

T. Ueda, H. Kobayashi, T. Kobayashi, and Y. Tabata  
Nuclear Engineering Research Lab., Fac. of Eng. Univ. of Tokyo

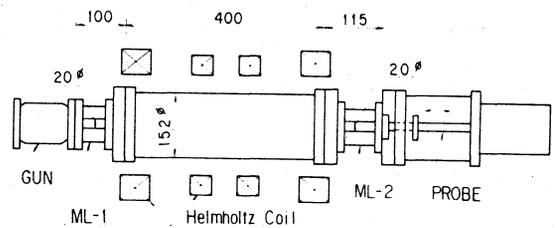
ABSTRACT

An electron beam emitted from an electron gun has to be bunched by a sub-harmonic pre-buncher to get a picosecond single beam. The space charge force of axial-direction is in inverse proportion to square of the beam radius. So the beam radius has to be kept larger (more than  $\sim 5$  mm) to reduce space charge effects. The Brillouin flow beam with the radius of 6 mm can be obtained by the focusing system which is composed of 2 magnetic lenses and Helmholtz coils.

1 <目的> ピコ秒単パルスライナックでは、ピコ秒シングルビームの出力電荷量を増大するためには単一バンチ内にできるだけ多くの電子をバンチングしなければならない。サブハーモニックバンチャー (SHB) とプレバンチャー (PB) よりなる我々のピコ秒シングルビームのバンチングシステムにおいて、大電流のバンチングを考慮した場合、ビーム径が極端に小さくなるとスペースチャージ効果によるフロンカの反発を受けバンチングも広がり、サテライトビームの増加につながる。また反対に極端に広がってしまうと、ビームの透過率が下ってしまい、有効にビームを誘導することができない。電子銃から出たビームを、制御したビーム径で誘導すること（すなわち フリルアンフロー）を目的に Fig-1 の構成によるMレンズとヘルムホルツコイルを用いた集束系にて実験を行った。

2 <実験方法並びに実験条件> 実験は以下のよう  
に分けて実施した。

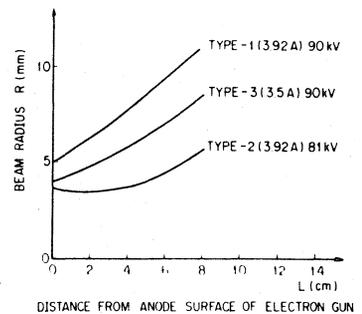
- <実験1> 電子銃のプロファイルの測定
- <実験2> Mレンズによるビーム集束とその計算
- <実験3> Mレンズ1+ヘルムホルツコイル+Mレ  
ンズ2の集束系のビームの透過率とMレンズ2の集束



(Fig-1) Mレンズとヘルムホルツコイルによる集束系とビームプロファイルの測定系

ビームのプロファイルの測定は同芯円上に穴径の異なる銅板を絶縁して重ね、各銅板に集まる電流をプローブの位置を移動して測定する。ビーム半径は、全電流の80%内に集まる電流値でビーム半径とした。条件としては、電子銃の電圧90KV、ビーム電流は2.4Aから5.7Aまで可変とし、ビームパルス中は約10ns、くり返し数は12.5ppsで実験した。

3 <実験結果> <実験1> 3種類の電子銃についてアノードからの8cmの距離までのビーム径の広がりを測定した結果を Fig-2 に示す。

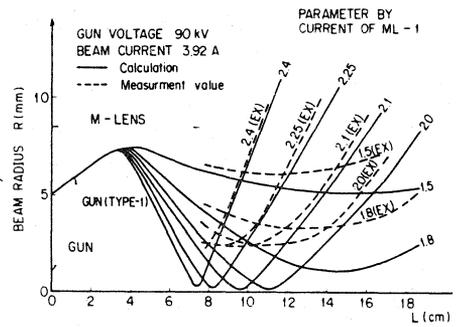


電子銃のプロファイルとしてはTYPE2がパラレルフロー電子銃に近く、我々の希望している特性であり、3種類の中では最も良い。

<実験2> Fig-3にTYPE1の電子銃とMレンズ1の組み合わせ

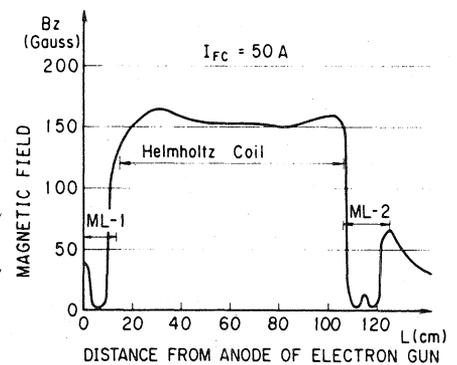
(Fig-2) 3種類の電子銃のビームプロファイルの測定結果

によるビーム集束の実験結果と計算の比較を示す。ビーム電流は3.9Aであり、パラメータはMレンズの電流の変化を示す。破線が実験結果であり、実線が計算である。但し、計算は実際のMレンズの電流に対して1.4倍にした結果である。この実験と計算の誤差は、Mレンズ内径20mm<sup>φ</sup>に対してビーム径16mm<sup>φ</sup>となっているため、近軸方程式における近軸の仮定が成り立っていないためと思われる。



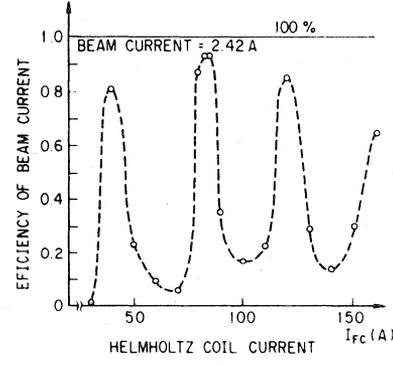
(Fig-3) Mレンズによるビーム集束の測定結果と計算(Mレンズの値は実際の1.4倍)の比較

〈実験3〉 Fig-1の体系で実験を実施した。電子銃からMレンズ2の出口までの距離は約60cmであり、Mレンズ2の内径は20mm<sup>φ</sup>である。この時のヘルムホルツコイルによる軸方向の磁場分布を測定した結果をFig-4に示す。ビーム電流2.4Aの時の電子銃からMレンズ2の出口までの透過率をヘルムホルツコイル電流を変化して測定した結果をFig-5に示す。ヘルムホルツコイル電流変化に対してビーム透過率が周期的に変化していることが分かる。また、透過率の高い値にヘルムホルツコイル電流を設定して、Mレンズ1の電流を変化して透過率を測定した結果をFig-6に示す。さらに、透過率の高いオ1周

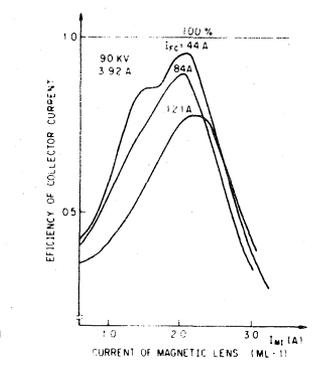


(Fig-4) Fig-1体系のヘルムホルツコイルによる軸方向磁場分布の測定結果

期近辺にてMレンズ2で集束したビームのプロファイル測定した結果をFig-7に示す。Fig-7では全電流の50%の値をビーム半径としている。Fig-3に比べて十分なビームの集束ができていない。実験3の結果としては、透過率100%に近い値でビームを誘導することは可能であるが、Mレンズ2で集束したビームは良いプロファイルを得ることができなかった。この原因としては、Mレンズ2以前のビームの性質に原因があると思われる。

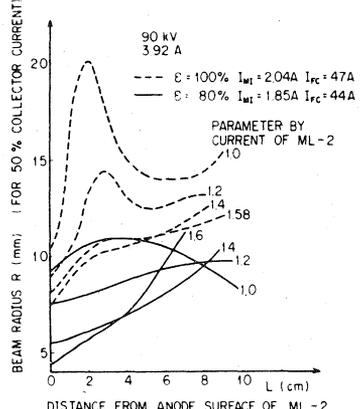


(Fig-5) ヘルムホルツコイル電流の変化に対する透過率変化の測定



(Fig-6) オ1, 2, 3の透過率の高い周期でのMレンズ1の電流変化に対する透過率変化の測定

〈実験4〉 実験3で得られた結果(Fig-6)のヘルムホルツコイル内のビームのプロファイル測定した結果がFig-8の②である。また、Fig-5の透過率の良いところのオ2, オ3周期でのビームのプロファイルがFig-8の③, ④である。いずれもヘルムホルツコイル内でビームの軌道は振動し、かつ、ビーム径は40~60mm<sup>φ</sup>と非常に広がっている。



(Fig-7) Mレンズ2で集束したビームのプロファイル(50%とビーム半径の場合)

〈ブリルアンフローでビームを導くには〉 電子銃からのビームをブリルアンフローで導くことを目的に、以下の方法を試みた。各々の結

果をFig-9に示す。

(1) ヘルムホルツコイルの位置の移動。特にオ1コイルをMレンズ1に近づける。Fig-9②

(2) 電子銃をプロファイルの良い電子銃に交換する。具体的には、Fig-2のTYPE2の電子銃に交換する。

Fig-9 ③④

(3) ヘルムホルツコイルの数を増し、コイルの間隔を狭くする。4コイルより5コイルにする。Fig-9④

以上の結果、Mレンズ1とヘルムホルツコイル電流の最適調整により、Fig-10の結果が得られた。ビーム半径6mmでブリルアンフローに近いビーム誘導が実現できた。

〈ヘルムホルツコイル入口でのビームの特性〉 Fig-11にMレンズ1とヘルムホルツコイルを独立に変化させたときのビームのプロファイルの結果とMレンズとヘルムホルツコイルを同時に調整して得られたときのブリルアンフローのビームのプロファイルの測定結果を示す。電子銃から

広がりがみえたビームは、Mレンズ1でヘルムホルツコイル入口で平行 ( $\frac{dR}{dx} = 0$ ) に入るように軌道修正される。

この時のビーム径でブリルアンフロー磁場を満足するようなヘルムホルツコイル電流が流れたときに初めてブリルアンフローが得られる。この結果よりMレンズとヘルムホルツコイルを組み合わせることによりブリルアンフローが形成

できることが分かる。

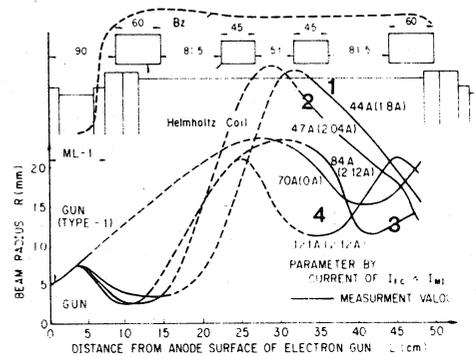
4. 〈結論〉

〈1〉 Mレンズとヘルムホルツコイルの組み合わせでブリルアンフローを形成できる。

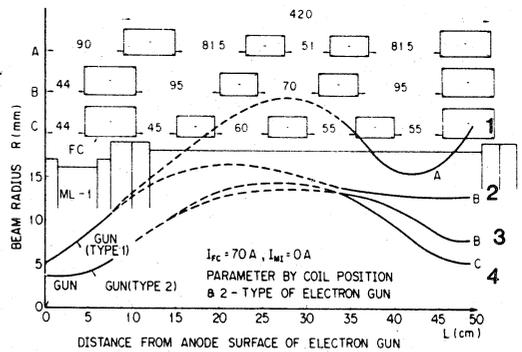
〈2〉 Mレンズ1近くの磁場分布が、その後のビーム軌道に対して影響が大きい。

〈3〉 電子銃のプロファイルもその後のブリルアンフローのビーム径を決定づける要因である。

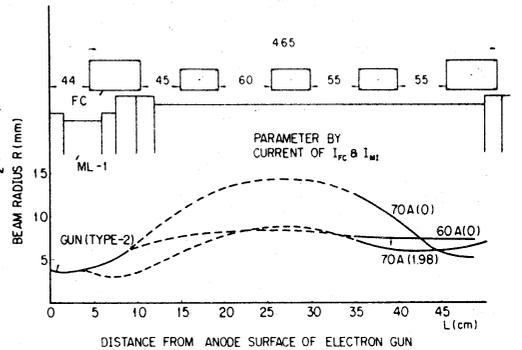
〈4〉 この組み合わせの集束系では、電子銃、Mレンズ1、ヘルムホルツコイルの各々の特性で決まる唯一のビーム径でのブリルアンフローしか形成できない。



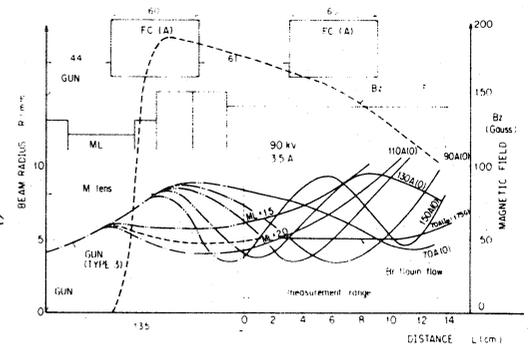
(Fig-8) 〈実験3〉 Fig-7のヘルムホルツコイル内のビームプロファイル



(Fig-9) コイル位置の移動、電子銃特性の違いによるビームプロファイルの変化



(Fig-10) ブリルアンフロービーム誘導の結果と実験体系



(Fig-11) ヘルムホルツコイル入口でのブリルアンフロービーム形成におけるMレンズとヘルムホルツコイルの関係