

Measurement of accelerating frequency and beam loading curve at Tohoku 300 MeV linac

K.Watanabe, B.Feng, A.Kurihara, T.Nakazato, M.Oyamada, Y.Shibasaki,  
S.Takahashi, S.Urasawa, M.Yukishima and T.Yamakawa

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University  
1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, Sendai, 982 Japan

ABSTRACT

Tohoku 300 MeV linac was constructed in 1967. The linac operation has been stopped since October 1994 and the construction of Stretcher-booster-ring (STB) has started from this year. Before that time, accelerating frequency and beam loading curve were measured to optimize STB basic parameters. These results indicate that some improvements are necessary to realize the desired performance of STB.

核理研ライナックの最適加速周波数とビーム負荷曲線の測定

1. はじめに

核理研ライナックは1967年に完成して以来、平成6年10月まで27年間稼働していた。平成7年度からストレッチャー・ブースタリング (STB) [1] の建設が開始されるのに伴い、平成6年10月からSTB完成まで核理研ライナックは長期停止となった。しかし、核理研ライナックの性能に関する測定は完成以来あまりなされていない。そこで停止直前のライナック性能を確かめるために次のような実験を行い、データを収集した。

- a) ライナックの最適加速周波数の測定。
- b) ライナックのビーム負荷曲線の測定。

また、これらの測定を行うことはSTB建設のために下記の3つの目的についても重要な意義がある。

- 1) STB建設のために必要なライナックのパラメータを測定する。
- 2) STB完成時、ライナックの性能が元どおり復帰したかどうかを比較できるデータを残す。
- 3) 長期停止期間中にライナックを補修・改良するための参考データとする。

ここでは1)に関連して、a)はライナックを最適条件で運転することと、STBの周長を最適化させる、b)はSTB運転時の入射エネルギーの最適値を決定するための資料にする、という意味がある。

2. 核理研ライナック

核理研ライナックは図1のように構成されている。図1において、核理研ライナックは1m加速管と2m加速管がそれぞれ8本、12本から成り立っている。ライナックで電子ビームを加速するためにこれらの加速管に高周波電力を供給する。1m加速管に高周波電力を供給するのに2台のクライストロン PV-2014B (カソード改良型、最大定格出力25 MW、パルス幅4  $\mu$ sec、繰り返し300 pps) と2m加速管に供給するのに3台のクライストロン PV-2014B (最大定格出力20 MW、パルス幅4  $\mu$ sec、繰り返し300 pps) が使用されている。これらのクライストロンを運転するために、励振系クライストロンとしてSAS 61 (出力7 kW) が使われている。

3. ライナックの最適加速周波数の測定

ライナックは、図2のような励振系で運転されている[2]。この測定では、基準加周波数発生器をシンセサイザーに交換し、基準周波数を変化させてライナックのエネルギーとビーム電流を同時に測定し、最適加速周波数を決定した。

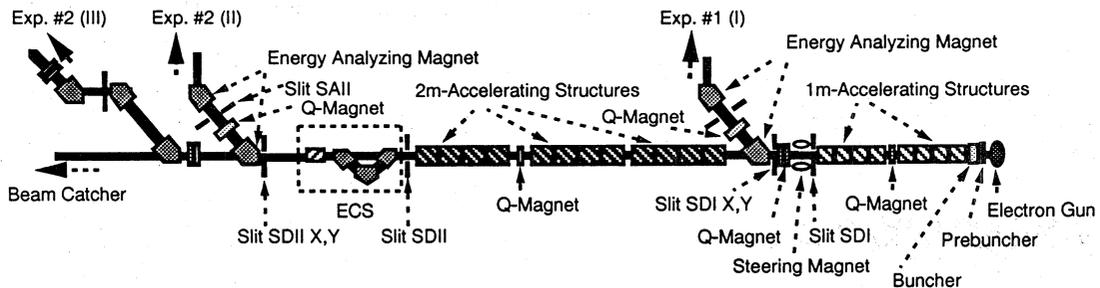


図1 ライナックの基本構成

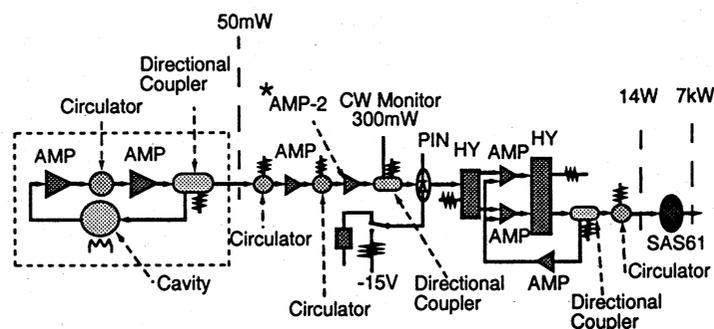


図2 ライナックの励振系

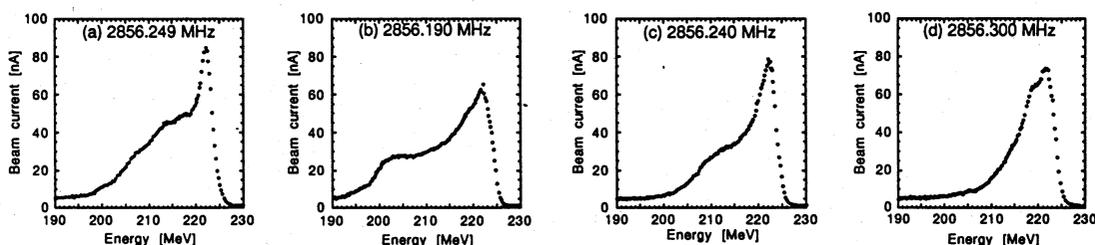


図3 基準加速周波数を変化させて測定したエネルギースペクトル

ビームのエネルギースペクトルは次のようにして測定した。ビームのエネルギーはエネルギー分析電磁石の電流を測定して求めた。ビーム電流の測定には二次電子モニター (SEM) を使用した。ここで、ビームのピークエネルギーとは二次電子モニターで観測される電流が最大になる時のエネルギーの値とした。ここで、二次電子モニターの変換効率は13.8%である。(平成6年1月8日) 本稿でSEMの電流を示すときは、変換効率の補正を行った値とする。

通常の励振系で運転した時と加速周波数を変化させて測定した時のエネルギースペクトルの結果の例を図3に示す。図3において(a)は通常の励振系で運転した時のスペクトルであり、(b)、(c)、(d)は基準周波数発生装置をシンセサイザーに交換して測定した時のスペクトルである。この時、電子銃、バンチャー等の設定は変えず、シンセサイザーの周波数のみ変えた。この結果から最適加速周波数を2856.240 MHzに決定した。決定の条件は電流値が最大になり、かつ、エネルギー幅が狭くなるものとした。

加速周波数とピークエネルギーの関係を図4示す。図4において2856.240 MHzはエネルギーがピークになる加速周波数領域に存在するので加速周波数として適当な値であることがわかる。また、今まで使われていた加速周波数は2856.249 MHzであり、図4から実用上問題のない周波数領域にあることがわかる。

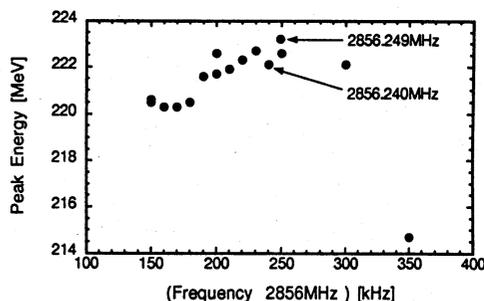


図4 加速周波数と加速エネルギー

4. ライナックのビーム負荷曲線の測定  
ライナックのビーム負荷曲線[3]は電流  $I$ 、エネルギーを  $E$  とすると次式で表すことができる。

$$E = aI + b \quad (1)$$

ただし  $a$ 、 $b$  は定数とする。

ライナックの加速管のパラメーターは以下の値とされている。

シャント・インピーダンス  $53 \text{ M}\Omega/\text{m}$

電圧減衰係数  $0.245 \text{ neper}/\text{m}$

この値からビーム負荷曲線を計算すると次式になる。

$$E[\text{MeV}] = -0.34 \times I[\text{mA}] + 256 \quad (2)$$

ライナックのビーム負荷曲線を求めるために図5のような測定系で実験を行った。ビーム電流の測定は主に次の様に同時に行なった。

- (1) CT7でのピーク電流  
(ライナック出力電流)
- (2) SEMでの平均電流  
(エネルギー分析電磁石を通過した電流)

ここでCTとはフェライトコアを用いたパルス電流モニターのこと、電流波形及びピーク電流をオシロスコープで測定した。(2) SEMを使った測定では電流計(EG&G ORTEC model 439)のアナログ信号をデジタル電圧計により測定した。

CT7、SEMで測定した電流とピークエネルギーの関係をそれぞれ図6、図7に示す。図6において横軸はライナック出力電流を示している。図6よりビーム負荷曲線を求めると次式となる。

$$E[\text{MeV}] = -0.86 \times I[\text{mA}] + 256 \quad (3)$$

図7において横軸は平均電流を表す。ただしビームのエネルギー幅は0.15%となるようスリットSAIIを設定した。この時、繰り返しは300 pps, 100 pps, 60 pps, 27 pps, と異なるがすべて300 ppsに相当するように規格化した。この場合ビーム負荷曲線は次式となる。

$$E[\text{MeV}] = -33 \times I[\mu\text{A}] + 248 \quad (4)$$

STB計画では、電子ビームがSTBに入射する際、ライナック出力電流100 mA、ピークエネルギー250 MeVを想定している。しかし、(2)式からライナック出力電流100 mAとした場合、ピークエネルギーは170 MeVと推定される。

また、(2)式と(3)式を比較すると、(3)式の傾きが(2)式の約2.5倍になっている。長年使用してきた核理研ライナックの加速管のシャント・インピーダンスが建設当初の53 MΩ/mよりも大きいとは考えにくい。従ってこの違いの原因は、CT7で観測した電流Iが実際に加速管の負荷となった電流よりも少なかったためと考えることができる。実際、最後の加速管とCT7の間にはスリットSDIIとエネルギー幅圧縮装置(ECS)がある。この仮定が正しいとして透過率が100%になったとしても、ビーム電流100 mAの時のピークエネルギーは220 MeV程度であることが図6から分かる。

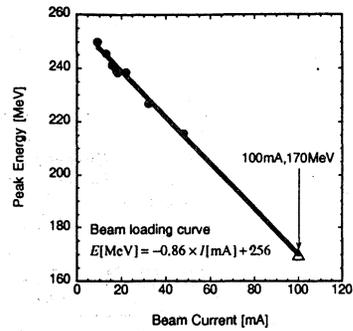


図6 CT7の測定電流とピークエネルギーの関係

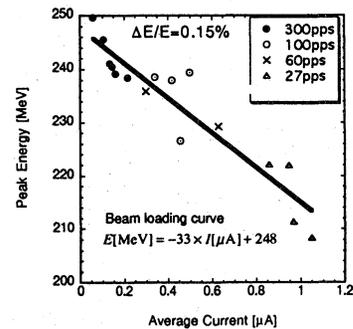


図7 SEMの測定電流とピークエネルギーの関係

## 5. まとめ

この測定によって得られたライナックの最適加速周波数2856.240 MHzとビーム負荷曲線が得られた。ビーム負荷曲線から予想されるピークエネルギーは、STBへの入射に想定しているピークエネルギーより低いと推測され、現状のライナックでは実現が困難と考えられる。

STBにビームを入射させる場合エネルギー幅圧縮装置(ECS)を使用する予定である。この実験ではエネルギー幅圧縮装置を用いて測定を行う予定であったが、ビームをエネルギー幅圧縮装置に通過させることができなかった。この原因は不明であり、今後この原因を究明しなければならない。

この結果を参考にSTB完成時に同様なテストを行いライナックの性能が元どおり復帰したか、または、改良されたか比較すべきである。また、ライナックの性能を把握するためには、このような測定は定期的に行うべきである。

## 参考文献

- [1] 東北大学電子線科学研究センター計画ワーキンググループ、「電子線科学研究センター・放射光リング・ストレッチャー・ブースタリング計画」(平成6年1月) 18
- [2] 今野収、浦澤茂一、小山田正幸、リニアック技術研究会報告集(1976) 8
- [3] 竹田誠之、OHO'90 高エネルギー加速器セミナー 1990年8月 40

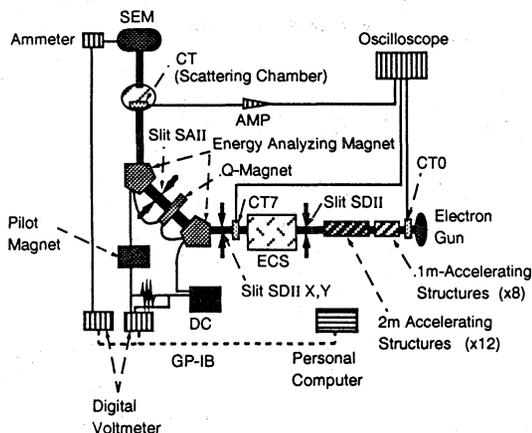


図5 測定系