U.D.C. 546.36.02.137: 539.16.06: 614. 898.5

# セシウム-137ガンマ線束の磁界による電子汚染の除去

Removing Electron Contamination Involved to Cesium-137 Gamma Beam with Magnetic Field

司\* Ш 博 Hiroshi Yamaguchi

# 内 容 梗 概

ラジオアイソトープ<sup>137</sup>Cs を用いた治療装置では、γ線エネルギー,出力線量などの線源の特性から,比較 的浅在性の病巣に対する短,中距離照射に適しているが,照射距離を短くとるとともに線源カプセルや絞り部 分から発生する二次電子線の影響が増大し,これが深部治療に対する皮膚の負担を大きくし,皮膚障害を惹起 する。

この二次電子線を除去するためには、従来一般的に用いられているフィルタによる方式でも、相当の効果が 得られるが、今回絞り部分に電磁石および永久磁石によって700~1,100 ガウスの磁界を生ぜしめ、これによっ て主線束中から二次電子線を除去する方法を採用し、実験によりその効果を調べ、従来の方法よりさらに良好 な結果を得ることが確認できた。また、数例の臨床実験によっても、皮膚反応に明らかな差違を認めることが できた。

#### 1. 緒 言

放射性同位元素セシウム 137 (<sup>137</sup>Cs) が放射線治療にはじめて利用 されたのは十余年前にさかのぼるが、これが注目をあびて、各地の病 院, 医療施設に設置され、実用段階にはいったのは<sup>137</sup>Cs 大線源が比 較的容易に得られるようになった数年前のことである。日立製作所 においても 1961 年天井つり下げ形<sup>137</sup>Cs 治療装置 (TS-200CA) を 開発して以来, 独特の照射方式と、多目的な性能により注目されて いる。



γ線源としての<sup>137</sup>Csはその放射線量率,線質特性などの諸性質か ら短,中距離照射に適しており<sup>(1)</sup>,比較的浅在性の病巣に対する治 療に応用されるが,この場合,必然的に随伴する皮膚線量の増大を いかにおさえて,皮膚障害を軽減するかが大きな問題である。これ は主として,利用線束中に含まれる二次電子線によって惹起される が,この二次電子線を除去する方法として,フィルタを用いるとか, 絞り装置を多段にするとかの方法が従来から採られており,これら によって,かなり良好な結果が得られている。しかし,これらの方 法が二次電子線の利用線束中に含まれる量をできるだけおさえよう とする消極的方法であるのに対して,根本的には,利用線束内から 二次電子線だけを強制的に引き出して,これを除去してしまう積極

そこでわれわれは、今回、<sup>137</sup>Cs治療装置の絞り部分に電磁石を組 み込み、またこれに代わるものとして永久磁石を組み込み、磁界に よって二次電子線を主線束内から除去する装置を作り、種々の条件 における表層部のビルドアップ (Build-up)を測定した結果、前述の フィルタを用いる方法と比較してかなり良好な成果を得ることがで きた。また、数例の臨床実験によっても、皮膚障害の軽減に対する 改善の効果を認めることができたので、これらの結果をまとめて報 告する。

# 2. <sup>137</sup>Cs のγ線照射における諸特性

2.1 線源<sup>137</sup>Csの放射線とカプセルによる吸収

の励起状態から基底状態への遷移の際, γ線を放射する代わりに内 部変換によって軌道電子を放出する場合があり,<sup>137</sup>Csではその確率 はおよそ10%である。それゆえ<sup>137</sup>Csの実際のγ線放出の確率は約 83%となる。第2図は磁界スペクトル分析による<sup>137</sup>Csのβ線スペ クトラムを示す<sup>(3)</sup>。

線源としての<sup>137</sup>Csから放出される放射線の中には,このほかに線 源の自己吸収によるγ線の散乱成分とβ線の制動放射によるX線成 分が含まれており,さらに照射ヘッド,絞り側壁からでる二次電子 線が混入してくるので,放出線の線質はその分だけ低下している。 いま皮膚線量の増加をもたらすこれらの電子線成分のうち,線源 内部から放出される電子線成分とカプセルの吸収について検討して みる。 電子線が物質に吸収される場合,そのエネルギーが低いときには 軌道電子との非弾性散乱によってエネルギーを失うが,エネルギー が高いときには主として,原子核の周囲の電界によって制動され, 電磁放射によってそのエネルギーを失う<sup>(3)</sup>。<sup>137</sup>Csより放射される電 子線のエネルギー領域では,主として物質構成原子の励起またはイ オン化による減衰であり,この領域における電子線の実用飛程とエ ネルギーの関係は次の実験式があてはまる。

	<u>.</u> . 1	1/1/1/1/1/	0.0				100	0 9272				
)	放射	性同位	元素1	<sup>37</sup> Cs (	の壊変	形式は	第1日	図に示	すとお	: b <b>,</b>	中性	子·
D	場子	変換に	伴う	3-線:	および	r線放	出にし	、る核崩	博壊 (ど	まうカ	ット・)	Ċ
あ	Z <sup>(2)</sup>	。すな	わち	37Cs	D 8%	は直接	β-崩	壊をし	Т, I	ネル	ギー	<u></u> :
限	1.17	MeV 0	Dβ <sup>-</sup> 彩	泉を放	(出し,	安定核	友 <sup>137</sup> Ba	に遷移	する。	残	りの	92
%	ま上	限 0.51	MeV	のβ	-線を	放出し	$_{\rm c} \tau^{137}_{5}$	${}_{6}^{m}Ba \mathcal{O}$	アイソ	マー	に遷	移
L,	続	いての	.6616	MeV	のγ 縞	を放出	して	基底状的	態へ遷	移す	る。	ک
k	* E	l 立製作	F所亀	戸工	易							

セシウム-137ガンマ線束の磁界による電子汚染の除去



アウターカプセル (S.S SUS33B)

第3図線源カプセルの構造





第5図 コムプトン散乱

コンプトン散乱による反跳電子エネルギーは光量子の散乱角によって異なり,第5図を参照して次式で表わされる。

$$E = \frac{\alpha \left(1 - \cos \theta\right)}{1 + \alpha \left(1 - \cos \theta\right)} h\nu \qquad \dots \qquad (3)$$

ここで  $\alpha = h\nu/m_0C^2$ 

*m*<sub>0</sub>*C*<sup>2</sup>: 電子の静止エネルギー (=0.51 MeV)

電子対創生は入射γ線エネルギーが電子の静止エネルギーの2倍 1.02 MeV 以上になると,核周辺のクーロン場の影響によってγ線が 消減して陰,陽一対の電子が創生される現象である。

<sup>137</sup>Csのγ線についてはそのエネルギーが 0.6616 MeV であるか ら,物質との相互作用による散乱は主として,光電効果とコンプト ン散乱による。そこで両作用によって発生する反跳電子のうち,最 大エネルギーは(2)式および(3)式より,光電効果によるものはお よそ 0.65 MeV 以下であり,コンプトン散乱によるものは0.374 MeV をこえない。

第4図 電子エネルギーとアルミニウム中の実用飛程

 $0.01 \sim 3 \text{ MeV} \subset R = 412 E^n \dots (1)$ 

ここで R: 実用飛程 (mg/cm<sup>2</sup>)

*E*: 電子線エネルギー (MeV)

 $n = 1.265 - 0.0954 \log_e E$ 

<sup>137</sup>Csより放出される最大エネルギーの電子線の飛程を(1)式に よって求めると、E=1.17 MeV であるからn=1.250 となり、R=464 mg/cm<sup>2</sup> である。一方、線源を密封するカプセルは第3 図に示す ようにステンレス鋼 (SUS 33) 製でインナーカプセルの厚み1 mm、 アウターカプセルの厚み2 mm であるから、透過厚みは最小でも 3 mm となり、比重7.89 からこれは2,360 mg/cm<sup>2</sup>に相当するので、 線源内部からの電子線成分は全くカプセルの外へ放出されないこと がわかる。第4 図は(1)式の関係を表わしている。

以上のように,線源から出る電子線成分はカプセルに吸収されて しまうので,皮膚線量をおさえるには,カプセル,放射口,絞りおよ び主線束が透過する空気層からr線の散乱によって発生する二次電 子線を除去すればよいことになる。

2.2 7線の物質による散乱

γ線と物質との相互作用による散乱現象は,普通のγ線エネルギー範囲においては,主として次の三作用によることは衆知のとおりである。すなわち

(1) 光電効果

(2) コンプトン散乱 (Compton Scattering)

(3) 電子対創生

光電効果は $\gamma$ 線のエネルギーが比較的低いときに起こる確率が大 きく,また物質の原子番号が大きくなるにつれてその確率が急激に 増大する。光電効果による放出電子のエネルギーは次式で与えられ る。  $E=h\nu-B$ ......(2) ここで  $h\nu$ : 入射 $\gamma$ 線の量子エネルギー B: 軌道電子のイオン化エネルギー このイオン化エネルギーは被照射物質の原子量によって各軌道電 子について定まっており,反跳電子のエネルギーも一定である。 これらの電子線の飛程を第4図から求めると次のようになる。

$E \rightleftharpoons 0.65 \text{ MeV}$	$R \approx 250 \text{ mg/cm}^2$
<i>E</i> ≒0.374 MeV	$R \approx 110 \text{ mg/cm}^2$

光電効果による反跳電子はK軌道電子が最も多く,およそ 80% 以上であり,一次フィルタとして放射口に銅板を置いた場合,反跳電子のエネルギーは(2)式から 0.56 MeV のものが最も多く,その飛程 Rは約 200 mg/cm<sup>2</sup> となる。しかし光電効果では電子の角度分布は  $\gamma$ 線の入射方向に対し,ほとんど 90 度において最大となるのに対し  $\alpha = 1.3$  となる <sup>137</sup>Cs の  $\gamma$ 線ではコンプトン散乱による散乱  $\gamma$ 線の角 度分布は入射方向と同じ方向で最大となり,ほとんど 10 数度の範囲 に分布する。散乱角度が小さい場合,反跳電子のエネルギーも小さ く, $\gamma$ 線の散乱角度が 10 度で約 0.0126 MeV, 20 度で約 0.0478 MeV である。

#### 2.3 磁界による電子線の除去

磁界に直角に運動する電子は円運動を行ない、その軌道の曲率は 次式で表わされる。

- ここで E: 電子の運動エネルギー (eV)
  - H: 磁界の強さ (ガウス)
  - ρ: 軌道の曲率半径 (cm)
  - $m_0$ : 電子の質量 (=9.1085×10<sup>-28</sup>g)
  - C: 光速度 (=2.99793×10<sup>10</sup> cm/s)
  - $e: 電子の電荷 (=4.80288 \times 10^{-10} \text{ esu})$

この式によって、さきの散乱電子が磁界に直角に入射する場合の 曲率は磁界の強さが 1,000 ガウスの場合に E=0.65 MeV で 3.48 cm, E=0.374 MeV で 2.41 cm である。 実際の装置では二次電子の散乱方向は一定でなく、磁界に対して 直角またはそれに近い角度で入射されるものばかりではない。この ため、磁界内の運動方向は複離で、単純に図示できるものではない。 また形成された磁界が完全な平行磁束分布ではなく、ある広がりを 有するものであり、その中での電子の運動に影響を与えることが予 想される。さらに磁界の末端部や、磁界のあとにある部分や、透過す る空気層による散乱は除去できないので、理想的に100%の除去は むずかしいことが予想されるが、二次電子線のエネルギーからその 大部分を除去することが可能であることは推定できた。

# 実験装置の構造

前記のように<sup>187</sup>Csの $\gamma$ 線束中には,かなりの量の二次電子線が混 入しており,一般には薄金属板フィルタによって除去する方法が用 いられている。この方法による電子汚染の除去の効果は,フィルタ・ 皮膚間距離を適当にとれば,ほぼ実用上満足できる程度まで,表面 線量を下げることができるので TS-200 CA 形治療装置では,あらゆ る短,中距離照射に対する適応性を良くするために,このフィルタ を効果的に用いたクローズド・コーンによる絞り方式を採用してい た。今回,SSD 20~25 cm の短距離照射におけるこの電子 汚染の除去を,さらに効果的に行ない,表層部吸収線量を 減じ,皮膚障害を軽減する目的で,絞り部分に磁界を形成 し,線束中に含まれる二次電子線を線束外に変向して除去 <sup>ガイ</sup> する実験を行なった。

#### 3.1 電磁石による電子汚染除去

最初にこの磁界による電子汚染の除去法が,どの程度ま <sup>照射</sup> で効果があるのか,種々の実験を行ない,いろいろの角度







から検討を加える目的で、電磁石を絞り部分に組み込んだ 実験装置を作り、これを TS-200 CA 形治療装置の照射へ ッドに取り付けた。第6図は実験装置の外観である。第7 図は同装置の構造と電磁石の仕様を示している。磁束密度 は、それぞれ磁極の中央部にて空げきの中央の点の測定値 で、550、600、700 ガウスの三段階に変化させて実験を行 なった。

次章で述べるように,電子汚染除去の効果は,銅板フィ ルタなどによる方法より良好であり,数例の治療結果から も皮膚反応の差を確認できた。しかし,電磁石を組み込む方法では 所要の磁束密度を得るためには電磁石が大形になり,治療に不便を きたすので,この点を解決するため強力な永久磁石を用いて実験し た。

3.2 永久磁石による電子汚染除去

前記のように,装置を小形化し,治療に適した構造にまとめるため,照射ヘッドをかこむ永久磁石によって,絞り部分に磁界を形成 させる方法を採用し,磁極の間に種々の絞り照射野を得るオープン・ コーンを装着できるようにした。この永久磁石を組み込んだ装置の

第7図 電磁石を用いて電子汚染を除去する絞り装置の構造と仕様

外観を第8図に示す。第9図はその構造図である。磁極は遮へい体の一部を形成し、磁極の間に設けたコーン装着孔およびコーンのコリメータ部分には青銅(BC-3)を用いている。また、コーンの先端の副コリメータは鉛を遮へい体とし、外周を0.5 mmの銅板でライニングした。交換コーンには次のものを用意した。

SSD 30 cm 用  $10 \times 10$ ,  $8 \times 10$  cm<sup>2</sup>

SSD 20 cm 用  $6\times 8$ ,  $5\times 5$ ,  $3\times 5$ ,  $3\times 3$ ,  $4\times 8$ ,  $4\times 6$  cm<sup>2</sup> 絞り部の漏れ線量は主線束線量の 5% 以下である。また永久磁石





# 第8図 電子汚染を除去するために永久磁石を組み込んだ 絞り装置

# 第9図 永久磁石を用いて電子汚染を除去する 装置の構造

セシウム-137ガンマ線束の磁界による電子汚染の除去

#### の仕様は次のとおりである。

磁	磁 石		材	MK-5		
残	留 磁	绒	Br	11,800 ガウス		
抗	磁	力	Hc	600 エルステッド		
磁	杨	<u>i</u>	材	S 10 C		
空	げき	断面	ī 積	$60 \times 80 \text{ mm}^2$		
空	げ	き	長	92 mm		
空(	げき中心の	の磁束	密度	1,130 カウス		

第9図に示すように照射野の大きさによって空げきは変らないの で、磁束密度はどのコーンを取り付けてもほぼ一定である。

#### 4. <sup>137</sup>Cs のγ線束内の電子汚染の除去

<sup>137</sup>Cs線源によるγ線を照射した際の深部特性(線量分布など)に ついては、これまで種々の装置について多くの実験データが発表さ れており、日立 TS-200CA についても、その実測結果はすでに発表 されている<sup>(1)</sup>。また表層部における Build-up 特性についても,種 々の条件において測定がなされている。前述のように、この表層部 における Build-up 特性は治療時の皮膚障害に大きく影響し,治療時 に病巣部に必要な線量を入射するためには、その間皮膚の障害をで きるだけおさえ, γ線の照射に耐えなければならないゆえ, 表層部 の吸収線量はできる限り少ないことが望ましい。

#### 4.1 表層部の二次電子線による Build-up



第10図 フィルターの表層部吸収線量に及ぼす影響



被射体に投射する線束が単色 γ線成分のみであり,透過の際,散 乱による二次電子線の影響が無視できるならば、入射γ線の深部線 量は、その表面から逆二乗則に基づいて減弱するゆえ、(5)式にあ って表わすことが可能である。

$$I = I_0 \left(\frac{f}{f+a}\right)^2 \cdot e^{-\mu a} \quad \dots \quad (5)$$

*I*<sub>0</sub>: 入射γ線の線量率 ここで

Æ

*I*: 深さ*a*のなる点の線量率

f: 線源-皮膚間距離 (SSD として表わされる)

µ: 線吸収係数

しかし,実際には線束中に含まれる二次電子線および被射体の透 過によって生ずる二次電子線の影響によって,皮膚から皮下数 mm の間で吸収される線量はかなり多くなり,入射二次電子線および皮 下から散乱してくる二次電子線の飛程により、皮下のある点に電離 平衡点が成立し,非常に短い飛程をもつ二次電子線や,皮下からの 後方散乱によって皮膚面における吸収線量もかなり大きい(6)。この 平衡点は主線束の線質に依存し,<sup>137</sup>Csのγ線では130~150mg/cm<sup>2</sup>, <sup>60</sup>Coでは300~500mg/cm<sup>2</sup>になることは実測によっても明らかで ある。

また, 理想的条件における surface ionization ratioも, Howarth らによって理論的に求められており、<sup>137</sup>Csについて約0.17、60Coに ついては 0.10 程度である。

4.2 種々のフィルタによる Build-up の変化

発生した散乱電子線を除去する方法の一つとして、絞りの適当な 個所にフィルタを置き,電子線を吸収させる方法は,最も一般的で いた場合の表層部線量の変化を,第12図は数種の材質のものを選 かつその配列、フィルタの材質および厚さなどを適当に選べば、相 当効果の大きいものである。第10図はクローズド・コーンによっ んで,厚さを変えた場合の表面線量の変化を示す。 てこのフィルタによる効果を調べたものである。また第11図は, 4.3 電磁石による散乱電子線除去の効果 照射野の大きさを変化させた場合の Build-up の変わり方を示す。 さきに記した試験装置により, 主線束中に磁界を形成した場合, このフィルタの材質は種々の実験によって、中程度の原子番号をも 散乱電子線飛跡の変化によってこれを線束内から除去する効果が, った金属が最も効果的であることがわかっている。またその厚みも どのように表われるかを, 扁平形電離槽によって測定し, 励磁を断 γ線エネルギーによって最適の厚みがあることを実験によって確か った場合および電離槽から約6cmの位置に厚さ0.25mmの銅板フ めた。フィルタに銅板を用いる場合,<sup>137</sup>Csでは 0.25 mm, <sup>60</sup>Coでは イルタを置いた場合と比較した。励磁電流と磁極の中央における磁 0.5mmであれば十分である。第1表は種々の材質をフィルタに用 界の強さを次の三段階に変化させて実験した。

第11図 照射野の大きさによる Build-up の変化

第1表 表 層 部 線 量(百分率線量率) SSD 22 cm, フィルタ皮層間距離 8 cm, 照射野寸法 6×6 cm<sup>2</sup>

11 100	表層部線量(%)				
フィルタ材質	0 mm	0.4mm	1.3mm		
ルーサイト	40	84	100		
アルミニウム	40	85	100		
剑间	37	80	100		
ニッケル	37	80	100		
真 鎆	36	79	100		
錫	37	80	100		
鉛	46	89	104		

(Radiology, 5, 1960, Vol.74による)



---- 81 -----

1496

昭和39年9月



第14図 磁界による照射野内のsurface ionization ratio 分布の変化

- 励磁電流 40V 1.5A 磁界の強さ 550 ガウス (1)
- (2)励磁電流 55V 2A 磁界の強さ 600 ガウス
- (3)励磁電流 83V 3A 磁界の強さ 700 ガウス

第13図はその結果を示すものである。また第14図は励磁を断っ た場合および磁界の強さを前記の三段階に変えた場合の照射野内の surface ionization ratio を測定した結果である。この図は電離槽 の磁界による影響(測定器の位置で数10ガウス程度である)を補正 していないが,磁界の強さが大きくなるとともに,線束中に含まれ る二次電子線が右へ曲げられ、指示値のピークが右へ移動している のがわかる。しかし、700 ガウスの場合でもこのピークが照射野内 に残っていることは、照射野寸法に対し磁界の強さがまだ不足して いるものと考えられる。

さらに第13図の結果より、オープンコーンの場合でもBフィル タを用いることは効果的であるが,磁界による電子汚染の除去効果 はさらに大きく, 700 ガウスの場合で surface ionization ratio は約 15%の低下を示している。この場合、Aフィルタを除くと、特性は 悪くなり, 励磁した状態でBフィルターを併用すると、しないとき より特性の悪化がみられた。

4.4 永久磁石による散乱電子線除去の効果

前述のように, 電磁石による実験ではかなり良好な効果を認める ことができたが,実用的に改良を施した永久磁石による磁界の形成 ではどのような変化がみられるか、同様な薄形電離槽によって測定 した。第15図はSSD 20 cm において照射野 5×5 cm<sup>2</sup>を得るコーン を用いたSSD 25cm および SSD 40cm のときの表層部線量率である。 SSD 15 cm の場合は装置の構造からコーンをはずして測定したので い値を示すが,表面線量だけはSSD 25 cm の場合とほぼ等しくなっ てくるのは放射口端部の弱散乱線の吸収によるものと考えられる。 またコーンの中間に銅板フィルタ(Bフィルタ)を置き,その位置 を変えて Build-up を調べたものが第16図である。電磁石による場 合も含めてマグネチックフィルタを用いた場合に, Bフィルタを併 用することは散乱線を増す結果になり好ましくない。これはBフィ

第16図 永久磁石を組み込んだ絞り装置でコーンの中間に Bフィルタを置いた場合の Build-up の変化





ルタからでる二次電子線の寄与によるものと考えられる。 第17図はSSDを20~40 cmに変えて行なった場合の surface ionization ratio と深さ 25.78 mg/cm<sup>2</sup> の点における ionization build-up の変化を示すものである。 深さ 25.75 mg/cm<sup>2</sup> においては SSDによる変化をあまり受けないが、 表面線量は SSD とともに減 少していることがわかる。これは測定をさらに延長していくとある 値で一定に達するものと考えられる。

以上の電磁石を用いた実験装置による測定結果と,永久磁石を組 み込んだ装置による測定結果を比較したものが第18図である。両 者の構造には若干の相違があり,同一の測定条件によっても,二次 電子線汚染の状況には差がないとはいえないが、全体の傾向からみ て,磁界の強さを増すと,表層部線量の分布特性は明らかに向上す るといえる。今回の実験では磁界の強さをさらに上げることは困難 であったので、磁界の強さを1,100 ガウスより大きくした場合の特 性の向上を明確に知ることはできないが,かなりの程度まで表面線 量が下げられることは, 文献などのデータを比較しても判断でき 300

4.5 実際の治療における効果

前節までの物理的測定によって,磁界による電子汚染の除去の効 果は,他のフィルタによる方法よりすぐれていることがわかったが, 実際の治療における皮膚障害軽減の効果を数例の治療によって試み た。同一人の患部に,電磁石を用いて磁界を形成した場合と通電を 断って磁界を消去した場合の入射部の皮膚の反応には明らかな差違 を認めることができた。そして永久磁石による電子汚染の除去を施 した場合,<sup>137</sup>Csの短距離照射への適応は一応満足する性能を得るこ とができた。

# 5. 結

<sup>137</sup>Csは半減期が<sup>60</sup>Coの約6倍の33年という長さをもつ経済的な

言

いその効果が大きくなることが証明できた。この磁界による電子汚 染の除去をはかった装置では、SSD 25 cm において従来のクローズ ド・コーンにメタルフィルタを用いたものより、表面線量について 比較すると、10~15%の低下が認められる。

この磁界の形成に永久磁石を用いる方法は,装置全体を小形にま とめ, 照射ヘッドの取り扱いを容易にして治療に便利な形状とする のに効果的であった。また所要の SSD において, 必要な病巣線量を 投射するに際し,皮膚の負担を軽減する本実験の本来の目的につい ては,数例の臨床結果から,皮膚反応が明らかに軽減していること が認められ、短,中距離照射を目的とした<sup>137</sup>Cs治療装置の性能の向 上に見通しをつけることができた。

終わりに臨み,本実験に当たり国立がんセンター放射線部梅垣部 長,浜田医長,放射線医学総合研究所臨床研究部の楠本先生から種 々のご指導とご援助を賜わった。ここに深甚の謝意を表わす。

#### 考 文 献 参

- 楠本,山口,馬場:日立評論 44,698 (昭37-5) (1)
- B. M. Wheatley: Physical Aspect of the Use of Caesium (2)Fission Products in Teletherapy, Brit. J. Radiol., 32, 246 (1960)
- 熊谷寛夫: 原子核工学入門 135 (昭-31 オーム社) (3)
- A. Cole, W. K. Sinclear, G. H. Eletcher & G. C. Johnson : (4)Physical Studies on a Short-Treatment-Distance Cesium-

線源で、そのr線エネルギーは<sup>60</sup>Coの約½の0.6616 MeV で遮へ いも有利であり,深部率も 6°Co に比して低いため, 短, 中距離照射 による比較的浅在性病巣の治療に適している。しかし一方,線源-皮 **膚間距離を小さくすることは、放射ロや絞り装置と皮膚間の距離を** 短縮することになり,必然的にそれらの部分からの散乱電子線によ る皮膚への影響を増大することになる。この散乱電子線除去に対す る,従来のメタルフィルタなどの消極的方法に比し,今回用いた磁 界による電子線飛跡の偏向を利用した積極的方法は, 種々の物理的 測定の結果から明らかに有利であり、しかも磁界の強さを増すに従

- 137 Teletherapy Unit, Radiol., 74, 731 (May 1960)
- A. Cole, W. K. Sinclear, G. H. Fletcher & G. C. Johnson : (5)Clinical Use of Short Source-Skin Distance Cesium-137 Teletherapy Unit, Amer. J. Roentgenol., 87-3, 511 (March 1962)
- J. L. Howarth: The Relative Surface Ionization for High (6)Energy Electromagnetic Radiation, Amer. J. Roentgenol., **90–2**, 231 (Aug. 1963)
- F. Wachsmann: The Role of Linear Accelerators and (7)of the Betatron in Modern Radiotherapy, 日医放学誌 23-4, 19 (昭 38-7)



