



Title	原子核反応法による35MeV Linacの電子線エネルギーの決定について
Author(s)	竹下, 健児; 砂屋敷, 忠
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1973, 33(1), p. 58-64
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/16055">https://hdl.handle.net/11094/16055</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 原子核反応法による 35 MeV Linac の電子線 エネルギーの決定について

広島大学原爆放射能医学研究所 障害基礎研究部門

竹下健児 砂屋敷忠

(受付昭和47年10月2日)

## Energy Calibration for Electrons from A 35MeV Linear Accelerator by Thresholds for Nuclear Reactions

Kenji Takeshita and Tadashi Sunayashiki

Department of Radiation Biology, Research Institute for Nuclear Medicine and  
Biology, Hiroshima University

*Research Code No.: 201*

*Key Words: Energy calibration, Electrons, Linac, Thresholds*

Energies of electrons were calibrated by comparing them with thresholds for nuclear reactions in the range from 12 to 17 MeV and from 27 to 29 MeV. Activity following photodisintegration was measured by a scintillation spectrometer.

Oxygen-15 and phosphorus-30 produced in photoneutron reactions were detected by their 0.51 MeV annihilation gamma-rays. Oxygen-14 and aluminum-29 produced in the higher energy range were detected by their characteristic gamma-rays of 2.3 and 1.2 MeV respectively, considering their half lives according to those produced in ( $\gamma$ , n) reactions.

Compared to the thresholds, the nominal energies were 0.05 to 0.25 MeV higher in the lower energy range and 0.3 MeV higher in the higher energy range, where the nominal energies were determined by the range measurement method using an ionization chamber in a water phantom.

### I 緒 言

医療用高エネルギー放射線発生装置における電子線エネルギーの決定は、有効な照射範囲の選択に不可欠であると共に、吸収線量推定の上に重要な意味をもつものである。その方法は Laughlin<sup>8)</sup> の総括で、磁場偏向法、原子核反応法、飛程測定法ならびにシンチレーション波高分析法が主なものとされているが、一方 ICRU レポート 21<sup>4)</sup>ではエネルギー測定に核反応の閾値、アルミニウムまたは水中の飛程からの計算およびチャレンコフ

輻射の閾値の測定をあげており、電子ビームの完全なエネルギー分析までを望む場合に磁場もしくはシンチレーションによるスペクトロメータの利用があげられている。問題はこのような加速装置をもつ施設で、実際どのような測定器をもち、また出力その他の面からどの方法が可能かという点にしばられる。ICRU はむしろ実務的にどこででも採用できる方法を述べている。最も一般に測定されているファントム中の飛程からだけでも日常の診療に必要なエネルギー、深部線量などの決

定は容易にできるし、また rad 換算のための補正係数もそれに基いて選ぶことができるであろう。

著者らは、文部省科学研究費、試験研究「電子線標準測定法の研究」（研究代表者、岡島俊三）において、原子核反応法によつて飛程測定法との比較を行ない、測定の簡便さから後者を標準化する上にその参考資料として検討を加えることを分担した。7～18 MeV のエネルギー範囲での多くの核反応の閾値<sup>8)</sup>はほぼ確定されており、むしろ 25～30 MeV の範囲でのエネルギー決定の難度または測定法の改善の余地を調べるのが目的である。

## II 研究方法

使用した放射線発生装置は NEC-Varian の 35 MeV リニア・アクセラレータ NELAC4030 で、性能その他詳細は既に報告<sup>11)12)</sup>した。この研究に関連ある事項だけを簡単に記すと、「研究モード」においても「治療モード」においても、加速された電子ビームは第 1 マグネットで 57° 偏向されて床面に平行し、さらに第 2 マグネットで 90° 偏向されアイソセンタに向かう。「治療モード」ではベリリウム窓を通過後、使用するエネルギーに応じ 3 段階のスキャッタリングフォイルによつて照射野の平坦化が図られている。電子線出力は X 線ターゲット位置から 1 m の距離（アイソセンタ）に

おいて、「治療モード」で数 100 rad/min (パルス繰返し 15pps)、「研究モード」では 10<sup>3</sup> rad/pulse の大きさである。

エネルギーの値は、この装置の調整の段階で電離箱を用いて水中の飛程測定によつて前記第 1 および第 2 マグネットの電流値が補正されたもの<sup>9)</sup>である。「治療モード」ではファントム表面に達するまでのスキャッタリングフォイル、モニタ等によるエネルギー損失について考慮がはらわれている。一方「研究モード」においては 5～37.5 MeV の全範囲にわたりマグネット電流制御の標示目盛とエネルギーとの関係はほとんど直線的で 0.2 MeV の微調整は可能である。

「研究モード」における電子流のモニタとして、鉛ブロックによつて照射試料通過後の電子を完全に捕捉したものと同軸ケーブルで操作室に導き、コンデンサ・積算型電位計に蓄え、デジタル読取によつて一定電位まで照射する方法をとつた。

試料は、75 cm の距離にあるビームコレクタ（鉛）の上に、ほぼそれと同じ底面積をもつ直径約 10 cm のシャーレまたはビーカーに入れて照射された。このような配置では、「研究モード」の電子ビームは完全にこの試料内にあつた。原子核反応を起させる材料および閾値、生成核の半減期、ならび

Table 1. Physical data for thresholds of nuclear reactions

Relevant feature of reaction	Reaction			
	(1) $^{31}\text{P}(\gamma, n)^{30}\text{P}$	(2) $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{14}\text{O}$	(3) $^{31}\text{P}(\gamma, 2p)^{29}\text{Al}$	(4) $^{16}\text{O}(\gamma, 2n)^{14}\text{O}$
Threshold energy	12.3 MeV	15.68 MeV	20.9 MeV	28.92 MeV
Breaks of activation curve	—	15.86 MeV	27.6 MeV	—
		15.99		
		16.22		
		17.27		
Disintegration form	$\beta^+$	$\beta^+$	$\beta^-$	$\beta^+$
Half-life time	2.5 min	2.0 min	6.6 min	70.5 sec
Characteristic gamma-rays	0.51 MeV (annihilation)	0.51 MeV (annihilation)	1.28 MeV (0.51 MeV)	2.3 MeV (0.51 MeV)
Probe material	phosphorus	water	phosphorus	water
Reference	Anderson et al.	ICRU	Anderson et al.	ICRU

に測定に有効な $\gamma$ 線エネルギーなどはICRUにならつてTable 1に一覧した如くである。酸素の測定にはイオノン交換樹脂を通した純水50mlを、リンの測定には赤リン末特級180gをそれぞれ1回の照射に使用した。水の厚みは約1cm、赤リンの厚みは約2cmであった。

放射化試料は照射後の経時的測定によつて半減期を確め、その計数率を照射終了時に外挿するかまたは一定時分内の総計数を求めた。検出器は $2''\phi \times 2''$ および $1.5''\phi \times 1.5''$ のNaI(Tl)結晶とメディカルスペクトロメータ(東芝3051型)および400チャネル波高分析計(日立RAH 403型)により、微分計測法によつてそれぞれ有効な $\gamma$ 線エネルギーの光電ピークを計数した。パルス波高とエネルギーの関係は、IAEAより購入した標準線源 $^{22}\text{Na}$ (0.51および1.28MeV),  $^{54}\text{Mn}$ (0.84MeV),  $^{60}\text{Co}$ (1.17および1.33MeV),  $^{89}\text{Y}$ (0.91および1.85MeV)ならびに $^{137}\text{Cs}$ (0.662MeV)の各 $\gamma$ 線によつて校正した。また2.3MeV $\gamma$ 線の計数のためにはこれらの外挿によつた。

エネルギーを変えて核反応生成量を測定し、これらの計数値の平方根を外挿して閾値と比較する方法<sup>8)13)</sup>は、まず(1) $^{31}\text{P}(\gamma, n)^{30}\text{P}$ および(2) $^{18}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$ の両反応に適用された。測定されるものはいずれも陽電子壊変に伴なう0.51MeV消滅 $\gamma$ 線である。ただし(1)の閾値が12.3MeV<sup>2)</sup>と低く、この装置ではエネルギーを下げると電子線出力が急激に減少してくるために、基準とした電子流モニタによる照射時間は4~13分を要した。この場合には $^{30}\text{P}$ の半減期が2.5分であることから照射時間内における実効生成量の補正<sup>3)</sup>を行なつた。(3) $^{31}(\text{P}, \gamma, 2\text{p})^{29}\text{Al}$ および(4) $^{16}\text{O}$

$(\gamma, 2\text{n})^{14}\text{O}$ 反応については、既にバックグラウンドとして低エネルギー領域での( $\gamma, n$ )反応があり、その上にこれらの閾値が重積されるために特に注意を払つた。すなわち(3)では半減期が6.6分と長いために(1)の反応の十分な減衰をまつて照射20分後より計測した。また(4)では1cm厚みの鉛吸収板を挿入して、低波高計数をできるだけ抑え照射後1.15分から5分間の計数を求め平方根法によつた。

### III 実験結果

#### (1) $^{31}\text{P}(\gamma, n)^{30}\text{P}$ 反応

この反応について得られた結果をFig. 1に示した。横軸は本装置での公称エネルギーであり、縦軸は放射化計数の平方根をとつたものである。エネルギーを変えて行なう一連の測定は同じ記号で表わされており、それぞれについて最小自乗法によつてカウント0に外挿し閾値に対応するエネルギーが求められた。図中両実線は測定シリーズの両極端を示す回帰直線である。12.3 MeVの閾

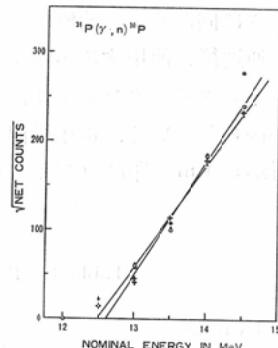


Fig. 1. The yield of radioactivity from the  $^{31}\text{P}(\gamma, n)^{30}\text{P}$  reaction, with a threshold energy of 12.3 MeV.

Table 2. Measured values in the nominal energy compared to thresholds; (mean,  $\sigma$ )

Threshold (MeV)	Measured value (MeV)	Reaction
12.3	(12.55, 0.05)	(1)
15.68	(15.47, 0.02)	(2)
16.22	(16.27, 0.12)	
27.6	(27.22, 0.27)	(3)
28.92	(29.12, 0.45)	(4)

値<sup>25)</sup>に対して Table 2 に示した如く、得られた値は (12.55, 0.05) MeV で 0.25MeV の差が認められた。ここで本文および表中の括弧内の数値はそれぞれ平均値とその標準偏差を併記したものである。なおこの場合の  $\beta^+$  壊変 ( $E_{\max} = 3.2$  MeV)<sup>10)</sup> の半減期は (2.48, 0.04) 分であつた。

#### (2) $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$ 反応

この反応の閾値 15.68 MeV<sup>4, 8)</sup> は測定が難しく 16.22 MeV<sup>14)</sup> のレゾナンスが有効であるとの報告<sup>45)</sup> がされているが、本結果においても 16.22 MeV 以上の明らかな放射化曲線に加えて 15.68 MeV に始まる弱い放射化も確認した。まず最小自乗法によつて公称 16.75 MeV 以上の計数の平方根値をバックグラウンド・レベルに外挿して、16.22 MeV の break(s) に相当する値を求め、図中公称 16.25 および 16.50 MeV の値よりこの部分の寄与を差引いて改めて回帰直線を求め 15.68 MeV に相当するエネルギー値を得た。Fig. 2 にこの 1 例を実線で示してある。・印の実験値について回帰直線 a (16.50 MeV 以上の部分) の外挿値とし 16.40 MeV を、また低エネルギー部での回帰直線 b の外挿値として 15.47 MeV を得た。

各シリーズでのこれらの値をまとめて平均をとると、結果は (15.47, 0.02) MeV で 0.2 MeV 低い値と、(16.27, 0.12) MeV で 0.05 MeV と非常によい一致とが得られた。この場合の  $^{15}\text{O}$  の

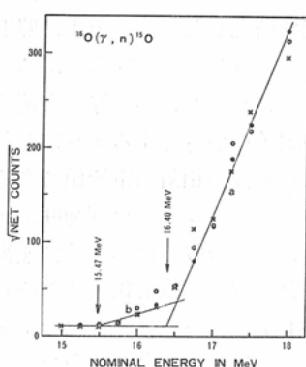


Fig. 2. The yield of radioactivity from the  $^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$  reaction, with a threshold energy of 15.68 MeV and a break of activation curve of 16.22 MeV.

$\beta^+$  壊変 ( $E_{\max} = 1.7$  MeV) の半減期は (2.03, 0.05) 分であつた。

#### (3) $^{31}\text{P}(\gamma, 2p)^{29}\text{Al}$ 反応

この反応については閾値が 20.9 MeV<sup>11)</sup> であり、計数の平方根から求められる外挿によると、35 MeV までの大まかな放射化曲線としてほぼ同様の閾値が推定されたが、公称 22.5 および 25.0 MeV で Fig. 3 に見られるような閾値のすぐ近くにある放射化だけがこの閾値に関与するものと思われる。

Anderson ら<sup>12)</sup>の報告にある 27.6 MeV の放射化の break (s) は、これ以上のエネルギーで急速に反応が強まることから、平方根値を 22.5—25.0 MeV のバックグラウンドへ外挿するように回帰直線を求めた。Fig. 3 に示した回帰直線は実験値 ○印に対するもので、外挿値として 27.35 MeV が得られている。他のシリーズについても同様の値が得られ、これらを平均した。結果は (27.22, 0.27) MeV で 0.4 MeV の低値が得られた。なおこの反応の  $\beta^-$  壊変の半減期は (6.5, 0.2) 分であつた。

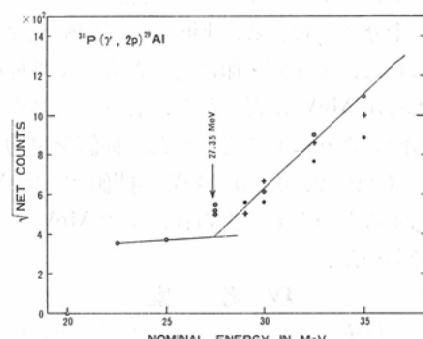


Fig. 3. The yield of radioactivity from the  $^{31}\text{P}(\gamma, 2p)^{29}\text{Al}$  reaction, with a threshold energy of 20.9 MeV and a break of activation curve of 27.6 MeV.

#### (4) $^{16}\text{O}(\gamma, 2n)^{14}\text{O}$ 反応

この反応の  $^{14}\text{O}$  の  $\beta^+$  壊変 ( $E_{\max} = 1.8$  MeV) は、(2) の  $^{15}\text{O}$  に比べて半減期が短いので、できるだけ早期に 2.3 MeV の光電ピークの計数を得る方法をとり、予め減衰の状況を求めて半減期がほぼ 1.2 分に相当することを確かめた。 $(\gamma, n)$

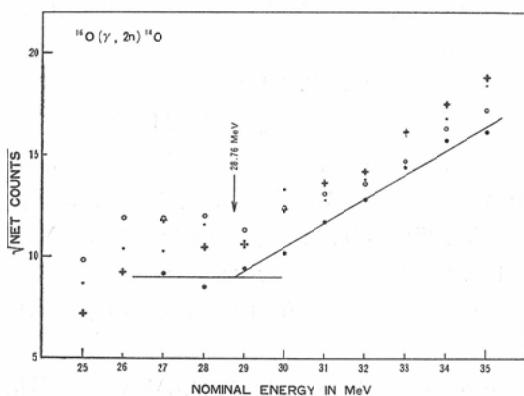


Fig. 4. The yield of radioactivity from the  $^{16}\text{O}$  ( $\gamma$ , 2n)  $^{14}\text{O}$  reaction, with a threshold energy of 28.92 MeV.

反応の相当なバックグラウンドのためにパイルアップのような計数を邪魔する効果と、もともと反応収率の低い事実とが光電ピークの確認に障害となつた。29 MeV 以上の計数の平方根の回帰直線と 25~29 MeV に平坦部をもつバックグラウンドの交わりからエネルギー値を判定した。このバックグラウンドについては今言及する資料を持合わせないが、パイルアップなどが遠因となつてることも十分考えられる。Fig. 4 には回帰直線の 1 例を示した。実験値・印に対したもので外挿値として 28.76 MeV が得られた。各シリーズの実験値から同じようにして得られた外挿値を平均した結果、(29.12, 0.45) MeV が閾値 28.92 MeV に対応するものとして得られ、0.2 MeV の高めの値であつた。

#### IV 考 察

原子核反応の閾値によるエネルギー決定法は、加速器のエネルギーを小巾に制御するのに難しい点がありまた測定にも精度を要するものであるが、計数の平方根による外挿法は十分価値のある方法であり、大抵の場合は  $\beta^+$  壊変であるために 0.51 MeV 消滅  $\gamma$  線の光電ピークをとることにより計数も容易である。ただ加速器の出力が小さい場合には消滅  $\gamma$  線の対向同時計数がバックグラウンドを少くする上で最も望ましいことはいうまでもない。著者らはあえてコインシデンスをとらず

に微分計測のみでも十分の測定ができるこことを核反応 (1) および (2) で示した。これらは電子ビームが強いために可能であったが、(2) の場合のように出力が足りない場合には照射時間の延長、したがつて短半減期生成核の照射中減衰の補正を必要とし、むしろ生成核の飽和をまつて測定するのもよいだろう。

ICRU<sup>4)</sup> が薦めているように  $^{63}\text{Cu}$  (閾値 10.855 MeV),  $^{16}\text{O}$  (同 15.678 MeV),  $^{12}\text{C}$  (同 18.737 MeV) および breaks 18.79, 18.86, 19.00 MeV (といずれも ( $\gamma$ , n) 反応を用いてそれぞれ異なるエネルギーの決定を行なうのが良いだろう。この他にも利用できる反応は Laughlin<sup>5)</sup> の書に詳しい。しかしながら 25 MeV 以上の高エネルギーではこのような閾値を単独にもつものが知られていないので、どうしても既にある ( $\gamma$ , n) 反応に重積した核反応を利用せざるを得なくなり測定が著しく困難になつてくる。著者らの目的は高エネルギー領域を確実に決定できる方法を検討することであつたため、水とリンという二つの材料によつて低エネルギー部の ( $\gamma$ , n) 反応と高エネルギー部の ( $\gamma$ , 2n) または ( $\gamma$ , 2p) 反応をどうして測定するかという点にしぼつた次第である。ここで Laughlin<sup>5)</sup> の表には  $^{18}\text{O}(e; n, e')$   $^{15}\text{O}$  および  $^{16}\text{O}(e; 2n, e')$   $^{14}\text{O}$  と表示されているが、閾値に関してはこのような photoneutron 反応は同じものとの解釈により ICRU<sup>4)</sup> の記載方法に従つた。

この研究で留意した点は、第 1 に照射用の試料容器を大きくとりビームの揺らぎがあつてもその全部を捕えるようにし、かつ厚みを薄くしてビームモニタの誤差を小さくするようにしたこと。電子流は試料透過後の相対的電流値であるが、閾値以上 2 MeV のエネルギー可変範囲があれば十分であり試料による吸収の僅かな差は無視した。第 2 は照射された容器が放射化するため計測時には別容器に移しかえ、バックグラウンドを少くしジオメトリを一定にしたこと。この点では金属片等の試料が操作には便利である。第 3 は (4) の反応のように  $^{14}\text{O}$  の半減期が  $^{15}\text{O}$  の約半分で照射直後の計数が最も効率がよいが、本装置の照射室

が地下にあり往復して計測を開始するまでに1.15分は最低必要で早期計数に苦心したこと。2.3 MeV の光電ピークを土0.14 MeV の波高範囲で5分間計数するのに、Na I (Tl) 結晶に入る全 $\gamma$ 線に対してできるだけ効率よく計数するために鉛吸収板を用いた。ちなみにバックグラウンドである  $^{15}\text{O}$  からの0.51MeV  $\gamma$ 線の計数率は、35MeV 電子線照射後 1.25分で  $1.4 \times 10^5 \text{ cpm}$  ( $^{14}\text{O}$  の約1,000倍) であった。

第4は(3)の反応のように  $^{29}\text{Al}$  の半減期が6.6分と長いために、 $^{30}\text{P}$  の十分の減衰をまつて照射後30—40分で測定したこと。この場合はバックグラウンドと拮抗することになり計数のばらつきが大きくなつた。いずれにしてもこのような重積した反応であつてしかも反応断面積が必ずしも大きくないような測定は、エネルギー決定のためには余り確実な方法とは言えないが、 $^{14}\text{O}$  の場合だけはICRUでもとりあげている反応である点からも照射直後の計数をうまくとればまだその可能性はある。消滅 $\gamma$ 線を対向同時計数で除去するように回路を構成するのは有効であろう。

長期かつ断続的に実験を行なつたためこの研究中加速器の条件は必ずしも一定ではなく、したがつて電子ビームにかなりの変動があつた。ビームの揺らぎ、出力の変動などはある時間内例ええば1測定シリーズでは無視してよく、最小自乗法による外挿値としてはTable 2に見られるように標準偏差はさほど大きくなかった。また測定上(4)の実験でパイルアップのようなバックグラウンドを避けることができなかつた点は、この実験がルーチンの測定器だけを用いたことに直接原因があるが、将来回路の改良やGe(Li)検出器などの利用で改善されるかも知れない。

試料については、核反応生成核の半減期は2分位のものが手頃で、半減期が長いのは測定には向くかもしれないが放射能が消えにくいということは再使用する場合にはかえつて困難となる。ただリンは粉末状で取扱いが困難であつたほか、再使用を続けるうち37.5 MeV のエネルギーで照射中局所的に発火点を越える事態が起つた。これはエ

ネルギー吸収の出力・エネルギーによる増加とともに、( $\gamma, n$ ) 反応はすでに峠を越えている<sup>22</sup>反面 ( $\gamma, 2p$ ) 反応の急上昇のために過熱が起つたのかもしれない。

生成した放射能量をおよそ見当をつけるために、 $^{22}\text{Na}$ の既知試料と比較測定した。37.5 MeV 電子線 2900 krad (Fe<sup>#</sup>—Cu<sup>#</sup> 線量計による推定) 照射直後における  $^{30}\text{P}$  および  $^{29}\text{Al}$  はそれぞれ約2 mCi および 9  $\mu\text{Ci}$  と推定された。

以上の結果は、本装置が35 MeV リニア・アクセラレータで強力な電子流を発生でき、かつ「研究モード」でエネルギーの微調整が可能であつたために得られたものである。2個の偏向マグネットで電子ビームの軌道がエネルギーにより定まっており、ペリリウム窓、空気の層でいくらかエネルギーの拡がりが認められるが、閾値測定はあくまでビームエネルギーを決定するものである。「治療モード」ではさらにスキャッタリングフォイル、透過型多層電離モニタ、シンメトリモニタなどのエネルギー吸収に対する補正が専ら問題となつてくる。本装置ではエネルギー損失分を補正し水中飛程法によつてファントム入射面における平均エネルギーが与えられている。本実験結果では、両者の比較で僅かな差が得られたが、これはある傾向を示すものではなくばらつきの程度と見られる。特定の閾値に対する精度はかなりよく、ビームエネルギーの確定には十分であつた。一般に行なわれているように簡便な飛程測定法によるエネルギー決定は臨床的にそれ相当の価値があるが、30 MeV 前後の高エネルギー部は別としても9~18 MeV のいずれかのエネルギーで各装置について一度は閾値測定を行なつておくことが望ましく、本研究がその際にいくらか役立てば幸である。

#### 謝辞

この研究の基礎データを準備された Varian 社の Mr. R. McKintyre および日本電気株式会社の上総中童氏にお礼を申しあげる。装置の運転、照射、測定の全般にわたり竹岡清二技官の技術的な援助および加藤和司技官の協力に深甚な謝意を表する。

この研究は第31回日本医学放射線学会総会で発表され、この一部は1971年11月メルボルンで開かれた The 1st Asian and Oceanian Congress of Radiology で報告された。なお昭和46年度文部省科学研究費の補助を受けたことを付記する。

### 文 献

- 1) Anderson, D.W. and Swift, S.C.: Energy Calibration Points for Clinical Electron Accelerators, *Phys. Med. Biol.* 15 (1970), 349—354.
- 2) Anderson, D.W., Petry, R.F. and Fischbeck, H.J.: Production of Neutrons from Phosphorus by High-energy Bremsstrahlung, *Radiation Res.* 50 (1972), 33—40.
- 3) International Atomic Energy Agency: Nuclear Activation Techniques in the Life Sciences, pp. 73 and 104, IAEA, Vienna 1967.
- 4) International Commission on Radiation Units and Measurements: Radiation Dosimetry: Electrons with Initial Energies Between 1 and 50 MeV (Report 21), ICRU, Washington 1972.
- 5) Kawashima, K., Hiraoka, T., Hoshino, K. and Matsuzawa, H.: Private communication, 1971.
- 6) Koch, R.C.: Activation Analysis Handbook, p. 53, Academic Press, New York-London 1960.
- 7) Laughlin, J.S. (Consulting Editor): High-energy Radiation Therapy Dosimetry, p. 101, Academy, New York 1969.
- 8) Laughlin, J.S.: Electron beams, Radiation Dosimetry III, 2nd edition (Edited by F.H. Attix and E. Tochilin), Academic Press, New York-London 1969.
- 9) 日本電気K.K. : 30 MeV (NELAC-4030) リニア・アクセラレータ取扱説明書, 1970 (非刊).
- 10) 日本放射性同位元素協会: アイソトープ便覧, 丸善, 東京, 1970.
- 11) 大谷四郎, 上総中童: 広島大学原爆放射能研究所における40 MeV リニア・アクセラレータ NELAC-4030の概要, NEC日本電気技報 No. 99 (1970), 145—159.
- 12) 竹下健児, 安徳重敏, 砂屋敷忠, 大谷四郎, 上総中童: 広島大学原医研 Linear accelerator (NELAC 4030) の特性について, 日本医放会誌, 30 : 1970, 687—697.
- 13) The Sub-committee on Radiation Dosimetry (SCRAD) of AAPM: Protocol for the Dosimetry of High Energy Electrons, *Phys. Med Biol.* 11 (1966), 505—520.

### 訂 正

日本医放会誌30巻8号, 1970

論文名: 広島大学原医研Linear accelerator(NELAC 4030)の特性について

### 誤 正

p. 689 右側14行目  $7 \times 10^7$  rad/sec  $7 \times 10^8$  rad/sec  
同 Table 1 中  
下から2行目  $4.5 \times 10^8$   $4.5 \times 10^6$   
(no filter)