

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン

2020年7月

(2021年6月 修正)

一般社団法人日本保健物理学会

改訂・修正履歴

改訂・修正	日付	改訂・修正内容
—	2020/07/08	初版発行
修正	2021/06/03	・ p.49 例題 例題4の回答 β線による被ばくのみと考えられる作業環境における全面マスク内の個人線量計の装着に関する記載に、注記として「実施においては、関係行政機関に確認の上、法令を遵守するようにしてください。」を追加。

目次

本文	1
解説	5
1. 目的	5
2. 適用範囲	6
3. 関連法規等	6
(1) 関係法令、規定類等	6
(2) 任意規格	7
(3) その他	9
4. 用語	9
5. 眼の水晶体の線量モニタリングにおける算定の方法	12
(1) 基本的な考え方	12
(2) 適用する放射線の種類	13
(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）	13
(4) 眼の水晶体の等価線量の記録レベル	14
(5) 眼の水晶体の等価線量を算定するための測定部位	14
1) 個人モニタリングに係る測定部位の考え方	14
2) 国内法令での不均等被ばく管理における線量の測定	15
3) 体幹部不均等被ばく状況の判断	16
4) 眼の水晶体の線量モニタリングとしての測定部位	18
(6) 眼の水晶体の等価線量の算定に使用する実用量	20
1) 光子	21
2) 電子	22
3) 中性子	23
(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	24
参考文献	26
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	29
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	31
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	34
例題	38

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン

(2020年7月8日制定)

(2021年6月3日修正)

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のフロー図参照）。

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/body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部位)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/body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部位)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、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 μ m 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。

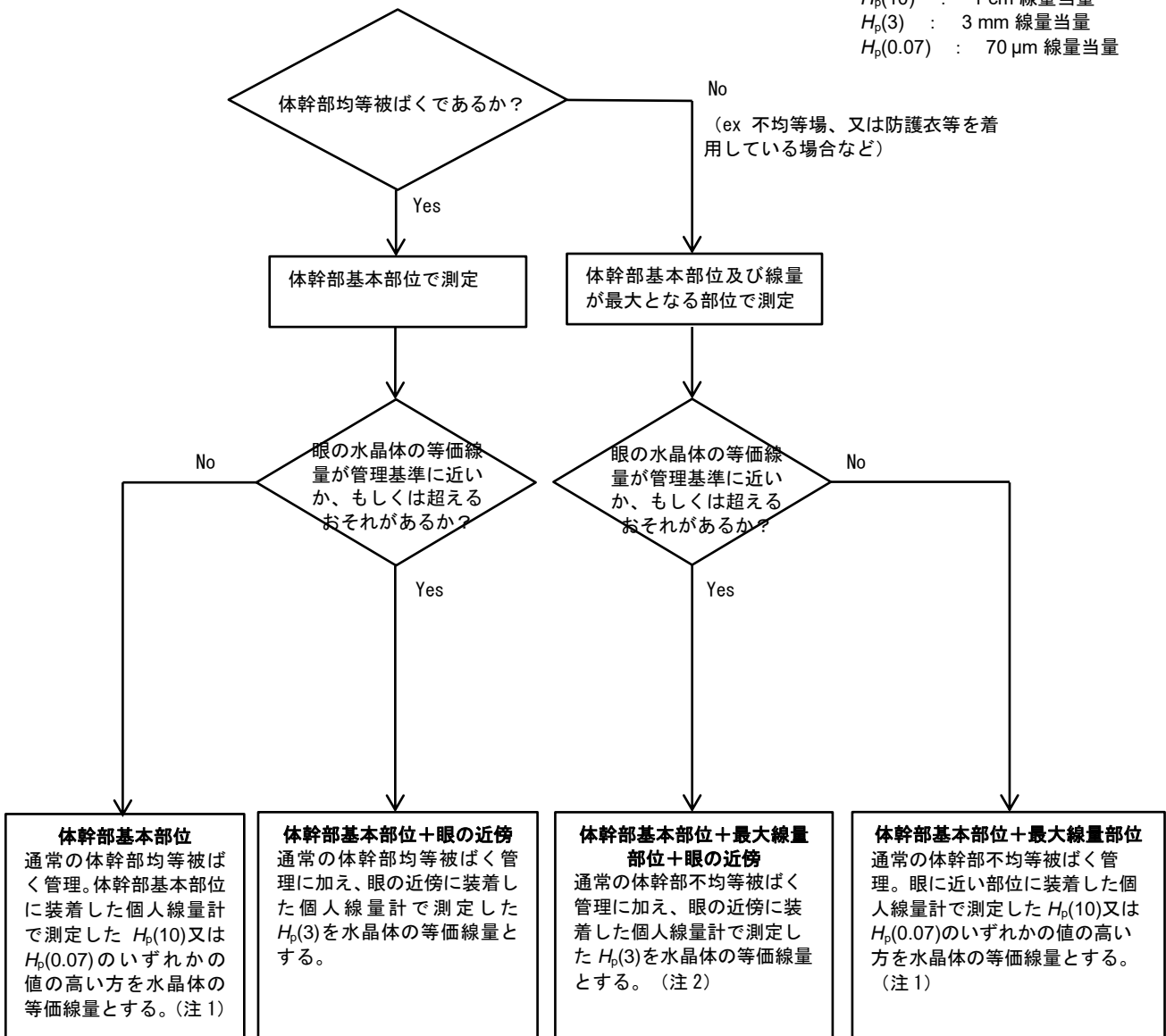
- ① 眼の水晶体の等価線量が管理基準に近づく、又は超えるおそれがある場合
- ② 上述①以外で、より正確に眼の水晶体の等価線量を算定する場合

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のガイドライン

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）。

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。

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。）が示した考え方を踏まえ、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。）において学術的な観点から検討を行った結果に基づいている。この検討にあたっては、放射線安全規制研究戦略的推進事業の成果^{3), 4)}等を参考にするとともに、当該研究班の参画を得て実施した⁵⁾。

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、キーワード：防護の最適化）。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している。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⁾では、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、記述している。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 dose rate 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 dose rate 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 dose rate 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 dose rate 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 $J \cdot kg^{-1}$ 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 10 mm (1 cm)、眼の水晶体等価線量に対応する実用量は 3 mm、皮膚等の等価線量に対応する実用量は 0.07 mm (70 μ m) を用いている。我が国では 1 cm 線量当量、3 mm 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)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 $H_p(3)$ 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、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、我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¹⁾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している。また、「被ばく線量の測定・評価マニュアル」¹⁾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、キーワード：管理基準）、そして、眼の水晶体の等価線量が管理基準に近い、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。)は、

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。

と記載している。

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している。

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、一様にではなく偏りがあ

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。

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、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)項では、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、と記載している。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¹⁾。

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することが法令で規定している。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（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⁾で、『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』と定義している（【例題4】、【例題16】及び【例題20】参照、キーワード：防護具による減衰計算、等価線量の計算による算定、測定結果の足し合わせ）。

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。

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。

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、身体の色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、キーワード：体幹部不均等被ばく）。

一方、ICRP Publ. 75⁷⁾（及びICRP Publ. 35¹⁵⁾）、IAEA GSG-7¹⁶⁾で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を示しており、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程度としている（【例題2】参照、キーワード：線量の不確かさ）。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。

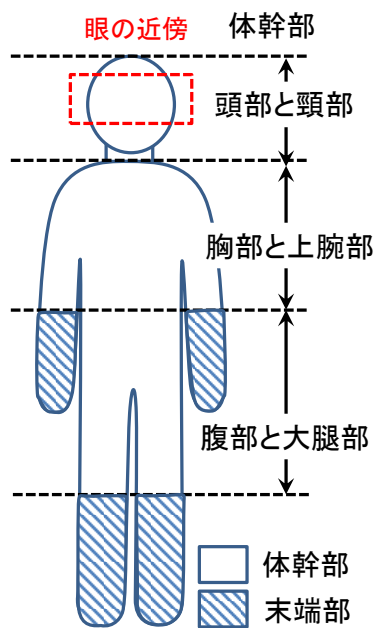
このように、体幹部不均等被ばく管理が必要かどうかは、作業環境等の状況を各種実測値等により把握し、線量管理に責任を有する者がケースバイケースで判断する（【例題 1】参照、キーワード：体幹部不均等被ばく）。また、体幹部不均等被ばく状況の判断については、実効線量の線量管理としての視点から行わなければならない、実効線量を算定する上での影響を考慮することが重要である。

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。

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。



- ・ 眼の水晶体の等価線量をより正確に算定することが必要となると見込まれる場合^{※1}には、法令で義務付けられている装着位置に加え、「眼の近傍」で測定した結果を用いて眼の水晶体の等価線量を算定する。
- ・ 「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に適切な位置のことをいい、両眼で受ける線量が最も高い位置から、当該線量^{※2}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をいう。
- ・ また、眼の近傍で線量計を装着する場合、両眼からの距離に近いほど望ましい。

※1 現行の測定方法では等価線量限度を超えるおそれがあるなどの場合。

※2 防護眼鏡等を装着している場合にあっては、防護眼鏡等の遮蔽効果を考慮して判断する。

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)

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。カナダのカイドライン¹⁷⁾では、「眼の近傍」は最も高い線量を受ける位置として、左眼の左側、右眼の右側、額の中央部を装着部位の候補として例示している。オランダのガイドライン¹⁸⁾では、眼の水晶体のモニタリングのための個人線量計は最も被ばくする眼に可能な限り近い、線源に向け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を示唆している。我が国でも同様に、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（男性又は妊娠する可能性がないと診断された女性は胸部、その他の女性については腹部）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、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、令和二年三月十八日公布（令和二年原子力規制委員会規則第十三号）改正、令和三年四月一日施行）の第二十条の2項の一の二に、「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。」としている。

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などに沿って、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 μ m 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 4037-3:2019²³⁾に、光子による実用量(1 cm 線量当量、3 mm 線量当量、70 μ m 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 μ m 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 μ m 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 μ m 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 μ m 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 μ m 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。

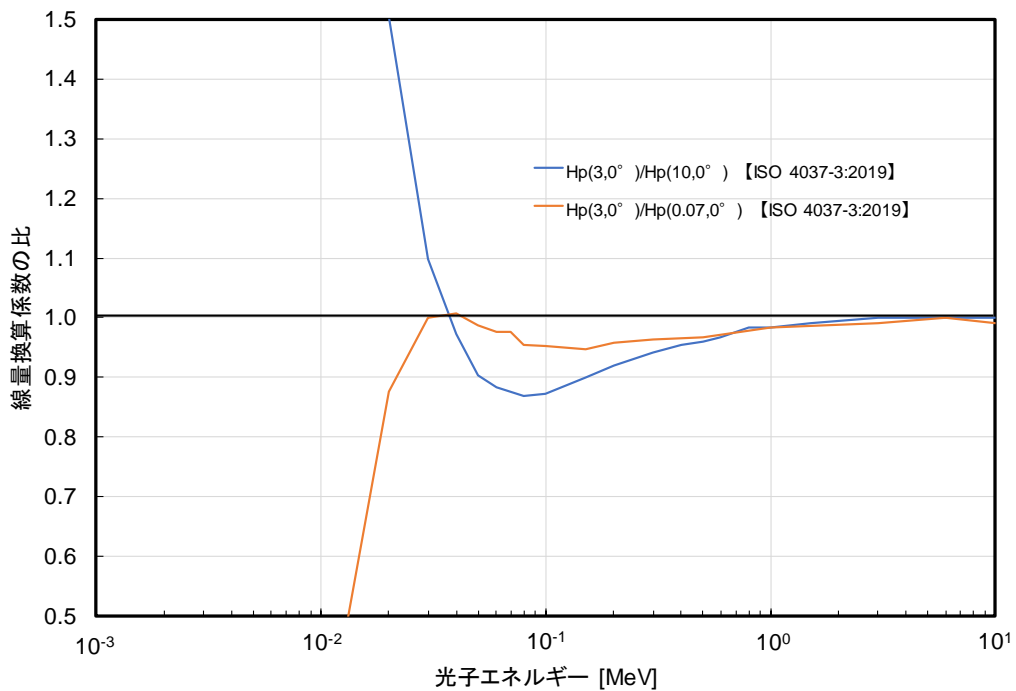


図 E.2 光子による実用量の換算係数²³⁾の比

2) 電子

ICRP Publ. 74²⁴⁾の(251)項、(266)項と表 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 1 7】参照、キーワード：3 mm 線量当量の測定）。

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 μ m 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。

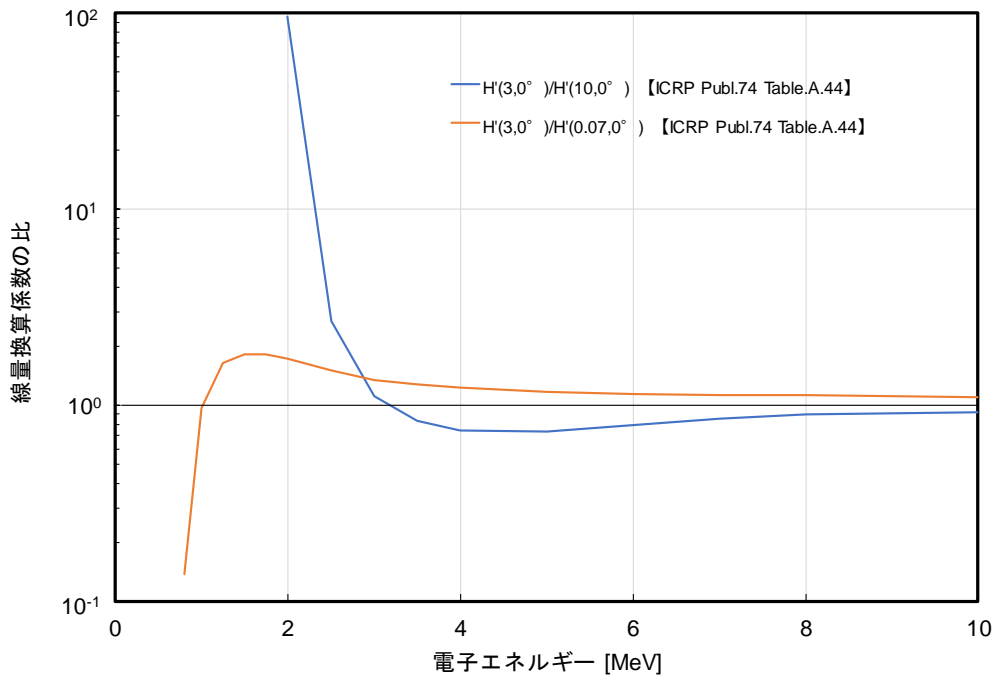


図 E.3 電子による実用量（方向性線量当量）の換算係数²⁴⁾の比

3) 中性子

ICRP Publ. 74²⁴⁾の(246)項では、「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。」と記載している。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²⁵⁾。

一方、意見具申²⁾では、「中性子被ばくについては必ずしも保守的とは言いきれない場合でも、3 mm 線量当量を測定できる環境が整っているとは言えない状況を考慮して、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。」とし

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、キーワード：作業計画立案時）。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 $H(3)$ を規定している。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

れば、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、以下のように記載している。

*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 μ m
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は
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。*

改正された関連法令では、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 AOCRP, 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 - Part 3: 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我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、我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我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た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月の施行の予定とした。

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

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？
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)が使用しているか？	
	眼の防護のために使用している。 ↓ 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ない(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)。	眼の防護のために使用していない。 ↓ $H_p(3)$ が唯一の妥当な数量となる。

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を変更する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、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を法令で規定している。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)}では、眼の水晶体の等価線量を算定する方法を以下のように記載している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 $H_{3\text{mm}}$

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。

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_{1cm} 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

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。

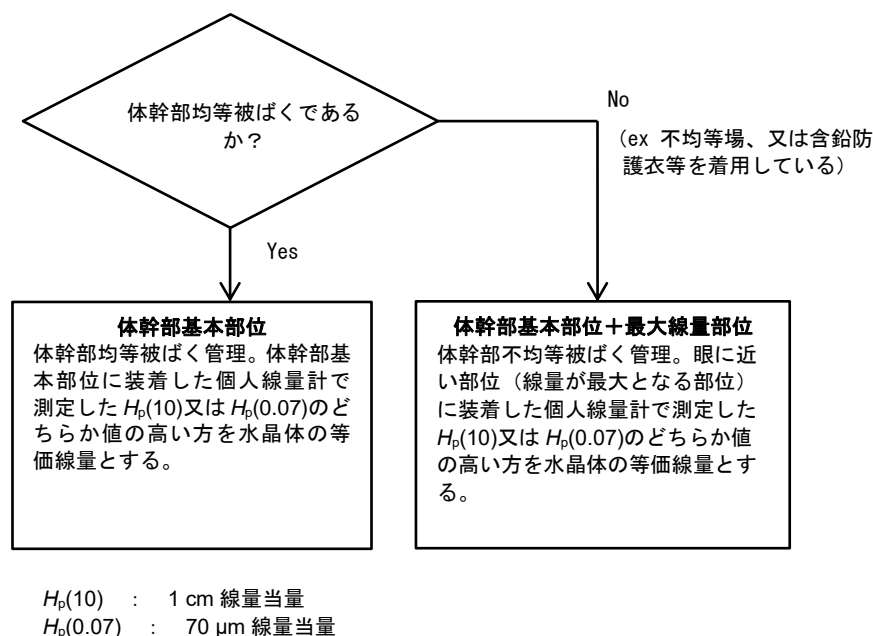


図 3.1 従来の眼の水晶体の等価線量の算定方法を決定するフロー図

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。

と説明している。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のガイドライン

【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 2 0 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？
- 例題 2 1 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、どうすればよいでしょうか？
- 例題 2 2 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 2 3 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 2 4 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が示している「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 2 5 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 2 6 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の不確かさを容認しており、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)}では、記録レベルという概念を提示しており、実効線量の場合は年間 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しています。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に、個人線量当量が制限値⁴⁾の 10% を超過する可能性を持つ場合

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。

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。

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は次のようになっています。

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 という数値を示し、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)}の 7.45 項では、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示しています。

(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)}の7.46項では、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} を、以下のような式(A2.1)、(A2.2)で表しています。

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

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

なお、 H_1 は真の線量値、 H_0 は測定する必要のある線量の下限値を示し、通常は記録レベルで、以下の式(A2.3)で示される R を採用します。

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

ここで、 L は1 mSv、又は、年等価線量限度の10%を通常用います。

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 μ m 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」と呼ぶことがあります。)

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、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が妥当です。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を、俗にトランペットカーブ(IAEA GSG-7^{A2.3)}、p.149~152、Fig.4)と呼び、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しています。

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。

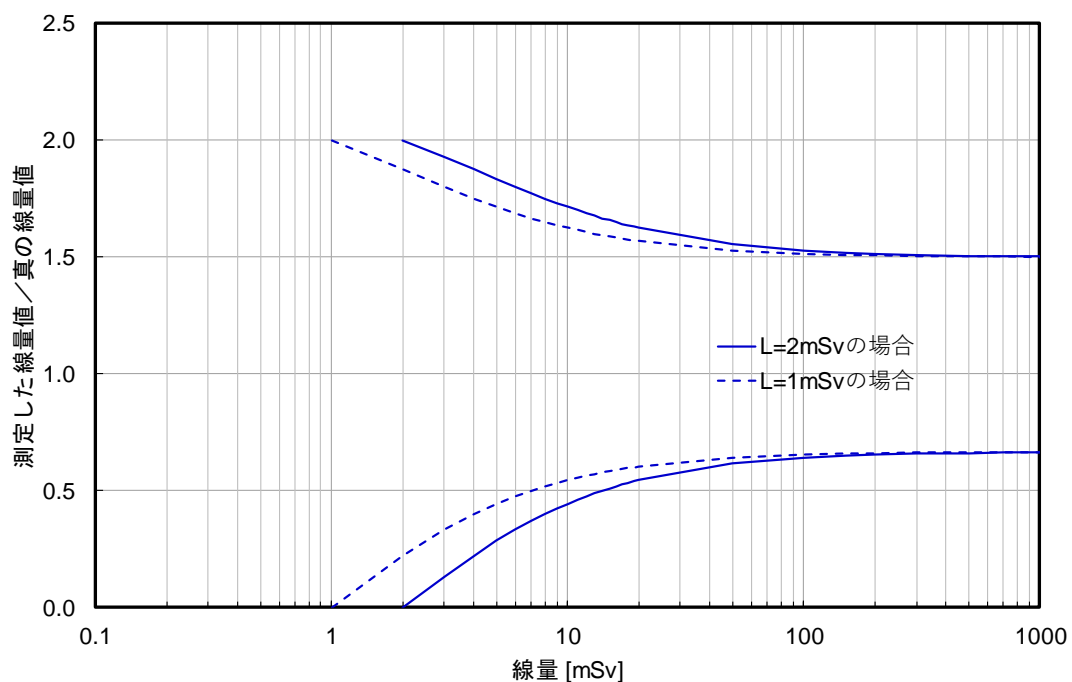


図 A2.1 測定期間を 1 ヶ月とした場合に個人線量計として許容される不確かさの範囲

($L = 1 \text{ mSv}$ の場合は実効線量、 $L = 2 \text{ mSv}$ 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)

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)

【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必要条件は、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とすることが考えられます。

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 年間で年平均 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（ $\div 20 \text{ mSv}/1.2$ ）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 を超える作業者がいる場合、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、EU 指令 (Council Directive 2013/59/EURATOM)^{A3.4)}では年間 15 mSv を提案しており、オランダ^{A3.5)}、カナダ^{A3.6)}のガイドラインでは年間 15 mSv を採用しています。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、放射線作業者について、線量限度の 10 分の 3 を超える作業者（カテゴリーA）と超えない作業者（カテゴリーB）に分類して、カテゴリーA の作業者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を示しています。

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 $H_p(3)$ 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 1 6】〕

【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)}に記載しています。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。」となっております。「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、 γ 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^{*}。

※ 実施においては、関係行政機関に確認の上、法令を遵守するようにしてください。

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になります。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る

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ますと、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、作業員は、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

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。

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)

【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加わっています。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、事業所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。

熱ルミネセンス線量計 A



熱ルミネセンス線量計 B



図 A6.1 眼の水晶体専用の受動形個人線量計の例（写真は執筆当時のもの）

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)}では光子の空気カーマから $H'(3)$ 、 $H_p(3)$ への換算係数を示しています。 $H_p(3)$ 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 で定義しています。

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 $H_p(3)$ を含んでいません。ただし、2019 年からその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ています。

また、受動形線量計の規格である IEC 62387:2012^{A7.3)}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で規定していましたが、2020 年版^{A7.4)}では円柱ファントムで規定しています。IEC 62387:2020^{A7.4)}では、光子及び β 線の $H'(3)$ 、 $H_p(3)$ への換算係数を示しています。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 $H_p(3)$ への換算係数も示しています。

参考文献

- A7.1) ISO 4037-3:2019, Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate 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】

【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)}で規定した空気カーマから $H'(3)$ 、 $H_p(3)$ 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 $H'(3)$ 、 $H_p(3)$ については、校正方法の規格である ISO6980 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校正を実施します。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 $H_p(3)$ への換算係数を示していますので、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 dose rate 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いました^{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3mm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員においても、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 ^{60}Co 、それ以降の工程では ^{137}Cs 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となります。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70 μm 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、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 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)作業員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員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)作業員によっては、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20 mSv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ため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 年度の放射線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ました^{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) 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）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－，（2020）

【例題 1 1】

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 1 1】

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場合、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ますと、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)}は、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 程度と報告しています。このような場合、検査数を 6000 件 (30 頭/日 \times 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) \times 30 cm (横) \times 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 となりました。30 頭/日 \times 3 回撮影/検査 \times 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 1 2】

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 1 2】

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)}では、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について記載しています。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を新たに追加しています。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)}）の免除レベル（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を確認しました^{A12.5)}。最も線量の高い装置では 400 μ Sv 程度と評価していますが、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。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になります。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, 23(1), 23-32 (2019)
- 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 1 3】

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 1 3】

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 1 4】

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 1 4】

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 1 5】

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 1 6】〕

【回答 1 5】

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となります。

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くなる場合があります。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。この評価した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 1 6】

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 2 4】】

【回答 1 6】

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 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 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
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	1.07	0.22	0.0004	$^{90}\text{Sr}:^{90}\text{Y}=1:1$

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 $^{90}\text{S} + ^{90}\text{Y}$ 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となります。

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)節に示した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】に記載し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。

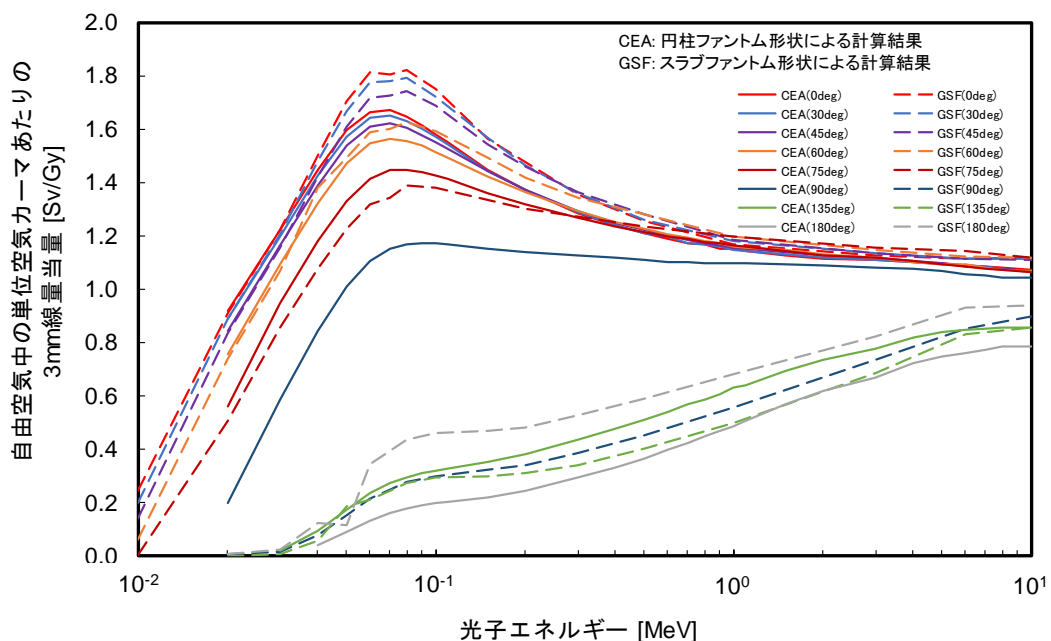


図 A20.1 円柱ファントム^{A20.1)}とスラブファントム^{A20.2)}の 3 mm 線量当量の換算係数

参考文献

- A20.1) Gualdrini, G., Bordy, J.M., Daures, J., Fantuzzi, E., Ferrari, P., Mariotti, F., Vanhavere, F., Air kerma to $H_p(3)$ 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 $H_p(3)$ eye dosimeter, Radiation Protection Dosimetry, 168(4), 441–449 (2016)

【例題 2 1】

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、どうすればよいでしょうか？

【関連箇所：解説第5章(5)節】

【回答 2 1】

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 2 2】

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 2 2】

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 μ m 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 2 3】

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 2 3】

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 2 4】

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が示している「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) 節及び【例題 3】、【例題 4】、【例題 1 6】〕

【回答 2 4】

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 ($H_p(3)/H_p(10)$) によって異なります。

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、【回答 1 6】に記載しましたように、我が国の法令では「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法を我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。

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、個人モニタリング提供者に向けて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かな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な事項（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)
- A26. 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)