

Toru Ueda, Hitoshi Kobayashi, Toshiaki Kobayashi, Yoneho Tabata, and *Seiichi Tagawa

Nuclear Engineering Research Lab., Fac. of Eng. Univ. of Tokyo

* Research Center for Nuclear Science and Engineering Univ. of Tokyo

ABSTRACT

Electron beam trajectories focused by Helm Holtz coils have been measured in a test bench. A simple computer program for calculation of electron trajectories focused by magnetic fields has been developed and the results of calculations agree with experimental values obtained in the test bench. Electron trajectories from the electron gun to the pre-buncher of TODAI 35 MeV linac could be evaluated using the program and several problems for increasing the transmission efficiency at high current, become clear.

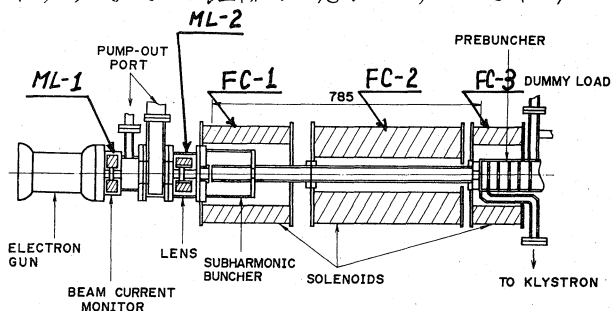
<はじめに>

ピコ秒シングルビームの出力強度を増強する場合には、電子銃の出力強度を上げる必要があることは当然であるが、0.8ナノ秒の半値幅で非常に大電流出力を期待することはできない。電子銃から出た電子の加速効率を十分に良くし、途中で損失なく出力させることは重要な問題となる。又、単に透過率を上げるのみの収束系にとどまらずサブハモニックバンチャー (S.H.B) で速度変調を受けた電子の軸方向のスペースチャージ力の軽減のためのビーム径の最適化ということも入射部収束系の重要な課題となる。これらのことをふまえて入射部収束系の検討を進めている。入射部のテストベンチを作り適当な磁場のもとでの電子銃からの電子の軌道の実測、簡単な計算によるシミュレーション、それらによる現在の実機の入射部のシミュレーションを実施した。これらの結果からマイナーな変更による入射部の改善方法の検討をすすめている。

<現在の入射部の問題点>

現在の入射部システムを図-1に示す。この入射部収束系において大電流化を計画した場合に、次のことが問題となる。

(1) 電子銃アノードと磁気レンズML-1のギャップまでの距離は現システムでは9cmある。電流5Aでアノード孔においてビーム径10mm^φの平行ビームを得たとしても9cm離れたところではそのビーム径はフーコンカにより約20mm^φに広がる。径10mm^φ内を有効ビーム径と考えるとML-1の位置で10mm^φ内のビームとして得られるのは約25%にしかすぎない。従って電子銃アノード位置からML-1までの距離はできるだけ近づかなければならない。



(図-1) 現在の入射部システム図

(2) ML-1とML-2のギャップの距離も17cmある。電流5Aでビーム径10mm²のビームをML-1で誘導できる距離は約14~15cmでしかない。従って、17cmの位置にあるML-2では10mm²内の有効ビームは約50%に減少する。

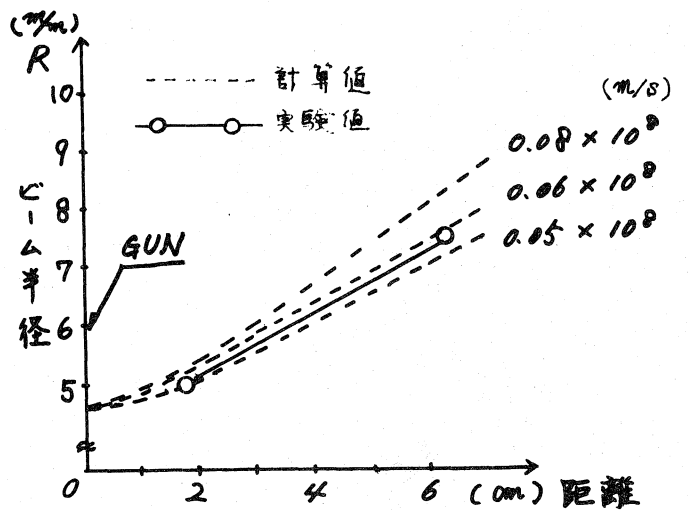
(3) フォーカスコイルFC-1, 2, 3の誘導系で電流5A, 径10mm²のビームがプレバンチャー入口まで10mm²内にどれだけ導くことができるかどうかという問題がある。このことは、後章でシミュレーション結果より推定する。

〈改善のための試案 (I)〉

ML-1並びにML-2のそれぞれの問題をなくすため、電子銃を直接S, H, B近くに取付けて入射部の試験を行った。このシステムではML-1, ML-2で誘導される際に損失となる問題はなくなったにもかかわらず実際には電流増大の結果は得られなかった。

〈入射ビーム径の実測と計算〉

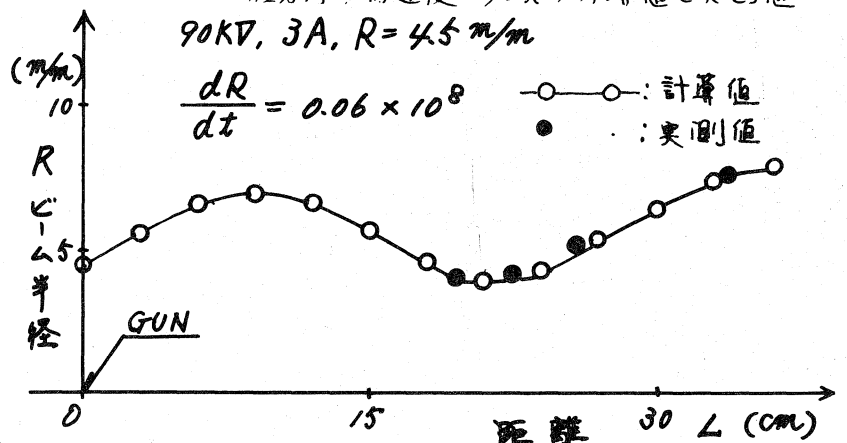
電子銃を直接S, H, B近くに取付けたシステムで電流の増大が得られなかった原因を推定するため、入射部のビーム軌道のシミュレーションを行った。まず、計算式の妥当性を評価するために電子銃とヘルムホルツコイルの組合せによるテストベンチで、ビーム径を実測して計算式との一致を試みた。磁場のないときの電子銃アノードからビーム径を測定し、計算のためのビーム径と径方向の初速度 dR/dt の初期値を求めた結果を図-2に示す。その結果、テストベンチで試験をした電子銃のビーム径の初期値を半径で4.5mmとし、径方向の初速度 dR/dt の初期値を $+0.06 \times 10^8$ m/s (約 1.94°) と決定した。上記の初期値を用いて、ヘル



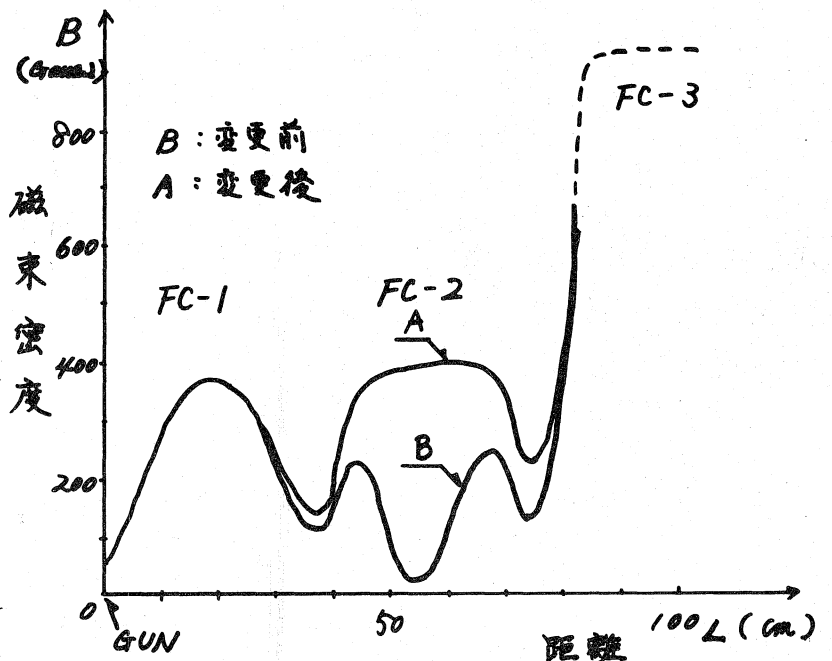
(図-2) 磁場のないときの電子銃アノードからのビーム半径と径方向の初速度 dR/dt の計算値と実測値

90KV, 3A, $R = 4.5$ mm

$$\frac{dR}{dt} = 0.06 \times 10^8$$

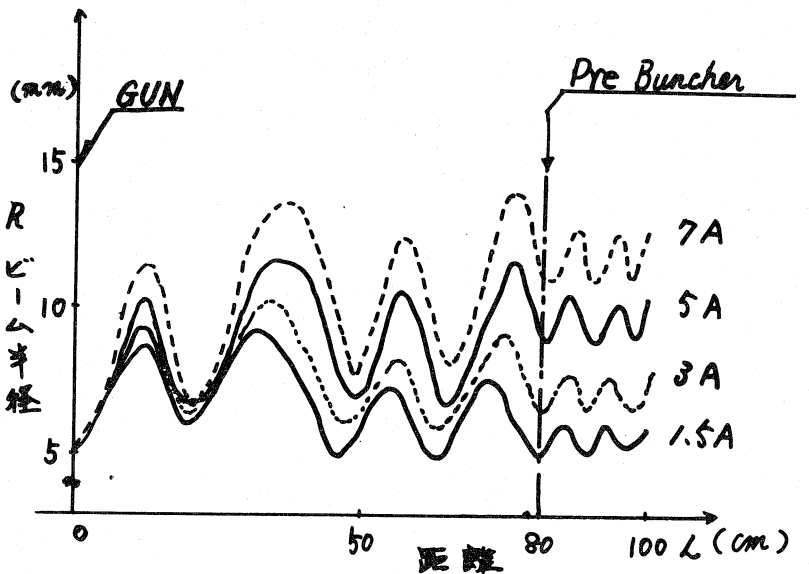


(図-3) テストベンチによるビーム軌道の計算値と実測値



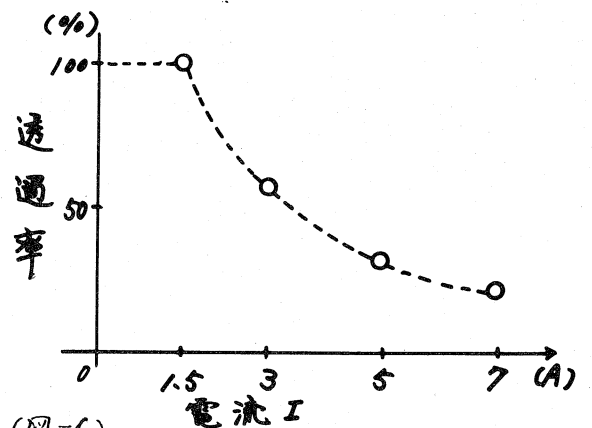
(図-4) ライフック入射部軸方向磁場分布の測定結果

ムホルツコイルによる磁場分布を与えて、テストベンチでのビームの軌道をシミュレーションした結果が図-3である。また、実測したビーム径を図-3の黒●印で示す。この結果より計算式と実測値のかなり良い一致が得られた。〈ライナック入射部収束系の磁場分布の測定とビーム軌道の推定〉



試案(I)のシステムでフォーカスコイルFC-1, 2, 3の実際のビーム誘導時のパラメータにおける軸方向磁場を測定した結果を図-4に示す。磁場測定時に偶然、FC-2の3分割されたコイルのうちの中間のコイルの磁場の方向が逆に向いているのを発見した。その時の磁場分布がBであり、変更後の磁場分布がAである。A並びにBの磁場分布においてもビームの透過率は実際上はほとんど変化がなかった。この理由は、シミュレーションを行った結果では、どちらの磁場分布でもプレバンチャー入口ではほとんど同一のビーム径となるためであると推定される。図-5にAの磁場分布においてビーム電流を変化させた時のビーム軌道のシミュレーション結果を示す。この結果より、プレバンチャー入口でのビーム径が電流の増大とともに広がっていることがわかる。ビーム径10mm^φ内を有効ビーム径として、電流に対してその透過率を表わしたものが図-6である。この結果、現在の入射部システムでは大電流になればなるほどその透過率が下がってしまう結果となることが予想される。

(図-5) ライナック入射部ビーム軌道のシミュレーション

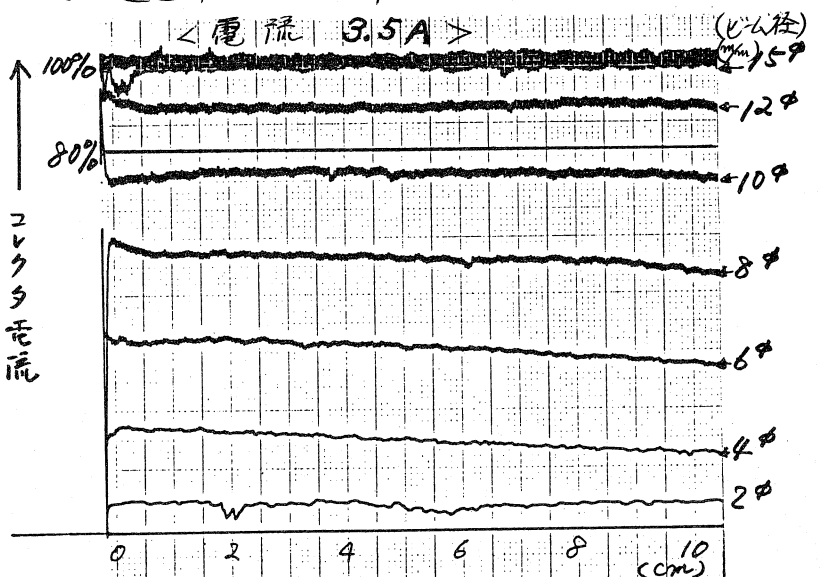


(図-6)

プレバンチャー入口での10mm^φ内のビームの透過率

を改善のための試案(II)〉

プレバンチャー入口で10mm^φ内に100%のビームが入るようなビーム誘導を考えると、当然のことながら、理想的にはブリリアンフローで導くことが良いと考えられる。そこで、ブリリアンフローで導くことを目的としてテストベンチで実験を行った結果、Mレンズとヘルムホルツコイ



(図-7) Mレンズとヘルムホルツコイルの組合せによるテストベンチでのブリリアンフローのビーム径の実測例

ルの組合わせではほぼブリリアンフローに近い結果が得られた。その測定結果を図-7
す。図-7より 10 mm^2 内には全電流の75%のビームが得られている。従って、今後の入射
部誘導系としては、Mレンズとヘルムホルツコイルのシステムを考えている。

〈まとめ〉

現在の入射部システムでのビーム軌道の状況が明らかとなり、今まで入射部に因りては
モニターもなく判然としなかったことが計算によりある程度推定がつくようになった。
今後は、ピコ秒シングルビームの電荷量を増すためには、入射部光束系のみならず加速管
のマグネットについても検討を進めていく予定である。