

Yoshiharu Watanabe, Kimihiko Igarashi,
Megumi Yamaguchi, Teruo Furuya
Department of Radiology, Medical Hospital,
School of Medicine, Hokkaido University
Goro Irie
Department of Radiology, School of Medicine,
Hokkaido University

ABSTRACT

Since 1977, we have had experiences of radiotherapy with linear accelerator (LMR-15). Records of maintenance for the linear accelerator were presented in this report. Technical data were as follows.

Operation days: 788. Total number of patients: 20810. Number of irradiation: 42637. Total operation days of LMR-15, including experiments etc.: about 1000.

Total heater time of magnetron: 7500. The apparatus (LMR-15) stopped 25 times in four years and its major causes were for exchanges of magnetron. Number of magnetrons of exchanged: 12. Average utilized heater time: 680. Also, gun was exchanged once and thyratron, twice.

Dose calibration of monitor chamber has been tested once a week, and its sensitivity decreased about 10% in four years.

Maintenance of apparatus is important in order to decrease uncertainties caused by mechanical failure. Especially, maintenance of monitor system is much more important, because it relates directly to absorbed dose of patients.

はじめに

私たちの施設において昭和52年7月より医療用直線加速器(LMR-15)を用いて治療を行って来た。医療用加速器においては、ガントリーの回転、照射野、照射補助具、治療寝台の動き等の機械的精度、又た、線量管理の点から線すいの平坦度、出力線量率の安定度、積算線量の精度等が問題となる。今回、4年間の装置の使用状況及びモニター線量計、マグネトロン等の保守、管理について発表する

1. 医療用直線加速器(LMR-15)概要

この装置は東芝メデイカルKK製の医療用直線加速器である。発振器には、4.8 MWの周波数可変同調形大電力パルスマグネトロンを用いている。このマグネトロンは、発振周波数 2856 MHz、パルス幅 2.5 μ Sec、パルス数 200 ~ 360 PPS(現在は 330 PPSで使用)、パルス率最大 0.001、平均電力10 KWである。写真1にマグネトロンを示す。電子銃は、衝撃陰極形電子銃であり、エミッション電流は衝撃電圧により制御できる。加速管への入射電圧は60 KVである。加速管は、 $4/3\pi$ モードで動作するようになっており、長さ 1.6 mである。加速エネルギーは最大15 MeVとなっている。加速電子電流は10 MeV X-線出力 300 R/minの時パルス電流30 mA、平均25 μ Aである。加速電子は、加速管を出たのち 110度偏向し、0.1mm厚、直径 8mm ϕ のチタニウムの薄膜を通して空気中に取り出す。図1に装置ヘッド部の略図を示す。電子線利用の場合は、空気中に取り出しスキャタリングホイールで拡散させたあとモニター系

及びツープスを通して治療に用いる。X-線利用の場合は、空気中にあるターゲット（タングステン製）にあて発生した透過X-線をフラットニングフィルターで平坦化したのち、モニター系を通過しその下のコリメーター（タングステン重合合金製）によりコリメートし治療に用いる。出力は電子線利用の場合ツープス先端で最大 1000 R/min におさえている。図2に電子線、8、10、15 MeVの実測深部率のグラフ及び実効エネルギーを示す。X-線出力は、ターゲットから1mの距離において10 MVで300 R/min、14 MVで200 R/minである。

図3に照射野 10 × 10 cmの実測深部率曲線を示す。10 MV X-線の水中での半価層（50% 深部）は、17.9 cmである。エネルギーは装置を設置して基礎データを測定した時に決定したもので、公称のエネルギーと一致してはいない。実際に治療に用いている電子線、X-線は、装置ヘッド内での散乱、吸収によりブロードな線束になっているものと思われる。

2. 使用状況

過去4年間における治療による使用状況を表1に示す。延べ治療か働日数は、788日間であり、そのほかに週1回のモニター線量計チェックが173日間、基礎データの測定及び実験、治療のための線量測定に約100日間があり、全体のか働日数は、約1000日間である。表2に延べ使用時間（ヒータータイム）、1日平均使用時間、1日平均高圧印加時間（ビームタイム）を示す。表3に過去3箇月間の治療時の方向利用率を示す。表中上向きとは装置を180度回転し下から上向きに照射したことを示す。また、左右向きには斜方向からの照射も含む。1門あたりの平均照射 rad 数は、160 rad である。上述のように、1日平均ヒータータイムは7.4時間であり、この間、約60回のON、OFFをくりかえし、かつ1回の照射時間（マグネトロンが発振時間）は約45秒程度であった。

3. 装置の保守、管理

日常の保守は、表4に示すチェックリストにより毎朝治療開始前に行っている。これにより前日及び調整時の設定値との差をチェックし正常な動作を確認する。このウォーミングアップに用いる時間は、20~40分間である。冬期間は装置の温度が15度以下に下がると約1時間を用いることもある。装置には15項目のインターロック系があり、設定値により自動的にインターロックがかかり表示する。

過去4年間の主な故障を表5に示す。多くはマグネトロンに関する故障であり、その交換によるためである。それ以外の大きな故障は、PFNのコンデンサー破壊である。原因は、コンデンサーの耐圧設計に問題があったと思われる全部交換後正常になった。表以外にPC板上のIC破壊による故障が約10回起っている。

表6に4年間に使用したマグネトロンの交換記録を示す。マグネトロンの交換理由の多くは出力不足である。これは、10 MV X-線出力が300 R/minを安定に保てなくなった状態をいう。

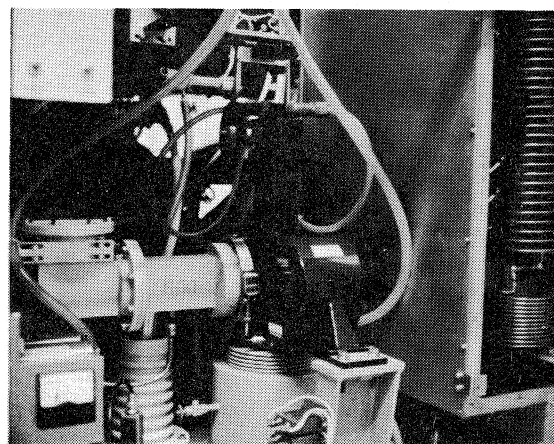


写真 1 マグネトロン

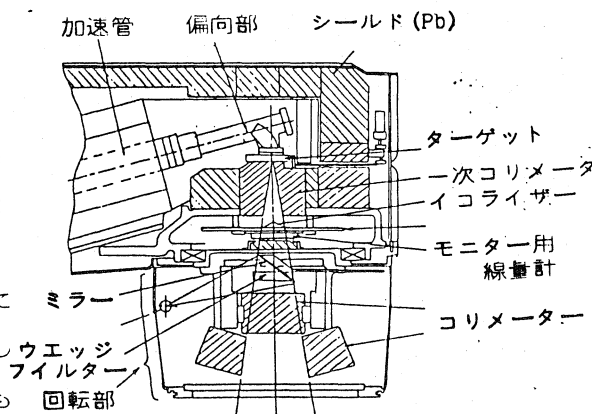


図 1 装置ヘッド部

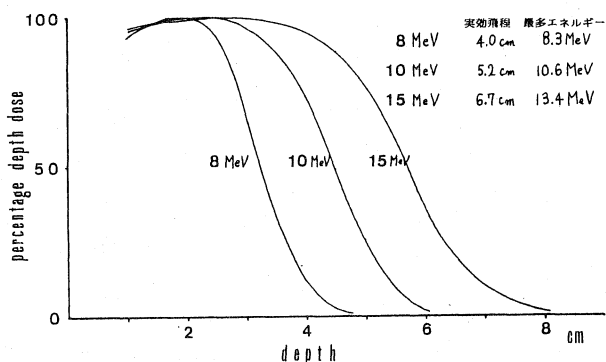


図 2 電子線深部率

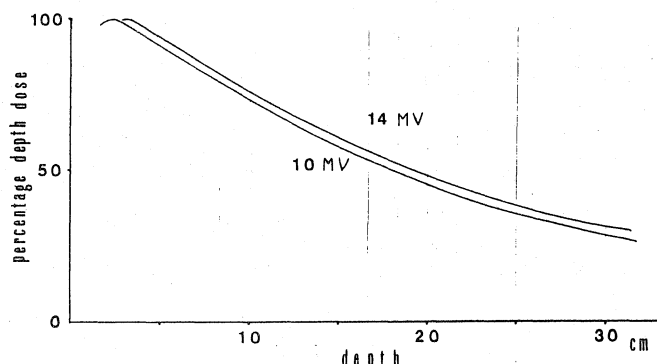


図 3 X-線深部率

治療器においては装置を回転して使用し、かつマグネ
トロン立ち上りの約30~50秒を使用するので、この
状態での安定性が問題となる。このため調整時に出力
とその安定性のためヒーター電流、AFC などの調整を
時々おこなっている。マグネトロンの平均ヒータータ
イムは約 680 時間となるが、この時間はマグネトロ
ンにより大きな差がある。マグネトロンの寿命とヒー
ター電流の間に規則性があまりなく、多くの場合線量
低下(出力不足)、AFC の調整不可などが原因となり
交換にいたっている。電子銃の交換は1回であり、そ
のヒータータイムは、約 6000 時間であった。電子銃
はヒーター断線まで安定な動作をした。

	治療日数	治療人数	1 日平均	治療門数	1 日平均
S.52. 7 ~ S.53. 3	150	2854	19.0	5750	38.3
S.53. 4 ~ S.54. 3	195	4964	25.5	10401	53.3
S.54. 4 ~ S.55. 3	215	5393	25.1	11140	51.8
S.55. 4 ~ S.56. 3	196	6400	32.7	12861	65.6
S.56. 4 ~ S.56. 5	32	1199	34.5	2485	77.7
計 46 月	788	20810	26.4	42637	54.1

表 1 S.52.7 ~ 56.6 間の治療人数、門数

S.52.6.1 ~ S.56.5.31 合計ヒータータイム	7485 時間
一日平均ヒータータイム	7.4 時間
一日平均ビームタイム	1.56 時間

方向利用率	
下向き照射	42.5 %
上向き照射	37.0 %
横向き照射	20.5 %

次にサイラトロンの交換記録を表 7 に示す。

表 2

表 3

これは大電力水素封入型サイラトロンを使用している。調整時に PFN 充電波形を観察して水素圧の調整を時々おこなっている。マグ
ネトロンのミス発振、高圧電流インターロックが働くなどにより交換にいたっている。マグネトロン、サイラトロン、電子銃の保証
時間はそれぞれ 500 時間(ヒータータイム)となっている。

4. モニターの保守、管理

医療用加速器において、日常の治療はモニター線量計の指示値によりおこなっている。従ってモニター線量計の校正、保守は大き
な問題である。

4-1 モニター系の構造

モニターとして 8 本の円筒形透過型イオンチャンバーが照射ヘッド内に取り付けられている。2 本は 2 系統線量測定用で、第 1 は
モニター線量計として、第 2 はそのバックアップとなっており操作卓上に第 1、第 2 ともデジタル表示される。このモニターは、
アンプのゲインを変えることにより感度を調整出来るが、日常的には感度を変えずに校正定数 (R/count) を変える方法を取っている。他の 6 本はビー
ム平坦度の連続モニター用となっている。モニターチャンバーのプロープ部分
を写真 2 に示す。真中の 2 本がモニター用であり、その他は対になってビー
ム平坦度の自動制御に用いている。チャンバープロープは直径 4.3mm、長
さ 9.6cm の円筒形であり 0.1mm 厚ステンレス製である。チャンバー電圧は、
-1000V である。密封型式であるため温度、気圧の影響を受けない。プロ
ープ支持部はナイロン製絶縁物とセラミックのものを使用しているが、セラミ
ック製のほうが放射線による劣化がなく長持ちする。モニター用のプロープ
はセラミック製のものを使用している。

4-2 モニター系の故障

モニター系の故障の多くは、チャンバープロープのリーク電流によるもの
であった。原因の 1 つはプロープにピンホールが生じ、昼夜の温度差や装置
の温度上昇により感度が変化したり、冬期間など温度差が大きい時プロープ
内に水滴が生じて大きなリーク電流が流れることがあった。第 2 は絶縁体の
リークでこれは放射線による劣化やごみの付着のためである。このためプロ
ープ全体の清浄が 6 箇月に 1 回程度必要である。現在までにプロープの交換

Item	Date
X-ray	(MV)
Electron	(MeV)
Flatness	G-T 1
	G-T 2
	L-R
ARC	
AFC	1
	2
Water Temp	(°C)
Vacuum	(μ A)
Monitor dose rate	(R/min)
Injection Focus	(A)
Focus Coil	A (A)
	B (A)
	C (A)
	D (A)
Fine Bending	(A)
Bending Magnet	(A)
Def. Magnet	(mA)
Steering Coil	GUN (mA)
	H (mA)
	V (mA)
	L-R (mA)
Bomb.	Vol. (KV)
	Cur. (mA)
Charge Vol.	(KV)
H. V.	(KV)
Mag. Emission	(mA)
H. V. Cur.	(A)

AFC	AFC 1	H
		L
	AFC 2	H
		L
Flatness	G T 1	G
		T
	G T 2	D
		G
	L R	T
		D
	L	
	R	
	D	
P. P. S. (Hz)		
Magnetron	If	(A)
	Ef	(V)
Gun	Ef	(V)
Heater Time (Hour)		
Thyratron	Ef	(V)
	Eres	(V)
Cooling	Mag. Tur.	(L/min)
	Water Load	(L/min)
	Inj. Slit	(L/min)
	Pulse Tr.	(L/min)
	Focus Coil	(L/min)
	Acc. Tube	(L/min)

表 4 チェックリスト

は4回行っている。これは全体の交換ではなく、リークしたり問題のあるプローブを2～4本程度づつ交換している。

4-3 線量チェック

モニター系の線量チェックは装置の調整も兼ねて毎週必ず1回行っている。始めに平坦度の確認をする。これはファントム中で線量計を動かす方法により図4に示すデータを取り確認する。これにより左右の対称性及び最高、最低の値が基礎データに合っているか確認し、ずれている場合には装置の調整を行う。モニター線量計の校正はFSD(ターゲット、表面間距離)100cm、照射野10×10cm、ファントム(Mix-Dp)中深部6cm、15cmの点に0.6ccの線量計を置き測定している。測定値を基礎データの深部率を用いて計算後モニター校正定数を出す。図5にモニター校正定数の変化を示す。4年間で約10%の変化が生じている。治療で使用する校正定数は、±1.5%以内に入るように決定している。図6に6cm深部と15cm深部の校正定数の比を示す。この比はエネルギーのチェックにもなり、この値が大きく変化したときは装置の調整を行う。校正に用いる線量計は⁶⁰Co γ-線により医療用標準線量計と定期的に校正をしている。

まとめ

放射線治療は普通1～2箇月間にわたり10～30回の照射で総線量200～7000radの照射を行う。治療効果は疾患により変化するが、治療期間、照射回数、総線量に依存

する。又、治療患者体内での吸収線量の均等度は、±7.5%以内が必要とされ、このためには装置の線量管理を±3%以内にする必要がある。実際の治療において吸収線量は、基礎データを基に体内線量分布図を書いて計算し決定するが、これはいろいろな因子により左右される。大きく分類すると、(1)装置の線量管理、(2)装置の機械的精度、(3)毎日の治療の再現性、(4)体内線量分布の変化などがある。治療器の保守では、エネルギー、平坦度、モニター系、などの線量管理が、治療患者への照射線量に直接関与するので特に重要である。私たちは、週1回の線量測定を行っているが、装置の異状に気づかない場合は、最大1週間の間線量管理に誤差を生じる可能性がある。

このため毎朝のチェックにおいては、前日のデータとの差に重点をおいてチェックしている。機械的精度について、実照射野と光照射野との差のチェック、装置の回転誤差のチェック、光学的ポインター類のチェックなどは1箇月に1度行っている。

私たちの施設では週4回の治療を行っており、この回数は治療効果に関与するので週4日間の装置のか働は確保する必要がある。このため部品の交換や故障の修理な

S. 52.	6. 16	マグネトロン交換
	11. 17	マグネトロン交換
	11. 26	I/L PC 板IC不良
S. 53.	1. 30	モニターチャンパー交換
	3. 14	モニターチャンパー交換
	4. 13	PFN コンデンサー～17 交換
	6. 12	マグネトロン交換
	6. 19	マグネトロン交換
	7. 12	フィルター故障
	9. 19	ガスバルブ交換
	9. 21	T- cont内PC板IC不良
	10. 3	Bending用PC板内トランジスター交換
	10. 23	マグネトロン交換
S. 54.	1. 22	Bendingモジュール内故障
	8. 14	サイラトロン交換
	8. 27	マグネトロン交換
	8. 30	サイラトロン交換
	9. 3	モニターチャンパー交換
	9. 11	CHV 上らずPC板IC不良
	11. 16	サイラトロン交換
S. 55.	2. 4	マグネトロン交換
	4. 26	マグネトロン交換
	9. 20	電子銃交換
	10. 6	真空度悪化
	11. 4	マグネトロン交換
S. 56.	4. 14	マグネトロン交換
	5. 30	マグネトロン交換
	6. 8	マグネトロン交換

表5 故障表

No	使用開始		交換		使用時間	理由
	年月日	H,T	年月日	H,T		
1	52. 5. 2	316	52. 6.16	570	254	ヒステリシス大、出力低下
2	6.16	570	11. 2	1268	698	出力低下
3	11. 7	1289	53. 6.11	2510	1221	ヒーター過大82A、出力低下
4	53. 6.12	2510	6.17	2556	46	線量上らずAFC不安定
5	6.19	2556	10.22	3279	723	出力低下、放電
6	10.23	3284	54. 8.24	4831	1546	出力低下
7	54. 8.27	4839	55. 2. 1	5681	842	出力低下
8	55. 2. 4	5689	4.16	6019	330	出力低下、立上り遅い
9	4.26	6029	11. 1	6996	966	出力低下
10	11. 4	7045	56. 4.13	7682	637	出力不安定
11	56. 4.14	7698	5.29	7910	212	INV, I/Lおちる
12	5.30	7910	6. 6	7980	70	No9のマグネトロン取付る
13	6. 8	7984				現在使用中

表6 マグネトロン交換記録

	使用開始		交換		使用時間	理由
	年月日	H,T	年月日	H,T		
No 1	52. 6. 1	450	54. 8.14	4789	4339	
No 2	54. 8.14	4789	54. 8.30	4855	66	補充用管球
No 3	54. 8.30	4855	54.11.16	5208	353	HV, CURR I/Rでおちる
No 4	54.11.16	5208	—	7673	2465	現在使用中

表7 サイラトロン交換記録 (ヒーター積算時間計: H,T)

どの保守では時間的制限が大きく、例えば、マグネトロン交換は、ほとんど金曜日の夜から土曜日に行っており、それ以外の修理などは治療終了後の夜間に行っている。

以上のように医療用加速器においては、毎日の治療を行うことが主目的であり装置の保守は大きな制限を受ける。しかし、日常の保守なくしては毎日の治療は行えないので、効率の良い保守が必要である。このためには装置全体の定期的チェックが必要でこれにより故障の早期発見や修理の予定を立てることが出来る。特にマグネトロン交換では、東京から取り寄せて交換するのに2~3日間必要とするので、出力が低下した時点で交換の予定を立てて交換している。現在6箇月に1回の定期点検を行っているが、今後部品などの交換修理が増えることが予想され、計画的な保守を行ってきたい。

今回の発表にあたり東芝メディカル KK 北海道支店の坂本 修氏に御協力いただき感謝いたします。

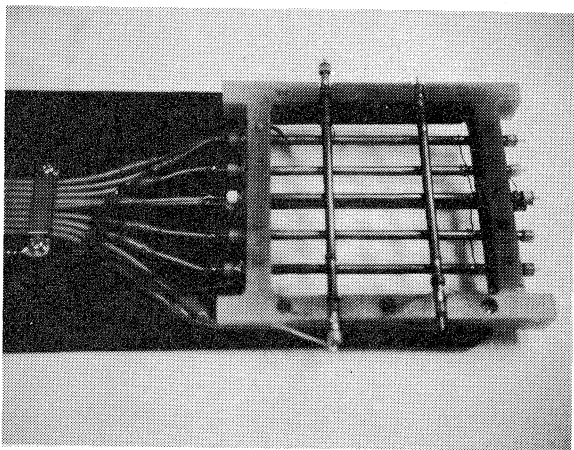


写真 2 モニターチャンパー

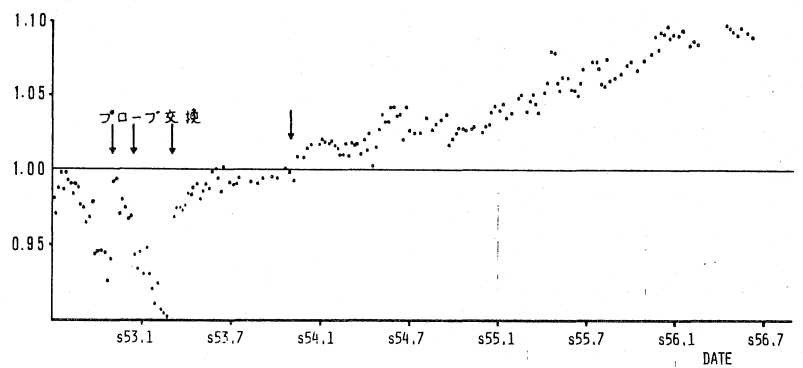


図 5 モニター線量計校正定数

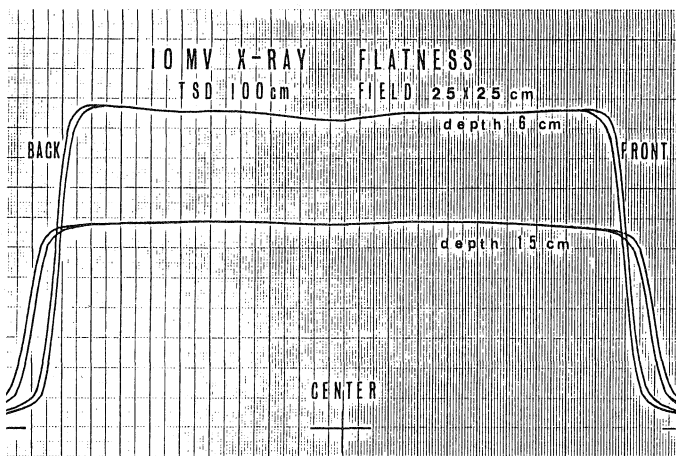


図 4 X - 線平坦度チェック

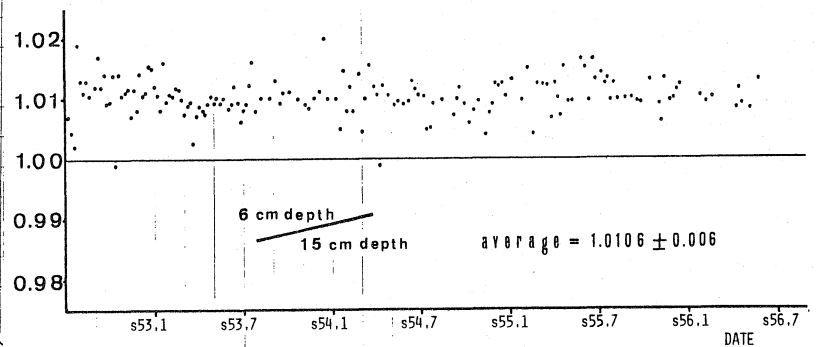


図 6 6 cm深部、15cm深部の校正定数の比