東北大学
TOHOKU UNIVERSITY

Press Release

2026 年 11 月 9 日

報道機関　各位

国立大学法人東北大学

ボトムシールド付き X 線防護眼鏡の水晶体被ばく低減効果を解明
―カテーテル手技中の医師水晶体被ばく量を明らかに―

【発表のポイント】

- 新しい研究デザインによるモンテカルロ・シミュレーション(注 1)により、ボトムシールド付き X 線防護眼鏡のカテーテル手技従事者の水晶体被ばく低減効果を正確に評価しました。
- ボトムシールド付き防護眼鏡は、矯正眼鏡着用時に防護眼鏡と顔面との間に隙間が空く状況でも、左眼の被ばくを 49～77%低減し、従来型の重い防護眼鏡よりも高い被ばく低減効果が明らかになりました。
- 本研究は、防護眼鏡のレンズ形状の改良を通じて、医療従事者の放射線安全の向上と着用時の負担軽減に貢献することが期待されます。

【概要】

X 線透視・撮影下でのカテーテル手技に従事する医師等にとって、放射線被ばくによる白内障のリスクが問題となっています。X 線防護眼鏡を着用しても、顔面と鉛レンズとの隙間から入射する散乱線(注 2)によって水晶体が被ばくする可能性があり、その対策としてボトムシールド付き防護眼鏡が開発されていますが、その遮蔽効果は不明でした。

東北大学大学院医学系研究科放射線検査学分野の進藤僚太大学院生、千田浩一教授（災害放射線医学分野）らの研究グループは、成人を模したメッシュ型参照計算ファントム（以下、メッシュファントム）(注 3)によるモンテカルロ・シミュレーションを用いた新しい研究デザインにより、ボトムシールド付きの防護眼鏡の有効性を正確に評価しました。その結果、ボトムシールド付き防護眼鏡は、カテーテル手技で想定される左斜め下方からの散乱線を効果的に低減し、防護眼鏡と顔面との間に隙間が生じる状況でも、49～77%と従来型に比べ高い被ばく低減効果を示しました。さらに、軽量な鉛厚 0.07 mm のボトムシールド付き防護眼鏡は、鉛厚 0.75 mm の従来型防護眼鏡よりも高い被ばく低減効果を示すことを明らかにしました。この結果は、レンズ形状の工夫によって、鉛厚を薄くしても高い防護効果を得られる可能性を示しており、今後、防護性能の向上と軽量化を両立した防護眼鏡の開発につながることが期待されます。

本成果は 2026 年 10 月 25 日付で AAPM（American Association of Physicists in Medicine）の国際学術誌「Medical Physics」にオンライン公開されました。

【詳細な説明】

研究の背景

2011 年に国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection, ICRP）が水晶体の線量限度の引き下げを勧告して以降、インターベンショナルラジオロジー（Interventional Radiology, IVR）(注 4) に携わる医師の水晶体被ばく防護が、国際的な課題となっています。日本でも 2021 年 4 月から施行された改正電離放射線障害防止規則で水晶体の線量限度が大幅に引き下げられ、被ばく防護への関心がさらに高まっています。

IVR 手技中に水晶体を放射線から守るため、防護眼鏡が広く使用されています。これまでの研究から、防護眼鏡の鉛レンズと顔面との隙間を通って散乱線が入り込み、水晶体が被ばくすることが知られています。一方、視力矯正眼鏡の上から着用するタイプの防護眼鏡の遮蔽効果を評価した研究は極めて限られています。このタイプの防護眼鏡では、視力矯正眼鏡を着用しない場合と比べて、顔面と鉛レンズとの隙間が大きくなり、防護性能が低下する可能性があるため、隙間から入り込む散乱線への対策が重要です。特に、散乱線の発生源に近い側の眼（本研究では左眼）の被ばく線量が高い傾向にあるため、重点的に防護する必要があります。下方から入射する散乱線への防護を強化するため、前面レンズの下部を湾曲させたボトムシールド付きで、かつ軽量な鉛厚 0.07 mm の防護眼鏡も近年販売されています。しかし、水晶体に線量計を直接配置できないなどの理由で、ボトムシールドによる防護効果は十分に明らかにされておらず、世界的にはボトムシールド付き X 線防護眼鏡は主流となっていません。

今回の取り組み

東北大学大学院医学系研究科放射線検査学分野の進藤僚太（しんどう　りょうた）大学院生、千田浩一（ちだ　こういち）教授（災害放射線医学分野）らの研究グループは、人体の形状や内部構造を再現したメッシュファントムおよびモンテカルロ・シミュレーションコードの一つである PHITS（Particle and Heavy Ion Transport code System）を用いた新しい研究デザインにより放射線の挙動を計算し、視力矯正眼鏡の上から着用する防護眼鏡の防護性能を調べるとともに、下方からの散乱線に対するボトムシールドの有効性を世界で初めて詳細に定量評価しました。

本研究は、従来型の防護眼鏡の前面レンズの下部を内側に折り曲げたボトムシールド付き防護眼鏡をモデル化しました（図 1）。鉛厚 0.5 mm および 0.75 mm のレンズに加え、鉛厚 0.07 mm の軽量なレンズについても評価しました。照射条件には、肝動脈化学塞栓療法 (注 5) における後前方向照射を用いました。また、線量計算には ICRP Publication 145 で公開されたメッシュファントムを用いま

した。このメッシュファントムは従来のボクセルファントムと異なり、人体の表面形状をより滑らかに表現できるため、防護眼鏡と顔面との隙間の大きさを、より現実に即して再現できます。さらに水晶体の微小な構造も再現されているため、放射線感受性の高い水晶体幹細胞領域の被ばく線量に基づく防護性能の評価が可能です。これらの特徴により、本研究は従来の研究と比較して、隙間の大きさと防護率（注6）の関係をより正確に評価できる点で優れています。

その結果、従来型の防護眼鏡では、鉛レンズと額との距離が 0.5 cm の場合、左眼の防護率は 50%以上でしたが、距離が約 1 cm になると約 22%以下まで低下しました（図 2）。一方、ボトムシールド付き防護眼鏡では、鉛厚 0.07 mm でも距離が 1 cm の場合に約 49%の防護率を示しました。さらに、鉛厚 0.5 mm および 0.75 mm では、防護率がそれぞれ約 76%、77%に向上しました。散乱線の空間分布からは、ボトムシールドが左斜め下方から入射する散乱線を遮蔽し、左眼を防護する様子が確認されました（図 3）。

<u>今後の展開</u>

本研究は、視力矯正眼鏡の上から防護眼鏡を着用する際に、鉛レンズと額との隙間が防護性能に及ぼす影響を定量的に評価するとともに、隙間への対策としてボトムシールドの有効性を示しました。特に、レンズの総面積（すなわち総重量）を増やさずに、鉛厚を薄くしても防護効果を向上させられることを示した点は、防護性能の向上と着用時の負担軽減（軽量化）の両立を目指すうえで重要な知見です。本研究成果は、防護眼鏡の設計改良を通じて、医師等の放射線従事者の放射線安全の向上に貢献することが期待されます。

今後は、さまざまな手技や照射条件を対象にモンテカルロ・シミュレーションを実施し、ボトムシールド付き防護眼鏡の有効性の研究を継続します。また、ボトムシールドが左眼の防護に有効である一方、右眼は鼻付近の隙間を通った散乱線によって被ばくする様子が示されました（図 3）。今後は、右眼の被ばく状況に関する臨床知見を踏まえ、防護眼鏡の改良や、より具体的な方法について検討します。

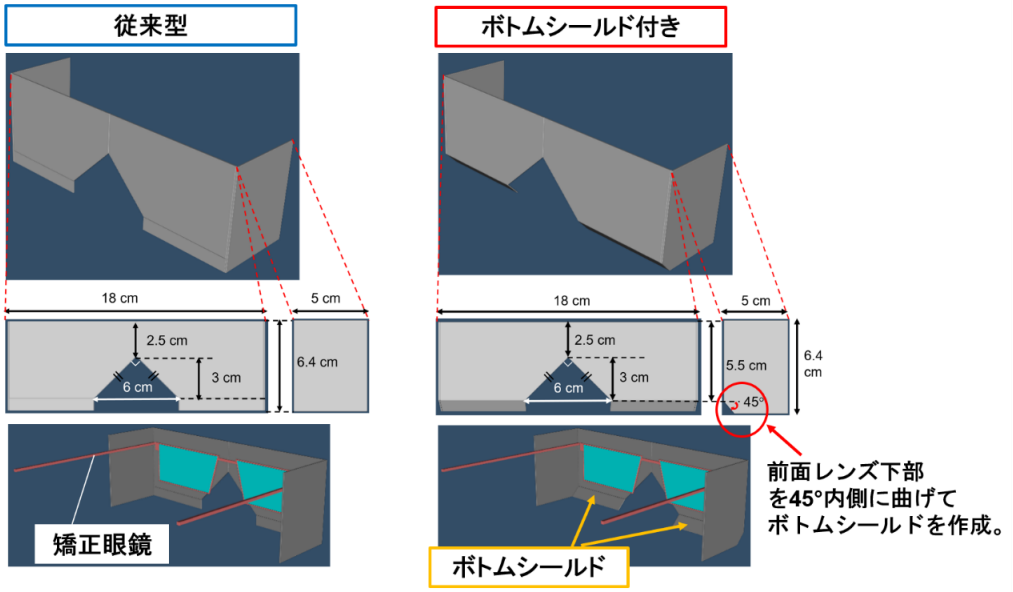


図 1. 従来型防護眼鏡の前面レンズの下部を 45° 内側に曲げることでボトムシールドを作成した。本研究では、チタン製フレームとプラスチック製レンズで構成された矯正眼鏡の上に重ねて使用した。

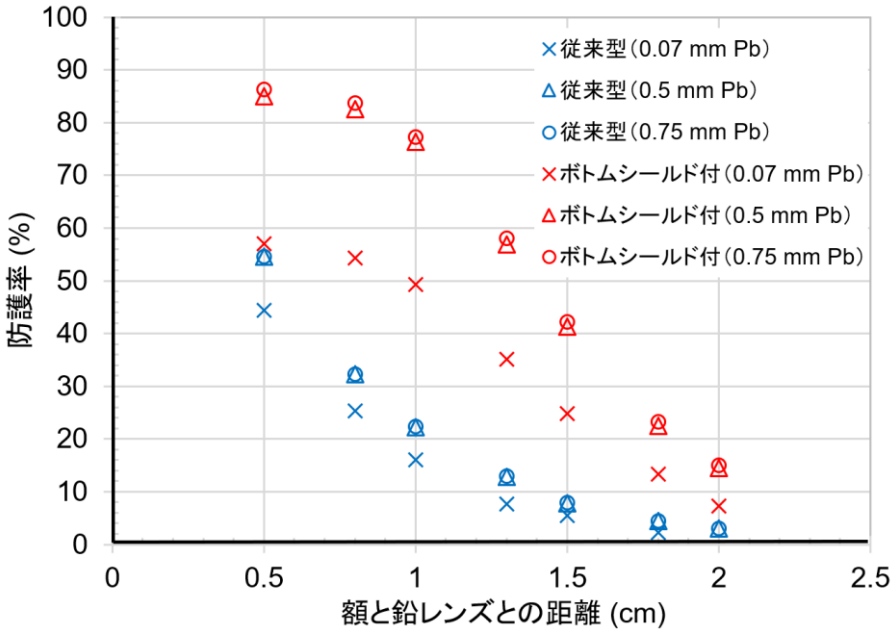


図 2. 額と防護眼鏡の鉛レンズ間の距離を拡大した（離した）際の左眼の防護率の推移。ボトムシールドを導入することで従来型よりも防護率が上昇した。また、額と鉛レンズとの距離が 1 cm 程度まで大きくなっても、高い防護率を維持する傾向があった。

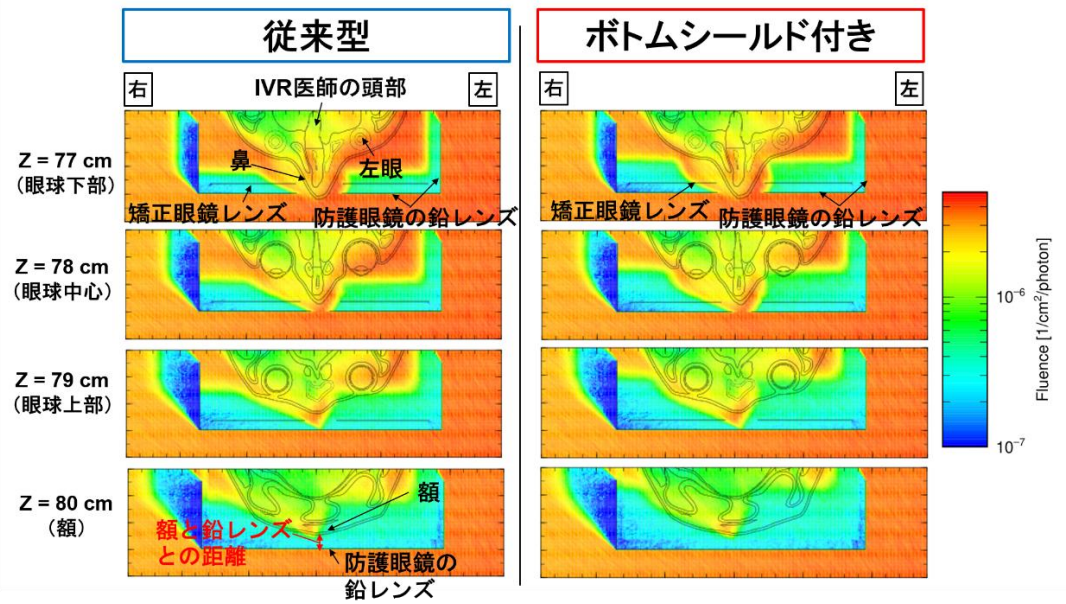


図 3. IVR 医師の眼に入射する散乱線の空間的な分布。本研究では、z = 80 cm の断面図に赤い両矢印で示した額と鉛レンズとの距離を変化させながら、防護率を評価した。ボトムシールドは下方から入射する散乱線を遮蔽し、左眼を効果的に防護した。一方、右眼には鼻付近の隙間を通って散乱線が入射していた。

【謝辞】

本研究の一部は、厚生労働省労災疾病臨床研究事業（240401-02、研究代表者：千田浩一）、JSPS 科研費基盤 B（23K28227、研究代表者：千田浩一）、および JST SPRING（JPMJSP2114、研究代表者：進藤僚太）の支援を受けて実施されました。

本論文は『東北大学 2026 年度 APC 支援事業』の支援を受けオープンアクセス出版されました。

【用語説明】

注1.　モンテカルロ・シミュレーション：乱数を用いて数百万回以上の試行を行うことで、数式だけでは解くことが難しい問題の結果を推定する手法。放射線挙動解析にも用いられている。

注2.　散乱線：X 線などの放射線が物体と相互作用し、周囲に跳ね返ることで発生する二次的な放射線。

注3.　メッシュ型参照計算ファントム：ICRP Task Group 103 が従来のボクセルファントム（小さな直方体を多数組み合わせることで構成された人体模型）を四面体メッシュ形式に変換したもの。ボクセルファントムと比較し

てさらに細かい構造を表現することができる。

注4.　インターベンショナルラジオロジー（IVR）：X 線透視や撮影で画像を確認しながら、カテーテルを検査・治療部位に進めて行う治療。X 線透視時間が長くなる手技もある。

注5.　動脈化学塞栓療法：がんに栄養を送る動脈に、カテーテルを通じて塞栓物質と抗がん剤を注入する治療法。

注6.　防護率：防護機材を使用しない場合と比較して、防護機材の使用によって線量がどの程度低減するのかを示す指標。

【論文情報】

タイトル：Influence of forehead gap size on eye protection provided by lead eyewear worn over prescription glasses: A Monte Carlo study

著者：Ryota Shindo, Masaki Fujisawa, Keisuke Yamamoto, Kodai Sagehashi, Yohei Inaba and Koichi Chida*

*責任著者：東北大学大学院医学系研究科　放射線検査学分野/災害放射線医学分野　教授　千田　浩一（ちだ こういち）

掲載誌：Medical Physics

DOI：10.1002/mp.70734

URL：https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mp.70734

https://doi.org/10.1002/mp.70734

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学大学院医学系研究科

放射線検査学分野/災害放射線医学分野

教授　千田浩一（ちだ　こういち）

TEL: 022-717-7943

Email: koichi.chida.d8@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学大学院医学系研究科・医学部広報室

東北大学病院広報室

TEL: 022-717-8032

Email: press.med@grp.tohoku.ac.jp