公分距離之最大可能劑量進行劑量評估)。彙整分析 112 年已完成現場訪查之 35 件通報案例，於個別案例之最大可能輻射劑量評估結果，以通報案件編號 112-17 之搜尋階段的搬運人員為例，其接觸時間以 1 小時計算，則其最大個人有效劑量經計算後為 0.018 mSv(機率效應(癌症)風險約為 8.64×10^{-7})。

對於國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機之輻射防護措施建議如下：

- 發現放射性廢棄物(輻射異常物)應盡可能合理地隔離，以盡量減少對環境的影響。
- 隔離回收的放射性物質(人工輻射異常物)應保存在安全可靠的現場儲存地點，直到經主管機關同意才能取出。
- 輻射異常物隔離、儲存地點，應有示警標誌、進行適當管制，並應防止污染的進一步蔓延，如避免遭受雨水淋濕。
- 回收的放射性物質不應長期儲存在金屬回收和生產設施中。
- 輻射異常物儲存時，應由受過適當輻射防護訓練的授權人員處理或處置。
- 任何回收的放射性物質應轉交給各國主管機關授權接收放射性廢棄物的組織或單位。運送必須依照各國對放射性物質安全運送的要求進行。

此外，對於接觸輻射異常物之工作人員，或是經手鋼鐵異常物之資源回收業者、運送司機等相關人員，除建議其遵循體外曝露的 TSD 防護原則(曝露時間儘可能縮短、善用屏蔽物質阻擋輻射、儘量遠離射源)外，對於接觸輻射異常物相關工作人員亦再次建議如下：

- 廢金屬運送司機：一般而言因有載運之廢金屬原料離駕駛座均有一段距離，且車輛本身的車殼及車斗等屏蔽，通常不會有影響安全之劑量疑慮。
- 監視人員：鋼鐵廠門框偵檢器的監視人員發現警報通知時，在確認警報真實度時，應注意與運載車輛保持適當距離，並熟悉檢驗程序，縮短確認警報時間。
- 輻射異常物搜尋人員：搜尋人員在現場持手持式偵檢器執行異常物搜尋時，應隨時注意偵檢器之讀數，並建議持長柄工具翻找，可減少受曝露劑量，並準備足夠之屏蔽，當發現異常物時予以覆蓋或盛裝。如單次警報案件同時發現多件異常物時，可先分散放置，以減少其對人員之累積劑量。
- 搬運人員：在搬運發現之輻射異常物時遵循 TSD 原則，如單次警報案件發現有多件異常物時，可視其劑量率分次搬運，以減少其對人員之累積劑量。進入規劃之異常物貯存室或存放區，放入異常物後應即離開，避免逗留。
- 輻射異常物暫存管理人員：管理人員應留意異常物暫存室或暫存區之管制區範圍與劑量率，非必要不進入暫存室或暫存區內。暫存室或暫存區應有適當之屏蔽，並應避免受到雨淋或淹水情形發生。
- 退運處理裝載人員：在裝載搬運輻射異常物時應遵循 TSD 原則，如有多件異常物時，可視其劑量率分次搬運，以減少其對人員之累積劑量。
- 退運處理司機：裝載於車輛之輻射異常物應符合放射性物質安全運送標準之規定。
- 卸載人員：在卸載搬運輻射異常物時遵循 TSD 原則，如有卸載多件輻射異常物時，可視其劑量率分批次搬運，必要時使用適當屏蔽以減少其對人員之累積劑量。進入規劃之異常物貯存室或存放區，放入異常物後應即離開，避免逗留。

五、辦理國內鋼鐵業者座談宣導會(工作項目 5)

本計畫規劃於 112 年第四季針對研究成果，包括國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議、國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機與輻射防護措施建議等，辦理一場鋼鐵業者座談宣導會，對業者進行輻射安全宣導。(預計於 112 年 11 月中下旬辦理，相關成果與紀錄將彙整於期末成果報告中。)

本計畫於 112 年 12 月 10 日辦理「112 年國內鋼鐵業者輻射安全宣導」座談會，針對 112 年度研究成果，包括國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議、國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機與輻射防護措施建議等進行彙整說明，對業者進行輻射安全宣導，並與業者進行意見交流，作為發現鋼鐵輻射異常物作業流程精進與人員劑量合理抑低措施之參考。座談會當日之照片如圖 5，當日之議程資訊如下：

會議議程：

會議日期：11/10(五)

會議時間：9:00-12:00

會議地點：集思新烏日會議中心 富蘭克林廳(401 會議室)
(台中市烏日區高鐵東一路 26 號 4 樓)

時間	議程
09:00—09:20	報到
09:20—09:30	會議說明
09:30—10:15	112 年鋼鐵業人員接觸輻射異常物之輻射劑量、風險分析與輻射安全注意事項與訪查狀況說明
10:15—11:00	鋼鐵業者發現輻射異常物作業流程及門框輻射偵檢器測試標準建議
11:00—12:00	綜合討論



圖 5 「112 年國內鋼鐵業者輻射安全宣導」座談會會議(112/11/10)照片

座談會成果概述：

(一) 112 年鋼鐵業人員接觸輻射異常物之輻射劑量、風險分析與輻射安全注意事項與訪查狀況說明：

1. 核能安全委員會對於接觸輻射異常物之從業人員，其輻射劑量與健康風險極為重視，根據 IAEA 的輻射安全建議輻射異常物應盡可能隔離並存放在安全的地點或轉交國家原子能科技研究院(國原院)接收。
2. 112 年度發現鋼鐵輻射異常物案件之最大劑量進行風險評估(截至 112/11/01 止)：所評估之工作人員的最大個人有效劑量發生在輻射異常物搜尋的搬運人員，約為 0.0185 mSv。綜合上述輻射劑量與風險評估結果，評估一般曝露情節相關人員可能接受之最大劑量進行保守評估所得之風險，僅約相當於照 1 張胸腔 X 光片之劑量與風險。

(二) 112 年度鋼鐵熔爐業者輻射安全訪查狀況說明

1. 112 年截至 11/02 止，累計通報 30 件鋼鐵輻射異常物。已完成 30 件通報之輻射異常物現場訪查並出具偵測報告，其中有 26 件為天然輻射異常物、2 件為人工輻射異常物、1 件包含天然及人工輻射異常物、1 件無法辨識輻射異常物其所含核種。後續處理方式，有 3 件為出口退運、有 27 件為國內處理。
2. 完成國內 17 家鋼鐵熔爐業者之鋼鐵業(年度)輻射偵檢作業檢查，檢查結果均為合格、均依規定辦理。

(三) 國際組織(IAEA)對鋼鐵業者發現輻射異常物通報及處理作業流程建議及 ANSI N42.43 門框輻射偵檢器測試標準建議

本座談會提出國際組織(IAEA)對鋼鐵業者發現輻射異常物通報及處理作業流程建議及 ANSI N42.43 門框輻射偵檢器測試標準建議，供與會鋼鐵業者參考與交流討論，並將彙整意見後，再提供予主管機管參考。

(四) 業者意見交流與回饋彙整：

1. 由於不同輻射異常物之間有劑量累積的風險，建議發現後宜盡快辨識核種並加快通報與處理流程。
2. 輻射異常物的暫存場所應有良好規劃，須有示警標誌屏蔽、適當門禁管制(上鎖)，並應設置於非露天環境(或放置於貨櫃中)以避免受到雨水沖刷造成暫存區污染。
3. 發現輻射異常物通報及處理流程和門框測試之建議如下：
 - (1) 鼓勵業者使用怪手可裝置抓斗輻射偵測系統增加發現異常物之能力與發現率。
 - (2) 建議業者可自備具有加馬能譜分析的手持監測設備做核種分析，亦可委託具核種能譜分析能力之偵測業者協助，判斷發現輻射異常物所含之核種種類。
 - (4) 門框式偵檢器的偵測效率、靈敏度建議以統一之測試標準規範之。

六、112 年完成之具體成果

112 年規畫進行之工作項目包括工作項目 1 至 7，完成之具體成果彙整如下：

1. 工作項目 1：對國內鋼鐵業者狀況進行檢/訪查

- (1) 總計完成 38 起鋼鐵業輻射異常物通報案件之現場檢/訪查；
- (2) 建立 38 起通報案件之不同平面輻射劑量分布曲線；
- (3) 完成 17 家鋼鐵熔爐業者之鋼鐵業年度輻射偵檢作業檢查。
- (4) 發現與建議：
 - 目前鋼鐵熔爐業者門框式偵檢器的偵測，每年委請偵測業者進行年度偵測與校正作業，建議偵測業者宜採用國際建議之統一測試標準(如以特定活度射源在特定距離須觸發警報)。
 - 建議鋼鐵業者應盡速確認輻射異常物核種，可自備能譜分析儀，或委託輻射偵測業者進行核種分析，以了解其放射學特性。

2. 工作項目 2：蒐集並研析國際組織對鋼鐵業者發現輻射異常物之應對作為

- (1) 重點彙整美國能源部(USDOE)之 ANL/EAD/TM- 50 報告，此報告之針對含放射性廢金屬回收的作法及管理提出說明。
- (2) RP 89 報告為歐盟成員國監管機構提供了指導建議，說明在何種下取消在放射學上是可接受之對核電工業裝置中的金屬廢料、部件和設備的監管控制條件。
- (3) 聯合國歐洲經濟委員會 ECE/TRANS/NONE/2006/7 鼓勵各國政府和相關行業使用報告中包含的建議和做法示例來制定政策，以有效監測廢金屬、金屬產品和相關廢棄物，並對任何放射性材料的發現做出反應。放射性廢金屬在此定義為受放射性污染的廢金屬、活

化的廢金屬以及含有輻射源或其中含有放射物質的廢金屬。

(4) NCRP 141 報告客觀地回顧放射性廢金屬的管理，並就放射性廢金屬的管理和處置方法提出建議，此外，本計畫彙整了 NCRP 141 報告之輻射偵測技術及篩選廢金屬中放射性物質的方法建議。

3. 工作項目 3：提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議：本計畫研析並彙整國際組織對鋼鐵輻射異常物之最新管制與處置作法建議，以國內既有通報處理作業文件為基礎，提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案(建議)如附件二，其內容包括目的、輻射偵檢設備、輻射異常狀況確認、輻射異常物搜尋作業、後續處理、其他等六大部分；新增暫存場所應有良好規劃建議及備置輻射偵檢儀器或委請偵測業者偵測，以確定輻射異常物中存在之放射性核種種類。

4. 工作項目 4：評估國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機並提出輻射防護措施建議

(1) 完成國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機評估：可能接受最大劑量之關鍵群體為輻射異常物搜尋程序中之搬運人員，主因為其接受關鍵劑量時機為在搬運時接觸輻射異常物之距離較近(本計畫以 30 公分距離之最大可能劑量進行劑量評估)。

(2) 建議搬運人員在搬運發現之輻射異常物時遵循 TSD 原則，以減少其對人員之累積劑量。

5. 工作項目 5：辦理研究成果之國內鋼鐵業者座談宣導會

本計畫已於 112 年 11 月 10 日辦理一場「112 年國內鋼鐵業者輻射安全宣導」座談會，與業者進行意見交流，作為發現鋼鐵輻射異常物作業流程精進與人員劑量合理抑低措施之參考。

伍、結論

112 年鋼鐵業輻射異常物通報案件情形列於表 2，截至 112 年 12 月 1 日總計通報 36 起鋼鐵業輻射異常物，本計畫研究團隊已完成計有 35 起現場訪查，第 36 起預訂於 12 月 6 日訪查，已完成之現場訪查率約為 97.2%。已完成現場訪查確認之通報輻射異常物中，有三起含人工核種(Co-60:第 8 起、Cs-137:第 15 起及第 17 起)，其餘均為天然輻射異常物；後續處理方式有 28 件為國內處理、7 件為出口退運，相關通報狀況及進行訪查情形列於表 2。對所通報之輻射異常物進行現場輻射劑量偵檢貼近表面位置、30 公分與 1 公尺之不同平面所建立之平面輻射劑量分布曲線，將另行提供委託機關。

本計畫對國內鋼鐵業者進行檢/訪查並實測輻射劑量率，以及利用實測輻射劑量率結果評估所通報案件之鋼鐵業從業人員接觸輻射異常物之可能劑量。此外，本計畫完成深入研析 IAEA SSG-17 及美國與歐盟等國際組織對鋼鐵輻射異常物之最新管制與處置作法建議，進行相關文獻之重點彙整，並提出國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案。並且對接觸含人工核種輻射異常物相關工作人員，依據其因需偵檢或處理含人工核種之輻射異常物之人員類別與劑量評估結果，判斷出可能接受較高劑量之工作族群作為關鍵群體：可能接受最大劑量之關鍵群體為輻射異常物搜尋程序中之搬運人員，主因為其接受關鍵劑量時機為在搬運時接觸輻射異常物之距離較近(本計畫以 30 公分距離之最大可能劑量進行劑量評估)，並提出相應之輻射防護措施建議。

除上述執行成果，第四季(11/10)並已針對研究成果，包括國內鋼鐵業者發現輻射異常物之標準作業流程草案建議、國內鋼鐵從業人員接受關鍵劑量時機與輻射防護措施建議等，完成辦理一場鋼鐵業者座談宣導會，對鋼鐵業者進行輻射安全宣導與意見交流。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 112 年之工作進度與計畫目標。

伍、 參考文獻

1. 行政院原子能委員會，107 年游離輻射應用與管理統計，中華民國 108 年 08 月發布。
2. 行政院原子能委員會，放射性污染建築物事件防範及處理辦法，中華民國 83 年 6 月發布(107/08 修正)。
3. 行政院原子能委員會，鋼鐵業者發現輻射異常物之通報及處理作業導則，中華民國 97 年 06 月發布。
4. The MicroShield Team, MicroShield User's Manual, Version 5, Grove Engineering Inc., Rockville, Maryland, 1996.
5. [HTTP://WWW.RADIATIONSOFTWARE.COM](http://www.radiationsoftware.com)
6. [HTTPS://resrad.evs.anl.gov/](https://resrad.evs.anl.gov/)
7. Bakr W.F., Assessment of the radiological impact of oil refining industry, J Environ Radioact. 2010 Mar;101(3):237-43. doi: 10.1016/j.jenvrad.2009.11.005. Epub 2009.
8. Cheng J.J., Kassas B., Yu C., et al., RESRAD-RECYCLE: A Computer Model for Analyzing the Radiological Doses and Risks Resulting from the Recycling of Radioactive Scrap Metal and the Reuse of Surface-contaminated Material and Equipment, ANL/EAD-3, 2000.
9. United States Department of Energy, Radioactive Scrap Metal Recycling, ANL/EAD/TM-50, 1995.
10. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Recycle and reuse of materials and components from waste streams of nuclear fuel cycle facilities, IAEA-TECDOC-1130, IAEA, Vienna, 2000.
11. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries, IAEA SSG-17, 2012.
12. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Reports Series No. 44, IAEA, Vienna (2005).

13. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7, IAEA, Vienna (2004).
14. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Radiological Assessments for Clearance of Materials from Nuclear Facilities, NUREG-1640, Vol. 1, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. (2003).
15. Chen, S.Y. (Jan 2003). NCRP report 141: managing potentially radioactive scrap metal (ANL/EA/CP--109482). United States.
16. European Commission, Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection No 89, European Commission (1998).
17. National Committee on Radiation Instrumentation (NCRI), ANSI N42.43-2016 : American National Standard Performance Criteria for Mobile and Transportable Radiation Monitors Used for Homeland Security, American National Standards Institute (ANSI), 2016.
18. International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 62244: Radiation protection instrumentation – Installed radiation portal monitors (RPMs) for the detection of illicit trafficking of radioactive and nuclear materials, IEC, 2019.
19. Goorley T., James M., Booth T., et al., Initial MCNP6 release overview, Nucl. Technol. 180 (2012) 298–315.
20. International Commission on Radiological Protection , Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74 , 1996.
21. International Commission on Radiological Protection, Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures, ICRP Publication 116, 2010.
22. European Radiation Dosimetry Group (EURADOS), Technical recommendations on measurements of external environmental gamma radiation doses. Radiation Protection 106, 1999.

23. Economic Commission for Europe, United Nations. Recommendations on monitoring and response procedures for radioactive scrap metal. ECE/TRANS/NONE/ 2006/7., 2006.
24. The 1991 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, 1991.
25. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, 2007.
26. Sofilić, Tahir & Barisic, D. & Sofilic, U. & Zivkovic, J.. (2011). Monitoring of radionuclides in carbon steel blooms produced by EAF process. Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy. 47. 125-136. 10.2298/JMMB110101005S.