

眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について
(中間取りまとめ案)

平成 29 年 12 月

放射線審議会

眼の水晶体の放射線防護検討部会

はじめに	1
1. 検討に当たっての基礎的な事項	2
1.1. 水晶体の機能、構造及び特徴	2
1.2. 特に防護を要する職業	3
1.3. ソウル声明に至った経緯	3
1.4. 我が国における現行の規制制度	4
2. 部会における検討課題	4
2.1. 取入れの実行可能性	4
2.2. 測定・評価の在り方	4
3. 放射線業務従事者の水晶体に係る被ばくの現状	5
3.1. 医療分野	6
3.2. 東京電力福島第一原子力発電所廃炉作業	7
3.3. その他の分野	8
① 原子力発電所（東京電力福島第一原子力発電所の廃炉作業を除く）	8
② MOX 燃料施設	9
③ 非破壊検査	9
4. 今後の方向性	10
4.1. 新たな水晶体等価線量限度の取入れ	10
4.2. 水晶体の等価線量を測定するための実用量	11
① 3mm 線量当量による測定	11
② 「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	11
4.3. 防護策及び測定の在り方	12
① 事業者による防護策及び測定の基本的な考え方	12
② ガイドラインによる事業者への支援	12
③ 医療分野及び廃炉作業における防護策及び測定についての整理	12
おわりに	12

はじめに

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」（以下「ICRP1990年勧告」という。）を踏まえ、年間150mSv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20mSv/年、かついずれの1年においても50mSv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：国際基本安全基準」（Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards）に取り入れられている。これを受けて欧州では、平成25年12月にCouncil Directive 2013/59/EURATOMを定め、平成30年2月までに各国の国内法に新たな水晶体の等価線量限度を取り入れることが決まっており、カナダなどの諸外国においても規制に同様の等価線量限度が取り入れられる予定である¹。

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、放射線障害防止の技術的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回会合（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入れの実行可能性及び取入れに当たっての課題について検討を行った。

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。

¹ 第1回放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会資料3（電力中央研究所浜田信行主任研究員提出）より

1. 検討に当たっての基礎的な事項

1.1. 水晶体の機能、構造及び特徴

水晶体は、外から入ってきた光を屈折させ、網膜上に焦点を合わせるための凸レンズとしての機能を有している。

角膜に接する前方に単層上皮細胞層を有しているほか、水晶体嚢と呼ばれる膜に包み込まれており、水晶体嚢の前半分は前嚢、後半分は後嚢、前嚢と後嚢の境界は赤道部と呼ばれる。透明である、血管がない、上皮細胞が生涯増殖を続ける、構成する全細胞が生死に関係なく生涯水晶体内部に留まるといった特徴がある²。

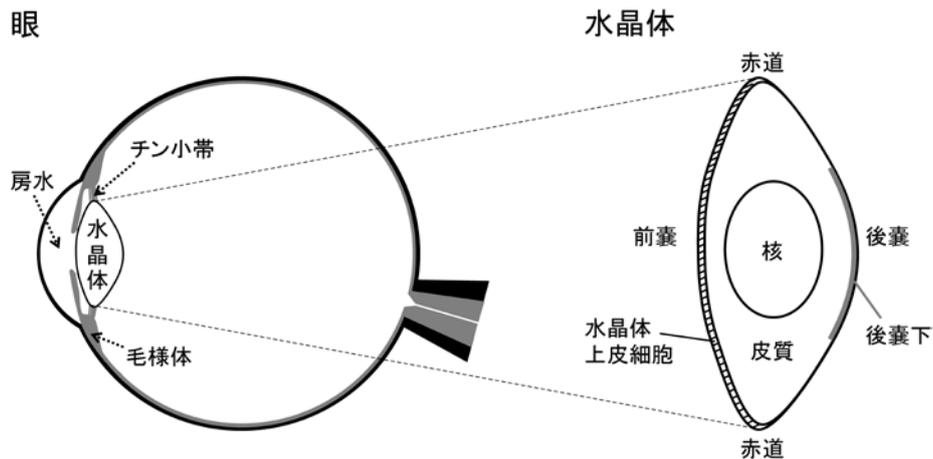


図1 眼（左）と水晶体（右）の構造³

本来は透明な水晶体が何らかの原因で混濁することがあり、混濁が進行した症状を白内障という。白内障は、発症する部位によって、主に皮質白内障、核白内障及び後嚢下白内障の3つに分類される。分類によって白内障となる原因は様々であるが、いずれの分類においても主たる原因は加齢であり、60歳以上の集団では96%以上に水晶体混濁が認められるとの報告がある⁴。

水晶体の混濁は、放射線への被ばくでも生じることがあり、白内障手術が必要なほどの視力障害（放射線白内障）に進行し得ることが知られている。

2, 3 「水晶体の放射線防護に関する専門研究会中間報告書（I）－水晶体、白内障、ICRPが勧告した新たな水晶体等価線量限度の概要－」（平成26年、赤羽ら）より

4 ICRP Pub. 118 「組織反応に関する声明・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－」から引用。また、日本人における進行した水晶体混濁の自然発症率が50歳代で10-13%、60歳代で26-33%、70歳代で51-60%、80歳以上で67-83%とする報告もある（「人種、生活環境の異なる4地域での白内障疫学研究」（平成13年、佐々木））

1.2. 特に防護を要する職業

IAEA は TECDOC No. 1731⁵において、水晶体の被ばくと関係が大きい職業について言及しており、医療従事者、原子力施設の作業員、その他の労働者の3つに区分している。医療従事者にはX線透視下IVR(Interventional Radiology)検査において患者の近くにいる従事者、核医学における従事者(特にβ線源を取り扱う場合)、密封小線源療法に従事者、CTガイド下穿刺術に従事者、サイクロトロンを用いる従事者が含まれるとしており、原子力施設の作業にはグローブボックスを用いる従事者、廃炉従事者、プルトニウム又は劣化ウランを取り扱う従事者が含まれるとしている。また、その他の労働者としては工業用X線撮影を行う従事者が考えられるとしている。なお、我が国における放射線業務従事者の水晶体の被ばく実態については、後述する。

1.3. ソウル声明に至った経緯

ICRP は、最大許容線量として水晶体の線量限度を1954年に初めて勧告してから、現在までに放射線作業員に関する水晶体の線量限度を8回にわたって改訂してきた。1980年には「国際放射線防護委員会の1980年ブライトン会議の声明と勧告」を公表し、水晶体の線量限度を年間300mSvから年間150mSvへ引き下げた。1990年にはICRP1990年勧告において年間150mSvと勧告しており、現在の我が国における線量限度はこれを踏まえたものになっている。

その後、2003年にはICRP Pub. 92「生物効果比(RBE)、線質係数(D)及び放射線荷重係数(W_R)」を公表し、白内障のしきい線量が従来考えられていたもの⁶よりも低い可能性があるとして指摘した。これを受けて、2006年にはICRP第一専門委員会の中にタスクグループを設けて検討を進め、最終的に2011年に開催したICRP主委員会会合においてソウル声明を発表した。

ソウル声明においては、原爆被爆者やチェルノブイリ事故復旧作業員等に関する疫学調査の知見を踏まえてしきい線量が見直された。放射線誘発白内障のしきい線量は急性被ばくに対しても分割被ばくに対しても約0.5Gyと考えられるとしており⁷、その結果として、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を引き下げるよう勧告している。

5 IAEA は、放射線防護と放射線源の安全：国際基本安全基準の一般安全要件第3部(GSR Part3)において新たな水晶体等価線量限度を取り入れているほか、技術文書としてTECDOC NO. 1731"Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye"(平成25年12月)において新たな水晶体等価線量限度について言及している。

6 それまでICRPは、検出可能な混濁のしきい線量を慢性被ばくで5Sv、急性被ばくで0.5-2.0Svとし、視力障害性白内障のしきい線量を単回短時間被ばくで2-10Sv、遷延被ばくで8Sv超としていた。

7 現在のICRP勧告における組織反応のしきい線量とは、所定の組織反応が頻度1%だけ発生すると推定される線量のことをいう。そのため、0.5Gyを超えて眼の水晶体に被ばくした者が必ず放射線白内障を発症するわけではないことに留意が必要である。また、生物影響が急性被ばく、多分割・遷延被ばく、慢性被ばくで同じであること、全ての微小混濁が被ばく後20年を超えた場合に視覚障害性白内障に進行することという仮定が置かれていることに留意が必要である(第1回水晶体部会資料3など)。

1.4. 我が国における現行の規制制度

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⁸で定められており、事業者は、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 150mSv）を超えないようにしなければならないほか、その線量を測定し、記録するなどの義務を負っている。

事業者による水晶体の等価線量の測定については、「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」（以下「技術的指針」という。）において考え方が示されており⁹、これを踏まえて我が国の法令においては、1cm 又は 70 μ m 線量当量のうち適当な方を採用することを要求している¹⁰。

2. 部会における検討課題

水晶体部会が我が国に新たな水晶体の等価線量限度の取入れに当たり検討した課題は、次のとおりである。

2.1. 取入れの実行可能性

- ・ 我が国における放射線業務従事者の水晶体の被ばくの実態を踏まえて、新たな水晶体の等価線量限度を取り入れた場合の防護策が円滑に実行可能かどうか。特に、現状で水晶体の被ばくが年間 20mSv を超えているような一部の従事者について、防護策を講じることによって合理的に低減可能かどうか。

2.2. 測定・評価の在り方

- ・ 3mm 線量当量の取扱いについて、技術的指針において測定の義務を課さないこととしていることとの関係を含め、どのように整理するか。また、中性子に対して、1cm 線量当量のみを測定することで十分な管理できるとしている我が国の運用実態を見直す必要があるかどうか。
- ・ 不均等な被ばくが生じる場で作業する従事者について、水晶体の等価線量をいかに測定・評価するか。

そこで、本報告書では水晶体被ばくについて特に防護が必要な放射線業務従事者の現状についてヒアリングした上で、課題に対する対応策について取りまとめる。

8 放射線業務従事者に係る水晶体の等価線量限度を定めている法律としては、船員法、国家公務員法、医療法、鉱山保安法、核原料物質 核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律、放射性同位元素等の規制に関する法律、臨床検査技師等に関する法律、医薬品 医療機器等の品質 有効性及び安全性の確保等に関する法律、労働安全衛生法及び獣医療法がある。

9 平成 11 年 4 月放射線審議会基本部会。指針において、眼の水晶体の等価線量については、場所、個人いずれの測定についても「1センチメートル線量当量率と 70 マイクロメートル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、(3ミリメートル線量当量の) 測定の義務を原則として課さないことが適当」とされている。

10 なお、国際放射線単位測定委員会 (International Commission on Radiation Units and Measurements) は、眼の水晶体の等価線量を 3mm の深さで評価することを推奨している。また、ICRP Pub. 103「国際放射線防護委員会の 2007 年勧告」では、「個人モニタリングの実用量は個人線量当量 Hp(d) であり、(中略) 眼の水晶体の線量をモニタする稀なケースでは、深さ d=3mm が提案されていた。しかし、実際には Hp(3) はほとんどモニタされず、同じモニタリングの目的に Hp(0.07) を用いることができる。」とされている。

3. 放射線業務従事者の水晶体に係る被ばくの現状

個人線量測定機関協議会¹¹に所属する(株)千代田テクノル及び長瀬ランダウア(株)のデータによれば、平成28年度において両社の計測サービスを利用した放射線業務従事者の水晶体の等価線量の分布は、下表のとおりである¹²。約50.3万人の放射線業務従事者のうち、ほとんどは年間20mSv以下である一方、約2.4千人が年間20mSvを超えており、さらにそのうち約4百人が年間50mSvを超えている。これらの者のほとんどが一般医療分野に存在し、何らかの防護策を講じなければ新たな水晶体等価線量限度を超えるおそれがある。

表1 業種別の水晶体の等価線量分布(平成28年度)

(名)

年線量区分(mSv)	一般医療	歯科医療	獣医療	一般工業	非破壊検査	研究教育	合計
20以下	353,725	3,132	14,740	64,040	434	64,463	500,534
20超~50以下	1,966	1	0	9	1	3	1,980
50超~100以下	380	0	0	1	0	1	382
100超~150以下	38	0	0	0	0	0	38
150超	8	0	0	0	0	0	8
合計	356,117	3,133	14,740	64,050	435	64,467	502,942

第3回水晶体部会資料2、壽藤専門委員提出

また、東京電力福島第一原子力発電所事故の廃炉作業においては、通常の原子力発電所に比べ高い放射線場があるとともに、β線が関与するという特殊性が存在する。

これらを踏まえ、新たな等価線量限度の取入れの検討に当たっては、一般医療分野及び福島第一原子力発電所の廃炉作業の実態を踏まえて検討することが特に重要であり、水晶体部会においてはこれらの関係者に重点的にヒアリングした。また、IAEA TECDOC No. 1731に挙げられているその他の分野に関し、原子力発電所、MOX燃料取扱施設、非破壊検査の現状について、関係者にヒアリングした。

11 個人線量測定技術の維持向上のための共通的な事項を協議するために科学技術庁(現文部科学省)の指導を受けて測定サービス機関相互の技術的協議団体として昭和59年に設立された。放射線業務従事者の被ばく線量は、各規制法に基づき各事業者から集計されたデータが規制官庁に報告されているが、これは個人の被ばく記録ではないことから、ここでは個人線量測定機関協議会のデータを引用した。

12 両社の集計データには原子力関係事業者を含んでいない。また、業種の分類については事業者名から判断しているため、必ずしも正確な業種分類になっていない可能性があることに留意が必要。

3.1. 医療分野

(1) 現場の特性

医療分野における水晶体被ばくの特徴として、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ことが挙げられる。

- ・ X線による透視をしながら手技を行う IVR と呼ばれる分野では、患者からの散乱 X線により他の分野よりも相対的に高い線量の水晶体の被ばくが発生している。また、近年、手技そのものや使用する機器が高度化・複雑化し、手技が長時間化するとともに撮影回数が増加することから、IVR の術者となる医師の水晶体の被ばく量が高くなりやすい傾向がある。
- ・ 一般撮影や CT 検査の分野では、撮影回数が多い場合で、かつ、医療従事者（医師、看護師、診療放射線技師等）が患者を介助する場合には、水晶体の被ばく量が高くなりやすい。
- ・ 核医学検査・治療や密封小線源治療の分野においても、IVR の分野ほどではないものの、 γ 線¹³により医療従事者（医師、看護師、診療放射線技師等）の水晶体の被ばくが生じている。

(2) 放射線防護及び測定の実状

代表的な水晶体の防護方策として防護板や鉛を含む防護眼鏡の活用が可能であり、これらの方策は IVR の分野では既に相当程度普及している。他方、IVR 以外の分野では導入が十分でないという指摘がある。

また、体幹部を覆う防護衣は多くの医療現場で活用されており、これを着用した場合には不均等被ばくとして扱うことになることから、頭頸部における測定がなされている。ただし、眼の近傍で 3mm 線量当量を測定することは、現行の規制で求められていないことから、試験的な実施を除いては行われていない。

手技、使用する機器、職種等によって被ばくの状況が異なる（例えば線源と医療従事者の位置関係により不均等被ばくの発生状況が異なる）ことから、望ましい防護方策と測定・評価方法を一律に定めることが困難である。また、医療行為の妨げにならないような配慮が求められる。

ヒアリングを実施した関係者によれば、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、新たな水晶体の等価線量限度に対応することが可能ではないかとの見解であった。

13 γ 線の場合は透過力が強く防護衣及び防護眼鏡による効果的な遮蔽が期待できない

3.2. 東京電力福島第一原子力発電所廃炉作業

(1) 現場の特性

平成 28 年度における東京電力福島第一原子力発電所廃炉作業従事者の水晶体の等価線量は、下表のとおりであり、約 1.6 万人の従事者のうち、401 人が年間 20mSv を超え、21 人が年間 50mSv を超えている。

また、 γ 線の高い作業現場（3号機周辺でのカバー設置等）や、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ による β 線の高い作業現場（フランジ型タンクの解体等）が存在するなど、他の原子力発電所での作業にはない特徴がある。さらに、今後、廃炉作業の進展に伴い、原子炉建屋内において γ 線と β 線の両方の線量が高い環境下での作業が生じる可能性がある。

表 2 福島第一原子力発電所の廃炉作業に従事する者の水晶体の等価線量

<2016年度の等価線量分布> [単位: 人]			<年間50mSvを超える作業>		
区分(mSv)	当社社員	協力企業	主な要因	人数	主な作業
100~	0	0	γ 線	9	・3号機カバー設置工事※ ・2号機原子炉建屋周辺「ド」整備工事※
75~100	0	1	β 線	12	・タンク減容・保管作業
50~75	0	20	※ 遮へいベストを着用した作業。等価線量は、遮へいベスト外側の測定結果から評価する一方、実効線量は遮へいベスト内側の測定結果等を用いて評価。実効線量は50mSvを超えていない。		
20~50	0	380	<年間20~50mSvの作業>		
0~20	1,678	13,766	γ 線	280	・1号機及び3号機カバー設置工事 ・陸側海水壁工事 ・2号機原子炉建屋周辺「ド」整備工事
合計	1,678	14,167	β 線	100	・タンク減容・保管作業 ・タンク解体工事 ・タンク解体時水移送作業

第 2 回水晶体部会資料 2、東京電力ホールディングス（株）提出

(2) 放射線防護及び測定・評価の現状

事業者である東京電力ホールディングスは、福島第一原子力発電所の構内全域を管理対象とし、立ち入る作業者を放射線業務従事者として管理している。構内を作業内容と空間線量率に応じてさらに区分けし、 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することとしている。その際、水晶体の等価線量は、胸部の β 線 ($70\mu\text{m}$ 線量当量) 及び γ 線 ($70\mu\text{m}$ 又は 1cm 線量当量) の合計によって評価しており、全面マスクによる遮蔽効果を含めずに保守的に評価している。また、 γ 線の線量が高い作業現場では遮蔽ベストを着用し、水晶体の等価線量はベスト外側の測定値を採用することとしている。

水晶体の等価線量の管理としては、線量限度に係る法令改正の有無によらず、事業者は平成 30 年度から自主管理値を段階的に導入する予定であり、同年度から年間 50mSv とし、管理方法をさらに検討した後、5 年間で 100mSv とする予定である。

今後の課題として、 γ 線被ばくが高い作業については作業環境の線量低減、遠隔工法の採用、従事者の増員又は配置変更等による線量低減のための方策、 β 線被ばくが高い作業に関する全面マスクの遮蔽効果を考慮した測定方法、法令改正の状況を踏まえた 3mm 線量当量を測定できる個人線量計の活用などが事業者によって検討されているところである。

3.3. その他の分野

① 原子力発電所（東京電力福島第一原子力発電所の廃炉作業を除く）

（１）現場の特性

放射線被ばくを伴う作業としては、発電所の定期検査などにおける原子炉容器開放点検、蒸気発生器伝熱管の非破壊検査等が挙げられる。

原子力発電所での放射線は、比較的半減期が長い⁶⁰Coや⁵⁸Co等から放出されるγ線が支配的であり、β線（70μm線量当量）による被ばくはほとんど検出されない。

（２）放射線防護及び測定・評価の現状

作業ごとの計画線量の設定や、局所的に放射線量が高い場所では遮蔽材の設置、時間管理、遠隔作業等が行われている。また、放射性物質が飛散する可能性がある場所では、主に内部被ばくを防護するための防護具が着用されている。

一部の作業において、眼と胸の位置で線量の分布に差が生じる可能性はあっても、作業者が一定の姿勢で長時間にわたり作業をすることはないため、現状では体幹部の基本部位（胸部、女性は腹部）で測定をしている。

以下の表は、全国の原子力発電所（実用発電用原子炉施設）における放射線業務従事者の実効線量の分布を示したものである。作業場の線量分布としては不均一な場も考えられるが、長時間同じ姿勢で作業することはないため、ほとんどの場合γ線によるほぼ均等な被ばくであると考えられる。このことから、水晶体の等価線量を実効線量と同じ値とみなした場合、東京電力福島第一原子力発電所事故の前であっても、ほとんどの場合年間20mSv以内におさまっている。

表3 実用発電用原子力発電所（東京電力福島第一原子力発電所を除く。）における放射線業務従事者の線量分布（実効線量）
（単位：人）

年度	5mSv 以下	5mSv を超え 10mSv 以下	10mSv を超え 15mSv 以下	15mSv を超え 20mSv 以下	20mSv を超え 25mSv 以下	25mSv を超え る	合計
H19	59,565	2,694	766	209	3	0	63,237
H20	65,427	2,906	762	233	0	0	69,328
H21	69,348	2,763	852	223	0	0	73,186
H22	59,375	2,476	829	281	0	0	62,961
H23	60,787	1,709	462	111	12	0	63,081
H24	48,305	293	31	1	0	0	48,630
H25	47,952	217	16	1	0	0	48,186
H26	47,513	228	66	12	1	0	47,820
H27	46,718	271	46	2	0	0	47,037
H28	46,769	106	10	1	0	0	46,886

「原子力施設運転管理年報」（平成19～24年度。独立行政法人原子力安全基盤機構。）及び「実用発電用原子炉施設、研究開発段階発電用原子炉施設、加工施設、再処理施設、廃棄物埋設施設、廃棄物管理施設における放射性廃棄物の管理状況及び放射線業務従事者の線量管理状況について」（平成25年度分から28年度分まで。原子力規制委員会。）を基に事務局が作成

② MOX 燃料施設

(1) 現場の特性

日本原子力研究開発機構(JAEA)核燃料サイクル工学研究所では、プルトニウム・ウラン混合酸化物燃料製造技術開発施設及び再処理施設プルトニウム転換技術開発施設(以下まとめて「MOX 燃料施設」という。)において、MOX 燃料の製造や再処理に係る核燃料サイクル技術の研究開発が行われている。ただし、平成 23 年に燃料製造技術開発試験を中止し、平成 26 年からは一部の設備の廃止措置が本格化している。現在、国内の稼働中の MOX 燃料施設はこの JAEA の施設のみとなっている。

MOX 燃料施設における主な線源は、 ^{241}Pu の崩壊生成物である ^{241}Am から放出される γ 線及び Pu 自発核分裂、 $^{17,18}\text{O}(\alpha, n)$ 反応で生じる中性子である。線量の内訳は、 γ 線が約 70~80%、中性子が約 20~30%となっている。MOX 燃料は、グローブボックス内で取扱われ、作業者はグローブボックス越しに被ばくする。

(2) 放射線防護及び測定・評価の現状

含鉛アクリルパネルや含鉛グローブが採用されているほか、従事者は鉛エプロンを着用している。水晶体の等価線量は、頸部で測定した γ 線の 1cm 線量当量と胸部の鉛エプロン内側で測定した中性子線の 1cm 線量等量を基に算定している。

以下に、平成 14~25 年度の MOX 燃料施設における不均等被ばく管理対象者の線量分布を示す。MOX 燃料の取扱い作業において、水晶体等価線量が年間 20mSv を超える作業者は発生していない。

表 4 MOX 燃料施設における不均等被ばく管理対象者の線量分布

期間	実効線量	水晶体等価線量		対象人数(人)
	最大(mSv)	最大(mSv)	>10mSv(人)	
H14~H25	9.7	18.9	217	2,843

第 4 回水晶体部会資料 5、辻村専門委員提出

なお、平成 26 年度には水晶体等価線量が年間 20mSv を超えている作業員(最大値は 23.3mSv)が 2 人おり、設備の廃止措置作業に従事した者であった。

③ 非破壊検査

(1) 現場の特性

非破壊検査において最も多く利用されている線源は、最大エネルギーが 200kV~300kV の X 線装置又は放射性同位元素の ^{192}Ir である。線源と作業員との間の距離が確保された状態で使用するため、均等被ばくとして管理されている。

(2) 放射線防護及び測定・評価の現状

使用する X 線及び γ 線のエネルギーが比較的高いものの、線源と作業員との間の距離が確保されているため散乱線による被ばくは少なく、主な被ばくは漏洩線によるものである。漏洩線に対する防護衣や防護眼鏡の効果が限定的であるため、防護具を用いた防護方策はとられていない。

以下に、平成 24～28 年度の日本非破壊検査工業会における作業員の線量分布を示す。X 線及び γ 線によるほぼ均等な被ばくであることから、実効線量は水晶体の等価線量と同じ値とみなすことができ、年間 20mSv を超える作業員はほぼ発生していない。

表 5 非破壊検査分野における作業員の線量分布

(単位：人)

年度	5mSv 以下	5mSv を超え ～10mSv 以下	10mSv を超 え～15mSv 以下	15mSv を超 え～20mSv 以下	20mSv を超え る
H24	2,052	54	6	1	0
H25	2,020	50	1	1	0
H26	2,063	45	1	0	0
H27	2,079	58	4	1	2
H28	2,123	67	1	0	0

第 5 回水晶体部会資料 3 表 1 (日本非破壊検査工業会提出) に基づき事務局で作成

4. 今後の方向性

4.1. 新たな水晶体等価線量限度の取入れ

水晶体部会は、特に防護を要する分野の放射線業務従事者の水晶体の被ばくについて、3. で記述したとおり、関係者へのヒアリングを実施した。これによれば、我が国で年間 20mSv を超える被ばくが最も多い医療分野においては、適切な防護策を講じることによって低減が可能であることが分かった。また、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉作業については、事業者が自主的に新たな等価線量限度を平成 30 年度から取入れて管理をする方針であることが確認された。その他の分野については、現状においても年間 20mSv を超える被ばくは限定的であることが確認された。

以上のことから、水晶体部会は、新たな水晶体の等価線量限度の取入れは可能であると判断する。すなわち、ICRP 勧告のように、水晶体の等価線量限度を 5 年間の平均で 20mSv/年かついずれの 1 年においても 50mSv を超えないこととすることが適当である。

なお、新たな線量限度を規制に取り入れるに当たり、関係行政機関においては、事業者が円滑に対応できるように適切な施行時期を設定することが求められる。特に、事業者に対して複数の法律が適用される場合には、施行時期の整合が図られるべきである。また、「5 年間の平均で 20mSv/年」の起算点の扱い方が現状の実効線量の管理と整合するように扱うことが望ましい。

4.2. 水晶体の等価線量を測定するための実用量

① 3mm 線量当量による測定

我が国の規制では、水晶体の等価線量の測定については「1cm 線量当量又は 70 μ m 線量当量のうち、適当な方」と規定され、3mm 線量当量の測定は求められていない。今後、新たな水晶体等価線量限度が規制に取入れられることによって、正確に線量を測定することが事業者にとって必要となる場合が見込まれることから、3mm 線量当量での測定を可能とするべきである。一方、事業者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 1cm 線量当量又は 70 μ m 線量当量での測定も認めるべきである。

これらについて今後の動向を踏まえて整理すれば次のようになる。

表 6 3mm 線量当量による測定に関する整理

測定対象	3mm 線量当量による測定
X・ γ 線 及び β 線	受動形個人線量計：線量計校正の基準放射線に関する ISO 規格に Hp(3) の導入が予定されている。また、IEC 規格及びこれに基づく JIS においては、先行して Hp(3) の測定を規定に含めており、3mm 線量当量による測定が可能になる見込み。
	電子式個人線量計：従前のものの多くは 3mm 線量当量での測定は不可能。ただし、水晶体の等価線量を適切に評価できることを示せば、従前の 1cm 線量当量又は 70 μ m 線量当量で測定する。
中性子線	3mm 線量当量の測定方法に関する国際的な議論が進んでいるものの、現時点において国際規格等に取入れられる予定はない。むしろ従前通り 1cm 線量当量での測定を基本とする。

② 「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

技術的指針においては、3mm 線量当量について、「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、事業者が 3mm 線量当量を使って、水晶体の等価線量を算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、事業者が状況に応じて、測定する実用量（1cm、3mm、70 μ m 線量当量）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。

したがって、関係行政機関においては、本報告書を踏まえた 3mm 線量当量の測定について所要の対応をとることが期待される。

また、表 6 のとおり 3mm 線量当量の測定について国際規格への取入れやその他にも実用量の扱いに関する国際的な議論が進められていることから、技術的指針の見直しについては、関連するこれらの動向を踏まえ、今後の課題として放射線審議会において検討していくことが適当である。

4.3. 防護策及び測定の内り方

① 事業者による防護策及び測定の内本的な考え方

新たな水晶体の内価線量限度の内入れに際しては、これを単に遵守するだけではしきい線量（約 0.5Gy）を超える可能性¹⁴がある。したがって事業者による最適化が重要である。我が国の放射線業務従事者の水晶体に係る被ばくの内現状を踏まえると、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において、特に取組が求められる。また、医療分野においては手技、機器等によって被ばくの内状況が大きく異なることから、関係行政機関は関係学会等と連携して事業者による最適化を奨励することが望ましい。

② ガイドラインによる事業者への支援

医療分野の事業者による最適化の内取組が円滑に進むように、関連学会等によってガイドラインが策定されることを期待する。ガイドラインには次の事項を含めることが望ましい。

- ・ 前提として、線量限度を遵守するのみならず最適化に取組むこと
- ・ 水晶体に対する不均等被ばく等の存在を判断するための手法及び例示等
- ・ 防護及び測定の手法及び例示。特に、測定箇所の内追加が必要となる状況
- ・ 健康障害の防止の内観点その他の放射線以外の労働衛生的な観点
- ・ 教育訓練、普及啓発

③ 医療分野及び廃炉作業における防護策及び測定についての整理

水晶体部会は検討の内過程において、医療分野及び東京電力福島第一原子力発電所の放射線業務従事者について、作業現場の特性に応じて防護策及び測定方法の内在り方を整理した。関係行政機関の内参考として以下に示す。（詳細については下二表を参照）

- ・ 医療分野においては、線源の内位置関係や防護方策の種類によって不均等被ばくとなる場合、体幹部に加えて頭頸部で測定し、実効線量及び水晶体の内価線量を評価する。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、眼の内近傍での測定を追加する。
- ・ 福島第一原子力発電所の廃炉作業においては、高線量の γ 線による被ばくと $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ による高エネルギーの β 線による被ばくの内両者の可能性がある現場が存在する。 β 線については全面マスクによる低減が可能であり、正確な評価が必要な場合は全面マスク内での測定を追加する。ただし、十分に遮蔽効果があることが実証された全面マスクを使用する場合、又は防護衣外側の胸部での測定値を用いた保守的な評価で支障がない場合は、全面マスク内での測定を省略できる。

おわりに

今後、関係行政機関において本報告書の内内容を踏まえて規制への線量限度取入れが検討されることを期待する。あわせて関係行政機関は関連学会等におけるガイドライン等の策定及び防護策の普及等について支援することを期待する。

14 仮に5年間で合計100mSv被ばくし続けると、25年でしきい線量（約0.5Gy）を超えることとなる。

表7 医療分野の作業現場・防護方策に応じた測定・評価の整理

測定する線量	講じている防護方策※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	鉛エプロンなし			体幹部基本部位で測定※3
	鉛エプロンあり	鉛エプロンの内側及び頭頸部で測定		
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 (鉛エプロン、 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 表の防護方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、眼の近傍の測定も）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良い。

（第4回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料1を基に作成）

表 8 福島第一原子力発電所の作業現場・防護方策に応じた測定・評価の整理

測定する線量	講じている防護方策 ^{※1}	作業現場の特性			
		低 β ・低 γ	低 β ・高 γ	高 β ^{※2} ・低 γ	高 β ^{※2} ・高 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 線ともに 胸部で測定	β 線・ γ 線ともに 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で 測定)	① β 線・ γ 線ともに マスク内の眼の近傍で 測定 ② β 線・ γ 線ともに 胸部で測定 ^{※3} から選択可能	① β 線・ γ 線ともに マスク内の眼の近傍で測定 ② β 線・ γ 線ともに 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 表の防護方策を講ずるだけでなく、労働衛生管理の観点から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 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 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回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料1を基に作成)

参考文献

- ・ ICRP Publication 60 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
(<http://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2060>)
- ・ ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context
(<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118>)
- ・ IAEA Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards
(<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8930/Radiation-Protection-and-Safety-of-Radiation-Sources-International-Basic-Safety-Standards>)
- ・ 人種、生活環境の異なる 4 地域での白内障疫学研究（佐々木洋、日本白内障学会誌、平成 13 年）
- ・ IAEA TECDOC No.1731 Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye
(<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10628/Implications-for-Occupational-Radiation-Protection-of-the-New-Dose-Limit-for-the-Lens-of-the-Eye>)
- ・ 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 年放射線審議会基本部会）
- ・ ICRU Report 47 Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations
- ・ ICRU Report 51 Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry
- ・ 第 2 回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料 2～5
(http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/houshasen_suisyotai/00000001.html)
- ・ 第 3 回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料 2～4
(http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/houshasen_suisyotai/00000005.html)
- ・ 第 4 回眼の水晶体の放射線防護検討部会資料 2～4
(http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/houshasen_suisyotai/20171116suisyotai.html)

放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会名簿

(委員)

- 神田 玲子 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所放射線防護情報統合センター センター長
- ◎ 横山 須美 藤田保健衛生大学医療科学部 准教授

(専門委員)

- 赤羽 正章 国際医療福祉大学医学部 教授
- 大口 裕之 株式会社千代田テクノ大洗研究所 主席研究員(技術統括責任者)
- 櫻田 尚樹 厚生労働省国立保健医療科学院生活環境研究部 部長
- 壽藤 紀道 長瀬ランダウア株式会社技術室 技術顧問
- 辻村 憲雄 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所放射線管理部線量計測課 主任研究員

- ◎ 部会長
- 部会長代理

(50音順)

放射線審議会眼の水晶体の放射線防護検討部会検討経過
(平成 29 年 12 月 8 日時点)

第 1 回 平成 29 年 7 月 27 日

(ヒアリング対象)

- ・ 電力中央研究所原子力技術研究所放射線安全研究センター
浜田信行主任研究員

第 2 回 平成 29 年 9 月 5 日

(ヒアリング対象)

- ・ 東京電力ホールディングス (株)
- ・ 高エネルギー加速器研究機構 平山英夫名誉教授

第 3 回 平成 29 年 10 月 5 日

(ヒアリング対象)

- ・ 公益社団法人日本放射線技術学会

第 4 回 平成 29 年 11 月 16 日

(ヒアリング対象)

- ・ 産業医科大学産業生態科学研究所放射線健康医学 盛武敬准教授
- ・ 国立大学法人東北大学災害科学国際研究所災害放射線医学分野・医学系研究科保健学専攻放射線検査学分野 千田浩一教授
- ・ 電気事業連合会

第 5 回 平成 29 年 12 月 8 日

(ヒアリング対象)

- ・ 京都医療科学大学 大野和子教授
- ・ 一般社団法人日本非破壊検査工業会