

医療用加速器より発生する中性子の検討

坂本, 弘巳
九州大学医療技術短期大学部

吉村, 厚
九州大学アイソトープ総合センター

上原, 周三
九州大学医療技術短期大学部

入江, 聖義
九州大学医学部附属病院

他

<https://doi.org/10.15017/223>

出版情報 : 九州大学医療技術短期大学部紀要. 20, pp.7-10, 1993-03. Kyushu University School of Health Sciences Fukuoka, Japan

バージョン :

権利関係 :

医療用加速器より発生する中性子の検討

坂本 弘 巳*、吉村 厚**、上原 周 三*
 入江 聖 義***、泉 隆***、齋藤 高 志***

Study of Neutrons generated in Medical Accelerator.

Hiromi Sakamoto, Atushi Yoshimura, Shuzo Uehara
 Seigi Irie, Takashi Izumi, Takashi Saito

Two methods measuring neutrons generated in a medical accelerator were investigated. One is the activation method using concentrated Argon gas with a fixed pressure sealed in a glass vessel. Gamma-rays from ^{41}Ar was measured with Ge detector and its counting efficiency was obtained by a Monte Carlo calculation. This new method showed the sensitivity of 56 times higher than that of the irradiation with natural air. Another method is to use the neutron sensitive bubble damage polymer detector. The measurement of neutrons generated in 10 MV Linear Accelerator was tried by these methods.

1. はじめに

医療の分野で利用される加速器には、主に核医学用の ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 及び ^{18}F などの短寿命の放射性同位元素を製造する小型サイクロトロンや、放射線治療用のリニアックセラレータ（リニアック）がある。これらは放射性同位元素の製造や高エネルギー放射線の発生に利用される。小型サイクロトロンからは、 $p-n$ 反応、 $d-n$ 反応により中性子を生じ、リニアックからはX線のエネルギーが10MeVをこえると、光核反応により中性子を生じる²⁾。この中性子により、空気中の ^{40}Ar が $n-\gamma$ 反応をおこし ^{41}Ar ($E_\gamma: 1.294\text{ MeV}$)を生じる。 ^{41}Ar の半減期は1.83時間とかなり長く、サイクロトロンでは、照射終了後の保守作業で室内に入る場合、内部被曝と排気濃度が問題となる。またリニアックの場合は治療

中の患者周辺の空気の放射化が考えられる。そのほかに、リニアックの場合、頭部・頸部や全身に対して放射線治療を行うときにはX線に中性子が僅かに混在すると考えられ、中性子線の水晶体への影響が考えられるが、ここでは省略する。

2. 中性子線による空気の放射化

地表付近の空気の組成は、容積比で窒素78.09%、酸素20.95%、アルゴン0.93%と順に大きい。しかし表1に示すように中性子による空気の放射化によって生成する可能性のある窒素及び酸素の放射性同位体は半減期が短い。また ^{37}Ar 、 ^{39}Ar は半減期は長いが生体量が小さいため、 $^{40}\text{Ar}(n,\gamma)^{41}\text{Ar}$ 反応で生じた ^{41}Ar に着目すればよい。

3. 測定方法

3.1. 小型サイクロトロン及びリニアック

九大病院に設置された小型サイクロトロンは、日本製鋼所製 BC1710型、加速エネルギーは陽

* 九州大学医療技術短期大学部

** 九州大学アイソトープ総合センター

*** 九州大学医学部附属病院

表1. 空気の放射化により生成する核種

(10^{12} thermal neutrons per cm^2sec)

Reaction	Natural abundance of target isotope in the element (%)	Activation cross section	Half-life of product	Amount produced per sec (Bq/ cm^3 of air)
$^{36}\text{Ar} (n, \gamma) ^{37}\text{Ar}$	0.337	6 ± 2 barns	35days	1.15×10^{-3}
$^{38}\text{Ar} (n, \gamma) ^{39}\text{Ar}$	0.063	0.8 ± 0.2 barns	265years	1.04×10^{-8}
$^{40}\text{Ar} (n, \gamma) ^{41}\text{Ar}$	99.6	0.53 ± 0.02 barns	110min	1.37×10
$^{16}\text{O} (n, \gamma) ^{17}\text{O}$	0.204	0.21 ± 0.04 barns	29.4sec	1.15×10^{-1}
$^{14}\text{N} (n, p) ^{14}\text{C}$	99.635	1.75barns	5570years	2.89×10^{-4}
$^{17}\text{O} (n, \alpha) ^{14}\text{C}$	0.037	0.5barns	5570years	8.4×10^{-9}
$^{13}\text{C} (n, \gamma) ^{14}\text{C}$	1.108	0.9mbarns	5570years	1.18×10^{-12}
$^{15}\text{N} (n, \gamma) ^{16}\text{N}$	0.365	$24 \pm 8 \mu$ barns	7.35sec	3.48×10^{-1}
$^{18}\text{O} (n, p) ^{18}\text{N}$	99.759	0.014mbarns	7.35sec	1.48×10
$^{17}\text{O} (n, p) ^{17}\text{N}$	0.037	0.007mbarns	4.14sec	4.81×10^{-3}

子 17MeV、重陽子 10MeVである。またビーム電流は最大 $50 \mu\text{A}$ の可変式で、加速中に発生する中性子やガンマ線を自己遮蔽するため大きな鉄の容器で全体を被っている。

本院の高エネルギー放射線治療室のリニアックは日本電気(株)NELAC - 1018DP リニアックで最高エネルギーは、X線で10MV、電子線で18MeVである。

3. 2. 試料及び照射位置

(1) サイクロトロンでの ^{41}Ar の検出は空気をプラスチック製密封容器(50mm ϕ ×75mm長さ)に封入し、中性子の発生率が最も大きい照射ター

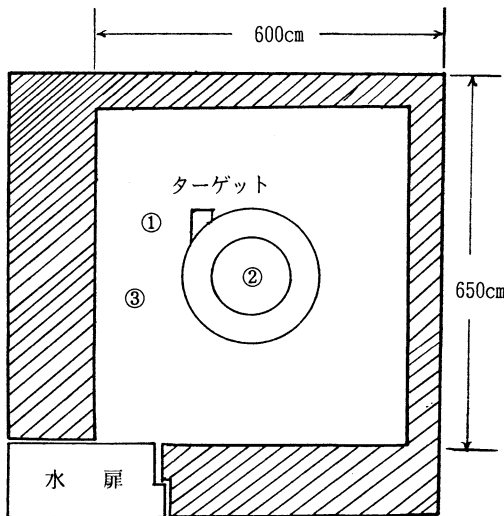


図1. サイクロトロン室の測定資料配置箇所

- ① ターゲット部分
- ② サイクロトロン本体上部
- ③ ターゲット部より1m、床上50cm

ゲット付近に置き試料①とした。更にサイクロトロン本体上部に置いたものを②とした。これらの配置を図1に示す。

試料②では ^{41}Ar の γ 線の検出ができなかった。

(2) 今回、中性子線のフルエンス率が小さくとも検出できるようにガラス厚1mmで、内径46mm ϕ 、長さ50mmの容器に99.999%アルゴンガスを400mmHg封入し、封じ切ったものを試料とした。封入圧の誤差は、真空計の誤差を含んでも、 $400\text{mmHg} \pm 15\text{mmHg}$ の

範囲内に封入されている。この容器を中性子の粒子数が比較的少ないと思われるサイクロトロン側面より1m、床上50cmの所に設置し試料③とした(図1参照)。

(3) リニアックに対しては、X線ビームの中心軸でターゲットより93cmの点に試料③と同じものを配置し、X線量は100cmの点で、組織の吸収線量が35Gyに相当する量を照射した。しかし、この検出器の場合リニアックで発生する中性子に対しては、アルゴンの放射化での検出には感度不足が考えられるため、X線と中性子が混在する場合でも中性子線のみを高感度に検出することが出来る気泡損傷型検出器(バブルディテクター、カナダ イングストリーズ社)BD-100R^{1,3)}を使用し、ビーム中心軸でターゲットから93cmの点と、同じ平面で照射野(16×20cm)の端から20cm、80cm、70cmと外側へ離れた点を測定した。照射X線量は100cmの点で、1Gyに相当する量とした。

3. 3. ^{41}Ar の γ 線検出とモンテカルロ計算による光電ピーク検出効率^{4,5,6)}。

^{41}Ar ($E_\gamma: 1.294\text{MeV}$)からの γ 線測定は九大アイソトープ総合センター箱崎地区実験室の低バックグランド高純度ゲルマニウム検出器で測定した。検出器の検出効率(ϵ)はモンテカルロ法⁶⁾によって求めた。

試料①に対する ϵ は0.0110、③に対するそれは、0.0148という値をモンテカルロ計算より得た。

4. 結果および考察

^{41}Ar の試料③より得た γ 線エネルギースペクトルを図2に示す。①のプラスチック容器では ^{41}Ar の光電ピーク ($E_{\gamma}: 1.294$) 以外のピークは認められず、③はガラス容器が放射化されて複数のピークが検出された。図2の1.294MeV以外のピークはガラス容器が放射化されたものであるというのは、アルゴンガスの入っていない容器を同様に放射化してスペクトル測定することで確認できた。これらの結果からサイクロロン運転室内の空気中の ^{41}Ar 濃度を求め結果を表2に示した。法律で定められている排気濃度限度と比較すると③の測定箇所で約10倍位高い濃度を示している。またターゲット部分についてはターゲットから1m程度の範囲内で特に高濃度の箇所がある。これは換気を行わない場合には問題となるが、1時間に10回程度の室内空気の換気と、施設の排気口では他のコントロール室、

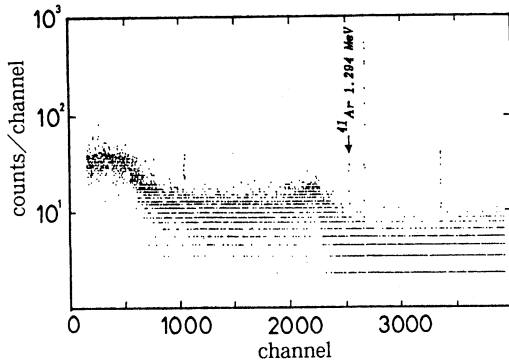


図2. ^{41}Ar の γ 線エネルギースペクトル

診察室等の排気も合流しており、それらを総合した総排気量を考慮すると1/100~1/200以下となり、排気中または空気中濃度限度以下となって充分安全側にあるといえる。

試料③と同じものをリニアックのビーム中心軸上で照射した結果は ^{41}Ar の γ 線を検出できずバックグラウンドと同じ計数値であった。したがってリニアック治療時の患者への ^{41}Ar ガスの内部被曝は無視できる。

リニアックで頭部または全身照射を行う場合、X線に混在する中性子線の量は、バブルディテクター、BD-100Rにより求めた。X線量は組織の吸収線量が1Gyに相当する量を照射した。そのときの、それぞれの中性子の線量はビーム中心軸で2.51mSv、照射野(16×20cm)の端から20cmの点が0.55mSv、50cm、70cmの点でそれぞれ0.37mSv、0.22mSvであった。

X線ビーム中心に配置した気泡損傷型検出器(BD-100R)の上記の検出値から、ビーム内でX線に混在する中性子の粒子数を概算すると、10mlの粘性のある樹脂(ポリマー)にX線量で1Gy照射して気泡が320バブル発生したため1ml当り32バブルになる。これはカナダ チョークリバー研究所の資料より中性子の数が 4.7×10^6 neutrons/cm²入射したことに相当する。試料③の容器内には、約 1.2×10^{21} 個のアルゴン原子があり、これに中性子が照射されると確率は0.8バーン(10⁻²⁸ m²)で反応し、ガラス容器内には 7.5×10^3 個の ^{41}Ar 原子が生成し、1秒間当りの

表2 空気中の ^{41}Ar の放射化した結果

試料番号	加速粒子及びエネルギー	ビーム電流(μA)	照射時間(分)	空気中の ^{41}Ar の濃度(Bq/cm ³)	モンテカルロ計算による検出効率	測定場所	備考
①	重陽子	14	98	5.94×10^{-2}	1.10%	サイクロロンターゲット付近	空気を封入
	陽子	20	30	1.7×10^{-2}			
②	重陽子	14	98	検出不可	1.10%	サイクロロン上部	空気を封入
③	重陽子	12	133	0.68×10^{-2}	1.48%	サイクロロン外側1m	99.999%アルゴンを400mmHg封入

告示別表第1

^{41}Ar 空気中濃度限度 1×10^{-1} Bq/cm³

排気中または空気中濃度限度 5×10^{-4} Bq/cm³

壊変率は0.78Bq程度である。これを半導体検出器で計測（効率=0.0148）してもバックグラウンドと差を認め得ない。このことはリニアックで試料③を照射したが計数値が得られなかったことと同じである。

5. ま と め

(1) 小型サイクロトロンターゲットボックス付近は、空気を容器に密封して直接放射化したもので ^{41}Ar が十分検出できる。

(2) ガラス容器にアルゴンガスを400mmHg封入したものは、中性子のフルエンス率が小さい所でも1気圧の空気より56倍の高感度で検出でき、あらゆる加速器から発生した中性子により放射化された空気中の ^{41}Ar の定量が可能であり、加速器使用室からの排気濃度も計算できる。

(3) 加速器より発生した中性子によりガラス容器内のアルゴン原子が一部放射化されるが、半減期は1.83時間と比較的短いため、くり返し使用することが出来る。

(4) 気泡損傷型検出器は温度依存性などいくつかの短所をもつが、アルゴンガスを用いた放射化法に比較し非常に高感度であり、臨床の面でも応用することが期待される。

謝 辞

本実験にあたり、 ^{41}Ar の γ 線エネルギースペクトルの測定は、九大箱崎地区アイソトープ総合センター 大崎 進助教授にご協力いただきました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 橋本恵次、近藤康雄、本田恵理子：気泡損傷型測定器の計測特性-1、日放技学誌第48回総会抄録、48、1290、1992.
- 2) 医療用電子加速器使用室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、701-716、1988.
- 3) M. Millet, F. Munno and D. Ebert: An Evaluation of The BD-100R Rechargeable Neutron Bubble Dosimeter, Health Physics, 60, 375-379, 1991.
- 4) S. D. SOMON and P. ABRAHAM : Health Physics Vol. 11, 497-505, 1965.
- 5) S. Uehara : Nucl. Instr. and Meth., B14, 559-570, 1986.
- 6) 吉村 厚、上原周三、大崎 進、坂本弘巳、入江聖義：小型サイクロトロンより発生する中性子による空気中 ^{40}Ar の放射化、RADIO-ISOTOPES、1993、投稿中