

## LINAC OF HOKKAIDO UNIVERSITY

Takeaki Enoto, Hiroaki Tanida, Koich Sato,  
Masatoshi Kitaichi, Yuichi Ogawa and Yasutomo Ozawa  
Faculty of Engineering, Hokkaido University

## ABSTRACT

This year just corresponds to the tenth anniversary of the accomplishment of the first accelerating tube of the 45 MeV electron LINAC of Hokkaido University, the construction of this facility was started in 1971 and was completed in 1974. Since the first trial operation in 1971, this LINAC has been working stably and successfully as the source of the pulsed high intensity electron beam, neutron beam and  $\gamma$ -ray. We now have the fairly good records as for the machine time amounting to twenty thousand hours.

The main research subjects, on which several research groups make good use of this facility, are spectrometers for quasi-elastic neutron scattering, picosecond pulse radiolysis, neutron deflection, TOF, measurements of low level bremsstrahlung radiation and so on.

In this paper we refer to the outline of our LINAC structure, situation of the machine operation, durability records of klystrons and gun and list of machine troubles. And furthermore, we describe a few improvements on the temperature and voltage control systems of the LINAC which intend to stabilize the electron beam current and energy. Lastly we report briefly the status of the 4 MeV LINAC of Hokkaido University.

## 1. まえがき

北大45MeV線型加速器の設置が決まっマから今年が満10年を経過してゐることから、区切りの意味も含めマその沿革を簡単に記述したい。北大原子工学科の開設(昭和42年)に先立つ34年より建設が始められた4MeV線型電子加速器が初めマのビーム加速に成功したのが丁度20年前の昭和36年9月5日であつた。この装置は以後10年余原子工学科の主要実験装置の1つとして放射線計測, 放射線化学分野の研究者を中心として多方面の研究者に利用されマ来マあり, 現存でも低エネルギービームを用ゐる実験には有効に利用されマゐる。更に中性子を用いた研究に供する目的で小規模ながらもパルス的に強力な電子線, 中性子線,  $\gamma$ 線を発生し得る45MeV線型電子加速器の建設が始まり, 3ヶ年を要して昭和49年3月完成を見た。

1段加速のみの運転を含めマ10年の運用を経過してゐるが, 幸いにも大きな事故もなく順調に稼動してゐる。附属実験装置の充実, LINACの細かい改良と相まッマビームの長時間安定性が高まり年間平均2,000時間(ビーム時間), 総運転時間20,000時間に達する状況にある。現在は5~6研究グループが週5日の運転時間で各種の研究に利用してゐるが, 本報告においてマLINACの概要, 運転状況, 研究テーマ別利用状況, 10年間の保守・修理の状況について述べるとともに, 昨年より進めマゐる温度・電圧制御によるLINAC出力の安定化についてマの改善結果についてマ報告する。

## 2. LINACの概要

45MeV LINAC 建屋は、地下1階・地上1階総面積1622m<sup>2</sup>で工学部西端に位置し、LINAC 本体、関連実験装置は地下に設置されておりしゃへの容易さを図らている。既に報告した如く、監視区域境界地点での漏洩放射線は年換算1~2mR以下に抑えられている。構成を図1.に示すが3段の加速部と誘導部から成り、ビーム偏向系及び追加設置したビームラインスイッチとにより4ヶ所から電子ビームを取出すことができる。更に従来の20m中性子飛行管に加え、懸案となっていた60m飛行管抗道が河川法の制約がとれ、昨秋完成している。

電子ビームの特性を表1.に示した。3μsec, 200PPSの約120μA, 30MeV, 4KW電子ビームが得られ、中性子線強度は1~2×10<sup>11</sup> n/sec cm<sup>2</sup>, γ線強度はターゲットより1mで6×10<sup>9</sup> mR/hが得られている。

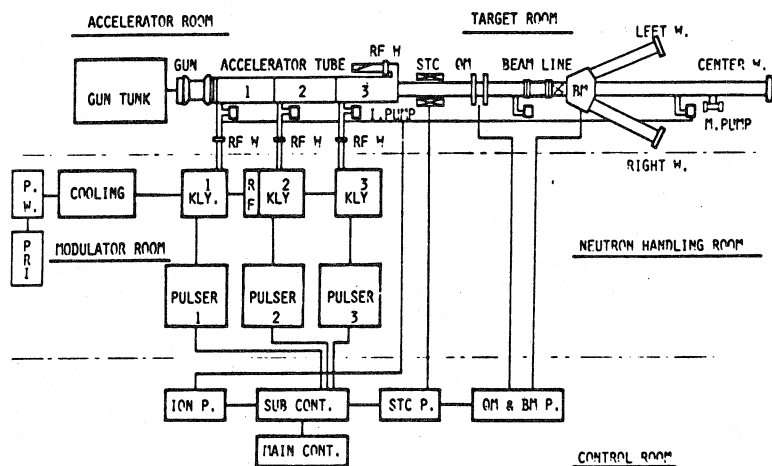


図1.

項目	区分	仕様	性能	
1. 電子線エネルギー			3μSec	0.01μSec
	最大(大頭電流値1mA以上)	45MeV以上	46MeV(50μA)	46MeV
	定常(大頭電流値100mA以上)	30MeV以上	31.5MeV(210μA)	46MeV
2. 電子線電流	最大大頭ビーム電流	100mA以上	Center 140μA Right 100μA Left 90μA	4.5μA
	最大平均ビーム電流	60μA以上		
3. 電子線パルス	パルス幅	3, 0.5, 0.1 0.01μSec	同左	
	くり返し	10~200PPS 電圧2		
4. ビーム直径		15mmφ以下	12mmφ	8mmφ

表1.

## 3. 運転状況・研究テーマ別利用状況

昭和55年度までの年度別ならびに55年度月別利用時間を図2, 3に示す。ここ数年はわずかに減少傾向にあるが平均として低圧通電時間2500時間, ビーム通電時間1500時間であり平均利用日数(180)を考慮すると1日平均では夫々14時間, 8時間となる。10年を経過し当初の研究に必要な改造, 増強をする必要性が高まってきた。現在他施設・原子工学科よりなる将来計画懇談会が発足しており, その中で検討されることになろう。幸いなことには他学科, 学部の研究者の利用が増加しつつあり幅広い分野での利用が期待される。

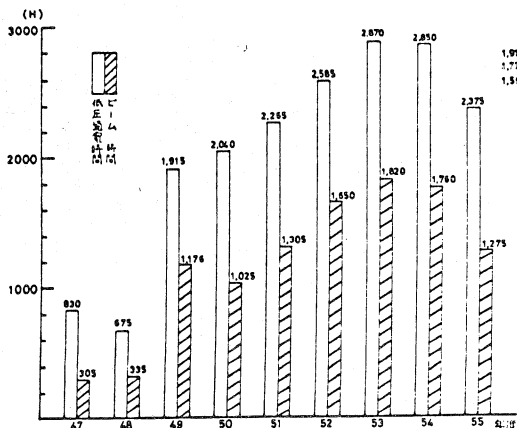


図2.

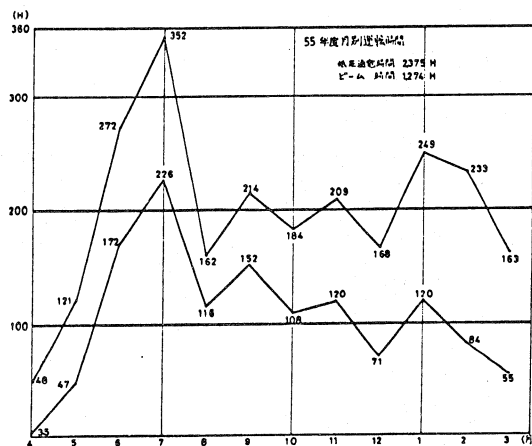


図3.

45MeV LINAC に附属した実験装置及び利用研究テーマ名と55年度の利用日数を以下に示す。

(1). RANDAM

(46日)

電子ビームによる光中性子を効果的に冷中性子に変換し、種々の散乱資料による冷中性子散乱スペクトルを測定する。中性子強度の不足を補う種々の工夫により、準弾性散乱に関しては研究用原子炉に匹敵する感度と分解能を備えている。特に固体内の水素のランダム運動の研究に有用。

(2). ピコ秒パルスラジオリニス

(45日)

ピコ秒幅のパルス電子線及びそのチレンコフ光を利用して、放射線化学の分野における物理化学的段階を含めた迅速反応を直接的に観測するもので、ビーム安定度が強く要求される。2グループが実施。

(10日)

(3). 中性子飛行時間分析

(30日)

原子炉構成材中の高速中性子スペクトルを測定し、炉設計に使用される核データの評価等を行う。中性子回折を用いた溶融塩と金属との混合溶液に対する構造解析の立場からの研究。

(4). 放射化分析実験

気送系によるターゲット部の安全な試料の送り込み、取出しが可能であり、中性子・ガンマ線による各種試料の放射化元素分析を行う。

(5). その他

(30日)

同期・時間分布測定による微弱放射線測定、逆コンプトン効果による電子ビームエネルギー分析  
学生実験、保守・調整 (45MeV LINAC 研究室)

4. 故障の発生状況と主要部品の使用時間

大小併せまこの10年間での故障は191件に上る。その系統別、年度別の件数を図4に示すが、最も件数の多いのがパルサー関係、つづいて電子銃、RF発振関係である。初期の年代のトランス、リレー、Fuse、Trの容量不足を除くと、真空管、サイラトロン劣化が主である。近年はビーム安定度を向上させることを主眼とし、故障発生以前に安定度に注目して予備的に交換することが多い。その他サーボモータ駆動回路、冷却系モータシャフト交換、純水製造装置への前処理、各種磁場コイルへの電流源の改良により大幅に故障を軽減している。その他はリレー等消耗品が多い。

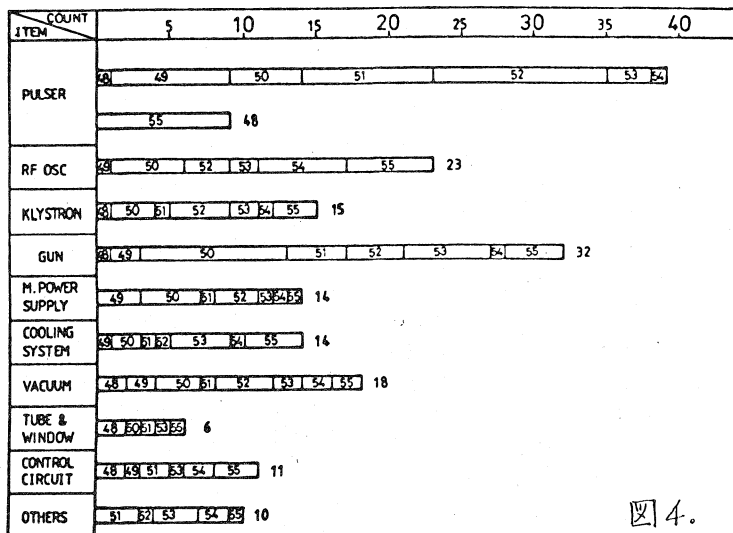


図4.

主な改造箇所にはビームラインスイッチ、速動弁、分子ポンプ、無停電装置、リキータターゲット自動制御装置(及びレール設置)があり、その他は安全性、安定度向上のための各種自動制御装置とエリアモニター装置の設置等40件程の電子回路の改良、増設がある。

表2に主要部品の現用時間と交換時点での使用時間を示す。

表2. 単位;(H) →は使用中

電子銃		クライストロン			サイラトロン		
①. 1512	④. 5990	No1 ①. 249	②. 3307	③. 15608 →	①. 8554	④. 15498	⑦. 743 →
②. 1916	⑤. 5493	No2 ①. 264	②. 17505	→	②. 9438	⑤. 9203 →	
③. 2042	⑥. 2211 →	No3 15973	→		③. 8312	⑥. 1012 →	

## 5. 電子ビームの安定化

パルスラジオリシス等の研究においてLINAC電子ビームの安定度の向上が強く望まれていた。電子ビームの安定化には温度及び電圧の安定制御が主な要因となるが、本体への大幅な改造によらずにどの程度の改良が可能か、更に将来の安定化に必要な改善点を明らかにする目的で、二、三の改良、測定を試みた。

当初、RF発振・増幅用板極管3CPX100A5は特に温度制御を実施せず、室温の変化、運転条件の変化に依存して温度も大きく変化していた。これに起因すると推定される電子ビーム電流のドリフトが最悪時には1時間あたり13%をも上廻っていた。最初に自動風量制御装置を試作し、両板極管を±1℃以内におさめる如く設定した結果図5に示す如くビーム安定度を数%、最大でも7%以下までに改善出来た。次に標準空洞、板極管、ビーム電流の時間変化の測定結果を図6に示すが、ビーム電流の変化は標準空洞表面温度の急激な変化の時刻に対応していることが明らかに現われている。加速管入口での冷却水温度の変化は図7にある如く、10~20分の周期で±1.2℃程度変動している。この温度と標準空洞の温度差のわずかな時間遅れが原因と考えられることから、温度検出系、制御系、ヒータ制御系を改造した結果、冷却水温度を±0.2℃以内に抑えることに成功した。この結果ビーム電流の安定度が大幅に向上したが、17時10分以前に温度変化と直接対応しないビーム変動が観測された。(図8)

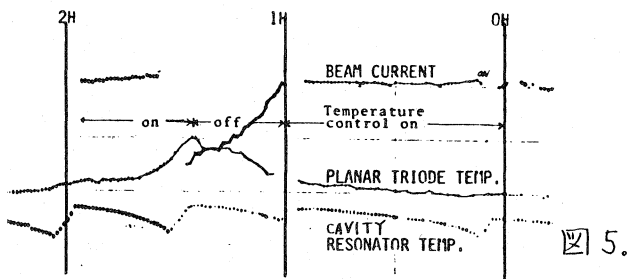


図5.

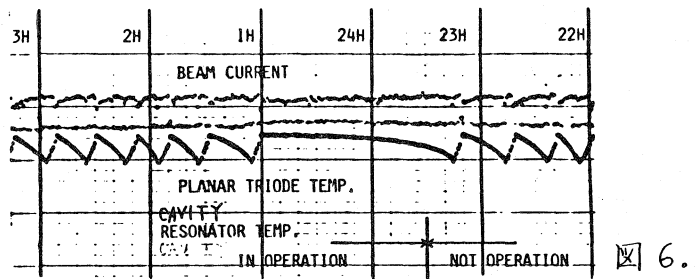


図6.

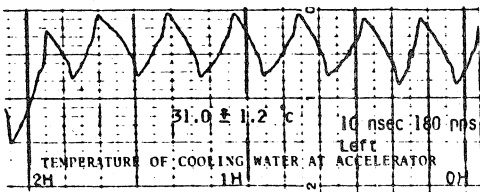


図7.

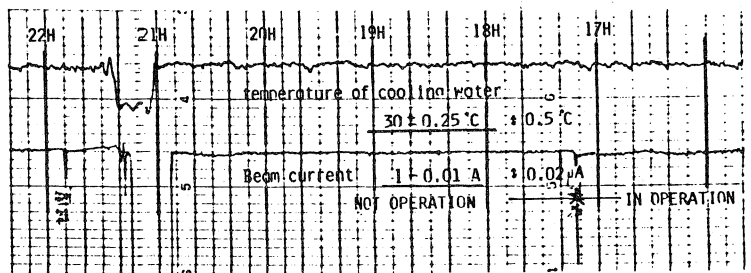


図8.

パルスラジオリシスの研究を進められている放射体応用講座住吉氏が午後5時すぎに行ると実験データが安定することから北海道電力株式会社に問い合わせた結果、大房氏より図9に示すごとき66KV母線電圧測定記録を載せた。同社北口変電所66KV母線には北海道大学への地中線と同時に豊平製鋼、北海鋼業の2社への供給線が接続しており、大型電気炉を通常23:00~17:00の時間帯で操業している旨御返答を載せた。早速LINAC電源での電圧変動率及びビーム電流を同時測定した結果図10A, Cに示す如く電気炉操業中及び停止時では電圧変化に急激な変動の有無があること、Beam B, Cから分かる如く、電源電圧の急激な変動1~3V(99~103V程度で変化)に対応してビーム電流がBでは3%~4%、Dでは1%以下発生している。ビーム測定はLEFT, 10nsec, 100PPSで行っており、磁場による偏向から電子ビームエネルギー変化に依るビームがコレクタからずれて振幅の減少を生ぜしめたと考えられるが、上述の数値はエネルギー変化率  $dE/E \approx 1.25 dV$  の式で電圧の急激

の変動幅が2%程度であることを考慮すると良く説明出来る。一方電圧のゆるやかな変動に対しは誘導型電圧安定器及びAVRを通し電源供給により更に1/5以下に安定化され供給されるため充分安定化されたと推定される。Beam Dにはゆるやかな0.5%程度の変動が観測されてくるがこれは以下の如く冷却水温度変化によるものとして説明出来る。

YHP 5345 A, 5354 Aによりマイクロ波発振周波数を測定し、 $2854.65 \pm 0.01$  MHzの結果を得た。加速管の温度係数はほぼ50 KHz/°Cであることから本装置の温度変化は $\pm 0.2$ °Cと計算され、図8の実測値とも一致する。一方10 KHzの周波数変化によるビーム電流の低下は最適加速条件時で1%程度であったことから、実測の10 KHz周波数変化又加速管の $\pm 0.2$ °C変化からいずれの場合にもビーム安定度が1%となることが計算され、実測値とも良く一致した。

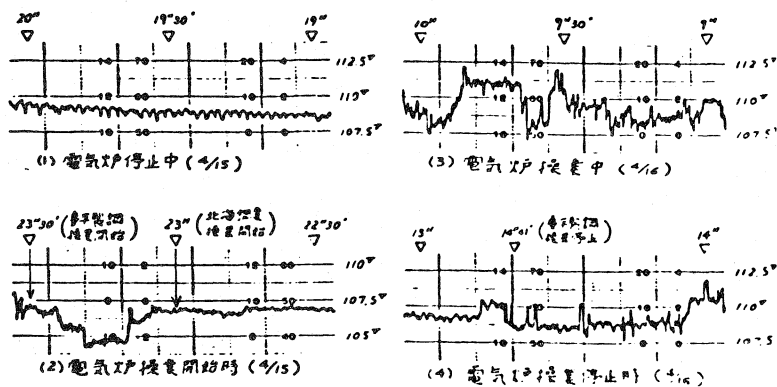


図9.

以上現状で1%以下のビーム安定度が達成されたが更に安定化するためには電圧変動の急激な変化の軽減及び温度安定化ならびにビーム電流検出した帰還による周波数制御が有効となる。

今回各種高圧パルスタノフの絶縁オイルの交換を実施するにあたり、廃棄の安全性確認のため廃油中のRI含量を計測した。測定は北大アイソトープ総合センターに依頼し液体シンチレーションカウンター(アロカLSC-700)、ガンマカウンター(アロカARC-500)を用いたが各オイルとも比較用水道水の測定値と変化なく、RIは検出されなかった。

6. 4 MeV LINAC 詳細は前回報告したのをご省略するが、簡単に現状を記述する。

ビーム加速より20年を迎える4 MeV LINACは現在でも年間1,000時間を越えて利用されており、55年度においとも濃厚アルカリ性メタールのパルスウジオリニス：溶媒和電子の吸収スペクトルとそのNa<sup>+</sup>イオン濃度変化の実験に利用されてくる。表3, 4にその性能及びマグネトロンの定格を示す。

表3 4MeV線型電子加速器の性能

形 式	$\pi/2$ mode	パルスの繰返し	50, 100, 200 pps, 単発
電子エネルギー	4 MeV	マイクロ波周波数	2998 MHz
電子流尖頭値	100 mA	マイクロ波尖頭出力	1.8 MW
パルス巾	1.6 $\mu$ s		

表4 マグネトロン (CV 2320) の性能

形 名	CV 2320	パルス幅	2 $\mu$ s
周波数	Sバンド	パルスの繰返し	750 pps 最大
ピーク出力	約2 MW	磁束密度	1550 ガウス
ピーク電圧	40/46 KV	ヒータ	8.5 V 8 10 A
ピーク電流	75/110 A		

なお、本装置は今年度より維持費が半減され運転の維持にも困難な状況となつてくる。この点は本施設に限らず施設が直面する重大な問題と考へてくる。

末尾ながら日頃お世話頂く原子工学科諸先生、職員、今回測定で御協力戴いた北大アイソトープ総合センター大西助教授、北電大房氏、並びに三菱電機(株)の方々に深謝致します。