

[A17a05]

## Beam Test of the Magnetic-Scan Emittance Monitor

M. Okada, S. Arai, Y. Arakaki, A. Imanishi, K. Niki,  
Y. Takeda, E. Tojyo and M. Tomizawa

High Energy Accelerator Research Organization  
Tanashi Branch

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

### Abstract

The double-slit emittance monitors are used in the linac for unstable nuclei at KEK-Tanashi. The measurement speed of the monitors is so slow and it takes about 30 minutes for measuring an emittance. Therefore, we developed a magnetic-scan emittance monitor for measuring speedily. The beam-test result shows the measurement time is shorten to one tenth of that of the double-slit type.

### 磁場走査型エミッタンスモニターのテスト

#### 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、大型ハドロン計画 E アレーナの開拓研究として不安定核用線形加速器を建設し、97 年 3 月には  $^{19}\text{Ne}^{2+}$  の初加速に成功した。[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  $2\text{keV/u}$  から  $170\text{keV/u}$  まで加速する  $25.5\text{MHz}$  分割同軸型 RF Q リニアック (SCR F Q) と  $q/A$  が 1/10 までのイオンを  $170\text{keV/u}$  から最大  $1053\text{keV/u}$  まで加速できる  $51\text{MHz}$  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リバンチャーを含むトランスポートラインで構成されている。各加速器の前後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ーが 4 組配置されている。配置されているエミッタンスモニターは全て 2 スリット型で加速器の制御室から操作できるようになっている。

これらのモニターは実際に加速試験の際のデータ収集や実験の為のビーム調整に利用されているが、1 つのエミッタンスのデータを取る為に 20~30 分以上かかるという問題があり、高速化が課題であった。[2]

今回、エミッタンスモニターの高速化の為の

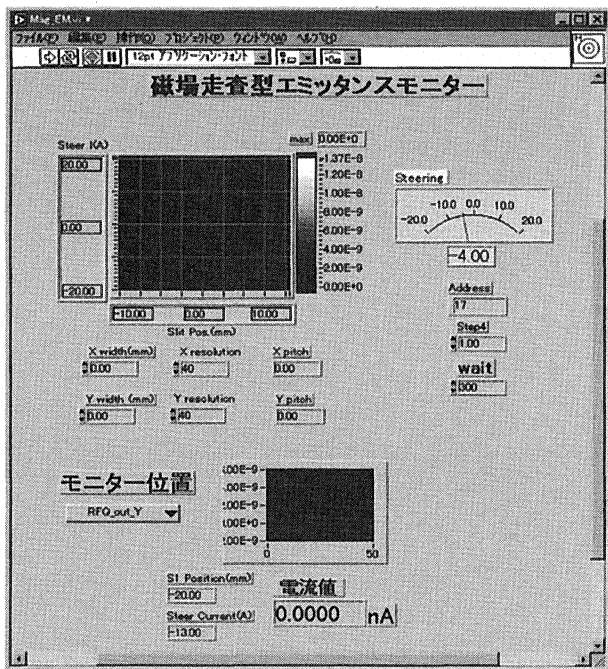
改良を行うと共に、高速化の一環として磁場走査型のモニターを開発したので、その性能試験の結果を報告する。

#### 2. 2 スリット型モニターの最適化

最初に 2 スリット型システムのままで高速化のための検討を行った。このエミッタンスモニターは電流計による電流値読取り部分とモーター制御によるスリット駆動部分に別れるので、今回はそのそれぞれで高速になるよう最適化を行った。電流値読取り部分では、古い GPIB のボードを新しいものに交換し、電流測定に用いていた電流計 (最低感度  $0.1\text{nA}$ ) もデジタル微少電流計 (最低感度  $0.01\text{pA}$ ) へとより高速・高感度な物に変更した。

また、スリット駆動部分では、機器の交換は行わなかったが、タイミングの取り方の改良等によりプログラム中の調整時間を最小限度までに減らした。これらの変更に伴い測定用プログラムは DOS ベースのものから Windows ベースの LabVIEW によるものに変更した。(図 1)

以上の改良を行った結果、 $20 \times 50$  点の測定で時間を約 20 分から 10 分と約半分に減少させる事が出来た。

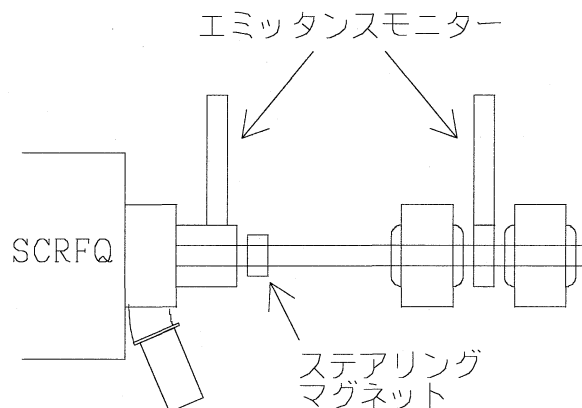


<図1 LabVIEWによるモニター実行画面>

### 3. 磁気走査型モニターの検討

最適化の結果、2スリット型のままだでも測定時間を大幅に短縮する事が出来た。しかし、その結果、測定時間における、スリットを動かす時間が大きな比重を占める事になった。したがって、より高速化する為にはこの部分を短縮する必要がある。しかし、あまりモーターの速度を上げすぎるとオーバーランが起りスリット位置の精度が落ちる等の問題がある為、2スリット型のままではこれ以上の高速化は難しいと考えた。そこで、スリットの駆動時間の大部分を占める後ろスリットの運動をより高速な他の方法に置き換える事を検討した。

スリット駆動以外の方法として、後ろのスリットを固定して電場や磁場によってビームを走査するものが考えられる。そこでまず、新型のモニターはSCRFAQ直後のエミッタンスモニターに組み込むものとして、電荷質量数比( $q/A$ ) = 1/10、エネルギー170keV/uのビームをモデルに必要な電場・磁場を計算した所、エミッタンスを測定する為に十分な曲げ角(20mrad:過去の測定データから判断。後ろスリットを14mm動かすのに相当)を得るのには電場による場合は約36kV、磁場による場合には約700Gauss必要で



<図2 モニター配置図>

ある事が分かった。計算の結果は、電場・磁場共に十分に実用的な値であったが、電場による走査を行うには電極を直接ダクト内に入れるなどビームラインに大幅な改造が必要である。そのため今回は、磁場によりビームを走査する方式について検討を行った。SCRFAQ加速器の直後のビーム輸送系(MEBT)には図2で示すようにSCRFAQ下流のエミッタンスモニターの前スリット直下にステアリングマグネットが設置してある。このステアリングマグネットはX方向とY方向それぞれ独立に2極磁場を発生させる事の出来るタイプで、これには±20Aまで流せる定電流電源が接続されている。製作時の測定では5Aの電流を流した時に出来る磁場は中心部で約33Gaussであった。したがって20A流した時の磁場は約130Gaussとなり、電荷対質量数比( $q/A$ ) = 1/2までのビームなら最大で20mrad曲げる事が出来る。

また、マグネットでビームを曲げた場合、ビームのエネルギーにより曲がり方が変わるので、ビームのエネルギー幅がどれだけ影響するかを検討した。SCRFAQの出射ビームの、エネルギー幅( $\Delta E$ )は±1.3%程度なので、後ろスリットの位置での変位の誤差( $\Delta X$ )は±0.7%となる。これは後ろスリットの位置で14mm動かした場合、±0.1mmに相当する。これは、スリットの幅(0.5mm)や測定のステップ(0.5 Aステップの場合、変位で0.36mmに相当)より十分小さい。よってビームのエネルギー幅は、測定結果にはほとんど影響は無いと思われる。

以上の結果からエミッタンスモニターのスリ

ットとステアリングマグネットを利用して磁場走査式のエミッタンス測定が可能であると考え、ビームテストを行った。

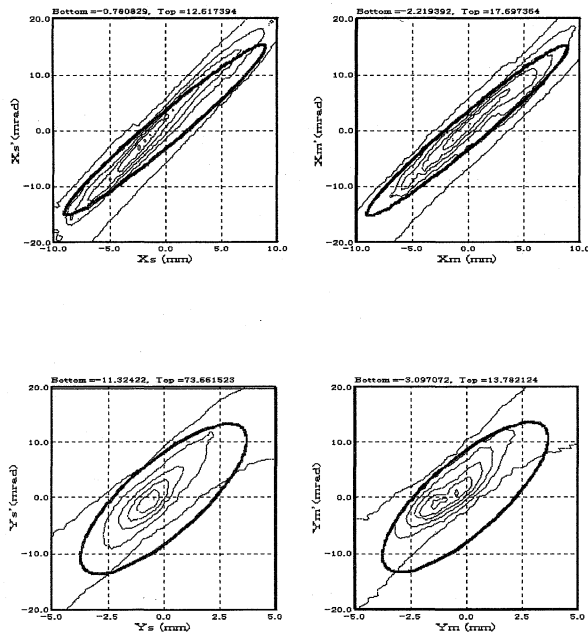
#### 4. 磁場走査型モニターによるエミッタンス測定

ビームテストでは、2スリット型と磁場走査型で同じビームを測定してその違いを比較してみた。

ビームは  $\text{He}^{2+}$  ( $q/A=1/2$ ) を用いた。ビームの電流値は SCRFQ 出口で  $5 \mu\text{A}$  であった。また、SCRFQ が標準の電圧では安定しなかった為、標準の 1.4 倍の電圧をかけて運転した。そのため出射ビームのエネルギー幅は、計算によると約  $\pm 1.7\%$  と若干広がるが、それでもエミッタンスの測定結果にはほとんど影響は無い。

最初に測定時間の比較を行った。データ数は 40 点 (前)  $\times$  80 点 (後: 磁場) に設定し、他の機器等の設定は最速になるように調整して測定を行った。その結果、測定時間は 2スリット型の約 35 分に対し、磁場走査型の場合は約 4 分とおよそ 9 分の 1 に短縮された。

次に実際に測定した結果を示す。



<図3 エミッタンス測定結果>

左: 2スリット型 右: 磁場走査型

図3は前スリットの位置でのエミッタンスで、その点でのビーム強度を等高線で示した。図中太線の楕円は PARMTEQ-H のシミュレーションから期待される大きさが  $31 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  のエミッタンスである。左右2つの図を比べた場合、概ね一致していると言って良い。ビームが全体的に若干上下にずれているのは、電流設定の変化4に磁場の変化が追いついていない事が原因の可能性が高い。その場合、適切なウェイトをかける事で対処出来るが、いずれにしても  $q/A=1/30$  のイオンビームに対して測定出来る時間応答性の良い交流電磁石を作る予定であるので、その際には解消出来る。

#### 5. まとめ

機器やプログラムの更新によって2スリット型エミッタンスモニターでの測定時間を約半分に短縮できた。さらに、磁場走査方式の測定でその10分の1近い時間でも十分な精度の測定が出来ることが分かった。また、測定時の感触ではマグネットやプログラムのタイミングの取り方を改良することによりいっそうの高速化や重粒子ビームでの測定も可能である。そこで、その為のステアリングマグネットを設計・製作する予定である。

#### 参考文献

- [1] S.Arai *et al.*: "Present Status of the SCRFQ/IH Linac for Unstable Nuclei", The 22<sup>nd</sup> linear accelerator meeting in JAPAN
- [2] M.okada *et al.*: "Measurement of the Transverse Emittances at the INS Heavy Ion Linac", The 21<sup>st</sup> linear accelerator meeting in JAPAN