

## CALCULATION OF EFFECTIVE DOSES FOR NON-UNIFORM EXPOSURE BY HIGH ENERGY ELECTRONS

Hikoji M., Katagiri M., Kitaichi M., Tanida H., Sato K., Sawamura S.  
and Nojiri M.\*

Department of Atomic Science and Nuclear Engineering, Hokkaido University,  
Kita-ku, Kita 13, Nishi 8, Sapporo 060,

### Abstract

In order to estimate the radiation hazards in accidental exposure of energetic electrons, equivalent doses were calculated by using the EGS4 monte calro simulation code and the MIRD-5 human phantom for high energy electron beams such as those from LINAC, in which non uniform exposure on a human body is occurred. The calculation shows that the equivalent doses depend not only on the incident electron energy like an uniform exposure cases but also on the beam size and the exposure position on the body. We also calculated the equivalent doses with or without the breast on a body to investigate the difference by the sex.

### 電子線による不均等被曝に対する実効線量計算

#### 1. まえがき

近年、大型加速器施設利用および宇宙空間利用の増加に伴い、従来、放射線防護の主要な対象ではなかった高エネルギー放射線による被曝評価が重要になりつつある。

放射線による被曝を評価する上で、フルエンスや吸収線量等の測定可能な物理量から実効線量を求める換算係数が必要になる。光子、中性子の全身均等被曝に対する換算係数は、ICRPにより与えられている<sup>1)</sup>。しかし、電子加速器等からの高エネルギー電子線の全身均等被曝に対する換算係数は与えられていない。そこで、この換算係数を求める計算を行ってきた。しかし、高エネルギー電子線はビーム

状に発生していることが多く、被曝は人体の一部であることが考えられる。このような部分的な被曝の線量評価法も示されてはいない。そこで、高エネルギー電子線に対する放射線防護の観点から、人体への部分的な被曝と全身被曝での実効線量当量(実効線量)をモンテカルロシミュレーションにより求めた。

#### 2. 計算体系

モンテカルロシミュレーションコードには、SLACで開発され、動力炉・核燃料開発事業団においてプリプロセッサを付加したEGS4汎用ユーザズ版を用いた<sup>2)</sup>。コンピュータ内に構築した数学的ファントムは、MIRD-5型人体形状ファントムにLewisの食道を付加したものである。このファントムは乳房、卵巣、睾丸を併せ持つ両性具有体で

\*Safety Technology Development Section,  
Tokai Work, Power Reactor and Nuclear  
Fuel Corporation,  
Tokai-mura, Ibaraki-ken, 311-19, Japan

ある。このファントムの一部に電子線（エネルギーは0.1-20.0MeV）を人体の前面から照射した時のシミュレーションを行った。照射位置は左右胸部および胸部中央、左右腹部および腹部中央、けい部と下腹部の計8カ所である。肩から上脚部までを5等分し、さらにそれを左右に2等分した大きさ（縦16.23cm、横20.0cm）を基本の線源サイズとした。図1にファントムへの電子線照射位置を示す。部分照射と比較するために、全身一様照射時の実効線量も求めた。また、胸部、腹部で線源サイズを変えたシミュレーションを行った。乳房の有無による差も調べた。

### 3. 計算結果と考察

(1) 照射位置、エネルギー依存性：図2に、右胸部照射時における単位フルーエンス当たりの実効線量当量 $H_E$ と実効線量 $E$ を示す。左胸部、胸部中央に照射した場合も図2とほぼ一致する結果が得られることから、照射位置にあまり依存しないことがわかった。腹部における結果も同様の傾向を示した。

(2) 全身照射と部分照射：図3に、同数個の電子に照射された時の実効線量を示す。エネルギー

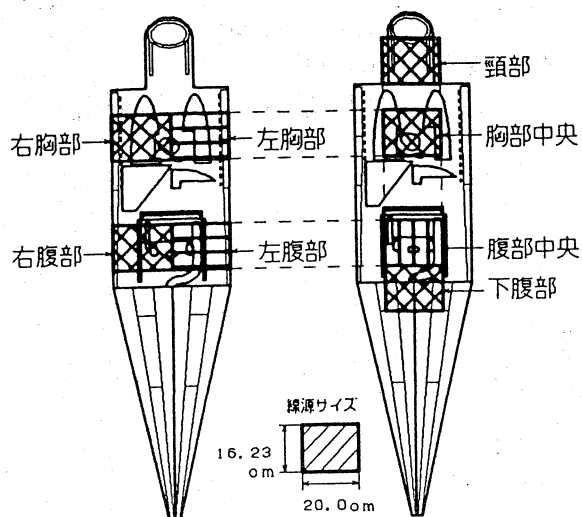


図1 ファントムへの電子線照射位置

の増加につれて、実効線量がほぼ一様に増加する全身照射に対して、部分照射には、実効線量が急激に増加するエネルギー値が存在し、それは照射位置ごとで異なっている（例えば腹部は10MeV）。これは、照射された臓器の体内における位置やその臓器に与えられた組織荷重係数の違いによると考えられる。これを検討するために各照射位置における実効線量に大きく寄与する臓器からの割合を求めた。図4に胸部照射時、図5に下腹部照射時の実効線量に対する各臓器からの寄与率を示す。図4より、0.5 MeV間では皮膚の割合が高く、1MeVからは乳房の割合が高くなり、電子が乳房まで到達し始めたことが分かる。7MeVからは乳房の割合が下がり始める。これは、肺に電子が到達し始め、肺の寄与率が高くなるためである。図5より、10MeVより膀胱、20MeVで結腸の割合が高くなる。結腸は左側にしか存在しないので、20MeV以上のエネルギーで結腸の割合がさらに高くなると、腹部の左右で実効線量に差が生じることが考えられる。

(3) 線源サイズ依存性：図6に、線源サイズを1/4, 1/16にしたときの、腹部照射時の実効線量を示す。腹部の主要臓器に電子が到達し始めるのは10MeV以上であり、従って、図6においても10MeV以上で差が現れ始めているが、線源サイズの依存性を知るためにはより高いエネルギーでの計算が必要である。胸部における線源サイズ依存性の計算も行っている。

(4) 乳房の有無による比較：図7に、右胸部照射時における乳房がある場合と無い場合の実効線量を示す。0.5MeVまでは、電子のエネルギーはほとんど皮膚に沈着し、20MeV以上では肺の割合が高くなる。従って、図7に示されるように、乳房の有無が実効線量に大きく影響するのは、入射エネルギーが1-10MeV程度の電子であることが分かった。

参考文献:

- 1) ICRP Publ. 51, Data for Use in Protection Against External Radiation.
- 2) W.R. Nelson, et. al., The EGS4 Code System. SLAC Report-265(1985)

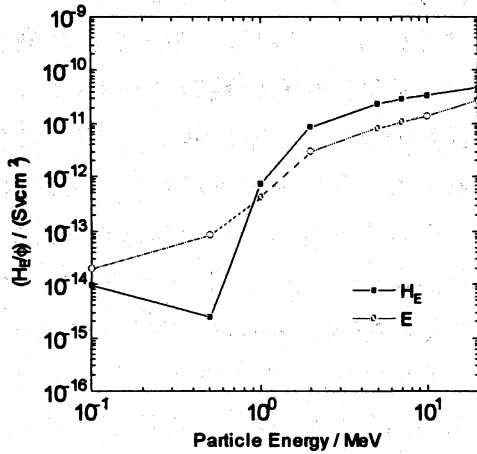


図2 胸部照射時の $H_E$ と $E$

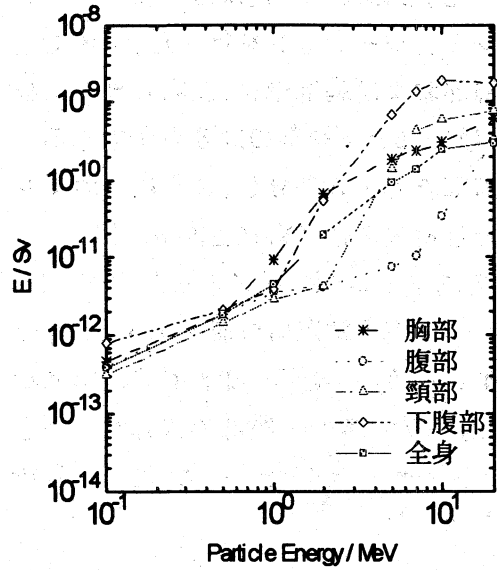


図3 各照射位置における実効線量

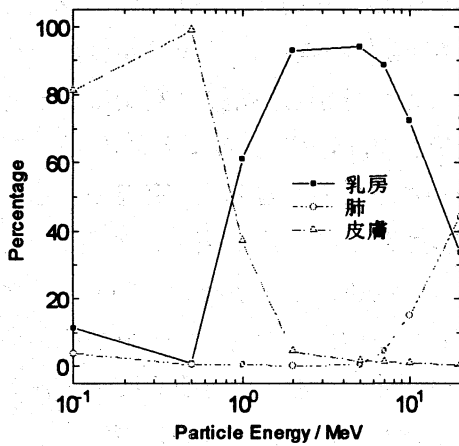


図4 胸部照射時の各臓器の実効線量に占める割合

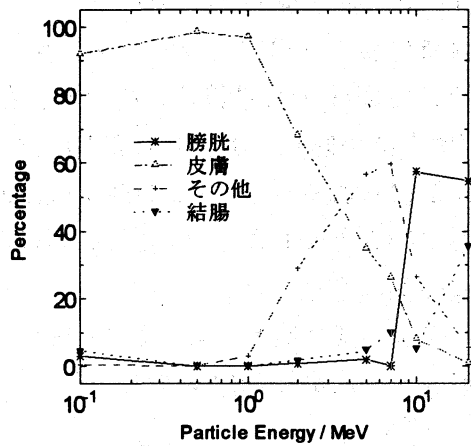


図5 腹部照射時の各臓器の実効線量に占める割合

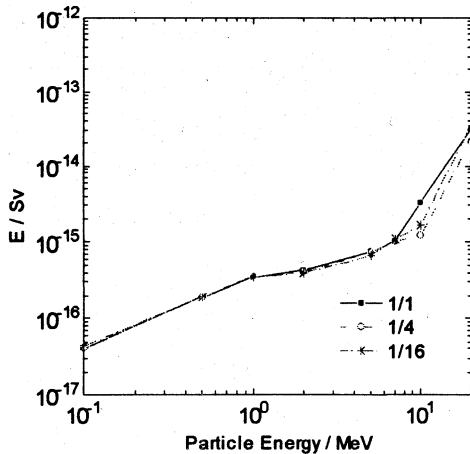


図6 各線源サイズでの実効線量 (左腹部)

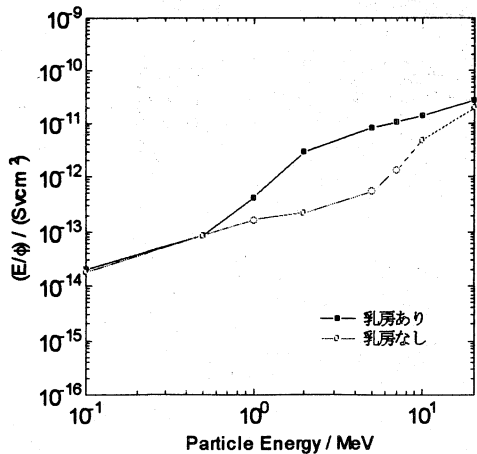


図7 乳房の有無での実効線量