水晶体の放射線防護に関する専門研究会中間報告書 (VI) —ISO, IAEA 及び IRPA の動向—

赤羽 恵一^{*1}, 飯本 武志^{*2}, 伊知地 猛^{*3}, 岩 井 敏^{*4}, 大口 裕之^{*5}, 大野 和子^{*6},
川浦 稚代^{*7}, 立崎 英夫^{*1}, 辻村 憲雄^{*8}, 浜田 信行^{*3}, 藤通 有希^{*3}, 堀 田 豊^{*9},
山 崎 直^{*10}, 横山 須美^{*11}

(2014 年 7 月 8 日受理)

(2015 年 1 月 31 日再受理)

Interim Report of the JHPS Expert Committee on Radiation Protection of the Lens of the Eye (VI) —Recent Developments of Radiation Safety of the Lens of the Eye in ISO, IAEA and IRPA—

Keiichi AKAHANE,^{*1} Takeshi IMOTO,^{*2} Takeshi ICHIJI,^{*3} Satoshi IWAI,^{*4} Hiroyuki OHGUCHI,^{*5} Kazuko OHNO,^{*6}
Chiyo YAMAUCHI-KAWAURA,^{*7} Hideo TATSUZAKI,^{*1} Norio TSUJIMURA,^{*8} Nobuyuki HAMADA,^{*3} Yuki FUJIMICHI,^{*3}
Yutaka HOTTA,^{*9} Tadashi YAMASAKI^{*10} and Sumi YOKOYAMA^{*11}

While the revised dose limit for the lens of the eye was presented by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), the dose measurement standards for the lens of the eye have been discussed in the International Organization for Standardization (ISO). In the International Basic Safety Standards of International Atomic Energy Agency (IAEA), a new ICRP dose limit of the lens of the eye was included, and a technical document was published as a guidance on the implications of the new dose limit for the lens of the eye for occupational radiation protection. By the International Radiation Protection Association (IRPA) Task Group on Implementation of Revised Dose Limits to the Lens of the Eye, the opinions for the new ICRP dose limit for the lens of the eye are investigated for the member states. In this paper, the progress of discussion in these organizations is reported.

KEY WORDS: lens of the eye, radiation safety, new ICRP dose limit, ISO, IAEA, IRPA, dosimetry, standards, $H_p(3)$.

I は じ め に

国際放射線防護委員会 (ICRP) から水晶体の等価線量限度引き下げに関する声明が発表されたことで、自国の法令へのこの新しい水晶体等価線量限度の取り入れを具体的に検討する必要があるとの認識から、その社会的・経済的影響を含め、各国の関心が高まっている。

水晶体の等価線量評価法に関しては、ICRP 及び国際放射線単位測定委員会 (ICRU) において、検討が進められていることは別途報告した¹⁾。本報では、この他の国際的な動きとして、国際標準化機構 (ISO) においては水晶体線量測定にかかる国際規格に関する検討が、また、国際原子力機関 (IAEA) においては安全基準への

取り入れ及びその適用のための具体的かつ技術的手法に関する検討が進められていることから、これらの検討状況について解説する。さらに、国際放射線防護学会 (IRPA) においても、関連タスクグループを設立し、各国の加盟学会の意見を取りまとめるといった活動を実施している。合わせてこの活動内容についても報告する。

II ISO における水晶体線量測定にかかる 国際規格に関する検討

ISO は、正式名称を国際標準化機構 (International Organization for Standardization) といい、各国の代表的標準化機関からなる国際標準化機関の中で、電気及び電子技術分野を除いた全産業分野 (鉱工業, 農業, 医薬品等)

に関する国際規格の作成を行っている。ISO は主要な産業分野の標準化を「技術委員会 (Technical Committee, 日本工業標準調査会では、「専門委員会」の訳を用いている)」の下で行う。TC は TC1 から TC229 まであり、さらに TC230 から TC243 まではプロジェクト委員会という形態をとっている。TC85 は、原子力エネルギー分野を意味し、TC85/SC2 は、原子力エネルギー分野の放射線防護を意味している。

一方、IEC (国際電気標準会議) は、1906 年に設立され、電気及び電子の技術分野を対象とする標準化を進めている。IEC 規格は、さまざまな分野があり、原子力計測に関わる規格作成は、原子力計測専門委員会 (TC45) が担当している。TC45 は、1960 年から開催され、1 年に 1 回程度で開催されている。国内では、日本工業標準調査会 (JISC) より、日本電気計測器工業会が審査団体として認められ、TC45 国内委員会を組織している。国内委員会は、大学、研究機関、電力会社、原子力、放射線関連の製造業者等により構成されている。

最近の国際規格 (ISO/IEC) 改定は、これまでの各個人線量計の個別規格から同種の線量計を包括した総合的な基本規格としてまとめる傾向にある。

IEC では、光子及び β 線に関する環境及び個人モニタリングを対象とした各種受動型線量計に共通する規格 IEC62387²⁾ を 2012 年 12 月に改訂した。この改訂版では、眼の水晶体の線量測定 (3 mm 線量当量 ($H_p(3)$)) に関する要件が盛り込まれている。この改定を受けて、ISO では ISO15382 “Radiological protection-Procedure for

monitoring of the dose to the extremities and the lens of the eye”³⁾ について、眼の水晶体を含んだ手順書の改定を現在進めている。既存の規格では、適用範囲が原子力施設における β 線等による個人被ばくモニタリングに限定されていたが、今回の改定では、X・ γ 線及び β 線を対象とし、適用範囲をこれらの放射線モニタリングの需要が増加している医療関係の被ばくにも拡張した。この手順書では、眼の水晶体の等価線量限度を最新の ICRP 勧告に合わせて、水晶体の等価線量限度 (100 mSv/5 年、50 mSv/年) に変更し、眼の水晶体を評価できる線量計の装着位置、評価上での注意事項について記載している。特にインターベンショナルラジオロジー (IVR) の術者のような不均等の被ばくをする者に対して、線量計を装着する際の位置と X 線防護メガネを装着している場合の課題を挙げている。線量計に関しては、眼の水晶体測定に対する受動型線量計システムの技術仕様が IEC62387 に定義されている。なお、この ISO では、眼の水晶体評価用としての線量計装着位置を眼鏡付近が良いと推奨しているが、他の位置 (襟、体幹部、頭部等) でも代用することが可能である。

III IAEA における眼の水晶体の等価線量限度適用に関する検討状況

1. 検討経緯

IAEA においては 2011 年 5 月に開催された第 29 回安全基準委員会 (CSS) 会合において、国際基本安全基準 (International Basic Safety Standards, BSS) の改定が

*1 (独) 放射線医学総合研究所; 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1 (〒263-8555)

National Institute of Radiological Sciences; 4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8555, Japan.

E-mail: akahane@nirs.go.jp, tatsuzo@nirs.go.jp

*2 東京大学; 東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113-8654)

The University of Tokyo; 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan.

E-mail: iimoto.takeshi@mail.u-tokyo.ac.jp

*3 (一財) 電力中央研究所; 東京都狛江市岩戸北 2-11-1 (〒201-8511)

Central Research Institute of Electric Power Industry; 2-11-1, Iwadokita, Komae-shi, Tokyo 201-8511, Japan.

E-mail: hamada-n@criepi.denken.or.jp, f-yuki@criepi.denken.or.jp, ichiji@criepi.denken.or.jp

*4 (一社) 原子力安全推進協会; 東京都港区芝 5-36-7 (〒108-0014)

Japan Nuclear Safety Institute; 5-36-7, Shiba, Minato-ku, Tokyo 108-0014, Japan.

E-mail: iwai.satoshi@genanshin.jp

*5 千代田テクノロ (株); 東京都文京区湯島 1-7-12 (〒113-8681)

Chiyoda Technol Co.; 1-7-12, Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8681, Japan.

*6 京都医療技術大学; 京都府南丹市園部町小山東町今北 1-3 (〒622-0041)

Kyoto College of Medical Science; 1-3, Imakita, Oyamahigashimachi,

Sonobe-cho, Nantan-shi, Kyoto 622-0041, Japan.

E-mail: kakochan@kyoto-msc.jp

*7 名古屋大学; 愛知県名古屋市中区大幸南 1-1-20 (〒461-8637)

Nagoya University; 1-1-20, Daiko-minami, Higashi-ku, Nagoya-shi, Aichi 461-8637, Japan.

E-mail: kawaura@met.nagoya-u.ac.jp

*8 (独) 日本原子力研究開発機構; 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 (〒319-1194)

Japan Atomic Energy Agency; 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki 319-1194, Japan.

E-mail: tsujimura.norio@jaea.go.jp

*9 日本原燃 (株); 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字沖付 4-108 (〒039-3212)

Japan Nuclear Fuel Limited; 4-108, Okitsuke, Obuchi, Rokkasho-mura, Kamikita-gun, Aomori 039-3212, Japan.

E-mail: yutaka.hotta@jnfl.co.jp

*10 中部電力 (株); 静岡県御前崎市佐倉 5561 (〒437-1695)

Chubu Electric Power Co. Inc.; 5561 Sakura, Omaezaki-shi, Shizuoka 437-1695, Japan.

E-mail: Yamasaki.Tadashi@chuden.co.jp

*11 藤田保健衛生大学医療科学部; 愛知県豊明市掛町田楽ヶ窪 1-98 (〒470-1192)

Faculty of Health Science, Fujita Health University; 1-98, Dengakugakubo, Kutsukake-cho, Toyoake-shi, Aichi 470-1192, Japan.

E-mail: sumi0704@fujita-hu.ac.jp

審議事項となった。これにともない眼の水晶体の等価線量限度の値の改定についても提案された。しかし、CSS 審議段階での提案であったため、加盟国からの意見を反映した上で、放射線安全基準委員会（RASSC）議長が裁定することとなった。このため、6月に加盟国からの意見照会が公示され、7月に意見に対する回答がなされた。これらの過程を経て、同年11月に発表された GSR Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards の Interim Edition⁴⁾ では ICRP の新しい眼の水晶体の等価線量限度に関する記載が追加された（2014年7月に最終版⁵⁾ が公刊）。

水晶体の等価線量限度引き下げに関しては、加盟国の関心が非つねに高かったことから、BSS の改定を踏まえ、2012年10月には、BSS の要件を満たすため技術文書（TECDOC）を取りまとめることとした。これにあたり、技術会合 The new dose limit for the lens of the eye — Implications and implementation—を開催した。会合へ参加したのは加盟国中 24 か国及び 8 機関であった。会合では、議論の基本となる水晶体及び放射線誘発白内障発症メカニズム、ICRP が眼の水晶体の等価線量限度を引き下げることとなった科学的根拠、医療、原子力及び産業の各界において線量限度履行のための実際的な課題について、各国の認識の統一が図られた。さらに、重要課題として、水晶体に対する高リスク作業員の抽出、施設/防護具設計、作業規定の策定、教育訓練・健康管理プログラム、水晶体線量モニタリングのあり方等が検討された。

これらの検討を踏まえ、2013年3月に会合出席者にドラフトが配布され、5月末に意見募集を行った結果、21の個人及び組織から 310 件のコメントが寄せられた。同年6月には意見への回答が公示、修正ドラフトが示された。このドラフトは7月に開催された第 34 回 RASSC 会合において報告され、2014年1月に TECDOC1731⁶⁾ として公刊された。

2. TECDOC1731 の概要

(1) TECDOC1731 の構成

TECDOC1731 は、以下の 3 章から構成されている。

1. INTRODUCTION（はじめに）
2. THE SCIENTIFIC BASIS FOR THE CHANGE IN THE DOSE LIMIT（線量限度の変さらに伴う科学的根拠）
3. IMPLICATIONS OF THE NEW DOSE LIMIT FOR THE LENS OF THE EYE（新しい眼の水晶体の等

価線量限度の意味）

第 1 章では、本稿 III. 1. で述べた背景、目的、適用範囲及びこの報告書の構成が示されている。第 2 章では ICRP Publication 118 からの引用として、ICRP の示した新しい眼の水晶体の等価線量限度の科学的根拠の概要を述べている。第 3 章では、線量限度の変さらににより影響を受ける作業員と線量限度を変更するためになすべき方針が示されている。第 3 章は、さらに以下の 6 節から構成されている。

- 3.1 Safety assessment（安全評価）
- 3.2 Workers for whom exposure of the lens of the eye might be important（眼の水晶体の被ばくが重要となる可能性のある作業員）
- 3.3 Optimization of protection（防護の最適化）
- 3.4 Monitoring of doses to the lens of the eye due to external radiation（外部放射線から眼の水晶体が受ける線量のモニタリング）
- 3.5 Health surveillance（健康管理調査）
- 3.6 Exposure of emergency workers（緊急作業に携わる従事者の被ばく）

以下、特に TECDOC1731 の中でも重要である第 3 章について説明する。

(2) 安全評価

作業員の放射線防護に関する全般的なことは、BSS に記載されている。3.1 節に述べられている安全評価に関しても水晶体のみに限ったことではない。規制当局は、安全評価のための必要要件を確立し、準備しておかなければならない。そして、責任のある人や組織はその施設や活動に対して適切に安全評価を実施すべきであるとしている。これらの対象としては施設操業前の施設設計をはじめ、施設操業に関するすべての過程における操作手順、防護具の使用に関するものである。水晶体に対しては、新しい ICRP の線量限度を踏まえ、十分な配慮が必要である。このため、各事業者は作業員の眼の水晶体の線量がかかなり高くなる（年間数 mSv 程度）かどうか、特に、低透過性の β 線や低エネルギーの光子による局所被ばくにより、実効線量よりも眼の水晶体の等価線量限度で制限されるような場合、上記事項を見直す必要があるとしている。また、防護が最適化されるよう機器や設備が設計されることを確実にすること、必要に応じて、防護を最適化することを確実にするために操作方法を確立すべきであり、このような措置を講じた上で、まだ装置や設備の設計、操作方法が十分でない場合には、作業に応じた防護具の使用について検討すべきであるとして

いる。

(3) 眼の水晶体の被ばくが重要となる可能性のある作業

定常的に眼の水晶体がかなりの放射線を受ける可能性のある作業者は、水晶体の線量推定方法を、以下のような場合に分けて評価する必要があるとしている。

(i) 一様な放射線場での被ばく：

(ii) 眼の水晶体の等価線量が高くなるような不均等な放射線場での被ばく：

これには、頭部の遮へいがなされていない場合や頭部が線源に近い場合の被ばく、 β 線による被ばくが含まれる。

(iii) β 線や低エネルギー光子（約 40 keV 未満の光子）のような低透過性の放射線による被ばく：

(iii) は、実効線量にはあまり影響しないが、水晶体の線量への寄与が大きい。

α 線やその他の高 LET 放射線の取り扱いについては、ICRP Publication 118 でも十分な議論がなされていないが、TECDOC1731 では、 α 線については体内の飛程が非つねに短いので、水晶体の感受性領域（3 mm 深さ）への影響は考えなくてよいとされている。中性子による被ばくは、実効線量で制限されていれば、眼の水晶体の線量が問題になることはなさそうだが、評価は複雑であるとしている。

眼の水晶体の線量が比較的高くなる可能性のある作業員としては、以下の職種が挙げられている。

(i) 医療分野

IVR 術者、放射性医薬品の取扱作業員、手で密封小線源療法を行う術者、CT 透視に携わるスタッフ及び加速器運転員。

(ii) 原子力分野

グローブボックスを使用する作業員、デコミッションに携わる作業員及びプルトニウムや劣化ウランを取り扱う作業員。

(iii) その他の産業分野

通常、一様な放射線場で作業しており、IAEA の放射線の産業利用に関するワーキンググループが 2009 年に調査した結果、86 % が 5 mSv 以下、最大でも 50 mSv (0.3%) であったことから、通常、眼の水晶体の被ばくもほとんどしないと考えられるとしている。

宇宙飛行士については、中性子による高レベル被ばくをする可能性があるが、この TECDOC では検討の対象外としている。また、航空機乗務員の被ばくに関しても、水晶体の線量は十分に低いと予想されることから高レベ

ルの被ばくをする職種としては、取り扱わないこととしている。

(iv) 事故的な被ばく

非破壊検査等の産業分野において、線量限度を超えるような事故的な被ばくが発生している。これらの作業員が被ばくした放射線場は均一ではなく、着用している個人線量計の読み値は眼の水晶体の等価線量の代用にはならないかもしれない。また、核医学検査や治療を行う部門では、準備の段階で放射性医薬品による汚染により眼の水晶体の等価線量が高くなる可能性があることを指摘している。

(4) 防護の最適化

個人の線量と個人の数、被ばくの可能性を経済的、社会的状況を考慮して、達成可能な限り低くするという防護の最適化の考え方は、水晶体の被ばく防護に限ったことではない。防護の最適化の観点から、事業者等は、工学的に制御（安全のために施設や設備を設計）や作業環境を整備し、法的な管理や防護具の使用を最小限にする必要があるとしている。また、放射線業務従事者の防護の最適化のみを考えると、他の作業員、公衆または患者の被ばくを増加させる可能性もある。このため、公衆等の被ばく低減にも注意することとしている。

規制当局は、防護や安全に対しての規制やガイドラインを作成するとともに、これらが機能しているかを確認するシステムを確立しておかなければならない。放射線による水晶体の影響に関する新しい科学的知見、規制やガイドラインに重大な変更があった場合には、事業者等に広く情報を提供しなくてはならない。これに加え、事業者等は作業員の安全・防護に関する適切な情報、教育・訓練を提供しなければならないとしている。

(5) 外部放射線から眼の水晶体が受ける線量のモニタリング

水晶体の線量モニタリングについては、水晶体用の線量計も開発されており、直接測定も可能であるが、その評価方法については国際的な基準が必要であるとしている。現在、国際基準に関しては ISO 及び IEC において議論されているのでそれに従い実施することとしている (Table 1)。定期的な個人のモニタリングを実施する線量レベルとしては、眼の水晶体の等価線量が 5 mSv/年を超える可能性がある場合としている。個人線量モニタリングにおいては、放射線の種類、エネルギー、入射方向、施設の構造、防護具の使用等を考慮して、これらに適した方法で測定すべきとしており、被ばくの形態と評価方法が表として示されている。Table 2 から Table 5 に示す。

Table 1 エリアモニタ及び個人線量計の国際規格

放射線の種類	エリアモニタ		個人線量計	
	線量率計	受動型線量計	線量率計	受動型線量計
光子及び β 線	IEC60846-1 $H'(0.07)$ 及び $H^*(10)$	IEC62387 $H'(0.07)$ 及び $H^*(10)$	IEC61526 $H_p(0.07)$ 及び $H_p(10)$	IEC62387 $H_p(0.07)$, $H_p(3)$ 及び $H_p(10)$
中性子	IEC61005 $H^*(10)$	—		ISO21909 $H_p(10)$

Table 2 中性子の線量

影響を及ぼす要因	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に対し、全身線量モニタリングは、水晶体の線量を保守的に評価できそうにない。このため、作業場によっては、水晶体に対する中性子の線量を評価する必要があるかもしれないが、これについては、さらなる調査が必要。	
B (幾何学的形状)	均一な放射線場か？	
	はい 体幹部でのモニタリングを利用	いいえ 眼の近傍でのモニタリングが必要。
C (防護具)	どんな防護具（メガネ、遮へい板等）も中性子を防護することができないかもしれない。	

Table 3 光子の線量

影響を及ぼす要因	説明	
A (エネルギー及び入射角度)	平均光子エネルギー約 40 keV 未満か？	
	はい $H_p(0.07)$ を使用し、 $H_p(10)$ を使用しないかもしれない	いいえ 放射線が主に正面から入射される場合かまたは、人が動くことであらゆる方向から放射線が入射される場合か？
		はい $H_p(0.07)$ または $H_p(10)$ を使用。
		いいえ $H_p(0.07)$ を使用し、 $H_p(10)$ を使用しないかもしれない。
B (幾何学的形状)	均一な放射線場か？	
	はい ↓ 体幹部でのモニタリングを利用	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（メガネ、遮へい板等）を使用するか？	
	眼の防護具を着用するなら ↓ 眼の近傍及び防護具の下でモニタリングが必要。一方、遮へいに適切な遮へい係数を適用すべき。	体幹部の防護（防護エプロン等）がなされるなら ↓ 防護具の下で体幹部着用線量で眼の水晶体の線量を評価した場合は過小評価となる。 ↓ 別途、眼の近傍での測定が必要。

Table 4 β 線の線量

影響を及ぼす要因	説明	
A (エネルギー及び入射角度)	最大エネルギーは 0.7 MeV 以上か？	
	いいえ モニタリング不要	はい モニタリング要
B (幾何学的形状)	β 線場は通常不均一なので眼の近傍で線量計による測定が必要。ただし、C に示した十分な厚さの遮へいを使用するなら不要。	
C (防護具)	眼に対して十分な厚さの防護具を使用しているか？	
	使用している 制動放射線を考慮	使用していない $H_p(3)$ のモニタリング

Table 5 混合放射線場における水晶体線量測定に必要な線量計の選択のためのガイダンス

場の放射線の種類			必要な線量計
中性子	光子	β 線 (> 0.7 MeV)	
×			中性子用 $H_p(10)$ 線量計 (1 台)
	×		光子用 $H_p(0.07)$ (1 台) 及び／または $H_p(10)$ 線量計 (1 台)
		×	β 線用 $H_p(3)$ 線量計 (1 台)
×	×		中性子用 $H_p(10)$ (1 台) 及び 光子用 $H_p(0.07)$ (1 台) 及び／または $H_p(10)$ 線量計 (1 台)
×		×	中性子用 $H_p(10)$ (1 台) 及び β 線用 $H_p(3)$ 線量計 (1 台)
	×	×	光子用・ β 線用 $H_p(3)$ 線量計 (1 台)
×	×	×	中性子用 $H_p(10)$ 線量計 (1 台) 及び 光子・ β 線用 $H_p(3)$ 線量計 (1 台)

* 中性子線照射に関しては、つねに光子が付随しているが、ここでは中性子線単独で存在しているとして示す。

(6) 健康管理調査

健康管理調査については、20 mSv/年以下の人は追加的な健康診断は不要としている。しきい線量である0.5 Gyを超えたとしても、そのリスクは小さいと考えられるため、障害の進展を確認するのみにとどめ、作業者が放射線業務から排除されるような不利益を被らないように配慮すべきとしている。

(7) 緊急作業に携わる従事者の被ばく

緊急作業に携わる従事者に対しても記載があり、眼の水晶体の線量 ($H_p(3)$) は、通常は1 cm 線量当量 ($H_p(10)$) から評価することが可能であるとしている。しかし、 β 線や低エネルギー γ 線場 (平均エネルギーが40 keV 未満) であることが予想される場合には、 $H_p(10)$ では水晶体の線量を制御しきれない。したがって、緊急作業に携わる作業には、状況に応じて、低原子番号の遮へい材等の使用を推奨している。

3. ま と め

TECDOC1731 では、水晶体の等価線量限度適用のための技術的な要件を示しているが、放射線防護・線量の低減という観点から、その他の人体組織 (全身) を防護する場合と同様に、作業場の設計や作業場及び個人の線量管理を適切に実施し、遮へい材や防護具の着用、作業者の教育等が重要であるとしている。また、高レベル被ばくまたは不均等被ばくをする可能性のある作業 (職種) に限定して管理することにより、過剰な防護や管理を避けることが可能である。一方、場や個人の線量モニ

タリング方法についても詳細な記載があるが、ISO 等の規格・基準に依存した部分があり、これらの検討状況によっては、ただちに各国の基準に反映することができない状況である。また、中性子の線量モニタリングについても、全身線量のモニタリングによって、眼の水晶体の線量を保守的に評価できない可能性を示唆している。このような場においては、今後も十分な検討が必要であろう。

IAEA では ICRP Publication 103 (ICRP 2007 年勧告) の発刊や BSS の改定等により、安全指針：職業上の放射線防護 (DS453) 等、これまでであった職業上の放射線防護に関する指針類についても内容を更新することとなった。この機会に細分化されていた職業上の防護に関する指針を統合することとしている。改定にあたっては、IAEA (RASSC が中心となり、原子力安全基準委員会 (NUSSC)、輸送安全基準委員会 (TRANSSC)、廃棄物安全基準委員会 (WASSC) が協力) と国際労働機関 (ILO) が協力して作業をすすめることとなっている。2013 年 8 月末～10 月に加盟国に向けて意見募集が行われ、2014 年 1 月に改訂ドラフトが Coordination Committee によって承認された。2014 年 6 月に CSS において審議を経て、2015 年 4 月に発刊の予定である。また、安全指針：電離放射線の医療利用 (DS399) についても検討中であり、2015 年から 2016 年に発刊を予定している。これらの中でも ICRP の新しい水晶体の等価線量限度に関する記述が追加、修正となる予定である。

IV IRPA における眼の水晶体の等価線量限度適用に関する検討状況

1. IRPA

国際放射線防護学会は、「すべての国々で放射線防護活動に従事する人々がより迅速に情報交換し、この過程を通じて世界の多くの地域で放射線防護を推進できる手段を提供すること」を主目的とする、放射線防護に関する国際組織である⁷⁾。メンバーとして、60か国の48のAssociate Societies (ASs) で構成されており、日本では当学会がメンバー登録されている。

2. 眼の水晶体のICRP 声明に関するアンケート

IRPA は、2011 年のICRP の組織反応に関する声明に対し、加盟学会に対して意見聴取し、IRPA として提言をまとめるためのタスクグループを作り、調査を行った⁸⁾。48のASsのうち、16か国の12のASs (アルゼンチン、ベルギー、フランス、ハンガリー、イタリア、日本、北欧、スペイン、ルーマニア、スロバキア、英国、米国) から回答があった。

調査項目は、「水晶体の線量評価への影響」、「水晶体被ばく防護方法」、「新しい線量限度適用による影響」の、三つのトピックに分けられている (Table 6)。

トピック毎に、ASs から協力ボランティアが募られ、日本から当学会の「水晶体の放射線防護に関する専門研究会」のメンバー2人 (赤羽・横山) がトピック3の取りまとめに協力した。結果は、報告書にまとめられ、公開されている⁸⁾。以下に、調査の結論と勧告の内容を示す。

Table 6 アンケート項目

Topic 1: 水晶体の線量評価への影響 (4 問)	
Q.1	現在の最適な評価法
Q.2	線量評価法の将来的課題
Q.3	線量レベル等の条件ごとの評価
Q.4	多数施設で従事する作業者の線量管理の一元化
Topic 2: 水晶体被ばく防護方法 (2 問)	
Q.5	現在の水晶体線量低減方法
Q.6	将来の水晶体線量低減方法に関する課題
Topic 3: 新しい線量限度適用による影響 (5 問)	
Q.7	防護・線量評価に関する短期課題
Q.8	防護・線量評価に関する長期的課題
Q.9	雇用への影響
Q.10	補償に関する課題
Q.11	その他、タスクグループで検討が必要な課題

3. アンケートの結論

(1) 影響される分野

新しい線量限度が影響を与える分野は医療、主にIVR (IR) と循環器科 (IC) であるとのコンセンサスが広く得られている。放射線診断と獣医のX線でも、いくらかの影響は生じ得る。

原子力分野では、実質的に影響の心配は無かった。高い β 線場のような状況 (たとえば重大な事故後) を除き、防護メガネの使用により比較的簡単に適切な管理が実行可能である。

(2) 眼の水晶体の線量測定

(i) 新しい眼の水晶体の等価線量限度は、一様な場、あるいは非つねに低線量であり、つねにモニタされている多くの作業員に対しては、作業内容や防護方法、線量評価法等の変更を課すものではないであろう。しかしながら、ある種の作業、主にIRやICの術者に対しては、新しい線量限度に近い、これを超える可能性がある。このため、線量計により、眼の水晶体の受ける線量を記録し、把握しておくことが必要となる。

(ii) 線量と白内障の間の関係は、よくわかっておらず、因果関係を明らかにすべきである。

(iii) 一般的に、具体的な眼の水晶体の線量測定を定期的に行う必要がないことは明らかである。作業員に対する眼の水晶体をモニタするためにいくつかのアプローチが提案されているが、すべて実用性に課題があり、国際的な勧告が放射線防護基準と調整されている必要がある。

(iv) 特に、種々の作業環境において使用するために、 $H_p(3)$ を測定するための線量測定法を開発することが有益である。

(v) さらに一般的な状況では、 $H_p(10)$ と $H_p(3)$ の両方を記録するための標準システム (double-dosimetry システム、または適当な経験式を用いた一つのバッジの使用) と一致させることが適当と思われる。

(vi) 移動労働者の眼の水晶体の総線量を評価し、記録するための取り決めを確認し、有効にすべきである。

(3) 作業者の防護

(i) 眼の水晶体の線量を低減するために、確立された放射線防護技術と遮へい装置が、すべての所属学会で利用されてきたが、あまり継続的には使われていないようである。これらの技術と装置を効果的に、そして堅実に用いるよう、作業員を訓練することは重要である。しかし、効果的な訓練を適切に実行するためには、スタッフに限られており、時間的にも非つねに困難である。特に、

眼の水晶体の等価線量が新しい線量限度を超える可能性がある領域では、優先的に放射線防護訓練へ投資することは、非つねに重要なことである。一方、投資額の増加は、費用の主要な課題となる。

(ii) 防護手段の適用には、場所によって、さらに同じ国内でさえも、かなりの違いがある。防護手段に関する明確なガイドラインがないため、施設は独自に防護用具を購入するか、異なる手技を選ぶ可能性がある。どの技術と用具を用いるかの決定は、ローカルなレベルでなされなければならない。これらに関するガイドラインを出すことができれば有用である。

(iii) 眼の防護を義務にすることを、すべての被ばくする作業者に対して考えなければならない。

(4) 広範囲に及ぶ影響

(i) 広い範囲に及ぶ影響として、眼の水晶体に対する新しい線量限度の適用が現行の作業方法に影響を与え、所属学会の大多数に多くの問題をもたらす可能性があることが挙げられる。特に、雇用の問題である。この問題には、眼の水晶体に対し追加的な医学検査を実施することで費用が高くなる、補償訴訟が増加する、そして、既存の線量限度より十分に低い（しかし、新しい限度よりも高い可能性のある）、これまでに記録されていない線量についての質問にどう答えるか、といった問題が含まれている。

(ii) 多くの所属学会が、線量限度の変えさらに対する正当性について、大きな心配があることと、放射線作業者間の混乱を述べている。これらの心配の本質には、次のことが含まれる：

(a) なぜ致命的影響と非致命的影響が同じ形で考えられているのか。この変更を支持する根拠は、害に直接関連するものではなく、顕著な損傷ではない眼の潜在的な変化に関するものである。

(b) 文献の見解は一致しておらず、結果に乏しい。この種の変更は、費用に多大な影響を及ぼすが、眼に対するリスク自体は小さいと考えられるかもしれない。

(c) このトピックに関するキーとなる国際機関（ICRP や IAEA）は、議論を十分にせず、急いだように見える。

新しい線量限度は、もっと作業者に分かりやすくつくられるべきである。

(5) 潜在的な費用への影響

この調査では、新しい線量限度によって課される追加の費用を示すことはできなかった。しかしながら、ほとんどの所属学会は、課される費用について、次のことを懸念している：

- (i) 追加の訓練
 - (ii) 追加の線量測定
 - (iii) 追加の遮へい
 - (iv) 公式的に多くの作業者を分類することが必要となる可能性
 - (v) 現行の専門家が線量限度に達する場合、特別なスタッフが必要となる可能性
 - (vi) 作業者に対する医学的な眼の検査を増やすこと
- #### (6) 一般的事項

受け取った質問票の回答は、さまざまな検討方法を示し、異なる視点で、特定の所属学会あるいは特定のグループの微妙な考えた方の違いを反映している。

回答をまとめるとき、たとえば、次の三つの見地にかんがりの不一致が見られた：

- (i) 眼の水晶体の等価線量を低減するための手技の見直しと、それに伴う装置費用の増加
- (ii) 既存の白内障を有する、あるいは白内障の前段階を示している人々の雇用に関係するさまざまな影響
- (iii) 新しい眼の水晶体の等価線量限度に関係する将来の補償についての現在の認識

個々の国々によって選択と決定がなされるため、この報告書で考慮されたさまざまな見地が理解されるためには、意見交換をさらに進めていくことが有用であろう。

4. タスクグループの勧告

(1) 理解とガイダンス

(i) 眼の水晶体の放射線被ばくと白内障形成の間の基本的な関係には、さらなる研究と解明が求められる。このための調査にはサポートが与えられるべきである。

(ii) 致命的な確率的影響に対するものと、非致命的な確定的影響に対する線量限度が同じ数値で表されているこの勧告は、混乱を生じさせている。関係する国際機関が、新しい線量限度を術者にわかりやすく説明することが有益である。

(iii) これからのガイドラインには、眼の水晶体の線量が線量限度に近くなる可能性がある作業者を、正確に特定することが求められる。

(iv) IRPA 理事会は、眼の水晶体の線量をモニタリングするための勧告を考慮し、国際プロトコルを導くさらなる研究を促進すべきである。

(v) 適切なガイダンスは、規制機関から提供されるべきで、どのような変更が導入されても、時機を逸せずに行われるようにしなければならない。このガイダンスには、管理、防護手段、線量評価、そしてモニタリングシ

システムについての要件が含まれるべきである。

(2) 実用面

(i) 白内障データ（混濁のレベルと白内障の形成）を見つけ、調査し、報告するために新しいシステムが必要である。あるいは、その代わりに、既存のシステムを明確に比較できることが必要である。

(ii) $H_p(3)$ を評価するため、襟と鉛エプロン上に付けた全身線量計の妥当性と制限に関する一層の調査が必要である。IR 及び IC 術者の放射線誘発白内障に対する疫学調査：方法論の実現に関する（ELDO）プロジェクト*の結果は、大変有用な情報を提供している。

(iii) 新しい線量計、鉛メガネや遮へい板のような通常用いられる防護用具の効果をさらに調査し、訓練を通してその結果を使用者に周知することが必要である。

(iv) 眼の水晶体に対する新しい線量計及び防護用具のいずれもが快適に利用でき、医療手技の効率を顕著に妨げないことを確実にすることが重要である。

(v) 異なる作業と状況に対する眼の水晶体の防護手段の効果について情報を提供する研究が必要である。

(vi) 鉛メガネのいくつかのデザインは、散乱線の遮へいが不十分である。これらのメガネは再設計されるべきである。

(vii) 線量限度に近づくレベルの被ばくを受ける可能性のある作業員に対し、放射線被ばくの最適化が考慮されるべきである。

(viii) 緊急時被ばく状況に対し、公衆に対する放射線防護と、対応手順もまた、考慮されるべきである。

(3) 社会的、経済的、管理的な検討

(i) 経済的及び社会的な検討は、新しい水晶体の等価線量限度を各国の関連規制に取り入れる際に、十分に考慮されるべきである。

(ii) 各手順の総コストと要求される設備、またはそのどちらか、防護の既存の方法に対する現在のコストと眼の水晶体の被ばくを低減するために負う追加のコストの評価を示しつつ、コストの詳細を得ることは有用である。

(iii) 新しい線量限度により、もっとも高い被ばくをする可能性のある作業員集団に対して訓練を行うことが、強く求められることになる。防護の効果についての認識を充実させるとともに、最善の防護を達成するための防護具の使用についても訓練に取り組む必要がある。線量計を正しく装着することの重要性もまた、強調されなければならない。

(iv) 白内障やその前段階は、集団の中では比較的一般的である。このため、仕事の役割とその他の状況を踏まえて、これらの症状のある人々の雇用に関する手順をより明確に提案あるいは定義する必要がある。この際、二つの状況が関係する：

- a) 雇用を求める人々が差別されてしまうリスク
- b) 白内障の前段階を有する作業員が被ばくすることにより一層の視力低下が引き起こされるリスク

5. 日本との比較

日本でも、基本的に上記アンケート調査結果の内容は、ほとんど当てはまるものと考えられる。「移動労働者」については、欧州では国をまたいだ作業員の移動があるが、日本では国内の施設間を移動する労働者の意味に限定される。また、現時点では、国内における水晶体の被ばくの実態に関する具体的な情報は限られている。そこで、今後、新しい眼の水晶体の等価線量限度について考慮するためには、水晶体の被ばくが比較的高いグループ、たとえば IVR 術者等の被ばくに関する調査等が必要になると考えられる。

V 結 論

ICRP の示した計画被ばく状況下での職業被ばくに関連した新しい眼の水晶体の等価線量限度について、その科学的根拠に関しては、さまざまな検討課題が残されていると考えられるものの、ISO/IEC では水晶体線量測定のための線量計の規格策定が進められている。IAEA では安全基準に新しい水晶体の等価線量限度の記載が取り入れられ、さらには、線量限度を遵守するための技術的なガイドラインとなる報告書が作成された。IRPA のアンケート調査の結果では、多くの国々が各国の規制・基準へ新しい水晶体の等価線量限度を取り入れることに関しては、社会的、経済的影響があり、特に、一部の作業員に対する雇用への影響を懸念している。一方、国際的な動向を見据えるとともに、多くの作業員に対しては、線量限度を大きく下回ることから、従来の線量測定法の適用で作業員を管理できていると考えられていることがうかがえ

* データの収集方法及び収集されたデータの価値向上、及び欧州の IR 及び IC 術者の放射線誘発水晶体混濁のリスクに関する疫学調査の標準手順書を開発することを目的として、欧州の 4 機関（ベルギー原子力エネルギー研究所：SCK・CEN、フランス放射線防護原子力安全研究所：IRSN、フィンランド放射線・原子力安全センター：STUK、ドイツ連邦放射線防護庁：BfS）が 2012 年から 2013 年に実施したプロジェクト。作業員や患者の低線量放射線の健康リスクに関する課題を検討するため、2010 年に設立された欧州の 32 機関が参加しているプロジェクト（DoReMi）内に設置。

る。わが国の法令適用についても、進展しつつある国際的な動向を把握し、取り入れ前に十分な検討が必要であろう。

これまで6回に分けて水晶体の放射線防護に関する専門研究会において議論した国内外における水晶体被ばく防護の現状と課題について取りまとめた。平成25年4月から検討を実施してきた本専門研究会は平成27年3月をもって終了した。現在、最終報告書を取りまとめ中である。

一方、水晶体の放射線防護に関する研究や調査や水晶体の等価線量限度に関する検討は国内外において現在も進行中である。保健物理学会として、今後もこれらの動きに注目するとともに、わが国の取り組みについて広く海外に発信していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 赤羽恵一, 飯本武志, 伊知地猛, 岩井 敏, 大口裕之, 大野和子, 川浦稚代, 立崎英夫, 辻村憲雄, 浜田信行, 藤通有希, 堀田 豊, 山崎 直, 横山須美; 水晶体の放射線防護に関する専門研究会中間報告書 (IV), 保健物理, **50**, 67-75 (2015).
- 2) IEC; Radiation protection instrumentation-Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation, IEC62387 (2012).
- 3) ISO; Radiological protection - Procedure for monitoring of the dose to the extremities and the lens of the eye, ISO 15382 (改訂中).
- 4) IAEA; GSR Part 3: Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards interim edition (2011).
- 5) IAEA; GSR Part 3: Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards (2014).
- 6) IAEA; Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye, TECDOC1731 (2014).

- 7) IRPA; International Radiation Protection Association, Available at: <http://www.irpa.net/>, 閲覧2014年5月7日.
- 8) J. BROUGHTON, M. C. CANTONE, M. GINJAUME and B. SHAH; Report of task group on the implications of the implementation of the ICRP recommendations for a revised dose limit to the lens of the eye, *J. Radiol. Prot.*, **33**, 855 (2013).

赤羽 恵一 (あかはね けいいち)

1987年3月東北大学理学部物理学第二学科卒業。国立公衆衛生院放射線衛生学部研究員, 大分県立看護科学大学環境科学研究室助手を経て, 現在は放射線医学総合研究所医療被ばく研究プロジェクト医療被ばく研究推進室室長。専門は医療放射線防護。

E-mail: akahane@nirs.go.jp

大口 裕之 (おおぐち ひろゆき)

1957年大阪市生まれ。1982年に千代田保安用品(株)(現, 千代田テクノ(株))に入社。現在, 個人線量計(ガラスバッジ, D-シャトル等)全般の計測技術統括業務及び開発業務に従事。

E-mail: ohguchi-h@c-technol.co.jp

横山 須美 (よこやま すみ)

1994年に日本原子力研究所入所。2008年に藤田保健衛生大学に移り, 環境放射線, 加速器施設の空气中放射性ガス・粒子挙動, 医療従事者の被ばく防護に関する研究等に取り組んでいる。最近はリスクコミュニケーションに関心あり。

E-mail: sumi0704@fujita-hu.ac.jp