

[13P-38]

BEAM TEST OF IMPROVED MAGNETIC-SCAN EMITTANCE MONITOR

M.Okada^{*)}, S. Arai, Y. Arakaki, K. Niki, Y. Takeda, E.Tojyo and M. Tomizawa

High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaragi-ken, 305-0801 Japan

Abstract

In a radioactive ion beam linac at KEK-Tanashi, we have replaced one of double-slit type emittance monitors with a magnetic-scan emittance monitor for ion beams with charge-to-mass ratio greater than 1/12. The monitor comprises two slits, a magnet located between the slits and a charge collecting plate located after rear slit. The emittance is scanned by sweeping magnetic field instead of moving rear slit. The emittance measured by magnetic-scan type was nearly same as that by double-slit type, and the measurement speed of the magnetic-scan type was 7-times faster than that of the double-slit type.

改良した磁場走査型エミッタンスモニターのビームテスト

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) を建設した。この加速器は 1996 年から 1999 年まで運転し、天体核物理の研究や加速器の開発研究に利用されていた。現在は移設の為休止中である [1]。

この加速器は電荷対質量数比 (q/A) が 1/30 までのイオンを 2keV/u から 172keV/u まで加速する 25.5MHz 分割同軸型 RFQ リニアック (SCRFQ) と $q/A=1/10$ までのイオンを 172keV/u から最大 1053keV/u まで加速できる 51MHz エネルギー可変型 IH リニアックの 2 つの加速器及びその間の整合を取るための 25.5MHz 二重同軸型リバンチャーや荷電変換器を含むトランスポートラインで構成されている。

加速器にはビームモニターとして 6 台のファラデーカップと 4 台のエミッタンスモニターが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。配置されているエミッタンスモニターは 2 スリット型で、1 回の測定に 30 分近く時間がかかるという問題点があり従来より改善すべき事項であった。そこで一昨年よりこれらのモニターの高速化の為にいくつかの改良をほどこし、その一環として磁場走査型への変更を検討した。まず、既に設置されていたステアリングマ

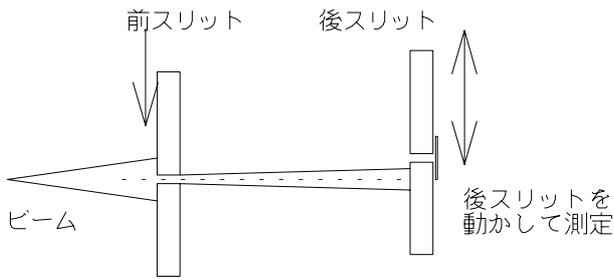
グネットを利用してプレテストをしたところ良好な結果が得られたので、4 台のモニターの内 1 台を磁場走査型に変更することにした [2]。しかし、プレテストに用いたマグネットでは実際のビームの測定に使用するには磁場強度が足りなかったため、実用に十分な磁場強度の新しいマグネットを製作する事にした。今回、その新しいマグネットを用いた磁場走査型エミッタンスモニターのビームテストを行ったので報告する。

2. 磁場走査型エミッタンスモニター

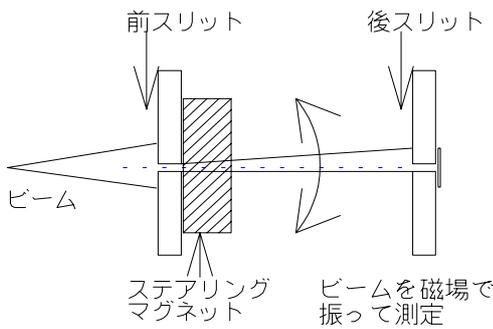
ビームのエミッタンスは位相平面上でのビームの占める面積で表される。したがって、エミッタンスの測定ではビーム内の粒子の位置と広がる角度を測定することになる。

2 スリット型エミッタンスモニターはビームライン上に前後 2 つのスリットを挿入し、それを抜けてきた粒子を測定するタイプのモニターである。前スリットの位置と前後のスリットの相対位置から計算した角度が、スリットを抜けてきた粒子の位相平面上の座標となるので、この測定をビーム全体に対して行えばエミッタンスを測る事が出来る。このタイプのモニターは測定時にビームに全く力を加えないので測定系がデーターに与える影響が少なく済む利点がある。しかし、通常、前スリットの測定点 1ヶ所毎に 1 回後スリットを走査する事になるため、スリットの駆動回数はかなり多くなるの

^{*)} M.Okada, 0298-79-6119, masashi.okada@kek.jp



2スリット型



磁場走査型

図1 エミッタンスモニターの原理

に、オーバーランなどでスリットの位置精度が落ちる危険性等を考えると高速で動かす事が出来ない。その為、スリットの移動時間ひいてはエミッタンスの測定時間が長くなってしまいう問題点がある。

これに対し、磁場走査型エミッタンスモニターは、前後2つのスリットを入れて通過粒子を測定するのは2スリット型と同様だが、後スリットを動かす代わりに、前スリット直後に設置したマグネットがビームを曲げてやることで後スリットを動かさずにビームを走査するものである。

このタイプのモニターでは、後スリットをほとんど動かす必要が無い為、スリットの位置ずれ等の危険は少ない。またビームの走査はマグネットに流す電流を変えるだけで済むので、スリットを動かすより高速で行うことが出来る利点がある。しかし、ビームを磁場で曲げるので、ビームの通る位置によって磁場が違っていたりするとビームのエミッタンスが保存されず、正確な測定が出来なくなってしまう問題がある。これを避ける為には、モニターに用いるマグネットがビームが磁場から受ける力がどこでも同じである様な磁場分布を持つ事が必要がある。

3. モニター用マグネットの製作。

プレ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のビームまでしかエミッタンスを測定出来ない。しかし、通

常使用するビームは q/A が1/10前後なのでこのマグネットでは測定が出来ない。そこで、実際のビームの測定に使用出来る新しいマグネットを製作した[3]。

新しいマグネットはヨークにコイルを巻くタイプのステアリングマグネットで、各辺のコイルを2等分してあり、エミッタンス測定時には通常使わないコイルを補助コイルとして利用することが出来る。補助コイルは、互いに逆方向に電流を流す事で全体の磁場の強化と磁場強度分布を一様にする効果を得る事が出来る。テストの結果、補助コイルに主コイルの約半分の電流を流したとき、ビームの経路にそって磁場を積分した $B \cdot L$ 積は軸から半径30mmの範囲内で場所による差が2.3%と最も小さくなった。

完成したマグネットは、補助コイルを使用しないで普通のステアラーとして使う場合、マグネット中心で552Gauss(最大定格の40Aを流したとき)、補助コイルに主コイルの半分の電流を流した場合、同じ条件で最大755Gaussの磁場を作ることが出来る。また、この時 $B \cdot L$ 積は約 $1.24 \times 10^{-2} \text{ T} \cdot \text{m}$ であった。これは $q/A=1/12$ までのビームのエミッタンスを測定することができる値である。

4. ビームテスト

製作した補助コイル機能付きマグネットをビームラインに設置して実際のビームのエミッタンスの測定を行った。マグネットは当初から予定していた通りSCRFQ直下のエミッタンスモニターの所に設置した。(図2)テストには、補助コイル無しの状態でもエミッタンスを測定出来るよう、 N^{2+} ($q/A=1/7$)でエネルギーは172keV/uのビームを用いた。また、この時のビーム強度はSCRFQの出口で100nAであった。この条件で2スリット型と磁場走査型(補助コイル有り・無し)でエミッタンスを測定しその結果を比較した。

エミッタンスの測定結果を図3に示す。また、測

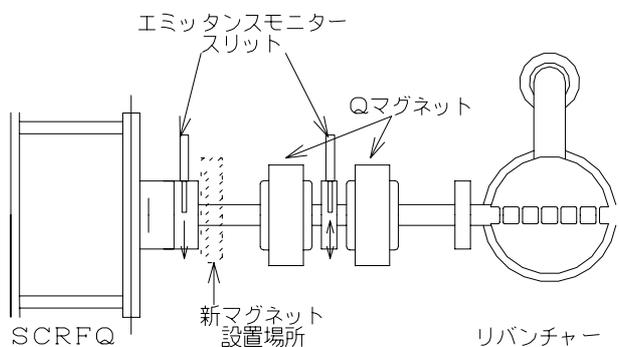


図2 モニター配置図

定結果を元に計算した RMS エミッタンスのパラメーター(エミッタンス(E), ツイスパラメーター(, ,), ビーム中心位置 (Xcent, Ycent)) を表 1 に示す。

測定の結果、3つのモニターとも概ね等しいデータが得られた。また、RMS エミッタンスのパラメーターも大体 2~10%の差で一致しており、この磁場走査型エミッタンスモニターは充分実用になると言える。

また、エミッタンス測定にかかった時間はデータ数が 41(前)×41(後)点の測定で、2スリット型の約 20 分に対し、磁場走査型は 3分弱と約 7分の1に短縮することが出来た。

補助コイルによる磁場分布の一様化の効果については、今回のテストでは測定データにそれらしき違いは見られず、はっきりしなかった。これは、位置による磁場強度の違いは中心から離れるほど大きくなるが、逆にビームの強度は外縁部ほど弱くなるので、影響を受けるビームが少なく、他の部分に埋もれてしまった為と考えられる。

5. まとめ

エミッタンス測定の高速度の為、磁場走査型エミッタンスモニターを開発した。エネルギーが 172keV/u なら q/A が 1/12 までのビームのエミッタンスを測定出来る磁場走査用ステアリングマグネットを設計製作した。このマグネットは補助コイル機能により磁場の強化・一様化が出来て、よりエミッタンス測定に適した磁場を作る事が出来る。

この磁場走査型モニターは、1/7 の測定時間で従来の 2スリット型モニターと同等の測定結果を得る事が出来、モニターの高速化という当初の目的を達成出来た。補助コイルは今回の測定ではその効果をはっきり確認することは出来なかった。測定精度を向上させたりデータの処理方法を改善して再度テストを行う必要がある。

また、今後の計画としては、大強度ビームでの測定テストを行う事を考えている。

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」, 第 24 回リニアック技術研究会 p39-41
- [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
- [3] 岡田 他：「磁場走査型エミッタンスモニター用マグネットの製作」, 第 24 回リニアック技術研究会 p374-376

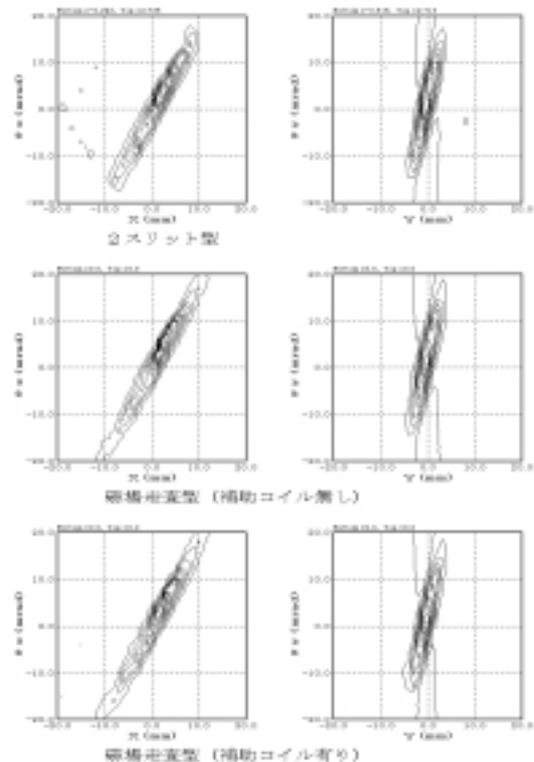


図 3 エミッタンスの測定結果

表 1 RMS エミッタンスとツイスパラメーター

| | 2スリット型 | 磁場走査型 | | |
|------------|-------------|-----------|-----------|--------|
| | | (補助コイル無し) | (補助コイル有り) | |
| X 方向 | E (mm・mrad) | 6.106 | 6.732 | 6.969 |
| | | -4.098 | -4.302 | -4.36 |
| | | 2.551 | 2.752 | 2.739 |
| | | 6.978 | 7.089 | 7.304 |
| | | | | |
| Xcent (mm) | 1.311 | 1.563 | 1.561 | |
| Ycent (mm) | 1.402 | 2.535 | 2.507 | |
| Y 方向 | E (mm・mrad) | 5.121 | 4.994 | 5.086 |
| | | -1.88 | -1.773 | -1.765 |
| | | 0.539 | 0.524 | 0.551 |
| | | 8.406 | 7.904 | 7.468 |
| | | | | |
| Xcent (mm) | -0.286 | -0.332 | -0.462 | |
| Ycent (mm) | 1.261 | 1.595 | 1.099 | |