

35 MeV (NELAC-4030) リニアックのオーバホール
 広島大学原爆放射能医学研究所

日本電気株式会社

竹下 健児
 竹岡 清二
 上穂 中童
 米田 正治
 平井 一夫

1 はじめに

本装置は放射線治療・医学研究用として、360度回転ガントリーマウント型リニアックとしては世界の一号機として1967年からの年間にわたり設置され瞬時被曝による放射線の生物に対する影響の研究、悪性腫瘍に対する放射線治療の基礎研究、さらに放射線の生物に対する障害完全機構解明・障害予防の研究に成果をあげている。

しかし過去10年間装置維持のため月1回の定期交換を行なってきたが通常の交換では調整不可能な部分で支障をきたすようになった。このため1979年度従来の性能の維持と新しい性能を付加すべくオーバホールを実施した。本報告はその間に行なわれた内容と新しく付加された性能につき説明したい。

2 性能

35 MeV (NELAC-4030) リニアックの性能は原医研並びに日本電気で詳細報告されているので省略する。以下はその主なビーム性能と構成を示すものである。(1) (2)

X-rays	Research mode	Therapy mode
Energy (MV)	25*, 5-39	8*
Pulse repetition rate (pps)	15, 60, 120	15, 60, 120
Beam spot size (mm)	4 x 4 (25 MV)	4 x 2
Max. dose rate (rad/min/m)	14500 (25 MV)	250
Gantry position	180° fixed	0 - 360°
Field (cm) at the isocenter	-	0 - 27 x 30
Electrons	Research mode	Therapy mode
Energy (MeV)	5-39	5*, 10*, 15*, 20*, 25*, 30*
Pulse repetition rate (pps)	15, 60, 120	15
Beam power (kW)	2.25 (25 MeV)	-
Dose rate (rad/min/m)	4.5 x 10** (25 MeV, 15 pps)	0 - 300
Gantry position	180° fixed	0 - 360°

* Set up by programming
 ** Measured by Fe⁵⁵-Cu⁶⁴ chemical dosimeter at beam center

Table 1. General performance of NELAC-4030

Energy (MeV)	Peak value (mA)	Average value (μA)
5	200	13
10	300	58
15	250	32
20	325	80
25	320	90
30	260	74

Table 2. Maximum beam currents of 90° bent beam

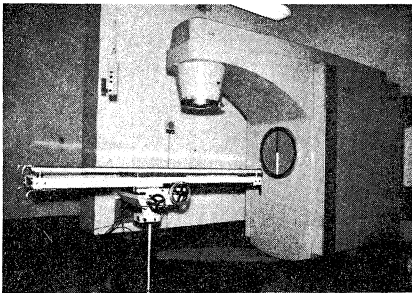


Photo 1. Accelerator,
patient support assembly
and pendant box

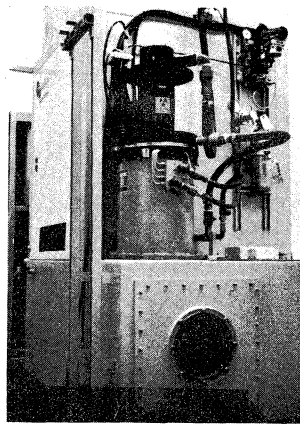


Photo 2. Klystron
pulse modulator

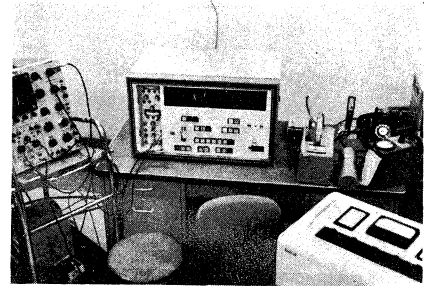


Photo 3. Control console

3 オーバホールへの要請

ウィンドウ 電子線の取出口は全部で3箇所あり、直径15 mmのベリリウムフイルムに3 mm中のスポットでビームを引出し実験に使用される。ウィンドウは熱放射と1気圧の圧力により劣化し交換が必要となった。

バキュームチャンバー 加速管を出たビームは57°と90°のベンディングシステムを左よして実験に使用される。ビームが偏向される時バキュームチャンバーのステンレスの壁で絞られ対称なビームが得られる。しかし25 MeVで15 PPSで運転した場合でも壁の温度は150°Cに上昇し、膨張し、熱サイクルにより金属疲労が生じて7箇所からの真空リークが生ずるようになりバキュームチャンバーの交換が必要となった。

ターゲットバローズ X線と電子線のモードの換えは真空中のターゲット位置を機械的にゆがえて行なっている。この運動を無敵に繰返している間にステンレスバローズにキ裂が生じて真空漏れが生じた。バローズの交換が必要となった。

機械的補強 放射線の遮蔽材として加速管の出口、57°ベンディングエネルギーシート-90°ベンディングシステム、X線ヘッドエリメータ部など鉛とタンガステンを使用し

ている。全重量が1,000 kg 近いため装置が360°回転すると固定かゆるみ転落の危険性もあり耐強と改造が必要となった。

バンディングマグネット マグネットはグラウンドから浮して使用している。コイルには銅パイプを使用しゴムホースを差通して冷却水を供給している。コイルの絶縁性、ホース内部に付着した異物のため対地絶縁が極端に下がった。このためコイル電源動作不安定となり、ホースの交換とコイルの絶縁耐強が要請された。

ビームアライメント 加速管軸とソレノイド軸との位置が自重やひずみで経年的にずれを生じビーム透過度が低下し、さらに加速管から出たビームは5°バンド後エネルギースリット、ビーム電流モニター、Qマグネットを経て90°バンドシステムからウィンドウを経てビームがX線ヘッド(コリメータ部)を通過して実験に使われるために、Qマグネットの位置調整、加速管とバキュームケレンバーとの相対関係の再調整が要請された。

クライストロンパルスモジュール 加速に要するRF源として21 MWピーク値のクライストロンが使用されている。ラインタイプモジュールはオイルタンクに高圧整流部が収納されており、トランス類、テヨーク類、コンデンサ類の高圧部品の絶縁テストが必要となり、不良が発見されたものには交換もしくは修理が要請された。

ケーブル系 定期交換時や事故修理時にも調整や修理を施してきたが、特に安全回路を含む制御回路やケーブル関係のすべてまでが交換不可能であった。従って経時的に劣化し事故原因となる可能性のある部分について、例えば駆動機構部やモータ関係の分解・交換手入れを含めた全般的事故予防処置を行なう要請が生じた。

4. 新規改良への要請

熱交換機と冷却系 従来1個の熱交換器でクライストロン系、加速管系、バンディング系、モジュール系を並列に冷却水を流して温度制御を行なっていた。このためビームON時の過渡的溫度変化が急激なため加速管での溫度変化の許容値 $40 \pm 1^\circ\text{C}$ 以内に追従しない時間が生じた。この間加速周波数とクライストロン出力周波数とが一致せずビームのブローアップ現象が起る。これはクライストロンでの発熱量が全体系に影響するもので

これを分離し独立に冷却すれば、加速管の温度上昇を十分許容値以内で制御できる。ここに2系統の冷却系が要請された。

加圧系 RF立体回路の加圧系にフロンガス (CCl_2F_2) を使用していたが内部で放電を生ずると塩素酸化物が生じ内壁に付着しさらに放電を誘発するようになる。これを減少させるために SF_6 ガスに置換する要請を受けた。

RFドライバー 従来のRFドライバーは周波数ドリフト、出力パルス幅が十分でなかったためビームパルスを安定化するために時間がかかった。新RFドライバーはバラクタダイオードを発振器にして10倍し三極管で増やす方式を採用した。周波数の可変には発振器のバイアス電圧を直接制御し容易に調整可能であり、パルス幅もピーク値も安定した波形が得られた。

マイコンコントロール 冷却系改良で周波数調整は不要となったが長時間運転時の初期と後期での周波数の調整、パルス繰返し数を換えたときの変化の補正にAFC回路を要請された。2856 ± 0.05 MHz レンジをマイコンを使用しビームピーク値をモニターしてパルスのピーク値を最大とするように周波数を1 kHz ステップで制御する。同時にクライストロンビーム電圧の最適化もPFN電圧をモニターしてビームピーク値を最大となるように先にモニターした値の0.3% ステップで制御させている。

ビームパルスコントロール トリガー回路のジッター及びビーム立ち上りの不安定性を除去するためトリガー回路を4通りのルートに分離して制御させた。オ1はクライストロントリガー系で15, 30, 60 PPS のカウンタダウン回路を含み、オ2は電子銃トリガー系でそのデイレイ回路とコントロール回路から構成され、オ3はRFドライバートリガー系でデイレイ回路とそのコントロール回路からなっており、オ4はこれらのトリガー系を同期させる調整回路からなっている。本回路使用によりクライストロンパルス出力の安定化、RFドライバーパルスと電子銃パルスの同期が自由にコントロールされるようになり、従来ビームの制御で線算線量 (Rads) 及び時間下けであったが、必要なパルス数でコントロールできるようになった。

5. 結論

将来は生物・細胞学上の研究のため極短時間の変化を観察を目的とした実験用に立エリ
バシヤ-70でさらに短かいパルス制御を可能とするためグリッド型の電子銃の使用の検討、
7エスシフターと入力制御による安定した低エネルギービームパルスの取出しの検討、
60 PPSの安定化が得られた後はさらに繰返しを上げて平均電流値の増加により速中性子
治療の基礎研究が検討されている。

- (1) 中下健見 他：日本医学放射線学会誌 才30巻 才8号.
- (2) 大岩四郎 他：NEC日本電気技報 NO. 99 1970.