

外部被ばく管理に用いられる実用量の 新たな定義について

産業技術総合研究所

黒澤 忠弘

本資料は、ICRU Report95より引用しております

現在の防護量と実用量の関係

実用量とは、外部被ばくを管理するために、実測できない防護量に代わって測定器で評価可能な量としてICRUによって定められたもの。

物理量

- ・フルエンス ϕ
- ・カーマ K
- ・吸収線量 D

[出典] : ICRP Publ.74を元に改変
(改変部分は青字で記載)

換算係数

換算係数

ICRP

防護量

- ・臓器吸収線量 D_T
- ・臓器等価線量 H_T
- ・実効線量 E

ICRU

実用量

- ・周辺線量当量 $H^*(d)$
- ・方向性線量当量 $H'(d, \Omega)$
- ・個人線量当量 $H_p(d)$

比較・評価

- 【防護量】**
- 放射線防護のために定義された、被ばくの程度の定量化を可能にする量。
 - 人体を模擬したボクセルファントム (※) を用いて計算される。
 - ※ 解剖学的構造が小さな三次元体積要素 (ボクセル) によって記述されている医用断層画像に基づく計算用擬人化ファントム。

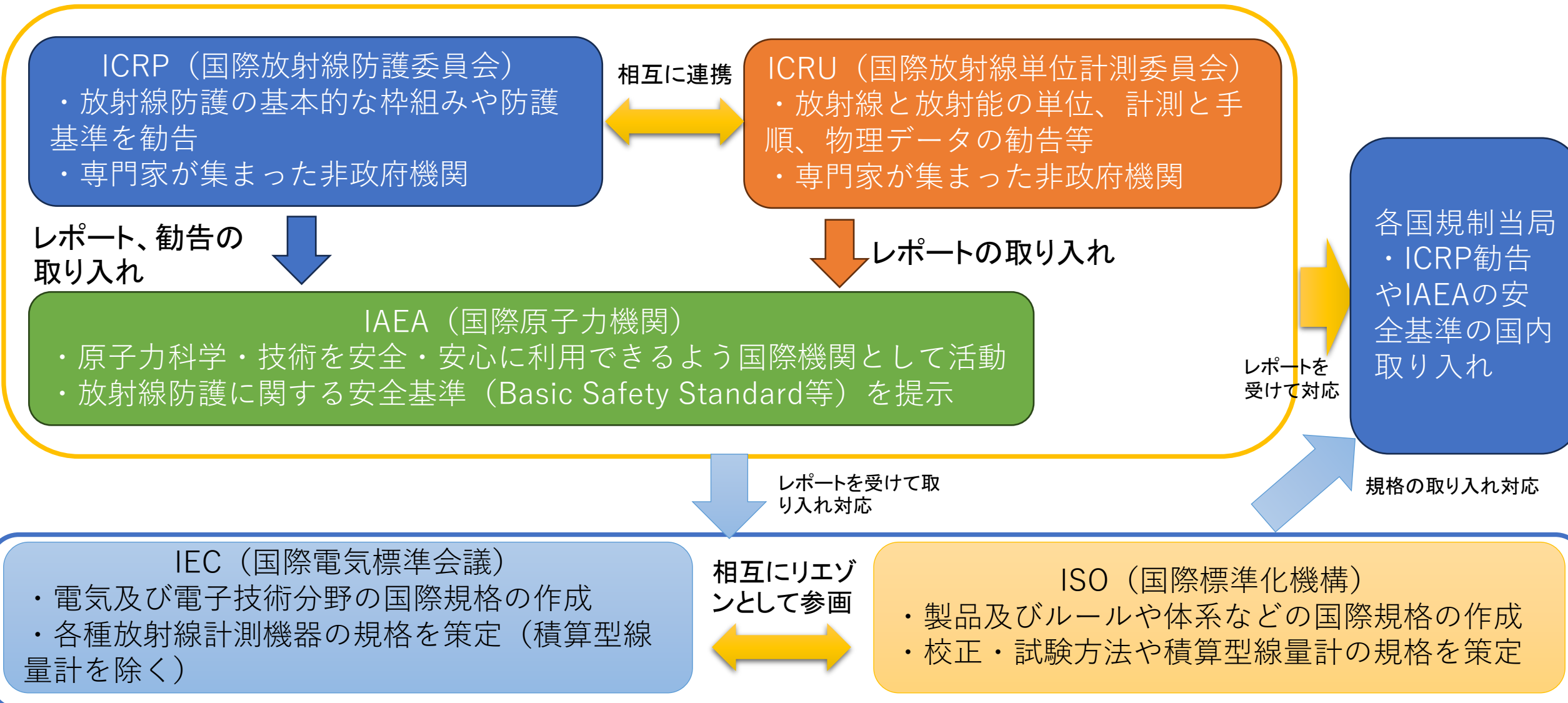
- 【実用量】**
- 被ばく線量を管理するために用いられる量。
 - ICRUが規定した球やスラブファントムで定義されている。

↓ 比較・参照

・線量限度

校正・試験による関係づけ

・サーベイメータや個人線量計による測定値



外部被ばく線量モニタリングにおける実用量の分類表

現在の実用量

Task	実用量	
	場の線量	個人の線量
実効線量の管理	周辺線量当量, $H^*(10)$ (一センチメートル線量当量に対応)	個人線量当量, $H_p(10)$ (一センチメートル線量当量に対応)
水晶体被ばく線量の管理	方向性線量当量, $H'(3, \Omega)$ (三ミリメートル線量当量に対応)	個人線量当量, $H_p(3)$ (三ミリメートル線量当量に対応)
皮膚の被ばく線量の管理	方向性線量当量, $H'(0.07, \Omega)$ (七十マイクロメートル線量当量に対応)	個人線量当量, $H_p(0.07)$ (七十マイクロメートル線量当量に対応)

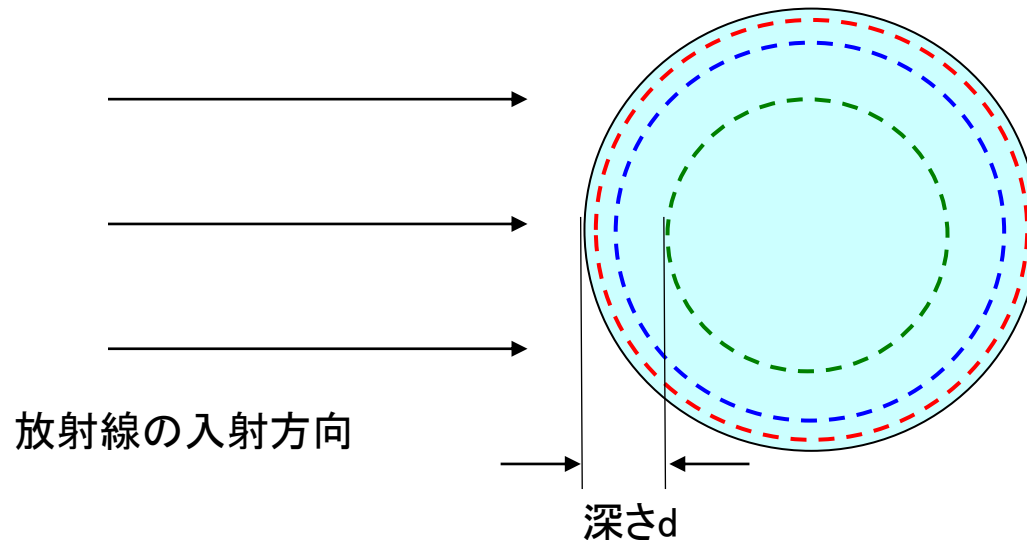


ICRU95で提示されている実用量

Task	実用量	
	場の線量	個人の線量
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, $D_{p\ lense}$
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, $D_{p\ local\ skin}$

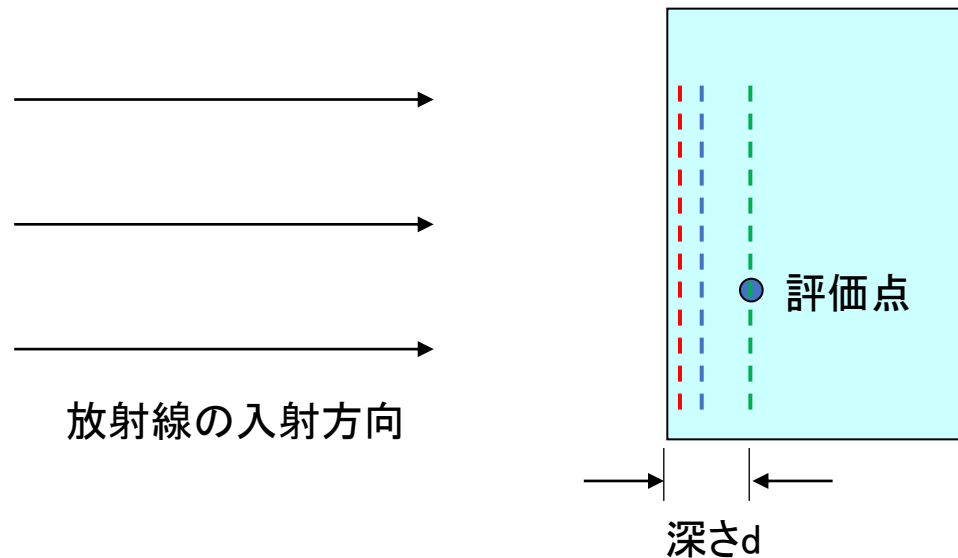
周辺線量当量、方向性線量当量～場の線量の実用量

- 直径30cmのICRU球（1g/cm³の組織等価物質[O 76.2%, C 11.1%, H 10.1%, N 2.6%]）に1方向から入射する放射線場において、深さd の位置での吸収線量を評価
- 球の深さ1cm（全身の実効線量）, 3mm（眼の水晶体）, 70 μ m（皮膚）での吸収線量を評価
- 吸収線量と放射線の線質を考慮して、 $H^*(10)$ を周辺線量当量、 $H'(3, \Omega)$, $H'(0.07, \Omega)$ を方向性線量当量として定義



個人線量当量～個人の線量の実用量

- 直方体のICRUスラブファントム（30cm×30cm×15cm）に入射する放射線場において、深さdでの吸収線量を評価
- 深さ1cm（全身の実効線量），3mm（眼の水晶体），70 μ m（皮膚）で評価
- Hp(0.07)については、末端部の線量評価のためにピラーファントム（四肢）、ロッドファントム（指）での定義も示されている



定義で示された形状に合わせた個人線量計の校正用ファントム



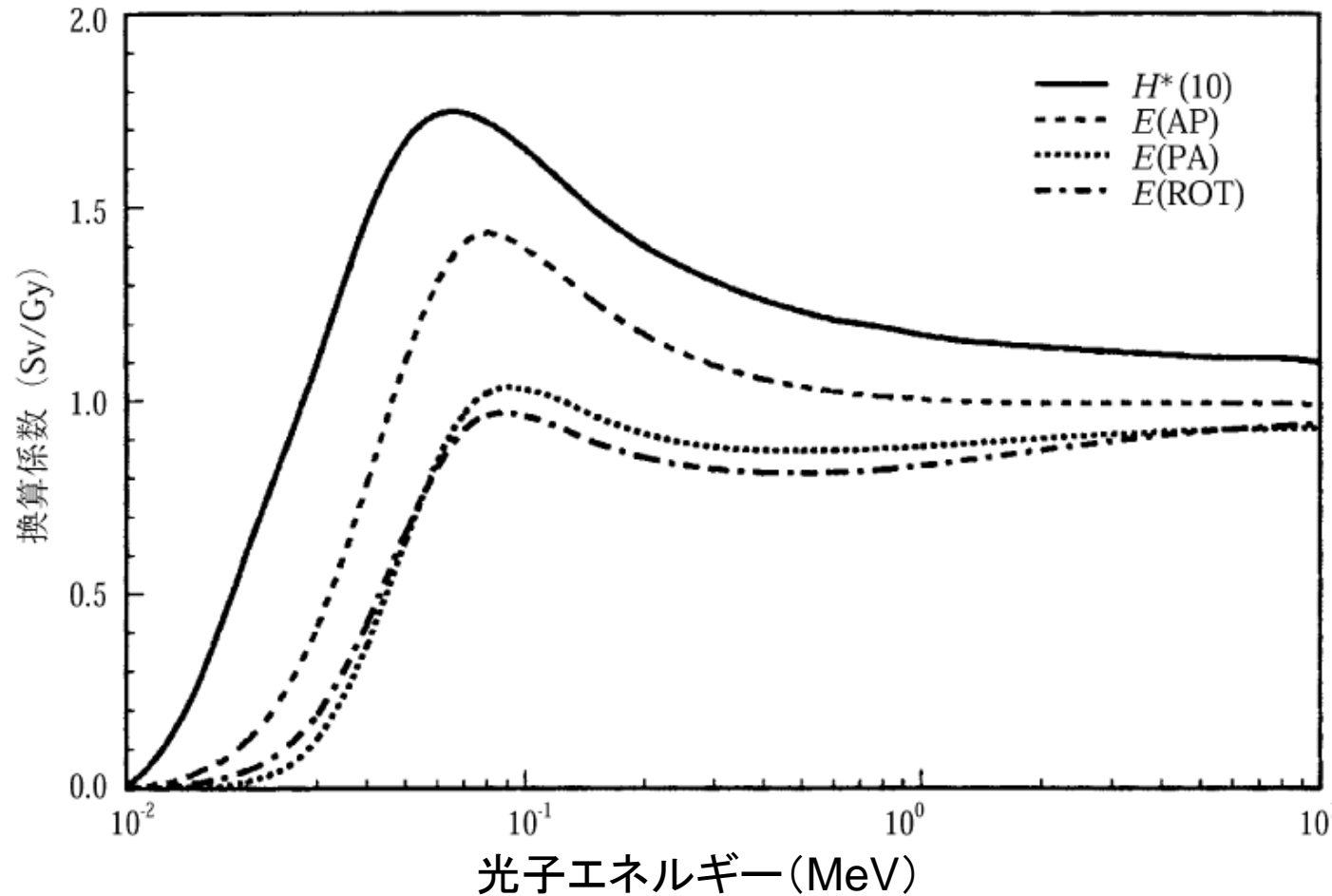
スラブ



ピラー



ロッド



$H^*(10)$: 周辺線量当量(1cm線量当量)
 $E(AP)$: 実効線量(前後照射)
 $E(PA)$: 実効線量(後前照射)
 $E(ROT)$: 実効線量(回転照射)

- X線、 γ 線について一般に放射線施設で使われているエネルギー領域では、実用量は防護量を過大評価しており、実用量(測定値)で管理していれば安全側の評価
- 実用量で用いられている4元素からなる物質を実際に再現することは困難であることから、フルエンスや空気カーマといった物理量から線量当量への換算係数が示され、これを用いて実用量を評価している。

図: 光子エネルギーの関数として表した、種々の照射ジオメリーにおける、周辺線量当量と実効線量についての換算係数
 [出典]ICRP Publication74(翻訳版)

ICRU95で新しく示された実用量

新しい実用量での大きな変更点

• 実用量の定義

【現行の定義】

- ICRU球やICRUスラブファントムで定義。



【ICRU95で示された定義】

- 標準ファントム（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て定義。
- したがって、実用量 \cong 防護量となる。

• 組織反応のための実用量

【現行の実用量】

- 眼の水晶体及び皮膚の線量を測定する量として、等価線量に関係付けられる線量当量（Sv）を用いる。

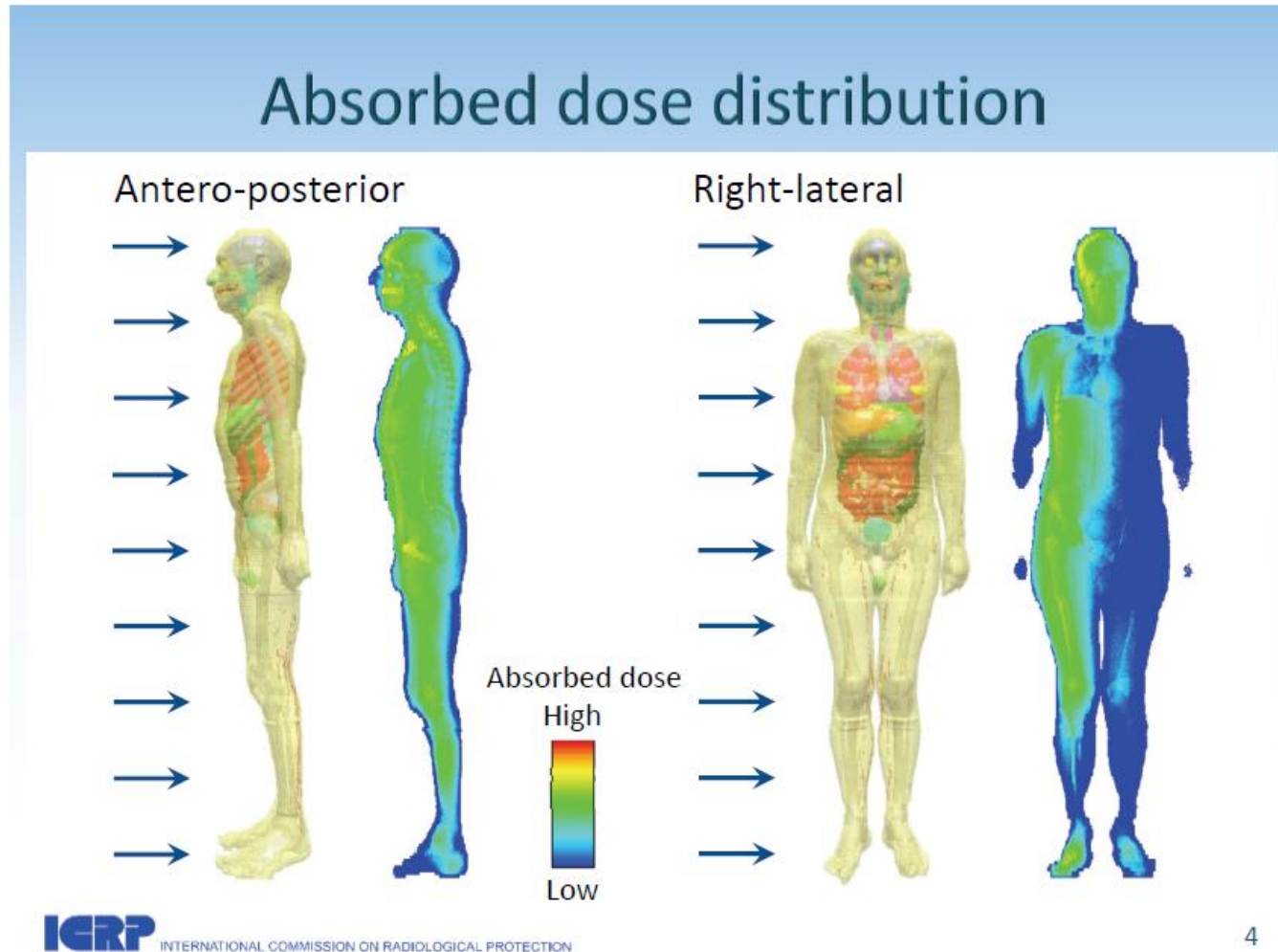


【ICRU95で示された実用量】

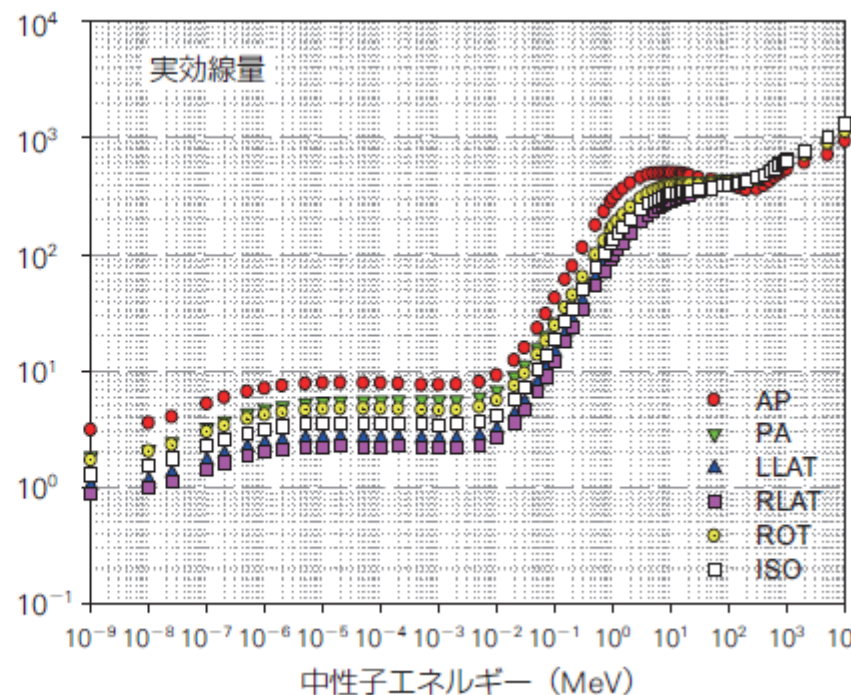
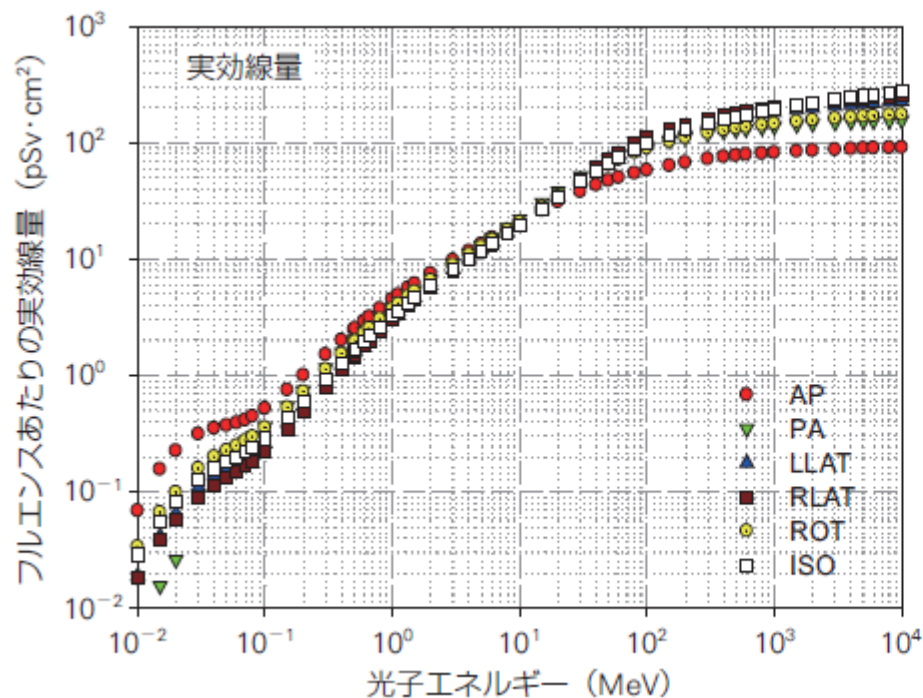
- 組織反応の防止を目的とする線量を測定するために用いられる量は等価線量ではなく、吸収線量が適当。
- したがって、眼の水晶体及び皮膚の線量測定では、従来の線量当量（Sv）に代わって、吸収線量（Gy）を用いる。

• 周辺線量 (Ambient Dose) ～場の線量

- 標準ファントムの各入射条件における実効線量 (E) へ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^*) を求める。



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



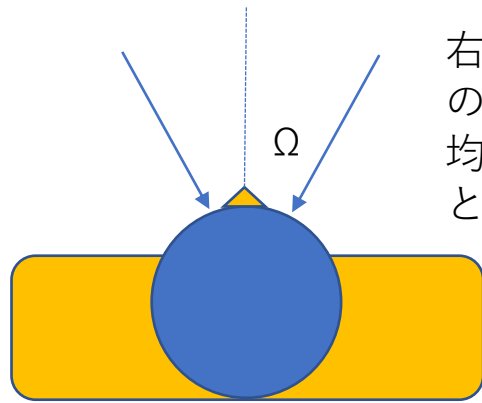
AP:前方—後方, PA:後方—前方,
LLAT:左側方, RLAT:右側方, ROT:
回転, ISO:等方

図:様々なジオメトリーにおける光子及び中性子のフルエンスあたりの実効線量

[出典]ICRP Publication 116

- エネルギーによって、実効線量が最大となる入射角度は異なる。
- →AP照射が最大値を取るとは限らず、各エネルギーについて実効線量が最大となる入射方向の換算係数を採用する。

個人線量 (Personal Dose)

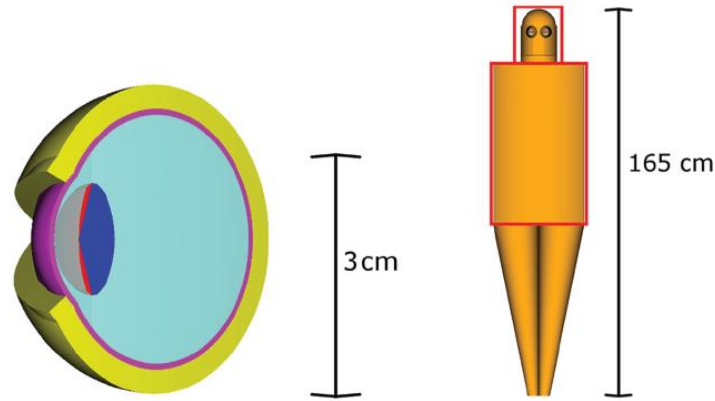


右入射と左入射
の実効線量の平均
値を換算係数
として採用

※人体を上から見た模式図

- ・体の表面で定義
- ・個人線量としては、放射線のエネルギー、角度で積分した値となる。
- ・入射角 Ω における実効線量の換算係数は、左右入射の平均値を用いる。

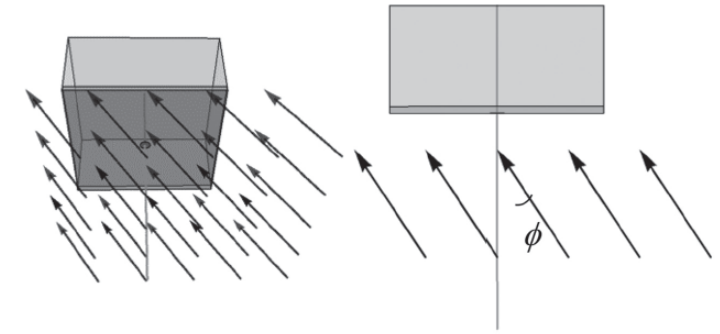
個人水晶体吸収線量 (Personal Absorbed dose in the lens of the eye)



※ICRU Report95 Fig 3.2より引用

- ・左右の入射で線量が大きくなるほうを採用
- ・単位は、J/kgまたはGy

個人局所皮膚吸収線量 (Personal Absorbed dose in local skin)

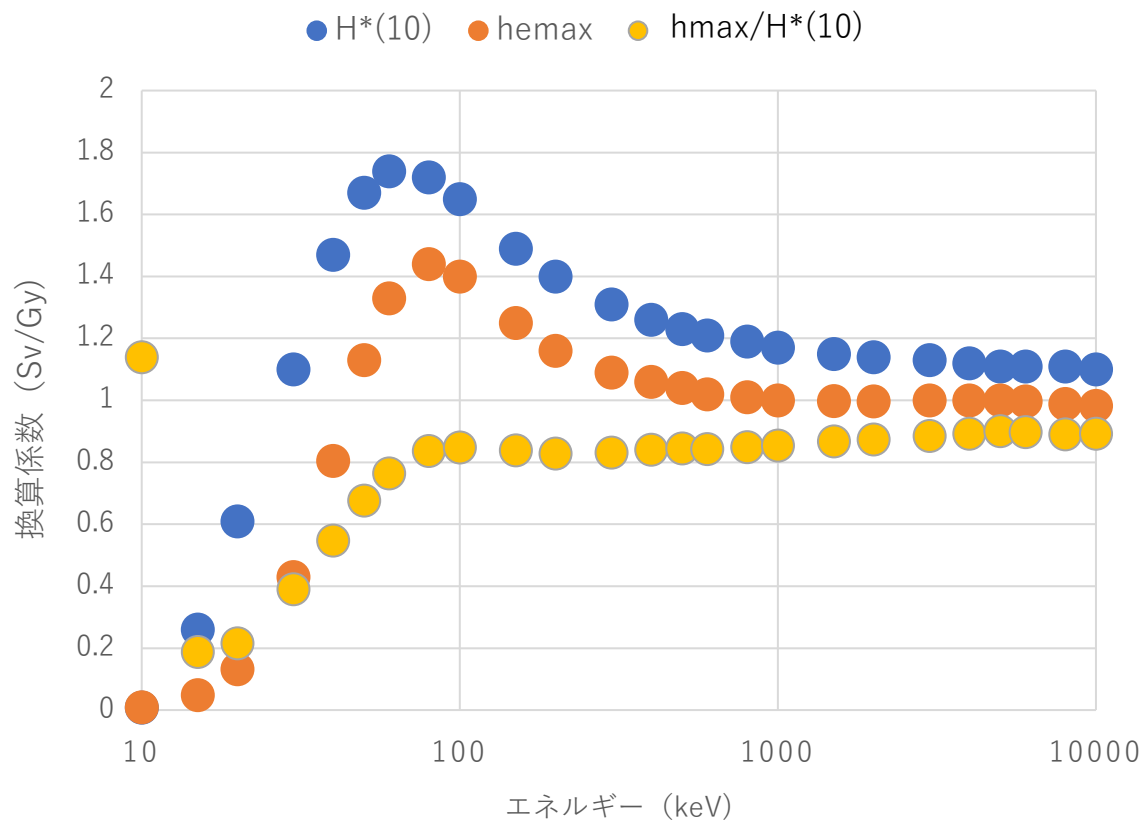


※ICRU Report95 Fig 3.3より引用

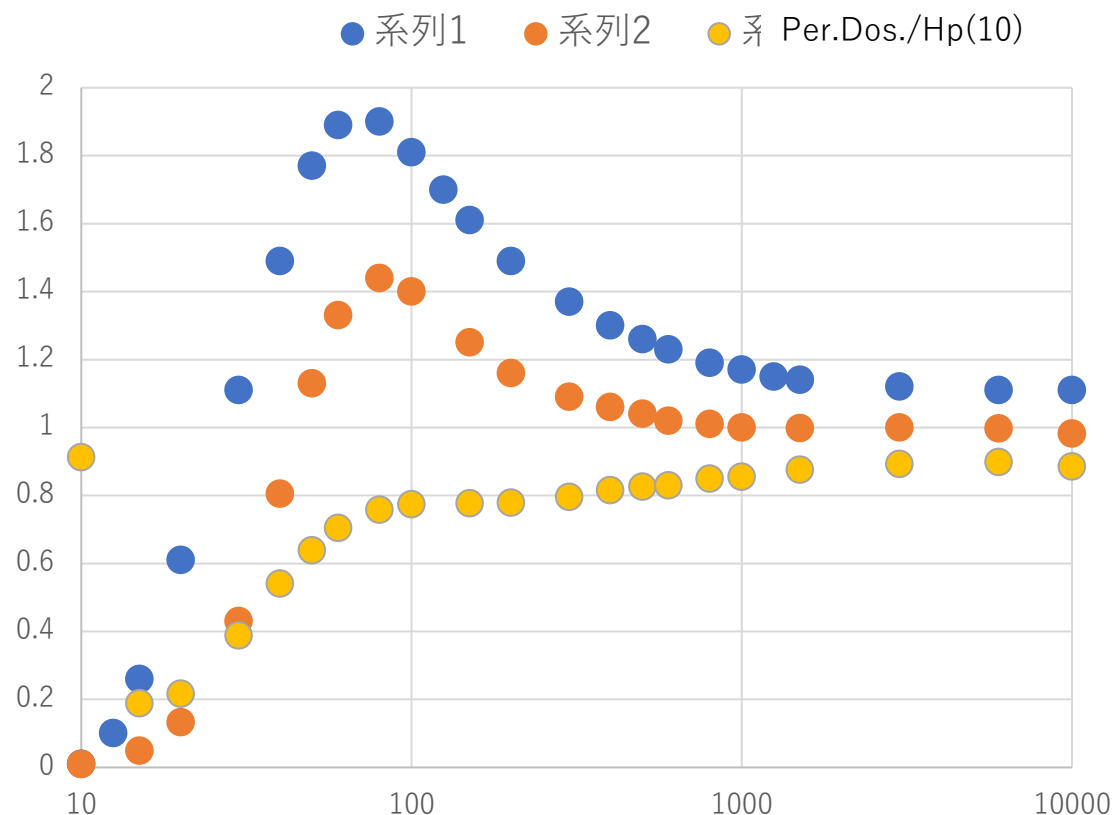
- ・3つのファントムで定義
- ・スラブファントム (上図)
- ・ピラーファントム
- ・ロッドファントム
- ・単位は、J/kgまたはGy

単色光子エネルギーに対する空気カーマから線量（線量当量）への換算係数の比較

周辺線量の比較



個人線量の比較



入射角度の考え方について

Hp(10)の換算係数

		各入射角度毎の換算係数 (Sv/Gy)									
keV	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	
60	1.89	1.88	1.86	1.83	1.77	1.72	1.66	1.5	1.25	0.79	
600	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.2	1.14	0.92	

ICRU Report95で示されている新たな実用量Hpの換算係数

		各入射角度毎の換算係数 (Sv/Gy)										
keV	0	15	30	45	60	75	90	180	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
60	1.330	1.330	1.270	1.160	1.010	0.810	0.589	0.830	0.844	0.682	0.696	0.662
600	1.02	1.02	0.999	0.962	0.899	0.807	0.667	0.835	0.804	0.695	0.71	0.672

* ICRU Report95では、上記の表にあるように90度や180度入射に対する換算係数も示されている。

新しい実用量を取り入れるに当たって考えられる課題

■放射線防護の実行・実務への影響

- ✓実用量と防護量がほぼ同じ値となる。
- ✓線量管理、線量計の管理が煩雑化する。

■線量計の設計と開発

- ✓再校正のみの対応から再設計まで考える。

■校正・標準場・国際基準

- ✓ベータ線標準については定義に合わせた測定や補正が必要
- ✓ISOやIECで示されている線量計の要求事項について再検討が必要

■規制（線量記録を含む）

- ✓個人線量記録の連続性の扱いをどうするか。
- ✓移行期間に新旧線量計が混在する可能性がある。

■リソース（経済的、訓練の実施）

■ステークホルダーの関与

放射線対策委託費（新たな実用量への対応に向けた研究）事業

原子力規制庁の委託事業として、令和4年度より産総研及びJAEAにて新たな実用量に関する研究を実施中（JAEAは令和3年度より実施）

• 線量計の校正環境の整備

- X線、 γ 線、中性子、 β 線校正場の構築
 - 国家標準を担っている産総研において、新たな実用量に関する標準を整備
- 方向特性試験の方法に関する研究（ファントム形状、材質の影響）
- 二次標準校正場の同等性に関する試験

• 現在普及している線量計の新たな実用量への対応可能性の検討

- 代表的な線量計（積算型及び電子式個人線量計、サーベイメータ）に対するエネルギー、方向特性試験
- 実際の放射線作業場における入射エネルギー、照射方向の線量計に対する線量計の応答の把握

• 研究者、製造者、線量管理担当者からの情報収集と情報共有

- ワークショップを通じた課題の調査
- 国内外の動向調査

国際的な研究動向

- 研究論文（2023年10月15日現在、web検索の結果）－欧州を中心に研究論文が多数出されている
 - 校正場に関する論文－4本
 - 線量計の特性に関する論文－16本
 - 線量計の試験方法に関する論文－5本
 - 作業場での影響等に関する論文－5本
 - その他－1本
- EURADOS（European Radiation Dosimetry Group）での検討状況
 - 研究成果について論文として報告
 - “測定器供給者、線量計供給者、個々のモニタリングサービス、校正試験所などの利害関係者は、この変更に対する評価と初期計画を立てるための作業を直ちに開始すべきである。教育と情報提供のプロセスを完全にサポートするために、国際的にも国内的にも、計画的なコミュニケーションプログラムが必要” との勧告を提示している。