

## 医療用直線加速装置から発生する中性子のエネルギースペクトル測定

坂本, 弘巳

長, 哲二

斎藤, 高志

小宮, 勲

他

<https://doi.org/10.15017/250>

---

出版情報 : 九州大学医療技術短期大学部紀要. 23, pp.47-50, 1996-03. Kyushu University School of Health Sciences Fukuoka, Japan

バージョン :

権利関係 :

# 医療用直線加速装置から発生する 中性子のエネルギースペクトル測定

坂本 弘 巳, 長 哲 二  
斎藤 高 志, 小宮 勲, 泉 隆

## The Energy Spectrum Measurement of Neutron Generated from a Linear Accelerator

Hiromi Sakamoto and Tetsuji Cho

Takashi Saitoh, Isao Komiya and Takashi Izumi

When linear accelerator exceeds 10MV, it produces photonuclear reaction, and generates continuous energy.

Measuring devices are very few in number and determination of energy spectrum is very difficult.

This paper is designed to show the result of survey made by bubble detectors.

### はじめに

医療用高エネルギー電子加速装置（リニアック）では、発生するX線のエネルギーが加速装置を構成するターゲット、コリメータ、イコライザー等の物質の光核反応のしきい値を越えると、中性子が発生する。

この中性子が被射体、加速装置の構造物で散乱、減速されて、照射室外へ漏洩してくる。放射線管理の立場からは、この中性子の線量当量を求めることが重要な問題であるが、そのためには発生する中性子のエネルギー分布が判かっていることが必要である。しかしながら、加速装置からのX線の発生がパルス状で且つフルエンス率が大きいため、このなかに混入している中性子を測定する適当な検出器がなく、中性子のエネルギー分布を測定したデータは非常に少ない。

この度、X線に感度を持たず中性子を効率よく測定できる検出器を使用する機会を得たので、高エネルギー電子加速装置からの中性子のエネル

ギー分布を測定した。

### 1. 使用機器及び測定方法

#### 1.1. 使用機器

中性子検出器：気泡損傷型中性子検出器<sup>1)</sup>（バブルディテクタ, Bubble Detector Spectrometer), モデルBDS（カナダBTI社製）

放射線治療装置：直線加速装置（リニアック）NELAC 1018DP ターゲット Pt+Cu, イコライザ Pb（NEC社製）

中性子線源：Californium-252 照射装置 71.41 G Bq (1981.1.)（広島大学原爆総合医学研究所）

#### 1.2. 測定方法

中性子のエネルギースペクトル測定用の検出器（model BDS）は気泡生成のしきいエネルギーが異なる6本の検出素子から構成されており、0.01MeV~20MeVのエネルギー範囲を6つのエネルギー領域（0.01~0.1, 0.1~0.6, 0.6~1.0, 1.0~2.5, 2.5~10, 10~20MeV）に分割し、それぞ

れの領域の中性子フルエンスをストリッピング法で求めた<sup>2)</sup>。

気泡損傷型検出器の中性子検出効率はCf-252の自発性核分裂による中性子を照射することによって求めた。核分裂による中性子のエネルギー分布は次の式で計算によって求めた<sup>3)</sup>。

$$dN(E) / dE = E^{1/2} \exp(-E/1.42) \quad (1)$$

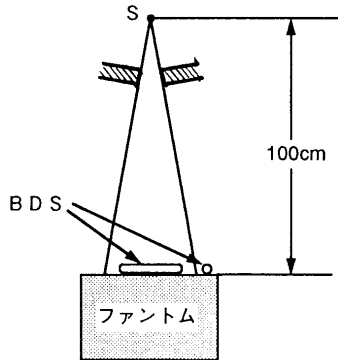


図1 測定配置

バブルディテクタは、10MVで加速したX線ビーム内と、照射野(16×20cm)外の近傍について、図1のように、BDSを積層水等価ファントム(30×30厚さ20cm)の上に配置し、X線照射は温度変化による測定誤差を小さくするため照射室を20℃±1℃に温度調節して測定を行った。

ディテクタは、しきいエネルギーが異なれば、検出感度も異なる。ディテクタ内に生成した気泡(bubbles)が多すぎると数え落す誤差をまねくため、感度の異なるディテクタごとに50~150の範囲になるように preset counts (照射時間) を調整して照射した。測定データについては誤差を少なくするため、同一しきいエネルギーのものを3本ずつ



0.01~0.1, 0.1~0.6, 0.6~1.0, 1.0~2.5, 2.5~10, 10~20

図2 バブルディテクタ

使用した。また、バブル数は図2に示すごとく、肉眼でも数えることが可能であるが、正確を期して、繰り返して計数するため、自動読取装置を使用し、bubblesの重なりによる数え落しをさけるため1本のディテクタについて3方向から計数した。中性子を検出して生成した気泡数に平均断面積を乗じて算出すれば、中性子の総フルエンスとして表される<sup>2)</sup>。

## 2. 結果

(1)式によって計算されたCf-252からの中性子のエネルギースペクトルを図3に示す。図4にBDSにて測定したCf-252からの中性子のエネルギースペクトルを示す。この2つのスペクトルからディテクタの相対検出効率を求め、加速装置からの中性子のエネルギースペクトルを校正した。その結

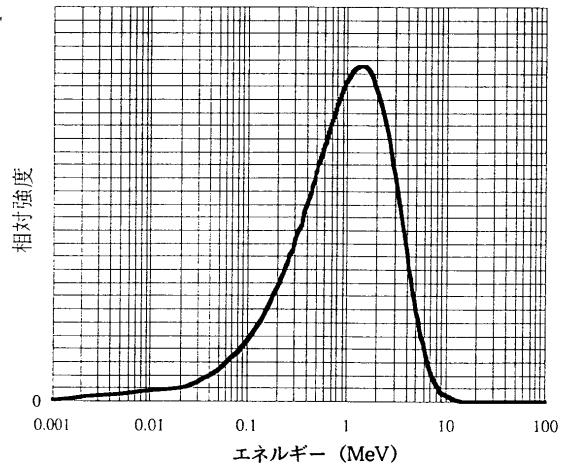


図3 <sup>252</sup>Cf 中性子のエネルギースペクトル (1式による計算)

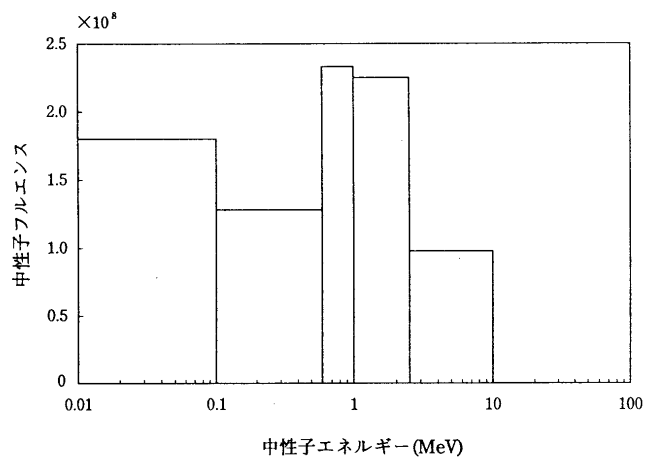


図4 <sup>252</sup>Cf 中性子のエネルギースペクトル (温度補正済)

果を図5, 6に示した。効率を求めるにあたって中性子のエネルギーは各ディテクタがもつエネルギー領域の中央値を用いた。

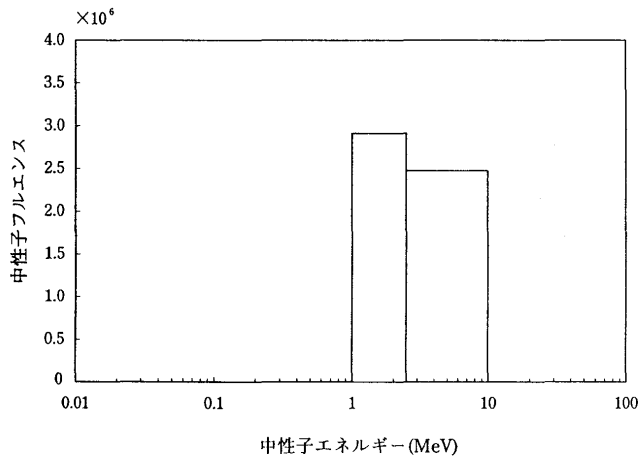


図5 X線照射野中心のエネルギースペクトル (校正済)

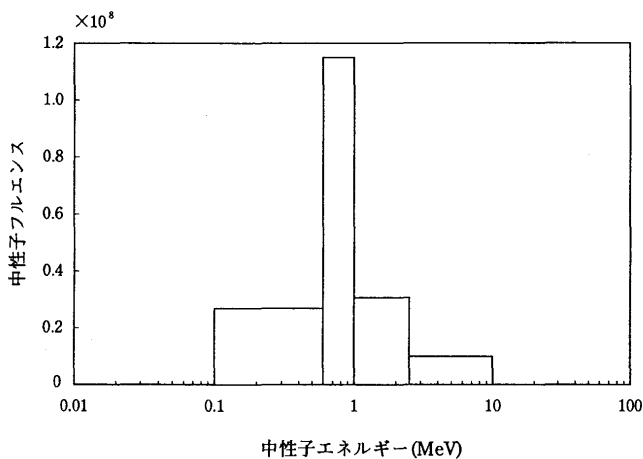


図6 X線照射野近傍のエネルギースペクトル (校正済)

加速装置のターゲット (Pt) からの中性子の発生は直接過程によると、そのしきいエネルギーはターゲット核の中性子の結合エネルギーと等しく、その値は次の式で計算される。

$$E_{th} = [M(Z, A) - \{M(Z, A-1) + M_n\}] \times 931.478 \quad (2)$$

ただし、 $M(Z, A)$  はターゲット核、 $M_n$  は中性子の質量である。使用した加速装置のターゲットは Pt+Cu であり、その安定同位体 Pt (194), Pt (195), Pt (196) の存在比はそれぞれ 32.9, 33.8, 25.3% であり、そのしきいエネルギーは、8.29, 6.26, 7.92 MeV である<sup>4)</sup>、また Cu は 10.2, 10.9 MeV である。

発生する中性子のエネルギーは

$$E_n = E_{ph} - E_{th} \quad (3)$$

で与えられる。ただし、 $E_{ph}$  は光子エネルギー、 $E_{th}$  はしきいエネルギーである。

使用した加速装置から発生する X 線の最高エネルギーは 10 MeV であるから、発生する中性子の最大エネルギーを 3 式から求めると 3.74 MeV となる。

図5, 6 から中性子の平均エネルギーを求めると、照射野中心で 2.4 MeV、照射野近傍で 0.93 MeV となった。

### 3. 考 察

10 MV X 線で発生する中性子の平均エネルギーは雄川等の報告では、ターゲットがタングステンの場合で 0.65 MeV あるいは 0.6~1.0 MeV に最頻エネルギーが分布するとある<sup>5,6,7,8)</sup>、我々の利用ビーム内の中性子については低エネルギーの中性子が認められず高いエネルギー側へ中性子が分布した。数回測定を繰り返し、また他施設で同じ機種のリニアックでも測定を行ったが、同様の結果となった。ターゲット物質の存在比としきいエネルギーを加重平均すると Pt が 6.85 MeV、W が 7.32 MeV となり、発生する中性子のエネルギーは Pt が W より高くなると考えられるが、大きく変わるとは考えられず、照射野中心のエネルギースペクトルについて、低エネルギーの中性子が認められない原因は判明しなかった。また、ディテクタに対し、高フルエンス率の X 線が影響していないか調べるために、4 MV X 線を 2,000 counts (20 Gy) 照射したが、全てのエネルギー領域のディテクタに気泡の生成は見られなかった。それで X 線の気泡生成への寄与はないものとして処理した。

照射野近傍の中性子はファントムなどで散乱された結果、エネルギー分布が低いエネルギー側へ広がったと考えられる。

### 4. 結 論

バブルディテクタはリニアックから発生した中性子のエネルギー分布を間隔は大きい分析できた。照射野内では平均エネルギーが比較的高い 2.4 MeV と計測された。これは、ターゲットの種類

などの違いを含めてさらに検討する必要がある。

照射野近傍では散乱されて、中性子の平均エネルギーは0.93MeVと低いエネルギー側へと移行しているのがわかった。

放射線被曝管理の立場から線量当量 (Sv) を検討する場合、吸収線量から線量当量への変換係数は中性子のエネルギーの関数であり検討データとして役立つと考える。

### 謝 辞

本実験の Californium-252 線源による中性子照射、またデータ解析等に御指導頂いた広島大学原爆放射能医学研究所 星 正治先生、遠藤 暁先生に深く感謝いたします。

同じ医療用リニアックの機種を所有する聖マリア病院 (久留米) で照射に御協力頂いた栗原英雄氏に感謝いたします。

本研究は九州大学教育研究特別経費 (特別分平成6, 7年度) の御援助をいただきました。

### 参考文献

- 1) 小泉勝三: 気泡検出器, 保健物理, 27, 157 - 166, 1992

- 2) BTI Inc. : Instruction Manual for The BDS 1992
- 3) E. Barnard, A. T. G. Ferguson, W. R. Mcmurray and I. J. Van Heerden : Time-of-Flight Measurements of Neutron spectra From The Fission of U-235, U-238 and Pu-239, Nuclear Physics, 71,228 - 240,1965,
- 4) NCRP Report 79 : Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland, 1984
- 5) 内田 勲: 10MV Linac X線による光中性子線に関する研究, 日本医放誌, 41, 633 - 653, 1981
- 6) 放射線治療技術委員会, 雄川恭行他: 医用直線加速器からの漏洩中性子線の測定とその対策, 日放技学誌, 39, 961 - 989, 1983
- 7) 遮蔽計算指針委員会: 医療用高エネルギー電子加速器使用室に対する遮蔽計算指針, 日放技学誌, 44, 700 - 716, 1988
- 8) 雄川恭行, 近藤康雄, 橋本恵次他: Bubble-detector による Lineac-photoneutron の Spectrometries, 日放技学誌, 49, 223, 1993