

労災疾病臨床研究事業費補助金

医療機関における放射線被ばく防護教育等に
関する包括的研究

令和 7 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 千田 浩一

令和 8 年（2026 年）3 月

目 次

I. 総括研究報告

- 医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究・・・ 5
千田 浩一

II. 分担研究報告

1. 医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査・・・ 23
富田 博信
2. 看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する調査・・・ 29
小野 孝二
3. 4学会横断調査による放射線業務従事者の爪甲色素線条の頻度解析・・・ 33
中山 文明
4. 医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデル構築の試行・・・ 41
古渡 意彦
5. 整形外科診療におけるX線透視下手技中の医療者の被ばく実態・・・ 53
山下 一太
6. IVR術者の水晶体線量：医師の身長および経験年数との関係・・・ 57
千田 浩一
7. 放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発・・・ 71
藤淵 俊王
8. 放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトと
デジタルプロテクションツールの開発・・・ 79
石垣 陽
9. ARを使った放射線防護教育～原子力災害対応訓練へのAR活用の試み～・・・ 85
喜多村 紘子
10. 拡張現実技術を使った放射線防護教育のためのツール開発・・・ 87
盛武 敬
11. Mixed Reality～メタバース技術を活用した放射線防護教育コンテンツの開発・・・ 91
赤羽 正章
12. 気管支内視鏡検査に従事する術者のためのヘッドセット型水晶体防護具の開発・・・ 95
千田 浩一
13. 視力矯正者用X線防護眼鏡の防護性能評価・・・ 99
千田 浩一
14. 脳血管撮影における術者の被ばく防護の不備を探索する新たな手法の開発・・・ 103
盛武 敬
15. リアルタイム線量計測による核医学検査における
診療放射線技師の被ばくモニタリング・・・ 111
千田 浩一
16. 放射線MSによる被ばく管理と教育・・・ 115
喜多村 紘子
17. 放射線MSの実装が進む医療機関における放射線防護文化の醸成に係る
インタビュー調査・・・ 131
喜多村 紘子
18. 医療分野における放射線業務従事者の個人線量計装着に対する法令改正の影響・・・ 149
盛武 敬
19. 職業性被ばくの管理に関する認識調査・・・ 163
盛武 敬

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

- ・・・ 171

I. 総括研究報告

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
総括研究年度終了報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

研究代表者 千田 浩一(東北大学災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授)

研究要旨

放射線医療従事者において、放射線被ばくによる皮膚がんなどの労災認定事例が散見されている。電離放射線障害防止規則に定める線量測定や放射線業務従事者の被ばく限度等の遵守が不十分であることが医療機関で認められている。これら原因として、放射線被ばくについての教育の不足が一因として挙げられる。そこで医療機関における放射線業務管理及び教育等の状況を調査するとともに、放射線業務従事者教育の具体的な内容を含め、医療機関における放射線被ばくについての必要な教育内容を取り纏める。さらには、皮膚等の有所見事例集を作成し、今後の教育に活用することにより、医療機関における放射線業務従事者の労災疾病となる放射線障害の防止に寄与する。

そのために、医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究を行う。具体的には、1.放射線被ばく管理と防護教育の現状調査、2.職業被ばくにおける放射線障害の実状調査、3.被ばく線量の実測評価、4.教材開発、5.被ばく低減対策の技術的検討、そして6.放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育に取り組む。

以上これらについて、前年度は、方法論検討と初期調査研究、本年度[令和 7 年度(2025 年度)]は本格的な調査と研究、最終年度は追加調査研究と体系的な取り纏めを行い、以上を踏まえて「事例集作成等」を行う。

令和 7 年度(2025 年度)に取り組んだ具体的な研究結果の主なものを以下に記す。

医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査結果から、小規模施設では、研修実施自体は一定程度確保されていたものの、教育基盤、線量管理措置、防護物品整備、眼防護運用に課題が認められた。一方で、診療放射線技師は全規模において放射線防護教育と管理運用の中核を担っており、規模差是正の鍵となる存在であることが示唆された。また放射線教育の実施状況及び教育機関が抱える課題に関する実態調査を実施した結果、教材不足、指導方法の未整備及び予算確保の困難さが確認された。

職業被ばくにおける放射線障害の実状調査については、放射線業務に従事する集団に対し、学会会場における現地調査を実施した。その結果、黒色爪甲色素線条の頻度は整形外科医で高く、脳神経外科医では低い傾向を認めた。いずれの集団でも第 1 指優位の分布を示したが、整形外科医では他指を含めた広範な分布が認められ、線源近傍での手技頻度や

対象部位の違いによる散乱線曝露状況の差を反映している可能性が示唆された。

医療従事者の適切的な被ばく線量推定(逆行性線量推定)を可能とする推定モデル構築を試行した。その結果、体幹部、眼の水晶体及び手指の線量について妥当な線量分布を推定した。得られた統計量のうち、各部位の被ばく線量の中央値を用い、特定手技回数の線量に成功した。

被ばく線量の実測評価等に関して、整形外科診療における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態を把握するため、術者・助手・器械出し看護師を対象に、OSL 線量計を用いて各身体部位の実測線量を評価した。その結果、甲状腺シールドなどの遮蔽体の効果は大きく、散乱線による被曝量は大幅に低減されていた。

IVR 術者の身長および経験年数が IVR 術者水晶体線量にどのように影響するか調査した結果、低身長の医師における被ばくリスクの高く、経験年数にかかわらず放射線防護の継続的な教育と対策の見直しが重要であることが示唆された。

教材開発について、放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発に関して、透視ガイド下手技時の術者の個人線量当量を高速にモンテカルロシミュレーションによって得ること、そしてシミュレーションから線量の表示までを簡便に行うことができるようにすることを目的とした。その結果、ユーザーインターフェースの作成により、PHITS の知識がなくても簡便にシミュレーションを行うことが可能となった。

放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発を行った。その結果、試作機が完成し、7 項目について動作確認を実施し、全項目で仕様通りの動作を確認した。

AR を使った放射線防護教育、原子力災害対応訓練への AR 活用を試みた。その結果、AR+放射線源フリー測定シミュレーションにより自治体職員の原子力災害対応訓練を、安全に、反復可能に、実施しやすく、効果的に提供できる可能性が示された。

拡張現実(Augmented Reality: AR)技術を活用した放射線防護教育教材の開発を進め、放射線測定 AR アプリ「ラドトレ AR」の運用試験および教育利用実証を行った。小中学生向け公開イベント等での検証の結果、AR 教材は直感的理解の促進、主体的学習の誘導、および実践的な放射線防護教育への活用可能性が高いことが示唆された。

複合現実(=Mixed Reality:MR)およびメタバース技術を活用した放射線防護教育コンテンツを開発した。その結果、本システムは、施設や職種の垣根を超えて展開可能な、強力な放射線防護教育ツールになりうると期待された。

被ばく低減対策の技術的検討については、気管支内視鏡検査に従事する術者のためのヘッドセット型水晶体防護具の開発を行った。その結果、左眼部において 80%以上の線量低減効果を示し、従来の防護眼鏡と比較して高い防護効果を有するとともに、曇りや視野制限といった問題を軽減する構造であり、有用性の高い防護手段であると考えられた。

視力矯正者用 X 線防護眼鏡の防護性能について、矯正眼鏡の上から装着可能なオーバ

ーグラスタイプ防護眼鏡とファントムを用いた実験により評価した。その結果、IVR で想定される左斜め下方からの照射に対して 70%以上の高い防護効果を示した。

脳血管撮影における術者の被ばく防護の不備を探索する新たな手法の検討を行った。その結果、診断脳血管撮影における術者被ばくの現状と、これまで気づかれなかった放射線防護装備の使用方法的な不具合の指摘およびその改善方法も明瞭に提示できることが明らかになった。

リアルタイム線量計測による核医学検査における診療放射線技師の被ばくモニタリングについて検討した結果、核医学検査における被ばくが特定の作業に強く依存していることが分かり、従来の積算線量評価のみでは実態を十分に把握できないことが明らかになった。

放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育については、前年度に作成した研修プログラムを基に、G3 および G4 を対象とした研修資料を新たに開発するとともに、G2-1 に対する小グループ形式での研修の試行、ならびに G1 を対象としたトップマネジメントインタビューの動画の作成を行った。さらに、小規模医療機関において一人が複数の役割を担う状況を想定した研修の枠組みについて検討し、小規模医療機関においても適用可能な放射線 MS の導入支援および運用補助に資する研修の枠組みを提示した。

また放射線 MS の実装が進む医療機関における放射線防護文化の醸成に係るインタビュー調査を行った。本研究からは、放射線防護文化は、リーダーシップとガバナンス、マネジメント方策と組織メンバーの理解、ならびに組織メンバーの参加といった要素が充実されていく中で、時間をかけて醸成されるものであることが示唆された。

放射線業務従事者の個人線量計の配布および装着状況を、法令改正前後の 3 期間にわたり第三者の観察により評価し、水晶体等価線量限度引き下げの影響を職種・診療科別に検証した。結果から、個人線量計装着率は依然として 100%に達せず、職種・診療科間の差異には放射線防護教育や防護文化、組織的縦割り構造の影響が示唆された。

電離則に基づく健康診断対象者を対象とした、職業被ばく管理に関する包括的な質問紙調査を実施した。結果から、職業性被ばくのリスク認識には性別も無関係ではないことが確認できた。

【研究体制】

研究代表者 千田 浩一 東北大学・災害科学国際研究所/医学系研究科・教授

研究分担者

盛武 敬	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・部長
赤羽 正章	国際医療福祉大学・医学部放射線医学・教授
森 晃爾	産業医科大学・名誉教授
藤淵 俊王	九州大学・大学院医学研究院・教授
小野 孝二	東京医療保健大学・看護学科・教授
富田 博信	帝京大学・診療放射線学科・教授
喜多村 紘子	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・グループリーダー
山下 一太	香川大学・整形外科科学講座・協力研究員
古渡 意彦	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・グループリーダー
中山 文明	量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所・専門業務員
石垣 陽	電気通信大学・国際社会実装センタ・教授(特任)

主な研究協力者

土方 保和	京都大学・疫学講座・非常勤講師
稲葉 洋平	東北大学・災害科学国際研究所・講師
初坂 奈津子	金沢医科大学・眼科学講座・助教
永田 竜朗	産業医科大学・准教授
茂呂田 孝一	新小文字病院 技師長
加藤 守	秋田県立循環器・脳脊髄センター 技師長
山田 雅亘	国立循環器病センター 主任技師
芳賀 喜裕	仙台厚生病院 副技師長
江口 陽一	日本血管撮影 IVR 専門放射線技師認定機構 監事(前理事長)
栗山 智子	産業医科大学
松崎 賢	量子科学技術研究開発機構
中上 晃一	産業医科大学
曾田 真宏	東北大学 非常勤講師
山田 歩実	東北大学 大学院生
加藤 聖規	東北大学 大学院生
藤沢 昌輝	東北大学 大学院生
進藤 僚太	東北大学 大学院生
下橋 航大	東北大学 大学院生
ほか	

A. 研究目的

令和 6 年度(2024 年度)に引き続き当研究を実施した。放射線医療従事者において、放射線による皮膚がんなどの労災認定事例が散見されている。電離放射線障害防止規則に定める線量測定や放射線業務従事者の被ばく限度等の遵守が不十分であることが医療機関で認められている。これら原因として、放射線被ばくについての教育の不足が一因として挙げられる。過去に実施された労災疾病研究である、「不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究(180501) [樺田(不均等)班研究]」、「眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究(200701) [千田班研究]」、「放射線防護マネジメントシステム(MS)の適用と課題解決に関する研究(210501) [樺田(MS)班研究]」は、どれも放射線業務に従事する労働者の被ばくを可能な限り低減する、ひいては労働安全衛生全体の水準を向上させることに大きく貢献している。だが、放射線被ばく防護教育については未だ不十分な状況であると考えられる。

そこで医療機関における放射線業務管理及び教育等の状況を調査するとともに、放射線業務従事者教育の具体的な内容を含め、医療機関における放射線被ばくについての必要な教育内容を取り纏める。さらには、皮膚等の有所見事例集を作成し、今後の教育に活用することにより、医療機関における放射線業務従事者の労災疾病となる放射線障害の防止に寄与する。

そのために、医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究を行う。具体的には下記に取り組む。

1. 放射線被ばく管理と防護教育の現状調査

(富田、小野ほか)

2. 職業被ばくにおける放射線障害の実状調査(盛武、山下、古渡、中山、千田ほか)
3. 被ばく線量の実測評価(盛武、山下、古渡、千田ほか)
4. 教材開発(藤淵、石垣、盛武ほか)
5. 被ばく低減対策の技術的検討(赤羽、千田ほか)
6. 放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育(森、喜多村ほか)

以上これらについて、本年度[令和 7 年度(2025 年度)]は本格的な調査と研究を実施した。なお最終年度は追加調査研究と体系的な取り纏めを行い、以上を踏まえて「事例集作成等」を行う予定である。

令和 7 年度(2025 年度)に取り組んだ具体的な研究の主なものを以下に記す。

B. 研究方法

1. 放射線被ばく管理と防護教育の現状調査

①医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

令和 6 年度に全国の医療施設を対象として実施したオンラインアンケート調査の回答データを用い、病床規模別の二次解析を行った。対象施設は小規模(199 床以下)、中規模(200～399 床)、大規模(400 床以上)の 3 群に分類し、放射線防護管理体制、放射線防護教育、個人線量管理、防護物品の整備・運用状況について比較した。

②看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する調査

日本看護学校協議会の協力を得て、全国の看護専門学校 447 施設を対象としてアンケート調査を実施した。調査は、同協議会のメーリングリストを通じて依頼文及び調査 URL を送付し、Google フォームにより回答を収集した。

2.職業被ばくにおける放射線障害の実状調査

①学会横断調査による放射線業務従事者の爪甲色素線条の頻度解析

整形外科関連および脳神経外科関連の 4 学会(第 40 回日本脊髄外科学会(以下、NSJ)、第 51 回日本整形外傷学会学術集会(以下、JOTA)、Spine Week Japan 2025(以下、SWJ)、第 41 回日本脳神経血管内治療学会学術集会(以下、JSNET))において、皮膚障害に関する現地調査を実施した。

②医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデル構築の試行

IVR 医師の眼の水晶体等価線量の適切な推定のために開発されたモデルを拡張し、体幹部等に装着された個人線量計からの測定値がない場合において、遡及的に被ばく線量を推定するモデルの構築を試みた。

3.被ばく線量の実測評価

①整形外科診療における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態

X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態を把握するため、術者・助手・器械出し看護師を対象に、OSL 線量計を用いて各身体部位の実測線量を評価した。測定部位は水晶体(眼瞼近傍)、甲状腺(前頸部)、胸部、性腺(鼠径部)、手指(両示指先端)とした。

②IVR 術者の水晶体線量:医師の身長および経験年数との関係

IVR における術者の水晶体被ばくに着目し、水晶体線量と医師の身長および経験年数との関係を臨床的に検討した。防護メガネ内側に装着可能な水晶体用線量計を用いて Hp(3)を直接測定し、従来の頸部線量 Hp(0.07)との比較も行った。

4.教材開発

①放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

モンテカルロコードの Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS)にて ICRP の Mesh-type Reference Computational Phantoms (MRCP)を基準として角柱と円柱の簡易ファントムを 1 体ずつ作成した。また、PHITS にて MRCP と簡易ファントムにおけるシミュレーション速度や相対誤差の評価を行い比較した。

②放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発

試作器の開発を行った。動作確認試験は、電源起動、動作中インジケータ(10 秒周期黄 LED 点滅)、USB 充電制御、X 線検出(学内に診療用 X 線装置がないためトリウム入りマントルを線源として使用)、Windows 用設定アプリ接続、閾値設定の再起動後保持、スリープ/ウェイク制御の 7 項目について実施した。

③AR を使った放射線防護教育 ～原子力災害対応訓練への AR 活用の試み～

茨城県内の保健所職員・自治体職員 20 名を対象として、茨城県ひたちなか保健所において、令和 7 年度第 2 回原子力防災資機材取扱合同訓練「AR を使った放射線防護教育」を実施した。

④拡張現実技術を使った放射線防護教育のためのツール開発

試作した放射線測定 AR アプリ「ラドトレ AR」を用い、令和 7 年度は運用試験および教育利用評価を行った。公開イベントでの運用試験および専門職訓練での応用を行った。

⑤Mixed Reality～メタバース技術を活用した放射線防護教育コンテンツの開発

複合現実(=Mixed Reality:MR)およびメタバース技術を活用した放射線防護教育コ

ンテンツを開発した。この学習環境を多様な施設へ展開することを目差し、メタバース空間へ展開する準備を進めた。

5.被ばく低減対策の技術的検討

①気管支内視鏡検査に従事する術者のためのヘッドセット型水晶体防護具の開発

気管支内視鏡検査に従事する術者の水晶体被ばく低減を目的として、ヘッドセット型水晶体防護具を新たに開発し、その防護性能をファントム実験により評価した。本防護具は、左前頭側に 0.175 mmPb 当量の鉛シートを配置し、ヘッドセット機構により固定する構造とした。人体ファントムを用いて、透視下手技を伴う気管支内視鏡検査を模擬し、頭部 13 箇所の線量および遮蔽効果を評価した。

②視力矯正者用 X 線防護眼鏡の防護性能評価

矯正眼鏡の上から装着可能なオーバーグラスタイプ防護眼鏡の防護性能をファントム実験により評価した。0.07 mm 鉛等量のオーバーグラスタイプ防護眼鏡をプラスチック製矯正眼鏡の上から装着し、頭部ファントムを用いて正面下方および左斜め下方から X 線を照射した。

③脳血管撮影における術者の被ばく防護の不備を探索する新たな手法の開発

診断脳血管撮影 12 症例に従事した医師 8 名を対象として、リアルタイム個人線量計を術者の甲状腺防護頸部カラー前面左側と放射線防護衣胸部前面左側の 2 ヶ所に装着して、術者の放射線防護具の使用状況や立ち位置により変化する被ばく線量を測定した。

④リアルタイム線量計測による核医学検査における診療放射線技師の被ばくモニタリング

リアルタイム線量測定システム RaySafe i3 を用いて線量率を秒単位で記録し、作業工程との関連を解析した。心筋血流 SPECT 検査 14 例を対象とし、診療放射線技師の左右頭部および頸部に線量計を装着して測定を行った。

6.放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育

①放射線 MS による被ばく管理と教育

前年度に作成した研修プログラムを基に、G3 および G4 を対象とした研修資料を新たに開発するとともに、G2-1 に対する小グループ形式での研修の試行、ならびに G1 を対象としたトップマネジメントインタビューの動画の作成を行った。

②放射線 MS の実装が進む医療機関における放射線防護文化の醸成に係るインタビュー調査

労働安全衛生マネジメントシステム (Occupational Safety and Health Management System: OSHMS) の考え方を放射線防護分野に応用した放射線防護マネジメントシステム (放射線 MS) を導入・運用している医療機関を対象として、インタビュー調査を実施した。

③医療分野における放射線業務従事者の個人線量計装着に対する法令改正の影響

放射線業務従事者の個人線量計の配布および装着状況を、法令改正前後の 3 期間にわたり第三者の観察により評価し、水晶体等価線量限度引き下げの影響を職種・診療科別に検証した。

④職業性被ばくの管理に関する認識調査

職業性放射線被ばく防護対策の見直しや効果的な教育訓練に役立てることを目的として、電離放射線障害の防止に関する規則 (電離則) に基づく健康診断対象者を対象

とした、職業被ばく管理に関する包括的な質問紙調査を実施した。

C. 研究結果

1. 放射線被ばく管理と防護教育の現状調査

①医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

定期的な放射線防護研修を実施している施設は、小規模 85.3%、中規模 93.0%、大規模 95.1%であった。研修手段として院内イントラネット配信を用いる割合は小規模 31.5%、中規模 54.2%、大規模 68.7%であり、小規模では外部インターネット研修 (32.0%) への依存が相対的に高かった。労働安全衛生マネジメントシステムを認知している施設は、小規模 47.2%、中規模 51.7%、大規模 68.1%であった。防護眼鏡を整備している職種として診療放射線技師を含む施設は、小規模 67.0%、中規模 75.6%、大規模 76.9%であった。

②看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する調査

全国 447 施設を対象としたアンケート調査の結果、198 施設から回答が得られ、回答率は 44.3%であった。放射線防護教育の実施状況については、講義及び演習の双方を実施している施設は 12.6% (25 施設) であった。講義のみを実施している施設は 62.1% (123 施設)、講義及び演習ともに実施していない施設は 25.3% (50 施設) であった。

2. 職業被ばくにおける放射線障害の実状調査

①学会横断調査による放射線業務従事者の爪甲色素線条の頻度解析

NSJ では 67 名の調査を実施した。このうち、脳神経外科医 50 名 (平均年齢 43.6 歳、男性 96.0%) が主たる参加者であり、黒色の爪甲色素線条の有無については、50 名中 9

名 (18.0%) に認められた。

JSNET では 84 名の調査を実施した。このうち、脳神経外科医 59 名 (平均年齢 47.1 歳、男性 83.1%) が主たる参加者であり黒色の爪甲色素線条の有無については、59 名中 3 名 (5.1%) に認められた。

JOTA では 155 名の調査を実施した。このうち、整形外科医が 152 名 (平均年齢 47.0 歳、男性 93.4%) と主たる参加者であり、黒色の爪甲色素線条の有無については、152 名中 71 名 (46.7%) に認められた。

SWJ では 133 名の調査を実施した。このうち、整形外科医が 120 名 (平均年齢 46.8 歳、男性 98.3%) と主たる参加者であり、黒色の爪甲色素線条の有無については、120 名中 41 名 (34.2%) に認められた。

②医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデル構築の試行

体幹部、眼の水晶体及び手指の線量について妥当な線量分布を推定した。得られた統計量のうち、各部位の被ばく線量の中央値を用い、特定手技回数の線量に成功した。

3. 被ばく線量の実測評価

①整形外科診療における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態

頸椎手術では、同じ脊椎手術でも、胸椎・腰椎と比較して、医療者の各身体部位の職業被曝量は少ない傾向があった。鉛エプロンや甲状腺シールドなどの遮蔽体の効果は大きく、遮蔽することによって、散乱線による被曝量は大幅に低減されていた。

②IVR 術者の水晶体線量：医師の身長および経験年数との関係

身長との関係では、Hp (0.07) および Hp (3) のいずれにも負の相関が認められ、低身長の医師ほど被ばく線量が高い傾向が示された。2 群比較においても、低身長群は高身長群に比べて Hp (3) が有意に高く、中央値では

約 2.8 倍の差が認められた。この要因として、散乱線源との距離の違いによる逆二乗則の影響が考えられる。一方、経験年数との関係では、Hp (0.07) には相関が認められたものの、より実際の水晶体線量を反映する Hp (3) には有意な相関は認められなかった。経験豊富な医師では手技の複雑化に伴い透視時間が長い傾向がみられたが、線量差は統計的に有意ではなかった。

4.教材開発

①放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

ユーザーインターフェースの作成により、PHITS の知識がなくても簡便にシミュレーションを行うことが可能となった。シミュレーション条件を変更してシミュレーションを実行し、結果を表示するまでの流れをおおよそ 2 分で行えるようになった。

②放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発

デジタルプロテクションゴーグル試作 1 号機を完成した。装着時に通常の防護眼鏡装着感を大きく損ねず、視野および動作の妨げを生じないことを確認した。動作確認試験は 7 項目すべてで合格した。

③AR を使った放射線防護教育 ～原子力災害対応訓練への AR 活用の試み～

効率よくマネキン上の仮想空間の放射線測定実習を行うことができた。事後アンケート調査では、AR を用いた実習のリアリティ（5 段階評価）は 4.68（±0.46）、教育価値（5 段階評価）は 4.53（±0.53）と、いずれも高得点を得た。

④拡張現実技術を使った放射線防護教育のためのツール開発

小中学生を対象とした公開イベントでは、

直感的操作が概ね可能であり、AR 表示に対する高い興味・関心が確認された。専門職訓練では、従来の座学では理解しにくい実践的理解が促進された。

⑤Mixed Reality～メタバース技術を活用した放射線防護教育コンテンツの開発

パーソナルコンピュータ、タブレット、スマートフォン、VR ゴーグルいずれのデバイスからも、メタバース空間上のコンテンツにアクセス可能で、散乱線の空間線量分布を可視化できた。

5.被ばく低減対策の技術的検討

①気管支内視鏡検査に従事する術者のためのヘッドセット型水晶体防護具の開発

新防護具装着により、左眼部では全角度において 80%以上の線量低減効果が得られ、最大 87.7%の低減が確認された。一方、右眼部においては 40～75%程度の低減効果であった。

②視力矯正者用 X 線防護眼鏡の防護性能評価

IVR で想定される左斜め下からの X 線に対して、70%以上の高い防護効果を示した。しかし、正面下方 60° からの照射時に防護率が 64%と、他の照射角度と比較して低い値となった。

③脳血管撮影における術者の被ばく防護の不備を探索する新たな手法の開発

天井吊り下げ型放射線防護シールドを適切に使用すると、術者の被ばく線量は約 70%の低減が見込め、また、大腿動脈穿刺から大動脈弓部にカテーテルを進めるまでの積算線量が総積算線量の約 50%を占めていた。

④リアルタイム線量計測による核医学検査における診療放射線技師の被ばくモニタリング

全測定部位の中で右頸部において最も高

い線量が認められ、作業時の立ち位置や利き手の影響による左右差が明確に示された。また、投与工程と撮像工程の間に累積線量に有意差は認められなかったものの、放射性医薬品投与直後および心電図電極の装着・取り外しなどの患者近接作業において線量率が急激に上昇し、一部では 100 μ Sv/h を超えるピークが確認された。

6.放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育

①放射線 MS による被ばく管理と教育

放射線 MS における 5 つの教育グループすべてを対象とした、ベースとなる研修資料が整備できた。講義形式のみならず、参加者同士の対話や意見交換を通じて理解を深める研修構成が有効であることが示唆された。小規模医療機関を想定した研修枠組みの整理をできた。

②放射線 MS の実装が進む医療機関における放射線防護文化の醸成に係るインタビュー調査

放射線 MS は、文書管理や内部監査、委員会活動、職種ラダー（テクニカルスキルおよびヒューマンスキルのレベルアップに重点が置かれた教育研修および職能評価が組み合わせられた仕組み）といった院内のマネジメントの枠組みの中に組み込まれて運用されていることが確認された。

③医療分野における放射線業務従事者の個人線量計装着に対する法令改正の影響

個人線量計装着率は依然として 100%に達せず、職種・診療科間の差異には放射線防護教育や防護文化、組織的縦割り構造の影響が示唆された。

④職業性被ばくの管理に関する認識調査

女性医師は男性医師よりも個人線量計を常に着用している可能性が高いことが示さ

れた。女性医師の線量モニタリング行動への関与度が高さは、リスク意識の高さを反映している可能性が高いことが明らかとなった。

D. 考察

1.放射線被ばく管理と防護教育の現状調査

①医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

本年度の継続研究により、小規模施設の課題は「防護意識の低さ」そのものではなく、教育を継続的に実施する仕組み、講師体制、防護物品整備、線量管理ルールといった基盤整備の弱さにあることがより明確となった。小規模施設でも定期研修の実施率は高かったが、配信基盤の整備が不十分であり、外部教材や個人努力に依存しやすい構造が認められた。

②看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する予備調査

教育課程の過密化により、教育時間の確保が困難であり、特に演習の導入が進んでいない実態が明らかとなった。本調査においても、講義は一定程度実施されているものの、演習導入率は低水準にとどまっている。

2.職業被ばくにおける放射線障害の実状調査

①学会横断調査による放射線業務従事者の爪甲色素線条の頻度解析

黒色の爪甲色素線条は第 1-3 指に優位に分布することが明らかとなった。この結果は Hijikata らの報告と一致しており、手指被ばくが多い医師に特徴的な分布を反映している可能性が示唆される。また、各年代別の出現頻度をみると、40 歳代以上において出現頻度が高い傾向を認めた。この傾向は、職業上の手技経験の蓄積に伴う累

積被ばくの影響を反映している可能性がある。

②医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデル構築の試行

体幹部線量について、エプロン内外で実際のデータから得られる中央値及び IQR と、対数正規分布によるフィッティングで得られた中央値及び IQR の比較の結果に差がみられる。エプロン外での体幹部線量については、中央値及び IQR は、元データと対数正規分布フィッティングで得られた値との間に差は少ない。一方で、体幹部エプロン内の線量についてはかい離が大きい。中央値で約 2 倍、IQR では 3 倍以上に達している。この差については、線量測定に使用した電子式ポケット線量計の測定下限限界で線量測定を行ったことに起因していると考えられる。

3.被ばく線量の実測評価

①整形外科診療における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態

同じ脊椎手術でも、頸椎は胸椎腰椎と比較してその職業被曝量は少ない傾向があった。頸部は胸椎腰椎を包む体幹部と比較して薄いため、X 線画像描出に必要な管電圧・管電流が少なく抑えられることが原因と考察された。パルス照射と絞りの活用は、直接線による被曝量を大きく低減させうる可能性があると思われた。

②IVR 術者の水晶体線量:医師の身長および経験年数との関係

低身長群は高身長群に比べて Hp(0.07)で 1.97 倍、Hp(3)で 2.77 倍高い値を示した。これは、高身長の医師では水晶体と散乱線源との距離が大きくなるためと考えられる。患者から発生する散乱線は逆二乗則に従って減衰するため、高身長の医師では水晶体に到達するまでにより大きな減衰を受ける

可能性がある。

経験年数による 2 群比較では統計学的有意差は認められなかった。床経験年数にかかわらず、放射線防護の実践を定期的に見直し、継続的な教育を行う重要性を示している。

4.教材開発

①放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

MRCP と簡易ファントムの検証では、フルエンスが低いと値にばらつきがみられた。その理由として、モンテカルロシミュレーションの特徴であるフルエンスが低い領域では相対誤差が大きくなることが考えられる。ただし、ばらつきが相対誤差の範囲に収まっているかの検証は行っていない。そのため、このばらつきが相対誤差によるものであるのか、ファントムの形状によるものであるのかは今後検討が必要である。

②放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトとデジタルプロテクションツールの開発

PIN フォトダイオード系については、KEK LINAC での外部評価により 12.3 mSv/h までの校正実証および OSL 線量計との一致が確認された。なお、加速器運転下高線量域での過小評価はビームパルスの時間構造に起因する加速器固有の現象であり、定常 X 線場である IVR 臨床環境への外挿は別途実機評価が必要である。

③AR を使った放射線防護教育 ～原子力災害対応訓練への AR 活用の試み～

AR・放射線源フリー測定シミュレーションにより自治体職員の原子力災害対応訓練を、安全に、反復可能に、実施しやすく、効果的に、提供できる可能性が示された。

④拡張現実技術を使った放射線防護教育

のためのツール開発

AR は現実環境を活用しながら情報提示できるため、講義教材や通常の動画教材より実践的理解に優れると考えられる。

⑤Mixed Reality～メタバース技術を活用した放射線防護教育コンテンツの開発

コンテンツの更新については、メタバース空間上のアプリケーションを更新するだけで完了し、全ユーザーに対する再配布を必要としない。これにより、特殊な環境を必要としなくなり、多様な環境の施設で利用可能な学習環境へと汎用性を高めることができた。

5.被ばく低減対策の技術的検討

①気管支内視鏡検査に従事する術者のためのヘッドセット型水晶体防護具の開発

新防護具は従来の防護眼鏡と比較して高い防護効果を有するとともに、曇りや視野制限といった問題を軽減する構造であり、臨床現場における実装可能性の高い防護手段であると考えられた。

②視力矯正者用 X 線防護眼鏡の防護性能評価

オーバーグラスタイプは矯正眼鏡とのフィット感が悪いとレンズが前方に突出し、下部に X 線が直接目に入射するような隙間が空くことが想定される。したがって、本研究で用いたような下方からの X 線を遮蔽できる構造を備えたものが効果的であると考えられる。

③脳血管撮影における術者の被ばく防護の不備を探索する新たな手法の開発

臨床モニタ画像を用いた解析により一目瞭然に術者の放射線防護行動の問題点を示すことができ、これまで座学で学んで来た放射線防護知識を、臨床で生かすための実践的な放射線防護教育教材と成り得る。

④リアルタイム線量計測による核医学検査における診療放射線技師の被ばくモニタリング

本研究結果から、核医学検査における被ばくが特定の作業に強く依存していることが分かり、従来の積算線量評価のみでは実態を十分に把握できないことを明確に示すものである。リアルタイム線量計測により被ばくの可視化を行うことで、高線量作業の特定と具体的な行動改善が可能となり、放射線防護の実効性向上に直結する。

6.放射線マネジメントシステム(MS)による被ばく管理と教育

①放射線 MS による被ばく管理と教育

役割ごとに求められる放射線 MS への視座、視野、視点が異なり、画一的な教育では十分に対応できない恐れがある。本研究では、この点を踏まえ、教育グループ別に既存の教育体系を前提としつつ、放射線 MS 導入・運用に必要な要素を補完する構成で研修資料を整備したことが本研究の効果的な点である。

②放射線 MS の実装が進む医療機関における放射線防護文化の醸成に係るインタビュー調査

放射線 MS が独立した放射線防護対策として導入・運用されているのではなく、院内ガバナンスおよび日常業務の枠組みの中に組み込まれることで、放射線防護に関する考え方の根幹が共有され、それに基づく知識・行動が継続的に実践される環境が形成されつつあることが示唆された。これらの取り組みは、WHO ガイダンスが示す放射線防護文化の特性の一部を、Local healthcare institutions のレベルにおいて具体化した事例と解釈できる。

③医療分野における放射線業務従事者の

個人線量計装着に対する法令改正の影響

法令改正後に個人線量計装着率は全体として改善傾向を示したものの、依然として100%には達しておらず、職種や診療科による差異が存在することが明らかとなった。これらの結果は、放射線防護行動の徹底には制度的対応のみでは不十分であり、放射線防護教育および継続的な管理体制の強化が必要であることを示唆するものである。

④職業性被ばくの管理に関する認識調査

職業性被ばくのリスク認識には性別も無関係ではないことが確認できた。リスクへの認識は、被ばく線量モニタリングという、リスクマネジメントの重要なファーストステップである。

E. 結論

放射線被ばく管理と防護教育の現状調査結果から、小規模施設では、研修実施自体は一定程度確保されていたものの、教育基盤、線量管理措置、防護物品整備、眼防護運用に課題が認められた。一方で、診療放射線技師は全規模において放射線防護教育と管理運用の中核を担っており、規模差是正の鍵となる存在であることが示唆された。看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する調査結果から、看護専門学校における放射線防護教育は講義を中心として一定程度実施されている一方で、演習の実施は限定的であることが明らかとなった。

学会横断調査による放射線業務従事者の爪甲色素線条の頻度解析結果から黒色爪甲色素線条は、医療放射線業務に伴う手指被ばくの影響を反映する可能性があり、その頻度および分布は診療科や手技特性に応じた曝露状況の違いを示していると考えられた。

医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデル構築の試行結果から、体幹部、眼の水晶体及び手指の線量について妥当な線量分布を推定した。

整形外科診療において、医療者の被曝形態はそれぞれの手技の種類によって大きく異なる。それぞれの手技ごとの、適切な照射方法と遮蔽体の着用は必須行動であり、医療者の行動変容が望まれる。

IVR 術者の水晶体線量について医師の身長および経験年数との関係を臨床環境において、はじめて明らかにした。低身長の医師ほど被ばく線量が高い傾向が示された。経験年数にかかわらず放射線防護の継続的な教育と対策の見直しが重要であることが示唆された。

教材開発については、円柱で人体を模した水ファントムを作成することにより、シミュレーションの正確性を保ちながらシミュレーション時間を短縮することができた。さらに、ParaView を用いることで術者の個人線量当量をカラーマップと数値の両方から確認することができた。

対象を IVR 術者の水晶体被ばくに絞り込んだ装着型デバイス（デジタルプロテクションゴーグル）試作 1 号機を開発した。動作確認 7 項目はすべて合格し、装着型ハードウェアとしての基礎要件を満たすことを確認した。

AR+放射線源フリー測定シミュレーションにより、従来型訓練に比べ自治体職員の原子力災害対応訓練を効果的に提供できる可能性が示された。

AR 技術を用いた放射線防護教育教材「ラドトレ AR」の運用試験および教育利用実証を行い、安全かつ実践的な教育ツールとし

て有望であることが確認された。

メタバース空間上で、血管造影室における散乱線の空間線量分布の可視化し、同時に、クイズ形式の体験学習内容を展開することができた。

被ばく低減対策の技術的検討については、気管支内視鏡検査に従事する術者の水晶体被ばく低減を目的として開発したヘッドセット型防護具の防護性能を評価した。その結果、特に左眼において80%以上の高い線量低減効果が確認された。

視力矯正者用の防護具の一つであるオーバークラスタイプ防護眼鏡の性能を評価した結果、レンズ下部が湾曲した構造の有効性が示唆された。

脳血管撮影における術者の被ばく防護の不備を探索する手法によって、効果的な被ばく低減の介入ポイントが判明し、診断脳血管撮影における術者被ばくの現状と、放射線防護装備の使用法の不具合の指摘、およびその改善方法も明瞭に提示できた。

リアルタイム線量計測による核医学検査における診療放射線技師の被ばくモニタリングの結果、被ばくは特定の作業に強く依存し、特に患者近接作業において線量率が上昇することが明らかとなった。

放射線MSによる被ばく管理と教育については、放射線MSにおいて担う役割に基づいた研修体系を整備することで、医療機関の規模や職種背景に関わらず、放射線MSの考え方を共有し、導入・運用につなげられる可能性を示した。特に、小規模医療機関においては、組織構成や役割分担に応じて放射線MSの適用レベルを段階的に検討し、共通コアに役割固有の要素を追加する研修設計が有効であることが示唆された。

放射線MSのインタビュー調査から、放射線防護文化は、リーダーシップとガバナンス、マネジメント方策と組織メンバーの理解、ならびに組織メンバーの参加といった要素が充実されていく中で、時間をかけて醸成されるものであることが示唆された。

放射線業務従事者の個人線量計装着に対する法令改正の影響については、法令改正前後の実態を第三者の目視による観察で調査した初の報告として、放射線防護教育およびマネジメントシステムの改善に資する基盤的知見である。

職業性被ばくの管理に関する認識調査結果から、職種や性別によって被ばく防護や線量管理に関する認識に差があることが示された。

F. 論文報告

1. Munehiko Kowatari, Koichi Nakagami, Yasukazu Hijikata, Kazuta Yamashita, Yuta Hirai, Satoru Matsuzaki, Takashi Moritake, Tomoya Tsuji, Hayo Zutz, Steffen Ketelhut, Oliver Hupe. Issues in monitoring orthopedic surgeons with active personal dosimeters when exposed to pulsed X-ray fields during orthopedic procedures. *Radiat Prot Dosimetry* 201(9) 663-71, 2025
2. Hitomi Go, Moritake Takashi, Tanaka Yuko, Kurokawa Toru, Nakagami Koichi, Kuriyama Tomoko, Morota Koichi, Matsuzaki Satoru, Ishida Toru. Integration of Active Personal Dosimeters, Videos from In-Room Monitors, and Videos from the Surgeon's Main Panel Reveal Pitfalls in Radiation Protection. *Applied Sciences* 15(21) 11584, 2025

3. Kitamura Hiroko, Kuriyama Tomoko, Matsuzaki Satoru, Moritake Takashi. Survey on physicians' perceptions of occupational radiation exposure management: differences in perceptions by sex. *The European Physical Journal Plus*. 141. 105, 2026
4. Matsuzaki Satoru, Nakagami Koichi, Kuriyama Tomoko, Morota Koichi, Hitomi Go, Kitamura Hiroko, Moritake Takashi. Effect of a law amendment on dosimeter wearing in medical radiation workers: observational study. *Insights into Imaging*. 17(1), 42, 2026
5. Satake, H. Iwase, T. Suwada, S. Kusano, D. Asano, M. Tokiyoshi, Y. Matsumoto, Y. Ishigaki, M. Sato Radiation Monitoring System Using a PIN Photodiode at the KEK Electron/Positron Injector LINAC. Proc. 20th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2025). 2025.
6. 赤沼直樹, 土屋兼一, 石垣陽, 松本佳宣. 磁気センサを用いた訓練用放射線測定システムの動作検証. 第 62 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨. 2025
7. Imam Ghazali Yasmin, Yo Ishigaki, Kayoko Yamamoto. KURAMA vs. Safecast: Radiation data comparison in Fukushima following whole-area decontamination. *J. Environ. Radioact.* 291, 107789. 2026
8. Sagehashi K, Haga Y, Kato T, Takahira S, Sota M, Kaga Y, Abe M, Tada N, Chida K. Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 2025; 15(22):12137. <https://doi.org/10.3390/app152212137>
9. Fujisawa M, Haga Y, Takahira S, et al. Development of a headgear-based eye protection device for physicians performing fluoroscopy-guided bronchoscopy. *J Radiat Res.* 2025; 66(4): 372-384. doi:10.1093/jrr/rraf031
10. Shindo R, Yamamoto K, Ohno S, et al. Evaluation of radiation protection by lead glasses for interventional radiology physicians wearing prescription glasses: considering dose reduction by prescription glasses excluding lead. *J Radiat Res.* 2025; 66(5): 486-495. doi:10.1093/jrr/rraf047
11. Fujisawa M, Haga Y, Takahira S, et al. Development of a headgear-based eye protection device for physicians performing fluoroscopy-guided bronchoscopy. *J Radiat Res.* 2025; 66(4): 372-384. doi:10.1093/jrr/rraf031

G. 研究発表

分担報告書の記載の通り。

H. 知的所有権の取得状況

ありません。

II. 分担研究報告

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究 医療施設における放射線防護の管理と教育に関するアンケート調査

研究分担者 富田博信（帝京大学医療技術学部診療放射線学科/大学院医療技術学研究科・教授）
小野孝二（東京医療保健大学 総合教育センター・センター長）
研究協力者 金子順一（駒澤大学 医療健康科学部診療放射線技術科学科/大学院医療健康科学研究科・教授）
新井知大（駒澤大学 医療健康科学部診療放射線技術科学科/大学院医療健康科学研究科・准教授）
小林隆幸（帝京大学医療技術学部・講師）
城處洋輔（済生会川口総合病院放射線科部・診療放射線技師 副技師長）
森 一也（済生会川口総合病院放射線科部・主任診療放射線技師）

研究要旨

本研究は、全国の医療施設を対象として実施した放射線防護管理および放射線防護教育に関するアンケート調査結果を基盤に、令和 7 年度は病院規模別の詳細分析と小規模病院へのヒアリング調査を行い、施設規模による課題の差異と改善の方向性を明らかにすることを目的とした。

アンケート回答 580 施設のうち、小規模（199 床以下）197 施設、中規模（200～399 床）201 施設、大規模（400 床以上）182 施設を対象に比較した結果、小規模施設では、放射線防護研修の定期実施率は 85.3%と一定水準にあったものの、院内イントラネット配信の活用は 31.5%にとどまり、大規模施設の 68.7%に比して低値であった。研修講師は全規模で診療放射線技師が中心であり、小規模 81.2%、大規模 87.4%であった。一方、労働安全衛生マネジメントシステムの認知は小規模 47.2%、大規模 68.1%であり、管理区域への一時立入り時に「措置なし」とする施設は小規模 27.4%、大規模 7.1%であった。また、水晶体専用線量計の使用は小規模 18.1%、大規模 76.4%、防護眼鏡着用は診療放射線技師で小規模 34.0%、大規模 57.1%と規模差が認められた。さらに小規模病院ヒアリングでは、外部有料コンテンツを活用した教育により受講率は高い一方、費用負担、自施設に適した教材不足、医師の線量計装着率、CT 介助時の眼防護、防護衣点検体制などに課題がみられた。以上より、小規模施設では、研修実施自体は一定程度確保されていたものの、教育基盤、線量管理措置、防護物品整備、眼防護運用に課題が認められた。一方で、診療放射線技師は全規模において放射線防護教育と管理運用の中核を担っており、規模差是正の鍵となる存在であることが示唆された。施設規模による格差を埋めるためには、診療放射線技師を中心とした放射線防護の標準化と実装支援を推進することが重要である。

A. 研究目的

前年度調査結果を用い、病院規模別の詳細分析を行うとともに、小規模病院に対するヒアリング調査を実施し、規模別の課題を具体的に把握し、診療放射線技師の役割と今後の支援策を検討する。

B. 研究方法

本研究は、令和6年度に全国の医療施設を対象として実施したオンラインアンケート調査の回答データを用い、病床規模別の二次解析を行った。対象施設は小規模(199床以下)、中規模(200～399床)、大規模(400床以上)の3群に分類し、放射線防護管理体制、放射線防護教育、個人線量管理、防護物品の整備・運用状況について比較した。加えて、小規模病院1施設に対してヒアリングを実施し、教育体制、線量管理、防護具運用の現状と課題を質的に整理した。ヒアリングでは、研修方法、受講管理、個人線量計運用、水晶体線量管理、防護具整備状況、防護衣点検、CT検査介助時の防護眼鏡運用等について確認した。なお、本研究は既存の施設調査結果の二次解析および施設運用に関する情報整理を中心とするものであり、前年度と同様に、人を対象とした研究には該当しない範囲で実施した。

C. 研究結果

令和6年度に回収した580施設の回答を対象に規模別解析を行った結果、小規模197施設、中規模201施設、大規模182施設であった。(図1)

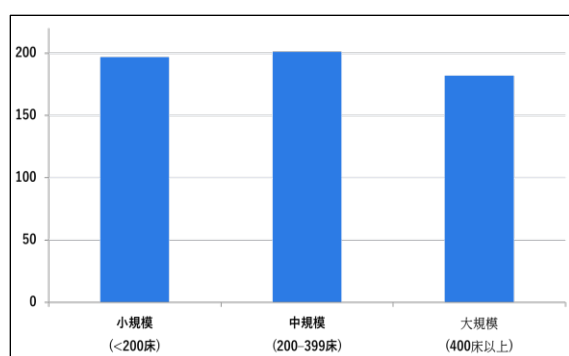


図1. 病院規模別の内訳

(1) 放射線防護教育体制

定期的な放射線防護研修を実施している施設は、小規模85.3%、中規模93.0%、大規模95.1%であった。研修手段として院内イントラネット配信を用いる割合は小規模31.5%、中規模54.2%、大規模68.7%であり、小規模では外部インターネット研修(32.0%)への依存が相対的に高かった。(図2)

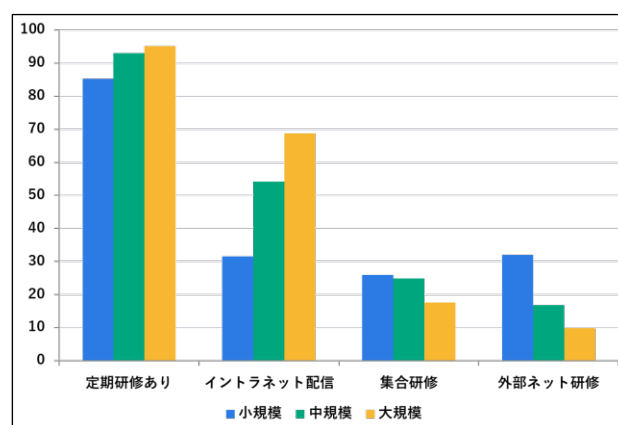


図2. 防護教育の研修実施と研修手段

また、研修講師は全規模で診療放射線技師が中心であり、小規模81.2%、中規模88.1%、大規模87.4%であった。一方、医師の関与は小規模15.7%、中規模26.9%、大規模41.8%であり、大規模施設ほど講師体制多い傾向であった。(図3)

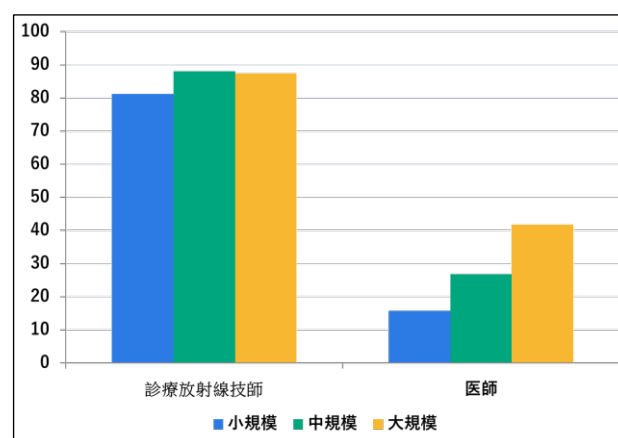


図3. 研修講師の実施職種

（２）放射線防護管理体制と個人線量管理

労働安全衛生マネジメントシステムを認知している施設は、小規模 47.2%、中規模 51.7%、大規模 68.1%であった。

管理区域への一時立入り時の措置としてポケット線量計を使用する施設は小規模 62.4%、中規模 82.6%、大規模 87.9%、台帳記録は小規模 32.5%、中規模 47.8%、大規模 62.6%であった。一方、「措置なし」は小規模 27.4%、中規模 14.4%、大規模 7.1%であり、小規模施設で管理運用上の脆弱性が示された。（図４）

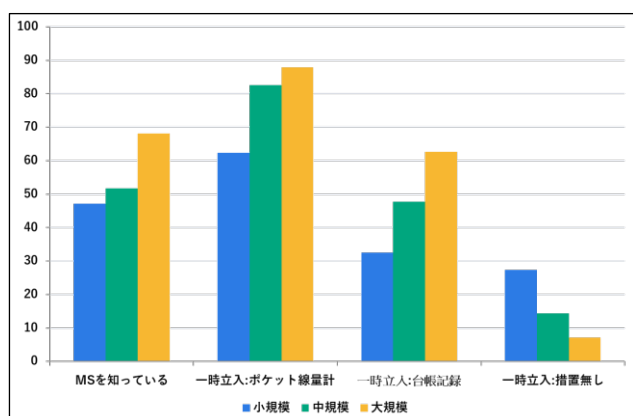


図 4. 放射線防護管理体制と個人線量管理

眼の水晶体専用線量計の使用は小規模 18.1%、中規模 51.7%、大規模 76.4%であり、施設規模が大きいほど導入が進んでいた。また、個人線量計装着対象に看護師を含む施設は小規模 71.9%、大規模 97.3%であり、対象職種の広がりにも差が認められた。

（３）防護物品整備と運用

防護眼鏡を整備している職種として診療放射線技師を含む施設は、小規模 67.0%、中規模 75.6%、大規模 76.9%であった。（図５）防護眼鏡を着用している診療放射線技師の割合は小規模 34.0%、中規模 47.3%、大規模 57.1%（図５）であり、供給だけでなく運用面でも差がみられた。医師向けの整

備率は小規模 27.9%、大規模 64.8%であり、医師着用率も小規模 65.0%、大規模 97.8%と差が大きかった。（図 6）

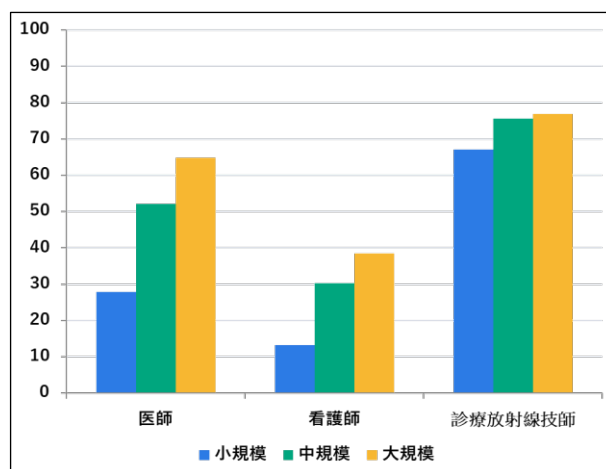


図 5. 防護メガネを整備している職種

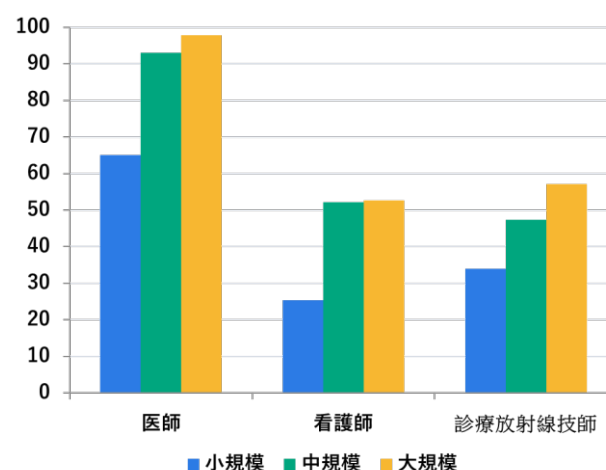


図 6. 防護メガネの職種別装着率

不足している防護物品については、「不足なし」の割合は小規模 46.2%、中規模 42.8%、大規模 45.1%で大差はなかったが、ネックガード不足は小規模 18.8%、大規模 11.5%、防護手袋不足は小規模 25.4%、大規模 19.8%であり、小規模施設に個別品目の不足感が目立った。

CT 検査介助時の防護眼鏡については、小規模施設で未着用が 72.5%、常に着用が 5.8%であり、大規模施設の未着用 50.5%、常時着用 8.8%と比較して眼防護の定着が不十

分であった。

(4) 小規模病院ヒアリング結果

ヒアリング対象施設は 167 床の小規模病院であった。放射線防護研修は外部の有料インターネット教材を用いて実施され、各自が Web で受講後、確認テストを行う体制であり、受講率はほぼ 100%であった。一方で、有料コンテンツに伴う継続的な費用負担と、自施設の業務実態に即した補足教材の不足が課題として挙げられた。

個人線量計は診療放射線技師が管理し、診療放射線技師の装着率は 100%であったが、医師の装着率は低めであった。管理区域への一時立入りは Excel で管理され、水晶体線量計は使用していなかった。防護具の物品不足は明確ではなかったものの、CT 介助時の防護眼鏡は未整備であり未使用であった。また、防護衣点検は未実施であり、防護板の適切な使用方法に関する知識更新も課題であった。

D. 考察

本年度の継続研究により、小規模施設の課題は「防護意識の低さ」そのものではなく、教育を継続的に実施する仕組み、講師体制、防護物品整備、線量管理ルールといった基盤整備の弱さにあることがより明確となった。小規模施設でも定期研修の実施率は高かったが、配信基盤の整備が不十分であり、外部教材や個人努力に依存しやすい構造が認められた。

また、管理区域への一時立入り措置、水晶体線量計の導入、防護眼鏡の整備と着用など、日常運用に直結する項目で規模差が可視化された。これらは単に予算不足のみではなく、ルールの明確化、責任者設定、記録・点検の標準化により改善し得る領域であると考えられる。

一方で、放射線防護教育の講師、防護衣点検、防護眼鏡整備など、多くの項目で診療放射線技師の関与は高率（図 7）であり、規模の大小を問わず診療放射線技師が放射線防護の中核を担っている実態が示された。

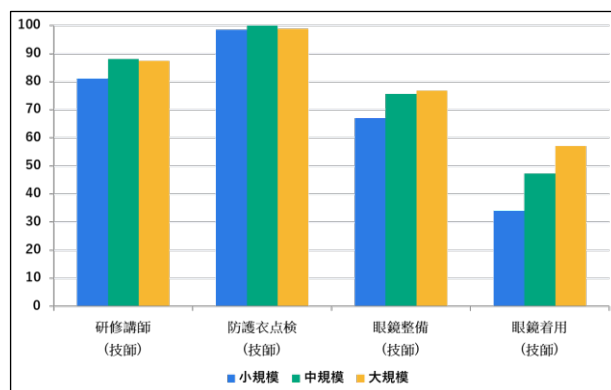


図 7. 放射線防護教育の講師、防護衣点検、防護眼鏡整備の診療放射線技師が行っている割合

特に小規模施設では、診療放射線技師が教育、物品、線量管理を一体的に運用することで、限られた人的資源の中でも効率的な改善が可能になると考えられる。

したがって、今後は小規模施設向けに標準教材、短時間 e-learning、確認テスト、管理区域一時立入りフロー、防護具点検チェックリスト等をパッケージ化し、診療放射線技師会や中核施設が支援する仕組みを構築することが、施設規模による格差縮小に有効である。

E. 結論

令和 7 年度の継続研究では、前年度に実施した全国調査結果をもとに病院規模別の詳細分析と小規模病院ヒアリングを行い、施設規模による放射線防護教育・管理体制の差異を明らかにした。小規模施設では、研修実施自体は一定程度確保されていたものの、教育基盤、線量管理措置、防護物品整備、眼防護運用に課題が認められた。一方で、診

療放射線技師は全規模において放射線防護教育と管理運用の中核を担っており、規模差是正の鍵となる存在であることが示唆された。施設規模による格差を埋めるためには、診療放射線技師を中心とした放射線防護の標準化と実装支援を推進することが重要である。

F. 論文報告

病院規模別の有意差検定を進めており、2026 年度内に論文として取りまとめる。

G. 研究発表

2025 年度 第 41 回日本診療放射線技師学術大会にて「医療機関における放射線業務管理および教育等の状況調査」として発表した。

H. 知的所有権の取得状況

特になし

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

看護専門学校における放射線被ばく防護教育等に関する調査

研究分担者

小野孝二(東京医療保健大学 総合教育センター・センター長)

富田博信(帝京大学 医療技術学部診療放射線学科/大学院医療技術学研究科・教授)

研究協力者

金子順一(駒澤大学 医療健康科学部診療放射線技術科学科/大学院医療健康科学研究科・教授)

新井知大(駒澤大学 医療健康科学部診療放射線技術科学科/大学院医療健康科学研究科・准教授)

藤田唯夢(駒澤大学 医療健康科学部 診療放射線技術科学科・4 年生)

研究要旨

令和 7 年度(2025 年度)においては、今後の看護教育における放射線関連業務に係る教育内容の充実を図るとともに、看護専門学校における教育的負担の軽減に資する支援体制の強化を目的として、放射線教育の実施状況及び教育機関が抱える課題に関する実態調査を実施した。

全国 447 施設の看護専門学校を対象として、Google フォームを用いたアンケート調査を 2025 年 7 月に実施し、放射線防護教育の実施状況及び教育機関が抱える課題について把握した。

調査は、①看護専門学校の基本情報(4 項目)、②放射線被ばく防止教育の実施状況(10 項目)、③放射線被ばく防止教育に対する関心度及び教育上の不安度等(28 項目)により構成した。関心度及び不安度については、「非常にそう思う」から「全くそう思わない」までの 6 件法により評価した。

その結果、198 施設から回答が得られ、回答率は 44.3%であった。講義は約 75%の施設において実施されている一方で、演習の導入は 12.6%にとどまっていた。

また、放射線防護教育を実施している施設における講義及び演習の実施時間については、1 コマ(90 分)未満の割合が講義で 64.9%、演習で 80.0%であった。

主な課題として、教材不足、指導方法の未整備及び予算確保の困難さが確認された。今後は、教材提供や専門職派遣等の支援体制の整備により、演習を含む放射線防護教育の普及及び質的向上を図る必要がある。

A. 研究目的

看護教育においては、放射線被ばくに関する適切な理解の涵養が求められているが、実際の看護専門学校においては当該教育が十分に実施されていない可能性が指摘されている。一方で、カリキュラム改正に伴う単位数の増加により、3年間の教育課程は一層過密化している状況にある。

本研究は、今後の看護教育における放射線関連業務に係る教育内容の充実及び教育的負担の軽減に資する支援体制の強化を目的として、放射線教育の実施状況及び教育機関が抱える課題の実態を把握し、その現状を明らかにすることを目的とするものである。

B. 研究方法

本研究は、日本看護学校協議会の協力を得て、全国の看護専門学校 447 施設を対象としてアンケート調査を実施したものである。

調査は、同協議会のメーリングリストを通じて依頼文及び調査 URL を送付し、Google フォームにより回答を収集した。調査期間は 2025 年 7 月 1 日から 7 月 31 日までの 1 か月間とした。調査項目は以下のとおりである。

- ・看護専門学校の基本情報(4 項目)
- ・放射線被ばく防止教育の実施状況(10 項目)
- ・放射線被ばく防止教育に対する関心度及び教育上の不安度等(28 項目)

関心度及び不安度については、6 件法により評価を行った。

C. 研究結果

全国 447 施設を対象としたアンケート調査の結果、198 施設から回答が得られ、回答率は 44.3%であった。

放射線被ばく防止教育の実施状況

放射線防護教育の実施状況については、講

義及び演習の双方を実施している施設は 12.6% (25 施設)であった。講義のみを実施している施設は 62.1% (123 施設)、講義及び演習ともに実施していない施設は 25.3% (50 施設)であった(図 1)。

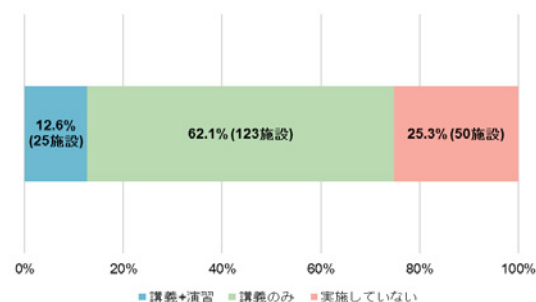


図 1. 放射線被ばく防護教育の実施率

また、放射線防護教育を実施している施設における講義及び演習の実施時間については、1 コマ(90 分)未満の割合が講義で 64.9%、演習で 80.0%であった(図 2)。

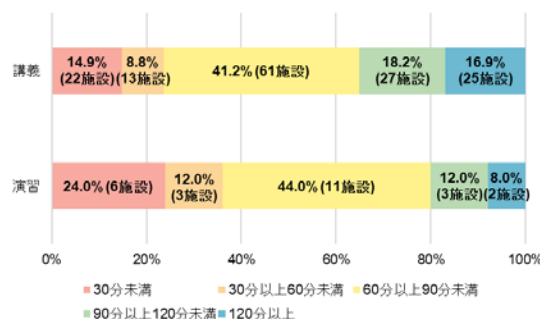


図 2. 講義・演習の実施時間

講義内容については、健康影響、被ばく低減の三原則、安全管理及び放射線機器に関する内容が 80%以上の施設で実施されていた。一方、医療被ばくは 70.3%、職業被ばくは 52.0%、公衆被ばくは 22.3%であった。(図 3)。

演習内容については、放射線防護衣の取り扱いが 92% (23 施設)と最も多く、次いで放射線防護メガネ(48%)、個人線量計の装着(40%)、サーベイメータによる測定(36%)、被ばく防止の実践(16%)であった(図 4)。

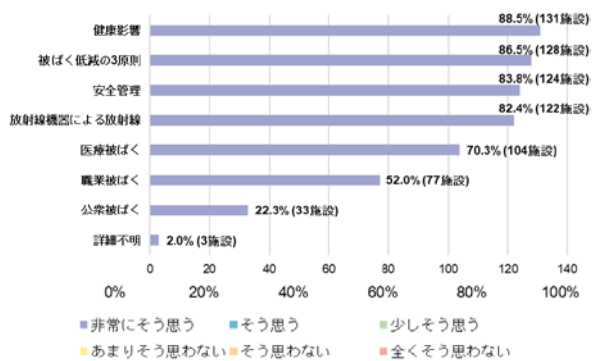


図 3. 講義内容

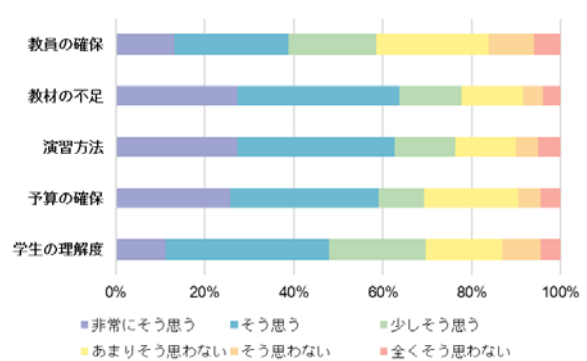


図 6. 看護教育における困難点

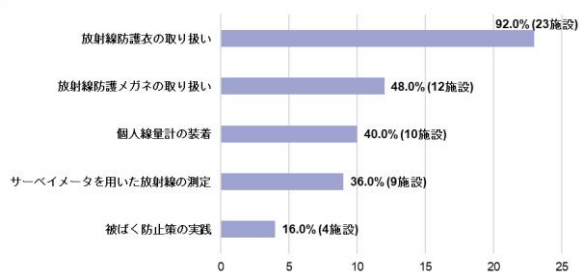


図 4. 演習内容

放射線被ばく防止教育に関する認識

看護教育における各項目の重要度評価の結果、公衆被ばくに関する重要度は他の項目と比較して低い傾向が認められた(図 5)。

また、教育上の課題としては、教員の確保、教材不足、演習方法、予算確保及び学生の理解度が挙げられたが、特に教材不足、演習方法及び予算確保が主要な課題として抽出された(図 6)。

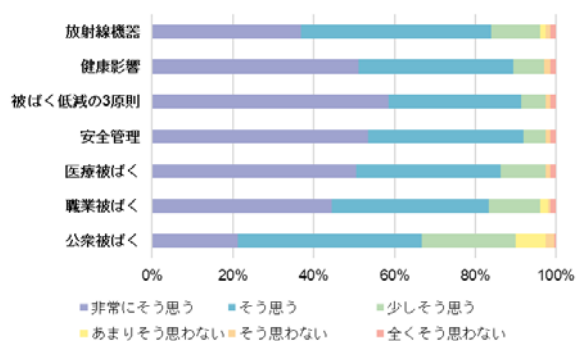


図 5. 看護教育における重要度

D. 考察

近年、看護師は放射線を用いた診療領域において、血管内治療の介助、消化器系検査・治療、CT 検査時の静脈路確保等、多様な役割を担うことが求められている。しかしながら、放射線領域に関する教育機会は十分とは言えず、知識不足に起因する不安が指摘されている[1][2]。こうした状況を踏まえ、厚生労働省において教育内容の見直しが行われ[3]、制度改革が実施されている[4]。さらに、放射線教育の実施状況については、全学生に対して十分に実施できている施設が限定的であることが報告されている[5]。2022 年度以降の新カリキュラムにおいては、「放射線の被ばく防止策の実施」が演習・実習項目として明確に位置付けられたことは重要な進展である[6]。

しかしながら、教育課程の過密化により、教育時間の確保が困難であり、特に演習の導入が進んでいない実態が明らかとなった。本調査においても、講義は一定程度実施されているものの、演習導入率は低水準にとどまっている。

主たる課題としては、①教材の不足、②指導方法の未整備、③予算確保の困難性が挙げられる。また、看護専門学校においては教育内容の標準化が十分に図られていない点も課題である[7]。

これらを踏まえ、今後は以下の対応が必要である。

第一に、共通教材及び演習キットの整備・普及による教育環境の均てん化。

第二に、診療放射線技師等の専門職との連携による実践的教育体制の構築。

第三に、カリキュラム上の明確な位置付けを含む制度的整備の推進。

E. 結論

本研究の結果から、本研究により、看護専門学校における放射線防護教育は講義を中心として一定程度実施されている一方で、演習の実施は限定的であることが明らかとなった。

また、教材不足、指導方法の未整備及び予算確保の困難性が主要な課題として確認された。

今後は、教材提供、専門人材の活用及び制度的整備を含む包括的な支援体制の構築により、演習を含む放射線防護教育の普及及び質的向上を図ることが求められる。

- [1] 森島 他:看護師の放射線に対する知識の現状および放射線教育の重要性—500 床規模の医療機関に勤務する看護師を対象としたアンケート調査—;日本放射線技術学会雑誌,第 68 巻,第 10 号,pp.1373–1379,(2012 年):
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrt/68/10/68_2012_JSRT_68.10.1373/pdf/-char/ja

(参照日 : 2025 年 9 月 29 日)

- [2] 森島 他:看護学生 of 放射線に関する意識調査からみた放射線教育の重要性;日本放射線安全管理学会誌 第 13 巻 第 2 号,(2014 年):
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrs/13/2/13_173/pdf

(参照日 : 2025 年 9 月 29 日)

- [3] 看護基礎教育検討会報告書,厚生労働省,(令和元年 10 月 15 日):

<https://www.mhlw.go.jp/content/10805000/000557411.pdf>

(参照日 : 2025 年 8 月 17 日)

- [4] 公益社団法人日本看護協会ホームページ 教育制度:

https://www.nurse.or.jp/nursing/4th_year/index.html

(参照日 : 2025 年 8 月 17 日)

- [5] 石橋:”71 種類の技術項目を学内で教えるための演習支援教材を活用した学内演習 第 3 回放射線キット使用の演習”;看護展望, Vol.48, No.8 , pp.50-54,(2023 年)

(参照日 : 2025 年 8 月 17 日)

- [6] 看護師等養成所の運営に関する指導ガイドライン,厚生労働省:

https://www.mhlw.go.jp/kango_kyouiku/file/1.pdf

(参照日 : 2025 年 8 月 17 日)

- [7] 看護学教育モデル・コア・カリキュラム【資質・能力】,文部科学省,令和 6 年:

https://www.mext.go.jp/content/20250324-mxt_igaku-000040938_4.pdf

(参照日 : 2025 年 9 月 29 日)

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

4 学会横断調査による放射線業務従事者の爪甲色素線条の頻度解析

研究分担者 中山 文明（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 放射線規制科学研究部）
盛武 敬（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 放射線規制科学研究部・部長）
喜多村 紘子（量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
放射線規制科学研究部 リスク評価グループ・
グループリーダー）
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）
研究協力者 平井 悠大、齊藤柚季、松崎 賢
（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
放射線規制科学研究部）

研究要旨

本研究は、医療放射線業務に従事する医師（整形外科医および脳神経外科医）を対象として、放射線皮膚障害とされる黒色の爪甲色素線条の実態を明らかにすることを目的に、放射線業務に従事する集団に対し、学会会場における現地調査を実施した。

方法として、第 40 回日本脊椎外科学会(NSJ)、第 51 回日本整形外傷学会学術集会(JOTA)、Spine Week Japan 2025(SWJ)、第 41 回日本脳神経血管内治療学会学術集会(JSNET)の 4 学会において、両手背・手掌、第 1 指間腔および各指爪を含む 7 種類の皮膚写真を撮影した。爪については偏光、非偏光、近紫外線画像を取得し、後日、皮膚科専門医が画像解析を行った。本報告では、黒色爪甲色素線条の有無を主要評価項目とした。

その結果、黒色爪甲色素線条の頻度は整形外科医で高く、脳神経外科医ではサンプル数が限られているものの、低い傾向を認めた。いずれの集団でも第 1 指優位の分布を示したが、整形外科医では他指を含めた広範な分布が認められ、特に JOTA では 50 歳代および 60 歳代で高頻度であった。一方、脳神経外科医では第 1 指、第 2 指に限局する傾向がみられ、年齢分布も比較的限定的であった。これらの差異は、線源近傍での手技頻度や対象部位の違いによる散乱線曝露状況の差を反映している可能性が示唆された。

A. 研究目的

放射線業務に従事する医療従事者は、患者の診療の中で被ばくすることが懸念される。なかでも高い放射線被ばくが想定される整形外科領域の医師は、水晶体だけでなく手の疾患について注目されている[1]。そのため、これらを電離放射線障害防止規則（以下、電離則）の健康診断で適切に診察し、管理することが望まれる。

しかしながら、「放射線業務従事者に対する健康診断のあり方に関する検討」によると、皮膚健診を全員に実施している医療施設は、実効線量 5mSv/年超の群で 61%、5mSv/年以下の群で 8%、線量による区分を行っていない施設でも 53%にとどまっている[2]。すなわち、いずれの区分においても一定数の施設で皮膚健診が省略されている。さらに、省略する理由として「被ばく線量が低い」が 63%を占めている[2]。しかし、Matsuzaki らの報告によれば、個人線量計の装着率は 64.6-77.9%であり、整形外科医の装着率は 11.3-35.4%とほとんど装着されていない状況である[3]。すなわち、線量で区分しても、その線量自体が正しい線量であるとはいえず、結果、電離則健診では見逃されている手の疾患が多数ある可能性がある。

そこで本研究では、医療従事者のなかでも特に高い放射線被ばくが想定される医師を対象として、放射線皮膚障害の実態を明らかにすることを目的とした調査を行った。

B. 研究方法

本研究は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（QST）の倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：N24-020）。各学会会場において調査ブースを設置し、研究の目的および内容、研究参加の任意性および不参加による不利益がないことを説

明し、同意が得られた者を対象に実施した。撮影および情報収集は統一手順に基づいて行い、取得したデータは匿名化して管理した。なお、本研究は「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」に準拠して実施した。

医療従事者に生じうる放射線皮膚障害における所見として認識される手指・爪における変化の検出に焦点を当て、調査を実施した。本年度は、整形外科関連および脳神経外科関連の 4 学会（第 40 回日本脊髄外科学会（以下、NSJ）、第 51 回日本整形外傷学会学術集会（以下、JOTA）、Spine Week Japan 2025（以下、SWJ）、第 41 回日本脳神経血管内治療学会学術集会（以下、JSNET））において、皮膚障害に関する現地調査を実施した。

調査では①両手背全体像、②両手掌全体像、③右（左）手背全体像、④右（左）手掌全体像、⑤右（左）第 1 指間腔、⑥第 1 指弱拡大、⑦右（左）の各爪、全 7 種類の皮膚写真を撮影した。なお、爪の写真に関しては、偏光画像、非偏光画像、近 UV (Ultraviolet) 画像の 3 種類の画像を取得した。また、対象者の補足情報として、皮膚科専門医および写真撮影者が気になる箇所、もしくは対象者が気になる箇所を抽出し、記録に留めた。この補足情報と撮影した皮膚写真をもとに、後日、皮膚科専門医による詳細な画像解析が行われた。

本報告では、皮膚科専門医が行った画像解析のうち、黒色の爪甲色素線条の有無についてまとめた。

C. 研究結果

NSJ における調査結果

NSJ では 67 名の調査を実施した。このうち、脳神経外科医 50 名（平均年齢 43.6 歳、

男性 96.0%) が主たる参加者であった(表 1)。

表 2 に NSJ における脳神経外科医の黒色の爪甲色素線条の出現頻度の内訳を示す。黒色の爪甲色素線条の有無については、50 名中 9 名 (18.0%) に認められ、指別の出現頻度では左第 1 指が 50 名中 4 名 (8.0%) と最多であった。一方で、右第 3-5 指および左第 3、5 指には所見を認めなかった。また、年齢別では 40 歳代が 17 名中 6 名 (35.3%) と最も多く、次いで 50 歳代 11 名中 2 名 (18.2%)、30 歳代 19 名中 1 名 (5.3%) の順であった。

JSNET における調査結果

JSNET では 84 名の調査を実施した。このうち、脳神経外科医 59 名 (平均年齢 47.1 歳、男性 83.1%) が主たる参加者であった(表 1)。

表 3 に JSNET における脳神経外科医の黒色の爪甲色素線条の出現頻度の内訳を示す。黒色の爪甲色素線条の有無については、59 名中 3 名 (5.1%) に認められ、指別の出現頻度では右第 1 指、左第 1 指、左第 2 指に各 1 名 (それぞれ 1.7%) であった。一方で、右第 2-5 指および左第 3-5 指には所見を認めなかった。また、年齢層別では 40 歳代で 18 名中 2 名 (11.1%) と最も多く、次いで 30 歳代で 13 名中 1 名 (7.7%) であった。

JOTA における調査結果

JOTA では 155 名の調査を実施した。このうち、整形外科医が 152 名 (平均年齢 47.0 歳、男性 93.4%) と主たる参加者であった(表 1)。

表 4 に JOTA における整形外科医の黒色の爪甲色素線条の出現頻度の内訳を示す。黒色の爪甲色素線条の有無については、152 名中 71 名 (46.7%) に認められた。指別の出現頻度では右第 1 指 (11.8%) が最多となり、

次いで左第 1 指 (9.9%)、右第 3 指 (7.2%) であった。一方で、左第 3 指は 1.3%、右第 5 指および左第 5 指では各 0.7% と少数であった。また、年齢層別では 60 歳代で 24 名中 20 名 (83.3%) と最も多く、次いで 50 歳代で 40 名中 25 名 (62.5%)、30 歳代で 34 名中 11 名 (32.4%)、40 歳代で 48 名中 13 名 (27.1%)、20 歳代で 6 名中 2 名 (33.3%) の順であった。

SWJ における調査結果

SWJ では 133 名の調査を実施した。このうち、整形外科医が 120 名 (平均年齢 46.8 歳、男性 98.3%) と主たる参加者であった(表 1)。

表 5 に SWJ における整形外科医の黒色の爪甲色素線条の出現頻度の内訳を示す。黒色の爪甲色素線条の有無については、120 名中 41 名 (34.2%) に認められた。指別の出現頻度では右第 1 指 (26.7%) が最多となり、次いで左第 1 指 (13.3%)、右第 2 指 (7.5%) であった。一方で、右第 4 指および左第 5 指は各 2.5%、右第 5 指は 1.7% と少数であった。また、年齢層別では 70 歳代で 2 名中 2 名 (100%) と最も多く、次いで 40 歳代で 40 名中 18 名 (45.0%)、60 歳代で 13 名中 4 名 (30.8%)、50 歳代で 32 名中 9 名 (28.1%)、30 歳代で 33 名中 8 名 (24.2%) の順であり、20 歳代は該当例がなかった。

表 1 研究対象者の内訳（脳神経外科医および整形外科医）

	脳神経外科医		整形外科医	
	NSJ (n = 50)	JSNET (n = 59)	JOTA (n = 152)	SWJ (n = 120)
平均年齢 ± 標準偏差	43.6 ± 10.4	47.1 ± 9.3	47.0 ± 10.3	46.8 ± 9.9
男性人数 (%)	48 (96.0)	49 (83.1)	142 (93.4)	118 (98.3)

診療科別比較

黒色の爪甲色素線条の出現頻度は、脳神経外科医群に比べ、整形外科医群で高い傾向を示した。各年代別にみても整形外科医群で高い傾向を示した。指別分布は全群に共通して第 1 指優位であったが、脳神経外科医群では主として第 1 指から第 2 指に偏在し分布は限定的であったのに対し、整形外科医群では第 2 指・第 3 指を含め、より広範囲に分布する傾向を認めた。

同一診療科比較

脳神経外科医群内では、サンプル数が限られているため慎重な解釈を要するが、NSJ は JSNET に比して高い傾向を示した。年齢層も NSJ では 40 および 50 歳代に分布するのに対し、JSNET では 30 および 40 歳代に局限し、50 歳代以上では認めなかった。指別分布はいずれも第 1 指優位であったが、NSJ では第 2 指や第 4 指にも分布を認めたのに対し、JSNET ではほぼ第 1 指に局限していた。

整形外科医群内では、各年代別にみても JOTA は SWJ に比して高い傾向を示した。例えば 50 歳代では JOTA 62.5%、SWJ 28.1% であった。JOTA では 50 および 60 歳代に高頻度であったのに対し、SWJ では 30 歳代、40 歳代、50 歳代および 60 歳代の各年代において大きな偏りなく分布した。指別分布は両群とも第 1 指優位であり、その他の指では左右に比較的均等に分布していた。

D. 考察

土方らは脊椎外科医を対象とした調査において、手指の被ばく機会が多い群ほど爪甲色素線条を含む慢性手部炎症の有病率が高く、とくに透視室での被ばく機会が多い群では最少群の約 3 倍に増加することを示している[1]。また、爪甲色素線条や手湿疹は放射線による慢性皮膚炎症の指標となり得ると位置づけられている[1]。これらの知見と本研究結果の一致は、黒色の爪甲色素線条が職業性放射線被ばくの累積影響を反映する所見である可能性を示唆する。

本調査から、黒色の爪甲色素線条は第 1-3 指に優位に分布することが明らかとなった。この結果は Hijikata らの報告[1]と一致しており、手指被ばくの機会が多い医師に特徴的な分布を反映している可能性が示唆される。また、各年代別の出現頻度をみると、40 歳代以上において出現頻度が高い傾向を認めた。この傾向は、職業上の手技経験の蓄積に伴う累積被ばくの影響を反映している可能性がある。一方で、高齢層ではサンプル数が限られており、解釈には注意を要する。以上より、中～高齢層の医師においては、手指皮膚所見の変化を見逃さないためにも、必要に応じて皮膚科専門医による詳細な評価を行うことが望まれる。

表2 NSJにおける脳神経外科医の黒色爪甲色素線条の出現頻度（年代別・指別）

	医師総数	右第1指 右第2指 右第3指 右第4指 右第5指 左第1指 左第2指 左第3指 左第4指 左第5指 合計									
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
20歳代	1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
30歳代	19	0 (0)	1 (5.3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (5.3)
40歳代	17	1 (5.9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (17.6)	1 (5.9)	0 (0)	1 (5.9)	6 (35.3)
50歳代	11	1 (9.1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (9.1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (18.2)
60歳代	1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
70歳代	1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
全体	50	2 (4.0)	1 (2.0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4 (8.0)	1 (2.0)	0 (0)	1 (2.0)	9 (18.0)

表3 JSNETにおける脳神経外科医の黒色爪甲色素線条の出現頻度（年代別・指別）

	医師総数	右第1指 右第2指 右第3指 右第4指 右第5指 左第1指 左第2指 左第3指 左第4指 左第5指 合計									
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
20歳代	2	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
30歳代	13	1 (7.7)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (7.7)
40歳代	18	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (5.6)	1 (5.6)	0 (0)	0 (0)	2 (11.1)
50歳代	24	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
60歳代	2	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
全体	59	1 (1.7)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1.7)	1 (1.7)	0 (0)	0 (0)	3 (5.1)

表 4 JOTA における整形外科医の黒色爪甲色素線条の出現頻度（年代別・指別）

医師総数	右第1指		右第2指		右第3指		右第4指		右第5指		左第1指		左第2指		左第3指		左第4指		左第5指		合計	
	(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)	
20歳代	6	1 (16.7)	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (16.7)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (33.3)	
30歳代	34	4 (11.8)	1 (2.9)	1 (2.9)	1 (2.9)	1 (2.9)	0	0	0	0	4 (11.8)	0	0	0	0	0	1 (2.9)	0	0	0	11 (32.4)	
40歳代	48	4 (8.3)	0	0	1 (2.1)	0	0	0	0	0	5 (10.4)	2 (4.2)	0	0	0	0	0	0	1 (2.1)	0	13 (27.1)	
50歳代	40	5 (12.5)	3 (7.5)	3 (7.5)	6 (15.0)	1 (2.5)	0	0	0	0	2 (5.0)	5 (12.5)	1 (2.5)	0	0	0	2 (5.0)	0	0	0	25 (62.5)	
60歳代	24	4 (16.7)	3 (12.5)	3 (12.5)	3 (12.5)	2 (8.3)	1 (4.2)	1 (4.2)	1 (4.2)	1 (4.2)	3 (12.5)	2 (8.3)	1 (4.2)	1 (4.2)	1 (4.2)	1 (4.2)	1 (4.2)	0	0	0	20 (83.3)	
全体	152	18 (11.8)	7 (4.6)	7 (4.6)	11 (7.2)	3 (2.0)	1 (0.7)	1 (0.7)	1 (0.7)	1 (0.7)	15 (9.9)	9 (5.9)	2 (1.3)	4 (2.6)	1 (0.7)	1 (0.7)	4 (2.6)	1 (0.7)	1 (0.7)	71 (46.7)		

表 5 SWJ における整形外科医の黒色爪甲色素線条の出現頻度（年代別・指別）

医師総数	右第1指		右第2指		右第3指		右第4指		右第5指		左第1指		左第2指		左第3指		左第4指		左第5指		合計	
	(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)	
30歳代	33	6 (18.2)	2 (6.1)	2 (6.1)	0	0	1 (3.0)	0	0	0	5 (15.2)	1 (3.0)	1 (3.0)	0	0	0	0	0	0	0	8 (24.2)	
40歳代	40	14 (35.0)	4 (10.0)	4 (10.0)	2 (5.0)	0	0	0	0	0	4 (10.0)	0	0	2 (5.0)	0	0	0	1 (2.5)	0	0	18 (45.0)	
50歳代	32	7 (21.9)	2 (6.3)	2 (6.3)	2 (6.3)	1 (3.1)	1 (3.1)	0	0	0	3 (9.4)	2 (6.3)	2 (6.3)	1 (3.1)	0	0	2 (6.3)	0	0	0	9 (28.1)	
60歳代	13	3 (23.1)	1 (7.7)	1 (7.7)	2 (15.4)	1 (7.7)	1 (7.7)	2 (15.4)	2 (15.4)	2 (15.4)	3 (23.1)	3 (23.1)	3 (23.1)	3 (23.1)	3 (23.1)	3 (23.1)	3 (23.1)	2 (15.4)	2 (15.4)	4 (30.8)		
70歳代	2	2 (100)	0 (0)	0 (0)	0	0	0	0	0	0	1 (50.0)	1 (50.0)	1 (50.0)	1 (50.0)	0	0	1 (50.0)	0	0	0	2 (100)	
全体	120	32 (26.7)	9 (7.5)	9 (7.5)	6 (5.0)	3 (2.5)	2 (1.7)	2 (1.7)	2 (1.7)	2 (1.7)	16 (13.3)	7 (5.8)	6 (5.0)	6 (5.0)	6 (5.0)	6 (5.0)	6 (5.0)	3 (2.5)	3 (2.5)	41 (34.2)		

黒色の爪甲色素線条は両診療科に共通して第1指優位の分布を示す一方、整形外科医群において頻度が高く、分布範囲および年齢分布がより広い傾向を示した。この差異は放射線業務時の術者立ち位置の違いによる可能性がある。すなわち整形外科領域では、術者がX線管近傍で四肢・体幹の施術を行う機会が多く、手指が散乱線場に直接曝露されやすい。一方、脳神経外科領域では穿刺部位が実際の術野から離れていることが多く、術野と線源の位置関係から手指の直接曝露は相対的に少ないと考えられる。これらの曝露状況の差が、分布および頻度の差として、反映された可能性がある。

同一診療科内においても、黒色の爪甲色素線条の頻度、分布範囲、および年齢分布には差異が認められ、対象部位への照射線量の影響が示唆された。脳神経外科医内では、JSNETは脳血管内治療を主とする集団であり、透視は頭部を対象とする比較的低い照射条件が中心であるのに対し、NSJは脊椎関連手技が主体で体幹部への照射が必要となるため、手指散乱線量が大きくなる可能性がある。同様に整形外科医内では、JOTAが四肢手技中心、SWJは体幹手技中心と対象部位が異なり、いずれも線源近傍での操作という点は共通しているものの、対象部位への照射条件の差が黒色爪甲色素線条の頻度差に反映された可能性が考えられた。

本研究は、黒色の爪甲色素線条が特定の診療科において高頻度に認められることを明らかにしたが、本結果は対象とした学会に依存した可能性も否定できない。すなわち、今回検討した診療科以外にも、同様あるいはそれ以上に手指被ばくリスクの高い集団が存在する可能性があり、今後は対象学会を拡大し、未同定のハイリスクグループを探索する必要がある。

また、本研究の実施過程において、学会という場での調査活動そのものが、単なるデータ収集にとどまらず、医師に対して放射線被ばくや皮膚障害の実態を認識させる契機となることが示唆された。さらに、調査と並行してシンポジウムやパネルディスカッションを併設することで、参加者の関心が高まり、より効果的な教育的介入となる可能性があることも示された。

加えて、皮膚所見に基づく調査は、個々の医師のみならず、学会運営層や医療機関の経営層にも強く訴求する特徴を有しており、組織的な放射線防護教育や安全管理体制の構築へと発展する可能性が示唆された。実際に、本研究に関連する調査活動が契機となり、学会からの招聘や議論の場の創出につながった事例も認められた。

以上より、黒色の爪甲色素線条の調査は、職業被ばくの実態把握に加え、教育的・組織的介入の手段としても有用であると考えられる。今後は、対象領域の拡大とともに、調査と教育を統合したアプローチを継続的に実施することが重要である。

E. 結論

黒色爪甲色素線条は、医療放射線業務に伴う手指被ばくの影響を反映する可能性があり、その頻度および分布は診療科や手技特性に応じた曝露状況の違いを示していると考えられた。特に、整形外科医のようにX線管近傍での操作機会が多い集団では、高頻度かつ広範な分布を示す傾向が示唆され、職業性手指被ばく評価の臨床的指標となり得る可能性がある。

さらに、本研究で用いた皮膚所見に基づく調査は、被ばく実態の可視化を通じて医師の認識を高める教育的意義を有し、学会という場での実施は個人レベルのみならず

組織的な放射線防護意識の向上にも寄与する可能性が示唆された。今後は対象診療科および学会を拡大し、未同定のハイリスク集団の探索を進めるとともに、調査と教育を組み合わせた継続的な介入を行うことが重要である。

H. 知的所有権の取得状況

なし

参考文献

1. Hijikata Y., Yamashita K., Hatsusaka N. et al (2025). Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons. J Bone Joint Surg Am. 10.2106/jbjs.24.00433.
<https://doi.org/10.2106/jbjs.24.00433>
2. 公益財団法人原子力安全研究協会 (2020). 放射線業務従事者に対する健康診断のあり方に関する検討. 放射線安全規制研究推進事業成果報告書
3. Matsuzaki S., Nakagami K., Kuriyama T. et al (2026). Effect of a law amendment on dosimeter wearing in medical radiation workers: observational study. Insights Imaging. 17(1):42.
<https://doi.org/10.1186/s13244-026-02218-3>

F. 論文報告

該当なし

G. 研究発表

該当なし

I. 分担研究報告

医療従事者の逆行性線量評価推定における推定モデル構築の試行

研究分担者 古渡 意彦

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

研究要旨

本分担研究では、高線量被ばくリスクにさらされ、累積被ばく線量が高いと考えられる医療従事者の遡及的な被ばく線量の推定手法を検討するモデル構築を試みた。令和6年度に実施したパラメータ検討では、手技当たりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の有無等のパラメータに導入する数値の推定手法について検討を進めた。その結果として、対数正規分布による推定を行うことで、文献値の示す統計量を非常によく再現することができた。

令和7年度では、医療従事者の遡及的な被ばく線量推定（逆行性線量推定）を可能とする推定モデル構築を試行した。医療従事者の累積被ばく線量の遡及的推定手法（逆行性線量推定法）を開発するため、IVR 医師の眼の水晶体等価線量の適切な推定のために開発されたモデルを拡張し、体幹部等に装着された個人線量計からの測定値がない場合において、遡及的に被ばく線量を推定するモデルの構築を試みた。その結果、体幹部、眼の水晶体及び手指の線量について妥当な線量分布を推定した。得られた統計量のうち、各部位の被ばく線量の中央値を用い、特定手技回数の線量に成功した。

A. 研究目的

本研究事業は、医療従事者の被ばく線量低減に資する放射線教育の在り方について研究するが、特に医療機関における放射線被ばく防護に係る教育について包括的に研究を進めるものである。

被ばく線量が他の業種と比較して高い医療の現場において、医療従事者を雇用する事業者は、電離放射線障害防止規則（以下「電離則」という。）における労働者の線量限度の遵守、線量計の装着等の基本的な法定措置の確実な実施はもとより、国際的な動向も踏まえて規制を最適化すると共に放射線業務に従事する労働者の被ばくを可能

な限り低減する管理体制を構築しなければならない。前身の研究班では労働者である医療従事者の被ばく線量の把握とその低減に注力して検討を進めてきた。本研究事業では、より包括的な視点で医療の現場における放射線防護を俯瞰し、医療従事者の放射線事故発生に伴う疾病防止及び被ばく線量低減に資する放射線教育の在り方を提案するものである。

本分担研究は、高線量被ばくリスクにさらされ、累積被ばく線量が高いと考えられる医療従事者の被ばく線量を遡及的に推定するモデル構築を試みた。昨年度の分担研究では、当該モデルを開発する際に、どの

ようなパラメータが検討されるか、また、そのパラメータに入る数値をどのように推定するかについて検討を行った。

本分担研究で行う遡及的な被ばく線量推定(逆行性線量推定)の精度良い推定手法を検討するにあたり、令和6年度の研究では過去の研究者らによるモデルを導入する際の、手技当たりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の有無等のパラメータに導入する数値の推定手法について検討を行った。令和6年度に実施したパラメータ検討では、特に手技当たりの被ばく線量についての推定手法を検討し、元データの分布を推定する手法として、1)対数正規分布及び2)カーネル密度推定の両方を採用することで、統計量を比較して評価した。その結果、1)対数正規分布による推定を行うことで、文献から参照した整形外科医の手技当たりの被ばく線量の示す統計量をよく再現することができた。

医療従事者のうち、眼の水晶体被ばく線量の線量情報が乏しく、かつ高被ばくリスク群の一つに挙げられるのがIVR術者である。IVR術者の眼の水晶体被ばくリスクについては、2011年のICRPソウル声明以前より知られていたが、眼の水晶体追加モニタリングは系統的に行われてこなかった。そのため、これまで測定されていなかったIVR術者の眼の水晶体被ばく線量の遡及的線量推定手法が検討され、論文で公表されている。

例えば、Struelensらは、IVR術者にたいする累積水晶体線量推定のため、以下の2つのモデルを導入し、モデル及びパラメータに関する検証を行った[1]。
アプローチ①：手技ごとの被ばく線量とあ

る期間の症例実施数から求める方法

アプローチ②：測定で得られた全身被ばく線量から適切な水晶体被ばく線量の比を求めて、それを乗じることで導出する方法

アプローチ①は以下の式で表現され、

$$ED_{\text{cum}} = \sum_{i,j,x,y,z} D_{j,x,y,z} \times N_{i,j,x,y,z},$$

ここでのDは、ばく露条件ごとに区別された症例ごとの眼の水晶体被ばく線量の確率分布であり、Nはある症例の積算手技回数となる。ばく露条件には、ある施術で防護眼鏡を装着したかどうか(x)、防護板を用いたかどうか(y)、X線装置の設定(z)を加味するとある。[1]

アプローチ②の測定で得られた全身被ばく線量から適切な水晶体被ばく線量の比を求めて、それを乗じる場合のモデルは、以下の式で表される。

$$ED_{\text{cum}} = \sum_i D_{WB;i,p,x,z} \times C_{p,x,z},$$

ここでのD_{WB}は、ばく露条件ごとに区別されたIVR術者の測定で得られた年間の体幹部線量であり、症例ごとの眼の水晶体被ばく線量の確率分布であり、Cが体幹部線量と眼の水晶体等価線量の比である。ばく露条件には、アプローチ①の式と同様に、ある施術で防護眼鏡を装着したかどうか(x)、X線装置の設定(z)に加えて、測定に用いた線量計の装着位置(p)を考慮するとある。[1]

令和7年度の分担研究では、医療従事者の累積被ばく線量の遡及的推定手法を開発するため、上述するIVR医師の眼の水晶体等価線量の適切な推定のために開発されたモデルを拡張し、体幹部等に装着された個

人線量計からの測定値がない場合において、遡及的に被ばく線量を推定するモデルを構築する。考慮するパラメータについては、手技あたりの被ばく線量、年間手技回数、及び防護装備等装着の有無、とした。

B. 研究方法

本分担研究では、線量情報がない医療従事者の合理的な被ばく線量の遡及的推定手法（逆行性線量推定法）の開発を行う。合理的な逆行性線量推定モデル構築にあたり、先行研究のモデルを援用するが、モデル導入のための、手技あたりの被ばく線量、年間の手技回数、放射線防護装備の使用の有無等のパラメータに導入する数値の推定手法については令和6年度に検討を完了した。

令和7年度は、逆行性線量推定のモデルとして以下を提案し、線量評価が可能かどうか検証を進めた。

$$H_{cum} = \sum_i D_i \times N_i \quad (1)$$

ここで、

H_{cum} ：整形外科医の線量(体幹部、眼の水晶体、手指)

D_i ：手技あたりの線量 (mSv/回)

N_i ：手技回数 (回)

とする。

手技あたりの被ばく線量は、実際にエックス線透視を用いた脊椎外科診療手技を行う医師ごとに電子式ポケット線量計（主線量計・副線量計として）及び蛍光ガラス線量計（眼線量計・手指線量計として）を用いて測定され、本研究事業研究協力者の報告した値を用いた [2]。

線量測定では、体幹部、眼の水晶体及び手指について実施した。体幹部については、防

護エプロン内外の両方、眼の水晶体については、手技中に医師らが装着した防護眼鏡内外に線量計を装着し、左右両方について測定対象とした。手指については、今年度の研究では左右の人差し指の値を手指の線量とした。以下のとおり、全体で8か所の被ばく線量を評価した。

体幹部線量（防護エプロン外）（ μ Sv）

体幹部線量（防護エプロン内）（ μ Sv）

右眼の水晶体線量（防護眼鏡外）（mSv）

右眼の水晶体線量（防護眼鏡内）（mSv）

左眼の水晶体線量（防護眼鏡外）（mSv）

左眼の水晶体線量（防護眼鏡内）（mSv）

右手の手指線量（mSv）

左手の手指線量（mSv）

線量は、体幹部、眼の水晶体、及び手指で、それぞれ、1cm、3mm 及び $70\mu\text{m}$ 個人線量当量で評価した。

手技については、以下について診療手技ごとに線量を推定（アンケート調査の区分）することを検討している。ただし、今年度はデータ不足のため、①～⑥の手術室で行う透視下手技を「手技」としてまとめ、手技あたり被ばく線量を推定した。

①脊椎固定術

②脊椎内視鏡手術

③Balloon Kyphoplasty（経皮的椎体形成術）

④透視下四肢骨折骨接合術（手指や手関節以外）

⑤透視下手外科手術（手指や手関節）

⑥透視下骨折（脱臼を含む）非観血的整復術（外来での処置等）

⑦透視下ブロック（神経根・椎間板）・椎間板内酵素注入療法（ヘルニア注入）

⑧脊髓造影

線量は、令和6年度で評価した通り統計

量として導出するため、度数分布を求めたのちに、対数正規分布でフィッティングした。得られた対数正規分布の中央値及び四分位値を各部位における手技あたりの被ばく線量とした。

令和7年度は、手技回数について十分な情報が入手出来ていないことから、特定回数の手技を行った場合の積算線量を導出した。今年度は年間150回の「手技」を行ったとして被ばく線量を評価することとした。

特定回数の手技を行った際の線量として、対数正規分布で推定された手技あたりの被ばく線量に対し、その回数分のランダムサンプリングを一万回、つまりこの場合では150回分のサンプリングを行って150点分の和を取る、ということを一万回繰り返して分布を得た。

(倫理面への配慮)

本事業を遂行するに当たり、研究対象者に対する人権擁護上の配慮、研究方法による研究対象者に対する不利益、危険性の排除や説明と同意(インフォームド・コンセント)に関わる状況、実験動物に対する動物愛護上の配慮等への観点を十分考慮し、モデルに導入するパラメータの数値は、医療従事者の手技中に被ばくした体幹部、眼の水晶体及び手指部線量を取得したが、倫理取得済みである。

以上により、当該事業に関し、倫理面への配慮が十分になされ、事業遂行に倫理面での問題がないと判断される。

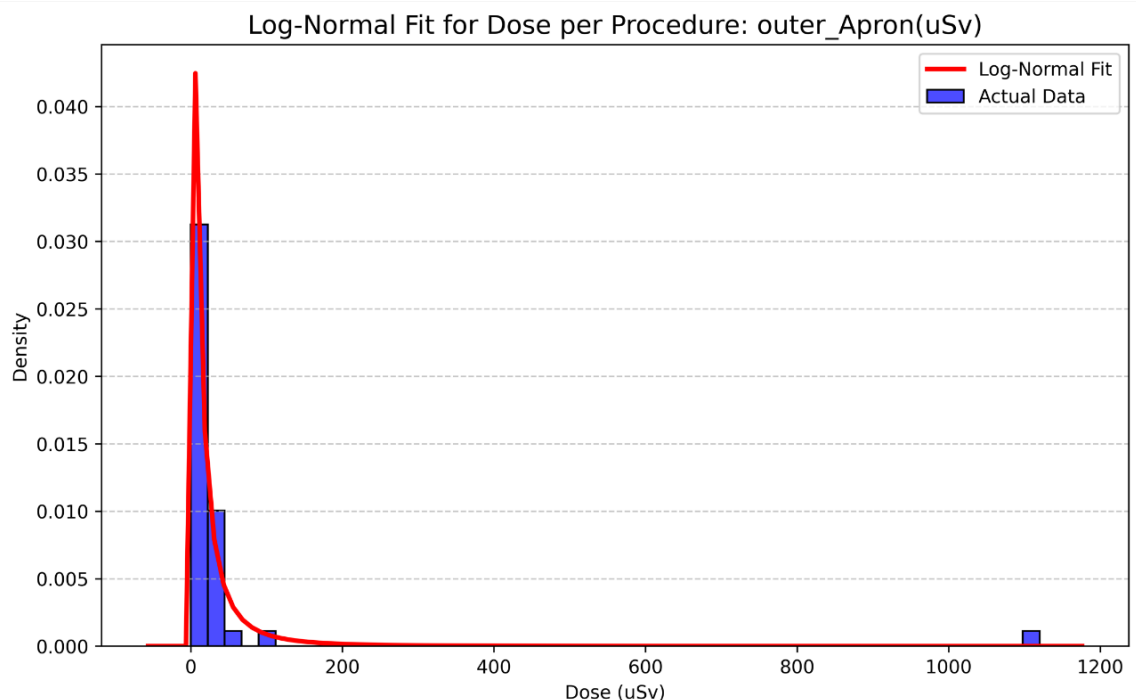


図1(a) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの防護エプロン外側の被ばく線量(μSv)の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

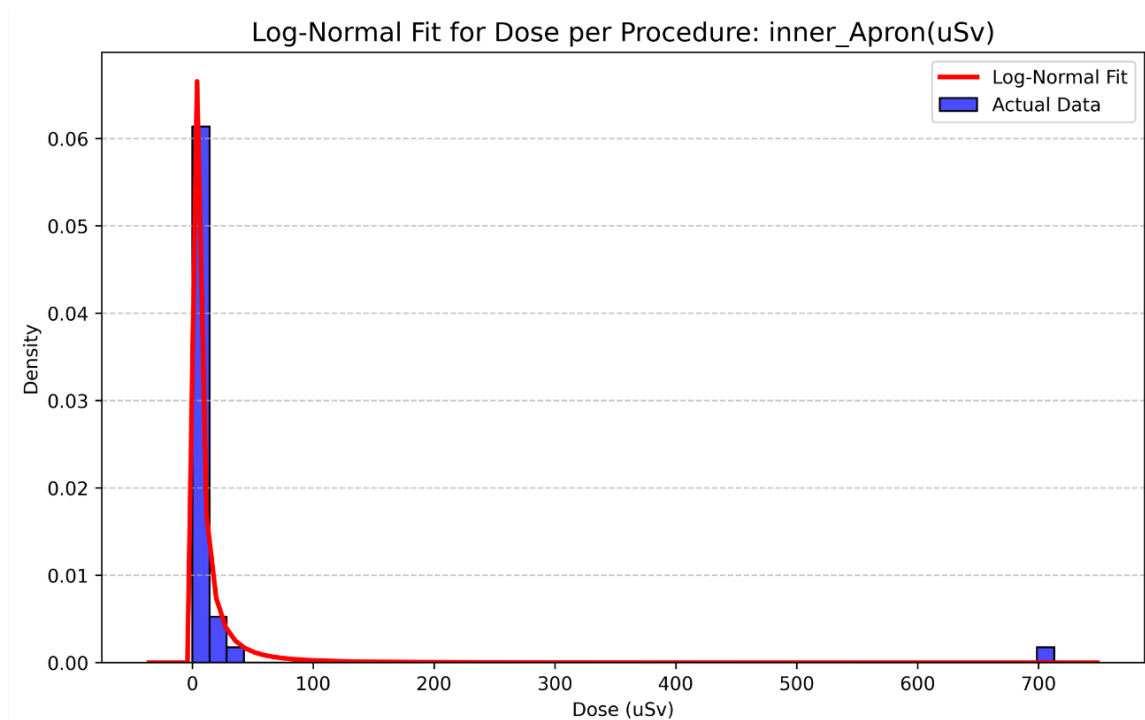


図 1 (b) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの防護エプロン内側の被ばく線量 (μSv) の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

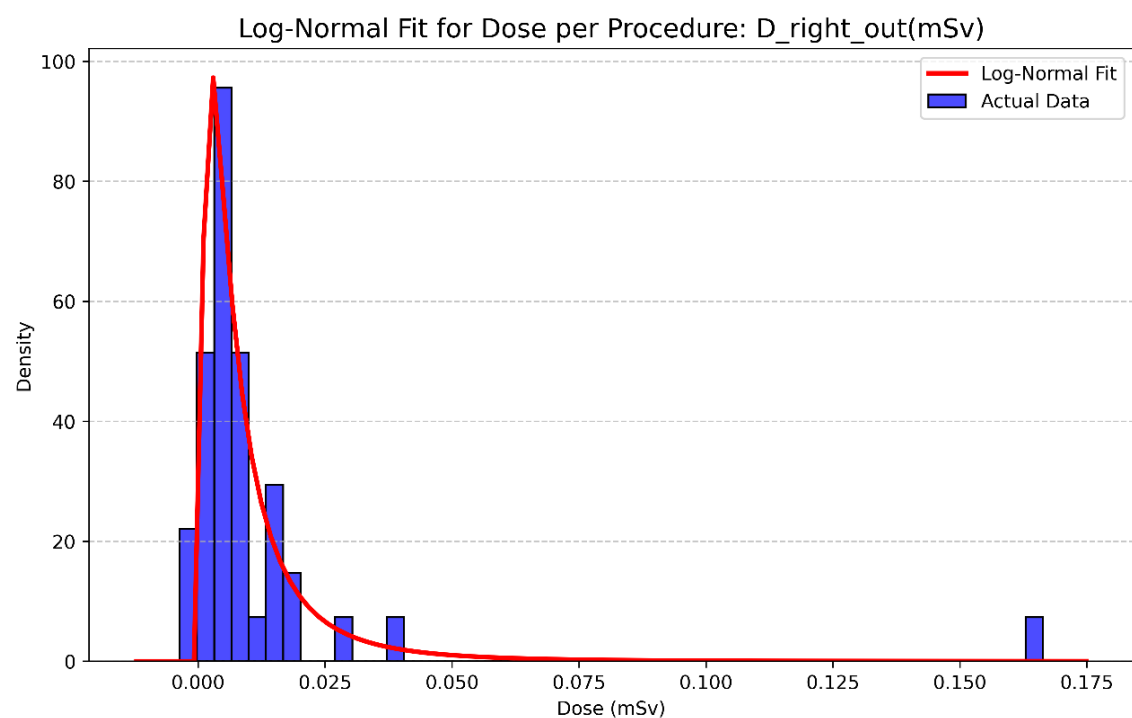


図 1 (c) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの右眼の被ばく線量（防護眼鏡外側： mSv ）の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

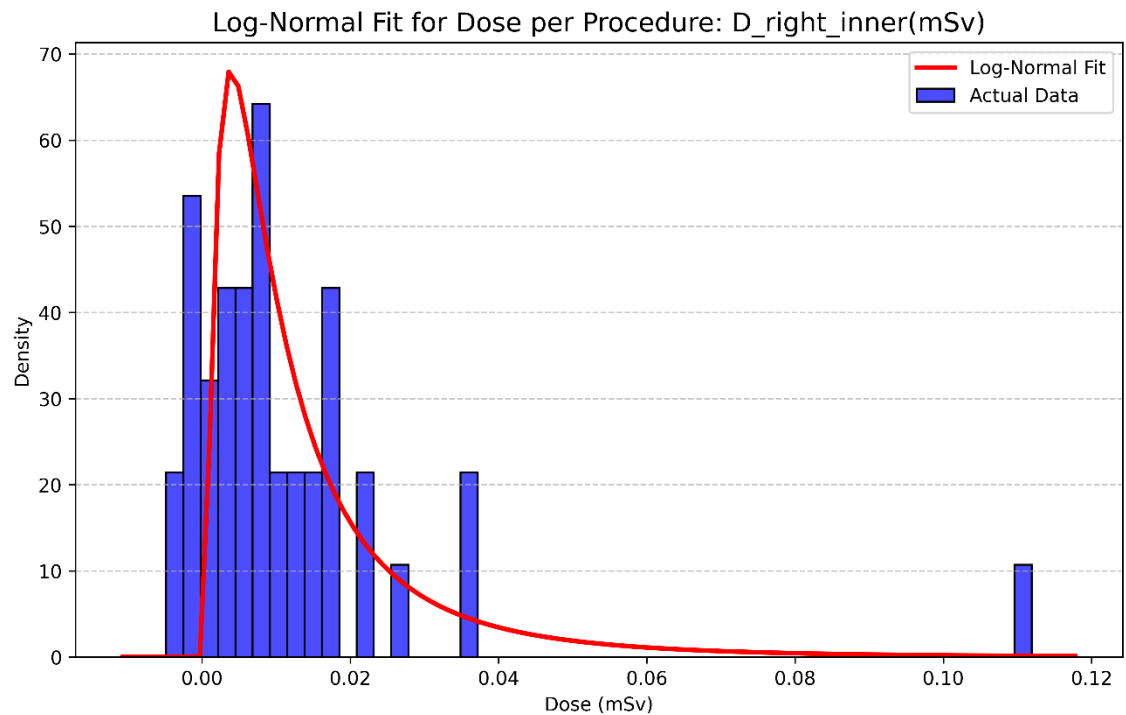


図 1 (d) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの右眼の被ばく線量（防護眼鏡内側：mSv）の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

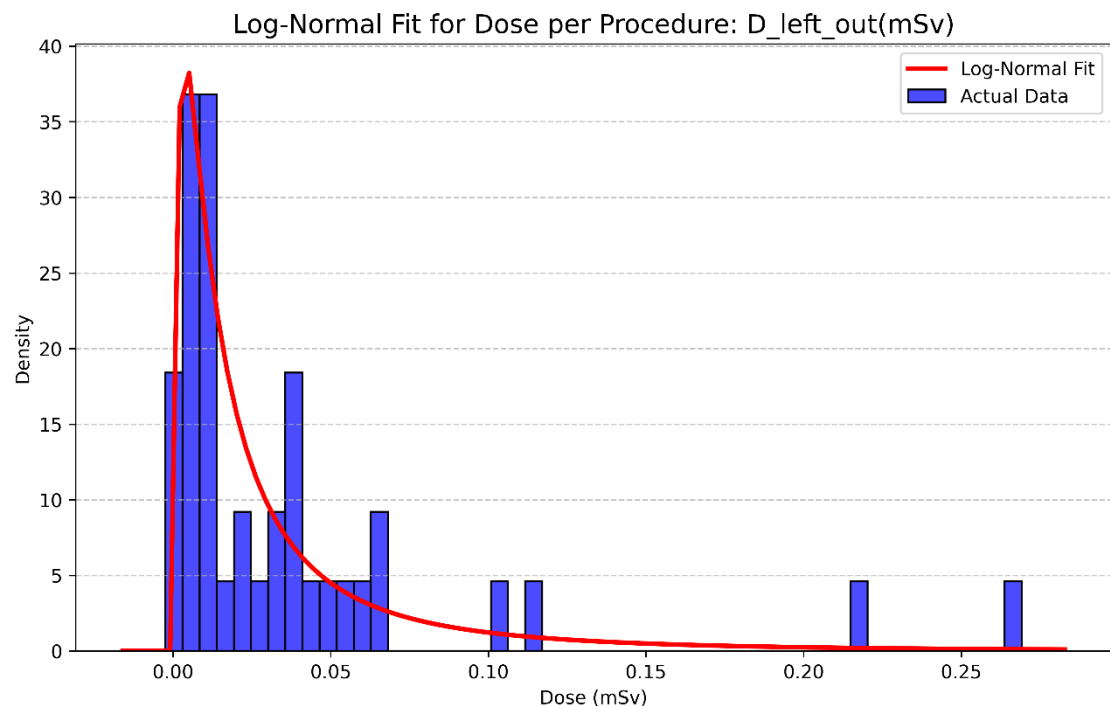


図 1 (e) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの左眼の被ばく線量（防護眼鏡外側：mSv）の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

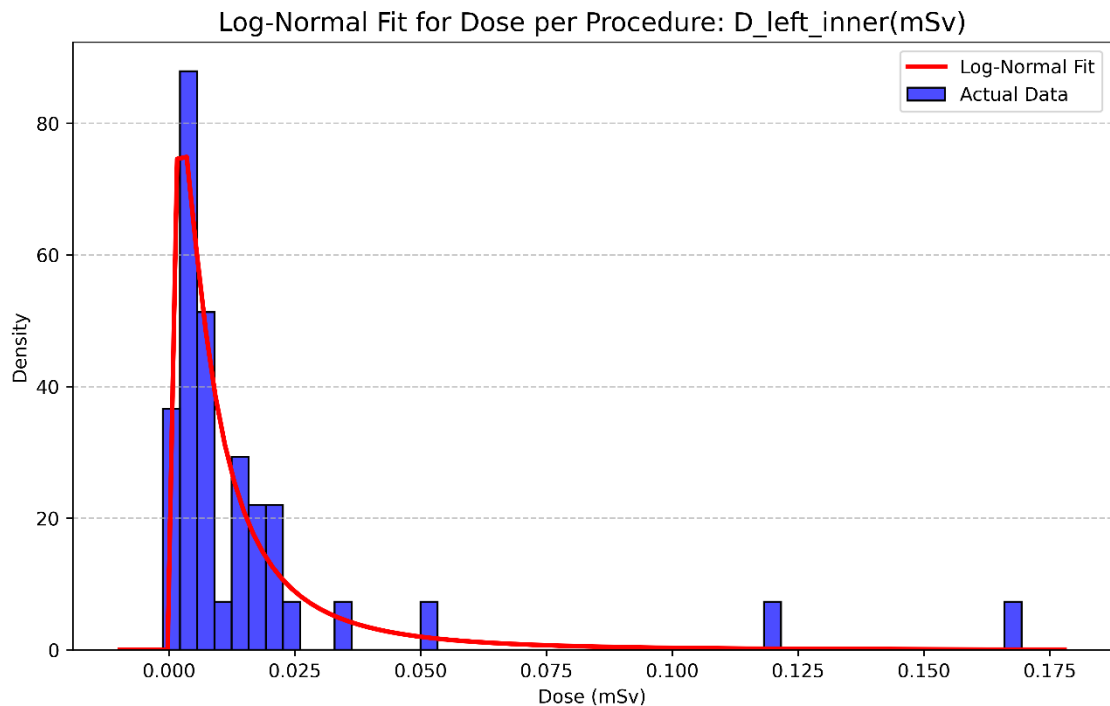


図 1 (f) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの左眼の被ばく線量（防護眼鏡内側：mSv）の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

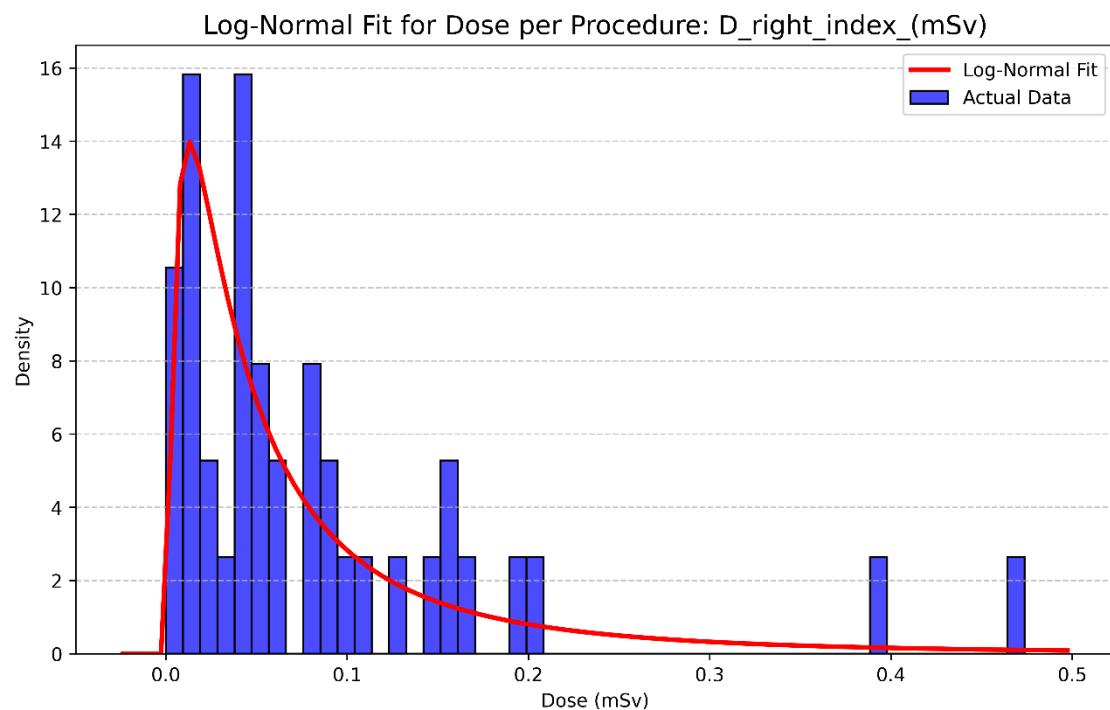


図 1 (g) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの右手の被ばく線量（mSv）の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

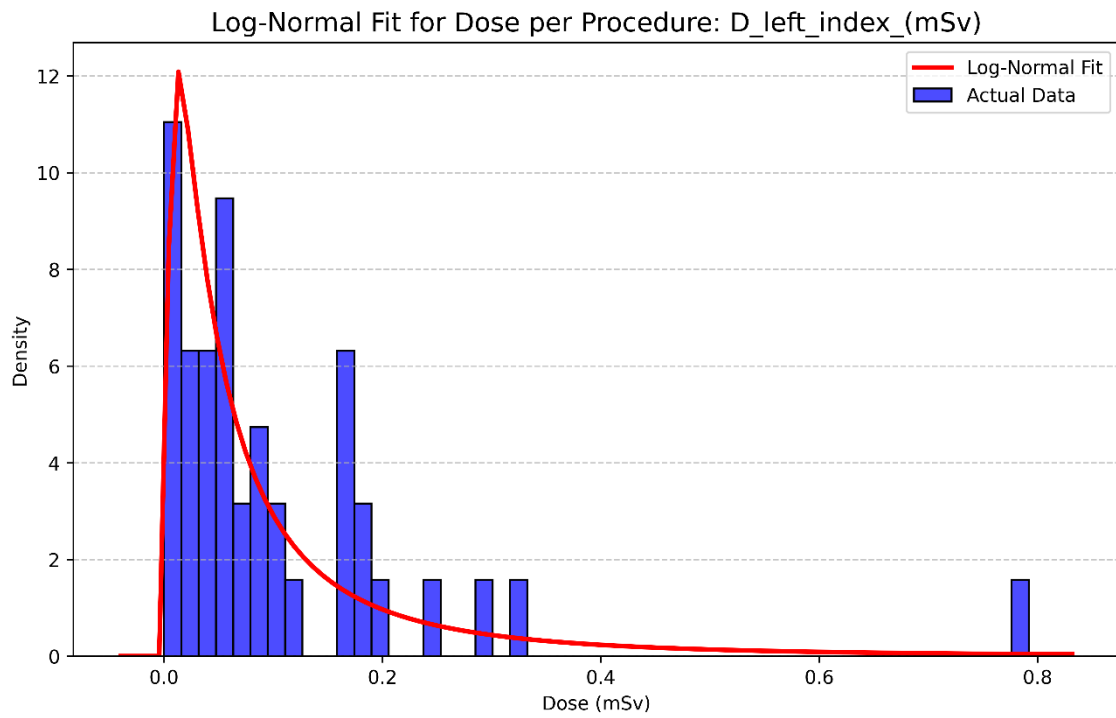


図 1 (h) 本分担研究で使用した整形外科医の手技ごとの左手の被ばく線量 (mSv) の分布と対数正規分布。文献[2]から求めた度数分布に対し、対数正規分布によりフィッティングを行った。

C. 研究結果及び考察

本分担研究では、特に整形外科医の累積被ばく線量を遡及的に推定するための適切なモデル構築を試行した。モデルはB.に示す通りの積の式を用い、モンテカルロ法により統計量を推定した。

図1(a)～(f)では、本分担研究で用いた整形外科医の手技ごとの線量と対数正規分布によるフィッティングを示す。いずれの図についても、測定で得られた結果と対数正規分布によるフィッティングの結果を示す。

いずれの分布についても対数正規分布でのフィッティングは元データの分布をよく再現できていることが確認できた。

D. 考察

表1では図1で示したフィッティングで得られた対数正規分布からの統計量として中央値とIQRの比較を示す。眼の水晶体及び手指の等価線量を示す線量については、中央値及びIQRについて、実際のデータと対数正規分布によるフィッティングで得られた中央値及びIQRと非常によく一致している。体幹部線量について、エプロン内外で実際のデータから得られる中央値及びIQRと、対数正規分布によるフィッティングで得られた中央値及びIQRの比較の結果に差がみられる。エプロン外での体幹部線量については、中央値及びIQRは、元データと対数正規分布フィッティングで得られた値との間に差は少ない。一方で、体幹部エプロン内の線量についてはかい離が大きい。中央値で約2倍、IQRでは3倍以上に達している。この差については、線量測定に使用した電子式ポケット線量計の測定下限限界で

線量測定を行ったことに起因していると考えられる。測定下限近くで測定を行ったことから、元データの記録が0 μ Svと記録されているため、分布を推定するためのフィッティングにおいて正当に対数正規分布に結果が反映されていない。そのため、後述の今後の課題において整形外科医の被ばく線量測定においては、防護エプロン内外にガラス線量計を装着して、眼の水晶体及び手指の等価線量モニタリングと同等の精度での

表1 本研究で手技あたり被ばく線量の比較（度数分布に対する対数正規分布）

	中央値（文献値 [2]）	中央値（対数正規 分布）	IQR（文献値 [2]）	IQR（対数正規 分布）
体幹部線量（防護エプ ロン外）（ μ Sv）	14	13	20.5	25.2
体幹部線量（防護エプ ロン内）（ μ Sv）	2	3.8	2.75	9.15
右眼の水晶体線量（防 護眼鏡外）（mSv）	0.00605	0.00651	0.00726	0.00935
右眼の水晶体線量（防護 眼鏡内）（mSv）	0.00998	0.00953	0.0109	0.0131
左眼の水晶体線量（防 護眼鏡外）（mSv）	0.0163	0.0176	0.0336	0.0332
左眼の水晶体線量（防 護眼鏡内）（mSv）	0.00726	0.00841	0.0129	0.0138
右手の手指線量（mSv）	0.0520	0.0477	0.0805	0.0815
左手の手指線量（mSv）	0.0526	0.0571	0.135	0.102

線量測定を行うことが望ましい。

E. 結論及び今後の課題

本分担研究では、医療従事者の遡及的な被ばく線量推定（逆行性線量推定）を可能とする推定モデル構築を試行した。医療従事者の累積被ばく線量の遡及的推定手法を開発するため、IVR 医師の眼の水晶体等価線量の適切な推定のために開発されたモデルを拡張し、体幹部等に装着された個人線量計からの測定値がない場合において、遡及的に被ばく線量を推定するモデルを構築した。体幹部、眼の水晶体及び手指の等価線量について妥当な線量分布を考慮するパラメータについては、手技あたりの被ばく線量、年間手技回数、及び防護装備等装着の有無、とした。その結果、体幹部、眼の水晶体及び手指の線量について妥当な線量分布を推定した。

本研究課題の2年目を終了した。事業期間4か年における次年度以降の課題として以下の点が挙げられる。

- （1）整形外科医の被ばく線量の収集
- （2）前向き被ばく線量推定とその精度検証

（1）整形外科医の被ばく線量の収集
本分担研究は、医療従事者、特に医師の個人線量計装着率が低い事実が明らかとなったことに端を発している。労災疾病臨床研究事業費補助金研究「不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究（平成30年度－令和2年度）」において実施された、医療従事者の個人線量計装着状況調査とその結果は、「全職種の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は65.3%と低値」[3]であった。調査結果は、特に医師の個人

線量計装着率が低く、手術室での装着率が低いとのことであった [3]。この事実は、医療従事者の職業上の被ばくによる労災認定について、極めて困難な状況を考慮しなければならない。現在の労災認定基準である「電離放射線に係る疾病の業務上外の認定基準について」（基発第810号昭和51年11月8日）[4]によると、電離放射線障害の類型に当てはまるものであって、相当量の放射線被ばくに対し、被ばくした事実のみならず、ある期間内での被ばく線量を定量的に示す必要がある。例えば、慢性放射線皮膚障害（医師らの皮膚潰瘍、皮膚がん等）では「3か月以上の期間に概ね25シーベルト（Sv）以上の被ばく」、白内障（視力障害を伴うもの）では「3か月以内の期間に概ね2Sv以上、又は3か月以上の期間に概ね5Svの被ばく」が示されている。

適切な個人被ばく管理、つまり線量計が確実に装着され、最も被ばく線量が高くなると想定される位置に追加で個人モニタリングを行うための線量計が準備され、医療従事者によって適切に使用されている場合には、被ばく線量を過去にさかのぼり計算・推定することは比較的容易であろう。しかしながら、上述は被ばく線量の記録がない状況を想定せねばならず、被ばく線量の推定は非常に困難で、医療従事者に生じた疾病が放射線業務に起因することも証明できない。

この状況を打破するためには、本分担研究で可能性を示した、逆行性線量推定法の精度向上は不可欠といえる。今年度の分担研究において、手技あたりの被ばく線量については、統計量のデータ、特に中央値、第一四分位、第三四分位がそろっている場合、対数正規分布を推定して評価することが可

能となった。また、昨年度示した通り、文献による手技あたりの被ばく線量を加えて分布を評価することも可能である。

そこで、実際に整形外科の施術する現場での被ばく線量評価を継続するため、分担研究者らが整備済みの、小型ガラス線量計素子を用いた被ばく線量測定プラットフォームにより、整形外科医への協力を仰ぎ、手技あたり被ばく線量測定の準備をすすめる。

（2）前向き被ばく線量推定とその精度検証

（2）について、本分担研究で得られた成果より、整形外科医の手技ごとの被ばく線量について、今年度実施した評価により、対数正規分布を推定すれば、手技ごとの部位別被ばく線量を適切に求めることが可能であることを示した。ここから、各手技の年間の施術回数を求め、被ばく線量を推定することも可能である。得られた被ばく線量について、例えば（1）で行う被ばく線量測定の際に、実際に被ばく線量としてどのように記録されたか比較を行い、モデルの精緻化等に資することを検討している。本分担研究の目標は、医療従事者の生涯にわたる医療従事者の累積被ばく線量の精度良い推定を可能とするモデルの開発である。特に、鉛エプロンの防護効果や天吊り式の防護板の有無等の効果を導入し、より精度の高い被ばく線量評価が行えるよう検証を進めていく。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

- [1] Struelens, L. et al., “Radiation-Induced Lens Opacities among Interventional Cardiologists: Retrospective Assessment of Cumulative Eye Lens Doses”, Radiation Research, 189(4):399-408.

- [2] Yasukazu Hijikata et al., “Description of Scatter Radiation Exposure to the Eye Lenses and Direct Exposure to the Hands in Orthopedic and Spinal Procedures”. Spine Surgery and Related Research, doi.org/10.22603/ssrr.2025-0262

- [3] 樺田尚樹 “不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究 総合研究報告書概要”

<https://www.mhlw.go.jp/content/000812189.pdf> access on 6th March 2026.

- [4] 「電離放射線に係る疾病の業務上外の認定基準について（昭和 51 年 11 月 8 日付基発第 810 号）労働省労働基準局長通知。
https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tb8956&dataType=1&pageNo=1 Available on 6th March 202

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

整形外科診療における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態

研究分担者 山下一太(香川大学 整形外科科学講座・協力研究員)

研究要旨

令和 7 年度(2025 年度)は、昨年度に引き続き、医療現場での医療者の身体部位別被曝量を測定し、検証した。整形外科診療における X 線透視下手技中の医療者の被ばく実態を把握するため、術者・助手・器械出し看護師を対象に、OSL 線量計を用いて各身体部位の実測線量を評価した。

測定部位は水晶体(眼瞼近傍)、甲状腺(前頸部)、胸部、性腺(鼠径部)、手指(両示指先端)とし、対象手技は昨年度と同様に、脊椎手術、神経根ブロック、大腿骨近位部骨接合術、手外科手術の 4 種類とした。脊椎手術の内、新たに頸椎手術もデータ収集を開始した。

昨年度の結果では、脊椎手術および大腿骨手術では、側面透視による散乱線の影響で水晶体・甲状腺部の被ばくが高値を示した。今年度よりデータ収集を開始した頸椎手術では、同じ脊椎手術でも、胸椎・腰椎と比較して、医療者の各身体部位の職業被曝量は少ない傾向があった。体幹部の厚さと比べて、頸部の厚さは薄く、画像描出に必要な管電圧・管電流が少ないことが原因と考察した。

また、鉛エプロンや甲状腺シールドなどの遮蔽体の効果は大きく、遮蔽することによって、散乱線による被曝量は大幅に低減されていた。照射野内に医療者の手指が迷入する可能性が高い手技である、手外科手術や神経根ブロック時の線量低減対策として、パルス照射としぼりを使用したところ、直接線を浴びる手指だけではなく、水晶体や甲状腺への散乱線による被曝量も低減されていた。しかし、手技を行う医療者ごとのばらつきが大きく、各医療者の職業被曝への意識とテクニックの差が原因と考えられた。

A. 研究目的

X 線透視下での診療行為に従事する整形外科医および手術スタッフにおける、部位別の実測被ばく線量を明らかにし、眼（水晶体）、甲状腺、胸部、性腺、手指などの各等価線量限度との比較を通じて、現場の放射線防護対策の実効性と課題を検討することを目的とする。

B. 研究方法

整形外科手術・手技に従事する術者、助手、器械出し看護師を対象に、実際の X 線透視下診療中に各身体部位の被ばく量を測定した。測定には OSL 線量計を使用し、以下の 5 部位にテープ固定した：眼瞼近傍（水晶体想定）、前頸部（甲状腺）、左胸部（胸部実効線量）、鼠径部（性腺）、両示指先端部（手指）。対象となった手技は、脊椎手術、神経根ブロック、大腿骨近位部骨接合術、手外科手術の 4 種である。術後に線量計を回収し、専用の機器で線量を解析した。

C. 研究結果

現在までに、脊椎手術 85 件、神経根ブロック 67 件、大腿骨近位部骨接合術 45 件、手外科手術 42 件の計測データを取得した。主な傾向として以下が挙げられる：

脊椎手術および大腿骨近位部骨接合術では、側面透視使用時に水晶体および甲状腺部位の散乱線による被ばくが高値を示した。同じ脊椎手術でも、頸椎手術では各部位の被曝量は少なく、胸椎腰椎手術の被曝量とは大きな隔たりがあった。

鉛エプロンや甲状腺シールドなどの遮蔽体

の効果は大きく、遮蔽することによって、散乱線による被曝量は大幅に低減されていた。

神経根ブロックおよび手外科手術では、母指、示指の被曝量が大きいが、8 回/秒のパルスモードや、照射野の絞りをを用いることで、手指被曝量は低減していた。

D. 考察

整形外科領域の手技は、X 線照射対象が体幹から上肢・下肢の各部位まで様々であり、また照射線源の位置も手技ごとに異なるため、医療者の各身体部位への被曝量は大きく異なることが明らかとなった。同じ脊椎手術でも、頸椎は胸椎腰椎と比較してその職業被曝量は少ない傾向があった。頸部は胸椎腰椎を包む体幹部と比較して薄いいため、X 線画像描出に必要な管電圧・管電流が少なく抑えられることが原因と考察された。

脊椎や大腿骨手術では散乱線による水晶体や甲状腺への散乱線による被曝量が少なくないが、鉛入り眼鏡や甲状腺シールドの着用により、その被曝量は大幅に低減が可能であった。それらの手技では適切な遮蔽体の着用が強く推奨される。

手外科手術や神経根ブロックでは、医療者の手指が照射野内に迷入する機会が多いため、それを低減するための照射の仕方を変える必要がある。パルス照射と絞りの活用は、直接線による被曝量を大きく低減させる可能性があると思われ、これらも積極的に活用すべきだと感がられた。

E. 結論

整形外科診療において、医療者の被曝形態はそれぞれの手技の種類によって大き

く異なる。それぞれの手技ごとの、適切な照射方法と遮蔽体の着用はオプションではなく、必須行動であり、医療者の行動変容が望まれる。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

IVR 術者の水晶体線量：医師の身長および経験年数との関係

研究代表者 千田 浩一(東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授)

研究要旨

本研究は、インターベンショナルラジオロジー (IVR) における術者の水晶体被ばくに着目し、水晶体線量と医師の身長および経験年数との関係を臨床的に検討したものである。IVR 手技は近年増加し、長時間化・高度化に伴い医療従事者の被ばく管理の重要性が高まっている。特に水晶体は放射線感受性が高く、ICRP による線量限度の引き下げを受け、より正確な評価が求められている。本研究では、防護メガネ内側に装着可能な水晶体用線量計を用いて Hp(3)を直接測定し、従来の頸部線量 Hp(0.07)との比較も行った。

対象は心臓カテーテル手技に従事する医師 10 名であり、1 年間にわたり線量を測定した。その結果、一部の医師では Hp(3)においても年間 20 mSv を超過しており、現行の防護対策の再検討の必要性が示唆された。また、頸部 Hp(0.07)は水晶体線量を有意に過大評価する傾向が認められた。

身長との関係では、Hp(0.07)および Hp(3)のいずれにも負の相関が認められ、低身長の医師ほど被ばく線量が高い傾向が示された。2 群比較においても、低身長群は高身長群に比べて Hp(3)が有意に高く、中央値では約 2.8 倍の差が認められた。この要因として、散乱線源との距離の違いによる逆二乗則の影響が考えられる。一方、経験年数との関係では、Hp(0.07)には相関が認められたものの、より実際の水晶体線量を反映する Hp(3)には有意な相関は認められなかった。経験豊富な医師では手技の複雑化に伴い透視時間が長い傾向がみられたが、線量差は統計的に有意ではなかった。

本研究は、水晶体線量と身長および経験年数の関係を臨床環境で検討した初めての報告であり、低身長の医師における被ばくりスクの高さを示した点に意義がある。また、経験年数にかかわらず放射線防護の継続的な教育と対策の見直しが重要であることが示唆された。今後はサンプル数の拡大や行動解析を含め、被ばく低減に寄与する具体的要因の解明が求められる。

*主な研究協者：芳賀喜裕(仙台厚生病院 副技師長)

A. 研究目的

近年、インターベンショナルラジオロジー（IVR）は低侵襲で患者負担が少ないことから実施件数が増加している。これらの手技は X 線透視下で行われるため、患者のみならず医療従事者も散乱線による被ばくを受ける。さらに、医療技術の進歩に伴い手技は高度化・長時間化しており、被ばく管理の重要性が高まっている。

なかでも眼の水晶体は放射線感受性が高く、白内障などの障害を生じる可能性がある。これを受けて、国際放射線防護委員会（ICRP）は 2011 年に水晶体等価線量限度を大幅に引き下げ、より厳格な管理が求められている。しかし、臨床現場では頸部線量（Hp(0.07)）などを用いた評価が一般的であり、防護メガネの遮蔽効果が考慮されないことから、水晶体線量が正確に評価されていない可能性がある。

ICRP は水晶体線量の評価に 3mm 線量当量（Hp(3)）の使用を推奨しており、より正確な評価のためには眼球近傍での測定が必要とされている。本研究では、防護メガネ内側に装着可能な水晶体用線量計（DOSIRIS）を用い、Hp(3)を直接測定した。

IVR 術者の水晶体被ばくには複数の要因が関与するが、本研究では術者の身長および経験年数に着目した。これらは散乱線源との距離や手技内容に影響し、被ばく線量に関与する可能性があると考えられる。しかし、これらの因子と水晶体線量の関係について、臨床データに基づく検討は限られている。

以上より、本研究では心臓血管カテーテル手技に従事する医師を対象に、水晶体用線量計を用いて Hp(3)を測定し、身長および経験年数が水晶体被ばく線量に与える影響を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

装置

本研究では、フラットパネルディテクタ搭載のアンダーテーブル型血管撮影装置 6 台（Infinix CeleveTM-I シリーズ：INFX-8000C、INFX-8000F Biplane、INFX-8000H、INFX-8000V、INFX-8000V Biplane×2、東芝メディカルシステムズ社製）を使用した。透視は 7.5 fps のパルス透視、撮影は 10 fps で実施し、照射野サイズは主に 15 cm とした。

防護具として、天吊り防護板（700 mm × 650 mm、0.5 mmPb 当量）を使用した。術者は全員、前面 0.25 mmPb 当量のエプロン型防護衣（マエダ社製）を着用した。また、防護メガネとして、前面 0.07 mmPb 当量のパノラマシールド TM ウルトラライトまたはパノラマシールド TM エクストラワイド（東レ・メディカル社製）を使用した。

線量評価

水晶体線量の測定には水晶体用線量計 DOSIRISTM（フランス放射線防護原子力安全研究所）を用い、3 mm 線量当量 [Hp(3)] を測定した。また、頸部には蛍光ガラス線量計（ガラスバッジ TM、千代田テクノル社製）を装着し、70 μ m 線量当量 [Hp(0.07)] を測定した。

DOSIRIS は LiF:Mg,Ti 素子を用いた熱ルミネッセンス線量計であり、3 mm 厚ポリプロピレンにより Hp(3)を直接測定可能である。検出器は軽量（約 3 g）で、防護メガネ内側に装着することで眼球近傍の線量測定が可能である。測定範囲は 0.1 mSv～1 Sv、検出可能エネルギー範囲は 24 keV～1.25 MeV である。両線量計は月 1 回回収し、千代田テクノル社にて測定および校正を実施した（ISO/IEC 17025 認定）。

対象は仙台厚生病院において心臓血管カ

テーテル手技に従事する医師 10 名とした。水晶体用線量計は防護メガネ内側の左眼近傍に装着し、頸部線量計は防護衣外側の頸部に装着した。装着位置のばらつきを抑えるため、各術者において固定位置を統一した。

測定期間は 2021 年 4 月 1 日から 2022 年 3 月 31 日までの 1 年間とした。あわせて術者の身長および経験年数を記録した。すべての手技は JCS/JSCVS 2018 ガイドラインに準拠して実施された。本研究はヘルシンキ宣言に基づき実施され、仙台厚生病院倫理委員会の承認を得た（承認番号：30-19）。

統計解析

放射線被ばく線量と術者の身長および経験年数との関係を検討するため、回帰分析を行った。また、相関解析に対する検出力は G*Power 3.1 を用いて事後的に評価した。

群間比較として、身長 170 cm 以上群(n=5)と 170 cm 未満群(n=5)、経験年数 10 年以上群(n=6)と 10 年未満群(n=4)に分類し、水晶体線量および手技 1 件当たりの透視時間について比較した。身長 170 cm は日本人成人男性の平均身長を参考に設定し、経験年数 10 年は既報に基づき設定した。

対応のある比較にはウィルコクソンの符号順位検定、群間比較にはウィルコクソン順位和検定を用いた。有意水準はすべて 5%とした。

C. 研究結果

表 1 には、本研究に参加した 10 名の IC 医師（医師 A～J）における年間手技件数、1 件あたりの透視時間、Hp(0.07)および Hp(3)の年間積算線量、ならびに 1 件あたりの線量を示す。Hp(0.07)は頸部線量計によって測定された線量であり、防護眼鏡による遮蔽効果を考慮していない。一方、Hp(3)は水晶体線量計によって測定された線量であり、

この遮蔽効果を考慮している。1 件あたりの線量は、年間積算線量を年間手技件数で除することにより算出した。表 2 には、各医師の身長および医師免許取得後の経験年数を示す。

手技件数は最少 98 件から最多 338 件の範囲であり、中央値は 169.5 件であった。1 件あたりの透視時間は 8.07 分から 27.6 分の範囲であり、中央値は 15.9 分であった。図 1 に 10 名の医師における頸部 Hp(0.07)および水晶体 Hp(3)の値を示す。Hp(0.07)については、10 名中 8 名が 20 mSv/年を超え、そのうち 1 名は 50 mSv/年を超えていた。一方、Hp(3)では 10 名中 2 名が 20 mSv/年を超えていた。頸部 Hp(0.07)は水晶体線量を有意に過大評価していた。図 2 には、各手技における頸部 Hp(0.07)および水晶体 Hp(3)を示す。各線量は中央値（平均±標準偏差）で表され、頸部 Hp(0.07)は 0.135 (0.155 ± 0.0621) mSv、水晶体 Hp(3)は 0.0423 (0.0482 ± 0.0386) mSv であり、統計学的に有意差が認められた ($p < 0.01$)。頸部線量計は水晶体線量を過大評価する傾向を示した。各医師の手技件数の違いを補正するため、身長および経験年数の解析には 1 件あたりの線量を用いた。

身長と水晶体線量

図 3a に医師の身長と 1 件あたりの Hp(0.07)との相関、図 3b に身長と 1 件あたりの Hp(3)との相関を示す。身長と Hp(0.07)の関係は、 $y = -0.006x + 1.18$ [x : 医師の身長、 y : 頸部線量計による 1 件あたりの Hp(0.07)]、相関係数 $R = -0.642$ (95%信頼区間: $-0.906 \sim -0.021$)、決定係数 $R^2 = 0.412$ 、 $p < 0.05$ であった。この相関に対する事後検出力は 56.4%であった。身長と Hp(3)の関係は、 $y = -0.004x + 0.729$ [x : 医師の身長、 y : 水晶体線量計による 1 件あたりの

Hp(3)]、 $R = -0.728$ (95%信頼区間： $-0.931 \sim -0.182$)、 $R^2 = 0.531$ 、 $p < 0.05$ であり、事後検出力は 73.6%であった。Hp(0.07)および Hp(3)はいずれも身長と相関を示した。Hp(3)の相関係数は Hp(0.07)より大きかったが、線量範囲は $0 \sim 0.141$ mSv であり、身長による線量差は小さかった。

図 4 には、医師の身長に基づく 2 群比較の結果を示す。すなわち、身長 170 cm 以上の群 ($n = 5$) と 170 cm 未満の群 ($n = 5$) である。図 4a は Hp(0.07)、図 4b は Hp(3)の比較を示す。線量は中央値 (平均±標準偏差) で表され、Hp(0.07)は高身長群で 0.119 mSv (0.121 ± 0.0238 mSv)、低身長群で 0.234 mSv (0.196 ± 0.0694 mSv) であった。Hp(3)は高身長群で 0.0293 mSv (0.0306 ± 0.0108 mSv)、低身長群で 0.0813 mSv (0.0754 ± 0.0406 mSv) であった。Hp(3)において、低身長群で有意に高い値が認められた ($p < 0.05$)。

医師経験年数と水晶体線量

図 5a に医師としての経験年数と 1 件あたりの Hp(0.07)との相関、図 5b に経験年数と 1 件あたりの Hp(3)との相関を示す。経験年数と Hp(0.07)の関係は、 $y = 0.0079x + 0.0745$ [x : 医師としての経験年数、 y : 頸部線量計による 1 件あたりの Hp(0.07)]、 $R = 0.650$ (95%信頼区間： $0.0345 \sim 0.908$)、 $R^2 = 0.422$ 、 $p < 0.05$ であった。この相関の事後検出力は 58.0%であった。経験年数と Hp(3)の関係は、 $y = 0.0016x + 0.0364$ [x : 医師としての経験年数、 y : 水晶体線量計による 1 件あたりの Hp(3)]、 $R = 0.220$ (95%信頼区間： $-0.475 \sim 0.746$)、 $R^2 = 0.0484$ 、 $p = 0.541$ であり、事後検出力は 9.21%であった。経験年数と Hp(0.07)には有意な相関が認められたが、Hp(3)には認められなかった。

図 6 には、経験年数 10 年以上の群 ($n =$

6) と 10 年未満の群 ($n = 4$) による 2 群比較の結果を示す。図 6a は Hp(0.07)、図 6b は Hp(3)の比較である。結果は中央値および平均±標準偏差で示した。頸部 Hp(0.07)は、経験群で中央値 0.186 mSv (0.185 ± 0.0674 mSv)、非経験群で 0.114 mSv (0.120 ± 0.0289 mSv) であった。水晶体 Hp(3)は、経験群で中央値 0.0624 mSv (0.0676 ± 0.0409 mSv)、非経験群で 0.0307 mSv (0.0311 ± 0.0122 mSv) であった。Hp(0.07)および Hp(3)の平均値・中央値はいずれも経験群で高かったが、統計学的有意差は認められなかった。

さらに、経験豊富な医師はより高難度の手技を行う傾向があり、透視時間が長くなる可能性があるため、1 件あたりの透視時間についても同様の比較を行った。その結果を図 7 に示す。1 件あたりの透視時間の中央値 (平均±標準偏差) は、経験群で 18.8 分 (18.6 ± 6.2 分)、非経験群で 13.5 分 (14.4 ± 3.2 分) であった。平均値および中央値はいずれも経験群で長かったが、有意差は認められなかった。

D. 考察

本研究は、IC 手技における職業被ばくという重要な課題を扱っている。医師の身長、経験年数、および水晶体線量 Hp(3)との関係を検討した点は新規性があり、特に ICRP による線量限度の改訂を踏まえると臨床的意義が高い。また、防護眼鏡の遮蔽効果を考慮した水晶体線量 Hp(3)を直接測定するために水晶体線量計を用いた点は本研究の強みである。水晶体線量限度の引き下げにより、医師が線量限度を超過することへの懸念が高まっている。水晶体防護に関する研究は多数報告されており、新たな防護機器の開発も進められている。水晶体線量をより効

果的に低減するためには、線量増加に寄与する要因の解明が重要である。水晶体線量と医師の身長との関係を検討した研究はいくつか存在するが、これらはファントムまたはモンテカルロシミュレーションによるものであり、IR 手技に従事する医師を対象とした臨床研究は少ない。また、水晶体線量と医師の経験年数との関係を検討した研究もほとんどない。著者らの知る限り、本研究はIC手技に従事する医師において水晶体線量と経験年数の関係を検討した初めての報告である。

防護眼鏡の遮蔽効果を考慮した Hp(3) で測定した場合でも、一部の医師において年間積算線量が 20 mSv を超えていた。この結果は、現行の防護対策が不十分である可能性を示しており、防護戦略の見直しが必要であることを示唆する。頸部 Hp(0.07) と水晶体 Hp(3) の比較では、頸部 Hp(0.07) が有意に高値を示し、水晶体線量を過大評価することが確認された。ただし、これらの線量計は検出素子が異なり、頸部 Hp(0.07) の測定に用いたガラスバッジは方向依存性を有する可能性があり、測定値に影響を与えた可能性がある。

相関解析に対する検出力解析の結果、相関係数 0.728 に対して 80% の検出力を得るにはサンプルサイズ 12、相関係数 0.642 および 0.650 に対しては 16 が必要とされた。本研究のサンプルサイズはこれらの閾値に近いものの、依然として不十分である可能性がある。また、本研究の解析は探索的であるため、多重比較補正は行っていない。したがって、本研究の結果は、サンプルサイズの制約および第一種過誤の増大の可能性を考慮し、慎重に解釈する必要がある。

身長と水晶体線量

医師の身長は Hp(0.07) および Hp(3) のい

ずれとも負の相関を示した。95%信頼区間にはゼロが含まれておらず、統計学的に有意な関連が認められたが、区間幅が比較的広いことから推定値の不確実性も示唆される。2群比較では、低身長群は高身長群と比較して Hp(3) が有意に高かった ($p < 0.05$)。中央値に基づくと、低身長群は高身長群に比べて Hp(0.07) で 1.97 倍、Hp(3) で 2.77 倍高い値を示した。これは、高身長の医師では水晶体と散乱線源との距離が大きくなるためと考えられる。患者から発生する散乱線は逆二乗則に従って減衰するため、高身長の医師では水晶体に到達するまでにより大きな減衰を受ける可能性がある。身長と Hp(0.07) および Hp(3) との相関の強さの違いは、天吊り式防護板や防護眼鏡の使用の影響を受けている可能性があるが、本研究ではこれらの具体的な線量低減効果は検証していない。今後は、医師の行動解析を含めた検討が必要である。

これらの結果は、低身長の医師が高身長の医師に比べて水晶体被ばくリスクが高い可能性を示唆している。そのため、低身長の医師に対しては追加的な防護対策が必要となる可能性がある。例えば、防護眼鏡の鉛当量を増加させることが考えられるが、操作性の低下を招く可能性もある。今後の防護機器ガイドラインの改訂においては、身長による水晶体線量の差異を考慮することが望まれる。

Gangl らは、頭部ファントムの眼の高さを 100、157、176 cm に設定し、骨盤血管インターベンションにおける水晶体職業被ばくに対する身長の影響を検討した。その結果、本研究と同様に、頭部高さが高くなるにつれて、防護眼鏡未装着時（防護眼鏡外側で測定）の線量は低下した。一方で、防護効果（防護ありとなしの線量比）は眼の高さが増加

するにつれて低下した。この結果は、医師の身長が高くなるほど防護眼鏡の遮蔽効果が低下する可能性を示唆している。本研究は IC 手技における臨床環境で水晶体線量を測定し、医師の身長との関係を検討したものであり、頸部 Hp(0.07)だけでなく、防護眼鏡内の水晶体線量計による Hp(3)においても負の相関が確認された。臨床環境では、身長増加による防護眼鏡の遮蔽効果低下よりも、散乱線源からの距離増加による減衰効果の方が大きく影響している可能性がある。Hp(0.07)および Hp(3)はいずれも身長と負の相関を示したが、回帰直線の傾きは Hp(3)の方が緩やかであった。これは、前述のように身長増加に伴う防護眼鏡の遮蔽効果低下が一因である可能性がある。また、既報のファントム研究では天吊り式防護板が考慮されていなかった点が本研究との相違点である。本研究では天吊り式防護板を使用しており、より臨床実態に即した水晶体被ばく条件を反映している。今後は、防護眼鏡外側で Hp(3)を測定し遮蔽率を評価することで、身長と防護効果の関係をより詳細に検討する必要がある。さらに、手技中にモニタを見る際の姿勢（見上げる・見下ろす）の違いなど、身長による姿勢差も線量に影響する可能性があるため、行動解析も重要である。本研究は、臨床環境においても低身長の医師がより高い水晶体被ばくリスクにさらされる可能性を示した。

医師経験年数と水晶体線量

医師の経験年数と Hp(0.07)との間には相関が認められたが、Hp(3)との間には相関は認められなかった。図 6b に示すように、経験年数と Hp(3)に相関が認められなかった要因として、防護眼鏡の遮蔽効果や、経験豊富な医師によるより適切な放射線防護の実践が影響している可能性がある。経験年数

による 2 群比較では統計学的有意差は認められなかったが、平均値および中央値からは、経験豊富な群の方が頸部 Hp(0.07)および水晶体 Hp(3)のいずれにおいても高い傾向が示唆された。中央値は、頸部 Hp(0.07)で経験群 0.186 mSv、非経験群 0.114 mSv (1.63 倍)、水晶体 Hp(3)で 0.0624 mSv と 0.0307 mSv (2.03 倍)であった。同様に、1 件あたりの透視時間の中央値は経験群 18.8 分、非経験群 13.5 分であり、1.39 倍の差が認められた。当初は、経験年数が長い医師ほど防護手技に習熟しているため水晶体線量は低いと予想されたが、水晶体線量をより正確に反映する Hp(3)では有意な相関は認められず、2 群比較においても有意差は確認されなかった。これらの結果は、臨床経験の有無にかかわらず、放射線防護の実践を定期的に見直し、継続的な教育を行う重要性を示している。今後は、経験の浅い医師と豊富な医師の行動解析を行い、線量低減に寄与する具体的行動を明らかにする必要がある。

本研究では、医師の多くが 5 年以上の経験を有しており、1～3 年程度の若手医師の割合が少なかった。経験の浅い医師を含めたサンプル数を増加させることで、経験年数と線量の関係がより明確になる可能性がある。放射線防護の重要性を踏まえ、被ばく低減のためには継続的な教育および訓練が不可欠である。今後の研究では、手技の難易度や若手医師の割合、年齢層の幅を考慮した大規模解析が求められる。また、人間工学的要因や行動要因の解析、さらに実際の手技環境を再現したシミュレーション研究を組み合わせることで、本研究で得られた知見の検証および発展が期待される。

Cheriachan らは整形外科手技における医師の Hp(3)を測定し、指導医と研修医の間で

線量に大きな差は認められなかったと報告している。しかし、整形外科手技では上方透視装置が使用されるのに対し、IC 手技では下方透視装置が一般的に使用されるため、両者の直接比較は困難である。上方透視装置は下方透視装置よりも医師の被ばく線量が高くなる可能性がある。

E. 結論

本研究では、水晶体線量と医師の身長および IC 経験との関係を検討した。医師の身長と水晶体線量の関係についてはこれまでもいくつかの研究があるが、その多くはファントム実験またはモンテカルロシミュレーションに基づくものであった。著者らの知る限り、本研究は IC 医師を対象とした臨床環境において、水晶体線量と医師の身長との関係を検討した初めての研究である。さらに、医師の経験年数と水晶体線量との関係を検討した研究は少なく、本研究は IC 医師における経験年数と水晶体線量の相関を検討した初めての報告である。

本研究では、水晶体 Hp(3) および頸部 Hp(0.07) のいずれにおいても、年間線量 20 mSv を超過する医師が確認された。また、これらの線量と医師の身長との間には負の相関が認められ、低身長の医師ほど水晶体線量が高くなるリスクが示唆された。2 群比較では、低身長群は高身長群と比較して Hp(3) が有意に高かった ($p < 0.05$)。中央値に基づくと、低身長群は高身長群に比べて Hp(0.07) で 1.97 倍、Hp(3) で 2.77 倍高い値を示した。したがって、低身長の医師では追加的な防護対策の検討が必要と考えられる。

経験年数と Hp(0.07) の間には相関が認められたが、経験年数と Hp(3) の間には相関は認められなかった。本研究の結果は、水晶体線量 Hp(3) が経験年数に強く依存しないこ

とを示唆している。これらの知見は、経験年数にかかわらず、放射線防護の実践を定期的に見直し、放射線安全に関する再教育を行う重要性を示している。今後の研究では、被ばく低減に寄与する具体的な行動について検討する必要がある。

本研究は、室内環境の配置や放射線防護機器と線量との関係について検討した研究が限られている中で、IVR 領域において意義のある知見を提供するものである。

F. 論文報告

Sagehashi K, Haga Y, Kato T, Takahira S, Sota M, Kaga Y, Abe M, Tada N, Chida K. Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 2025; 15(22):12137. <https://doi.org/10.3390/app152212137>

G. 研究発表

該当なし

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

参考文献

Gangl, A.; Deutschmann, H.A.; Portugaller, R.H.; Stücklschweiger, G. Influence of Safety Glasses, Body Height and Magnification on the Occupational Eye Lens Dose during Pelvic Vascular Interventions: A Phantom Study. *Eur. Radiol.* 2022, 32, 1688–1696. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08231-y>.

Cheriachan, D.; Hughes, A.M.; du Moulin, W.S.M.; Williams, C.; Molnar, R. Ionizing

Radiation Doses Detected at the Eye
Level of the Primary Surgeon During
Orthopaedic Procedures. J. Orthop.
Trauma 2016, 30, e230.

<https://doi.org/10.1097/BOT.00000000000000578>.

次ページ以降に図表を示す。

図表

表 1. 年間手技件数、1 件あたりの透視時間、年間積算線量、および 1 件あたりの線量
(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

医師	手技件数	透視時間 (分)	Hp(0.07) [mSv]		Hp(3) [mSv]	
			積算線量	手技 1 件当たり	積算線量	手技 1 件当たり
A	123	21.4	28.8	0.234	10.9	0.0886
B	149	14.7	20.1	0.135	6.30	0.0423
C	167	19.4	26.6	0.159	3.20	0.0192
D	331	27.6	45.4	0.137	26.9	0.0813
E	198	8.07	20.0	0.101	5.80	0.0293
F	338	11.0	31.5	0.0932	6.30	0.0186
G	199	22.4	50.4	0.253	28.0	0.141
H	147	15.5	17.5	0.119	6.40	0.0435
I	98	16.3	26.0	0.265	2.20	0.0224
J	172	12.4	15.6	0.0907	7.60	0.0442

表 2. 医師の身長と経験年数

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

医師	身長 (cm)	経験年数 (年)
A	165	11
B	178	4
C	180	7
D	165	13
E	171	11
F	177	9
G	158	15
H	172	14
I	163	21
J	168	2

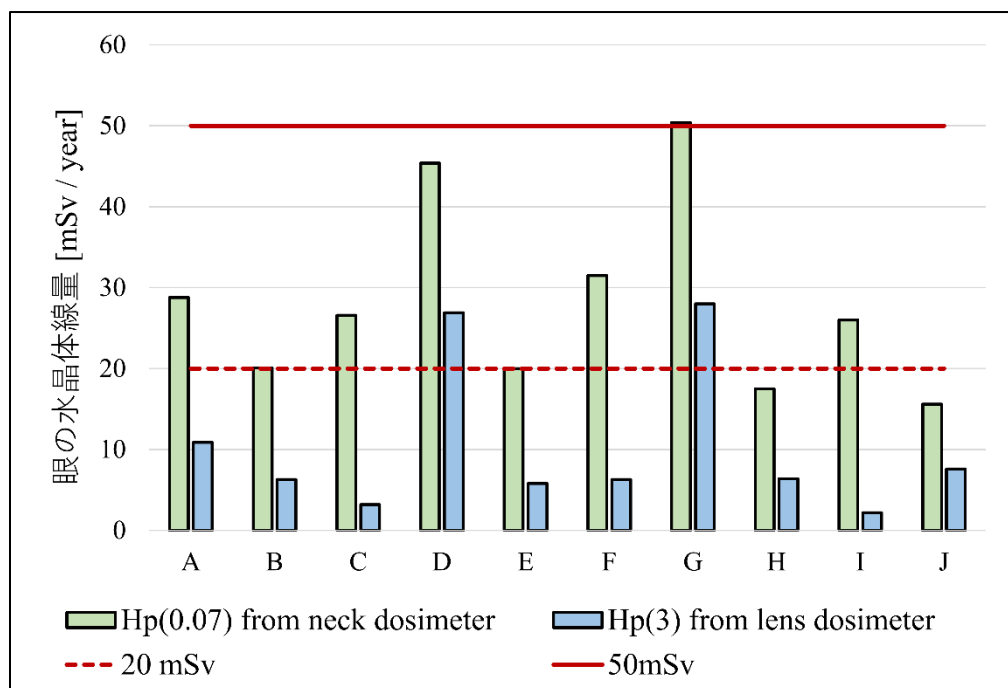


図 1. 10 名の医師における年間積算線量

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

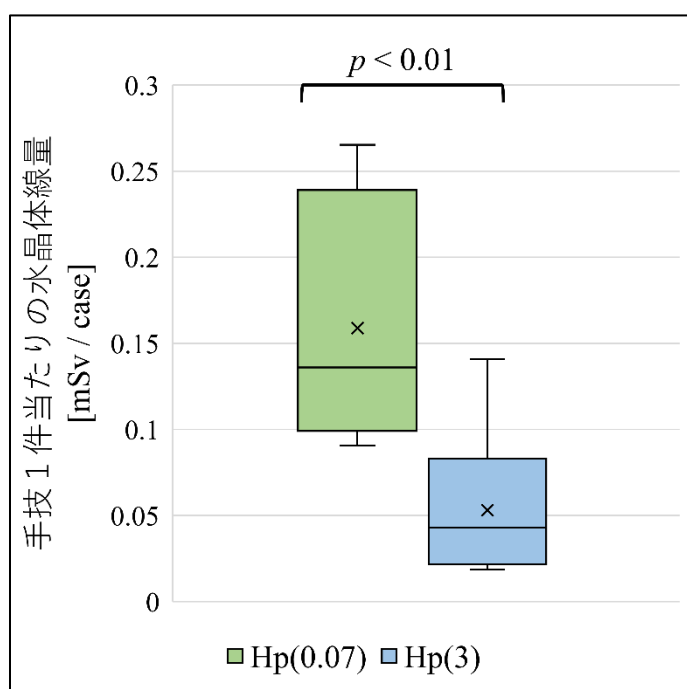


図 2. 手技 1 件当たりの線量

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

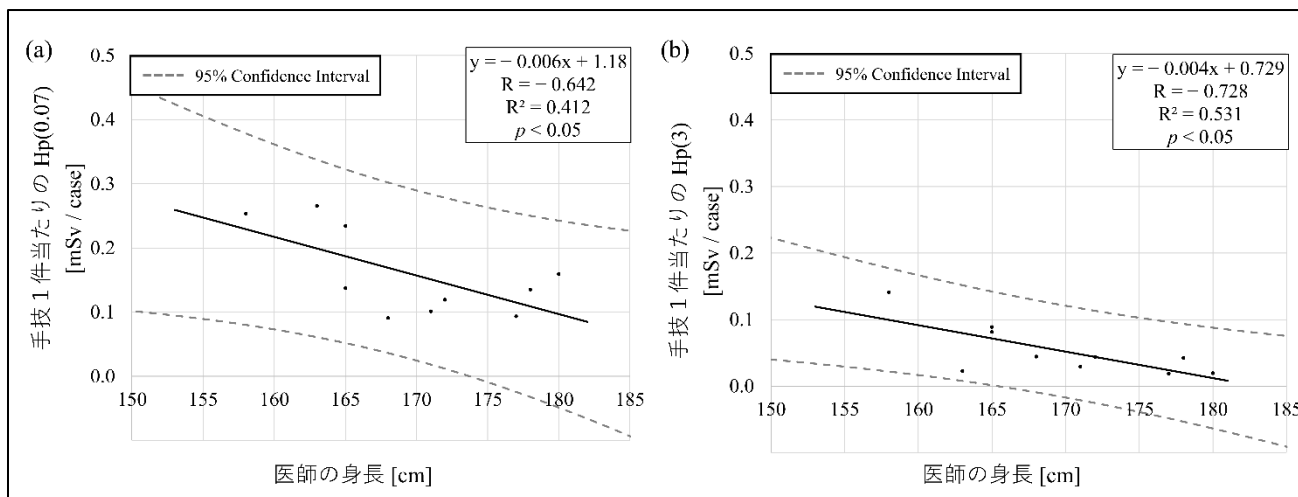


図 3. 水晶体線量と医師の身長との相関

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

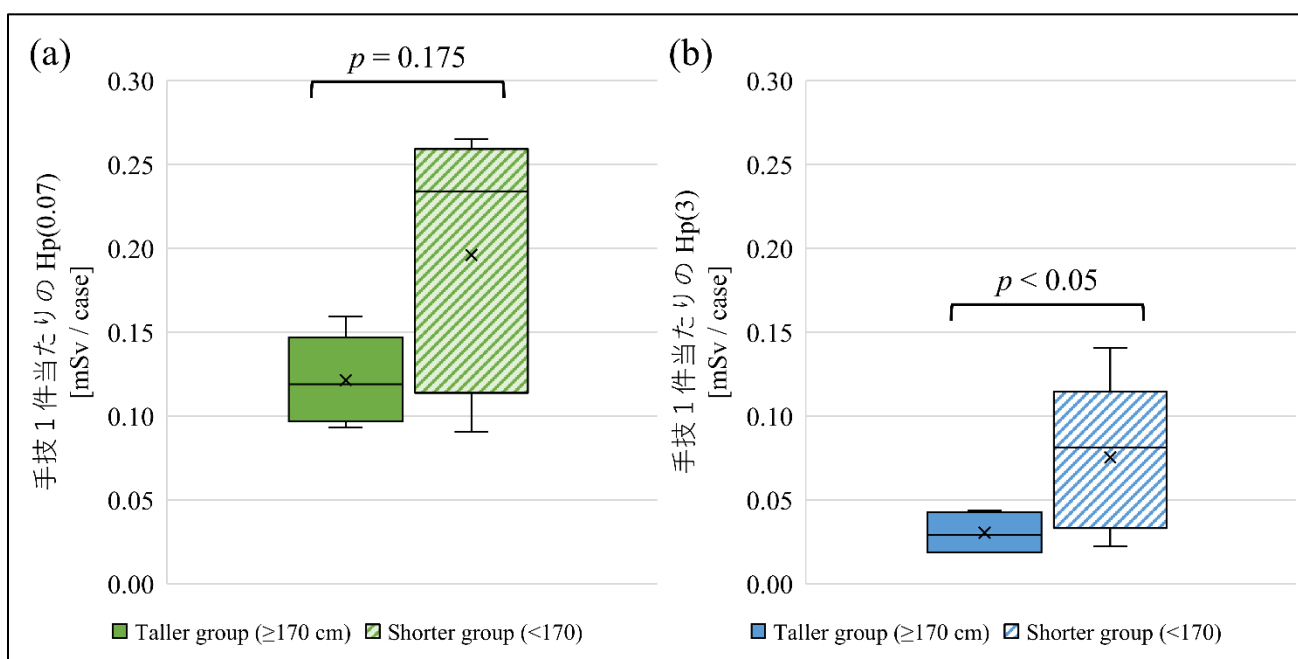


図 4. 身長に基づく 2 群比較

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

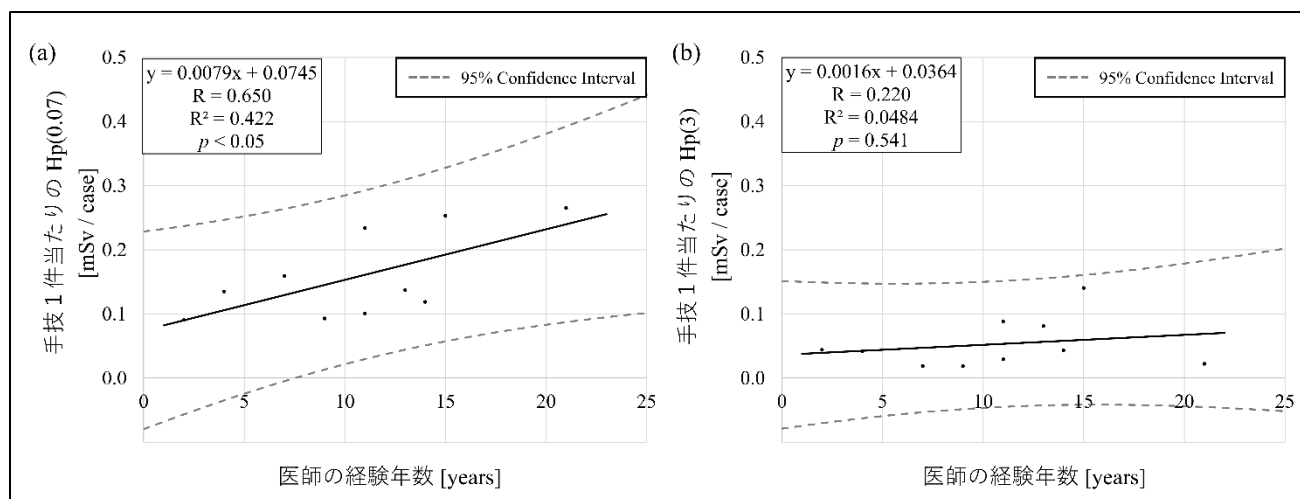


図 5. 水晶体線量と医師の経験年数との相関

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

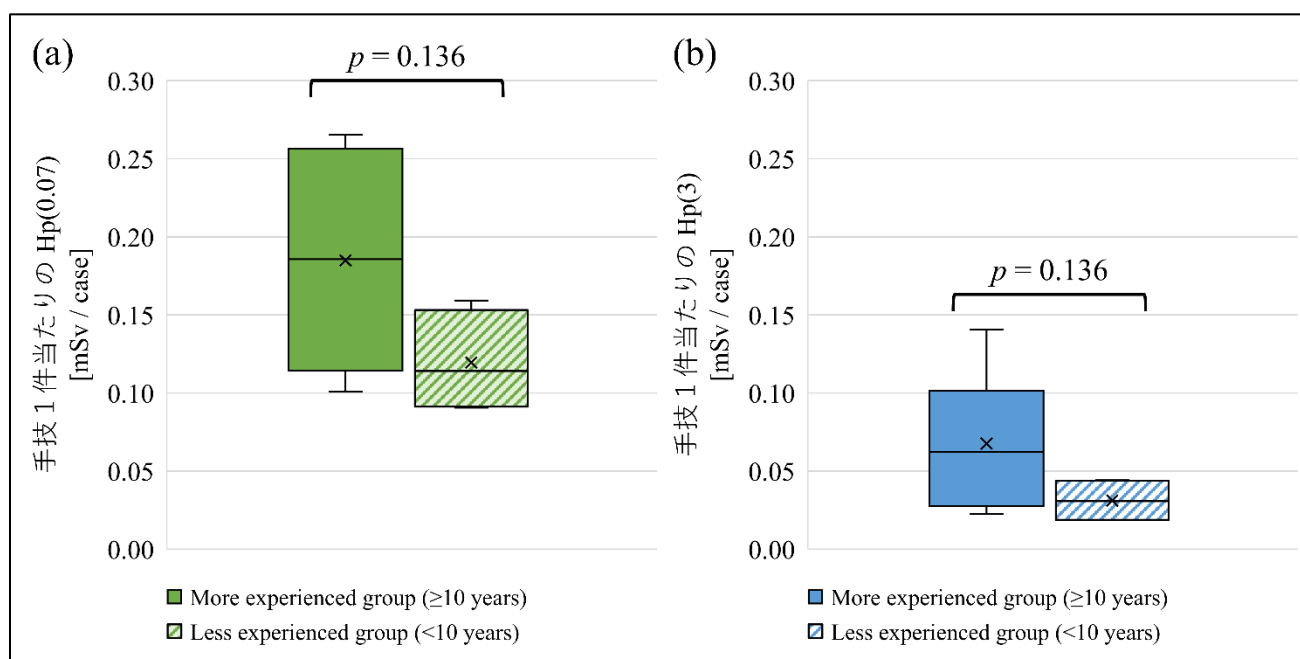


図 6. 経験年数に基づく 2 群比較

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

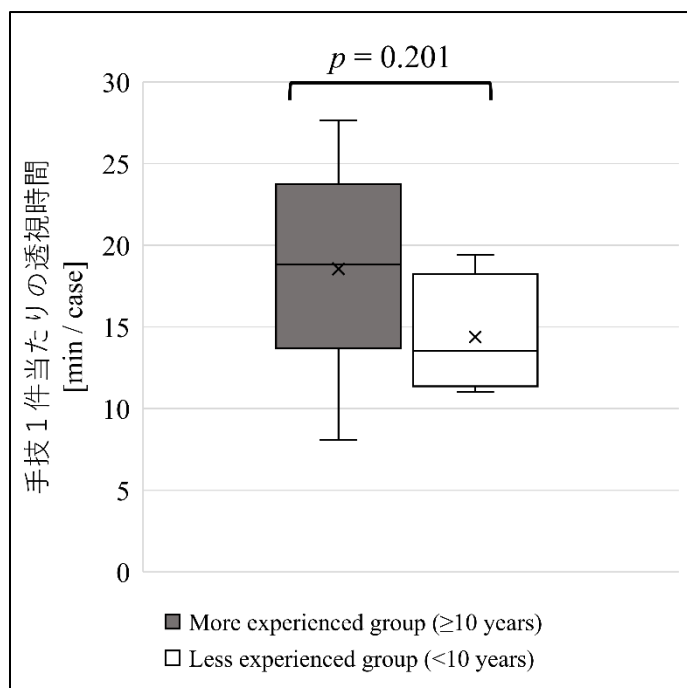


図 7. 経験年数に基づく 2 群比較 (1 件あたりの透視時間)

(Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study. *Applied Sciences*. 一部改変)

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

放射線防護板の適切な使用に関する教材の開発

研究分担者 藤淵 俊王(九州大学大学院医学研究院保健学部門・教授)

研究要旨

令和 7 年度(2025 年度)は、透視ガイド下手技時の術者の個人線量当量を高速にモンテカルロシミュレーションによって得ること、そしてシミュレーションから線量の表示までを簡便に行うことができるようにすることを目的とした。モンテカルロコードの Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) にて ICRP の Mesh-type Reference Computational Phantoms (MRCP)を基準として角柱と円柱の簡易ファントムを 1 体ずつ作成した。また、PHITS にて MRCP と簡易ファントムにおけるシミュレーション速度や相対誤差の評価を行い、比較した。また、Excel の VBA マクロを用いて個人線量当量を算出し、任意の座標の線量や断面の線量分布を確認するまでを簡単な操作で行うことのできるユーザーインターフェースを作成した。ユーザーインターフェースの作成により、PHITS の知識がなくても簡便にシミュレーションを行うことが可能となった。シミュレーション条件を変更してシミュレーションを実行し、結果を表示するまでの流れをおおよそ 2 分で行えるようになった。

A. 研究目的

透視ガイド化手技の普及に伴い、医療従事者の放射線被ばくは増加傾向にあり、軽視できない問題となっている。例えば、術者の皮膚障害や水晶体被ばくなどである。術者以外にも、診療室内の医師や看護師にも被ばくが生じる。外部被曝を低減させる方法として、放射線防

護の三原則である「距離」「時間」「遮蔽」という考え方があるが、一部の手技は照射野の近くで行う必要があり、距離をとることが困難である。また、放射線被ばくと防護対策に対する理解の困難な要因の一つに、放射線は目に見えないということがある。また、放射線を可視化する手法の一つとしてモンテカルロシミュレーション

が挙げられるが、高精度な計算を行うには長い時間を要するという課題がある。そのため、現場でのリアルタイムモンテカルロシミュレーションを実現させるためにはシミュレーション条件をできる限り簡易的なものとし、かつ操作を簡便に行うことができるようにする必要がある。そこで、本研究では、シミュレーションに用いるファントムを数式で作成し、条件の変更をエクセルシート上のみで行うことができること目的とした。

B. 研究方法

B-1. 簡易ファントムの作成およびその評価

本研究では、モンテカルロコードの Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.350 を使用した。人体ファントムとして International Commission on Radiological Protection (ICRP) の Adult Mesh-type Reference Computational Phantoms (MRCP) 145 の男性を参考にして角柱と円柱の簡易ファントムをそれぞれ作成した。用いた MRCP を図 1 に示す。(a)は全体像、(b)は冠状断、(c)は矢状断を表す。(b)および(c)を見ると、臓器や器官などもメッシュで再現されていることが分かる。これらには、それぞれの材質や密度が与えられている。簡易ファントムは、組成をすべて水とし、頭部、胸部、腹部、腕部、足部に分けて作成した。また、MRCP と同様に身長 176 cm、胸部体厚 20.6 cm、腹部体厚 20.0 cm とした。作成した簡易ファントムを図 2 に示す。シミュレーションに用いたパーソナルコンピュータの Central Processing Unit (CPU) は AMD Ryzen PRO 4750G、コア数は 16 である。放射線源は、X 線管スペクトルモデリングツールキットである SpekPy version 2.0.8 を用いて管電圧 90 kV、ターゲットはタングステン、付加濾過 1.5 mmAl の条件で作成した。また、部屋の大きさは $200 \times 200 \times 200 \text{ cm}^3$ とし、 $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ のボクセルで分割した。部屋には、ファントムの他に $200 \times$

$60 \times 1 \text{ cm}^3$ の寝台、 $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ の X 線管を作成し、焦点-検出器間距離を 115 cm とした。寝台の組成はアクリル、X線管の組成は鉛で作成した。

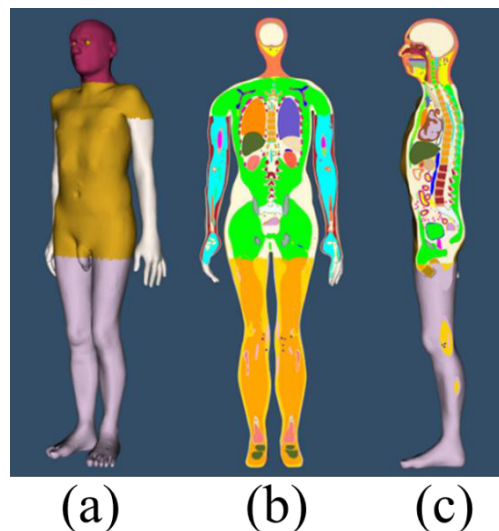


図 1 MRCP の構造

(a) 全体像 (b) 冠状断 (c) 矢状断

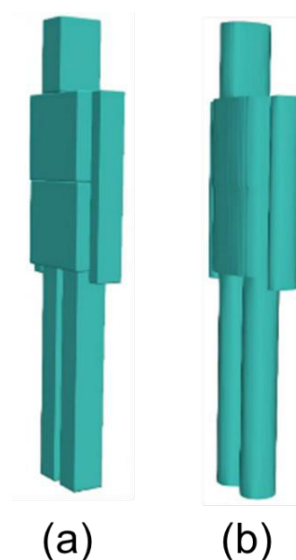


図 2 簡易ファントムの構造

(a) 角柱ファントム (b) 円柱ファントム

MRCP と簡易ファントムをそれぞれ仰臥位での寝台の上に配置した。円柱ファントムにおけるファントム、寝台、X 線管の幾何学的配置を

図 3 に示す。シミュレーションで算出された vtk ファイルを用いて結果の比較を行った。結果の単位はフルエンス[/ cm² / source] である。ただし、照射部位は腹部とした。部屋全体のフルエンスの他に、計算時間、そして評価領域における相対誤差と個人線量当量の比較も行った。評価領域の大きさは 20 × 20 × 20 cm³ とし、照射野中心から患者ファントムの右方向に 50 cm 離れた位置に配置した。評価領域の位置を図 4 に示す。幾何学的配置の確認には、PHIG-3D version 3.2.14761 を用いた。

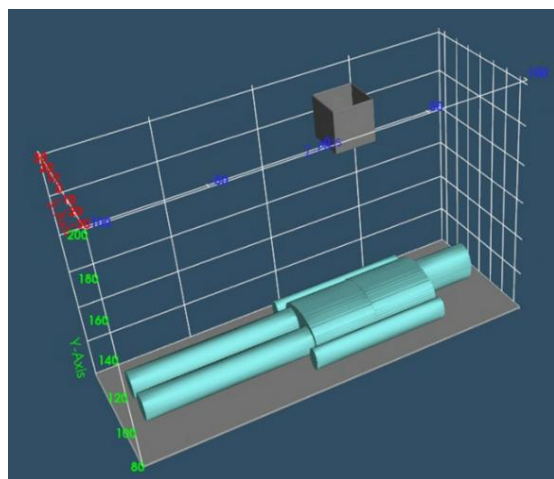


図 3 ファントムおよび装置の幾何学的配置

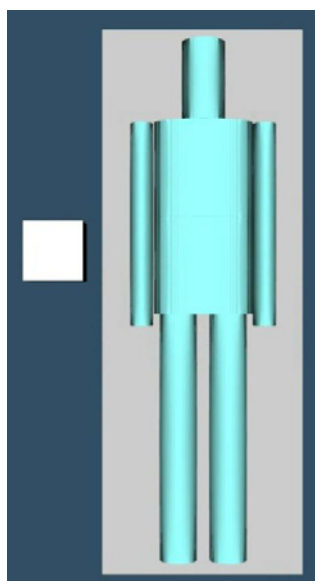


図 4 患者ファントムと評価領域の位置関係

B-2. Excel シートによる散乱線分布の半自動表示

PHITS の操作を Excel シート上で行えるようにするため、PHITS の Input ファイルを Excel version 1808 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA)に取り込んだシート (以下、PHITS シート)を作成した。B-1 と異なり、術者ファントムや放射線防護具を作成した。放射線防護具は、放射線防護眼鏡、放射線防護エプロン、放射線防護板、放射線防護カーテンを作成し、それぞれ鉛当量を変更できるようにした。各放射線防護具の様子を図 5 に示す。放射線防護板は面を 50 × 50 cm² とし、放射線防護カーテンは X 線管下端から患者の腹部表面から 12 cm 上方まで作成した。さらに、部屋の大きさを変更し、150 × 200 × 200 cm³ とし、5 × 5 × 5 cm³ のボクセルで分割した。そして、シミュレーション条件の変更をユーザーインターフェース(UI)上で行うための操作用シート (以下、操作シート)を作成した。変更できるシミュレーション条件の例として、管電圧 (50~100 kV, 5 kV ごと)や患者の身長、体厚、防護具の有無や鉛当量などがある。操作シートには、その他に PHIG-3D、PHITS、ParaView version 6.0.0 (Kitware, Inc., Clifton Park, NY, USA)を起動させるボタンを VBA マクロで作成した。PHIG-3D はファントムおよび装置の幾何学的配置の確認を目的として使用し、ParaView は PHITS により得られたシミュレーション結果の可視化および確認を目的として使用した。

ParaView で表示する数値は、以下のように設定した。

$$\frac{Hp(10)}{Ka, r_1} = \frac{\Phi \times F}{Ka, r_2} \times 10^{-12} [\text{mSv/mGy}] \dots \text{式(1)}$$

$H_p(10)$: 個人線量当量[mSv]

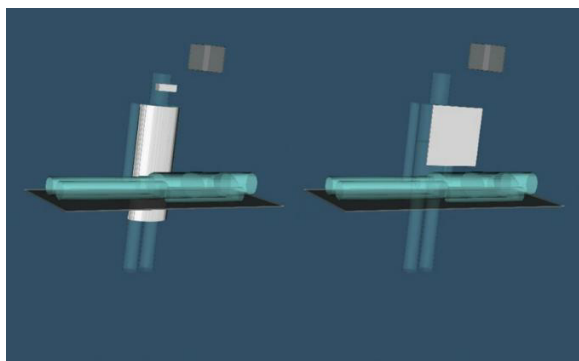
Ka_{r1} : 患者照射基準点における空気カーマ (後方散乱を含まない)―臨床現場での値 [mGy]

Φ : ボクセルのフルエンス [$\text{cm}^2/\text{source}$]

F : 単位入射光子フルエンスあたりの個人線量当量 [$\text{pSv}\cdot\text{cm}^2$]

Ka_{r2} : 患者照射基準点における空気カーマ (後方散乱を含まない)―シミュレーション結果 [Gy/source]

式(1)における Φ は PHITS のシミュレーション結果の値、換算係数 K は PHITS のマニュアルの値を参照し、 Ka_{r1} は管電圧ごとに PHITS で計算した。また、 10^{-12} は左辺の計算値の単位 [pSv/Gy] を [mSv/mGy] に変換するための係数である。



(a) (b) (c)

図5 放射線防護具の様子

(a) 放射線防護眼鏡と放射線防護エプロン
(b)放射線防護板 (c)放射線防護カーテン

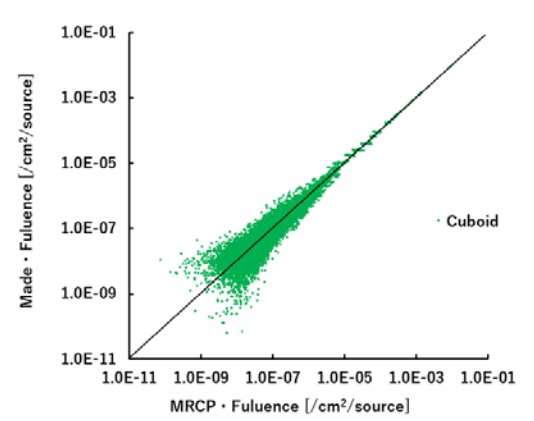
(倫理面への配慮)

本研究は、人を対象とする研究ではない。X線を使用する研究では、研究者が被ばくする恐れがあるため、放射線防護対策をした上で研究実施した。

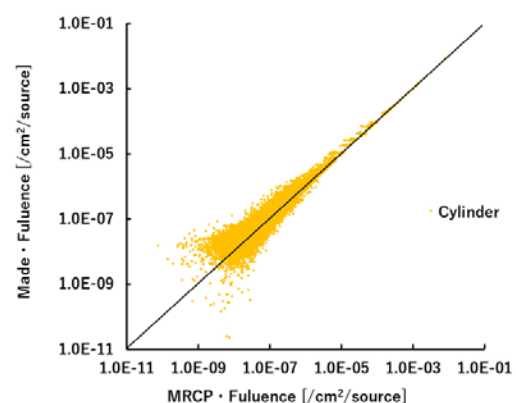
C. 研究結果

C-1. 簡易ファントムの作成およびその評価

MRCP と角柱ファントムおよび円柱ファントムのフルエンスを比較した結果を図6に示す。これらは、各ファントムの同じ座標のボクセルのフルエンスをプロットしており、黒の直線に近いほどMRCPと簡易ファントムのフルエンスの値が近いことを表す。



(a)



(b)

図6 MRCPと各簡易ファントムのフルエンスの比較

(a) MRCPと角柱ファントム (b) MRCPと円柱ファントム

いずれにおいてもフルエンスが低い領域でばらつきが大きくみられるが、フルエンスが高い領域では黒の直線に近く MRCP のシミュレーション結果に近いことが分かる。また、わずかに(b)の方が(a)よりもばらつきが小さいという結果になった。

次に各ファントムにおけるヒストリー数とシミュレーション時間の関係と比較した結果を表 1、ヒストリー数と相対誤差の関係を比較した結果を表 2 に示す。

表 1 各ファントムのヒストリー数とシミュレーション時間の関係 (単位は[s])

	1.0×1 ⁶	1.5×10 ⁶	2.0×10 ⁶
Cuboid	18	19	21
Cylinder	19	21	23
MRCP	333	335	340

表 2 各ファントムのヒストリー数と相対誤差の関係

	1.0×1 ⁶	1.5×10 ⁶	2.0×10 ⁶
Cuboid	0.25	0.20	0.10
Cylinder	0.20	0.15	0.09
MRCP	0.50	0.40	0.30

シミュレーション時間および相対誤差は、簡易ファントムと MRCP とで値が大きく異なっていることが分かる。簡易ファントムを用いることで、シミュレーション時間は 1/10 以下となり、かつ相対誤差を低下させることができた。簡易ファントムではヒストリー数を 2.0 × 10⁶以上とすることで相対誤差を 0.10 以下にすることができた。

次に、各患者ファントムにおける個人線量当量を比較した結果を表 3 に、管電圧とフルエンスの関係を比較した結果を図 7 に示す。

表 3 各患者ファントムにおける術者位置での個人線量当量 (単位は[mSv/mGy])

個人線量当量	
Cuboid	1.2×10
Cylinder	1.9×10
MRCP	2.1×10

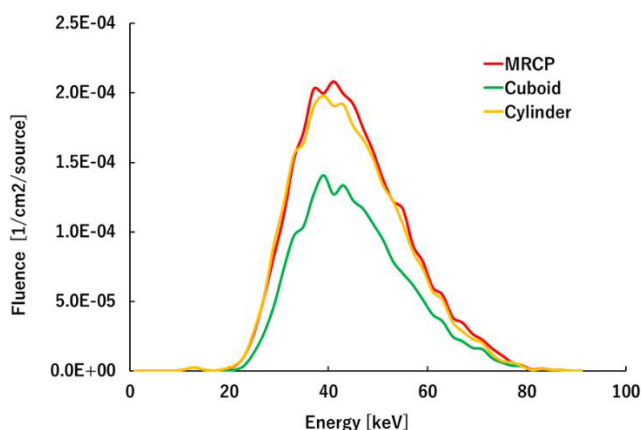


図 7 各ファントムの管電圧ごとのフルエンス

いずれにおいても、MRCP に対して円柱ファントムの方が角柱ファントムよりも近い値を示した。よって、以後のシミュレーションは円柱ファントムを用いて行うこととした。

C-2. Excel シートによる散乱線分布の半自動表示

作成した操作シートの一部を図 8、PHITS シートの一部を図 9 に示す。操作シートは、数値を入力する方式と、プルダウンで選択する方式によって条件を変更するようにした。一部の項目では、注釈をつけることにより説明書がなくて

も操作ができるようにした。患者ファントムの体型だけでなく、照射野の大きさ管電圧、防護具の有無を変更できるようにし、防護具は鉛当量もそれぞれで変更できるようにした。防護具には、放射線防護眼鏡、放射線防護エプロン、放射線防護板、放射線防護カーテンがある。さらに、術者ファントムは立ち位置を変更できるようにし、放射線防護板は位置と向きを変更できるようにした。また、アプリケーションを起動するボタンを 3 つ作成し、それぞれ PHIG-3D、PHITS、ParaView を起動させるようにした。PHITS シートには、PHITS の操作に用いられる Input ファイルを貼り付けた。そして、操作シートでの条件の変更を反映し、操作シートの「PHITS 実行」のボタンを押すと PHITS に送られ、シミュレーションが開始されるようにした。

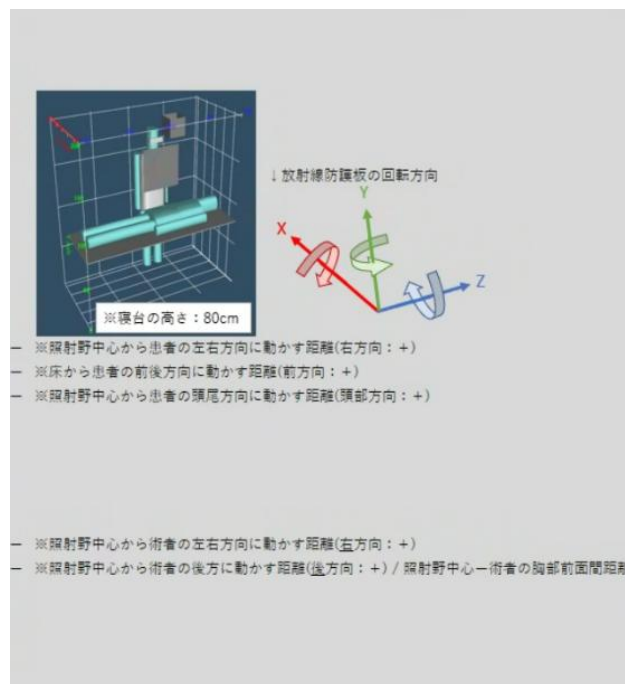


図 8 操作シートの一部

①各種条件を設定	
条件設定(照射野中心: ERCPを想定)	
患者の身長[cm]	180
体厚_胸部[cm]	20.6
体厚_腹部[cm]	20
照射野の大きさ	1
管電圧	90
放射線防護板の有無	なし
鉛当量(放射線防護板)[mmPb]	0.5
放射線防護カーテンの有無	なし
鉛当量(放射線防護カーテン)[mmPb]	0.2
放射線防護板の移動と回転(右図参照→)	
患者の左右方向[cm]	30
患者の前後方向[cm]	110
患者の頭尾方向[cm]	0
X軸周りの回転(°)	0
Y軸周りの回転(°)	0
Z軸周りの回転(°)	0
術者の立ち位置	
術者の左右方向[cm]	0
術者の前後方向[cm]	50
放射線防護眼鏡の有無	なし
鉛当量(放射線防護眼鏡)[mmPb]	0.3
放射線防護エプロンの有無	なし
鉛当量(放射線防護エプロン)[mmPb]	0.3

[parameters]	
icntl =	0
maxcas =	6000000
maxbch =	1
itetvol =	0
ntetelem =	2000
maxbnk =	1000000
itetra =	0
file(6) =	phits.out
file(7) =	C:\phits\data\xsdir.jnd
file(20) =	C:\phits\XS\egs\
e-mode =	1
[source]	
infl:	{C:\phits/kVfile/90kV2.5mmAl.txt}
e-type =	1
proj =	photon
e-type =	1
r0 =	0.00
x0 =	0.00
y0 =	109.00+c101
z0 =	(10.00+c200)*c100/176
z1 =	(10.00+c200)*c100/176
dom =	20
phi =	-90
dir =	0
totfact =	2.71267E+15

図 9 PHITS シートの一部

次に 防護具の有無による個人線量当量の違いを視覚化したものを図 10、各点における個人線量当量を表 4 に示す。ParaView は、ファントムや幾何学的配置を確認したり、図 10 のようにファントムの線量をカラーマップで表示したり、表 4 のように任意点の線量を数字で表示したりすることができる。

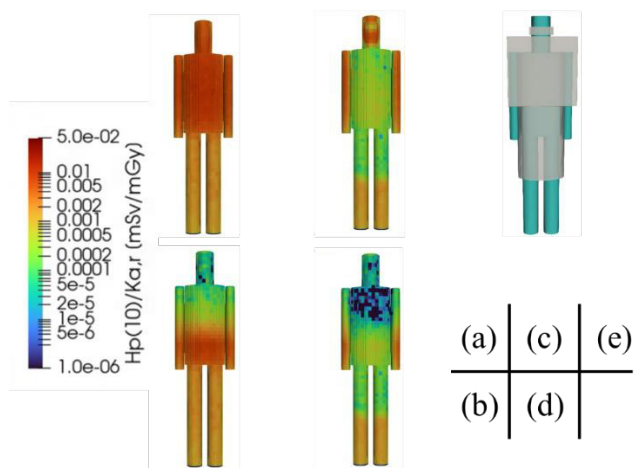


図 10 防護具の有無による個人線量の違いおよび防護具の様子

- (a) 防護具なし (b) 放射線防護板のみ使用
(c) 放射線防護眼鏡と放射線防護エプロンを使用 (d) 全防護具を使用 (e) 防護具の位置

表 4 各ファントムでの部位ごとにおける個人表面線量 (単位は[mSv/mGy])

	防護具なし	防護板のみ	防護眼鏡と防護エプロン	全防護具使用
水晶体	4.4E-03	7.9E-05	6.0E-04	3.1E-06
胸部	6.4E-03	1.1E-04	2.8E-04	1.7E-05
腹部	8.0E-03	6.0E-03	4.5E-04	4.3E-04

放射線防護板の鉛当量は 0.5 mmPb、放射

線防護眼鏡および放射線防護エプロンの鉛当量は 0.3 mmPb としてシミュレーションを行った。図 10 および表 4 より、防護具を用いることで術者の水晶体の個人線量当量が放射線防護板を用いると 98%、放射線防護眼鏡を用いると 86%、両方用いると 99%以上低減することを確認した。また、防護具を用いない場合においても、患者の真横に位置する術者の腹部において特に線量が高くなった。

D. 考察

MRCP と簡易ファントムの検証では、フルエンスが低いと値にばらつきがみられた。その理由として、モンテカルロシミュレーションの特徴であるフルエンスが低い領域では相対誤差が大きくなることが考えられる。ただし、ばらつきが相対誤差の範囲に収まっているかの検証は行っていない。そのため、このばらつきが相対誤差によるものであるのか、ファントムの形状によるものであるのかは今後検討が必要である。反対に、フルエンスが高い領域では、シミュレーションの相対誤差は小さくなり、ファントムの正確性の評価に適していると考えられる。そして、角柱ファントムよりも円柱ファントムの方が MRCP のシミュレーション結果と近い結果となった。これは、人体の形状は楕円柱に近く、MRCP も同様であるため、円柱ファントムの形状が人体に近い形であったからであると考えられる。シミュレーション時間は、MRCP と簡易ファントムとで大きく異なっていた。ファントムの形成にかかった時間は、MRCP は約 4 分、簡易ファントムは約 10 秒であった。これは、ファントムの形状や材質の複雑さによるものであると考えられる。相対誤差は、ヒストリー数が 2 倍になると $1/\sqrt{2}$ 倍になるが、表 2 ではそのような結果にならなかった。これは、評価領域が $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ の大ききで作成されているため、シミュレーション値の誤差を生じやすいことが原因であ

ると考える。すなわち、正確に相対誤差の行うには、可能な限り評価領域を小さく、ヒストリー数を大きくする必要がある。

また、Excelシートを用いてUIを作成し、条件の変更及びアプリケーションの起動をできるようにした。これにより、モンテカルロシミュレーションや各アプリケーションの知識がなくても簡便にシミュレーションすることができるようになった。ParaViewを用いることで、術者の個人線量当量を視覚的に評価することができた。鉛当量を変更できるようにしたことで、各施設にある防護具ごとの線量評価が可能であると考えられる。

E. 結論

円柱で人体を模した水ファントムを作成することにより、シミュレーションの正確性を保ちながらシミュレーション時間を短縮することができた。また、Excelシート上で操作できるようにしたことにより、モンテカルロシミュレーションの知識がほぼ不要となり、誰でも簡便にシミュレーションをすることが可能になった。さらに、ParaViewを用いることで術者の個人線量当量をカラーマップと数値の両方から確認することができた。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

放射線防護のためのゲーミフィケーションプロダクトと
デジタルプロテクションツールの開発

研究分担者 石垣陽(電気通信大学 国際社会実装センター センター長・特任教授)

研究要旨

令和 7 年度(2025 年度)は、令和 6 年度に探索的に検討した 3 つの方向性——(i)磁気センサーを用いた教育用仮想線量表示アプリ「USOTOPE」、(ii)ポケットガイガー(ポケガ)系 PIN フォトダイオードを用いたウェアラブル線量モニタの基礎試作、(iii)市販個人線量計(MIRION 社 DMC3000)の BLE テレメトリ化——のうち、IVR 術者の水晶体被ばく低減を対象として(ii)を発展させ、防護眼鏡フレームに線量検出器および LED/バイブレーション/音の 3 系統警告を内蔵したデジタルプロテクションゴーグル試作 1 号機を開発した。R6 試作からの主な変更点は、①装着位置を胸部・腹部・膝部の任意配置から眼鏡フレーム両側方に固定、②フィードバック経路をクラウドダッシュボード(Soracom Lagoon)から装着者本体への直接刺激(LED/バイブ/音)に変更、③通信形態を LTE 経由のクラウド送信から COM ポート経由のローカル設定(Windows 用設定アプリ)に変更、④検出基板を制御基板 37.2×17.8 mm、センサ基板 19.5×9.0 mm まで小型化し、眼鏡フレーム内側隙間への内蔵を実現、⑤制御プラットフォームを BLE 機能内蔵の ESP32C6、の 5 つである。試作機については、電源起動、動作中インジケータ、USB 充電制御、X 線検出(トリウム線源)、Windows 用設定アプリによるパラメータ読み取り、閾値設定の保持、スリープ/ウェイクの全 7 項目について動作確認を実施し、全項目で仕様通りの動作を確認した。線量応答性能については、学内に診療用 X 線照射装置がないため、本試作機自体は RI ベースのプレ試験(Cs-137 による距離応答測定、Co-60 による校正試験)に留めた。一方、本試作機が依拠する同系統の PIN フォトダイオード系について、KEK 電子・陽電子入射器 LINAC における外部評価(石垣共著)により Co-60 線源で 12.3 mSv/h まで MRE 12%以内、低線量域(0.4~1 mSv/h)で OSL 線量計と MAE 0.034~0.18 mSv/h で一致することが示された。R6 時点ではポケガ系の絶対線量校正データは未取得であり、本年度の評価により定量的応答特性が確立されたことになる。次年度(令和 8 年度)は産業医科大学若松病院等において IVR 臨床条件下での検証実験を実施する予定である。

A. 研究目的

本研究の目的は、X 線透視下診療（IVR）における医療従事者の職業被ばく、特に水晶体被ばくの低減を支援するため、防護眼鏡フレームに線量検出機能とリアルタイム警告機能を内蔵した装着型デバイスを試作・評価することである。

ICRP 2011 年声明を受け、2021 年 4 月施行の電離放射線障害防止規則改正により、職業被ばくにおける水晶体等価線量限度は 5 年間 100 mSv かつ年 50 mSv に引き下げられた。IVR 術者の水晶体線量は従来基準を超え得る曝露が報告されており、防護眼鏡装着率の向上と装着位置の確保が課題となっている。一方、個人線量計（OSL 等）の記録は事後参照であり、術中の線量上昇を装着者がその場で認識する経路は限定的である。

R6 年度は、(i)教育（USOTOPE）、(ii)装着（ポケガ系試作）、(iii)通信（DMC3000 BLE 化）の 3 経路を並行的に基礎評価する探索段階に位置付けた。R7 年度はこの結果を踏まえ、対象を以下の 3 点に絞り込んだ。

1. 対象臓器：水晶体（2021 年法令改正の対象部位）
2. 対象シーン：IVR 等の X 線透視下診療（術者が手元から目を離せず、遮蔽室内で動作する条件）
3. 対象ユーザ：眼鏡装着が可能な現場スタッフ（看護師、IVR 術者、放射線技師等）

以上の要件に基づき、R6 で示した装着型モニタの汎用構成を、防護眼鏡フレームに統合したデバイス（R7 試作）へ再設計した。

B. 研究方法

R6 試作（ポケガ＋スマホ表示＋クラウド構成）に対する R7 試作の設計変更点を表 1 に示す。

母体機種として TORAY 社製放射線防護眼

鏡を採用した。装置はセンサ部、制御部（マイコン・バイブ・電池）、LED 表示部の 3 ブロックで構成した。重量バランスのためセンサ部を左右対称に配置し、制御部はフレーム内側の隙間にはめ込み式で固定する構造とした。ケース形状の検討はヤグチ電子工業株式会社と共同で実施した。検出素子は PIN フォトダイオード（ポケットガイガー系）を採用し、 β 線遮蔽用真鍮板を前面に配置した。これにより X/ γ 線検出器として動作する構成とした。R6 試作からの小型化により、センサ基板 19.5 × 9.0 mm、制御基板 37.2 × 17.8 mm に収め、眼鏡フレーム側方ケース内への内蔵を実現した。

制御プラットフォームは BLE 機能内蔵の ESP32C6 とし、ファームウェアは Arduino 互換環境で実装した。線量検出パルスをマイコンでカウントし、所定時間内のカウントから線量率に換算する処理とした。Windows 用設定アプリ「Goggles PocketGeiger」を新規開発し、COM ポート経由で次のパラメータを読書きおよび保持できる構成とした：(i) 時定数（測定時間、ms）、(ii) LED 点灯閾値（count）、(iii) LED 点灯時間（ms）、(iv) バイブ振動閾値（count）、(v) バイブ振動時間（ms）。

動作確認試験は、電源起動、動作中インジケータ（10 秒周期黄 LED 点滅）、USB 充電制御、X 線検出（学内に診療用 X 線装置がないためトリウム入りマントルを線源として使用）、Windows 用設定アプリ接続、閾値設定の再起動後保持、スリープ／ウェイク制御の 7 項目について実施した。

線量応答性能の評価については、本試作機自体は、Cs-137 線源を用いた距離応答測定により複数台のセンサ（PD-1, PD-2, PD-4, PD-8）の応答値を取得した。診療用 X 線装置を用いた本試験は学内設備の制約によ

り次年度に延期した。同系 PIN フォトダイオードセンサについては、KEK 電子・陽電子入射器 LINAC（全長約 700 m、上流部 C-2、C-7、1-2 セクタ）における独立評価が並行実施された。Co-60 線源（98.92 MBq）による距離 5～50 cm での校正試験、および加速器運転中のトンネル内 3 セクタ×3 高さ（ビームライン近傍、中間高さ、天井近傍）の計 9 条件における実測を OSL 線量計と比較した。本評価には石垣が共著者として参画した（Satake ら，ICALEPCS 2025）。

母体機種として TORAY 社製放射線防護眼鏡を採用した。装置はセンサ部、制御部（マイコン・バイブ・電池）、LED 表示部の 3 ブロックで構成した。重量バランスのためセンサ部を左右対称に配置し、制御部はフレーム内側の隙間にはめ込み式で固定する構造とした。ケース形状の検討はヤグチ電子工業株式会社と共同で実施した。検出素子は PIN フォトダイオード（ポケットガイガー系）を採用し、 β 線遮蔽用真鍮板を前面に配置した。これにより X/ γ 線検出器として動作する構成とした。R6 試作からの小型化により、センサ基板 19.5 × 9.0 mm、制御基板 37.2 × 17.8 mm に収め、眼鏡フレーム側方ケース内への内蔵を実現した。

制御プラットフォームは BLE 機能内蔵の ESP32C6 とし、ファームウェアは Arduino 互換環境で実装した。線量検出パルスをマイコンでカウントし、所定時間内のカウントから線量率に換算する処理とした。Windows 用設定アプリ「Goggles PocketGeiger」を新規開発し、COM ポート経由で次のパラメータを読書きおよび保持できる構成とした：(i) 時定数（測定時間，ms）、(ii) LED 点灯閾値（count）、(iii) LED 点灯時間（ms）、(iv) バイブ振動閾値（count）、(v) バイブ振動時間（ms）。

動作確認試験は、電源起動、動作中インジケータ（10 秒周期黄 LED 点滅）、USB 充電制御、X 線検出（学内に診療用 X 線装置がないためトリウム入りマントルを線源として使用）、Windows 用設定アプリ接続、閾値設定の再起動後保持、スリープ／ウェイク制御の 7 項目について実施した。

C. 研究結果

デジタルプロテクションゴーグル試作 1 号機を完成した（図 1：装着時外観、内部回路、本体表裏、母体機種）。装着時に通常の防護眼鏡装着感を大きく損ねず、視野および動作の妨げを生じないことを確認した。動作確認試験は 7 項目すべてで合格した（1. 電源起動 2. 動作中インジケータ 3. USB 充電制御 4. X 線検出 5. アプリ接続（Windows） 6. 閾値設定の反映 7. スリープ／ウェイク）。

Windows 用設定アプリ上で Pulse Count、Count Peak、Noise の実測値、および 60 秒スパンの計数波形が表示され、上記 5 パラメータが任意に書込可能であることを確認した。

RI ベースのプレ試験では、Cs-137 線源による PD-1、PD-2、PD-4、PD-8 の距離応答測定を実施し、基準線量当量率 0～5 mSv/h の範囲で応答値を取得した。

同系 PIN フォトダイオード系の外部評価については、Co-60 線源（98.92 MBq）による校正試験において、5～50 cm の距離範囲で測定した線量率は、1 cm 周辺線量当量率定数 $H^*(10)$ から計算される値と一致し、12.3 mSv/h までの測定可能性が確認された。評価指標は MAE 0.39 mSv/h、MRE 12%、MaxRE 14%であった。

低線量域（C-2）では OSL 線量計との一致度が高く、相対的に高線量域（1-2）では PIN

フォトダイオード側の過小評価傾向（負バイアス）が認められた。これは、加速器ビームのパルス幅（～10 ps）が計数器デッドタイム（300 μ s）に対して極めて短いことに起因する計数欠損であり、定常 X 線場である医療診療環境では同機構による過小評価は基本的に発生しない。セクタ別の指数関数型補正（C-2: $y=0.15 \cdot \exp(2.5M)$ 、C-7: $y=0.27 \cdot \exp(1.6M)$ 、1-2: $y=0.43 \cdot \exp(1.7M)$ 、M は測定線量率）の適用後、MAE は C-2 で 0.0030、C-7 で 0.0090、1-2 で 0.085 mSv/h まで低下した。

教育訓練側システムについては、R6 で開発した磁気センサベースの教育用仮想線量表示システム（USOTOPE）について、表面汚染検査訓練への適用可能性を含む動作検証論文を公表した（赤沼ら、第 62 回アイソトープ・放射線研究発表会、2025 年 7 月）。直径 30、40 mm のフェライト磁石を疑似線源とし、磁束密度の 3 軸合成値が距離の約-2.3 乗で減衰する関係から仮想線量率への換算式を導出・実装した。

D. 考察

R7 試作は、R6 で並行検討した 3 経路のうち装着型モニタ経路を IVR 術者の水晶体被ばくに対象化したものである。装着位置の固定、フィードバック経路の身体直接刺激化、通信形態のローカル化、ハードウェアの小型化、MCU 統一の 5 点で R6 試作と物理構成が異なる。R6 のクラウド経由構成では装着者本人への即時通知に通信遅延および院内ネットワーク制約の影響を受けるが、R7 構成では LED／バイブ／音による刺激が装着部位（眼鏡フレーム）上で完結する構成となった。

線量応答性能について、本試作機自体の評価は学内に診療用 X 線装置がないため RI

ベースのプレ試験に留まった。一方、依拠する PIN フォトダイオード系については、KEK LINAC での外部評価により 12.3 mSv/h までの校正実証および OSL 線量計との一致が確認された。R6 時点ではポケガ系の絶対線量校正データは未取得であり、R7 における外部評価エビデンスの獲得は本研究の定量的基盤となった。なお、加速器運転下高線量域での過小評価はビームパルスの時間構造に起因する加速器固有の現象であり、定常 X 線場である IVR 臨床環境への外挿は別途実機評価が必要である。

本試作機自体の IVR 臨床線量域での実機応答評価、長時間装着時の重量バランスおよび視野影響の定量評価、複数被験者による装着試験は本年度未実施であり、次年度の検証実験に含める。

E. 結論

令和 7 年度は、R6 年度の 3 経路並行試作のうち装着型モニタ経路を発展させ、対象を IVR 術者の水晶体被ばくに絞り込んだ装着型デバイス（デジタルプロテクションゴーグル）試作 1 号機を開発した。

動作確認 7 項目はすべて合格し、装着型ハードウェアとしての基礎要件を満たすことを確認した。依拠する PIN フォトダイオードセンサ系については、12.3 mSv/h までの線量応答性能と低線量域での OSL 線量計との一致（MAE 0.034～0.18 mSv/h）が確認された。R6 で未取得であったポケガ系の絶対線量校正データは R7 において確立された。

次年度（令和 8 年度）は産業医科大学若松病院において IVR 臨床条件下での検証実験を実施する。

F. 論文報告

- Imam Ghazali Yasmin, Yo Ishigaki, Kayoko Yamamoto, "KURAMA vs. Safecast: Radiation data comparison in Fukushima following whole-area decontamination," J. Environ. Radioact., 291, 107789, 2026.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2025.107789>

G. 研究発表

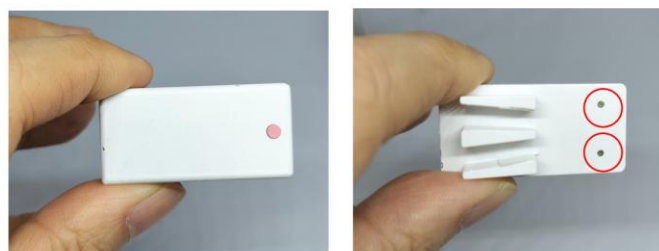
- 赤沼直樹, 土屋兼一, 石垣陽, 松本佳宣, 「磁気センサを用いた訓練用放射線測定システムの動作検証」, 第62回アイソトープ・放射線研究発表会, 日本アイソトープ協会, 2025年7月2日.
- I. Satake, H. Iwase, T. Suwada, S. Kusano, D. Asano, M. Tokiyoshi, Y. Matsumoto, Y. Ishigaki, M. Sato, "Radiation Monitoring System Using a PIN Photodiode at the KEK Electron/Positron Injector LINAC," ICALEPCS 2025, Chicago, USA, 2025年9月.
- Yo Ishigaki, "Radiation and Environmental Risk Assessment in Resource Extraction Regions," 2025 International Symposium on Earth and Space Environment Monitoring and its Application to Disaster Risk Reduction, 電気通信大学, 2025年11月11日(招待講演).

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

表 1 R6 試作と R7 試作の設計比較

項目	R6 試作	R7 試作
装着位置	胸部・腹部・膝部（任意）	眼鏡フレーム両側方（固定）
母体機種	装着位置自由	TORAY 社製防護眼鏡
フィードバック	クラウドダッシュボード （Soracom Lagoon）＋スマホ表示	LED／バイブ／音の 3 系統オンボード 警告
通信形態	LTE 経由クラウド送信	COM ポート経由ローカル設定
設定 UI	Soracom Lagoon	Windows アプリ Goggles PocketGeiger
制御 MCU	混在	ESP32C6 に統一
センサ基板寸法	未小型化	19.5 × 9.0 mm
制御基板寸法	未小型化	37.2 × 17.8 mm



C:本体アップ（表・裏）

D:対応機種（TORAY）

図 1 R7 試作機の外観及び内部回路

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

AR を使った放射線防護教育
～原子力災害対応訓練への AR 活用の試み～

研究分担者	喜多村 紘子(量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所放射線規制科学研究部リスク評価グループ・グループリーダー) 盛武 敬(量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・部長)
研究協力者	熊谷 敦史(量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所放射線規制科学研究部・部長付) 古場 裕介(量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所放射線規制科学研究部リスク評価グループ・主任研究員) 平井 悠大(量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所放射線規制科学研究部リスク評価グループ)

研究要旨

令和 7 年度(2025 年度)は、「原子力防災や医療放射線に関与する医師・保健師・事務職向け教育」として、自治体職員向け原子力災害対応シミュレーション訓練の開発を行い、茨城県ひたちなか保健所において令和7年度第2回原子力防災資機材取扱合同訓練を企画・実施した。

AR 技術を用いた仮想放射線場をマネキン上に設定し、放射線測定機器に見立てたタブレット端末で走査・測定し、汚染部位を探索する実習を行った。

従来の自治体原子力防災訓練等では、放射線源を用いる研修は安全管理上の制約下にあり、反復的に安全に広く行うことは難しい。

本研究・実践においては、AR+放射線源フリー測定シミュレーションにより自治体職員の原子力災害対応訓練を、安全に、反復可能に、実施しやすく、効果的に提供できる可能性が示された。

今後、茨城県内の他の保健所にも対象を広げ汎用性の検証を行う必要があるとともに、客観的パフォーマンス指標(汚染検出率・作業エラー率等)を用いた訓練効果の評価も求められる。加えて、チームベースの災害対応訓練への拡張も視野に、来年度以降の発展を望むものである。

A. 研究目的

ARと放射線源を用いない測定シミュレータを組み合わせたモジュール型シミュレーション訓練を開発と、従来の放射線測定器取り扱い訓練の低い汎用性を解決する新たな訓練のあり方の確立を目的とした。

B. 研究方法

茨城県内の保健所職員・自治体職員 20 名を対象として、2025年12月12日に、茨城県ひたちなか保健所において、令和7年度第2回原子力防災資機材取扱合同訓練を実施した。

午後3時間のスケジュールで、①講義「放射線の基礎」(20分)、②実習1「実機の取扱い」実習2「放射線測定 AR アプリ(ラドトレ AR)を用いた表面汚染検査訓練」(計60分)、③実習3「磁力 USOTOPE を用いた避難者体表面汚染検査」(40分)を行った。

「AR を使った放射線防護教育」は、②実習2として行ったものである。実習者に、AR を用いた仮想放射線場を放射線測定器に見立てたタブレットで探索していただいた。あわせて、線量計の選択・測定すべき部位と優先順位についても考える課題を付加した。

C. 研究結果

今回の研究・実践において、6名1グループで、各グループ10分の時間で、効率よくマネキン上の仮想空間の放射線測定実習を行うことができた。

事後アンケート調査では、AR を用いた実習のリアリティ(5段階評価)は 4.68(±0.46)、教育価値(5段階評価)は 4.53(±0.53)と、いずれも高得点を得た。

D. 考察

原子力災害では自治体職員・保健所職員

が、避難所運営、住民対応、汚染スクリーニング、放射線測定等を担う重要な役割を持つ。しかし現行の訓練には課題実践的な反復訓練の機会が少なく、放射線源を用いる訓練は規制・安全管理上の制約が大きい。

AR・放射線源フリー測定シミュレーションにより自治体職員の原子力災害対応訓練を、安全に、反復可能に、実施しやすく、効果的に、提供できる可能性が示された。

今後、茨城県内の他の保健所等にも対象を広げ汎用性の検証を行う必要があるとともに、客観的パフォーマンス指標(汚染検出率・作業エラー率等)を用いた訓練効果の評価も求められる。加えて、チームベースの災害対応訓練への拡張も視野に、来年度以降の発展を望むものである。

E. 結論

本研究・実践において、AR+放射線源フリー測定シミュレーションにより、従来型訓練に比べ自治体職員の原子力災害対応訓練を効果的に提供できる可能性が示された。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし。

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

拡張現実技術を使った放射線防護教育のためのツール開発

研究分担者 盛武 敬(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 放射線規制科学研究部・部長)
喜多村 紘子(量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
放射線規制科学研究部 リスク評価グループ・グループリーダー)
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)

研究協力者 古場 裕介(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 放射線規制科学研究部
リスク評価グループ・主任研究員)
藤瀬 大助(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 放射線規制科学研究部
リスク評価グループ・主任技術員)
平井 悠大(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 放射線規制科学研究部
リスク評価グループ・連携大学院生)
齊藤 柚季(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 放射線規制科学研究部
リスク評価グループ・連携大学院生)
松崎 賢(量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
放射線規制科学研究部・日本学術振興会特別研究員)
熊谷 敦史(量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
放射線規制科学研究部・部長付)
栗山 知子(産業医科大学 産業保健学部 看護学科 産業・地域看護学・
講師)

研究要旨

令和 7 年度(2025 年度)は、拡張現実(Augmented Reality: AR)技術を活用した放射線防護教育教材の開発を進め、放射線測定 AR アプリ「ラドトレ AR」の運用試験および教育利用実証を行った。

本教材は、現実空間上に仮想的な放射線源および線量分布情報を重ねて表示し、受講者が実際に移動・測定しながら防護行動を学習できることを特徴とする。実際の放射線源や X 線装置を使用せず、安全かつ反復的に教育訓練を行える点に利点がある。

今年度は、小中学生向け公開イベントにおいて操作性・視認性・安定性の検証を行うとともに、医師・保健師等を対象とした原子力防災資機材取扱合同訓練において表面汚染検査訓練への応用を実施した。これらの結果、AR 教材は直感的理解の促進、主体的学習の誘導、および実践的な放射線防護教育への活用可能性が高いことが示唆された。

今後は、医療従事者向け放射線防護教育教材としての高度化を進め、職業被ばく低減に資する教育ツールとしての社会実装を目指す。

A. 研究目的

CT 検査、インターベンショナルラジオロジー（IVR）、核医学検査等の高度医療に伴い、医師、診療放射線技師、看護師等の医療従事者に対する職業被ばく管理および放射線防護教育の重要性は年々高まっている。一方で、放射線防護教育は講義形式や資料提示にとどまることも多く、「どこに高線量域が形成されるのか」「どの位置取りや遮蔽が有効か」といった空間的・行動的理解を十分に習得することは容易ではない。また、実際の X 線装置や放射性同位元素を用いた訓練は、安全管理、追加被ばく、業務負担等の観点から繰り返し実施が困難である。

そこで本研究では、AR 技術を活用し、現実空間に仮想的な線量分布情報を重畳表示する教育教材を開発し、安全かつ実践的な放射線防護教育を可能とすることを目的とした。これは医療従事者の職業被ばく低減を通じ、労働安全衛生の向上に資するものである。

B. 研究方法

令和 6 年度までに試作した放射線測定 AR アプリ「ラドトレ AR」を用い、令和 7 年度は運用試験および教育利用評価を行った。

1. 公開イベントでの運用試験

以下のイベントにおいて、小中学生を対象とした放射線源探索ゲームとして運用した。令和 7 年度量子科学技術研究開発機構千葉地区一般公開(11 月 16 日)QST 研究公開イベント「QSTで体験！量子の世界 2025」(11 月 23 日)参加者に実際に操作してもらい、

- ・ UI の直感性
 - ・ AR マーカー認識精度
 - ・ 操作負荷
 - ・ 長時間稼働安定性
- 等を確認した。

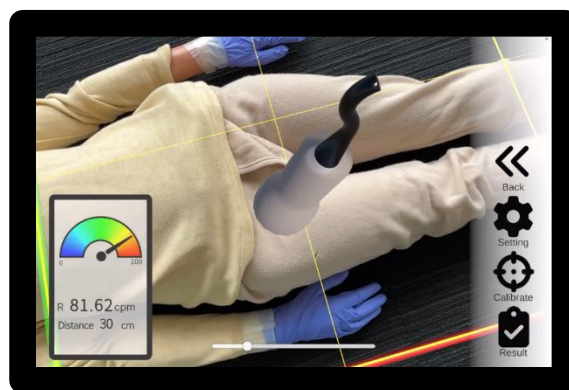
2. 専門職訓練での応用

令和 7 年度第 2 回原子力防災資機材取扱合同訓練(12 月 12 日、ひたちなか保健所)において、医師・保健師等を対象に、AR による表面汚染検査訓練を実施した。仮想汚染源を設定し、参加者が線量表示を確認しながらスクリーニング動線、測定手順、重点確認部位等を学習できる構成とした。

本研究は教育教材開発および機器操作性評価を目的とし、個人の医療情報取得、侵襲的介入、人体への放射線照射等を行っていない。参加者の安全に十分配慮し実施した。

C. 研究結果

1. 小中学生を対象とした公開イベントでは、直感的操作が概ね可能であり、AR 表示に対する高い興味・関心が確認された。教育教材として高い導入性が示された。
2. 利用者試験を通じ、表示安定性、画面視認性、UI 改善点等、実装上の課題を抽出できた。
3. 専門職訓練では、従来の座学では理解しにくい「測定位置により線量値が変化する」「汚染部位探索には動線が重要である」等の実践的理解が促進された。
4. 実放射線源を用いず、安全に反復訓練可能である点が高く評価された。



放射線測定 AR アプリ「ラドトレ AR」の画面キャプチャー例

D. 考察

放射線防護教育では、知識伝達のみならず、空間認知、動線設計、遮蔽位置選択など行動学習が重要である。AR は現実環境を活用しながら情報提示できるため、講義教材や通常の動画教材より実践的理解に優れると考えられる。VR (Virtual Reality) は没入感に優れる一方、現実環境との位置関係把握に制限がある。これに対し AR は、実際の病室、撮影室、処置室等をそのまま訓練環境として利用できるため、医療現場教育との親和性が高い。本研究成果は、IVR 室や CT 室における散乱線防護教育、核医学患者対応教育、災害医療時の汚染検査教育等へ展開可能であり、医療従事者の職業被ばく低減および労災予防に寄与する可能性がある。

令和 8 年度は、測定器実機に近い UI、線量応答関数、医療現場シナリオ教材等を追加し、医師・看護師等への教育効果の定量評価を進める予定である。

E. 結論

AR 技術を用いた放射線防護教育教材「ラドトレ AR」の運用試験および教育利用実証を行い、安全かつ実践的な教育ツールとして有望であることが確認された。

AR は現実空間と連動した体験学習を可能とし、医療従事者の放射線防護教育および職業被ばく低減に資する新たな教育手法となる可能性が示された。

F. 論文報告

現在、学術論文投稿に向け準備中。

G. 研究発表

1. 古場 裕介、藤瀬 大助

「拡張現実を利用した身近な物質の放射

能可視化アプリケーションの開発」

応用物理学会第 72 回春季学術大会、
2025 年 3 月

2. 平賀綾乃、平井悠大、古場裕介、眞正浄光

「拡張現実を活用した放射線遮蔽効果可視化ツール開発のための線量分布データの構築」

次世代放射線シンポジウム 2025、2025 年
8 月

3. 古場 裕介、藤瀬 大助、平井 悠大、齊藤 柚季、平賀 彩乃、眞正 浄光

「シナリオ非提示型の放射線測定訓練のための AR アプリケーションの開発」

日本保健物理学会第 58 回研究発表会、
2025 年 12 月

H. 知的所有権の取得状況

現時点で該当なし。

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

眼の水晶体の放射線防護に資する機材開発推進および被ばく低減のための多角的研究

Mixed Reality～メタバース技術を活用した放射線防護教育コンテンツの開発
研究分担者 赤羽 正章(国際医療福祉大学医学部放射線医学/成田病院・教授)

研究要旨

本研究では、複合現実(=Mixed Reality:MR)およびメタバース技術を活用して、医療現場における放射線防護教育の推進をはかることを目的に、血管造影室での放射線被ばく低減に向けた学習コンテンツとその有効性の評価方法の開発を目指した。令和 6 年度(2024 年度)は、MR ゴーグルで散乱線の空間線量分布の実測値を可視化するコンテンツを作成し、医師・看護師・診療放射線技師・臨床工学技士を対象に、学習効果を従来の紙資料と比較した。結果、看護師や若手医師において散乱線の分布に対する理解が向上したことが示された。令和 7 年度(2025 年度)はこの学習環境を多様な施設へ展開することを目差し、メタバース空間へ展開する準備を進めた。利用者はアバターでメタバース空間内を移動し、C アームの回転に伴う線量分布の変化を多角的に観察できる。また、不正解時に再学習空間へ転送されるクイズ形式の設問も体験できる。これらは、PC や VR ゴーグルなど多岐にわたるデバイスからアクセス可能であることを確認した。本システムは、施設や職種の垣根を超えて展開可能な、強力な放射線防護教育ツールになりうると期待される。

主な研究協力者：

吉岡直紀 (国際医療福祉大学成田病院放射線技術部)

石田浩之 (国際医療福祉大学成田病院放射線技術部)

A. はじめに

2011 年 4 月に国際放射線防護委員会 (ICRP) が発表したソウル声明では、水晶体のしきい線量が従来考えられていたよりも低いこと、職業被ばくについて水晶体の等価線量限度を 5 年間の平均で 20mSv/年かつ年間最大 50mSv まで引き下げること、が述べられている。これを受けて、2012 年には ICRP Publication 118 が発行され、国際原子力機関や欧州連合の新しい安全基準にも、新たな水晶体等価線量限度が盛り込まれる流れとなっている。我が国においても新たな水晶体等価線量限度が法令へ取り入れられ、令和 3 年 4 月より施行されており、特に水晶体等価線量の高さが懸念される X 線透視を用いた治療手技の術者について、最適化の推進が期待されている。

それらを踏まえ、本研究は、水晶体防護の必要性や方法に関する教育不足の改善をめざし、また同時に、X 線透視手技中の防護に必要な適切な知識の取得に加えて、実践できる力や実践する意欲を高めることを目指す。

近年、仮想現実(Virtual Reality : VR) や複合現実 (Mixed Reality : MR) に関する技術の発展が目覚ましく、教育の効果を高める手段として注目されているが、本研究は、これらの活用により、意欲と学習効果の向上を期するものである。

3 年間にわたる本研究で、初年度である前年度においては、単一施設/多職種で教育の実践と評価、多職種対象検討を行った。今年度は、最終年度の評価実験実施へ向けて、他施設からもアクセスできる環境の構築を目指した。具体的には、学習効果を高めるための体験内容向上やクイズ形式を取り入れたアプリケーションをメタバース空間上に展開したので、これを報告する。

B. 方法

1. メタバース

メタバースとは、近年、VR/MR の一環として注目されている技術の一つである。これは、インターネット上に構築された三次元の仮想空間の中で、複数の人が同時に参加し、同じ空間を共有しながら活動できる仕組みである。利用者は自分の分身 (アバター) を通じて空間内を移動し、他者と同時に同じ対象を見ることができる。

このメタバースについては、世界規模で複数の企業が参入し、メタバースプラットフォームを無償で提供しているが、本研究では、そのうちの 1 つである Spatial (www.spatial.io) を用いた。Spatial は、一般的なパーソナルコンピュータのみならず、タブレットやスマートフォン、VR ゴーグルなど多岐にわたるデバイスから利用可能な仮想空間サービスである (パーソナルコンピュータからは一般的なブラウザのみでアクセス可、それ以外のデバイスからは、初回に Spatial 社の提供する無償アプリケーションをインストールする必要あり)。作成したアプリケーションを一度メタバース空間にアップロードできたならば、利用者は各自のデバイスで、インターネットを介して、そのコンテンツに参加・体験することが可能となる。

2. アプリケーション作成

本研究の初年度において我々は、C アーム 9 方向について散乱線の空間線量分布を実測し、この実測値を MR ゴーグルで可視化するアプリケーションを作成した。これは、血管造影室で業務に携わることのある医療従事者が、その血管造影室内で MR ゴーグルを装着し、実際の映像に重ね合わせて、空間線量分布を示す 3 次元的メッシュの仮想表示を観察するも

のである。

今回、メタバース上に展開するコンテンツについては、それらの3次元メッシュと同じものを用い、あらたに、血管造影室のCアーム装置を模したモデルを作成し、利用者の操作で、メタバース空間内でCアームが一定の回転を示すようにした。

また、初年度においては、MRゴーグル体験者が、体験前後に回答する、散乱線の空間線量分布に対する設問を用意したが、今回は、それと同等の内容を、メタバース空間上に、クイズ形式にして展開することとした。具体的には、メタバース空間内で、アバターが、各選択肢に対応した経路をすすむことし、不正解であれば、解答解説を示す空間で再学習して帰還する構造とした。

以上のコンテンツを、ゲームエンジン Unity 2021.3.1f1(Unity Technologies、San Francisco, CA)を使用して1つのアプリケーションとして統合し、Spatial上にアップロードした。

作成したコンテンツを、インターネット環境下で、パーソナルコンピュータ、スマートフォン、VR/MR ゴーグル Meta Quest3 (Meta、Menlo Park、CA)の各デバイスを用いて体験した。

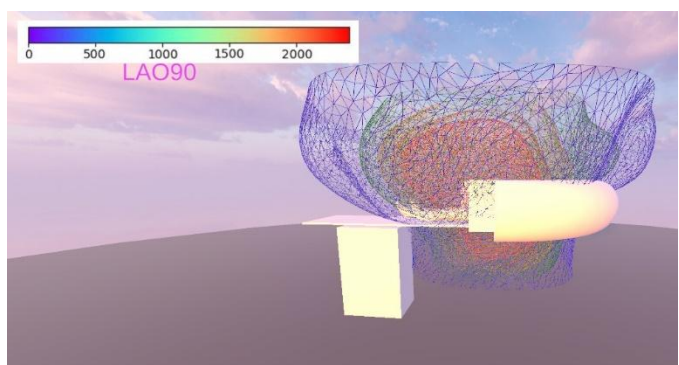
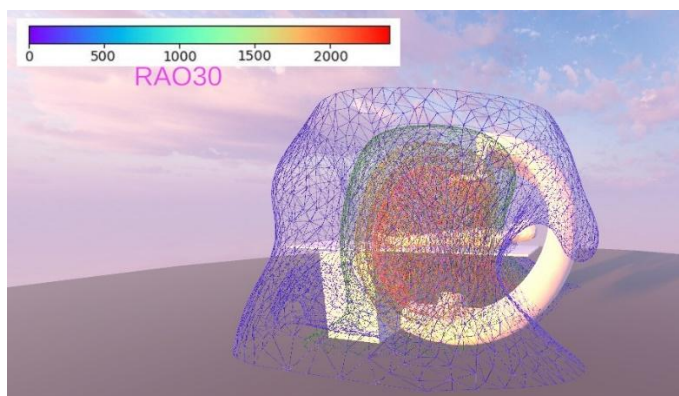
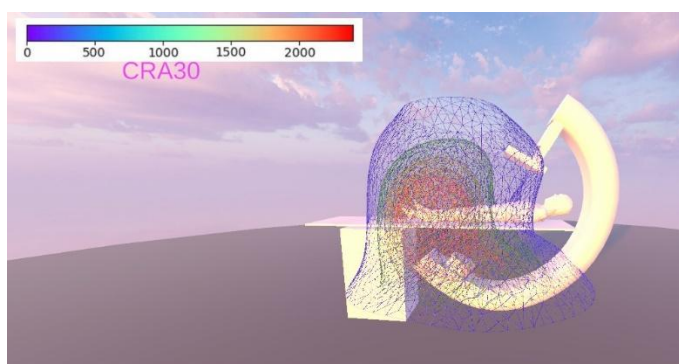
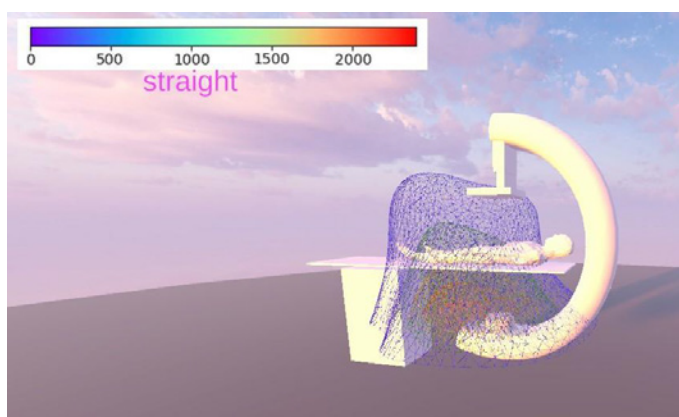


C. 結果

1. 散乱線空間線量分布の可視化

パーソナルコンピュータ、タブレット、スマートフォン、VR ゴーグルいずれもデバイスからも、メタバース空間上のコンテンツにアクセス可能で、散乱線の空間線量分布

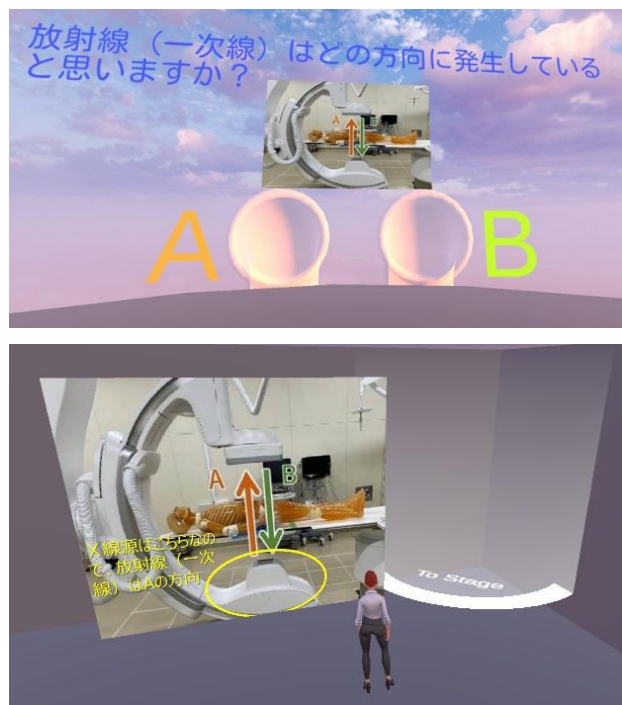
を可視化できた。



パーソナルコンピュータからアクセスしたメタバース空間画面:Cアームの角度は、上段から straight、CRA30°、RAO30°、LAO90°。

2. クイズ形式設問

メタバース空間内に、線量分布表示と同時にクイズ形式の設問を設置できた。



上段：用意した設問。

下段：不正解の経路を選択した場合（この設問では不正解はB）、アバターは解答提示空間に転送されて再学習を行う。

D. 考察と結語

メタバース空間上で、血管造影室における散乱線の空間線量分布の可視化し、同時に、クイズ形式の体験学習内容を展開することができた。このメタバース空間は、インターネット環境下であれば、パーソナルコンピュータ、タブレット、スマートフォン、VRゴーグル、いずれのデバイスでもアクセス可能である。また、コンテンツの更新については、メタバース空間上のアプリケーションを更新するだけで完了し、全ユーザーに対する再配布を必要としない。これにより、特殊な環境を必要としなくなり、多様な環境の施設で利用可能な学習環境へと汎用性を高めるこ

とができた。

今後へ向けて、デバイス性能や通信速度による違いの検討、設問形式の検討を進めている。加えて、実測データを補完して、実測した9方向以外の方向にも対応できないか、シミュレーションの検討を進めている。更に、実空間の人体模型を操作してメタバース空間の人体モデルに反映させることで、実臨床手技の予行演習に利用可能な環境構築を目指す下準備も始めている。MRやメタバースは、放射線防護の教育や臨床に活用しうる大きな可能性を有する。

以上、昨年度の教育環境をメタバース空間上に展開し、最終年度の評価実験実施へ向けて、多様な施設からアクセスできる環境を構築した。

E. 論文報告

該当なし

F. 研究発表

該当なし

G. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

気管支内視鏡検査に従事する術者のための
ヘッドセット型水晶体防護具の開発

研究代表者 千田 浩一(東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授)

研究要旨

近年、X 線透視を併用した低侵襲手技の普及に伴い、医療従事者の職業被ばくが重要な課題となっている。特に気管支内視鏡検査では、診断および治療精度向上のために透視が用いられることが多く、術者は散乱線による水晶体被ばくを受ける可能性がある。国際放射線防護委員会(ICRP)は水晶体等価線量限度を「5 年間平均 20 mSv/年(単年最大 50 mSv)」へ引き下げており、透視下手技に従事する医師に対する防護対策の重要性は一層高まっている。

しかしながら、気管支内視鏡検査においては、インターベンショナルラジオロジー(IVR)で一般的に用いられる天井懸垂型防護板の設置が困難であり、また従来の防護眼鏡には曇りや重量による不快感、十分な遮蔽性能の不足といった課題が存在する。このため、実臨床において十分な水晶体防護が実施されていない可能性が指摘されている。

本研究では、気管支内視鏡検査に従事する術者の水晶体被ばく低減を目的として、ヘッドセット型水晶体防護具を新たに開発し、その防護性能をファントム実験により評価した。本防護具は、左前頭側に 0.175 mmPb 当量の鉛シートを配置し、ヘッドセット機構により固定する構造とした。人体ファントムを用いて、透視下手技を伴う気管支内視鏡検査を模擬し、頭部 13 箇所 の線量および遮蔽効果を評価した。

その結果、左眼部において全角度で 80%以上の線量低減効果を示した。鉛シート単体の遮蔽効果は 74.6~91.3%であり、0.175 mmPb は防護性能と装着性のバランスに優れた条件であることが示された。本防護具は従来の防護眼鏡と比較して高い防護効果を有するとともに、曇りや視野制限といった問題を軽減する構造であり、臨床現場における実装可能性の高い防護手段であると考えられた。今後は臨床環境下での検証を行い、気管支内視鏡検査における水晶体被ばく低減戦略の確立に寄与することが期待される。

主な研究協力者:芳賀 喜裕(仙台厚生病院 副技師長)

A. 研究目的

近年、X線透視を用いた低侵襲治療の発展に伴い、手技の複雑化および長時間化が進行している。その結果、術者および医療従事者の職業被ばくが増加しており、放射線防護は臨床現場における重要な課題となっている。特に水晶体は放射線感受性が高く、比較的低線量で白内障を発症する可能性が指摘されていることから、適切な防護対策の実施が求められている。

気管支内視鏡検査においては、透視を併用することで病変部への正確なアプローチや合併症の低減が可能となる一方、術者は患者からの散乱線により持続的な被ばくを受ける。気管支内視鏡に従事する医師の中には年間水晶体線量が20 mSvを超える例も報告されており、現行の防護対策が十分とは言えない状況が示唆されている。

一般的なInterventional Radiology (IVR) 領域では、天井懸垂型防護板や防護カーテンなどの物理的遮蔽が有効とされているが、気管支内視鏡検査では装置配置や術野確保の制約によりこれらの使用が困難な場合が多い。また、防護眼鏡は広く使用されているものの、曇りや重量、視野制限などにより長時間の使用が困難であり、十分な防護効果が得られていない可能性がある。

以上の背景を踏まえ、本研究では、気管支内視鏡検査に適した新たな水晶体防護具を開発し、その防護性能を定量的に評価することを目的とした。

B. 研究方法

本研究では、新規に開発したヘッドセット型水晶体防護具の防護性能を評価するため、ファントム実験を実施した。

防護具は、0.175 mmPb当量の鉛シートを左前頭側に配置し、ヘッドセット機構によ

り頭部へ固定する構造とした (Fig. 1)。重量は約310 gであり、長時間使用における装着性と安定性を考慮した設計とした。先行研究において左眼の被ばくが高いことが報告されているため、非対称構造とし左側重点の遮蔽を行った。

実験にはX線透視装置 (PlessartZERO DREX-PZ10, キヤノンメディカルシステムズ) を用い、体幹ファントム (PBU-50, 京都科学) を患者、頭部ファントム (PBU-60, 京都科学) を術者と見立てた。頭部ファントムは照射中心から70 cmの位置に配置し、高さは床上160 cmとした。術者の姿勢を模擬するため、頭部の回旋角度を30°、45°、60°、90°に設定した。

散乱線線量の測定には蛍光ガラス線量計 (GDM-352, 千代田テクノル) を用い、頭部13箇所に配置した (Fig. 2)。防護具装着時および非装着時の線量を測定し、線量低減率を算出した。また、鉛シートの内外における線量を測定し、遮蔽効果の評価を行った。



Fig. 1 ヘッドセット型防護具の装着図

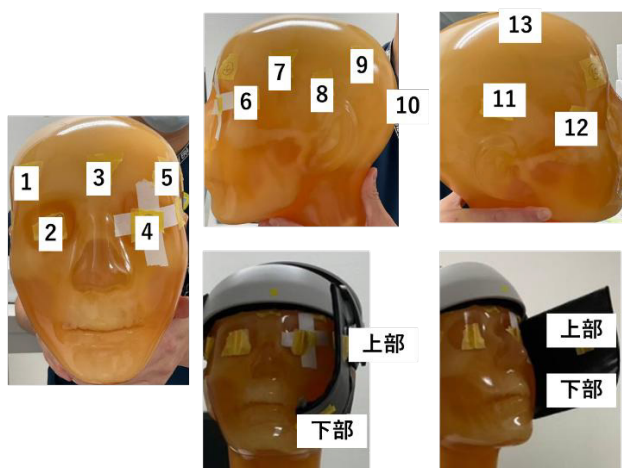


Fig. 2 線量計の配置

C. 研究結果

防護具非装着時においては、すべての条件で左眼部の線量が右眼部より高値を示した。最大線量は 30° 時の左眼部で 62.0 μ Gy であった。

防護具装着により、左眼部では全角度において 80%以上の線量低減効果が得られ、最大 87.7%の低減が確認された。一方、右眼部においては 40～75%程度の低減効果であった。

鉛シート単体の遮蔽効果は 74.6～91.3%であり、全条件において有意な線量低減が認められた。

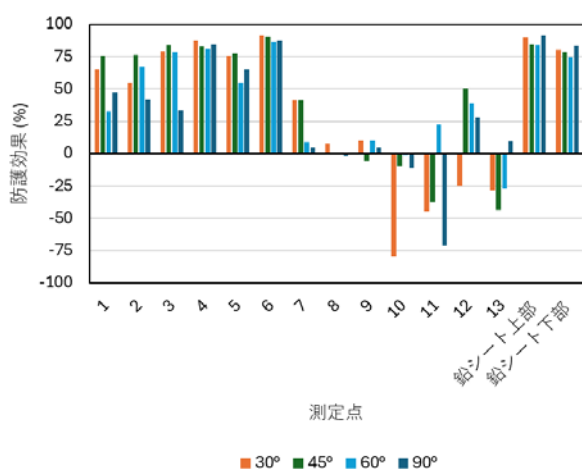


Fig. 3 測定位置ごとの遮蔽効果

D. 考察

本研究により、ヘッドセット型水晶体防護具は気管支内視鏡検査における術者の水晶体被ばくを大幅に低減可能であることが示された。特に左眼において 80%以上の防護効果が得られたことは、臨床的に極めて重要な知見である。

従来の防護手段として広く用いられている防護眼鏡は、一般に 50～70%程度の防護効果にとどまると報告されている。また、防護カーテンや天井懸垂型防護板は高い防護効果を有するものの、気管支内視鏡検査では装置配置や術野確保の観点から使用が制限される場合が多い。これに対し、本防護具は術者の頭部に直接装着する構造であり、環境条件に依存せず安定した防護効果を発揮できる点で優れている。

さらに、本防護具は非対称構造とし、被ばくの大きい左側に重点的に遮蔽を行う設計とした。これは、術者が透視画像を確認する際に右側を向く姿勢をとることが多く、左眼への散乱線入射が増加するという臨床実態に基づくものである。このような実使用環境を考慮した設計は、防護効率の向上と装着性の両立に寄与している。

また、本防護具は従来の防護眼鏡における曇りや視野制限といった問題を回避しつつ、重量をヘッドセットにより分散することで長時間使用時の負担軽減を実現している。この点は、防護具の「使用されやすさ」という観点からも重要であり、実際の臨床現場への導入において大きな利点となる。

一方で、本研究にはいくつかの限界がある。まず、本研究はファントム実験であり、実際の臨床環境における防護効果を直接的に示すものではない。また、施設ごとの装置配置や術者の立ち位置によって被ばく分布は変化する可能性がある。さらに、本研究で

は左側重点の設計としたが、施設によっては右眼の被ばくが優位となる可能性もある。

今後は、実臨床における線量測定を通じて本防護具の有効性を検証するとともに、左右交換可能な構造や軽量化設計の検討を進める必要がある。また、本防護具は IVR など他の透視下手技への応用も期待されることから、適用範囲の拡大に関する検討も重要である。

E. 結論

本研究では、気管支内視鏡検査に従事する術者の水晶体被ばく低減を目的としてヘッドセット型防護具を開発し、その防護性能を評価した。その結果、特に左眼において80%以上の高い線量低減効果が確認された。

本防護具は、防護性能と装着性を両立した実用的な放射線防護手段であり、気管支内視鏡検査をはじめとする透視下手技における水晶体被ばく低減に寄与することが期待される。

F. 論文報告

Fujisawa M, Haga Y, Takahira S, et al. Development of a headgear-based eye protection device for physicians performing fluoroscopy-guided bronchoscopy. J Radiat Res. 2025;66(4):372-384. doi:10.1093/jrr/rraf031

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

視力矯正者用 X 線防護眼鏡の防護性能評価

研究代表者 千田 浩一(東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授)

研究要旨

情報化社会の進展に伴いデジタル機器使用時間が増加し、眼への負担が問題となっている。放射線業務従事者においても視力矯正眼鏡を使用する例は多いが、矯正眼鏡装用者を対象とした X 線防護眼鏡の性能評価は十分に行われていない。本研究では、矯正眼鏡の上から装着可能なオーバーグラスタイプ防護眼鏡の防護性能をファントム実験により評価した。

0.07 mm 鉛等量のオーバーグラスタイプ防護眼鏡をプラスチック製矯正眼鏡の上から装着し、頭部ファントムを用いて正面下方および左斜め下方から X 線を照射した。その結果、IVR で想定される左斜め下方からの照射に対して 70%以上の高い防護効果を示した。

本研究で使用したオーバーグラスタイプは、テンプルやノーズパッドの角度が調節可能で、矯正眼鏡着用時においても頭部へのフィット感が良好であった。また、レンズ下部が湾曲していることから、頭部とレンズとの隙間が小さくなっていた。これらの要因が、高い防護効果に寄与したと考えられる。

現在は、サイドシールドのみを備えたモデルや、頭部形状に沿ってレンズが湾曲したラップアラウンド型が主流であるため、このような下部遮蔽を備えたレンズを開発することで、防護効果の更なる向上が期待される。

A. 研究目的

情報化社会の進展に伴うデジタル機器使用時間の増加により、眼に掛かる負担が大きくなっている。放射線業務従事者においても、ディスプレイを見ながら作業することが多いため、視力矯正眼鏡を着用している例は多いと推察される。しかし、矯正眼鏡を着用する者向けのX線防護眼鏡の性能評価は十分に行われてこなかった。

そこで、本研究では、ファントム実験で、矯正眼鏡の上に重ねて装着できるオーバーグラスタイプ防護眼鏡の防護性能を評価した。

B. 研究方法

本研究では 0.07 mm 鉛等量のオーバーグラスタイプ防護眼鏡（パノラマシールド HF-480S、東レ、東京）を使用した。この防護眼鏡は矯正眼鏡の上に着用するために、通常の防護眼鏡と比較して、フレームとレンズが大きく設計されている。インターベンショナルラジオロジー（Interventional radiology: IVR）では、側方や下方から散乱 X 線が入射すると知られている。そのため、それらを効果的に遮蔽するためにレンズの側面と下部が湾曲している。さらに、テンプルの角度は 4 段階で調節可能で、ノーズパッドの幅も調整可能である。

以上のような設計により、矯正眼鏡の上に着用しても、頭部へのフィット感が良好で、X 線透視手技中に良好な水晶体防護効果が得られることが期待される。

本研究では、実際の着用状況を想定し、プラスチック製の矯正眼鏡（sun-4848、EXAS、東京、日本）の上にオーバーグラスタイプを重ねて装着した。頭部ファントム（PBU-60、京都科学、京都）へのフィット感は良好で、矯正眼鏡の上から着用しても、防護眼鏡のレンズ下部の隙間が広がることはなかった。

頭部ファントムを天板上に設置し、正面下方と左斜め下方（斜方）から X 線を照射して、防護性能を評価した（図 1）。正面下方照射では鉛直方向の角度 θ_1 を 0° から 60° まで変化させ、斜方照射では θ_1 を 45° とし、水平方向の角度 θ_2 を 0° から 60° まで変化させた。X 線照射条件は、管電流 1 mA、管電圧 65 kV、照射野サイズ $27.5 \times 27.5 \text{ cm}^2$ 、線源表面間距離 90 cm、透視時間 60 sec とした。

線量測定には蛍光ガラス線量計（GD-352M、千代田テクノル、東京）を用いた。正面下方照射では、防護眼鏡の左レンズの表側と頭部ファントムの左眼窩中心に貼付した。一方、斜方照射では、上記の二箇所に加えて、右レンズの表側と右眼窩中心にも貼付した。そして、レンズ表側で測定した線量と眼の表面で測定した線量の比を 1 から減じ、それに 100 を乗ずることで、防護率 [%] を算出した。防護率は各条件で 4 回測定し、平均をとった。

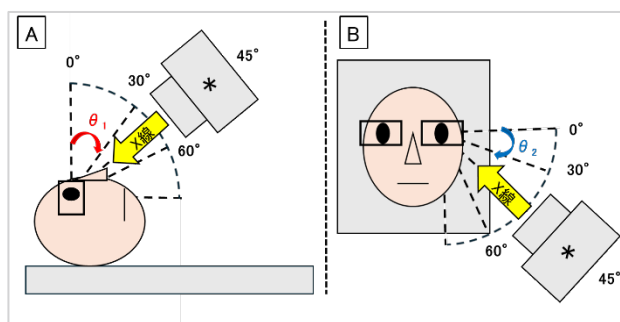


図 1 ファントム実験の配置図（A: 正面下方照射、B: 斜方照射）。斜方照射では θ_1 を 45° とした。

C. 研究結果

実験結果を図 3～5 に示す。図中の誤差バーは標準偏差を示している。本ファントム実験では IVR で想定される左斜め下からの X 線に対して、70%以上の高い防護効果を示した。しかし、正面下方 60° からの照射時に防護率が 64%と、他の照射角度と比較して

低い値となった。したがって、患者の様子を確認するために、頭部が散乱線発生源側を向く場合は、防護率の低下に注意する必要がある。

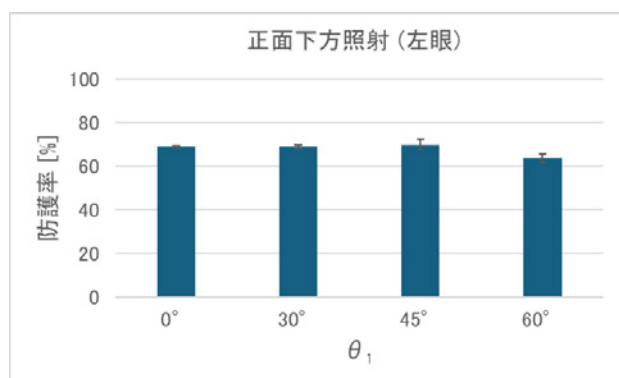


図 3 正面下方照射時の左眼の防護率

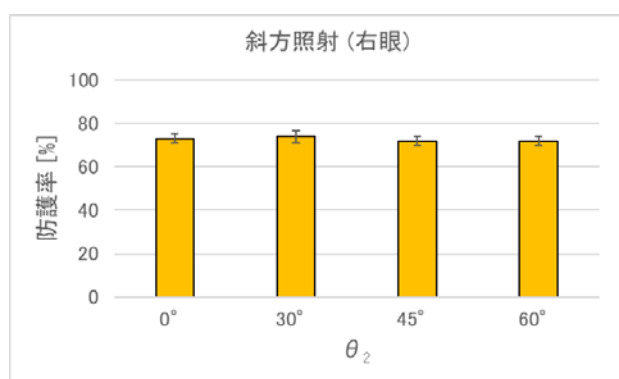


図 4 斜方照射時の左眼の防護率

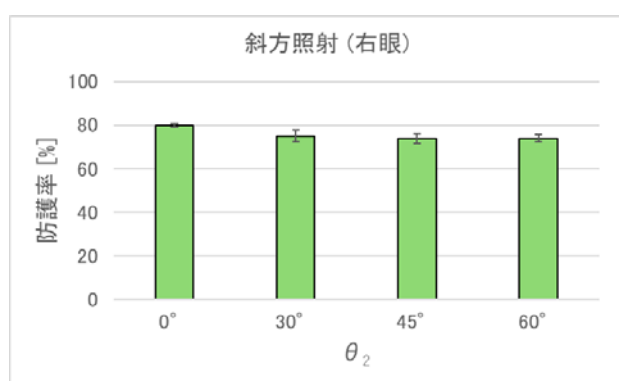


図 5 斜方照射時の右眼の防護率

D. 考察

本研究は、矯正眼鏡の上にオーバーグラスタイプを着用し、防護性能を評価した点

に新規性を有する。先行研究では、サイドシールドのみを備えたオーバーグラスタイプの性能評価を、矯正眼鏡着用時に想定される分の隙間を空けて実施していた。その結果、防護率が著しく低下した。

しかし、本研究では、オーバーグラスタイプの防護率は左斜め下からの X 線に対して 70%以上の高い防護効果を示した。その理由として、レンズ下部の湾曲した構造や調節可能な柄や鼻当てにより、矯正眼鏡着用時でも、防護眼鏡が頭部にフィットし、下部に大きな隙間が生じなかったことが考えられる。

オーバーグラスタイプは矯正眼鏡とのフィット感が悪いとレンズが前方に突出し、下部に X 線が直接目に入射するような隙間が空くことが想定される。したがって、本研究で用いたような下方からの X 線を遮蔽できる構造を備えたものが効果的であると考えられる。

本研究の限界点としては、直接線を用いたため、今後は臨床を想定し、散乱線を用いた検討も実施する予定である。また、本研究で下部が湾曲したレンズの有効性が示唆されたため、今後定量的な評価を実施し、防護効果向上に資する知見を蓄積していく。

E. 結論

本研究では、視力矯正者用の防護具の一つであるオーバーグラスタイプ防護眼鏡の性能を評価した。本研究で用いたオーバーグラスは、IVR で想定される左斜め下からの X 線に対して、70%以上の高い防護効果を示した。この結果から、オーバーグラスタイプにおけるレンズ下部が湾曲した構造の有効性が示唆された。現在は、サイドシールドのみを備えたものや頭部形状に沿ったラップアラウンド型が主流であるため、今後、この

ような下部遮蔽を備えたレンズを開発することで、防護効果の更なる向上が期待される。

F. 論文報告

Shindo R, Yamamoto K, Ohno S, et al. Evaluation of radiation protection by lead glasses for interventional radiology physicians wearing prescription glasses: considering dose reduction by prescription glasses excluding lead. *J Radiat Res.* 2025;66(5):486-495. doi:10.1093/jrr/rraf047

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

**令和 7 年度（2025 年度）労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書**

**医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究
（項目：E 被ばく低減対策の技術的検討）**

脳血管撮影における術者の被ばく防護の不備を探索する新たな手法の開発

研究分担者：盛武 敬（量子科学技術研究開発機構（QST）／放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・部長）

主な研究協力者：人見 剛（川崎医科大学附属病院 診療放射線技師）

研究要旨

脳血管撮影における術者の被ばく線量は高く、術者は鉛防護衣や鉛甲状腺カラー、鉛防護メガネ等の個人防護具の装着と共に、天井吊り下げ型放射線防護シールド（Ceiling suspended radiation protective shield: CSRPS）や検査台取り付け型放射線防護カーテン（Couch-mounted radiation protective curtain: CMRPC）等の放射線防護装備を併用して放射線防護を行う。

近年、放射線防護の意識が高まり、放射線防護装備や防護具の普及が進んでいるが、放射線防護装備は状況に合わせて挿入位置を操作して放射線防護を行う必要があり [1]、これらの装備を適切に使用しているかを客観的に評価する必要がある。

そこで、日本の大学病院において、2024 年 1 月から 4 月の間に診断脳血管撮影 12 症例に従事した医師 8 名を対象として、リアルタイム個人線量計を術者の甲状腺防護頸部カラー前面左側と放射線防護衣胸部前面左側の 2 ヶ所に装着して、術者の放射線防護具の使用状況や立ち位置により変化する被ばく線量を測定した。同時に検査室内 2 ヶ所に設置した手術室内モニタリングカメラ記録動画および術者用血管撮影装置メインモニタに表示される被ばく関連情報の 3 つを時刻同期して解析することで、術者が改善すべき放射線防護上の問題点を抽出することが可能かどうかを検証した。

本研究により、CSRPS を適切に使用すると、術者の被ばく線量は約 70% の低減が見込め、また、大腿動脈穿刺から大動脈弓部にカテーテルを進めるまでの積算線量が総積算線量の約 50% を占めていたことが示され、いずれも脳血管撮影の際の効果的な術者被ばく低減介入ポイントであることが明らかとなった。

本解析手法により、診断脳血管撮影における術者被ばくの現状と、これまで気づかれなかった放射線防護装備の使用手法の不具合の指摘およびその改善方法も明瞭に提示できることが明らかになり、術者の被ばく防護教育ツールとしての活用可能性が示された。

で施術しているのかを識別し、RaySafe i3 を用いて立ち位置別に防護具外側線量を算出した。

2. 術者の防護具外側線量率に影響を及ぼす要因の解析

12 症例分の術者の防護具外側線量率データを解析した。場面ごとに CSRPS や CMRPC などの放射線防護装備の使用状況と術者の立ち位置を手術室内モニタリング動画から判定し、これに術者用メインモニタ画面映像から抽出した被ばく関連パラメータ情報を加味して防護具外側線量率を解析した。さらに CSRPS の適切使用の指標として、頸部／胸部防護具外側線量率比を次式 (1) により算出した。

頸部／胸部防護具外側線量率比
= 頸部防護具外側線量率 (mSv/h)
／ 胸部防護具外側線量率 (mSv/h)……………(1)

統計解析には EZR version 1.55 [35] を使用した。防護具外側線量率の差の検定は Mann-Whitny's U 検定を用いて行い、 $P < 0.05$ を有意差有りと判定した。

C. 結果

1. 術者の防護具外側線量の解析

表 1 に脳診断脳血管撮影 1 症例あたりの術者防護具外側線量を示す。

全 12 症例について解析を行ったところ、大腿動脈穿刺から大動脈弓部にカテーテルを進めるまで (CSRPS 導入前) の防護具外側線量の中央値は、頸部 23.89 μ Sv, 胸部 45.60 μ Sv となり、全過程の防護具外側線量中央値である頸部 49.23 μ Sv, 胸部 95.49 μ Sv のおよそ半分にまで達していることが明らかになった (表 1)。図 2 に RaySafe i3 線量計を用いて測定された頸部防護具外側線量解析の一例を示す。

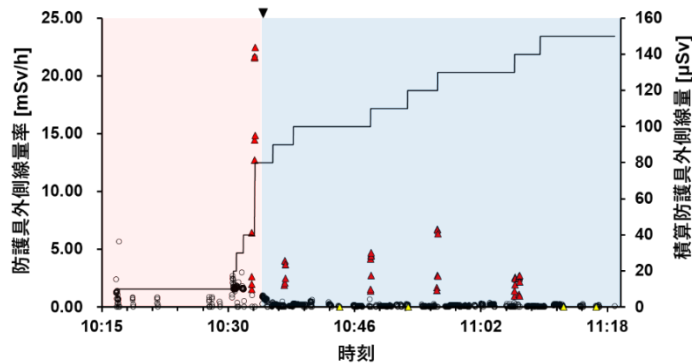


図 2 診断脳血管撮影による術者被ばく線量解析の一例。実線は積算防護具外側線量 [μ Sv], $\bigcirc$ は透視時の防護具外側線量率 [μ Sv/h], 赤 $\blacktriangle$ は撮影剤の手動注入で撮影した時の防護具外側線量率 [μ Sv/h], 黄色 $\blacktriangle$ は撮影剤の自動注入で撮影した時の防護具外側線量率 [μ Sv/h]. $\blacktriangledown$ は天井吊り下げ型放射線防護シールド (CSRPS)の導入タイミング。

(出典: Hitomi et al., 2025, *Applied Sciences* 日本語に翻訳、一部改変 (CC BY 4.0))

表 1. 脳診断脳血管撮影 1 症例あたりの術者防護具外側線量*

症例	検査	術者	術者の	CSRPS 導入前	全過程
----	----	----	-----	-----------	-----

No.	手技		資格	頸部 (μSv)		胸部 (μSv)	
				頸部 (μSv)	胸部 (μSv)	頸部 (μSv)	胸部 (μSv)
1	術後 診断 撮影	B	専門医	3.96	4.30	7.63	7.53
		E	研修医	19.25	34.88	29.31	47.34
2	術前 診断 撮影	C	専門医	14.78	39.45	29.05	144.36
		F	研修医	84.03	140.57	148.98	175.36
3	診断 撮影	A	専門医	9.93	16.26	33.55	58.46
		G	研修医	18.76	55.06	49.35	96.21
4	術前 診断 撮影	C	専門医	24.83	35.21	85.28	106.25
		E	研修医	94.90	97.01	164.88	279.50
5	術前 診断 撮影	A	専門医	71.47	167.40	89.02	198.85
		G	研修医	31.71	42.24	58.94	94.76
6	術前 診断 撮影	A	専門医	11.28	17.96	21.00	32.87
		E	研修医	38.22	81.75	49.10	121.77
7	術前 診断 撮影	B	専門医	36.23	51.17	60.95	69.47
		D	研修医	47.40	89.06	73.15	205.34
8	術前 診断 撮影	D	研修医	62.95	85.35	72.93	96.82
		F	研修医	19.87	73.62	43.74	105.20
9	術前 診断 撮影	A	専門医	20.27	21.96	31.64	35.76
		F	研修医	77.57	145.54	102.22	199.34
10	術前 診断 撮影	C	専門医	5.64	3.38	10.80	7.28
		H	研修医	24.82	46.45	39.06	68.08
11	術後 診断 撮影	B	専門医	2.94	4.11	17.80	58.75
		H	研修医	22.96	44.74	47.09	70.67
12	術後 診断 撮影	A	専門医	15.58	17.53	75.44	85.34
		F	研修医	46.72	121.59	62.60	149.10
mean ± SD				33.59±26.64	59.86±47.33	58.48±39.39	104.77±68.55
median [IQR]				23.89 [15.38–46.89]	45.60 [20.96–86.28]	49.23 [31.06–73.72]	95.49 [58.68–145.55]
range				2.94–94.90	3.38–167.40	7.63–164.88	7.28–279.50
P-value (Mann Whitney's U-test)				P=0.053		P<0.01	

* 放射線防護衣や放射線防護頸部カラーの外側の線量

IQR: interquartile range (四分位範囲)

(出典: Hitomi et al., 2025, *Applied Sciences* 日本語に翻訳、一部改変 (CC BY 4.0))

2. CSRPS の設置状況が術者の防護具外側線量率に及ぼす影響

CSRPS の使用状況が適切か不適切か

で比較を行ったところ、CSRPS が適切に使用された場合の頸部防護具外側線

量率は不適切な場合と比べて 有意 (P < 0.01) に低く、中央値で 70% (1 - 0.65/2.20 = 0.70) の低減を見せた が、胸部の防護具外側線量率には両者に 有意な差は認められなかった (P = 0.917) (表 2)

表 2. CSRPS の設置状況が術者防護具外側線量率に及ぼす影響

RaySafei3 設置部位	CSRPS 設置状況	No. of scenes	術者防護具外側線量率 (mSv/h)		P-value (Mann-Whitney U test)
			Median [IQR]	Range	
頸部	適切	4	0.65 [0.53–0.79]	0.48–0.87	P < 0.01
	不適切	39	2.20 [1.54–2.88]	0.41–4.69	
胸部	適切	4	2.05 [1.60–2.54]	1.45–2.80	P = 0.917
	不適切	39	2.04 [1.49–2.66]	0.70–5.08	

IQR: interquartile range (四分位範囲)

(出典: Hitomi et al., 2025, *Applied Sciences* 日本語に翻訳、一部改変 (CC BY 4.0))

CSRPS が適切に使用された場合の頸部／胸部防護具外側線量率比は 0.32 ± 0.05 (mean ± SD), CSRPS が不適切に使用された場合は 1.25 ± 0.76 (mean ± SD) となり、統計学的有意差 (P < 0.01) を認めた (図 3).

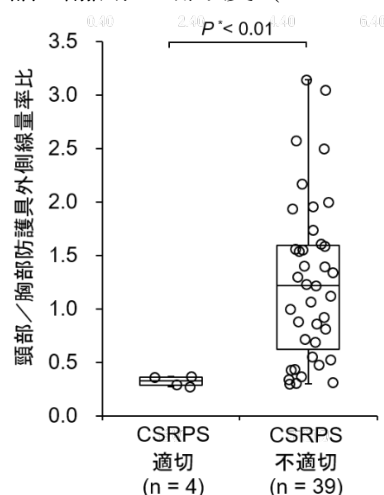


図 3 CSRPS の設置状況と術者頸部／胸部防護具外側線量率比.

*Mann-Whitney U test

出典: Hitomi et al., 2025, *Applied Sciences*
掲載論文より図を日本語に改変(CC BY 4.0).

3. 臨床での典型的な場面の解析

本研究で明らかとなった診断脳血管撮影で注意すべき放射線防護装備の使い方を表 3 に示す.

表 3. 脳血管撮影における放射線防護装備使用に関する 4 つの実践的ポイント

- 1 CSRPS を散乱線源と術者眼との間に確実にセットすること
- 2 可能な限り CSRPS を術者に近づけること
- 3 CSRPS の下縁と患者の体幹との間に隙間ができないように密着させること
- 4 CMRPC を散乱線源と術者下半身との間に確実にセットすること

(出典: Hitomi et al., 2025, *Applied Sciences* 日本語に翻訳、一部改変 (CC BY 4.0))

D. 考察

アクティブ型個人線量計のみを使用 線量表示用モニタを注視して、放射線防護行動を即座に修正対応する必要がある。このため血管撮影業務に集中し、線

量表示用モニタに注意が向いていない場合、被ばく低減に効果が得られないことが報告されている[2].

本研究は、術後に、アクティブ型個人線量計データ、手術室内モニタリングカメラ動画および血管撮影装置メインモニタに表示される被ばく関連情報の3つを、時刻を揃えて解析を行い、これまで気付かれることがなかった放射線防護装備の誤った使用状況を発見し、問題事例を画像で提示できることから、その改善方法を的確に説明することができる特徴を持つ。

本解析方法により、CSRPSの不適切な使用を改めることで頸部防護具外側線量率は中央値 2.20 mSv/h から 0.65 mSv/h へと70%の低減が可能(表2)であることが示されたことから、CSRPSの適切な使用を積極的に促せば術者の水晶体等価線量の低減は可能であると考える。さらに、本研究での新たな発見として、主たる検査目的である総頸動脈や椎骨動脈にカテーテルが到達する前の透視や撮影(大腿動脈撮影)により、防護具外側線量がすでに全体のおよそ半分にまで到達していることが明らかとなった(表1)。術者水晶体等価線量低減のための積極的介入ポイントが発見できたことは、本研究の最も大きな成果の1つである。今後は大腿動脈撮影を可能な限り透視保存機能の使用に切り替えることが必要である。また、CSRPSは大腿動脈穿刺後なるべく早い段階で適

切な部位に設置するための工夫を施すべきであり、さらに患者ドレープの下に隠れて目視で確認できないCMRPCも、患者のドレーピング前に術者の下半身をしっかりと覆うことができる部位に設置を完了しておくべきである。

臨床解析により、明らかとなった脳診断血管撮影で注意すべき放射線防護装備の使い方(表3)の評価は、アクティブ型線量計と動画の組み合わせで判定可能であることが明らかにされたが、より簡単に判定する方法として、我々は新たに頸部/胸部防護具外側線量率比に着目した。適切な使い方が実践できている場合 0.32 ± 0.05 ($n = 4$, mean $\pm$ SD)であったが、適切でない場合は 1.25 ± 0.76 ($n = 39$, mean $\pm$ SD) となり、この比の値が大きくなる傾向があることを見出した。しかし、術者の胸部防護具外側線量はCSRPSと患者との隙間の大きさやCSRPSと術者との距離、検査台の高さ、術者の身長などが複合して関係しており、今後、この比の値を放射線防護装備の適切な使用状況の判定に用いることができるかどうかは、さらに多くの症例での検証が必要である。

本研究手法では、臨床モニタ画像を用いた解析により一目瞭然に術者の放射線防護行動の問題点を示すことができ、これまで座学で学んで来た放射線防護知識を、臨床で生かすための実践的な放射線防護教育教材と成り得る。

今後、さらに本研究を術者の被ばく防

護教育ツールとして活用するためには、高線量率被ばく瞬間の場面を切り取るだけで無く、被ばく増加につながる一連の動作を捉える必要があると考える。そこで、現在、術者被ばく線量データと関連する動画情報を、時刻同期して一元画像表示を行うソフトウェアの開発を進めている。これにより、術者が高線量率被ばくに至る状況を、瞬時にシームレスに画像解析できるようになり、検査後のカンファレンスにおいて直ちに被ばく防護の問題点を提示できるようになり、有用な被ばく防護教育ツールとしての活用が期待できる。

E. 結論

本手法により、効果的な被ばく低減の介入ポイントが判明し、診断脳血管撮影における術者被ばくの現状と、放射線防護装備の使用法の不具合の指摘、およびその改善方法も明瞭に提示できることが示され、実践的な術者の被ばく防護教育ツールとしての活用が期待できる。

F. 論文発表

Hitomi Go, Moritake Takashi, Tanaka Yuko, Kurokawa Toru, Nakagami Koichi, Kuriyama Tomoko, Morota Koichi, Matsuzaki Satoru, Ishidao Toru (2025): Integration of Active Personal Dosimeters, Videos from In-Room Monitors, and Videos from the Surgeon's Main Panel Reveal Pitfalls in Radiation Protection. *Applied Sciences* 15: 11584

産業医科大学博士（産業衛生学）論文として提出した(2025年11月25日)。

G. 学会発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

I. 研究倫理

本研究は、産業医科大学倫理委員会で承認され (ID24-015)、ヘルシンキ宣言のガイドラインに従って実施した。

J. 参考文献

1. ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. Ann ICRP 47: 1-118, 2018
2. Miller C., Kendrick D., Shevitz A., Kim A., Baele H., Jordan D., Kashyap V. S. (2018): Evaluating strategies for reducing scattered radiation in fixed-imaging hybrid operating suites. J Vasc Surg 67: 1227-1233

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

リアルタイム線量計測による核医学検査における
診療放射線技師の被ばくモニタリング

研究代表者 千田 浩一(東北大学・災害科学国際研究所/大学院医学系研究科・教授)

研究要旨

核医学検査は非密封放射性医薬品を用いる特性から、診療放射線技師が患者近傍で長時間作業を行う機会が多い。その結果、職業被ばくは時間的・空間的に複雑な変動を示し、特に作業内容に依存した被ばくの増加が懸念されている。しかしながら、従来の受動型線量計では積算線量のみの評価にとどまり、具体的な被ばく要因の特定や行動改善につなげることが困難である。

本研究では、核医学検査における被ばく要因を詳細に把握するため、リアルタイム線量測定システム RaySafe i3 を用いて線量率を秒単位で記録し、作業工程との関連を解析した。心筋血流 SPECT 検査 14 例を対象とし、診療放射線技師の左右頭部および頸部に線量計を装着して測定を行った。

その結果、投与工程においては薬剤投与中～直後の平均線量率が高く、撮像工程では心電図装置の着脱を伴う作業時の平均線量率が高い傾向がみられた。

これらの結果は、核医学検査における被ばくが特定の作業に強く依存していることを示しており、従来の積算線量評価のみでは実態を十分に把握できないことを明確に示すものである。リアルタイム線量計測により被ばくの可視化を行うことで、高線量作業の特定と具体的な行動改善が可能となり、放射線防護の実効性向上に直結する。今後は、本手法を教育および日常業務に応用することで、医療従事者の被ばく低減に資する実践的な防護戦略の構築が期待される。

*主な研究協力者:芳賀 喜裕(仙台厚生病院 副技師長)

A. 研究目的

核医学検査では、非密封放射性物質を扱うという特性上、患者自身が放射線源となるため、診療放射線技師は投与、体位調整、検査補助などの各工程において患者近傍で作業を行う必要があり、他のモダリティと比較して長時間にわたる被ばくが生じる可能性がある。

このような背景のもと、医療従事者の職業被ばく低減は重要な課題となっており、各施設では遮蔽具の使用や作業距離の確保などの防護対策が講じられている。しかしながら、実際の臨床現場では、患者対応の必要性や作業効率の観点から、必ずしも十分な防護が実施されているとは言い難い。また、従事者自身がどの作業においてどの程度被ばくしているかを正確に把握できていないことも、防護対策の最適化を妨げる要因となっている。

従来の個人線量管理では、受動型線量計による積算線量の評価が一般的であるが、この方法では作業ごとの被ばく寄与を特定することができない。そのため、被ばく低減のための具体的な行動改善につなげることが難しいという課題がある。

そこで本研究では、リアルタイム線量計を用いて核医学検査中の被ばくを秒単位で測定し、作業工程ごとの線量変動を可視化することで、被ばく要因の特定および効果的な放射線防護対策の検討を行うことを目的とした。

B. 研究方法

本研究では、核医学検査（心筋血流シンチグラフィ）に従事する診療放射線技師 2 名を対象とし、日常診療における検査中の被ばく線量をリアルタイムで測定した。

線量測定にはリアルタイム線量計

（RaySafe i3, Unfors RaySafe）を用い、技師の左右頭部および左右頸部の計 4 箇所に装着した。線量率は 1 秒間隔で記録し、専用ソフトウェアを用いてデータを取得した。

対象症例は心筋血流シンチグラフィ検査 14 例とし、検査工程を放射性医薬品投与工程および検査工程に分類した。各工程における累積線量および最大線量率を算出するとともに、投与放射エネルギーとの関連を評価した。

さらに、線量率の時系列データを作業内容と対応付けることで、線量上昇を示す具体的な作業を同定した。投与工程は大まかに「患者入室」、「放射性薬剤投与」、「投与後処置」、「患者退室」に分類し、各業務の平均線量率を算出した。検査工程においては「患者入室～検査台へ移動」、「体位調節・心電図装置装着」、「SPECT 撮像」、「心電図装置取外し」、「患者介助・退室」に業務を分類し、平均線量率で評価した。

C. 研究結果

測定の結果、全測定部位の中で右頸部において最も高い累積線量および最大線量率が認められ、左右差および測定部位間で有意差が確認された。

投与工程と検査工程の比較では、いずれの測定部位においても累積線量に有意差は認められなかった。

投与放射エネルギーとの関係については、頸部において弱い正の相関傾向が認められた一方で、頭部では明確な関連は認められなかった。

線量率の時系列解析では、放射性医薬品投与直後、心電図電極の装着および取り外し、患者体位調整時に線量率の上昇が認められ、一部の作業では 100 $\mu\text{Sv/h}$ を超えるピークが確認された。

投与工程においては投与中～直後の平均線量率が高くなり、次いで投与後処置中の平均線量率が高い傾向がみられた (Fig. 1, 2)。

撮像工程においては心電図装置の着脱を伴う作業時の平均線量率が高い傾向がみられた (Fig. 3, 4)。撮像中の線量率は計測されず、検出下限値未満であった。

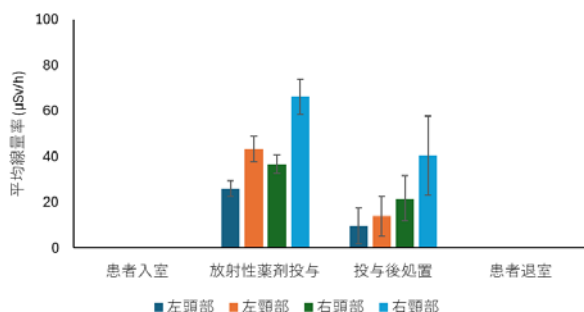


Fig. 1 投与工程における各業務の平均線量率

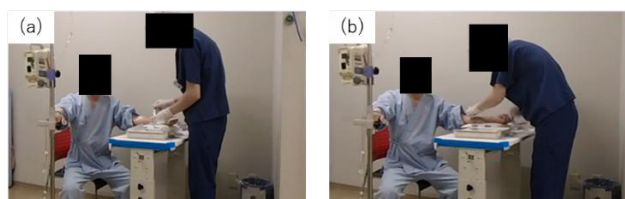


Fig. 2 投与工程における高線量率の場面
(a) 放射性薬剤投与中, (b) 投与後処置中

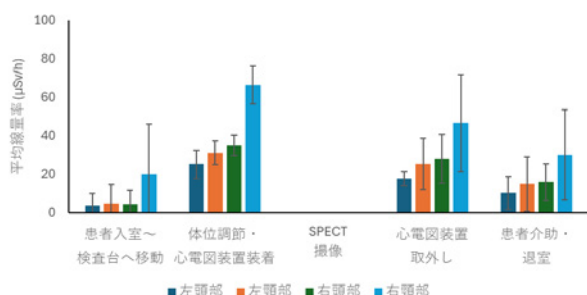


Fig. 3 投与工程における各業務の平均線量率

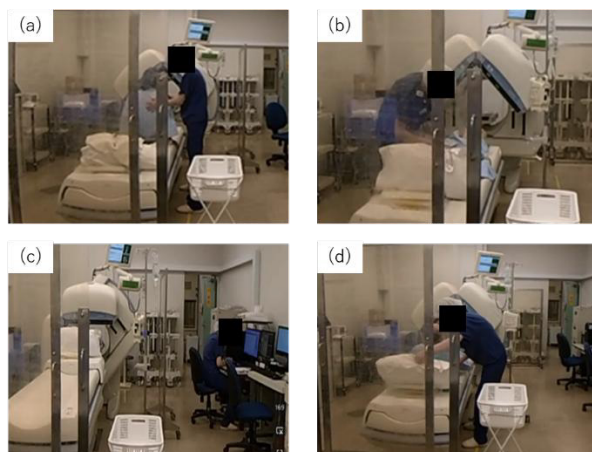


Fig. 4 撮像工程における高線量率の場面
(a) 検査台への移動 (患者介助), (b) 心電装置装着, (c) SPECT 撮像中, (d) 患者介助～退室

D. 考察

本研究の結果から、核医学検査における診療放射線技師の被ばくは、単なる累積線量ではなく、特定の作業に依存した一過性の線量上昇を伴うことが明らかとなった。

特に、右頸部で高線量が観察されたことは、技師の利き手や立ち位置、患者との相対的位置関係が被ばくに大きく影響していることを示唆している。このような左右差は、従来の単一部位での線量測定では把握が困難であり、リアルタイムかつ多点測定の有用性が示された。

また、心電図電極の装着や取り外しといった作業において線量率の上昇が認められたことは、放射性医薬品が集積した体幹部への近接が主な要因であると考えられる。これらの作業は日常的に実施されるものであり、被ばく低減のためには、作業時間の短縮や立ち位置の工夫など、具体的な行動改善が重要となる。

一方で、SPECT 撮像中には線量上昇が認められなかったことから、適切な距離の確保や遮蔽の利用が被ばく低減に有効である

ことが再確認された。

なし

さらに、従来の線量管理では把握できなかった高線量イベントが明確に可視化されたことは、教育的観点からも重要である。リアルタイム線量情報をフィードバックすることで、医療従事者の被ばくに対する意識を高め、行動変容を促すことが期待される。

E. 結論

本研究では、リアルタイム線量測定を用いて核医学検査における診療放射線技師の被ばく状況を詳細に評価した。その結果、被ばくは特定の作業に強く依存し、特に患者近接作業において線量率が上昇することが明らかとなった。

また、作業中の立ち位置や行動様式が被ばく線量に大きく影響することが示され、リアルタイム線量計測による可視化が、放射線防護の最適化および教育的介入に有用であることが示唆された。

今後は症例数の増加および他検査への適用を通じて、核医学領域における包括的な被ばく管理戦略の確立が求められる。

F. 論文報告

Fujisawa M, Sota M, Haga Y, Tanaka S, Kataoka N, Kato T, Kaga Y, Abe M, Suzuki M, Inaba Y, et al. Real-Time Monitoring of Occupational Radiation Exposure in Nuclear Medicine Technologists: An Initial Study. Applied Sciences. 2025; 15(20):11008. <https://doi.org/10.3390/app152011008>

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

放射線 MS による被ばく管理と教育

研究分担者 喜多村 紘子（量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所放射線規制
科学研究部リスク評価グループ グループリーダー）

研究分担者 森 晃爾（産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学研究室 教授）

研究協力者 中上 晃一（産業医科大学若松病院放射線部）

研究要旨

医療機関において電離放射線障害防止規則の遵守が不十分である背景には、教育不足や防護体制の未整備がある。この課題に対し、厚生労働省は労働安全衛生マネジメントシステム（Occupational Health and Safety Management System: OHSMS）の導入を支援している。我々はこれまでの研究で、OHSMS を放射線防護分野に応用した医療機関向けの放射線防護マネジメントシステム（以下「放射線 MS」という）の開発及び導入支援ツールの提供を行ってきた。

放射線 MS の導入には、システム内で担う役割ごとに必要な知識・技術を補う教育が有効であると考え、本研究班では放射線 MS のシステムマニュアルに含まれる職種を放射線 MS において必要な知識の観点から以下の 5 つの教育グループに整理した：1）組織トップ等（G1）、2）放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者（G2-1）、3）放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者（G2-2）、4）放射線業務従事者（G3）、5）産業保健スタッフ（G4）。令和 6 年度は、教育グループごとに、放射線 MS を運用するために必要な知識・技術を整理し、研修プログラムをデザインし、G1 および G2-1、G2-2 の研修資料を作成した。

令和 7 年度は、前年度に作成した研修プログラムを基に、G3 および G4 を対象とした研修資料を新たに開発するとともに、G2-1 に対する小グループ形式での研修の試行、ならびに G1 を対象としたトップマネジメントインタビューの動画の作成を行った。さらに、本研究では、放射線 MS の役割分担を前提とした研修デザインが主として一定規模以上の医療機関を想定している点に着目し、小規模医療機関において一人が複数の役割を担う状況を想定した研修の枠組みについて検討した。これまでに開発・試行した研修プログラムおよび教材を基盤として、小規模医療機関においても適用可能な放射線 MS の導入支援および運用補助に資する研修の枠組みを提示した。

A. 研究目的

医療機関において、電離放射線障害防止規則に基づく放射線被ばく管理が十分に実施されていない背景には、放射線防護に関する教育不足や、組織的な防護体制の未整備がある。これに対し、労働安全衛生マネジメントシステム（Occupational Health and Safety Management System: OHSMS）の考え方を放射線防護分野に応用した放射線防護マネジメントシステム（以下「放射線 MS」という）は、医療機関における放射線被ばく管理体制の構築に有効な枠組みであると考えられる。

放射線 MS を実効性のあるものとして導入・運用するためには、システム内で担う役割に応じて、必要な知識・技術を補う教育が不可欠である。本研究班ではこれまでに、放射線 MS のシステムマニュアルに含まれる職種・役割を、放射線 MS の運用に必要な知識の観点から整理し、組織トップ等（G1）、放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者（G2-1）、放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者（G2-2）、放射線業務従事者（G3）、産業保健スタッフ（G4）の 5 つの教育グループを設定してきた（参考資料 2）。

令和 6 年度は、教育グループごとに放射線 MS を運用するために必要な知識・技術を整理し、研修プログラムのデザイン（参考資料 3）および一部教育グループを対象とした研修資料の作成を行った。令和 7 年度は、これまでにデザインした研修プログラムを基盤として、放射線 MS 導入支援・運用補助のための研修の体系を拡充・完成させることを目的とした。

特に、放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者（G2-1）については、マネジメントシステムの考え方や構造そのもの

のが、理解の障壁となる可能性があることに注目し、マネジメントシステム自体の思想や目指すところを十分に共有した上で、放射線 MS を現場の業務と結び付けて理解を深める研修方法について検討することを目的とした。

さらに、放射線 MS の役割分担を前提とした研修デザインが、主として一定規模以上の医療機関を想定している点を踏まえ、小規模医療機関において一人が複数の役割を担う状況を想定した研修の枠組みを整理することも目的とした。

本研究の目的は、これらの取り組みを通じて、医療機関の規模や職種背景に関わらず、放射線 MS の考え方を共有し、導入・運用につなげることが可能な研修体系および研修の枠組みを提示することである。

B. 研究方法

1. 研究の全体構成

本研究は、医療機関における放射線 MS の導入支援・運用補助を目的として、研修プログラムおよび研修教材の開発と試行を行った開発研究である。令和 6 年度に実施した教育グループ別研修プログラムのデザインおよび研修資料の作成を基盤として、令和 7 年度において研修資料の拡充、研修方法の試行、ならびに小規模医療機関を想定した研修枠組みの検討を行った。

2. 放射線 MS における教育グループの設定

放射線 MS のシステムマニュアルに記載された職種・役割を基に、放射線 MS の運用に必要な知識・技術の観点から教育グループを整理した。教育グループは組織トップ等（G1）、放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者（G2-1）、放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者

(G2-2)、放射線業務従事者 (G3)、産業保健スタッフ (G4) の 5 つが設定されたが、これらは、職位や職種そのものでも、個人に紐づくものでもなく、放射線 MS において担う役割に基づいて設定されていることが重要なポイントである。

3. 研修資料の作成

令和 6 年度に、教育グループごとに放射線 MS を運用するために必要な知識・技術を整理し、既存の教育体系において習得されている知識を前提として、放射線 MS 導入時に追加的に教育すべき事項を抽出し、その結果を基に、教育グループ別の研修プログラムをデザインした。令和 7 年度は令和 6 年度に作成した研修プログラムを基盤として、G3 および G4 を対象とした研修資料を新たに開発した。

さらに、G1 を対象として、放射線 MS におけるトップマネジメントの役割を具体的に示すことを目的に、トップマネジメントインタビューの動画教材を作成した。

4. 研修方法の試行

令和 7 年度は、G2-1 を対象として、放射線 MS の考え方や構造に対する理解を重視した研修方法を検討し、試行的に研修を実施した。この研修では、放射線 MS の説明に入る前段階として、マネジメントシステムの思想や目指すところを丁寧に説明したうえで、放射線防護に関する認識や現場での懸念事項を共有し、日常業務と結びつけながら放射線 MS の内容を理解する構成とした。

5. 小規模医療機関を想定した研修枠組みの検討

これまでにデザインした研修プログラムは、放射線 MS における役割分担が比較的明

確な一定規模以上の医療機関を主な対象としていた。一方、小規模医療機関では、一人の職員が複数の役割を担うことが多い。そこで本研究では、教育グループを「役割」として再整理し、同一人物が複数の教育グループを兼務する場合を想定した研修の枠組みについて検討した。具体的には、典型的な兼務パターンを整理し、それぞれのパターンに応じて研修内容を統合・再構成する方法を検討した。

(倫理面への配慮)

本分担研究は、人を対象とする研究ではないため、QST の倫理規程に従い、倫理審査の対象外とした。

C. 研究結果

1. 教育グループ別研修資料の整備

令和 6 年度にデザインした教育グループ別研修プログラムを基盤として、G3 (放射線業務従事者) および G4 (産業保健スタッフ) を対象とした研修資料を新たに作成した。G3 の研修資料は、放射線 MS の枠組みの中で、日常業務において放射線業務従事者が果たすべき役割や行動に焦点を当てた内容とした。G4 の研修資料は、独立した助言者として放射線 MS の全体像を理解し、医療機関における放射線被ばく管理に関与するために必要な事項を中心に構成した。

また、G1 (組織トップ等) を対象として、放射線 MS におけるトップマネジメントの役割を具体的に示すことを目的に、トップマネジメントインタビューの動画教材を作成した。この動画教材は、内部監査にけるマネジメントインタビューを想定し、組織トップが放射線 MS の中で果たすべき役割や意思決定プロセス、上位下達と権限委譲のバランスの言語化／可視化を意図して作成した。

これらにより、放射線 MS における 5 つの教育グループすべてを対象とした、ベースとなる研修資料が整備できた。

2. G2-1 を対象とした試行研修の実施と研修構成の整理

令和 7 年度は、放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者 (G2-1) を対象として、放射線 MS の考え方や構造に対する理解を重視した研修方法の試行を行った。

研修では、放射線 MS の具体的な内容に入る前段階として、マネジメントシステムの思想やその目指すところについて丁寧に説明し、共通の基礎作りに時間をかけた。次に、放射線防護に関する認識や現場での懸念事項を参加者間で共有する時間を設け、共通の課題意識を持つ状況を作った。そのうえで、令和 6 年度に作成した G2-1 の研修資料を基に、課題解決にどのように放射線 MS が活用できるか、参加者が日常業務に結び付けながら放射線 MS の内容を理解する構成とした。

この試行研修を通じて、G2-1 に該当する現場管理者にとっては、放射線 MS の具体的な手順や文書体系に関する知識を得る前に、マネジメントシステムそのものの考え方や構造を十分に理解することが重要であると考えられた。また、講義形式のみならず、参加者同士の対話や意見交換を通じて理解を深める研修構成が有効であることが示唆された。

3. 小規模医療機関を想定した研修枠組みの整理

放射線 MS における役割分担が比較的明確な一定規模以上の医療機関ではなく、同一人物が複数の役割を担っていると推測される小規模医療機関を想定し、教育グループ

を「人」ではなく「役割単位」として再整理し、研修プログラムの統合・再構成を検討した。

小規模医療機関の特徴として以下の 3 点を想定した。

①組織トップ (G1)、放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者 (G2-1)、放射線業務従事者 (G3) の重複、もしくは組織トップ (G1)、放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者 (G2-2) の重複が生じやすいこと

②放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者 (G2-1) が限定されること

③産業保健スタッフ (G4) は、法定の産業医の選任状況は医療機関によって異なること (労働安全衛生法に基づき、事業者には、常時 50 人以上の労働者を使用する事業場においては、産業医を選任することが求められる。一方、50 人未満の場合は、産業医の選任義務はないが、医師等により健康管理等を行わせる努力義務がある。)、選任されている場合は外部機関の産業医である可能性が高く、その場合の放射線管理に関する教育の主体は外部機関であること (産業医を選任する側からは自機関の取り組みに関する情報提供がされる程度)

以上を踏まえ、小規模医療機関において想定される代表的な 5 つの組織構成パターンを整理した。なお、以下のパターンにおける放射線 MS 適用レベルを、次のように定義した。

- レベル 1：最小単位 (記録様式中心)
- レベル 2：簡易 MS (最低限のシステムマニュアル、運用を止めないための“回る”最小構成)
- レベル 3：準フルサイズ MS (役割分担に応じて拡張、監査・レビュー等を含め“改善に展開できる”構成)

- レベル 4：フルサイズ MS（委員会体制、内部監査、マネジメントレビュー、リスクアセスメント、年間計画、遵守状況の評価および改善を一体として運用）

■ パターン A：院長（医師）ひとり型（最小構成）

- G1=G2-1=G3：院長
- G4：常時使用する労働者が 50 人未満の場合には法定の産業医選任義務はない。

[特徴]

- 意思決定者が管理主体および被ばく当事者を兼ねる。
- 放射線 MS のフルサイズは不要であり、法令遵守を目的とした最小単位（記録様式中心）の運用が効率的。

[放射線 MS 適用レベル]

- レベル 1：最小単位（記録様式中心）

■ パターン B：院長（医師）＋事務職型

- G1=G2-1=G3：院長
- G2-2：事務職
- G4：常時使用する労働者が 50 人未満の場合には法定の産業医選任義務はない。

[特徴]

- 意思決定者が管理主体および被ばく当事者を兼ねる。
- 意思決定や管理の一部を事務職が補助する。
- 院長が管理を完全には抱え込まない体制が可能。
- 放射線 MS のフルサイズは不要、事務職が変わっても法令遵守および同等の管理が継続できる最低限のシステムマニュアルで可。

[放射線 MS 適用レベル]

- レベル 2：簡易 MS（最低限のシステムマニュアル）

■ パターン C：院長（医師）＋診療放射線技師＋事務職型

- G1=G3：院長
- G2-1：診療放射線技師
- G2-2：事務職
- G4：常時使用する労働者が 50 人未満の場合には法定の産業医選任義務はない。

[特徴]

- 意思決定者が被ばく当事者を兼ねる。
- 意思決定や管理の一部を事務職が補助する。
- 診療放射線技師が放射線 MS 運用のハブ。
- 3 役が登場するが、小規模ならではのコミュニケーション、風通しのよさが期待される。
- 放射線 MS のフルサイズは必須ではないが、役割分担が明確になればなるほど各職種が変わっても法令遵守および同等の管理が継続できる最低限のシステムマニュアルが必要、放射線 MS の運用とともにシステムマニュアルが充実する可能性あり。

[放射線 MS 適用レベル]

- レベル 2：簡易 MS（最低限のシステムマニュアル）～レベル 3：準フルサイズ MS（役割分担の充実度に応じてレベル 4：フルサイズ MS まで拡張し得る）

■ パターン D：院長（医師）＋医師／看護師＋診療放射線技師＋事務職型

- G1=G3：院長
- G2-1：診療放射線技師
- G2-2：事務職

- G3：医師／看護師
- G4：常時使用する労働者が 50 人未満の場合には法定の産業医選任義務はない。

[特徴]

- 意思決定者が被ばく当事者を兼ねる。
- 意思決定や管理の一部を事務職が補助する。
- 診療放射線技師が放射線 MS 運用のハブ。
- 院長→医師／看護師および診療放射線技師→医師／看護師のガバナンス。
- 診療放射線技師への権限委譲と責任体制がキーポイント。
- 放射線 MS のフルサイズは要検討、役割分担・権限委譲が明確になればなるほど、継続性を担保するシステムマニュアルが必要、放射線 MS の運用とともにシステムマニュアルは充実する。

[放射線 MS 適用レベル]

- レベル 3：準フルサイズ MS（役割分担に応じて拡張）～レベル 4：フルサイズ MS（委員会体制＋内部監査＋マネジメントレビュー＋リスクアセスメント・年間計画・遵守評価・改善）

■ パターン E：院長（非医療従事者・名目上のトップ）＋副院長（医師）＋医師／看護師＋診療放射線技師＋事務職型

- G1（名目）：院長
- G1（実質）＝G3：副院長
- G2-1：診療放射線技師
- G2-2：事務職
- G3：医師／看護師
- G4：常時使用する労働者が 50 人未満の場合には法定の産業医選任義務はない。ただし、他のパターンよりは労働者数が 50 人以上となる可能性は相対的に高い。

働者数が 50 人以上となる可能性は相対的に高い。

[特徴]

- 院長は意思決定のみ。
- 副院長においては、意思決定者が被ばく当事者を兼ねる。
- 意思決定や管理の一部を事務職が補助する。
- 診療放射線技師が放射線 MS 運用のハブ。
- 副院長→医師／看護師および診療放射線技師→副院長、医師／看護師のガバナンス。
- 診療放射線技師への権限委譲と責任体制がキーポイント。
- 放射線 MS のフルサイズは要検討、役割分担・権限委譲が明確になればなるほど、継続性を担保するシステムマニュアルが必要、改善や内部監査を含めた放射線 MS の運用とともに、その医療機関に特化したシステムマニュアルに発展する。

[放射線 MS 適用レベル]

- レベル 3：準フルサイズ MS（役割分担に応じて拡張）～レベル 4：フルサイズ MS（委員会体制＋内部監査＋マネジメントレビュー＋リスクアセスメント・年間計画・遵守評価・改善）

表 1 に、上記の組織構成パターン別の放射線 MS 運用の要点および放射線 MS 適用レベルの概要を取りまとめて示した。

表 1. 小規模医療機関における組織構成パターンと放射線 MS 適用レベル

パターン	主な役割構成 (兼務)	放射線MS運用の 要点	放射線MS 適用レベル
A:院長ひとり型	G1=G2-1=G3:院長	意思決定・管理・ 被ばく当事者が 同一	レベル1
B:院長+事務職型	G1=G2-1=G3:院長 G2-2:事務職	事務職が管理の 一部を補助し、 継続性を担保	レベル2
C:院長+RT +事務職型	G1=G3:院長 G2-1:RT、G2-2:事務職	RTがMS運用の ハブ	レベル2～3
D:院長+Dr/Ns +RT+事務職型	G1=G3:院長 G2-1:RT、G2-2:事務職 G3:Dr/Ns	権限委譲と責任 体制、ガバナンス	レベル3～4
E:院長(名目トップ) +副院長(実質トップ) +Dr/Ns +RT+事務職型	G1(名目):院長 G1(実質)=G3:副院長 G2-1:RT、G2-2:事務職 G3:Dr/Ns	役割・責任の明確 化が不可欠、ガバ ナンス	レベル3～4

RT: 診療放射線技師、Dr: 医師、Ns: 看護師

教育グループは、個人ではなく役割に基づいて設定されるため、同一人物が複数の役割を担う場合は、令和 6 年度に示した研修デザインのうち、重複する導入部分（放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）、法令遵守と放射線 MS）を共通コアとして、役割固有部分のみを追加する研修構成が有効と考えた。各パターンに応じて、共通コアに加え、G2-1 の MS 運用ハブ機能かけられるエフォートの程度、G2-2 に期待する継続性担保の範囲、G3 の行動標準化の適用範囲・必要性が異なるため、表 2 に示すように、研修内容を統合・再構成した。

表 2. 小規模医療機関における組織構成パターン別研修内容

パターン	共通コアに加えて重視する研修の観点 (プラスアルファ)
A:院長ひとり型	個人による法令遵守と被ばく管理を行うための最小限の運用理解
B:院長+事務職型	事務職による管理補助と記録の継続性を確保するための役割共有
C:院長+RT+事務職型	RTを中心とした放射線MS運用ハブ機能の理解と役割分担の明確化
D:院長+Dr/Ns+RT+事務職型	RTを軸とした権限委譲とガバナンスおよびG3の行動標準化
E:院長(名目トップ)+副院長(実質トップ)+Dr/Ns+RT+事務職型	実質的な意思決定者(副院長)とRTを中心とした役割・責任の明確化とガバナンス構造の共有

RT: 診療放射線技師、Dr: 医師、Ns: 看護師

共通コア: 放射線による健康障害防止(被ばく線量低減)、法令遵守と放射線MS

表 1～2 を統合した組織構成パターン、主

な役割構成、放射線 MS 運用の要点、放射線 MS 適用レベル、重視する研修の観点を網羅した付表 1 を巻末に示した。

図 1 に、小規模医療機関における組織構成パターン（A～E）と放射線 MS 適用レベル（レベル 1～4）の関係を概念的に示した。パターン A～E は組織構成の複雑性の目安であり、複雑性の増加に伴い、放射線 MS の適用レベルも段階的に上げていくことを検討する必要があることを示している。また、G2-1 が放射線 MS 運用ハブとして機能する場合、レベル 2～4 の範囲で放射線 MS の運用が拡張し得ることも示している。

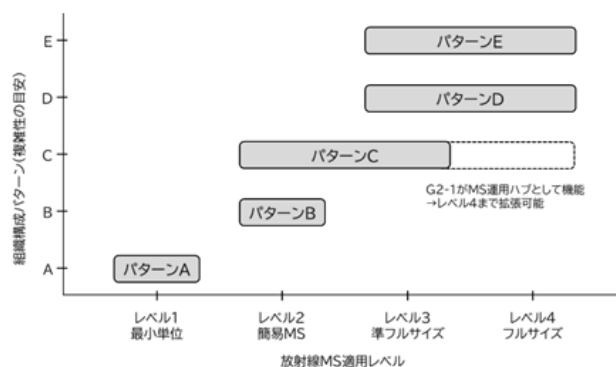


図 1. 小規模医療機関における役割構成パターンと放射線 MS 適用レベル（概念図）

D. 考察

本研究では、放射線 MS 導入支援・運用補助を目的とした研修体系の拡充を行い、教育グループ別研修資料の整理、G2-1 を対象とした研修方法の試行、小規模医療機関を想定した研修枠組みの整理を行った。以下では、得られた結果の意義について考察する。

放射線 MS のシステムマニュアルに登場する役割を教育グループに分類し、教育グループ別に研修資料を整備したことにより、放射線 MS において担う役割に応じた知識・技術を体系的に提供できる基盤を整えるこ

とができた。放射線 MS は、法令で定められた個別の管理項目を実施すること自体が目的ではなく、組織として放射線被ばく管理を継続的に改善していくことを目的とする枠組みである。そのため、役割ごとに求められる放射線 MS への視座、視野、視点が異なり、画一的な教育では十分に対応できない恐れがある。本研究では、この点を踏まえ、教育グループ別に既存の教育体系を前提としつつ、放射線 MS 導入・運用に必要な要素を補完する構成で研修資料を整備したことが本研究の効果的な点である。

G2-1 を対象とした試行研修から、マネジメントシステムを支える思想や構造そのものが理解の障壁となり得ることが改めて確認された点は、本研究の重要な知見である。放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者は、日常業務において放射線防護・放射線管理の実務を担っている一方で、「マネジメントシステム」という概念に必ずしもなじみがあるとは限らない。試行研修では、放射線 MS において G2-1 に期待される具体的な作業手順やシステムマニュアルやその下位文書に係る文書体系の説明に先立ち、マネジメントシステムの思想や目指すところを共有することにより、放射線 MS を自らの業務と結び付けて理解しやすくなることが示唆された。この結果は、放射線 MS 導入時の教育において、知識・技術の伝達に加え、理解の前提条件を整えるプロセスは効率的な研修の要素であり、そのためには丁寧に対象者分析を行うことが重要であることを示している。

今回、小規模医療機関において、同一人物が複数の役割を担う状況を想定し、研修枠組みを整理した。小規模医療機関では人的資源や投入できるエフォートが限られ、一定規模以上の医療機関を前提とした放射線

MS のフルサイズをそのまま適用することは現実的ではないと考えた。一方で、最低限の法令遵守は医療機関の規模に関わらず求められるため、リソースの少ない中でも法令遵守を確実にを行い、被ばく管理を継続的に改善していくことも必要となる。この 2 面を両立させるため、本研究では小規模医療機関を包含する役割で細分化した 5 つの組織構成パターンを設定し、伸び代を考慮して放射線 MS 適用レベルを振り分けた。組織構成パターンと放射線 MS 適用レベルの整理は、医療機関のリソースに応じ、放射線 MS の適用範囲を段階的に検討できることを明文化した点に意義があると考ええる。また、G2-1 が放射線 MS 運用のハブとして機能すると、比較的小規模な組織であっても放射線 MS を準フルサイズあるいはフルサイズへと拡張し得る可能性を示したことは、放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業（厚生労働省委託事業）における導入成功事例における実感と一致しており、現場感覚と整合するものと考ええる。小規模医療機関においても、役割分担、権限委譲を明確にし、可能な範囲から継続的な改善および放射線 MS 適用レベルの上昇を意識して活動を続けることで、放射線 MS を実効性のある形で運用できることが示唆された。

本研究の限界として、研修の効果検証や放射線被ばく管理指標の改善効果については、今後の検討課題として残されている点が挙げられる。今後は、本研究で開発・提案した研修を実践し、実際の事例を通じた評価・改定を行うことで、更なる実用性の向上が期待される。

E. 結論

本研究では、放射線 MS 導入支援・運用補

助を目的として、教育グループ別研修資料の整備、G2-1を対象とした研修方法の試行、小規模医療機関を想定した研修枠組みの整理を行った。

その結果、放射線 MS において担う役割に基づいた研修体系を整備することで、医療機関の規模や職種背景に関わらず、放射線 MS の考え方を共有し、導入・運用につなげられる可能性を示した。特に、小規模医療機関においては、組織構成や役割分担に応じて放射線 MS の適用レベルを段階的に検討し、共通コアに役割固有の要素を追加する研修設計が有効であることが示唆された。

本研究で提示した研修体系および研修枠組みは、放射線 MS 導入のハードルを下げ、法令遵守を基盤とした実効性のある被ばく

管理体制の構築を支援するものである。今後は、本研究で整理した枠組みを用いた研修の実践と評価を通じて、放射線 MS の安定的な運用に資する知見を蓄積していくことが期待される。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

資料 1. 動画資料「放射線被ばくに関する労働安全衛生マネジメントシステム（放射線 MS）の内部監査におけるトップマネジメントインタビュー」のトランスクリプト

1. 導入・自己紹介

監査員：

それでは、内部監査を始めます。監査員の●●です。

監査員：

監査員の●●です。よろしくお願いします。

病院長：

当院の病院長をしております●●です。よろしくお願いします。

2. 内部監査の目的

監査員：

放射線被ばくに関するマネジメントシステム（放射線 MS）を導入して数ヶ月が経過していますので、現在どのような状況になっているのかを伺いたいと思います。

あわせて、導入に対する院長の考えや思いについてもお聞かせください。

3. 放射線 MS 導入に関する病院長の考え

監査員：

まず、放射線 MS を導入された背景や考えについて教えてください。

病院長：

正直に言うと、最初は「放射線被ばくや防護のためだけのマネジメントシステム」と聞いても、あまりピンと来ていませんでした。

ただ、法改正によって医療従事者の被ばく低減が求められるようになり、「うちの病院は大丈夫なのか」と考えるようになりました。

当初は、「当院は被ばく管理をしているから問題ないだろう」と思っていたのですが、他院の院長と話す機会があり、その中で、個人線量計の装着が徹底されていない、医

療従事者の水晶体白内障や皮膚障害の報告がある、といった話を聞き、不安を感じました。

そこで当院の状況を確認したところ、特定の検査において一部の医師の被ばくが多いことが分かりました。

この時、「これは自分ごととして取り組まなければいけない」と考えたのが、導入のきっかけです。

実際に調査してみると、手術時に、白衣に付けたまま個人線量計をし忘れているなど、個人線量計の未装着があることも分かりました。

これは他院と同じような課題だと思います。

個人の行動を変えるのは簡単ではないため、組織的に取り組む必要があると判断し、放射線 MS の導入に至りました。

4. 監査員コメント

監査員：

導入前の現状を院長自ら把握されていた点は非常に重要だと思います。

放射線 MS では「現状把握」が出発点になりますので、すでにその段階がしっかりできていると感じました。

個人線量計の未装着、防護不足による被ばく増加といった課題も明確になっているため、これらに対して「現在どのような対策をされているのか」「今後どう取り組むのか」を教えてください。

5. 認識されている課題への対策と今後の方針

病院長：

まず個人線量計については、全員にしか

り配布することにしました。

財政的には厳しい面もありますが、必要な投資だと判断しています。

ただ、問題は「配布すれば装着してくれるか」という点です。

また、透視下手技では、立ち位置、体勢といったものが長年の習慣になっており、簡単には変えられません。

院長としてできるのは、道具を整備する教育の機会を提供するところまでです。

その先は、個々の理解と行動変容が必要になります。

この6ヶ月で、「配布」と「教育」までは実施できましたが、実際の装着率向上はまだ大きな課題だと認識しています。

6. 放射線 MS の体制について

監査員：

放射線 MS の体制づくりについて、どのように進めているか教えてください。

病院長：

まず、放射線防護を議論するための委員会を立ち上げました。

最初から大きな仕組みにするのではなく、まずは小さく始めて、軌道に乗ったら他の委員会と統合する方針です。

現在は月1回の会議を行っており、私もできる限り出席しています。

また、現状把握と課題抽出を行うチームを作り、放射線技師長を中心に活動してもらっています。

さらに、被ばくの多い診療科（消化器、循環器など）からヒアリングを行い、その内容を委員会で共有しています。

7. 体制に関する質疑

監査員：

技師長が中心的な役割を担っているとい

う理解でよろしいでしょうか。

病院長：

そうです。ただし、技師長が医師を管理するのは難しい部分があります。

そのため、私自身が診療科長と連携しながら、医師の行動変容につなげる役割を担っています。

技師長に任せきりにはしていません。

監査員：

日本の多くの施設で同様の課題があると思いますが、院長が技師長を支える体制は非常に有効だと感じました。

良いモデルケースだと思います。

病院長：

医療従事者はこれまで自分たちの健康管理を後回しにしてきた面があります。

長時間労働の問題と同じで、放射線被ばくも「見過ごされてきた課題」だと思っています。

この状況は変えていかなければならないと考えています。

8. 今後への期待とメッセージ

監査員：

今後、様々な職種が関わるとはと思いますが、関係者への期待やメッセージをお願いします。

病院長：

MSは、それぞれの役割が組み合わさって成果を出すものと理解しています。

職種ごとに役割を明確にし、お互いを尊重しながら進めることが重要だと思います。医師は入れ替わりのある職種なので、個人ではなく「組織の風土」として定着させたいと考えています。

監査員：

院長の明確なビジョンを伺うことができ、放射線 MS が今後さらに発展していくと感

じました。

9. クロージング

監査員：

本日の内部監査は以上となります。

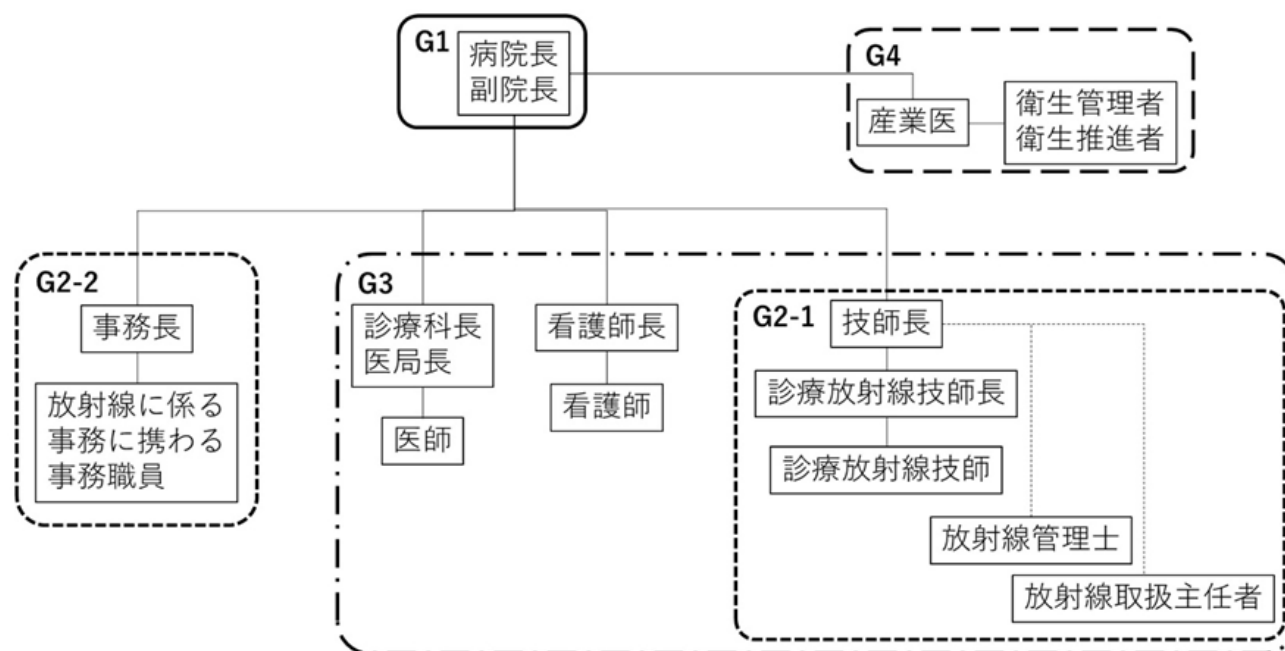
ありがとうございました。

付表 1. 小規模医療機関における組織構成パターン別の放射線 MS 適用レベルおよび研修設計

パターン	主な役割構成 (兼務)	放射線MS運用の 要点	放射線MS 適用レベル	共通コアに加えて重視する研修 の観点 (プラスアルファ)
A: 院長ひとり型	G1=G2-1=G3: 院長	意思決定・管理・ 被ばく当事者が 同一	レベル1	個人による法令遵守と被ばく 管理を行うための最小限の運用 理解
B: 院長 + 事務職型	G1=G2-1=G3: 院長 G2-2: 事務職	事務職が管理の 一部を補助し、 継続性を担保	レベル2	事務職による管理補助と記録の 継続性を確保するための役割 共有
C: 院長 + RT + 事務職型	G1=G3: 院長 G2-1: RT、G2-2: 事務職	RTがMS運用の ハブ	レベル2～3	RTを中心とした放射線MS運用 ハブ機能の理解と役割分担の 明確化
D: 院長 + Dr/Ns + RT + 事務職型	G1=G3: 院長 G2-1: RT、G2-2: 事務職 G3: Dr/Ns	権限委譲と責任 体制、ガバナンス	レベル3～4	RTを軸とした権限委譲とガバ ナンスおよびG3の行動標準化
E: 院長(名目トップ) + 副院長(実質トップ) + Dr/Ns + RT + 事務職型	G1(名目): 院長 G1(実質)=G3: 副院長 G2-1: RT、G2-2: 事務職 G3: Dr/Ns	役割・責任の明確 化が不可欠、ガバ ナンス	レベル3～4	実質的な意思決定者(副院長)と RTを中心とした役割・責任の 明確化とガバナンス構造の共有

RT: 診療放射線技師、Dr: 医師、Ns: 看護師
共通コア: 放射線による健康障害防止(被ばく線量低減)、法令遵守と放射線MS

参考資料 1. 教育グループの設定



参考資料 2. 育グループごとの研修デザイン（令和 6 年度作成）

■ 組織トップ等（G1）：所要時間 30 分

①研修の目的（3 分）

- 挨拶
- 放射線被ばく防護管理の必要性
- 法令順守と MS-なぜ MS を活用するのか

②内部監査におけるインタビュー映像の視聴（8 分）

③放射線被ばく防護 MS における役割(14 分)

- MS の骨格と、オーナーの立ち位置
- 基本方針の設定と目標や計画との関係
- 目標に対するパフォーマンスの評価の確認
- 監査報告書への責任者署名の意味
- マネジメントレビューの意義と意思決定
- MS の基盤となるリーダーシップリーダー行動

④まとめ（1 分）

⑤質疑（4 分）

■ 放射線業務従事者である現場の管理者・管理の実務者（G2-1）：所要時間 60 分（概念編 30 分、実践編 30 分）

[概念編]

①研修の目的（5 分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割（20 分）

- 放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者の立ち位置
- 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
- 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線 MS での放射線業務従事者である現場の管理者、管理の実務者の実務
- 日々の管理
- 年次の管理

- 内部監査

③まとめ（1分）

④質疑（4分）

〔実践編〕

①研修の目的（3分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS に則った日々の管理（5分）

- 放射線業務管理者を同定する、個人線量計を配布する
- 個人線量計を装着させる
- 個人線量計の測定結果を確認させる

③放射線 MS に基づく年次の管理（17分、内部監査にかかる動画視聴を含む）

- リスクアセスメント
- 内部監査と放射線 MS のシステムマニュアルの改訂

④まとめ（1分）

⑤質疑（4分）

■ 放射線業務従事者ではない現場の管理者・管理の実務者（G2-2）：所要時間 30 分

①研修の目的（5分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割（20分）

- 放射線業務従事者ではない現場の管理者、管理の実務者の立ち位置
- 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
- 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線 MS での放射線業務従事者ではな

い現場の管理者、管理の実務者の実務

- 日々の管理
- 年次の管理
- 内部監査と放射線 MS のシステムマニュアルの改訂

③まとめ（1分）

④質疑（4分）

■ 放射線業務従事者（G3）：所要時間 20～30 分

①研修の目的（5分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割（10～20分）

- 放射線業務従事者の立ち位置
- 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
- 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線業務従事者が実施すること

③まとめ（1分）

④質疑（4分）

■ 産業保健スタッフ（G4）：所要時間 30 分

①研修の目的（5分）

- 挨拶
- 放射線による健康障害防止（被ばく線量低減）
- 法令遵守と放射線 MS

②放射線 MS における役割（20分）

- 産業保健スタッフ（産業医）の立ち位置
- 健康障害が生じた時、組織に何が起こるか
- 法令遵守できていないことが指摘された時、組織に何が起こるか
- 放射線 MS での産業保健スタッフ（産業

医)の実務

- (安全) 衛生委員会
- 職場巡視

■ 勧告権

- ③まとめ (1 分)
- ④質疑 (4 分)

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

放射線 MS の実装が進む医療機関における放射線防護文化の醸成に係る
インタビュー調査

研究分担者 喜多村 紘子（量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所放射線規制
科学研究部リスク評価グループ グループリーダー）

研究協力者 茂呂田 孝一（国立保健医療科学院生活環境研究部 主任研究官）

研究要旨

医療機関において電離放射線障害防止規則に基づく放射線被ばく管理が十分に実施されていないと指摘される背景には、教育不足や組織的な防護体制の未整備がある。本研究では、労働安全衛生マネジメントシステム(Occupational Safety and Health Management System: OSHMS)の考え方を放射線防護分野に応用した放射線防護マネジメントシステム(放射線 MS)を導入・運用している医療機関を対象として、令和 5 年度および令和 7 年度にインタビュー調査を実施した。

インタビュー結果は、実装研究のための総合フレームワーク CFIR(Consolidated Framework for Implementation Research)を用いて整理し、あわせて世界保健機構(World Health Organization: WHO)が示す放射線防護文化の枠組みを参照して解釈した。

その結果、放射線 MS は独立した放射線防護対策として運用されているのではなく、文書管理や内部監査、委員会活動、職種ラダー(テクニカルスキルおよびヒューマンスキルのレベルアップに重点が置かれた教育研修および職能評価が組み合わされた仕組み)といった院内のマネジメントの枠組みの中に組み込まれて運用されていることが確認された。

本研究からは、放射線防護文化は、リーダーシップとガバナンス、マネジメント方策と組織メンバーの理解、ならびに組織メンバーの参加といった要素が充実されていく中で、時間をかけて醸成されるものであることが示唆された。

A. 研究目的

医療機関において、電離放射線障害防止規則に基づく放射線被ばく管理が十分に実施されていないと指摘される背景には、教育不足や組織的な防護体制の未整備がある。本研究班では、医療従事者の放射線防護の取組の一手段として、労働安全衛生マネジメントシステム（Occupational Safety and Health Management System: OSHMS）の考え方を放射線防護分野に応用した放射線防護および被ばく管理に特化したマネジメントシステム（放射線防護マネジメントシステム、以下「放射線 MS」という）の医療機関への導入を支援してきた。

我々は、放射線 MS 導入支援の一環として、令和 5 年度には放射線 MS 導入が進んでいた医療機関に対してインタビューを行い、放射線 MS 導入の障壁となった要素を抽出し、その乗り越え方の一例を明らかにするために、インタビュー調査を実施した。本年度は、放射線 MS 導入支援後の運用状況を確認するため、同医療機関を再訪し、インタビュー調査を行った。

本研究の目的は、放射線 MS の導入・運用に必要な要素を確認するとともに、放射線防護文化の視点から検討することである。

B. 研究方法

【対象施設】

対象は、令和 5 年度の研究時点で、放射線 MS 導入が進んでおり、放射線 MS 導入支援事業（厚生労働省委託事業）の研修会等でも「放射線 MS 導入のトップランナー」として紹介されることの多かった関東地方の中核都市にある急性期～回復期までの医療を提供する 700～800 床規模の医療機関である。

【調査方法】

本年度は、令和 5 年度調査結果との比較

を行うことで、放射線 MS の運用が時間経過の中でどのように定着しているかを確認した。まず、院長より、院内ガバナンスおよび放射線管理を含むマネジメントに係る考えを聴取した。次に、放射線 MS 導入の主担当者より、放射線防護、被ばく低減対策に係る活動に関し、令和 5 年から令和 7 年の 2 年間の推移を含めて聴取した。

インタビュー結果について、令和 5 年度と同様に、実装研究のための総合フレームワーク CFIR（Consolidated Framework for Implementation Research）1 に則り整理した。そのうえで、世界保健機関（World Health Organization: WHO）が国際原子力機関（International Atomic Energy Agency: IAEA）、国際医学物理機構（International Organization for Medical Physics: IOMP）、国際放射線防護学会（International Radiation Protection Association: IRPA）と共同で作成した Enhancing radiation safety culture in health care: guidance for health care provider²（以下「WHO ガイダンス」という）に示されている「ポジティブな安全文化の 10 の特性 “A positive safety culture can be defined by ten traits: leadership responsibility, individual responsibility, continuous learning, effective safety communication, respectful work environment, problem identification and resolution, environment for raising concerns, decision-making, questioning attitude and work processes.”」との関連について、検討した。

なお、令和 5 年度から令和 7 年度において、当該医療機関の院長、放射線 MS 導入の主担当者の交代はなかった。

(倫理面への配慮)

本分担研究では放射線 MS 導入支援として実施したインタビュー結果を二次的に使用した。本分担研究では医療機関に関する情報のみを取り扱い、個人に関する情報の取得・取り扱いはなく、また、侵襲も介入も伴わないため、QST の倫理規程に従い、倫理審査の対象外とした。なお、訪問した医療機関には本報告書の記述内容の確認を依頼し、報告書へ掲載することへの同意を得た。

C. 研究結果

本分担研究では、放射線 MS の導入および運用状況を確認するため、令和 5 年度および令和 7 年度に同一医療機関を対象としてインタビュー調査を実施した。両年度の調査結果は、実装研究の総合フレームワークである CFIR を用いて整理し、表 1 に示した。なお、以下の記述および表 1 における令和 5 年度分の記述は、以前の労災疾病臨床研究事業費補助金 放射線防護マネジメントシステムの適用と課題解決に関する研究の令和 5 年度総括・分担研究年度終了報告書において、研究代表者であった喜多村が記載した内容を基にしている。

1. 令和 5 年度インタビュー結果の概要

1-1. マネジメント層へのインタビューで得られた特徴的な事項

令和 5 年度の調査では、放射線 MS が導入・運用されている医療機関において、まず院長、特任副院長（放射線担当）、関連病院グループ協議会放射線部部長に対し、放射線 MS に限定せず、病院および病院グループ全体のガバナンスやマネジメントの考え方について幅広くインタビューした。

院長からは、院長就任後約 15 年間にわたり、院内ガバナンスの基盤として文書管理

を最優先に位置付け、加えて内部監査を強力に進めてきたことが語られた。全職種を対象とした職種ラダー（カットモデル（カット理論）におけるテクニカルスキルおよびヒューマンスキルのレベルアップに重点が置かれた教育研修および職能評価が組み合わされた仕組み）の整備、評価方法の明確化、個人および組織ごとの目標設定とその達成状況およびプロセスのレビューが継続的に行われていることも語られた。特任副院長（放射線担当）からは、放射線業務従事者への教育を担う立場として、特に医師に対する教育の難しさと、教育内容を自分ごととして捉えてもらうための工夫について言及があった。また、診療放射線技師では指摘が難しい医師への指導・助言ができる点で、院内の放射線管理に寄与しているとの認識が示された。関連病院グループ協議会放射線部部長からは、当該施設が病院グループの本院として、グループ内医療機関のお手本・見本となるべき立場にあること、文書管理や内部監査のバックグラウンドがあったことで、放射線 MS の導入がスムーズに進んだことが語られた。一方で、グループ内のすべての医療機関で同様に放射線 MS が順調に導入・運用されているわけではなく、文書管理の経験が少ない施設や担当者の意識が十分ではない施設も存在することが指摘された。

1-2. 放射線 MS 導入の主担当者・実務担当者へのインタビュー（CFIR を用いた整理）

放射線 MS 導入の主担当者・実務担当者に対しては、放射線 MS の導入および運用を対象として、CFIR のフレームに準拠して作成したインタビューガイドを用い、インタビューを実施した。

放射線 MS は、放射線 MS 導入支援事業（厚生労働省委託事業）で提供されたモデル文

書を参照しつつも、もともと院内で整備されていた文書管理や内部監査の仕組みを最大限活用する形で導入されていたことが明らかになった。放射線 MS は新たな仕組みとして受け止められるというよりも、既存の文書管理の延長として位置づけられており、導入に対する心理的・実務的負担は比較的小さかったと認識されていた。

また、文書管理や内部監査、職種ラダー、目標設定といった仕組みが既に院内に定着していたことから、放射線 MS の導入に際して試験的なトライアルは行われておらず、導入の可否を検討するというよりも、「導入することが前提」として進められていた。放射線管理に必要な業務は一定以上の職種ラダーに達した者の期待役割として位置づけられており、就業時間内に業務として実施できる体制が整備されていた。

2. 令和 7 年度インタビュー結果の概要

令和 7 年度の調査では、同一医療機関を再訪し院長および放射線 MS 導入の主担当者に対してインタビューを実施した。令和 7 年度のインタビューでは、放射線 MS の運用状況に加え、これまで構築されてきた院内のマネジメントの仕組みをどのような考えのもとで設計されてきたのかについて、より踏み込んだ内容が語られた。

院長からは、文書管理は単なる記録整備ではなく、「意思決定プロセスの可視化」として位置づけていることが明確に示された。具体的には、委員会等（常設委員会：院内にある 6 部門（診療部・看護部・薬剤部・診療技術部・事務部・情報管理部）全ての代表者が参加する常設の会議体、部会：6 部門のうち関連する部門の代表者が参加する常設の会議体、プロジェクトチーム：特定の事項に関する期間限定の会議体）での議論、議事録

作成、文書登録、回議、承認という一連の流れを制度として確立し、全ての文書を委員会等と紐づけて管理していること、文書登録の最終承認は、部署を跨ぐ文書の場合は院長印、部署内の内容の場合は部長印が必要であること、文書の有効期限を最長 5 年と定め、定期的な見直しが必ず行われる仕組みを構築していること、そのための専任部署として文書管理課を設置していることが語られた。

※文書管理課：公的文書から委員会議事録まで、全ての文書の登録を行う部署。

また、「人が変わっても動くシステムを目指してきた」という発言も得られた。次世代のリーダー育成として、副院長クラスは病院機能評価機構のサーベイヤーを経験することが推奨されていた。これは、サーベイヤーとして他機関の状況を観察することが内省を促し、自機関のレベルアップにつながるという院長の考えの体现であろう。診療部（医師）を含め、部門の垣根をなくすことを目指し、部長同志が、お互いに厳しく内部監査に臨む仕組みも作られていた。当該医療機関におけるマネジメントの基盤となる要素を、役職に応じて段階的に経験することで、「具体的経験」→「内省的観察」→「抽象的概念化」→「能動的実験」の経験学習サイクルが実践されている様子がうかがわれた。

放射線 MS 導入の主担当者からは、令和 5 年度時点と同様に、放射線 MS は既存の文書管理、内部監査、職種ラダーの仕組みの一部として運用されており、特別な取り組みではなく日常業務の一環として定着している状況が確認された。文書管理は、職種を問わず一定以上の職種ラダーに達した者や役職に就いた者の「業務」として明確に位置付けられており、担当者が変わっても業務が継

続できる体制が維持されていた。一方で、令和7年度の調査時点では、院長が2026年2月で交代予定であることから、その後のガバナンスやマネジメントの継続性について、完全に不安がないわけではないとの認識も示された。

3. 令和5年度と令和7年度の結果の整理

令和5年度および令和7年度の調査結果を総合すると、文書管理、内部監査、文書の定期的な見直し、職種ラダー、目標設定とレビューといった院内の基本的なマネジメントの枠組みは、両年度を通じて大きな変化は認められず、継続して運用されていることが確認された。

令和5年度のインタビューでは、放射線MS導入を可能とした組織的基盤やガバナンスの全体像を主に把握したのに対し、令和7年度のインタビューでは、どのような思想の下でガバナンスを構築し、持続可能なシステムとしてマネジメントの枠組みを設計してきたのかという点が、院長本人の語りとして明確に示され、貴重で価値のあるインタビューとなった。

D. 考察

WHO ガイダンスにおいて、放射線防護文化の10の特性は、具体的な実装方法や行動規範を詳細に定義するものではなく、国・地域・時代・医療制度・医療機関等の文脈に応じて解釈されるべき概念の枠組みとして提示されている。さらに、放射線安全文化の構築・強化はInternational radiation safety framework（国際的な放射線防護の枠組み）、National leadership（国のリーダーシップ／国家政策）、Local healthcare institutions（地域の医療機関）、Patients, families and communities（患者・家族・コ

ミュニティ）に至るまでの各レベルにおいて重要であるとされている。地域の医療機関レベルにおける放射線安全文化の組織的マネジメントの要点は、安全文化を経営体制と職場環境に根付かせ、教育・研修を提供する責任を負う機関のリーダーシップとされ、要素としてManagement structure（管理体制）、Local resource issues（地域の資源）、Quality initiatives（品質の向上）、Training（教育・研修）等が含まれるとされている。本研究では、このようなWHO ガイダンスの位置づけを踏まえ、ある一つのLocal healthcare institutionにおいて得られたインタビュー結果を、放射線防護文化の特性の概念的な枠組みを用いて解釈する。

1. Leadership responsibility（リーダーの責任）と放射線MS

本事例の特徴として、院長による一貫したリーダーシップが確認された。令和5年度のインタビューでは、院長就任直後から文書管理と内部監査を院内ガバナンスの基盤として強力に推進してきたことが語られ、放射線MSはその延長上に位置付けられていた。令和7年度のインタビューでは、文書管理を「意思決定プロセスの可視化」と表現し、「人が変わっても動くシステムを目指して」設計してきたという、院長自身の思想が明確に示された。

本事例では、放射線MSが独立した案件として個別の専門職や担当者に委ねられるのではなく、文書管理および内部監査を中心とした院内マネジメントの枠組みの中に組み込まれていた。このようなあり方は、Local healthcare institutionsにおいてリーダーシップが組織構造を通じて具現化されているという観点から、WHO ガイダンスで示されているManagement structureの具

体的な表れとして解釈できる。

2. Decision-making（意思決定）と放射線 MS

本事例では、院内の意思決定が特定の個人や非公式な判断に依存することなく、院内の委員会等の活動に紐づく文書管理の一連の流れの中で行われていることが確認された。院長が文書管理を「意思決定プロセスの可視化」と表現したことは、そのあり方を端的に示している。

このような仕組みの下では、放射線 MS に係る様々な粒度（日常業務に関する実施要領の軽微な改訂からシステムマニュアルの改廃まで）の判断も、個々の担当者の裁量に委ねられるのではなく、組織としての手続き（粒度に応じた組織内の委員会等における議論→議事録→文書登録→回議→承認の流れ）を通じて行われているものと捉えられる。これは、放射線 MS が独立した制度として運用されるのではなく、既存の意思決定の場において取り扱われる一つの対象として位置づけられているためと考えられる。

WHO ガイダンスでは、Local healthcare institutions のレベルにおいて、放射線防護を含む安全文化を組織の Management structure の中に組み込むことの重要性が示されている。本事例においては、意思決定の仕組みが時間をかけて Management structure の中に実装され、職員にとって当たり前のもので運用されており、WHO ガイダンスで示されている Decision-making の考え方を具体化した一例と解釈できる。

3. Work processes（業務プロセス）と放射線 MS

本事例では、放射線 MS に関する業務プロセスが、職種ラダーおよび文書管理、内部監査の仕組みを通じて、日常業務の中に組み

込まれていた点が確認された。一定以上の研修・教育を受け、能力向上が認められた者の期待役割に含まれる放射線防護に係る「業務」は、一時的・一過性の対応に留まることなく、継続的に実行、確認、見直し、改善される仕組みの中で位置づけられていた。これは、放射線防護に係る業務について、PDCA サイクルを計画的に回す仕組みが形成されていることを示している。

WHO ガイダンスは、Local healthcare institutions のレベルにおいて、Management structure として放射線防護に係る委員会が院内に存在することの重要性と同時に、Local resource issues として必要な訓練を受けたスタッフ不足を提示しているが、院内マネジメントとしての文書管理および職種ラダーにより Local healthcare institutions レベルに期待される組織的マネジメントが実践されていると解釈できる。

なお、WHO ガイダンスで参照されている国際放射線防護学会（International Radiation Protection Association: IRPA）による IRPA guiding principles for establishing a radiation safety culture³ では、日常業務において放射線業務従事者が患者やスタッフの放射線安全対策を講じていること自体は安全文化ではない。少数の担当者のみが安全評価を行い防護と安全の最適化のために行動することだけでも安全文化ではない。組織内の全員が放射線安全に責任を持ち、放射線安全文化の特性が採用されているという証拠がある場合に、安全文化が確立されている、とされている。

この視点から考えると、それぞれの職員がそれぞれの職種ラダーのレベルに応じた放射線安全対策を適切に実施することで、

放射線安全文化が醸成されるための基盤は作られてきていると推察され、今後の継続的な放射線防護に係る「業務」の積み重ねによる安全文化の発展が期待される。

4. Problem identification and resolution (問題の把握と解決) と放射線 MS

本事例では、放射線防護に係る問題を把握するきっかけは、個人や部署による気づき、内部監査における指摘等、様々であったとしても、その解決策は問題の影響する範囲に応じた委員会等での議論→議事録→文書登録→回議→承認のプロセスを経て実行できる仕組みが形成されている。院長の「誰かが一人で決めたこと（決め方が見えないこと・もの）は、ここでは認められない。」という語りは、当該医療機関における問題の把握と解決における原則を如実に表しているものと考えられる。また、院長へのインタビューにおいて「放射線だけ（管理を）良くしようとするのは無理。全体を良くしなければ（放射線の管理もよくなる）。」との語りがあった。これは、院内ガバナンスとしてのトップの意思表示であり、マネジメント方針の現れであると捉えられる。

WHO ガイダンスは、Local healthcare institutions のレベルにおいて、創造的な放射線安全プログラムを確立するには、経営層および従業員層の双方が関連する安全文化の原則、方法、必要なツールを深く理解することの必要性を示している。本事例は、一般的にマネジメントシステムの重点項目とされる文書体系の整備および内部監査が15年以上の現院長の指揮のもと習慣化している現状は、安全文化の方法および必要なツールを経営層、従業員層の双方が理解している状態に近づいているのかもしれない。この事例は、WHO ガイダンスにおける

Problem identification and resolution の考え方を具現化し、さらに Leadership responsibility の下で日常業務の中で具体化した一例と解釈できる。

以上より、本事例では、放射線 MS が独立した放射線防護対策として導入・運用されているのではなく、院内ガバナンスおよび日常業務の枠組みの中に組み込まれることで、放射線防護に関する考え方の根幹が共有され、それに基づく知識・行動が継続的に実践される環境が形成されつつあることが示唆された。これらの取り組みは、WHO ガイダンスが示す放射線防護文化の特性の一部を、Local healthcare institutions のレベルにおいて具体化した事例と解釈できる。

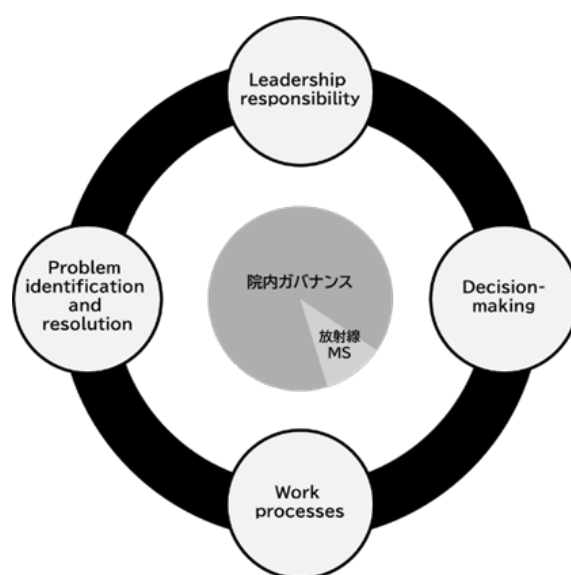


図 1. 本事例における放射線 MS と放射線防護文化の関係の概念図

放射線 MS は院内ガバナンスおよび日常業務の枠組みの中に組み込まれ、リーダーシップ、意思決定、業務プロセス、問題の把握と解決が相互に関連する循環構図の一部として機能していることを示す。

E. 結論

本研究では、放射線 MS を導入・運用して

いる同一医療機関に対して、令和 5 年度および令和 7 年度にインタビュー調査を実施し、放射線 MS の実装状況を放射線防護文化の視点から検討した。その結果、放射線 MS は独立した放射線防護対策として個別に運用されているのではなく、文書管理や内部監査、委員会活動、職種ラダーといったマネジメント方策および日常業務の枠組みの中に組み込まれて運用されていることが確認された。

これらの仕組みは、院長による一貫したリーダーシップの下で構築・維持されており、意思決定、業務プロセス、問題の把握と解決が相互に関連しながら循環する構造を形成していた。このようなあり方により、放射線防護に関する考え方の根幹が組織内で共有され、それに基づく知識や行動が、特定の個人に依存することなく継続的に実践される環境が形成されつつあることが示唆された。

本事例は、WHO ガイダンスで示されている放射線防護文化の特性の一部を、Local healthcare institutions のレベルにおいて具体化した一例と位置づけられる。放射線防護文化は、リーダーシップとガバナンス、マネジメント方策と組織メンバーの理解、ならびに組織メンバーの参加といった要素が充実されていく中で、時間をかけて醸成されるものであることを、本研究は示している。

F. 論文報告

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的所有権の取得状況

なし

I. 参考文献

1. 内富庸介（監修）、今村晴彦、島津太一（監訳）、『実装研究のための統合フレームワーク—CFIR—』、保健医療福祉における普及と実装科学研究会、2021.
2. Enhancing radiation safety culture in health care: guidance for health care providers. Geneva: World Health Organization; 2024.
3. IRPA guiding principles for establishing a radiation safety culture. McLean (VA): International Radiation Protection Association (<https://www.irpa.net/members/irpa-guiding%20principles%20on%20rp%20culture%20-2014%20.pdf>, accessed 15 January 2024).

表 1. CFIR のフレームで整理した令和 5 年度および令和 7 年度のインタビュー結果

		令和 5 年度分 ※対象：放射線 MS 導入の主担 当者、実務担当者、主担当者 ／実務担当者の上長	令和 7 年度分 ※対象：院長、放射線 MS 導入 の主担当者
構成概念		インタビューで得られた情報の概要	
I 介入の特性 Intervention Characteristics			
A	介 入 の 出 処 Interventional Source	放射線 MS 導入支援事業で放射線 MS のモデル文書が提供されたが、もともと院内で作成していた文書を活用した。	院長指示により、もともと院内で徹底して作成されていた文書を活用した。
B	エビデンスの強さと質 Evidence Strength & Quality	厚生労働省関係の放射線 MS 導入支援事業で推奨されており、もともと院内で実施してきた文書管理との相性がよく、スムーズに導入できた。	もともと院内で実施されていた文書管理の徹底と連続して、現在も継続している。
C	相 対 的 優 位 性 Relative Advantage	線量管理が必要なことはわかっており、もともと院内で実施してきた文書管理との相性もよく、放射線 MS の導入が進んだ。	日本診療放射線技師会の医療被ばく低減施設認定を早期に取得した（第 XX 号認定）こともあり、必要性は理解されていた。新入職員へも職種ラダーによって教育されている。
D	適 応 性 Adaptability	システム文書は提供されたモデル文書を元に整えたが、下位文書の実施要領は、もともと院内で作成していた文書をそのまま活用した。	院長指示により、もともと院内で徹底して作成されていた文書を活用した。
E	試 験 可 能 性 Trialability	小規模なトライアルは行っていない。	すでに実施していた文書管理を継続しているだけ。
F	複 雑 性 Complexity	もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS はその延長上であったため、導入が難しいとは思わなかった。うちのような文書管理の仕組みがない、馴染みがない施設では、ハードルが高いかもしれない。	今では、文書管理はもちろん、内部監査が院内では当たり前になっている。 （院長談）15 年以上前、自分が院長になった時には、各部署が何をやっているか見えず、文書管理から徹底した。ただしここでいう文書管理は、単なる文書を揃える、ということではな

			い。「意思決定プロセスの可視化」である。誰かが一人で決めたこと（決め方が見えないこと・もの）は、ここでは認められない。文書は全て委員会等に紐づいている。委員会等で議論→議事録→文書登録→回議→認められた文書の流れ。期限は5年間で、少なくとも5年経過したら見直し。そのための部署「文書管理課」を設置。
G	デザインの質とパッケージ Design Quality & Packaging	もともと院内で作成していた文書をそのまま放射線 MS に使用できたため、担当者の負担は大きくなく、この MS の導入が進んだと思う。	もともと院内で作成していた文書をそのまま放射線 MS に使用したが、定期的な見直しを行っている。最長5年間で見直し時期とアナウンスがある仕組みができています。
H	費用 Cost	院内の職種ラダーで、一定レベルに達すると文書管理が期待役割として入ってくる（診療放射線技師であれば、放射線管理士を取得）。CT 撮影や透視と並んで、就業時間中の業務に「文書管理、文書作成」が入る。各部署に加え、各委員会にもお金がついており、皆で使うものや、委員会が必要と考えるものは、委員会で議論したうえで、賛同が得られれば委員会のお金を使うことができる。放射線防護の装備や設備は共用するものが多いが、この仕組みのおかげでどこの部署が買うのか問題は少ないように思う。	院内の職種ラダーで、一定レベルに達すると文書管理が期待役割として入ってくる。（診療放射線技師であれば、放射線管理士を取得：認定資格を取るための勉強＋この資格を取ることによって職種ラダーが上がり、実務に加え、文書管理を担うことができるようになる）。CT 撮影や透視と並んで、就業時間中の業務に「文書管理、文書作成」が入る。 （院長談）間接部門である文書管理課、お金にならない／お金を生まない部署をどれだけ作れるか・・・質の向上には必要である。
II 外的セッティング Outer Setting			
A	従業員のニーズと資源 Patient Needs & Resources	もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS はその延長	院長指示により、もともと文書管理が徹底され、内部監査の仕組みが出来上がっており、それ

		上で、スムーズに進められた。院長の指示もあり、導入しないという選択肢はなかった。	が継続されている。文書管理も監査も当たり前になっている。
B	コスモポリタニズム Cosmopolitanism	医療被ばく低減施設認定を早くに取得した施設として、放射線管理をきちんと行っているという自負があり、他院のお手本、見本になりたい、なければならないという意思と義務感を持っている。	医療被ばく低減施設認定を早くに取得した施設として、放射線管理に関する自負＋グループ医療機関を含めた他院への見本になればならないという意思と義務感を持っている。 （院長談）第3者評価は積極的に評価を受けた。ある意味、広報でありブランド作りである。しかし、本質的でないと判断した評価体系、受審する意義・意味を感じなくなった評価は受審を辞めた。部長、副院長、外部から求めのあった者については、サーベイヤーとして他施設の評価に参加することを推奨している。他者を見て学ぶこと、気が付くことはたくさんある。
C	同業者からの圧力 Peer Pressure	関連病院グループの本院で、グループ内の他院のお手本、見本とならなければならず、放射線MSの導入も速やかに進めた。	関連病院グループの本院で、院内ガバナンス、マネジメント手法として文書管理が徐々に他院へも浸透してきたが、今でも反発する医療機関も、もちろんある。院長が考え方に同意しないところもある。
D	外的な施策やインセンティブ External Policy & Incentives	厚生労働省関係の放射線MS導入支援事業で推奨され、うちは医療被ばく低減施設認定を早くに取得した施設として、放射線管理をきちんと行い他院のお手本、見本になりたい、なければならないという自負があり、院長の指示もあり、放	（院長談）第3者評価は積極的に評価を受けた。ある意味、広報でありブランド作りである。しかし、本質的でないと判断した評価体系、受審する意義・意味を感じなくなった評価は受審を辞めた。様々な組織、立場の外部からの視察も受け入れ

		放射線 MS の導入を推進した。画像診断管理加算のような診療報酬上の加算がつくとありがたい。	ている。
III 内的セッティング Inner Setting			
A	構 造 特 性 Structural Characteristics	現院長の体制になって 15 年程度であるが、文書管理、内部監査が強力に進められ、業務に関連して文書を作成し、内部監査を受け、指摘・指導のあった点は修正・改善する PDCA を回してスパイラルアップしていく仕組みが出来上がっていた。	院長指示で進められていた徹底的な文書管理、定期的な見直し、内部監査が当たり前に実施されている。 縦割りを無くし、他部署を知って垣根を下げるための、全体が集まって実施されるラダー報告会が開催されている。
B	ネットワークとコミュニケーション Networks & Communications	放射線 MS は放射線技術科が中心に導入を進めたが、科内の人間関係は良好で、X さん（担当）から常に刺激を与えられ、自分が伸びている気がする（実務担当者）。 特任副院長（放射線担当）が来られてから、診療放射線技師からでは難しかった、医師への指摘・指導を行ってもらえ、トップダウンが効くようになったのはありがたい。	新入職員には職種ラダーの教育・研修で、文書管理の意義を伝え、専門職としての放射線防護の知識とともに習得できるようになっている。
C	文化 Culture	文書管理、内部監査の仕組みがあり、内部監査では厳しい指摘もうける。院長からはさらに高いレベル、高いレベルを目標とするよう求められる。目標設定、職種ラダー、チャレンジシート等で、がっちり管理されるが、入職した人材を成長させる仕組みでもある。	文書管理、定期的な見直し、内部監査が当たり前に実施されている。職種ラダーは、経験を踏まえ、常に見直されている。
D	実 装 風 土 Implementation Climate	文書管理、目標設定、職種ラダー等の仕組みが出来上がっているが、内部監査を含め、常に見直し、修正・改善し、高いレ	文書管理、定期的な見直し、内部監査が当たり前に実施されている。

		ベルを目標とすることが求められており、変化せざるを得ない。うちで勤務継続できる者は、コツコツ努力できて、変化できる者と思う。	
	1 変化への切迫感 Tension for Change	文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、それだけでもやるのがたくさんで、何か不足している、新しいことを取り入れなければということではなかった。	現時点（インタビュー時点）では通常通りに様々なことが実行されているが、院長が2026年2月で交代となるため、その後のガバナンスやマネジメントに関して、心配や不安がないわけではない。
	2 適合性 Compatibility	もともと院内で実施してきた文書管理、内部監査の仕組みと放射線 MS の相性がよく、スムーズに導入できた。	文書管理、定期的な見直し、内部監査が当たり前に実施されている。
	3 相対的優先度 Relative Priority	放射線 MS は放射線技術科が中心に導入を進め、科内では担当者における優先度は高い。担当者ではない者で特に経験が少ない者が現時点、どの程度重要と考えているかはわからないが、職種ラダーが上がり、放射線管理士以上の文書管理が業務になるクラスになるとわかってくると思う。	職種ラダーが上がり、放射線管理士以上となると、文書管理を「業務」として実施する日が設定される。
	4 組織のインセンティブや報奨 Organizational Incentives & Rewards	放射線 MS の導入は、以前から実施している文書管理の一部のイメージで、やるのが当たり前なため、担当者に特別インセンティブや報酬が発生するものではない。	放射線 MS は以前から実施している文書管理、内部監査、定期的見直しの一部で、実施するの当たり前。文書管理や内部監査は一定以上の職種ラダー、役職に就くと担当する「業務」として位置づけられている。
	5 目標とフィードバック Goals and Feedback	もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS は文書の一部で、もちろん内部監査の対象である。	内部監査により、他部門の責任者が具に文書等を確認し、評価する仕組みが回っている。

	6 学 習 風 土 Learning Climate	職種ラダー、チャレンジシートの仕組みが出来上がっており、10 年後、20 年度の姿を想像しながら今年目標を設定し、達成することが求められる共に、達成までのプロセスを上長が面談しサポートすることが当たり前になっている。	職種ラダー、チャレンジシートの仕組みが出来上がっており、継続して実施されている。それらの記録も保管されている。
E	実践の準備性 Readiness for Implementation		
	1 リーダーシップ・エンゲージメント Leadership Engagement	放射線 MS の導入は院長の指示で、院長と顔を合わせる時には大概、進捗を尋ねられるので、前向きに取り組んだ。	院長指示は絶対である。 (院長談) 人が変わっても動くシステムを目指した。
	2 利用可能な資源 Available Resources	診療放射線技師の職種ラダーの中で、放射線管理士を取得すると、文書管理が期待役割に入る。出勤者の業務分担を示す配置表に、文書管理、文書作成の欄が設けられている。業務に CT 撮影や透視と並んで「文書管理、文書作成」が含まれ、時間外に一人で作業をするのではなく、就業時間中に業務として複数名で分担して作業できる環境が整っており、うちの良いところと思う。	文書管理や内部監査は一定以上の職種ラダー、役職に就くと担当する「業務」として位置づけられている。
	3 知識や情報へのアクセス Access to Knowledge & Information	放射線 MS 導入支援事業の研修資料は科内で共有され、研修出席者に直接疑問点を尋ねることができるようにした。	職種ラダーの教育・研修、科内の研修資料は共有されている。
IV	個人特性 Characteristics of Individuals		
A	介入についての知識や信念 Knowledge & Beliefs about the Intervention	主担当者、実務担当者が放射線 MS 導入支援事業に参加し、知識を得た。また、主担当者は放射線 MS 導入の進んでいる施設の代表として、様々な機会に院外に対して取り組みを発表、報告	主担当者は放射線 MS 導入の進んでいる施設の代表として、放射線 MS 導入支援事業の委員を務めている。

		している。Xさん（主担当者）から常に刺激を与えられている（実務担当者）。	
B	自己効力感 Self-efficacy	放射線 MS の導入は、以前から実施している文書管理の一部のイメージ。もともと院内には文書管理、内部監査の仕組みが出来上がっており、放射線 MS はその延長上であったため、導入が難しいとは思わなかった。	文書管理の延長上の放射線 MS というイメージで、今のところ管理はきちんとできている。
C	個人の行動変容のステージ Individual Stage of Change	院長の指示もあり、導入しないという選択肢はなかった。ただ、職種ラダーがあまり上がっていない者では、知識が足りていなかったり、文書管理の意味を理解していなかったりする者も含まれていると思う。	文書管理、内部監査、定期的見直しのシステムは、組織として定まっており、「やらない」という選択肢はない。退職者もいなくはないが、表だって、このシステムが苦痛であるとは聞いていない。新入職員は、職種ラダー教育・研修で一から伝えて慣れていく感じ。
D	組織との一体化 Individual Identification with Organization	放射線技術科内の人間関係は良好で、院長のリーダーシップのもと、共通の目的に向かって活動していると思う。院長はとても厳しいですけどね。	放射線技術科内の人間関係は良好。
E	その他の個人特性 Other Personal Attributes	—	—
V プロセス Process			
A	計画 Planning	システム文書は提供されたモデル文書を元に整えたが、下位文書の実施要領は、もともと院内で作成していた文書をそのまま活用したため、がちがちに計画をたてることなく、作成できた。	文書は委員会等と紐づけられている。文書は委員会等の議論を受けて作成される。文書は最長5年で定期的な見直し時期であることがアナウンスされる。内部監査は年間計画で定められている。
B	エンゲージング Engaging		
	1 オピニオンリーダー Opinion	Xさん（主担当者）が率先して放射線 MS の導入に取り組んで	（Xさん（主担当者）で変わりはない様子であった。）

	Leaders	いたため、普段から一緒に行動することの多かった自分達は特影響を受けた（実務担当者）。	
	2 公式に任命された内部の実装リーダー Formally Appointed Internal Implementation leaders	主担当者、実務担当者は、就業時間中に業務として文書管理、文書作成を行うことができ、権限と責任を与えられたのがスムーズな導入に影響したと思う。	文書管理や内部監査は一定以上の職種ラダー、役職に就くと担当する「業務」として位置づけられている。
	3 チャンピオン Champion	チャンピオンはXさん（主担当者）でしょう（皆さん）。医療被ばく低減施設認定の頃からずっと、放射線管理に興味・関心を持ち、勉強することの必要性を感じ、放射線 MS の導入も自分が率先してやる仕事と認識していた（主担当者）。	（Xさん（主担当者）で変わりはない様子であった。）
	4 外部のチェンジ・エージェント External Change Agents	放射線 MS 導入支援事業の研修では、他施設の MS 導入担当者と自施設の現状を語り合うワークがあり、それまでは知る機会のなかったグループ病院以外他施設の状況を聴くことができ、うちのレベルを客観的に見ることはよかった。	院長が推奨するサーベイヤールとしての経験は大きい。グループ病院以外の施設も多く見ることができ、勉強になるっている。
C	実行 Executing	放射線技術科においては、放射線 MS の存在は認識されており、文書に則り日々の業務を行っている。	文書管理や内部監査は一定以上の職種ラダー、役職に就くと担当する「業務」として位置づけられている。 文書管理課が文書の期限（5 年間）を確認し、見直しのアナウンスを適宜行っている。
D	振り返りと評価 Reflecting & Evaluation	放射線 MS の導入により放射線被ばくが低減されるとは思わない。放射線被ばく低減のための仕組みとは捉えていない	現院長のもと、文書管理、内部監査が厳しく行われてきた。職種ラダーを用いて、複数の役割をこなせるように、

		い。放射線管理を確実に実行するための仕組みと思っている。放射線 MS の導入により、リスクアセスメントの概念を初めて知り、線量計を配布する対象が明確にできたことは良かった。	また、担当者が変わっても業務が回るように職員を育ててきた。放射線防護にも興味を持ってくれていると思う。
--	--	---	--

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

医療分野における放射線業務従事者の個人線量計装着に対する
法令改正の影響

研究分担者 盛武 敬(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 放射線規制科学研究部・部長)
喜多村 紘子(量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
放射線規制科学研究部 リスク評価グループ・グループリーダー)

研究協力者 中上 晃一(産業医科大学若松病院 放射線部)
栗山 知子(産業医科大学 産業保健学部 看護学科 産業・地域看護学・
講師)
茂呂田 孝一(国立保健医療科学院 生活環境研究部・主任研究官)
人見 剛(川崎医科大学附属病院 中央放射線部)
松崎 賢(量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
放射線規制科学研究部・日本学術振興会特別研究員(PD))

研究要旨

本研究は、日本の医療機関における放射線業務従事者の個人線量計の配布および装着状況を、法令改正前後の 3 期間にわたり第三者の観察により評価し、水晶体等価線量限度引き下げの影響を職種・診療科別に検証した。評価は全国の放射線管理区域において、診療放射線技師が第三者として装着状況を目視で確認し、コントロール期(2020 年 1-3 月)、公布期(2020 年 4-5 月、2021 年 1-3 月)、施行期(2022 年 1-3 月)に区分して比較した。その結果、主個人線量計装着率は 64.6%から 77.9%へ有意に上昇し、法令改正が個人線量計装着率に寄与したことが示された。一方、医師、とりわけ整形外科医の装着率は一貫して低く、診療放射線技師は高い装着率を維持した。追加個人線量計も同様の職種差を示した。さらに、未配布者割合は 5.9%から 1.9%へ減少し、配布体制の改善が確認された。

本研究結果から、個人線量計装着率は依然として 100%に達せず、職種・診療科間の差異には放射線防護教育や防護文化、組織的縦割り構造の影響が示唆された。観察記録の想起バイアスや標本代表性などの限界はあるものの、本研究は法令改正前後の実態を第三者の目視による観察で調査した初の報告として、放射線防護教育およびマネジメントシステムの改善に資する基盤的知見を提供する。

A. 研究目的

国際放射線防護委員会は、水晶体等価線量限度を5年間の平均で20mSv/年、単年度で50mSvを超えないことを推奨しており[1]、世界的な法令改正が進められている。日本では、2020年4月1日に公布され、2021年4月に施行された電離放射線障害防止規則[2]（以下、電離則）の改正により、水晶体等価線量限度が従来の150mSv/年から上記の値に引き下げられた。それに伴い、医療分野の放射線業務従事者の個人線量計装着の徹底を図るため、ポスターの配布や通知などの啓発活動が行われた。

電離則第8条では、放射線業務従事者に個人線量計を装着させ、線量測定を実施することを使用者に義務付けている[2]。それにもかかわらず、これまでの研究では、装着率は医師で0-93.5%[3-9]、看護師で39.7-94%[4, 8-10]、放射線技師で24-98.7%[8-11]など、遵守されていない問題が浮き彫りになっている。さらに、このようなデータには社会的望ましさのバイアスがかかっている可能性がある」と指摘されており、自己申告アンケートによる個人線量計使用の正確性に対する懸念も示されている[5]。したがって、データの信頼性を確保するためには、個人線量計の装着状況を正確に評価する必要がある。

個人線量計を装着しない理由には、病院の事業者が線量計を提供しなかったこと、および放射線業務従事者が装着しなかったことがある。放射線業務従事者が装着しない要因には、「線量限度による作業制限」[12-15]があり、自身の被ばく線量を知らない、被ばく線量が高い従事者に対して、被ばく線量の限度を超える恐れを誘発し、個人線量計の装着を妨げる可能性がある。したがって、本研究の仮説は、法令改正により新たに引き下げられた線量限度値を超えること

への懸念が、個人線量計の装着率をさらに低下させるということである。

本研究では、水晶体等価線量限度が引き下げられた電離則の改正が、医療分野における放射線業務従事者の個人線量計装着に与える影響を明らかにすることを目的とした。そこで、全国の医療機関の放射線業務従事者を対象に、法令改正前（コントロール期間）、公布後（公布期間）、施行後（施行期間）の3つの期間において、個人線量計装着状況を調査した。これらの結果を経時的に分析することにより、法令改正に伴う個人線量計の遵守状況の変化を評価した。さらに、放射線業務従事者の個人線量計の配布状況についても3つの期間で調査した。

B. 研究方法

倫理

本研究は、産業医科大学倫理委員会（承認番号：R1-053）の承認を得て実施された。本研究では、臨床現場における放射線業務中の従事者について、各医療機関に所属する調査員が直接目視で観察した結果を解析した。調査員全員に対し、研究目的と手順について詳細な説明を行った後、書面によるインフォームド・コンセントを取得した。観察対象の放射線業務従事者（観察対象者）については、収集データが非侵襲的かつ匿名化された観察データによるものであり、介入も伴わないことから、個別同意を免除された。

研究デザイン

日本の医療機関における放射線管理区域（血管造影室や手術室など）で働く放射線業務従事者を対象に、個人線量計の配布状況と装着状況を評価するため、反復横断観察調査を実施した。データは、コントロール

期間、公布期間、施行期間において、各調査員が任意に選択した日に収集された。コントロール期間は2020年1月27日から3月31日、公布期間は2020年4月1日から5月9日までと2021年1月1日から3月31日までを対象とした。なお、公布期間については日本における新型コロナウイルス感染症の発生時期と重なったため、観察対象者数の減少が懸念され、調査を2期間に分けて実施した。最後に、施行期間は2022年1月1日から3月31日までとした。

データ収集方法と内容

調査員は、各施設において放射線業務に従事し、観察対象者の職種（医師の専門分野を含む）に精通した診療放射線技師とした。調査員は指定のウェブサイトから調査用紙をダウンロードし、観察内容を記録した。各調査員は、自施設の放射線管理区域において、放射線業務の前、実施中、または直後に個人線量計の装着状況を目視で確認、記録した。重要な点は、第三者が秘密裏に目視による観察調査を実施することで、透明性と公平性を確保したことである。この手順は、異なる医療機関で観察された放射線業務を対象としている。したがって、これらは全施設で標準化されたものではなく、各施設で一般的に行われている特定の慣行を反映したものである。

収集した項目は、(1) 観察日、(2) 観察対象者の職種、(3) 医師の場合は専門分野、(4) 個人線量計の配布状況および装着状況、とした。ここで対象とした個人線量計は、日本の医療機関で法的に義務付けられている受動型の蛍光ガラス線量計、光刺激ルミネセンス線量計、および能動型の電子ポケット線量計とした。なお、個人線量計の種類・ブランド・製造元、および観察対象者の性

別・年齢に関する情報は収集しなかった。調査員は全項目を多肢選択形式で記入し、郵送または電子メールにてデータを提出した。

調査員の募集

調査員は、産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座のホームページを通じて、全国の診療放射線技師を対象に公募した。また、著者らによる個別募集ならびに診療放射線技師が所属する関連学会（日本放射線技師会など）を通じた募集も実施した。

アウトカム指標

個人線量計の使用に関連する3つの主要アウトカム指標（主個人線量計装着率、追加個人線量計装着率、および個人線量計配布率）を定義した。主個人線量計とは、電離則で規定された標準位置（胸または腹部の鉛防護衣の内側）に装着される個人線量計である。この主個人線量計装着率は、対象となる観察対象者の総数のうち、適切な位置に個人線量計を装着していた観察対象者の割合として定義され、式(1)を用いて算出した：

$$\begin{aligned} & \text{主個人線量計装着率} \\ &= (\text{主個人線量計を装着していた観察対象者数}) / (\text{対象となる観察対象者の総数}) \cdots \\ & (1) \end{aligned}$$

追加個人線量計とは、放射線被ばく量が最も高くなると予想される部位（鉛防護衣の外側）に装着する追加の個人線量計を指す。追加個人線量計装着率は、この線量計を装着している観察対象者の割合を対象となる観察対象者の総数で割った値として定義され、式(2)を用いて算出した：

$$\begin{aligned} & \text{追加個人線量計装着率} \\ &= (\text{追加個人線量計を装着していた観察対象者数}) / (\text{対象となる観察対象者の総数}) \cdots (2) \end{aligned}$$

個人線量計配布率は、個人線量計が正しく装着されているか否かに関わらず、個人線量計が事業主より提供された観察対象者の割合として定義され、式(3)を用いて算出した：

個人線量計配布率

$$= (\text{個人線量計を配布された観察対象者数}) / (\text{対象となる観察対象者の総数}) \cdots (3)$$

これらの率は、定義された 3 つの調査期間（コントロール期間、公布期間、施行期間）ごとに算出した。個人線量計装着率は、さらに職種別に比較され、主個人線量計装着率については医師診療科別にも比較した。

統計解析

個人線量計装着率および配布率の経時変化を評価するため、3 つの期間の比較にフィッシャーの正確確率検定を適用し、多重比較にはボンフェローニ補正を施した。個人線量計装着率と職種または医師診療科との関連性を評価するため、Firth のロジスティック回帰分析を実施し、個人線量計装着の有無を結果変数、職種および医師の診療科を予測変数として、オッズ比および 95%信頼区間を推定した。全ての解析は SPSS Extension Hub で利用可能な機能が含まれる SPSS バージョン 30 (IBM Corp., USA) を使用して実施した。有意水準は $p < 0.05$ と設定した。

C. 研究結果

観察対象者と調査員の特性

コントロール期間、公布期間、施行期間において、それぞれ 1,206 名、1,378 名、1,199 名の医療従事者が観察された。記載ミスにより、各期間から 12 件、4 件、5 件のデータが除外され、最終的に、コントロール期間では 1194 名、公布期間では 1374 名、施行期間

では 1194 名の観察対象者からのデータを対象とした。

コントロール期間においては、38 医療機関の 76 名の調査員が観察に参加した。公布期間および施行期間においては、それぞれ 29 医療機関の 53 名の調査員、23 医療機関の 36 名の調査員が同様の観察を実施した。3 回の調査期間を通じて、調査員 165 名（重複分を 1 名として計上：115 名）が調査員として参加した。参加回数の内訳は、1 回のみが 77 名（67.0%）、2 回が 26 名（22.6%）、3 回が 12 名（10.4%）であった（表 1）。

職種および医師診療科別の主個人線量計装着率

表 2 に職種ごとの主個人線量計装着率の変化を示す。法令改正後、主個人線量計の全体的な装着率は 64.6% から 77.9% へと有意に増加した ($p < 0.001$)。医師、診療放射線技師、臨床工学技士は、コントロール期間から公布・施行期間にかけて、装着率が大幅に上昇した（いずれも $p < 0.001$ ）。法令改正と主個人線量計の装着率との間には弱い関連が見られた（Cramer's V：医師 0.22、診療放射線技師 0.17、臨床工学技士 0.25）。全期間を通じて、医師は装着率が最も低く、診療放射線技師は最も高かった。診療放射線技師と比較した医師のオッズ比は、コントロール期間で 0.05、公布期間で 0.02、施行期間で 0.01 であり、いずれも有意差が認められた。

表 3 に医師診療科別の主個人線量計装着率の変化を示す。循環器科医および消化器科医の主個人線量計装着率において、コントロール期間から施行期間にかけて有意な増加が認められた（いずれも $p < 0.001$ ）。一方、整形外科医の主個人線量計装着率はコントロール期間で 11.3% であり、公布期間に

35.4%とわずかに上昇したものの、施行期間には24.7%に低下した。整形外科医の主個人線量計装着率は、一貫して低いままであった（放射線科医と比較したオッズ比：コントロール期間 0.05、公布期間 0.20、施行期間 0.004）。一方、放射線科医の主個人線量計装着率は、すべての期間を通じて高かった。ほとんどの診療科で、公布期間および施行期間における主個人線量計装着率はコントロール期間よりも有意に高く、特に呼吸器科医および救急科医では、法令改正と有意な関連性が認められた（Cramer's V：呼吸器科医 0.60、救急科医 0.52）。

職種別追加個人線量計の装着率

表 4 に職種別の追加個人線量計の装着率の結果を示す。全期間を通じて、追加個人線量計の全体的な装着率は主個人線量計の装着率よりも低かった（コントロール期間：54.2%、公布期間：69.5%、施行期間：68.9%）。医師の装着率は低かった一方、診療放射線技師は 3 期間を通じて高い装着率を維持した。これらの傾向は、主個人線量計の装着率の傾向と類似していた。

個人線量計の配布状況

表 5 に個人線量計の配布率の経時変化を示す。個人に割り当てられた線量計を持たない観察対象者の割合は、コントロール期間の 5.9%から公布期間の 4.6%、施行期間の 1.9%へと著しく減少した（ $p < 0.001$ ）。調査期間を通じて、主個人線量計及び追加個人線量計を配布された観察対象者の割合は増加した。さらに、個人線量計の配布率と法令改正への移行との間には弱い関連性が認められた。

表 1. 調査期間ごとの調査員の内訳（[16]より和訳して引用）

調査期間	調査員の人数
コントロール期間	76
公布期間	53
施行期間	36
全期間（重複を除いた人数）	165 (115)
1回参加	
コントロール期間	41 (35.7%)
公布期間	20 (17.4%)
施行期間	16 (13.9%)
全期間における1回参加者の合計	77 (67.0%)
2回参加	
コントロール期間と公布期間	18 (15.7%)
コントロール期間と施行期間	5 (4.3%)
公布期間と施行期間	3 (2.6%)
全期間における2回参加者の合計	26 (22.6%)
3回参加	
全期間における3回参加者の合計	12 (10.4%)

表 2. 職業別主個人線量計装着率に対する法令改正の影響 ([16]より和訳して引用)

職種	コントロール期間			オッズ比		公布期間		オッズ比		施行期間		オッズ比		Cramer's 連関指標	
	対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)		対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)	対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)	Cramer's V	p-value
医師	461	165	35.8	0.05 (0.03, 0.07)		573	325*	56.7	0.02 (0.01, 0.05)	479	300*	62.6	0.01 (0.001, 0.04)	0.22	<0.001
看護師	326	249	76.4	0.26 (0.16, 0.42)		379	285	75.2	0.05 (0.02, 0.12)	376	305	81.1	0.03 (0.003, 0.11)	0.06	0.12
診療放射線技師	313	290	92.7			270	266*	98.5		215	214*	99.5		0.17	<0.001
臨床工学技士	82	64	78	0.28 (0.15, 0.55)		123	82	66.7	0.03 (0.01, 0.08)	85	78*, **	91.8	0.07 (0.01, 0.34)	0.25	<0.001
その他	12	3	25	0.03 (0.01, 0.10)		29	17	58.6	0.02 (0.01, 0.07)	39	33*, **	84.6	0.04 (0.004, 0.18)	0.44	<0.001
全体	1194	771	64.6			1374	975*	71		1194	930*, **	77.9		0.12	<0.001

* コントロール期間と比較して有意差あり

** 施行期間は公布期間と比較して有意差あり
オッズ比は放射線技師を基準として算出した

表 3. 医師診療科別主個人線量計装着率に対する法令改正の影響 ([16]より和訳して引用)

医師診療科	コントロール期間			オッズ比		公布期間			オッズ比		施行期間			オッズ比		Cramer's 連関指標	
	対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)		対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)		対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)	<i>p</i> -value	Cramer's V	<i>p</i> -value
循環器科	117	45	38.5	0.23 (0.10, 0.52)		194	123*	63.4	0.62 (0.31, 1.18)		103	70*	68	0.02 (0.0002, 0.17)	<0.001	0.24	<0.001
消化器科	104	36	34.6	0.2 (0.08, 0.45)		75	52*	69.3	0.8 (0.36, 1.72)		74	53*	71.6	0.03 (0.0002, 0.20)	<0.001	0.36	<0.001
整形外科	62	7	11.3	0.05 (0.02, 0.14)		48	17*	35.4	0.2 (0.08, 0.45)		85	21	24.7	0.004 (0.00003, 0.03)	0.01	0.22	0.01
脳神経外科	37	14	37.8	0.23 (0.08, 0.60)		40	13	32.5	0.18 (0.07, 0.42)		46	30*, **	65.2	0.02 (0.0002, 0.16)	0.005	0.3	0.005
泌尿器科	36	15	41.7	0.27 (0.10, 0.71)		23	15	65.2	0.65 (0.23, 1.87)		36	21	58.3	0.01 (0.0001, 0.12)	0.17	0.2	0.17
放射線科	34	25	73.5			54	40	74.1			46	46*, **	100		<0.001	0.33	<0.001
外科	28	7	25	0.13 (0.04, 0.38)		45	19	42.2	0.26 (0.11, 0.60)		15	11*	73.3	0.03 (0.0002, 0.29)	0.01	0.33	0.01

表 3. (続き)

医師診療科	コントロール期間			オッズ比		公表期間			オッズ比		施行期間		オッズ比		Cramer's 連関指標	
	対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)	比	対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)	比	対象者 総数	装着し た人数	(%)	(95% CI)	p -value	p -value
麻酔科	12	3	25	0.14 (0.03, 0.54)	0.03 (0.003, 0.12)	20	1*	5	0.03 (0.003, 0.12)	0.01 (0.0001, 0.08)	32	15**	46.9	0.0001, 0.08)	0.003	0.004
救急科	11	4	36.4	0.22 (0.05, 0.87)	0.26 (0.09, 0.76)	19	8	42.1	0.26 (0.09, 0.76)	0.23 (0.001, 42.82)	10	10*, **	100	0.001, 0.003	0.003	0.004
呼吸器科	6	1	16.7	0.1 (0.01, 0.60)	7.52 (0.87, 989.30)	10	10*	100	7.52 (0.87, 989.30)	0.01 (0.0001, 0.13)	16	9**	56.3	0.0001, 0.13)	0.002	0.003
総合内科	4	2	50	0.37 (0.05, 2.73)	1.22 (0.29, 7.01)	10	8	80	1.22 (0.29, 7.01)	0.03 (0.0002, 0.69)	5	4	80	0.0002, 0.69)	0.64	0.64
その他	10	6	60	0.54 (0.13, 2.32)	0.42 (0.17, 1.02)	35	19	54.3	0.42 (0.17, 1.02)	0.08 (0.001, 1.51)	11	10	90.9	0.001, 1.51)	0.09	0.1
全体	461	165	35.8			573	325*	56.7			479	300*	62.6		<0.001	<0.001

* コントロール期間と比較して有意差あり

** 施行期間は公表期間と比較して有意差あり

オッズ比は放射線科医を基準として算出した

表 4. 職業別追加個人線量計装着率に対する法令改正の影響 ([16]より和訳して引用)

職種	コントロール期間		オッズ比		公布期間		オッズ比		施行期間		オッズ比		Cramer's 関連指標	
	対象者 総数	装着し た人数 (%)	(95% CI)	比	対象者 総数	装着し た人数 (%)	(95% CI)	比	対象者 総数	装着し た人数 (%)	(95% CI)	比	Cramer's V	p-value
医師	229	73	31.9	0.22 (0.14, 0.34)	438	233*	53.2	0.04 (0.02, 0.09)	379	200*	52.8	0.03 (0.01, 0.08)	0.18	<0.001
看護師	143	104	72.7	1.22 (0.73, 2.04)	231	170	73.6	(0.05, 0.22)	238	168	70.6	(0.02, 0.17)	0.03	0.77
診療放射線技師	140	96	68.6	0.9	198	191*	96.5	0.13	157	153*	97.5	<0.001	0.41	<0.001
臨床工学技士	39	26	66.7	1.95)	85	65	76.5	(0.05, 0.29)	68	59*	86.8	(0.05, 0.56)	0.18	0.047
その他	1	0	0	0.15	14	12	85.7	0.2	3	2	66.7	(0.01, 0.61)	0.48	0.32
全体	552	299	54.2	2.94)	966	671*	69.5	1.13)	845	582*	68.9	<0.001	0.13	<0.001

* コントロール期間と比較して有意差あり

** 施行期間は公布期間と比較して有意差あり

オッズ比は放射線技師を基準として算出した

表 5. 法令改正が個人線量計の配布率に与える影響 ([16]より和訳して引用)

個人線量計の配布	コントロール 期間		公布期間		施行期間		<i>p</i> -value	Cramer's 連関指標	
	対象者 総数	(%)	対象者 総数	(%)	対象者 総数	(%)		Cramer's V	<i>p</i> -value
なし	70	5.9	63	4.6	23*, **	1.9			
個人線量計1個管理	572	47.9	345*	25.1	326*	27.3			
個人線量計2個管理	552	46.2	966*	70.3	845*	70.8	< 0.001	0.17	< 0.001
全体	1194		1374		1194				

* コントロール期間と比較して有意差あり

** 施行期間は公布期間と比較して有意差あり

D. 考察

本調査結果より、法令改正後に主個人線量計の装着率は上昇傾向を示したものの、職種や診療科による差異が認められ、特に医師、とりわけ整形外科において低い傾向が認められた。また、個人線量計の未配布者は減少しており、法令改正の影響が示唆された。これらの結果は、法令改正による制度的対応の効果を示すものであると同時に、放射線業務従事者の行動変容を促す「放射線防護教育」の観点から捉えることが重要である。

これまでのアンケート調査に基づく研究では、個人線量計の装着率にはばらつきがあり、遵守率が 100%に達することは稀であることが報告されている[3-11]。本研究の結果もこれらと概ね一致した。一方で、従来の多くの研究は自己申告に基づく調査に依存しているため、社会的望ましきバイアスの影響を受ける可能性がある[5]。実際、自己申告と実測の一致度は低いこと（カッパ係数 0.39）が報告されている[17]。したがって、個人線量計の装着状況を正確に評価するためには、第三者による客観的な観察が必要である。本研究は、法令改正前後における装

着率の変化を第三者観察により評価した点に特徴を有する。

法令改正前後の期間中、主個人線量計の装着率は上昇傾向を示した。弱いながらも関連が認められたことから、法令改正自体が否定的な要因ではなく、新たに引き下げられた線量限度を超過しないよう、線量測定への関心が向上した可能性が示唆された。さらに、主個人線量計と追加個人線量計の装着率には、職種や医師診療科によって顕著な差異が認められた。これらの差異は、職種ごとの放射線防護に関する教育機会や意識の違いを反映している可能性がある。さらに、他専門職種、診療科との連携が限定的な専門領域における縦割り意識（サイロ化）[18]や、放射線防護教育の共有・浸透が不十分であることに起因する可能性がある。特に整形外科医は、放射線誘発性白内障や皮膚疾患のリスクが高いにもかかわらず[19]、個人線量計装着率が低く、従来報告されてきた被ばく線量の過小評価を示唆している。一方、呼吸器科医や救急科医における装着率の増加は、法令改正後の線量測定への関心の高まりが要因と考えられる。さらに、主個人線量計と追加個人線量計の装着率に類

似した傾向が見られることから、利用可能な場合は両方を装着していることが示唆され、その重要性が理解されていることを示している。

法令改正後、個人線量計が支給されていない観察対象者の数は減少した。事業主による適切な被ばく管理の現状は、線量測定を促進するポスター配布などの啓発活動や、法令改正の影響を示している。

本研究より、法令改正後も個人線量計の装着率は100%に達しておらず、より徹底した対策が必要であることが示唆された。例えば、行動への注目がパフォーマンス向上につながるホーソン効果を活用することは、放射線業務従事者に個人線量計を適切に装着させる上で重要である[20-22]。具体的には、放射線安全文化の管理に資するシステムの導入が不可欠である[23]。これには、放射線業務の現場への監督者の配置、個人線量計の装着状況の定期的な監査、装着を促す声かけ[24]、教育プログラムの実施などが含まれる。日本では、人的要因に依存しない事業主が主導するアプローチとして、労働安全衛生マネジメントシステムの国際規格であるISO45001に基づく放射線マネジメントシステムが確立されている[25]。マネジメントシステムの推進により、個人線量計の装着率向上と被ばく管理の効率化が期待される。

さらに、本研究で用いた第三者による観察評価という手法は、個人線量計装着という実際の行動を客観的に可視化できる点で、従来の自己申告型アンケート調査とは異なり、放射線防護教育の効果測定およびフィードバック手段として極めて有用である。また、観察されているという認識が行動変容を促す可能性（ホーソン効果）を踏まえると、本手法は単なる評価にとどまらず、教育

的介入としても機能する。このような特性を踏まえると、法令改正から一定期間が経過した現在では、放射線防護に関するマネジメントシステムの導入・運用が個人線量計装着行動に与える影響を定量的に評価することが重要である。今後は、本研究で確立した観察手法を活用し、継続的な調査を通じて防護教育および管理体制の実効性を検証していく必要がある。

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、放射線業務終了後にデータを記録したため、想起バイアスの影響を受けた可能性がある[6]。第二に、本研究は標本調査であるため、日本における個人線量計装着率を正確に反映していない可能性があり、観察された増加傾向は個人レベルではなく集団レベルの傾向として解釈する必要がある。第三に、診療科別解析では一部サブグループの対象数が少なく、統計的検出力が十分でなかった可能性がある。第四に、評価期間が限定的であり、長期的変化を捉えられていないことが挙げられる。第五に、本研究では3つの期間において個人線量計装着率の増加傾向と未配布者の減少傾向が明らかになったものの、各時点において観察対象者は異なっていた点である。第六に、観察は複数の調査員により実施されたが、各対象は単一の調査員により評価されており、見落としや誤認による分類誤差の可能性はある。以上の制限はあるものの、本研究は法令改正前後における個人線量計の配布および装着状況を客観的に明らかにした点に意義がある。本結果は、今後の放射線防護教育および被ばく管理の改善に資する基盤となる。

E. 結論

本研究により、法令改正後に個人線量計装着率は全体として改善傾向を示したものの、依然として100%には達しておらず、職種や診療科による差異が存在することが明らかとなった。これらの結果は、放射線防護行動の徹底には制度的対応のみでは不十分であり、放射線防護教育および継続的な管理体制の強化が必要であることを示唆するものである。今後は、本研究手法を活用し、さらなる実態把握と教育効果の評価を進めるとともに、放射線防護に関するマネジメントシステムの影響についても再評価を行う必要がある。

参考文献

1. International Commission on Radiological Protection, ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs -- threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP publication 118. Ann. ICRP publication 118. Vol. 41(1/2). ICRP 2012. 1-322.
2. Ministry of Health Labour and Welfare. The Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards (written in Japanese). 1972 [Accessed 18 Dec 2024]; Available from: https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=347M50002000041_20210401_502M60000100082.
3. Niklason L.T., M.V. Marx, and H.P. Chan, Interventional radiologists: occupational radiation doses and risks. *Radiology*, 1993. 187(3): p. 729-733.
4. Vano E., et al., Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments. *J Vasc Interv Radiol*, 2013. 24(2): p. 197-204.
5. Abdelrahman M.A., et al., Compliance With Radiation Protection Practices Among Radiologists. *Health Phys*, 2018. 115(3): p. 338-343.
6. Kang S., et al., Radiation exposure and fluoroscopically-guided interventional procedures among orthopedic surgeons in South Korea. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2020. 15(1).
7. Qureshi F., A. Ramprasad, and B. Derylo, Radiation Monitoring Using Personal Dosimeter Devices in Terms of Long-Term Compliance and Creating a Culture of Safety. *Cureus*, 2022.
8. Antunes-Raposo J.A., et al., Evaluation of personal protective equipment use in healthcare workers exposed to ionizing radiation in a Portuguese university hospital. *Rev Bras Med Trab*, 2022. 20(2): p. 240-248.
9. Hayashi S., et al., A follow - up questionnaire survey 2022 on radiation protection among 464 medical staff from 34 endoscopy-fluoroscopy departments in Japan. *DEN Open*, 2023. 3(1).
10. Lee W.J., et al., Underestimation of Radiation Doses by Compliance of Wearing Dosimeters among Fluoroscopically-Guided Interventional Medical Workers in Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022. 19(14): p. 8393.
11. Bhatt C.R., et al., Occupational Radiation Exposure in Health Care Facilities. *Kathmandu University Medical Journal*, 2012. 10(3): p. 48-51.
12. Klein L.W., et al., Occupational health hazards of interventional cardiologists in the current decade: Results of the 2014 SCAI membership survey. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2015. 86(5): p. 913-24.
13. Klein L.W., et al., Occupational health hazards in the interventional laboratory: Time for a safer environment. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2018.
14. McCulloch M.M., K.W. Fischer, and K.J. Kearfott, Medical Professional Radiation Dosimeter Usage: Reasons for Noncompliance. *Health Phys*, 2018. 115(5): p. 646-651.

15. Rose A., K.E. Uebel, and W.I. Rae, Interventionalists' perceptions on a culture of radiation protection. *SA J Radiol*, 2018. 22(1): p. 1285.
16. Matsuzaki S., et al., Effect of a law amendment on dosimeter wearing in medical radiation workers: observational study. *Insights Imaging*, 2026. 17(1): p. 42.
17. Kim M.J., et al., Reliability of self-reported questionnaire on occupational radiation practices among diagnostic radiologic technologists. *Am J Ind Med*, 2017. 60(4): p. 377-385.
18. Gillespie B.M., et al., Why isn't 'time out' being implemented? An exploratory study. *Quality and Safety in Health Care*, 2010. 19(2): p. 103-106.
19. Hijikata Y., et al., Prevalence of Cataractous Changes in the Eyes and Chronic Inflammatory Changes in the Hands Among Spine Surgeons. *J Bone Joint Surg Am*, 2025.
20. Mohd Ridzwan S.F., et al., Beliefs, Facilitating Factors, and Barriers in Using Personal Dosimeter among Medical Radiation Workers in a Middle-Income Asian Setting. *Ann Work Expo Health*, 2021. 65(8): p. 940-954.
21. Porter A.J., et al., Sustainable, Effective Implementation of a Surgical Preprocedural Checklist: An "Attestation" Format for All Operating Team Members. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, 2014. 40(1): p. 3-AP1.
22. Gottumukkala R., et al., Improving Team Performance During the Preprocedure Time-Out in Pediatric Interventional Radiology. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, 2012. 38(9): p. 387-AP1.
23. World Health Organization, Enhancing radiation safety culture in health care: guidance for health care providers, I.A.E.A.I. World Health Organization (WHO), International Organization for Medical Physics (IOMP) & International Radiation Protection Association (IRPA), Editor. 2024: Avenue Appia 20 CH 1211 Geneva 27 Switzerland. p. 80.
24. Matsuzaki S., et al., The Effect of Pre-Operative Verbal Confirmation for Interventional Radiology Physicians on Their Use of Personal Dosimeters and Personal Protective Equipment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022. 19(24): p. 16825.
25. Kitamura H., and K. Nakagami, [Consideration of radiation dose management issues for healthcare workers in medical institutions: A questionnaire survey of participating institutions in a radiation management system implementation support project]. Sangyo Eiseigaku Zasshi, 2025.

F. 論文報告

- 1) Matsuzaki S., Nakagami K., Kuriyama T., Morota K., Hitomi G., Kitamura H., Moritake T. Effect of a law amendment on dosimeter wearing in medical radiation workers: observational study. *Insights Imaging*. 2026 Feb 10;17(1):42. doi: 10.1186/s13244-026-02218-3. PMID: 41665837; PMCID: PMC12891265.

G. 研究発表

該当なし

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

令和 7 年度(2025 年度)労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書

医療機関における放射線被ばく防護教育等に関する包括的研究

職業性被ばくの管理に関する認識調査

- 研究分担者 盛武 敬（量子科学技術研究開発機構（放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・部長）
喜多村 紘子（量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 リスク評価グループ・グループリーダー）
- 研究協力者 栗山 知子（産業医科大学 産業保健学部 産業・地域看護学・講師）
松崎 賢（量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・日本学術振興会特別研究員）
永田 竜朗（産業医科大学 眼科学・准教授）

研究要旨

職業性放射線被ばく防護対策の見直しや効果的な教育訓練に役立てることを目的として、一施設（大学および附属病院）に在籍する「電離放射線障害の防止に関する規則（電離則）」に基づく健康診断対象者を対象とした、職業被ばく管理に関する包括的な質問紙調査を実施した。

放射線業務を行う際にいつも個人線量計をつけているか、という質問に「とてもそう思う」と回答した者の割合は医師は最も低かった。性別で比較した場合、女性医師は男性医師よりも個人線量計を常に着用している可能性が高いことが示された。また、個人線量計の着用度と関連する因子は性別により異なり、女性医師は、健康に対する不安や疑念の少なさ、必要な防護具の入手可能性、被ばくや防護方法について話し合うための支援体制の有無と関連した。女性医師の線量モニタリング行動への関与度が高さは、リスク意識の高さを反映している可能性が高いことが明らかとなった。

これらの結果は、職業性被ばくのリスク認識には性別も無関係ではないことが確認できた。リスクへの認識は、被ばく線量モニタリングという、リスクマネジメントの重要なファーストステップである。医療現場における線量計の装着は個人の意識や管理に頼った側面が大きく、個人のリスク認識の違いの背景要因となる、本研究の知見を医療従事者の放射線防護を向上させるためのより実践的な防護・管理方策に反映させていく必要がある。

A. 研究目的

放射線は、さまざまな有害業務の中でも最も確実に測定が可能で、個人線量計等の測定器を用いて比較的容易に計測することができる[1]。したがって、被ばく線量測定が確実に行われればリスク評価が正しくなされ、適切な対処が可能となる。日本では、放射線業務に従事する医療従事者は、防護エプロンの内側（男性は胸部、女性は腹部）と外側にそれぞれ個人線量計を装着することが法律で義務付けられている。さらに、防護エプロンを着用していない時も個人線量計を装着する必要がある。

しかし医療現場では、個人線量計の未装着者が少なくないために実測値が実際の被ばく線量を表していない可能性がある。そのことは、厚生労働省労働基準局「第5回眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」でも報告されており、電離放射線障害防止規則第56条第5項の健診における省略規定の前提である被ばく量5mSv以下であることが担保されない実態がある。さらに、我々は以前の調査過程で、医師を中心として医療従事者は、施設内外問わず異動の機会があり、放射線業務従事者としての申請、登録も確実に行われていない状況があることも把握している。そのような被ばく線量管理の不備は、健康管理をはじめとしたその他の管理の不備に繋がっている[2]。

医療現場では、従事者個人の認識が線量管理の不確実性や放射線防護のあり方に影響を及ぼしており、管理の強化だけでは適切な線量管理や防護に繋がらない。

本研究では、職業的放射線被ばく低減や管理に関する認識の差からそれぞれの傾向を把握し、防護対策の見直しやより効果的な教育訓練に役立てることを目的として調査、解析を行なった。

B. 研究方法

1. 対象およびデータ収集期間

一施設の大学および附属病院に在籍し、電離放射線障害の防止に関する規則（電離規則）に基づく健康診断対象者432名を対象とした。

データ収集は、2021年10月から2022年9月までの1年間で実施した。

2. データの収集方法

調査対象機関において健康診断を手配する部署を通じ、電離健康診断の案内に本調査の説明文書および質問紙を同封し、各所属部署への配布した。無記名自記式調査の留め置き法とし、回収用箱に投函された回答を後日研究者がまとめて回収した。

3. 調査内容

本調査は、健康信念モデル[3, 4]および防護動機理論[5]の構成要素と、それらが実務において重要であることを踏まえ、職業環境における放射線防護に関する知識・態度・実践（KAP）を包括的に把握することを目的として設計された。

各質問への回答は、「全くそう思わない」から「とてもそう思う」までの5段階のリッカート尺度を用いた。

(1) 基本属性

性別、年代、血管造影（IVR）もしくは内視鏡的胆管造影（ERCP）への従事の有無、個人線量計（ガラスバッジ）の保持回数

(2) 被ばく防護対策に関する次の14項目

Q1：放射線の「外部被ばく」から身を守るための3つの基本原則を理解している

Q2：上（Q1）の3つの原則に基づき、自らの放射線被ばくを低くするための行動を意識している

Q3：ガラスバッジは、放射線業務を行う

際にいつも所定の位置に着けている

Q4：放射線被ばく線量結果通知（個人報告）の数値を毎月見て確認している

Q5：法律で定められた自身の線量限度の値がどの位か、おおよそ分かっている

Q6：自らの放射線被ばくを減らすためにどの防護具が必要か分かっている

Q7：今後も業務上の職業的放射線被ばくが続くことよる、自らの健康への不安や疑問がない

Q8：他の職員が個人線量計を装着せずに放射線被ばくを行っているのを見かける

Q9：立入る放射線管理区域には、必要な保護具（防護板や防護メガネなど）が充足している

Q10：従事者の被ばく防護について、職場で確認できる資料（マニュアル等）がある

Q11：従事者の被ばく防護について情報が得られる教育の機会（講習会等）がある

Q12：自身の被ばくや防護の方法について確認したい時、誰に聞いたら良いか分かる

Q13：他職種とも連携・協力して、放射線防護に取り組める関係性がある

Q14：総合的に医療従事者の被ばくを管理・低減するために必要な対策は現時点で十分に講じられていると思う

4. 分析方法

全回答のうち、その他、不明を除く計 295 名について分析した。各職種間の個人線量計の装着度（Q3 の回答）の比較には、Mann-Whitney *U* 検定を用いた。個人線量計の装着度と各質問項目との相関関係は Spearman の順位相関係数を用い $\rho \geq 0.4$ を相関ありとした。統計的有意水準は 0.05 未満に設定した。

5. 倫理的配慮

質問紙は無記名とし、記入後は健康診断

会場受付カウンターに設置した回収用の箱への投函を促し、プライバシーに配慮した。産業医科大学倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号：R2-039）。

C. 研究結果

回答を得た 340 名の基本属性を表 1 に示す。医師 166 名の参加者は、男性 135 名（81.3%）と女性 31 名（18.7%）で構成されていた。年代別では、20 代が 30 名（18.1%）、30 代が 79 名（47.6%）、40 代が 37 名（22.3%）、50 代以上が 20 名（12.0%）であった。臨床部門の分類では、整形外科が 12 名（7.2%）、消化器内科が 23 名（13.9%）、インターベンション放射線科が 11 名（6.6%）、泌尿器科が 8 名（4.8%）、麻酔科が 11 名（6.6%）、放射線科が 19 名（11.4%）、その他 82 名（49.4%）であった。

個人線量計の装着度に関する質問「Q3. ガラスバッジは放射線業務を行う時にいつも所定の位置につけている」に対し、5「とてもそう思う」と回答した者の割合を表 2 に示す。診療放射線技師は、「とてもそう思う」と回答した者の割合が最も高く、医師は最もその割合が低かった。

表 1 参加者の基本属性

		(n=340)	
	項 目	n	(%)
年代	-29 歳	70	(20.6)
	30-39 歳	128	(37.6)
	40-49 歳	84	(24.7)
	50-59 歳	53	(15.6)
	不明	5	(1.5)
性別	男性	208	(61.2)
	女性	129	(37.9)
	不明	3	(0.9)
職種	医師	166	(48.8)
	看護師	78	(22.9)
	診療放射線技師	34	(10.0)
	臨床工学技士	17	(5.0)
	その他	39	(11.5)
	不明	6	(1.8)

表 2. Q3 に「とてもそう思う」と回答した者

職種	回答数 (%)
医師	62/166 (37.3)
看護師	37/78 (47.4)
診療放射線技師	31/34 (91.2)
臨床工学技士	9/17 (52.9)

また、同質問 (Q3) の回答を男女別に比較したところ、看護師、診療放射線技師、臨床工学技士では有意差は認めなかったが、医師では有意差があり、男性よりも女性の方が有意に高かった (Mann-Whitney U , $p < 0.01$)。加えて、女性は 3 原則の理解 (Q1)、それに基づく行動 (Q2)、被ばく線量の確認 (Q4) ($p < 0.01$)、線量限度の認識 (Q5) においても有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

次に、個人線量計の装着度と各質問項目との相関関係に関しても男女で異なる傾向を認めた。男性医師の場合、個人線量計の装着度と正の相関関係が認められたのは、3 原則に沿った防護行動 (Q2, $\rho = 0.470$) や被ばく線量の確認 (Q4, $\rho = 0.426$) と線量限度の認識 (Q5, $\rho = 0.442$)、自身に必要な防護具の認識 (Q6, $\rho = 0.475$) であった (いずれも $p < 0.01$)。

一方、女性医師の個人線量計の装着度は、健康上の懸念や疑問の少なさ (Q7, $\rho = 0.490$)、必要な防護具の充足感 (Q9, $\rho = 0.596$)、被ばくや防護に関して尋ねられる人の存在 (Q12, $\rho = 0.406$) との関連性を認めた (いずれも $p < 0.01$)。

D. 考察

認識の性差について、女性医師は男性医師と比較して、個人線量計を常に着用している可能性が高いことが明らかとなった。これは、自身の放射線被ばく線量管理を女性医師はより重視していることを示唆している。さらに、医師の個人線量計の装着度は、男性と女性で異なる項目との相関が認めら

れた。男性においては、放射線防護の 3 原則 (時間、距離、遮蔽) の正しい理解、これらの原則に沿った防護行動、および被ばく線量の確認といった知識や情報を元にした行動との関連が示された。一方、女性医師には、自身の健康に対する不安や懸念がないことや必要な防護具の充足感、被ばくや防護について支援が得られる体制の認識との関連が認められた。これは安心して放射線業務に従事できる環境があることにより個人線量計の装着率が上がる、もしくは、意識的な線量計装着に伴い、安心して放射線業務に従事できる環境要素に関心が高まった可能性も考えられる。

女性は、自身の健康への影響に加え、子どもへの放射線の影響に対する懸念があるために放射線被ばくに対する感受性が高まることが報告されている[6, 7]。本調査では、現在の妊娠の有無や妊娠・出産に対する意向、妊娠・出産歴、授乳、育児期間に該当するかどうかに関する情報は収集しておらず、生殖性との関連性については言及できないが、女性は妊娠・出産・授乳という次世代を育むための特有の機能を有し、それに伴う周囲からの期待や責任も生じやすい。また、妊娠中に被ばくした際の胎芽・胎児への影響と将来生まれてくる子どもへの遺伝的影響[8]は一般的にも広く認識されており、生殖との関連から、女性は男性以上に自らの健康に関する潜在的なリスク意識が高い可能性がある。女性医師の個人線量計の装着度と相関を認めた各項目についても、被ばく影響の不確実性に対する不安や懸念が反映した可能性があり、それが被ばく線量のモニタリングの意識を高めていることが推察される。

被ばく管理下にある従事者の実効線量の 2023 年度までの 5 年間の推移を見ると、医

療分野の平均線量は、工業、研究教育、獣医療の他業種と比較しても最も高い[9]。さらに、医師は医療従事者の中でも実効線量、水晶体等価線量、皮膚等価線量のいずれ線量分布も診療放射線技師に次いで最も高く[9]、さらに、医療放射線の利用の拡大により、被ばくへの機会は増加している[9]。そうしたなかで医師の確実な被ばく線量モニタリングは不可欠であるにも関わらず、本調査の対象施設では、個人線量計の装着度(Q3, 表2)が医師自身の申告でも他職種よりも低いことが確認された。

医療施設の放射線業務従事者に対する教育訓練は、労働安全衛生法の電離放射線障害防止規則第6章「透過写真撮影業務に係る特別の教育」に基づき実施されている。調査の対象施設でも、当該業務に従事し始める際、全職種に対して一律の教育研修が行われているが、今回の結果はそうした教育研修の機会が、従事者の線量管理意識の向上には繋がっていないことも示唆している。

したがって、より効果的な教育・研修プログラム等を従事者の多様な背景や関心、行動パターンをより理解したうえで検討する必要がある[10]。具体的には、各職種の傾向や業務の特性を含めることに加えて、それぞれの性で装着度と関連が高かった項目の内容と関連づけた働きかけを行うことにより、より従事者の認識向上と防護行動への連動を促すことに繋がる可能性がある。

本研究の限界として、今回、認識の性差を比較したが、いずれの職種も性別の偏りが大きく、データ数が少ない性別(医師に関しては女性参加者)の回答に偏りが生じた可能性がある。また、本調査は、同一施設に所属する放射線業務従事者を対象とした調査結果であること、本人の主観に基づく回答であるため、今回の知見を具体的な教育

内容に反映させるには、今後、理解度や認識レベルについても客観的に評価することが課題である。

E. 結論

本調査結果から、職種や性別によって被ばく防護や線量管理に関する認識に差があることが示された。法律に基づく一律の教育や管理手法に留まらず、従事者の多様な背景や関心、行動パターンをより理解したうえでそれぞれの方策に反映させることにより、各従事者の主体的かつ継続的な被ばく線量管理や防護行動を引き起こす効果的な働きかけに繋がる可能性がある。

F. 参考文献

1. 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 平成30年度版(2023).
2. 国家線量登録機構検討グループ: 職業被ばくの線量登録管理制度に関する検討結果(2015).
3. I. M. Rosenstock, V. J. Strecher, M. H. Becker, Health Educ. Q.15, 175–183 (1988).
4. A. Alyafei, R. Easton-Carr, in Stat Pearls, Stat Pearls Publishing (2025).
5. J. Balla, M.S. Hagger, Health Psychol. Rev. 19, 145–171 (2025).
6. ICRP. Vol. 84 Ann. ICRP 30 (1) (Elsevier, 2000).
7. P.M. Williams, S. Fletcher, Am. Fam. Phys. 82, 488–493 (2010).
8. 環境省: 放射線による健康影響等に関するポータルサイト「胎児への影響・遺伝的影響」
https://www.env.go.jp/chemi/rhm/portal/digest/nextgeneration/detail_002.html
9. 株式会社千代田テクノル(2024): 個人線量の実態. FBNews 放射線安全管理総合情報誌, 株式会社千代田テクノル; Vol. 573, pp 7-15
10. K. Suzuki, Japan J. Educ. Technol. 43, 187–196 (2019).

G. 論文報告

KITAMURA Hiroko, KURIYAMA Tomoko,
MATSUZAKI Satoru, MORITAKE Takashi.
Survey on Physicians' Perceptions of
Occupational Radiation Exposure Management:
Differences in Perceptions by Sex. The
European Physical Journal Plus (2025).

H. 研究発表

栗山知子, 櫛田尚樹, 永田竜朗, 喜多村絃
子. 電離則健診を受ける医療従事者の被ばく
防護に関する意識. 日本放射線看護学会 第
12 回学術集会. 2023 年 9 月, 長崎県長崎市

Tomoko Kuriyama, Takashi Moritake, Hiroko
Kitamura: Survey of physicians' perceptions of
Occupational Exposure Management:
Differences in Perceptions by Gender, European
Radiation Protection Week 2024, Rome, 11 月,
2024

I. 知的所有権の取得状況

なし

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

別紙 4

研究成果の刊行に関する一覧表

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
なし							

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
Munehiko Kowatari, Koichi Nakagami, Yasukazu Hijikata, Kazuta Yamashita, Yuta Hirai, Satoru Matsuzaki, Takashi Moritake, Tomoya Tsuji, Hayo Zutz, Steffen Ketelhut, Oliver Hupe	Issues in monitoring orthopedic surgeons with active personal dosimeters when exposed to pulsed X-ray fields during orthopedic procedures	Radiat Prot Dosimetry	201(9)	663-671	2025
Hitomi Go, Moritake Takashi, Tanaka Yuko, Kurokawa Toru, Nakagami Koichi, Kuriyama Tomoko, Morota Koichi, Matsuzaki Satoru, Ishida Toru	Integration of Active Personal Dosimeters, Videos from In-Room Monitors, and Videos from the Surgeon's Main Panel Reveal Pitfalls in Radiation Protection	Applied Sciences	15(21)	11584	2025
Kitamura Hiroko, Kuriyama Tomoko, Matsuzaki Satoru, Moritake Takashi	Survey on physicians' perceptions of occupational radiation exposure management: differences in perceptions by sex	The European Physical Journal Plus	141	105	2026
Matsuzaki Satoru, Nakagami Koichi, Kuriyama Tomoko, Morota Koichi, Hitomi Go, Kitamura Hiroko, Moritake Takashi	Effect of a law amendment on dosimeter wearing in medical radiation workers: observational study	Insights into Imaging	17(1)	42	2026

Satake, H. Iwase, T. Suwada, S. Kusano, D. Asano, M. Tokiyoshi, Y. Matsumoto, Y. Ishigaki, M. Sato	Radiation Monitoring System Using a PIN Photodiode at the KEK Electron/Positron Injector LINAC	Proc. 20th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS 2025)			2025
赤沼直樹, 土屋兼一, 石垣陽, 松本佳宣	磁気センサを用いた訓練用放射線測定システムの動作検証	第62回アイソトープ・放射線研究発表会要旨			2025
Imam Ghazali Yasmin, Yo Ishigaki, Kayoko Yamamoto	KURAMA vs. Safecast: Radiation data comparison in Fukushima following whole-area decontamination	J. Environ. Radioact.	291	107789	2026
Sagehashi K, Haga Y, Kato T, Takahira S, Sota M, Kaga Y, Abe M, Tada N, Chida K.	Impact of Physician Height and Experience on Eye Lens Dose in Interventional Cardiology: An Initial Study	Applied Sciences	15(22)	12137	2025
Fujisawa M, Haga Y, Takahira S, et al.	Development of a headgear-based eye protection device for physicians performing fluoroscopy-guided bronchoscopy.	J Radiat Res.	66(4)	372-384	2025
Fujisawa M, Sota M, Haga Y, Tanaka S, Kataoka N, Kato T, Kaga Y, Abe M, Suzuki M, Inaba Y, et al.	Real-Time Monitoring of Occupational Radiation Exposure in Nuclear Medicine Technologists: An Initial Study.	Applied Sciences.	15(20)	11008.	2025
Shindo R, Yamamoto K, Ohno S, et al.	Evaluation of radiation protection by lead glasses for interventional radiology physicians wearing prescription glasses: considering dose reduction by prescription glasses excluding lead.	J Radiat Res.	66(5)	486-495	2025

