

令和 7 度厚生労働省労災疾病臨床研究事業費補助金

令和 7 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 8 年 (2 0 2 6 年) 3 月

目次

I. 総括年度終了研究報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

II. 分担研究報告

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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2 2

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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5 1

非破壊検査業におけるエックス線作業等者の安全教育に係る現地ヒアリング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5 5

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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7 5

III. 分担研究報告（コンテンツ教材整備）

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・講習資料の整備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9 3

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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1 7 4

IV. 研究成果の刊行に関する一覧表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1 7 8

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。令和7年度は、以下に示す分担研究を着実に進め、最終年度での取りまとめに向けて今後の調査で必要な課題を抽出した。

【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】

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及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 IAEA や ICRP 等の国際会議で本調査について発表し、多くの国から本調査への理解と回答を得ることが出来たと共に、国際的な議論の必要性を提起する事が出来た。2026 年 2 月時点で、本調査へ 7 カ国から計 13 件の回答が得られ、詳細な結果について精査中である。次年度は、精査した調査結果を国内外の学会にて発表し、さらなる国際的な議論を進めると共に、具体的な教育内容・手法への反映を目指す。

【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。昨年度は、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。今年度は、昨年とは異なる登録定期講習機関で定期講習を受講した。その結果、科目・時間数に大きな違いはないものの、実施方法には違いが見られた。具体的には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、さらにプレゼン発表をさせて双方向性を保つような工夫を行っているところもあれば、一方

で討論時間は設けるものの、その後は受講者側に任せっぱなしで他のグループや業種の意見や感想を聞く機会に恵まれないところもあった。定期講習に限ることではないが、ハード面の整備だけではなく、講習の進め方や講師のスキルアップなどソフト面の充実を図ることも重要である。

【非破壊検査業におけるエックス線作業等者の安全教育に係る現地ヒアリング】

本分担研究では、非破壊検査企業を訪問し、現地で主任者及び作業員に対しアンケート及び聞き取り調査を行った。聞き取り調査では、より具体的な教育・講習内容に加えて、企業内における安全衛生等の取り組みについても調査した。調査は、日本非破壊検査工業会より推薦を受けた企業3社に訪問して行っており、いずれに企業もガンマ線照射装置を用いる透過写真撮影を行っている。アンケートではエックス線作業主任者及び作業員から18件回答を得た。アンケート結果で特筆すべき点として、(1) RI規制法に基づく再教育が定着しており、時間数及び内容が企業によって異なる点、(2) 被ばく可能性についての懸念が、特にうっかり型ミスに起因するとの回答が支配的である点、(3) e-ラーニングについて、関係法令のオンライン講義等の導入について前向きである点、及び(4) ポータブルエックス線分析装置(XRF)について別途特別な配慮を行っている点、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】

本分担研究は、製造業や非破壊検査業におけるエックス線被ばく事故の防止及び線量低減を目指し、エックス線作業主任者の能力向上に資する実効的な教育内容を検討することを目的とする。令和7年度は、実際の作業環境におけるエックス線場の物理的特徴を把握するため、食品用エックス線検査装置、非破壊検査(エックス線透過法・放射線透過試験)、及びハンドヘルド蛍光エックス線分析装置の運用現場において、線量率及び光子フルエンススペクトルの実地測定を実施した。

測定の結果、非破壊検査等における散乱エックス線の平均エネルギーは65～85 keVであり、電離箱式サーベイメータが良好な応答を示す領域であることを確認した。一方、鉛遮へい体由来の特性エックス線(L-X線)や、ハンドヘルド装置特有の低エネルギー成分(約28 keV)が線量評価に及ぼす影響を明らかにした。また、高線量率のパルス状エックス線場においては、測定器の種類により過小評価が生じるリスクを実証した。これらの成果は、作業環境に応じた適切な測定器選定の重要性を科学的に示しており、作業主任者講習等の教育訓練に実装することで、実効ある放射線防護体制の構築に寄与するものである。

【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・講習資料の整備】

本分担研究では、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使用して作業を行う労働者に対し、エックス線装置を用いる透過写真撮影業務に従事する前の特別の教育について教育・コンテンツを整備した。特に、主任者等の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の一環とし、事業場における対面

での講義に用いることのできるスライドを整備した。スライドはすべて教科・内容でユニット化し、必要な箇所を抜き出して講義で使える形に整備している。併せて、特別の教育を要しない事業場で用いることが可能な講義用スライドを整備するとともに、注意喚起に資する短時間の動画を試作した。

【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、10kV 以上のボックス型 X 線装置を使用する者に対する安全衛生教育の教育資料を作成した。資料では、研究員のみでなく、機器利用者にも対応するための対策を講じた資料となっている。作成した資料を用いて東京都立産業技術研究センター内で対面と Web 形式による安全衛生教育を実施した。対面形式では、教育後、質疑応答の時間を設けた。また、アンケートにも答えてもらった。

<研究分担者>

飯本 武志 国立大学法人東京大学 環境安全本部 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 講師
 赤平 理紗 国立大学法人東京大学 環境安全本部 助教
 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
 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
 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 技術副主幹

<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
 谷村 嘉彦 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 研究主席
 夏原 正仁 株式会社 島津製作所 営業本部 グローバル共創営業戦略室 産学官連携推進ユニット 特任部長

A. 研究目的

本研究事業では、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り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ことを目的としている。

この背景には、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、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にもかかわらず、被ばく事故が発生しているという事実がある。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設置された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）において、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挙げられている[2]。すなわち、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にも関わらず、その重要性が認知されておらず、事業場での取り組みに改善の余地があるとの指摘である。特に、作業者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放射線安全文化醸成の観点からも継続的な取り組みが望ましい。

本研究事業は3か年を予定しており、最終目標である実効性ある教育・講習内容の提案を達成するため、以下に示すサブテーマ（調査①、調査②及び開発③）を設定し、テーマ毎に着実に調査研究を進めるもので

ある。すなわち、

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：主任者及び作業者に対する効果的な教育・講習パッケージの開発

上記サブテーマのうち、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ことを考えている。

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2年目の令和7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

【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】

【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】

【非破壊検査業におけるエックス線作業者等の安全教育に係る現地ヒアリング】

オンラインアンケート及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。この調査の目的は、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た。

エックス線利用に関する海外規制当局担当へのアンケート調査と並行し、我が国における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。）での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を継続した。

さらに、今年度は製造業、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、特に非破壊検査業を対象に現地ヒアリングを実施した。

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)

【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】

本分担研究では、実際の作業環境におけるエックス線場の物理的特徴を把握するため、食品用エックス線検査装置、非破壊検査（エックス線透過法・放射線透過試験）、及びハンドヘルド蛍光エックス線分析装置の運用現場において、線量率及び光子フルエンススペクトルの実地測定を実施した。

開発③:主任者及び作業者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・講習資料の整備】

研究事業2年目である令和7年度は、主任者及び作業者に対する効果的な教育・講習パッケージ開発に着手した。特に、エックス線装置を用いる透過写真撮影業務への従

事前に実施される特別の教育を念頭に置いて教育・コンテンツを整備した。教育・コンテンツの整備では、事業場における対面での講義に用いることのできるスライド形式で整備し、主任者等の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の一環とした。併せて、特別の教育を要しない事業場で用いることが可能な講義用スライドも整備し、注意喚起に資する短時間の動画を試作した。

また、上記に基づき安全衛生教育資料を別途作成し、東京都立産業技術研究センターで対面と Web 形式による安全衛生教育を試行した。

C. 研究及び調査結果

令和 7 年度に実施した上述の分担研究における結果について、各分担研究に分割して示す。詳述は分担研究報告書を参考されたい。

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

【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) IAEA 放射線安全基準委員会における本調査に関する発表

2025 年 6 月、国際原子力機関 (IAEA) の放射線安全基準委員会 (RASSC) にて、本調査を紹介する機会を得た。本発表では、

・ 2021 年に我が国で発生した被ばく事故の概要と原因

- ・ 事故後の厚生労働省や学会の対応
- ・ 電離則の改正内容
- ・ 本研究の目的
- ・ 本調査の目的、内容、結果

・ 本調査の回答フォームを紹介した。

会場からは、

・ 2021 年の事故における、作業員の異常認識タイミングについて

・ 事故を受けた電離則の改正タイミングについて

・ 電離則の改正内容の既存設備への適用について

・ 欧州放射線防護訓練教育プラットフォーム (EUTERP) 及び放射線防護における欧州教育訓練ネットワーク (ENETRAP) についての質疑及び情報提供があった。

(2) アンケート調査への回答結果

上述の IAEA-RASSC における発表に加えて合計 3 件の発表で、規制当局者に対する産業用エックス線装置利用への法規制と教育の取組みに関するオンラインアンケートの紹介と協力の呼びかけを行った。2026 年 2 月時点で 7 カ国(韓国、スロベニア、オーストラリア、スイス、イギリス、カナダ、シンガポール)、計 13 件の回答が集まっている。得られた回答は、各国で産業用エックス線に関する法体系やグレーデッドアプローチの考え方、業務従事者の教育体制や標準教材の有無、エックス線安全管理者の有無などで異なる内容となっている。特筆すべきは、カナダは放射線に関する規制権限が各州に任されており、計 5 州から得られた回答も異なる内容となっている。回答内容の詳細は現在、論文化に向けて精査中である。

【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】

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]。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。

講義の進め方について、現場の管理経験が豊富なベテラン講師が数科目ずつ担当する形でパワーポイントの資料を用いて解説形式で実施されている。特に資料からだけでは読み取りにくい定義の解釈及び注意点についての解説に力点が置かれているのは受講生に有益であろう。一方で、テキストの内容が豊富である反面、時間いっぱい講義が継続し、講師が受講生にアンケートや質問をするなどの双方向性を担保する工夫はみられず、一方的な進行であった。

講習の内容を深めるための工夫として、各実施期間における教育訓練の科目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。ある実施機関の対面講習では、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・テーブル配置として、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。一方の講習機関では、討論時間は設定されているものの受講生の配置には特に工夫はなく、討論する相手はその時に隣接する人であった。討論も受講生に依存する形で進められるため、相

手の業種によっては討論の質にかなりの温度差が生じる可能性が懸念された。

【非破壊検査業におけるエックス線作業者等の安全教育に係る現地ヒアリング】

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。日本非破壊検査工業会（以下、「JANDT」とする。）により現地訪問の承諾を得た 3 社に対して実施し、調査は令和 7 年 1 月 4 日から令和 7 年 1 月 18 日までの約二週間で実施した。

以下では主任者に対するエックス線装置の使用と教育に関するアンケートについて 6 件の回答を得た。併せて、作業者及び主任者等に対するエックス線作業時に係る線量計装着状況等に関するアンケートでは合計 18 件の回答を得ている。結果について、文太研究報告書において詳述した。

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）

【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】

・エックス線の線量率及びエネルギーの現場測定

（１）測定に使用した測定器

本実地調査におけるエックス線の線量率測定には、検出原理やエネルギー特性の異なる以下のサーベイメータを使用した。

（ア） 応用技研 AE-133B [7]

種類：電離箱式サーベイメータ

（イ） アロカ ICS-1323 [8]

種類：電離箱式サーベイメータ

（ウ） アロカ TCS-1172 [9]

種類：NaI(Tl)シンチレーション式サーベ

イメータ

(エ) 富士電機 ペガサス Pro [10]

種類：CsI シンチレーション及びシリコン
半導体式サーベイメータ

エックス線のエネルギー分布（光子フル
エンススペクトル）の測定には、以下のスペ
クトロメータを使用した。

(ア) EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器[11]

素子：CdTe (5 mm×5 mm×1 mm)

分解能：1.5 keV FWHM @ 122 keV

(2) エックス線線量率及びエネルギー分
布測定

(2-1) 食品用エックス線検査装置の測
定

食品用エックス線検査装置の製造会社

(D 社)において、同装置（管電圧：25～
75 kV、管電流：1～8 mA）からの漏えい
線量測定を実施した。本測定では、作業
者が検査対象の食品を手作業で搬送して、
タングステン製防護カーテンの隙間から漏
えいするエックス線による手指の被ばくを
想定した。搬出口の防護カーテン外側に、
線量率測定用の応用技研 AE-133B 及びス
ペクトル測定用の EMF123-0 型 CdTe 放
射線検出器（2 台）を設置した。測定条件
は管電圧 75 kV、管電流 3 mA とし、装
置内部の線量率を監視するためアロカ ICS-
1323 を配置した状態で測定を行った。

応用技研 AE-133B による測定の結果、
1cm 線量当量率 $H^*(10)$ は 0.29 $\mu\text{Sv/h}$ であ
り、漏洩線量は十分に低いことが確認さ
れた。また、実測された光子フルエンスス
ペクトルの解析結果から、フルエンス平均
エネルギーは 50 keV であることが確認さ
れた。

(2-2) エックス線透過法による非破壊
検査を模擬した測定

建築現場等では、コンクリート壁内の鉄筋
等の配筋状況を確認するため、パルスエッ
クス線を用いたエックス線透過法が広く利
用されている。この作業における被ばくの
主因は、コンクリート壁等からの散乱エッ
クス線であると考えられ、そのエネルギー
変化やパルス特性が被ばく管理上の測定精
度に影響を及ぼす可能性がある。そこで、
工業用エックス線発生装置製造会社照射室
において、実際の非破壊検査作業を模擬し
た測定を実施した。照射対象のコンクリー
ト板（60cm×60cm×20cm）に対し、1 m
の距離から携帯型エックス線発生装置
RIX-200MC（トーレック製：管電圧
200kV、管電流 3mA）を用いてエックス
線を照射した。コンクリート板からの散乱
エックス線を評価するため、照射対象物か
ら斜め 45 度後方 1 m の地点を測定点と
し、線量率を応用技研 AE-133B、アロカ
ICS-1323、アロカ TCS-1172 で測定する
とともに、光子フルエンススペクトルを
EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器で測定し
た。電離箱式サーベイメータ間(AE-133B
(29.5mSv/h)及びICS-1323(33.2 mSv/h))
の指示値の差異は十分に小さく、安定した応
答を示した。また、AE-133B により直読した
70 μm 線量当量率 $H(0.07)$ 、3mm 線量当
量率 $H(3)$ 及び 1 cm 線量当量率 $H^*(10)$ の
間にも大きな有意差は認められなかった
(29.5 ～ 32.5 mSv/h)。一方で、NaI(Tl)
シンチレーション式サーベイメータ
(TCS-1172) の指示値は、電離箱式の測
定値（約 30 mSv/h）に対し、 $\mu\text{Sv/h}$ オー
ダーという極めて低い値を示した。

(2-3) 放射線透過試験 (RT) を模擬した測定

溶接部の健全性評価に用いられる非破壊試験 (NDT) の中でも、放射線透過試験 (RT) は JIS Z 2305:2024「非破壊試験技術者の資格及び認証」に規定される主要な手法であり、製造業における鋼材溶接部や石油化学プラント等の配管検査に広く採用されている。本研究では、大型機械部品の製造検査や大型施設での配管検査における被ばく事故を想定し、広大な照射室を有する鍛鋼品製造会社及び非破壊検査会社において、RT を模擬した実地測定を実施した。照射対象となる鋼板または鋼管に対し、所定の距離 (1 m または 0.86 m) に設置した携帯型エクス線発生装置 RF-300EGM (リガク社製：管電圧 300 kV、管電流 5 mA) からエクス線を照射した。照射方向は実際の RT 作業を再現し、鋼板に対しては鉛直下方向、鋼管に対しては水平方向とした。電離箱式サーバイメータ間 (AE-133B (0.370 ± 0.006 mSv/h) 及び ICS-1323 (0.486 ± 0.006 mSv/h)) では約 30% の差異が認められたが、同一機種における線量当量単位間には違いが認められなかった。鋼板の RT を模擬した照射において実測された光子フルエンススペクトルには、鉛の特性エクス線ピーク及びターゲット材 (タングステン) の特性エクス線に起因する後方散乱ピークが確認されており、フルエンス平均エネルギーは 85 keV と評価された。

(2-4) ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置から放射される直接 X 線の測定

ハンドヘルド蛍光エクス線分析装置は、金属材料の元素分析等に広く利用され

ているが、その使用形態から、誤操作等による偶発的な被ばくリスクが懸念されている。実地調査を行った各事業場との意見交換においても、同装置による指先等の局所被ばくに対する不安の声が多く聞かれた。そこで、都産技研が保有するハンドヘルド蛍光エクス線分析装置 (Thermo Scientific 社製 Niton XLt 797) を用い、装置から放出される直接エクス線の光子フルエンススペクトル及び線量率を測定した。

スペクトルには、ターゲット材であるモリブデン (Mo) の特性エクス線ピーク及び連続エクス線の分布が顕著に確認された。フルエンス平均エネルギーは 28 keV と評価され、これまでに調査した非破壊検査等の散乱エクス線場と比較して著しくエネルギーが低いことが判明した。

また、照射距離 53 cm における直接エクス線の線量率測定結果を表 8 に示す。本装置のエクス線エネルギーは低エネルギー成分が支配的であるため、1 cm 線量当量率 $H^*(10)$ よりも、70 μ m 線量当量率 $H(0.07)$ の指示値が有意に高くなることが定量的に確認された。この結果は、ハンドヘルド蛍光エクス線分析装置による被ばく事故が発生した場合、全身被ばくだけでなく、皮膚組織に対する線量評価が極めて重要であることを示唆している。また、これほど低エネルギーの領域では、汎用されるサーバイメータのエネルギー依存性の影響を慎重に考慮する必要があることが浮き彫りとなった。

表 1 ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置から放射される直接エクス線の線量率
(照射距離 53cm)

AE-133B	$H^*(10): 78.9 \pm 1.1 \mu\text{Sv/h}$ $H'(0.07): 99.6 \pm 12.7 \mu\text{Sv/h}$
---------	--

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・講習資料の整備】

本分担研究では、放射線透過写真撮影業務に初めて従事する主任者及び作業者を対象として、対面又はオンラインによる講義を想定した講義スライドを整備した。整備した講義スライドは分担研究報告書に示す通りである。講義スライドは、各科目の範囲をモジュール化して整備し、事業場の事情に応じた講義の選択ができるようにした。

科目
一 エックス線装置又はガンマ線照射装置を取り扱う業務に係る作業の方法に関する知識
範囲
1. 透過撮影作業の手順
2. 電離放射線性質と測定
3. エックス線作業主任者の日常業務及び年間スケジュール
4. 被ばく防止の方法
5. 事故時の措置
科目
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
範囲
1. エックス線装置の原理
2. エックス線装置のエックス線管
3. 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能

4. エックス線装置の操作及び点検
5. エックス線装置の安全警報装置
科目
三 電離放射線の生体に与える影響
範囲
1. 電離放射線の性質
2. 電離放射線と生体組織・細胞との反応
3. 電離放射線による健康被害とその種類
4. 労災認定（仮）
科目
四 関係法令
範囲
労働安全衛生法
労働安全衛生規則
電離放射線障害防止規則
電離放射線防止規則改正について
基発について

D. 考察

令和7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

【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】

現時点で得られたアンケート調査の結果について、論文化を視野に精査をおこなう。同一国の異なる専門家らから複数回答を得られた国や、文化的背景が似た国など、複数の分類間で回答を比較する事で、各国における産業用エックス線の規制及び作業員へ

の教育に関する考え方を整理する。

【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】

(1) 講習内容を深める工夫について

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おり、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い。講習時間内に討論時間を設けられている場合が多く、自身の判断や方法の妥当性の確認や新しい発見にも繋がる。ある定期講習では、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り組みである(図1参照)。双方向性の観点から、形式的で満足度の低い討論時間とならないように実施機関も講習の進め方の見直し等ソフト面の充実を図ることも重要である。

(2) 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、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は必要である。またエックス線の用途は多岐にわたるため、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・用途別や熟練度に応じた段階別に選択が出来ることより効果的なものとなる。例えば、事故に関する内容・課目においては、その産業や分野で過去に発生したエックス線被ばく事故やヒヤリハット事例を題材にして再発防止の一考とするのも効果的である。また業界や社内で開催する教育を実施する際には、その業種の現場に明るい講師を招くことで、一般論だけではなく、課題解決のための糸口を見出すことや質の高い質疑応答を期待できる。



図1 わかりやすく質の高い教育に必要な工夫の一例

【非破壊検査業におけるエックス線作業者等の安全教育に係る現地ヒアリング】

非破壊検査業を主な業とする事業場における現地アンケートで得られた結果について、以下の課題に従って評価した。

(1) 主任者及び作業者の教育・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を質問し、すべての事業場(6件/6件)において特別の教育を実施していると回答された。調査対象とした事業場では、初めて透過写真撮影業

務に従事する者の教育は6時間以上となっている。各企業において教育時間は異なっているが、教育時間は6時間、7時間30分、及び8時間という結果であった。また、3社ともに教育に力が入っていたのは、異常時の措置であった。正確にはR I 規制法に基づくイリジウム線源照射装置または線源格納容器に対する教育であった。

(2) 放射線防護対策措置について
昨年度と同様に、現地ヒアリングにおいても以下の放射線防護対策の実施状況について、放射線作業に従事する作業員に対しアンケート及び聞き取り調査を実施した。(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、100%個人線量計を装着して作業しているとの回答を得た。

放射線透過写真撮影業務に従事する際のエックス線被ばくの可能性について問い合わせたところ、3分の2の作業員について、被ばくの可能性があると回答を得た(12件/18件)。被ばくの可能性があると感じる場面について、その内容はすべてがうっかり型ミスに起因する放射線被ばくの可能性を示唆するものであった。

(3) e-ラーニングに関して

アンケート調査においては、関係法令についてオンラインでの受講(またはオンデマンドでの受講)が可能となった場合の受講について意見を求めている。その結果、すべての企業における主任者は、受講に対して非常に前向きであった。総じて関係法令等についてのオンライン教育について前向

きな意見ばかりであったが、教育効果、理解度・到達度の点から考慮したコンテンツ設計及び制作が求められることも明らかとなった。

(4) ポータブル蛍光エックス線分析装置(XRF)の取扱いについて

本分担研究で訪問した企業3社すべてから聞かれた懸念は、ポータブルXRFの運用に関するものである。この懸念の淵源は、各企業担当者のエックス線装置に対する管理・運用の制限の少なさにあるものと考えているようであった。出力の大きなエックス線発生装置については危険と意識しているが、ポータブルXRFなどの出力が低い装置はかえって危険に対する意識が低くなることでより危険な扱いになっているのではないか、という考えを有していた。各企業とも、ポータブルXRFの運用に伴う被ばくの危険性を念頭に、自主的な管理のもと安全な運用に努めていた。このような安全な管理と運用が可能なのは、各企業が放射線安全を含む労働安全に対する深い見識と長年にわたる経験があるために行えることといえる。ポータブルXRFのように被ばくの危険が見えにくい装置についての教育・運用・管理に係る知見は、他の事業場においても広く共有されるべきであろう。

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)

【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】

・測定用サーベイメータの選定

本分担研究では、エックス線を利用する多様な産業現場を想定し、装置からの漏えいエックス線及び事故発生時に想定される

散乱エックス線（低エネルギー主体の場合）を対象とした実測を行った。その結果、検出原理の異なるサーベイメータ間で指示値に顕著な差異が生じることを確認した。

特に、エックス線透過法による非破壊検査や放射線透過試験（RT）を模擬した現場測定において、電離箱式サーベイメータが mSv/h オーダーの線量率を指示する測定点において、NaI(Tl)シンチレーション式や CsI(Tl)シンチレーション及びシリコン半導体式サーベイメータは $\mu\text{Sv/h}$ オーダーを指示するにとどまり、過小評価が生じる事が明らかとなった。この要因としては、非破壊検査用エックス線発生装置特有の高線量率パルス照射に対し、計数型検出器（シンチレーション式等）においてパイルアップや不感時間（dead time）による計数損失が発生したこと、及び波高選別しきい値の設定により低エネルギー成分が棄却されたことが考えられる。

・サーベイメータによる測定の信頼性

エックス線装置からの漏えいエックス線、及び事故時に想定される散乱エックス線主体の環境は、校正場での校正・試験に用いられるエックス線のエネルギー分布とは異なる特徴を持つ。

エックス線透過法及び放射線透過試験（RT）を模擬した現場測定では、ターゲット（タングステン）由来の特性エックス線ピークが後方散乱により低エネルギー側にシフトし、直接エックス線よりも軟らかい線質となっていることが確認された。しかし、フルエンス平均エネルギーは 65 keV から 85 keV の範囲にあり、かつ分布は連続的で極端に低いエネルギー成分が支配的ではないことから、電離箱式サーベイメータのエネルギー特性が良好な領域で測定が行われ

たと判断できる。食品用エックス線検査装置からの漏えいエックス線についても、フルエンス平均エネルギーは 50 keV であり、分布が連続的であることから、AE-133B の測定下限（60 keV）を考慮しても、メーカー提供のエネルギーレスポンスデータに基づけば良好な応答領域での測定が可能であると判断される。

一方、ハンドヘルド蛍光エックス線分析装置から放射される直接エックス線は、フルエンス平均エネルギーが 28 keV と極めて低く、ターゲット（Mo）の特性エックス線（K-X 線）に由来する 17.4 keV 及び 19.6 keV に鋭いピークを有する。このエネルギー領域は、本研究で使用した両機種種の測定下限を大きく下回る成分を多く含むため、汎用的な電離箱式サーベイメータを用いて当該装置の直接線を精度良く測定・評価することは困難であると考えられる。こうした特殊な線源に対しては、エネルギー特性を考慮した補正や、より低エネルギー側に感度を持つ測定器の選定が不可欠である。

・エックス線透過法による非破壊検査及び放射線透過試験での作業者の被ばく管理
エックス線透過法による非破壊検査及び放射線透過試験（RT）を模擬した現場測定の結果、AE-133B で直読した 70 μm 線量当量率 $H(0.07)$ 、3mm 線量当量率 $H(3)$ 及び 1 cm 線量当量率 $H^*(10)$ の指示値の差は 10%程度にとどまった。

一般に、立入禁止区域外の線量率を監視して公衆や作業者の安全を確保するというサーベイメータの運用実態から、代表として $H^*(10)$ を測定・管理することで、皮膚や目の水晶体の組織線量についても十分かつ適切に網羅・管理できていると結論付けら

れる。

一方で、今回の実測により、照射点から 10 m 離れた地点であっても、照射の瞬間には非常に高い線量率が記録されることが定量的に示された。実際の現場作業において、作業員は個人線量計を装着して積算被ばく線量を把握しているが、RT 等の作業は短時間に高線量の照射を繰り返す特性を持つ。そのため、作業時は単なる測定値の把握にとどまらず、1 分間の照射で被ばくする 1 cm 線量当量 (RT の場合で約 9 μ Sv) を念頭に置き、1 日あたりの撮影回数や照射時間を調整することで、深部、皮膚、水晶体の各線量当量の線量限度に対して十分な余裕を持った作業計画を立てることが、被ばく低減管理において極めて重要である。

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・講習資料の整備】

本分担研究で整備した範囲モジュール式の教育・講習コンテンツでは、令和 6 年度及び令和 7 年度のアンケート調査等の結果を反映した。具体的には、範囲「5. 事故時の措置」について、以下のサブモジュールを整備し、現場の放射線業務従事者のニーズに応えられるようにした。

科目
一 エックス線装置又はガンマ線照射装置を取り扱う業務に係る作業の方法に関する知識
範囲
5. 事故時の措置
5-1. 事故防止
5-2. 緊急時における対応
5-3. 緊急措置

5-4. 被ばく事故事例

5-5. 労基署の指摘

【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】

・教育訓練の資料について

対面のみであるが、教育訓練では X 線被ばく事故例に興味を持たれた。また、被ばくを受けて、皮膚障害の影響が、どの程度出たか、など具体的な質問もあった。そういう意味では、資料の順番として事故例を最初に挙げたのは良かったと思う。個人的な感想ではあるが、

1. X 線被ばく事故例
2. 放射線の影響
3. X 線装置の使用方法
4. X 線装置の警報装置・安全装置
5. その他（法令・機器利用対応など）

という順番で安全衛生教育資料を作成するのが良いのではないかと思った。

改善すべきと感じたところは、取扱説明書を写真で掲載し、適切に使用してください、といった箇所である。インターロックの解除時の注意や、X 線照射時には、その場から離れない、扉の巻き込みに注意など、もっと具体的に説明しないと伝わらないとの意見もあった。

・教育訓練を実施し、主任者からの感想

対面で実施した場合、相手からの反応が見えるため、どこに興味深く聞いているか、またはどの部分が興味ないか、というのが把握できる実感があった。Web 形式では、受講すること自体をお任せしており、受けていないのではないかと、との不安もあった。所内では、業務過多のため研修や教育訓練を受け忘れることが多く、掲示板での案内だけでなく、各グループ長から直接案内も

だしている。それでも、受け忘れる人がいるというのが、現場と管理部門の現状であるのだろう。

E. 結論及び今後の課題

本研究事業2年目の令和7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されたい。

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

【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7年度はアンケート調査促進のため、国際会議においてアンケート趣旨を紹介するとともに協力を呼び掛けた（合計3件）国際学会では、本調査への理解拡大と、産業用エックス線利用に関する教育の問題提起をおこなった。その成果として、7カ国から計13件のアンケート回答を得る事ができ、回答内容について精査を進めている。次年度は本調査の結果を整理して、国際学会等で発表することで、産業用エックス線に関する教育の国際的な議論の必要性を呼び掛けるとともに、国内学会においても本調査結果を発表し、国内における教育への反映を目指す。

【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】

これまで複数の機関で第一種放射線取扱主任者定期講習を受講してきたが、現場の主任者の多くの方々が、日頃の管理におけ

る課題や悩みを抱えながら実務にあたっていることを痛感した。現場の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機会や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であろう。

【非破壊検査業におけるエックス線作業等者の安全教育に係る現地ヒアリング】

本分担研究において、非破壊検査企業を訪問し、現地で主任者及び作業者に対しアンケート及び聞き取り調査を行った。上述のアンケートに加えて、聞き取りではより具体的な教育・講習内容に加えて、企業内における安全衛生等の取り組みについても聞き取りを行った。JANDTより推薦を受けた企業3社とも非破壊検査業に従事しており、いずれに企業もガンマ線照射装置を用いる透過写真撮影を行っている。調査は令和7年11月4日から令和7年11月18日までの約二週間で実施し、現地事業場に訪問し、アンケートに加えて教育・講習の内容等についてヒアリング調査も行った。

(1)主任者及び作業者の教育・講習について、放射線業務従事者に対する初期教育及び再教育に係る時間数について、ヒアリング対象とした企業では6時間から8時間で設定されていた。内容は、RI規制法に基づく初期教育を満たすものとして実施されているが、電離則の特別の教育4科目に加えて、エックス線・ガンマ線装置の異常時の措置等についてもカバーされている。再教育についても、1年を超えない範囲で各社とも実施されており、実施時間は1時間程度から2時間30分程度まで、内容も動画視聴からOJTによる実地訓練まで非常に幅広く設計されていた。いずれの場合におい

でも、再教育の有効性は確認されており、電離則における透過写真撮影業務に従事しなくとも、それに相当する被ばくの危険を伴う放射線業務従事者及びエックス線作業主任者については、安全衛生教育の枠組みとしてでも再教育が行われることが望ましい。エックス線作業主任者の安全衛生に係る能力向上に係るスキームとして、今回聞き取りを行った企業での透過写真撮影業務における撮影班長の認定制度が非常に参考になる。放射線透過写真撮影業務の補助を経験するとともに、事業場におけるOJTとしてトラブル対応訓練を繰り返して経験を積んだのちに、放射線安全担当部局の検査官による認定試験をクリアして班長として承認される、というスキームは、安全衛生に係る能力向上に直結しているものであり、他の事業場においても応用できるものといえる。

(2) 放射線防護対策措置について、昨年度と同様に、現地ヒアリングにおいても以下の放射線防護対策の実施状況について、放射線作業に従事する作業員に対しアンケート及び聞き取り調査を実施した。(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は100%装着しており、RI規制法を遵守した作業が適切に行われており、放射線安全に関し非常に意識が高いことが示唆される。エックス線装置等のインターロック解除について、3分の1の作業員はインターロック解除を行った解除を行うと回答があったが、インターロック解除時の放射線防護上の措置については、全員が何らかの対策を講じたうえ

でインターロック解除時の放射線作業を行っていることが明らかとなった。これも(1)でヒアリングした教育・講習が定着していることに加え、事業場・企業におけるコンプライアンス遵守が徹底している証左と言える。

(3) e-ラーニングに関して、各企業における教育訓練担当者から、総じてオンライン教育について前向きな意見ばかりであった。ただし、教育効果、教育の理解度・到達度の点を十分に考慮したコンテンツ設計及び制作が求められることも明らかとなった。併せて、関係法令のみならず、特に、エックス線装置からの散乱エックス線による線量率の分布がどのように広がるのか、視覚的にとらえやすいコンテンツの整備も求められるところであった。また、エックス線使用に係る教育動画整備にも前向きな意見が多かった。特に、事故事例については非常に興味を持たれているところであり、過剰にエックス線被ばくの恐怖や危険性をあおることがない範囲で整備されることが求められる。

(4) ポータブル蛍光エックス線分析装置(XRF)の取扱いについて、聞き取りを行った3社ともから懸念事項として表明された。ポータブルXRFの運用に伴う被ばくの危険性を重視しており、各企業とも自主的な管理のもと安全な運用に努めている。各企業の適切な取り組みについては体系化され、非破壊検査業のみならず、エックス線機器を用いる現場における安全衛生の施策として広く共有されるべきであろう。

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 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。

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】

本研究は、製造業及び非破壊検査業におけるエックス線被ばく事故の防止、並びに作業者の被ばく線量低減を最終的な目標として実施している。エックス線作業主任者

の能力向上に資する実効性の高い教育内容を策定するため、実際の作業環境におけるエックス線場の物理的特徴 (線量率及びエネルギー分布) を詳細に把握し、測定器の特性に基づいた適切な作業管理手法を提示することを目指した。令和 7 年度の研究では、以下の 3 項目を重点的に実施した。

・校正場の整備と特性試験：

ISO 4037-1:2019 に準拠したエックス線校正場を整備し、現場で使用される各種サーベイメータ (電離箱式、シンチレーション式等) のエネルギー及び線量率に対する応答特性を評価した。

・現場における実測：

食品用エックス線検査装置、エックス線透過法による非破壊検査、放射線透過試験 (RT)、及びハンドヘルド蛍光エックス線分析装置 (XRF) の運用現場において、散乱線・漏えい線の線量率及び光子フルエンススペクトルの実測を完遂した。

・情報収集と成果発信：

国内外の学会 (ICRP2025、日本保健物理学会等) へ参加し、最新の知見収集とともに本分担研究で得られた成果の発表を行った。

令和 7 年度の主要な成果として、次の安全管理上の知見が得られた。

・サーベイメータ選定の重要性：

現場測定では、パルス照射される高線量率のエックス線に対し、シンチレーション式サーベイメータは計数損失や低エネルギー閾値の影響により、線量率を過小評価することを確認した。GM 計数管式サーベイメータも校正場による測定器の特性試験で応答が 3~4 割低下する場合があるため、過小評価を防ぐために電離箱式サーベイメータの選択が不可欠である。

・エックス線エネルギー分布の影響：

散乱線のフルエンス平均エネルギーは現場により 28~85 keV と幅広いことがわかった。通常の作業者の被ばく管理においては $H^*(10)$ を測定することで皮膚や目の水晶体に対しても適切に管理していると考えられるが、鉛を用いた遮へい環境下での被ばく事故、ハンドヘルド XRF から放射される直接エックス線での被ばく事故等においては、水晶体や皮膚への影響を適切に評価するため、 $H^*(10)$ だけでなく $H'(0.07)$ 等の評価も考慮すべきである。

本研究で得られた実環境のスペクトルデータや測定器の応答特性に関する知見は学術的に価値があるとともに、作業主任者講習等の教育資料として極めて有効な技術的根拠となる。次年度は、これらの知見を論文投稿等により広く公表するとともに、実際の教育訓練プログラムへと実装し、現場における被ばく事故回避と実効性のある防護措置の普及を図る。

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・講習資料の整備】

本分担研究では、多種多様な事業場のニーズに応えられるようなベースを準備する目的で、放射線透過写真撮影業務に従事する主任者及び作業者への教育・講習コンテンツを整備した。講義コンテンツ整備はグレーディドアプローチに基づいて行われ、講義時間として数分から十数分に相当する科目・範囲のモジュールとして単位化した。

今後の検討課題として、(1) 講習モジュールの拡張、及び(2) 講義・講習パッケージのオンライン対応化、がある。

今年度整備した講義モジュールは、放射線透過写真撮影業務に対応できる基本モジュールという位置づけである。基本モジュールの内容の充実は重要であるが、本研究事業で実施したアンケート及び現地ヒアリング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

については特に重要であろう。講習モジュールの観点から、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についてある程度統一的な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。

講義・講習パッケージのオンライン対応化について、特に法令改正等についてはオンライン化の対象として有望であろう。オンデマンド講義の場合、動画コンテンツとして整備すれば事業場の教育・講習の導入コストが大幅に引き下げられることとなる。

【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】

東京都立産業技術研究センターにおいて、整備済みの安全衛生教育に関する資料を用い、対面と Web 形式による安全衛生教育を実施した。その結果、教育資料の内容としてエックス線の被ばく事故例に関して興味を持たれた。また、事故を受けた結果、どのような症状が出たかという人体影響に興味を持ち、エックス線装置からの被ばくは非常に甚大であると理解された。そこで、エックス線装置を使用時に注意すべき警報装置・安全装置などを再度教育した。

Web 教育時ではしっかり受講しているの

か確認ができないため、不安な面もあった。また、そもそも受講していないであろう人も大量に出るのではないかと感じる面もあった。今後の課題は、今回の安全衛生教育を参考にして資料の改善「グレーデッドアプローチ手法」が必要になる。また、Web 受講にすると受講しない人が続出する可能性がある。これは、案内の仕方もあるが、そもそも安全文化を向上すべく、組織としての機能を再度見直す必要もあると考える。

F. 健康危機情報
なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) T. Tsuji, H. Yoshitomi, F. Sato, Y. Tanimura: “Establishment of a low-energy X-ray narrow-spectrum series calibration field based on ISO 4037:2019”, RADIOISOTOPES (in press)

2) Noriaki Kataoka, Tomoya Tsuji, Yuki Takimoto, Munehiko Kowatari, “Dose Measurement in Simulated X-ray Exposure Accidents Involving an X-ray CT System”, Journal of Radiation Protection and Research, to be accepted (2026)

3) Munehiko KOWATARI, Tomoya TSUJI, Noriaki KATAOKA, Yuta HIRAI, Koichi NAKAGAMI, Satoru MATSUZAKI, Hiroko KITAMURA, and Takashi MORITAKE, “Applicability of small glass dosimeters to simultaneous area and individual monitoring in X-ray fields for

radiation protection and emergency” RADIOISOTOPES to be accepted.

4) M. Kowatari, N. Kataoka, M. Kobayashi, T. Tsuji, Y. Tanimura, “Experimental estimation of extremity dose from handheld XRF devices in radiation exposure incidents” Radiation Protection Dosimetry, to be accepted.

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, 夏原 正仁, 「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－活動報告－」, 日本保健物理学会第 58 回研究発表会, 2025.12(水戸)

2) Takeshi IIMOTO, Yu IGARASHI, Lisa AKAHIRA, Atsushi ENOMOTO, Keiji ODA, Munehiko KOWATARI, “Safety Education and Training for Industrial X-ray Workers-Result of International Status Survey and Future Scope from Viewpoint of Japan”, The 12th Asian Conference on Safety & Education in Laboratory (ACSEL2025), 2025.11(Singapore)

3) Yu Igarashi, “Survey of the International Situation of Education and Training for Industrial X-ray Radiation Workers”, 8th International Symposium on the System of Radiological Protection(ICRP2025), 2025.10(Abu Dhabi)

4) Yu Igarashi, COUNTRY REPORTS “Improvement of radiation safety

related to the irradiation facility following the INES Level 3 incident in 2021”, 58th Meeting of the Radiation Safety Standards Committee, 2025.6 国際原子力機関(IAEA)

5) 榎本 敦、中田 よしみ、神子 公男、片岡 憲昭、貴戸 千津子、鳥井 頼子、飯本 武志

「エックス線装置における自動警報装置の意義と現状」

日本保健物理学会第 58 回研究発表会

6) 榎本 敦、中田 よしみ、貴戸 千津子、鳥井 頼子、飯本 武志

「エックス線装置における自動警報装置の意義について」

令和 7 年度日本アイソトープ協会年次大会

7) T. Tsuji, H. Yoshitomi, F. Sato, Y. Tanimura: “Establishment of a low-energy X-ray narrow-spectrum series calibration field based on ISO 4037:2019” The 12th International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology, 2025.7.2. (Tokyo, Japan)

8) T. Tsuji, H. Yoshitomi, Y. Kageyama, Y. Tanimura: “Response evaluation of telescopic survey meters in an X-ray calibration field as an alternative to high-intensity gamma sources” 8th International Symposium on the System of Radiological Protection, 2025.10.7. (Abu Dhabi, UAE)

9) 辻智也、古渡意彦、片岡憲昭、本田文弥、谷村嘉彦:「線透過法における散乱線特性と線量評価の検討」日本保健物理学会第 58 回研究発表会、2025 年 12 月 19 日 (東京)

10) Munehiko KOWATARI, Tomoya TSUJI, Noriaki KATAOKA, Yuta HIRAI, Koichi NAKAGAMI, Satoru MATSUZAKI, Hiroko KITAMURA, and Takashi MORI-TAKE, “Applicability of small glass dosimeters to simultaneous area and individual monitoring in X-ray fields for radiation protection and emergency”, The 12th International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology, 2025.7.2. (Tokyo, Japan)

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] “電離箱式サーベイメータ AE-133B”, 株式会社応用技研, <http://www.o-yogiken.co.jp/AE133Bcatalog.html>, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [8] “電離箱式サーベイメータ UCREST ICS-1323”, アロカ株式会社, <https://www.aloka.co.jp/radiation/survey-meter/ics1323/>, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [9] “ γ 線用シンチレーションサーベイメータ LUCREST TCS-1172”, アロカ株式会社, <https://www.aloka.co.jp/radiation/survey-meter/ics1323/>, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [10] “ペガサス Pro”, 富士電機株式会社, https://www.fujielectric.co.jp/products/radiation/servy/doc/pegasus_pro.pdf, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [11] “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 2026 年 2 月 24 日).

Ⅱ．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及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 IAEA や ICRP 等の国際会議で本調査について発表し、多くの国から本調査への理解と回答を得ることが出来たと共に、国際的な議論の必要性を提起する事が出来た。2026 年 2 月時点で、本調査へ 7 カ国から計 13 件の回答が得られており、詳細な結果について精査中である。次年度は、精査した調査結果を国内外の学会にて発表し、さらなる国際的な議論を進めると共に、具体的な教育内容・手法への反映を目指す。

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、登録者及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

本項では本調査の実施状況について紹介する。

1. IAEA 放射線安全基準委員会における本調査に関する発表

IAEA の放射線安全基準委員会(RASSC)にて、本調査を紹介する機会を得た。2025年6月24-27日にオーストリア・ウィーン

で開催された 58th Meeting of the Radiation Safety Standards Committee へ五十嵐が参加し、COUNTRY REPORTS のセッションにて、“Improvement of radiation safety related to the irradiation facility following the INES Level 3 incident in 2021”というタイトルで発表をおこなった。通常、RASSC では各国から参加した専門家間で各種基準等の策定内容が話し合われるため、一国の発表へ時間が用意されることは非常に稀であり、本調査への期待が大きいことが窺える。

本発表では、

- ・2021年に我が国で発生した被ばく事故の概要と原因
- ・事故後の厚生労働省や学会の対応
- ・電離則の改正内容
- ・本研究の目的
- ・本調査の目的、内容、結果
- ・本調査の回答フォーム

を紹介した。

会場からは、

- ・2021年の事故における、作業員の異常認識タイミングについて
- ・事故を受けた電離則の改正タイミングについて
- ・電離則の改正内容の既存設備への適用について
- ・欧州放射線防護訓練教育プラットフォーム(EUTERP)及び放射線防護における欧州教育訓練ネットワーク(ENETRAP)について

の質疑及び情報提供があった。

本発表後に本調査への回答が複数寄せられ、本調査の意義や産業用エックス線に関する教育の世界的な議論の必要性を提示す

る非常に意義のある発表となった。

2. 国際放射線防護委員会(ICRP)シンポジウムでの本調査に関する発表

2025 年 10 月 7-9 日に UAE・アブダビで開催された 8th International Symposium on the System of Radiological Protection(ICRP2025)へ五十嵐が参加し、Session 21 Highlight II RP Culture・Education・Training・Communications にて、“Survey of the International Situation of Education and Training for Industrial X-ray Radiation Workers”というタイトルで発表をおこなった。

発表では、

- ・ 2021 年に我が国で発生した被ばく事故の概要
- ・ 本調査の目的と内容、及び結果

を紹介し、本調査の意義と産業用エックス線利用に関する国際的な議論の重要性をアピールした。

質疑はパネルディスカッション形式でおこなわれ、様々な言語圏の放射線利用者に対する教育方法などが論点となった。

また、本シンポジウムのプロシーディングとして、本研究の背景や本調査の実施方法などをまとめた文書を投稿中である。

3. ACSEL2025 での本調査に関する発表

2025 年 11 月 12-13 日にシンガポールで開催された The 12th Asian Conference on Safety & Education in Laboratory(ACSEL2025)へ飯本が参加し、“Safety Education and Training for Industrial X-ray Workers-Result of International Status Survey and Future Scope from Viewpoint of Japan”というタイトルで発表をおこなった。

発表では、

- ・ 2021 年に我が国で発生した被ばく事故の概要
- ・ 事故後の厚生労働省や学会の対応
- ・ 電離則の改正内容
- ・ 本調査の目的、内容、及び結果
- ・ 電離則の改正を受けた具体的な教育内容
- ・ 大学におけるエックス線装置管理事例

を紹介した。

質疑では、日本における過去の産業用エックス線事故事例やそれらの事故に関する統計データの有無についてディスカッションがなされた。

4. アンケート調査への回答結果

計 3 件の国際会議における本調査に関する発表により、2026 年 2 月時点で 7 カ国(韓国、スロベニア、オーストラリア、スイス、イギリス、カナダ、シンガポール)、計 13 件の回答が集まっている。

得られた回答は、各国で産業用エックス線に関する法体系やグレーデッドアプローチの考え方、業務従事者の教育体制や標準教材の有無、エックス線安全管理者の有無などで異なる内容となっている。特筆すべきは、カナダは放射線に関する規制権限が各州に任されており、計 5 州から得られた回答も異なる内容となっている。回答内容の詳細は現在、論文化に向けて精査中である。

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. アンケート調査結果の精査

現時点で得られたアンケート調査の結果について、論文化を視野に精査をおこな

う。同一国の異なる専門家らから複数回答を得られた国や、文化的背景が似た国など、複数の分類間で回答を比較する事で、各国における産業用エックス線の規制及び作業者への教育に関する考え方を整理する。

2. 本調査に関する学会発表及び意見交換
2026 年 9 月に中国の北京で開催される The 7th Asian and Oceanic Congress on Radiation Protection(AOCR7)等の国際学会にて、本調査の結果に関する発表を予定しているほか、オーストラリア等の各国放射線防護専門家を訪問し、本調査結果に関する意見交換をおこなう事で、今後のエックス線業務従事者に対する教育への本調査結果の効果的な反映方法について検討をおこなう。また、日本保健物理学会や日本放射線安全管理学会などの国内学会においても本調査の結果について発表し、国内における電離則の改正への対応の一助となるよう、議論を進めていく。

E. 結論

令和 7 年度はアンケート調査促進のため、国際会議で計 3 件の発表をおこない、本調査への理解拡大と、産業用エックス線利用に関する教育の問題提起をおこなった。その成果として、7 カ国から計 13 件のアンケート回答を得る事ができ、回答内容については現在精査中である。また、これらの調査内容については論文文化を進めており、一部は投稿中である。

次年度は本調査の結果を整理し、国際学会等で発表することで、産業用エックス線に関する教育の国際的な議論の必要性を呼び掛けると共に、国内学会においても本調査結果を発表し、国内における教育への反

映を目指す。

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

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, 夏原 正仁, 「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－活動報告－」, 日本保健物理学会第 58 回研究発表会, 2025.12(水戸)

2) Takeshi IIMOTO, Yu IGARASHI, Lisa AKAHIRA, Atsushi ENOMOTO, Keiji ODA, Munehiko KOWATARI, “Safety Education and Training for Industrial X-ray Workers-Result of International Status Survey and Future Scope from Viewpoint of Japan”, The 12th Asian Conference on Safety & Education in Laboratory (ACSEL2025), 2025.11(Singapore)

3) Yu Igarashi, “Survey of the International Situation of Education and Training for Industrial X-ray Radiation Workers”, 8th International Symposium on the System of Radiological Protection(ICRP2025), 2025.10(Abu Dhabi)

4) Yu Igarashi, COUNTRY REPORTS
“Improvement of radiation safety related to the irradiation facility following the INES Level 3 incident in

2021” , 58th Meeting of the Radiation
Safety Standards Committee, 2025.6 国
際原子力機関(IAEA)

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

I. 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, 20

Revision of Japan's Safety Regulations Following an Industrial X-ray Exposure Incident (INES Level 3)

Yu IGARASHI, Project Asst. Prof., PhD
(The University of Tokyo)

Expert team of the research on effective
education for X-rays safety supervisor and
workers

Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan

1

Table of Contents

- 1. Incident Summary (INES Level 3)**
- 2. Timeline of Actions After the Incident**
- 3. Key Discussion Points for Regulatory Revision**
- 4. Comparison of Safety Requirements for X-ray Equipment**
- 5. Future Initiatives for Safer X-ray Equipment Management**
- 6. International survey for effective education on X-rays application**
- 7. Summary**

2

2

Industrial X-ray Exposure Incident in Japan (INES Level 3)

- In **May 2021**, two workers **inspected** a **fluorescent X-ray adhesion meter (50 kV, 40 mA)** at a steel plant.
- The X-ray equipment shutter left open, the equipment power on.
- The workers believed the shutter was closed, entered the irradiation room.
- Estimated dose: one worker received **400–500 mGy**; the other received less than 100 mGy (by biological dosimetry).
- They had non-fatal symptoms such as erythema on their arms and faces.
- The incident is **INES Level 3** (serious incident).
(<https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=807e96d9-70c9-4701-bfc5-f5d634f771b0>)

3

3

Industrial X-ray Exposure Incident in Japan (INES Level 3)

Primary cause : **The workers were unaware that the X-ray beam was active when they entered the irradiation room.**

Contributing factors:

- No regulatory requirement for interlocks on X-ray equipment under 1MeV.
- No mandatory use of personal dosimeters (APDs) during inspection.
- One worker was qualified as an X-ray safety supervisor but was not officially assigned that role.
- Fluorescent X-ray equipment were not covered by mandatory safety education.

4

4

Timeline of Actions After the Incident

June 2021

- Immediately after the incident, the Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) instructed to conduct self safety inspections.

July 2021 – May 2023

- The Japan Health Physics Society (JHPS) established a working group to examine the incident and background issues.
- Three subcommittee reports were published with recommendations for regulatory improvements.

February – August 2024

- MHLW held four expert meetings to discuss regulatory revisions based on JHPS recommendations.

April 2024 –

- MHLW launched the research on effective education for X-ray safety supervisors and workers, with experts.

5

5

Key Discussion Points for Regulatory Revision

The MHLW identified the following key points for discussion in revising the Ionizing Radiation Regulation:

- 1. Structural standards** for automatic warning and safety devices on X-ray equipment
- 2. Roles and responsibilities** of X-ray safety supervisors
- 3. Education and training** for X-ray workers and X-ray safety supervisors
- 4. Clear identification** of controlled areas for X-ray use
- 5. Support systems** for business operators and industry associations

These points were based on expert discussions and recommendations from the Japan Health Physics Society, following the 2021 radiation exposure incident.

6

6

Comparison of Safety Requirements for X-ray Equipment (1/5)

○Comparison of Alarm Devices

Item	Current Regulation	IAEA SSG-8	IAEA SSG-11	Proposed Revision
Alarm devices	Required only for devices over 150 kV . Alarm during operation is mandatory; pre-operation alarm is recommended.	8. IRRADIATOR DESIGN 8.25–8.27: Visual/Audible Alarms in Radiation Rooms 8.43–8.45: Irradiation Status Indicators and Alarm Signal	Visual and audible alarms required before and during X-ray emission. (9.42(c)(d), 10.28–10.30)	Automatic alarms required for ≥ 10 kV. Use visible/audible signals —preferably both. Ongoing alarms recommended, not mandatory.

7

7

Comparison of Safety Requirements for X-ray Equipment (2/5)

○Comparison of Alarm and Safety Devices

Item	Current Regulation	IAEA SSG-8	IAEA SSG-11	Proposed Revision
Safety devices	Not required for devices under 1,000 kV .	8. IRRADIATOR DESIGN 8.15–8.16: Interlock ensures safe access. 8.19–8.20: Alarm and key control.	Mandatory for high-risk devices. Emergency stop required. (9.42(g), 10.25–10.27, 10.33)	The equipment must be equipped with either interlocks or other appropriate safety devices ≥ 10 kV .

8

8

Comparison of Safety Requirements for X-ray Equipment (3/5)

○ Alternative Safety Measures and Dosimetry

Item	Current Regulation	IAEA SSG-8	IAEA SSG-11	Proposed Revision
Alternative Measures When Alarms/Interlocks Disabled	Not specified	9. TESTING AND MAINTENANCE OF EQUIPMENT 9.23: Bypass needs written approval. 9.24: Use shielding and monitoring tools.	Radiation monitors must be carried when entering controlled areas. (10.37–10.38)	Prior procedures and X-ray safety supervisor approval required. Mandatory use of personal dosimeters with alarms (APDs).

9

9

Comparison of Safety Requirements for X-ray Equipment (4/5)

○ Role of X-ray Safety Supervisors

Item	Current Regulation	IAEA SSG-8	IAEA SSG-11	Proposed Revision
Safety supervisor role	Focused on equipment operation	4. PRINCIPAL ELEMENTS OF PRACTICES 4.24: Appointed radiation safety officer 4.30: Supervises and verifies worker safety	Clear responsibilities and leadership in safety culture. (2.1, 2.4)	Defining the supervisor's role and approving procedures for non-routine tasks like testing and maintenance.

10

Comparison of Safety Requirements for X-ray Equipment (5/5)

○ Education Requirements

Item	Current Regulation	IAEA SSG-8	IAEA SSG-11	Proposed Revision
Special Education	Mandatory once , only for X-ray radiography tasks after initial assignment.	4. PRINCIPAL ELEMENTS OF PRACTICES 4.39: Training tailored to job roles.	Recommended for all radiation workers. Periodic refresher training required. (5.1–5.8)	Mandatory for all X-ray workers — at least once after initial assignment.

11

11

Future Initiatives for Safer X-ray Equipment Management

To enhance the safety and management of industrial X-ray equipment, the MHLW JAPAN is conducting an **international study**. This study focuses on the **regulatory systems** and **education programs** for X-ray workers and safety supervisors in IAEA member countries.

Key Points:

- **Goal:** Strengthen safety and regulatory practices
- **Led by:** MHLW JAPAN
- **Approach:** Comparative international research
- **Focus:**
 - National regulatory frameworks
 - **Education and training systems for industrial X-ray user**

12

12

Future Initiatives for Safer X-ray Equipment Management

To effectively implement regulatory frameworks at the **workplace level**, appropriate education and training are essential, so there is a need to develop **suitable education programs**.

Culture and perspectives differ **depending on the country**, so optimal education systems are **also different**.

- ◆ We aim to gather information on **each country's situation** and reflect it in Japan's education framework.
- ◆ We also hope to share the information and raise the **global safety level of the industrial X-ray field**.

We are conducting an international survey

13

13

International survey for effective education on X-rays application

Purpose

1. To know **the system of safety education** on industrial X-rays in each country.
2. To know **the way to manage** industrial X-ray equipment for safety.

Target

IAEA member countries

2~3 adequate experts/country · region

Get answers about the regulatory situation of **each country**

⇒ Respondents are asked to answer on **behalf of their country**

Example Questions

- How many hours of education and training are required?
- Who should be received education and training?

14

14

International survey for effective education on X-rays application

This survey has received support from the IAEA team.
⇒ It led to this presentation at RASSC58 and is being conducted through the ALARA network.

Surveys have already begun in **Korea** and **Canada**.

KR **Korea**

Reason: Cultural similarities with Japan;
advanced in IT.

Survey Results:

- ✓ **More than 18 hours** of Education required
- ✓ Government provides **official education materials**

CA **Canada**

Reason: Regulatory information is publicly accessible; laws differ by province and territory.

Survey Results:

- ✓ Reference to Health Canada guidelines **varies by province**
- ✓ Regulatory frameworks are **decentralized and region-specific**

15

15

We kindly ask for your cooperation
in completing the survey

Response to online questionnaire

<https://forms.office.com/r/8JU37aZduG>

Select the answer

Estimated answer time : 5–10 min



Our hope

- We kindly ask for your cooperation in completing the survey.
- Since regulations and education systems vary significantly across countries, we hope this survey will serve as a **starting point for international discussion**.

16

Summary

- Japan experienced a **serious X-ray exposure incident (INES Level 3)**.
- Regulatory revisions are **currently underway**, aligned with IAEA SSG-11.
- The global enhancement of safety education, training, and management for industrial X-ray requires **international collaboration**.
- We kindly ask for your cooperation in **our international survey**.

17

17

Thank you!

18

18

Survey of the international situation of education and training for industrial X-ray radiation workers

Yu IGARASHI, Project Asst. Prof., PhD
The University of Tokyo
Expert team of the research on effective education for X-rays safety supervisor and workers

1

Industrial X-ray Exposure Incident in Japan (INES Level 3)

- In **May 2021**, two workers were exposed to X-ray when **inspecting a fluorescent X-ray adhesion meter (50 kV, 40 mA)** at a steel plant.
- The X-ray equipment shutter was left open, the equipment power on, however the workers believed the shutter was closed and entered the irradiation room.
- Estimated dose: one worker received **400–500 mGy**; the other received less than 100 mGy.
- They had non-fatal symptoms such as erythema on their arms and faces.
- The incident is **INES Level 3** (serious incident).
(<https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=807e96d9-70c9-4701-bfc5-f5d634f771b0>)

To enhance the **safety and management** of industrial X-ray equipment, the regulatory body and expert team of Japan are conducting an international survey

2

2

Survey of the international situation of education and training

Purpose

1. To know **the safety education systems for** industrial X-rays in each country.
2. To know **the way to manage** industrial X-ray equipment for safety.

Survey method

Target and method: **IAEA member countries**, **Interview** and **online** questionnaire

Question items -30questions-: **Regulations** of X-ray

X-ray **safety supervisor** without national license
Initial and Periodic education for X-ray radiation workers

Current result

11 responses received from **6 countries**, South Korea, Slovenia, Australia, Switzerland, United Kingdom and Canada (5 provinces/territories)

3

3

Survey of the international situation of education and training

Example response

-South Korea(KR), Slovenia(SI), Australia(AU), Switzerland(CH), United Kingdom(UK)-

Target of **initial education**

X-ray Radiation worker	Operation supervisor	X-ray safety supervisor	Site manager	Management level
All	SI, AU, UK	All	UK	UK

JAPAN: Only for X-ray radiography worker ⇒ all X-ray worker

Target of **Periodic education**

KR, SI, CH, UK: Same with initial education

AU and JAPAN: Not required

Who should receive the education?

What are the educational contents?

Knowledge, Technique, Safety culture...

4

4

Survey of the international situation of education and training

Education materials provided by government

South Korea	Slovenia	Australia	Switzerland	United Kingdom
Paper and Online	Provide	Not provide	Online	Not provide

JAPAN : Not provide

Companies and industry associations make flexible educational materials that reflect the actual workplace

or

Government make standardized educational materials

To what extent should the government be involved in educational content?

How to support the safety education by industry associations?

5

5

Survey of the international situation of education and training

Radiation safety regulations for students

South Korea	Slovenia	Australia	Switzerland	United Kingdom
Same with radiation worker	Same with radiation worker	No regulation (Guide)	Same with radiation worker	Same with radiation worker

Case of JAPAN: No regulation, Regulations are applied only to "Worker"

Self management by each organizations

Students frequently join and leave organizations

How to keep the education level and safety of students?

We hope this survey will serve as a **starting point** for international discussion to raise the **global safety level** of the industrial X-ray field

6

6



密閉型
非密閉型

Safety Education and Training for Industrial X-ray Workers

(Preliminary) Result of International Status Survey and Future Scope from Viewpoint of Japan

Takeshi IIMOTO, Yu IGARASHI, Lisa AKAHIRA,
Atsushi ENOMOTO, Keiji ODA, Munehiko KOWATARI
JAPAN

卓上型蛍光X線装置

違いは試料交換等の際、電源が落ちているかどうか

ハンドヘルド型蛍光X線装置

携帯型成分分析計*1

X線回折装置

エックス線撮影装置

X線回折装置

ポータブル蛍光X線分析装置

エックス線撮影装置

X線非破壊検査装置

X線応力測定装置

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

1

Agenda

- **Background**
 - ✓ Industrial X-ray Exposure Incident in Japan (INES Level 3)
 - ✓ Official Activities of Japanese Regulatory Body and Academia
 - ✓ Key Discussion Points for Regulatory Revision
- **Current Status**
 - ✓ Comparison of Safety Education Requirements for X-ray Equipment (Japan vs IAEA) as of 2024
- **International Survey**
 - ✓ Survey for Effective Safety Education on X-rays Application
 - ✓ International Survey for Future Initiatives on Safer X-ray Equipment Management
 - ✓ 'We still welcome you to join our survey'
 - ✓ Example of Preliminary Results
- **Future Scope from Viewpoint of Japan**
 - ✓ Revised Regulation, Promulgated
 - ✓ Education and Training
 - ✓ "New" Special Training Regulations
 - ✓ Graded Approach Example in UTokyo, Japan
 - ✓ Comprehensive Remaining Challenges, Including Safety Education

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

2

Industrial X-ray Exposure Incident in Japan (INES Level 3)



- In **May 2021**, two workers **inspected** a **fluorescent X-ray adhesion meter (50 kV, 40 mA)** at a steel plant.
- The X-ray equipment shutter left open, while the equipment power on.
- The workers **believed** the shutter was closed, entered the irradiation room.
- Estimated dose: one worker received **400–500 mGy**; the other received less than 100 mGy.
- They had non-fatal symptoms such as erythema on their arms and faces.
- The incident is **International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) Level 3** (serious incident).

<https://www-news.iaea.org/ErfView.aspx?mId=807e96d9-70c9-4701-bfc5-f5d634f771b0>

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

3

Official Activities of Japanese Regulatory Body and Academia



● June 2021

Immediately after the incident, Ministry of Health, Labour and Welfare (**MHLW**) instructed to conduct self safety inspections.

● July 2021 – May 2023

Japan Health Physics Society (**JHPS**) established a special working group to investigate relating incidents. Three reports were published with **recommendations** for regulatory improvements.

● February – August 2024

MHLW established a special committee and held four times **expert meetings** to discuss potential regulatory revisions, based on JHPS recommendations. → **Key Discussion Points**

● April 2024 – (continuing)

MHLW launched the **research on effective education** for X-ray workers and safety supervisors, following the above committee.

● October 2025

The revised regulation was promulgated.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

4

Key Discussion Points for Regulatory Revision



The MHLW identified the following key areas for discussion in revising the Ionizing Radiation Regulation:

1. Structural standards for **automatic warning and safety devices** on X-ray equipment
2. Roles and responsibilities of X-ray **safety supervisors**
3. **Education and training** for X-ray workers and X-ray safety supervisors
4. Clear identification of **controlled areas** for X-ray use
5. **Support systems** for business operators and industry associations

These points were based on the expert discussions and recommendations from the JHPS, following the May-2021 radiation exposure incident.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

5

Comparison of Safety Education Requirements for X-ray Equipment (Japan vs IAEA) as of 2024



Item	Current JPN Regulation	IAEA SSG-8	IAEA SSG-11	Proposed JPN Revision
Special Education for Workers	Mandatory once, only for X-ray radiography tasks after initial assignment.	4. PRINCIPAL ELEMENTS OF PRACTICES 4.39: Training tailored to job roles.	Recommended for all radiation workers . Periodic refresher training required. (5.1–5.8)	As of Expert MTG Mandatory for all X-ray workers — at least once after initial assignment with graded approach

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

6

International Survey for Future Initiatives on Safer X-ray Equipment Management



- To enhance the safety and management of industrial X-ray equipment in Japan, the **MHLW** supported by an expert team is now conducting an **international survey study**.
- This survey mainly focuses on the
A) national regulatory systems and
B) education programs for X-ray workers and safety supervisors
in the **UN-IAEA** member countries.

We asked the strong cooperation to the UN-IAEA RASSC members in the 58th MTG in May 2025, through the ALARA network.



The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

7

You can see all questionnaires through the following URL.
We still welcome you to join our survey.

English (United Kingdom)



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

In 2021, a big X-ray exposure accident occurred in Japan. Japanese government started to improve radiation control standards when using the X-ray irradiators. One of the topics is education and training for X-ray safety.

Response to online questionnaire

<https://forms.office.com/r/8JU37aZduG>

Select the answer

Estimated answer time : 5–10 min

When you submit this form, it will not automatically collect your details like name and email yourself.

* Required



The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

8

● Does your regulation require the implementation of initial education and training for X-ray radiation workers? ● Who is required to receive initial education and training among X-ray radiation users according to your regulation? ● How many hours of initial education and training are required for new X-ray radiation workers in your regulation? ● What is the required content of initial education and training for new X-ray radiation workers in your regulation? ● Are there any difference of the initial education and training for new students using X-ray in your country, as distinct from radiation workers? ● Does your government (regulatory body, etc.) provide initial education and training materials for new X-ray radiation workers? ● Does your government (regulatory body, etc.) issue certificates of completion or result for initial education and training for new X-ray radiation workers? ● Does your government (regulatory body, etc.) keep the initial education and training record of new X-ray radiation workers? ● Does your regulation require the implementation of periodic education and training for X-ray radiation workers? ● Who is required to receive periodic education and training among X-ray radiation users according to your regulation? ● How many hours of periodic education and training are required for X-ray radiation workers in your regulation? ● What is the required content of periodic education and training for X-ray radiation workers in your regulation? ● Are there any difference of the periodic education and training for students using X-rays in your country, as distinct from general radiation workers? ● Does your government (regulatory body, etc.) provide materials for periodic education and training of X-ray radiation workers? ● Does your government (regulatory body, etc.) issue certificates of completion or result for periodic education and training for X-ray radiation workers? ● Does your government (regulatory body, etc.) keep the history of periodic education and training for X-ray radiation workers? ● Does your regulation require X-ray safety supervisors with national license for using X-ray irradiators? ● What is required to be X-ray safety supervisors in your country? ● Does your regulation require the implementation of periodic education and training for X-ray safety supervisors ● What is required for periodic education and training to be X-ray safety supervisors?	 
---	---

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

9

Example of Preliminary Results of International Survey from some countries

KR Korea

Cultural similarities with Japan; advanced in IT.

Survey Results:

- ✓ **More than 18 hours** of Education, required
- ✓ Government provides **official education materials**

CA Canada

Regulatory information is publicly accessible;
laws differ by province and territory.

Survey Results:

- ✓ Reference to Health Canada guidelines **varies by province**
- ✓ Regulatory frameworks are **decentralized and region-specific**

Responses from
South Korea(KR), Canada (CA),
 Slovenia(SI), Australia(AU),
 Switzerland(CH), United Kingdom(UK), ... as of now




The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

10

Example of Preliminary Results

- Japan vs Korea (focusing on weak-points of Japan)



Regarding Education and Training	Japan	Korea
Distinction between medical and industrial purposes	YES	NO
Distinction between students and general workers	YES	NO
Enhancement of education for non-destructive testing	Transmission radiography devices only	All devices
Provision of standard materials	NO	YES
National management of education and training records	NO	YES
National certification for managers/supervisors	Partially required (controlled areas)	Partially required (Non-destructive testing)
Periodic training for managers/supervisors	NO	Partially required (Non-destructive testing)

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

11

One of Examples of Preliminary Results

- Japan vs The Other Countries

(focusing on Provision of national standard materials)



National Standard Materials	JP	KR	CA	SI	AU	CH	UK
Paper document	NO	YES	NO	YES	NO	NO	NO
Online material	NO	YES	NO	NO	NO	YES	NO

- Companies and industry associations make flexible educational materials to match the actual workplace

or

- Government makes standardized educational materials

- ✓ To what extent should the government be involved in educational content?
- ✓ How to support the safety activities by industry associations?

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

12

Future Scope from Viewpoint of Japan

On **29 October 2025**, the **revised regulation was promulgated**.

Main key points of revision are;

厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署



- The **installation of automatic alarm devices** is mandatory for all specified industrial X-ray equipment (devices with a rated tube voltage of **10 kV or higher** based on peak-to-peak voltage).
- The **installation of foolproof safety devices**—such as interlocks, safety lock keys, or irradiation stop devices linked to limit switches—to prevent unintended accidental exposure is mandatory for all specified industrial X-ray equipment.
- X-ray Work **Supervisors** and Gamma-ray Radiography Work Supervisors **must ensure** that the operator takes necessary measures, such as **stopping the use of the device, when the automatic alarm system malfunctions**. They must also establish work methods to **minimize radiation exposure** for radiation workers and supervise them accordingly.
- X-ray work **Supervisors must ensure** that **fool-proofing measures** are in place during the use of X-ray equipment. In the event of a malfunction in these safety devices, the supervisor must ensure that **the safety devices operate effectively** and that **the operator takes necessary measures**, such as stopping the use of the equipment itself. Additionally, during inspections, the supervisor must verify that these measures are being **properly implemented**.
- **Special training for workers** of X-ray or gamma-ray irradiation equipment, which was previously limited to “transmission radiography operations,” **has been expanded to cover all operations involving these devices, if those show potential risk of exposure to workers**.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

13

Future Scope from Viewpoint of Japan

Graded Approach



- ✓ MHLW is now developing new **national standard education movies and PPTs** for various industrial areas, supported by experts.
- ✓ These materials for both **workers and managers/supervisors** will be officially opened by the end of March 2026.

- Education and Training



<New Regulation>

Expansion of Work Subject to Special Training

- **Special training** for X-ray equipment or gamma-ray irradiation equipment was previously limited to “transmission radiography work.” It has now been expanded to cover **all work** involving the handling of these devices.
- However, this **does not include** work involving the use of equipment **where the controlled area exists only inside the device** and **the device** is constructed with shielding **to prevent all or part of a worker's body from entering the interior during X-ray or gamma-ray irradiation** (so-called box-type equipment). But **general safety education** for all workers is always necessary.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

14

“New” Special Training Regulations for workers with possibility of exposure for Handling X-Ray Equipment and Gamma-Ray Irradiation Equipment

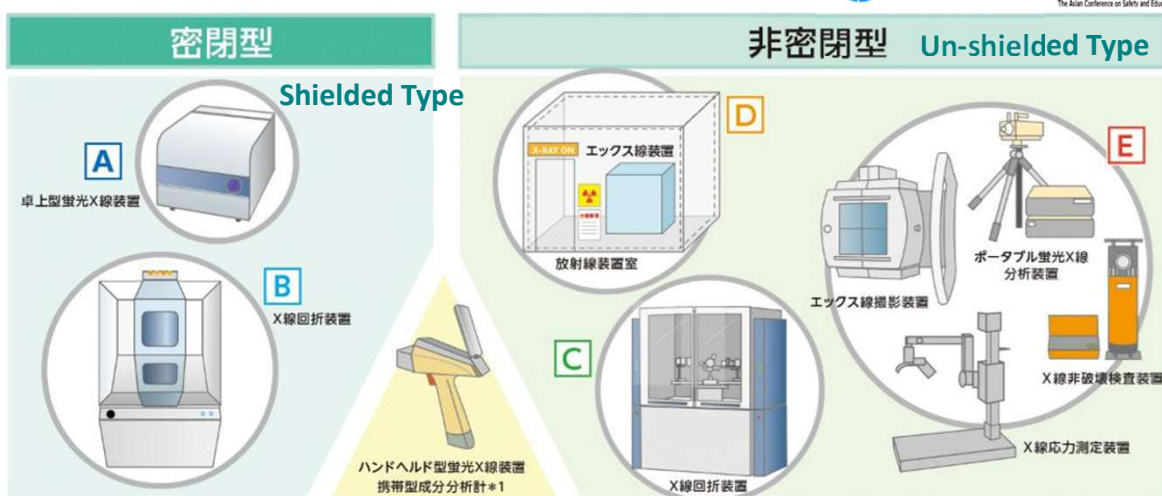


Subjects	Scope	Hours
Knowledge of work methods related to handling X-ray equipment or gamma irradiation equipment	Work procedures, ionizing radiation measurement, radiation exposure prevention methods, and accident response measures	1.5
Knowledge regarding the structure and handling methods of X-ray equipment or gamma ray irradiation equipment	For those performing work involving the handling of X-ray equipment, the followings: Principle of X-ray equipment; structure and function of X-ray tubes, high-voltage generators, and controllers in X-ray equipment; operation and inspection of X-ray equipment	1.5
	For those performing work involving the handling of gamma-ray irradiation equipment, the followings: Types and models of gamma irradiation equipment, structure and function of source containers, structure and function of remote-control devices for adjusting the position of radiation source delivery equipment or radiation sources, structure of radiation sources and properties of radioactive materials, operation and inspection of gamma irradiation equipment	1.5
Effects of ionizing radiation on living organism (Human)	Types and characteristics of ionizing radiation; effects of ionizing radiation on cells, tissues, organs, and the entire body	0.5
Relevant laws and regulations	The Industrial Safety and Health Act, the Enforcement Order of the Industrial Safety and Health Act, the Industrial Safety and Health Regulations, and the relevant provisions in the Ionizing Radiation, Radiation Protection Regulations	1.0

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

15

Graded Approach Example in UTokyo, Japan - Categorization of Devices (AB/CDE+1)



The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

16

Future Scope from Viewpoint of Japan

- Comprehensive Remaining Challenges, Including Safety Education



- ❑ Increasing the **level and rationality** of safety management for radiation workers and fields through the effective application and combination of **IT and AI**
- ❑ Simultaneously optimizing **knowledge management** and **human resource development** for workers and managers/supervisors at various levels, such as through a **graded approach, under combining with OJT**
- Harmonization among Legislations/Regulations on Safety Management of Ionizing Radiation
- Needs for National Standards and Guidance Tailored to Industry Characteristics
- Clarifying the Definition of “Workers”
- Harmonization of Understanding and Efforts Among Stakeholders (Supervising Authorities, Labor Standards Offices, Workplaces, etc.)

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

17

Thank You!

Questions?



特別教育の対象業務拡大
作業主任者職務追加(作業の方法・労働者の指揮等)
令和8年4月1日施行

自動警報装置義務拡大
安全装置義務化作業主任者職務追加(安全装置関係)
令和9年10月1日施行

Details of the Revised Act
(Japanese only)

改正の詳細はこちら



The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

18

Overview of Radiation-Related Laws in Japan



- **Multiple Legal Frameworks Govern Radiation Application in Japan**

- ✓ Radiation regulation in Japan is governed by multiple laws, each based on its specific **purpose** (e.g., occupational safety, medical use, nuclear energy).
- ✓ Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW) oversees radiation safety in **workplaces, medical institutions, and pharmaceuticals**.
- ✓ Each law has a distinct objective and applies to different stakeholders.

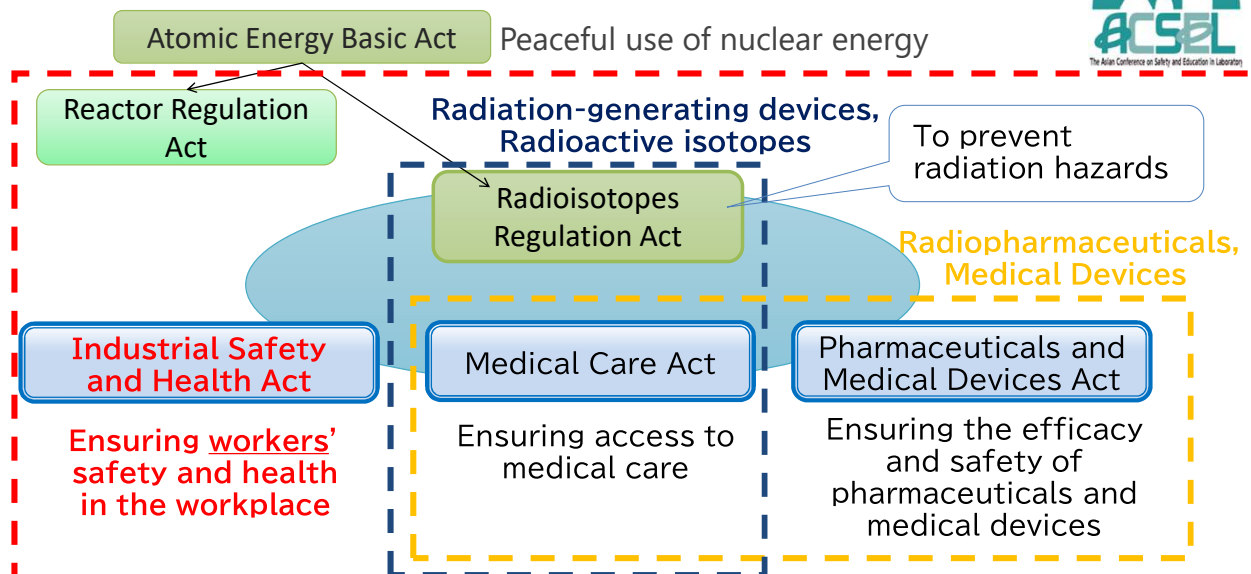
- **In Japan, only the Industrial Safety and Health Act regulates industrial X-ray equipment under 1 MeV.**

- ✓ **Regulation:** Industrial Safety and Health Act only
- ✓ **Energy:** Under 1 MeV
- ✓ **Requirement:** Notification only (no license needed)

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

19

Overview of Radiation-Related Laws in Japan



The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

20

Future Scope from Viewpoint of Japan

- Comprehensive Remaining Challenges, Including Safety Education



- **Harmonization among Legislations/Regulations on Safety Management of Ionizing Radiation**

Not only X-ray equipment, but gamma-ray irradiation equipment as well is targeted for similar amendments to special training requirements. Given that Radioisotopes Regulation Act also applies to the latter, it is essential that all stakeholders fully understand the content of the laws, not only from this perspective but also regarding overlapping or similar items. These include the training and education of managers, including chief officers; the content and duration of user education; the basis for

determining the necessity, frequency, and items of health examinations required due to radiation use; the retention period for related records; and the methods and quality of on-site inspections by supervisory administrative authorities. Furthermore, while clarifying the background and rationale for each law and respecting their respective characteristics, efforts should be made to seek appropriate alignment with actual field conditions, aiming to proactively evolve the level and rationality of regulation and management.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

21

Future Scope from Viewpoint of Japan

- Comprehensive Remaining Challenges, Including Safety Education



- **Needs for Standards and Guidance Tailored to Industry Characteristics**

Regarding the operation of the 1.3 mSv/3-month controlled area boundary, it was noted that inappropriate interpretations, based on advice from a very small number of vendors, have become widespread. Concerns from industry were repeatedly voiced, and some experts from industry area strongly urged strengthening or revising the relevant descriptions in the Ionizing Radiation Regulations. Specifically, opinions called for legally codifying the operation based on dose rate converted from the 3-month-based dose divided by working hours, or at least strongly recommending this practice in explanatory notes.

It is understandable that industry, where equipment types and usage patterns are relatively uniform and workplaces often involve repetitive daily tasks, would prefer more stable, standardized regulations and management to be formally and strongly codified as the standard. On the other hand, in

research and educational institutions, not only is there a diversity of equipment, but the frequency and methods of use can change daily, even within the same workplace. If bound by time-based dose rates, it becomes difficult to effectively utilize the equipment's features, and there are likely many workplaces where the very purpose of use cannot be fulfilled.

As this example illustrates, the realities of industries and sites are clearly unique. Beyond a certain level, achieving high-quality and rational on-site management through uniform regulations becomes difficult. Therefore, as a general principle, rather than requiring such content by law, we believe that promoting efforts to develop and horizontally deploy standards and guides appropriate for each industry, field, and site—while utilizing advice and support from relevant organizations, academic societies, and supervisory authorities—directly contributes to fostering and sharing a safety culture.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

22

Future Scope from Viewpoint of Japan

- Comprehensive Remaining Challenges, Including Safety Education



- **Clarifying the Definition of “Workers”**

In research and educational institutions, the application of Industrial Safety and Health Act to students is always a point of contention. While it is self-evident and beyond doubt that Industrial Safety and Health Act does not apply to students, who are not workers, given its linkage to the Labor Standards Act, it is difficult to imagine society accepting a situation where faculty and students within the same organization are subject to different levels of management. On the other hand, how to manage students—who are numerous, have high turnover, and, recently, include dramatically increasing numbers of international students (who may not understand Japanese at all)—remains a long-standing and still very challenging issue in this field. Furthermore, student diversity has increased, encompassing not only so-called pure students but also Teaching Assistants (TAs), Teaching Fellows (TFs), Research Assistants (RAs),

Student Assistants (SAs), and even individuals concurrently serving as Specially Appointed Researchers or Specially Appointed Assistant Professors. The reality of subsidies and grants for their studies varies widely. Furthermore, the fact that these periods are often very short or intermittent complicates the situation. Primarily, if they have an employment contract with an employer, they would be classified as workers. However, determining this classification and its practical application in actual workplace management is not straightforward. The Ministry of Health, Labour and Welfare’s “Study Group on ‘Workers’ under Labour Standards Act” is currently debating the definition of “worker”. While closely monitoring its progress and outcomes, we aim to continue discussions with relevant parties to develop better concrete responses and explore practical implementation on the ground.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

23

Future Scope from Viewpoint of Japan

- Comprehensive Remaining Challenges, Including Safety Education



- **Harmonization of Understanding and Efforts Among Stakeholders (Supervising Authorities, Labor Standards Offices, Workplaces, etc.)**

Report of the JHPS Working Group states: “From a safety management perspective, a common understanding among stakeholders (manufacturers, vendors, users, regulators, etc., each under different responsible authorities) regarding equipment requiring notification under relevant laws and regulations is urgently needed.” At the very least, the situation where regional Labor Standards Inspection Offices make differing judgments on whether notification is required causes confusion for large facilities or organizations spanning multiple regions, necessitating an early resolution of this issue. Some facilities have voluntarily documented their basis for such judgments and understandings, and their insights could also be useful references. It would also be effective for academic societies and industry associations to scrutinize standards regarding the interpretation and application of

laws and regulations.

X-ray equipment below 1 MeV falls under Industrial Safety and Health Act but is excluded from the scope of Radioisotopes Regulation Act. Consequently, the regulatory intensity for X-ray equipment in this area, governed solely by Industrial Safety and Health Act, is significantly lighter when considering aspects such as the role of the Radioisotopes Supervisor under the Radioisotopes Regulation Act, provisions for education and training of workers and managers/supervisors, the existence of preventive regulations, and the application of regulations to students. While valuing the graded approach perspective, careful discussion is needed to determine if there are points requiring reconsideration regarding regulation and management in this area. Regarding inspections, a common understanding among stakeholders is also needed on the approach to equipment inspections based on the graded approach.

The 12th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL 2025)

24

II. 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。昨年度は、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。今年度は、昨年とは異なる登録定期講習機関で定期講習を受講した。その結果、科目・時間数に大きな違いはないものの、実施方法には違いが見られた。具体的には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、さらにプレゼン発表をさせて双方向性を保つような工夫を行っているところもあれば、一方で討論時間は設けるものの、その後は受講者側に任せっぱなしで他のグループや業種の意見や感想を聞く機会に恵まれないところもあった。定期講習に限ることではないが、ハード面の整備だけではなく、講習の進め方や講師のスキルアップなどソフト面の充実を図ることも重要である。

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。

選任された放射線取扱主任者の資質の向上を図るために、放射性同位元素等を取り扱う事業者等は「放射性同位元素等の規制に関する法律」に基づく原子力規制委員会の登録を受けた登録放射線取扱主任者定期講習機関が行う放射線取扱主任者定期講習を、選任した放射線取扱主任者に受けさせなければならない

放射線取扱主任者定期講習を義務づけられている場合の受講期間

・新しく放射線取扱主任者を選任した場合：放射線取扱主任者に選任された日から一年以内（放射線取扱主任者に選任される前一年以内に放射線取扱主任者定期講習を受けた者を除く）

・その後は、前回の放射線取扱主任者定期講習を受けた日の属する年度の翌年度の開始の日から 3 年（届出版売業者及び届出賃貸業者にあっては 5 年）以内

図 1 RI 規制法施行規則第 32 条第 2 項

B. 研究方法

研究事業 2 年目である令和 7 年度は、前年度とは異なる機関において RI 主任者定期講習を受講し、受講生の配置、講義内容や双方向性の担保のあり方を比較検討するとともに、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。

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の 4 つが知られている [1-4、表 1]。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」、「放射線発生装置及び放射性同位元素等の取扱及び使用施設等における安全管理」、「放射線発生装置及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・賃1回	対面・オンライン
原子力安全技術センター	使 7回、販・賃1回	対面・オンライン
電子科学研究所	使 7回、販・賃1回	対面
日本診療放射線技士会	3回	対面

表 1. 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) 講義の進め方について

先に述べた登録講習機関のうち、2 箇所

(A、B) について対面式の講習に参加した。各講習機関とも現場の管理経験が豊富なベテラン講師が数科目ずつ担当する形でパワーポイントの資料を用いて解説形式で実施された。特に資料からだけでは読み取りにくい定義の解釈及び注意点についての解説に力点が置かれているのは受講生に有益であると感じた。一方でどちらの機関もテキストの内容が豊富である反面、時間いっぱい講義が継続し、講師が受講生にアンケートや質問をするなどの双方向性を担保する工夫はみられず、一方的な進行であった。但し、休み時間にはどちらの機関の講師とも受講生からの質問には個別に対応されていた。

(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。また実施機関の 1 つである A 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、別の講習機関 B では討論時間は設定されているものの受講生の配置には特に工夫はなく、討論する相手はその時に隣接する人であった。また討論も受講生に依存する形で進められるため相手の業種によっては討論の質にかなりの温度差が生じる可能性が懸念された。

D. 考察

(1) 講習内容を深める工夫について

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おり、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い。講習時間内に討論時間を設けられている場合が多く、自身の判断や方法の妥当性の確認や新しい発見にも繋がる。今回、受講した機関の1つの定期講習では、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[図2]。双方向性の観点からも、形式的で満足度の低い討論時間とならないように実施機関も講習の進め方の見直し等ソフト面の充実を図ることも重要である。

(2) 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、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は必要である。またエックス線の用途は多岐にわたるため、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・用途別や熟練度に応じた段階別に選択が出来ることより効果的なものとなる。例えば、事故に関する内容・課目においては、その産業や分野で過去に発生したエックス線被ばく事故やヒヤリハット事例を題材にして再発防止の一考とするのも効果的である。また業界や社内で開催する教育を実施する際には、その業種の現場に明るい講師を招くことで、一般論だけではなく、課題解決のための糸口を見出すことや質の高い質疑応答を期待できる。

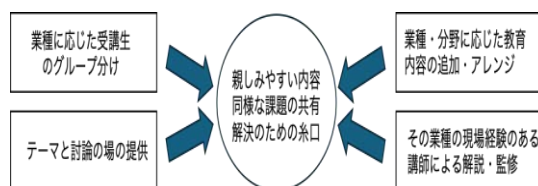


図 2. わかりやすく質の高い教育に必要な工夫の一例

(3) 最後に

これまで複数の機関で第一種放射線取扱主任者定期講習を受講してきたが、現場の主任者の多くの方々が、日頃の管理における課題や悩みを抱えながら実務にあたっていることを痛感した。現場の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機会や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

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、夏原 正仁

「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－活動報告」日本保健物理学会第 58 回研究発表会

2) 榎本 敦、中田 よしみ、神子 公男、
片岡 憲昭、貴戸 千津子、鳥井 頼子、飯本 武志

「エックス線装置における自動警報装置の意義と現状」

日本保健物理学会第 58 回研究発表会

3) 榎本 敦、中田 よしみ、貴戸 千津子、
鳥井 頼子、飯本 武志

「エックス線装置における自動警報装置の意義について」

令和 7 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

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 12th January 2026.

[2] 原子力安全技術センター
<https://www.nustec.or.jp/teiki/teiki01.html> access on 12th January 2026.

[3] 電子科学研究所
<https://www.esi.or.jp/workshop/works-hop05.html> access on 7th January 2026.

[4] 日本診療放射線技士会
<http://www2.jart.jp/activity/teikikousyu.html> access on 12th January 2026.

Ⅱ. 分担研究報告

非破壊検査業におけるエックス線作業等者の安全教育に係る現地ヒアリング

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: 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 技術副主幹)

協力研究者: 谷村 嘉彦 (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 次長)

研究要旨

本分担研究では、非破壊検査企業を訪問し、現地で主任者及び作業等者に対しアンケート及び聞き取り調査を行った。聞き取り調査では、より具体的な教育・講習内容に加えて、企業内における安全衛生等の取り組みについても調査した。調査は、日本非破壊検査工業会より推薦を受けた企業3社に訪問して行っており、いずれに企業もガンマ線照射装置を用いる透過写真撮影を行っている。調査は令和7年11月4日から令和7年11月18日までの約二週間で実施した。

アンケートは主任者及び作業等者から18件回答を得た。アンケート結果で特筆すべき点として、(1) RI規制法に基づく再教育が定着しており、時間数及び内容が企業によって異なる点、(2) 被ばく可能性についての懸念が、特にうっかり型ミスに起因するとの回答が支配的である点、(3) e-ラーニングについて、関係法令のオンライン講義等の導入について前向きである点、及び(4) ポータブルエックス線分析装置(XRF)について別途特別な配慮を行っている点、である。以下で結果を詳細に示し、背景要因について考察するとともに、本研究課題における教育・講習コンテンツ整備への提言を行った。

A. 研究目的

本分担研究は、特に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、「作業等者」という。)を対象とし、放射線防護対策措置の現状及び電離放射線障害防止規則(以下、「電離規則」という。)の定める透過写真撮影に従事する者に対する特別の

教育の実施状況について、実際に事業場へ赴きアンケート及び聞き取りによる調査を行うものである。現地調査に先立ち、令和6年度に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）」の協力を得て実施した加盟会員宛にメールを配信することでアンケートを実施した。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。

昨年度実施したメールによるアンケートでは、期間中の有効回答数202件のうち、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に注視すべきと考えられたのは、（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、点であった。

本分担研究では、アンケートに回答した加盟会員企業のうち、JANDT推薦の企業3社の協力を得て、実際に事業場へ赴き、エックス線作業の様子を見学するところも含め、聞き取り調査を行った。推薦された企業はすべて非破壊検査を主たる業とする企業であり、エックス線装置に加えてガンマ線照

射装置も使用している。

エックス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

本分担報告書執筆時点（令和8年3月）では、各事業場において主任者としての業務に従事する際に主任者に対する教育は必要なく、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ックス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

別添 4

ない。

本分担研究では、非破壊検査業に従事する主任者等に対して、放射線防護対策措置の現状及び安全衛生に係る能力向上に資する教育が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として、現地でのアンケート及び聞き取り調査を実施した。

B. 研究方法

研究事業2年目である令和7年度は、昨年度オンラインで実施したアンケート調査の形式を踏襲したアンケートに加えて、より具体的に、実際のエックス線作業及び教育・講習の内容について調査することを目的とした。

エックス線使用及び教育等に係るアンケート

1. 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教えてください。

- ☐1 JIS Z 3104, 3105, 3106 準拠の放射線透過撮影
- ☐2 JIS Z 3110 準拠のデジタル撮影方式
- ☐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・覚えていない

2. あなたが職場で管理しているエックス線機器の仕様等についてお伺いいたします。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。

- ☐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

3. あなたが職場で管理しているエックス線機器について、製造業者／型番を分かる範囲で教えてください。

4. ここからは、エックス線作業に関する教育についてお伺いします。

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。あなたの職場では、特別な教育を実施していますか。

- ☐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

別添 4

5. 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

6. 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。

- ☐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 ()

7. 今後関係法令についてオンラインでの受講(またはオンデマンドでの受講)が可能となった場合、受講することについてどうお考えですか。

- ☐1 業務に支障が小さく、受講したい
- ☐2 言われれば受講すると思う
- ☐3 特に変わらないので、受講しない
- ☐4 わからない

8. 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。

例：エックス線機器使用時の事故例 法令の改正状況 最近のエックス線機器について等

個人線量計等装着に係るアンケート

1. 個人被ばく線量計についてお尋ねします。現在、放射線業務に従事していない方は、質問番号に「×」をつけてください。個人線量計(ガラスバッジ、ルクセルバッジ等)を会社から配布されていますか。当てはまる方へ○をつけてください。

はい ・ いいえ

「はい」の方は、どのような線量計を付けているかチェックをつけてください。

- ☐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 ()

別添 4

「はい」の方は、装着部位全てにチェックをつけてください。

胸部（女性は腹部） ・ 頸部（鉛防護衣の外側） ・ 眼部 ・ 手指

個人線量計の装着頻度はどの程度ですか。

最も近いものに○をつけてください。

0% ・ 25% ・ 50% ・ 75% ・ 100%

2. 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
☐3 わからない
☐4 担当ではない
☐5 その他（ ）

3. 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

「測定している」の方は、どのような線量率計で測定してるかチェックをつけてください。

- ☐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

4. 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。

- ☐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（ ）

5. 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（ ）

6. 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

7. ご自身が扱うまた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

8. 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

上述のアンケートに加えて、聞き取りではより具体的な教育・講習内容に加えて、企業内における安全衛生等の取り組みについても聞き取りを行った。

対象とした企業は3社とも全て非破壊検査業であり、いずれに企業もガンマ線照射装置を用いる透過写真撮影を行っている。調査は令和7年11月4日から令和7年11月18日までの約二週間で実施した。

(倫理面への配慮)

本分担研究は、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調査であり、研究代表者の所属する国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構において臨床研究倫理審査委員会により、承認を受けた(承認番号：N25-003)。

C. 研究結果

本分担研究では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、現地でのアンケート及び聞き取り調査を実施した。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。日本非破壊検査工業会(以下、「JANDT」とする。)

により現地訪問の承諾を得た3社に対して実施し、調査は令和7年11月4日から令和7年11月18日までの約二週間で実施した。

以下では主任者に対するエックス線装置の使用と教育に関するアンケートの回答(合計回答数6件)を示す。

1. 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教えてください。

項目	回答数 (N)
JIS Z 3104, 3105, 3106 準拠の放射線透過撮影	6
JIS Z 3110 準拠のデジタル撮影方式	3
CT 撮影	2
厚さ計	1
エックス線光電子分光法 (XPS)	2
エックス線回折法 (XRD)	3
蛍光エックス線分析 (XRF)	6
SEM または TEM	0
照射用	0
食品検査用	0
手荷物検査用	0
その他一般検査用	0
金属成分・コンクリート内塩分分析用	0
その他	0
わからない	0
全体	23

2. あなたが職場で管理しているエックス

線機器の仕様等についてお伺いいたします。
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。

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)	0
1 台	0
2 台	0
3 台	0
4 台	0
5 台以上	6
全体	6

3. あなたが職場で管理しているエックス
線機器について、製造業者／型番を分かる
範囲で教えてください。

リガテック

- ・ RF250EGM
- ・ RF300EGM

トーレック

- ・ RIX100CP
- ・ RIX200MC-2

GE インспекション

- ・ ERFSOC052 MF4-CC

ポータブルエックス線残留応力計

パルステック

- ・ μ -X360S

蛍光エックス線分析計

エビデント

Venta"

リガテック

- ・ RF250EGS II
- ・ RF300EGS II
- ・ RF2522CP

トーレック

- ・ RIX200MC

- ・ RIX100MC"

リガテック

- ・ RF250EGM
- ・ RF300EGM
- ・ RF200EGBIC

トーレック

- ・ RIX200MN/PC-2
- ・ RIX200MC-2

非破壊検査

- ・ PJX-100a

蛍光エックス線分析計

オリンパス

DP-2000

VLW

VCR

Comet

- ・ X R F -300"

"リガテック

- ・ RF250EGM
- ・ RF300EGM
- ・ RF200EGBIC

トーレック

- ・ RIX200MN/PC-2
- ・ RIX200MC-2

非破壊検査

- ・ PJX-100a

蛍光エックス線分析計

オリンパス

DP-2000

VLW

VCR

Comet

- ・ X R F -300"

(原文ママ)

4. ここからは、エックス線作業に関する

教育についてお伺いします。

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。あなたの職場では、特別な教育を実施していますか。

項目	回答数 (N)
実施している	6
実施していない	0
教育の担当ではない	0
わからない	0
全体	6

5. 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。(複数回答可)

項目	回答数 (N)
透過写真の撮影の作業の方法	6
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	6
電離放射線の生体に与える影響	6
関係法令	6
社内のエックス線機器の取り扱い方法の訓練	4
エックス線機器の異常時の措置	5
放射線被ばくとそ	5

の低減対策	
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)	6
その他	0
担当ではないのでわからない	0
全体	44

6. 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。

項目	回答数 (N)
年に1回未満	0
年に1回以上、月に1回未満	0
月に1回以上	4
装置を使用するたびに実施	0
わからない	0
その他	0
無回答	0
全体	2

7. 今後関係法令についてオンラインでの受講（またはオンデマンドでの受講）が可能となった場合、受講することについてどうお考えですか。

項目	回答数 (N)
業務に支障が小さく、受講したい	6
言われれば受講すると思う	0
特に変わらないので、受講しない	0
わからない	0
全体	6

8. 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。

例：エックス線機器使用時の事故例 法令の改正状況 最近のエックス線機器について等

"・ゲーム感覚で事故例を学べるようなアプリがあるとやりそう

・タバコのケースに肺がんの写真を乗せている。エックス線発生器にも被ばく者の写真を載せておく（貼り付けておく）"

"・事故事例の教育

・法令改正のポイント

・OJT 動画"

"・会社の代表の主任者へ改定教育を実施し、要領書に落とし込み教育をしてはいかがでしょうか？

・実機を使用した安全意識が上がるような訓練はどうでしょうか？"

"・事故事例の紹介

・一般的に広く使われている装置で、どれくらいの被ばくをするものか、視覚的にわかるような資料

・作業の様子、な荒れを示したような資料"

・事故事例に関する資料

(原文ママ)

作業者及び主任者等からのアンケートの有効回答は18件であり、以下で、個人線量計装着等に関する回答結果を示す。

1. 個人被ばく線量計についてお尋ねします。現在、放射線業務に従事していない方は、質問番号に「×」をつけてください。

個人線量計（ガラスバッジ、ルクセルバッジ等）を会社から配布されていますか。

項目	回答数 (N)
はい	18
いいえ	0
全体	18

「はい」の方は、どのような線量計を付けているかチェックをつけてください。(複数回答可)

項目	回答数 (N)
ルミナスバッジ	18
ガラス線量計	0
TLD	0
その他個人線量計	2
電子式ポケット線量計	13
わからない	0
その他の()	0
全体	33

「はい」の方は、装着部位全てにチェックをつけてください。

項目	回答数 (N)
胸部（女性は腹部）	18
頸部（鉛防護衣の外側）	0
眼部	0
手指	0

全体	18
----	----

個人線量計の装着頻度はどの程度ですか。
最も近いものに○をつけてください。

項目	回答数 (N)
0 %	0
2 5 %	0
5 0 %	0
7 5 %	0
1 0 0 %	18
全体	18

2. 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	14
使用していない／使用させていない	4
わからない	0
担当ではない	0
その他	0
全体	18

3. 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	17
測定していない	1
わからない	0
全体	18

「測定している」の方は、どのような線量

率計で測定してるかチェックをつけてください。

項目	回答数 (N)
電離箱式サーベイメータ	11
NaI シンチレーション式サーベイメータ	7
その他サーベイメータ	4
その他の ()	0
わからない	0
全体	22

4. 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。

項目	回答数 (N)
解除することがある	6
解除することはない	10
わからない	2
担当ではない	0
その他	0
全体	18

5. 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	6
実施していない	0
わからない	0
担当ではない	0
その他	0
全体	6

6. 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

- ・複数人で確認。線量計で確認
 - ・アラーム付きの線量計を使用している/使用させている
 - ・複数人で作業している。作業者全員に線量計を持たせて確認している。
 - ・指示呼称による確認をしている
 - ・緊急停止ボタンが複数ある。照射していたら赤く光るライトがある。
- (原文ママ)

7. ご自身が扱うまた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。

項目	回答数 (N)
可能性があると思う	12
可能性はないと思う	5
わからない	1
全体	18

8. 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

・現場作業、主に橋梁、タンクの溶接部放射線検査時。装置とフィルムをセットした作業者が目視にて確認できない。誤って照射する可能性あり。

・インターロックの誤作動で照射が止まっている状況と、線量計（アラーム）を持っていない場合可能性はある。

・管理区域内に他作業者が侵入してくるリスクがゼロではないため

・タンク等で内外で作業しているときに、合図に気づかずに近づいて被ばくする

・インターロックが正常に作動していないときに、たまたま照射室に人がいてその人に気づかず共同作業者が照射してしまった。すぐに離れたため大きな被ばくはしなかった。

・タンクの内外に分かれての撮影時には、照射とフィルム交換作業が行き違い被ばくする可能性がある

・作業者間の認識のずれによる被ばく

・エージング中に一人が誤って装置に近づいてしまった場合、過大被ばくとなってしまう。

・ヒト払いを確認せずに照射する

・照射室外で作業する際、照射していることに気づかず接近する可能性がある

・照射室内に人を残したまま照射室を施錠し、エックス線を照射した場合、照射の警告灯に気づき照射室内から非常停止を行うまでの間、線量限度内で計画外被ばくする可能性がある。

(原文ママ)

D. 考察

非破壊検査業を主な業とする事業場における現地アンケートで得られた結果について、以下の課題に従って評価した。

(1) 主任者及び作業者の教育・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、すべての事業場（6 件/6 件）において特別の教育を実施していると回答された。特別の教育の内容について回答を求めたところ、図 1 の通りであった。

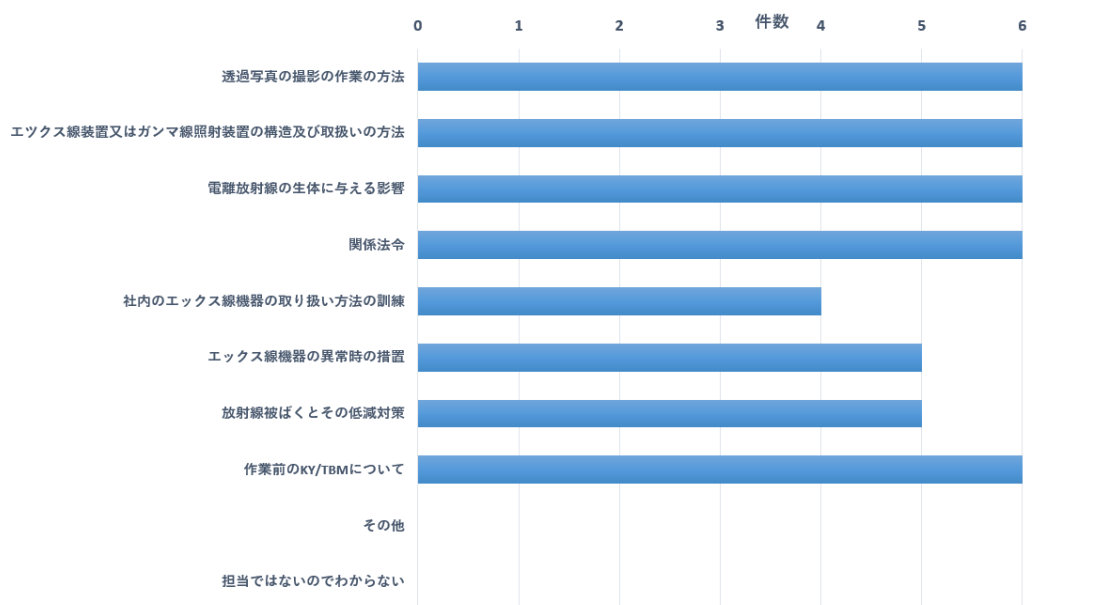
エックス線装置を用いる透過撮影の業務で必要な教育の項目は、

- 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

となっており、すべての事業場で確実に実施されていた。本分担研究で対象となったのは、全て非破壊検査業に従事する事業場である。ヒアリング調査対象企業 3 社すべてが、事業場以外でのフィールド撮影の

ためにイリジウム線源を用いた透過写真撮影業務を行っており、事業場として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。）に基づいた管理が求められている。各事業場においては、特別の教育において、エックス線装置の構造及び取扱いの方法に加えて、イリジウム線源の取り扱い方法の教育も受講していることが確認された。そのため、調査対象とした事業場では、初めて透過写真撮影業務に従事する者の教育は 6 時間以上となっている。各企業において教育時間は異なっているが、教育時間は 6 時間、7 時間 30 分、及び 8 時間という結果であった。

本分担研究で対象となった非破壊検査業の企業において顕著に多かった教育科目が、作業前の KY/TBM についてであり、すべての企業で確実に実施されていた。これは、事業場内の透過写真撮影のみならず、フィールド撮影として他企業の事業場での透過写真撮影も主たる業務としているため、労働安全衛生の一環で全社的に導入されている科目をエックス線安全の観点でも実施している、と解釈できる。なお、今年度の分担研



究では現地ヒアリングに併せてエックス線装置を用いる立入禁止区域周辺での漏えい線量率測定等を実施したが、事業場において放射線業務従事者が実際に KY/TBM を実施した（する）事例も確認され、被ばくに注意するのみならず、転倒など労働安全全般に注意の払われた KY/TBM が実施されていたことを付記する。アンケート調査に基づく聞き取りでは、一部企業において KY/TBM にリスクアセスメントを組み合わせた RKY と呼称するものを日常的に実施しており、例えば依頼先の火力発電所等でのフィールド試験でも自社で RKY を実施してから透過写真撮影を行うことを徹底しているとのことであった。これら、フィールド撮影の現場でポータブルエックス線装置を設置し、立入制限区域（管理区域）を設定して透過写真撮影を行う作業の中で、労働安全衛生を担保する目的から KY/TBM の実施が定着した企業・事業場にあつては、業務着手時点でリマインド的な訓練が実施されているといえ、放射線安全に係る教育効果も高いことがうかがわれる。

同様に 3 社ともに教育に力が入っていたのは、異常時の措置であった。正確には R I 規制法に基づくイリジウム線源照射装置または線源格納容器に対する教育であった。教育では、イリジウム線源を用いるトラブルを未然に防いで無用な被ばくを回避する観点での教育を行っており、内容はトラブル発生時の対応について、イリジウム線源格納容器を含めた検査装置の実機を用い、実際に即したトラブル対応訓練（線源の安全な格納方法等）を行っているとのことであった。同様の試験は、ヒアリング調査対象企業のすべてで実施していることが確認できた。トラブル対応について口頭試験の形

で問う形式が一社で、残り 2 社は O J T による実地訓練であった。実地訓練では、イリジウム線源が格納容器より脱落した状況を想定した緊急時訓練も実施している。エックス線装置については、ポータブルエックス線装置の緊急停止ボタンの押下、あるいは警報機付き個人線量計（A P D）の警報音を発報させ、警報発報時に直ちに退避する訓練等を教育している、とのことであった。上記の O J T は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。

R I 規制法においては、初めて放射線業務に従事する放射線業務従事者は初期教育を受講することが義務付けられているほか、一年を超えない範囲で再教育を受講することが求められる。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。いずれの企業においても R I 規制法に基づく再教育を行っており、教育内容はイリジウム線源を用いる透過写真撮影業務が主なものであった。時間数は、各事業場において R I 規制法に基づき定められた放射線障害予防規程で決められているのであろうが、実施方法として、日本非破壊検査工業会発行の教育訓練用 DVD の視聴から O J T による実地訓練まで幅広いものであった。ある企業での再教育時間は 2 時間 30 分と定められており、対面での講義と O J T による実地訓練を組み合わせたものとなっていた。内容には、RI（照射装置）

の取り扱い（装置訓練を入れて1時間30分）、R I 規制法及び電離則の関連法令（30分）、及び放射線の人体への影響（30分）であった。ある企業の再教育はeラーニングで2時間実施すると定められており、内容はエックス線装置よりもイリジウム線源を用いた透過写真撮影に関連するものが中心、とのことであった。この教育には、トラブル発生時の対応や内外のトラブル事例も含まれるとのことであった。以上から、エックス線装置のみを扱う事業場にあっても、被ばくの可能性が高く放射線業務従事者を指定している事業場にあっては、上記のような年に1度以上のリマインド教育は労働安全衛生に係る能力向上の点からも有用であることは論を俟たない。

主任者及び作業者の教育・講習について社内独自の資格制度を整備し、主任者等の労働安全衛生に係る能力向上に係る枠組みについて紹介を受けた。

社内における透過写真撮影業務へは以下のランクに従って従事できる作業が定められている。

1. 補助者
2. 透過写真撮影作業主任者
3. 撮影作業班班長

1. の補助者は、所定の初期教育を受けた放射線業務従事者が透過写真撮影の補助を行うことができるというものである。補助者は、透過写真撮影業務の補助の経験を経て、2. の透過写真撮影作業の主任者に昇格する。主任者のうち3. 撮影作業班の班長として力量を認められた者のみがイリジウム線源を用いるガンマ線発生装置の操作が可能となる。特筆すべき点として、イリジウム線源を用いた透過写真撮影を高難度な業務

として規定しており、ポータブルエックス線発生装置は操作できるが、ガンマ線照射装置の操作が認められていない主任者がいるとのことであった。班長になるためには力量認定が求められており、現場から申請があったときに本社から要員（放射線管理）を派遣し、現場におけるトラブル対応能力をみてガンマ線照射装置のハンドリング可能かを審査している。力量認定の試験は、現場における訓練履歴と当日の試験に委ねられているとのことで、日常的な放射線パトロールチェックシートに基づき力量認定と班長の登録を実施しているとのことであった。班長としての登録を受けるのは、放射線業務従事者として透過写真撮影業務の補助に従事してから最短で2～3年くらいとのことであった。班長への力量認定試験受験資格は、透過写真撮影作業主任者として登録されていればよいとのことで、社内教育の受講歴は関係していないとのことであった。なお、上記の力量認定試験では落とすこともあるとのことであった。力量認定試験で特に求められる資質・能力は、コミュニケーション能力であるとのことであった。その理由の一つが、無用な被ばくを避けるためのうっかり型ミスを根絶するため、フィールド撮影における撮影前の人払いを確実に実施するには、班長から主任者・補助者に対しての人払いの確実な指示が求められるため、とのことであった。

以上のような資格制度は、エックス線作業主任者における教育においても非常に参考になる。また、エックス線作業主任者、第1種放射線取扱主任者、第1種衛生管理者等の各種外部資格取得の奨励が行われている企業もあり、自己研鑽の観点において有用であるのみならず、事業場における労働

安全衛生に係る能力向上の一助となっていると考えられる。ある企業においてはフィールド撮影に従事する放射線業務従事者21名のうち、実に20名はエックス線作業主任者の資格を有しており、残り1名も取得予定であるとのことであった。放射線取扱主任者については、第1種が9名、第2種は十数名取得しているとの報告を受けた。

(2) 放射線防護対策措置について

昨年度と同様に、現地ヒアリングにおいても以下の放射線防護対策の実施状況について、放射線作業に従事する作業者に対しアンケート及び聞き取り調査を実施した。

(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、100%個人線量計を装着して作業しているとの回答を得た。装着する個人線量計は、OSL線量計(18件)と全てOSL線量計によりモニタリングされている一方で、電子式ポケット線量計を装着して作業する作業者も13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るが、防護の対象となるのがエックス線というよりもイリジウム線源からのガンマ線に対してと考えられることから、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が用いられていると想像される。一方でポータブルエックス線発生装置を用いる場合には、過小評価が顕著にみられるモデルもあることから [3]、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。

本分担研究における現地ヒアリングでは、エックス線作業を行う際の立ち入り制限区域(管理区域内外)における漏えいエックス線測定について質問した。その結果、ほぼすべての作業者が測定を実施しているとのことであった(17件/18件)。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、電離箱式サーベイメータを用いて測定しているとの回答が11件、NaI シンチレーション式サーベイメータを用いて測定を行っている作業者が7件との回答であった。前述のとおり、現地ヒアリングの対象となった企業3社は、RI規制法に基づくイリジウム線源を用いた透過写真撮影に従事しており、その点においてNaI シンチレーション式サーベイメータを用いた測定は適切であるといえる。

アンケートでは、エックス線作業を行う際に、放射線室またはエックス線装置のインターロックを解除することがあるかどうかについても尋ねており、1/3の作業者はインターロックを解除した作業を行っているとのことであった(6件/18件)。インターロックを解除することがある作業者については、インターロックを解除する際に特別な対策を実施しているかどうかについても追加質問しており、すべての作業者は特別な対策を実施しているとのことであった。その内容については、

- ・複数人で確認している。
- ・アラーム付きの線量計を使用している/使用させている
- ・作業者全員に線量計を持たせて確認している。
- ・指示呼称による確認をしている
- ・複数ある緊急停止ボタンの位置を確認

する、

等対策が徹底していることがうかがわれた。

昨年度と同様に放射線透過写真撮影業務に従事する際のエックス線被ばくの可能性について問い合わせたところ、3分の2の作業員について、被ばくの可能性があると回答を得た(12件/18件)。被ばくの可能性があると感じる場面についての記述は、3.結果で示した通りであり、その内容はすべてがうっかり型ミスに起因する放射線被ばくの可能性を示唆するものであった。また、外部の要因を排除できないという考えに基づくのか、「管理区域内に他作業員が侵入してくるリスクがゼロではないため」という保守的な意見も見られる。前述の社内資格制度を整備・運用中の企業での、イリジウム線源を用いた透過写真撮影班の班長に求められる資格がコミュニケーション能力であるとしていたが、被ばく可能性の具体例として挙げられている内容においても、人払いや照射開始のタイミングのずれや聞き違い、勘違い、といったコミュニケーションエラーに起因したうっかり型ミスを想定している回答が得られている。この点からも、透過写真撮影前の立入制限区域からの人払いを確実にを行うには、他の作業員あるいは撮影業務に関係のない作業員を接近させないことが重要である点が再確認できた。

(3) e-ラーニングに関して

アンケート調査においては、関係法令についてオンラインでの受講(またはオンデマンドでの受講)が可能となった場合の受講について意見を求めている。その結果、すべての企業における主任者は、受講に対して非常に前向きであった。特に、令和7年1

0月29日(一部規定は令和8年4月1日または令和9年10月1日)に電離則が順次施行され、工業用の特定エックス線装置について自動警報装置及び安全装置の設置が義務化等されるほか、エックス線作業主任者・ガンマ線透過写真撮影作業主任者の職務が追加される。このような内容について主任者の知識がアップデートされる機会ととらえてe-ラーニングの形式で行われるのは歓迎する、との意見であった。関係法令のe-ラーニングの形式での教育に関しては現地ヒアリングにおいて意見交換がなされ、以下のような意見が出された。

- ・法令改正のポイントがまとめてあるとよい

- ・法令改正前後でどのように変わったのか、一目でわかるとよい

- ・エックス線作業主任者でない作業員が、関連法令に関する教育の聴講・視聴するのは、現場で実際の非破壊検査における作業とどのように結びつくのか理解できていない限り教育効果が限定的であろうとの意見があった。

- ・(自社における)社内教育の実績に含まれるのであれば、視聴したいが、自主学習としては見る余裕はないのが現状である。

関係法令以外にも、被ばく事故事例に関する教育・講習コンテンツがあるとよいという意見が多く聞かれた。対面での講義で使われる内容としては、事故の背景、直接的原因から、被ばく事故の進展(被ばく者の入院加療の度合い等を含めて)まで記述されたコンテンツが整備されているとよい、とのことであった。併せて、エックス線が目に見えないということから、具体的なイメージがわきづらく、わかりやすいものが整備

されるとよいとのことであった。特に、エックス線装置からの散乱エックス線による線量率の分布がどのように広がるのか、視覚的にとらえやすいコンテンツの整備が求められるところであった。

また、e-ラーニングとの相性がよい教育動画整備にも前向きな意見が出ていた。内容については、例えば交通安全講習で見られるような再現ドラマ形式で、エックス線作業時に誤ったエックス線装置の使い方、人払い等での指示不足があった場合にそれが被ばくの原因となる、という内容のものなどは視聴しやすいとの意見があった。

総じて関係法令等についてのオンライン教育について前向きな意見ばかりであったが、教育効果、理解度・到達度の点から考慮したコンテンツ設計及び制作が求められることも明らかとなった。

(4) ポータブル蛍光エックス線分析装置(XRF)の取扱いについて

本分担研究で訪問した企業3社すべてから聞かれた懸念は、ポータブルXRFの運用に関するものである。この懸念の淵源は、各企業担当者のエックス線装置に対する管理・運用の制限の少なさにあるものと考えているようであった。出力の大きなエックス線発生装置については危険と意識しているが、ポータブルXRFなどの出力が低い装置はかえって危険に対する意識が低くなることでより危険な扱いになっているのではないか、という考えを有していた。

現状ではポータブルXRFメーカーは、販売時にエックス線作業主任者の選任が不要として、労働基準監督署に届出を行えば直ちに使用可能であり、放射線業務従事者が使用する必要もなく、使用する場所の管

理区域設定不要である、と説明をしている。

このような現状を受け、各社においてポータブルXRFに係る教育及び運用を進めている。教育時間について、ある企業では使用前の教育として1時間程度実施する他、最長で安全衛生教育として4時間30分実施する企業もあった。教育内容は、ポータブルXRFの取扱説明書と社内要領書を用いることが中心とのことであった。ポータブルXRFの使用については、各社対応が分かれており、主任者による装置の管理のもと、放射線業務従事者が分析作業を実施することと定めていた。放射線管理区域は、電離則の定める通りエックス線の発生する装置内にとどまるとして、ポータブルXRFを管理区域内の使用に限る等の対策は撮っていないとのことであった。別の企業では、同様に使用時の管理区域設定が要求されていないものの、分析試料の後ろ側にエックス線が透過する状況を想定して、自主的に管理区域設定を行っている。また、個人線量計も自主的に装着しているとのことであった。また、企業によってはポータブルXRFでの測定に係る懸念があり、パルス方式でエックス線を発生させ、そのエネルギーも低いため、電離箱式の個人線量計をアメリカから購入して測定したことがある、とのことであった。

以上に挙げる通り、ポータブルXRFの運用に伴う被ばくの危険性を重視しており、各企業とも自主的な管理のもと安全な運用に努めている。一方で、このような安全な管理と運用が可能なのは、各企業が放射線安全を含む労働安全に対する深い見識と長年にわたる経験があるために行えることであり、ポータブルXRFのように被ばくの危険が見えにくい装置についての教育・運用・

管理に係る知見は広く共有されるべきであろう。

E. 結論及び教育・講習コンテンツへの課題

本分担研究において、非破壊検査企業を訪問し、現地で主任者及び作業者に対しアンケート及び聞き取り調査を行った。上述のアンケートに加えて、聞き取りではより具体的な教育・講習内容に加えて、企業内における安全衛生等の取り組みについても聞き取りを行った。日本非破壊検査工業会より推薦を受けた企業3社とも非破壊検査業に従事しており、いずれに企業もガンマ線照射装置を用いる透過写真撮影を行っている。調査は令和7年11月4日から令和7年11月18日までの約二週間で実施し、現地事業場に訪問し、アンケートに加えて教育・講習の内容等についてヒアリング調査も行った。

(1) 主任者及び作業者の教育・講習について、放射線業務従事者に対する初期教育及び再教育に係る時間数について、ヒアリング対象とした企業では6時間から8時間で設定されていた。内容は、R I 規制法に基づく初期教育を満たすものとして実施されているが、電離則の特別の教育4科目に加えて、エックス線・ガンマ線装置の異常時の措置等についてもカバーされている。再教育についても、1年を超えない範囲で各社とも実施されており、実施時間は1時間程度から2時間30分程度まで、内容も動画視聴からO J Tによる実地訓練まで非常に幅広く設計されていた。いずれの場合においても、再教育の有効性は確認されており、電離則における透過写真撮影業務に従事しなくとも、それに相当する被ばくの危険を伴う放射線業務従事者及びエックス線作業

主任者については、安全衛生教育の枠組みとしても再教育が行われることが望ましい。エックス線作業主任者の安全衛生に係る能力向上に係るスキームとして、今回聞き取りを行った企業での透過写真撮影業務における撮影班長の認定制度が非常に参考になる。放射線透過写真撮影業務の補助を経験するとともに、事業場におけるO J Tとしてトラブル対応訓練を繰り返して経験を積んだのちに、放射線安全担当部局の検査官による認定試験をクリアして班長として承認される、というスキームは、安全衛生に係る能力向上に直結しているものであり、他の事業場においても応用できるものといえる。

(2) 放射線防護対策措置について、昨年度と同様に、現地ヒアリングにおいても以下の放射線防護対策の実施状況について、放射線作業に従事する作業者に対しアンケート及び聞き取り調査を実施した。(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は100%装着しており、R I 規制法を遵守した作業が適切に行われており、放射線安全に関し非常に意識が高いことが示唆される。エックス線装置等のインターロック解除について、3分の1の作業者はインターロック解除を行った解除を行うと回答があったが、インターロック解除時の放射線防護上の措置については、全員が何らかの対策を講じたうえでインターロック解除時の放射線作業を行っていることが明らかとなった。これも(1)でヒアリングした教育・講習が定着していることに加え、事業場・企業におけるコ

ンプライアンス遵守が徹底している証左と言えよう。

(3) eラーニングに関して、各企業における教育訓練担当者から、総じてオンライン教育について前向きな意見ばかりであった。ただし、教育効果、教育の理解度・到達度の点を十分に考慮したコンテンツ設計及び制作が求められることも明らかとなった。併せて、関係法令のみならず、特に、エックス線装置からの散乱エックス線による線量率の分布がどのように広がるのか、視覚的にとらえやすいコンテンツの整備も求められるところであった。また、エックス線使用に係る教育動画整備にも前向きな意見が多かった。特に、事故事例については非常に興味を持たれているところであり、過剰にエックス線被ばくの恐怖や危険性をあおることがない範囲で整備されることが求められる。

(4) ポータブル蛍光エックス線分析装置(XRF)の取扱いについて、聞き取りを行った3社ともから懸念事項として表明された。ポータブルXRFの運用に伴う被ばくの危険性を重視しており、各企業とも自主的な管理のもと安全な運用に努めている。各企業の適切な取り組みについては体系化され、非破壊検査業のみならず、エックス線機器を用いる現場における安全衛生の施策として広く共有されるべきであろう。

本研究課題は令和6年度から開始し2年目を終了した。研究事業期間3か年の最終年度においては、(1)開発中の教育・講習コンテンツを用いるデモ講義、がある。

(1)について、本研究事業で試作する教

育・講習コンテンツの有効性を検証する必要があるが、その検証には事業場で実地の研修を行う、あるいはオンライン講義を実施する等が有効であろう。特に、関係法令については、現地アンケートでも特出しして聞き取りを行ったが、(1)最新の法令改正に適切にフォローできる、及び(2)わかりやすく説明されるとよい、という意見もあり、オンラインでの講義やオンデマンドでの法令改正のポイント解説などがあるとよい。また、今年度の改正のみならず、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オンラインで展開されるとよい。

エックス線による事故事例については、実際のエックス線被ばく事故について、その原因から事故の進展、その後行われた対策等まで記載されていることが望ましい。さらに、被ばく事故時に主任者等がどのような対応をすべきかについても十分教育されるべきである。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。これらについて、現状では十分に教育がなされているとはいえないため、本研究課題においてはこれらについて紹介する教育・講習コンテンツを整備する。

また、エックス線装置からの散乱エックス線の分布、漏えい線量率等を可視化した教育・講習コンテンツの整備も求められるだろう。エックス線が目に見えないという

別添 4

ことから、具体的なイメージがわきづらい
ため、危険性が認識されづらいという意見
がある。特に、エックス線装置からの散乱エ
ックス線による線量率の分布がどのように
広がるのか、わかりやすく視覚的に捉える
ことのできるコンテンツは有用といえる。

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] 電 離 放 射 線 障 害 防 止 規 則

<https://laws.e->

[gov.go.jp/law/347M50002000041](https://laws.e-gov.go.jp/law/347M50002000041)

access on 11th December 2025.

[2] 労 働 安 全 衛 生 法 <https://laws.e->

[gov.go.jp/law/347AC00000000057](https://laws.e-gov.go.jp/law/347AC00000000057) access

on 11th December 2025.

[3] 半導体式電子ポケット線量計 (EPD) カ タ ロ グ

[https://www.aloka.co.jp/usersupport/ca
talog/pdf/AR-025.pdf](https://www.aloka.co.jp/usersupport/catalog/pdf/AR-025.pdf) access on 11th

December 2025.

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)

片岡憲昭

(地方独立行政法人 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)

研究要旨

本分担研究は、製造業や非破壊検査業におけるエックス線被ばく事故の防止及び線量低減を目指し、エックス線作業主任者の能力向上に資する実効的な教育内容を検討することを目的とする。令和 7 年度は、実際の作業環境におけるエックス線場の物理的特徴を把握するため、食品用エックス線検査装置、非破壊検査（エックス線透過法・放射線透過試験）、及びハンドヘルド蛍光エックス線分析装置の運用現場において、線量率及び光子フルエンススペクトルの実地測定を実施した。

測定の結果、非破壊検査等における散乱エックス線の平均エネルギーは 65～85 keV であり、電離箱式サーベイメータが良好な応答を示す領域であることを確認した。一方、鉛遮蔽体由来の特性エックス線（L-X 線）や、ハンドヘルド装置特有の低エネルギー成分（約 28 keV）が線量評価に及ぼす影響を明らかにした。また、高線量率のパルス状エックス線場においては、測定器の種類により過小評価が生じるリスクを実証した。これらの成果は、作業環境に応じた適切な測定器選定の重要性を科学的に示しており、作業主任者講習等の教育訓練に実装することで、実効ある放射線防護体制の構築に寄与するものである。

A. 研究目的

本分担研究は、製造業及び非破壊検査業においてエックス線作業主任者（以下、主任者）を選任する事業場を対象に、安全衛生に係る能力向上に向けた取組み状況、並びに作業環境における防護措置の実態を調査・分析したうえで、被ばく事故防止及び線量低減に資する実効性の高い教育内容を検討し、その成果を実際の現場教育へ実装することを目的とする。この目的を達成するため、事業場で使用されているエックス線装

置及び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。

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、電離放射線障害防止規則（以下、電離則）第 46 条に基づき、事業者によって主任者が選任され、適切な作業管理が行われるべきとされている。しかしながら、主任者の監督下にある作業現場においても重篤な被ばく事故は依然として発生している。一例として、

2021 年 5 月に兵庫県姫路市で発生した事案では、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報告された。本事故に関し、日本保健物理学会「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）」は、事故の背景にある問題点として、主任者の専門的能力向上に向けた教育の重要性を強く指摘している[1]。安衛法第 19 条の 2 において、主任者の能力向上を図るための教育・講習の実施は事業者の責務として規定されているが、事故回避や線量低減の実効性の面では依然として改善の余地が大きい。

効果的な教育訓練・講習を構築するためには、過去の事事故例から得られた教訓に加え、具体的な事故回避に直結する注意喚起や、科学的根拠に基づく放射線防護対策を促す内容を盛り込むことが不可欠である。このためには、現場で使用されるエックス線装置の特性や、実作業環境におけるエックス線場の物理的特徴（エネルギー分布や線量率分布）を詳細に把握することが前提となる。

そこで本分担研究では、主任者選任事業場を対象としたアンケート調査により協力が得られた事業場の中から、典型的な作業形態を有する数箇所を選定し、実地測定を遂行する。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等を用い、通常稼働時の漏えいエックス線及び被ばく事故時に想定される散乱エックス線を対象として、線量率及びエネルギー分布を精密に測定・解析し、得られた結果を、エックス線装置の安全管理に係る教育・講習資料として体系化することで、主任者及び作業者の安全衛生能力の向上と、実効性ある防護体制の構築に寄与するものである。

B. 研究方法

本分担研究では、3 か年の研究期間を通じて、アンケート調査にて協力が得られたエックス線作業主任者（以下、主任者）選任事業場を対象として、実地調査を遂行する。具体的には、エックス線装置からの漏えいエックス線、及び被ばく事故時に想定される散乱エックス線等を主な対象とし、電離箱式サーベイメータ等を用いた線量率測定と、エックス線スペクトロメータを用いたエネルギー分布（スペクトル）測定を実施する。得られた測定結果及び解析知見は、エックス線装置の安全管理に係る教育・講習資料として体系化し、提供することを目的とする。研究事業の 2 年目にあたる令和 7 年度は、(1) 校正場の整備及び測定器の特性試験、(2) エックス線の線量率及びエネルギーの現場測定、(3) 最新の知見に関する情報収集活動、の 3 項目を中心に実施した。

(1) 校正場の整備及び測定器の特性試験

現場測定におけるデータの信頼性を担保するためには、分担者が所属する日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）及び研究班メンバーが所属する東京都立産業技術研究センター（以下、都産技研）がそれぞれ保有するサーベイメータ等の応答特性を正確に把握しておく必要がある。そこで、原子力機構 原子力科学研究所（以下、原科研）に所在する放射線標準施設棟（以下、FRS）において、軟エックス線照射装置を用いた校正場を整備し、特性試験を実施するための環境を構築した。

(2) エックス線の線量率及びエネルギーの現場測定

アンケートにより協力が得られた非破壊検査会社、エックス線装置製造会社等の事業場において、エックス線装置から発生する散乱・漏えいエックス線の線量率及びエネルギー分布の実地測定を実施した。測定の実施にあたっては、原科研放射線管理部に属するベテラン職員と若手職員に本研究への協力を依頼し、実地測定での精緻なデータ取得だけでなく、若手職員に対する測定技術の継承を図った。

令和7年度に測定を行った主な事業場は以下の通りである。

- ・鍛鋼品製造会社 非破壊検査部門(A 社)
- ・非破壊検査会社 (B 社、C 社)
- ・食品用エックス線検査装置製造会社 (D 社)
- ・工業用エックス線発生装置製造会社 (E 社)

また、都産技研が保有するハンドヘルド蛍光エックス線分析装置を対象に、装置から放出される直接エックス線の線量率及びエネルギー分布の測定を実施し、利用現場における防護上の課題抽出を行った。

(3) 情報収集活動

放射線防護に関する最新の国際的な動向及び国内の研究状況を把握するため、第8回国際放射線防護委員会シンポジウム(ICRP2025)及び日本保健物理学会第58回研究発表会に参加し、研究報告並びに関連する研究動向及び技術情報に関する情報収集活動を行った。

C. 研究結果

(1) 校正場の整備及び測定器の特性試験

① 校正場の整備

ISO 4037-1:2019 [2]に基づき、FRSにおいて、管電圧 10 kV から 150 kV のエックス線管球を用いたエックス線

狭スペクトルシリーズ (N シリーズ) 校正場を整備した。

本校正場の構築には、タングステンターゲット及び 1 mm 厚のベリリウム窓を備えた軟エックス線発生装置 (YXLON 社製 MG165/4.5) を使用し、アルミニウム、銅、錫の各種フィルタを適切に組み合わせることで線質を調整した。校正場の特性評価にあたっては、基準電離箱線量計を用いた空気カーマ率測定から半価層 (HVL) を測定した。さらに、CdTe スペクトロメータにより実測された波高スペクトルに対し、MAXED アルゴリズムを用いたアンフォールディング処理を施すことで、エックス線フルエンススペクトルを導出した。これらの実測スペクトルに基づき、空気カーマから各線量当量へのスペクトル平均換算係数 h_K を算出することで、校正場の特性を詳細に検証した。

フィルタ厚の調整の結果、大部分の線質において半価層は ISO 4037-1:2019 の許容範囲内に収まったが、低エネルギー側の N-25 及び N-30 については、基準値をわずかに超過した。一方、実測されたエックス線フルエンススペクトル (図 1) から得られた平均エネルギー及びスペクトル分解能は、ISO 4037-1:2019 の参照値と良好な一致を示した。また、エックス線フルエンススペクトルから算出された換算係数は、低エネルギー側の一部を除き、ISO 4037-3:2019 [3]の参照値と 2% 以内の不確かさで一致しており、整備した校正場が ISO 規格に準拠していることを確認した。本成果については、第

12 回放射線安全と計測技術に関する国際会議 (ISORD-12) において口頭発表を行った。

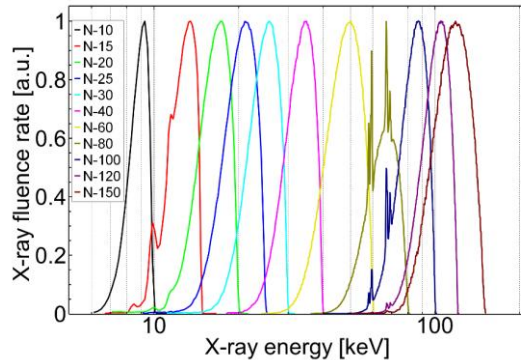


図1 整備した校正場で実測した엑스線フルエンススペクトル

② 測定器の特性試験

原子力施設における高線量場での作業や緊急時対応において、作業者の被ばく低減を目的とした遠隔測定が可能なテレテクタは、安全管理上、極めて重要な役割を担っている。一般に、テレテクタは ^{60}Co 線源（平均エネルギー1250 keV、以下 S-Co）を用いて校正されるが、엑스線作業場における実用性を検証するため、管電圧 150 kV の엑스線高空気カーマ率シリーズ（H-150: 平均エネルギー78 keV）校正場を整備し、原子力科学研究所で利用されている automess 6112D/H [4] 及び GRAETZ X5DE [5] の2機種を対象としてレスポンス特性試験を実施した。

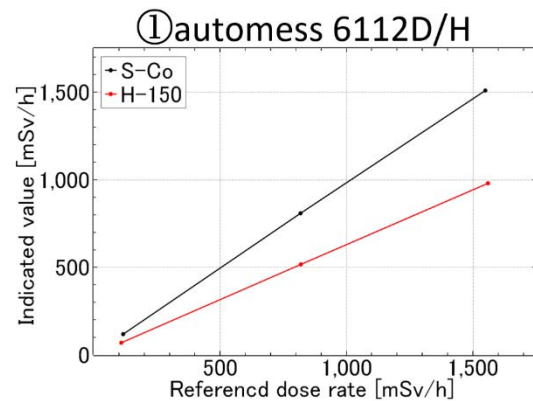


図2 S-Co と H-150 を照射した時における基準線量率と指示値の関係 (automess 6112D/H)

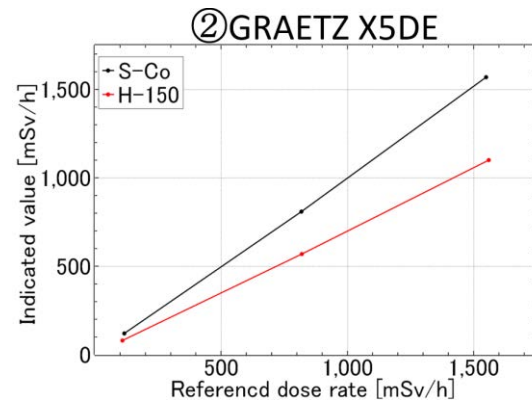


図3 S-Co と H-150 を照射した時における基準線量率と指示値の関係 (GRAETZ X5DE)

試験の結果、両機種ともに S-Co 照射時と比較して、H-150 照射下ではレスポンスが3割から4割程度低下することが判明した。この結果は、엑스線が主体の作業現場でこれらの測定器を利用する際、エネルギー依存性に起因する過小評価のリスクを考慮する必要があることを示唆している。感度低下の要因としては、検出器に採用されている GM 計数管が低エネルギー領域（特に 50 keV 以下）において感度が低下する特性に起因するものと考えられる。

一方で、比較対照として用いた電離箱式

サーベイメータ (アロカ ICS-1323[6]) では、S-Co と H-150 の間でレスポンスの有意な差は認められなかった。

また、基準線量率の増加に対して、指示値は極めて高い直線応答性を示した。これは、線量計の線量率特性試験 (直線性試験) で従来用いられてきたガンマ線源の代替としてエックス線校正場を活用できる可能性を示しており、第 8 回国際放射線防護委員会シンポジウム (ICRP2025) においてポスター発表を行った。

(2) エックス線の線量率及びエネルギーの現場測定

① 測定に使用した測定器

本実地調査におけるエックス線の線量率測定には、検出原理やエネルギー特性の異なる以下のサーベイメータを使用した。

(ア) 応用技研 AE-133B [7]

種類：電離箱式サーベイメータ

(イ) アロカ ICS-1323 [6]

種類：電離箱式サーベイメータ

(ウ) アロカ TCS-1172 [8]

種類：NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ

(エ) 富士電機 ペガサス Pro [9]

種類：CsI シンチレーション及びシリコン半導体式サーベイメータ

応用技研製 AE-133B は、検出器前面の付属フィルタを交換することで、70 μ m 線量当量率 $H(0.07)$ 、3mm 線量当量率 $H(3)$ 及び 1cm 線量当量率 $H^*(10)$ をそれぞれ直読可能である。低エネルギー領域では、同一のエックス線場であっても各線量当量への換算係数が大きく異なる。本測定では散乱エックス線による低エネルギー成分の寄与が大きくなると想定されるため、これら三

種類の線量当量を個別に評価可能な本機を採用した。なお、AE-133B 以外のサーベイメータは 1cm 線量当量率のみの対応であり、特にアロカ製 TCS-1172 については、測定範囲が最大 30 μ Sv/h かつメーカーの取扱説明書においてエックス線は測定対象外とされているが、現場での応答確認を目的として比較対象に加えた。

エックス線のエネルギー分布 (光子フルエンススペクトル) の測定には、以下のスペクトロメータを使用した。

(イ) EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 [10]

素子：CdTe (5 mm $\times$ 5 mm $\times$ 1 mm)

分解能：1.5 keV FWHM @ 122 keV

光子フルエンススペクトルの算出にあたっては、まずモンテカルロ計算コード PHITS [9]を用いてスペクトロメータの光子応答関数を作成した。次に、実測された波高スペクトルに対し、UMG3.3 コードパッケージに含まれる MAXED コードを用いたアンフォールディング処理 [11]を施すことで、真のフルエンススペクトルを導出した。

② 食品用エックス線検査装置の測定

食品用エックス線検査装置の製造会社 (D 社) において、同装置 (管電圧: 25 $\sim$ 75 kV、管電流: 1 $\sim$ 8 mA) からの漏えい線量測定を実施した。本測定では、作業者が検査対象の食品を手作業で搬送して、タングステン製防護カーテンの隙間から漏えいするエックス線による手指の被ばくを想定した。

測定レイアウトを図 3 に示す。搬出口の防護カーテン外側に、線量率測定用の応用技研 AE-133B 及びスペクトル測定用の EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器 (2 台) を設置した。測定条件は管電圧 75 kV、管

電流 3 mA とし、装置内部の線量率を監視するためアロカ ICS-1323 を配置した状態で測定を行った。



図 3 測定風景（左から EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器（2 台）、応用技研 AE-133B）

応用技研 AE-133B による測定の結果、1cm 線量当量率 $H^*(10)$ は $0.29\mu\text{Sv/h}$ であり、漏洩線量は十分に低いことが確認された。また、実測された光子フルエンススペクトルを図 4 に示す。スペクトル解析の結果、フルエンス平均エネルギーは 50 keV であることが確認された。

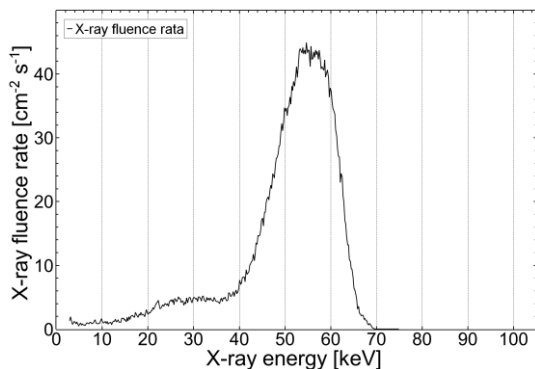


図 4 食品用엑스線検査装置からの漏洩 엑스線のフルエンススペクトル

さらに、検査装置内部を通過する対象物によって散乱条件が変化する。手を模擬したファントムを装置内に挿入した場合、被測定物による直接線の散乱に起因して、漏えい엑스線の線量率は $H^*(10)$ は

$0.51\mu\text{Sv/h}$ へと上昇した。この結果は、検査対象物の材質や形状によって漏えい線量率が変動することを示しており、実作業時における安全管理上の留意点として重要である。

③ 엑스線透過法による非破壊検査を模擬した測定

建築現場等では、コンクリート壁内の鉄筋等の配筋状況を確認するため、パルス엑스線を用いた엑스線透過法が広く利用されている。この作業における被ばくの主因は、コンクリート壁等からの散乱엑스線であると考えられ、そのエネルギー変化やパルス特性が被ばく管理上の測定精度に影響を及ぼす可能性がある。そこで、工業用엑스線発生装置製造会社（E 社）の照射室において、実際の非破壊検査作業を模擬した測定を実施した。

図 5 に示す通り、照射対象のコンクリート板（60cm×60cm×20cm）に対し、1 m の距離から携帯型엑스線発生装置 RIX-200MC（トーレック製：管電圧 200kV、管電流 3mA）を用いて엑스線を照射した。コンクリート板からの散乱엑스線を評価するため、照射対象物から斜め 45 度後方 1 m の地点を測定点とし、線量率を応用技研 AE-133B、アロカ ICS-1323、アロカ TCS-1172 で測定するとともに、光子フルエンススペクトルを EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器で測定した。

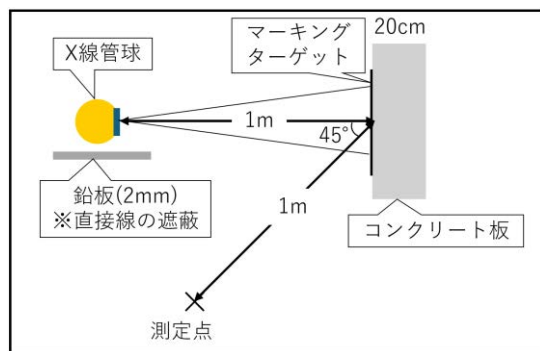


図5 測定のセットアップ

実測されたエックス線フルエンススペクトルを図6に示す。スペクトル上には、周囲の鉛及び錫に由来する特性エックス線のピークに加え、ターゲット材（タングステン）の特性エックス線が後方散乱により低エネルギー側へシフトしたピーク、及びコンクリートによる散乱を主とする連続エックス線の成分が確認された。解析の結果、フルエンス平均エネルギーは 65 keV であった。

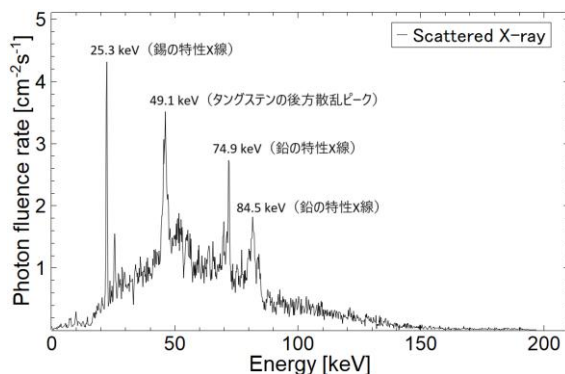


図6 エックス線透過法を模擬した照射のエックス線フルエンススペクトル

線量率の測定結果を表1に示す。電離箱式サーベイメータ間(AE-133B 及び ICS-1323)の指示値の差異は十分に小さく、安定した応答を示した。また、AE-133B により直読した 70 μ m 線量当量率 $H(0.07)$ 、3mm 線量当量率 $H(3)$ 及び 1 cm 線量当量率 $H^*(10)$ の間にも大きな有意差は認められなかった。一

方で、NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ (TCS-1172) の指示値は、電離箱式の測定値 (約 30 mSv/h) に対し、 μ Sv/h オーダーという極めて低い値を示した。これは、パルス状の高線量率エックス線に対してシンチレーション検出器の不感時間や計数損失が顕著に現れた結果であり、現場測定における測定器選定の重要性を端的に示すデータとなった。

表1 エックス線透過法を模擬した照射の線量率

AE-133B	$H^*(10)$:	29.5 mSv/h
	$H(3)$:	32.5 mSv/h
	$H(0.07)$:	32.5 mSv/h
ICS-1323	$H^*(10)$:	33.2 mSv/h
TCS-1172	$H^*(10)$:	7.92 μ Sv/h

④ 放射線透過試験 (RT) を模擬した測定

溶接部の健全性評価に用いられる非破壊試験 (NDT) の中でも、放射線透過試験 (RT) は JIS Z 2305:2024「非破壊試験技術者の資格及び認証」に規定される主要な手法であり、製造業における鋼材溶接部や石油化学プラント等の配管検査に広く採用されている。本研究では、大型機械部品の製造検査や大型施設での配管検査における被ばく事故を想定し、広大な照射室を有する鍛鋼品製造会社 (A 社) 及び非破壊検査会社 (C 社) において、RT を模擬した実地測定を実施した。

図7から図10に示す通り、照射対象となる鋼板または鋼管に対し、所定の距離 (1 m または 0.86 m) に設置した携帯型エックス線発生装置 RF-300EGM (リガク社製: 管電圧 300 kV、管電流 5 mA) からエックス線を照射した。照射方向は実際の RT 作業

を再現し、鋼板に対しては鉛直下方向、鋼管に対しては水平方向とした。

両事業場とも、散乱体（照射対象物）から半径 10 m 以内を立入禁止区域としている実態に合わせ、測定点を対象物から 10 m 地点に設定した。線量率測定は、応用技研 AE-133B、アロカ ICS-1323、アロカ TCS-1172 の 3 機種を基本とし、鋼管の模擬測定では富士電機 ペガサス Pro も併用した。光子フルエンススペクトルの測定には EMF123-0 型 CdTe 放射線検出器を用いた。

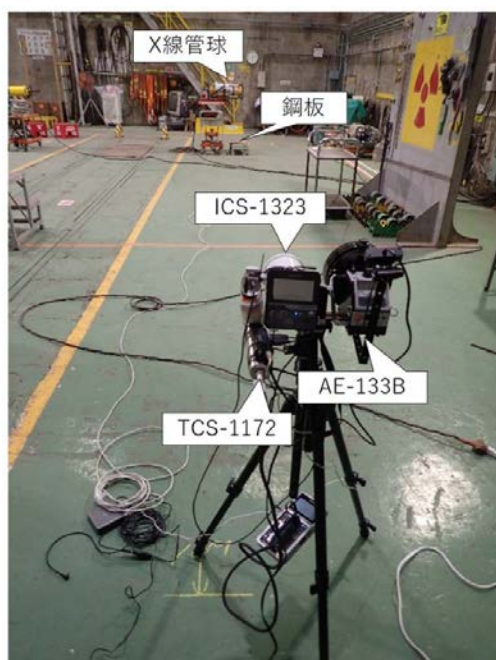


図 7 測定の様子（鋼板）

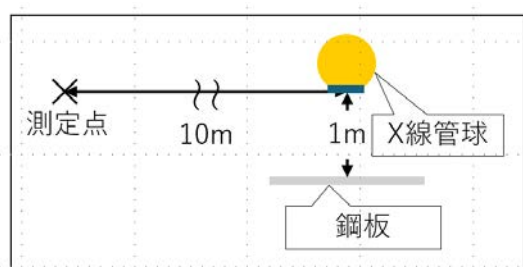


図 8 測定のセットアップ（鋼板）

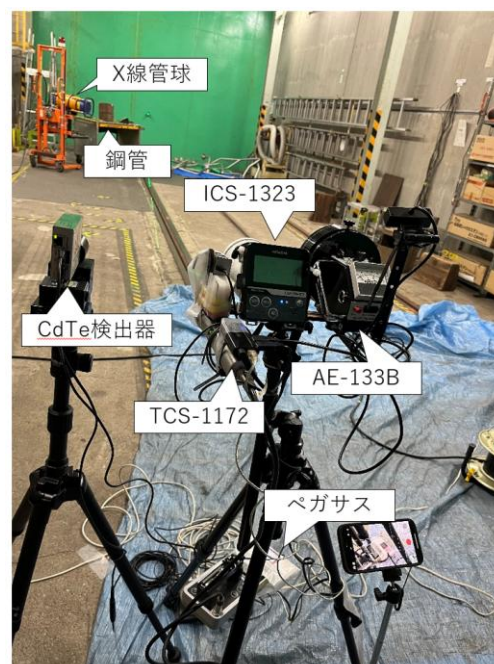


図 9 測定の様子（鋼管）

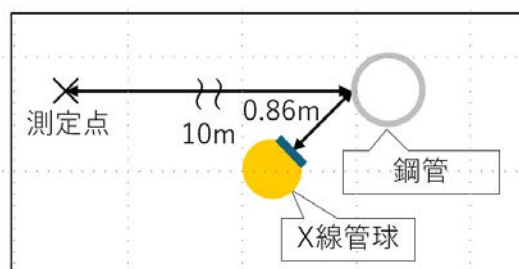


図 10 測定のセットアップ（鋼管）

鋼板の RT を模擬した照射において実測された光子フルエンススペクトルを図 11 に示す。スペクトルには鉛の特性エックス線ピーク及びターゲット材（タングステン）の特性エックス線に起因する後方散乱ピークが確認された。解析の結果、フルエンス平均エネルギーは 85 keV であった。

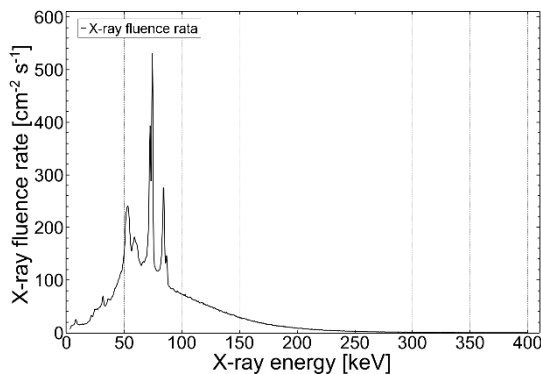


図 11 鋼板の放射線透過試験を模擬した照射でのエックス線フルエンススペクトル

線量率の測定結果を表 2 に示す。電離箱式サーベイメータ間 (AE-133B 及び ICS-1323) では約 30% の差異が認められた。AE-133B により直読した $H^*(0.07)$ 、 $H^*(3)$ 及び $H^*(10)$ の間には顕著な差はなかった。一方、エックス線透過法の模擬測定と同様に、NaI(Tl)シンチレーション式の TCS-1172 は電離箱式と比較して著しく低い指示値を示した。

表 2 鋼板の放射線透過試験を模擬した照射の線量率

AE-133B	$H^*(10)$:	0.370 ± 0.006 mSv/h
	$H^*(3)$:	0.380 ± 0.006 mSv/h
	$H^*(0.07)$:	0.387 ± 0.006 mSv/h
ICS-1323	$H^*(10)$:	0.486 ± 0.006 mSv/h
TCS-1172	$H^*(10)$:	30.0 ± 0.2 μ Sv/h

続いて、鋼管の RT を模擬した照射におけるスペクトルを図 12 に示す。鋼板の測定結果と比較すると、鉛の特性エックス線ピークとタングステン由来の後方散乱ピークの強度比に逆転が見られた。これは照射ジオメトリ及び散乱条件の違いを反映したものであり、その結果、フルエンス平均エネルギーは 70 keV と、鋼板の場合に比べて軟化した。

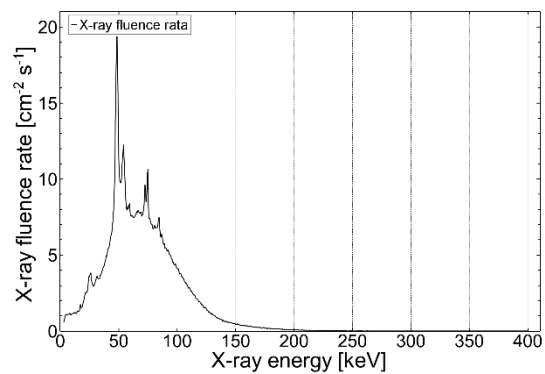


図 12 鋼管の放射線透過試験を模擬した照射でのエックス線フルエンススペクトル

鋼管測定の線量率結果 (表 3) では、電離箱式サーベイメータ間で約 70% の差異が生じた。AE-133B の各線量当量は $H^*(10) < H^*(3) < H^*(0.07)$ の順に高くなり、最大で約 10% の差が確認された。また、本測定においても TCS-1172 に加え、CsI(Tl)シンチレーション及びシリコン半導体式を用いるペガサス Pro においても、電離箱式と比較して指示値が低くなる傾向が確認された。これらは高線量率のパルス照射に対する測定器固有の応答特性 (不感時間等) の影響によるものと考えられる。

表 3 鋼板の放射線透過試験を模擬した照射の線量率

AE-133B	$H^*(10)$:	0.311 ± 0.012 mSv/h
	$H^*(3)$:	0.333 ± 0.009 mSv/h
	$H^*(0.07)$:	0.345 ± 0.008 mSv/h
ICS-1323	$H^*(10)$:	0.526 ± 0.006 mSv/h
TCS-1172	$H^*(10)$:	30.0 ± 0.2 μ Sv/h
ペガサス Pro	$H^*(10)$:	21.1 ± 0.4 μ Sv/h

⑤ 被ばく時のジオメトリの影響評価

エックス線透過法や放射線透過試験 (RT) に伴う被ばく事故においては、エックス線発生装置の近傍で被ばくが生じる。この際、作業者の位置や装置との距離によっては不均等な被ばくとなる可能性が高い。そこで、

非破壊検査会社（D 社）において、エックス線発生装置の照射高さ（垂直方向の距離）を変化させた際の、定点における線量率の変動を測定し、事故時の被ばくジオメトリが線量評価に与える影響を調査した。

図 13 及び図 14 に示す通り、鉛板で全面が遮蔽された照射室（300 cm × 300 cm × 300 cm）において、携帯型エックス線発生装置 RF-300EGM（リガク社製：管電圧 200 kV、管電流 5 mA）を用い、鉛床へ向けてエックス線を照射した。照射高さを 60 cm から 100 cm まで段階的に変化させ、一定高さの測定点において線量率を測定した。使用した測定器は、応用技研 AE-133B、アロカ ICS-1323、及び富士電機 ペガサス Pro である。

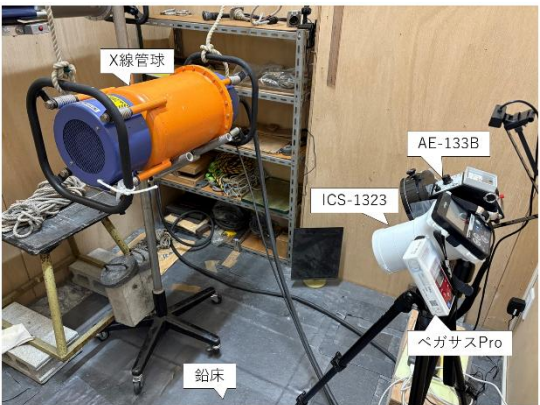


図 13 測定の様子

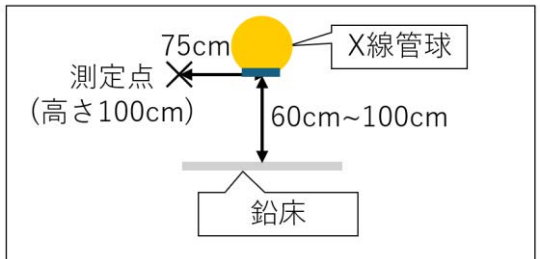


図 14 測定のセットアップ（周囲は鉛板）

エックス線管球の照射高さが 60 cm、80 cm 及び 100 cm の場合の線量率測定結果を、それぞれ表 4、表 5 及び表 6 に示す。電離

箱式サーベイメータ間（AE-133B 及び ICS-1323）の指示値には、約 30% の差異が認められた。

特筆すべき点として、いずれの照射高さにおいても、AE-133B で直読した各線量当量は $H^*(10) < H(3) < H(0.07)$ の順に顕著に増大し、最大で約 2 倍の差が生じた。この要因としては、照射室全体が鉛板で構成されているため、散乱エックス線に加えて鉛特有の低エネルギー特性エックス線（L-X 線：約 10.5 keV 等）が高強度に混在し、70 μ m 線量当量への寄与が相対的に増大したためと考えられる。

また、照射高さ 60 cm 及び 80 cm における電離箱式サーベイメータの指示値は、照射高さ 100 cm の場合と比較して約 10% 低下した。これは、測定点に対してエックス線管球が相対的に低い位置に配置されたことで、管球自体が遮蔽体（自己遮蔽）となり、散乱エックス線の一部をカットした幾何学的影響によるものと推察される。

表 4 X 線管球の高さ 60cm の場合の線量率

AE-133B	$H^*(10)$:	18.4 $\pm$ 0.8 mSv/h
	$H(3)$:	28.0 $\pm$ 0.6 mSv/h
	$H(0.07)$:	39.2 $\pm$ 0.7 mSv/h
ICS-1323	$H^*(10)$:	24.4 $\pm$ 0.1 mSv/h
ペガサス Pro	$H^*(10)$:	30.4 $\pm$ 0.4 μ Sv/h

表 5 X 線管球の高さ 80cm の場合の線量率

AE-133B	$H^*(10)$:	19.5 $\pm$ 0.8 mSv/h
	$H(3)$:	27.3 $\pm$ 0.6 mSv/h
	$H(0.07)$:	37.0 $\pm$ 0.7 mSv/h
ICS-1323	$H^*(10)$:	24.2 $\pm$ 0.1 mSv/h
ペガサス Pro	$H^*(10)$:	30.4 $\pm$ 0.4 μ Sv/h

表 6 X 線管球の高さ 100cm の場合の線量率

AE-133B	$H^*(10)$:	23.2 $\pm$ 0.7 mSv/h
	$H(3)$:	30.6 $\pm$ 0.8 mSv/h

	$H'(0.07) : 40.0 \pm 0.6 \text{ mSv/h}$
ICS-1323	$H^*(10) : 27.5 \pm 0.2 \text{ mSv/h}$
ペガサス Pro	$H^*(10) : 28.7 \pm 0.7 \text{ } \mu\text{Sv/h}$

⑥ 照射する物質の違いによるスペクトル
及び線量率への影響評価

前節の「被ばく時のジオメトリの影響評価」において、鉛の特性エックス線 (L-X 線) が浅部線量当量の評価に大きく寄与する可能性が示唆された。これを受け、非破壊検査会社 (E 社) の照射室において、図 15 に示す通り、床材を「鉛」及び「コンクリート」に変更し、散乱体の違いがエックス線場の物理的特性に及ぼす影響を比較検証した。エックス線発生装置は、前節と同様に携帯型エックス線発生装置 RF-300EGM (リガク社製：管電圧 200 kV、管電流 5 mA) を使用した。

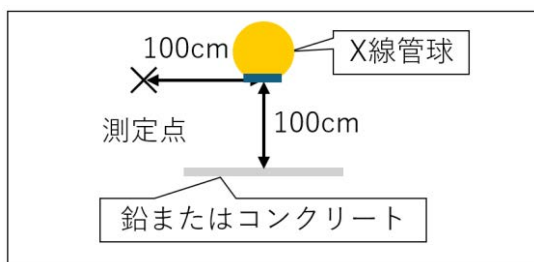


図 15 測定のセットアップ

図 16 及び図 17 に、鉛床及びコンクリート床に向けてエックス線を照射した際に得られた光子フルエンススペクトルを示す。床材の材質によって、スペクトルの形状に顕著な差異が確認された。鉛床の場合 (図 16)、低エネルギー領域において鉛の特性エックス線 (L-X 線) に由来する 10.9 keV 及び 12.9 keV の明瞭なピークが確認された。この低エネルギー成分の存在は、前節で認められた $H^*(10)$ 、 $H(3)$ 及び $H(0.07)$ の指示値間の有意な乖離を物理的に裏付けるも

のである。一方、コンクリート床の場合 (図 17) は、このような低エネルギーの鋭いピークは見られず、散乱による連続エックス線が主成分となっている。

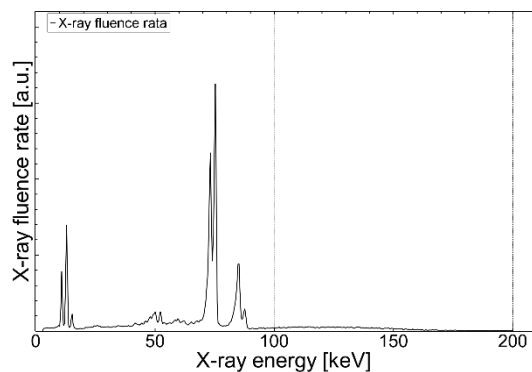


図 16 鉛床への照射で測定されたエックス線フルエンススペクトル

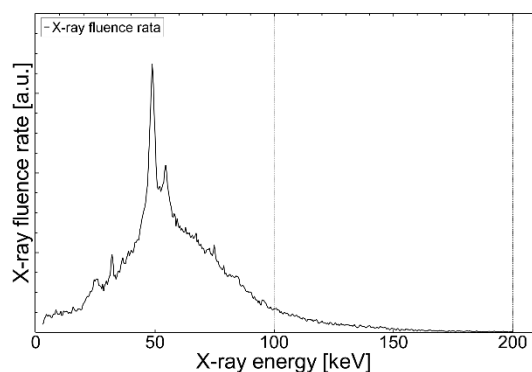


図 17 コンクリート床への照射で測定されたエックス線フルエンススペクトル

鉛床及びコンクリート床への照射時における線量率測定結果を、表 7 及び表 8 に示す。鉛床への照射では、前節の結果と同様に $H^*(10) < H'(3) < H'(0.07)$ の順に線量率が大きくなる傾向が再現された。これに対し、コンクリート床への照射では各線量当量間に顕著な差は見られず、ほぼ同等の値を示した。

また、同一の照射条件であっても、床材を鉛からコンクリートに変更することで、線量率 ($H^*(10)$) が最大で約 2 倍に増大する

ことが確認された。これは、原子番号の大きい鉛では光電吸収の割合が高いためエックス線が吸収されやすいのに対し、コンクリート（軽元素主体）ではコンプトン散乱の寄与が相対的に大きくなり、測定点への散乱成分が増大したためと考えられる。

表 7 鉛床への照射時の線量率

AE-133B	$H^*(10)$: 18.0 ± 0.6 mSv/h
	$H(3)$: 25.0 ± 0.6 mSv/h
	$H(0.07)$: 31.5 ± 0.8 mSv/h
ICS-1323	$H^*(10)$: 22.2 ± 0.1 mSv/h
TCS-1172	$H^*(10)$: 12.7 ± 0.1 μ Sv/h

表 8 コンクリート床への照射時の線量率

AE-133B	$H^*(10)$: 42.2 ± 0.7 mSv/h
	$H(3)$: 44.7 ± 0.8 mSv/h
	$H(0.07)$: 45.0 ± 0.6 mSv/h
ICS-1323	$H^*(10)$: 45.8 ± 0.1 mSv/h
TCS-1172	$H^*(10)$: 12.8 ± 0.4 μ Sv/h

⑦ ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置から放射される直接 X 線の測定

ハンドヘルド蛍光エックス線分析装置は、金属材料の元素分析等に広く利用されているが、その使用形態から、誤操作等による偶発的な被ばくのリスクが懸念されている。実地調査を行った各事業場との意見交換においても、同装置による指先等の局所被ばくに対する不安の声が多く聞かれた。そこで、都産技研が保有するハンドヘルド蛍光エックス線分析装置（Thermo Scientific 社製 Niton XLt 797）を用い、装置から放出される直接エックス線の光子フルエンススペクトル及び線量率を測定した。

当該装置は構造上、正面に対して斜め 24° の方向にエックス線が照射される。そのため、図 18 に示す通り、各測定器を照射

軸に合わせて斜め方向に配置し、精密な測定を試みた。



図 18 測定の様子（スペクトロメーター）

図 19 に、実測された直接エックス線の光子フルエンススペクトルを示す。スペクトルには、ターゲット材であるモリブデン (Mo) の特性エックス線ピーク及び連続エックス線の分布が顕著に確認された。解析の結果、フルエンス平均エネルギーは 28 keV であり、これまでに調査した非破壊検査等の散乱エックス線場と比較して著しく軟らかい線質であることが判明した。

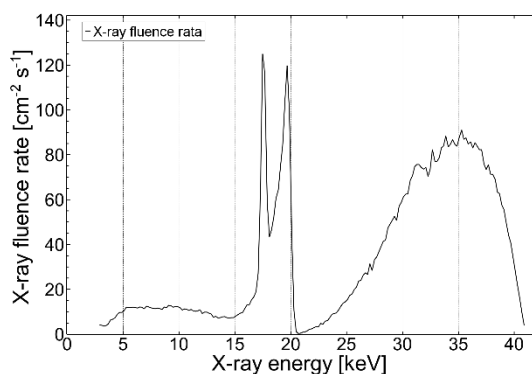


図 19 ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置の直接 X 線のエックス線フルエンススペクトル

照射距離 53 cm における直接エックス線の線量率測定結果を表 8 に示す。本装置のエックス線エネルギーは低エネルギー成分が支配的であるため、1 cm 線量当量率 $H^*(10)$ よりも、70 μ m 線量当量率 $H(0.07)$ の

指示値が有意に高くなることが定量的に確認された。この結果は、ハンドヘルド蛍光エックス線分析装置による被ばく事故が発生した場合、全身被ばくだけでなく、皮膚組織に対する線量評価が極めて重要であることを示唆している。また、これほど低エネルギーの領域では、汎用されるサーベイメータのエネルギー依存性の影響を慎重に考慮する必要があることが浮き彫りとなった。

表 8 ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置から放射される直接エックス線の線量率
(照射距離 53cm)

AE-133B	$H^*(10): 78.9 \pm 1.1 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ $H(0.07): 99.6 \pm 12.7 \text{ } \mu\text{Sv/h}$
---------	---

(3) 情報収集活動

本年度は、国際シンポジウム及び国内学会への参加を通じて、最新の防護知見の収集及び研究成果の公表を行った。活動の詳細は以下の通りである。

① 第 8 回国際放射線防護委員会シンポジウム (ICRP2025)

本シンポジウムにおいて、高線量率環境で使用される遠隔測定器 (テレテクタ) のガンマ線場とエックス線場における応答評価に関する研究成果について、ポスター発表を実施した。あわせて、放射線量計測に関連するセッションを中心に、エックス線場の空間分布やエネルギー分布の把握に資する最新情報の収集を行った。

シンポジウム全体としては、実測ベースの検出器応答に関する報告は限定的であったものの、デジタル技術の進展に伴うモンテカルロ・シミュレーションの高度化や、生成 AI の活用に関する報告が多数なされ

ていた。これらの知見は、複雑なエックス線場の特性把握において、実測データとシミュレーションを統合的に活用する手法の有用性を示唆するものであった。

② 日本保健物理学会第 58 回研究発表会

工業用エックス線発生装置製造会社で実施した、エックス線透過法による非破壊検査の模擬測定成果について、「X 線透過法における散乱線特性と線量評価の検討」と題してポスター発表を行った。

発表に際し、国内の線量計メーカーの技術者と意見交換を実施した。その結果、現状ではサーベイメータ、電子式個人線量計、及び受動型個人線量計の種類を問わず、パルス状エックス線照射に対する試験が国内メーカーにおいて標準的には実施されていない実態が浮き彫りとなった。一方で、メーカー側もパルスエックス線場における適切な評価の必要性を強く認識しており、試験環境が整備されれば積極的に性能試験を実施すべきとの意向を確認した。このことは、本研究で整備した校正場や測定データが、今後の国内における測定器の信頼性向上に寄与する可能性を示すものである。

D. 考察

・測定用サーベイメータの選定

本研究では、エックス線を利用する多様な産業現場を想定し、装置からの漏えいエックス線及び事故発生時に想定される散乱エックス線 (低エネルギー主体の場) を対象とした実測を行った。その結果、検出原理の異なるサーベイメータ間で指示値に顕著な差異が生じることを確認した。

特に、エックス線透過法による非破壊検査や放射線透過試験 (RT) を模擬した現場

測定において、電離箱式サーベイメータが mSv/h オーダーの線量率を指示する測定点において、 NaI(Tl) シンチレーション式や CsI(Tl) シンチレーション及びシリコン半導体式サーベイメータは $\mu\text{Sv/h}$ オーダーを指示するにとどまり、過小評価が生じることが明らかとなった。この要因としては、非破壊検査用エックス線発生装置特有の高線量率パルス照射に対し、計数型検出器（シンチレーション式等）においてパイルアップや不感時間（dead time）による計数損失が発生したこと、及び波高選別しきい値の設定により低エネルギー成分が棄却されたことが考えられる。

また、校正場を用いた特性試験において、GM 計数管を備えたテレテクタが ^{60}Co ガンマ線（S-Co）とエックス線（H-150）でレスポンスに有意な差を示したことも考慮すると、現場のエックス線エネルギー及び照射形態（パルスか連続か）に応じた測定器の選定が極めて重要である。以上のデータから、産業用エックス線作業の現場管理においては、エネルギー依存性が小さく、かつ高線量率パルス照射下でも飽和しにくい電離箱式サーベイメータの選択が重要であると結論付けられる。

・サーベイメータによる測定の信頼性

エックス線装置からの漏えいエックス線、及び事故時に想定される散乱エックス線主体の環境は、校正場での校正・試験に用いられるエックス線のエネルギー分布とは異なる特徴を持つ。本研究で使用した電離箱式サーベイメータのエネルギー特性は、メーカー仕様において、AE-133B が $\pm 12\%$ （80 keV $\sim$ 3 MeV、測定下限：60 keV）、ICS-1323 が $\pm 15\%$ （30 keV $\sim$ 1.5 MeV）と公表されて

いる。そこで、実地測定で得られた光子フルエンススペクトルを解析し、これらの測定器が良好な応答を示すエネルギー領域で適切に運用されているかを検証した。

エックス線透過法及び放射線透過試験（RT）を模擬した現場測定では、ターゲット（タングステン）由来の特性エックス線ピークが後方散乱により低エネルギー側にシフトし、直接エックス線よりも軟らかい線質となっていることが確認された。しかし、フルエンス平均エネルギーは 65 keV から 85 keV の範囲にあり、かつ分布は連続的で極端に低いエネルギー成分が支配的ではないことから、電離箱式サーベイメータのエネルギー特性が良好な領域で測定が行われたと判断できる。

なお、同一地点における $H^*(10)$ の測定において、AE-133B よりも ICS-1323 の指示値が高くなる傾向が認められた。これは、ICS-1323 の測定下限エネルギー（30 keV）が AE-133B（60 keV）よりも低く、散乱線に含まれる低エネルギー成分をより測定した結果であると考えられる。特に、鉛床照射時の測定では、1 m 程度の距離において 10.9 keV 及び 12.9 keV の特性エックス線（L-X 線）が明確に確認されており、事故時の線量評価においては、これら低エネルギー成分の影響を十分に考慮する必要がある。

食品用エックス線検査装置からの漏えいエックス線についても、フルエンス平均エネルギーは 50 keV であり、分布が連続であることから、AE-133B の測定下限（60 keV）を考慮しても、メーカー提供のエネルギーレスポンスデータに基づけば良好な応答領域での測定が可能であると判断される。

一方、ハンドヘルド蛍光エックス線分析

装置から放射される直接エックス線は、フルエンス平均エネルギーが 28 keV と極めて低く、ターゲット (Mo) の特性エックス線 (K-X 線) に由来する 17.4 keV 及び 19.6 keV に鋭いピークを有する。このエネルギー領域は、本研究で使用した両機種 of 測定下限を大きく下回る成分を多く含むため、汎用的な電離箱式サーバイメータを用いて当該装置の直接線を精度良く測定・評価することは困難であると考えられる。こうした特殊な線源に対しては、エネルギー特性を考慮した補正や、より低エネルギー側に感度を持つ測定器の選定が不可欠である。

- ・エックス線透過法による非破壊検査及び放射線透過試験での作業者の被ばく管理
エックス線透過法による非破壊検査及び放射線透過試験 (RT) を模擬した現場測定の結果、AE-133B で直読した 70 μ m 線量当量率 $H(0.07)$ 、3mm 線量当量率 $H(3)$ 及び 1 cm 線量当量率 $H^*(10)$ の指示値の差は 10%程度にとどまった。

一般に、立入禁止区域外の線量率を監視して公衆や作業者の安全を確保するというサーバイメータの運用実態から、代表として $H^*(10)$ を測定・管理することで、皮膚や目の水晶体の組織線量についても十分かつ適切に網羅・管理できていると結論付けられる。

一方で、今回の実測により、照射点から 10 m 離れた地点であっても、照射の瞬間には非常に高い線量率が記録されることが定量的に示された。実際の現場作業において、作業員は個人線量計を装着して積算被ばく線量を把握しているが、RT 等の作業は短時間に高線量の照射を繰り返す特性を持つ。そのため、作業時は単なる測定値の把握に

とどまらず、1 分間の照射で被ばくする 1 cm 線量当量 (RT の場合で約 9 μ Sv) を念頭に置き、1 日あたりの撮影回数や照射時間を調整することで、深部、皮膚、水晶体の各線量当量の線量限度に対して十分な余裕を持った作業計画を立てることが、被ばく低減管理において極めて重要である。

E. 結論及び今後の課題

本研究は、製造業及び非破壊検査業におけるエックス線被ばく事故の防止、並びに作業者の被ばく線量低減を最終的な目標として実施している。エックス線作業主任者の能力向上に資する実効性の高い教育内容を策定するため、実際の作業環境におけるエックス線場の物理的特徴 (線量率及びエネルギー分布) を詳細に把握し、測定器の特性に基づいた適切な作業管理手法を提示することを目指した。令和 7 年度の研究では、以下の 3 項目を重点的に実施した。

- ・校正場の整備と特性試験：
ISO 4037-1:2019 に準拠したエックス線校正場を整備し、現場で使用される各種サーバイメータ (電離箱式、シンチレーション式等) のエネルギー及び線量率に対する応答特性を評価した。
- ・現場における実測：
食品用エックス線検査装置、エックス線透過法による非破壊検査、放射線透過試験 (RT)、及びハンドヘルド蛍光エックス線分析装置の運用現場において、散乱線・漏えい線の線量率及び光子フルエンススペクトルの実測を完遂した。
- ・情報収集と成果発信：
内外の学会 (ICRP2025、日本保健物理学会等) への参加を通じ、最新の知見収集と研究成果の発表を行った

令和 7 年度の主要な成果として、次の安全管理上の知見が得られた。

- ・ サーベイメータ選定の重要性：
現場測定では、パルス照射される高線量率のエクス線に対し、シンチレーション式サーベイメータは計数損失や低エネルギー閾値の影響により、線量を過小評価することを確認した。GM 計数管式サーベイメータも校正場による測定器の特性試験で応答が 3~4 割低下する場合があるため、過小評価を防ぐために電離箱式サーベイメータの選択が不可欠である。
- ・ エネルギー分布の影響：
散乱線のフルエンス平均エネルギーは現場により 28~85 keV と幅広いことがわかった。通常の作業者の被ばく管理においては $H^*(10)$ を測定することで皮膚や目の水晶体に対しても適切に管理していると考えられるが、鉛を用いた遮へい環境下での被ばく事故、ハンドヘルド蛍光 X 線分析装置から放射される直接エクス線での被ばく事故等においては、水晶体や皮膚への影響を適切に評価するため、 $H^*(10)$ だけでなく $H'(0.07)$ 等の評価も考慮すべきである。

本研究で得られた実環境のスペクトルデータや測定器の応答特性に関する知見は学術的に価値があるとともに、作業主任者講習等の教育資料として極めて有効な技術的根拠となる。次年度は、これらの知見を論文投稿等により広く公表するとともに、実際の教育訓練プログラムへと実装し、現場における被ばく事故回避と実効性のある防護措置の普及を図る。

今後の課題として、日本保健物理学会で

の意見交換により、国内の線量計に対するパルス照射試験が実施されていないことが浮き彫りとなった。したがって、国内におけるパルス照射可能な試験環境の整備及び標準的な評価手法の確立が求められる。さらに、現場での使用例が確認されたエネルギー補償型 GM 計数管式サーベイメータ等についても、詳細な特性把握を進め、より網羅的な作業管理指針の策定を目指す。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- [1] T. Tsuji, H. Yoshitomi, F. Sato, Y. Tanimura: “Establishment of a low-energy X-ray narrow-spectrum series calibration field based on ISO 4037:2019”, RADIOISOTOPES (in press)

2. 学会発表

- [1] T. Tsuji, H. Yoshitomi, F. Sato, Y. Tanimura: “Establishment of a low-energy X-ray narrow-spectrum series calibration field based on ISO 4037:2019” The 12th International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology, 2025.7.2. (Tokyo, Japan)
- [2] T. Tsuji, H. Yoshitomi, Y. Kageyama, Y. Tanimura: “Response evaluation of telescopic survey meters in an X-ray calibration field as an alternative to high-intensity gamma sources” 8th International Symposium on the System of Radiological Protection,

2025.10.7. (Abu Dhabi, UAE)

- [3] 辻智也、古渡意彦、片岡憲昭、本田文弥、谷村嘉彦:「線透過法における散乱線特性と線量評価の検討」日本保健物理学会第 58 回研究発表会、2025 年 12 月 19 日 (東京)

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, 富士政広, 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] ISO. 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 1: Radiation characteristics and production methods. ISO 4037-1 (2019).
- [3] ISO. 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 measurements of their response as a function of energy and angle of incidence. ISO 4037-3 (2019).

- [4] “TELETECTOR 6112D/H”, Automation und Messtechnik GmbH, https://www.automess.de/assets/documents/en/Prospekt_6112D_E.pdf, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [5] “GRAETZ Telescope Probe DE”, GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH, <https://graetz.com/en/products/telescopes/graetz-telescope-probe-de/>, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [6] “電離箱式サーベイメータ UCREST ICS-1323”, アロカ株式会社, <https://www.aloka.co.jp/radiation/surveymeter/ics1323/>, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [7] “電離箱式サーベイメータ AE-133B”, 株式会社応用技研, <http://www.o-yogiken.co.jp/AE133Bcatalog.html>, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [8] “ γ 線用シンチレーションサーベイメータ LUCREST TCS-1172”, アロカ株式会社, <https://www.aloka.co.jp/radiation/surveymeter/ics1323/>, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [9] “ペガサス Pro”, 富士電機株式会社,

- https://www.fujielectric.co.jp/products/radiation/servy/doc/pegasus_pro.pdf, (参照 2026 年 2 月 24 日).
- [10] “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 2026 年 2 月 24 日).
- [11] 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).

Ⅲ. 分担研究報告（コンテンツ教材整備）

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・講習資料の整備

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 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 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）

研究要旨

本分担研究では、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使用して作業を行う労働者に対し、エックス線装置を用いる透過写真撮影業務に従事する前の特別の教育について教育・コンテンツを整備した。特に、主任者等の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の一環とし、事業場における対面での講義に用いることのできるスライドを整備した。スライドはすべて教科・内容でユニット化し、必要な箇所を抜き出して講義で使える形に整備している。併せて、特別の教育を要しない事業場で用いることが可能な講義用スライドを整備するとともに、注意喚起に資する短時間の動画を試作した。

A. 研究目的

本調査研究では、厚生労働省労災疾病臨床研究補助金事業において、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、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。

当該研究は、主任者等の安全衛生に係る

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ことを目指しており、

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：主任者及び作業者に対する効果的な教育・講習パッケージの開発

のサブテーマを設定し、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

制度に係る提案を行うものである。

本分担研究では、について、並行して進めている調査①及び②で得られた内容を反映させる形で開発③を進めており、その成果の一部として、後述の特別の教育に係る安全教育・講習で用いる講義資料の整備について述べる。

令和 8 年 2 月時点で、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。この特別の教育は、令和 7 年 1 0 月の電離放射線障害防止規則改正にともない、令和 8 年 4 月 1 日より、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加えて、エックス線装置又はガンマ線照射装置を取り扱う労働者に対しても実施が求められている。

特別の教育の科目は、改正後の「透過 写真撮影業務特別教育規程」(以下、「特別教育規程」という。)(昭和 50 年労働省告示第 50 号)に示される通りであり、

- 一 エックス線装置又はガンマ線照射装置を取り扱う業務に係る作業の方法に関する知識
 - 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に関する知識
 - 三 電離放射線の生体に与える影響
 - 四 関係法令
- について所定の時間以上行う。

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・講習パッケージの一つとして、対面又はオンラインでの講義に用いるスライド資料を整備する。本調査研究における教育・講習パッケージの整備は、国際原子力機関 (IAEA) の提唱するグレーデッドアプローチを採用する。具体的には、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ことから、画一的な教育・講習プログラムを当てはめて、不要な労働負荷を増やすことなく、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教育・講習パッケージの整備を行うものである。

B. 研究方法

本調査研究における**開発③：主任者及び作業員に対する効果的な強力・講習パッケージの開発**において、従来の放射線透過写真撮影業務に初めて従事する主任者及び作業員を対象として、対面又はオンラインによる講義を想定した講義スライドを整備した。講義スライドは前述の科目に従い、以下の通りの範囲を定め、各範囲に対して数分から 1 0 分程度を目安とするモジュールに分割した。各科目の範囲に関する内容について、スライド作成前について議論した後にスライド作成を進めた。

科目
一 エックス線装置又はガンマ線照射装置を取り扱う業務に係る作業の方法に関する知識
範囲
1. 透過撮影作業の手順
2. 電離放射線性質と測定
3. エックス線作業主任者の日常業務及び年間スケジュール

4. 被ばく防止の方法
5. 事故時の措置
科目
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
範囲
1. エックス線装置の原理
2. エックス線装置のエックス線管
3. 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
4. エックス線装置の操作及び点検
5. エックス線装置の安全警報装置
科目
三 電離放射線の生体に与える影響
範囲
1. 電離放射線の性質
2. 電離放射線と生体組織・細胞との反応
3. 電離放射線による健康被害とその種類
4. 労災認定（仮）
科目
四 関係法令
範囲
労働安全衛生法
労働安全衛生規則
電離放射線障害防止規則
電離放射線防止規則改正について
基発について

今年度については法令改正前の放射線透過写真撮影業務に係る範囲で整備を進めた。また、上記の教育・講習コンテンツ範囲モジュールは令和8年2月時点で、拡張・見直しを行っている。

また、労働安全衛生教育のコンテンツとして、完成済み範囲モジュールから編集して30分程度の講習コンテンツの整備も行った。エックス線作業主任者の選任を要しない、製造業における安全衛生教育に係る教育・講習に利用可能なコンテンツについても試作した。

C. 検討結果及び考察

本分担研究では、放射線透過写真撮影業務に初めて従事する主任者及び作業者を対象として、対面又はオンラインによる講義を想定した講義スライドを整備した。整備した講義スライドは別添1のとおりである。講義スライドは、各科目の範囲をモジュール化して整備し、事業場の事情に応じた講義の選択ができるようにした。

今回整備した範囲モジュール式の教育・講習コンテンツでは、昨年度及び今年度のアンケート調査等の結果を反映しており、科目「一 エックス線装置又はガンマ線照射装置を取り扱う業務に係る作業の方法に関する知識」における事故時の措置について内容を充実させた。具体的には、範囲「5. 事故時の措置」について、以下のサブモジュールを整備し、現場の放射線業務従事者のニーズに応えられるようにした。

科目
一 エックス線装置又はガンマ線照射装置を取り扱う業務に係る作業の方法に関する知識
範囲
5. 事故時の措置
5-1. 事故防止
5-2. 緊急時における対応
5-3. 緊急措置
5-4. 被ばく事事故例

5-5. 労基署の指摘

また、1. 透過写真撮影の手順については、フィールド撮影のみならず、三次元 CT 装置を用いる場合、及び食品検査装置を用いる場合の使用方法についても講義スライドを整備した。

関係法令についてはいくつかのバージョンを整備し、事業場における種々の要望に柔軟に応えられるようにした。

具体的には、

- ・ 60分バージョン
- ・ 5分要約バージョン
- ・ 主任者不要バージョン
- ・ 改正ポイントバージョン

である。

これらについて、同様に別添で示す。

D. 本調査のまとめ

本分担研究では、多種多様な事業場のニーズに応えられるようなベースを準備する目的で、放射線透過写真撮影業務に従事する主任者及び作業員への教育・講習コンテンツを整備した。講義コンテンツ整備はグレーディドアプローチに基づいて行われ、講義時間として数分から十数分に相当する科目・範囲のモジュールとして単位化した。

今後の検討課題として、(1) 講習モジュールの拡張、及び(2) 講義・講習パッケージのオンライン対応化、がある。

今年度整備した講義モジュールは、放射線透過写真撮影業務に対応できる基本モジュールという位置づけである。基本モジュールの内容の充実は重要であるが、本研究事業で実施したアンケート及び現地ヒアリング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

については特に重要であろう。講習モジュールの観点から、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についてある程度統一的な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について、来年度も講義モジュールを整備する。また、法令改正に対応し、透過写真撮影に関連した内容のみならず、エックス線照射に係る業務やエックス線装置の年次点検が教育の対象となる。これらに対応可能な講義モジュールの整備を進める。

講義・講習パッケージのオンライン対応化について、特に法令改正等についてはオンライン化の対象として有望であろう。オンデマンド講義の場合、動画コンテンツとして整備すれば事業場の教育・講習の導入コストが大幅に引き下げられることとなる。今年度はショート動画を試作したが、次年度はより長時間の動画整備を検討する。

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

別添 4

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

H. 引用文献

なし

令和7年度厚生労働省補助金事業

QST

一 エックス線装置又はガンマ線
照射装置を取り扱う業務に係る
作業の方法に関する知識

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果

1

1

講習の内容

QST

(1) 透過撮影等作業の手順

(2) 電離放射線の性質と測定

(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール

(4) 被ばく防止の方法

(5) 事故時の措置

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果

3

3

講習の内容

QST

(1) 透過撮影等作業の手順

(2) 電離放射線の性質と測定

(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール

(4) 被ばく防止の方法

(5) 事故時の措置

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果

2

2

講習の内容

QST

(1) 透過撮影等作業の手順

(1-1-1) 透過写真撮影

(2) 電離放射線の性質と測定

(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール

(4) 被ばく防止の方法

(5) 事故時の措置

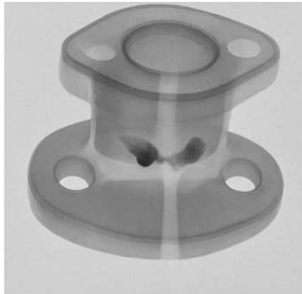
エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果

4

4

透過写真撮影の目的

- 材料・製品の内部構造や欠陥を検出するための技術
- 製造工程における品質保証、安全性確認、信頼性評価に活用
- 破壊せずに内部を可視化できるため、コスト削減と効率化に貢献



製品の外観写真
(例：溶接部、鋳造品など)

透過写真画像
(内部の欠陥が見える)

エフエス製作所 自主生産品に対する放射線検査に関する研究 (240402-01) 調査成果

5

非破壊検査における透過写真撮影の種類

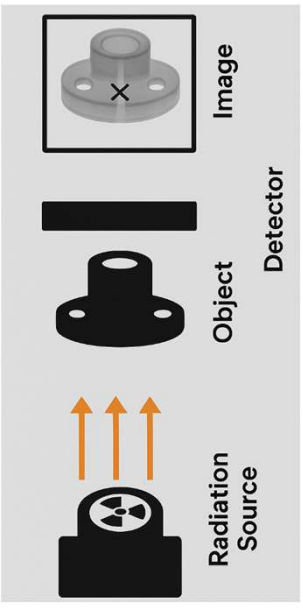
撮影方式	特徴	用途例
フィルム撮影	高解像度、現像が必要	精密部品の検査
IP撮影	デジタル化、繰り返し使用可	現場検査
フラットパネル	高速・高精度	自動化ライン
CT撮影	断層画像、3D解析	複雑形状の内部解析

エフエス製作所 自主生産品に対する放射線検査に関する研究 (240402-01) 調査成果

7

非破壊検査における透過写真撮影の概要

- ・X線やガンマ線を対象物に照射
- ・透過した放射線をフィルムやデジタル検出器で受け取り、像を記録
- ・濃淡の違いから内部構造や欠陥を判別



装置設置 → 照射 → 検出 → 像確認 → 記録

エフエス製作所 自主生産品に対する放射線検査に関する研究 (240402-01) 調査成果

6

比較表：透過写真撮影の方式別比較

撮影方式	解像度	携帯性	コスト	特徴・備考
フィルム撮影	◎ (高)	△ (やや重)	△ (現像必要)	高精度だが現像・保管が必要
IP撮影 (イメージングプレート)	○ (中)	○ (軽量)	○ (中)	デジタル化可能、繰り返し使用可
フラットパネル	◎ (高)	△ (装置大)	× (高価)	高速・高精度、リアルタイム表示
CT撮影	◎ (最高)	× (固定)	× (非常に高)	3D解析可能、複雑形状に対応

エフエス製作所 自主生産品に対する放射線検査に関する研究 (240402-01) 調査成果

8

99

透過写真撮影におけるJIS規格

JIS Z 3104：鋼溶接部の放射線透過試験方法
工業用透過写真撮影の基本規格

JIS Z 3105：アルミニウム溶接継手の放射線透過試験方法

エフエス製作所主任技術者に対する放射線検査に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

9

JIS Z 3104：JIS Z 3104に基づいた試験片の配置例



エフエス製作所主任技術者に対する放射線検査に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

11

11

JIS Z 3104：JIS Z 3104に基づいた試験片の配置例

本文構成：
目的：透過写真撮影におけるフィルム使用時の品質確保と標準化
主な規定内容：
撮影条件（線源の種類、距離、露光時間、フィルム感度）
フィルムの保管・現像・評価方法
画像の濃度、解像度、識別性の基準
適用対象：鋳造品、溶接部、複雑形状部品などの検査



適正露光の画像（鮮明な濃淡） 過剰露光・不足露光の画像（不鮮明）

エフエス製作所主任技術者に対する放射線検査に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

10

10

JISZ3105:2003 アルミニウム溶接継手の放射線透過試験方法

放射線透過試験（RT）を用いてフィルムに記録された内部の状態を確認する際の「フィルムの特性」「撮影条件」「画像の評価」などに関する基本事項を規定

項目	内容
撮影条件	線源の種類、線源と対象物の距離、露光時間など
フィルムの選定	感度、サイズ、種類（例：工業用X線フィルム）
撮影手順	撮影前の準備、撮影中の安全配慮、撮影後の記録
品質管理	撮影画像の濃度、鮮明度、欠陥の有無などの評価基準

エフエス製作所主任技術者に対する放射線検査に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

12

12

100

令和7年度厚生労働省補助金事業	
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
1	

1

講習の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
2	

2

講習の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
3	

3

講習の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (1-1-1-2) 透過写真撮影の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
4	

4

透過写真撮影装置設置と準備

QST

- ・撮影対象物の確認（材質・形状・厚み）
- ・撮影条件の設定（線源、距離、照射時間）
- ・装置の設置位置と安定性の確認
- ・電源・警報装置・インターロックの動作確認

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

5

透過写真撮影装置の設置位置と安定性の確認

QST



エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

6

6

電源・警報装置・インターロックの動作確認

QST

チェックリスト等を用いて、
電源・警報装置・インターロックの動作確認
を行う

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

7

7

フィルム/IP配置と検出器の準備

QST

フィルム/IPの選定（感度、サイズ）
対象物との密着性の確保（浮きやズレの防止）
撮影方向と検出器の配置（直線性の確保）
フィルム/IPの遮光・保護対策

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果

8

8

試験片上への設置



QST

ウィズソル様ご提供

9

9

フィルム設置例



QST

ウィズソル様ご提供

10

10

フィルム/IPの種類比較

項目	フィルム撮影	IP撮影（イメージングプレート）	フラットパネル検出器
解像度	◎ 高精度	○ 中程度	◎ 高精度
再利用性	× 使い捨て	◎ 数百回使用可能	◎ 長期使用可能
携帯性	△ やや重く取り扱い注意	○ 軽量で柔軟性あり	△ 装置が大型
現像の必要性	◎ 必要（暗室・薬品）	× 不要（デジタル処理）	× 不要（リアルタイム）
コスト	○ 安価	○ 中程度	× 高価
特徴・備考	高精度だが手間がかかる	現場向き、繰り返し使える	自動化ラインに最適

QST

11

11

遮へいと安全確認

- ・管理区域の設定（距離、標識設置）
- ・遮へいシート・柵の設置
- ・周囲の作業者への周知（KY/TBMの実施）
- ・線量率計の準備と確認

QST

12

12

管理区域の設定

・3月間につき実効線量が1.3 mSvを超えるおそれのある区域

→ 管理区域として設定

→ 3月間を13週として、0.1 mSv/週で管理するのでもよい

・管理区域設定後は管理区域内外の必要な場所について線量率を随時測定して記録する

電離放射線障害防止規則第53条、第54条に従う

13

エフエム研究所主任技術者に対する放射線防護に関する研究 (24-0402-01) 調査成果

柵の設置例

日本製鋼所M&E様ご提供

なわばりに加えて、管理区域の表示の掲示、警告灯の設置

エフエム研究所主任技術者に対する放射線防護に関する研究 (24-0402-01) 調査成果

14

エフエム研究所主任技術者に対する放射線防護に関する研究 (24-0402-01) 調査成果

KY/TBMの実施例

危険予知活動表 (RKY)		会社名	実施日	作業員数		
作業内容	QST 検査測定		2024年11月4日 00時10分	2名		
どんな危険が潜んでいるか (一応のことでして)	私達はこうする (一応のことでして)	対照表のリスク評価	リスク			
1	2	1	2	1+2		
1	2	1	2	1+2		
2	3	5	6	2	13	C
2	3	5	6	1	12	C
2	3	5	B	2	13	C
2	3	5	B	2	13	C
2	3	5	B	2	13	C

15

エフエム研究所主任技術者に対する放射線防護に関する研究 (24-0402-01) 調査成果

線量率計の準備等

千代田 太郎

https://www.e-techno.co.jp/files/eng/energy/dosimeter/ access on 17th November 2025

千代田 太郎

https://www.nagata-lab.com/ access on 17th November 2025

電離箱式サーベイメータの準備 (管理区域内外の線量率測定)

受動型個人被ばく線量計の準備 (個人被ばく線量測定)

使用する前に動作確認を行うこと

正しい位置に装着すること (男性は胸部、女性性は腹部)

16

エフエム研究所主任技術者に対する放射線防護に関する研究 (24-0402-01) 調査成果

104

線量率計の準備等 (管理区域入域前の注意)

① 管理区域に立ち入る前の注意事項

管理区域に立ち入る人は放射線業務従事者、一時立入者のどちらかに区分されます。一時立入者は、管理区域に入るときに、そのつど放射線安全上のルールの説明をうけますから、それを守ってください。

②管理区域に入るときは

- (1) 個人線量計を借り受けてください。

電子ポケット線量計

00 0000 μ Sr

THIS SIDE FACES

- (2) 電子ポケット線量計のスイッチを入れ、使用前の指示値を読み取って下さい。

- (3) 管理区域の入口に備えてある記録用紙に必要事項を記入して下さい。

- (4) 管理区域における注意事項も掲示されていますから、もう一度注意事項

- 本行規則第20条2項一号木
さい。

「区域に一時的に立ち入るものであって放射線業務従事者でないものにあつては100マイクロベルトを超えるおそれがないときはこの限りではない。」

③管理区域から出るときは

- (1) 電子ポケット線量計の指示値を読み取って下さい。

00001 1st

- (2) 記録用紙にあなたの線量(被ばく線量)を記入して下さい。

あなたの扱はく損量は、総量＝薬用後の損量－薬用前の損量です。

④管理区域内で注意していただくこと

- (1) 放射線業務従事者の指示に従って下さい。
- (2) 装置や機器に勝手にふれないで下さい。

日本製鋼所M&E様ご提供

令和7年度厚生労働省補助金事業	QST
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
1	

1

講習の内容	QST
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
2	

2

講習の内容	QST
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
3	

3

講習の内容	QST
(1) 透過撮影等作業の手順 (1-1-1-3) 撮影時の安全配慮 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
4	

4

管理区域 (放射線管理区域) の設定

- 管理区域の定義 (電離則第3条)
→実効線量が3月で1.3mSvを超える可能性がある区域
(管理区域の明示等)
第三条 放射線業務を行う事業の事業者 (第六十二条を除き、以下「事業者」という。) は、次の各号のいずれかに該当する区域 (以下「**管理区域**」という。) を**標識によって明示しなければならない**。
一 外部放射線による実効線量と空気中の放射性物質による実効線量との合計が三ヶ月につき一・三ミリシーベルトを超えるおそれのある区域
- 区域の明示方法 (標識、柵、白線、旗など)

第3条関係

第1項の「標識」によって明示とは、区画物に標識を付したり、床土を白線、黄線、黄黒の縞模様等により明確に区画したりすることをいうが、移動用の放射線装置を用いて臨時に非破壊検査業務等を行う場合で、これらの方法によることが困難な場合は、要所要所にスタン、旗等を設け、これらをつなぐ線によって囲まれる区域が管理区域として明らかにされるような措置を講ずることとしても差し支えないこと。
労働安全衛生規則及び電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令の附則等について(第25号)

5

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果

5

管理区域の模式図 (例)

6

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果

6

周囲への周知とコミュニケーション

- 撮影前のKY/TBM (危険予知・ツールボックスミーティング) の実施
・ (特に移動式装置使用時) 周辺の作業者・住民への説明 (必要に応じて)
- モニタリングポストの指示値上昇への配慮

エックス線

直接・散乱エックス線の入射により指示上昇

<https://www.a-lab.co.jp/radiation/monitoringpost/monitoringpost/>

7

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果

7

遮へいと線量管理

- 遮蔽シート・柵の設置方法と注意点
- 適切なサーベイメータを使用すること (電離箱式を推奨)
- 線量率測定の手順 (高さ1m、プローブの持ち方など)

8

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果

8

令和7年度厚生労働省補助金事業	
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
1	

1

講習の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
2	

2

講習の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
3	

3

講習の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (1-1-1-4) 撮影後の確認と記録 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-Q1) 調査成果	
4	

4

撮影後の確認と記録
・撮影終了後は、以下の確認を必ず行う： 線量（率）測定（遮蔽の効果確認、漏えい線量率のチェック） 装置の電源オフ、インターロックの確認 フィルム/IPの回収と保管 撮影記録の保存（日時、線量、作業者名など）
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240402-01）調査成果

5

よくあるトラブル事例
よくあるトラブルとヒヤリハット 過去に発生した事例から学ぶ： 遮蔽シートの設置不備 → 周囲への漏えい 線量計未装着 → 個人被ばく線量の記録漏れ 管理区域の標識忘れ → 第三者の立ち入り
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240402-01）調査成果

6

トラブルへの対応と予防策
トラブル発生時の対応フロー： 作業停止 → 周囲退避 → 線量確認 → 記録・報告 予防策： KY/TBMの徹底 リスクアセスメントの活用 定期的な教育と訓練 トラブル発生 → トラブルへの対応 → 再発防止策の策定
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240402-01）調査成果

7

エックス線作業主任者が指導すべきポイント
指導のタイミング： 就業前、異動時、撮影前のKY 指導内容： エックス線作業主任者の職務に応じた内容 ・装置の安全操作 ・線量計の装着 ・管理区域の設定と周知 ・異常時の措置
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240402-01）調査成果

8

令和7年度厚生労働省補助金事業	QST
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
1	

1

講義の内容	QST
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
2	

2

講義の内容	QST
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
3	

3

令和7年度厚生労働省補助金事業	QST
講義におけるゴール	
電離放射線の基本的な性質と測定方法を理 解し、安全にエックス線装置を取り扱うよう になる	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
4	

4

QST

電離放射線

電離放射線 電離作用を有する放射線

The diagram illustrates the interaction of various types of ionizing radiation with an atom. On the left, four types of radiation are shown with arrows indicating their path through an atom's electron cloud and nucleus:

- α線 (alpha line):** Represented by a cluster of red and yellow spheres, it is labeled as originating from a Helium nucleus (原子核から飛び出るヘリウム原子核).
- β線 (beta line):** Represented by a small blue sphere, it is labeled as originating from an electron emitted from the nucleus (原子核から飛び出る電子).
- 中性子線 (neutron line):** Represented by a small yellow sphere, it is labeled as originating from a neutron in a nuclear reactor (原子炉, 加速器等から作られる).
- 電子線 (electron line):** Represented by a small red sphere, it is labeled as originating from an electron in an accelerator (加速器等から作られる).

On the right, two types of electromagnetic radiation are shown as red wavy arrows:

- X線 (X-ray):** Labeled as occurring outside the nucleus (原子核の外で発生).
- γ線 (gamma line):** Labeled as emitted from the nucleus (原子核から放出).

At the bottom, a legend identifies the components: 粒子線 (Particle line) for the solid arrows, 中性子 (Neutron) for the yellow sphere, 電子 (Electron) for the blue sphere, and 電磁波 (Electromagnetic wave) for the wavy arrows.

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/01-03-03.html>

中核子線作機主任技術者に対する分野的な専門に関する研修 (2404-02-01) 講義資料

5

イクス線とγ線		
	イクス線	γ線
発生源	原子核の外側(電子)	原子核の内側(核反応)
エネルギー	比較的低い～中程度	非常に高い
透過力	比較的弱い	非常に強い
主な用途	医療(レントゲン、CT)、空港の荷物検査、非破壊検査など	がん治療、非破壊検査、宇宙観測など

放射線の測定

線測定と計算

放射線測定の原理

放射線と物質との相互作用を利用して測定する。

(気体との) 電離作用

放射線が気体中を通過すると分子が電離して陽イオンと電子を生成。
陽イオンと電子が電極に引き寄せられ電気信号に変換して測定する。

GM計数管式サーベイメータ、電離箱など

放射線がシンチレータを通過すると、分子が励起されるが再び元の状態（基底状態）に戻る。
その過程で光を放出し、放出された光を増幅・電流に変換して測定する。

NaI (TI) シンチレーション式サーベイメータなど

放射線測定と計算 第2版 2018年10月10日現在
Copyright © 2018 by GSI, Inc. All rights reserved.
この文書は、GSI, Inc.の登録商標です。GSI, Inc.の許可なく複製、転載、または他の目的で再配布することはできません。

<https://www.ewg.jp/chemi/hmi/current/02-04-02.html>

7

放射線の線量 - 線量と線量率 -		
ポイント:「線量＝蓄積」「線量率＝変化量(スピード)」		
用語	定義	単位 (例)
線量 (Dose)	放射線が物質に与えたエネルギーの総量	マイクロシーベルト
線量率 (Dose Rate)	単位時間あたりの線量	マイクロシーベルト毎時 (μSv/h)

なぜ則定が必要なのか？

安全確認：漏えい線量率が基準値以下か？

装置の点検：装置の遮へいや警報装置が正常か？

個人防護：線量計で被ばく線量を管理

工場の放射線管理主任者に対する放射線計測の基礎的な教育に関する研究 (24-0420-01) 第4版

8

放射線の線量　－線量と線量率－

ポイント:「線量＝蓄積」「線量率＝変化量(スピード)」

用語	定義	単位 (例)
線量 (Dose)	放射線が物質に与えたエネルギーの総量	マイクロシーベルト
線量率 (Dose Rate)	単位時間あたりの線量	マイクロシーベルト毎時 (μSv/h)

なぜ測定が必要なのか？
安全確認：漏えい線量率が基準値以下か？
装置の点検：装置の遮へいや警報装置が正常か？
個人防護：線量計で被ばく線量を管理

QST

エフエム研特准主任 齋藤 孝一 に対する放射線計測技術に関する研究 (240-402-01) 調査成果

9

放射線の線量　－線量の概念－

線量概念：物理量、防護量、実用量

物理量：直接計測できる

放射線の強さ (Bq:ベクレル)
1秒間に変化する原子核の数
放射線粒子密度 (S・m⁻²、フルエンス)
単位面積に入射する粒子の数

吸収線量 (Gy:グレイ)
物質 1kgあたりに吸収されるエネルギー
照射線量 (X線、γ線、放射線) (C/kg)
空気 1kgに与えられるエネルギー

人の被ばく影響を表す線量：直接計測できない

防護量

等価線量 (Sv:シーベルト)
人の臓器や組織が個々に受ける影響を表す

実効線量 (Sv:シーベルト)
個々の臓器や組織が受ける影響を総合して全身への影響を表す

実用量

周辺線量当量 (Sv:シーベルト)
方向性線量当量 (Sv:シーベルト)
環境モニタリングにおいて用いられる防護量の近似値

個人線量当量 (Sv:シーベルト)
個人モニタリングにおいて用いられる防護量の近似値

物理量から定義

QST

エフエム研特准主任 齋藤 孝一 に対する放射線計測技術に関する研究 (240-402-01) 調査成果

10

放射線測定と放射線測定の実用

線量測定と放射線測定の実用

放射線と物質との相互作用を利用して測定する。

(気体との) 電離作用

放射線が気体中を通過すると分子が電離して陽イオンと電子を生成。陽イオンと電子が電極に引き寄せられ電気信号に変換して測定する。GM計数管式サーベイメータ、電離箱など

励起作用

シンチレータ 光電子増倍管
放射線がシンチレータを通過すると、分子が励起されるが再び元の状態(基底状態)に戻る。その過程で光を放出し、放出された光を増幅・電流に変換して測定する。NaI (TI) シンチレーションサーベイメータなど

QST

エフエム研特准主任 齋藤 孝一 に対する放射線計測技術に関する研究 (240-402-01) 調査成果

11

線量計の種類

サーベイメータ

エリアモニタ

個人線量計

積算型 (受動型)

電子式 (アクティブ型)

QST

エフエム研特准主任 齋藤 孝一 に対する放射線計測技術に関する研究 (240-402-01) 調査成果

12

線量（率）測定の基本
線量率の測定 → 放射線の量を測る基本的な方法 ー 遮へい、漏えい線量率、管理区域境界の測定 → サーマイメータを使用 ー 長時間の積算線量（または個人線量）の測定 → 積算線量計（熱ルミネセンス線量計（TLD）、ガラス線量計、光刺激ルミネセンス（OSL）線量計）を使用
エフエス研特准主任補佐に対する放射線計測に関する研究（240402-Q1）調査成果

13

漏えい・管理区域境界の線量（率）測定
1. 機器の確認： 測定前に機器の外観、電源、動作に異常がないか確認する。 2. バックグラウンド測定： 測定する場所のバックグラウンド（天然由来の放射線量）を事前に測定する。 3. 線量率計の調整： 線量率計のレンジ（測定範囲）を調整し、指示値が読みやすい位置に合わせる。 4. 測定と平均値の読み取り： 測定を開始し、線量計の測定数の3倍程度（例えば30秒）の時間が経過した後、指示値の平均を読み取る。 5. 線量当量率の算出： 指示値に測定条件ごとの校正定数を乗じ、線量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）を求める。 6. 測定結果の記録： 得られた線量当量率を記録用紙に記録する。
エフエス研特准主任補佐に対する放射線計測に関する研究（240402-Q1）調査成果

14

測定事例の紹介
撮影予定@現地にヤリング
エフエス研特准主任補佐に対する放射線計測に関する研究（240402-Q1）調査成果

15

測定における注意事項
1. 機器の確認： 測定前に目的にあった線量計を使用しているか？

管理区域境界の測定
エフエス研特准主任補佐に対する放射線計測に関する研究（240402-Q1）調査成果

16

測定における注意事項（2）



2. 正しい測定をしているか：
プロープ等正しく持っているか？（注意：NaIサーベイメータで例示）

○



プロープ本体をしっかりと持ち

×



管理区域境界の測定

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査成果

測定における注意事項（3）



2. 正しい測定をしているか：
正しい高さで測定しているか？（注意：NaIサーベイメータで例示）

○



床上1 mの高さ

×



管理区域境界の測定

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査成果

この講義のまとめ



- **エックス線とγ線のちがい**
発生源・エネルギーなど
- **線量と線量率**
線量 = 放射線の積算値
線量率 = 単位時間あたりの放射線量
- **測定の基本手順**
サーベイメータによる漏えい線量率の測定
積算線量計による個人被ばく管理
- **測定時の注意点**
 - ✓ 測定条件に応じた機器選定
 - ✓ 機器の点検（電源・校正）
 - ✓ 測定高さ（1m）
 - ✓ プロープの持ち方
- **測定が必要な理由**
エックス線装置の点検・安全確認、管理区域境界設定、個人被ばく防護

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査成果

令和7年度厚生労働省補助金事業



一 エックス線装置又はガンマ線
照射装置を取り扱う業務に係る
作業の方法に関する知識

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40-402-Q1) 調査成果

1

1

講義の内容



(1) 透過撮影等作業の手順
(2) 電離放射線の性質と測定
(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール
(4) 被ばく防止の方法
(5) 事故時の措置

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40-402-Q1) 調査成果

2

2

講義の内容



(1) 透過撮影等作業の手順
(2) 電離放射線の性質と測定
(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール
(4) 被ばく防止の方法
(5) 事故時の措置

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40-402-Q1) 調査成果

3

3

エックス線作業主任者の職務



電離放射線障害防止規則
(エックス線作業主任者の職務)
第四十七条 事業者は、エックス線作業主任者に次の事項を行わせなければならない。
一 第三条第一項又は第十八条第四項の標識がこれらの規定に適合して設けられるよう
に措置すること。
二 第十条第一項の照射筒若しくはばり又は第十一条のろ過板が適切に使用されるよう
に措置すること。
三 第十二条各号若しくは第十三条各号に掲げる措置又は>第十八条の二に規定する
措置を講ずること。
四 前二号に掲げるもののほか、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。
五 第十七条第一項の措置がその規定に適合して講じられているかどうかについて点検する
こと。
六 照射開始前及び照射中、第十八条第一項の場所に労働者が立ち入っていないことを
確認すること。
七 第八条第三項の放射線測定器が同項の規定に適合して装着されているかどうかについ
て点検すること。

エックス線作業主任者に対する放射線防護に関する研究 (H40-402-Q1) 調査成果

4

4

令和7年度厚生労働省補助金事業	
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
1	

1

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
2	

2

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
3	

3

講義の内容	
この講義のゴール 放射線による外部・内部被ばくのリスクを理 解し、現場で安全に作業できる知識と行動 を身につける	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
4	

4

放射線の被ばく

体外の放射性物質から影響を受ける「外部被ばく」
体内に入った放射性物質から影響を受ける「内部被ばく」

外部被ばく

原因：
体外に存在する放射性物質（自然放射線源、事故による汚染物質、衣服に付着した放射性物質など）またはエックス線装置から放射線を受ける状態

内部被ばく

原因：
飲食物の経口摂取、呼吸による吸入摂取、皮膚からの吸収、傷口からの侵入、あるいは体内に投与された放射性医薬品などによって、放射性物質が体内に入り込むことで発生

エフエス研究所主任研究員に対する放射線防護に関する研究 (240-402-01) 調査成果

5

外部被ばく

被ばくの経路

外部被ばくと皮膚

エフエス研究所主任研究員に対する放射線防護に関する研究 (240-402-01) 調査成果

<https://www.env.go.jp/chem/hnm/current/02-01-03.html>

6

内部被ばく

被ばくの経路

内部被ばく

エフエス研究所主任研究員に対する放射線防護に関する研究 (240-402-01) 調査成果

<http://www.env.go.jp/chem/hnm/laure/02-01-04.html>

7

放射線防護の三原則

エフエス研究所主任研究員に対する放射線防護に関する研究 (240-402-01) 調査成果

8



放射線防護の三原則－具体的な対策－

原則	意味	現場での対策例
距離を取る	放射線源から離れることで被ばく量を減らす	線源から数m以上離れる／不要な接近をしない・させない
遮蔽する	放射線を遮る物質を使って防ぐ	鉛板・遮蔽シート・防護板等を設置する／コンクリート壁に隠れる
時間を短くする	放射線源の近くにいない時間を減らす	作業手順を事前に確認／迅速な作業を心がける

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究 (240-402-01) 調査成果

9

9

防護事例（遮へいの設置・追加）



http://www.sunrays.co.jp/kouji/housyasen_sekininsekou.html

放射線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究 (240-402-01) 調査成果



10

10

防護事例（個人防護について）



http://www.hvna.co.jp/rrny_protecton/index.html

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究 (240-402-01) 調査成果



11

11

放射線安全文化の醸成
(放射線) 安全文化

安全文化とは、組織と個人の特性や態度をとりまとめたものであって、防護と安全に関する課題が最優先事項として、その重要性に応じて注意を払われることを確立するものです。

→放射線防護を“ルール”としてだけでなく、“文化”として根付かせるための考え方と行動

Safety culture is the assembly of characteristics and attitudes in organizations and individuals which establishes that, as an overriding priority, protection and safety issues receive the attention warranted by their significance.



12

12

令和7年度厚生労働省補助金事業	
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
1	

1

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
2	

2

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
3	

3

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置 (5-1) 事故防止に係る措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
4	

4

ヒヤリハット事例から学ぶ



ヒヤリハット・・・
「ヒヤリとした」「ハッとした」瞬間のこと
実際には事故にはならなかったが、
一歩間違えば事故につながっていた可能性のある事例

なぜヒヤリハットが重要なのか？

- ・重大事故の前兆であることが多い
- ・現場の安全意識を高めるきっかけになる
- ・再発防止策の検討材料になる

・報告・共有・改善のサイクルを回すことで、放射線安全文化の醸成につながる

エ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) 調査成果

5

ヒヤリとした具体例（エクス線業務を中心に）



ヒヤリハット事例	潜在的なリスク	対応策
線量計を装着し忘れて作業を開始した	個人被ばく線量が記録できない	作業前チェックリストの徹底
管理区域の表示が不十分なまま作業を開始した	第三者が誤って立ち入る可能性	明確な表示と周知
合図を忘れて照射しそうになった	誤って被ばくさせる	作業時チェックの徹底 合図確認の徹底
装置が停止したと思いフィルムを取ろうと近づいた	被ばくする	装置の動作状況の確認 自動警報装置の確認

エ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) 調査成果

6

ヒヤリハット事例（エクス線透視業務について）



エ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) 調査成果

7

ヒヤリハットの活用方法（具体例）



- ・ヒヤリハット報告書の提出（どのような形式でもOK）
- ・定期的な共有会の開催（TBMやKY活動と連動させて）
- ・事例集の作成と教育資料への反映

エ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) 調査成果

8

KY/TBM活動について		QST
KY（危険予知活動）：作業前に潜在的な危険を洗い出す TBM（ツールボックスミーティング）：作業前の短時間ミーティング		
KY/TBMを実施する目的： 「みんなの気づき」を共有し、事故を未然に防ぐ		
特にTBMでは短い標語を決めて共有することが進められている。 「線量計着用ヨシ！」 「管理区域確認ヨシ！」等		
エクスプローラー主任職等に対する効果的な教育に関する研究（240402-01）調査結果		9

令和7年度厚生労働省補助金事業		1
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識		
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果		

1

講義の内容		2
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置		
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果		

2

講義の内容		3
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置		
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果		

3

講義の内容		4
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置 (5-2) 緊急時における対応		
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果		

4

この講義でのねらい	
エックス線作業主任者が緊急事態において迅速かつ的確に対応できる能力を身につけるため	
1.緊急事態の認識力の向上	
・事故の兆候や異常を早期に察知し、初動対応に移れる力を養う。	
2.初動対応の手順の理解と実践	
・電源遮断、緊急停止、退避などの基本行動を確実に実行できるようにする。	
3.通報・記録・評価の体系的な対応力の習得	
・事故後の対応として、通報・記録・記録・現場確保・線量評価を確実に実施できるようにする。	
4.安全文化の醸成	
・自分自身と周囲の安全を守る意識を高め、現場全体の安全性向上につなげる。	
エックス線作業主任者に対する効果的な教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

5

緊急時における対応の必要性	
緊急時における対応の目的	
「人命の保護」	
「被ばく源（エックス線装置）の制御」	
「周辺への影響の最小化」	
・ 緊急事態は予期せず発生	
エックス線装置を用いる透過写真撮影業務を含む放射線業務では、機器の故障、操作ミス、外的要因（火災・地震等）によって、突発的な事故が起こる可能性がある。	
例：可搬型エックス線装置の誤操作による管理区域外への照射。	
・ 迅速かつ冷静な対応が必要	
緊急時には、定められた手順に従って確実に行動することが重要。	
初動対応の遅れ → 被ばく線量の増加や二次災害につながる可能性	
→エックス線作業主任者は、現場の指揮を執る立場として、冷静な判断力が求められる。	
→結果として被ばく事故や火災などのリスクを最小限に抑えることにつながる	
緊急停止ボタン、遮へい機能の活用等含め、事前の準備と訓練が不可欠	
エックス線作業主任者に対する効果的な教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

6

緊急時における一般的な注意事項	
自分自身と周囲の作業者の安全確保を最優先に	
現場の安全確保（まず自分の安全を確保）	
・緊急時には、まず自分自身が安全な場所に退避することが最優先。	
・被ばくや二次災害を防ぐため、現場に不用意に近づかない。	
・エックス線作業主任者の責務	
→他の作業者に現場からの退避を指示し、混乱を防ぐ。	
エックス線作業主任者に対する効果的な教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

7

エックス線装置における緊急時対応	
・ エックス線装置電源の切断	
速やかな主電源を遮断	
→ エックス線照射を停止し、被ばくリスクを低減。	
電源スイッチの位置は、事前に作業者全員が把握しておくこと	
・ 緊急停止ボタンの使用	
装置に備え付けられた「非常停止ボタン」を使用。	
緊急停止ボタンは、装置の制御系統を即時に遮断するため、最も迅速な対応手段。	
定期的な訓練で、ボタンの位置と作動方法を確認しておく。	
エックス線作業主任者に対する効果的な教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

8

エックス線装置における緊急時対応（2）	
1.エックス線源からの距離を取る 1.放射線は距離の二乗に反比例して減衰する（逆二乗則）。 2.エックス線源からできるだけ離れることで、被ばく線量を大幅に低減可能。 3.遮へい（コンクリートの壁等）がある場合は、その背後に退避することも有効。 2.管理区域外への退避 1.緊急時には、速やかに管理区域外へ退避し、線量の低い場所へ移動。 2.管理区域境界及び退避経路は、事前に明確にしておく。 3.エックス線作業主任者は他の作業者に速やかに避難を促す。	エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-002-01）調査成果 9

9

緊急時対応の一般原則－通報と記録－	
通報：上司・安全管理者・労働基準監督署への連絡 ・事故発生時には、速やかに社内の上司、安全管理者へ連絡。 ・必要に応じて、労働基準監督署などの行政機関にも報告。 ・通報内容には、事故の概要、発生時刻、関係者、初期対応状況などを含める。 ・事前に「誰に」「誰に」「どのように」通報するかをマニュアル化しておくことも重要。 記録：事故の状況を詳細に記録 ・事故発生時の状況を、可能な限り正確に記録する。 ・記録項目例： 1.発生日時・場所 2.関係者（作業者、目撃者など） 3.使用していた装置の種類・設定 4.線量計の値（個人被ばく線量及び周辺線量当量） 5.初期対応の内容 ・記録は、後の原因究明や再発防止策の策定に不可欠。	エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-002-01）調査成果 10

10

緊急時対応の一般原則－現場確保と評価－	
現場確保：事故現場の封鎖と立入禁止措置 ・事故現場を物理的に隔離し、第三者の立ち入りを防止。 ・事故当時の管理区域の境界を明示し、警告表示やバリケードを設置。 ・緊急時用の「立入禁止」標識やテープを常備しておくも有効。 評価：被ばくの可能性がある場合には線量評価を実施 ・線量計（個人線量計、サーベイメータ）を用いて、被ばくの有無と程度を評価。 ・エックス線被ばくが疑われる場合は、医療機関での健康診断や線量評価を依頼。 ・線量評価の結果は、記録として保存する。 ・線量評価は、専門知識を持つ者が実施することが望ましい。	エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-002-01）調査成果 11

11

この講義のまとめ	
1. 緊急対応の必要性 ・緊急事態は予期せず発生する。 ・エックス線作業主任者には冷静な判断と迅速な対応が求められる。 2. 一般的な注意事項 ・自身と周囲の安全確保を最優先とする。 ・不用意な接近を避け、退避を指示。 3. エックス線装置の操作による初動対応 ・エックス線装置電源遮断と緊急停止ボタンの使用。 ・エックス線源から直ちに距離を取り、管理区域外へ退避。 4. 通報と記録 ・上司・安全管理者・労働基準監督署への通報。 ・事故の詳細な記録（日時、関係者、線量など）。 5. 現場確保と線量評価 ・事故現場の封鎖と立入禁止措置。 ・線量計による被ばく評価と記録保存。	エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-002-01）調査成果 12

12

令和7年度厚生労働省補助金事業



一 エックス線装置又はガンマ線
照射装置を取り扱う業務に係る
作業の方法に関する知識

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40-02-Q1) 調査成果

1

1

講義の内容



(1) 透過撮影等作業の手順
(2) 電離放射線の性質と測定
(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール
(4) 被ばく防止の方法
(5) 事故時の措置

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40-02-Q1) 調査成果

2

2

講義の内容



(1) 透過撮影等作業の手順
(2) 電離放射線の性質と測定
(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール
(4) 被ばく防止の方法
(5) 事故時の措置

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40-02-Q1) 調査成果

3

3

講義の内容



(1) 透過撮影等作業の手順
(2) 電離放射線の性質と測定
(3) エックス線作業主任者の日常業務
及び年間スケジュール
(5) 事故時の措置
(5-3) 一般的注意事項

エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40-02-Q1) 調査成果

4

4

UTokyo

THE UNIVERSITY OF TOKYO 150 YEARS

[illegible]

令和7年度厚生労働省補助金事業	
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
1	

1

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
2	

2

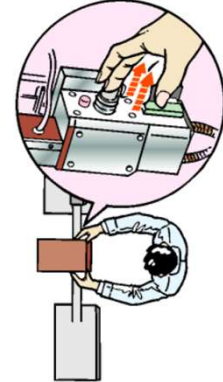
講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
3	

3

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置 (5-4) 被ばく事故事例	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
4	

4

エックス線装置の漏洩エックス線検査中、放射線皮膚障害



エックス線装置完成時の漏洩エックス線検査実施中に、検査員が放射線皮膚障害を負ったもの災害発生当日、被災者は、上記検査場において出荷前のエックス線検査回折装置の検査を行っていた。当日午後13時ごろより、被災者は漏洩エックス線検査を開始した。エイルセフ機構(操作者が前面の開閉扉を開けるとエックス線源部のスイッチが切れる安全設計)を解除して、エックス線が照射されていることを確認しながら、サーベイメータを用いて漏洩エックス線を測定した。13時30分ごろ、右側シャッター付近から基準を超えるエックス線の漏洩を認めたため、エックス線発生装置の線源部を覆っていたシャッターを点検しようとしてこれを取り外したとき、エックス線照射経路に入れた右手を被曝し、放射線皮膚障害を負った

https://www.mhlw.go.jp/content/0001668402_011_調査結果.pdf

5

130

エックス線装置の点検作業中の被ばく事故



2021年5月29日兵庫県姫路市にある日本製鉄瀬戸内製鉄所で、銅板表面のメッキの厚みを測定するの使用する蛍光X線式付着量計（出力50 kVx40mA）の点検・校正を行っていた。

この装置でX線を照射するには、装置に電力を供給し、X線管の電圧及び電流を上昇させ、照射窓のシャッターを開ける操作を行う。これらの操作は通常は装置が設置してある照射室の外にある制御盤で行う。

作業員2名は、当初、照射室の外にある制御盤で作業を行っていたが、校正用サンプルの測定値に異常が認められたことから、その原因を解消するため、装置に電力が供給された状態のままで照射室に入った。なお、当該施設には、インターロック（照射室の扉が開くと装置への電力供給が遮断される装置）の設置について、法令上の要求はない。

照射室に入った2名は、装置のX線照射窓に付着物があることを確認して、これを1名が手工具で除去し、1名が補助した。

2名は、照射室に入るにあたって、照射窓のシャッターを閉じたつもりだったが、結果としてシャッターは閉じられておらず、作業中、装置から照射されるX線に被ばくしている状態であった。

2021年5月30日、2名の作業員は腕や顔面に発赤（非致死的な確定影響）が出るなどの体調不良を訴え、入院治療を受け、2021年12月末までに退院した。

2023年11月までに実施された専門家による生物学的線量評価（異常染色体の発生頻度の測定）の結果、1名については400～500 mGy、もう一名については100 mGy未満と評価された。

http://www.mhlw.go.jp/content/0001668402_011_調査結果.pdf

6

事故の報道例



日本製鉄作業員の被曝線量「年間限度の最大10倍」…
原子力規制庁がIAEAに報告

2024/03/11 19:07

兵庫県姫路市の日本製鉄の工場で2021年5月、男性作業員2人がX線装置の点検中に被曝した事故で、原子力規制庁が、作業員1人の被曝線量は、放射線業務従事者の年間限度の最大10倍にあたる400～500ミリ・グレイに達していたと、国際原子力機関（IAEA）に報告したことがわかった。

もつ1人の被曝線量は100ミリ・グレイ未満だった。同庁は事故について、国際原子力放射線事象評価尺度（INES）で「レベル3」（重大な異常事象）相当とIAEAに報告した。8段階ある尺度で5番目の深刻度となる。

事故では、作業員2人が、メッキの厚さをX線で測定する装置を点検していたところ、X線の照射口が閉まっておらず、誤って被曝した。2人は顔や腕に皮膚発疹を食い、事故後に入院したが、21年12月末までに退院した。

<https://www.yomiuri.co.jp/article/Q240311-0711501381?access=on%5Sep%2025>

7

放射線被ばくによる事故－韓国による事例－



Seoul Semiconductor Co., Ltd. (2019. 7)
Skin dose : 40 Gy
Effective dose : 12 mSv

Regulatory refinement : Inclusion of safety management requirements for the Notified use category in the regulations (Article 63-2~4), and mandatory designation of a RSO



2019年7月、ある半導体製造会社において、製品の欠陥検査のためにX線発生装置（100 kVp、0.1 mA）を異常な方法で使用したことにより、7人の作業員が放射線に被ばくした。このX線発生装置はキャビネット型で、遮へい扉にはインターロック機構が備えられていたが、作業員たちはこのインターロックを手動で無効化し、X線が照射されている状態で遮へい扉を開けて作業を行っていた。X線照射中に、作業員たちは手や上半身を装置内に挿入して作業を行っていた。被ばくした7人のうち、2人の作業員は手に紅斑（こうはん）、痛み、水疱（すいほう）などの放射線障害を発症していた。線量評価の結果、7人の作業員の有効線量は年間線量限度を超えていなかったが、皮膚等価線量は全員が年間線量限度を超えていたことが判明した。

http://www.mhlw.go.jp/content/0001668402_011_調査結果.pdf

8

その他の事故報告 – 工業用ラジオグラフィを中心に –

QST

•工業用ラジオグラフィ線源による被ばく

2023年9月12日、ラジオグラフィ機器の制御ケーブルが破損して、放射線源（Ir-192、1.75 TBq）がガイドチューブ内で脱落。作業員は、サーベイメータを使用しておらず、Ir-192線源の脱落に気づかずには作業した。作業終了後、撮影されたすべてのフィルムが過剰に露光されていたことが確認され、そこで初めて放射線源が脱落していたことが判明。血液異常や皮膚組織の反応といった臨床的に有意な影響は認められませんでした。放射線量の評価の結果、実効線量は116 mSv、手（皮膚）の等価線量は1967 mSvであった。

Korea, Republic of, 12 Sep 2023, INES: 2

2018年8月24日、密封放射線源（Ir-192、1.22 TBq）を使用したラジオグラフィ作業中に、放射線源がガイドチューブ内で詰まり、回収不能となった。初期対応の際、遠隔操作ケーブルが逆方向に誤って組み立てられており、作業員はそれに気づかず、線源が遮へい容器内に安全に格納されたと考えたが、実際には線源が容器外に押し出され、ガイドチューブ内に残ったままであった。作業員がガイドチューブを遮へい容器から取り外そうとして、線源が露出。それに気づいた作業員は線源カプセルを素手で直接取り扱って被ばくした。作業員の皮膚等価線量は960 mSvと評価された。

Korea, Republic of, 24 Aug 2018, INES: 2

<https://www.iaea.org/news/2023/09/12/ir-192-source-dropped> access on 9th Sep 2025

エックス線科専任主任医務士に対する放射線防護に関する研究 (240-002-01) 調査成果

9

エックス線装置による被ばく事故を模擬した被ばく線量の推定

QST

事故想定：
三次元CT装置内のエックス線管球からのエックス線ビーム軸調整時に誤ってばく露



Korea, Republic of, 24 Aug 2018, INES: 2

エックス線科専任主任医務士に対する放射線防護に関する研究 (240-002-01) 調査成果

11

被ばく事故事例から考えられること

QST

•インターロック解除後に被ばくした事例
→インターロックを解除した後の放射線モニタリングは極めて重要

•うっかり型とあえて型を原因とする被ばく事故
うっかり型とあえて型の事故の原因を区別
→事故を回避するための対策が異なる

エックス線科専任主任医務士に対する放射線防護に関する研究 (240-002-01) 調査成果

10

三次元CT装置内の被ばく線量評価

QST

エックス線照射条件：50 kV, 0.1 mA, フィルタなし ばく露時間 10 min.



単位：μSV
($H_p(0.07)$)

ポケット線量計指示値：206 μSV
ポケット線量計指示値：7 μSV

エックス線科専任主任医務士に対する放射線防護に関する研究 (240-002-01) 調査成果

12

131

模擬被ばく事故から考えられること	
•低いエックス線エネルギーでも重篤な被ばくになる →40 mAであれば400倍の被ばく線量 →皮膚障害も発生しうる線量に到達する可能性 •エックス線源に近い位置で作業した場合を模擬 →上半身の上部に被ばくが集中 →典型的な高線量不均等被ばく事故 •背面でも線量が観測されている →管電圧 50 kVのエックス線でも人体を十分透過する	13
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究 (240402-01) 調査成果	

まとめ	
被ばく事故事例の紹介 エックス線被ばく及び工業用ラジオグラフィによる被ばく事故を中心に •インターロック解除後のモニタリングの重要性 •「うっかり型」と「あえて型」の事故原因の区別と対策 •低エネルギーでも人体（皮膚）に深刻な影響を与える可能性	14
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究 (240402-01) 調査成果	

令和7年度厚生労働省補助金事業	
一 エックス線装置又はガンマ線 照射装置を取り扱う業務に係る 作業の方法に関する知識	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
1	

1

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
2	

2

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
3	

3

講義の内容	
(1) 透過撮影等作業の手順 (2) 電離放射線の性質と測定 (3) エックス線作業主任者の日常業務 及び年間スケジュール (4) 被ばく防止の方法 (5) 事故時の措置 (5-5) 労働基準監督署からの指摘事例	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
4	

4

労働基準監督署

労働基準監督署（労基署）：労働基準法に違反する行為を取り締まる機関

1. 管理区域の不備：
エックス線装置を使用する場所は、管理区域として標識で明示し、関係者以外の立ち入りを制限する必要がある。また、定期的に漏えいエックス線測定を行う義務がある。
→ これらが不十分な場合は違反

2. 無資格者によるエックス線線撮影：
診療放射線技師法により、医師、歯科医師、または診療放射線技師以外は、エックス線を人体に照射する行為（撮影を含む）は認められていない。また、エックス線透過写真撮影を行う場合もエックス線作業主任者の資格が必要場合あり。
→ 無資格者によるエックス線撮影は違反

3. 労働安全衛生法違反：
労働安全衛生法では、エックス線装置の設置や管理、作業者の被ばく防止など、エックス線作業に関する安全衛生管理が義務付けられる。
→ これらの規定に違反した場合、労働基準監督署が介入する可能性あり

エックス線作業主任者等に対する労働安全衛生法に関する研究（240402-01）調査結果

5

労働基準監督署

労働基準関係法令違反に係る公表事案
(令和4年4月1日～令和5年3月31日公表分)

公表労働局 企業・事業場名称	所在地	公表日	違反内容	事案概要	その後の改善状況
建設建設工業(株)	千葉県市川市	R4.9.9	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	マンション建設工事現場において、現場に居る労働者等に対する労働安全衛生教育が実施されていなかったこと。	R4.9.10以降
理化学工業(株)	兵庫県丹波市	R4.9.14	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	労働者に放射線の防護措置を行わせるにあたり、当該地域の運転を停止させなかったこと。	R4.9.15以降
昭和リース(株)	兵庫県姫路市	R4.12.13	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	無資格者の労働者により、フォークリフトの運転の業務を行わせたこと。	R4.12.15以降
(株)豊實建設	兵庫県姫路市	R4.12.20	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	ビルの解体作業を行わせるにあたり、コンクリート等の土留物の解体等作業主任者をR4.12.20以降に選任しなかったこと。	R4.12.20以降
(株)文芸堂	兵庫県相生市	R4.12.21	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	4日以上の休養を要する労働者について、休養期間中に作業をさせた労働者等選任等がなかったこと。	R4.12.21以降
日本製鉄(株)	東京都千代田区	R5.1.20	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	エックス線施設建設区域内に放射線等の標識が設置されていなかったこと。	R5.1.20以降
(株)Q&T	兵庫県神戸市東区	R5.1.24	労働安全衛生法第4条 労働安全衛生規則第4条	労働安全衛生法第4条に規定する労働安全衛生管理責任者として、安全管理責任者をR5.1.24以降に選任しなかったこと。	R5.1.24以降
(株)ツルカワ建設	兵庫県神戸市中央区	R5.2.8	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	4日以上の休養を要する労働者等について、休養期間中に作業をさせた労働者等選任等がなかったこと。	R5.2.8以降
(株)ダイワ	兵庫県あわじ市	R5.2.15	労働安全衛生法第104条 労働安全衛生規則第104条	本施設建設現場の近隣に所属する住民を労働者等とせず、又は警戒を設けなかったこと。	R5.2.15以降

エックス線作業主任者等に対する労働安全衛生法に関する研究（240402-01）調査結果

6

労働基準監督署

その他労基署からの指摘事項

- （電離則第9条）線量の測定記録結果を遅滞なく、業務従事者に伝えなければならない
測定記録の写しを渡した記録がなかった
- （電離則第3条）管理区域を標識によって明示しなければならない
標識が適切な位置に掲示されていない、劣化で見えづらい
管理区域に必要な資格のない者が入域していた
- （安衛法第88条他）放射線装置の設置・移転・構造部分を変更する際には事前に労基署に届出を行わなければならない
届け出ることを知らずに、使用していた

健康診断や測定結果等の記録・保管・管理が適切に行われているか？
放射線に関する知識・資格を有する人材の確保・育成

エックス線作業主任者等に対する労働安全衛生法に関する研究（240402-01）調査結果

7

令和7年度厚生労働省補助金事業	
二 イ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	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果	
1	

1

講義の内容	
(1) イックス線装置の原理 (2) イックス線装置のイックス線管 (3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能 (4) イックス線装置の操作及び点検 (5) イックス線装置の安全警報装置	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果	
2	

2

講義の内容	
(1) イックス線装置の原理	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果	
3	

3

本講義を始める前に	
本講義のゴール	
エックス線がどのように発生し、どんな装置で使われているかを理解することで、安全かつ効果的に透過撮影業務に活用できるようになる	
エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 (H40402-Q1) 調査成果	
4	

4

QST

エックス線とはなにか

波長 λ (ラムダ) の大きさが $10^{-9} \sim 10^{-12}$ m 程度の電磁波

電磁波：電界と磁界の両方に作用する波

長い

波長

短い

電波

短波・超短波・マイクロ波

可視光線

紫外線

エックス線

ガンマ線

低い

エネルギー

高い



物質を透過する性質があるため、医療の現場などで用いられる (透過写真の例)

エックス線作成機主として放射線に対する防護に関する研究 (240402-01) 調査成果

5

QST

エックス線のさまざまな性質

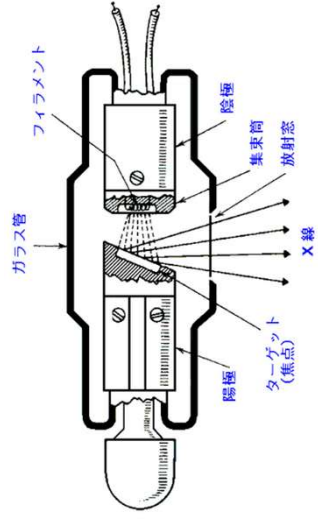
- ・人間の五感では感じることができない
- ・蛍光エックス線を発生させる
- ・透過性が高い
- ・結晶によって回折、散乱が起こる (トムソン散乱、コンプトン散乱など)
- ・写真フィルムを感光させる
- ・原子から電子を電離する(電離作用、イオン化)

エックス線作成機主として放射線に対する防護に関する研究 (240402-01) 調査成果

6

QST

エックス線管のしくみと発生原理



ガラス管

フィラメント

陰極

陽極

ターゲット (焦点)

集束筒

放射窓

X線

エックス線は電子を高電圧で加速し、ターゲット (陽極、対陰極) に衝突させて発生させる

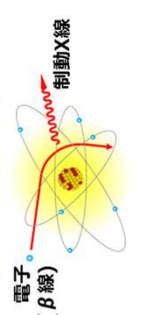
エックス線作成機主として放射線に対する防護に関する研究 (240402-01) 調査成果

7

QST

制動エックス線と特性エックス線

制動X線



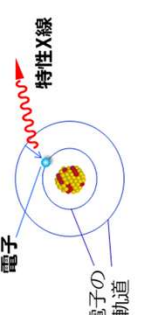
電子 (β線)

制動X線

・制動エックス線：電子が原子核付近で軌道を曲げられることで発生

・制動エックス線 → 連続的に分布

特性X線



電子

電子の軌道

特性X線

・特性エックス線：電子が内殻電子を弾き飛ばし、外殻電子が移動することで発生 (単一波長)

・特性エックス線 → 固有のエネルギー

エックス線作成機主として放射線に対する防護に関する研究 (240402-01) 調査成果

8

7

令和7年度厚生労働省補助金事業

二 イ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

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果

東京国立産業技術研究センター

1

講義の内容

- (1) イックス線装置の原理
- (2) イックス線装置のイックス線管
- (3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
- (4) イックス線装置の操作及び点検
- (5) イックス線装置の安全警報装置

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果

東京国立産業技術研究センター

2

講義の内容

- (1) イックス線装置の原理
- (2) **イックス線装置のイックス線管**
- (3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
- (4) イックス線装置の操作及び点検
- (5) イックス線装置の安全警報装置

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果

東京国立産業技術研究センター

3

本講義を始める前に

本講義のゴール

イックス線管の構造と安全上の注意点を理解し、装置の取り扱いに必要な基礎知識を身につける

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果

東京国立産業技術研究センター

4

本講義を始める前に

本講義のゴール

エックス線管の構造と安全上の注意点を理解し、装置の取り扱いに必要な基礎知識を身につける

エックス線管 主任 専任 教授 に対する 倫理的 知識 に関する 研究 (240402-01) 調査 成果

東京 国立 産業 技術 研究 センター

東京 国立 産業 技術 研究 センター

講義の前に ～用語の解説(複習)

- ・フィラメント(負極): 加熱されることで熱電子を放出するX管内の部品。
- ・熱電子: 高温のフィラメントから放出される自由電子。
- ・ターゲット(陽極): 熱電子が衝突してX線を発生させる金属板(通常はタングステン)。
- ・制動X線: 電子がターゲットに急減速される際に放出される連続スペクトルのX線。
- ・蛍光X線: ターゲット原子の内殻電子が励起され、外殻電子が遷移する際に放出される特性X線。

東京 国立 産業 技術 研究 センター

東京 国立 産業 技術 研究 センター

X線発生装置の構成

- ・高圧電源部
- ・冷却部(水冷・空冷)
- ・X線管部

ケース

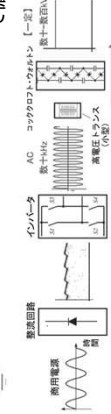
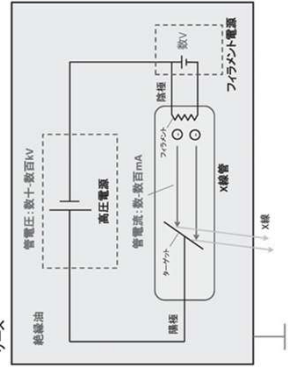


図4 コックローフト方式による高圧電源

勝田 浩一: X線分析の進歩 464-469, X-ray Chem. Anal. Japan 46, pp.2731 (2015)

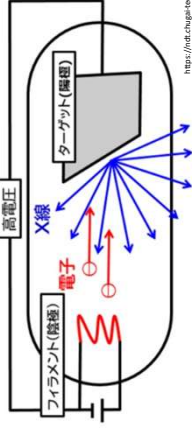
東京 国立 産業 技術 研究 センター

東京 国立 産業 技術 研究 センター

X線発生のおくみ

エックス線管は基本的には、陰極、陽極、真空外囲器の3要素から構成

- 電子ビームが衝突する陽極部をターゲットと呼ぶ



<https://nda.chugai-ec.co.jp/naeda/kyouka/naeda.html>

- フィラメント(負極)から発生した熱電子がターゲット(陽極)に高速で移動
- 電子がターゲットで急減速する
- 持っていた運動エネルギーの一部を電磁波(制動X線)として放出

東京 国立 産業 技術 研究 センター

東京 国立 産業 技術 研究 センター

エックス線管 主任 専任 教授 に対する 倫理的 知識 に関する 研究 (240402-01) 調査 成果

まとめ ～X線管のしくみ、X線発生原理、安全配慮

・**X線管構造の理解**
陰極(フィラメント)・陽極(ターゲット)・真空管で構成
→ 電子がターゲットに衝突してX線が発生

・**X線の種類**
制動X線(連続スペクトル)／特性X線(固有エネルギー)

・**管電圧・管電流の影響**
電圧：X線の透過力とエネルギー
電流：X線の量と画像の精度

・**X線管の安全配慮**
高電圧部の感電リスク／遮へいの重要性／ウォーミングアップの必要性



東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター
Tokyo Metropolitan Institute of Industrial Technology

令和7年度厚生労働省補助金事業

二 イ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

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

1

講義の内容

(1) イックス線装置の原理
(2) イックス線装置のイックス線管
(3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
(4) イックス線装置の操作及び点検
(5) イックス線装置の安全警報装置

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

2

講義の内容

(1) イックス線装置の原理
(2) イックス線装置のイックス線管
(3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
(4) イックス線装置の操作及び点検
(5) イックス線装置の安全警報装置

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

3

本講義を始める前に

本講義のゴール

イックス線管の構造と安全上の注意点を理解し、装
置の取り扱いに必要な基礎知識を身につける

エックス線作業主任者職に対する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

4

X線発生装置の構成(復習)

- ・高圧電源部 ・冷却部(水冷・空冷) ・X線管部

ケース

・高圧電源部(※触るな注意)
【コッククロフト方式】
商用電源の周波数で変動していた管電圧を、一定の電圧に安定させることが可能となり、低管電圧領域のX線を低減できるようになった。分析装置でも使用され、X線の変動が少なくなった。

・冷却部(水冷・空冷)
X線発生には発熱が伴うため、高温によりターゲットが損傷しないよう絶縁油をポンプで循環冷却するなど工夫している。

図4 コッククロフト方式による高圧電源。
藤部祐一・X線分析の進歩46・Adv. X-ray Chem. Anal., Japan 46, pp.27-31 (2015)

東京国立産業技術研究センター

5

X線発生装置における高電圧発生器

- ・高電圧発生器の必要性
陰極(フィラメント)から発生する電子を陽極(ターゲット)に衝突させるために十分加速するため
→ 高電圧により電界を発生させる
- ・高電圧発生器に求められること
数十～数百kVの電圧を安定供給
- ・高電圧発生の原理
コッククロフトウェルトン回路による昇圧インバータ式高電圧装置

地方独立行政法人
東京国立産業技術研究センター

6

高電圧発生の原理

商用のAC電源
→大型高電圧トランスでkVオーダーまで一気に昇圧

図4 高電圧トランス方式による高圧電源。

地方独立行政法人
東京国立産業技術研究センター

7

コッククロフトウェルトン回路による昇圧

コンデンサとダイオードだけで構成されるシンプルな回路

図5 コッククロフト方式による高圧電源。

商用電源を直流にする
→再度高周波の交流に変換
→高周波の交流電圧をトランスで数kV程度に昇圧
→コッククロフトウェルトン回路で一気に昇圧

地方独立行政法人
東京国立産業技術研究センター

8

令和7年度厚生労働省補助金事業

二 イ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

エックス線発生装置に関する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
 東京独立行政法人
 東京都立産業技術研究センター

1

講義の内容

- (1) イックス線装置の原理
- (2) イックス線装置のイックス線管
- (3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
- (4) イックス線装置の操作及び点検
- (5) イックス線装置の安全警報装置

エックス線発生装置に関する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
 東京独立行政法人
 東京都立産業技術研究センター

2

講義の内容

- (1) イックス線装置の原理
- (2) イックス線装置のイックス線管
- (3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
- (4) **イックス線装置の操作及び点検**
- (5) イックス線装置の安全警報装置

エックス線発生装置に関する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
 東京独立行政法人
 東京都立産業技術研究センター

3

本講義を始める前に

本講義のゴール

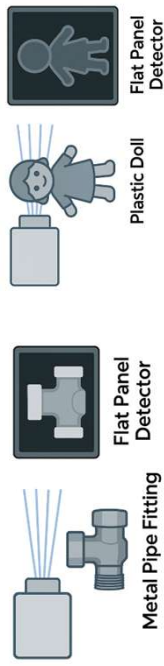
X線発生装置を安全に使用するための操作方法について必要な基礎知識を身につける

エックス線発生装置に関する効率的な教育に関する研究 (240402-01) 調査成果
 東京独立行政法人
 東京都立産業技術研究センター

4

エックス線CT装置の基本原理

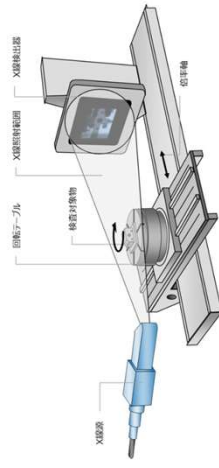
- ・物体を透過するエックス線の吸収量の差を利用
 - 金属などの密度が高い素材：X線をより多く吸収
 - 軽量の樹脂等：X線吸収が比較的少ない



- ・吸収の違いを基にして物体の内部構造を把握

エックス線CT装置の動作原理について

試料内部の対象物の内部構造や欠陥の有無などを調べる。X線管と検出器の間に試験体を置き、回転テーブルで回転させながら透過撮影し、各画像を再構成することでX/Y座標軸での3D、断面画像が得られる。



一般的な屋外用CTの構造

- ・ボックス型で自己遮へい 開放管X線使用
 - ・インターロックあり、自動警報装置あり
- 定格出力時における部屋外の漏洩線量 $0.03 \sim 0.07 \mu\text{Sv/h}$

X線CT装置の使用方法 1

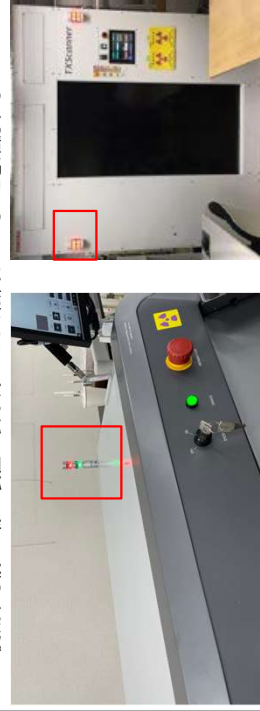
装置を起動し、検査条件と撮影範囲を設定



写真：島津製作所様ご提供

X線CT装置の使用方法 2

使用する前にX線CT装置の表示灯が正しく転倒していることを確認する



X線CT装置の使用 方法 3

回転テーブルを使用して観察対象の物体を360度回転させながら、エックス線を照射



写真：鳥取製作所様ご提供

X線CT装置の使用 方法 4

再構成されたデータは解析ソフトウェアで視覚化され、内部構造を詳細に観察・評価可能



写真：鳥取製作所様ご提供

大型X線CT装置の使用について

例：高精度マイクロフォーカスX線CT装置

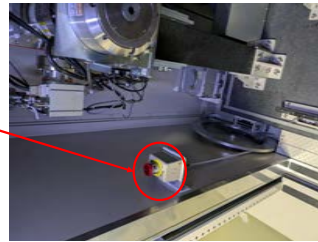
装置外観



装置内部



装置内の緊急停止ボタン



使用前に緊急停止ボタンの位置を確認する
鉛遮蔽い屏が重いので、手を挟まないよう開閉に注意する

X線CT装置の使用前の点検

- ・使用前点検を確実に実施
 - PCの起動 → 正常に起動すること
 - 正面鉛ガラスの確認 → 破損がないこと
 - インターロック確認 → 正常に機能すること
- ・正常であれば以下の手順を実施
 - 装置エイジング（約15分程度）
 - ステージの原点復帰

X線CT装置の使用前の注意(1)



窓が割れていないことを確認してください

写真：最量製作所様ご提供

X線CT装置の使用前の注意(2)



装置のランプが点灯していることを確認してください

写真：最量製作所様ご提供

X線CT装置の使用前の注意(3)



扉のロックが確実に締まっていることを確認してください

写真：最量製作所様ご提供

令和7年度厚生労働省補助金事業

二 イ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

エックス線発生装置に関する効率的な対策に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

1

講義の内容

(1) イックス線装置の原理
(2) イックス線装置のイックス線管
(3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
(4) イックス線装置の操作及び点検
(5) イックス線装置の安全警報装置

エックス線発生装置に関する効率的な対策に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

2

講義の内容

(1) イックス線装置の原理
(2) イックス線装置のイックス線管
(3) 高電圧発生器及び制御器の構造及び機能
(4) イックス線装置の操作及び点検
(5) **イックス線装置の安全警報装置**

エックス線発生装置に関する効率的な対策に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

3

本講義を始める前に

本講義のゴール

X線発生装置の安全警報装置の役割と構造を理
解し、装置の取り扱いに必要な基礎知識を身につ
ける

エックス線発生装置に関する効率的な対策に関する研究 (240402-01) 調査成果
東京独立行政法人
東京都立産業技術研究センター

4

安全機能の全体像

- ・X線は目に見えない → 誤操作や漏えいのリスクあり
- ・安全機能は「人のミスを防ぐ仕組み」
- ・3つの柱: インターロック / 自動警報装置 / 非常停止ボタン

東京都市立産業技術研究センター

東京都市立産業技術研究センター

5

X線装置のインターロック

インターロック:

システムやプロセス間の安全性や整合性を確保するための仕組み
→あるシステムやプロセスが次の処理を開始する前に、特定の条件が満たされているかどうかを確認する仕組み

条件が満たされていない場合、次の処理は待機状態となり、条件が満たされるまで処理は行われない

X線装置のインターロックとして考慮されているもの(例)

- ・扉が閉じられた状態でなければエックス線が照射されないようなインターロック
- ・装置の内部に手指等が入った場合に放射線の照射が停止するインターロック
- ・管電流に対する過電流のインターロック

東京都市立産業技術研究センター

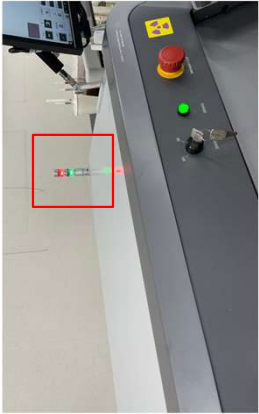
東京都市立産業技術研究センター

6

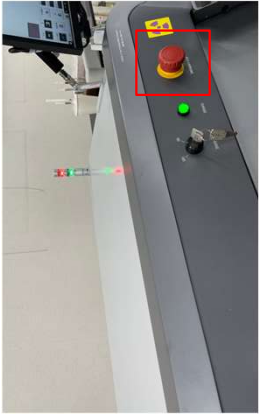
X線装置の自動警報装置



食品製造装置に設置された例



CT装置上部に設置された例



東京都市立産業技術研究センター

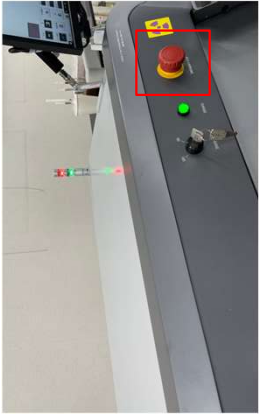
東京都市立産業技術研究センター

7

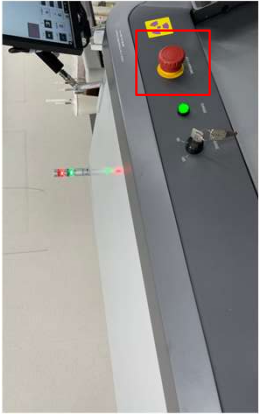
X線装置に設置された緊急停止ボタン



食品製造装置に設置された例



CT装置上部に設置された例



東京都市立産業技術研究センター

東京都市立産業技術研究センター

8

152

各X線装置の防護について(例1)

例:高精度マイクロフォーカスX線CT装置

照射時の自動警報装置

X線管理区域であることを表示

インターロック
(X線照射時に扉を開けると自動的にX線が止まる)

非常時の緊急停止ボタン

扉前の検知センサー

各装置には被ばく防護装置が多く設置されています。

東京都立産業技術研究センター

東京都立産業技術研究センター

9

各X線装置の防護について(例2)

例:高精度マイクロフォーカスX線CT装置

装置内部

装置内の緊急停止ボタン

装置内部にも被ばく防護の対策がなされています。

東京都立産業技術研究センター

東京都立産業技術研究センター

10

X線装置の安全警報装置に関する構造及び機能 ~まとめ

X線発生装置の安全警報装置

・インターロック

条件がそろわない限りX線が発生しない
→故意に「解除」することがあってはならない

・緊急停止ボタン

装置各所に設置されている
→装置を使用する前に場所を確認する

東京都立産業技術研究センター

東京都立産業技術研究センター

11

令和7年度厚生労働省補助金事業	
三 電離放射線の生体に与える影響	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
1	

1

令和7年度厚生労働省補助金事業	
講義におけるゴール	
エックス線が人体に与える影響を理解し、エックス線作業主任者として安全に業務を行うための基礎知識を身につける	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
2	

2

講義の内容	
(1) 電離放射線の性質 (2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応 (3) 電離放射線による健康被害とその種類 (4) 労災認定	
内容の多くは環境省放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和6年度版）に依拠する https://www.env.go.jp/chem/rhm/current/03index.html	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
3	

3

講義の内容	
(1) 電離放射線の性質 (2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応 (3) 電離放射線による健康被害とその種類 (4) 労災認定	
エックス線作業主任者に対する放射線に関する研究 (240402-01) 調査成果	
4	

4

電離放射線とは何か？

電離放射線：物質に当たると電子を弾き飛ばし、原子を電離させる能力を持つ放射線のこと。

電離放射線

- 荷電粒子線**
 - α線** (原子核から飛び出るヘリウムの原子核)
 - β線** (原子核から飛び出る電子), 電子線, 陽電子線 (直接電離放射線)
 - 陽子線, 重陽子線, 三重陽子線, 重イオン線 (荷電中間子線)
 - 核分裂片等
- 非荷電粒子線**
 - 中性粒子 (ニュートリノ)
 - 中性子線等 (原子炉, 加速器等から作られる)

電磁波 (間接電離放射線)

- X線** (原子核の外で発生)
- γ線** (原子核から放出)

非電離放射線 ———— 電波, マイクロ波, 赤外線, 可視光線, 紫外線等

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/01-03-02.html>

5

エックス線の発生原理

制動X線

電子 (β線)

特性X線

電子の軌道

特性X線

X線発生装置の構造図

電圧 V (数万〜数十万 V)

熱電子

陽極 (対陰極)

陰極

特性 X 線

制動 X 線

エックス線は、X線管内で高速電子が金属ターゲットに衝突することで発生。管電圧やターゲット材質により、エネルギーや透過力が変化する。

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/01-03-02.html>

6

電離放射線の種類と性質

電磁波型：X線、γ線 → 高い透過力、散乱性あり
粒子線型：α線、β線、陽子線など → 透過力は低い、局所的な影響が大きい

- α線**
 - 陽子 2 個 + 中性子 2 個
 - ヘリウム (He) の原子核
 - 荷電粒子 (2 +)
- β線**
 - 電子 (あるいは陽電子)
 - 荷電粒子 (−あるいは+)
- γ線・X線**
 - 電磁波 (光子)
- 中性子線**
 - 中性子
 - 非荷電粒子

電離密度高 → 電離密度低

電離密度低・透過力大 → 電離密度高

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/01-03-07.html>

7

放射線の性質と生体影響の関係

空中で飛ぶ距離

- α線** 粒子 (ヘリウム原子核) (1兆分の1cm) → 数cm
- β線** 粒子 (電子) → 数m (エネルギーによる)
- γ線 X線** → 数十m〜 (エネルギーによる)

体に当たると

- 数十μm (マイクロメートル)
- 数mm
- 数cm〜 (エネルギーによる)

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/01-03-09.html>

8

講義の内容

QST

(1) 電離放射線の性質

(2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応

(3) 電離放射線による健康被害とその種類

(4) 防災認定

エフエム総合衛生学研究所が実施する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果

9

9

生体組織への影響を考える前に

QST

DNA

細胞の中にある、生命の設計図のようなもの。遺伝情報を記録しており、親から子へと受け継がれる。

ラジカル

非常に不安定で反応性の高い分子や原子。電子が足りないため、他の物質とすぐに反応する。

電離

放射線などのエネルギーによって、原子や分子から電子が飛び出す現象。これにより、電気を帯びた粒子（イオン）が発生する。

エフエム総合衛生学研究所が実施する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果

10

10

電離作用とは？（DNA損傷のメカニズム）

QST

電離放射線は、細胞内の分子にエネルギーを与え、電子を弾き飛ばすことで「電離」を引き起こす。
特にDNAに損傷を与えると、細胞の設計図が壊れ、機能障害や突然変異の原因となる。

α線

β線

γ線

電子

放射線

拡大

電離している場所

細胞

高い密度で電離が起こる

低い密度で電離が起こる

α線、β線

エフエム総合衛生学研究所が実施する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果

11

11

細胞の修復能力と限界

QST

細胞にはDNA損傷を修復するメカニズムが備わっている
(例：ヌクレオチド除去修復、相同組換えなど)
しかし、修復が間に合わない場合や、誤って修復された場合には問題が生じる
X線 1 ミリグレイ当たり (1細胞当たり)
塩基損傷 2.5 箇所
1 本鎖切断 1 箇所
2 本鎖切断 0.04 箇所

DNA 損傷

修復

完全修復

一部、不完全修復

修復酵素

放射線

細胞

DNA

核

出典：Morgan, 米国放射線防護委員会 (NCRP) 年次総会第44回、2008)より作成
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-02.html>

エフエム総合衛生学研究所が実施する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果

12

12

QST

修復失敗によるリスク（細胞死・変異）

修復が間に合わない場合：

- 細胞はアポトーシス（自然死）を起こす
- 組織の機能低下につながる

誤って修復された場合：

- DNAに異常が残り、細胞が変異
- 長期的にがん細胞へと変化する可能性あり

https://www.jsbba.or.jp/manabu/site/08_02.html

13

エフエス研特発主たる権利に対する効用効果に関する研究 (240402-01) 調査成果

13

QST

直接作用と間接作用（水の放射線分解）

体の約70%は水で構成されている
放射線が水分子に当たると、電離が起こり「フリーラジカル（遊離基）」が生成される
特にヒドロキシルラジカル（ $\cdot\text{OH}$ ）は、DNAや細胞膜を破壊する強い反応性を持つ

(b) 間接作用

化学反応

水の主分解生成物

DNA鎖の切断
塩基の損傷
複雑なDNA損傷

https://www.jaea.go.jp/02/press2024/p25030702/

14

エフエス研特発主たる権利に対する効用効果に関する研究 (240402-01) 調査成果

14

QST

ラジカル生成と生体への影響

ラジカルは非常に不安定で、周囲の分子と激しく反応する
DNA、タンパク質、脂質などを酸化・切断し、細胞機能を損なう
ラジカルによる損傷は、直接的な電離作用と同等かそれ以上に危険

FREE RADICAL DAMAGE TO CELLS

FREE RADICAL

MEMBRANE DESTRUCTION

DNA STRAND BREAK

15

エフエス研特発主たる権利に対する効用効果に関する研究 (240402-01) 調査成果

15

QST

講義の内容

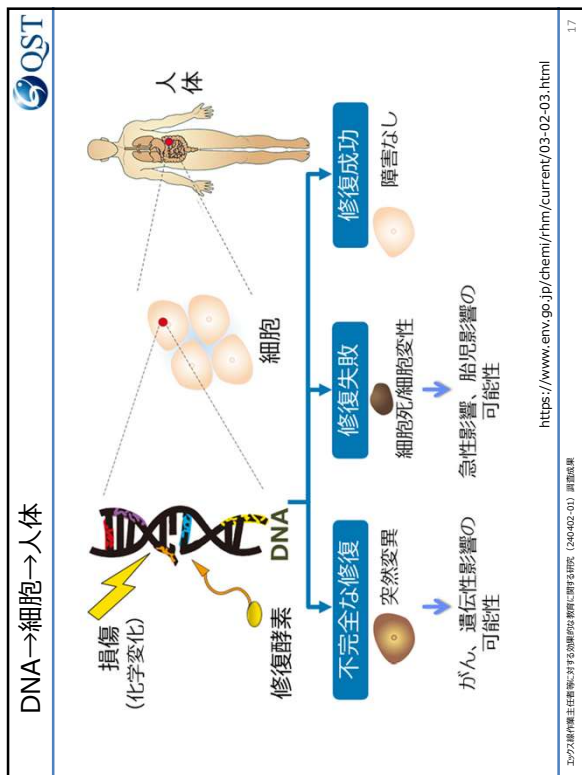
(1) 電離放射線の性質
(2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応
(3) 電離放射線による健康被害とその種類
(4) 防災認定

16

エフエス研特発主たる権利に対する効用効果に関する研究 (240402-01) 調査成果

16

157



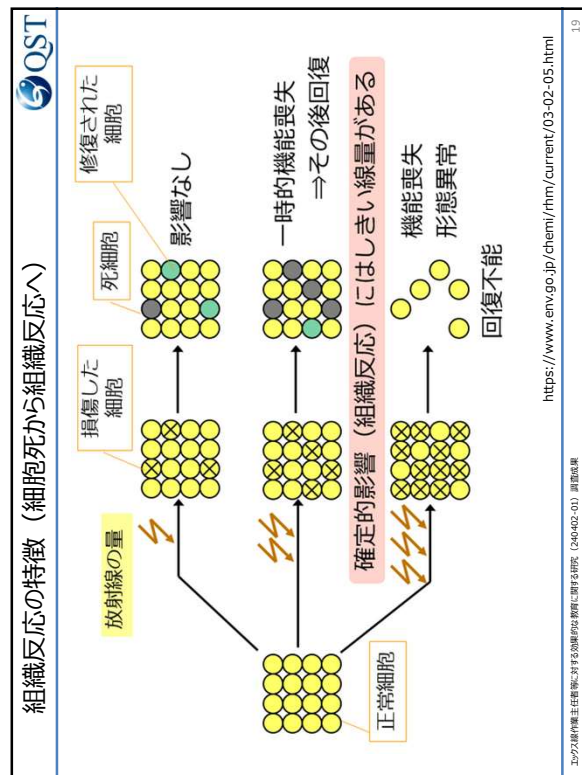
健康被害の分類（組織反応と確率的影響）

• 電離放射線による健康影響は主に2つに分類される：

- **組織反応（確定的影響）**：一定以上の線量で必ず発生
- **確率的影響**：線量に関係なく発生確率が上昇

分類	発生条件	重症度の特徴	予防可能性	代表的な影響例
組織反応（確定的）	しきい線量を超えた場合	線量に比例して重くなる	高い	紅斑、脱毛、白内障
確率的影響	線量に関係なく発生確率が上昇	重症度は線量に比例しない	低い	がん、白血病

18



組織反応の特徴（しきい線量・重症度）

γ（ガンマ）線急性吸収線量のしきい値

障害	臓器／組織	潜伏期	しきい値（グレイ）※
一時的不妊	精巣	3～9週	約0.1
永久不妊	精巣	3週	約6
	卵巣	1週以内	約3
造血能低下	骨髓	3～7日	約0.5
皮膚発赤	皮膚（広い範囲）	1～4週	3～6以下
皮膚熱傷	皮膚（広い範囲）	2～3週	5～10
一時的脱毛	皮膚	2～3週	約4
白内障（視力低下）	眼	20年以上	約0.5

※臨床的な異常が明らかな症状のしきい線量（1%の人々に影響を生じる線量）

出典：国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告、国際放射線防護委員会報告書118（2012年）より作成

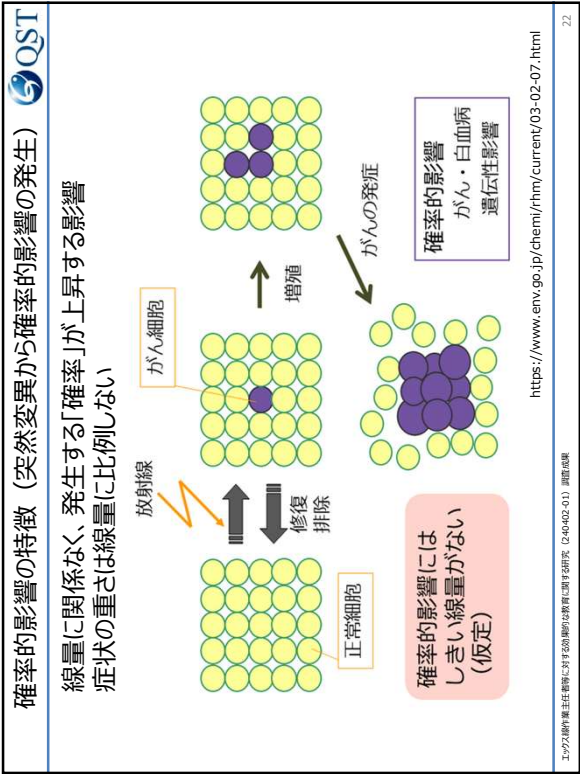
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-03-04.html>

20

組織反応の具体的な症状			QST
症状	発生条件等		21
	皮膚の紅斑・脱毛	局所的な高線量被ばくによる	
	白内障	水晶体の濁り、視力低下	
	不妊	生殖腺への高線量被ばく	
	造血機能障害	骨髄の損傷による免疫力低下	
	放射線宿酔	急性放射線症（吐き気、嘔吐、下痢）	

エフエスセンター主任研究員に対する放射線影響に関する研究 (240-002-01) 調査結果

21



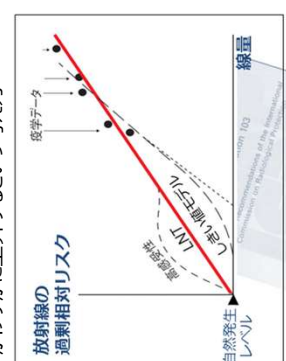
22

確率的影響の特徴（LNTモデルについて）

LNT仮説（Linear No-Threshold）：
どんなに少ない線量でも、がんの発生確率がわずかに上昇するという考え方

支持：
全米科学アカデミー（2006）
放射線被ばくには「これ以下なら安全」と言える量はない

批判的：
フランス医学・科学アカデミー（2005）
一定の線量より低い放射線被ばくでは、がん、白血病等は実際には生じず、LNTモデルは現実には合わない過大評価



⇒国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線防護の目的上、単純かつ合理的な仮定として、直線しきい値なし（LNT）モデルを採用

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/04-01-08.html>

23

確率的影響の特徴（がんのリスク）

放射線の線量 (ミリシーベルト)	がんの相対リスク※
1,000 ~ 2,000	1.8 [1,000mSv当たり1.5倍と推計]
500 ~ 1,000	1.4
200 ~ 500	1.19
100 ~ 200	1.08
100 未満	検出困難

出典：国立がん研究センターウェブサイトより作成
※放射線の発がんリスクは広義で、長年の曝露による確率的な被ばくを分析したデータ（図形がんのみ）であり、低線量被ばくによる発がんリスクは不明である。この表は、がんの発生確率が線量に比例すると仮定した場合の相対リスクと推定される。相対リスクとは、ある原因（ここでは被ばく）により、それを受けた個人のリスクが何倍になるかを表す値です。

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-04-05.html>

24

24

QST

遺伝的影響の理論と現状（ヒトでは未確認）

放射線によるDNA損傷が、次世代に受け継がれる可能性が理論的に考えられている
しかし、ヒトにおいては明確な観察例は報告されていない

■ 放射線による生殖腺（生殖細胞）への影響

◎ 遺伝子突然変異

DNAの遺伝情報の変化（点突然変異）

◎ 染色体異常

染色体の構造異常

※ヒトでは子孫の遺伝病の増加は証明されていません

■ 遺伝性影響のリスク(子と孫の世代まで)

= 約0.2%/グレイ(1グレイ当たり1,000人中2人)

(国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告)

この値は、以下のデータを用いて間接的に推定されている

・ヒト集団での各遺伝性疾患の自然発生頻度

・遺伝子の平均自然突然変異率（ヒト）、平均放射線誘発突然変異率（マウス）

・マウスの放射線誘発突然変異からヒト誘発遺伝性疾患の潜在的リスクを extrapolating する補正係数

■ 生殖腺の組織加重係数（国際放射線防護委員会(ICRP)勧告)

0.25(1977年)→0.20(1990年)→0.08(2007年)

0.25(1977年)→0.20(1990年)→0.08(2007年)

https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-06-01.html

25

25

QST

電離放射線の健康影響まとめ

健康影響は以下の3つに分類される：

- ・組織反応（確定的影響）
- ・確率的影響（がん・白血病）
- ・遺伝的影響（理論的リスク）

それぞれの特徴を理解し、適切な防護策を取ることが重要

分類	発生条件	影響	予防策
組織反応 (確定的影響)	一定以上の高線量 皮膚障害、白内障、不妊、被ばくによる発生	線量管理、遮蔽、距離の確保、被ばく時間の短縮	
確率的影響 (がん・白血病)	低線量でも確率的に発生する可能性あり	がん、白血病などの発症リスク増加	不要な被ばくの回避、線量の最小化
遺伝的影響 (理論的リスク)	生殖細胞の被ばくにより次世代に影響する可能性	遺伝的疾患の理論的リスク（現時点で確認困難）	生殖年齢の被ばく回避、長期的な線量管理

https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-06-01.html

27

27

QST

遺伝的影響に関する疫学調査

■ 20歳までに発症した悪性腫瘍による死亡

41,066名の追跡調査の結果、親の生涯線量（平均0.435Sv）と死亡との関連はありませんでした。
(出典：Y. Yoshimoto et al.: *Am J Hum Genet* 46: 1041-1052, 1990 より作成)

■ がんの罹患率（1958年－1997年）

40,487名の追跡調査の結果、575件の固形腫瘍、68件の血液腫瘍が発症していましたが、親の線量との関連はありませんでした。(調査継続中)

(出典：S. Izumi et al.: *Br J Cancer* 89: 1709-13, 2003 より作成)

■ がんによる死亡

1946年-2009年の観察期間で、75,327名の追跡調査の結果、1,246件のがんによる死亡が発生していましたが、親の線量との関連はありませんでした。

(出典：E. Grant et al.: *Lancet Oncol* 16: 1316-23, 2015 より作成)

■ 生活習慣病有病率（2002年－2006年）

約12,000名の追跡調査の結果、生活習慣病と親の線量との関連はありませんでした。(調査継続中)

(出典：S. Fujiwara et al.: *Radiat Res* 170: 451-7, 2008 より作成)

20歳までに発症した悪性腫瘍の調査、がんの調査、生活習慣病の調査が行われてきたが、放射線の影響は観察されていない

https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-06-01.html

26

26

QST

講義の内容

(1) 電離放射線の性質

(2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応

(3) 電離放射線による健康被害とその種類

(4) 防災認定

https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-06-01.html

28

28

160

放射線による労災認定の事例	
・我が国初の労災認定事例：放射線業務従事者の白血病 ・労災認定には、業務との因果関係、被ばく線量の記録、医学的評価が必要 ・放射線業務では、記録と線量管理が非常に重要 ■ 2023年3月27日 / 最終更新日時：2023年3月28日 原発被ばくなど放射線被ばくによる疾病（電離放射線障害）の労災認定状況～新たに白血病で認定2023/3/10福島・富岡労働基署～ 目次【非表示】 電離放射線障害の業務上外認定（労災認定）のされかた 最近の業務上外判例についての公表状況（厚生労働省HPより） 2023年03月14日公表 白血病（福島第1原発事故後作業労働者）認定（2023年3月10日付 福島労働局福岡労働基署） https://pshtc.net/archives/14032	
エフエム労働衛生センターが実施する労働安全に関する研究（240402-01）調査成果	
29	

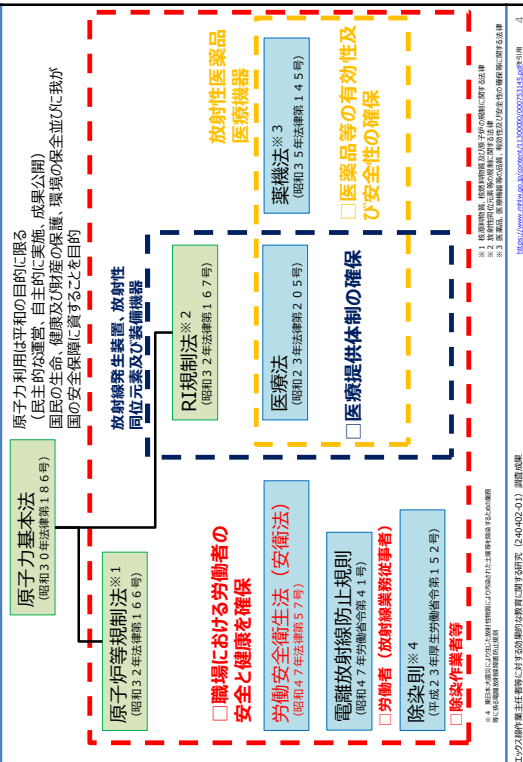
放射線による健康影響のまとめ	
・電離放射線は、細胞やDNAに損傷を与える可能性がある ・健康影響は主に以下の3つに分類される： ・組織反応（確定的影響）：しきい線量を超えたと必ず発生 ・確率的影響：線量に関係なく発生確率が上昇（がん・白血病など） ・遺伝的影響：理論的には可能性があるが、ヒトでは未確認 ・生体への影響は、線量・照射時間・照射部位・個人差によって異なる ・適切な防護策（遮蔽・距離・時間・線量管理）を講じることで、リスクを最小限に抑えることができる	
エフエム労働衛生センターが実施する労働安全に関する研究（240402-01）調査成果	
30	

四 關係法令

- (1) エックス線に関連する法令について
- (2) 労働安全衛生法
- (3) 労働安全衛生規則
- (4) 電離放射線障害防止規則
- (5) 電離放射線防止規則改正について
- (6) その他関連する事項について

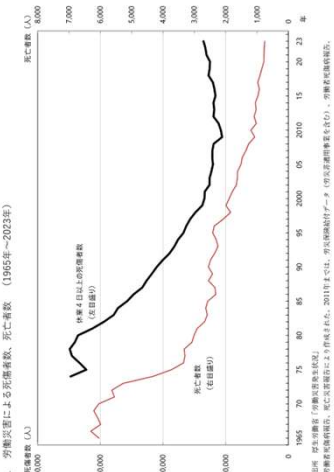
- (1) エックス線に関連する法令について
- (2) 労働安全衛生法
- (3) 労働安全衛生規則
- (4) 電離放射線障害防止規則
- (5) 電離放射線防止規則改正について
- (6) その他関連する事項について

(1-1) エックス線に関連する法令について



（１－２）RI規制法と電離則			
所管	放射性同位元素等の規制に関する法律（RI規制法）	電離放射線障害防止規則	
	原子力規制委員会	厚生労働省	
規制対象	放射性同位元素、放射線発生装置、及びそれらによって汚染されたものの取扱い全般	放射線業務従事者（管理区域に立ち入る者）	
目的	放射性同位元素等の使用、販売、賃貸、廃棄などの取り扱いを規制し、放射線による危害の発生を防止すること (公共の安全の確保)	放射線業務従事者の健康障害を防止するため、放射線管理区域、被ばく線量、健康診断などについて規定 (労働者の健康障害防止)	
放射線を取り扱うという点で共通の目的 規制の対象と範囲が異なる			
エフエス社労働主任者に対する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果			5

講義の内容			
(1) エックス線に関連する法令について			
(2) 労働安全衛生法			
(3) 労働安全衛生規則			
(4) 電離放射線障害防止規則			
(5) 電離放射線防止規則改正について			
(6) その他関連する事項について			
エフエス社労働主任者に対する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果			6

(２－２) 安衛法制定までの経緯			
			
労働基準法を制定（1947年） → 各種労働条件の最低基準を規定する中に、安全衛生にかかる規定も制定 → 1960年代の高度経済成長期に労働災害が増加 (労災死亡者数が毎年約6000人) 労働基準法の安全衛生関係の規定を独立させる形で労働安全衛生法を制定			
エフエス社労働主任者に対する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果			8

(２－１) 労働安全衛生法（安衛法）とは			
成立年	1972年		
目的等	職場における労働者の安全と健康を確保し、快適な職場環境の形成を促進すること。 具体的には、労働災害の防止のための危害防止基準の確立、責任体制の明確化、自主的活動の促進などを通じて、総合的かつ計画的な対策を推進することを目指している。		
エフエス社労働主任者に対する放射線に関する研究 (240-402-01) 調査成果			7

QST

(2-3) 安衛法の概要 (目次から)

第一章	総則 (法の目的、事業者等の責務)
第二章	労働災害防止計画
第三章	安全衛生管理体制
第四章	(労働者の安全及び健康確保の体制整備の義務付け) 労働者の危険又は健康障害を防止するための措置
第五章	(事業者への労働者の危険等防止措置の義務付け) 機械等並びに危険物及び有害物に関する規制
第六章	労働者の就業に当たつての措置 (労働者に対する安全衛生教育について規定)
第七章	健康の保持増進のための措置 (有害な作業場所における作業環境測定の実施)
第七章の二	快適な職場環境の形成のための措置
第八章	免許等
第九章	事業場の安全又は衛生に関する改善措置等
第十章	監督等 (一定の業務や機械等設置に係る届出の義務付け)
第十一章	雑則
第十二章	罰則

エクス線利用業主に義務に対する労働者の教育に関する研究 (240402-01) 調査成果

9

9

(2 - 4) 安衛法における基本的な考え方		QST
目的 危険防止基準の確立及び責任体制の明確化等により、労働者の安全と健康を確保 義務主体 事業者 事業を行う者で、労働者を使用するものをいう。(罰則により実施を担保) 保護される客体 労働者 労働基準法第九条に規定する労働者(同居の親族のみを使用する事業又は事務所に使用される者及び家事使用人を除く。)をいう。 講ずべき措置 危険防止措置 健康障害防止措置 安全衛生管理体制の確立 労働者の就業にあたっての措置 健康の保持増進のための措置	エクス線利用業主に義務に対する労働者の教育に関する研究 (240402-01) 調査成果	
		10

10

QST

(2-5) エックス線利用に関連する条文 (1)

(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。

第二十二条

事業者は、次の健康障害を防止するため必要な措置を講じなければならない。

- 一 原材料、ガス、蒸気、粉じん、酸素欠乏空気、病原体等による健康障害
- 二 放射線、高温、低温、超音波、騒音、振動、異常気圧等による健康障害
- 三 計器監視、精密工作等の作業による健康障害
- 四 排気、排液又は残さい物による健康障害

エクス線利用業主に義務に対する労働者の教育に関する研究 (240402-01) 調査成果

11

11

QST

(2-6) エックス線利用に関連する条文 (2)

(安全衛生教育)

第五十九条

事業者は、労働者を雇い入れたときは、当該労働者に対し、厚生労働省令で定めるところにより、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行わなければならない。

- 前項の規定は、労働者の作業内容を変更したときについて準用する。
- 事業者は、危険又は有害な業務で、厚生労働省令で定めるものに労働者をつかせるときは、厚生労働省令で定めるところにより、当該業務に関する安全又は衛生のための特別の教育を行わなければならない。

(作業環境測定)

第六十五条

事業者は、有害な業務を行う屋内作業場その他の作業場で、政令で定めるものについて、厚生労働省令で定めるところにより、必要な作業環境測定を行い、及びその結果を記録しておかなければならない。

エクス線利用業主に義務に対する労働者の教育に関する研究 (240402-01) 調査成果

12

12

講義の内容	
(1) エックス線に関連する法令について (2) 労働安全衛生法 (3) 労働安全衛生規則 (4) 電離放射線障害防止規則 (5) 電離放射線防止規則改正について (6) その他関連する事項について	13
エックス線作業主任者に対する労働安全衛生教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

13

(3-2) エックス線利用に関連する条文	
第四章 安全衛生教育 (特別教育を必要とする業務) 第三十六条 法第五十九条第三項の厚生労働省令で定める危険又は有害な業務は、次のとおりとする。 二十八 エックス線装置又はガンマ線照射装置を用いて行う透過写真の撮影の業務 (特別教育の記録の保存) 第三十八条 事業者は、特別教育を行なったときは、当該特別教育の受講者、科目等の記録を作成して、これを三年間保存しておかなければならない。	15
エックス線作業主任者に対する労働安全衛生教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

15

(3-1) 労働安全衛生規則	
労働者の安全と健康を確保し、快適な職場環境を形成することを目的とした「労働安全衛生法」を具体的に実施するための厚生労働省令 安全衛生管理体制： 企業の安全衛生委員会の設置や、安全管理者・衛生管理者の選任など、組織としての安全衛生体制に関する規定 機械・危険物・有害物に関する規制： 機械の安全装置の設置、危険物や有害物の取り扱いに関するルールなど、物的側面からの安全対策 安全衛生教育： 労働者に対する安全衛生教育の実施義務や内容、特別教育の対象となる業務 就業制限： 特定の業務に就業する際に、一定の資格や経験を必要とする制限 健康保持増進措置： 健康診断の実施、作業環境の測定、ストレスチェックなど、労働者の健康を保持・増進するための措置	14
エックス線作業主任者に対する労働安全衛生教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

14

講義の内容	
(1) エックス線に関連する法令について (2) 労働安全衛生法 (3) 労働安全衛生規則 (4) 電離放射線障害防止規則 (5) 電離放射線防止規則改正について (6) その他関連する事項について	16
エックス線作業主任者に対する労働安全衛生教育に関する研究 (240-402-Q1) 調査成果	

16

(４－１) 電離放射線防止規則（電離則）の概要	
第一章 総則 第二章 管理区域並びに線量の限度及び測定 第三章 外部放射線の防護 第四章 汚染の防止 第一節 放射性物質（事故由来放射性物質を除く。）に係る汚染の防止 第二節 事故由来放射性物質に係る汚染の防止 第四章の二 特別な作業の管理 緊急措置 第六章 エックス線作業主任者及びガンマ線透過写真撮影作業主任者 第六章の二 特別の教育 第七章 作業環境測定 第八章 健康診断 第九章 指定緊急作業等従事者等に係る記録等の提出等 第十章 雑則 附則	
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査成果	
17	

(４－２) 電離則における基本的な考え方	
目的 労働者が電離放射線を受けることをできる限り少なくするように努めること 義務主体 事業者 放射線業務を行う事業の事業者 保護される客体 放射線業務従事者 管理区域において放射線作業を行う労働者 講ずべき措置 線量管理 健康管理 安全対策 教育	
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査成果	
18	

(４－３) 電離則における放射線業務	
労働安全衛生法施行令（昭和四十七年政令第三百十八号） 別表第二 放射線業務で定義	
一	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
二	サイクロトロン、ベータトロンその他の荷電粒子を加速する装置の使用又は電離放射線（アルファ線、重陽子線、陽子線、ベータ線、電子線、中性子線、ガンマ線及びエックス線をいう。第五号において同じ。）の発生を伴う当該装置の検査の業務
三	エックス線管若しくはケプ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
四	厚生労働省令で定める放射性物質を装備している機器の取扱いの業務
五	前号に規定する放射性物質又は当該放射性物質若しくは第二号に規定する装置から発生した電離放射線によつて汚染された物の取扱いの業務
六	原子炉の運転の業務
七	坑内における核原料物質の掘採の業務
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査成果	
19	

(４－４) 電離則における管理区域の明示	
(管理区域の明示等) 第三条 放射線業務を行う事業の事業者（第六十二条を除き、以下「事業者」という。）は、次の各号のいずれかに該当する区域（以下「管理区域」という。）を標識によつて明示しなければならない。 一 外部放射線による実効線量と空気中の放射性物質による実効線量との合計が三ヶ月間につき一・三ミリシーベルトを超えるおそれのある区域 二 放射性物質の表面密度が別表第三に掲げる限度の十分の一を超えるおそれのある区域 2 前項第一号に規定する外部放射線による実効線量の算定は、一センチメートル線量当量によつて行うものとする。 3 第一項第一号に規定する空気中の放射性物質による実効線量の算定は、一・三ミリシーベルトに一週間の労働時間中における空気中の放射性物質の濃度の平均（一週間における労働時間が四十時間を超え、又は四十時間に満たないときは、一週間の労働時間中における空気中の放射性物質の濃度の平均に当該労働時間を四十時間で除して得た値を乗じて得た値。以下「週平均濃度」という。）の三ヶ月間における平均の厚生労働大臣が定める限度の十分の一に対する割合を乗じて行うものとする。 4 事業者は、必要のある者以外の者を管理区域に立ち入らせなくてはならない。 5 事業者は、管理区域内の見やすい場所に、第八条第三項の放射線測定器の装着に関する注意事項、放射性物質の取扱い上の注意事項、事故が発生した場合の応急の措置等放射線による労働者の健康障害の防止に必要な事項を掲示しなければならない。	
エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査成果	
20	

(4-4) 管理区域に係る解説 (基発第253号)

QST

「標識によって明示」

- ・区画物に標識を付したり、床土を白線、黄線、黄黒の縞模様等により明確に区画したりすること
- ・移動用の放射線装置を用いて臨時に非破壊検査業務等を行う場合で、これらの方法によることが困難な場合は、要所要所にスタンド、旗等を設け、これらを結ぶ線によって囲まれる区域が管理区域として明らかにされるような措置を講ずることとしても差し支えないこと。

- ・管理区域の設定のために測定を行う場合の1週間の労働時間については、管理区域内の施設、装置等の使用時間又は滞在時間が社内規定で明文化されている場合等であれば、1週間の当該使用時間又は滞在時間をもって、当該管理区域における1週間の労働時間として差し支えないものであること。
- ・第3項の「厚生労働大臣が定める限度」とは、**1年間(週40時間×年50週)**その空気にさらされたときに、放射性物質を吸入摂取することによって50ミリシーベルトの実効線量(第4条第1項に規定する1年間の実効線量に相当する。)を受けることになるような空気中の放射性物質の濃度であり、「空気中濃度限度」ということ。

21

エフエム総合主任監修に対する効用影響の算出に関する研究 (24-042-Q1) 調査成果

21

(4-6) 管理区域に係る解説 (管理区域設定について)

QST

(一部を抜粋して紹介)

- 1 外部放射線による実効線量
(1) 放射線測定器の選定
外部放射線を測定するための放射線測定器については、次の要件に留意の上、適切なものを選定すること。
ア 1センチメートル線量当量又は1センチメートル線量当量率(以下「1センチメートル線量当量等」という。)が測定できること。

キ 放射線測定器は、国家標準とのトレーサビリティが明確になっている基準測定器又は数量が証明されている線源を用いて測定を実施する日の1年以内に校正されたものであること。

(2) 測定箇所
測定箇所については、次に掲げる点を考慮して選定すること。
ア 作業者が立ち入る区域で線源に最も近い箇所又は遮へいの薄い箇所等、1センチメートル線量当量等が最大になると予測される箇所を含むこと。
イ 作業者が常に作業している箇所を含むこと。

キ 測定点の高さは、作業床面上約1メートルの位置とすること。

23

エフエム総合主任監修に対する効用影響の算出に関する研究 (24-042-Q1) 調査成果

23

(4-5) 管理区域に係る解説 (つづき)

QST

- ・放射線の照射中に労働者の身体の一部又は一部がその内部に入ることのないように遮へいされた構造の放射線装置等を使用する場合であって、放射線装置等の外側のいずれの箇所においても、実効線量が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えないものについては、当該装置の外側には管理区域が存在しないものとして取り扱って差し支えないこと。
 - ・ただし、その場合であっても、装置の内部には管理区域が存在するので、第1項の「標識によって明示」することは必要であること。これらの装置を使用する場合であっても、労働者に対しては、**安全衛生教育等において、放射線の人体への影響、及び被ばくを防止するための装置の安全な取扱い等について周知させること。**
- ・この装置の例としては、次のものがある
 - ア **エックス線照射ボックス付きエックス線装置**であって、外側での実効線量が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えないように遮へいされた照射ボックスの扉が開けられた状態でなければエックス線が照射されないようなインターロックを有し、当該インターロックを労働者が容易に解除することができないような構造のもの
 - イ **空港の手荷物検査装置**であって、手荷物の出入口は、労働者の手指等が装置内に入ることがないよう2重の含鉛防護カーテンで仕切られ、当該装置の外側での実効線量が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えないように遮へいされているもの
 - ウ **工場の製造工程で使用されている計測装置等**で、製品等の出入口は、労働者の手指等が装置内に入ることがないよう2重の含鉛防護カーテンで仕切られ、又は労働者の手指等が装置の内部に入った場合に放射線の照射が停止するインターロックを有し、かつ当該インターロックを労働者が容易に解除することができないような構造であり、装置の外側での実効線量が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えないように遮へいされているもの

22

エフエム総合主任監修に対する効用影響の算出に関する研究 (24-042-Q1) 調査成果

22

(4-7) 被ばく線量限度

QST

	線量限度	根拠条文
放射線業務従事者 全身	実効線量 5年間で100 mSv/5年 かつ 1年間で50 mSv 女性 は 3月間で5 mSv	電離則第4条
放射線業務従事者 眼の水晶体 手指	眼の水晶体(等価線量) 5年間で100 mSv/5年 かつ 1年間で50mSv 皮膚(等価線量) 1年間で500 mSv	電離則第5条
妊娠中	妊娠と診断されたときから出産までの間 (以下「妊娠中」という。) - 一 内部被ばくによる実効線量については、1 mSv - 二 腹部表面に受ける等価線量については、2 mSv	電離則第6条
緊急作業時	緊急作業の間で - 一 実効線量については、100 mSv - 二 眼の水晶体に受ける等価線量については、300 mSv - 三 皮膚に受ける等価線量については、1 Sv	電離則第7条第2項
特例緊急作業時	特例緊急被ばく限度:250 mSvを超えない範囲内に限る。 - 一 原子力災害対策特別措置法第十条に規定する政令で定める事象のうち厚生労働大臣が定めるものが発生した場合 - 二 原法第十五条第一項各号に掲げる場合	電離則第7条の2第1項

24

エフエム総合主任監修に対する効用影響の算出に関する研究 (24-042-Q1) 調査成果

24

167

(4-8) 被ばく線量の測定

(線量の測定)

第八条 事業者は、放射線業務従事者、緊急作業に従事する労働者及び管理区域に一時的に立ち入る労働者の管理区域内において受ける外部被ばくによる線量及び内部被ばくによる線量を測定しなければならない。

2 前項の規定による外部被ばくによる線量の測定は、センチメートル線量当量、ミリメートル線量当量及び七十マイクロメートル線量当量のうち、実効線量及び等価線量の別に応じて、放射線の種類及びその有するエネルギーの値に基づき、当該外部被ばくによる線量を算定するために適切と認められるものについて行うものとする。

3 第一項の規定による外部被ばくによる線量の測定は、次の各号に掲げる部位に放射線測定器を装着させて行われなければならない。ただし、放射線測定器を用いてこれを測定することが著しく困難な場合には、放射線測定器によって測定した線量当量率を用いて算出し、これが著しく困難な場合には、計算によってその値を求めることができる。

一 男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性にあつては胸部、その他の女性にあつては腹部



26

放射線作業の安全管理に関する法令の施行期に際する関係法令の施行期に関する研究（24-402-C1） 調査結果

（４－９）被ばく線量の測定（続き）

（線量の測定）

第八条 事業者は、放射線業務従事者、緊急作業に従事する労働者及び管理区域に一時的に立ち入る労働者の管理区域内において受ける外部被ばくによる線量及び内部被ばくによる線量を測定しなければならない。

7 事業者は、管理区域内における放射線業務、緊急作業及び管理区域に一時的に立ち入る作業（以下この項及び次項において「管理区域内放射線業務等」という。）の一部を請負人に請け負わせるときは、当該請負人に対し、当該管理区域内放射線業務等に従事する者が管理区域内において受ける外部被ばくによる線量及び内部被ばくによる線量を、第二項から第五項までに定めるところにより測定する必要がある旨を周知しなければならない。

8 事業者は、管理区域内放射線業務等の一部を請負人に請け負わせるときは、当該請負人に対し、第三項ただし書の場合を除き、管理区域内において放射線測定器を装着する必要がある旨を周知しなければならない。

（線量の測定結果の確認、記録等）

第九条 事業者は、一日における外部被ばくによる線量がセンチメートル線量当量について一ミリシーベルトを超えるおそれのある労働者については、前条第一項の規定による外部被ばくによる線量の測定の結果を毎日確認しなければならない。

QST

(４－１０) 特定エックス線装置に係る規程

特定エックス線装置

労働安全衛生法施行令第十三条第三項第二十二号

波高値による定格管電圧がサロポルト以上のエックス線装置（エックス線又はエックス線装
置の研究又は教育のため、使用の都合を組み立てるもの及び医薬品、医療機器等の品質、有
効性及び安全性の確保等に関する法律（昭和三十五年法律第百四十五号）第二条第四
項に規定する医療機器で、厚生労働大臣が定めるものを除く。）

一部抜粋

（照射筒等又ははじりの使用） 第十条

（ろ過板の使用） 第十一条

（間接撮影時の措置）

第十二条 事業者は、特定エックス線装置を用いて間接撮影を行うときは、次の措置を講じなけ
ればならない。ただし、エックス線の照射中に間接撮影の作業に従事する労働者の身体の一部又
は一部がその内部に入ることがないように遮へいされた構造の特定エックス線装置を使用する場合
は、この限りでない。（透視時の措置）

第十三条 事業者は、特定エックス線装置を用いて透視を行うときは、次の措置を講じなければ
ならない。ただし、エックス線の照射中に透視の作業に従事する労働者の身体の一部又は一部が
その内部に入ることがないように遮へいされた構造の特定エックス線装置を使用する場合は、この
限りでない。

一 透視の作業に従事する労働者が、作業位置で、エックス線の発生を止め、又はこれを遮へい
することができず設備を設けること。

エックス線装置主任技術者に対する研修の要綱に関する附則（2404-02-01） 労働安全

27



(4-1-1) 放射線室及び警報装置

(放射線装置室)

第十五条 事業者は、次の装置又は機器（以下放射線装置という。）を設置するときは、専用の室（以下放射線装置室という。）を設け、その室内に設置しなければならない。ただし、その外側における外部放射線による一センチメートル線量当量率が二十マイクロシーベルト毎時を超えないに達しなければならぬ構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合その他放射線装置を放射線装置室内に設置することが、著しく、使用の目的を妨げ、若しくは作業の性質上困難である場合には、この限りでない。

- 一 エックス線装置
- 二 荷電粒子を加速する装置
- 三 エックス線管若しくはケプ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を行う装置
- 四 放射性物質を装備している機器

2 事業者は、放射線装置室の入口に、その旨を明記した標識を掲げなければならない。

(警報装置等)

第十七条 事業者は、次の場合には、その旨を関係者に周知させる措置を講じなければならない。この場合において、その周知の方法は、その放射線装置を放射線装置室以外の場所で使用するとき、又は管電圧五十キロボルト以下のエックス線装置若しくは数量が四百ギガベクレル未満の放射性物質を装備している機器を使用するさまを除き、自動警報装置によらなければならない。

- 一 エックス線装置又は荷電粒子を加速する装置に電力が供給されている場合
- 二 エックス線管若しくはケプ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を行う装置に電力が供給されている場合

エネルギー政策基本法に基づき原子力規制庁が所管する研究（24-402-01）調査成果

28

(4-1-2) 立入禁止及び透過写真の撮影時の措置等

QST

立入禁止

第十八条 事業者は、第十五条第一項ただし書の規定により、工業用等のエックス線装置又は放射性物質を装備している機器を放射線装置室以外の場所で使用するときは、そのエックス線管の集点又は放射線源及び被照射体から五メートル以内の場所（外部放射線による実効線量が一週間につき一ミリシーベルト以下の場所を除く。）に、作業に従事する者を立ち入らせなければならない。ただし、放射性物質を装備している機器の線源容器内に放射線源が確実に収納され、かつ、シャッターを有する線源容器にあつては当該シャッターが閉鎖されている場合において、線源容器から放射線源を取り出すための準備作業、線源容器の点検作業その他必要な作業を行うために立ち入るときは、この限りでない。

(透過写真の撮影時の措置等)

第十八条の二 事業者は、第十五条第一項ただし書の規定により、特定エックス線装置又は透過写真撮影用ガンマ線照射装置（ガンマ線照射装置で、透過写真の撮影に用いられるものをいう。以下同じ。）を放射線装置室以外の場所で使用するとき（被ばくのおおそれがないときを除く。）は、放射線を、作業に従事する者が立ち入らない方向に照射し、又は遮蔽する措置を講じなければならない。

29

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査結果

(4-1-3) 電離則における緊急措置について

QST

事業者の講ずべき措置
退避（第四十二条）
作業に従事する者を退避させなければならない
事故に関する報告（第四十三条）
速やかにその旨労働基準監督署長に報告しなければならない
診察等（第四十四条）
労働者に、速やかに医師の診察又は処置を受けさせなければならない
事故に関する測定及び記録（第四十五条）
労働者がその区域内にいたことよつて、又は緊急作業に従事したことよつて受けた実効線量、眼の水晶体及び皮膚の等価線量並びに次の事項を記録し、これを五年間保存しなければならない

30

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査結果

(4-1-4) 事故に関する測定及び記録について

QST

第四十五条 事業者は、第四十二条第一項各号のいずれかに該当する事故が発生し、同項の区域が生じたときは、労働者がその区域内にいたことよつて、又は緊急作業に従事したことよつて受けた実効線量、眼の水晶体及び皮膚の等価線量並びに次の事項を記録し、これを五年間保存しなければならない。
一 事故の発生した日時及び場所
二 事故の原因及び状況
三 放射線による障害の発生状況
四 事業者が採つた応急の措置
2. 事業者は、前項に規定する労働者で、同項の実効線量又は等価線量が明らかでないものについては、第四十二条第一項の区域の必要な場所ごとの外部放射線による線量当量率、空気中の放射性物質の濃度又は放射性物質の表面密度を放射線測定器を用いて測定し、その結果に基づいて、計算により前項の実効線量又は等価線量を算出しなければならない。
3. 前項の線量当量率は、放射線測定器を用いて測定することが著しく困難なときは、同項の規定にかかわらず、計算により算出することができる。
4. 事業者は、放射線業務等の一部を請負人に請け負わせるときは、当該請負人に対し、第一項に規定する区域が生じた場合であつて、放射線業務等に従事する者がその区域内にいたことよつて、又は緊急作業に従事したことよつて受けた同項の実効線量又は等価線量が明らかでないときは、第四十二条第一項の区域内の必要な場所ごとの外部放射線による線量当量率、空気中の放射性物質の濃度又は放射性物質の表面密度を放射線測定器を用いて測定し、その結果に基づいて、計算により第一項の実効線量又は等価線量を算出する必要がある旨を周知させなければならない。
5. 事業者は、前項の請負人に対し、同項の線量当量率を放射線測定器を用いて測定することが著しく困難なときは、同項の規定にかかわらず、計算により算出することができる旨を周知させなければならない。

31

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査結果

(4-1-4) エックス線作業主任者

QST

エックス線装置を使用する作業において、労働者の被ばくを防止するための責任者として選任される（電離則第四十六条）国家資格を持つ者

一	第三条第一項又は第十八条第四項の標識がこれらの規定に適合して設けられるように措置すること
二	第十条第一項の照射筒若しくはしぼり又は第十一条の過板が適切に使用されるように措置すること
三	第12条各号（間接撮影時の措置）若しくは第13条各号（透視時の措置）に掲げる措置又は第18条の2（透過写真の撮影時の措置等）に規定する措置を講ずること
四	前2号に掲げるもののほか、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
五	第17条第1項の措置（エックス線装置への電源供給の周知）がその規定に適合して講じられているかどうかについて点検すること
六	照射開始前及び照射中、第18条第1項の場所に労働者が立ち入っていないことを確認すること
七	第八条第三項の放射線測定器が同項の規定に適合して装着されているかどうかについて点検すること

32

エックス線作業主任者等に対する放射線防護に関する研究（240-402-Q1）調査結果

(4-1-5) イックス線作業主任者（試験科目等）



受験について

1. 試験科目・試験時間

試験科目	出題数(配点)	試験時間※
イックス線の管理に関する知識	10問(30点)	12:30～16:30 4時間
関係法令	10問(20点)	1科目免除者は 12:30～15:30 3時間
イックス線の測定に関する知識	10問(25点)	2科目免除者は 12:30～14:30 2時間
イックス線の生体に与える影響に関する知識	10問(25点)	

https://www.esam.or.jp/introduction/h_shohai2014/access-on-1st-july-2025

33

(4-1-6) 電離則における特別的教育



(透過写真撮影業務に係る特別的教育)

第五十二条の五 事業者は、エックス線装置又はガンマ線照射装置を用いて行う透過写真の撮影の業務に労働者を就かせるときは、当該労働者に対し、次の科目について、特別の教育を行わなければならない。

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

2 安衛則第三十七条及び第三十八条並びに前項に定めるほか、同項の特別の教育の実施について必要な事項は、厚生労働大臣が定める。

[エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 \(240-402-Q1\) 調査結果](#)

34

34

(4-1-7) 電離則における作業環境測定



(作業環境測定を行うべき作業場)

第五十三条 令第二十一条第六号の厚生労働省令で定める作業場は、次のとおりとする。

一 放射線業務を行う作業場のうち管理区域に該当する部分

二 放射性物質取扱作業室

二の二 事故由来廃棄物等取扱施設

三 令別表第二第七号に掲げる業務を行う作業場

(線量当量率等の測定等)

第五十四条 事業者は、前条第一号の管理区域について、一月以内（放射線装置を固定して使用する場合において使用の方法及び遮蔽物の位置が一定しているとき、又は三・七ギガベクレル以下の放射性物質を装備している機器を使用するときは、六月以内）ごとに一回、定期的に、外部放射線による線量当量率又は線量当量を放射線測定器を用いて測定し、その都度、次の事項を記録し、これを五年間保存しなければならない。

[エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 \(240-402-Q1\) 調査結果](#)

35

35

(4-1-8) 電離則における作業環境測定



(作業環境測定を行うべき作業場)

第五十三条 令第二十一条第六号の厚生労働省令で定める作業場は、次のとおりとする。

一 放射線業務を行う作業場のうち管理区域に該当する部分

二 放射性物質取扱作業室

二の二 事故由来廃棄物等取扱施設

三 令別表第二第七号に掲げる業務を行う作業場

(線量当量率等の測定等)

第五十四条 事業者は、前条第一号の管理区域について、一月以内（放射線装置を固定して使用する場合において使用の方法及び遮蔽物の位置が一定しているとき、又は三・七ギガベクレル以下の放射性物質を装備している機器を使用するときは、六月以内）ごとに一回、定期的に、外部放射線による線量当量率又は線量当量を放射線測定器を用いて測定し、その都度、次の事項を記録し、これを五年間保存しなければならない。

[エックス線作業主任者等に対する放射線に関する研究 \(240-402-Q1\) 調査結果](#)

36

36

(6 - 2) エックス線装置構造規格

2. 医療用以外（以下「工業用等」という。）のエックス線装置のエックス線管は、その焦点からターゲットの距離における利用線径以外の部分のエックス線の空気カーマ率が、次の表の上欄に掲げるエックス線装置の区分に応じ、それぞれ同表の下欄に掲げる空気カーマ率以下になるように遮へいされているものでなければならない。

エックス線装置の区分		空気カーマ率	
波高値による定格管電圧が二〇〇キロボルト未満のエックス線装置		二・六ミリグレイ毎時	
		四・三ミリグレイ毎時	
波高値による定格管電圧が二〇〇キロボルト以上のエックス線装置			

エックス線装置主任者等に対する放射線防護に関する研究（240422-01） 調査成果

45

Ⅲ. 分担研究報告（コンテンツ教材整備）

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 片岡憲昭

（地方独立行政法人 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）

研究要旨

本分担研究は、10kV 以上のボックス型 X 線装置を使用する者に対する安全衛生教育の教育資料を作成した。資料では、研究員のみでなく、機器利用者にも対応するための対策を講じた資料となっている。作成した資料を用いて東京都立産業技術研究センター内で対面と Web 形式による安全衛生教育を実施した。対面形式では、教育後、質疑応答の時間を設けた。また、アンケートにも答えてもらった。

実施した結果、教育訓練資料の内容として X 線の被ばく事故例に関して興味を持たれた。また、事故を受けた結果、どのような症状が出たかという人体影響に興味を持ち、X 線装置からの被ばくは非常に甚大であると理解された。そこで、X 線装置を使用時に注意すべき警報装置・安全装置などを再度教育した。

Web 教育時ではしっかり受講しているのか確認ができないため、不安な面もあった。また、そもそも受講していないであろう人も大量に出るのではないかと感じる面もあった。

A. 研究目的

本分担研究は、改正された「労働安全衛生規則（安衛則）」、「電離放射線障害防止規則（電離則）」と「透過写真撮影業務特別教育規程」に基づき、効果的な教育訓練資料を厚生労働省に提供することを目的としている。そこで、これまでに検討した警報装置や安全機能が各装置に備え付けられているか、また使用者がどのように注意すべきか、さらに、X 線装置で被ばくしてしまった場合に、どの程度被ばくするかを含めた教育材料を作成し、教育訓練を実施する必要がある。事業所からは Web で教育訓練を実施してほしいというリスエストも多く、Web で

の効果的な教育方法と教育資料が必須となる。そこで、本研究では東京都立産業技術研究センターが保有しているボックス型 X 線装置 32 台を使用している研究員に対し、30 分程度の安全衛生教育を Web 形式と対面形式で実施し、現在の教育訓練資料でどの程度効果があるかを検証した。

B. 研究方法

(1) X 線装置

東京都立産業技術研究センターで保有しているボックス型 X 線装置は X 線回折装置、蛍光 X 線分析装置、光電子分光装置、X 線 CT、X 線膜厚計、X 線顕微鏡、X 線小

角散乱装置、電子線照射装置、X 線非破壊検査装置、イオン注入装置、TEM である。電子線照射装置やイオン注入装置など電離則から除外される装置もあるが、被ばくの可能性があるので本研究の対象に入れている。

(2)対象法令と対策

安衛法第 46 条関係では、「エックス線装置については、その外側に管理区域が存在しないので、安全装置を保持した上で当該装置を使用する場合は、エックス線作業主任者の選任は要しないこと。ただし、事業者は、当該装置の適正な使用のため、必要な知識を有する者を当該装置の管理責任者として選任し、当該装置の安全装置等を有効に保持し、労働者の手指等が装置の中に入らないよう必要な措置を講じさせることが望ましいこと。」と記載されており、また、「労働安全衛生法 第 59 条第 1 項または第 2 項に基づき雇入れ時等に安全衛生教育等を行う。」つまり、新たにエックス線装置を使用する際には、装置管理者から装置の取り扱いの教育を受ける必要がある。

そこで、東京都立産業技術研究センターでは、X 線作業主任者（筆者）が別紙 1 の通り、各装置に管理担当者を配置した。また、1 年に 1 回の警報装置・安全装置の点検と漏洩線量測定を実施した。また、警報装置と安全装置に関しては使用時に常に確認するように管理者に指示した。

各都道府県の公設試験所で特有であるが、お客様に X 線装置の使い方を教え、自由に使わせる「機器利用」制度がある。通常であれば「装置の使用者であるお客様の事業者」が安全衛生教育を行う必要があるが、X 線装置の使用方法や安全装置などの点検方法

なども教えることが難しいため、機器利用において、使用者はライセンス登録制とし、初回時 30 分程度教育訓練を実施する。項目①装置の使用方法、②装置の警報装置・安全装置のしくみ、③放射線の人体影響である。教育資料には、昨年度実施した、X 線 CT 装置による被ばく事故を想定した線量測定の資料を加えた。以上を踏まえ、X 線安全衛生教育の教育訓練資料を作成した（別紙 2）。

教育訓練実施後、アンケートを取り、どの程度効果的であったか検証した。アンケートについては事前に事業倫理審査を受けた。（承認番号 ES2025-19、別紙 3）

対面講義は 2026 年 2 月 25 日に実施し、Web 受講は 2026 年 2 月 27 日～2026 年 3 月 27 日に受講とした。掲示方法は、Microsoft 社の Share point の掲示板で掲載し、「放射線バッチを使用している者全員」と約 100 名の対象者を絞って掲載した。

C. 研究結果

(1) 対面での教育訓練

対面では 10 名に協力していただいた。質疑応答では、2021 年日本製鉄で起きた X 線被ばく事故に関連する者が多かった。機器利用の運用に関しても質問が多く、ライセンス登録時、別の装置を使用する際は、再度ライセンス登録し教育訓練を受ける必要があるか問われた。この問いに関しては、機器によって使用方法や警報装置・安全装置の場所がことなるため基本的には教育する必要があると回答した。別途、アンケートによる回答もいただいているが、集計が終わっていないため次回報告する。

(2) Web での教育訓練

2026年3月27日まで開催中であるため結果は後ほど報告する。現在、Webで受講された方の中にも質問をするなど、積極的に受講された方もいた。

D. 考察

・教育訓練の資料について

対面のみであるが、教育訓練ではX線被ばく事故例に興味を持たれた。また、被ばくを受けて、皮膚障害の影響が、どの程度出たか、など具体的な質問もあった。そういう意味では、資料の順番として事故例を最初に挙げたのは良かったと思う。個人的な感想ではあるが、

1. X線被ばく事故例
 2. 放射線の影響
 3. X線装置の使用方法
 4. X線装置の警報装置・安全装置
 5. その他（法令・機器利用対応など）
- という順番で安全衛生教育資料を作成するのが良いのではないかと思った。

改善すべきと感じたところは、取扱説明書を写真で掲載し、適切に使用してください、といった箇所である。インターロックの解除時の注意や、X線照射時には、その場から離れない、扉の巻き込みに注意など、もっと具体的に説明しないと伝わらないとの意見もあった。

・教育訓練を実施し、主任者からの感想

対面で実施した場合、相手からの反応が見えるため、どこに興味深く聞いているか、またはどの部分が興味ないか、というのが把握できる実感があった。Web形式では、受講すること自体をお任せしており、受けていないのではないかと、との不安もあった。所内では、業務過多のため研修や教育訓練を受け忘れることが多く、掲示板での案内

だけでなく、各グループ長から直接案内もだしている。それでも、受け忘れる人がいるというのが、現場と管理部門の現状であるのだろう。

E. 結論及び今後の課題

本研究は、X線安全衛生教育の教育資料を作成し、東京都立産業技術研究センター内で教育訓練を実施した。その結果以下のことが明らかとなった。

- ・機器利用者の安全衛生教育の対応をした
- ・対面とWebで安全衛生教育を実施した。
- ・対面教育は効果が大きく、被ばく事故例に興味を持たれた。
- ・教育資料の順番を考慮するのが効果的である
- ・取扱説明書を読むように説明するのではなく、インターロックの解除時の注意や、X線照射時には、その場から離れない、扉の巻き込みに注意など、もっと具体的に説明しないと伝わらない
- ・Webでの講習は、案内によっては未受講者が大量に出る可能性がある。

今後の課題は、今回の安全衛生教育を参考にして資料の改善「グレーデッドアプローチ手法」が必要になる。また、Web受講にすると受講しない人が続出する可能性がある。これは、案内の仕方もあるが、そもそも安全文化を向上すべく、組織としての機能を再度見直す必要もあると考える。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表 なし

	1. 特許取得 なし
2. 学会発表	2. 実用新案登録 なし
[4] 片岡憲昭、古渡意彦、辻智也、五十嵐悠、赤平 理紗、榎本 敦、飯本 武志、小田 啓二:「X線非破壊検査分野におけるエックス線作業者への放射線安全教育のアンケート」2025 年度非破壊検査協会秋季講演大会、2025 年 11 月 21 日 (福岡)	3. その他 なし I. 引用文献 なし
[5] 片岡憲昭、辻 智也、古渡意彦:「産業用 X 線 CT 装置における被ばく事故を想定した線量測定」日本保健物理学会第 58 回研究発表会、2025 年 12 月 18 日 (福岡)	J. 事業倫理審査 承認番号 ES2025-19 実験課題名エックス線業務従事者の教育訓練アンケート
H. 知的財産権の出版・登録状況	

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
<u>T. Tsuji</u> , H. Yoshitomi, F. Sato, Y. Tanimura	Establishment of a low-energy X-ray narrow-spectrum series calibration field based on ISO 4037:2019	RADIOISOTOPES			2026
Noriaki Kataoka, Tomoya Tsuji, Yuki Takimoto, Munehiko Kowatari,	Dose Measurement in Simulated X-ray Exposure Accidents Involving an X-ray CT System	Journal of Radiation Protection and Research			2026
<u>Munehiko KOWA</u> , <u>TARI</u> , <u>Tomoya TSUJI</u> , <u>Noriaki KATAOKA</u> , Yuta HIRAI, Koichi NAKAGAMI, Satoru MATSUZAKI, Hiroko KITAMURA, and Takashi MORI-TAKE,	Applicability of small glass dosimeters to simultaneous area and individual monitoring in X-ray fields for radiation protection and emergency	RADIOISOTOPES			2026

<u>M. Kowatari, N. Kataoka, M. Kobayashi, T. Tsuji, Y. Tanimura,</u>	Experimental estimation of extremity dose from handheld XRF devices in radiation exposure incidents	adiation Protection Dosimetry			2026
--	---	-------------------------------	--	--	------