

労災疾病臨床研究事業費補助金

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 総合研究報告書

研究代表者 櫻田尚樹

令和 3 (2021) 年 3 月

目 次

I. 総合研究報告

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

櫛田尚樹 ----- 1

(資料) 分担研究報告

1. 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

盛武敬 ----- 17

2. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査（医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護）

千田浩一 ----- 23

3. 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

古渡意彦 ----- 55

4. 海外諸国の眼の水晶体の線量限度の引き下げの法令への取入れの現状把握及び臨床現場における医療スタッフの被ばく線量の測定に関する研究

小野孝二・山口一郎・志村勉・櫛田尚樹 ----- 77

5. 労働安全衛生マネジメントシステムの応用した医療機関における放射線防護マネジメントシステム導入支援プログラムの開発

森 晃爾 ----- 84

II. 参考資料：「放射線防護マネジメントシステム」導入支援研修教材―― 89

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 257

本研究成果は、厚生労働省「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」の資料及び報告書に反映されている。

https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_02959.html

さらに、厚生労働省委託事業「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」（公益財団法人 原子力安全技術センター）に、本研究班が開発した研修プログラムが提供された。

<https://ms.nustec.org>

I. 総合研究報告

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

研究代表者 櫻田尚樹 産業医科大学産業保健学部 教授

研究要旨

国際放射線防護委員会（ICRP）による眼の水晶体等価線量の年間限度を 150 mSv から 5年平均で年間 20 mSv となる引き下げ勧告、またその勧告の国際原子力機関（IAEA）一般的安全要件（GSR ; General Safety Requirements）への取入れを受け、適切な放射線防護体系の運用の観点からも、新しい線量限度の国内規制取入れが急務とされた。

国内では放射線審議会が議論を進め、2018年2月に、取り入れることが適当であるとする「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」報告書を取りまとめ、同年3月に各行政機関に意見具申を行った。リスク管理機関として厚生労働省では労働安全衛生法・電離放射線障害防止規則（電離則）の改正を検討するために2018年12月に「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」を立ち上げ、検討を進めてきた。本研究班からは、様々なエビデンスを検討会に提示し、2019（令和元年）9月に検討会報告書が取りまとめられた。2019年12月23日第147回放射線審議会において、厚労省からの諮問に対し、国内法令への取り入れは妥当であるとされたが、同時に医療分野では、線量管理が杜撰であることが判明し線量管理を徹底させるための必要な措置を講じること、および、新しい水晶体の等価線量限度を超過する恐れが残されている現状から経過措置をとるが、その間にも被ばく状況等を把握し報告すること、が附帯事項とされた。これらの審議ののち、電離則は2021年（令和3年）4月1日から改正施行実施されることとなった。

研究班では、新しい線量限度導入に向けて、包括的な線量評価・モニタリング法の開発、実態の評価、放射線利用の最適化や保護具着用の効果、線量計装着実態の評価と課題の整理などを検討してきた。

加えて、不均等被ばくのモニタリングや被ばく管理等の知見をもとに、医療従事者の放射線防護のための管理手法へのマネジメントシステムの応用のあり方を検討し、労働安全衛生マネジメントシステムの応用した医療機関における「放射線防護マネジメントシステム」導入支援プログラムの開発し、研修を提供した。

本研究・調査の実施にあたっては、厚生労働省・文部科学省の「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」にもとづき、産業医科大学および国立保健医療科学院、関係機関における倫理委員会に申請・承認を経て実施した。

なお、厚労省検討会では、国が実施すべき支援事業が提示され、その一つとして「労働安全衛生マネジメントシステム等の取組を着実に進め、安全衛生管理体制を確立するための支援を行うことが望ましい。」とされた。これを受けて令和2年度実施された、「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」に、本研究班が開

発した上記研修プログラム（巻末に資料掲載）がそのまま利用されるとともに、研究班として支援研修の支援を行なった。

令和3年4月より電離則が改正されるが、法令遵守に加え、被ばく線量低減に向けてマネジメントシステム等を応用したさらなる自主管理が望まれる。

研究分担者

盛武 敬	産業医科大学 産業生態科学研究所 放射線衛生管理学准教授
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 教授
千田浩一	東北大学 災害科学国際研究所 災害放射線医学分野 教授
古渡意彦	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 高度被ばく医療センター 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
小野孝二	東京医療保健大学 東が丘・立川看護学部 教授
山口一郎	国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官
志村 勉	国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官

研究協力者

中上晃一	産業医科大学産業生態科学研究所放射線衛生管理学
永元啓介	産業医科大学産業生態科学研究所放射線衛生管理学
酒井洸典	産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学
末吉尚純	産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学
大橋秀晃	産業医科大学 産業医実務研修センター
茂呂田孝一	産業医科大学産業生態科学研究所放射線衛生管理学
松崎 賢	産業医科大学産業生態科学研究所放射線衛生管理学
阿部利明	産業医科大学アイソトープ研究センター
稲葉洋平	東北大学災害科学国際研究所 助教
新井知大	駒澤大学
若松和行	国立国際医療研究センター病院
栗原恵一	国立国際医療研究センター病院
大塚 駿	国立国際医療研究センター病院
篠ヶ瀬智	国立国際医療研究センター病院

A. 目的

原子力施設・医療施設等、従事者が受けている眼の水晶体の被ばく及び防護の実態を把握するとともに、線量の適切な推定方法を確立することで、水晶体等価線量の引き下げを国内法令に導入するに資することを目的とする。初年度には新線量限度取り入れに関する海外の動向を精査するとともに、初年度および2年度を中心に簡便な線量算出方法を開発し、放射線業務従事者の被ばく線量を測定することで、効果的な

防護最適化に関する基盤技術を確立した。

最終的に様々な放射線場における基礎データを計算と測定により揃えるとともに、規制の最適化を考慮した“放射線防護マネジメントシステム”を提唱した。

本研究班では、放射線防護・管理の専門家だけでなく、産業保健の専門家、行政経験を有する専門家等幅広い分野の分担研究者とともに上記課題の解決を目指した。

B. 研究方法

1. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護) (盛武)

線量評価と線量低減方法の構築を行う為に1症例毎測定が可能な水晶体線量計を開発した。

合わせて、眼の水晶体等価線量算定のために、医療現場における散乱X線スペクトル測定および上記ガラス線量計についてエネルギー応答特性試験を行なった(古渡)。

線量評価の対象は、医師(放射線科、循環器内科、消化器内科、整形外科、脳血管内科、集中治療医)と看護師で、線量低減方法を実施しない時と実施した時の線量評価を行った。

2. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護) (千田)

水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)に関する、基礎的および臨床的研究を実施した。具体的には、1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討、2. 防護眼鏡(0.75mm鉛当量)の臨床評価、3. 水晶体線量計の詳細な基本性能評価、4. 心臓IVRでの水晶体線量の詳細臨床評価、5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価、そして6. ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価について主に実施した。

3. 学術分野等における放射線業務従事者の眼の水晶体等価線量の適切な評価 (古渡)

除染作業、および学術分野における加速器施設で業務に従事する放射線業務従事者について、不均等被ばくを伴う放射線業務に対し、体幹部、眼の水晶体及び末端部線量の相関に関する評価を通じて、体幹部線量から適切な等価線量評価手法を開発するとともに被ばく線量低減化について検討し

た。

4. 海外諸国の眼の水晶体の線量限度の引き下げの法令への取入れの現状把握に関する研究及び国内における実態調査 (小野・山口・志村)

わが国での規制整備に資するために、海外における眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況を文献的に調査し、課題について整理を試みた。

合わせて、放射線誘発白内障に関する放射線生物学の進展に関して文献的に整理した。

5. 労働安全衛生マネジメントシステムの応用した医療機関における放射線防護マネジメントシステム導入支援プログラムの開発 (森)

不均等被ばくのモニタリングや被ばく管理等の知見をもとに、医療従事者の放射線防護のための管理手法へのマネジメントシステムの応用のあり方を検討した。次に、①リスクアセスメント手法の確立、②システムマニュアルの作成、③下位文書の作成に分けて議論を行い、RPMSのモデル文書体系の作成を行った。そして、研修を通じてマネジメントシステムの概要およびRPMSの各要素を理解するとともに、提供したモデル文書体系を各医療機関において自機関に合った形で修正し、文書体系の大枠を完成できることを目標とした研修プログラムを開発し、研修を試行した。

(倫理面への配慮)

本研究・調査の実施にあたっては、厚生労働省・文部科学省の「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」にもとづき、産業医科大学および国立保健医療科学院あるいは各分担者機関における倫理委員会に申請・承認を経て実施した。

利益相反情報は必要に応じて各研究機関のCOI委員会の審査を受けた。

C. 研究結果

1. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)

ガラス線量計のエネルギー応答特性は、ISO 規格の記述通りの特性試験が可能であった。使用するガラス線量計の応答について、文献値を再現すると同時に IVR 術者が被ばくする X 線のエネルギー範囲で適切な線量読出し値を与える応答を有することが確認できた。一連の評価の結果、ガラス線量計の読み値から妥当な Hp(3)を与える校正定数は、水晶体等価線量(3mm 線量当量)[Sv] = ガラス線量計指示値 [Gy] × 1.21 ± 0.03 [Sv/Gy]と決定できた。

本線量計を用いた医療現場での評価の結果、手技や検査内容によって異なるが 1 症例毎の水晶体等価線量は 0.6mSv 以下であり、線量低減策を講じれば水晶体等価線量を年間 20mSv 以下に低減できた。また、症例数が多い医師の場合、線量低減策として防護眼鏡の着用だけでは年間 20mSv を超える可能性があり、防護策を組み合わせる多重防護を行えば年間 20mSv 以下に低減できた。

2. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)

2-1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討: 水晶体線量計の適切な着用部位についてファントム実験にて詳細に検討した。測定部位は左眼と右眼の中央表面位置の線量(左右の水晶体線量)、眼の近傍の線量(左眼横, 右眼横, 額中央の線量)にて評価し、血管 IVR を想定した各照射角度(Angulation)において術者医師位置と看護師位置にて測定した。その結果、医師位置では LAO 系の Angulation で X 線管が近づくために水晶体線量が高くなったが、看護師位置では散乱線源から離れていたために Angulation による影響は小さいことが分かっ

た。さらに医師位置では左眼(X 線管側)の線量が高く、水晶体線量計を左側頭部に着用することで過小評価することなく、ばらつきも小さくなることが分かった。看護師位置では左右差がほとんどなく、水晶体線量計を額中央に着用することで過小評価することなく、ばらつきも小さくなる傾向があることが分かった。なお、ファントムの眼の位置に直接入射する X 線量を測定し比較した研究論文は今まで無く、本研究が初の報告である。

2-2. 防護眼鏡(0.75mm鉛当量)の臨床評価: 心臓 IVR にて、鉛防護眼鏡 (0.75mmPb 当量) の遮蔽効果を臨床的に明らかにした。2 名の医師とも防護眼鏡の遮蔽率は概ね同等で約 83%であり、放射線技師の 10 ヶ月間における平均遮蔽率は 78.4%となった。0.75mmPb 当量防護眼鏡は 80g とかなり重く密閉性が高く曇りやすいため、本研究でも実際に医師から指摘を受けた。放射線技師に関しては防護眼鏡の着脱可能であり、手技中に防護眼鏡の曇りを拭く等が可能であった。

2-3. 水晶体線量計の詳細な基本性能評価: 3mm線量当量を測定できる水晶体線量計ドジリスの基本特性をはじめ明らかにした。診断 X 線エネルギー領域において、Batch uniformity は 5%以内、dose linearity は良好($R^2 = 1.00$)、energy-dependence は良好(50kV で 5%程度)、角度依存性も 270 度以外は良好であることなどを明らかにし、基本性能の点からも水晶体線量計ドジリスは有用であることを示した。

2-4. 心臓 IVR での水晶体線量の詳細臨床評価: PCI 医師において、左眼の線量が最も高い結果となり(1件当たり平均 0.1mGy 以上、鉛防護眼鏡無しで)、左眼の線量は最大で右眼の約 22 倍となった。よって、水晶体線量を安全側には評価するために線量計を左眼に装着する必要がある。特に RCA に対する PCI では、X線管が術者側に近くなるため、水晶体線量がかかなり増加することが分かった(鉛防護眼鏡無し場合、左眼で 1 件あたり平均で

0.2mGy 程度)。

さらに治療部位(RCA、LAD、LCX)ごとに分けて検討した結果、PCI 医師においては、各患者パラメータなどの装置表示値から水晶体線量を推定するのは困難であった。そのため、正確な水晶体線量を把握するためには実際に線量計を装着して測定するべきである。PCI 医師の水晶体線量計は左眼に装着する必要があるが、PCI は治療部位(RCA、LAD、LCX)によって線量比が異なるため、左眼の線量からほかの位置(右眼)の線量を推定する場合は治療部位ごとに分けて行うべきである。

心臓IVRに従事する看護師においても、正確な水晶体線量を把握するためには実際に線量計を装着して測定することが望ましい。ABL に関しては右眼の線量が最も高い結果となり、PCI に関してはそれぞれの位置で大きな差はない結果となった。よって、看護師においては安全側に水晶体線量を評価するためには、線量計を右眼に装着することが必要な場合があると考ええる。

2-5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価:透視ガイド下の気管支鏡検査スタッフの眼の被ばく線量を評価した。特に医師では、20mSv /年を超える可能性がある。したがって気管支鏡検査のスタッフの眼の被ばく線量には十分注意する必要がある。被ばく線量を減らすためには鉛防護メガネの着用が推奨される。さらに、正確な線量を測定するためには、DOSIRIS のような眼の被ばく線量を直接測定できる線量計の使用が必要である。

2-6. ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価:ポータブル X 線撮影時の診療放射線技師の水晶体線量測定結果より、撮影件数の多い施設においては、十分な被ばく防護策を講じない場合には線量限度に近い値となる可能性が示唆された。よってポータブル X 線撮影に従事する診療放射線技師は、適切な被ばく防護措置と被ばく線量評価を行う必要があると考ええる。水晶体線量評価については、プロテクターの外側、頸部に線量計を装着す

ることでおおむね評価することが可能である。被ばく防護については、X 線照射時に患者から十分な距離をとることが非常に有効であるため、この点は常に意識する必要があると考える。ただし患者から距離をとることが困難な場合もあるため、その際は Pb 眼鏡やプロテクター等の防護具を適切に使用して被ばく防護に努めることが重要であると考ええる。

3. 学術分野等における放射線業務従事者の眼の水晶体等価線量の適切な評価

除染等業務に従事する作業員の被ばく状況について検討を行った。主に放射性セシウムからの γ 線からの外部被ばくが中心であった。さらに、除染等業務の具体的な作業により均等被ばく及び不均等被ばく状況の両方が考慮されることが分かった。体幹部線量と眼の水晶体及び末端部等価線量との相関について、均等被ばく及び不均等被ばく状況での評価を行った。ISO 及び ROT 照射条件で均等被ばく状況を模擬して評価した結果、 γ 線に対する体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、60 keV \sim 1.25 MeV の範囲内で、1.2 \sim 1.3 となった。さらに不均等被ばく状況の評価のため、面状及び体積線源を導入して評価を行った結果、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、1.0 \sim 1.9 で評価可能であった。

β 線放出核種にばく露する放射線業務について、人体模擬数学ファントムを用い、 β 線による被ばくが優位となる放射線作業を模擬して、眼の水晶体線量が体幹部で観測される線量当量に対しどの程度になるか評価した。商用原子力発電施設で高エネルギー β 線源として労働者の放射線防護上の課題となる ^{106}Ru について評価したが、現行法令の体幹部での $70\mu\text{m}$ 線量当量による測定値が最大5倍程度の過大評価となることを明らかとした。さらに、核医学の分野で使用される陽電子放出核種(^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、及び ^{11}C)について、サイクロトロンオペレ

一タ等が当該核種に暴露される状況を模擬して同様の評価を行った。眼の水晶体に対し、陽電子による被ばくが無視できない一方で消滅γ線による被ばくも有意に認められる。さらに、体幹部で測定された3mm線量当量が眼の水晶体線量に対しより良い推定値を与えることが確認できた。

4. 海外諸国の眼の水晶体の線量限度の引き下げの法令への取入れの現状把握に関する研究及び国内における実態調査

- ・ 国際原子力機関の GSG-7 など関連文書は有益であると考えられた。

段階的なアプローチや認証制度の確立が規制整備の課題である。

- ・ 国際原子力機関には医療分野での線量限度超えの事例も報告されており、加盟国の中にはそのような事例の調査結果を公表している例があった。
- ・ 臨床現場における医療スタッフの被ばく線量の測定結果から、眼の水晶体の被ばく線量は、20 mSv/年を上回る可能性も示唆され、適切な防護具の使用、放射線防護についての教育を推進し、業務に取り組む必要があるが、防護装具購入費、被ばく線量管理費、リングバッチの滅菌処理の対応などが課題であった。

適切な眼の水晶体の被ばく線量の管理及び診療体制の維持・継続のためにも、水晶体線量計を用いた眼の近傍の線量を継続的に実測し、防護策を講じる必要があると考えられた。

5. 労働安全衛生マネジメントシステムの応用した医療機関における放射線防護マネジメントシステム導入支援プログラムの開発

マネジメントシステムを活用して医療従事者の放射線被ばく管理を行うことは、“マネジメントシステムの骨格”と“安全衛生リスクの管理の手法”を組み合わせ、運用することに他な

らない。そのことを前提に、システムマニュアル、要領、基準、様式から成るRPMSモデル文書体系を作成した。そして、全3回の研修プログラムを作成し、16の医療機関に対して試行実施し、比較的高い評価を得るとともに、研修後に何らかの改善が図れていた。

これらの成果は、2020年度実施された厚生労働省の委託事業「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」の教材に全面的に反映され、研究班は研修講師支援も行なった。本支援事業に参加した401施設の内、アンケート回答があった124施設の属性、放射線管理組織の運営状況、そしてMSの導入状況について解析した結果、以下の結果が得られた。

参加施設の属性の評価として124施設を病床数別に集計すると、参加施設数が最も多い施設の病床数は200から399床の36施設で、施設あたりに平均放射線業務従事者数が最も多い施設の病床数は400から599床の168人で、年間20mSvを超える者が最も多い施設の病床数は400から599床の104人であった。放射線管理組織に関する質問で、放射線管理を行う委員会がある施設は78.2%であったが、マネジメントシステムが導入されている施設は9.9%であった。

D. 考察

1. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)

IVR を中心とした現場での線量は様々であるが、線量低減策を講じれば水晶体等価線量を年間 20mSv 以下となる。

本研究を進めていく中で、①個人線量計の適切な使用②多重防護に必要な防護具の開発という課題が出てきた。①に関しては、個人線量計の適切な使用について全国調査を行い、個人線量計の適切な使用がなされていない事が判明した。これは不均等被ばくの線量評価や線量低減を行う上で問題と

なる事から早急に対策が必要である。②に関しては、多重防護を行う為に様々な防護具が必要であるが、本邦では製品化されている防護具が少ない事から、手技や装置に適した防護具の開発が必要である。

2. 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)

1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討、2. 防護眼鏡(0.75mm鉛当量)の臨床評価、3. 水晶体線量計の詳細な基本性能評価、4. 心臓IVRでの水晶体線量の詳細臨床評価、5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価、6. ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価について主に実施した。

そして上述したような、水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)に関する有用な成果を得ることができた。

3. 学術分野等における放射線業務従事者の眼の水晶体等価線量の適切な評価

除染等業務に従事する作業に関し、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、1.0～1.9で評価可能であり、現行法令が指定する眼の水晶体線量の推定手法を用いた場合でも、ISO publication 75 のいう factor 1.5 程度で推定できる可能性が確認できた。

産業・学術分野における放射線業務従事者のβ線放射核種による眼の水晶体等価線量の評価に関しては、現行法令では、電離放射線障害防止規則に基づき、体幹部に装着された個人線量計の測定で得られた1cm線量当量または70μm線量当量のいずれか大きな値を眼の水晶体等価線量の推定値とすることになる。体幹部に装着した個人線量計からの70μm線量当量では、保守的な推定値を与えることを示した。また、3mm線量当量の測定値が提供されている場合、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比が、実際の被ばく状況を模擬した場合には、0.9

～1.4程度と得られており、3mm線量当量が眼の水晶体等価線量の良い推定値を与えることが明らかとなった。そのことから、線量測定サービスを利用する事業者は3mm線量当量の測定結果も利用することが望ましい。

4. 海外諸国の眼の水晶体の線量限度の引き下げの法令への取入れの現状把握に関する研究及び国内における実態調査

INES2以上の医療分野の事例報告がなされていた。以下が課題であると考えられた。

- 線量限度超えの事例の報告
- 報告事例への介入
- 段階的な管理の導入

防護眼鏡の内側では線量が不均一になるため、眼の水晶体の等価線量を過小評価しないように素子の装着部位分を配慮することが望まれる。

5. 労働安全衛生マネジメントシステムの応用した医療機関における放射線防護マネジメントシステム導入支援プログラムの開発

RPMSのモデル文書体系を作成し、医療機関におけるシステム導入を支援するためのプログラムを開発した。試行実施では、受講者から一定の評価を受けたが、今後、導入状況も含めて確認して、プログラムの有効性を評価するとともに、改善を図る必要がある。

厚労省委託事業の研修参加施設は、マネジメントシステムに意欲があり関心の高いところと思われるが、現時点での導入は1割に満たず、現時点では多くの担当者は情報・知識についても十分でない状況であった。放射線管理に関する委員会は各施設に設置されていることから、マネジメントシステムに関する情報や知識を担当者に提示することで導入につながる可能性が有り、今後も研修会提供等の支援が望まれる。

E. 結論

医療機関における適切な放射線防護方法への対応が確保されると仮定すれば、水晶体の等価線量限度を5年間の平均で20 mSv/年かついずれの1年においても50 mSvを超えないこととする新たな眼の水晶体の等価線量限度を遵守することは可能であると考えられる。

以上の成果の多くは、厚生労働省「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」資料に反映され、2019年9月24日に報告書に取りまとめられ公開された。さらに、検討会での研究班成果報告を踏まえ、2019年11月1日には厚生労働省労働基準局安全衛生部長より「放射線業務従事者等に対する線量測定等の徹底及び眼の水晶体の被ばくに係る放射線障害防止対策の再周知について」通知が発出された。2019年12月23日開催の第147回放射線審議会において、厚生労働省からの諮問において一連の上記資料が重ねて幅広く提示・議論された。

放射線審議会の議論において、医療分野では、線量管理が杜撰であることが指摘され線量管理を徹底させるための必要な措置を講じること、および、新しい水晶体の等価線量限度を超過する恐れが残されている現状から経過措置をとるが、その間にも被ばく状況等を把握し報告すること、が附帯事項とされた。これらの審議ののち、電離則は2021年（令和3年）4月1日から改正施行実施されることとなった。

なお、厚労省の検討会報告書では、国が実施すべき支援事業がいくつか提示され、国は、「事業者が、放射線防護設備の設置や改善による被ばく低減措置を講ずるための支援を行うことが望ましい。」および「労働安全衛生マネジメントシステム等の取組を着実に進め、安全衛生管理体制を確立するための支援を行うことが望ましい。」とされた。これを受けて令和2年度実施された、「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」に、本研究班が開発した研修資料がそのまま利用されるとともに、研究班として支援研修の支援を行なった。

令和3年4月より電離則が改正されるが、法令遵守に加え、マネジメントシステム等を応用したさらなる自主管理が望まれる。

各個別課題の概要は、研究発表成果リストの後ろに、資料（各分担者報告）の形式でより詳細を記述した。

F. 健康危険情報
なし

G. 研究発表

1. 論文発表

【原著論文】

- 1) Kawauchi S, Chida K, Moritake T, Hamada Y, Tsuruta W: Radioprotection of eye lens using protective material in neuro cone-beam computed tomography: Estimation of dose reduction rate and image quality. *Physica Medica*. 2021 (in press).
- 2) Nagamoto K, Moritake T, Nakagami K, Morota K, Matsuzaki S, Nihei S, Kamochi M, Kunugita N: Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT scans. *Heliyon*. 2021 January 30;7(1):e06063. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06063.
- 3) Morota K, Moritake T, Nagamoto K, Matsuzaki S, Nakagami K, Sun L, Kunugita N: Optimization of the Maximum Skin Dose Measurement Technique Using Digital Imaging and Communication in Medicine-Radiation Dose Structured Report Data for Patients Undergoing Cerebral Angiography. *Diagnostics (Basel)*. 2020 Dec 23; 11(1):E14. doi: 10.3390/diagnostics 11010014.
- 4) Haga Y, Chida K, Kimura Y, Yamanda S, Sota M, Abe M, Kaga Y, Meguro T, Zuguchi M. Radiation eye dose to medical staff during respiratory endoscopy under X-ray fluoroscopy. *Journal of Radiation Research*. 2020; 61(5):691-696.
- 5) Sun L, Inaba Y, Kanzaki N, Bekal M, Chida K, Moritake T: Identification of Potential Biomarkers of Radiation Exposure in Blood Cells by Capillary Electrophoresis Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Molecular Endocrinology and Metabolism*. 2020, 21, 812. doi: 10.3390/ijms21030812.
- 6) Kawauchi S, Chida K, Moritake T, Hamada Y, Matsumaru Y, Tsuruta W, Sato M, Hosoo H, Sun L: Treatment of internal carotid aneurysms using pipeline embolization devices: measuring the radiation dose of the patient and determining the factors affecting it. *Radiat Prot Dosimetry*. 2020 Jun 24;188(3): 389-396. doi: 10.1093/rpd/ncz298.
- 7) Kawauchi S, Chida K, Moritake T, Matsumaru Y, Hamada Y, Sakuma H, Yoda S, Sun L, Sato M and Tsuruta W: Estimation of patient lens dose associated with c-arm cone-beam computed tomography usage during interventional neuroradiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 2019 Aug 1;184(2):138-147. doi: 10.1093/rpd/ncy188.
- 8) Ishii H, Haga Y, Sota M, Inaba Y, Chida K. Performance of the DOSIRIS eye lens dosimeter. *Journal of Radiological Protection*. 2019; 39(3): N19-N26.
- 9) H. Ishii, K. Chida, K. Satsurai, Y. Haga, Y. Kaga, M. Abe, Y. Inaba, M. Zuguchi. A phantom study to determine the optimal placement of eye dosimeters on interventional cardiology staff. *Radiation Protection Dosimetry*. 2019; 185(4): 409-413.
- 10) 床次真司ほか,日本保健物理学会 放射線防護標準化委員会 水晶体線量モニタリングガイドライン検討作業部会. 眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン(解説). *医療放射線防護 Newsletter*. 2020; 83:30-36.
- 11) 遠藤 美芽, 芳賀 喜裕, 阿部 美津也, 加賀 勇治, 大友 一輝, 村林 優樹, 稲葉 洋平, 千田 浩一: 心臓IVR手技における0.75mmPb当量防護眼鏡の遮蔽効果に関する臨床的検討. *臨床放射線* 65 (1) Page71-75(2020.01) DOI : 10.18888/rp.0000001113
- 12) 坂本 肇, 五十嵐 隆元, 加藤 守, 川内 覚, 加藤 英幸, 塚本 篤子, 盛武 敬, 赤羽 正章: DRLs 2015の血管撮影・IVR分野における効果検証および追加項目の検討. *日本放射線技術学会誌*. 2020; 76(2):210-217. doi: 10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.2.210.
- 13) 人見 剛, 松原 俊二, 盛武 敬, 孫 略, 村 正勝, 松本 博樹, 草地 文子, 松丸 祐司, 宇野 昌明: 脳血管撮影における患者被ばく防護の最適化への第一歩: 血管撮影装置表示値による撮影目的・疾患群別診断参考レベル設定の可能性調査. *日本放射線技術学会誌*2019;

75(3):263-269.
doi: 10.6009/jjrt.2019_JSRT_75.3.263.

【総説その他】

- 1) J-RIME, National Diagnostic Reference Levels in Japan (2020) -Japan DRLs 2020-, 2020.
http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRL2020_Engver.pdf (accessed on 8 Feb. 2021).
- 2) 盛武 敬: 脳血管内治療に関する診断参考レベル構築のための医療被ばく実態調査 (Re-JDRL study) について. 教育講座第 33 回全国循環器撮影研究会総会・学術発表大会 (2019 年 4 月 13 日) 医師講演. 全国循環器撮影研究会誌, 32, 5-12, 2020
- 3) Tsuchiya K, Moritake T, Ishigaki Y, Kosukegawa N: Development of a radiation-detection simulator with smartphones and beacons for first responders against radiological threat. Proceedings of the 4th International CBRNe Workshop, "IW CBRNe 2018". COUNTERING RADIOLOGICAL AND NUCLEAR THREATS, CBRNe book series pp.88-93 (2019) (査読有り)
- 4) 樫田 尚樹 【第 13 次労働災害防止計画のキー・トピックス】 電離放射線による健康障害防止対策. 安全衛生コンサルタント 2019; 131: 44-51.
- 5) 樫田 尚樹 【診療放射線従事者の個人管理の現状と課題】 診療放射線従事者に対する個人管理の現状と課題. 医療放射線防護 2019; 81: 5-11.
- 6) 山口 一郎 国際機関による職業放射線防護に関する外部評価サービスの紹介. 医療放射線防護 2019; 81: 25-27.
- 7) 土屋兼一, 盛武敬, 石垣陽, 小助川典久, 植原啓介, 松本佳宣, 田辺鴻典, 黒沢健至, 秋葉教充, 角田英俊, 井元大輔, 平林学人, 羽合佳範, 黒木健郎: 仮想放射線測定システム"USOTOPE"の開発 -核セキュリティ対策における効果的な訓練のために-. 第 39 回核物質管理学会日本支部年次大会論文集 #3914 (2018) (査読有り)
- 8) Tsuchiya K, Moritake T, Ishigaki Y, Kosukegawa N, Uehara K, Matsumoto Y, Tanabe K, Kurosawa K, Akiba N, Kakuda H, Imoto D, Hirabayashi M, Hawaii Y,

Kuroki K: Development of effective training methods for first responders against radiological threat. Proceedings of 8th European Academy of Forensic Science Conference, O0099 (2018) (査読有り)

【著書】

- 1) 盛武 敬: ICRP Publication 121 小児の放射線診断と IVR における放射線防護. 翻訳, 原子力規制委員会, 2021 年 1 月 27 日
- 2) 盛武 敬: 医療放射線防護学 (第 4 章 放射線の生物影響・リスク 第 1 節~第 3 節), 国際文献社 医学物理学教科書シリーズ, 赤羽恵一・遠藤真広編著, 日本医学物理学学会監修, P52-84, 2020 年 8 月
- 3) 盛武 敬: 増補新訂 医療機関における産業保健活動ハンドブック (第 5 章-2 レントゲン撮影等の放射線被曝対策), 公益財団法人 産業医学振興財団, P298-306, 2019 年 2 月.

【学会発表】

- 1) 樫田尚樹, 労災疾病臨床研究事業研究班: 基調講演「水晶体の線量限度改正」. 第 42 回医療放射線安全フォーラム, 2 月 14 日, 2021. WEB 開催.
- 2) Munehiko Kowatari, Keisuke Nagamoto, Koich Nakagami, Miho Itonaga, Yoshihiko Tanimura, Takashi Moritake, Naoki Kunugita: Experimental evaluation of scattered X-ray spectra due to X-ray therapeutic and diagnosis equipment for eye lens dosimetry of medical staff. IRPA15, 15th International Congress of the International Radiation Protection Association. COEX, Seoul, Korea, Jan 18-Feb 5, 2021.
- 3) (招待講演) 樫田尚樹, 労災疾病臨床研究事業研究班: 医療従事者における個人被ばく線量管理の課題. 日本放射線安全管理学会第 19 回学術大会 12 月 9 日~11 日, 2020. WEB 開催.
- 4) 大田 元, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 入佐剛, 齋藤 清隆, 末松 裕貴, 河野 智樹, 堀之内 翔一, 小笠原 奈月, 山下 真治, 横上 聖貴, 竹島 秀雄: 当院における脳血管内治療時の医療被ばくの現状とその防護対策について. 第 36 回 NPO 法人日本脳神経血管内治療学会総会,

- 国立京都国際会館（京都市・京都府），11月19-21日，2020.
- 5) (招待講演) 盛武 敬：被ばく防護ミニ講習会「医療放射線被ばくの最新トピックス～DRLs 2020 と電離則改正～」脳血管内治療に関する診断参考レベル構築のための医療被ばく実態調査 (Re-JDRL study) 報告，第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会総会，国立京都国際会館（京都市・京都府），11月19-21日，2020.
 - 6) 孫 略，稲葉 洋平，千田 浩一，盛武 敬：被ばく後の血液抗酸化能評価。日本放射線影響学会第63回大会（ワークショップ）生物学的線量推定の新技术（Web開催），10月15-16日（Web閲覧期間：10月15-31日），2020.
 - 7) 盛武 敬，孫 略，マヘッシュ・ベカル，中村 麻子，志村 勉：複数の生物学的指標を用いた逆行性生物線量測定法の開発。日本放射線影響学会第63回大会（ワークショップ）生物学的線量推定の新技术（Web開催），10月15-16日（Web閲覧期間：10月15-31日），2020.
 - 8) 大田 元，盛武 敬，茂呂田 孝一，入佐 剛，齋藤 清隆，末松 裕貴，河野 智樹，堀之内 翔一，小笠原 奈月，武石 剛，山下 真治，渡邊 孝，横上 聖貴，竹島 秀雄：脳血管内治療時における医療被ばく線量の術中モニタリング—被曝量低減に向けた当施設の取り組み—。日本脳神経外科学会第79会学術総会，岡山コンベンションセンター（岡山市・岡山県），10月15-17日（Web閲覧期間：10月15日-11月30日），2020.
 - 9) 松浦 康晃，隅倉 有美子，中上 晃一，盛武 敬，永元 啓介，茂呂田 孝一，松崎 賢，栗山 知子，櫻田 尚樹：スチューデント・ドクター制度における放射線診療実習での医学生の被ばく。第38回産業医科大学学会，第32回産業医学推進研究会全国大会，産業医科大学ラマツィーニホール（北九州市・福岡県），10月10日（一部Web配信），2020.
 - 10) 阿部 利明，盛武 敬，馬田 敏幸，中上 晃一，永元 啓介，櫻田 尚樹：病院における個人水晶体等価線量低減を目的とした業務改善計画策定のための職業被ばく線量の実態調査。日本保健物理学会第53回研究発表会WEB大会，6月29-30日（Web配信6月29日-7月31日），2020.
 - 11) (招待講演) 櫻田尚樹，労災疾病臨床研究事業研究班：放射線管理区域に立ち入る医療従事者の個人被ばく線量計装着実態調査。日本保健物理学会第53回研究発表会WEB大会，6月29-30日（Web配信6月29日-7月31日），2020.
 - 12) (招待講演) 盛武 敬：Re-JDRL studyの結果から見えたこととDRLs 2020に期待すること。第360回循環器画像技術研究会定例会，NTT東日本関東病院（東京都・品川区），12月14日，2019.
 - 13) (招待講演) 盛武 敬：被ばく防護ミニ講習会「医療放射線の適正管理に関する医療法施行規則の改正」脳血管内治療に関する診断参考レベル構築のための医療被ばく実態調査 (Re-JDRL study) の中間報告について。第35回NPO法人日本脳神経血管内治療学会総会，福岡サンパレス（福岡県・福岡市），11月21-23日，2019.
 - 14) Matsuzaki S, Moritake T, Morota K, Nagamoto K, Sun L, Nakagami K, Abe T, Kunugida N: Improvement of the use rate of the personal dosimeter & protector by interventional radiologists with radiological technologist leadership. ICRP 2019 5th International Symposium on the System of Radiological Protection, Adelaide, Australia, November 17-21, 2019.
 - 15) Nakagami K, Moritake T, Nagamoto K, Saruwatari H, Abe T, Morota K, Matsuzaki S, Kunugida N: Operator lens exposure assessment and dose reduction in ERCP: Analysis of dose reduction effect by multiple stages of protective measures. ICRP 2019 5th International Symposium on the System of Radiological Protection, Adelaide, Australia, November 17-21, 2019.
 - 16) Hitomi G, Matsubara S, Moritake T, Mura M, Matsumoto H, Kusachi F:

- Optimizing Radiation Protection for Patients in Cerebral Angiography: the possibility of establishing diagnostic reference levels by imaging objectives/disease groups. ICRP 2019 5th International Symposium on the System of Radiological Protection, Adelaide, Australia, November 17-21, 2019.
- 17) 土屋 兼一, 石垣 陽, 植原 啓介, 田辺 鴻典, 盛武 敬: 放射線テロ・災害を想定した訓練用資機材の開発. 日本法科学技術学会第 25 回学術集会, 中野サンプラザ (中野区・東京都), 11 月 7-8 日, 2019
 - 18) 松崎 賢, 茂呂田 孝, 永元 啓介, 孫 略, 阿部 利明, 中上 晃一, 盛武 敬: 放射線技術主導による防護装具使用率向上のための業務改善. 第 47 回日本放射線技術学会秋季学術大会, グランキューブ大阪 (大阪市・大阪府), 10 月 17-19 日, 2019.
 - 19) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 中上 晃一, 阿部 利明, 櫻田 尚樹: ミエログラフィに従事する看護師の被ばく状況実態調査. 日本放射線看護学会第 8 回学術集会, こらっせ福島 (福島市・福島県), 9 月 28-29 日, 2019.
 - 20) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 中上 晃一, 阿部 利明, 孫 略, 櫻田 尚樹: 血管撮影に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査. 日本放射線看護学会第 8 回学術集会, こらっせ福島 (福島市・福島県), 9 月 28-29 日, 2019.
 - 21) Bekal M, Sun L, Kanzaki N, Ueno S, Okazaki R, Moritake T: Effect of low dose radiation on Cognition, Cortisol, Serotonin and Antioxidant status. The 10th IBRO World Congress of Neuroscience IBRO 2019. Daegu, Korea, September 21-25, 2019
 - 22) (招待講演) 盛武 敬: 大規模放射線災害初期対応のための新規生物学的被ばく線量推定法と IoT による核物質探索訓練システムの開発. 災害科学国際研究所 第 10 回東北大学災害科学研究拠点セミナー 第 23 回「災害と健康」学際研究推進セミナー, 北大学星陵キャンパス医学部 6 号館 1F カンファレンス 1 (宮城県・仙台市), 9 月 5 日, 2019.
 - 23) 永元 啓介, 盛武 敬, 二瓶 俊一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 中上 晃一, 渡辺 亮, 村上 誠一, 蒲地 正幸, 岡崎 龍史: X 線 CT 検査における患者介助方法の違いが医療従事者の被ばく線量に与える影響. 日本集中治療医学会第 3 回九州支部学術集会, くまもと県民交流館パレア (熊本県・熊本市), 7 月 27 日, 2019.
 - 24) 櫻田 尚樹, 盛武 敬, 阿部 利明, 志村 勉, 山口 一郎: 放射線業務従事者の水晶体被ばくの現状と課題. 2019 年度日本産業衛生学会九州地方会, パピヨン 2 4 ガスホール (福岡県・福岡市), 7 月 12-13 日, 2019.
 - 25) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 阿部 利明, 中上 晃一, 孫 略, 櫻田 尚樹: 脊椎腔造影施行医師の水晶体被ばく多段階防護の有有用性. 2019 年度日本産業衛生学会九州地方会, パピヨン 2 4 ガスホール (福岡県・福岡市), 7 月 12-13 日, 2019.
 - 26) 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, 櫻田尚樹: 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～. 2019 年度日本産業衛生学会九州地方会, パピヨン 2 4 ガスホール (福岡県・福岡市), 7 月 12-13 日, 2019.
 - 27) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 阿部 利明, 中上 晃一, 梶木 繁之, 櫻田 尚樹: 医療従事者の放射線防護装具使用率向上のための業務改善. 2019 年度日本産業衛生学会九州地方会, パピヨン 2 4 ガスホール (福岡県・福岡市), 7 月 12-13 日, 2019.
 - 28) 永元 啓介, 盛武 敬, 二瓶 俊一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 阿部 利明, 孫 略, 蒲地 正幸, 櫻田 尚樹: CT 検査時の患者介助者被ばく実態調査を行うための水晶体線量計クリップの開発. 2019 年度日本産業衛生学会九州地方会, パピヨン 2 4 ガスホール (福岡県・福岡市), 7 月 12-13 日, 2019.

- 29) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 中上 晃一, 阿部 利明, 孫 略, 岡崎 龍史: 脊髄腔造影施行医師水晶体被ばくにおける防護対策の構築. 第 92 回日本産業衛生学会, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市), 5 月 22 日-25 日, 2019.
- 30) 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: X 線可動絞りを小型防護カーテンで覆った Overtube 型透視装置における空間線量低減効果の検討. 第 92 回日本産業衛生学会, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市), 5 月 22 日-25 日, 2019.
- 31) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 阿部 利明, 中上 晃一, 梶木 繁之, 岡崎 龍史: IVR 施行医の防護装具使用状況実態調査と業務改善. 第 92 回日本産業衛生学会, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市), 5 月 22 日-25 日, 2019.
- 32) 永元 啓介, 盛武 敬, 二瓶 俊一, 中上 晃一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 阿部 利明, 孫 略, 蒲地 正幸, 岡崎 龍史: CT 検査時の患者介助者被ばく実態調査を行うための水晶体線量計クリップの開発. 第 92 回日本産業衛生学会, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市), 5 月 22 日-25 日, 2019.
- 33) 阿部 利明, 盛武 敬, 馬田 敏幸, 永元 啓介, 中上 晃一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 岡崎 龍史: 放射線安全管理に係わる PDCA サイクルの実践に活用できるチェックシートの作成例. 第 92 回日本産業衛生学会, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市), 5 月 22 日-25 日, 2019.
- 34) (招待講演) 盛武 敬: 脳血管内治療に関する診断参考レベル構築のための医療被ばく実態調査 (Re-JDRL study) について. 第 33 回全国循環器撮影研究会 総会・学術研究発表会, 横浜情報文化センター (神奈川県・横浜市), 4 月 13 日, 2019.
- 35) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 中上 晃一, 阿部 利明, 孫 略, 岡崎 龍史: 脊髄腔造影施行医師水晶体被ばくにおける防護対策の構築. 第 75 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 11 日-14 日, 2019.
- 36) 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: X 線可動絞りを小型防護カーテンで覆った Overtube 型透視装置における空間線量低減効果の検討. 第 75 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 11 日-14 日, 2019.
- 37) 松崎 賢, 茂呂田 孝一, 孫 略, 永元 啓介, 阿部 利明, 中上 晃一, 盛武 敬: 血管 IVR に従事する医療スタッフの防護装具使用状況実態調査. 第 75 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 11 日-14 日, 2019.
- 38) 永元 啓介, 中上 晃一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 阿部 利明, 村上 誠一, 盛武 敬: 医療従事者被ばくの実態調査を行うための水晶体線量計の開発. 第 75 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 11 日-14 日, 2019.
- 39) 阿部 利明, 永元 啓介, 中上 晃一, 馬田 敏幸, 盛武 敬: 病院の放射線業務従事者の水晶体被ばく線量の解析. 第 75 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 11 日-14 日, 2019.
- 40) 盛武 敬: 大規模放射線災害への備え: 複数の生物学的指標を組み合わせた線量推定システムの構築. 第 2 回九州トランスレーショナル ESR 研究会, カルチャープラザ延岡 (宮崎県・延岡市), 2 月 10-11 日, 2019.
- 41) 阿部 利明, 盛武 敬, 馬田 敏幸, 永元 啓介, 中上 晃一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 岡崎 龍史: 放射線施設における PDCA サイクルの実践方法の提案. 日本放射線安全管理学会第 17 回学術大会, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市), 12 月 5-7 日, 2018.
- 42) (招待講演) 盛武 敬: 被ばく防護ミニ講習会 放射線行政の動向と診断参考レベル. 第 34 回 NPO 法人日本脳神経

- 血管内治療学会総会, 仙台国際センター (宮城県・仙台市), 11月22-24日, 2018.
- 43) 川内 覚, 千田 浩一, 盛武 敬, 濱田 祐介, 佐久間 秀之, 孫 略, 松丸 祐司, 鶴田 和太郎, 細尾 久幸, 田野 政勝: 血流改変ステントを用いた脳動脈瘤治療における患者被ばく線量-患者因子・手術因子と被ばく線量の関係-. 第34回NPO法人日本脳神経血管内治療学会学術総会, 仙台国際センター (宮城県・仙台市), 11月22-24日, 2018.
- 44) 土屋 兼一, 盛武 敬, 石垣 陽, 小助川 典久, 植原 啓介, 松本 佳宣, 田辺 鴻典, 黒沢 健至, 秋葉 教充, 角田 英俊, 井元 大輔, 平林 学人, 羽合 佳範, 黒木 健郎: 仮想放射線測定システム“USOTOPE”の開発 -核セキュリティ対策における効果的な訓練のために-. 第39回日本核物質管理学会年次大会, 東京大学弥生講堂アネックス (東京都・文京区), 11月20-21日, 2018.
- 45) 孫 略, 坪井 康次, 盛武 敬: 被ばくによる生体レドックス状態の変化. 第61回日本放射線影響学会, 長崎ブリックホール (長崎県・長崎市), 11月7-9日, 2018.
- 46) 盛武 敬, 孫 略, 稲葉 洋平, 千田 浩一: (ミニシンポジウム「臨床現場でのESR応用」) 急性放射線被曝評価へのiStrap応用. 第57回電子スピンスイエンス学会年会, 北海道大学学術交流会館 (北海道・札幌市), 11月1-3日, 2018.
- 47) Tsuchiya K, Moritake T, Ishigaki Y, Kosukegawa N: Development of a radiation-detection simulator with smartphones and beacons for first responders against radiological threat. 4th International CBRNe Workshop “IW CBRNe 2018”, Rome, Italy, Nov 8, 2018.
- 48) 中上 晃一, 盛武 敬, 細田 悦子: 病棟ポータブルX線検査時に放射線技師が抱える不安の解消 ~看護師との取り組み事例報告~. 第56回日本医療・病院管理学会学術総会, ホテルハマツ (福島県・郡山市), 10月27-28日, 2018.
- 49) 阿部 利明, 盛武 敬, 中上 晃一: 大学アイソトープ研究センターによる病院放射線管理業務支援. 第56回日本医療・病院管理学会学術総会, ホテルハマツ (福島県・郡山市), 10月27-28日, 2018.
- 50) 香崎 正宙, 大津山 彰, 阿部 利明, 盛武 敬, 岡崎 龍史: がん抑制遺伝子欠損マウスを用いた放射線誘発がん関連マーカーの探索. 第36回産業医科大学学会, 産業医科大学ラマツィーニホール (福岡県・北九州市), 10月20日, 2018.
- 51) 盛武 敬: (シンポジウム2「復興に活かす放射線技術学」) 大規模放射線災害や核テロを想定した学生教育訓練用仮想放射線測定システム“USOTOPE”. 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会, 仙台国際センター (宮城県・仙台市), 10月4-6日, 2018.
- 52) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 孫 略, 石原 隆宏, 岡崎 龍史: 脊髄腔造影施行医師の水晶体被ばく実態調査と放射線防護メガネの必要性. 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会, 仙台国際センター (宮城県・仙台市), 10月4-6日, 2018.
- 53) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 岡崎 龍史: IVR施行医の被ばく防護に対する実態調査. 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会, 仙台国際センター (宮城県・仙台市), 10月4-6日, 2018.
- 54) 永元 啓介, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 高山 愛菜, 孫 略, 渡辺 亮, 村上 誠一, 岡崎 龍史: X線CT検査における患者介助方法の違いが医療従事者被ばく線量に与える影響. 第46回日本放射線技術学会秋季学術大会, 仙台国際センター (宮城県・仙台市), 10月4-6日, 2018.
- 55) Okazaki R, Kohzaki M, Sun L, Suzuki K, Nakayama T, Moritake T, Ootsuyama A: The Effects of Priming Dose on Prolonging Life Span in Radioadaptive Response. The 64th Annual Radiation Research Society Meeting, Chicago, USA, September 23-26, 2018.
- 56) 古場 裕介, 盛武 敬, 茂呂田 孝一: ボクセルファントムとモンテカルロ計算を用いた頭部IVRにおける臓器線量評

- 価法の検討病室撮影における患者介助者の被ばく線量. 第 116 回日本医学物理学会学術大会, アイーナ (いわて県民情報交流センター) (岩手県・盛岡市), 9月15-17日, 2018
- 57) 永元 啓介, 盛武 敬, 中上 晃一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 阿部 利明, 高山 愛菜, 孫 略, 村上 誠一, 岡崎 龍史: 病室撮影における患者介助者の被ばく線量. 日本放射線看護学会第 7 回学術集会, 長崎大学ポンペ会館・良順会館・医学部記念講堂 (長崎県・長崎市), 9月 8-9 日, 2018
- 58) 阿部 利明, 盛武 敬, 永元 啓介, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 中上 晃一, 馬田 敏幸, 岡崎 龍史: 視覚に訴える線量報告書「被ばく線量確認書」の試作について. 日本放射線看護学会第 7 回学術集会, 長崎大学ポンペ会館・良順会館・医学部記念講堂 (長崎県・長崎市), 9月 8-9 日, 2018
- 59) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 中上 晃一, 阿部 利明, 岡崎 龍史: 血管撮影に従事する看護師の被ばく防護装具使用状況実態. 日本放射線看護学会第 7 回学術集会, 長崎大学ポンペ会館・良順会館・医学部記念講堂 (長崎県・長崎市), 9月 8-9 日, 2018
- 60) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 孫 略, 中上 晃一, 阿部 利明, 高川 恵美, 田代 裕子, 松尾 佳奈, 岡崎 龍史: 血管撮影に従事する看護師に最適な放射線防護衣の選択. 日本放射線看護学会第 7 回学術集会, 長崎大学ポンペ会館・良順会館・医学部記念講堂 (長崎県・長崎市), 9月 8-9 日, 2018
- 61) Morota K, Moritake T, Matsuzaki S, Nagamoto K, Sun L, Ishihara T, Okazaki R: Evaluation of trend and reducing patient exposure dose with DICOM-RDSR. 5th Asian and Oceanic IRPA Regional Congress on Radiation Protection (AOCR-5), Melbourne, Australia, May 20-23, 2018
- 62) 永元 啓介, 盛武 敬, 二瓶 俊一, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 中上 晃一, 阿部 利明, 孫 略, 渡辺 亮, 村上 誠一, 蒲地 正幸, 岡崎 龍史: X 線 CT 検査における患者介助方法の違いが医療従事者被ばく線量に与える影響. 平成 30 年度日本産業衛生学会九州地方会, ウェルとばた (福岡県・北九州市), 6月 29-30 日, 2018
- 63) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 中上 晃一, 阿部 利明, 梶木 繁之, 岡崎 龍史: X 線 CT 検査における患者介助方法の違いが医療従事者被ばく線量に与える影響. 平成 30 年度日本産業衛生学会九州地方会, ウェルとばた (福岡県・北九州市), 6月 29-30 日, 2018
- 64) 阿部 利明, 盛武 敬, 永元 啓介, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 中上 晃一, 馬田 敏幸, 岡崎 龍史: 放射線業務従事者教育訓練での P D C A サイクル実践. 平成 30 年度日本産業衛生学会九州地方会, ウェルとばた (福岡県・北九州市), 6月 29-30 日, 2018
- 65) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 孫 略, 阿部 利明, 中上 晃一, 岡崎 龍史: 脊髓腔造影における医師の水晶体線量調査と防護メガネ着用の必要性. 平成 30 年度日本産業衛生学会九州地方会, ウェルとばた (福岡県・北九州市), 6月 29-30 日, 2018
- 66) 孫 略, 坪井 康次, 盛武 敬: スピントラップ法による血液抗酸化能測定を指標とした被ばく線量推定. 第 71 回日本酸化ストレス学会・第 18 回日本 NO 学会合同学術集会, 京都ホテルオークラ (京都府・京都市), 5月 17-18 日, 2018
- 67) 永元 啓介, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 高山 愛菜, 孫 略, 渡辺 亮, 村上 誠一, 岡崎 龍史: CT 検査における患者介助者の被ばく線量測定. 第 91 回日本産業衛生学会, 市民会館シアーズホーム夢ルーム (熊本県・熊本市), 5月 16 日-19 日, 2018
- 68) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 熊奈 津代, 梶木 繁之, 岡崎 龍史: 病院血管系 IVR 施行医の被ばく防護に対する実態調査と業務改善. 第 91 回日本産業衛生学会, 市民会館シアーズホーム夢ルーム (熊本県・熊本市), 5月 16 日-19 日, 2018

- 69) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 孫 略, 石原 隆宏, 岡崎 龍史: 脊椎造影施行医師の水晶体被ばく実態調査と防護対策の検討. 第 91 回日本産業衛生学会, 市民会館シアーズホーム夢ルーム (熊本県・熊本市), 5 月 16 日-19 日, 2018
- 70) 永元 啓介, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 松崎 賢, 高山 愛菜, 孫 略, 渡辺 亮, 村上 誠一, 岡崎 龍史: CT 検査における患者介助者の被ばく線量測定. 第 74 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 12 日-15 日, 2018
- 71) 松崎 賢, 盛武 敬, 茂呂田 孝一, 永元 啓介, 孫 略, 岡崎 龍史: IVR 施行医の被ばく防護に対する実態調査. 第 74 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 12 日-15 日, 2018
- 72) 茂呂田 孝一, 盛武 敬, 松崎 賢, 永元 啓介, 孫 略, 石原 隆宏, 岡崎 龍史: DICOM-RDSR を用いた患者被ばくの傾向評価と低減対策. 第 74 回日本放射線技術学会総会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市), 4 月 12 日-15 日, 2018.

【社会的業績】

- 1) 厚生労働省事業「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」. 研究班が研修資料提供、支援者研修、研修会に協力
- 2) (データ提供) 厚生労働省労働基準局安全衛生部長 放射線業務従事者等に対する線量測定等の徹底及び眼の水晶体の被ばくに係る放射線障害防止対策の再周知について, 基安発 1101, 11 月 1 日, 2019 年
- 3) (データ提供) 厚生労働省 第 6 回 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会 資料 4 十分な放射線防護を行っても, なお高い被ばく線量を眼

の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について (本調査に係る結果), 8 月 1 日, 2019 年

- 4) (データ提供) 厚生労働省 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 資料 2 十分な放射線防護を行っても, なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について (フィージビリティ検証及び質的評価に係る結果), 6 月 20 日, 2019 年
- 5) (データ提供) 厚生労働省 第 4 回 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会 資料 2 十分な放射線防護を行っても, なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について, 4 月 17 日, 2019 年

【その他】

- 1) 「医療従事者の被ばく-把握できていない実態明らかに-」, NHK「おはよう日本」, 1 月 11 日, 2021 年

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

- 1) 放射線被ばくによる皮膚炎発生の予測: 特願2020-072182 (2020年4月14日出願); 発明者: 孫 略, 盛武 敬, 千田 浩一, 稲葉 洋平; 出願人: 産業技術総合研究所, 産業医科大学, 東北大学
- 2) 線量計ホルダ: 特願2018-149742 (2018年8月8日出願), 発明者: 盛武 敬, 孫 略, 永元啓介, 小野洋彰, 出願人: 盛武 敬, 孫 略, 永元啓介, 有限会社コスモテック, 株式会社保科製作所

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

(資料) 分担研究報告

労災疾病臨床研究事業費補助金

総合研究報告書

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 (180501-1)

研究分担者 盛武敬

(産業医科大学 産業生態科学研究所 放射線衛生管理学的研究室 准教授)

研究協力者 阿部利明, 茂呂田孝一, 中上晃一, 永元啓介, 松崎賢, 栗山知子

研究要旨

【目的】2011年のICRP勧告を受けて本邦でも水晶体線量限度の引き下げが2021年から始まる。医療従事者を対象とした不均等被ばく、特にIVRを中心とした現場での線量評価と線量低減方法に関する研究を行った。【方法】線量評価と線量低減方法の構築を行う為に1症例毎測定が可能な水晶体線量計を開発した。線量評価の対象は、医師(放射線科、循環器内科、消化器内科、整形外科、脳血管内科、集中治療医)と看護師で、線量低減方法を実施しない時と実施した時の線量評価を行った。【結果】手技や検査内容によって異なるが1症例毎の水晶体等価線量は0.6mSv以下であり、線量低減策を講じれば水晶体等価線量を年間20mSv以下に低減できた。また、症例数が多い医師の場合、線量低減策として防護眼鏡の着用だけでは年間20mSvを超える可能性があり、防護策を組み合わせる多重防護を行えば年間20mSv以下に低減できた。【結論】IVRを中心とした現場での線量は様々であるが、線量低減策を講じれば水晶体等価線量を年間20mSv以下となる。【新たな課題】本研究を進めていく中で、①個人線量計の適切な使用②多重防護に必要な防護具の開発という課題が出てきた。①に関しては、個人線量計の適切な使用について全国調査を行い、個人線量計の適切な使用がなされていない事が判明した。これは不均等被ばくの線量評価や線量低減を行う上で問題となる事から早急に対策が必要である。②に関しては、多重防護を行う為に様々な防護具が必要であるが、本邦では製品化されている防護具が少ない事から、手技や装置に適した防護具の開発が必要である。

我々は、IVRを中心とした現場での線量評価と医療実施との最適化に関する研究に関する研究を行った。事業実施期間の3年間で、以下に示す14の課題を設定して、分担研究者の担当した目的を達成した。

(1) 放射線診療に携わる医療従事者の水晶体線量測定調査

本研究は放射線診療に携わる医療従事者の水晶体線量調査をおこなった。調査期間は、2019年4月から7月までの15施設、医師17名であり、調査対象者は、各学会(日本放射線医学会・日本IVR学会、整形外科学会、日本循環器学会、日本消化器病学会、

日本脳神経血管内治療学会)に推薦を受けた医師とした。測定には放射線防護眼鏡の内外左右に蛍光ガラス線量計(GD-352M)を装着した。通常の放射線防護方法に加え、防護クロスの使用、適切な位置での遮蔽板の使用、防護眼鏡の着用、必要に応じて診療に影響を及ぼさない範囲で適切な透視モードの選択などの追加の放射線防護方法による介入を行うことで、いずれの診療科領域においても水晶体等価線量を大幅に軽減できる余地があることが明らかになった。適切な放射線防護方法などの介入を実施し、防護眼鏡内側で算定することで、解析済みの17人全ての対象者において、現状

の施術実績数を考慮して推計した1年間に受ける水晶体等価線量は20 mSv以下に保つことが可能であった。医療機関における適切な放射線防護方法への対応が確保されると仮定すれば、水晶体の等価線量限度を5年間の平均で20 mSv/年かついずれの1年においても50 mSvを超えないこととする新たな眼の水晶体の等価線量限度を遵守することは可能であると考えられる。

(2) 脊髄腔造影施行医師の水晶体被ばくの調査

脊髄腔造影は、手技が簡単で検査時間も短く、これまで放射線被ばくに対して特段注意が払われる事がなかった。2011年ICRPより水晶体しきい値と線量限度引き下げが勧告された事を契機に、本研究では脊髄腔造影施行医師の水晶体線量を調査し、放射線防護眼鏡着用の必要性を検証した。調査期間は、2017年10月から2018年12月までの343症例で、調査対象者は脊髄腔造影施行医師とした。標本数・調査機関・平均透視時間・患者年齢・患者体重は表1に示す。また、透視条件や撮影条件は患者体型に応じ自動調整される。水晶体被ばく測定には、放射線防護眼鏡

(Panorama shield ultra light 0.07 mmPb) と蛍光ガラス線量計 (GD-352M) を使用した。蛍光ガラス線量計は、放射線防護眼鏡のレンズ左右側方の内側と外側に配置した。年間20mSvを超える件数 (20mSv ÷ 各条件下の術者水晶体線量) は、①の防護眼鏡を着用した時262件となり、①の防護眼鏡を未着用の時118件となった。②の衝立併用では694件となり、防護眼鏡単独から62%線量が低減した。③の衝立及び低線量モード併用では1429件となり、防護眼鏡単独から82%線量が低減した (表2)。また、調査開始後、線量情報を脊髄腔造影施行医に線量情報をフィードバックした事で、透視時間が徐々に減少した。但し、透視時間の減少より、段階的防護による線量低減率の方が大きかった。脊髄腔造影施行医師の水晶体線量は高いため、防護メガネの他に追加の遮蔽体と低線量モードの併用で81.7%の線量低減を達成できた。

(3) ERCP 施行医師の水晶体被ばくの調査

ERCPは、内視鏡やカテーテルやステントなどのデバイスの進歩により検査や治療が増えている。近年はERCPの術者被ばくに対しての研究が進んでいるが、1症例毎被ばく線量を測定した研究はほとんどない。2011年ICRPより水晶体しきい値と線量限度引き下げが勧告された事を契機に、本研究ではERCP施行医師の水晶体線量を調査し、放射線防護眼鏡着用の必要性を検証した。調査期間は、2018年9月から2018年12月までの8症例で、調査対象者はERCP施行医師とした。水晶体被ばく測定には、放射線防護眼鏡 (Panorama shield ultra light 0.07 mmPb) と蛍光ガラス線量計 (GD-352M) を使用した。蛍光ガラス線量計は、放射線防護眼鏡のレンズ左右側方の内側と外側に配置した。当院のERCPは、散乱線防護クロスを使用している。防護眼鏡の遮蔽率は36.2%であった。防護カーテンを使用してもX線防護眼鏡は必要である事が判明した。防護眼鏡が未着用の場合、作業量が多いとき線量限度 (100mSv/5years) を超える事が予想され検査数が多い施設ではその年数が短縮する。現時点で症例数は少ないものの、散乱線防護クロスを使用したうえで防護メガネを着用しても、術者の眼の水晶体線量は82.7 μ Gy/検査、防護メガネ外側の線量、即ち、防護メガネ未着用時の水晶体線量は129.6 μ Gy/検査となり、決して少なくない線量と言える。一般的に、オーバーチュール型の透視装置は、X線管の照射口が術者の眼に近く水晶体線量は高くなる傾向にある。散乱線防護クロスを使用すると約9割の散乱線除去が見込めるとの報告もあるが、実際の臨床では、患者の体位変換などで散乱線防護クロスに隙間があったり、適切に使用されていないなかったりすることで、予想以上の散乱線に晒されていることも否定はできない。今回の研究では、術者の眼の水晶体線量が5年で100 mGyを超えることはなかった。しかしながら、件数の多い施設では線量限度を超える可能性が示唆された。また、散乱線防護クロスの未使用や防護メガネの未装着は、少ない症例数でも線量限度を超える可能性があることが示さ

れた。ERCP 施行時の医師の眼の水晶体線量防護において、散乱線防護クロスの使用及び防護メガネの着用は必須である。

(4) CT 介助者における水晶体被ばくの調査

本研究は CT 介助者における水晶体表面線量の調査をおこなった。調査期間は、2017 年 6 月から 10 月までの 50 症例であり、調査対象者は、CT 検査時に患者介助を行った医療スタッフとした。測定には放射線防護眼鏡の内外左右に蛍光ガラス線量計

(GD-352M) を装着した。介助を行なった職種は集中治療医師が 35 件 (70%) の CT 介助を行い最も多かった。作業内容はバックバルブマスクを使用した換気補助作業が 30 件 (60%) であった。患者介助者の水晶体表面線量 (中央値) は防護眼鏡未使用時では 0.218 mGy、防護眼鏡使用時では 0.104 mGy であった。防護眼鏡を用いることにより水晶体表面線量 (中央値) が約 50% 低減した

(5) 血管撮影に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査

本研究では、血管撮影に従事する看護師の水晶体線量被ばくの実態を明らかにすることを目的とした。血管撮影に従事した 8 名 (男性 3 名、女性 5 名) の看護師を対象とし、2018 年 1 月から 12 月の間、個人線量計で測定した月毎の不均衡被ばく測定結果の水晶体等価線量 (頭頸部用個人線量計の測定値で、以下、水晶体線量と記載) と、同じ時期に施行された延べ 395 件の血管撮影 (診断目的及び血管内治療を含む) の a. 検査件数、b. 透視時間、c. 撮影回数を放射線部門システムの記録から抽出し、その相関関係を対象看護師個人毎に解析した。更に、放射線防護に関する簡易講習会を随時実施し、その前・後で知識の実践に関するアンケート調査を行い、被ばく線量との関係性を解析した。対象看護師毎の水晶体等価線量と検査件数 ($R=0.75$)、透視時間 ($R=0.72$)、撮影回数 ($R=0.80$) と間には強い正の相関を認めた。アンケート項目の講習前後での点数の変化から、特に、甲状腺プロテクタ及び防護眼鏡の着用と、放射線防護 3 原則の理解と実践におい

て、簡易講習会は知識習得と実践に有効であった。血管撮影業務に携わる看護師の水晶体等価線量には個人差があった。高線量被ばく群は、検査当たり、透視時間当たり、撮影回数当たりの線量も、低線量被ばく群と比べて高い傾向にあり、両群の行動パターンの違いが示唆された。両群の違いは、正しい放射線防護知識の定着と、その実践の差である可能性が示唆された。血管撮影に従事する看護師の水晶体等価線量は、新線量限度 20mSv/年を超えることはなかった。但し、看護師の水晶体等価線量は個人差が大きく、1 検査当たり、透視 1 時間当たり、撮影 1 回当たりの水晶体等価線量を解析することで、被ばくを来す行動パターンの解明に繋がる可能性が示唆された。

(6) ミエログラフィに従事する看護師の被ばく状況実態調査

脊髄腔造影検査 (ミエログラフィ) に従事する看護師は散乱線の影響を受けており、その作業環境評価を行うため、ミエログラフィに従事する看護師の被ばく線量について実態調査を行った。2018 年 1-3 月に調査病院で実施されたミエログラフィ 32 症例を対象とした。電子式個人線量計を防護衣内側 (腹部) に装着させ、1 検査ごとに測定を行った。対象は看護師 4 名とし、施行した医師 2 名における違いについても解析した。また、医師の被ばくに対する関心を調査するため、選択式の質問紙調査を行った。看護師 a - d の腹部線量は 1.4-2.4 μ Sv であり、個人間に差が認められるものの、有意差は認められなかった。次に医師 A、B の違いによる看護師の腹部線量は、それぞれ 1.35 \pm 0.58、2.33 \pm 1.31 (mean \pm SD) μ Sv であり、有意差が認められた ($p=0.011$)。また医師 A、B には自身の被ばくに対する関心について違いがあり、医師 B の方が無関心な傾向であることが認められた。ミエログラフィに従事する看護師の腹部線量は小さく、線量限度を超過することはないが、腹部線量は医師の手技に影響を受けることが示唆された。

(7) ERCP における術者水晶体被ばく低減

～多段階防護が年間線量限度に与える影響～

ERCP 実施時の 1 検査当たりの水晶体等価線量を測定し、多段階防護により水晶体等価線量が年間線量限度 20mSv を超える検査数を算出し、リスク低減措置として適切な使用法を検討する。調査対象術者は消化器内科医師で、2019 年 2 - 3 月に行われた ERCP14 症例を解析対象とした。評価項目は、多段階防護として①ERCP standard モード②ERCP Low dose モード③防護クロスの使用④防護眼鏡の使用⑤防護クロスと防護眼鏡の使用の時ににおける水晶体等価線量の比較とした。線量測定には、蛍光ガラス線量計素子を使用し、使用機器はオーバーチューブ型透視装置 (SONIALVISION G4, 島津メディカル) を用いた。1 検査当たりの水晶体等価線量は、評価項目①では 0.501mSv、②0.182mSv、③0.053mSv、④0.027mSv、⑤0.014mSv であり、20mSv を超える件数はそれぞれ①40 件、②110 件、③377 件、④741 件、⑤1429 件となる。何も防護策を施さない場合は、通常の医療機関であれば年間 20mSv を超える可能性が高く、まずは X 線条件の見直しが重要である。年間 200 件程度の ERCP 件数であれば、X 線条件の見直しを行えばいずれか一方の防護具を使用していれば 20mSv を超えることはなく、さらに防護クロスの使用と防護眼鏡の装着を追加すれば 20mSv を超えることはまずない。

(8) 脊髄腔造影施行医師の水晶体被ばく多段階防護の有用性

本研究は、オーバーチューブ型透視装置を用いる脊髄腔造影施行医師の水晶体線量を、複数の手段を組み合わせた多段階防護により、どこまで低減できるかを検証した。解析対象は脊髄腔造影 343 症例での医師の水晶体線量で、測定は線量計 (蛍光ガラス線量計、GD-352M) を用い、多段階防護には防護眼鏡・防護衝立・低線量モードを用いた。何も防護を施さないときの水晶体線量 (防護眼鏡の外側の線量) は中央値 148 μ Gy (n=97) であるが、防護眼鏡を装着することで中央値 67 μ Gy (55%低減) に、遮蔽体 (防護衝立) を追加することで、中央値 23 μ Gy (83%低減)、更に低線量モー

ドを適用することで中央値 12 μ Gy (92%低減) となった。以前の研究において、防護眼鏡を着用しても術者の経験によらず年間 200 症例を超えると 20mSv に達する恐れがあることを報告した。そこで、防護眼鏡単独では不十分なため、追加の遮蔽体や画質も考慮した上で低線量モードを組み合わせ使用したことで効果的な線量低減に繋がった。脊髄腔造影施行医師の水晶体線量は、多段階防護によって 92%の線量低減を達成することができた。

(9) 防護装具使用状況の実態調査と業務改善

Interventional Radiology (IVR) に従事する医師は被ばく線量が高く、防護装具の使用が不可欠であるが、使用しないことが多々みられる。そこで、IVR 施行医の防護装具使用状況調査を行い、装着の「声かけ」による使用状況改善効果を検証した。2017 年 4 - 5 月に実施された放射線診療 140 症例を対象に、医師 8 名の個人線量計、防護衣、防護眼鏡の使用状況を調査した。次に 2017 年 5 - 7 月に実施された放射線診療 (非血管系のみ) 64 症例を対象に、医師 6 名の個人線量計、防護眼鏡の使用状況を調査した。業務改善として装着の「声かけ」を行ったのち、同年 11 - 2018 年 1 月に実施された 64 症例で同様の調査を実施した。なお、使用率は放射線診療数に対する各防護装具の使用回数と定義した。2017 年 4 - 5 月に実施された放射線診療の個人線量計、防護衣、防護眼鏡の使用率中央値は 72.3%、100%、26.5%であった。次に 2017 年 5 - 7 月に実施された放射線診療の個人線量計、防護眼鏡の使用率中央値は 37.5%、0%であり、医師は防護装具の必要性をほとんど理解していなかったが、診療放射線技師による装着の「声かけ」を行ったところ、全ての装具の使用率が 100%となった。

(10) X 線可動絞りを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

本研究は Over-tube 型透視装置における術者水晶体位置の散乱線低減の為のファントム研究をおこなった。X 線可動絞りを覆

う防護カーテンを開発し、散乱線低減率を測定した。散乱線測定は、蛍光ガラス線量計（GD-302M）を使用し、稼働絞り前面を基準に床面に対して水平方向に0-50cm垂直方向に-20-70cmの合計60点を同時に測定した。カーテンなしと比較し20cmのカーテン長では0-74%の線量低減が認められた。30cmのカーテン長では1-87%の線量低減が認められた。カーテン長が30cmは20cmと比較し線量低減効果が高かった。

(1 1) 全国の医療機関を対象にした個人被ばく線量計の装着状況調査

電離放射線障害防止規則において、放射線業務従事者には線量測定が義務付けられているものの、適切に実施されていない事例が散見される。そこで本調査の目的は、全国の医療機関において、個人被ばく線量計の装着実施状況を把握することとした。全国の各医療機関に従事する放射線業務従事者を対象とした。調査員は各医療機関よりホームページ上で公募し、各医療機関の放射線業務における個人線量計装着状況を目視で調査した。結果は、郵送もしくはメールにて回収し解析を行った。調査期間は2020年1月27日から5月9日の中から選択された任意の一日とした。調査項目は、①観察日、②診療科、③職種、④観察場所、⑤放射線業務従事者登録状況、⑥個人被ばく線量計（胸・腹部）装着状況、⑦個人被ばく線量計（頭・頸部）装着状況、⑧個人被ばく線量計（手指）装着状況の8項目とし、選択式回答形式とした。また、得られた個人被ばく線量計装着状況より、装着率を算出した。全国79名の調査員より、1348名の調査結果を得た。放射線業務従事者として90%以上が登録、管理されており、均等被ばく管理と不均等被ばく管理の比率は、ほぼ同等であった。また、全職種の個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は65.3%であった。職種別では診療放射線技師が高く、医師が最も低かった。そのうち医師の診療科における個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率では放射線科が高く、整形外科が最も低かった。また、観察場所における個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は一般撮影室が高く、手術室が

最も低かった。その他、全職種における不均等被ばく管理下の個人被ばく線量計

（頭・頸部）装着率は53.2%であり、個人被ばく線量計（手指）はほとんど利用されていないかった。個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は必ずしも100%でないことが明らかとなり、現状の被ばく線量は過小評価されている可能性が考えられた。その要因として、個人被ばく線量計装着の重要性を理解するための教育が不可欠であり、今後、適切な放射線防護教育の実施が望まれる。個人被ばく線量計（胸・腹部）装着率は65.3%であり、現状の被ばく線量情報は過小評価されている可能性が示唆された。

(1 2) 病院における個人水晶体等価線量低減を目的とした業務改善計画策定のための被ばく線量の実態調査および解析

本研究では、個人水晶体被ばく線量（水晶体等価線量）の低減を目的とした業務改善計画策定のための資料を得ることである。対象および方法は、2箇所の病院において、過去20年間（1998年度から2017年度まで）の放射線業務従事者の水晶体等価線量の実態調査を行った。調査対象者数は5028人であった。すべての放射線業務従事者、その内の線量を検出した者および線量が多い上位3名について、水晶体等価線量の平均値の年度ごとの推移を調査し解析を行った。結果は、調査施設の個人水晶体等価線量は増加の一途であり、また線量の多い者ほど増加率が大きかった。被ばく線量を低減するための「業務改善」を計画し、実施することが早急な課題であることが確認された。

(1 3) 診療放射線技師主導による防護装具使用率向上のための業務改善

IVR（Interventional Radiology）施行医の被ばく線量は、他の放射線診療従事者に比べて格段に高いとされるが、実際にはこれらを使用せずに業務を行うことが散見されていた。そこで、診療放射線技師の主導による、IVR施行医の防護装具使用率向上に関する業務改善効果の検証を行った。2017年5-7月に実施された放射線診療137

症例の防護装具（個人線量計、防護衣、防護眼鏡、ネックガード）使用率を調査した。評価の値である使用率は、IVR 施行医が3ヶ月間に行った放射線診療数に対する各防護装具の使用回数と定義した。次に業務改善として、診療放射線技師による IVR 施行医に対する防護装具使用徹底の注意喚起と、診療開始前の防護装具使用の直接促しを実施した。これらの業務改善の後、2018年5-7月に実施された放射線診療114症例について、防護装具使用率向上の効果を判定した。業務改善前の個人線量計、防護眼鏡、ネックガードの使用率の中央値は、66.67、28.57、92.00（範囲：0-100）%（n=9）であった。業務改善後の中央値は全て100（範囲：88.89-100）%（n=9）となり、改善効果が認められた。特に個人線量計と防護眼鏡は有意に高くなった（個人線量計：p=0.000、防護眼鏡：p=0.006）。なお、防護衣は改善前後とも使用率100%であった。全体の被ばく線量は、改善前が $0.20 \pm 0.22 \text{mSv}/3 \text{ヶ月}$ （mean±SD）に対して、改善後は $0.27 \pm 0.41 \text{mSv}/3 \text{ヶ月}$ （mean±SD）と増加した。防護装具使用率向上のための業務改善において、放射線技師による直接介入は非常に効果的であった。

（14）放射線診療従事者が眼の水晶体に受ける被ばく線量の実態調査～水晶体等価線量と実効線量との関係～

本研究の目的は、水晶体等価線量低減のための業務改善計画の策定および評価の際に、参考にできる情報を、水晶体等価線量と

実効線量との比（以下「線量比」という。）の実態調査を行うことにより、得ることである。線量比の実態調査は、過去の被ばく線量モニタリング記録を分析することにより行った。調査対象施設は特定機能病院1箇所とした。また、人体ファントムを用いてX線照射装置によるシミュレーション照射も行い、線量比を算定した。調査病院では、実効線量が $0.7 \text{mSv}/\text{年}$ 以上の線量域で最大7.3であった。シミュレーション照射での線量比は、個人線量計の装着位置が正しい場合、男性 6.1 ± 1.8 、女性 5.7 ± 0.2 であったが、間違っている場合では男性 1.7 ± 0.6 、女性 1.5 ± 0.2 であった。防護衣の遮へい能力が90%以上の場合、個人線量計や防護衣を正しく使用していれば、線量比は5以上となるのが計算により求められるが、この結果について、実態調査やシミュレーション照射の結果と比較し、実態に則した適正值であることが確認できた。線量比の適正值が示されたことから、線量比を個人線量計や防護衣の正しい使用状況を示す新たな指標として、活用することを考案した。本調査で得た情報は、個人線量計の正しい使用状況を示す指標に利用できるため、水晶体等価線量低減のための業務改善計画の策定や評価の際に、大いに参考になるといえる。

（なお、研究発表リスト等は、総合報告書のまとめの項に一括記載した。）

2018-2020 年度労災疾病臨床研究事業
分担研究報告書【総合】

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

【水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査】
(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)

研究分担者 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

当分担研究では、水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)に関する、基礎的および臨床的研究を実施した。具体的には、1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討、2. 防護眼鏡(0.75mm鉛当量)の臨床評価、3. 水晶体線量計の詳細な基本性能評価、4. 心臓 IVR での水晶体線量の詳細臨床評価、5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価、そして 6. ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価について主に実施し有用な成果を得ることができた。(査読付き論文成果は4編: 英文3 和文1)。以下に要旨を示す。

1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討: 水晶体線量計の適切な着用部位についてファントム実験にて詳細に検討した。測定部位は左眼と右眼の中央表面位置の線量(左右の水晶体線量)、眼の近傍の線量(左眼横, 右眼横, 額中央の線量)にて評価し、血管 IVR を想定した各照射角度(Angulation)において術者医師位置と看護師位置にて測定した。その結果、医師位置では LAO 系の Angulation で X 線管が近づくために水晶体線量が高くなったが、看護師位置では散乱線源から離れていたために Angulation による影響は小さいことが分かった。さらに医師位置では左眼(X 線管側)の線量が高く、水晶体線量計を左側頭部に着用することで過小評価することなく、ばらつきも小さくなることが分かった。看護師位置では左右差がほとんどなく、水晶体線量計を額中央に着用することで過小評価することなく、ばらつきも小さくなる傾向があることが分かった。なお、ファントムの眼の位置に直接入射する X 線量を測定し比較した研究論文は今まで無く、本研究が初の報告である。

2. 防護眼鏡(0.75mm鉛当量)の臨床評価: 心臓 IVR にて、鉛防護眼鏡(0.75mmPb 当量)の遮蔽効果を臨床的に明らかにした(0.75mmPb 当量鉛防護眼鏡の臨床的研究は本論文が初)。2名の医師とも防護眼鏡の遮蔽率は概ね同等で約 83%であり、放射線技師の 10 ヶ月間における平均遮蔽率は 78.4%となった。0.75mmPb 当量防護眼鏡は 80g とかなり重く密閉性が高く曇りやすいため、本研究でも実際に医師から指摘を受けた。放射線技師に関しては防護眼鏡の着脱可能であり、手技中に防護眼鏡の曇りを拭く等が可能であった。

3. 水晶体線量計の詳細な基本性能評価: 3mm線量当量を測定できる水晶体線量計ドジリスの基本特性をはじめて明らかにした。診断 X 線エネルギー領域において、Batch uniformity は 5%以内、dose linearity は良好 ($R^2=1.00$)、energy-dependence は良好 (50kV で 5%程度)、角度依存性も 270 度以外は良好であることなどを明らかにし、基本性能の点からも水晶体線量計ドジリスは有用であることを示した。

4. 心臓 IVR での水晶体線量の詳細臨床評価: PCI 医師において、左眼の線量が最も高い結果となり (1件当たり平均 0.1mGy 以上、鉛防護眼鏡無しで)、左眼の線量は最大で右眼の約 22 倍となった。よって、水晶体線量を安全側には評価するために線量計を左眼に装着する必要がある。特に RCA に対する PCI では、X線管が術者側に近くなるため、水晶体線量がかかなり増加することが分かった (鉛防護眼鏡無し場合、左眼で1件あたり平均で 0.2mGy 程度)。

さらに治療部位 (RCA、LAD、LCX) ごとに分けて検討した結果、PCI 医師においては、各患者パラメータなどの装置表示値から水晶体線量を推定するのは困難であった。そのため、正確な水晶体線量を把握するためには実際に線量計を装着して測定すべきである。PCI 医師の水晶体線量計は左眼に装着する必要があるが、PCI は治療部位 (RCA、LAD、LCX) によって線量比が異なるため、左眼の線量からほかの位置 (右眼) の線量を推定する場合は治療部位ごとに分けて行うべきである。

心臓 IVR に従事する看護師においても、正確な水晶体線量を把握するためには実際に線量計を装着して測定することが望ましい。ABL に関しては右眼の線量が最も高い結果となり、PCI に関してはそれぞれの位置で大きな差はない結果となった。よって、看護師においては安全側に水晶体線量を評価するためには、線量計を右眼に装着することが必要な場合があると考えられる。

5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価: 透視ガイド下の気管支鏡検査スタッフの眼の被ばく線量を評価した。特に医師では、20mSv /年を超える可能性がある。したがって気管支鏡検査のスタッフの眼の被ばく線量には十分注意する必要がある。被ばく線量を減らすためには鉛防護メガネの着用が推奨される。さらに、正確な線量を測定するためには、DOSIRIS のような眼の被ばく線量を直接測定できる線量計の使用が必要である。

6. ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価: ポータブル X 線撮影時の診療放射線技師の水晶体線量測定結果より、撮影件数の多い施設においては、十分な被ばく防護策を講じない場合には線量限度に近い値となる可能性が示唆された。よってポータブル X 線撮影に従事する診療放射線技師は、適切な被ばく防護措置と被ばく線量評価を行う必要があると考える。水晶体線量評価については、プロテクターの外側、頸部に線量計を装着することでおおむね評価することが可能である。被ばく防護については、X 線照射時に患者から十分な距離をとることが非常に有効であるため、この点は常に意識する必要があると考える。ただし患者から距離をとることが困難な場合もあるため、その際は Pb 眼鏡やプロテクター等の防護具を適切に使用して被ばく防護に努めることが重要であると考えられる。

***主な研究協力者: 稲葉 洋平 (東北大学災害科学国際研究所 助教)**

はじめに

当分担研究では、水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)に関する、基礎的および臨床的研究を実施した。

具体的には、1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討、2. 防護眼鏡(0.75mm鉛当量)の臨床評価、3. 水晶体線量計の詳細な基本性能評価、4. 心臓 IVR での水晶体線量の詳細臨床評価、5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価、そして 6. ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価、について主に実施し有用な成果を得ることができた。

以下に、当分担研究の主な内容について示す。

1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討 (ファントム実験)

研究方法

心臓 IVR では、長時間の透視や頻回の撮影により、患者のみならず従事者の被ばく線量も高い傾向にある。水晶体被ばく測定用 3mm 線量当量線量計(以下、水晶体線量計)も開発されているが、その適切な着用部位に関しては十分に検討されていない。本研究では、心臓 IVR に従事する医師と看護師における、水晶体線量計の最適な着用部位を、ファントム実験により検討した。

頭部ファントム(THRA1、京都科学)を医師および看護師の位置に、胸腹部ファントム(PBU-60、京都科学)を患者の位置に設置し、臨床用 X 線血管撮影装置(Infinix Celeve-i INFX-8000F、東芝)を用いて冠動脈シネ撮影を行った。焦点-検出器間距離を 100 cm、寝台の高さを 90 cm、視野サイズを 5"、フレームレートを 10 f/s、撮影時間を

15 s とし、管電圧、管電流、パルス幅、付加フィルタはオートとした。撮影方向 Projection は心臓 IVR(冠動脈造影)で一般的に用いられる 8 方向(postero-anterior (PA), left anterior oblique (LAO), right anterior oblique (RAO), cranial (CRA) and caudal (CAU) angles)とした。頭部ファントムの 5 か所の線量をリアルタイム線量計(EDD-30、Unfors)で測定した。EDD-30 線量計は 70 μ m 線量当量(Hp(0.07))で校正されている。

研究結果

Table 1 はオートで選択された X 線条件を示している。医師位置では LAO 系の撮影方向で線量が高く、看護師位置に比べておよそ 3 倍高かった。

Table 2 は水晶体線量計着用部位の線量(L-Side、Forehead、R-Side)に対する眼の位置の線量(L-Eye、R-Eye)の比およびそのばらつきを示している。医師位置では左眼の線量が右眼に比べて 1.54 倍(範囲 1.33-1.91)高く、左側頭部(L-Side)の線量が推定値として良好だった。看護師位置では 0.99 倍(範囲 0.94-1.02)と左右差は見られず、額中央(Forehead)の線量が推定値として良好だった。

考察

医師と看護師の両位置で、ファントムの眼の位置に直接入射する X 線量を測定したのは本研究が初である。実験結果から、LAO 系の撮影方向では X 線管が医師に近くなるために特に左眼の水晶体線量が高くなること、医師位置では看護師位置に比べて散乱体との距離が近いために水晶体線量がおおよそ 3 倍高くなることが分かった。水晶体線量計の着用部位として、過小評価を防ぎつ

つ測定のばらつきを小さくするためには、医師は左側頭部、看護師は額中央に着用するのが最適であると思われる。

結論

心臓 IVR に従事する医師と看護師の水晶体線量をファントム実験により調べた結果、医師は過小評価を防ぐために水晶体線量計を左側頭部に着用すべきであり、看護師は額中央に着用するのが妥当である。ただしファントム実験であるため、今後さらなる検討（臨床評価）が必要である。

Table 1. X線装置によりオートで選択されたX線条件

Projection	Tube voltage (kV)	Tube current (mA)	Pulse width (ms)	Filtration	KAP (Gy cm ²)
PA	72.90	251	4.4	0.2 mm Cu	0.759
LAO40 CAU10	75.51	310	5.4	0.2 mm Cu	1.284
CRA30	73.20	253	4.5	0.2 mm Cu	0.773
CAU30	74.80	292	5.1	0.2 mm Cu	1.078
RAO30 CRA30	73.31	255	4.5	0.2 mm Cu	0.781
RAO30 CAU30	76.80	342	5.9	0.2 mm Cu	1.424
LAO30 CAU30	80.61	436	7.5	0.2 mm Cu	2.521
LAO30 CRA30	76.36	331	5.8	0.2 mm Cu	1.291

Table 2. 水晶体線量計着用部位の線量に対する眼の位置の線量の比

		Physician			Nurse		
		L-Side	Forehead	R-Side	L-Side	Forehead	R-Side
Left eye	Mean ratio	1.00	1.19	1.60	1.22	1.04	1.36
	CV (%)	3.60	3.56	8.73	3.74	5.14	18.55
Right eye	Mean ratio	0.66	0.78	1.04	1.24	1.05	1.38
	CV (%)	15.18	13.36	7.12	4.15	4.90	16.74
Left eye/Right eye		1.54 (1.33 1.91)			0.99 (0.94 1.02)		

2. 鉛防護眼鏡(0.75mm 鉛当量)の臨床評価

研究方法

IVR 領域において、術者が適切な放射線防護を行わなければ新たに勧告された水晶体線量限度である 20 mSv/年を超過する危険性があることが明らかにされており、よって遮蔽効果の高い鉛当量防護眼鏡(0.75mm 鉛当量)が注目されている。だが 0.75mm 鉛当量鉛防護眼鏡の遮蔽効果について臨床的に検討された研究はない。

そこで今回、心臓 IVR にて 0.75mm 鉛当量の防護眼鏡を装着した医師と放射線技師の水晶体被曝線量の測定を行った。

(1) 対象

対象は心臓 IVR スタッフ(医師 2 名と放射線技師 1 名)である。医師 2 名については 1 ヶ月のみ、放射線技師 1 名については 10 ヶ月間測定を行った。

原則的に、IVR 術者は患者右側の X 線管から 0.5m の位置にて手技を行い、放射線技師は術者の後方 1.5m に位置したが、移動する場合もある。術者と C アームの間には原則的に天吊り防護板を設置した。(Fig. 1)

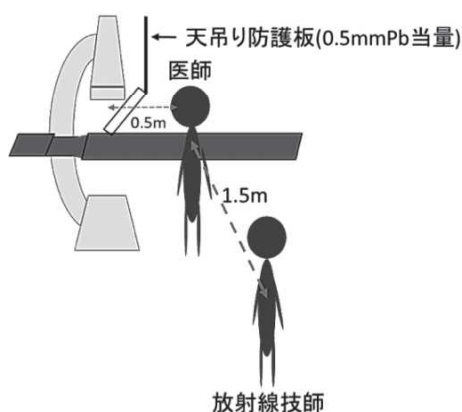


Fig.1 スタッフの配置

基本的な配置であり移動する場合も多い。また天吊り防護板を適切な位置に配置できないこともある。

全スタッフは鉛当量防護眼鏡 (PT-COMET、正面レンズ: 0.75mmPb 当量鉛ガラス、両側面・下方レンズ: 0.5mmPb 当量鉛シール、重量 80g) を装着した。(Fig. 2-a, b, c)

スタッフに 0.75mm 鉛当量防護眼鏡を試験的に装着して、比較検討した。

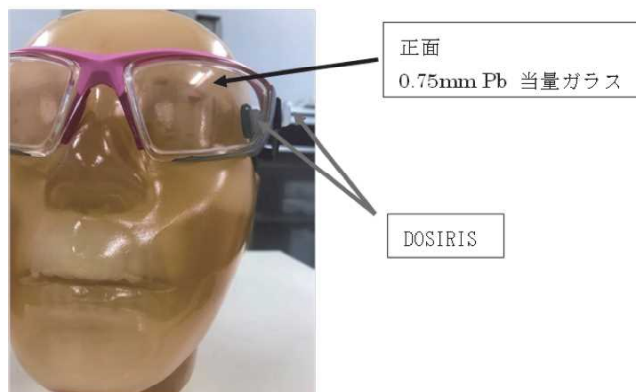


Fig.2-a 防護眼鏡と線量計の装着図(ファントム) 実際は医師と放射線技師が装着

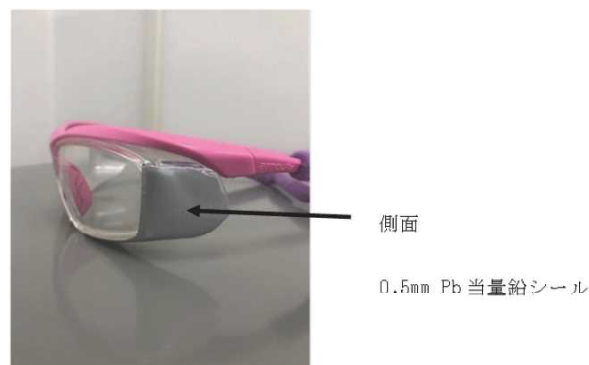


Fig.2-b 防護眼鏡の側面図

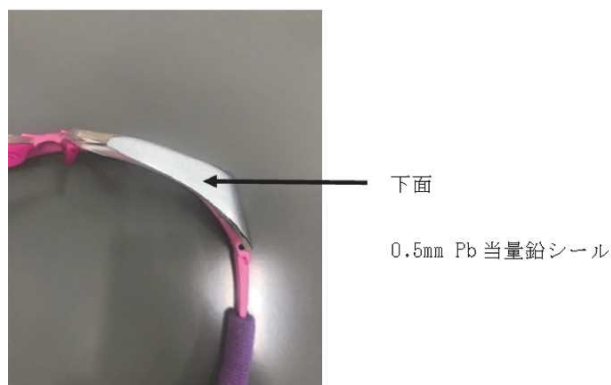


Fig.2-c 防護眼鏡の下面図

(2) 測定

Fig.2-a にデバイスの装着状態を示す。全スタッフは防護眼鏡の左水晶体近傍の内側と外側に1つずつ DOSIRIS (IRSN, フランス) を装着した。3mm 線量当量 [Hp(3)] を測定評価した。

(3) 解析

DOSIRIS で測定した各1ヶ月における防護眼鏡の内側と外側の線量読取值から、防護眼鏡による遮蔽率を算出した。

この際、下の式を用いて遮蔽率を計算した。

$$\text{遮蔽率}[\%] = (\text{外側線量} - \text{内側線量}) / \text{外側線量} \times 100$$

研究結果 (0.75mm 鉛当量防護眼鏡の臨床評価)

医師2名の防護眼鏡の外側と内側における水晶体線量と、そこから算出した防護眼鏡の遮蔽率を Table 1 に示す。

医師1, 医師2とも防護眼鏡の遮蔽率は概ね同等であり、約83%となった。

Table 1 医師2名の測定結果 (1か月間)

	防護眼鏡 外側線量 Hp(3), (mSv)	防護眼鏡 内側線量 Hp(3), (mSv)	遮蔽率 (%)
医師1	1.1	0.18	83.6
医師2	0.36	0.06	83.3
平均	0.73	0.12	83.5

放射線技師の防護眼鏡の外側と内側における水晶体線量と、そこから算出した防護眼鏡の遮蔽率を Table 2 に示す。

防護眼鏡の遮蔽率は概ね80%程度の値を

示す月が多かった。測定を実施した10ヶ月における平均遮蔽率は78.4%となった。

Table 2 放射線技師1名の測定結果 (10か月間)

	防護眼鏡 外側 線量 Hp(3), (mSv)	防護眼鏡 内側 線量 Hp(3), (mSv)	遮蔽率 (%)
平均	0.359	0.072	78.38
±SD	0.19	0.03	6.71

考察

0.75mmPb 当量防護眼鏡の遮蔽効果については、ファントム実験などで検討されているものの、臨床現場での測定による遮蔽効果に関する評価はほとんど無い。心臓 IVR にて 3mm 線量当量を用いて水晶体の線量測定評価を行い、鉛防護眼鏡 (0.75mmPb 当量) の遮蔽効果を臨床的に明らかにしたのは本研究が初である。

今回 0.75mmPb 当量の防護眼鏡 (側面、下方防護可能) を用いた IVR 臨床測定を行った結果、約80%という良好な遮蔽効果があることを明らかにした。

また、防護眼鏡外側の線量値を12ヶ月換算すると、医師1の年間水晶体等価線量は約13.2 mSv と高い値となった。

このことから、年間に多くの IVR 手技を行う医師に対して、手技中の水晶体遮蔽は極めて重要であり、0.75mmPb 当量の防護眼鏡を用いることは、防護上は有用性が高いと思われる。なお医師1と医師2間で1ヶ月の線量に差が生じたが、これは携わった手技の件数及びに種類がそれぞれ異なるためであると考えられる。

一方で、臨床現場で広く使用されている 0.07mmPb 当量防護眼鏡の重量が約 45g 程度であるのに対し、0.75mmPb 当量防護眼鏡は 80g と、かなり重く、密閉性が高く曇りやすいため IVR 手技の妨げになる場合がある。本研究でも実際に医師から 0.75mmPb 当量防護眼鏡は重く、曇りやすいためとの指摘を受けた。放射線技師に関しては防護眼鏡の着脱可能であり、手技中に防護眼鏡の曇りを拭く等、装着感の改善が見込まれたが、清潔を維持しなければならない医師に関しては手技中の防護眼鏡の着脱は困難であり、防護眼鏡の重さによる疲労、曇りを解消することは難しいと思われる。

先行研究で軽量防護眼鏡 (0.07mmPb 当量、パノラマシールド、: 側面防護可能) の臨床における遮蔽率は比較的良好な約 60% であると報告されている。これらの点から、長時間にわたる IVR 手技に際して、術者は装着感の良い軽量防護眼鏡を着用することが妥当であると思われる。

0.75mmPb 当量鉛ガラスの素材自体の遮蔽効果は非常に高いため、術者の顔と眼鏡の隙間を埋める形状に改良することなどにより、更なる防護効果の向上が望まれる。

また、本研究では IVR 手技時に使用することの有効性について検討したが、散乱線のエネルギーが高い CT 介助において、0.75mmPb 当量防護眼鏡を使用することが有用であることが示唆される。

結論 (0.75mm 鉛当量防護眼鏡の実臨床での評価)

0.75mmPb 当量防護眼鏡の臨床使用 (PCI) における遮蔽率は約 80% であるという結果を得た。これは 0.07mmPb 当量軽量防護眼鏡の遮蔽率である約 60% を大きく上回るものであった。我が国でも今後、水晶体等価線量

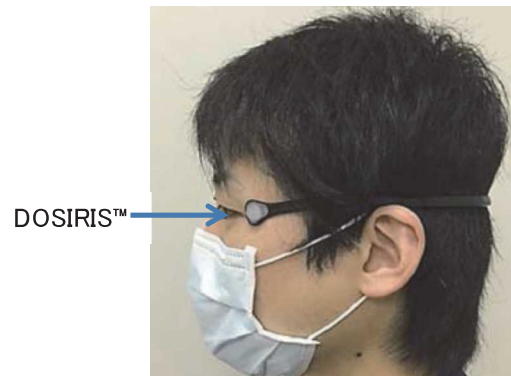
限度の引き下げが行われる見込みであることから、特に被ばく線量が高くなる心臓 IVR スタッフについては手技の妨げにならない範囲での 0.75mmPb 当量防護眼鏡を使用した水晶体防護は有用である可能性があるが、重量が重いなどの課題もある。

3. 水晶体線量計 (DOSIRIS™) の詳細な基本性能評価検討

研究方法

DOSIRIS™ (IRSN、フランス) は Hp (3) を測定可能な水晶体被ばく測定用線量計 (以下、水晶体線量計) である。

DOSIRIS™ はヘッドバンドにより眼の近傍かつ肌に密着させて着用することができ、これにより、防護眼鏡着用時でも実際の水晶体線量に比較的近い値が得られると考えられる (Fig. 3)。



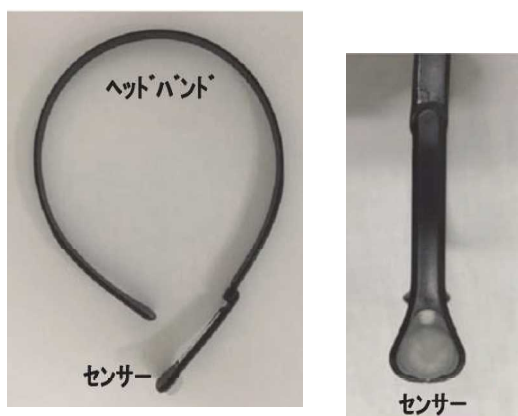


Fig. 3 DOSIRIS™

さらに、IVR 従事者自身の頭部からの散乱線が水晶体線量に大きく寄与する。そのため、水晶体線量計には比較的均一な方向特性が求められる。



Fig. 4 (A) 測定配置

しかしながら、診断用 X 線エネルギー領域 (IVR 装置含む) における DOSIRIS™ の基本特性は明らかにされていない。そこで、本研

究ではこのエネルギー範囲における線量計の性能評価を行った。

なお、使用機器はシングルプレーン X 線血管撮影装置 (Infinix Celeve-i、東芝、日本) である。素子に対して、自由空気中において、連続透視で照射を行った。X 線出力の変動係数は 1% 未満であった。

1) 素子均一性、線量直線性、管電圧依存性の評価方法

基準線量計に 6 ml 指頭型電離箱 (Model 9015、USA) を使用し、そこで得られる空気カーマ (mGy) と DOSIRIS™ 測定値とを比較する実験を行った。電離箱は X 線管焦点から 93 cm における照射野中心に設置した (Fig. 4A)。素子 4 つを電離箱から 3.5cm 離れ、かつ X 線強度のほぼ等しい 4 点に配置した (Fig. 4B)。

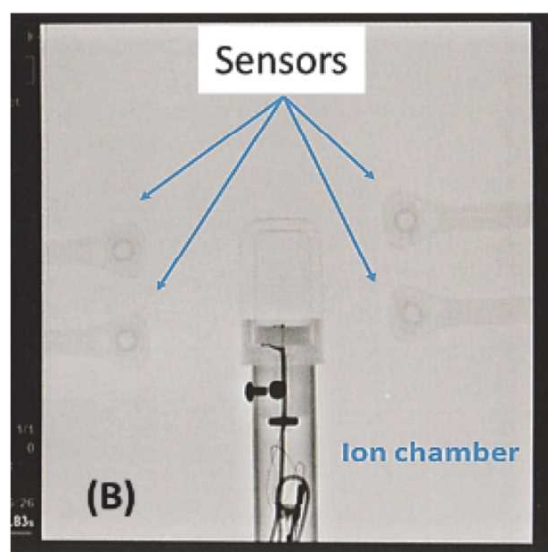


Fig. 4 (B) 測定配置の X 線画像

・素子均一性

感度のばらつき (素子均一性) については、素子 20 個 (4 個×5 セット) に対して一定の X 線条件下 (管電圧 60 kV、管電流 1.0 mA、照射時間 1.0 min) で照射を行い、変動

係数を算出した。

- ・線量直線性

線量直線性は 0.026 mGy、0.143 mGy、0.286 mGy、1.12 mGy、4.40 mGy の場合で評価した。

- ・管電圧依存性

管電圧 (kV) [半価層 (mmAl)] を 50 kV [3.3 mmAl]、60 kV [4.1 mmAl]、70 kV [4.8 mmAl]、80 kV [5.6 mmAl]、90 kV [6.2 mmAl]、100 kV [6.8 mmAl]、110 kV [7.2 mmAl]、120 kV [7.5 mmAl] と変化させて DOSIRIS™ と電離箱で測定を行った。

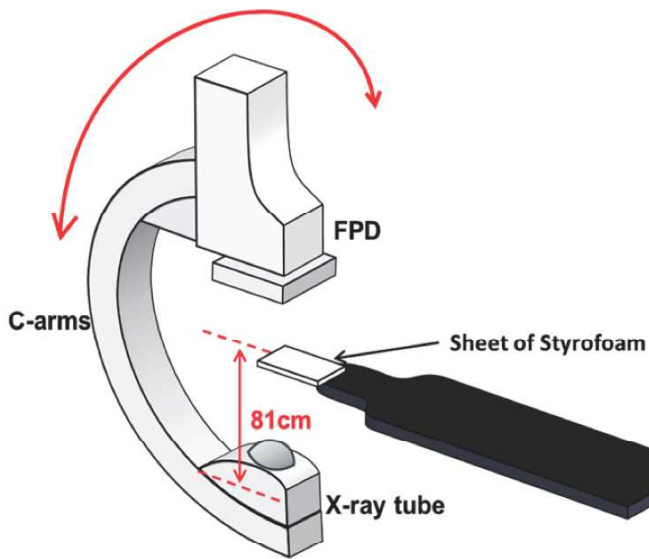


Fig. 5 方向依存性測定配置図

- ・方向依存性

素子を X 線管焦点から 81 cm の位置に設置し、自由空气中で照射を行った (Fig. 5)。一定の X 線条件下 (管電圧 60、90、120 kV、管電流 2 mA、照射時間 1 min) で、X 線ビーム角度を 10° 毎に 0° ± 180° の範囲で変

化させて測定を行った。素子の垂直軸 (長軸)、水平軸 (短軸) について測定し、0° を基準とする相対値を求めた。

研究結果 (水晶体線量計(DOSIRIS™)の詳細な基本性能評価検討)

素子均一性は変動係数にしておよそ 5% であった。

Fig. 9 は線量直線性の結果を示している。線量直線性は非常に良好であった ($R^2 = 1.00$)。Fig. 10 は管電圧依存性の結果を示している。診断用 X 線エネルギー領域におけるエネルギー依存性は小さかった。

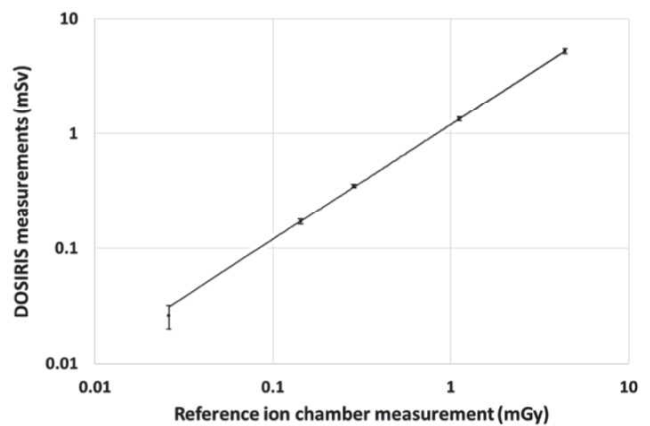


Fig. 9 DOSIRIS™の線量直線性

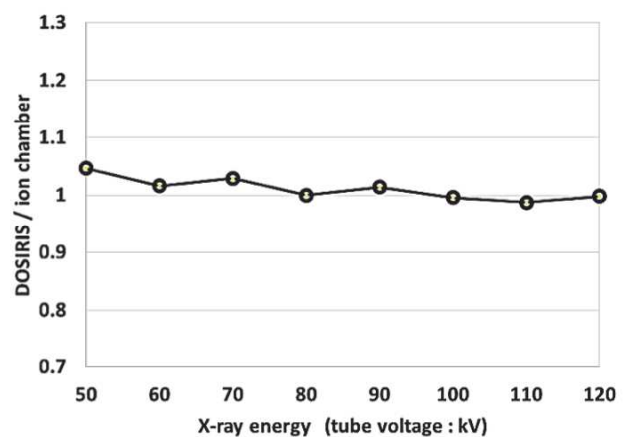


Fig. 10 DOSIRIS™の管電圧依存性

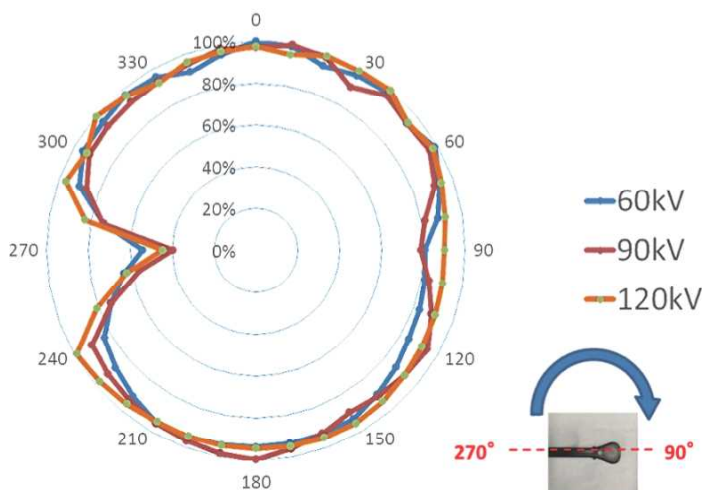


Fig. 11 DOSIRIS™の角度依存性：垂直軸
Vertical (long) axis

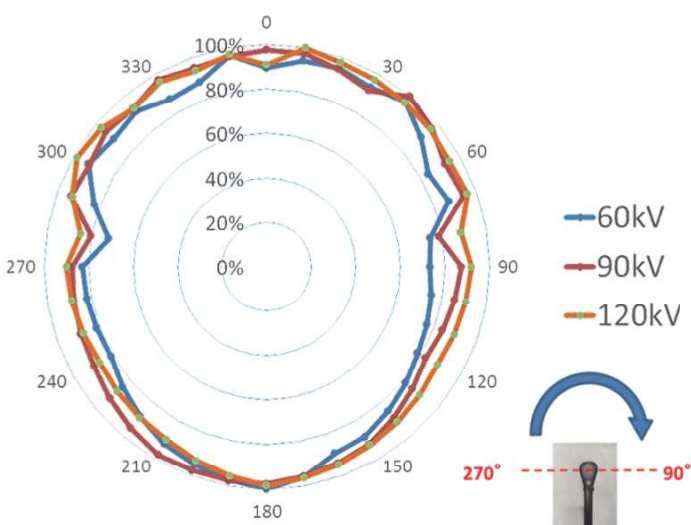


Fig. 12 DOSIRIS™の角度依存性：水平軸
Horizontal (short) axis

Fig. 11 は、垂直軸の方向依存性の結果を示している。管電圧 60 kV、90 kV、120 kV にてほぼ全ての方向（270° 付近を除く）において良好な応答を示した。Fig. 12 は水平軸の方向依存性の結果を示している。管電圧 60 kV、90 kV、120 kV にてほぼ全ての方向において良好な応答を示した

考察

IVR 従事者においては、放射線モニタリングと水晶体防護は不可欠である。DOSIRIS™は Hp(3)を測定でき、かつ鉛防護眼鏡の内側に着用可能である (Fig.3)。水晶体モニタリングとしては、三軸線量計を眼の近傍かつ肌に密着させて着用することが好ましいため、DOSIRIS™が有用である。

また仮に、防護眼鏡のレンズ内側に線量計を貼り付けた場合、実際には術者の側方から眼に入射する X 線も、レンズによる遮蔽のために検出できず、大幅な過小評価を招く恐れがある。DOSIRIS™はこの問題を回避することができる。

DOSIRIS™の臨床での有用性を示した研究はいくつかあるものの、診断 X 線エネルギー範囲での報告はなされてなかった。本研究で、DOSIRIS™の素子均一性、線量直線性、エネルギー依存性、方向依存性はいずれも良好であることが分かった。方向依存性に関して、おそらく線量計のアーム部分での吸収によるものと考えられるが、水平軸 270 方向において感度低下が見られた。しかしながら、臨床において、この角度で入射することへの懸念は少ない。

DOSIRIS™は後方散乱線を適切に検出できるため、臨床で後方散乱補正は不要である。DOSIRIS™は診断用 X 線エネルギー領域において良好な基本特性を有し、IVR 従事者の水晶体線量評価に有用である。

結論 (水晶体線量計 (DOSIRIS™) の詳細な基本性能評価検討)

今まで DOSIRIS™の基本性能は、カタログに簡単に記されている程度であった。今回、診断用 X 線エネルギー領域にて DOSIRIS™の基本特性を評価した結果、DOSIRIS™の素子均一性、線量直線性、エネルギー依存性、方

向依存性はいずれも良好であった（Batch uniformity は 5% 以内、dose linearity は $R^2 = 1.00$ 、energy-dependence は 50kV で 5% 程度）。よって DOSIRIS™ は、診断用 X 線エネルギー領域（IVR 装置を含む）における、職業水晶体線量 [Hp(3)] の測定に十分な基本性能を有していた。

4. 心臓 IVR における水晶体線量の詳細臨床評価

研究方法

・Percutaneous Coronary Intervention (PCI: 経皮的冠動脈形成術) 医師での検討

PCI に従事する医師は新しく提案された線量限度を超える可能性が高いことや、年間の水晶体線量は防護具の有無や手技の難易度等により大きく変化することなどが示唆されている。

IVR 医師の 1 手技（1 件数）ごとの水晶体線量とを評価した報告は極めて少ない。さらに IVR に従事する医師の水晶体被ばく線量の左右差についての報告は少ない。

本研究では、心臓 IVR 医師の 1 検査（手技）ごとの水晶体線量を測定評価した。さらに水晶体線量と患者線量パラメータの相関を各検査で評価した。

また、心臓血管 IVR に従事する医師の水晶体用線量計をどの位置に装着するのが適切であるかを評価するために、左右の水晶体被ばく線量の実態を調査した。

(1) 使用機器

小型素子システムは Dose Ace（千代田テクノル）である。ガラス線量計素子は GD-352M (Fig.6, 7、ガラス素子 ID 刻印付) であり、低エネルギー補償フィルタ付きホル

ダ（寸法は $\Phi 4.3 \times 14.5$ mm）を用いた。ガラス線量計リーダーは FGD-1000、読み取りマガジンは FGD-M151、アニール用電気炉は NEW-1CT、アニール用マガジンは FGD-C101、プレヒート用恒温器は DKN302、プレヒートトレイは FGD-C102 を用いた。なお、各素子は校正済みである。



Fig. 6 ガラス線量計素子の概観

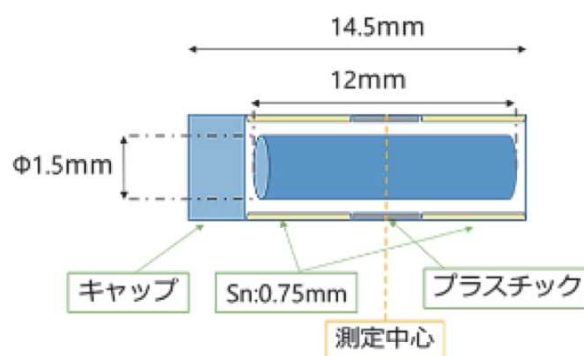


Fig. 7 ガラス線量計素子の構造

(2) 測定方法

はじめにガラス素子の欠け、汚れ、白曇りがないことを確認し、汚れがある場合はエタノールによる拭き取り又は洗浄を行った。次に、アニール用マガジン (FGD-C101) にガラス素子をセットし、アニール用電気炉 (NEW-1CT) に入れ 400°C で 20 分保持し、その後、約 40°C 以下の時に取り出し、そして、標準用読み取りマガジン (FGD-M151) を使用し、初期値（プレドーズ）を読み取り、記録した。使用（照射）後は、ホルダ毎プレヒートトレイに並べ、プレヒート用恒温器 (DKN302) に入れ 70°C で 30 分保持し、

その後、室温になるまで放置し取り出し、次に、標準用読み取りマガジンをうい、読み取り・記録を行った。読み取り後はガラス素子の汚れ等を拭き取ってデジケータの中に入れ保管した。



Fig. 8 装着位置の概観 (ファントム上)
左眼、眉間(中間部)、右眼の3か所に装着した。(実際には IVR 医師が装着)。

IVR 医師 20 名にて、PCI 92 件の測定を実施した (無作為)。

PCI における主な撮影・透視角度を以下に示す。

左前下行枝への PCI : 右前斜位 (RAO)、cranial30° RAO30°、cranial30°

右冠動脈への PCI : 左前斜位 (LAO) 60°、LAO90°、cranial30°

カテーテル挿入位置は原則として左橈骨アプローチである。

各検査において蛍光ガラス線量計を装着し、検査が終わり次第線量計を回収し測定した。(1 検査 (手技) ごとに測定)。また、各検査の総透視時間、AK (Air Karma)、DAP (Dose Area Product) も記録した。そして、得られたデータから各線量比を算出し、左右差の評価を行った。このほかにも、水晶体

線量と各患者パラメータとの相関及び各装着位置の相関も評価した。

対象の IVR 医師にガラス線量計を左眼、眉間 (中央)、右眼それぞれに装着した。

(Fig. 8)。防護メガネ無しの状態での評価である。また天吊り防護板は原則的に使用した。

・ PCI 医師における PCI 治療部位別の詳細検討

心臓 IVR (PCI) 医師の水晶体線量の詳細測定は無作為に実施した。

PCI 治療部位を左前下行枝 (LAD) への PCI、左回旋 (LCx) 枝への PCI、右冠動脈 (RCA) への PCI の 3 分類に分け詳細に比較した。

使用機器および測定方法等は上記の心臓 IVR 医師と同様である。

統計解析については、3 群間の比較には Kruskal-Wallis 検定を使用し、p 値が 0.05 未満であった場合に有意差があると判断した。また Kruskal-Wallis 検定で有意差が認められた場合には、多重比較法として Steel-Dwass 検定を実施した。

・ 心臓 IVR に従事する看護師の水晶体線量の詳細評価

測定対象は、心臓 IVR に従事する看護師であり、無作為に ABL (Ablation、カテーテルアブレーション) および PCI について測定を実施した

看護師の線量測定は、ABL については 1 検査ごと、PCI については 1 検査もしくは 2 検査以上の合算で評価した。

使用機器および測定方法等は上記の心臓 IVR 医師と同様である。

研究結果 (心臓 IVR における水晶体線量の詳細臨床評価)

・ PCI 医師での検討結果

PCI の患者線量パラメータ (装置表示値) は Table 3 の通りである。

Table 3 PCI 医師 (20 人) における対象検査 (92 件) の平均パラメータ

	総透視時間 (分)	AK (Air Karma), mGy	DAP (Dose Area Product), cGy・cm ²
平均	21.3	1062.8	8653.4
±SD	14.7	1048.7	7729.8

Table 4 は、PCI 施行医師 (20 人) の PCI 1 件当たりの左眼付近、眉間付近そして右眼付近での平均水晶体線量 ($\mu\text{Gy}/\text{件}$) である。(鉛防護眼鏡無しの状態での結果)

Table 4 PCI 医師 (20 人) における 1 件当たりの平均水晶体線量 ($\mu\text{Gy}/\text{件}$)

	左眼 ($\mu\text{Gy}/\text{件}$)	中央部 ($\mu\text{Gy}/\text{件}$)	右眼 ($\mu\text{Gy}/\text{件}$)
平均	110.8	54.0	18.6
±SD	103.7	49.9	16.2

Fig. 13 は PCI を施行した医師の水晶体線量と総透視時間の相関を示すグラフである。縦軸を水晶体線量、横軸を総透視時間とした。R² 値は左で 0.1962、中央が 0.1234、右が 0.2712 となった。各装着位置と総透視時間との間に相関は見られなかった。

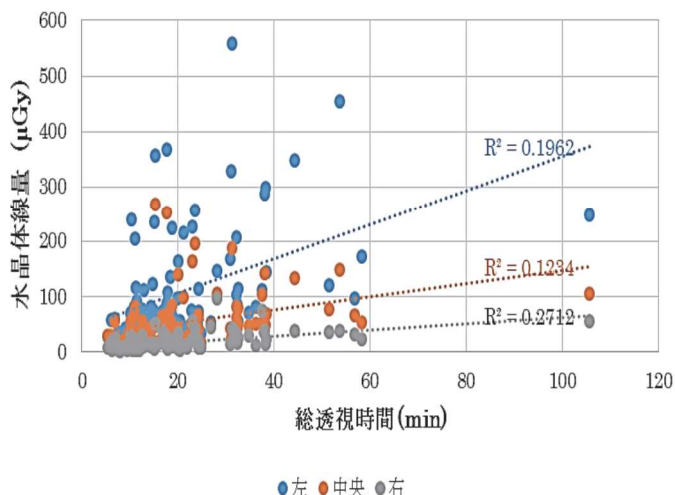


Fig. 13 PCI における総透視時間と水晶体線量の相関

Fig. 14 は PCI を施行した医師の水晶体線量と AK の相関を示すグラフである。縦軸を水晶体線量、横軸を AK とした。R² 値は左で 0.1876、中央が 0.0985、右が 0.2533 となった。各装着位置と AK との間に相関は見られなかった。

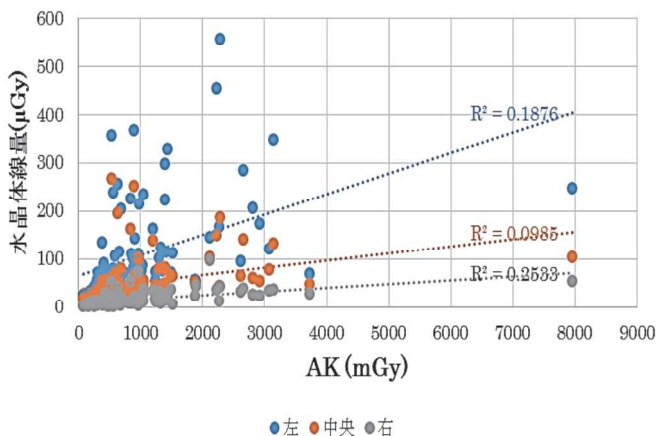


Fig. 14 PCI における AK (Air Karma) と水晶体線量の相関

Fig. 15 は PCI を施行した医師の水晶体線量と DAP の相関を示すグラフである。縦軸を水晶体線量、横軸を DAP とした。R² 値は左で 0.2374、中央が 0.1015、右が 0.2018 となった。各装着位置と DAP の間に相関は見

られなかった。

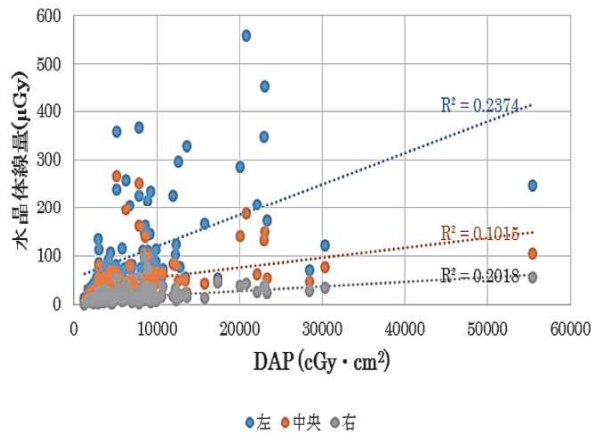


Fig.15 PCI における DAP (Dose Area Product) と水晶体線量の相関

Fig.16 は PCI における治療部位 (LAD と RCA) ごとの水晶体線量の比較である。

RCA に対する PCI の際、有意に水晶体線量が増加することが分かった。

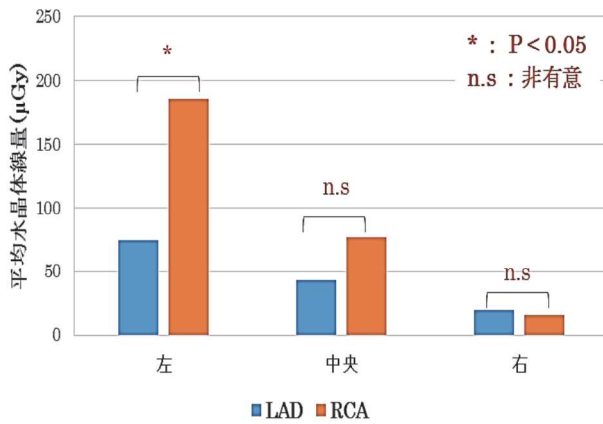


Fig.16 PCI における治療部位ごとの左眼と中央部と右眼の水晶体線量

(PCI 治療部位が LAD のものと RCA のものに分け t 検定を行った。)

・ PCI 医師における PCI 治療部位別の詳細検討結果

治療部位別の X 線管角度

まず、PCI 手技の治療部位別の X 線管角度の割合を以下に示す。手技 1 件ごとに撮影角度の割合を求め、全手技の平均をとったものである。

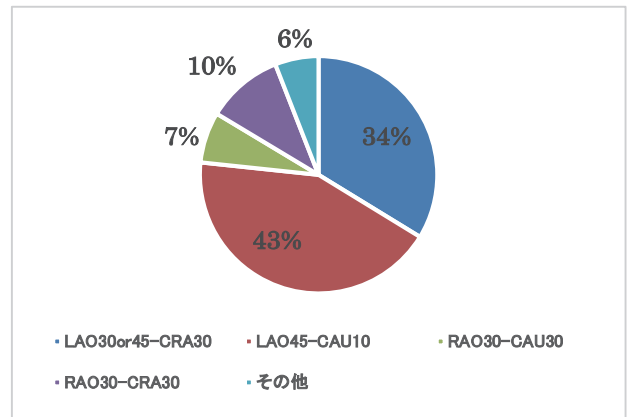


Fig.3 治療部位 RCA での X 線管角度の割合 (LAO-CRA:34%、LAO-CAU:43%)

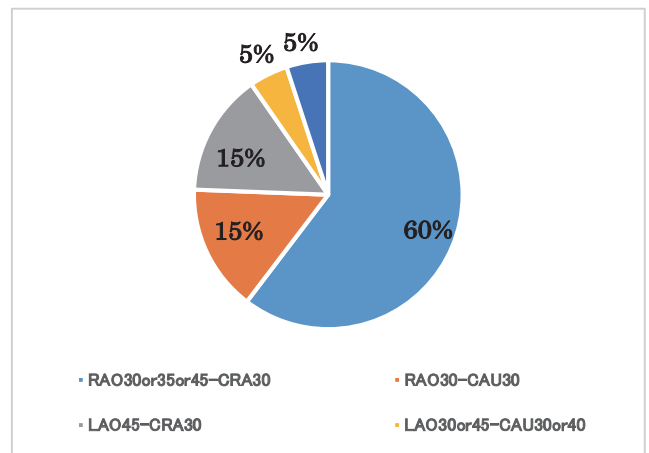


Fig.4 治療部位 LAD での X 線管角度の割合 (RAO-CRA:60%)

治療部位別の X 線管角度の割合は、治療部位が RCA の場合は、LAO 方向が多数を占めており、治療部位が LAD の場合は RAO 方向が多数を占める結果となった (Fig. 3、4)。治療部位が LCX の場合は、LAO と RAO がともにおよそ半数であった (Fig. 5)。

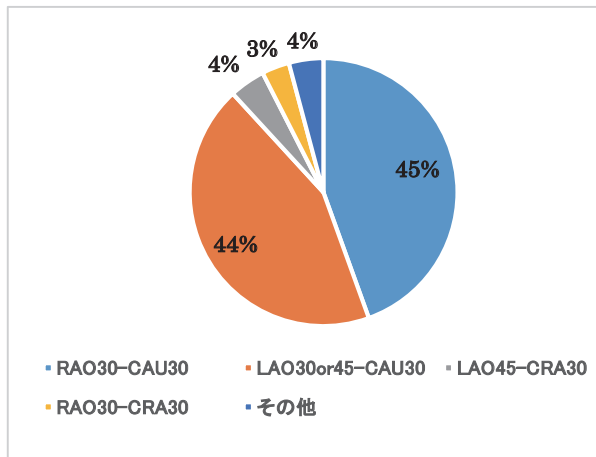


Fig.5 治療部位 LCX での X 線管角度の割合 (RAO-CAU:45%、LAO-CAU:44%)

各治療部位別の線量

PCI 手技における線量等について、治療部位別 (RCA、LAD、LCX) に比較を行った結果を以下に示す (表 1, 2)。

表 1 各治療部位別の線量パラメータ (平均±SD)

	透視時間 (min)	AK (mGy)	DAP (cGy・cm ²)
RCA	18.8± 10.3	934.7± 541.0	9002.9± 4937.2
LAD	18.8± 10.4	863.7± 730.5	7024.6± 5948.9
LCX	18.5± 10.3	1088.9 ±876.2	8250.9± 6641.1

表 2 各治療部位別の PCI 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) (平均±SD) /件

	左眼 (μSv)	中央 (μSv)	右眼 (μSv)	左眼/ 右眼
RCA	174.3± 142.0	71.3± 73.4	16.5± 12.6	11.3± 5.2
LAD	76.1± 67.8	39.5± 26.0	16.3± 17.5	7.1± 5.4
LCX	77.6± 60.6	39.3± 19.8	14.7± 9.4	6.4± 4.8

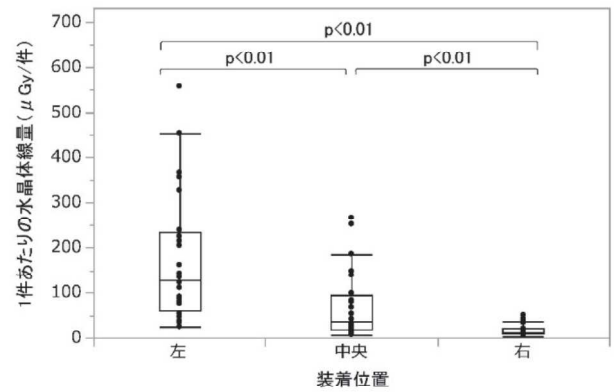


Fig.6 治療部位 RCA での心臓 IVR 医師の 1 件当たりの水晶体線量 (左眼、中央、右眼)

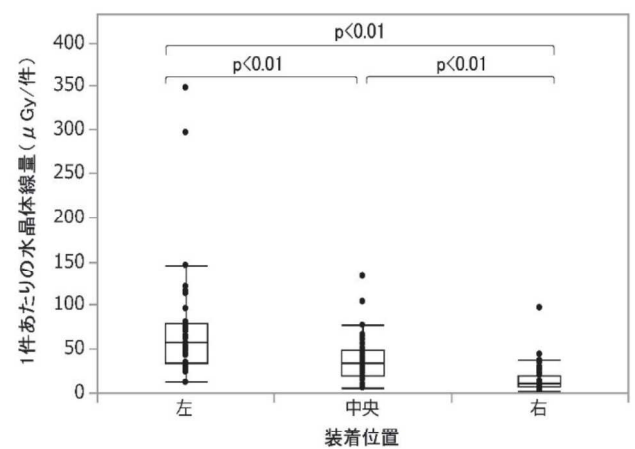


Fig.7 治療部位 LAD における心臓 IVR 医師の 1 件当たりの水晶体線量 (左眼、中央、右眼)

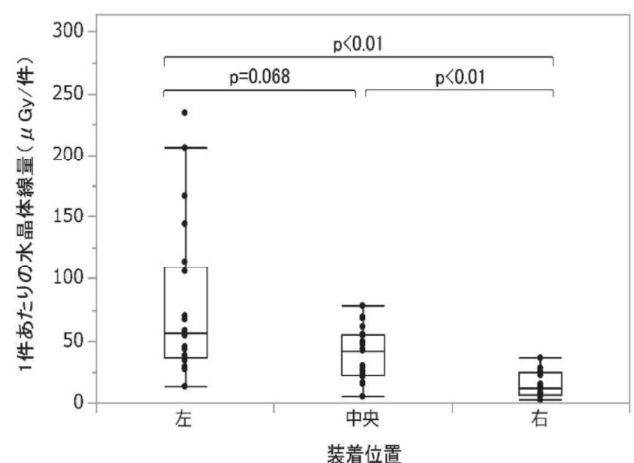


Fig.8 治療部位 LCX における心臓 IVR 医師の 1 件当たりの水晶体線量 (左眼、中央、右眼)

いずれの手技においても心臓 IVR 医師の左眼位置の線量が最も高い結果であった (Fig. 6-8)。

治療部位が RCA の場合には、心臓 IVR 医師の左右の線量比が特に大きい傾向にあった (表 2)。

治療部位別の水晶体線量と患者線量パラメータとの間の相関

PCI 手技における治療部位別の心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、患者線量パラメータ (透視時間、AK、DAP) との間の相関を以下に示す。(表 3)

表 3 各治療部位 (RCA、LAD、LCX) 別の心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、患者線量パラメータの相関係数 (r)

	透視時間 (min)	AK (mGy)	DAP (cGy · cm ²)
RCA			
左眼位置	0.621	0.673	0.642
中央	0.341	0.328	0.266
右眼位置	0.512	0.522	0.460
LAD			
左眼位置	0.688	0.695	0.623
中央	0.678	0.834	0.696
右眼位置	0.428	0.655	0.471
LCX			
左眼位置	0.346	0.690	0.653
中央	0.567	0.591	0.415
右眼位置	0.603	0.440	0.330

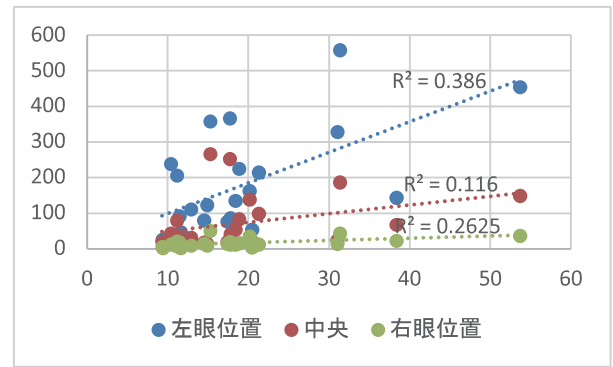


Fig.9 治療部位 RCA における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、透視時間の相関。縦軸：水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸：透視時間 (min.)

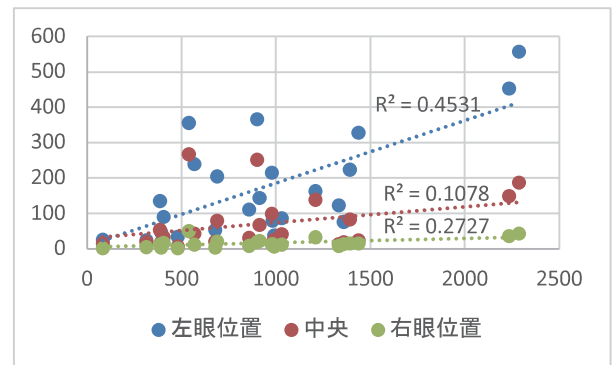


Fig.10 治療部位 RCA における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、AK の相関。縦軸：水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸：AK (mGy)

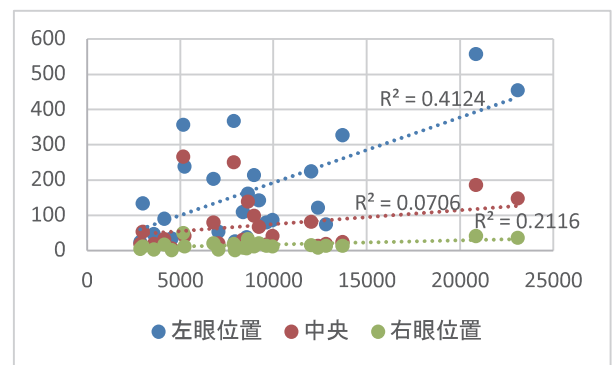


Fig.11 治療部位 RCA における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、DAP の相関。縦軸：水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸：AK (cGy · cm²)

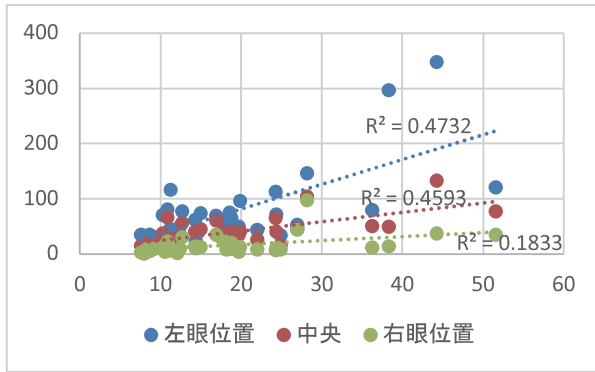


Fig.12 治療部位 LAD における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、透視時間の相関. 縦軸: 水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸: 透視時間 (min.)

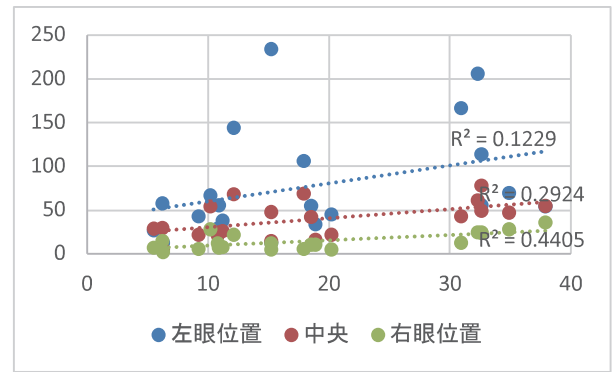


Fig.15 治療部位 LCX における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、透視時間の相関. 縦軸: 水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸: 透視時間 (min.)

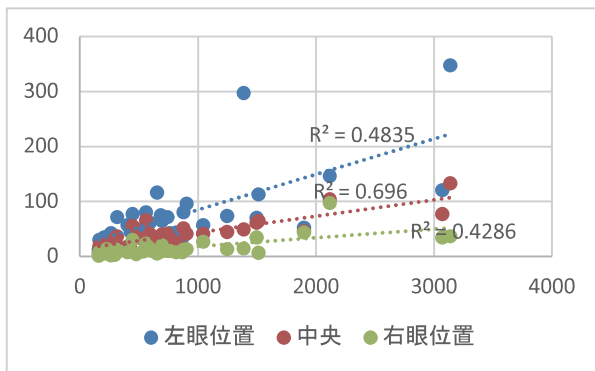


Fig.13 治療部位 LAD における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、AK の相関. 縦軸: 水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸: AK (mGy)

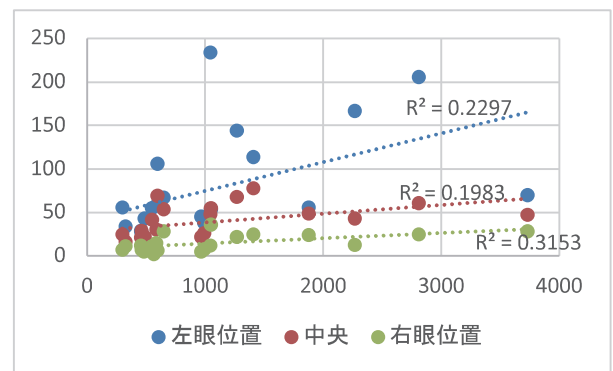


Fig.16 治療部位 LCX における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、AK の相関. 縦軸: 水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸: AK (mGy)

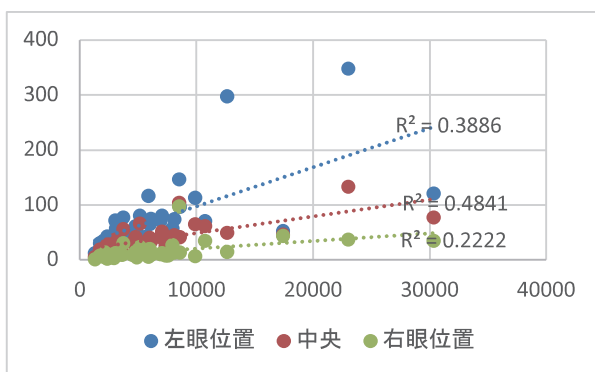


Fig.14 治療部位 LAD における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、DAP の相関. 縦軸: 水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸: AK ($cGy \cdot cm^2$)

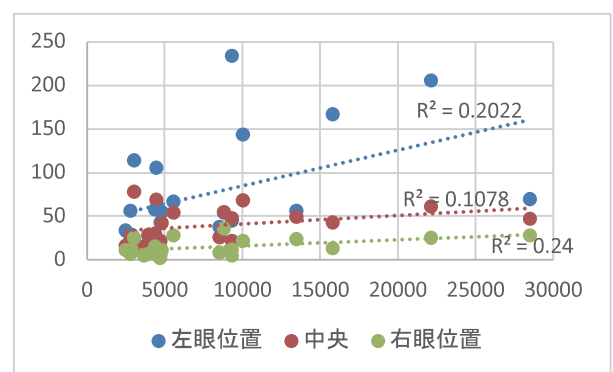


Fig.17 治療部位 LCX における心臓 IVR 医師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と、DAP の相関. 縦軸: 水晶体線量 (μ Sv/件)、横軸: AK ($cGy \cdot cm^2$)

心臓 IVR 術者の身長と水晶体線量（左眼、中央、右眼）の関係

IVR 手技において、術者の身長が低い方が被写体等からの散乱線の影響を受けやすく、水晶体線量も多くなるかもしれない。そこで心臓 IVR 医師の身長を、平均以上・平均未満（平均：171cm）に分け、有意差を P 値で評価するために各装着位置（左眼、中央、右眼）に対して t 検定（自由度：88）を行いその影響について評価した。

その結果、すべての装着位置において身長による有意差は見られなかった。このことから、身長の高低は PCI においては水晶体線量の違いに寄与しない可能性があると考えられる。（Fig. 18）

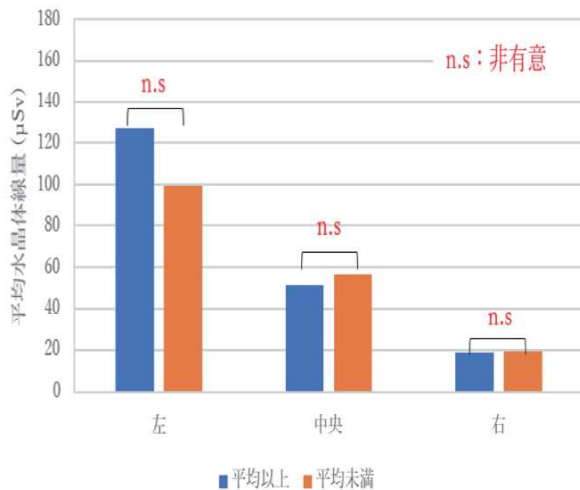


Fig.18 PCI における術者身長別（平均 171cm 以上と平均未満）の水晶体線量（左眼、中央、右眼）。

・心臓 IVR に従事する看護師の水晶体線量の詳細評価結果

心臓 IVR 看護師の線量

心臓 IVR に従事する看護師における対象検査（ABL, PCI）の患者線量パラメータおよび水晶体線量（左眼、中央、右眼について、以下に示す（表 4、5）。

表 4 看護師における対象検査（ABL, PCI）の患者線量パラメータ（透視時間、AK、DAP）（平均±SD）

	透視時間 (min)	AK (mGy)	DAP (cGy・cm ²)
ABL	42.0± 15.2	331.3± 159.2	4631.7± 1990.4
PCI	23.7± 14.0	1179.8 ±937.6	9422.2± 8152.0

表 5 看護師における対象検査（ABL, PCI）の 1 件当たりの水晶体線量（左眼、中央、右眼）（平均±SD）

	左眼 (μSv/件)	中央 (μSv/件)	右眼 (μSv/件)
ABL	21.7± 9.3	26.3± 12.3	36.9± 18.9
PCI	25.3± 33.2	23.3± 33.2	20.4± 31.4

対象検査（ABL, PCI）別の看護師水晶体線量と患者線量パラメータとの間の相関

PCI 手技における治療部位別の心臓 IVR に従事する看護師の水晶体線量（左眼、中央、右眼）と、患者線量パラメータ（透視時間、AK、DAP）との間の相関を以下に示す（Fig. 19-26）。

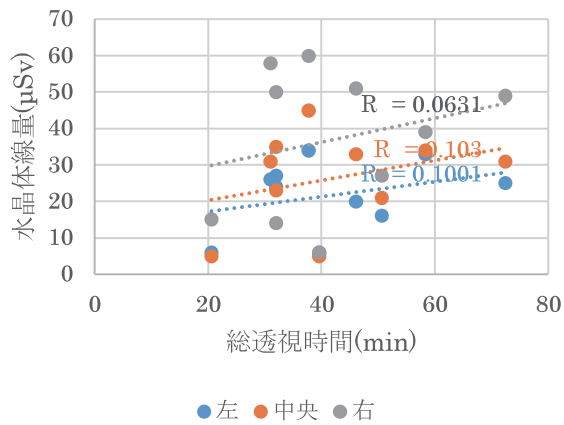


Fig.19 ABLにおける看護師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と透視時間の相関。

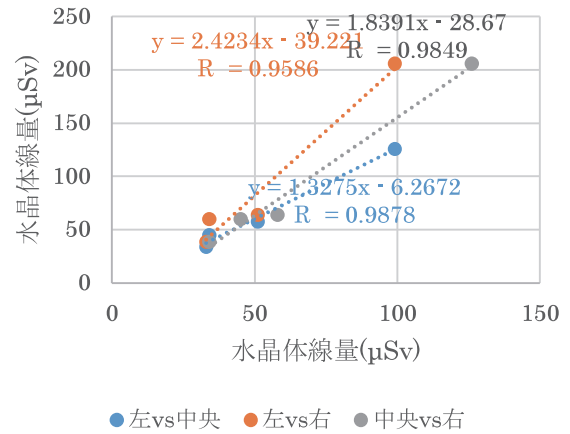


Fig.22 ABLにおける看護師の各水晶体線量 (左眼、中央、右眼) 間の相関。

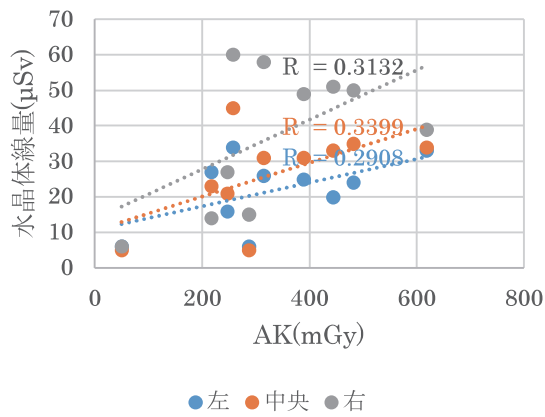


Fig.20 ABLにおける看護師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) とAKの相関。

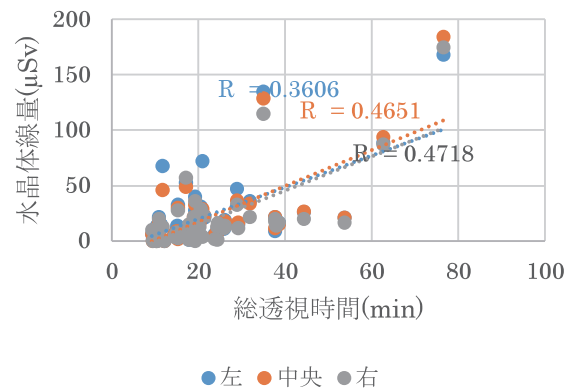


Fig.23 PCIにおける看護師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) と透視時間の相関。

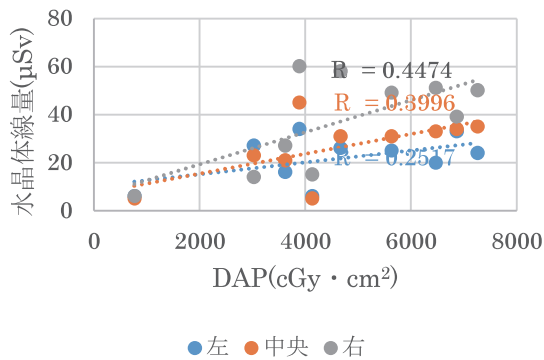


Fig.21 ABLにおける看護師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) とDAPの相関。

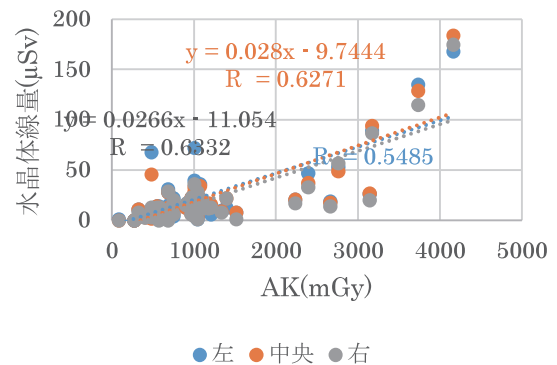


Fig.24 PCIにおける看護師の水晶体線量 (左眼、中央、右眼) とAKの相関。

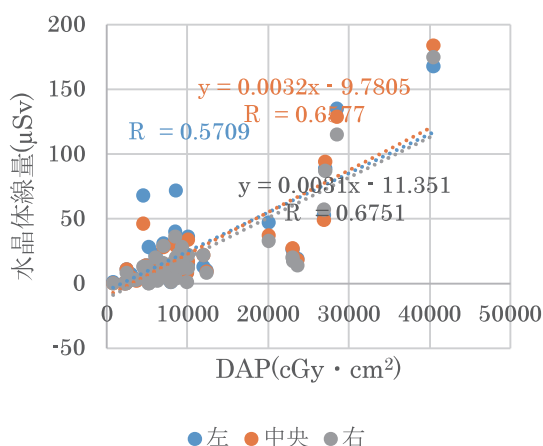


Fig.25 PCIにおける看護師の水晶体線量(左眼、中央、右眼)とDAPの相関.

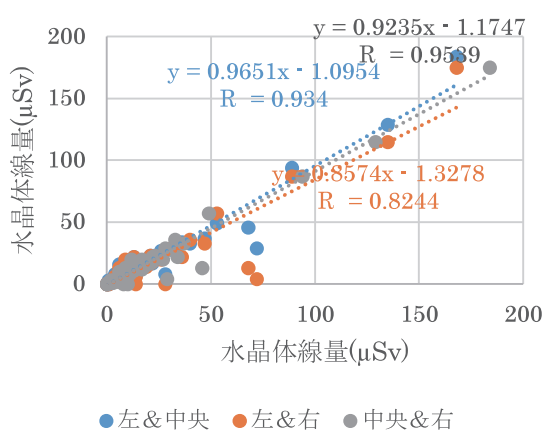


Fig.26 PCIにおける看護師の各水晶体線量(左眼、中央、右眼)間の相関.

考察

PCI 医師での検討

PCI 医師の左眼の線量は右眼よりも大きい結果となった。すべての検査において左眼が最も高い結果となり、左眼の線量は最大で右眼の約 22 倍となった。また 1 件あたり平均で $0.1 \mu \text{Gy}$ 以上である (なお鉛防護眼鏡無しの状態での測定結果である)。これは、医師 (術者) の立ち位置が患者に対して右側、すなわち X 線管が医師の左眼に近い位置になるからであると考えられる。

また各装着位置 (水晶体線量、左、中央、右) と各患者パラメータとの間には相関は見られなかった。

PCI 時の X 線管角度の違いによって水晶体線量が大きく異なった。X 線管の角度が異なる要因として PCI 治療部位の違いが挙げられる。左前下行枝 (LAD) に対しては RAO (Right Anterior Oblique view) 側、右冠動脈 (RCA) では LAO (Left Anterior Oblique view) 側に X 線管を振ることが多い。よって RCA に対する PCI では、X 線管がより術者側に近くなるため、水晶体線量がかかなり増加することが分かった (1 件あたり平均で $0.2 \mu \text{Gy}$ 程度。鉛防護眼鏡無しの状態での結果。)

PCI 医師の治療部位別の詳細検討

前述のように PCI 医師において、左眼の線量は右眼よりも大きい。さらに PCI 治療部位を左前下行枝 (LAD) への PCI、左回旋 (LCx) 枝への PCI、右冠動脈 (RCA) への PCI の 3 分類に分け詳細に比較した結果から、どの治療部位 (RCA、LAD、LCX) の PCI の検査においても、PCI 医師の左眼の線量が最も高い結果となることが明らかになった。これは、どの治療部位 (RCA、LAD、LCX) においても、医師 (術者) の立ち位置が患者

に対して右側、すなわち X 線管が医師の左眼に近い位置になるからであると思われる。またどの治療部位 (RCA、LAD、LCX) の PCI の検査においても、各装着位置と各患者パラメータとの間には相関は見られなかった。これは、手技の難度の違いや、途中で第 1 術者と第 2 術者が交代したことなどが原因であると考えられる。

X 線管角度の違いに関して、X 線管の角度が異なる要因として治療部位の違いが挙げられる。左前下行枝 (LAD) に対しては RAO view 側、右冠動脈 (RCA) では LAO view 側に X 線管を配置することが多い。左眼で有意差が見られたのは、左前下行枝の時は基本的に RA030° 及び cranial30° 程度で撮影・透視をすることが多いため、X 線管がより術者の右側に近くなったことが比較的多いことが考えられる。

この結果から、PCI において水晶体専用線量計を用いて線量管理する際は注意が必要である。例えば、左眼の線量のみを測定し、それから右眼の線量を外挿する場合、治療部位によって過小/過大評価してしまう恐れがある。それを防ぐためには治療部位ごとに換算係数を決定しておくことも必要かと思われる。

身長の違いに関して、術者の身長が低い方が被写体及び X 線管からの散乱線の影響を受けやすいと思われる。そこで医師の身長を平均以上・平均未満 (平均: 171cm) に分け、有意差を P 値で評価するために各装着位置に対して t 検定を行いその影響について評価したが、すべての装着位置において身長による有意差は見られなかった。このことから、身長の高低は PCI においては水晶体線量の違いにあまり寄与しない可能性があると考えられる。

心臓 IVR に従事する看護師

ABL (アブレーション) はカテーテルによる不整脈治療であり、透視時間が長くなる場合も多い。ABL については看護師の右眼の平均線量が最も高くなった。これは、患者頸部にカテーテルを挿入する際、X 線管が介助する看護師の右眼側になる場所に位置することが多いためであると考えられる。また各装着位置の相関に関してはいずれの位置においても相関が見られた。しかし、対象件数が少ないため、今後件数を増やし再検討する必要がある。

PCI については、ほとんどの看護師で線量計装着位置 (左眼、中央、右眼) による線量の違いは見られなかった。件数が少ない場合は誤差が大きくなる。また経験が浅く、放射線被ばくに関する教育不足している看護師の場合は線量増加に注意する必要があると思われる。

また各装着位置の相関に関しては、PCI においても、いずれの位置 (左眼、中央、右眼) においても相関が見られた。これは医師と比較して看護師は動きの自由度が高いため、線量の偏りが小さくなったためであると考ええる。

結論 (心臓 IVR における水晶体線量の詳細臨床評価)

PCI 医師において、左眼の線量が最も高い結果となり (鉛防護眼鏡無し状態で 1 件あたり平均で 0.1mGy 程度。)、左眼の線量は最大で右眼の約 22 倍となった。したがって、線量を安全側には評価するために線量計を左眼に装着する必要がある。特に RCA に対する PCI では、X 線管がより術者側に近くなるため、水晶体線量がかなり増加することが分かった (鉛防護眼鏡無し状態で、左眼で 1 件あたり平均で 0.2mGy 程度。) 各装

着位置（水晶体線量、左、中央、右）と各患者パラメータとの間には相関は見られなかった。

PCI 治療部位（RCA、LAD、LCX）別の X 線管角度の割合を明らかにできた。治療部位が RCA の場合は、LAO 方向が多数を占め、治療部位が LAD の場合は RAO 方向が多数を占めた。治療部位が LCX の場合は、LAO と RAO がともにおよそ半数であった。PCI 治療部位を左前下行枝（LAD）への PCI、左回旋（LCx）枝への PCI、右冠動脈（RCA）への PCI の 3 分類に分け詳細に比較した結果から、どの治療部位（RCA、LAD、LCX）の PCI の検査においても、PCI 医師の左眼の線量が最も高い結果となることが明らかになった。

PCI 医師においては、各患者パラメータなどの装置表示値から水晶体線量を推定するのは困難であるため、正確な水晶体線量を把握するためには実際に線量計を装着して測定するべきである。PCI 医師の水晶体線量計は左眼に装着する必要があるが、PCI は治療部位によっては線量比が異なるため、左眼の線量からほかの位置の線量を外挿する場合は治療部位（RCA、LAD、LCX）ごとに分けて行うべきである。

IVR 術者の身長や装置の種類、術者の立ち位置など線量を変動させる要因が数多くある。したがって、より正確に解析するために、今後さらに、詳細に分別する必要があると考える。

IVR に従事する看護師においても、各患者パラメータなどの装置表示値から水晶体線量を推定するのは困難であるため、正確な水晶体線量を把握するためには実際に線量計を装着して測定するべきである。

ABL に関しては看護師の右眼の線量が最も高い結果となり、PCI に関してはそれぞれの位置で大きな差はない結果となった。

したがって、看護師においては安全側に水晶体線量を評価するために線量計を右眼に装着することが必要な場合があると考えられる。

5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価（医師、看護師）

研究方法

透視ガイド下での気管支鏡検査の臨床的価値は明らかだが、検査中にスタッフが受ける放射線量に関する研究はほとんどない。さらに、眼の被ばく線量に関する研究は全くない。

したがって気管支鏡検査中に医療従事者が受ける眼の被ばく線量を含む、医療従事者の眼の被ばく線量の評価は不可欠である。気管支鏡検査を行うスタッフの現在の眼の被ばく線量を明らかにすることである。さらに直接測定した眼の被ばく線量を頸部の個人線量計の値と比較した。

(1) 対象

気管支鏡検査の手技は仰臥位で行われ、光ファイバー気管支鏡（BF-P240、BF-260、BF-P260F、BF-P260F-OL8、Olympus、Japan）を用いた。局所麻酔下で行われ、スコープは傾向的に挿入された。

検査に携わった 8 名の医師と 3 名の看護師の眼の被ばく線量は、線量計を使用して 1 か月間隔で測定した。この期間内累積 6 か月の眼の被ばく線量も計算した。手技中、スタッフは常に防護エプロン（通常は 0.35mm 鉛当量）を着用していたが鉛防護メガネは着用していなかった。イメージインテンシファイア（照射野：11 インチ）を備えたオーバーテーブル X 線透視システム（WINSOPETM20 DREX-WIN20、東芝、Japan）を使用した（Fig. 1）。気管支鏡の挿入をガイ

ドするために連続 X 線透視が使用された。透視 X 線の管電圧 (エネルギー) は約 80kVp であった。

手技中、主治医は患者の頭側に立っており、X 線管と患者は主治医の左側に位置していた。対照的に看護師と患者の距離は多少のばらつきはあったがおおよそ 2m だった。

(2) 測定方法

気管支鏡検査スタッフ (医師、看護師) は DOSIRIS (IRSN、フランス) を使用した。DOSIRIS は千代田テクノル (Japan) によって提供と校正がなされている。1 か月の測定の後眼線量計は読み取りのために千代田テクノルへ返却した。

スタッフは全員左眼のすぐ横に眼線量計 (DOSIRIS) を着用し、さらに看護師は全員右眼のすぐ横に眼線量計 (DOSIRIS) も着用した。すなわち看護師は両側に眼線量計を着用した。加えて 4 名の医師は右眼のすぐ横にも眼線量計 (DOSIRIS) を着用した (すなわち 4 名の医師は両側に DOSIRIS を着用)。

さらに、ガラスバッジ個人線量計 (70 μ m 線量当量、[Hp (0.07)]、千代田テクノル) を使用した。ガラスバッジ個人線量計は、首の左側の鉛エプロンの外側に装着した。



Fig.1 気管支鏡検査での水晶体線量等の測定例 (医師、看護師)

3mm 線量当量の眼線量計と 0.07mm 線量当量の頸部の線量計の値の相関関係を調べ、個人線量計から眼の被ばく線量が推定可能かどうかを検討した。推定年間眼線量は次のように決定された。

$$\text{推定年間眼線量 (mSv / 年)} = \text{測定された線量 6 ヶ月} \times 2$$

(3) 統計解析

ウィルコクソン符号順位検定を使用して、2 つのグループ (頸部線量計線量と眼線量計線量、および左側線量と右側線量) の眼の線量を比較した。頸部と眼の線量計の測定値間の相関は、線形回帰によって分析された。統計的有意性は $p < 0.05$ とした。

研究結果 (気管支鏡検査での水晶体線量の詳細評価結果：医師、看護師)

スタッフが受けた眼の線量は、看護師よりも医師の方が著しく高かった。本研究対象の 6 ヶ月の気管支鏡検査における透視時間 (平均 \pm SD) は 4.3 \pm 3.5 分であった。

・気管支鏡検査医師

表 6 は、6 か月間の気管支鏡検査医師の線量測定結果をまとめたものである。

表 6 気管支鏡検査医師 (鉛眼鏡無) の 6 ヶ月間の平均線量 (最小-最大)。(頸部バッジの 3mm 線量当量は特別に算出)

Neck badge (mSv/6 months)			DOSIRIS (mSv/ 6 months)
1cm 線量当量	70 μ m 線量当量	3mm 線量当量	3mm 線量当量
5.03 (0.24-11.01)	5.55 (0.30-12.20)	5.48 (0.28-12.03)	7.68 (0.57-15.82)

なお年間換算線量は DOSIRIS が 15.4 ± 10.5 (mSv/y)、neck badge ($70 \mu\text{m}$ 線量当量) は 11.1 ± 8.3 (mSv/y)であった。

次に気管支鏡検査医師(鉛眼鏡無)の DOSIRIS とガラスバッジの相関を示す。両者には強い相関があった。

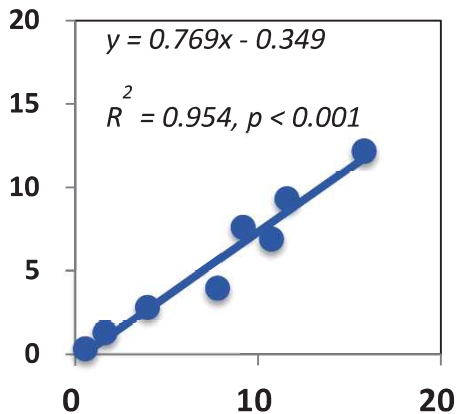


Fig.27 気管支鏡検査医師(鉛眼鏡無)の DOSIRIS とガラスバッジの相関-6 カ月間。縦軸：頸部線量 ($70 \mu\text{m}$ 線量当量 mSv)、横軸：DOSIRIS (mSv)

次に気管支鏡検査医師(鉛眼鏡無)の左右 DOSIRIS 線量の相関を示す。両者には弱い相関があった。

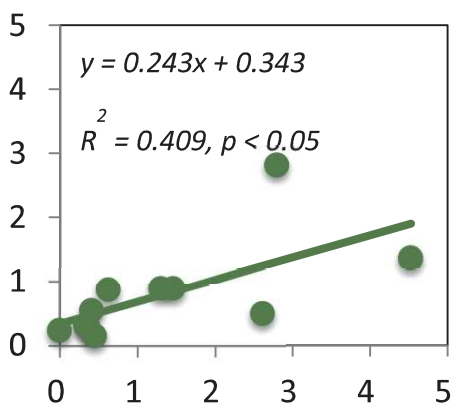


Fig.28 気管支鏡検査医師(鉛眼鏡無)の左右 DOSIRIS 線量の相関(mSv/1 カ月)。縦軸：右眼 DOSIRIS 線量 (mSv)、横軸：左眼 DOSIRIS 線量 (mSv)

表 7 気管支鏡検査医師(鉛眼鏡無)の DOSIRIS 線量の左右差。1 ヶ月間の平均線量(最小-最大) 1.67 倍左側の線量が高い

左側	右側
1.35 (0-4.53)	0.81 (0.15-2.81)

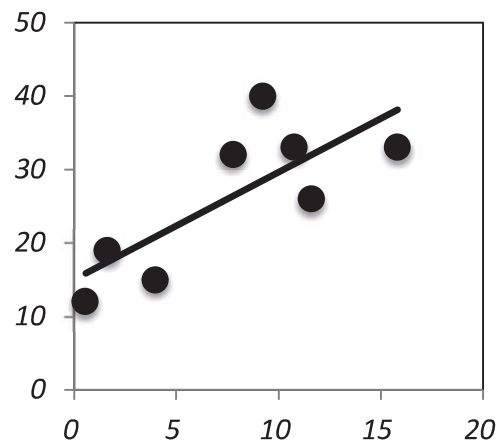


Fig.29 気管支鏡検査医師(鉛眼鏡無)の DOSIRIS 線量と第一術者件数(mSv/6 カ月)の相関。縦軸：第一術者件数、横軸：DOSIRIS 線量 (mSv) $y = 1.49x + 15.06$ $R^2 = 0.595$, $p < 0.001$

・気管支鏡検査看護師

看護師の線量測定結果を以下に示す。

表 8 気管支鏡検査看護師(鉛眼鏡無)の 6 ヶ月間の平均線量(最小-最大)。(頸部バッジの 3mm 線量当量は特別に算出)

Neck badge (mSv/6 months)			DOSIRIS
1cm 線量当量	$70 \mu\text{m}$ 線量当量	3mm 線量当量	3mm 線量当量
1.54 (0.10-2.54)	1.63 (0.10-2.62)	1.62 (0.10-2.65)	2.41 (0.19-3.76)

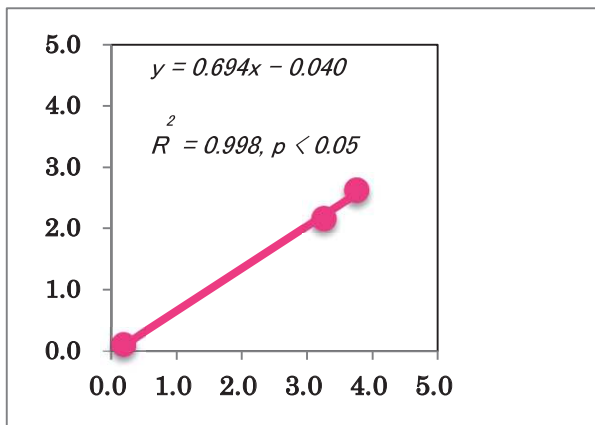


Fig.30 気管支鏡検査看護師(鉛眼鏡無)の DOSIRIS とガラスバッジの相関-6 カ月間. 縦軸：頸部線量 (70 μ m 線量当量 mSv)、横軸：DOSIRIS (mSv)

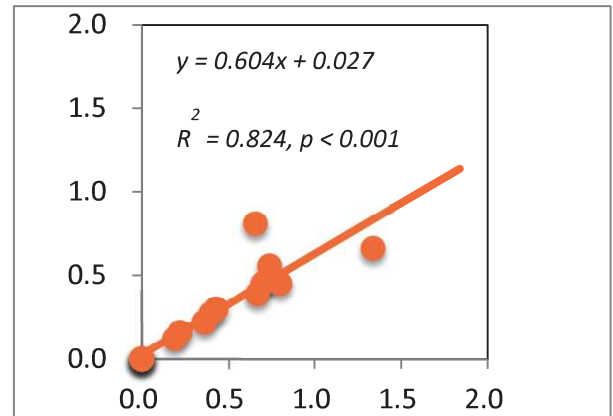


Fig.31 気管支鏡検査看護師(鉛眼鏡無)の 左右 DOSIRIS 線量の相関 (mSv/1 カ月). 縦軸：右眼 DOSIRIS 線量 (mSv)、横軸：左眼 DOSIRIS 線量 (mSv)

なお看護師の年間換算線量は DOSIRIS が 4.81 ± 3.87 (mSv/y)、neck badge (70 μ m 線量当量) は 3.26 ± 2.69 (mSv/y)であった。

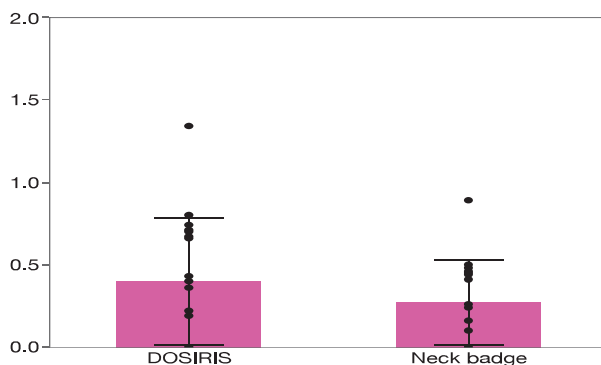


Fig.30 気管支鏡検査看護師(鉛眼鏡無)の DOSIRIS (mSv) とガラスバッジ (70 μ m 線量当量 mSv) の線量-1 カ月間.

表 9 気管支鏡検査看護師の DOSIRIS 線量の左右差. 1 ヶ月間の平均線量 (最小-最大) 1.48 倍左側の線量が高い

左側	右側
0.40 (0-1.34)	0.27 (0-0.81)

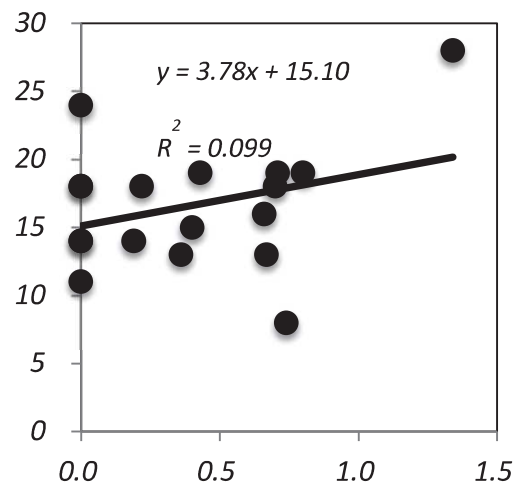


Fig.32 気管支鏡検査看護師(鉛眼鏡無)の DOSIRIS 線量と従事件数の相関 (mSv/1 カ月) の相関. 縦軸：従事件数、横軸：DOSIRIS 線量 (mSv)

考察(気管支鏡検査での水晶体線量の詳細評価：医師、看護師)

本研究は透視ガイド下気管支鏡検査を実施するスタッフ (医師および看護師) の眼の被ばく線量に関する詳細な報告である。

当研究では、医師と看護師への平均±SD 眼線量 (DOSIRIS) は、それぞれ 7.68 ± 5.27 と 2.41 ± 1.94 mSv / 6 月であった。気管支鏡検査スタッフ (医師と看護師)、特に医師の眼の被ばく線量は心臓インターベンショナルラジオロジースタッフと同程度の高さだった。気管支鏡検査の医師の眼の被ばく線量は、新しい規制線量限度を超える可能性がある。したがって、気管支鏡検査スタッフ、特に医師は手技中に鉛防護メガネを着用することを推奨する。さらに手技中にける鉛防護メガネの遮蔽効果の評価も必要となる。(気管支鏡検査においても、手技中に鉛防護メガネを着用すると約 50%の遮蔽効果が得られると推定される。)

また、可能であれば天吊り防護板の使用も推奨される。ただし、実際は手技の邪魔になることが多いためより効果的に使用できる防護具の開発が求められる。

日本の気管支鏡検査はオーバーテーブル型の X 線装置で行われることが多い。オーバーテーブル型 (A-P 方向) を使用する場合、眼を含むスタッフの上半身は散乱線による高線量の被ばくを受ける。したがって、眼の被ばく線量を減らすためには可能であればアンダーテーブル型の X 線装置 (P-A 方向) の使用が好ましい。

気管支鏡検査のスタッフの眼の被ばく線量は、DOSIRIS を使用した直接測定と比較して、頸部の個人線量計を使用した場合に過小評価される傾向があることがわかった。これは X 線管と頸部の個人線量計の距離と比べて、X 線管と DOSIRIS の距離が短いためであると考えられる。したがって、正確な線量を測定するためには DOSIRIS のような直接眼の被ばく線量を測定できる線量計の使用が推奨される。

また、右眼よりも左眼の線量のほうが高

かった。これは左眼近傍の DOSIRIS と散乱線の発生源の距離のほうが右眼近傍の DOSIRIS と散乱線の発生源の距離よりも短いからであると考えられる。したがって X 線管等の散乱線の発生源に近い側に線量計を装着することが推奨される (本研究では左側)。気管支鏡検査スタッフへの放射線防護教育は重要であるといえる。

以上、要約すると、気管支鏡検査スタッフのような医療従事者の眼の被ばく線量の正確な評価は非常に重要である。そこで気管支鏡検査スタッフ (医師および看護師) の眼の被ばく線量 (3mm 線量当量) を 6 か月間測定した。8 名の医師と 3 名の看護師の眼の被ばく線量は、直接眼線量計である DOSIRIS を使用して測定した。また、頸部の個人線量計 (ガラスバッジ) から眼の被ばく線量を推定した。医師の眼の被ばく線量は、新しい線量限度を超える可能性がある。したがって気管支鏡検査スタッフ特に医師は手技中に鉛防護メガネの着用が推奨される。頸部の個人線量計を使用して評価された気管支鏡検査スタッフの眼の線量は、DOSIRIS を使用した直接測定と比較して過小評価されていた。したがって、気管支鏡検査スタッフは、水晶体被ばく線量を正しく評価するために、DOSIRIS などの眼線量計を使用することが推奨される。また、右眼より左眼の線量の方が高かった。

結論 (気管支鏡検査での水晶体線量の詳細評価：医師、看護師)

透視ガイド下の気管支鏡検査スタッフの眼の被ばく線量を評価した。これは気管支鏡検査を行うスタッフ (医師および看護師) の眼の被ばく線量評価の最初の研究である。特に医師では、新しい水晶体線量限度である 20mSv / 年を超える可能性がある。した

がって気管支鏡検査のスタッフの眼の被ばく線量には十分注意する必要がある。被ばく線量を減らすためには鉛防護メガネの着用が推奨される。さらに、正確な線量を測定するためには DOSIRIS のような眼の被ばく線量を直接測定できる線量計の使用が必要である。

6. ポータブル撮影での水晶体線量の 詳細臨床評価（診療放射線技師）

研究方法

ポータブル X 線撮影は移動が困難な患者の検査を行うことが可能であり、現在では一般病棟や集中治療室（Intensive Care Unit：ICU）、手術室等、様々な場所で実施されている。ポータブル撮影では放射線技師と患者との距離が近くなる場合も多く、放射線技師の被ばく線量の評価ならびに放射線被ばく防護は重要である。

つまりポータブル撮影に携わる医療従事者についても水晶体被曝に関して、適切な放射線防護措置が必要であると考えられる。またポータブル撮影での放射線技師の水晶体線量を詳細に測定評価した報告はほとんどない。そこで臨床でポータブル X 線撮影に従事する診療放射線技師に線量計を装着し、実際の水晶体被ばく線量について詳細に調査した。

(1) 測定方法等

水晶体用線量計を使用し、実際に臨床でポータブル X 線撮影に従事する放射線技師の水晶体被ばく線量の測定、評価を行った。

使用した線量計は 3mm 線量当量の測定が可能な水晶体用線量計 DOSIRIS（千代田テクノル）およびガラスバッジ（千代田テクノル）である。線量計装着位置の概観を Fig.2 に

示す。DOSIRIS は左眼の近傍に、ガラスバッジは左頸部に装着した。測定対象はポータブル X 線撮影に携わる診療放射線技師で、人数は計 4 名である。1 月ごとの線量で評価を行った。防護メガネは着用しておらず、線量計（DOSIRIS、ガラスバッジ）はポータブル撮影時のみ装着した。なお DOSIRIS の測定値は 3mm 線量当量を、ガラスバッジの測定値は 1cm 線量当量と 70 μ m 線量当量のうち高い方の値を使用して評価を行った。

(2) 統計解析

DOSIRIS の測定値とガラスバッジの測定値の解析として、Wilcoxon の順位和検定を使用し、有意差検定を行った。p 値が 0.05 未満であった場合に有意差があると判断した。また縦軸を DOSIRIS の測定値、横軸をガラスバッジの測定値として回帰直線を求め、決定係数 R^2 から両者の間の相関を評価した。同様に、ポータブル撮影件数と DOSIRIS の測定値との間の相関についても評価を行った。

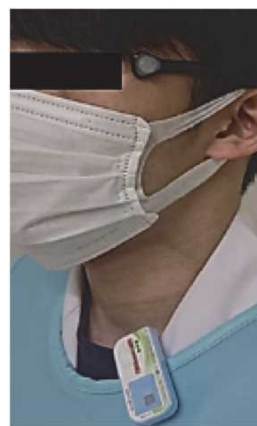


Fig.2 ポータブル撮影での放射線技師の線量計装着位置の概観（左眼に DOSIRIS、左頸部プロテクタ外側にガラスバッジ）
研究結果（ポータブル撮影での水晶体線量の
詳細臨床評価：診療放射線技師医師）

・線量と件数

ポータブル X 線における DOSIRIS およびガラスバッジそれぞれの線量計の測定値、および 1 人の放射線技師が 1 か月間に実施したポータブル撮影の件数を以下に示す。

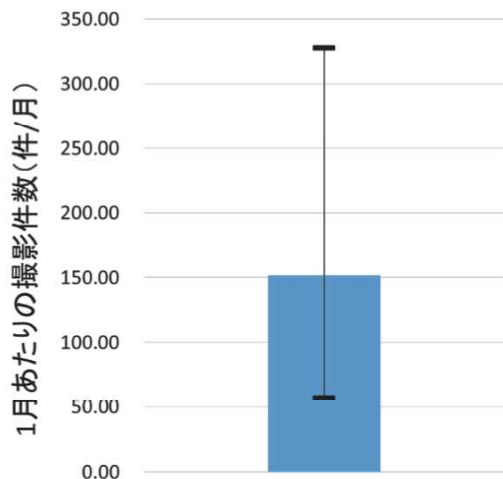


Fig.33 ポータブル撮影件数(1カ月当り)

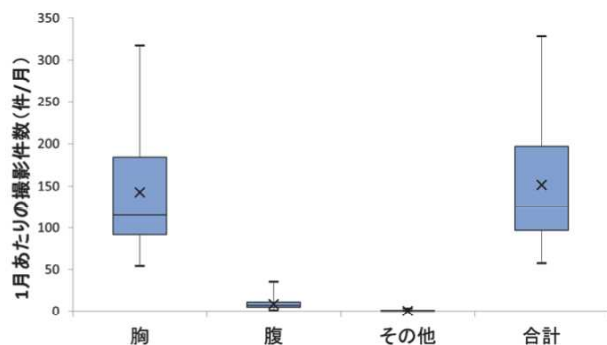


Fig.34 撮影部位ごとのポータブル撮影件数 (1カ月当り)

1 人の放射線技師が 1 か月間に実施したポータブル撮影の件数は、平均 151.96 件、最大で 328 件であった。

またポータブル撮影部位のほとんどは胸部撮影であった。

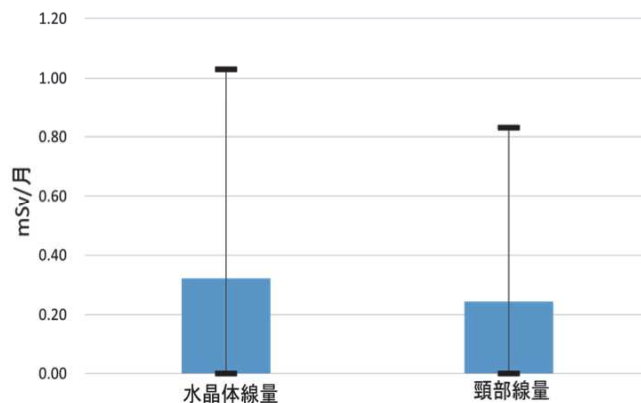


Fig.35 ポータブル撮影時の放射線技師の線量 (1カ月当り)

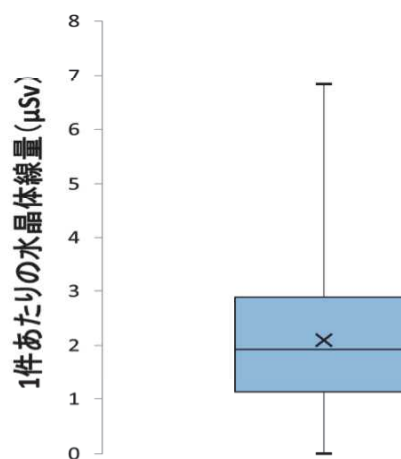


Fig.36 ポータブル撮影時の 1 件あたりの放射線技師の水晶体線量

DOSIRIS で測定した水晶体線量は平均で 0.32mSv/月、最大で 1.03mSv/月であった。また同時にガラスバッジで測定した頸部の線量は、平均で 0.24mSv/月、最大で 0.83mSv/月であった。

・ポータブル撮影時の 1 件あたりの放射線技師の線量等の相関

DOSIRIS の測定値とガラスバッジの測定値を比較した結果、 $p=0.351$ と両者の間に

有意な差は認められなかった。

DOSIRIS で測定した水晶体線量とガラスバッジで測定した頸部線量の相関は、決定係数 $R^2=0.9588$ と強い相関がみられた。

DOSIRIS で測定した水晶体線量と、1人の放射線技師が1か月間に実施したポータブル撮影件数との相関は、 $R^2=0.4471$ と中程度の相関がみられた。

考察(ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価：診療放射線技師医師)

ポータブル撮影時の被ばく防護については、厚生労働省からの「在宅医療におけるX線撮影装置の安全な使用に関する指針(平成10年 医薬安発第69号)」により、操作者は0.25mm鉛当量以上の防護衣(プロテクター)を着用する等防護に配慮すること、X線撮影に必要な医療従事者以外は、X線管容器及び患者から2m以上離れてX線撮影が終了するまで待機すること、等が定められている。これまでポータブル撮影ならびに一般撮影時の空間散乱線量、従事者の被ばく線量等に関する検討は実施されており

(水晶体線量評価ではないが)、その中でX線照射時に患者から2m以上離れた場合に空間散乱線量は著しく低下することが報告されている。しかし実際には、ポータブル撮影に従事する放射線技師が患者から確実に2m以上の距離をとることができるとは限らない。

水晶体用線量計 DOSIRIS を使用して測定した水晶体線量は、最大で1.03mSv/月という値であった。1年間に換算すると12.36mSvとなる。これは新しい水晶体等価線量限度である5年平均の1年あたり20mSvを下回っているものの、高い線量となった。最も高い線量を記録した月に該当技師が行ったポータブル撮影の件数は326

件であった。より撮影件数の多い施設等では、十分な被ばく防護策を講じない場合には線量限度に近い値となる可能性もある。よって水晶体被ばく防護のため、X線照射時に患者から十分な距離をとることを意識する必要があると考える。また患者から距離をとることが困難であり、かつ多くの件数をこなす必要がある場合には防護メガネ等追加の防護具の着用が必要となる可能性も考えられる。

技師ごとに比較を行った結果においては、撮影1件あたりの被ばく線量にある程度の差がみられた。技師ごとに撮影時の患者からの距離が異なることが影響したものと考えられる。

DOSIRIS で測定した水晶体線量とガラスバッジで測定した頸部線量には有意差は認められず同等であった。また両者の間には強い相関がみられた($R^2=0.9588$)。この結果から、ポータブル撮影に従事する診療放射線技師の水晶体被ばく線量は、頸部に装着した個人線量計でおおむね評価可能であると考ええる。

水晶体線量と1か月間に実施したポータブル撮影件数との相関は中程度($R^2=0.4471$)であった。検査ごとに患者放射線技師との距離が異なることにより、相関の強さは中程度となったと考える。この結果から、撮影件数をもとに水晶体線量を評価することは困難であり、実際に頸部もしくは水晶体近傍に線量計を装着して評価する必要があると考える。

結論(ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価：診療放射線技師医師)

臨床でポータブルX線撮影に従事する診療放射線技師の水晶体線量を詳細に測定した。その結果、撮影件数の多い施設において

は、十分な被ばく防護策を講じない場合には線量限度に近い値となる可能性が示唆された。よってポータブル X 線撮影に従事する診療放射線技師は、適切な被ばく防護措置と被ばく線量評価を行う必要があると考える。

線量評価については、プロテクターを着用する場合にはプロテクターの外側、頸部に線量計を装着することでおおむね評価することが可能である。被ばく防護については、X 線照射時に患者から十分な距離をとることが非常に有効であるため、この点は常に意識する必要があると考える。ただし患者から距離をとることが困難な場合もあるため、ポータブル撮影時には Pb 防護眼鏡やプロテクター等の防護具を、適切に使用して被ばく防護に努めることが重要であると考ええる。

おわりに

以上のように当分担研究では、1. 水晶体線量計着用部位の基礎検討、2. 防護眼鏡 (0.75mm鉛当量) の臨床評価、3. 水晶体線量計の詳細な基本性能評価、4. 心臓 IVR での水晶体線量の詳細臨床評価、5. 気管支鏡検査での水晶体線量の詳細臨床評価、6. ポータブル撮影での水晶体線量の詳細臨床評価について主に実施した。

そして上述したような、水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査(医療分野の放射線の計測評価と被ばく防護)に関する有用な成果を得ることができた。

◎論文報告

1. H. Ishii, K. Chida, K. Satsurai, Y. Haga, Y. Kaga, M. Abe, Y. Inaba, M. Zuguchi.
A PHANTOM STUDY TO DETERMINE THE OPTIMAL PLACEMENT OF EYE DOSEMETERS ON INTERVENTIONAL CARDIOLOGY STAFF, *Radiation Protection Dosimetry*. 2019;185(4):409-413. doi: 10.1093/rpd/ncz027.
2. Ishii H, Haga Y, Sota M, Inaba Y, Chida K.
Performance of the DOSIRIS eye lens dosimeter. *Journal of Radiological Protection*, 39: N19-N26, 2019.
doi:10.1088/1361-6498/ab2729.
3. 遠藤 美芽, 芳賀 喜裕, 阿部 美津也, 加賀 勇治, 大友 一輝, 村林 優樹, 稲葉 洋平, 千田 浩一
心臓 IVR 手技における 0.75mmPb 当量防護眼鏡の遮蔽効果に関する臨床的検討.
臨床放射線 65 (1) Page71-75 (2020.01)
DOI : 10.18888/rp.0000001113
4. Haga Y, Chida K, Kimura Y, Yamanda S, Sota M, Abe M, Kaga Y, Meguro T, Zuguchi M.
Radiation eye dose to medical staff during respiratory endoscopy under X-ray fluoroscopy.
J Radiat Res. 2020;61(5):691-696.
doi:10.1093/jrr/rraa034.
5. 大友 一輝, 佐藤 文貴, 芳賀 喜裕, 曾田 真宏, 加賀 勇治, 阿部 美津也, 伊澤 毅, 村林 優樹, 遠藤 美芽, 稲葉 洋平, 千田 浩一
心臓・血管系 IVR に従事する医師の水晶体被ばく線量の左右差に関する検討.
(2021) 投稿中
6. 森島貴顕, 千田浩一, 稲葉洋平, 千葉

昌弘, 千葉浩生
空間線量測定用新型サーベイメータの
性能評価. *臨床放射線*: (2020) 65(12):
1327-1333

◎研究発表

1. Ishii, H. Chida, K. Satsurai, K. Haga, Y. Kaga, Y. Abe, M. et al. Evaluation of Eye Lens Doses in Interventional Radiology Staff: Where Should the Eye Dosimeter be Optimally Placed? *Radiological Society of North America (RSNA2018)*, November 2018, Chicago
2. Haga Y, Chida K, Kaga Y, Sota M, Kasahara S, Suzuki, S, Arai T, Abe M, Meguro T. Optimization of Eye Lens Doses for Interventional Radiology and Cardiology Staff : Monitoring and Protection Methods of Eye Lens. *Radiological Society of North America (RSNA2019)*, December 2019, Chicago
3. 加藤 守, 千田 浩一, 石田 嵩人, 佐々木 文昭. 頭頸部及び心臓インターベンションに関わる医師の水晶体線量評価. 第75回日本放射線技術学会総会学術大会. 2019. 4月 横浜
4. 遠藤美芽, 芳賀喜裕, 阿部美津也, 加賀勇治, 大友一輝, 村林優樹, 稲葉洋平, 千田浩一. 0.75mm 鉛当量防護眼鏡による水晶体等価線量の低減に関する臨床的検討. 第47回日本放射線技術学会秋季学術大会. 2019年10月. 大阪
5. 遠藤美芽, 芳賀喜裕, 曾田真広, 阿部美津也, 加賀勇治, 大友一輝, 村林優樹, 稲葉洋平, 千田浩一. 鉛防護眼鏡の遮蔽効果に関する検討: 0.07mmPb 当量と 0.75mmPb 当量の比較. 第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会. 2019年12月. 仙台
6. 曾田 真宏, 芳賀 喜裕, 千田 浩一, 加賀 勇治, 荒井 剛, 鈴木 新一, 笠原 梓司, 阿部 美津也. 心血管カテーテル検査・治療に携わるスタッフの水晶体被ばく管理方法の検討. 第47回日本放射線技術学会秋季学術大会. 2019年10月. 大阪
7. 森島 貴顕, 目黒 義敬, 千田 浩一, 千葉 浩生. 3mm線量当量線量計を用いたERCPに従事するスタッフの水晶体等価線量評価. 第47回日本放射線技術学会秋季学術大会, 2019年10月, 大阪
8. 芳賀喜裕, 千田浩一, 加賀勇治, 曾田真宏, 荒井剛, 阿部美津也. 呼吸器内視鏡検査に携わる医師の水晶体被ばく評価. 第47回日本放射線技術学会秋季学術大会, 2019年10月, 大阪
9. 千田浩一. 医療スタッフの水晶体被ばく: 現状と課題. 第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会. 2019年12月. シンポジウム 仙台
10. Mamoru Kato, PhD, Koichi Chida, PhD, Takato Ishida, BS, Fumiaki Sasaki, BS, Hajime Osaka, BS, and Toshibumi Kinoshita, MD, PhD. Occupational eye lens dose measurement using direct eye dosimeters in interventional cardiac electrophysiology procedures . *European Congress of Radiology ECR2020*. 令和2年7月, ウィーン, オーストリア, (Web)
11. Mamoru Kato, PhD, Koichi Chida, PhD, Takato Ishida, BS, Kazunori

- Matsumoto, BS, Fumiaki Sasaki, BS, and Hajime Oosaka, BS. Evaluation of usefulness of neurovascular interventional radiology procedure supported using MR-3D road-mapping. 第76回日本放射線技術学会 JRC2020. 令和2年5月, 横浜 (Web)
12. Kentaro Sakamoto, Mamoru Kato, Noriyuki Takahashi, Koichi Chida, Takeshi Kasamatsu, Toshihiko Onodera, Hiroto Atsumi. Evaluation of Patient Radiation Dose in Percutaneous Coronary Intervention Using Radiophotoluminescence Dosimeter. 第76回日本放射線技術学会 JRC2020. 令和2年5月, 横浜 (Web)
13. Morishima. Y, Chida. K, Inaba. Y. Radiation Protection Effect of Novel Pb Plate in Videofluoroscopic Swallowing Study. *Radiological Society of North America (RSNA2020)*, 令和2年11月 シカゴ アメリカ合衆国 web 開催.
14. 大友 一輝, 遠藤 美芽, 村林 優樹, 安部 圭亮, 小野寺 真奈, 鈴木 友裕, 高橋 拓己, 一ツ木 康晶, 稲葉 洋平, 千田 浩一
診療放射線技師の被曝防護の実態調査：ポータブル X 線撮影に関するアンケートによる検討. 日本保健物理学会第53回研究発表会 WEB 大会

◎知的所有権の取得状況

該当なし

労災疾病臨床研究事業費補助金
総合研究報告書

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 (180501-1)

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 高度被ばく医療センター
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

ICRP が 2011 年に発出したソウル声明を受け、IAEA BSS 及び EU BSS では、放射線業務従事者の計画被ばく状況における水晶体の組織等価線量被ばく限度について、1 年間 150 mSv から 5 年平均で 1 年あたり 20 mSv の大幅な引き下げを取り入れた。我が国においても、放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会において検討された結果、計画被ばく状況における職業被ばくに関する水晶体の等価線量限度は、5 年間平均で 20mSv/年、かつ、いずれの 1 年においても 50mSv を超えないこととすることが適当である、と答申され、令和 3 年 4 月から改正電離放射線障害防止規則が施行される。不均等被ばくを伴う放射線業務に対し、体幹部、眼の水晶体及び末端部線量の相関に関する評価を通じて、体幹部線量から適切な等価線量評価手法を開発するとともに被ばく線量低減化について提案する。事業実施期間の 3 年間で、以下に示す課題を設定して、分担研究者の担当した目的を達成した。

- (1) 除染等業務に従事する作業者の被ばく状況について検討を行った。主に放射性セシウムからの γ 線からの外部被ばくが中心であった。さらに、除染等業務の具体的な作業により均等被ばく及び不均等被ばく状況の両方が考慮されることが分かった。体幹部線量と眼の水晶体及び末端部等価線量との相関について、均等被ばく及び不均等被ばく状況での評価を行った。ISO 及び ROT 照射条件で均等被ばく状況を模擬して評価した結果、 γ 線に対する体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、60 keV \sim 1.25 MeV の範囲内で、1.2 \sim 1.3 となった。さらに不均等被ばく状況の評価のため、面状及び体積線源を導入して評価を行った結果、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、1.0 \sim 1.9 で評価可能であった。このことから、現行法令が指定する眼の水晶体線量の推定手法を用いた場合でも、ISO publication 75 のいう factor 1.5 程度で推定できる可能性が確認できた。
- (2) β 線放出核種にばく露する放射線業務従事者について、体幹部で評価された線量と

眼の水晶体等価線量との関係を求め、眼の水晶体等価線量の適切な評価が可能か検討した。研究分担者らが以前開発した人体模擬数学ファントムを用い、 β 線による被ばくが優位となる放射線作業を模擬して、眼の水晶体線量が体幹部で観測される線量当量に対しどの程度になるか評価した。商用原子力発電施設で高エネルギー β 線源として労働者の放射線防護上の課題となる ^{106}Ru について評価したが、現行法令の体幹部での $70\mu\text{m}$ 線量当量による測定値が最大5倍程度の過大評価となることを明らかとした。さらに、核医学の分野で使用される陽電子放出核種(^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、及び ^{11}C)について、サイクロトロンオペレータ等が当該核種に暴露される状況を模擬して同様の評価を行った。眼の水晶体に対し、陽電子による被ばくが無視できない一方で消滅 γ 線による被ばくも有意に認められる。さらに、体幹部で測定された 3mm 線量当量が眼の水晶体線量に対しより良い推定値を与えることが確認できた。そのことから、線量測定サービスを利用する事業者は 3mm 線量当量の測定結果も利用することが望ましい。さらに、手指部の被ばくについても検討した。特に、陽電子放出核種による被ばく状況の場合、体幹部で測定された $70\mu\text{m}$ 線量当量の測定値が、手指部等末端部線量をよく推定する事例があることが明らかとなった。

- (3) 医療従事者の眼の水晶体等価線量算定のために使用されるガラス線量計について前年度から実施しているエネルギー応答特性試験を継続し、ISO規格の記述通りの特性試験が可能であることが分かった。使用するガラス線量計の応答について、文献値を再現すると同時にIVR術者が被ばくするX線のエネルギー範囲で適切な線量読み出し値を与える応答を有することが確認できた。一連の評価の結果、ガラス線量計の読み値から妥当な $\text{Hp}(3)$ を与える校正定数は、水晶体等価線量(3mm 線量当量)[Sv] = ガラス線量計指示値 [Gy] $\times 1.21 \pm 0.03$ [Sv/Gy]と決定できた。

A. 研究目的

本研究事業は、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の評価である。分担研究者は、特に工業・原子力・学術分野における放射線業務従事者に対して実施されている現行の個人モニタリングに注目し、放射線業務時に体幹部で測定された 1cm 線量当量または $70\mu\text{m}$ 線量当量が眼の水晶体及び手指部等末端部の等価線量を適切に推定可能か、どの範囲まで適応可能か、現在もなお不明な点がある。本研究では、眼の

水晶体及び手指部の等価線量を体幹部で測定された 1cm 線量当量、 $70\mu\text{m}$ 線量当量等の体幹部で評価された線量当量と、放射線業務従事者の被ばく状況(線源の位置、線種、体勢、作業時間等)を考慮した、眼の水晶体及び手指部等末端部被ばく線量の相関を詳細に検討することを通じ、不均等被ばく状況についての調査を進め、放射線業務における被ばく線量低減に向けて課題を評価する。

本研究の背景には、国際放射線防護委員会(ICRP)による2011年ソウル声明で眼

の水晶体被ばく線量限度が一年間で 150 mSv から年平均 20 mSv へと大幅に下げることが勧告された[1]ことを契機に、国際原子力機関 (IAEA)、EU 及び米国においても、眼の水晶体等価線量の線量限度引き下げを導入したことにある [2],[3]。我が国においても、以前より放射線業務従事者の眼の水晶体被ばくに対する包括的な調査が開始されており[4]、放射線審議会においても検討部会での審議の結果、「水晶体部会は、新たな水晶体の等価線量限度の取り入れは可能であると判断する。すなわち、ソウル声明において勧告されたように、水晶体の等価線量限度を 5 年間の平均で 20mSv/年かついずれの 1 年においても 50mSv を超えないこととすることが適当である。」と意見答申された [5]。

我が国の放射線業務従事者の被ばくの現状は、眼の水晶体のみ、あるいは手指、足等末端部のみ極端に被ばくするような、特殊な被ばく事例は少ない [6]。それを受け、眼の水晶体等価線量の推定でも同様に、現行の個人モニタリングでは、工業・原子力・学術分野で通常生じうる放射線作業環境の場合、線量計は体幹部のみに取り付け、体幹部で測定された線量当量のうち適切なものから、必要に応じて水晶体組織等価線量を推定している。

放射線業務従事者という労働者の被る労働災害を考慮すると、目的とする作業を完遂するに当たり、放射線業務従事者は可能な限り被ばくをせず（本質的には全く被ばくせずに）に目的とする作業を完遂することが望ましい。しかしながら、一般には放射線業務従事者は、厳重な放射線管理の下、放射線被ばくを伴う有害作業を進め、各々の業務を着実に進めている。その有害作業

の結果として、放射線業務従事者に対しては、放射線作業時には、昨今新たに線量限度が取り入れられた緊急作業時に限らず、予期しえない事象の結果、電離放射線障害防止規則で定められた線量限度を超えるような放射線業務従事者に対する過剰な被ばくを伴うことも完全には否定できず、このことは労働災害の観点からは看過しえない。ICRP の声明では、「急性被ばくによる視覚障害性白内障のしきい線量は、0.5 Gy」と判断されており、X線・γ線に対する被ばくを想定した場合、現行法令の線量限度の 3.3 倍 (= $500 / 150 = 3.33\dots$)である。事故、トラブル、照射機器等の不調は、予測され、当然回避されるべきであるが、後述の放射線被ばくの不均等性が加わり、体幹部線量のみ被ばく管理が行われている放射線作業の現場では、このしきい線量を越えた被ばくを受ける事例は発生しうる。あるいは、(非常に極端な事例ではあるが) ^{90}Sr - ^{90}Y のような核種のみを大量に扱うような、β線のみによる被ばくが考えられる放射線作業では、一般的にγ線を想定した作業環境モニタリングの指示値で判断した場合 (β線を適切に測定できないため)、実際の被ばく線量よりも線量計の指示値は低くなり、作業中にいつの間にか線量限度を超え、しきい線量を超えていた、等も考えられる。このような眼の水晶体への過剰な被ばくは、労働災害を撲滅する観点からも回避されなければならない。

現行の個人モニタリングについていうと、前述のとおり我が国の放射線業務従事者の 80%程度は、体幹部に装着した線量計の検出下限以下の被ばくしかしていないとの報告がある [6]。この点からも、これまで機

能してきた眼の水晶体等価線量の推定手法を継続利用して、そのまま導入できる被ばく事例が多いと予想される。しかしながら、β線による被ばくの場合、眼の水晶体等価線量を場合によっては数百倍過大評価する可能性が指摘されている [7]。令和2年度には、一般社団法人日本保健物理学会において、「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」[8]が策定される運びとなり、放射線被ばくの不均等性について、特に原子力・工業。学術分野では、個別の放射線作業に対する不均等性の認識と、それらに対する適切なモニタリング及び防護対策について、一定のルールに基づき「不均等に被ばく」する放射線作業への介入、線量モニタリング及び被ばく線量低減対策が行われる施策は発表された。一方で、具体的な現場での対応については、「不均等被ばくはどのような状況で起こるのか」、「β線被ばくは常に不均等被ばく状況なのか」、「眼の水晶体線量追加モニタリングはどのように実施されるべきか」等、具体的に解決すべき課題が残されている。

本事業では、事業期間の3か年で、現状での課題抽出と解決を目標とし、以下に挙げる3点に着目し研究・調査を行った。

- (1) 除染等業務に従事する作業者の眼の水晶体等価線量の適切な評価
- (2) 産業・学術分野における放射線業務従事者のβ線放出核種による眼の水晶体等価線量の適切な評価に関する研究
- (3) 医療従事者の眼の水晶体等価線量評価のための実用量測定に使用する線量計校正に関する研究

なお、分担研究者の研究担当分として、体幹部線量からの眼の水晶体組織等価線量の推定手法の確立について、体幹部線量からの眼の水晶体組織等価線量の推定手法を組み込んだ汎用ツールの開発・頒布・使用方法の教育、等は、本事業では行わない。

B. 研究方法

B-1. 研究方法の概要

事業期間の3か年で、(1) 除染等業務に従事する作業者の眼の水晶体等価線量の適切な評価、(2) 産業・学術分野における放射線業務従事者のβ線放出核種による眼の水晶体等価線量の適切な評価に関する研究、及び(3) 医療従事者の眼の水晶体等価線量評価のための実用量測定に使用する線量計校正に関する研究を遂行した。詳細は各年度の分担研究報告書に記載する。

また、各業務における作業者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量及び手指等末端部線量の比は、人体を模擬したアクリル水槽を組み合わせたファントムで実験的に求めるほか、分担研究者らが以前開発して検証済みの計算シミュレーションによる手法を適応して求めた。

(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、放射線業務従事者が実際に放射線作業の現場で被ばくした体幹部、眼の水晶体及び手指部線量を取得するという、研究を進める手法を取らなかった。その代わりに、後述

の計算シミュレーションを用いる手法で研究を進めるほか、後述の作業環境でのモニタリング試験では、簡易物理ファントムを用いて放射線作業を模擬し、放射線業務従事者が受けると想定される被ばく線量を取得した。また、分担研究者は放射線業務従事者として、放射線作業に従事するが、研究代表者らは、所属する量子科学技術研究開発機構放射線障害予防規程の定めに従い、放射性物質の管理区域外への漏えい等がないように適切に放射性同位元素等を取扱う。研究代表者らの放射線被ばくについて、「合理的に達成可能な限り低く（ALARA）」の原則に基づく無用な放射線被ばくがないよう、厳重な被ばく管理の上で研究を遂行する。

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。

B-2. 具体的な研究方法

B-2 (1). 除染等業務に従事する作業者の眼の水晶体の適切な評価

なお、個別の研究手法、研究結果及び結論については、平成30年度の報告書に委ねるものとする。

本研究では、除染等業務に従事する作業者が受ける、眼の水晶体等価線量がどの程度か、適切に評価する手法を見出し、妥当な眼の水晶体等価線量を推定できる手法構築の一助となることを目標としている。

現行の個人被ばく線量モニタリングでは、除染等業務に従事する作業者の被ばくは、均等被ばく状況で十分仮定されると位置づけられており、作業者の体幹部で測定された被ばく線量を適切にモニタリングすることに注力されてきた。そのため、除染等業

務の各作業において、作業者の眼の水晶体等価線量がどの程度になるか、特段注意が払われてこなかった。

そこで、研究分担者らが別途整備した計算シミュレーションを用いて評価を行った[9],[10]。放射線業務従事者の被ばくの不均等の度合いは、眼の水晶体及び末端部線量/体幹部線量の比で評価することとし、ここでは喫緊の課題である眼の水晶体線量/体幹部線量の比に着目した。



図1 計算シミュレーションに使用した数学ファントム

計算シミュレーションに使用したコードは、我が国で開発され、医療分野のみならず種々の分野で使用実績の豊富な PHITS であり、除染等業務に従事する作業者の人体を人体模擬数学ファントム（以下、「数学ファントム」という。）で模擬した。数学ファントムには、ICRP116 で眼の水晶体の防護量に係る換算係数を計算するのに使用されたファントムを採用し、当該ファントム

に腕及び手指を追加して、腰から上までを模擬した。数学ファントムは、モニタリングで使用される実用量である線量当量を正当に評価することを考慮し、ICRU の指定する人体等価物質とした。(図 1 参照) 数学ファントムを用いた体幹部及び眼の水晶体線量評価では、現行の個人モニタリングの線量計測の枠組みで用いられている、1cm 線量当量、3mm 線量当量及び 70 μ m 線量当量の定義に従って、数学ファントム内に吸収線量を測定する領域を設定した。体幹部における 1cm 線量当量、3mm 線量当量及び 70 μ m 線量当量の評価のため、数学ファントム左胸部中央深さ 10 mm、3 mm 及び 70 μ m の位置での線量を求めた。眼の水晶体等価線量評価に用いられることが検討されている眼の水晶体における 3mm 線量当量は、数学ファントムの眉間中央部分の深さ 3 mm 位置での線量を求めた。吸収線量計算に使用した領域は、眼の水晶体位置で、1.0 cm^(L) 3.69 cm^(W) 0.01 cm^(D)であり、体幹部では、1.0 cm^(L) 6.18 cm^(W) 0.01 cm^(D)である。なお、吸収線量領域のサイズは、計算シミュレーション時の単位輸送粒子当たりの吸収線量に与える統計精度と線量評価の深さ位置への影響が小さくなることを考慮して選択された。

文献調査及び聞き取り調査の結果、除染等業務の大部分は均等被ばく状況に位置づけられる。均等被ばく状況には、ICRP 74[11]で示される照射ジオメトリのうち、等方照射ジオメトリ (ISO ジオメトリ) 及び回転照射ジオメトリ (ROT ジオメトリ) が該当し、上記の照射ジオメトリが実際の除染等作業での被ばく状況を反映していると考えられる。また、作業者の被ばく状況を等方及び回転照射ジオメトリと定義でき

ない作業についても、文献及び聞き取り調査によって明らかとしており、代表的な作業について計算シミュレーションを実施した。

なお、実験方法の詳細な記述は、平成 30 年度分担研究報告書の通りである。

B-2. (2) 産業・学術分野における放射線業務従事者の β 線放出核種による眼の水晶体等価線量の適切な評価に関する研究

本調査において対象とした核種は、これまで広く行われている ^{90}Sr - ^{90}Y [12],[13]以外の核種とした。後述の ^{106}Ru 以外の核種はすべて β 線に伴い γ 線を放出する。今次調査で実施した計算シミュレーションでは、 β 線及び γ 線の両方の影響を考慮した。

ばく露状況について、分担研修者が以前行った均等被ばく状況のうち ICRP が定義する等方照射条件 (ISO 条件[11]) は報告済み[14]であるため、回転照射条件 (ROT 条件[11]) について実施する。さらに、今次研究事業の初年度に評価した除染作業者等の眼の水晶体被ばくに関する検討時に考慮した被ばく状況の一部から、商用原子力発電所の定期点検時に生じる可能性のあるばく露状況を勘案し、線源を ^{106}Ru として、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比を評価した。これは娘核種である ^{106}Rh から高エネルギー β 線が放出されるのみならず、商用原子力発電炉運転時の核分裂生成物として収量が比較的多いこと、 ^{106}Ru の半減期が約 1 年であり、本格運用開始が予定される六ヶ所村の再処理施設においても無視できない β 線放出核種であることを理由に選定した。後述の通り、原子力施設では十分な防護施策がとられている点はあらかじめ

指摘する。

陽電子放出核種は核医学の従事する医療従事者の被ばく源である。令和2年度現在、線源となる薬剤の自動分取装置、患者への投与時のシリンジの鉛遮へい、指リング装着等、医師を含む医療従事者の放射線防護は適切に実施されている。そのため、報告された線量について、後述のとおり適切な防護施策がとられているとの事例紹介があった。

「PET 検査に関わる作業者の被ばくアンケート調査の結果では、投与・説明をする医師は 25～40 μ Sv/月、患者誘導や PET 操作に携わる診療放射線技師：110 μ Sv/月、薬剤合成、品質検査、分注等に携わる薬剤師：25 μ Sv/月、サイクロトロンオペレータ：100 μ Sv/月との報告があった²⁹⁾。このように、わずかながらも被ばくをする可能性があり、スタッフの配置や距離、時間を考慮した防護対策が有効となる。」

とある。[15]

本調査では、陽電子放出核種のうち、核医学の現場で利用されている核種 (^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、及び ^{18}F) について、医療従事者よりもサイクロトロンオペレータ等の加速器運転、薬剤製造にかかわる放射線作業従事者が業務従事中偶発的に遭遇する被ばく事象を想定し、前述の体幹部線量に対する眼の水晶体の比を評価した。

B-2. (3) 医療従事者の眼の水晶体等価線量評価のための実用量測定に使用する線量計校正に関する研究

本研究では、本研究で採用した個人線量計は、前述のとおり本補助金事業で医療従事者の被ばく線量測定に使用されている千

代田テクノル社製 Dose Ace 用ガラス線量計 GD352M についての仕様を文献により確認し、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線標準施設棟においてエネルギー特性試験及び角度応答試験を行った。それらの結果から、ガラス線量計指示値からの 3mm 線量当量を「正しく」評価するために不可欠な校正定数を与える手法について検討する。得られた校正定数をガラス線量計の読み値に適応することで、妥当な 3mm 線量当量測定値が得られるかどうか、医療従事者が実際にばく露する状況を再現し、市販の TLD 線量計との指示値の比較を行う事で検討した。

令和元年度の調査では、IEC 及び ISO で記載のある手順に従い、個人線量計のエネルギー特性試験及び角度依存性試験について、文献値が妥当かどうかの検証を行った。令和元年度と同様に、基準となる 3mm 線量当量での γ 線及び X 線の照射は、日本原子力研究開発機構原子力科学研究所放射線標準施設棟に設定された γ 線及び X 線校正場で実施した。試験対象となるガラス線量計を ISO シリンダーファントム（直径 20 cm 高さ 20 cm）中央に直接貼り付けて基準放射線を照射した。使用した基準放射線の線種は、ISO4037-3:2019 の記載に従い、S-Cs、N-40、N-60、N-120、N-200 の 5 線種とした。ガラス線量計に照射した線量は、3mm 線量当量で約 5 ± 0.1 mSv(k=1)である。

線量計のレスポンスは、IEC62387:2012 の記述に従い、下式に従って求めた。ガラス線量計の読出しは本研究事業に所属する産業医科大学 産業生態科学研究所 放射線健康医学研究室に依頼して実施した。得られた読み値からバックグラウンド値を差し引き、正味値を下式の M_E とした。

$$R_E = \frac{M_E}{h_{pK}(3;0) \times K_a}$$

本研究では、先行研究で系統的に実施された試験の検証を行う事が目的であるため文献[1]に従い、S-Cs (Cs γ 線校正場：平均エネルギー662 keV) で得られたレスポンスを基準として他のX線校正場で得られたレスポンスの相対応答を評価した。

$$RR_E = \frac{\frac{M_E}{h_{pK}(3;0) \times K_{a,E}}}{\frac{M_{S-Cs}}{h_{pK}(3;0) \times K_{a,S-Cs}}}$$

得られた相対応答は文献値と比較を行った。

また、校正定数は、レスポンスの逆数であるため以下の式に従い導出した。

$$C_E = \frac{h_{pK}(3;0) \times K_a}{M_E}$$

なお、本補助金事業で医療従事者の眼の近傍に取り付けて追加モニタリングに供されるガラス線量計は、本来医療被ばくモニタリングのために使用される。初期設定の状態を用いる場合、当該ガラス線量計読み出し装置には、ガラス線量計の個体差補正及び読み出し装置校正のため、フリーエアで空気カーマの単位で基準となるガラス線量計が準備される。そのため、ガラス線量計からの読み値は、空気等価吸収線量の単位となる。初期状態の評価では、個人線量計には評価が不可欠な人体からの後方散乱成分が考慮されていない。そこで、本研究では、国際規格で規定されたISOシリンダーファントムを用いて得られた校正定数を

初期状態の読み値に対する補正係数として導入することを提案する。

本研究で導出した校正定数は、実際に医療現場での医療従事者の眼の水晶体被ばく追加モニタリングに有効か、ファントムを用いたばく露試験で検証した。ベンチマーク試験で対象とした装置は、CT装置及び血管造影装置であり、それぞれCT介助者及び術者のばく露状況を模擬した。医療従事者を模擬したファントムはRANDOファントムを採用し、RANDOファントム上に線量計を取り付け、被ばく線量を評価した。取り付けした線量計は、本事業で採用したガラス線量計GD352Mに加え、国内でサービスが開始された、眼の水晶体被ばく線量モニタリング用線量計DOSIRISを同じ場所に取り付け、CT装置の場合は撮影、血管造影装置の場合は透視、を行ったのち、被ばく線量を比較した。その際、ガラス線量計の読み値には、本研究で提案する補正係数を乗じて、3mm線量当量の測定値として評価した。

C. 研究結果及び考察

C-1. (1) 除染等業務に従事する作業者の眼の水晶体等価線量の適切な評価

本研究では、除染等業務に従事する作業者についての眼の水晶体線量に係る評価を行っているが、IAEA TECDOC-1731の記述に従うと、被ばく源となる放射線の線種による場合分けのあと、Impact factorのAからCの順に、条件分岐を行うことを提案している。Impact factorは、(A)放射線のエネルギーと入射方向、(B)ジオメトリ、(C)防護装備の有無、となっている[17]。本項において、除染等業務に従事する作業

者の外部被ばくについて、上述の(A)放射線のエネルギーと入射方向、及び(B)ジオメトリ、の観点から考察を進める。

(A)放射線のエネルギーと入射方向、については、前述の通り、放射性セシウムからの β 線及び γ 線が被ばく源となる。放射性セシウムから放出される β 線による除染等業務に従事する作業者の被ばくについて、十分な放射線防護装備を装着したうえで、作業が実施されている。作業者の表面汚染についても有意な汚染がないことが、除染等業務の作業後には確認されている(されていた)。これらの点から、 β 線により眼の水晶体のみならず、体幹部に対しても、 β 線により過剰に被ばくすることは考えられない。除染等業務従事者の眼の水晶体被ばくにおいて β 線による被ばくが考えられるのは、 β 線の飛程を考慮すると(水中における β 線の飛程、約 0.23 cm (0.658 MeV ^{134}Cs)及び約 0.5 cm (1.176 MeV ^{137}Cs))、作業者の眼球に直接放射性物質が沈着する場合である。ただし、飛沫が飛び散るような、高圧洗浄機による除染、刈払い機による下草等の除去に従事する作業者には、一般安全装備としてゴーグルの着用が義務付けられており、事故等を考慮しない限り、上記の被ばく状況は考慮できない。ただし、事故により直接目に放射性Csが入る状況が考慮される場合のみ、 ^{137}Cs の β 線(1.176 MeV)に対する被ばく線量評価は必要であるといえる。

以上の検討から、(A)放射線のエネルギーと入射方向のうち、除染等業務に従事する作業者が被ばくする放射線のエネルギーについては、放射性セシウムからの γ 線を考慮すべきである。

(A)放射線のエネルギーと入射方向のう

ちの入射方向、及び(B)ジオメトリは、作業者の放射線被ばくを考慮する場合、密接に関連している。前述のとおり、除染等業務は、①面的除染、②局所除染、③森林除染及び④除去物の保管等に分類でき、それぞれの業務について、放射線の入射方向と作業者と線源との位置関係を示すジオメトリについて考察した。

①面的除染については、前述のとおり、開けた平らな場所において立位で作業する状況が中心である。具体的な作業については、耕作地、公園等での重機の操作を伴う除染、高圧洗浄機による舗装道路の除染、除染等業務の立ち合い等があげられる。前述の通り、除染対象核種である放射性セシウムは、土壌等に均一に広く分布していると考慮される。この場合の作業者の被ばくは、下方にある面状線源から一様に受けることとなる。これは均等被ばく状況に含まれるといえる。この被ばく状況を適切に表現する照射ジオメトリは、回転照射ジオメトリとなる。(図2参照)

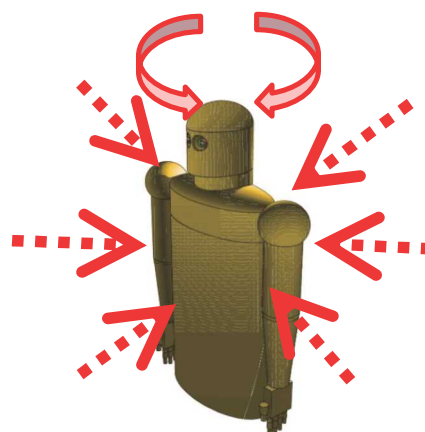


図2 均等被ばく状況を模擬する回転照射ジオメトリ(ROT geometry) [11] の模式図

③森林除染の場合、樹木への放射性物質の沈着が確認されているため、除染の対象となる下草や表土からの放射線のみならず、作業者は樹木からの放射線被ばくにさらされることとなる。この場合、作業者の被ばく状況は、側方からの放射線入射のみならず上方からの放射線入射についても考慮される必要がある。この被ばく状況は、ICRPが定義する照射ジオメトリのうち、後述の等方照射（ISO 照射）ジオメトリが最もよく模擬できる（図3参照）。

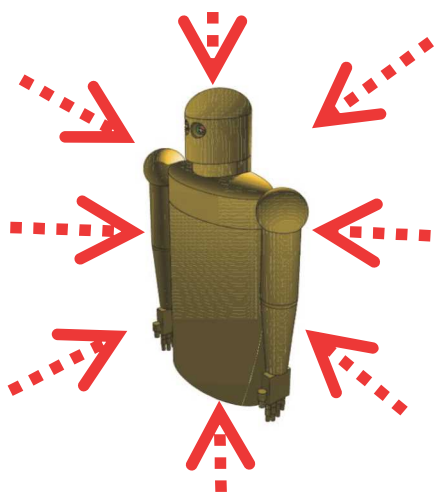


図3 均等被ばく状況を模擬する等方照射ジオメトリ(ISO geometry) [11] の模式図

②局所除染、及び④除去物の保管等の作業については、除去する対象の分布が実効的に制限されるため、線源が一様に分布する状況から作業者が均一に放射線にばく露される状況である、といえない。したがって上述の均等被ばく状況である、回転及び等方照射ジオメトリに含まれるとは考慮されない。しかしながら、除去する対象となる放射性セシウムの分布については、「ホットスポット」と呼称される通り、放射性セシ

ウムが点状に分布していると考えすることはできず、本研究において前述のC. 研究結果(d)で行った通り、面状線源及び体積線源からの被ばくを考慮することが合理的な評価につながるといえる。

(d) 各業務における作業者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比に関する検討

本項では、除染等業務に従事する作業者の被ばく状況について、均等及び不均等被ばく条件での作業者の体幹部線量に対する眼の水晶体等価線量の比に着目し、評価を進めることとした。

均等被ばく条件での放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比に着目し評価を行った。表5では、ROT及びISO照射条件下における体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比の γ 線エネルギーに対する変化を示している。表5に示す通り、0.06 ~ 1.25 MeVの γ 線の場合、 $H_p(3)_{eye} / H_p(10)_{trunk}$ は1より大きく見積もられた。これは体幹部で観測された $H_p(10)_{trunk}$ を眼の水晶体等価線量の推定値とした場合、過小評価することになる。除染等業務に従事する作業者が除染の対象とする核種は前述のとおり放射性セシウムであり、長期的には ^{137}Cs である。0.662 MeVの γ 線に対し、 $H_p(3)_{eye} / H_p(10)_{trunk}$ が1.2~1.3と評価されていることから、 $H_p(10)_{trunk}$ を用いて、眼の水晶体等価線量を推定した場合、推定値は、実際に観測される眼の水晶体等価線量に対し0.83(=1/1.2)倍となることが示唆される。このことは、今後引き下げられる眼の水晶体等価線量の年間線量限度近傍(年平均で年間20 mSvまたは単年度で50 mSv)、又は除染等事業者が独自に定

める被ばく線量管理目標値近傍で被ばくすることが想定される作業を行う場合、具体的な作業が均等被ばく状況であっても、追加線量計を用いる追加モニタリングが必要であろう。しかしながら、除染等業務に従事した作業者の被ばく線量の最大値は、年間 13.9 mSv [16]であり、そこから推定される眼の等価線量は、約 17 mSv(=13.9 × 1.2)といえる。この点から、眼の水晶体等価線量の推定値は、5年平均で年間 20 mSv 以下にとどまっていたといえる。また、前述の通り、除染等業務に従事した作業者の年間の被ばく線量は 97.9%が年間 5 mSv 以下である[16]。仮に、現行の個人モニタリングを踏襲して、体幹部の線量から眼の水晶体等価線量について同一の数値を用い、眼の水晶体等価線量の推定値とした場合であっても（例として、体幹部での外部被ばく線量が年間で $H_p(10)=1.0$ mSv の場合、眼の水晶体等価線量を 1.0 mSv と推定する）、今後低減される年間線量限度を超えることはないと思われ。

②局所除染及び④除去物の保管等の作業に従事する作業者の被ばく状況の再現のため、本研究では、面状線源及び体積線源からの被ばくを考慮して計算シミュレーション

により、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比について計算した。考慮した作業は以下の(1)～(6)であり、線源には ^{137}Cs からの γ 線である、0.662 MeV の単色の γ 線を考慮した。

- (1) 雨水枡の除染
- (2) 住宅の雨樋の除染
- (3) 住宅地等の側溝の除染
- (4) 住宅壁面の除染
- (5) 住宅地のコンクリートブロック塀の除染
- (6) フレキシブルコンテナ輸送時のタグ付け

C-2. (2) 産業・学術分野における放射線業務従事者の β 線放出核種による眼の水晶体等価線量の適切な評価に関する研究

β 線源として ^{106}Ru を用いた場合の、各照射ジオメトリでの体幹部線量に対する眼の水晶体比を表 1 に示す。評価対象とした ^{106}Ru は ^{106}Rh と放射平衡にあり、 ^{106}Rh からの高エネルギー β 線を評価の対象とした。表 1 の評価における不確かさは、計算シミュレーションに伴う統計誤差のみを評価し不確かさとしている。

表 1 β 線被ばく状況での異なる照射条件下での体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比 (使用線源： ^{106}Ru)

	前方-後方	点線源(眼の高さ)	点線源(手元)	ROT 照射
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$	13.1 ± 1.0	57.2 ± 7.2	2.01 ± 0.14	24.3 ± 1.7
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(3)_{\text{trunk}}$	1.00 ± 0.03	3.42 ± 0.08	0.14 ± 0.14	1.25 ± 0.03
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(0.07)_{\text{trunk}}$	0.95 ± 0.03	0.71 ± 0.01	0.058 ± 0.003	0.60 ± 0.02

本調査で評価した ^{106}Ru - ^{106}Rh 線源での前方-後方照射ジオメトリで得られた体幹部線量に対する眼の水晶体線量と比較すると、 ^{90}Sr - ^{90}Y による結果は、 $70\ \mu\text{m}$ 線量当量を用いた場合の眼の水晶体線量の比は、 $1/8$ となっている一方で、 1cm 線量当量での評価では、約 45 倍となっているこの違いは、 ^{90}Y と ^{106}Rh からの β 線の最大エネルギーの違いで説明できると考えられる。 ^{106}Rh β 線の最大エネルギーは $3.5\ \text{MeV}$ であり、体組織への透過力が高い。その分エネルギー沈着も深い領域に及ぶため、眼の水晶体と体幹部の各深さ ($70\ \mu\text{m}$ 、 $3\ \text{mm}$ 及び $1\ \text{cm}$) でのエネルギー沈着量の差が小さくなったと考えられる。

本調査では上記 β 線放出核種のみならず陽電子放出核種についても評価を行っている。得られた体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、 $70\ \mu\text{m}$ 線量当量を推定値とした場合には過大評価となる一方で 1cm 線量当量を眼の水晶体線量の推定値とした場合、大幅な過小評価になりうることを示された。このことから、現行の法令に従う場合、体幹部の個人線量計での $70\ \mu\text{m}$ 線量当量の指示値を眼の水晶体等価線量の推定値とすることになる。一方で、体幹部の装着された個人線量計で 3mm 線量当量のモニタリングが実施されている場合、その値は眼の水晶体等価線量に対し $70\ \mu\text{m}$ 線量当量よりもよい推定を与える点は留意すべきである。

また、上述の β 線放出核種と比較し、陽電子放出核種で得られた 1cm 線量当量での体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は小さくなっていることがわかる。 ^{106}Ru の場合で約 57 であるところ、最大で 18 であった (^{15}O の場合)。本調査で対象とした陽電子

核種の陽電子エネルギーを表 2 に示す。

表 2 本調査で対象とした陽電子放出核種からの放出陽電子の最大エネルギー

陽電子放出核種	E_{max} (keV)
^{11}C	960
^{13}N	1199
^{15}O	1732
^{18}F	634

上記の通り、陽電子の最大エネルギーは ^{90}Y 及び ^{106}Rh より低い。そのため、陽電子のみの影響を考慮すると、表 3 のような結果となることが想定される。陽電子放出核種からの体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比には、陽電子による線量への寄与に加え、消滅 γ 線の影響が加味される。線源ハンドリング中は、作業者は常に $511\ \text{keV}$ の γ 線によるばく露が不可避であるため、特に 1cm 線量当量測定値への寄与が大きくなると考えられる。

表 3 ^{15}O 点線源を眼の高さに設置した場合の計算で得られた、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比(陽電子のみを考慮)

模擬する作業名	HI_{eye}
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$	40.5 ± 3.3
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(3)_{\text{trunk}}$	4.32 ± 0.14
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(0.07)_{\text{trunk}}$	0.21 ± 0.01

C-2.(3) 医療従事者の眼の水晶体等価線量評価のための実用量測定に使用する線

量計校正に関する研究

エネルギー特性試験は、ISO4037-3:2019の記述に従って実施した。図4で先行研究となる文献値[16]もプロットしているが、モンテカルロ計算シミュレーションで得られた線量計レスポンスをよく再現できている。また、当該ガラス線量計のエネルギー応答特性が、20 keV以上から非常に広いエネルギー範囲でIECの規格要件で示された基準値(エネルギー及び角度依存試験で得られた線量計レスポンスに対し 0.71 ~ 1.67)に入っていることも確認できた。

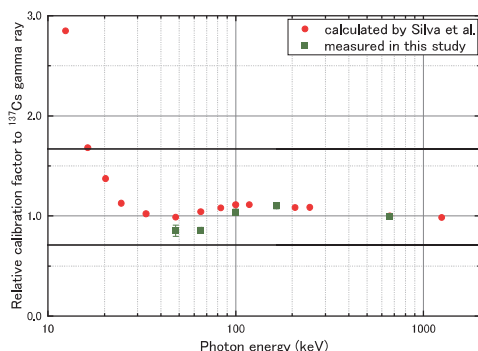


図4 ガラス線量計 GD352M の応答のエネルギー依存性。

また、ガラス線量計応答の角度依存性について、一部のエネルギーで実施した。投与したX線は、ISO N-series N-60 (平均エネルギー: 48 keV)で、角度は30度及び60度であった。0度で得られた線量計のレスポンスとの相対的なレスポンスは、30度の場合、30度で 0.846 ± 0.041 、60度で 0.775 ± 0.052 であった。いずれもIEC規格で示された基準値内の値である。さらに、図5では、文献[16]からモンテカルロ計算シミュレーションで得られたガラス線量計の角度応答の計算値を引用する。

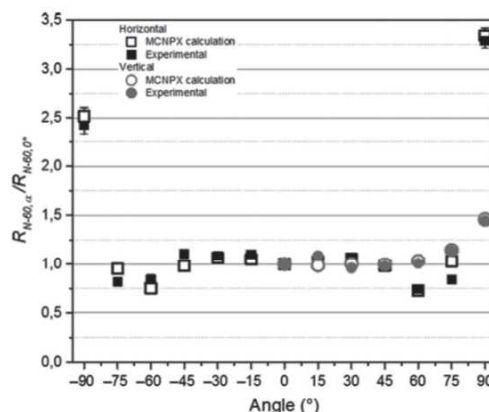


Figure 3. Angular dependence of GD-352M irradiated with N-60, obtained experimentally and via Monte Carlo calculations.

図5 文献[16]より引用したガラス線量計 GD352M の応答の角度依存性。

図に示す通り、線量計レスポンスは広い角度範囲で平坦であり、-60度から60度でIEC規格が示す0.71~1.67の範囲に入っている。個人モニタリング全般に係る規格である、ISO 15382: 2015では、使用される線量計についての記載にとどまらず、どのように個人モニタリングが行われるべきかについての要求事項が記載されている。同規格には、インターベンショナルラジオロジー(IVR)術者に対する詳細な記載があり、「X線防護眼鏡または顔面マスクを利用する際には、線量計は内側に装着すべきである。線量計をX線防護眼鏡または顔面マスクの外側に装着する場合には、線量評価の際に補正が必要である。」とある。IVR術者が受けるX線のエネルギー範囲は、20 ~ 100 keVとの報告があり[17]、本研究事業で導入されているガラス線量計の応答は理想的であることが実験的に明らかとなった。

本研究班で使用するガラス線量計の読み出し装置は、医療被ばくモニタリングが主たる用途であることから、線量計読み出し

装置校正に用いられる標準ガラス線量計は、 ^{137}Cs の 662 keV による基準照射が実施されている。その際の照射条件は、フリーエア照射であり、この照射条件では、ガラス線量計の読出しの結果求められる線量は、空気等価吸収線量(Gy)となる。厳密には空気カーマというべきであるが、比較的エネルギーの低い X 線の場合、測定に供される場でも二次電子平衡が成立するため、空気等価吸収線量と実質的に同等である。この単位で測定されることとなるため、実際には放射線場の値を評価したことになる。一方で、医療従事者の眼の近傍における追加モニタリングを検討する場合、本研究班では当該ガラス線量計を専用の線量計ホルダに納めて防護眼鏡に取り付け、医療従事者の頭部周辺に装着した状態で被ばく線量を評価することとなる。後述の ISO でも指摘はあるが、測定対象となる医療従事者の顔等から散乱する X 線を加味した校正定数が与えられるべきである。ISO4037-3:2019 においても眼の水晶体被ばく線量モニタリングに供される個人線量計は ISO 指定のシリンダーファントムを用いて校正することが求められており、被校正物である個人線量計に対し顔等からの後方散乱成分の入射を加味した応答から校正定数は評価されるべきである、という考えに立脚したものである。さらに、Silva et al.[16]による、ガラス線量計素子自体のエネルギー応答特性は評価されており、文献値が実験値と比較して妥当であることが確認できた。

図 4 から、20 keV ~ 300 keV (IEC の基準による)で、レスポンスが 0.71 ~ 1.67 の範囲に入るよう考慮すること、IVR 術者が受ける X 線のエネルギー範囲は、20 ~ 100 keV との報告[17]、さらに別途報告す

る散乱 X 線成分のスペクトル測定で得られた結果も考慮すると 20 keV から 100 keV まで散乱 X 線エネルギーに対して最大の校正定数となるよう考慮して、E = 100 keV(ISO4037-1 で N120 の線質)を基準とするのが妥当と考えられる。

上記の E = 100 keV(ISO4037-1 で N120 の線質)に対する校正定数導出は、以下に示す二通りの方法が考慮される。

1) 線量計読み出し装置校正用基準ガラス線量計を介する方法

2) 直接校正定数を与える方法

1) は以下の式で導出できる。

$$\begin{aligned} & \text{水晶体等価線量(3mm 線量当量)[Sv]} \\ &= \text{蛍光ガラス線量計指示値 [Gy]} \times \\ & \quad \frac{\text{137Cs の基準線量Hp(3) [Sv]}}{\text{基準照射時の指示値 [Gy]}} \times \end{aligned}$$

137Cs に対する N120 の相対的な校正定数 (1.11)

ここで N120 に対する相対的な校正定数は文献値から引用した値であり、左辺第 1 項の値は本研究で求めた値を採用する。

^{137}Cs 662 keV オンファントム照射 (シリンダーファントム) の照射及び測定結果は表 4 に示すとおりである。

表 4 ^{137}Cs 662 keV オンファントム照射 (シリンダーファントム) での基準照射によるガラス線量計校正定数

投与線量 (mGy) , H	指示値 (mGy) , M	校正定数, H/M
5.0 ± 0.1	4.60 ± 0.03	1.09 ± 0.03

不確かさ : k = 1

この結果より、水晶体等価線量 (3mm 線量当量) の評価は、
水晶体等価線量(3mm 線量当量)[Sv] =

蛍光ガラス線量計指示値[Gy]

×校正定数 ($1.21 \pm 0.03 (=1.09 \times 1.11)$)

となり、この校正定数(補正係数)をガラス線量計読み値に乗じることで妥当な眼の水晶体被ばく線量評価が可能となる。

2) の直接校正定数を与える方法から導出した場合は以下の通りとなる。

水晶体等価線量(3mm 線量当量)[Sv] =

蛍光ガラス線量計指示値[Gy]

×校正定数

であるが、X-ray N-120 E = 100 keV オンファントム照射(シリンダーファントム)で、照射を実施し直接校正定数(Sv/Gy)を試みた。(不確かさ:k=1)

表5 X-ray N-120 E = 100 keV オンファントム照射(シリンダーファントム)での基準照射によるガラス線量計校正定数

投与線量 (mGy), H	指示値 (mGy), M	校正定数, H/M
4.94 ± 0.1	4.18 ± 0.02	1.18 ± 0.03

不確かさ:k=1

水晶体等価線量(3mm 線量当量)[Sv] =

蛍光ガラス線量計指示値[Gy]

×校正定数 (1.18 ± 0.03)

が得られる。

1) 及び2) で試みた校正定数は、文献値を用いた場合でも実験値から直接導出した場合でも不確かさの範囲内で一致している。この点を考慮し、本報告書においてガラス線量計読み値に対する校正定数は、

$1.21 \pm 0.03 (k=1)$

を提案する。

本研究で提案する校正定数の検証、校正手法は令和2年度分担研究報告書で詳細を報

告している。

D. 結論及び今後の課題

本研究事業では、放射線業務従事者の眼の水晶体及び手指部の被ばく線量評価が必須となる特殊な被ばく状況下において、眼の水晶体及び手指部等価線量を適切に評価する手法を開発した。我が国の現状では、放射線業務従事者の被ばくは、特に工業・原子力・学術分野における放射線業務従事者は80%以上が体幹部に装着する個人線量計の検出下限以下の被ばくとなっている。現行の放射線業務従事者への個人モニタリングによると、放射線業務時に体幹部で測定された1cm線量当量を実効線量として外部被ばく線量とし、眼の水晶体及び手指部等末端部等価線量は、体幹部で測定された1cm線量当量及び70μm線量当量から適切なものを推定値としている。本事業では、特に眼の水晶体等価線量の線量限度引き下げに、現行の個人モニタリングが対応可能かどうか、どのような点が問題となるか、修正点はあるのか、等に応えることを目的とした。本事業では、眼の水晶体、末端部等の等価線量を体幹部で測定された1cm線量当量、70μm線量当量等の体幹部被ばく線量と、放射線業務従事者の被ばく状況(線源の位置、線種、体勢、作業時間等)を考慮した、眼の水晶体及び末端部被ばく線量の相関を詳細に検討した。

(1) 除染等業務に従事する作業者の眼の水晶体等価線量の適切な評価

本研究における評価対象である除染等業務に従事する作業者は、東京電力福島第一原子力発電所事故に起因して環境中に放出

された放射性物質によって被ばくするが、除染等業務に従事する作業員の被ばく源となりうる放射性物質について考察を進めた。その結果、除染等業務に従事する作業員の被ばく源となりうる放射性物質は、半減期の長い放射性セシウムの2核種、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs となることが改めて示された。なお、除染等業務は、平成24年度から平成29年度まで継続的に実施されており、令和3年3月時点でも帰還困難区域において除染等作業は実施されている。この間、放射性セシウムはそれぞれの半減期に従い減衰している。そのため、半減期が30年を超える ^{137}Cs に対する ^{134}Cs の割合は時間を経過するごとに変化する。作業員の被ばく評価上、この点を考慮しておく必要がある。

除染等業務に従事する作業員の被ばくについては、主に外部からの被ばくによるものが支配的であることが明らかとなった。

除染等作業のうち、①面的除染及び③森林除染については、いずれも均等被ばく状況と考慮すべきであることが分かった。いずれも、ICRP が定義する照射ジオメトリのうち、回転照射 (ROT 照射) 及び等方照射 (ISO 照射) ジオメトリが最もよく状況を反映しているといえる。②局所除染、及び④除去物の保管等の作業については、除去する対象の分布が実効的に制限されるため、線源が一様に分布する状況から作業員が均一に放射線にばく露される状況である、といえない。これらは、面状線源及び体積線源からの被ばくを考慮することが合理的な評価につながるといえる。

均等被ばく条件での放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比に注目し評価を行った。ROT 及び ISO 照射条件下における体幹部線量に対する眼の水晶体

線量の比は、0.06 ~ 1.25 MeV の γ 線の場合、 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$ は1より大きく見積もられた。これは体幹部で観測された $H_p(10)_{\text{trunk}}$ を眼の水晶体等価線量の推定値とした場合、過小評価することになる。除染等業務に従事する作業員が除染の対象とする核種は前述のとおり放射性セシウムであり、長期的には ^{137}Cs による γ 線が評価対象となる。0.662 MeV の γ 線に対し、 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$ が 1.2~1.3 と評価されていることから、 $H_p(10)_{\text{trunk}}$ を用いて、眼の水晶体等価線量を推定した場合、推定値は、実際に観測される眼の水晶体等価線量に対し 0.83(=1/1.2)倍となることが示唆される。このことは、令和3年4月1日より施行される改正電離放射線障害防止規則における眼の水晶体等価線量の年間線量限度近傍 (年平均で年間 20 mSv または単年度で 50 mSv)、又は除染等事業者が独自に定める被ばく線量管理目標値近傍で被ばくすることが想定される作業を行う場合、具体的な作業が均等被ばく状況であっても、追加線量計を用いる追加モニタリングが必要な作業環境も生じうる。

また、②局所除染、及び④除去物の保管等の作業に従事する作業員の被ばく状況の再現のため、以下の(1)~(6)に関する除染等作業について検討した。

- (1) 雨水枡の除染
 - (2) 住宅の雨樋の除染
 - (3) 住宅地等の側溝の除染
 - (4) 住宅壁面の除染
 - (5) 住宅地のコンクリートブロック塀の除染
 - (6) フレキシブルコンテナ輸送時のタグ付け
- (1) 雨水枡の除染、及び(2) 雨樋の

除染を除き、その他の作業では、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、1.2前後と評価された。これは、前述の均等被ばく状況を想定して評価された値とほぼ等しい。

以上の系統的な評価から、除染等業務に従事した作業者の定常作業における外部被ばくの状況は、作業に従事する時間全体としては、回転照射（ROT照射）条件を想定した均等被ばく状況で十分説明できる可能性があることが示唆される。

（2）産業・学術分野における放射線業務従事者のβ線放出核種による眼の水晶体等価線量の適切な評価に関する研究

本調査では、放射線業務従事者のβ線放出核種による外部被ばくでの、眼の水晶体線量について、令和3年4月1日施行の改正電離放射線障害防止規則で求められる眼の水晶体等価線量の年間限度を遵守する観点で、現行法令での推定が有効に機能するか検討した。現行法令では、電離放射線障害防止規則の第八条の記述に基づき、体幹部に装着された個人線量計の測定で得られた1cm線量当量または70μm線量当量のいずれか大きな値を眼の水晶体等価線量の推定値とすることになる。放射線業務従事者の眼の水晶体等価線量が、不均等被ばくが強調される被ばく状況、またはβ線放出核種による被ばくにより年間線量限度近傍（または事業者の設ける管理基準近傍）まで被ばくする場合、追加モニタリングが必要となる。本調査では、β線源を取り扱う放射線作業について、分担研究者の所属したグループで開発した眼の水晶体の被ばく線量の計算が可能な人体軟組織で構成される数学ファントムを用い、頭部、胸部及び

手指部における個人線量当量をモンテカルロ計算コードPHITS 3.1.7で計算した。得られた体幹部線量に対する、眼の水晶体及び末端部等価線量の比を求めると同時に、放射線作業環境場の線量当量をモニタリングし、その結果と体幹部、眼の水晶体及び手指部線量当量の測定結果とを比較し、それらの相関について議論を進めた。

調査の結果、放射線業務従事者のβ線放出核種による被ばくでの眼の水晶体線量について明らかになった点を以下に記載する。

（1）⁹⁰Sr-⁹⁰Y β線以外の核種としてより高エネルギーβ線放出核種である¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rhを対象に、放射線業務従事者の眼の被ばく線量について、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比を、基本的なジオメトリで評価した。その結果、体幹部に装着した個人線量計からの70μm線量当量が状況により約20倍過大評価するが、保守的な推定値を与えることを示した。また、3mm線量当量の測定値が提供されている場合、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比が、実際の被ばく状況を模擬した場合には、0.9～1.4程度と得られており、3mm線量当量が眼の水晶体等価線量の良い推定値を与えることが明らかとなった。

（2）陽電子放出核種について、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比からは、70μm線量当量が眼の水晶体線量を保守的に見積もる推定値であることが示された一方で、3mm線量当量の値が良い推定を与えることも明らかとなった。

（3）β線放出核種に対する体幹部線量に対する手指部等末端部線量の比について、計算シミュレーションで基礎的な検討を進めた。点線源を眼の高さに掲げた場合には体幹部と線源との距離に依存したが、¹⁰⁶Ru

線源に対しては、比が 0.7~1.1 と見積もられた。このことは、被ばく状況によっては体幹部で観測された 70 μ m 線量当量が手指部等末端部線量の推定値として有効であることを示している。

(3) 医療従事者の眼の水晶体等価線量評価のための実用量測定に使用する線量計校正に関する研究

本研究では、本研究で採用した個人線量計は、前述のとおり本補助金事業で医療従事者の被ばく線量測定に使用されている千代田テクノル社製 Dose Ace 用ガラス線量計 GD352M についての仕様を文献により確認し、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線標準施設棟においてエネルギー特性試験及び角度応答試験を行った。その結果、ガラス線量計指示値からの 3mm 線量当量を「正しく」評価するために不可欠な校正定数を与える手法について検討する。得られた校正定数をガラス線量計の読み値に適応することで、妥当な 3mm 線量当量測定値が得られるかどうか、医療従事者が実際にばく露する状況を再現し、市販の TLD 線量計との指示値の比較を行う事で検討した。

本研究事業で医療従事者の眼の水晶体等価線量算定のために使用されるガラス線量計について前年度から実施しているエネルギー応答特性試験を継続し、ISO 規格の記述通りの特性試験が可能であることが分かった。使用するガラス線量計の応答について、文献値を再現すると同時に IVR 術者が被ばくする X 線のエネルギー範囲で適切な線量読み出し値を与える応答を有することが確認できた。

一連の評価の結果、ガラス線量計の読み値から妥当な $H_p(3)$ を与える校正定数は、
水晶体等価線量(3mm 線量当量)[Sv]
= ガラス線量計指示値 [Gy] \times 1.21 ± 0.03 [Sv/Gy]

と決定できた。本研究で提案する、医療従事者の眼の水晶体に対する被ばく線量を適切に評価するための、ガラス線量計読み値に対する校正定数について、適切な被ばく線量を与えるかどうか、市販の TLD 線量計で得られた応答との比較を行った。ベンチマーク試験では CT 介助者及び IVR 術者を模擬した RANDO ファントムの眼の位置に取り付けた TLD 及びガラス線量計から得られた測定値は、防護眼鏡の着用有無にかかわらず非常によく一致した。TLD 線量計からの測定値に対する、ガラス線量計測定値の割合は、両眼位置の線量計の平均で、CT 介助者を模擬した試験では、 0.94 ± 0.10 ($k=1$) となり、IVR 術者模擬の試験では 0.99 ± 0.15 ($k=1$) であった。TLD 及びガラス線量計測定値に付随する不確かさを考慮すると、両者の測定値に違いがないといえる。

本事業は 3 か年で終了であるが、今後の展開と解決すべき課題について列挙する。

(1) 除染等業務に従事する作業員について、体幹部線量から眼の水晶体の組織等価線量の合理的な評価手法の確立

除染等事業は、平成 29 年度をもって完了しているが、帰宅困難区域の復興のために再建される復興拠点の準備のため、除染作業は今後も継続される。帰宅困難区域の放射性セシウムの沈着量は他の地域と比較しても多いため、作業員に対しては十分な

放射線防護施策がとられるべきである。上述の通り、作業者の年間計画被ばくが、線量限度近傍である場合、眼の水晶体等価線量が意図せずに年間線量限度を超過する可能性がある。このような事態を未然に防ぐ必要がある。

本事業で対象とした線種は、X線・γ線・β線である。放射線業務従事者の被ばくに起因する放射線はこれだけでなく、重粒子及び中性子もある。特に中性子については今後医療分野での放射線治療施設の増加、研究分野での加速器施設の増加等により、医療従事者、研究者、技術者等の放射線業務従事者の中性子による被ばくの機会が増加すると思われる。しかしながら、眼の水晶体等価線量を評価するために必要な知見がほとんどないのが現状である。例えば、中性子による線量計測は他の放射線と比べて特殊であり、線量計測の基準となる物理量が組織等価吸収線量や空気カーマというある物質（空気や組織のような）への沈着エネルギーではなく、中性子束（中性子フルエンス）という単位面積を通過する粒子数で表現する。中性子フルエンス当たりの眼の水晶体に関する3mm個人線量当量が現時点でも公開されていない。同時に適切に眼の水晶体等価線量をモニタリングする個人線量計も存在しない。この点から、特に中性子については、今後の研究の進展が待たれるところである。

眼の水晶体被ばく線量モニタリングのための受動型個人線量計の開発は、様々な機関で精力的に行われている。さらに、能動型個人線量率計の眼の水晶体モニタリングへの適応可能性等についても検討が進められている。同時に、ガラス線量計の使用時に懸念される、医療従事者が装着する防護

眼鏡の鉛等価レンズ自身及びモニタリングの対象となる装着者自身の頭部からの後方散乱成分がどの程度線量計の応答に寄与するかについても検討が進められるべきである。分担研究者による結果では、防護メガネ上に取り付けられたガラス線量計の応答の変化について検証し、以下の結論を得た。

(1) 術者頭部を模擬したシリンダファントムよりバックスキャッター成分が2%追加

(2) 防護眼鏡レンズでファントムからのバックスキャッターが遮へいされるため、20%減少

することが分かった。本研究では、より臨床の実態に近い校正定数として、散乱線測定結果に基づき、平均エネルギーに近いISO N60で得られた結果から、防護眼鏡外側に設置されたガラス線量計指示値への補正係数は、1.36 [Sv/Gy]と推定される。なお、今回導出した補正係数はあくまで本研究班で使用中の防護眼鏡に対するものであるため、線量計、防護眼鏡等の組み合わせごとに生じるものであるため、系統的な調査が行われることが望ましい。

本研究事業でも実施した手指部等末端部モニタリングには課題が残されている。医療分野でも「手技を実施する際に邪魔になるため、できれば着用しないで手技を行いたい」というコメントもある。これは原子力分野においても同様であり、特に緊急時対応で繊細な作業を要求される場合を考慮すると（例として高線量率・高汚染環境下で分電盤内の電気配線を実施する、等）、本事業で試作した手指部モニタリング用パッシブ型個人線量計は、従来利用されていた指リングより小さく、作業性をそこまで損なわない。今後は耐候性及び耐久性の観点

での性能向上が必要であると思われる。

E. 健康危機情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

H. Yoshitomi et al. “Estimation of homogeneity of exposure in terms of eye lens and extremity monitoring prior to radiation works in the nuclear sector”, Radiation Protection Dosimetry 誌、投稿準備中

2. 学会発表

Hiroshi Yoshitomi et al. “Assessment of equivalent dose of the lens of the eyes and the extremities to workers under nonhomogeneous exposure situation in nuclear and accelerator facilities by means of measurements using a phantom coupled with Monte Carlo simulation”, the 14th international congress of the International Radiation Protection Association (May 2016, Cape Town, South Africa)

G. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

H. 引用文献

[1] ICRP, 2012. ICRP statement on tissue reactions/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 41(1/2)

[2] International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3.

[3] European Union (EU). Basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation. Council Directive 2013/59/EURATOM.

[4] 赤羽恵一, 飯本武志, 伊知地猛, 岩井 敏, 大口裕之, 大野和子, 川浦稚代, 立崎英夫, 辻村憲雄, 浜田信行, 藤通有希, 堀田 豊, 山崎 直, 横山須美; 水晶体の放射線防護に関する専門研究会中間報告書 (V) —わが国の各分野における従事者の水晶体被ばく及び防護の現状— Jpn. J. Health Phys., 50 (1), 76 - 89 (2015).

[5] 放射線審議会, 140-1号: 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について

- <http://www.nsr.go.jp/data/000221800.pdf>. Available on 10th March 2021.
- [6] 千代田テクノル ; 「平成 27 年度個人線量の実態」, FBNews No.479,15-18, ('16.11.1 発行) .
- [7] R. Behrens and G. Dietze; Monitoring the eye lens: which dose quantity is adequate? *Phys. Med. Biol.*, 55 (2010), 4047-4062
doi:10.1088/0031-9155/55/14/007
- [8] 一般社団法人日本保健物理学会, 眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン,
<http://www.jhps.or.jp/upimg/files/suisho-tai-guideline.pdf>. Available on 2nd March 2021.
- [9] Hiroshi Yoshitomi et al. “Assessment of equivalent dose of the lens of the eyes and the extremities to workers under nonhomogeneous exposure situation in nuclear and accelerator facilities by means of measurements using a phantom coupled with Monte Carlo simulation”, the 14th international congress of the International Radiation Protection Association (May 2016, Cape Town, South Africa).
- [10] Hiroshi Yoshitomi et al. “QUANTITATIVE ESTIMATION OF EXPOSURE INHOMOGENEITY IN TERMS OF EYE LENS AND
- EXTREMITY MONITORING FOR RADIATION WORKERS IN THE NUCLEAR INDUSTRY”, *Radiation Protection Dosimetry* (2018), pp. 1-10
doi:10.1093/rpd/ncy197.
- [11] International Commission on Radiation Protection. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26(3-4) (1996).
- [12] Yoshitomi, H. and Kowatari, M., “EXPOSURE INHOMOGENEITY FROM 241AM AND 90SR/90Y SOURCES IN TERMS OF THE EYE LENS MONITORING IN THE NUCLEAR FACILITIES”. *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 188, Issue 2, February 2020, Pages 191–198,
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncz275>.
- [13] Tsujimura, N., et al. “Lens Dosimetry Study In 90Sr+90Y beta field: Full-face mask respirator shielding and dosimeter positioning” *Proceedings of the 34th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses*, January 15-17, 2020, KEK, Tsukuba, Japan
- [14] Munehiko Kowatari and Hiroshi Yoshitomi, “Assessment of Inhomogeneity of Exposure to Radiation Workers in Homogeneous

Exposure Situations in Nuclear Industry and Accelerator Facility by Using Monte Carlo Calculations Coupled with a Mathematical Phantom - Exposure to the Lens of the Eye in Homogeneous Exposure Situation Due to Gamma and Beta Rays“, RADIOISOTOPES, 68, 595-603 (2019) . doi: 10.3769/radioisotopes.68.595

[15] 藤淵 俊王, “医療分野における職業被ばくと放射線防護—放射線診療従事者の不均等被ばく管理—”, Jpn. J. Health Phys., 53 (4), 247~254 (2018). DOI: 10.5453/jhps.53.247

[16] E. H. Silva et al. ENERGY AND ANGULAR DEPENDENCE OF RADIOPHOTOLUMINESCENT GLASS DOSEMETERS FOR EYE LENS DOSIMETRY, Radiation Protection Dosimetry (2018), Vol. 182, No. 2, pp. 177–183.

[17] I. Clairanda et al. Use of active personal dosimeters in interventional radiology and cardiology: Tests in laboratory conditions and recommendations - ORAMED project, Radiat. Meas. 46, 1252–1257 (2011).

労災疾病臨床研究事業費補助金

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

分担研究課題

海外諸国の眼の水晶体の線量限度の引き下げの法令への取入れの現状把握及び
臨床現場における医療スタッフの被ばく線量の測定に関する研究

研究分担者 小野孝二 東京医療保健大学 看護学部 教授

研究分担者 山口一郎 国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官

研究分担者 志村勉 国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官

研究分担者 櫻田尚樹 産業医科大学 産業保健学部 教授

研究要旨

- ・ 国際原子力機関のGSG-7など関連文書は有益であると考えられた。
 - ▶ 段階的なアプローチや認証制度の確立が規制整備の課題である。
- ・ 国際原子力機関には医療分野での線量限度超えの事例も報告されており、加盟国の中にはそのような事例の調査結果を公表している例があった。
- ・ 臨床現場における医療スタッフの被ばく線量の測定結果から、眼の水晶体の被ばく線量は、20 mSv/年を上回る可能性も示唆され、適切な防護具の使用、放射線防護についての教育を推進し、業務に取り組む必要があるが、防護装具購入費、被ばく線量管理費、リングバッチの滅菌処理の対応などが課題であった。
 - ▶ 適切な眼の水晶体の被ばく線量の管理及び診療体制の維持・継続のためにも、水晶体線量計を用いた眼の近傍の線量を継続的に実測し、防護策を講じる必要があると考えられた。
- ・ 医療従事者向けの放射線生物学に関する教材として、研究が深められていることが理解できる素材を作成した。

A. 研究目的

わが国での規制整備に資するために、これまでの海外諸国での眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況の調査結果を踏まえて、海外当局での対応事例を調査するとともに関連課題について検討した。

B. 研究方法

以下の研究を行った。

- 1) 国際機関の文書の解析
- 2) 海外諸国の罰則も含む規制整備に関する事例の情報収集
- 3) 眼の水晶体の放射線影響に関する疫

学研究の動向の把握

- 4) 法令の整備に向けた実用量に関する論点整理
 - 5) 現状把握のための統計データの検討
 - 6) 国際原子力・放射線事象尺度レベル2以上の調査
 - 7) 米国における労働者の被ばく線量管理における個人情報保護の取り組みの調査
 - 8) 臨床現場での医療従事者の被ばく線量の調査
- BKP 施術に従事する整形外科医、冠動脈造影および経皮的冠動脈インターベ

ンションに関わる医師、診療放射線技師、造影 CT 検査で介助に関わる医療スタッフ、腎臓内科で血液透析用バスキュラーアクセスのインターベンションによる修復に関わる医師を対象に調査した。

- 9) 防護眼鏡を着用した場合のモニタリング部位による線量の違いの検証
- 1 0) 事後的な線量評価法として L band EPR 装置を用いた方法の検証
- 1 1) 放射線生物学に関する医療従事者向けの教育用素材の作成
- 1 2) クルックス管を用いた放射線授業への対応

(倫理面への配慮)

本研究は、公開されている資料を収集し分析することで行った。医療従事者を対象とした研究は、東京医療保健大学の倫理審査の承認(院 32-48)や国立保健医療科学院の承認(573)及び各実施施設(国立研究開発法人国立国際医療研究センター病院(承認番号: NCGM-G-003656-00)、A 施設)での研究倫理審査を受けて行った。

C. 研究結果

1) 国際機関の文書の解析

眼の水晶体の放射線防護に関する技術文書である TECDOC-1731 など関係する国際機関の文書を調査し、国内にも役立つことを確認した。

2) 海外諸国の罰則も含む規制整備に関する事例の情報収集

国によって取り入れ状況の違いはあるものの、EU では国際機関が策定した要求事項を法令整備において義務化していた。

また、眼の水晶体等価線量評価に関して、IAEA の技術文書に具体的な記載のない管理方策を我が国の放射線作業の実情に合わせて測定の要否、頻度、手法等を検討する必要があるが、そのための整理を行った。

3) 眼の水晶体の放射線影響に関する疫学研究の動向の把握

放射線誘発白内障のリスクに関する疫学研究の動向把握を試み重要と考えられる疫学研究成果を整理した。

4) 法令の整備に向けた実用量に関する論点整理

眼の水晶体の等価線量に係る追加的なモニタリングの対象者と眼の水晶体の等価線量に係る追加的なモニタリングの技術的な基準の課題に関して国際機関の文書での記述を確認した。また、特別の教育の規制のあり方として、電離放射線障害防止対策要綱の経緯を整理した。

なお、ドイツでは排気中濃度限度が低く設定されていたが、これは公衆の皮膚の等価線量限度が律速となっていた。

同様のことがサブマージョン核種では眼の水晶体の等価線量限度の引き下げでも起こりえると考えられた。

救命活動に関して、これまで放射線審議会等では議論の対象とはなっていないが米国 NCRP は報告書 168 の勧告 22 や IAEA の SSG-46 でも医療分野での緊急事態への備えの必要が記されており、これらの取り組みも参考になると考えられた。

5) 現状把握のための統計データの検討

各社において統計上の定義が異なっており、その比較や合算には注意が必要であった。実効線量が 20mSv/年を超えた者

の割合も、測定会社間で異なっているが、データの研究利用が認められていないとして、原因は不明であった。また、千代田テクノルのデータで 2014 年度の線量が高くなっていることの原因も不明なままであった。

6) 国際原子力・放射線事象尺度レベル 2以上の調査

医療分野での線量限度超えの事例も報告されており、報告事例への介入結果の公表例もあった。

7) 米国における労働者の被ばく線量管理における個人情報保護

米国では、事業所からデータの提供を受け、それを Energy Employees Occupational Illness Compensation Program に用いている。労働者の線量管理での Social Security Numbers(SSN)の使用は慎重にすべきとされているが、SSN を使うこともあり、その場合、Privacy Act Information and protect the Personally Identifiable Information (PII)に従い、補償要求に関して、個別 ID が割り当てられていた。

8) 臨床現場での医療従事者の被ばく線量の調査

臨床現場における、医療スタッフの被ばく線量の測定結果から、BKP 施術での線量測定結果から整形外科医の手指の被ばく量は高くなりえるとともに水晶体の被ばく線量は、20mSv/年を上回る可能性も示唆された。循環器内科でカテーテル検査・治療を行う医師と CT 検査時に介助を行う医療スタッフにおいて、眼の近傍で比較的高い放射線被ばくを受けることが明らかとなった。

9) 防護眼鏡を着用した場合のモニタリ

ング部位による線量の違いの検証

防護眼鏡を用いることで線量の不均一さが増し、素子の位置により眼の水晶体の線量を過小評価したり、過大評価したりする。確認した範囲では半分程度の過小評価が生じていた。

10) 事後的な線量評価法としてL

band EPR装置を用いた方法の検証

原子力災害で被災した牛の歯を用いた非破壊的な測定での信号検出に初めて成功した。

患者の介助での放射線曝露はその幾何学的条件が重要となる。近くで介助し一次ビームに入ったり散乱体に近くなることを繰り返すと単純撮影でも線量限度を超えうる。このため、障害歯科領域でも配慮が求められると考えられた。

11) 放射線生物学に関する医療従事者向けの教育用素材の作成

放射線生物学に関する研究の進展が進んでいる。しかし、これらの研究の進展を医療従事者の放射線防護の教材に反映させることが課題となっている。

この資料では医療従事者の疑問に沿ったストーリーとし、放射線に生物影響の解明に向けて研究が進められていることが理解できるような内容とした。

12) クルックス管を用いた放射線授業への対応

X 線装置の免除レベルの取り入れは、かつて放射線審議会基本部会でも課題とされており、日本での規制整備上の課題となっているが、クルックス管のような低エネルギー光子を発生させる装置では、光子エネルギーに応じて制御するリスクに応じて方向

線量当量率の深さに関する免除基準を明確にすべきであると考えられた。

D. 考察

1) 国際機関の文書の解析

眼の水晶体の放射線防護に関する技術文書である TECDOC-1731 を現場に適用する際の基本になるものとして、日本でも役立つと考えられた。国内規制整備の課題としては、基本的な枠組みでの段階的なアプローチや認証制度の確立や、対策を講じる手順としての意思決定支援技術、線量拘束値や調査レベルの確立が課題であると考えられた。

2) 海外諸国の罰則も含む規制整備に関する事例の情報収集

欧州の取り組みからも、今後、IAEA の GSR part3 や GSG-7 を利用した規制整備が有益であると考えられるが、規制面では、Graded approach の適用が課題になると考えられた。

3) 眼の水晶体の放射線影響に関する疫学研究の動向の把握

100 mGy 未満に限定しても白内障リスクと線量関係が検出され、後囊下以外に、皮質や核でも白内障リスクが見いだされていることに着目すべきであると思われた。

4) 法令の整備に向けた実用量に関する論点整理

眼の水晶体の等価線量に係る追加的なモニタリングの対象者と眼の水晶体の等価線量に係る追加的なモニタリングの技術的な基準が課題となっているが国際機関の整理に沿った対応が良いのではないかと考えられた。

また実用量の現場適用例として救急救命士の医療機関での実習の放射線管理のような課題もこの研究班の成果を取り入れて関係者間で合意形成を図ることが望まれる。

5) 現状把握のための統計データの検討

日本の実情を把握するためには事業所から特に線量が高い労働者の収集を行うことが求められ、その際に収集するデータの様式を整える必要があると考えられた。

6) 国際原子力・放射線事象尺度レベル 2以上の調査

電離則では、線量限度を超えたときの報告義務が規定されており、この報告に基づく調査とその結果の公表が有用かもしれない。

7) 米国における労働者の被ばく線量管理における個人情報保護の取り組みの調査

米国では社会的に議論し制度運営がなされており、利害関係者を巻き込んだ議論による制度構築が望まれる。

8) 臨床現場での医療従事者の被ばく線量の調査

適切な防護具の使用、放射線防護についての教育を推進し、業務に取り組む必要があるが、防護装具購入費、被ばく線量管理費、リングバッチの滅菌処理の対応などが課題であった。適切な眼の水晶体の被ばく線量の管理及び診療体制の維持・継続のためにも、水晶体線量計を用いた眼の近傍の線量を継続的に実測し、防護策を講じる必要があると考えられた。

9) 防護眼鏡を着用した場合のモニタリング部位による線量の違いの検証

眼の水晶体の線量の過小評価を避けるた

めには素子はできるだけ外側に装着するのがよいかもしれない。

1 0) 事後的な線量評価法としてL

band EPR装置を用いた方法の検証

この方法はこれまで歯科放射線診療、放射線治療、全身照射を受けた患者だけではなく、長年 ERCP に従事していた看護師からも信号が検出されており、労働者の事後的な線量評価でも活用できると考えられた。

1 1) 放射線生物学に関する医療従事

者向けの教育用素材の作成

放射線により生体が影響を受けることはリスク認知を高めることも考えられるが、放射線によってもたらされた生体内での反応に対して生命が対応する機能を持っていることの解明も進んでいることを伝えることで業務への取り組みにより影響を与えることを期待したい。

1 2) クルックス管を用いた放射線授

業への対応

X線装置の免除レベルの導入だけではなく教員や中学生に対する線量拘束値をステークホルダーの参画のもとに設定することが課題となると考えられた。

E. 結論

- ・ 国際原子力機関の GSG-7 など国際機関の関連文書は有益であると考えられた。
- ・ 段階的なアプローチや認証制度の確立が規制整備の課題である。
- ・ 国際原子力機関には医療分野での線量限度超えの事例も報告されており、加盟国の中にはそのような事例の調査結果を公表している例があった。

- ・ 臨床現場における医療スタッフの被ばく線量の測定結果から、眼の水晶体の被ばく線量は、20 mSv /年を上回る可能性も示唆され、適切な防護具の使用、放射線防護についての教育を推進し、業務に取り組む必要があるが、防護装具購入費、被ばく線量管理費、リングパッチの滅菌処理の対応などが課題であった。

➤ 適切な眼の水晶体の被ばく線量の管理及び診療体制の維持・継続のためにも、水晶体線量計を用いた眼の近傍の線量を継続的に実測し、防護策を講じる必要があると考えられた。

- ・ 医療従事者向けの放射線生物学に関する教材として、研究が深められていることが理解できる素材を作成した。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Yamaguchi I , Inoue K, Natsuhori M, et al. L-Band Electron Paramagnetic Resonance Tooth Dosimetry Applied to Affected Cattle Teeth in Fukushima. Appl. Sci. 2021, 11(3), 1187; <https://doi.org/10.3390/app11031187>
- 2) Hirota S, Gonzales CAB, Yasuda H, Yamaguchi I, Toyoda S. Electron spin resonance signal of human nails: increase after irradiation. J Radioanal Nucl Chem [Internet]. 2021; Available from:

<https://doi.org/10.1007/s10967-020-07540-8>

- 3) 川口 勇生, 山口 一郎, 安東 量子, 甲斐 倫明, 吉田 浩子, 佐々木 道也. JHPS 国際シンポジウム: トリチウム問題をいかに解決するべきか? — 国際的視点および社会的視点から見た放射線防護 — . 保健物理 2020;55(4): 173-182.
- 4) Yamaguchi I. What can radiation protection experts contribute to the issue of the treated water stored in the damaged Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant? J Radiat Prot Res 2021;46(1): <https://doi.org/10.14407/jrpr.2020.00206>
- 5) 山口 一郎. 医療放射線の安全管理に責任を持つ担当者を国際原子力機関はどう規定しているか? 医療放射線防護; 2020. (82), 44-46.
- 6) 山口一郎. 医療放射線の安全管理に関する規制整備の議論から 線量の記録などどう向き合うべきか. 医療放射線防護 2018 ; (79) : 20-21.

2. 学会発表

- (1) Yamaguchi I, Ono K, Kunugita N. Radiation safety issues regarding X ray emittable devices below 10 kV applied voltage. IRPA15;2021. 1. 18-2. 5. 大韓民国 (オンライン) . T3. 7-0172, Congress abstract. p. 270.
- (2) Ono K, Kumasawa T, Shimatani K, keiichi, Kanou M, Yamaguchi I

and Kunugita N. Radiation dose distribution of the surgeon and medical staff on orthopedic Balloon Kyphoplasty in Japan. IRPA15;2021. 1. 18-2. 5. 大韓民国 (オンライン) . T4. 2-1174, Congress abstract. p. 531.

- (3) H. Hirata, Yamaguchi I, M. Miyake. Overview of electron paramagnetic resonance-based human tooth dosimetry. M. Miyake. 4th Conference on Nuclear Analytical Techniques (NAT2020) Jointed with 6th Symposium on Radiation in Medicine, Space, and Power (RMSP-VI); 2020. 11. 12-2020. 11. 13. 大韓民国 (オンライン) . R0-1.
- (4) 山口一郎, 中井康博, 三宅実, 廣田誠子, クリーゼル ゴンザレス, 保田浩志, 井上一彦. 人の臼歯を対象にしたL;電子スピン共鳴法を用いた線量測定法における歯の幾何学的な条件が及ぼす影響. ESR 応用計測研究会等合同研究会 2月 19-20日
- (5) 山口一郎, 秋吉優史. 教育現場でのX線発生を伴う装置の放射線安全 IAEA の DS470 に関する検討. 第 19 回日本放射線安全管理学会; 2020. 12. 9-2021. 1. 8、オンライン、講演要旨集. p. 86(P21)
- (6) 角山雄一, 佐瀬卓也, 山口一郎, 保田浩志. 海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集. 日本放射線安全管理学会; 2020.12.9-2021.1.8、オンライン、講演要旨集. p.57

- (7) 秋吉 優史, Do Duy Khiem, 安藤 太一, 松本 亮, 宮川 俊晴, 掛布 智久, 岡本 泰弘, 伊藤 照生, 山口 一郎. 暫定ガイドラインによるクルックス管からの漏洩 X 線量抑制の検証. 日本保健物理学会第 53 回研究発表会 ; 2020.6.29-30、オンライン、講演要旨集. p.80
- (8) 山口 一郎, 南 佑子, 塚本 豊浩, 中井 康博, 三宅 実, ゴンザレス・クリーゼル, 廣田 誠子, 保田 浩志. スペシャルニーズ歯科での放射線管理. 日本保健物理学会第 53 回研究発表会 ; 2020.6.29-30、オンライン、講演要旨集. p.64
- (9) 秋吉優史、宇藤茂憲、掛布智久、神野郁夫、小林育夫、谷口和史、野村貴美、藤淵俊王、宮川俊晴、山口一郎、横山須美. 低エネルギー X 線の評価と安全管理に関する問題点と現状日本放射線安全管理学会. 第 17 回学術大会 ; 2018 年 12 月 5-7 日、東京、講演集. p19
- (10) 谷口 和史、青木 久美子、秋吉 優史、川島 紀子、小鍛冶 優、森山 正樹、宮川 俊晴、山口 一郎. 教育現場での実態測定結果報告. 第 17 回学術大会 ; 2018 年 12 月 5-7 日、東京、講演集. p21
- (11) 藤淵 俊王、秋吉 優史、小林 育夫、多田 順一郎、谷口 和史、山口 一郎. 低エネルギー X 線の放射線安全管理. 第 17 回学術大会 ; 2018 年 12 月 5-7 日、東京、講演集. p22
- G. 知的所有権の取得状況
1. 特許取得
なし
 2. 実用新案登録
なし
 3. その他
なし

労災疾病臨床研究事業

分担研究報告書

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

労働安全衛生マネジメントシステムの応用した

医療機関における放射線防護マネジメントシステム導入支援プログラムの開発

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)

研究要旨

【目的】水晶体に対する放射線被ばくの線量限度の低減によって、医療機関において被ばく管理の徹底が必要となっている。そこで、労働安全衛生マネジメントシステムへの拡張を前提として、放射線防護マネジメントシステム(Radiation Protection Management System: RPMS)のモデル構築と導入支援研修プログラムの開発を行った。**【方法】**不均等被ばくのモニタリングや被ばく管理等の知見をもとに、医療従事者の放射線防護のための管理手法へのマネジメントシステムの応用のあり方を検討した。次に、①リスクアセスメント手法の確立、②システムマニュアルの作成、③下位文書の作成に分けて議論を行い、RPMS のモデル文書体系の作成を行った。そして、研修を通じてマネジメントシステムの概要および RPMS の各要素を理解するとともに、提供したモデル文書体系を各医療機関において自機関に合った形で修正し、文書体系の大枠を完成できることを目標とした研修プログラムを開発し、研修を試行した。

【結果】マネジメントシステムを活用して医療従事者の放射線被ばく管理を行うことは、マネジメントシステムの骨格と安全衛生リスクの管理の手法を組み合わせ、運用することに他ならない。そのことを前提に、システムマニュアル、要領、基準、様式から成る RPMS モデル文書体系を作成した。そして、全3回の研修プログラムを作成し、16 の医療機関に対して試行実施し、比較的高い評価を得るとともに、研修後に何らかの改善が図れていた。

【結論】 RPMS のモデル文書体系を作成し、医療機関におけるシステム導入を支援するためのプログラムを開発した。試行実施では、受講者から一定の評価を受けたが、今後、導入状況も含めて確認して、プログラムの有効性を評価するとともに、改善を図る必要がある。

研究協力者 (* 産業生態科学研究所放射線衛生管理学研究室)

中上晃一 産業医科大学病院放射線部*

永元啓介 産業医科大学病院放射線部*

阿部利明 産業医科大学アイソトープ研究センター*

松崎 賢 新小文字病院放射線科*

茂呂田孝一 新小文字病院放射線科*

酒井洸典 産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学

末吉尚純 産業医科大学産業生態科学研究所産業保健経営学

A. 研究目的

放射線被ばくは、医療機関に従事する医師や放射線技師等の労働者の主要な健康障害要因として位置づけられる。水晶体に対する被ばく線量限度の低減によって、被ばく管理の徹底が必要となっている状況においては、マネジメントシステムの導入が有効と考えられる。当然のことながら、医療従事者が曝される危険有害要因には、放射線以外にも様々なものがある。そのため、他の安全衛生上の要因を併せて管理するための労働安全衛生マネジメントシステム(Occupational Health and Safety Management system: OHSMS)への拡張を前提として、放射線防護マネジメントシステム(Radiation Protection Management System: RPMS)の導入が望ましい。

OHSMSの国際規格ISO45001が、2018年3月に発行された。そのため、RPMSの開発にあたっては、ISO45001との整合性を保ったものとするのが妥当である。

しかし、RPMSの開発および導入は、他の分野を含むマネジメントシステム導入の機会が少ない医療機関においては困難が伴う可能性がある。そこで、文書体系を含むRPMSモデルを構築するとともに、導入支援研修プログラムを開発することを目的として、3年間の研究を行った。

B. 研究方法

1年目には、他の分担研究で検討されている不均等被ばくのモニタリングや被ばく管理等の知見をもとに、医療従事者の放射線防護のための管理手法へのOHSMSの応用のあり方を検討した。

2年目には、①リスクアセスメント手法の確立、②システムマニュアルの作成、③下

位文書の作成に分けて、研究班メンバーの議論を行い、ISO45001との整合性のとれたRPMSのモデル文書体系の作成を行った。

3年目には、医療機関の放射線防護管理の担当者が、研修を通じてマネジメントシステムの概要およびRPMSの各要素を理解するとともに、提供したモデル文書体系を各医療機関において自機関に合った形で修正し、文書体系の大枠を完成できることを目標とした研修プログラムを開発し、研修を試行し、その評価を行った。

C. 研究結果

1. 医療従事者の放射線防護のための管理手法へのOHSMSの応用のあり方の検討

マネジメントシステムの骨格は、基本方針、体制、目標、計画、評価、監査、マネジメントレビュー、改善である。組織が何を達成しようとするのか、その目的を組織トップが基本方針として表明し、それを組織内外に周知するとともに、目的達成を可能とするシステムを構築する。その際に用いるのが、マネジメントシステム規格である。しかし、マネジメントシステム規格は業種にかかわらず利用可能な設計図であり、その中には具体的な活動の記述はほとんどない。そのため目的達成のために必要な体制や取組について、基本方針を具体化して各組織で検討する必要がある。

医療従事者の放射線被ばくは、存在する安全衛生リスクの一つであり、労働安全衛生分野で用いられるリスク管理手法の原則を利用することが妥当である。安全衛生リスクの管理のために必要な実施事項をマネジメントシステムに載せるためには、以下のいずれかに分類する必要がある。

① 安全衛生リスクを評価したうえで、リ