

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：37116

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K10498

研究課題名(和文) 院内における放射線業務従事者を対象とした放射線被ばく原因究明ツールの開発と実践

研究課題名(英文) Development and implementation of a radiation exposure causation tool for in-hospital radiation workers

研究代表者

蒲地 正幸 (Kamochi, Masayuki)

産業医科大学・大学病院・准教授

研究者番号：90204643

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)：本研究で開発した放射線リスクビューアは、医療従事者の行動と被ばく線量を同期させ職業被ばくの原因を探求するためのシステムであり、「いつ」、「どこで」、「どのように」職業上の被ばくを受けたかを可視化する機能を有している。従来の放射線防護方法は、経験やシミュレーションから防護策を講じてきた。そのため、各個人に即したオーダーメイドな防護策より、放射線防護の3原則をもとにした対策が行われてきた。放射線リスクビューアによって、行動と線量を結びつけ可視化することで、労働衛生改善に一石を投じることができた。課題として、時間軸で同期した場合、動画と線量にズレが発生することから、システムの改良が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療従事者の個人被ばく線量管理は、パッシブ型個人線量計を用いた積算線量(1ヶ月)で管理されている。そのため、局所的に高線量の職業被ばくがあっても、医療従事者の「いつ」、「どこで」、「どのように」被ばくしたのかを明らかにするのは困難であった。我々が開発した放射線リスクビューアを用いる事で、医療従事者の職業被ばくの原因を可視化し、原因究明を実施するシステムを構築した学術的意義は大きい。さらに、医療従事者の行動を動画によって振り返れることで、各個人に即した放射線防護策を提案できることは、労働衛生の改善に役立つことから、このシステムの社会的意義は大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：The Radiation Risk Viewer developed in this study is a system designed to explore the causes of occupational exposure by synchronizing behavior and dose. The Radiation Risk Viewer can reveal "when," "where," and "how" a health care worker received occupational exposure. The system enables the visualization of the causes of occupational exposure by linking the health care worker's behavior to the radiation dose.

研究分野：放射線防護

キーワード：職業被ばく 放射線防護 放射線測定 半導体線量計 放射線リスクビューア 可視化 動画

1. 研究開始当初の背景

国際放射線防護委員会 (ICRP) が白内障のしきい値を 0.5Gy へと大幅に引き下げる声明 (組織反応に関する声明, 2011 年) を出したのを受け、我が国でも放射線業務従事者の水晶体被ばく線量管理が喫緊の課題になっている。先行研究より、CT 撮影介助者の眼の水晶体線量は防護眼鏡未使用時 (中央値 0.22 mGy/検査) 防護眼鏡使用時 (中央値 0.11 mGy/検査) はこれまで、最も高いと思われていた IVR 術者のその約 1.5 倍と推計された。また、透視下で行うミエログラフィー検査においては、検査実施者の違い (経験年数、方法) から同一の検査においても線量が異なる事態が発生した。これらの研究結果から更なる放射線防護方法の解明が急務である。そこで、放射線診療時の術者の行動の違いが被ばく線量に影響することに着目した。検査中の行動と被ばく線量の関係に対する研究は手をつけておらず、他の研究者からの報告も皆無である。

2. 研究の目的

本研究では具体的に、①放射線業務従事者の被ばく線量をリアルタイムに測定できる半導体検出器とウェアラブルカメラを組み合わせリアルタイムに行動と被ばく線量を観察できるシステム構築し、これを用いて②CT 介助作業者の被ばく線量実態調査やミエログラフィーなどの医療従事者の被ばく線量が高いと考えられる検査を対象に、作業の可視化を実践し行動改善を促すことにより放射線業務従事者の被ばくの低減効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) CT 検査に従事する医療従事者の職業被ばくの実態調査

CT 検査室で行われた 15 症例に従事した診療放射線技師 (2 名) の放射線防護衣の内外にリアルタイム半導体線量計 (RaySafe i2, Unfors RaySafe 社, スウェーデン, i2 線量計, 図 1) を装着し、職業線量をリアルタイムに測定した。この i2 線量計は、線量分解能: 1 μ Sv、線量範囲: 1 μ Sv - 10 Sv、実用量: 1cm 線量当量 ($H_p(10)$) の測定を行えるため、医療領域の職業線量を測定するには十分な能力を有している。

CT 撮影介助者の実効線量は、2 つの i2 線量計から得られた測定値を、式 (1) を用いて算出した。

$$\text{実効線量} = 0.11H_a + 0.89H_b \quad (1),$$

ただし、

H_a : 放射線防護衣外側の被ばく線量、 H_b : 放射線防護衣内側の被ばく線量

(2) 放射線リスクビューアの開発

実際に放射線業務従事者の放射線リスクビューアを開発し臨床使用するには、①ウェアラブルカメラ②線量計③支持する装具 (マウント)④同期用ソフトウェアが必要である。



図 1 リアルタイム半導体線量計 (RaySafe i2, Unfors RaySafe 社, スウェーデン)

また、作業者の行動と被ばく線量を同期できるシステムは国内では存在しない。そこで、防護眼鏡にウェアラブルカメラを取り付け、半導体線量計を装着するための装具の開発を独自に行う。又、ウェアラブルカメラの動画と水晶体被ばく線量を同期させリアルタイムにモニタリングできるシステムの開発を独自に行う。

(3) 放射線リスクビューアの実践

PET/CT 検査に従事する診療放射線技師 (2 名) に放射線リスクビューアを装着しシステムの確認を行った。診療放射線技師の胸部に i2 線量計、放射線防護眼鏡に自作したマウントを用いてウェアラブルカメラを装着した。測定した放射性物質は 2 本 (0.511 MeV) の消滅 γ 線を放出する β^+ 線放出核種 (^{68}Ge 線源および ^{18}F -FDG) である。開発したシステムを用いて測定された線量データと動画データを時間軸で同期し、診療放射線技師の職業被ばくを可視化した。

4. 研究成果

(1) CT 検査に従事する医療従事者の職業被ばくの実態調査

表 1 に CT 介助時の診療放射線技師の職業線量を示す。実効線量は $16 \mu\text{Sv}/\text{CT scan}$ であった。診療放射線技師は患者の頭部を保持するために CT ガントリー近傍で CT 撮影介助をおこなっていた (目視)。i2 線量計で検出されたリアルタイム線量データを表示モニタで確認することで、診療放射線技師がどのタイミングで被ばくしているかを観察することができた。さらに、診療放射線技師が被ばくしていると思うタイミングと、表示モニタで線量が検出されたタイミングはほぼ同じであることが聞き取り調査から明らかになった。

しかしながら、動画データの収集を実施していないため、CT 検査室内で作業を行っていない者が、表示モニタと作業を相互に確認しなければならなかった。また、作業終了後の振り返りは、動画データがないため、表示モニタに示された線量情報のみで議論を行わなければならなかった。さらに、i2 線量計と線量表示モニタは Wireless Fidelity (Wi-Fi) で同期されているため、リアルタイムに線量情報を得るには表示モニタを検査室内に置き同期する必要があった。

表 1 CT 撮影介助時の職業線量

職業線量	診療放射線技師 (n = 3, 15 症例)
	中央値 [範囲]
[$\mu\text{Sv}/\text{CT scan}$]	
放射線防護衣 (外側)	81 [21-500]
放射線防護衣 (内側)	8 [2-54]
実効線量	16 [4-83]

(2) 放射線リスクビューアの開発

既存の放射線防護眼鏡 (Panorama shield[®] ultra-light 0.07-mm-Pb, 東レ, 日本) にウェアラブルカメラ (PMC-S) を装着するマウントを作成した。このマウントにより、測定対象者の目線の動画データを撮影することが可能になった。ただし、ウェアラブルカメラおよび、マウン

トの重量が 70 g 程度あり、長時間の装着では眼鏡がずれる事例が発生した。

この研究で用いたウェアラブルカメラは 500 万画素 1/3 インチ CMOS デジタルイメージセンサーを搭載した超小型カメラである。高解像度 (2592×1944) による圧倒的な高精細撮影 (動画撮影: 最大 1920×1080、静止画撮影: 2592×1944) を実現し、更に最低被写体照度 0.1 Lux と高感度撮影にも対応している。その為、明るい場所だけでなく、ある程度の低照度下での撮影にも対応し、様々なシーンで撮影が可能なカメラである。さらに、長時間 (4 時間) 撮影が可能であり、Interventional Radiology (IR)などの長時間の手技を行う場合にも対応できる性能を有している。

放射線リスクビューアの使用前に i2 線量計とウェアラブルカメラの日時を合わせ時間軸 (日時)でデータの同期を行えるようにした。データ収集後に、i2 線量計の線量データとウェアラブルカメラの動画データを用いてデータの同期を行った。

(4) 放射線リスクビューアの実践

初期の研究計画では、CT 撮影介助者を対象に放射線リスクビューアの評価を行う予定であった。しかしながら、CT 撮影介助者にウェアラブルカメラや i2 線量計の装着に多少の時間が必要なため、急変対応が多い CT 撮影介助者に臨床試験を行うことが困難であった。そのため、PET/CT 検査に従事する診療放射線技師に放射線ビューアを用いて臨床試験を行なった。放射線ビューアを用いた場面は、①診療放射線技師が、検査開始前に行う quality control (QC) 時の職業線量、②診療放射線技師が、自動注入機に ^{18}F -FDG 製剤準備時に受ける職業線量、の 2 場面を対象に放射線リスクビューアを用いて、作業時の動画データと線量データの同期の正確性を中心に検証を行なった。

^{68}Ge 線源を用いた QC 時の職業線量

図 2 に放射線リスクビューアを用いて作成したデータを示す。放射線リスクビューアによって、個別に収集した動画データと線量データを同期することができた。

この検証では、 ^{68}Ge 線源が収納されている金庫から線源を取り出し、PET/CT 装置に持っていく場面が撮影されている。本来なら、金庫の扉を開けた際に職業線量が測定させるはずだが、放射線リスクビューア上では、金庫を開け、線源を取り出している際に初めて職業線量が検出されていた。このことから、線量データと動画データを時間軸で同期する場合、1 秒程度のタイムラグが発生することが明らかになった。

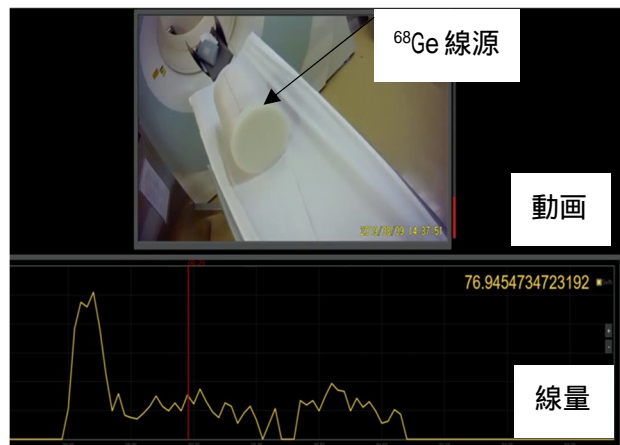


図 2 放射線リスクビューアの画面

^{18}F -FDG 製剤を自動注入機準備時の職業線量

図 3 に放射線リスクビューアを用いて作成したデータを示す。この検証においても、個別に収集した動画データと線量データを同期することができた。当該場面でも、i2 線量計の線

量が検出されたのは、製剤を開封してから 1 秒後であり動画データと線量データ間にタイムラグが発生していた。さらに、動画上では自動注入機の蓋を閉めることで、遮蔽が行えているにも関わらず、線量データ上では線量が検出されていた。これは、i2 線量計は線量率で測定させているため、遮蔽が行われていても、単位時間あたりの線量率が $40 \mu\text{Sv/h}$ 以上あれば線量を検出するため、放射線リスクビューア上にあたかも被ばくが発生しているような表示になったと考える。

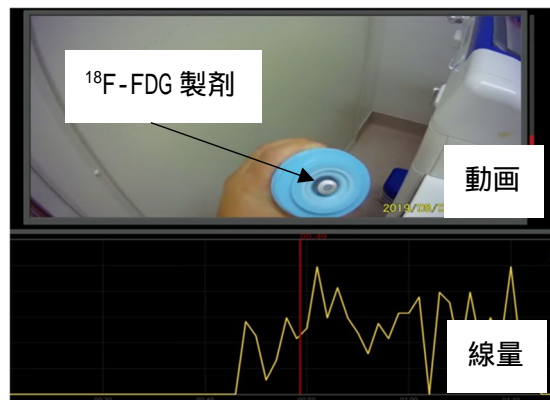


図 3 放射線リスクビューアの画面

本研究で開発した放射線リスクビューアは、医療従事者の行動と職業線量を同期させ職業上の被ばく原因を探求するために開発されたシステムである。これにより、医療従事者の「いつ」、「どこで」、「どのように」職業上の被ばくを受けたかが明らかになり、労働衛生の改善に繋がることを示唆された。さらに、放射線リスクビューアによって、職業被ばくの原因を可視化できるため、各個人の放射線診療状況に即したオーダーメイドな放射線防護策を立案できる可能性を秘めている。

しかしながら、放射線リスクビューアに用いた i2 線量計は、線量下限値が $40 \mu\text{Sv/h}$ に設定させているため、設定させている時定数だけ測定開始が遅れることが判明した。そのため、動画データ上、測定対象者に被ばくがあるように見える場面でも、線量データに時定数だけタイムラグが発生し被ばくが発生していないように見える同期上のエラーが発生した。さらに、i2 線量計は、線量率で測定させているため、短時間の放射線遮蔽行為では、線量率が低下しないことから、放射線リスクビューア上でも線量に変化が無かったと考える。

今後、この放射線リスクビューアの同期精度を向上させるには、線量測定に用いる線量計の変更や時定数を考慮した放射線リスクビューアのプログラムの再構築が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nagamoto Keisuke, Moritake Takashi, Nakagami Koichi, Morota Koichi, Matsuzaki Satoru, Kunugita Naoki	4. 巻 63
2. 論文標題 A multicenter study of radiation doses to the eye lenses of clinical physicians performing radiology procedures in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Occupational Health	6. 最初と最後の頁 e12305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/1348-9585.12305	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 Kawatari Munehiko, Nagamoto Keisuke, Nakagami Koich, Tanimura Yoshihiko, Moritake Takashi, Kunugita Naoki	4. 巻 47
2. 論文標題 Experimental Evaluation of Scattered X-Ray Spectra due to X-Ray Therapeutic and Diagnosis Equipment for Eye Lens Dosimetry of Medical Staff	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Protection and Research	6. 最初と最後の頁 39～49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14407/jrpr.2021.00220	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 Matsuzaki Satoru, Moritake Takashi, Morota Koichi, Nagamoto Keisuke, Nakagami Koichi, Kuriyama Tomoko, Kunugita Naoki	4. 巻 143
2. 論文標題 Development and assessment of an educational application for the proper use of ceiling-suspended radiation shielding screens in angiography rooms using augmented reality technology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Radiology	6. 最初と最後の頁 109925～109925
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejrad.2021.109925	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 Nakagami Koichi, Moritake Takashi, Nagamoto Keisuke, Morota Koichi, Matsuzaki Satoru, Kuriyama Tomoko, Kunugita Naoki	4. 巻 11
2. 論文標題 Strategy to Reduce the Collective Equivalent Dose for the Lens of the Physician's Eye Using Short Radiation Protection Curtains to Prevent Cataracts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Diagnostics	6. 最初と最後の頁 1415～1415
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/diagnostics11081415	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10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 永元啓介, 盛武敬, 中上晃一, 茂呂田孝一, 松崎賢, 櫻田尚紀
2. 発表標題 循環器診療に従事する医師の眼の水晶体
3. 学会等名 第31回日本心血管インターベンション治療学会九州沖縄地方会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松崎 賢, 盛武 敬, 中上 晃一, 永元 啓介, 茂呂田 孝一, 栗山 知子, 人見 剛, 櫻田 尚樹
2. 発表標題 放射線管理区域で従事する看護師の個人被ばく線量計装着実態調査
3. 学会等名 日本放射線看護学会第10回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗山 知子, 中上 晃一, 茂呂田 孝一, 人見 剛, 松崎 賢, 永元 啓介, 盛武 敬, 櫻田 尚樹
2. 発表標題 カテーテルアブレーションにおける看護ケア時の水晶体被ばくの評価
3. 学会等名 第31回日本心血管インターベンション治療学会九州沖縄地方会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗山 知子, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 人見 剛, 中上 晃一, 永元 啓介, 松崎 賢, 櫻田 尚樹
2. 発表標題 血管造影室で放射線業務に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査
3. 学会等名 第39回産業医科大学学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松崎 賢, 盛武 敬, 中上 晃一, 永元 啓介, 茂呂田 孝一, 栗山 知子, 人見 剛, 樺田 尚樹
2. 発表標題 管理区域で働く放射線業務従事者の個人被ばく線量計装着の実態調査
3. 学会等名 第49回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中上 晃一, 盛武 敬, 永元 啓介, 阿部 利明, 猿渡 博美, 茂呂田 孝一, 松崎 賢
2. 発表標題 X線可動絞りを小型防護カーテンで覆ったOver tube型透視装置における空間線量低減効果の検討
3. 学会等名 第75回日本放射線技術学会総会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中上 晃一, 永元 啓介, 阿部 利明, 猿渡 博美, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 盛武 敬
2. 発表標題 X線可動絞りを小型防護カーテンで覆ったOver tube型透視装置における空間線量低減効果の検討
3. 学会等名 第92回日本産業衛生学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中上 晃一, 盛武 敬, 永元 啓介, 猿渡 博美, 阿部 利明, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 樺田尚樹
2. 発表標題 ERCPにおける防護クロスを用いた水晶体被ばく低減 防護眼鏡と防護クロスの比較
3. 学会等名 2019年度日本産業衛生学会九州地方会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsuzaki S, Moritake T, Morota K, Nagamoto K, Sun L, Nakagami K, Abe T, Kunugida N
2. 発表標題 Improvement of the use rate of the personal dosimeter & protector by interventional radiologists with radiological technologist leadership
3. 学会等名 ICRP 2019 5th International Symposium on the System of Radiological Protection (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 5) Nakagami K, Moritake T, Nagamoto K, Saruwatari H, Abe T, Morota K, Matsuzaki S, Kunugita N
2. 発表標題 Operator lens exposure assessment and dose reduction in ERCP: Analysis of dose reduction effect by multiple stages of protective measures
3. 学会等名 ICRP 2019 5th International Symposium on the System of Radiological Protection (国際学会)
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	二瓶 俊一 (Nihei Shun-ichi) (40441828)	産業医科大学・大学病院・講師 (37116)	
研究分担者	盛武 敬 (Moritake Takashi) (50450432)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・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・上席研究員 (82502)	
研究分担者	石垣 陽 (Ishigaki You) (50723350)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・特任准教授 (12612)	

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	永元 啓介 (Nagamoto Keisuke)		
研究協力者	茂呂田 孝一 (Morota Koichi)		
研究協力者	中上 晃一 (Nakagami Koichi)		
研究協力者	松崎 賢 (Matuszaki Satoru)		

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