

令和6年度厚生労働省労災疾病臨床研究事業費補助金

令和6年度 総括研究報告書

エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究 (240402-01)

研究代表者 古渡 意彦

(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
計測・線量評価部物理線量評価グループ グループリーダー)

令和7年(2025年) 3月

目次

I. 総括年度終了研究報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

I. 分担研究報告

製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育に係るアンケート調査の実施・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 28

放射線取扱主任者定期講習から学ぶエックス線作業主任者教育への展開・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74

産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育等の取組み事例に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 79

II. 分担研究報告

大型 X 線 CT 装置内に人が立ち入った場合を想定した線量測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87

エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 95

エックス線装置からの漏えい線量測定を可能とする小型ガラス線量計の応答・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 108

III. 分担研究報告

製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育のあり方に関する検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 120

IV. 研究成果の刊行に関する一覧表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 135

以上

I. 総括年度終了研究報告

エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究 (240402-01)

研究代表者 古渡 意彦

(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
計測・線量評価部物理線量評価グループ グループリーダー)

研究要旨

本研究は、製造業、非破壊検査業のエックス線作業主任者を選任する事業場において、安全衛生に係る能力向上に向けた取組み状況とエックス線作業環境及び放射線防護措置の現状を調査・分析し、被ばく事故防止及び線量低減に実効性ある教育内容・講習について検討し、事業場への実装を目指すものである。本研究事業に着手した令和6年度は、研究事業完遂に向けて、以下の分担研究を着実に進めた。

【製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育に係るアンケート調査の実施】

分担研究では、製造業、非破壊検査業のエックス線作業主任者（以下、「主任者」という。）及びエックス線装置を利用する労働者（以下、「作業員」という。）を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた取組み及び放射線防護対策措置の現状について、主任者を選任している事業場を対象としたアンケートによる調査を行った。アンケートに先立ち、主任者及び作業員が回答しやすいような項目となるよう、アンケート内容を精査した。アンケートは、非破壊検査事業者が多数加盟する「日本非破壊検査工業会（JANDT）」の協力を得て、加盟会員宛にメールにより依頼した。アンケート実施期間は、令和6年10月18日から令和7年1月18日の3か月間であり、期間中の有効回答数は202件であった。アンケートは主任者等から164件、作業員から38件の回答を得た。アンケート結果で特筆すべき点として、(1) 主任者及び作業員の非常に高い個人線量計装着率、(2) 高い教育の受講率と再教育の頻度、(3) 約半数が放射線被ばくの可能性について懸念を示している、等が挙げられる。以下で結果を詳細に示すとともに背景要因等について考察する。

【放射線取扱主任者定期講習から学ぶエックス線作業主任者教育への展開】

本分担研究では、放射性同位元素等の規制に関する法律（放射性同位元素等規制法）に定められた放射線取扱主任者に対する義務の1つである定期講習の内容・方法を精査し、エックス線作業主任者等に対する教育への展開を図ることを目的とする。放射線取扱主任者定期講習は登録定期講習機関が行う主任者の資質向上を図るための講習である。令和6年度は、分担者はまず登録定期講習機関の講習実施内容をホームページ等で情報収集し、教育項目・時間・方法について整理を行った。各講習機関において時間数や科目名に大きな違いは

みられないが、実施方法については独自性や工夫が施されていた。実際に登録定期講習機関の1つで定期講習を受講したところ、小テストの実施やテーマ毎にディスカッションを設けるなど理解度を深め、双方向性を保つような工夫が見られた。また一方で、普段、単独もしくは少数で現場管理を行っているため、現場では相談出来る人がいないなどの悩みも散見された。このことは教育コンテンツや環境の整備を進めるだけではなく、管理者のためのプラットフォーム設立の重要性を示すものである。

【産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育等の取組み事例に関する調査】

本調査は、世界各国の産業用エックス線利用に関する制度設計及び教育の取組み事例を我が国におけるエックス線作業主任者及び作業者を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた効果的な教育・訓練パッケージ開発に反映する事を目指し、オンラインアンケートおよび訪問調査を通じて各国の先進的な制度設計や特徴的な教育体系に関する情報を収集することを目的としている。本年度はオンラインアンケートフォームの作成、国際原子力機関への協力要請、韓国への訪問調査をおこなった。アンケートフォームは設問を6セクションに分け、各国の教育制度の有無、教育対象者や内容、時間数など尋ねる内容とし、国際原子力機関および韓国の専門家から概ね理解が得られた。国際原子力機関への協力要請では、先行的なアンケート調査に向けた実施先の提案といった本調査実施への理解と協力への合意のみならず、放射線安全基準委員会での本調査の紹介という大きな成果が期待できる成果を得ることが出来た。韓国訪問調査では、一本化された制度設計、オンライン教育や受講歴の一括管理など先進的な教育体系に関する情報を得ることが出来た。次年度はアンケート調査の本格実施を進めると共に、先進的な取り組みをしている欧米への訪問、国際会議や国際学会での本調査の紹介および各国専門家との意見交換を計画している。

【大型 X 線 CT 装置内に人が立ち入った場合を想定した線量測定】

開放管 X 線装置の X 線スペクトル測定と線量測定を行った。フィルターを使用しない時に 70 μ m 線量当量と 1cm 線量当量を評価した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) X 線装置のフィルターを使用しない場合、タングステンフィラメントから発生する L-X 線 (8.0-10keV) のピークが最大となる。Cu フィルター0.1mm を使用することで、このピークはカットされる。
- (2) フィルターを使用せず照射口から 1.7~3.7cm の距離で 300kV, 100 μ A, 40 秒間 X 線を照射した時、皮膚の線量である 70 μ m 線量当量が 1.3~9.5Sv であった。
- (3) TLD-100H 素子を使用した 1cm 線量当量の測定において、線量マッピングを作成した。その結果、300kV, 100 μ A, 10 分で 2.5mSv ~ 70mSv であった。

【エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究】

本分担研究はエックス線スペクトロメータ等を用いてエックス線装置からの漏えい線量率

分布及びエックス線エネルギー分布の測定を実施し、得られた結果をエックス線装置の安全管理に係る教育・講習内容の資料として提供することを目的とする。

令和6年度は次年度以降のエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備を中心に実施した。エックス線スペクトロメータとして選定したEMF123-0型CdTe放射線検出器(EMF社製)は標準場での照射試験及び現場測定から得られるエックス線スペクトルは概ね妥当と判断できた。これより本スペクトロメータを用いると、5~400keVまで幅広いエネルギー範囲かつ100mSv/h程度の高線量率下での光子エネルギー分布の測定が可能と見込まれる。また、エックス線スペクトロメータや電離箱式サーベイメータでは難しい二次元線量分布もガフクロミックフィルムにより定量的に解析する手法を開発した。よって、エックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備を概ね完了することができた。

【エックス線装置からの漏えい線量測定を可能とする小型ガラス線量計の応答に関する検討】

本分担研究では、小型ガラス線量計に対し、エックス線装置からの漏えい線量モニタリング用線量計として使用可能か、基礎特性であるエネルギー応答及び角度分布特性を基準照射により評価した。評価の対象としたガラス線量計素子は、研究代表者が以前より用いていた2種類(GD-302M及びGD-352M)を採用し、線量計応答はISO4037-3:2019の記述に従って評価した。2種類のガラス線量計は、それぞれ1cm線量当量、3mm線量当量、及び70 μ m線量当量の単位に対し、基準線量によって応答を評価した。その結果、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352Mのエネルギー応答特性については、20keV以上から¹³⁷Cs γ 線の662keVまで非常に広いエネルギー範囲でIECの規格要件で示された基準値(エネルギー依存試験で得られた線量計レスポンスに対し0.71~1.67)に入っていることが確認できた。一方のGD-302Mについては、80keV以上のエックス線から¹³⁷Cs γ 線の662keVまで0.71~1.67に入っている一方、80keV以下の低エネルギーエックス線に対して、5倍以上線量を過大に応答するエネルギーがあることが明らかとなった。

【製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育のあり方に関する検討】

本分担研究では、主任者及びエックス線装置を使用して作業を行う労働者が、安全衛生に関する継続的な能力向上に資する教育・講習パッケージの開発に先んじて、主任者の教育・講習にはどのような教科がどの程度必要か、主任者以外の労働者、特に放射線業務従事者ではないが、エックス線装置を使用する労働者は一定数おり、事業者が彼らに対しどのような安全衛生教育をどの程度施すべきか検討を行った。

検討の結果、(a)エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて、現行の透過写真撮影の業務に従事する主任者及び放射線業務従事者に対しては、従前と同様の教育内容・時間が確保されるべきと提案する。同時に、被ばくの恐れがほとんどない作

業を行う労働者に対しては、当該作業者の安全な業務実施のために有効な教育内容に対して、4時間30分の教育・講習は却って長時間であろう。教育・講習内容をより平易なものとして、短時間な教育・講習を行うことを提案する。併せて、エックス線装置を用いるが、撮影業務ではなく、管理区域内で作業は行いが、被ばくの恐れはそこまで大きくない考慮される労働者については、撮影業務に関する項目を除いて実施する形を提案する。

(b) 安全教育の頻度について、製造業、非破壊検査業における事業場での教育の頻度について、特に関係法令についてはリマインドの意味でも毎年教育・講習を受ける機会があることが望ましい。その他の項目についても実施されることが望ましいが、現状の労働者の負担感も小さく、継続的に行えるような施策が良い。

(c) 教育・講習のカテゴリについて、一律で画一的な教育を、事業場の大きさを考慮せずに当てはめるのは、教育・講習の労働者への定着度の観点から望ましいといえない。エックス線被ばくの可能性に応じて、教育・講習の内容及び時間を考慮し、必要な教育を必要なだけ提供できる環境が整備されることが望ましい。また、建設業における職長・安全衛生責任者を教育する講師に対する講師養成研修のように、電離則におけるエックス線を利用する労働者に対しても、主任者等への能力向上教育の講師として活動するために求められる教育・講習が実施されることは有効であろう。

研究分担者

飯本 武志 国立大学法人東京大学 教授

榎本 敦 国立大学法人東京大学大学院医学系研究科 疾患生命工学センター 放射線分子医学部門 講師

赤平 理紗 国立大学法人東京大学 助教

小田 啓二 国立大学法人神戸大学 名誉教授

片岡 憲昭 東京都立産業技術研究センター 計測分析技術グループ 副主任研究員)

五十嵐 悠 国立大学法人東京大学 大学院医学研究科・医学部環境安全管理室 特任助教

辻 智也 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 技術員

研究協力者

橋本 周 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全・核セキュリティ統括本部 安全管理部 技術主席

A. 研究目的

本研究事業は、製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者（以下、「主任者」という。）を選任する事業場において、安全衛生に係る能力向上に向けた取組み状況とエックス線作業環境及び放射線防護措置の現状を調査・分析した上で被ばく事故防止及び線量低減に実効性ある教育内容・講習を検討し、事業場への実装に資する。

本研究の背景について、我が国の産業分野における放射線業務のうち、労働安全衛生法（以下、「安衛法」という。）施行令第6条第5号に掲げる作業については、事業者によって電離放射線障害防止規則（以下、「電離則」という。）第46条に定める主任者が選任され、作業管理等がなされている。しかしながら、主任者によって監督されているにもかかわらず被ばく事故が発生しており、例えば2021年5月29日には兵庫県姫路市においてエックス線装置による被ばく事故が発生し、作業者が年間線量限度の数倍から数十倍に及ぶ被ばくをした可能性があるとの報道があった [1]。この被ばく事故を受けて、日本保健物理学会に設置されたエックス線被ばく事故検討ワーキンググループ（事故検討WG）では、事業場でのエックス線被ばく事故につながりうる問題点・課題の一つとして、主任者の能力向上に関する教育の重要性が指摘されている [2]。主任者の能力向上を図るための教育、講習等を受講させることは、安衛法第19条の2で事業者の責務として規定されている。しかしながら、作業員の被ばく事故回避及び被ばく線量低減に関する教育・能力向上に係る講習については改善の余地がある。

本研究事業は3か年を予定しており、確

実に最終目標を達成するために、以下の3つのサブテーマ（調査①、調査②及び開発③）を設定し、各テーマで進捗管理しつつ遂行するものである。

調査①:主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査

調査②:エックス線場の特徴の把握(漏えい線量率測定及び被ばく線量評価)

開発③:主任者及び作業員に対する効果的な教育・講習パッケージの開発

調査①及び②は並行して進め、それらを開発③に反映させる形で集約する。

調査①:主任者等の能力向上に向けた取組み状況調査

主任者及び作業員を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた取組み及び放射線防護対策措置の現状は、主任者を選任している事業場を対象として、アンケート調査及びその結果で選定した事業場での現地ヒアリング調査により把握する。

調査②:エックス線場の特徴の把握(漏えい線量率測定及び被ばく線量評価)

事業場での主任者等へ提供される教育・講習には、被ばく事件事例からの教訓に加え、事故回避に資する注意喚起及び放射線防護対策を促すような内容が含まれていることが求められる。そのため、製造業、非破壊検査業の事業場で使用されるエックス線装置の特徴を把握することが不可欠である。そこで、上記アンケート調査を通じて協力が得られた事業場数箇所で、研究班において整備を進めている CdTe 検出器、小型ガラス線量計素子等を用い、エックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネ

ルギー分布を測定する。また、これらのデータを用いて想定される事故時の皮膚吸収線量を計算シミュレーションで評価する。

開発③:効果的な教育・講習パッケージ開発

アンケート調査及び関連法令等制度調査結果を参考にし、「特別の教育」を視野に入れた制度設計を進める。教育・講習内容に係る制度設計は、国際原子力機関 (IAEA) が提唱する、いわゆる「グレーデッドアプローチ手法」を適用する。具体的には、多種多様なエックス線装置・作業に対応できるよう、安全教育の科目を事業場の事情に応じて自由に選択でき、主任者・作業者向けでそれぞれ内容を選択できる等、多くの事業場で実施可能で、実効性が高く、かつ導入負荷が小さいものを目指すものである。

B. 研究方法

本研究事業初年度の令和6年度は、A. 研究目的に示したサブテーマにしたがって以下に示す分担研究を進めた。

調査①:主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査

【非破壊検査業・製造業におけるエックス線作業主任者等の安全教育に係るアンケート調査の実施】

【放射線取扱主任者定期講習から学ぶエックス線作業主任者教育への展開】

【産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育等の取組み事例に関する調査】

製造業、非破壊検査業における主任者及び作業者を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた取組み及び放射線防護対策措

置の現状について、主任者を選任している事業場を対象としてアンケートを行った。アンケートでは、現場の意見をできるだけ吸い上げるよう質問項目を精査した。また、アンケートでは、主任者と作業者等に分けて、回答を求める項目を設定した。

アンケート調査と並行して、放射性同位元素等の規制に関する法律 (以下、「RI 規制法」という。) における放射線取扱主任者の位置づけ及び教育訓練について調査した。

本研究事業着手後、国連加盟各国における産業用エックス線装置利用に関する規制、特に主任者という法令上の職位の有無、及び主任者及び作業者に対する教育・講習の法令上の規定に伴う定期講習等の取組み事例について、IAEA 放射線安全・モニタリングセクションにおいて直接聞き取り調査を行った。併せて、当該分担研究で実施するオンラインアンケートへの協力を依頼するとともに、国連加盟各国における規制当局担当者に対するオンラインアンケートを行うための準備を進めた。

調査②:エックス線場の特徴の把握(漏えい線量率測定及び被ばく線量評価)

【大型 X 線 CT 装置内に人が立ち立った場合を想定した線量測定】

【エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究】

【エックス線装置からの漏えい線量測定を可能とする小型ガラス線量計の応答に関する検討】

調査②のエックス線場の特徴の把握については、研究期間3カ年で、主任者を選任している事業場の数箇所において、X線スペクトロメータ、電離箱式サーベイメータ等を

用いてエックス線装置からの漏えいエックス線及びエックス線装置での被ばく事故時に想定されるエックス線の線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定し、得られた結果をエックス線装置の安全管理に係る教育・講習内容の資料として提供するところまで行う。

研究事業1年目である令和6年度はエックス線装置からの漏えい線量率測定について、芝 IT コントロールシステム株式会社製の大型 X 線 CT 装置 TXS-34500FD HS のマイクロフォーカス管 (300kV) を使用して被ばく線量を測定した。

エックス線エネルギー分布測定のため、分担研究者らが整備済みの EMF 社製 X-123 CdTe X 線スペクトル測定装置について、測定可能なエネルギー範囲及び適切なコリメータの検討を進めた。さらに、エックス線漏えい線量率について、二次元線量率分布測定手法についても検討した。さらに、エックス線製造業者における模擬測定を通じた、事業場におけるエックス線装置からの漏えい線量率測定実験に係る課題を抽出した。

エックス線装置からの漏えい線量測定に資するため、受動型線量計の使用を検討した。評価に用いたガラス線量計素子は、AGC 旭硝子社製 GD-302M 及び GD-352M であり、小型軽量なガラス線量計素子を、対象となるエックス線装置の各所に貼り付けて利用する際の基本的な特性であるエネルギー応答特性及び角度応答特性について評価した。

開発③:主任者及び作業員に対する効果的な教育・講習パッケージの開発

【製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育のあり方に関する検討】

研究事業初年度である令和6年度は、主任者及び作業員に対する効果的な教育・講習パッケージ開発に着手する前に、主任者及びエックス線装置使用者に対する安全教育について検討した。特に、当該分担研究における検討では、安衛法で定められた労働安全教育全般を材料とし、中央労働災害防止協会等一般財団法人、企業等が提供する安全衛生教育の具体例を参考とし、時間数や内容について評価した。検討では、本研究事業で令和6年度実施したアンケート調査における、特別の教育の内容、頻度、及び満足度を参考にし、自由記述で記載された内容も視野に入れる。さらに、エックス線装置メーカーにおける開発者らより直接現状についてヒアリングを行い、安全教育の現状についての意見を参考にした。また、日本保健物理学会専門研究会において、日本検査機器工業会(JIMA)会長等外部有識者を招へいし、主任者のみならずエックス線を使用する労働者等への安全教育等について意見交換を行った。

C. 研究及び調査結果

本研究事業初年度の令和6年度に実施した分担研究における結果について、分担研究毎に示す。

調査①:主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査

【非破壊検査業・製造業におけるエックス線作業主任者等の安全教育に係るアンケート調査の実施】

製造業、非破壊検査業の主任者等に対して、能力向上に資する教育が各事業場においてどのように行われているのかの実態を把握することを目的に、アンケートを実施

した。アンケートでは、各事業所における安全教育に加え、エックス線作業時に行われる放射線安全対策についても調査した。以上のアンケート送付先は、製造業、非破壊検査業の主任者等に確実に届くことを考慮し、正会員199社を擁する日本非破壊検査工業会（以下、「JANDT」とする。）の協力を得た。アンケートはJANDTのメーリングリストを経由して行われ、回答期間は令和6年10月18日から令和7年1月18日の3か月であった。

アンケートの有効回答は202件であり、作業者は38件、主任者等は164件であった。回答に要した時間は、主任者等で平均16分7秒、作業者で平均6分38秒であった。

【放射線取扱主任者定期講習から学ぶエックス線作業主任者教育への展開】

（1）放射線取扱主任者定期講習の概要

第一種放射線取扱主任者定期講習を実施している登録機関は、日本アイソトープ協会、原子力安全技術センター、電子科学研究所、日本診療放射線技士会の4つが知られている [3-6]。いずれの機関においても許可届出使用者に対する教育項目は法律で定められた「法に関する科目」、「放射線発生装置および放射性同位元素等の取扱および使用施設等における安全管理」、「放射線発生装置および放射性同位元素等の取扱に関する事故」であり、教育訓練に係る時間数は1科目当たり1時間～2時間程度で総時間数は4～5時間であった。またいくつかの機関では課目毎あるいは講習の最後に討論の時間

（20分～60分程度）が設定されていた。実施形態は対面又はオンライン形式で、年3回から多いところで13回実施されていた。

（2）定期講習の各課目の内容について

「法に関する課目」では法令改正の概要、危険時の措置や防護のために講ずべき措置等について、定義や解釈および注意点についての解説が含まれている。また、放射線取扱主任者の実務に必要な記録・記帳や届出・廃止措置等に関する知識や注意点なども扱われている。「安全管理に関する課目」では、放射線管理の目的、密封・非密封線源の使用状況、施設の特徴や安全取扱について、分野別・利用用途別に解説があった。特によく利用されている装置や使用例、例えば非破壊検査装置を用いた放射線透過試験などを挙げ、操作方法や使用時の確認事項・注意点などの説明があった。「事故に関する課目」では、最近の事故等発生状況や具体的な事故・トラブル例を多く例示しながら、通報・報告手順について説明があった。事故時の対応については、グループディスカッションの時間が設けられており、事業所として取るべき行動（初期対応、緊急連絡網による連絡や情報公開等）や必要な措置（被ばく防止や汚染拡大防止等）について各自が発表を行った。

（3）講習の内容を深めるための工夫

多くの定期講習実施機関において、討論の時間が設けられており、双方向性を保つ工夫が見られた。グループディスカッションでは、グループ内で討論するだけではなく、テーマ毎にグループ代表者が討論結果や共通する課題を発表し、受講生全体が共有できるようになっていた。

【産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育等の取組み事例に関する調査】

当該分担研究において準備中のアンケート調査の準備状況を以下に示す。

1. オンラインアンケートフォームの作成
オンラインアンケートでは国連加盟各国の制度設計を正確に回答してもらうため、回答者を

- ・ IAEA に加盟している国・地域
 - ・ 各国 2~3 名の専門家
- と想定し、設問を
- ・ 多肢選択式
 - ・ 回答所要時間 5~10 分程度
 - ・ 質問数 30 問程度
- とした。また、設問の構成は
- ・ Information of respondent
 - ・ Regulations of X-ray
 - ・ Initial education and training for X-ray radiation workers
 - ・ Periodic education and training for X-ray radiation workers
 - ・ X-ray safety supervisor without national license

・ International Perspectives
の 6 セクションとし、各国の教育制度の有無、教育対象者や内容、時間数など尋ねる内容を検討している。作成したアンケートフォーム案は IAEA 及び韓国規制当局等への訪問時に先方の専門家へ提示し、内容について概ね理解が得られた。上記の、IAEA における本調査への協力依頼及び韓国規制当局における現地での放射線・エックス線規制、特に放射線安全教育の時間等についての調査は、D. 考察で詳述する。

調査②: エックス線場の特徴の把握(漏えい線量率測定及び被ばく線量評価)

【大型 X 線 CT 装置内に人が立ち入った場合を想定した線量測定】

(1) エックス線スペクトル測定

本研究事業において採用する小型エックス線スペクトル測定装置 CdTe 半導体検出器 (EMF 社製 X-123 CdTe X 線スペクトル測定装置) を用いて、東芝 IT コントロールシステム株式会社製大型 X 線 CT 装置 TXS-34500FD HS からのエックス線スペクトル測定を試みた。結果は分担研究報告書に詳述する。エックス線開放管型の X 線 CT 装置においてもフィルターを使用しない時に 8 keV-10 keV においてタングステンフィラメントから発生する L-X 線が観測されている。

(2) EBT-4 による直接線の線量測定

ガフクロミックフィルム EBT-4 を照射し、大型 X 線 CT 装置からの直接線の測定を行った。測定結果は分担報告書に詳述するが、フィルターを使用していない条件で照射したエックス線を測定した影響により、8 keV-10 keV においてタングステンフィラメントから発生する L-X 線の影響を受け、直接線の線量は非常に高かった。

(3) TLD-100H による線量測定

熱ルミネセンス線量計 TLD-100H をエックス線管球から照射野に対して多数配置し、線量等高線を作成した。TLD-100H 素子は線源となるエックス線管球に対し、アルミニウム板を介してばく露を受けている。そのため、上記の測定で観測された 8 keV-10 keV の L-X は除去され、高くとも数十 mGy 程度の線量が得られた。しかしながら、線源から離れた位置であっても数分のばく露で数 mGy の線量を受けることがわかり、インターロックを解除し、人がボックス内にいる状態で使用するには高すぎる線量であった。

【エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究】

・エックス線漏えい線量率等測定機器の選定

当該分担研究においては、測定対象となりうるエックス線装置では、被写体が軽元素で構成される有機物を撮影する食品検査装置は 20 keV 程度のエネルギーを持つエックス線が使用されるのに対し、被写体が金属であることや被写体が大きくなる配管や構造物検査には 120 keV から 450 keV 程度のエネルギーを持つエックス線が使用されている。本分担研究の遂行には幅広いエネルギー領域で測定する必要があるため、エックス線スペクトロメータとして EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 (EMF 社製) を選定した。また、線量当量率のモニタリングには、電離箱式サーベイメータを用いることが事業場での測定に近いこと、デジタル表示で可読性が高いこと、メモリ内蔵型で測定値の記録が測定器単体で完結することから、ICS-1323 (アロカ社製) を選定した。

・コリメータの検討

コリメータは整備済みの EMF123-1 型コリメータセットを使用することとした。通常のエックス線装置の測定には前に穴径 0.8mm、後に穴径 0.2mm の 2 つの円板を組み合わせたことをメーカーは推奨している。コリメートすることで計数率は 1/1100 に低下することが確認できた。さらに、穴径 0.4mm と穴径 0.2mm の円板を組み合わせた場合は穴径 0.8mm と穴径 0.2mm の組み合わせに比べて 1/4 に低下し、穴径 0.4mm と穴径 0.1mm の組み合わせでは穴径 0.4mm と穴径 0.2mm に比べて 1/4 になることから、穴径の断面積に比例して計数率が低下することが確認された。

・二次元線量分布測定手法の検討

日本原子力研究開発機構原子力科学研究所放射線標準施設棟 (JAEA-FRS) に設置された軟 X 線発生装置 (エクスロン社製 MG165/4.5) を使用し、管電圧 100kV、管電流 16mA、照射距離 32cm の条件でガフクロミックフィルムにエックス線照射を行った。照射後のガフクロミックフィルムをスキャンして黒化度の差異をデジタル画像として評価することとした。手法と結果は分担研究報告書で詳述する。

・模擬測定での課題抽出

株式会社島津製作所 本社・三条工場において、実際にエックス線スペクトロメータの設置や電離箱式サーベイメータを用いた模擬サーベイを行う模擬測定を実施した。

事前準備の段階では測定するエックス線装置は全高が高いと想定し、エックス線スペクトロメータは三脚に固定することが必要と考えた。コリメータ専用治具は三脚への固定が可能であるため、測定する線量率に関係なくコリメータ専用治具にエックス線スペクトロメータを取り付けることとした。また、エックス線スペクトロメータと電離箱式サーベイメータの測定結果を比較するためには精度良く位置決めをする必要があるため、レーザー距離計などを用意した。

現場でのエックス線スペクトロメータの設置はほぼ事前の見積りどおりの時間で円滑に行うことができた。しかしながら、コリメータ専用治具の長さが 5 cm ほどあり、測定する線量率が低い場合には、この方法では対象に十分に近づけることが困難である。また、エックス線装置の近傍には利用可能なコンセントが存在しないこともあることが分かった。さらに、測定にはエックス線スペクトロメータだけでなく、コリメータ専用治具や三脚なども必要であるため、事業

所までの運搬についても課題があった。

【エックス線装置からの漏えい線量測定を可能とする小型ガラス線量計の応答に関する検討】

本研究班で採用する小型ガラス線量計素子2種類（GD-302M及びGD-352M）について、ISO4037-3:2019 [7]の記述に従い、周辺（及び方向性）線量当量単位でのエネルギー応答特性を評価した。2種類のガラス線量計のうち、GD-352Mのエネルギー応答特性については、20 keV以上から662 keVまでの非常に広いエネルギー範囲でIECの規格要件で示された基準値（エネルギー及び角度依存試験で得られた線量計レスポンスに対し0.71～1.67）に入っていることが確認できた。GD-302Mガラス線量計における個人線量当量単位の違いによるエネルギー応答特性については、いずれの線量当量単位に対しても、GD-302Mの相対応答は線質N100（80 keV）より高いエックス線エネルギーに対してIECの要求する基準値内に入っていることが明らかとなった。一方で、線質N100よりも低い値に対しては、相対応答は2倍を超えて大きくなり、1cm線量当量（ $H^*(10)$ ）については、エックス線線質N-20に対する相対応答は5倍を超えている。2種類のガラス線量計における角度分布について、ガラス線量計の種類及び線量当量の単位に関わらず、鉛直方向に設置した場合には、試験対象とした0度から75度まで相対応答がほとんど変化していない一方、水平方向（円筒形ガラス線量計の軸方向を水平にして設置した場合）には照射角度が60度を超えてから応答に差がみられる。GD-302Mについては、線量当量の単位に関わらず、照射角度が75度まで

IECの要求する基準値内には入っている。しかしながら、GD-352Mの相対応答は60度で急激に低下しており、線量当量単位に関わらずIECの要求する基準値の下限である0.71を下回る結果となった。

開発③:効果的な教育・講習パッケージ開発

【製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育のあり方に関する検討】

本研究事業で提示するコンセプトである、教育・講習へのグレーデッドアプローチ手法の採用を検討して、多種多様なエックス線装置・作業に対応できるよう、安全教育の科目を事業場の事情に応じて自由に選択でき、主任者・作業員向けでそれぞれ内容を選択できるような、多くの事業場で実施可能で、実効性が高く、かつ導入負荷が小さい教育・講習パッケージを実現するため、

- (a) エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて
 - (b) 安全教育の頻度について
 - (c) 教育・講習のカテゴリについて
- について検討を進め、令和7年度以降策定する教育・講習パッケージの具体的な内容を検討することにした。

D. 考察

本研究事業初年度の令和6年度に実施した分担研究における考察について、分担研究毎に示す。

調査①:主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査

【非破壊検査業・製造業におけるエックス線作業主任者等の安全教育に係るアンケート調査の実施】

JANDT 会員宛のメーリングリストで得られたアンケート調査結果に基づき以下の課題に従って評価を進めた。

(1) インターロック解除について

エックス線装置のインターロックを解除するかどうかについての質問をおこなったところ、約10% (16件/164名中) で放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除してエックス線作業を行うことがあると回答があった。約10%とはいえ、兵庫県姫路市で発生したエックス線被ばく事故と同様にインターロック解除を行って作業することが分かった。併せて、放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがある16名に対し、インターロックを解除時の対策について問い合わせたところ、7件で特別な対策を行っており、8件は特に実施していないということであった。全体の5%については、安全と言えない状況でエックス線装置のインターロックを解除しており、これについて事業場での改善案が求められるところである。なお、特別な対策を行ってインターロック解除を行っている主任者等へ具体的な措置を聞いたところ、(a) 作業環境のエックス線線量率の常時モニタリング (警報値の設定も含め)、(b) 複数名での作業の徹底、(c) 警報装置の確認の徹底、及び(d) エックス線漏洩対策の実施、が行われている。このような対策についても事業場の主任者等及び作業者に周知される必要がある。

(2) 放射線防護対策措置について

電離則第47条で、事業者がエックス線作業主任者に行わせる事項が挙げられており、主任者は放射線業務従事者の受ける

線量ができるだけ少なくなるように照射条件等を調整すること、及び照射開始前及び照射中、立入禁止の場所に労働者が立ち入らないようすることが求められている。

エックス線機器を扱う作業を行う際の個人線量計装着状況について、主任者等からの回答は、約90% (146件/164件) の主任者等は個人線量計を装着して作業しているとの回答を得た。

非破壊検査業は、放射線室のみならず、屋外や事業場の外で移動式のエックス線機器を使うことも多く、使用の都度に管理区域を設定し、労働者や一般公衆が誤って立ち入らないための措置が講じられている。それに加えて、放射線室でエックス線機器を使用する場合には、作業環境測定により管理区域からの漏えい線量が基準を下回っているかどうかの確認が行われる。本分担研究におけるアンケートでは、エックス線作業を行う際に実施する管理区域内外の漏えいエックス線測定について質問した。その結果、約72% (119件/164件) から測定を実施しているとの回答を得た。アンケートでは、エックス線作業を行う際に、遮へい材など防護のための資器材を使用している/使用させている事業場は約70%に上っている (114件/164件)。この割合には、非破壊検査業に所属するかどうかに関係はなく、多くの事業所で取り組まれている良好事例の一つである。この取り組みが製造業、非破壊検査業の事業場で広まるためには、事業場における具体的な対策の収集・周知が必要である。

(3) 主任者等及び作業者の教育・講習について

アンケートでは、事業場において特別な

教育が実施されているかどうか質問し、約60% (99件/164件) の事業場、または主任者等は特別の教育を実施していると回答している。

エックス線機器の取り扱いに関して、現行の電離則では定期的な教育の受講は義務付けられていないが、事業場でどの程度の頻度で教育・訓練・講習が実施されているかを把握する目的で、どのくらいの頻度で教育を実施しているか回答を求めた。装置を使用するたびに必ず実施、という回答が最も多く(44件)、次いで、年に1回以上、月に1回未満が22件、月に1回以上実施しているという回答が20件と続いた。移動式エックス線機器を使用する事業場においては、現場でエックス線装置を設置して管理区域を設定し非破壊検査を行う等の一連の業務のなかで、労働安全衛生を担保する目的でKY/TBMの実施が定着している事業場もあり、そのような事業場では、業務着手時点でリマインド的な訓練が実施されているのではないかと考慮される。

アンケートでは、教育・講習についてE-ラーニングの形式で行われるのがよいとの意見が散見された。E-ラーニングの教育効果への疑問が持たれているところであり、現行の電離則では、特別の教育について、対面での教育・講習の受講が求められている。受講者が放射線業務従事者でない、リマインド教育である(初学者ではない)等の、一定の条件を満たした労働者への教育については、ある程度の教育効果が見込めるよう、教育コンテンツのみならず、講義の設計等で対応することで、E-ラーニング教育効果への懸念は払しょくできるであろう。

(4) エックス線被ばくに対する意識の

違い

アンケートでは、自身の事業場でのエックス線業務での懸念について質問しており、「作業中にうっかりしてケガをしそうになった、またはケガをしそうな作業員を見かけた」及び「作業中に自身や同僚が被ばくしそうになった」の項目で合計20件回答があった。

具体的にどのような事故が考えられるか、被ばく事象と被災者がどの程度被ばくするか、想定される事例について、記述式での回答を求めたところ、いわゆるうっかり型の被ばく事故を想定していることが明らかとなった。これらは、労働者が複数名透過撮影業務等に従事する際に、「エックス線装置は止まっているだろう」「被撮影物の位置に入るときにはエックス線は出ていないだろう(または、エックス線照射のボタンは押さないだろう)」「こちらの指示はあちらに聞こえているだろう」、というような、思い込みや勘違いによって生じる可能性があると考えられる。

想定される事故事例には、作業員の知識・経験不足によって生じる被ばく事故の可能性を指摘する回答があった。特に、屋外や施設などの現場における非破壊検査の場合、被撮影物へのエックス線照射方向からのエックス線の散乱方向について、どの方向に散乱線が分布するのか、どの程度の距離にいれば被ばくしないのか、等について、十分な知識・経験がない場合、退避先で過剰にエックス線にばく露する可能性がある。また、被ばく事故の想定としては、被撮影物の対象となる溶接部の接合が不十分で、溶接箇所からエックス線が透過してくる懸念がある、との回答もあった。このような状況回避するためにも、作業時における主任者の

監督は重要であると同時に、労働者自身についても散乱線がどのように分布するのか、について教育・講習が行われることが望ましい。

特に看過し得ない回答に、あえて型の被ばく事故想定がある。立入禁止措置を無視する作業員、手順を守らずに作業する作業員には、放射線作業を任せることはできない。しかしながら、実際に起こりえる想定として回答されている。一部の回答では、「被ばくせざるを得ない状況が生じているため、多少の被ばくは仕方がなく、その過程で生じる過誤により過剰被ばく事故が生じる」と解釈できるものもあった。被ばく低減対策が万全に取られることはもとより、主任者の責務として、労働者の被ばくを容認するような作業は早急に改善されるべきである。

【放射線取扱主任者定期講習から学ぶエックス線作業主任者教育への展開】

(1) 定期講習実施形態について

今回調査対象とした放射線取扱主任者定期講習登録機関では定期講習の内容について法律で定められた3つの課目を中心について紹介されていた。例えば、事故に関する課目においては、典型的なエックス線被ばく事故やヒヤリハット事例に関して、自動車免許の講習で見られるような再現やシミュレーションを用いて盲点や注意点を映像で訴えることができればより効果的であろう。さらに講習で討論時間を設けている実施機関もあり、課目毎あるいは講習の最後の時間を使って行われている。受講生の背景も様々であり、業種や事業場毎の特性や慣習もあることから、様々な考えや方法があることを踏まえると、討論の場を設けること

は理解を深めるだけでなく、自身の方法や方向性の妥当性や新しい発見にも繋がる。時間的な制約もあるが、課目毎に実施できれば焦点を絞ってかつ記憶が新しいうちに活発な議論が期待できる。

次に実施形態であるが対面式、オンライン形式またはハイブリットで開催されており、全体としてはオンライン形式が多かった。オンライン形式は遠方の方でも参加出来るメリットがある反面、双方向性がどこまで担保出来るのかは疑問である。実際、ディスカッションや演習の時間においては、対面受講者の方が活発に議論に加わっていった感がある。そのためオンライン形式の場合には別途、ファシリテーターの存在やチャットでの投げかけを頻繁に行う必要がある。

(2) 講習内容を深める工夫について

前述したように討論や演習の時間も設けてディスカッションを行う事は大変有意義で有り、理解を深めるだけでなく、他の事業場の例を参考にすることができる。定期講習実施機関によっては講習内容に関する小テストを課してかつその解説を行っていたところもあるが、双方向性や知識をより広げるといった観点からその効果には疑問が残る。

(3) エックス線作業主任者等に対する教育への展開

現在までのところ、主任者に関しては、選任前や選任後に定期的に講習を受講する規則や能力開発向上のための教育・講習は、組織的には整備されていない。また、主任者免許に関しても一度、取得すれば更新もなく生涯にわたり保持が可能である。一方で、エックス線機器の使用は多岐にわたり、利用技術も日々進化していることやエックス線作業主任者として法令改正の際にはフォロ

アップを行わなければならないことを鑑みると、定期的な能力向上教育や講習の制度化が望まれる。またエックス線装置の使用者への教育に関しても、電離則において「作業の方法」「装置の構造」「放射線の人体影響」「法令」を4.5時間で行うよう定められているものの、その対象は透過写真の撮影を業務とする場合にとどまっている（電離則第52条の5、労働省告示第50号）。そのため透過写真撮影以外で使用する場合や学生にはこれら電離則が定める教育は適用されない。従って、エックス線機器の安全取扱いに関する知識習得や再確認はもちろんのこと、主任者等としての能力・資質向上を図るためにも定期的な教育や訓練は必要である。また教育内容に関しては画一的なものではなく、一部の課目においては産業・用途別や経験年数など段階別に選択が出来ることにより効果的なものとなる。このように主任者及びユーザーに対する教育・講習を体系化することにより、その両輪で事業場の安全文化の醸成を加速することが可能となる。

【産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育等の取組み事例に関する調査】

1. 国際原子力機関(IAEA)への協力要請

国連加盟各国の放射線・エックス線規制当局担当者に対するオンラインアンケート調査への助力を理解と協力を得るためにIAEAを訪問し意見交換した。今後の調査等での進め方について、IAEAが実施している職業放射線防護評価サービス(ORPAS)、医療、産業、研究産業での放射線撮影における職業被ばくに関するデータベース(ISEMIR-IR)に関する情報の提供を受けること、及びアンケートの先行調査

については、ORPASの枠組み及び研究者間の地域ネットワークを通じた実施を行う旨の提案があった。また、IAEAとしても産業用エックス線に関する放射線防護の在り方を国際的により深く議論する必要性を感じており、本研究事業における海外動向調査をその契機とするため、来年度(令和7年)開催されるIAEAの放射線安全基準委員会(RASSC)において、本事業及び産業用エックス線に関する放射線防護の在り方について、我が国から紹介するのはどうかとの提案もあった。RASSCはIAEAが策定する放射線安全に関する基準の作成・審議に関与する委員会であり、IAEA加盟国・地域の専門家によって構成されている。したがって、RASSCにおける本調査の紹介は、本調査のより効率的かつ効果的な実施に繋がるのみならず、今後の産業用エックス線に関する放射線防護の在り方に関する議論のベースとなる可能性を示す、非常に大きな成果が期待できる。

2. 韓国への訪問調査

韓国における放射線に関する制度設計の特徴として、監督官庁及び規制法令の原則一元化が挙げられる。規制法令は原子力安全法、医療分野での利用を除く放射線利用の監督官庁は韓国原子力安全委員会(NSSC)となっている。放射線作業者の教育時間や内容、頻度については、産業用エックス線の作業者を含め同法令で定められており、学生と労働者の身分に関係なく同じ教育体系で管理されている。教育時間数は非破壊検査分野とその他分野で分けられており、非破壊検査分野では基礎教育12時間と現場教育が6時間の計18時間、その他分野は基礎教育が8時間と現場教育が4時間

の計 12 時間となっている。その主な理由として、非破壊検査業における放射線作業は屋外での作業なども想定され、事故時の影響範囲が大きくなることが想定されることから、放射線発生源のリスクに加え使用環境も含めたリスク評価に基づき教育時間数がその他分野よりも長く設定されているためである。基礎教育用の資料は NSSC 傘下の韓国原子力安全財団(KoFONS)が紙ベース版とオンライン版を提供している。現場教育については各所属機関や会社側がそれぞれの状況に即した資料を使用している。教育受講歴は KoFONS が管理する RAWIS システムで管理されており、被ばく歴、健康診断結果、従事している作業分野等の情報も一元的に管理されている。

産業用エックス線装置を設置する際の NSSC への申請、及び放射線安全の管理者に必要な資格並びに教育内容はエックス装置の管電圧に応じて異なっている。我が国における RI 規制法に基づく放射線取扱主任者に相当する職位として、放射線安全責任者がおり、その資格は 2 つに区分されている。非破壊検査分野での責任者となる場合は最上位区分の資格が必要となる。放射線安全責任者は年次教育に加え、3 年に 1 度の定期教育を受講する必要があるとのことであった。産業用エックス線装置を使用する際の管理者の監督範囲は我が国と韓国で大きく異なり、日本では安衛法の範囲では労働者のみの監督を求められるが、韓国の規制法令では放射線作業員としての教育義務も課される学生も監督対象となる。その点から、学生の常時監督の適用について議論となった。

調査②:エックス線場の特徴の把握(漏えい

線量率測定及び被ばく線量評価)

【大型 X 線 CT 装置内に人が立ち入った場合を想定した線量測定】

1cm 線量当量を計算する際に使用される TLD 線量計は 3.2mm×3.2mm×0.89mm である。フィルターを使用していない X 線装置でスペクトルを測定すると 8keV-10keV に最大のピークが表れるが、TLD-100H 線量計を使用すると均一に照射されないため正しい線量が測定できない。特に、斜めから照射される場合、表と裏で読み取り発光量が異なるため極低エネルギー X 線の線量を調査するには困難である。つまり、10keV 以下の X 線が発生するような放射線場で 70 μ m 線量当量を測定するには厚みのある線量計を使用することはできず、フィルムタイプの線量計を使用する必要がある。今回使用した EBT-4 線量計は感光層 25 μ m の上下に 125 μ m のポリエチレンの保護層があるため、70 μ m 線量当量を測定するに適している。少し乱暴ではあるが、X 線は光子であるため線質係数=1、つまり、Gy=Sv として評価する。その場合、本結果からも明らかとなったが、300kV の X 線 CT 装置をフィルターなしで使用する場合、70 μ m 線量当量が 10 秒程度で 1～10Gy に達することに注意する必要がある。また、TLD-100H を使用した 1cm の線量当量においても線質係数=1 として計算し、300kV、100 μ A、10 分で 2.5mSv ～ 70mSv と線量限度を超える可能性もあるような線量となった。X 線の監督者は X 線装置の点検時において線量マッピングを事前に配布し、X 線で事故を起こした場合、非常に高い線量を受けることを周知しなければならない。

【エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究】

・測定可能なエネルギー範囲の検討

エックス線スペクトロメータとして選定した EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 (EMF 社製) の ^{133}Ba 標準場での照射試験において、 ^{133}Ba からの放出ガンマ線の放出割合の文献値とエックス線スペクトロメータの光子フルエンス率から算出される割合は概ね一致しており、測定する光子のエネルギー範囲を 400 keV まで拡張してもエックス線スペクトルの形状は測定可能であると考えられる。しかし、エックス線スペクトロメータで測定された空気カーマ率は基準空気カーマ率に比べて 1.5 倍ほど大きい値となっている。これは通常のエックス線スペクトロメータでの測定では導入されるエネルギーしきい値が 81 keV ガンマ線の存在で導入できないことも影響していると考えられる。そのため、エックス線標準場でのエックス線スペクトロメータを用いた空気カーマ率の測定により、この不一致が ^{133}Ba 標準場に固有の原因かを探ることが望まれる。

・コリメータの検討

通常のエックス線装置の測定でメーカーが推奨している穴径 0.8mm と穴径 0.2mm の 2 つの円板を組み合わせで、コリメートしない場合に比べて 1/1100 の計数率となっており、線量率が 10 mSv/h のエックス線場であれば 10 $\mu\text{Sv/h}$ 相当まで落とすことができるかと期待される。メーカーではインプットレートを 10,000cps で測定するように推奨しているため、穴径 0.8mm と穴径 0.2mm の組み合わせで測定を開始し、インプットレートがメーカー推奨値と比べて高いようであれば穴径が小さいコリメータの組み合わせに変更して再測定する運用を行うこととした。

・二次元線量分布測定手法の検討

照射済みのガフクロミックフィルムの解析手法は確立させることができた。この手法で線量を定量的に読み取るために、基準線量を照射した時にフィルムによらず黒化度が同一であること、異なるエネルギーのエックス線でもフィルムの黒化に影響を与えないことを標準場での照射で確認していく。

・模擬測定での課題抽出

模擬測定では現場での設置は円滑に実施できたことから事前準備の重要性を認識した。測定を行うエックス線装置の大きさや設置環境等の情報を入手し、必要な資機材を準備しておくことが肝となる。

現場においては、エックス線スペクトロメータの設置に 20 分程度、撤収に 10 分程度掛かっており、これに一つの測定ポイントでの測定に 5 分程度、測定ポイントの移動による微調整で 5 分程度は見込まれる。現場測定の時間として 2 時間を確保しても測定は 9 ヶ所程度となることを念頭に測定ポイントを絞り込む必要がある。線量率が低い場合は絞り込んだ測定ポイントの中で優先順位を付けて測定を実施しないと解析に十分な統計数を確保できない場面も予想されるため、電離箱式サーベイメータでの線量率把握が重要になると考えられる。

【エックス線装置からの漏えい線量測定を可能とする小型ガラス線量計の応答に関する検討】

(1) ガラス線量計応答のエネルギー依存性について

スズ製エネルギー補償フィルターが装着されている GD-352M とフィルターが装着されていない GD-302M で応答のエネルギー依存性に大きな違いが生じている。特に、

GD-302M のエネルギー応答特性は、平均エネルギー32 keV の線質 N-40 に対して最大を示しており、ばく露された線量に対して5倍以上過大評価することが分かった。GD-352M で得られたエネルギー応答特性は、特に1cm 周辺線量当量の単位でみるとエックス線線質 N20 (16.3 keV) から S-Cs (662 keV) までの幅広いエネルギー範囲で、IEC の規格用件の範囲内に入っている。3mm 及び 70 μ m 方向性線量当量の単位では、N20 (16.3 keV) に対する相対応答は IEC の規格用件で求められている下限値での 0.71 を下回る結果が得られた。このことから、20 keV 以下の低エネルギー領域のエックス線が支配的となる漏えいエックス線に対する測定でない限り、GD-352M を用いる測定を行うことで、適切な漏えい線量測定が可能であるといえる。

(2) 適切な線量当量を与える校正定数について

本研究班では、ガラス線量計 GD-302M 及び GD-352M を、エックス線装置からの漏えい線量モニタリングに供する線量計として使用可能かの性能評価を進めた。前述のとおり、GD-352M については、特にエネルギー応答特性について、特に、1cm 周辺線量については、試験を行った 16 keV ~ 662 keV の範囲で、IEC の定める基準値の範囲内である 0.71~1.67 に入っていることが分かった。これは、GD-352M の読出し値に対して適切な校正定数を与えることで、エックス線装置からの漏えい線量測定に供することが可能である。

より詳細に GD-352M エネルギー応答特性を見ていくと、3mm 方向性線量当量の応答は、16.3 keV で IEC の要求する基準値の下限を下回るものの、それより高いエネルギ

ーのエックス線に対しては、相対応答が 0.72 から 1.0 の範囲で変化しており、1cm 周辺線量当量と比較してもフラットである。また、70 μ m 個人線量当量については、20 keV 以上のエックス線エネルギーに対して相対応答が 0.78 から 1.0 で変化しており、他の線量当量単位と比較して最も平坦な相対応答を示している。また、本分担研究で測定対象とするのは、産業用エックス線 CT 装置等からの漏えいエックス線であり、管電圧が高電圧でないような装置については、漏えいエックス線のエネルギーも 100 keV 以下であろうと予想される。これらを考慮すると、ガラス線量計 GD-352M をエックス線装置からの漏えいエックス線線量測定に供する場合には、以下の式に示す通り、GD-352M をフリーエア条件で照射して、70 μ m 方向性線量当量の単位で校正されるとより適切な測定が可能である。

開発③:効果的な教育・講習パッケージ開発

【製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育のあり方に関する検討】

(a) エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて

現行の透過写真撮影の業務に従事する主任者及び放射線業務従事者に対しては、従前と同様の教育内容・時間が確保されるべきと提案する。同時に、管理区域が発生しないエックス線装置（工業用三次元 CT 撮影装置等）を適切に使用して、被ばくの恐れがほとんどない作業を行う労働者に対しては、従来の4時間30分の教育・講習では過剰と考えられ、内容をより平易なものとして、時間も短時間な教育・講習を行うことを提案する。また、エックス線装置を用いるが、

撮影業務ではなく、管理区域内で作業を行うが、被ばくの恐れはそこまで大きくない考慮される労働者については、撮影業務に関する教育・講習をのぞいた、(二) エックス線装置の構造及び取扱いの方法、(三) 電離放射線の生体に与える影響、及び(四) 関係法令を網羅する内容の教育・講習が実施されるとよい。以上、製造業、非破壊検査業における主任者及び作業員等において、エックス線被ばくの可能性に応じ、三つのカテゴリに区分し、教育時間を変更することを提案する。

(b) 安全教育の頻度について

本研究事業でメインのターゲットとしているのは、製造業、非破壊検査業における労働者である。非破壊検査業において、放射性同位元素も用いた撮影業務を行っている事業場では、労働者はR I 規制法に基づく放射線業務従事者としても撮影業務を行っており、R I 規制法に基づく毎年の再教育は実施されていると考えられる。また、撮影業務に従事する主任者及び作業員が受講した特別の教育において、関係法令は受講時点でのものとなり、改正された法令について学ぶ機会は別途設けられなければならない。これらを勘案して、製造業、非破壊検査業における事業場での教育の頻度について、特に関係法令についてはリマインドの意味でも毎年教育・講習を受ける機会があることが望ましい。その他の項目についても実施されることが望ましいが、現状の労働者の負担感も小さく、継続的に行えるような施策が適していると思われる。

(c) 教育・講習のカテゴリについて

一律で画一的な教育を、事業場の大きさを考慮せずに当てはめるのは、教育・講習の労働者への定着度の観点から望ましいとい

えず、エックス線被ばくの可能性に応じて、教育・講習の内容及び時間を考慮し、必要な教育を必要なだけ提供できる環境が整備されることが望ましい。また、建設業における職長・安全衛生責任者を教育する講師に対する、講師養成研修のように、電離則におけるエックス線を利用する労働者に対しても、主任者等への能力向上教育の講師として活動するために求められる教育・講習が実施されることは有効であろう。

E. 結論及び今後の課題

本研究事業初年度の令和6年度に実施した分担研究における結論及び今後課題について、分担研究毎に示す。重複を避けるため、主に次年度以降における課題を中心に記載する。詳述は各分担研究報告書を参考とすること。

調査①:主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査

【製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育に係るアンケート調査の実施】

本分担研究では、令和6年度に非破壊検査業に従事する主任者等及び作業員へのアンケート調査を行い、その結果を取りまとめて評価した。アンケートは、製造業、非破壊検査業の主任者等に確実に届くことを考慮し、正会員199社を擁するJANDTの協力のもと、JANDTのメーリングリストを経由して実施した。アンケート調査の回答期間は、令和6年10月18日から令和7年1月18日の3か月で設定した。アンケートの有効回答は202件であり、作業員は38件、主任者等は164件であった。回

答に要した時間は、主任者等で平均16分7秒、作業者で平均6分38秒であった。

アンケート調査結果を受けて、以下の

- (1) インターロック解除について
- (2) 放射線防護対策措置について
- (3) 主任者等及び作業者の教育・講習について
- (4) エックス線被ばくに対する意識の違いについて評価を進めた。

- (1) インターロック解除について

エックス線装置のインターロックを解除するかどうかについての質問への回答では、約10%（16件/164名中）で放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除してエックス線作業を行うことがあるとのことであった。約10%ではあるが、今般発生した事故と同様に、インターロックを解除して点検作業等の業務を行っていることが分かった。

- (2) 放射線防護対策措置について

(a) 線量計の装着状況、(b) 線量率測定、(c) 遮へいのための資機材の利用についてアンケートで聞き取りを行った。エックス線機器を取り扱う際の個人線量計装着状況について、約90%（146件/164件）の主任者等は個人線量計を装着して作業している（又はさせている）との回答を得た。エックス線作業を行う際に、遮へい材など防護のための資器材を使用している／使用させている事業場は約70%に上っている（114件/164件）ことがアンケート調査を通じて明らかとなった。これは、回答者の所属が非破壊検査業かどうかに関係はなく、多くの事業所で取り組まれている良好事例の一つである。この取り組みが製造業、非破壊検査業の事業場で広まるためには、事業場における具体的な対策の収集・周知が必

要である。

- (3) 主任者等及び作業者の教育・講習について

事業場において特別な教育が実施されているかどうか質問したところ、約60%（99件/164件）の事業場、または主任者等は特別の教育を実施していると回答があった。また、事業場でどの程度の頻度で教育・訓練・講習が実施されているかを把握する目的で、どのくらいの頻度で教育を実施しているか回答を求めたところ、OJTも含めて、装置を使用するたびに必ず実施、という回答が最も多く（44件）、次いで、年に1回以上、月に1回未満が22件、月に1回以上実施しているという回答が20件と続いた。月に一回以上教育が行われていると頻回に教育を行っている事業場もあり、ある個人が毎月講義に出席しているとは考えづらいが、教育・講習を受講する機会に恵まれた事業場が存在することが調査で明らかとなった。

- (4) エックス線被ばくに対する意識の違いについて

回答者の属性を①非破壊検査業に従事する主任者等、②それ以外の主任者等、③非破壊検査業に従事する作業員、及び④それ以外の作業員、に分けて回答を検討したところ、(A) 作業員の約53%及び(B) 主任者等で全体の47%は、エックス線被ばく事故の可能性があると考えている。属性に応じた有意差は存在せず、アンケート調査回答者の約半数は、エックス線装置利用時に被ばく事故が起こりうると考えていることが分かった。

本研究課題は令和6年度から開始して初年度を終了した。事業期間3か年における次年度以降実施を検討している課題には、

(1) 事業場におけるヒアリング、及び(2) 開発した教育・講習コンテンツを用いるデモ講義、がある。

(1) について、本分担研究で報告するアンケート調査は対面で行っておらず、メールリストによる web 形式で回答を収集した。研究班において、アンケートを短時間で回答できるよう設問を事前に精査したが、特に、事業場でどのような教育・講習・OJTが行われているのか、具体的な内容を知ることが重要である。今年度行ったアンケートで、研究班が事業場の訪問について質問しており、数件ではあるが事業場訪問について許可を得ている。次年度以降、事業所を訪問し、主任者及び作業員等に対して、実施中のエックス線装置利用に聞き取りを行うとともに、(a) 事業場で具体的な教育・講習の内容についての聞き取り、(b) 今後どのような教育があるとより安全な作業につながるか、(c) これまでにエックス線により被ばくしそうになった（または被ばくさせそうになった）、エックス線装置利用時に負傷しそうになった、等のヒヤリハット事例の収集、及び(d) 事業場で行っている事故防止及び放射線被ばく低減対策事例、について調査・収集する。また、放射線被ばく低減対策では、アンケート調査で防護資機材を使用する・使用させている、という質問を設置したがどのような防護板等を同設置しているか、その他の被ばく低減対策（例として、作業時間管理、遠隔操作によるエックス線源との距離の確保、等）をどのように実施しているか、も聞き取りを行う予定である。

(2) について、本研究事業では開発として行うものであるが、試作した教育・講習コンテンツの有効性の検証が必要であり、事

業場で実地の研修を実施することで、教育・講習の有効性の観点から受講者からの評価を受け、講習の改善に努める。

本研究事業で提案する教育・講習について E-ラーニングの形式で行われるのがよいとの意見が散見されている。受講者が放射線業務従事者でない、リマインド教育である（初学者ではない）等の労働者への教育・講習については、E-ラーニングで対応するほうが良いと考えられる。特に、法改正や法令の解説については、規制当局及び専門家による監修のもと、統一した解釈を周知するほうがよく、その点でも E-ラーニングは非常に有効なツールといえる。また、E-ラーニング教育効果への懸念を払しょくするためにも、ある程度の教育効果が見込めるよう、教育コンテンツの内容、講義の設計等を工夫して対応できるであろう。

【放射線取扱主任者定期講習から学ぶエックス線作業主任者教育への展開】

(1) 放射線取扱主任者定期講習の概要

第一種放射線取扱主任者定期講習を実施している登録機関は、日本アイソトープ協会、原子力安全技術センター、電子科学研究所、日本診療放射線技士の会の4つが知られている [3-6]。教育訓練に係る時間数は1科目当たり1時間～2時間程度で総時間数は4～5時間であった。事故に関する課目においては、典型的なエックス線被ばく事故やヒヤリハット事例に関して、自動車免許の講習で見られるような再現やシミュレーションを用いて盲点や注意点を映像で訴えることができればより効果的であろう。さらに講習時間内に討論時間を設けている実施機関もあり、課目毎あるいは講習の最後の時間を使って行われている。時間的な制約

もあるが、課目毎に実施できれば焦点を絞ってかつ記憶が新しいうちに活発な議論が期待できる。

実施形態であるが対面式、オンライン形式またはハイブリットで開催されており、全体としてはオンライン形式が多かった。オンライン形式は遠方の方でも参加出来るメリットがある反面、双方向性がどこまで担保出来るのかは疑問である。

(2) 定期講習の各課目の内容について

「法に関する課目」では法令改正の概要、危険時の措置や防護のために講ずべき措置等について、定義や解釈および注意点についての解説が含まれている。また、放射線取扱主任者の実務に必要な記録・記帳や届出・廃止措置等に関する知識や注意点なども扱われている。「安全管理に関する課目」では、放射線管理の目的、密封・非密封線源の使用状況、施設の特徴や安全取扱について、分野別・利用用途別に解説があった。各科目の内容については、討論・演習の時間も設けてディスカッションを行う事は大変有意義で有り、理解を深めるだけでなく、他の事業場の例を参考にすることができる。

(3) エックス線作業主任者等に対する教育への展開

現在までのところ、主任者に関しては、選任前や選任後に定期的に講習を受講する規則や能力開発向上のための教育・講習は、組織的には整備されていない。そのため、定期的な能力向上教育や講習の制度化が望まれる。エックス線装置使用者への教育に関しても、電離則において「作業の方法」「装置の構造」「放射線の人体影響」「法令」を4.5時間で行うよう定められているが、その対象は透過写真の撮影を業務とする場合にとどまっている(電離則第52条の5、労働省

告示第50号)。そのため透過写真撮影以外で使用する場合や学生には適用されない。従って、エックス線機器の安全取扱いに関する知識習得や再確認はもちろんのこと、主任者等としての能力・資質向上を図るためにも定期的な教育や訓練は必要である。また、教育内容に関しては画一的なものではなく、一部の課目においては産業・用途別や経験年数など段階別に選択が出来ることより効果的なものとなる。このように主任者及びユーザーに対する教育・講習を体系化することにより、その両輪で事業場の安全文化の醸成を加速することが可能となる。さらに、日頃の管理や法令改正に伴う疑問・質問を受け付けるプラットフォームも必要である。例えば日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会では放射線取扱主任者向けの研修会や年次大会時等に主任者相談コーナーなどを設けている [8]。現場管理者やエックス線作業主任者が気軽に質問や相談を出来るプラットフォームの構築に向けて、国や各業界団体等を交えた仕組み作りが急務となっている。

【産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育等の取組み事例に関する調査】

令和6年度は調査実施に向けた準備としてオンラインアンケートフォームの作成とIAEAへの調査協力要請、韓国への訪問調査を行った。

オンラインアンケートフォームの作成では、多くの国から回答を得られる設問設定をおこない、設問の内容や様式についてIAEAおよび韓国の専門家から概ね理解が得られた。次年度は引き続き修正作業を進めるとともに、ORPASの枠組みおよび研究

者間の地域ネットワークを通じた調査を実施する。

IAEA への調査協力要請では、本調査への理解と協力への合意のみならず、RASSC での紹介という、本調査が産業用エックス線に関する放射線防護の在り方に関する議論のベースとなりうる非常に大きな成果が期待できる提案を受けた。この機会に我が国の現状と課題を各国と共有し、産業用エックス線利用に関する各国の状況を、我が国における教育・訓練パッケージ開発に反映する。

韓国訪問調査では、制度設計の違いと両国それぞれの課題が明らかとなった。また、教育をオンラインでも実施し、教育履歴を共通システムで管理するという先進的な試みの情報も得ることが出来た。引き続き情報交換を継続し、我が国における教育・訓練パッケージ開発への反映可能性を検討する。

調査②:エックス線場の特徴の把握(漏えい線量率測定及び被ばく線量評価)

【大型 X 線 CT 装置内に人が立ち入った場合を想定した線量測定】

令和 6 年度では開放管 X 線装置の X 線スペクトル測定と線量測定を行った。フィルターを使用しない時に $70\mu\text{m}$ 線量当量と 1cm 線量当量を評価した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) X 線装置のフィルターを使用しない場合、タングステンフィラメントから発生する L-X 線 ($8.0\text{-}10\text{keV}$) のピークが最大となる。Cu フィルター 0.1mm を使用することで、このピークはカットされる。
- (2) フィルターを使用せず照射口から $1.7\text{-}3.7\text{cm}$ の距離で 300kV , $100\mu\text{A}$, 40 秒間 X 線を照射した時、皮膚の線量である $70\mu\text{m}$

線量当量が $1.3\text{-}9.5\text{Sv}$ であった。

(3) TLD-100H 素子を使用した 1cm 線量当量の測定において、線量マッピングを作成した。その結果、 300kV , $100\mu\text{A}$, 10 分で $2.5\text{mSv} \sim 70\text{mSv}$ であった。

今後は、野外で実施される非破壊検査 (JIS Z 3104 または JIS Z 3105) の線量マッピングを作成するとともに、ハンドヘルド型 X 線装置と X 線回折装置、蛍光 X 線装置などの線量マッピングを作成する。これによって、X 線取扱主任者並びに X 線の業務従事者の被ばく線量を少なくするような意識改革を教育訓練で実施したい。さらに、本データを誰でも使用できるように、わかりやすく教材にまとめていく予定である。

【エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究】

令和 6 年度は次年度以降のエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備を中心に実施した。

エックス線スペクトロメータとして選定した EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 (EMF 社製) は必要十分な性能を把握していると標準場での照射試験から判断でき、測定で得られるエックス線スペクトルは概ね妥当と判断できる。また、本スペクトロメータを使用することで $5\text{-}400\text{keV}$ までと幅広いエネルギー範囲かつ 100mSv/h 程度の高線量率下での光子エネルギー分布の測定が可能と見込まれる。また、エックス線スペクトロメータや電離箱式サーベイメータでは難しい二次元線量分布もガフクロミックフィルムと開発した手法により定量的に解析することが可能である。これらの状況からエックス線装置からの漏えい線量率分

布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備は概ね完了した。次年度以降は事業場において、エックス線スペクトロメータ、電離箱式サーベイメータ、ガフクロミックフィルムを用いてエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定を実施する。

今後の課題として、さらなる定量化のためにはコリメータを装着したエックス線スペクトロメータの高線量率下での照射試験やガフクロマティックフィルムの校正を行うことが必要であり、それにはエックス線標準場で基準線量率での照射が望ましいことが挙げられる。この課題に対しては日本原子力研究開発機構原子力科学研究所放射線標準施設棟（JAEA-FRS）に整備された軟 X 線発生装置を活用したエックス線標準場の整備を進めることで対応していく。

【エックス線装置からの漏えい線量測定を可能とする小型ガラス線量計の応答に関する検討】

令和6年度に実施した本分担研究では、小型ガラス線量計に対し、エックス線装置からの漏えい線量モニタリング用線量計として使用可能か、基礎特性であるエネルギー応答及び角度分布特性を基準照射により評価した。評価の対象としたガラス線量計素子は、研究代表者が以前より用いていた2種類（GD-302M 及び GD-352M）を採用し、線量計応答は ISO4037-3:2019 の記述に従って評価した。2種類のガラス線量計は、それぞれ 1cm 線量当量、3mm 線量当量、及び 70 μ m 線量当量の単位に対し、基準線量によって応答を評価した。その結果、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352M のエネルギー応答特性については、

20 keV 以上から ^{137}Cs γ 線の 662 keV まで非常に広いエネルギー範囲で IEC の規格要件で示された基準値(エネルギー依存試験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71 ~ 1.67)に入っていることが確認できた。一方の GD-302M については、80 keV 以上のエックス線から ^{137}Cs γ 線の 662 keV まで 0.71 ~ 1.67 に入っている一方、80 keV 以下の低エネルギーエックス線に対して、5 倍以上線量を過大に応答するエネルギーがあることが明らかとなった。

さらに、当該ガラス線量計を実際にエックス線装置からの漏えい線量測定に供する場合の校正定数の設定についても議論した。例えば GD-352M をエックス線装置からの漏えいエックス線線量測定用の線量計として使用する場合、例えば 70 μ m 方向性線量当量の場合では、 1.18 ± 0.06 と設定できる。

本研究課題は今年度開始し、事業期間3か年における2年目以降の課題は以下の点である。

(1) 測定の状況に応じた校正定数の導出

(2) 漏えいエックス線測定手順の確立

(1)について、前掲どおり本研究班で使用するガラス線量計の線量計読出し装置は、 ^{137}Cs の 662 keV ガンマ線校正場で基準照射を行った標準ガラス線量計によって校正されている。ガラス線量計のガラス線量計読出し装置からの読み値は、標準ガラス線量計の照射条件に依存し、必要な線量当量の単位での評価を行う場合には別途校正定数を与える必要がある。

(2)について、エックス線装置からの漏えい線量(率)測定では、エックス線エネルギー

一スペクトル測定及び線量当量(率)測定が求められる。エックス線装置からの漏えい線量(率)測定の手順としては、まず装置からの漏えいエックス線分布を半導体検出器を用いて測定して平均エネルギーを決定し、その後ガラス線量計等の受動型線量計によって積算の線量を求める手法を検討中である。本研究事業の2年目では、エックス線装置からの漏えいエックス線について、半導体検出器によるエックス線フルエンス率測定と同時に、線量(率)測定を試行する計画である。

開発③:効果的な教育・講習パッケージ開発

【製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育のあり方に関する検討】

本研究事業で提示するコンセプトである、教育・講習へのグレーデッドアプローチ手法の採用を検討して、多種多様なエックス線装置・作業に対応できるよう、安全教育の科目を事業場の事情に応じて自由に選択でき、主任者・作業員向けでそれぞれ内容を選択できるような、多くの事業場で実施可能で、実効性が高く、かつ導入負荷が小さい教育・講習パッケージを実現するため、

- (a) エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて
 - (b) 安全教育の頻度について
 - (c) 教育・講習のカテゴリについて
- で考慮した。

今後の検討課題として、(1)主任者等の能力向上に資する教育・講習の内容の検討、及び(2)能力向上に関する継続的な教育実施・受講を担保する建付け、がある。

本研究事業で実施したアンケート調査の結果に従えば、

- ・エックス線使用時の事故事例
- ・法令改正の状況

は教育・講習が定期的実施されることが望ましい。それ以外にも、エックス線装置の使用に関する教育について、メーカー個別の具体的な利用法、あるいは事業場独自の使用についての教育を準備することは困難であるが、ある程度統一した内容の教育コンテンツがあると事業者が別途教育資料等を準備する必要がなく、事業者及び主任者を含めた実務担当者の負担が小さくなると考えられる。このような教育コンテンツがオンラインで共有される、またはEラーニングによりオンデマンドで受講できると利便性が向上する。

能力向上に関する継続的な教育実施・受講を担保する建付けについて、R I 規制法のように再教育を法令で定めることも有効である。R I 規制法では教育訓練に係る記録を定期確認によって確認を行われており、強制力を持って担保されているといえる。継続的な教育の実施については、例えば、土木施工管理技士では、継続教育(CPD: Continuing Professional Development)制度のように生涯にわたる技術向上の指標としての教育・講習受講歴の登録制度があり、国土交通省において公共工事の各発注機関は、競争入札に参加しようとする建設業者についての資格審査を行うよう定められている。CPDSは、各建設業者におけるポイントの平均点として、その建設業者の客観的な技術能力の指標の一つとなっており、競争入札時の加点対象である。教育・講習を継続的に受講させることが、事業者にとって経営に直結する制度設計は参考にすべきであろう。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 榎本 敦、神子 公男、野澤 清和、飯本 武志「研究用エックス線装置の安全管理と課題」放射線生物研究 59(2)(2024)157-164.

2) 榎本 敦 「クリーンベンチ・安全キャビネット内での非密封放射性同位元素で汚染した空気の循環について」保健物理 59(3)(2024)118-123.

2. 学会発表

1) 古渡 意彦、飯本 武志、五十嵐 悠、榎本 敦、片岡 憲昭、辻 智也、橋本 周、小田 啓二、赤平 理紗
「非破壊検査分野等におけるエックス線作業における放射線安全教育に関する専門研究会—活動計画及び現状—」第5回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会

2) 中田よしみ、榎本 敦
「私の施設の規則第20条に係る測定の信頼性確保の様式」令和6年度日本アイソトープ協会年次大会

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

[1]

<https://www.asahi.com/articles/ASP627DVWP62PIHB01M.html> on 13th March 2025.

[2] 五十嵐ら.“日本保健物理学会「エックス線被ばく事故検討WG」活動報告—第1分科会 エックス線利用上の安全規制と現場管理—” Jpn. J. Health Phys., 58 (3), 141 ~ 150 (2023)

[3] 日本アイソトープ協会
<https://www.jrias.or.jp/seminar/cat22/>
access on 15th February 2025.

[4] 原子力安全技術センター
<https://www.nustec.or.jp/teiki/teiki01.html> access on 15th February 2025.

[5] 電子科学研究所
<https://www.esi.or.jp/workshop/workshop05.html> access on 15th February 2025.

[6] 日本診療放射線技士会
<http://www2.jart.jp/activity/teikikousyu.html> access on 15th February 2025.

[7] ISO 4037-3:2019 Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence

[8] 日本アイソトープ協会放射線安全取扱

部会

2025.

<https://www.jrias.or.jp/report/cat3/list.html> access on 15th February

I. 分担研究報告

製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育に係るアンケート調査の実施

研究代表者 古渡 意彦

(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
計測・線量評価部 物理線量評価グループ グループリーダー)

分担研究者：飯本 武志 (国立大学法人東京大学 教授)

分担研究者：榎本 敦 (東京大学大学院医学系研究科 疾患生命工学センター 放射線分子医学部門 講師)

分担研究者：赤平 理紗 (国立大学法人東京大学 助教)

分担研究者：小田 啓二 (国立大学法人神戸大学 名誉教授)

分担研究者：片岡 憲昭 (東京都立産業技術研究センター 計測分析技術グループ 副主任研究員)

分担研究者：五十嵐 悠 (東京大学 大学院医学研究科・医学部環境安全管理室 特任助教)

分担研究者：辻 智也 (国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 技術員)

研究要旨

本分担研究では、製造業、非破壊検査業のエックス線作業主任者（以下、「主任者」という。）及びエックス線装置を利用する労働者（以下、「作業員」という。）を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた取組み及び放射線防護対策措置の現状について、主任者を選任している事業場を対象としたアンケートによる調査を行った。アンケートに先立ち、主任者及び作業員が回答しやすいような項目となるよう、アンケート内容を精査した。アンケートは、非破壊検査事業者が多数加盟する「日本非破壊検査工業会 (JANDT)」の協力を得て、加盟会員宛にメールにより依頼した。アンケート実施期間は、令和6年10月18日から令和7年1月18日の3か月間であり、期間中の有効回答数は202件であった。

アンケートは主任者等から164件、作業員から38件の回答を得た。アンケート結果で特筆すべき点として、(1) 主任者及び作業員の非常に高い個人線量計装着率、(2) 高い教育の受講率と再教育の頻度、(3) 約半数が放射線被ばくの可能性について懸念を示している、等が挙げられる。以下で結果を詳細に示すとともに背景要員等について考察する。

A. 研究目的

本分担研究は、製造業、非破壊検査業のエクソ線作業主任者（以下、「主任者」という。）及びエクソ線装置を利用する労働者（以下、「作業員」という。）を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた取組み及び放射線防護対策措置の現状について、主任者を選任している事業場を対象としたアンケートによる調査を行った。アンケートに先立ち、主任者及び作業員が回答しやすいような項目となるよう、アンケート内容を精査した。アンケートは、非破壊検査事業者が多数加盟する「日本非破壊検査工業会（JANDT）」の協力を得て、加盟会員宛にメールにより依頼した。

本分担研究は、本研究では、確実に年度目標をクリアして最終目標を達成するため、以下の3つのサブテーマ（調査①、調査②及び開発③）を設定し、各テーマで進捗管理しつつ遂行する。

調査①：主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査

調査②：エクソ線場の特徴の把握（漏えい線量率測定及び被ばく線量評価）

開発③：主任者及び作業員に対する効果的な教育・講習パッケージの開発

本分担研究では、調査①：主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査のうち、主任者等に対するアンケートによる調査を実施する。

主任者は、エクソ線装置（医療用又は波高値による定格管電圧が1000kV以上の装置を除く。）を用いる作業などを行う場合は、エクソ線による障害を防止する直接責任者としてエクソ線作業主任者免許を受け

た者のうちから、管理区域ごとにエクソ線作業主任者を選任することが求められている。試験では、電離放射線障害防止規則（以下、「電離則」という。）第五十条で定めるとおり、（1）エクソ線の管理に関する知識、（2）関係法令、（3）エクソ線の測定に関する知識、及び（4）エクソ線の生体に与える影響に関する知識が求められ、第二種放射線取扱主任者免状の交付を受けた者及びガンマ線透過写真撮影作業主任者免許試験に合格した者は、一部試験科目を免除される。

エクソ線またはガンマ線照射装置を用いて行う透過写真撮影業務に従事する者については、事業者は以下の特別の教育を受けさせる義務を負い、教育の合計時間は6時間となる。（電離則第五十二条の五に従う）

[1]

- 一 透過写真の撮影の作業の方法
- 二 エクソ線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法
- 三 電離放射線の生体に与える影響
- 四 関係法令

本分担報告書執筆時点（令和7年3月）では、試験に合格した主任者が、各事業場において主任者としての業務に従事する際に教育は必要なく、また主任者免状取得後に資格維持のための再教育制度はない。また、上記の透過写真撮影業務に従事する者についても、6時間の教育を行って以降の再教育等は求められていない。

労働安全衛生法（以下、「安衛法」という）では、事業者の責務として安全管理者等に対する教育等で、以下のように定めており、主任者に対してもエクソ線作業に従事する者への監督及び安全確保に対する能力の向上を図るための施策を講じることが求め

られている。[2]

(安全管理者等に対する教育等)
 第十九条の二 事業者は、事業場における安全衛生の水準の向上を図るため、安全管理者、衛生管理者、安全衛生推進者、衛生推進者その他労働災害の防止のための業務に従事する者に対し、これらの者が従事する業務に関する能力の向上を図るための教育、講習等を行い、又はこれらを受ける機会を与えるように努めなければならない。

本分担研究では、製造業、非破壊検査業の主任者等に対して、能力向上に資する教育が各事業場においてどのように行われているのかの実態を把握することを目的に、アンケートを実施した。アンケートでは、各事業場における安全教育に加え、エックス線作業時に行われる放射線安全対策についても調査した。

B. 研究方法

研究事業初年度である令和6年度は、調査①では、主任者及び作業者を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた取組み及び放射線防護対策措置の現状について、主任者を選任している事業場を対象としてアンケートを行った。アンケートでは、現場の意見をできるだけ吸い上げるよう、以下の項目について聞くことを考慮した。

- ・使用するエックス線装置と作業内容
- ・事業場での定期的な教育の実施状況(内容、対象、頻度)
- ・継続的な改善の有無
- ・放射線防護対策(線量計装着、場の測定、保護具、遮蔽材の使用、等)

・その他(行政に対する要望、懸念事項、自由意見、等)

アンケートでは、主任者と作業者等に分けて、回答する項目を検討した。アンケートの具体的な項目は以下のとおりである。

F1 あなたの年齢をお答えください。

- 1 20歳未満
- 2 20歳代
- 3 30歳代
- 4 40歳代
- 5 50歳代
- 6 60歳以上
- 7 回答できない

F2 あなたの性別をお答えください。

- 1 女性
- 2 男性
- 3 回答できない
- 4 その他

F3 あなたの現在の職務を教えてください。※複数あてはまる方は、最も中心的なお仕事について教えてください。

- 1 エックス線機器使用者
- 2 機器は直接使用しないがエックス線作業
- 3 エックス線作業主任者
- 4 エックス線機器管理者
- 5 安全管理者または衛生管理者
- 6 中間管理層(課長、職長等)
- 7 経営層(上級管理職、経営者等)
- 8 業界関係者
- 9 その他

アンケートの最初の 3 問で属性を聞いたのち、現在の職務において 1 及び 2 を回答した回答者は、以下の作業員に対するアンケートを回答することとなる。作業員に対する設問は全部で 18 問準備した。

U1 あなたが現在所属している業界を教えてください。※複数あてはまる方は、最も中心的なお仕事について教えてください。

- 1 非破壊検査
- 2 土木・建設（穿孔・骨材・ケーブル確認等）
- 3 製造（自動車、発動機、部品、メッキ、精密機器等）
- 4 分析（微量分析等）
- 5 その他検査（手荷物検査等）
- 6 その他製造（食品、その他製造等）
- 7 政府機関、地方自治体、公共サービス等（公設試験所）
- 8 大学、研究所、教育機関等
- 9 エックス線機器メーカー
- 10 その他

U2 あなたが職場でエックス線機器を使用する際に、主な作業内容としてあてはまるものをすべてお選びください。

- 1 放射線透過撮影
- 2 デジタル撮影
- 3 CT 撮影
- 4 厚さ計

- 5 エックス線光電子分光法（XPS）
- 6 エックス線回折法（XRD）
- 7 蛍光エックス線分析（XRF）
- 8 SEM または TEM
- 9 照射用
- 10 食品検査用
- 11 手荷物検査用
- 12 その他一般検査用
- 13 金属成分・コンクリート内塩分分析用
- 14 その他
- 15 わからない

U3 一定のエックス線業務を行う際、エックス線作業主任者免許を受けた者のうちから、管理区域ごとにエックス線作業主任者を選任することが法令で義務付けられています。ご自身が行うエックス線業務において、あなたの職場ではエックス線作業主任者が選任していますか。

- 1 選任している（自分以外）
- 2 選任している（自分がエックス線作業主任者）
- 3 選任していない
- 4 わからない

U4 あなたが現在職場で使用しているエックス線機器の台数を教えてください。※職場全体ではなく、あなたが普段使用している機器の台数についてのみお答えください。

- 1 0 台（職場に機器がない、または直接機器を管理しない）
- 2 1 台
- 3 2 台

- 4 3台
- 5 4台
- 6 5台以上

U5 エックス線機器（透過写真撮影業務）の取り扱いを行う方には、特別な教育が義務付けられています。あなたはご自身の職場で必要な教育を受講していますか。
※社外で実施している研修は含みません。ご自身の職場で実施している研修についてのみお答えください。

- 1 受講した／受講している
- 2 受講していない
- 3 わからない
- 4 対象ではない

U6 あなたの職場では、ご自身の使用するエックス線機器に関する安全教育は実施されていますか。※社外で実施している研修は含みません。ご自身の職場で実施している研修についてのみお答えください。

- 1 実施している
- 2 実施していない
- 3 わからない
- 4 その他

U7 職場でエックス線機器の取り扱いに関する特別な教育及び安全教育を受講していない方にお伺いします。あなたの職場では、社外で実施しているエックス線機器の研修に参加する機会がありますか。

- 1 機会がある
- 2 機会がない
- 3 わからない

- 4 その他

U8 職場でエックス線機器の取り扱いに関する特別な教育を受講している方にお伺いします。あなたの職場で実施している、エックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練の具体的な内容として、あてはまるものをすべてお選びください。

- 1 透過写真の撮影の作業の方法
- 2 エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法
- 3 電離放射線の生体に与える影響
- 4 関係法令
- 5 社内のエックス線機器の取り扱い方法の訓練
- 6 エックス線機器の異常時の措置
- 7 放射線被ばくとその低減対策
- 8 作業前の KY/TBM について（KY・・・危険予知活動、TBM・・・ツールボックスミーティング いずれも作業開始前に行い事故や負傷を防止する安全衛生活動の一つ）
- 9 その他
- 10 わからない・覚えていない

U9 あなたの職場では、エックス線機器の使用に関する教育をどのくらいの頻度で実施していますか。

- 1 初回に1回のみ
- 2 1年に1回未満
- 3 1年に1回以上、半年に1回未満
- 4 半年に1回以上
- 5 エックス線機器を取り扱う前に毎回必ず実施
- 6 わからない
- 7 その他

U10 エックス線機器の取り扱いに関する教育や研修はご自身の役に立っていると思いますか。または役に立ちそうですか。

- 1 すごく役立っている／役立ちそう
- 2 まあまあ役立っている／役立ちそう
- 3 どちらともいえない
- 4 あまり役立っていない／役立たなそう
- 5 ほとんど役立っていない／役立たなそう
- 6 わからない
- 7 その他

U11 前問で「あまり役立っていない／役立たなそう」または「ほとんど役立っていない／役立たなそう」とお答えの方にお伺いします。現在の教育・研修がどのような内容になると役立ちそうですか。あてはまるものをすべてお選びください。

- 1 もっと平易な内容にしてほしい
- 2 自分の現場に直接関係ある内容にしてほしい
- 3 放射線被ばくがイメージできるようにしてほしい
- 4 内容が基礎的すぎるので専門的にしてほしい
- 5 エックス線機器をわかりやすく説明してほしい
- 6 雑談を減らしてほしい
- 7 講師を変えてほしい
- 8 その他

U12 現在、ご自身の職場でエックス線

機器を扱う業務に懸念事項はありますか。あてはまるものをすべてお選びください。

- 1 具体的にエックス線作業時にどのようなことに気を付ければいかよくわからない
- 2 作業中にうっかりしてケガをしそうになる
- 3 作業中に自身や同僚が被ばくしそうになった
- 4 エックス線機器の操作が面倒である
- 5 社内の手続きが煩雑である
- 6 新しい機器をいきなり使うことになり機能が良くわからない
- 7 エックス線機器に関する安全衛生の取組みがない
- 8 エックス線作業主任者が不在である
- 9 その他
- 10 特になし

U14 ご自身がお使いの機器でエックス線被ばくの可能性はありますか。

- 1 可能性があると思う
- 2 可能性はないと思う
- 3 わからない

U15 エックス線被ばくの可能性があるとお答えの方にお伺いします。被ばくの可能性があると感じる場面について、どのような事象が発生して、その作業者がどの程度被ばくするか、想定される事例をなるべく具体的にご記入ください。例：インターロックを外して装置に手を入れ、気づかずに数分照射され、線量限度を超える被ばく

をする 等

U16 あなたが職場でお使いの엑クス線機器または엑クス線機器が使用される部屋に、엑クス線機器から엑クス線が発生していることを示す「警報装置」は備え付けられていますか。「警報装置」には、엑クス線発生時に点灯する警告灯、パトランプのような表示機器、警報音を発する機器等があります。

- 1 備え付けられている
- 2 被ばくの恐れがないので警報装置は備え付けられていない

- 3 わからない
- 4 その他

U17 엑クス線作業を行う際、あなたは線量計を装着してあなた自身の線量を測定されていますか。

- 1 線量計を装着している
- 2 線量計を装着していない
- 3 線量計はあるが使ったことがない
- 4 線量計はあるが使い方がわからない
- 5 その他

U18 엑クス線作業の際に、ご自身または他の方が管理区域内外の엑クス線の線量を測定していますか。

- 1 測定している
- 2 測定していない
- 3 わからない
- 4 その他

アンケートの最初の3問の属性に関する設問で、現在の職務において3以降と回答した回答者は、以下の主任者に対するアンケートを回答する。設問は全部である。

M1 あなたが現在所属している業界を教えてください。※複数あてはまる方は、最も中心なお仕事について教えてください。

- 1 非破壊検査
- 2 土木・建設（穿孔・骨材・ケーブル確認等）
- 3 製造（自動車、発動機、部品、メッキ、精密機器等）
- 4 分析（微量分析等）
- 5 その他検査（手荷物検査等）
- 6 その他製造（食品、その他製造等）
- 7 政府機関、地方自治体、公共サービス等（公設試験所）
- 8 大学、研究所、教育機関等
- 9 엑クス線機器メーカー
- 10 その他

M2 あなたが職場で管理している엑クス線機器の作業内容として、あてはまるものをすべてお選びください。

- 1 放射線透過撮影
- 2 デジタル撮影
- 3 CT撮影
- 4 厚さ計
- 5 엑クス線光電子分光法（XPS）
- 6 엑クス線回折法（XRD）
- 7 蛍光엑クス線分析（XRF）
- 8 SEMまたはTEM

- 9 照射用
- 10 食品検査用
- 11 手荷物検査用
- 12 その他一般検査用
- 13 金属成分・コンクリート内塩分分析用
- 14 その他
- 15 わからない・覚えていない

M3 あなたの職場には、エックス線機器の作業者が何名程度在籍していますか。

- 1 1～5 名
- 2 6～10 名
- 3 11～20 名
- 4 21～50 名
- 5 51 名以上
- 6 わからない
- 7 その他

M4 あなたが現在職場で管理しているエックス線機器の台数を教えてください。
※職場全体ではなく、あなたが普段管理している機器の台数についてのみお答えください。

- 1 0 台 (職場に機器がない、または直接機器を管理しない)
- 2 1 台
- 3 2 台
- 4 3 台
- 5 4 台
- 6 5 台以上

M6 あなたが職場で主に管理しているエックス線の最大管電圧 (例: 160kV) を教えてください。複数台管理されている場合、

最も使用頻度の高い機器についてお答えください。

M7 あなたが職場で主に管理しているエックス線の最大管電流 (例: 5mA) を教えてください。複数台管理されている場合、最も使用頻度の高い機器についてお答えください。※装置仕様等により回答が難しい場合は、空欄のまま、次へお進みください。

M8 あなたが職場で管理しているエックス線機器の照射方式について、わかる範囲で教えてください。

- 1 連続照射方式
- 2 パルス照射方式
- 3 両方
- 4 わからない

M9 あなたが職場で管理しているエックス線機器の点検作業の頻度を教えてください。

- 1 1 年に 1 回未満
- 2 1 年に 1 回以上、月に 1 回未満
- 3 月に 1 回以上 (簡易点検も含め)
- 4 使用時に毎回
- 5 簡易点検を毎日実施
- 6 わからない
- 7 その他

M10 あなたの職場では、エックス線機器の漏えい線量率は測定していますか。

- 1 測定している
- 2 測定していない
- 3 漏えい線量率は測定しないが、管

理区域設定のたびに測定している

- 4 わからない

M11 エックス線機器の漏えい線量率を測定しているとお答えの方にお伺いします。エックス線機器の漏えい線量率の測定頻度を教えてください。

- 1 年に1回未満
 2 年に1回以上、月に1回未満
 3 月に1回以上
 4 装置を使用するたびに実施
 5 わからない
 6 その他

M12 エックス線機器（透過写真撮影業務）の取り扱いを行う方には、特別な教育が義務付けられています（令和6年10月現在）。あなたの職場では、特別な教育を実施していますか。※社外で実施している研修は含みません。ご自身の職場で実施している研修についてのみお答えください。

- 1 実施している
 2 実施していない
 3 教育の担当ではない
 4 わからない

M13 職場でエックス線機器の取り扱いに関する特別な教育を実施している方にお伺いします。あなたの職場で実施している、エックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練の具体的な内容として、あてはまるものをすべてお選びください。

- 1 透過写真の撮影の作業の方法
 2 エックス線装置又はガンマ線照射

装置の構造及び取扱いの方法

- 3 電離放射線の生体に与える影響
 4 関係法令
 5 社内のエックス線機器の取り扱い方法の訓練
 6 エックス線機器の異常時の措置
 7 放射線被ばくとその低減対策
 8 作業前の KY/TBM について（KY・・・危険予知活動、TBM・・・ツールボックスミーティング いずれも作業開始前に行い事故や負傷を防止する安全衛生活動の一つ）
 9 その他
 10 担当ではないのでわからない

M14 エックス線機器の取り扱いに関する定期的な教育の受講は義務付けられていませんが、あなたの職場では、どのくらいの頻度で教育を実施していますか。※座学か後述の OJT かのいずれかが多い方の頻度でお答えください。

- 1 初回に1回のみ
 2 1年に1回未満
 3 1年に1回以上、半年に1回未満
 4 半年に1回以上
 5 エックス線機器の取り扱いの前に毎回必ず実施
 6 わからない
 7 OJT として実施している（OJT・・・オンザジョブトレーニング 業務内で教育・訓練を行い、実践的に使用方法などを学ぶ）
 8 その他

M15 あなたの職場では、社外で実施しているエックス線機器の研修に業務として

参加することは可能ですか。

- 1 業務として参加可能
- 2 業務外として参加可能
- 3 参加できない
- 4 わからない
- 5 その他

M16 エックス線機器の取り扱い及び安全衛生に関する教育や研修は、ご自身の職務を全うするうえで役に立っていますか。または役立ちそうですか。

- 1 すごく役立っている／役立ちそう
- 2 まあまあ役立っている／役立ちそう
- 3 どちらともいえない
- 4 あまり役立っていない／役立たなそう
- 5 ほとんど役立っていない／役立たなそう
- 6 わからない

M17 前問で「すごく役立っている／役立ちそう」または「まあまあ役立っている／役立ちそう」とお答えの方にお伺いします。どのような点で教育・研修が役立っている／役立ちそうと思いますか。あてはまるものをすべてお選びください。管理者、教育担当の場合は、ご自身が担当される教科・科目での狙いも念頭に置いてお答えください。

- 1 自身のエックス線作業の現場に直接関係ある内容である
- 2 内容がちょうどよくわかりやすい
- 3 エックス線機器がわかりやすく説

明されており、安心して操作できるようになった

- 4 放射線に対する知識が深まり、気を付けるようになった
- 5 放射線被ばくが発生しないよう気を付けられるようになった
- 6 エックス線作業を安全に行えるようになった
- 7 安全衛生への知識が深まり集中しやすい
- 8 講師の先生の説明が上手で自分で部下や同僚に説明する際に参考になる
- 9 スライド資料が見やすく、わかりやすいため、自分の職場で使いやすい
- 10 その他

M18 前問で「あまり役立っていない／役立たなそう」または「ほとんど役立っていない／役立たなそう」とお答えの方にお伺いします。現在の教育・研修がどのような内容になると役立ちそうですか。あてはまるものをすべてお選びください。

- 1 もっと平易な内容にしてほしい
- 2 自分の現場に直接関係ある内容にしてほしい
- 3 内容が基礎的すぎるので専門的にしてほしい
- 4 エックス線機器をわかりやすく説明してほしい
- 5 放射線被ばくがイメージできるようにしてほしい
- 6 雑談を減らして
- 7 講師を変えてほしい
- 8 スライド資料が見づらい、または不十分
- 9 会場がうるさい、講義などに集中

しづらい

10 その他

11 その他

12 特にない

M19_1 あなたの職場でエックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練で、今後あると良いと思われる教育・訓練内容について教えてください。

M19_2 現在、ご自身の職場でエックス線機器を扱う業務の管理を行う上で懸念事項はありますか。あてはまるものをすべてお選びください。

1 具体的にエックス線作業時にどんなことに気を付けさせるようにすればいいかわからない

2 作業中にうっかりしてケガをしそうになった、またはケガをしそうな作業者を見かけた

3 作業中に自身や同僚が被ばくしそうになった

4 エックス線機器の操作が面倒である

5 管理するべきエックス線機器が多すぎて難しい

6 エックス線機器（それに類する法令も）について詳しくないので管理が行き届いているか不安である

7 社内の手続きが煩雑である

8 新しい機器をいきなり使うことになり機能が良くわからない

9 上司（または先輩等）から古い機器を引き継いだけどどのように管理してよいかの引継ぎはなく、使い方がよくわからない

10 社内や部署にエックス線機器に関する安全衛生の取組みがない、または不十分である

M20 その他にエックス線機器を扱う業務の管理を行う上で、懸念事項がおりでしたらなるべく具体的に教えてください。
例：装置が多すぎ、部下や同僚は一人で作業している、自分以外に誰も詳しい人がおらず相談できない、発生装置を修理してほしいがお金がないと言われ工夫をして使っている 等

M21 あなたの職場では、エックス線機器を扱う作業を行う際に個人線量計を装着して作業をしていますか。

1 装着している

2 装着していない

3 わからない

4 その他

M22 前問で個人線量計を装着しているとお答えの方にお伺いします。あなたの職場では、どのような線量計を装着していますか。あてはまるものをすべてお選びください。

1 ルクセルバッジ

2 ガラス線量計

3 TLD

4 その他個人線量計

5 電子式ポケット線量計

6 わからない

7 その他

M23 あなたの職場では、エックス線作業を行う際に管理区域内外の漏えいエック

ス線測定を行っていますか。

- 1 測定している
- 2 測定していない
- 3 わからない

M24 前問でエックス線作業時にエックス線測定を行っている方にお伺いします。実際の測定ではどのような線量計をお使いですか。あてはまるものをすべてお選びください。

- 1 電離箱式サーベイメータ
- 2 NaI シンチレーション式サーベイメータ
- 3 その他サーベイメータ
- 4 その他
- 5 わからない

M25 あなたの職場では、エックス線作業を行う際に、放射線室またはエックス線機器に「警報装置」は備え付けられていますか。「警報装置」には、エックス線発生時に点灯する警告灯、パトランプのような表示機器、警報音を発する機器等があります。

- 1 備え付けられている
- 2 備え付けられていない
- 3 わからない

M26 あなたの職場では、エックス線作業を行う際に、遮へい材など防護のための資器材を使用していますか。または、使用させていますか。

- 1 使用している／使用させている
- 2 使用していない／使用させていない

い

- 3 わからない
- 4 担当ではない
- 5 その他

M27 エックス線作業を行う際に、放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがあります。

- 1 解除することがある
- 2 解除することはない
- 3 わからない
- 4 担当ではない
- 5 その他

M28 放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがある方にお伺いします。インターロックを解除する際に特別な対策は実施されていますか。

- 1 実施している
- 2 実施していない
- 3 わからない
- 4 担当ではない
- 5 その他

M29 特別な対策を実施している場合に、どのような対策を実施されているか差し支えない範囲でなるべく具体的に教えてください。例：複数人で確認作業をしている、線量計で確認している、発生装置に工夫をしている、作業者に線量計を持たせる、安全キー等を持たせる等

M30 ご自身が扱う又は管理している機器でエックス線被ばくの可能性はありますか。危ないと思った事例等も含めて

お考えください。

- 1 可能性があると思う
- 2 可能性はないと思う
- 3 わからない

M31 前問でエックス線被ばくの可能性があるとお答えの方にお伺いします。被ばくの可能性があると感じる場面について、どのような事象が発生して、その作業者がどの程度被ばくするか、想定される事例をなるべく具体的にご記入ください。例：インターロックを外して装置に手を入れ、気づかずに数分照射され、線量限度を超える被ばくをする 等

M32 厚生労働省や行政に対して、エックス線機器取扱い及び安全教育に関する要望はおありでしょうか。要望がおありの方は、なるべく具体的にご記入ください。※特にない場合は、空欄のまま、次へお進みください。

M33 あなたの職場でエックス線機器を用いる現場を見せていただくことは可能でしょうか。

- 1 可能
- 2 不可能
- 3 わからない
- 4 権限がない
- 5 その他

M34 エックス線機器を用いる現場を見せていただける方につきまして、可能でしたらメールアドレスを入力ください。

M35 その他エックス線機器や電離放射線障害防止規則等についてご意見あればご自由にお書きください。

M36 経営層、または衛生管理者の方へお伺いします。今後、厚生労働省よりエックス線作業主任者の安全衛生に係る教育が開催される場合、ご自身またはエックス線作業主任者の参加について興味はありますか。

- 1 興味がある
- 2 興味がない
- 3 わからない
- 4 担当ではない
- 5 その他

以上のアンケート送付先は、製造業、非破壊検査業の主任者等に確実に届くことを考慮し、正会員199社を擁する日本非破壊検査工業会（以下、「JANDT」とする。）の協力を得た。アンケートは JANDT のメーリングリストを経由して行われ、回答期間は令和6年10月18日から令和7年1月18日の3か月であった。

（倫理面への配慮）

本分担研究は、事業場におけるエックス線作業主任者の安全教育に係る調査であり、個人情報取得を伴うものではなく、人権擁護上の配慮等を特に必要としない。

C. 研究結果

本分担研究では、製造業、非破壊検査業の主任者等に対して、能力向上に資する教育が各事業場においてどのように行われているのかの実態を把握することを目的に、ア

アンケートを実施した。アンケートでは、各事業所における安全教育に加え、エックス線作業時に行われる放射線安全対策についても調査した。以上のアンケート送付先は、製造業、非破壊検査業の主任者等に確実に届くことを考慮し、正会員199社を擁する日本非破壊検査工業会（以下、「JANDT」とする。）の協力を得た。アンケートはJANDTのメーリングリストを經由して行われ、回答期間は令和6年10月18日から令和7年1月18日の3か月であった。

アンケートの有効回答は202件であり、作業者は38件、主任者等は164件であった。回答に要した時間は、主任者等で平均16分7秒、作業者で平均6分38秒であった。以下で、作業者及び主任者等からの回答結果を示す。

F1 あなたの年齢をお答えください。

項目	回答数 (N)
20歳未満	0
20歳代	17
30歳代	35
40歳代	66
50歳代	54
60歳以上	27
回答できない	1
無回答	2
全体	202

F2 あなたの性別をお答えください。

項目	回答数 (N)
女性	1
男性	196
回答できない	2
その他	0

無回答	3
全体	202

F3 あなたの現在の職務を教えてください。 ※複数あてはまる方は、最も中心的なお仕事について教えてください。

項目	回答数 (N)
エックス線機器使用者	25
機器は直接使用しないが エックス線作業者	13
エックス線作業主任者	68
エックス線機器管理者	1
安全管理者または衛生管理者	12
中間管理層（課長、職長等）	40
経営層（上級管理職、経営者等）	25
業界関係者	14
その他	4
全体	202

U1 あなたが現在所属している業界を教えてください。 ※複数あてはまる方は、最も中心的なお仕事について教えてください。

項目	回答数 (N)
非破壊検査	27
土木・建設（穿孔・骨材・ケーブル確認等）	0
製造（自動車、発動機、部品、メッキ、精密機器等）	1
分析（微量分析等）	0
その他検査（手荷物）	0

検査等)	
その他製造（食品、 その他製造等）	3
政府機関、地方自治 体、公共サービス等 （公設試験所）	0
大学、研究所、教育 機関等	0
エックス線機器メ ーカー	7
その他	0
全体	38

U2 あなたが職場でエックス線機器を使用する際に、主な作業内容としてあてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
放射線透過撮影	26
デジタル撮影	10
CT 撮影	9
厚さ計	1
エックス線光電子 分光法 (XPS)	1
エックス線回折法 (XRD)	1
蛍光エックス線分 析 (XRF)	7
SEM または TEM	0
照射用	4
食品検査用	0
手荷物検査用	1
その他一般検査用	4
金属成分・コンクリ ート内塩分分析用	1
その他	1
わからない	0

全体	38
----	----

U3 一定のエックス線業務を行う際、エックス線作業主任者免許を受けた者のうちから、管理区域ごとにエックス線作業主任者を選任することが法令で義務付けられています。ご自身が行うエックス線業務において、あなたの職場ではエックス線作業主任者が選任していますか。

* 作業者及び主任者等の回答を合わせたものを記載する。

項目	回答数 (N)
選任している(自分 以外)	88
選任している(自分 がエックス線作業 主任者)	25
選任していない	8
わからない	13
全体	134

U4 あなたが現在職場で使用しているエックス線機器の台数を教えてください。
※職場全体ではなく、あなたが普段使用している機器の台数についてのみお答えください。

項目	回答数 (N)
0 台 (職場に機器が ない、または直接機 器を管理しない)	6
1 台	15
2 台	5
3 台	4
4 台	2
5 台以上	6
全体	38

U5 エックス線機器（透過写真撮影業務）の取り扱いを行う方には、特別な教育が義務付けられています。あなたはご自身の職場で必要な教育を受講していますか。※社外で実施している研修は含みません。ご自身の職場で実施している研修についてのみお答えください。

項目	回答数 (N)
受講した／受講している	28
受講していない	5
わからない	3
対象ではない	2
全体	38

U6 あなたの職場では、ご自身の使用するエックス線機器に関する安全教育は実施されていますか。※社外で実施している研修は含みません。ご自身の職場で実施している研修についてのみお答えください。

項目	回答数 (N)
実施している	29
実施していない	5
わからない	4
その他	0
全体	38

U7 職場でエックス線機器の取り扱いに関する特別な教育及び安全教育を受講していない方にお伺いします。あなたの職場では、社外で実施しているエックス線機器の研修に参加する機会がありますか。

項目	回答数 (N)
機会がある	2
機会がない	1

わからない	0
その他	0
全体	3

U8 職場でエックス線機器の取り扱いに関する特別な教育を受講している方にお伺いします。あなたの職場で実施している、エックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練の具体的な内容として、あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
透過写真の撮影の作業の方法	13
エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法	17
電離放射線の生体に与える影響	21
関係法令	22
社内のエックス線機器の取り扱い方法の訓練	15
エックス線機器の異常時の措置	15
放射線被ばくとその低減対策	21
作業前の KY/TBM について (KY・・・危険予知活動、TBM・・・ツールボックスミーティング) いずれも作業開始前に行い事故や負傷を防止する安全衛生活動の一	10

つ)	
その他	0
わからない・覚えていない	1
無回答	1
全体	28

U9 あなたの職場では、エックス線機器の使用に関する教育をどのくらいの頻度で実施していますか。

項目	回答数 (N)
初回に1回のみ	6
1年に1回未満	2
1年に1回以上、半年に1回未満	15
半年に1回以上	1
エックス線機器を取り扱う前に毎回必ず実施	0
わからない	4
その他	0
全体	28

U10 エックス線機器の取り扱いに関する教育や研修はご自身の役に立っているとご思いますか。または役に立ちそうですか。

項目	回答数 (N)
すごく役立っている／役立ちそう	6
まあまあ役立っている／役立ちそう	2
どちらともいえない	15
あまり役立っていない／役立たなそう	1

ほとんど役立っていない／役立たなそう	0
わからない	4
その他	0
全体	28

U11 前問で「あまり役立っていない／役立たなそう」または「ほとんど役立っていない／役立たなそう」とお答えの方にお伺いします。現在の教育・研修がどのような内容になると役立ちそうですか。あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
もっと平易な内容にしてほしい	1
自分の現場に直接関係ある内容にしてほしい	0
放射線被ばくがイメージできるような内容にしてほしい	0
内容が基礎的すぎるので専門的にしてほしい	0
エックス線機器をわかりやすく説明してほしい	2
雑談を減らしてほしい	0
講師を変えてほしい	0
その他	0
全体	2

U12 現在、ご自身の職場でエックス線

機器を扱う業務に懸念事項はありますか。
あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
具体的にエックス線作業時にどのようなことに気を付けなければいかよくわからない	3
作業中にうっかりしてケガをしそうになる	3
作業中に自身や同僚が被ばくしそうになった	4
エックス線機器の操作が面倒である	3
社内の手続きが煩雑である	4
新しい機器をいきなり使うことになり機能が良くわからない	8
エックス線機器に関する安全衛生の取組みがない	3
エックス線作業主任者が不在である	1
その他	0
特にない	19
無回答	1
全体	38

U14 ご自身がお使いの機器でエックス線被ばくの可能性はありますか。

項目	回答数 (N)
可能性があると思	20

う	
可能性はないと思	17
う	
わからない	1
全体	38

U15 エックス線被ばくの可能性があるとお答えの方にお伺いします。被ばくの可能性があると感じる場面について、どのような事象が発生して、その作業者がどの程度被ばくするか、想定される事例をなるべく具体的にご記入ください。例：インターロックを外して装置に手を入れ、気づかずに数分照射され、線量限度を超える被ばくをする 等

- ・例のように、非定常作業でインターロック外した場合
- ・同じエリアで装置を2台 2チームで作業している場合に 自分の方に照射している場合が有り
- ・インターロックを解除して装置に手を入れる事
- ・ケアレスミス
- ・2人作業で1人がフィルムセットしている途中、もう1人がセット完了したと勘違いして照射スイッチを押して被ばくする。(機器の内外で分かれて作業)
- ・照射音に気づかず線源に近づき被爆する
- ・現場撮影時、立入りを監視するため線量の多い場所だと、撮影回数が多くなると被爆の量がおおきくなる。

(入力ママ)

U16 あなたが職場でお使いのエックス線機器またはエックス線機器が使用される部屋に、エックス線機器からエックス線が

発生していることを示す「警報装置」は備え付けられていますか。「警報装置」には、エックス線発生時に点灯する警告灯、パトランプのような表示機器、警報音を発する機器等があります。

項目	回答数 (N)
備え付けられている	30
被ばくの恐れがないので警報装置は備え付けられていない	4
わからない	3
その他	0
無回答	1
全体	38

U17 エックス線作業を行う際、あなたは線量計を装着してあなた自身の線量を測定されていますか。

項目	回答数 (N)
線量計を装着している	35
線量計を装着していない	3
線量計はあるが使ったことがない	0
線量計はあるが使い方がわからない	0
その他	0
全体	38

U18 エックス線作業の際に、ご自身または他の方が管理区域内外のエックス線の線量を測定していますか。

項目	回答数 (N)

測定している	27
測定していない	6
わからない	5
その他	0
全体	38

以下では主任者等に対するアンケートの回答を示す。

M1 あなたが現在所属している業界を教えてください。※複数あてはまる方は、最も中心なお仕事について教えてください。

項目	回答数 (N)
非破壊検査	130
土木・建設（穿孔・骨材・ケーブル確認等）	4
製造（自動車、発動機、部品、メッキ、精密機器等）	2
分析（微量分析等）	0
その他検査（手荷物検査等）	0
その他製造（食品、その他製造等）	1
政府機関、地方自治体、公共サービス等（公設試験所）	1
大学、研究所、教育機関等	2
エックス線機器メーカー	18
その他	6
全体	164

M2 あなたが職場で管理しているエッ

クス線機器の作業内容として、あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
放射線透過撮影	127
デジタル撮影	49
CT 撮影	23
厚さ計	4
エックス線光電子分光法 (XPS)	1
エックス線回折法 (XRD)	1
蛍光エックス線分析 (XRF)	23
SEM または TEM	1
照射用	10
食品検査用	0
手荷物検査用	5
その他一般検査用	11
金属成分・コンクリート内塩分分析用	2
その他	5
わからない	7
全体	164

M3 あなたの職場には、エックス線機器の作業者が何名程度在籍していますか。

項目	回答数 (N)
1～5 名	32
6～10 名	33
11～20 名	36
21～50 名	27
51 名以上	28
わからない	7
その他	1
全体	164

M4 あなたが現在職場で管理しているエックス線機器の台数を教えてください。
※職場全体ではなく、あなたが普段管理している機器の台数についてのみお答えください。

項目	回答数 (N)
0 台 (職場に機器がない、または直接機器を管理しない)	35
1 台	14
2 台	18
3 台	15
4 台	4
5 台以上	78
全体	164

M6 あなたが職場で主に管理しているエックス線の最大管電圧 (例: 160kV) を教えてください。複数台管理されている場合、最も使用頻度の高い機器についてお答えください。

全体回答数	99 件
項目	管電圧 (kV)
平均	332
標準偏差	885
最小値	0
最大値	9000
中央値	250

M7 あなたが職場で主に管理しているエックス線の最大管電流 (例: 5mA) を教えてください。複数台管理されている場合、最も使用頻度の高い機器についてお答えください。※装置仕様等により回答が難しい場合は、空欄のまま、次へお進みください。

全体回答数	99 件
-------	------

項目	管電流 (mA)
平均	4.2
標準偏差	2.2
最小値	0
最大値	20
中央値	5

M8 あなたが職場で管理しているエックス線機器の照射方式について、わかる範囲で教えてください。

項目	回答数 (N)
連続照射方式	83
パルス照射方式	13
両方	23
わからない	43
無回答	2
全体	164

M9 あなたが職場で管理しているエックス線機器の点検作業の頻度を教えてください。

項目	回答数 (N)
初回に1回のみ	16
1年に1回未満	47
1年に1回以上、半年に1回未満	19
半年に1回以上	44
エックス線機器を取り扱う前に毎回必ず実施	12
わからない	20
その他	6
全体	164

M10 あなたの職場では、エックス線機器の漏えい線量率は測定していますか。

項目	回答数 (N)
測定している	80
測定していない	17
漏えい線量率は測定しないが、管理区域設定のたびに測定している	50
わからない	17
全体	164

M11 エックス線機器の漏えい線量率を測定しているとお答えの方にお伺いします。エックス線機器の漏えい線量率の測定頻度を教えてください。

項目	回答数 (N)
年に1回未満	6
年に1回以上、月に1回未満	22
月に1回以上	20
装置を使用するたびに実施	45
わからない	13
その他	2
無回答	22
全体	130

M12 エックス線機器（透過写真撮影業務）の取り扱いを行う方には、特別な教育が義務付けられています（令和6年10月現在）。あなたの職場では、特別な教育を実施していますか。※社外で実施している研修は含みません。ご自身の職場で実施している研修についてのみお答えください。

項目	回答数 (N)
実施している	99

実施していない	21
教育の担当ではない	27
わからない	17
全体	164

M13 職場でエックス線機器の取り扱いに関する特別な教育を実施している方にお伺いします。あなたの職場で実施している、エックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練の具体的な内容として、あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
透過写真の撮影の作業の方法	67
エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法	74
電離放射線の生体に与える影響	79
関係法令	78
社内のエックス線機器の取り扱い方法の訓練	58
エックス線機器の異常時の措置	58
放射線被ばくとその低減対策	83
作業前の KY/TBM について (KY・・・危険予知活動、TBM・・・ツールボックスミーティング) いずれも作業開始前に行い事故	44

や負傷を防止する安全衛生活動の一つ)	
その他	1
担当ではないのでわからない	7
全体	99

M14 エックス線機器の取り扱いに関する定期的な教育の受講は義務付けられていませんが、あなたの職場では、どのくらいの頻度で教育を実施していますか。※座学か後述の OJT かのいずれか多い方の頻度でお答えください。

項目	回答数 (N)
年に1回未満	6
年に1回以上、月に1回未満	22
月に1回以上	20
装置を使用するたびに実施	45
わからない	13
その他	2
無回答	22
全体	130

M15 あなたの職場では、社外で実施しているエックス線機器の研修に業務として参加することは可能ですか。

項目	回答数 (N)
業務として参加可能	85
業務外として参加可能	6
参加できない	5
わからない	64

その他	4
全体	164

M16 エックス線機器の取り扱い及び安全衛生に関する教育や研修は、ご自身の職務を全うするうえで役に立っていますか。または役立ちそうですか。

項目	回答数 (N)
すごく役立っている／役立ちそう	27
まあまあ役立っている／役立ちそう	43
どちらともいえない	19
あまり役立っていない／役立たなそう	1
ほとんど役立っていない／役立たなそう	1
わからない	8
全体	99

M17 前問で「すごく役立っている／役立ちそう」または「まあまあ役立っている／役立ちそう」とお答えの方にお伺いします。どのような点で教育・研修が役立っている／役立ちそうと思いますか。あてはまるものをすべてお選びください。管理者、教育担当の場合は、ご自身が担当される教科・科目での狙いも念頭に置いてお答えください。

項目	回答数 (N)
自身のエックス線作業の現場に直接関係ある内容であ	28

る	
内容がちょうどよくわかりやすい	7
エックス線機器がわかりやすく説明されており、安心して操作できるようになった	11
放射線に対する知識が深まり、気を付けるようになった	41
放射線被ばくが発生しないよう気を付けられるようになった	38
エックス線作業を安全に行えるようになった	26
安全衛生への知識が深まり集中しやすい	30
講師の先生の説明が上手で自分で部下や同僚に説明する際に参考になる	5
スライド資料が見やすく、わかりやすいため、自分の職場で使いやすい	8
その他	3
無回答	1
全体	70

M18 前問で「あまり役立っていない／役立たなそう」または「ほとんど役立っていない／役立たなそう」とお答えの方にお

伺います。現在の教育・研修がどのような内容になると役立ちそうですか。あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
もっと平易な内容にしてほしい	0
自分の現場に直接関係ある内容にしてほしい	2
内容が基礎的すぎるので専門的にしてほしい	0
エックス線機器をわかりやすく説明してほしい	0
放射線被ばくがイメージできるようにしてほしい	0
雑談を減らして	0
講師を変えてほしい	0
スライド資料が見づらい、または不十分	0
会場がうるさい、講義などに集中しづらい	0
その他	0
全体	2

M19_1 あなたの職場でエックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練で、今後あると良いと思われる教育・訓練内容について教えてください。

- ・法令の改正状況

- ・エックス線装置を使用した作業における事故や被害の例

- ・エックス線使用時のトラブル事例
- ・事故事例は必須 装置の安全装置について

- ・X線源内部の放電で発生する一瞬のX線漏洩が20~30uSv/hの時の考え方

- ・X線装置導入時の労働基準監督署への届け出方法

- ・なし

- ・受動形個人放射線測定器(クイクセルバッジ等)で測定した値はそのまま信用できないので、数mSVの測定結果が認められた場合、エネルギーの値を電話で確認すべきである。使用装置では考えられないくらい低いエネルギーである場合がある。これは測定器のエラーである確率が高く、被ばくしていないのに、被ばくしているとして扱われないために、被ばくに気が付いたら、エネルギーの確認が重要となる。これを教育に取り入れて欲しい。

- ・事故事例

- ・照射室(管理区域)立ち入り時の遵守事項の徹底。

- ・機器の構造 機械が損傷した場合、中の部品が露出した場合などの対応

- ・わからない

- ・事故例に対しての改善策

- ・法令の改正状況

- ・X線装置使用時の事故例 関係法令の改正状況

- ・エックス線機器取扱い時に使用する線量計の校正方法の概要 待機電力による影響について

- ・e-ラーニング

- ・法令の改正がわかりやすくなっていると良い

- ・ 事故事例
- ・ Web での講習
- ・ X線装置の取扱、安全管理
- ・ 電離則の改正状況
- ・ 法令の改正状況
- ・ 事故事例 不適合事例
- ・ 関連法案
- ・ エックス線機器使用時の事故事例
- ・ エックス線関係の法的な手続き、報告など（機械設置届、労基へ電離の報告）
- ・ 上記例示に加えて、事故発生の際の官庁報告フローサンプルの提示
- ・ エックス線装置の機器トラブルの原因と対策について
- ・ 法改正
- ・ 事故例。装置の使用方法確認。関係法令。
- ・ Web で行われるのが良い
- ・ 被ばく低減対策の具体的例
- ・ エックス線装置の使用方法や原理
- ・ 事故例、法令改正状況
- ・ 展示会参加、メーカー訪問で教育を受ける機会を設けてます
- ・ 使用方法の詳細 不具合事例とその対応方法
- ・ 被曝事故の例
- ・ エックス線機器使用時の事故例、法令の改正状況、人体への影響度について
- ・ 事故事例 法改正
- ・ 法令の改正内容
- ・ エックス線機器使用時の事故事例
- ・ 国外含めたエックス線関連の事故例 法令の改正状況 最新エックス線機器 他社の使用機器等
- ・ 最近の X 線機器について 法令を遵守した取り扱い方法の例について。
- ・ エックス線装置の構造、法令に関するビデオ教材
- ・ 照射方向に対し、障害物（鉄板、木材など）からの散乱線の悪影響などあれば教育をしてもらいたい
- ・ コンプライアンスを遵守するためのエックス線作業主任者が管理すべき業務についての教育があるとよい。実際に X 線作業主任者の免許を所持していても、コンプライアンスを遵守できてないことが多くあるかもしれないため。
- ・ X 線の法改正状況と最近の動向。機器の紹介 等。
- ・ γ 線に対する事例や扱いはよくやっているので、X 線の事故事例などはあればいいと思う。（大型の X 線での事故は聞くが、非破壊検査で使うような小さいものの事故はあまり聞かない為）
- ・ エックス線機器使用時の事故事例とその時に取った処置や対応について
- ・ X 線を使用した撮影の一連の流れを搬入～撤収までの流れを動画にまとめた資料 →これから作業に従事する作業員の特別教育の実務的な資料として
- ・ 事故例の紹介
- ・ 法令の改正
- ・ 法令の改正状況
- ・ 「放射線業務従事者」であれば、放射性同位元素使用同様、法律で毎年、教育・訓練を実施すべき。 また、X 線発生装置の購入も届出制とすべき。
- ・ 外部機関によるオンライン教育やシュミレーショントレーニングを取り入れては如何でしょう。 また、安全は全てに優先する思想教育も必要かと。
- ・ 法令改正状況
- ・ エックス線機器の種類
- ・ わからない
- ・ 被曝線量の測定を徹底する

別添 4

- ・各業界向けに合せた使用に関するリスクアセスメント
- ・特になし
- ・法令関係
- ・X線機器使用時の事故例 X線機器使用時のノウハウ
- ・立ち入り禁止区画の設置練習
- ・エックス線機器使用時の事故例
- ・最近のエックス線危機について
- ・被爆線量について
- ・事件事例
- ・法令の改正 事件事例
- ・X線使用時のヒヤリハット体験集の配布
- ・移動可能な工業用エックス線検査装置を使用する際の、具体的な管理区域の設定方法、手順についての解説。
- ・法令教育
(原文ママ)

M19_2 現在、ご自身の職場でエックス線機器を扱う業務の管理を行う上で懸念事項はありますか。あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
具体的にエックス線作業時にどんなことに気を付けさせるようにすればいいかわからない	10
作業中にうっかりしてケガをしそうになった、またはケガをしそうな作業者を見かけた	4
作業中に自身や同僚が被ばくしそうになった	16

エックス線機器の操作が面倒である	4
管理すべきエックス線機器が多すぎて難しい	11
エックス線機器(それに類する法令も)について詳しくないので管理が行き届いているか不安である	19
社内の手続きが煩雑である	7
新しい機器をいきなり使うことになり機能が良くわからない	11
上司(または先輩等)から古い機器を引き継いだけどどのように管理してよいかの引継ぎはなく、使い方がよくわからない	9
社内や部署にエックス線機器に関する安全衛生の取組みがない、または不十分である	15
その他	7
特になし	95
全体	164

M20 その他にエックス線機器を扱う業務の管理を行う上で、懸念事項がごありでしたらなるべく具体的に教えてください。
例：装置が多すぎ、部下や同僚は一人で作

業している、自分以外に誰も詳しい人がおらず相談できない、発生装置を修理してほしいがお金がないと言われ工夫をして使っている 等

- ・エックス線装置や放射線施設の老朽化、予算や収益の観点上、更新や新替えが難しくなってきた
- ・特に無い
- ・作業減少につき、安全管理の費用捻出に苦労している
- ・現状、装置内のみが管理区域の X 線検査装置や X 線 CT 装置は、X 線作業主任者が不要ですが、必要として年 1 回は、X 線漏洩計測とインターロック機能の確認を行うべきと考えます。
- ・破損した X 線装置の状況確認作業が多い。
- ・ない
- ・エックス線装置は、照射線量が多いため短時間で年度の線量限度を超える可能性がある。このため合図の不一致などのヒューマンエラーが原因の被ばくを如何にして物理的な手段を用いて防ぐか。
- ・X 線機器の取扱中は、線量（率）の測定を確実に行う。
- ・装置の廃棄方法
- ・なし
- ・特になし
- ・新しいエックス線装置を買ってほしい。
- ・故障時の修理費用が高額
- ・特になし
- ・会社が検査会社から他業種へシフトしており、放射線に関する知識を持った者が上位職に居ない。又はバカバカしくなり経験者が退職していく。
- ・エックス線という検査方法自体の存在がおかしい。被曝という危険にさらされてま

で検査する意味が分からない

- ・装置の管理を現業部署にて行っているが、古い機器が多く使っていないので、処分をしたいが、処分方法がわからず、保管したままになっている。
- ・装置により警報(ブザー)の鳴るタイミングや警告灯の点灯の様子が異なるため、異なるメーカーの装置を使用する際に被ばくのリスクがある
- ・照射時間を短縮して単時間に連続に使用している
- ・特になし
- ・経験の少ない技術者への技術伝達。
- ・特になし
- ・特になし
- ・法令対応の相談窓口がない
- ・特になし
- ・特になし
- ・放射線作業が減少し作業頻度が少なくなり保守費用の捻出が困難になってきている
- ・特になし
- ・被曝防止の観点から夜間作業になる事が多いため、トラブルが起きた際に対応が遅くなる事が考えられる
- ・発生装置修理して欲しいがお金がないと言われ放置してある
- ・装置の不具合が多いように感じる
- ・放射線を発生する事ができる X 線発生装置は、"危険物"と認識して、安全に使用する必要がある。
- ・特になし
- ・特になし
- ・量が多すぎて管理しきれない
- ・現場作業の際に管理者として法的に居なければならない人員が明確でないため、元請け会社の人が配置されるが、X 線の知識や作業に関係ないので費用が嵩む。

- ・特になし
- ・装置が重たい
- ・基本的に OJT なので、失敗してからわかることも多いので、一通り装置使用時の注意事項など教育してほしい。

- ・なし
- ・装置が重い
- ・機器が重い
- ・立ち入り禁止区域の設定と人払いの実施の必要性の普及
- ・設定した管理区域境界のギリギリ非管理区域側に一般公衆の方がいる状況は法的に良いのだろうか？と疑問がある。

(原文ママ)

M21 あなたの職場では、エックス線機器を扱う作業を行う際に個人線量計を装着して作業をしていますか。

項目	回答数 (N)
装着している	146
装着していない	6
わからない	9
その他	3
全体	164

M22 前問で個人線量計を装着しているとお答えの方にお伺いします。あなたの職場では、どのような線量計を装着していますか。あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
ルクセルバッジ	39
ガラス線量計	62
TLD	13
その他個人線量計	15
電子式ポケット線	67

量計	
わからない	2
その他	10
全体	146

M23 あなたの職場では、エックス線作業を行う際に管理区域内外の漏えいエックス線測定を行っていますか。

項目	回答数 (N)
測定している	119
測定していない	20
わからない	25
全体	164

M24 前問でエックス線作業時にエックス線測定を行っている方にお伺いします。実際の測定ではどのような線量計をお使いですか。あてはまるものをすべてお選びください。

項目	回答数 (N)
電離箱式サーベイメータ	82
NaI シンチレーション式サーベイメータ	22
その他サーベイメータ	29
その他	4
わからない	8
全体	119

M25 あなたの職場では、エックス線作業を行う際に、放射線室またはエックス線機器に「警報装置」は備え付けられていますか。「警報装置」には、エックス線発生時に点灯する警告灯、パトランプのような表

示機器、警報音を発する機器等があります。

項目	回答数 (N)
備え付けられている	124
備え付けられていない	21
わからない	19
全体	164

M26 あなたの職場では、エックス線作業を行う際に、遮へい材など防護のための資器材を使用していますか。または、使用させていますか。

項目	回答数 (N)
使用している／使用させている	114
使用していない／使用させていない	19
わからない	13
担当ではない	10
その他	8
全体	164

M27 エックス線作業を行う際に、放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがありますか。

項目	回答数 (N)
解除することがある	16
解除することはない	80
わからない	37
担当ではない	21
その他	10
全体	164

M28 放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがある方にお伺いします。インターロックを解除する際に特別な対策は実施されていますか。

項目	回答数 (N)
実施している	7
実施していない	8
わからない	1
担当ではない	0
その他	0
全体	16

M29 特別な対策を実施している場合に、どのような対策を実施されているか差し支えのない範囲でなるべく具体的に教えてください。例：複数人で確認作業をしている、線量計で確認している、発生装置に工夫をしている、作業者に線量計を持たせる、安全キー等を持たせる等

- ・線量計で確認している。漏れ量が 1uSv/h を超える場合には、距離を取ったり、部分的に、漏洩対策をする。

- ・キースイッチによる解除。
- ・2人以上の作業とし、各自に線量計を所持させ 遮蔽扉のロックが無いと照射不可としている

- ・複数人で確認、線量計での確認、パトランプでの確認

- ・線量を確認している

(原文ママ)

M30 ご自身が扱う又は管理している機器でエックス線被ばくの可能性はあると思いますか。危ないと思った事例等も含めて

お考えください。

項目	回答数 (N)
可能性があると思う	72
可能性はないと思う	69
わからない	23
全体	164

M31 前問でエックス線被ばくの可能性があるとお答えの方にお伺いします。被ばくの可能性があると感じる場面について、どのような事象が発生して、その作業者がどの程度被ばくするか、想定される事例をなるべく具体的にご記入ください。例：インターロックを外して装置に手を入れ、気づかずに数分照射され、線量限度を超える被ばくをする 等

- ・部外者が屋外の管理区域に入り込んでしまい被ばくする
- ・現場等での使用時に照射開始合図の意思の疎通が合わずに照射
- ・屋外での使用時、管理区域が小さいとき
- ・複数の者で作業中に照射の合図を聞き間違えるなどで、照射中に照射は終わったと勘違いして照射中の場所に入る。この場合、装置から距離が近ければ数分で年間の線量限度を超える可能性がある。
- ・装置セット者とスイッチを押す人が分かれ作業している場合
- ・装置(メーカー)によって警報のタイミングが違うため、照射が終わったと勘違いして、装置に近づき被ばくする
- ・移動しようにおいて、エックス線が出ているのに気付かず接近してしまう
- ・散乱線が多い場合

- ・ほぼ現場での撮影
 - ・屋外作業時にはインターロック等は設置できない。照射する際はお互いに確認不足のため装置近傍にいるのに気づかず照射し被ばくする
 - ・若干離れて照射方向を考慮するだけ
 - ・どのような場合でも被ばくの可能性はゼロにできないので。
 - ・現地作業等(球形タンク建設工事)ではお互いの顔が確認できない状況下での撮影作業でフィルムセット側の人間が照射中にフィルムに近づき過大被ばくする
 - ・対象物が溶接線で隙間からもれる
 - ・野外で携帯型エックス線照射装置にて照射中に照射していることを忘れてしまい対象物に近付き被ばく。(周囲の騒音で個人アラーム計の警報に気付かず)
 - ・照射室ではなく工場、屋外等の管理区域において個人的な勘違い、ヒューマンエラーによる照射中の接近、共同作業者の勘違いによる退避前の照射により数分程度の被ばく。
 - ・照射中に照射装置に接近してしまう
 - ・オープンなエックス線装置であるため使用環境を誤れば被爆する可能性がある。
- インターロックスイッチの異常に気づかない
- ・遮蔽ボックスが完成していない状態で漏洩線測定
 - ・コミュニケーション不足により、照射中に補助者が誤って管理区域に入ってしまう
 - ・装置のスキマから漏れ出る可能性がある
 - ・配管や圧力容器の検査時、照射方向によっては散乱があるため被爆する
 - ・複数人作業による、合図・確認不足による被ばく
 - ・X線操作者が間違えてスイッチを押して

しまい、同作業をしている人が被ばくする恐れはある。

・作業員同士が直接見えない環境において、連絡合図に相違が生じた場合に、エックス線が照射され、気づかずに試験体を透過したエックス線により数 mSv 被ばくをする恐れがある。

・配管溶接部の撮影などの場合、プラントなどの配管が入り組んだ箇所での撮影の場合、全体の検査数量に対して 1 日辺りの撮影枚数と日程のバランスを考えると退避する距離を移動する時間などが充分に取れない場合があるため、少しずつ被曝線量が増加する事になっていると思う。これらはお客様との工程に余裕を持たせられれば改善出来るが、その分費用との兼ね合いも出る為、相談が必要。

・撮影室に人がいるにもかかわらず照射した場合

・発生が停止したと勘違いして近づく

・非破壊検査作業時、現場段取り替え(フィルムの交換等)の際、別の作業員が誤って照射ボタンを押すことで被ばくする可能性がある。

・人がする事であり、「慣れ」、「うっかり」による被ばくの危険性がある。

・問題にならない量を含むのであれば、機器を取り扱っていれば確実に被ばくはすると思われる。比較的多い量の被ばくという意味でも、事故の可能性は常に留意すべきである。質問の意図がわからない。

・壁越しの撮影の際、対面側の人払いが未完了の状態、スイッチを押し、被曝する

・立ち入り禁止措置を無視する第三者に気が付かなかった場合の

・逃げる方向や距離が不十分な為

・照射方向を勘違いして被曝する可能性が

ある

・手順を守らずに作業して線量限度を超える被ばくをする

・照射室外の現場作業で照射中に間違っ管理区域内に立ち入る

・照射開始と終了の合図が騒音で聞こえず、照射中に誤って管理区域に立ち入り被ばくする。

・他人の誤操作

・X 線撮影時にフィルム設置が困難な場合は手でフィルムを抑えたまま撮影することもあるので、被曝線量は医療用並に少ないと思うが被曝の可能性はあると思う。

・狭い部屋で照射するしかできない時

・作業環境により退避する場所がない

・立入禁止区域の設定が不十分で第三者が接近しそうになった。

・照射終了前に近づいてしまう

・現場撮影時、同僚が照射中に誤って発生器に近づく被曝する 現場がうるさくて注意の声が聞こえない

・建築物の床面、壁面を透過させて撮影する場合に、反対側で照射に気づかず被ばくしてしまう可能性がある。

(原文ママ)

M32 厚生労働省や行政に対して、エックス線機器取扱い及び安全教育に関する要望はおありでしょうか。要望がおありの方は、なるべく具体的にご記入ください。※特にない場合は、空欄のまま、次へお進みください。

・取扱者に対する年 1 回の講習会開催を要望します。

・瞬間的な X 線漏洩が 1uSv/h を超えることがある X 線装置の場合の考え方を明確に

示してほしい。

・被ばくに対して、まずエネルギーの確認を行うという認識を安全教育に取り入れて下さい。

・エックス線装置から照射される量及びエネルギーが不明確なところがあるので計算に苦慮している。何らかのデータベースを作成していただければありがたい。

・可搬式蛍光 X 線分析計の届出の際、労基担当官により介錯が分かれることがある。全国で介錯を統一できるように凡例を作って頂きたい。

・国交省主催の放射性物質安全輸送講習会 (RI 輸送コース オンライン) のように、受講料が無料の講習会を開いてほしい。e ラーニング形式だと受講者の都合の良い時間で受講できるのでなお良い。

・必要以上に規制を強化しないで欲しい

・WEB で教育

・会社を空けて参加することが難しいのでリモートで実施いただきたい。無料で誰でも参加できる研修などがあると助かります。

・あるが何も知らない

・安全性が担保されている装置しか使用しておらず、かつ写真撮影業務も全く行っていない等、安全教育の内容と実業務の内容に乖離があり、教育が非効率になっている。現場の実態と安全教育の内容すり合わせを是非検討していただきたい。

・管理区域の設定が不要な X 線装置についても、法律で定期点検を行うように定めて欲しい。

・X 線の取り扱いや作業環境の設定等で安全や人体の影響に対する教育 ※X 線作業員以外の作業員に対する講習会や研修

・今回、e ラーニングでの特別教育でしたが、大都市から遠隔地の業者としてはこういう

形態が費用・時間的な負担も少なく、かつ知識も有する事が出来るので、今後も引き続き開催、補助などがあれば有難いと思います。

・携帯型の放射線測定器について国内で良いものがなくサーモフィッシャー製 RADEYE G10 しかなく、高額で困っています。

・機種に関わりなく X 線機器購入時に設置届していることを明確化 (義務化) すべき。

・現場における X 線作業主任者や管理体制を特定してほしい。簡易蛍光 X 線分析機の使用区域や管理区域が曖昧。ネジなど小さい部品を手で照射口に当てて分析しようとしている場面に出くわし制止したことがある。

・各、労基署で定期的に講習会を行ってほしい。

(原文ママ)

M33 あなたの職場でエックス線機器を用いる現場を見せていただくことは可能でしょうか。

項目	回答数 (N)
可能	16
不可能	40
わからない	33
権限がない	71
その他	4
全体	164

M34 エックス線機器を用いる現場を見せていただける方につきまして、可能でしたらメールアドレスを入力ください。

(記載省略)

M35 その他エックス線機器や電離放射

線障害防止規則等についてご意見あればご自由にお書きください。

- ・管理区域の線量の算定が複雑で照射時間の算定は現実と乖離しているが、実際には稼働時間がまちまちで算定が困難
- ・無し
- ・輸入 X 線装置の信頼性・使用可否の判断
- ・ない
- ・放射性同位元素等の規制に関する法律と電離放射線防止規則の整合性を取って欲しい。例えば健康診断防止規則では 1 年、電離則では半年 と異なる。
- ・ X 線機器等を使用する管理区域では、常時サーベイメータを所持することをルール化する。
- ・電離則と RI 法との法令間の不整合を統一してほしい。例：特殊健康診断
- ・医療以外エックス線自体が不要 作業したくない
- ・被ばく事故防止を目的としての法改正は致し方ないと考えますが、現在の設備のまま適用できる範囲でお願いします。機器の更新が必要となれば対応が非常に困難です。
- ・安全教育など、制定時期が古すぎて現状の実態と乖離が大きい。実態に合わせた見直しをお願いしたい
- ・自社の運用が本当に法令に則っているかの確認、お墨付きが得られる機会がほしい
- ・電離則第 17 条の表現が、非常に解りづらい
- ・ X 線作業主任者の作業そのものに従事していないため意見を持ち合わせていない。
- ・電離放射線障害防止規則と原子力規制委員会所管の法令において、同じ項目でも内容が異なる点が従事者の混乱を招く。
- ・ボックス方のエックス線装置の表面の漏

えい線量率を明確化すべき。

- ・今回問題になっている被ばく事故はエックス線装置の点検時に起こった事故であり、機器側でいくら防護機能を設けても解除されれば同様の事故が発生すると思われます。従って、放射線や機器に関する教育はもとより「安全はなにより優先する」思想を作業者のみならず、経営層に対して徹底する必要があるかと。

・空港手荷物検査装置で X 線装置の照射をしたりする業務やその他工場ラインに組込んだ装置の操作を放射線に関する資格者又は放射線業務従事者でない者が操作する例がある。装置内部に手を入れる場合もあるので規則などでフォローしてほしい。

- ・法令が変わる前の文面が見たい時がある。

WEB では最新版しかない。

- ・なし

(原文ママ)

M36 経営層、または衛生管理者の方へお伺いします。今後、厚生労働省よりエックス線作業主任者の安全衛生に係る教育が開催される場合、ご自身またはエックス線作業主任者の参加について興味はありますか。

項目	回答数 (N)
興味がある	35
興味がない	7
わからない	14
担当ではない	29
その他	1
無回答	5
全体	91

D. 考察

JANDT 会員宛のメーリングリストで得られたアンケート調査結果に基づき以下の課題に従って評価を進めた。

(1) インターロック解除について

本研究事業の契機となったのは、2021年5月に兵庫県姫路市で発生したエックス線被ばく事故である。この事故では、作業者がエックス線装置のインターロックを解除し、エックス線発生が可能な状態のまま点検整備を行っていた [3],[4]。このようにエックス線装置のインターロックを解除するかどうかについての質問をおこなったところ、約10% (16件/164名中) で放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除してエックス線作業を行うことがあると回答があった。約10%とはいえ、兵庫県姫路市で発生したエックス線被ばく事故と同様にインターロック解除を行って作業することが分かった。併せて、放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがある16名に対し、インターロックを解除時の対策について問い合わせたところ、7件で特別な対策を行っており、8件は特に実施していないということであった。全体の5%については、安全と言えない状況でエックス線装置のインターロックを解除しており、これについて事業場での改善案が求められるところである。なお、特別な対策を行ってインターロック解除を行っている主任者等へ具体的な措置を聞いたところ、(a) 作業環境のエックス線線量率の常時モニタリング (警報値の設定も含め)、(b) 複数名での作業の徹底、(c) 警報装置の確認の徹底、及び (d) エックス線漏洩対策の

実施、が行われている。このような対策についても事業場の主任者等及び作業者に周知される必要がある。

(2) 放射線防護対策措置について

電離則第四十七条で、事業者がエックス線作業主任者に行わせる事項が挙げられており、主任者は放射線業務従事者の受ける線量ができるだけ少なくなるように照射条件等を調整すること、及び照射開始前及び照射中、立入禁止の場所に労働者が立ち入らないようすることが求められている。これらの放射線防護対策の実施状況について、主任者等に対し、(a) 線量計の装着状況、(b) 線量率測定、(c) 遮へいのための資機材の利用についてアンケートで聞き取りを行った。

エックス線機器を扱う作業を行う際の個人線量計装着状況について、主任者等からの回答は、約90% (146件/164件) の主任者等は個人線量計を装着して作業しているとの回答を得た。特に非破壊検査業では93%が線量計を装着して作業する (させている) との回答であった。装着する個人線量計は、OSL線量計 (39件)、ガラス線量計 (62件)、TLD線量計 (13件) と受動型個人線量計が中心である一方、電子式ポケット線量計を装着して作業する (作業させる) 主任者等も67件回答があった。電子式ポケット線量計の中には、エックス線機器の発生するエネルギー領域での応答が過小となるモデルもあり、原子力施設・放射線施設用に設計された電子式ポケット線量計において、過小評価が顕著にみられる [5]。エックス線機器を利用する事業場で用いるポケット線量計については、エネルギー応答が適正なモデルを利用することが求めら

れる。

非破壊検査業は、放射線室のみならず、屋外や事業場の外で移動式のエックス線機器を使うことも多く、使用の都度に管理区域を設定し、労働者や一般公衆が誤って立ち入らないための措置が講じられている。それに加えて、放射線室でエックス線機器を使用する場合には、作業環境測定により管理区域からの漏えい線量が基準を下回っているかどうかの確認が行われる。本分担研究におけるアンケートでは、エックス線作業を行う際に実施する管理区域内外の漏えいエックス線測定について質問した。その結果、約 72% (119 件/164 件) から測定を実施しているとの回答を得た。漏えいエックス線測定の取組みについて、主任者等の所属が非破壊検査業かどうかについて有意な差異はなかった。また、測定を実施している主任者等に対し、実際の測定ではどのような線量計(線量率計)を使用しているか問い合わせたところ、約 70% の主任者等が電離箱式サーベイメータを用いて測定していることが分かった。一方で、約 18% は NaI シンチレーション式サーベイメータを用いていると回答している(22 件)。非破壊検査業では、R I 規制法に基づく放射性同位元素等を用いた非破壊検査を行う事業場もあり、その場合は NaI シンチレーション式サーベイメータを用いることは適切といえる。一方で、工業用エックス線 CT 装置など管電圧が 100 kV 以下で運用されるようなエックス線機器に対しては、ガンマ線・エックス線に対する NaI シンチレーション式サーベイメータのエネルギー応答特性の関係で、線量率を過小評価することが考えられる [6]。従って、漏えいエックス線による線量率測定を行う際に適正な線量率計を用

いるよう周知されることが望ましい。

アンケートでは、エックス線作業を行う際に、遮へい材など防護のための資器材を使用している/使用させている事業場は約 70% に上っている(114 件/164 件)。この割合には、非破壊検査業に所属するかどうかに関係なく、多くの事業所で取り組まれている良好事例の一つである。この取り組みが製造業、非破壊検査業の事業場で広まるためには、事業場における具体的な対策の収集・周知が必要である。

(3) 主任者等及び作業員の教育・講習について

アンケートでは、事業場において特別な教育が実施されているかどうかを質問し、約 60% (99 件/164 件) の事業場、または主任者等は特別の教育を実施していると回答している。特別の教育の内容について回答を求めたところ、内容は図 1 の通りであった。

エックス線装置を用いる透過撮影の業務に必要な教育の項目は前述のとおり、

- 1 透過写真の撮影の作業の方法
- 2 エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法
- 3 電離放射線の生体に与える影響
- 4 関係法令

であるが、それぞれ約 70 件程度実施されていた。それらよりも多く実施されていた科目が、放射線被ばくとその低減対策であり、83 件教育・講習が実施されているとの回答を得た。アンケートでは、製造業、非破壊検査業の主任者等を対象としており、非破壊検査業において R I 規制法に基づく放射線業務従事者の再教育を受講している場合には、必然的に放射線防護対策につい

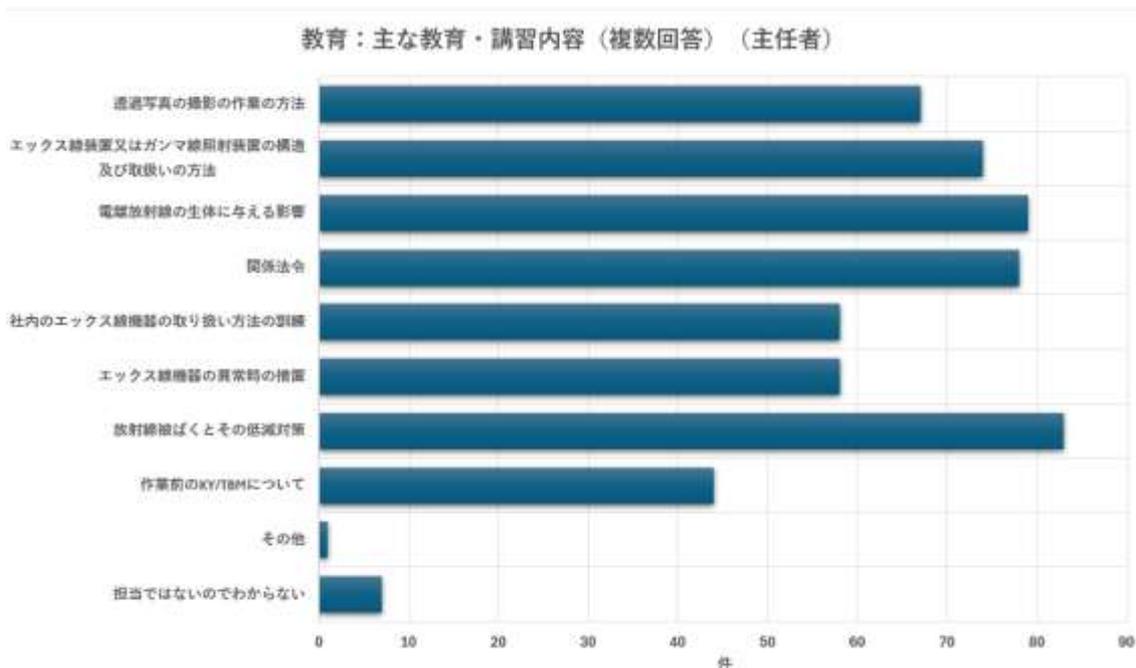


図1 エックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練の具体的な内容

て教育・講習を受講する機会も増えてくる。エックス線機器のみを取り扱う事業場においても放射線安全文化醸成の立場からエックス線による被ばくとその低減対策については講義受講の機会が増やせるような施策が取り組まれるとよい。その他の科目には、

社内のエックス線機器の取り扱い方法の訓練（58件）、エックス線機器の異常時の措置（58件）、及び作業前のKY/TBMについて（44件）の講義が多く実施されており、これらもエックス線機器使用時の放射線安全対策に有効である。

エックス線機器の取り扱いに関して、現行の電離則では定期的な教育の受講は義務付けられていないが、事業場でどの程度の頻度で教育・訓練・講習が実施されているかを把握する目的で、どのくらいの頻度で教育を実施しているか回答を求めた。OJTも含めての回答であろうが、装置を使用するたびに必ず実施、という回答が最も多く（44件）、次いで、年に1回以上、月に1回

未満が22件、月に1回以上実施しているという回答が20件と続いた。移動式エックス線機器を使用する事業場においては、現場でエックス線装置を設置して管理区域を設定し非破壊検査を行う等の一連の業務のなかで、労働安全衛生を担保する目的でKY/TBMの実施が定着している事業場もあり、そのような事業場では、業務着手時点でリマインド的な訓練が実施されているのではないかと想像される。また、月に一回以上教育が行われていると頻回に教育を行っている事業場もあり、ある個人が毎月講義に出席しているとは考えづらいが、教育・講習を受講する機会に恵まれた事業場が存在することが調査で明らかとなった。

また、約50%の職場において社外で実施しているエックス線機器の研修に業務として参加することが可能であると回答されており、機会を見つけて安全衛生に関する能力向上の機会が設けられている様子がアンケートより読み取れる。この割合もさら

に向上するよう、事業場への働きかけが必要であり、また、事業場において最新の法令改正の状況、エックス線機器の使用方法、エックス線被ばく事故事例紹介と事故回避、あるいは事故後の対応についてのディスカッションなどが実施できるようなオンライン教育が充実するとよいと考えられる。

エックス線機器の取扱い及び安全衛生に関する教育・講習の有効性について、70件で、「すごく役立っている／役立ちそう」または「まあまあ役立っている／役立ちそう」との回答を得た(全回答数 99 件)。約 70% の主任者等は、自身の受けた、あるいは自身の提供する教育・講習の有効性を感じている結果となった。どのような点で教育・研修が役立っている／役立ちそうと考えているのかの設問では、全回答数 70 件のうち、最も多かったものが、

放射線に対する知識が深まり、気を付けるようになった

である(41 件)。エックス線が危険であり、エックス線作業は十分に注意して行わなければならない有害業務であるとの意識が高まると考えている。次いで回答が多かった項目が、

放射線被ばくが発生しないよう気を付けられるようになった

であり(38 件)、教育・講習の受講により被ばく事故回避及び被ばく線量低減の効果があることが反映されていると思われる。次いで、「安全衛生への知識が深まり集中しやすい」30 件、「自身のエックス線作業の現場に直接関係ある内容である」28 件、「エックス線作業を安全に行えるようになった」26 件と続いており、いずれも労働安全衛生に直結し、かつ放射線安全文化醸成にも直結した回答が得られている。

一方で、「あまり役立っていない／役立たなそう」または「ほとんど役立っていない／役立たなそう」と答えた回答者について、現在の教育・講習のどこに不満があるか尋ねたところ、自分の現場に直接関係ある内容にしてほしい」と、受講した教育内容と自身の業務がミスマッチしていると考えられる回答があった(2 件)。事業場において、たとえば中小企業では多種多様な教育コンテンツを自社で準備することは非常に困難である。また、人員も限られており、エックス線装置利用に従事する労働者が自ら装置を操作する等して教育・講習を行う事例もある。そのような状況で、新たに装置を導入する等なった場合、教育・講習コンテンツ準備が行き届かないことも考えられる。これらを回避するためにも、労働者が従事する業務を事前に把握して、その業務に合ったエックス線装置の教育を提供できるような対策が望まれる。

本研究事業で検討する教育・講習の科目や内容で、実際に主任者等から事業場で必要と思われる科目等についてまとめると、

- ・法令(改正状況について)
- ・エックス線使用時の事故事例
- ・エックス線機器のトラブル事例と対応方法

は主任者等から有用な科目であると考えられている。法令については、わかりやすく説明されるとよい、という要望が多かった。また、最新の法令改正にフォローするのが難しいという意見もあり、今後の安衛則等の改正に伴い、主任者等に確実に周知できる対策が望まれる一方で、法令や改正のポイントをわかりやすく説明する解説や講義が展開されると非常によい。エックス線に

よる事故事例については、被ばく事故事例に加え、事故時に主任者等についてはどのような対応をすべきか、教育が行われることは重要であろう。電離則第四十二条及び第四十四条において、事業者の責務として、事故現場から被災者を退避させること、及び被災した労働者に、速やかに医師の診察又は処置を受けさせることとされている。これに基づき、主任者等も万が一の事故発生時には、被ばくした労働者（自身を含めて）退避させる必要があり、必要に応じて医師の診断を受けさせることが求められる。各事業場における対応については、主任者を含めたエックス線を利用する労働者は十分理解する必要がある。併せて、エックス線使用時のヒヤリハット事例の紹介、及び不適切な使用の事例についても紹介があるとよい。

上記に加え、エックス線計測に関する技術的な点として、パルス状に発生するエックス線計測、照射方向に対し、障害物（鉄板、木材など）からの散乱線の分布、個人線量計のエネルギー応答特性、技術的な解説が非常に参考になるという意見があった。また、エックス線利用時の放射線管理に係る教育として、管理区域入退域時の遵守事項とその履行、移動可能な工業用エックス線検査装置を使用する際の、具体的な管理区域の設定方法、手順についての解説が、労働者の被ばく線量低減に直接寄与する内容として評価できるという意見があった。

エックス線使用と直接は関連しないが、エックス装置の導入時の労働基準監督署への届け出方法についても丁寧な解説があるとよい、という意見もあった。併せて、事故発生の際に課されている報告義務について（電離則第四十三条 事業者は、前条第一

項各号のいずれかに該当する事故が発生したときは、速やかに、その旨を所轄労働基準監督署長に報告しなければならない。）、どのような手順で報告すればよいかのフローサンプルの提示、また、法定帳簿の作成と管理についても解説・講義があるとよい、との意見も見られた。

上記の教育・講習について E-ラーニングの形式で行われるのがよいとの意見が散見された。E-ラーニングの教育効果への疑問が持たれているところであり、現行の電離則では、特別の教育について、対面での教育・講習の受講が求められている。受講者が放射線業務従事者でない、リマインド教育である（初学者ではない）等の、一定の条件を満たした労働者への教育については、ある程度の教育効果が見込めるよう、教育コンテンツのみならず、講義の設計等で対応することで、E-ラーニング教育効果への懸念は払しょくできるであろう。

エックス線利用の懸念という観点から、分担研究で示すアンケートでは、自身の事業場でのエックス線業務での懸念について質問しており、「エックス線機器（それに類する法令も）について詳しくないので管理が行き届いているか不安である」という項目で 19 件回答があり、一部の事業場では教育・訓練の効果が十分得られていないことが分かった。今後どのような点が理解しづらいのか、または、どのような教育・講習であれば、スムーズに管理の業務に従事できるかを検討することは重要である。当該アンケートの項目では、「新しい機器をいきなり使うことになり機能が良くわからない」という項目で 11 件、「上司（または先輩等）から古い機器を引き継いだがどのように管

表 1 主任者等及び作業者のエックス線被ばくの可能性について

(A) 作業者に対するクロス集計結果

U1 あなたが現在所属している業界を教えてください。※複数あてはまる方は、最も中心なお仕事について教えてください。	ご自身がお使いの機器でエックス線被ばくの可能性はあると思いますか。			
	全体	可能性があると思う	可能性はないと思う	わからない
	38	20	17	1
非破壊検査	27	14	13	0
非破壊検査検査業以外	11	6	4	1

(B) 主任者等に対するクロス集計結果

M1 あなたが現在所属している業界を教えてください。※複数あてはまる方は、最も中心なお仕事について教えてください。	ご自身がお使いの機器でエックス線被ばくの可能性はあると思いますか。			
	全体	可能性があると思う	可能性はないと思う	わからない
	164	72	69	23
非破壊検査	130	61	50	19
非破壊検査検査業以外	34	11	19	4

理してよいかの引継ぎはなく、使い方がよくわからない」という項目に 9 件回答があり、事業場における人材育成教育のあり方も一部では改善が必要と考えられる。

(4) エックス線被ばくに対する意識の違い

ここでは、回答者の属性を①非破壊検査業に従事する主任者等、②それ以外の主任者等、③非破壊検査業に従事する作業者、及び④それ以外の作業者、に分けて検討を進める。表 1 では、主任者等及び作業者のエックス線被ばくの可能性の有無について回答

をまとめたものである。本項目で、(A) 作業者の約 53% 及び (B) 主任者等で全体の 47% は、エックス線被ばく事故の可能性があると考えている。属性ごとの差異についてカイ二乗検定を行ったが、①から④までの各属性を組み合わせた解析で、いずれも 95 パーセント水準での有意差はなく、アンケート調査回答者の約半数は、エックス線装置利用時に被ばく事故が起こりうると考えている。被ばく可能性の有無について、年齢ごとの解析を行ったが、30 歳代で「可能性あり」と回答した数が有意に低かったが、それ以外では有意差は認められな

かった。

また、アンケートでは、自身の事業場でのエックス線業務での懸念について質問しており、「作業中にうっかりしてケガをしそうになった、またはケガをしそうな作業者を見かけた」及び「作業中に自身や同僚が被ばくしそうになった」の項目で合計 20 件回答があった。

具体的にどのような事故が考えられるか、被ばく事象と被災者がどの程度被ばくするか、想定される事例について、回答を求めたところ、いわゆるうっかり型の被ばく事故を想定していることが明らかとなった。これらは、労働者が複数名透過撮影業務等に従事する際に、「エックス線装置は止まっているだろう」「被撮影物の位置に入るときにはエックス線は出ていないだろう（または、エックス線照射のボタンは押さないだろう）」「こちらの指示はあちらに聞こえているだろう」、というような、思い込みや勘違いによって生じる可能性があると考えられる。

（例として、

- ・部外者が屋外の管理区域に入り込んでしまい被ばくする
- ・現場等での使用時に照射開始合図の意思の疎通が合わずに照射
- ・複数の者で作業中に照射の合図を聞き間違えるなどで、照射中に照射は終わったと勘違いして照射中の場所に入る。この場合、装置から距離が近ければ数分で年間の線量限度を超える可能性がある。
- ・照射室ではなく工場、屋外等の管理区域において個人的な勘違い、ヒューマンエラーによる照射中の接近、共同作業者の勘違いによる退避前の照射により数分程度の被ばく。

・壁越しの撮影の際、対面側の人払いが未完了の状態、スイッチを押し、被曝する

・インターロックスイッチの異常に気づかない

・撮影室に人がいるにもかかわらず照射した場合

等)

想定される事故事例には、作業者の知識・経験不足によって生じる被ばく事故の可能性を指摘する回答があった。

（例として、

- ・散乱線が多い場合
- ・逃げる方向や距離が不十分な為
- ・装置(メーカー)によって警報のタイミングが違うため、照射が終わったと勘違いして、装置に近づき被ばくする
- ・建築物の床面、壁面を透過させて撮影する場合に、反対側で照射に気づかず被ばくしてしまう可能性がある。
- ・配管や圧力容器の検査時、照射方向によっては散乱があるため被曝する

等)

特に、屋外や施設などの現場における非破壊検査の場合、被撮影物へのエックス線照射方向からのエックス線の散乱方向について、どの方向に散乱線が分布するのか、どの程度の距離にいれば被ばくしないのか、等について、十分な知識・経験がない場合、退避先で過剰にエックス線にばく露する可能性がある。また、被ばく事故の想定としては、被撮影物の対象となる溶接部の接合が不十分で、溶接箇所からエックス線が透過してくる懸念がある、との回答もあった。このような状況を回避するためにも、作業時における主任者の監督は重要であると同時

に、労働者自身についても散乱線がどのように分布するのか、について教育・講習が行われることが望ましい。

被ばく事故にはコミュニケーション不足によって生じるものもあると回答する回答者も多かった。

(例として、

- ・屋外作業時にはインターロック等は設置できない。照射する際はお互いに確認不足のため装置近傍にいるのに気づかず照射し被ばくする

- ・現地作業等(球形タンク建設工事)ではお互いの顔が確認できない状況下での撮影作業でフィルムセット側の人間が照射中にフィルムに近づき過大被ばくする

- ・コミュニケーション不足により、照射中に補助者が誤って管理区域に入ってしまう

- ・複数人作業による、合図・確認不足による被ばく

- ・非破壊検査作業時、現場段取り替え(フィルムの交換等)の際、別の作業員が誤って照射ボタンを押すことで被ばくする可能性がある。

- ・配管溶接部の撮影などの場合、プラントなどの配管が入り組んだ箇所での撮影の場合、全体の検査数量に対して1日辺りの撮影枚数と日程のバランスを考えると退避する距離を移動する時間などが充分に取れない場合があるため、少しずつ被曝線量が増加する事になっていると思う。これらはお客様との工程に余裕を持たせられれば改善出来るが、その分費用との兼ね合いも出る為、相談が必要。

- ・作業員同士が直接見えない環境において、連絡合図に相違が生じた場合に、エックス線が照射され、気づかずに試験体を透過

したエックス線により数 mSv 被ばくをする恐れがある。

等)

事業場におけるコミュニケーションは、どのような職場においても課題であろう。エックス線装置を用いる製造業、非破壊検査業の事業場にあつては、エックス線撮影業務等有害な業務を行うこともあり、作業着手前に十分な意思疎通が不可欠であることは論を俟たない。加えて、上述の想定される事故想定は、作業着手後、実際に被撮影物への照射が開始されてからのコミュニケーション不足、または過誤によるものである・コミュニケーション不足を解消するには、作業着手前の KY/TBM 活動が有効である。さらに言えば、放射線安全文化醸成の観点からよりも、作業が変更する、次の(撮影)作業に移る、等作業に変化がある際には、一度立ち止まって確認する習慣をつけるような、労働安全衛生一般の教育・講習の徹底がより重要であろう。

特に看過し得ない回答には、あえて型の被ばく事故想定があつた。

(例として、

- ・立ち入り禁止措置を無視する第三者に気が付かなかった場合の

- ・手順を守らずに作業して線量限度を超える被ばくをする

- ・X線撮影時にフィルム設置が困難な場合は手でフィルムを抑えたまま撮影することもあるので、被曝線量は医療用並に少ないと思うが被曝の可能性はあると思う。

- ・狭い部屋で照射するしかできない時

- ・作業環境により退避する場所がない

等)

立入禁止措置を無視する作業員、手順を

守らずに作業する作業員、について、いてはいけない作業員であるが、実際に起こりえる想定として回答されている。電離則で主任者に求められている責務の一つが、まさにこのような作業員がエックス線作業に関与しないよう、作業に従事する労働者に法令・規則を守らせること、事業場において作成されている手順・マニュアルを確実に守るよう監督することが求められている。現行の主任者に対する教育では、安全又は衛生に関する教育で、労働者等へのより深い関与、及び監督についての教育・講習は義務付けられていない。また、一部の回答では、「被ばくせざるを得ない状況が生じているため、多少の被ばくは仕方がなく、その過程で生じる過誤により過剰被ばく事故が生じる」、と解釈できるものもあった。被ばく低減対策が万全に取られることはもとより、主任者の責務として、労働者の被ばくを容認するような作業は早急に改善されるべきである。また、これらについては、被ばく線量がどの程度になるのかの調査も必要であろう。

(以上、回答は原文のまま)

E. 結論及び今後の課題

本分担研究では、令和6年度に非破壊検査業に従事する主任者等及び作業員へのアンケート調査を行い、その結果を取りまとめて評価した。アンケートは、製造業、非破壊検査業の主任者等に確実に届くことを考慮し、正会員199社を擁するJANDTの協力のもと、JANDTのメーリングリストを経由して実施した。アンケート調査の回答期間は、令和6年10月18日から令和7年1月18日の3か月で設定した。アンケートの有効回答は202件であり、作業員

は38件、主任者等は164件であった。回答に要した時間は、主任者等で平均16分7秒、作業員で平均6分38秒であった。

アンケート調査結果を受けて、以下の

- (1) インターロック解除について
- (2) 放射線防護対策措置について
- (3) 主任者等及び作業員の教育・講習について
- (4) エックス線被ばくに対する意識の違いについて評価を進めた。

(1) インターロック解除についていうと、エックス線装置のインターロックを解除するかどうかについての質問への回答では、約10% (16件/164名中) で放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除してエックス線作業を行うことがあるとのことであった。約10%ではあるが、今般発生した事故と同様に、インターロックを解除して点検作業等の業務を行っていることが分かった。また、放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがある16名に対し、インターロックを解除した際の対策を質問したところ、7件で特別な対策を行っており、8件は特に実施していないということであった。全体の5%については、安全を確保していない状況でエックス線装置のインターロックを解除しており、これについて事業場での改善案が求められるところである。

(2) 放射線防護対策措置について、(a) 線量計の装着状況、(b) 線量率測定、(c) 遮へいのための資機材の利用についてアンケートで聞き取りを行った。エックス線機器を取り扱う際の個人線量計装着状況について、約90% (146件/164件) の主任者等は個人線量計を装着して作業している

(又はさせている)との回答を得た。特に、非破壊検査業では93%が線量計を装着して作業する(させている)との回答であった。エックス線作業を行う際に実施する管理区域内外の漏えいエックス線測定について質問したところ、約72%(119件/164件)から漏えいエックス線を測定しているとのことであった。測定を実施している主任者等に対し、実際の測定ではどのような線量計(線量率計)を使用しているか問い合わせたところ、約70%の主任者等が電離箱式サーベイメータを用いて測定していることが分かった。一方で、約18%はNaIシンチレーション式サーベイメータを用いていると回答している(22件)。エックス線機器に対しては、ガンマ線・エックス線に対するNaIシンチレーション式サーベイメータのエネルギー応答特性の関係で、線量率を過小評価することが考えられるため[6]、漏えいエックス線による線量率測定を行う際には適正な線量率計を用いて行うよう周知されるべきである。さらに、エックス線作業を行う際に、遮へい材など防護のための資器材を使用している/使用させている事業場は約70%に上っている(114件/164件)ことがアンケート調査を通じて明らかとなった。これは、回答者の所属が非破壊検査業かどうかに関係はなく、多くの事業所で取り組まれている良好事例の一つである。この取り組みが製造業、非破壊検査業の事業場で広まるためには、事業場における具体的な対策の収集・周知が必要である。

(3)主任者等及び作業者の教育・講習について、事業場において特別な教育が実施されているかどうか質問したところ、約60%(99件/164件)の事業場、または主任者等は特別な教育を実施していると回答が

あった。

エックス線装置を用いる透過撮影の業務に必要な教育の項目は前述のとおり、

- 1 透過写真の撮影の作業の方法
- 2 エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法
- 3 電離放射線の生体に与える影響
- 4 関係法令

であるが、それぞれ約70件程度実施されていた。それらよりも多く実施されていた科目が、放射線被ばくとその低減対策であり、アンケートでは83件実施されていることがわかった。事業場でどの程度の頻度で教育・訓練・講習が実施されているかを把握する目的で、どのくらいの頻度で教育を実施しているか回答を求めたところ、OJTも含めて、装置を使用するたびに必ず実施、という回答が最も多く(44件)、次いで、年に1回以上、月に1回未満が22件、月に1回以上実施しているという回答が20件と続いた。月に一回以上教育が行われていると頻回に教育を行っている事業場もあり、ある個人が毎月講義に出席しているとは考えづらいが、教育・講習を受講する機会に恵まれた事業場が存在することが調査で明らかとなった。

(4)エックス線被ばくに対する意識の違いについて、回答者の属性を①非破壊検査業に従事する主任者等、②それ以外の主任者等、③非破壊検査業に従事する作業員、及び④それ以外の作業員、に分けて回答を検討したところ、(A)作業員の約53%及び(B)主任者等で全体の47%は、エックス線被ばく事故の可能性があると考えている。属性に応じた有意差は存在せず、アンケート調査回答者の約半数は、エックス線装置利用時に被ばく事故が起こりうると考え

ている。想定される被ばく事故の内容としては、

- (a) うっかり型の被ばく事故
- (b) 知識・経験不足による被ばく事故
- (c) コミュニケーション不足による被ばく事故
- (d) あえて型の被ばく事故

がみられた。今後、本研究事業においては、以上に示すような被ばく事故が回避され、また労働者の被ばく線量低減につながるような、教育・講習のパッケージ提案を進めていく。

本研究課題は令和 6 年度から開始して初年度を終了した。事業期間 3 か年における次年度以降実施を検討している課題には、

(1) 事業場におけるヒアリング、及び(2) 開発した教育・講習コンテンツを用いるデモ講義、がある。

(1) について、本分担研究で報告するアンケート調査は対面で行っておらず、メールリストによる web 形式で回答を収集した。研究班において、アンケートを短時間で回答できるよう設問を事前に精査したが、特に、事業場でどのような教育・講習・OJT が行われているのか、具体的な内容を知ることが重要である。今年度行ったアンケートで、研究班が事業場の訪問について質問しており、数件ではあるが事業場訪問について許可を得ている。次年度以降、事業所を訪問し、主任者及び作業員等に対して、実施中のエックス線装置利用に聞き取りを行うとともに、(a) 事業場で具体的な教育・講習の内容についての聞き取り、(b) 今後どのような教育があるとより安全な作業につながるか、(c) これまでにエックス線により被ばくしそうになった（または被ばく

させそうになった）、エックス線装置利用時に負傷しそうになった、等のヒヤリハット事例の収集、及び(d) 事業場で行っている事故防止及び放射線被ばく低減対策事例、について調査・収集する。また、放射線被ばく低減対策では、アンケート調査で防護資機材を使用する・使用させている、という質問を設置したがどのような防護板等を同設置しているか、その他の被ばく低減対策(例として、作業時間管理、遠隔操作によるエックス線源との距離の確保、等)をどのように実施しているか、も聞き取りを行う予定である。

(2) について、本研究事業では開発として行うものであるが、試作した教育・講習コンテンツの有効性の検証が必要であり、事業場で実地の研修を実施することで、教育・講習の有効性の観点から受講者からの評価を受け、講習の改善に努める。

アンケート調査の結果では、約 70% の主任者等は、自身の受けた、あるいは自身の提供する教育・講習の有効性を感じている結果となった。どのような点で教育・研修が役立っている／役立ちそうと考えているのかの設問では、全回答数 70 件のうち、最も多かったものが、

放射線に対する知識が深まり、気を付けるようになった

であった(41 件)。教育・講習を通じて、エックス線が危険であり、エックス線作業は十分に注意して行わなければならない有害業務であるとの意識が高まると考えている。従来の特別の教育で行われていた教科について、放射線安全文化醸成に直結する効果が得られている。これらは引き続き継続して実施されるべきである。

アンケート調査では、実際に主任者等か

ら事業場で必要と思われる科目等について
問い合わせ、それらを取りまとめたところ、

- ・法令（改正状況について）
- ・エックス線使用時の事故事例
- ・エックス線機器のトラブル事例と対応

方法

は主任者等から有用な科目であると考えられている。特に、法令については、(1)最新の法令改正にフォローするのが難しい、及び(2)わかりやすく説明されるとよい、という意見があった。今後の安衛則等の改正に伴い、主任者等に確実に周知でき、主任者等が確実に受講できる対策が望まれると同時に、現行法令や法令改正のポイントをわかりやすく説明する解説や講義が定期的に展開されると非常によい。エックス線による事故事例については、被ばく事故事例に加え、事故時に主任者等についてはどのような対応をすべきか、教育が行われることは重要であろう。電離則第四十二条及び第四十四条において、事業者の責務として、事故現場から被災者を退避させること、及び被災した労働者に、速やかに医師の診察又は処置を受けさせることとされている。これに基づき、主任者等も万が一の事故発生時には、被ばくした労働者（自身を含めて）退避させる必要があり、必要に応じて医師の診断を受けさせることが求められる。各事業場における対応については、主任者を含めたエックス線を利用する労働者は十分理解する必要がある。併せて、エックス線使用時のヒヤリハット事例の紹介、及び不適切な使用の事例についても照会があるとよい。

上記に加え、

- ・エックス線計測に関する話題

として技術的な側面に注目した科目がある

ことが望ましい。例えば、パルス状に発生するエックス線計測、照射方向に対し、障害物（鉄板、木材など）からの散乱線の分布、個人線量計のエネルギー応答特性、技術的な解説が非常に参考になるという意見があった。

上記の教育・講習について E-ラーニングの形式で行われるのがよいとの意見が散見されている。受講者が放射線業務従事者でない、リマインド教育である（初学者ではない）等の労働者への教育・講習については、E-ラーニングで対応するほうが良いと考えられる。特に、法改正や法令の解説については、規制当局及び専門家による監修のもと、統一した解釈を周知するほうがよく、その点でも E-ラーニングは非常に有効なツールといえる。また、E-ラーニング教育効果への懸念を払しょくするためにも、ある程度の教育効果が見込めるよう、教育コンテンツの内容、講義の設計等を工夫して対応できるであろう。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

[1] 電離放射線障害防止規則

<https://laws.e-gov.go.jp/law/347M50002000041>

access on 27th February 2025.

[2] 労働安全衛生法 <https://laws.e-gov.go.jp/law/347AC0000000057>

access on 27th February 2025.

[3]

<https://www3.nhk.or.jp/lnews/kobe/20240313/2020024726.html>

access on 27th February 2025.

[4]

<https://www.mhlw.go.jp/content/11201250/001212204.pdf> access on 27th February 2025.

[5] 半導体式電子ポケット線量計 (EPD) カタログ

<https://www.aloka.co.jp/usersupport/catalog/pdf/AR-025.pdf> access on 27th February 2025.

[6] γ 線用シンチレーションサーベイメータ カタログ

<https://www.aloka.co.jp/usersupport/catalog/pdf/AR-027.pdf> access on 27th February 2025.

I. 分担研究報告

放射線取扱主任者定期講習から学ぶエックス線作業主任者教育への展開

研究者分担者 榎本 敦

(東京大学大学院医学系研究科放射線分子医学部門講師)

研究要旨

本分担研究では、放射性同位元素等の規制に関する法律（放射線同位元素規制法）に定められた放射線取扱主任者に対する義務の 1 つである定期講習の内容・方法を精査し、エックス線作業主任者等に対する教育への展開を図ることを目的とする。放射線取扱主任者定期講習は登録定期講習機関が行う主任者の資質向上を図るための講習である。初年度では、分担者はまず登録定期講習機関の講習実施内容をホームページ等で情報収集し、教育項目・時間・方法について整理を行った。各講習機関において時間数や科目名に大きな違いはみられないが、実施方法については独自性や工夫が施されていた。実際に登録定期講習機関の 1 つで定期講習を受講したところ、小テストの実施やテーマ毎にディスカッションを設けるなど理解度を深め、双方向性を保つような工夫が見られた。また一方で、普段、単独もしくは少数で現場管理を行っているため、現場では相談出来る人がいないなどの悩みも散見された。このことは教育コンテンツや環境の整備を進めるだけではなく、管理者のためのプラットフォーム設立の重要性を示すものである。

A. 研究目的

本分担研究では、放射性同位元素等の規制に関する法律（放射性同位元素規制法、以下 RI 規制法）の施行規則第 32 条第 2 項に定められた放射線取扱主任者に対する義務の 1 つである定期講習（図 1）の内容・方法を精査し、エックス線作業主任者等に対する教育への展開を図ることを目的とする。RI 規制法では、選任前や定期講習があるが、エックス線作業主任者ではそのような制度・仕組みはない。さらにエックス線作業主任者について、免許取得後にその免許が生涯にわたって維持される制度であるため、能力向上や新しい情報のインプットが容易ではない。さらにエックス線利用が様々な分野で非常に多岐にわたっていることや装置の安全性のレベルの違いなどもあること

などから一律の教育も効果的ではない。本研究点は、RI 規制法で定められている放射線取扱主任者向けの定期講習を参考に、エックス線作業主任者等向けの能力向上教育や講習のコンテンツと効果的な教育方法を提案するものである。

B. 研究方法

研究事業初年度である令和 6 年度は、まず広く情報収集することから始める。具体的には RI 主任者定期講習を実施している機関のホームページにアクセスし、教育項目・時間数・受講形態・受講人数・その他の工夫点などの情報を集め、整理を行った。また実際に RI 主任者定期講習機関において定期講習を受講し、講義内容を確認するとともに、受講者の理解をより深めるため

のアイデアや工夫について検証した。

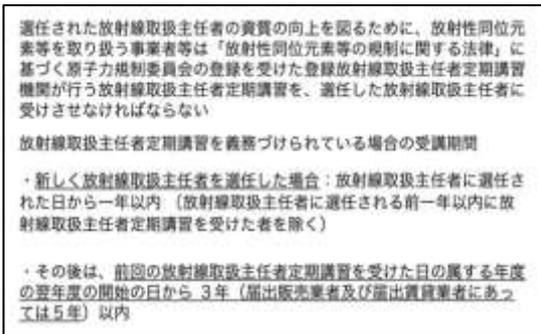


図1 RI規制法施行規則第32条第2項

C. 研究結果

(1) 放射線取扱主任者定期講習の概要

まず第一種放射線取扱主任者定期講習を実施している登録機関は日本アイソトープ協会、原子力安全技術センター、電子科学研究所、日本診療放射線技士会の4つが知られている [1-4、図2]。いずれの機関においても許可届出使用者に対する教育項目は法律で定められた「法に関する科目」、「放射線発生装置および放射性同位元素等の取扱および使用施設等における安全管理」、「放射線発生装置および放射性同位元素等の取扱に関する事故」の3本柱となっている。時間数は実施機関にもよるが1科目当たり1時間～2時間程度で総時間数は4～5時間であった。またいくつかの機関では課目毎あるいは講習の最後に討論の時間(20分～60分程度)が設定されていた。実施形態は対面又はオンライン形式で、年3回から多いところで13回実施されていた。

登録講習機関	実施回数/年	実施形態
日本アイソトープ協会	使・廃13回、販・買1回	対面・オンライン
原子力安全技術センター	使7回、販・買1回	対面・オンライン
電子科学研究所	使7回、販・買1回	対面
日本診療放射線技士会	3回	対面

図2 放射線取扱主任者定期講習の登録講習機関実施回数や実施形態は2024年度実績を示す

(2) 定期講習の各課目の内容について

次に講習における受講科目(図2)であるが、日本アイソトープ協会の第1種放射線取扱主任者定期講習を受講した際の資料をもとに説明する。「法に関する課目」では法令改正の概要、危険時の措置や防護のために講ずべき措置等について、定義や解釈および注意点についての解説が含まれている。また放射線取扱主任者の実務に必要な記録・記帳や届出・廃止措置等に関する知識や注意点なども扱われている。「安全管理に関する課目」では、放射線管理の目的、密封・非密封線源の使用状況、施設の特徴や安全取扱について、分野別・利用用途別に解説があった。特によく利用されている装置や使用例、例えば非破壊検査装置を用いた放射線透過試験などを挙げ、操作方法や使用時の確認事項・注意点などの説明があった。

法に関する課目
放射性同位元素等又は放射線発生装置の取扱い及び使用施設等又は廃棄物詰め替施設等の安全管理に関する課目
放射性同位元素等又は放射線発生装置の取扱いに係る事故が発生した場合の対応に関する課目

図3 放射線取扱主任者定期講習(使用・廃棄)の課目

「事故に関する課目」では、最近の事故等発生状況や具体的な事故・トラブル例を多く例示しながら、通報・報告手順について説明があった。事故時の対応については、グループディスカッションの時間が設けられており、事業所として取るべき行動(初期対応、緊急連絡網による連絡や情報公開等)や必要な措置(被ばく防止や汚染拡大防止等)について各自が発表を行なった。

(3) 講習の内容を深めるための工夫

多くの定期講習実施機関において、討論の時間が設けられており、双方向性を保つ工夫が見られた。また日本アイソトープ協会の対面講習では、受講生のバックグラウンドを考慮し、大学・研究機関、医療系あるいは機器メーカー等に大きくブロック分けされた席次・テーブル配置となっており、同じ方向性や悩みを共有するグループとして自然と議論が活性化するような環境が形成されていた。さらにグループ内で討論するだけではなく、テーマ毎にグループ代表者が討論結果や共通する課題を発表し、受講生全体が共有できるようになっていた。一方でハイブリッド開催によるオンライン受講生とのディスカッションや自由討論では、やや活気に欠ける傾向が垣間見られた。

D. 考察

(1) 定期講習実施形態について

いずれの放射線取扱主任者定期講習登録機関のホームページ上では定期講習の内容について法律で定められた3つの課目を中心に行われていた。実施機関により課目ごとの時間数は多少異なっていたが、総時間数についても大きな違いはなかった。事故に関する課目においては、典型的なエックス線被ばく事故やヒヤリハット事例に関して、自動車免許の講習で見られるような再現やシミュレーションを用いて盲点や注意点を映像で訴えることができればより効果的であろう。さらに講習時間内に討論時間を設けている実施機関もあり、課目毎あるいは講習の最後の時間を使って行われている。受講生の背景も様々であり、業種や事業場毎の特性や慣習もあることから、様々な考えや方法があることを踏まえると、討論の場を設けることは理解を深めるだけでは

なく、自身の方法や方向性の妥当性や新しい発見にも繋がる。時間的な制約もあるが、課目毎に実施できれば焦点を絞ってかつ記憶が新しいうちに活発な議論が期待できる。

次に実施形態であるが対面式、オンライン形式またはハイブリッドで開催されており、全体としてはオンライン形式が多かった。オンライン形式は遠方の方でも参加出来るメリットがある反面、双方向性がどこまで担保出来るのかは疑問である。実際、ディスカッションや演習の時間においては、対面受講者の方が活発に議論に加わっていった感がある。そのためオンライン形式の場合には別途、ファシリテーターの存在やチャットでの投げかけを頻繁に行う必要がある。

(2) 講習内容を深める工夫について

前述したように討論や演習の時間も設けてディスカッションを行う事は大変有意義で有り、理解を深めるだけでなく、他の事業場の例を参考にすることができる。今回、受講した日本アイソトープ協会が実施する定期講習では、席やテーブルが大まかに業種別になっており、討論がかみ合いまた共通した課題や悩みを見いだせるなど主催者側の工夫が見られた。また同業種内で討論するメリットだけではなく、各グループによるプレゼン発表を実施し、各事業場や業界が抱える課題を共有できる点でも主任者として幅が広がる取組みである。定期講習実施機関によっては講習内容に関する小テストを課してかつその解説を行っていたところもあるが、双方向性や知識をより広げるという観点からその効果には疑問が残る。

(3) エックス線作業主任者等に対する教育への展開

現在までの所、エックス線作業主任者に関しては、選任前や選任後に定期的に講習を受講する規則や能力開発向上のための教育訓練は整備されていない。また免許に関しても一度、取得すれば更新もなく生涯にわたり保持が可能である。一方で、エックス線機器の使用は多岐にわたり、利用技術も日々進化していることやエックス線作業主任者として法令改正の際にはフォローアップを行わなければならないことを鑑みると、定期的な能力向上教育や講習の制度化が望まれる。またエックス線装置の使用者への教育に関しても、電離則において「作業の方法」「装置の構造」「放射線の人体影響」「法令」を 4.5 時間で行うよう定められているものの、その対象は透過写真の撮影を業務とする場合にとどまっている(電離則第 52 条の 5、労働省告示第 50 号)。そのため透過写真撮影以外で使用する場合や学生にはこれら電離則が定める教育は適用されない。従って、エックス線機器の安全取扱いに関する知識習得や再確認はもちろんのこと、エックス線作業主任者等としての能力・資質向上を図るためにも定期的な教育や訓練は必要である。また教育内容に関しては画一的なものではなく、一部の課目においては産業・用途別や経験年数など段階別に選択が出来ることより効果的なものとなる。このようにエックス線作業主任者とユーザーに対する教育・訓練を体系化することにより、その両輪で事業場の安全文化の醸成を加速することが可能となる。さらに日頃の管理や法令改正に伴う疑問・質問を受け付けるプラットフォームも必要である。例えば日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会では放射線取扱主任者向けの研修会や年次大会時等に主任者相談コーナーなどを設け

ている [5]。現場管理者やエックス線作業主任者が気軽に質問や相談を出来るプラットフォームの構築に向けて、国や各業界団体等を交えた仕組み作りが急務となっている。

E. 健康危機情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

1) 榎本 敦、神子 公男、野澤 清和、飯本 武志「研究用エックス線装置の安全管理と課題」放射線生物研究 59(2)(2024)157-164.

2) 榎本 敦 「クリーンベンチ・安全キャビネット内での非密封放射性同位元素で汚染した空気の循環について」保健物理 59(3)(2024)118-123.

2. 学会発表

1) 古渡 意彦、飯本 武志、五十嵐 悠、榎本 敦、片岡 憲昭、辻 智也、橋本 周、小田 啓二、赤平 理紗

「非破壊検査分野等におけるエックス線作業における放射線安全教育に関する専門研究会－活動計画及び現状－」第 5 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会

2) 中田よしみ、榎本 敦

「私の施設の規則第 20 条に係る測定の信頼性確保の様式」令和 6 年度日本アイソトープ協会年次大会

G. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

別添 4

なし

3. その他

なし

H. 引用文献

- [1] 日本アイソトープ協会
<https://www.jrias.or.jp/seminar/cat22/>
access on 15th February 2025.
- [2] 原子力安全技術センター
<https://www.nustec.or.jp/teiki/teiki01.html> access on 15th February 2025.
- [3] 電子科学研究所
<https://www.esi.or.jp/workshop/works-hop05.html> access on 15th February 2025.
- [4] 日本診療放射線技士会
<http://www2.jart.jp/activity/teikikousyu.html> access on 15th February 2025.
- [5] 日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会
<https://www.jrias.or.jp/report/cat3/list.html> access on 15th February 2025.

I. 分担研究報告（調査報告）

産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育等の取組み事例に関する調査

分担研究者 五十嵐 悠

（東京大学 大学院医学研究科・医学部環境安全管理室 特任助教）

分担研究者 飯本 武志

（東京大学 環境安全本部 教授）

調査要旨

本調査は、世界各国の産業用エックス線利用に関する制度設計及び教育の取組み事例を我が国におけるエックス線作業主任者及び作業者を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた効果的な教育・訓練パッケージ開発に反映する事を目指し、オンラインアンケートおよび訪問調査を通じて各国の先進的な制度設計や特徴的な教育体系に関する情報を収集することを目的としている。本年度はオンラインアンケートフォームの作成、国際原子力機関への協力要請、韓国への訪問調査をおこなった。アンケートフォームは設問を 6 セクションに分け、各国の教育制度の有無、教育対象者や内容、時間数など尋ねる内容とし、国際原子力機関および韓国の専門家から概ね理解が得られた。国際原子力機関への協力要請では、先行的なアンケート調査に向けた実施先の提案といった本調査実施への理解と協力への合意のみならず、放射線安全基準委員会での本調査の紹介という大きな成果が期待できる成果を得ることが出来た。韓国訪問調査では、一本化された制度設計、オンライン教育や受講歴の一括管理など先進的な教育体系に関する情報を得ることが出来た。次年度はアンケート調査の本格実施を進めると共に、先進的な取り組みをしている欧米への訪問、国際会議や国際学会での本調査の紹介および各国専門家との意見交換を計画している。

A. 調査目的

本調査は、産業用エックス線利用に関する世界各国の制度設計及び教育の取組み事例に関する調査を通して先進的な制度設計や特徴的な教育体系に関する情報を収集し、我が国におけるエックス線作業主任者及び作業者を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた効果的な教育・訓練パッケージ開発に反映する事を目的としている。

背景として、国際原子力機関(IAEA)が発行している IAEA 安全基準シリーズ GSR Part3 では、職業被ばくに関する雇

用主、登録者および許可取得者に対して、職業被ばくを伴う活動に従事する全ての作業員について、適切な訓練と必要な能力の確保に必要な定期的な再訓練の提供を確実にすることを求め、さらに訓練の記録を保存しなければならないとしている[1]。

GSR Part3 の下位文書にあたる、職業被ばくに関する一般安全指針 GSG-7 では、作業員のための研修では、放射線に関するリスク、放射線防護で用いる基本的な量と単位、放射線防護の要件、事故時の対応等の内容を含むよう求めている。また、研修

についての記録を保管し、定期的に再研修を実施する事も求めている[2]。非破壊検査で使用される放射線の安全に関するガイドである SSG-11 では、非破壊検査を実施する技術者向けのトレーニングプログラムの確立が求められている。トレーニングプログラムでは、放射線の種類や測定手法、生物学的影響等の基本的知識、放射線防護の概念や規制の要件、遮蔽計算や装置操作、緊急時対応などの実践的知識を含むことが不可欠とされている[3]。セキュリティ検査等で使用される放射線の安全に関するガイドである SSG-55 では、放射線の種類や特性、装置使用時の被ばく、放射線のリスク、過去の事故事例の教訓や緊急時の対応方法等をトレーニングプログラムに含むように求めている[4]。

しかし、具体的な教育内容や方法、教育時間の長さや再教育の頻度などは各国に任されているのが現状である。

そこで、世界各国の産業用エックス線利用に関する制度設計に関する情報を、特に教育に関する取組みに着目して収集し、我が国における教育・訓練パッケージ開発に反映する。

B. 調査方法

本研究事業の期間3か年内で世界各国の産業用エックス線利用に関する制度設計や教育の取り組みの情報を収集し、我が国における教育・訓練パッケージ開発に反映するため、オンライン形式のアンケート調査を主な調査方法として採用する。1年目はオンラインアンケートフォームの作成、2年目にアンケートの実施と結果の解析、3年目に教育・訓練パッケージへの反映をおこなう。また、先進的な制度設計や特徴的

な教育体系を持ついくつかの国を訪問し、意見交換を通してアンケート調査では得られない詳細な情報収集をおこなう。

C. 調査の進捗状況

本項ではアンケート調査に向けた準備の進捗状況について紹介する。

1. オンラインアンケートフォームの作成

1年目である令和6年度は、オンラインアンケートフォームを作成した。

アンケートでは各国の制度設計を正確に回答してもらうため、回答者を

- ・ IAEA に加盟している国・地域
- ・ 各国 2~3 名の専門家

と想定し、設問を

- ・ 多肢選択式
- ・ 回答所要時間 5~10 分程度
- ・ 質問数 30 問程度

としている。また、設問の構成は

- ・ Information of respondent
- ・ Regulations of X-ray
- ・ Initial education and training for X-ray radiation workers
- ・ Periodic education and training for X-ray radiation workers
- ・ X-ray safety supervisor without national license
- ・ International Perspectives

の6セクションとし、各国の教育制度の有無、教育対象者や内容、時間数など尋ねる内容とした。さらに、より詳細な情報を収集できるよう、承諾いただいた回答者の連絡先もお聞きし、訪問調査へ繋げられるようにしている。

作成したアンケートは IAEA および韓国への訪問時に先方の専門家へ提示し、内容について概ね理解が得られた

International survey for effective safety education and training on X-rays application

* Required

Regulations of X-ray

In Japan, radiation safety regulations are divided into two types of regulations: regulations that mainly regulate the use of radiation, sources, facilities, and regulations that mainly protect workers from exposure. X-ray irradiators in Japan are regulated and categorized based on their tube voltage.

3. Are there any special radiation safety regulations for students* in your country, as distinct from general radiation workers? *Students are those who are being trained for employment involving radiation or who use radiation in the course of their studies or research, not workers. E.g. university student, graduate school student, vocational school student, etc. *

Yes

No

4. Are there any special radiation safety regulations in your country for X-ray irradiators, as distinct from other types of radiation such as alpha and beta radiation? *

Yes

No

5. Does your regulation introduce a graded approach for the management of X-ray?
E.g. Based on the classification on tube-voltage, irradiator design, way of use of irradiator, etc. *

Yes

No

6. Are there any systems of appreciation or frameworks in your country for people who have contributed to maintaining a high level of safety in operations over a long period, particularly for site managers, safety supervisors, or X-ray irradiators?
E.g. receiving awards, increasing share price, increasing the salary, getting the respect, etc. *

Yes

No

図 1. 作成中のオンラインアンケート画面

2. 国際原子力機関(IAEA)への協力要請

オンラインアンケート調査への理解と協力を得るために、令和 7 年 1 月に研究分担者である五十嵐と飯本の 2 名が IAEA を訪問し、IAEA 側の専門家と意見交換をおこなった。IAEA 側からは放射線防護を所掌する Section of Radiation Safety and Monitoring の Section Head である Miroslav Pinak 氏、職業被ばくを所掌する Occupational Radiation Protection Unit の Unit Head である Jizeng Ma 氏、同 Unit の Consultant である前田氏が参

加した (図 2)。



図 2. IAEA での意見交換参加者

意見交換では、日本側から本調査実施に至った背景および我が国における産業用エックス線利用に関する制度の現状、本調査の実施方針について説明した。IAEA 側から我が国における産業用エックス線利用に関する制度の現状について多くの質問がなされたほか、本調査実施への理解が示され、今後の協力体制について検討を進めることで合意した。今後の協力内容としては、

- ・アンケートの設定について専門的見地に基づく確認
- ・先行的なアンケート調査に向けた実施先の提案
- ・IAEA が実施している職業放射線防護評価サービス (ORPAS)、医療、産業、研究産業での放射線撮影における職業被ばくに関するデータベース

(ISEMIR-IR) に関する情報の提供を想定している。先行的なアンケート調査については、ORPAS の枠組みおよび研究者間の地域ネットワークを通じた実施の提案を受けた。

また、IAEA としても産業用エックス線に関する放射線防護の在り方を国際的により深く議論する必要性を感じており、本調査をその契機とすべく、次回開催される IAEA の放射線安全基準委員会

(RASSC) にて本調査および産業用エックス線に関する放射線防護の在り方について、日本として紹介すべきとの提案も得られた。RASSC は IAEA が策定する放射線安全に関する基準の作成・審議に関与する委員会であり、IAEA 加盟国・地域の専門家によって構成されている。したがって、RASSC における本調査の紹介は、本調査のより効率的かつ効果的な実施に繋がるの

みならず、今後の産業用エックス線に関する放射線防護の在り方に関する議論のベースとなる可能性を示す、非常に大きな成果が期待できる。

3. 韓国への訪問調査

オンラインアンケート調査の方法および内容について被調査国の立場からの意見を事前に聴取し改善することで、参加各国の率直かつ有益な情報の取得が期待できる。また、エックス線装置を使用する現場を視察することで、ハード面の安全対策と作業教育の関係性の理解が促進できる。

そこで、令和 7 年 2 月に研究分担者である五十嵐と飯本の 2 名が韓国原子力研究院 (KAERI) を訪問し、オンラインアンケートに関する意見交換、日韓両国における産業用エックス線利用に関する制度設計および教育体系の現状についての意見交換、エックス線装置等の施設見学をおこなった。韓国側からは、KAERI で実施している教育研修を担当する Nuclear Training and Education Center の Principal Researcher である Youngmi NAM 氏、放射線防護に関する研究を担当する Radiation Safety Management Division の Principal Researcher である Jungil Lee 氏、Seung Kyu Lee 氏、Department Manager である Insu Chang 氏、韓国の放射線に関する規制研究をおこなう韓国原子力安全技術院(KINS)で事故対応を担当する Department of Radiological Event Assessment の Head である Hyungjoon Yu 氏が参加した (図 3)。

意見交換では、日本側から本調査実施に至った背景および我が国における産業用エックス線利用に関する制度の現状および規制法令に関する今後の方針、本調査の実施

方針について説明した。韓国側からは、産業用エックス線利用に関する制度設計について説明があり、日韓での制度設計の違いが主な論点となった。



図 3. 韓国での意見交換参加者

韓国における放射線に関する制度設計の特徴として、監督官庁および規制法令の原則一本化が挙げられる。規制法令は原子力安全法、医療分野での利用を除く放射線利用の監督官庁は韓国原子力安全委員会 (NSSC) となっている。放射線作業者の教育時間や内容、頻度については、産業用エックス線の作業者を含め同法令で定められており、学生と労働者の身分に関係なく同じ教育体系で管理される。特筆すべきは、表 1 に示すように教育時間数は非破壊検査分野とその他分野で分けられており、非破壊検査分野では基礎教育 12 時間と現場教育が 6 時間の計 18 時間、その他分野は基礎教育が 8 時間と現場教育が 4 時間の計 12 時間となっている点である。非破壊検査分野は屋外での作業なども想定され、事故時の影響範囲が大きくなることが想定されるため、放射線発生源のリスクに加え使用環境も含めたリスク評価に基づき教育時間数がその他分野よりも長く設定されている。実際の教育は 3 日間にわたって実施

しているとの事だった。基礎教育用の資料は NSSC 傘下の韓国原子力安全財団 (KoFONS) が紙ベース版とオンライン版を提供している。現場教育については各所属機関や会社側がそれぞれの状況に即した資料を使用している。これらの教育受講歴は KoFONS が管理する RAWIS システムで管理されており、被ばく歴、健康診断結果、従事している作業分野等の情報も一元的に管理されている。産業用エックス線装置を設置する際の NSSC への申請、および放射線安全の管理者に必要な資格および教育内容は管電圧に応じて異なる。管電圧が 50kV を超える場合は設置の届出が必要、かつ放射線安全担当者は教育受講が必要となる。管電圧が 170kV を超える場合は設置の許可が必要、かつ放射線安全担当者となるには放射線安全責任者の資格が必要となる。放射線安全責任者は日本における放射線取扱主任者に相当するが、資格が 2 区分に分けられており、非破壊検査分野での責任者となる場合は最上位区分の資格が必要となる。放射線安全責任者は年次教育に加え、3 年に 1 度の定期教育を受講する必要がある。

日韓における産業用エックス線装置を使用する際の管理者の監督範囲は異なり、日本では安衛法の範囲では労働者のみの監督が必要だが、韓国の規制法令では学生も監督対象となるため、学生の常時監督の適用について議論となった。

エックス線装置等の見学では、KAERI が所有している標準校正場を見学した。エックス線装置等が設置されている部屋にはインターロックが設置されている。インターロックシステムは設計基準が設けられており、装置本体と作業室へのアクセスに対

するシステムに分けられている。装置本体の設計基準では取り外し可能な放射線遮蔽部品が装着されている場合のシステムへの統合や複数のインターロックの設置などが求められている。作業室へのアクセスに対するインターロックでは、装置電源が切られている場合のみアクセス可能であることが求められている。また、インターロック

の他にセンサーの設置による自動停止機能も安全装置として認められている。議論では、これらの安全装置の旧式機器への追加適用の難しさが両国共通の課題であることが認識された。

上記の議論を通し、両国の状況についてより詳細に把握すべきとの共通認識を持ち、情報交換の継続で合意した。

Courses and hours of education

(in relation to Article 138 (6))

Education course	New education hours		Periodic education hours			
	Basic education	Workplace education	Basic education			Workplace education
			1. Radiation safety workers	2. adiological worker other than radiation safety officer	3. Frequent visitors	
General areas	8 hours or more	4 hours or more	Every year 3 hours or more	Every year 3 hours or more	Every year 3 hours or more	Every year 3 hours or more
Area of radiographic inspection	12 hours or more	6 hours or more	Every year 5 hours or more	Every year 5 hours or more	Every year 5 hours or more	Every year 5 hours or more

表 1. 韓国における放射線作業員への教育時間

また、教育体系に関する議論の中で、KINS 側参加者から KAERI が立地する大田市内に所在する韓国国立中央科学館の原子力利用に関する展示の視察を薦められた。展示は KINS が監修しており、原子力発電だけではなくエックス線による手荷物検査や美術品の非破壊検査など原子力・放射線利用について幅広く触れられていた(図 4)。放射線安全についてクイズ形式で学べるコーナーもあり、多くの家族連れで賑わっていた。放射線の利用と安全管理について誰でもいつでも学ぶ事が出来る環境

を作ることが、エックス線をはじめとする放射線利用時の安全意識を持たせる事に効果的であるという印象を持った。



図 4 韓国国立科学館の展示

D. 次年度以降の調査方針

今年度に得られた成果に基づき、次年度以降は下記の調査方針を計画している。

1. オンラインアンケートの実施

IAEA および韓国訪問時の議論に基づき修正作業を進めている。特に韓国訪問で得られたような詳細情報を現在のアンケートフォームで全て得ることは難しいため、詳細情報を得られるようアンケートフォームを修正中である。修正作業完了後、IAEA 側の提案に基づき ORPAS の枠組みおよび研究者間の地域ネットワークを通じたアンケート調査をスタート予定である。また、RASSC での本調査の紹介方針について、国内の RASSC 関係者と調整中である。

2. 訪問調査

韓国への訪問調査を通し、各国の専門家との直接の意見交換の重要性が明らかとなった。そのため、引き続き複数国の訪問調査を検討している。現時点では IAEA 安全基準の基礎となる先進的な規制・教育をおこなっている欧州・北米への訪問を計画している。

また、2025 年 10 月に UAE のアブダビで開催される 8th International Symposium on the System of Radiological Protection にて本調査に関する発表を予定しており、同時に各国の専門家との意見交換を計画している。

E. 結論

令和 6 年度は調査実施に向けた準備としてオンラインアンケートフォームの作成と IAEA への調査協力要請、韓国への訪問調査をおこなった。

オンラインアンケートフォームの作成では、多くの国から回答を得られる設問設定をおこない、設問の内容や様式について IAEA および韓国の専門家から概ね理解が得られた。次年度は引き続き修正作業を進めるとともに、ORPAS の枠組みおよび研究者間の地域ネットワークを通じた調査を実施する。

IAEA への調査協力要請では、本調査への理解と協力への合意のみならず、RASSC での紹介という本調査が産業用エックス線に関する放射線防護の在り方に関する議論のベースとなりうる非常に大きな成果が期待できる提案を受けた。この機会に我が国の現状と課題を各国と共有し、産業用エックス線利用に関する各国の状況を、我が国における教育・訓練パッケージ開発に反映する。

韓国訪問調査では、制度設計の違いと両国それぞれの課題が明らかとなった。また、教育をオンラインでも実施し、教育履歴を共通システムで管理するという先進的な試みの情報も得ることが出来た。引き続き情報交換を継続し、我が国における教育・訓練パッケージ開発への反映可能性を検討する。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

1. 引用文献

[1] IAEA, “Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3”, IAEA, 2014.

[2] IAEA, “Occupational Radiation Protection. IAEA Safety Standards Series No. GSG-7”, IAEA, 2018.

[3] IAEA, “Radiation Safety in Industrial Radiography. IAEA Safety Standards Series No. SSG-11”, IAEA, 2011.

[4] IAEA, “Radiation Safety of X Ray Generators and Other Radiation Sources Used for Inspection Purposes and for Non-medical Human Imaging. IAEA Safety Standards Series No. SSG-55”, IAEA, 2020

II. 分担研究報告

大型 X 線 CT 装置内に人が立ち入った場合を想定した線量測定

分担研究者 片岡 憲昭

(東京都立産業技術研究センター 技術支援本部 技術支援部

計測分析技術グループ 副主任研究員)

研究要旨

開放管 X 線装置の X 線スペクトル測定と線量測定を行った。フィルターを使用しない時に 70 μ m 線量当量と 1cm 線量当量を評価した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) X 線装置のフィルターを使用しない場合、タングステンフィラメントから発生する L-X 線 (8.0-10keV) のピークが最大となる。Cu フィルター 0.1mm を使用することで、このピークはカットされる。
- (2) フィルターを使用せず照射口から 1.7~3.7cm の距離で 300kV, 100 μ A, 40 秒間 X 線を照射した時、皮膚の線量である 70 μ m 線量当量が 1.3~9.5Sv であった。
- (3) TLD-100H 素子を使用した 1cm 線量当量の測定において、線量マッピングを作成した。その結果、300kV, 100 μ A, 10 分で 2.5mSv ~ 70mSv であった。

A. 研究目的

本分担研究は、ボックス型の X 線装置の点検時にインターロックが作動しなかった場合を想定した際の作業者の被ばく線量を測定する。ボックス型 X 線装置の多くは、遮へい扉を閉めると X 線の発生が可能となるセーフティーサーキットが付けられ、X 線発生時に遮へい扉を開けると自動で X 線が止まるインターロック機能がある。しかしながら、インターロックを解除して作業すること、さらには X 線装置を作成するメーカーでは、基板から作成しインターロックを付ける工程が後になる状態もある。これらの作業において、作業者が安全に X 線装置を作成・点検するには事前の教育訓練が必要であり、あらかじめ X 線の線量を知ることが求められる。汎用的なボックス型 X 線装置は単純 X 線の非破壊検査装置の他に X 線 CT 装置、蛍光 X 線、食品中の異物検査用 X 線装置、X 線回折装置などが挙げられる。これらの X 線装置の中でも X 線発生器部分を 2 つに分けると、①密閉型 X 線管と開放型 X 線管となる。近年、X 線 CT 装置が普及しており、多くは開放管を使用しているため、本分担研究では開放管 X 線 CT 装置内の被ばく線量を測定する。

開放管の X 線装置の構造は図 1 の通りであり管球型と比べ焦点寸法が小さいため拡大撮影してもボケが少なく分解能が高いが、出力は小さい。しかしながら、X 線の線量は距離の 2 乗に反比例するため点検作業用に近距離で照射されると大線量を被ばくする。また、X 線は物質と相互作用し散乱する性質があるため X 線ビーム外でも被ばくする。

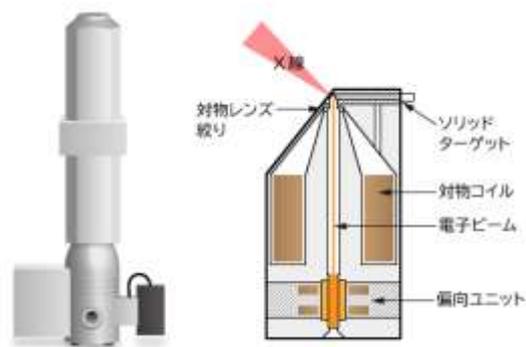


図 1 開放管型 X 線装置の概要図

(松定プレジジョンの HP より引用[1])

以前の研究で、管球型 X 線装置を使用する時、固有または付加フィルターの有無で被ばく線量が大きく異なった[2]。これは、X 線発生源であるのタングステンターゲットから放出される特性 X 線 (L 線) が影響していたためである。開放管型の X 線 CT 装置についてもタングステンフィラメントの発生装置側に Al ウィンドウまたは Be ウィンドウを使用している場合がある。Al ウィンドウでは LX 線は放出されないが、Be ウィンドウでは LX 線が放出される。補足であるが、Be ウィンドウの X 線装置の特徴としてプラスチックや小さなサンプルを撮影する時にコントラストの明暗が大きく開くため、識別しやすくなるという特徴がある。本分担研究においては、Be ウィンドウを使用した大型 X 線 CT 装置の被ばく線量を測定すること。さらに X 線のエネルギースペクトルを測定することで、70 μ m 線量当量、1cm 線量当量の評価に役立てる。

B. 研究方法

B-1 X 線スペクトル測定

研究期間 1 年目である令和 6 年度は、東芝 IT コントロールシステム株式会社製の大型 X 線 CT 装置 TXS-34500FD HS のマ

マイクロフォーカス管 (300kV) を使用して被ばく線量を測定した。図2のように EMF 社製 X-123 CdTe X線スペクトル測定装置(タングステンコリメータ 0.4mmΦ使用) を配置し、フィルター無しの状態と図3のように 0.1mm の Cu フィルターを付加した状態で X線スペクトルを計測した。次に、図4のように X線照射口からビームの直線距離で 20cm、そこから水平方向に 20cm 移動させた時におけるビームと垂直方向での X線スペクトルを測定した。



図2 大型 X線 CT 装置 TXS-34500FD HS の X線エネルギースペクトル測定



図3 大型 X線 CT 装置 TXS-34500FD HS に Cu0.1mm フィルターを付加



図4 線源から垂直方向に 20cm かつ水平方向に 20cm 移動した時のエネルギースペクトル測定

B-2 EBT-4 による直接線の線量測定

Be ウィンドウからの直接 X 線を計測するため図5のように X線照射口から 1.7cm、2.7cm、3.7cm の距離にアールテック有限会社製のガフクロミックフィルム EBT-4 を配置し 300kV、100μA、付加フィルターを使用せずに 40 秒照射した。EBT-4 の読み取りはエプソン社製スキャナーGT-X980 で透過光を測定し赤色の 65536 階調で評価した。また、EBT の線量-グレイ値の校正は、JQA で校正済みの東洋メディック社製の電離箱 RAMTEC-Solo A4 プローブを使用し、コメント社製 X線発生装置 MG1450 を使用して線量校正した。

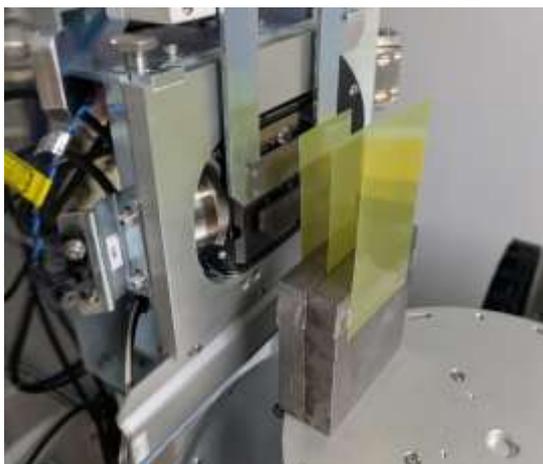


図5 EBT-4 を用いた Be ウィンドウからの直接 X 線の線量測定



図6 TLD-100H の配置写真

B-3 TLD-100H による線量測定

散乱線と 1cm 線量当量を評価するために TLD-100H 素子 (3.2mm × 3.2mm × 0.89mm) を使用して、厚み 1mm のアルミ板に図 6、7 のように 1 箇所 3 個の TLD-100H 素子を線源とは逆向きに配置した。このアルミ板を 3 枚用意し、図 8 のように 30cm × 30cm × 15cm の水ファントムの前後に TLD-100H 素子を貼り付けたアルミ板を線源と逆向きになるように配置した。1 枚目のアルミ板は線源から 10cm の距離、2 枚目が線源から 25cm、3 枚目が線源から 31cm の距離である。照射管電圧は 300kV、管電流 100 μA、照射時間は秒で照射した。照射後の TLD-100H 素子は Thermo Electron corporation 製の TLD Reader Harshaw 3500 を用いて 140-210°C (15°C / 1 秒) で積算発光量を読み取り、線量に換算した。

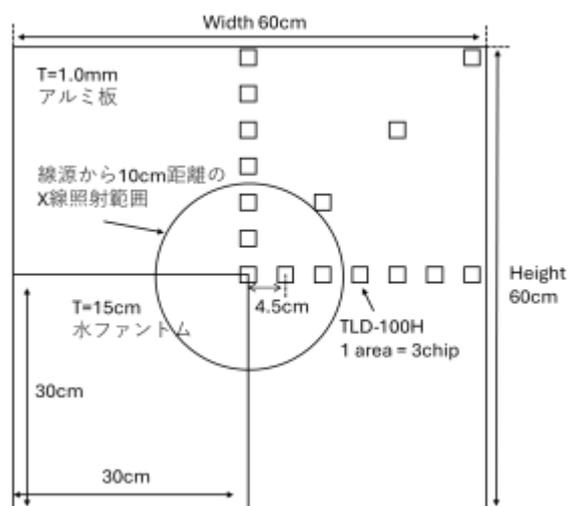


図7 TLD-100H 素子を用いた線量測定の配置図



図8 TLD-100H を配置したアルミニウム

板 1 層目、2 層目、3 層目の概要写真

(1 層目と 2 層目の間に水ファントムが配置され、線源との距離は 1 層目が 10cm、2 層目が 25cm、3 層目が 37cm である。)

C. 研究結果

C-1 X線スペクトル測定

図 9 に図 2 の条件で測定した X 線スペクトルを示す。また、図 10 に図 3 の条件で測定した X 線スペクトルを示す。開放管型の X 線 CT 装置においてもフィルターを使用しない時に 8keV-10keV においてタングステンフィラメントから発生する L-X 線が観測された。Cu フィルター 0.1mm を使用すると消えることがわかる。以前の研究[2]では、水の厚み 10mm 相当でタングステンの L-X 線が消えることが知られている。

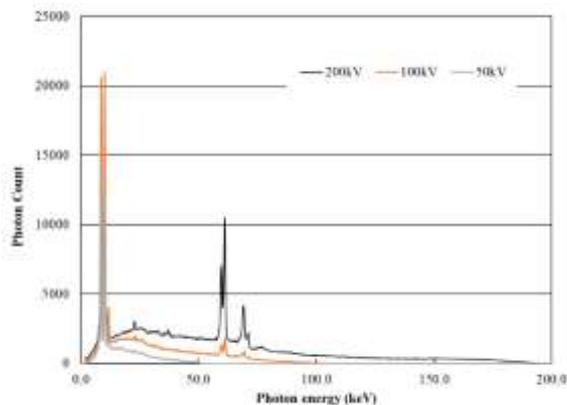


図 9 フィルターを使用しない時の直接線のエネルギースペクトル

(黒線：200kV, オレンジ線：100kV, 灰色線：50kV の管電圧)

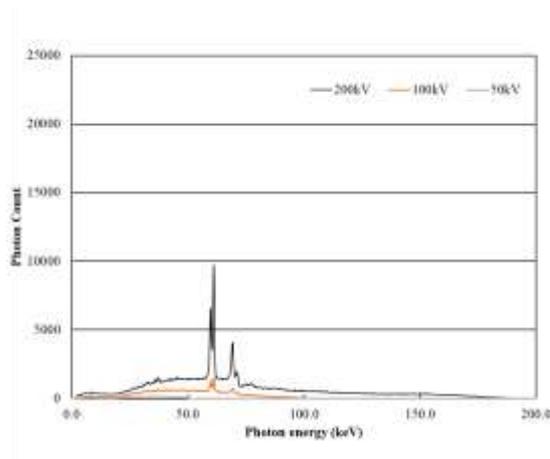


図 10 Cu フィルター厚さ 1.0mm を使用した時の直接線のエネルギースペクトル

(黒線：200kV, オレンジ線：100kV, 灰色線：50kV の管電圧)

図 11 に図 4 の条件で測定した X 線スペクトルを示す。照射口の外側で測定しているため、計測した X 線は散乱線である。この結果から、200kV では 77.5keV と 88.5keV にピークが見られたこと。100kV と 50kV では 10keV にピークが見られた。散乱線は直接線に比べて数%程度しか発生しないため、カウント数が小さかった。さらに、低エネルギーほど、カウント数が小さくなる傾向にあった。

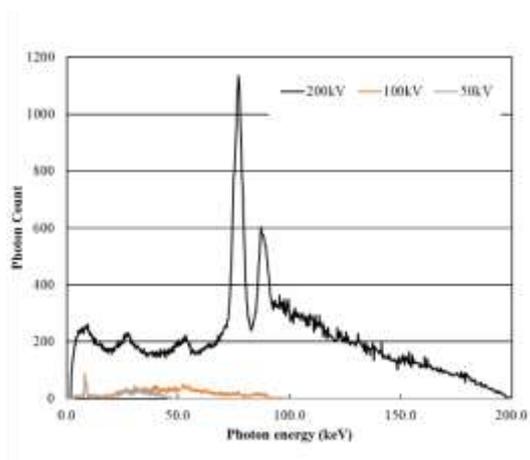


図 11 Cu フィルター厚さ 1.0mm を使用

した時の散乱線のエネルギースペクトル
 (黒線 : 200kV, オレンジ線 : 100kV, 灰色線 : 50kV の管電圧)

C-2 EBT-4 による直接線の線量測定

次に、図 5 の条件で照射されたガフクロミックフィルム EBT-4 は線量が高くなると緑色から深い青に変化し、図 1 2 のように照射された範囲が着色する。



図 1 2 照射され、着色したガフクロミックフィルム EBT-4

また、EBT-4 の線量校正曲線を図 1 3 に示す。

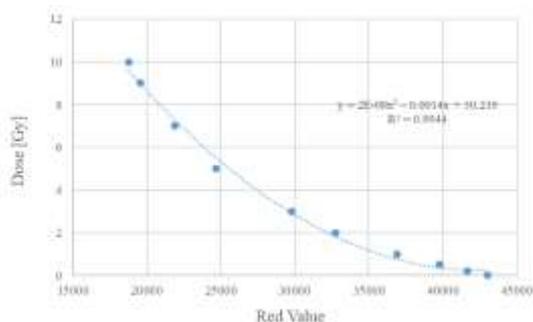


図 1 3 ガフクロミックフィルム EBT-4 の線量—赤色階調の校正曲線

図 5 の配置で 300kV, 200 μ A, フィルターを使用せず 40 秒照射した時の各線量の結

果は表 1 の通りである。

表 1 直接線フィルターなしで 40 秒照射した時の各距離における線量とビーム半径

距離 (cm)	線量 (Gy)	ビームの半径 (cm)
1.7	9.5	2.8
2.7	3.1	4.46
3.7	1.3	6.08

フィルターを使用していないため 8keV-10keV においてタングステンフィラメントから発生する L-X 線の影響を受け、直接線の線量は非常に高かった。

C-3 TLD-100H による線量測定

TLD-100H を配置した図 6 ~ 8 の条件で X 線を照射した時の 1 層目 ~ 3 層目の線量等高線図を図 1 4 ~ 1 6 に示す。

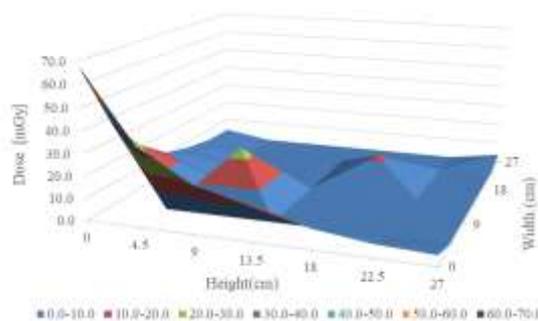


図 1 4 アルミ板 1 層目 (線源距離 10cm) における線量マッピング

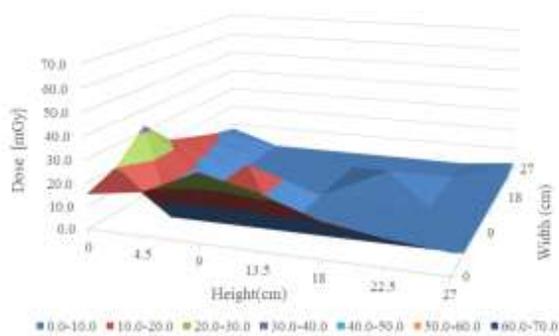


図 1 5 アルミ板 2 層目 (線源距離 25cm) における線量マッピング

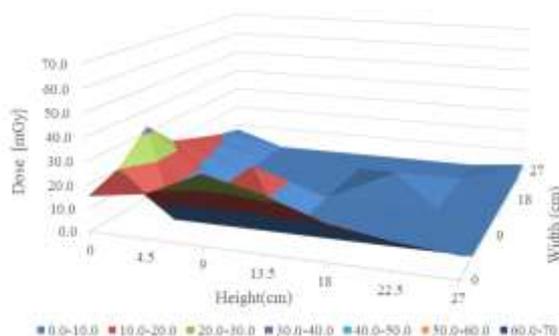


図 1 6 アルミ板 2 層目 (線源距離 25cm) における線量マッピング

TLD-100H 素子を線源に対してアルミニウム板の裏側につけたことから、8keV-10keV の L-X はカットされ、高くとも数十 mGy 程度の線量となった。しかしながら、線源から離れた位置であっても数分で数 mGy の線量を受けることがわかり、インターロックを解除し、人がボックス内にいる状態で使用するには高すぎる線量であった。

D. 考察

1cm 線量当量を計算する際に使用される TLD 線量計は 3.2mm×3.2mm×0.89mm である。フィルターを使用していない X 線装置でスペクトルを測定すると 8keV-10keV に最大のピークが表れるが、TLD-

100H 線量計を使用すると均一に照射されないため正しい線量が測定できない。特に、斜めから照射される場合、表と裏で読み取り発光量が異なるため極低エネルギー X 線の線量を調査するには困難である。つまり、10keV 以下の X 線が発生するような放射線場で 70 μ m 線量当量を測定するには厚みのある線量計を使用することはできず、フィルムタイプの線量計を使用する必要がある。今回使用した EBT-4 線量計は感光層 25 μ m の上下に 125 μ m のポリエチレンの保護層があるため、70 μ m 線量当量を測定するに適している。少し乱暴ではあるが、X 線は光子であるため線質係数=1、つまり、Gy=Sv として評価する。その場合、本結果からも明らかとなったが、300kV の X 線 CT 装置をフィルターなしで使用する場合、70 μ m 線量当量が 10 秒程度で 1~10Gy に達することに注意する必要がある。また、TLD-100H を使用した 1cm の線量当量においても線質係数=1 として計算し、300kV, 100 μ A, 10 分で 2.5mSv ~ 70mSv と線量限度を超える可能性もあるような線量となった。X 線の監督者は X 線装置の点検時において線量マッピングを事前に配布し、X 線で事故を起こした場合、非常に高い線量を受けることを周知しなければならない。

E. 結論及び今後の課題

令和 6 年度では開放管 X 線装置の X 線スペクトル測定と線量測定を行った。フィルターを使用しない時に 70 μ m 線量当量と 1cm 線量当量を評価した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) X 線装置のフィルターを使用しない場合、タングステンフィラメントから発生する L-X 線 (8.0-10keV) のピークが最大とな

別添 4

る。Cu フィルター0.1mm を使用することで、このピークはカットされる。

(2) フィルターを使用せず照射口から1.7~3.7cm の距離で300kV, 100 μ A, 40 秒間 X 線を照射した時、皮膚の線量である 70 μ m 線量当量が 1.3~9.5Sv であった。

(3) TLD-100H 素子を使用した 1cm 線量当量の測定において、線量マッピングを作成した。その結果、300kV, 100 μ A, 10 分で 2.5mSv ~ 70mSv であった。

今後は、野外で実施される非破壊検査 (JIS Z 3104 または JIS Z 3105) の線量マッピングを作成するとともに、ハンドヘルド型 X 線装置と X 線回折装置、蛍光 X 線装置などの線量マッピングを作成する。これによって、X 線取扱主任者並びに X 線の業務従事者の被ばく線量を少なくするような意識改革を教育訓練で実施したい。さらに、本データを誰でも使用できるように、わかりやすく教材にまとめていく予定である。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

片岡憲昭、古田雅一 “工業用低エネルギー X 線装置の線量測定と深度線量分布” 第 5 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

[1] 松定プレシジョン株式会社 HP, https://www.matsusada.co.jp/column/x-ray_tube_ps.html

[2] Noriaki Kataoka, Nguyen Thi Thuy Linh, Yuko Kumeda, Ryoko Asada, Masakazu Furuta, Masayuki Sekiguchi, Hirokazu Ando, Masakazu Matsushita, Tamikazu Kume, Radiation sensitivity of *Aspergillus niger* of low-energy X-rays and Caesium-137 gamma rays, *Radiation Physics and Chemistry*, 218, 111586, 2024

II. 分担研究報告

エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究

分担研究者 辻 智也

(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課)

研究要旨

本分担研究はエックス線スペクトロメータ等を用いてエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定を実施し、得られた結果をエックス線装置の安全管理に係る教育・講習内容の資料として提供することを目的とする。

令和 6 年度は次年度以降のエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備を中心に実施した。エックス線スペクトロメータとして選定した EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 (EMF 社製) は標準場での照射試験及び現場測定から得られる光子フルエンススペクトルは概ね妥当と判断できた。これより本スペクトロメータを用いると、5~400keV までと幅広いエネルギー範囲かつ 100mSv/h 程度の高線量率下での光子エネルギー分布の測定が可能と見込まれる。また、エックス線スペクトロメータや電離箱式サーベイメータでは難しい二次元線量分布もガフクロミックフィルムにより定量的に解析する手法を開発した。よって、エックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備を概ね完了することができた。

A. 研究目的

本分担研究は製造業、非破壊検査業のエックス線作業主任者（以下、主任者）を選任する事業場において、安全衛生に係る能力向上に向けた取組み状況とエックス線作業環境及び放射線防護措置の現状を調査・分析したうえで被ばく事故防止及び線量低減に実効性ある教育内容・講習を検討し、事業場への実装に資するため、使用されるエックス線装置と実際の作業環境におけるエックス線場の特徴を把握することを目的とする。

我が国の産業分野における放射線業務のうち、労働安全衛生法（以下、安衛法）施行令第6条第5号に掲げる作業については、事業者によって電離放射線障害防止規則（以下、電離則）第46条に定める主任者が選任され、作業管理等がなされている。しかしながら、主任者によって監督されているにもかかわらず被ばく事故が発生しており、2021年5月29日には兵庫県姫路市において被ばく事故が発生し、作業者が年間線量限度の数倍から数十倍に及ぶ被ばくをした可能性があるとの報告があった。この被ばく事故に関して、日本保健物理学会に設置されたエックス線被ばく事故検討ワーキンググループ（事故検討WG）では、事業場でのエックス線被ばく事故につながる問題点・課題の一つとして、主任者の能力向上に関する教育の重要性が指摘されている[1]。主任者の能力向上を図るための教育、講習等を受講させることは、安衛法第19条の2で事業者の責務として規定されている一方で、作業者の被ばく事故回避及び被ばく線量低減に対しては改善の余地がある。主任者及び作業者の安全衛生に係る能力向上のための取組みと放射線防護対策措置の

具体例を含めた現状を把握し、多岐にわたる事業場で実行可能で、かつ実効性ある教育訓練及び講習を検討し、導入する。

効果的な教育訓練・講習には、被ばく事故事例からの教訓に加え、事故回避に資する注意喚起及び放射線防護対策を促すような内容が含まれていることが望ましい。このためには、使用されるエックス線装置と実際の作業環境におけるエックス線場の特徴を把握することが不可欠である。本分担研究では、主任者を選任している事業場を対象とした主任者及び作業者を対象とした安全衛生に係る能力向上に向けた取組み及び放射線防護対策措置の現状についてのアンケート調査（以下、アンケート）で協力が得られた事業場の中から数箇所を選定し、エックス線スペクトロメータ、電離箱式サーベイメータ等を用いてエックス線装置からの漏えいエックス線及びエックス線装置での被ばく事故時に想定されるエックス線の線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定を実施し、得られた結果をエックス線装置の安全管理に係る教育・講習内容の資料として提供する。

B. 研究方法

本研究分担では研究期間3カ年内で、主任者を選任している事業場の数箇所において、X線スペクトロメータ、電離箱式サーベイメータ等を用いてエックス線装置からの漏えいエックス線及びエックス線装置での被ばく事故時に想定されるエックス線の線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定し、得られた結果をエックス線装置の安全管理に係る教育・講習内容の資料として提供する。

研究事業1年目である令和6年度はエッ

クス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けて、(1)測定器の選定、(2)測定可能なエネルギー範囲の検討、(3)コリメータの検討、(4)二次元線量率分布測定手法の検討、(5)模擬測定での課題抽出、(6)情報収集を実施した。

(1)測定器の選定

製造業、非破壊検査分野でエックス線による透過撮影は幅広く利用されているが、検査対象や分析方法によって求められるエックス線のエネルギーが異なっている。そこで、今回の測定対象となりうるエックス線装置のエネルギーを調査し、測定器を選定した。

(2)測定可能なエネルギー範囲の検討

分担研究の遂行にはエックス線スペクトロメータで幅広いエネルギー領域を測定できることが望ましい。国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所に所在する放射線標準施設棟（以下、FRS）では放射線測定器の試験を実施するために様々なエネルギーの光子標準場を整備している。選定したエックス線スペクトロメータが標準場の光子のエネルギー分布を測定可能であるか確かめることで測定可能なエネルギー範囲を検討した。

(3)コリメータの検討

測定を行うエックス線装置は非破壊検査等の用途で使用されている機器であり、照射する線量率も高いことが予想される。エックス線スペクトロメータは高線量率下でデッドタイムによる計数率低下やパイルアップによるスペクトル変化が生じるため、測定時には適切にコリメートすることが必要となる。そこで、整備済みのコリメータを

用い、一定の線量率下でコリメータを変化させた時の計数率の変化から適切なコリメータを検討した。

(4)二次元線量分布測定手法の検討

エックス線装置からの二次元線量分布を測定することを目的として、現像処理が不要で蛍光灯下での取り扱いが可能という特徴のガフクロミックフィルム EBT4（Ashland 社製）を選定した[2]。当該フィルムにエックス線照射を行うと黒化し、現場において目視で定性的な把握が可能である。二次元線量分布を定量的に測定することを目的として黒化度を解析する手法を検討した。

(5)模擬測定での課題抽出

来年度以降は実際にエックス線装置を扱っている現場に赴いてエックス線装置からの漏えいエックス線及びエックス線装置での被ばく事故時に想定されるエックス線の線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定を実施する予定としている。今年度は協力が得られた事業所において、実際にエックス線スペクトロメータの設置や電離箱式サーベイメータを用いた模擬サーベイを行う模擬測定を行うことで、現地測定における課題を抽出した。さらに、使用されているエックス線装置のサイズや設置場所等、現地で測定する際に考慮すべき事項を調査した。

(6)情報収集活動

第5回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会、非破壊検査分野等におけるエックス線作業における放射線安全教育に関する専門研究会に参加し、情報収

集活動を行った。

C. 研究結果

(1)測定器の選定

エックス線スペクトロメータとして以下の2種類が整備済みである。

① EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器[3]

素子サイズ：5 mm×5 mm×1 mm

分解能：1.5 keV FWHM @ 122 keV

② AMPTEK X-123 シリコンドリフト検出器[4]

素子サイズ：25 mm²×0.5 mm

分解能：125 eV FWHM @ 5.9 keV

2種類のスペクトロメータを比較すると、エネルギー分解能はシリコンドリフト検出器の方が高いが、CdTe 放射線検出器が100keVのエックス線まで100%の検出効率であるのに対してシリコンドリフト検出器の検出効率は30keV以上で急激に低下していく。

測定対象となりうるエックス線装置では、被写体が軽元素で構成される有機物を撮影する食品検査装置は20keV程度のエネルギーを持つエックス線が使用されるのに対し、被写体が金属であることや被写体が大きくなる配管や構造物検査には120keVから450keV程度のエネルギーを持つエックス線が使用されている[5]。本分担研究の遂行には幅広いエネルギー領域で測定する必要があるため、エックス線スペクトロメータとしてEMF123-0型CdTe放射線検出器(EMF社製)を選定した。

電離箱式サーベイメータについては、デジタル表示で可読性が高いこと、メモリ内蔵型で測定値の記録が測定器単体で完結することから、ICS-1323(アロカ社製)を選定した[6]。

(2)測定可能なエネルギー範囲の検討

EMF123-0型CdTe放射線検出器はメーカーカタログにおけるエネルギー測定範囲は5~200 keVとされている[3]。同等のスペクトロメータで300keVを超えて測定をしている先行研究があることから[7]、EMF123-0型CdTe放射線検出器で¹³³Ba標準場の光子フルエンススペクトルを測定可能であるか確かめた。



図1 実験セットアップ

図 1 のとおり、 ^{133}Ba 線源から 1m の位置 のガンマ線放出割合に比べて低エネルギー

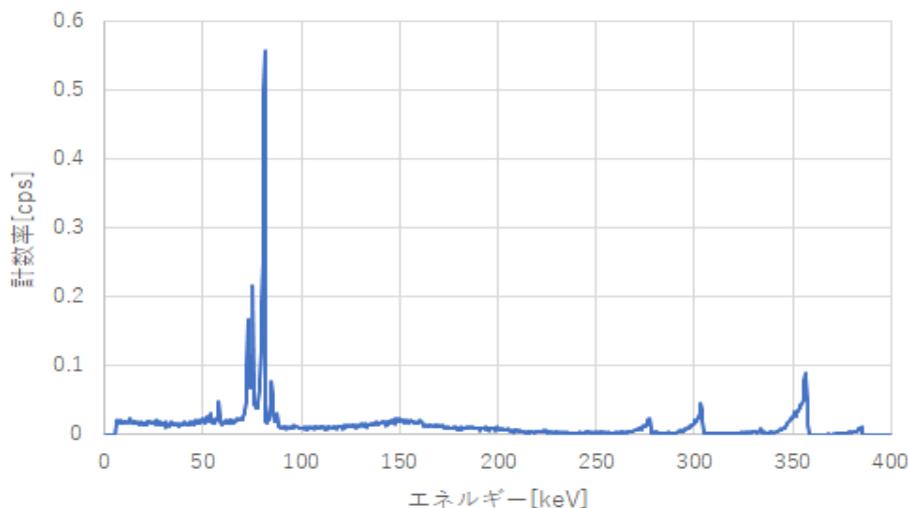


図 2 波高スペクトル

に EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器を設置し、スペクトル測定を実施した。線源は散乱線の影響を低減するため、鉛製コリメータに装荷している。また、線源に 2mm 厚の鉛キャップを被せることで低エネルギーのガンマ線を除去していることがこの標準場の特徴である。測定時の基準空気カーマ率は $1.85 \pm 0.03 \mu\text{Gy/h}$ であった。

のガンマ線の計数率が高く測定されているが、これは 100keV 以上では光子エネルギーが高くなるにつれて検出効率が低下しているためである。

光子フルエンススペクトルは EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器の光子に対する応答関数を作成し、測定された波高スペクトルをアンフォールディングすることで導出し

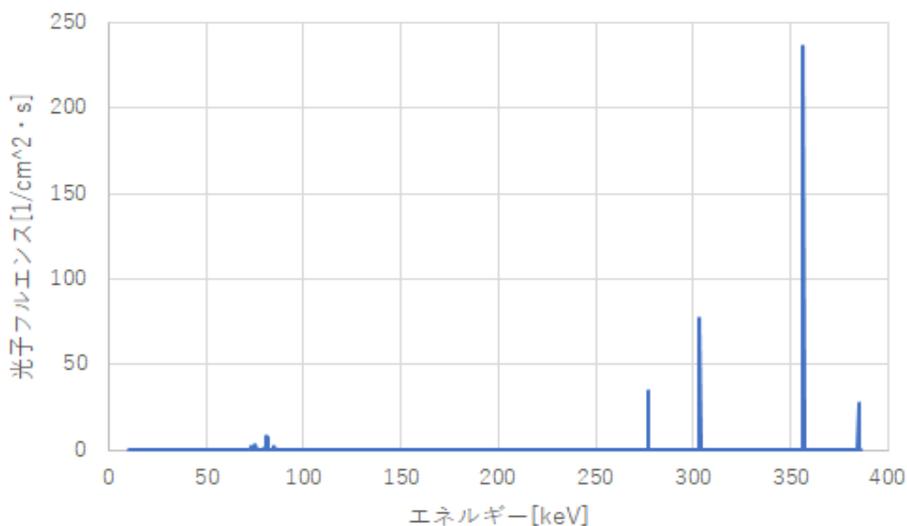


図 3 光子フルエンススペクトル

図 2 に EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器で測定された波高スペクトルを示す。 ^{133}Ba

た。まず、EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器の構造を模擬した体系を作成し、モンテ

別添 4

カルシミュレーション「PHITS」[5]を使用して計算される検出器中での沈着エネルギーが波高スペクトルに対応するとして、入射光子のエネルギーを 400 keV まで 0.4 keV 刻みで合計 1000 エネルギーの光子線に対する波高スペクトルを計算することで応答関数を作成した。波高スペクトルのアンフォールディングには UMG3.3 コードパッケージに含まれる MAXED コードを使用した[8]。

図 3 に光子フルエンススペクトルを示す。波高スペクトルでは検出器の特性により低エネルギー側にテールが見られたが、検出器の応答を模擬した応答関数を用いるアンフォールディングによって単色エネルギーの分布となった。この光子フルエンススペクトルに光子フルエンスから空気カーマへの換算係数を乗ずることで得られた空気カーマ率は $2.77 \pm 0.07 \mu\text{Gy/h}$ であった。

整することができる。通常のエックス線装置の測定には前に穴径 0.8mm、後に穴径 0.2mm の 2つの円板を組み合わせることをメーカーは推奨している。今回は FRS の

(3) コリメータの検討



図 4 EMF123-1 型コリメータセット

コリメータは図 4 に示す整備済みの EMF123-1 型コリメータセットを使用する[3]。このコリメータセットは外径 18mm、2mm 厚の純タングステンに径が異なる穴が空いた円板 11 枚から構成されており、専用治具に円板をセットすることで穴径を調

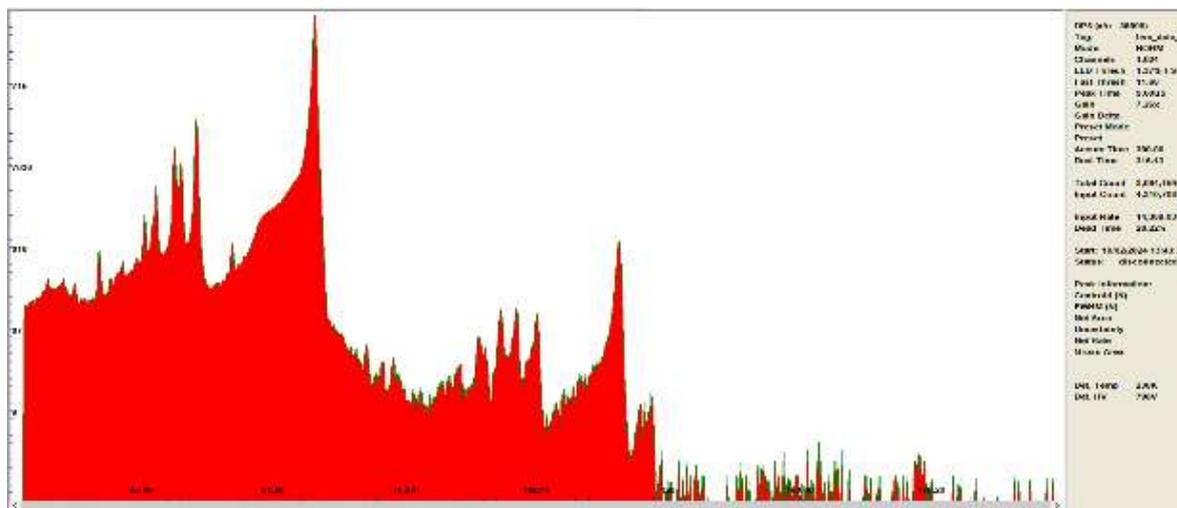


図 5 波高スペクトル (コリメータ無し)



図 6 波高スペクトル (0.8mm-0.2mm)

低エネルギー光子場である ^{241}Am 線源を用いた標準場 (光子平均エネルギー: 59.3keV) を用いて[9]、コリメータの穴径による計数率の変化を調査した。測定時の基準空気カーマ率は $65.9 \pm 1.1 \mu\text{Gy/h}$ であった。

図 5 にコリメータが無い場合の波高スペクトル、図 6 にコリメータとして穴径 0.8mm と穴径 0.2mm の 2 つの円板を組み合わせた場合の波高スペクトルを示す。コリメートすることで計数率は $1/1100$ に低下することが確認できた。さらに、穴径 0.4mm と穴径 0.2mm の円板を組み合わせた場合は穴径 0.8mm と穴径 0.2mm の組み

合わせに比べて $1/4$ に低下し、穴径 0.4mm と穴径 0.1mm の組み合わせでは穴径 0.4mm と穴径 0.2mm に比べて $1/4$ になることから、穴径の断面積に比例して計数率が低下することが確認された。

(4) 二次元線量分布測定手法の検討

FRS に設置された軟 X 線発生装置 (エクスロン社製 MG165/4.5) を使用し、管電圧 100kV 、管電流 16mA 、照射距離 32cm の条件でガフクロミックフィルムにエクス線照射を行った。

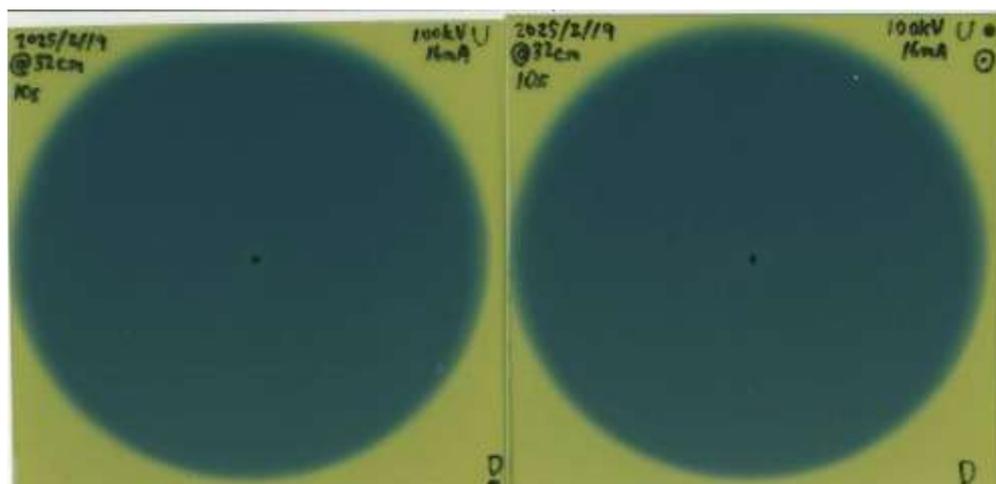


図6 照射後のガフクロミックフィルム

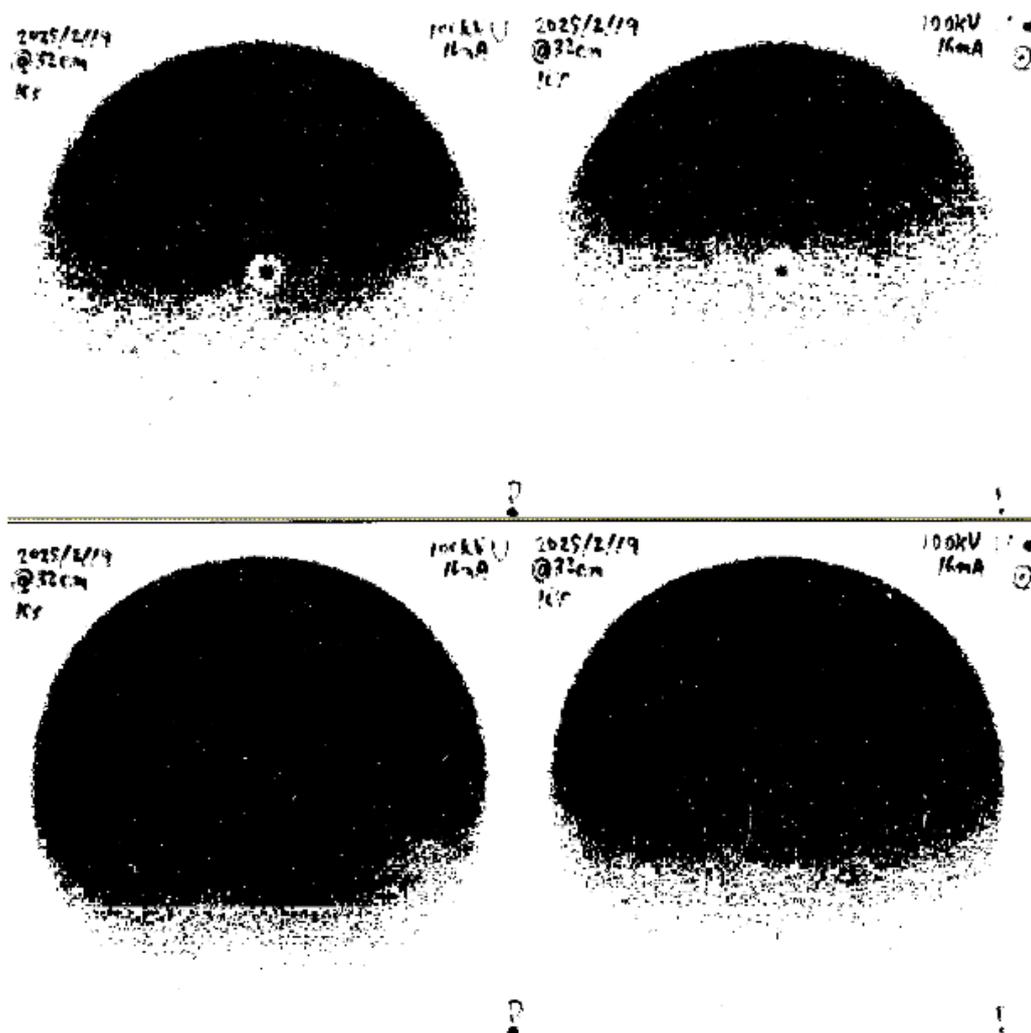


図7 明度しきい値の変化に伴う画像変化

図 6 に照射後のガフクロミックフィルムをスキャンした画像を示す。メーカーからフィルムの縦方向と横方向で感度に違いがあると注意喚起されていることを受けて同一条件で両方向の照射を行った（図 6 左：縦方向、図 6 右：横方向）。図 6 から分かるように目視で黒化度の差異を判断することは難しい。

そこで、照射後のガフクロミックフィルムをグレースケールでスキャンし、画像編集ソフト「GIMP」に取り込んで解析を行った[10]。GIMP の機能で画像明度のしきい値を変化させた様子を図 7 に示す。図 7 上部は明度しきい値を 56、下部はしきい値を 61 に設定している。ガフクロミックフィルムを上下反転してスキャンした画像を解析することで明度しきい値による変化はスキャナーによるものでないことを確認している。一般的にエックス線発生装置ではエックス線管球のタングステンターゲットとのなす角度によって僅かに線量率が異なることが知られている（ヒール効果）が、線量の差異によるフィルムの黒化度の違いを判別することができた。また、フィルムの縦方向と横方向での黒化度に大きな違いは見られなかった。

(5) 模擬測定での課題抽出

株式会社島津製作所 本社・三条工場において、実際にエックス線スペクトロメータの設置や電離箱式サーベイメータを用いた模擬サーベイを行う模擬測定を実施した。

事前準備の段階では測定するエックス線装置は全高が高いと想定し、エックス線スペクトロメータは三脚に固定することが必要と考えた。コリメータ専用治具は三脚への固定が可能であるため、測定する線量率

に関係なくコリメータ専用治具にエックス線スペクトロメータを取り付けることとした。また、エックス線スペクトロメータと電離箱式サーベイメータの測定結果を比較するためには精度良く位置決めをする必要があるため、レーザー距離計などを用意した。



図 8 模擬測定の様子

図 8 に模擬測定の様子を示す。現場でのエックス線スペクトロメータの設置はほぼ事前の見積りどおりの時間で円滑に行うことができた。しかし、コリメータ専用治具の長さが 5cm ほどあるため、漏えい線量の測定などで線量率が低い場合にこの方法では十分に近づけることが困難であることが判明した。また、エックス線装置は分電盤に結線していることが多く、装置の近傍には測定に利用可能なコンセントが存在しないこともあることが分かった。さらに、測定にはエックス線スペクトロメータだけでなく、コリメータ専用治具や三脚なども必要であるため、事業所までの運搬についても課題があった。上記の課題の解決に向けて、必要物品の準備も進め、低線量率エックス線場でのエックス線スペクトロメータ固定治具としてスマホホルダー、測定を行う事業所までの測定機器の運搬用のキャリーケース等を用意した。

調査を行った事業所では図 8 のような机

上に設置された小型のタイプから全高が 2m 近くまである大型のタイプまで、様々な種類のエックス線装置が用途に応じて使用されていた。小型のタイプも広く使われていることが判明したことを受け、三脚の設置が難しい低さで測定することに備えて XYZ 軸ステージ等の固定用治具の準備を進めた。

(6) 情報収集活動

情報収集の結果は次のとおりである。

・第 5 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会

本分担研究に関わるエックス線の測定技術に関する話題として、本研究班の研究分担者によるエックス線の線量測定に関する発表が 1 件、新たなエックス線校正場の整備に関する発表が 1 件なされていた。

新たなエックス線校正場の整備は ^{137}Cs 線源が放出する 662keV ガンマ線の代替としてエックス線を使用するものであり、現状で数十 mSv/h の線量率で測定できるとのことであった。しかし、エックス線はパルス状であり、サーベイメータ等の実用測定器の校正には検討が必要になるとのことであった。

・非破壊検査分野等におけるエックス線作業における放射線安全教育に関する専門研究会

アンケートの実施状況とその結果についての報告があった。アンケートにおいて、利用しているエックス線装置として XRF 装置が見られることが報告された。また、有識者より、広義の非破壊検査には、空港での手荷物検査・食品加工業・製造業における食品

中異物検査も該当するため、これらの業種に対する調査を進めるべきとの意見が出された。また、作業者の中にはエックス線発生装置照射コーンのすぐ後ろで待機し、被ばくしてしまうケースも報告されているため、事故を未然に防ぐために、エックス線を照射したときの線量マッピングの資料があると良いとの意見があった。

D. 考察

・測定可能なエネルギー範囲の検討

エックス線スペクトロメータとして選定した EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 (EMF 社製) の ^{133}Ba 標準場での照射試験において、 ^{133}Ba からの放出ガンマ線の放出割合の文献値とエックス線スペクトロメータの光子フルエンス率から算出される割合は概ね一致しており、測定する光子のエネルギー範囲を 400 keV まで拡張しても光子フルエンススペクトルの形状は測定可能であると考えられる。しかし、エックス線スペクトロメータで測定された空気カーマ率は基準空気カーマ率に比べて 1.5 倍ほど大きい値となっている。これは通常のエックス線スペクトロメータでの測定では導入されるエネルギーしきい値が 81keV ガンマ線の存在で導入できないことも影響していると考えられる。そのため、エックス線標準場でのエックス線スペクトロメータを用いた空気カーマ率の測定により、この不一致が ^{133}Ba 標準場に固有の原因かを探ることが望まれる。

・コリメータの検討

通常のエックス線装置の測定でメーカーが推奨している穴径 0.8mm と穴径 0.2mm の 2 つの円板を組み合わせで、コリメート

しない場合に比べて 1/1100 の計数率となっており、線量率が 10 mSv/h のエックス線場であれば 10 μ Sv/h 相当まで落とすことができるかと期待される。メーカーではインプットレートを 10,000cps で測定するように推奨しているため、穴径 0.8mm と穴径 0.2mm の組み合わせで測定を開始し、インプットレートがメーカー推奨値と比べて高いようであれば穴径が小さいコリメータの組み合わせに変更して再測定する運用を行うこととした。

・二次元線量分布測定手法の検討

照射済みのガフクロミックフィルムの解析手法は確立させることができた。この手法で線量を定量的に読み取るために、基準線量を照射した時にフィルムによらず黒化度が同一であること、異なるエネルギーのエックス線でもフィルムの黒化に影響を与えないことを標準場での照射で確認していく。

・模擬測定での課題抽出

模擬測定では現場での設置は円滑に実施できたことから事前準備の重要性を認識した。測定を行うエックス線装置の大きさや設置環境等の情報を入手し、必要な資機材を準備しておくことが肝となる。

現場においては、エックス線スペクトロメータの設置に 20 分程度、撤収に 10 分程度掛かっており、これに一つの測定ポイントでの測定に 5 分程度、測定ポイントの移動による微調整で 5 分程度は見込まれる。現場測定の時間として 2 時間を確保しても測定は 9 ヶ所程度となることを念頭に測定ポイントを絞り込む必要がある。線量率が低い場合は絞り込んだ測定ポイントの中で

優先順位を付けて測定を実施しないと解析に十分な統計数を確保できない場面も予想されるため、電離箱式サーベイメータでの線量率把握が重要になると考えられる。

さらに、限られた時間で測定するため、どうしても十分な統計数が得られずに凹凸が見られる波高スペクトルとなってしまう可能性も考えられる。スムージング処理を施して解析をしている先行研究もあるが明確なピークが見られる場合は難しい。リビン等によって凹凸が見られるスペクトルを処理する最適な手法を検討する必要がある。

E. 結論及び今後の課題

令和 6 年度は次年度以降のエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備を中心に実施した。

エックス線スペクトロメータとして選定した EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 (EMF 社製) は必要十分な性能を把握していると標準場での照射試験から判断でき、測定で得られる光子フルエンススペクトルは概ね妥当と判断できる。また、本スペクトロメータを使用することで 5~400keV まで幅広いエネルギー範囲かつ 100mSv/h 程度の高線量率下での光子エネルギー分布の測定が可能と見込まれる。また、エックス線スペクトロメータや電離箱式サーベイメータでは難しい二次元線量分布もガフクロミックフィルムと開発した手法により定量的に解析することが可能である。これらの状況からエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定に向けた事前準備は概ね完了した。次年度以降は事業場において、エックス線スペクトロメータ、電離箱式サーベイメータ、ガ

別添 4

フクロミックフィルムを用いてエックス線装置からの漏えい線量率分布及びエックス線エネルギー分布の測定を実施する。

今後の課題として、さらなる定量化のためにはコリメータを装着したエックス線スペクトロメータの高線量率下での照射試験やガフクロマティックフィルムの校正を行うことが必要であり、それにはエックス線標準場で基準線量率での照射が望ましいことが挙げられる。この課題に対してはFRSの軟X線発生装置を活用したエックス線標準場の整備を進めることで対応していく。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

- [1] 秋吉優史, 小田啓二, 笠井篤, 古渡意彦, 阪間稔, 浜田信行, 福士政広, 日本保健物理学会「エックス線被ばく事故検討WG」活動報告—第2分科会 エックス線被ばく事故における線量評価の課題—, Jpn.

J. Health Phys., 58 (3), 151–162 (2023).

- [2] “Ashland GAFCHROMIC EBT4”, 株式会社ベリタス,
<https://www.veritastk.co.jp/products/PGN-ASH020.html>, (参照 2025年2月20日).
- [3] “EMF123型X線スペクトロメータ”, EMF ジャパン株式会社,
<https://www.emf-japan.com/emf/emf123.html>, (参照 2025年2月20日).
- [4] “Silicon Drift Detector (SDD)”, EMF ジャパン株式会社,
https://amptek.emf-japan.com/products/pdf/1_XX-100SDD.pdf, (参照 2025年2月20日).
- [5] 木村大海, 「非破壊検査に用いられるX線検出技術の現状と課題に関する調査研究」, 産総研計量標準報告 11(2), 291 ~ 299(2024).
- [6] “電離箱式サーベイメータ UCREST ICS-1323”,
<https://www.aloka.co.jp/radiation/surveymeter/ics1323/>, (参照 2025年2月20日).
- [7] Šolc, J., Dryák, P., Rusňák, J., Sochor, V. and Vykydal, Z., “Practical X-ray beam spectrometry with cadmium telluride detector in 10–300 kVp range at Czech Metrology Institute. Part I. Instrumentation”, Journal of Instrumentation, 17, P10002 (2022).

- [8] Reginatto, M., Goldhagen, P. and Neumann, S., “Spectrum unfolding, sensitivity analysis and propagation of uncertainties with the maximum entropy deconvolution code MAXED.”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, 476, 242–246 (2002).
- [9] Tsuji, T., Yoshitomi, H., Kowatari, M., and Tanimura, Y., “Establishment of a ^{241}Am gamma calibration field based on international standards and its conversion coefficients.”, Radiat. Prot. Dosimetry 200 (15), 1416–1424 (2024).
- [10] “GIMP GNU Image Manipulation Program”, GIMP's Team, <https://www.gimp.org/>, (参照 2025 年 2 月 20 日).

II. 分担研究報告

エックス線装置からの漏えい線量測定を可能とする小型ガラス線量計の応答
に関する検討

研究代表者 古渡 意彦

(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
計測・線量評価部 物理線量評価グループ グループリーダー)

研究要旨

本分担研究では、小型ガラス線量計に対し、エックス線装置からの漏えい線量モニタリング用線量計として使用可能か、基礎特性であるエネルギー応答及び角度分布特性を基準照射により評価した。評価の対象としたガラス線量計素子は、研究代表者が以前より用いていた2種類（GD-302M 及び GD-352M）を採用し、線量計応答は ISO4037-3:2019 の記述に従って評価した。2種類のガラス線量計は、それぞれ 1cm 線量当量、3mm 線量当量、及び 70 μ m 線量当量の単位に対し、基準線量によって応答を評価した。その結果、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352M のエネルギー応答特性については、20 keV 以上から ^{137}Cs γ 線の 662 keV まで非常に広いエネルギー範囲で IEC の規格要件で示された基準値（エネルギー依存試験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71 ~ 1.67）に入っていることが確認できた。一方の GD-302M については、80 keV 以上のエックス線から ^{137}Cs γ 線の 662 keV まで 0.71 ~ 1.67 に入っている一方、80 keV 以下の低エネルギーエックス線に対して、5 倍以上線量を過大に応答するエネルギーがあることが明らかとなった。

A. 研究目的

本分担研究は、非破壊検査業、製造業の分野で用いられるエックス線装置からの漏えい線量モニタリングに用いられる線量計について、装置からの漏えい線量（率）の合理的な推定を可能とする技術開発の一環として、小型ガラス線量計素子の応答特性を検討するものである。一連の検討で得られる知見は、本研究事業のエックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究のうち、特に不慮のエックス線被ばく事故時の、労働者の極端な不均等被ばく状況が認められるような、一般的な線量評価・推定手

法の適応が困難である被ばく状況が生じた場合を想定して、妥当な線量評価を行って、教育用コンテンツに資するためのものである。

不均等被ばく事故時の状況を考慮したエックス線装置からの漏えい線量（率）の測定・提示で重要となるのは、不均等被ばく状況を含めた労働者の被ばく管理であることは論を俟たない。現状でも、特に非破壊検査業については放射性同位元素等の規制に関する法律（以下、「RI 規制法」という。）に基づく放射線業務従事者の管理が行われている事業場が多く、また、暴露する被ばく線

量も比較的多いことから労働者の被ばく管理は適切に進められており、労働者個別に放射線防護を最適化して、各事業場で被ばく線量低減対策が自律的に行われているところである。一方で、エックス線装置による被ばく事故は想定しづらいところであるが、本研究事業の契機となった被ばく事故など、不適切な使用や勘違い、あるいは「あえて型」の事象の帰結として被ばく事故は発生しうる。被ばく事故は、エックス線作業主任者を含めた労働者が、作業時の放射線防護に関する情報を収集し、工学的な被ばく線量低減方法を具体的に実施することでアドバイスすることで達成できる。一連の取り組みで重要となるのが、放射線防護の最適化に関する介入前後での労働者の被ばく線量を適切にモニタリングする手段である。これには個人被ばくをモニタリングする個人線量計からの被ばく線量計が不可欠である。同様に、極端でまれな事例としての被ばく事故に関する情報を事前に知り、それらに対して防護施策を行うことが望ましい。

本分担研究報告者は、以前実施した研究班において、医療従事者の被ばく管理マネジメントシステム導入にともなう放射線防護の最適化介入に資することを目的として、小型ガラス線量計素子を眼の水晶体等価線量、手指等末端部等価線量、及び体幹部・頸部モニタリングのために使用することを提案した。採用された小型ガラス線量計は、千代田テクノル社製 Dose Ace 用ガラス線量計 GD352M である[1]。研究代表者らは、ガラス線量計素子からの読み値が水晶体等価線量の推定値となる 3mm 線量当量を与えるような校正定数を、国際規格に基づき導出する手法を開発し報告を行った[2]。さらに、当該ガラス線量計素子の使用範囲を

拡大させるため、医療従事者の手指等末端部モニタリングのための 70 μ m 線量当量で評価するための校正定数についても評価した [3]。

本分担研究では、非破壊検査業、製造業の分野で用いられるエックス線装置からの漏えい線量モニタリングに用いられる線量計について、装置からの漏えい線量(率)の合理的な推定を可能とする技術開発の一環として、小型ガラス線量計素子からの指示値から、適切に漏えい線量(率)を導出することができるよう、当該ガラス線量計素子を調査の対象となるエックス線装置の照射野及び装置周辺に取り付けた際にも適切な指示値を与えうるかについて検討を進めた。前述のとおり、報告者らの研究班では、ガラス線量計素子について、適切な校正定数を与えることで、眼の水晶体個人モニタリングに供することができることを示した [2],[3]。本分担研究では、個人線量当量ではなく、周辺線量当量及び方向性線量当量での校正定数を与えることで、使用するガラス線量計の指示値を適切な線量当量へ換算できるようにすることを目的とする。

B. 研究方法

本件事業初年度である令和 6 年度は、エックス線装置からの漏えい線量測定を行うため、対象となるエックス線装置の各所に貼り付けて利用する際の応答特性等について評価を行った。評価に用いたガラス線量計素子は、AGC 旭硝子社製 GD-302M 及び GD-352M である。



図2 ガラス線量計 GD302M (左) 及び GD-352M (右) の外観

ガラス線量計は、内部に蛍光ガラス線量計措置を備えており、線量情報を読み出す際には読出し装置内部でケースから取り外し、内部のガラス線量計素子からの蛍光量を読み取って、被ばく線量を算定する。



図1 GD-300 シリーズのガラス線量計素子本体 (千代田テクノル社ホームページより引用[1])

個人線量計のエネルギー応答及び応答の角度依存に関する試験は、ISO で定められており、本年度の研究における基準照射は、ISO4037-3:2019 の記述に従って行った。ガラス線量計素子は、フリーエア照射を行うため、枠組みを準備してテープを渡し、テープ状にガラス線量計素子を貼付した。エネルギー応答及び角度依存の評価に使用した

基準放射線の線種は、ISO4037-3:2019 [5] の記載に従い、S-Cs、及び ISO Narrow series の N-20 から N-200 [4] までの 10 線種である。

照射したガラス線量計素子の応答は、IEC62387:2020 [5] の記述に従い、後述の式に従って評価した。

$$R_E = \frac{M_E}{h^*_K(a; 0) \times K_a}$$

当該ガラス線量計素子を用いて被ばく線量を求める場合、ガラス線量計素子からの指示値は読み取り装置からの読出値に係数を乗じて算定され、ガラス線量計読出し装置による線量計素子からの蛍光発光量に応じた計数値を直接取り扱うことができない。そこで、ガラス線量計のガラス線量計の読み値の正味値[Gy]を上式の M_E と定義して応答の評価を行う。ここで、 $h^*_K(a; 0)$ は空気カーマ周辺 (または方向性) 線量当量換算係数[Sv/Gy]であり、 K_a は線量計に照射する基準空気カーマ[Gy]である。

本研究事業で採用したガラス線量計素子及びガラス線量計読み出しシステムは、業者による納入時設定の状態では被ばく線量測定システムとして使用する際には、人体を模擬したファントムと呼ばれる特別の治具に取り付けられない状態で (フリーエアで) 空気カーマの単位で基準照射を行ったガラス線量計が基準線量計として準備される。そのため、どのような条件でガラス線量計をばく露させたとしても、そのガラス線量計からの読み値は、空気吸収線量の単位[Gy]でえられる。本分担研究では、エックス線装置の各所、またはエックス線装置の照射野にガラス線量計を設置したした場合に入射す

る線量当量(実用量)を考慮した換算係数を乗じて周辺(または方向性)線量当量が得られるように評価する。この場合、 $h^*_K(10;0)$ のみならず、 $h'_K(3;0)$ 及び $h'_K(0.07;0)$ についても評価を行った。

本研究では、空気カーマ個人線量当量換算係数は ISO4037-3:2019 [4]の値を使用した。また、本分担研究では、国際規格で規定されている試験内容に従って、ガラス線量計素子をエックス線装置からの漏えい線量(率)の測定に用いる線量計として用いることが可能か検討するため、ISO4037-1:2019 [4]で示される線質 S-Cs ($Cs\gamma$ 線校正場:平均エネルギー 662 keV)で得られたレスポンス R_E を基準として他の X 線校

正場で得られたレスポンスの相対応答を評価した。相対的な応答 RR_E は以下の式で導出した。

$$RR_E = \frac{\frac{M_E}{h'_K(b;0) \times K_{a,E}}}{\frac{M_{S-Cs}}{h'_K(b;0) \times K_{a,S-Cs}}}$$

(倫理面への配慮)

本分担研究は、放射線線量計の特性試験を行うものであり、特定個人を対象とした被ばく線量等を測定するものではなく、人権擁護上の配慮等を特に必要としない。

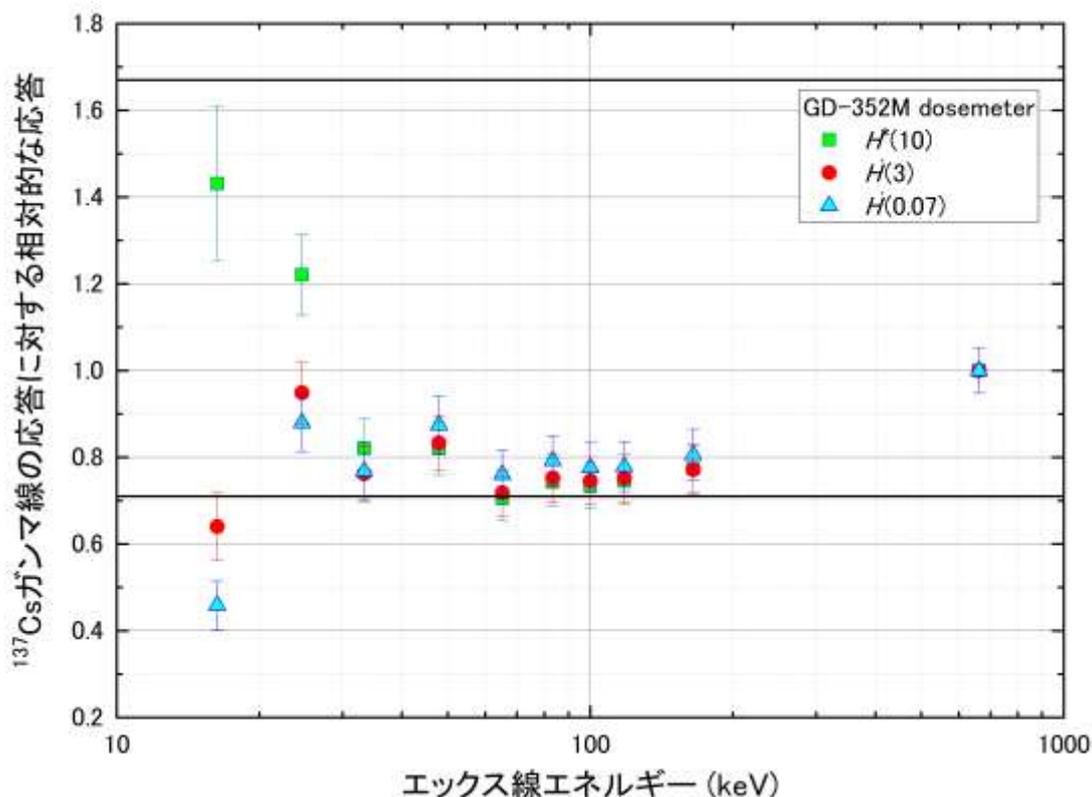


図3 本研究班で使用予定のガラス線量計 GD-352M の応答に関するエネルギー依存性。応答は、 ^{137}Cs ガンマ線に対する応答を1として規格化されている。図には、IECの規格要件で求められている下限値(0.71)及び上限値(1.67)を示している。

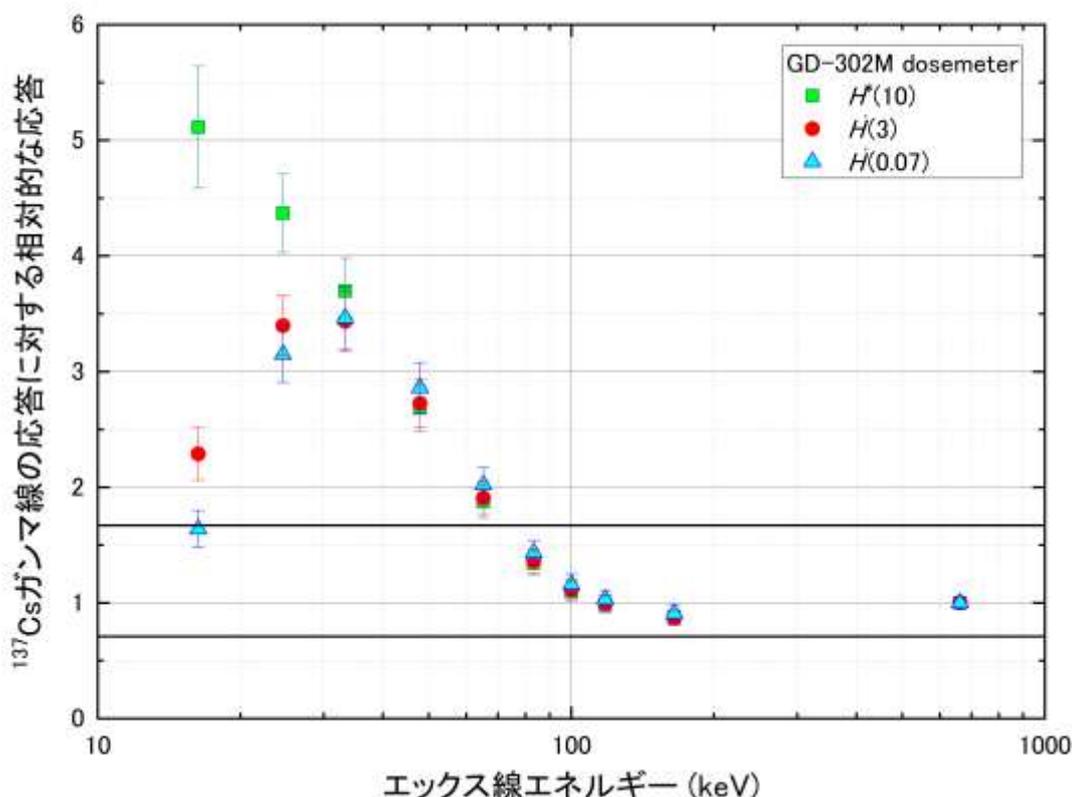


図4 ガラス線量計 GD-302M の各線量当量単位におけるエネルギー応答特性

C. 研究結果

本研究班で採用した小型ガラス線量計素子2種類 (GD-302M 及び GD-352M) について、ISO4037-3:2019 の記述に従い、周辺 (及び方向性) 線量当量単位でのエネルギー応答特性を評価した。図3では、GD-352M ガラス線量計線量計応答に関するエネルギー依存性を示す。図4では、GD-302M におけるエネルギー依存性を示す。図3及び図4で示すとおり、2種類のガラス線量計のうち、GD-352M のエネルギー応答特性については、20 keV 以上から 662 keV までの非常に広いエネルギー範囲で IEC の規格要件で示された基準値(エネルギー及び角度依存試験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71 ~ 1.67)に入っていることが確認できた。これは、すべての線量

単位で言えることである。線質 N20(16.4 keV)で得られた結果について、3mm 方向性線量当量及び 70 μm 方向性線量当量単位での応答は、基準値の下限から外れている。

図4では、GD-302M ガラス線量計における個人線量当量単位の違いによるエネルギー応答特性の変化を示した。図3と同様に IEC 規格が要求する応答の基準値を示している。いずれの線量当量単位に対しても、GD-302M の相対応答は線質 N100 (80 keV) より高いエネルギーに対して IEC の要求する基準値内に入っていることが明らかとなった。一方で、線質 N100 よりも低い値に対しては、相対応答は2倍を超えて大きくなり、1cm 線量当量 ($H^*(10)$) については、エネルギー線質 N-20 に対する相対応答は5倍を超えている。また、方向

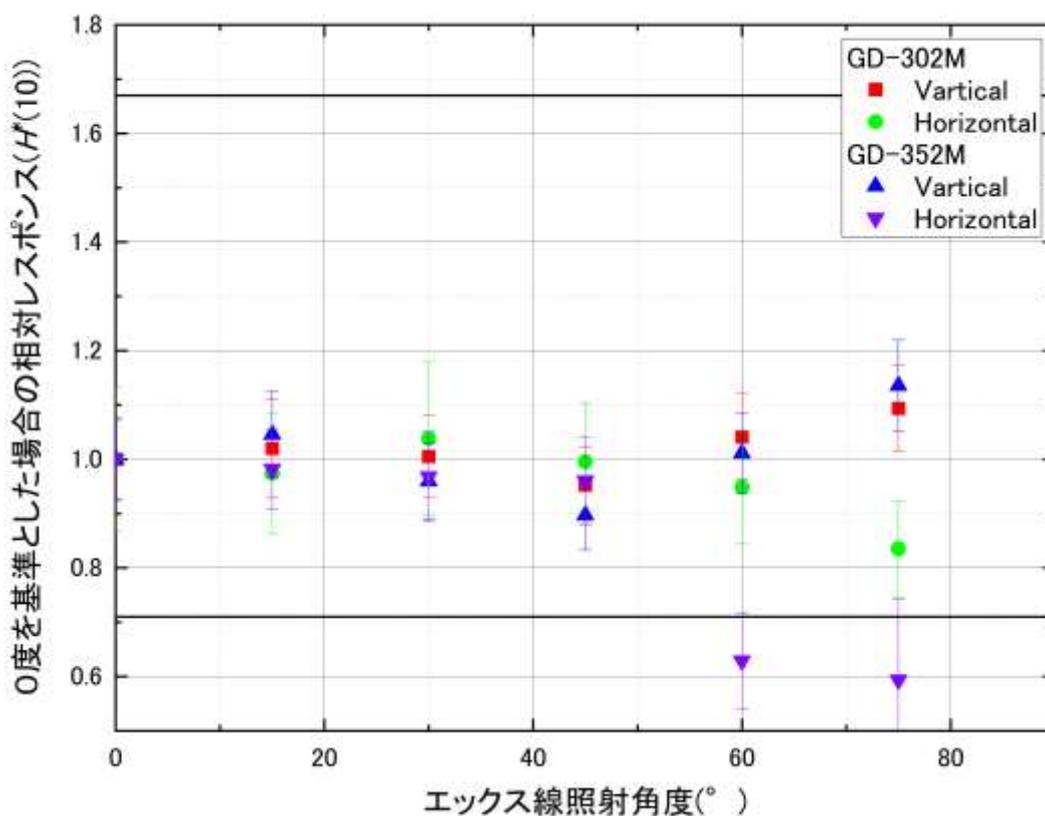


図5 ガラス線量計 GD-302M 及び GD-352M における 1cm 周辺線量当量単位における角度分布特性

性線量当量についていうと、40 keV より低いエネルギーのエックス線に対しては、相対応答は減少に転じており、70 μ m 方向性線量当量の場合、線質 N20 では IEC 基準値内に相対応答が入っている結果となった。

図5から図7では、2種類のガラス線量計について、各線量当量単位における線量計応答の角度分布特性について示した。基準としたエックス線の線質はN60(48 keV)であり、線量計をエックス線入射方向に対して正対させて照射した条件を0度とし、エックス線入射方向に対し線量計を回転させ入射角度を変化させた。角度分布試験については、0度から75まで15度刻みで行った。また、角度分布応答特性の評価は、入射角度0度で得られた応答を1とした場

合の相対応答で評価している。図中の Vertical 及び Horizontal は、線量計の設置方向を示しており、Vertical は円筒形のガラス線量計の軸を鉛直方向に設置した場合、Horizontal はガラス線量計の軸を水平方向にして設置した場合を指す。

2種類のガラス線量計における角度分布について、ガラス線量計の種類及び線量当量の単位に関わらず、Vertical 方向に設置した場合には、試験対象とした0度から75度まで相対応答がほとんど変化していないことが分かった。いずれの線量当量単位に対しても、GD-302M 及び GD-352M ガラス線量計は、相対応答が IEC の要求する基準値である 0.71 ~ 1.67 の範囲に入っている。一方で、Horizontal 方向（円筒形ガ

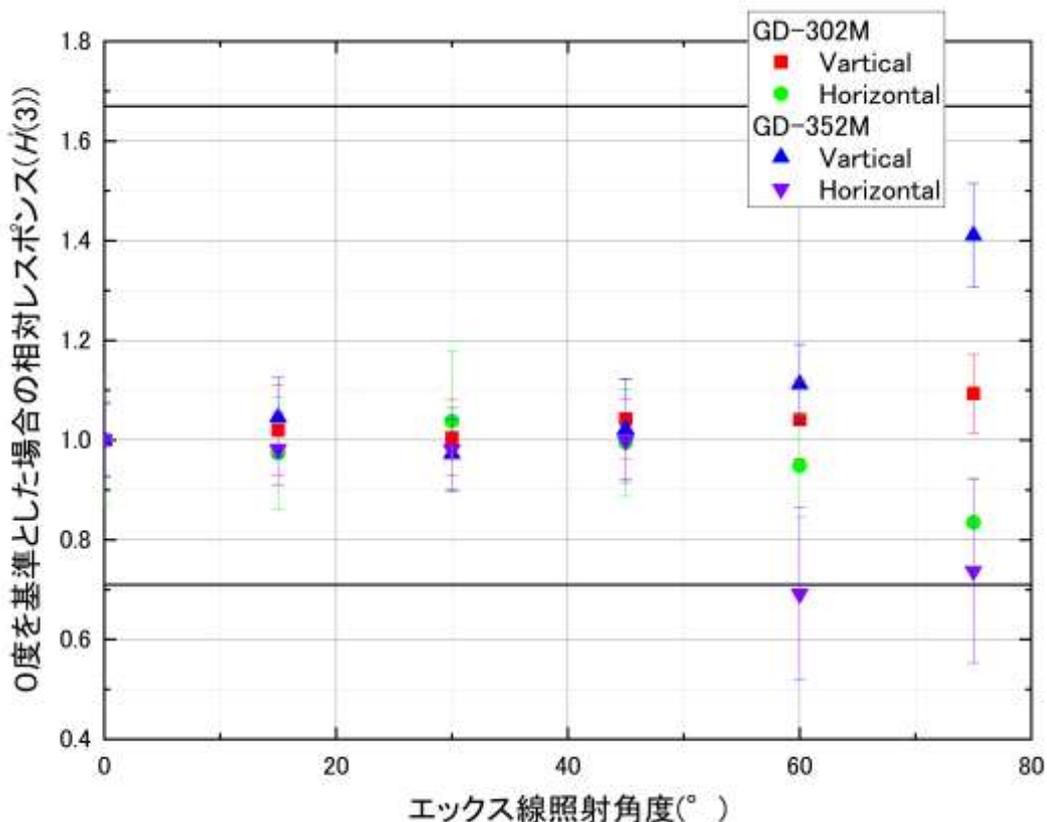


図7 ガラス線量計 GD-302M 及び GD-352M における 3mm 方向性線量当量単位における角度分布特性

ラス線量計の軸方向を水平にして設置した場合)には照射角度が60度を超えてから応答に差がみられる。GD-302Mについては、線量当量の単位に関わらず、照射角度が75度までIECの要求する基準値内にはいつている。しかしながら、GD-352Mの相対応答は60度で急激に低下しており、線量当量単位に関わらずIECの要求する基準値の下限である0.71を下回る結果となった。

D. 考察

本研究で得られた測定結果から以下の課題に従って評価を進めた。

(1) ガラス線量計応答のエネルギー依存性について

前項図3及び図4に示す小型ガラス線量計のエネルギー応答特性について議論する。

図3及び図4に示す通り、100 keV以下のエックス線に対し、ガラス線量計素子に対してスズ製エネルギー補償フィルターが装着されているGD-352Mとフィルターが装着されていないGD-302Mで応答のエネルギー依存性に大きな違いが生じている。これは、報告者が以前に報告したのと同様の傾向を示している[2],[3]。特に、GD-302Mのエネルギー応答特性は、平均エネルギー32 keVの線質N-40に対して最大を示しており、ばく露された線量に対して5倍以上過大評価することが分かった。この値も以前の研究班で行ったガラス線量計の応答特性と近い値を示している。また、GD-302Mのエネルギー応答を詳細にみると、16.3 keV(N20)から65.2 keV(N80)まではIECの規格要件で求められている上限値(1.67)を

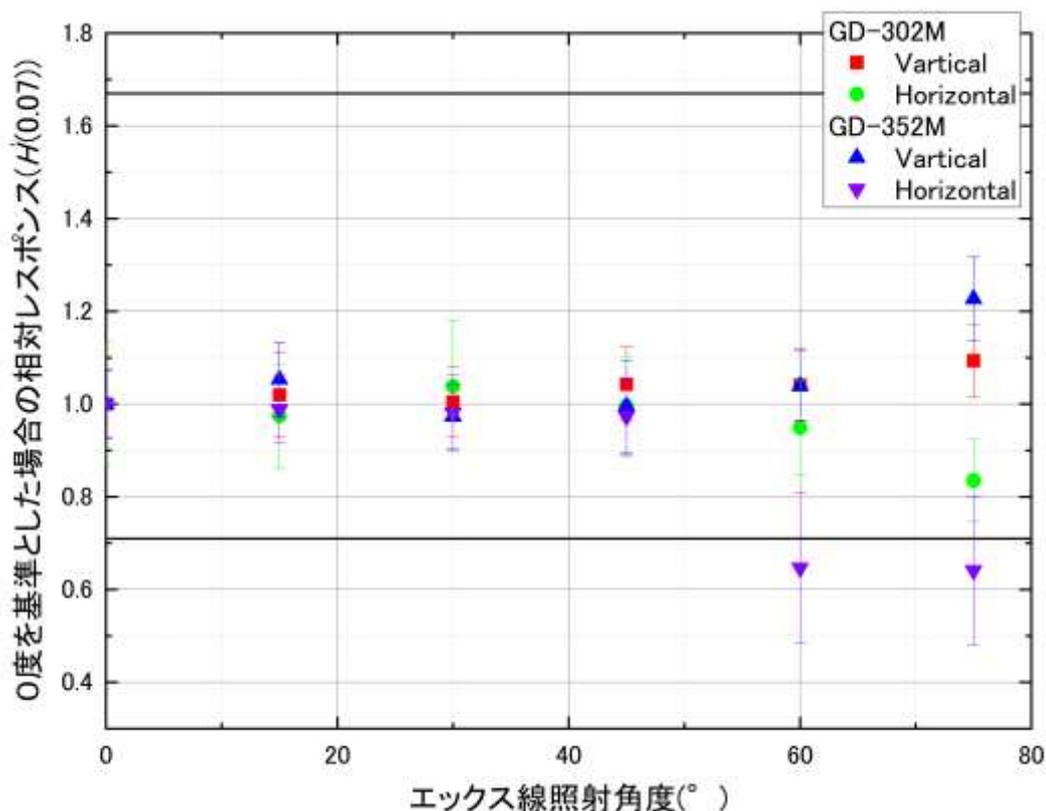


図7 ガラス線量計 GD-302M 及び GD-352M における $70 \mu\text{m}$ 方向性線量当量単位における角度分布特性

超えている。工業用エックス線装置からの漏えいエックス線のエネルギー成分は今後本研究班において明らかとしていくが、管電圧 50 kV のエックス線に対する散乱エックス線を考慮すると、そのエックス線エネルギーは 20 keV~30 keV になると予想される。もし GD-302M を使用して測定する場合、そのようなエックス線に対しては、漏えいエックス線を過大に評価することが示唆される。特に、ガラス線量計素子に校正定数を乗じない場合には、大幅な過大評価が見込まれる。例えば、指示値が $10 \mu\text{Gy}$ 程度以下のような、非常に低い線量であったとしても、5 倍に過大評価することとなる。現行の電離放射線障害防止規則で定める管理区域設定の基準は、実効線量で 3 月で 1.3 mSv を超えないこととされている。

一時間あたりでは $2.5 \mu\text{Sv}$ と換算できるが、5 倍以上過大に評価されていることを知らずにエックス線装置からの漏えい線量測定に用いた場合、指示値が過大に表示され、装置からのエックス線漏えいを疑う結果につながりかねない。

GD-352M で得られたエネルギー応答特性は、特に 1cm 周辺線量当量の単位でみるとエックス線線質 N20 (16.3 keV) から S-Cs (662 keV) までの幅広いエネルギー範囲で、IEC の規格用件の範囲内に入っている。3mm 及び $70 \mu\text{m}$ 方向性線量当量の単位では、N20 (16.3 keV) に対する相対応答は IEC の規格用件で求められている下限値での 0.71 を下回る結果が得られた。このことから、20 keV 以下の低エネルギー領域のエックス線が支配的となる漏えいエックス線

に対する測定でない限り、GD-352M を用いる測定を行うことで、適切な漏えい線量測定が可能であるといえる。

例えば GD-352M をエックス線装置からの漏えいエックス線線量測定用の線量計として使用する場合、適切な線量当量単位を与える校正定数を導出して使用されなければならない。その場合、基準照射試験で求められた校正定数を用い、例えば 1cm 周辺線量当量の場合では、

$$1\text{cm 周辺線量当量 [Sv]} = \text{ガラス線量計指示値 [Gy]} \times \text{校正定数 [Sv/Gy]}$$

という式で求めることができる。上述のとおり、GD-352M の応答特性は IEC の要求する基準値内に入っているが、その相対応答は 16.3 keV から 662 keV までの範囲で 0.8 から 1.4 で変化している。このエネルギー応答特性結果に基づき、測定対象となるエックス線装置からの漏えいエックス線の性状に併せた適切な校正定数を導出する必要がある。

(2) 適切な線量当量を与える校正定数について

本研究班では、ガラス線量計 GD-302M 及び GD-352M を、エックス線装置からの漏えい線量モニタリングに供する線量計として使用可能かの性能評価を進めた。前述のとおり、GD-352M については、特にエネルギー応答特性について、特に、1cm 周辺線量については、試験を行った 16 keV ～ 662 keV の範囲で、IEC の定める基準値の範囲内である 0.71～1.67 に入っていることが分かった。これは、GD-352M の読出し値

に対して適切な校正定数を与えることで、エックス線装置からの漏えい線量測定に供することが可能である。

より詳細に GD-352M エネルギー応答特性を見ていくと、3mm 方向性線量当量の応答は、16.3 keV で IEC の要求する基準値の下限を下回るものの、それより高いエネルギーのエックス線に対しては、相対応答が 0.72 から 1.0 の範囲で変化しており、1cm 周辺線量当量と比較してもフラットである。また、70 μm 個人線量当量については、20 keV 以上のエックス線エネルギーに対して相対応答が 0.78 から 1.0 で変化しており、他の線量当量単位と比較して最も平坦な相対応答を示している。また、本分担研究で測定対象とするのは、産業用エックス線 CT 装置等からの漏えいエックス線であり、管電圧が高電圧でないような装置については、漏えいエックス線のエネルギーも 100 keV 以下であろうと予想される。これらを考慮すると、ガラス線量計 GD-352M をエックス線装置からの漏えいエックス線線量測定に供する場合には、以下の式に示す通り、GD-352M をフリーエア条件で照射して、70 μm 方向性線量当量の単位で校正されるとより適切な測定が可能である。

$$70\ \mu\text{m 方向性線量当量 [Sv]} = \text{蛍光ガラス線量計指示値 [Gy]} \times \frac{{}^{137}\text{Csの基準線量}H'(0.07) [\text{Sv}]}{\text{基準照射時の指示値 [Gy]}} \times$$

${}^{137}\text{Cs}$ に対するあるエックス線線質の相対的な校正定数

例えば、70 μm 方向性線量当量の場合では、校正定数は ${}^{137}\text{Cs}$ γ線に対する応答の

逆数から、 $1.18 \pm 0.06 (=1/0.85)$ と設定できる。

現行の電離放射線障害防止規則における管理区域境界の測定では、1cm 周辺線量当量で実効線量の推定値とすることが定められている。管理区域からの漏えいエックス線線量測定を1cm 周辺線量当量単位で測定を行う場合、別途校正定数を1cm 周辺線量で与える必要があるが、実務上は線量計の読み値に校正定数を乗じるので、煩雑な行為ではない。一方で図3に示すとおり、エネルギー応答特性を考慮すると、16.3 keV のエックス線に対し、相対応答が1.4 以上となっているため、低エネルギーエックス線成分に対し過大な応答となる。特に、漏えいエックス線成分は、20 keV 以下のエックス線成分が支配的であることも考えられることから、線量当量の評価の際に過大に評価する可能性がある点は留意すべきである。

GD-302M のエネルギー応答特性について議論すると、100 keV 以下のエックス線エネルギーに対しては、1cm 周辺線量当量と、3mm 及び70 μ m 方向性線量当量の単位で傾向が全く異なっている。特に、16.3 keV から33.3 keV までのエックス線エネルギーに対し、1cm 周辺線量当量では単調に増加して相対応答が5.1 に達するのに対し、3mm 及び70 μ m 方向性線量当量の単位では、33.3 keV のエックス線に対して最大の相対応答をとるが、それより低いエネルギーのエックス線に対しては相対応答が低減し、それぞれ3mm 方向性線量当量で2.3、70 μ m 線量当量で1.68となっており、相対応答としてはより良好であるといえる。GD-302M と比較して前述のGD-352M のエネルギー応答特性は緩やかに変化するが、これはGD-352M にスズ製エネルギー補償

フィルターが導入されていることに起因すると考えられる。線質N100 (83.3 keV) より高いエネルギーのエックス線に対しては、線量当量の単位に関わらずいずれもフラットであり、良好な応答を示していることが分かった。前述のとおり、エックス線装置からの漏えいエックス線成分は、20 keV 以下のエックス線成分が支配的であることも考えられることから、GD-302M からの読み値を各線量当量単位に換算する場合には注意が必要である。ただし、以前の研究から32 keV での単位空気カーマ当たりエネルギー沈着量は、GD-302M はGD-352M に対して3 倍程度であることが、計算シミュレーションでわかっており、結果としてエックス線に対してGD-302M は約3 倍感度が高いことになる。このことを考慮し、非常に低い漏えい線量率のモニタリングを粉う際には、適切な校正定数を与えたGD-302M を用いることを検討すべきである。

E. 結論及び今後の課題

令和6年度に実施した本分担研究では、小型ガラス線量計に対し、エックス線装置からの漏えい線量モニタリング用線量計として使用可能か、基礎特性であるエネルギー応答及び角度分布特性を基準照射により評価した。評価の対象としたガラス線量計素子は、研究代表者が以前より用いていた2種類(GD-302M 及びGD-352M)を採用し、線量計応答はISO4037-3:2019 の記述に従って評価した。2種類のガラス線量計は、それぞれ1cm 線量当量、3mm 線量当量、及び70 μ m 線量当量の単位に対し、基準線量によって応答を評価した。その結果、評価対象としたガラス線量計のうち、GD-352M のエネルギー応答特性については、

20 keV 以上から ^{137}Cs γ 線の 662 keV ま
で非常に広いエネルギー範囲で IEC の規格
要件で示された基準値(エネルギー依存試
験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71
～ 1.67)に入っていることが確認できた。
一方の GD-302M については、80 keV 以上
のエックス線から ^{137}Cs γ 線の 662 keV ま
で 0.71 ～ 1.67 に入っている一方、80 keV
以下の低エネルギーエックス線に対して、
5倍以上線量を過大に応答するエネルギー
があることが明らかとなった。

さらに、当該ガラス線量計を実際にエック
ス線装置からの漏えい線量測定に供する場
合の校正定数の設定についても議論した。
例えば GD-352M をエックス線装置からの
漏えいエックス線線量測定用の線量計とし
て使用する場合、例えば 70 μm 方向性線量
当量の場合では、 1.18 ± 0.06 と設定でき
る。

本研究課題は今年度開始し、事業期間 3
か年における 2 年目以降の課題は以下の点
である。

(1) 測定の状況に応じた校正定数の導
出

(2) 漏えいエックス線測定手順の確立

(1) について、前掲どおり本研究班で使
用するガラス線量計の線量計読出し装置は、
 ^{137}Cs の 662 keV ガンマ線校正場で基準照
射を行った標準ガラス線量計によって校正
されている。ガラス線量計のガラス線量計
読出し装置からの読み値は、標準ガラス線
量計の照射条件に依存し、必要な線量当
量の単位での評価を行う場合には別途校正
定数を与える必要がある。一般的な標準ガ
ラス線量計素子の照射条件は、線量計を
あるファントムに設置しないフリーエア照
射で

あり、ガラス線量計で得られる線量は、こ
の場合空気吸収線量[Gy]である。本年度の研
究により、小型ガラス線量計を用いてエック
ス線装置からの漏えい線量の適切な測定
が可能か、ISO の記述に基づく試験を行い、
基礎的な特性を把握した。本研究で示した
通り、GD-302M 及び GD-352M ガラス線
量計の応答にはエネルギー依存があり、ま
た線量当量の単位によっても応答特性の振
舞いが異なっている。このことから、エック
ス線装置について、装置内部の構造物及び
装置筐体等からの散乱エックス線のエネル
ギー分布に対して過小評価とならないよう
な校正定数を得ることが重要であり、その
ためにも後述のとおり、エックス線エネル
ギースペクトル測定は不可欠といえよう。

(2) について、エックス線装置からの漏
えい線量(率)測定では、エックス線エネル
ギースペクトル測定及び線量当量(率)測定
が求められる。本分担研究では、ガラス線
量計の基本特性を評価して、エックス線装
置からの漏えい線量(率)測定に供するた
めの準備を進めた。原理的にガラス線量計
ではエックス線エネルギー分布を測定する
ことは困難であり、エックス線エネルギー
分布を測定によって評価するには別途エ
ネルギー弁別用フィルターを準備する等
の検討が必要である。本研究事業にお
ける研究班では、エックス線エネルギー
分布を測定で求めるための準備も進め
ている。具体的には、半導体検出器を用
い、エックス線装置からの漏えいエック
ス線を直接測定で検出器の波高分布とし
て取得し、得られた波高分布からエック
ス線スペクトルに変換する手法を採用し
ている。エックス線装置からの漏えい
線量(率)測定の手順としては、まず装
置からの漏えいエックス線分布を半導体
検

出器を用いて測定して平均エネルギーを決定し、その後ガラス線量計等の受動型線量計によって積算の線量を求める手法を検討中である。本研究事業の2年目では、エックス線装置からの漏えいエックス線について、半導体検出器によるエックス線フルエンス率測定と同時に、線量(率)測定を試行する計画である。

F. 健康危機情報
なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

[1] 千代田テクノル株式会社 ガラス線量計素子・ガラス線量計読出装置 https://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2014/11/e-dose_ace.pdf Available on 22nd February 2023.

[2] Kowatari, M. et al. “DOSE MEASUREMENT PRECISION OF

AN RPLD-BASED EYE LENS DOSEMETER APPLICABLE TO THE MEDICAL SECTOR” Radiation Protection Dosimetry (2022), Vol. 198, No. 17, pp. 1303–1312

[3] Kowatari, M. et al., “Characterization of small radiophotoluminescence dosimeter in terms of HP(0.07) for extremity dose monitoring of medical personnel” Radiation Protection Dosimetry, Volume 199, Issue 15-16, October 2023, Pages 1807–1812,

[4] ISO 4037-3:2019 Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence

[5] EC 62387:2020 Radiation protection instrumentation - Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation

Ⅲ. 分担研究報告

製造業、非破壊検査業におけるエックス線作業主任者等の安全教育のあり方に関する検討

研究代表者 古渡 意彦

(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
計測・線量評価部 物理線量評価グループ グループリーダー)

研究要旨

本分担研究では、主任者及びエックス線装置を使用して作業を行う労働者が、安全衛生に関する継続的な能力向上に資する教育・講習パッケージの開発に先んじて、主任者の教育・講習にはどのような教科がどの程度必要か、主任者以外の労働者、特に放射線業務従事者ではないが、エックス線装置を使用する労働者は一定数おり、事業者が彼らに対しどのような安全衛生教育をどの程度施すべきか検討を行った。

検討の結果、(a) エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて、現行の透過写真撮影の業務に従事する主任者及び放射線業務従事者に対しては、従前と同様の教育内容・時間が確保されるべきと提案する。同時に、被ばくの恐れがほとんどない作業を行う労働者に対しては、従来の4時間30分の教育・講習では過剰と考えられ、内容をより平易なものとして、時間も短時間な教育・講習を行うことを提案する。併せて、エックス線装置を用いるが、撮影業務ではなく、管理区域内で作業は行うが、被ばくの恐れはそこまで大きくない考慮される労働者については、撮影業務に関する項目を除いて実施する形を提案する。

(b) 安全教育の頻度について、製造業、非破壊検査業における事業場での教育の頻度について、特に関係法令についてはリマインドの意味でも毎年教育・講習を受ける機会があることが望ましい。その他の項目についても実施されることが望ましいが、現状の労働者の負担感も小さく、継続的に行えるような施策が良い。

(c) 教育・講習のカテゴリについて、一律で画一的な教育を、事業場の大きさを考慮せずには当てはめるのは、教育・講習の労働者への定着度の観点から望ましいといえない。エックス線被ばくの可能性に応じて、教育・講習の内容及び時間を考慮し、必要な教育を必要なだけ提供できる環境が整備されることが望ましい。また、建設業における職長・安全衛生責任者を教育する講師に対する、講師養成研修のように、電離則におけるエックス線を利用する労働者に対しても、主任者等への能力向上教育の講師として活動するために求められる教育・講習が実施されることは有効であろう。

A. 研究目的

報告者らは、令和6年度厚生労働省労災

疾病臨床研究補助金事業で、報告者らは製造業、非破壊検査業のエックス線作業主任者(以下、「主任者」という。)を選任する事

業場において、安全衛生に係る能力向上に向けた取組み状況とエックス線作業環境及び放射線防護措置の現状を調査・分析して、被ばく事故防止及び線量低減に実効性ある教育内容・講習について検討し、事業場への実装を目指す研究を進めている。研究の背景には、主任者によってエックス線作業が監督されているにもかかわらずエックス線被ばく事故が発生しており、2021年5月29日には兵庫県姫路市において被ばく事故が発生し、作業員が年間線量限度の数倍から数十倍に及ぶ被ばくをした可能性があるとの報道があった。事業場でのエックス線被ばく事故につながりうる問題点・課題の一つに、主任者の能力向上に関する教育が十分に行われていない点が遠因として挙げられるとの指摘がある[1]。本研究は、主任者の安全衛生に係る能力向上に資するための教育・講習の実施することで、主任者を含む労働者のエックス線被ばく低減と労災疾病防止に資するものであり、主任者の安全衛生に係る能力向上を図るための教育・講習の制度に係る提案について、以下の3つのサブテーマ(調査①、調査②及び開発③)を設定し、各テーマで進捗管理しつつ遂行するものである。

調査①：主任者等の安全管理に係る能力向上に向けた取組み状況及び放射線防護対策措置の調査

調査②：エックス線場の特徴の把握(漏えい線量率測定及び被ばく線量評価)

開発③：主任者及び作業員に対する効果的な教育・講習パッケージの開発

調査①及び②は並行して進め、それらを開発③に反映させる形で集約するが、本分担研究では、開発③に着手する以前の現状の把握と、現状に基づく主任者及びエック

ス線作業員への安全教育のあり方について検討する。

事業者が労働者に労働安全衛生法(以下、安衛法)施行令第六条第五号に掲げる放射線作業を行わせる場合、第四十六条に従って、事業者は主任者免許を受けた者のうちから、管理区域ごとに主任者を選任しなければならない。同時に、選任された主任者がその職務を誠実に遂行できるよう、事業者は配慮する必要がある。安衛法第十九条の二において、事業場における安全衛生の水準の向上を図るため、主任者のように労働災害の防止のための業務に従事する者に対し、従事する業務に関する能力の向上を図るための教育、講習等を行う、又はこれらを受けられる機会を与えるように努めることが求められている。

令和7年3月時点では、主任者免許を受けて後、主任者が管理区域で選任される際に、特別の教育が施される、又は主任者が監督する放射線業務従事者等へ特別の教育を施すことが考えられる。特別の教育の内容は、透過写真撮影業務特別教育規程(昭和50年労働省告示第50号)に示される通りであり、

- 一 透過写真の撮影の作業の方法
 - 二 エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法
 - 三 電離放射線の生体に与える影響
 - 四 関係法令
- を所定の時間以上行う。

この特別の教育は、エックス線装置の使用又はエックス線の発生を伴う当該装置の検査の業務、又エックス線管若しくはケノトロンのガス抜き又はエックス線の発生を伴うこれらの検査の業務と指定された放射

線業務に係る作業、及びガンマ線照射装置を用いて行う透過写真の撮影の作業に従事する労働者に対して実施されることが求められている。上記の透過写真の撮影の業務以外でエックス線装置を用いる業務に従事する放射線業務従事者には、事業者が特別な教育を施すことは求められていない。また、エックス線装置を用いて行う透過写真の撮影の作業であって、ボックス型装置のように、装置の外に管理区域が生じない装置を用いる作業については、放射線業務従事者でなくとも、エックス線装置取扱者として上述の透過写真撮影業務特別教育規程に基づく特別の教育と同時間の教育が行われている。

上記の特別の教育に加えて、安衛法では労働者の就業に当たっての措置として、事業者には安全衛生教育の実施が義務付けられている（安衛法第五十九条及び第六十条）。事業者には、労働者を雇い入れたときに行う、その従事する業務に関する安全又は衛生のための教育を施す義務があることに加えて、労働者の作業内容を変更したときについても同様に教育することが求められる（第五十九条）。この定めに従い、事業者はエックス線装置を用いる作業に係る安全又は衛生のための教育を施さなければならない。エックス線装置を用いる作業に従事する労働者は、放射線業務従事者でなくとも教育が施されなければならない。この教育について、事業者に実施または提供が義務付けられているが、現行法令では時間の定めはない。

本分担研究では、主任者及びエックス線装置を使用して作業を行う労働者が、安全衛生に関する能力向上を持続的に行うこと

で、エックス線による被ばく線量が低減し、被ばく事故を防止できるよう、継続的な能力向上に資する教育・講習パッケージの開発を目指している。エックス線装置は多様で、利用形態もそれに応じ非常に幅広いことは周知の事実である。それらを画一的な教育・講習プログラムを当てはめて、不要な労働負担を増やすことなく、必要な時に、必要な人（労働者）が、必要な分だけ、安全衛生に係る教育を受講できるような教育・講習プログラムを検討している。そのような教育・講習プログラム設計に先立ち、主任者の教育・講習にはどのような教科がどの程度必要か、主任者以外の労働者、特に放射線業務従事者ではないが、エックス線装置を使用する労働者は一定数おり、事業者が彼らに対しどのような安全衛生教育をどの程度施すべきか検討を行った。

B. 研究方法

研究事業初年度である令和6年度は、**開発③**で、主任者及び作業員に対する効果的な教育・講習パッケージの開発のうち、主任者及びエックス線装置使用者に対する安全教育について検討した。

検討を進めるにあたり、安衛法で定められた労働安全教育全般を検討材料とし、中央労働災害防止協会等一般財団法人、企業等が提供する安全衛生教育の具体例を参考にした。併せて、本研究事業で今年度実施した非破壊検査業に従事するエックス線作業主任者等へのアンケート調査における、特別の教育の内容、頻度、及び満足度を参考にすのほか、自由記述で記載された内容も視野に入れる。さらに、エックス線装置メーカーにおける開発者らより直接現状についてヒアリングを行い、安全教育の現状について

での意見を参考にした。

また、日本保健物理学会専門研究会において、日本検査機器工業会(JIMA)会長等外部有識者を招へいし、主任者のみならずエックス線を使用する労働者等への安全教育等について意見交換を行った。

C. 検討結果及び考察

主任者及び作業者に対する個別の教育、訓練及び講習の素案(第1案)をまとめる前に、主任者等の安全教育のあり方について議論する。

本分担報告書執筆時点での主任者に対する教育は、管理区域における主任者としての指定を受ける時点で受講する教育は義務付けられていない。例えば、ある主任者が初めて管理区域における主任者として指定された場合には、エックス線撮影の業務に従事することに伴う特別の教育の受講が義務付けられているか、あるいは、後述のこれまでに異なる作業・業務に従事することに伴う、作業内容変更時に伴う安全衛生教育の受講が求められる、と考えられる。

一度指定を受けた主任者に対しては、現行法令化では同一内容の教育を再度受けることは求められていない。主任者として指定した事業者には、当該主任者に対して安衛法に基づく安全又は衛生に係る教育・講習を受けさせる義務を負うが、明確な規定はない。事業場によっては、現場で作業・監督する労働者本人が主任者としての職務を行い、監督する労働者に対する教育・講習を施す例も聞かれる。このような場合、例えば事業場における雇い入れ時教育でエックス線装置の使用に係る講師を担当する機会が、安全衛生の能力向上に資する教育の機会ととらえることも可能であろう。このような

継続的な取り組みが行われている事業場の労働安全衛生の取り組みは模範的といえるが、主任者本人への過剰な負担となって本来業務である労働者の安全面での指揮監督に従事する時間が短くなる等、事業場の生産性あるいは安全面への配慮に悪い影響を与えかねない。

令和6年10月から12月で実施した非破壊検査業を中心とした主任者等へのアンケート調査では、「あなたの職場でエックス線作業に従事する方を対象とした教育・訓練で、今後あると良いと思われる教育・訓練内容について教えてください」という設問に対し、定期的な講習会の開催を求めるコメントが見られた。(コメント一部抜粋。以下参照のこと)

- ・法令の改正状況
- ・エックス線装置を使用した作業における事故や被害の例
- ・エックス線使用時のトラブル事例
- ・事故事例は必須 装置の安全装置について
- ・事故事例
- ・照射室(管理区域)立ち入り時の遵守事項の徹底。
- ・機器の構造 機械が損傷した場合、中の部品が露出した場合などの対応
- ・事故例に対しての改善策
- ・法令の改正状況
- ・X線装置使用時の事故例 関係法令の改正状況
- ・e-ラーニング
- ・法令の改正がわかりやすくなっていると良い
- ・事故事例

- ・ Web での講習
- ・ X線装置の取扱、安全管理
- ・ 電離則の改正状況
- ・ 法令の改正状況
- ・ 事故事例 不適合事例
- ・ 関連法案
- ・ エックス線機器使用時の事故事例
- ・ エックス線関係の法的な手続き、報告など（機械設置届、労基へ電離の報告）
- ・ 上記例示に加えて、事故発生の際の官庁報告フローサンプルの提示
- ・ エックス線装置の機器トラブルの原因と対策について
- ・ 法改正
- ・ 事故例。装置の使用方法確認。関係法令。
- ・ Web で行われるのが良い
- ・ 被ばく低減対策の具体的例
- ・ エックス線装置の使用方法や原理
- ・ 事故例、法令改正状況
- ・ 使用方法の詳細 不具合事例とその対応方法
- ・ 被曝事故の例
- ・ エックス線機器使用時の事故例、法令の改正状況、人体への影響度について
- ・ 事故事例 法改正
- ・ 法令の改正内容
- ・ エックス線機器使用時の事故事例
- ・ 国外含めたエックス線関連の事故例 法令の改正状況 最新エックス線機器 他社の使用機器等
- ・ 最近の X 線機器について 法令を遵守した取り扱い方法の例について。
- ・ エックス線装置の構造、法令に関するビデオ教材
- ・ X 線の法改正状況と最近の動向。機器の紹介 等。
- ・ γ線に対する事例や扱いはよくやっ

るので、X 線の事故事例などはあればいいと思う。(大型の X 線での事故は聞くが、非破壊検査で使うような小さいものの事故はあまり聞かない為)

- ・ エックス線機器使用時の事故事例とその時に取った処置や対応について
- ・ X 線を使用した撮影の一連の流れを搬入～撤収までの流れを動画にまとめた資料 →これから作業に従事する作業員の特別教育の実務的な資料として
- ・ 事故例の紹介
- ・ 法令の改正
- ・ 法令の改正状況
- ・ 「放射線業務従事者」であれば、放射性同位元素使用同様、法律で毎年、教育・訓練を実施すべき。 また、X 線発生装置の購入も届出制とすべき。
- ・ 外部機関によるオンライン教育やシミュレーショントレーニングを取り入れては如何でしょう。 また、安全は全てに優先する思想教育も必要かと。
- ・ 法令改正状況
- ・ 法令関係
- ・ X 線機器使用時の事故例 X 線機器使用時のノウハウ
- ・ エックス線機器使用時の事故例
- ・ 最近のエックス線危機について
- ・ 被曝線量について
- ・ 事故事例
- ・ 法令の改正 事故事例
- ・ 法令教育
(原文ママ)

以上に示す通り、製造業、非破壊検査業における主任者の要望として、

- ・ エックス線使用時の事故事例
- ・ 法令改正の状況

事項	時間
法第六十条第一号に掲げる事項 一 作業手順の定め方 二 労働者の適正な配置の方法	二時間
法第六十条第二号に掲げる事項 一 指導及び教育の方法 二 作業中における監督及び指示の方法	二・五時間
前項第一号に掲げる事項 一 危険性又は有害性等の調査の方法 二 危険性又は有害性等の調査の結果に基づき講ずる措置 三 設備、作業等の具体的な改善の方法	四時間
前項第二号に掲げる事項 一 異常時における措置 二 災害発生時における措置	一・五時間
前項第三号に掲げる事項 一 作業に係る設備及び作業場所の保守管理の方法 二 労働災害防止についての関心の保持及び労働者の創意工夫を引き出す方法	二時間

表 1 労働安全衛生規則第四十条の 2 に示す教育の項目と時間 [2]

については、教育・講習の要望が非常に高い。エックス線利用に伴う事故事例は、特別の教育における、エックス線装置の使用に係る教科に含まれるべきであり、法令の改正については、法令の箇所で取り扱われるとともに、法令改正時には主任者に対し周知徹底できる仕組みが必要である。上記の内容については、日本保健物理学会専門研究会での意見交換会で、主任者の安全教育のあり方について同様の意見が出されている [4]。

一般的な安全衛生教育は、(1) 雇い入れ時、及び(2) 作業内容変更時に行われるよう規定されている。安全衛生教育の内容は、以下に挙げる通り広範であり、原則的に内

容の省略は認められていない。

1. 機械等、原材料等の危険性又は有害性及びこれらの取扱い方法に関する事。
2. 安全装置、有害物抑制装置又は保護具の性能及びこれらの取扱い方法に関する事。
3. 作業手順に関する事。
4. 作業開始時の点検に関する事。
5. 当該業務に関して発生するおそれのある疾病の原因及び予防に関する事。
6. 整理、整頓及び清潔の保持に関する事。
7. 事故時等における応急措置及び退避に関する事。
8. 前各号に掲げるもののほか、当該業務に関する安全又は衛生のために必要な事項

例えば、エックス線装置を用いる作業にはじめて従事する労働者は、エックス線装置に関して上記1. から8. を網羅する教育が提供されなければならない、その中には、例えば、放射線被ばくの危険性、エックス線のばく露を低減させる方法（放射線防護の考え方）、エックス線ばく露による放射線に起因する疾病について、放射線被ばく時の応急措置、等については、網羅されなければならない。

安衛法第六十条は、事業者に対し、新たに職務につくこととなった職長その他の作業中の労働者を直接指導又は監督する者に対し、安全又は衛生のための教育の実施を課している。職長教育が求められているのは、安衛法施行令第十九条に定められている通りである。職長教育の内容は、(1) 作業方法の決定及び労働者の配置に関すること、(2) 労働者に対する指導又は監督の方法に関すること、及び(3) 前二号に掲げるもののほか、労働災害を防止するため必要な事項で、厚生労働省令で定めるもの、となっており、エックス線作業においても極めて有用である。全く同じ教育が行われる必要はないものの、(1) 新たに業務に就くことになった職長への教育、(2) 継続的に職長に従事する者への安全衛生能力向上に関する教育、及び(3) 職長等教育講師の養成のための教育と、職長教育が階層構造になっており、習熟度に応じた教育が展開されている点は注目に値する。例えば、(1) 新たに業務に就くことになった職長への教育については、労働安全衛生規則第四十条の2で示されている通り、合計12時間必要である(表1参照)。この教育時間を満足するため、職長

教育は2日間で講座が提供されている。

(3) 職長等教育講師の養成はさらに長い教育時間が設定されており、講義と演習を合わせて合計26時間20分以上になる。これを網羅する講習は5日間で設定されている。

主任者は、国家試験を合格して取得される作業主任者の一つであり、作業中の労働者を直接指導または監督する立場に立つ者としての知識及び技量は職長と同等かそれ以上と認められるとされている。このことから、主任者に対しては別途職長教育を要しない。一方で、主任者を含めた労働者は事業場における安全衛生の能力向上の機会が提供されなければならない、職長の場合と同様に継続的なスキルアップの場が提供されることが望ましい。

以上に示す議論と、本研究事業で提示するコンセプトである、教育・講習へのグレードアプローチ手法の採用を検討して、多種多様なエックス線装置・作業に対応できるよう、安全教育の科目を事業場の事情に応じて自由に選択でき、主任者・作業員向けでそれぞれ内容を選択できるような、多くの事業場で実施可能で、実効性が高く、かつ導入負荷が小さい教育・講習パッケージを実現するため、

(a) エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて

(b) 安全教育の頻度について

(c) 教育・講習のカテゴリについて

で考慮した。

(a) エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて

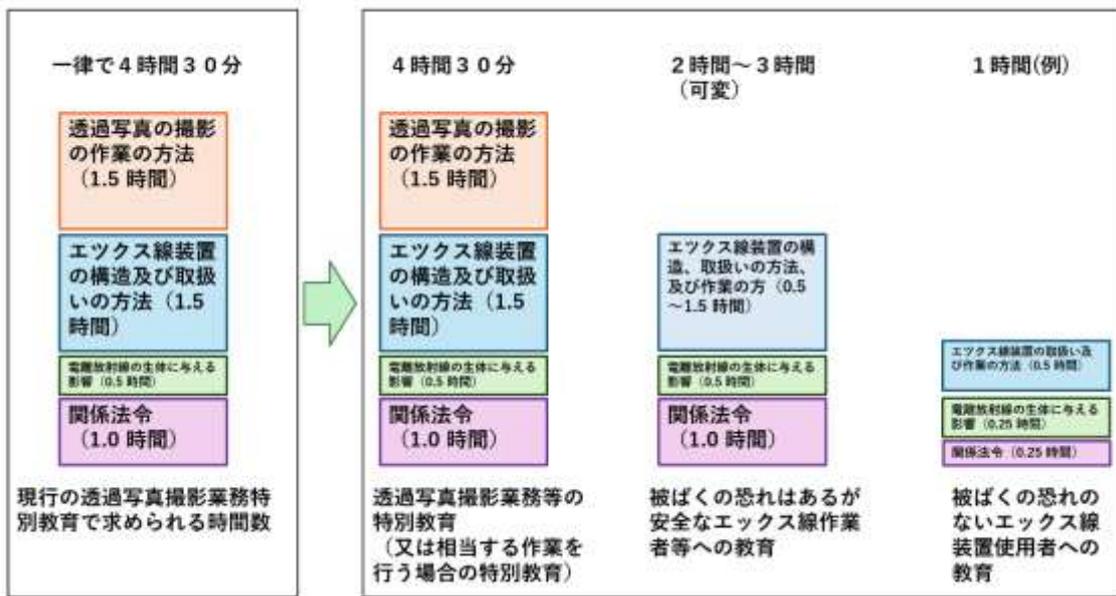


図1 エックス線作業主任者等への教育に係る安全教育をうけるカテゴリの提案

主任者は、エックス線装置に係る作業に関して設定された管理区域に対して指定される際に特別の教育を受けることはない。例えば、透過写真の撮影の業務に従事する主任者が、自身も作業に従事すると考えられる場合には、特別の教育を受けたうえで主任者に指定されると考えられる。一方で、主任者のうち、透過写真の撮影の業務には従事しないが、管理区域でエックス線作業を監督・実施する場合には、透過写真撮影業務で求められる特別の教育は求められない。

主任者として指定されていないエックス線作業に従事する労働者については、管理区域内に入域して作業を行う放射線業務従事者がいる一方で、管理区域が設定されておらず（管理区域が装置内部で設定されている）被ばくの恐れがない作業もいる。現行法令では、透過写真撮影業務に従事する労働者は、放射線業務従事者への指定の有無にかかわらず、4時間30分の教育が求められている。また、エックス線装置は

用いるが、透過写真の撮影の業務に当たらない作業（分析等）の場合では、管理区域が設定されていないエックス線装置を用いる作業には特別の教育に相当する教育・講習は必要ない。（事業者は当該作業に対し、安衛法第五十九条の求める安全衛生教育を受けさせなければならない）この場合、安全衛生教育の中でエックス線装置の安全な使用方法のみならず、エックス線の生物影響、電離則等の関連法令についての教育が行われなければ、放射線被ばくやエックス線ばく露による健康影響に対する知識や危険性の認識もなく、労働者はエックス線装置を使用することになる。現在の状況は、潜在的に被ばく事故を生みかねない状況であると考えられるため、エックス線利用に係る最小限の安全衛生に関する知識を一般の安全衛生教育に加える形で盛り込まれる形が良い。

これらを考慮して、図1にエックス線利用に係る安全衛生教育を受講する主任者等のカテゴリについての提案例を示す。現行

の透過写真撮影の業務に従事する労働者（主任者を含む）で求められる特別の教育は合計4時間30分となっている。本分担研究でも、透過写真撮影業務かそれに相当する業務に従事する主任者及び放射線業務従事者に対しては、従前と同様の教育内容・時間が確保されるべきと提案する。ただし、管理区域が発生しないエックス線装置（工業用三次元 CT 撮影装置等）を適切な使用をしている場合には、被ばくの恐れがほとんどなく、このような撮影業務を行う労働者については、従来の4時間30分の教育・講習は過剰と考えられ、専門的な講義・実習では却って難しすぎて教育の効果が期待通り得られない恐れがある。その点を考慮すると、講義・実習の内容はより平易な内容が望ましく、時間も短時間で完了するほうがよい。

被ばくの恐れのないエックス線装置を利用する労働者について、事業者は一般の安全衛生教育を受講させることが義務付けられているが、その安全衛生教育に加え、

- 一 透過写真の撮影の作業の方法
- 二 エックス線装置又はガンマ線照射装置の構造及び取扱いの方法
- 三 電離放射線の生体に与える影響
- 四 関係法令

の教育のうち、二～四を網羅する教育を実施することを提案する。本分担研究では、多くの事業場で実施可能で、導入負荷が小さいよう、安全教育の科目を各事業場の事情に応じて自由に選択でき、受講する労働者にあった内容を選択できる形が望ましい。

エックス線装置を用いるが、撮影業務ではなく、管理区域内で作業は行うが、被ばくの恐れはそこまで大きくない、と判断さ

れるような作業に従事する労働者については、上述の一の内容を除いた教育・講習が施されるべきである。ただし、この教育・講習の内容についても、安全教育の科目を各事業場の事情に応じて適切な内容を自由に選択できる形が望ましく、結果として教育・講習の時間は可変となるであろう。

(b) 安全教育の頻度について

本研究事業におけるアンケート調査の結果では、教育・講習を年に1回以上受講している主任者は、全体の31%にあたる。約20%の主任者は、初回のみ教育を受講、19%は年に一回未満で受講していることが明らかとなった。作業者等については、約半数に上る54%が1回以上教育・講習を受講する機会が与えられていることが分かった。主任者に対する教育・講習の頻度はそう多くない結果が得られているが、約22%の主任者は、「OJTとして（教育・訓練を）実施している」と回答しており、頻度は明らかではないが、ある一定期間のOJT期間を設け、エックス線装置使用に関する教育を行っている実態も分かった。

関係法令の教育内容について、電離則では、安衛法、安衛法施行令、安衛法規則、電離則等でエックス線装置利用に関係のある箇所を1時間以上教育することとなっている。内容は、エックス線利用に関することに限られてはいるものの、関係法令の改正の頻度で言えば、現行の電離則は令和5年4月1日に施行しており、直近は令和3年4月1日である。仮に、令和3年度に特別の教育を受講した主任者で、その後初回のみ教育・講習を受けたものは、令和5年度の改正について教育を受ける機会がなか

ったことになる。安衛法でいうと、直接関連しないが、令和7年6月1日施行の改正があり、これらの法令について主任者には周知が必要となろう。

放射性同位元素等の規制に関する法律（以下、「R I 規制法」という。）では、R I 規制法施行規則第二十一条の二において規定されており、第2項及び第3項において、放射線業務従事者及び取扱等業務に従事する者に対する教育及び訓練は、初めて管理区域に立ち入る前及び管理区域内入域後は一年を超えない間に教育を行うこととされている。教育・訓練で網羅すべき内容は、以下の3点であり、これは上述の엑스線撮影業務に係る特別の教育の内容にも近い。

イ 放射線の人体に与える影響

ロ 放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い

ハ 放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程

非破壊検査業において、放射性同位元素も用いた撮影業務を行っている事業場では、労働者はR I 規制法に基づく放射線業務従事者としても撮影業務を行っていることから、そのような事業場においてはR I 規制法に基づく毎年の再教育は実施されていると考えられる。

以上を考慮すると、製造業、非破壊検査業における事業場での教育の頻度について、内容の精査が重要であるが、関係法令はリマインドの意味でも毎年教育・講習を受ける機会があることは、現状の労働者の負担感も小さく、また必要なことと考えられる。教育・講習における、関係法令の内容は、我が国のどの事業場であっても同様の内容である。このことを考慮して、関係法令の教育・講習の実施方法は、現場で各

自行うことは非常に重要であるが、利便性と効率も考慮し、Eラーニングの形式が望ましい。例えば、厚生労働省が運営する「職場のあんぜんサイト」のようなサイトには、労働安全衛生に係る各種教材・ツールが充実している[5]。このようなサイトに엑스線利用に係る関係法令、最近の話題、事故事例等がオンラインで利用可能であれば、事業者も各事業場で労働者への教育を展開しやすくなると考えられる。なお、職長教育では能力向上のための再教育の講習を行っている団体もあり、職長脅威は12時間の講義・演習を要するが、能力向上のための再教育では5時間で実施している。このように、関係法令も要点や改正のポイントを確実に提供することで、時間数を短縮して提供することも可能であろう。安衛法に基づくものではないが、R I 規制法にもとづく再教育の取組みには、医療機関の放射線業務従事者のための放射性同位元素等規制法講習会がオンラインで開催されている[6]、放射線障害防止中央協議会主催の放射線安全管理講習会[7]ではテーマを決めて放射線管理に関するオンライン講習を実施する等行われており、これらの取組みは엑스線利用に係る放射線管理にも参考になると考えられる。

(c) 教育・講習のカテゴリについて

엑스線の利用は、製造業、非破壊検査業に限っても多種多様であり、엑스線装置を用いる労働者に必要な知識も自身の遂行する業務に応じて変わることは論を俟たない。教育・講習は、労働者の疾病防止のため不可欠である一方で、事業場において教育・講習を過剰に行うことは、企業活動を損なうばかりで、事業場の存続を危

うくしかねない。労働者がエックス線利用時に必要な教育・講習を必要なだけ提供できることが非常に重要であると同時に、事業者が提供した教育・講習が労働者に定着し、実際に事業場における安全衛生の改善・向上につながらなければならない。その点からも、例えば、放射線業務従事者としての登録を受けない作業員であって、装置の外に管理区域の発生しないエックス線撮影装置を使用するような場合には、4時間30分の教育は却って過剰かもしれない。一方で、製造業ではないが、空港における手荷物検査等に従事する検査官のように、自身がエックス線を利用していることをあまり意識せずに業務を行っているような場合には、エックス線の性質、エックス線の節物影響、関係法令等については教育・講習の形で（時間数は置くとして）周知徹底されるべきであろう。この検討は、（a）でもすでに行っているが、一律で画一的な教育を、事業場の大きさを考慮せず

に当てはめるのは、教育・講習の労働者への定着度の観点から望ましいといえず、必要な教育を必要なだけ提供できる環境が整備されることが望ましい。

現行の電離則において、事業者が労働者に対し、エックス線装置を用いる透過撮影業務に従事する労働者に対する特別の教育を行う講師についての資格等は明示されていない。建設業においては、職長・安全衛生責任者を教育する講師について、別途教育が設けられており、職長及び安全衛生責任者教育を担当する講師の養成を目的とした講習が実施されている。この取り組みは建設業において定着していることを考慮すると、電離則におけるエックス線を利用する労働者に対してもこのような枠組みが設置されることは望ましい。

例えば後述の図2のように、主任者として免許を受け、数年後（例えば5年を超えないうちに）にエックス線利用に係る安全衛生に関する講義・演習を受講し、ステッ

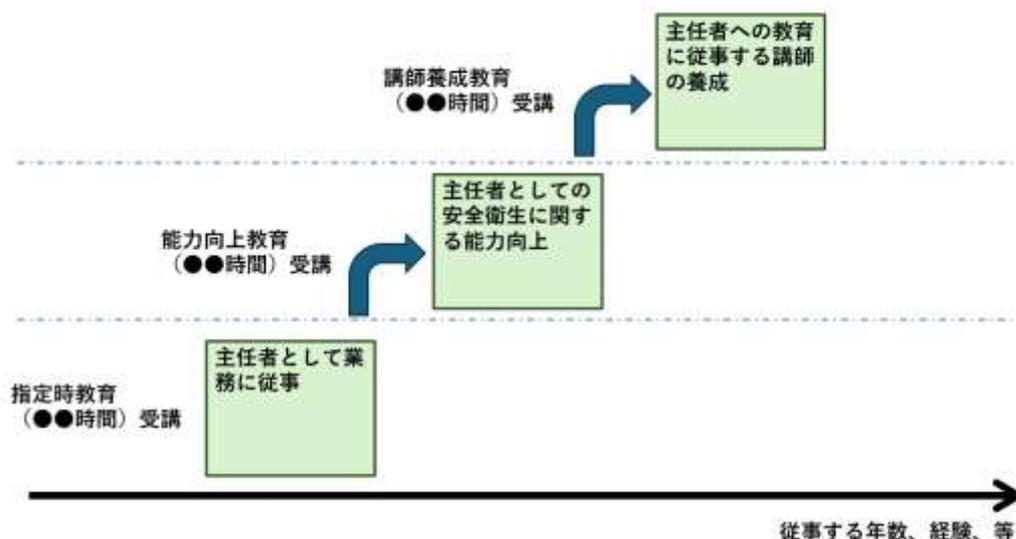


図2 エックス線作業主任者の安全衛生能力向上に資する主任者のカテゴリ案

プアップする。その後、各事業場において後進や新たに従事する主任者に対する講習を実施できる講師を要請する講義・演習を受講した後、当該主任者が後進らの指導に当たる、という階層別の教育・講習は有効であろう。その際の、内容及び必要時間数については、今後検討を進める予定である。

D. 本調査のまとめ

本分担研究では、主任者及びエックス線装置を使用して作業を行う労働者が、安全衛生に関する継続的な能力向上に資する教育・講習パッケージの開発に先んじて、主任者の教育・講習にはどのような教科がどの程度必要か、主任者以外の労働者、特に放射線業務従事者ではないが、エックス線装置を使用する労働者は一定数おり、事業者が彼らに対しどのような安全衛生教育をどの程度施すべきか検討を行った。

検討の結果、(a) エックス線作業に係る安全教育を受ける主任者等のカテゴリについて、現行の透過写真撮影の業務に従事する主任者及び放射線業務従事者に対しては、従前と同様の教育内容・時間が確保されるべきと提案する。同時に、管理区域が発生しないエックス線装置（工業用三次元CT撮影装置等）を適切に使用して、被ばくの恐れがほとんどない作業を行う労働者に対しては、従来の4時間30分の教育・講習では過剰と考えられ、内容をより平易なものとして、時間も短時間な教育・講習を行うことを提案する。また、エックス線装置を用いるが、撮影業務ではなく、管理区域内で作業は行うが、被ばくの恐れはそこまで大きくない考慮される労働者については、撮影業務に関する教育・講習をのぞ

いた、二 エックス線装置の構造及び取扱いの方法、三 電離放射線の生体に与える影響、及び四 関係法令を網羅する内容の教育・講習が実施されるとよい。以上、製造業、非破壊検査業における主任者及び作業員等において、エックス線被ばくの可能性に応じ、三つのカテゴリに区分し、教育時間を変更することを提案する。

(b) 安全教育の頻度について、本研究事業でメインのターゲットとしているのは、製造業、非破壊検査業における労働者である。非破壊検査業において、放射性同位元素も用いた撮影業務を行っている事業場では、労働者はR I規制法に基づく放射線業務従事者としても撮影業務を行っており、R I規制法に基づく毎年の再教育は実施されていると考えられる。また、撮影業務に従事する主任者及び作業員が受講した特別の教育において、関係法令は受講時点でのものとなり、改正された法令について学ぶ機会は別途設けられなければならない。これらを勘案して、製造業、非破壊検査業における事業場での教育の頻度について、特に関係法令についてはリマインドの意味でも毎年教育・講習を受ける機会があることが望ましい。その他の項目についても実施されることが望ましいが、現状の労働者の負担感も小さく、継続的に行えるような施策が良い。

(c) 教育・講習のカテゴリについて、前述のとおり、一律で画一的な教育を、事業場の大きさを考慮せずに当てはめるのは、教育・講習の労働者への定着度の観点から望ましいといえず、エックス線被ばくの可能性に応じて、教育・講習の内容及び時間を考慮し、必要な教育を必要なだけ提供できる環境が整備されることが望まし

い。また、建設業における職長・安全衛生責任者を教育する講師に対する、講師養成研修のように、電離則におけるエックス線を利用する労働者に対しても、主任者等への能力向上教育の講師として活動するため求められる教育・講習が実施されることは有効であろう。

今後の検討課題として、(1) 主任者等の能力向上に資する教育・講習の内容の検討、及び(2) 能力向上に関する継続的な教育実施・受講を担保する建付け、がある。

本研究事業で実施したアンケート調査の結果に従えば、

- ・エックス線使用時の事故事例
- ・法令改正の状況

は教育・講習が定期的実施されることが望ましい。それ以外にも、エックス線装置の使用に関する教育について、メーカー個別の具体的な利用法、あるいは事業場独自の使用についての教育を準備することは困難であるが、ある程度統一的内容の教育コンテンツがあると事業者が別途教育資料等を準備する必要がなく、事業者及び主任者を含めた実務担当者の負担が小さくなると考えられる。このような教育コンテンツがオンラインで共有される、または E ラーニングによりオンデマンドで受講できると利便性が向上する。

能力向上に関する継続的な教育実施・受講を担保する建付けについて、R I 規制法のように再教育を法令で定めることも有効である。R I 規制法では教育訓練に係る記録を定期確認によって確認を行われており、強制力を持って担保されているといえる。継続的な教育の実施については、例えば、土木施工管理技士では、継続教育 (CPD : Continuing Professional Development) 制

度のように生涯にわたる技術向上の指標としての教育・講習受講歴の登録制度があり、国土交通省において公共工事の各発注機関は、競争入札に参加しようとする建設業者についての資格審査を行うよう定められている。CPDS は、各建設業者におけるポイントの平均点として、その建設業者の客観的な技術能力の指標の一つとなっており、競争入札時の加点対象である。教育・講習を継続的に受講させることが、事業者にとって経営に直結する制度設計は参考にすべきであろう。

E. 健康危機情報
なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

G. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

H. 引用文献

- [1] 五十嵐ら.“日本保健物理学会「エックス線被ばく事故検討 WG」活動報告—第 1 分科会 エックス線利用上の安全規制と現場管理—” Jpn. J. Health Phys., 58 (3), 141 ~ 150 (2023).

[2] https://laws.e-gov.go.jp/law/347M50002000032#Mp-Pa_1-Ch_4 accessed on 13th Feb 2025.

[3] 基発0512004号(平成18年5月18日)
<https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/roudou/an-eihou/dl/k060512004.pdf>
accessed on 13th Feb 2025.

[4] https://www.jhps.or.jp/upimg/files/hihaka_i_1.pdf accessed on 14th Feb 2025.

[5] 職場のあんぜんサイト
<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/information/kyozaishiryu.html> accessed on 18th February 2025.

[6] 医療機関の放射線業務従事者のための放射性同位元素等規制法講習会
<https://www.nustec.or.jp/project/iryo01.html> accessed on 18th February 2025.

[7] 放射線安全管理研修会
<https://www.compass-tokyo.jp/houchukyo/> Accessed on 18th Feb 2025.

研究成果の刊行に関する一覧表
エックス線作業主任者等に対する効果的な教育に関する研究 (240402-01)

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
榎本 敦、神子 公 男、野澤 清和、飯 本 武志	研究用エックス線装置の安全 管理と課題	放射線生物研究	59(2)	157-164	2024
榎本 敦	クリーンベンチ・安全キャビ ネット内での非密封放射性同 位元素で汚染した空気の循環 について	保健物理	59(3)	118-123	2024

