



1. 個人被ばく管理に係わる技術小論 (2) 校正用ファントムにおけるTLD アルベドレスポンスの測定

百瀬 琢磨 伴 信彦 二之宮 和重
石黒 秀治* 中村 尚司**

東海事業所安全管理部 *安全部
**東北大学 サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

資料番号: 81-8

1. Development of Technology on Individual Radiation Monitoring

(2) Measurement of TLD Albedo Response on Various Calibration Phantoms

Takumaro Momose Nobuhiko Ban Kazushige Ninomiya
Hideharu Ishiguro* Takashi Nakamura**

(Health and Safety Division, Tokai Works

* Safety Division

** Cyclotron Radioisotope Center, Tohoku University)

種々のファントム上での中性子評価用アルベド型TLDのエネルギー特性および方向特性を実験で求めた。中性子源には加速器および ^{252}Cf 線源を用いた。ファントムには、パラフィンファントム、平板アクリルファントム (JISファントム)、水ファントム、中空水ファントムおよび人体にきわめて類似の元素組成を持つ特殊な人体等価ファントムを用いた。その結果、ファントムの種類によって特性に大きな違いが見られた。エネルギー特性については水ファントムが、方向特性については中空水ファントムが、それぞれ人体等価ファントムによく一致した。実験結果に基づき適切な校正用ファントムについて考察した。

1. はじめに

中性子個人線量計として広く用いられているアルベド型TLDは、人体で散乱されたアルベド中性子を検出するために、入射中性子のエネルギーおよび人体における中性子のアルベド率に関する情報が重要である。筆者らはこれまでに、アルベド型TLDの線量当量評価精度を検証するため、核燃料施設の作業場における中性子エネルギースペクトルの測定結果とそのスペクトルの違いに起因する線量当量の測定誤差について報告¹⁾した。

一方、人体におけるアルベド率に関する文献はきわめて少ない。校正用ファントムを標準化する観点からは、校正用ファントムの種類と線量計の感度の関係、人体と校正用ファントムの特性の違い等を明かにすることが必要である。そこで本研究では、種々のファントム上でのTLDのエネルギー特性および方向特性を実験で求めた。

2. 原理

実験に用いた線量計の素子構成を模式的に図-1に示す。この線量計は、4個のTLD素子と、Cd、Snフィルタの組合せによって、熱中性子および速中性子をそれぞれ評価できるように設計²⁾されている。

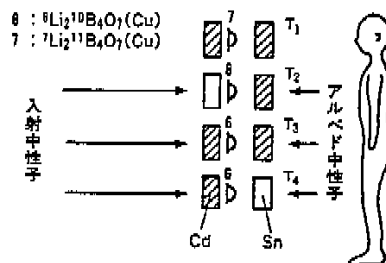


図-1 アルベド型TLDバッジの構造

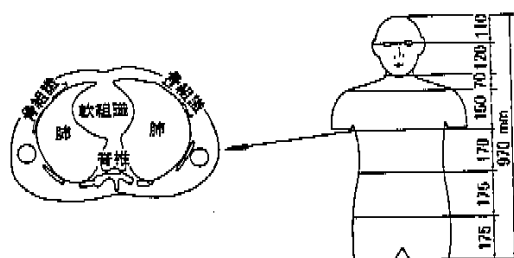


図-2 人体等価ファントム

中性子の線量評価に用いる式は以下のとおりである。

$$H_f = C_f(T_4 - T_1 - C_{th}(T_2 - T_3))$$

$$H_{th} = C_{th}(T_2 - T_3)$$

ここで、

H_f : 速中性子線量当量

H_{th} : 熱中性子線量当量

C_f : 素子 4 の発光量から速中性子線量当量を求める換算係数

C_{th} : 素子 2 と素子 3 の発光量の差から熱中性子線量当量を求める換算係数

$T_1 \sim T_4$: TLD 素子 1 ~ 素子 4 の発光量 (TLD の読取り値)

C_{th} : 素子 4 の熱中性子に対する感度を ($T_2 - T_3$) の項で補正する係数

本評価式において C_f の値は、ファントムのアルベド率に強く依存する。このため校正に用いるファントムは人体に近いアルベド特性を有するものがよい。本実験ではこの C_f の値に着目してファントムの特性を判断した。

3. 実験方法

実験には、一般性および校正のし易さを考慮して、パラフィンファントム、平板アクリルファントム (JISファントム)、水ファントムおよび中空水ファントムを用いた。また、作業者が線量計を実際に着用している状態を再現するため、新しく人体等価ファントムを製作した。この人体等価は、骨格、肺およびその他の組織から構成され、日本人成年男子の標準的な体型³⁾を有する。人体からのアルベド中性子をできるだけ精密に模擬するため、各部位には、元素組成および密度が実際の組織に近い特殊な組織等価材料⁴⁾を使用した。図-2 に人体等価ファントムの外観および断面を示す。以上のファントムの仕様を表-1 に示す。

エネルギー特性の実験は、東北大学ダイナミトロ

表-1 ファントムの仕様

名称	用途	形状	材質	備考
パラフィンファントム	個人線量計校正用	円柱形 40×30×20cm	パラフィン 密度 約0.9g/cm ³	
平板アクリルファントム	X・γ線個人線量計校正用	直方形 40×40×15cm	メタクリル樹脂板一般用 (JIS K6718) 密度 1.18g/cm ³	JIS Z4331
水ファントム	X線診断用	楕円柱形 46×30×20cm	水	JIS Z4815
中空水ファントム	X線診断用	楕円筒形 46×30×20cm	中空	JIS Z4815
人体等価ファントム	中性子個人線量計試験用	日本人標準体格模倣 ²⁾	組織材: ICRU 球組成 ¹⁾ 肺材: 京都化学LP-430 骨材: 京都化学BE-204	

ン加速器を用いて行った。照射した単色中性子のエネルギーは、210keV、560keV (以上Li(p,n)反応)、1.1MeV (T(p,n)反応)、5.0MeV (D(d,n)反応)、14.9 MeV (T(d,n)反応) であった。中性子エネルギーの測定は飛行時間法によった。中性子照射量の測定には基準線量計として²³⁵U核分裂計数管を用い、モニタ用線量計として反跳陽子比例計数管を用いた。また、方向特性の実験には、動燃東海計測機器校正施設の²⁵²Cf線源を用いた。

4. 結果

平板アクリルファントム、パラフィンファントムと人体等価ファントム上のTLDのエネルギー特性を比較した結果を図-3 に示す。素子 4 と素子 2、3 の感度差は人体側のCdフィルタの効果によるものである。パラフィンファントム上のTLDのエネルギー特性は、図-4、5 に示すように、以前宮部らが行った電子技術総合研究所における実験結果⁵⁾および他のアルベド型TLDを用いたPieschらの実験結果⁶⁾とよく一致した。パラフィンファントムでは約1 MeVより高いエネルギー範囲で、人体等価ファントムに比べ、感度が約40%高くなった。JISファントムでは、実験したすべてのエネルギー

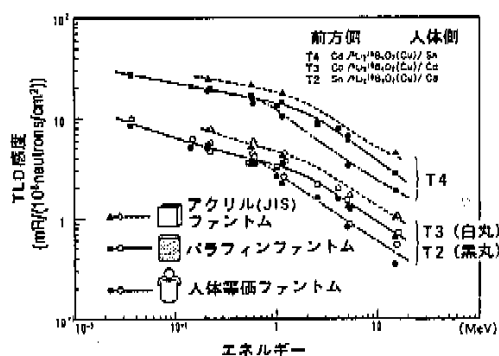


図-3 種々のファントム上のエネルギー特性(1)

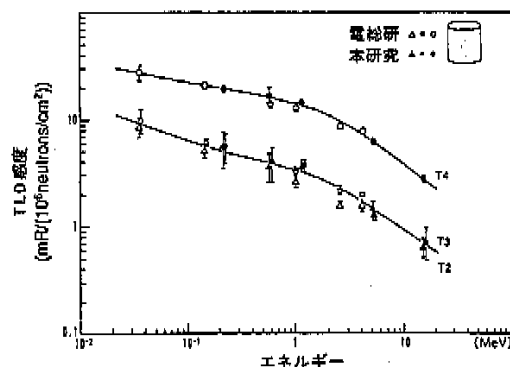


図-4 電線研における実験値との比較

で、人体等価ファントムに比べ、感度が最大約50%高くなった。また、水ファントム、中空水ファントムと人体等価ファントムの比較結果を図-6に示す。素子2、3の感度は3種類のファントムで顕著な差はなかった。素子4の感度は水ファントムが人体等価ファントムとよく一致し、中空ファントムが人体等価ファントムより約20%程度低くなった。

種々のファントム上のTLDの方向特性の比較結果を図-7に示す。中空水ファントムの特性は人体等価ファントムとよく一致した。水ファントムは後方からの入射に対して著しい差を生じた。また、アクリルファントムも最大60%の差を生じた。

5. 考察

1 MeV以上のエネルギーにおいてパラフィンファントムのアルベド率が人体等価ファントムと一致しない理由として、次の2つが考えられる。一つは、ファントムに含まれる減速体の密度と量が異なることである。すなわち、速中性子を熱中性子まで減速するには、そのエネルギーに応じて一定量の減

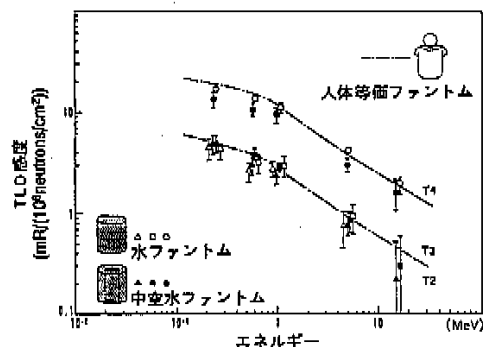


図-6 種々のファントム上のエネルギー特性 (ID)

速体が必要であると考えられるが、密度が低い肺を内蔵する人体等価ファントムと、密度が異なるパラフィンファントムでは、減速体の量が異なるので減速効果に差があり、その結果アルベド率が異なるということである。もう一つは、ファントムを構成する元素組成の違いである。すなわち、パラフィンは、水素と炭素から構成されており、その原子数の比はほぼ2:1である。これに対して人体等価ファントム（または人体組織）は大部分が水素と酸素から構成されており、その原子数の比は2:1である。1 MeVより高いエネルギーでは水素の散乱断面積が急速に低下するため、炭素および酸素の散乱効果が相対的に顕著になるが、酸素に比べて炭素は中性子の減速効果が大きいので、その差によってアルベド率が異なるということである。それらの寄与の大きさについてはさらに実験と計算で確認していく必要がある。

アクリルファントムが人体等価ファントムと異なる理由は、アクリルファントムの密度が1.19g/cm³と他より大きく、またその体積も他より大きいことから、中性子の散乱が他のファントムより多く生ず

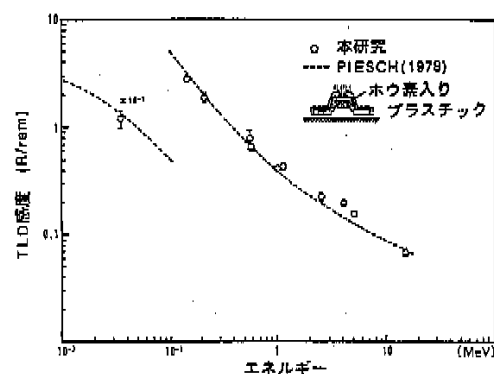


図-5 他の実験値との比較

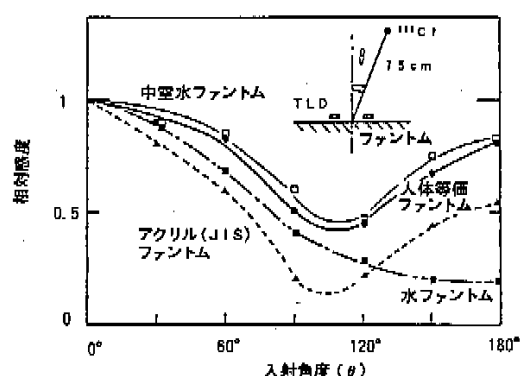


図-7 種々のファントム上の方向特性

るためと考えられる。中空水ファントムのエネルギー特性が人体等価ファントムと一致しない理由は、中空水ファントムの重量が約15kgで、人体等価ファントムの胸部および腹部を合計した重量の約半分程度であることから、中空部分が大きすぎて十分に中性子が減速・反射されないためと考えられる。

6. まとめ

本実験の結果は以下のようにまとめられる。

- ① 校正用ファントムの種類はアルベド線量計の校正の結果に大きな影響を及ぼす。
- ② JISでX・γ線用個人線量計校正用ファントムとして規定されている平板アクリルファントムは、アルベド線量計の校正には適さない。
- ③ パラフィンファントムのアルベド率は、1 MeV以上では人体等価ファントムと異なり、2 MeVにおいてはその差はファクター1.5である。
- ④ エネルギー特性の観点からは水ファントムが

人体によく一致する。

- ⑤ 方向特性の観点からは、中空水ファントムが人体に最も近い。

本研究では、以上のように校正用ファントムの種類と線量計の感度の関係、人体と校正用ファントムの特性の違い等を明かにした。校正用の標準ファントムには、エネルギー特性および方向特性ができるだけ人体に近いものを選ばれるべきである。その意味では材質として水を選ぶのが現時点では最も適切であると考えられるが、その構造については全体の大きさや肺の取扱いも含めて検討していく。

参考文献

- 1) 石黒琢磨, 宮部賢次郎, 大和愛司, 岩井敏, 林謙雄; 核燃料施設における中性子線量測定法の検討 (I), (II), PNC TN8410 89-049, p2-14 (1989)
- 2) 石黒秀治, 武田伸延; $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子による自動読取型個人線量計の開発 (II), 保健物理, 17, 27-36 (1981)
- 3) 日本人の体格調査報告書, 通商省工業技術院 (1984)
- 4) 城谷季, 他; 組織等価溶液の開発, Radioisotopes (1989)
- 5) 宮部賢次郎, 野村孝広, 石黒秀治, 中川啓; PNC TN841 84-48 (1984)
- 6) Hirsch E. et al.; PNL-2807 (1978)