

# 法令改正に対応した外部被ばくによる 線量の測定・評価

辻村 憲雄 小嶋 昇\* 林 直美\*

東海事業所 放射線安全部

\*東海事業所 保安管理部

Measurement and Assessment of Doses from External Radiations Required for Revised Radiation Protection Regulations.

Norio TSUJIMURA

Noboru KOJIMA\*

Naomi HAYASHI\*

Radiation Protection Division, Tokai Works

\* Safety Administration Division, Tokai Works

放射線障害防止法令等の改正によって新たに導入される1 cm線量当量(個人線量当量及び周辺線量当量)について解説するとともに、改正に伴う外部被ばくによる線量の測定・評価上の対応についてまとめた。

作業場所のモニタリングに使用する中性子サーベイメータ(レムカウンタ)については、法令改正に伴うレスポンスの相対的な変化を実験によって調べた結果、MOX燃料施設等では校正定数を20%程度変更することにより実務上の対応が可能であることが分かった。また、個人モニタリングについては、MOX燃料施設等の作業環境の場合、法令改正前に比べて線及び中性子による線量がそれぞれ減少、増加するが、両者の合計では大きく変化しないことが分かった。

*Radiation protection regulations based on the 1990 recommendations of ICRP have been revised and will take effect from Apr., 2001. The major changes concerning on the measurement and assessment of doses from external radiations are as follows.*

- (1) *Personal dose equivalent and ambient dose equivalent stated in ICRP Publication 74 are introduced as quantities to be measured with personal dosimeters and survey instruments, respectively.*
- (2) *For multiple dosimetry for workers, the compartment weighting factors used for a realistic assessment of effective dose are markedly changed.*

*In advance of the introduction of the new radiation protection regulations, the impacts on workplace and personal monitoring for external radiations by these revisions were investigated.*

*The following results were obtained.*

- (1) *A new ambient dose equivalent to neutrons is higher with a factor of 1.2 than the old one for moderated fission neutron spectra. Therefore, neutron dose equivalent monitors for workplace monitoring at MOX fuel facilities should be recalibrated for measurement of the new ambient dose equivalent.*
- (2) *Annual effective doses of workers were estimated by applying new calibration factors to readings of personal dosimeters, worn by workers. Differences between effective doses and effective dose equivalents are small for workers engaged in the fabrication process of MOX fuel.*

## キーワード

実効線量, 実用量, 周辺線量当量, 個人線量当量, 部位別荷重(係数), MOX燃料施設, レムカウンタ

*Effective Dose, Operational Quantity, Ambient Dose Equivalent, Personal Dose Equivalent, Compartment Weighting Factor, MOX Fuel Facility, Rem Counter*



辻村 憲雄

線量計測課 標準・校正チーム所属  
チームリーダー, 副主任研究員  
放射線測定器等の校正に用いる放射線(能)標準の維持, 開発業務に従事



小嶋 昇

安全対策課 安全対策チーム所属  
チームリーダー, 研究員  
昨年まで, 放射線測定器等の校正に用いる放射線(能)標準の維持, 開発業務に従事



林 直美

安全対策課長  
昨年まで, 個人被ばく管理, 放射線測定器の校正等の総括業務に従事  
核燃料取扱主任者, 第1種放射線取扱主任者

## 1. はじめに

2000年10月に国際放射線防護委員会(ICRP)1990年勧告<sup>1)</sup>を取り入れた放射線障害防止法令等(以下、法令等)が改正・公布され、2001年4月から施行される。

この中で、個人の外部被ばくによる線量の測定・評価上、大きな変更点と言えるものは、以下の2点である。

「場のモニタリングのための線量」と「個人モニタリングのための線量」とが明確に、数値的にも別々の量として定義され、またそれらの換算係数が変更されたこと

体幹部が「不均等被ばく」を受ける場合の実効線量の算出方法の変更

これら2点の変更による、個人及び場のモニタリングに与える影響を事前に調査するとともに、管理上の対応について検討した。

## 2. モニタリングへの影響

### 2.1 1 cm 線量当量等モニタリング量の変更による影響

我が国では、ICRP1977年勧告<sup>2)</sup>の法令取り入れに際し、線量限度を実効線量当量及び組織線量当量で規定する防護の体系を導入した。ただし、実効線量当量は個人線量計等では実測できない量であるため、その代用として「1センチメートル線量当量(以下、1 cm 線量当量)」等の実用量(operational quantity)を外被ばくのためのモニタリング量として導入した。1 cm 線量当量などの実用量は、直径30cmの組織等価物質で構成されたファントムの表面からある特定深さdにおける線量当量と定義され、周辺線量当量( $H^*(d)$ )という特別の名称で呼ばれる場合もある。これら実用量については、物理量である線束とファントム内部における線量との関係等が数値計算により求められており、実効線量当量などの防護量に比べ安全側の値となるよう設定されている。そのため、実用量を測定できるよう設計あるいは校正された個人線量計やサーベイメータの指示値を個人の実効線量当量(率)や組織線量当量(率)とみなす管理が実際に行われてきた。

一方、今回の改正法令では、実効線量当量等に替わって「実効線量」及び「等価線量」が防護量として新たに導入されている。それらの詳しい定義についてはここでは省略するが、最新の放射線影響に関する知見を反映した、基本的には実効線量当量等と同様の考え方に基いた量である。ただし、今回改訂された1 cm 線量当量などは、実効

線量の代用量たるその位置付けについては従来と同様の考え方が踏襲されているものの、その意味合いは大きく異なるものになっている。従来の1 cm 線量当量では、サーベイメータ等を用いた「場のモニタリング」と個人線量計を用いた「個人のモニタリング」とで評価の対象とする量の定義あるいは値に相違はなかった。しかし、今回の改正では、場のモニタリング用の1 cm 線量当量と個人のモニタリング用の1 cm 線量当量とは明確に区別され、総称として1 cm 線量当量という名称は継続して使用されるが、数値的には異なる値になる。個人モニタリングに使用される1 cm 線量当量等は、球形ファントムではなく、組織等価物質で構成された平板(30×30×15cm)ファントムの表面から深さdの位置で定義された線量当量であり、個人線量当量( $H_p(d)$ )と呼ばれている。実効線量等を評価対象とする実用量と1 cm 線量当量等の名称の関係を表1に示す。

表1 実効線量等を評価対象とする実用量と1 cm 線量当量等の名称の関係

評価対象		測定に係る実用量	名 称
場所の モニタ リング	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( $H(3, )$ )	3 mm 線量当量 <sup>注</sup>
	皮膚の等価線量	方向性線量当量( $H(0.07, )$ )	70 $\mu$ m 線量当量
個人 モニタ リング	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 <sup>注</sup>
	皮膚の等価線量	個人線量当量( $H_p(0.07)$ )	70 $\mu$ m 線量当量
	妊娠中の女子の 腹部表面の等価線量	個人線量当量( $H_p(10)$ )	1 cm 線量当量

注 3 mm 線量当量の測定は義務付けられていない。

モニタリングに使用する新旧の実用量の数値的な相互の関係については以下の通りである。まず、光子については、場のモニタリングに使用する1 cm 線量当量の新旧比較では両者の間で数値的な差はほとんど無い。したがって、サーベイメータ等で測定される場所の1 cm 線量当量(率)は従来と変わらない。一方、今回の法令改正によって新たに導入される個人に係る1 cm 線量当量は、場のモニタリングに使用する1 cm 線量当量に比べ、エネルギー80keV近傍で約10%高い値になっている。これは、線量当量を定義するジオメトリの違いによってもたらされるものであるが、結果的に、100 keV以下のエネルギーの光子が支配的な場、例えばMOX燃料施設では、従来に比べて個人被ばく線量が約10%高くなる。一方、中性子についてであるが、場のモニタリングに用いる1 cm 線量当量については、線質係数の見直しを反映した新しい1

cm 線量当量の方が、中性子スペクトルによっても変化するのが約20%大きくなると予想されている<sup>3)</sup>。個人モニタリングに用いる1cm 線量当量についても同様に現在の値に比べて増加し、その程度は場のモニタリングに用いる1cm 線量当量と同等かそれ以上である。

光子及び中性子に対する新しい換算係数については、ICRP Publication74<sup>4)</sup>のほか、原子力安全技術センター刊「被ばく線量の測定・評価マニュアル<sup>5)</sup>」にその解説と共に整理されている。

## 2.2 体幹部不均等被ばく時の実効線量の計算方法の変更による影響

実効線量当量あるいは実効線量は、人体の様々な組織・臓器の線量を、それぞれの組織・臓器の放射線感受性を考慮した係数を重みとして荷重平均をとった値である。したがって、頭・頸部、胸部、上腕部、腹部及び大腿部からなる体幹部が不均等な被ばくを受ける場合、単一の個人線量計から評価した1cm 線量当量を実効線量当量あるいは実効線量とは見なしえない状況が生まれる。このため、こうした被ばく状況のもとでは、体幹部を頭・頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部に3区分し、それぞれの区分における1cm 線量当量はその区分に含まれる組織・臓器の線量を代表するという前提のもと、組織荷重係数から導出された部位別荷重を重みとして荷重平均をとった1cm 線量当量が実効線量であるという管理方式が導入された。

改正法令では、ICRP1990年勧告の組織荷重係数が全面的に見直された結果、実効線量の算出に至る考え方は従来と同様であるが、計算に用いる部位別荷重の値が表2に示すように大きく変更された。鉛エプロン等の防護衣を着用するケースでは、表2に示した部位別荷重をさらに頭頸部と胸腹部に振り分け、それぞれに対して0.35（頭頸部の荷重係数に最大の被ばくを受ける部位の荷重係数を加えた）と0.65という数値がこれまで使用されていた。しかし、改正法令後は、これらに対し、それぞれ0.11と0.89という値が使用される<sup>5)</sup>。鉛エプロンの外側部分の線量に対する荷重が小さくなっ

ているため、鉛エプロンの内外の1cm 線量当量から算出される実効線量の値は、従来の実効線量当量の値に比べて大きく下がることになる。

## 3. 中性子サーベイメータ(レムカウンタ)の対応

現在、東海事業所のMOX燃料施設で使用している減速材付き中性子サーベイメータ（以下、レムカウンタ）について、改正法令における特性の変化並びに再校正等の対応について検討した。使用したレムカウンタは、以下の3種類であり、いずれも熱中性子を検出するガス比例計数管をポリエチレン減速材で取り巻いた構造であり、減速材内部にボロン化合物等によるエネルギー応答特性改善用の熱中性子吸収層が配置されている。

Studsvik (Alnor) 製2202D型

円筒型BF<sub>3</sub>比例計数管を利用した円筒形レムカウンタであり、重量約10kg、旧法令に基づく線量を基準とした中性子感度は約0.33 (cps per  $\mu$ Sv/h) である。以前にStudsvik社製として市販されていたレムカウンタは、同型のものが現在はAlnor社製として市販されている。

富士電機株式会社製NSN1型

球形<sup>3</sup>He比例計数管を利用した球形レムカウンタであり、重量が約7kgと比較的軽量であることが特徴。旧法令での中性子感度は約5.0 (cps per  $\mu$ Sv/h) である。

アロカ株式会社製TPS451BS型

円筒型<sup>3</sup>He比例計数管を利用した円筒形レムカウンタであり、重量約9kg、旧法令での中性子感度は約1.5 (cps per  $\mu$ Sv/h) である。

特性試験は、東海事業所の放射線計測機器校正施設に設置されている中性子校正場で行った。本校正場には、<sup>241</sup>Am Be、<sup>252</sup>Cf線源を用いたものと、<sup>252</sup>Cfを中空円筒型の含鉛アクリルで取り巻いた減速場が準備されている。両線源ともに中性子放出率が精度良く定量されており、また校正位置における新旧法令での基準線量は、照射室内の室内散乱成分の寄与も含めモンテカルロ計算と中性子スペクトロメータによる実測によって精度良く評価されている<sup>6)</sup>。

表3に、新旧法令における1cm 線量当量の変化を示す。表には上述した減速場のほか、MOX燃料施設内の実作業環境で測定した中性子スペクトルから評価した結果<sup>7)</sup>も示した。核分裂スペクトルが含鉛アクリル等の含水素物質によって減速された条件では、約20%弱程度、新法令での線量が高くなるのが分かる。

表2 体幹部不均等被ばく時の部位別荷重係数  
(括弧内は旧法令)

部位	頭部及び頸部	胸部及び上腕部	腹部及び大腿部	最大の線量を受ける部位
部位別荷重係数	0.08 (0.05)	0.44 (0.33)	0.45 (0.32)	0.03 (0.30)

表3 中性子に対する新旧1cm線量当量の変化

線源	平均エネルギー <sup>注)</sup> [MeV]	場のモニタリング 新H <sup>(10)</sup> /旧H <sup>(10)</sup>	個人モニタリング 新Hp <sup>(10)</sup> /旧Hp <sup>(10)</sup>
<sup>241</sup> Am-Be	3.7	1.08	1.14
<sup>252</sup> Cf	1.8	1.16	1.21
<sup>252</sup> Cf含鉛アクリル減速	0.97~1.6	1.17	1.21
MOX燃料取扱グローブボックス周辺	0.5~1.0	1.19	1.24

注) 室内散乱線を含めた平均エネルギー

旧法令及び新法令における、前述したレムカウンタのレスポンス（指示値/照射した線量）をそれぞれ図1、図2に示す。図では、<sup>252</sup>Cfに対するレスポンスを1に規格化している。エネルギー依存性という観点では、新旧どちらの法令における線量を基準にしても大差はなく、実務上は基準とする線量の変化分だけレムカウンタの校正定数を

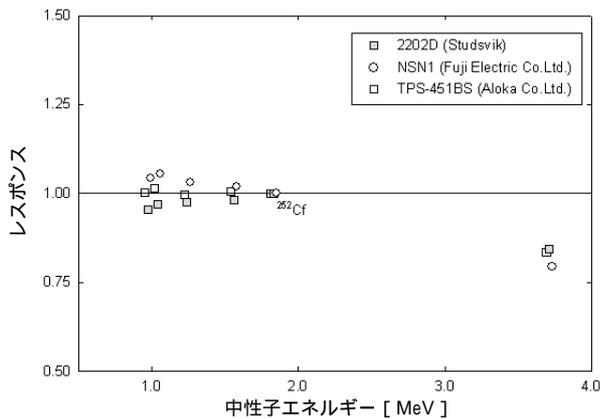


図1 旧法令における1cm線量当量に対する種々のレムカウンタのレスポンス特性(<sup>252</sup>Cfに対するレスポンスを1に規格化)

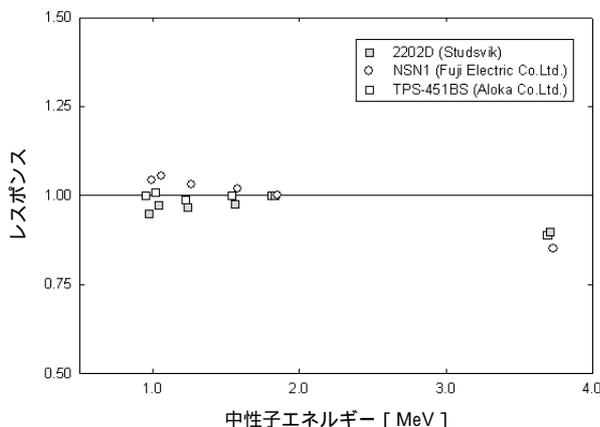


図2 新法令における1cm線量当量に対する種々のレムカウンタのレスポンス特性(<sup>252</sup>Cfに対するレスポンスを1に規格化)

変更することで、いずれのレムカウンタでも新法令における1cm線量当量を測定できることが分かった。

#### 4. 個人被ばく線量の変化

前述したように、新法令において、外部被ばくによる個人の線量が変化する場合、

100keV以下の低エネルギー線が存在する場合  
中性子が存在する場合

鉛エプロンの着用等によって体幹部が不均等な被ばくを受ける場合

のいずれかに該当する場合であるが、これらいずれの条件にも該当するのが東海事業所のMOX燃料施設である。

このため、MOX燃料施設で作業を行った放射線業務従事者が実際に着用していた個人線量計(TLDバッジ)の測定値から、新法令における線量を再計算し、旧法令での線量と比較した。このとき、場のエネルギー分布等の情報からあらかじめTLDの校正定数等を再設定した。

一例として、1995年度のプルトニウム燃料工場の放射線業務従事者の線量分布(個人の年間被ばく線量)を比較した結果<sup>8)</sup>を図3から図5に示す。

図3は、線による実効線量(ここでは、胸腹部と頭頸部の1cm線量当量の荷重平均に相当)の分布である。MOX燃料施設は、<sup>241</sup>Amによる60keVの線が支配的であるため、それぞれの1cm線量当量の値そのものは10%程度増加するものの、部位別荷重の変更によって旧法令での実効線量当量に比べて実効線量がむしろ大きく下がるのが図から分かる。

図4は、中性子による実効線量(1cm線量当量に相当)の分布であり、この例では集団実効線量が従来値の1.3~1.5倍程度に増加している。1cm線量当量の値の変化以上に集団実効線量が増えているのは、従来、記録レベル未満(0.2mSv未満)と評価されていた者のうち有意値として記録される者の割合が増えるためである。

また、線と中性子線による実効線量を合計値についての分布を図5に示す。上述したように、放射線の線種別に見ると増減はあるものの、線と中性子の合計では、従来と大きな変化はない。

#### 5. おわりに

2001年4月から施行される法令において、外部被ばくによる線量の測定・評価上問題となる事項について事前に検討した。

まず、場のモニタリングに使用する中性子サー

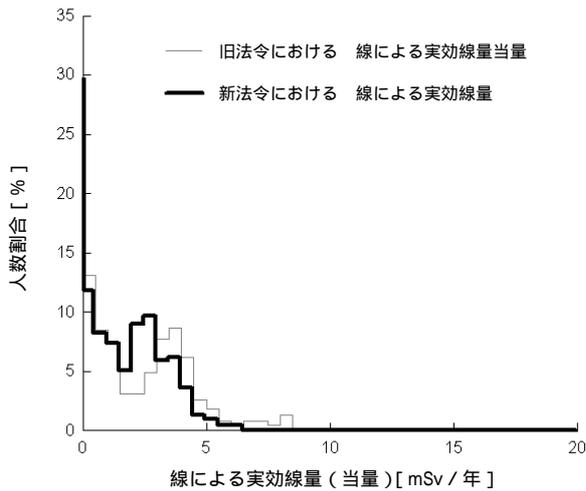


図3 新旧法令における線による実効線量並びに実効線量当量の分布の比較結果

MOX 燃料施設放射線業務従事者の例。太実線及び実線は、それぞれ新法令における実効線量、旧法令における実効線量当量を表しており、共に鉛エプロン内外の個人線量計から得られた1cm線量当量の荷重平均値である。

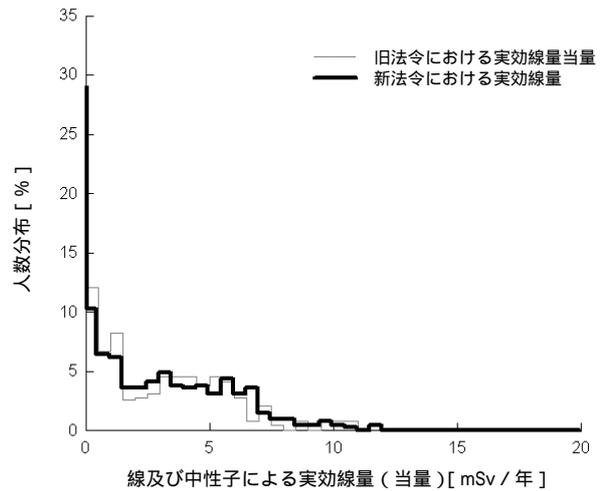


図5 新旧法令における線及び中性子による合計の実効線量並びに実効線量当量の分布の比較結果

MOX 燃料施設放射線業務従事者の例。太実線及び実線は、それぞれ新法令における実効線量、旧法令における実効線量当量を表しており、図3及び図4に示した値の合計である。

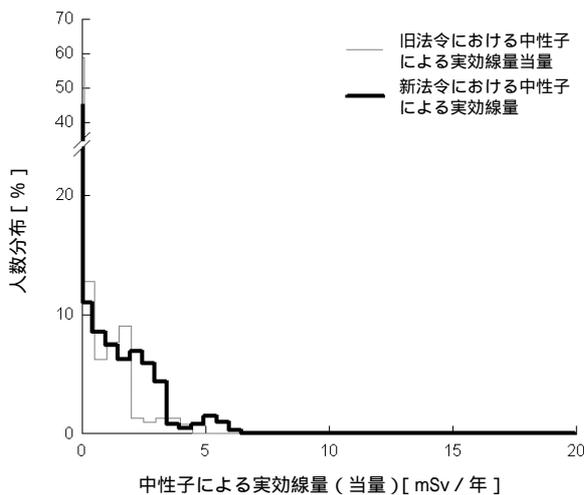


図4 新旧法令における中性子による実効線量並びに実効線量当量の分布の比較結果

MOX 燃料施設放射線業務従事者の例。太実線及び実線は、それぞれ新法令における実効線量、旧法令における実効線量当量を表しており、共に1cm線量当量と等価である。

バイメータ(レムカウンタ)については、新法令での場のモニタリングにおける1cm線量当量を基準とした校正をあらかじめ行うことで、対応可能である。レムカウンタの使用者は、新法令用に校正済みであることを確認してさえいれば、指示値をそのまま新法令での1cm線量当量(率)と読み取って差し支えない。

一方、個人の外部被ばくについては、MOX燃料を取扱う施設が最も大きな影響を受けるが、これについても、個人モニタリングにおける1cm線量当量に対応した校正定数を設定することで対応可

能である。新法令での線量の変化は、事前の試算によると、線と中性子線の合計では従来とほとんど変わらないことを確認している。ただし、線と中性子の混在割合によっては、作業グループ単位で増減がある可能性があり、またそれらの比が大きく変わるので作業計画の立案の段階では注意が必要であろう。

なお、「個人モニタリング」と「場のモニタリング」とが明確に区別された結果、全く同じ放射線場であっても測定すべき線量の値に差が生じる可能性がある。ただし、測定位置の違いや作業者の動きなどを考慮すると、作業計画の立案段階あるいは放射線管理の実務においては、個人モニタリング量と場のモニタリング量の数値としての違いが線量の管理に支障をきたすようなケースはほとんどないと考えられる。このため、従来通り、サーベイメータで得られた1cm線量当量等がその放射線場で潜在的に個人が被ばくしうる線量の最大値に相当するという考え方に基づいた管理を行えば良いであろう。

#### 参考文献

- 1) ICRP: ICRP Publication 60 (1990).
- 2) ICRP: ICRP Publication 26 (1977).
- 3) 吉澤道夫: 保健物理, 33(1)(1998).
- 4) ICRP: ICRP Publication 74 (1996).
- 5) 原子力安全技術センター: 被ばく線量の測定・評価マニュアル(2000).
- 6) 辻村憲雄, 他: 原子力学会「2001年秋の大会」要旨集.
- 7) 辻村憲雄, 他: 保健物理学会第35回研究発表会要旨集.
- 8) 辻村憲雄, 他: 保健物理学会第34回研究発表会要旨集.