

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

令和元年度 総括・分担研究年度終了報告書

研究代表者 櫻田尚樹

令和 2 (2020) 年 3 月

I. 総括研究年度終了報告

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

櫻田尚樹 ----- 1

II. 分担研究年度終了報告

1. 医療現場での線量評価と医療実施との最適化に関する研究

永元啓介・中上晃一・茂呂田孝一・松崎 賢・阿部利明・盛武敬・櫻田尚樹

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 ----- 19

2) 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～ ----- 42

3) 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 ----- 46

4) 血管撮影に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査 ----- 50

5) 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 ----- 54

6) 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 --- 57

7) 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～ ----- 62

参考資料：阿部利明修士論文 ----- 71

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 ----- 123

3. 学術分野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に関する研究

古渡意彦 ----- 135

4. 放射線業務従事者の眼の水晶体等価線量の線量計測に用いる線量計校正に関する動向調査

古渡意彦 ----- 160

5. 医療従事者の眼の水晶体等価線量の線量評価のためのCT装置からの散乱X線スペクトル測定

古渡意彦 ----- 168

6.	医療従事者の放射線防護への労働安全衛生マネジメントシステムの応用 森 晃爾	174
7.	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 小野孝二・山口一郎・志村勉・狩野真利・熊沢貴史	209
	参考資料：狩野真利，熊沢貴史修士論文	217
III.	研究成果の刊行に関する一覧表	251

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

I. 総括研究報告

令和元年度労災疾病臨床研究事業費補助金
総括研究年度終了報告書

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

研究代表者 榎田尚樹 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である。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などを検討していく必要がある。一方で、これらを実施導入するにあたっては、過度な対応や就業機会の制限につながることなどが無いように、最適化を図り、幅広いステークホルダー間の理解と協力を得られる環境を作り、現場適応への課題を整理することが必須である。

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における倫理委員会に申請・承認を経て実施した。

1. 医療現場での線量評価と医療実施との最適化に関する研究

・蛍光ガラス線量計を用いた検査 1 件毎の水晶体被ばく線量評価と線量低減対策

医療現場において、高感度な蛍光ガラス線量計を郵送し検査毎の被ばく線量評価と、検査実施時の X 線発生装置の条件や検査時の写真を送付してもらうことで、線量評価とともに、線量低減の介入実施の妥当性を検証・実証した。

上記手法を用い、各関連学会より推薦いただいた 59 施設より前年度までの実績で水晶体線量の高い 15 施設 17 名の医師を対象に、十分な放射線防護措置を実施することにより、新たな眼の水晶体の等価線量限度を遵守することが可能か検証した。

その結果、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対象者全員において、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。

なお、調査の過程において、線量計装着が適切に実施されていない状況が観察された。

合わせて、現在市販されている代表的な高機能・最新型防護眼鏡の実臨床での遮蔽効果とその使用感に関する調査を実施し、課題を抽出した。

その他、ERCP、脊髄腔造影、血管撮影、ミエログラフィなど様々な医療現場での医師、および看護師の被ばく実態を評価するとともに、防護方法の改善例を示した。

・0.75mm鉛当量防護眼鏡の臨床評価

適切な保護具の開発・検証のために、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。防護眼鏡の遮蔽率は約 80%であった。一方、80g とかなり重く密閉性が高く曇りやすいと、医師からの指摘もあった。

・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、有用であることを示した。

・ガラス線量計の応答特性評価

本研究班が開発した線量計の値から、装着した医療従事者の水晶体等価線量を紐付けするため、線量計に与えられる適切な校正定数が必要である。今年度は、ガラス線量計応答のエネルギー及び角度分布特性の文献及びシミュレーション計算による調査を進め、使用するガラス線量計のエネルギー応答特性が、国際規格 IEC 62387:2012 に定める基準値内に入るとともに、ISO 規格を満たすことが分かった。

2. 学術分野の加速器施設におけるシミュレーション

不均等被ばく状況を網羅的に調査するため、今年度は学術分野において加速器施設に簡易物理ファントムを置いて OSL 線量計を取り付け放射線作業を模擬し、体幹部線量に対する目の水晶体等価線量・末端部等価線量の比について測定を行った。その結果、眼の水晶体線量が体幹部線量と近い一方で手指についてはなんらかの防護対策を取るべきであることが示唆された。

3. “放射線防護マネジメントシステム” の提唱と実践

放射線被ばくマネジメント手法の検討と、放射線防護マネジメントシステムの開発、及び導入に際しての課題の整理を行った。基本方針として、①法定の線量限度を厳守すること、②被ばく量を可能な限り低減すること、関連法令を確実に順守することを目的として定め、リスクアセスメント手法として、放射線照射機器、診療行為の種類および職員ごとの作業の 3 つの側面から標準的な管理手法を決定したうえで、前年度の線量実績をもとに被ばく線量を推定して調整するという方法を開発した。さらに、管理手法を確実に実行し、継続的改善を図るための仕組みとして、システムマニュアルと各種下位文書から成る放射線防護マネジメントシステムの文書体系を作成した。

4. 海外諸国での眼の水晶体の新しい線量限度の取り入れ状況に関する動向調査

対象国は、G7 とし線量限度や罰則などの情報を収集した。

水晶体の等価線量限度引下げ状況は、米国は 2016 年 12 月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であったが、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは 5 年間の経過措置が講じられていた。

罰則に関しては、各国において、歴史的な経緯も踏まえ規制が整備されていると考えられた。

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。

研究分担者

盛武 敬	産業医科大学 産業生態科学研究所 放射線健康医学 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 日本原子力研究開発機構原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 主査
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

阿部利明	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
茂呂田孝一	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
中上晃一	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
永元啓介	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
松崎 賢	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
稻葉洋平	東北大学災害科学国際研究所 助教
狩野真利	東京医療保健大学大学院大学院生
熊沢貴史	東京医療保健大学大学院大学院生

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”を提唱する。

また、EU 加盟国等すでに規制を取り入れた地域・国における、取り入れ前後の情

報を確認した。

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す。具体的には、

- 1) 水晶体被ばく線量評価手法の開発と実態調査【初年度-2年目】
- 2) 放射線防護への労働安全衛生マネジメントシステムの応用【全期間】
- 3) 海外諸国の取入れに関する実例の情報を収集【初年度-2年目】
- 4) 放射線被ばくと白内障発生の基礎的知見の整理【初年度中心】

を検討することとした。

B. 研究方法

1. 医療現場での線量評価と医療実施との

最適化に関する研究

医療分野においては、X線による透視をしながら手技を行うIVR（Interventional Radiology）と呼ばれる分野では、患者からの散乱X線により他の分野よりも相対的に高い線量の水晶体の被ばくが発生している。また、近年、使用する機器の進歩とともに、手技が高度化・複雑化しており、透視時間が伸びたり、撮影回数が増加する場合に、IVRの術者となる医師の水晶体の被ばく量が高くなりやすい傾向がある。

そのほか、一部のCT検査では、医療従事者（医師、看護師、診療放射線技師等）がやむを得ず患者を介助して被ばくする回数が多い場合には、水晶体の被ばく量が高くなりやすい。

そのため、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を実施した。

現在不均等被ばくは、胸部（女子は腹部）と頸部の2カ所の個人被ばく線量計により積算線量を測定しているが、医療現場のIVR等での被ばく状況を反映しているか不明な点が多い。また、1ヶ月の積算値では「いつ、どこで、どのような状況で被ばくしたのか」が分からぬため、効果的な被ばく低減策を講じることができない。

そこで、本研究では、蛍光ガラス線量計を用いて「症例毎の被ばく線量」を明らかにし、より詳細な被ばく状況および線量低減対策の把握を可能にした。

具体的には、日本放射線医学会・日本IVR学会、日本整形外科学会、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から推薦された医師の中から、前年度までの実績で水晶体線量の高い15施設17名の医師を対象に、十分な放射線防護措置を実施することにより、水晶体の等価線量限度を5年間の平均で20 mSv/年かつついぞの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が可能か検証した。

同様に、ERCP、脊髄腔造影、血管撮影、ミエログラフィなど様々な医療現場での医師、および看護師の被ばく実態を評価するとともに、防護方法の改善例を示した。

合わせて、市場でサービスが開始されている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評価した。

また、防護眼鏡の臨床評価を行った。

さらに、本研究班が開発した線量計の値から、装着した医療従事者の水晶体等価線量を紐付けするため、線量計に与えられる適切な校正定数が必要であり、ガラス線量計の応答特性評価を行なった。

加えて、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効果の検証を行なった。

2. 学術分野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に関する研究

学術分野における加速器施設で放射線業務に従事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から適切な等価線量評価手法について検討した。

3. 医療従事者の放射線防護への労働安全衛生マネジメントシステムの応用

前年度の研究において、放射線防護の取り組みのために、労働安全衛生マネジメントシステム（OHSMS）の導入を前提とした取組の考え方を検討した。これを受けて、本年度はすでにOHSMSが導入されている医療機関において、放射線防護を目的としたマネジメントシステム（MS）の文書体系の作成を試みた。

放射線防護MSの文書体系について、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、組織

の状況に合った文書体系を作成した。

4. 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に関する動向調査

わが国での規制整備に資するために、G7を対象とし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。

(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. 医療現場での線量評価と医療実施との最適化に関する研究

1) 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（分担報告書 II-1-1）

調査期間は、2019年4月から7月までに15施設を対象に実施した。調査対象者は、各学会より推薦を受けた医師17名とした。

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、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20mSv以下に保つことが可能であった。

2) ERCPにおける術者水晶体被ばく低減

(分担報告書 II-1-2)

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件となり、通常の年間実施症例数と比較すると、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。

3) 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（分担報告書 II-1-3）

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。

その結果、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 $148 \mu\text{Gy}$ （n=97）であるが、防護眼鏡を装着することで中央値 $67 \mu\text{Gy}$ （55%低減）に、遮蔽体（防護衝立）を追加することで、中

央値 $23 \mu\text{Gy}$ (83%低減), 更に低線量モードを適用することで中央値 $12 \mu\text{Gy}$ (92%低減)となった。

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。

4) 血管撮影に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査 (分担報告書 II-1-4)

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, 頭頸部用個人線量計を用いて測定した月毎の不均等被ばく測定結果の水晶体等価線量と, 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。

その結果, 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。

5) 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 (分担報告書 II-1-5)

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) に装着し, 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, 4名の腹部線量は $1.4\text{--}2.4 \mu\text{Sv}$ 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 ± 0.58 , 2.33 ± 1.31 (mean \pm SD) μSv 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。

そのほか, 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, $20 \text{ mSv}/\text{年}$ を上回る可能性も示唆され, 適切な防護具の使用, パルス透視モードの選択, 散乱体からの距離の確保が必要であり, 手術スタッフへの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, リングバッジの滅菌処理の対応などが課題であった。

6) 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 (分担報告書 II-1-6)

IVR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, 実際には適切な防護具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）と增加了。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。

7) 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～（分担報告書II-1-7）

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、参考にできる情報として、水晶体等価線量と実効線量との比（以下「線量比」という。）の実態を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調査した。

線量比は調査した特定機能病院では、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。

8) 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)（分担報告書II-2）

i) 0.75mm鉛当量防護眼鏡の臨床評価：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。参加

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。

ii) 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（R₂=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ドジリス是有用であることを示した。

iii) 冠動脈形成術（PCI）施行医師の実臨床での評価（検査1件毎の水晶体線量測定）：

PCI医師において、左目の線量が最も高い結果となり（1件あたり平均で 0.1 mGy 以上、鉛防護眼鏡無しの状態），左目の線量は最大で右目の約22倍となった。したがって、水晶体線量を安全側には評価するために線量計を左目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。

9) ガラス線量計の応答特性評価（分担報告書II-4, II-5）

放射線業務従事者の水晶体等価線量算定に用いられる線量計の校正に関する国際規格の記載内容を中心に調査した。放射線防護及び線量計測については、国際間の規格を策定する機関には、大きく国際電気標準会議（IEC）と国際標準化機構（ISO）がある。

IS04037 seriesでは、2019年に最新版が発刊され、線量計が正しく動作するために

必要な線量計の校正に関する要件があり、眼の追加モニタリングで評価される実用量とされる3mm線量当量の換算係数が追加された。

IEC IEC62387:2012「X・ γ 線及び β 線用受動形個人及び環境線量計測装置」でも改訂が行われ、眼のモニタリングに使用される受動型個人線量計の技術仕様に係る要求事項が追記されている。

さらに医療従事者における主たる被ばく源となるX線撮影装置等から散乱されて生じる散乱X線成分を、スペクトル解析装置を用いて実際に測定することにより評価した。

波高分布から推定される散乱X線の平均エネルギーは、防護眼鏡ありで63 keV、眼鏡無しで60 keVであった。一方で、散乱X線スペクトルから推定される散乱X線の平均エネルギーは、眼鏡ありで62 keV、眼鏡無しで58 keVであった。

2. 学術分野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に関する研究（分担報告書 II-3）

1) 加速器施設における放射線業務従事者の被ばく形態について検討した。

いずれの加速器においても、放射線業務従事者の内部被ばくを考慮する状況は限られており、大規模加速器施設であるJ-PARCにおける特殊な放射線作業で検討されていた。

2) 加速器施設における放射線業務従事者の被ばく状況について聞き取り調査を行った。小規模な電子加速器施設の場合、外部被ばくが支配的であり、被ばく源は種々の核反応で生じる放射性物質からの γ 線によるものであった。また、加速器ターゲット交換作業を行う場合には、状況により不均等被ばくが考慮されることが分かった。

3) 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、小規模加速器施設である京都大学複合原子力研究所ライ

ナック施設における不均等被ばく状況の放射線作業を模擬した作業環境において実験的に評価した。不均等被ばく状況の作業環境として、ビームコンバーター近傍での機器調整及び中性子発生用Taターゲットハンドリング作業を選択した。評価の結果、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、それぞれ機器調整の場合3.1、ターゲットハンドリング作業の場合0.4であった。このことは、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は、ISO publication 75 のいうfactor 1.5程度で推定できる範囲を超えていた。特に体幹部線量が年間線量限度近傍の場合、十分な対策が取られる必要がある。

3. 医療従事者の放射線防護への労働安全衛生マネジメントシステムの応用（分担報告書 II-6）

1. リスクアセスメント手法の確立：総合リスクの評価を、（放射線照射機器のリスクアセスメント点数+診療行為のリスクアセスメント点数+職員のリスクアセスメント点数+昨年度の個人被ばく実績の点数）として、合計点数ごとにI～IVのリスクに分類する方法を開発した。

2. マネジメントシステムマニュアルの開発：基本方針を明確にしたうえで、将来のOHSMSへの統合を前提としたOHSMSマニュアルの骨格を使用して作成した。

3. 下位文書の作成：新たに、放射線防護検討委員会・技術部会運営要領、放射線被ばくリスクアセスメント実施要領、想定事象発生時対応要領を作成し、その他は既存のOHSMSの下位文書を一部改変して利用することとした。

4. 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に関する動向調査（分担報告書 II-7）

眼の水晶体の新しい線量限度の取り入れ状況は、米国は2016年12月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であったが（2020年2月現在）、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは5年間の経過措置が講じられていた。

各国の規制では、歴史的な経緯も踏まえ事業者への罰則に関しても整備されていた。

日本では、本研究班などで実情を把握した結果、一部の医療従事者に関しては、雇用主側ではなく労働者の意向を尊重し、経過措置が講じられる予定となっており、その対象者の選定なども規制整備上の課題となり得るが、労働安全衛生マネジメント・システムを現場で機能させることができが肝要であり、労働安全は雇用主と労働者の協調も求められることから、労働者の意向にも配慮した上で、雇用主が果たすべき役割に関して罰則が適用されるようにルール整備することが望ましいと考えられた。

医療分野の特性を考慮して国際的な考え方方に沿った規制整備も求められると考えられた。

D. 考察

1. 医療現場での線量評価と医療実施との最適化に関する研究

医療現場において実態調査をしたところ、防護装具の不適切な使用が認められた。そこで、医療施術領域ごとの被ばく実態、防護メガネ、遮蔽板等の防護策を組み合わせた介入による線量低減効果等を示した。

介入前の現状の診療における放射線防護方法下では、頭・頸部に装着した個人線量計により算定される水晶体等価線量が20 mSv/年を超えていた医師は、17名のうち4名存在し、最大値が75.3 mSv/年であった。

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、17名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。

ERCP検査においては、年間200件程度の件数であれば、X線条件の見直しを行い、防護クロスの使用あるいは防護眼鏡の使い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、さらに両方を併用すれば20mSvを超えることはまずない。

脊髄腔造影においては、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て使用することで効果的な線量低減に繋がった。

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が、新線量限度20mSv/年を超えることはなかった。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。

水晶体等価線量と実効線量との「線量比」は、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、5以上となることが計算により求められるが、調査の結果は、実態に則した適正値であることが確認できた。線量比の適正値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、活用できることを示した。

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. 医療従事者の放射線防護への労働安全衛生マネジメントシステムの応用

マネジメントシステムが成果を上げるために、システムの導入、運用、有効性の検証が必要となる。そのうえで、病院全体のOHSMSへの統合が必要となるが、それについて存在する課題について考察した。

放射線防護マネジメントシステムの文書体系を作成した。今後に予定されている本システムの導入、運用および評価、さらにはOHSMSへの統合に向けて、様々な課題が存在しており、課題解決のための取り組みが必要と考えられる。

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。検討会の最後に座長からは、政策立案においてEBPM, Evidence Based Policy Makingを踏まえて、検討期間中に調査研究が行われ、大変大きな意義があるものであったと、本研究班の成果報告について、改めて言及され

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。

F. 健康危険情報
なし

G. 研究発表

1. 論文発表

【原著論文】

- 1) 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 : https://doi.org/10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.2.210
- 2) 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 Jan 10. pii: ncz298. doi: 10.1093/rpd/ncz298. [Epub ahead of print]
- 3) 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
*Corresponding Author
- 4) 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.
- 5) 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

【総説】

- 1) 檜田 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.
- 2) 檜田 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.
- 3) 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.

【著書】

- 1) 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) 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
- 2) 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.
- 3) Nakagami K, Moritake T, Nagamoto K, Saruwatari H, Abe T, Morota K, Matsuzaki S, Kunugita 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.
- 4) Hitomi G, Matsubara S, Moritake T, Mura M, Matsumoto H, Kusachi F: Optimizing Tadiation 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.
- 5) 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. シンポジウム；仙台, 12月4-7日, 2019
- 6) 熊沢貴史, 小野孝二, 嶋谷圭一, 狩野真利, 山口一郎, 櫻田尚樹. 整形外科領域におけるBalloon kyphoplasty 施術中における術者およびスタッフの被ばく線量評価と放射線防護策についての考察. 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；仙台, 12月4-7日, 2019, 講演集. P68
- 7) 狩野真利, 小野孝二, 山口一郎, 櫻田尚樹, 嶋谷圭一, 熊沢貴史. ICRP勧告に基づく職業被ばくにおける水晶体線量限度の取入れに関する国外動向調査. 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；仙台, 12月4-7日, 2019, 講演集. P184
- 8) 秋吉 優史, DO Duy Khiem, 藤淵 俊王, 橋本 周, 古田 琢哉, 松田 尚樹, 榎本 敦, 大谷 浩樹, 伊藤 照生, 飯本 武志, 加藤 昌弘, 山口 一郎. 「教育現場における低エネルギーX線を対象とした放射線安全管理に関する専門研究会」活動報告. 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；仙台, 12月4-7日, 2019, 講演集. P68
- 9) 山口一郎, 秋吉優史. 中学校や高等学校等で用いるクルックス管の放射線安全規制の課題. 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；仙台, 12月4-7日, 2019, 講演集. P73
- 10) 藤淵 俊王, 秋吉 優史, 松本 亮, 山口 一郎, 古田 琢哉. シミュレーションによる線量評価の試み クルックス管プロジェクトシリーズ発表. 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；仙台, 12月4-7日, 2019, 講演集. P74
- 11) 河野恭彦, 服部隆利, 山口一郎, 横山須美, 中野裕紀, 佐藤紀子, 工藤ひろみ, 野村直希, 迫田晃弘, 内藤航, 黒田佑次郎, 吉田浩子. 福島事故後に住民に提供された資料の分析とその評価方法の検討. 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；仙台, 12月4-7日, 2019, 講演集. P165
- 12) 秋吉 優史, 山口 一郎, 橋本 周, 飯本武志, 小鍛治 優, 森山 正樹, 前田 勝弘, 若松 巧倫, 増子 寛, 田中 隆一, 宮川 俊晴. 教育現場への放射線安全周知活動報告. 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；仙台, 12月4-7日, 2019, 講演集. P204
- 13) 遠藤美芽, 芳賀喜裕, 曽田真広, 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
- 14) 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
- 15) 松崎 賢, 茂呂田 孝, 永元 啓介, 孫略, 阿部 利明, 中上 晃一, 盛武 敬: 放射線技師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.
- 16) 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, グランキューブ大阪(大阪市・大阪府), 10月17-19日, 2019.
- 17) 曽田 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, グランキュ

- ープ大阪(大阪市・大阪府), 10月 17-19 日, 2019.
- 18) 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, グランキューブ大阪(大阪市・大阪府), 10月 17-19 日, 2019.
- 19) 芳賀喜裕, 千田浩一, 加賀勇治, 曽田 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, グランキューブ大阪(大阪市・大阪府), 10月 17-19 日, 2019.
- 20) 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, 檉田 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.
- 21) 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, 檉田 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.
- 22) 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
- 23) 世古口 真吾, 盛武 敬, 吉武 英隆, 安藤 肇, 池上 和範, 石垣 陽, 大神 明, 明星 敏彦: ウェアラブル粉じん計試作機の性能評価. 第29回日本産業衛生学会全国協議会, 仙台国際センター(宮城県・仙台市), 9月 12-14 日, 2019.
- 24) 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.
- 25) 檉田 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, パビヨン 2 4 ガスホール(福岡県・福岡市), 7月 12-13 日, 2019.
- 26) 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, 檉田 尚樹: 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. 2019 年度日本産業衛生学会九州地方会, パビヨン 2 4 ガスホール(福岡県・福岡市), 7月 12-13 日, 2019.
- 27) 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, 檉田尚樹: 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, パビヨン 2 4 ガスホール(福岡県・福岡市), 7月 12-13 日, 2019.
- 28) 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, 檉田 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, パビヨン 2 4 ガスホール(福岡県・福岡市), 7月 12-13 日, 2019.
- 29) 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, 檉田 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, パビヨン 2 4 ガスホール(福岡県・福岡市), 7月 12-13 日, 2019.
- 30) 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.
- 31) 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.
- 32) 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.
- 33) 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.
- 34) 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.
- 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) 加藤 守，千田 浩一，石田 崇人，佐々木 文昭：頭頸部及び心臓インバー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，パシフィコ横浜（神奈川県・横浜市），4月11日-14日，2019.

【社会的業績】

- 1) (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
- 2) (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
- 3) (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
- 4) (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

【招待講演】

- 1) 講演演題名：Re-JDRL study の結果から
見えたことと DRLs 2020 に期待すること
集会名称：第 360 回循環器画像技術研究会定例会
発表者：盛武 敬
開催場所：NTT 東日本関東病院（東京都・品川区）
開催日時：2019 年 12 月 14 日
発表日時：2019 年 12 月 14 日
主催：循環器画像技術研究会
- 2) 講演演題名：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
集会名称：第 35 回 NPO 法人日本脳神経血管内治療学会総会 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」
発表者：盛武 敬
開催場所：福岡サンパレス（福岡県・福岡市）
開催日時：2019 年 11 月 21 日～11 月 23 日
発表日時：2019 年 11 月 23 日
主催：(NPO) 日本脳神経血管内治療学会
- 3) 講演演題名：頭部血管撮影の患者被ばくと従事者被ばく～DICOM-RDSR を用いた被ばく防護への応用～
集会名称：令和元年 9 月北九州診療放射線技師会勉強会 北水会
発表者：茂呂田 孝一
開催場所：製鉄記念八幡病院（福岡県・北九州市）
開催日時：2019 年 9 月 25 日
主催：特定非営利活動法人 北九州診療放射線技師会
- 4) 講演演題名：眼の水晶体の等価線量限度の見直しに対する対応～賢い放射線防護眼鏡の選び方～
集会名称：令和元年 9 月北九州診療放射線技師会勉強会 北水会
発表者：中上 晃一
開催場所：製鉄記念八幡病院（福岡県・北九州市）
開催日時：2019 年 9 月 25 日
- 主催：特定非営利活動法人 北九州診療放射線技師会
- 5) 講演演題名：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について
集会名称：第 33 回全国循環器撮影研究会総会・学術研究発表会
発表者：盛武 敬
開催場所：横浜情報文化センター（神奈川県・横浜市）
開催日時：2019 年 4 月 13 日
発表日時：2019 年 4 月 13 日
主催：全国循環器撮影研究会

【その他】

- 1) 山口 一郎. 医療放射線の安全管理に説明を持つ担当者を国際原子力機関はどう規定しているか？ 令和元年度「医療放射線管理講習会」；2019 年 10 月 10 日，東京。

H. 知的財産権の出願・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

II. 分担研究報告

労災疾病臨床研究事業費補助
分担研究報告書

放射線診療に携わる医療従事者の水晶体線量測定調査

研究代表者 櫻田尚樹 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座 教授
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健康医学研究室 准教授
永元啓介 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

研究要旨

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年間に受けれ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/年かついざれの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。

A. 目的

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の水晶体被ばく調査し、新しい水晶体等価線量限度(20 mSv/年)の遵守可能性を評価した。さらに、労働衛生の基本に則って“多重放射線防護”を提案し、その効果を見積もることを目的とした。

B. 研究方法

対象者と測定期間

本研究では、調査を行った15施設、医師17名に対して、水晶体等価線量(3mm線量当量: Hp(3))の測定を行なった(表対象施設)。測定期間は2019年5月～2019年7月に行われた放射線機器を用いた診療及び治療時に各学会に推薦された医師が第一術者として担当した検査を対象とした。また、調査対象医師には事前の過去3年間の個人被ばく線量値(水晶体等価線量)と

過去1年間の各領域における治療および検査実施件数を調査した。

医療現場の職業上の水晶体等価線量を把握するために、はじめに放射線防護介入前の水晶体等価線量調査（5-10症例・2-4週間程度）を実施した。次に撮影された検査

中の状況写真を用いて施行検査に応じた放射線防護法の検討を行った。最後に放射線防護介入後の水晶体等価線量調査（5-10症例・2-4週間程度）を実施することで、個別状況に応じた防護の最適化と介入効果の判定を行なった。

表1 対象施設

推薦学会	調査施設数	医師	調査対象人数
日本循環器学会	3	循環器内科	3
日本脳神経血管内治療学会	2	脳神経外科	2
日本医学放射線学会	2	放射線科	4
日本IVR学会			
日本整形外科学会	3	整形外科	3
日本消化器病学会	5	消化器内科	5

蛍光ガラス線量計を用いた眼球表面線量(ESD_{Eye})測定について

水晶体等価線量を算出するために、対象医師は眼球表面線量(ESD_{Eye} : Eye entrance surface dose)の測定を行う必要がある。

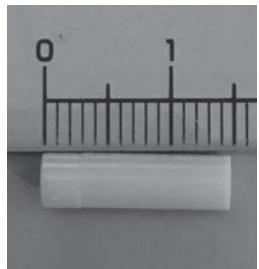


図1



図2

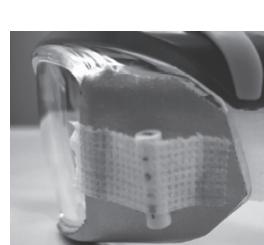


図3

水晶体等価線量の算出について

本調査での水晶体等価線量の算出は、蛍光ガラス線量計を用いて ESD_{Eye} から水晶体等価線量(H_{lens} : Lens equivalent dose) H_{lens} (3) を求める方法を用いた。 ESD_{Eye} から H_{lens} (H_{lens} (3)) を算出するため、モンテカルロシミュレーションを用いて計算されたシ

リンドーファントム ($\phi 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$) 上での「空気カーマ-3mm 線量当量変換係数 K ($H_{lens}(3)$ /Air kerma)」を既知のレポート[1]から求め、この係数 K を用いて、以下の式(1)に従い ESD_{Eye} から H_{lens} ($H_{lens}(3)$) へ変換を行った。本調査において K ($H_{lens}(3)$ /Air kerma) は 1.590 とした。

$$H_{\text{lens}} (H_p(3)) [\text{mSv}] = K \cdot ESD_{\text{Eye}} [\text{mGy}] \dots \dots$$

(1)

ただし、

K : 空気カーマ-3mm 線量当量変換係数
 $(H_p(3)/\text{Air kerma}) [\text{Sv/Gy}]$ とした。

効率的な蛍光ガラス線量計運用システムの構築

蛍光ガラス線量計運用システムは、遠隔地にある対象施設に大量の蛍光ガラス線量計を用いた線量測定の効率化を行うシステムである。このシステムは、線量測定に必要な物品を発送（郵送）、線量測定、測定終了後の物品の返送（郵便）及び線量の読み取りを行うシステムである。

線量測定に必要な物品の発送および返送を特定封筒郵便物（レターパック、日本郵政、日本）を用いた。発送時のレターパック内には、蛍光ガラス線量計、水晶体線量計クリップ、線量測定マニュアル、記入シートを同封した。測定終了後に蛍光ガラス線量計、水晶体線量計クリップ、記入シート、手技中の写真を産業医科大学に返送する手順である。

返却された蛍光ガラス線量計は、産業医科大学アイソトープセンター内の蛍光ガラス線量計 小型素子システム（Dose Ace、

千代田テクノル、日本）を用いて、線量読み取りを行った。その後、産業医科大学産業生態科学研究所 放射線健康医学に設置しているガラスアニーリング用電気炉を用いて 400° で 20 分アニール処理を行い、プレドーズの測定を行った。

C. 結果

調査対象医師の過去の水晶体等価線量について

調査対象医師の過去3年間の個人被ばく線量計から求めた水晶体等価線量を示す（表2-6）。介入前の現状の診療における放射線防護方法下では、年間水晶体等価線量限度の 150 mSv/年を超える医師はいなかつたが、頭・頸部に装着した個人線量計により算定される水晶体等価線量が 20 mSv/年を超えていた医師は 24% (4/17) であった。特に水晶体等価線量が高かったのは消化器内科医師の 75.3 mSv/年、循環器内科医師の 51.7 mSv/年であった。

また、病院から個人被ばく線量計を配布されているが、使用していない（未着用）が 12% (2/17)、病院から個人被ばく線量計を配布されていない（放射線業務従事者登録をしていない）が 6% (1/17) であることが明らかになった。

表2 過去の水晶体等価線量（循環器内科医師）

医師	水晶体等価線量		
	2016年度	2017年度	2018年度
循環器内科医 A	49.8	51.7	42.3
循環器内科医 B	18	15.2	31
循環器内科医 C	N/A*	N/A*	N/A*

*病院から個人被ばく線量計を配布されているが、使用していない(未着用)

表3 過去の水晶体等価線量（脳神経外科医師）

医師	水晶体等価線量		
	2016年度	2017年度	2018年度
脳神経外科医 A	14.5	12.8	11.9
脳神経外科医 B	12.1	14.5	12.7

表4 過去の水晶体等価線量(消化器内科医師)

医師	水晶体等価線量		
	2016年度	2017年度	2018年度
消化器内科医 A	22.1	21.4	75.3
消化器内科医 B	N/A	N/A	3.6
消化器内科医 C	0.9	0	0.3
消化器内科医 D	8.9	15.3	9.9
消化器内科医 E	N/A	N/A	27.1†

†2018年6月(着任)-2019年3月

表5 過去の水晶体等価線量(整形外科医師)

医師	水晶体等価線量		
	2016年度	2017年度	2018年度
整形外科医 A	N/A	0.5	0.8
整形外科医 B	N/A*	N/A*	N/A*
整形外科医 C	N/A**	N/A**	N/A**

* 病院から個人被ばく線量計を配布されているが、使用していない(未着用)

**病院から個人被ばく線量計を配布されていない(従事者登録されていない)

表6 過去の水晶体等価線量(放射線科医師)

医師	水晶体等価線量		
	2016年度	2017年度	2018年度
放射線科医 A	N/A*	6	3.9
放射線科医 B	N/A*	N/A*	9
放射線科医 C	N/A*	N/A*	0.6
放射線科医 D	N/A*	N/A*	N/A*
放射線科医 E	12.2	6.9	3.1

* 入職前につき他院の線量情報無し

調査対象医師の過去の治療及び検査件数について

調査対象医師の過去1年間の放射線機器を用いた治療及び検査件数を示す(表7-11)。最も検査数が多かったのは、循環器内科医師Aであり421症例の循環器領域IVRを実施していた。ついで、消化器内科医師Aは397症例のERCPを実施していた。しかしながら、整形外科領域の2施設においては年間件数の回答を得ることができなかった。

表7 過去の治療及び検査件数(循環器内科医師)

循環器領域IVR内訳	循環器内科医師 A	循環器内科医師 B	循環器内科医師 C
CAG*	166	6	
PCI**	161	20	57
EVT*** (下肢血管治療、鎖骨下動脈治療、腎動脈治療など)	94		7
アブレーション			90
合計	421	26	154

*冠動脈カテーテル検査(Coronary angiography: CAG)

**経皮的冠動脈形成術(Percutaneous coronary intervention: PCI)

***末梢血管治療(EndoVascular Treatment: EVT)

表8 過去の治療及び検査件数(脳神経外科医師)

頭・頸部領域IVR内訳	脳神経外科医 A	脳神経外科医 B
脳動脈瘤コイル塞栓術	100	50*
頭蓋外血行再建術(CAS, PTA)	7	10*
頭蓋内血行再建術	7	
急性血行再建術	3	
急性期血栓回収療法		30*
硬膜動静脈瘻塞栓術(TAE, TVE)	3	10*
診断脳血管撮影		20*
合計	120	120

*概算

表9 過去の治療及び検査件数(消化器内科医師)

透視手技内訳	消化器内科医師 A	消化器内科医師 B	消化器内科医師 C	消化器内科医師 D	消化器内科医師 E
ERCP**	397	40*		111	304††
EIS*** (調査対象医師)			N/A†		
EIS*** (病院全体)			70		
合計	397	40	70	111	304

*概算

**内視鏡的静脈瘤硬化療法

***内視鏡的静脈瘤硬化療法

†第一術者の横で指導にあたっているため件数は不明

††2018年6月(着任)-2019年3月

表 10 過去の治療及び検査件数(整形外科医師)

整形外科領域透視手技内訳	整形外科医 A	整形外科医 B	整形外科医 C
最小侵襲腰椎固定術(MIS-TLIF)	20*		
内視鏡下腰椎椎間板切除術(MED)	10*		
最小侵襲脊椎広範囲固定術(MIS-long fixation)	5*		
経皮的椎体形成術(BKP)	10*		
脊髓刺激電極設置術	2*		
椎間板髓核融解術・ディスコグラフィー	40*		
神経根ブロック	10*		
合計	97*	N/A**	N/A**

*概算

**整形外科領域透視手技の年間実施件数は不明

表 11 過去の治療及び検査件数(放射線科医師)

透視/造影手技内訳	放射線科医師 A	放射線科医師 B	放射線科医師 C	放射線科医師 D	放射線科医師 E
経皮的塞栓術	88	40	34		136
CVポート留置	57	94	127		55
経皮的ドレナージ術	7	12	11		95
放射	経皮的針生検	41			25
その他	50	35	35		31
合計	202	222	207	N/A†	342

†2019年4月からの勤務のため2018年度は透視/造影の実績なし

た。

線防護方法の詳細

放射線防護介入前後の対象医師の放射線防護を示す(Table12-16)。放射線防護介入前の検査中に撮影された防護状況の写真を用いて施行検査に応じた放射線防護法の検討を行った。放射線防護方法は調査を行う施設や医師、使用装置、手技内容などの要因によって異なるため、各検査中に撮影された防護状況の写真が有効であった。特に、手技中の遮蔽板の不適切な使用30%(3/10)を発見することが出来た。さらに、不適切な使用を行っていた医師に対して、遮蔽板の使用方法を動画と文章を用いて解説したところ、100%の改善が見られ

放射線防護眼鏡の使用は100%(13/17)であった。特に整形外科医の防護眼鏡装着率は33%(1/3)と低かった。また、循環器領域の防護眼鏡の装着率は100%(3/3)であったが、遮蔽効果が低い眼鏡を用いている医師が1名いることが明らかになった(図5)。



図 5 遮蔽能力が低い眼鏡

表12 放射線防護方法の詳細(循環器内科医師)

	循環器内科医師 A		循環器内科医師 B		循環器内科医師 C	
	介入前	介入後	介入前	介入後	介入前	介入後
☆ 防護眼鏡の使用	○*	○*	●†	○*	○**	○***
★ 防護板の使用	●	○	○*****	○		○*****
☆ 寝台下防護カーテン	○	○	○	○	○	○
☆ 透視の際の正面側面同時照射の低減	○	○	○	○	○	○
☆ 撮影時の室外退避						○
★ 透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)		○	○	○	○	○
★ 常に必要な範囲に照射野を絞る	○	○	○	○	○	○

*作業環境管理、☆作業管理 ○:適切な使用を行っている ●:不適切な使用を行っている

*放射線防護眼鏡(Panorama shield® ultra-light 0.07-mm-Pb, Toray, Japan)

**放射線防護眼鏡(HAGOROMO フェイスガード FG06-110 0.06mmPb, マエダ, Japan)

***放射線防護眼鏡(CROSSLINK 0.75mmPb, barrier technologies®)

****天吊型遮蔽板(Overhead ceiling mounted shield 350 0.5mmPb, Kenex, England)

*****天吊型遮蔽板(MAVIG 0.5mmPb, MAVIG GmbH, Germany)

†放射線遮蔽効果が低い放射線防護眼鏡を使用していた。

表13 放射線防護方法の詳細(脳神経外科医師)

	脳神経外科医師 A		脳神経外科医師 B	
	介入前	介入後	介入前	介入後
☆ 防護眼鏡の使用	○*	○*	○*	○*
★ 防護板の使用	●**	○**	●**	○**
☆ 寝台下防護カーテン	○	○	○	○
☆ 透視の際の正面側面同時照射の低減		○		○
☆ 撮影時の室外退避			○	○
★ 透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)		○		○
★ 常に必要な範囲に照射野を絞る	○	○	○	○

*作業環境管理、☆作業管理 ○:適切な使用を行っている ●:不適切な使用を行っている

*放射線防護眼鏡(Panorama shield® ultra-light 0.07-mm-Pb, Toray, Japan)

**天吊型遮蔽板(MAVIG 0.5mmPb, MAVIG GmbH, Germany)

表14 放射線防護方法の詳細(消化器内科医師)

	消化器内科医師 A		消化器内科医師 B		消化器内科医師 C		消化器内科医師 D		消化器内科医師 E	
	介入前	介入後								
☆ 防護眼鏡の使用	○*	○*	○*	○*	○***		○*		○*	○*
★ 散乱線防護クロス	○**	○**		○**	○**	○**	○**	○**	○**	○**
★ 透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)		○		○						
★ 常に必要な範囲に照射野を絞る	○	○								

*作業環境管理、☆作業管理 ○:適切な使用を行っている ●:不適切な使用を行っている

*放射線防護眼鏡(Panorama shield® ultra-light 0.07-mm-Pb, Toray, Japan)

**防護クロス(散乱線防護クロスNP 0.125mmPb, マエダ, Japan)

***放射線防護眼鏡(プロテックアイウェアPT-comet 0.75mmPb, マエダ, Japan)

表15 放射線防護方法の詳細整形外科医師)

	整形外科医師 A		放射線科医師 B		放射線科医師 C	
	介入前	介入後	介入前	介入後	介入前	介入後
☆ 防護眼鏡の使用	○*	○*			○*	
☆ 寝台下防護カーテン	●	○				
☆ RADPAD®		○				
☆ 透視の際の正面側面同時照射の低減		○				
★ 透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)		○				
★ 常に必要な範囲に照射野を絞る		○				

★作業環境管理、☆作業管理 ○:適切な使用を行っている ●:不適切な使用を行っている

*放射線防護眼鏡(Panorama shield® ultra-light HF-350 0.07-mm-Pb, Toray, Japan)

**放射線防護眼鏡(Panorama shield® ultra-light HF-380 0.07-mm-Pb, Toray, Japan)

表16 放射線防護方法の詳細(放射線科医師)

	放射線科医師 A		放射線科医師 B		放射線科医師 C		放射線科医師 D		放射線科医師 E	
	介入前	介入後								
☆ 防護眼鏡の使用	○*	○*	○*	○*	○*	○*	○*	○*	○*	○*
★ 防護板の使用	○**	○**	○**	○**	○**	○**	○**	○**	○**	○**
☆ 寝台下防護カーテン	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
☆ 撮影時の室外退避	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
☆ 透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
★ 常に必要な範囲に照射野を絞る	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
★ CT透視時には逐次近似応用再構成を 用いて線量軽減を実施	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

★作業環境管理、☆作業管理 ○:適切な使用を行っている ●:不適切な使用を行っている

*放射線防護眼鏡(Panorama shield® ultra-light 0.07-mm-Pb, Toray, Japan)

**天吊型遮蔽板(MAVIG 0.5mmPb, MAVIG GmbH, Germany)

防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果

介入前後の左右水晶体等価線量率を示す(表17-32)。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。特に、循環器内科医師 Cは介入後の遮蔽率は94%改善された(表 19)。

また、非血管系の放射線科医師の介入後の遮蔽率が-50~-200%であったが、調査医師らは、介入前から放射線防護が徹底されており、水晶体等価線量が低い値を示した(0.2 - 0.4 μ Sv/min)。そのため、介入後の追加の防護措置を行っても、低減率が改善されなかったと考える(表 32)。

表17 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果(循環器内科医師 A)

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a) +防護眼鏡****	遮蔽板*	3.7±4.4	1.8		19.9±19.4	12
	遮蔽板*	5.8±4.7	3.8	-105	8.6±8.7	5.2
	+防護眼鏡****					57
介入後 b) +透視法変更*** +防護眼鏡****	遮蔽板**	3.1±3.1	1.8	0	10.2±7.8	7.1
	遮蔽板**					41
	+透視法変更*** +防護眼鏡****	3.7±1.7	4.3	-137	5.0±3.1	5
						58

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前遮蔽板のみでの線量率中央値)}×100[%]

* 天吊型遮蔽板 Kenex:0.5 mmPbの通常使用(不適切位置)

** 天吊型遮蔽板 Kenex:0.5 mmPbの適切な使用

***透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)

****パノラマシールド HF-400:0.07 mmPb

a)CAG+下肢造影 1例、CAG 2例、PCI+下肢造影 1例、CAG+EVT(R-EIA,L-EIA) 1例、一時ペーシング 1例、EVT(L-SFA) 1例、CAG+下肢造影+PTRA(L-RA) 1例、PTRA(R-RA) 1例 (n=9) : 透視時間:14m37s±6m53s (mean±SD) , 中央値:15m15s;DAP:3.968±3.261 mGy · m², 中央値:3.055 mGy · m²

b)CAG+下肢造影 1例、PCI 5例、EVT+L-SFA(POBA) 1例、CAG(+FFR) 1例、CAG(+LVG) 1例 (n=9) : 透視時間:18m6s±9m12s (mean±SD) , 中央値:14m28s;DAP:6.306±4.631 mGy · m², 中央値:4.403 mGy · m²

表18 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果(循環器内科医師 B)

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	遮蔽板	3.4±5.4	0.7		9.1±7.8	7.6
	遮蔽板*					
	最終画像保持	1.0±0.4	1	-43	6.9±8.6	3.9
介入後 b)	防護眼鏡**					49

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前遮蔽板のみでの線量率中央値)}×100[%]

*天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPbの通常使用

**パノラマシールド HF-400:0.07 mmPb

a)b) PCI(RCA-CTO症例) 3例 PCI(LAD-CTO+RCA-PCI)1例、PCI(LAD-CTO+Rotablator®) 1例,(n=5)透視時間:25m21s±7m56s(mean±SD)中央値:23m12s;DAP:23.805±12.993 mGy · m², 中央値:20.403 mGy · m²

表19 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果 PCI (循環器内科医師 C)

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	
介入前	防護なし*	5.9±2.0	5.9	23.5±9.8	23.5		
a)	防護眼鏡**	5.9±0.6	5.9	0	13.4±7.0	13.4	43
	遮蔽板***	6.8±7.1	1.5	74	11.6±12.2	3.6	85
介入後	遮蔽板***						
b)	+防護眼鏡**	7.6±8.4	1.7	71	11.4±14.4	1.5	94
	+室外退避****						

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前遮蔽板のみでの線量率中央値)}×100[%]

* 防護具未使用

** HAGOROMO フェイスガード FG06-110:0.06 mmPb、CROSSLINK CROSSLINK-SBK:0.75 mmPb、パノラマシールド HF-380:0.07 mmPb

*** 天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPbの適切な使用

**** 撮影中、できる限りで室外退避

a)PCI 2例(n=2)：透視時間:15m32s±3m1s(mean±SD),中央値:15m32s;DAP:14.944±4.776 mGy・m2,中央値:14.944 mGy・m2

b)PCI 5例(n=5)：透視時間:24m38s±14m50s (mean±SD),中央値:28m48s;DAP:13.078±5.855 mGy・m2,中央値:12.037 mGy・m2

表20 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果 アブレーション

(循環器内科医師 C)

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	
介入前	防護なし*	1.1±0.3	1	2.7±0.6	3		
a)	防護眼鏡**	1.2±0.1	1.2	-19	1.7±0.1	1.8	41
	遮蔽板***	0.8±0.4	0.8	22	3.3±4.2	1.6	45
介入後	遮蔽板***						
b)	+室外退避****	0.6±0.3	0.4	60	1.7±2.0	1	68
	+防護眼鏡**						

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前遮蔽板のみでの線量率中央値)}×100[%]

* 防護具未使用

** HAGOROMO フェイスガード FG06-110:0.06 mmPb、CROSSLINK CROSSLINK-SBK:0.75 mmPb、パノラマシールド HF-380B:0.07 mmPb

*** 天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPbの適切な使用

**** 撮影中、できる限りで室外退避

a)アブレーション3例(n=3)：透視時間:25m32s±4m12s (mean±SD),中央値:25m30s;DAP:1.606±0.688 mGy・m2,中央値:1.465 mGy・m2

b)アブレーション8例(n=8)：透視時間:22m37s±11m45s (mean±SD),中央値:19m21s;DAP:1.547±1.622 mGy・m2,中央値:0.725 mGy・m2

表21 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（脳神経外科医師 A）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a) 防護なし	7.4±5.7	7.8		4.6±4.2	2.8	
	3.8±1.9	3.6	54	3.3±1.7	2.8	0
介入後 b) 遮蔽板*	1.7±1.3	1	87	1.4±0.7	1.1	61
	+透視法変更**	1.2±0.7	0.8	0.8±0.2	0.8	71
+防護眼鏡***						

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前防護なしの線量率中央値)}×100[%]

* 天吊型防護板 MAVIG:0.5 mmPb の適切な使用を促した

** 透視の際の正面側面同時照射の低減,透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)

*** パノラマシールド HF-350:0.07 mmPb

a)脳動脈瘤コイル塞栓術2例,血管形成術1例,血栓回収療法1例,CAS1例(n=5);透視時間:42m9s±22m7s(mean±SD),中央値:35m1s;DAP:29.0±10.918 mGy・m²,中央値:26.0 mGy・m²

b)脳動脈瘤コイル塞栓術3例,血管形成術1例,CAS 1例(n=5);透視時間:46m17s±19m15s(mean±SD),中央値:39m47s;DAP:35.4±21.172 mGy・m²,中央値:27.0 mGy・m²

表22 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（脳神経外科医師 B）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a) 遮蔽板*	0.9±0.3	0.8		6.1±2.8	5	
	1.8±0.9	1.4	-75	2.7±1.3	2.1	58
介入後 b) 遮蔽板** +透視法変更***	0.4±0.2	0.5	38	1.7±0.7	1.3	74
	0.7±0.5	0.7	13	0.7±0.3	0.5	90
+防護眼鏡****						

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前遮蔽板のみでの線量率中央値)}×100[%]

* 天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPb の通常使用(不適切位置)

** 天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPb の適切な使用

*** 透視の際の正面側面同時照射の低減,透視モードの適切な選択/切り替え (15→7.5fpsに変更)

**** パノラマシールド HF-350:0.07 mmPb

a)コイル塞栓術1例,診断3例,血栓回収療法1例(n=5);透視時間:16m35s±9m15s(mean±SD),中央値:10m19s;DAP:12.218±7.470 mGy・m²,中央値:8.550 mGy・m²

b)頸動脈ステント留置術2例,コイル塞栓術2例,診断1例(n=5);透視時間:17m49s±4m10s(mean±SD),中央値:20m22s;DAP:8.676±2.460 mGy・m²,中央値:9.520 mGy・m²

表23 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（消化器内科医師 A）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	防護クロス*	0.8±0.3	1		7.7±3.6	6.6
	防護クロス* +防護眼鏡**	1.5±0.6	1.4	-40	4.1±1.9	3.8
介入後 b)	防護クロス* +透視法変更***	0.4±0.3	0.3	70	4.3±2.4	2.9
	防護クロス* +透視法変更*** +防護眼鏡**	1.1±0.6	1.1	-10	2.3±1.6	1.4
						79

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前防護クロスのみでの線量率中央値)}×100[%]

*防護クロス:0.125 mmPb

**パノラマシールド HF-400:0.07 mmPb

***透視モードの適切な選択/切り替えを促した(15→7.5fpsに変更)

a) : ERCP(n=5):透視時間:24m00s±20m12s(mean±SD), 中央値:13m48s;DAP:13268.8±15038.8 mGy・m2, 中央値:5673.7 mGy・m2

b) : ERCP(n=5):透視時間:15m59s±8m12s(mean±SD), 中央値:15m3s;DAP:7667.5±7525.7 mGy・m2, 中央値:2305.7 mGy・m2

表24 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（消化器内科医師 B）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	防護なし	0.4±0.2	0.3		1.5±1.0	1
介入後 b)	防護眼鏡*	0.8±0.6	0.7	-133	0.7±0.5	0.6
						40

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前の防護なしでの線量率中央値)}×100[%]

*パノラマシールド HF-400:0.07 mmPb

a) b) : ERCP(n=4):透視時間:27m43s±17m39s(mean±SD), 中央値:22m32s;DAP装置からの出力なし

ただし、a)は水晶体線量計(外側)、b)は水晶体線量計(内側)の値による

表25 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（消化器内科医師 C）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	防護クロス*	測定下限値以下	測定下限値以下		測定下限値以下	測定下限値以下
	防護クロス* +防護眼鏡**	測定下限値以下	測定下限値以下	-	測定下限値以下	測定下限値以下
介入後 b)	防護クロス*	測定下限値以下	測定下限値以下	-	測定下限値以下	測定下限値以下
	防護クロス* +防護眼鏡***	測定下限値以下	測定下限値以下	-	測定下限値以下	測定下限値以下
	+透視法変更					

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前防護クロスのみでの線量率中央値)}×100[%]

*防護クロス: 0.25 mmPb

**パノラマシールド HF-400 : 0.07 mmPb.

***プロテックアイウェア PT-COMET-B : 0.75 mmPb

****透視モードの適切な選択/切り替えを促した (15→7.5fpsに変更)

a) : EIS(n=3) : 透視時間: 2m10s±0m32s(mean±SD), 中央値:2m30s;DAP:0.46±0.35 mGy・m2, 中央値: 0.26 mGy・m2

b) : EIS(n=3) : 透視時間: 2m5s±0m18s(mean±SD), 中央値:2m0s ; DAP:0.28±0.07 mGy・m2, 中央値: 0.30 mGy・m2

表26 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（消化器内科医師 D）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a) 防護クロス*	5.1±2.5	4.5		8.4±2.9	8.3	
介入後 b) +防護眼鏡**	2.4±1.2	2.7	40	5.2±2.3	5.1	39

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]= $1.597 \dagger [\text{Sv}/\text{Gy}] \times \text{水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)}[\text{Gy}]$ †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前防護クロスのみでの線量率中央値)}×100[%]

*防護クロス:0.125mmPbマエダの通常使用

**パノラマシールド HF-400:0.07 mmPb

a)b) : ERCP(n=5):透視時間:9m48s±11m53s(mean±SD),中央値:3m0s;DAP 装置からの出力なし

ただし、a)は水晶体線量計(外側)、b)は水晶体線量計(内側)の値による

表27 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（消化器内科医師 E）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a) 防護クロス*	0.6±0.5	0.4		2.1±0.9	2.2	
介入後 b) +防護眼鏡**	0.5±0.3	0.5	-25	1.3±0.8	1.2	45

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]= $1.597 \dagger [\text{Sv}/\text{Gy}] \times \text{水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)}[\text{Gy}]$ †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前防護クロスのみでの線量率中央値)}×100[%]

*防護クロス:0.125mmPb

**パノラマシールド HF-400:0.07 mmPb

a)b):経鼻膵管ドレナージ3症例、経鼻胆管ドレナージ2症例 (n=5):透視時間:6m2s±2m55s(mean±SD),中央値,5m20s;DAP 1.2±0.7mGycm² 中央値:1.0mGycm², ただし、a)は水晶体線量計(外側)、b)は水晶体線量計(内側)の値による

表28 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（整形外科医師 A）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	寝台下防護カーテン*	20.8±14.3	12.8	18.7±14.3	12.8	
	寝台下防護カーテン* +防護眼鏡***	8.8±4.0	6.4	50	8.7±5.0	6.4
	寝台下防護カーテン* +RADPAD®** +透視視野絞り	7.6±13.8	3.6	72	9.8±16.8	3.8
介入後 b)	+透視条件変更					
	寝台下防護カーテン* +RADPAD®** +透視視野絞り	5.1±4.5	3.1	76	3.8±6.2	0
	+透視条件変更+防護眼鏡***					検出限度以下

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前寝台下防護カーテンでの線量率中央値)}×100[%]

* 寝台下防護カーテン: 0.5 mmPbの通常使用（不適切位置）

** RADPAD®: 0.25 mmPbの適切な使用

*** パノラマシールド HF-350 : 0.07 mmPb

a) 椎間板髓核融解術(n=3): 透視時間: 1m17s±37s (mean±SD), 中央値: 1m20s; DAP: 0.575 mGy・m2 (1症例のみ表示あり)

b) 椎間板髓核融解術(n=7): 透視時間: 56s±55s (mean±SD), 中央値: 38s; DAP: 1.178±0.524 mGy・m2, 中央値: 1.09 mGy・m2

表29 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（整形外科医師 B）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	防護眼鏡なし	N/A **	N/A **	N/A **	N/A **	
	防護眼鏡*あり	N/A **	N/A **	N/A **	N/A **	N/A **
介入後 b)	防護眼鏡なし	N/A **	N/A **	N/A **	N/A **	
	防護眼鏡*あり	N/A **	N/A **	N/A **	N/A **	N/A **

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前寝台下防護カーテンでの線量率中央値)}×100[%]

* 防護眼鏡 パノラマシールド HF-350 : 0.07 mmPb

** N/A(Not/Applicable) 線量計素子の長時間放置によるバックグラウンド上昇、線量計の重複使用などにより解析不能。

表30 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（整形外科医師 C）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%)	平均±SD	中央値	低減率(%)
介入前 a)	防護眼鏡なし	2.4±1.0	2.4	1.8±0.3	1.8	
	防護眼鏡(A)	0.9±0.2	0.9	63 ^(注2)	0.1±0.1	0.1
介入後 b)	防護眼鏡なし	2.8±1.7	2.9	2.4±1.7	1.3	
	防護眼鏡(B)	2.2±1.2	2.4	17 ^(注3)	0.7±1.2	0.7

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597*[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] *EURADOS Report 2012-02

水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(防護眼鏡(A)での線量率中央値)/(介入前防護眼鏡なしでの線量率中央値)}×100[%]

(注3)低減率={1-(防護眼鏡(B)での線量率中央値)/(介入後防護眼鏡なしでの線量率中央値)}×100[%]

(A)パノラマシールド HF-350:0.07 mmPb

(B)パノラマシールド HF-380:0.07 mmPb

a)感染性偽関節手術 1例、骨折観血的整復内固定術 1例(n=2):透視時間:4m50s±2m29s(mean±SD), 中央値:4m50s ;AK:7.7±2.5 mGy, 中央値:4.8 mGy

b)骨折観血的整復内固定術 2例、一時的創外固定術1例(n=3):透視時間:5m13s±1m54s(mean±SD), 中央値:6m34s ;AK:10.1±4.9 mGy, 中央値:13.6 mGy

表31 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（放射線科医師 A）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	遮蔽板*	2.3±0.6	2.7		3.6±1.4	2.7
	遮蔽板*	1.8±0.8	1.8	33	1.7±0.9	1.8
	+防護眼鏡**					33
介入後 b)	遮蔽板*	1.2±0.9	1.2	55	2.0±0.1	2
	室外退避***					26
	遮蔽板*	2.0±1.2	2	26	0.5±0.5	0.5
	+室外退避***					81
	+防護眼鏡**					

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02
水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前遮蔽板のみでの線量率中央値)}×100[%]

* 天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPbの適切な使用

** パノラマシールド HF-400: 0.07 mmPb

*** 撮影時に室外退避を励行

a)PNS留置 1例、PTCD挿入 1例、PTCDステント 1例(n=3):透視時間:14m6s±11m0s (mean±SD), 中央値 : 12m33s;DAP:2.819±3.136 mGy · m², 中央値: 1.357 mGy · m²

b)PTAD再造影 1例、PTCDステント・止血術 1例 (n=2):透視時間:25m54s±17m42s (mean±SD), 中央値 : 33m6s;DAP:5.843±6.251 mGy · m², 中央値: 2.862 mGy · m²

表31 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（放射線科医師 血管系）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前後 a)	遮蔽板*	3.4±7.69	0.4		7.0±10.0	2
	遮蔽板*					
	+防護眼鏡**	4.8±8.5	0.9	-125	4.7±8.0	0.9
	+防護眼鏡**					55

(注1)水晶体等価線量(3mm線量当量)[Sv]=1.597†[Sv/Gy]×水晶体線量(蛍光ガラス線量計読み値)[Gy] †EURADOS Report 2012-02
水晶体等価線量率=(水晶体等価線量)/(透視時間)[μSv/min]

(注2)低減率={1-(各防護方法での線量率中央値)/(介入前遮蔽板のみでの線量率中央値)}×100[%]

* 天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPbの適切な使用

** パノラマシールド HF-350, HF-400: 0.07 mmPb, Rayshield LG-192: 0.6 mmPbの使用

a)CVポート留置 2例、動脈塞栓術 1例、部分的肝動脈塞栓術 1例、PTBD 1例、肝動注化学療法併用マイクロ波焼灼術 1例、動脈造影(カーテル法) 1例、TACE 3例、血管塞栓術 1例、副腎静脈サンプリング 1例、PTBD 1例、bland-TAE(Embosphere)1例、動脈塞栓術(右腎) 1例、腹腔-靜脈ステント造影 1例、血管造影 1例(n=17):透視時間:34m12s±32m24s(mean±SD), 中央値:23m30s;DAP:6.67±7.55 mGy · m², 中央値:2.97 mGy · m²

表32 防護方法の違いによる水晶体等価線量率及びその低減効果（放射線科医師 非血管系）

防護方法	右水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]			左水晶体等価線量率 ^(注1) [μSv/min]		
	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)	平均±SD	中央値	低減率(%) ^(注2)
介入前 a)	遮蔽板*	0.2±0.2	0.2		0.3±0.1	0.2
	遮蔽板*	0.4±0.1	0.4	-100	0.4±0.4	0.3
	+防護眼鏡**					-50
介入後 b)	遮蔽板*	0.3±0.1	0.3	-50	0.6±0.2	0.6
	+室外退避***					-200
	遮蔽板*	0.6±0.1	0.6	-200	0.3±0.1	0.3
	+室外退避***					-50
	+防護眼鏡**					

(b):b=a×20[mSv]/3.1[mSv](2018年度水晶体等価線量),小数点以下切り捨て

(c):c=b/{(100[%]-(-50%))***[%]}/100[%],頭頸部個人線量計=水晶体線量計(外側)と仮定し防護眼鏡の低減率(-50%****)を考慮,小数点以下切り捨て

* 天吊型遮蔽板の使用

** 天吊型遮蔽板の適切な使用,撮影時に室外退避を励行,防護眼鏡の使用

*** 水晶体等価線量率の高い左眼での低減率 (-50%)

不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数の算出

調査対象者の不均等被ばく線量から年間検査実施可能回数を示す(表33-47)。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。

表33 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（循環器内科医師 A）

循環器領域IVR内訳	2018年度循環器領域IVR件数(a)	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (b)	介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (c)
		算定：頭・頸部個人線量計	算定：水晶体線量計(内/外比)
CAG	166	78	186
PCI	161	76	181
EVT(下肢血管治療、鎖骨下動脈治療、腎動脈治療など)	94	44	105
合計	421	199	473

(a):a=2018年度循環器領域IVR件数

(b):b=a×20[mSv]/42.3[mSv](2018年度水晶体等価線量),小数点以下切り捨て

(c):c=b/{(100[%]-58***[%])/100[%]},頭頸部個人線量計=水晶体線量計(外側)と仮定し防護眼鏡の低減率(58%***))を考慮,小数点以下切り捨て
*天吊型遮蔽板の不適切な使用

**天吊型遮蔽板の適切な使用,透視モードの適切な選択/切り替え(15→7.5fpsに変更),防護眼鏡の使用

***水晶体等価線量率の高い左眼での低減率(58%)

表34 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（循環器内科医師 B）

循環器領域IVR内訳	2018年度循環器領域IVR件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (a)	介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (b)
		算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定：水晶体線量計(内側)
PCI	20	152	243

PCI:(a):a=20 [mSv] /7.6*** [mSv/min] ×23m12s,(介入前の水晶体線量計(外側)水晶体等価線量率中央値×介入前の透視時間中央値),水晶体線量計(外側)=頭頸部個人線量計と仮定,全てPCIであると仮定,小数点以下切り捨て

PCI:(b):b=20 [mSv] /3.9*** [mSv/min] ×23m12s,(介入後の水晶体線量計(内側)水晶体等価線量率中央値×介入後の透視時間中央値),全てPCIであると仮定,小数点以下切り捨て
*天吊型遮蔽板の使用

**天吊型遮蔽板の適切な使用,最終画像保持機能の多用,防護眼鏡の使用

***水晶体等価線量率の高い左眼で算出

表35 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（循環器内科医師 C）

循環器領域IVR内訳	2018年度循環器領域IVR件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (a)		介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (b)	
		算定：頭・頸部個人線量計 ≈水晶体線量計(外側)	算定：水晶体線量計(内側)	算定：頭・頸部個人線量計 ≈水晶体線量計(外側)	算定：水晶体線量計(内側)
PCI	57	54	462		
アブレーション	90	261	1030		
PCI:(a):a=20 [mSv] /23.5*** [mSv/min] ×15m32s,(介入前の水晶体線量計(外側)水晶体等価線量率中央値×介入前の透視時間中央値),水晶体線量計(外側)=頭頸部個人線量計と仮定,全てPCIであると仮定,小数点以下切り捨て					
PCI:(b):a=20 [mSv] /1.5*** [mSv/min] ×28m48s,(介入後の水晶体線量計(内側)水晶体等価線量率中央値×介入後の透視時間中央値),全てPCIであると仮定,小数点以下切り捨て					
アブレーション:(a):a=20 [mSv] /3.0*** [mSv/min] ×25m30s,(介入前の水晶体線量計(外側)水晶体等価線量率中央値×介入前の透視時間中央値),水晶体線量計(外側)=頭頸部個人線量計と仮定,全てアブレーションであると仮定,小数点以下切り捨て					
アブレーション:(b):a=20 [mSv] /1.0*** [mSv/min] ×19m21s,(介入後の水晶体線量計(内側)水晶体等価線量率中央値×透視時間中央値),全てアブレーションであると仮定,小数点以下切り捨て					
* 防護具未使用					
**天吊型遮蔽板の適切な使用,防護眼鏡の使用,室外退避の奨励					
***水晶体等価線量率の高い左眼で算出					

表36 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（脳神経外科医師 A）

頭・頸部領域IVR内訳	2018年度頭・頸部領域IVR件数(a)	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (b)		介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (c)	
		算定:頭・頸部個人線量計	算定:水晶体線量計(内側)	算定:頭・頸部個人線量計	算定:水晶体線量計(内側)
脳動脈瘤コイル塞栓術	100	168	1680		
頭蓋外血行再建術 (CAS, PTA)	7	11	110		
頭蓋内血行再建術	7	11	110		
急性血行再建術	3	5	50		
硬膜動静脈瘻塞栓術-(TAE, TVE)	3	5	50		
合計	120	201	2010		

(a):2018年度頭・頸部領域IVR件数

(b):b=a×20[mSv]/11.9[mSv](2018年度水晶体等価線量),小数点以下切り捨て

(c):c=b/{(100[%]-90***[%])/100[%]},小数点以下切り捨て

* 防護眼鏡のみ

** 天吊型遮蔽板の適切な使用,透視の際の正面側面同時照射の低減,透視モードの適切な選択/切り替え(15→7.5fpsに変更),防護眼鏡の使用

*** 水晶体等価線量率の高い右眼での低減率 (90%)

表37 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（脳神経外科医師 B）

頭・頸部領域IVR内訳	2018年度頭・頸部領域IVR件数(a)	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数(b)	介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数(c)
		算定:頭・頸部個人線量計	算定:水晶体線量計(内側)
脳動脈瘤コイル塞栓術	50	78	787
脳動静脈奇形・硬膜動静脈瘻塞栓術	10	15	157
急性期血栓回収療法	30	47	472
頸動脈ステント留置術	10	15	157
診断脳血管撮影	20	31	314
合計	120	188	1,889

(a):2018年度頭・頸部領域IVR件数(概数)

(b): $b = a \times 20[mSv] / 12.7[mSv]$ (2018年度水晶体等価線量),小数点以下切り捨て

(c): $c = b / \{(100[\%] - 90***[\%]) / 100[\%]\}$,小数点以下切り捨て

* 天吊型遮蔽板の不適切な使用,防護眼鏡の使用

** 天吊型遮蔽板の適切な使用,透視の際の正面側面同時照射の低減,透視モードの適切な選択/切り替え(15→7.5fpsに変更),防護眼鏡の使用

*** 水晶体等価線量率の高い左眼での低減率 (90%)

表38 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（消化器内科医師 A）

透視手技	2018年度ERCP件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注1)	介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注2)
		算定:頭・頸部個人線量計≒水晶体線量計(外側)	算定:水晶体線量計(内側)
ERCP	397	219***	949***

(注1)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(外側))中央値×透視時間中央値)

水晶体線量計(外側)=頭・頸部個人線量計と仮定, 小数点以下を切り捨て

(注2)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(内側))中央値×透視時間中央値)

小数点以下を切り捨て

*防護クロスの使用

**防護クロスの使用、防護眼鏡の使用、透視モードの適切な選択/切り替えを促した(15→7.5fpsに変更)

***水晶体等価線量率の高い左眼で算出

表39 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（消化器内科医師 B）

透視手技	2018年度ERCP件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注1)	介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注2)
		算定:頭・頸部個人線量計≒水晶体線量計(外側)	算定:水晶体線量計(内側)
ERCP	40	887***	1479***

(注1)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(外側))中央値×透視時間中央値)

水晶体線量計(外側)=頭・頸部個人線量計と仮定, 小数点以下を切り捨て

(注2)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(内側))中央値×透視時間中央値)

小数点以下を切り捨て

*防護なし

**防護眼鏡の使用

***水晶体等価線量率の高い左眼で算出

表40 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（消化器内科医師 C）

透視手技	2018年度EIS件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注1)		介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注2)	
		算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定法：水晶体線量計(内側)	算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定法：水晶体線量計(内側)
EIS	70	13,333***		13,333***	

(注1)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(外側))中央値×透視時間中央値)

水晶体線量計(外側)=頭・頸部個人線量計と仮定、小数点以下を切り捨て

(注2)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(内側))中央値×透視時間中央値)

小数点以下を切り捨て

*防護クロスの使用

**防護クロスの使用、防護眼鏡の使用

***線量計素子の測定下限値以下のため、1.6 μSvとして算出

表41 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（消化器内科医師 D）

透視手技	2018年度ERCP件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注1)		介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注2)	
		算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定法：水晶体線量計(内側)	算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定法：水晶体線量計(内側)
ERCP	111	803***		1307***	

(注1)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(外側))中央値×透視時間中央値)

水晶体線量計(外側)=頭・頸部個人線量計と仮定、小数点以下を切り捨て

(注2)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(内側))中央値×透視時間中央値)

小数点以下を切り捨て

*防護クロスの使用

**防護クロスの使用、防護眼鏡の使用

***水晶体等価線量率の高い左眼で算出

表42 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（消化器内科医師 E）

透視手技	2018年度ERCP件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注1)		介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 ^(注2)	
		算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定法：水晶体線量計(内側)	算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定法：水晶体線量計(内側)
ERCP	304	1705***		3126***	

(注1)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(外側))中央値×透視時間中央値)

水晶体線量計(外側)=頭・頸部個人線量計と仮定、小数点以下を切り捨て

(注2)年間実施可能件数=年間水晶体等価線量限度(20mSv)/(水晶体等価線量率(水晶体線量計(内側))中央値×透視時間中央値)

小数点以下を切り捨て

*防護眼鏡の使用

**防護クロスの使用、防護眼鏡の使用

***水晶体等価線量率の高い左眼で算出

表43 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（整形外科医師 A）

透視手技内訳	2018年度透視手技件数(a)	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (b)	介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (c)
		算定：頭・頸部個人線量計 ≒水晶体線量計(外側)	算定：水晶体線量計(外/内比)
最小侵襲腰椎固定術(MIS-TLIF)	20	500	2,083
内視鏡下腰椎椎間板切除術(MED)	10	250	1,041
最小侵襲脊椎広範囲固定術(MIS-long fixation)	5	125	520
経皮的椎体形成術(BKP)	10	250	1,041
脊髓刺激電極設置術	2	50	208
椎間板髓核融解術・ディスクグラフ	40	1,000	4,166
神経根ブロック	10	250	1,041
合計	97	2,425	10,104

(a):概数a

(b): $b=a \times 20[mSv]/0.8[mSv]$ (2018年度水晶体等価線量),水晶体線量計(外側)=頭頸部個人線量計と仮定,小数点以下切り捨て

(c): $c=b/\{(100[%]-76***[%])/100[%]\}$,小数点以下切り捨て

* 寝台下防護カーテンの使用

** 寝台下防護カーテンの使用,RADPAD®の使用,最適な透視視野の使用,透視視野絞り,透視条件変更(透視パルスレート15→7.5fps),防護眼鏡の使用

*** 水晶体等価線量率の高い右眼での低減率(76%)

表44 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（整形外科医師 B）

透視手技内訳	2018年度透視手技件数 (a)	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (b)	介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (c)
		算定：頭・頸部個人線量計	算定：水晶体線量計(内側)
		N/A ***	N/A ***

(b): $b=a \times 20[mSv]/N/A[mSv]$ (2018年度水晶体等価線量),小数点以下切り捨て

(c): $c=b/\{(100[%]-N/A[%])/100[%]\}$,小数点以下切り捨て

* 防護なし

** 防護眼鏡の使用

*** 線量計素子の長時間放置によるバックグラウンド上昇、線量計の重複使用などにより解析不能。

表45 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（整形外科医師 C）

透視手技内訳	2018年度 件数	介入前*の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv) を超過しない最大の件数(注1,2)		介入後**の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv) を超過しない最大の件数(注1,3)	
		算定：頭・頸部個人線量計 (注4)	算定：水晶体線量計(内側)	算定：頭・頸部個人線量計 (注4)	算定：水晶体線量計(内側)
	N/A	N/A	1725	4600	1052
					1818

*防護眼鏡(A):パノラマシールド HF-350:0.07 mmPb

**防護眼鏡(B):パノラマシールド HF-380:0.07 mmPb

(注1):年間実施可能件数(右眼で算出)=年間水晶体等価線量限度(20 mSv)/{(水晶体等価線量率中央値)*(透視時間中央値)}

(注2):感染性偽関節手術1例,骨折観血的整復内固定術1例(n=2)が代表的治療手技であると仮定して年間実施可能件数を算出

透視時間:4m50s±2m29s(mean±SD),中央値:4m50s;AK:7.7±2.5 mGy,中央値:4.8 mGy

(注3):骨折観血的整復内固定術2例,一時の創外固定術1例(n=3)が代表的治療手技であると仮定して年間実施可能件数を算出

透視時間:5m13s±1m54s(mean±SD),中央値:6m34s;AK:10.1±4.9 mGy,中央値:13.6 mGy

(注4):水晶体線量計(外側)=頭・頸部個人線量計と仮定

表46 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（放射線科医師 A, B, C, D）

医師	2018年度放射線科領域透視/造影 件数(a)	介入前(後) [*] の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数	
		算定：頭・頸部個人線量計 (b)	算定：水晶体線量計(内/外比) (c)
放射線科医 A	202	1,035	2,300
放射線科医 B	222	493	1,095
放射線科医 C	207	6,900	15,333
放射線科医 D	N/A [†]	N/A [†]	N/A [†]

(b): $b=a \times 20[mSv]/(放射線科医A,B,C,D)[mSv](2018年度水晶体等価線量)$,小数点以下切り捨て

(c): $c=b/\{(100[%]-55**[%])/100[%]\}$,頭頸部個人線量計=水晶体線量計(外側)と仮定し防護眼鏡の低減率(55%**)を考慮,小数点以下切り捨て

* 天吊型遮蔽板 MAVIG:0.5 mmPbの適切な使用,パノラマシールド HF-350,HF-400:0.07 mmPb,Rayshield LG-192:0.6 mmPbの使用

** 水晶体等価線量率の高い左眼で算出(55%)

†2019年4月からの勤務のため2018年度の実績なし

表47 不均等被ばく線量から求める年間検査実施可能回数（放射線科医師 E）

透視/造影手技内訳	2018年度透視/造影手技件数(a)	介入前 [*] の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (b)		介入後 ^{**} の防護方法下で、水晶体等価線量限度(20mSv)を超過しない最大の件数 (c)	
		算定:頭・頸部個人線量計	算定:水晶体線量計(内/外比)	算定:頭・頸部個人線量計	算定:水晶体線量計(内/外比)
経皮的ドレナージ術	95	612		3,221	
経皮的形成術	9	58		305	
経皮的除去術	3	19		100	
経皮的針生検	25	161		847	
経皮的組織壞死術	6	38		200	
合計	138	890		4,684	

(b): $b=a \times 20[mSv]/3.1[mSv](2018年度水晶体等価線量)$,小数点以下切り捨て

(c): $c=b/\{(100[%]-81***[%])/100[%]\}$,頭頸部個人線量計=水晶体線量計(外側)と仮定し防護眼鏡の低減率(81%***)を考慮,小数点以下切り捨て

* 天吊型遮蔽板の使用,防護眼鏡の使用

** 天吊型遮蔽板の適切な使用,撮影時に室外退避を励行,防護眼鏡の使用

*** 水晶体等価線量率の高い左眼での低減率 (81%)

D. まとめ

本調査は、日本放射線医学会・日本IVR学会、日本整形外科学会、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から推薦された 15 施設 17 名の医師を対象に水晶体等価線量の測定を行った。対象医師に対して、十分な放射線防護措置を実施することにより、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が可能か検証した。

介入前の現状の診療における放射線防護方法下では、頭・頸部に装着した個人線量計により算定される水晶体等価線量が 20 mSv/年を超えていた医師は、17 名のうち 4 名存在し、最大値が 75.3 mSv/年であったが、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。

E. 研究発表

特になし

論文発表

特になし

学会発表

特になし

F. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

G. 参考文献等

- [1] J. Daures, J. Gouriou, J. M. Bordy, Coeficients de conversion du kerma dans l'air à l'équivalent de dose individuel Hp(3) pour la dosimétrie du cristalin, CEA-R-6235 Saclay (2009).

労災疾病臨床研究事業費補助
分担研究報告書

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～

研究代表者 櫻田 尚樹 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座 教授
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健康医学研究室 准教授
中上 晃一 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

【要旨】

【目的】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 20 mSv 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。【方法】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。【結果】1 検査当たりの水晶体等価線量は、評価項目①では 0.501 mSv 、② 0.182 mSv 、③ 0.053 mSv 、④ 0.027 mSv 、⑤ 0.014 mSv であり、20 mSv を超える件数はそれぞれ①40 件、②110 件、③377 件、④741 件、⑤1429 件となる。【結語】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い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。

【背景】2011 年 4 月 ICRP は、年間 20 mSv とする水晶体しきい線量の声明を発表し、2021 年の法令改正を見据え本邦でも新たな水晶体しきい線量の設定に向けて議論が進んでおり、水晶体被ばくの把握や被ばく低減の重要性が増している。ERCP では、術者の水晶体は散乱体である患者や X 線稼働絞りに近いところに位置していることから、術者の被ばくが問題となることが知ら

れている。しかし、1 検査当たりの術者の水晶体がどれほど被ばくしているか明らかとなっていない。

【目的】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 20 mSv 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。

【方法】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ERCP 7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③ERCP Low dose モードと防護クロスの使用④ERCP Low dose モードと防護眼鏡の使用⑤ERCP Low dose モードと防護クロスと防護眼鏡の使用の時における水晶体等価線量の比較とした。ERCP Low dose モードとは、ERCP standard モードと比較しX線透視とX線撮影の両方で管電流を減らし、放射線量を低減している。

線量測定には、蛍光ガラス線量計素子(GD-352M, 千代田テクノル)を使用し、防護眼鏡の左側の内/外両面(計2カ所)に線量計を貼付した。水晶体等価線量(3mm線量当量)への変換は、水晶体線量(ガラス線量計読み値)に1.597(実効エネルギー=50keVの値)を乗じた値で算出した(EURADOS Report 2012-02より)。防護クロスはX線TV装置散乱線防護クロスNP(保科製作所)を使用し、防護眼鏡はパ

ノラマシールドウルトラライトHF-350(保科製作所)を使用した。

【結果】1検査当たりの水晶体等価線量(中央値)は、術者の左目において評価項目①では0.501 mSv、②0.182 mSv、③0.027 mSv、④0.053 mSv、⑤0.014 mSvであった。(Fig. 1)また、上記の結果より20mSvを超える件数はそれぞれ①40件、②110件、③741件、④377件、⑤1429件であった。(Fig. 2)ERCP standard モードと比較して多段階防護の被ばく低減率は、②ERCP Low dose モードの場合63.7%、③ERCP Low dose モードと防護クロスの使用の場合94.6%、④ERCP Low dose モードと防護眼鏡の使用の場合89.4%、⑤ERCP Low dose モードと防護クロスと防護眼鏡の使用の場合97.2%であった。

(Table. 1)防護クロス単体での被ばく低減率は85.2%であり、防護眼鏡単体での被ばく低減率は70.9%であった。

(Table. 2)

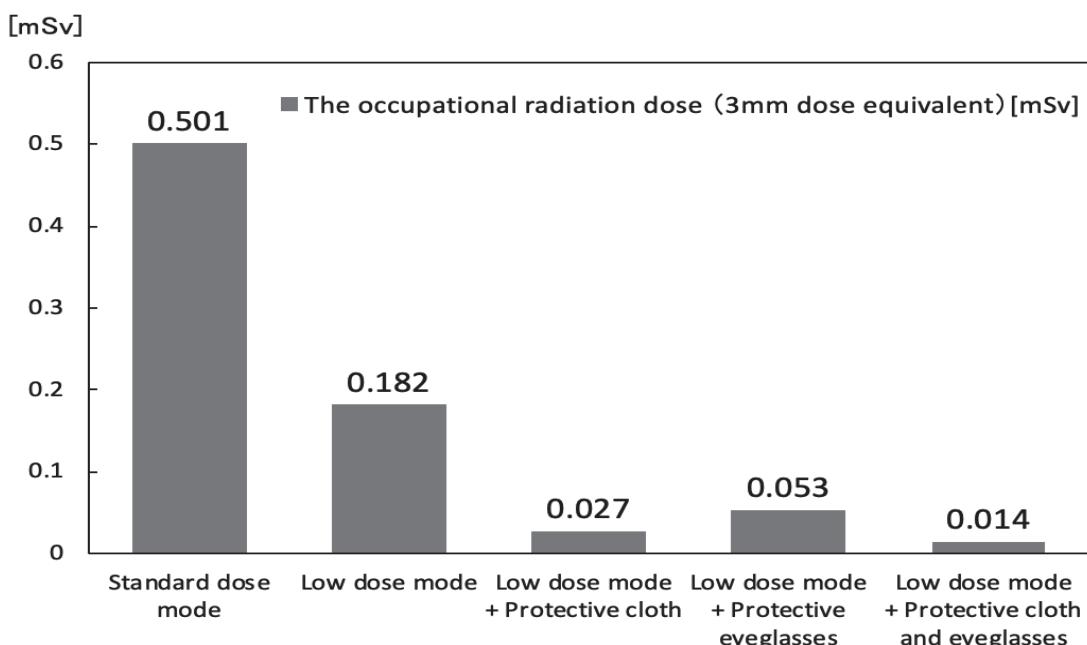


Fig. 1 1検査当たりの水晶体等価線量

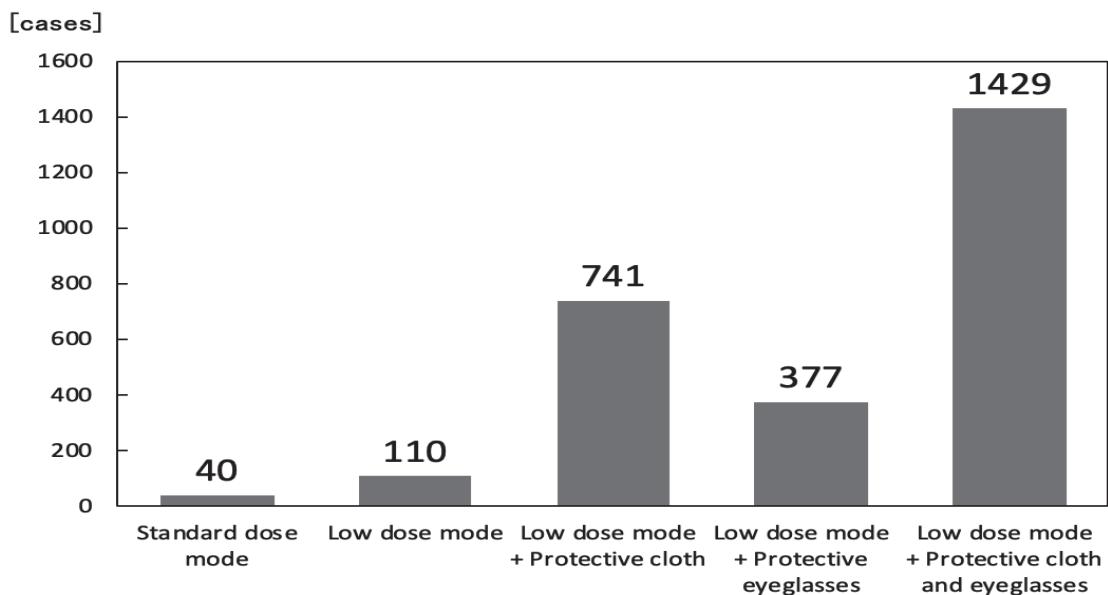


Fig. 2 水晶体等価線量が年間 20 mSv となる件数

Table. 1 ERCP standard モードと比較した場合の各防護方法の被ばく低減率

	Standard dose mode	Low dose mode	Low dose mode + Protective cloth	Low dose mode + Protective eyeglasses	Low dose mode + Protective cloth and eyeglasses
The effect of dose reduction(%)	-	63.7	94.6	89.4	97.2

Table. 2 各防護方法単体での被ばく低減率

	Protective cloth	Protective eyeglasses	Protective cloth and eyeglasses
The shielding effect	85.2%	70.9%	92.3%

【考察】何も防護を施さない場合の水晶体被ばくは 0.501 mSv という衝撃の値となつた。これは、年間 100 件以上 ERCP を行うと年間 50 mSv を超えてしまい、ICRP 効告の「年 50 mSv を超えない」という事に反する状態となってしまう。近年 ERCP は、開腹手術に変わる低侵襲治療として症例数も増え当院では 3 人の医師で年間約 400 件行っている。この状況から、年間 100 件以上の ERCP を行う医師は全国に多数存在する可能性があり、一刻も早く被ばく低減の処置を実行に移さなければならぬ。まず、医師や診療放射線技師がすぐ取りかかる防護処置として X 線条件の見直しを行うことが重要と考える。費用をかけずに 60% 以上の被ばく低減に成功したが、どの装置にも ERCP Low dose モードが搭載されていない事を考え、透視パルスレートの低減や透視撮影範囲を絞るといった X 線条件の見直しが必要である。加えて、防護クロスまたは防護眼鏡の使用を行うことも重要であり、X 線条件の見直しと防護具の使用という多段階防護の有用性が示された結果となつた。防護具において何を使用するか

は、防護具購入の予算や各施設の症例数によって決めることが現実的となる。

【結語】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 20 mSv 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はずれか一方の防護具を使用していれば 20 mSv 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 20 mSv を超えることはまずない。

[1] Yoshiaki Morishima , et al.
Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures. J Radiat Res. 2018, 3, 225 – 232.

[2] Yoshihiro Haga, et al.
Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. Scientific Reports. 2017, 7, 569.

労災疾病臨床研究事業費補助
分担研究報告書

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

研究代表者 欅田 尚樹 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座 教授
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健康医学研究室 准教授
茂呂田孝一 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

【要旨】

【目的】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。

【方法】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。

【結果】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 $148 \mu\text{Gy}$ ($n=97$) であるが、防護眼鏡を装着することで中央値 $67 \mu\text{Gy}$ (55%低減) に、遮蔽体（防護衝立）を追加することで、中央値 $23 \mu\text{Gy}$ (83%低減)、更に低線量モードを適用することで中央値 $12 \mu\text{Gy}$ (92%低減) となった。

【考察】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 20 mSv 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て使用したこと効果的な線量低減に繋がった。

【結論】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。

【目的】2012 年に ICRP は、眼の水晶体の線量限度引き下げを勧告した。脊髄腔造影では、オーバーチューブ型 X 線透視撮影装置（以下、オーバーチューブ型と表記）を使用することが多いが、検査を実施する医師の水晶体被ばくを実態調査した報告は殆どない。以前の研究において我々は、オーバーチューブ型の特性として、血管撮影等で使用されるアンダーチューブ型に比べ術者の頭部への散乱線曝露が大きく、実施する医師の水晶体防護には、放射線防護メガ

ネ着用が必須であることを報告した。更に、実施する検査数によっては、今後改訂が検討されている水晶体の年間線量限度を超える可能性もあり、防護メガネ着用だけでは限界があることも報告した。そこで本研究では、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。

【対象】脊髄腔造影 343 症例で、術者の防護眼鏡(パノラマシールド、東レ・メディカル)の内側(246 例)に、蛍光ガラス線量計(GD-352M、千代田テクノル)を左右 2 本ずつ貼り検査毎の水晶体線量を測定した。この時、個々の測定において左右の最も高い値をその検査の水晶体線量と定義した。同様に防護眼鏡外側(97 例)も測定した(Table 1.)。

【使用機器と方法】実施医師に防護眼鏡、遮蔽体(防護衝立)、低線量モード(管電流を約 50% 低減するモード)。線量低減に伴う画質劣化をダイナミックレンジ圧縮技術で補う被ばく低減法)の 3 種の防護手段を段階的に追加していき、蛍光ガラス線量計で水晶体線量を測定した(Fig. 1)。なお本研究は、院内の倫理委員会承認を得たうえで実施した。

Table 1. 対象患者群の特徴

	① Lead glasses (outside)	② Lead glasses (inside)	③ With Lead glasses + Protective screen	④ With Lead glasses + Protective screen + Low dose mode
Period for investigation	Jan-2018 ～Apr-2018	Oct-2017 ～Jan-2018	May-2018 ～Aug-2018	Aug-2018 ～Dec-2018
Number of cases	97	78	88	80
Age(y) (mean ± SD)	61.9 ± 17.3	65.4 ± 13.8	67.5 ± 12.8	63.9 ± 15.0
[Range]	[20-93]	[20-89]	[28-93]	[18-86]
Weight(kg) (mean ± SD)	64.3 ± 13.0	62.6 ± 13.0	61.8 ± 14.3	64.1 ± 13.2
[Range]	[36-101]	[40-104]	[34-110]	[40-94]

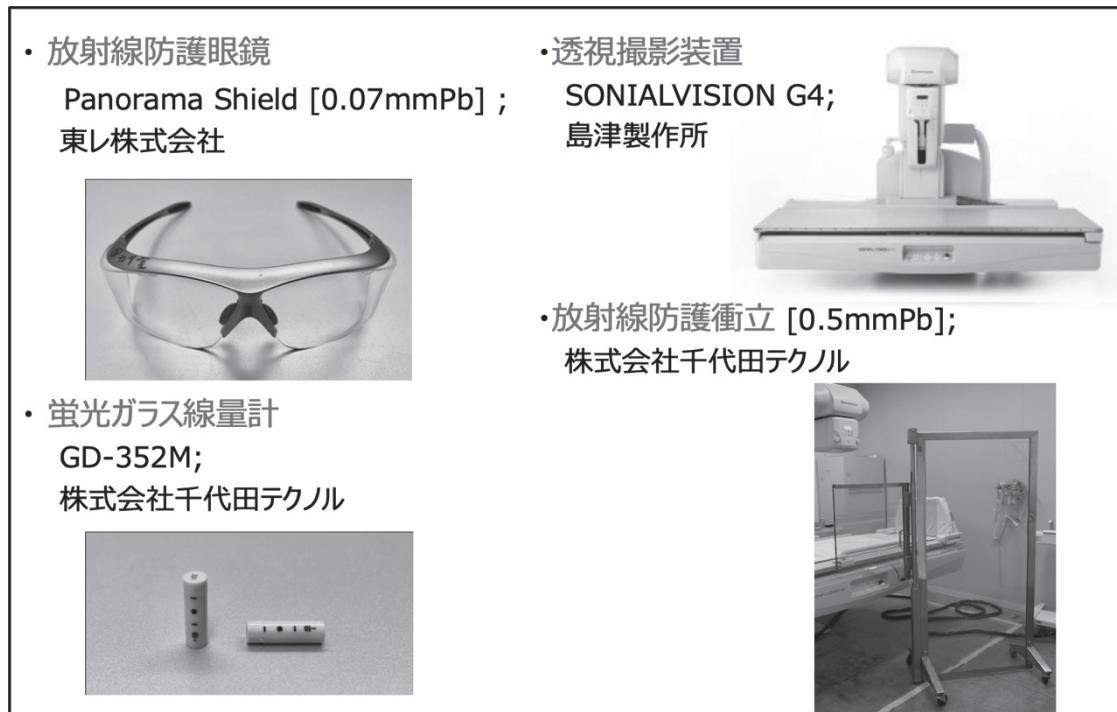


Fig. 1 使用機器

【結果】 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 $169.5 \pm 114.6 \mu\text{Gy}$ (mean \pm S.D.) / 手技、中央値 $148 \mu\text{Gy}$ ($n=97$) であるが、防護眼鏡を装着することで $76.4 \pm 46.2 \mu\text{Gy}$ / 手技 ($n=78$)、中央値 $67 \mu\text{Gy}$ (55%低減) に、遮蔽体（防護衝立）を追加することで $28.8 \pm 24.5 \mu\text{Gy}$ / 手技 ($n=88$)、中央値 $23 \mu\text{Gy}$ (83%低減)、更に低線量モードを適用することで $14.0 \pm 8.9 \mu\text{Gy}$ / 手技 ($n=80$)、中央値 $12 \mu\text{Gy}$ (92%低減) となり、段階的且つ大幅に線量を低減することができた(Table 2.)。

2.)。また、今回使用した防護眼鏡の外側と内側の線量比は防護眼鏡の遮蔽率を示し、防護眼鏡単体の遮蔽率は 55%であった。Fig. 2 は、術者の水晶体線量低減率の経時的变化を表す。破線(大)は透視時間の経過で介入開始から徐々に減り始め、調査期間中におおよそ半減した。透視時間が短縮したこと、それに連動し破線(小)の照射線量も同等量低減した。一方、実線で表された水晶体線量は、術者の影響で短縮した透視時間の影響以上に大きな低減率を達成した。

Table 2. 多段階防護と線量低減率

	① Lead glasses (outside)	② Lead glasses (inside)	③ With Lead glasses + Protective screen	④ With Lead glasses + Protective screen + Low dose mode
Physicians eye lens dose ($\mu\text{Gy}/\text{procedure}$) (mean \pm SD)	169.5 ± 114.6	76.4 ± 46.2	28.8 ± 24.5	14.0 ± 8.9
Median ($\mu\text{Gy}/\text{procedure}$)	148	67	23	12
Reduction ratio (%)	—	55	84	92

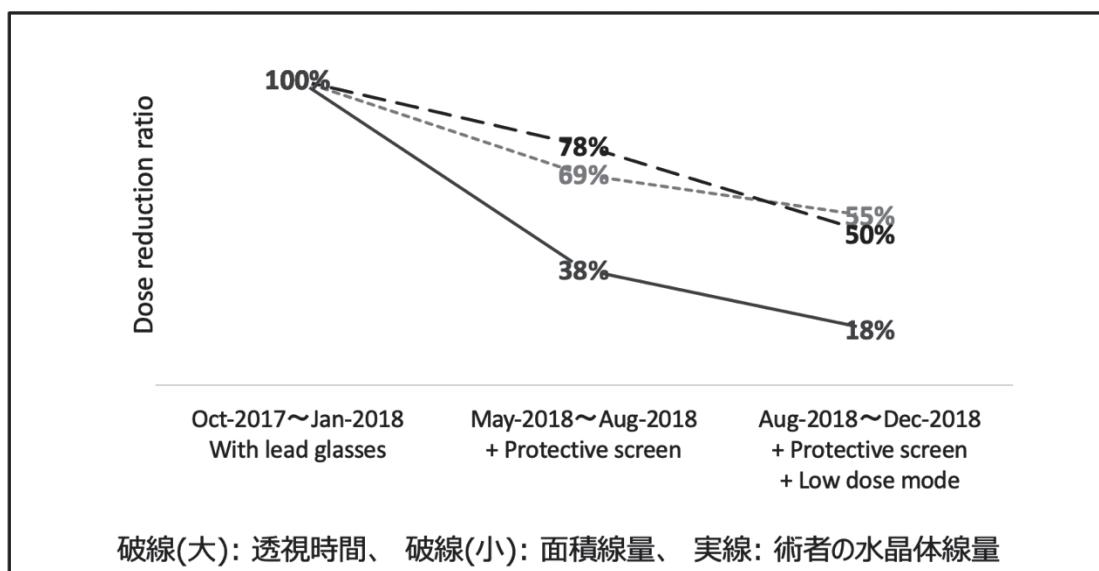


Fig. 2 介入後の透視時間と面積線量の低減及び水晶体線量低減率

【考察】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 20 mSv 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て使用したことでの効果的な線量低減に繋がった。検査毎の線量を実測により明らかにしたことと、線量とリスクの関係を術者にフィードバックすることで、術者は自ら放射線防護の重要性について理解し、放射線防護について改めて考えるようになった。その結果透視時間の短縮に繋がり、それが患者と術者自身の被ばく低減に繋がった。線量低減に遮蔽体追加などの物理的効果が寄与したことは間違いないが、今回、術者自身が透視時間を短縮するよう意識し努力するなどの行動変容に繋がったことが大変重要であった。

【結語】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。

労災疾病臨床研究事業費補助
分担研究報告書

血管撮影に従事する看護師の水晶体被ばく実態調査

研究代表者 檜田 尚樹 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座 教授
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健康医学研究室 准教授
茂呂田 孝一 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

【要旨】

【目的】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。

【方法】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等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。

【結果】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。

【考察】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。

【結論】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 20 mSv/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。

【目的】近年、血管撮影件数は増加傾向にある。特に血管内治療は、外科手術に比べ低侵襲であり適応症例が拡大している。一方で、血管撮影に携わる医療従事者の職業被ばくは、比較的大きいことが知られている。中でも看護師は、患者の直ぐ近くで作業することが多く、この位置はX線管に近

く放射線線量率が高いため、被ばくのリスクが高くなる可能性がある。従って無用な接近は避けるべきであり、被ばく防護に対する意識づけと具体的な対策を講じることが必要である。2012年 ICRP（国際放射線防護委員会）は、最近の知見から白内障のしきい線量を 0.5Gy と見なし、眼の水晶体

の等価線量限度（現在は 150 mSv/年）を 5 年間で 100 mSv（平均 20 mSv/年）、かつ 50 mSv/年以下にするよう勧告しているが、血管撮影に従事する看護師の水晶体線量を調査した報告は少ない。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。

【方法】 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等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。次に、年間水晶体等価線量を検査/時間/撮影当りの詳細な解析を行い、個人間の比較を行った。更に、放射線防護に関する簡易講習会を隨時実施し、その前・後で知識の実践に関するアンケート調査を行い（Fig. 1）、被ばく線量との関係性を解析した。

1. 防護衣の種類と適切な使用
2. 甲状腺プロテクタの着用
3. 防護眼鏡の着用
4. 個人線量計の装着位置の理解と着用
5. 防護衝立の使用
6. 防護 3 原則の理解と実践

全くできていない 余りできていない どちらでもない 大体出来ている いつも出来ている

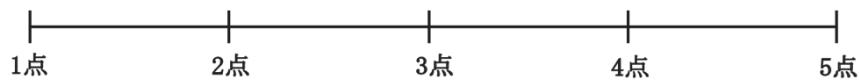


Fig. 1 簡易講習後の防護知識に関するアンケート。

【倫理的配慮】 本研究は、新小文字病院倫理委員会の承認（承認番号：2018005）を得て実施した。医療行為に対する介入や侵襲的な介入は一切なく、患者及び医療従事者への不利益はない。また、個々の看護師に対し、口頭で十分に説明を行い、同意が取れた場合のみ調査対象とした。

【結果】 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（Fig. 2）。

また、水晶体等価線量には以下の通り個人差が認められた。年間当たり：
A>F>B>H>C>E>D=G、1 検査当たり：
B>F>A>H>C>D>E>G、透視 1 時間当たり：
F>A>B>H>C>D>>E>G、撮影 1 回当たり：
F>A>B>H>C=D>E>G (Table 1.)。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 (Table 2.)。

更に、高線量/低線量被ばく群の講習前アンケート結果から有意差は認めなかったも

の、両群に知識の実践が被ばく線量を下げる傾向が示された (Table 3.)。

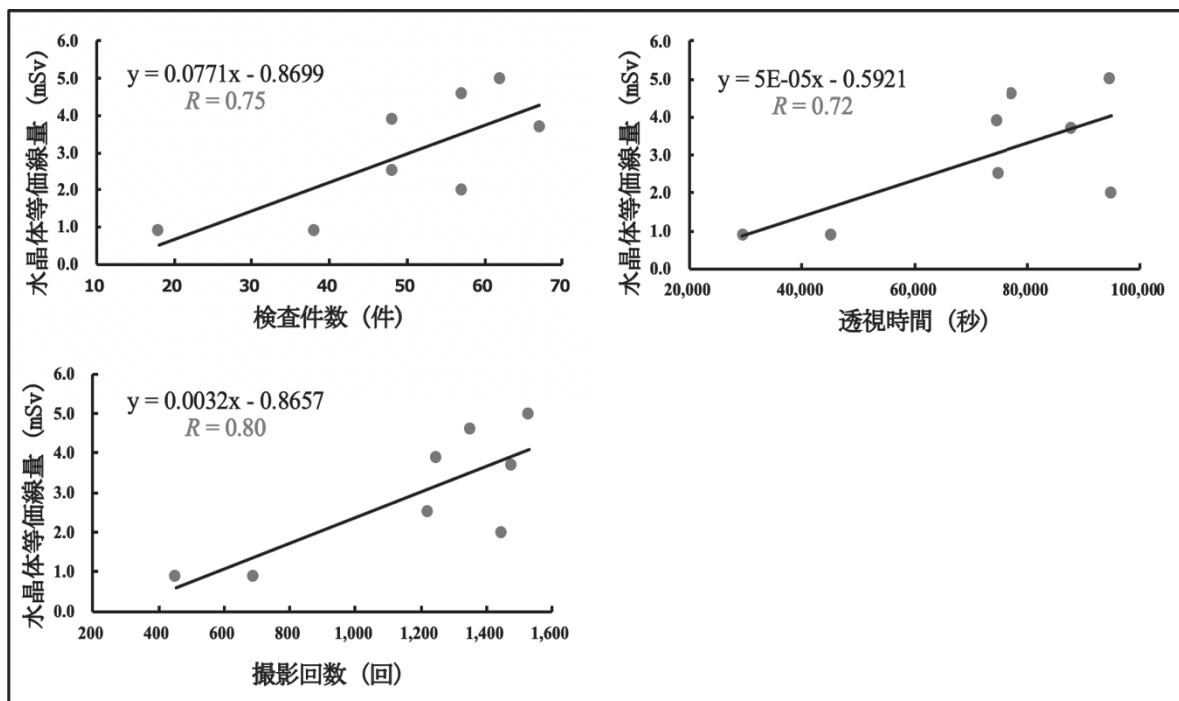


Fig. 2 水晶体等価線量と検査件数、透視時間、撮影回数の関係。

Table 1. 個別の年間水晶体等価線量と、その検査/時間/撮影当たりの詳細な解析

看護師	年間水晶体等価線量 (mSv/年)	1検査当たり (μ Sv/件)	透視1時間当たり (μ Sv/h)	撮影1回当たり (μ Sv/回)
A	5.0	80.6	190.4	3.3
B	3.9	81.3	188.5	3.1
C	2.5	52.1	120.6	2.0
D	0.9	50.0	110.2	2.0
E	2.0	35.1	75.9	1.4
F	4.6	80.7	214.4	3.4
G	0.9	23.7	72.1	1.3
H	3.7	55.2	152.0	2.5
平均	2.9	57.3	140.5	2.4

Table 2. アンケート項目の講習前後の点数の変化

	今回の講習前	今回の講習後	Welch's t-test
1. 防護衣の種類と適切な使用	4.4±1.2	4.9±0.4	N.S.
2. 甲状腺プロテクタの着用	2.8±1.5	4.9±0.4	p<0.01
3. 防護眼鏡の着用	2.3±1.3	3.9±1.3	p<0.05
4. 個人線量計の装着位置の理解と着用	4.4±0.7	4.8±0.5	N.S.
5. 防護衝立の使用	3.9±1.1	3.9±1.6	N.S.
6. 防護3原則の理解と実践	3.9±0.6	4.8±0.5	p<0.01

Table 3. 高線量/低線量被ばく群の講習前アンケート結果

看護師	高線量被ばく群		Welch's <i>t</i> -test
	A, B, F	C, D, E, G	
1. 防護衣の種類と適切な使用	4.0±1.7	4.5±1.0	N.S.
2. 甲状腺プロテクタの着用	1.7±0.6	3.8±1.5	N.S.
3. 防護眼鏡の着用	1.7±0.6	2.8±1.7	N.S.
4. 個人線量計の装着位置の理解と着用	4.0±1.0	4.5±0.6	N.S.
5. 防護衝立の使用	3.3±1.5	4.0±0.8	N.S.
6. 防護3原則の理解と実践	4.0±0.0	3.8±1.0	N.S.

【考察】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（有意差無し）。このとき、正しい放射線防護知識とは、①線源からの距離、②撮影時の室外退避、③防護衝立の利用、④照射ランプの点灯を意識した短時間行動等を指す。検査当たり、透視時間当たり、撮影回数当たりの線量を解析することで、個別の被ばく要因を明らかにし、個別の防護教育・措置を施すことができるようになると考える。

【結語】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 20 mSv/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。更に、適切な防護は診療放射線技師との連携が重要で、単に年間線量管理を見ているだけでは分からない個人差

を本研究で見出せた。また、現場での簡易講習会は、防護知識の習得とその実践の向上に効果的であったが、防護知識の実践が水晶体等価線量を下げる傾向に有意差は見出せなかつた。

労災疾病臨床研究事業費補助
分担研究報告書

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

研究代表者 櫻田 尚樹 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座 教授
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健康医学研究室 准教授
松崎 賢 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

研究要旨

国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection : ICRP）より放射線診療従事者の水晶体等価線量限度の引き下げに関する声明が発せられ、本邦においても、現状の対策として作業方法の確認や防護教育などが求められている。

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 ± 0.58 、 2.33 ± 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。

A. 研究目的

2011年、ICRPより放射線診療従事者の水晶体等価線量限度の引き下げに関する声明が発せられ、その是非に関して世界中で議論された。本邦においても例外でなく、様々な議論ののち、水晶体等価線量限度の引き下げが予定さ

れている。臨床現場においては、2017年4月18日、厚生労働省労働基準局安全衛生部長より通知（基安発0418）があり、厳しい管理が必要となっている。今後、現状の対策として作業方法の確認や防護教育などが求められている。

ミエログラフィは放射線透視ガイド下にて、脊柱管内の神経組織の圧迫位置や程度を評価するため行われる。その時の医師の介助や患者の状態観察の際、放射線診療場に滞在するため、看護師は散乱線の影響を受ける。調査病院におけるミエログラフィは平均透視時間 60 秒程度と短いものの、年間検査数は 5 年平均で 440 件程行われている。そこで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。

B. 研究方法

2018 年 1-3 月に調査病院で実施されたミエログラフィのうち、同意を得た看護師が従事した 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。その結果を①看護師による違い、②医師による違いについて解析した。対象となる看護師は経験年数 2 年目の 4 名（年齢 23.00±1.73 歳）であり、それぞれ従事回数は看護師 a が 9 回、看護師 b が 7 回、看護師 c が 9 回、看護師 d が 7 回であった。また検査を施行した医師は経験年数 5、14 年目の 2 名であり、従事回数は医師 A が 15 回、医師 B が 17 回であった。

表 1 ミエログラフィに従事する看護師の腹部線量

看護師	件数	看護師の腹部線量 [μSv]	p value*
a	9	2.4 ± 1.2	
b	7	1.7 ± 0.6	
c	9	1.4 ± 1.2	
d	7	1.9 ± 1.0	0.159

* Kruskal-Wallis の検定

次いで、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。調査項目は①自身の被ばく線量を確認しているか、②自身の被ばく低減について、③防護装具の装着について、とした。

C. 研究結果

看護師の違いによる結果を表 1 に示す。看護師 a - d の腹部線量は 1.4-2.4 μSv 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つた。詳細を見ると、腹部線量が高く測定される要因として、患者の近くでの介助時や患者の高体重時などが挙げられた。医師 A、B の違いによる看護師の腹部線量の結果を表 2 に示す。それぞれ 1.35 ± 0.58 、 2.33 ± 1.31 (mean±SD) μSv であり、有意差が認められた ($p=0.011$)。また透視時間もそれぞれ 44.53 ± 11.10 、 56.76 ± 14.01 (mean±SD) 秒と、有意差が認められた ($p=0.011$)。医師 A、B の質問紙調査の結果を表 3 に示す。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。

表 2 医師の違いによる看護師の腹部線量

医師	件数	看護師の腹部線量 mean±SD [μSv]	p value*	透視時間 mean±SD [秒]	p value*
A	15	1.35 ± 0.58		44.53 ± 11.10	
B	17	2.33 ± 1.31	0.011	56.76 ± 14.01	0.011

SD: standard deviation

* 対応のない t 検定

表 3 医師の被ばくに対する関心

質問	医師 A	医師 B
自身の被ばく線量の確認	確認している	確認していない
自身の被ばく低減について	できるだけ防護する	意識していない
防護装具の装着について	比較的着けている	時々着けている

D. 考察

1 検査当たりの看護師の腹部線量は小さかった。仮に一番高かった看護師 a が 1 年間 440 回従事し、防護衣の遮蔽効果が 90%あるとすると、作業場の線量は $2.4 \text{ } [\mu\text{Sv}] \times 440 \text{ } [\text{回}]$

$\times 10 = 10.56 \text{ } [\text{mSv}/\text{年}]$ と見積もることができる。実際は複数人で検査に従事することから、現状の年間検査数でも看護師の作業環境は、安全に管理されていると考えられる。また看護師間の腹部線量に差がなかったことは、作業位置が大きく変わらないことや経験年数が皆同じであることが影響していると推察された。

一方、医師 B は A に比べ、看護師の腹部線量が有意差を持って高かった。

医師 A、B には経験年数の差や透視時間の差、自身の被ばくに対する関心などに差があり、それらが総合的に影響していると推察された。これより、医師の手技が看護師の腹部線量に関連することが示唆された。

E. 結論

ミエログラフィに従事する看護師の腹部線量は小さく、これにより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明らかとなった。

F. 研究発表

学会発表

労災疾病臨床研究事業費補助
分担研究報告書

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

研究代表者 欅田 尚樹 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座 教授
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健康医学研究室 准教授
松崎 賢 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

研究要旨

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 \pm SD) に対して、改善後は $0.27 \pm 0.41 \text{ mSv}/3 \text{ ヶ月}$ (mean \pm 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。

A. 研究目的

IVR (Interventional Radiology) を施行する医師の被ばく線量は、他の放射線診療従事者に比べて格段に高いとされ、自らの身体を守るために防護装具の使用が必要不可欠である。しか

し、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。こうした背景の中、2017 年 4 月、2019 年 11 月に厚生労働基準局安全衛生部長より通知（基安発 0418 第 3 号、同 1101 第 1 号）があり、この中で放射線業務に

おける作業の見直しや再確認を行い、被ばく低減対策を行う事が示されている。特に基安発 1101 第 1 号では、個人線量計の使用に関して言及されており、今後、放射線管理の徹底と一層の放射線障害防止対策を図る必要がある。そこで、本研究の目的は、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。

B. 研究方法

2017 年 5-7 月に実施された放射線診療 231 症例中、データ欠損のなかった 139 症例 (60.17%) 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。期間中行われた放射線診療を表 1 に示す。また、調査対象とした IVR 施行医は男性

9 名（年齢：42.00±7.76 歳、経験年数：15.33±6.90 年）であった。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（式 1）。次に業務改善として、IVR 施行医に対して防護装具使用徹底の注意喚起を行った。さらに診療開始前に防護装具の使用を直接促すことを担当診療放射線技師の業務として定め、これを実施した。これらの業務改善の介入実施後、2018 年 5-7 月に実施された放射線診療 162 症例中 117 症例 (72.22%) について、防護装具使用率向上の効果を判定した。また、業務改善前後における防護衣内側の被ばく線量（胸部）の推移について、検証を行った。なお、被ばく線量の測定は OSL 線量計を使用した。

表 1 調査対象の放射線診療

病変	部位	放射線診療
血管病変診療群	頭部	血管造影検査 経皮的血栓除去術 脳動脈瘤コイル塞栓術 ステント留置術 シャント造影 血管造影検査
	頸部	ステント留置術 血管造影検査
	冠動脈	血管造影検査 経皮的冠動脈形成術 経皮的カテーテル心筋焼灼術
	胸腹部大血管	血管造影検査 経皮的動脈塞栓術 下大静脈フィルター留置術
	四肢	経皮的下肢血管形成術
	脊椎	脊髄腔造影検査
非血管病変診療群		

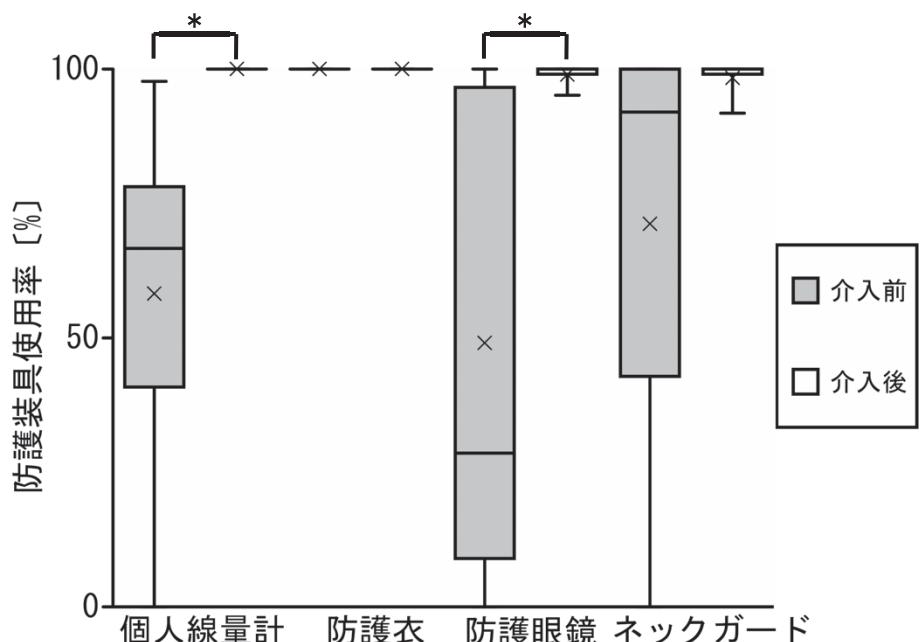
腎臓・膀胱	硬膜外自家血注入療法 膀胱尿道造影検査 逆行性腎盂尿管造影検査 経尿道的尿管ステント留置術
-------	--------------------------------------------------------

$$\text{防護装具使用率 (\%)} = \frac{\text{防護装具使用回数}}{\text{放射線診療従事回数}} \times 100 \cdots \cdots \cdots \text{式 1}$$

C. 研究結果

防護装具の使用率の推移についての結果を図 1 に示す。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）%であり、個人差も認められた。業務改善後の中央

値は全て 100（範囲：88.89—100）%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では有意差を持って高くなった（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。



* $p < 0.01$ (Mann-Whitney test)

図 1 業務改善前後の防護装具使用率

被ばく線量の推移の結果を表 2 に示す。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 \pm SD) に対して、改善後は $0.27 \pm 0.41 \text{ mSv}/3 \text{ ヶ月}$ (mean \pm SD) と増加した。

反対に総透視時間は 54.93 時間から 46.62 時間に減少していた。この傾向は、血管を主病変として放射線診療を行う IVR 施行医の群（血管病変診療群）でも認められた。臓器を主病変と

して放射線診療を行う IVR 施行医の群（非血管病変診療群）では、業務改善前後の被ばく線量と総透視時間共に減少傾向であったものの、その減少率

(式 2) には大きな乖離が認められた（被ばく線量：22.22%、総透視時間：62.03%）。

表 2 業務改善前後の被ばく線量と総透視時間

	被ばく線量* (mean±SD) [mSv/ 3 カ月]		p value**	総透視時間 [時間]	
	業務改善前	業務改善後		業務改善前	業務改善後
血管病変診療群 (n=6)	0.26±0.23	0.36±0.47	0.444	52.55	45.72
非血管病変診療群 (n=3)	0.09±0.15	0.07±0.07	0.699	2.37	0.9
合計	0.20±0.22	0.27±0.41	0.465	54.93	46.62

* 被ばく線量は胸部個人線量計より測定された値 (1cm 線量当量)。M (最小検出限界値以下) は 0 mSv として算出。

** p<0.05 (対応のない t 検定)、介入前後での比較。

$$\text{減少率 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{業務改善後の値}}{\text{業務改善前の値}} \right) \times 100 \dots \dots \dots \text{式 2}$$

D. 考察

業務改善前は個人線量計と防護眼鏡の使用率が低いことから、その重要性を理解しておらず、防護衣とネックガードのみの防護で良いといった誤った認識があると考えられた。このことから、調査対象の IVR 施行医は防護に対する意識が不十分であることが推察される。また、防護装具使用率の個人差は今までの放射線防護教育や意識の差が関与していると考えられた。業務改善後、全ての使用率中央値は 100% となった。これより、診療放射線技師による業務改善は非常に効果的であることが示唆された。今後も継続的活動が望まれる。

業務改善の効果として、個人の被ばく線量にも着目してみた。有意差はないものの、業務改善後で総透視時間が減じているのにも関わらず、全体と血管病変診療群の被ばく線量は高くなっていた。業務改善前では個人線量計を使用していないことにより、被ばく線量が過小評価されていたことが要因と考えられた。非血管病変診療群では、総透視時間は 62% 程度減少しているのに対し、被ばく線量は 22% 程度しか減少していなかった。このことから、非血管病変診療群も、業務改善前は個人線量計を使用していないことによる過小評価がされていたと考えら

れる。本業務改善により、眞の測定ができるようになったと示唆された。

E. 結論

防護装具使用率向上のための業務改善において、放射線技師による業務改善は非常に効果的であった。また、そ

の副効果として、眞の被ばく線量が明らかとなった。

F. 研究発表

学会発表

労災疾病臨床研究事業費補助
分担研究報告書

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—

研究代表者 櫻田尚樹 産業医科大学産業保健学部産業・地域看護学講座 教授
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健康医学研究室 准教授
阿部利明 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

研究要旨

【目的】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。

【方法】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。

【結果】調査病院では、実効線量が0.7 mSv/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。

【考察】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以上となること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。

【結論】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。

1. 目的

水晶体等価線量低減のための業務改善計画を策定するにあたり、被ばく線量の実態調査は必要不可欠である。また放射線診療従事者は、水晶体のみが被ばくするわけ

ではなく全身も被ばくするため、水晶体等価線量と実効線量との比（線量比）について実態調査などを行うことにより、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に有効となりえる情報を得ることを、本研究の目的とした。

2. 方法

2-1. 調査対象施設および調査期間

調査対象施設（調査病院）は、病床数約700の特定機能病院1箇所とした。また、調査期間は1998年4月から2019年3月までの21年間とした。

2-2. 調査対象者および人数

調査対象者は、調査期間内に放射線診療従事者として調査病院に登録して放射線業務従事者の内、水晶体等価線量と実効線量のいずれも検出下限値以上の者1,190人（内均等被ばく測定者658人、不均等被ばく測定者532人）とした。

2-3. 調査および解析対象データ

法令の規定[1]により算定され保管されている個人被ばく線量測定記録を対象データとした。

2-4. 調査項目

放射線診療従事者ごとに算定した線量比の分布

2-5. シミュレーション照射による線量測定

1) X線照射装置および照射条件

X線照射装置は、調査病院でIVRなどに用いられている島津メディカルシステムズ株式会社製のCアーム型デジタルラジオグラフィ（型式：DAR-3500）を用いた。照射は、オーバーテーブルX線管、透視モード（パルス透視15F/Sec.）で行なった。管電圧は85kV、管電流は2.7mA、照射野は12×12inch（約300×300mm）、照射時間は20min.とした。また、寝台とX線管球間の距離は1030mm、寝台の高さは床上850mmとした。

2) ファントム

患者に見立てたファントムには胸・腹部用X線水ファントム（WAC型、W300×D200×H45mm）、放射線診療従事者に見立てたファントムには軟組織等価材と骨等価材を用いた人体ファントム（Alderson Rando phantom®；163cm相当）を用いた。測定時のX線照射装置や寝台等の位置関係を図1に示す。

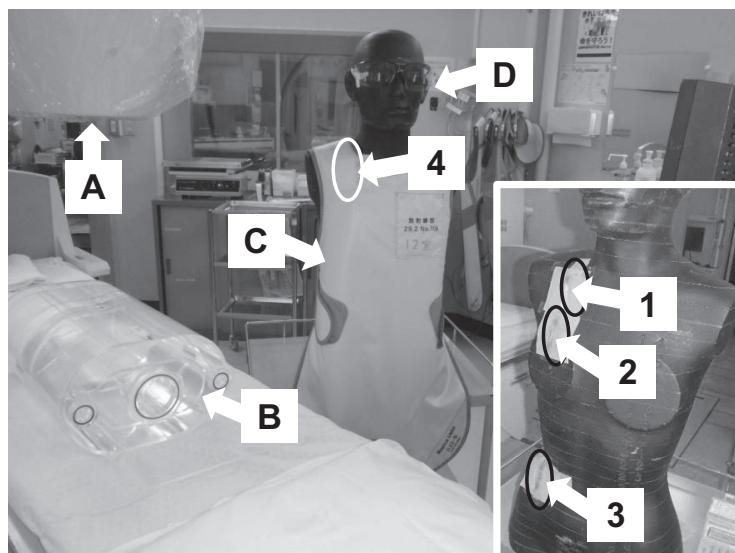


図1 X線照射装置によるシミュレーション照射時の位置関係

A:X線管球、B:患者に見立てた水ファントム、C:防護衣、D:放射線診療従事者に見立てた人体ファントム、1:頸部の個人線量計装着箇所(防護衣内側)、2:胸部の個人線量計装着箇所(防護衣内側)、3:腹部の個人線量計装着箇所(防護衣外側)、4:頸部の個人線量計装着箇所(防護衣外側)。

3) 防護衣

株式会社マエダ製の HAGOROMO Magical Light を用いた。鉛当量は 0.25mm、サイズは S（人体ファントムにフィットするサイズ）を使用した。

4) 線量測定

株式会社 千代田テクノル社製の線量計小型素子（型式：GD-352M）を用いた。測定箇所は胸部および腹部の防護衣内側にそれぞれ 1 箇所、頸部の防護衣の外側および内側にそれぞれ 1 箇所とし（図 1），1 箇所につき同素子を 3 個使用した。照射後、同社製のガラス線量計小型素子システム（型式：DoseAce / FGD-1000）を用いて、素子に照射された線量を計測した。計測は各素子 1 回行い、3 個の素子の読み値の平均を、その箇所の測定値とした。なお同システムは、国家標準線量計とトレーサビリティが確保されているガラス素子を用いて校正を行っている。

2-6. 統計処理

基本統計量を用いて処理を行った。処理にあたっては、Excel(2016)および KaleidaGraph (Ver. 3.51) を用いた。また、数値が誤差の範囲内で一致しないとき、両数値間には差があるとした。

2-7. 倫理的配慮

産業医科大学倫理委員会で、平成 30 年 9 月 28 日付けで承認されている。（受付番号 H30-099 号）

3. 結果

3-1. 水晶体等価線量と実効線量との線量比

図 2 に線量比の分布を示す。

均等被ばく測定者 (A) では、線量比がほぼ 1 (1.1 ± 0.2) であった。これに対して不均等被ばく測定者 (B) では、線量比のばらつきが大きかった (3.6 ± 3.9)。不均等被ばく測定者では、実効線量 0.7 mSv/年以上の線量域における線量比の最大値は 7.3 であったが、実効線量 0.6 mSv/年以下の線量域においては、線量比 7 を大きく超える者が多数認められ、最大値は 30 であった。

3-2. シミュレーション照射による線量測定

男性（基本部位の線量計を胸部にしている場合）の線量比を表 1 に、女性（基本部位の線量計を腹部にしている場合）の線量比を表 2 に示す。なお、表中の「正しい装着位置」とは、頸部の個人線量計を防護衣の外側に装着している場合、「間違った装着位置」とは、防護衣の内側に装着している場合のことをいう。

水晶体等価線量は、吸収線量から水晶体吸収線量への換算係数の最大値 1.550[2] を頸部の測定線量に乗じて求めた。また実効線量は、胸部（または腹部）と頸部の測定線量を式(1)にあてはめ算定した値に、吸収線量から実効線量への換算係数の最大値である 1.433[2] を乗じて求めた。以下に式(1)を示す。ここで、 H_E ：実効線量当量、 H_a ：頭部および頸部の 1cm 線量当量、 H_b ：胸部および上腕部（または腹部および大腿部）の 1cm 線量当量、 H_c ：腹部および大腿部の 1cm 線量当量である。

$$H_E = 0.11H_a + 0.89H_b \quad (\text{または } H_c) \quad (1)$$

その結果、男性および女性とも、頸部の個人線量計を正しい装着位置に取り付けている場合の線量比は5より大きくなつたが（男性： 6.1 ± 1.8 、女性： 5.7 ± 0.2 ）、間違った装着位置に個人線量計を取り付けている場合の線量比は、5よりかなり小さくなつた（男性： 1.7 ± 0.6 、女性： 1.5 ± 0.2 ）。

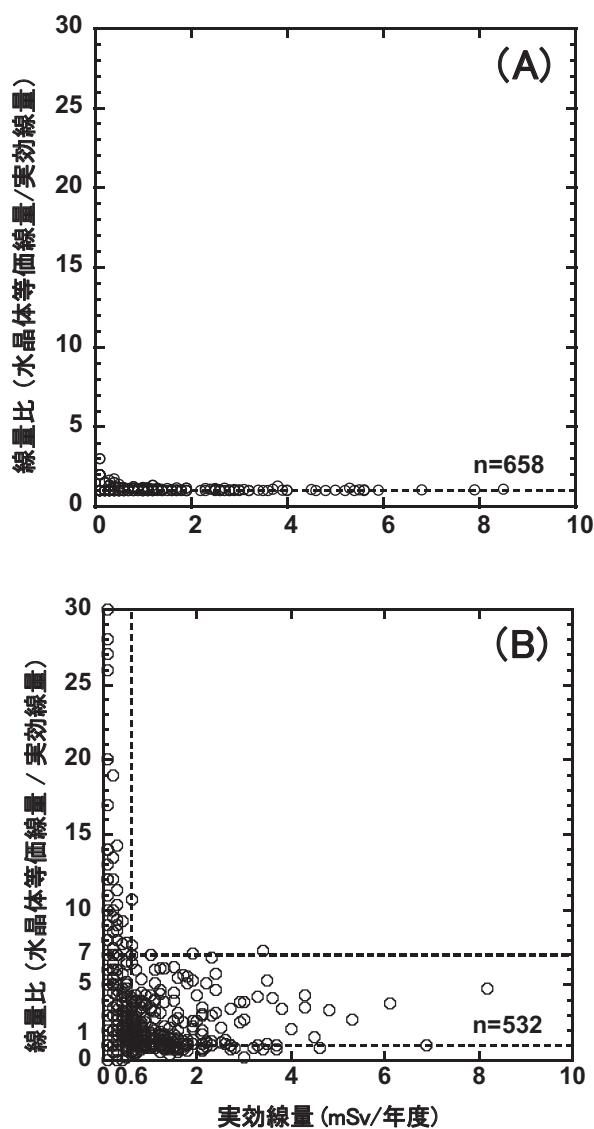


図2 線量比(水晶体等価線量／実効線量)の分布
(A) は均等被ばく測定者、(B) は不均等被ばく測定者の分布を示す。

表 1 X 線照射装置によるシミュレーション照射時の測定線量および線量比(男性)

線量計素子の位置	測定線量 (mGy)	線量比 (mSv)
胸部(防護衣内側)	<u>1.0 ± 0.2</u> *	—
頸部(防護衣内側) ¹⁾	1.7 ± 0.3	1.7 ± 0.6
頸部(防護衣外側) ²⁾	13.0 ± 2.0	6.1 ± 1.8

値は、防護衣の胸部の値(下線)を1とする相対値で示す。

*:平均値 ± 標準偏差

1) 正しい装着位置

2) 間違った装着位置

表 2 X 線照射装置によるシミュレーション照射時の測定線量および線量比(女性)

線量計素子の位置	測定線量 (mGy)	線量比 (mSv)
腹部(防護衣内側)	<u>1.0 ± 0.1</u> *	—
頸部(防護衣内側) ¹⁾	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.2
頸部(防護衣外側) ²⁾	11.3 ± 1.3	5.7 ± 0.2

値は、防護衣の腹部の値(下線)を1とする相対値で示す。

*:平均値 ± 標準偏差

1) 正しい装着位置

2) 間違った装着位置

4. 考察

4-1. 放射線診療従事者の線量比の分布に関する調査

均等被ばく測定者の線量比(図2中A)は、ほとんどが1であったが、実効線量と水晶体等価線量と同じ個人線量計から算定しているため、当然の結果といえる。一方、不均等被ばく測定者の線量比の分布

(図2中B)は、ばらつきが大きかった。その原因として、個人線量計を装着していない者や、正しい位置に装着していない者(図3)が存在していることが大きく影響していると考える。そこで、不均等被ばく測定者が、個人線量計を正しく装着した場合の線量比について検討してみる。

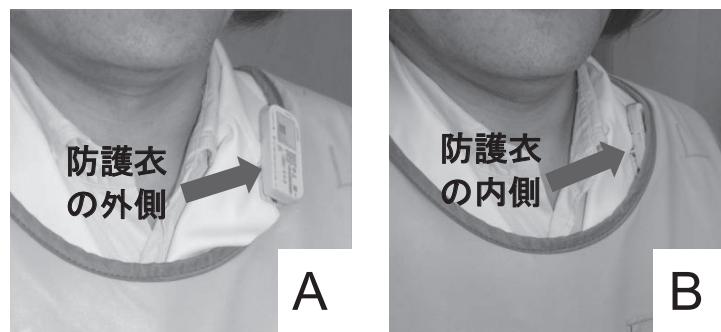


図3 個人線量計の正しいまたは間違った装着例

写真A:個人線量計の正しい装着例(線量計が防護衣の外側にある。)

写真B:個人線量計の間違った装着例(線量計が防護衣の内側にあり、水晶体等価線量を正しく測定できない。)

防護衣の遮へい率は、代表的な血管系IVRである経皮的冠動脈血管形成術(Percutaneous Coronary Intervention: PCIと略)では、0.25mmおよび0.35mmの鉛当量の防護衣でそれぞれ90%および93%程度と示されている[3]。均等な放射線の場において、防護衣の遮へい率を考慮して、式(1)により線量比を算定したところ(以下「算定線量比」という。)、90%および93%の際の算定線量比は、それぞれ5.4および6.5と「5以上」となった。このため、不均等被ばく測定者において、個人線量計を正しい位置に装着している場合の線量比(以下「適正線量比」という。)は5以上と仮定する。

次に、仮定した適正線量比の検証を行う。まず、X線照射装置によるシミュレーション照射の結果(表1、表2)と比較すると、頸部用の個人線量計を正しい位置(防護衣外側)に装着している場合には、線量比は男女とも5を超える。間違った位置(防護衣内側)に装着している場合には5以下となり、仮定した適正線量比と一致した。さらに、実態調査の結果から、線量比

が5以上の者も実際に多く認められた。これらのことから、「適正線量比の値は5以上」とした結果は妥当であるといえる。また、「適正線量比」の数値が導き出されたことにより、線量比を「個人線量計の正しい使用状況を示す指標」として利用できると考えている。

個人線量計を正しく装着していないとの報告例はいくつかある。岩井らは、自身が調査した病院において、作業形態が同じであるにもかかわらず、IVR従事者の中に被ばく線量が全く検出されない者がいることから、個人線量計を正しく使用していない可能性を報告している[4]。奥山らも、自身が調査した病院において、内視鏡的逆行性胆管膵管造影(Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography: ERCPと略)従事者の中に被ばく線量が全く検出されない者がいることから、個人線量計を正しく使用していない者がいる可能性を報告している[5]。Shinらは韓国38の病院からの78人のアンケートによる解答結果から、診療放射線技師と看護師の装着率が70%程度であったと報告している[6]。

Vano らはブエノスアイレスで行った 54 人の循環器専門医と 4 名の血管内外科医に対するアンケート調査から、装着率が 50% 程度[7]であったと報告している。松崎らは、自身が調査した病院において、医師の装着率を目視により調査した結果、70% 程度（ただし、使用率は「線量計使用回数／診療回数」）[8]であったと報告している。厚生労働省は、「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」において、不均等被ばく測定者の中に個人線量計を装着していない事例が散見されたとの報告を受け、労働基準局安全衛生部長より各都道府県の労働局長に、個人線量計を正しい位置に装着しているか確認する旨の通知[9]を出している。

なお、線量比を「防護衣の正しい使用状況を示す指標」としても用いることができると考えている。その理由は、防護衣のサイズが正しくないと、防護衣と体との隙間が大きくなり、散乱線が隙間から侵入し、実効線量が上昇するためである。

実効線量が 0.6 mSv/年以下の線量域では、実効線量が低いほど、線量比の最大値が大きくなつた（図 2 中 B）。この原因是、個人線量計の検出下限値と丸め（四捨五入）の影響といえる。調査病院で使用している個人線量計の検出下限値は 0.05 mSv [10]であるため、1 年間で最大 0.6 mSv ($0.05 \times 12 = 0.60$) 未満の線量が「検出なし」、つまり 0 mSv と報告される可能性がある。また、散乱 X 線にさらされる診療業務では、防護衣の着用により、実効線量の測定値が水晶体等価線量の測定値より小さくなるため、丸めの影響による測定値の低下は、実効線量の方が生じやすい。こ

のため、実効線量 0.6 mSv/年以下の線量域において、線量比（水晶体等価線量／実効線量）が算定線量比よりもかけ離れて大きくなつた原因是、個人線量計の検出下限値と丸めの影響が大きいと考えられる。したがつて、「適正線量比」が適用できる実効線量の範囲は、0.7 mSv/年以上とする必要があるといえる。なお、調査病院では防護衣の遮へい率が 99% となる条件下（60 kV, 2.0 mmAl）[11]でも放射線診療を行つており、その際の算定線量比は 9.1 であるが、今回の実態調査では、0.7 mSv/年以上の線量域での線量比の最大値は 7.3 であつた。しかしこの値は、術者が施術中に動くことを考慮すれば、概ね妥当な値といえる。

4-2. 調査結果の被ばく線量低減のための業務改善への応用

線量比を用いて、表 3 に示した基準により、個人線量計や防護衣の着用状況について指導することが可能と考えている。また、線量比から個人線量計や防護衣の着用状況が推察できることを放射線診療従事者に示すことで、観察されているという意識や、これらの防護具を正しく着用する必要性への認識を個々に持たせ、改善につながる可能性があると考えている。

一方、「適正線量比の値は 5 以上」があつてはまらない例も存在する。たとえば、防護衣は、放射性同位元素からの γ 線に対する遮へい能力が低いため、放射性同位元素を用いた業務などは、実効線量の低減率は小さい、このため、線量比を指標として改善を指導する際には、放射線診療従事者に

作業状況などの聞き取り調査も行う必要があるといえる。

表 3 不均等被ばく測定者の線量比(水晶体等価線量/実効線量)と個人線量計や防護衣の着用状況との関係

線量比	個人線量計や防護衣の着用状況
1 未満	<ul style="list-style-type: none">・基本部位の個人線量計の着け忘れ・基本部位と頸部の線量計の着け間違い
1 以上 5 未満	<ul style="list-style-type: none">・頸部の個人線量計の着け忘れ <small>理由1)</small>・頸部の個人線量計が防護衣の内側 <small>理由2)</small>・防護衣のサイズが合っていない <small>理由3)</small>・防護衣の不着用 <small>理由3)</small>
5 以上	<ul style="list-style-type: none">・正しい

理由 1) 頸部の測定値が実際より小さくなるため。

理由 2) 防護衣の遮へいにより、頸部の測定値が実際より小さくなるため。

理由 3) 遮へいが不十分で、基本部位の測定値が大きくなるため。

5. 結論

本研究では、防護衣の遮へい能力から計算した「適正線量比は 5 以上」という値について、人体ファントムを用いたシミュレーション照射や、500 件以上にわたる線量比の実態調査などから、実態に則した値（適正值）であることを確認した。また、

線量比の適正值が確認されたことにより、同値を個人線量計（特に頭頸部に装着した線量計）や防護衣の正しい使用状況を示す指標として用いることを提案した。この結果は、被ばく線量低減対策のための業務改善計画の策定や評価を行う際に、大いに参考になるといえる。

参考文献

- 1) 厚生労働省(最終改正 2017) : 電離放射線障害防止規則 (昭和 47 年労働省令第 41 号) . 第 4-7 条, 第 8 条第 1 項, 同条第 3 項第 1-3 号
- 2) ICRP (1996) : Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4). 日本アイソトープ協会誌 (1998) , ICRP Publication 74. 外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数. 初版. 丸善株式会社, 東京 pp197-198
- 3) JCS Joint Working Group. (2010) : Guidelines for Radiation Safety in Interventional Cardiology (JCS 2006). Circulation Journal 74(12) : pp2760-2785
- 4) 岩井計成, 河端京介, 嵐根満, 口井信孝 (2017) : 個人線量計 (ガラスバッジ) による放射線被ばく管理. 日本赤十字社和歌山医療センター医学雑誌 34: 79-87
- 5) 奥山祐右, 奥山智緒, 川上巧, 中津川善和, 山田真也, 鈴木隆裕, 戸祭直也, 佐藤秀樹, 吉田憲正 (2016) : ERCP 施行時の被曝線量評価と放射線防護教育. 日本消化器内視鏡学会雑誌 58 (4) : 991-998
- 6) J. M. Shin, T. H. Lee & S. H. Park (2013) : A Survey of the Radiation Exposure Protection of Health Care Providers during Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography in Korea. Gut and liver 7(1) : 100-105
- 7) E. Vano, N. J. Kleiman, A. Duran, M. R. Miller & M. M. Rehani (2013) : Radiation associated Lens Opacities in Catheterization Personnel: Results of a Survey and Direct Assessments. Journal of Vascular and Interventional Radiology 24(2) : 197-204
- 8) 厚生労働省(2018) : 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 総括・分担報告書. 厚生労働省, 東京 pp124-125.
Retrieved from
<https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMA/radiation/pdf/occupational>
- 9) 厚生労働省 (2019) : 労働基準局安全衛生部長通知. 放射線診療従事者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通知について, 基安発 1101 第 1 号 p1
- 10) AGC テクノグラス株式会社(2014) : 蛍光ガラス線量計・小型素子システム取扱説明書. 株式会社千代田テクノル, 東京. pp8-9
- 11) 株式会社マエダ編(2018) : HAGOROMO 総合カタログ No. 2018. 01. 株式会社マエダ, 東京 p 27

_radiation_kunugita_fy2018.pdf
(Accessed on Sep. 22 2019)

- 70-

論文要旨

大学院医学研究科 産業衛生学専攻 博士前期課程

学生番号 183401

氏名 阿部 和明

論文題目 放射線診療従事者が眼の水晶体に受けた被ばく線量の実態調査 — 医療施設における過去の被ばく線量測定記録の分析 —

論文要旨

【目的】放射線診療従事者の水晶体等価線量（水晶体に受けた被ばく線量）の法令基準値が、近々引き下げられる予定である。しかし、本研究の目的は、医療機関の中には、水晶体等価線量の低減対策がまだ実施が存在するが少なく、本研究の目的は、水晶体等価線量や、水晶体等価線量（全身体被ばく線量）との比（線量比）などの実態調査することにより、得ることである。

【方法】線量推移の実態調査は、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11箇所とした。線量の推移は、主に年平均線量を指標とし、職種別等を、また、年平均5.40人とした。放射線診療従事者は、年平均線量と実効線量とを同時に調査した。

放射線診療従事者は防護衣を着用して、胸部や腹部を放射線から守るために、個人線量計などを正しく装着している。このことと併せて、被ばく線量測定記録は、対象および照射時間によるシミュレーション照射も行い、線量比を算定した。人体アントムを用いて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。

【結果】調査病院では、水晶体等価線量が増加傾向であり、また、20mSvを超える者も近年認められた。増加率は水晶体等価線量が最も大きい、線量上位10%の者の増加率が下位80%の14.8±3.3倍（mean±SD、以下同じ）、線量が多い部署（IVR実施部署）で、その他の部署の4.1±1.3倍であった。2007年度の水晶体等価線量の積算値が多い職種別上位10名について、同期間の年度線量の推移を調査した結果、いずれの職種でも期間内の平均値は、期間内の最大値の半分程度（0.5±0.1）であり、年度間の差が大きかった。シミュレーション照射での線量比は、実効線量が0.7mSv以上の場合、男性6.1±1.8、女性5.7±0.2であった。調査している場合では男性1.7±0.6、女性1.5±0.2であった。

【考察】調査病院では、線量推移や線量分布の調査結果から、水晶体等価線量低減のための業務改善を行った。増加率が大きいこととが明らかになった。水晶体等価線量が多い放射線診療従事者や部署ほど、線量増加率が大きいため、業務改善は、これらの者や部署から優先的に実施する必要があるといえる。水晶体等価線量は、年次間の変動が大きいため、業務改善の効果を線量の変化のみで判断できないことが分かった。

防護衣の遮蔽能力が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、以上となること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、実効線量計の正値であることを確認できた。線量比の適正値が示されることは、このことを考慮した。また、実態調査で示された線量比の最大値が推奨値が推定する方法を考案した。

【結論】本調査で得た情報は、業務改善の必要性や低減策の効果の判断、個人線量計の正しい使用状況を示す指標などに利用できるため、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に、大いに参考になるといえる。

第1章 論文要旨	1
1-1. 研究の動機	1
1-2. 研究の背景	1
1-2-1. 日本におけるX線検査の実施件数	1
1-2-2. 医療施設における業務受ける水晶体等価線量の実態	2
1-2-3. 水晶体等価線量の法令基準引き下げ	5
1-2-4. 法令に定められた放射線診療業務に関する改善の責務	7
第2章 研究の目的	8
第3章 関連研究	9
3-1. 医療施設において長期間の被ばく線量の推移について調査した研究	11
3-2. 医療施設において水晶体等価線量と実効線量とを同時に調査した研究	14
3-3. 調査結果のまとめ	14
第4章 研究に係わる基礎的事項	15
4-1. 国際放射線防護委員会（ICRP）	15
4-2. 放射線が細胞に障害を与えるしくみ	17
4-3. 組織反応（確定的影響）と確率的影響	19
4-3-1. 組織反応	20
4-3-2. 確率的影響	21
4-4. 吸収線量、等価線量および実効線量	22
4-5. 放射線防護体系	25
4-5-1. 被ばくの状況	26
4-5-2. 防護の基本原則	27
4-5-3. 線量拘束値と参考レベル	28
4-5-4. 線量限度	29
4-6. 被ばくの種類と分類	31

31	4-6-1. 医療被ばく	61
33	4-6-2. 職業被ばく	62
34	4-6-3. 公衆被ばく	62
35	4-7-1. 外部被ばくの防護	62
35	4-7-1. 光子と物質の相互作用	64
37	4-7-2. 外部被ばく防護の「3原則」	65
40	4-8. 均等被ばくまたは不均等被ばくの際の被ばく線量の測定および算定	65
42	4-9. 医療施設における外部被ばくに対する防護	66
42	4-9-1. X線を用いた診療における放射線防護	66
47	4-9-2. 放射性同位元素を用いた診療における放射線防護	66
48	4-9-3. 加速器を用いた治療における放射線防護	66
49	4-10. 外部被ばく線量測定用個人線量計	66
51	4-11. 法令における職業被ばくの基準値	66
51	4-12. 放射線診療従事者の白内障（後囊下混濁）発生	66
52	4-13. 被ばくによる白血病のリスク	67
54	5章 放射線診療従事者の水晶体等価線量の推移に関する調査	68
54	5-1. 調査方針	68
54	5-2. 方法	69
54	5-2-1. 調査病院および調査期間	69
54	5-2-2. 調査対象者および調査入数	70
55	5-2-3. 調査および解析対象データ	70
55	5-2-4. 調査項目	70
55	5-2-5. 個人被ばく線量の測定方法	70
57	5-2-6. 統計処理	70
57	5-2-7. 優理的配慮	70
58	5-3-3. 結果	70
58	5-3-1. 水晶体等価線量の平均値の推移	77
59	5-3-2. 水晶体等価線量の分布の推移	77
59	5-3-3. 線量階層別の水晶体等価線量の検出者平均値の推移	77
72	第7章 考察	77
72	7-1. 放射線診療従事者の水晶体等価線量の推移に関する調査	77
73	7-2. 放射線診療従事者の線量比の分布に関する調査	77
73	7-3. 調査結果の被ばく線量低減のための業務改善への応用	77
77	7-3-1. 放射線診療従事者の水晶体等価線量の推移に関する調査結果の応用	77
77	7-3-2. 放射線診療従事者の線量比の分布に関する調査結果の応用	77
82	7-4. 放射線防護体系とリスクアセスメントにおけるリスク低減策との比較	82
84	7-5. 水晶体等価線量が高い放射線診療従事者への対応	84

7-5-1. 被ばく線量低減のための業務改善 (PDCA サイクル) の実施	84
7-5-2. 業務改善の実施以外の対応	90
7-6. 調査病院における看護師の実効線量の推移	91
7-7. 本研究の産業衛生的な意義	92
7-8. 本研究の限界	93
7-9. 本研究の公開	93
第8章 総括	94
利益相反	95
研究費の資金源	95
謝辞	95
参考文献	96

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
 7-5. 放射線診療従事者が水晶体に受けた過去の被ばく線量の測定記録の分析
 7-6. 調査病院における看護師の実効線量の推移
 7-7. 本研究の産業衛生的な意義
 7-8. 本研究の限界
 7-9. 本研究の公開

筆者は現在、放射線管理業務の一環として、ある特定機能病院において放射線診療に従事する者（以下「放射線診療従事者」といふ。）の個人被ばく線量記録の管理を行っている。このため、通知を受けとった際に、線量引き下げの影響を把握するため、自施設の放射線診療従事者を対象に、こ数年間の水晶体等価線量記録を調査した。その結果、引き下げる基準値（年 20mSv）に近いまたは超える被ばくをしている者が複数名いた。このことは、法令基準値が引き下げられた後でも、放射線の取扱方法や放射線に対する防護方法を変えずに診療を行っていると、法令基準値を超える者が発生する懸念があることを意味している。そのような事態を防止するには、取扱方法や防護方法を見直し、つまり水晶体等価線量低減のための業務改善が必要となる。そこで、業務改善計画策定の参考となる情報を得るために、ある特定機能病院において、放射線診療従事者の水晶体等価線量の詳細な実態調査を行うこととした。

1-2. 研究の背景
 1-2-1. 日本における X 線検査の実施件数
 放射線は病気の診断や治療に欠かすことができないものであり、放射線の利用なくして日本の医療が成り立たないことに疑いの余地はない。日本は、人口 1,000 人あたりの X 線検査の実施件数が世界で最も多い（表 1-1[2]）。この原因として、X 線装置の設置台数が他の国より比較的多い（表 1-2[2]）ことがあげられる。また、X 線装置の稼働率が低いと推測される。理由は、ヨーロッパの健康保険制度の国は、日本より X 線装置の稼働率が低いと推測される。理由は、ヨーロッパの健康保険制度は、最初にかかりつけ医の診察を受けたのち X 線装置などを所有する専門の医療機関を受診するしきみであるため[3]、患者にとって、X 線検査は日本ほど身近ではない、表 1-2 に示す X 線装置

の設置台数が日本より多い国（1～5位の国）では、健康保険はかかりつけ医制度のもと運用されおり[4]、このためX線装置の稼働率は、日本より低いと推測される。したがって、日本でのX線検査の実施件数が世界で最も多くなった要因は、X線装置の設置台数の多さおよび、稼働率の高さであると考えられる。

表1-1 人口1,000人あたりの年間の医療における放射線検査数

順位	国	件数
1	日本	1862
2	ベルギー	1445
3	ラトビア	1106
4	リヒテンシュタイン	1075
5	オーストリア	1070
6	ドイツ	1055

UNSCEAR 2008 Report Vol.II[2]より作成

表1-2 人口100万人あたりの診断用X線装置の設置数

順位	国	台
1	ノルウェー	1379
2	スウェーデン	1354
3	イスラエル	1345
4	アイスランド	1224
5	オーストリア	1220
6	日本	1030
7	フィンランド	990
8	ルクセンブルグ	943

UNSCEAR 2008 Report Vol.II[2]より作成

め、今後、放射線診療従事者の被ばく線量増加が懸念される。
医療領域において、放射線は「検査」、「治療」の両方で用いられるが、どちらの業務に從事したとしても、放射線診療従事者は放射線によって被ばくする可能性がある。そのため、放射線診療従事者の被ばく線量を測定し、その測定結果から実効線量や水晶体等価線量などを算定することが、事業者に義務付けられている[6-8]。

なお、実効線量や等価線量とは、放射線防護のために用いられる線量概念であり、実効線量は全身の被ばく線量を、水晶体等価線量は水晶体の被ばく線量を示しているが、詳しいことは第4章の「4-4. 等価線量と実効線量」で解説する。

表1-3 全国の医療施設（歯科を除く）における放射線診療従事者の実効線量および水晶体等価線量の分布（2018年度）

順位	国	分 布	線量階層 (mSv)		実効線量 （%）		水晶体等価線量 （%）	
			人数	割合 (%)	人数	割合 (%)	人数	割合 (%)
1	日本	検出下限値以下	159,226	76.99	150,508	72.77		
		検出下限値～0.10	10,777	5.21	10,370	5.01		
		0.11～1.00	22,295	10.78	22,663	10.96		
		1.01～5.00	12,910	6.24	17,242	8.34		
		5.01～10.00	1,261	0.61	3,408	1.65		
		10.01～20.00	314	0.15	1,695	0.82		
		20.01～30.00	31	0.01	521	0.25		
		30.01～50.00	8	0.00	297	0.14		
		50.01～	0	0.00	118	0.06		
		合計	206,822	100	206,822	100		
		集団線量(人・mSv)	52,690		130,974			
		平均線量 (mSv)	検出下限値以下の者を含む	0.25	0.63			
			検出者のみ	1.11	2.33			
		20mSvを超える者の割合(%) (カッコ内は人数)	0.02 (39)	0.45 (936)				

参考文献[9]より作成。

1-2-2. 医療施設における業務上受ける水晶体等価線量の実態

日本では、X線検査の実施件数が世界で最も多いため、放射線診療従事者の被ばく線量の低減対策は、他国より重要であるといえる。また、放射線診療の実施数も、近年増加傾向である[5]た

め、今後、放射線診療従事者の被ばく線量増加が懸念される。
医療領域において、放射線は「検査」、「治療」の両方で用いられるが、どちらの業務に從事したとしても、放射線診療従事者は放射線によって被ばくする可能性がある。そのため、放射線診療従事者の被ばく線量を測定し、その測定結果から実効線量や水晶体等価線量などを算定することができるが、事業者に義務付けられている[6-8]。

なお、実効線量や等価線量とは、放射線防護のために用いられる線量概念であり、実効線量は全身の被ばく線量を、水晶体等価線量は水晶体の被ばく線量を示しているが、詳しいことは第4章の「4-4. 等価線量と実効線量」で解説する。

表1-3は、株式会社千代田テクノル（被ばく線量のモニタリングサービス会社、全国規模で同サービスを提供している。以下「T社」という。）の集計データ[9]より引用および算定したもので

あり、全国規模の被ばくモニタリング調査に相当する値とみなすことができる。この結果によると、放射線診療從事者のうち、被ばくを検出しない者（検出下限以下の人）の割合は、実効線量で約77%、水晶体等価線量で約73%であり、放射線診療從事者の多くは、有意な被ばくをしていない。一方、被ばくを検出した者の割合は両線量とも25%前後と同程度であるが、検出者の平均線量は、水晶体等価線量が実効線量の約2.1倍（ $2.33\text{mSv}/1.11\text{mSv}$ ）であった。また、 20mSv （現行法令の実効線量および改正予定の水晶体等価線量の年平均基準値）を超える被ばくを検出した者の割合は、実効線量では全放射線診療從事者の0.02%（39人）に対し、水晶体等価線量ではその20倍の0.45%（936人）と水晶体等価線量で法令基準値を超過する者が多かった。このことから、法令基準値を超える者を生じさせないためには、実効線量より水晶体等価線量の低減が重要である。また、水晶体等価線量が多い者は、放射線診療を多く実施しているとも考えられ、俗に言う「その分野のスーパードクター」である可能性がある。仮に、この者の水晶体等価線量について、業務改善による被ばく線量低減が行えなければ、診療件数を減少せざるを得なくなる。このことは、優れた医療を受ける機会の減少を招き、医療の質の低下、しいては国民の健康に重大な影響を与えるおそれがある。このことからも、放射線診療從事者の水晶体等価線量低減のための業務改善が、いかに重要な理由は、次のとおりである。

- 1. 放射線診療從事者は、散乱X線による被ばくを減らすため、胸部や腹部を覆う鉛等が含まれる防護衣を着用することが多い、
- 2. 実効線量は頭部と胸部（女性では腹部）に装着した線量計から、水晶体等価線量は頭部に装着した線量計の測定値から算定される。
- 3. 胸部や腹部に受ける放射線量は、図1-1に示すとおり、防護衣着用前と比較して少なくななるため、実効線量は減少する。
- 4. 頸部の被ばく線量は、図1-1に示すとおり、防護衣着用前と同じであるため、水晶体等価線量は減少しない。
- 5. そのため、水晶体等価線量の算定値が実効線量の算定値より高くなる。
- 6. なお現状では、水晶体等価線量は頸部の線量計の測定値から算定するのが一般的であるため、防護メガネを装着しても水晶体等価線量の算定値は減少しない。

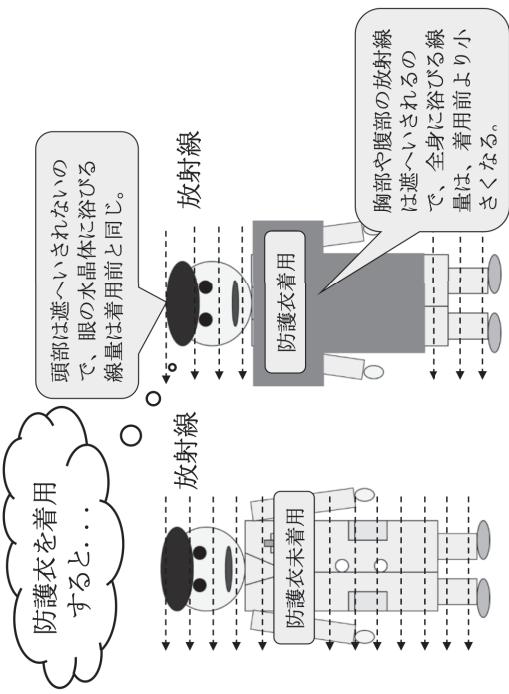


図1-1 防護衣の着用と被ばく線量との関係

- 1-2-3. 水晶体等価線量の法令基準値の引き下げ
- 1) 法令基準値引き下げの経緯
医療施設に限らず、放射線や放射性同位元素を取り扱う業務は、被ばくを伴うおそれがある。被ばく線量が少なければ健康にさほど影響を与えないといえるが、線量が多くなると、さまざまな健康障害が発生するおそれがある。そのため、法令により被ばく線量の基準値（限度値）が定められており、現時点（2019年11月28日現在）での水晶体等価線量の基準値は、 $150\text{mSv}/\text{年}$ である[6-8]。この値は、国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection: ICRPと略）の1990年勧告（Publication 60）[10]で示された値を、日本の政府が法令に取り入れたものである。しかし、ICRPは、を2011年のソウル声明[11]で、水晶体等価線量の被ばく限度値を、5年平均で年 20mSv （ただし、いかなる1年間も 50mSv を超えないこと。）に変更した。現在、この値を法令に取り入れたための手続きが進められており、公布は2020年4月1日、施行は2021年4月1日の予定である[12]。

め、短期間追跡調査では初期の水晶体の変化を十分な感度で検出できなかつたためと説明している[11]。

2) ICRP がソウル声明において水晶体等価線量の被ばく限度値を引き下げた経緯
1990 年勧告が刊行された当時、水晶体の被ばくによる白内障のしきい線量（被ばく後 20 年以上経過後に、被ばくした人の 1% に白内障が生じる線量）は吸収線量で 5–8Gy 程度と推定されていた。また、放射線による水晶体内的微少混濁は、必ずしも白内障に進行するわけではないと混濁は白内障に高確率で移行することなどが示された（Wide らは、血管腫の放射線治療において、30 年以上経過後、放射線照射を受けなかった眼に後囊下部軸屈筋膜の変化があつたことを報告しており[14]、また Broun らも、放射線に起因した水晶体上皮細胞障害が、かなりの年数を経て偏在化する可能性を指摘している[15]）。そのため、白内障のしきい値は従来考えられていた 5–8Gy よりも低い可能性があると考えられ、研究成果について検討し、白内障に対するしきい線量を、これまで考えられていた値(5Gy)より大幅に低い 0.5Gy 程度であるとした。しかし、生涯の労働年数を 50 年と仮定して、しきい線量 0.5Gy から平均水晶体等価線量を求める 10mSv/年となり、実効線量の基準値（平均 20mSv/年）を下回ることとなる。この点についてソウル声明では触れられてはいないが、仮に、水晶体等価線量の基準値を実効線量の基準値以下に設定すると、実効線量も水晶体等価線量以下に制限せざるを得なくなる事態が生じ、実効線量に不必要な制限を加えることとなる。そこで ICRP は、水晶体等価線量の基準値を実効線量と同じ値にしたと考られる。なお、同じ値となつても、白内障などのしきい値がある影響は、等価線量を用いて評価し、がんや白血病などのしきい値がない影響は、実効線量を用いて評価することは、法令改正前後で同じであり、評価方法に変更はない。

3) 白内障のしきい値引き下げの経緯と科学的根拠
Nakashima らは、急性被ばくの際の皮質白内障および後囊下混濁のしきい値線量について、2000–2002 年に実施した原爆被爆者 730 人に対する水晶体混濁の調査結果から、それぞれ 0.6Gy および 0.7Gy であると報告している[16]。また、Nerishi らは、原爆被爆者の内、線量評価が可能な白内障手術歴を有する 3,761 人の術後白内障罹患率を調査した結果、しきい線量の上限値は 0.8Gy であると報告している[17]。Worgula らは、分割・遷延被ばくの際のしきい線量について、チェルノブイリ事故の清掃員 8,607 人を対象として、作業後 12–14 年後に、全白内障、後囊下白内障、皮質白内障などの調査を行い、0.34–0.5 Gy 報告している[18]。これらの研究結果をもとに、ICRP は、しきい線量を、0.5Gy と勧告した。なお、ICRP は、しきい線量が以前の勧告で示された数値より下がつた理由について、線量が低くなると潜伏期間が長くなるた

め、短期間追跡調査では初期の水晶体の変化を十分な感度で検出できなかつたためと説明している[11]。
1.2.4. 法令に定められた放射線業務に関する改善の責務
放射線障害は被ばくによりもたらされたため、被ばく線量の低減は、労働者の健康を守るために重要である。
放射性同位元素等の規制に関する法律（以下「RI 規制法」という。）では、改正により事業者に「放射線障害の防止のための業務改善の義務」が新たに課され[19]、2019 年 9 月 1 日から施行された。さらに、特定許可事業所 放射性同位元素の貯蔵能力が、法令に定められた下限数量の 10 万倍以上である事業所）には、業務改善の具体的な手順やそれを実行する組織などを、放射線障害予防規程（事業所ごとに法令により制定が義務付けられている放射線障害防止のための内規）に定めることが新たに求められた[20]。このような法令改正が行われた経緯は、原子力規制庁が福島第一原発事故を要継として、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency : IAEA と略）による総合的規制評価サービス（Integrated Regulatory Review Service : IRRS と略）を受けて[21]、その結果、安全確保のため放射線規制に関する取り組みを強化すべきであると指摘されたためである[22]。

医療法においては、勤務環境改善の義務が事業者に課せられ[23]、2014 年 10 月 1 日から施行された。これにより事業者には、勤務環境改善マネジメントシステム（医療施設が PDCA サイクルを活用して計画的に医療従事者の勤務環境改善に取り組む仕組み）を創設することなどが求められることになった[24]。また厚生労働省の勤務環境の改善に関する調査・研究班の報告には、職員の健康支援に関する項目の例として、放射線防護基準の見直しが示されている[25]。
労働安全衛生法に基づいて定められている電離放線障害防止規則においては、RI 規制法と同様に、事業者が守るべき放射線業務に従事する者の被ばく基準値が示されており、その条文（第 4 条）に関する厚生労働省の通達には、「実効線量限度が 5 年間につき 100 ミリシーベルトとされたことから、年間 20 ミリシーベルトを超える労働者が存在する事業場については、作業環境、作業方法、および作業時間等の改善により該労働者の被ばくの低減を図るよう指導すること。」[26]と被ばく線量の改善について示されている。
以上に示したとおり、放射線規制に関するいづれの法令でも、放射線業務に従事する者の被ばくについて、事業主が改善を行うことを定めている。これらのことから、放射線診療従事者の被ばく線量低減は、各医療施設の義務であるといえる。

第2章 研究の目的

「1-2-2. 医療施設における業務上受ける水晶体等価線量の実態」で示したとおり、放射線診療従事者が業務上受ける被ばく線量は、今後増加する可能性がある。また現状においても、水晶体等価線量が年20mSvを超える者が存在する。このため、全国の医療施設の中には、法令基準値が引き下げられるまでに、今まで以上に水晶体等価線量の低減を図る必要がある施設が、多く存在する可能性がある。加えて被ばく線量の低減は、「1-2-4. 法令に定められた放射線業務に関する改善の責務」で示したとおり、法令により事業者に課せられた責務である。このため、医療施設の事業者は、水晶体等価線量の低減を、事業所全体の問題として受け止め、被ばく低減のために業務改善計画を策定する必要があるといえる。

水晶体等価線量低減のための業務改善計画を策定するにあたり、被ばく線量の実態調査は必要不可欠である。また業務は、医療施設に限らずどのような職場であっても、過去から継続的に行われることが一般的であるため、まずは水晶体等価線量の推移について実態調査をし、解析する必要があると考えている。線量の推移が上昇傾向なのか、または減少傾向なのかによって、業務改善計画の策定や、実施の優先順位が異なるためである。もし急激に上昇しているのなら、速やかに改善策を策定しなければならない。さらに、放射線診療従事者は、水晶体のみが被ばくするわけではなく全身も被ばくするため、水晶体等価線量と実効線量との関係（両線量の比）についても実態調査することとした。水晶体等価線量と実効線量との間に何らかの関連性を発見できれば、被ばく線量低減のための業務改善に役立てられる可能性もあると考えているためである。

これらのことから、放射線診療従事者の「水晶体等価線量の推移」および「水晶体等価線量と実効線量との比（線量比）の分布」の実態調査を行うことにより、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に有効となりえる情報を得ることを、本研究の目的とした。

第3章 関連研究

「3-1. 医療施設において長期間の被ばく線量の推移について調査した研究」職業上の放射線被ばくに関する大規模な推移の実態調査としては、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEARと略）の2008年報告書（電離放射線の線源と影響）がある。この中の付属書B、「種々の放射線源からの公衆と作業者の被ばく」[27]では、職業被ばくを「核燃料サイクル」、「医学利用」および「産業利用」等のカテゴリーに分け、それぞれのカテゴリーで職業被ばく線量の世界的な調査を国連加盟国へのアンケートにより行っている。その中の「医学利用」における調査のうち、医療全体、放射線治療、放射線診療などのカテゴリー別に、5年ごとのブロックに分けて、その推移を調査した結果を表3-1（同報告のTable79、87および88より抜粋）に示す。

表3-1 医療施設（歯科を除く）に従事する放射線診療従事者の実効線量および水晶体等価線量の分布

ブロック期間	医療全体		放射線治療		放射線診断				
	対象人数 ($\times 10^3$)	集団線量 (A-Sv)	平均実効線量 (mSv)	対象人数 ($\times 10^3$)	集団線量 (A-Sv)	平均実効線量 (mSv)	対象人数 ($\times 10^3$)	集団線量 (A-Sv)	平均実効線量 (mSv)
1975-1979	1280	393	0.8	84	180	2.2	630	600	0.9
1980-1984	1890	1140	0.6	110	180	1.6	1060	720	0.7
1985-1989	2220	1030	0.5	110	100	0.9	1350	760	0.6
1990-1994	2320	760	0.3	120	65	0.6	950	470	0.5
1995-1999	7440	3540	0.5	264	132	0.5	6670	3300	0.5
2000-2002	7440	3540	0.5	264	132	0.5	6670	3300	0.5

参考文献[27]より抜粋。

その結果、医療全体における1人あたりの被ばく線量は、1975-1979年の平均実効線量0.8mSv/年からブロック期間の経過と共に徐々に減少し、1990-1994年には0.3mSv/年まで減少したが、その後は0.5mSv/年まで上昇し推移している。また、医療施設における放射線利用は主に治療と診断に分けられるが、どちらのカテゴリーでも、1975-1979年の平均実効線量より期間の経過と共に徐々に減少している。また、1975-1979年の治療による実効線量は、診断による実効線量の約2.5倍であったが、2000-2002年では同程度となっている。

その他の研究例としては、Al-Hajらが、サウジアラビアの大規模医療センターにおいて放射線診療従事者を対象に、1985年から1999年にかけての個人被ばく線量の測定記録（6089件）を調査している[28]。その結果、平均実効線量が0.5-1.2mSv/年の間で推移していること、放射線診療従事者の1.3%が10mSv以上の被ばくをしていることなどを示している。また、線量の推移を

観察することにより、年間集団線量（人・mSv）は、放射線診療従事者数の推移とは相關が低いこと、10mSv以上をばくした放射線診療従事者数と強い相關があることを示している。Sathiyanらは、インドのがんセンターの放射線診療従事者を対象に、1979年から2013年までの個人被ばく線量の測定記録を、5年のブロック期間毎に分け調査している[29]。各ブロックの合計調査人数は152-183人であった。その結果、ブロック期間あたりの実効線量の平均積算線量は3-4 mSvの間で推移したこと、35年間（病院における医療従事期間）の実効線量の平均積算線量は20-30mSv程度であること、5年の各ブロック期間で100mSvを超える被ばくはなかつたこと、などを示している。

ALMasriらは、日本の大規模医療センターにおける2001年から2010年までの放射線診療従事者の個人被ばく線量の測定記録（2418件）を調査している[30]。その結果、測定された実効線量は、76%の者が検出下限値以下であるが、2%の者が2 mSvを超えていたことを示している。また、それらの結果を職種別（放射線科医、放射線技師、看護師およびその他）に分け、それぞれの実効線量の推移も調査している。その結果、放射線技師、放射線科医は年平均線量が増加する一方、看護師は年平均線量がわずかに増加していることを示している。看護師の線量が増加した原因是、近年、放射線治療中に放射線科医の支援（介助）をする機会が多くなった為に、患者に近づく機会が増え、多くの散乱X線を受けることとなつた為だとしている。また、職種ごとの年平均線量の違いは防護規則等の順守の違いに起因している。その他、放射線科医の年実効線量が他の職種に比べて高いこと、実効線量の年平均線量限度である20 mSvを超える被ばくはなかつたことなども示している。

Valuckasらは、1991年から2003年までのリトアニアの放射線診療従事者1,331人について、個人被ばく線量の測定記録を調査し[31]、全ての職種において平均実効線量が年数の経過と共に減少したこと、年5.0mSv以上の被ばくをする者の人数が明らかに減少していることを示している。

3-2. 医療施設において水晶体等価線量と実効線量とは相關が低い研究

医療施設における不均等被ばくの実態調査として、放射線診療従事者を対象に「防護衣内側の胸部または腹部」の被ばく線量と「頭部または頸部」の被ばく線量の2つを同時に測定したものについて調査した。そして調査結果から水晶体等価線量と実効線量を算定し、線量比（水晶体等価線量／実効線量）を計算した。なお、換算係数や実効線量の算定式は、後述の「6-2-2. X線照射装置によるシミュレーション照射による線量測定」で用いたものと同じものを使用した。

Nshizawaらは、CT検査室で手術および補助を行う医師の被ばく線量について報告しており[32]、結果を表3-2に示す。表中の値はCT透視における1分あたりの平均線量で示されている。線量測定は熱ルミネッセンス線量計を用いて行っており、いずれの場合でも頭部の線量が防護衣内側より高かった。この研究での線量比は計算の結果、ニードルホールダー使用時の補助者は2程度、それ以外の場合では5-7程度と大きなか違いがみられた。

表3-2 肺生検中の医師の被ばく線量（単位：mGy/min.)

測定場所	ニードルホールダーの使用なし ¹⁾ 補助者	ニードルホールダーの使用あり ²⁾ 補助者
頸部	86 ± 46	15 ± 10
胸部（防護衣外側）	66 ± 35	10 ± 9
胸部（防護衣内側）	8 ± 5	2 ± 3
線量比（単位なし）	7 ± 6	5 ± 7
		6 ± 3
		2 ± 2

1) : n=6, 2) : n=3
参考文献[32]より抜粋。ただし、線量比は同文献記載内容より筆者が算定。

宮島らは、CT検査において患者の頭部の動きを手で拘束している医療スタッフの被ばく線量を、頭部ファントムを被写体として用いて調査している[33]。測定は医療スタッフに線量計を装着して行ったのではなく、作業時ににおけるスタッフの各職器位置の空中に、電子式個人線量計を配置して行った。結果を表3-3に示す。表中の値は、1cm線量当量を3回測定し、その合計値で示されている。頭部の線量は防護衣内側の胸部の線量より高かった。この研究での線量比は、計算の結果5程度であった。

表 3-3 頭部 CT 検査における患者の頭部の動きを身体的に拘束している間の医療スタッフの個人線量 (頸部ファンтом)

測定部位	線量 (μSv)
胸部(プロテクター外部)	605
胸部(プロテクター内部)	85
頸部	627
線量比(単位なし)	5

参考文献[33]より抜粋、ただし、線量比は同文献
記載内容より筆者が算定。

石田らは、肝細胞癌の動脈塞栓療法における術者の頭部の頭部および腹部の被ばく線量を報告している[34]。結果を表 3-4 に示す。表中の値は、施術あたりの皮膚線量の平均値で示されている。線量測定は熱ルミネッセンス検量計を用いて行われ、頸部の線量が防護衣内側の胸部の線量より高かった。この研究での線量比は、計算の結果 6 度度であった。

表 3-4 動脈塞栓療法の際の術者の施術あたりの頭部および腹部の被ばく線量

測定部位	皮膚平均線量 (mGy)
頭部	0.040 ± 0.040
胸部(プロテクター外部)	0.150 ± 0.190
胸部(プロテクター内部)	0.005 ± 0.010
線量比(単位なし)	6 ± 12

n=39
参考文献[34]より抜粋、ただし、線量比は同文献記載内容より筆者が算定。

Moritake らは、内視鏡的粘膜下層剥離術 (Endoscopic Submucosal Dissection, ESD と略)における術者の被ばく線量を測定し、報告している[35]。結果を表 3-5 に示す。表中の値は、施術あたりの皮膚線量の平均値で示されている。線量測定はガラス線量計を用いて行われ、頸部の線量が防護衣内側の胸部の線量より高かった。この研究での線量比は計算の結果 6 度度であった。

表 3-5 血管造影検査における施術者たちの術者の入射皮膚線量

測定部位	線量 (μSv)	皮膚平均線量 (mSv)
頸部	0.072 ± 0.071	0.072 ± 0.071
胸部(プロテクター外部)	0.152 ± 0.26	0.152 ± 0.26
胸部(プロテクター内部)	0.009 ± 0.021	0.009 ± 0.021
線量比(単位なし)	6 ± 14	6 ± 14

n=25
参考文献[35]より抜粋、ただし、線量比は同文献記載内容より筆者が算定。

以上 7 件の調査から示された線量比は、概ね 5~7 の範囲であった。
長瀬ランダウア (被ばく線量のモニタリングサービス会社、全国規模で同サービスを提供している。以下「N 社」という。) は、頸部および胸部 (女性の場合は腹部) に線量計を装着して被ばく管理を行っている医師、診療放射線技師および看護師について、線量比を公表している[36]。その値を表 3-6 示す。同表の結果は、N 社のモニタリングサービスで得られた情報から算定したもので、線量比は医師が 3.30、診療放射線技師が 2.02、看護師が 4.53 であった。なお、示された線量比は、放射線診療従事者ごとに算定した線量比の平均値ではなく、平均水晶体等価線量を平均実効線量 (いざれども同表中に記載) で除することにより求めたものである。

表 3-6 職種別の平均線量および水晶体等価線量に対する比 (線量比)

職種	人数	平均実効線量 (mSv)	平均水晶体等価線量 (mSv)	線量比
医師	19,626	0.90	2.96	3.30
診療放射線技師	8,482	1.57	3.16	2.02
看護師	15,368	0.34	1.54	4.53

*厚生労働省(2017): 第 3 回眼の水晶体の放射線防護検討部会、資料より転記[36].

・表中の数値は 2016 年度の値である。

3-3. 調査結果のまとめ

医療施設において長期間の被ばく線量の推移について調査した研究を調べた結果、実効線量の推移に関する報告は複数あったが、水晶体等価線量の推移に関する報告は見あたらなかった。医療施設において水晶体等価線量と実効線量とを同時に調査した研究を調べた結果、線量比の分布に関する報告は見あたらなかった。しかし、調査結果から線量比を計算できる報告が複数あり、概ね線量比は5・7の範囲であった。また線量比の全国平均の報告は見つかったが、分布についての情報は示されてなかつた。

以上のことから、本研究で行おうとしている「放射線診療従事者の水晶体等価線量の推移」および「放射線診療従事者の線量比の分布」の実態調査について、同様の調査を行っていた先行研究は見あたらなかった。

第4章 研究に係わる基礎的事項

4-1. 国際放射線防護委員会

国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線防護における基本的な概念と防護基準を勧告することを目的とした国際学術組織であり、UNSCEA の報告書や放射線影響等に係わる研究成果などを参考にして、放射線防護に関することについて勧告している。また、放射線の影響に関する科学的知見とデータを集約し、これらを刊行物として発刊している。運営は民間独立で行われているが、国際的に最も権威のある機関として認められている。なお、ICRP以外の放射線防護における主な国際機関として、以下の3機関を示す。これらの機関は、以下のとおり役割が異なる。

- 1) 國際放射線単位測定委員会 (International Commission on Radiation Units and Measurements : ICRU と略)

放射線および放射能の量と単位の作成、放射線開通諸量の計測と適正な手順の作成、物理データの集約などを行っている。

- 2) UNSCEA

放射線の影響に関する幅広い研究結果を包括的に評価し、報告書として刊行している。

- 3) 国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency : IAEA と略)

原子力の平和利用の促進と、平和利用から軍事利用への転用防止を目的として設立された。ICRP 勧告の防護体系を基にして、国際安全基準を策定している。

各機関の関係を図4-1に示す。同図から、ICRP が放射線安全基準を策定し、それを各国の行政機関が受け入れて法令や指針に反映していることがわかる。ICRP はこれまで、1958, 1977, 1990 および2007年に放射線防護に関する勧告を行っており、それぞれ Publication 1, 26, 60 および 103 として刊行している。なお、日本の現行法令には1990年勧告 (Publication 60) が取り入れられているが、2007年勧告 (Publication 103) の取り入れはまだ行われておらず、現在、放射線審議会などで検討している状況である[37]。なお、線量限度については、1990年勧告と2007年勧告とで大きな違いはない。

ICRPに関する主な沿革を表4-1に示す。

表 4-1 主な沿革

その他、放射線防護に関する国際学術組織として、国際放射線防護学会（International Radiation Protection Association : IRPAと略）がある。同学会は、人類の福祉の向上等を目指し1964年に設立された。現在 66ヶ国の放射線防護に係る専門家により構成されている。専門的能力とネットワーク構築の強化によって実効的な放射線防護の取り組みを促進しており、日本の原子力委員会の委員も同学会の会員に参加している[38]。

1895年： X線の発見（ヴィルヘルム・レントゲン）

1928年： 医療従事者を放射線の障害から防ぐため、国際X線ラジウム防護委員会が発足

1950年： 国際X線ラジウム防護委員会が、国際放射線防護委員会（ICRP）に改組

1977年、1990年、2007年： 国際放射線防護委員会勧告を刊行

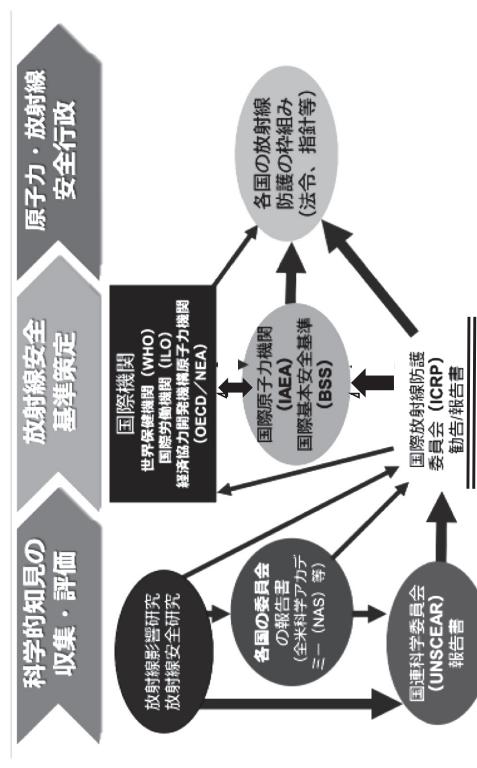


図 4-1 放射線防護における主な国際機関の関係
出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（平成 30 年度版）」第 4 章 防護の考え方、<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/kisoshiryu/pdf/L302018tk1s04.pdf>

4-2. 放射線が細胞に障害を与えるしくみ

細胞が放射線にさらされると、放射線の電離作用や励起作用により DNA が損傷し、その結果、細胞死が生じたり、異常な細胞が発生したりする。放射線の DNA へ作用には、直接作用と間接作用がある（図 4-2）。直接作用とは、放射線のエネルギーが直接 DNA に作用し、DNA に損傷を与えることである。一方、間接作用とは、放射線のエネルギーが DNA を構成している以外の分子に与えられ、その分子を介して DNA に損傷を与えることであり、例えば放射線の作用により水分子から生じたラジカル（不対電子をもつ分子や原子）によって DNA が損傷を受ける場合などが該当する。

DNAの二本鎖切断は、一本鎖切断より修復が困難となる。修復が不完全あるいは不可能な場合、細胞死が生じたり、異常細胞として生き残ったりする。生き残った細胞は、のちにがん化する恐れがある。

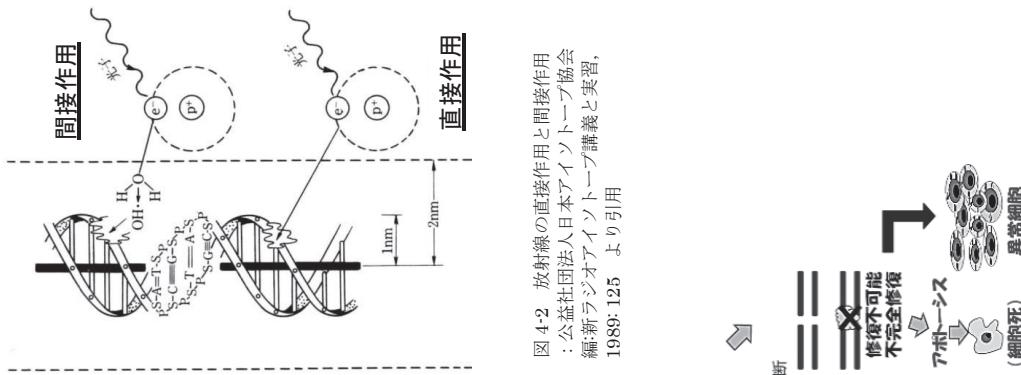


図 4-3 DNA の損傷と修復過程

電離や励起を密に起こす放射線は、DNA に二本鎖切断を起こさせやすい、このような放射線は「高 LET 放射線」といい、 α 線、「陽子線、重粒子線、中性子線など」が該当する。反対に、電離を疎に起こす放射線は「低 LET 放射線」とい、 β 線、 γ 線、X 線などが該当する。なお LET とは、Linear Energy Transfer (線エネルギー付与) の略で、図 4-4 に示すとおり電離放射線 (物質に電離作用を及ぼす放射線) が物質の中を通過する際に、飛跡に沿って単位長さ当たりに失うエネルギーのことで、放射線の線質の違いを示す指標となる。

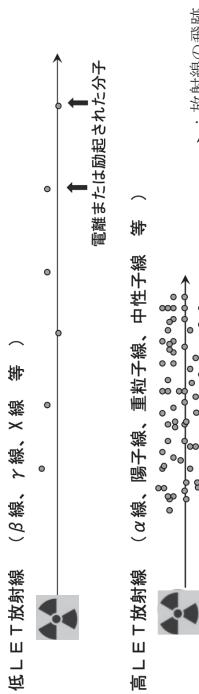


図 4-4 線エネルギー付与

放射線によって物質に与えられたエネルギーが同じでも、線質の違いにより、人体に与える影響は異なる。これは LET の違いによるもので、その効果の尺度を測るものとして生物学的効果比 (Relative Biological Effectiveness : RBE と略) がある、これは、X 線による生物学的効果を 1 としたときの、他の放射線の効果を表したものである。RBE の値は、 γ 線、 β 線は 1、陽子線 (2MeV 以上) は 5、 α 線は 20、中性子線はそのエネルギーに応じて 5~20 の範囲である。

細胞の放射線感受性の高さは、分裂能力の高さ、分裂回数の多さ、分化度の低さに比例する。また、組織の放射線感受性の高さも、分裂活性の高さ、分化度の低さに比例する。このことをベルゴニー・トリボンドーの法則という。表 4-2 に、放射線感受性による組織の分類を示す。細胞分裂頻度が高い組織 (リンパ組織等) は感受性が高く、細胞分裂をみない神経組織は感受性が低い。

表 4-2 放射線感受性による組織の分類

放射線感受性	細胞分裂頻度	組織・臓器
最も高い	高い	リンパ組織、造血組織 (骨髓)、睾丸精上皮、腸上皮
高	かなり高い	咽頭上皮、皮膚表皮、毛嚢上皮、皮膚腺上皮、水晶体上皮、胃膜上皮等
中程度	中程度	結合組織、小脈管組織、成長している軟骨・骨組織
かなり低い	低い	成熟した軟骨・骨組織、粘液腺腺上皮、汗腺上皮、下垂体上皮、甲状腺上皮、副腎上皮
低	細胞分裂をみない	神經組織、筋肉組織

出典：急性障害と晚発障害・緊急被ばく医療研修 - 公益財團法人原子力安全研究協会 HP

4-3. 組織反応 (確定的影響) と確率的影響
放射被ばくによる障害の分類を表 4-3 に示す。

表 4-3 放射線被ばくによる障害の分類

影響の出る世代による分類	影響発現までの時間による分類 ^(注)	主な障害	受けける放射線量と影響との関係による分類
身体的影響 (本人に現れる影響)	急性障害	・急性放射線症候群 ・不妊	・確定的影響 (しきい値がある)
	放射線盲酔	・放射線盲酔	
	晚発障害	・胎児への影響 ・白内障	
遺伝的影響 (子孫に現れる影響)		・悪性腫瘍 (がん、白血病等)	・確率的影響 (しきい値がない)

注) 被ばくから 3 カ月以内に発症するものを「急性障害」、半年から 1 年以上経過後発症するものを「晚発障害」という。

ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39] の記載内容より作成

確定的影響はICRPの1990年勧告（Publication 60）で用いられた表現であるが、のちに、多くの組織において、放射線被ばく後でも障害が修復される（確定されない）ことが明らかになつたため、現在では「組織反応」と呼ばれている[11]。なお、2007年勧告（Publication 103）では、確定的影響と組織反応とを併記しているが、本論文においては、組織反応との表現を用いることとする。以下に2007年勧告の内容にそつて、組織反応と確率的影響について説明する。

4-3-1. 組織反応

組織や臓器は多くの細胞から構成されている。被ばくしても、損傷を受けた細胞数が少なければ、臨床的な症状は現れないが、多くの細胞が損傷を受けた場合には、臨床的な症状が表れる。この臨床的な症状が現れる最小の被ばく線量が「しきい線量」である。組織反応の現れ方と被ばく線量との関係を図4-5に示す。被ばく線量がしきい線量以下であれば、組織反応の発生確率は1%以下であるが、しきい値を超えると、シグモイド曲線にそつて発生確率が100%まで増加する。また、発生した組織反応の重傷度は、被ばく線量が多いほど大きくなる。なお、妊娠が被ばくした場合、被ばく時期によってその影響は異なり、着床前期であれば胚死や流産、器官形成期であれば奇形および精神遅延、器官形成期～胎児期であれば発達遅延が発生するおそれがある。しかし、これらの障害は組織反応による障害であり、しきい値（0.1Gy程度）以上の放射線を被ばくしなければ発生しない。そのため、通常のX線検査により妊娠中の患者が被ばくしても、これらの障害が発生することははない。

（a）：該当せずの意、そのしきい値が被ばく線量ではなく線量率で依存しているため、ICRP Publication 41[13]の記載内容より作成

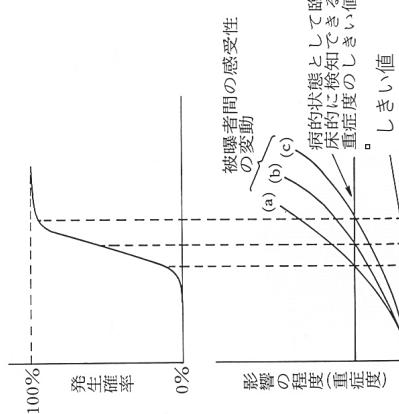


図4-5 組織反応の現れ方と被ばく線量との関係
出典：公益社団法人日本アイソotope協会編、新ラジオアイ
ソトープ講義と実習、丸善株式会社（1989）p141

表4-4に、組織反応のしきい値の推定量を示す[13]。同表において、1回の被ばくと多分割による被ばく等としきい値が異なるが、その理由は細胞の修復機能等に依存しているためである。これらの値はPublication 41で示されたものであるが、Publication 103（2007年勧告）でも同じ値であった。なおICRPは白内障のしきい値を、生涯線量で0.5Sv（X線の場合 Gy）へ引き下げることを勧めている[11]。

表4-4 成人の睾丸、卵巣、水晶体および骨髄における組織反応のしきい値の推定量

組織と影響	しきい値		
	1回の短時間被ばく で線量(Gy)	多分割または遷延被 ばくで受けた総線量 (Gy)	多年にわたり多分割 または遷延被ばくで 毎年受けた場合の年 間線量率(Gy/年)
睾丸	一時的不妊 永久不妊	0.15 3.5-6.0	— 2.0
卵巣	不妊	2.5-6.0	6.0
水晶体	検出可能な混濁 白内障	0.5-2.0 5.0	5 >8 >0.15 >0.15
骨髄	造血機能低下	0.5	— >0.4

（b）：該当せずの意、そのしきい値が被ばく線量ではなく線量率で依存しているため、ICRP Publication 41[13]の記載内容より作成

4-3-2. 確率的影響
がんなどの影響は、被ばく線量がどれだけ低くとも、その発生確率は0%にはならない（しきい値がない）とされており、このような影響を「確率的影響」という。また、原爆被曝者の寿命調査（LSS）報告書によると、発がんにおける最良の被ばく線量の推定しきい値は0であるとしている[40]。

確率的影響の現れ方と被ばく線量との関係を図4-6に示す。確率的影響の発生率は、被ばく線量が0の時のみ0%（ただし自然発生率を除く。）となり、線量の増加に従つて上昇する。また、発生した確率的影響の重傷度は、被ばく線量とは関係がない。

吸収線量は、放射線により単位質量あたりの物質が吸収するエネルギー量のことであり、単位はGyである。1Gyとは、1kgの物質に1Jのエネルギーを与える放射線量を示している。吸収線量は物理量の1つであり、その量は測定器で直接測定できる。しかし、人体への影響は、放射線によって与えられるエネルギーの量だけでなく、線質(放射線の種類等)によっても異なる。これを補正したのが等価線量であり、式(1)により求められる。ここで、 H_t : 等価線量、 W_R : 放射線に対する放射線荷重係数、 D_{TR} : ある組織または臓器 T における放射線 R による吸収線量である。

$$H_t = \sum_R W_R D_{TR} \quad (1)$$

なお、放射線荷重係数とは、放射線の違いによる身体への影響について、同じ尺度で評価するために設定された係数のことであり、その値を表4-6に示す。

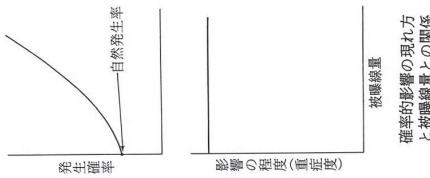


図 4-6 確率的影響の現れ方と被ばく線量の関係
出典：公益社団法人日本アイソotope協会編、新ラジオアイソotope講義と実習、丸善株式会社（1989）p141

表 4-5 放射線の線量の種類と単位

種類	線量概念	単位	意味	評価対象
吸収線量	物理量 (人の被ばくの 影響を表す量)	Gy (ジーハイ)	物質 1kg あたりに吸収さ れるエネルギー (J/kg)	放射線治療や実験の 際に照射する線量
等価線量	防護量 (人の被ばくの 影響を表す量)	S _v (シーブイ)	人の臓器・組織が、個々 に受けける影響	皮膚・眼などの組織 の被ばく線量
実効線量	同上	S _t (シーティー)	個々の臓器・組織が受け る影響を、統合して全身 への影響を表したもの	全身の被ばく線量

等価線量 = 吸収線量 × 放射線荷重係数
ICRP 1990 年および 2007 年勧告 (Publication 60 および 103) の記載内容より作成

表 4-6 放射線荷重係数 (D_{TR})		
放射線の種類 (R)	エネルギー (E) 范囲	放射線加重係数
X 線, γ 線	全エネルギー	1
β 線	全エネルギー	1
中性子線	$E < 10\text{keV}$	5
	$10\text{keV} < E < 100\text{keV}$	10
	$100\text{keV} < E < 2\text{MeV}$	20
	$2\text{MeV} < E < 20\text{MeV}$	10
	$20\text{MeV} < E$	5
α 線		
陽子線	$2\text{MeV} < E$	5
	20	

ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39]の記載内容より作成

また実効線量は、式(2)により求められる。ここで、 H_E : 実効線量、 H_R : 式(1)で求めた各臓器の等価線量、 W_R : 組織荷重係数である。組織荷重係数とは、各組織や臓器の放射線に対する感受性(放射線の影響度)の指標を表した係数であり、すべての組織荷重係数を足し合わせると 1 になる。表 4-7 に組織荷重係数(W_R)を示す。

$$H_E = \sum_{\tau} H_{\tau} W_{\tau}$$

(2)

表 4-7 各組織・臓器における組織荷重係数

組織・臓器	W_{τ}	ΣW_{τ}
赤色骨髓、肺、胃、結腸、乳房、残りの組織・臓器	0.12 0.08 0.04 0.01	0.72 0.08 0.16 0.04
生殖腺		
膀胱、食道、肝臓、甲状腺		
骨表面、脳、唾液腺、皮膚		
合 計	—	1.00

ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39]の記載内容より作成

等価線量および実効線量は、人の放射線防護のために用いられる線量概念であり、防護量と呼ばれているが、吸収線量のような物理量とは異なり、測定により容易に測定できない、そのため、実際に被ばく線量を測定する際には、推定値または上限値を提供する目的で実用量が用いられる。実用量は、防護量に対して安全側で評価されるよう、防護量より少しだきめの値が与えられる。図 4-7 に、物理量、防護量および実用量の関係を示す。個人の被ばく線量の測定には、実用量として「個人線量当量」が用いられる。その値は ICRU 球（人体組織等価の密度及び元素組成を有する直径 30cm の球）内の線量と定義され、個人線量計の測定値は、その値を示すよう設計または校正されている。皮膚の等価線量は ICRU 球の表面から深さ 70μm での線量 (70μm 線量当量)，実効線量は深さ 1cm での線量 (1cm 線量当量) である。また水晶体等価線量は、70μm 線量当量または 1cm 線量当量のいずれか大きい方の線量で示される。

4-5. 放射線防護体系
ICRP は、1977 年勧告 (Publication 26), 1990 年勧告 (Publication 60) および 2007 年勧告 (Publication 103)において、放射線防護体系について勧告している。
1990 年勧告では、放射線被ばくの状況を「行為」と「介入」の 2 つに区分し、表 4-8 に示す放射線防護の体系を勧告した[10]。「行為」とは、放射線被ばくを増加させるような人間活動をいい、原子力発電や X 線診療のような放射線の利用を指す。「介入」とは、放射線被ばくを低減させるような人間活動をいい、原菴事故後の汚染除去作業や、ラドン濃度が高い家屋における換気設備の設置などを指す。

しかし 2007 年勧告では、放射線被ばくの状況を「計画被ばく」、「緊急時被ばく」および「現存被ばく」の 3 つに区分し、それぞれの状況に基づいた放射線防護の体系を勧告した[39] (表 4-9)。
現行の法令は 1990 年勧告の内容を取り入れているが、本論文においては、最新である 2007 年勧告に従って説明を行う。

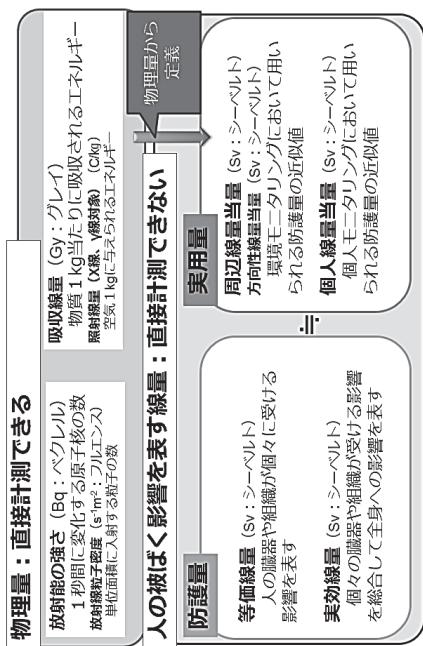


図 4-7 物理量、防護量および実用量の関係
出典：環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（平成 28 年度版）
第 2 章 放射線による被ばくカタログ；Available from URL:
<https://www.env.go.jp/chemirnmh28kisoshiryoh28kiso/02-03-08.htm>

4-5-2. 防護の基本原則

表 4-8 ICRP 1990 年勧告 (Publication 60) における放射線防護の体系 [10]

行為	介入
①行為の正当化	①介人は害よりも利益が大きい際に実施のこと
②防護の最適化	②介入の種類、規模及び期間は最適なものであること。
③個人の線量限度	

表 4-9 ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) における放射線防護の体系 [39]

計画被ばく	緊急時被ばく	現存被ばく
① 行為の正当化	① 行為の正当化 ② 防護の最適化 ③ 個人の線量限度	① 行為の正当化 ② 防護の最適化 ③ 参考レベル
② 防護の最適化		
③ 個人の線量限度		

4-5-1. 被ばくの状況

1) 計画被ばく

計画被ばくとは、「放射線源(放射線の発生源)の意図的な導入と運用を伴う状況下での被ばく」のことである。被ばくの種類は、発生が予想される被ばく(通常被ばく)と、発生が予想できない被ばく(潜在被ばく)とに分けられる。潜在被ばくとは、事故や装置の故障、運転ミスなどにより、発生が不確かな被ばくのことである。計画被ばくは、通常被ばく、潜在被ばくのいずれに対しても、事前に防護対策を計画でき、また被ばくの大きさと範囲も予測できる。

2) 緊急時被ばく

緊急時被ばくとは、予想せぬ状況(災害等)や悪意ある行為(テロ等)が起こった際、「緊急対策作業(発生しやすい結果を避けたり減らしたりするための活動)に従事する者が受けける被ばくのことである。

3) 現存被ばく

現存被ばくとは、放射線管理の導入を決定する時点で「既に存在する長期にわたる被ばく」のことである。例えば、高自然バックグラウンド地域における被ばくや、原発事故後の回復や復興期における被ばくなどがこれにあたる。

4-5-2. 防護の基本原則

1) 正当化の原則

放射線被ばくの状況を変化させるいかなる決定も、(放射線を受けることによる)害より(放射線を受けることによる)便益を大きくするべきであるという原則である。つまり、被ばくを伴う行為は、正味プラスの便益がある場合以外は、導入してはいけないということである。正当化は、「計画被ばく」、「緊急時被ばく」および「現存被ばく」のすべての状況に適用される(表 4-9)。放射線の医学利用も正当化されるべきであるが、正当化の責任は医師にあるため、医師に対しては放射線防護についての特別な訓練が必要である。なお、正当化されない被ばくとして、ICRP は表 4-10 に示す例を挙げている。

表 4-10 正当化されない被ばくの例

① 放射性物質の故意の添加などにより、飲食物、化粧品、玩具および個人の装飾品などの放射能を高める行為。
② 臨床応用とは関係なく、業務上、健康保険上あるいは法的目的のために行わられる放射線検査。ただし、放射線検査を受ける個人の健康や重要な犯罪捜査の支援に、有用な情報が期待される場合を除く。
③ 症状のない集団に対する、被ばくを伴う医学的スクリーニング。ただし、検査を受けた人または集団に期待される便益が大きく、被ばくのもたらす損害を相殺するのに十分である場合を除く。
ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39] の記載内容より作成

2) 防護の最適化の原則

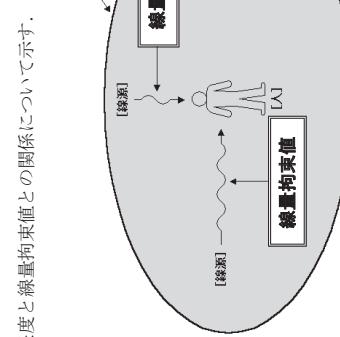
放射線防護の原則には、「被ばくする可能性、人数、個人の被ばく線量は、経済的および社会的な要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たるべきである」という原則があり、通称アララ (as low as reasonably achievable : ALARA) の原則と呼ばれる。防護の最適化は、「計画被ばく」、「緊急時被ばく」および「現存被ばく」のすべての状況に適用され(表 4-9)、アララの原則にしたがって「集団線量」の低減を図ることにより行われる。最適化は、表 4-11 に示した作業を含む、継続的かつ反復的なプロセスで行われる。

る値である。医療被ばくでは、患者に対して用いるため診断参考レベルという、これらのレベルを超えている場合には、防護が適切に最適化されているかを検討する必要がある。

表 4-12 「参考レベル」または「参考値」の適切な選定

① あらゆる潜在被ばくを含む被ばく状況の評価（プロセスの枠組み作り）	
② 「線量拘束値」または「参考レベル」の適切な選定	
③ 考えられる防護選択肢の確認	
④ 一般的な事情における最善の選択肢の選定	
⑤ 選択された選択肢の履行	
	ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39] の記載内容より作成

図 4-8 線量拘束値と参考レベル



出典：辻本忠, 草間朋子・放射線防護の基礎, 第 3 版, 日刊号行新聞社 (2001) p28

線量拘束値は、1つの線源から受けける個人の被ばくの上限値である、これに対し、線量限度（職業被ばくでは $100\text{mSv}/5$ 年）は、さまざまな線源から受けれる被ばく線量の合計値に対して適用される値で、個人や公衆に対する被ばくの上限値である。なお、線量拘束値は、年 20mSv (5 年間の線量限度の年平均値) 以下で適切な値が設定される。線量拘束値は、個人線量を制限するために、防護の最適化とともに用いられる。もし、ある線源に対して線量拘束値を超えていたら、防護の最適化を行う必要がある。参考レベルは緊急時被ばく状況および現存被ばく状況の際に、線量拘束値の代わりに用いられ

表 4-11 最適化の作業プロセス

① 「線量拘束値」または「参考レベル」の適切な選定	
③ 考えられる防護選択肢の確認	
④ 一般的な事情における最善の選択肢の選定	
⑤ 選択された選択肢の履行	
	ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39] の記載内容より作成

ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39] の記載内容より作成

4-5-4. 線量限度

線量限度は、医療被ばくおよび自然放射線による被ばくを除く、すべての放射線源から受けれる被ばくの上限値であり、個人の被ばく線量を制限するために設定される。1990 年勧告以前は、許容線量と呼ばれていた。2007 年勧告による線量限度を表 4-13 に示す。ただし、水晶体等価線量の限度値は、2011 年の組織反応に関する ICRP の声明で、 $100\text{mSv}/5$ 年（ただし、いかなる 1 年も 50mSv を超えない）に変更されている[11]。

表 4-13 線量限度	
実効線量	等価線量
・水晶体 $150\text{ mSv}/\text{年}$	・水晶体 $150\text{ mSv}/\text{年}$
・皮膚 $500\text{ mSv}/\text{年}$	・皮膚 $500\text{ mSv}/\text{年}$
・胚／胎児に対し 1 mSv (ただし、妊娠中の女性のみ)	・胚／胎児に対し 1 mSv (ただし、妊娠中の女性のみ)

ICRP 2007 年勧告 (Publication 103) [39] の記載内容より作成

1) 線量限度の考え方

組織反応に対する線量限度は、臨床的症状の発生を防止するために、しきい値を超えない値が設定される。一方、確率的影響は、被ばく線量がどれだけ低くても放射線障害の発生がゼロとはならないという安全側の考えをとっているため、社会的に受け入れることができないレベルと、耐えることができるレベルの境界のデトリメント（低線量の被ばくによる確率的影響の程度を表す概念）を与える線量が、線量限度として設定される（図4-9参照）。

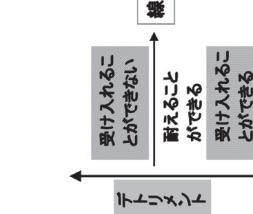


図4-9 線量限度の概念

2) 線量限度の決定

ICRPは1977年勧告（Publication 27）で、「安全水準が高い職業とは、職業上の平均年死亡率が 10^{-4} を超えない職業である」としている。また、最大リスクと平均リスクの比を $10:1$ としているため、最大線量を受けた際の被ばくによる死亡率が 10^{-3} であれば、集団の平均死亡率は 10^{-4} となり、一般に安全水準が高いとされる職業のリスクと変わらないとしている[41]。したがって、 10^{-3} の死亡率を与える被ばく線量が、確率的影響の線量限度だとしている。

ICRPは1990年勧告で、広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査の結果を用いて、18歳から65歳までの間に毎年10, 20, 30, 40または50mSv被ばくした場合の、放射線に起因する年あたりのがん死率の確率の発現年齢分布を示している（図4-10）[10]。その結果、65歳まで年齢死亡確率が 10^{-3} を超えないのは、20mSv以下の場合である。しかし、すべての年齢における被ばく線量を20mSv以下とするのは柔軟性を欠くとして、5年間で100mSv（ただし、いかなる1年も50mSvを超えない）を、実効線量の限度値とした。この考えは、2007年勧告でも引き継がれている。

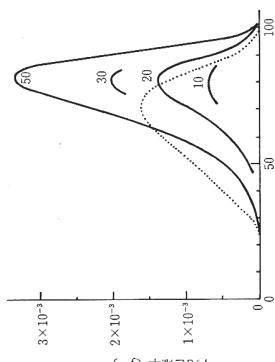


図4-10 連続して年あたり10, 20, 30, 40および50mSv被ばくした場合の放射線に起因する年あたりのがん死率の確率の発現年齢分布

出典：辻本忠、草間朋子：放射線防護の基礎、第3版、日刊工業新聞社（2001）p57

3) 線量限度の決定

ICRPは1977年勧告（Publication 27）で、「安全水準が高い職業とは、職業上の平均年死亡率が 10^{-4} を超えない職業である」としている。また、最大リスクと平均リスクの比を $10:1$ としているため、最大線量を受けた際の被ばくによる死亡率が 10^{-3} であれば、集団の平均死亡率は 10^{-4} となり、一般に安全水準が高いとされる職業のリスクと変わらないとしている[41]。したがって、 10^{-3} の死亡率を与える被ばく線量が、確率的影響の線量限度だとしている。

ICRPは1990年勧告で、広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査の結果を用いて、18歳から65歳までの間に毎年10, 20, 30, 40または50mSv被ばくした場合の、放射線に起因する年あたりのがん死率の確率の発現年齢分布を示している（図4-10）[10]。その結果、65歳まで年齢死亡確率が 10^{-3} を超えないのは、20mSv以下の場合である。しかし、すべての年齢における被ばく線量を20mSv以下とするのは柔軟性を欠くとして、5年間で100mSv（ただし、いかなる1年も50mSvを超えない）を、実効線量の限度値とした。この考えは、2007年勧告でも引き継がれている。

4-6. 被ばくの種類と分類
ICRPは1990年勧告（Publication 60）で、人の被ばくの種類を、医療被ばく、職業被ばく、公衆被ばくの3つのカテゴリーに分けている[10]。それぞれのカテゴリーについて以下に説明する。

4-6-1. 医療被ばく
医療被ばくは、放射線診断又は治療を受ける患者が受ける被ばく、放射線診断又は治療を受けた患者の介護を行う家族などの個人が自発的に受けた被ばく（職業上受けた被ばくを除く）、および生物医学研究のために志願者が受けた被ばくの3つで定義される。医療被ばくには、放射線護体系の三原則のうち「行為の正当化」と「防護の最適化」のみ適用され、線量限度は適用されない。その理由は、表4-14に示すとおりである。

表 4-14 線量限度が医療被ばくでは適用されない理由

-
- ① 医療被ばくは、それを受ける個人の直接の利益に結びつく。
 - ② 行為が正当化され、かつ防護の最適化が適切に実施されいれば、被ばくによる害は医療上の利益よりもなると考えられる。
 - ③ 線量限度の設定は、必要な医療行為を制限することになる。
- ICRPは行為の正当化について、患者自身の被ばく以外に職業や公衆の被ばくなども考慮し、正味の便益があることを確認すべきであるとしている。たとえば、患者に正味の便益があつたとしても、医師が被ばくにより健康を害するような場合は、正当化すべきではない。また、最適化について、医療被ばくを伴う行為は患者に対する直接的な利益が明白であるが故に、注意の私われ方が少なく、X線診断における線量低減にはかなりの改善余地があるとICRPは勧告の中で述べている。なお、日本においては、2019年3月11日に医療法施行規則に「診療用放射線に係る安全管理」の項目が追加された。この追加項目が2020年4月1日に施行されるに伴い、医療被ばくの適正管理のため、各医療施設で表4-15に示した事柄が実施される予定である[42]。これにより患者の被ばく線量も低減されると考えられる。なお、表中のDRL(Diagnostic Reference Level)は各診療行為における「診断参考レベル」の線量のことである。DRLは、実態調査を基に、診療行為の手技ごとの被ばく線量分布の75パーセンタイルである。DRLは設定されている[43]。

表 4-15 医療被ばくの適正管理のための具体的な対応指針

-
- 診療用放射線の安全管理の体制確保を明示した上で、以下のことを実施する。
- ① 正当化のための、医師・歯科医師に対する研修(放射線診療を選択するに当たっての注意すべき点)
 - ② 最適化のための、放射線診療從事者等に対する研修(放射線診療を実施するに当たっての注意すべき点)
 - ③ 最適化のための、医療放射線の安全管理の推進を目的とした改善のための方策
 - ・DRLに基づく線量および放射性医薬品の投与量の管理
 - ・被ばく線量が相対的に高い検査の被ばく線量の記録

厚生労働省(2018): 医療放射線の適正管理に関する検討会資料[42]の記載内容より作成

4-6-2. 職業被ばく

職業被ばくとは、操業者の管理責任であると合理的にみなすことのできる状況において、(作業者が)作業時に受ける被ばくと定義される。例えは、診療行為に従事する医師や看護師が受け被ばくは職業被ばくであるが、患者の家族等の介護者の被ばくではない。それは、操業者の管理責任であると合理的に見なすことができないためである。また、一般の労働者が自然放射線により受ける被ばくは職業被ばくではないが、同じ自然放射線でも、ジェット機の乗務員が宇宙線により受ける被ばくは職業被ばくであると定義される。その理由は、仕事のために多頻度でジェット機に乗務することは、操業者の管理責任下にあると合理的にみなすことができるためである。

職業被ばくには、放射線防護体系の三原則である「行為の正当化」「防護の最適化」「線量限度」のすべてが適用される。ICRPの Publication 75 (作業者の放射線防護に対する一般原則)では、「防護の最適化の原則を履行するための計画立案と実行においては、危険の除去とリスク低減の優先順位を定め、目標を設けるためにリスク評価方法を用いるべきである」としている。表 4-16 に放射線防護の最適化計画における危険除去およびリスク低減の優先順位を示す[44]。ICRPは防護方策について、同表に示した①～③について計画し、その結果、適切な防護レベルが得られない場合には、④の個人防護具により、被ばく線量削減をすべきであるとしている。

に応じて遮へい壁などを設置するなどして、事業所境界の線量低減対策がとられている。

表 4-16 放射線防護の最適化の原則を履行するための計画立案と実行するための危険の除去とリスク低減の優先順位

4-7. 外部被ばくの防護

① 区域の指定：

放射線作業場について、被ばく管理を行うために確立された作業手順に従うことが必要される「管理区域」と、作業は監視されるが通常は確立された作業手順に従うことを要求されない、「監視区域」とを指定する。

② 工学的管理（工学的対策）：

作業者から線源を物理的に隔離し、被ばくを低減すること、通常は設計段階で導入される外部被ばくに対する主要な管理システムとしては、遮へい壁、遮へい板、線源への接近を制限するための干渉防止システム、線量率の警報器、出入管理システムなどがある。

③ 操作手順：

作業管理、放射線防護および緊急時の手順などがあり、作業者の適切な防護を確実なものとするため、これらは明確に文書化され、承認され、実施されるべきである。放射線障害予防規程、防護マニュアル、作業手順書や緊急時手順書などが該当する。

④ 個人用防護具の使用：

工学的管理と操作手順を単独または組み合わせても適切な防護レベルが得られない場合には、個人防護衣、防護メガネ、鉛含有手袋などが該当する。

⑤ 情報提供と訓練：

放射線防護に関する適切で十分な情報と訓練を提供することは、防護の最適化の原則を履行する上での本質的な構成要素である。情報の提供は職業的被ばくをする人が容易に手に入れやすいようにすべきであり、パンフレットや職員の説明により与えることができる。

訓練の提供は、放射線施設で実施されている教育訓練などの受講が該当する。

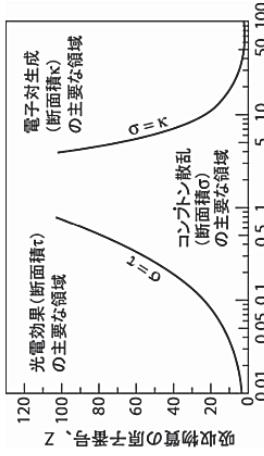
ICRP Publication 75[44] の記載内容より作成

4-6-3. 公衆被ばく

公衆被ばくは、「職業被ばく、医療被ばく、自然放射線による被ばく以外」と定義され、放射線防護体系の三原則である「行為の正当化」、「防護の最適化」および「線量限度」の全てが適用される。行為の正当化は、計画被ばく、緊急時被ばくおよび現存被ばくの全てに適用されるため、福島原発事故における汚染地帯の除染を検討する場合にも、正当化が求められる。なお、公衆被ばくの線源の 1 つである放射施設では、公衆の被ばく線量が線量限度を超過しないよう、必要

④ 光電効果：

光子とは素粒子の一つで、電磁波としての性質と、粒子としての性質を持つている。γ線（原子核内から発生）および X 線（原子核外から発生）は、いずれも光子からできており、放射線としての光子の性質は同じである。γ線や X 線は、物質と相互作用を起こしてエネルギーを失うことににより遮へいされるが、その際、相手の物質を電離または崩壊する。光子と物質の相互作用には「光電効果」、「コントン散乱」および「電子対生成」があり、各作用の起りやすさは光子のエネルギーの大きさに依存する（図 4-11）。以下に各相互作用について説明する。



出典：佐々木慎一：放射線計測基礎論、Available from URL: http://accwww2.kek.jp/oh/ OH01%20text%20archives%202020052011/OH01%20web%20final/OHO1%20sa_sak%20 20110822.pdf

1) 光電効果

光電効果とは、光子が物質に衝突した際にそのエネルギーの全てを軌道電子に与え、その電子を軌道から飛び出させる現象のことである。光子のエネルギーが軌道電子の結合エネルギーよりも少しだけ大きい時に起りやすい。また、この現象で光子はエネルギーをすべて失うため、散乱線は発生しない。

2) コントン散乱

コントン散乱とは、光子が物質に衝突した際にそのエネルギーの一部のみを軌道電子に与え、その電子を軌道から飛び出させる現象のことである。衝突した光子はエネルギーが減弱し（波

長が長くなり), 進行方向が変化して散乱線となる(図 4-12). 散乱線のエネルギーは以下の式で与えられる.

$$E_{\gamma'} = \frac{E_r}{1 + 1.96 E_r \cdot (\# \cos \theta)}$$

ただし, $E_r, E_{\gamma'}$: 入射光子, 散乱光子のエネルギー (MeV), θ : 散乱角

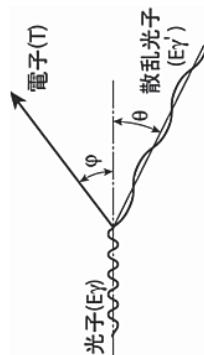


図 4-12 コンプトン散乱の様子

出典：佐々木慎一：放射線計測基礎論，Available from URL: <http://accwww2.kek.jp/oh/oHOI%20text%20archives%2020052011/OHOI1%20web%20final/OHOI1%20sasaki%202020110822.pdf>

また, 散乱線の角度分布は, クライン・仁科の式により計算できる, その計算結果(図 4-13)から, 入射光子のエネルギーが大きいほど散乱線は前方に放出されることが分かる。診療で用いられる X 線装置は, 管電圧が 120kV 以下, 実効エネルギーが 20-50kV のものが多い、また, このエネルギー帯における散乱線は, 同図に示すとおり, 前方への放出が優勢ではあるものの側面や後方への放出も起こることが分かる。

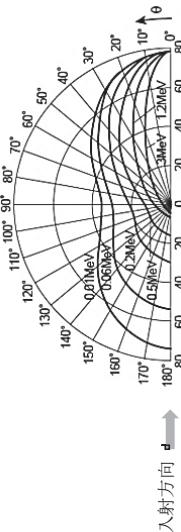


図 4-13 コンプトン散乱の角度分布(左: 180° 方向が入射光子の方向)

出典：佐々木慎一：放射線計測基礎論，Available from URL: <http://accwww2.kek.jp/oh/oHOI%20text%20archives%2020052011/OHOI1%20web%20final/OHOI1%20sasaki%202020110822.pdf>

3) 電子対生成

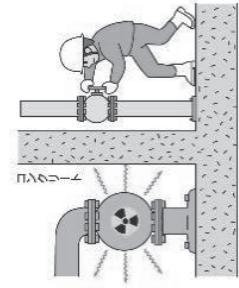
電子対生成とは, 光子が原子の近くを通りる際に, 原子核のケーロン電場の中で光子が消滅し, 電子と電子が対になって生成される現象のことである。光子が, 電子と陽電子の制止エネルギーとの和 ($0.511\text{MeV} \times 2$) 以上のエネルギーを有する際に発生する。このため, 診療で用いられる X 線装置(最大エネルギーは 1MeV 未満)では生じない。生じた陽電子は, 運動エネルギーを失つて静止すると, 近くにある電子と衝突して消滅する。その際, 0.511MeV のエネルギーを有する光子(消滅ガンマ線)が逆方向に 2 本発生する。PET 検査はこの消滅ガンマ線を利用して検査法であり, ^{18}F 等の陽電子を放出する放射性同位元素が利用される。

4-7-2. 外部被ばく防護の 3 原則

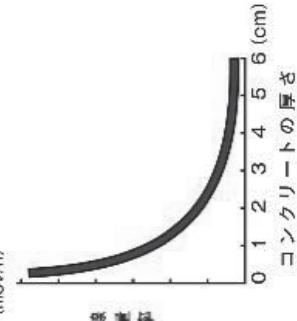
放射線による被ばくは, 体外照射によるものと体内照射によるものがある。体外照射は, 放射線源(放射線の発生源)が体外にあり, 体の外から放射線にさらされることによって受けける被ばくで, 「外部被ばく」と呼ばれている。放射線源は, 放射性同位元素, 放射線発生装置, 放射線施設など様々である。一方, 体内照射は, 放射線源を体内に取り込み, 体の中から放射線にさらされることにより受けれる被ばくで, 「内部被ばく」と呼ばれている。放射線源は放射性同位元素のみである。外部被ばくの防護については, 放射線の 3 原則は, 放射線にさらされる量を低減するための方法を示したもので, 遠へい(shield), 距離(distance)および時間(time)を利用した防護から成り立っている(図 4-14)

1. 遮へいによる防護

線量率：遮へい体は厚い程低下

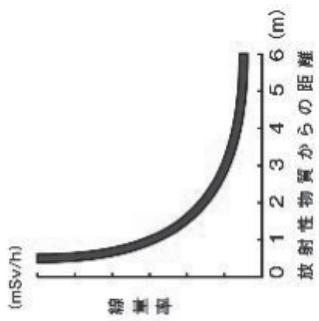


(mSv/h)



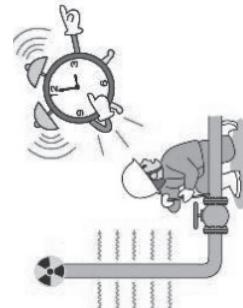
2. 距離による防護

線量率：距離の二乗に反比例

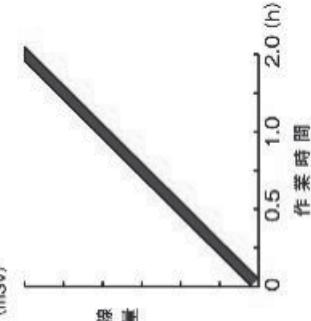


3. 時間にによる防護

線量率：作業場所の線量率 × 作業時間



(mSv)



「遮へい」による防護とは、取り扱う人と放射線源との間に、物理的な障壁（遮へい物）を置くことである。被ばく線量は、遮へい物の厚さに応じて指數関数的に減少する。また、放射線の線質により透過力が異なる（図 4-15）ため、遮へい物の材質もそれぞれの線質に適したもののが用いられる。なお、医療施設で用いられる放射線は、主として X 線と γ 線である。一部の施設では β 線も用いられるが、 β 線は X 線や γ 線と比較して透過力が弱いため、外部被ばくについてあまり考へる必要がない。しかし、 $^{90}\text{Sr}-\text{Y}$ （眼科用など）などから放出される β 線は、他の β 線と比較してエネルギーが高いため、アクリル板で遮へいするべきである。アクリル板を使用する理由は、高エネルギーの β 線を原子番号の高い物質（タンゲステン、鉛など）で遮へいするすると、透過力の高い制動 X 線が発生するためである。

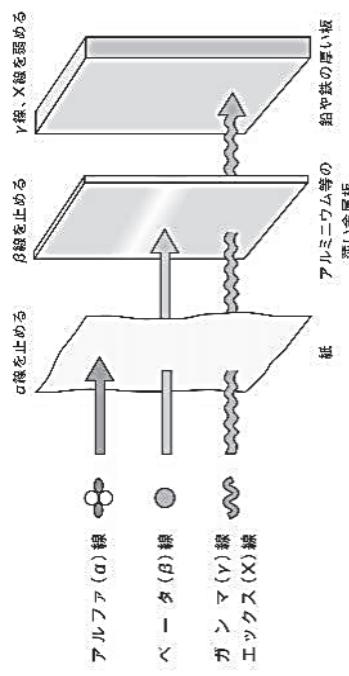


図 4-15 放射線の種類と透過力
出典：一般財團法人日本原子力文化財団：「原子力・エネルギー」図面集 第 6 章 放射線；Available from URL: https://www.ene100.jp/zumen_cat/chap6

「時間」による防護とは、放射線源を取り扱う時間を少なくすることである。被ばく線量は放射線にさらされた時間に比例するため、その時間つまり放射線源を取り扱う時間を取り扱う時間は半分にすれば被ばく線量も半分にできる。作業手順書の整備やリハーサル（放射線源を取り扱わずに、その操作を行ふこと、コードランともいう。）などを行うことにより、取り扱いに要する時間を減らすことができる。

「距離」による防護とは、放射線源から距離を取ることである。被ばく線量は、放射線源からの距離の二乗に反比例し、距離が 2 倍になれば被ばく線量は 1/4 となる。放射線源から距離を取る方法として、遠隔操作を行う、トンクなどを用いるなどがある。

図 4-14 外部被ばく防護の 3 原則
出典：一般財團法人日本原子力文化財団：「原子力・エネルギー」図面集 第 6 章 放射線；Available from URL: https://www.ene100.jp/zumen_cat/chap6

医療施設で遮へいが必要となる放射線は、通常 X 線と γ 線であるが、これらの放射線が、指數関数的に減少する理由は、物質における放射線の進行方向の強度（線束密度）が、近似的に以下の式に従つて減衰するためである。ここで、 I は物質透過後の線束密度、 I_0 は物質透過前の線束密度、 μ は線吸収係数 (m^{-1})、 x は物質の厚さである。

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

外部被ばくに対する防護の 3 原則である「時間」、「距離」、「遮へい」に優先順位はない、実際の作業では、これらを効率的に組み合わせて、最適化の原則にのっとり、防護方法を決定することなる。例えば、エネルギーの高い γ 線を使用する作業では、重い個人防護衣を着用するより、身軽にして作業時間を短縮する方が被ばくの低減に有効な場合もある。また、放射線施設を設計するにあたっては、作業時間と線源からの距離を予め想定して放射線診療從事者の被ばく線量を見積り、施設の遮へい材の厚さを決定する。

4・8. 均等被ばくまたは不均等被ばくの際の被ばく線量の測定および算定

放射線診療從事者が放射線管理区域に立ち入りる際には、外部被ばく線量を測定するために、個人線量計を装着しなければならない。その装着箇所は、従事する業務状況によって異なる。人体の各部位が均等に被ばくを受けるような状態を均等被ばくといい、このような条件下で業務を行う場合、基本部位（男性は胸部、女性は腹部）の 1 箇所に個人線量計を装着する [6・8]。一方、人体の各部位が不均等に被ばくを受けるような状態を不均等被ばくといい、このような条件下で業務を行う場合、基本部位の 1 箇所以外に、体幹部を「頭部および頸部」、「胸部および上腕部」、「腹部および大腿部」の 3 つに分け、基本部位よりも多く被ばくする部位にも個人線量計を装着しなければならない [6・8]。なお、実際の医療現場における不均等被ばくの例としては、散乱 X 線に対する防護衣を着用している場合が該当する [45]。具体的な個人線量計の装着部位を、図 4-16 に示す。

個人線量計の着用場所 不均等被ばくの例

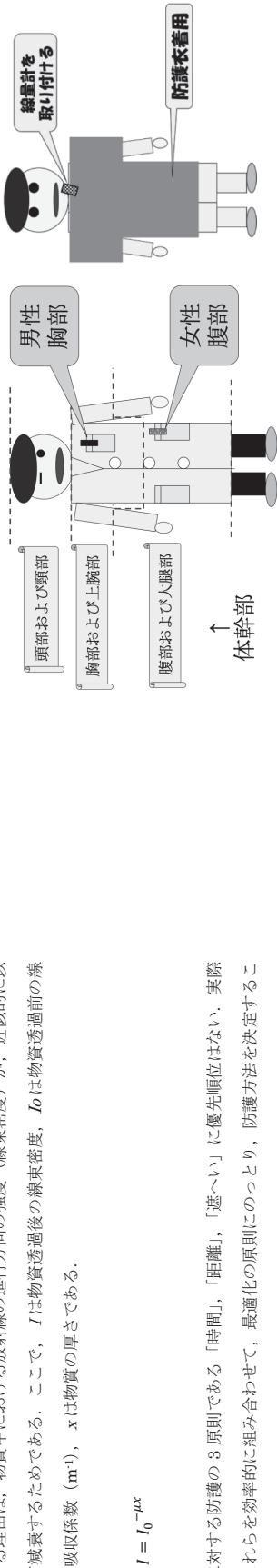


図 4-16 個人線量計の装着部位

水晶体等価線量は、個人線量計を基本部位の 1 箇所のみに接続している場合（以下「均等被ばく測定」という。）には、基本部位に装着した個人線量計の測定値から算定される。一方、個人線量計を基本部位以外に頭部および頸部に装着している場合（以下「不均等被ばく測定」という。）には、頭部に装着した個人線量計の測定値から算定される。

実効線量は、均等被ばく測定の場合には、1 箇所の個人線量計の測定値から算定するが、不均等被ばく測定の場合は、各部位での測定値を式(3)にあてはめ、算定する [46]。

$$H_E = 0.08H_a + 0.44H_b + 0.45H_c + 0.03H_m \quad (3)$$

ここで、 H_E ：実効線量当量、 H_a ：頭部および頸部の 1cm 線量当量、 H_b ：胸部および上腕部の 1cm 線量当量、 H_c ：腹部および大腿部の 1cm 線量当量、 H_m ： H_a 、 H_b 、 H_c のうち最大となる部位の 1cm 線量当量である。式(3)に示すように、それぞれの部位の 1cm 線量当量に係数をかけ、これを合算して実効線量を算定する理由は、体幹部のそれぞれの部位に位置する組織や臓器の数や、それぞれの組織や臓器の組織荷重係数 (W_T) が異なるためである。

なお、「体幹部の基本部位」と「頭部および頸部」のみに個人線量計を装着している場合には、

$$H_E = 0.11H_a + 0.89H_b \quad (\text{または } H_c) \quad (4)$$

4-9. 医療施設における外部被ばくに対する防護

の防護衣を着用した場合、120kV、2.0mmAl フィルタの X 線の散乱線に対して、90%程度の低減効果が期待できると示されている[48]。防護衣内部の遮へい材が厚ければ重くなり、作業の妨げとなることもあるが、遮へい効果は上がる。

表 4-17 放射線を用いた主な検査・治療

放射線源	検査・治療内容
X 線照射装置	胸部・腹部・骨撮影、血管造影撮影、胃・腸・ハリウム透視、X 線 CT 検査
放射性同位元素	放射線治療、核医学検査
加速器	放射線治療

放射線を利用する検査・治療には様々なものがある（表 4-17）。同表に示した線源ごとに、放射線防護方法について以下に説明する。

4-9-1. X 線照射装置を用いた診療における放射線診療従事者の放射線防護

4-9-1-1. 散乱 X 線に対する有効な防護具

X 線照射室の外から遠隔操作で撮影や透視を行う際には、放射線診療従事者が直接 X 緿（X 緿管球より直接照射される放射線）や散乱 X 緿（X 緿がコントン散乱によりその方向を変えられる）により被ばくする可能性はない。しかし、撮影中や透視中に X 緿照射室内で治療や介助等の作業を行う際には、放射線診療従事者が患者や X 緿照射装置からの散乱 X 緿により被ばくすることがあるため、防護具の使用が必要となる。なお、診療で通常使用される X 緿照射装置の管電圧は 50-150 kV、実効エネルギーは 20-50keV である[47]が、散乱 X 緿はこれよりもエネルギーが低いため、比較的容易に遮へいでいる。散乱 X 緿に対して有効な防護具としては、以下のものがある。

1) 個人防護衣

防護衣は、胸部、腹部および大腿部を散乱 X 緿から防護する目的で作られており遮へい材を内蔵している。防護手段としては「個人用防護具の施用」にあたる、エプロン型やコート型などがある（図 4-17）が、その形状から頭部および頸部は保護されない、遮へい材としては有鉛および無鉛があるが、現在はその軽さから無鉛の遮へい材を用いたものが主流である。遮へい材の能力は、鉛当量（遮へい能力を鉛の厚さに換算したもの、単位：mmPb）で示され、0.25mmPb、0.35mmPb および 0.5mmPb の防護衣が市販されている。メーカーのカタログには、0.25mmPb



図 4-17 個人防護衣 出典：株式会社保科製作所カタログ；Available from URL: https://hoshina.co.jp/xray_protection/index.html

2) 防護メガネ
防護メガネは、鉛含有ガラスまたは鉛含有アクリルをレンズに使用しており、散乱 X 緿による水晶体の被ばく低減に効果がある。防護手段としては「個人用防護具の使用」にあたる。散乱 X 緿は鏡の正面からだけではなく、側面からも入射するため、平たい形状のレンズではなく、側面に回り込んだ形状のレンズが好ましい（図 4-18）。



図 4-18 眼を被ばくから守る防護メガネ出典：株式会社保科製作所カタログ；Available from URL: https://hoshina.co.jp/xray_protection/index.html

3) 散乱線防護クロス

オーバーテーブル X 線管型装置の X 線管球部分と照射野を覆うことにより、寝台の横に立つ放射線診療従事者が受けける散乱 X 線を減少させることができる（図 4-19）。防護手段としては「工学的対策」にある。メカナーのカタログには、0.25mmPb のクロスで、照射野から 40cm 離れた位置での散乱 X 線を約 90% 低減させることができるとある[48]。ただし、X 線管球が上の位置にある（オーバーテーブル X 線管）場合のみ使用可能である。



図 4-19 オーバーテーブル X 線管型装置（左）と散乱線防護クロス（右）
出典：株式会社保科製作所カタログ；Available from URL:
https://hoshma.co.jp/xray_protection/index.html

5) 防護衝立

防護衝立は、照射室内において、散乱 X 線の遮へいのために用いられる。防護手段としては「工学的対策」にある。図 4-21 に、防護衝立の写真とその使用方法について示す。放射線診療従事者は、X 線照射装置に対して防護衝立の後側に位置することにより、散乱 X 線から自身を防護できる。主に、患者に直接措置を施さない放射線診療従事者（看護師やラジメイカル等）が使用する。市販製品の鉛当量は 0.5–2.0mm と防護衣より大きく、その遮へい効果は高い。

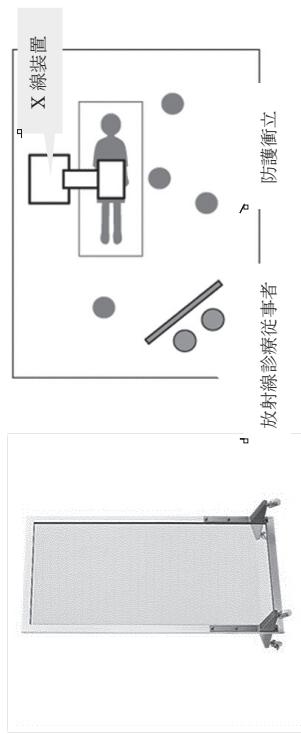


図 4-21 X 線防護衝立（左）と使用方法（右）出典：株式会社保科製作所カタログ
グ：Available from URL: https://hoshma.co.jp/xray_protection/index.html

4) 防護板

防護板（図 4-20）は、主に患者からの散乱 X 線を遮へいする目的で用いられる。防護手段としては「工学的対策」にある。鉛当量が大きい（0.50mmPb のものが市販されている）ので、正しく使用すれば、患者からの散乱 X 線を大幅に減少させることができる。X 線照射装置の導入時に設置されている場合が多い。

4-9-1-2. 個人用防護衣および防護具着用の必要性
「4-6-2. 職業被ばく」で説明したとおり、職業被ばくの低減措置には優先順位がある。まずは①「区域の指定」、②「工学的措置」、③「換業手順」を順に行い、それでも十分に被ばく線量が低減されない場合、④「個人用防護衣や防護具の着用」により更なる低減を試みる。X 線照射装置による検査や治療（表 2-16）は、整った設備において決まった手順で行われるなら、①～③の措置は十分に取られていると考えられる。しかし、検査・治療内容によっては、①～③の措置だけでは被ばく低減措置として不十分で、④「個人用防護衣や防護具の着用」が必要となる場合がある。



図 4-20 X 線防護板 出典：株式会社保科製作所カタログ；Available from URL: https://hoshma.co.jp/xray_protection/index.html

1) 腹部・骨の撮影、CT 検査

これらの検査は、放射線診療従事者が X 線照射室から退出して遠隔で操作する場合が多いため、通常、④の個人用防護衣と防護具の着用は不要で、不均等被ばく測定も必要ない、しかし、患者

の介護が必要で、照射中にX線が照射されている区域に立ち入らざるを得ない場合、①～③の措置のみでは被ばくの低減が十分に行えないため、④の個人用防護衣や防護具を着用しなければならない。

2) 血管造影撮影、胃・腸・ペリウム透視これらの検査は、遠隔操作を行うこともあるが、放射線診療従事者が患者の側に付いて診療行為を行うことが多いため、①～③の措置のみでは被ばくの低減が十分に行えない可能性があり、④の個人用防護衣や防護具を着用しなければならない。なお、個人防護衣を着用すると、体幹部が不均等に被ばくするため、不均等被ばく測定管理も行う必要がある。

4-9-3. 画像下治療 (Interventional Radiology : IVRと略)におけるX線管球の位置について近年、IVRに携わる放射線診療従事者の被ばく線量が、職業被ばく限度近くに迫ることが懸念されているため^[49]、この分野における被ばく低減措置は、非常に重要な要素となる。X線管球が患者の下側にあらわれるアンダーテーブルX線管型装置の場合、前方への散乱X線の多くが患者により遮へいされるため、その手技を行う放射線診療従事者へ届く放射線量は少なくななる。一方、X線管球が患者の上側にあるオーバーテーブルX線管型装置の場合、後方に散乱したX線を遮へいするものがないため、放射線診療従事者は多くの散乱X線にさらされることとなる(図4-22)。よってIVRは、散乱X線による被ばくのより少ないアンダーテーブルX線管型装置で実施することが望ましい。

表4-18 診療で用いられる放射性同位元素と主な診療行為

放射性同位元素の種類	放出される主な光子のエネルギー (MeV) [50]	検査・治療の種類
¹⁹² Ir	0.468, 0.317, 0.308, 0.296	(腹腔内照射、子宮がんの治療等)
¹³¹ I	0.365	甲状腺in vivo検査、バゼドウ病や甲状腺がん治療等
^{99m} Tc ¹²³ I	0.141 0.159	SPECT (Single photon emission computed tomograph) 画像診断
¹⁸ F, ¹⁵ Oなどのポジトロン核種	0.511 消滅放射線	PET(positron emission tomography) 検査
¹²³ I	0.0274 0.031	シード線源（前立腺がん治療）

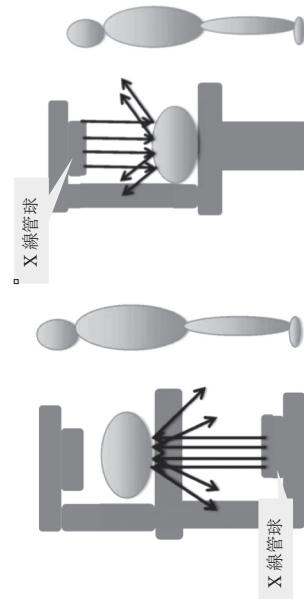


図4-22 アンダーテーブルX線管装置(左)およびオーバーテーブルX線管(右)
型装置における散乱線: 出典: 福原俊夫, 細井隆夫: 脳道系IVR・IVEにおける患
者・医療従事者の放射線被曝の軽減について, 脳道, 2014, 28(2), pp.193-199 より

4-9-2. 放射性同位元素を用いた診療における放射線防護

表4-18に、診療で用いられる放射性同位元素と主な診療行為を示す。放射線診療従事者が、放射性同位元素の使用室外から遠隔操作で、同表に示した放射性同位元素を操作する場合には、その者が放射線にさらされることはないが、使用室内で患者の診療を行った際には、被ばくすることがある。しかし、放射性同位元素からの光子のエネルギーは、医療用X線装置からの散乱X線のエネルギーより数倍大きいため、4-9-1で示した防護衣は、あまり役に立たない、例えば、ボジトロン核種からの消滅放射線(511keV)および^{99m}Tcからの光子(0.141MeV)[50]の場合、防護衣(0.25mm鉛当量)の遮へい効果(減衰率)は、それぞれ5.8%および18.8%と報告されており[51]、散乱X線に対する遮へい効果(減衰率: 90%以上)よりも低い。また、¹⁹²Ir, ¹³¹Iおよび¹²³Iから放出される光子のエネルギーは、^{99m}Tcの光子のエネルギーよりも大きいため、防護衣の遮へい効果はさらに低くなる。このため、放射性同位元素を用いて診療行為を行う際には、個人防護具はあまり役に立たないため、①「区域の指定」、②「工学的措置」、③「操業手順」によつて放射線防護を行なう必要がある。また、②の措置では、防護断面や防護板の代わりに、鉛の遮へい容器や鉛ブロックなどが用いられる。なお、¹²³Iからの光子のエネルギーは、医療用X線装置からの散乱X線のエネルギーと同程度であるため、同元素を用いた診療行為では、4-9-1-1で示した防護衣は遮へいに大いに有効である。図4-23に、¹⁹²Irを内蔵したアフターローディング治療装置(¹⁹²Ir内蔵)を示す。

4-10. 個人線量計

個人線量計とは、個人の外部被ばくをモニタリングするためるために使用される測定器または測定用具のことである。個人線量計にはさまざまな種類があるが、測定後に計測装置にて指示値を読み取る「パッシブ型」と、主に測定値を直読できる「アクティブ型」の2種類に分類される。パッシブ型には蛍光ガラス線量計(Fluoroglass dosimeters: FLDと略)、光刺激光激励ルミネッセンス線量計(Optically Stimulated Luminescence Dosimeter: OSDLと略)、熱ルミネッセンス線量計(Thermoluminescent Dosimeter: TLDと略)などがあり、アクリル型には電子式線量計などがおり、使用目的や対象となる放射線の種類やエネルギーなどに応じて使い分けられている[52]。

図4-23 アフターローディング治療装置
ガンマ線を放出する¹⁹²Irの密封小線源を人体の腔内に挿入し、治療を行う遠隔照射装置
写真：産業医科大学病院のHPより



図4-24 リニアック治療装置
写真の装置では、6および10MVのX線および6~18MeVの電子線を用いた治療
が可能：産業医科大学病院のHPより

4-9-3. 加速器を用いた治療における放射線防護
加速器とは、電気によって高エネルギーのX線や高速の電子、陽子、重粒子などの粒子を作り出す装置で、医療領域においては、がんなどの治療に用いられている。医療用の加速器で最も普及しているのが、ライナックまたはリニアックと呼ばれる直線加速器(図4-24)で、X線や電子線を用いて放射線治療を行なうことができる。リニアックで発生させることができるX線のエネルギーは4~25MVであり、一般的なX線検査(実効エネルギーで20~50keV)より遙かに高い、そのため、個人防護衣や防護器具は全く役に立たない、放射線診療従事者は、職業被ばくの低減措置を「区域の指定」、「工学的措置」および「操作手順」により確実に行なう必要がある。また、放射線の照射中に立ち入ることは、治療を受ける患者以外は許されない。放射線診療従事者が立ち入ったなら、その者に深刻な被ばくを与える可能性があるためである。したがって、加速器を用いた治療のみに從事する放射線診療従事者の被ばく線量は、一般的には非常に少ない、以上のことから、加速器を用いた治療における放射線診療従事者の被ばく防護では、個人防護衣や防護器具を用いる必要はない、ただし、高エネルギー光子の核反応による中性子発生の可能性があるため、中性子も測定できる個人線量計を用いての被ばく線量管理の必要はある。

1) 蛍光ガラス線量計(FLD)
放射線を照射された銀リン酸塩ガラスに紫外線を当てるとき、照射された放射線の量に比例したオレンジ色の光を発する。FLDは、その現象を利用したパッシブ型の線量計である。窒素レーザーによるハラス測定法を用いることにより、ガラス素子(またはガラスプレート)の汚れの影響を低減でき、低線量域までの測定が可能になった[53]。フェーディング(放射線照射によって素子に蓄えられた照射線量の情報が、時間の経過等によって消失していく現象)は、年数%以下である。照射線量の読み取りには専用の計測装置が必要なため、専門のサービス機関に計測を委託するのが一般的である。ガラス素子は繰り返し計測が可能であり、また熱を加えることにより再利用が出来る。図4-25にガラス線量計の外観(左)と内部構造(右)

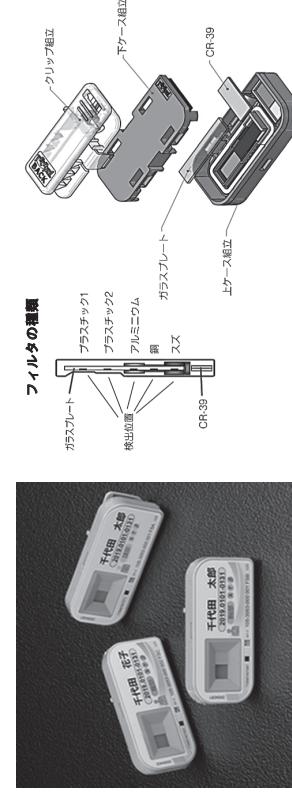


図4-25 ガラス線量計(ガラスバッジ)の外観(左)と内部構造(右)
出典：ガラスバッジサービス取扱説明書、千代田テクノル、Available from URL:
http://www.c-technol.co.jp/monitoring/pdf/pdf_all.pdf

また、微小部位の被ばく線量の評価などに利用できる小型素子システムが市販されており、システム一式の購入により、自施設での被ばく線量計測が可能となる。使用手順は、ガラス素子(Φ1.5×8.5 mm)を素子ホルダー(Φ2.8×9.5 mm)に入れて線量測定箇所に装着し、X線やγ線を照射後、素子ホルダーからガラス素子を取り出し、読み取り器に挿入し、ガラス素子に照射された線量を読み取る。図4-26に、ガラス素子と素子ホルダーを示す。

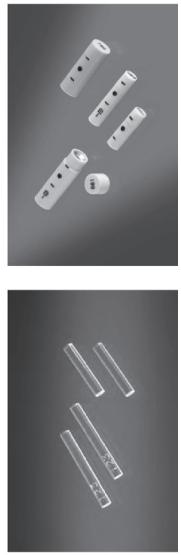


図 4-26 ガラス素子の外観（左）と素子ホルダーの外観（右）
出典：螢光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace 取扱説明資料、千代田テック
ル、Available from URL: <http://isotope.technol.co.jp/pdf/DoseAce1407ATG.pdf>

2) 光刺激ルミネセンス線量計 (OSLD)

酸化アルミニウムなどの蛍光材に放射線を照射し、照射後に光をあてると、照射された放射線の量に比例した光を発する。OSLDは、この現象を利用したバッファ型の線量計である。繰り返し測定が可能であるが、照射線量の読み取りには専用の計測装置が必要であり、FLDと同様、専門のサービス機関に測定を委託するのが一般的である。

3) 热ルミネセンス線量計 (TLD)

硫酸カルシウム結晶などの蛍光物質に放射線を照射し、照射後に熱を加えると、照射された放射線量に比例した光を出す。TLDは、この現象を利用したバッファ型の線量計で、照射線量の読み取りには専用の計測装置が必要である。FLD や OSLD と異なり、1回の計測で、照射された線量に関する情報が消失する。また、フェーディングはFLD や OSLD より大きい。

4) 電子式線量計

電子式線量計は、半導体検出器を使用したアクティブ型の線量計である。線量計の表示部に測定値が表示されるため、その場で被ばく線量を読み取ることができる。上記3種類の線量計と異なり、電源が必要であり、主に一次電池が電源に利用される。また、警報機能を持つものもあり、あらかじめ設定された積算線量値を超えると、警報音で使用者に知らせることができる。

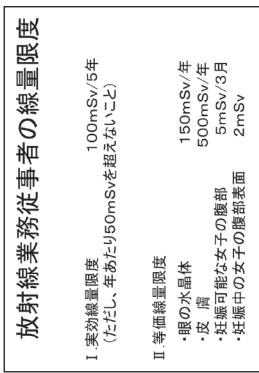


図 4-27 放射線診療従事者に係わる被ばく線量の法令基準値

4-11. 法令における職業被ばく線量の基準値
医療における職業被ばく線量の基準値(線量限度)は、[医療法施行規則][6]、電離放射線障害防止規則[7]および放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則の告示[54]で、図4-27のとおり定められている。



図 4-28 放射線診療従事者に係わる被ばく線量の法令基準値

これらの値は、基本的にICRPの1990年勧告に示された値をそのまま取り入れているが、「妊娠可能な女子の腹部」については、国内法独自の基準となっている。その理由として、妊娠可能な女性は出生前の子供を防護するために追加の管理が必要であること、妊娠前後の胎兒は出生後の子供よりも放射線による組織障害を受けやすいこと、妊娠後期の胎兒は悪性腫瘍の誘発に対し感受性が高いと推量されること[10]などが、1990年勧告に示されており、これらの点を考慮したためである。

緊急時の基準値について、ICRPは1990年勧告で、実効線量では500mSv、皮膚の等価線量では5000mSvを参考レベルとして勧告しているが、国内法ではより低い値を基準値として設定している。なお、放射線診療従事者が緊急作業に従事した際には、その被ばくした期日が属するプロック5年間(2001年4月1日を始期とする5年ごとに区分した期間)の総被ばく線量は、緊急時の被ばくも含めて100mSv以下としなければならない。

4-12. 放射線診療従事者の白内障(後囊下混濁)発生
Vanoらは、ウルグアイおよびコロンビアで、IVRに関する放射線診療従事者116名に対し、後囊下混濁発生率のコホート調査を行った[55]。被ばく線量は、IVR診療室での実験データおよび放射線診療従事者への詳細なアンケート調査から推定された。結果を表4-19に示す。対照群と

比較した後嚢下混濁発生の相対リスクは、心臓専門医グループで 3.2 ($P < .005$) と有意に高かつた。しかし、診療放射線技師および看護師グループでは、相対リスクが 1.7 で、高いことが示唆されたが、統計的には有意ではなかった ($P = .13$)。

表 4-19 ICR に関する放射線業務従事者における後嚢下混濁の発生について

調査対象 () 内は n 数	平均被ばく 線量(Sv)	発生数	P 値	相対リスク
心臓専門医(58)	6.0	22 (38%)	<.005	3.2
診療放射線技師および看護師 (58)	1.5	12 (21%)	0.13	1.7
対象 (93)	—	11 (12%)	—	—
Vano E. らの報告[55]より作成				

4-13. 被ばくによる白血病のリスク

Klerwi らは、原子力産業に携わっている 308,297 人を対象として、白血病など血液がんの疫学調査を行なった[56]。本調査は、フランスの原子力・新エネルギー庁、原子燃料部門、電力会社、米国のエネルギー省および防衛省、英国の放射線業務従事者登録に含まれている原子力産業従事者について、最低 1 年間雇用された者を対象として行なわれた。結果を表 4-20 に示す。なお、同表には放射線被ばくにより生じない慢性リンパ性白血病[57]は記載していない。また、同表に示された「赤色骨髄の吸収線量」と、「各線量に対応する白血病の相対リスク」の関係を図 4-28 に示す。この結果、異なる線量データを用いて求めた近似曲線（直線）は、いずれもほぼ同じ傾きであった。したがって、白血病は、低線量率での被ばくと高線量率での被ばくことで、リスクがほぼ同じであることが分かった。これらのことから、Klerwi らは、対象集団の 10mSvあたりの白血病のリスクは約 3% と予測している。日本では、白血病の死亡率は 10 万人あたり年 7 人[58]であるため、10 万人が年 10mSv の被ばくした場合、被ばく集団における白血病による死亡数の増加は、0.21 人となる。

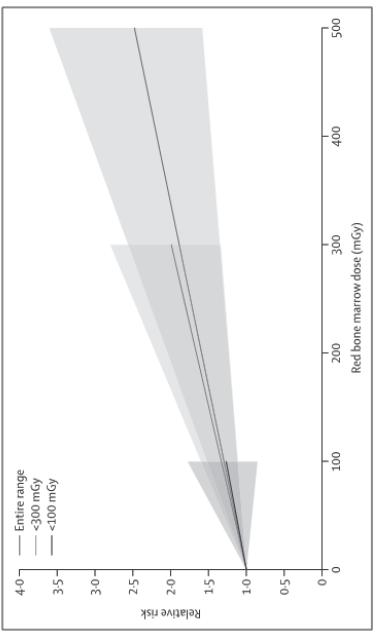


Figure 4-28 潜伏期間を 2 年として推計した白血病の相対死リスク（参考文献[56]より引用）
Figure: Relative risk of leukaemia excluding chronic lymphocytic leukaemia associated with 2-year lagged cumulative red bone marrow dose.
The lines are the fitted linear dose-response model and the shading represents the 90% CIs.

表 4-20 白血病に起因する死亡の分布と、累積赤骨髄線量のカテゴリ別への死亡の相対リスク (1943-2005)

累積被ばく線量(mGy+)	0-5	5-50	50-100	100-200	200-300	300+
平均被ばく線量(mGy)	1.0	17.2	70.0	137.9	241.2	407.5
人・年	5,314,830	2,298,942	344,476	185,811	49,361	27,707
死亡者数(人)	281	171	37	22	14	6
相対リスク値	1.00	1.01	1.30	1.19	2.30	1.70
90%信頼区間	0.86-1.19	0.97-1.73	0.82-1.73	1.46-3.62	0.85-3.36	

参考文献[56]付録表 A2 より作成

第5章 放射線診療従事者の水晶体等価線量の推移に関する調査

5-1. 調査方針

ある医療施設における過去の被ばく線量モニタリング記録を調査し、放射線診療従事者の水晶体等価線量の長期間の線量推移を明らかにする。水晶体等価線量の推移を表す指標として、平均線量を用いる。その理由は、全国の放射線診療従事者の被ばく線量を表す指標として以前から平均線量が公開されており、その推移と比較するためである。また、先行研究でも平均線量が用いられているためである。平均線量は、職種別、線量階層別等さまざまな分類で求め、その推移を調査する。

さらに、個人の水晶体等価線量の分布も調査する。その理由は、被ばく線量低減のための業務改善対象者（または対象部署）を決めるのに、線量の高い個人（または部署）の情報が必要であると考えたためである。

なお、全国平均として、T社が公開している集計データ[9]を比較対象として用いる。

5-2. 方法

5-2-1. 調査対象施設および調査期間

調査対象施設（調査病院）は、病床数約700の特定機能病院1箇所とした（表5-1）。調査期間は1998年4月から2019年3月までの21年間とした。なお、以下特に記載のない場合は、調査期間は同21年間とする。

表5-1 調査病院の概要（2017年度実績）

診療科数：	22科（腰榜科目）
外来患者数：	約1300人/日

手術症例数 約7000件/年

放射線検査・治療の件数： 約170,000件/年

所持している主な放射線診療装置等

放射線発生装置：	リニアック2台（X線エネルギー4および10MV）
PET-CT：	1台
密封RI線源：	¹³² I（アフターロードティング治療装置に内蔵）
¹²⁵ Iシード線源	

5-2-2. 調査対象者および人数
調査対象者は、調査期間内に放射線診療従事者として調査病院に登録していたのべ5,407人と

した。のべ人数は、調査期間の各年度における放射線診療従事者数の合計人数とした。各年度の放射線診療従事者数等を表5-2に示す。なお、以下に特に記載のない場合は、調査対象人数等は同表に示した値とする。

表5-2. 調査病院における年度毎の放射線診療従事者数および集团水晶体等価線量等

年度	放射線診療従事者数	水晶体等価線量の検出者*	水晶体等価線量の検出者の割合(%)	水晶体等価線量の検出者の平均線量(人·mSv)	水晶体等価線量の検出者の標準偏差(%)	水晶体等価線量の検出者の標準偏差(%)	水晶体等価線量の検出者の標準偏差(%)
1998	196	25	12.8	19.5	3	3	0
1999	192	29	15.1	21.3	3	4	0
2000	208	29	13.9	18.3	3	4	0
2001	219	37	16.9	35.8	4	5	3
2002	214	41	19.2	25.8	4	5	4
2003	219	35	16.0	29.1	4	4	3
2004	210	37	17.6	27.4	4	5	3
2005	189	40	21.2	24.7	4	5	3
2006	213	46	21.6	32.6	5	6	3
2007	205	69	33.7	96.3	8	7	60
2008	224	77	34.4	115.4	9	10	61
2009	236	79	33.5	113.6	9	9	68
2010	245	94	38.4	146.9	11	10	74
2011	253	99	39.1	141.5	11	11	79
2012	279	117	41.9	159.8	13	13	87
2013	312	119	38.1	175.0	13	12	87
2014	349	146	41.8	225.1	15	16	95
2015	354	136	38.4	259.6	14	14	92
2016	353	129	36.5	206.3	14	14	94
2017	358	121	33.8	178.6	13	13	94
2018	379	125	33.0	136.9	13	12	113

*: 年間0.05mSv以上の被ばく線量を検出した放射線診療従事者

5-2-3. 調査および解析対象データ

法令の規定[7]により算定され保管されている個人被ばく線量測定記録を対象データとした。

5-2-4. 調査項目

- 1) 水晶体等価線量の平均線量の推移

すべての調査対象者の平均線量（表5-2に示す水晶体等価線量の集团線量／放射線診療従事者数、以下「全平均」という。）および、水晶体等価線量が検出された調査対象者の平均線量（表5-2に示す水晶体等価線量の集团線量／水晶体等価線量の検出者数、以下「検出者平均」という。）を年度毎に求め、その推移を比較した。また、公開されているT社の個人被ばく線量分布のデータ

タ[9] から全平均および検出者平均を求め、その推移を調査病院の結果と比較した。なお、T 社の線量階層別のデータは 2011 年度から公開されたため、検出者平均を求めることができた期間は、2011 年度以降であった。

- 2) 水晶体等価線量の分布の推移
水晶体等価線量が検出された調査対象者の線量分布を年度毎に求め、その推移を調査した。
- 3) 線量階層別の水晶体等価線量の検出者平均の推移
水晶体等価線量が検出された調査対象者を、線量が多い順に、「線量上位 10% グループ」、「線量上位 10~20% グループ」、「線量下位 80% グループ」に分け、各グループの検出者平均を年度毎に求め、その推移を比較した。
- 4) 職種別の水晶体等価線量の検出者平均の推移
医師、診療放射線技師および看護師の職種別に、検出者平均を年度毎に求め、その推移を比較した。
- 5) 水晶体等価線量と実効線量の推移の比較
水晶体等価線量の検出者平均を年度毎に求め、その推移を比較した。
- 6) 水晶体等価線量が多い放射線診療従事者の線量の推移
水晶体等価線量について、職種別に 2007~2018 年度の 12 年間の積算線量が多い上位 10 名について、年度毎の線量の推移を調査した。対象職種は医師、診療放射線技師および看護師とした。
- 7) 水晶体等価線量が多い放射線診療従事者の月毎の線量の推移
2018 年度の水晶体等価線量の値が多い上位 10 名について、月毎の線量の推移を調査した。
- 8) IVR 実施部署と未実施部署の水晶体等価線量の検出者平均の推移
水晶体等価線量が多い者が属する部署とそれ以外の部署との比較として、IVR 実施部署と IVR 未実施部署の医師の検出者平均を年度毎に求め、その推移を比較した。

5-2-5. 個人被ばく線量の測定方法

調査病院では、T 社の個人線量測定サービスを利用して実効線量や水晶体等価線量の測定を行つており、測定にはハッシュ型の線量計である蛍光ガラス線量計（4-10. 外部被ばく線量測定用個人線量計参照）が用いられている。線量計の使用期間は 1 ヶ月であるため、個人被ばく線量は 1 ヶ月毎の積算値で示される。検出下限値は 0.05mSv[59]であるが、測定結果は小数点第 1 位未満を四捨五入して報告されるため、0.05~0.14mSv では、0.1mSv と示される。また、均等被ばく測定を行つている放射線診療従事者（以下「均等被ばく測定者」という。）は、1 個の線量計の測定値から水晶体等価線量および実効線量が算定されるが、不均等被ばく測定を行つていている放射線診療従事者（以下「不均等被ばく測定者」という。）は、水晶体等価線量は頭部の個人線量計の測定値から、実効線量は頸部および胸腹部（または腹部）の個人線量計の測定値から算定される。なお、散乱 X 線の防護のために防護衣を着用する場合は、胸部または腹部の個人線量計は防護衣の内側に、頸部の個人線量計は防護衣の外側に取り付ける必要がある。

5-2-6. 統計処理

基本統計量を用いて処理を行つた。処理にあたつては、Excel(2016)および KaleidaGraph (Ver.3.51) を用いた。また、数値が誤差範囲内で一致しないとき、両数値間に差があるとした。なお、誤差は標準偏差を用い、標準偏差が標記された値の加減乗除は文献に従つた[50]。

5-2-7. 倫理的配慮

産業医科大学倫理委員会で、平成 30 年 9 月 28 日付けで承認されている、「受付番号 H30-099 号」

5-3. 結果

5-3-1. 水晶体等価線量の平均値の推移

図 5-1 に平均値の推移を示す。図中の直線は回帰直線を表しており、回帰は 1998 年度を 0 として行った。結果は、全平均および検出者平均ともに強い正の相関が示された。また、両平均の増加率（回帰直線の X の係数）には差が認められ、検出者平均の方が大きかった（検出者平均： 0.051 ± 0.009 、全平均： 0.030 ± 0.005 ）。調査病院の平均値を全国平均値と比較したところ、全平均は 2015 年度を除き全国平均値より低く、また検出者平均は全ての年度で全国平均値より低かった。なお、全平均には水晶体等価線量が検出されない放射線診療従事者のデータも 6-9 割程度含まれている（表 5-2）。これから、平均線量の推移に関するこれ以降の調査は、検出者平均で行うこととした。

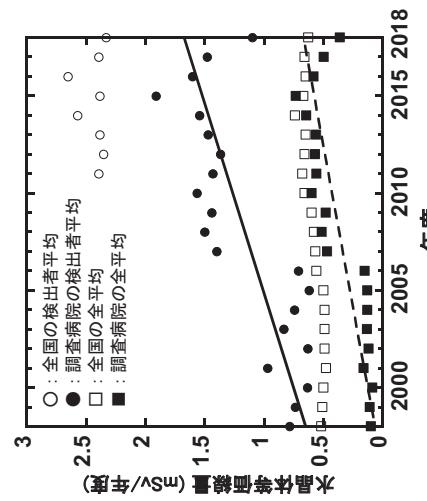


図 5-1 水晶体等価線量の平均値の推移
図中の一次回帰式および相関係数は、実線： $y=0.051x+0.650$ $r=0.780$ $p<.001$ 、
破線： $y=0.030x+0.005$ $r=0.064$ $r=0.831$ $p<.001$ である。

5-3-2. 水晶体等価線量の分布の推移

図 5-2 に水晶体等価線量の分布の推移を示す。各年度とも線量が多い側ではそれが値が多く存在した。また、各年度とも水晶体等価線量の検出者の多く（75%以上）は 2mSv/年以下であったが、2007 年以降、6mSv/年を超える者が毎年認められるようになった。さらに、20mSv/年程度（またはその値を超える）者も 2010 年度以降認められるようになった。

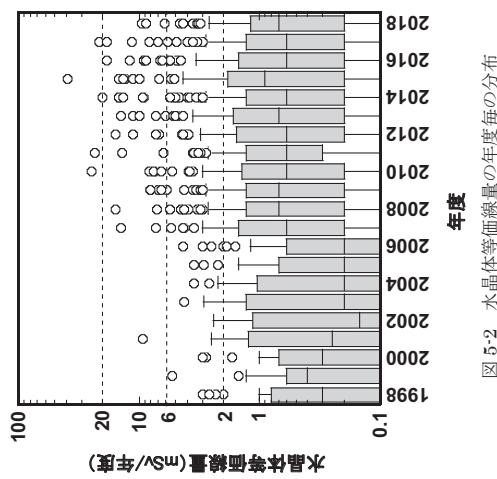


図 5-2 水晶体等価線量の年度毎の分布

5-3-3. 線量階層別の水晶体等価線量の検出者平均の推移

図 5-3 に線量階層別の検出者平均の推移を示す。図中の直線は回帰直線を表しており、回帰は 1998 年度を 0 として行った。結果は、どの線量階層でも強い正の相関が示された。また、増加率（回帰直線の X の係数）には大きな差が認められ、特に線量上位 10% グループの増加率は、線量下位の 80% のグループの 14 倍程度（ 14.8 ± 3.3 倍）、線量上位 10-20% グループに対しては 5 倍程度（ 4.7 ± 1.3 倍）であった。各線量階層の合計線量が、調査病院の集団線量に占める割合を表 5-3 に示す。この結果、線量上位 10% グループの合計線量が集団線量に占める割合は、5 割程度（ $45 \pm 6\%$ 、平均値）であった。また、線量上位 10-20% グループの合計線量が集団線量に占める割合は、2 割程度（ $20 \pm 4\%$ 、平均値）であった。

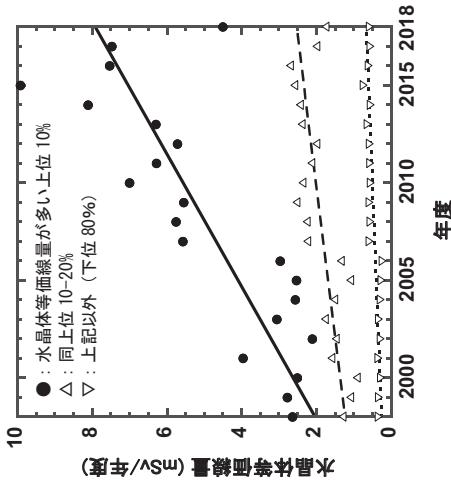


図 5-3 水晶体等価線量の線量階層別の検出者平均の推移
図中の回帰式および相関係数は、実線： $y=(0.295 \pm 0.049)x^2 + 2.036 - 0.810 p < .001$, 波
線： $y=(0.063 \pm 0.014)x + 7.234 r = 0.740 p < .001$, 点線： $y=(0.020 \pm 0.003)x + 0.259 r = 0.815$
 $p < .001$ である。

表 5-3 各線量階層別の合計線量が調査病院の集団線量に占める割合 (%)

年度	上位 10% の 合計線量	上位 10-20% の 合計線量	下位 80% の 合計線量
1998	41	20	39
1999	39	21	40
2000	41	20	39
2001	44	22	34
2002	33	29	39
2003	42	24	34
2004	37	28	35
2005	41	22	37
2006	45	25	30
2007	46	16	37
2008	45	20	36
2009	44	20	36
2010	52	16	32
2011	49	17	35
2012	46	16	37
2013	47	16	37
2014	54	17	29
2015	53	14	33
2016	51	18	31
2017	54	13	33
2018	43	15	42
平均値	45 ± 6	20 ± 4	35 ± 4

5-3-4. 職種別の水晶体等価線量の検出者平均の推移

図 5-4 に職種別の検出者平均の推移を示す。線量は 2012 および 2018 年度を除き、どの年度でも医師、放射線技師、看護師の順に高かった。また、どの職種でも、2007 年度の線量は 2006 年度以前と比較して 2 倍程度またはそれ以上の値となった（医師約 1.9 倍、診療放射線技師約 2.4 倍、看護師約 4.8 倍）。

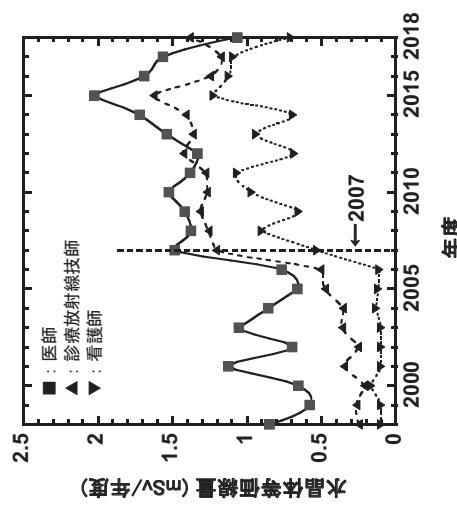


図 5-4 職種別の水晶体等価線量の検出者平均の推移

表 5-4. 調査病院における 2007-2018 年度の水晶体等価線量が多い放射線診療従事者上位 10 名の年次引線量推移

医師	年度										期間内の 最大総量	最小総量	年度平均線量			
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016						
放射線診療従事者																
医師	1	-	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4	1.0	0.5	0.2	0.2	0.4 ± 0.2*				
	2	-	0.0	-	0.0	0.1	0.2	0.9	0.7	0.6	1.0	0.1	0.4 ± 0.4			
	3	-	-	0.5	0.4	1.0	0.5	0.7	0.7	-	-	0.3	0.6 ± 0.2			
	4	0.6	0.6	0.3	1.0	-	-	-	-	-	-	0.3	0.6 ± 0.3			
	5	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.3	0.8	1.0	1.0	0.5	0.1	0.4 ± 0.4			
	6	-	-	0.6	0.2	0.9	0.4	0.7	1.0	0.3	-	-	0.2	0.6 ± 0.3		
	7	0.7	0.5	0.9	1.0	0.8	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4 ± 0.4			
	8	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.8	1.0	0.1	0.5 ± 0.4		
	9	0.2	0.2	0.1	0.5	0.6	0.1	0.1	0.8	0.9	1.0	0.7	0.3	0.5 ± 0.3		
	10	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.0	1.0	0.8	0.6	-	0.0	0.4 ± 0.4		
診療放射線技師																
	1	0.2	0.3	1.0	0.7	0.6	0.5	0.7	0.7	0.3	0.1	0.6	0.1	0.5 ± 0.3*		
	2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	1.0	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3 ± 0.2	
	3	0.1	0.0	0.0	0.3	0.8	1.0	0.9	0.6	0.6	0.5	0.7	-	0.0	0.5 ± 0.4	
	4	-	-	-	-	1.0	0.7	0.8	0.4	0.6	0.4	0.7	0.7	0.4	0.7 ± 0.2	
	5	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1 ± 0.3	
	6	1.0	0.4	0.4	0.8	0.3	0.5	0.6	0.3	0.7	0.4	-	0.1	0.5 ± 0.2		
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	1.0	0.9	0.8	0.6	0.8 ± 0.2	
	8	-	-	-	-	-	0.4	0.7	1.0	0.8	1.0	0.6	0.7	0.4	0.7 ± 0.2	
	9	0.4	0.4	1.0	0.9	0.2	0.3	0.3	0.6	0.8	1.0	0.8	-	0.2	0.6 ± 0.3	
	10	0.3	0.6	0.8	1.0	0.3	0.3	0.3	0.7	-	-	-	0.3	0.5 ± 0.3		
看護師																
	1	-	0.4	0.5	1.0	0.7	0.8	0.8	0.4	0.6	0.5	0.4	0.6 ± 0.2*			
	2	-	0.4	0.4	0.5	1.0	0.5	0.6	0.5	-	-	-	0.4	0.6 ± 0.2		
	3	-	-	0.6	1.0	1.0	0.5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.5 ± 0.3		
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.9	0.6	1.0	0.9	0.5	0.0	0.5 ± 0.4		
	5	-	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	0.9	1.0	0.8	0.7	0.5	0.0	0.5 ± 0.4	
	6	-	-	-	-	0.6	0.8	0.9	0.7	0.7	0.7	0.5	0.0	0.5 ± 0.4		
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	1.0	0.9	0.8	0.6	0.8 ± 0.2	
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
平均値																
	1	0.1 ± 0.1	0.5 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1			
	2	0.2 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2			
	3	0.3 ± 0.3	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3	0.5 ± 0.3			
	4	0.4 ± 0.4	0.4 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.4			
	5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5			
	6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6			
	7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7	0.7 ± 0.7			
	8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.8 ± 0.8			
	9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9	0.9 ± 0.9			
	10	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0			

値は各放射線診療従事者の調査期間内の最大水晶体等価線量(上縦)を示す相対値で示す。

*

-

：調査病院で放射線業務に従事していないことを示す。

5-3-6. 水晶体等価線量が多い放射線診療従事者の線量の推移

表 5-4 に、2007-2018 年度の 12 年間の水晶体等価線量の算定値が多い者のうち、職種別の上位 10 名について、水晶体等価線量の年度毎の推移を示す。値は、調査期間内で最も線量の多い年度最大値の半分程度 (0.5±0.1) となつた。全職種を通じての被ばく線上位 10 名は、すべて医師である比率は、平均値で 0.1±0.1 または 0.2±0.2 となつた。また、年度平均値は、いずれの職種でも、不均等被ばく測定者を増やしたきつかけは、放射線診療従事者の被ばく線量を測定するためであった。

なお、調査期間を 2007 年度に増やしたため、その年度以降の値を解析することとしたためである。者を 3 名から 60 名と大幅に増やしたため、その年度以降の値を解析することとしたためである。

なお、不均等被ばく測定者を増やしたきつかけは、放射線診療従事者の被ばく線量を測定するためであった。

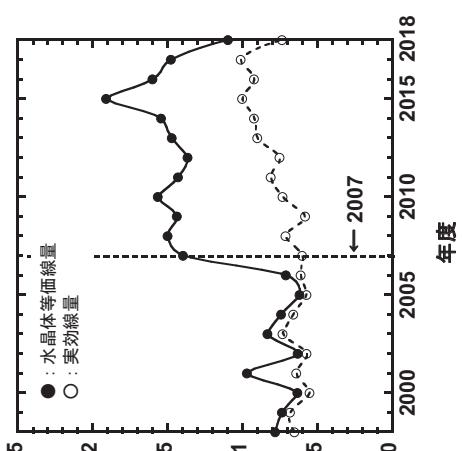


図 5-5 水晶体等価線量と実効線量の検出者平均の推移

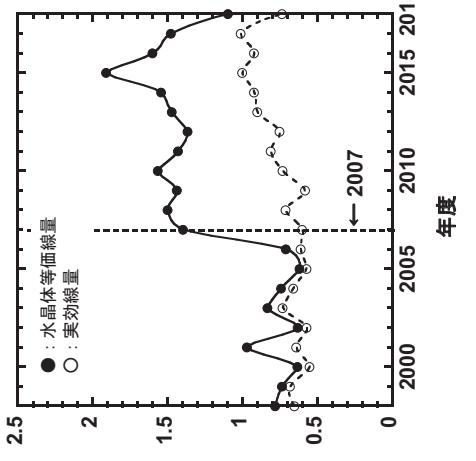


図 5-5 水晶体等価線量と実効線量の検出者平均の推移

5-3-7. 水晶体等価線量が多い医師の実効線量の推移

2007-2018 年度の水晶体等価線量が多い上位 10 名について、調査期間内の実効線量の推移を示す (表 5-5)。値は、調査期間内で最も線量の多い年度の値を 1 とする相対値で表す。この結果、調査期間内の年平均値に対する比は、平均値で 0.1±0.1、最小値の最大値に対する比は、平均値で 0.1±0.1 と比較して約 2.1 倍に上昇しているが、実効線量は 2007 年度では 2006 年度ではほぼ同じ値 (0.98 倍) であった。

なり、水晶体等価線量の値はほぼ同じであった。

表 5-5 調査病院における 2007-2018 年度の水晶体等価線量が多い放射線診療従事者上位 10 名の実効線量の年度

放射線診療従事者	年度										期間内の最小線量	年平均線量
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	-	0.8	0.4	0.3	0.7	0.6	0.6	0.4	1.0	0.5	0.2	0.5 ± 0.2*
2	-	0.0	-	-	0.0	0.1	0.2	0.5	0.5	-	-	0.4 ± 0.4
3	-	-	0.3	0.4	1.0	0.4	0.6	0.5	-	-	0.1	0.5 ± 0.3
4	0.5	0.7	0.4	1.0	-	-	-	-	-	-	0.4	0.6 ± 0.3
5	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	0.4	1.0	0.8	1.0	0.3	0.0	0.0 ± 0.4
6	-	-	0.8	1.0	0.2	1.0	0.6	0.6	1.0	0.4	-	0.6 ± 0.3
7	0.8	0.4	1.0	0.9	0.5	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4 ± 0.4
8	-	-	-	-	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	0.9	1.0	0.7 ± 0.4
9	0.2	0.2	0.2	0.5	0.6	0.1	0.1	0.8	1.0	0.7	0.3	0.1 ± 0.3
10	-	-	-	-	0.2	0.0	0.4	0.0	1.0	0.7	-	0.0 ± 0.4

*: 平均値 ± 標準偏差

- : 調査病院で放射線業務に從事していないことを示す。

5-3-8. 水晶体等価線量が多い医師の月毎の線量の推移

表 5-6 に、2018 年度の水晶体等価線量が多い医師上位 10 名の、同年度の月毎の水晶体等価線量の推移を示す。値は、年度内での最大値を 1 とした相対値です。その結果、月の被ばく線量の平均値は 0.4 ± 0.1 となり、期間内の最大値の半分程度、最小値と最大値の比は平均値で 0.1 ± 0.1 となつた。

表 5-6 調査病院における 2018 年度の水晶体等価線量が多い放射線業務従事者上位 10 名の月別線量推移

放射線診療従事者	月												期間内の最小線量	年平均線量
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
A	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3 ± 0.4*
B	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2 ± 0.4
C	0.8	0.2	0.6	0.9	0.5	0.5	0.1	0.4	0.2	1.0	0.5	0.7	0.1	0.5 ± 0.3
D	0.2	0.3	0.2	1.0	0.5	0.3	0.3	0.7	0.2	0.3	1.0	0.2	0.4	0.3 ± 0.3
E	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	0.1	0.4 ± 0.3
F	0.0	0.0	0.2	0.5	0.9	1.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2 ± 0.4
G	0.4	0.5	0.4	0.6	0.8	0.3	0.4	0.5	0.8	0.6	1.0	0.3	0.6 ± 0.2	
H	0.2	0.7	0.5	0.5	0.5	1.0	0.1	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.0	0.4 ± 0.3
I	0.6	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	1.0	0.6	0.8	0.1	0.4 ± 0.3
J	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.1	0.3	1.0	0.5	0.0	0.2 ± 0.3

*: 平均値 ± 標準偏差

X: 條出下限値以下

-: 調査病院で放射線業務に從事していないことを示す。

5-3-9. IVR 実施部署と未実施部署の水晶体等価線量の検出者平均の推移

図 5-6 に両部署の推移を示す。図中の直線は回帰直線を表しており、回帰は 1998 年度を 0 として行った。結果は、両部署ともに強い正の相関が示された。増加率（回帰直線の X の係数）には大きな差が認められ（実施部署 : 0.103 ± 0.019 、未実施部署 : 0.022 ± 0.004 ），実施部署の増加率は、実施していない部署の 5 倍程度 (4.7 ± 1.3) であった。また、両部署の年度平均値にも差が認められた（実施部署 : 1.91 ± 0.82 mSv、未実施部署 : 0.35 ± 0.18 mSv），実施部署の年平均値は実施していない部署の 5 倍程度 (5.4 ± 3.6) であった。

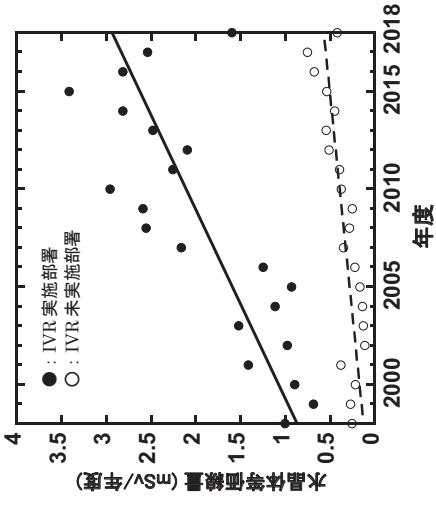


図 5-6 IVR 実施および実施していない部署の水晶体等価線量の検出者平均の推移
図中の一次回帰式および相関係数は、実線 : $y=0.103 \pm 0.019x + 0.079$ $r=0.779$ $p<.001$ 、破線 : $y=(0.022 \pm 0.004)x + 0.127$ $r=0.782$ $p<.001$ である。

第6章 放射線診療従事者の線量比の分布に関する調査

6-1. 調査方針

不均等被ばくの測定を行う場合、実効線量は体幹部（防護衣の内側）に装着した個人線量計から算定され、水晶体等価線量に対する遮へい効果は、通常90%以上であるため[48]、両線量の差は数倍以上になることが予想される。そこで、ある医療施設における過去の被ばく線量モニタリング記録の調査を行い、放射線診療従事者の線量比（水晶体等価線量／実効線量）の分布および線量比の平均値を明らかにする。

さらに、ファントム（人体組織を近似した材料で作った人体模型）を用いてX線照射装置によるシミュレーション照射を行い、実測結果から線量比の算定を行った。

6-2. 方法

6-2-1. 調査対象施設および調査期間

調査対象施設（調査病院）は、「第5章 放射線診療従事者の水晶体等価線量の推移に関する調査」と同じ、病床数約700の特定機能病院1箇所とした。また、調査期間は1998年4月から2019年3月までの21年間とした。なお、以下特に記載のない場合は、調査期間は同21年間とする。

6-2-2. 調査対象者および人数

調査対象者は、調査期間内に放射線診療従事者として調査病院に登録していたのべ5,407人の内、水晶体等価線量と実効線量のいずれかが検出下限値以下の者は、線量比の計算結果が0となるため、調査対象から除外した。このため、調査対象人数は均等被ばく測定者658人、不均等被ばく測定者532人の計1,190人であった。

6-2-3. 調査および解析対象データ

法令の規定[7]により算定され保管されている個人被ばく線量測定記録を対象データとした。

6-2-4. 調査項目

1) 調査項目

- ・放射線診療従事者ごとに算定した線量比の分布
- ・医師、診療放射線技師および看護師の職種ごとの線量比の平均値

6-2-5. 個人被ばく線量の測定方法

螢光ガラス線量計を用いて被ばく線量の測定を行っているT柱の個人線量測定サービスを利用した。

6-2-6. シミュレーション照射による線量測定

- 1) X線照射装置および照射条件
X線照射装置は、調査病院でIVRなどに用いられている島津メディカルシステムズ株式会社製のCアーム型デジタルオグラフィ（型式：DAR-3500）を用いた。照射は、オーバーテーブルX線管、透視モード（パルス透視15fSec.）で行なった。管電圧は85kV、管電流は2.7mA、照射野は12×12inch（約300×300mm）、照射時間は20minとした。また、複台とX線管球間の距離は1030mm、複台の高さは床上850mmとした。

2) ファントム

患者に見立てるファントムには胸・腹部用X線水ファントム（WAC型、W300×D200×H45mm），放射線診療従事者に見立てるファンтомには軟組織等価材と骨等価材を用いた人体ファンтом（Alderson Rando phantom®；163cm相当）を用いた。測定時のX線照射装置や複台等の位置関係は図6-1に示す。



図 6-1 X線照射装置によるシミュレーション照射時の位置関係
A : X線管球、B : 患者に見立てた水ファントム、C : 防護衣、D : 放射線診療従事者に見立てた人体ファントム、1 : 頸部の個人線量計装着箇所（防護衣内側）、2 : 胸部の個人線量計装着箇所（防護衣内側）、3 : 腹部の個人線量計装着箇所（防護衣外側）、4 : 頸部の個人線量計装着箇所（防護衣外側）。

3) 防護衣

株式会社マエダ製の HAGOROMO Magical Light を用了いた。鉛当量は 0.25mm, サイズは S (人体ファンтомにフィットするサイズ) を使用した。

6-3. 結果

6-3-1. 水晶体等価線量と実効線量との線量比
図 6-2 に線量比の分布を示す。

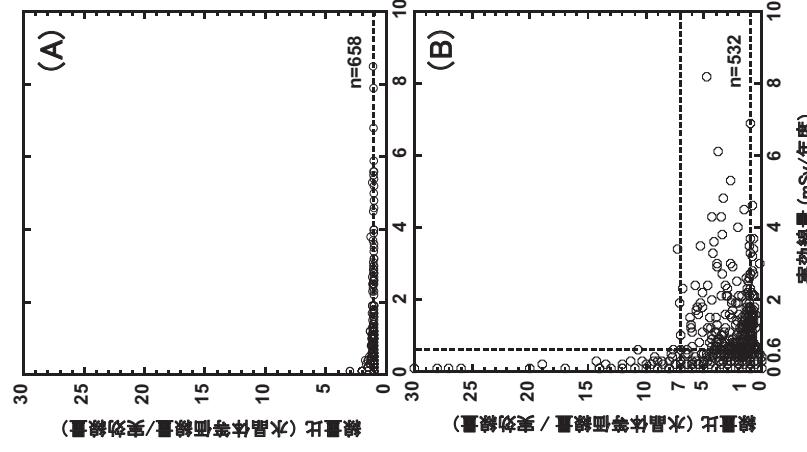


図 6-2 線量比 (水晶体等価線量／実効線量) の分布
(A) は均等被ばく測定者、(B) は不均等被ばく測定者の分布を示す。

均等被ばく測定者 (A) では、線量比がほぼ 1 (1.1 ± 0.2) であった。これに対して不均等被ばく測定者 (B) では、線量比のばらつきが大きかった (3.6 ± 3.9)。不均等被ばく測定者では、実効線量 0.7 mSv/年 以上の線量域における線量比の最大値は 7.3 であったが、実効線量 0.6 mSv/年 以下の線量域においては、線量比を大きく超える者が多數認められ、最大値は 30 であった。次に、不均等被ばく測定者について、職種別に求めた線量比の平均を表 6-1 に示す。放射線診

6-2-7. 統計処理

基本統計量を用いて処理を行った。処理にあたっては、Excel(2016)および KaleidaGraph (Ver.3.51) を用了いた。また、数値が誤差の範囲内で一致しないとき、両数値間には差があるとした。なお、誤差(標準偏差)を用い、標準偏差が標記された値の加減乗除は文献に従つた[50]。

6-2-8. 倫理的配慮

産業医科大学倫理委員会で、平成 30 年 9 月 28 日付で承認されている。(受付番号 H30-099 号)

療從事者ごとに求めた線量比を平均した値（表中のB/A）とでは値が異なっていた。

表 6-2 X 線照射装置によるシミュレーション照射時の測定線量および線量比（男性）

職種	人数	平均線量 (mSv/年)		線量比		線量比 (個々の平均*)	測定線量 (mGy)	線量比 (mSv)
		実効線量(A)	水晶体等価線量(B)	(B/A)	—			
医 師	269	1.0 ± 1.1	3.1 ± 4.6	3.0 ± 5.4	3.4 ± 3.5**	—	—	—
診療放射線技師	207	0.9 ± 0.9	1.5 ± 1.1	1.7 ± 2.1	3.2 ± 4.1	1.7 ± 0.3	1.7 ± 0.6	—
看護師	56	0.4 ± 0.3	1.6 ± 0.7	4.0 ± 3.2	5.8 ± 4.2	—	—	—
合 計	532	0.9 ± 1.0	2.3 ± 3.4	2.5 ± 4.7	3.6 ± 3.9	—	—	—

* : 放射線診療從事者ごとに算定した線量比の平均値

** : 平均値 ± 標準偏差

6-3-2. シミュレーション照射による線量測定

男性 基本部位の線量計を胸部につけている場合の線量比を表 6-2 に、女性（基本部位の線量計を腹部につけている場合）の線量比を表 6-3 に示す。なお、表中の「正しい装着位置」とは、頸部の個人線量計を防護衣の外側に装着している場合、「間違った装着位置」とは、防護衣の内側に装着している場合のことをいう。

水晶体等価線量は、吸収線量から水晶体吸収線量への換算係数の最大値 1.550[60]を頸部の測定線量に乘じて求めた。また実効線量は、胸部（または腹部）と頸部の測定線量を式(4)においてはめ算定した値に、吸収線量から実効線量への換算係数の最大値である 1.433[60]を乗じて求めた。以下に式(4)を示す。ここで、 H_E : 実効線量当量、 H_a : 頸部および頸部の 1cm 線量当量、 H_b : 胸部および上腹部（または腹部および大腿部）の 1cm 線量当量、 H_c : 腹部および大腿部の 1cm 線量当量である。

$$H_E = 0.11H_a + 0.89H_b \quad (\text{または } H_c) \quad (4)$$

その結果、男性および女性とも、頸部の個人線量計を正しい装着位置に取り付けている場合の線量比は 5 より大きくなつたが（男性 : 6.1 ± 1.8、女性 : 5.7 ± 0.2）、間違った装着位置に個人線量計を取り付けている場合の線量比は、5 よりかなり小さくなつた（男性 : 1.7 ± 0.6、女性 : 1.5 ± 0.2）。

表 6-3 X 線照射装置によるシミュレーション照射時の測定線量および線量比（女性）

職種	人数	平均線量 (mSv/年)		線量比		線量比 (個々の平均*)	測定線量 (mGy)	線量比 (mSv)
		実効線量(A)	水晶体等価線量(B)	(B/A)	—			
腹部 (防護衣内側)	—	—	—	—	—	1.0 ± 0.1*	—	—
頸部 (防護衣内側) ¹⁾	—	—	—	—	—	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.2	—
頸部 (防護衣外側) ²⁾	—	—	—	—	—	11.3 ± 1.3	5.7 ± 0.2	—

* : 防護衣の腹部の値（下線）を 1 とする相対値で示す。

- * : 平均値 ± 標準偏差
- 1) 正しい装着位置
- 2) 間違った装着位置

第7章 考察

7-1. 水晶体等価線量の線量推移に関する調査
調査病院における水晶体等価線量の平均線量は、増加傾向（強い正の相関）（図 5-1）であった。また、放射線診療従事者数や水晶体等価線量の検出者数は、ここ 20 年で数倍に増加しており（表 5-2）、近年、その線量が 20mSv/年を超える者も認められるようになった。調査病院では水晶体等価線量の法に基づき下げが予定されていることも踏まえ、調査病院では水晶体等価線量の低減対策を早急に実施すべきであるといえる。しかし、調査病院の全平均および検出者平均が、比較したほとんどの年度で全国平均値より低かったことを考えると、全国には調査病院よりも早くに水晶体等価線量の低減対策を実施すべき医療施設が多く存在すると考えられる。

調査病院の水晶体等価線量の分布では、箱ひげ図の 75 パーセンタイルの位置が、どの年度でも 2mSv/年以下であった（図 5-2）。ICRP「個人モニタリングの記録レベルは、線量限度の約 10%以下の年等価線量から導かれるべき値である」[44]と考えており、法令基準値の引き下げ後には、線量限度の 10%は 2mSv/年となる。このため、調査病院における多くの放射線診療従事者の水晶体等価線量は、記録に值しない低レベルであると考えることができる。一方で、水晶体の保護具が必要とされる 6mSv/年[61]を超える者も 2007 年以降毎年認められるようになっており、防護板や防護クロス、または防護マガネなどを積極的に使用し、水晶体等価線量を低減する必要がある。

放射線診療従事者が、毎年度複数人存在することも分かった。

水晶体等価線量の分布で、各年度とも線量が多い側ではそれ値が多く存在することが示され、その数は近年特に増加していた。このことから、水晶体等価線量が多いグループと低いグループでは、平均線量の推移が異なると考えられた。そこで、高いグループとして線量上位 10%および 20%、低いグループとしてそれ以外（線量下位 80%）に分けて比較したところ、高いグループの水晶体等価線量の増加率は、低いグループと比較してかなり大きくなつた（線量上位 10%は下位 80%の 14 倍程度）（図 5-3）。したがって、水晶体等価線量が多いグループで線量低減が必要と判断された場合の業務改善は、早急に行う必要がある。また、水晶体等価線量が多いグループの合計線量が集団線量に占める割合は高く（表 5-3）、約半分となっていることから、水晶体等価線量が多いグループの水晶体等価線量を低減することにより、効率的に集団線量を低減できることが分かった。

2007 年度の水晶体等価線量の検出者平均は、前年度と比較して明らかに上昇しており（図 5-5）、職種別の調査でも、同様の結果が認められた（図 5-4）。これは、2007 年度から不均等被ばく測定者を大幅に増やした（3 名から 60 名）ことが原因である。水晶体等価線量は、不均等被ばく測定者の場合は防護衣の外側に装着した個人線量計から、均等被ばく測定者の場合は防護衣の内側に

装着した個人線量計から算定されたため、不均等被ばく測定者の水晶体等価線量の方が高くなるためである。なお、作業状況や照射装置等からの方射線量増加が原因でないことは、実効線量が増加していない（図 5-5）ことから明らかである。これらの結果は、防護衣着用時に不均等被ばく測定を実施することが、水晶体等価線量を過小評価しないために非常に重要なことを、臨床現場での実測から示したものであり、大変重要な情報であると考えている。

水晶体等価線量が多い上位 10%の放射線診療従事者の年平均線量は、どの職種でも 12 年間の最大年度線量の半分程度であった（表 5-4）。このことから、長期間の被ばくでは、その期間内の積算線量は「期間内の最大値×就業年数」の半分程度になる可能性があるといえる。またこのことは、水晶体等価線量が年間 20mSv を超えないよう被ばく管理を行えば、生涯（就業年数を 50 年間と仮定した場合）の積算線量は、 $20(\text{mSv}) \times 50(\text{年}) = 1000(\text{mSv})$ の半分程度の 500 mSv（白内障のしきい値線量[11]）以下に抑えられる可能性があることを示唆している。

放射線診療従事者個人への水晶体等価線量は、最大値と最小値の差が 5~10 倍程度あり、年度間の変化も大きかった（表 5-4）。業務改善が行われていない状態（つまり介入のない状態）での変化も大きかった（表 5-4）。業務改善が認められたことから、個人の線量変化のみでは、業務改善効果を検証する指標にはならないことが分かった。また、月毎の線量も変化が大きく（表 5-6）、その線量変化のみでは、業務改善の効果を検証する指標にはならないことも分かった。なお、実効線量の変化（表 5-5）が水晶体等価線量の変化（表 5-4）と同じ傾向であることから、年度間変化の大きさが頸部の個人線量計のつけ忘れによるものではないことは明らかである。

被ばく線量が多い医師上位 10 名（表 5-4）は、全て IVR を実施している部署に属していたこと

から、水晶体等価線量の高い者が属する部署として IVR 実施部署を選定し、検出者平均の推移を未実施部署と比較した。IVR 実施部署の水晶体等価線量および増加率は、未実施部署と比較してかなり大きく、年度平均値および増加率共に 5 倍程度になる（図 5-6）ため、線量低減が必要と判断された場合には、被ばくが多いだけではなく、その者が属する部署全体にも業務改善を実施するのが良いといえる。

7-2. 放射線診療従事者の線量比の分布に関する調査
均等被ばく測定者の線量比（図 6-2 中 A）は、ほとんどが 1 であったが、実効線量と水晶体等価線量を同じ個人線量計から算定しているため、当然の結果といえる。一方、不均等被ばく測定者の線量比の分布（図 6-2 中 B）は、ばらつきが大きかった。その原因として、個人線量計を装着していない者や、正しい位置に装着していない者（図 7-1）が存在していることが大きく影響していると考える。そこで、不均等被ばく測定者が、個人線量計を正しく装着した場合の線量比

について検討してみると、なお、個人線量計を正しく装着していないなどの報告例はいくつかある。

岩井らは、自身が調査した病院において、作業形態が同じであるにもかかわらず、IVR 従事者の中に被ばく線量が全く検出されない者がいることから、個人線量計を正しく使用していない可能性を報告している[62]。奥山らも、自身が調査した病院において、内視鏡的逆行性胆管膵管造影(Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography : ERCP と略)従事者の中に被ばく線量が全く検出されない者がいることから、個人線量計を正しく使用していない者がいる可能性を報告している[63]。Shin らは韓国の 38 の病院からの 78 人のアンケートによる回答結果から、診療放射線技師と看護師の装着率が 70% 程度であったと報告している[64]。Vanola はブエノスアイレスで行った 54 人の循環器専門医と 4 名の循環器専門医に対するアンケート調査から、装着率が 50% 程度[65]であったと報告している。松崎らは、自分が調査した病院において、医師の装着率を目視により調査した結果、70% 程度(ただし、使用率は「線量計使用回数／診療回数」)[66]であったと報告している。厚生労働省は、「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」において、不均等被ばく測定者の中に個人線量計を装着していない事例が数見されたとの報告を受け、労働基準安全衛生部長より各都道府県の労働局長に、個人線量計を正しい位置に装着しているか確認する旨の通知[67]を出している。

認する旨の通知[67]を出している。

表 7-1 防護衣の散乱 X 線に対する遮へい率と線量比との関係

防護衣の 遮蔽率 (%)	A			B			C			D					
	防護衣の 遮蔽率 (%)	実効線量(Sv)	水晶体等 線量(Sv)	水晶体等 線量比(C/B)	防護衣の 遮蔽率 (%)	実効線量(Sv)	水晶体等 線量(Sv)	水晶体等 線量比(C/B)	防護衣の 遮蔽率 (%)	実効線量(Sv)	水晶体等 線量(Sv)	水晶体等 線量比(C/B)			
99	0.17	1.55	9.1	97	0.20	1.55	7.9	95	0.22	1.55	7.0	93	0.25	1.55	6.5
93	0.29	1.55	5.4	90	0.41	1.55	3.8	80	0.41	1.55	3.8	70	0.54	1.55	2.9
60	0.67	1.55	2.3	50	0.80	1.55	1.9	0	1.43	1.55	1.1				

・値は体幹部の吸収線量を 1 とする相対値で示す。

・水晶体等価線量は、吸収線量からの換算係数を 1.55[52]として求めた。

・実効線量は、吸収線量から 1cm 線量当量への換算係数を 1.433[53]とし、胸部(または腹部)と頸部の 1cm 線量等量を式(4)にあてはめ算定した。

・式(4)を以下に示す。ここで、 H_f : 実効線量当量、 H_a : 頸部および頸部の 1cm 線量当量、 H_b : 胸部および上腕部の 1cm 線量当量、 H_c : 腹部および大腿部の 1cm 線量当量である。

$$H_b = 0.11H_a + 0.89H_b \quad \text{または} \quad H_c = 0.11H_a + 0.89H_c \quad (4)$$



図 7-1 個人線量計の正しいまたは間違った装着例

写真 A：個人線量計の正しい装着例（線量計が防護衣の外側にある。）

写真 B：個人線量計の間違った装着例（線量計が防護衣の内側にあり、水晶体等価線量を正確に測定できない。）

防護衣の遮へい率は、代表的な血管系 IVR である経皮的冠動脈血管形成術 (Percutaneous Coronary Intervention : PCI と略) では、0.25mm および 0.35mm の鉛当量の防護衣でそれぞれ 90% および 93% 程度示されている[68]。均等な放射線の場において、防護衣の遮へい率を考慮して線量比を算定したところ(以下「算定線量比」という。), 90% および 93% の際の算定線量比は、それぞれ 5.4 および 6.5 と 5 以上となつた(表 7-1)。このため、不均等被ばく測定者において、個人線量計を正しい位置に装着している場合の線量比(以下「適正線量比」という。)は 5

以上と仮定する。

表 7-1 防護衣の散乱 X 線に対する遮へい率と線量比との関係

次に、仮定した適正線量比の検証を行う。まず、X 線照射装置によるシミュレーション照射の結果(表 6-2, 表 6-3)と比較すると、頸部用の個人線量計を正しい位置(防護衣内側)に装着している場合には、線量比には男女とも 5 を超え、間違った位置(防護衣外側)に装着している場合には、5 以下となり、仮定した適正線量比と一致した。また、序論で示した関連研究(3-2. 医療施設において水晶体等価線量と実効線量とを同時に調査した研究)の結果と比較すると、調査した文献から計算した線量比は概ね 5 以上であり、仮定した適正線量比とほぼ一致した。さらに、実態調査の結果から、線量比が 5 以上の人達は実際に多く認められた。これらのこから、「適正線量比の値は 5 以上」とした結果は妥当であるといえる。また、「適正線量比」の数値が導き出されたことにより、同比を「個人線量計の正しい使用状況を示す指標」として利用できると考えている。さらに、以下の理由により「防護衣の正しい使用状況を示す指標」としても用いることができると考えている。

〈理由1〉

防護衣を着用しない、→ 胸部（または腹部）の測定値が上昇する → 実効線量が上昇する → 線量比（水晶体等価線量／実効線量）が小さくなる。
防護衣のサイズが正しくない → 防護衣と体との間の隙間が大きくなる → 散乱線が隙間から侵入する → 胸部（または腹部）の測定値が上昇する → 実効線量が上昇する → 線量比（水晶体等価線量／実効線量）が小さくなる。

7-3. 調査結果の被ばく線量低減のための業務改善への応用

7-3-1. 放射線診療従事者の水晶体等価線量の推移に関する調査結果の応用
本調査結果、業務改善（PDCAサイクル）への応用例を、表7-2に示す。この中で、業務改善を実施すべき対象に優先順位をつける根拠を示したこと（番号①）、実施対象の範囲を示したこと（番号②）については、効率的な改善計画策定の際の重要な情報となるといえる。また、個人の被ばく線量は年度により大きく異なること（番号③）については、業務改善の効果を正しく判定する際に重要な情報になるといえる。

表7-2 調査から導き出された結果の業務改善（PDCAサイクル）への応用例

番号	結果	PDCAの適用段階
①	平均線量の推移は、線量階層別で見ると、水晶体等価線量が多い階層ほど線量の増加率が大きい。そのため、被ばくの低減策を実施する際にには、水晶体等価線量が多い者から優先的に実施する必要がある。	計画
②	水晶体等価線量が多い者が属する部署（VVR実施部署）の平均線量は、属さない部署の平均線量より明らかに大きく、また線量の増加率も大きい。そのため、線量低減策は個人ごとに実施するではなく、被ばく線量が多い者が属する部署全体に適用するのが望ましい。	計画
③	水晶体等価線量は、年度により大きくなれる。そのため、個人の被ばく線量がたとえ劇的に少なくなったとしても、線量低減策の効果か否か、は、慎重に判断する必要がある。	評価

7-3-2. 放射線診療従事者の線量比の分布に関する調査結果の応用
本調査結果は、被ばく線量低減のための業務改善を実施する際に、以下の点に応用できると考えている。
1) 個人線量計や防護衣を正しく使用しているか判断するための指標線量比を用いて、表7-3に示した基準により、個人線量計や防護衣の着用状況について指導することが可能と考えている。また、線量比から個人線量計や防護衣の着用状況が推察できることを放射線診療従事者に示すことで、観察されているという意識や、これらの防護具を正しく着用

実効線量が 0.6mSv/年以下の線量域では、実効線量が低いほど、線量比の最大値が表7-1の計算結果とかか離れて大きくなかった（図6-2 中B）。この原因是、個人線量計の検出下限値と丸め（四捨五入）の影響といえる。調査病院で使用している個人線量計の検出下限値は 0.05mSv[59]であるため、1 年間で最大 0.6mSv（ $0.05 \times 12 = 0.6$ ）未満の線量が「検出なし」、つまり 0mSv と報告される可能性がある。また、散乱 X 線にさらされる診療業務では、防護衣の着用により、実効線量の測定値が水晶体等価線量の測定値よりも小さくなるため、丸めの影響による測定値の低下は、実効線量の方が生じやすい。このため、実効線量 0.6mSv/年以下の線量域において、線量比（水晶体等価線量／実効線量）が算定線量比よりももしか離れて大きくなった原因は、個人線量計の検出下限値と丸めの影響が大きいと考えられる。したがって、「適正線量比」が適用できる実効線量の範囲は、0.7mSv/年以下とする必要があるといえる。なお、調査病院では防護衣の遮へい率が 99%となる条件下（60kV、2.0mmAl）[48]でも放射線診療を行っており、その際の算定線量比は 9.1 であるが、今回の実態調査では、0.7mSv/年以上の線量域での線量比の最大値は 7.3 であった。しかしこの値は、術者が施術中に動くことを考慮すれば、概ね妥当な値といえる。

線量比の平均値は、実効線量と水晶体等価線量の平均値から求めた場合と、放射線診療従事者ごとに求めた線量比を平均した場合とでは異なっており、診療放射線技師ではその差が大きかつた（表6-1）。これは、実効線量と水晶体等価線量の平均値から比を求めた場合には、被ばく線量が大きな者の数値の影響が大きくなるためである。そのため、職種や部署間で線量比の比較を行う際には、放射線診療従事者ごとに求めた線量比から平均値を算定する必要があるといえる。また、同表で看護師の線量比は 5 を超えているが、看護師の実効線量の平均値は 0.4mSv/年であり、0.6mSv/年以下の者が多數いた。このため、丸めの効果により、線量比が大きくなっている可能性がある。したがって、「適正線量比は 5 以上」との指標を用いる際には、実効線量の値にも注意しなければならないといえる。

する必要性への認識を個々に持たせ、改善につながる可能性があると考えている。

表 7-3 不均等被ばく測定者の線量比（水晶体等価線量/実効線量）と個人線量計や防護衣の着用状況との関係

線量比	個人線量計や防護衣の着用状況
線量比 < 1	・基本部位の個人線量計の着け忘れ ・基本部位と頸部の線量計の着け間違い
1 ≦ 線量比 < 5	・頸部の個人線量計の着け忘れ(理由 1) ・頸部の個人線量計が防護衣の内側(理由 2) ・防護衣のサイズが合っていない(理由 3) ・防護衣の不着用(理由 4)
5 ≦ 線量比	・正しい

理由 1) 頸部の測定値が実際よりも小さくなるため。
理由 2) 防護衣の遮へいにより、頸部の測定値が実際よりも小さくなるため。
理由 3) 遮へいが不十分で、基本部位の測定値が大きくなるため。

一方、「適正線量比の値は 5 以上」があてはまらない例を表 7-4 に示す。このような状況下では、個人線量計や防護衣の使用状況が正しくても、線量比が 5 以下となる場合があると考えている。このため、線量比を指標として改善を指導する際には、放射線診療従事者に作業状況などの聞き取り調査も行う必要があるといえる。

表 7-4 個人線量計や防護衣を正しく使用していても、線量比が小さくなる例

例	理由
期間内に放射性同位元素を用いた業務を行っている時	防護衣は、放射性同位元素からの γ 緿に対する遮へい能力が低いため、着用者の実効線量は大きくなる。
防護衛立を使用している時	防護衛立は駆逐 X 緿に対する遮へい能力が大きく、使用者の水晶体等価線量が大きく減少するため。
放射線診療従事者が眼の被ばくを避けるために患者（散乱体）から顔をそらしている時	CT 介護者で、水晶体等価線量が低くなるとの報告[33]がある。

次に、表 7-3 で示した線量比を、調査病院における 2018 年度の、不均等被ばく測定者においてはめてみる。実効線量で 0.7mSv/年以上被ばくした者の線量比分布を表 7-5 に示す。同表に示した医師 5 名、診療放射線技師 16 名は、表 7-3 に示した基準が適用される者である。これらの者について、個人線量計や防護衣の使用状況を判定してみると、医師では、線量比 5 を超える者が 1 名おり(表中*a)，この者は個人線量計や防護衣を正しく使用しているといえるが、線量比 1 以上 5 未満の 4 名は(表中*b)，個人線量計や防護衣を正しく使用していない可能性がある、診療放射線技師では 5 を超える者は無く、1 以上 5 未満の者が 10 名いた(表中*c)。これらの方は、正しく個人線量計や防護衣を使用していない可能性がある。また、1 未満の 6 名は(表中*d)，実効線量より水晶体等価線量が低いため、個人線量計を正しく使用しないと判断できる（通常はそのようなことは無い）。なお、看護師は、実効線量が全員 0.7mSv 未満であったため、あてはめた対象外であった。

表 7-5 実効線量で 0.7mSv 以上被ばくした放射線診療従事者の線量比分布（2018 年度）

職種	人数	線量比の分布 (人)		
		5 ≦ 線量比	1 ≦ 線量比 < 5	線量比 < 1
医 師	5	1 * ^a	4 * ^b	0
診療放射線技師	16	0	10 * ^c	6 * ^d
看護師	0	—	—	—

2) 不均等被ばく測定者の選定
本実態調査によって明らかとなつた「線量比の最大値は 7.3」という結果を利用すれば、実効線量の算定値から不均等被ばく測定の対象者を選定できると考えている。IRPA のガイドライン[61]では、水晶体等価線量が 1~6mSv/年の範囲では、襟（頸部）又はヘッドバンド位置での定期的なモニタリング（つまり、不均等被ばく測定の実施）を推奨、年 6mSv/年を超える場合は、要求している。本調査において、線量比の最大値が 7.3 であったことから、水晶体等価線量が 6mSv 以上の場合の実効線量の値は、6 / 7.3 = 0.83 以上だと予想される。このため安全側に考え、小数第二位を切り捨てて実効線量が 0.8mSv/年以上であれば、「不均等被ばく測定が要求される」とする。また、不均等被ばく測定が推奨される線量は 1~6mSv の範囲で選定することとなるが、ICRP Publication 75 で記録レベルを年限度の 1/10（水晶体等価線量では 2mSv/年に相当）としている

ため[44]、 $2\text{mSv}/\text{年}$ と設定するのが望ましいと考える。水晶体等価線量が 2mSv を以上の場合の実効線量の値は $2/7.3 \approx 0.27(\text{mSv}/\text{年})$ 以上と予想されるため、同様に考えて実効線量が $0.2\text{mSv}/\text{年}$ 以上であれば、「不均等被ばく測定が推奨される」とする。そして、これらの値を選定基準値とし、図7-2に示すフロー図を用いて、不均等被ばく測定対象者の選定を行うことを提案する。本フロー図を用いることにより、放射線管理者は不均等被ばく測定対象者を明確に示すことができるため、根拠をもって測定が必要な者に実施を促すことができる考え方である。また、測定を実施している者の中から、実際に必要ではない者の除外ができるため、放射線管理の効率化や経費の削減も行うことができる。なお、選定基準値は、各医療施設が $0.2\text{--}0.8\text{mSv}/\text{年}$ の範囲で設定することとなるが、被ばく線量の最適化はアラの原則（すべての線量を合理的に達成できる限り低く保つべきである）に従い行われるべきであり[39]、合理的に達成できる範囲で低く設定することが重要だと考えている。

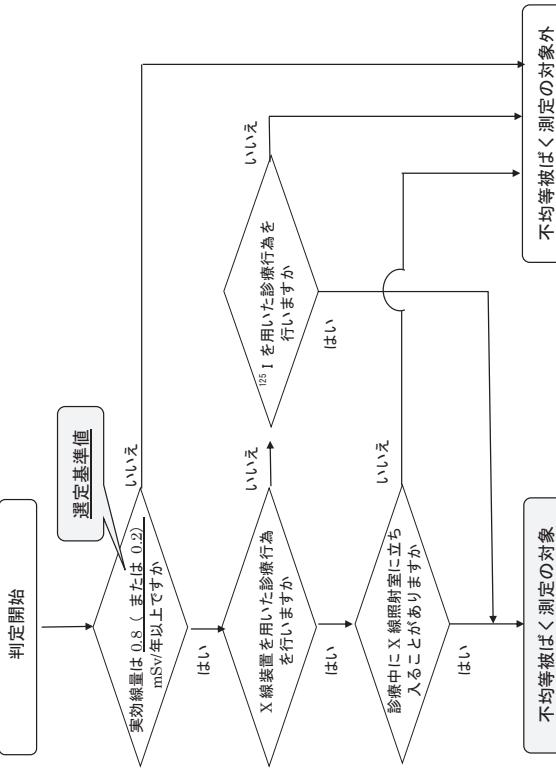


図7-2 医療機関における不均等被ばくモニタリング判定のためのフロー図

図7-2のフロー図を用いて、調査病院における2018年度の放射線診療從事者の中から不均等被ばく測定対象者を選定してみる（表7-6）。その結果、適用基準値を $0.8\text{mSv}/\text{年}$ とした場合、不均等被ばく測定者20名および均等被ばく測定者15名（表7-6中に二重線で示した数）の合計35名が対象者となつた。また、適用基準値を $0.2\text{mSv}/\text{年}$ とした場合は、この35名に加え、不均等被ばく測定者21名および均等被ばく測定者21名（表7-6中に波線に示した数）が新たに対象となつた（対象者人数： $35+21=57$ ）。いずれの基準値を適用した場合であっても、対象者数は2018年度の不均等被ばく測定実施者数113名（表7-6中に下線で示した数）より減少した。

表7-6 調査病院における2018年度の実効線量の線量階層別分布

項目	各線量階層に属する人数			合計 (人)
	実効線量 $\geq 0.8\text{mSv}$	実効線量 $\geq 0.2\text{mSv}$	実効線量 < 0.2mSv	
不均等被ばく測定者 (人)	20	21	72	113
均等被ばく測定者 (人)	15+(1)	21+(2)	227	266
合計 (人)	35+(1)	42+(2)	299	379

・()内は、適用基準値を超過していたが、図7-2のフロー図においてはめた結果、対象外となつた人数

次に、その際の経費節減効果について表7-7示す。計算にあたつて個人線量モニタリング委託費を、1回あたり1,000円（定額）とした。その結果、適用基準値を $0.8\text{mSv}/\text{年}$ とした場合の年間経費削減額は936,000円、 $0.2\text{mSv}/\text{年}$ とした場合432,000円となり、いずれの場合でも経費節減効果が認められた。

表7-7 調査病院でフロー図（図7-2）を用いて不均等被ばく測定対象者を選定した際の経費削減効果

項目	不均等被ばく測定者		適用基準値： 0.2mSv
	2018年度の 実績	適用基準値： 0.8mSv	
対象人数	113人	35人	77人
年間経費	1,356,000円 ^{a)}	420,000円	924,000円

注1) 測定回数を年12回（月1回）とする。
注2) 2018年度の経費（a）からの削減額

7-4. 「放射線防護体系」と「リスクアセスメントにおけるリスク低減策」との比較
ICRP が勧告する職業被ばくにおける放射線防護体系は、被ばくによる放射線障害の発生を低減するための手法であり、その実施過程における最適化は、被ばくによる放射線障害の発生を低減するための手法である。一方、労働安全衛生におけるリスクアセスメントは、職場の潜在的な危険性または有害性を見つけて出し、これを除去、低減するための手法である[69]。表 7-8 に、放射線防護体系とリスクアセスメントの際のリスク低減策との比較を示す。それぞれの実施手順を比較すると、両手法は非常によく似た手順で進められることがわかる。このことから、ICRP の放射線防護体系に則った被ばく管理を行うことは、同時に、リスクアセスメントにおけるリスク低減策に則った被ばく低減を行ふことになるといえる。

表 7-8 放射線防護体系とリスクアセスメントの際のリスク低減策との比較

職業被ばくにおける放射線防護体系 (表 4-9 および表 4-16 より)	リスクアセスメントにおける リスク低減策の優先順位 ^{注1)}
1. 正当化 いかなる行為も、正味の便益がある時以外 は行つてはならない、	1. 設計や計画の段階における措置 危険な作業の廃止・変更、危険性や有害性 の低い材料への代替、より安全な施工方法へ の変更等
2. 最適化のための計画立案と実行 ① 区域の指定（立入の制限や禁止する区域 （該当なし？） の検討） ② 工学的管理 遮へい、線源への接近を制限するための 干渉防止システム、線量率の警報器等 ③ 操業手順 放射線障害予防規程、防護マニュアル、作 業手順書や緊急時手順書 ④ 個人用防護衣と防護具 工学的管理と操業手順を単独または組み 合わせても適切な防護レベルが得られない 場合に実施 ⑤ 情報提供と訓練 3. 線量限度 法令に定められた許容濃度など	2. 工学的対策 ガード・インタークロック・安全装置・局所 排気装置等 3. 管理的対策 マニュアルの整備、立ち入り禁止措置、ば く露管理、教育訓練等 4. 個人用保護具の使用 使用は、上記 1～3 の措置を講じた場合に おいても、除去・低減しきれなかったリス クに対して実施するものに限る。 (3. の管理的措置に含まれる。) 5. 立入の制限や禁止する区域の検討 6. 防護衝立、防護板、防護クロス等の 工学的措置の検討 7. 防護マニュアルの整備、教育訓練計画の立案 8. 防護衣や防護メガネなどの個人防護具の検討

また、ICRP は、第 4 章「4-5-2. 防護の基本原則」で示したとおり、「最適化のプロセスは、継続的かつ反復的なプロセスを通じて行われる」としている。このことと、表 7-8 に示した内容を参考とし、水晶体等低線量低減に関する PDCA サイクルフロー図（図 7-3）を作成した。水晶体等低線量低減のための業務改善を、この図に従い実施することにより、防護策選定の優先度（個人防護具より工学的措置の優先度が高いなど）を放射線診療従事者に正しく理解させることができ、より良い防護方策の選定や実施に結びつくと考えている。



図 7-3 水晶体等低線量低減に関する PDCA サイクルフロー図

注 1) 中央労働災害防止協会(2019): リスクアセスメントとは、リスクアセスメントの進め方と効果の記載内容より作成[69]

7-5. 水晶体等価線量が高い放射線診療従事者への対応
以下に、水晶体等価線量が高い放射線診療従事者への対応案を示す。

7-5-1. 被ばく線量低減のための業務改善（PDCAサイクル）の実施
水晶体等価線量が高い診療業務従事者に対しては、業務改善を実施し、被ばく線量を低減しなければならない。以下に、「業務改善組織」、「業務改善委員会」、「業務改善組織への対象者への対応」の選定」および「対象者への対応」を示す。

- 1) 業務改善組織
業務改善を実施するには、実施する組織（業務改善組織）の設置が必要である。また、改善計画等を企画・審議する委員会（以下「業務改善委員会」という。）の設置も必要となる。
必要と考えられる業務改善委員会の構成メンバーを、表7-9に示す。そして、各メンバーが被ばく線量低減に向け、お互いに信頼し、協力できる体制を構築する必要がある。

表7-9 業務改善組織の構成メンバー

メンバー	該当する職種の例	必要理由
放射線管理の専門家	放射線取扱主任者 放射線技師長 診療放射線技師	放射線防護に関する専門知識を有するため
マネージメント層	役員 病院長	事業主は、放射線診療従事者の被ばく線量低減について、法的な責任を有するため [19,24,26]
放射線診療従事者の所属部署の責任者等	診療科長 副診療科長医長 看護師長 放射線技師長	放射線診療従事者が所属する部署の協力がなければ、PDCAサイクルが上手く回らない可能性があるため
労働衛生の専門家	労働衛生コンサルタント 産業医	業務改善に関する専門知識を有するため

水晶体等価線量の低減目標値を設定する。低減目標値は、業務改善の実務担当者（以下「改善担当者」という。）がその案を作成し、業務改善委員会で審議の上、決定する。低減目標値は、年6.0mSvとすることが望ましいと考えている。理由は、同線量が「原因究明のための調査を行う線量レベル（調査レベル）」[70]としてICRPが推奨しているためである。調査レベルの値は、年間基準値の3/10に、評価期間の係数（評価月数／12、半年で評価するなら6／12=0.5となる。）を乗じた値として定められる。このため、評価期間が1年間であれば、水晶体等価線量の調査レベルは、年6.0mSv（20（年間基準値）×(3/10)×1.0）となる。しかし、低減目標値の実現が困難な場合は、当初は、より高い線量で設定するが、設定値は、基準値（年20mSv）以下でなければならない。

②. 対象者の選定（図7-3中の2）

対象者は、低減目標値を超える被ばくをしている放射線診療従事者とする。

3) 対象者への対応

図7-3の1および2に従い選定された対象者への対応は、同表の3)-13)の項目順に行う。以下に各項目の具体的な実施方法について示す。

①. 使用状況や防護状況の実態調査（図7-3中の3）

改善担当者は、対象者の放射線使用方法や防護方法の実態調査を行う。しかし、改善担当者がすべての調査を、対象者と対面式で行うことは、人員や業務量の点から、当初は困難だと考える。このため、放射線防護の最適化の原則[39]に従い、合理的に行うべきである。表7-10に、「対象者の水晶体等価線量に応じた実態調査の項目および方法」を示す。表中の水晶体等価線量レベル(mSv/年)の欄に示した6.0は調査レベル、X₁およびX₂は、対面調査および現場の目視調査を行うレベルである。X₁およびX₂の値は、事業所の実態等に応じて、業務改善委員会が設定する。なお、対象者の水晶体等価線量が、法令基準値の年平均値(20mSv/年)超えた場合には、管理責任も問われる可能性があるため、対象者の上司に対して、管理体制の調査も行う必要があると考える。

改善担当者は、診療放射線技師などの放射線防護の知識を有する者の中から、業務改善委員会の委員長が指名することとする。実施時期は、その施設の業務状況を考慮し、年度始めか年度終わりが良いと考えている。
なお、本研究で判明した適正線量比は、実態調査結果の判定に活用できると考えている。例えば、対象者が、個人線量計および防護衣を常に着用していたにも係わらず、線量比が5より小さ

- 2)対象者の選定
対象者の選定は、図7-3に示した1) 線量低減目標値（線量拘束値）の設定、2) 業務改善の対象となる放射線診療従事者の選定の順に行う。以下にそれぞれの実施方法について示す。
- ①. 線量低減目標値（線量拘束値）の設定（図7-3中の1）

い場合は、これらの使用方法に問題があると考えることができます。

表 7-10 対象者の水晶体等価線量に応じた実態調査の項目および方法
水晶体等価線量レベル
(mSv/年)

実態調査の項目および方法	
• 使用状況や防護状況の調査（対面調査*および現場目視調査**）	
20 < e ≤ e ₁	• 業務管理体制の調査（上司に対する対面調査*）
X ₁ < e ≤ 20	• 使用状況や防護状況の調査（対面調査*および現場目視調査**）
X ₁ < e ≤ X ₂	• 使用状況や防護状況の調査（対面調査*）
6.0 < e ≤ X ₁	• 使用状況や防護状況の調査（アンケート形式）

e : 水晶体等価線量

* : 改善担当者が対象者と対面式で行う調査

** : 対象者が使用しているX線装置の設置場所を、改善担当者が実際に訪れて行う調査

- ②. 被ばくを伴う行為の禁止、より被ばくが少ない方法への変更（図 7-3 中の 4）
改善担当者は、不必要な放射線治療を行っていないか、対象者に検討してもらう。また、改善担当者は、被ばくが少なくなる方法を対象者に提示し、変可能か検討してもらう。例えば、透視の際のパルスレート（1 秒間に照射される X 線照射の数）の減少、X 線照射野の縮小などは、被ばくが少なくなる方法として提示すべきである。

- ③. 立ち入りの制限や禁止する区域の検討（図 7-3 中の 5）
改善担当者は実態調査に基づき、対象者に対して、立ち入りの制限区域や禁止区域の設定を検討する。たとえば、患者の診療を行う医師以外の者、患者への接近の禁止や制限（當時そばにいない）などが考えられる。

- ④. 防護衛立、防護板、防護クロス等の工学的措置の検討（図 7-3 中の 6）

改善担当者は実態調査に基づき、対象者の防護衛立、防護板、防護クロスなどの使用を検討する。検討は、表 7-11 に基づき行う。また、同表に示した職種ごとの有効性の理由を、表 7-13 に示す。改善担当者は、これらの表を利用することにより、対象者が使用すべき適切な個人防護具を選定できると考えている。

定できることを考えている。

表 7-11 散乱 X 線に対する工学的措置に係わる防護具の有効性について

種類	職種の違いによる防護具の有効性	
	低減対象線量	医師 放射線技師 看護師
防護衛立	実効線量 水晶体等価線量	△ ○ ○
防護板	実効線量 水晶体等価線量	○ △ △
散乱線防護クロス	実効線量 水晶体等価線量	○ ○ ○

- ⑤. 防護マニュアルの整備、教育訓練計画の立案（図 7-3 中の 7）
改善担当者は、実態調査に基づき、対象者ごとの防護マニュアルの整備および教育訓練が必要か判断する。通常は、対象者ごとにマニュアルを整備したり、教育訓練を実施したりする。効率的ではないため、共通のものが用いられると考えられる。しかし、年 20mSv を超過した対象者は、専用のマニュアルや教育訓練が必要だと考えている。
- ⑥. 防護衣や防護メガネなどの個人防護具の検討（図 7-3 中の 8）
改善担当者は実態調査に基づき、対象者の防護衣および防護メガネの使用を検討する。検討は、表 7-12 に基づき行う。また、同表に示した職種ごとの有効性の理由を、表 7-13 に示す。改善担当者は、これらの表を利用することにより、対象者が使用すべき適切な個人防護具を選定できると考えている。

表 7-12 散乱 X 線に対する個人防護具の職種ごとの有効性について

種類	低減対象線量	職種の違いによる防護具の有効性		
		医師	放射線技師	看護師
防護衣	実効線量 水晶体等価線量	○ ×	○ ×	○ ×
防護メガネ	実効線量 水晶体等価線量	×	○ ×	○

表 7-13 各防護具の機能および有効性

防護具	概要説明	職種ごとの有効性
散乱線防護グロス	X線管球や散乱体(患者の照射野)を覆う鉛のクロス、	散乱 X 線の発生源をすっぽり覆うため、検査・治療室内全体の散乱 X 線量を低減できる。そのため、医師、診療放射線技師および看護師のすべての職種に有効である。
防護板	術者への散乱 X 線を低減するため、患者と術者との間に設置する遮へい体、	散乱体から術者へ向かう散乱 X 線以外は低減率が低いため、診療放射線技師および看護師には、有効性が低い。
防護衝立	放射線診療従事者と患者との間に設置する遮へい体、遮へい面積が大きく、鉛当量も大きい。	放射線診療従事者と患者との間に距離が必要である。このため、常に患者に近い位置で業務を行う医師にとっては、利用する機会は限られており、有効性は低い。一方、患者から比較的はなれ、業務を行う機会が多い診療放射線技師および看護師には、有効性が高い。
防護衣	放射線診療従事者の胸部、腹部および大臓部を散乱 X 線から防護するための、鉛などの遮へい体が内蔵された防護衣	放射線診療従事者の胸部、腹部および大臓部を散乱 X 線が、実効線量の低減には有効。しかし、頭部は防護できないため、水晶体等価線量の低減には効果がない。
防護メガネ (サイドシールド付き)	水晶体の被ばくを低減するメガネ、レンズは鉛含有ガラスまたはアクリル製	水晶体等価線量の低減には有効。眼のみ防護するため、実効線量の低減効果はない。

る。

(8) 情報提供と訓練 (図 7-3 中の 10)

改善担当者は、決定した改善計画を対象者に伝えるとともに、防護具の使用方法を指導する。指導方法は業務の効率化を考慮し、水晶体等価線量レベルに従い、表 7-14 に示した方法で行う。

表 7-14 対象者への業務改善の指導方法

水晶体等価線量レベル (mSv/年)	方 法
20 < e	・現場での指導* ・上司に対する改善計画の説明
X ₂ < e ≤ 20	・現場での指導*
X ₁ < e ≤ X ₂	・対面指導**
6.0 < e ≤ X ₁	・防護方法を記載したリーフレット等の配布
e : 水晶体等価線量	

- * : 対象者がが使用している X 線装置の設置場所を、改善担当者が実際に訪れて行う指導
 - ** : 改善担当者が対象者と対面式で行う指導
- ⑨. 改善計画の実施 (図 7-3 中の 11)
- 対象者は、指導された内容に従い、改善計画を実施する。改善担当者は、対象者が改善計画を実施しているか、時々確認することが望ましく、特に 20mSv を超えた者に対しては、現場確認は必修であると考えている。

(10). 被ばく線量低減効果の判定 (図 7-3 中の 12)

改善担当者は、改善計画の効果を判定する。判定は、基本的に、「水晶体等価線量の低減により行うが、本研究から、「水晶体等価線量の推移が変動が大きい」と判明したため、対象者の業務内容や業務頻度の変化などの調査を行う必要がある。調査方法は、表 7-10 に準じて対面またはアンケートにより行う。低減効果の判定は、改善担当者が判定案を作成し、改善委員会で承認する。

(7). 低減策の策定 (図 7-3 中の 9)

改善担当者は、上記①～⑥の結果を参考し、対象者の業務改善計画を策定する。策定した改善計画は、委員長 (委員長が委員会の承認を必要とした場合は、委員会) の承認を得て決定す

①. 新たな改善目標値（線量拘束値）の設定（図7-3中の13）
被ばく線量低減効果の判定結果（上記⑩）を基に、業務改善委員会で審議し、決定する。

4) 産業医への報告

電離放射線障害防止規則は、労働安全衛生法の下部規則である。このため、水晶体等価線量が高い放射線診療従事者に関する情報は、産業医へ報告されるべきだと考えている。これらの報告は、業務改善委員会のメンバーに、産業医を加えることで、確実に行うことができる。

7-5.2. 業務改善の実施以外の対応

1) 水晶体等価線量測定が年20mSvを超えた放射線診療従事者の測定記録管理

水晶体等価線量の法基準値は、5年平均で20mSv（ただし、どの1年間も50mSvを超えないこと）と規定されている[7]。法令改正後の次期5年間は、2021年4月1日～2026年3月1日となる予定である[7]。年度あたりの水晶体等価線量が、年20mSvを超えた場合でも、年50mSv以下なら、法令違反とはならない。しかし、5年間の積算線量が100mSvを超えることは許されない。そのため、年20mSvを超えた者は、他の放射線診療従事者より厳しい線量管理が求められる。したがって、被ばく線量を管理する者は、毎月水晶体等価線量を集計するなどして、線量推移を常に監視する必要がある。

2) 健康診断の実施

電離放射線障害防止規則では、水晶体等価線量が法令基準値を超えた放射線診療従事者に対して、「事業者は速やかに医師の診察又は処置を受けさせなければならない」と定めている[7]。このため、被ばく線量を管理する者は、法令基準値を超えた場合の連絡体制などを、関係者間で確認しておく必要がある。

3) 防護メガネ内側での水晶体等価線量評価の必要性

前年度の頸部の個人線量計から算定された水晶体等価線量が、法令基準値に近い、または超える放射線診療従事者については、より正確な評価を行うため、防護メガネの遮へい効果も考慮して水晶体等価線量を算定しなければならないと考えている。サイドシールド付き防護メガネの散乱X線に対する線量低減率は、IRPAのガイドラインで50%と示されている[61]。しかし、この低減率を用いて、頭部の測定値から防護メガネ内側の水晶体等価線量を算定するには、国が示すガイドラインや通知等が必要であり、現在は示されていない。また、X線照射装置の使用状況は、それぞれの医療機関で異なっており、統一的な低減率を示すのは難しいと考えている。したがって、防護メガネ内側の線量を実際に測定することが現実的だといえる。

防護メガネ内側の線量を測定する放射線診療従事者は、各医療機関の実態に合わせて、業務改善委員会などで決定すべきだと考えているが、少なくとも、前年度の水晶体等価線量が20mSvを超えた者は、水晶体等価線量記録が基準値を超していないために、防護メガネ内側での線量測定を実

施すべきだと考えている。

電離放射線障害防止規則は、産業医へ報告されるべきだと考えている。これらの報告は、業務改善委員会のメンバーに、産業医を加えることで、確実に行うことができる。

7-6. 調査病院における看護師の実効線量の推移

図7-4に、調査病院における看護師の実効線量および水晶体等価線量の検出者平均の推移を示す。水晶体等価線量は2007年度、実効線量は2008年度に、それぞれ前年度の4.8および3.5倍に上昇している。一方、全職種の検出者平均（図7-5）は、2007年度以降の期間と、それまでの期間と比較して、大きな変化はない。水晶体等価線量の上昇は、看護師および全職種とともに、不均等被ばく測定を開始したことで説明がつくが、看護師の実効線量のみが全職種と比較して明らかに上昇した理由は、不均等被ばく測定の開始では説明できない。

実効線量の検出者平均の推移について解析を行う。図7-4において、調査期間を前半（1998-2007年）と後半（2008-2018年度）に分けた場合の、それの期間の年平均線量は、前半が0.10±0.06mSv、後半が0.34±0.11mSvと、3倍程度の差があった。この原因を解明するため、看護師の実効線量の分布を調査したところ（図7-6）、2009年度までには、0.1または0.2mSv/年であったが、2010年度から、0.2mSv/年を超えるケースが多く認められるようになり、最大値は2.9mSv/年であった。したがって、看護師の実効線量の上昇は、それまでより多くの放射線を受ける看護師が増えたためだといえる。看護師が多くの放射線を受けることになった原因是、看護師が放射線治療中に医師の支援（介助）をする機会が多くなった為に、患者に近づく機会が増え、多くの散乱X線を受けることになった為だと推測される。

日本の医療機関における看護師の実効線量上昇は、ALMasriらによつても報告されている[30]。ALMasriの調査結果（図7-7）を、2001-2005年度と2006-2010年度とに分けて比較すると、2006-2010年度の期間の方が、年平均線量が高いことが、同図から読み取れる。年度の経過と共に年平均線量が高くなつた原因として、看護師らが、放射線治療中に放射線科医の支援をする機会が多くなつた為だとしている。

以上に示したとおり、調査病院では近年、看護師の実効線量の上昇割合が、全職種の上昇割合と比較して明らかに大きいかことが分かった。また、同様の結果は、他の医療施設でも報告されて

いる。このため、今後は医師だけではなく、看護師の被ばく線量の推移に注目し、業務改善計画を策定する必要があるといえる。

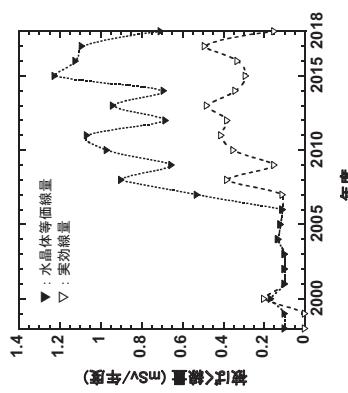


図 7-4 水晶体等価線量と実効線量の検出者平均の推移(看護師)

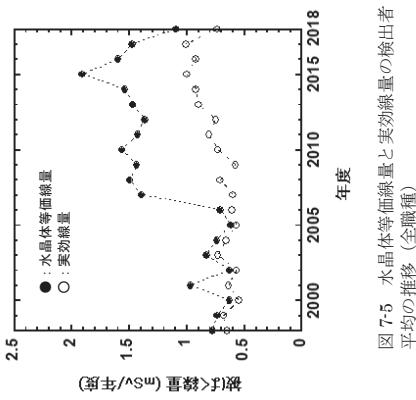


図 7-5 水晶体等価線量と実効線量の検出者平均の推移(全職種)

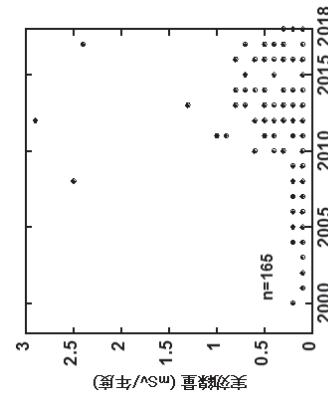


図 7-6 看護師の水晶体等価線量分布

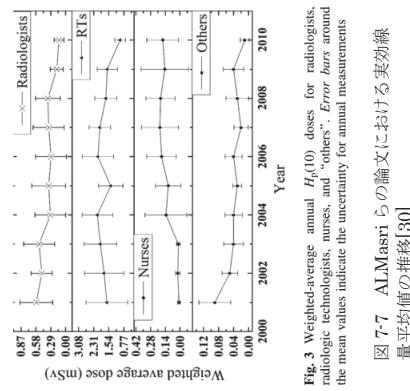


図 7-7 ALMAstril の論文における実効線量平均値の推移[30]

防護具の装着状況を把握するための指標として利用できる可能性がある。このため、産業衛生学的に意義があるものと考えている。

7-8. 本研究の限界

本研究は、放射線診療従事者の被ばく線量の法定記録として管理されているデータを用いた後ろ向き研究であるため、個人線量計が適切な位置に装着されているかの確認はできない。しかし、ここで示した被ばく線量の推移の傾向などには、年度と被ばく線量との間に強い相関が認められており、個人線量計の使用状況をも反映した結果である。したがって、本研究の結果は、業務改善計画策定の際の情報として十分有用であると考えている。さらに、ここ 10 年程度の水晶体等価線量の全平均値は、調査病院と全国の病院とで概ね同じような値であったことから(図 51)，本研究の結果は、全国の病院にもあてはめることができると参考にできると考える。

7-9. 本研究の公開

本研究では、「医療施設における過去の被ばく線量測定記録の分析を行うことにより、被ばく線量低減のための業務改善計画の策定や評価を行う際に、参考になる情報を得ることができた。今後は、得られた成果を、実際の医療現場での水晶体等価線量の削減に応用したいと考えている。しかし、業務に応用するには、本研究結果が、何らかの形で世の中に認められる必要があると考えている。そのためには、本研究成果を論文として投稿する必要があるといえる。本研究内容は、水晶体等価線量の推移と、線量比の分布の 2 つに分かれれる。このため、2 つの学術論文として投稿するのが望ましいと考えている。学術論文化に際しては、水晶体等価線量が高い医師に対する対策や指導方法なども記載する予定である。

7-7. 本研究の産業衛生学的な意義

労働者が水晶体に受ける被ばく線量の低減は、白内障の発生を予防することに直接つながるため、産業衛生学的に非常に重要である。本研究により明らかとなつた被ばく線量の推移や分布は、水晶体等価線量の低減策の策定や効果の検証に有用な情報になるといえる。また、本研究で示した適正線量比は、不均等被ばく測定が必要な放射線診療従事者の選定や、個人線量計および個人

第8章 総括

本研究は、被ばく線量低減のための業務改善計画の策定や評価の際に参考となる情報を得る目的で、特定機能病院で勤務する放射線診療従事者が受ける水晶体等価線量の実態調査を、法令に基づいた過去のモニタリング結果を集計することにより行った。調査した内容は大きく2つに分けられる。1つは「放射線診療従事者の水晶体等価線量の長期間の線量推移」に関する調査であり、もう1つは「放射線診療従事者の水晶体等価線量の実効線量に対する比(線量比)」に関する調査である。

調査内容1つ目では、線量推移の実態調査を行い、水晶体等価線量が増加傾向にあること、その増加率は線量が多いほど大きいこと、近年20mSv/yearを超える者が認められることなどから、水晶体等価線量の低減は、調査対象病院において早急に解決すべき課題であることを明らかにしました。また、調査病院の平均線量が全国平均より低いことから、調査病院よりもさらに早急な水晶体等価線量低減対策が必要な医療施設が、全国に多く存在することが予想された。水晶体等価線量が特に多い放射線診療従事者(線量上位10%)は、全員IVRを実施している部署に属しており、その部署全体の水晶体等価線量の増加率が他の部署と比較して数倍大きいことから、被ばく線量低減のための業務改善は、線量が多い部署から優先的に行うことが必要であり、また効率的であるといえる。

調査内容2つ目では、人体ファントムを用いたシミュレーション照射や500件以上にわたる実態調査を行い、防護衣の塵へい能力から計算した「適正線量比は5以上」という値について検証し、この値が実態に則したものであることを確認した。これにより、線量比が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なる可能性があることを示した。また、実態調査から得た最大線量比を用いて、実効線量から水晶体等価線量の最大値を推測し、不均等被ばく測定が必要な放射線診療従事者を選定するためのフロー図を作成、提案した。調査病院において実際にこのフロー図を用い、不均等被ばく測定が必要な者を選定したこと、不均等被ばく測定を実施している者の中で、不必要的者が多数存在していることが判明した。これらの者を不均等被ばく測定の対象から除外することにより、調査病院では年間で最大90万円程度の被ばく線量削減効果が示された。

これらの結果は、水晶体等価線量低減の必要性の判断、低減対象の選定、低減対策の効果の評価、個人線量計(特に頸部に装着した線量計)や防護衣の正しい使用状況を示す指標、不均等被ばく測定対象者の選定など、被ばく線量低減対策のための業務改善計画の策定や評価を行う際、大いに参考になるといえる。したがって、被ばく線量の実態調査により、本研究の目的を満たす結果が得られたと考えている。

利益相反
本研究に関する利益相反はありません。

研究費の資金源

本研究の一部は、平成30年度～令和2年度災疾臨床研究事業費補助金(研究代表：櫻田尚樹)の助成を受けて実施しました。

謝辞

本稿を終えるにあたり、このような研究の機会を与えて下さった指導教官の産業医科大学産業生態科学研究所 岡崎龍史教授に深く感謝申上げます。また、本研究に関わる学会活動や論文作成に際し多大なご指導、ご助言をいただきました指導教官の産業医科大学産業生態科学研究所 盛武敬惟教授に深く感謝申上げます。さらに、論文作成に際し多大なご助言をいただきました産業医科大学産業保健学部 櫻田尚樹教授、解析結果に適切なご助言をいただきました国立保健医療科学院の山口一郎上席主任研究官、本稿をご校閲くださいました産業医科大学産業生態科学研究所の見成智美氏、被ばく線量データの使用にご承諾いただきました放射線診療従事者の皆さまに心より感謝申上げます。

皆様のご支援およびご理解があつたからこそ、このような研究ができましたこと、心より重ねて感謝申上げます。

参考文献

- 22) 原子力規制委員会(2016): 日本への総合規制評価サービス(IRS) ミッション報告書について、原
子力規制委員会、東京 p3. Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000148594.pdf> (Accessed on Oct. 1 2019)
- 23) 厚生労働省最終改正(2017): 医療法 (昭和 32 年法律第 205 号)・第 30 条の 19
- 24) 厚生労働省(2017): 厚生労働省医局総務課長通知、医療従事者の勤務環境の改善等に関する事項の施行について、医政總務 1001 第 1 号, pp3-4
- 25) 厚生労働省(2014): 医療従事者の勤務環境の改善に向けた手法の確立のための調査・研究班:「医療分野の「雇用の質」向上のための勤務環境改善マジメントシステム導入の手引き」、厚生
労
働
省
https://www.mhlw.go.jp/seisaku/kantsuite/bunya/kenkou_iryou/quality/dl/houkokusyo_03.pdf (Accessed on Oct. 1 2019)
- 26) 厚生労働省(2001): 厚生労働省労働基準局長通知、労働安全衛生規則及び電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令の施行等について、基発第 253 号, p4
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisaku/001000191778.pdf> (Accessed on Apr. 29 2019)
- 27) UNSCEAR(2011): UNSCEAR 2008 Report Vol.1 Annex B. Exposures of the public and workers from various sources of radiation: pp370-376
- 28) AIHA AN & Lagarde CS (2002): Statistical analysis of historical occupational dose records at a large medical center. Health Phys. 83(6):854-860
- 29) S. Sathyan, M. Ravikumar & R. Ravichandran (2016): An analysis of personnel dose reports in medical radiation occupational workers from an oncology center. Int. J. Radiat. Res. 14(2): 143-148
- 30) Hussein Y, AlMasmri, Yasumasa K, & Tadashi Y. (2014): Occupational radiation monitoring at a large medical center in Japan. Radiol. Phys. Technol. 7: 271-276
- 31) K. P. Valuckas, V. Aitkočius & V. Samerdokiene (2007): Occupational exposure of medical radiation workers in Lithuania. 1991-2003. Acta Medica Lituanica. 14(3):155-159
- 32) Nishizawa, T. Uruma, Y. Takiguchi, T. Kuriyama, N. Yangawa, M. Matsumoto & K. Iwai (2001): Dose evaluation and effective dose estimation from CT fluoroscopy-guided lung biopsy. Jpn. J. Med. phys. 21(4): 233-244
- 33) 菅原隆一, 藤瀬義王, 富地優介, 立石哲士, 田野善徳, 天川一利, 大浦弘樹, 折田信一(2018): X 線 CT撮影の介助時ににおける医療従事者被ばくの効果的な防護方法について、放射線技術 74(4): 326-334
- 34) 石口恒男, 中村仁信, 岡崎正敏, 渥田敏, 高安幸生, 橋本統, 林信成, 古井滋, 小山修司, 前越久(2000): 肝臓癌の動脈塞栓療法における患者と術者の被曝測定. 日本医学放射線学会雑誌 6(2004): 839-844.
- 35) T. Moritake, Y. Matsumaru, T. Takigawa, K. Nishizawa, A. Matsumura & K. Tsuibo (2011): Precise mapping system of entrance skin dose during endovascular embolization for cerebral aneurysm. Radiat. Meas. 46: 2103-2106
- 36) 厚生労働省(2017): 第3回眼の水晶体線量の分布状況. 厚生労働省、東京 p8. Retrieved from <http://www.nsr.go.jp/data/000216284.pdf> (Accessed on Oct. 16 2019)
- 37) 原子力規制委員会(2018): ICPR2017 年報告の国内削除等への取扱い状況について、原子力規制委員会、東京. Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000216284.pdf> (Accessed on Oct. 2)
- 38) 原子力規制委員会(2016): 国際放射線防護学会 (IRPA) 会合の結果概要について、原子力規制委員会、東京. Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000150146.pdf> (Accessed on Sep. 18 2019)
- 39) ICPR(2007): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICPR Publication 103. Ann. ICPR 37 (2-4). 1st edition. ELSIEVIER, Amsterdam.
- 40) 厚生労働省(2003): 放射線障害防止規程 (2003), ICPR Publication 103. 國際放射線防護委員会の 2007 年勧告. 初版. 丸善株式会社, 東京, pp7-93
- 41) 厚生労働省(2003): An Overview of Cancer and Noncancer Diseases. Rad. Res 177:229-243
- 42) 厚生労働省(2018): 医療放射線の適正管理に関する検討会資料 1, 医療被ばくの適正管理のあり方について、厚生労働省、東京 p16. Retrieved from <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisaku/001000186706.pdf> (Accessed on Oct. 1 2019)

- Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/000/0205020.pdf (Accessed on Oct. 2 2019)
- 43) 医療放射線防護連絡協議会、日本医学物理学会、日本医学放射線学会他(2015)：最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベルの設定。医療放射線防護連絡協議会、東京 p1. Retrieved from <http://www.radarher.jp/J-RIME/report/DRlhonkokuoso.pdf>. (Accessed on Aug.14.2019))
- 44) ICRP (1997): General Principles for the Radiation Protection Workers. ICRP Publication 75. Ann. ICRP 27 (1). 1st edition. ELSEVIER, Amsterdam. 日本アイソotope協会訳 (1998), 東京 pp.22-54.
- 45) 厚生労働省 都道府県労働局(2019)：リーフレット「安全衛生部労働衛生課医療保健業に從事する皆さまへ～被ばく線量の見える化のために～」。厚生労働省、東京 p1. Retrieved from https://www.mhlw.go.jp/stf/content_0004810942.html (Accessed on Aug. 2019)
- 46) 厚生労働省(2017)：電離放射線障害防止規則第3条第3項並びに第9条第2項の規定に基づき厚生労働大臣が定める件を改正する件の適用及び電離放射線障害防止規則第8条第4項の規定に基づき、厚生労働大臣が定める方法を定める件の廃止について：基安委告254 p2
- 47) 藤間俊王(2018)：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
- 48) 株式会社マエダ編(2018): HAGOROMO 総合カタログ No.2018.01. 株式会社マエダ、東京 p 27
- 49) ICRP (2009): Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and Interventional Procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39 (5). 1st edition. ELSEVIER, Amsterdam. 日本アイソotope協会訳 (2014) , ICRP Publication 113. 放射線診療およびIVRにおける放射線防護と訓練。初版、丸善株式会社、東京 p1
- 50) 日本アイソotope協会編(2012): アイソotope手帳. 丸善株式会社、東京 pp.10-13
- 51) 富田篤志、越田吉郎、北林啓太郎、松原孝祐、能登公也、川端千香子、中川浩人(2003)：511keV 滅渲放射線および 893 mT ガンマ線に対する診断用個人防護衣および防護用ガラス構立の遮蔽能力評価。日本放射線技術学会誌 59(9) :1723-1729
- 52) 日本電気計測工業会(2018)：技術解説＜放射線計測ガイド＞個人線量計. JEMIMA. 東京. Retrieved from <https://www.jemima.or.jp/tech/03-02-06.html> (Accessed on Aug. 28 2019)
- 53) AGC テクノグラス株式会社(2014): 蛍光ガラス線量計・小型素子システム取扱説明書. 株式会社丸千代田テクノル、東京 pp.8-9
- 54) 科学技術庁告示第5号 第5条：第6条、文部科学省告示第59号
- 55) Vano E, Kleinman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D & Cabrera M (2010): Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. Radiat Res. 174(4) : 490-495
- 56) Klerci L, David BR, Elisabeth C, et al (2015): Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study. The Lancet Haematology 2(7): 276-281
- 57) Dale L, Preston, Kusumi S, Tomonaga M, et al (1994): Cancer incidence in atomic-bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma, and multiple myeloma, 1950-1987. Radiation Research. 137(7): S68-97
- 58) 国立がん研究センター (2019) : 最新がん統計 2017, 東京. Retrieved from https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary.html (Accessed on Dec.21 2019)
- 59) 株式会社丸千代田テクノル(2014): ガラスバッジモニタリングサービス. 株式会社丸千代田テクノル . 東京 . Retrieved from http://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2014/04/doc_monitoring_1.pdf (Accessed on Oct. 3 2019)
- 60) ICRP (1996): Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26(3-4). 日本アイソotope協会訳 (1998), ICRP Publication 74. 外部放射線に対する放射線防護に用いたための換算係数. 初版. 丸善株式会社、東京 pp.197-198
- 61) IRPA (2017): IRPA guidance on implementation of eye dose monitoring and eye protection of workers. pp9-10. Retrieved from <https://ioscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/33/2/445/pdf> (Accessed on Apr. 29 2019)
- 62) 岩井計成, 沢端京介, 嶋嶺根満, 口井信孝 (2017) : 個人線量計（ガラスバッジ）による放射線被ばく管理. 日本赤十字社と歯科医療センター医学会誌 34: 79-87
- 63) 奥山祐右, 奥山智緒, 川上巧, 中津川善和, 山田真也, 鈴木隆裕, 戸祭直也, 佐藤秀樹, 吉田憲正 (2016) : ERCP 施行時の被曝線量評価と放射線防護教育. 日本消化器内視鏡学会雑誌 58 (4) : 991-998
- 64) J. M. Shin, T. H. Lee & S. H. Park (2013): A Survey of the Radiation Exposure Protection of Health Care Providers during Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography in Korea. Gut and liver 7(1): 100-105
- 65) E. Vano, N. J. Kleiman, A. Duran, M. R. Miller & M. M. Rehani (2013): Radiation associated Lens Opacities in Catheterization Personnel: Results of a Survey and Direct Assessments. Journal of Vascular and Interventional Radiology 24(2) :197-204
- 66) 厚生労働省(2018)：不均等被ばく平成30年度 総括・分担報告書. 厚生労働省、東京 pp.124-125. Retrieved from https://www.moph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMARadiation/pdf/occupational_radiation_kunigaito_ty2018.pdf (Accessed on Sep. 22 2019)
- 67) 厚生労働省(2019)：労働基準局 安全衛生長通知. 放射線診療従事者に対する線量測定等の徹底及び眼の水晶体の被ばくによる放射線障害防止対策の再通知について. 基安発 1101 第1号 p1
- 68) JCS Joint Working Group. (2010): Guidelines for Radiation Safety in Interventional Cardiology (JCS 2006). Circulation: Journal 74(12): pp2760-2785
- 69) 中央労働災害防止協会(2019): リスクアセスメントとは. リスクアセスメントの進め方と効果. 中央労働災害防止協会, 東京. Retrieved from <https://www.jishha.or.jp/oshm/sra/about0.1.htm> (Accessed on Oct. 7 2019)
- 70) ICRP (1982): General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 35. Ann. ICRP 9 (4). 1st edition. Pergamon Press. Oxford. 日本アイソotope協会訳 (1984) , ICRP Publication 35. 作業者の放射線防護のためのモニタリングの一般原則. 初版. 丸善株式会社, 東京. pp.10-13
- 71) 厚生労働省(2019)：眼の水晶体の等価線量限度の変更に関する規則等の改正に伴う意見募集の結果について. Retrieved from <https://www.nsr.go.jp/data/000293763.pdf> (Accessed on Dec. 24 2019)

令和元年度(2019 年度)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
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

令和元年度(2019 年度)は、次年度の詳細測定へ向けた下記の有用な基礎的および臨床検討ができた。(査読付き論文成果は2編:英文 1 和文 1)。

・0.75mm鉛当量防護眼鏡の臨床評価: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ぐ等が可能であった。

・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ドジリスは有用であることを示した。

・冠動脈形成術(PCI)施行医師の実臨床での評価(検査1件毎の水晶体線量測定):

PCI 医師において、左目の線量が最も高い結果となり(1件あたり平均で 0.1mGy 以上、鉛防護眼鏡無しの状態)、左目の線量は最大で右目の約 22 倍となった。したがって、水晶体線量を安全側には評価するために線量計を左目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(鉛防護眼鏡無しの状況で、左眼で1件あたり平均で 0.2mGy 程度であった。)

*主な研究協力者:稻葉 洋平(東北大学災害科学国際研究所 助教)

A. 研究目的

当研究は、医療施設等における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、被ばく線量の適切な推定方法を確立することで、新線量限度取り入れに資することを目的とする。

そのために 2019 年度(H31 年度)は、**1.** 0.75mm 鉛当量防護眼鏡の実臨床での評価、**2.** 水晶体線量計の詳細な基本性能評価検討、そして **3.** 冠動脈形成術 (PCI) 施行医師の実臨床での評価（検査 1 件毎の水晶体線量測定）について主に実施した。

B. 研究方法

1. 0.75mm 鉛当量防護眼鏡の実臨床での評価

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)

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。

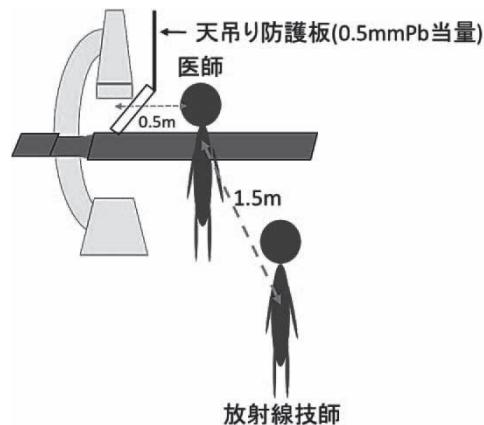


Fig.1 スタッフの配置

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。

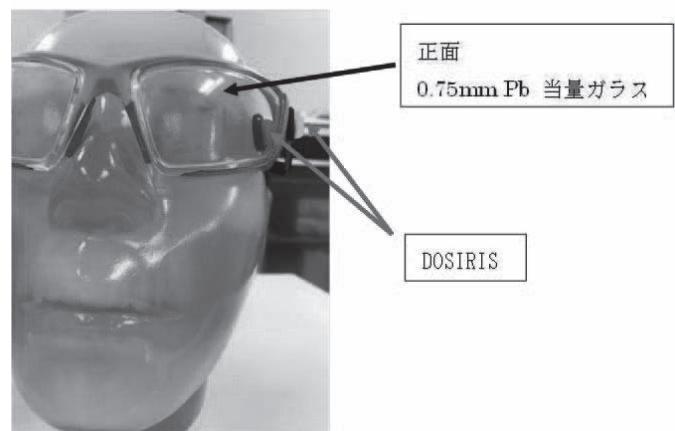


Fig.2-a 防護眼鏡と線量計の装着図(ファンтом) 実際は医師と放射線技師が装着

(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。

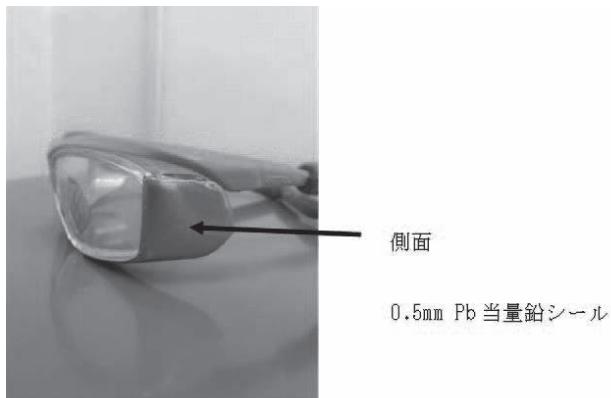


Fig.2-b 防護眼鏡の側面図

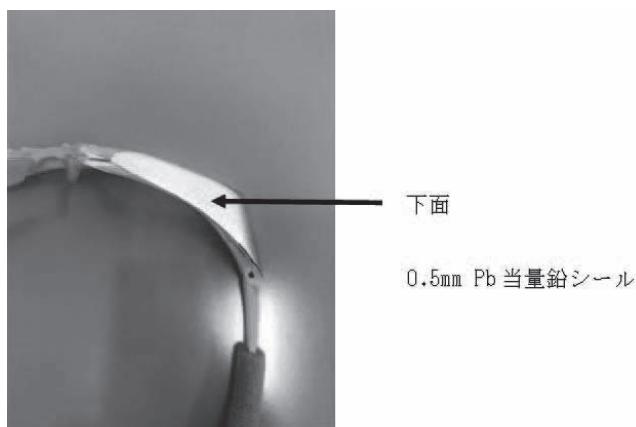


Fig.2-c 防護眼鏡の下面図

(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値から、防護眼鏡による遮蔽率を算出した。

この際、以下の式を用いて遮蔽率を計算した。

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

2. 水晶体線量計(DOSIRISTM)の詳細な基本性能評価検討

DOSIRISTM (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。

DOSIRISTM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 DOSIRISTM

さらに、IR 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。

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。

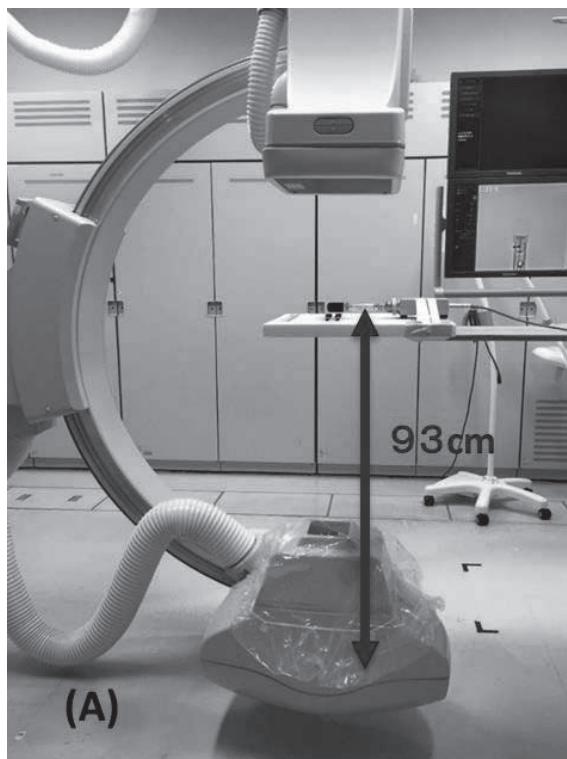


Fig. 4 (A) 測定配置

(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 3.5 cm 離れ、かつ X 線強度のほぼ等しい 4 点に配置した (Fig. 4B)。

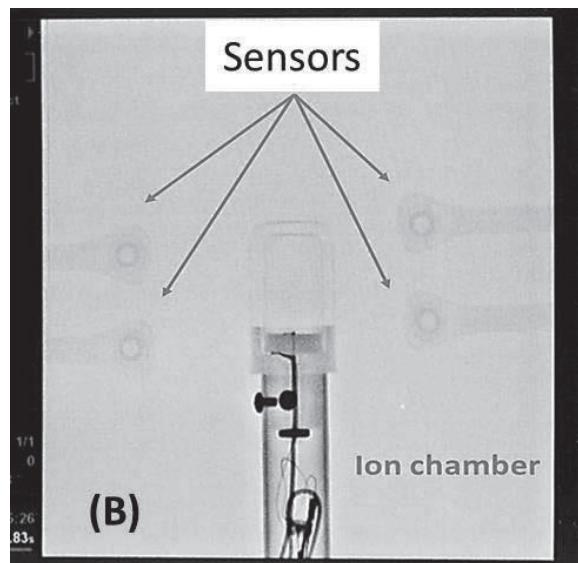


Fig. 4 (B) 測定配置の X 線画像

・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 DOSIRISTM と電離箱で測定を行った。

・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。

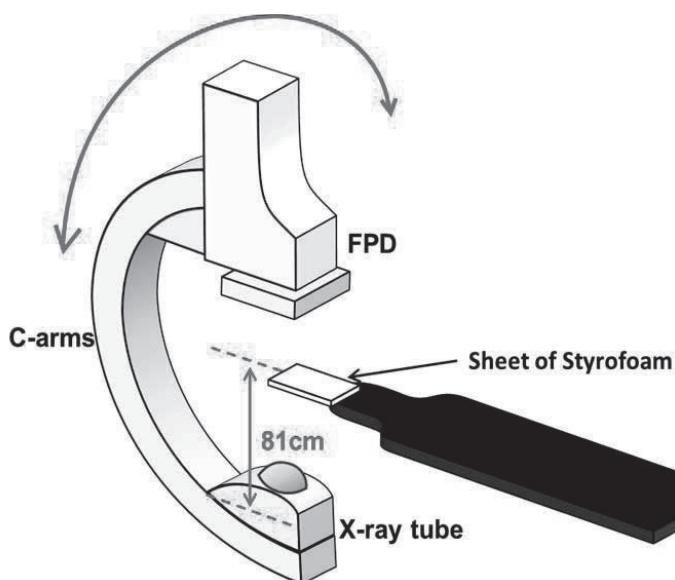


Fig. 5 方向依存性測定配置図

3. 冠動脈形成術(PCI)施行医師の実臨床での評価(検査1件毎の水晶体線量測定)

Percutaneous Coronary Intervention (PCI : 経皮的冠動脈形成術)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 Φ4.3 × 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。

(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用い、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。

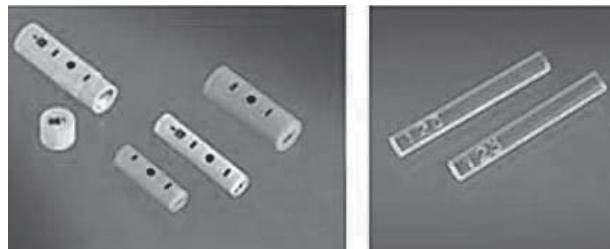


Fig. 6 ガラス線量計素子の概観

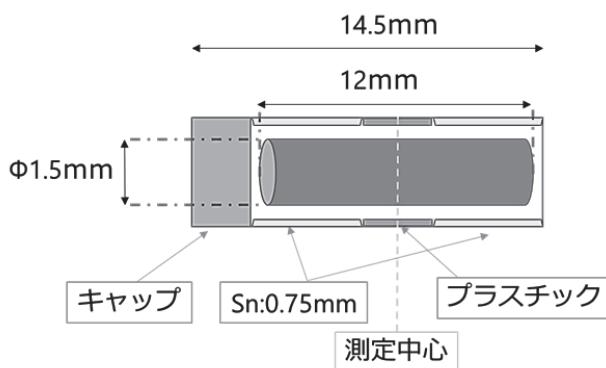


Fig. 7 ガラス線量計素子の構造

IVR医師20名にて、PCI92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°、LA090°、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目、眉間（中央）、右目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。



Fig. 8 装着位置の概観（ファントム上）

左目、眉間（中間部）、右目の3か所に装着した。（実際にはIVR医師が装着）。

C. 研究結果

1. 0.75mm鉛当量防護眼鏡の実臨床での評価結果

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

2. 水晶体線量計(DOSIRIS™)の詳細な基本性能評価検討結果

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。

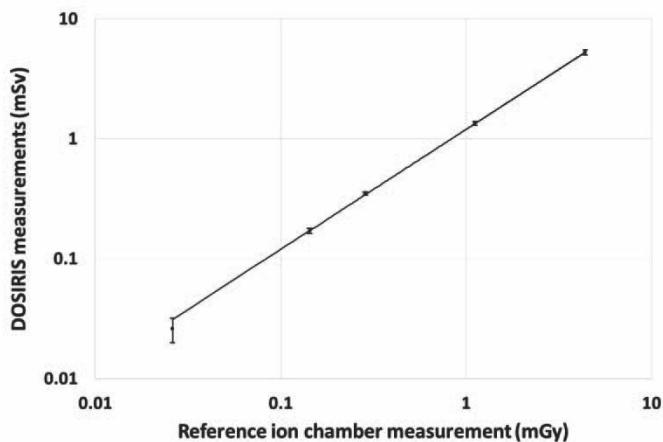


Fig. 9 DOSIRIS™の線量直線性

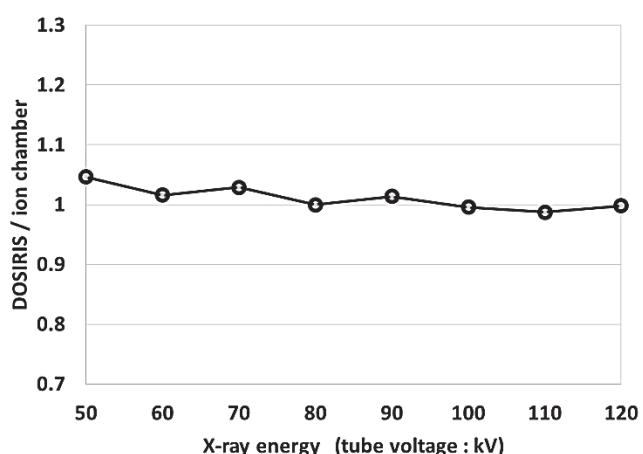


Fig. 10 DOSIRIS™の管電圧依存性

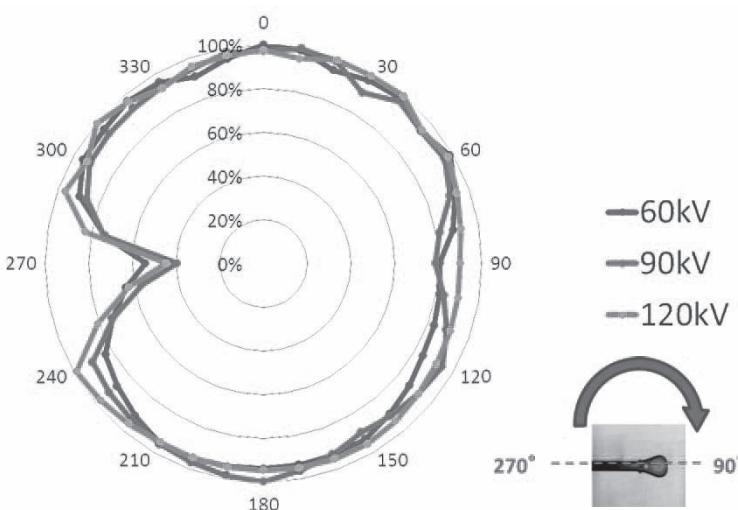


Fig. 11 DOSIRIS™の角度依存性：垂直軸
Vertical (long) axis

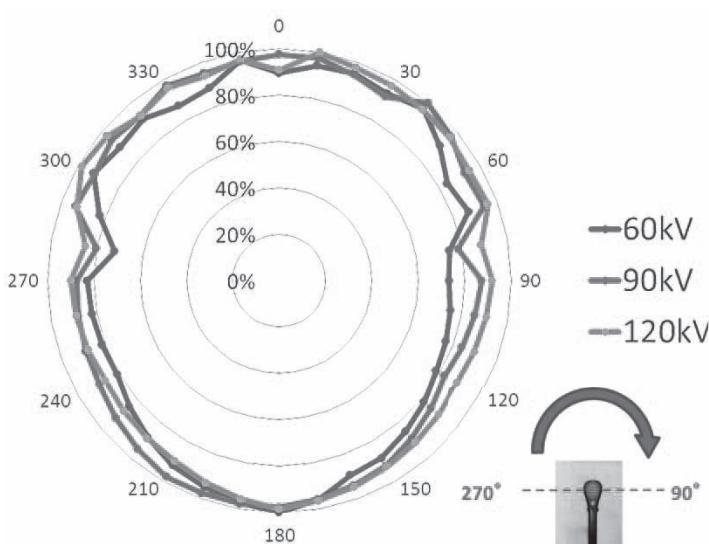


Fig. 12 DOSIRIS™の角度依存性：水平軸
Horizontal (short) axis

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。

3. 冠動脈形成術(PCI)施行医師の実臨床での評価(検査1件毎の水晶体線量測定)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（ μ Gy/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（ μ Gy/件）

	左眼（ μ Gy/件）	中央部（ μ Gy/件）	右眼（ μ Gy/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。

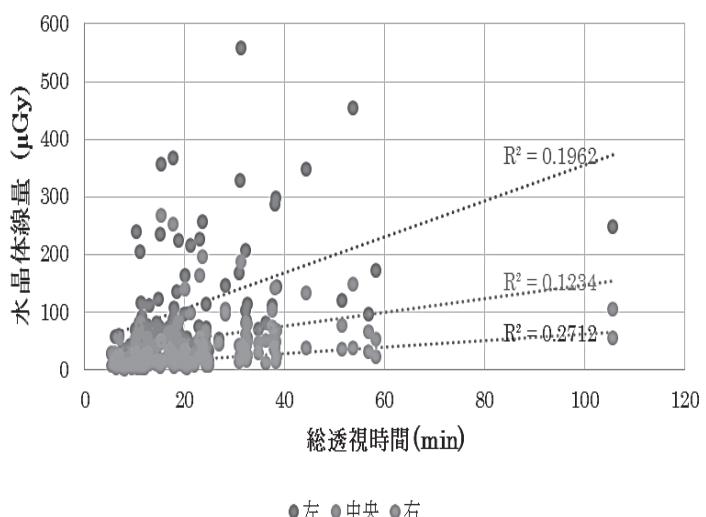


Fig. 13 PCI における総透視時間と水晶体線量の相関

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。

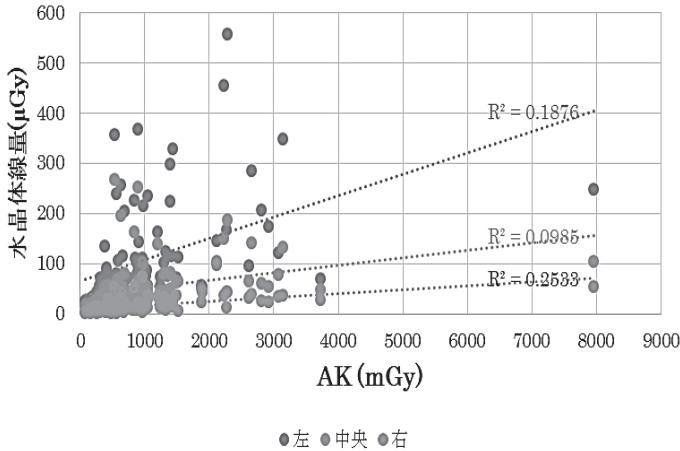


Fig. 14 PCI における AK (Air Kerma) と水晶体線量の相関

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。 R^2 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。

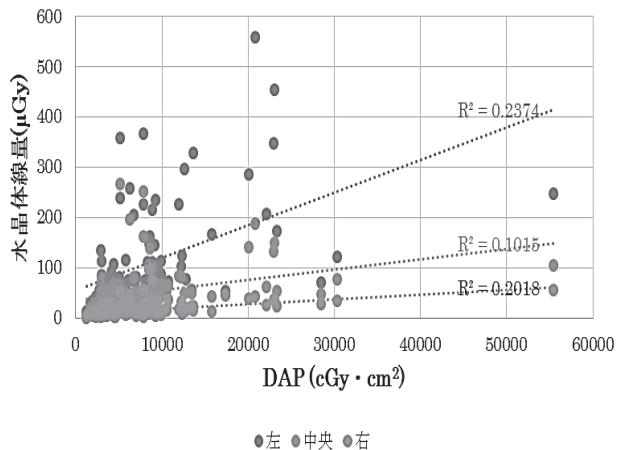


Fig. 15 PCI における DAP (Dose Area Product) と水晶体線量の相関

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。

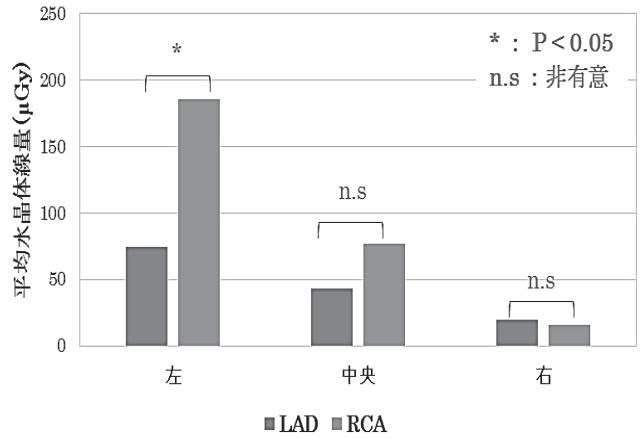


Fig. 16 PCI における治療部位ごとの左眼と中央部と右眼の水晶体線量

(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。)

D. 考察

1. 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。

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用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。

2. 水晶体線量計(DOSIRIS™)の詳細な基本性能評価検討

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。

3. 冠動脈形成術(PCI)施行医師の実臨床での評価(検査1件毎の水晶体線量測定)

PCI 医師の左目の線量は右目よりも大きい結果となった。(すべての PCI 検査において左目の線量が最も高く、1 件あたり平均で $0.1 \mu\text{Gy}$ 以上である。なお鉛防護眼鏡な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 線管が医師の左目に近い位置に

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 Oblipue view) 側、右冠動脈 (RCA) では LAO (Left Anterior Oblipue 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。）

E. 結論

1. 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。

2. 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。

3. 冠動脈形成術(PCI)施行医師の実臨床での評価(検査1件毎の水晶体線量測定)

PCI 医師において、左目の線量が最も高い結果となり（鉛防護眼鏡無しの状態で 1 件あたり平均で 0.1mGy 程度。）、左目の線量は最大で右目の約 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目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（鉛防護眼鏡無しの状態で、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。

F. 論文報告

1. 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.
2. 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.

G. 研究発表

1. 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
2. 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べンションに携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
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、稻葉洋平、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
4. 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、稻葉洋平、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 1 月. 仙台
5. 曽田 真宏、芳賀 喜裕、千田 浩一、加賀 勇治、荒井 剛、鈴木 新一、笠原 梢司、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
6. 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
7. 芳賀喜裕, 千田浩一, 加賀勇治, 曽田真宏, 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
8. 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 1 月. シンポジウム 仙台

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

I. 分担研究報告

学術分野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 に関する研究

分担研究者 古渡 意彦

(日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 主査)

研究要旨

ICRP の 2011 年宣言を受け、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、と意見具申され、法改正が進められている。

本研究では、学術分野における加速器施設で放射線業務に従事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から適切な等価線量評価手法について検討した。本テーマに着手した初年度である令和元年度は、以下に示すとおり研究を遂行した。

(1) 加速器施設における放射線業務従事者の被ばく形態について検討した。

いずれの加速器においても、放射線業務従事者の内部被ばくを考慮する状況は限られており、大規模加速器施設である J-PARC における特殊な放射線作業で検討されていた。

(2) 加速器施設における放射線業務従事者の被ばく状況について聞き取り調査を行った。小規模な電子加速器施設の場合、外部被ばくが支配的であり、被ばく源は種々の核反応で生じる放射性物質からの γ 線によるものであった。また、加速器ターゲット交換作業を行う場合には、状況により不均等被ばくが考慮されることが分かった。

(3) 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、小規模加速器施設である京都大学複合原子力研究所ライナック施設における不均等被ばく状況の放射線作業を模擬した作業環境において実験的に評価した。不均等被ばく状況の作業環境として、ビームコンバーター近傍での機器調整及び中性子発生用 Ta ターゲットハンドリング作業を選択した。評価の結果、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、それぞれ機器調整の場合 3.1、ターゲットハンドリング作業の場合 0.4 であった。このことは、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は、ISO publication 75 のいう factor 1.5 程度で推定できる範囲を超えていた。特に体幹部線量が年間線量限度近傍の場合、十分な対策が取られる必要がある。

A. 研究目的

本研究は、特に学術分野において、加速器施設における放射線業務従事者が受ける眼の水晶体における被ばく等価線量を適切に評価する手法の開発を目的としている。先行研究の事例が豊富な原子力分野においては、商業用発電炉の定期点検及び運転中の機器管理に従事する放射線業務従事者の被ばくについて眼の水晶体のみ、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ことが明らかとなっている[1]。令和2年3月現在の現行法令では、眼の水晶体及び末端部等価線量の推定手法は提示されている。(電離放射線障害防止規則では、外部被ばく線量については、1センチメートル線量当量及び70マイクロメートル線量当量のうちのどちらか適切な方をもって眼の水晶体の等価線量とする、とある。)しかしながら、後述のとおり眼の水晶体等価線量の年間線量限度の引き下げを考慮すると、加速器施設における放射線業務従事者について現行の眼の水晶体等価線量の推定手法の適応範囲及びその限界については十分な議論がなされるべきである。

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150mSvから年平均20mSvへと大幅に下げることが勧告されたことを契機に、国際原子力機関(IAEA)、欧州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[1],[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。」と意見具申された[5]。これを受け、原子力規制委員会より、令和3年度以降の法令への取入れに向け、意見具申がなされている[6]。

2020年3月現在において、我が国では、放射線業務従事者の眼の水晶体及び手指等の末端部における等価線量は、眼の水晶体を含めた頭頸部、または手指、足等の末端部について、「最も多く放射線にさらされるおそれのある部位」である場合、当該放射線業務従事者に対して専用の線量計が準備され、それぞれの部位に対する等価線量の算定に供される。一方で、加速器施設における放射線業務従事者に対しては、そのような特殊な被ばくを受ける作業は非常に限られており、一般的には、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ている。

本研究においては、これまで包括的な研究が実施されてこなかった研究分野の放射線作業のうち、特に加速器施設における放射線業務従事者に注目し、眼の水晶体の等価線量を体幹部での測定により得られた1cm線量当量、 $70\mu\text{m}$ 線量当量等の被ばく線量と、作業者の被ばく状況(作業環境における線種、線源の位置・形状、体勢、作業時間等)を考慮して、眼の水晶体における被ばく等価線量の相関を詳細に検討することで、体幹部線量から眼の水晶体等価線量算が推定可能か検討を行った。

上述の研究目的と目的達成のための課題

解決のため、以下の課題を設定する。

- (a) 加速器施設における放射線業務従事者はどのような放射性核種によりどのような状況で被ばくするのか
- (b) 実際に放射線作業を行う作業環境で、放射線業務従事者の受ける体幹部線量と眼の水晶体等価線量の間にはどのような相関があるか。
- (c) 現在行われている個人モニタリングにおける眼の水晶体等価線量の推定方法は、どの状況において適応可能か。特に不均等被ばく状況下では、作業者の不均等被ばくはどの程度か。

上記の課題に解答するため、次項B. 研究方法においてテーマを設定し、研究を遂行した。なお、今年度は予備調査としての位置づけが大きく、次年度での完成に向けて研究環境整備及び課題抽出に注力した点を明記する。

B. 研究方法

研究期間3か年内で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を確立するため、令和元年度では、以下に示す(a)、(b)及び(c)の3テーマを並行して進めた。

(a) 加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が被る被ばく形態に関する検討

(b) 加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況に関する検討

(c) 加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価

本研究において、令和元年度は、(a) 加

速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が被る被ばく形態に関する検討、及び(b) 加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況に関する検討について、大規模加速器施設であるJ-PARC及び小規模加速器施設である京都大学複合原子力研究所ライナック施設での事例について文献及び聞き取り調査により検討を進めた。

(c) 加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価については、上記の項目についての評価を終えたのち、分担研究者らが考案した人体模擬ファントムを放射線作業が実施される作業環境に設置し、ファントム各所に線量計を取り付けて指示値を読む実験を行うことで評価を進めた。

(a) 加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が被る被ばく形態に関する検討

一般に、放射線業務従事者の被る被ばく形態には、①外部被ばく及び②内部被ばくに大別される。これらは、

- ・ 外部被ばく線量：個人線量計による測定
- ・ 内部被ばく線量：作業内容及び使用した放射性物質等からの推定又は放射性物質の濃度等に応じた測定

となっている。内部被ばくについては、電離放射線防止規則により、第八条第4項により、「4 第一項の規定による内部被ばくによる線量の測定は、管理区域のうち放射性物質を吸入摂取し、又は経口摂取するおそれのある場所に立ち入る者について、三月以内(緊急作業に従事する男性及び妊娠する可能性がないと診断された女性、一月間に受ける実効線量が一・七ミリシーベルトを超えるおそれのある女性(妊娠する可

能性がないと診断されたものを除く。)並びに妊娠中の女性にあつては一月以内)ごとに一回行うものとする。ただし、その者が誤つて放射性物質を吸入摂取し、又は経口摂取したときは、当該吸入摂取又は経口摂取の後速やかに行うものとする。」とあり、3月に1回の内部被ばく測定が求められる。

本研究では、除染等業務に従事する作業者が、外部及び内部被ばくのいずれを被るのか、文献及び聞き取り調査を中心に検討を行った。文献調査には J-PARC 放射線管理年報[7]及び J-PARC 安全管理年報[8]-[11]を用いた。

聞き取り調査については、J-PARC の運営主体の一部である日本原子力研究開発機構の担当者及び京都大学複合原子力科学研究所 放射線管理及び加速器施設管理担当者への聞き取り調査を行った。なお、聞き取り調査については、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針等の倫理への配慮について、研究対象となる加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者及び事業者に対し、直接的かつ具体的な聞き取りは行っておらず、公開文書である報告書の記載についてのみ聞き取りを行っている。したがって、当該倫理指針等で配慮すべき倫理等に該当しない。

(b) 加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況に関する検討

本研究において対象とする放射線業務従事者は、加速器施設において放射線作業の従事する作業者であり、当該作業者はほとんどの場合において計画被ばく状況における放射線業務従事者といえる。計画被ばく状況においてより注目すべきは、作業者の外部からの放射線被ばくであり、特に β 線

及び γ 線からの外部被ばくの評価が行われるべきである。外部被ばくの状況としては、①均等被ばく状況及び②不均等被ばく状況に大別される。不均等被ばく状況については、前掲の電離放射線障害防止規則第八条第3項において、以下の記述があり、体幹部で測定された個人線量当量が、全身に均等に被ばくした状況下で得られた測定値と想定されない場合の記載があり、そのような場合を②不均等被ばく状況と定義できる。

「3 第一項の規定による外部被ばくによる線量の測定は、次の各号に掲げる部位に放射線測定器を装着させて行わなければならない。ただし、放射線測定器を用いてこれを測定することが著しく困難な場合には、放射線測定器によって測定した線量当量率を用いて算出し、これが著しく困難な場合には、計算によってその値を求めることができる。

一 男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性にあつては胸部、その他の女性にあつては腹部

二 頭・頸部、胸・上腕部及び腹・大腿部のうち、最も多く放射線にさらされるおそれのある部位(これらの部位のうち最も多く放射線にさらされるおそれのある部位が男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性にあつては胸部・上腕部、その他の女性にあつては腹・大腿部である場合を除く。)

三 最も多く放射線にさらされるおそれのある部位が頭・頸部、胸・上腕部及び腹・大腿部以外の部位であるときは、当該最も多く放射線にさらされるおそれのある部位(中性子線の場合を除く。)」

眼の水晶体の等価線量の年間被ばく限度

低減の法令への取入れが検討されている現状においてなお、放射線業務従事者が受けた眼の水晶体等価線量を体幹部で受けた線量当量から適切に推定評価する手法が依然として有効である、と考えられる。この理由として、①放射線業務従事者の被ばく状況が多くの場合均等被ばく状況と考慮できる、②特に加速器施設の放射線業務従事者の97%以上についてはその被ばく線量が検出下限以下(0.1 mSv未満)であるという現状、及び③現行の個人モニタリング手法での眼の水晶体等価線量の推定がある部分で有効に機能している、が挙げられる。

しかしながら、加速器施設における放射線作業については、放射線業務従事者が行うすべての放射線作業が、作業者の全身に均一に放射線にばく露されるものとは言えない。例えば、加速器施設でビームの標的となるターゲットは点線源に比することができる。点線源と仮定できる加速器のターゲットが顔面近傍に存在し、眼の水晶体一点線源間の距離が、個人線量計を取り付けた体幹部一点線源間の距離より近い場合、眼の水晶体等価線量がより強調される状況、すなわち不均等被ばく状況が考慮される。

そこで、加速器施設における放射線業務従事者の均等被ばく及び不均等被ばく状況について、前掲(a)の文献及び聞き取り調査に合わせて調査した。

(c) 加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価

我が国の放射線業務従事者の80%以上についてはその被ばく線量が検出下限以下であるという現状と、現行のモニタリング手法での眼の水晶体等価線量の推定が一部有

効に機能している、という点を考慮して、放射線業務従事者が受けた眼の水晶体等価線量を体幹部で受けた線量当量から適切に推定評価する手法が依然として有効である、と考えられる。さらに、我が国でも有数の大規模加速器施設である大強度陽子加速器施設(J-PARC)では、1年間の放射線業務従事者数3,388人のうち97%が0.1 mSv以下の検出下限以下の被ばくしか被っていない[8]。これらの点に着目して、加速器施設において放射線業務従事者が実際に遭遇しうる放射線作業のうち、最も被ばくするおそれのある放射線作業について、人体を模擬したアクリル製物理ファントムに線量計を取り付け、体幹部で受けた被ばく線量に対して、眼の水晶体及び手指部の等価線量がどの程度になるか測定により求めた。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き同時に、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する。

簡易物理ファントムは、線量計を校正する際に使用するアクリル製水ファントム(国際規格ISO4037、日本興業規格JIS4511等で定められた形状のアクリル製水槽に水を満たしたもの)を図1に示すように組み合わせ、人体模擬ファントムとして使用した。アクリル製物理ファントムは、頭部、頸部、胸部及び腹部が水で満たしたアクリル製水槽で構成されている。手指は、可動式となっており、不均等被ばくをモニタリングするための指リングと呼ばれる個人線量計を基準校正場で校正する際に使用するロッドファントム(直径19 mm ϕ のアクリル棒)を指の長さに加工し、アクリル

製の手のひらに取り付けて、手指のファントムとした。表1に使用したアクリル製物理ファントムの各部の仕様を示す。

放射線治療時の線量評価等で使用されるランドファントム、ホールボディカウンタ校正用BOMABファントム、等、目的に応じた種々の人体模擬物理ファントムが採用されている。一方で、本研究では放射線作業の現場にファントムを設置するフィールド試験を行うが、ファントムを設置する放射線作業環境が放射性物質で汚染されることを前提としている。そのため、安価で迅速に設置可能なアクリル製のファントムを採用した。

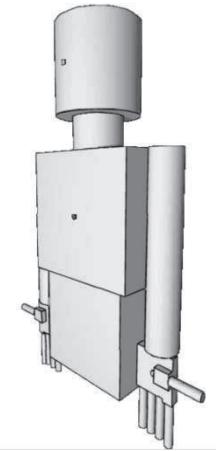


図1(a) 本研究で使用したアクリル製物理ファントムの外観

この簡易物理ファントムについては、複雑

な体系を有する人体模擬数学ファントム（以下、「数学ファントム」という。）とフィールド試験に供するアクリル製物理ファントムを用いた場合でも、不確かさの範囲内で同じ被ばく状況が再現できることを事前に確認されている。

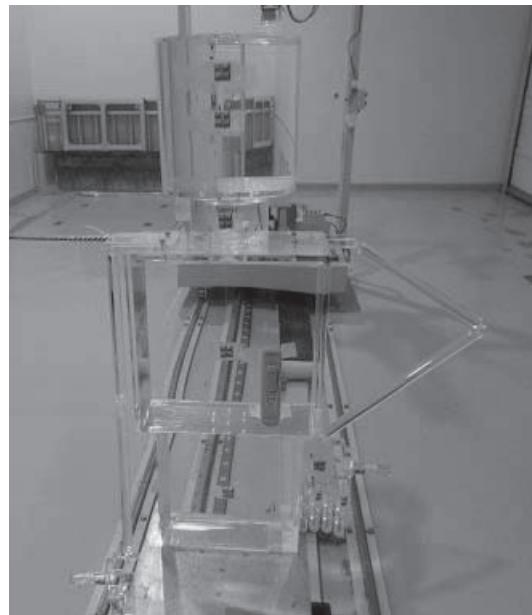


図1(b) 本研究で使用したアクリル製物理ファントムの外観(基準校正場に設置時)

今年度のフィールド試験は、京都大学複合原子力研究所ライナック施設において行った。模擬した放射線作業は当該ライナック施設を用いたRI製造時及び中性子を利用する実験時におけるターゲット交換及びハンドリングである。主な被ばく源は、加

表1 簡易物理ファントム各部の仕様

	材質及び形状	サイズ
頭部	アクリル製水槽	円筒型 20 cmΦ×20 cm(H)
頸部	アクリル製水槽	円筒型 12 cmΦ×8 cm(H)
胸部	アクリル製水槽	箱型 30 cm(H)×30 cm(W)×15 cm(D)
腹部	アクリル製水槽	箱型 25 cm(H)×25 cm(W)×12 cm(D)
手指部	掌: アクリル製 指: アクリル製	板状 Palm: 9 cm(H)×9.7 cm(W)×1.5 cm(D) Thumb: 1.9 cmΦ×7 cm(L) Other fingers: 1.9 cmΦ×10 cm(L)

速器運転に伴って生じる放射化生成物からの γ 線からの被ばくが中心となる作業環境である。

なお、本研究は外部被ばくのみを対象としており、いずれの作業環境でも放射線業務従事者は内部被ばくが発生する可能性があるが、ここでは外部被ばくによる線量評価のみを行っている。

物理ファントムの全身各所に装着した線量計は、(1)の追加モニタリング用パッシブ型個人線量計の開発でも使用した、市販の OSL 線量計（長瀬ランダウア社製 NanoDOT™）である。OSL 線量計は、アクリル製物理ファントム各所に合計 40 個取り付け、アクリル製物理ファントムが設置された放射線作業環境での被ばく状況をモニタリングした。

C. 研究結果

(a) 加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が被る被ばく形態に関する検討

本研究において、加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が、外部及び内部被ばくのいずれを優位に被るのか、文献及び文献に対する担当者への聞き取り調査を中心に検討を行った。

文献調査には J-PARC 放射線管理年報[7]及び J-PARC 安全管理年報 [8]-[11]を用いた。担当者への聞き取り調査については、文献[7]-[11]の執筆を担当した日本原子力研究開発機構の放射線管理担当者及び小規模加速器施設を担当する京都大学複合原子力研究所放射線管理担当者への聞き取り調査を行った。上述の通り、ヒトを対象とする医療系等の研究倫理等への配慮に該当しないことを確認済みである。

文献[7]によると、J-PARC の運用にあたっては厳重な放射線管理体制が整備されており、適切に作業環境モニタリングが継続されていることがわかる。定常的な業務以外の放射線作業、特に物質・生命科学実験施設における水銀ターゲット容器交換に係る放射線作業時には、入域にあっては作業者に適切な放射線防護装備（エアライナースーツ、アノラック、タイベックスーツ、ゴム手袋等）の装着を求め、内部被ばくについて厳重な管理体制を敷いているとのことであった。J-PARC においては、放射線業務従事者に登録された放射線業務従事者の外部被ばくについてはすべての作業者に積算型の個人被ばく線量計（ガラス線量計又は OSL 線量計）を着用させている。眼の水晶体の等価線量の推定は、「眼の水晶体の等価線量については、1cm 線量当量又は 70 μm 線量当量のうち大きい方の測定値を記録している。」[7]とのことであった。内部被ばく管理については、防護装備の徹底に加え、作業終了後にホールボディカウンタにより作業者の体内放射能の有無を測定し、当該放射線作業における放射性物質の取り込みの有無を確認していた。

J-PARC においては内部被ばく線量の測定については明瞭な基準があり、「内部被ばく線量の測定は、作業状況及び作業環境中の空気中放射能濃度等から計算評価を行い、有意な内部被ばく線量（3 月間につき 2mSv）を超えるおそれのある場合に実施すること」としている。内部被ばく線量測定の対象とならなかった者については、各施設の作業者から代表者を選定し、有意な内部被ばくがなかったことを確認する確認検査を実施している。」[7]とされている。文献[7]-[11]では 2011 年度以降各年度における

表2 J-PARCにおける放射線業務従事者数及び被ばく線量の推移 [7]-[11]

	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度
放射線業務従事者 数 (人)	61	408	704	1864	2154	2653
年間集団線量 (man・mSv)	0	0.9	2.6	0.7	0.2	8.6
年間一人当たり線 量 (mSv)	0	0.0022	0.0037	0.00038	0.00009	0.0032
	2011 年度	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度	2016 年度
放射線業務従事者 数 (人)	2633	3113	3089	3924	3026	3275
年間集団線量 (man・mSv)	56.7	27.5	57.2	28.2	35.4	35.4
年間一人当たり線 量 (mSv)	0.022	0.0088	0.019	0.0072	0.012	0.011

2017 年度	
放射線業務従事者 数 (人)	3388
年間集団線量 (man・mSv)	47.1
年間一人当たり線 量 (mSv)	0.014

内部被ばく線量の測定対象者数及びその結果が示されている。調査の結果、2011年度から2017年度まで放射性物質の吸入摂取等による有意な内部被ばくはない、とのことであった。上記の記載により、調査対象としたJ-PARCについては、特に外部被ばくが主たる被ばく形態であることは明らかとなった。

小規模加速器施設の代表として、京都大学複合原子力研究所ライナック施設における放射線業務従事者の被ばく状況について聞き取り調査を実施した。調査の結果、放

射線作業の状況及び作業環境中の空気中放射能濃度等から計算評価を行い、内部被ばく線量の測定は原則実施しない、とのことであった。

なお、後述するが次年度以降、文献調査及び聞き取り調査の範囲を拡大し、加速器施設における放射線業務従事者の被ばく状況についての広範な調査を進める予定である。

表2では、J-PARCにおける放射線業務従事者の総数、年度ごとの年間集団線量及び年度ごとの一人当たり線量をまとめたも

のである[7]-[11]。また、各年度で放射線業務従事者の被ばく線量分布が示されているが、記録がある2011年度以降2017年度まで、全放射線業務従事者の95%以上は被ばく線量が0.1 mSv未満と記録されている。これは一人当たり線量が年間0.1 mSvを超えていない点からも明らかである。

放射線業務従事者の最大被ばく線量の観点では、2011年度に外部被ばくで3.0 mSvが記録されている[7]。2017年度報告書までにJ-PARCにおける放射線業務従事者の年間被ばく線量が3.0 mSvを超えて記録されていない[8]-[11]。

(b) 加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況に関する検討

本研究は、加速器施設の放射線業務従事者が受ける、眼の水晶体等価線量がどの程度になるか、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。

そこで、加速器施設の放射線業務従事者の均等被ばく及び不均等被ばく状況について、前述の(a)と同様の文献及び聞き取り調査を中心に検討を行った。

加速器施設における放射線業務には、主たるものとして、①実験・研究に伴う放射線作業、②加速器機器のメンテナンス、③施設内外の放射線管理及び④放射化物の管理等に分類でき、それぞれの業務についての被ばく状況について考察した。

①実験・研究に伴う放射線作業は、加速器施設の主たる利用者である教官、研究員、学生等によって実施されることが中心である。これらは、加速器ターゲットから照射される放射線を利用する、またはターゲット自体に被照射物を設置する等が含まれる。

ターゲットからある程度距離がある位置で検出器等を設置する、核反応断面積等測定を実施する場合、照射室等管理区域内の被ばく源となるターゲット近傍まで近づくことはまれである。このような利用の場合、加速器利用者は加速器運転中に照射室等に滞在することはない。しかしながら、RI製造等の目的でターゲットをハンドリングする研究者は、放射化により生成した放射性物質をハンドリングすることになり、ターゲット自体が被ばく源として特定される。

同様に、②加速器機器のメンテナンスについて、加速器の種類、形状、運転状況により、非常に多岐にわたるため類型化は困難である。また、運転中は人員の立ち入りを制限することで放射性同位元素等の許可を取っている加速器の場合、放射線防護上の工学的な対策が十分とられており、通常作業における放射線被ばくは生じない。メンテナンス時に生じうる被ばくについては、運転直後に管理区域に入室しバルブ操作を行う、樹脂等の消耗交換を行う、等が挙げられる。

③施設内外の放射線管理についても、十分に遮へいがなされた施設からの漏えい線量率の測定、管理区域出入口における放射線業務従事者及び管理区域からの搬出物品の汚染検査、加速器施設周辺環境の漏えい線量率の測定等がある。

④放射化物の管理等については、③に記載した定常的な放射線管理に含まれる部分も大きい。これは、保管中の再使用放射化物について放射性物質等の規制に関する法律（以下、「RI等規制法」という。）で放射化物保管庫等での適切な管理が求められているためである。一方で、再使用放射化物の加工を行う場合は、放射化に伴う放射性

物質の飛散が生じる可能性があり、内部被ばく測定の対象ともなりうる。このような作業はむしろ加速器メンテナンスに伴う作業に分類できるかもしれない。

上述の①～④の放射線作業における被ばく状況について後述のD. 考察 (b) で考察を進めた。

なお、加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者の被ばく源となりうる放射性物質についての考察は、後述のD. 考察 (b) でも簡単に触れる。

(c) 加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価

加速器施設において放射線業務従事者が

実際に遭遇する放射線作業について、簡易物理ファントムに線量計を取り付け、体幹部で受ける被ばく線量に対して、眼の水晶体及び手指部の等価線量がどの程度になるか測定により求めた。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き同時に、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する。

フィールド試験は、簡易物理ファントムの各所に OSL 線量計を取り付けて行った。フィールド試験は、京都大学複合原子力研究所ライナック施設において実施した。当該施設における放射線業務従事者が放射線

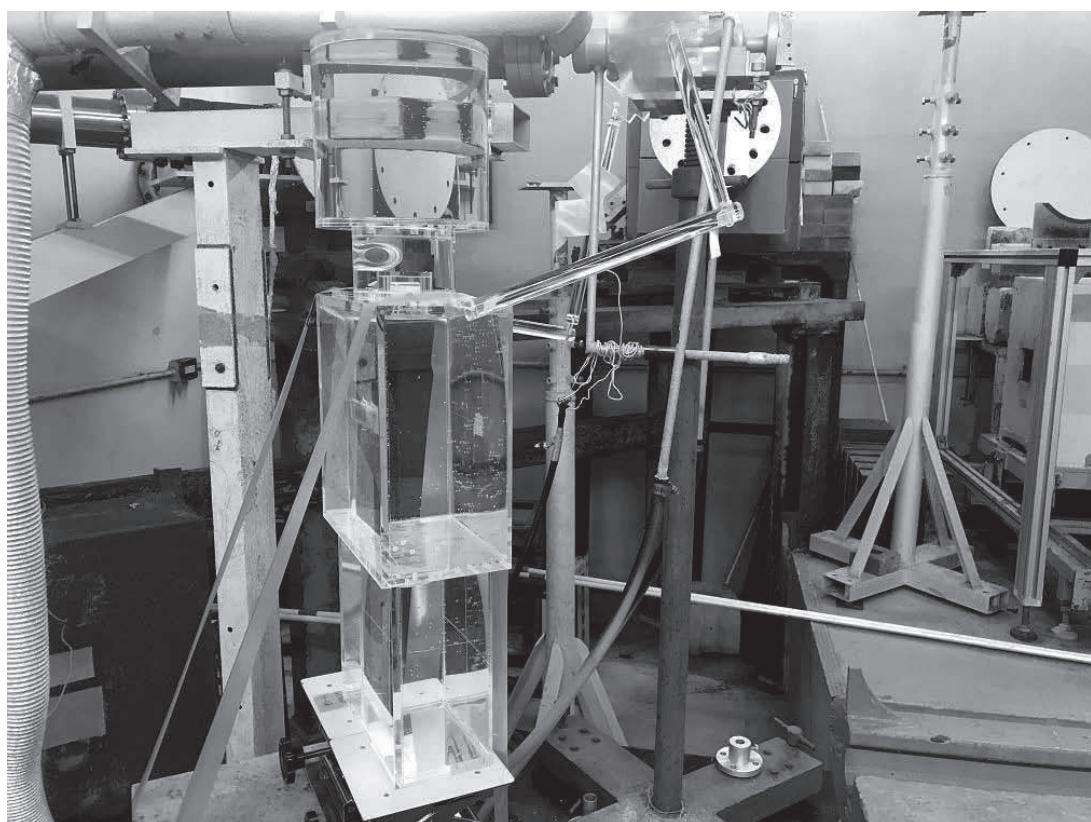


図2 京都大学複合原子力研究所ライナック施設におけるフィールド試験の様子

(簡易物理ファントムに試作した OSL 線量計を取り付け、作業環境に設置。
ビームコンバーター調整及び交換作業を模擬)

作業時従事する作業環境は、主に加速器運転時に生じる放射化生成物からの β 線及び γ 線からの被ばくが中心となる作業環境である。なお、本研究では眼の水晶体及び手指部等価線量を外部被ばくによる線量評価のみを対象としている。

図2及び図3では京都大学複合原子力研究所ライナック施設で実施したフィールド試験の様子を示す。簡易物理ファントムは腹部まで準備しており、平均身長の日本人男性が作業する体勢に合わせた高さに設置するため、台座を用いて簡易物理ファントム全体の高さを調整した。線源としては、図2中央上部（図3中の右上部）に簡易物理ファントムの両手を固定したコンバーター（内部にPt製ターゲットが格納されており、加速器からの電子線を γ 線に変換し、RI製造等の実験に供する）であり、コンバーター及びターゲットに残留する放射性物質からの γ 線になる。さらに当該施設は運用開始から長期間経過しており、周辺のコンクリート壁にも放射化生成物が残留しており、それらも被ばく源となる。

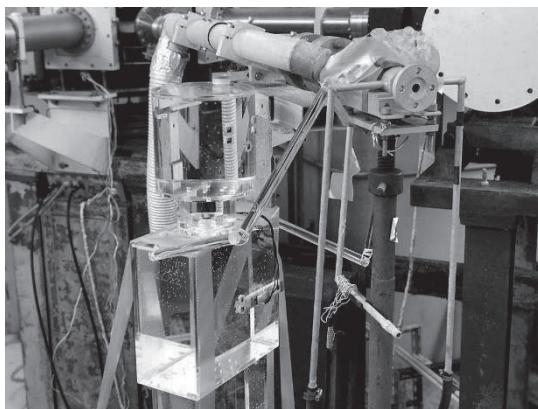


図3 京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験の様子（別角度から）

図2及び図3に示す通り簡易物理ファントムには、頭部及び手指部にOSL線量計を取り付け、体幹部で受ける個人線量当量に加え、眼の水晶体及び手指部の線量当量の追加モニタリングを行った。さらに、簡易物理ファントムを設置した作業環境についてCZT検出器（Kromek社製：GR-1）を用いて γ 線スペクトル測定を実施するとともに、作業環境モニタリングも実施し、1cm周辺線量当量率($H^*(10)$)で、約100 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ であった。

簡易物理ファントムは約18時間設置し、簡易物理ファントム各所に設置したOSL線量計を回収した後指示値を読み、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比を評価した。

京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験で得られた体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比を表3に示す。線量比は、OSL線量計指示値の比率で求められており、OSL線量計指示値を用いた比率が、個人線量当量の比と一致することは、著者らの研究グループで行った計算シミュレーション及び基準 γ 線校正場での測定により既に確認済みである。

表3 京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験で得られた、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比（ビームコンバーター近傍）

	HI _{eye} 又は HI _{ext}
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$	3.09 ± 0.09
手指部 / 体幹部 $H_p(0.07)_{\text{ext}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$	23.2 ± 0.63



図4 京都大学複合原子力研究所ライナック施設におけるフィールド試験の様子
(中性子発生用 Ta ターゲットハンドリングを模擬)

京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験の放射線作業環境では、ビームコンバーターからの「体積線源からの不均等被ばく」状況が想定された。特に、ビームコンバーターにおけるビーム調整作業を模擬し、手指部を放射線源であるビームコンバーターに接触させ、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量を評価した。この被ばく状況では、眼の水晶体/体幹部線量の比が 3.09 ± 0.09 、手指部/体幹部線量の比が 23.2 ± 0.63 となった。この放射線作業環境において現行の個人モニタリングにおける眼の水晶体等価線量の推定手法である、「体幹部で測定された 1cm 及び $70 \mu\text{m}$ 線量当量のうちいずれか適切な方を、眼の水晶体線量の推定値とする」推定方法に従うとする場合、1cm 線量当量

を眼の水晶体線量の推定値とするが、その場合実際に受けた線量より 3 倍以上小さく評価することが分かった。体幹部に装着した電子式個人線量計から指示値では、1cm 個人線量当量が 1.414 mSv と評価されており、上記の評価で用いた右眼位置に取り付けた OSL 線量計から得られた線量は、 $4.32 \pm 0.06 \text{ mSv}$ であった。なお、京都大学複合原子力研究所ライナック施設担当者から、「本作業は長時間であっても 1 分程度しか実施しない」とのことである。

図4には、同ライナック施設における別の放射線作業を模擬したフィールド試験の様子を示す。この試験では図3に示したビームコンバーターを中性子発生用の Ta ターゲットに取り換えるため放射化したターゲットを冷却用の遮へい体から取り出す際

の状況を模擬した。

京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験で得られた体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比を表4に示す。表4で示した京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験の放射線作業では、放射化した Ta ターゲットのハンドリング、という「点線源からの不均等被ばく」状況を想定して簡易物理ファントムを設置した。ターゲットから 1 m 位置での 1cm 線量当量率を電離箱式線量当量率計によって測定し、約 $600 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であった。簡易物理ファントムは 2 時間設置し、簡易物理ファントム各所に設置した OSL 線量計を回収した後指示値を読み、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比を評価した。

表4 京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験で得られた、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比 (Ta ターゲットハンドリング)

HI ^{eye} 又は HI ^{ext}	
眼の水晶体 / 体幹部 $H_p(3)\text{eye} / H_p(10)\text{trunk}$	0.42 ± 0.02
手指部 / 体幹部 $H_p(0.07)\text{ext} / H_p(10)\text{trunk}$	72.2 ± 1.4

この被ばく状況では、眼の水晶体/体幹部線量の比が 0.42 ± 0.02 、手指部/体幹部線量の比が 72.7 ± 1.4 となった。(なお、手指部については最大の指示値が得られた右手指に取り付けた OSL 線量計の指示値で評価した結果を記載している。) この放射線作業環境においては、試験開始前から不均等な被ばく状況を再現すると想定したが、想定通り「不均等」な被ばく状況を示した。

体幹部に装着した電子式ポケット線量計の指示値は、1cm 個人線量当量で 2.705 mSv であり、この場合は眼の水晶体等価線量を過大に評価する。

D. 考察

(a) 加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が被る被ばく形態に関する検討

本研究において、加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が、外部及び内部被ばくのいずれを優位に被るのか見当を進めた。文献[7]-[11]によると、定期的にターゲット容器交換作業時の放射線管理に関する報告が記載されている。当該作業の放射線管理を担当した日本原子力研究開発機構 J-PARC センター放射線管理担当者へ聞き取り調査を行った。聞き取り調査の結果、原子力分野と同様に J-PARC でも、メンテナンス、施設又は物品の解体撤去、除染及び核燃料製造・取扱い過程での放射線作業を「特殊な被ばくが生じうる放射線作業」と位置づけ、日常的に行われる加速器メンテナンスと明確に区別しており、そのための特別な放射線防護対策を行っている。本研究で取り上げた J-PARC 物質・生命科学実験施設におけるターゲット容器交換についても、内部被ばくが生じうる特別な放射線作業に位置づけられている。本作業では放射化機器取扱室（ホットセル）に中性子源となる水銀ターゲットの容器を定期的に交換するもので、主にトリチウムの内部被ばくが放射線防護の対象となっている。そのため、セル内に入室し室内を除染する作業者については、エアラインスーツにアノラックを着用する重装備での放射線作業が求められる。一方で、セル内部の線

量当量率は $25 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 程度以下に低減した状態で入室して作業を行う対策が徹底されており、結果として生じる外部被ばくの線量も年間で 0.1 mSv 未満に抑えられている、とのことであった。

上述 C. 研究結果 (a) で示した通り、表 2 では、J-PARC における放射線業務従事者の総数、年度ごとの年間集団線量及び年度ごとの一人当たり線量をまとめたものである[7]-[11]。また、各年度で放射線業務従事者の被ばく線量分布が示されているが、記録がある 2011 年度以降 2017 年度まで、全放射線業務従事者の 95%以上は被ばく線量が 0.1 mSv 未満と記録されている。J-PARC における放射線作業は今後も大きな変化は予想されてない。この点から、引き続き一人当たり線量が年間 0.1 mSv を超えることはないと予想される。

当該放射線業務従事者の被ばく状況が均等被ばくか不均等被ばくによって眼の水晶体の等価線量の推定値は異なる。均等被ばく状況の場合、体幹部から考慮される眼の水晶体等価線量は、最大で 2 倍程度を見込むことが考慮されるため、この場合 6.0 mSv となり、5 年間平均で一年あたり 20 mSv を超えないという新しい年間被ばく限度を十分に下回る。一方、不均等被ばくが生じうる場合、体幹部で受ける被ばくに対し、頭頸部（特に眼の近傍）でどの程度強調されるのかについて文献[7]及び聞き取り調査からは、詳細について十分な情報は得られなかった。

小規模加速器施設の代表として、京都大学複合原子力研究所ライナック施設における放射線業務従事者の被ばく状況について聞き取り調査を実施した。調査の結果、放射線作業の状況及び作業環境中の空气中放

射能濃度等から計算評価を行い、内部被ばく線量の測定は原則実施しない、とのことであった。また、内部被ばく線量測定については、放射線事故等が生じない限り対外計測等は実施しないとのことであった。

以上の考察から、加速器施設における放射線業務従事者が被る被ばく形態は、定常的な放射線作業については、施設の規模に関わらず外部被ばくが優位となることが明らかとなった。原子力分野における施設と同様に、加速器施設でも特定の放射線作業以外については内部被ばくの懸念はなく、体幹部に装着した線量計による個人被ばくモニタリングで適切な個人被ばく管理が可能であると示唆される。ただし、J-PARC における放射線業務従事者の場合は、ターゲット容器交換等で、すでに内部被ばくの恐れがある放射線作業として位置づけられており、それらについては適切な放射線防護対策が取られていることも文献及び聞き取り調査により明らかとなった。

(b) 加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況に関する検討

本研究では、加速器施設における放射線業務従事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 中では、追加モニタリング要否も含め、場合分けに応じた適切な線量当量と線量計による個人モニタリング手法が提案されている [12]。IAEA TECDOC-1731 によると、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 [12]。本項において、加速器施設の放射線業務従事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、加速器施設における放射線業務従事者の場合、 β 線及び γ 線が主たる被ばく源となる。しかしながら、加速器施設は規模、利用の目的、加速器の種類、ターゲット、照射するビームの種類及びエネルギー等により放射化により生成する放射性物質が非常に多岐にわたり、類型化は困難を極める。本研究における令和元年度の調査では、特に眼の水晶体の等価線量の妥当な評価に資することに注目すると、1. 定常的な放射線作業に従事する放射線業務従事者は運転中の照射室、線量当量率の高い管理区域には入室しないこと、2. 内部被ばくが生じうる特殊な放射線作業については文献[7]-[11]及び聞き取り調査でも明らかとなったが、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こと、及び3. いずれの加速器施設でも生じうる核種、例えば冷却水中の ^{15}O 及び空気中の ^{41}Ar は短寿命核種であることを考慮すると、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。

この点から、(A) 放射線のエネルギーと入射方向のうち、加速器施設における放射線業務従事者が被ばくする放射線のエネルギーについては、 γ 線について考慮すべきである。しかしながら、 γ 線エネルギーについては、個別の調査等がなされるべきである。なお、加速器施設における放射線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 0.27 cm (0.735 MeV ^{15}O)、約 0.71 cm (1.566 MeV ^{42}K)）、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、放射化生成物を含んだ塵埃等が飛び散るような作業にあっては、多くの場合内部被ばくが生じうる放射線作業として全面マスクの着用が求められる。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。

(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、加速器施設に限らず放射線業務従事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、①実験・研究に伴う放射線作業、②加速器機器のメンテナンス、③施設内外の放射線管理及び④放射化物の管理等に分類でき、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。



図5 均等被ばく状況を模擬する回転照射ジオメトリ(ROT geometry) [13] の模式図

上述①～④のうち、定常的な作業に位置づけられている放射線作業は、屋内の作業がほとんどであるが、線源からも距離があり平坦な床上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、①ビームホール、照射室等で実験設備の設営、計測等の実験・研究に伴う作業、③放射化物等による汚染がほとんどない場所での放射線管理業務全般、④再使用放射化物の定期点検等があげられる。この場合、被ばく源となる放射化生成物はほとんど存在せず、加速器ターゲットから距離を取っているが、放射線業務従事者は加速器ターゲットと同じ高さに立っていると考察される。この場合、側方に線源から全身を一様に被ばくする状況が考慮され、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、図5に示す回転照射ジオメトリとなる。



図6 均等被ばく状況を模擬する等方照射ジオメトリ(ISO geometry) [13] の模式図

②加速器メンテナンス作業の場合、多くの場合は上述の回転照射ジオメトリによる均等被ばく状況に位置づけられると考えられる。しかしながら文献[7]-[11]で示された放射化により生成した放射性物質の環境への飛散を防止するために設置された気密室（ホットセルと呼ばれる）に入室し、室内の除染を行い場合、室内の壁面、床、天井に放射性物質が沈着している。

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、図6に示す等方照射（ISO照射）ジオメトリが最もよく模擬できる。

また、②加速器メンテナンス作業に限らず、被ばく源となる対象をハンドリングするような状況では、被ばく源からの β 線及び γ 線の強度分布が実効的に制限され、「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。これらに含まれないものとして、体積線源又は点線源を直接ハンドリングする作業が挙げられる。例えば、加速器施設における放射化されたビームライン機器の点検作業、加速器施設における放射化された冷却水精製樹脂の点検作業のような作業は不均等被ばく状況での放射線作業と位置付けられ、著者らのグループでは評価を行っている[14]。また、前述の通り、本研究では、上記以外の事例として小規模加速器施設における不均等被ばく状況における放射線作業を模擬し、フィ

ールド試験を行っている。

また、加速器施設によっては壁面が放射化している場合もある。大量の放射化物が保管された再使用放射化物保管庫の場合は、保管されている放射化物が面状の線源として取り扱われるケースが生じる。このような被ばく源の近傍で作業に従事する放射線業務従事者は、一方向からのみ放射線にばく露されるケースが発生し、その場合は不均等被ばく状況として取り扱われるべきである。

上記のように、面状線源及び体積線源からの被ばく状況を特定し、適切な放射線作業を考慮することで、合理的な放射線防護施策が達成でき、結果として適切な眼の水晶体の等価線量の評価にもつながるといえる。

(c) 加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価

本項では、加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況について、不均等被ばく条件での放射線業務従事者が受ける体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比につ

いての評価を進めた。

放射線作業環境下でのフィールド試験は、簡易物理ファントムに OSL 線量計を取り付け、体幹部で得られる線量当量に対する眼の水晶体及び手指部線量当量の相関を評価することを目的とした。フィールド試験は、京都大学複合原子力研究所ライナック施設において行った。対象とした放射線作業は、主に加速器利用時に発生する作業で、加速器運転に伴い生じる放射化生成物からの γ 線からの被ばくが中心となる作業環境である。

前項C. 研究結果で記載した通り、フィールド試験では、加速器施設における放射線業務従事者の被ばくと、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量についての相間に着目した。今年度の試験で模擬した放射線作業は、

- (a) 加速器施設における放射化したビームライン機器の調整作業
 - (b) 加速器施設における放射化したターゲットのハンドリング作業
- といういずれも不均等被ばく状況であり、上記の作業について評価を行った。

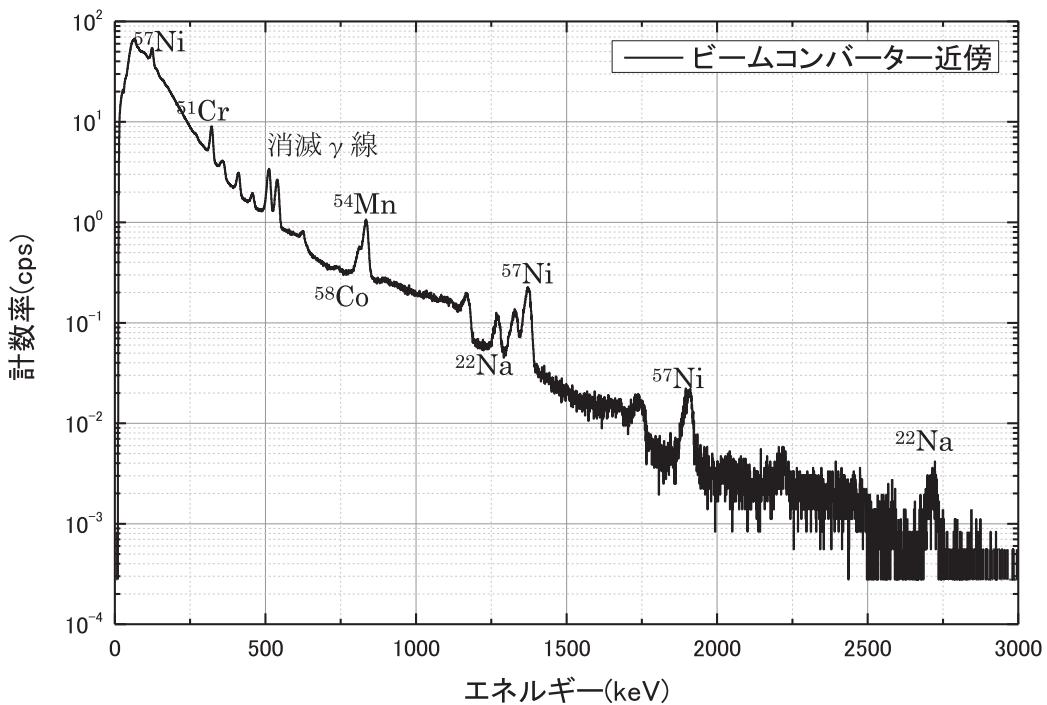


図 7 京都大学複合原子力研究所ライナック施設 Pt ビームコンバーター近傍で得られた CZT 検出器からの波高分布

図 7 では、京都大学複合原子力研究所ライナック施設におけるビームコンバーター近傍で得られた、CZT 検出器からの波高分布を示す。前掲図 2 及び図 3 で示した放射線作業時に、放射線業務従事者が受ける γ 線成分を推定するために取得した。得られた波高分布で観測された γ 線から、当該放射線作業時に被ばく源となる放射性物質の一部が特定できた。当該施設におけるビームコンバーター近傍で機器調整を行う場合の被ばく源となりうる放射性物質には、 ^{22}Na 、 ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 、 ^{57}Ni 、 ^{58}Co 等が観測された。これらはビームコンバーターの主構造物である、アルミニウム合金及びステンレスから生成した放射化物と考えられる。 ^{54}Mn は半減期が 300 日と長いものもあり、ビームコンバーターが長期間にわたって使用されている場合、主要な被ばく源となりうると考慮される。

表 5 では、同様に体幹部線量に対する眼の水晶体線量当量及び手指で得られた等価線量の比について左右差を加味して評価した。同表では OSL 線量計からの読み値の比率に加え、線源であるビームコンバーター中央から、体幹部、眼の水晶体及び手指部の距離の違いを考慮して距離の逆二乗則に基づく、体幹部線量に対するそれぞれの位置で評価される線量比の推定値を表示している。OSL 線量計の測定結果から得られた体幹部線量に対する眼の水晶体線量当量及び手指部の線量当量について有意な差が生じている。特に眼の水晶体線量当量の比についていうと、設置したファントムの左右の眼球からビームコンバーターまでの距離は約 2 cm 程度異なっており、ビームコンバーターにより近接した左眼部分で OSL 線量計の指示値が大きくなつた。手指部についても同様で、ビームコンバーターへファ

表5 京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験で得られた、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比（ビームコンバーター近傍）。眼の水晶体及び手指部について左右別に評価。

	H _{eye} 又は H _{ext}	距離の逆二乗則から推定した比率
右眼の水晶体 / 体幹部 H _{p(3)eye} / H _{p(10)trunk}	3.09 ± 0.09	5.67
左眼の水晶体 / 体幹部 H _{p(3)eye} / H _{p(10)trunk}	4.62 ± 0.09	6.93
右手指部 / 体幹部 H _{p(0.07)ext} / H _{p(10)trunk}	23.2 ± 0.63	149
左手指部 / 体幹部 H _{p(0.07)ext} / H _{p(10)trunk}	20.7 ± 0.5	149

ントム手指部を固定する際に、右手ファンтомの上に左手ファンтомを重ねて固定した。その分右手及び左手の距離に差異が生じており、観測された OSL 線量計の指示値はその際を反映していると考えられる。距離の逆二乗則に基づく体幹部線量と眼の水晶体線量当量及び手指部線量当量の比の推定値は異なっている。眼の水晶体等価線量については、おおむね 1.5~2 倍以内の範囲の差異にとどまっているが、手指部の線量当量では約 6 倍以上も過大に評価することとなり、被ばく源であるビームコンバーターは体積線源であるため点線源近似に基づく距離の逆二乗則からの眼の水晶体線量の推定にはずれが生じている。これはビームコンバーターと被ばく線量を評価する体幹部、眼の水晶体近傍及び手指部が近接しすぎており体積線源であるビームコンバーターの点線源近似が成立しないことに起因していると考えられる。

図8では、京都大学複合原子力研究所ライナック施設において中性子発生用 Ta ターゲット近傍で得られた、CZT 検出器からの波高分布を示す。前掲図4で示した Ta ターゲットハンドリングに伴う放射線作業

時に、放射線業務従事者が受ける γ 線成分を推定するために取得した。図7における評価と同様に得られた波高分布で観測された γ 線から、当該放射線作業時に被ばく源となる放射性物質が ^{182}Ta であると特定できた。 ^{182}Ta は半減期が 115 日と長く β 線放出核種でもある。 β 線のエネルギーは 158 keV 程度であり、素手で直接当該放射性物質に触れない限り手指部の皮膚への被ばくのおそれはない。さらに、当該施設における Ta ターゲットは銅製のターゲット容器に内蔵されており、被ばく源としては γ 線源として考慮してよい。

表6では、同様に体幹部線量に対する眼の水晶体線量当量及び手指で得られた等価線量の比について左右差を加味して評価した。表5と同様に、表6においても OSL 線量計からの読み値の比率に加え、線源である Ta ターゲットから、体幹部、眼の水晶体及び手指部の距離の違いを考慮して距離の逆二乗則に基づく、体幹部線量に対するそれぞれの位置で評価される線量比を推定した。OSL 線量計の測定結果から得られた体幹部線量に対する眼の水晶体線量当量については大きな差異は生じていないが、手指

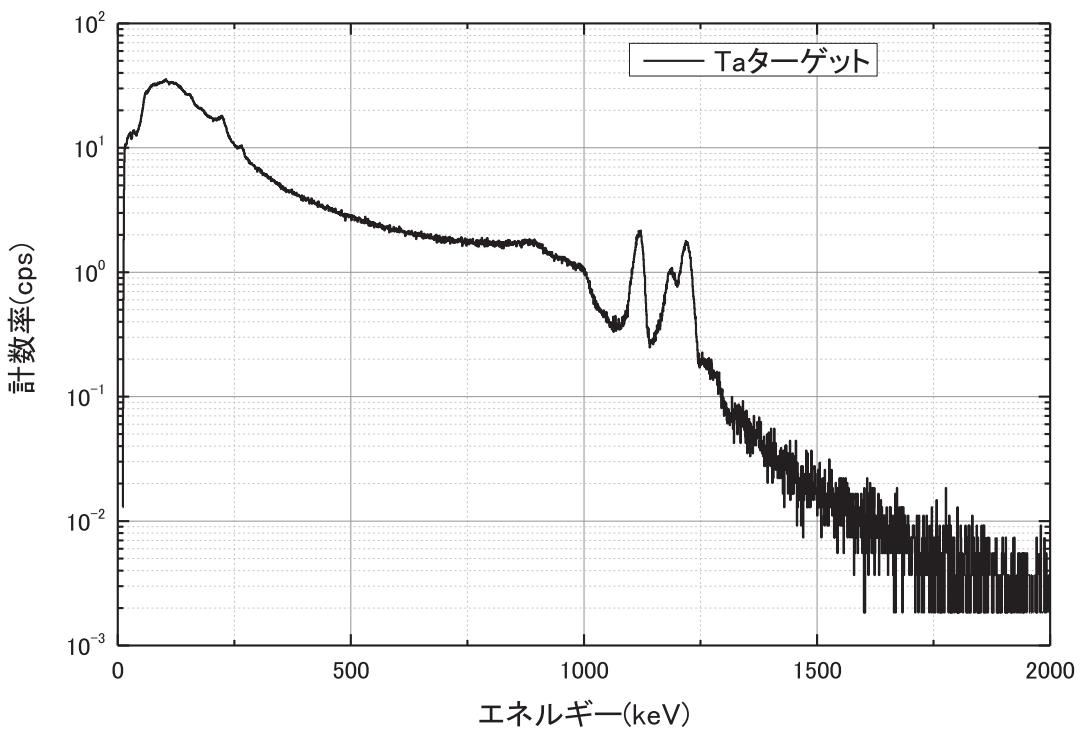


図8 京都大学複合原子力研究所ライナック施設 Ta ターゲットハンドリング作業を模擬した作業環境で得られた CZT 検出器からの波高分布

表6 京都大学複合原子力研究所ライナック施設でのフィールド試験で得られた、体幹部線量に対する眼の水晶体及び手指部線量の比（ビームコンバーター近傍）。眼の水晶体及び手指部について左右別に評価。

	$H_{\text{eye}}^{\text{eye}}$ 又は $H_{\text{ext}}^{\text{ext}}$	距離の逆二乗則から推定した比率
右眼の水晶体 / 体幹部 $H_{\text{p}}(3)_{\text{eye}} / H_{\text{p}}(10)_{\text{trunk}}$	0.42 ± 0.02	0.39
左眼の水晶体 / 体幹部 $H_{\text{p}}(3)_{\text{eye}} / H_{\text{p}}(10)_{\text{trunk}}$	0.37 ± 0.02	0.39
右手手指部 / 体幹部 $H_{\text{p}}(0.07)_{\text{ext}} / H_{\text{p}}(10)_{\text{trunk}}$	72.2 ± 1.4	100
左手手指部 / 体幹部 $H_{\text{p}}(0.07)_{\text{ext}} / H_{\text{p}}(10)_{\text{trunk}}$	0.74 ± 0.02	1.56

部の線量当量については明確な差異が生じている。これは、Ta ターゲットを遮へいから引き出す際に、線源である Ta ターゲットは右手側に近接し、左手は Ta ターゲット管に取り付けられた冷却水循環用ベローズ管を保持する位置にあるという、距離の差異

に起因するものと考えられる。距離の逆二乗則に基づく体幹部線量と眼の水晶体線量当量の比の推定値は、OSL 線量計の読み値から得られた比率と不確かさの範囲内で一致している。体幹部線量に対する手指部線量当量の比の推定値は異なっているがおお

むね 1.5~2 倍以内の範囲の差異にとどまっている。手指部線量当量の比について左右の比率を評価すると、左手指の線量当量に対する右手指の線量当量は、OSL 線量計の指示値で約 100 倍、距離の逆二乗則に基づく推定値からは約 64 倍となった。この不均等被ばく状況における被ばく源は Ta ターゲットであり、前述のビームコンバーターと比較して小さく、点線源とみなせるため、距離の逆二乗則に基づく推定値が良く一致したものと考えられる。ヘファントム手指部を固定する際に、右手ファントムの上に左手ファントムを重ねて固定した。その分右手及び左手の距離に差異が生じており、観測された OSL 線量計の指示値はその際を反映していると考えられる。

E. 結論及び今後の課題

本調査の最終目的は、放射線業務従事者のうち、加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者について、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を確立することにある。目的の達成のため、研究期間 3か年内のうち本事業二年度にあたる令和元年度では、加速器施設における放射線業務従事者について、以下に示す (a)、(b) 及び (c) の 3 テーマの検討を並行して進めた。

(a) 加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が被る被ばく形態に関する検討

(b) 加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況に関する検討

(c) 加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価

本研究において、令和元年度は、(a) 加速器施設で放射線作業に従事する放射線業務従事者が被る被ばく形態に関する検討、及び (b) 加速器施設の放射線業務従事者の被ばく状況に関する検討について、大規模加速器施設である J-PARC 及び小規模加速器施設である京都大学複合原子力研究所ライナック施設での事例について文献及び聞き取り調査により検討を進めた。

(c) 加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価については、上記の項目についての評価を終えたのち、分担研究者らが考案した人体模擬ファントムを放射線作業が実施される作業環境に設置し、ファントム各所に線量計を取り付けて指示値を読む実験を行うことで評価を進めた。

以下では今年度得られた結論について簡潔に述べる。

(a) 及び (b) について、加速器施設の放射線業務従事者が従事する具体的な放射線作業について、文献調査及び聞き取り調査を行い、放射線業務従事者が受ける放射線被ばくの形態及び被ばく状況に評価した。

その結果、施設の規模に関わらず、加速器施設の放射線業務従事者は、

1. ほとんどの放射線作業について内部被ばくは生じず、外部被ばくが支配的である。

2. 定常的な放射線作業においては、ほとんどの場合均等被ばく状況にカテゴライズされる。

ことが分かった。

加速器施設における放射線業務従事者の内部被ばくについては、文献[7]「J-PARC 放射線管理年報(2011 年度)」によると、「内

部被ばく線量測定の対象とならなかつた者について、有意な内部被ばくがなかつたことを確認するため、各施設の代表者に対して確認検査を実施した。確認検査は、バイオアッセイ法(尿サンプルのトリチウム、全β線測定)を15人(80件)、体外計測法(ホールボディカウンタによるγ線測定)を15人(56件)実施した。検査の結果、有意な内部被ばく線量を超えるおそれのある者はいなかつた。」とのことであった[7]。以降の年度も同様であり、大規模加速器施設であるJ-PARCにおける放射線業務従事者については被ばく線量に寄与する被ばく形態は外部被ばくであることが明らかとなつた。小規模加速器施設である京都大学複合原子力研究所ライナック施設についても聞き取り調査を行い、作業状況及び作業環境中の空气中放射能濃度等から計算評価で内部被ばく線量を推定し、有意な被ばくがないとのことであった。

加速器施設における放射線業務従事者の外部被ばくの状況について、各作業の被ばく状況を文献及び聞き取り調査を行つて特定した。加速器施設における放射線業務には、主たるものとして、①実験・研究に伴う放射線作業、②加速器機器のメンテナンス、③施設内外の放射線管理及び④放射化物の管理等に分類でき、それぞれの業務についての被ばく状況について考察した。

上述①～④のうち、定常的な作業に位置づけられている放射線作業は、屋内の作業がほとんどであるが、線源からも距離があり平坦な床上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、①ビームホール、照射室等で実験設備の設営、計測等の実験・研究に伴う作業、③放射化物等による汚染がほとんどない場所で

の放射線管理業務全般、④再使用放射化物の定期点検等があげられる。この場合、被ばく源となる放射化生成物はほとんど存在せず、加速器ターゲットから距離を取つてゐるが、放射線業務従事者は加速器ターゲットと同じ高さに立つてゐると考察される。この場合、側方に線源から全身を一様に被ばくする状況が考慮され、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、図5に示す回転照射ジオメトリとなる。一方、セル内除染等の特殊な作業を行う放射線業務従事者の被ばく状況は、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状況を反映しているといえる。

また、②加速器メンテナンス作業に限らず、被ばく源となる対象をハンドリングするような状況では、被ばく源からのβ線及びγ線の強度分布が実効的に制限され、「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。体積線源又は点線源に比せられる放射化生成物を直接ハンドリングする放射線作業、例えば、加速器施設における放射化されたビームライン機器の点検作業、加速器施設における放射化された冷却水精製樹脂の点検作業のような作業は不均等被ばく状況での放射線作業と位置付けられるため、別途評価が必要である。

(c) では、本項では、加速器施設における放射線業務従事者の被ばく状況について、不均等被ばく状況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等価線

量の比に着目し、評価を行った。本研究では、実際に放射線作業環境下に簡易物理ファンтомに OSL 線量計を取り付けて設置し、体幹部で得られる線量当量に対する眼の水晶体及び手指部線量当量の相関を得た。本フィールド試験については、小規模加速器施設である京都大学複合原子力研究所ライナック施設において行った。対象とした放射線作業は、主に加速器利用時に発生する作業で、加速器運転に伴い生じる放射化生成物からの γ 線からの被ばくが中心となる作業環境である。

京都大学複合原子力研究所ライナック施設におけるビームコンバーター近傍でえられた体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は、加速器施設において観測された 0.10 ~ 3.00 MeV の γ 線に対して、 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$ は約 3 と、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、眼の水晶体等価線量を 1/3 に過小評価することになる。一方で、中性子発生用 Ta ターゲットハンドリングを模擬した不均等被ばく状況の場合、体幹部線量に対する眼の水晶体線量の比は約 1.2 MeV の γ 線に対し、 $H_p(3)_{\text{eye}} / H_p(10)_{\text{trunk}}$ は約 0.4 と、1 より小さく見積もられた。これらの数字は ICRP27 で示された均等被ばく状況での均等度である 1/1.5 倍~1.5 倍[14]の範囲を超えており、不均等被ばく状況の放射線作業の典型であるといえる。いずれの場合においても $H_p(10)_{\text{trunk}}$ 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過大または過小評価す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）、又は加速器施設の運営主体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、放射線業務従事者に対し追加線量計を眼の近傍に設置する、より厳重な計画線量で放射線作業を管理する等の対策が必要となる。

また、今後の課題として次のようなことが挙げられる。

(1) 種々の加速器施設における放射線業務従事者の被ばく状況調査

本年度は特に大規模加速器施設である J-PARC 及び小規模な電子線加速器施設における放射線業務従事者の被ばく形態及び被ばく状況について文献及び聞き取り調査を実施した。小規模加速器施設については放射線管理の取組みも施設の規模に合わせて特徴的なものを導入していることが予想されるため、引き続き文献及び聞き取り調査を進める。今年度の研究からも、不均等被ばく状況の場合、放射線業務従事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観点から、網羅的に調査を進める必要がある。

(2) 加速器施設における放射線業務従事者の被ばく源となる線源

本研究では、京都大学複合原子力研究所ライナック施設における放射線業務従事者の放射線作業について、CZT 検出器を用いて作業環境における被ばく源となる放射性核種の同定を行った。その結果、加速器運転に伴い発生する放射化生成物のうち残留する放射性物質が被ばく源となることが明らかとなった。分担研究者らが以前実施し

た加速器施設における研究でも、加速器運転に伴い生じる放射性廃棄物中の ^{54}Mn 除去時に放射線業務従事者が不均等被ばくを被る事例を評価している[15]。加速器施設における被ばく源となる放射性物質についてある程度支配的なものを調査し類型化することで、後述の予測を容易なものにすることが期待される。

(3) 加速器施設における放射線業務従事者の体幹部線量からの眼の水晶体の組織等価線量の予測

本研究では、加速器施設の放射線業務従事者の体幹部線量に対する眼の水晶体被ばく線量の比についての評価を実験的に行った。加速器施設においても、被ばく源となる放射線源及び被ばく状況が明らかとなることで、放射線業務従事者の被ばくの不均等の度合いは、分担研究者らが別途整備した計算シミュレーションを用いた手法で評価を行うことができる [15]。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

I. 引用文献

- [1] 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追加報告 (I) —わが国における水晶体線量評価に関する研究と原子力発電所の線量管理の現状— Jpn. J. Health Phys., 50 (4), 249 - 256 (2015).
- [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 2nd March 2020.

[6] 放射線審議会, 147-1-7-1 号 : 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則等の規定に基づく眼の水晶体の等価線量限度に関する基準の策定について（諮問）（原子力規制委員会諮問文書）

<https://www.nsr.go.jp/data/000295277.pdf>. Available on 2nd March 2020.

[7] J-PARC 放射線管理年報(2011 年度), KEK Internal 2012-7; JAEA-Review 2012-050.

[8] J-PARC 安全管理年報 (2014 年度) KEK Internal 2015-5, JAEA-Review 2015-038.

[9] J-PARC 安全管理年報 (2015 年度) KEK Internal 2016-12, JAEA-Review 2016-032.

[10] J-PARC 安全管理年報 (2016 年度) KEK Internal 2017-009, JAEA-Review 2017-033.

[11] J-PARC 安全管理年報 (2017 年度), KEK Internal 2018-007, JAEA-Review 2018-030.

[12] International Atomic Energy Agency (IAEA). implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye. IAEA-TECDOC-1731. (2013), ISBN 978-92-0-115213-8.

[13] International Commission on Radiation Protection. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26(3-4) (1996).

[14] ICRP, 1997. General Principles for the Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 75. Ann. ICRP 27 (1).

[15] 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.

II. 分担研究報告（調査報告）

放射線業務従事者的眼の水晶体等価線量の線量計測 に用いる線量計校正に関する動向調査

分担研究者 古渡 意彦

（日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 主査）

調査要旨

本調査では、放射線業務従事者の水晶体等価線量算定に用いられる線量計の校正に関する国際規格の記載内容を中心に調査した。放射線防護及び線量計測については、国際間の規格を策定する機関には、大きく国際電気標準会議(IEC)と国際標準化機構(ISO)がある。本項では IEC 及び ISO で策定された規格で放射線防護及び線量計測に関連したものの中、放射線業務従事者的眼の水晶体被ばくに関連した規格に着目し、内容等について報告する。

ISO4037 series では、2019 年に最新版が発刊され、線量計が正しく動作するために必要な線量計の校正に関する要件があり、眼の追加モニタリングで評価される実用量とされる 3mm 線量当量の換算係数が追加された。

IEC IEC62387:2012 「X・ γ 線及び β 線用受動形個人及び環境線量計測装置」でも改訂が行われ、眼のモニタリングに使用される受動型個人線量計の技術仕様に係る要求事項が追記されている。

A. 調査目的

本調査は、放射線業務従事者的眼の水晶体及び手指等の末端部の被ばく線量の適切な評価に資するため、放射線業務従事者に対して実施されている個人モニタリングに關し、特に眼の水晶体等価線量算定に用いられる個人線量計に関して国際規格等でどのように要求されているかに着目し、調査を行ったものである。本稿では、眼の水晶体の被ばくは主に労働者の外部被ばくに起因して生じるとし、外部被ばくモニタリングに関連した研究を遂行する関係上、放射線業務従事者の外部被ばくモニタリングに関連して議論を進める。

労働者の放射線防護については、電離放射線防止規則第八条に事業者により、労働者である放射線業務従事者の受けた放射線の線量について測定義務が課されている。

「第八条 事業者は、放射線業務従事者、緊急作業に從事する労働者及び管理区域に一時的に立ち入る労働者の管理区域内において受ける外部被ばくによる線量及び内部被ばくによる線量を測定しなければならない。

2 前項の規定による外部被ばくによる線量の測定は、一センチメートル線量当量及び七十マイクロメートル線量当量（中性子線については、一センチメートル線量当量）

について行うものとする。ただし、次項の規定により、同項第三号に掲げる部位に放射線測定器を装着させて行う測定は、七マイクロメートル線量当量について行うものとする。」

放射線業務従事者の外部被ばく線量は、現行の法令では、実用量と呼ばれる単位で測定が求められており、この量は放射線業務従事者が装着する個人線量計を用いて測定される。測定により得られた線量の年間の積算値は、実効線量の推定値として、法令で定められた年間の線量限度を超えないよう、厳重に管理される。ここで問題となるのは、測定により得られた線量の測定値が、「正しい」値であるかどうかである。不正確な値、例えば実際よりも過小に評価された線量を積算した場合、実際には意図せずして年間の線量限度を超えていた、という事例も生じるため、労働者は不利益を被ることとなる。そのため、個人線量計は使用時に正確に動作することと同時に正しい値を指示することが必須となる。通常、個人の外部被ばくモニタリングは、現行法令のとおり、実用量と呼ばれる 1cm 線量当量または $70 \mu\text{m}$ 線量当量で行われており、適切な放射線防護を提供している。今後は令和 3 年度からの開始を目指として、特に眼の水晶体等価線量が強調される作業環境で放射線作業を行う放射線業務従事者に適切な線量評価を行えるよう、眼の水晶体等価線量の外部被ばくモニタリングのための 3mm 線量当量を再定義し、状況に応じてこの量で眼の水晶体被ばくのモニタリングを行うよう求めている。

眼の水晶体等価線量の妥当な推定値を与える 3mm 線量当量を適切に測定するため

に求められることは、個人線量計の適切な仕様であり、定期的な校正であり、また測定のトレーサビリティという概念である。上記すべては国際規格で定められており、国際規格の中では、個人線量計が有するべき仕様及び定期的な校正手法に加え、それらを試験する組織（校正機関、試験所等と呼称される）が具備すべき能力とその能力を実証するために満たすべき要求事項が具体的に決められている。

本稿では、特に眼の水晶体モニタリングに不可欠な線量計及びその校正手法に関連した国際規格について調査した。

B. 調査方法

本調査では、国際規格の記載内容及び規格の策定動向を中心に調査した。放射線防護及び線量計測については、国際間の規格を策定する機関には、大きく国際電気標準会議(IEC)と国際標準化機構(ISO)がある。本項では IEC 及び ISO で策定された規格で放射線防護及び線量計測に関連したものうち、放射線業務従事者の眼の水晶体被ばくに関連した規格に着目し、内容等について報告する。

併せて本研究班で用いられているガラス線量計についての仕様を文献により確認するとともに、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けるエネルギー特性試験の試験結果を紹介する。

C. 調査結果

本項では IEC 及び ISO で策定された規格で放射線防護及び線量計測に関連したものうち、特に放射線業務従事者の眼の水晶体被ばく評価に用いる個人線量計に関連し

た規格 2 点について紹介する。併せて、IEC 及び ISO の記載に基づいて個人線量計の応答特性を評価した。

1. 國際標準化機構(ISO)の動向

1. 2. ISO 4037 の改訂

「線量計・線量率計校正用及び光子エネルギー特性決定用参考 X 線・ γ 線」

ISO 4037-1:2019 (X 線・ γ 線標準発生方法)

ISO 4037-2:2019 (X 線・ γ 線標準構築手法・線量計測手法)

ISO 4037-3:2019 (X 線・ γ 線標準での線量計校正方法)

ISO 4037-4:2019 (低エネルギー光子標準)

いずれも 2020 年 3 月で改訂が完了し発刊されている。

ISO4037-3 には、線量計校正に用いる線量当量換算係数が掲載されている。さらに、線量計校正における推奨が記載されている。

(内容)

7 Particular procedures for personal dosimeters

(個人線量計に対する特別な手順)

7.3.1 Use of phantoms

2nd paragraph. 4th sentence.

(The cylinder phantom is a water filled hollow cylinder with PMMA walls and an outer diameter of 200 mm and a length of 200 mm. The cylinder walls and the end faces have a thickness of 5 mm.)

上記の通り、眼の水晶体モニタリング用線量計校正に供するシリンドーファントムの仕様が記載されている。これは、IAEA TECDOC 1731 ではアクリル製水槽円筒形ファントムでの眼の水晶体線量計校正が推奨されている点と一致している。

8 Conversion coefficients for personal

表 1 ISO4037-3:2019(p.43)から引用した 3mm 線量換算係数の例。X 線校正場に対応した換算係数

Table 41 — Recommended conversion coefficient $h_{pK}(3; N, \alpha)_{cyl}$ from air kerma, K_a , to the dose equivalent $H_p(3)$ for the cylinder phantom consisting of ICRU tissue

Radiation quality	$h_{pK}(3; N, \alpha)_{cyl}$ in Sv/Gy for a distance of 2,5 m and the angle of incidence, α , of						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
N-10	0,129	0,121	0,097	0,061	0,023 7	0,002 45	0,000 024 1
N-15	0,42	0,41	0,38	0,32	0,244	0,147	0,036
N-20	0,67	0,66	0,63	0,58	0,50	0,35	0,102
N-25	0,88	0,87	0,85	0,80	0,72	0,54	0,212
N-30	1,04	1,03	1,01	0,97	0,89	0,72	0,37
N-40	1,28	1,27	1,25	1,22	1,15	1,00	0,65
N-60	1,54	1,53	1,51	1,48	1,41	1,27	0,95
N-80	1,66	1,65	1,64	1,60	1,54	1,42	1,12
N-100	1,63	1,63	1,62	1,59	1,54	1,44	1,17
N-120	1,58	1,58	1,57	1,55	1,51	1,42	1,17
N-150	1,52	1,52	1,51	1,50	1,47	1,40	1,16
N-200	1,42	1,42	1,42	1,42	1,40	1,34	1,15
N-250	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,31	1,14
N-300	1,32	1,33	1,33	1,33	1,32	1,29	1,13
N-350	1,29	1,30	1,30	1,30	1,30	1,27	1,13
N-400	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,26	1,12

dosimetry

8.5 Conversion coefficients from air kerma, K_a , to $H_p(3)$ in the cylinder phantom

Table 39 ~ Table 45 まで眼の水晶体等価線量のモニタリングに用いられる個人線量計の校正及び特性試験で必要な実用量である 3mm 線量当量 ($H_p(3)$) 換算係数が掲載されている。表 1 では Table 41 を例示した。後述の IEC にも同様の値が掲載されており、校正施設における X 線校正場で測定された基準量 (空気カーマ, K_a) に 3mm 線量当量換算係数を乗じることで、追加作業なしで、放射線校正場の設定が可能であると考えられる。

2. 國際電氣標準會議(IEC)の動向

IEC62387:2012 の改訂

「X・ γ 線及び β 線用受動形個人及び環境線量計測装置」

Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation
2016 年 3 月に改訂決定。2020 年 3 月現在も改訂作業中。

本規格では、眼の水晶体被ばく線量モニタリング用線量計校正手法等の技術要件について追記される。

(内容)

(In addition, for the quantity $H_p(3)$, the cylinder phantom will be adopted instead of the slab phantom)

眼の水晶体の線量測定(3mm 線量当量、 $H_p(3)$)に関する個人線量計が具備すべき技術要件について記載されている。

Table 9 - Performance requirements for $H_p(3)$ dosimeters

Table 9 中の内容は、現行の $H_p(10)$ 用線量計 (OSL 線量計、ガラス線量計、TLD 線量計等) の規格要件と同じであるが、相対レスポンスの評価基準が異なっており、

Annex F Conversion coefficients $h_{pK}(3;\alpha)$, $h_{pK}(0.07;\alpha)$, and $h'_{pK}(0.07;\alpha)$ from air kerma, K_a , to the dose equivalent $H_p(3)$, $H_p(0.07)$, and $H'(0.07)$, respectively, for radiation qualities defined in ISO4037-1

Table F.1 及び Table F.2 については、眼の水晶体モニタリング用線量計校正に供する、ICRU 組織等価シリンダーファントムに対する 3mm 線量当量 ($H_p(3)$) への換算係数が掲載されている。この値は前掲の ISO4037-3:2019 と同一のものである。

D. 考察

本調査で得られた結果のうち、特筆すべき点について以下に述べる。

(1) 線量計及び線量計校正・特性試験に対する規格要件

線量計については、前述の通り正しく線量を指示するように、適切かつ定期的に校正がなされなければならない。線量計の校正には、高度な線量計測技術と精緻な線量評価手法を有する試験事業者によって行われなければならない、試験事業者が整備すべき放射線標準 (放射線校正場とも呼ばれる) の満たす要件について記載されているのが ISO 4037 series である。この一連の規格においても、3mm 線量当量での線量計校正が可能となるように基準量である空気カーマから 3mm 線量当量への換算係数が準備された。IEC62397 では先行して 3mm 線量当量測定に用いられる個人線量計に対する性能要求が示されている。一般的に使用され

る 1cm 線量当量または 70 μm 線量当量測 定用の個人線量計は体幹部に装着されるこ

表 2 IEC62387:2012(p.61)から引用した 3mm 線量当量測定用線量計の性能要求

Table 9 – Performance requirements for $H_p(3)$ dosimeters

Line	Characteristic under test	Main characteristics or mandatory measuring range or mandatory range of influence quantity	Performance requirement for the rated range	Clause/Sub-clause
1	Capability of the dosimetry system	Measuring range; influence quantities; t_{\max} ; model function	To be documented by the manufacturer for the type test	7
2	Requirements to the design of the dosimetry system	Dose indication; information on reader, dosimeter and evaluation algorithm	To be documented by the manufacturer for the type test and checked during type test	8
3	Effects of radiation not intended to be measured	Response to thermal neutrons, ^{252}Cf and ^{252}Cf (D_2O -moderated)	Response to be stated by the manufacturer	8.7
4	Instruction manual	Information for correct use; information about the performance of the system	To be documented by the manufacturer for the type test and checked during type test	9
5	Software, data and interfaces	Authenticity of the software; correctness and integrity of data	To be documented by the manufacturer for the type test and checked during type test	10
6	Coefficient of variation, v	$H < 0,1 \text{ mSv}$ $0,1 \text{ mSv} \leq H < 1,1 \text{ mSv}$ $H \geq 1,1 \text{ mSv}$	15 % ($16 - H/0,1 \text{ mSv}$) % 5 %	11.2
7	Relative response due to non-linearity	$0,1 \text{ mSv} \leq H \leq 1 \text{ Sv}$	-9 % to +11 %	11.3
8	Overload, after-effects, and reusability	10 times the upper limit of the measuring range: $10 \cdot H_{\text{up}}$, however at maximum 10 Sv. Reused dosimeters shall fulfil the requirements	Perception to be off-scale on the high end side of the measuring range, after-effects may not cause fault measurements and $v(H_{\text{low}})$ shall be according to line 6	11.4
9	Relative response due to mean photon radiation energy and angle of incidence	30 keV to 250 keV and 0° to $\pm 60^\circ$ from reference direction	$r_{\min} = 0,71$ to $r_{\max} = 1,67$	11.6.1
10	Relative response, r , due to mean beta radiation energy	0,8 MeV and 0° to $\pm 60^\circ$ from reference direction	$r_{\min} = 0,71$ to $r_{\max} = 1,67$	11.6.2
11	As in lines 9 and 10 but new reference direction opposite to that one used	See lines 9 and 10, if no statement by the manufacturer	See lines 9 and 10, if no statement by the manufacturer	8.4 f)
12	Radiation incidence from the side of the dosimeter	Radiation incidence from 60° to 120°	Indication less than 2 times of indication due to irradiation free in air from the front	11.8
13	Response to mixed irradiations	Irradiation with different radiation qualities	Response within ranges of radiation qualities under test	12
14	Total effect due to environmental performance requirements	Temperature, light, time; for details, see Table 13	See Table 13	13
15	Deviation due to electromagnetic performance requirements	See Table 14	See Table 14	14
16	Deviation due to mechanical performance requirements	Drop; for details, see Table 15	$\pm 0,7 \cdot H_{\text{low}}$ at a dose of $H = 7 H_{\text{low}}$	15
NOTE The non-symmetrical borders of relative responses r are derived from symmetrical borders of correction factors ($1/r$), for example: $\pm 40\%$ for $1/r \in [0,6 \dots 1,4] \Rightarrow r \in [1/1,4 \dots 1/0,6] = [0,71 \dots 1,67]$				

とが多いため、校正に使用されるファントムも ISO 水ファントム(30 × 30 × 15 cm³)が導入される。3mm 線量当量測定用の線量計は眼の近傍に装着することが想定されいているため、前述の ISO シリンダーファントムで試験される。そのため、表 2 に示す第 9 項の放射線のエネルギー及び角度に対する線量計応答の評価では、角度に対する要求が緩い。

(2) IEC 及び ISO 規格要件に基づく個人線量計の特性試験

IEC 及び ISO の記載に従った線量計の特性試験が可能かどうか、課題抽出のため個人線量計を用いて 3mm 線量当量での線量計特性試験を行った。特性試験に使用した線量計は、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 を選択した。本年度の研究ではエネルギー特性を実施し、基準となる 3mm 線量当量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。

図 1 では試験対象であるガラス線量計を ISO が要求するシリンダーファントムに設置した様子を示す。



図 1 ガラス線量計 GD352M を ISO シリンダーファントムに設置した様子

今年度の試験では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 の 3 線種を選択した。ガラス線量計に照射した線量は、3mm 線量当量で S-Cs については 5 ± 0.1 mSv、N-40 及び N-60 については 10 ± 0.2 mSv である。

線量計の応答（レスポンスと呼ばれる）は IEC62387:2012 の記述に従い、下式に従って求めた。ガラス線量計の読み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。

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

さらに前掲表 2 第 9 項で示されている通り、IEC 規格要件に従い、基準となる放射

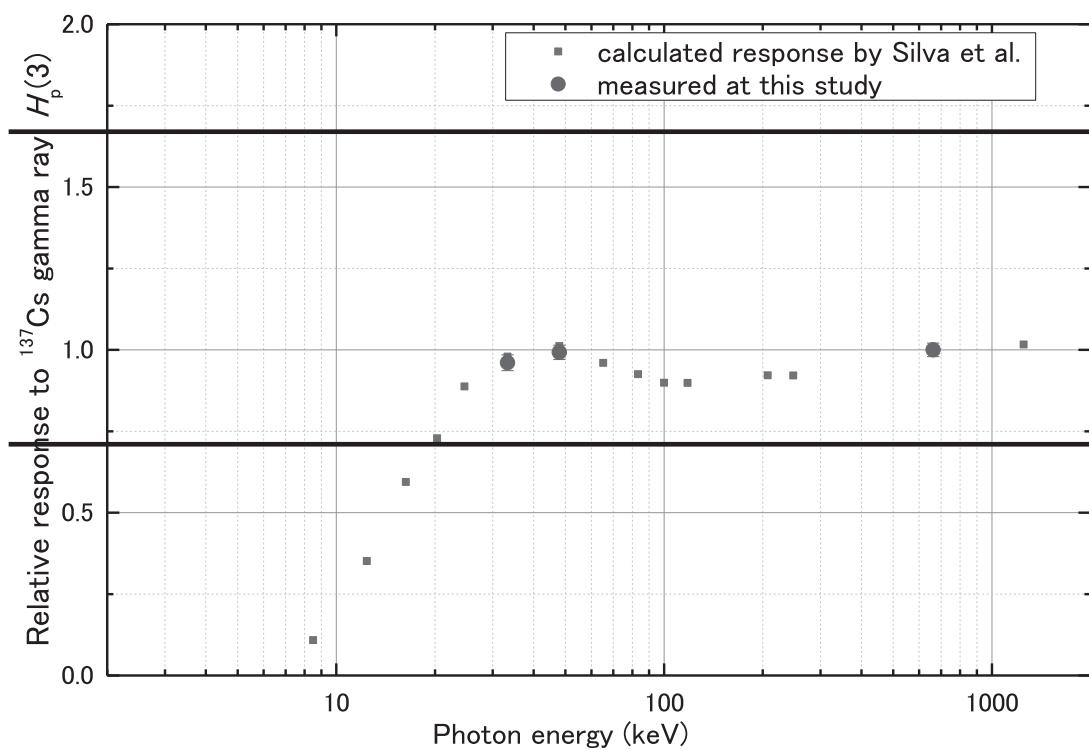


図 2 研究班で使用するガラス線量計 GD352M のエネルギー応答特性。
ISO4037-3:2019 に従い線量計特性試験を実施。

線の線種に対する当該線種の相対的な応答で基準を満たしているかどうか評価する。本調査では先行研究で実験的に評価の行われた例[1]に従い、S-Cs (Cs γ 線校正場：平均エネルギー662 keV) を基準放射線として他のX線校正場で得られた応答の相対応答を評価する。

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

得られた相対応答は文献値と比較を行った。図2では実験的に評価したガラス線量計のエネルギー応答特性について示す。

図2に示す通り文献値を非常によく再現できている。さらに、当該ガラス線量計のエネルギー応答特性から 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応答に対し 0.71 ~ 1.67)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)術者に対しての詳細な記載があり、「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術者が受けけるX線のエネルギー範囲は、20 ~ 100 keVとの報告があり[2]、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。

なし

E. 結論

本調査では、眼の近傍で使用される 3mm 線量当量測定用個人線量計の仕様及び校正・特性試験に係る国際規格の記載内容及び規格の策定動向を中心に調査した。個人線量計に関する国際間の規格を策定する機関には、大きく国際電気標準会議(IEC)と国際標準化機構(ISO)がある。本項では IEC 及び ISO で策定された規格で放射線業務従事者の眼の水晶体被ばくモニタリングに用いられる個人線量計に関連した規格に着目し、内容等について報告した。

IEC 及び ISO の記載に従った線量計の特性試験が可能かどうか、課題抽出のため個人線量計を用いて 3mm 線量当量での線量計特性試験を行った。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エネルギー応答特性試験を行ったところ、ISO 規格の記述通りの特性試験が可能であること分かった。また、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示唆された。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

I. 引用文献

- [1] E. H. Silva et al. ENERGY AND ANGULAR DEPENDENCE OF RADIOPHOTOLUMINESCENT GLASS DOSEMETERS FOR EYE LENS DOSIMETRY, Radiation Protection Dosimetry (2016), Vol. 170, No. 1–4, pp. 208–212.
- [2] 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).

III. 分担研究報告（予備調査報告）

医療従事者の眼の水晶体等価線量の線量評価のための CT 装置からの散乱 X 線スペクトル測定

分担研究者 古渡 意彦

(日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 主査)

調査要旨

本調査では、特に医療従事者の眼の水晶体等価線量算定に用いられる線量計について適切な校正定数を得るために必要な、医療従事者が行為等で作業する位置での主たる被ばく源となる X 線撮影装置等から散乱されて生じる散乱 X 線成分を、スペクトル解析装置を用いて実際に測定することにより評価した。本調査では CT 装置における介助者の位置での散乱 X 線成分に着目し、市販の CdTeZn 検出器により波高分布を取得した後、アンフォールディング法により X 線スペクトルを求めた。

市販の CdTeZn 検出器に鉛コリメータを取り付けて、CT 介助者の位置での散乱 X 線成分について測定を行ったところ、波高分布から推定される散乱 X 線の平均エネルギーは、眼鏡ありで 63 keV、眼鏡無しで 60 keV であった。一方で、散乱 X 線スペクトルから推定される散乱 X 線の平均エネルギーは、眼鏡ありで 62 keV、眼鏡無しで 58 keV であった。

A. 調査目的

本調査は、放射線業務従事者のうち特に医療従事者が医療行為で受ける眼の水晶体被ばく線量の適切な評価に資するため、医療従事者の眼の水晶体被ばくの主たる被ばく源となる X 線の成分がどのようなものであるか、実際に測定することにより調査を行ったものである。

今般改正が予定されている電離放射線防止規則においては、第八条で事業者により、労働者である放射線業務従事者の受けた放射線の線量について測定義務が課されている。眼の水晶体被ばくは外部被ばく線量として評価されるものであり、眼の水晶体被ばくが年間線量限度を超える恐れがある、または当該行為によって最大の被ばくとな

る部位が眼の近傍である場合は、眼の近傍に適切な線量計を設置し、線量計の読み値により眼の水晶体等価線量を算定することになる。

眼の水晶体等価線量の外部被ばくモニタリングのために測定される実用量は、3mm 線量当量であり、状況に応じてこの量を用いることが求められている。これは、眼の近傍に装着される個人線量計が、眼の水晶体等価線量の妥当な推定値を与える 3mm 線量当量を適切に測定するため、適切な仕様を有していることが求められている。

一般に個人線量計の指示値が妥当な線量当量を示すためには、当該線量計の応答が妥当であることと併せて線量計に入射する X 線の知見を有していることが望ましい。

医療従事者が眼の近傍で被る放射線は、適切な遮へいが施されている撮影装置等の X 線管球から直接医療従事者の眼の近傍の到達する成分（以下、「直接成分」という。）よりも遮へい、撮影対象（患者）、周辺構造物等で散乱されて生じる二次 X 線成分（以下、「散乱成分」という。）が優位であることが予想される。そのため撮影装置の X 線管球に印加した管電圧が直接散乱成分のエネルギーを表現することは困難であり、半価層法等による測定による散乱成分のエネルギー（この場合は実効エネルギー）の推定が不可欠である。

本稿では、医療従事者の眼の水晶体被ばく線量モニタリングに不可欠な線量計の適切な校正定数を与えるために必要な情報として、医療従事者の行為等に従事する際に眼の近傍で受ける散乱 X 線成分のスペクトルを取得するため、スペクトロメータによる測定からフルエンス平均エネルギーを求めた。

B. 調査方法

本調査では、医療従事者の行為等に従事する際に眼の近傍で受ける散乱 X 線成分のスペクトルを取得することを目的とするが、医療従事者が行為等の従事する状況は非常に多岐にわたる。そこで、令和元年度は予備調査と位置づけ、測定対象とする装置及び行為を限定し、散乱 X 線成分の測定を行った。本年度は CT 装置を選定し、行為としては CT 撮影時の介助者が眼の近傍で受ける可能性のある散乱 X 線成分の分布がどのようなものであるかに注力して調査した。これは、血管造影装置における術者位置での X 線散乱成分の測定が報告されているのに対して、先行研究が少ないと[1],[2]、及

び放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会においても当研究班から抽出された課題の一つであったためである[3]。

使用機器及び撮影条件は、

使用装置：Canon Aquilion prime

管電圧：120 kVp

mAs : 30 mAs

使用ビーム幅：40 mm

である。また、撮影対象者を模擬してアクリル製ファントムを使用した。

本研究で使用した X 線検出器は、Kromek 社製 GR-1 であり、検出素子には CdZnTe 半導体が使用されている（以下、「CZT 検出器」という。）。測定の様子は写真 1 に示す通りである。事前の予備測定により、CT 装置の X 線管球からの 1 フレーム当たりで検出器に入射する実効的な X 線線量当量率が、電離箱式線量率計で得られる指示値と比較して 100~1000 倍になることが想定された。文献[4]においても、1 フレーム当たりの線量当量率は 1 Sv h⁻¹ に達することが報告されている（なお、装置ごと及び撮影条件ごとに 1 フレーム当たりの管電流が異なり、正確な量を評価することは困難である。）。この点を考慮し、CZT 検出器前面に鉛コリメータ（開口部直径 2 mm）を取り付け、検出器筐体を鉛 3 mm+銅 2 mm で遮へいし、さらにコリメータ開口部前面にアクリル板 12 mm を追加し、散乱 X 線成分の入射線量率と方向を制限した。鉛コリメータ付き CZT 検出器は、図 1 に示す通り三脚を用いて、CT 介助者の眼の高さ（約 160 cm）でガントリー内部のファントムを覗く角度（下方 45 度）で固定した。

測定で得られた波高分布からアンフォールディング法を適応し X 線スペクトルを導出し、散乱 X 線スペクトルの平均エネルギー

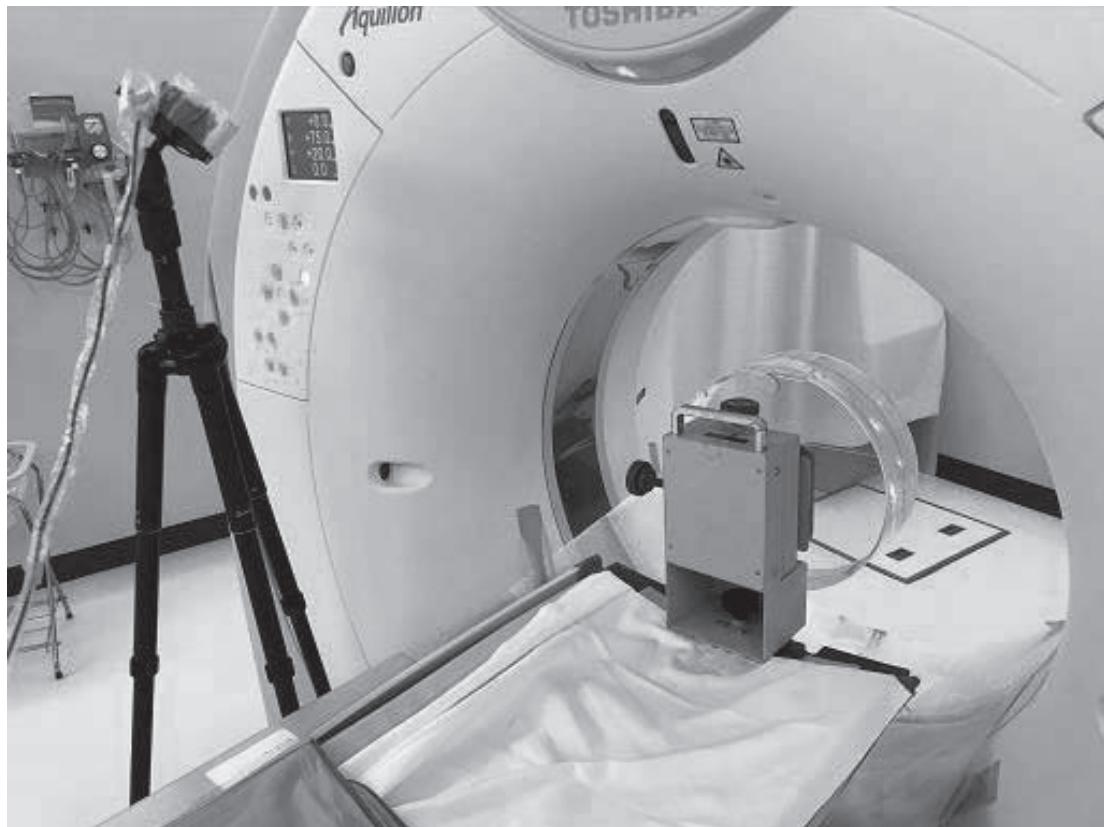


図1 CT装置におけるCT介助者の位置での散乱成分測定の様子

一を求める。使用したアンフォールディングコードは MAXED であり、鉛コリメータ付 CZT 検出器をモンテカルロ計算コード MCNP4C で体系を構築し、単色光子に対する応答関数を作成し、アンフォールディングに供した。本調査で導入したアンフォールディング法については、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 放射線標準施設棟で整備済みの ^{241}Am γ 線校正場において検証を行い、妥当な γ 線フルエンス率スペクトルが得られることを検証した。

C. 調査結果

前項B. で示した使用機器及び運転条件で得られた波高分布を図2で示す。図2では CT からの散乱線成分について示す。測定では介助者が防護眼鏡を着用した場合を

考慮し、防護眼鏡を CZT 検出器の前面に固定し、同一の撮影条件で波高分布を測定し、防護眼鏡による遮へい効果を評価したものである。

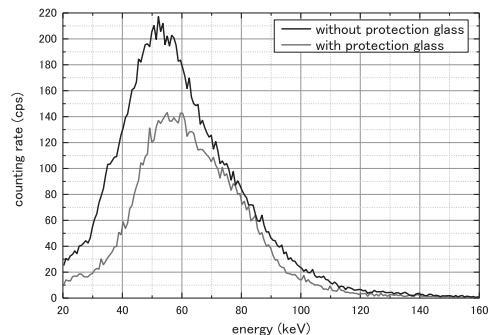


図2 CT装置においてアクリル製ファンタムを使用した場合のCT介助者位置での散乱X線による波高分布の比較

上図2の波高分布を用い、防護眼鏡による低減率を波高分布の計数率の比で評価し

た場合、強度比で $7950 \text{ cps} / 12030 \text{ cps} = 66\%$ の低減率となった。

D. 考察

本項では、CT 装置においてアクリル製ファンтомを使用した場合の CT 介助者位置での散乱 X 線スペクトルを示すとともに、散乱 X 線成分取得について考察する。

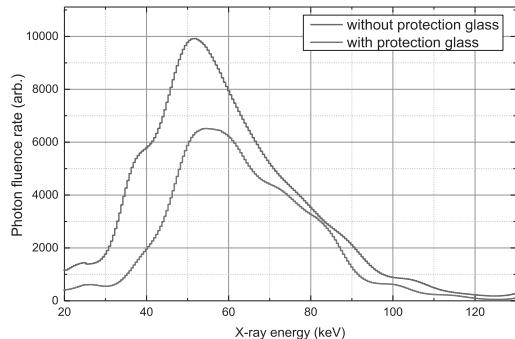


図 3 CT 装置においてアクリル製ファンтомを使用した場合の CT 介助者位置での散乱 X 線スペクトルの比較

図 3 では前述のアンフォールディング法を用いて CT 装置においてアクリル製ファンтомを使用した場合の CT 介助者位置で得られた波高分布から評価した散乱 X 線スペクトル成分を示す。前掲図 2 と同様に CT 介助者が防護眼鏡を着用した場合を考慮して得られた、防護眼鏡を CZT 検出器の前面に固定した条件での測定で求められた波高分布から評価した散乱 X 線スペクトルについても評価している。

得られた波高分布及び散乱 X 線スペクトルから求められるフルエンス平均エネルギーを表 1 に示す。

表 1 CT 装置においてアクリル製ファンтомを使用した場合の CT 介助者位置での

散乱 X 線による波高分布から評価された平均エネルギーの比較

波高分布による評価 (keV)	X 線スペクトル k らの評価 (keV)
防護眼鏡なし	60
防護眼鏡あり	63

波高分布から推定される散乱 X 線の平均エネルギーは、眼鏡ありで 63 keV 、眼鏡無しで 60 keV であった。一方で、散乱 X 線スペクトルから推定される散乱 X 線の平均エネルギーは、眼鏡ありで 62 keV 、眼鏡無しで 58 keV であった。

いずれの場合においても大きな差異は見られず、遮へい効果により平均エネルギーへの大きな変化が見られなかった。

例えば文献[5]及び[6]で挙げるとおり CT 周辺での半価層法等により実効エネルギーの測定が勢力的に行われている。文献[6] table 2 によれば、管電圧が 120 kV の場合、使用装置は異なっているが、実効エネルギーで $51 \sim 55 \text{ keV}$ となっている。本調査での散乱 X 線スペクトル評価の目的は、線量計校正のための平均エネルギー取得であるため、フルエンス平均エネルギーで導出する必要がある。実効エネルギーでの評価とフルエンス平均エネルギーでの評価の違いはあるが、撮影時に使用された Al フィルタの厚み及びガントリーによる散乱等を考慮すると、散乱 X 線スペクトルから得られた平均エネルギーの値は妥当であると考察される。

また、EGSnrc モンテカルロ計算コードを用いた X 線 CT からの散乱 X 線成分の評価についても、Platten によって報告されている[7]。文献[7]での評価では、管電圧が

120 kVpにおいてAlフィルタ厚がそれぞれ6.8及び9.8 mmの場合、平均エネルギーは、53 keV及び54 keVと推定されている。この研究における計算体系では、CT装置周辺の構造物は全く考慮されておらず、計算にはICRP 110で示された reference male の voxel phantom が導入されており、本調査において行った実験条件と大きく異なっている。これらの点を考慮して、本調査で得られた結果は、本実験条件において妥当な平均エネルギーを与えると考察される。

なお、防護眼鏡による遮へい効果を評価したところ、防護眼鏡による低減率を波高分布の計数率の比で評価した場合、強度比で $7950 \text{ cps} / 12030 \text{ cps} = 66\%$ の低減率であった。この結果は、ガラス線量計を用いて測定された事例と同等である。

E. 結論

本調査では、眼の近傍で使用される3mm線量当量測定用個人線量計について適切な校正定数を与えるため、医療従事者の眼の水晶体被ばく線量モニタリングに不可欠な線量計の適切な校正定数を与えるために必要な情報として、医療従事者の行為等に従事する際に眼の近傍で受ける散乱X線成分のスペクトルを取得するため、スペクトロメータによる測定からフルエンス平均エネルギーを求めた。令和元年度は予備調査と位置づけ、測定対象とする装置及び行為を限定し、散乱X線成分の測定を行った。本年度はCT装置を選定し、行為としてはCT撮影時の介助者が眼の近傍で受ける可能性のある散乱X線スペクトルを測定した。

CZT検出器を用いて得られた波高分布から推定される散乱X線の平均エネルギーは、眼鏡ありで63 keV、眼鏡無しで60 keVで

あった。一方で、散乱X線スペクトルから推定される散乱X線の平均エネルギーは、眼鏡ありで62 keV、眼鏡無しで58 keVであった。これらは文献から得られた推定値と比較し5 keV程度大きな値となつたが、測定された条件が文献[5]-[7]で実施された測定及び計算条件と異なつており直接比較することは困難である。

今後の課題としては、他のX線装置についても同様の評価を進めるほか、眼の水晶体近傍に取り付ける個人線量計の校正で用いる線種の選定を進める必要がある。

現在市販されているTLDを使用した線量計 Dosiris[8]ではカタログにおける応答特性から、100 keV相当（ISO4037-1ではN-120に相当）のX線校正場で値付けられた校正定数が与えられている可能性がある。このエネルギーは本調査で得られたエネルギーとはかい離しており、次年度以降の調査結果も考慮して、どのエネルギーで線量計を校正するのが望ましいか検討する必要がある。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

H. 知的財産権の出版・登録状況

1. 特許取得

なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

I. 引用文献

- [1] T. Kurosawa et al. Measurements of Photon Spectra around IVR for the Evaluation of Eye-lens Dose, Proceedings of the 14th International Congress of the International Radiation Protection Association. pp 815. (2016)
- [2] T. Asakura et al. Precise dose calibration method of OSL dosimeter with help of X-ray spectra toward exposure dose evaluation of eye lens, Proceedings of 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID STATE DOSIMETRY, P3-041 pp.546-541 1252–1257 (2019).
- [3] 第4回 放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会 資料2
<https://www.nsr.go.jp/data/000209654.pdf> accessed on 28-02-2020
- [4] 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).
- [5] 長島 他, X線CT装置の線量評価に不可欠な実効エネルギーの新たな測定および算出法の検討,日本放射線技術学会雑誌 61(3), 385-391, 2005.
- [6] 飯田 他, 銅製パイプ型吸収体を用いた新しい実効エネルギー測定法,日本放射線技術学会雑誌 67(9), 1183-1197, 2011.
- [7] David John Platten, A Monte Carlo Study of the energy spectra and transmission characteristics of scattered radiation from x-ray computed tomography, Journal of Radiological Protection, 34, 445-456, 2014.
- [8] IRSN DOSIMETRY LABORATORY , DosirisTM THE EYE LENS DOSIMETER, <http://dosimetrie.irsn.fr/en-us/Documents/Product%20files/DOSIRIS%20EN%20WEB.pdf> accessed on 07-03-2020.

令和元年度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

医療従事者の放射線防護への労働安全衛生マネジメントシステムの応用

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】本年度はすでにOHSMSが導入されている医療機関において、放射線防護を目的としたマネジメントシステム（MS）の文書体系の作成を行った。

【方法】放射線防護 MS の文書体系について、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、組織の状況に合った文書体系を作成した。

【結果】

1. リスクアセスメント手法の確立：総合リスクの評価を、（放射線照射機器のリスクアセスメント点数+診療行為のリスクアセスメント点数+職員のリスクアセスメント点数+昨年度の個人被ばく実績の点数）として、合計点数ごとにI～IVのリスクに分類する方法を開発した。

2. マネジメントシステムマニュアルの開発：基本方針を明確にしたうえで、将来のOHSMSへの統合を前提としたOHSMSマニュアルの骨格を使用して作成した。

3. 下位文書の作成：新たに、放射線防護検討委員会・技術部会運営要領、放射線被ばくリスクアセスメント実施要領、想定事象発生時対応要領を作成し、その他は既存のOHSMSの下位文書を一部改変して利用することとした。

【考察】本マネジメントシステムが成果を上げるためにには、システムの導入、運用、有効性の検証が必要となる。そのうえで、病院全体のOHSMSへの統合が必要となるが、それについて存在する課題について考察した。

【結論】放射線防護マネジメントシステムの文書体系を作成した。今後に予定されている本システムの導入、運用および評価、さらにはOHSMSへの統合に向けて、様々な課題が存在しており、課題解決のための取り組みが必要と考えられる。

研究協力者

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*

*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

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

前年度の研究において、放射線防護の取り組みのために、労働安全衛生マネジメントシステム（OHSMS）の導入を前提とした取組の考え方を検討した。これを受け、本年度はすでに OHSMS が導入されている医療機関において、放射線防護を目的としたマネジメントシステム（MS）の文書体系の作成を試みた。

B. 研究方法

放射線防護 MS の文書体系の作成においては、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った。

その際、①リスクアセスメント手法は、既存の管理手法に過度の負担をかけることなく、管理対象者に優先順位を付けて対応できることを目的とした。また、②システムマニュアルの作成においては、最終的に放射線防護 MS は、労働安全衛生管理の一環として OHSMS の中で管理すべきであり、既存の OHSMS との整合性に留意した。さらに③下位文書は、既存の OHSMS を活用することを前提に、必要最低限の文書の作成とした。

C. 研究結果

1. リスクアセスメント手法の確立

放射線防護マネジメントシステムのもっとも重要な要素となるリスクアセスメントについて、最終的に放射線検査および治療の施行時の放射線防護および被ばくモニタリングの方法を選択できることを目的とした。被ばく量に影響を与える要素として、放射線照射機器、診療行為の種類、各医療者の検査時間および頻度が考えられる。ま

た、これらの要素のみでは予測できない水晶体の被ばくの可能性を考慮して、前年の個人の被ばく実績で補正を行うこととした。その結果、総合リスクの評価を、（放射線照射機器のリスクアセスメント点数+診療行為のリスクアセスメント点数+職員のリスクアセスメント点数+昨年度の個人被ばく実績の点数）として、合計点数ごとに I ~ IV のリスクに分類する方法を開発した。

2. マネジメントシステムマニュアルの開発

前述のように、すでに導入されている OHSMS マニュアルの骨格を利用した。

基本方針として、「職員放射線防護方針：○○大学病院は、診療において放射線を取扱う職員の放射線被ばくについて法定の線量限度を厳守し、さらには被ばくを可能な限り低減することを目的とする。この目的を達成するために、関連法令を確実に順守するとともに、法令の規定がない場合でも適正な基準を適用する。」とした。

また、体制のうち、組織体として、放射線防護検討委員会および技術部会、放射線防護チームを設置することとした。一方、構成員の責務として、システム責任者（病院長）の責務、放射線部部長、システム実施管理者（放射線部技師長）、病院放射線主任者、放射線科教授、放射線部安全衛生推進者、看護師長、病院産業医、放射線防護およびマネジメントシステムの専門家、病院管理課課長および課員、システム運用担当者、主任診療放射線技師、診療放射線技師、関連診療科長、放射線診療に関わる職員の責務を規定した。

想定事象として、法定線量限度を超える線量被曝者の発生を定義して、想定事象発生時の対応を手順化した。その他については、計画、実施、評価、改善に沿って、既

存のOHSMSの手順を活用することとした。

3. 下位文書の作成

下位文書として、新たに、放射線防護検討委員会・技術部会運営要領、放射線被ばくリスクアセスメント実施要領、想定事象発生時対応要領を作成し、その他は既存のOHSMSの下位文書を一部改変して利用することとした。

その結果、以下の文書体系が作成された。

a. システムマニュアル

- 医療機関における職員放射線防護マネジメントシステム（○○大学病院版）

b. 要領

- 放射線防護検討委員会・技術部会運営要領
- 教育訓練実施要領
- 放射線被ばくリスクアセスメント実施要領
- 個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況確認実施要領
- 法令順守実施要領
- 実施要領等制定・改廃事務取扱要領
- 変更の管理実施要領
- 想定事象発生時対応要領
- システム監査実施要領

c. 基準

- 教育訓練対象者基準
- 有資格者基準
- 適用法令リスト
- 総合リスク防護管理基準

d. 様式

- 関係法令遵守チェックリスト
- 年間計画
- リスク等管理計画
- 年間目標
- 想定事象原因分析
- 管理記録一覧
- システム監査報告書

D. 考察

本研究において、OHSMSへの統合を前提とした放射線防護マネジメントシステムの文書体系を構築した。OHSMSでは、リスクアセスメントおよび基本方針に沿った計画の立案が基本となる。

このうち、リスクアセスメントについては、医療機関の現状を考え、過剰なモニタリングやリスクコントロールとならないよう、診療手技および対象者の特性によって個別にリスクを評価できる手法を採用了。また、基本方針を「○○大学病院は、診療において放射線を取扱う職員の放射線被ばくについて法定の線量限度を厳守し、さらには被ばくを可能な限り低減することを目的とする。この目的を達成するために、関連法令を確実に順守するとともに、法令の規定がない場合でも適正な基準を適用する」として、1)法定の線量限度の厳守、2)被ばく線量の可能な限りの低減、3)関連法令および適正な基準の適用という3つの目的を表現した。

本マネジメントシステムが成果を上げるためにには、システムの導入、運用、有効性の検証が必要となる。そのうえで、病院全体のOHSMSへの統合が必要となるが、それについて課題が存在する。

1. システム導入における課題

マネジメントシステムは、多くの文書および基準で成り立っている。一方、システム内では、様々な担当の役割が規定されている。システム運用に関わる関係者にシステムの詳細を理解させることは困難であり、それぞれの役割ごとに導入教育を含む支援を設計する必要がある。

2. システム運用における課題

マネジメントシステムは、手順と人材によって構成される仕組みである。そのため、仮に精密な手順を積み重ねても、それを動かす人材の意欲が高くななければ、システムは動かない。そのためには、組織トップのリーダーシップが最も重要な要素である。医療機関の場合には、理事長や院長がその立場にあるため、放射線防護マネジメントシステムの医療機関経営における価値について理解させることが必要となる。そのためには、行政機関や外部機関からの評価の仕組みも検討されるべきである。

3. システムの有効性の検証

マネジメントシステムの有効性を検証する方法として、目標の達成度の評価および内部監査が存在する。目標自体は、基本方針と関連して作られるべきものであるが、文章で表現された基本方針に盛り込まれた目的を数値化する必要がある。また、内部監査では、文書確認、インタビュー、フィールドチェックの方法が用いられるが、有効性や妥当性の評価を通じて、システムが抱える課題を明らかにすることが必要となる。いずれの場合にも、マネジメントシステムに対する深い理解と具体的な方法の習熟が必要となる。

4. OHSMSへの統合

医療従事者の放射線防護は、医療機関における労働安全衛生管理の対象の一つである。しかし、放射線防護や感染管理など、患者を対象とした管理と近接した課題については、医療管理の方が優先される傾向にある。また、組織的にも、医療管理のための組織で付属的な課題として取り上げられることが多い。

放射線防護マネジメントシステムは、

OHSMS に統合して運用されることが望ましいが、その際には、医療管理と労働安全衛生管理の接点において、適切に情報共有および連携を図る工夫が必要になる。

E. 結論

昨年度、放射線防護を、マネジメントシステムを利用して実施するため方策について検討した。本年度は、放射線防護マネジメントシステムとして文書化した。

今後に予定されている本システムの導入、運用および評価、さらには OHSMS への統合に向けて、様々な課題が存在しており、課題解決のための取り組みが必要と考えられる。

F. 参考文献

- 森 晃爾. 産業保健専門職・衛生管理者のためのマネジメントシステムによる産業保健活動. 2003. 労働調査会
- 森 晃爾他. 産業保健スタッフのための ISO45001—マネジメントシステムで進める産業保健活動. 2019. 中央労働災害防止協会

G. 研究発表

令和元年度なし

H. 知的所有権の取得状況

該当なし

添付文書 :

- 医療機関における職員放射線防護マネジメントシステム(○○大学病院版)
- 放射線防護検討委員会・技術部会運営要領(要領 2-1-1)
- 教育訓練実施要領(要領 2-3-1)
- 放射線被ばくリスクアセスメント実施要領(要領 3-1-1)

- 5) 個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況確認実施要領(要領 3-2-1)
- 6) 法令順守実施要領(要領 3-4-1)
- 7) 実施要領等制定・改廃事務取扱要領(要領 4-1-1)
- 8) 変更の管理実施要領(要領 4-2-1)
- 9) 想定事象発生時対応要領(要領 4-3-1)
- 10) システム監査実施要領(要領 5-2-1)

医療機関における職員放射線防護マネジメントシステム

(○○大学病院版)

制定日：令和 年 月 日
改訂日：

○○病院放射線防護検討委員会編

I 基本事項

1. 本システムの担当者

システム責任者 : ○○病院病院長

システム実施管理者 : 放射線部技師長

システム運用担当者 : システム実施管理者が任命した者

2. システムの適用範囲

本システムは、○○大学病院における放射線業務従事者を対象とする。被ばくの種類については、不均等被ばく（眼の水晶体被ばく）を対象とし、今後段階的に適用範囲の拡大を検討する。

II システム文書

1. 方針

1-1 職員放射線防護方針

○○病院は、診療において放射線を取扱う職員の放射線被ばくについて法定の線量限度を厳守し、さらには被ばくを可能な限り低減することを目的とする。この目的を達成するために、関連法令を確実に順守するとともに、法令の規定がない場合でも適正な基準を適用する。

1-2 方針の周知

職員放射線防護方針は、教育研修の機会他、様々な機会を利用して関係職員に周知する。

2. 体制

2-1 体制

(1) 放射線防護検討委員会

放射線防護検討委員会・技術部会運営要領（要領 2-1-1）を定め、病院長の諮問委員会として1年に1回以上開催する。下部委員会に技術部会を持つ。技術部会から上げられた事項（本システムの技術的な事項、計画および予算・目標等）の検討を行う。システム実施管理者、放射線部部長、病院放射線取扱主任者、放射線科教授、放射線部安全衛生推進者、看護師長、病院産業医、放射線防護に関する専門家、マネジメントシステムの専門家、病院管理課課長等にて構成される。

(2) 放射線防護検討委員会の技術部会

技術部会は、放射線防護検討委員会の下部委員会として位置し、年に3回以上開催する。本システムの技術的な事項について検討、計画および予算、目標の原案の作成を行う。放射線防護検討委員会・技術部会運営要領（要領 2-1-1）に沿って運営される。主任放射線技師、システム運用担当者、放射線部安全衛生推進者、放射線防護に関する専門家、病院管理課職員にて構成される。

(3) 放射線防護チーム

放射線防護検討委員会と異なり、第3者機関として位置する。想定事象発生時に放射線被ばく低減のために調査介入する。放射線防護の専門家らで構成される。

(4) 放射線防護検討委員会事務局

放射線防護検討委員会と技術部会の庶務を行う。事務員が1名在籍する。

2-2 組織構成員の責務

(1) システム責任者（病院長）の責務

本システムの方針を明確にし、システム責任者として方針達成のためのリーダーシップを発揮する。システムの確実な運営のために必要な人的・経済的な資源を確保する。マネジメントレビューを行い、改善計画の策定を行う。

(2) 放射線部部長

放射線防護検討委員会に出席し、システム責任者と同様に本システムの方針を明確にし、方針達成のためのリーダーシップを発揮する。マネジメントレビューを行い、改善計画の策定を行う。

(3) システム実施管理者（放射線部技師長）

放射線防護検討委員会に出席し、評価結果や監査結果をレビューして、具体的なシステム改善のための指示を行う。

(4) 病院放射線主任者、放射線科教授

放射線防護検討委員会に出席し、各専門家として関与する。

(5) 放射線部安全衛生推進者

放射線防護検討委員会及び技術部会の両方に出席し、多くの業務を行う。また、放射線防護に関する安全衛生活動の相談窓口として機能する。業務を以下に示す。

- ① 放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領3-1-1）に基づいてリスクアセスメントを実施する。
- ② 個人用報告書が放射線業務従事者個人に提供されている事を確認する。
- ③ 年間の線量限度を超える可能性が出てきた場合のリスクコミュニケーション
- ④ 責務の周知を行う。
- ⑤ 放射線防護に関する安全衛生活動の相談
- ⑥ 年間計画の立案
- ⑦ リスク管理計画の立案
- ⑧ 年間目標案の立案
- ⑨ 変更の管理（要領4-2-1）
- ⑩ 想定事象発生時の対応（要領4-3-1）
- ⑪ 教育訓練

(6) 看護師長

放射線防護検討委員会に出席し、放射線に関する部門の看護師長であり、看護師の被

ばくに関する相談窓口となり、放射線部安全衛生推進者に指示を仰ぐ。放射線に関する新たな業務が行われた時に放射線部安全衛生推進者へ伝える。

(7) 病院産業医

放射線防護検討委員会に出席し、病院産業医は、学校法人〇〇大学安全衛生規定に定めた職務を通して、産業保健活動の専門家として関与する。

(8) 放射線防護に関する専門家、マネジメントシステムの専門家

各専門家として関与する。また、放射線防護検討委員会や技術部会を通して各部署に適切なアドバイスを行う。

(9) 病院管理課課長、病院管理課職員

放射線防護検討委員会・技術部会に出席し、放射線防護マネジメントシステム運用に関する予算や経費についてアドバイスを行う。

(10) システム運用担当者

技術部会に出席し、システム実施管理者が任命した者で、システムの運用を担当する。仕事を以下に示す。

- ① システム実施管理者とともに評価結果や監査結果をレビューし、具体的なシステム改善のための指示を行う。
- ② 本システムの記録を行う。
- ③ 適用法令およびその他の要求事項の順守状況の確認
- ④ 計画の実施状況の確認
- ⑤ 目標の達成状況の確認
- ⑥ マネジメントレビューに関する資料の作成
- ⑦ 実施要領の制定・改廃事務取扱いに関する事（要領 4-1-1）

(11) 主任診療放射線技師

放射線被ばく防護を指示・実施・管理する。技術部会に出席し、最新の知見を元に新たな防護策についても検討し技術部会で発言する。主任診療放射線技師は、放射線被ばくリスクアセスメントを行うための放射線照射機器・診療行為及び職員のリスクアセスメント情報を放射線防護検討委員会事務局に報告する。

(12) 診療放射線技師

主任診療放射線技師の指示の元、具体的な放射線被ばく防護を実施する。

(13) 関連診療科長

各診療科の職員が、ルールを確実に順守し、放射線防護がなされるように指導を行うとともに、リーダーシップを發揮する。システムの確実な運営のために必要な資源を確保する。システムの運用管理において改善が必要な事項のうち、当該診療科が担当すべき事項について推進する。

(14) 放射線診療に関わる職員

諸規定・ルールを順守し、業務上の日常点検を行いリスク軽減に努め、放射線被ばく

から自らを守るための行動を取る。そのために必要な教育研修および法令上求められている特殊健康診断を確実に受ける。また、放射線防護検討委員会への意見の反映、自らの安全と健康を確保するために必要な情報の取得ができる権利が確保されている。

2-3 教育、訓練及び自覚

(1) 訓練（講習）

放射線部安全衛生推進者もしくは放射線防護検討委員会から任命された適当な者が、雇い入れ時に遅滞なく行う。また、年に1回、放射線従事者講習会を実施する。

(2) 訓練（講習）が必要となる者

訓練（講習）が必要となる者は、電離則で定める放射線業務従事者（医師、歯科医師、看護師、診療放射線技師、臨床工学士、薬剤師 等）である。

2-4 協議およびコミュニケーション

(1) 責務の周知

関連診療科長および放射線部部長は、職員が順守すべきルールを示し、その順守方法について協議する機会を確保する。

(2) リスクのコミュニケーション

被ばく線量やリスクに関して本システムで定められた情報を、関連診療科長および放射線検査に関わる職員に提供し周知を図る。

3. 計画

3-1 危険源の特定とリスクアセスメント

リスクアセスメントは、放射線部安全衛生推進者が放射線照射機器（周辺設備を含む）、診療行為、職員、昨年度の水晶体等価線量実績の4つの視点で行なった後、定義に基づき総合リスクを決定する。年に1回以上行う。

(1) 放射線照射機器のリスクアセスメント

放射線照射機器ごとに、放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領3-1-1）により術者等の想定される被ばく量を評価する。

(2) 診療行為のリスクアセスメント

診療行為ごとに、放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領3-1-1）により想定される被ばく量を評価する。

(3) 職員のリスクアセスメント

放射線管理区域で作業を行うすべての職員について、放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領3-1-1）により想定される被ばく量を評価する。

(4) 昨年度の水晶体等価線量実績のリスクアセスメント

放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領3-1-1）により想定される被ばく

量を評価する。

(5) 総合のリスクアセスメント

放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領 3-1-1）により想定される被ばく量を評価しリスクに応じて標準的な管理基準を設定する。また、その際に現状を個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況確認実施要領（要領 3-1-2）を用いて実施する。

3-2 本システムの運営に対するその他のリスクの評価

本システムの運営に対するその他のリスクを評価し計画に反映する。

3-3 放射線被ばく防護及び本システムの運営に対するその他の機会の評価

放射線被ばく防護及び本システムの運営に対するその他の機会を評価し年間計画に反映する。

3-4 法的およびその他の要求事項

(1) 適用法令

本システムに関連した順守すべき法令事項について、法令順守実施要領（要領 3-4-1）に適用法令リスト（基準 3-4-1）を定めて列挙する。法令事項は、本システムマニュアルおよび実施要領等の手順として記述し順守を図る。

(2) 要求事項

本システムで組織および関係者が順守すべき要求事項に関する基準を、以下のとおり定める。基準は、危険有害要因の除去及びリスク低減対策の優先順位の原則と最新の知見を考慮して設定される。各基準では、基準の順守状況の確認に必要な記録についても定める。

① 総合リスク防護管理基準（基準 3-4-1）

(3) 法令改正への対応

法令の確実な順守を行うために、関連法令の制定や改正は法令順守実施要領（要領 3-4-1）に従いフォローアップされる。法令の制定や改正が行われた場合には、速やかに関係者に周知するとともに、本システムマニュアルおよび実施要領等の手順として記述し順守を図る。また、何らかの追加的対応が必要と判断された場合には、放射線防護検討委員会において議論を行い、病院長の承認を得て、リスク等管理計画（様式 3-5-2）を策定して必要な対応を図る。

3-5 計画の策定

(1) 年間計画

放射線部安全衛生推進者を中心に技術部会は、本システムを運用するために必要な年間計画の原案を様式 3-5-1 を用いて作成し、放射線防護検討委員会に提出する。放射線

防護検討委員会の承認を得た後は、システム責任者の承認を得る。承認された年間計画は、安全衛生委員会、各部署および関係者に周知される。

年間計画には、以下の事項を含まなければならない。

- ① 放射線防護検討委員会・技術部会の開催
- ② 放射線防護教育（訓練・講習・協議）
- ③ 年間計画および年間目標の策定
- ④ モニタリングとフィードバック
- ⑤ 特殊健康診断
- ⑥ 実施要領等の見直し
- ⑦ 法令およびルール・基準の順守状況の評価
- ⑧ 計画の進捗状況の確認
- ⑨ 目標の評価
- ⑩ システム監査
- ⑪ マネジメントレビュー
- ⑫ 防護具、防護設備購入に関する予算

（2）リスク管理計画

放射線部安全衛生推進者は、リスク評価の結果、想定事象の発生、法令およびルール・基準の順守状況の評価の結果、速やかに改善が必要と判断された場合、担当者と実施時期を明確にしたリスク等管理計画（様式3-5-2）を用いて策定する。

リスク等管理計画は、技術部会でその進捗状況を確認し適宜見直しを行う。放射線部安全衛生推進者は、リスク等管理計画の内容および進捗状況を年3回以上開催される技術部会に報告する。

3-6 年間目標

放射線部安全衛生推進者を中心に技術部会は、本システムの有効性を確認するために必要な年間目標の原案を様式3-6-1を用いて作成し放射線防護検討委員会に提出する。最終的に病院長の承認を得る。承認された年間目標は、安全衛生委員会、各部署および関係者に周知される。年間目標には、基本方針に示された以下の項目についての達成状況を確認するための指標を含む。

- ① 法定の線量限度の順守状況
- ② 職員の被ばくの低減状況
- ③ 院内ルール・基準の順守状況

4. 実施および文書化

4-1 文書体系

（1）実施要領等の利用

本システムにおいては、以下に示す実施要領等をシステムの一部として利用する。

要 領	基 準	様 式
放射線防護検討委員会・技術部会運営要領（要領2-1-1）		
教育訓練実施要領（要領2-3-1）	教育訓練対象者基準（基準2-3-1） 有資格者基準（基準2-3-2）	
放射線被ばくリスクアセスメント実施要領（要領3-1-1）		
個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況確認実施要領（要領3-1-2）		
法令順守実施要領（要領3-4-1）	適用法令リスト（基準3-4-1）	関係法令遵守チェックリスト（様式3-4-1）
	総合リスク防護管理基準（基準3-4-1）	
		年間計画（様式3-5-1）
		リスク等管理計画（様式3-5-2）
		年間目標（様式3-6-1）
実施要領等制定・改廃事務取扱要領（要領4-1-1）		
変更の管理実施要領（要領4-2-1）		
想定事象発生時対応要領（要領4-3-1）		想定事象原因分析（様式4-3-1）
		管理記録一覧（様式4-4-1）
システム監査実施要領（要領5-2-1）		システム監査報告書（様式5-2-1）

（2）実施要領等の見直し

実施要領等は、年に1回以上、計画的に見直しを行う。

（3）実施要領の制定・改廃

実施要領等の制定時に、要領等ごとの担当者を明確にする。また、改廃に当たっては、

実施要領等制定・改廃事務取扱要領（要領4-1-1）に則り管理される。

4-2 変更の管理

以下のような場合には、職員の安全と健康の確保において重大な影響の可能性がある変更と見なし、変更の管理実施要領（要領4-2-1）に則り、その影響について変更前および変更時に評価を行い、適切にリスク低減対策を行うとともにリスクに応じて各種基準を適用する。変更後のリスクと必要な被ばく防護措置については、関係する職員に周知する。

- ① 新規設備の導入および設備の改廃
- ② 新規の放射線照射機器の導入および危機の改変
- ③ 新規の医療行為の導入および改変
- ④ 本システムの運用に影響を及ぼす組織の大幅な変更

4-3 想定事象発生時の対処

想定事象が発生した場合には、想定事象発生時対応要領（要領4-3-1）を元に防護専門チームは迅速に行動・介入し、放射線部安全衛生推進者にその結果を報告する。放射線部安全衛生推進者は結果を技術部会に報告する。防護専門チームから報告された原因分析および再発防止策を技術部会が検討し年間計画またはリスク等管理計画に盛り込み改善を図る。また、原因および再発防止策については、関係する職員に周知する。想定事象以外で必要と判断された場合には、同等の対応を行う。

4-4 記録および記録の管理

(1) 記録

本システムに基づく活動は、各実施要領等に基づき原則として記録される。本システムで管理される記録の代表例として以下のとおり列挙する。

- ① 放射線防護検討委員会の議事録
- ② 教育内容および受講者
- ③ 職員への周知内容
- ④ リスクアセスメント結果
- ⑤ 医療行為の記録
- ⑥ モニタリング結果
- ⑦ 特殊健康診断結果
- ⑧ 想定事象発生時の原因および再発防止策
- ⑨ 年間計画の進捗評価結果
- ⑩ リスク等管理計画の進捗評価の結果
- ⑪ 年間目標の評価結果
- ⑫ 適用法令およびその他の要求事項の順守状況の確認結果

(2) 記録の管理

本システムの記録は、システム運用担当者が行う。法令の規定に基づき、または法令の規定がない場合には管理記録一覧（様式 4-4-1）にて 3 年間放射線防護検討委員会事務局で保管する。

特殊健康診断の結果等、個人のプライバシーに係る記録については、健康診断実施細則第 12 条に基づき管理する。

5. 評価

5-1 実施状況

(1) 適用法令およびその他の要求事項の順守状況の確認

システム運用担当者は、適用法令およびその他の要求事項について、半年後および 1 年後に順守状況を評価する。その結果は、技術部会、放射線防護検討委員会に報告され必要に応じて改善策が検討される。

(2) 計画の実施状況の確認

システム運用担当者は、年間計画およびリスク等管理計画の進捗について、半年後および 1 年後に順守状況を評価する。その結果は、技術部会、放射線防護検討委員会に報告され必要に応じて見直し等が検討される。

(3) 目標の達成状況の確認

システム運用担当者は、半年後および 1 年後の年間目標の達成状況を評価し、その結果は、技術部会、放射線防護検討委員会に報告される。

5-2 システム監査

本システムの妥当性、実行性、有効性を評価するために、システム監査実施要領（要領 5-2-1）に則り、年に 1 回以上システム監査を実施する。システム監査の結果は、技術部会、放射線防護検討委員会およびシステム責任者に報告される。

5-3 外部調査

システム実施管理者又は関係者は、行政機関等の調査に対して誠実に対応を行う。

6. 改善

6-1 マネジメントレビュー

システム責任者および放射線部長は、以下の情報をもとに年 1 回マネジメントレビューを行う。病院長等に対する関係情報の説明は、システム実施管理者が行う。

- ① 機会関係
- ② リスクアセスメント結果
- ③ モニタリング記録

- ④ 設備、機器、医療行為の変更と対応状況
- ⑤ 適用法令およびその他の要求事項の順守状況の確認
- ⑥ 年間計画およびリスク等管理計画の進捗状況
- ⑦ 年間目標の達成状況
- ⑧ システム監査の報告書
- ⑨ 外部調査の結果
- ⑩ その他、本マネジメントシステムの状況把握に必要な機会およびリスクに関連する情報

6-2 システム改善のための計画

システム責任者および放射線部長の指示を受けて、技術部会は、必要なシステム上の改善策を盛り込んだ年間計画またはリスク等改善計画の原案を策定し、放射線防護検討委員会の承認を得る。承認された計画は、システム責任者、各部署および関係者に周知される。

(要領 2-1-1)

放射線防護検討委員会・技術部会運営要領

制定日：年 月 日

放射線防護検討委員会 編

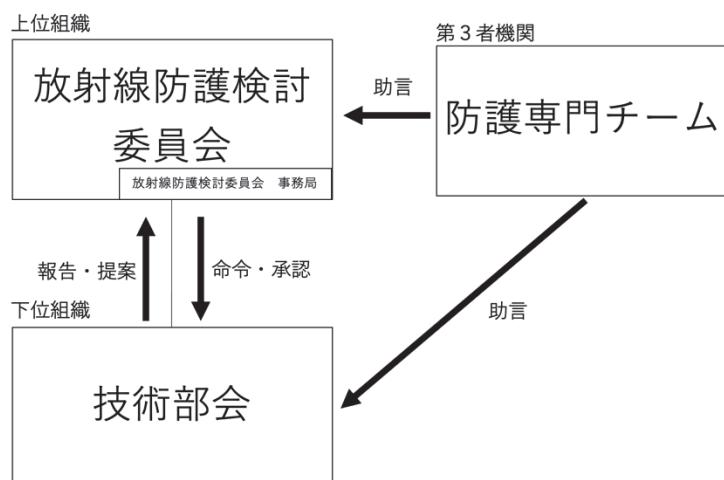
担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、放射線防護検討委員会及び技術部会を運営する為の具体的な内容を示す事を目的とする。

2. 組織

1) 放射線防護検討委員会は、技術部会を下位組織に持ち、第3者機関としてとしての防護専門チームと連携を行う。放射線防護検討委員会は、放射線防護検討委員会事務局を置く。



2) 放射線防護検討委員会は次の各号に掲げる委員をもって組織する。

- ① システム実施管理者
- ② 放射線科 教授
- ③ 放射線部 部長
- ④ 病院放射線取扱主任者
- ⑤ 放射線部 安全衛生推進者
- ⑥ 看護部 放射線業務に関する師長
- ⑦ 病院産業医
- ⑧ 放射線防護に関する専門家
- ⑨ マネジメントシステムの専門家
- ⑩ 病院管理課 課長

- 3) 防護技術部会は次の各号に掲げる委員をもって組織する。
 - ① システム運用担当者
 - ② 放射線部 安全衛生推進者
 - ③ 各主任診療放射線技師
 - ④ 放射線防護に関する専門家
 - ⑤ 病院管理課 職員
- 4) 防護専門チームは次に掲げる委員をもって組織する。

○○大学に所属する教員並びに大学院生
- 5) 放射線防護検討委員会事務局は次に掲げる委員をもって組織する。
 - ① システム運用担当者
 - ② 放射線部 安全衛生推進者
 - ③ 事務員 1名
- 6) 放射線防護検討委員会の委員長は放射線部部長とし、技術部会の部会長は放射線部安全衛生推進者とする。
- 7) 委員長（部会長）が職務を遂行できない場合は、あらかじめ委員長（部会長）が指名した委員がその職務を代行する。

3. 審議事項

- 1) 放射線防護検討委員会は、次に掲げる事項を審議する。
 - ① 全ての放射線業務従事者の個人線量
 - ② リスクアセスメント実施状況
 - ③ 放射線業務従事者と放射線部安全衛生推進者に対する訓練・講習・教育の実施状況
 - ④ 協議およびコミュニケーション状況
 - ⑤ 放射線被ばく個人報告書の提供状況
 - ⑥ 放射線防護に関する安全衛生活動の相談に関すること
 - ⑦ 本システムの運営に対するその他のリスクの評価に関すること
 - ⑧ 本システムの運営に対するその他の機会の評価に関すること
 - ⑨ 法令遵守状況
 - ⑩ 総合リスク防護管理基準の順守状況（個人線量計、個人保護具の装着状況）
 - ⑪ 次年度の年間計画案と今年度の年間計画実施状況
 - ⑫ リスク管理計画実施状況
 - ⑬ 実施要領の見直しに関すること
 - ⑭ 変更の管理実施状況
 - ⑮ 想定事象発生時の対処状況
 - ⑯ 評価状況（適用法令や要求事項の順守状況、計画の実施状況、目標の達成状況）

- ⑯ システム監査並びにマネジメントレビューの結果に関すること
 - ⑰ システム改善のための計画に関すること
 - ⑲ その他、防護技術部会から挙げられた議案に関すること
 - ⑳ 予算（防護具、防護設備 等）に関すること
- 2) 技術部会は次に掲げる事項を審議する。
- ① 全ての放射線業務従事者の個人線量
 - ② 訓練・講習・教育の実施状況
 - ③ 放射線被ばく個人報告書の提供状況
 - ④ 協議およびコミュニケーション状況
 - ⑤ 放射線防護に関する安全衛生活動の相談に関すること
 - ⑥ リスクアセスメント実施状況
 - ⑦ 本システムの運営に対するその他のリスクの評価に関すること
 - ⑧ 本システムの運営に対するその他の機会の評価に関すること
 - ⑨ 法令遵守状況
 - ⑩ 総合リスク防護管理基準の順守状況（個人線量計、個人保護具の装着状況）
 - ⑪ 次年度の年間計画案と今年度の年間計画実施状況
 - ⑫ リスク管理計画実施状況
 - ⑬ 実施要領の見直しに関すること
 - ⑭ 変更の管理実施状況
 - ⑮ 想定事象発生時の対処状況
 - ⑯ 評価状況（適用法令や要求事項の順守状況、計画の実施状況、目標の達成状況）
 - ⑰ システム監査並びにマネジメントレビューの結果に関すること
 - ⑱ システム改善のための計画に関すること
 - ⑲ その他、防護技術部会から挙げられた議案に関すること
 - ⑳ 予算（防護具、防護設備 等）に関すること

4. 会議

1) 放射線防護検討委員会

- ① 委員長は、委員会を招集し、その議長となる。
- ② 委員会は委員の2分の1以上の出席により成立する。
- ③ 委員会の議事は、出席委員の過半数をもって決し、可否同数は議長が決定するところによる。
- ④ 委員会は原則として年1回以上開催する。
- ⑤ 委員長は、必要に応じ、委員以外の者の出席を求め意見を聞くことができる。

2) 技術部会

- ① 部会長は、部会を招集し、その議長となる。

- ② 部会長は委員の2分の1以上の出席により成立する。
- ③ 部会の議事は、出席委員の過半数をもって決し、可否同数は議長が決定するところによる。
- ④ 部会は原則として年3回以上開催する。
- ⑤ 部会長は、必要に応じ、委員以外の者の出席を求め意見を聞くことができる。

5. 庶務

放射線防護検討委員会及び防護技術部会の庶務は、放射線防護検討委員会事務局において処理する。

(要領 2-3-1)

教育訓練実施要領

制定日:年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者:放射線防護検討委員会

1. 目的

本実施要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠して、放射線業務に関する安全衛生を確保するために必要な教育、訓練を実行し、関係者に周知することを通じて、労働による傷病や損害の発生を防止することを目的とする。

2. 対象

放射線防護マネジメントシステムの第2項に該当する〇〇大学病院本院における放射線業務従事者とする。

3. 実施方法

学校法人〇〇大学安全衛生規定に定める教育を実施する。

3-1. 雇入れ時等の教育

a. 対象

労働安全衛生法第 60 条に定める危険有害業務従事者に該当する者。病院安全衛生委員会所轄区域としては主に、放射線発生装置、RI 機器及び RI 取扱作業者を対象とする。

b. 方法

主に〇〇大学アイソトープ研究センター放射線障害予防規定に則り、以下の項目に関しては重点的に実施される事が望ましい。途中から業務従事者になった場合は随時教育を実施する。

- ・放射線防護マネジメントシステムについて
- ・個人線量計の装着について

3-2. 放射線部安全衛生推進者教育

a. 対象者

各部署の責任者が指名した安全衛生推進者

b. 方法

放射線防護委員会は、教育、訓練体制を整備し、実施計画(教育種類、対象者、実施時期)を策定し、教育内容を定める。教育、訓練に際しては、以下の項目に関して実施されることが望ましい。

- ・関係法令等の理解
- ・安全衛生全般に関わる知識と求められる役割
- ・法的教育の実施と必要資格の取得
- ・有害物質の取扱に関する知識
- ・応急措置・緊急事態における対応
- ・保護具の取扱に関する知識
- ・操作、作業や非定常作業に関する知識、設備管理に関する知識
- ・安全衛生意識の向上
- ・リスクアセスメント・アクションチェックリストの実施方法と改善方法
- ・放射線防護マネジメントシステムについて
- ・その他安全衛生に関すること

3-3. 教育の計画と実施結果の保管

教育計画は、事前に広く周知し、必要な教育を受ける機会を確保する。実施後、担当者は実施内容を「安全衛生推進者教育実施報告書」(病院マネジメントシステム 様式 2-3-1-2)に沿って記載し、安全衛生委員会に記録保管、開示を求められた際は、速やかに記録を提示する。加えて、実施した教育については、受講者へアンケート等を実施し、その効果を把握するよう努める。尚、参加、受講者は自筆で氏名、部署名を「安全衛生推進者教育参加者・受講者名簿」(病院マネジメントシステム 様式 2-3-1-3)に記入し、安全衛生委員会にて保管される。

(要領 3-1-1)

放射線被ばくリスクアセスメント実施要領

改定日：年月日

放射線防護検討委員会 編

担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本実施要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、各個人に存在するリスクを評価し、リスクに応じて個人線量計の装着や個人防護対策を実行し、関係者に周知させることを通して、労働による傷病や損害の発生を防止する。

2. 対象

放射線防護マネジメントシステムの第2項に該当する〇〇大学病院本院における放射線業務従事者とする。

3. 実施者・実施方法

(1) 実施者

放射線防護マネジメントシステムに則り、放射線部の責任者が指名した放射線部安全衛生推進者を中心に実施する。

(2) 実施時期

最低年に1回以上計画のうえ実施する。

(3) 情報収集

放射線被ばくリスクアセスメントを行うための情報は、放射線業務従事者から収集する。そして、放射線照射機器及び診療行為のリスクアセスメントについては主任診療放射線技師が放射線防護検討委員会事務局に報告する。職員のリスクアセスメントについてはRISデータ（昨年度）を用いる。

(4) 実施方法

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」(様式 3-1-1-1)に記載・列挙されている箇所につき、放射線部安全衛生推進者が記入する。

a. ステップ1：放射線照射機器のリスクアセスメント

放射線照射機器から照射されるX線等の照射線量でリスク分類を行う。下記を参照しリスクを決定する。ただし、機器に工学的対策（防護板、防護クロス等）がなされてい

る場合リスクを1つ減らす。また、放射線診断用の核医学装置などの体内のX線量を体外から測定する場合はリスク2とする。

リスク1：放射線照射機器から照射されるX線の照射線量が少ない装置かつX線透視を行なわない装置

- ① X線装置、移動型X線装置
- ② 骨密度装置
- ③ 歯科用X線装置
- ④ 乳房用X線装置

リスク2：放射線照射機器から照射されるX線の照射線量が少ない装置かつX線透視を行なう装置

- ① 移動型透視装置
- ② 核医学装置（SPECT装置、PET-CT装置）

リスク3：放射線照射機器から照射されるX線の照射線量が多い装置かつX線透視を行なう装置

- ① 設置型透視装置
- ② 血管造影装置

リスク4：放射線照射機器から照射されるX線の照射線量が非常に多い装置

- ① CT装置
- ② 放射線治療装置

b. ステップ2：診療行為のリスクアセスメント

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」（様式3-1-1-1）に記載・列挙されている箇所につき、放射線部安全衛生推進者が記入する。散乱体と術者までの距離でリスク分類を行う。下記を参照しリスクを決定する。ただし、リスクアセスメント対象行為は、1回の診療行為の中で、最も時間を有している行為である。

リスク1：距離が遠い診療行為（200cm以上もしくは管理区域外から操作）

- ① 診療放射線技師や看護師の作業など

リスク2：距離が近い診療行為（100～200cm）

- ① 見学者や記録者など
- ② 血管内超音波装置などの操作する者など

リスク3：距離がやや近い診療行為（50～100cm）

- ① 患者介助全般など
- ② IVR全般など

リスク4：距離が非常に近い診療行為（50cm未満）

- ① 透視検査全般など

c. ステップ3：職員のリスクアセスメント

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」(様式 3-1-1-1)に記載・列挙されている箇所につき、放射線部安全衛生推進者が記入する。放射線管理区域内で作業する検査数及び放射線使用平均作業時間（平均照射時間）は、昨年度実績を用いて下記を参照しリスクを決定する。昨年度実績でも情報がない場合は、所属する部署の実績を参考にする。

リスク1：検査数もしくは作業時間が極端に少ない。

(検査数が月平均5件未満、1件あたりの撮影や透視時間1分未満)

リスク2：検査数と作業時間が少ない

(検査数が月20件未満、1件あたりの透視時間10分未満)

リスク3：検査数が多いもしくは作業時間が長い

(検査数が月20件以上、もしくは1件あたりの透視時間10分以上)

リスク4：検査数が多く、かつ作業時間が長い。

(検査数が月20件以上、かつ1件あたりの透視時間10分以上)

d. ステップ4：昨年度の個人被ばく実績

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」(様式 3-1-1-1)に記載・列挙されている箇所につき、安全衛生推進者が記入する。昨年度の水晶体等価線量が0.1mSv以上ならば、総合リスク点数に1点加算する。

e. ステップ5：総合リスクアセスメント

「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」(様式 3-1-1-1)に記載・列挙されている箇所につき、安全衛生推進者が記入する。下記の式を参照し総合リスクを決定する。

総合リスク=放射線照射機器のリスクアセスメント点数+診療行為のリスクアセスメント点数+職員のリスクアセスメント点数+昨年度の個人被ばく実績の点数

総合リスクI：リスクの合計点数が3点

総合リスクII：リスクの合計点数が4-6点

総合リスクIII：リスクの合計点数が7-9点

総合リスクIV：リスクの合計点数が10点以上

f. ステップ6：総合リスクアセスメント

ただし、1人の者が「様々な診療行為を行う事」や「様々な場所で放射線業務を行う事」が考えられる時は、想定されるだけのリスクアセスメントを行い、総合リスクが最

も高いリスクアセスメントを採用する。

g. ステップ7：総合リスクアセスメントの結果を個人に通知

5. 実施結果の評価（のこす、フィードバック、PDCA、総合リスクの点数配分）

放射線部安全衛生推進者は、「放射線被ばくリスクアセスメントチェックシート」（様式3-1-1-1）を記入し、放射線防護検討委員会事務局に提出する。技術部会は、リスクアセスメント実施結果を審議し、必要に応じて調査などを行なう。その際、リスクアセスメント、リスク等管理計画、労災事故、職場巡視などで把握したリスクや最近の知見などによる新たなリスクが、チェックリストに含まれていることを確認し、必要に応じてリストの追加・変更も行なう。自部署内でのリスク低減対策の実施結果の評価は、職場巡視（産業医、衛生管理者等）や自主的な定期活動報告、内部監査等にて確認する。

(要領 3-1-2)

個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況確認実施要領

制定日：年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、リスクアセスメントで定められた個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況を確認する為の具体的な内容を示す事を目的とする。

2. 対象

放射線防護マネジメントシステムの第2項に該当する〇〇大学病院本院における放射線業務従事者とする。

3. 実施方法

a. 個人線量計所有状況のチェック方法

- (1) 先月の線量計が提出された場合に所有しているとみなす。
- (2) 提出が無かった従事者は、技術部会の中でリストが作成され、報告される。
- (3) 提出が無かった従事者は、所属診療科長に報告される。

b. 管理状況のチェック方法

- (1) 安全衛生推進者の職場巡回で週に1回確認される。
- (2) 安全衛生推進者は、適切な管理保管ができるような環境整備を行う。
*自宅やデスクに持っていない状況を作る。
*放射線管理区域の近くで管理する事が望ましい。

c. 個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況のチェック方法

- (1) 安全衛生推進者の職場巡回で週に1回確認される。技術部会の中でリストが作成され、報告される。装着及び着用状況が著しく悪い場合は、所属診療科長に報告される。
- (2) 各手技を実施する前に、医療チームのスタッフはお互いに個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況をチェックする。
- (3) 安全衛生推進者は、総合リスクで決まった個人線量計装着状況個人線量計装着状況及び個人保護具の着用状況を確認する。
- (4) 安全衛生推進者は、適切な個人線量計の装着個人線量計装着及び個人保護具の着用ができるような環境整備を行う。

(要領 3-4-1)

法令遵守状況確認実施要領

制定日：年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者：放射線防護検討委員会

1. 目的

本要領は、放射線防護マネジメントシステムに準拠し、法令の遵守状況を確認するための具体的な内容を示す事を目的としている。

2. 対象

放射線防護マネジメントシステムの第2項に該当する〇〇大学病院本院における放射線業務従事者とする。

3. 実施方法

a. 遵守状況のチェック

(1) 放射線部安全衛生推進者は放射線関連法令が遵守されているかの評価を行う。

(2) 評価には「放射線関係法令遵守チェックリスト」(様式 3-4-1)を用いる。列記されている事項の他に、各部署で特有の事項があれば下欄に追記する。

(3) 各部署の評価担当者は評価に際して、適宜、放射線防護検討委員会に助言、協力を求めることができる。※以下、放射線分野で適用される主な法令を参考に列挙する。

1. 法律

・労働基準法 ・労働安全衛生法 ・医療法・放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（障防法）

2. 政令

・労働安全衛生法施行令

3. 省令

・医療法施行規則

・労働安全衛生規則

・電離放射線障害防止規則

(4) 記載された「放射線関係法令遵守チェックリスト」(様式 3-4-1)は防護技術部会でチェックされ、遵守がなされなかった場合、放射線部安全衛生推進者は各部署に指

導、助言を行う。

b. 法規改正、新施行令への対応

放射線部安全衛生推進者は、関連法規/通達の改正や施行の動向等について、官報、学会誌、業界紙、その他の専門紙、官庁のホームページ等を常にモニターし、改正が必要と思われた場合は、放射線防護検討委員会で討議する。可決された場合は、実施要領の制定・改廃事務取扱要領（要領4-1-1）に従い、逐次訂正を行う。

(要領4-1-1)

実施要領の制定・改廃事務取扱要領

制定日：年 月 日

放射線防護検討委員会 編

担当者： 放射線防護検討委員会

1. 趣旨

この要領は、〇〇大学放射線防護マネジメントシステムのもとで、放射線防護検討委員会および技術部会により作成された実施要領を制定、又は改廃する場合の事務手続きを定めるものとする。

2. 手続

実施要領等を制定又は改廃しようとする場合、システム運用担当者は各実施要領の条文改廃、改訂箇所、及び実施要領の末尾に新旧の改廃条文を記載し、新たに実施要領を制定する場合は全文を準備する。放射線防護検討委員会に議題を提出し、審議される。

3. 訂正及び審査

放射線防護検討委員会は提出された実施要領等案の内容を確認し、訂正の必要があると認めた場合は協議され、担当者に条文の訂正を命じる。訂正後、再審議の結果はシステム運用担当者に通知、決裁される。

4. 通知

決裁された実施要領は各部署に通知され、実施要領の表題下欄に改訂日の記載がなされる。また、改訂された箇所は、実施要領の末尾に新旧の改廃条文を記載する。

(要領 4-2-1)

変更の管理実施要領

制定日：年月日

放射線防護検討委員会編

担当者：放射線部安全衛生推進者

1. 目的

本実施要領は、職員の安全と健康に影響を及ぼす危険性のある変更がなされた場合に、その影響について評価を行い、適切なリスク管理ができるることを目的とする。

2. 対象

放射線防護検討委員会が所轄する組織及び、部署

3. 実施方法

(1) 設備等の変更を行う際、変更に関わる主任診療放射線技師は変更の計画をした時点で遅滞なく設備等変更届(様式 4-3-1)を担当する放射線部安全衛生推進者に提出するものとする。なお、設備等の変更とは、具体的に以下の変更を指す。

- ① 新規設備の導入および設備の改廃
- ② 新規の放射線照射機器の導入および機器の改変
- ③ 新規の医療行為の導入および改変
- ④ 本システムの運用に影響を及ぼす組織の大幅な変更

(2) 放射線部安全衛生推進者は必要に応じて、防護専門チームや専門家等の意見を求め評価を行う。変更が不適切であると判断された場合は、速やかに各部署の主任診療放射線技師に報告、指導を行う。

(要領 4-3-1)

想定事象発生時対応要領
制定日： 年 月 日
放射線防護検討委員会 編
担当者： 放射線防護検討委員会

1. 目的

本実施要領は、職場に起こりうる緊急事態（法定線量限度を超える被ばく者発生時）の対応を手順化し、早期に的確な措置を実施できることを目的とする。

2. 対象

放射線防護マネジメントシステムの第 2 項に該当する〇〇大学病院本院における放射線業務従事者とする。

3. 実施方法

a. 法定線量限度を超える線量被曝者の発生時（水晶体等価線量限度）

- (1) 法定線量限度を超える線量（目安：年間 20mSv を超える値、3ヶ月で 5mSv、1ヶ月で 1.6mSv）が判明した場合、放射線部安全衛生推進者が速やかに被対象者、技術部会メンバー、防護チームに連絡する。
- (2) 初期処理は放射線部安全衛生推進者が被対象者に「個人線量計の装着の不備や管理区域内での置き忘れ等」をヒアリングする。
- (3) 次に放射線部安全衛生推進者が水晶体被ばく線量を水晶体線量計で測定する。
(1ヶ月間もしくは 10~20 症例程度) 水晶体被曝測定に必要な測定器等の備品は〇〇にて貸し出しを受ける。線量測定の結果は〇〇から放射線部安全衛生推進者に連絡がいく。なお、〇〇には以下の備品が常備してある。
 - ・ 水晶体線量計（蛍光ガラス線量計含む）
 - ・ 防護眼鏡
- (4) 線量測定の結果は、放射線部安全衛生推進者が速やかに被対象者、技術部会メンバー、防護チームに連絡する。
- (5) 水晶体被ばく線量が 20mSv を超えない場合は、そのまま個人線量計でモニタリングを行う。20mSv を超えた場合は、放射線部安全衛生推進者が防護専門チームの招集を速やかに行う。
- (6) 防護専門チームは、「原因解明、防護対策、防護対策にかかる費用の試算」を速やかに行い、放射線部安全衛生推進者と被対象者に報告する。
- (7) 放射線部安全衛生推進者は、防護専門チームの報告を防護技術部会メンバーに隨時共有する。

- (8) 放射線部安全衛生推進者は、防護専門チームの報告書を放射線防護検討委員会に提出する。
- (9) 大規模な火災や爆発等を伴った場合は「学校法人〇〇大学消防規定」に準ずる。

(要領 5-2-1)

システム監査実施要領

制定日：年 月 日

放射線防護検討委員会編

担当者： 放射線防護検討委員会委員長

1. 目的

マネジメントシステムでは、システム監査を実施してシステムの導入状況および実施状況を評価しシステムの改善に結びつけることを基本としているが、さらに第三者の立場での参加を得て、実施者とは異なった立場から改善点を探ることを目的とする。

2. 対象

放射線防護検討委員会

3. 頻度

システム監査を年1回実施する。実施予定は、年間計画の中に明記される。

4. 監査チーム

放射線防護検討委員会から選出された以下のメンバーに加え、大学等安全衛生組織以外の組織から、産業医、衛生管理者等の構成員の参加を得る。また、安全衛生委員会メンバー以外の能力を有する学内（例えば他の委員会の産業医等）もしくは学外の参加についても検討する。

- ・ 放射線防護に関する専門家 1名～2名
- ・ マネジメントシステムの専門家 1名～2名
- ・ システム実施管理者 1名
- ・ システム運用担当者 1名

5. 実施方法

a. 実施手順

- (1) 監査に当たり、監査チームは訪問先等とのスケジュール調整、閲覧予定のシステムに係る文書および記録等の実施計画について、必要に応じて事前に打ち合わせの会議を開催し、確認し準備を行う。
- (2) 監査は、システムに関わる文書および記録の閲覧、担当者からのヒヤリング、事業場内の視察等を通して監査が実施される。

b. 実施の評価

- (1) 監査の評価は、システムの導入状況およびシステムの有効性の両面から実施される。

監査チームは、「労働安全衛生マネジメントシステム相互監査報告書」(様式 5-2-1-1)を取りまとめる。取りまとめにあたって、事実についての確認や改善の現実性について、安全衛生委員長との間で協議を行い、最終報告書を作成する。

- (2) 監査で改善が必要とされた内容について1ヶ月以内に対応策を策定する。対応策は、内容によっては年間計画に、緊急性があるものについてはリスク等管理計画（様式3-5-2）に含められ、進捗が管理される。監査の結果、対応計画、改善実施状況については、放射線防護検討委員会に報告される。

6. 評価

a. 監査によるマネジメントシステムの評価

マネジメントシステムを導入状況と有効性の2面で評価する。「労働安全衛生マネジメントシステム相互監査報告書」(様式 5-2-1-1) の評価点欄に1~4を記入する。

・導入状況の評価

- 1 マネジメントシステムの導入段階である。
- 2 マネジメントシステム導入が行われたが、安全衛生対策実行上、大きな課題が存在する。
- 3 マネジメントシステム導入の結果、大きな課題が存在しないが、小さな課題が改善されていない。
- 4 マネジメントシステム導入の結果、大きな課題が存在せず、小さな課題についても継続的に改善が実施されている。

・有効性の評価

- 1 マネジメントシステムが機能せず、必要な安全衛生活動がほとんど行われていない。
- 2 マネジメントシステムの実施基準の達成に大きな課題が存在する。
- 3 マネジメントシステムの実施基準の達成には大きな課題は存在しないが、小さな課題が存在する。
- 4 マネジメントシステムの実施基準は、ほぼ完全に達成している。

b. 監査結果と周知

内部監査結果が記載された「労働安全衛生マネジメントシステム相互監査報告書」は、安全衛生委員会に提出され、評価を受ける。改善が必要な場合は各部署で実施可能な対応を行い、更に「監査結果に基づく改善計画書」(様式 5-2-1-2) で、放射線防護検討委員会等に定期的に報告される。また監査の結果は職員に公表される。

c. 改善への取り組み

部署のみでは対応不可、解決困難と思われた場合は、リスク等管理計画に則り、改善が遂行される。

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

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

研究協力者 狩野真利 東京医療保健大学大学院 大学院生

研究協力者 熊沢貴史 東京医療保健大学大学院 大学院生

研究要旨

- ・わが国での規制整備に資するために、G7 を対象とし眼の水晶体の新しい線量限度の取入れ状況を調査し、課題について整理を試みた。
- ・米国は 2016 年 12 月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であったが（2020 年 2 月現在）、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは 5 年間の経過措置が講じられていた。
- ・各国の規制では、歴史的な経緯も踏まえ事業者への罰則に関しても整備されていた。
- ・日本では、本研究班などで実情を把握した結果、一部の医療従事者に関しては、雇用主側ではなく労働者の意向を尊重し、経過措置が講じられる予定となっており、その対象者の選定なども規制整備上の課題となり得るが、労働衛生マネイジメント・システムを現場で機能させることができが肝要であり、労働安全は雇用主と労働者の協調も求められることから、労働者の意向にも配慮した上で、雇用主が果たすべき役割に関して罰則が適用されるようにルール整備することが望ましいと考えられた。
- ・医療分野の特性を考慮して国際的な考え方沿った規制整備も求められると考えられた。
- ・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、20 mSv/年を上回る可能性も示唆され、適切な防護具の使用、パルス透視モードの選択、散乱体からの距離の確保が必要であり、手術スタッフへの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、リングバッジの滅菌処理の対応などが課題であった。
- ・X 線装置の免除レベルに関して日本でも X 線装置に関して IAEA が規定する規制免除レベルを導入すべきだと考えられたが、GSR part 3 の放射線発生装置の規制免除の規定は明確化の余地があるとも考えられた。

A. 研究目的

疫学研究の知見を踏まえた眼の水晶体の等価線量限度の引き下げに関して、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20 mSvへ引き下げる勧告がなされた後に、国際的に規制への取り入れの方向で検討が進められており、国際原子力機関（IAEA）の国際基本安全基準（BSS；International Basic Safety Standards）の一般要求事項 GSR Part3 に取り入れられた。

これを受け、各国が眼の水晶体等価線量限度の引き下げを国内法令に取り入れている。そこで、わが国での規制整備に資するために、昨年度に引き続いだ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を調査し、課題について整理を試みた。

また、比較的エネルギーが低い光子を発生する装置でも不均等被ばくが課題となり得るが、このような装置の規制のあり方は、放射線審議会基本部会でも解決すべき課題とされていることから、その解決に向けて、海外の動向を調査した。

さらに、5 keV以上10 keV未満のエックス線が発生しうる機器の放射線安全規制の課題として、IAEA（国際原子力機関）のGSR（一般安全要件）part 3では、放射線発生装置に関する免除レベルを、人が触れる装置表面から10 cmにおける線量率が1 μ Sv/時を超えないか、発生する放射線の最大エネルギーが5 keVを超えないものと規定しており、放射線審議会基本部会報告書「規制免除について」（2002年）ではIAEAが規定する放射線発生装置の免除要件の国内法令への取り入れは、その妥当性や国内

での利用実態を考慮して検討する必要があるとしているが、その後、検討がなされていないことから、X線装置の規制免除レベルのあり方に関する検討し、低エネルギーのエックス線が発生しうる機器の放射線安全規制の課題の整理を試みた。

なお、整形外科領域における Balloon kyphoplasty 施術中の術者およびスタッフの被ばく線量の評価を試みたので、この結果を別添えで示す。

B. 研究方法

1 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

海外諸国の取入れに関する実例の情報収集を試みた。対象国は、G7とし線量限度や罰則などの情報を、Webサイトを通じて収集した。また、英国の2017年電離放射線規則（The Ionising Radiations Regulations 2017 (IRR17) の内容を調査した。さらに、電子メールを用いて各国の関係者に実情を尋ねた。

2 X線装置の規制免除レベルのあり方 放射線審議会基本部会報告書（以下「報告書」）と現状を比較した。

（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。

C. 研究結果

1 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

水晶体の等価線量限度引下げ状況を表1に示す。米国は2016年12月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であったが

表1 水晶体線量限度引下げの各国の状況

	フランス	ドイツ	イギリス	カナダ	アメリカ
導入時期	2018年7月1日施行	2018年12月31日施行	2018年1月1日施行	導入検討中	導入せざ
関連法律・規則	労働法 公衆衛生法	放射線防護条例	電離放射線規制	放射線防護規則 SOR / 2000 - 2003	連邦規制集 放射線防護基準
	等価線量	等価線量	等価線量	等価線量	実効線量
水晶体線量限度	〈18歳以上〉	〈18歳以上〉	〈18歳以上〉	〈原子力作業従事者〉	
	100 mSv/5年 かつ 20mSV/年	100 mSv/5年 かつ 20mSV/年	100 mSv/5年 かつ 20mSV/年	150 mSv/年	15 rem (0.15Sv)/年 (18歳未満 成人の10%)
	〈18歳未満〉	〈18歳未満〉	〈18歳未満〉	〈原子力作業従事者以外の人〉	
	15 mSv/年	15 mSv/年	15 mSv/年	15 mSv/年	組織反応にRBE 使用 (等価線量は使用しない)
備考	5年間の移行期間を 経て導入				

(2020年2月現在)、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは5年間の経過措置が講じられていた。

罰則に関しては、各国とも労働安全衛生法に基づき罰則が適用になりうると考えられた。

例えば、英国では、安全衛生法2008の第1条別表3Aに罰金と罰則が規定され、従業員の安全と健康を守る義務を履行しなかった場合、略式裁判では一年以下の禁固または2万ポンド以下の罰金、もしくはその両方、正式裁判では2年以下の禁固または罰金、もしくはその両方と規定されていた。また、電離放射線規則2017の620項で関係者間の協調を求めているが、線量計の装着に関しては、雇用主の指示に従わずに、従事者が線量計を着用しなかつたりした場合も、法令違反になるとしており、韓国と同様の規定となっていた。

また、フランスでは、線量限度を超過した場合の具体的な罰則規定について明確に記載はされていないが、従業員の安全や健康を損ねるような違反事項が生じた場合、雇用主は1万ユーロの罰金が科せられ、再犯した場合は3万ユーロと1年の懲役刑が科せられ、さらに繰り返して禁止事項を遵守しない場合は2年間の懲役と9000ユーロの罰金が科せられるとしており、何らかの介入が必要な場合に労働監督官が命令し、それに従わない場合は、罰金刑(1万ユーロ)が科せられうるとなっており、英国と同様の制度となっていた。

一方、米国では労働衛生法違反に対して多額の罰金を科し、その分野の労働条件の改善を目指している例があった。

このように各国において、歴史的な経緯も

踏まえ罰則に関しても規制が整備されていると考えられた。

英国の 2017 年電離放射線規則は、英国の地域間の歴史的な扱いの違いを反映した複雑さを持っていたが、放射線安全に関する規定は国際機関の文書の考え方へ沿つたものとなっていた。医療分野では比較的、頻繁な異動や同時期の複数の職場に勤務することが起こりえるが、それらを想定した規定となっており、労働者と雇用側の協働も重視していた。また、情報科学を活用して、省力化した段階的な一元管理が可能なシステムを運用していた。韓国でも既に医療分野の労働者を含めた個人線量の一元管理システムを日本の事例を先行例として開発し、それを運用させており、その導入が課題であると考えられた。

2 X 線装置の規制免除レベルのあり方

報告書では、労安法、船員法及び国家公務員法で、装置の防護基準の規制対象となるのは、定格管電圧が 10 kV 以上のエックス線装置で、労安法及び国家公務員法での設置の届出等の規制対象には管電圧による基準はないとしているが、労働安全衛生法の 10 kV の基準は、特定 X 線装置に該当するものであり、照射筒、しづき、ろ過板を原則用いることを求めている。一方、放射性同位元素等の規制に関する法律では、装置表面から 10 cm における線量率が 600 nSv/ 時を超えないか、1 MeV を超えないエネルギーを有する電子線及びエックス線を発生する装置を規制対象外としている。このように日本では放射線発生装置の規制免除レベルが定められておらず、用いる指標は国

際基準と合致していないことから各事業所の扱いが様々であった。このため日本でも X 線装置に関して IAEA が規定する規制免除レベルを導入すべきだと考えられた。

また、GSR part 3 の線量率は周辺線量当量率か方向性線量当量率のどちらかとしているが評価する深さは限定されていない。学校で用いられるクルックス管では 10 keV の光子に対して、空気カーマからの換算係数が 93 倍異なり、公衆に対する線量限度が実効線量と皮膚の等価線量では 50 倍異なることから、法令適用上の対応が求められると考えられた。

D. 考察

1 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

日本では、より質の高いデータに基づき現状を把握し、一部の医療従事者に関しては、雇用主側ではなく労働者の意向を尊重し、フランスと同様の経過措置が講じられる予定となっておりベルギーでの検討にも沿った取り組みがなされる見込みである。経過措置を講ずべき対象者の選定なども規制整備上の課題となり得るが、労働衛生マネイジメント・システムを現場で機能させることが肝要であり、労働安全は雇用主と労働者の協調も求められることから、労働者の意向にも配慮した上で、雇用主が果たすべき役割に関して罰則が適用されるようにルール整備することが望ましいと考えられた。

また、規制適用の考え方として IAEA では段階的なアプローチを提示しており、各国の規制もその考え方へ沿って整備されていた。これに対して日本の現行のルールで

は、不均等被ばくのモニタリングに関して、防護衣着用の有無でその必要性を分けてい
るが、防護衣着用の判断が必ずしも、定量的なリスクアセスメントに基づいてはいな
いために、労働衛生マネジメントに沿った
考え方の適用が困難になっていると考えら
れた。このことが、整形外科医からの問題
提起（臨床整形外科 55巻2号（2020年2
月））にもつながっていると考えられ、国際的
に標準的な考え方へ沿ったルール整備が
課題となり、本研究班での労働衛生マネジ
メントの放射線防護への適用で得られる知
見がその規制整備に役立つものと考えられ
た。

具体的な手技に当てはめた例では別添え
でも示すように 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
くなりるとともに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、パルス透視モードの選択、
散乱体からの距離の確保が必要であり、手
術スタッフへの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
グバッジの滅菌処理の対応などが課題であ
った。また、障害者歯科放射線診療施設
でスペシャルニーズ歯科放射線診療に従事
する歯科医師を対象とした計測では、3人
の歯科医師間での比較では、一回あたりの
手指における Hp(0.07)が、1.2 mSv, 14 μSv,
6 μSv と 2 百倍程度の差があることが確認
されている（広島大学原爆放射線医科学研
究所との共同研究課題：障害者歯科放射線
診療における医療従事者の線量評価によ
る）。現在、日本で利用可能な商用サービス

では、手指に付ける素子はフリーサイズと
なっており、指が細い放射線診療従事者では
は、放射線に曝露する指先ではなく、指の
根本に素子を装着せざるを得ず、手指の線
量測定がモニタリング用素子の制約により
過小評価されることを示している。また、
得られた結果から、公益財団法人 日本適合
性認定協会の認証が得られている商用サー
ビスを利用して読み取られた光子のエネ
ルギーが理論値よりも高くなっていること、手
指の線量を過小評価している可能性があるこ
とが示されている。

また、内視鏡的逆行性胆管膵管造影に従
事していた看護師の協力を得て行った生体
内の歯を用いた電子スピン共鳴測定でも陽
性の信号が検出された（基盤研究(C)『歯エ
ナメル質生体 EPR 被曝線量測定装置の開
発』(研究代表者:三宅 実)の成果による)。
推定された線量は 0.13 ± 0.03 Gy であつ
た（ただし審美歯科治療の影響を要吟味）。
この看護師は、確認できた 2004 年 6 月か
ら 2011 年 3 月までの期間だけでも眼の水晶
体の等価線量としては累積で 66.8 mSv と
なっており、最大月では 10 mSv 程度とな
っていた。第 2 回 眼の水晶体の被ばく限度
の見直し等に関する検討会で提示された日
本放射線技術学会学術調査研究班による調
査では、内視鏡室の看護師の半数で眼の水
晶体の等価線量が年間 20 mSv 以上となっ
ており、生体内の歯を用いた電子スピン共
鳴測定でも信号が検出される可能性がある
と考えられた。

同様に、弘前大学整形外科教室員のデータ
では、慢性放射線障害の症状として、手指
の爪の変色、変形を来している割合は
33.6% (37 名/110 名) と高く、皮膚障害

に対する加療歴は 5.5%(6 名)に認め、その治療として 3.6%(4 名)ががん切除術の適用となる(浅利 享, 和田 簡一郎, 熊谷 玄太郎, 田中 直, 石橋 恭之.整形外科医師における放射線職業被曝に関する実態調査-自己記入式アンケート調査からの検討)とともに、「整形外科医の末梢血リンパ球では、二動原体染色体および環状染色体などの不安定型染色体異常が他の医療職者よりも高頻度に認められた。さらに、安定型染色体異常である転座も高頻度であった。」と整形外科医の方々の職業被ばくによる染色体異常が報告されている(三浦 富智.整形外科医の超局所慢性被曝による染色体異常)。

事後的な線量評価として、線量モニタリング結果が得られない場合であっても、爪や歯を用いた電子スピン共鳴法による線量測定や生物学的な線量測定法を組み合わせた線量推計を試みることができるのでないかと考えられた。

2 X 線装置の規制免除レベルのあり方

学校教育現場で理科教育に用いられているクルックス管からは 15 cm の距離で $H_p(0.07)$ が 100 mSv/h を超える比較的高い強度の X 線(もっとも曝露時間が限定的であれば、線量も限定的となり、ほとんどの装置では線量が少ない)を放出する製品が存在する。放射線作業従事者ではなくまた労働者ではない若年層の「生徒」に対して高い線量の被ばくの可能性とその防護策が十分に検討されていないことは、放射線安全管理上の課題である。現在の我が国の法体系には一般公衆に対する国際的な線量拘束値が取り入れられていないなど、国

際的な考え方へ沿った放射線安全規制が行われていない側面もある。特に近年、眼の水晶体に対する被ばくが問題になっており、線源を見つめる必要があるクルックス管の特性上、詳細な検討が必要である。中学教育現場では現状でクルックス管が授業で用いられており、さらに新学習指導要領の全面実施により今後実演を行う学校は増えると考えられているため、被ばく線量を合理的に達成可能な範囲で低減する必要がある。

しかしながら、クルックス管から放出される X 線はエネルギーが低くかつパルス状に放出され、さらに誘導コイルの状態によつても大きく線量が変化するため、正確な線量、エネルギースペクトルの評価は困難である。これまでの研究から 20keV 前後のエネルギーであることが明らかになっているが、人体中の半価層は 1cm 程度であり、さらに空間的にも不均等な放射線場であるためクルックス管正面中央で測定した 1cm 線量当量は実効線量に対して大幅な過大評価となる。現時点における実効線量など防護量の正確な評価は困難であるが、現在既に教育現場で使われているクルックス管からの線量を合理的に達成可能な範囲で早期に低減する必要があるため、正面中央などの最も線量が強い点における保守的に評価した防護量を指標として、運用条件のコントロールにより線量を低減する「クルックス管運用ガイドライン」の試作もなされたところである。

教育で用いられるクルックス管に関しては、今後、防護量の評価及び管理目標値の設定などを保健物理学会専門委員会や日本放射線安全管理学会でも継続し、最終的に「教育現場における放射線安全管理ガイド

ライン」として学会標準として体系化し、実際の学校教育現場の教員に負担無く安全な実験を実施してもらえるようにすることが計画されており、併せて規制に関しても整備する必要があると考えられた。

E. 結論

米国は 2016 年 12 月の段階で導入を見送り、カナダは導入検討中であったが（2019 年 12 月現在（この項は年明けに修正予定））、それ以外は、導入されていた。なお、フランスは 5 年間の経過措置が講じられていた。罰則に関しては、歴史的な経緯も踏まえ罰則に関しても規制が整備されていると考えられた。

日本では、より質の高い現状把握のデータに基づき、一部の医療従事者に関しては、雇用主側ではなく労働者の意向を尊重し、経過措置が講じられる予定となっており、その対象者の選定なども規制整備上の課題となり得るが、労働衛生マネイジメント・システムを現場で機能させることが肝要であり、労働安全は雇用主と労働者の協調も求められることから、労働者の意向にも配慮した上で、雇用主が果たすべき役割に関して罰則が適用されるようにルール整備し、情報科学を活用した段階的な一元管理をシステム的に導入することで省力化を図ることも検討課題であると考えられた。

X 線装置の免除レベルに関して日本でも X 線装置に関して IAEA が規定する規制免除レベルを導入すべきだと考えられたが、GSR part 3 の放射線発生装置の規制免除の規定は明確化の余地があるとも考えられた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 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.

2. 学会発表

- 1) 熊沢貴史, 小野孝二, 嶋谷圭一, 狩野真利, 山口一郎, 檉田尚樹. 整形外科領域における Balloon kyphoplasty 施術中における術者およびスタッフの被ばく線量評価と放射線防護策についての考察. 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 4-7 日、仙台、講演集. P68
- 2) 狩野真利, 小野孝二, 山口一郎, 檉田尚樹, 嶋谷圭一, 熊沢貴史. ICRP 勧告に基づく職業被ばくにおける水晶体線量限度の取入れに関する国外動向調査. 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 4-7 日、仙台、講演集. P184
- 3) 秋吉 優史, D0 Duy Khiem, 藤淵 俊王, 橋本 周, 古田 琢哉, 松田 尚樹, 榎本 敦, 大谷 浩樹, 伊藤 照生, 飯本 武志, 加藤 昌弘, 山口 一郎. 「教育現場における低エネルギー X 線を対象とした放射線安全管理に関する専門研究会」活動報告. 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 4-7 日、仙台、講演集. P68

- 4) 山口一郎, 秋吉優史. 中学校や高等学校等で用いるクルックス管の放射線安全規制の課題. 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4-7日、仙台、講演集. P73
- 5) 藤淵俊王、秋吉 優史、松本 亮、山口 一郎、古田 琢哉. シミュレーションによる線量評価の試み クルックス管プロジェクトシリーズ発表. 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4-7日、仙台、講演集. P74
- 6) 河野恭彦、服部隆利、山口一郎、横山須美、中野裕紀、佐藤紀子、工藤ひろみ、野村直希、迫田晃弘、内藤航、黒田佑次郎、吉田浩子. 福島事故後に住民に提供された資料の分析とその評価方法の検討. 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4-7日、仙台、講演集. P165
- 7) 秋吉 優史, 山口 一郎, 橋本 周, 飯本 武志, 小鍛治 優, 森山 正樹, 前田 勝弘, 若松 巧倫, 増子 寛, 田中 隆一, 宮川 俊晴. 教育現場への放射線安全周知活動報告. 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4-7日、仙台、講演集. P204
- 月 10 日、東京.
- H. 知的財産権の出願・登録状況
1. 特許取得
なし
 2. 実用新案登録
なし
 3. その他

3. その他

- 1) 山口 一郎. 医療放射線の安全管理に説明を持つ担当者を国際原子力機関はどう規定しているか?. 令和元年度「医療放射線管理講習会」; 2019年10

クルックス管を用いた学校での理科実験の動向	9
新中学校習指導要領	9
4. X線装置の規制の免除	10
国内の法令	10
X線装置に関する規制免除	10
R1法	10
労働安全衛生法・電離則	10
過去の議論	11
海外の法令	11
IAEA の BSS における X 線装置に関する規制免除	11
IAEA の Draft safety guide DS499 での規制免除	12
Application of the concept of Exemption	12
規制の適用が免除される装置例	12
5. 規制対象となるX線装置の安全管理	12
国内の法令	12
労働安全衛生法・電離則	12
事前の届出	12
違反事例	14
法第88条第1項の届出が禁止?	14
人事院規則	14
エックス線装置等の定期検査	14
放射線装置室	14
6. トラブル事例	16
教育現場での放射線事故例	16
軽 X 線発生装置による被ばく事故	16
岩手県の高校での事例	16
教育現場以外での放射線事故例	17
電子工場敷 X 線局所被ばく事故対応	17
X 線回折装置被ばく事故	17
個人線量モニタリングの異常値から気づかれた回折用 X 線装置作業者の異常被曝の発見事例	17
3. クルックス管を用いた学校での理科実験に関する放射線安全管理規制の適用のあり方の検討の必要性	9

9. 海外の動向	21
装置の分解による被ばく例	17
エックス線装置の漏洩エックス線検査中、放射線皮膚障害	17
理科学実験での放射線安全確保	21
労働安全衛生法違反事例	17
GSR PART 3	18
III.3. For public exposure, the dose limits are...	18
ICRP	21
IAEA	22
教育を受ける対象者の線量限度 (IAEA GSG-7)	22
3.39. In accordance with para. III.2 of GSR Part 3 [2];	22
計画被ばく状況で用いる線量拘束値	22
学校での放射線教育のあり方	22
カナダ	23
PL 法の適用	18
SCIENCE SAFETY RESOURCE MANUAL	23
これまでの啓発活動	18
Radiation Hazards in High School Science Laboratories.	23
カナダ・マニトバ州教育省	24
フィンランド	24
STUK	24
英國	25
注意喚起例	19
Education Management Circular No.127a: Community Services: Education	25
アイルランド	25
関連情報	19
関係機関	19
教育関係者間での意見交換例	19
高等学校	20
これまでの実態把握調査	20
中学校	20
高等学校	20
10. 法令	26
関連した文献	20
労働安全衛生法	26
電離則	26
(照射筒等)	26
(2)過板	27
鹿児島県小・中学校	21
学校での放射線リスク教育	21
教員の方向けの相談窓口	28
(放射線装置室)	28
(立入禁止)	28

人事院規則10—5（職員の放射線障害の防止）の運用について.....	29
放射線教育に関する質問主意書.....	29
放射線教育に関する質問主意書.....	34
医療法.....	29
医療法施行規則.....	29
エックス線装置の届出.....	29
特定X線装置.....	29
人事院規則.....	30
法令適用に関する検討例.....	30
過去の経緯.....	30
法令適用に関する事例.....	30
11. 理解を深めるためのFAQ.....	31
放射線はどこまでまっすぐ飛んでいくのですか？.....	31
ピットホールとしての線量測定.....	31
クルックス管を用いた実験で行うことを考えています。念のために放射線の線量率を計測したら検出できませんでした。安全と見て良いですか？.....	31
衣服の遮へい.....	31
クルックス管で用いられるような低エネルギー光子は衣服での程度遮へられますか？.....	31
ガラスの遮へい.....	31
クルックス管で用いられるような低エネルギー光子はガラスでどの程度遮へられますか？.....	31
クルックス管と霊箱.....	32
高校での霊箱製作ノウハウを中学教諭に二名古屋経済大学市邨高校.....	32
線量限度との比較.....	32
被ばくが増えていて最初に超えるのは実効線量でしょうか？.....	32
教育効果？.....	33
Q. クルックス管を用いた実験の教育効果はなく、その実験での放射線爆癪は正当化できないのではないか？.....	33
教育経済学.....	33
X線回折装置.....	33
疑問表明例.....	33
12. その他.....	34

なることを何かの方法で担保する必要がある。また、その担保の方法は教員の負担を避ける必要がある（フェイルセーフ機構とするなど）。

現在では、各メーカーが自主的にチェックを行なっていることであるので、JISやIEC規格化するなどして統一基準を示したり、一般消費財としての販売基準をハードウェアに対して課すこととも考えられるかもしない。

また、出力が増加していた装置では、放電させるために無理矢理に電圧を上げていたものには装置が安全に使えるかどうかを検証する簡単な電圧測定法の開発なども求められる。これらの装置では、遮蔽体や低抗器を入れることなどでさらに線量を下げることは可能であるが、どこまでが Reasonably Achievable と言えるのか、学校現場の先生方や保護者の意見を取り入れて検討する必要がある。

公衆の線量限度

IAEA では公衆の線量限度を定めている。

日本の法令では、公衆の線量限度を明示的に定めている。

このため日本でも公衆の線量限度を明示的に法令上も導入すべきだと考えられた。

学校の理科の授業でX線発生装置を用いる際に適用する線量拘束値

IAEA では線量拘束値の概念を定めている。

日本の法令では、他の加盟国と異なり線量拘束値の概念を導入していない。

導入していないのは利害関係者の反対によるところである。

しかし教育関係者間では線量拘束値の概念の導入に反対する意見は乏しいと考えられる。

このため日本でも線量拘束値の概念を導入すべきだと考えられた。

具体的な線量拘束値の設定は教育現場により近いところでなされる必要があると考えられる。費用対効果分析なども踏まえて放射線防護用の装置カバー導入の是非なども教育現場により近いところで検討する必要があると考えられる。

議論

放射線安全管理の実践例としての意義

本課題もリスク教育の題材として用いるのがよいのではないかと考えられる。学校での取り組み事例として国際的に発信することも考えられる。リスクへの対応として教訓化し、原子力災害対応にも何らかの形でいかせるようにするの

がよいのではないかと考えられた。

結論

日本でも他の加盟国同様に国際機関の考え方方に沿ったX線装置の免除レベルを導入するのが適切であると考えられた。

2.はじめに

クリックス管を用いた物理実験は配慮することで安全に中学校や高等学校で実施することができる。技術的な課題は近くの事務機関に相談することが出来る。各学校現場で放射線安全を確保するためにクリックス管プロジェクトが進行中となつている。

MEXT の放射線安全確保に関する基本的な考え方

Ensuring the Safety of Radiation and Nuclear Energy²

Radiation and nuclear energy are not used only to generate electricity. They are also used for applications such as semiconductor manufacture and medical irradiation. Ensuring safety is the first premise of research, development, and use of radiation and nuclear energy. Based on the law, MEXT enforces strict safety regulations on the use of research and test reactors, radioactive isotopes, and so on through inspections and examinations of facility designs. It also implements measures against nuclear accidents surveys environmental radiation.

最初の文章は発電以外にも利用されていると述べたのだと思われる。このことは原子力発電の是非の議論を避けることの理由としているとも考えられるが、どのような技術であれ不利益も社会にもたらすので、安全評価や技術評価も求められることになる。

理科教育の歴史

教育用X線装置³

クリックス管の放射線安全

最大の線量率はどの程度か？

この装置では扱いによって出力が大きく異なりうることが確認されている。例えば、クリック

¹ <http://bigbird.riast.osakafru.ac.jp/~akiyoshi/Works/CrookesTubeProject.htm>

² http://www.mext.go.jp/list_001/list_016/_icsFiles/afieldfile/2010/09/08/mext_2010_e.pdf

³ https://www.shimadzu-rika.co.jp/kyoku/classic/X_ray.html

クス管から 15cm の距離 10 分間の照射で、70μm 線量当量が 33 mSv 以上に達する装置が見いだされている。この装置で放電極距離を広げるとさらに線量が増加しており積極的な介入が求められる。
もつとも、この装置であっても、きちんと設定すれば劇的に線量が落ちることが確認されている。このため、適切な条件の使用で規制免除レベルを下回る装置は、「不適切な使い方にによる過剰な被曝を防ぐこと」が放射線安全管理の目標となる。

通常の装置

規制免除の適用では、通常の使用の条件下を仮定することでおよいと思われるが、装置の出力は条件設定にも依存し、ごく一般的な装置でも、最大出力の設定ではなくクルックス管から 15 cm の位置で Hp(0.07) として 14 mSv/h 程度となるので、学校現場での実用が一定の条件下となることを何らかの方法で担保する必要がある。また、その担保の方法は教員の負担を避ける必要がある（フェイルセーフ機構とするなど）。

各メーカーの取り組み

現在では、各メーカーが自主的にチェックを行なっていることであるので、JIS や IEC 規格化などして統一基準を示して販売したり、一般消費財としての販売基準をハードウェアに対して課すこととも考えられるかも知れない。
また、出力が増加していく装置では、放電させたために無理矢理に電圧を上げていたものがあるため、装置のメンテナンスも計画的に実施できる必要があるとともに

に装置が安全に使えるかどうかを検証する簡易な電圧測定法の開発なども求められる。

教材の安全確保に向けて

遮蔽体や抵抗器を入れることなどでさらには線量を下げることは可能であるが、どこまでが Reasonably Achievable と言えるのか、先生方や保護者の意見を取り入れて検討する必要がある。

3. クルックス管を用いた学校での理科実験に関する放射線安全管理規制の適用のあり方の検討の必要性

クルックス管を用いた学校での理科実験の動向

新中学校学習指導要領

平成 32 年度から移行措置としてクルックス管の放射線授業が実施される見込となつている。

新学習指導要領移行措置⁴

(4) 平成 32 年度の第 2 学年の理科の指導に当たつては、次のアからウまでのとおりとする。

⁴ <https://www.bunri.co.jp/info/rv/ikousuchi.html>

5

ア 現行中学校学習指導要領第 2 章第 4 節第 2 [第 1 分野] の 2 (3)ア(イ)に規定する事項については、新中学校学習指導要領第 2 章第 4 節第 2 [第 1 分野] の 3 (5)エのうち「放射線の性質と利用」に関する規定を適用するものとする。

4. X線装置の規制の免除

国内の法令

X線装置に関する規制免除

日本では X線装置に関する規制免除の規定がない。

RI 法

放射性同位元素等の規制に関する法律施行令

放射線発生装置

第二条 法第二条第四項に規定する政令で定める放射線発生装置は、次に掲げる装置（その表面から十七センチメートル離れた位置における最大線量当量率が原子力規制委員会が定める線量当量率以下であるものを除く。）とする。
一 サイクロトロン
二 シンクロトロン
三 シンクロサイクロトロン
四 直線加速装置
五 ベータトロン
六 ファン・デ・グラーフ型加速装置
七 コッククロフト・ワルトン型加速装置
八 その他荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で、放射線障害の防止のため必要と認めて原子力規制委員会が指定するもの

放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成十二年科学技術庁告示第五号)

放射線発生装置に係る線量当量率

第二条令第二条各号別記以外の部分に規定する線量当量率は、一センチメートル線量当量率について六百ナノシーベルト毎時とする。

労働安全衛生法・電離則

⁵ http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/fieldfile/2017/07/11/1387780_003_1.pdf

労働安全衛生法では、10kV以上のエックス線装置を特定X線装置として、厚生労働大臣が定める規格又は安全装置を具備すべき機械等としている（政令第13条）。

過去の議論

放射線審議会基本部会報告書「規制免除について」⁶
『BSSでは、放射線発生装置に関する免除レベルとして、規制当局による認可を受けた型で、発生する放射線の最大エネルギーが5keVを超えないものと規定。』

我が国においては、労働安全衛生法、医療法及び乗車法等で、定格電圧が10kV以上のエックス線装置を規制対象としている。一方、放射線障害防止法では、装置表面から10cmにおける線量率が600mSv/h時を超えないか、1MeVを超えないエネルギーを有する電子線及びエックス線を発生する装置を規制対象外としている。
BSSが規定する放射線を発生する装置における規制の免除要件の国内法令への取り入れについては、その妥当性や国内での利用実態を考慮して検討する必要がある。』
ただし、労働安全衛生法上の規定は明確ではない。

海外の法令

IAEAのBSSにおけるX線装置に関する規制免除

IAEAのGSR Part 3では、以下の様に年間の線量が10μSvに満たないものを念頭に置いてX線装置の免除レベルを規定している。なお、H*(10)か、H*(0.07)なのが明示されてしまう、文書体系上、両方の概念を含むと解釈されると考えられ、IAEAの担当者の同様の見解であった。

GSR Part 3

Schedule I EXEMPTION AND CLEARANCE

I.2. A practice or a source within a practice may be exempted without further consideration from some or all of the requirements of these Standards under the terms of para. I.1(a) provided that under all reasonably foreseeable circumstances the effective dose expected to be incurred by any individual (normally evaluated on the basis of a safety assessment) owing to the exempt practice or the exempt source within the practice is of the order of 10 μSv or less in a year. To take into account low probability scenarios, a different criterion could be used, namely that the effective dose expected to be incurred by any individual for such low probability scenarios does not exceed 1 mSv in a year.
(c) Radiation generators of a type approved by the regulatory body, or in the form of an electronic tube, such as a cathode ray tube for the display of visual images, provided

that:

- (i) They do not in normal operating conditions cause an ambient dose equivalent rate or a directional dose equivalent rate, as appropriate, exceeding 1 μSv/h at a distance of 0.1 m from any accessible surface of the equipment; or
- (ii) The maximum energy of the radiation generated is no greater than 5 keV.

IAEA⑦ Draft safety guide DS499での規制免除

APPLICATION OF THE CONCEPT OF EXEMPTION⁷

EXEMPTION AND CLEARANCE

3.4. The primary radiological basis for establishing values of activity concentration for the exemption of bulk amounts of material and for clearance is that the effective doses to individuals should be of the order of 10 μSv or less in a year. To take account of the occurrence of low probability events leading to higher radiation exposures, an additional criterion was used, namely, the effective doses due to such low probability events should not exceed 1 mSv in a year. In this case, consideration was also given to doses to the skin; an equivalent dose criterion of 50 mSv in a year to the skin was used for this purpose. This approach is consistent with that used in establishing the values for exemption provided in Schedule I of the BSS (see Ref. [1]).

規制の適用が免除される装置例

- ・ 要件を満たす電子顕微鏡
- ・ テーブル

5. 規制対象となるX線装置の安全管理

国内の法令

労働安全衛生法・電離則

事前の届出

労働安全衛生法

⁷ <http://www-ns.iaea.org/committees/files/RASSC/1846/R6.1-PAPPINISERI-DS499.pdf>

⁸ <https://www.nature.com/articles/nature07378>

第八十八条 事業者は、機械等で、危険若しくは有害な作業を必要とするもの、危険な場所において使用するもの又は危険若しくは健康障害を防止するため使用するもののうち、厚生労働省令で定めるものを設置し、若しくは移転し、又はこれらの主要構造部分を変更しようとするときは、その計画を当該工事の開始の日の三十日前までに、厚生労働省令で定めるところにより、労働基準監督署長に届け出なければならない。ただし、第二十八条の二第一項に規定する措置その他の厚生労働省令で定める措置を講じているものとして、厚生労働省令で定めるところにより労働基準監督署長が認定した事業者については、この限りでない。

労働安全衛生規則

(計画の届出すべき機械等)

第八十五条 法第八十八条第一項の厚生労働省令で定める機械等は、法に基づく他の省令に定めるもののほか、別表第七の上欄に掲げる機械等とする。ただし、別表第七の上欄に掲げる機械等で次の各号のいずれかに該当するものを除く。

別表第七 (第八十五条、第八十六条関係)

二十一 電離則第十五条第一項の放射線装置（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和三十二年法律第百六十七号）第十二条の五第二項に規定する表示付認証機器又は同条第三項に規定する表示付特定認証機器を除く。以下この項において同じ。）放射線装置を用いる業務、製品及び作業工程の概要
一 管理区域を示す図面
二 放射線装置摘要書（様式第二十七号）

業種又は規模にかかるらず届出をする機械等（安衛法 88 条 1、2 項）

H26 年度の改正で 300 kW 以上との条件がなくなっている。
また対象として放射性物質取扱作業室等が削除されている。

それとは矛盾している例

宮崎大学⁹

電子政府窓口¹⁰

⁹ <http://www.miyanakai-u.ac.jp/anzen/ctrl-anzen/wp-content/uploads/2017/04/todokede.pdf>

¹⁰ <http://shinssei-e-gov.go.jp/search/servlet/Procedure?CLASSENNAME=GTAMSTDETAIL&id=4950000010411&fromGTAMSTLIST=true&dpcent=10&keyword=%8Dz&keywordOr=&keywordName=&SYORIMODE=&displayHusho=&frompos=2441>

電離則第 15 条第 1 項の放射線装置（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律第 12 条の 5 第 2 項に規定する表示付認証機器又は同条第 3 項に規定する表示付特定認証機器を除く。）、同項の放射線装置室、電離則第 22 条第 2 項の放射線物質取扱作業室¹¹又は電離則第 2 条第 2 項の放射線物質¹²に係る時、施設の設置・移転・変更届

違反事例

報告書～無資格者による人体への X 線照射に関する原因検証結果と、信頼を回復するための再発防止策の提言～

また、新宿労働基準監督署から放射線装置にかかる労働安全衛生法違反として違反事項の指摘とは正指示が平成 30 年 2 月 23 日に行われ、同年 3 月 30 日に健栄研から新宿労働基準監督署に対して是正報告を行ったところである。

法第 88 条第 1 項の届出が廃止？

規模の大きい工場等で建設物、機械等の設置、移転等を行う場合の事前届出が廃止されている。
労働安全衛生法の改正について

人事院規則
後ほど記述。

エックス線装置等の定期検査

第十一條 各省各庁の長は、エックス線装置及び電子顕微鏡（定格加速電圧が百キロボルト未満の電子顕微鏡を除く。）については、定期検査を行わなければならない。

放射線装置室

エックス線装置を設置するときは専用の室（放射線装置室）を設けなければならないとされている（電離則第 15 条）。

例外規定

エックス線装置を随時移動させて使用しなければならない場合や自己遮蔽がなされている装置などは、この限りではないとされている（電離則第 15 条）。

¹¹ 「放射性物質取扱作業室」の誤り
¹² 同じ誤り

放射線装置室以外でエックス線装置を使用する場合
エックス線管の焦点又は放射線源及び被写体から 5 m 以内の場所に労働者を立ち入らせてはならないとされている（電離則第 18 条）。ただし、外部放射線による実効線量が 1 週間に付き 1 mSv 以下の場所を除くとされている。

管理区域の設定
3 月間に 1.3 mSv を超えるおそれのある区域は管理区域とする必要がある（電離則第 3 条）。

線量を評価する場所

利用線錐方向も評価が必要ですか？

評価が不要とする規定は見当たりません。H(10) が 20 $\mu\text{Sv/h}$ を超えないようにに遮蔽された構造の放射線装置を使用する場合には、放射線装置室を設置する必要はないとされている。

管理区域への立入制限
事業者は必要のあるもの以外を管理区域に立ち入らせではなくないとされている（電離則第 3 条）。

何が問題？

- 放射線装置室の多目的利用を容認するかどうか、？
 - 関係者間で検討されたガイドラインが存在していない、横様となっている。
 - 学生に対する放射線防護のあり方
- 教育施設でのエックス線装置使用のガイドライン例
- 案を作成されており、それが適用しうるか、どうかの実態調査もも進行中となっている¹³。
- X 線装置の防護基準
- エックス線装置構造規格に従つたものとする必要がある。
- 医療用エックス線装置であれば、その規格を満足していると考えられる。
- 教育用の装置の規格は別に設けるかや学生実習での放射線防護に関しても課題となるかもれない。

計画の届出

¹³ http://highbird.riast.osaka-u.ac.jp/~akiyoshi/Lecture20190328_教員向けリーフレット案.pdf

¹⁴ <https://ci.nii.ac.jp/naid/110003381612/>

¹⁵ https://www.jstage.jst.go.jp/article/protectionjst/16/0/16_KJ000007864671_article-jchar/ja/

¹⁶ https://www.jstage.jst.go.jp/article/protectionjst/16/0/16_KJ000007864681_article-jchar/ja/

¹⁷ <http://www.kenkobunka.jp/kenbun/rkb34/maecko34.pdf>

放射線装置室以外でエックス線装置を使用する場合
エックス線管の焦点又は放射線源及び被写体から 5 m 以内の場所に労働者を立ち入らせてはならないとされている（電離則第 18 条）。ただし、別表第七の上欄に掲げる機械等は、法に基づく他の省令に定めるもののほか、別表第七の上欄に掲げる機械等とする。ただし、別表第七の上欄に掲げる機械等で次の各号のいずれかに該当するものを除く。

- 別表第七（第八十五条、第八十六条関係）
- 二十一 電離則第十五条第一項の放射線装置（放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和三十二年法律第百六十七号）第十二条の五第二項に規定する表示付認証機器又は同条第三項に規定する表示付特定認証機器を除く。以下この項において同じ。）放射線装置を用いる業務、製品及び作業工程の概要
- 一 管理区域を示す図面
 - 二 放射線装置摘要書（様式第二十七号）

6. トラブル事例

教育現場での放射線事故例

岩手県の高校での事例

- 富樫 厚彦、<岩手高校生被曝事故に関する考察>軟 X 線発生装置を利用した高校生物理授業における手指被曝事故の考察：2. 計算による被曝線量推定¹⁴
- 鈴木 昇一、小林 正尚、越田 吉郎、<岩手高校生被曝事故に関する考察>軟 X 線発生装置を利用した高校生物理授業における手指被曝事故の考察：3. 岩手の超軟 X 線装置による被ばく事故と同様な装置による線量測定¹⁵
- 西谷 源展、大釜 昇、笠井 俊文、遠山 景子、山田 勝彦、<岩手高校生被曝事故に関する考察>軟 X 線発生装置を利用した高校生物理授業における手指被曝事故の考察¹⁶ :4.
- 前越久、高校生の X 線被ばく事故を知つて¹⁷

教育現場以外での放射線事故例 電子工場転X線局所被ばく事故¹⁸

X線回折装置被ばく事故

個人線量モニタリングの異常値から気づかれた回折用X線装置作業者の異常被曝の発見事例
装置は自動記録式のX線回折装置で、X線の発生条件は、管球電圧 30kV、管球電流 10mA であった。事故の原因は、普段使用していない下向きのウインドーが開いており（X線管取り替え時の開め忘れ）、こからX線が漏えいしていたことによることが判明している。¹⁹

装置の分解による被ばく例

1994年4月28日、研究用X線回折装置(RIXT2500、出力:18kW、ターデット:Cu、印加電圧 50kV、電流 200mA)のシャッターを会社の技術者が分解してしまった。そのとき、右第4、5指の根元が温かく感じたことで、X線が出ていたことに気づき、電源を直ちに停止した。この時は、本人は、特に症状もなかつたため何の処置も行わず帰宅した。被ばく14日後、皮膚の一部が白色変化し、悪化してきたため、会社に報告し、東大病院放射線科を受診した。約3分間の右手掌被ばくで、推定された皮層曝露線量は100~200 Gyと推定された。3)。このように放射線皮膚障害の特徴は、火傷による反応と違い、発赤・浮腫・水痘・潰瘍・壞死などが同時に現れず^a、一定の潜伏期を経て、症状が現れることがある。²⁰

エックス線装置の漏洩エックス線検査中、放射線皮膚障害²¹

労働安全衛生法違反事例
報告書～無資格者による人体へのX線照射に関する原因検証結果と、信頼を回復するための再犯防止策の提言～
また、新宿労働基準監督署から放射線装置にかかる労働安全衛生法違反として違反事項の指摘とは正指示が平成30年2月23日に行われ、同年3月30日に健栄研から新宿労働基準監督署に対して是正報告を行ったところである。

7. 公衆の眼の水晶体の線量限度

GSR Part 3

III.3. For public exposure, the dose limits are:

- (a) An effective dose of 1 mSv in a year;
- (b) In special circumstances²², a higher value of effective dose in a single year could apply, provided that the average effective dose over five consecutive years does not exceed 1 mSv per year;
- (c) An equivalent dose to the lens of the eye of 15 mSv in a year;
- (d) An equivalent dose to the skin of 50 mSv in a year.

8. 課題の解決に向けて

PL法の適用

用いる装置の質の確保のための費用負担
国庫補助金を利用した負担軽減²³
これまでの啓発活動

教材開発

日本理科教育振興協会
クルックス管を使った沿革極の実験

中学校

全中理支援センター 代表理事 高畠勇二^b、被ばく軽減に配慮した放電実験
足立区立第十三中学校 鈴木 優 都中理 OB 高畠勇二、クルックス管から発生する放射線
の被ばく軽減に配慮した放電実験のための留意点²⁴
井上創、真空放電管演示実験時の授業者・生徒のX線被ばく量の測定及び防護方法の確立
²⁵
大森義郎、クルックス管から漏洩するX線の実態とその対策
クルックス管から漏洩するX線の実態とその対策
大森義郎、クルックス管から漏洩するX線の実態とその対策

¹⁸ http://www.mirs.qst.go.jp/publication/mirs_news/200106/hik3p.htm

¹⁹ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhpsi96/6/3_153.pdf

²⁰ http://anzen.t.u-tokyo.ac.jp/~nomura/nomura/2011_年医学物理_31巻_sup2%20204月P43-48.pdf

²¹ http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/sai_det.aspx?joho_no=1074

²² <http://www.japse.or.jp/wp-content/uploads/2017/05/kokkohojokin-pantkyotsu.pdf>

²³ https://ref.or.jp/book/newsletter_069.pdf

²⁴ <http://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-22909010/>

²⁵ <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007490415>

大森義郎、学校教育における被ばく²⁵
笠原中庸、池田雅彦、クルックス管による放射線（X線）の性質に関する実験²⁶
成山 展照、低エネルギー光子に対する線量評価の研究²⁷
クルックス管等の放電実験においても被曝を避ける対策を取る。²⁸

Antique X-Ray Tube Safety²⁹

高等学校

これまでの実態把握調査
中学校
宇藤茂憲、教育現場における冷陰極管の漏洩 X 線について³⁰
『クルックス管の調査に応じてくれた中学校理科教師にこれら的事実を告げると、理科教師のほとんどはこのことを認識していないかった。』

注意喚起例

クルックス管等の放電実験においても被曝を避ける対策を取る。³¹

製造会社の説明例

放射線防護について言及している例（X線防護ボックスに言及）³²

関連情報

クルックス管からの X 線～被曝の危険～³³

関係機関

全国中学校理科教育研究会
日本理科教育学会

教育関係者間での意見交換例

Subject: Re: Crookes Tube (was Re: Demo health hazards)³⁴

クルックス管を用いた実験商業、意義や課題を話し合う（NPO 法人放射線教育フォーラム

主催：平成 29 年度第 2 回勉強会）³⁵

²⁵ http://www.iaea.org/iris/collection/NCLCollectionStore/_Public/28013/28013139.pdf
²⁶ https://edu-nii.repo.nii.ac.jp/paction=repository_uri&item_id=1312&file_no=1

²⁷ <https://edu-nii.repo.nii.ac.jp/naid/110007655007>
²⁸ <https://ci.nii.ac.jp/naid/100007655007>

²⁹ http://dignika.el.tym.ed.jp/wp-content/uploads/2014/01/jikorei_taisaku.pdf
³⁰ <https://physics.stackexchange.com/questions/249118/antique-x-ray-tube-safety>

³¹ https://diginika.el.tym.ed.jp/wp-content/uploads/2014/01/jikorei_taisaku.pdf
³² <http://exp-as2.yamanashi.ac.jp/openlab/apparatus/manual/dl15.pdf>

³³ <https://www.youtube.com/watch?v=ezV83YUAMw>
³⁴ <http://demoroom.physics.nscs.edu/tap/archive/2011/05/304.html>
³⁵ <http://demoroom.physics.nscs.edu/tap/archive/2011/05/305.html>

³⁶ <https://www.radi-edu.jp/2018/04/23/4682>

³⁷ <https://libpac.fukuoka-edu.ac.jp/dspace/bitstream/10780/1897/1/3-01-宇藤茂憲.pdf>
³⁸ https://www.jstage.jst.go.jp/article/63/3/63/KJ00010038066._article/-char/ja/
³⁹ <http://fibigrid.riat.osaka-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/index.htm#CPro>

⁴⁰ http://www.toray-st.or.jp/activity/science_edu/pdf/h15_05.pdf
⁴¹ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrsm/10/1/10_1-40/_article/-char/ja/
⁴² http://www.jrsm.jp/h_23.html
⁴³ <http://rcwww.kek.jp/research/shield/sr.html>
⁴⁴ http://www.jstage.jst.go.jp/article/jmps/1966/4/44_4_59/_article/-char/ja/
⁴⁵ <http://jairo.nii.ac.jp/0025/00017996>

エックス線装置からの漏洩放射線の測定⁴⁶
測定結果を基に遮へいが改善され、安全が確保されたことのことであつた。

放射線教育

鹿児島県小・中学校

鹿児島県小・中学校における放射線教育の現状とその放射線リテラシーに及ぼす教育の効果⁴⁷

車門機関との連携も論じられている。
『学習指導案の作成に、リスク・マネジメントに携わる大学等の教職員が積極的に参加する
ことも求められよう。』

学校での放射線リスク教育

学校での放射線リスク教育ガイドブック 第二版－ Guidebook for radiation risk education at schools⁴⁸

教員の方向けの相談窓口

こちらもメンテしよう、これらの相談窓口
NITS 独立行政法人教職員支援機構

9. 海外の動向

理科実験での放射線安全確保
ICRP

線量限度に関する

ICRP Publication 13: Radiation Protection in Schools for Pupils up to the Age of 18 Years⁴⁹

IAEA

教育を受ける対象者の線量限度 (IAEA GSG-7)

職業的な訓練が想定されており職業被ばくのカテゴリとなつていてある。

放射線教育

3.39. IN ACCORDANCE WITH PARA. III.2 OF GSR PART 3 [2]:

“For occupational exposure of apprentices of 16 to 18 years of age who are being trained for employment involving radiation and for exposure of students of age 16 to 18 who use sources in the course of their studies, the dose limits are:

- (a) An effective dose of 6 mSv in a year;
- (b) An equivalent dose to the lens of the eye of 20 mSv in a year;
- (c) An equivalent dose to the extremities (hands and feet) or to the skin⁶⁷ of 150 mSv in a year.

計画被ばく状況で用いる線量拘束値

GSR PART 3

A prospective and source related value of individual dose (dose constraint) or of individual risk (risk constraint) that is used in planned exposure situations as a parameter for the optimization of protection and safety for the source, and that serves as a boundary in defining the range of options in optimization.

For public exposure, the dose constraint is a source related value established or approved by the government or the regulatory body, with account taken of the doses from planned operations of all sources under control.
The dose constraint for each particular source is intended, among other things, to ensure that the sum of doses from planned operations for all sources under control remains within the dose limit.

The risk constraint is a source related value that provides a basic level of protection for the individuals most at risk from a source. This risk is a function of the probability of an unintended event causing a dose and the probability of the detriment due to such a dose. Risk constraints correspond to dose constraints but apply to potential exposure.

⁴⁶ http://tech.eng.kumamoto-u.ac.jp/report/2009/ressume.pdf/sougou_giken/P05_ueamura.pdf

⁴⁷ https://www.stage.jst.go.jp/article/jirsm/8/2/133/_article/-char/ja/
⁴⁸ https://opac.ll.chiba-u.jp/d/curator/105879/Guidebook_for_radiation_risk-education_in_school_2ed.pdf

⁴⁹ <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2013>

学校での放射線教育のあり方

東京大学 飯本武志、IAEA 中等教育専門家会議 出席報告
理科の授業で放射線を用いることの安全確保に関しては言及が見当たらぬ。

力ナタ

- For the experiments with irradiated seeds, it is enough for the students to wear gloves when they sow the seeds. The irradiation of seeds is carried out in the Physics Department of Lisbon University by technical experts who follow appropriate security.
- For the Becquerel experiment, gloves must be worn to handle the X-ray dental film when students are developing the film.

SCIENCE SAFETY RESOURCE MANUAL

Most of the radiation hazards in schools are of an insidious nature. All potentially hazardous equipment and materials must be available for use only under the direct supervision of a teacher familiar with the safe use of the item. The onus is on the teacher to be aware of potential dangers and to convey this information to the students. The teacher must instruct students in proper operating and handling procedures and must insist that they be followed.

HIGH SCHOOL SCIENCE SAFETY RESOURCE MANUAL⁵⁰

Recommended safety procedures for the selection and use of demonstration-type gas discharge devices in schools⁵¹

RADIATION HAZARDS IN HIGH SCHOOL SCIENCE

LABORATORIES

For activities involving radioactive sources, use low-intensity sources containing radioisotopes of the elements uranium, thorium, potassium or rubidium. Do not allow the sources to come into direct contact with the skin and, if sources are in powder form, keep them sealed to prevent contact with skin or ingestion. For further information about the handling of radioactive material, contact the Atomic Energy Control Board, Office of Public Information, P.O. Box 1046, Ottawa, Ontario, K1P 5S9.

SCIENCE IN SCHOOL

RADIOACTIVITY IN THE CLASSROOM⁵²

Safety notes:

- Place the radioactive rocks in a plastic box and wear gloves when you handle them.
- Experiments involving radioactive rocks should be performed in a ventilated room.

USE OF IONIZING RADIATION IN THE TEACHING OF PHYSICS AND CHEMISTRY

Cold cathode type discharge tubes are liable to generate X-radiation. This X-radiation causes no hazard if the discharge tube voltage does not exceed 5000 volts. No adjustable voltage source with a maximum voltage exceeding 5 kV may therefore be used with a discharge tube unless there is also a voltmeter or some other means of ensuring that the voltage does not exceed 5 kV.

The foregoing discharge tubes include the following:

- a Crookes tube for demonstrating how cathode rays bend in a magnetic field
- a Braun tube cathode-ray tubes containing fluorescent material
- a Maltese cross tube
- a tube for demonstrating the pressure of cathode rays

⁵⁰ <http://www.ed.gov.nl.ca/edu/k12/curriculum/documents/science/LabSafetyGuidelines.PDF>

⁵¹ http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/11/558/11558896.pdf

⁵² <https://www.scienceinschool.org/2009/issue12/radioactivity>

- a tube for demonstrating the thermal effect of cathode rays
- a canal ray tube.

英國

EDUCATION MANAGEMENT CIRCULAR NO 1.27A: COMMUNITY SERVICES: EDUCATION

Apparatus capable of generating X-rays operating at 5 kilovolts or more (other than a cathode ray oscilloscope, television receiving set or visual display unit, used in the normal way for viewing) must not be used.

ABERDEEN CITY COUNCIL

MANAGEMENT OF RADIOACTIVE SOURCES IN SCHOOLS

アイルランド

SECONDARY SCIENCE SAFETY MANUAL: RED CLAY

CONSOLIDATED SCHOOL DISTRICT
INSTRUCTION IN RED CLAY

- Schools that have equipment, such as discharge tubes and high voltage rectifier tubes that are capable of emitting X-rays should take note of the following points:
 - Equipment, such as discharge tubes, that are not designed for but are capable of emitting X-rays (usually at voltages in excess of 5 kV) must be of a type designed for educational use and must be acquired only from a supplier licenced by the RPII to distribute such equipment. Schools should not acquire or accept donations, however well intended, of equipment designed to generate or capable of emitting X-rays. Wherever possible, hot cathode tubes should be used as discharge tubes.
 - Students may only operate equipment capable of emitting X-rays while under the supervision of the science teacher.
 - Equipment capable of emitting X-rays should only be operated for short periods.
 - The beam of radiation from equipment capable of emitting X-rays must never be pointed towards students or teachers.
 - Equipment capable of emitting X-rays must be shielded with lead sheeting. A lead thickness of about 2 mm will provide more than adequate shielding for this type of equipment.
 - Equipment capable of emitting X-rays must be electrically isolated when not in use and placed in secure storage.
 - Damaged or misplaced equipment capable of emitting X-rays must be reported immediately to the teacher responsible for radiation safety.

- Disused equipment capable of emitting X-rays must be rendered inoperable and may then be disposed of as ordinary waste equipment.
- Records must be kept of each item of equipment capable of emitting ionising radiation that is held by a school. These records must include the date of acquisition, the name and address of the supplier, the equipment type and identification number.
 - A record must be kept of the usage of each item of equipment capable of emitting ionising radiation. This record should include the date and time that the equipment was removed from its storage location, the time over which it was used and confirmation that the equipment was immediately returned to storage at the end of its use. The science teacher involved must sign each entry in the record.

アメリカ

- APPENDIX A—LIST OF CHEMICALS THAT ARE NOT TO BE USED FOR SCIENCE INSTRUCTION IN RED CLAY
- Any radioisotopes
- オーストラリア
- 密封線源
- STANDARD OPERATING PROCEDURE: HANDLING SEALED RADIOACTIVE SOURCES: ALPHA, BETA AND GAMMA

(照射筒等)

労働安全衛生法
電離則

10. 法令

第十条 事業者は、エックス線装置（エックス線を発生させる装置で、令別表第二号の装置以外のものをいう。以下同じ。）のうち令第十三条第三項第二十二号に掲げるエックス線装置（以下「特定エックス線装置」という。）を施用するときは、利用線錐すいの放射角がその使用の目的を達するために必要な角度を超えるようにするために特定位エックス線装置の使用の目的が妨げられる場合は、この限りでない。

2 事業者は、前項の照射筒及びしおりについては、厚生労働大臣が定める規格を具備するものとしなければならない。

このように特定エックス線装置の防護措置について規定されている。

(ろ過板)

第十一条 事業者は、特定エックス線装置を使用するときは、ろ過板を用いないければならない。ただし、作業の性質上軟線を利用しなければならない場合又は労働者が軟線を受けるおそれがない場合には、この限りでない。

特定エックス線装置ではないエックス線装置

蛍光分析エックス線装置は、これらの適用外とされている。

(放射線装置室)

第十五条 事業者は、次の装置又は機器（以下「放射線装置」という。）を設置するときは、専用の室（以下「放射線装置室」という。）を設け、その室内に設置しなければならない。ただし、その外側における外部放射線による一センチメートル線量当量率が二十マイクロシーベルト毎時を超えないよう遮へいされた構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合その他の放射線装置を放射線装置室内に設置することが、著しく、使用の目的を妨げ、若しくは作業の性質上困難である場合には、この限りでない。

- 一 エックス線装置
- 二 荷電粒子を加速する装置
- 三 エックス線管若しくはケノトロンのガス抜き又はエックス線の発生を伴うこれらの検査を行う装置
- 四 放射性物質を装備している機器

27

(標識の掲示)

第十四条 事業者は、次の表の上欄に掲げる事項又は機器について、その区分に応じ、それぞれ同表の下欄に掲げる事項を明記した標識を当該装置若しくは機器又はそれらの付近の見やすい場所に掲げなければならない。

装置又は機器
サイクロトロン、ベータトロンその他の荷電粒子を加速する装置の種類、放射線の種類及び最も

掲示事項

装置（以下「荷電粒子を加速する装置」という。）
放射性物質を装備している機器（次の項に掲げるものを除むるものを除むるものを除むるものを除く。）
放射性物質を装備している機器（うち放射性同位元素等）
放射性物質の防衛に関する法律（昭和三十二年法律第百六十七号）第十二条の五第二項に規定する表示認証機器の種類並びに装備している機器又は同条第三項に規定する表示付特定認証機器（これ放射性物質に含まれた放射性同様の機器に使用する放射線源を交換し、又は洗浄するもの位元素の種類及び数量（単位ベクレル）を除く。）

(放射線装置室)

第十五条 事業者は、次の装置又は機器（以下「放射線装置」という。）を設置するときは、専用の室（以下「放射線装置室」という。）を設け、その室内に設置しなければならない。ただし、その外側における外部放射線による一センチメートル線量当量率が二十マイクロシーベルト毎時を超えないよう遮へいされた構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合その他の放射線装置を放射線装置室内に設置することが、著しく、使用の目的を妨げ、若しくは作業の性質上困難である場合には、この限りでない。

- 一 エックス線装置
- 二 荷電粒子を加速する装置
- 三 エックス線管若しくはケノトロンのガス抜き又はエックス線の発生を伴うこれらの検査を行う装置
- 四 放射性物質を装備している機器

2 事業者は、放射線装置室の入口に、その旨を明記した標識を掲げなければならない。

第十八条 事業者は、第十五条第一項ただし書の規定により、工業用等のエックス線装置又は（立入禁止）

第十八条 第十五条第一項ただし書の規定により、工業用等のエックス線装置又は

は放射性物質を装備している機器を放射線装置室以外の場所で使用するときは、そのエックス線管の焦点又は放射線源及び被照射体から五メートル以内の場所（外部放射線による実効線量が一週間ににつき一ミリシーベルト以下の場所を除く。）に、労働者を立ち入らせてはならない。ただし、放射性物質を接觸している機器の線源容器内に放射線源が確実に収納され、かつ、シャッターを有する線源容器にあっては当該シャッターが閉鎖されている場合において、線源容器から放射線源を取り出すための準備作業、線源容器の点検作業その他必要な作業を行うために立ち入るときは、この限りでない。

人事院規則10—5（職員の放射線障害の防止）の運用について

第9条関係

- 第1項第2号の「専用の室内に設置することが著しく困難なエックス線装置」には、当該エックス線装置を専用の室内に設置した場合に、その使用目的が著しく妨げられることとなるものが含まれる。
- 第2項第2号の「エックス線装置の種類」としては、エックス線回折装置、蛍光エックス線分析装置等がある。
- 各省各庁の長は、職員の放射線障害の防止のため特に必要があると認める場合には、エックス線装置室外でエックス線装置を操作することができる場所を設けるよう努めるものとする。
- 各省各庁の長は、電子顕微鏡等放射線を受けるおそれのある装置を設置する場合にも、放射線障害の防止のため必要があると認めるときには、専用の室を設け、当該装置をその室内に設置するよう努めるものとする。

人事院規則

法令適用に関する検討例

橋本 明宏、鈴田 幸雄、加藤 敏江、柴田 理尋、飯田 孝夫、人事院規則に基づいたエックス線装置使用に関わる安全管理体制の確立⁵³
過去の経緯
小西恵美子、吉澤康雄、研究用、X線 装置および電子顕微鏡の放射線管理-人事院規則改正を中心として⁵⁴

法令適用に関する事例

独自ルール適用例

放射線装置に関する申し合わせ（旧）
放射線装置に関する申し合わせ
労基と調整中としている例
法人化に伴う電子顕微鏡およびその使用者の管理の変更について
X線については既に改定済みたそです。
規制改革

エックス線装置の届出
第二十四条の二 病院又は診療所に診療の用に供するエックス線装置（定格出力の管電圧（波高値）とする。以下同じ。）が十キロボルト以上であり、かつ、その有するエネルギーが一メガ電子ボルト未満のものに限る。以下「エックス線装置」という。）を備えたときの法第十五条第三項の規定による届出は、十日以内に、次に掲げる事項を記載した届出書を提出することによつて行うものとする。
特定 X線装置
電離放射線障害防止規則における X線装置にかかる届出義務の簡素化⁵⁵

⁵³ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsm2001/1/1/1_1_50/_article/-char/ja/

⁵⁴ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jips1966/17/4/17_4_495/_pdf

⁵⁵ <http://www8.cao.go.jp/kiseisiryo/030919/09-2.pdf>

使用目的によって放射線防護のルール適用のあり方が変わるとの考え方方が示されている（IAEAなどの文書では見つからない考え方）。

11. 理解を深めるための FAQ

放射線の基礎知識

放射線はどこまでまっすぐ飛んでいくのですか？

mfp（平均自由行程）はエネルギーによつて異なります。

10 keV の光子の空気中の飛程を示します。

30 keV の光子の空気中の飛程を示します。

ピットホールとしての線量測定

クルックス管を用いた実験を理科の実験で行うことを考えていました。念のために放射線の線量率を計測したら検出できませんでした。安全と考えて良いですか？

低エネルギーの光子に対して十分な応答を持たずハーベルス場にも対応していない放射性計測器では、クルックス管周辺の放射線量を適切に測定できず、皮膚の真皮の基底細胞などへの付与エネルギーを適切に評価できず、それだけでは安全性が評価できません。

線量評価のピットホール

手荷物検査のエックス線量に関して、場の特性に応じた補正がなされていないと考えられる例が散見されています。

衣服の遮へい

クルックス管で用いられるような低エネルギー光子は衣服でどの程度遮へいされますか？

20keV の光子は水 1mm に相当する衣服で 30% 低減されます。

ガラスの遮へい

クルックス管で用いられるような低エネルギー光子はガラスでどの程度遮へいされますか？

放電極距離 20mm, 放電出力(PW) 0 目盛 では、1/50 以下に減衰させることが可能。墨

56 放電極距離 20mm, 放電出力(PW) 0 目盛 では、1/50 以下に減衰させることができます。
した。

実際の水槽のがラスが厚さが 1.89mm と計算よりも薄いため、
実際のビーカーエネルギーが 17keV 程度と低いことと、



クルックス管と霧箱

高校での霧箱製作ノウハウを中学校論に一名古屋経済大学市郷高校『クルックス管で発生するエックス線の飛跡も自作した霧箱で確認した』そうです。

電子の追跡

30 keV の光子を入射させた場合の電子の飛跡

線量限度との比較

被ばくが増えていつて最初に超えるのは実効線量でしょうか？

前提（仮定）

低エネルギーの成分が激減していることが考えられます。

・皮膚の等価線量限度を実効線量限度の10倍に設定

・皮膚の等価線量は $H_p(0.07)$ などで評価

・実効線量は $H_p(10)$ などで評価

方法

空気カーマからそれぞれの線量当量換算係数の比 ($H_p(0.07)/H_p(10)$) を比較

結果

- ・10 keV の光子 : 120 倍
- ・15 keV の光子 : 4 倍 ← 『15keV では皮膚と実効では 1/4 ですが…』
- ・20 keV の光子 : 2 倍 ← 『20keV あると約半分になります』

考察

- ・10 keV の光子だと皮膚の等価線量限度が律速
- ・20 keV の光子だと実効線量が律速

結論

前提や比較の条件（ここでは吟味していない（例えば皮膚の吸収線量は姿势に大きく依存する。線源近くに手を近づけると、手指の局所の皮膚の吸収線量と実効線量の乖離が大きくなる））に結果が依存する。

教育効果？

Q. クルックス管を用いた実験の教育効果はなく、その実験での放射線曝露は正当化できないのではないか？

A. クルックス管を用いた実験の教育効果はあると考えられるのではないか。

教育経済学

大阪大学 社会経済研究所 大竹文雄、教育の経済効果と貧困対策
小塩 隆士、妹尾 涉、日本の教育経済学：実証分析の展望と課題
平成 20 年度 教育改革の推進のための総合的調査研究、教育投資の費用対効果に関する基本的な考え方及び文献の収集、整理報告書

X 線回折装置

疑問表題例

mixi ユーザー 2011 年 02 月 13 日 23:38

リガク製 RINT-Ultima²の粉末 X 線回折装置について質問です。

この装置は、通常、測定の際に「Door Open」ボタンを押して”ビー、ビッ、ビッ、ビッ”と断続音になってから、装置の扉を開けを行います。
被爆（ぼくばく）防止のため X 線発生中に不注意で装置の扉が開いてしまった場合は X 線が落ちる仕組みになっていますが、もし、測定中に誤って通常と同様の操作で装置の開閉を行った場合、被爆防止機能は働くのでしょうか？

特定の装置の質問で申し訳ありませんが、分かる方がいましたら教えてください。
よろしくお願いします。

12.その他

放射線教育関係の質問主意書
放射線教育に関する質問主意書
放射線に関する副読本に関する質問主意書

- 目次 -

I.	はじめに	1
II.	目的	1
III.	対象及び研究方法	1
IV.	結果	1
V.	考察	7
VI.	おわりに	8
VII.	謝辞	8
VIII.	表	9
	引用文献	9

ICRP勧告に基づく職業被ばくにおける水晶体線量限度
の取入れに関する国外動向調査

学籍番号 KG018005
学生氏名 犬野真利
指導教員 小野孝二 教授
嶋谷圭一 助教

【目的】

ICRP のソウル声明に基づく、国外の水晶体の線量限度の取入れ状況を把握し、わが国に導入する際の課題について整理する。
【研究方法】
G7 を対象に関連法規、水晶体の線量測定方法、罰則などの項目について、各国の放射線防護に関する省庁関連機関のホームページ、論文、報告書から情報収集を行った。

【結果】

水晶体線量限度引下げの各国の状況（表1）について取り纏めた。米国は2016年12月の段階で導入を見送り、フランスは5年間の移行期間実施期間の条件はあるものの2018年7月に導入された。イギリスは2018年1月、ドイツは2018年12月末に導入しており、カナダは導入検討中であった。

各国罰則については放射線防護法、条例に罰則事項はあるものの、線量超過のみでは罰則とならず、労働安全衛生法に基づき健康被害が生じた場合に罰金、罰則となる。

【考察】

1. はじめに

眼の水晶体（以下水晶体と記載）は、電離放射線への感受性の高い組織として知られており、我が国の放射線業務從事者に対する各種規制において、その等価線量の限度を定めている。現在の当該限度は、国際放射線防護委員会（以下ICRPと記載）Pub. 60「国際放射線防護委員会の1990年勧告」（以下ICRP1990年勧告と記載）を踏まえ、年間150mSvを超えないこととされている（ICRP Publication 60）。

一方、ICRPは平成23年4月に「組織反応に関する声明」（以下「ソウル声明」という。）において、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について、「定められた5年間の平均で20mSv/年、かついざれの1年においても50mSvを超えない」とことを勧告した（ICRP Publication 118）。その勧告内容は、国際原子力機関（以下IAEAと記載）の「放射線防護と放射線源の安全：国際基本安全基準」（以下BSSと記載）に取り入れられている。これを受けて欧洲では、平成25年12月にCouncil Directive 2013/59/EUATOMを定め、平成30年2月までにEURATOM加盟各国の国内法に新たな水晶体の等価線量限度を取り入れることが決定された。オーストリアやノルウェー等のEU各団では既に当該限度の取り入れ済みである一方、アメリカでは導入を見送る経緯となり（第1回放射線審議会）、カナダは導入検討しているが、決定までには至っていない。

日本も導入に対して前向きに検討しており、平成29年7月から原子力規制委員会で「眼の水晶体の放射線防護検討部会」を設置して議論を重ねている（第1回 議事録 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会）。世界各国の現状を踏まえて調査し、我が国へ導入する際の課題や問題について整理していくことが重要である。

II. 目的

ICRPのソウル声明に基づく、国外の水晶体の線量限度の取入れ状況を把握し、わが国に導入する際の課題について整理する。

III. 対象及び研究方法

G7を対象に関連法規、水晶体の線量測定方法、罰則などの項目について、各国の放射線防護に関する省庁関連機関のホームページ、論文、報告書から情報収集を行った。

IV. 結果

G7の各省庁、放射線防護関連機関のホームページより各国放射線防護関連法や規則、または労働安全衛生法等について調査し、各国の現状や根拠となる法令を表1、各国の罰則については各団の項目にて後述する。イタリアに関してはウェブ上で有力な情報がとれず、裏付けが取れなかった。

【フランス】

線量限度については労働法（code du travail）で記載されており、2018年6月5日に労働者の保護に関する2つの法令が官報に掲載された。2018年7月1日に5年間の移行実施

aux décisions prises par l'inspection du travail en matière de santé et de sécurité au travail) より、罰金刑（1万ユーロ）が科せられる。
以上の事を踏まえると、フランスでは労働監督官の是正する内容に従い、職場内で安全対策を講じていれば線量超過した事実だけではなくて罰則といふことはならない。しかし、何らかの対策を講じずに労働者の安全、健康を損ねたもしくは労働監督官に従わなかつた場合には罰則が適応されると思われる。

第9章 個々の労働者の暴露のモニタリングの個々の線量測定(Section9:Surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs Surveillance dosimétrique individuelle) より、
Hp (0.07) や Hp (3) などの詳しい線量測定の方法について示されておらず、具体的な線量計の種類、または水晶体の線量測定をする場合の条件や指定項目について記載されていない。条文の中には適切な線量計を用いてとの文言しか見当たらず、眼用レンズ線量計等を使用してといった具体的な方法の記載はなく、測定方法の詳細について読み取ることはできなかった。外部被ばく算定方法については公衆衛生法（code de la santé publique）Article R. 1333-24 に規定されている。

第4項 規定の実施 (Sous-section 4 Dispositions d'application) Art. R. 4451-49 より、記録保持については、少なくとも 10 年間の状況については協議を可能とするような形式で記録されなければならないとされている。
罰則規定について公衆衛生法（Code de la santé publique）に記載されており、第七章刑事規定（Chapitre VII : Dispositions pénales）の第 4 節 電離放射線（Section 4 : Rayonnements ionisants）に刑事罰規定について示されている。その中で環境と仕事に関する健康リスクの予防（Titre III : Prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail）から労働者のリスクについて第 4161-1 条に記載されている。危険な化学物質、高压環境下など労働者を取り巻く危険な労働環境について記載されているが、放射線の項目は記されていないため、線量限度を超した場合の具体的な罰則規定について明確に記載はされていないが、労働法（code de duval）パート 4：労働安全衛生（Quatrième partie : Santé et sécurité au travail）ブック VII : コントロール (Livre VII : Contrôle) タイトルIV：罰則（Titre IV : Dispositions pénales）第 I 章：健康および安全規則に対する違反（Chapitre Ier : Infractions aux règles de santé et de sécurité）セクション 1: 就用主またはその代理人が犯した犯罪（Section 1 : Infractions commises par l'employeur ou son déléguétaire）より、就用主は従業員の職場での健康と安全を保護することを目的として記されており、施設と職場は労働者の安全を保証するよう定められている。従業員の安全や健康を損ねるような違反事項が生じた場合、就用主は 1 万ユーロの罰金が科せられ、再犯した場合は 3 万ユーロと 1 年の懲役刑が科せられる。さらに繰り返して禁事項を遵守しない場合は 2 年間の懲役と 9000 ヨーロの罰金が科せられるとの記載がある。

また、フランスでは労働者の安全や健康を損ねるような事態が生じた場合はまずはリスク防止に対策を講じるよう労働監督官が警告、是正し、職場でもそのように安全対策を講じるため、問題が生じてもすぐには是正、対処するよう法律で記されている。労働監督官の命令に従わない場合はタイトル V : 行政罰金（Titre V : Amendes administratives）第 II 章：職場での健康と安全に関する労働監督官の決定に従わない（Chapitre II : Manquements

[ドイツ]

ドイツでは、2010年2月（ICRPのソウル声明よりも早く）に水晶体の線量測定方法の妥当性についてSSK(Strahlenschutzkommission…ドイツ放射線防護委員会)で検討され、線量測定計が校正されており、後方散乱放射線が正しく測定されているといった条件が証明されれば Hp (0.07)でも光子に関して水晶体の測定は可能と判断している。しかし、約1MeVよりも低エネルギーのβ線では Hp (0.07)は過大評価される側面があるとしている。

β線場および眼球の感受性の高い領域では、Hp (3) は水晶体の線量測定に最適と判断されたため、スラバアトムで較正された線量計で Hp (0.07) を導入し、電子線照射量で Hp (3) を導入する前に現場観察して、導入が適切であるか検討された。その後、個人線量計についての要件について検討され、2015年7月3日に Hp(0.07)の線量計では水晶体線量の過大評価がなるため水晶体の測定には Hp (3) が適しているとの結論が出されている。しかし、水晶体の線量測定方法について眼用レンズ専用の線量計を用いて測定するとの記載は発見できず、水晶体の線量測定方法として眼用レンズ専用として Hp (3) が推奨されており、ドイツ国内の現状では眼用レンズ専用の線量計を使用しているかは各種ホームページ上からは読み取ることはできなかった。

ドイツ国内では、2014年12月10日に 2013/59/Euratom を採択することを決定したものの c)、すぐには導入されず水晶体の線量限度は 150mSv/年で運用してきた。しかし、2018年10月19日にドイツ連邦参議院で新しい放射線防護令が公布され、2018年12月31日より施行された。新しい放射線防護令の水晶体線量限度は 18 歳以上 20mSv/年、18 歳未満 15mSv/年に変更されている。また、新しい放射線防護令に伴い放射線防護レジスター制に移行している。職業上の放射線被ばくの監視のための線量登録簿であり、職業被ばくの線量管理、記録を行うことになり、各個人の身体線量限度の維持を継続的に管理することを目的としている。

以前の放射線防護令に伴い、新しく放射線防護登録簿 (SSR 番号) を登録する必要がある。SSR 番号により、職業放射線被ばくから個々の線量値を割り当て、線量限度を管理することが可能になる。しかし、ドイツ国内の患者の線量測定結果を管理している放射線バスポートの制度 g) が新しい放射線防護令に施行に伴い制度は廃止となつた。廃止に至る理由についての経緯はウェブ上では見つけることができなかつたが、Bfs (Bundesamt für Strahlenschutz…放射線防護局) の見解としては放射線バスポートそのまま継続することを推奨している。

罰則については放射線防護法第194条に明記されており、同条第42項(2)の違反を犯すと1～5万ユーロの罰金に処されると記載されている。第42項(2)に関連する条文を調べると輸送関連や登録、証明書等の多岐の事項に渡るが、第9条(線量制限)は該当しないく、第78条(職業被ばく限度の制限)も該当しない。これらを考慮すると線量超過したのみでは罰則規定には当てはまらないということになる。

さらにもドイツの労働者の安全に関する法律を調べると労働保護法が該当し、労働者の安全と健康を守ることを目的とした法律がある。同法律内の第3条では雇用主は従業員の行動を規定する権限を有しているものと健康新た義務も有していることが記されている。それら安全や健康を害した場合は同法第25条行政犯罪より、権限を有している従業員には5000ユーロ、雇用主や法的強制力を有している責任者には最大2万5000ユーロが科せられる。また、同法26条の罰則より繰り返し違反をしている場合は最長1年の懲役刑も科せられる。

これらドイツ国内の罰則をまとめると、放射線防護保護法下では線量超過した場合には罰則にならず、労働保護法からは超過しても対策を講じていれば問題なく、労働者の安全や健康被害が生じた場合に罰則が適応になるものと思われる。

イギリスでは、2018年1月1日より新しく電離放射線規制2017は施行された。その中のスケジュール3 - 線量限度(Schedule 3 Dose limits)より眼の線量限度は20mSv/年、5年間において100mSvで1年間に最大50mSvの等価線量に変更された。

水晶体の線量測定に関しては、同規制の付録2外部放射線から実効線量と等価線量を推定(APPENDIX 2 Estimating effective dose and equivalent)の項目より強く透過する放射線の場合は10mmの深さが適切であり、弱く透過する放射線の場合の皮膚は0.07mm、目は3mmの深さが推奨されると記載されている。しかし、水晶体の線量評価についての記載はなく、イギリス国内で眼用レンズ線量計を使用して測定されているかウェブ上で確認には至らなかった。

外部照射からの実効線量を求める計算式や等価線量の計算式($HT,R = WRDT,R$)、実効線量の見積もりについても同規制の付録2より、外部被ばくからの実効線量を推定する場合、個人線量当量 $H_p(d)$ を使用して推定すると記載されている。

緊急時ににおいて許容される実効線量限度、等価線量限度計を使用して測定されているかウェブ上で確認できなかった。

12線量制限(Regulation 12 Dose limitation)の項目212より、「線量限度を遵守することは絶対条件であり、日常的な曝露中のほとんどの場合、個人の線量が線量限度に近くことは考えにくい」との記載があるため、緊急時の具体的な許容値を設定されていないこととも考慮されるが、項目225から過度の暴露を受けた作業者に対して規則27の過度に暴露した作業者のための線量制限(Dose limitation for overexposed employees)から線量を超えた場合の対応は記載され、5年間は線量限度を超えないよう事業者、雇用者は調整することを科せられている。さらに規則13の緊急時対応計画(Regulation 13 Contingency plans)があることからも緊急時の対応や防護策について講じられているが、こちらの規則に具体的な緊急時の被ばく許容量についての記載は見られなかった。

個人の線量測定について、規則22の線量評価と記録(Dose assessment and recording)により全ての雇用者、事業者は線量測定した記録に関して労働者が75歳を迎えるまで、もしくは30年間記録保持することについて記載されており、記録すべき案件や取扱について詳細に記載されている。

線量超過しないよう事業者、雇用者は対策を講じつつ、超過した場合や疑われる場合は報告する義務が記載されているものの、線量超過した場合の罰則規定や具体的な懲罰内容について明確には記載されていない。しかし、医療被ばくと保健省より電離放射線(医療被ばく)規則2018が出され、同規制の項目18の執行より、労働安全衛生法第15条に基づいて関連する執行機関によって規制が執行されると明記されている。同条文より具体的な罰則は安全衛生(犯罪)法2008に記されており、安全衛生(犯罪)法2008の第1条別表3Aに具体的な罰金と罰則について記載されている。労働衛生安全法の第2条から第6条までが使用者(雇用主)が従業員に対して行わなければならない義務のことが記載されており、その中に従業員の安全と健康を守ることについて記載されている。同法第33条罰則では第2条から第7条の服務を履行しなかった場合は違反と記載されおり、雇用主が従業員の安全と健康を守ることができるなかった場合は上記の罰則規定に則り、処罰されるものと思われる。

[イギリス]

イギリスでは、2018年9月27日にカナダの原子力安全委員会(CNSC)とカナダ放射線防護協会(CRPA)は、眼のレンズのICRP線量限度の実施についてウェビナーを開催された。カナダでは原子力作業従事者は150mSv/年であり、それ以外の人は20mSv/年と放射線防護規則で明記されているため、多くの人は20mSv/年よりも低い規制値であるものの原子力作業従事者の等価線量限度を現在の限度の150mSvから50mSvに1年間の線量測定期間で変更すること、5年間の線量測定期間に100mSvの新しい線量限度を追加することについて検討されている。カナダ国内で2回同様の会議を実施し、新しい線量限度導入について検討しているが、現在(平成31年3月5日時点)もウェブ上のカナダの法律のデータベース上では新しい勧告値(20mSv/年)は確認できなかった。

放射線防護規則上では、水晶体における測定方法について詳しく述べられておらず、外照射の測定深度での皮膚の定義はある。しかし、水晶体の測定深さ3mmの記載は見られなかった。国民の線量測定データを管理しているのはカナダ保健省が行っておりk)、同省より線量測定サービスの技術的および品質保証要件、線量測定計に求められる要件や品質について記載されているl)。その中で外部線量(Dose from External Source)よりも $H_p(0.07)$ の測定値は、皮膚と同等の線量として報告されなければならない。四肢または眼の水晶体への線量の測定は、それらの組織と同等の線量として報告しなければならぬ

い」との記載があり、水晶体での測定において H_p (3) で実施することの旨はこの書類から見当たらない。現状ではカナダは水晶体の等価線量における測定は H_p (0.07) と同等とみなしているものと思われる。カナダ国内の緊急事態における被ばく線量限度については、最大で実効線量 500mSv、皮膚での等価線量 5000mSv までは許容されるが、水晶体における緊急被ばく線量限度について記載はされていない。

従つて (A, B, C の三段階のランク) とカテゴリーとして個人と事業者の二つに分けられる) 割金を科せられる。その中で、放射線防護規則の項目 22 「実効線量限度を超えていないことを確認できない」、項目 23 「等価線量限度を超えないよう失敗した」という項目は該当すると思われ、一番割金額の重たい C ランクに分類される。しかし、刑事罰についてこの規制には明記されておらず、ウェブ上で確認できたのは罰金刑のみであった。

[アメリカ]

アメリカ国内において、水晶体の線量限度引下げの検討について米国原子力規制委員会 (以下 NCR) の依頼で米国放射線防護審議会 (以下 NCRP) は科学委員会「眼の水晶体に対する放射線線量限度に関するガイドンス」を設置した。2015 年 3 月には審議が開始され、線量限度の引き下げは妥当ではないとの意見であった。しかし、ICRP の引き下げ勧告を受けて変更しないのは国際的調和性に欠けるとの判断により再検討する流れとなつた。2016 年 2 月 5 日から公開意見募集を実施して検討し、放射線作業者は 150mSv/year → 50mGy/year に引き下げることが挙げられた。なお、組織反応の防止には吸収線量限度で考

えるべきとの指針より単位も Sv から Gy へ変更となつた。その後、2017 年 1 月 25 日には NCRP Commentary No.26 を WEB 上で公開し、NCRP は新水晶体線量限度 (作業者 50 m Gy/year、公衆 15 m Gy/year) を勧告した。一方の NCR は 2014 年 7 月から 2015 年 6 月の間で 150mSv/year → 50mSv/yearへの引き下げ導入 (作業者の実効線量限度 50mSv/year に合わせ、水晶体の等価線量を 50mSv/year に引き下がた) を検討して意見の公募を求めた。しかし、専門家やステークホルダから対費用効果の面から対反対され、2016 年 5 月の時点で断念し、導入しないことを 2016 年 12 月に正式に公知した。NCRP Commentary No.26 は NRC の依頼と CDC (疾病管理予防センター) との共同財政支援によって作成された文章であり、勧告内容は NRC も議論を検討する可能性はあるものの現時点での線量限度引き下げの見込みはない。

アメリカ国内の現在は、NCRP が勧告した値 (作業者 50 m Gy/year、公衆 15 m Gy/year) ではなく、現行の水晶体等価線量限度 (作業者 150 m Sv/year、公衆 15 m Sv/year) が継続されることとなり、根拠となる法律として連邦規制法の中に放射線防護基準 (Part 20—Standards for protection against radiation) が定められており、§ 20.1201 成人の職業上の線量限度 (Occupational dose limits for adults) より 18 歳以上の水晶体の年間線量限度は 15 rems (0.15 Sv) と記載されており、未成年に対しては § 20.1207 未成年者の職業線量限度 (§ 20.1207 Occupational dose limits for minors) より成人労働者 (18 歳以上) に指定されている年間線量限度の 10% と定められている。また、同じく緊急被ばくについての記載も同様に記載されているが、緊急時許容される被ばく線量の具体的な数値の記載はない。

外部被ばくの測定について § 20.1003 定義 (Definitions) より、水晶体の外部照射の測定は 0.3 cm ($300\text{mg}/\text{cm}^2$) の組織深度における線量として解釈すると定められており、同一条に実効線量の計算式 ($\text{HE} = \Sigma \text{WTHT}$) で算定すると記載されている。NCRP Commentary No. 26 では組織反応に確率的影響のための放射線加重係数ではなく、RBE を使用して等価線量を使用しないという考えが示された。ICRP タスクグループ 79 も等価線量は実効線量算出の過程では今後も必要であるが、防護量としては廃止して組織反応の防止には吸収線量限度の使用を提案している。線量についての記録や保持については、§ 20.2102 放射線防護プログラムの記録 (Records of radiation protection programs) より 3 年間は保持することが明記されている。

罰則、違反について § 20.2401 違反 (Violations) に記載はあるものの、線量超過した場合に適応される法や規制については見当たらなかった。しかし、労働安全衛生法より、第 5 条の職務の項では、身体的危害やその恐れがない安全な職場環境を提供することが雇用主に義務付けられ、従業員は同法や同法に基づいて公布された労働安全衛生基準を順守する義務が記載されている。そして、同法 17 条の罰則から先ほど述べた第 5 条を違反した場合の具体的な罰金額が記載されており、7000 ドルと記されているが、意図的な違反であれば 5000 ドル以上、繰り返し違反をした場合は 70000 ドルと明記されていた。

アメリカ国内でも連邦規制法内の放射線防護基準から線量超過した場合の具体的な罰則は記載がなく、労働安全衛生法に基づいて安全や健康に障害が発生した場合に労働安全衛生法の罰則が適用されるものと思われる。

V. 考察

EU 各国の EURATOM 加盟各国は Council Directive 2013/59/EURATOM に従い、国内に新たな水晶体の等価線量限度を取り入れられており、一部の国を除いてほぼ導入済であった。アメリカに関しては関係各所のステークホルダからの反対を受けて導入を断念した経緯となったが、日本も同様に新しい勧告を導入した場合、新たな線量限度を遵守するために水晶体専用の線量計やそれに付随した線量チェックシステム導入等の医療的コストの増加、または線量超過した作業従事者が業務停止せざるを得ない事案が発生する等の経済的損失が生じる恐れが高い。

日本国内の現状として眼の水晶体の等価線量が年間 20mSv を超える恐れのある分野は医療分野が最も多く、次いで東京電力福島第一原子力発電所廃炉作業従事者である (第 5 回眼の水晶体の放射線防護検討部会 資料 3)。医療技術の発達に伴い、医療分野においては、水晶体の等価線量が経年的に増加傾向にあり、循環器 IVR 領域などにおいては、水晶体の等価線量が常に近い左眼が高値を示し 20mSv/year の等価線量限度を超える事例が見受けられる。また、循環器内科、消化器内科、放射線診断科、整形外科の医師は眼の水晶体の等価線量が 20mSv/year を超える割合が高い。中には 50mSv/year を超える医師も存在し、看護師においても ERCP 介助など一部の業務で超過しうる。特に高度な医療技術を提供する医師の多くは専門性が高い程、病院内でも業務が一極集中し、被ばくする機会が増えて累積する傾向にある。水晶体の線量限度が新しい勧告値になった場合、日常的な医療行為 (撮影説明、IVR, ERCP) でも新法令の水晶体線量限度 20mSv/year

を超過する者は約 2000 名との報告もあり、一般医療分野における放射線作業者が受けける眼の水晶体の等価線量は高く、他の分野と比較して突出している状況である。

日本では労働安全衛生法の第 22 条より事業者は健康被害を防止するために必要な措置を講じなければならないと定められており、条文の中に放射線による健康被害と明記されている。そして、線量限度については電離放射線障害防止規則の第 5 条に放射線業務從事者の被ばく限度について記載されている。違反すると労働安全衛生法の第 119 条罰則に従って処分され、6ヶ月以下の懲役又は 50 万円以下の罰金に処される。

現在の電離放射線障害防止規則の第 5 条では「事業者は、放射線業務從事者の受ける等価線量が、眼の水晶体に受けるものについては一年間ににつき五百五十ミリシーベルト、皮膚に受けるものについては一年間ににつき五百ミリシーベルトを、それぞれ超えないようにしなければならない。」と記されており、「超えないようにならなければならぬ」という文言が線量超過をした時点で健康被害といふ法律解釈がなされるのであれば、前述の国内現状を踏まえると新しい勧告値では約 2000 名近い医療從事者が違反に相当する可能性もあり、線量超過しないように線量測定の偽装や線量計の装着不備等の事案が生じる恐れも生じると懸念する。

今後、水晶体の線量限度の引き下げを法令に取入れる際、水晶体等価線量の算定の方法やその管理方法について調整し、検討した上で上記課題の解決策を模索していくことは重要である。また、現状では医療分野において十分な防護措置が取られていない実態が認められるとともに、まだ小規模のデータではあるが診療放射線技師を中心とした専門職の介入で改善している実例も見出されており(厚生労働省検討会 第 6 回 資料)、今後は実態の把握とともに次項のマジメントシステムとも連動し、複合的な防護措置を十分に実施し、従事者の安全、健康確保とともに医療供給へ支障を来さない対応が必須である。

VI. 終わりに

米国は 2016 年 12 月の段階で導入を見送り、フランスは 5 年間の移行期間実施期間の条件はあるものの 2018 年 7 月に導入された。イギリスは 2018 年 1 月、ドイツは 2018 年 12 月末に導入しており、カナダは導入検討中であった。

罰則について、各国共に線量限度を超過しただけでは該当せず、繰り返し違反を犯した場合や健康被害が生じた場合に労働安全衛生法に基づいて処罰される。

謝辞

本研究の遂行および本論文の作成に当たり、様々な面から熱心にご指導、ご鞭撻を頂きました。論文の作成から本論文完成に至るまで終始熱心なご指導を頂きました。東京医療保健大学大学院教授小野孝二博士に深く感謝いたします。また、同大学院の嶋谷圭一助教に厚く感謝を申し上げます。

VII. 表 1 水晶体線量限度引下げの各国の状況

表 1 水晶体線量限度引下げの各国の状況					
開通法・規則	フランス	ドイツ	イギリス	カナダ	アメリカ
開通法・規則	公衆衛生法 労働法	放射線防護規則	放射線防護規則 2000 - 2003	放射線防護規則 2000 - 2003	連邦規制集 放射線防護規則 被ばく曝露量
等価線量	(18歳以上)	等価線量	(18歳以上)	等価線量	等価線量
水晶体 線量限度	100 mSv/5年 かつ 20 mSv/年	100 mSv/5年 かつ 20 mSv/年	100 mSv/5年 かつ 20 mSv/年	150 mSv/年	150 mSv/年 (15歳未満は成人の 10%)
(18歳未満)	(18歳未満)	(18歳未満)	(18歳未満)	(18歳未満)	(18歳未満)
累積時間 線量限度	15 mSv/年	15 mSv/年	15 mSv/年	15 mSv/年	15 mSv/年
累積時間 線量限度	水晶体の配賦なし 累積線量 (人命救助等) 500 mSv	水晶体の配賦なし 累積線量 250-500 mSv	水晶体の配賦なし 累積線量 500 mSv	水晶体の配賦なし 累積線量 5000 mSv	水晶体の配賦なし 累積線量 50 mSv/年 を用いる
水晶体 外部被ばく 測定期間	適切な線量計の推奨 (水晶体の配賦なし)	水晶体 3 mm 推奨	水晶体 3 mm 推奨	0.07 mm (皮膚と同等) (300 mg/cm ²)	0.3 cm (皮膚)
外部被ばく 算定期間	1. 外部被ばくに相当する 2. 被ばく減衰と被ばく減衰する 3. 被ばく減衰は被ばく減衰する 含むが、被ばく減衰は被ばく減衰する 含むが、被ばく減衰は被ばく減衰する 被ばく減衰は被ばく減衰する	等価線量 $H_{t,E} = T_0 D_{t,E}$	等価線量 $H_{t,E} = T_0 D_{t,E}$	等価線量 $H_{t,E} = T_0 D_{t,E}$	等価線量 $H_t = \sum W_i H_i$
記録及び保存	10年間	30年間 及び 75歳まで	30年間 及び 75歳まで	原子力作業從事者において 確実に測定の範囲の線量 3年間	原子力作業從事者において 確実に測定の範囲の線量 3年間
VI. 終わりに	電離放射線リスク 備考	電離放射線リスク 備考 (5年の移行期間)	2015年12月31日 施行	2018年1月1日 施行	導入検討中 (海道線量は使用しない)

VIII. 参考文献・引用文献

ICRP Publication 60 国際放射線防護委員会の 1990 年勧告 1991 年 11 月 25 日 初版
http://www.icrp.org/docs/P60_Japanese.pdf

第 1 回 議事録「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」検索日 2019 年 12 月 17 日 https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_03522.html

第 5 回眼の水晶体の放射線防護検討部会 資料 3 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方に
9

ICRP Publication 118 組織反応に関する ICRP 声明/正常組織および臓器における放射線の初期および後期影響-放射線防護の状況における組織反応の閾値線量
検索日 2019 年 12 月 16 日
http://www.icrp.org/docs/P118_Japanese.pdf

第 1 回 放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会新たな水晶体等価線量限度と国動向 2017 年 7 月 25 日 検索日 2019 年 12 月 16 日
<https://www.nsr.go.jp/data/000197233.pdf>

ついて 検索日 2019 年 12 月 17 日 <https://www.nsr.go.jp/data/000212817.pdf>
労働安全衛生法 第四章 労働者の危険又は健康障害を防止するための措置（第二十条－第三十六条） 検索日 2019 年 12 月 17 日 <https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hori-1/hori-1-4-0.htm>

電離放射線障害防止規則 第二章 管理区域並びに線量の限度及び測定(第三条－第九条)
検索日 2019 年 12 月 17 日 <https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hori-2/hori-2-32-2-0.htm>
厚生労働省検討会 第 6 回 資料 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ける可能性のある労働者に関する実態調査について 検索日 2019 年 12 月 17 日 <https://www.mhlw.go.jp/content/1120100/00053430.pdf>

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 総括・分担報告書 研究代表者 播田尚樹
平成 31 (2019) 年 3 月 https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMA/radiation/pdf/occupational_radiation_kunigita_fy2018rev1.pdf

【フランス】
原子力分野における国民、患者、労働者の保護 (Protection of the public, patients and workers in the field of nuclear activities) 検索日 2019 年 12 月 2 日
<http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/News-releases/Protection-of-the-public-patients-and-workers-in-the-field-of-nuclear-activities>

電離放射線のリスクに対する労働者の保護に関する 2018 年 6 月 4 日の法令第 2018-437 号 (Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants) 検索日 2019 年 12 月 1 日
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000036985602&categorieLien=id>

労働法 (Code du travail) 検索日 2019 年 12 月 1 日
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=29990101&categorieLien=id>

個々の労働者の暴露のモニタリング 個々の線量測定 (Section 9 : Surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs Surveillance dosimétrique individuelle)
検索日 2019 年 12 月 1 日
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000036994038&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20181108>

公衆衛生法 第七章 刑事規定 電離放射線 (Code de la santé publique Chapitre VII : Dispositions pénales Section 4 : Rayonnements ionisants.) 検索日 2019 年 12 月 1 日
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000036994038&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20181108>

個人線量計の要件 (Personal Dosimeter Requirements) 検索日 2019 年 12 月 7 日
https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_E/2010/Uebewachung_der_Augenlinsendosis.html;jsessionid=2EFE22C99172E5D0EBED5D44D45E8289_1_cid3397nn=2876304

2013/59 / Euratom 指令をドイツの放射線防護法に移行する際の作業線被ばくを防ぐための線量制限の導入 (Introduction of dose constraints to protect against occupational

VII : Dispositions pénales Section 4 : Rayonnements ionisants.) 検索日 2019 年 12 月 3 日
[https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=32BDD69D367A60943888B10DF69A83F8.tplgfr41s_2?cidSectionTA=LEGISCTA000006190347&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20181108](https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=32BDD69D367A60943888B10DF69A83F8.tplgfr41s_2?cidSectionTA=LEGISCTA000006190347&cidTexte=LEGITEXT00006072665&dateTexte=20181108)

雇用主またはその代理人が犯した犯罪 (Infrctions commises par l'employeur ou son représentant.) 検索日 2019 年 11 月 27 日
https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=32BDD69D367A60943888B10DF69A83F8.tplgfr41s_2?cidSectionTA=LEGISCTA000018527392&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20181108

労働者のリスク Article L4161-1 検索日 2019 年 11 月 27 日
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGART00000284195726&dateTexte=&categorieLien=cid>

タイトル IV : 儲則第 1 章 : 健康および安全規則に対する違反セクション 1 : 届用主またはその代理人が犯した犯罪 (Titre IV : Dispositions pénales Chapitre Ier : Infractions aux règles de santé et de sécurité Section 1 : Infractions commises par l'employeur ou son déléguétaire.) 検索日 2019 年 11 月 27 日
https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=7DF20FFAED79634DD3C20CB59974C360.tplgfr32s_1?cidSectionTA=LEGISCTA000024042063&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20191127

セクション 2 : 届用主またはその代理人以外の者が犯した犯罪
(Section 2 : Infractions commises par une personne autre que l'employeur ou son déléguétaire.) 検索日 2019 年 11 月 27 日
https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=7DF20FFAED79634DD3C20CB59974C360.tplgfr32s_1?cidSectionTA=LEGISCTA000024042061&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20191127

パート 4 : 労働安全衛生 タイトル V 行政罰金 第 II 章 職場での健康と安全に関する労働監督官の決定に従わなく
(Quatrième partie : Santé et sécurité au travail Titre V : Amendes administratives Chapitre II : Manquements aux décisions prises par l'inspection du travail en matière de santé et de sécurité au travail) 検索日 2019 年 11 月 27 日
https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=7DF20FFAED79634DD3C20CB59974C360.tplgfr32s_1?cidSectionTA=LEGISCTA000032373343&cidTexte=LEGITEXT00006072050&dateTexte=20191127

【ドイツ】
眼のレンズ線量のモニタリング(Monitoring the Eye Lens Dose) 検索日 2019 年 12 月 7 日
https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_E/2010/Uebewachung_der_Augenlinsendosis.html;jsessionid=2876304

radiation exposure when transposing Directive 2013/59/ Euratom into German radiological protection law) 検索日 2019 年 12 月 7 日
https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_E/2014/DoseConstraints_e.html?n=2876294

有害な放射線に対するより良い防護（Better protection against harmful radiation）
検索日 2019 年 12 月 17 日
<http://www.bfs.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BfS/EN/2018/1019-radiation-protection-ordinance.html>

放射線防護法を近代化するための条例を可決（Resolution passed for ordinance to modernise radiation protection law）検索日 2019 年 12 月 17 日
<http://www.bfs.de/EN/topics/ion/radiation-protection-law.html>

放射線防護登録（Radiation Protection Register）検索日 2019 年 12 月 17 日
<http://www.bfs.de/EN/topics/ion/radiation-protection/occupancy/register/sstTable.htm>

放射線防護令 2016 年 7 月刊行（Radiation Protection Ordinance）検索日 2019 年 12 月 17 日
<https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Downloads/BfF/EN/hns/a1-english/A1-07-16-StraSchV.pdf?blob=publicationFile&v=1>

電離放射線の有害な影響から保護するための行為 放射線防護法 - StrlSchG (Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung <Strahlenschutzgesetz – StrlSchG>) 2019 年 12 月 12 日 修正
<https://www.gesetze-im-internet.de/strlsg/BJNR196610017.html>

放射線防護法 第 194 条 罰則 (Strahlenschutzgesetz § 194 Bußgeldvorschriften)
検索日 2019 年 12 月 17 日 http://www.gesetze-im-internet.de/strlsg/_194.html

職場の従業員の安全と健康の保護を改善するための労働安全対策の実施に関する法律
(Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit)
検索日 2019 年 12 月 17 日 <http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/index.html>

第1条 目的と範囲 (§ 1 Zielsetzung und Anwendungsbereich) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_1.html

第 3 条 雇用主の基本的な義務 (§ 3 Grundpflichten des Arbeitgebers) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_3.html

第 4 条 一般原則 (§ 4 Allgemeine Grundsätze) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_4.html

第 17 条 従業員の権利 (§ 17 Rechte der Beschäftigten) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_17.html

第 25 条 行政犯罪 (§ 25 Bußgeldvorschriften) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_25.html

第 18 条 条例認可 (§ 18 Verordnungsermächtigungen) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_18.html

第 19 条 歐洲共同体の法律および政府間協定 (§ 19 Rechtsakte der Europäischen Gemeinschaften und zwischenstaatliche Vereinbarungen) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_19.html

第 22 条 当局の権限 (§ 22 Befugnisse der zuständigen Behörden) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_22.html

第 26 条 罰則 (§ 26 Strafvorschriften) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.gesetze-im-internet.de/artschg/_26.html

【カナダ】
議事録 目のレシズに関するウェビナー 9 月 27 日
(Reminder Webinar on lens of the eye September 27) 検索日 2019 年 12 月 17 日
<http://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/sor-2000-203/page-2.html#docContentWebinar.cfm>

放射線防護規則 SOR / 2000-203 (Radiation Protection Regulations) 2017 年 9 月 22 日
修正 <http://laws.justice.gc.ca/eng/regulations/sor-2000-203/page-2.html#docContent>

カナダ法務省のウェブサイト、行政罰金規制
(Justice Laws Website Administrative Monetary Penalties Regulations Canadian Nuclear Safety Commission) 2013 年 6 月 13 日 登録
<https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-2013-139/page-1.html#docContent>

全国線量レジストリ (National Dose Registry) 検索日 2019 年 12 月 17 日
http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/occup-travail/radiation/regist/index_e.html

線量測定サービスの技術的および品質保証要件 検索日 2019 年 12 月 17 日
(Technical and Quality Assurance Requirements for Dosimetry Services)
https://nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/S106R1_e.pdf

【イギリス】
電離放射線を使って作業する。電離放射線規制 2017.承認された実践規範および指針
(Working with ionising radiation. Ionising Radiations Regulations 2017. Approved Code of Practice and guidance) 検索日 2019 年 12 月 10 日
<http://www.hse.gov.uk/pubs/boots/1121.htm>

放射線の法的基盤 (Radiation legal base) 検索日 2019 年 12 月 10 日
<http://www.hse.gov.uk/radiation/ionising/legalbase.htm>

電離放射線（医療被ばく）規制 2017
(Guidance to the Ionising Radiation (Medical Exposure) Regulations 2017)
検索日 2019 年 12 月 17 日
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/720282/guidance-to-the-ionising-medical-exposure-regulations-2017.pdf

労働安全衛生法 1974 年 15 条 (Health and Safety at Work etc. Act 1974 Section 15)
検索日 2019 年 12 月 1 日 <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37/section/15>

労働安全（犯罪）法 2008 (Health and Safety (Offences) Act 2008)
検索日 2019 年 12 月 1 日 <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/20/contents>

労働安全衛生法 第 33 条 罰則
(Health and Safety at Work etc. Act 1974 Section 33 Offences) 検索日 2019 年 12 月 1 日
<https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37/section/33>

【アメリカ】
NRC 規則 Title 10 運邦規則 (NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations)
検索日 2019 年 12 月 2 日 <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/>

放射線防護に対する基準 (PART 20—STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST RADIATION) 検索日 2019 年 12 月 2 日
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/>

職業線量限度 (Subpart C—Occupational Dose Limits) 検索日 2019 年 12 月 2 日
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/part020-1003.html>

刑事罰 (§ 20.2402 Criminal penalties.) 検索日 2019 年 12 月 2 日
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/part020-2402.html>

サブパート O - 対応行 (Subpart O—Enforcement) 検索日 2019 年 12 月 2 日
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/part020-2401.html>

原子力法 第 234 条 (Nuclear Regulatory Legislation) 検索日 2019 年 12 月 2 日
https://science.energy.gov/~media/bes/pdf/nureg_0380_v1_no7_june2005.pdf

アメリカ 労働安全衛生法 (Occupational Safety and Health Act of 1970 [OSHA Act])
検索日 2019 年 12 月 2 日 <https://www.osha.gov/laws-regulations/completeoshaact>

整形外科領域における Balloon kyphoplasty 施術中の

術者およびスタッフの被ばく線量評価と放射線防護策についての考察
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/720282/guidance-to-the-ionising-radiation-medical-exposure-regulations-2017.pdf

学生氏名 熊沢貴史
指導教員 小野孝二 教授
嶋谷圭一 助教
学籍番号 KG018006

[目的]

Balloon Kyphoplasty (以下BKP) 施術における術者とスタッフの被ばく線量を測定し、放射線防護策を考察する。

[方法]

A施設のA整形外科医および手術スタッフのBKP施術の際の被ばく線量測定を行なった。調査期間は、2019年3月から2019年10月の8ヶ月間とした。執刀医の線量測定部位は、ディスポーダブル防護手袋(0.022mmPb以下)下の左環指・左水晶体・左頸部・左胸郭とした。助手は左水晶体、左頸部・左胸部、看護師は左胸部とした。手の線量計は千代田テクノル製X・Y線用ガラスリング(1K型)線量計、眼の水晶体はDOSIRIS線量計、頸部・胸部はガラスバッジX線用(FX型)線量計を用いた。全てのスタッフは、防護衣を着用し、防護衣の下にボケット線量計を着用した。線量以外の調査項目は一回の手術あたりの脊椎の椎体数・手術時間・透視時間とした。

[結果]

8カ月間で合計10件のBKP術が実施された。手術の平均時間は54.4分(Max 129分, Min 30分)、透視時間は10.9分(Max 31.4分, Min 4.1分)であった。BKP施術1回あたりの被ばく線量の平均値を表1に示す。

執刀医の本調査における合計の被ばく線量は、手指で21.9mSv、水晶体で3.6mSv、頸部で1.8mSv、水晶体で8.27mSv、頸部で1.15mSvと推定された。助手医師の本調査における合計の被ばく線量は、水晶体で3.91mSv、胸部で0.2mSv、頸部で0.5mSvである。看護師の本調査における合計の被ばく線量は、水晶体で3.91mSv、胸部で1.15mSvと推定された。助手医師が左側3μSv、右側291μSv、看護師が0μSvであった。Cアームに近い体幹側で被ばく線量が高値を示している。執刀医のボケット線量計が500μSv、胸部の線量計が0.5mSvであり、同値であった。

表1. BKP施術1回あたりの被ばく線量の平均値(mSv)

	手指	水晶体	頸部	体幹部
執刀医	2.19	0.36	0.17	0.05
助手 A	-	ND	0.05	ND
助手 B,C,D	-	ND	ND	ND
看護師 A,B,C	-	-	-	ND

* ND(Not detected): 檢出限界未満

[考察]

BKP施術は、手指に高い放射線被ばくを受けること明らかとなり、BKP以外にも透視下による手術、透視下骨盤根ブロック、脊髓造影検査等の被ばくを考慮すると、手指の被ばく量はさらに高くなると示唆された。また、水晶体の被ばく線量は、他の手術による累積線量を考慮すると20mSv/年を上回る可能性も示唆された。BKP施術において、適切な防護具の使用、パルス透視モードの選択、管球からの距離の確保は重要である。

本研究は第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(2019.12.7)にて一般発表した。

I.はじめに

放射線には自然界に存在する自然放射線と、人間が作成した機器から放出される人工放射線がある。人工放射線の中で、核兵器や原発事故といったアクシデントによるものを除けば、その最も多い被ばく原因是医療放射線である。整形外科領域においてX線透視下手術は日常的に行われている。術野を透視する際に直接被ばくする手指の他にも、水晶体や甲状腺などの被ばくも避けることはできない。しかし、実際に術者がどの程度被ばくしているのかは、あまり知られていない。体幹部はプロテクタの使用で保護されているが、整形外科医の中では保護メガネや放射線防護手袋の使用が珍しいままであり、健康上の安全に懸念を抱く。

放射線による被ばくは皮膚がん、白内障、白血病のリスクを高める。2011年、国際放射線防護委員会(ICRP: The International Commission on Radiological Protection)は、「組織反応に関する声明」を発表(ソウル声明)し、組織反応影響にいくつか、特に非常に遅く発症するものについて、しきい線量がこれまで考えられたものより低い、あるいは低いかもしけないことを示唆する最近の疫学的証拠を検討した。眼の水晶体については、しきい値は500mGy(0.5Gy)と考えられている。委員会は計画被ばく状況での職業被ばくについて、現在の眼の水晶体等価線量限度150mSv/年から、定められた5年間の平均で20mSv/年、かついざれの1年においても50mSvを超えないとする勧告を行った(IAEA 2014)。

国内では、電離放射線に係わる皮膚がんの労災認定について報告されており(厚生労省 2018)、皮膚がんの労災認定を受けた事例ではいずれも慢性放射線皮膚障害の認定要件である25,000mSv(25 Sv)以上の被ばくとしていた。これらの報告を受け、国内外の関係者の間では、医療従事者の被ばく線量についての関心は高まっている。

整形外科医は非整形外科医、放射線被曝非医師、未曝露労働者と比較して2~5倍ほどがん発生率が高いと報告されている(Mastrangelo G et al. 2005)。その理由として、整形外科における手術はX線透視下による施術が多いといふことがある。X線透視法は、骨折部位の特定やデバイス類の評価のため広く使用してきた。手術ではしばしば放射線の照射野、あるいはその近くで作業しなければならず、ばく露を減らすため距離をとることは困難である。その中でも脊椎圧迫骨折の新しい治療法であるBalloon Kyphoplasty(以下BKP)の手術時間は平均44分(30~60分)と比較的短時間での手術ではあるものの、連続透視下での施術であり、術者の被ばく量、特に透視下に入ることが避けられない手術は高い線量と予想される。(図1)BKPの術者の線量評価に関する海外の先行研究の報告は見られる(Bronek M. Boszczyk et al. 2004, Seibert JA 2004)。しかし、国内に関する報告は皆無である。今後、人口の高齢化により、骨粗鬆症、外傷、転移および骨髓腫に起因する脊椎圧迫骨折を治療するための課題が一般的になることが予測される。BKP施術を専門とする整形外科医は限られていることからも、その累積被ばく線量の管理は重要であり、手術スタッフの被ばく線量の情報把握は重要である。

今回、整形外科脊椎専門医と手術スタッフのBKP施術中ににおける被ばく線量の実態を調査し、今後の課題と被ばく低減への方策について検討して報告する。

II. 目的
BKP 施術における術者とスタッフの放射線被ばく線量を測定し、放射線防護策を考察する。

III. 対象および方法

1. 研究対象

2019年3月から2019年10月の間に、A施設の手術室にて行わられたBKP術に介入したA整形外科医および手術スタッフを対象とした。

2. 調査項目

調査項目は、一回の手術における脊椎の椎体数、手術時間(分)、透視時間(分)および手術に関わるスタッフの被ばく線量とした。執刀医およびスタッフの手術中のポジションは、執刀医は腹臥位となった患者の右側、助手医師は患者の右側、器械出し看護師は執刀医の右後方で手術を施行した。(図2)上方と横方のCアーム表面から患者体表までは約30~35cmであった。(図3-4)

測定部位は、執刀医は、ディスボーザブル防護手袋(0.022mmPb以下)を着用下の左環指($70\mu\text{m}$ 線量当量)、左水晶体(3mm 線量当量)、左頸部・左胸部(1cm 線量当量)とした。 $X\cdot\gamma$ 線用ガラスリング(JK型)線量計は製造者の推奨するプラスマ滅菌によって手術毎に滅菌処理を行った。手術助手は、左水晶体(3mm 線量当量)、左頸部・左胸部(1cm 線量当量)を測定した。看護師は、男性は左胸部に、女性は左腹部(1cm 線量当量)を測定した。それぞれの測定は、2ヶ月間の累積線量を千代田テクノルに報告した。左環指の線量計は、 $X\cdot\gamma$ 線用ガラスリング(JK型)線量計(千代田テクノル製)(図5-6)を用いた。頸部・胸部の線量計はガラスバッジX線用(FX型)線量計(千代田テクノル製)を用いた(図8)。全てのスタッフは、体幹部に防護衣の下に個人被ばく線量計マイドースミニX(千代田テクノル製)(図9)を着用し、手術一回毎の被ばく線量を防護衣下の体幹部(男性は胸部、女性は腹部)で測定した。

X線透視装置は、富士フィルムおよびSIEMENS、Philips社製の外科手術用Cアームの組み合わせで1回の手術に2台使用した。(図3-4)X線透視装置の露光パラメータは自動輝度制御により決定した。

3. 倫理的配慮

本研究は東京医療保健大学の倫理審査の承認(院30-54)、およびA施設の倫理審査の承認(2018-20)を受け実施した。本研究調査により得られたデータを取扱う際は、被験者の秘密保護に十分配慮した。線量計は、収集の際に独自の番号を付与し、匿名化をおこなったデータのみを収集、管理した。公表するデータには、特定の個人を識別することができないよう氏名は匿名化した。収集したデータは専用のパスワードプロテクトした記録媒体に保存し、鍵付きのロッカーに保管した。集計データは本研究以外には使用せず、研究者のみが厳重に管理し研究終了の10年後やかに削除する。また、研究の目的以外に研究で得られたデータを使用しないこととした。

IV. 結果

8ヵ月間で合計10症例(15椎体)のBKP術が実施された。手術時間の合計は544.0分、透視時間の合計は102.8分、平均手術時間は54.4分(Min 30分、Max 129分)、透視時間は10.2分(Min : 4.1分、Max : 31.4分)であった。個人被ばく線量計による一回線量測定の8ヵ月間の調査における合計の被ばく線量は、執刀医が $500\mu\text{Sv}$ 、助手医師が左側 $3\mu\text{Sv}$ 、右側 $291\mu\text{Sv}$ 、看護師が $0\mu\text{Sv}$ であった。執刀医と助手医師の結果からCアームに近い体幹側で優位に被ばく線量が高値を示していることが明らかとなった。(表1)

BKP 施術1症例あたりの被ばく線量の平均値を表2に示す。

執刀医の8ヵ月間の調査における合計の被ばく線量は、手指($70\mu\text{m}$ 線量当量)で21.9mSv、水晶体(3mm 線量当量)で3.6mSv、頸部($70\mu\text{m}$ 線量当量)で1.8mSv、胸部($70\mu\text{m}$ 線量当量)で0.5mSvであった。個人被ばく線量計とガラスバッジ線量計の合計線量に相違はない。また、1椎体当たりの手術時間は36.2分、透視時間は6.8分であった。1椎体当たりの平均被ばく線量は手指($70\mu\text{m}$ 線量当量)で0.03mSvで0.24mSv、頸部($70\mu\text{m}$ 線量当量)で0.11mSv、水晶体(3mm 線量当量)で0.03mSvであった。(表3)この結果から手指の被ばく線量が最も高値であり、次いで、水晶体、頸部の順に高値を示している。また、執刀医の分時あたりの被ばく量(mSv/min)を表4に示す。2018年度の執刀医の整形外科手術症例数は189件であり、そのうちBKP術は23症例、椎体数は28椎体、合計手術時間1076分であった。今回の調査結果を基にBKP術23症例あたりで推定される被ばく線量を計算すると手指で合計 50.37mSv 、水晶体で 8.27mSv 、頸部で 3.91mSv 、胸部で 1.15mSv と計算できる。椎体数に基づき推定される被ばく線量は、手指で 40.88mSv 、水晶体で 6.72mSv 、胸部で 0.84mSv と計算できた。(表5)

助手医師の8ヵ月間の調査における合計の被ばく線量は、水晶体(3mm 線量当量)で検出限界未満、頸部($70\mu\text{m}$ 線量当量)で 0.2mSv 、胸部($70\mu\text{m}$ 線量当量)で検出限界未満であった。(表6)

看護師(器械出し、外回り)の8ヵ月間の調査における合計の被ばく線量は、腹部($70\mu\text{m}$ 線量当量)で検出限界未満であった。(表7、8)

尚、執刀医と助手医師Aについては视力矯正用眼鏡を装着していた。

(看護師器械出しは手術中の医師に手術器械を手渡す役割、看護師外回りは薬剤や輸血製剤、手術に必要な物品の補充と手術室における器械出し以外のすべての業務を行う者をいう)

V. 考察

骨粗鬆症性脊椎圧迫骨折の罹患率の増加により、BKP術の手技の数は過去数年で増加している(Tarantino U et al. 2007)。保存的治療法と比較したこの手術手技の利点は、術後の痛みの軽減、椎骨の高さの回復、および両側の角度の矯正である(Taylor RS et al. 2006)。特にBKP術は、外科医と同様に患者にとっても高い放射線被ばくと関連していいる(Bronek M. Boszczyk et al. 2004, Miller DL et al. 2005)。整形外科領域の透視下手術における手指の被ばくに関する先行研究によると、14ヵ月の間に合計97症例の透視下

手術を調査し、手術時間は4954分、X線照射時間は437分、被ばく線量は頭部で合計1.4mSv、手指の直接被ばくは合計32.5mSv（1件あたり平均0.34mSv）（石垣ら2015）、整形外科領域の透視下における手指の直接被ばく量を1症例あたり0.18mSv（Riley SA 1989）、1症例あたり0.2mSv（Singer G 2005）と報告されている。本研究での術者の手指の被ばく線量は10症例のBKP術で21.9mSv（1件あたり平均2.19mSv）であり、BKP術は手指に高い放射線被ばくを受けると示唆された。

本研究のA施設の執刀医の2018年度の整形外科手術件数は189症例であり、そのうちBKP術は23症例（28椎体）で12%の割合であった。手術記録によると、BKP術の合計時間は1076分であった。本研究結果を基にBKP術23症例での手指被ばく線量を推計すると50.37mSvとなる。この数値は、ICRP勧告の放射線診療従事者の皮膚に対する等価線量年限度は500mSv未満を超える数値ではなく、組織障害を引き起こすレベルではない。しかしながら、BKP以外の透視下による手術や透視下神経根ロックや脊髄造影検査等の被ばくを考慮すると手指の被ばく量はさらに高くなると示唆される。

国内での電離放射線に係わる皮膚がんの労災認定についての報告（厚生労働省 2018）によると、労災の認定要件は、「3ヶ月以上の期間におおむね25,000mSv又はこれを超える線量の電離放射線を皮膚に慢性に被ばくした事実があること」と規定されている。厚生労働省のホームページで公開されている労災認定された整形外科医2名であり、その一人はX線透視を使用した脊髄造影、神経根ロック、椎間板造影プロック等の業務内容で16年の従事通算年数で認定要件を満たしていた。もう一人の整形外科医もX線透視を使用した脊髄造影、神経根ロック、骨折整復固定、矯正骨切り術等の業務内容で26年の従事通算年数で認定要件を満たしている。この報告から、労災認定要件を満たして指の線量に関する詳細な情報はない。本研究の執刀医の放射線業務従事通算年数は20年以上であり、手・指の被ばく線量の累積線量は不明ではあるが、労災認定要件を満たしていき可能性は否定できない。

次に、本研究における10症例のBKP術の執刀医の水晶体被ばく線量は合計3.6mSvであった。本調査結果に基づいて、2018年度のBKP術の執刀医の水晶体被ばく線量の推計は8.28mSvである。ICRPは眼の水晶体の等価線量限度を5年間の平均で20mSv/年かついでれの1年においても50mSvを超えないとする勧告を行っており、本研究調査では、その基準を下回る結果であった。しかしながら、その他の手術による水晶体被ばくの累積線量を考慮すると、どの程度の線量であるかは不明である。

手術助手（医師）の水晶体、胸部での被ばく線量は検出限界未満、頸部の等価線量は2症例の手術で0.2mSv検出されている。個人被ばく線量計による一回線量値では、X線透視装置側の線量計で高値（ $291\mu\text{Sv}$ ）を示している。（表1）そのため、水晶体でもX線透視装置側で今回の値よりも多くの被ばく量が検出される可能性は示唆され、今後X線透視装置側での線量測定も必要である。

看護師の胸腹部線量計は検出限界未満であり、プロテクタを適切に着用していれば散乱線を防護できていた。

ICRPの放射線防護の三原則として、正当化、防護の最適化、線量限度の適用を挙げている。その原則に基づいて、医療現場においては放射線防護手袋、眼鏡、甲状腺ドレー

プ、プロテクタ、保護板などの防護装具の使用、放射線源から適切な距離の確保、ALARAの原則としても知られる可能な限り低い放射線量を使用するなどの努力は実施されている。本研究調査で実施したBKP術では、執刀医は放射線源から距離をとることは難しく、手指が直接X線照射野に入るのは透視装置に搭載されているバルス透視モードを使用することは有効と考えられたため、執刀医らとその適用について検討する価値はある。防護装具の使用でも、今回の調査で使用された防護装具はディスボーザブル防護手袋（0.022mmPb以下）と体幹プロテクタのみであり、防護眼鏡や甲状腺ドレープの使用はなかった。現状では、透視の必要な手技や処置においてディスボーザブル防護手袋の使用は一般的ではない。ディスボーザブル防護手袋を使用しなかった場合、更に被ばく線量は高値を示した可能性は示唆される。いくつかの先行研究では、重い作業負荷が水晶体への年間限度線量に達する可能性があり、時にはこのレベルを超える可能性のあることを示し（Burn's S et al. 2013, Romanova K et al. 2015）、防護眼鏡の使用を推奨している。櫻田（2019）によると防護眼鏡の遮蔽率は約60%と報告されており、被ばく量の低減に効果はあると報告されている。しかし、現状は防護具を適切に使用していないとする報告もある（櫻田 2019）。防護装具を使用しない理由は、「使用忘れ」や「面倒」が80%を占めている。防護装具を使用しない者に対して、診察放射線技師が「声掛け」を実施したり、個人線量計の装着及び防護眼鏡の使用のいずれも器具有が不足し利用できなかつた場合を除き100%となつたと報告されている。術者を含め、医療従事者は自身と患者の被ばくを低減することを念頭に入れて從事することや、放射線防護策について理解して業務に取り組む必要がある。被ばく低減の推進に当たっては、防護装具購入費用や被ばく量の測定費用、物品の管理の問題など課題は残る。

Izadpanahらは、BKP術のためのコンピュータナビゲーションシステムを使用することは、腰椎の2Dナビゲーション手技および胸椎の3Dナビゲーション手技における患者および外科医の放射線被ばくを著しく減少させるためコビューターナーナビゲーションシステムの使用を推奨している（Izadpanah K et al. 2009）。最新のテクノロジー技術を用いて、脊椎手術におけるX線透視法下に直接に手を入れず、機器による手術は効果的であると示唆される。

先行研究では、疼痛緩和、生活の質の改善、活動制限日数の短縮、および鎮痛薬の使用を減らすためのBKP術の正当性が実証されている（Bouza C et al. 2006, Eck J et al. 2008, Ledlie J et al. 2006, Taylor RS et al. 2007, Wardlaw D et al. 2009）。今後もBKP術の数の増加が予測される。いくつかのがイドラインでは、外科医に年間または一生の間に推奨される最大放射線量は提示されている（Hercovici DJ et al. 2000, Mehlman CT et al. 1997）。しかし、安全な量の放射線については実際の定義は決定されていない（Falavigna A et al. 2018）。平泉は「脊髄神経の痛みを遮断する目的で施行する透視下神経根ブロックや脊髓造影検査等でも多くの被ばくが放射線皮膚炎に罹患してわたくて被ばくを受けた整形外科医（特に脊椎外科医）の多くが放射線皮膚炎に罹患しており、重症者では皮膚癌を発症することがある」（平泉 2019）と報告している。

今後の課題として手術・検査の手技毎の調査を行い、整形外科医の被ばく線量を明確にすること、被ばく低減策、放射線の日常的な使用に関連する安全性の検証を行うことはと

ても重要である。

- VI. わりに
脊椎手術におけるBKP術における熱刀医およびスタッフの被ばく線量評価から、熱刀医は特に手指に比較的高い放射線被ばくを受けることが明らかとなつた。鉛手袋による放射線防護を行うことは重要な保護策となる。整形外科医および手術スタッフの被ばく線量管理と被ばく低減に向けた教育はとても重要である。

VII. 引用文献

- Bouza C, Lopez T, Magro A, Navalpotro L, Amate JM. (2006). Efficacy and safety of balloon kyphoplasty in the treatment of vertebral compression fractures: a systematic review. *Eur Spine J* 15(7):1050–1067.
- Broniek M, Boszczyk M, Michael Bierschneider, Stephanie Panzer, Werner Panzer, Roger Harsfall, Katharina Schmid, et al. (2004). Fluoroscopy radiation exposure of the kyphoplasty patient. *Eur Spine J* 15:347–355.
- Burn's S, Thornton R, Dauer LT, Quinn B, Miodownik D, Hak DJ. (2013). Leaded eyeglasses substantially reduce radiation exposure of the surgeon's eyes during acquisition of typical fluoroscopic views of the hip and pelvis. *J Bone Joint Surg Am* 95(17):1307–11.
- Eck J, Nachtigall D, Humphreys S, Hodges SD. (2008). Comparison of vertebroplasty and balloon kyphoplasty for treatment of vertebral compression fractures: a meta-analysis of the literature. *The Spine J* 8:488–497.
- Falavigna A, Ramos MB, Wong CC, Barbegal G, Brodke D, Al-Mutair A, et al. (2018). Commentary: worldwide knowledge and attitude of spine surgeons regarding radiation exposure [e-pub ahead of print]. *Neurosurgeon*. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyz243>.
- Herscovici D Jr, Sanders RW. (2000). The effects, risks, and guidelines for radiation use in orthopaedic surgery. *Clin Orthop Relat Res*, 375:126–132.
- 平尾裕 (2019). 整形外科分野における従事者の防護の状況、医療放射線防護. (81):19-21.
- IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. (2014). <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8930/Radiation-Protection-and-Safety-of-Radiation-Sources-International-Basic-Safety-Standards>
- 石垣大介, 加藤義洋, 豊野修二. (2015). X線透視下手術における手外科医の手指被曝線量測定. *日手誌 (Jpn Soc Surg Hand)* , 第31巻, 第5号, 755-758.
- Izadpanah K, Konrad G, Sudkamp P, Oberst M. (2009). Computer navigation in balloon kyphoplasty reduces the intraoperative radiation exposure. *Spine* 34:1325–1329.
- 厚生労働省労働基準局安全衛生労働衛生課電離射線労働者健康対策室. (2018). 電離放射線障害防止規則等について～医療従事者に係る事項～. www.mhlw.go.jp/stf/seisaku-0000191785.pdf
- 櫻田尚樹. (2019). 医療分野における被ばく実態と被ばく低減効果、第2回眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会.
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisaku-00047751.pdf>
- Ledlie J, Renfro MB. (2006). Kyphoplasty treatment of vertebral fractures: 2-year outcomes show sustained benefits. *Spine* 31:57–64.
- Mastrangelo G, Fedeli U, Fadda E, Giovanazzi A, Sciozzato L, Saini B. (2005). Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital. *Occup Med* 2005;55:498 –500.
- Mehlman CT, DiPasquale TG. (1997). Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: "how far away is far enough?". *J Orthop Trauma* ; 11:392–398.

表 1. 調査手術における椎体数、手術・透視時間と一回線量

椎体数 (椎体)	手術時間 (min)	透視時間 (min)	個人被ばく線量計による一回線量 (μSv)			
			執刀医 (胸部 左側)	助手 (胸部 右 側)	看護師 器械出 (腹部 左側)	看護師 外回り (腹部 左側)
1 症例	1	36.0	5.2	14	0	-
2 症例	3	106	18.3	208	1	95
3 症例	1	37.0	5.9	9	0	3
4 症例	1	37.0	6.8	27	0	20
5 症例	1	32.0	6.4	88	0	82
6 症例	3	129.0	31.4	69	0	61
7 症例	1	30.0	4.1	8	0	4
8 症例	2	60.0	11.1	33	2	4
9 症例	1	32.0	6.5	23	0	4
10 症例	1	45.0	13.7	21	0	18
合計	15	544.0	102.8	500	3	291
平均	1.5	54.4	10.2	50	0.3	29.1

(6症例目)の手術では助手が手術開始 61 分後に途中退室した)

看護師 A は 1、2、4、6 症例

看護師 B は 1、2 症例

看護師 C は 2、3 症例を担当した。

助手 D は 7 症例

表 2. BKP 施術 1 回あたりの被ばく線量の平均値

	手指 ($70\mu\text{m}$ 線量当量)	水晶体 (3mm 線量当量)	頸部 (1cm 線量当量)	体幹部 (1cm 線量当量)	個人被ばく線量 (μSv)		個人被ばく線量 (μSv)	
					執刀医	助手 A	助手 B	
執刀医	2.19 mSv	0.36 mSv	0.17 mSv	0.05 mSv	ND	ND	ND	ND
助手 A	-	-	ND	0.05 mSv	ND	ND	ND	ND
助手 B	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
助手 C	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
助手 D	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
看護師 A,B,C	-	-	-	-	-	-	-	-

ND (Not detected) : 検出限界未満

表 3. 執刀医の手術・透視時間と各部位の被ばく線量

	手術時間	透視時間	手指		水晶体		頸部		胸部	
			(70 μm 線量当量)	(3mm 線量当量)	(70 μm 線量当量)	(3mm 線量当量)	(1cm 線量当量)	(1cm 線量当量)	(1cm 線量当量)	(1cm 線量当量)
1~3 症例 (5 椎体)	Total	179 min	29.5 min	6.2 mSv	0.9 mSv	0.3 mSv	0.1 mSv	0.03 mSv	0.1 mSv	0.03 mSv
		59.6 min	9.6 min	2.06 mSv	0.3 mSv	0.1 mSv	-	-	-	-
		Min-Max	36.0- 106 min	5.2- 18.3 min	-	-	-	-	-	-
4~5 症例 (2 椎体)	Total	69 min	13.5 min	4.3 mSv	0.6 mSv	0.4 mSv	0.1 mSv	0.05 mSv	0.1 mSv	0.05 mSv
		Ave	23.0 min	6.6 min	2.15 mSv	0.3 mSv	0.2 mSv	0.05 mSv	0.2 mSv	0.05 mSv
		Min-Max	30.0- 59.2 min	4.1- 13.4 min	-	-	-	-	-	-
6~10 症例 (8 椎体)	Total	296 min	67.0 min	11.4 mSv	2.1 mSv	1.0 mSv	0.3 mSv	0.05 mSv	0.3 mSv	0.05 mSv
		Ave	59.2 min	13.4 min	2.28 mSv	0.42 mSv	0.2 mSv	0.05 mSv	0.2 mSv	0.05 mSv
		Min-Max	30.0- 129.0 min	4.1- 31.4 min	-	-	-	-	-	-
計 10 症例 (15 椎体)	Total	544 min	102.8 min	21.9 mSv	3.6 mSv	1.7 mSv	0.5 mSv	0.05 mSv	0.5 mSv	0.05 mSv
		Ave	54.4 min	10.2 min	2.19 mSv	0.36 mSv	0.17 mSv	0.05 mSv	0.17 mSv	0.05 mSv
		Min-Max	30.0- 129.0 min	4.1- 31.4 min	-	-	-	-	-	-

表 5. 執刀医の年間被ばく線量の推定

	手指 ($70\mu\text{m}$ 線量当量)	水晶体 (3mm 線量当量)	頸部 (1cm 線量当量)	胸部 (1cm 線量当量)
2018 年度 23 症例 (症例数に基づき推定)	50.37 mSv	8.27 mSv	3.91 mSv	1.15 mSv
2018 年度 28 椎体 (椎体数に基づき推定)	40.88 mSv	6.72 mSv	3.08 mSv	0.84 mSv

表 6. 助手医師の手術・透視時間と各部位の被ばく線量

	手術時間	透視時間	水晶体 (3mm 線量当量)	頸部 (1cm 線量当量)	胸部 (1cm 線量当量)
A 氏					
Total	308 min	61.8 min	ND	0.2 mSv	ND
Ave(Surgery)	77 min	15.45 min	ND	0.05 mSv	ND
Ave(Vertebral body)	38.5 min	7.72 min	ND	0.025 mSv	ND
Min-Max	36.0-129.0 min	5.2-31.4 min	ND	0-0.2 mSv	ND
B 氏					
Total	129.0 min	23.6 min	ND	ND	ND
Ave(Surgery)	43.0 min	7.86 min	ND	ND	ND
Ave(Vertebral body)	32.25 min	5.9 min	ND	ND	ND
Min-Max	32.0-60.0 min	5.9-11.1 min	ND	ND	ND
C 氏					
Total	32.0 min	6.4 min	ND	ND	ND
D 氏					
Total	30.0 min	4.1 min	ND	ND	ND

ND(Not detected) : 検出限界未満

表 7. 器械出し看護師の被ばく線量

	手術時間 (min)	透視時間 (min)	手術時間 (min)	透視時間 (min)	腹部 (1cm 線量当量)
A 氏					
1 症例(1 椎体)		36.0		5.2	ND
B 氏					
1 症例(3 椎体)		106.0		18.3	ND

ND(Not detected) : 検出限界未満

表 8. 外回り看護師の被ばく線量

	手術時間 (min)	透視時間 (min)	手術時間 (min)	透視時間 (min)	腹部 (1cm 線量当量)
A 氏					
1 症例(1 椎体)		32.0		6.4	ND
B 氏					
1 症例(1 椎体)		36.0		5.2	ND
C 氏					
2 症例(4 椎体)		143.0		24.2	ND

ND(Not detected) : 検出限界未満



図3. 外科手術用Cアーム配置①



図4. 外科手術用Cアーム配置②



図1. BKP 施術風景



図2. 執刀時スタッフ配置 左から外回り看護師、器械出し看護師、執刀医、助手



図 7. 千代田テクノル製 DOSIRIS 線量計



図 8. ガラスバッジ X 線用 (FX型) 線量計、装着部位



図 9. 個人被ばく線量計マイドーズミニ X



図 5. 千代田テクノル製 X・γ 線用ガラスリソング (JK型) 線量計①



図 6. 千代田テクノル製 X・γ 線用ガラスリソング (JK型) 線量計②

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

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）

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
盛武 敬	第5章-2 レントゲン撮影等の放射線被ばく対策	相澤好治 監修 和田耕治 編著	増補新訂 医療機関における産業保健活動ハンドブック	公益財団法人産業医学振興財団	東京	2019	298-306

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
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	76(2)	210-217 DOI: https://doi.org/10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.2.210	2020
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	pii: ncz298	doi: 10.1093/rpd/ncz298	2020
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	75(3)	263-269 DOI:10.6009/jjrt.2019_JSRT_75.3.263	2019
Ishii H, Haga Y, Sota M, Inaba Y, Chida K	Performance of the DOSIRIS eye lens dosimeter	Journal of Radiological Protection	39	N19-N26 DOI:10.1088/1361-6498/ab2729	2019

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)	71-75 DOI:10.18888/rp.0000001113	2020
檉田 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	131	44-51	2019
檉田 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	81	5-11	2019
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	81	25-27	2019