

[P8-35]

# Fabrication of a Magnet for Magnetic-Scan Emittance Monitor

M.Okada, S. Arai, Y. Arakaki, K. Niki, Y. Takeda, and M. Tomizawa

High Energy Accelerator Research Organization

Tanashi Branch

3-2-1 Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo 188-8501 Japan

## Abstract

We are operating the linac for RI-beam in KEK-Tanashi. Installation of magnetic-scan emittance monitor is planned in order to measure the emittance of the beam from this linac. We have designed and fabricated a new magnet for the monitor which can measure the beam of ions with charge-to-mass ratio( $q/A$ ) $\geq 1/10$ . This magnet is designed to generate a uniform magnetic field by using correction coils. We report about the design of the new magnet and the preliminary result of the field measurement.

## 磁場走査型エミッタンスモニタ用マグネットの製作

### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構田無分室(KEK田無)では、JHF Eアレーナの開拓研究として短寿命核用線形加速器(RIBLAC)を建設し、天体核物理の研究や加速器の開発研究の為に運転している [1]。この加速器にはビームの状態を把握し調整などに利用する為のエミッタンスモニタが4組配置されていて加速試験の際のデータ収集や実験の為にビーム調整に利用されている。しかし、これらのモニタは測定に時間がかかるという問題点があったので、昨年よりこれらのモニタの高速化の為にいくつかの改良をほどこした。その一環として磁場走査型への変更を検討した。そこで、ビームの軌道補正用に配置してあったステアリングマグネットを利用してテストした結果、十分な精度で高速な測定ができることが分かった [2]。しかし、テストに用いたステアリングマグネットは磁場が弱く、電荷対質量数比( $q/A$ )が1/2のビームまでしか測定できなかったのが実際のビームに使用するためにはより磁場の強いマグネットを使用する必要がある。そこで今回、ビームの軌道補正に加えエミッタンスの測定にも使用することを前提とした新たなマグネットを設計・製作したのでそれについて報告する。

### 2. マグネットの設計

新しいマグネットを設計するにあたって、まず配置する場所として、前回テストを行ったのと同じ SCRFQ 直下を選択した。これは寸法的に比較的余裕がある事、スリット間の距離が長く精度が良く出来る等の理由による (図 1)。

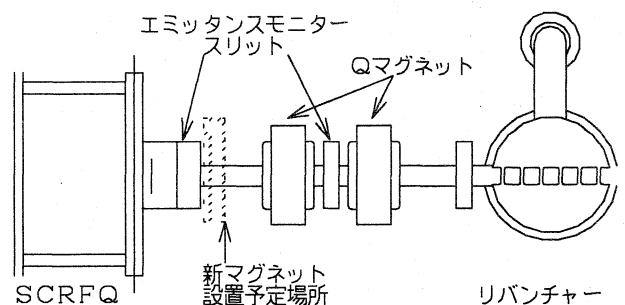


図1 マグネット配置図

マグネットの設置予定位置における SCRFQ の出力ビームはエネルギーが 172keV/u でビーム径は約 40mm である。SCRFQ で加速できる粒子の最小の  $q/A$  は 1/30 で、この粒子をエミッタンス測定に必要な角度(20mrad)曲げるのに必要な磁場強度は、積分値( $B \cdot L$ )にして約  $3.6 \times 10^{-2} \text{ T} \cdot \text{m}$  である。

また、エミッタンスは、前スリットを通過して来た粒子の軌道を磁場で走査し、後ろスリットの電極でプロファイルを見て測定する。その為、高速で精度の良

いエミッタンスの測定には、ビームの通る範囲内なるべく均一な磁場分布であり、また早い周期(今回は1Hz以上)の電流の変化に対して磁場の即応性がある必要がある。

マグネットの寸法は隣接するダクトやバルブ等との兼ね合いから縦横 40 cm・奥行き 16 cmに納めるものとし、また、その電源は±25V 40A のものを用いることにした。

これらの条件の下でマグネットの設計を行った。

当初、強い磁場を得るために上下左右の磁極にコイルを巻く形状のマグネットを考えたがこの形状ではマグネットの内側の磁場分布は中心と端で 50%の差があり、エミッタンスの測定には適さないことが分かった。そこで、磁場分布が均一になりやすいヨークにコイルを巻く形状のマグネットにした(図2)。この形状はマグネット内側で場所による磁場強度の差が少ないが、漏れ磁場が多く強度そのものは低くなる。MAFIA による磁場計算の結果、磁場強度は中心で約560Gauss、積分値(B・L)にして $1.54 \times 10^{-2} \text{T} \cdot \text{m}$ であった。この値は  $q/A=1/13$  の粒子ビームの測定に必要な磁場に相当するが、目標の $3.6 \times 10^{-2} \text{T} \cdot \text{m}$ には及ばない。しかしながら、今回のマグネットはエミッタンス測定が目的なので、磁場強度より平坦である事を優先すべきなのと、通常の運転で使用する次段IH加速器への入射ビームは  $q/A$  が 1/10 以上であると言う事情を考え、今回は  $q/A=1/30$  のビームの測定をあきらめ、この形状を採用する事にした。

### 3. 補助コイル

このタイプのステアリングマグネットを用いてエミッタンスを測定する場合、通常一対のコイルのみを使用しもう一方は使用しない。そこで、空いているコイルを利用して磁場強度を増やせないかと考え、図2に示す様にコイルを中央で2分し、向かい合わせに磁場が生じるように電流を流す事でこれを補助コイルとして用いる事を考えた。MAFIA による計算の結果、補助コイルを含む全てのコイルに最大電流を流した場合、中心の磁場強度が40%増しの787Gaussまで増す事が分かった。また、補助コイルにより作られる磁場は強度分布の強弱が主コイルによるそれと逆の形をしており、適当な強さの電流を流すことで、お互いの強度分布の強弱を相殺して磁場分布がより均一に出来ることが分かった。この結果を踏まえ、

コイルを2分する方式でマグネットの制作を行うことにした。

最終的に製作したマグネットが図3の写真である。

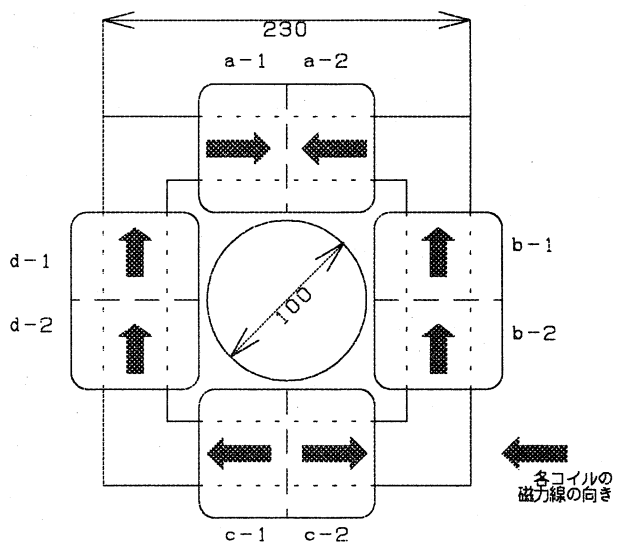


図2 補助コイル付マグネット

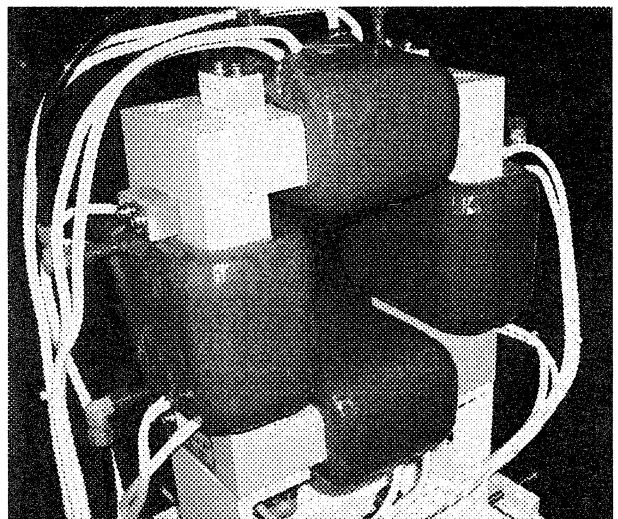


図3 マグネット写真

### 4. 磁場測定結果

マグネットは5月下旬に納入され、現在性能試験を行っている。ここでは予備測定の結果を元に報告する。

図4はB-I特性のグラフである。コイルには上下方向(Y 方向)に磁場が発生するよう電流を流し、磁場はマグネットの中心で測定した。実線は MAFIA による計算の値で、●, ×が測定値である。グラフの中央より左側は主コイルのみに電流を流した場合で、磁場強度の最大値は552Gaussである。これをZ軸方

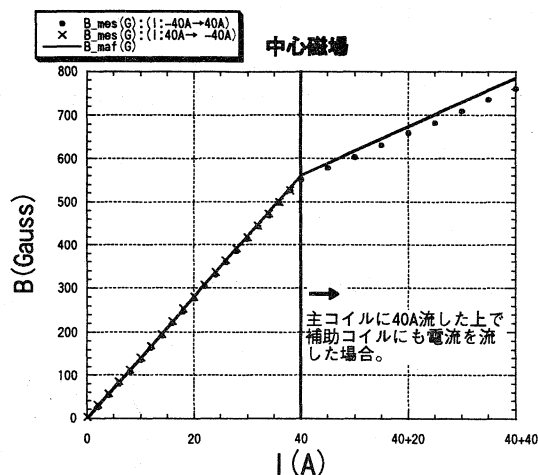


図4 B-I特性

向の磁場分布が MAFIA の計算と同じだと仮定して積分値(B・L)に換算すると約  $1.52 \times 10^{-2} \text{ T}\cdot\text{m}$  となる。これは  $q/A=1/12$  の粒子のエミッタンスの測定に必要な磁場に相当する。電流を増していった時と減らしていった時、同じ電流値での磁場強度の差は最大6 Gauss であり、ヒステリシスはほとんど無かった。グラフの中央より右側の部分は主コイルに 40A の電流を流し、さらに補助コイルにも電流を流した場合のものである。この時の、磁場強度の最大値は761Gaussであった。主コイルのみの部分では磁場強度は MAFIA による計算とよく一致しているが、補助コイルを使った部分では若干ずれている。これはコイルの巻き方が実機では密に巻かれているのに対し MAFIA での計算の際には簡略化のため巻き数を少なくして電流を増やしている事に起因するのではないかと考えている。

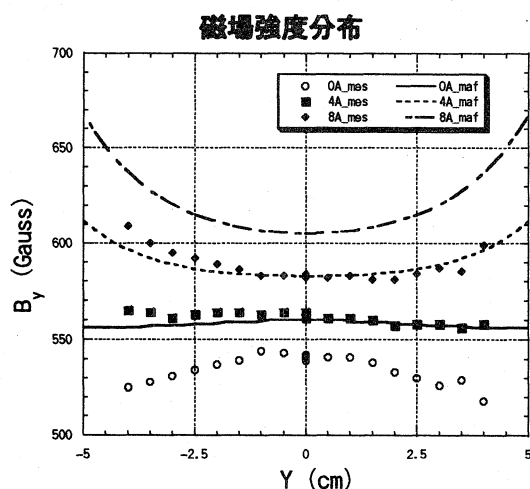


図5 磁場分布 (X=0,Z=0)

次に磁場のY軸方向の分布を測定した(図5)。主コイルに流す電流は 40A で一定とし、補助コイルに流す電流を 0, 4, 8A と変えて測定した。精度の良いエミッタンスの測定の為には本来積分値(B・L)の分布が均一である必要があるが、時間や測定機器の制約などから、今回は原点を通るY軸上での磁場強度を測定・比較した。その結果、補助コイルに電流を流すことで磁場分布の形状を平坦に変化させる事が出来た。しかし、MAFIA による計算とは少し異なっており、今後その原因について検討する必要がある。

また、電流の変化に対する磁場の即応性は 1Hz ののこぎり波、5Hz の正弦波において正確に追従する事を確認した。

## 5. まとめ

磁場走査型エミッタンスモニター用の新しいマグネットを設計・制作した。このマグネットでは補助コイルを用いて磁場をより平坦にすることが出来る様になっており、 $q/A=1/13$  の粒子までエミッタンスを測定できるよう設計した。

現在、マグネットは完成し、性能測定を行っているが、予備測定の結果では、補助コイルに電流を流すことで磁場分布の形状を平坦にする事が出来た。今後は磁場分布を詳しく測定して磁場強度の積分値(B・L)が均一になる主コイルと補助コイルの電流値の組み合わせを調べた後、実際にエミッタンスの測定を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 新井 他: 「KEK 田無の短寿命核用リニアックの現状」, 本研究会
- [2] 岡田 他: 「磁場走査型エミッタンスモニターのテスト」, 第 23 回リニアック技術研究会 p49-51