

令和元年度放射線対策委託費
(放射線安全規制研究戦略的推進事業)

円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係る
ガイドラインの作成
成果報告書

藤田医科大学

令和2年3月

目 次

1. 初めに.....	1- 1
1.1 背景・目的.....	1- 1
1.2 研究課題及び研究体制.....	1- 1
1.3 研究概要.....	1- 2
1.3.1 分野横断的な水晶体等価線量モニタリングに係るガイドラインの作成.....	1- 2
1.3.2 医療分野のガイドライン作成—水晶体の等価線量限度改訂への対応—.....	1- 3
1.3.3 シンポジウム・講演等.....	1- 4
参考文献.....	1- 5
2. 分野横断的な水晶体等価線量モニタリングに係るガイドライン作成.....	2- 1
2.1 目的.....	2- 2
2.2 ガイドライン作成における課題整理の方法.....	2- 2
2.2.1 ガイドライン全般.....	2- 2
2.2.2 適用範囲.....	2- 2
2.2.3 線量モニタリングの考え方.....	2- 3
2.2.4 解説.....	2- 4
2.2.5 例題.....	2- 4
2.3 会議開催日程.....	2- 4
2.4 経済協力開発機構／原子力機関／放射線防護及び公衆衛生委員会／眼の水晶体の線量限度に関する専門家グループ（OECD/NEA/CRPPH /EGDLE）.....	2- 5
2.4.1 経緯.....	2- 5
2.4.2 活動内容.....	2- 6
2.4.3 パイロット調査結果.....	2- 6
2.4.4 今後の活動.....	2- 6
2.5 結論.....	2- 7
謝辞.....	2- 7
参考文献.....	2- 7
3. 医療分野のガイドライン作成—水晶体の等価線量限度改訂への対応—.....	3- 1
3.1 研究目的.....	3- 2
3.2 研究方法.....	3- 2
3.2.1 ガイドライン対象診療科と職種.....	3- 2
3.2.2 関連学会への参加依頼.....	3- 2
3.2.3 診療科横断ガイドライン検討方法.....	3- 3
3.3 研究結果.....	3- 4
3.3.1 ガイドライン参加学会.....	3- 4
3.3.2 水晶体の線量管理に関するアンケート調査結果.....	3- 4
3.3.3 ガイドラインの取りまとめ過程.....	3- 4

3.3.4	ガイドライン.....	3- 6
3.4	結論.....	3- 6
	参考文献.....	3- 6
4.	最後に.....	4- 1
添付 1	眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン	
添付 2	医療スタッフの放射線安全に係るガイドラインー水晶体の被ばく管理を中心にー	
添付 3	放射線安全に関するアンケート	

1. 初めに

1.1 背景・目的

平成 30 年 3 月、放射線審議会は、関係行政機関に対し、眼の水晶体の放射線防護検討部会がとりまとめた「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」を参考に所定の措置を講ずるよう具申した¹⁾。この具申では、水晶体の等価線量限度について、「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ことが適当である。」、事業者による水晶体被ばく低減や防護の最適化の取り組みが円滑に進むように、「関連学会によってガイドラインが策定されることを期待する。」としている。また、第 142 回の放射線審議会²⁾では、意見具申後の各関係行政機関のフォローアップとして、規制への取り入れ状況について報告があり、平成 31 (令和元) 年度をめどに法令改正を行い、平成 33 (令和 3) 年度から施行する予定であることが示された。

令和元年 12 月には、第 147 回放射線審議会³⁾において、放射線審議会の水晶体の放射線防護に係る在り方に関する意見具申において国内規制制度に取り入れるべきとされた項目の取入れ状況について報告があり、関係行政機関は放射線審議会に諮問した。この中でも、水晶体の線量限度の始期については、一部、規制において、経過措置を設ける場合もあるものの、概ね令和 3 年 4 月からの 5 年間につき 100 mSv、1 年につき 50 mSv とした。

平成 29 年度及び 30 年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業^{4),5)}では、原子力及び医療分野における放射線業務従事者の水晶体等価線量の実態を明らかにするとともに、眼の水晶体の等価線量を直接測定するための線量基準 (めやす) や不均等被ばく時の実効線量管理と水晶体の等価線量の管理との関係等の課題や考え方を示した。

事業者が規制を円滑に運用するためには、これらの成果を踏まえた具体的な水晶体等価線量モニタリングの基準 (めやす)、手法、その考え方や分野個別の放射線防護及び防護の最適化方法を示したガイドラインの作成が急務である。特に、医療分野においては、個人線量の測定の徹底や被ばく低減の必要性が指摘されている^{1),6)}。そこで本研究では、目前に迫った水晶体の等価線量限度に関連する規制見直しを踏まえ、事業者及び従事者が円滑に放射線管理を行うことができるよう、分野横断的な水晶体等価線量モニタリングに係るガイドライン及び医療分野のガイドラインの 2 つのガイドラインの作成を行うための課題整理を実施した。

1.2 研究課題及び研究体制

本研究では、以下の表 1-1 に示す 2 つのガイドライン作成のための課題整理をすることとした。研究の実施体制は以下の図 1-1 に示すとおりである。

分野横断的な水晶体等価線量モニタリングに係るガイドラインの作成については、関連分野の専門家及び一般社団法人日本保健物理学会と連携・協力して研究を実施した。

医療分野のガイドライン作成—水晶体の等価線量限度改訂への対応—では、20 の関連団体の代表が研究協力者として参画し、ガイドラインの作成を行った。

表 1-1 研究項目名及び担当者

研究項目名	主任研究者 分担研究者
分野横断的な水晶体等価線量モニタリングに係る ガイドラインの作成	横山 須美 (藤田医科大学)
医療分野のガイドライン作成 —水晶体の等価線量限度改訂への対応—	大野 和子 (京都医療科学大学)

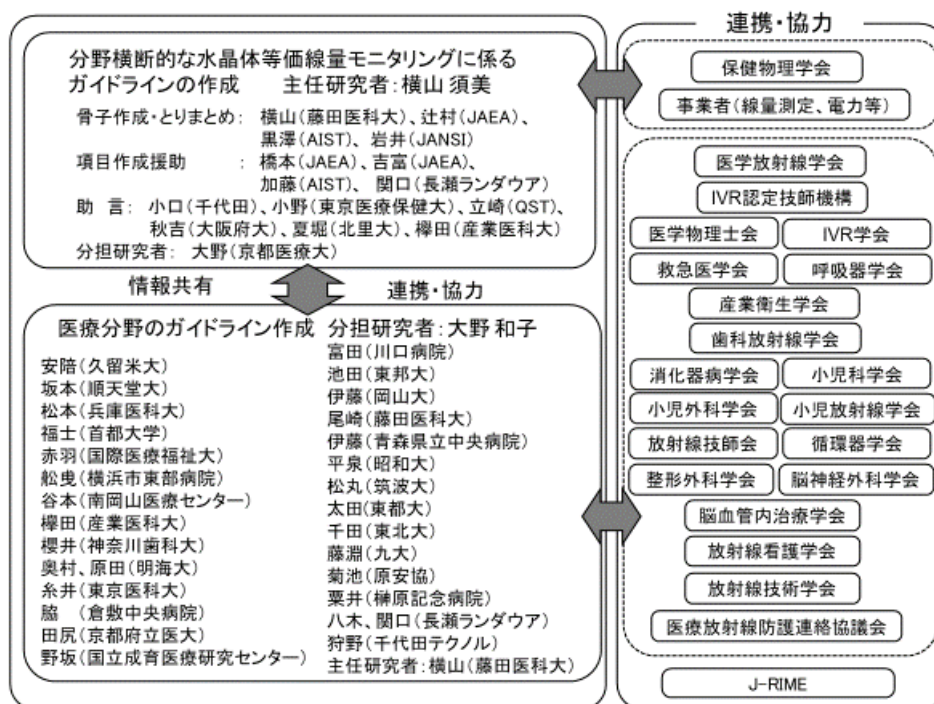


図 1-1 研究実施体制図

1.3 研究概要

1.3.1 分野横断的な水晶体等価線量モニタリングに係るガイドラインの作成

放射線審議会の意見具申¹⁾では、水晶体の等価線量限度の見直しに関連して、「個人の外部被ばくに係る測定については3 mm線量当量を法令に位置付け、これを用いた水晶体の等価線量の算定を可能にすべきである。」としている。また、防護眼鏡等を着用する場合等、水晶体の等価線量を算定するための線量計を着用する部位は、従来、規制で定められている線量計着用部位である体幹部基本部位（胸部または腹部）や最大となるおそれのある部位とは異なる可能性がある。このため、正確に水晶体の等価線量を算定するための線量の測定位置として、これまでの規制で定められた場所以外に、「眼の近傍」が追加された。

わが国では、国際放射線防護委員会（ICRP）の1990年の基本勧告⁷⁾が取り入れられて以降、線量測定及び評価については、放射線審議会の基本部会がとりまとめた外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針⁸⁾（技術指針）の考え方を踏まえ、具体的な運用を示した「被ばく線量の測定・評価マニュアル」⁹⁾を参考に、多くの事業者や放射線管理者が管理を実施してきた。しかし、これらの技術指針やマニュアルには、新しい水晶体の等価線量限度や用いる実用量の追加等、水晶体の線量測定及び評価に関しては示されていない。また、「被ばく線量の測定・評価マニュアル」では、実効線量の不均等被ばく管理の実施についての判断方法として、頭頸部に着用した線量計と体幹部基本部位の線量の差が3倍（150/50）と、現行の水晶体の等価線量限度（150 mSv/年）を基に示している。このため、新たな水晶体の等価線量限度に合ったモニタリングの考え方が実効線量の測定及び評価における不均等被ばく管理を行うか否かの判断方法と照らしても問題がないようにしておく必要がある。

以上のことから、分野横断的な水晶体の等価線量モニタリングに係るガイドラインの作成においては、どのような条件下で、水晶体の等価線量をどの部位で算定するのか、及びどの実用量を用いて算定するのかを示した。また、それらの判断方法を示すだけでなく、関連した国内外の動向や考え方の基となる根拠を解説で示すとともに、類似のケースの判断に対応できるよう実務上の具体例をQ&A形式の例題として示した。

なお、これらの検討においては、学術学会、特に、一般社団法人日本保健物理学会と連携するとともに、医療分野のガイドライン作成のための課題整理を実施した分担研究者や線量測定・評価、関連分野の専門家の協力を得た。また、早い段階から、関連学協会員等から意見を聴取し、それを反映することが重要であると考え、学会での講演やシンポジウム、意見公募等により、積極的に意見交換を実施した。本課題に関連する口頭発表（講演）を1.3.3項に示す。

また、海外動向にも注視し、経済協力開発機構・原子力機関 放射線防護及び公衆衛生委員会の「眼の水晶体の線量限度に関する専門家グループ」（OECD/NEA/CRPPH/ EGDLE）¹⁰⁾に参画して、情報を取得した。EGDLEの活動概要については、2.4節に示す。

1.3.2 医療分野のガイドライン作成—水晶体の等価線量限度改訂への対応—

医療分野においては、近年多くの診療科で放射線を用いた診療が実施され、技術の進展も目覚ましい。しかし、医療スタッフが放射線安全に対して、十分に配慮してきたとは言いがたい。今後も患者に不可欠な放射線診療の継続した発展と同時に円滑な規制の運用に資するためには、水晶体の線量測定・評価や被ばく低減を適正に行うための放射線管理全般に対するガイドラインの作成が必要不可欠である。そこで、放射線を用いた診療行為に関与する全ての医療スタッフと患者双方の放射線安全に配慮した放射線の利用方法について課題を整理した。

第2章で示す水晶体の線量モニタリングのガイドラインは、原子力や医療等の分野に係らず、すべての分野の事業者や安全管理者を対象に水晶体の線量モニタリングに関する

技術的な課題を整理した。一方、第3章に示す医療分野のガイドラインは、診療科を問わず、X線を利用する放射線診療の実務に携わる医療スタッフを対象とし、診療科横断的な、医療スタッフの放射線防護や被ばく低減に関する技術的課題を整理した。医療分野のガイドラインでは、医療スタッフの放射線防護に関する理解が進むよう図を多用した。また、ガイドラインの各項目に対する推奨度の本文表記についても、一般的な診療ガイドラインで用いられる表現に準じる等の工夫を行った。

1.3.3 シンポジウム・講演等

- 1) 横山須美, 水晶体ガイドライン作成について, 日本保健物理学会講演会: ICRP 勧告取入れにおける国内動向 (2019年6月東京大学)
- 2) 大野和子, 日本医学放射線学会第332回関西地方会 教育講演 (日本医学放射線学会必須講習会)「医療放射線防護を取り巻く潮流」 (2019年06月8日ホテルエルセラーン大阪)
- 3) 横山須美, 水晶体線量モニタリングガイドラインの概要, 日本保健物理学会シンポジウム: 水晶体防護に係るガイドラインを考える (2019年7月20日, TKP 東京駅前会議室)
- 4) 大野和子, 医療分野のガイドライン概要, 日本保健物理学会シンポジウム: 水晶体防護に係るガイドラインを考える (2019年7月20日, TKP 東京駅前会議室)
- 5) 辻村憲雄, パネルディスカッション: 管理基準と不均等被ばく, 日本保健物理学会シンポジウム: 水晶体防護に係るガイドラインを考える (2019年7月20日, TKP 東京駅前会議室)
- 6) 関口寛, パネルディスカッション: 水晶体線量の測定方法, 日本保健物理学会シンポジウム: 水晶体防護に係るガイドラインを考える (2019年7月20日, TKP 東京駅前会議室)
- 7) 加藤昌弘, パネルディスカッション: 水晶体線量評価のための線量計校正, 日本保健物理学会シンポジウム: 水晶体防護に係るガイドラインを考える (7月20日, TKP 東京駅前会議室)
- 8) 櫻田尚樹, パネルディスカッション: 医療分野における現状と課題, 日本保健物理学会シンポジウム: 水晶体防護に係るガイドラインを考える (2019年7月20日, TKP 東京駅前会議室)
- 9) 大野和子, 第28回日本心血管インターベンション治療学会 必須講習防護「医療放射線防護・安全の今後」 (2019年9月19日-21日, 名古屋国際会議場)
- 10) 横山須美, 実効的な水晶体等価線量モニタリングのガイドライン作成に向けて, 第47回日本放射線技術学会秋季大会, 放射線防護フォーラム (2019年10月19日, グランキューブ大坂)
- 11) 大野和子, 第12回全国国立大学放射線技師会・全国国立病院療養所放射線技師会 医療安全セミナー (2020年2月8日, 東京大学)

- 12) 大野和子, 医療放射線安全関連法令の改正と診療用放射線の安全利用について, 医療放射線防護連絡協議会 医療の安全利用フォーラムパネル (2020年2月23日, 首都大学東京)
- 13) 横山須美, 水晶体の線量限度改正とガイドライン, 医療放射線防護連絡協議会 第41回医療の安全利用フォーラムパネル (2020年2月23日, 首都大学東京)
- 14) 横山須美, 水晶体線量モニタリングの在り方について, 2020年日本原子力学会春の年会 (2019年3月18日, 福島大学) * 学会開催中止
- 15) Sumi Yokoyama et al., Development of Guidelines on Radiation Protection for the Lens of the Eye in Japan, IRPA 15, (2020年5月11日-15日, COEX, ソウル予定)
- 16) 大野和子, 水晶体の被ばく線量引き下げと整形外科医の放射線誘発白内障の予防, 臨床整形外科 in press.

参考文献

- 1) 放射線審議会, 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について (意見具申), 平成30年3月2日付け原規放発第18030211号 (2018).
- 2) 放射線審議会, 「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」 (意見具申) を踏まえた関係省庁における検討状況について, 放射線審議会第142回資料142-1号 (2019).
- 3) 放射線審議会, 放射線審議会意見具申において、国内制度に取り入れるべきとされた項目の取り入れ状況, 放射線審議会第147回資料147-1-2号ほか (2019).
- 4) 横山須美, 辻村憲雄, 大野和子, 藤淵俊王, 平成29年度安全規制研究戦略的推進事業成果報告書 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか?～水晶体被ばくの実態から探る～ (2018).
- 5) 横山須美, 辻村憲雄, 大野和子, 藤淵俊王, 平成30年度安全規制研究戦略的推進事業成果報告書 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか?～水晶体被ばくの実態から探る～ (2019).
- 6) 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 報告書 (2019).
- 7) ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3) (1991).
- 8) 放射線審議会基本部会, 外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針 (1999).
- 9) 財) 原子力安全技術センター, 被ばく線量の測定・評価マニュアル (2000).
- 10) NEA, NEA Mandates and Structures, Expert Group on the Dose Limit for the Lens of the Eye (EGDLE), https://www.oecd-nea.org/tools/mandates/index/id/7972/lang/en_gb (最終アクセス; 2020年3月12日)

2. 分野横断的な水晶体等価線量モニタリングに係るガイドラインの作成

主任研究者	大学法人	藤田学園	藤田医科大学	横山 須美
研究協力者	大阪公立大学法人		大阪府立大学	秋吉 優史
	一般社団法人		原子力安全推進協会	岩井 敏
	学校法人		東京医療保健大学	小野 孝二
	国立研究開発法人		産業技術総合研究所	加藤 昌弘
	学校法人		産業医科大学	櫛田 尚樹
	国立研究開発法人		産業技術総合研究所	黒澤 忠弘
	株式会社千代田テクノル			小口 靖弘
	長瀬ランダウア株式会社			関口 寛
	国立研究開発法人		量子科学技術研究開発機構	立崎 英夫
	国立研究開発法人		日本原子力研究開発機構	辻村 憲雄
	学校法人		北里大学	夏堀 雅宏
	国立研究開発法人		日本原子力研究開発機構	橋本 周
	国立研究開発法人		日本原子力研究開発機構	吉富 寛

2.1 目的

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインの作成は、眼の水晶体の等価線量限度に関する法令改正にともない、事業者が法令を遵守するとともに放射線防護の最適化の観点から、円滑に眼の水晶体の線量モニタリングが実施できるようにすることを目的としている。

また、現行法令の改正の際に作成された「被ばく線量の測定・評価マニュアル」¹⁾の眼の水晶体の線量モニタリングに関する部分を補うものとする。

2.2 ガイドライン作成における課題整理の方法

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインの作成において、以下の点に注意して課題を整理することとした。ガイドラインは添付1に示す。

2.2.1 ガイドライン全般

ガイドラインを利用する上で対象者を明確にすることが重要である。そこで、本章で扱うガイドラインの被ばく状況、被ばく区分、算定部位及び実用量を明確にした。

各事項の重要度が明確になっている必要があるため、重要度がわかるようにできる限り表現を統一した。要求事項は「する」、推奨事項は「望ましい」、許容事項は「してもよい」と表現した。

ガイドラインは、主文である「1. 適用の範囲」及び「2. 線量モニタリングの考え方」、それらの考え方の根拠について文献等を引用して付記した「解説」、実際の管理の場で想定される事例を紹介する「例題」の大きく3つに区分した。

考えられる個別の事例については可能な限り、ガイドラインで取り扱うことを試みたが、すべての事例を網羅することは困難である。したがって、ガイドラインのとおり眼の水晶体の線量モニタリングを実施することを事業者に要求するものではなく、実情に応じて事業者等の判断により、適切な方法を選択すればよいものとする。

本ガイドラインは、線量モニタリングの現状を踏まえ、現時点での最新の知見に基づき作成した。このため、法令の改正や測定及び防護技術の進展等により、内容を随時見直す必要がある。

また、法令改正を見据えて眼の水晶体の線量モニタリングの方法について記載しているが、法令改正の対象となっていない実効線量の算定方法に照らしても問題がないことも重要であり、そのような考え方に基づいて整理した。

2.2.2 適用範囲

法令改正が予定されているのは、計画被ばく状況下での職業被ばくに対する眼の水晶体の等価線量限度に関連するものである²⁾。したがって、ガイドライン内に記載される内容

は、これらの線量モニタリング方法を取り扱うこととした。シンポジウム等における専門家からの意見聴取においては、公衆被ばくや医療被ばくについても取り扱ってはどうかという意見もあったが、論点を絞り、明確化することで、ガイドラインを事業者の安全管理に有効に活用できるものとする。このため、計画被ばく状況下での職業被ばくに限定することとした。

2.2.3 線量モニタリングの考え方

眼の水晶体の線量モニタリングを実施するにあたり明確にしておく必要がある点は、① 眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位及び ② モニタリングに使用する実用量である。また、判断の助けとなるようフロー図を添付した。

眼の水晶体の等価線量モニタリングをする部位は、第一段階として、「体幹部均等被ばく」か「体幹部不均等被ばく」かで判断した。第二段階として、それぞれの条件に対して、水晶体の等価線量が「管理基準」に近づくか又は超えるおそれがあるかで判断した。「管理基準」については、線量限度を超えることがないように線量限度以下に設定しておく必要がある。その値については、作業内容や作業環境によって異なり、一つの数値を示すことができない。そこで、事業者が労働安全衛生マネジメントの一環として、自らが選択できるよう、解説等に参考となる考え方や数値レベルを示した。

等価線量のモニタリングに使用する実用量には、周辺線量当量と個人線量当量がある。しかしながら、放射線審議会の意見具申²⁾では、場所に係る測定に関しては、3 mm 線量当量を測定できる測定器は普及していないことから、「法令に取り入れる必要性は薄い」としている。また、水晶体の等価線量を算定するための実用量として、「 $H_p(3)$ （個人線量当量）で水晶体の等価線量を算定することを可能とするべきである。」との記載がある。このため、本ガイドラインでは主に個人線量当量の取り扱いを明記した。

水晶体の等価線量を 3 mm 線量当量を用いて算定することは必須ではない。法令改正案³⁾でも、「眼の水晶体の等価線量は、一センチメートル線量当量又は三ミリメートル線量当量又は七十マイクロメートル線量当量のうち、適切な方とすること。」（放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則）とされている。多くの放射線業務従事者は、線量限度を超えることがないため、事業者等の負担を考えると、現行の線量モニタリングを基本として、追加的な方法として、眼の近傍での線量モニタリングの実施及び 3 mm 線量当量を用いての測定を位置づけることが適当であると考えた。

なお、線量換算係数は放射線の種類とエネルギーに依存する。放射線の種類ごとにどのような場合に 3 mm 線量当量を眼の水晶体の等価線量の算定に用いる必要があるかについては、解説に示した。

中性子については、現在、3 mm 線量当量に対して換算係数が与えられていない。このため、法令改正後も従来と同様に、水晶体の等価線量の算定に用いる実用量は、1 cm 線量当量である。このことについては、主文に明記した。

2.2.4 解説

解説には、ガイドラインの目的、適用範囲、眼の水晶体の線量モニタリングにおける算定の方法について、根拠となる文献等を参考に付記するとともに、関連する国内の法規制、国内外の任意規格、用語一覧を示すこととした。眼の水晶体の線量モニタリングにおける算定の方法は、国際放射線防護委員会（ICRP）や国際原子力機関（IAEA）の報告書、その他海外のガイドライン、放射線審議会を示された意見具申等を参考にした。解説に記載する内容は、必要最小限にとどめ、ガイドライン作成の経緯や国内動向等、さらなる詳細な内容は添付資料に記載した。

2.2.5 例題

研究協力者、事業者、放射線防護の専門家等から寄せられた意見を参考に、体幹部不均等被ばくの判断方法や現在使用できる水晶体専用の線量計の種類、各分野での水晶体被ばくの特徴と一般的なモニタリング方法等について、26例題を提示した。

「体幹部不均等被ばく」の判断は、法令改正の対象となっていない実効線量の算定と関連したものである。しかし、法令改正後、水晶体の等価線量限度を遵守するためには、被ばく線量の測定・評価マニュアル¹⁾に記載されている従来の不均等被ばくの考え方では十分とは言えない。そこで、ICRP等の考え方を参考に新たに不均等被ばくの考え方を例示することとした。また、各分野における水晶体被ばくの特徴と一般的なモニタリング方法については、平成29年度及び30年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業^{4,5)}等において得られた成果を参考とした。

2.3 会議開催日程

第1回 水晶体線量モニタリングガイドライン作成作業検討会

開催日時：令和元年6月13日（木） 13:30～16:25

開催場所：三菱総合研究所

第2回 水晶体線量モニタリングガイドライン作成作業検討会

開催日時：令和元年10月11日（金） 9:30～12:30

開催場所：東京医療保健大学国立病院機構キャンパス

日本保健物理学会シンポジウム 講演

開催日時：令和元年6月20日（木） 9:30～11:00

開催場所：東京大学 工学部2号館213講義室

内 容：ICRP勧告取入れにおける国内動向

1. 水晶体ガイドライン作成について 横山須美（藤田医科大）
2. ICRP2007年勧告等の取入れに関する国内での検討状況 原子力規制庁

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業/日本保健物理学会放射線防護標準化委員会 シンポジウム：水晶体防護に係るガイドラインを考える

開催日時：令和元年7月20日（土）13：30～16：30

開催場所：TKP スター貸会議室 日本橋 カンファレンスルーム 3B

内 容：

第1部 水晶体の放射線防護に係るガイドラインについて 司会：橋本 周（JAEA）

- | | |
|-------------------------|---------------|
| 1. 標準化委員会の活動経緯 | 橋本 周（JAEA） |
| 2. 水晶体線量モニタリングガイドラインの概要 | 横山須美（藤田医科大） |
| 3. 医療分野におけるガイドライン概要 | 大野和子（京都医療科学大） |

第2部 パネルディスカッション

司会：岩井 敏（JANSI）

- | | |
|----------------------|---------------|
| 1. 管理基準と不均等被ばく | 辻村憲雄（JAEA） |
| 2. 水晶体線量測定方法 | 関口 寛（長瀬ランダウア） |
| 3. 水晶体線量評価のための線量計の校正 | 加藤昌弘（産総研） |
| 4. 医療分野における現状と課題 | 樺田尚樹（産業医科大） |
| 5. 総合討論 | |

第47回 日本放射線技術学会秋季学術大会

開催日時：令和元年10月19日（土）8：50～9：50

開催場所：グランキューブ大阪

内 容：放射線防護フォーラム 実効的な水晶体等価線量モニタリングのガイドライン作成に向けて 横山須美（藤田医科大）

2.4 経済協力開発機構／原子力機関／放射線防護及び公衆衛生委員会／眼の水晶体の線量限度に関する専門家グループ（OECD/NEA/CRPPH/EGDLE）

2.4.1 経緯

平成23（2011）年にICRPが計画被ばく状況における職業人に対して、新しい眼の水晶体の等価線量限度を勧告⁶⁾し、IAEAの国際基本安全基準（BSS）⁷⁾やEU指令⁸⁾にもこの新しい水晶体の等価線量限度が取り入れられている。わが国でも、関係行政機関において、線量限度の見直しが進められているが、世界的に見ても各国の規制に大きな影響を及ぼしている。そこで、経済協力開発機構・原子力機関（OECD/NEA）の常設委員会の一つである放射線防護及び公衆衛生委員会（CRPPH）では、各国が規制を見直しする中で、原子力及び非原子力（医療等）分野の従事者に対して水晶体の等価線量限度を適用するにあたり、得られた教訓（良好事例及び課題）を共有することを目的として、眼の水晶体の線量限度に関する専門家グループ（EGDLE）を設置した⁹⁾。令和元（2019）年3月のCRPPHの総会で設置が承認され、令和3（2021）年3月末まで活動し、報告書を取りまとめる予定である。OECD加盟各国に参画メンバーを募集し、各国の規制機関、研究機関及びCRPPH事務局の10名により活動を開始した。主査はカナダ原子力安全委員会のChristina Dodkin、副査はミラノ大学のMaire Claire Cantoneである。わが国からは本研究の主任研究者である横山が参画している。

2.4.2 活動内容

令和元（2019）年7月25日及び26日にOECD本部（パリ）にてキックオフ会合を開催し、参加メンバーから各国の現状について紹介があった。より多くの事例を収集するためのOECD加盟各国に向けたアンケート調査について検討を実施した。詳細な調査内容については、令和元（2019）年10月24日に第1回目のWeb会合を実施し、検討した。調査項目としては、法改正の各国の現状、水晶体の等価線量限度の法令への取り入れを成功させるためのステークホルダーの関与の在り方、法改正後の水晶体の等価線量の測定や算定方法、使用する実用量、防護具の使用等の10項目とした。12月までに会合メンバーに対してパイロット調査を実施し、質問項目を精査することとした。

令和2（2020）年2月13日に第2回目のWeb会合を開催し、パイロット調査を基にOECD加盟各国に向けた本調査の内容についての検討を行った。同年3月4日に加盟各国に調査用紙を送付、同年6月1日までに回答するよう依頼がなされた。アンケート調査結果については取りまとめを行い、令和3（2021）年開催のCRPPHの年次会合にて報告する予定である。

2.4.3 パイロット調査結果

今後、CRPPH年次会合等で報告される予定であるため、ここでは概要のみを報告する。

水晶体の等価線量限度の法令取り入れを成功させる策として、EGDLEの多くのメンバーが賛同したことは、水晶体の線量限度の見直しに際して、ステークホルダー（関係者）が関与することである。技術報告書の作成、ワークショップ等の実施、Web会合や専門家会合の開催等、関与の在り方や程度は国によって異なるものの、ステークホルダーが関与することの重要性については異論がなかった。特に検討の早い段階から、ステークホルダーが関与することにより、法令等への取り入れが円滑に進むといった意見もあった。

また、関係者の懸念として、放射線防護や被ばく低減への取組について医療従事者が消極的であること、追加対策にかかるコストの増加、線量計の設計、作業場で実現可能な放射線防護方法（特に医療分野）等が挙げられた。これらは、わが国が直面している課題でもある。

水晶体の線量モニタリングに使用する実用量については、多くのメンバーが1cm線量当量及び70µm線量当量による代用も認めるが、3mm線量当量を優先すると回答した。

2.4.4 今後の活動

2.4.1項及び2.4.2項に示したとおり、EGDLEの活動は令和3（2021）年3月末まで継続する。本研究での調査は、前半部分のみとなったが、EGDLEメンバー国の現状や懸念についての情報を入手することができ、一定の成果を得ることができた。今後、OECD加盟各国の本調査が実施されるが、わが国の水晶体の線量モニタリングのガイドライン作成に大きな影響を与えるものではないと考える。しかしながら、このようなネットワークを介し

て、諸外国と情報共有を密にして、わが国の現状を発信するとともに、情報収集することで、水晶体の等価線量限度に関連した規制のみならず、わが国の放射線防護の在り方を考える上で有益なものとなるだろう。

2.5 結論

分野横断的な水晶体の線量モニタリングのガイドラインを作成することは、水晶体の等価線量限度に関する法令改正後の法令遵守と放射線防護の最適化のために、急務であり、非常に有意義なことである。

今後、事業者等に対してより正確な水晶体の等価線量の算定が求められることになるものの、対象となる放射線業務従事者は限られている。眼の近傍でのモニタリングについては、対象となる放射線業務従事者が所属する事業者等及び対象となる放射線業務従事者自身の負担をできる限り軽減するように努めた。

「不均等被ばく」の判断方法については、ICRP Publ. 75¹⁰⁾の考え方等を踏まえ、現時点で適切と考えられる方法を示すこととしたが、従来の考え方よりは厳しいものとなる。事業者は、本ガイドラインを参考に、法令改正までに各作業環境の実情を踏まえた適切な管理方法を十分に検討しておく必要がある。

さらに近い将来、実用量の考え方が大きく変わることが予想される¹¹⁾。眼の水晶体の等価線量モニタリングのみならず、実効線量や皮膚の等価線量の測定及び評価も含め、包括的な線量管理方法を継続的に議論していく必要がある。

謝辞

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインの作成にあたり、貴重かつ有益なご意見を数多くいただきました。以下の方々に心より深く感謝申し上げます。

三菱総合研究所 高木 俊治様、フジタ株式会社 青天目 州晶様、東芝エネルギーシステムズ株式会社 川島 恒憲様、東京電力ホールディングス株式会社 夏目 良典様、中部電力株式会社 出来島 誠様、九州電力株式会社 廣瀬 友紀様、上村 孝雅様 渡邊 強史様、関西電力株式会社 三浦 晃三様、中村 孝年様、鶴野 善之様、一般社団法人日本電機工業会 瀧上 浩幸様、株式会社日立製作所 金野 朋博様、三菱重工業株式会社 福井 基一様、一般社団法人日本保健物理学会放射線防護標準化委員会委員の皆様

参考文献

- 1) 財) 原子力安全技術センター，被ばく線量の測定・評価マニュアル (2000).
- 2) 放射線審議会，眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について (意見具申)，平成 30 年 3 月 2 日付け原規放発第 18030211 号 (2018).
- 3) 放射線審議会，参考資料 (新旧対照表) (原子力規制委員会提出資料) 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則の一部改正に関する表など (147-1-7-2 号)

- 4) 横山須美, 辻村憲雄, 大野和子, 藤淵俊王, 平成 29 年度安全規制研究戦略的推進事業成果報告書 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか?～水晶体被ばくの実態から探る～ (2018).
- 5) 横山須美, 辻村憲雄, 大野和子, 藤淵俊王, 平成 30 年度安全規制研究戦略的推進事業成果報告書 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか?～水晶体被ばくの実態から探る～ (2019).
- 6) ICRP, ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs; Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118, Ann. ICRP 41(1/2) (2012).
- 7) IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, No. GSR Part 3 (2014).
- 8) Council of the European Union, Council Directive 2013/59/Euratom on basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. OJ of the EU. L13; 57: 1–73 (2014).
- 9) NEA, NEA Mandates and Structures, Expert Group on the Dose Limit for the Lens of the Eye (EGDLE), https://www.oecd-nea.org/tools/mandates/index/id/7972/lang/en_gb (最終アクセス ; 2020 年 3 月 12 日)
- 10) ICRP, General Principles for the Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27(1) (1997).
- 11) ICRP, Operational Quantities for External Radiation Exposure (draft).

3. 医療分野のガイドライン作成 ― 水晶体の等価線量限度改訂への対応 ―

分担研究者	大野 和子	京都医療科学大学	医療科学部	教授
研究協力者	安陪 等思	久留米大学	医学部	教授
研究協力者	赤羽 正章	国際医療福祉大学	医学部	教授
研究協力者	池田 隆徳	東邦大学	医学部	教授
研究協力者	伊藤 浩	岡山大学	医学部	教授
研究協力者	尾崎 行男	藤田医科大学	医学部	教授
研究協力者	松丸 祐司	筑波大学	医学部	教授
研究協力者	糸井 隆夫	東京医科大学	医学部	教授
研究協力者	野坂 俊介	国立研究開発法人 国立成育医療研究センター	放射線診療部	部長
研究協力者	谷本 安	独立行政法人国立病院機構 南岡山医療センター		院長
研究協力者	伊藤 淳二	青森県立中央病院	整形外科	部長
研究協力者	平泉 裕	昭和大学	整形外科	客員教授
研究協力者	船曳 知弘	済生会横浜市東部病院	救急科	部長
研究協力者	脇 研自	倉敷中央病院	小児科	主任部長
研究協力者	田尻 達郎	京都府立医科大学		教授
研究協力者	櫻井 孝	神奈川歯科大学		学長
研究協力者	奥村 泰彦	明海大学	保健医療学部	教授
研究協力者	原田 康雄	明海大学	歯学部	客員教授
研究協力者	樺田 尚樹	産業医科大学	産業保健学部	教授
研究協力者	福士 政広	東京都立大学	健康福祉学部	教授
研究協力者	坂本 肇	順天堂大学	保健医療学部	前任准教授
研究協力者	松本 一真	兵庫医科大学病院	診療放射線技師	
研究協力者	千田 浩一	東北大学大学院医学系研究科		教授
研究協力者	藤淵 俊王	九州大学	医学研究院	教授
研究協力者	富田 博信	埼玉済生会川口病院	診療放射線技師	
研究協力者	太田 勝正	東都大学沼津ヒューマンケア学部開設準備室		(前名古屋大学大学院医学系研究科看護学専攻 教授)
研究協力者	菊地 透	原子力安全研究協会		技術参与
研究協力者	栗井 一夫	榊原記念病院	放射線科技師長	
研究協力者	関口 寛	長瀬ランダウア株式会社		技術室統括
研究協力者	八木 信行	長瀬ランダウア株式会社		企画部
研究協力者	狩野 好延	株式会社千代田テクノル		線量計測事業本部

3.1 研究目的

平成30年3月、放射線審議会（審議会）は「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」を取りまとめ、この中で水晶体の等価線量限度の改正に併せて、「医療分野の事業者による最適化の取組が円滑に進むように、関連学会等によってガイドラインが策定されることを期待する。」とした¹⁾。

放射線診療の手技は診療科毎に開発されてきたため、放射線診療従事者（以下「従事者」という。）が有する放射線防護に関する情報量や医療現場での防護への配慮も診療科により異なる。国民に有益な放射線診療が安全に持続・発展するためには、従事者の放射線安全管理を目的としたガイドラインを作成し、関係する医療スタッフ（本報告書では「医療従事者」を「医療スタッフ」と表記する。）へ広く周知することが喫緊の課題である。そこで従事者が水晶体の等価線量限度の新基準を遵守することを目的とした、診療科横断的な医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン（添付2）を作成し、各学会の承認を得てとりまとめることとした。

3.2 研究方法

3.2.1 ガイドライン対象診療科と職種

主に、従事者の被ばくの可能性が高いと想定される、インターベンション手術（IVR）に係る診療科の医師・診療放射線技師・看護師を対象としてガイドラインを作成する。

放射線治療と核医学診療を行う医師のほとんどは、放射線科専門医又は核医学専門医資格を有しており専門的な知識を持ち合わせていること、平成29年度及び平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業^{2,3)}において、放射線治療及び核医学診療分野は、取り入れを予定している水晶体の等価線量限度を遵守できることを確認していることから、本ガイドラインの対象領域からは除外した。

3.2.2 関連学会への参加依頼方法

医療放射線防護連絡協議会（以下「協議会」という。）に協力を依頼し加盟学会10学会（日本医学放射線学会、血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構、日本医学物理学会、日本インターベンショナルラジオロジー学会、日本救急医学会、日本歯科放射線学会、日本診療放射線技師会、日本循環器学会、日本脳神経血管内治療学会、日本放射線技術学会）へ参加を依頼した。協議会に加盟する日本脳神経血管内治療学会を経由して脳神経外科学会の参加を依頼した。また、日本整形外科学会、日本消化器病学会、日本呼吸器学会、日本小児外科学会、日本小児科学会、日本小児放射線学会、産業衛生学会、放射線看護学会には学会事務局へ個別にガイドラインの主旨を説明して参加を依頼した。ガイドラインの作成にあたっては、診療ガイドラインに準じた三段階の推奨度で作成することとし、その三

段階の選択にあたっては、デルファイ法を用いて参加学会の了承のもと取りまとめることとした。

3.2.3 診療科横断ガイドライン検討方法

(1) 原案作成ワーキンググループ

分担研究者と日本インターベンショナル学会からの代表者と日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構の理事長と理事、医療放射線防護連絡協議会の専務理事と役員6名で構成するワーキンググループ（WG）を作成し、ガイドライン案を作成した。ガイドライン案は、医療放射線の安全利用フォーラム（令和元年（2019年）2月東京）終了後に開催した協議会加盟学会と日本整形外科学会、日本消化器病学会からの参加者を加えた学会関係者による、診療科横断的なガイドラインの準備検討会議での合意事項（表3-1）を基本とした。

表 3-1 診療科横断的なガイドラインの準備検討会議での合意事項

1. ガイドライン目次
 - 1) ガイドライン作成の背景
 - 2) 放射線の安全利用の基本
 - 2) 放射線の安全利用（診療科共通次項）
診療ガイドラインに準じたQ&A方式とし推奨度がわかる文章にする。
図、写真を多用する
医療スタッフが違和感を持たないように考慮して専門用語を記載する。
 - 3) 歯科領域の放射線防護
2. 資料作成
 - IVR患者の皮膚障害に関するガイドラインと対応（要改訂）

(2) 水晶体の線量管理に関するアンケート調査

ガイドラインに記載する、従事者の水晶体等価線量管理方法の検討資料とする目的で、令和元年度医療放射線安全管理講習会（令和元年（2019年）10月京都）の参加者330名を対象とした、質問紙を用いた無記名のアンケート調査（添付3）を実施した。講習会では水晶体の等価線量限度の改正の経緯と医療領域の課題がテーマであった。講習会参加者は保健所職員等の行政担当者、医師、診療放射線技師等の施設の放射線管理実務担当者である。質問は一項目のみで、不均等被ばくの状況で防護メガネの内側に専用の線量計を装着する眼の近傍の計測が必要となる水晶体の等価線量の値として、1. 5 mSvを超えた場合、2. 10 mSvを超えた場合、3. 20 mSvを超えた場合、4. その他のいずれが良いかを訊ねた。

(3) ガイドラインの取りまとめと配布

3回のWG会議と2回の全体会議及び医療放射線の安全利用フォーラムの総合討論で議論を重ねガイドラインを取りまとめた。その後、各参加学会の理事会における承認を経て完成したものを、日本語のデジタルブックと英語のPDF版として関係学会のウェブサイト等を通して会員へ周知する。

3.3 研究結果

3.3.1 ガイドライン参加学会

ガイドラインの策定には、20の学協会が参加した（表3-2）。日本保健物理学会がオブザーバーとして参加し個人線量測定機関2社も参加した。

表3-2 ガイドライン参加学協会正式名称

公益社団法人	日本医学放射線学会
一般社団法人	血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構
公益財団法人	日本医学物理士会
一般社団法人	日本インターベンショナルラジオロジー学会
一般社団法人	日本救急医学会
一般社団法人	日本呼吸器学会
公益財団法人	日本産業衛生学会
特定非営利活動法人	日本歯科放射線学会
一般財団法人	日本消化器病学会
公益社団法人	日本小児科学会
一般社団法人	日本小児外科学会
一般社団法人	日本小児放射線学会
公益社団法人	日本診療放射線技師会
一般社団法人	日本循環器学会
公益社団法人	日本整形外科学会
一般社団法人	日本脳神経外科学会
特定非営利活動法人	日本脳神経血管内治療学会
一般社団法人	日本放射線看護学会
公益社団法人	日本放射線技術学会
	医療放射線防護連絡協議会

3.3.2 水晶体の線量管理に関するアンケート調査結果

131名から回答を得た。結果は図3-1に示すように、不均等被ばくでの水晶体の等価線量の値が20 mSvを超えた時点で防護メガネの内側に線量計の装着を義務付け、眼の近傍で測定する管理を希望する意見が最も多かった。

「その他」には自由記載の欄を設けた。多くの者の記載は無かったが、「IVRの専門医師には初めから着用を義務づけるべき」との職種による対応を求める意見を認めた。

3.3.3 ガイドラインの取りまとめ過程

ガイドラインの取りまとめを表3-3に示す検討会議等で実施した。

ガイドライン班会議では、一人の医師に IVR が集中することが、被ばく量を増加させているかについても意見交換を行った。平成 29 年度及び 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業成果報告書^{2,3)}の循環器グループの結果には月 50 件以上複雑な手技に対応するいわゆるスーパードクター2名も含まれていたが、十分な防護策と放射線防護の知識を持つことで新しい水晶体の等価線量以下で診療を行っていたことを、分担研究者から紹介した。さらに、同報告書には消化器内科医師の一部が当初は年間 20 mSv 以上となる可能性が指摘されたが、適切な教育受講後は被ばくを低減できたことも記載したことを紹介した。その結果、本ガイドラインに記載する事項を遵守することで、スーパードクターを含む全医療スタッフの良好な放射線安全管理は可能となるとの意見で一致した。ガイドライン発表後は医療放射線防護連絡協議会が事務局となりガイドライン作成班員のネットワークを利用して、適切な管理が各学会内で実施されているかを調査し不適切な事例には助言を行うこととした。

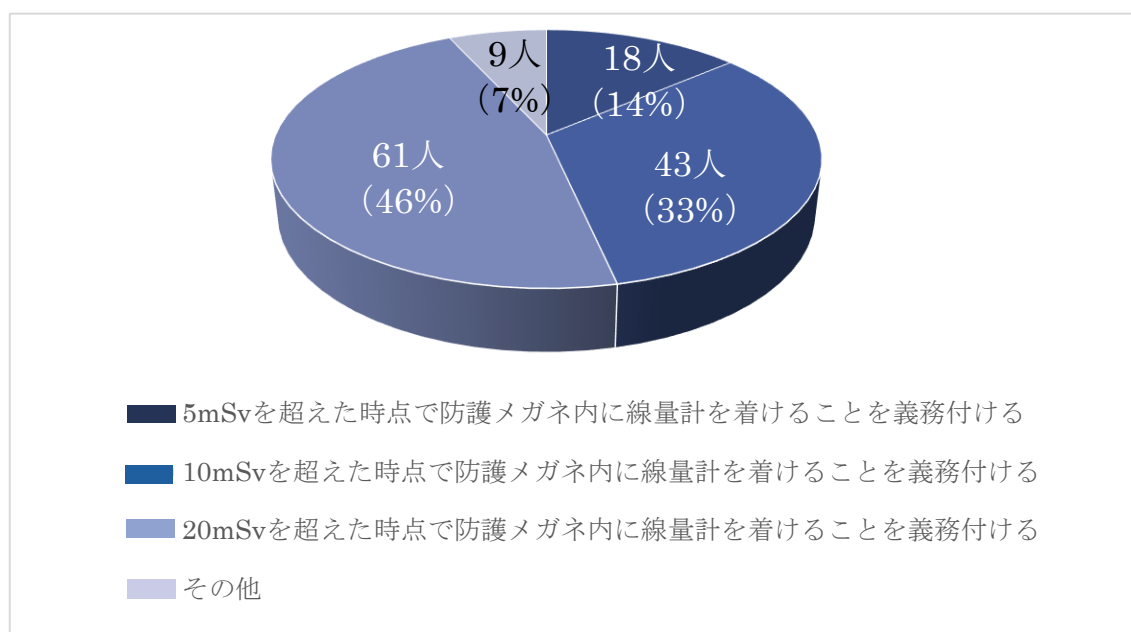


図 3-1 水晶体の線量管理に関するアンケート調査結果

表 3-3 検討会議等一覧

開催日	会議種別	検討事項
令和元年 6 月 11 日	第 1 回 WG	事前配布のガイドライン案の作成
7 月 13 日	第 2 回 WG	ガイドライン案への各委員の意見を反映した修正作業
7 月 28 日	第 1 回班会議	修正案について議論、各自理事会提出版を作成
令和 2 年 2 月 17 日	第 3 回 WG	各理事会からの意見に基づいた修正作業
2 月 23 日	フォーラム	ガイドライン紹介と意見聴取
2 月 23 日	第 2 回班会議	各理事会承認時の修正意見を取り入れた最終版確定 (レイアウト修正へ)

3.3.4 ガイドライン

ガイドラインを添付 2 に示す。本ガイドラインは各学会の理事会で承認されている。

関係学会には完成版を（本ガイドラインは電子版のみ）を配布し、それぞれの学会員に周知を図る。また現在改訂中の循環器学会のガイドラインには、本研究の研究協力者が参画しており、本ガイドラインの引用が決定している。

3.4 結論

水晶体の等価線量限度の改正に対応する目的で、20 の学協会の参加と日本保健物理学会のオブザーバー参加、さらに個人線量計測機関の協力を得て、診療科横断的な、医療スタッフの安全に特化したガイドラインを作成した。これは我が国で初の試みである。特に看護の分野からの参加を得たことはチーム医療に關与する全ての医療スタッフを対象とした実行性のあるガイドラインになると期待できる。また、ガイドラインを作成する過程で放射線を利用する診療科のネットワークも形成することができた。患者のためにより良い放射線診療を提供するという共通の目的を持つ、この医師の集団が、今後それぞれの得意分野を生かして協力を進めることは、従事者の安全を担保しつつ、さらに放射線診療を発展させる原動力となると期待できる。

参考文献

- 1) 放射線審議会，眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について（意見具申），平成 30 年 3 月 2 日付け原規放発第 18030211 号 (2018).
- 2) 横山須美，辻村憲雄，大野和子，藤淵俊王，平成 29 年度安全規制研究戦略的推進事業成果報告書 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～ (2018).
- 3) 横山須美，辻村憲雄，大野和子，藤淵俊王，平成 30 年度安全規制研究戦略的推進事業成果報告書 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～ (2019).

4. 最後に

本研究では、放射線業務従事者の眼の水晶体の等価線量限度のわが国の法令取入れを踏まえ、計画被ばく状況における職業人を対象とした「眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン」と「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン—水晶体の被ばく管理を中心に—」の2つのガイドラインについて検討した。

これらのガイドラインは、事業者や放射線業務従事者が実際にどのような線量管理や放射線防護の最適化を行えばよいのかを考える上で大いに役立つものと考えられる。今後、関連学会等においてガイドラインを作成するための重要な資料となるだろう。また、放射線教育の場でもこれらを活用することで、放射線防護文化の醸成にもつながるものと考えられる。

本研究で示したガイドラインは、現時点における最新の知見等を踏まえて作成したものである。今後、法令が施行され、実際に運用が開始されると、新たな課題が生まれるだろう。技術の進展、新たな知見等が得られた場合やさらなる法令改正等があれば、適宜ガイドラインを見直す必要がある。

また放射線防護文化の醸成には時間がかかる。長期的な視点に立ち、国内国外の動向に注視して情報の収集に努めるとともに、関連研究を継続し、今後、新たに直面する課題解決に向けた取り組みが必要である。

添付 1

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン目次

1. 適用の範囲.....	1
2. 線量モニタリングの考え方.....	1
2.1 眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位.....	1
2.2 眼の水晶体の等価線量のモニタリングに使用する実用量.....	2
解説 眼の水晶体の線量モニタリング.....	4
例題 眼の水晶体の線量モニタリング.....	35

1. 適用の範囲

このガイドラインは、光子、電子（700 keV 以上）、中性子による計画被ばく状況における放射線業務従事者の眼の水晶体の等価線量のモニタリングに適用する。

2. 線量モニタリングの考え方

事業所の線量管理に責任を有する者（事業者、放射線取扱主任者等）は、眼の水晶体の等価線量限度の遵守及び防護の最適化を実施するために、以下に示す考え方に従い、眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位及びモニタリングに使用する実用量を決定する（図1参照）。

また、眼の近傍で線量を測定することを開始すべきかを判断する線量レベル（管理基準）及び線量の記録を開始するレベル（記録レベル）は、作業環境に応じて設定する。

2.1 眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位

(1) 体幹部均等被ばくの場合

① 眼の水晶体の等価線量が、管理基準に近づく又は超えるおそれのない場合

体幹部基本部位^{注1)}に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定する。

② 眼の水晶体の等価線量が、管理基準に近づく又は超えるおそれのある場合

体幹部基本部位での測定に追加して、眼の近傍に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定する。

(2) 体幹部不均等被ばくの場合^{注2)}

① 体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位で測定し、その結果で算定した眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づく又は超えるおそれのない場合

通常体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位（体幹部基本部位＋線量が最大となる体幹部）で測定し、眼に近い部位に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定する。

② 体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位で測定し、その結果で算定した眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づく又は超えるおそれのある場合

通常体幹部不均等被ばく管理時の個人線量計装着部位（体幹部基本部位＋線量が最大となる体幹部）の測定に追加して、眼の近傍に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定する。

(3) 体幹部の被ばくが均等・不均等に関わらず、より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合について、眼の近傍での線量を追加で測定することを妨げない。防護眼鏡を装着した場合に防護眼鏡の内側に個人線量計を装着してより正確に眼の水晶体の線量を算定する場合などが該当する。

- (4) 中性子については、通常、均等被ばくとして扱う。ただし、事業所の線量管理に責任を有する者の判断で、中性子について不均等被ばく管理が必要となった場合は、その被ばくの状況に応じて、眼の水晶体の等価線量を算定できるような適切な個人線量計を選択する。

2.2 眼の水晶体の等価線量のモニタリングに使用する実用量

本ガイドラインで取り扱う実用量は個人線量当量である。眼の水晶体の等価線量の算定に用いる実用量は3 mm 線量当量である。しかしながら以下の①及び②の場合を除いて、眼の水晶体の等価線量を著しく過小に算定しない場合には、従来用いられてきた1 cm 線量当量又は70 μm 線量当量のいずれかの値の高い方を眼の水晶体の等価線量としてもよい。

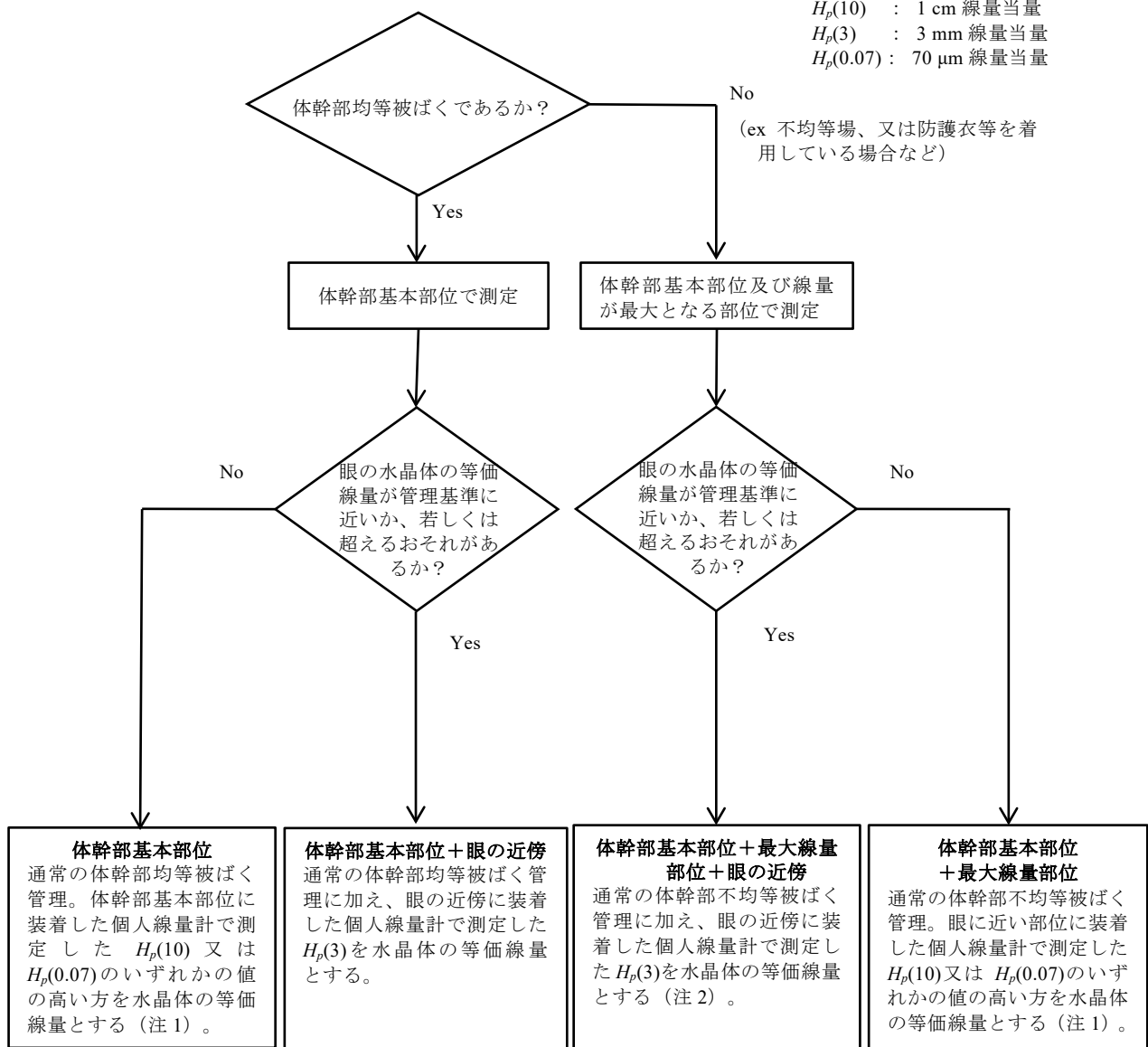
- ① 眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づく、又は超えるおそれがある場合
- ② 上述 ① 以外で、より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合

なお、中性子による被ばくの場合は、1 cm 線量当量を眼の水晶体の等価線量とする。

注1) 個人線量計を装着する「体幹部基本部位」とは、男性（妊娠する可能性がないと診断された女性を含む）の場合は胸部、女性（妊娠する可能性がないと診断された女性を除く）の場合は腹部のことをいう。

注2) 場の均等、不均等に関わらず、防護衣等を体幹部基本部位に着用している場合もこれに相当する。

$H_p(10)$: 1 cm 線量当量
 $H_p(3)$: 3 mm 線量当量
 $H_p(0.07)$: 70 μm 線量当量



(注1) $H_p(10)$ 及び $H_p(0.07)$ に追加して $H_p(3)$ を測定した場合は、 $H_p(3)$ を眼の水晶体の等価線量とする。

(注2) 眼の水晶体の近傍に装着する個人線量計は原則 $H_p(3)$ を測定するものとする。ただし、眼の近傍が体幹部において最大線量部位になる場合は、眼の水晶体の等価線量を著しく過小に算定しない場合に限り、眼の近傍に装着する個人線量計は $H_p(10)$ 及び $H_p(0.07)$ を測定するもので代用してもよい。

- ※ 体幹部の被ばくが均等・不均等に関わらず、眼の水晶体の等価線量を算定するための体幹部位での線量が、眼の近傍での線量と著しく異なることが想定される場合は眼の近傍での線量を追加で測定することを妨げない。これは、防護眼鏡を装着した場合に防護眼鏡の内側に個人線量計を装着してより正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合などが該当する。
- ※ 中性子の場合は、通常、体幹部基本部位に装着した個人線量計で測定した $H_p(10)$ を、眼の水晶体の等価線量とする。
- ※ 「体幹部基本部位」とは、男性（妊娠する可能性がないと診断された女性を含む）の場合は胸部、女性（妊娠する可能性がないと診断された女性を除く）の場合は腹部のことをいう。

図1 眼の水晶体の等価線量の算定方法を決定するためのフロー図

【解説】眼の水晶体の線量モニタリング

眼の水晶体の被ばく管理は、眼の水晶体の線量モニタリングと眼の水晶体の防護の最適化（被ばく低減等）から構成される。本解説では、計画被ばく状況における眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインの「適用の範囲」及び「線量モニタリングの考え方」について解説する（個別の具体的な事例等については【例題】を参照）。

【解説】項目

1. 目的
2. 適用範囲
3. 関連法規等
 - (1) 関係法令、規定類等
 - (2) 任意規格
 - (3) その他
4. 用語
5. 眼の水晶体の線量モニタリングにおける算定の方法
 - (1) 基本的な考え方
 - (2) 適用する放射線の種類
 - (3) 眼の近傍で直接測定することが望ましい線量レベル（管理基準）
 - (4) 眼の水晶体の等価線量の記録レベル
 - (5) 眼の水晶体の等価線量を算定するための測定部位
 - 1) 個人モニタリングに係る測定部位の考え方
 - 2) 国内法令での不均等被ばく管理における線量の測定
 - 3) 体幹部不均等被ばく状況の判断
 - 4) 眼の水晶体の線量モニタリングとしての測定部位
 - (6) 眼の水晶体の等価線量の算定に使用する実用量
 - 1) 光子
 - 2) 電子
 - 3) 中性子
 - (7) 眼の水晶体の等価線量が管理基準に近いか超えるおそれがあることの判断方法

参考文献

- 添付資料 1 眼の水晶体の等価線量限度の引き下げに係る国内並びに国際機関の動向
添付資料 2 IAEA での眼の水晶体の等価線量に係る線量モニタリングの考え方
添付資料 3 従来の眼の水晶体の等価線量に係る線量モニタリング方法

1. 目的

本ガイドラインは、眼の水晶体の線量限度に関する法令改正にともない、事業者が法令を遵守し、円滑に眼の水晶体の線量モニタリングが実施できるようにすることを目的として、「被ばく線量の測定・評価マニュアル」¹⁾の眼の水晶体の線量モニタリングに関する部分を補うものとする。

検討にあたっては、放射線審議会の「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について（意見具申）」²⁾（以下、「意見具申」という。）で示された考え方を踏まえ、放射線安全規制研究戦略的推進事業の成果³⁻⁵⁾等を利用した。また、一般社団法人 日本保健物理学会 放射線防護標準化委員会（以下、「保物標準化委員会」という。）から学術的な立場からの意見を得た。

眼の水晶体の等価線量については、線量限度等に関する法令を遵守するだけでなく、防護の最適化を考慮しなければならない。防護の最適化を実施するには、事業者がリーダーシップを発揮し、放射線防護の専門家（放射線取扱主任者等）の指導のもとに、防護の最適化を目指す作業環境を整備するとともに、事業所で作業する放射線業務従事者が作業手順等を確立して、それらの継続的な改善を図らなければならない（【例題5】参照）。そのためには、労働安全衛生マネジメントシステム⁶⁾の考え方を応用することが有効である。

また、ICRP Publ.75⁷⁾の（167）項によると、線量モニタリングは、放射線業務従事者に対して安心感を与えるのに役立つとともに、防護の最適化プログラムを検討する際に役立つデータを提供することもあるとされている。このため、事業所の線量管理に責任を有する者（事業者、放射線取扱主任者等）が、放射線業務従事者に対して眼の水晶体の線量モニタリング及び線量の算定を円滑に実施できるようにすることは重要である。本ガイドラインでは、その方法を決定するための指針を示す。

意見具申²⁾には、事業者による最適化の取り組みが円滑に進むように、関連学会等によってガイドラインが策定されることを期待すると、記述されている。これを受けて、保物標準化委員会では、眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン策定を行うこととなった。なお、意見具申²⁾に至る経緯については添付資料1に示す。

2. 適用範囲

本ガイドラインは、事業所において、ICRP Publ.103⁸⁾に記載された計画被ばく状況下の放射線業務従事者に対する個人の線量モニタリングに適用する。緊急時被ばく状況や、現存被ばく状況での線量モニタリングについては、本ガイドラインの適用範囲外として、これらの状況下で被ばく線量管理に責任を有する者等が、その状況に応じた線量モニタリングにおける測定の方法を別途決定するものとする。ただし、各作業環境における眼の水晶

体の等価線量を算定する際に考慮すべき電子、光子及び中性子のエネルギーや測定すべき実用量の考え方は本ガイドラインを参考にしてよい。

3. 関連法規等

本ガイドラインに関連する法令、規格、標準等を以下に示す。これらの法規等の改正や変更等の動向に併せて、必要に応じて本ガイドラインを見直していくことがある。

(1) 関係法令、規定類等

- ・ 人事院規則 10-5（職員の放射線障害の防止）
- ・ 医療法施行規則
- ・ 臨床検査技師等に関する法律施行規則
- ・ 放射性物質の数量等に関する基準（告示）
- ・ 電離放射線障害防止規則
- ・ 獣医療法施行規則
- ・ 獣医療法施行規則に基づき農林水産大臣が定める方法を定める件（告示）
- ・ 鉱山保安法施行規則に基づき経済産業大臣が定める基準等（告示）
- ・ 船員電離放射線障害防止規則
- ・ 放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則
- ・ 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（告示）
- ・ 核原料物質又は核燃料物質の精錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示（告示）
- ・ 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（告示）
- ・ 東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示（告示）
- ・ 船舶に設置する原子炉（研究開発段階にあるものを除く。）の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示（告示）
- ・ 放射線審議会基本部会，外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針，平成 11 年 4 月
- ・ 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について（意見具申）（原規放発第 18030211 号），平成 30 年 3 月 2 日

(2) 任意規格

1) 校正関連

- JIS Z 4511:2018, X線及び γ 線用線量(率)測定器の校正方法
- ISO 4037-1:2019, Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 1: Radiation characteristics and production methods
- ISO 4037-2:2019, Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1.3 MeV and 4 MeV to 9 MeV
- ISO 4037-3:2019, Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence
- ISO 4037-4:2019, Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 4: Calibration of area and personal dosimeters in low energy X reference radiation fields
- JIS Z 4514:2010, β 線組織吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法
- ISO 6980-1:2006, Nuclear energy – Reference beta-particle radiation – Part 1: Methods of production
- ISO 6980-2:2004, Nuclear energy – Reference beta-particle radiation – Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities characterizing the radiation field
- ISO 6980-3:2006(R2015), Nuclear energy - reference beta -particle radiation - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the determination of their response as a function of beta radiation energy and angle incidence
- JIS Z 4521:2006, 中性子線量当量(率)計の校正方法
- ISO 8529-1:2001, Reference neutron radiations — Part 1: Characteristics and methods of production
- ISO 8529-2:2000, Reference neutron radiations — Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field
- ISO 8529-3:1998, Reference neutron radiations — Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and determination of response as a function of energy and angle of incidence

- ISO 29661:2012, Reference radiation fields for radiation protection — Definitions and fundamental concepts
- ISO 29661:2012/AMD1:2015, Reference radiation fields for radiation protection — Definitions and fundamental concepts — Amendment 1: Reference point of personal dosimeters
- JIS Z 4331:2005, 個人線量計校正用ファントム

2) 受動形個人線量計

- JIS Z 4345:2017, X・ γ 線及び β 線用受動形個人線量計測装置並びに環境線量計測装置
- IEC 62387:2020, Radiation protection instrumentation – Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation
- JIS Z 4416:2005, 中性子用固体飛跡個人線量計
- ISO 21909-1:2015, Passive neutron dosimetry systems — Part 1: Performance and test requirements for personal dosimetry

3) 能動形個人線量計

- IEC 61526:2010, Radiation protection instrumentation - Measurement of personal dose equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0,07)$ for X, gamma, neutron and beta radiations - Direct reading personal dose equivalent meters
- JIS Z 4312:2013, X線、 γ 線、 β 線及び中性子用電子式個人線量（率）計

(3) その他

- 原子力安全技術センター編 被ばく線量の測定・評価マニュアル, 原子力安全技術センター(2000)
- JEAG 4610:2015, 個人線量モニタリング指針 第5版, 日本電気協会, 2016年1月

4. 用語

本ガイドラインに関係する主な専門用語及び略語について、以下に示す。

計画被ばく状況

ICRP Publ.10³⁸⁾では被ばくの状態を、計画被ばく状況、緊急被ばく状況及び現存被ばく状況の3種類に分類した。そのうち計画被ばく状況とは、線源の意図的な導入とその運用を伴う線源の計画的操業に係る状況のことを示す。なお、線源の計画的操業に

は通常の操業だけでなく、廃止措置、放射性廃棄物管理と処分、及び以前の占有した土地や施設の復旧も含まれる。また、計画被ばく状況では、起こることが確実な被ばく（通常被ばく）だけでなく、確実に生じるとは予測できないが、線源の事故又は機器の故障及び操作上の過失を含む確率的性質を持つ事象により生じるおそれのある被ばく（潜在被ばく）も考慮される。さらに、計画被ばく状況には、職業被ばく、公衆被ばく、並びに介護者や介助者を含めた患者の医療被ばくが含まれる。（ICRP Publ.103⁸⁾日本語訳参照）

等価線量

人体の各組織、臓器が放射線を被ばくするとき、その組織に対する生物学的効果を勘案した放射線の線量を等価線量という。組織・臓器の平均吸収線量を基にして、線質が異なった放射線の吸収線量に、対応する放射線加重係数を乗じて求める線量である。国内法令は、平成12年にICRPの1990年勧告（ICRP Publ.60⁹⁾）の取り入れにより、「組織線量当量」に代わって「等価線量」に改正された。等価線量の単位はJkg-1であるが、通常は特別の名称としてシーベルト（Sv）が使用される。（「原子力百科事典 ATOMICA」及びICRP Publ.103⁸⁾（日本語訳）参照）

実用量

外部線量限度等の防護基準に対応する防護量（等価線量及び実効線量）は直接測定できない線量であるため、その評価のために導入された線量概念であり、ほとんどの照射条件下で防護量の保守的な推定値を与える。外部被ばくにおいては、場のモニタリングに用いる周辺線量当量（ $H^*(d)$ ）、方向性線量当量（ $H'(d,\alpha)$ ）と個人モニタリングに用いる個人線量当量（ $H_p(d)$ ）がある。周辺線量当量と方向性線量当量はサーベイメータ等で測定、評価され、個人線量当量は個人線量計などを用いて測定、評価される。 d は実用量を求めるのに使用するファントム中の点の表面からの深さをmm単位で表しており、実効線量に対応する実用量は10mm（1cm）、眼の水晶体等価線量に対応する実用量は3mm、皮膚等の等価線量に対応する実用量は0.07mm（70 μ m）を用いている。わが国では1cm線量当量、3mm線量当量、70 μ m線量当量が法令用語としてあるが、場のモニタリングと個人モニタリングの両者に使用される。

体幹部均等被ばく/不均等被ばく

体幹部を頭部及び頸部、胸部及び上腕部並びに腹部及び大腿部に大きく分割したとき、それぞれの部位の被ばく線量に差異があると特定されない場合を「体幹部均等被ばく」、特定される場合を「体幹部不均等被ばく」と区分する。体幹部不均等被ばくの場合、通常の個人線量計を装着する胸部（男性及び妊娠する可能性がないと診断された女性）又は腹部（妊娠する可能性がないと診断された女性を除く女性）以外に最も被ばくする部位にも個人線量計を装着する必要がある。（「被ばく線量の測定・評価マニュアル」¹⁾参照）

個人線量計を装着する体幹部基本部位

男性（妊娠する可能性がないと診断された女性を含む）の場合は胸部、女性（妊娠する可能性がないと診断された女性を除く女性）の場合は腹部のことをいう。

線量モニタリング

放射線防護体系に関連した測定、並びに被ばくの評価と管理における測定値の解釈のことであるが、測定値の解釈による防護の最適化を支援することもある。（ICRP Publ.75⁷⁾ 参照）

放射線審議会

「放射線障害防止の技術的基準に関する法律」（昭和 33 年法律第 162 号）に基づき、放射線障害の防止に関する技術的基準に斉一を図ることを目的として、文部科学省の所管を経て 2012 年 9 月より原子力規制委員会に設置されている諮問機関である。関係行政機関の長は、放射線障害の防止に関する技術基準を定めるとき、放射線審議会に諮問しなければならない。また、放射線審議会は必要に応じ、関係行政機関の長に対し意見を述べる（『意見具申』）ことができる。（原子力百科事典「ATOMICA」参照）

ICRP, International Commission on Radiological Protection

国際放射線防護委員会。設立は 1928 年。専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際的学術組織であり、現在、主委員会と 4 つの専門委員会が設置されている。ICRP はイギリスの非営利団体（NPO）として公認の団体であり、現在の科学事務局の所在地はカナダのオタワに設けられている。

IAEA, International Atomic Energy Agency

国際原子力機関。原子力の平和利用について科学的、技術的協力を進める世界の中心的フォーラムであり、IAEA は 1957 年、国連傘下の自治機関として設置された。本部はオーストリアのウィーンに置かれている。

IRPA, International Radiation Protection Association

国際放射線防護学会。設立は 1965 年で、各国の放射線防護、保健物理学会に所属する放射線防護関連の研究や業務をしている専門家が容易にコミュニケーションできる場を、同学会の関連する国際会議を通じて提供する国際学会である。

主な加盟学会：日本保健物理学会、米国保健物理学会等、66 の国の 52 の関連学会（2020 年 1 月現在）。

ISO, International Organization for Standardization

国際標準化機構。設立は 1947 年。各国の国家標準化団体で構成される非政府組織である。162 の標準化団体で構成される。国際規格の世界的相互扶助を目的とする独立

組織で、国家間に共通な標準規格を提供し、世界貿易を促進している。眼の水晶体の等価線量算定のために用いる Hp(3)及び H'(3)の換算係数等も定めている。

ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurement

国際放射線単位測定委員会。設立は 1925 年である。ICRU は設立当初から非営利組織 (NPO) で非政府組織 (NGO) であり、世界の物理学者、科学者、技術者等がボランティアで参加している。事業目的は、(1)放射線と放射能の単位、(2)放射線医学的診断、放射線治療、放射線生物学、核医学、放射線防護、産業・環境活動等における放射線と放射能の計測と手順、及び(3)この手順の決定に必要な物理的データの検討と適切な勧告、である。(原子力百科事典「ATOMICA」参照)

IEC, International Electrotechnical Commission

国際電気標準会議。設立は 1906 年。電気、電子、及びこれらに関連した技術の標準化について扱う国際的な団体で、2019 年現在において 86 か国の会員からなる。

JIS, Japanese Industrial Standards

日本産業規格。設立は 1949 年で、わが国の産業標準化の促進を目的とする産業標準化法に基づき制定される任意の国家規格のこと。1995 年の WTO (世界貿易機関) / TBT 協定 (貿易の技術的障害に関する協定) 発効に伴い、国際規格との整合化が行われている。日本産業標準調査会によって JIS の制定、改正等に関する審議が行われている。

5. 眼の水晶体の線量モニタリングにおける算定の方法

眼の水晶体の等価線量の限度の変更に関する法令等の改正に伴う眼の水晶体の等価線量のモニタリングの考え方を以下に示す。なお、これらの考え方を検討するにあたっては、添付資料 2 の IAEA が提示した考え方などを参考にした。

(1) 基本的な考え方

眼の水晶体の線量モニタリングは、改正する前の法令下での方法を踏襲する。すなわち、体幹部基本部位や、不均等被ばく管理が必要な場合に線量が最大になる部位などに装着した個人線量計で測定した実用量による算定を基本とする。より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合などは、眼の近傍に装着した個人線量計で直接測定した実用量により算定する (これまでの眼の水晶体の線量モニタリングにおける算定の方法は添付資料 3 を参照)。

また、本ガイドラインで規定する線量モニタリングの考え方は、国内の線量測定サービス機関等によって現在供給されている (あるいは今後供給される予定の) 個人線量計の運用形態 (例えば、体幹部に装着する個人線量計は 1 cm 線量当量及び 70 μm 線量当量を測定するもの、眼の近傍に装着する個人線量計は 3 mm 線量当量を測定するために特別の設

計又は校正がなされたもの)を考慮したものである。線量測定サービス機関等から供給される測定内容の動向に併せて、本ガイドラインを見直す。

(2) 適用する放射線の種類

放射線業務従事者が一般的に従事する作業で受ける α 線やその他の線エネルギー付与が高い荷電粒子は、人体組織中での飛程が短いことから、これらの荷電粒子による眼の水晶体への影響を考慮する必要がない。また、700 keV以下の電子も、眼の水晶体へ到達しないことから考慮する必要はない。

したがって、眼の水晶体の線量モニタリングとしては、光子、電子(700 keV以上)及び中性子を対象とする。

(3) 眼の近傍で直接測定することが望ましい線量レベル(管理基準)

ICRP Publ.75⁷⁾の(172)項では、「個人モニタリング」とは作業者が装着した装置による測定と、その測定の解釈を行うこととされている。また、「被ばく線量の測定・評価マニュアル」⁹⁾によれば、個人モニタリングの目的は、

- ① 放射線業務従事者の被ばくが線量限度を超えていないことの確認
- ② 線量限度に近いか、それを超えている場合は、対策の発動
- ③ 個人被ばく線量の解析に基づく、作業環境の管理状況の把握と、必要ならば、施設又は作業方法の改善

となっている。これらの目的には、眼の水晶体の等価線量のモニタリングを行うために、個人線量計を眼の近傍に装着することに関する直接の言及はないが、眼の水晶体の等価線量が線量限度に近づくような状況であれば、眼の近傍での実用量の測定が必要になると解釈することができる。このような考え方に従い、事業所の線量管理に責任を有する者が、その事業所の作業環境や作業状況を考慮して、眼の近傍に個人線量計を装着して眼の水晶体の等価線量を算定するための実用量の測定を開始するための線量レベル(管理基準)を設定し(【例題3】参照)、そして、眼の水晶体の等価線量が管理基準に近いか、又は管理基準を超えるおそれがあると判断した場合には、眼の近傍に個人線量計を装着させ、眼の水晶体の等価線量の線量管理として実施する。

なお、事業所の線量管理に責任を有する者は、その事業所の作業場や作業者のモニタリング結果等を反映して、管理基準を必要に応じて見直していくことが望ましい。

(4) 眼の水晶体の等価線量の記録レベル

放射線審議会基本部会の「国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告(Pub.103の国内制度等への取入れについて—第二次中間報告—(平成23年1月)」¹⁰⁾(以下、「基本部会中間報告」という。)において、

記録レベルは調査レベルと同様に ICRP によって定義され「それを超えたらその結果が記録されるべきであり、それより低い値は無視される」というレベルとして用いられるものである。

と記載されている。

また、ICRP Publ.75⁷⁾の(232)項では、記録レベルについて以下のように記述されている。

委員会は現在、個人モニタリングの記録レベルは、モニタリング期間と、1 mSv を下回らない年実効線量、又は関連する線量限度の約 10% の年等価線量から導かれるべきであると考えられている。・・・

基本部会中間報告¹⁰⁾並びに ICRP Publ.75⁷⁾の考え方に基づけば、眼の水晶体の等価線量限度が 5 年平均で年間 20 mSv (年間最大 50 mSv) であるため、眼の水晶体の等価線量限度の 10% である年間 2 mSv と、個人線量計のモニタリング期間から、記録レベルを導出するが、個人線量計の最低検出レベルを記録レベルとして用いてもよい¹⁾。

(5) 眼の水晶体の等価線量を算定するための測定部位

1) 個人モニタリングに係る測定部位の考え方

放射線業務従事者等に対して、一様に放射線に曝される場合は、体幹部基本部位（胸部、腹部）に装着した 1 個の個人線量計による測定だけで、その者の被ばく線量を代表させてよい。しかし、一様ではなく偏りがある放射線に曝される場合は、体幹部基本部位に装着した個人線量計による線量だけでは、個人被ばく管理のために必要な情報が得られず、被ばく線量を正確に算定できない可能性がある。その場合、線量が最大となる部位が手指などの人体の末端部であれば手指等に、体幹部に防護衣を着用している場合は防護衣の外側の頸部付近等に、個人線量計を追加して測定をしなければならないと法令で定められている。このような被ばく形態を「不均等被ばく」、また、そうした被ばく形態に対応するため複数の個人線量計を用いる被ばく管理を行うことを「不均等被ばく管理」と呼ぶ。

2) 国内法令での不均等被ばく管理における線量の測定

ICRP Publ.75⁷⁾の(210)項には、複雑で不均等な放射線場においては、複数の個人線量計の装着がしばしば必要であろう、と記載されている。国内法令においても、このような ICRP の考え方と同様に、不均等被ばくの場合は必要な部位に追加で個人線量計を装着して測定しなければならないとされている。

不均等被ばくと判断された場合、実効線量を算定するための個人線量計を体幹部基本部位（胸部、腹部）だけでなく、最も多く放射線に曝されるおそれのある部位にも装着

¹⁾ この考え方では、個人線量計の測定期間を 1 ヶ月とすれば、1 ヶ月間の記録レベルは月間 0.17 mSv (≒ 2 mSv/12 ヶ月) 以下と設定される。しかし、ICRP Publ.75⁷⁾の(233)項の記載内容に基づけば、このような記録レベルが用いられることは少なく、実際は個人線量計の最低検出レベルが記録レベルとして用いられている。

することが法令により規定されている。具体的には、男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性については胸部、その他の女性については腹部に個人線量計を装着して線量（実用量）を測定しなければならない。さらに、男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性については、頭・頸部及び腹・大腿部のうち、多く放射線にさらされる箇所に追加で、その他の女性については、頭・頸部及び胸・上腕部のうち、多く放射線にさらされる箇所に追加で個人線量計を装着させなければならない（体幹部不均等被ばく状況）。さらに、頭・頸部、胸・上腕部、腹・大腿部以外の部位が、多くの被ばくを受ける場合は、その最も多く被ばくする部位に個人線量計を装着させなければならない（末端被ばく状況）。

線量（実用量）の測定は、上述した部位に装着した個人線量計により測定しなければならない。ただし、個人線量計による測定が著しく困難な場合は、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する、これも著しく困難な場合は、計算によってその値を求めることができる。なお、この『著しく困難な場合』については、厚生労働省の通達¹¹⁾により、『その放射線に対する放射線測定器がまだ開発されていない場合等』と定義されている（【例題 4】、【例題 16】及び【例題 20】参照）。

3) 体幹部不均等被ばく状況の判断

放射線審議会会長から関係行政機関の長に対して眼の水晶体の等価線量限度を年間 150 mSv から 5 年平均 20 mSv（年間最大 50 mSv）に引き下げるという意見具申²⁾が行われた。この変更は眼の水晶体の線量モニタリングに影響するだけでなく、放射線業務従事者が体幹部不均等被ばくを受けるか否かを判断する条件にも影響を与える。

従前は、頭・頸部が体幹部基本部位に比べて高い不均等被ばくを受ける場合、有意な体幹部不均等被ばくか否かを判断する明確な条件はないが、実効線量に対する眼の水晶体の等価線量の比が、改正する前の法令に定めるそれぞれの線量限度の比（3 倍 = 150/50）を超える場合、体幹部基本部位（胸部等）のほかに、頭・頸部にも個人線量計を装着して、体幹部不均等被ばくの実効線量を評価する根拠として使用されてきた。しかし、眼の水晶体の等価線量限度の引き下げに伴って、頭・頸部が有意な体幹部不均等被ばくを受けると判断する 3 倍という数値をそのまま使用することが困難になる。そのため、体幹部不均等被ばくの考え方について整理し直すことが必要となる。

なお、中性子の場合は、ビーム状の中性子による被ばくがあるような特殊な環境を除けば、通常は、均等被ばくとして取り扱うことで差し支えない。

ICRP の 1977 年勧告（ICRP Publ.26¹²⁾）の国内法令への取入れにより、1989 年の法改正において導入された体幹部不均等被ばくの実務適用にあたっては、次のような考え方が提示された（（財）原子力安全研究協会「国際放射線防護委員会 1977 年勧告の法令取入れについて（法令改正に関する質問に答えて）」（1988 年 3 月）¹³⁾から抜粋）。

問： 体幹部不均等被ばくが新しく規定されるが、常に胸以外もモニタしなければならないのか？

回答： 複数の線量計を着けるかどうかは、不均等の程度と線量当量の大きさの両方に依存する。仮に頭頸部/胸腹部=10 であっても線量当量が限度に比べて非常に小さな値であれば、頭頸部のみに線量計を着け、その指示値を実効線量当量としてもよいだろう²。反対に、頭頸部/胸腹部=2 にすぎなくても、その値が限度に近ければ、複数の線量計を着用せざるを得ないだろう。管理担当者がケースバイケースで判断すべきである。

したがって、体幹部不均等被ばくか否かを判断するためには、この考え方「不均等の程度と線量当量の大きさの両方に依存する」に立ち戻って、これを具体化する必要がある。

一つ目の「不均等の程度」については、身体の体幹部上の異なる位置で測定された線量の相違の程度とし、それら測定値間に有意な違いがあると言えるかどうかは不均等か否かと等価であると解釈できる。例えば、ANSI/HPS N13.41-2011¹⁴⁾ は不均等被ばくの指標として 1.5 という値を示している（【例題 1】参照）。

一方、ICRP Publ.75⁷⁾（及び ICRP Publ.35¹⁵⁾）、IAEA GSG-7¹⁶⁾には不均等被ばくの指標ではなく、線量の許容される不確かさの範囲が示されており、いずれも、個人モニタリングとして許容される不確かさは、1.5～2 程度とされている（【例題 2】参照）。これらの範囲を超える測定値間の相違は、不均等な放射線被ばくをもたらすような要因（例えば、それらの測定位置間における線量（率）勾配）が存在することを意味し、不均等被ばくであると解釈することが望ましい。こうした場合は、体幹部基本部位（胸腹部）に装着する個人線量計だけではなく、別の適切な位置に個人線量計を追加して装着することが求められる。なお、体幹部基本部位（胸腹部）が受ける線量が最大の場合は、その測定値だけから、実効線量及び眼の水晶体の等価線量を保守的に算定してもよい。なお、体幹部上の異なる位置での線量の相違の程度については、作業前の作業場の空間線量率のサーベイ結果や過去の経験等から判断する。

線量の許容される不確かさを超えるような線量の相違をもたらす要因には、作業場の線量（率）の勾配だけでなく、防護衣等の使用によるものも挙げられる。防護衣等の使用による線量の相違については、その使用の有無により、そのまま不均等被ばくをもたらすか否かの判断をしてもよい。

二つ目の「線量（当量）の大きさ」については、高線量域や低線量域などで分けて考えるとよい。高線量域、すなわち線量限度に近い又は線量限度と同じ程度の線量域では、不均等の程度に関わらず、より正確に線量を測定、評価できるような個人線量計の使用上の工夫（複数装着及び装着部位の検討）が望ましい。

反対に、低線量域では、そうした工夫をする必要性は薄い。予想される線量が、いわゆる記録レベル程度を下回るような作業環境であれば、体幹部不均等被ばく管理として

² これは、ICRP Publ.26（1977年勧告）取入れにあたっての質疑を原文（文献13）からそのまま引用したものであるため、「線量計を頭部のみに着け」という記載は、法令とは整合が取れていないことに注意が必要である。

複数の個人線量計を装着することが必須ではなく、また、追加して眼の近傍に個人線量計を装着して眼の水晶体の等価線量を算定することも必須ではない。

なお、防護衣等を使用する場合、防護衣等の外側で記録レベルを超える線量になることが想定される場合には、防護衣等の内外にそれぞれ 1 個ずつ個人線量計を装着する。

このように、体幹部不均等被ばく管理が必要かどうかは、作業環境等の状況を各種実測値等により把握し、線量管理に責任を有する者がケースバイケースで判断する（【例題 1】参照）。また、体幹部不均等被ばく状況の判断については、実効線量の線量管理としての視点から行わなければならない、実効線量を算定する上での影響を考慮することが重要である。

4) 眼の水晶体の線量モニタリングとしての測定部位

体幹部均等被ばく状況で、かつ、眼の水晶体の等価線量が管理基準に対して十分低ければ、これまでどおり、体幹部基本部位（胸部又は腹部）に装着した個人線量計により測定した実用量で眼の水晶体の等価線量を算定してもよい。ただし、体幹部均等被ばくでも管理基準に近づく又は超えるおそれがある場合には、図 E.1 に示す眼の近傍に追加で個人線量計を装着して実用量を測定し、眼の水晶体の等価線量限度を超えないことを確認する。

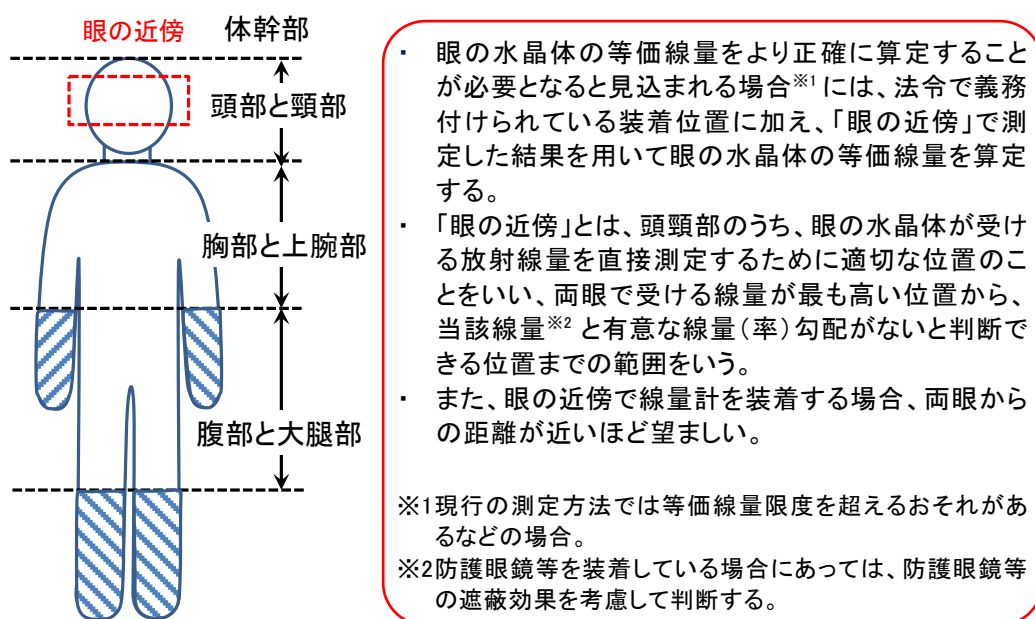


図 E.1 眼の近傍の位置

(放射線安全規制研究戦略的推進事業成果報告書⁴⁾より)

体幹部不均等被ばく状況でも、眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づくおそれがない場合、又は、超えるおそれがない場合には、眼の近傍に個人線量計を装着せずに、体幹部不均等被ばくでの実効線量の評価のために眼に一番近い部位に追加で装着した個

人線量計で測定した実用量から眼の水晶体の等価線量を算定してもよい。ただし、体幹部不均等被ばくで、眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づく、又は超えるおそれがある場合には、図 E.1 に示す眼の近傍に追加で個人線量計を装着して実用量を測定し、眼の水晶体の等価線量限度を超えないことを確認する。

なお、体幹部均等・不均等被ばくに関わらず、例えば、防護眼鏡を装着した場合などに、眼の水晶体の等価線量をより正確に測定するために、防護眼鏡の内側に個人線量計を装着してもよい。

放射線審議会でも検討されたとおり、図 E.1 に示すように「眼の近傍」とは頭・頸部のうち、眼の水晶体が受ける放射線量を直接測定するための適切な位置のことをいい、両眼で受ける線量を最も高く評価する位置から、当該線量と有意な線量（率）勾配がないと判断できる位置までの範囲のことである。カナダのガイドライン¹⁷⁾では、最も高い線量を受ける位置としているが、左眼の左側、右眼の右側、額の中央部が装着部位の候補として例示されている。オランダのガイドライン¹⁸⁾では、最も被ばくする眼に可能な限り近い、線源に向いた皮膚表面に装着することを推奨しており、いくつかの研究の結果から襟部への装着では、適切ではない場合もあることが示唆されている。わが国でも同様に、眼の水晶体の放射線防護検討部会において、インターベンショナルラジオロジー等の医療現場において、術者の頸部中心に装着した線量計で測定した実用量で眼の水晶体の等価線量を算定すると過小になるため、装着位置については配慮が必要との指摘があった¹⁹⁾。スウェーデンの原子力施設ではヘッドバンド型の個人線量計を用いて、額の中央部で試験的に測定したパイロットスタディを実施している^{3),20)}。中国においても、原子力発電所の作業従事者の眼の横に個人線量計を装着したパイロット試験の実施についての報告がある²¹⁾。

なお、ここでいう体幹部とは、胸部、腹部だけでなく、頭部、頸部、上腕部、大腿部も含まれる。体幹部均等被ばくの場合、個人線量計は体幹部基本部位（男性は胸部、女性は腹部）に装着する。体幹部不均等被ばくの場合、体幹部基本部位だけでなく、もっとも被ばくを受ける部位に装着するため、頭・頸部の被ばくが多い体幹部不均等被ばくがある場合は、襟にも個人線量計を装着することがある。したがって、体幹部に装着した個人線量計というのは、必ずしも体幹部基本部位の個人線量計だけでなく、襟などに付けた個人線量計を指す場合がある。

(6) 眼の水晶体の等価線量の算定に使用する実用量

放射線審議会は、ICRP の 1990 年勧告（ICRP Publ.60⁹⁾）の国内制度等への取り入れについて検討し、1997 年に意見具申を行った。この際に放射線審議会基本部会は「外部被ばく及び内部被ばくの評価法にかかる技術的指針」²²⁾（以下、「技術的指針」という。）を取りまとめた。その中で、「3 mm 線量当量率については、1 cm 線量当量率と 70 μm 線量当量率の測定評価を行うことにより防護のために必要な情報は得られる。」として、「測定の義務を課さないことが適当である。」としている。一方、「測定に係る量及びそれらの名称は以下のとおりとすることが適当である。」として、個人の外部被ばくに係る測定に

用いる量のうち、眼の水晶体の等価線量についての個人線量当量は、3 mm 線量当量として
いる。すなわち、技術的指針²²⁾では、眼の水晶体の等価線量は、3 mm 線量当量の測定結果
で評価することを否定しているわけではない。

なお、意見具申²⁾では、 $H_p(3)$ (3 mm 線量当量) で眼の水晶体の等価線量を算定すること
を可能とすべきであるとしているが、事業者において眼の水晶体の等価線量を適切に算定
することを示せる場合には、従前の $H_p(10)$ (1 cm 線量当量) 又は $H_p(0.07)$ (70 μm 線量当
量) による算定も認めるべきであるとしている。

意見具申²⁾を受けて、例えば、「眼の水晶体の線量限度の変更のための放射性同位元素
等の規制に関する法律施行規則の一部を改正する規則案」(令和元年 10 月 17 日、原子力
規制委員会)では、放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則(昭和三十五年総理府
令第五十六号)の第二十条の 2 項の一に、「眼の水晶体の等価線量を算定するための線量
の測定は、イからハマまでの測定(注: 1 cm 線量当量又は 70 μm 線量当量の測定)のほか、
眼の近傍その他の適切な部位について三ミリメートル線量当量を測定することにより行う
ことができる。」とされている。

以上の技術的指針²²⁾、意見具申²⁾及び放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則の
一部を改正する規則(案)に沿って、本ガイドラインのフロー図は作成されている。体幹
部基本部位又は線量が最大となる体幹部位に装着した個人線量計による実用量で眼の水晶
体の等価線量を算定する場合、本ガイドラインの図 1 のフロー図に従えば、現状使用され
ている個人線量計の仕様に鑑み、1 cm 線量当量か 70 μm 線量当量のどちらか値の高い方
の実用量を用いることとなっているが、3 mm 線量当量の使用を妨げるものではない。

また、外部被ばくの物理量(フルエンス又は空気カーマ)を線量(ここでは眼の水晶体の
等価線量)に関係付ける係数(線量換算係数)は、放射線の種類及びエネルギーに依存す
る。以下に放射線の種類ごとにどのような場合に 3 mm 線量当量を眼の水晶体の等価線量
の算定に用いる必要があるかを示す。

1) 光子

ISO 4037-3:2019³⁾に、光子による実用量(1 cm 線量当量、3 mm 線量当量、70 μm 線量
当量)の単位空気カーマに対する換算係数が示されており、そのうち入射方向が 0°方向
(すなわち、人体前方から入射する方向)の換算係数の比について図 E.2 に示す。

図 E.2 に示すように 40 keV 以上のエネルギー領域では 1 cm 線量当量が 3 mm 線量当
量より大きくなり、また、30 keV 以下のエネルギー領域では 70 μm 線量当量が 3 mm 線
量当量より大きくなる。30 keV~40 keV の限定されたエネルギー領域において選択的に
被ばくする状況が通常は想定されないこと、また、70 μm 線量当量でも 3 mm 線量当
量とは大きく乖離しないことから、3 mm 線量当量を測定しなくても、従来通り 1 cm 線
量当量又は 70 μm 線量当量のいずれか適切な方(高い方)を眼の水晶体の等価線量として
よい。ただし、図 E.2 に示すように 30 keV~40 keV では 70 μm 線量当量が 3 mm 線量当
量に対して僅かに低くなること、20 keV 以下では 70 μm 線量当量は 3 mm 線量当量に対

して過大になるため、より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する必要がある場合は、3 mm 線量当量を測定することが望ましい。

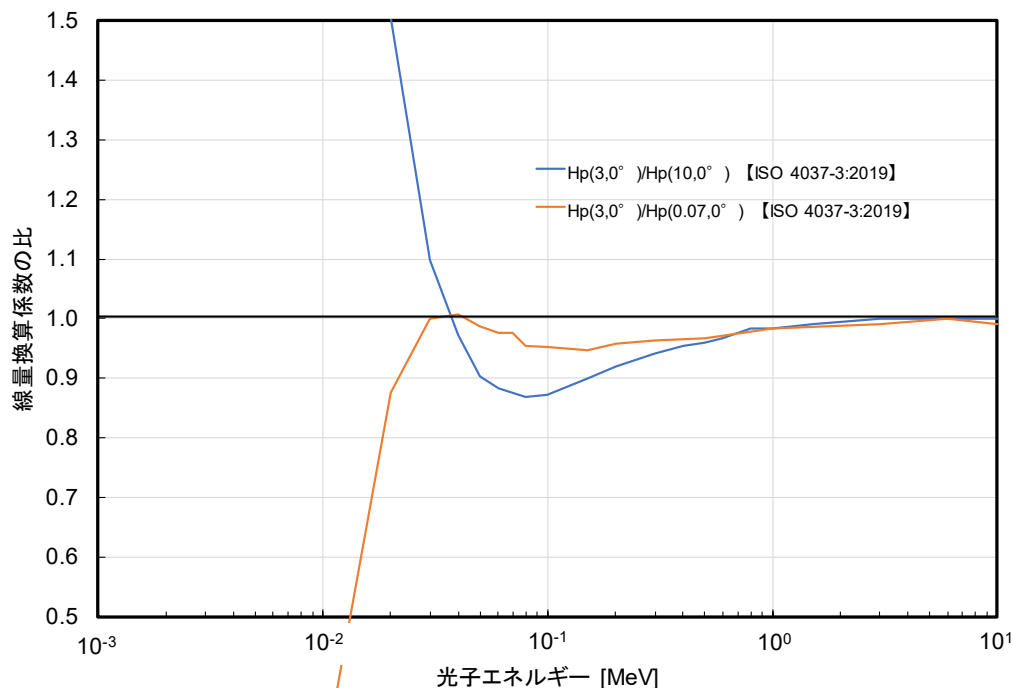


図 E.2 光子による実用量の換算係数²³⁾の比

2) 電子

ICRP Publ.74²⁴⁾の (251) 項、(266) 項及び Table A.44 によれば、電子の実用量については、70 keV～10 MeV では方向性線量当量は個人線量当量の十分な数値的近似値とみなすことができるとしている。ICRP Publ.74²⁴⁾の Table A.44 に電子による実用量（方向性線量当量である 1 cm 線量当量、3 mm 線量当量、及び 70 μm 線量当量）の単位フルエンスに対する換算係数が示されており、そのうち入射方向が 0°方向の換算係数について、図 E.3 に実用量（方向性線量当量）の比を示す。

図 E.3 に示すように 1 MeV～3.5 MeV の電子については、70 μm 線量当量や 1 cm 線量当量では 3 mm 線量当量を担保することはできないが、β 線は、エネルギースペクトルが連続であること、通常は容易に遮蔽が可能であり、このエネルギー領域の電子を選択的に被ばくするような状況は極めて稀であることから、3 mm 線量当量の測定を必要とせず、従来通り 1 cm 線量当量又は 70 μm 線量当量のいずれか適切な方（高い方）を眼の水晶体の等価線量としてよい（【例題 17】参照）。

なお、1 MeV 以下の電子については、70 μm 線量当量が 3 mm 線量当量より高くなるため、70 μm 線量当量の測定値を使用としてもよいが、著しく過大な評価になる可能性が高いことに留意する。また、1 MeV～3.5 MeV の電子については 3 mm 線量当量が 70 μm 線量当量又は 1 cm 線量当量より高くなることも留意する。

そのため、電子による被ばくが無視できない場合などは、3 mm 線量当量を測定することが望ましい。

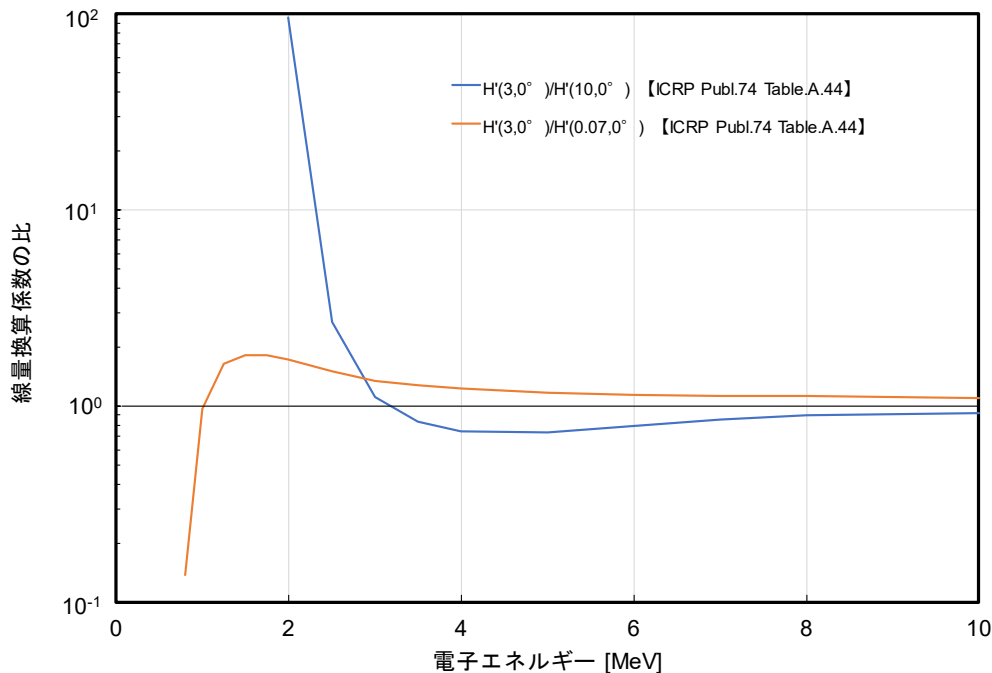


図 E.3 電子による実用量（方向性線量当量）の換算係数²⁴⁾の比

3) 中性子

ICRP Publ.74²⁴⁾の(246)項には、「実務上、実効線量を制限すれば、眼の水晶体は十分に防護される。」と記載されている。実効線量に対応する実用量は1 cm 線量当量であるため、中性子による被ばくの場合は、様々な周辺状況を踏まえ、従来通り、1 cm 線量当量を測定し、眼の水晶体の等価線量を算定する。ただし、Ferrari らが算定した中性子の個人線量当量によると、中性子の1 cm 線量当量は3 mm 線量当量より30 keV 以上では小さくなり、原子力、核燃料、加速器施設等の中性子被ばくがある代表的な作業場においては1 cm 線量当量が3 mm 線量当量より低くなると評価されている²⁵⁾。

一方、意見具申²⁾によれば、「中性子被ばくについては必ずしも保守的とは言い切れない場合でも、3 mm 線量当量を測定できる環境が整っているとは言い難い状況を考慮して、明らかに眼の水晶体の等価線量限度を下回る場合には、1 cm 線量当量の測定を基本とすることが適当である。」とされている。

なお、年間の眼の水晶体の中性子被ばくが管理基準に近いか超えるおそれがある場合は、月間等の管理目標値設定と被ばく実績管理により、年間の中性子による3 mm 線量当量が管理基準を超えないようにする方法もある。例えば、対象となる中性子場のエネルギースペクトルを測定、評価して、3 mm 線量当量と1 cm 線量当量の差異を把握することが可能である。Ferrari らの報告²⁵⁾を参考にすれば、1 cm 線量当量を3 mm 線量当量の75%に設定して、3 mm 線量当量の管理基準を超えないように月間等の1 cm 線量当量

の管理目標値を設定する方法などがある。なお、通常は中性子による被ばくは光子等との混合放射線場での被ばくとなるため、光子被ばく等の寄与も考慮して、中性子の被ばくに対する管理基準を設定する。

(7) 眼の水晶体の等価線量が管理基準に近いか超えるおそれがあることの判断方法

眼の水晶体等価線量の管理基準を超えているおそれがあるかどうかについては、作業に伴う線量評価を事前に行う必要がある（【例題 19】参照）。事前に行う線量評価の方法として、IAEA TECDOC No.1731²⁶⁾を参考にすると以下の4つの方法がある。

① 作業場のモニタリング

放射線場が対象となる作業期間で予測可能であり、作業手順も明確になっている場合は、作業場のモニタリングで作業者の線量推定が可能となる。IEC62387:2020²⁷⁾では光子とβ線の $H'(3)$ が規定されている。作業場のモニタリングで、作業場の3 mm線量当量（方向性線量当量）である $H'(3)$ を測定する放射線測定器を使用することができれば、それを使用することが望ましい。光子とβ線の $H'(3)$ が測定できる測定器は十分には普及していないものの、フィルタ等を用いて $H'(3)$ の測定に対応した電離箱式サーベイメータが、国内メーカーで製作・販売されており、入手することができる。

② 文献データの使用

放射線発生装置や放射性核種等の情報を利用することができる場合は、その情報を有効利用することが望ましい。

③ シミュレーション計算による評価

作業場の線源状況や作業場の幾何学的形状と材質情報が分かっているならば、シミュレーション計算コードを用いて、場の様々な空間線量率を評価してもよい。ただし、部分的にでも、測定によるシミュレーション計算結果の検証が必要である。

④ 個人モニタリングによる測定

眼の水晶体の等価線量が管理基準を超えることが予想される作業者に、作業の準備又は初期の段階の一定期間個人線量計を着用させるなどの測定を実施して、その結果に基づき予測してもよい。

なお、意見具申²⁾では、場所に係る3 mm線量当量（ $H'(3)$ ）の測定について、以下のように示されている。

$H'(3)$ については、事業者等が簡易に測定できる環境が整っているとは言い難い。また、個人の線量が適切に測定されていれば水晶体の等価線量は十分適切に管理できると考

えられるほか、1 cm 線量当量又は 70 μm 線量当量のどちらか、またはその両方により、場所については保守的に評価することができる。

これらを踏まえれば、今後の国際規格の整備状況等を注視する必要があるものの、現時点においては $H'(3)$ を法令に取り入れる必要性は薄いと考えられる。

ただし、東京電力福島第一原子力発電所のような特殊な作業環境において、事前に作業者の被ばく評価をする等のために、事業者等が自主的に $H'(3)$ を測定することを妨げるものではない。

関連法令の改正案では、意見具申²⁾を踏まえて $H'(3)$ の測定については規定されていない。したがって、 $H'(3)$ の測定については、法令で定められたものではなく、あくまで作業計画等を策定する等、「自主的に」測定する場合に限られる。

参考文献

- 1) 被ばく線量の測定・評価マニュアル，原子力安全技術センター編，東京（2000）。
- 2) 放射線審議会，眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について（意見具申），平成 30 年 3 月 2 日付け原規放発第 18030211 号（2018）。
- 3) 平成 29 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業）原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告（2018）。
- 4) 平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業）原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告（2019）。
- 5) 令和元年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業）円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成 成果報告(2020)。
- 6) 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 報告書，令和元年 9 月（2019）。
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_06824.html（最終アクセス：2019 年 12 月 20 日）
- 7) International Commission on Radiological Protection (ICRP), General Principles for the Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27(1) (1997).
- 8) International Commission on Radiological Protection (ICRP), The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4) (2007).
- 9) International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3) (1991).
- 10) 放射線審議会基本部会，国際放射線防護委員会（ICRP）2007 年勧告（Pub. 103）の国内制度等への取入れについて－第二次中間報告－（平成 23 年 1 月）
- 11) 厚生労働省労働基準局長，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，（平成 13 年 3 月 30 日）

- 12) International Commission on Radiological Protection (ICRP), Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3) (1977).
- 13) 浜田達二他, 国際放射線防護委員会 1977 年勧告の法令取入れについて (法令改正に関する質問に答えて), (財) 原子力安全研究協会 (昭和 63 年 3 月)
- 14) ANSI/HPS N13.41-2011, Criteria for Performing Multiple Dosimetry, Health Physics Society (2011).
- 15) International Commission on Radiological Protection (ICRP), General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 35, Ann. ICRP 9 (4) (1982).
- 16) International Atomic Energy Agency (IAEA), Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, IAEA, Vienna (2018).
- 17) Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), Dosimetry: Ascertaining Occupational Dose, REGDOC-2.7.2, Volume I (2019).
- 18) Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS), Guidelines for Radiation Protection and Dosimetry of the Eye Lens, Report 31 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (2018).
- 19) 放射線審議会, 第 3 回放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会議事録 (平成 29 年 10 月 5 日).
- 20) 岩井敏, 仙波毅, 青天目州晶, 眼の水晶体の線量限度に関する国外動向調査～スウェーデンの原子力発電所における取組を中心に～, 日本保健物理学会企画シンポジウム プロシーディング (2018 年 3 月 20 日) (2018).
- 21) Xiao, Y., The preliminary investigation and study on the eye-lens dose measurement during the outage of PWR, Proceedings of the 5th Conference of AOCR, Melbourne, Australia, 20-23/05/2018 (2018).
- 22) 放射線審議会基本部会, 外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針 (平成 11 年 4 月).
- 23) International Organization for Standardization (ISO), ISO 4037-3:2019, Radiological Protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence (2019).
- 24) International Commission on Radiological Protection (ICRP), Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26 (3-4) (1996).
- 25) Ferrari, P., Gualdrini, G., Tanner, R., Fantuzzi, E., $H_p(3)/\Phi$ conversion coefficients for neutrons: discussion on the basis of the new ICRP recommended limit for the eye lens, Radiat. Prot. Dosim., 161(1-4), 17-22 (2014).
- 26) International Atomic Energy Agency (IAEA), Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, IAEA-TECDOC-1731, IAEA, Vienna (2013).

- 27) IEC 62387:2020, Radiation protection instrumentation - Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation.

添付資料 1

眼の水晶体の等価線量限度の引き下げに係る国内並びに国際機関の動向

放射線審議会では、「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について（意見具申）」¹⁻¹⁾（以下、「意見具申」）において、眼の水晶体の等価線量限度改定に係る動向とそれを取り入れるわが国の動きについて以下のように記載している。

（以下「はじめに」の章より抜粋）

眼の水晶体（以下単に「水晶体」という。）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、わが国の放射線業務従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、当該限度は、国際放射線防護委員会（*International Commission on Radiological Protection*; 以下「ICRP」という。）Pub.60「国際放射線防護委員会の1990年勧告」を踏まえ、年間150 mSvを超えないこととされている。

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」ことを勧告し、また、その勧告内容は、国際原子力機関（*International Atomic Energy Agency*; 以下「IAEA」という。）の「放射線防護と放射線源の安全：国家基本安全基準」（*Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*。以下「BSS」という。）に取り入れられている。・・・

放射線審議会は、ICRPやIAEA等で国際的に合意された放射線防護体系の考え方を尊重し、放射線障害の防止の技術基準として規制に取り入れるとの観点から、ソウル声明を踏まえた新たな水晶体の等価線量限度をわが国の制度に取り入れるための検討を行うこととし、第135回総会（平成29年7月開催）において「眼の水晶体の放射線防護検討部会（以下「水晶体部会」という。）を設置した。

水晶体部会は、同月から同年12月までに5回の会合を開催し、水晶体の防護及び被ばくの実態について関係者にヒアリングを行ったほか、新たな等価線量限度の取り入れの実行可能性及び取り入れに当たっての課題について検討し、「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について（中間取りまとめ）」（以下「中間取りまとめ」という。）を取りまとめた。この中間取りまとめについて、放射線審議会第138回総会に報告した上で、任意の意見募集（パブリックコメント）を実施した。その後、平成30年2月までに2回の会合を開催する中で、関係者へのヒアリングを追加し、あわせて中間取りまとめに追加すべき論点について検討した。

本報告書は、その内容を取りまとめ、新たな等価線量限度の取り入れに伴う水晶体の放射線防護の在り方について整理するものである。

眼の水晶体の放射線防護検討部会（以下、「水晶体部会」）の最終報告書は放射線審議会第140回総会（平成30（2018）年3月2日）で承諾され、同日に放射線審議会会長から関係行政機関の長に対して意見具申が行われた。

放射線審議会第142回総会（平成30（2018）年9月28日）の配布資料142-1号『「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」（意見具申）を踏まえた関係省庁における検討状況^{1.2)}によれば、厚生労働省と原子力規制庁は関連法令の改定に関して、2020年度中の公布、2021年4月の施行を予定している。

厚生労働省では、2018年12月より、電離放射線障害防止規則における水晶体の被ばく限度の見直し等に伴う所要の改正に資することを目的として、「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」を開催し、放射線審議会の意見具申を電離放射線障害防止規則等関係法令へ取り入れるに当たっての労働衛生管理上の留意事項や問題点等について、科学的調査の結果等を踏まえた検討を行った上で、電離放射線障害防止規則等関係法令の見直しの方向について報告書^{1.3)}として取りまとめた。

参考文献

- 1.1) 放射線審議会，眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について（意見具申），平成30年3月2日付け原規放発第18030211号（2018）.
- 1.2) 放射線審議会，「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」（意見具申）を踏まえた関係省庁における検討状況について，142-1号（平成30年9月28日）（2018）.
- 1.3) 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 報告書（令和元年9月），
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_06824.html（最終アクセス：2019年12月20日）

添付資料 2

国際原子力機関（IAEA）での眼の水晶体の等価線量に係る線量モニタリングの考え方

IAEA TECDOC No.1731^{2,1)}では、眼の水晶体の線量モニタリングの考え方を、中性子、光子、 β 線についてそれぞれ表 2.1～2.3 に、眼の水晶体のモニタリングに使用する個人線量計について、表 2.4 のように示している。

表 2.1 中性子による線量
(出典:IAEA TECDOC No.1731^{2,1)} P.16 Table 2 から和訳転載)

影響要因	説明	
A (エネルギー及び入射角度)	任意のエネルギー及び入射角の中性子に対し、全身の線量モニタリングでは、眼の水晶体の線量を保守的に必ずしも評価できない(引用 1)。作業場によっては、中性子による眼の水晶体の線量の評価が必要になるかもしれない(引用 1)。どのような場合に必要になるかは今後さらなる研究が必要である。	
B (幾何学的形状)	均一な放射線場であるか？	
	はい ↓ 体幹部でのモニタリング結果を使用。	いいえ ↓ 眼の近傍でのモニタリングが必要 ^{注釈} 。
C (防護具)	どんな個人用の防護具も中性子から眼の水晶体を防護することはできないだろう。	

注釈) 現時点では眼の近傍で中性子による眼の水晶体の等価線量を測定できる個人線量計は開発されていない。

(引用 1) G. GUALDRINI, P. FERRARI, AND R. TANNER, Fluence to $H_p(3)$ conversion coefficients for neutrons from thermal to 15 MeV., Radiat. Prot. Dosim., 157(2), 278-290 (2013).

表 2.2 光子による線量

(出典:IAEA TECDOC No.1731^{2,1)} P.17 Table 3 から和訳転載)

影響要因	説明	
A (エネルギー 及び 入射角度)	平均光子エネルギーが約 40 keV 未満か？	
	はい ↓ $H_p(0.07)$ を使用し、 $H_p(10)$ は使用しないほうがよい(引用1)、(引用2)。	いいえ ↓ 光子が主に正面から照射されるか、又は人が放射線場の中を移動するのか？
	はい ↓ $H_p(0.07)$ 又は $H_p(10)$ を使用 (引用2)。	いいえ ↓ $H_p(0.07)$ を使用し、 $H_p(10)$ を使用しない(引用2)。
B (幾何学的形 状)	均一な放射線場であるか？	
	はい ↓ 体幹部でのモニタリング結果を使用。	いいえ ↓ 眼の近傍でのモニタリングが必要。
C (防護具)	防護具(鉛入眼鏡、遮蔽用の天板、台、カーテン)を使用しているか？	
	眼の防護のために使用。 ↓ 眼の近傍及び防護具の内側でのモニタリングが必要。 又は、遮蔽に適切な遮蔽係数を使用。	体幹部の防護のために使用(例えば鉛エプロン)。 ↓ 防護具の内側で測定した線量は眼の水晶体の線量を過小評価する。 ↓ 眼の近傍のモニタリングが別途必要。

(引用1) Fig.6 in BEHRENS, R., DIETZE, G., Monitoring the eye lens: which dose quantity is adequate?, Phys. Med. Biol. 55 4047-4062 (2010).

(引用2) Fig.1 in BEHRENS, R., Monitoring the Eye Lens, Proceedings of the IRPA13 conference, paper TS7e.3, Glasgow, (2012).

(http://www.ptb.de/en/org/6/63/f_u_e/ts7e_3.pdf(最終アクセス:2019年12月20日))

表 2.3 β線による線量

(出典:IAEA TECDOC No.1731^{2.1}) P.18 Table 4 から和訳転載)

影響要因	説明	
A (エネルギー 及び 入射角度)	β線の最大エネルギーが 0.7 MeV 以上か？	
	いいえ ↓ β線が水晶体まで到達しないので、 モニタリングは不要。	はい ↓ 以下で説明するようなモニタリン グが必要。
B (幾何学的 形状)	β線の放射線場は通常不均一であるため、個人線量計を眼の近傍に装着して測定する必要がある。ただし、以下に示す十分に厚い遮蔽が用いられる場合には、それが必要でないかもしれない。	
C (防護具)	β線を吸収できるほどの厚さのある遮蔽（たとえば、防護眼鏡、遮蔽板）が使用されているか？	
	<p>眼の防護のために使用されている。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>β線は遮蔽に完全に吸収されるので、「光子線」について検討する。しかし、制動放射は考慮しなければならぬ（遮蔽の外部で生み出されたものと、遮蔽の内部で生み出されたものの両方の寄与分）。</p>	<p>眼の防護のために使用されていない。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>$H_p(3)$が唯一の妥当な数量となる。</p>

表 2.4 混合放射線場における眼の水晶体の線量のモニタリングに必要とされる個人線量計の選択に関する考え方

(出典:IAEA TECDOC No.1731^{2.1)} P.19 Table 5 から和訳転載)

放射線の種類			使用する線量計*
中性子	光子	β	
x			中性子による $H_p(10)$ を測定する線量計
	x		光子による $H_p(0.07)$ 及び/又は $H_p(10)$ を測定する線量計
		x	β 線による $H_p(3)$ を測定する線量計
x	x		中性子による $H_p(10)$ を測定する線量計と、光子による $H_p(0.07)$ 及び/又は $H_p(10)$ を測定する線量計
x		x	中性子による $H_p(10)$ を測定する線量計と、 β 線による $H_p(3)$ を測定する線量計
	x	x	光子及び β 線による $H_p(3)$ を測定する線量計
x	x	x	中性子による $H_p(10)$ を測定する線量計と、光子及び β 線による $H_p(3)$ を測定する線量計

※ 中性子はほぼ常に光子が伴っているが、ここでは中性子のみの可能性として示している。

* 表 2.1、2.2、2.3、2.4 は、文献^{2.1)}の TABLE 2、TABLE 3、TABLE 4、TABLE 5 の翻訳で、IAEA の許可を得て、転載したものである。

なお、この翻訳は日本保健物理学会 放射線防護標準化委員会 水晶体線量モニタリングガイドライン検討作業部会が行った。この文書の原版は、IAEA 又は IAEA に代わって正当な権限を与えられた者により配布された英語版である。IAEA は、この翻訳及びその出版物の正確性、品質、真正性、又は仕上がりに対して一切の保証をせず、一切の責任を負わず、この翻訳の使用から直接的又は間接的に生じる、損失又は損害、結果的又はその他の責任を負わない。

参考文献

- 2.1) International Atomic Energy Agency (IAEA), Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, IAEA-TECDOC-1731, IAEA, Vienna (2013).

添付資料 3

従来の眼の水晶体の等価線量に係る線量モニタリング

眼の水晶体の等価線量の限度の変更前の眼の水晶体の等価線量の算定方法について以下に示す^{3.1, 3.2}。

(1) 線量の測定

放射線業務従事者、緊急作業に従事する労働者及び放射線管理区域に一時的に立ち入る労働者が、管理区域内において受ける外部被ばくによる線量を、1 cm 線量当量及び 70 μm 線量当量（ただし、中性子については 1 cm 線量当量）について、身体に装着した個人線量計で測定しなければならない。

(2) 線量を測定する部位

放射線業務従事者等の身体に対して、一様に放射線に曝される場合は、体幹部基本部位（胸部、腹部）に装着した 1 個の個人線量計による測定だけで、その者の被ばく線量を代表させてよい。しかし、一様ではなく偏りがあって放射線に曝される場合は、体幹部基本部位に装着した個人線量計による線量だけでは、その者の被ばく線量を代表できない可能性があるため、線量が最大になる部位が、手指のような人体の末端部であれば手指等に、防護衣を着用した体幹部であれば防護衣の外側の頸部付近等に、別の個人線量計を追加して測定をしなければならない。このような被ばく形態を「不均等被ばく」、また、そうした被ばく形態に対応するため複数の個人線量計を用いる被ばく管理を行うことを「不均等被ばく管理」と呼ぶ。

不均等被ばくと判断された場合、実効線量を評価するための個人線量計を基本装着部位（胸部、腹部）だけでなく、最も多く放射線にさらされるおそれのある部位にも装着することが法令により規定されている。具体的には、男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性については胸部、その他の女性については腹部（体幹部基本部位）に個人線量計を装着させて線量を測定しなければならない。さらに、男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性については、頭・頸部及び腹・大腿部のうち、多く放射線にさらされる箇所を追加で、その他の女性については、頭・頸部及び胸・上腕部のうち、多く放射線にさらされる箇所を追加で個人線量計を装着させなければならない（体幹部不均等被ばく状況）。さらに、頭・頸部、胸・上腕部、腹・大腿部以外の部位が、多くの被ばくを受ける場合は、その最も多く被ばくする部位に個人線量計を装着させなければならない（末端被ばく状況）。

線量の測定は、上述した部位に装着した個人線量計により測定しなければならない。ただし、個人線量計による測定が著しく困難な場合は、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する、これも著しく困難な場合は、計算によってその値を求めることができる。

(3) 線量の算定

眼の水晶体の等価線量については、上述した部位に装着した個人線量計のうち、適切な部位で測定した 1 cm 線量当量及び 70 μm 線量当量（ただし、中性子については 1 cm 線量当量）について適切なものを用いて算定する。

(4) 眼の水晶体の線量モニタリングにおける測定の方法

放射線審議会の「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」^{3.1)}や、この指針に基づく「被ばく線量の測定・評価マニュアル」^{3.2)}において、眼の水晶体の等価線量を算定する方法は以下のように記載されている³⁾。

個人線量計から得られた $H_{1\text{cm}}$ あるいは $H_{70\mu\text{m}}$ のうち、適切な値をもって眼の水晶体の等価線量とする。体幹部に複数個の個人線量計を着用している場合は、眼に近い位置につけた個人線量計からの評価した値を採用する。

....

眼の水晶体の等価線量については、 $H_{1\text{cm}}$ 又は $H_{70\mu\text{m}}$ のうち放射線の種類やエネルギーを考慮して適切と判断される方をもって評価値とする必要があるが、特定のエネルギーの電子線による直接被ばくという極めて特殊な条件を除けば、 $H_{1\text{cm}}$ 又は $H_{70\mu\text{m}}$ のうち値が大きい方を採用することで眼の水晶体の等価線量に関する合理的な範囲での安全側の評価をすることができる。

ただし、個人線量計の着用位置と眼の位置との線量（率）が極端に異なり、個人線量計の $H_{1\text{cm}}$ 又は $H_{70\mu\text{m}}$ の値の大きい方をもって眼の水晶体の等価線量とすることが著しく過小あるいは過大な評価値を与える場合は、作業場所の線量（率）の位置分布やエネルギー分布の測定等に基づき、 $H_{1\text{cm}}$ と $H_{70\mu\text{m}}$ から眼の水晶体の等価線量を推定する必要がある。この場合、その測定結果や評価方法を文書化し、保存しておくことが望ましい。....

以下、被ばく形態別に具体的な評価の考え方を説明する。

(1) 体幹部均等被ばくの場合

....

(ハ) 眼の水晶体の等価線量は、胸腹部に装着した個人線量計から求めた $H_{1\text{cm}}$ 又は $H_{70\mu\text{m}}$ のうち、どちらか値の大きい方とする。ただし、 β 線あるいは 30 keV 以下の極めてエネルギーの低い γ (X) 線による被ばくのおそれが無い場合には、 $H_{1\text{cm}}$ と $H_{3\text{mm}}$ の値の差は小さいので、眼の水晶体の等価線量は胸腹部に装着した個人線量計から求めた $H_{1\text{cm}}$ とすることができる。

(2) 体幹部不均等被ばくの場合

....

(ハ) 眼の水晶体の等価線量

³⁾ 被ばく線量の測定・評価マニュアルに記載された $H_{1\text{cm}}, H_{3\text{mm}}, H_{70\mu\text{m}}$ はそれぞれ、1 cm 線量当量($H_p(10)$)、3 mm 線量当量($H_p(3)$)、70 μm 線量当量($H_p(0,07)$)を示す。

頭部又は頸部に装着した個人線量計から得られた H_{1cm} 又は $H_{70\mu m}$ のうち、どちらか値の大きい方をもって眼の水晶体の等価線量 (H_{3mm}) とする。 β 線による被ばくのおそれがある場合についても、 H_{3mm} が $H_{70\mu m}$ を上回るようなエネルギー領域の β 線を選択的に被ばくする可能性は少なく、通常は $H_{70\mu m}$ を測定することで十分な管理が可能である。なお、防護眼鏡を使用している場合には、防護眼鏡によって遮蔽された条件での眼の水晶体の等価線量を評価することが望ましいが、個人線量の測定サービスを外部業者に委託している場合や、 H_{3mm} の値が線量限度を十分に下回っていることが明らかな場合には、遮蔽されていない条件下での $H_{70\mu m}$ の値を個人の被ばくとして記録することも容認されるであろう。

中性子については、皮膚の等価線量と同様に、中性子による H_{1cm} を β 線、 γ (X) 線による線量に加える。

これらの眼の水晶体の線量モニタリングにおける測定の考え方をまとめると図 3.1 に示すフロー図になる。

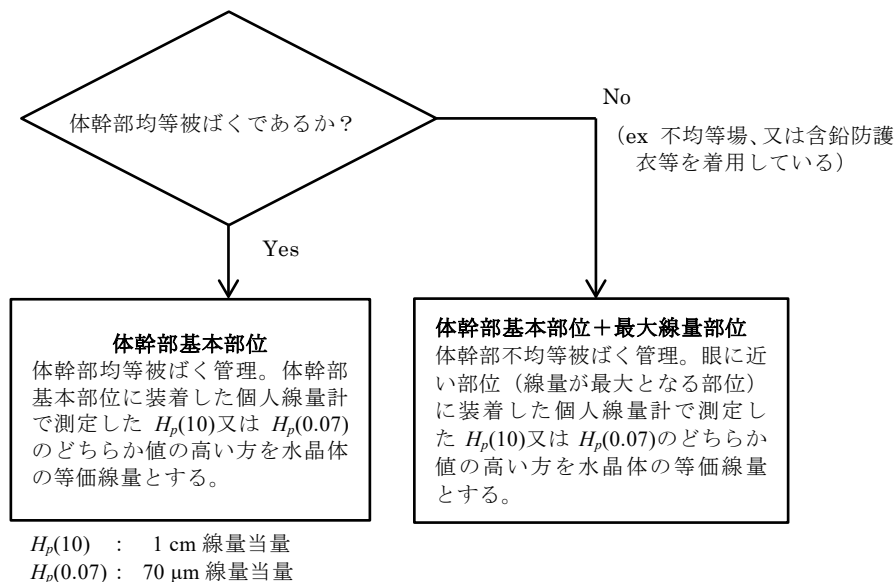


図 3.1 従来の眼の水晶体の等価線量の算定方法を決定するフロー図

2001 年の法改正に際して発行された「被ばく線量の測定・評価マニュアル」^{3.2)}では、複数の個人線量計によるモニタリングの実施条件の一つとして、

水晶体の等価線量と実効線量の比が、法令等に定めるそれぞれの線量限度の比 (3 倍 = 150/50) を超えるおそれがある場合については、胸腹部の他に頭頸部にも個人線量計を着用する理由になる。

という説明がされた。線量限度の比（3倍）に基づく考え方は、主に「分かりやすい」という理由から、前掛け式防護エプロン等を常用する放射線業務従事者等を中心に広く活用されてきた。

参考文献

- 3.1) 放射線審議会基本部会，外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針（平成11年4月）.
- 3.2) 被ばく線量の測定・評価マニュアル，原子力安全技術センター編，東京（2000）.

【例題】眼の水晶体の線量モニタリング

【例題】項目

- 例題 1 体幹部不均等被ばくはどのように判断すればよいでしょうか？また、計画被ばく状況で年間の累積線量が極めて低い場合においては、体幹部均等・不均等被ばく状況の判断をしないで、体幹部基本部位に装着した個人線量計で測定した結果のみで眼の水晶体の等価線量を算定できないのでしょうか？
- 例題 2 個人線量計で測定される線量の不確かさはどのように評価すればよいでしょうか？
- 例題 3 眼の近傍で線量を測定することが必要となるかを判断する線量レベル(管理基準)は、事業所の線量管理に責任を有する者が作業環境に応じて設定するとありますが、どのような数値を採用すればよいでしょうか？
- 例題 4 全面マスクを装着した場合、全面マスクの外側に個人線量計を装着して全面マスクでの減衰計算等から眼の水晶体の等価線量を算定することはできますか。
- 例題 5 眼の水晶体の被ばくに対する防護の最適化において、線量モニタリング結果はどのように使えばよいでしょうか？
- 例題 6 眼の水晶体の専用の個人線量計とは何か、どのようなものがありますか？
- 例題 7 3 mm 線量当量による測定に関する国際規格の検討状況はどのようになっていますか？
- 例題 8 眼の水晶体の専用の個人線量計の校正はどのように実施されるのですか？
- 例題 9 原子力施設での眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？
- 例題 10 医療施設での眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？
- 例題 11 獣医療従事者の眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？
- 例題 12 クルックス管からの X 線に対して眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？
- 例題 13 非破壊検査の場合の眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？
- 例題 14 核燃料施設での眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？
- 例題 15 防護眼鏡、防護マスク等の個人用防護具に電子線 (β 線) が入射したときに発生する制動 X 線を含めた眼の水晶体の等価線量はどのように算定するのでしょうか？
- 例題 16 眼の水晶体の等価線量を計算で算定することはできないのでしょうか？
- 例題 17 β 線による被ばくが無視できない状況における眼の水晶体の等価線量を 3 mm 線量当量の測定で算定する必要はないのでしょうか？
- 例題 18 体幹部均等被ばく状況において、眼の水晶体の等価線量が高い場合、遮蔽材等を使用すると、体幹部不均等被ばく状況での線量管理になるのでしょうか？
- 例題 19 眼の近傍に個人線量計を装着した線量モニタリングの要否の判断は作業計画立案時に行うことはできないのでしょうか？

- 例題 20 月の途中から眼の近傍で線量モニタリングが必要となった場合や眼の近傍での線量モニタリングが必要となる作業とその必要がない作業が混在するなどの場合は個人線量計の装着をどうすればよいでしょうか？
- 例題 21 体幹部均等被ばく状況において、眼の近傍に個人線量計を追加で装着しましたが、眼の近傍の線量が体幹部基本部位での線量より小さくなりました。眼の水晶体の等価線量の算定は、どうすればよいですか？
- 例題 22 体幹部均等被ばく状況において、眼の近傍に個人線量計を追加して線量のモニタリング対象になった場合、頭・頸部（眼の近傍）の線量の測定結果も踏まえて実効線量を算定するのでしょうか？
- 例題 23 受動形個人線量計を使用している場合、正式な線量測定結果が判明する前に、他事業所で作業に従事する場合の眼の水晶体の等価線量はどのように算定すればよいですか？
- 例題 24 フランス放射線防護学会の眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインに示されている「Bordy の考え方」は国内の事業所では適用できないのでしょうか？
- 例題 25 眼の近傍以外の部位に装着した個人線量計を使用する場合で、眼の水晶体の等価線量を算定するために 3 mm 線量当量を測定することが望ましい場合とは具体的にどのような事例が挙げられるのでしょうか？
- 例題 26 眼の水晶体用線量計の測定結果の妥当性の評価はどのように実施されるのですか？

【例題 1】

体幹部不均等被ばくはどのように判断すればよいでしょうか？また、計画被ばく状況で年間の累積線量が極めて低い場合においては、体幹部均等・不均等被ばく状況の判断をしないで、体幹部基本部位に装着した個人線量計で測定した結果のみで眼の水晶体の等価線量を算定できないでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (5) 節 2)、3)、4) 項並びに添付資料 2]

【回答 1】

体幹部不均等被ばく管理のため体幹部に複数の個人線量計を装着する必要があるかどうかは、不均等の程度と線量当量の大きさの両方によって変わると考えられます。

まず、一つ目の「不均等の程度」についてですが、これを、身体（ここでは体幹部）上の異なる位置で測定された線量の相違の程度とし、それら測定値間に有意な違いがあると言えるかどうかを不均等か否かと等価であると解釈することは、その最も明解な定義と言えます。ICRP Publ.75^{A1.1)} (及び ICRP Publ.35^{A1.2)}) では、個人線量計による測定への要求性能として、ファクター1.5～2 の不確かさが容認されており、したがって、その容認範囲を超える測定値間の相違は、その者に不均等な放射線被ばくをもたらす明らかな別の要因（例えば、それらの測定位置間における線量（率）勾配、など）が存在することを意味します。こうした場合は、体幹部基本部位に装着する個人線量計だけではなく、別の適切な位置に個人線量計を追加することが必要になります。ファクター1.5～2 を超える線量の相違をもたらす要因には、身体の一部を覆う防護衣の使用や、作業場における線量（率）勾配があげられます。前者については、その使用の有無が、そのまま不均等被ばくをもたらすか否かの判断の参考にすることができます。後者については、作業前の線量率サーベイや過去の経験等から判断することができます。過去に経験したことのない作業等で、不均等被ばくに該当するかどうかの予測が難しい場合は、その作業の初期段階で実際に複数の個人線量計を使用するなどして確認することも一つの方法です。

次に、二つ目の「線量（当量）の大きさ」ですが、高線量域や低線量域などで分けて考えるとよいです。高線量域、すなわち線量限度に近い又は線量限度と同じ程度の線量域では、不均等の程度に関わらず、より正確に線量を測定、評価できるような個人線量計の使用上の工夫（複数装着及び装着部位の検討）は一般に望ましいことと考えられます。反対に、低線量域では、そうした工夫をする意味はあまりありません。予想される線量が、実効線量で例えば年間 1 mSv、眼の水晶体の等価線量で例えば年間 2 mSv の、いわゆる記録レベルを下回るような作業環境であれば、前者については、複数の個人線量計を用いる体幹部不均等被ばく管理、後者については、眼の近傍や頭・頸部に装着する個人線量計を用いる眼の水晶体の等価線量管理は必須ではないと考えられます。また、それぞれの作業場における体幹部不均等被ばくの程度に基づいて、体幹部基本部位に装着した個人線量計による線量当量と体幹部不均等被ばくの場合の実効線量の違いをあ

らかじめ把握しておき、ある特定の線量レベルを超えるときにのみ複数の個人線量計を用いるといった内部ルールを定めておくことも管理を円滑に進める上で有効です。

ICRP Publ.75^{A1.1)}は、記録レベルという概念を提示しており、実効線量では年間 1 mSv を下回らない値、眼の水晶体の等価線量の場合は年間 2 mSv (5 年間で平均した年線量限度 20 mSv の 10%) から個人線量計のモニタリング期間を考慮して導出される値とされています。この数値の程度を超えるおそれがない場合は、個人線量計のもつ不確かさの大きさから考えますと、線量が最大となる部位を特定することは困難であり、体幹部均等被ばく状況であると見なして線量管理することが可能と考えられます。このような場合であれば体幹部均等被ばく状況として体幹部基本部位に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を評価することも可能であると考えられます。

これらのことを参考にして、作業場所の被ばく状況をサーベイ等した結果に基づいて、線量管理に責任を有する者が眼の水晶体の被ばくについて体幹部不均等被ばく状況であるかどうかを適切に判断すればよいと考えます。

なお、米国の規格である ANSI/HPS N13.41-2011, Criteria for Performing Multiple Dosimetry^{A1.3)}の「4.0 章 複数の個人線量計を使用するときの基準」には以下の記載があります。

複数の個人線量計は、その使用が適切と考えられる場合、特定の期間あるいは特定の活動中における放射線への起こりうる被ばくが、下記条件の両方を満たす各個人に対して使用される。

1. 任意の身体部位への個人線量当量が、基準線量計位置で予想される個人線量当量から 50% 変わる可能性がある場合、かつ
2. 外部線源からの実効線量の有意な割合が均一でない放射線場に起因するときで、個人線量当量が制限値⁴の 10% を超過する可能性がある場合

これによりますと、体幹部基本部位（胸部等）の線量と 50% 以上異なる部位があり（1.5 倍以上の違いがある）、かつ事前に定めた数値を超える被ばくを受ける場合、その部位に線量計を追加することになります。このような規格を参考に体幹部不均等被ばく状況であるかどうかを判断することも考えられます。

なお、中性子による被ばくの場合は、特殊な環境を除けば、通常は、均等被ばくとして取り扱うことができます。特殊な環境には、例えば、中性子がビーム状に照射されるような作業場や、コリメートされて特定の大きさの特定の方向からの中性子にしか被ばくしないような作業場などが想定されます。

⁴ 管理のための使用者が定義した線量値。ANSI/HPS N13.41 では、制限値を 13 mSv、すなわち 1.3 mSv を超える場合に線量計を追加する例が示されています。なお、この例での制限値は年 50 mSv の四半期相当分であると考えられます。

参考文献

- A1.1) International Commission on Radiological Protection (ICRP), General Principles for the Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27(1) (1997).
- A1.2) International Commission on Radiological Protection (ICRP), General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 35, Ann. ICRP 9 (4) (1982).
- A1.3) ANSI/HPS N13.41-2011, Criteria for Performing Multiple Dosimetry, Health Physics Society (2011).

【例題 2】

個人線量計で測定される線量の不確かさはどのように評価すればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (5) 節 3) 項]

【回答 2】

ICRP Publ.75^{A2.1)} (及び ICRP Publ.35^{A2.2)})、IAEA GSG-7^{A2.3)}において、線量の許容される不確かさの範囲が以下のように示されています。

a) ICRP Publ.75^{A2.1)}の (251) 項では、不確かさ (uncertainty) について、以下の記載があります。

作業場においては、放射線場のエネルギースペクトルと方向は一般によく分かっておらず、個人線量計で計られた測定値の不確かさは著しく大きいであろう。放射線場が均質でなく、方向がはっきりしないことによって、標準モデルの使用には誤差が生じる。関連する線量限度付近の実効線量を推定する際の 95%信頼度での不確かさは、光子についてはプラスマイナスどちらの方向についても係数 1.5 となり、・・・あらゆる線質に対して、低レベルの実効線量では、さらに大きな不確かさもまた免れない。

ここでは線量の不確かさの目安を示す指標として、線量限度付近では 1.5 という数値が示され、低レベルの線量では不確かさはより大きくなるとしています。なお、ICRP Publ.35^{A2.2)}の (109) 項では、「不確かさは 95%信頼度で係数 1.5 を超えるべきではない。線量当量が 10 mSv に達しない場合には、95%の信頼度で係数 2 の不確かさが容認できる。」との記載があります。

b) IAEA GSG-7^{A2.3)}では 7.45 項で、ICRP Publ.75^{A2.1)}の記載に基づき、以下の 2 つの線量の不確かさレベルを記載しています。

(a) 関連する線量限度に近い領域では、どちらの方向にも 1.5 倍の係数が許容できると考えられている。

(b) 記録レベルの領域では、±100%の許容できる不確かさが含まれている。

したがって、線量の不確かさが許容されるレベルは、記録レベルに近い低線量域では 2 ですが、線量限度に近くなるにつれて 1.5 となります。

IAEA GSG-7^{A2.3)}では、7.46 項において、この許容される不確かさを、線量に対する連続的な関数として表現できるように、許容される不確かさの上限値 R_{UL} と下限値 R_{LL} について、以下のような式 (A2.1) 及び (A2.2) で表されています。

$$R_{UL} = 1.5 \times \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_1} \right) \quad (\text{A2.1})$$

$$R_{LL} = \begin{cases} 0 & \text{for } H_1 \leq H_0 \\ \frac{1}{1.5} \times \left(1 - \frac{2H_0}{H_0 + H_1}\right) & \text{for } H_1 > H_0 \end{cases} \quad (\text{A2.2})$$

なお、 H_1 は真の線量値、 H_0 は測定する必要がある線量の下限值を示し、通常は記録レベルで、以下の式 (A2.3) で示される R が採用されています。

$$R = L \times \frac{\text{monitoring period(months)}}{12} \quad (\text{A2.3})$$

ここで、 L は1 mSv、又は、年等価線量限度の10%が通常用いられています。

例えば、実効線量又は眼の水晶体の等価線量について、測定期間を1ヶ月、 $L=1$ mSv又は2 mSv (5年平均での年等価線量限度20 mSvの10%)とした場合の、1 cm線量当量、70 μm 線量当量、及び3 mm線量当量の許容される不確かさは図A2.1に示すようになります(この曲線の形から、「トランペットカーブ」と呼ばれることがあります。)

個人線量計による線量測定に係る不確かさについては、ICRP Publ.35^{A2.2)} (109項)とICRP Publ.75^{A2.1)} (251項)とで説明が必ずしも同じではありませんが、両者の説明を組み合わせて、線量限度の近辺では、ファクター1.5(あるいは $\pm 50\%$)、記録レベルの近辺では、ファクター2(あるいは $\pm 100\%$)までを個人線量計が潜在的に持ちうる測定の不確かさと解釈することは妥当です。この不確かさの範囲を、連続的な線量の関数として表現したものは、俗にトランペットカーブ (IAEA GSG-7^{A2.3)}、p.149~152、Fig.4)と呼ばれ、個人線量計のブラインド試験等における性能の善し悪しの判定等に利用されています。

また、照射条件等が良好に整えられた実験室ではなく、実際の作業現場で得られた測定値の不確かさを評価することは容易ではありませんが、実験室で良好な性能を有していることが確かめられた個人線量計同士の相互比較は、実際の現場での測定の不確かさを推量する一つの方法と考えられます。

参考文献

- A2.1) International Commission on Radiological Protection (ICRP), General Principles for the Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27(1) (1997).
- A2.2) International Commission on Radiological Protection (ICRP), General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 35, Ann. ICRP 9 (4) (1982).
- A2.3) International Atomic Energy Agency (IAEA), Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, IAEA, Vienna (2018).

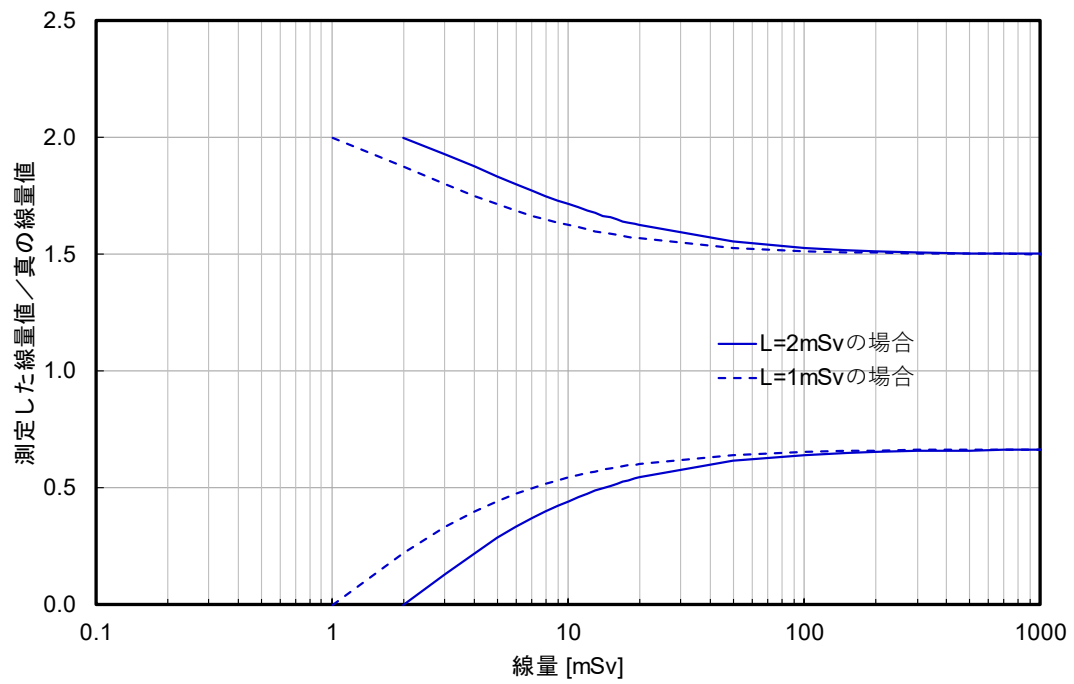


図 A2.1 測定期間を1ヶ月とした場合に個人線量計として許容される不確かさの範囲
 (L=1 mSv の場合は実効線量、L=2 mSv の場合は眼の水晶体の等価線量の算定において
 許容される不確かさの範囲を示す)

【例題 3】

眼の近傍で線量を測定することが必要となるかを判断する線量レベル（管理基準）は、事業所の線量管理に責任を有する者が作業環境に応じて設定するとありますが、どのような数値を採用すれば良いでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章（3）節]

【回答 3】

眼の近傍に個人線量計を装着することによる作業員への負担及び、放射線管理者の個人線量計管理の手間等を考慮の上、眼の近傍に個人線量計を装着するための通常の実施条件として、眼の水晶体の等価線量が 5 年間の年平均の等価線量限度 20 mSv を超える可能性がある場合が考えられます。

もちろん、本ガイドラインは線量管理に責任を持つ者の専門的な指導の下で、必要に応じて上記以外の値でも眼の水晶体の等価線量限度（5 年間で 100 mSv（5 年間の年平均 20 mSv））かついずれの 1 年においても 50 mSv を超えないこと）を遵守できれば、事業者が個々の事業所の状況を考慮して自主的な判断で管理基準を採用して眼の近傍への個人線量計を装着させることを妨げるものではありません。例えば、個人線量計の不確かさ 1.5 を考慮して、使用している個人線量計が年間 13 mSv（ $=20/1.5$ ）を超える可能性がある場合、眼の近傍に水晶体専用の個人線量計を装着するという考え方もあります。また、それぞれの事業所において使用している個人モニタリングの不確かさの実態が把握できているようでしたら、それに合わせて弾力的に決めてよい数値であると考えます。例えば、個人モニタリングの不確かさが 1.2 と評価できるような場合は、管理基準を年 17 mSv（ $\approx 20 \text{ mSv}/1.2$ ）とするような考えもできます。しかし一方で、作業の種類と必要性によっては防護の最適化を図ってもやむを得ず年間 20 mSv を超える作業員がいる場合、その時点で、眼の水晶体の等価線量の 5 年間管理の対象者として、水晶体の専用の個人線量計を装着するという方法も考えられます。

参考として、眼の近傍で直接測定を実施することが望ましい管理基準として、ISO 15382:2015^{A3.1)}、IRPA ガイドライン^{A3.2)}では 6 mSv（ただし、1 年だけの被ばくの場合、ISO 15382:2015^{A3.1)}は年間 15 mSv）、IAEA TECDOC No.1731^{A3.3)}では年間 5 mSv が、EU 指令（Council Directive 2013/59/EURATOM）^{A3.4)}では年間 15 mSv が提案されており、オランダ^{A3.5)}、カナダ^{A3.6)}のガイドラインでは年間 15 mSv が採用されています。また、放射線安全規制研究戦略的推進事業成果報告書（平成 29、30 年度）^{A3.7),A3.8)}では、10～15 mSv/年の範囲で適切な値を事業者が選択することを提案しています。これらの数値を表 A3.1 にまとめて示します。

ICRP は ICRP Publ.9^{A3.9)}において、放射線作業員について、線量限度の 10 分の 3 を超える作業員（カテゴリー A）と超えない作業員（カテゴリー B）に分類して、カテゴリー A の作業員のみ個人モニタリングを必要とするという考え方を示しています。眼の水晶体の等価線量限度である 5 年間の年平均で 20 mSv の 10 分の 3 は年間 6 mSv であり、ま

た、いずれの1年においても超えてはいけない線量である年間50 mSvの10分の3は年間15 mSvです。ISO 15382:2015^{A3.1)}、IRPA ガイドライン A3.2)、及びEU 指令^{A3.4)}では線量限度の10分の3という値を参考にして眼の近傍への個人線量計の装着を提案していると考えられます。

なお、フランス放射線防護学会^{A3.10)}では直接測定が必要となる判断基準として眼の水晶体の等価線量限度を年間最大50 mSvで管理する場合は、眼の近傍での3 mm 個人線量当量が年間20 mSvを超えるケースもあり得ることが示されています。

表 A3.1 眼の近傍で直接測定を実施することが望ましいと考えられる管理基準

提言文書	眼の水晶体の等価線量の管理基準
IAEA TECDOC No.1731 ^{A3.3)}	5 mSv/年
EU 指令 (Council Directive 2013/59/EURATOM) ^{A3.4)}	15 mSv/年
ISO 15382:2015 ^{A3.1)}	6 mSv/年 (被ばくが連続する複数年の場合) 15 mSv/年 (被ばくが単年の場合)
IRPA guideline protocol ^{A3.2)} (注)	1~6 mSv/年(0.2~0.5 mSv/月) : 推奨勧告 > 6 mSv/年(> 0.5 mSv/月) : 必要
放射線安全規制研究戦略的推進事業成果報告書 ^{A3.7, A3.8)}	10~15 mSv/年

(注) IRPA guideline protocol では、最も精度の良い眼の水晶体の等価線量のモニタリングは実際に眼の近傍に装着した個人線量計で個人線量当量 Hp(3)を測定することであると記載しているが、襟部又は頭部でも十分な測定値を得ることができると考えられるとも記載している。

参考文献

- A3.1) International Organization for Standardization (ISO), ISO 15382:2015, Radiological protection – Procedures for monitoring the dose to the lens of the eye, the skin and the extremities (2015).
- A3.2) International Radiation Protection Association (IRPA), IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers (2017).
- A3.3) International Atomic Energy Agency (IAEA), Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, IAEA-TECDOC-1731, IAEA, Vienna (2013).
- A3.4) Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom, Official Journal of the European Union, L 13, 1–73 (2014).

- A3.5) Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS), Guidelines for Radiation Protection and Dosimetry of the Eye Lens, Report 31 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (2018).
- A3.6) Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), Dosimetry: Ascertaining Occupational Dose, REGDOC-2.7.2, Volume I (2019).
- A3.7) 平成 29 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業）原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告, (2018).
- A3.8) 平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業）原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告, (2019).
- A3.9) International Commission on Radiological Protection (ICRP), Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Adopted September 17, 1965), ICRP Publication 9 (1966).
- A3.10) French Radiological Protection Society (SFRP), Technical Information Sheets: Eye lens: Regulatory limits, measurements, dosimetry and medical surveillance (2016).

【例題 4】

全面マスクを装着した場合、全面マスクの外側に個人線量計を装着して全面マスクでの減衰計算等から眼の水晶体の等価線量を算定することはできますか？

[関連箇所：解説第 5 章 (5) 節 2)、4) 項、添付資料 2 並びに【例題 16】]

【回答 4】

個人用防護具である全面マスクを装着する場合、眼の水晶体の等価線量を正確に算定するため、全面マスクの内側に放射線測定器（この場合は個人線量計）を装着して測定することが適当であると厚生労働省の「眼の水晶体の被ばく限度見直し等に関する検討会報告書」^{A4.1)}に記載されています。電離放射線障害防止規則の第 8 条の第 3 項には、「・・・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、計算によってこれを求めることができる。」と記載されています。「著しく困難な場合」として、厚生労働省の通達^{A4.2)}によれば、第 8 条関係の (7) として「第 3 項ただし書きの「これを測定することが著しく困難な場合」又は「これが著しく困難な場合」とは、その放射線に対する放射線測定器がまだ開発されていない場合等をいうこと」となっております。従いまして、全面マスク外側に装着した個人線量計の値を全面マスクでの減衰効果で補正して眼の水晶体の等価線量を算定することは法令上、適切ではありません。

作業計画の立案時等に、全面マスクの遮蔽効果を考慮して計算により線量を評価することは可能ですが、「正確に等価線量を算定する」ことを考えますと、直接測定することが適当であると考えられます。

なお、ガンマ線放出核種のみでの作業環境においては、全面マスクに被ばく低減効果はなく、眼の近傍であれば、全面マスクの内側でも外側でも同様に評価が可能です。また、主に β 線による被ばくのみを考えればよい作業環境においては、 β 線を十分に遮蔽できる全面マスク内で眼の水晶体の等価線量が記録レベル以下であることを実測等で確認した上で、全面マスク内に個人線量計を装着しないという考え方もあり得ます。

参考文献

A4.1) 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 報告書，令和元年 9 月，

https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_06824.html（最終アクセス：2019 年 12 月 20 日）

A4.2) 厚生労働省労働基準局長，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，（平成 13 年 3 月 30 日）

【例題 5】

眼の水晶体の被ばくに対する防護の最適化において、線量モニタリング結果はどのように使えばよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 1 章]

【回答 5】

眼の水晶体の等価線量については、白内障発症のしきい線量が 0.5 Gy であることから、線量限度を遵守するだけでなく、防護の最適化を考慮することが必要となります。防護の最適化を実施するには、事業者がリーダーシップを発揮し、放射線防護の専門家（放射線取扱主任者等）の指導のもとに、防護の最適化を目指す作業環境を整備するとともに、作業者が作業手順等を確立して、それらの継続的な改善を図る必要があります。そのためには、労働安全衛生マネジメントシステムの考え方を応用することが有効です^{A5.1)}。

ICRP Publ.75^{A5.2)}によれば、防護の最適化は、防護手段に係る時間、金銭、諸機材等で表したコストを考慮に入れながら、防護手段によって達成される被ばく線量の低減対策を必要に応じて実施していくこととなります。

被ばく低減の手段として、以下の内容について段階的に考慮することとなります。最初の段階で工学的管理を行い、次の段階で、管理的対策を行い、これらの手段では合理的な被ばく低減が十分でないときは、個人用防護具の使用が行われます。

線量モニタリング結果は、防護の最適化のための施策の妥当性の確認に用います。例えば、モニタリング結果が想定と異なった場合等には、その原因を分析し、十分でなかった施策を抽出し、それに対する改善を行うことが必要です。有効な施策があった場合等には、それを良好事例として取りまとめ、同様の作業環境下での作業を計画する際に参考できるようにすることが大切です。ちなみに防護の最適化とは以下のステップで実施されます。

(1) 工学的管理

線量管理に責任を有する者（事業者、放射線取扱主任者等）は放射線業務従事者の水晶体防護の最適化のため、第一に工学的管理を実施する必要があります。工学的管理の目的は、作業員から線源を物理的に隔離し、外部被ばく等をなくすか低減することです。工学的管理は通常、危険性及び有害性の除去を前提として、例えば被ばく線量の低い機器の使用など作業場の機器・設備の設計段階で導入されますが、防護の最適化に適切であることが認識されたと、稼働中の施設においても導入することができます。例えば遮蔽板等の遮蔽材を線源又は散乱体と従事者の間に設置するなど様々な追加や変更が必要になることがあります。工学的管理は他の防護措置に先立って考慮されるべきです。

工学的管理が被ばく低減に対して想定どおりに役に立っていることを定期的に確認することが必要です。とくに設備の保守や変更があった場合は、その時点で確認を行うことが必要であり、確認の記録は保管しておくことが大切です。

(2) 管理的対策

管理的対策では実施する作業計画に基づき、環境測定やシミュレーション計算等による場の線量率と推定される作業時間から眼の水晶体が受ける被ばくの計画線量を事前に把握して、作業手順、手法の改良や、場合によっては工学的管理である遮蔽の追加によって線量低減の可能性を検討します。ただし、作業者は、自分の作業を適切に行うための技術を持ち、必要な知識を持つとともに、十分な訓練を受けることが必要です。そのためには、被ばく低減の啓発普及とともに、放射線場での作業をする前に、被ばくを伴わない環境での模擬作業(コールドラン又はモックアップを使用した訓練)などによる具体的な作業手順の確認と課題検討が有効です。これらを実施することは、被ばくを伴う作業場で、可能な限り円滑に作業を遂行することで作業時間を短縮でき、不必要な危険が回避され、被ばくを最小化することに役立ちます。

(3) 個人用防護具の使用

上記の工学的管理と管理的対策を用いても眼の水晶体の防護が十分でない場合、個人用防護具の使用が必要となります。

個人用防護具を用いる場合、作業効率を低下させ、その結果として作業時間が長くなる可能性や一般的な安全性に関するリスク増加も考えられるため、適切な防護具を選ぶことが重要です。眼の水晶体の個人用防護具としては必要に応じて防護眼鏡、防護マスク(全面マスク)⁵を装着することにより、電子線(β線等)及び低エネルギー光子に対しては、遮蔽効果により被ばく線量の低減が期待できますが、中性子に対しては期待できません。鉛入りガラスやアクリル等を用いていない防護眼鏡等では低エネルギーでない光子に対する遮蔽効果は期待できません。鉛入りの遮蔽材を用いている防護眼鏡等はエネルギーの高い電子線に対しては、防護具中で発生する制動X線を考慮することが必要となる場合があります。

参考文献

- A5.1) 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 報告書, 令和元年9月, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_06824.html (最終アクセス: 2019年12月20日)
- A5.2) International Commission on Radiological Protection (ICRP), General Principles for the Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27(1) (1997).

⁵ 防護マスクは呼吸器系の防護具ですが、電子線や低エネルギー光子に対しては遮蔽効果があると考えられる場合が多いです。

【例題 6】

眼の水晶体の専用の個人線量計とは何か、どのようなものがありますか？

[関連箇所：解説第 5 章]

【回答 6】

防護メガネ内側の 3 mm 線量当量を測定するための水晶体専用の受動形個人線量計があります。写真の線量計は、いずれも熱ルミネセンス線量計で 0.1 mSv オーダーから 1 Sv オーダーまでの X・γ 線及び β 線の 3 mm 線量当量を測定することが出来ます。これらの個人線量計の測定値には、バックグラウンドからの線量が含まれています。バックグラウンドの差し引きにつきましては、IAEA GSG-7^{A6.1)}の 7.128 項から 7.131 項に記載があります。国内の線量測定サービス機関等においては、これと同様な考え方に従いバックグラウンドを差し引いて線量を算定しています。なお、事業場の線量管理に責任を有する者は、バックグラウンドを差し引くためにコントロール線量計を利用する場合、線量測定サービス機関等からの取り扱い上の注意事項に従い、適切にコントロール線量計を管理する必要があります。詳しくは体幹部用のバッジサービスを受けている線量測定サービス機関等へお問い合わせ下さい。

写真 6.1 眼の水晶体専用の受動形個人線量計の例
熱ルミネセンス線量計 A 熱ルミネセンス線量計 B



写真は執筆当時のものです。

参考文献

A6.1) International Atomic Energy Agency (IAEA), Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, IAEA, Vienna (2018).

【例題 7】

3 mm 線量当量による測定に関する国際規格の検討状況はどのようになっていますか？

[関連箇所：解説第 3 章 (2) 節]

【回答 7】

光子による照射の場合の校正方法の規格である ISO 4037-3:2019^{A7.1)}には光子の空気カーマから $H'(3)$ 、 $H_p(3)$ への換算係数が示されています。 $H_p(3)$ については、頭部を模擬した円柱の ICRU ファントムの深さ 3 mm で定義されています。

β 線については、ISO 6980 シリーズ^{A7.2)}がありますが、現行のものには $H_p(3)$ は含まれていません。ただし、2019 年から見直しの検討が開始されており、今後 2、3 年中には改定されると予想されます。

また、受動形線量計の規格である IEC 62387:2012A7.3)は 2020 年 1 月 31 日に IEC 62387:2020^{A7.4)}に改定されました。 $H_p(3)$ の校正について当該規格の 2012 年版^{A7.3)}ではスラブファントムが規定されていましたが、2020 年版^{A7.4)}では円柱ファントムが規定されています。IEC 62387:2020^{A7.4)}には、光子及び β 線の $H'(3)$ 、 $H_p(3)$ への換算係数が示されています。また、当該規格には 70 μm 深さでの個人吸収線量 $D_p(0.07)$ から $H'(3)$ 並びに円柱ファントムに対する $H_p(3)$ への換算係数も示されています。

参考文献

- A7.1) ISO 4037-3:2019, Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy —Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence.
- A7.2) ISO 6980-3:2006(R2015), Nuclear energy - reference beta-particle radiation - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the determination of their response as a function of beta radiation energy and angle incidence.
- A7.3) IEC 62387:2012, Radiation protection instrumentation - Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation.
- A7.4) IEC 62387:2020, Radiation protection instrumentation - Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation.

【例題 8】

眼の水晶体の専用の個人線量計の校正はどのように実施されるのですか？

[関連箇所：解説第 3 章 (2) 節並びに【例題 26】]

【回答 8】

X・ γ 線については、光子による照射の場合の校正方法の規格である ISO 4037-3:2019^{A8.1)}に規定された空気カーマから $H'(3)$ 、 $H_p(3)$ の換算係数を用いて線量当量を求めることとなります。 $H_p(3)$ の個人線量計については、装着部位である頭部を模擬した円柱 (20 cm 直径、20 cm 長) の水ファントムに取り付けて校正することとなります。

β 線の $H'(3)$ 及び $H_p(3)$ については、校正方法の規格である ISO 6980 シリーズ^{A8.2)} の改定作業が終わり次第、この規格に従った方法で実施されます。当面は IEC 62387:2020^{A8.3)} に 70 μm 深さでの個人吸収線量 $D_p(0.07)$ から $H'(3)$ 並びに円柱ファントムに対する $H_p(3)$ への換算係数が示されていますので、この換算係数を適用することができると考えられます。 $H_p(3)$ の個人線量計の校正を行う場合には、光子と同様に円柱ファントムを用いることとなります。

参考文献

- A8.1) ISO 4037-3:2019, Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy –Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence.
- A8.2) ISO 6980-3:2006(R2015), Nuclear energy - reference beta-particle radiation - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the determination of their response as a function of beta radiation energy and angle incidence.
- A8.3) IEC 62387:2020, Radiation protection instrumentation - Dosimetry systems with integrating passive detectors for individual, workplace and environmental monitoring of photon and beta radiation.

【例題 9】

原子力施設での眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章]

【回答 9】

平成 29 年度及び 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業において、稼働している商業用の原子力発電所（加圧水型軽水炉）、原子力研究施設（再処理、MOX 燃料施設、ホットセル）、廃止措置作業を行っている原子力発電所（沸騰水型軽水炉）、廃炉作業中の東京電力福島第一原子力発電所において、放射線業務従事者の眼の水晶体における被ばくの実態調査を行っています^{A9.1, A9.2}。

原子力発電所（加圧水型軽水炉）の定期検査中の作業については、⁵⁸Co 及び ⁶⁰Co が主な線源となること、低エネルギーの散乱線成分はほとんど存在しないことを確認しました。また、作業場の線源近傍では 70 μm 線量当量と 1 cm 線量当量に差がある場合でも、作業する放射線業務従事者は線源から少し離れているため、β 線の寄与はほとんどなく、装着した個人線量計の 70 μm 線量当量、3 mm 線量当量、1 cm 線量当量の読み値には有意な差はみられませんでした。

胸部に装着した個人線量計で測定し、算定した実効線量と眼の近傍に装着した個人線量計で測定し、算定した眼の水晶体の等価線量を比較したところ、原子炉容器開放・復旧作業、一次冷却材ポンプインターナル分解点検及び放射線測定を実施した従事者や廃止措置の従事者の中には、眼の水晶体の等価線量（眼の近傍に装着した個人線量計の 3 mm 線量当量）が胸部で実効線量の 1.5 倍を超える場合がありますが、2 倍を超えることはありませんでした。そして、場の線量率としては、胸部と眼の水晶体の位置で 5 倍も異なる場合がありますが、作業者の姿勢は常に変化することから、このような場で作業をした作業者においても、胸部での実効線量と眼の水晶体の等価線量の値はほぼ等しい値でした。

再処理施設においては線源となる主な核種は、使用済み燃料貯蔵プールでは ⁶⁰Co、それ以降の工程では ¹³⁷Cs 等の核分裂生成物です。これらの工程機器の多くは、遠隔操作となります。放射線業務従事者の外部被ばくのほとんどは、定期点検等でセル内の工程機器の保守作業を行う際、特に補修・改修等の大型工事の際に生じます。このようなセル内作業時の調査では、ほぼ体幹部均等被ばくであることがわかっています。このため、眼の近傍での測定は管理基準を超える可能性のある人のみ実施すればよいことになります。ただし、上半身だけセル内に入るような作業では、胸部と頭部の比が約 2 となる場合があります。眼の近傍での線量測定の必要性の有無に判断については、作業効率や線量に応じて慎重に行う必要があります。

東京電力福島第一原子力発電所では、汚染水タンクの解体作業（β 線被ばくが優位な場）において、全面マスク内で測定した 70 μm 線量当量は、胸部で測定した 70 μm 線量当量の 20% となっており、また、線量限度を十分に下回る結果となることがわかりまし

た。このようなβ線被ばくが優位な場では、胸部で測定した70μm線量当量を眼の水晶体の等価線量として算定すると、事業所で設定した管理基準を超える可能性が高くなるため、眼の水晶体の等価線量をより正確に算定するためにマスク内に眼の専用の個人線量計を装着し、測定することが望ましいと考えられます。

原子炉建屋周辺では、¹³⁴Cs及び¹³⁷Csのγ線（直接線）だけでなく、散乱線の寄与も高くなりますが、胸部と眼の水晶体位置の線量が2倍を上回ることはなく、遮蔽ベスト外側の上腕部での線量の1.5倍を上回ることはありませんでした。

以上の結果を整理しますと、原子力施設（廃止措置段階の施設を含む）、再処理施設及び東京電力福島第一原子力発電所で通常行われている作業では、（1）作業者は常に姿勢が変化することから、場の線量率の差異ほど作業者の部位での線量率の差異は見られない、（2）最大でも2倍を上回ることがなく、（3）作業者によっては、胸部と水晶体位置の線量に差がないことから、計画段階で2倍の差を判断することは極めて困難であると考えられます。また、眼の近傍に個人線量計を装着することで視野が狭まり可動域が制限されることにより、作業に負荷がかかることや線量計が脱落することによる施設機器内部への異物混入の危険性が高まる等からも、β線被ばくが優位な場を除けば、合理的に考えて、体幹部均等被ばく管理（胸部又は腹部に個人線量計を1つ装着）が適切であり、併せて適切な管理基準を設けることで線量限度を遵守することが可能であると考えられます。

ただし、事業者は、これまでに実施していない新たな作業を開始する場合等においては、様々な要因を考慮し、作業者の眼の水晶体の等価線量が著しく体幹部基本部位での線量と異なることがないかどうか慎重に判断することが必要です。

原子力研究施設（セル内作業やグローブボックス作業）についても同じく、上記事業において、過去の放射線量記録等をもとに不均等被ばくを受ける作業を調査しています。この結果、眼の水晶体に高線量の被ばく又は不均等な被ばくを受ける作業は、高線量率下でのセル内作業と遮蔽ベストを着用する作業に限られます。このうち、高線量率下でのセル内作業については、ほとんどの場合はγ線による体幹部均等被ばくです。β線が混在する場では内部被ばくに対する防護のために全面マスク等が用いられます。アイピースの遮蔽効果を考慮すればβ線の寄与は十分に小さいものと考えられます。また、防護衣を着用する作業は20mSvを超える事例は極めて少数であり、適切な管理基準を設けることによって線量限度を遵守することが可能であると考えられます。

参考文献

- A9.1) 平成29年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業） 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告書（2018）.

A9.2) 平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業） 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告書 (2019).

【例題 10】

医療施設での眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章]

【回答 10】

医療施設での基本的な眼の水晶体の等価線量モニタリングの考え方は、他の全ての施設と同様に、本ガイドラインのフロー図を参考に眼の水晶体の等価線量を算定していただければよいものと考えます。

放射線管理区域に入室する放射線診療従事者の多くは、防護衣を着用しているので体幹部不均等被ばく管理を実施していると考えられます。この場合、防護衣の内側の胸部に個人線量計を 1 つ装着し、実効線量及び眼の水晶体の等価線量算定のために防護衣の外側（頸部）にもう一つ個人線量計を装着することとなります。防護衣の外側（頸部）で測定し、算定した眼の水晶体の等価線量と実際の眼の水晶体の等価線量が、防護眼鏡等を装着することで著しく異なる場合は、眼のできるだけ近くで眼の水晶体の等価線量に使用する実用量を測定のための専用の個人線量計を用いて、眼の水晶体の等価線量を算定することが望ましいと考えます。

眼の近傍での眼の水晶体の等価線量に使用する実用量を測定する時の注意点としては、線源に近い方の眼の近傍で測定することです。特に、防護眼鏡内で眼の水晶体の等価線量を算定する際には個人線量計の装着位置等に注意してください。防護眼鏡の内側に個人線量計が装着されていないと実際よりも著しく高く等価線量を算定することになります。また、防護眼鏡の下から散乱線が入射してきますので、より被ばく低減が必要な場合においては、防護眼鏡下部にも放射線を遮蔽できる遮蔽体があるものを使用すると効果的です。透視検査中に室内を動き回るような場合には、個人線量計をどちらに装着してもよいと考えます。放射線管理者は、治療・診断の状況に応じて、個人線量計の装着位置を総合的に判断してください。

なお、医療分野では、他の従事者に比べて線量が高い人の割合が高いです。このため、眼の水晶体の等価線量限度に関する法令を遵守するためには、適切な位置に線量計を装着することや被ばく低減を行うことも重要となります。

平成 29 年度及び 30 年度の安全規制研究戦略的推進事業の報告書では、IVR や透視を行う放射線診療従事者のほか、CT や一般撮影時に介助を行う放射線診療従事者の眼の水晶体の等価線量が高くなるおそれがあることが報告されています^{A10.1,A10.2}。一方、核医学検査による放射線診療従事者の線量はそれほど高くありませんでした。しかしながら SPECT-CT では、CT を使用します。その場合、介助件数が多くなると線量が高くなる可能性があります。

一般撮影（救急撮影、病室撮影を含む）や CT の介助者の被ばくについては、介助件数が多い場合には、眼の水晶体の等価線量限度を超えるおそれがあるため、注意が必要

です。介助者の被ばく低減には、防護具を使用する前に、撮影時の介助回数を減らす等（患者さんのご家族に介助を依頼する^(注)、一人のスタッフに業務が偏らないようにする等）を行うことが望ましいと考えられます。

防護具（防護眼鏡を装着する等）の使用も被ばく低減に有効です。一般撮影は、IVR や透視検査などを行う場合とは、線源の位置や散乱線の入射方向等が異なりますので、介助者の被ばく線量や作業性を考慮して、各施設の一般撮影の介助に適した方法で被ばく低減に努めてください。

マンモグラフィーでは管電圧 25 kV～35 kV 程度の X 線を利用します。20 keV 以下の X 線では、1 cm 線量当量、3 mm 線量当量そして 70 μm 線量当量の値が異なります。眼の水晶体の等価線量が管理基準に近いが、超えるおそれのある場合には、正確に眼の水晶体の等価線量を算定する必要があり、3 mm 線量当量を測定する必要があります。

医療分野における被ばく線量測定、評価、防護策に関する多くの論文が報告されています^{A10.3, A10.4}。これらも参考にしてください。

また、医療分野においては、手技によって、線源、被ばく形態や防護方法が異なります。『医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン—水晶体の被ばく管理を中心に—』^{A10.5}では、通常、眼の水晶体の等価線量が高くなる X 線を取り扱う医療スタッフについては防護衣を着用しており、体幹部不均等被ばく管理（胸部又は腹部及び頭・頸部に個人線量計を着用装着）をしていることから、眼の近傍に個人線量計を装着する管理基準として年間 20 mSv を推奨しています。詳細につきましては、当該ガイドラインを参考にしてください。

(注) 介助により患者の家族が受ける被ばくは医療被ばくになります。1 回あたりの被ばく線量は低く、一方、一般撮影や CT により患者に対する医療上の有益な情報が得られることから、このような被ばくは正当化されていると考えられます。

参考文献

- A10.1) 平成 29 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業） 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告書 (2018).
- A10.2) 平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業） 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告書 (2019).
- A10.3) 赤羽恵一他，水晶体の放射線防護に関する専門研究会中間報告書（Ⅲ）－海外における放射線業務従事者の水晶体被ばくレベルと防護に関する研究－，保健物理，49(4)，171-179 (2014).
- A10.4) 赤羽恵一他，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－，保健物理，50(1)，76-89 (2015).

A10.5) 医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン—水晶体の被ばく管理を中心に—，
令和元年度放射線対策委託費（原子力安全規制研究戦略的推進事業），(2020).

【例題 11】

獣医療従事者の眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章]

【回答 11】

獣医療従事者の放射線防護及び眼の水晶体の等価線量の算定については、人医療の方法が参考になると考えられます。防護エプロンを着用する際には、防護エプロンの外側の頭頸部へ個人線量計を追加し、その線量計が示す値が管理基準に近づくか、超えるおそれがないならば、その値を眼の水晶体の等価線量としてください（本ガイドラインの 4 ページにあるフロー図参考）。また、防護エプロンの着用の有無にかかわらず、防護眼鏡を装着する場合や眼の水晶体の等価線量が線量管理基準に近いか、又は、超えるおそれがある場合には、正確に眼の水晶体の等価線量を測定するため、頭頸部に装着した線量計以外に、眼の近傍に $H_p(3)$ を測定できる線量計を装着させてください。

伴侶動物に対する高度獣医療の需要の高まりとともに、小動物臨床では X 線による診断が必要不可欠となっています。

近年、わが国の線量測定サービス機関等から報告されている職業別の実効線量及び眼の水晶体の等価線量の算定結果をみると、獣医療従事者は、いずれも年間 1 mSv 未満の従事者が 99% を占めています^{A11.1)}。しかし、中には眼の水晶体の等価線量が年間 84.1 mSv、実効線量が年間 65.2 mSv になる獣医療従事者もいます。このように実効線量や眼の水晶体の等価線量が高くなる獣医療従事者は特に注意が必要です。

Hupe ら^{A11.2)}によると、一般的な X 線の撮影時の保定するスタッフの実効線量は 1 検査あたり小型動物の場合で 2 μ Sv、犬の腹部等の場合で 30 μ Sv 程度と報告されています。このような場合、検査数を 6000 件（30 頭/日×200 日）とすると、眼の水晶体の等価線量は、小型動物の場合で年間 12 mSv、犬の腹部等の場合で 180 mSv となります。

また、横山ら^{A11.3)}の実験では、30 cm（縦）×30 cm（横）×15 cm（厚）の人体等価ファントムを用いて、大型動物保定時を模擬し、動物病院の検査条件でスタッフの立ち位置で線量を推定したところ、従事者の眼の水晶体の等価線量は 1 回の撮影で 1.3 μ Sv と推定されました。30 頭/日×3 回撮影/検査×200 日とした場合、年間約 23 mSv となります。

産業動物診療では、あまり X 線撮影は行われませんが、今後、機会が増える可能性があります。大型の動物の診療では、ポータブルの装置を使用して撮影する場合があります。このような場合は照射野も広く、線量も高くなる可能性がありますので、診療時には、撮影部位と十分に距離を取るなどの工夫をしてください。

獣医療における放射線防護の一般的な方法については、日本獣医師会が放射線診療技術支援の e-learning system^{A11.4)}において紹介しています。

眼の水晶体の等価線量のモニタリングを含む線量測定に関しては、本ガイドラインのフロー図を参考に、適切な線量測定と被ばく低減に努めてください。

参考文献：

A11.1) 株式会社千代田テクノル, 平成 30 年度個人線量の実態, FBNews, 513, 6-14 (2019).

A11.2) Hupe, O., Ankerhold, U., Determination of the dose to persons assisting when X-radiation is used in medicine, dentistry and veterinary medicine, Radiation Protection Dosimetry, 144(1-4), 478-481 (2011).

A11.3) 横山須美ら, 私信 (2019).

A11.4) 日本獣医師会, 放射線診療技術支援 e-learning system,
<http://www.020329.com/x-ray/> (最終アクセス：2019 年 12 月 20 日)

【例題 12】

クルックス管からの X 線に対して眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章]

【回答 12】

クルックス管は 1895 年にレントゲンが X 線を発見した際に用いられた、放射線研究の歴史上極めて重要な装置です。現行の中学理科の学習指導要領解説^{A12.1)}において、電子・電流に関する単元においてクルックス管による電子線の観察をすることが記載されています。また、平成 29 年に公示された新学習指導要領^{A12.2)}では、真空放電と関連づけながら放射線の性質と利用にも触れることが新たに追加されています。このためクルックス管は学校教育での利用が主となります。教育現場では、クルックス管と同様な装置として X 線を発生するクロス真空計と呼ばれている装置やガイスラー管などが存在します。

クルックス管からの漏洩 X 線により、15 cm の距離で皮膚表面における線量が 5 分で 15 mSv を超える場合があります^{A12.3)}。X 線のエネルギーは 15 keV～20 keV 程度と極めて低いため、全身への実効線量はその 10 分の 1 程度ですが、眼の水晶体に対しては注意を要します。さらに、電子線を観察するための装置であるため、線源を見つめる必要があります。

しかし、運用方法によって大幅に線量を低減することが可能であることが確かめられています。電源装置の空中放電極の距離を 20 mm 以下にし、必要以上に高い電圧が印加されないようにすることで、X 線の透過率は大幅に低下します。発生源の制御に加えて、放射線防護三原則に従い、距離、時間及び遮蔽を適切に設定することも重要です。距離は 1 m 以上、時間は 10 分というのを目安としています。簡易なガラスの水槽を用いた遮蔽等も被ばく低減に有効な手段です。

このような運用指針を遵守することにより、生徒が観察する距離と時間では、国際原子力機関の国際基本安全基準 (IAEA BSS^{A12.3)}) に示された免除レベル (実効線量で年間 10 μ Sv のオーダー) を下回ることを現在実証中です^{A12.4)}。2019 年度に実施した、上記の運用指針を遵守し、遮蔽は行わない条件での全国調査において、191 本の装置のうち、187 本の装置については 1 m 距離、10 分間の 70 μ m 線量当量が、100 μ Sv 以下に抑制されていることが確認されました^{A12.5)}。最も線量の高い装置では 400 μ Sv 程度と評価されていますが、ガラスの水槽などを用いて遮蔽を行えば、さらに 20 分の 1 以下に線量を下げることが出来ます。

教員は授業で複数回クルックス管を利用する可能性がありますが、電子線発生中は生徒が観察を行う距離 1 m よりも遠くにいることとなります。このため、教員及び生徒の

眼の水晶体の等価線量については、十分に低いものと考えられ、眼の水晶体の線量モニタリングの必要はないと考えられます。

クルックス管による被ばくやその低減策については、2019年4月から2021年3月まで設置されている、日本保健物理学会の「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」^{A12.6)}でも議論を行っています。詳細につきましては、当該ホームページ等を参考にしてください。

参考文献

- A12.1) 中学校学習指導要領解説理科編，平成20年7月，文部科学省
- A12.2) 中学校学習指導要領，平成29年3月，文部科学省
- A12.3) European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan-American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014)
- A12.4) 秋吉優史，クルックス管安全取扱のガイドライン（暫定），研究教育紹介ホームページ，
<http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/index.htm#CPro>（最終アクセス：2019年12月20日）
- A12.5) 秋吉優史、学校教育現場におけるクルックス管の安全管理とその活用、放射線教育誌、24(2020)（印刷中）
- A12.6) 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、日本保健物理学会ホームページ，
<http://www.jhps.or.jp/cgi-bin/info/page.cgi?id=61>（最終アクセス：2019年12月20日）

【例題 13】

非破壊検査の場合の眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章]

【回答 13】

非破壊検査では、 ^{169}Yb 、 ^{192}Ir 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 等の γ 線源を用いて配管の放射線透過試験や、管電圧が 90 kV から 600 kV の X 線発生装置を用いて透過試験を行います。通常、これらの線源や装置はコンクリート製の遮蔽壁内か、遮蔽された照射室内で使用します。野外で使用する場合には、コリメータ等を用いて点線源状にして線源から 5 m 以上離れるのが一般的です。

医療を除く産業分野では、非破壊検査の作業者が、比較的線量の高い傾向を示しますが、年間の実効線量の評価結果は、80%以上の作業者において 1 mSv 以下です。中には 10 mSv を超える作業者もいますが、その人数は年間数名程度です。

平成 29 年度及び平成 30 年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業^{A13.1), A13.2)}では、 γ 線源及び X 線発生装置を使用する非破壊検査に従事する作業者 23 名に対して、眼の水晶体の被ばくの実態調査を行いました。頭部で測定した線量の、胸部で測定した線量との比は平均で 1.1 倍であり、0.77 から 2.1 倍の間で変動しました。特殊な作業は実施していないこと等から、この結果はほぼ不確かさの範囲内にあると考えられます。したがって体幹部均等被ばくとして管理することが適切かつ合理的であると考えます。

参考文献

- A13.1) 平成 29 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業） 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告書 (2018).
- A13.2) 平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業） 原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか？～水晶体被ばくの実態から探る～成果報告書 (2019).

【例題 14】

核燃料施設での眼の水晶体の線量モニタリングはどうすればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章]

【回答 14】

光子及び電子による被ばくについては、医療系従事者や一般的な原子力施設の放射線業務従事者と同様に、体幹部不均等被ばくを受ける場合は、必要に応じて複数の個人線量計を装着し、眼の水晶体の等価線量は、それら個人線量計のうち最も適切な位置に着けた個人線量計による測定に基づきます。

中性子については、前掛け式防護エプロン等の使用による遮蔽効果は小さいため線量率はほとんど変化せず、また、グローブボックス近傍では位置による線量（率）勾配も小さいので、防護エプロンの内側胸部に装着した個人線量計から測定した実用量から眼の水晶体の等価線量を算定することが適切であると考えられます。

【例題 15】

防護眼鏡、防護マスク等の個人用防護具に電子線（ β 線）が入射したときに発生する制動 X 線を含めた眼の水晶体の等価線量はどのように算定するのでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章（6）節 1）、2）項、【例題 4】及び【例題 16】]

【回答 15】

眼の水晶体の等価線量を正確に算定するためには、防護眼鏡、防護マスク等の個人用防護具の内側に個人線量計を装着して実用量を測定してください。そのようにすれば、個人線量計の測定値には制動 X 線による線量も含まれることになります。

しかし、ゴーグル型の防護眼鏡等を使用する場合、防護眼鏡の内側に個人線量計を装着することが、防護眼鏡の顔面を覆う面積が非常に狭い範囲に限られている等の理由で事実上不可能な場合、防護眼鏡の外部又はその近傍に装着しなければならない場合があります。このような場合、防護具による電子線（ β 線）の減弱効果（【例題 4】参照）を評価するとき、発生する制動 X 線も含めて求めておくことが必要となります。これは実験又はシミュレーション計算で評価することは可能ですが、シミュレーション計算を用いた場合は、実験による検証が必要です。この値は作業計画の立案時等に

使用することはできますが、例題 4 に記載したように、シミュレーション計算結果を、防護眼鏡の外側又はその近傍に装着した個人線量計の測定値の補正に用いて、眼の水晶体の等価線量とすることは、法令上適切ではありません。

【例題 16】

眼の水晶体の等価線量を計算で算定することはできないのでしょうか？

[関連箇所：添付資料 3、【例題 4】及び【例題 24】]

【回答 16】

放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則（RI 規制施行規則）や電離放射線障害防止規則（電離則）等の法令では、放射線の量の測定の義務等を課しています。

RI 規制施行規則では、「放射線の量及び放射性同位元素による汚染の状況の測定は、放射線測定器を用いて行うこと。ただし、放射線測定器を用いて測定することが著しく困難である場合には、計算によってこれらの値を算出することができる。」とあり、電離放射線障害防止規則の第八条第三項には、「・・（略）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。」とあります。

この「著しく困難な場合」について、厚生労働省は、通達 A16.1)において、『「これを測定することが著しく困難な場合」又は「これが著しく困難な場合」とは、その放射線に対する放射線測定器がまだ開発されていない場合等をいうこと。』、また、『「計算によって」とは、放射線又は放射性物質の種類及び数量、労働者の被ばくの状況等によって計算することをいうこと。』と定めています。

装着していた眼の水晶体専用の個人線量計の紛失、破損、誤使用、装着者の間違い、測定機関における取り扱いミスによるデータ欠損により測定値が得られない場合等においては、装着していた体幹部用の個人線量計や同種の作業を実施した従事者の結果を用いて、眼の水晶体の等価線量を算定することが適切であると考えられます。

事業所の現状が「著しく困難な場合」に該当するかは、事業所の責任において慎重かつ合理的な判断を行い、判断に迷う場合は関係行政機関に確認し、法令を遵守するようにしてください。

参考文献

A16.1) 厚生労働省労働基準局長，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，(平成 13 年 3 月 30 日)

【例題 17】

β線による被ばくが無視できない状況における眼の水晶体の等価線量を 3 mm 線量当量の測定で算定する必要はないのでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (6) 節 2) 項]

【回答 17】

1 MeV～3.5 MeV の電子・陽電子については 3 mm 線量当量が 70 μm 線量当量又は 1 cm 線量当量より高くなりますが、電子の場合は通常連続エネルギーであり、このエネルギー帯特有のエネルギーだけによる被ばくは通常は想定されないため、1 cm 線量当量又は 70 μm 線量当量を測定することで十分と考えます。

一方、1 MeV～3.5 MeV のこの範囲の特定のエネルギーを有する電子による被ばくの場合は、3 mm 線量当量を測定することが望ましいと考えられます。

また、1 MeV 以下の電子については 70 μm 線量当量が 3 mm 線量当量より過大になるため、1 MeV 以下の電子による被ばくが無視できない場合で、より適切に評価する必要がある場合は、3 mm 線量当量を測定することが望ましいと考えます。

一例として、⁹⁰Sr-⁹⁰Y からの β線 (エネルギースペクトルは ICRP Publ.107^{A17.1)} に基づく) による実用量について算定した結果は以下の表 A17.1 に示すようになり、70 μm 線量当量が 3 mm 線量当量を十分上回ります。また、個人線量計の校正において国内外で広く利用されている ISO 6980-1:2006 の ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 線源によるシリーズ 1 標準場では 70 μm 線量当量に対して 3 mm 線量当量はおおよそ 40%となります^{A17.2), A17.3)}。

表 A17.1 ⁹⁰Sr、⁹⁰Y からの β線被ばくに対する実用量

	1 崩壊当たりの任意線量単位			備考
	$H_p(0.07)$	$H_p(3)$	$H_p(10)$	
⁹⁰ Sr	0.68	-	-	最大エネルギー0.548 MeV
⁹⁰ Y	0.39	0.22	0.0004	最大エネルギー2.28 MeV
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.07	0.22	0.0004	⁹⁰ Sr: ⁹⁰ Y=1:1

参考文献

A17.1) International Commission on Radiological Protection (ICRP), Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, ICRP Publication 107, Ann. ICRP 38(3) (2008).

A17.2) Kato, M. et al., Tissue transmission factors of ⁹⁰Sr+⁹⁰Y beta-particle radiation field calculated for tissue equivalent materials, KEK Proceedings 2015-8 (2015).

A17.3) Behrens, R., Correction factors for the ISO rod phantom, a cylinder phantom, and the ICRU sphere for reference beta radiation fields of the BSS 2, J. Instrum., 10, P03014 (2015).

【例題 18】

体幹部均等被ばく状況において、眼の水晶体の等価線量が高い場合、遮蔽材等を使用すると、体幹部不均等被ばく状況での線量管理になるのでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (5) 節]

【回答 18】

実効線量や眼の水晶体の等価線量がそれぞれの管理基準よりできるだけ低くなるように低減措置をとることが想定されますが、それにより体幹部不均等被ばく状況が生じた場合は、体幹部不均等被ばく管理として眼の水晶体の等価線量の管理を行うことになります。

一方で、体幹部均等被ばく状況において実効線量が管理基準に近くなることが想定されても、作業内容によっては低減対策を適用できない場合が想定されます。そのような場合は、体幹部均等被ばく状況においても眼の近傍に 3 mm 線量当量を測定する専用の個人線量計を装着して眼の水晶体の等価線量を算定することが必要となります。

【例題 19】

眼の近傍に個人線量計を装着した線量モニタリングの要否の判断は作業計画立案時に行うことはできないのでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (7) 節]

【回答 19】

作業計画立案時に作業環境の線量と作業姿勢を考慮した放射線作業計画を作成し、作業員の被ばく線量を予測してください。その予測した線量に基づき、本ガイドラインのフロー図に従って、眼の近傍に個人線量計を装着した線量モニタリングの要否の判断をしてください。

具体的には、作業環境の線量と作業姿勢を考慮した放射線作業計画に基づいて予測した頭部／胸部の線量比が 1.5 ないし 2 を超えない場合（体幹部均等被ばくの場合）で、予想される眼の水晶体の等価線量が管理基準を超える可能性があるとは判断できる場合は、眼の近傍に個人線量計を装着した線量モニタリングが必要になります。

一方、作業環境の線量と作業姿勢を考慮した放射線作業計画に基づいて予測した頭部／胸部の線量比が 1.5 ないし 2 を超える場合（体幹部不均等被ばくの場合）で、実効線量が記録レベル程度以上になると予想される場合（第 5 章(5)節 3) 項参照）、個人線量計を頭・頸部に追加して装着する必要があるとあり、さらに、予想される眼の水晶体の等価線量が管理基準を超える可能性があるとは判断できる場合は、眼の近傍に個人線量計を装着した線量モニタリングが必要になります。

なお、被ばく実績を踏まえ、類似作業を参考にモニタリング要否を判断することも可能です。この場合は、作業環境の線量、作業姿勢等の作業条件（被ばく条件）を比較して判断を行うことが必要となります。なお、具体的には解説の第 5 章の(7)節に示されている方法を参考にしてください。

【例題 20】

月の途中から眼の近傍での線量モニタリングが必要となった場合や、眼の近傍での線量モニタリングが必要となる作業とその必要がない作業が混在するなどの場合は、個人線量計の装着をどうすればよいでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (5) 節 2) 項]

【回答 20】

月の途中から眼の近傍に個人線量計を装着する線量モニタリングが必要となった場合は、それまで体幹部に装着していた受動形個人線量計を取外して、それまでの眼の水晶体の等価線量と実効線量を取外した受動形個人線量計で算出します。そしてその値に、それ以降に眼の近傍に装着した受動形個人線量計の測定結果を足し合わせることで当月の眼の水晶体の等価線量を算出することができます。あるいは、日々の立入管理に使用している電子式個人線量計の値を用いて算出することも可能です。

月途中で眼の近傍に個人線量計を装着する線量モニタリングが必要な作業が終了して、眼の近傍に個人線量計を装着する線量モニタリングを必要としないような作業を行う場合は、当月終了まで眼の近傍での線量測定を必要としない作業を行う期間中も含めて、眼の近傍に受動形個人線量計を装着することを継続して、当月の眼の水晶体の等価線量を評価することが線量モニタリングとしては望ましいです。しかし、作業者に負担がかかる場合は、当月終了までの眼の近傍での線量測定を必要としない作業を行う期間中でも、襟などなるべく眼に近い部位に装着する方法も考えられます。あるいは、眼の近傍に個人線量計を装着した線量モニタリングを必要としない作業を行う期間、受動形個人線量計を交換するか、又は、日々の立入管理に使用している電子式個人線量計の値を用いて、眼の近傍に線量計を装着する線量モニタリングを必要としない作業期間の線量を積算して、その値に眼の近傍に装着した受動形個人線量計の測定値を加算することにより、当月の眼の水晶体の等価線量を算定することも可能です。

他にも、眼の近傍に装着した個人線量計を体幹部均等被ばくの場合は体幹部基本部位に、体幹部不均等被ばくの場合は線量が最大となる体幹部部位に当月終了まで装着する方法もあります。この場合、【例題 8】に記載されたように眼の近傍に装着する 3 mm 線量当量を測定する個人線量計は円柱ファントム (20 cm 直径、20 cm 長) で校正されたものになります。それを体幹部基本部位に装着する場合、厳密にはスラブファントム (30 cm×15 cm×15 cm) で校正した値を用いる必要があります。しかし、1 つの個人線量計に対して 2 種類の校正方法を用いることは測定値の取り扱いが複雑になり実用的ではありません。そして、光子に対しては、図 A20.1 に示した換算係数からわかりますように入射角 60 度以内では円柱ファントムによる校正定数とスラブファントムによる校正定数には大きな違いはありません。電子についても入射角 60 度以内では換算係数に大きな相違はなく、校正定数はほぼ等しいと考えられます^{A20.3), A20.4)}。そして、眼の近傍に装着した個人線量計を胸部に装着すれば、入射角 60 度以内では後方散乱線が増加するため、

少しですが高めの値となります。これらのことを考慮しますと、円柱ファントムで校正した 3 mm 線量当量の個人線量計を体幹部基本部位に装着しても、線量モニタリングとしての実用上の問題はないと考えられます。

以上に示しましたように月途中で眼の近傍に個人線量計を装着する線量モニタリングが必要な作業が終了した場合の対処方法にはいくつかの選択肢がありますが、線量管理に責任を有するものがそれぞれの事業所の状況を考慮して判断すればよいと考えます。

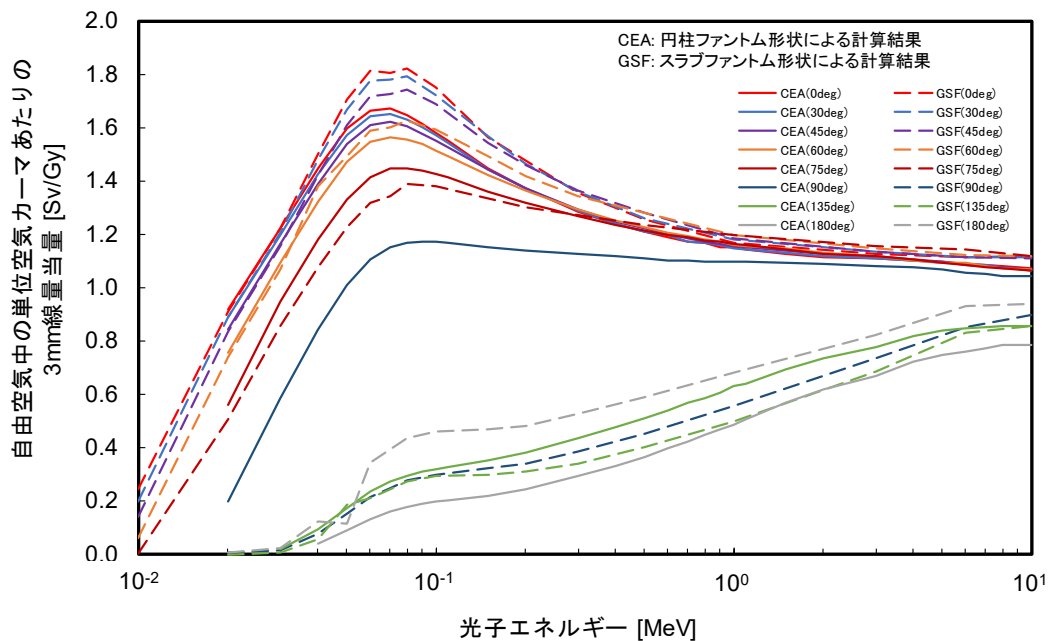


図 A20.1 円柱ファントム A20.1)とスラブファントム A20.2)の 3 mm 線量当量の換算係数

参考文献

A20.1) Gualdrini, G., Bordy, J.M., Daures, J., Fantuzzi, E., Ferrari, P., Mariotti, F., Vanhavere, F., Air kerma to Hp(3) conversion coefficients for photons from 10 keV to 10 MeV, calculated in a cylindrical phantom, Radiat. Prot. Dosim., 154(4), 517-521 (2013).

A20.2) Till, E., Zankl, M., Drexler, G., Angular dependence of depth doses in a tissue slab irradiated with monoenergetic photons, GSF-Bericht 27/95, GSF (1995).

A20.3) Bhrens, R., Monitoring the Eye Lens, Paper to talk presented at IRPA13:TS7e.3 (2012), <http://www.irpa.net/page.asp?id=54517> (最終アクセス：2019年12月20日)

A20.4) Behrens, R., Hupe, O., Influence of the phantom shape (Slab, Cylinder or Alderson) on the performance of Hp(3) eye dosimeter, Radiation Protection Dosimetry, 168(4), 441-449 (2016).

【例題 21】

体幹部均等被ばく状況において、眼の近傍に個人線量計を追加で装着しましたが、眼の近傍の線量が体幹部基本部位での線量より小さくなりました。このような場合、眼の水晶体の等価線量の算定は、どうすればよいのでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章（5）節]

【回答 21】

眼の近傍での眼の水晶体の線量モニタリングの趣旨は、正確な眼の水晶体の等価線量の算定であることから胸部より線量が小さくなった場合でも眼の近傍に装着した個人線量計による実用量の測定結果を眼の水晶体の等価線量とするのが適切です。なお、この考え方は、保守的に評価するため線量の高い値を用いることを妨げるものではありません。

【例題 22】

体幹部均等被ばく状況において、眼の近傍に個人線量計を追加して線量のモニタリング対象になった場合、頭・頸部（眼の近傍）の線量の測定結果も踏まえて実効線量を算定するのでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章（5）節]

【回答 22】

体幹部均等被ばくで眼の水晶体の等価線量が線量限度を超える恐れがある場合のモニタリングでは、眼の近傍に装着した個人線量計で 3 mm 線量当量を測定しますが、この結果を体幹部不均等被ばく状況としての実効線量の算定に使用する必要はありません。ただし、体幹部不均等被ばく管理として頭・頸部での 1 cm 線量当量、及び 70 μm 線量当量を追加して測定した場合は、眼の水晶体の等価線量の算定に使用する他に、実効線量についても体幹部不均等被ばく管理として算定を行う必要があります。

【例題 23】

受動形個人線量計を使用している場合、正式な線量測定結果が判明する前に、他事業所で作業に従事する場合の眼の水晶体の等価線量はどのように算定すればよいですか？

[関連箇所：解説第5章（5）節]

【回答 23】

一例として、日々の管理に使用する電子式個人線量計等を用いている場合について示します。

体幹部均等被ばくとみなして管理している場合は、体幹部基本部位に装着した電子式個人線量計等の読み値を暫定値として使用すればよいです。

体幹部不均等被ばくとして管理している場合には、遮蔽エプロンや遮蔽ベストなどの外側の最も高くなると想定された部位に装着した電子式個人線量計の測定値を使用するなど、眼の水晶体の等価線量の暫定的な値を算定するとよいです。

基本的な線量管理の考え方は従来と変更ありませんので、これまで実施してきた各事業所での管理方法に従って評価してください。

【例題 24】

フランス放射線防護学会の眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインに示されている「Bordy の考え方」は国内の事業所では適用できないのでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (5) 節並びに【例題 3】、【例題 4】、【例題 16】]

【回答 24】

フランス放射線防護学会が 2016 年に出した技術資料 ^{A24.1)}では、光子に対する眼の水晶体の等価線量を評価するため、眼の近傍に専用の個人線量計を装着する必要性を判断するための考え方として、Bordy の論文 ^{A24.2)}を引用しています。この技術資料によれば、眼の近傍に個人線量計を装着する体幹部不均等性の判断は、体幹部基本部位における 1 cm 線量当量 ($H_p(10)$) と、体幹部基本部位の 1 cm 線量当量 ($H_p(10)$) に対する眼の近傍の 3 mm 線量当量 ($H_p(3)$) の比率 ($H_p(3)/H_p(10)$) によって異なっています。

ただし、Bordy の考え方は、線量によって体幹部基本部位に装着した個人線量計の値に補正を加える方式が示されていますが、この補正する量を具体的に決めることが難しいため、実際に取り入れるには技術的な課題が多いです。また、体幹部基本部位で測定した線量に対して補正を加えることは、体幹部において最大となる部位での直接測定が要求されるわが国の法規とは整合が取れていないため、Bordy の考え方をわが国で眼の水晶体の線量モニタリングに用いることは適切ではありません。【回答 16】に記載したように、「その放射線に対する測定器がまだ開発されていない場合等」以外は法令で指定された部位に放射線測定器（この場合は個人線量計）を装着して測定することが要求されています。これに従えば Bordy の考え方にある体幹部基本部位で測定した線量に対して補正を加える方式を採用することは困難です。

参考文献

A24.1) French Radiological Protection Society (SFRP), Technical Information Sheets: Eye lens: Regulatory limits, measurements, dosimetry and medical surveillance (2016).

A24.2) Bordy, J. M., Monitoring of Eye Lens Doses in Radiation Protection, Radioprotection, 50(3), 177-185 (2015).

【例題 25】

眼の近傍以外の部位に装着した個人線量計を使用する場合で、眼の水晶体の等価線量を算定するために 3 mm 線量当量を測定することが望ましい場合とは具体的にどのような事例が挙げられるでしょうか？

[関連箇所：解説第 5 章 (2)、(5) 及び (6) 節並びに【例題 3】、【例題 10】、【例題 17】]

【回答 25】

眼の近傍に個人線量計を装着して線量を測定することが必要となる管理基準は各事業所の状況に合わせて設定されますが、この管理基準に線量が達しない間は、眼の近傍以外の部位に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定することになります。その場合、防護の最適化の観点から、被ばく線量を過度に保守側に算定しないことが適切であると考えます。

例えば、40 keV 以下の光子を被ばくする場合、70 μm 線量当量では 3 mm 線量当量と比較して高めに測定する可能性があります (20 keV で 1.2 倍)。その場合は、できるだけ 3 mm 線量当量で眼の水晶体の等価線量を算定することが望ましいです。また、【回答 17】に記載しましたように、1 MeV 以下の電子については 70 μm 線量当量が 3 mm 線量当量より過大 (800 keV で 7.3 倍など) になるため、これらの被ばくが無視できない場合で、管理基準に近い被ばくをする可能性がある場合は、3 mm 線量当量を測定することが望ましいと考えます。

なお、本ガイドラインは計画被ばく状況における放射線業務従事者の眼の水晶体の等価線量のモニタリングについて適用するものであります。高線量被ばくの可能性が生じた場合や事故的な被ばくが生じた場合は、70 μm 線量当量や 1 cm 線量当量で算定した値を 3 mm 線量当量により再評価することも可能であると考えられます。

【例題 26】

眼の水晶体用線量計の測定結果の妥当性の評価はどのように実施されるのですか？

[関連箇所：解説第3章(2)節並びに【例題8】]

【回答 26】

2016年のIAEAの総合規制評価サービス(IRRS)^{A26.1)}において、原子力規制委員会は個人モニタリングサービス提供者が実施する放射線モニタリングについて、承認のプロセスの要件を定めるようにという勧告を受けました。

そこで、2018年7月1日に、日本における適合性評価機関である(公財)日本適合性認定協会(Japan Accreditation Board: JAB)は、試験所及び校正機関を認定する基準(JIS Q 17025:2018 (ISO/IEC 17025:2017)^{A26.2)}の放射線モニタリング分野について、『「認定の基準」についての指針－放射線個人線量測定試験分野－(JAB RL380)』^{A26.3)}を制定しました。この文書は、ISO/IEC 17025:2017^{A26.2)}の要求事項を、線量計を用いた個人線量測定試験分野の特殊性に合わせてより詳細に記述した指針です。この指針が定める試験所の認定の範囲は、以下のとおりです。

体幹部用の個人線量計：X・ γ 線	$H_p(10)$, $H_p(0.07)$
β 線	$H_p(0.07)$
中性子	$H_p(10)$
末端部用の個人線量計：X・ γ 線、 β 線	$H_p(0.07)$

これらの認定範囲の測定結果の妥当性については、指針 JAB RL380^{A26.3)}が要求する計量トレーサビリティを満たすように測定サービスが行われていることのサーベランスと、技能試験で技術能力を見ていることから評価できます。

JAB が要求する計量トレーサビリティについては、「測定のトレーサビリティについての指針 (JAB RL331:2017)」^{A26.4)}があり、試験所に対する要求事項として内部校正を行う試験所は、校正機関と同様に校正機関に対する要求事項(トレーサビリティの確保)が要求されます。

なお、JAB RL380^{A26.3)}において $H_p(3)$ は認定の対象外ですが、 $H_p(3)$ の認定については今後議論される予定です。

参考文献

A26.1) 国際原子力機関, 日本への総合規制評価サービス (IRRS) ミッション, IAEA-NS-IRRS-2016 (2016).

<https://www.nsr.go.jp/data/000148263.pdf> (最終アクセス: 2020年3月19日)

A.26.2) ISO/IEC 17025:2017 (JIS Q 17025:2018) 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項

- A26.3) 公益財団法人日本適合性認定協会、「認定の基準」についての指針－放射線個人線量測定試験分野－, JAB RL380:2018D1 (2018).
- A26.4) 公益財団法人日本適合性認定協会, 測定のトレーサビリティについての指針, 第 8 版, JAB RL331:2017 (2017).

医療スタッフの 放射線安全に係る ガイドライン

～ 水晶体の被ばく管理を中心に～



目次

1. ガイドライン作成の背景と目的

2. 放射線の安全利用

2-1 放射線安全利用の基礎知識

- 1) 放射線領域で用いる単位
 - 2) 医療放射線の安全衛生管理の原則
 - 3) 被ばく管理の基本と法令
-

2-2 透視を用いた検査・治療

- 1) 防護衣の着用効果
- 2) 防護メガネの効果
- 3) 遮へい板の具体的利用方法、簡易な防護方法の紹介
- 4) 立ち位置への配慮
- 5) 手指の被ばくへの配慮
- 6) パルスレート
- 7) エックス線撮影
- 8) 絞りの活用
- 9) 拡大透視とデジタルズーム
- 10) 手技時の線量記録
- 11) 手技内容の共有
- 12) 患者線量低減と術者の線量低減の関係
- 13) 放射線診療時の検査室内の線量分布
- 14) 水晶体の線量が高くなる恐れがあるときの対応策

2-3 エックス線検査室内での患者対応

3. 歯科領域の放射線防護

3-1 歯科における水晶体の放射線防護に係るガイドラインの背景

3-2 歯科領域の放射線検査

- 1) 同室撮影の放射線防護
 - 2) 室外撮影の放射線防護
-

4. 参考文献

5. 資料

- 資料1 水晶体への放射線影響
 - 資料2 放射線による皮膚障害
 - 資料3 妊娠と放射線検査
 - 資料4 患者の皮膚障害に関するガイドラインと対応
-

ガイドライン作成委員会名簿

- 公益財団法人 日本医学放射線学会
大野 和子[京都医療科学大学(委員長)]
安陪 等思[久留米大学]
- 一般社団法人 血管撮影・
インターベンション専門診療放射線技師認定機構
坂本 肇[順天堂大学] 松本 一真[兵庫医科大学病院]
- 公益財団法人 日本医学物理士会
福士 政広[東京都立大学]
- 一般社団法人 日本インターベンショナルラジオロジー学会
赤羽 正章[国際医療福祉大学]
- 一般社団法人 日本救急医学会
船曳 知弘[済生会横浜市東部病院]
- 一般社団法人 日本呼吸器学会
谷本 安[独立行政法人国立病院機構 南岡山医療センター]
- 公益財団法人 日本産業衛生学会
樺田 尚樹[産業医科大学]
- 特定非営利活動法人 日本歯科放射線学会
櫻井 孝[神奈川歯科大学] 奥村 泰彦、原田 康雄[明海大学]
- 一般財団法人 日本消化器病学会
糸井 隆夫[東京医科大学]
- 公益社団法人 日本小児科学会
脇 研自[倉敷中央病院]
- 一般社団法人 日本小児外科学会
田尻 達郎[京都府立医科大学]
- 一般社団法人 日本小児放射線学会
野坂 俊介[国立研究開発法人 国立成育医療研究センター]
- 公益社団法人 日本診療放射線技師会
富田 博信[埼玉済生会川口病院]
- 一般社団法人 日本循環器学会
池田 隆徳、天野 英夫[東邦大学] 伊藤 浩[岡山大学]
尾崎 行男[藤田医科大学]
- 公益社団法人 日本整形外科学会
伊藤 淳二[青森県立中央病院] 平泉 裕[昭和大学]
- 一般社団法人 日本脳神経外科学会・特定非営利活動法人
日本脳神経血管内治療学会
松丸 祐司[筑波大学]
- 一般社団法人 日本放射線看護学会
太田 勝正[東都大学沼津ヒューマンケア学部開設準備室(前名古屋大学)]
- 公益社団法人 日本放射線技術学会
千田 浩一[東北大学] 藤淵 俊王[九州大学]
- 医療放射線防護連絡協議会
菊地 透[原子力安全研究協会] 粟井 一夫[榊原記念病院]
- 日本保健物理学会
横山 須美[藤田医科大学]
- 長瀬ランダウア株式会社
関口 寛、八木 信行
- 株式会社千代田テクノル
狩野 好延

イラスト制作:高橋 玲香

01.

…ガイドライン作成の背景と目的…

エックス線（以下X線と略）透視を用いた検査・治療等に代表される放射線診療の維持・発展は、高齢化社会を支える骨幹となっています。多くの診療科がそれぞれの専門領域で患者救命を目的として技術を発展させてきました。しかし、技術革新と同時に医療関係者の放射線安全にも配慮してきたとは言えない現状があります。実効線量限度や水晶体または皮膚の等価線量限度を超えて働く医療スタッフの存在や労働災害も報告されています¹⁾。このような現状の中で、平成29年3月放射線審議会が関係行政機関の長に対し、眼の水晶体の放射線防護検討部会がとりまとめた「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」²⁾を参考に所定の措置を講ずるよう意見具申をしました。ここでは、水晶体の等価線量限度について、「5年間の平均で20mSv/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ことが適当である。」とし、放射線を扱う全ての事業者による水晶体被ばく低減や最適化の取り組みが円滑に進むように、「関連学会によってガイドラインが策定されることを期待する。」としています。その後、厚生労働省では、電離放射線障害防止規則の改正を行い、令和3年度から施行する予定です³⁾。

今後も患者に不可欠な放射線診療が継続して発展しつつ規制を円滑に運用するためには、具体的な水晶体等価線量モニタリングのめやす、その考え方や分野個別の放射線防護及び最適化方法を示したガイドラインの作成が急務であると考えます。そこで、放射線を用いた診療行為に関与する全ての医療スタッフと患者双方の放射線安全に配慮した放射線の利用方法について令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成）事業において20の関係学協会の協力を得て検討し、提言としてまとめました。

◎ガイドライン利用上の注意事項

診療科を問わず放射線診療に係わる医師・看護師に理解し易い内容に限定しています。専門用語についても平易な表現に随所で置き換えています。

各学会でさらに詳細なガイドラインを作成する場合には、本ガイドラインの班員がサポートし整合性のある内容を目指してください。

「2-2.透視を用いた検査・治療」では具体的に遵守すべき事項を掲載しています。ここでの本文表記は、診療ガイドラインの一般的な表現に準じて、ガイドライン作成委員会の委員の合意により、推奨度が高い内容から順に、原則的に次の表記を用いています。

- 必ず○○○○してください。
- ○○○○してください。
- ○○○○したほうが望ましい事項です。

02.

… 放射線の安全利用 …

2-1 放射線安全利用の基礎知識

1) 放射線領域で用いる単位

放射線の管理で問題となることは、①物質からどのくらい放射線が出ているのか、②放射線が出るものの傍に居た人はどのくらいの放射線を受けたのか、③放射線を受けた人にどのような影響があるのか、の3点です。それぞれを数値で表現するために専用の単位が定められています。

①の物質から出ている放射線の強さを放射能といい、ベクレル(Bq)という単位で表します。医療では放射性医薬品に対して用います。医薬品の患者への投与量何mgというところを、核医学検査では投与量〇〇Bqとカルテに記載しています。

②の放射線を受けた量はグレイ(Gy)という単位で表します。外照射で放射線治療をする場合には、医師が標的とする悪性腫瘍がどのくらい放射線を受ければ最適治療結果になるかを勘案して「何グレイ照射する」という指示を出します。また、CT検査等のX線検査で患者が受ける放射線量を検討する時は専用の測定器を用いた実験をしますが、このときに推計する患者が受ける放射線量の単位もGyです。

③放射線を用いる職場で働く人々(放射線診療従事者)が放射線を受けたことによる身体への影響の度合いを表す時はシーベルト(Sv)という単位を用います。この影響量には実効線量と等価線量があります。従事者のために、放射線の影響を十分に安全側に考慮して、実際に受けた放射線量から算定した値です。例えば「A医師の1ヶ月間の診療による被ばくは実効線量で2mSv」というように用います。また放射線検査室内の放射線量の計測器の値もSvで表示されます。

2) 医療放射線の安全衛生管理の原則

放射線を医療スタッフが安全に利用する原則は、労働安全衛生管理の5原則に準じています。①放射線に係る安全管理体制を院内で構築し、放射線QA委員会等の設置や統括安全管理責任者、実務担当者の選任、②放射線診療室内やその周辺の放射線量の計測、個人線量計を用いた実効線量や等価線量の個人モニタリング等の作業環境管理、③放射線診療の手技毎の手順書の作成や防護用具の整備を行う作業管理、④放射線診療従事者を対象として、一般定期健康診断に追加する特殊健康診断の実施による健康管理、⑤放射線診療に従事する者への配置前と定期的教育訓練です。なお、令和2年度から医療法の改定により患者に対する放射線安全もさらに推進されます。患者の放射線安全は医療スタッフの安全にも繋がります⁴⁾。

3) 被ばく管理の基本と法令

放射線利用では人々の放射線被ばくを適切に管理する目的で、その立場により分類して管理します。医療分野でも、この基本を取り入れた法令が整備されており、人々の立場により、「医療被ばく」、「職業被ばく」、「公衆被ばく」の3つに分類して管理します。「医療被ばく」のグループには、患者本人、患者の家族等と治験参加のボランティアを含めます。「職業被ばく」は、放射線診療に従事する人々(放射線診療従事者)です。職種は問わず医療機関で放射線診療従事者として指定した人々が該当します。「公衆被ばく」はそれ以外の人々です。患者に見舞いに来る会社の同僚や病院周辺の住民などが「公衆被ばく」に含まれる人々です。

国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告では⁵⁾、「職業被ばく」について実効線量で5年間100mSvかつ1年間で最大50mSvを被ばく線量の上限値としており、皮膚、眼の水晶体に関する等価線量の上限値もあります。この上限値は「線量限度」と呼ばれており、日本の関係法令に規定されています。各病院においては、従事者がこの線量限度を下回るよう対応しなければなりません。個人線量評価を測定機関に委託している場合がほとんどですが各個人にも結果が届きます。国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告では、「公衆被ばく」の実効線量限度は1年間で1mSvです。しかし「職業被ばく」と「公衆被ばく」の線量限度ともに危険と安全の境界値ではありません。線量限度は十分な安全への尤度をもって決めた値です。生物学的な影響の詳細については、本ガイドラインの資料を参照してください。

なお、放射線に関して医療スタッフが確認すべき法令に、放射性同位元素等の規制に関する法律(RI法)、医療法、労働安全衛生法の電離放射線障害防止規則(電離則)等があります。

2-2 透視を用いた検査・治療

放射線を安全に利用するために必要な事項をQA方式で記載します。

さまざまな対策を記載しましたが、発生源のコントロールに最も注力してください。具体的には、発生装置の条件設定や撮影手法の検討、次いで遮へい板等の適切な利用による作業の管理、これらで十分なコントロールができない時に保護具の利用を検討することが、労働安全衛生管理の基本です。なお、医療領域では、個人被ばく線量管理の基本である、個人線量測定が不十分です⁶⁾。



Q1 — 防護衣の着用効果

**放射線を用いる手技に従事するスタッフは
防護衣を必ず着用してください。
被ばくを90%以上減らすことができます。**

防護衣はIVRやCT透視等の放射線を用いる手技に従事するスタッフが着用します。

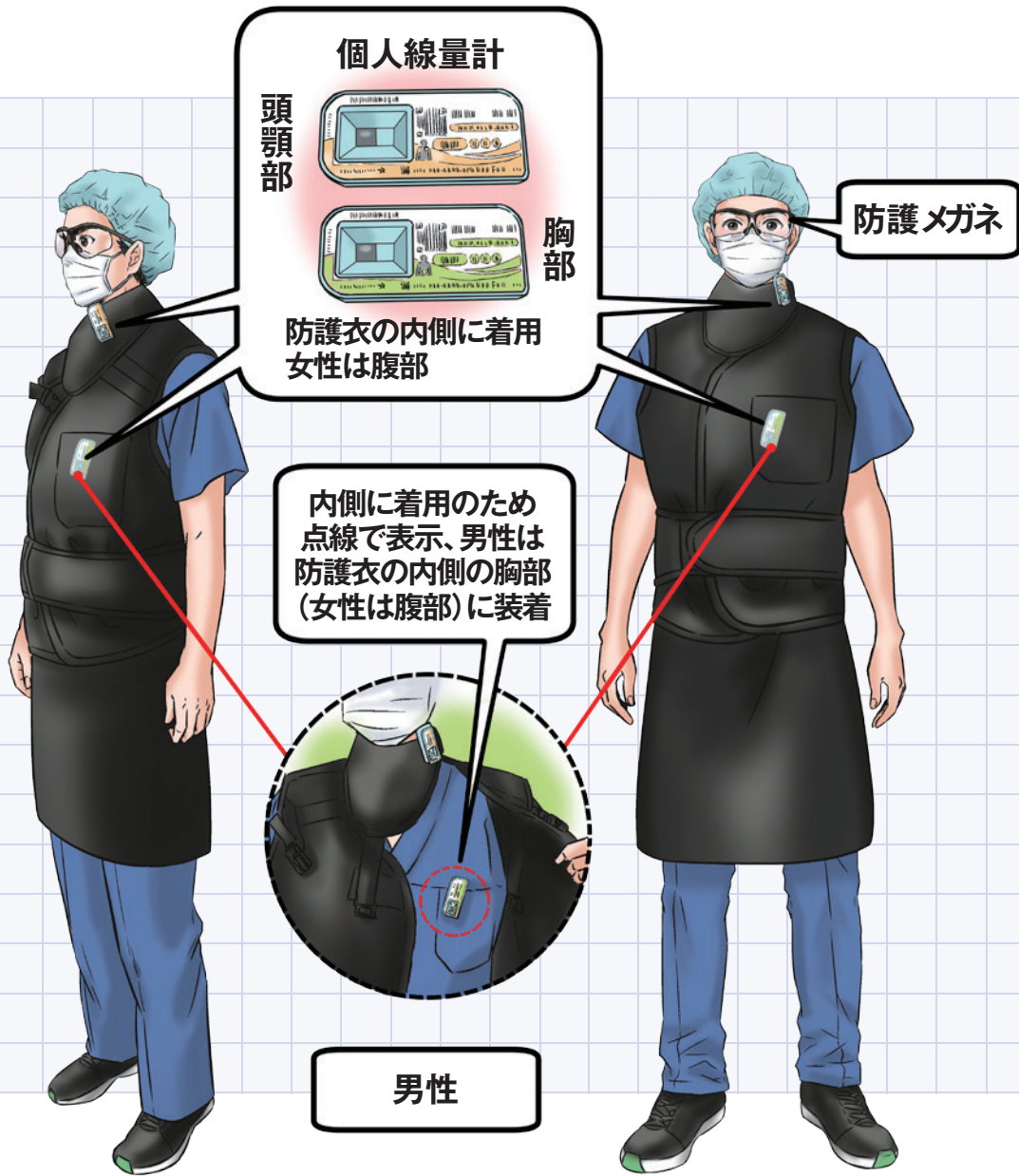
放射線を遮る割合は、鉛を基準(鉛当量)として表示され、0.25mmと0.35mmの鉛当量の防護衣があります。一般的に、IVRやCT透視などで使用する放射線の強さでは、0.25mmの防護衣の場合、検査室内に散乱する放射線を90%、0.35mmでは95%遮蔽する能力を持っています。0.25mm鉛当量防護衣に比較し、0.35mm鉛当量防護衣での放射線の遮蔽効果は高くなりますが、防護衣の重量が増すこととなります。

腰への負担を軽減するためには、上下セパレートタイプが適していますが、介助等で同じ場所に立つ等、放射線を受ける体の面が患者さんの方に固定される場合は、背面が開いたエプロン様の形状でも十分に防護できます。

各自の診療内容に合わせて防護衣を選択してください。

ネックガードは甲状腺と頸髄の被ばく低減⁷⁾に効果があります。

しかし、頸部に密着させて巻くことによる身体的負担や作業性の低下を伴います。成人の場合は甲状腺は放射線の影響を強く受ける臓器ではありません。各自の被ばく線量に応じて、無理の無い範囲で着用してください。



Q2— 防護メガネの効果

従事者は、IVR患者の検査等どうしても撮影室内に残る必要があるときは、水晶体の被ばく低減のために防護メガネを着用してください。

基本的には放射線防護の原則である線源管理として遮へい板を用いてください(Q3③参照)。その後防護メガネの着用を検討します。

防護メガネには、一般的な眼鏡と同様の形の物から、顔の両横までレンズが広がる形状やゴーグルタイプの物まで、様々な形のものがあります。レンズの放射線遮へい効果は50%程度あり⁸⁾適切な利用は水晶体の被ばく低減に効果的です。

X線管を2個備える装置やX線管の位置を細かく変える手技では幅広く放射線を防護できるゴーグルタイプの物が効果的です。しかしレンズの遮へい能力が高いほど重い眼鏡になりますから、各自のこれまでの水晶体の被ばく線量を確認し、被ばくが少ない場合は、遮へい能力は低くても軽い物を用いるなど、個別に判断して下さい。

放射線科、整形外科、消化器科、呼吸器科のIVRで、手技の際に透視台の近傍に立つ術者と医療スタッフ、CT検査時に患者の容体管理等の目的で検査室内に残る医師等は、防護メガネを着用してください。循環器科のIVR術者はゴーグルタイプの着用が望まれます。

なお、労働安全衛生規則第596条では、保護具は同時に作業をする従事者の人数と同数以上を備え、常時有効かつ清潔に保持することを事業者に求めていますので、安全衛生管理上も、病院管理者が必要な人数分以上の防護メガネを揃えておくことが望ましいといえます。

Q3— 遮へい板の具体的利用方法、簡易な防護方法の紹介

遮へい板を用いると術者の立ち位置における放射線量を大幅に低減することができます。手技に合った物を必ず用いて下さい。

遮へい板の有効な利用方法は用いる装置により異なります。以下に装置毎の代表的な遮へい板の設置方法を紹介します。

①血管系の透視装置に用いる遮へい板

天井吊り遮へい板を、患者を透視するX線管と術者との間に置き、患者からの散乱線を遮へいします。テーブルカーテン型の遮へい板を、患者が臥床するテーブルに取り付けることで、X線管と患者からの散乱線を遮へいします。腹部IVRのように患者に対して術者がX線管と同じ側に居る場合は、L型遮へい板を設置すると患者からの散乱線を効果的に遮へいできます。

術者の位置やX線管の位置が頻繁に変わる循環器系のIVR等では、可動型の遮へい板が有効です。

②術中透視

手術室内に天井吊りのアクリル板が装備されている場合は、これを清潔なビニールで覆い、患者と術者の間に設置して散乱線を遮へいします(本ガイドライン表紙のイラストと血管系の透視装置の写真を参考にしてください)。

適当な遮へい板が無い時は、装置の画像ホールド機能等を用いてできるだけ照射しないように努めて下さい。

③消化器、呼吸器の内視鏡手技との併用時に用いる遮へい板

患者の臥床するテーブルよりも上方にX線管がある場合は、放射線防護用掛布を装着することで、散乱線を遮へいできます⁹⁾。できるだけ用いるようにしてください。下端が患者の体表に到達するように調節してください。患者の臥床するテーブルよりも下方にX線管がある場合は、患者の体調が許せば、患者の身体の上で照射範囲外に放射線防護用掛布をかけるか防護衣をかけて下さい。また、L型遮へい板の利用は一定の効果があります¹⁰⁾。

④CT透視に用いる遮へい板

CTのガントリを塞ぐことを目的とした天井吊りのCT専用の遮へい板が効果的です。

専用の遮へい板を用意できないときは、患者の体調が許せば、患者の身体の上で照射範囲外に放射線防護用掛布をかけるか防護衣をかけて下さい。

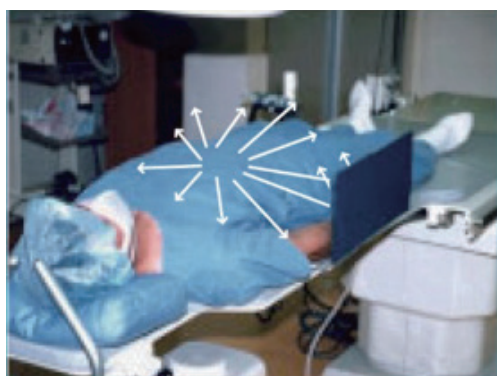
①血管系の透視装置に用いる遮へい板



実際にはこのアクリル板を市販されている
専用の清潔ビニールで覆って利用



テーブルカーテン型の遮へい板
テーブルにレールがありスライド可能



L型遮へい板
(白矢印は放射線が散乱しているイメージ)



キャビン(移動型遮へい板)

③消化器、呼吸器の内視鏡手技との併用時に用いる遮へい板(防護用掛布)
患者の臥床するテーブルよりも上方にX線管がある場合に利用します。



遮へい無



遮へい有

④CT透視に用いる遮へい板

上段が専用の遮へい板の写真、下段は防護用掛布による散乱線の低下を表示

(『医療放射線防護の常識・非常識』より許可を得て転載)



図1 CT透視時空間線量率分布 (mSv/h)

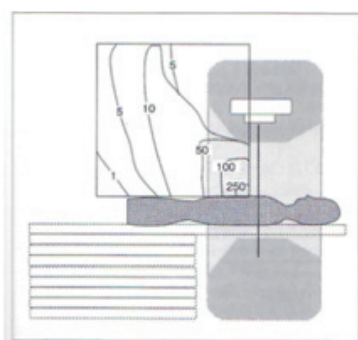
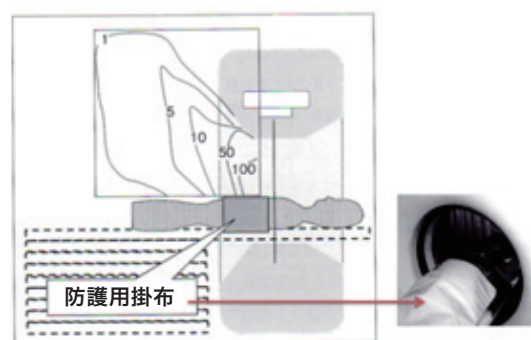


図2 CT透視時の患者からの散乱線防護 (mSv/h)



Q4—立ち位置への配慮

医療スタッフはX線管の位置を確認しながら、
できるだけX線管から離れた位置に立つようにしてください。

患者に照射したX線はほとんどが患者体内に吸収され、一部が受像機に到達して画像となります。その他は患者体内で散乱を繰り返した後に散乱線として患者体外に放出されます。この散乱線により医療スタッフは被ばくします。

散乱線の量は、下図に示すように場所によるムラがあり、X線管側が高くなります。これを理解して医療スタッフはできるだけX線管から離れた位置に立つように配慮しましょう。

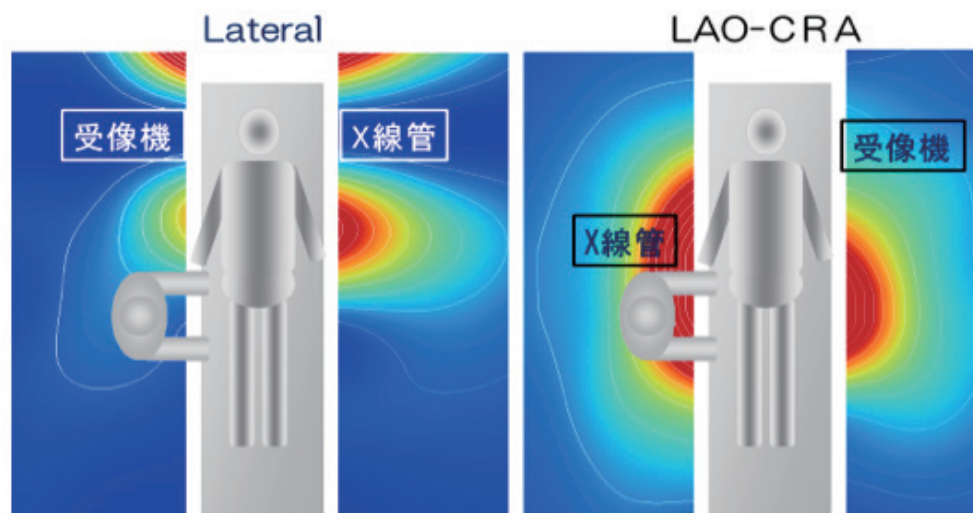


図 術者の立ち位置と放射線量

赤色が側ほど高線量となるX線管側のほうが線量は高くなる

Q5—手指の被ばくへの配慮

手指を直接線には曝さないようにしてください。
曝すと非常に高線量の被ばくとなります。
また、散乱線による手の被ばくが懸念される場合には
低減のために可能ならば、防護手袋を利用してください。

清潔手技に対応した防護手袋は、散乱線の被ばく低減には効果的です。しかし、術者の手が透視されるような直接線被ばくの低減を考慮して開発された物ではありません。

ほとんどの透視装置には、被写体の大きさに応じて自動的に画質を調整する自動調節機能があります。このため、術者の手が患者の上に乗ると装置は体厚の大きな被写体になったと判断して自動的にX線量を増加させます。

診療手段としてやむを得ず直接線下での操作を余儀なくされる時は、医療スタッフの手への放射線被ばくが低減できるような手段（防護器材の使用、X線管からの距離を取る、低いパルスレート、照射時間の短縮など）をできるだけ講じてください。

Q6—パルスレート

パルスレートは、手技に影響が無い範囲で、必ず低いレートに設定してください。術者と患者の被ばく線量低減につながります。

透視時のX線照射は連続ではなく、間欠的なパルス透視です（パラパラ漫画を想像してください）。1秒間に放射線が照射される数を、フレーム数またはパルスレート（f/秒）と呼びます。X線透視装置は、複数のパルスレートからその検査に合ったものを選択できます。パルスレートが低いほどパルスの間隔が空くため、画像はコマ飛びしたように見にくくなりますが照射する放射線量は減ります（図1）。最近は「動き補正」などのデジタル処理技術の発達により低いパルスレートを選択する施設が増えていきます（図2）。常に鮮明な透視画像を求めるのでは無く、カテーテルの先端や塞栓物質が確認できる範囲でパルスレートをこまめに下げるようにしてください。診療放射線技師が透視線量の管理を担当する施設が多い場合、事前に術者が診療放射線技師と許容できるパルスレートを打合せておく必要があります。

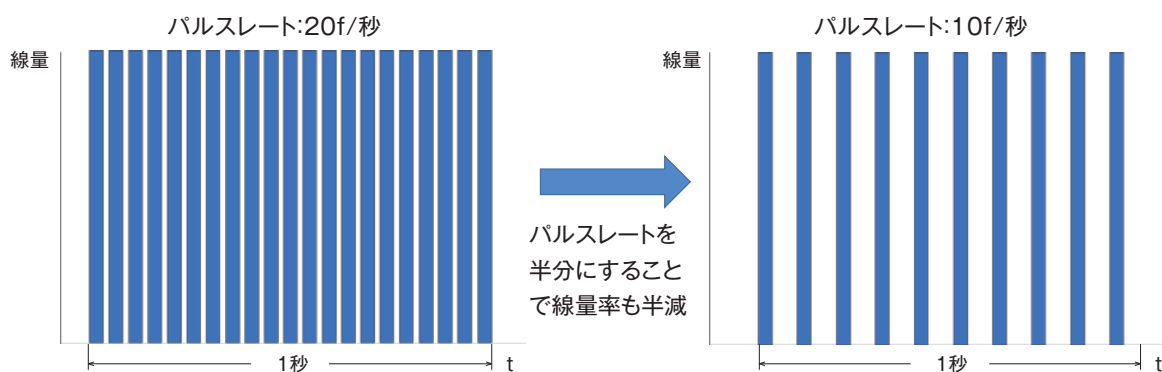


図1 パルスレートと照射線量の関係

パルスレートが1/2になると照射線量も1/2に低下します。

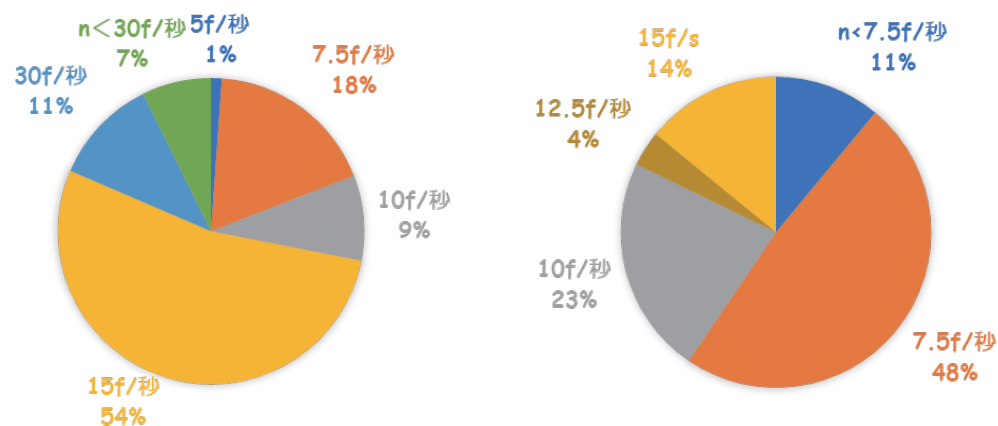


図2 施設で選択されているパルスレートの変化¹¹⁾

Q7— エックス線撮影

**高画質を求めすぎると撮影時の患者被ばく線量が増加します。
診断に許容される画質の範囲で撮影線量を調整してください。**

装置からのX線出力は、撮影条件(管電圧、管電流、1フレーム当たりの撮影時間、1秒間の撮影フレーム数(フレームレート))、撮影時間、装置の付加フィルタにより変化します。透視のパルスレートと同様に診断に影響のない範囲で出来る限り低いフレームレートを選択することで患者の被ばく低減に繋がります。付加フィルタは画質に影響しない低エネルギー成分のX線をろ過する目的のものです。患者被ばく線量低減に重要な役割を果たします。また、これは術者の被ばく低減に直結します。通常はX線管前面のコリメーターに内蔵されており、撮影条件を決定する際に数種類の中から選択します。

ほとんどの撮影装置は、撮影条件を事前に数種類設定できます。例えば、「通常」、「低い線量」、「極めて低い線量」などと設定しておき、検査・治療の種類に応じ、適切な条件を撮影の度を選択するようにしてください。

なお、画質と撮影線量はトレードオフの関係ですが、一定線量以上では画質の向上は頭打ちとなります。

X線撮影は透視の10倍程度の線量になります。可能な限り検査台から離れ、できれば室外に退避してください。

Q8—絞りの活用

**照射野を、必要な範囲に必ず絞ってください。
適正な照射野にすることで患者からの散乱線も減り、
術者の被ばく低減につながります。**

X線管前面のコリメーターに「絞り」が内蔵されており、撮影範囲の調節ができます。例えばガイドワイヤーを挿入していく際は、ガイドワイヤーが写っている部分以外は不要です。ここで、「絞り」を使用しないことは、目的外の多くの臓器の被ばくを意味します。観察を要する範囲以外をトリミングするつもりで「絞り」を効果的に使ってください。患者線量の低減だけでなく、患者からの散乱線による術者の被ばく低減にも繋がります。ただし、極端な絞りは患者の皮膚線量増加につながることもあり注意してください。

なお、絞りを効果的に利用して直接線内に手指を入れないようにして下さい。

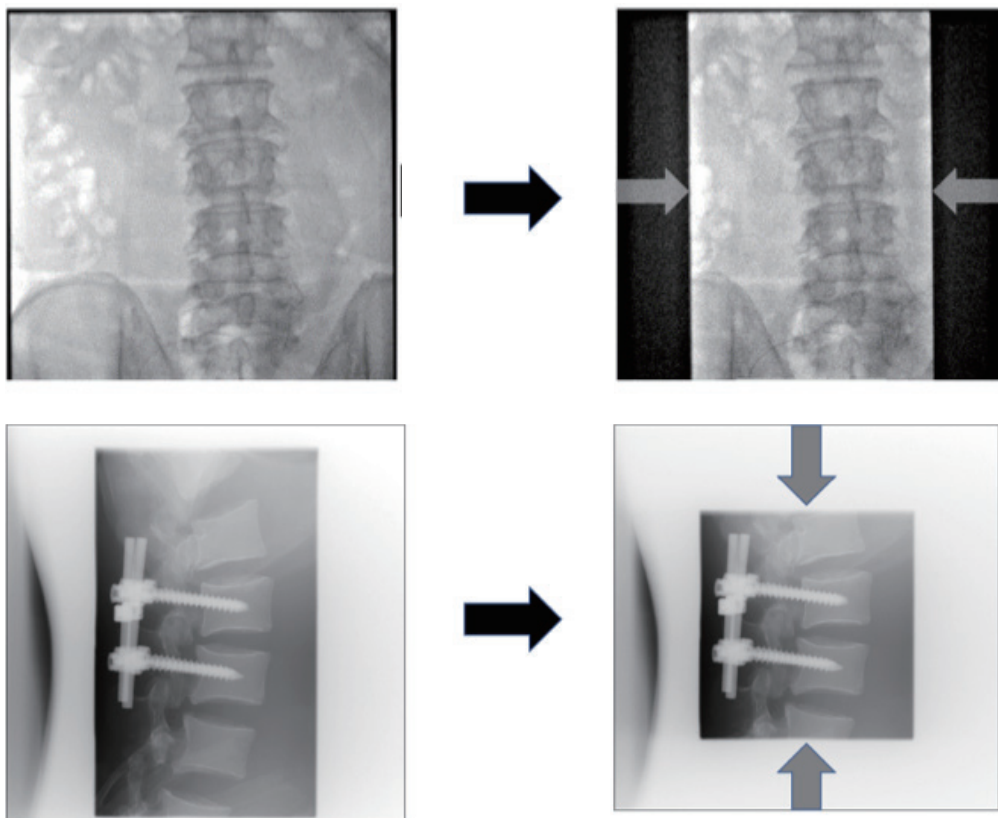


図 絞りの効果的な利用例

左が絞りが少ない場合、右は適切絞りを入れた場合の画像

Q9— 拡大透視とデジタルズーム

幾何学的拡大透視（通常の拡大透視）は小さな範囲を鮮明に画像化できますが、患者に照射する線量が増加します。多用すると皮膚線量の増加の原因となるため、限定的に用いて下さい。代用としてデジタルズームの使用を推奨します。

通常の拡大透視は一般的なカメラのレンズによるズームと同様で、小さな範囲を鮮明な画像として表示できます。しかし、拡大するほど、画像ノイズを低減するために1画素(1素子)あたりの線量は増加して患者被ばくも増えます。単位容積当たりの患者被ばくは増えても、照射される容積が小さくなるため、術者への散乱線はそれほど多くなりません。術者の被ばく増加につながらないことが多いため、医師が患者線量を上げていることに気づかずに幾何学的拡大を多用してしまう場合があります。患者の皮膚障害を回避するためにも拡大透視の使用には配慮が必要です。一方、画像を画素ごと単純に拡大するデジタルズームが可能な装置も多く存在します。多少解像度は落ちますが、通常の拡大透視ほど線量は増加しないため、積極的に利用してください。

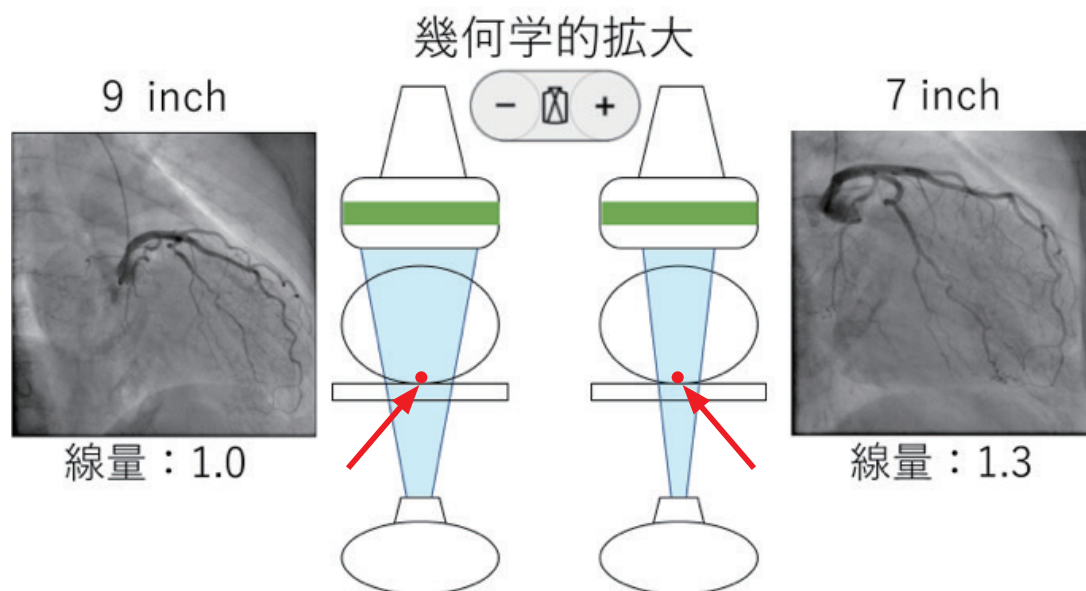


図1 幾何学的拡大の例

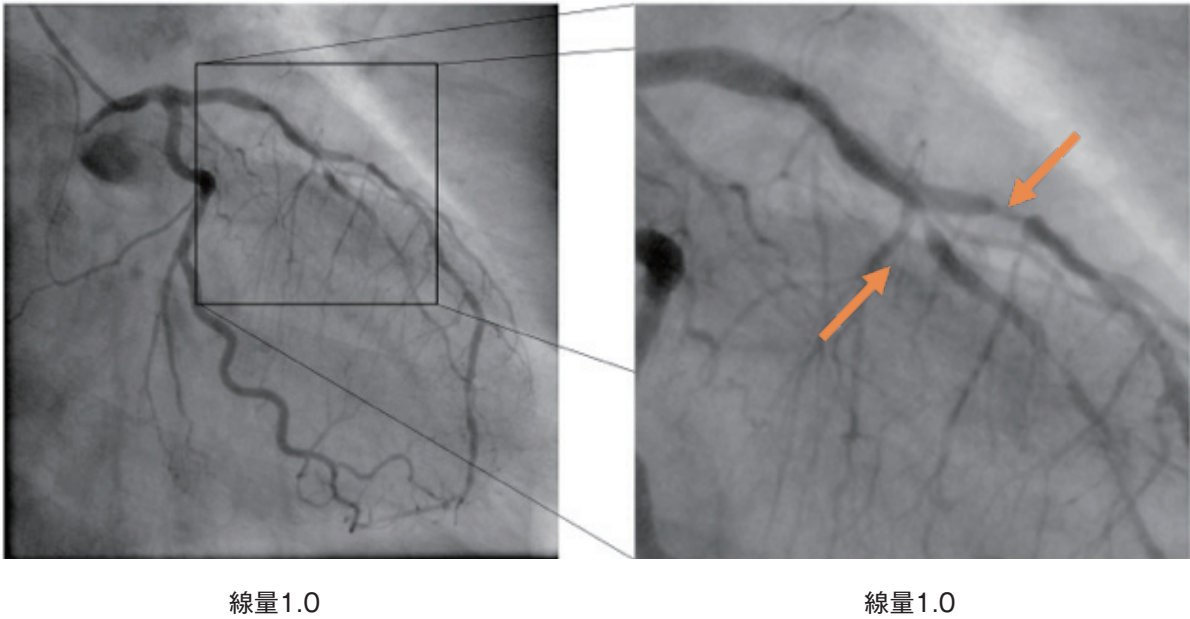


図2 デジタルズームの例

画質は少し劣るが病変部(狭窄部)の確認は容易にできる

Q10—手技時の線量記録

各々の装置に表示される線量を、電子カルテや放射線情報システム(Radiology Information System:RIS)に必ず記録してください。

検査・治療の終了後に装置に表示されている線量値や透視時間(min)を電子カルテやRISに記録してください。線量値とは患者照射基準点での空気カーマ(mGy)、面積線量($\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$)などです。装置により単位が異なる場合があるので確認が必要です。また、多くの装置にはRadiation Dose Structure Report:RDSRが記録されており、より詳細な線量情報も取得できます。

手技毎の線量を記録すれば、診断参考レベル(Diagnostic Reference Levels : DRL)¹²⁾と施設毎の線量値の比較が可能となり、医療スタッフが線量を意識するようになります。日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構では、これが線量低減の啓発になると報告しています¹³⁾。なお、DRLは日本国内のできるだけ多くの医療機関から、放射線診療で用いている線量値を収集し、その結果をもとに判断した値です。患者の被ばく線量管理のめやす値として利用しています。

Q11—手技内容の共有

**従事者があらかじめ手技を知ることは、適切な防護に役立ちます。
当日の手技の概略を、事前に従事者間で共有できるように
説明してください。**

ほとんどの病院では手術の前等に「タイムアウト」を導入し医療安全の防止に役立てています。放射線診療も手術同様に、医師、看護師、診療放射線技師、臨床工学技士等の、さまざまな職種の方が関与します。医師の診療科が複数の場合もあります。当日の手技の概略を、事前に術者が説明するようにしてください。あらかじめ手技内容を共有することは、患者情報の収集ミスの防止にも繋がり、より安全な放射線診療に繋がります。従事者防護の観点からも、手技の行程表が事前に用意されていれば、遮へい板と清潔ビニール、防護メガネ等を適切に準備でき、また、適切な術者の立ち位置の事前予測も可能です。

Q12—患者線量低減と術者の線量低減の関係

**患者からの散乱線が減少すれば、術者の線量低減につながります。
必ず、患者の線量を低減するあらゆる努力をしてください。**

患者の線量を低減させる行為は、そのほとんどが患者からの散乱線を低減させるため、従事者の被ばく低減につながります。特に以下の4項目は効果的な手法です。

- ①X線受像器をできるだけ患者に近づけます。
- ②透視時間を短く、透視する場面を限定します。

例えば、透視が無くても安全にカテーテルを操作する場面では積極的に透視を切ります。

- ③透視のパルスレートを画質が許容される範囲でできるだけ低レートにします。
- ④照射野を必要な範囲に絞ります。

照射野を絞るとは、検査や治療に不要な透視範囲をトリミングしてしまうことです。

Q13—放射線診療時の検査室内の線量分布

検査室内の線量分布を理解して、
できるだけ線量の低いところに立ちましょう。

X線透視装置で用いる放射線のエネルギーは低く、装置からの放射線が届くのは1.5m～2m程度です。また、X線管からの距離と放射線被ばく量は大きく関係します。血管撮影等の検査室内の線量分布は、各病院にある空間の放射線を測るサーベイメータを利用すれば、誰でも簡便に計測できます。検査室毎に、下に例示するような線量分布図を貼り、術者以外の医療スタッフが線量の少ない場所を容易に確認できるように準備しておきます。

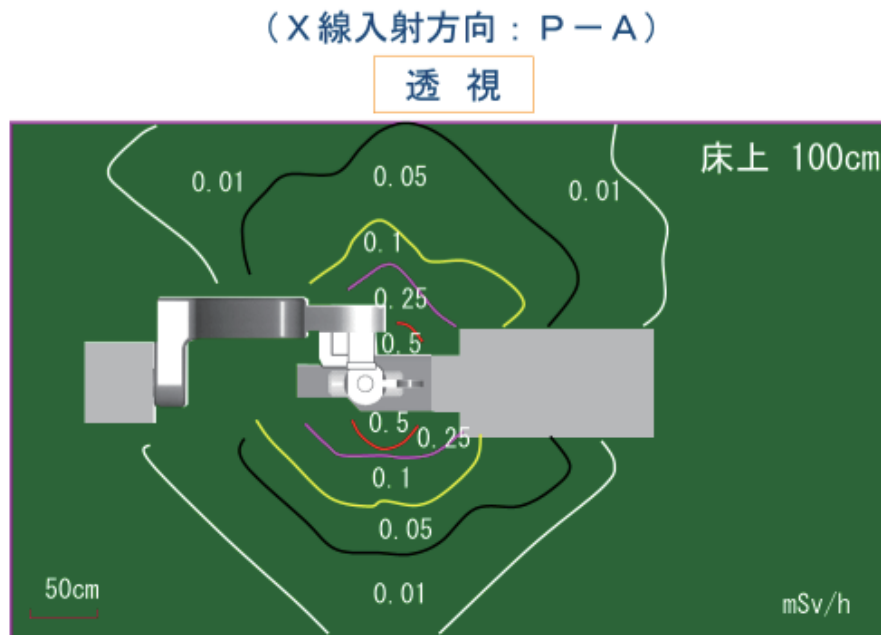


図 心カテ検査室内の空中線量分布

『医療放射線防護の常識・非常識』より許可を得て転載

Q14— 水晶体の線量が高くなる恐れがあるときの対応

防護用具を利用し、適切な撮影条件の管理が行われているかを確認してください。

それでも線量限度を超える恐れがあるときは、水晶体用の線量計を用いるようにしましょう。

水晶体の等価線量限度は、2020年度の改訂後は1年間で最大50mSv、5年で100mSvとなります。適切な防護具の利用や被ばくに配慮した透視手技を行うことで、水晶体の線量はいずれの手技においても年間20mSv以下となることが予測されています¹⁰⁾。しかし、防護策を適切に行ったとしても、一時的に診療件数が極端に増えることなどで、被ばく量が増加する場合も考えられます。現在、実効線量が5年間の線量限度の1年当たりの平均値である20mSvを超えた場合は5年間管理へ移行し、5年間で100mSvを超えないように各病院の責任者が管理をすることが広く浸透しています。そこで、本ガイドラインでは、これまでの個人線量計を用いた測定方法で放射線診療に従事した結果、水晶体の等価線量が年間20mSvを超えた従事者は、その時点で、5年間管理の対象者とし、5年間で100mSvを超えないように管理することを推奨します。さらに該当者には、水晶体の専用の線量計を渡し、これを防護メガネの遮へい範囲内に装着して、放射線診療に従事し、十分に放射線安全に努める等の管理者からの指導を受けることを推奨します。

医療において、従事者の放射線安全は、地域を管轄する労働基準監督署及び保健所が担当します。保健所は、医療法第25条第1項に基づく立入り検査を実施し適正は管理を行っているかを検査します。

2-3 エックス線検査室内での患者対応

従事者による検査時の頻回の患者対応は被ばく増大を招くため、十分に注意してください。被ばく線量が多いCT検査では、防護衣の着用と水晶体の防護メガネの着用も必要です。特に救急対応の患者に対して撮影中検査室内で患者の傍に立つる医師は、一度の検査で水晶体の被ばく線量が数mSvに達します。頻繁にCT検査に関与する医師やこれらの介助を担当する医療スタッフは、放射線診療従事者として登録を受け、教育訓練の受講と個人被ばく線量計による管理と特殊健康診断を受けてください。

03.

… 歯科領域の放射線防護 …

3-1 歯科における水晶体の放射線防護に係るガイドラインの背景

平成29年度と30年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業費（原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか～水晶体被ばくの実態から探る～）の大野班分担研究で、歯科領域を含め医療で放射線診療従事者の水晶体被ばくが高くなり得る分野の線量実態調査が行われました。調査された各診療科における1箇月間のVisionによる水晶体線量（3ミリメートル線量当量Hp(3)）頻度分布のグラフを下図に示します。

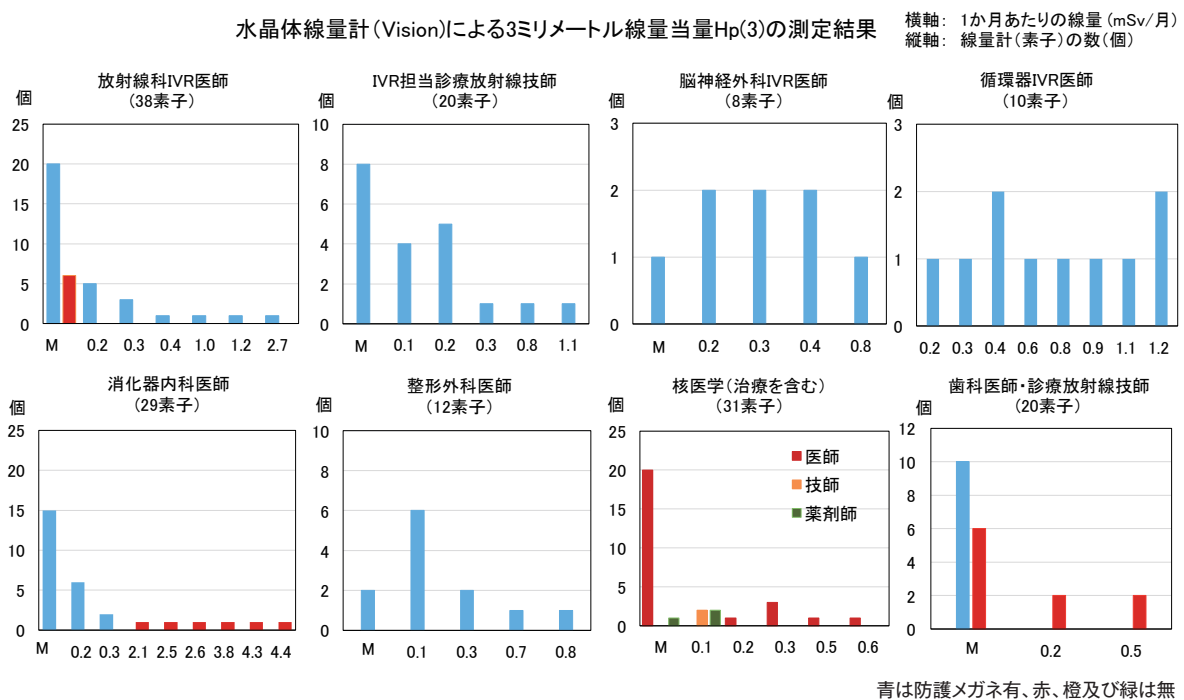


図 様々な診療科における1箇月間のVisionによる水晶体線量モニタリングの結果
(MはVision線量計の検出限界0.1mSv未満を示す)

調査の結果、防護メガネはほとんどの医師が装着していました。年間20mSvを超える恐れがある放射線科医師1名の診療内容は、特殊な手法であるCT透視下の腫瘍治療でした。診療放射線技師以外の医療スタッフや小線源治療に伴う被ばくは低い値でした。年間20mSvを超える恐れがある消化器内科医師の人数は3名でした。核医学領域において比較的被ばくが多い医師は、治療（患者投与量は数GBq）担当者でした。歯科医師で最も被ばくが多かった者は、法医学領域における検死のための撮影を多数行っていました。

歯科領域における放射線診療従事者の水晶体被ばく線量は、診療科全体の中では低い水準にあることが分りましたが、その中でも現状で水晶体被ばくが懸念されるX線検査として次のものがあげられます。近年、手持ち撮影が可能な携帯型口内法X線装置が各社から市販され広く使用されるようになってきました。それらを利用した撮影では、放射線診療従事者の水晶体被ばくが問題となります。携帯型口内法X線装置を用いた手持ち撮影のための指針『携帯型口内法X線装置による手持ち撮影のためのガイドライン』（以下“手持ち口内法撮影ガイドライン”）[https://jsomfr.sakura.ne.jp/wp-content/uploads/2017/12/portable_guideline.pdf] が日本歯科放射線学会から公表されています。特にX線撮影のための防護施設（X線診療室／X線撮影室、以下X線室と略）などが無い状態で口内法撮影が行われる場合（以下室外撮影と略）、あるいは、X線室内であってもしばしば小児や介助を必要とする患者に対して口内法撮影を行わなければならない場合（以下同室撮影と略）には注意が必要です*。

* 上述平成29年度と30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費大野分担研究の平成29年3月25日の「歯科診療における水晶体被ばくに関する暫定調査報告」参照。

同室撮影や室外撮影を行う場合、あるいは撮影補助等を行う放射線診療従事者（歯科医師／診療放射線技師／歯科衛生士／看護師等）は、後述のガイドラインに示すように、防護メガネを常用するようにしてください。また、照射スイッチを操作する際に、患者や線源から2m以上の距離を取れない場合には、鉛当量0.25mm以上の防護衣（防護エプロン等）を着用するようにしてください。歯科の口内法撮影では、利用されるX線の透過力が小さいため鉛当量0.07mm程度の軽い防護メガネの使用でも水晶体防護に有効です。また、放射線診療従事者が線源に近接した状態でも鉛当量0.25mm以上の防護衣を着用することにより、十分に防護が可能です。

3-2 歯科領域の放射線検査

Q1 — 同室撮影の放射線防護

小児や介助を必要とする患者に対し同室撮影、
または撮影補助する放射線診療従事者は、
必ず“手持ち口内法撮影ガイドライン”に
準じた放射線防護をしてください。

※『携帯型口内法X線装置による手持ち撮影のためのガイドライン』

[https://jsomfr.sakura.ne.jp/wp-content/uploads/2017/12/portable_guideline.pdf] 参照

同室撮影は、日常的に全口内法撮影検査の20%近い頻度になることが調査により知られており、その場合には放射線診療従事者は防護メガネを使用してください。また、照射スイッチを操作する際に患者や線源から2m以上離れることができない場合には、防護衣を着用してください。防護衣によって四肢や頭部を除く体幹部の被ばくは大幅に低減されます。防護衣を着用した際は、不均等被ばくモニタリングのための個人線量計は、防護衣の外側（襟元をお奨めします）に装着してください。歯科領域における水晶体の被ばく線量は一般的に高くありません。しかし年間の水晶体被ばくが20mSvを超える恐れがあるような特殊な状況下にある場合には、必ず専用の水晶体線量計（DOSIRISやVision等）を用いて3ミリメートル線量当量のモニタリングを実施してください。

Q2— 室外撮影の放射線防護

訪問診療あるいは大規模災害時等で室外撮影を行う場合には、放射線診療従事者のみでなく、一般人の安全のため、必ず“手持ち口内法撮影ガイドライン”に準じた放射線防護をしてください。

訪問診療や特殊な理由により、X線室がない環境下において携帯型口内法X線装置を用いた室外撮影を行う必要がある場合、撮影あるいは撮影補助する歯科医師、診療放射線技師、歯科衛生士、看護師等の放射線診療従事者は、3-2-1)の同室撮影と同様な被ばく状況におかれるため、同室撮影と同じ放射線防護が必要となります。またX線遮へい物がないため、放射線診療従事者以外の人々(例えば患者家族や同室患者、見舞客等)の放射線防護に対しても必ず配慮してください。直接X線が照射される方向を避け、患者や線源から2m以上距離が取れるようにしてください。2m以上の距離を取ることができれば、迷放射線の影響は非常に制限されます。携帯型口内法X線装置を用いた撮影時における迷放射線の空間線量分布については、大高らによる【参考図】に示されるような詳細な報告がなされています。

【参考図】

携帯型口内法X線装置(DEXICO ADX4000W)を用いて、図2(a)に示すように円柱ファントム(直径16cm×高さ15cmのPMMA)の中心を座標原点とし、コーン先端をファントム表面に接して撮影したとき(図中の矢印)、床面からの高さ1mの原点から半径0.5mと1.0mの距離における迷放射線の空間線量分布を、水平面上(図2(b))とそれに直交する垂直面上(図2(c))で測定した結果(コーン先端空気カーマ1mGyあたりに規格化した μ Gy単位の空気カーマ)†。

†(Otaka Y, Harata Y, Izawa M, et al., On the safe use of portable intraoral X-ray units in large-scale disasters, Jpn J Oral Diag/Oral Med., 30(3): 311-326, 2017より著者の許可を得て改編)

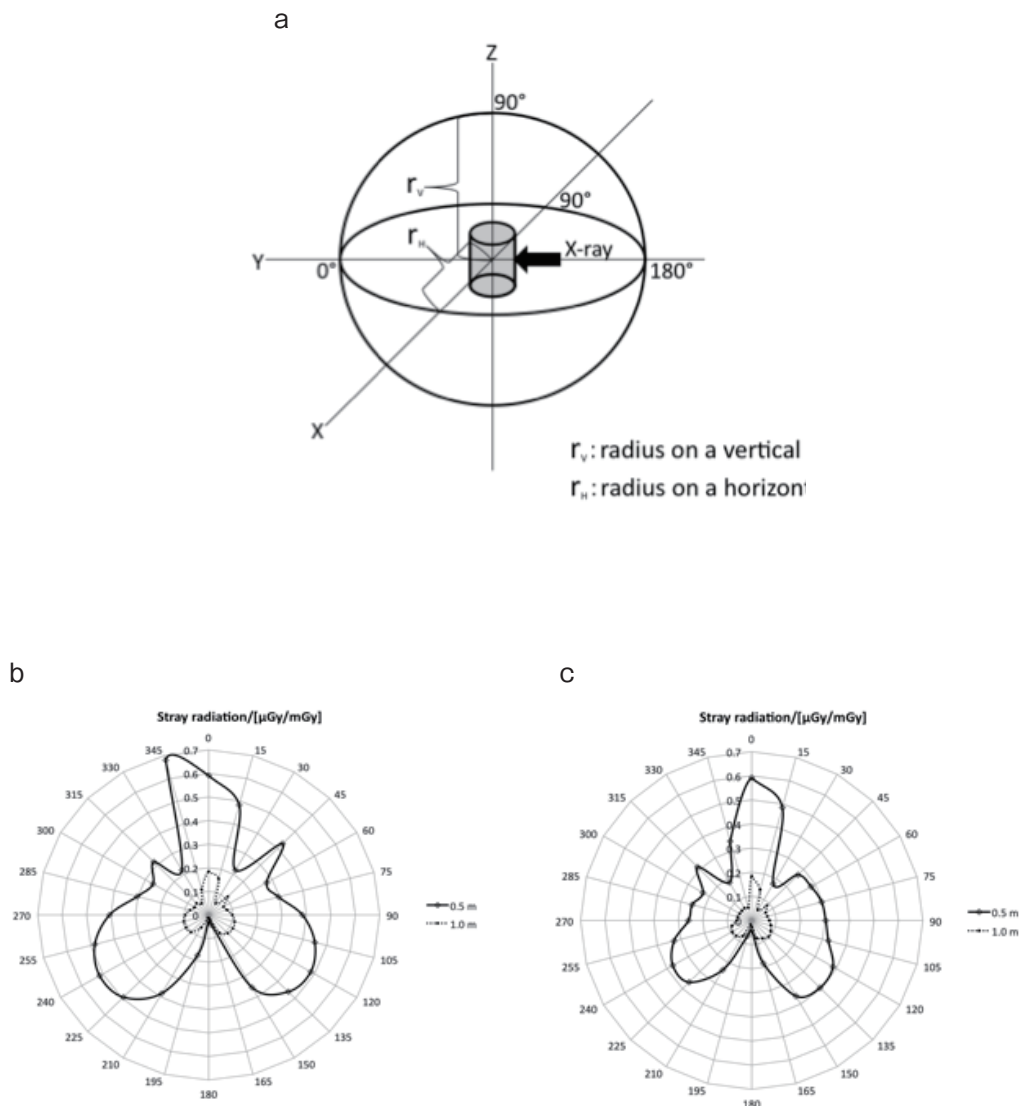


図 測定の幾何学的配置(a)、水平面上(b)と垂直面上(c)での迷放射線分布

災害時の個人識別等を目的に室外撮影を行う場合には、日本歯科放射線学会から公表されている前述の“手持ち口内法撮影ガイドライン”「5. 歯科法医学分野における手持ち撮影についての指針」に準じた放射線防護を必ず行ってください。その防護指針は概ね同室撮影のものと同様ですが、撮影件数が多くなる場合には特に十分な注意を払う必要があります。

その際の種々の具体的問題に対するQ and Aは、前述平成29～30年度大野分担班研究に対して平成30年11月30日に提出された資料「法医学における歯科X線撮影(口内法撮影)の管理啓発方法の検討」を参照してください。

04.

… 参考文献 …

- 1) 医療従事者の電離放射線に係る皮膚がんの労災認定について
(平成24年度～平成29年度(9月7日現在))
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/0000191785.pdf> (H30.1.19)
- 2) 眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について;放射線審議会 眼の水晶体の放射線防護検討部会
<https://www.nsr.go.jp/data/000221800.pdf> (H30.3.2)
- 3) 厚生労働省所管法令に関する諮問文書;第147回放射線審議会総会資料 147-1-4-2号
<https://www.nsr.go.jp/data/000295234.pdf> (R1.12.23)
- 4) 医療法施行規則の一部を改正する省令の施行等について;医政発 0312 第 7 号
https://hodanren.doc-net.or.jp/anzen/19/0701_isei0312_7.pdf (H31.3.12)
- 5) ICRP publ.103国際放射線防護委員会の2007年勧告.5.10 線量限度,日本アイソトープ協会.
2009;59-62.
- 6) 樺田尚樹 . 診療放射線従事者に対する個人管理の現状と課題. 医療放射線防護誌.
2019; 81: 5-11.
- 7) Zuguchi M, Chida K, Taura M, et al. Usefulness of non-lead aprons in radiation protection for physicians performing interventional procedures. Radiat Prot Dosimetry. 2008;131(4):531-4. doi:10.1093/rpd/ncn244.
- 8) Haga Y, Chida K, Kaga Y, et al. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. Sci Rep. 2017 ;7(1):569. doi: 10.1038/s41598-017-00556-3.
- 9) Kurihara T, Itoi A, Itokawa F, et al. Novel protective lead shield and pulse fluoroscopy can reduce radiation exposure during the ERCP procedure. Hepatogastroenterology. 2012; 59:709-12. doi: 10.5754/hge11764
- 10) 飯田 泰治, 茶島 光浩, 清水 満, 他. 血管撮影領域における術者に対する放射線防護.
日放技会誌:2001;57(12):1548-1555
- 11) 日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構資料機構報告
<http://ivr-t.kenkyuukai.jp/special/?id=18190>
- 12) 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
<http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRLhoukokusyo.pdf>

資料1 放射線による水晶体の障害

放射線の被ばくによる白内障の発生は以前から知られています。放射線性白内障の発生は主として放射線が水晶体上皮細胞の異常分化を誘発し、異形成の線維性細胞を生み、微小混濁を形成するためです。しかし従来はこの微小混濁が必ずしも視力低下を伴う白内障にまで発展するとは考えられていませんでした。このため、線量限度決定の根拠として国際的にも視覚障害性白内障発生のしきい値(1%の異常出現値)を採用してきました。この値は慢性被ばくで8Gy、急性被ばくで2~10Gyです。ところが最近になり、原爆被爆者やチェルノブイリ事故清掃員の疫学調査結果やマウスを用いた実験結果などから、微小混濁が視力障害性白内障へと進行する可能性があるとの考えが主流となり、現在は微小混濁のしきい値0.5Gyを放射線による水晶体障害のしきい線量として採用しています。

資料2 皮膚への放射線影響の紹介

皮膚は体表面にあるため、放射線の影響を最も確認しやすい場所です。皮膚に放射線が大量に当たった場合には、火傷に似た皮膚障害の発生と将来の皮膚癌発生のリスク増加という2種類の影響を受ける可能性があります。皮膚障害は、紅斑や脱毛、落屑、潰瘍などがあり、それぞれが発生する最低線量(集団の1%に異常が発生する線量で、しきい線量と呼ぶ)が判っています。このように障害発生の最低線量が明らかな異常を放射線領域では確定的影響と呼びます。障害の詳細は、資料4.患者の皮膚障害に関するガイドラインと対応の表1で確認してください。なお、通常の火傷との違いは、放射線感受性の高い基底膜細胞に障害が発生するため、新陳代謝により表皮が脱落后初めて異常が明らかになることです。しきい線量を超えて被ばくをした場合は、その後の皮膚の変化を注意深く観察する必要があります。

皮膚癌発生のリスクは、発がんのメカニズムに則るためどの程度の線量でリスクが増加するかを明言できません。このため、発がんは組織反応と分けて、確率的影響と呼んでいます。皮膚癌は大量に被ばくした居所から発生しますので、放射線診療に従事する者は手指など局所の被ばくが増加しないように注意を払う必要があります。

資料3 妊娠可能な女性の放射線管理

妊娠がわかった時は職場の所属部署の長に申告し、管理者に報告しなければいけません。管理方法が異なるからです。妊娠から出産までの間は胎児の被ばくが実効線量1mSv以下になるように、妊婦の腹部表面での等価線量が2mSvを超えないようにします。

なぜこのような管理をするのでしょうか？それは、胎児は妊婦の従事者の体内にいますが、別の一人の“一般公衆”として考えるからです。胎児には一般公衆の実効線量限度としている年間1mSvを適応する目的で、妊婦の従事者の被ばく線量を下げているのです。

一般公衆は放射線に関する知識を得る機会が少ないこと、乳幼児や高齢者を含むあらゆる人々を対象とすることから、可能な限り低い値を設定しています。自然放射線被ばく線量の半分程度であれば、危険性はほとんどないとの判断によります。この数値を胎児にも当てはめようという公衆衛生的な配慮がなされています。

なお、通常業務で8割の医療スタッフの被ばくは実効線量で年間1mSv以下に抑えられています。

資料4 患者の皮膚障害に関するガイドラインと対応(2019年改訂)

平成14年頃からIVRを受けた患者の皮膚に潰瘍等の障害が生じることが、各国で問題となりました。日本でも同様の障害が報告されるようになったため、IVRにともなう放射線皮膚障害の防止に関するガイドラインを13の学協会が共同で発表しました。

医療放射線防護連絡協議会、日本医学放射線学会、日本医学物理学会、日本画像医学会日本血管造影・IVR学会、日本歯科放射線学会、日本心血管インターベンション学会、日本心血管カテーテル治療学会、日本循環器学会、日本脳神経血管内治療学会、日本皮膚科学会、日本放射線技術学会、日本放射線腫瘍学会、日本保健物理学会の共同で平成16年に発表されたガイドライン(令和元年一部改訂)を紹介します。なお、この内容を補完する具体的なQA集も作成されていますので、参考にしてください(令和元年改訂)

◎IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドラインについて

1. はじめに

近年、画像診断用機器や診断技術などを応用することによりX線透視下で治療を行うインターベンショナルラジオロジー(IVR)は目覚ましい進歩を遂げ、多くの疾患の治療法として普及しています。IVRでは、拡大透視や高線量率の透視を長時間使用し、撮影回数も多くなることがあり、患者に放射線皮膚障害を生じる事例が発生するようになりました。

IVRにおいて発生した患者の放射線皮膚障害防止に関する注意は、米国のFDAから1994年に公表され、我が国では翌1995年に日本医学放射線学会が警告文を発しました。しかし、それ以降もIVRによって発生した放射線皮膚障害の報告が散見されており、より充実した放射線防護対策が求められています。

そのため、関連学会で構成した本検討会が中心となり、IVRにおける皮膚障害防止に関するガイドラインを作成しました。このガイドラインと測定マニュアルに基づいて、IVRに伴う皮膚障害の発生を防止し、またやむをえず障害が生じた場合の対応にも務めてください。

2. インフォームドコンセント

IVRを施行するにあたり、皮膚線量がしきい線量を超えた場合には皮膚障害が発生する可能性が高くなります。主治医は患者とその家族に、治療の必要性、方法および合併症に関する説明のほか、放射線被ばくによって生じる皮膚障害等の確定的影響とその防止策、皮膚障害が発生したときの治療方法についても説明をしてください。なお、皮膚線量がしきい線量を超える可能性が高い場合には、あらかじめその旨の説明も付け加えてください。

3. IVR手技における皮膚線量の管理目標値の決定

放射線による皮膚障害などの確定的影響にはしきい線量が存在し、それ以下の被ばくでは発生しないことが明らかになっています。

IVRの施行に際し、あらかじめ、施設の管理目標として皮膚線量の上限值を定めてください。但し、緊急の救命医療の場合など、軽微な確定的影響よりも治療完遂を優先する場合がありますから、患者にとっての最良な結果を得るため、管理目標値を超えて継続する場合の判断を誰がどのようにするか、という手続きも含めて定めておく必要があります。

4. IVRに使用する装置の線量率の把握

日常のIVRで使用している装置の患者皮膚面における線量率を把握しておくことは、皮膚障害防止のために不可欠です。IVRの安全性を担保するために、測定マニュアルを参考に線量率を実測してください。なお、現在の透視用装置は、医療法施行規則において「透視中の患者への入射線量率は、患者の入射面の利用線錐の中心における空気カーマ率が50mGy毎分以下になるようにすること。ただし、操作者の連続した手動操作のみで作動し、作動中連続した警告音等を発するようにした高線量率透視制御を備えた装置にあっては125mGy毎分以下になるようにすること」と規定されています。

5. 皮膚障害の影響線量を超えたと考えられる患者への対応

放射線皮膚障害のしきい線量を超えたと考えられる場合（例えば、皮膚線量が初回症例では3Gy、頻回症例では1Gyを超えた場合）は、以下の手順に従って患者の健康維持に務め、照射部位、皮膚線量や行った処置などをカルテに記載してください。

- (1) 治療が必要不可欠なものであったことを、再度説明してください。
- (2) 放射線皮膚障害の起こる可能性が高い部位（照射部位）と皮膚線量をカルテに記載し、繰り返し行われるIVRでは情報が次に伝わるようにしてください。
- (3) 皮膚の紅斑などの影響が起こる可能性を患者と家族に伝え、IVR手技後1週間から

2週間は、入浴等の際に照射部位を観察するように説明してください。

観察には家族の協力が必要なことを付け加えてください。

入院が継続される場合は主治医と病棟看護師にその旨を伝え、継続した皮膚観察をお願いしてください。

- (4) 皮膚障害が起こる可能性のある部位は、擦ったり掻いたりしないこと、入浴時には刺激の強い入浴剤や石鹸を使用しないこと、絆創膏や湿布類は使用してはならないことを説明してください。
- (5) 皮膚に何らかの変化があった場合には、主治医に連絡するよう説明してください。
- (6) 皮膚障害の発生が予想される場合は、皮膚科医に相談して下さい。その際、皮膚障害を起こす可能性がある部位と、生じる皮膚障害は放射線によるものであることを伝えて下さい。

表のような施設基準を規定し、患者にはそれに沿った説明をするのも一法です。

なお、これらの線量と影響の関係は個人差があります。

レベル0	1Gy未満	特別な対応は不要
レベル1	1Gy以上3Gy未満	被ばく線量と部位を診療録などに記載する
レベル2	3Gy以上5Gy未満	一過性の脱毛、発赤の可能性を説明する
レベル3	5Gy以上	脱毛、発赤、びらんなどの可能性を説明する(18~20Gyで皮膚壊死、潰瘍形成の可能性)

6. 装置の品質管理

患者の皮膚障害などの放射線障害を防止するためには、患者の皮膚線量を把握するとともに、被ばく低減のための有効な対策を講じて線量を抑制することが重要です。そのためには、使用している装置がどのように制御されているかを理解し、その最適化と安定性の維持に努めてください。以下、被ばく低減のための環境整備に関する具体的な項目を列記します。

- (1) 付加フィルタの最適化
- (2) 透視撮影条件の最適化
- (3) 撮影記録の最適化
- (4) 装置の幾何学的配置と設定の最適化
 - ①焦点—患者間距離(患者をできる限りX線管から遠ざける)
 - ②受像器—患者間距離(受像機(検出器)をできる限り患者に近づける)
 - ③照射野を絞る
- (5) ユーザとメーカーによるシステムの性能維持管理

7. スタッフの教育訓練

放射線を安全に利用するには、被ばくのメカニズムと影響、および防護策についての知識が必要です。IVRに関わる医師、診療放射線技師、看護師などに対しては、施設や学会において、セミナーなどの教育訓練を行ってください。

8. まとめ

IVRは、患者への「低侵襲性」に利点があり、従来は外科手術でしか対処できなかった疾患あるいは外科手術が困難であった疾患の治療において患者の身体的な負担を大きく軽減しています。一方、患者の放射線被ばくを伴うことにより一部の患者に放射線皮膚障害が生じています。IVRにおいて放射線皮膚障害を発生させない環境を整え、万一障害が発生した場合においても的確な対処ができるような体制作りが急務です。本ガイドラインは、そのような主旨に沿って関連学会の協力により作成しました。

放射線による影響は確率的なものと同定的なものがあります。今後も、放射線に起因するさまざまな問題が発生する可能性があるため、確率的影響への対応も視野に入れよ、という意見もあります。しかし、本ガイドラインに、いま問題になっている放射線皮膚障害の防止以外のことを盛り込むことは、対応を複雑にするだけでなく、標記目的の達成を阻害するおそれがあるので、本ガイドラインはあくまでも、IVRに伴う放射線皮膚障害の防止を目的とすることを明記します。

放射線診療、特にIVRにおいては、患者と医療スタッフが信頼をもって協力し合う関係を築くことが重要です。そのためには、各施設において、どのレベルの被ばくまでを容認するのか、また、障害が発生するおそれのある線量に達した場合には、どのような対処をするのかという戦略を確立し、患者にも公開する必要があります。さらに、IVR術者の放射線防護にも配慮する必要があります。

2) IVRの患者と術者の被ばく管理

IVRは、患者にも術者にも適切な管理が求められます。

IVR治療では長時間のX線透視が、放射線治療の場合は細胞を放射線で死滅する線量が必要であり、放射線検査よりも放射線量は遙かに高いので、適切な線量管理が特に求められます。巻末に資料として、患者と術者の放射線安全を呼びかけるIAEAのポスターの日本語訳を掲載しました。

(注:本ガイドラインには未収載、医療放射線防護連絡協議会のホームページよりダウンロード可能 (<http://jarpm.kenkyuukai.jp/information/>))

共同編集

公益財団法人 日本医学放射線学会

一般社団法人 血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定機構

公益財団法人 日本医学物理士会

一般社団法人 日本インターベンショナルラジオロジー学会

一般社団法人 日本救急医学会

一般社団法人 日本呼吸器学会

公益財団法人 日本産業衛生学会

特定非営利活動法人 日本歯科放射線学会

一般財団法人 日本消化器病学会

公益社団法人 日本小児科学会

一般社団法人 日本小児外科学会

一般社団法人 日本小児放射線学会

公益社団法人 日本診療放射線技師会

一般社団法人 日本循環器学会

公益社団法人 日本整形外科学会

一般社団法人 日本脳神経外科学会

特定非営利活動法人 日本脳神経血管内治療学会

一般社団法人 日本放射線看護学会

公益社団法人 日本放射線技術学会

医療放射線防護連絡協議会

放射線安全に関するアンケートのお願い

放射線作業従事者に対する目の水晶体の等価線量限度の改定に向けた準備が、現在各方面で進められています。

現在の線量限度は1年間で150mSvですが、改定後は5年間で100mSv、単年度は最大50mSvまでとなります。実効線量限度と皮膚の等価線量限度は従来通りで変更はありません。

医療関係者や放射線安全管理担当者が新たな規制の下でスムーズに業務を遂行するために、皆様がどのような管理方法をご希望されるかをお伺いし、規制担当の方々と、今後のよりよい管理方法を考える基礎資料を作成したいと思います。ご記入のほどよろしくお願い申し上げます。

記入後の用紙は受付の専用箱に入れて下さい。よろしくお願い致します。

なお、集計結果は当連絡協議会の2020年2月フォーラムで報告します。

以下の（方法1）と（方法2）を踏まえたうえで、あなたが、望ましいと思う従事者の水晶体の被ばく管理の方法を1つ選んで、番号に○をつけて下さい。

（方法1）眼の水晶体の等価線量は、現在は頭部用と胸部（腹部）の個人線量計の計測結果を基に算定されています。この値は、防護眼鏡の外側の数値を近似しています

（方法2）最近では防護眼鏡の内側に装着するタイプの線量計もあり、これを用いれば防護眼鏡の遮へいを考慮した値が得られます。しかし、別途料金がかかることと、視野の邪魔になるという欠点があります。

1. 方法1の値が5mSvを超えた時点で方法2の線量計を義務付ける。単年度20mSv以下になるように対応する。
2. 方法1の値が10mSvを超えた時点で方法2の線量計を義務付ける。単年度20mSv以下になるように対応する。
3. 方法1の値が20mSvを超えた時点で方法2の線量計を義務付ける。5年間管理の対象者へ移行し5年間で100mSvを超えないように対応する。
4. その他（具体的に書いてください）