

眼の水晶体に係る放射線防護の 在り方について

放射線審議会による意見具申内容について

藤田医科大学

横山 須美

経緯：国際動向

- 国際放射線防護委員会(ICRP)は2011年4月に「組織反応に関する声明」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」ことを勧告した。
- この勧告の内容は、国際原子力機関(IAEA)の「放射線防護と放射線源の安全：国際基本安全基準」(BSS)に取り入れられている。また、IAEA-TECDOC 1731「新たな水晶体線量限度の放射線作業者の防護への示唆」を刊行。
 - * 2018年にIAEA GSG-7「職業上の放射線防護」及びSSG-46「電離放射線の医療使用における放射線防護と安全」にも、水晶体の等価線量限度やモニタリングが記載。
- 欧州では、2013年12月にCouncil Directive 2013/59/EURATOM を定め、2018年2月までにEURATOM 加盟各国の国内法に新たな水晶体の等価線量限度を取り入れるよう指令が出された。
- オーストラリア、ブルガリア、フィンランド、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、スイス、タイ、英国がすでにICRPの水晶体の等価線量限度を法令に取り入れており、フランス、ドイツ、スウェーデンが法令取入れ決定。
- 米国放射線防護審議会(NCRP)は、水晶体に対する線量限度のガイドラインを刊行。線量限度の変更を勧告(150 mSv/年 → 50 mGy/年)したが、ステークホルダーからの反対で、米国原子力規制委員会(NRC)は法令改正に至っていない。

経緯：放射線審議会での検討

- 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、ICRPの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検討を行うこととした。
- 第135回総会（2017年7月開催）において、「眼の水晶体の放射線防護検討部会」（水晶体部会）を設置した。
- 水晶体部会では、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、報告書を取りまとめ、2018年3月に放射線審議会より、この報告書の内容を参考として所要の措置を講ぜられるようにと関係行政機関に対し具申した。

参考：眼の水晶体の放射線防護検討部会報告書

ICRPの水晶体の等価線量限度

- 1949年 加速器作業者と原爆被ばく者で白内障が報告。放射線白内障は、動物で1897年(X線発見の翌々年)、ヒトで1903年に初の報告。
- 1950年 放射線白内障を「考慮すべき影響」に初めて含める。
- 1954年 **水晶体線量限度(最大許容線量)を初めて勧告(放射線作業員・公衆に対して) 水晶体線量のための実効深度を 3 mmとする。**
- 1977年 放射線白内障を非確率的影響(後の確定的影響、組織反応)に区分。水晶体等価線量限度は、視覚障害性白内障の発症を防ぐことが目的。
白内障は手術により治療可であるが視覚障害により支障をきたすため。

参考：浜田信行，新たな水晶体等価線量限度と国外動向，第1回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料3(2017)

ICRPが水晶体等価線量限度を改定した経緯

- 2003年
ICRP Publication 92で、白内障のしきい線量が、従来考えてきたより低い可能性を指摘するとともに、新たなタスクグループ(TG)を立ち上げて議論する必要性について言及。
- 2006年
ICRP第1専門委員会に、TG 63「(低LET放射線の)組織反応と非がん影響」を立ち上げ。
- 2011年 1月20日- 4月1日
TG 63報告書草案「正常な組織・臓器における放射線の早期影響と晩発影響：放射線防護の視点から見た組織反応とその他の非がん影響のしきい線量」の公開意見募集を実施。

参考：浜田信行，新たな水晶体等価線量限度と国外動向，第1回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料3(2017)

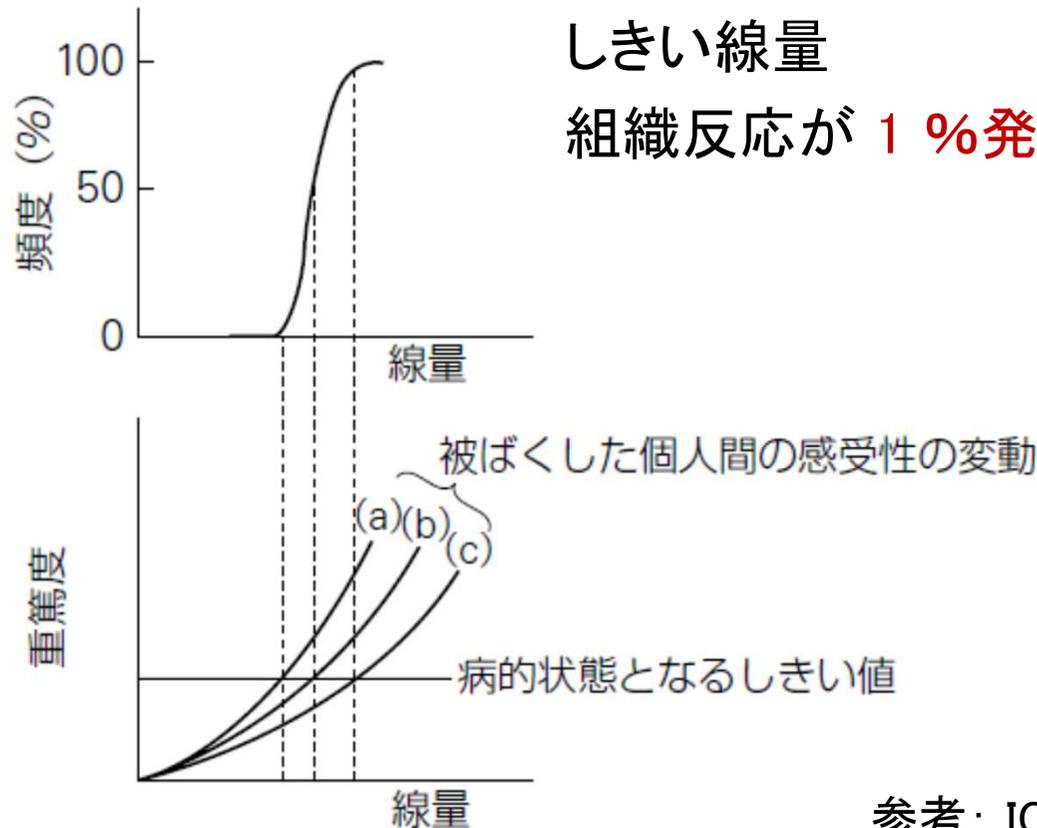
ICRPが水晶体等価線量限度を改定した経緯

- 2011年 4月21日
ソウルで開催されたICRP主委員会会合の最終日に「組織反応に関する声明」を発表（ソウル声明）。
- 2012年 8月
ICRP Publication 118 「組織反応に関するICRP声明・正常な組織・臓器における放射線の早期影響と晩発影響－放射線防護の視点から見た組織反応のしきい線量－」を刊行。

参考：浜田信行，新たな水晶体等価線量限度と 国外動向，第1回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料3(2017)

組織反応(確定的影響)とは

しきい線量と、線量の増加に伴う反応の重篤度の増加によって特徴付けられる、細胞集団の傷害のこと。場合によっては、生物反応修飾物質を含む照射後の手順により変化しうる。



参考: ICRP Publication 103(2007)

ICRP 2007年勧告の線量限度

表6 計画被ばく状況において勧告された線量限度の値^{a)}
(職業被ばくのみ抜粋)

限度のタイプ	職業被ばく
実効線量	定められた5年間の平均として、 年間 20 mSv ^{e)}
以下の組織における年等価線量：	
眼の水晶体 ^{b)}	150 mSv
皮膚 ^{c,d)}	500 mSv
手足	500 mSv

- a) 実効線量の限度は、ある特定の期間の外部被ばくからの該当する実効線量と、同じ期間における放射性核種の摂取からの預託実効線量の合計である。成人に対しては、預託実効線量は摂取後50年の期間で計算され、子供の場合には70歳までの期間について計算される。
- b) この限度はICRPの課題グループで現在検討中である。
- c) 実効線量のこの制限は、皮膚の確率的影響に対して十分な防護を与える。
- d) 被ばく面積に関係なく、皮膚面積1 cm²当たりの平均である。
- e) 実効線量はいかなる1年にも50 mSvを超えるべきではないという規定がある。妊娠女性の職業被ばくには追加の制限が適用される。

旧勧告まで(2011年まで)の水晶体 等価線量限度の科学的根拠

表A.3.1 成人の睾丸, 卵巣, 水晶体, 及び骨髄における組織影響のしきい値の
推定値 ICRP(1984, Publication 41)より引用 (水晶体のみ抜粋)

組織と影響	しきい値		
	1回の短時間被ばく で受けた総線量 (Gy)	多分割又は遷延被 ばくで受けた総線量 (Gy)	多年にわたり多分割 又は遷延被ばくで毎 年受けた場合の年間 線量率(Gy/年)
水晶体			
検出可能な混濁	0.5-2.0	5	> 0.1
視力障害 (白内障)*	5.0	> 8	> 0.15

* 急性線量のしきい値として2 ~ 10 Sv が与えられている(NCRP 1989)。

組織反応に関するICRPの声明 (水晶体関連部分を抜粋)

- (2) 委員会は、今回組織反応影響のいくつか、特に非常に遅く発症するものについて、しきい線量がこれまで考えられてきたものより低い、あるいは低いかもしれないことを示唆する最近の疫学的証拠を検討した。眼の水晶体に対しては、吸収線量でのしきい値は今や 0.5 Gyと考えられる。
- (3) 委員会は、今、計画被ばく状況での職業被ばくについて、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を超えないとする眼の水晶体等価線量限度を勧告する。
- (4) 省 略
- (5) 委員会は、すべての被ばく状況及びすべての被ばくカテゴリーに防護の最適化が適用されることを引き続き勧告する。最近の証拠から、委員会は、全身被ばくだけでなく、特定の組織、特に眼の水晶体、心臓及び脳血管系についても、防護が最適化されるべきであることをさらに強調する。

新勧告(2011年)におけるしきい線量の科学的根拠

低LET放射線の疫学的知見(比較的長期間の追跡結果)より、主な2つの仮定をもとに、しきい線量 0.5 Gyを導出。(この妥当性は今後も検証が必要。)

(仮定) 生物影響は、急性被ばく、多分割・遷延被ばく、慢性被ばくで同じ。
全ての微小混濁が被ばく後>20年で視覚障害性白内障に進行。

これらの根拠は、主に以下3編の疫学的知見をもとにしている。

- 急性被ばくのしきい線量: 0.5 Gy

Minamoto et al. Int J Radiat Biol 80 (2004) 339-345.

原爆被ばく者における被ばく後55-57年の白内障(有病率)。

→ 後囊下白内障と皮質白内障が有意に増加。

Neriishi et al. Radiat Res 168 (2007) 404-408.

原爆被ばく者における被ばく後55-57年の白内障手術(有病率)

→ 白内障手術が有意に増加。

- 分割・遷延被ばくのしきい線量: <0.5 Gy

Worgul et al. Radiat Res 167 (2007) 233-243.

チェルノブイリ事故清掃員における被ばく後12-14年の白内障(有病率)

→ 後囊下白内障と皮質白内障が有意に増加。しきい線量 0.34-0.5 Gy

- 慢性被ばく: 不明

参考: 浜田信行, 新たな水晶体等価線量限度と国外動向, 第1回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料3(2017)

旧勧告と新勧告の違い

視覚障害性白内障 vs 微小混濁

- (旧) 微小混濁は必ずしも視覚障害性白内障に進行しないとして、しきい線量を視覚障害性白内障と微小混濁に分けて勧告
- (新) 微小混濁が視覚障害性白内障に進行するとしてしきい線量を分けずに勧告

線量率依存性

- (旧) 線量率効果があるとして、しきい線量を急性被ばくと多分割・遷延被ばくに分けて勧告
- (新) 線量率効果がないとして、しきい線量を分けずに勧告

しきい線量の意味

- (旧) 被ばく集団の 1%に視覚障害性白内障が生じる線量
- (新) 被ばく後 > 20年に被ばく集団の1%に視覚障害性白内障が生じる線量

参考：浜田信行, 新たな水晶体等価線量限度と 国外動向, 第1回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料3(2017)

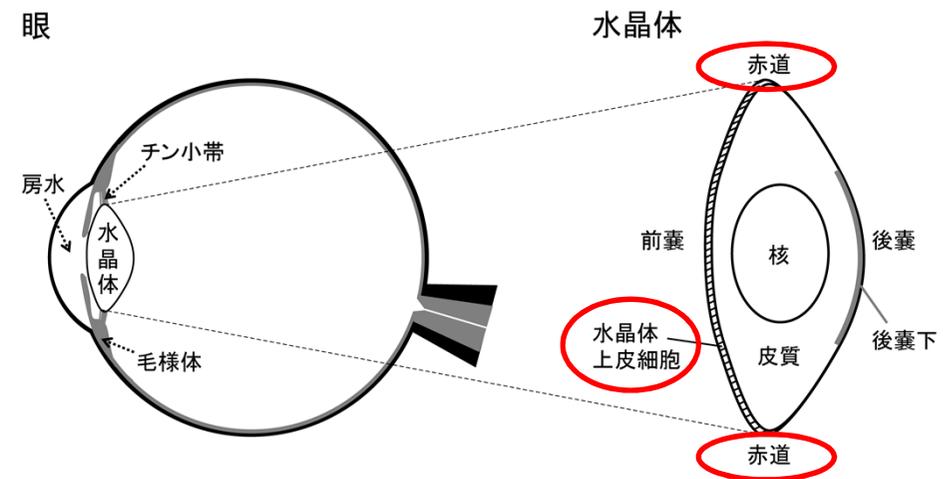
水晶体の構造と放射線白内障の標的細胞

前面一層の水晶体上皮、水晶体核、水晶体皮質が水晶体嚢に覆われた構造
水晶体上皮細胞は、**水晶体上皮の増殖帯(GZ)で分裂し、赤道面で水晶体線維に分化**(全ての細胞内小器官を喪失)し、水晶体核・水晶体皮質を構成

増殖帯の水晶体上皮細胞が、
唯一増殖可能な水晶体細胞で、
放射線白内障の標的細胞と考えられている。

1954年より、**増殖帯の実効深度は3 mm**とされている。

水晶体は生涯増殖を続けるので
サイズは変わるが、成人における
水晶体上皮の最小深度は、
2.3 ± 0.4 mm。



参考：浜田信行，新たな水晶体等価線量限度と 国外動向，第1回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料3(2017)

特に防護を要する職業

- IAEA TECDOC-1731では、以下の職業に言及。
 - 医療従事者：
インターベンショナルラジオロジー(IVR)、核医学(β 線源取扱)、CTガイド下穿刺術、サイクロトロン取扱者など
 - 原子力施設の作業員：
グローブボックス取扱作業員、廃炉従事者、Puや劣化ウラン取扱従事者など
 - その他の労働者：
工業用X線撮影を行う従事者など



これらを参考にして、部会において放射線業務従事者(学会、事業者、職能団体等)へヒアリングを実施。

参考：眼の水晶体の放射線防護検討部会報告書(2018)

わが国の規制制度

- 我が国における放射線業務従事者の水晶体の被ばく管理に係る規制は、各種規制法令で定められている。
 - 事業者等は、これらの法令に基づき、放射線業務従事者の水晶体の等価線量が限度(年間 150 mSv)を超えないようにしなければならない。
 - 放射線障害のおそれのある場所の線量の測定、放射線業務従事者等の外部被ばく線量の測定、当該外部被ばく線量の測定結果に基づく水晶体の等価線量の算定・記録などの種々の義務を負っている。
 - 緊急作業に従事する放射線業務従事者に係る水晶体の等価線量限度は、300 mSvと規定されている。
 - 水晶体の等価線量の算定の考え方は、「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月放射線審議会基本部会)*に示されている。
- * 国内規制制度へICRP 1990年勧告を取入れるにあたり、外部被ばく及び内部被ばくの評価法の技術的基準の見直しが必要であるとして報告書が取りまとめられた。

まとめ (1)

● 経緯

ICRPは、「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」ことを勧告した。

わが国では、放射線審議会において、ICRPのソウル声明について検討、眼の水晶体に係る放射線防護の在り方をとりまとめ、所要の措置を講ぜられるよう関係行政機関に対し具申した。

● 水晶体等価線量限度の科学的根拠

放射線白内障の標的細胞は増殖帯の水晶体上皮細胞(実効深度 3 mm)であると考えられている。ICRPでは、最近の疫学調査の結果より、水晶体のしきい値を 0.5 Gyと考えられている。

● 特に防護を要する職業

IAEAでは、IVR等の医療従事者、廃炉等の原子力施設の作業員、工業用X線撮影を行う作業員等が考えられるとしている。

● わが国の規制制度

わが国の現行の規制では、水晶体の等価線量限度は年間 150 mSv、緊急作業員は 300 mSvと規定されている。

現行規制における水晶体の等価線量測定

- 場所に係る測定

主として、1 cm線量当量率(対応する実用量:周辺線量当量 $H^*(10)$)の測定を行うことが適切である。

70 μm 線量当量率(対応する実用量: $H'(0.07, \alpha)$)の測定については、現行と同様、70 μm 線量当量が1 cm線量当量率の10倍を超えるおそれのある場所において限定的に義務を課すことが適当である。

3 mm線量当量率(対応する実用量:方向性線量当量 $H'(3, \alpha)$)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**と考えられることから、**測定の義務を原則として課さない**ことが適当である。

- 個人の外部被ばくに係る測定

(省 略)

また、**3 mm線量当量率**(対応する実用量:方向性線量当量 $H_p(3)$)については、前述と同様の理由から、**測定の義務を原則として課さない**ことが適当である。

なお、個人の外部被ばくに係る測定は現行と同様に、原則として個人線量計により行うことが適当である。

場所に係る測定に用いる量

評価対象	測定に係る量(実用量)	名称
実効線量	周辺線量当量 $H^*(10)$	1 cm 線量当量
眼の水晶体の等価線量	方向性線量当量 $H'(3, \alpha)$	3 mm 線量当量
皮膚等の等価線量	方向性線量当量 $H'(0.07, \alpha)$	70 μ m線量当量

個人の外部被ばくに係る測定に用いる量

評価対象	測定に係る量(実用量)	名称
実効線量	個人線量当量 $H_p(10)$	1 cm 線量当量
眼の水晶体の等価線量	個人線量当量 $H_p(3)$	3 mm 線量当量
皮膚等の等価線量	個人線量当量 $H_p(0.07)$	70 μ m線量当量
女性の腹部表面の 等価線量	個人線量当量 $H_p(10)$	1 cm 線量当量

水晶体の等価線量の算定の考え方

水晶体の等価線量は直接測定することができない量であるため、国際放射線単位測定委員会(ICRU)が導入している実用量の概念により考える。

- 場所に係る測定

ICRU球*における 3 mmの深さでの方向性線量当量: $H'(3, \alpha)$

- 個人の外部被ばくに係る測定

ICRUスラブファントム**における 3 mmの深さでの個人線量当量: $H_p(3)$

* 人体組織等価の密度及び元素組成を有する直径 30 cm の球

** 人体組織等価の密度及び元素組成を有する縦 30 cm、横 30 cm、厚さ 15 cmスラブ

場所に係る測定

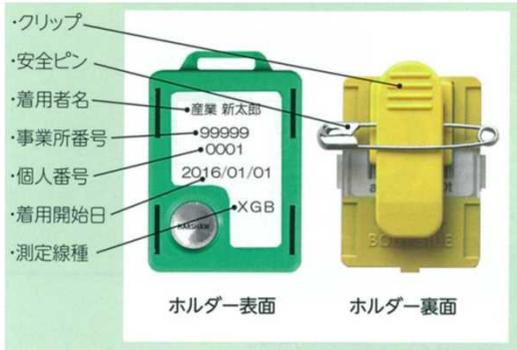


電離箱式サーベイメータ
(1 cm、70 μm、3 mm線量当量測定用)

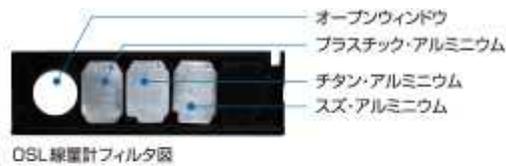


電離箱式サーベイメータ
(1 cm線量当量率測定用)

個人の外部被ばくに係る測定



TLD線量計(体幹部)



OSL線量計
(体幹部)



蛍光ガラス線量計
(体幹部)



中性子用線量計
OSL線量計+CR39



TLD線量計(指リング)



蛍光ガラス線量計
(指リング)



水晶体部会における検討課題

- 取り入れの円滑な実行可能性

医療分野、東京電力福島第一原子力発電所(1F)廃炉作業、その他の分野(1Fを除く原子力発電所、MOX燃料施設、非破壊検査、除染業務についてヒアリングを実施。

- 測定・評価の在り方

国際規格の整備状況、国内の測定器の普及状況を調査・検討。

→ IEC 62387には、X・ γ 及び β 線のHp(3)が記載。H'(3)も整備予定。

ISO 4037にはX・ γ 線についてHp(3)が整備予定。 β 線については今後審議予定。

中性子については、IECもISOもH'(3)の取入れ未定。

- 緊急作業者に係る水晶体の等価線量の限度について

国際機関・各国の取入れ状況を調査・検討。

参考：眼の水晶体の放射線防護検討部会報告書(2018)

わが国の業種別水晶体の等価線量分布

単位：人

水晶体等価線量	医療	工業	研究教育	獣医療	全体
5 mSv以下	195,499	38,294	41,798	8,817	283,480
5.01～10 mSv	3,389	113	25	7	3,534
10.1～20 mSv	1,722	22	7	3	1,755
20.1～50 mSv	859	0	5	0	864
50.1 mSv以上	139	0	2	0	141

*ガラスバッジサービスに基づく。

医療分野において、水晶体の等価線量が20 mSv/年を超えた
人数：998人（医療分野全体の約0.5%）

参考：千代田テクノル, FBNnews No.501 (2018)

医療分野

● 現場の特性

手技、職種、防護策の実施状況によって被ばくの実態が大きく異なる。

IVR: 他の分野より相対的に高線量の水晶体被ばくが発生。

一般撮影、CT検査: 患者介助による被ばく。介助回数が多い場合、水晶体線量が高くなりやすい。

核医学検査・治療、小密封線源: IVRほどではないが γ 線による水晶体被ばく。

● 放射線防護及び測定の実状

- IVR分野では防護板や防護眼鏡の活用が相当程度普及しているが、**それ以外の分野では導入が十分でない**との指摘あり。
- 防護策や測定・評価法を一律に定めることは困難。
- 医療行為を妨げにならないよう配慮が求められる。
- **適切な防護策を組み合わせるとともに、適切な測定方法を採用**することで、新たな線量限度に対応可能との関係者の見解であった。

東京電力福島第一原子力発電所廃炉作業

● 現場の特徴

- 平成28年度の従事者の水晶体の等価線量は、約1.6 万人のうち、401 人が年間 20 mSv を超え、21 人が年間 50 mSv を超えている。
* 平成29年度は1.4万人のうち、315人が20 mSv超。
- γ 線の線量(率)の高い作業現場(3号機周辺でのカバー設置等)や $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ からの β 線の高い作業現場(フランジタンク解体作業等)が存在。他の原子力発電所での作業にはない特徴がある。
- 今後、原子炉建屋内において γ 線と β 線の両方が高い環境下での作業が生じる可能性がある。

● 放射線防護及び測定・評価の現状

- β 線が支配的な区域では主として内部被ばくを防護するために全面マスクを着用しているが、全面マスクによる遮蔽効果を含めずに保守的に評価。
- 高 γ 線量の場所では遮蔽ベスト着用。水晶体はベスト外側の線量を採用。
- 平成30年度から自主的管理値(年間 50 mSv)を段階的に導入。管理方法を検討後、5年間で 100 mSvとする予定。

参考：眼の水晶体の放射線防護検討部会報告書(2018)

除染等業務従事者の水晶体に係る被ばくの現状

線源は、主に放射性Csの γ 線*

* ^{134}Cs & ^{137}Cs の β 線は700 keV以下。水晶体等価線量に寄与しない。

除染対象が面状等のため、均等被ばく。

過去(2012 ~ 2016年)の実効線量から、水晶体の等価線量は年間20 mSvを超えることはないと考えられる。

ホットスポットを仮定した場合、70 cmの距離でほぼ均等被ばくとなる。

* 40 cmの距離でホットスポットのみの作業を週40時間、50週連続実施した場合、水晶体が50 mSv超の可能性あり。



水晶体等価線量限度を規制に取り入れなければならない状況にないと考えられる。

* 現行規制では、水晶体の等価線量の限度や算定義務を規定していない。

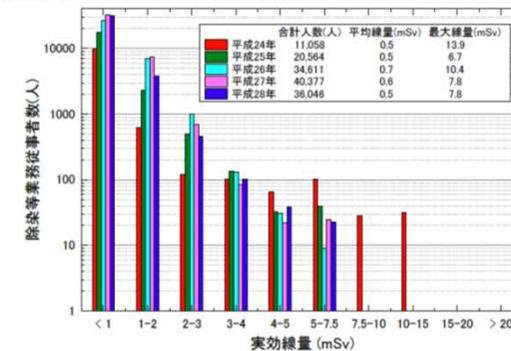
参考：古渡意彦, 第6回 眼の水晶体の放射線防護検討部会資料2(2017) 26



除染等業務に係る被ばく線量データ

除染等業務に従事する者の被ばく線量調査

- 外部被ばく線量: 個人線量計による測定 (体幹部における1cm線量当量又は70 μ m線量当量)
 - 内部被ばく線量: 作業内容及び取り扱う汚染土壌等の放射性物質の濃度等に応じた測定
- ① 放射線管理手帳の取得、及び② 定期線量登録 (3ヶ月毎)



- 最大被ばく線量 → 年20 mSvを超えていない
- 2 mSv以下の従事者の割合: 95.9%(H24) - 98.2%(H28)(年々増加)
- 一定数の従事者は、5 mSv以上被ばく(162名(H24) - 24名(H28)減少傾向)

まとめ (2)

● 水晶体の等価線量測定

外部被ばくの測定に係る量には、ICRUの実用量が用いられ、水晶体の等価線量には、3 mm線量当量が用いられる。しかし、現行の規制では3 mm線量当量の測定については義務を課しておらず、1 cm線量当量か70 μ m線量当量の適切な方を採用することを要求している。

● 医療分野

わが国では年間20 mSvを超える者が最も多い。手技、職種、防護策の実施状況によって被ばくの実態が大きく異なるが、適切な防護策及び測定を実施することにより、新たな水晶体の等価線量限度に対応可能であると考えられる。

● 東京電力福島第一原子力発電所廃炉作業

他に例のない γ 線や β 線による高線量場が存在するが、自主的管理値を導入し管理を進めている。

● 除染等業務従事者の水晶体に係る被ばくの現状

これまで20 mSvを超えた者はいない。また、ほぼ均等被ばくであると考えられることから除染等に係る規制に水晶体の等価線量限度を取り入れなければならない状況にないと考えられる。

新たな水晶体等価線量限度の取り入れ

- 医療分野
 - わが国で年間 20 mSvを超える被ばくが最も多い。
 - 防護策や測定・評価法を一律に定めることは困難であるが、適切な防護策及び測定を実施することによって対応可能。
- 1F廃炉作業
 - 事業者が自主的に新たな等価線量限度を導入・管理。
- その他の分野
 - 年間 20 mSvを超える被ばくは限定的。



水晶体の等価線量限度を 5年間の平均で 20 mSv/年かついずれの 1年においても 50 mSvを超えないこととすることが適當。

水晶体の等価線量を算定するための実用量

- 場所に係る測定

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。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。

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。

- 個人の外部被ばくに係る測定及び水晶体の等価線量の算定

今後、事業者等が簡易に測定できる環境が整う見込み。

現行規定を見直し、個人の外部被ばく線量の測定方法としてHp(3)を位置付けるとともに、Hp(3)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。

ただし、事業者等において水晶体の等価線量を適切に評価できることを示せる場合には、従前のHp(10)又はHp(0.07)の測定による水晶体の等価線量の算定も認めるべきである。

3 mm線量当量測定用線量計



千代田テクノルwebサイト



素子

TLD素子: 7LiF:Mg,Ti

DOSIRIS装着例 (防護眼鏡使用時)

【防護眼鏡】型番PT-99AL / 製造販売元: (株) マエダ

〈防護眼鏡問合せ先〉

(株) 千代田テクノル アイソトープ事業部



TLD素子



Landauer社webサイト

線量計校正施設、線量換算係数の準備状況

● 線量計校正施設

γ 線については、3 mm線量当量への線量換算係数があれば、2次標準施設においても、線量計の校正は可能。

X線、 β 線については、産業技術総合研究所が開発・整備済み。

● 線量換算係数

ICRP Publ. 74には、光子については1 cm及び70 μm 線量当量換算係数が示されているが、3 mm線量当量への換算係数は示されていない。

しかしながら、線量測定に関することはICRUが所掌しており、ICRU 57に3 mm線量当量の考え方が示されている。数値を算出することは可能。

最近では、IEC 62382(2012)及びJIS 4345(2017)に光子及び電子($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ のみ、700 keV以下の電子は3 mm線量当量に寄与しない。)が換算係数を示されている。近々ISOからも γ (X)線の換算係数が示される予定である。

水晶体の等価線量を算定するための実用量

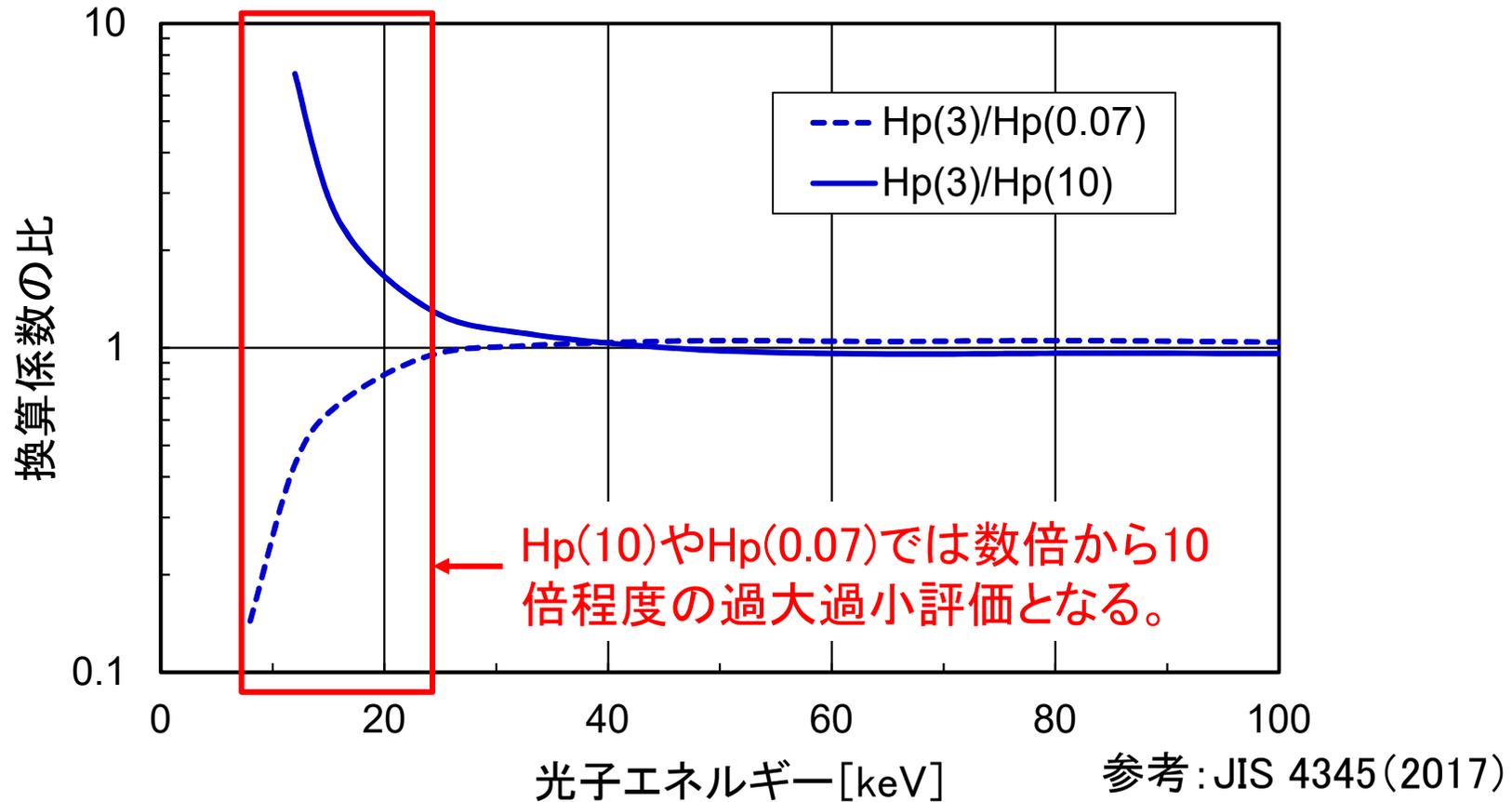
- 「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」との関係

3 mm線量当量について、場所に係る測定についても個人の外部被ばく線量に係る測定についても「測定の義務を原則として課さないことが適当である」としているが、事業者等が $H'(3)$ 又は $H_p(3)$ を測定することまでを排除しているものではない。

水晶体部会では、水晶体の等価線量の算定について、事業者等が状況に応じて、適切な実用量を選択できるようにすべきことを提言するものであり、技術的指針の求めるところと矛盾するものではない。

関係行政機関においては、 $H'(3)$ 又は $H_p(3)$ を用いた測定や水晶体等価線量の算定について、所要の対応をとることが期待。

光子に対する換算係数の比



水晶体の等価線量限度が現行規制の20/150～50/150になる。

→ より正確な測定が必要。

3 mm線量当量の測定を追加すべき。

出典:平成29年度放射線対策委託費報告書

電子の換算係数

入射角度0° に対応する換算係数

核種	フィルタ	照射距離	Hp(3,0) Sv/Gy	Hp(0.07,0) Sv/Gy	Hp(3,0)/ Hp(0.07,0)
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	あり	30cm	0.43	1.00	0.43

参考: JIS 4345(2017)

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ の場合、70 μm 線量当量で水晶体の等価線量を算定した場合、約2倍の過大評価となる。

防護策及び測定の内り方

- ICRPの組織反応に関する声明では、水晶体等価線量限度の引下げとともに**防護の最適化**についても勧告がなされている。
- 関係行政機関及び事業者は、「放射線防護の基本的考え方の整理-放射線審議会における対応-」(平成30年1月放射線審議会)を踏まえた防護の最適化に取り組むこと。

長期間にわたり被ばくを受け続けると**しきい線量(約0.5 Gy)を超える可能性があることに留意**すべき。

- 医療分野においては手技、機器等によって被ばくの状態が大きく異なることから、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。

参考：眼の水晶体の放射線防護検討部会報告書(2018)

防護策及び測定についての整理

- 医療分野

不均等被ばくとなる場合、体幹部の基本部位に加えて頭頸部で測定し、実効線量及び水晶体の等価線量を算定する。

さらに、頭頸部の測定では過小評価や過大評価となるおそれがある等の場合、眼の近傍での測定を追加してもよい。

- 1F廃炉作業

高 γ 線量及び高 β 線($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)量場が存在。将来、 $\beta \cdot \gamma$ 混在場も存在する可能性がある。

β 線は全面マスクで低減可能。正確な評価のためには全面マスク内での測定を追加すること。 → 現在、実施中。

十分に遮蔽効果がある全面マスクを使用する場合や防護衣(遮蔽ベスト等)外側の胸部での測定値を用いた保守的な評価の場合、全面マスク内での測定を省略できる。

参考：眼の水晶体の放射線防護検討部会報告書(2018)

表 8 医療分野の作業現場・防護策に応じた測定・評価の整理

線量	講じている 防護策 ^{※1}	作業現場の特性 ^{※2}		
		X線		γ線
		透視系（IVR等）	撮影系（一般撮影、CT）	核医学・密封小線源治療
実効線量	防護衣（X線防護衣。以下同じ。） なし			体幹部基本部位で測定 ^{※3}
	防護衣あり			
水晶体の 等価線量	防護具なし	体幹部基本部位で測定 ^{※3}		
	防護具あり （防護衣、 防護眼鏡、防護板）	頭頸部で測定 ^{※4}		
皮膚の 等価線量		末端部が体幹部より多く放射線を受けるおそれのある場合：被ばく量が最大となる部位（手指など）で測定 おそれがない場合：体幹部（基本部位又は頭頸部）で測定		

※1 表の防護策を講ずるだけでなく、労働衛生管理の観点を踏まえてALARAの原則に従い、被ばく線量低減のための取組を実施することが重要。

※2 放射線の照射を受ける患者の近傍において、診療や介助を行う場合に限る。

※3 介助をする場合等、不均等被ばくが生じる可能性がある場合は、頭頸部での測定（さらに必要に応じて、眼の近傍の測定）を追加して行う。

※4 原則、頭頸部での測定により水晶体の等価線量を評価する。必要に応じて、眼の近傍も追加して測定してもよい。

眼の水晶体の放射線防護検討部会報告書より引用

表 9 福島第一原子力発電所の作業現場・防護策に応じた測定・評価の整理

線量	講じている 防護策 ^{※1}	作業現場の特性			
		低線量 β ・ 低線量 γ	低線量 β ・ 高線量 γ	高線量 β ^{※2} ・ 低線量 γ	高線量 β ^{※2} ・ 高線量 γ
実効線量	遮蔽ベスト等 (現在と同様)	(遮蔽ベスト等を) 着用する 場合 : γ 線を胸部2か所(遮蔽ベスト等の内側及び外側)で測定 着用しない場合 : γ 線を胸部で測定			
水晶体の 等価線量	全面マスク (現在と同様)	β 線・ γ 線共に 胸部で測定	β 線・ γ 線共に 胸部(遮蔽ベストの外側)で 測定 (ただし、眼の近傍での線量 が胸部の線量を上回る可能 性があるときは眼の近傍又 はその測定に適した位置で 測定)	① β 線・ γ 線共に マスク内の眼の近傍で 測定 ② β 線・ γ 線共に 胸部で測定 ^{※3} から選択可能	① β 線・ γ 線共に マスク内の眼の近傍で測定 ② β 線・ γ 線共に 胸部(遮蔽ベスト外側)で 測定 ^{※3} から選択可能 (ただし、眼の近傍での線量が 胸部の線量を上回る可能性が あるときは眼の近傍で測定)
	十分な遮蔽効果を有 する全面マスク等	β 線 : 実測して β 線の被ばくがないことを確認の上、測定を省略可 γ 線 : 上欄(現在と同様の全面マスクを着用する場合)と同様			
皮膚の 等価線量		末端部被ばくが想定される場合 : β 線・ γ 線ともに被ばく量が最大となる部位(手指、足など)で測定 想定されない場合 : β 線・ γ 線ともに胸部(遮蔽ベスト等を着用する場合はその外側)で測定			

※1 表の防護策を講ずるだけでなく、労働衛生管理の観点から踏まえて ALARA の原則に従い、被ばく線量低減のための取組を実施することが重要。

※2 高線量 β 環境で水晶体等価線量を評価する場合、Hp(3)が測定可能な個人線量計を装着することが望ましい。ただし、Hp(3)の測定方法が確立するまでの当面の間は、従来どおり Hp(0.07) と Hp(10) を使用して評価する。

※3 高線量 β 環境で現在と同様の全面マスクを着用する場合であって、胸部の線量が眼の近傍での線量と同等又は保守的とみなせるときは、胸部の測定値を用いて間接的な評価方法で水晶体等価線量を評価することも選択可能。

(第3回水晶体部会資料1を基に作成)

緊急作業者に係る水晶体の線量限度

- ICRPやIAEAの関連文書においては、水晶体の等価線量限度を設けるべきとの勧告等はされていない。
- 海外においては、多くの国で緊急時作業者について水晶体の等価線量を制限していない。
- 制限している国であってもソウル声明又はIAEAのBSSの改訂に伴い限度を変更した国は確認できなかった。
- 放射線審議会では、ICRP 2007年勧告の取り入れに関し、「ICRP 2007年勧告の国内制度等への取り入れ状況について」(平成30年1月)において、「緊急時被ばく状況において職業被ばく又は公衆被ばくに適用する参考レベル等について、今後とも最新の知見や国際動向などを注視し、必要に応じて検討を行う」こととしている。



直ちに対応する必要はない。

今後の国際動向に注視し、必要に応じて検討を行うことが適当。

まとめ

- 国際機関の基準やEUその他の国における規制へ新しいICRPの水晶体線量限度が取り入れられている(予定も含む)。
- 最適化は防護の基本原則のひとつ。長期間にわたり被ばくを受け続けるとしきい線量(約 0.5 Gy)を超える可能性があるため、最適化に取り組むこと。
- わが国で特に注目すべき従事者は、医療及び1F廃炉作業に携わる従事者。
 - 事業者の自主的な管理や適切な防護により、新しいICRPの水晶体等価線量限度を下回るよう、被ばく低減することは可能と判断。
- 国内外で、換算係数や測定器も整備が進められている。個人線量測定に関しては、適切に評価するためにHp(3)を算定することを可能とすべき。
- 緊急作業者に係る水晶体の等価線量限度については、直ちに対応する必要はない。今後の国際動向に注視し、必要に応じて検討を行うことが適当。

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)の概要

原子力規制庁

- 国際放射線防護委員会(ICRP)が2011年に計画被ばく状況における職業被ばくに関する眼の水晶体の等価線量限度について勧告したこと(ソウル声明)[※]を受け、これを我が国の規制に取り入れるために放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会が検討し、報告書として取りまとめたもの。(※ 正式名称:“ICRP Statement on Tissue Reactions”)
- 放射線審議会第140回総会(H30.3.2)で了承され、同日付けで放射線審議会議長が関係行政機関の長宛てに意見具申として発出。

今後の方向性(関係行政機関への提言)のポイント

- (1)ソウル声明で勧告されたとおり、計画被ばく状況における職業被ばくに関する水晶体の等価線量限度を5年間の平均で20mSv/年、かつ、いずれの1年においても50mSvを超えないこととすることが適当である(規制への取り入れに当たっては適切な施行時期の設定が必要)。
- (2)水晶体の等価線量を算定するための実用量として、個人の外部被ばくに係る測定については現行規定を見直して3mm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とするべきである。(場所に係る測定については3mm線量当量を法令に取り入れる必要性は薄い)
- (3)事業者等(特に、現時点で相対的に線量が多い医療分野及び東京電力福島第一原子力発電所の廃炉作業)は、防護の最適化に取り組むことが求められる。また、医療分野については、関連学会等によるガイドラインの策定が期待され、併せて関係行政機関がこれを支援することが期待される。
- (4)緊急作業者に係る水晶体の等価線量限度については、現時点で変更する必要性は薄い(当面は現行の制度を維持)

【その他報告書のポイント】

1. 基礎的事項

(1) 海外動向

- ・ソウル声明を踏まえた新水晶体等価線量限度は、国際原子力機関（IAEA）のBSSに取り入れ済み。また、欧州原子力共同体（EURATOM）加盟国の一部、豪州、ノルウェー等では既に国内法令に取り入れ済み（未対応の国も存在）。

(2) 関係の多い従事者

- ・医療、原子力施設、工業用X線撮影、東京電力福島第一原子力発電所（福島第一原発）事故の廃炉作業、除染等業務への従事者
（⇒これらの者にヒアリング（2. 参照））

(3) 現行制度

- ・水晶体等価線量限度：150mSv/年（緊急作業時は300mSv）
- ・水晶体等価線量の算定方法：1cm線量当量又は70 μ m線量当量の適当な方の採用を要求※
※「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」の内容を踏まえたもの

2. 部会におけるヒアリングのポイント

(1) 医療分野

- ・20mSv/年を超える作業者が多い。手技の種類、職種又は防護策の実施状況によって被ばくの実態が大きく異なるため、望ましい防護策と測定・評価方法を一律に定めることは困難。また、医療行為の妨げにならないような配慮が必要。
- ・適切な防護策及び測定によって新たな線量限度への対応は可能。

(2) 福島第一原発の廃炉作業

- ・20mSv/年を超える作業者が多く、 γ 線だけでなく β 線が存在し、他の作業にはない特徴がある一方、事業者においてH30年度から自主管理値を段階的に導入して管理する予定。

(3) その他（原子力発電所（福島第一原発を除く。）、MOX燃料施設、非破壊検査、除染等業務）

- ・年間20mSvを超える作業者はほぼいない。

3. 実用量の現状のポイント

(1) 場所に係る測定

事業者等が簡易に3mm線量当量を測定できる環境が整っていない。

(2) 個人の外部被ばくに係る測定

3mm線量当量に対応した個人線量計の普及が始まっているなど、今後事業者等が簡易に3mm線量当量を測定できる環境が整う見込みがある。