

令和 6 年 6 月 1 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K12127

研究課題名（和文）医療従事者や介助者に資する多機能型水晶体被曝防護機器の開発

研究課題名（英文）Development of multifunctional lens exposure protection equipment for medical professionals and caregivers

研究代表者

常陸 真（Hitachi, Shin）

東北大学・大学病院・助教

研究者番号：50400362

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：2021年に改正電離則において、眼の水晶体等価線量限度の大幅な改正（引き下げ）が行われたため、様々な放射線検査に資する水晶体被曝防護具の開発を試みた。本研究では、まず様々な放射線検査場における3次元線量分布を把握した。次に、それらを元に着脱可能でかつ移動性に優れた水晶体防護具の開発を行うことで、プロトタイプの最適化を行った。最終的には、医療従事者および介助者の位置における防護効果を検証した結果、両者ともに85-90%の防護効果が得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線検査は、一般撮影（歯科撮影含む）、CT、X線透視検査、画像化治療（CT透視下インターベンション含む）等多岐にわたるため、医療従事者は様々な場面で水晶体被ばくする可能性がある。水晶体被ばく線量限度の法改正がなされた現在において、本研究で開発した水晶体防護具は、それら多くの場面において活用できる。さらには、放射線科での利用に留まらず、手術室や救急領域においても利活用可能であるため波及効果は高い。

研究成果の概要（英文）：Since the equivalent dose limit for the lens of the eye was drastically revised (lowered) in the revised Ionization Regulations in 2021, we attempted to develop lens exposure protection devices that would contribute to various radiation examinations. In this study, we first obtained three-dimensional dose distributions at various radiation inspection sites. Next, we optimized the prototype by developing a removable and mobile lens protection device based on these data. Finally, we verified the protective effectiveness in the positions of medical personnel and caregivers, and found that 85-90% protection was achieved for both of them.

研究分野：放射線科学、医療技術評価学

キーワード：放射線防護 放射線計測 放射線被ばく

## 1. 研究開始当初の背景

2011年に国際放射線防護委員会(ICRP)は、水晶体線量限度を約1/8に引き下げる勧告(100mSv/5year, 最大50mSv/year)をしたため、放射線従事者が放射線白内障になる危険性が危惧されており、国際的な課題となっていた。2021年には改正電離則により前述の新勧告通りに法令改正が行われたため、前法令に比べ、約250倍の人が線量限度超過の可能性があり、可及的速やかな対応と備えが必要となった。実際に、放射線業務従事者の放射線白内障は国内外問わず報告されている。さらに放射線業務は、一般撮影(X線ポータブル撮影含む)・CT(Computed Tomography)・IVR(Interventional Radiology)・核医学検査・放射線治療など多岐にわたり、様々な放射線場で水晶体被曝する恐れがある。しかしながら、移動性と多様性に優れた適切な水晶体防護機器が存在しないのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究では、放射線業務従事者および介助者まで対応可能なさまざまな放射線検査に資する水晶体被曝防護機器の開発を試みる。

## 3. 研究の方法

### (1) 様々な放射線検査場における空間散乱線量測定

種々の放射線検査場における空間散乱線量のホットスポットを把握するために、CT透視下インターベンション時・歯科撮影時・ポータブル撮影時の放射線業務従事者位置における空間散乱線量分布を電離箱サーベイメータ(1cm線量当量)にて測定した。

### (2) 水晶体被曝防護具の開発と初期評価

上記散乱線量分布を参考に鉛板の厚みや形状を検討し、最適に被曝防護可能なプロトタイプ水晶体被曝防護具の試作を行った。さらに防護具の高さを可変できる機構に設計することで、検査種毎に最適化できるようにした。

### (3) 開発防護具の防護効果と臨床利用

人体ファントムを用いて、ERCP(内視鏡的逆行性胆道膵管造影)で用いるX線Cアーム装置の幾何学的条件にて開発防護具の水晶体被曝防護効果(高さ150cm:水晶体位置を想定)を検証した。また、実臨床測定としては、CT透視下インターベンション時における水晶体被曝線量測定およびTAVI(経カテーテル大動脈弁留置術)時(30症例)における開発防護具の有無にて放射線業務従事者の水晶体被曝防護効果を測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 様々な放射線検査場における空間散乱線量測定

CT透視下インターベンション時(Inaba Y, et al. Diagnostics 2021, 11, 646)・歯科撮影時(西原 拓也, 稲葉 洋平, 他. 第9回東北放射線医療技術学術大会 2019)・ポータブル撮影時(Otomo K, Inaba Y, et al. Bioengineering 2023, 10, 259)の空間散乱線量値は距離の逆二乗則に従い、離れば低くなっていた。しかしながら、3次元的分布は各放射線検査によって、相違があることが測定結果から分かった。ゆえに放射線検査の種類に応じた水晶体被曝防護方法を確立する必要があることが示された。

### (2) 水晶体被曝防護具の開発と初期評価

0.25mm鉛当量の遮蔽能力を有するエッジ型と0.5mm鉛当量の暖簾型を組み合わせるプロトタイプ水晶体被曝防護具を作成した(図1)。また、放射線業務従事者(医師)だけでなく、介助者にも適用できるように、被曝防護具の大きさを2種類作成した(図2, 3)。さらに、高さの可変機構は、20cmから40cmまで変化させることができる。



図1. 可搬型防護具

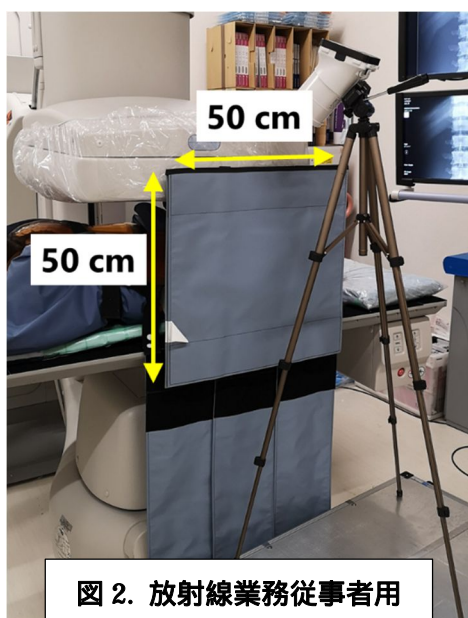


図2. 放射線業務従事者用

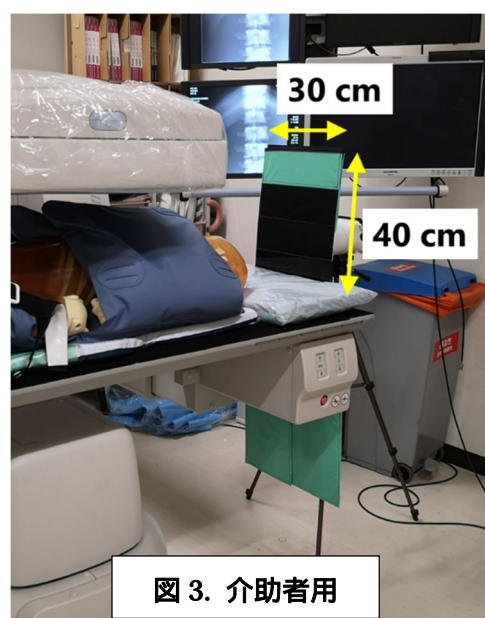


図3. 介助者用

### (3) 開発防護具の防護効果と臨床利用

ERCP手技を想定した高さ150cm(水晶体位置想定)における人体ファントムを用いた放射線業務従事者位置(図2)での開発防護具の放射線防護効果は、90%以上であった。また、介助者位置(図3)でのそれは85%以上を示し、両者とも高い水晶体防護率を実現できた。

CT透視化生検時における1件当たりの最大水晶体被曝線量は、 $300\ \mu\text{Sv}$ を示した。ゆえに、大まかに見積ると、年間約70症例の手技で水晶体線量限度である $20\text{mSv/y}$ (5年平均)を超える恐れがあることを明らかにした(Inaba Y, et al. Diagnostics 2021, 11, 646)。

TAVI施行時における放射線業務従事者位置(図1)での開発防護具の防護効果は約50%であった。先のファントム実験よりも防護率が低くなった理由は、放射線業務従事者(麻酔科医)が麻酔作業で位置移動したり、患者観察のために覗いていたことが原因で水晶体被曝したと考えられる。

### まとめ

以上のように、高さ可変可能、かつ着脱可能な機構に設計したことで移動性に富み、様々な放射線検査に活用できる多様性のある水晶体被曝防護具の開発に成功した。また、水晶体防護効果は、人体ファントム実験において、85%以上の高い放射線防護を示すことができ有用性が高いと言える。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Inaba Yohei, Hitachi Shin, Watanuki Munenori, Chida Koichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Radiation Eye Dose for Physicians in CT Fluoroscopy-Guided Biopsy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tomography	6. 最初と最後の頁 438 ~ 446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/tomography8010036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ishii Hiroki, Chida Koichi, Satsurai Ko, Haga Yoshihiro, Kaga Yuji, Abe Mitsuya, Inaba Yohei, Zuguchi Masayuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Occupational eye dose correlation with neck dose and patient-related quantities in interventional cardiology procedures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 54 ~ 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12194-022-00650-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Inaba Yohei, Hitachi Shin, Watanuki Munenori, Chida Koichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Occupational Radiation Dose to Eye Lenses in CT-Guided Interventions Using MDCT-Fluoroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Diagnostics	6. 最初と最後の頁 646 ~ 646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/diagnostics11040646	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Inaba Yohei, Nakamura Masaaki, Zuguchi Masayuki, Chida Koichi	4. 巻 20
2. 論文標題 Development of Novel Real-Time Radiation Systems Using 4-Channel Sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 2741 ~ 2741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20092741	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishii Hiroki, Haga Yoshihiro, Sota Masahiro, Inaba Yohei, Chida Koichi	4. 巻 39
2. 論文標題 Performance of the DOSIRIS? eye lens dosimeter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Radiological Protection	6. 最初と最後の頁 N19 ~ N26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6498/ab2729	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishii H, Chida K, Satsurai K, Haga Y, Kaga Y, Abe M, Inaba Y, Zuguchi M	4. 巻 185
2. 論文標題 A PHANTOM STUDY TO DETERMINE THE OPTIMAL PLACEMENT OF EYE DOSEMETERS ON INTERVENTIONAL CARDIOLOGY STAFF	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 409 ~ 413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/rpd/ncz027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 薩來康、石井浩生、芳賀 喜裕、加賀勇治、佐藤 文貴、本田 崇文、稲葉洋平、千田浩一	4. 巻 17
2. 論文標題 半導体式サーベイセンサの散乱X線平均エネルギー測定精度の基礎検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本放射線安全管理学会誌	6. 最初と最後の頁 114-120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Otomo Kazuki, Inaba Yohei, Abe Keisuke, Onodera Mana, Suzuki Tomohiro, Sota Masahiro, Haga Yoshihiro, Suzuki Masatoshi, Zuguchi Masayuki, Chida Koichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Spatial Scattering Radiation to the Radiological Technologist during Medical Mobile Radiography	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bioengineering	6. 最初と最後の頁 259 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/bioengineering10020259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Inaba Y, Otomo K, Murabayashi Y, Endo M, Hitachi S, Chida K
2. 発表標題 Monitoring and Protection of the Lens of Eye Dose in CT-guided Interventions Using MDCT-fluoroscopy
3. 学会等名 RSNA (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Inaba Y, Hitachi S, Chida K
2. 発表標題 Assessment of the Scattered Radiation Dose during CT-guided Interventions using MDCT-fluoroscopy
3. 学会等名 EPSM&AOICMP2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉洋平、千田浩一
2. 発表標題 Evaluation of the occupational dose in CT-guided interventions using MDCT-fluoroscopy
3. 学会等名 第117回日本医学物理学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井 浩生、薩來 康、芳賀 喜裕、加賀 勇治、阿部 美津也、稲葉 洋平、千田 浩一
2. 発表標題 リアルタイム個人線量計を用いたIVRスタッフの水晶体線量に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本放射線安全管理学会 第17回学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 薩來 康、石井 浩生、芳賀 喜裕、加賀 勇治、稲葉 洋平、千田 浩一
2. 発表標題 空間散乱X線平均エネルギー測定：ファントムの違いが平均エネルギー値に与える影響
3. 学会等名 日本放射線安全管理学会 第17回学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西原 拓也、高根 侑美、鈴木 友裕、稲葉 洋平、石塚 真澄、小野 勝範
2. 発表標題 口内法 X 線撮影時における空間散乱線量分布の基礎的評価
3. 学会等名 第 9 回東北放射線医療技術学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	稲葉 洋平  (INABA Yohei)  (70704667)	東北大学・医学系研究科・講師   (11301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	本田 崇文  (HONDA Takafumi)	東北大学・医学系研究科・大学院生   (11301)	
研究 協力者	佐藤 文貴  (SATO Fumitaka)	東北大学・医学系研究科・大学院生   (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	石井 浩生  (ISHII Hiroki)	東北大学・医学系研究科・大学院生  (11301)	
研究協力者	薩来 康  (SATSURAI Ko)	東北大学・医学系研究科・大学院生  (11301)	
研究協力者	遠藤 美芽  (ENDO Mime)	東北大学・医学系研究科・大学院生  (11301)	
研究協力者	大友 一輝  (OTOMO Kazuki)	東北大学・医学系研究科・大学院生  (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関