

高エネルギー放射線治療装置比較表

| 装置名称 | 深部 X 線 | 100万~200万 V X 線 | Co ⁶⁰ [2,000 C] | Cs ¹³⁷ | ベータトロン | Linac |
|---------|--|-----------------|---|------------------------|--|--|
| エネルギー | 0.16MeV | 1~2 MeV | 1.33MeV 1.17MeV (γ線エネルギー) | 0.66MeV (γ線エネルギー) | 15~31MeV | 4~8 MeV |
| X 線出力 | 2.7γ/min | 55~160γ/min | 22γ/min (1000 C 当り) | 6 γ/min (1000 C 当り) | 25~40γ/min | 10~400γ/min |
| 1日治療人員 | 5~20人 | 20~40人 | 20~30人 | | 20~30人 | 45~80人 |
| Merit | ●もっとも安価である | | ●ラジオアイソトープのため線源の故障がない ●安価である ●一定したγ線が得られる ●維持費が安い | ●半減期が長い(30年) | ●電子線治療が主 ●エネルギーは高く Control 可能 ●超硬 X 線も利用できる ●焦点は最少 | ●エネルギーが Control できる ●X線治療が主 ●エネルギーは治療に最適な高さにある ●焦点が小さいため反響も無視できる程度に少ない ●照射野が大きい ●線量率が大きくまた容易に変えられることにより精密な治療ができる ●1回の照射が短時間で可能のため多数の患者を処理できる |
| Demerit | ●エネルギーが低い ●軟 X 線のため表面・皮膚・骨などの吸収が多くガン治療には不適といわれている | | ●エネルギーが低く固定している ●焦点が大きく(最低10mmφ)半影が大きいため精密治療ができない ●線量率が少ないため多数の患者を処理できない ●適量の照射ができない ●常時放射線を出しており装置故障の場合安全性に問題あり ●半減期(5・3年)があるため線量率が減少して行く | ●エネルギーが低い ●線量が少ない | ●X線治療は従って広い照射野がとれない ●X線は透過力が大きすぎまた線量率も少ない ●ドーナツ管寿命が短く高価である | ●電子線治療は従って表在性のがんのみ利用 ●電子線エネルギーの可変は取扱いがやや複雑 |

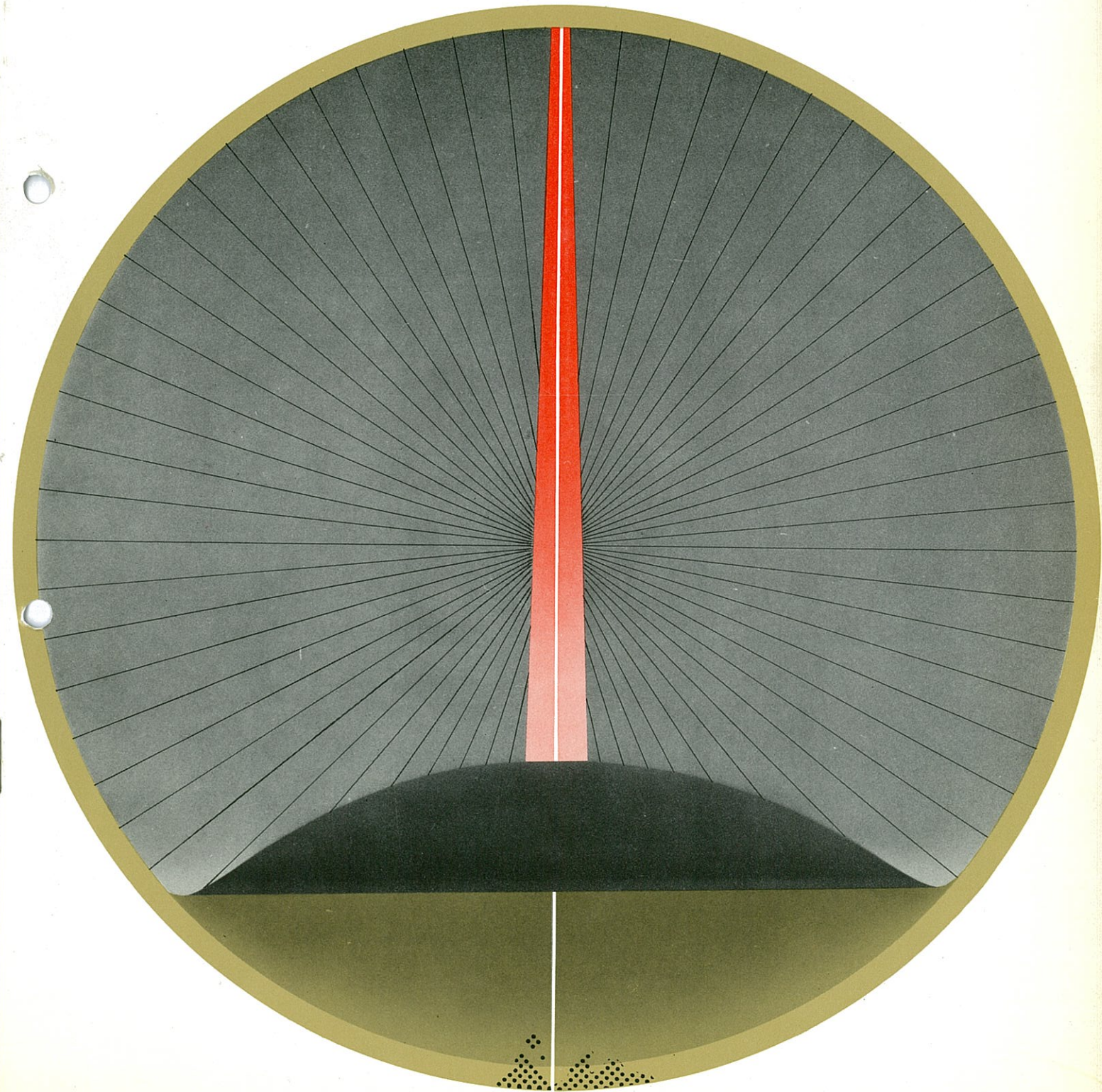
超高圧治療線形加速装置

三菱ライナック

LAS-M形

MITSUBISHI LINAC

 三菱重工業株式会社



本社化工機部 東京都千代田区丸の内2丁目10番地 東京(212)3111大代表

営業所
 大阪営業所 大阪市北区梅田2番地(第一生命ビル) 大阪(613)1231大代表
 名古屋営業所 名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) 名古屋(561)9111大代表
 福岡営業所 福岡市天神町1丁目11番17号(福岡ビル) 福岡(76)1061, 3561
 札幌営業所 札幌市北二条西4丁目1番地(北海道ビル) 札幌(26)1541代表
 広島営業所 広島市上流川町84番地の1(新広島ビル) 広島(21)9131~6
 仙台営業所 仙台市東二番丁70番地(電力ビル) 仙台(23)4953, 9335

製作工場
 名古屋航空機製作所 名古屋市港区大江町10番地 名古屋(611)2111大代表

ライナック (Linac) とは、
リニア アクセラレータ (Linear Accelerator)
の略称で、高エネルギーの電子線
およびX線の発生装置です。

三菱重工では、
昭和32年以降、ライナック用加速管の
研究開発を行なっておりましたが、
東京大学原子核研究所
その他に納入して、
世界的な好評を得て以来、
ライナックの実用化に着手し、
昭和38年には、
実用放射線源としてわが国最初の
小形実用ライナックLAS-I形を
完成いたしました。

これは、
当社の精密な機械工作技術に加えて、
航空機製造のマイクロ波技術
およびパッケージ エンジニアリング
技術を結集して成功したものです。

医療用ライナックLAS-M形は、
その成果をもとにして、
とくに医療用として
新たに設計されたもので、
360°回転照射が可能であり、
とくに、安定性・信頼性を目標として
製作されており、
今後、医学界に大きく
貢献できることを望んでおります。
さらに、販売面については、
従来から医療用機器について
多くの実績をもつ島津製作所が、
全面的に協力しております。

このパンフレットでは、
三菱ライナックLAS-M形(医療用)
を紹介するとともに、
ライナックの原理・構造の概要を解説し、
みなさまのご参考の
お役に立てたいと思います。

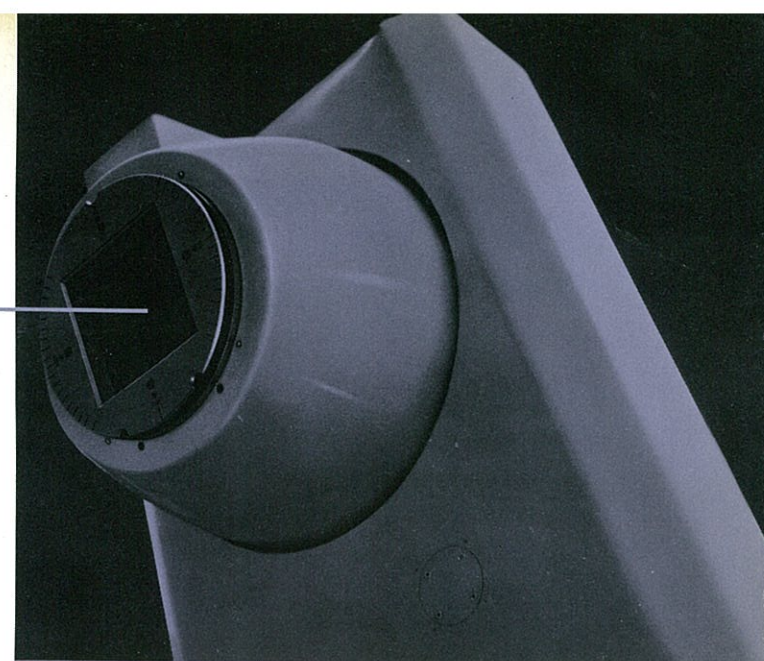
正確な焦点集中度をごらんください。実際に回転照射(6方向)を行なって撮影したレントゲン写真です。

ガン細胞にねらいをつける

超高圧治療線形加速装置

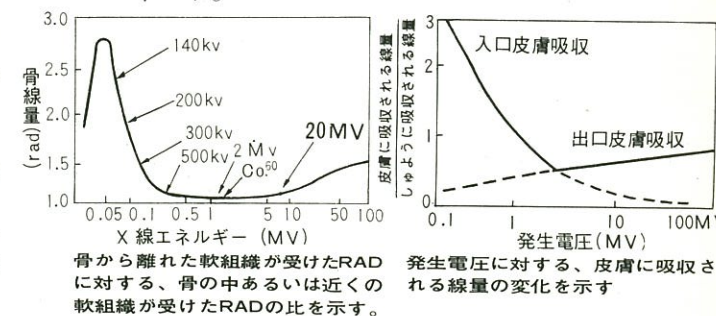
三菱ライナック

MITSUBISHI LINAC
LAS-M形



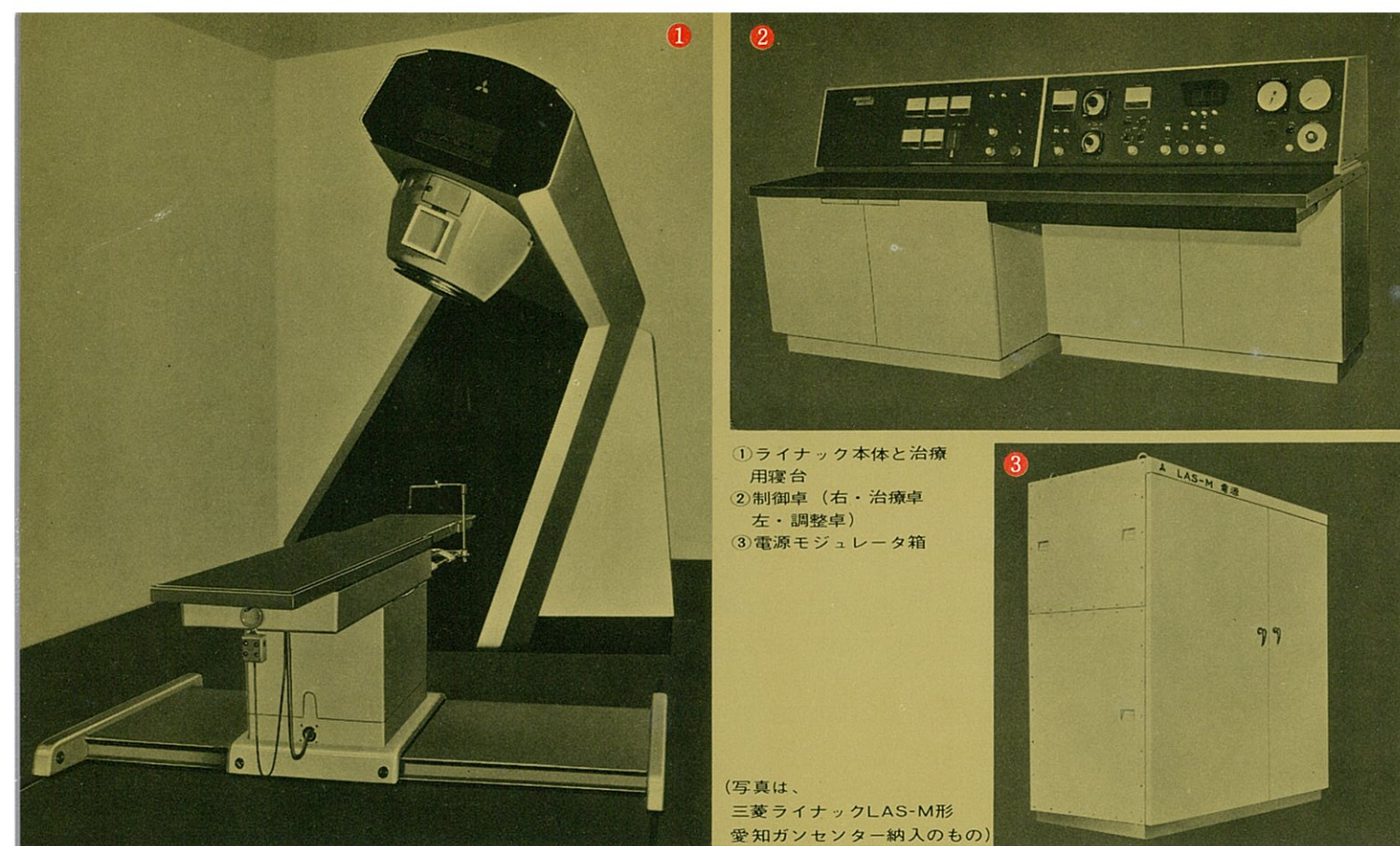
三菱ライナックの特長

- 1 線量率が高いこと
X線線量率が高い(400r/min)ので、短時間の治療ができ、1日に数10人の治療が可能です。
- 2 焦点が小さいこと
放射線の焦点が小さい(2mmφ)ので、半影の少ない鮮鋭な照射野が得られます。
- 3 骨と皮膚への影響が少ないこと
骨と皮膚ともっとも影響の少ないエネルギーのX線ですので、すぐれた深部量特性をもっています。
- 4 電子線を併用した治療が可能なこと
- 5 振子照射が可能なこと
360°以下任意の角度での振子照射が自由にできます。この回転中心は±1mm以内の精度をもっております。
- 6 照射視野の大きさが治療装置中最大であること
この照射野は、任意の大きさに、正確に調整できます。また視野の形状は、単ブロック・コリメータの場合は長方形、多分割コリメータの場合は任意の形状が可能です。
- 7 原体照射機構をもっていること
本体の回転に対応して、照射野を自由に变化させる原体照射機構をもっています。
- 8 安全第一であること
二重以上にインターロックされていますので安全です。
- 9 写真撮影が簡単にできること
位置決めなどの写真撮影が簡単にできます。
- 10 操作が非常に簡単なこと
装置のスタートは自動化されており、取扱いは簡単です。



出力性能

- | | |
|---------------|------------------------------------|
| 1. X線発生エネルギー | 6 MeV (定格) |
| 2. X線量 | 400r/min (ターゲットから1mの距離) |
| 3. 照射視野 | 最大300mm×300mm以下連続可変 (ターゲットから1mの距離) |
| 4. 照射視野のX線平坦度 | ±3%以内 (ターゲットから1mの距離直径280mmの範囲) |
| 5. 焦点の大きさ | 2mmφ |
| 6. 出力安定度 | ±3%以内 (線量率計の精度以内) |
| 7. 電子線照射 | 6 MeV |
| 8. 側方への漏洩X線量 | 前方強度の0.1%以下 |



①ライナック本体と治療用寝台
②制御卓（右・治療卓 左・調整卓）
③電源モジュレータ箱

(写真は、三菱ライナックLAS-M形 愛知ガンセンター納入のもの)

ライナックの原理

〔概要〕

粒子（電子・陽子など）を高周波によって直線的に加速するライナックの方式は、SloanとLawrenceによって始められたものです。原理の概略は、まず、マグネトロン（高周波発振装置）から発生したマイクロ波を、加速管内に送り込んでおきます。そこへ、電子銃により熱電子流を注入すると、電子は、波乗りの原理で直線的に加速されます。加速された電子を、薄い金属の窓をとおり取り出せば、電子ビームが得られます。（この電子ビームは、ライナックでは、断続的すなわちパルス状に発生するものです。しかし、パルス状といっても、1秒間の繰返し回数は数百回になりますから、被照射物を照射する場合、連続照射されていると考えてさしつかえありません。）電子ビームは、そのまま照射に使用することもできますが、これを重金属のターゲット（タングステン金・白金など）に当てると、制動X線を発生しますから、X線が得られます。

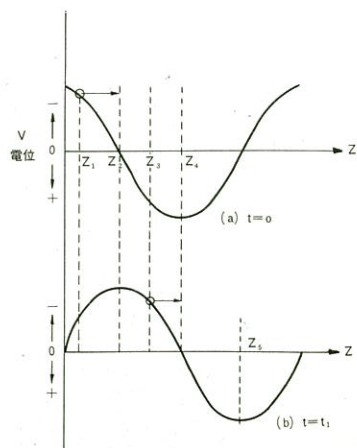
〔電子線とX線〕

電子線は、比重1の物質に対して、エネルギー1MeV

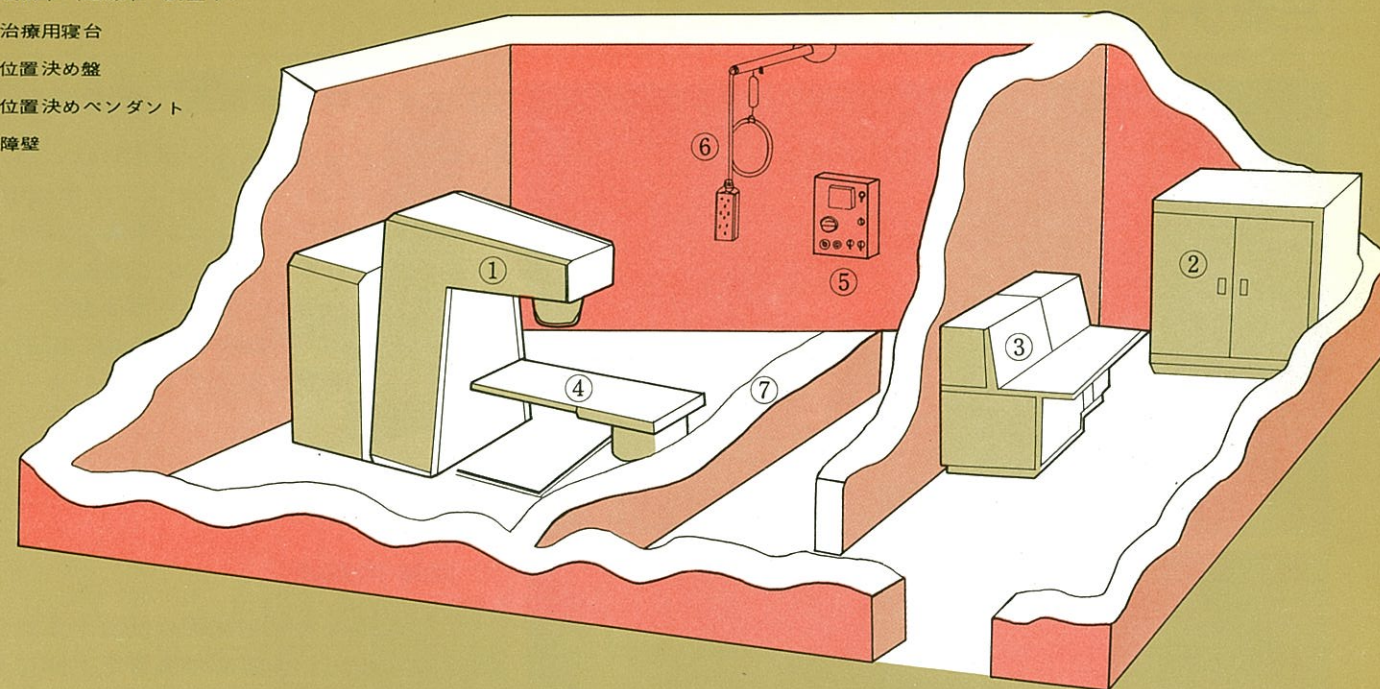
につき0.5cmの透過能力しかありませんから、医療用ライナックの場合、表在性のガンに対して用いられることが多いようです。深部のガンに対しては、透過力の大きなX線が有効といわれます。ただし、電子線をX線に変換する場合に、その効率を考えねばなりません。変換効率は、ターゲットの材質および電子線エネルギーによって異なりますが、一般に4～6MeVで10数%前後です（三菱ライナックLAS-M形は6MeV）。エネルギーが下がると、効率は非常に悪くなります。

〔加速原理〕

今、直線軌道上にマイクロ波の電位がある場合を考えます。すなわち、加速管の中には、右図(a)のような電位分布ができています。ここで、 Z_1 点に電子を入れたとすると、電子は負の電荷をもっていますから、電位の高い Z_4 方向に引張られ移動(加速)します。（そのとき、もし、電位分布がZ軸方向に



- ①ライナック本体
- ②電源モジュレータ箱
- ③制御卓（治療卓・調整卓）
- ④治療用寝台
- ⑤位置決め盤
- ⑥位置決めペンダント
- ⑦障壁



(図は愛知ガンセンターの場合)

対して不変であれば、電子は Z_4 の点を通りすぎると逆方向の力を受けて減速され、 Z_4 点のまわりを振動することになります。）しかし、この場合、電位分布も $Z_1 \rightarrow Z_4$ の方向に移動させる、たとえば、 $t=t_1$ 時間経過して、電子が Z_3 の位置まで来た時に、電位分布もちょうど同じだけ移動したとすると（図(b)）、電子は、図(a)と同じような力を受けて、 $Z_3 \rightarrow Z_4$ 方向に引続いて加速されることとなります。このように、進行するマイクロ波電位の中で、ちょうど波乗りのように、電子が連続的に加速されるのが、ライナックの基本原理です。もちろん、電子とマイクロ波電位が逆位相になれば、電子は加速されませんから、この電子とマイクロ波電位との位相を合わせることで、おおよび、加速されて行く電子の速度に合わせて、マイクロ波電位の位相速度（エネルギーの伝わる速度ではありません）を変化させて行くことが第1の要件です。

〔加速管構造〕

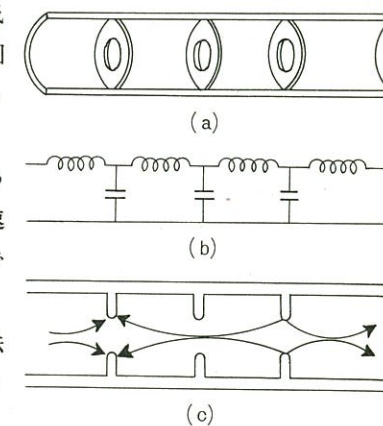
加速管は、原理的には、円形の導波管です。しかし、通常、導波管内では、マイクロ波の波長が自由空間の波長よりも長く、したがって、波の位相速度は光速よりも大になってしまいます。そこで、

図(a)のように、円形導波管内に同心の穴をもったディスクを、適当な間隔をとって並べてやれば、管内波長を短くし、位相速度を適当に小さくすることができます。

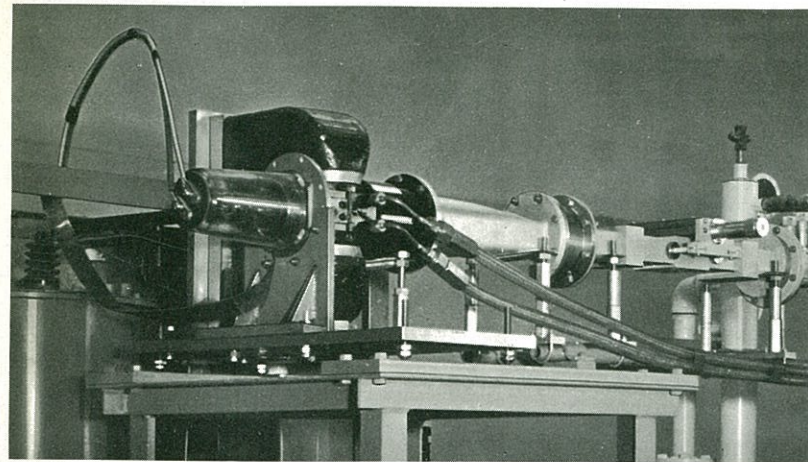
この場合、その電気的な等価回路は、図(b)のように考えられます。すなわち、これは遅延回路であり、マイクロ波の速度を遅らすことができます。

このディスク挿入法については種々ありますが、現在では、マイクロ波の1波長の中に4枚入れて進行波をつくる方式（これを $\frac{\pi}{2}$ モードといいます）が多く採用されています。すなわち、図(c)のような電界ができて、それが、時間と共に管軸の方向へ進行して行きます。

電子は、一般に、 $0.4 \sim 0.5C$ （ C ＝光速）の速さで入射され、加速管の出口では、エネルギー4MeVの場合で、 $0.9935C$ という速さにまで加速されます。その間の速度変化に応じて、加速管の寸度は、きわめて精密に変化させます。

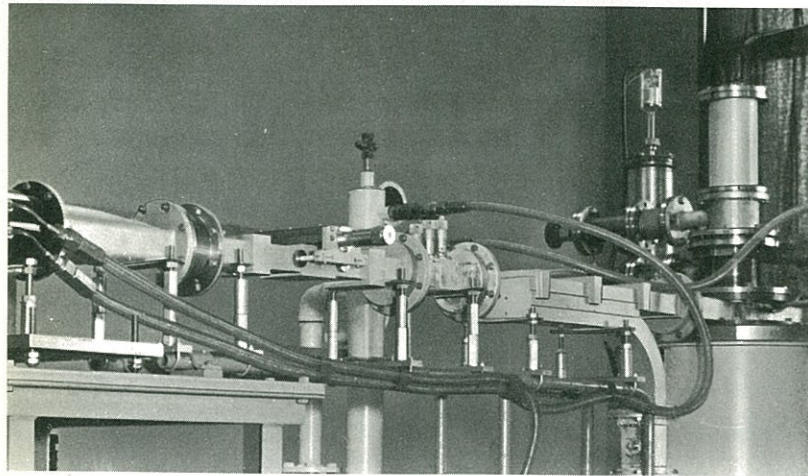


三菱ライナックの構成



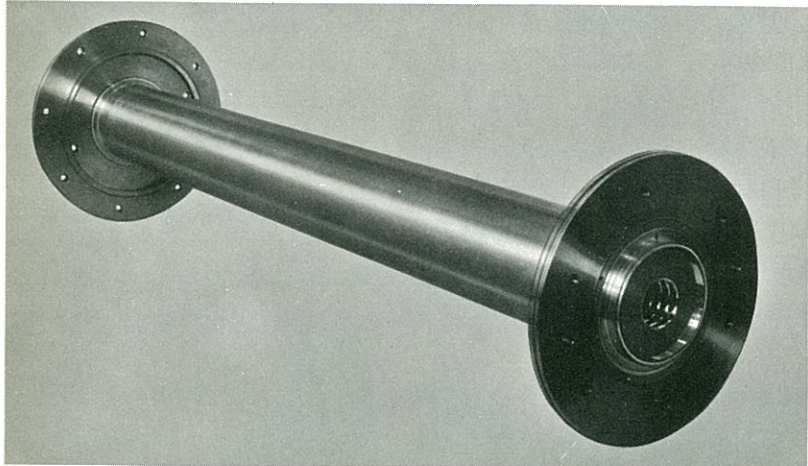
(1) マイクロ波発振系 (含電源)

三菱ライナックLAS-M形には、3,000 Mc/s (Sバンド) のマグネトロンを使用。一般には、クライストロンあるいはマグネトロンを用いて1,000~9,000 Mc/s のパルスになった加速用マイクロ波を発生します。この周波数は、計画された装置の用途にしたいが、発振管を選択することによって決まります。



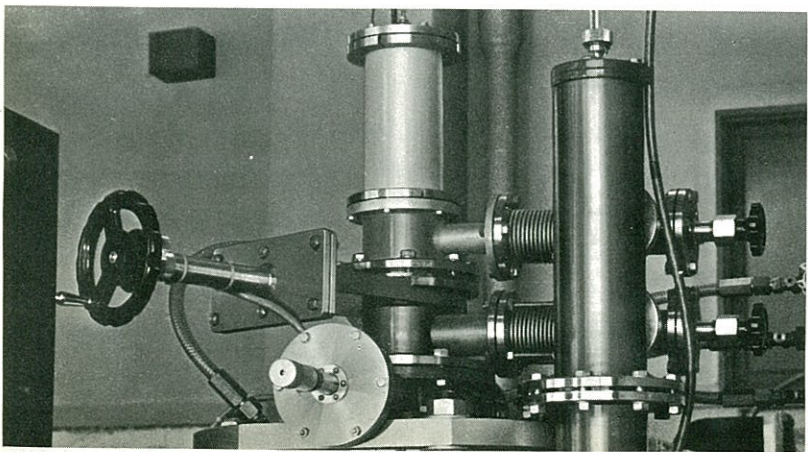
(2) 立体回路系

マイクロ波出力を加速管に供給する部分。伝送線に相当し、矩形導波管を主体として、マイクロ波位相などの調整装置、測定系を付属します。



(3) 加速管系

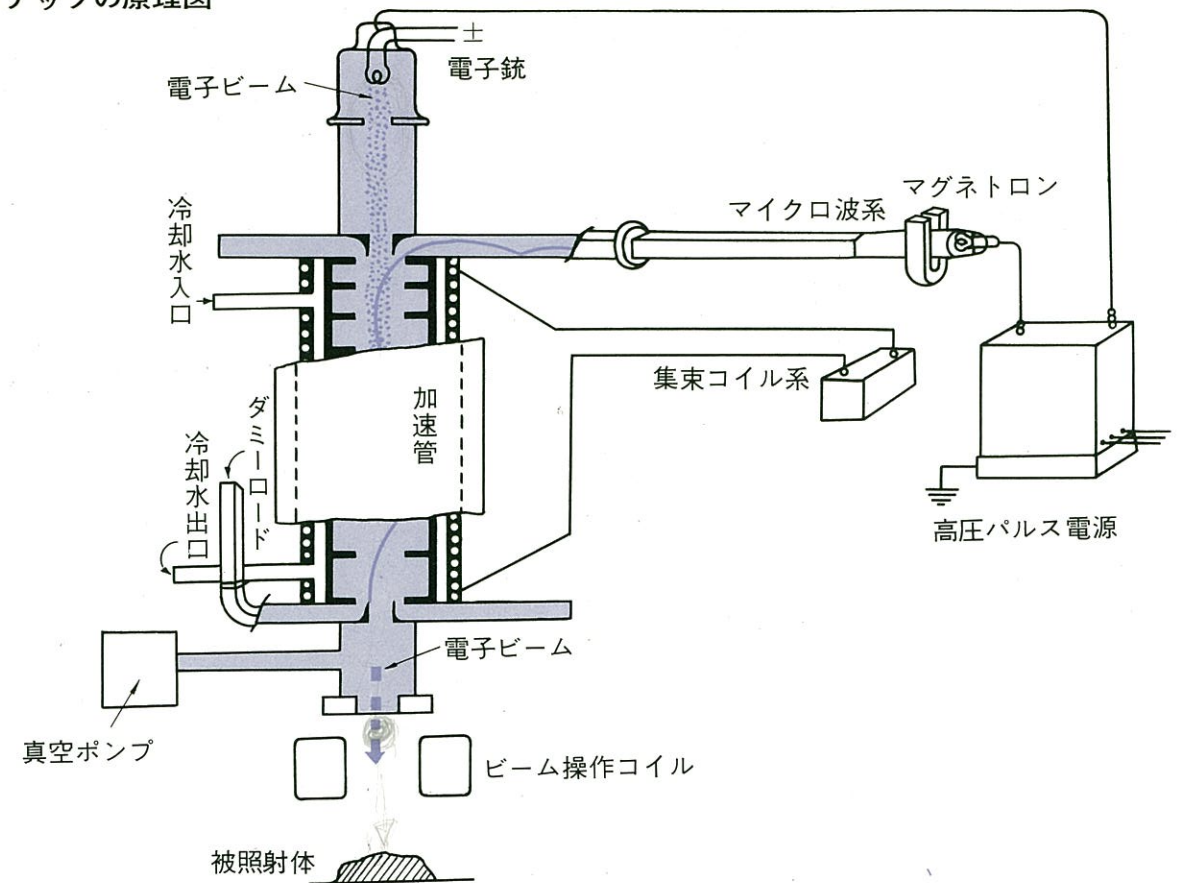
加速器の生命ともいべき部分で、前述のようなディスクを挿入した円形導波管です。材料には無酸素銅を使用。マイクロ波の正確な位相速度と電界を保持するために、その寸法精度は2ミクロンと、きわめて高い値に仕上げられております。本体周囲には、後述する冷却用ジャケットおよび集束コイルが付属して支持されています。



(4) 電子銃系 (含電源)

加速されるための熱電子流を発生して加速管に供給する部分。40~80kV のパルス電圧をかけて、0.4~0.5C の速度で加速管に入射します。ライナックでは、この部分が一番高圧になります。

■ ライナックの原理図



ライナックの構成

(5) 高真空排気系

電子が加速管を通過するためには、 10^{-5} ~ 10^{-6} mmHg という高真空度を保持する必要があります。そのための排気装置を備えます。 10^{-2} mmHg ぐらいまでは、回転真空ポンプを用いて排気し、それ以下は、拡散ポンプ、イオンポンプなどを使用。

(6) 集束コイル系

(1)~(5)の系で電子は加速されますが、実際に加速管中では、電子ビームは軸方向の加速電界の他に、半径方向の電界の力も受け、外側にひろがる力が働きます。また電子の密度が大きくなると電子間反撥力もありますので、電子は外周方向にひろがろうとします。これらの作用に打ち勝って、必要な直径内にビームを集束し取出すために、直流の磁場を軸方向に与えておきます。このために、加速管をとりまいて直流コイルが巻いてあります。

(7) 冷却系

すでに述べた通り、効率のよい加速を行うために、加速管は2ミクロンという精度で仕上げられておりますが、使用状態でその条件を保つためには、冷却によって温度を一定に保つのが望ましいことです。したがって、加速管外周に冷却ジャケットを取りつけ、加速管および集束コイルの発熱を取除いています。なお、その他、マイクロ波発振管なども同様に冷却しております。

(8) 制御系

加速器は放射線機器ですから、安全のため、とくに制御系に重点が置かれています。もともとアイソトープなどと異なり、停止中は全く危険がないので、安全作動のために必要な条件が一つでも欠ければ作動しないような、インターロック回路が中心をなします。また、誤動作を避けるためには操作手順をプログラムして、自動化いたします。