ICRU95 “Operational Quantities for External Radiation Exposure”について

黒澤　忠弘
Kurosawa Tadahiro

1. はじめに

2020年12月にICRU/ICRP合同でICRU95 “Operational Quantities for External Radiation Exposure” [1] が発行された。このレポートでは，線量管理に用いる“実用量”に対して新しい定義を示しており，今後の放射線管理に大きな影響を与えるものとなっている。ここでは主な変更点について整理したい。

2. 各単位から見た現在の放射線管理

現在の線量管理は，“Sv”の単位を用いて行われている。このSvにも，その定義・用途によっていくつかに分類される。**図1**にその関係性を，また**表1**に各種防護量とそれに対応する実用量を示す。大きな分類としては，“防護量”と“実用量”になる。防護量は，被ばく線量限度等を示したもので，放射線業務従事者の被ばく量の管理等に用いられる。この定義は，CTデータをもとに作られたヒト型のファントム（ボクセルファントム）[2] を基準としている。様々な放射線がこのファントムに入射した場合の各組織・臓器の放射線によるエネルギー吸収をシミュレーションによって求め，これに放射線の種類による健康影響を考慮する放射線加重係数をかけることによって，各組織･臓器の“等価線量”が得られる。この等価線量に，臓器ごとの放射線影響の割合を示す組織加重係数をかけ，全組織について足し合わせたものが“実効線量”となる。年間の被ばく線量限度等は，この防護量で示されている。

一方，実際の被ばく量を測定するために導入された単位が“実用量”で，現在の実用量はICRU53[3] で定義されている。場の線量測定のために，周辺線量当量，方向性線量当量が定義されている。これは組成がICRU組織の直径30 cmの球形ファントムの深さ*d*について定義されている。一方，人の被ばく量管理のために定義されているのが個人線量当量である。人体を模擬したICRU組織のファントムの表

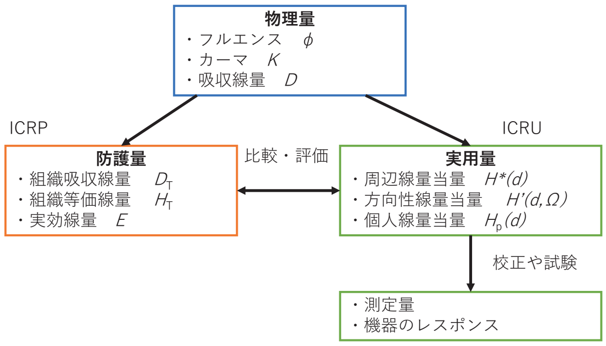

図1　防護量と実用量の関係

表1　現在の防護量と実用量との関係

防護量（Sv）	実用量（Sv）	
	場の実用量	個人の実用量
実効線量（全身の被ばく）	周辺線量当量 [*H**(10)]	個人線量当量 [*Hp*(10)]
等価線量（皮膚の被ばく）	方向性線量当量 [*H*′(0.07)]	個人線量当量 [*Hp*(0.07)]
等価線量（眼の水晶体被ばく）	方向性線量当量 [*H*′(3)]	個人線量当量 [*Hp*(3)]

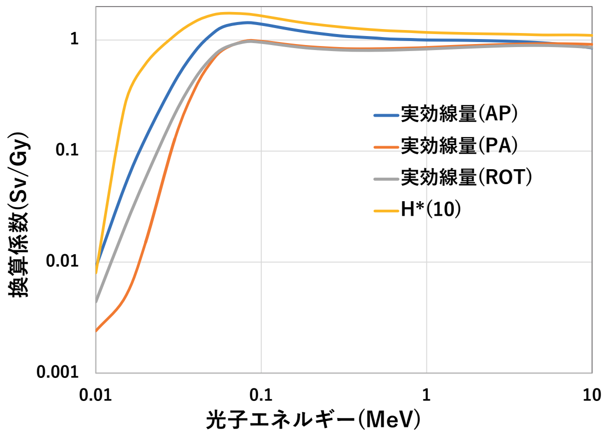

図 2　各入射方向に対する実効線量と $H^*(10)$（周辺線量当量）の空気カーマに対する換算係数の比較

面からの深さ *d* について定義されている。ファントムの形状は測定する部位によって異なっており，体幹部として 30 cm × 30 cm × 15 cm のスラブファントム，手首・足首用として 73 mm 直径で 30 cm 長のピラーファントム，指用として 19 mm 直径で 30 cm 長のロッドファントム，頭部用として 20 cm 直径で 20 cm 長の円柱ファントムで定義されている。

現在の防護量と実用量の関係を示すものとして，光子の空気カーマに対する実効線量，周辺線量当量への換算係数を**図 2** に示す。体に対する放射線の入射方向の違いで実効線量は変わるが，おおよそどの光子エネルギーに対しても周辺線量当量の方が実効線量より大きい値となっていることが分かる。このように現在の実用量は，実効線量に対して安全側に評価している。

3. ICRU95 で示された新しい実用量

ICRU95 では，実用量について大きな変更がなされている。主なポイントは以下になる。

- ボクセルファントムベースで実用量を定義
- 確定的影響を評価する実用量（眼の水晶体，皮膚の線量）は Sv ではなく吸収線量

またレポートの中では，光子･中性子だけでなく，電子，陽電子，陽子，正負ミューオン，正負パイオン，ヘリウムイオンに対して，また入射エネルギーは種類にも依存するが最高 200 GeV までについて換算係数が示されている。レポートの中で定義されている実用量と防護量との関係について**表 2** に示す。名称や定義は変わったものの，現行と同じように場を管理するために用いる実用量と個人被ばくを管理するために用いる実用量が示されている。次にそれぞれの実用量について概要を説明する。

3.1　周辺線量　H^*

周辺線量は，場の線量管理に用いる量で，現行の周辺線量当量 $H^*(10)$ に対応している。実効線量をベースに考えるが，ここでポイントとなるのが入射方向である。例えば光子の場合，低エネルギーだと前方からの入射の実効線量が高くなるが，高エネルギーになると背中から入射した場合のほうが実効線量が高くなる。そこで様々な入射方向に対する実効線量を計算し，各エネルギーに対して実効線量が最も大きくなる入射方向の換算係数を採用することにより，この周辺線量を決定している。実効線量を元に評価している値で，単位は Sv となる。

表 2　ICRP/ICRU ドラフト案で示されたの防護量と実用量との関係

防護量（Sv）	実用量（Sv）	
	場の実用量	個人の実用量
実効線量 （全身の被ばく）	Ambient Dose （周辺線量）［H^*］	Personal Dose （個人線量）［H_p］
等価線量 （皮膚の被ばく）	Directional Absorbed Dose in Local Skin （方向性局所皮膚吸収線量） ［$D'_{\mathrm{local\ skin}}$（Ω）］	Directional Absorbed Dose in Local Skin （個人局所皮膚吸収線量） ［$D_{\mathrm{p\ local\ skin}}$］
等価線量 （眼の水晶体被ばく）	Directional Absorbed Dose in the Lens of the Eye （方向性水晶体吸収線量） ［D'_{lens}（Ω）］	Directional Absorbed Dose in the Lens of the Eye （個人水晶体吸収線量） ［$D_{\mathrm{p\ lens}}$］

3.2　方向性水晶体吸収線量　$D'_{lens}(\Omega)$

従来の H' (3)に対応する実用量であるが，吸収線量であるため，単位は Sv ではなく Gy となる。このシミュレーションでは，ボクセルファントムでは詳細な眼の構造が再現できないため, Behrens ら[4]によって頭部の数式ファントムに対して計算が行われている。D' lens（Ω）と示されている通り，入射角度Ωの関数となっている。入射角度はΩといっても右からと左からが想定されるが，換算係数としては，それぞれの入射角度のうち大きい値を採用している。

3.3　方向性局所皮膚吸収線量　$D'_{local\ skin}(\Omega)$

水晶体吸収線量と同様に，従来の H'（0.07）に対応する実用量であるが，吸収線量であるため，単位は Sv ではなく Gy となる。計算体系であるが，外寸が 30 cm × 30 cm × 15 cm のスラブファントムで，表面部分が ICRP Pub90[5] で与えられている皮膚組織 2 mm 厚で覆われ，内部は ICRU 組織で満たされている。この 30 cm × 30 cm の表層から 50 μm～100 μm の 50 μm 厚の断面積 1 cm^2 の微小な円柱領域に対して，吸収線量を計算している。従来は深さ 70 μm 位置での定義であったが，今回の定義では，50 μm～100 μm の間での平均的な吸収線量となっている。この換算係数も，角度の関数として示されている。

3.4　個人線量　H_p

周辺線量と同様に実効線量を基に決められているが，個人線量の場合は各入射角度に対して $H_p(\Omega)$ が示されており，角度の関数となっている。臓器の位置が左右対称ではないことから，同じ 30 度入射でも右と左では実効線量が異なってくる。そのため個人線量の値は，同一角度の左右入射の平均値としている。

3.5　個人水晶体吸収線量　$D_{p\ lens}$

3.2 で示した方向性水晶体吸収線量と同様に頭部の数式ファントムで評価することと定義されていることから，換算係数としては同じ値となっている。

3.6　個人局所皮膚吸収線量　$D_{p\ local\ skin}$

個人局所皮膚吸収線量では，**3.3** で示された体幹部を模擬したファントムの他に，他の体の部位を模擬した 2 種類のファントムに対しても定義されている。四肢部を表したピラーファントム（直径 73 mm × 300 mm 長）と，指を模擬したロッドファントム（直径 19 mm × 300 mm 長）である。それぞれのファントムは **3.3** と同様に内部は ICRU 組織，表層に 2 mm 厚の皮膚組織となる二重構造になっている。これらは，現行の手首や指に装着して計測する線量計に対応する実用量となっている。

4. 現行の実用量と ICRU95 との比較

ICRU95 の実用量で，現行の実用量と大きく異なるポイントとして 2 つ挙げたいと思う。1 つは低エネルギー光子の換算係数である。**図 3** に光子の周辺線量当量と ICRU95 の周辺線量の換算係数を示す。

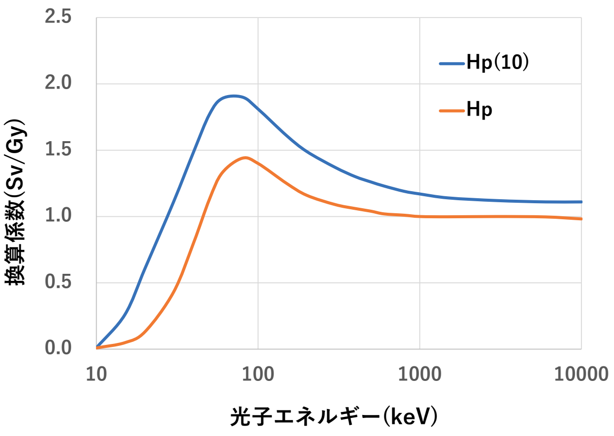

図 3　光子 0 度入射における現行の個人線量当量と ICRU95 個人線量の空気カーマに対する換算係数の比較

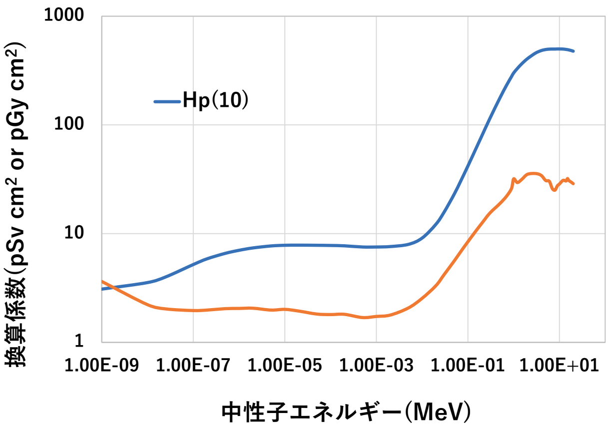

図 4　中性子 0 度入射における現行の個人線量当量と ICRU95 個人局所皮膚吸収線量のフルエンスに対する換算係数の比較

全体的に15％程度ICRU95の周辺線量が小さく，70 keV以下についてはその違いが大きくなっていることが分かる。またもう1つは皮膚や水晶体の線量が吸収線量になったことである。光子については現行の実用量と大きな違いは見られないが，中性子については現行の実用量で使われている線質係数を乗ずることなく吸収線量となることから大きく値が異なる。**図4**からも明らかなように，大部分のエネルギー領域について80％程度小さくなっていることが分かる。現状は，中性子のHp(10)の値をHp(0.07)やHp(3)として評価しているが，ICRU95が採用された場合，どのように評価するのか課題が残る。

5. まとめ

ICRU95では，例えば角度ごとの換算係数として0度～180度入射に対する数値が細かく示される等，現行の実用量と異なる部分が多い。法令にICRU95を採用する場合，多くの課題点について様々な視点から検討が必要であると考えている。またICRU95の取入れは国際的にも大きな変更であり，国際動向も注視することが重要であると考えている。

参考文献

1）ICRU Report95, Operational Quantities for External Radiation Exposure（2020）
2）ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection（2007）
3）ICRU Report 57, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation（1998）
4）R. Behrens, *et al*., *Phys. Med. Biol.*, **54**, 4069（2009）
5）ICRP Publication 90, Biological Effects after Prenatal Irradiation.（2003）

（(国研)産業技術総合研究所）