

光子の測定値から実効線量への評価

2001年8月8日

高エネルギー加速器研究機構

平山 英夫

1 はじめに

放射線障害防止法の改定に伴う再評価の過程において、測定値から実効線量への評価方法について疑問が生じている。改訂に伴い出された通達の別紙4では、「測定によって得られた1センチメートル線量当量を実効線量とみなす」と規定されており、現状ではこれに従って評価しなければならないが、種々の換算係数の関係を考慮する事により、測定値から実効線量(AP)を評価する事は可能であり、計算に基づく場合と同様に実効線量で評価する方が望ましいと思われる。

以下では、種々の単位の光子線量の測定値から実効線量への変換の方法を紹介する。いずれの場合も、光子のエネルギー情報は不明で、“線量”のみが得られるとしている。また、当然の事ながら、線量計から得られる値は誤差を含んでいる(測定対象の量とのレスポンスの違い、表示誤差等)が、一般的な議論はできないので、誤差はないものとする。

2 R単位の照射線量

照射線量は、空気の衝突カーマと対応する線量である。1MeV以下では、空気の衝突カーマとカーマは等しく、10MeVでもその差は4%以下である。R単位で示された照射線量は、 $1R = 0.873rad$ であるので、1Rの時、空気カーマは、 $0.00873Gy$ となる。測定光子のエネルギー情報が得られていないと仮定しているので、カーマから実効線量への変換においては、カーマ当たりの実効線量が最大となる80keVでの値(1.433)を使用する事になる。従って、

$$1R \Rightarrow 0.00873 \times 1.433 = 0.0125Sv \quad (1)$$

3 rem単位の測定値

remで表示された線量当量は、本来は“人体組織の吸収線量(rad)”に線質係数(=1)を掛けて得られるものであるが、光子の場合は、remが使用されていた当時は“照射線量”が測定の標準となっており、 $1R=1rem$ とする事により、ファントム中での組織吸収線量を安全側に評価できるという関係¹を使用してrem表示にしていると考えられる。従って、先の関係を用いて、

$$1rem \Rightarrow 0.00873 \times 1.433 = 0.0125Sv \quad (2)$$

¹Bragg-Greyの原理を利用して、照射線量から組織吸収線量(ファントムでの散乱等を考えない空間中の微小体積を仮定)への換算を行うと、ほとんどのエネルギー領域で $0.92-0.96[rem/R]$ となる。このことから、 $1R=1rem$ とみなしていたと思われる。

4 Sv 単位の測定値

平成元年以降に売り出された Sv 単位の線量計²は、旧法令の 1cm 線量当量を示す様にレスポンスを調整したものである。1cm 線量当量から、空気の吸収線量あるいは照射線量に戻す事は、できない。

10MeV までの全てのエネルギー領域で、ICRP-51 に基づく旧法令の 1cm 線量当量と、ICRP-74 に基づく周辺線量当量は、ほとんど同じであるので、この測定器で得られた値は、周辺線量当量として良い。各エネルギーの光子に対する単位光子束当たりの実効線量及び周辺線量当量とその比は、第 1 表のようになる。散乱線は、線源光子のエネルギーより小さくなるので、線源エネルギー以下で、第 1 表の両者の比の内最も大きい値を測定値に掛ける事により、実効線量を安全側に評価する事ができる。最大エネルギーが 0.1MeV から 2MeV の範囲では、0.1MeV で 0.872 が最も大きいので、この値を使用する事になる。

2MeV 以上では、線源のエネルギーに対する比が最大となる。表 1 は、離散的なエネルギーについてしかデータがないが、当該エネルギーより高いエネルギー点以下での最大値を使用すれば良い。例えば、5MeV の光子の場合は、6MeV に対する比 0.909 を使用すれば新法令で示されている AP 形状の実効線量を安全側に評価できる。

第 1 表 実効線量と周辺線量当量の関係

Energy(MeV)	E/Φ (pSv cm ²)	$H^*(10)/\Phi$ (pSv cm ²)	$E/H^*(10)$
0.01	0.0485	0.061	0.795
0.015	0.125	0.83	0.151
0.02	0.205	1.05	0.195
0.03	0.300	0.81	0.370
0.04	0.338	0.64	0.528
0.05	0.357	0.55	0.649
0.06	0.378	0.51	0.741
0.08	0.432	0.53	0.815
0.1	0.532	0.61	0.872
0.15	0.752	0.89	0.845
0.2	1.004	1.20	0.837
0.3	1.508	1.80	0.838
0.4	1.996	2.38	0.839
0.5	2.466	2.93	0.842
0.6	2.908	3.44	0.845
0.8	3.727	4.38	0.851
1	4.483	5.20	0.862
2	7.490	8.60	0.871
4	12.02	13.4	0.897
6	15.99	17.6	0.909
8	19.92	21.6	0.922
10	23.76	25.6	0.928

²単にメータを mR/h から mSv/h に交換しただけの古い線量計もあるので、製造時期に注意が必要。古いタイプの場合は、R 単位の照射線量の場合と同じように扱う必要がある。

5 実効線量と実用量の関係について

既存の施設の再評価が中心となっているために、「実効線量」が遮蔽設計の基準となった事に対して疑問が出されている様に思われる。しかしながら、新しい施設を設計する場合の事を考えれば、本来基準として満たす事が要求されているのは、旧法令では「実効線量当量」であり、新法令では「実効線量」でありこの点では変わらない。その上で、旧法令では、1cm 線量当量を実効線量当量として扱う事により、設計時においても 1cm 線量当量を使用する事を要求する事になっていた。1cm 線量当量は、“人体形状ファントムを用いた評価”が導入された時点で、放射線管理測定のための量として導入された量(実用量)である。³

最終的に評価されるものは「実効線量当量」や「実効線量」であり、放射線管理測定のためという実用量本来の役割を考えるならば、そこに含まれる“安全係数”的側面を遮蔽設計に含むことを強制するのは問題があると思われる。

ICRP Pub. 60 の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正について(通達)の別紙 4 では、「実測により管理区域境界の線量の再評価を行う場合には、以下の通りとすること。なお、この場合において、実測により得られた 1 センチメートル線量当量を実効線量とみなす。」という事が述べられている。従って、現状では、測定に基づく場合には、1 センチメートル線量当量に換算した値を使用せざるを得ない。しかしながら、上記に述べた様に、測定値から実効線量を評価する事は可能であるので、通達の内容に「測定値から実効線量の評価法」を加え、冒頭の「1 センチメートル線量当量を実効線量とみなす」という文章を削除したものに変わる事を要望する必要がある。

謝辞

上記の考え方を整理する上で、日本原子力研究所保健物理部吉澤道夫氏に貴重なコメントを頂きました。

³実用量をどの様に考えるかについては、いろいろな意見が存在する。放射線物理的には、意味を持たない量である事と、エネルギーが高くなると実効線量との関係で矛盾が生じる事から、使用を疑問視する意見もある。一方、放射線管理測定上の意味はあるという意見もある。実用量については、南賢太郎：外部被ばくに関する実用量の考察と解説、RADIOISOTOPES, 49(8), 417-429 (2000) に考え方の変遷がまとめられている。