



産業技術総合研究所

黒澤 忠弘

## 線量評価方法の動向

2020年12月,ICRUよりReport 95「Operational Quantities for External Radiation Exposure」がICRPとの合同で出版された。測定量として用いられている実用量の新たな定義が示され、現行と比較して大きな変更となっている。新しく示された実用量について整理したものを表1に示す。「場」の測定量、「個人」の測定量という従来の概念は継続されているが、その定義については大幅に変更されている。新しい実用量では、場や個人の測定量に関わらずボクセルファントムを用いた実効線量の値そのものを用いて定義することとしている。また皮膚や眼の水晶体被ばくに関する等価線量に対応する実用量については、「Sv」ではなく吸収線量である「Gy」とすることが提案されて

いる。この確定的影響に関する等価線量については、2018年4月にICRPからパブリックコメントで公開された「The Use of Effective Dose as a Radiological Protection Quantity」の中でも議論されている。このドラフト案でも、確定的影響については、放射線の線種による影響の違いが大きく見られないことから、線種に依存せず吸収線量で線量限度を考えることを提案している。この新しい実用量はすべてシミュレーションによって換算係数として示されており、基本的に物理量としてはフルエンス当たりとなっている。ただ光子のように、フルエンスから空気カーマへ換算することにより空気カーマから各種実用量への換算が可能となっている。このレポート中では、光子、中性

表1 ICRU Report95で示された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 <sub>p</sub> ]
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' <sub>local skin</sub> (Ω)]	Personal Absorbed Dose in Local Skin (個人局所皮膚吸収線量) [D <sub>p local skin</sub> ]
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' <sub>lens</sub> (Ω)]	Personal Absorbed Dose in the Lens of the Eye (個人水晶体吸収線量) [D <sub>p lens</sub> ]

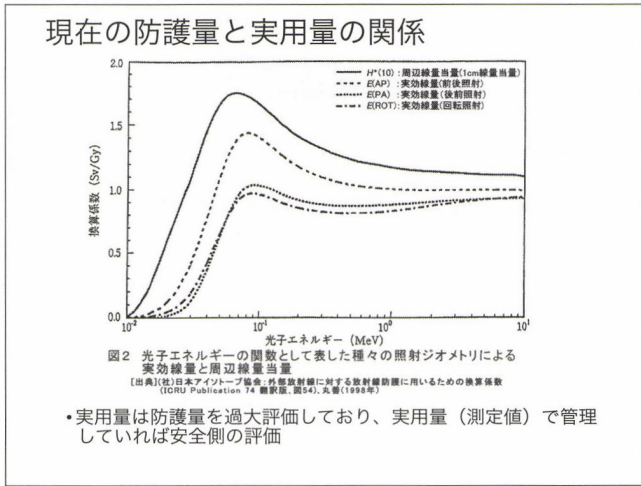
子，電子，陽電子，陽子，正負ミューオン，正負パイオン，ヘリウムイオンに対して，また入射エネルギーは種類にも依存するが最高 200 GeV までについて換算係数が示されている。すべての計算は，ボクセルファントムを真空中に設置して，

各種放射線を入射させファントム中の挙動をシミュレーションし，組織，臓器へのエネルギー付与を計算している。実効線量とするため，放射線加重係数，また組織加重係数も用いられている。

資料

## ICRUレポート95 “Operational Quantities for External Radiation Exposure” について

\*\*本資料は、ICRU Report95より引用しております\*\*



## 新しい実用量での大きな変更点

- 防護量をベースとした実用量の定義
  - ボクセルファントム、放射線加重係数、組織加重係数を用いた定義  
実用量 = 防護量
- 確定的影響とされる皮膚線量、水晶体線量についてはSvではなくGy（吸収線量）
  - 放射線の種類の違いは考慮しない

表5.1 外部被ばく線量モニタリングにおける実用量の分

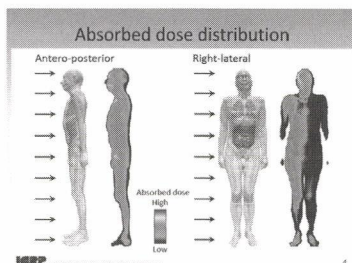
	新しい実用量	
	空間線量	従事者の線量
実効線量の管理	周辺線量, $H^*$	個人線量, $H_p$
水晶体被ばく線量の管理	方向性水晶体吸収線量, $D'_{lense}(\Omega)$	個人水晶体吸収線量, $D_{p,lense}$
末梢部皮膚の被ばく線量の管理	方向性局所皮膚吸収線量, $D'_{local\ skin}(\Omega)$	個人局所皮膚吸収線量, $D_{p,local\ skin}$

### 現状の実用量

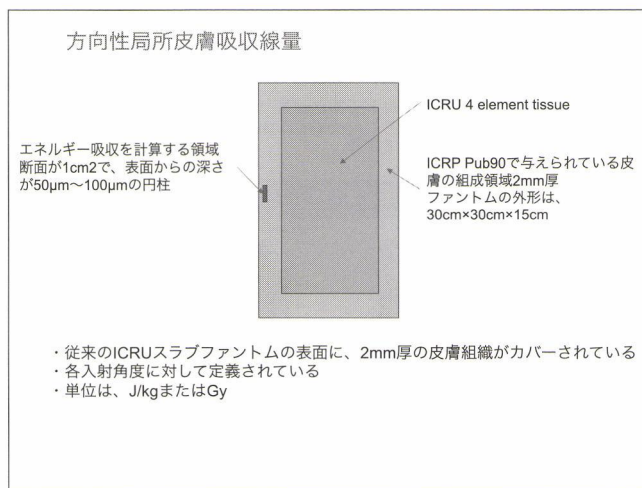
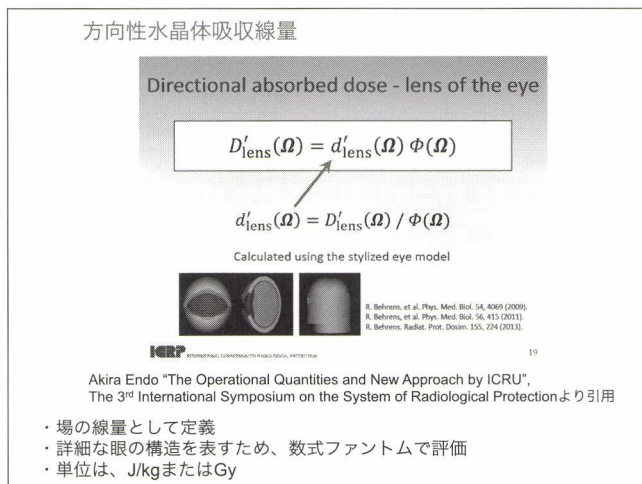
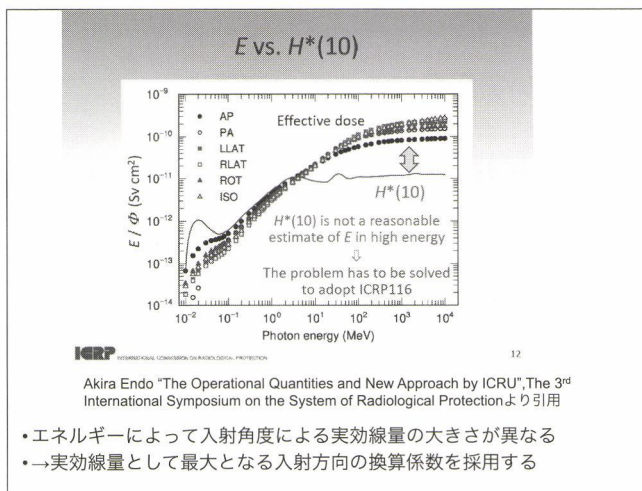
	実用量	
	空間線量	従事者の線量
実効線量の管理	周辺線量当量, $H^*(10)$	個人線量当量, $H_p(10)$
水晶体被ばく線量の管理	方向性線量当量, $H'(3)$	個人線量当量, $H_p(3)$
末梢部皮膚の被ばく線量の管理	方向性線量当量, $H'(0.07)$	個人線量当量, $H_p(0.07)$

### 新実用量の定義

- Ambient Dose（周辺線量）
  - 様々な入射条件に対する実効線量（E）の換算係数が最大値となる値を採用して、Ambient Dose（周辺線量、 $H^*$ ）とする。場の線量として定義。

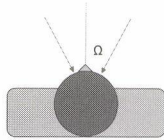


Akira Endo "The Operational Quantities and New Approach by ICRU, The 3<sup>rd</sup> International Symposium on the System of Radiological Protectionより引用



### 個人線量

- ・ボクセルファントムに対して定義される。
- ・各入射角度毎に評価
- ・左右入射の平均としている
- ・個人線量としては、放射線のエネルギー、角度を積分した値となる
- ・単位は、J/kgまたはSv



### 個人水晶体吸収線量

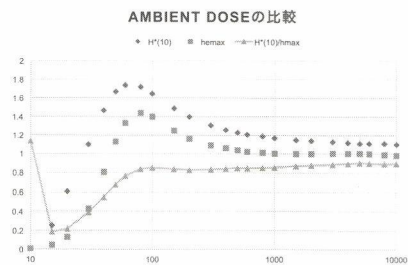
- ・定義、値とも方向性水晶体吸収線量と同じ

### 個人局所皮膚吸収線量

- ・3つのファントムで定義
  - ・体幹部として300mm×300mm×150mmのICRU組織ファントム（密度1.0g/cm<sup>3</sup>）
  - ・四肢部としてピラーφ73mm×300mm長のICRU組織ファントム（密度1.1g/cm<sup>3</sup>）
  - ・指としてロッドφ19mm×300mm長のICRU組織ファントム（密度1.1g/cm<sup>3</sup>）
- ・方向性皮膚吸収線量の計算と同様に、ファントム表面には2mm厚の皮膚組織（ICRU 2009、密度1.09g/cm<sup>3</sup>）
- ・どのファントムでも表面からの深さ50μm～100μmの領域での吸収線量を計算

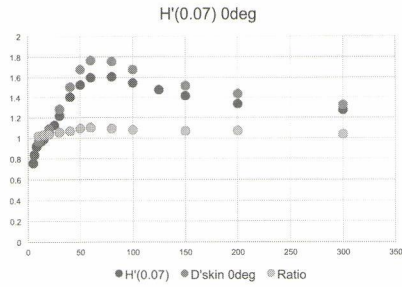
### 従来との換算係数の違い

- ・光子の周辺線量の比較



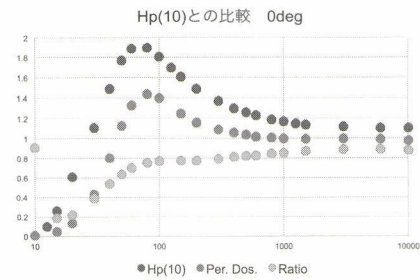
- ・全体的に新しい周辺線量が小さな値となる（17%程度）
- ・70 keV以下で大きく異なっている（～数十%小さくなる）

従来との換算係数の違い  
 ・光子の方向性水晶体吸収線量の比較



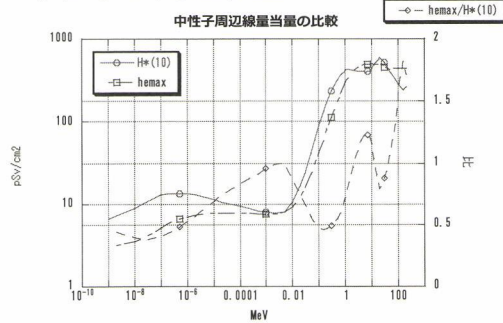
- ・新しい実用量は現行の値とほぼ同等
- ・組成の違いにより、現行の値よりも若干大きくなっている

従来との換算係数の違い  
 ・光子の個人線量当量の比較



- ・周辺線量の時と同様に、全体的に新しい個人線量が小さくなる (17%程度)
- ・70 keV以下で大きく異なっている (~数十%小さくなる)

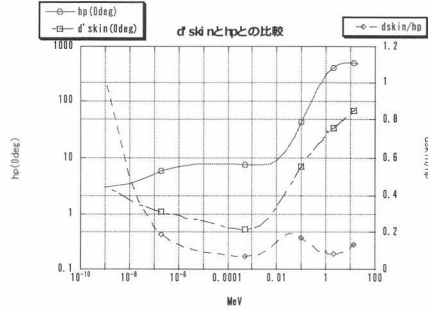
従来との換算係数の違い  
 ・中性子の周辺線量



- ・エネルギーによって過大、過小評価となっている
- ・特に15 MeV以上の高エネルギーでは現行よりも大きな値となる

## 従来との換算係数の違い

- 中性子の個人線量と個人局所皮膚吸収線量



- 現行では、中性子の $H_p(0.07)$ は $H_p(10)$ とほぼ同等であるため、測定は $H_p(10)$ のみで行っている。
- 新しい値は中性子の吸収線量となることから、現行と大きく異なる

## 線量計の特性について

- サーベイメータなどの $H^*(10)$ について
  - 30 keV~70 keVのレスポンスを合わせこむ必要がある
  - 全体的に値が小さくなる (Cs-137で16%程度)
- 場の測定用 $H'(0.07)$ について
  - 従来とほぼ値は変わらないが若干増加する (増えても10%未満)
- 個人線量計-胸部用
  - $H_p(10)$ は、 $H^*(10)$ と同様に30 keV~70 keVのレスポンスを合わせこむ必要がある
  - $H_p(10)$ は小さくなるが (Cs-137で17%程度)、 $H_p(0.07)$ は変わらずが若干の増加
  - 180度のレスポンスも考慮する必要があるのか?
- 個人線量計-末端部用
  - 角度特性の評価が必要となる?

## 新しい実用量への対応に関する問題点

- どのような線量計を用いるのが良いのか?
  - ベストは?
    - エネルギー特性、方向特性が新しい実用量に合致したもの
  - ベターなのは?
    - 個人線量の方向特性はどこまで考えるべき?
- 線量計の指示値をそのまま使って管理して良いのか?
  - 実用量と防護量がほぼ同じ値となる⇒安全側のマージンがない