

# PRELIMINARY TEST OF A TRANSVERSE ACCEPTANCE MEASUREMENT SYSTEM

Hirotsugu Kashiwagi<sup>#</sup>, Nobumasa Miyawaki, Satoshi Kurashima, Susumu Okumura  
Takasaki Advanced Radiation Research Institute, Japan Atomic Energy Agency  
1233 Watanuki-machi, Takasaki, Gunma, 370-1292

## Abstract

We are developing an emittance and acceptance measurement system to evaluate transverse phase-space matching of an injection beam to the acceptance of the cyclotron system. Preliminary tests of this system were carried out under the 160 MeV  $^{16}\text{O}^{6+}$  accelerating condition. We confirmed that the whole beam emittance and a part of the acceptance were successfully measured. Concerning the acceptance, however, only the area overlapped with the emittance was able to be measured because the injection beam did not cover the area of whole acceptance. To extend the measurable area, equipment for scanning the beam in each phase plane will be added to this system.

## 横方向アクセプタンス計測装置の予備試験

### 1. はじめに

原子力機構高崎量子応用研究所の AVF サイクロトロン (K=110) 施設では、現在、10 MeV  $\text{H}^+$  から 490 MeV  $^{192}\text{Os}^{30+}$  までの軽イオン及び重イオンの多様なビームをユーザーに提供している<sup>[1]</sup>。イオン種及び加速エネルギーによってイオン源、加速器、ビーム輸送ラインの条件は異なるが、この条件は同じイオン種・エネルギーのビームであっても、イオン源や加速器の状態によって変化するため、毎回それに合わせた調整が必要となる。これらの調整は、特にマイクロビーム<sup>[2]</sup> (ビーム径および照射精度が 1  $\mu\text{m}$  オーダーのビーム) のような微細なビームを提供する場合には、非常に難度が高くなる。

これらの調整のうち、サイクロトロンへのビーム入射に関しては計算値を基準として、加速後のビーム電流が多くなるよう入射ビームラインの偏向・収束マグネットを手動で制御することで行われる。マイクロビーム形成の際には、マイクロビームライン末端のビーム輝度が高くなるように入射条件を微調整する。

加速器へのビーム入射の最適化には、多くのパラメータが関係しているため、真に最適な状態になっているかどうか判断することは容易ではない。そこで我々は現在、縦・横方向のエミッタンス・アクセプタンスの整合のうち、横方向の整合を評価する装置の開発を進めている。本装置によってアクセプタンスとエミッタンスの整合状態をモニターすることで、ビーム入射の最適化に役立つ。特にマイクロビームにおいては入射ビームラインからマイクロ

ビームライン末端までのアクセプタンスを計測し、マイクロビームに用いられる小さなアクセプタンス領域に入射ビームの高輝度領域を整合させるのに用いる。

現在は本装置の据付が完了し、計測制御プログラムの開発を進めている所である。本稿では本装置によるアクセプタンス及びエミッタンス計測の予備試験の結果について報告する。

### 2. アクセプタンス計測装置

#### 2.1 装置概要

アクセプタンス計測装置の構成概念図を図 1 に示す。本装置は位相平面領域を規定する Phase space collimator (以下 PSC) とビーム強度測定器から成る。PSC はイオン源とサイクロトロンの間の低エネルギービーム輸送ラインに、ビーム強度測定器は、加速器下流の高エネルギービームライン上もしくは加速器内部に位置する。また、後述するが、アクセプタンス測定にはこの PSC の前にスキヤニングマグネット等が必要になる場合がある。

エミッタンスは PSC 直後のビーム強度測定器を用いることで測定が可能となる。

#### 2.2 Phase space collimator

PSC は  $x-x'$  (水平方向) 及び  $y-y'$  (鉛直方向) 位相平面上の任意の領域のビームのみを下流に通す装置である。本装置は 2 組 (4 つ) のスリットから成り、それぞれの組は  $x-x'$  及び  $y-y'$  位相平面の領域を制限する機能を持つ。各スリットの組のうち上流の

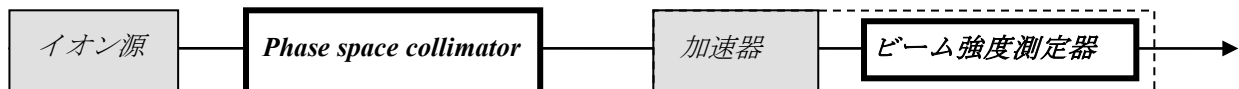


図 1 アクセプタンス測定装置の構成概念図

<sup>#</sup> kashiwagi.hirotsugu@jaea.go.jp

位置制限スリットは位相平面上の位置範囲を規定し、下流の角度制限スリットは角度範囲を規定する。各スリットはスリットギャップ中心位置及びスリットギャップ幅がステップモータにより自由に制御可能な構造となっている。図2にはPSCの4つのスリットのうち  $x-x'$  位相平面を規定する2つのスリットの構成概念図及びこれらのスリットによって規定される領域例を示す。また、表1にはPSCの主な仕様を示した。

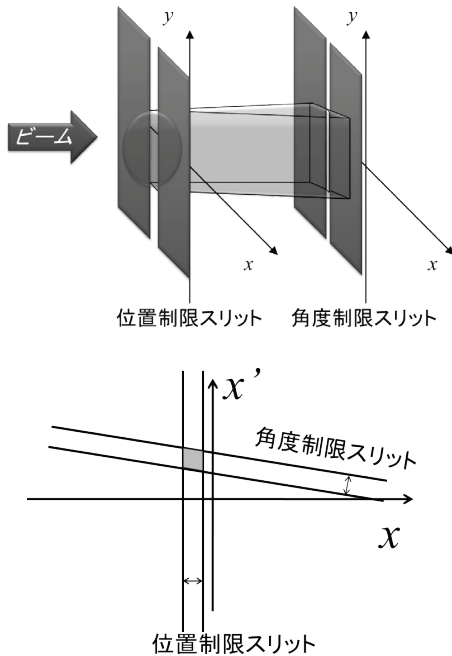


図2 PSCの水平方向スリット構成概念図(上)と規定される領域の例(下)

表1 PSCの主な仕様

位置制限スリット	
ギャップ中心の位置範囲 (計測位置範囲)	$\pm 60$ mm
スリットギャップ	0.1 mm ~ 4 mm
角度制限スリット	
ギャップ中心の位置範囲 (計測角度範囲)	$\pm 70$ mm $\pm 15$ mrad
スリットギャップ (最小角度分解能)	0.1 mm ~ 30 mm 0.15 mrad
位置制限-角度制限スリット 間距離	665 mm

### 2.3 ビーム強度測定器

アクセプタンス及びエミッタンス測定においては、ビームの強度分布を測定するため、必ずしもビーム電流の絶対値が必要というわけではなく、相対値が得られれば十分である。また、測定されるビーム電流

はスリットギャップに依存するが、おおよそ  $\text{pA} \sim \text{nA}$  のオーダーである。このビーム強度は、ファラデーカップ及び金属板による電流測定または二次電子強度測定、シンチレーションカウンタによる粒子数測定<sup>[3]</sup>によって行う。

### 2.4 アクセプタンス測定方法

アクセプタンス、エミッタンス共にPSCによって規定される領域を位相平面内でスキャンしながらビーム強度測定器によってビーム強度を測定する、いわゆるダブルスリット方式で測定される。例えば図3に示すように、 $x-x'$  平面において、 $-p$  [mm]  $\leq x \leq +p$  [mm]、 $-q$  [mrad]  $\leq x' \leq -q$  [mrad] の範囲で測定を行う場合については、①位置制限スリット(のスリットギャップ中心位置)を  $-p$  に固定した状態で、角度制限スリット(のスリットギャップ中心)を  $-q$  から  $q$  まで動かしながらビーム強度測定器でビーム強度を連続的に測定し、②位置制限スリットの位置を測定位置間隔  $d$  [mm] だけ  $x$  の正方向に移動させた  $-p+d$  の位置に移動させ、①と同様に角度制限スリットを動かしながらビーム強度測定を行う。これをスリット位置が  $p$  になるまで繰り返す。

位置制限スリットでなく、角度制限スリットをスキャンする理由は、このPSCではビームの位置拡がりが大きく( $\sim 100$  mm)ビームの拡がり角が小さい( $\sim \text{mrad}$ )ので、角度制限スリットを動かす方がスリット駆動距離が短い、つまり測定時間が短くなるためである。

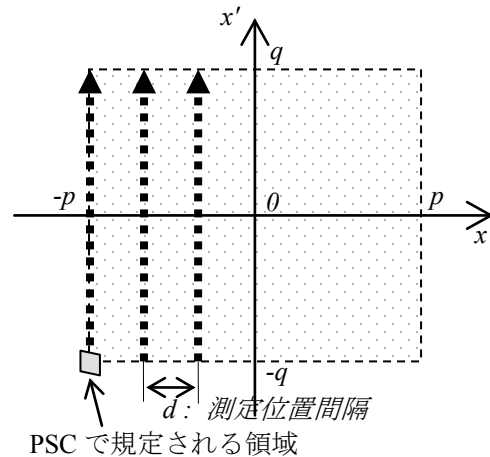


図3 PSCによる位相平面のスキャン方法

このスキャン中のビーム強度測定に、角度制限スリット直後のビーム強度測定器を用いると、PSCに入射するビームの強度分布が得られ、エミッタンスが測定される。加速器出射後の高エネルギービームライン上のビーム強度測定器を用いると、PSCからその測定器まで、ロスすることなく加速・輸送されたビームのPSCでの位相平面上の強度分布が得られる。この分布とエミッタンス測定の結果から位相平面上でのビーム強度比分布を求めることで、PSCから強度測定器までの、PSCの位置におけるアクセプタンスが得られる。ただし、この測定方法では入射ビームエミッタンス領域外のアクセプタンスが測

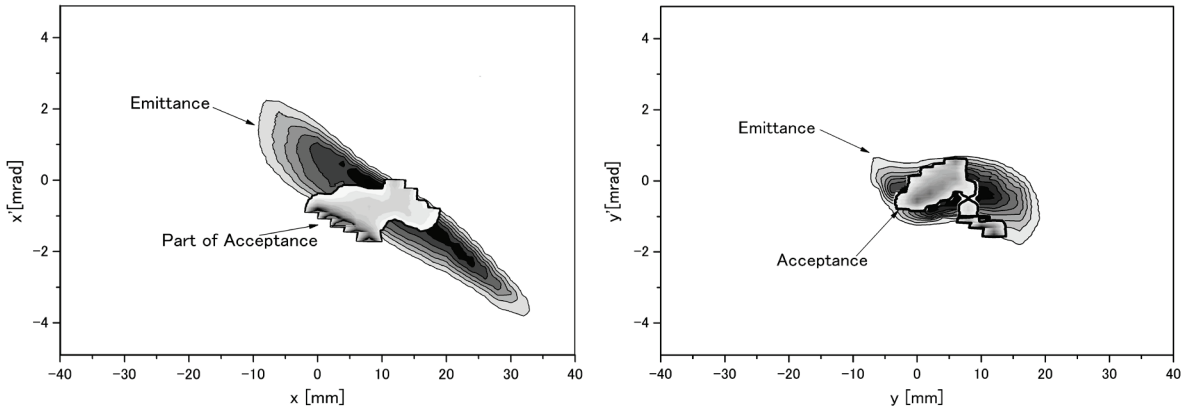


図4 測定されたアクセプタンス・エミッタンス

定できないため、全アクセプタンスを計測する場合は入射ビームを測定に合わせて位相平面内でスキャンすることが必要となる。現在の装置はこのスキャン装置が組み込まれていないため、今後のアップグレードを予定している。

### 3. アクセプタンス・エミッタンス計測試験

本装置を用いて、アクセプタンス及びエミッタンスの計測試験を行った。測定に用いたビーム条件は、160 MeV の  $^{16}\text{O}^{6+}$  を加速する条件である。この条件では、ビームは 14.5 GHz の ECR イオン源より 50.2 keV のエネルギーで引き出され、低エネルギービーム輸送ラインを経てサイクロトロンに入射される。サイクロトロン（加速ハーモニックモード 2）で 160 MeV に加速されたビームは重イオン照射ラインの 1 つ（HA コース）まで輸送された。

入射ビームエミッタンスは、PSC 直後の金属板をビーム強度測定器として用いることにより測定した。アクセプタンス測定には、重イオン照射用ビームラインの 1 つである HA コース上のファラデーカップを用い、PSC からこのファラデーカップまで、加速・輸送して到達するためのアクセプタンスの計測を行った。

$x-x'$  および  $y-y'$  位相平面の測定結果を図 4 に示す。本図では測定したエミッタンスにアクセプタンスを重ねて表示している。本計測システムにより、アクセプタンス及びエミッタンスが  $x-x'$ 、 $y-y'$  位相平面共に計測できることが確認できた。しかし、現在の装置構成では入射ビームエミッタンス領域内でのみ、アクセプタンスが計測可能であるため、特に  $x-x'$  平

面ではアクセプタンスがエミッタンスの境界で切れてしまっており、全アクセプタンスが計測されていない。 $y-y'$  平面ではアクセプタンスはエミッタンスの中にほぼ納まっているようには見えるが、入射ビームが存在しない場所のアクセプタンスがどうなっているかは不明である。

### 4. 今後の予定

全アクセプタンスを計測するためには、測定時に PSC で規定している領域に常にビームが存在することが必要である。このためにはビームが計測範囲となる位相平面上に広く分布していなければならないが、計測に追従してビームを動かすことで実効的にビーム存在範囲を大きくすることでこれを実現する。位置範囲の拡大はビーム輸送パラメータを調整して、PSC でのビーム径を拡げることで行い、角度範囲の拡大は、測定と同期してビーム角度をスキャンすることで行う。この角度スキャンのため、本計測システムに PSC 直前のステアリングマグネットを組み込むことを予定している。

### 参考文献

- [1] TIARA 施設利用の手引き <http://www.taka.jaea.go.jp/tiara/j661/riyoutebiki/index.htm>
- [2] M. Oikawa, et al., "Focusing high-energy heavy ion microbeam system at the JAEA AVF cyclotron" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 260 (2007) 85.
- [3] H. Kashiwagi, et al., "A Low Beam Intensity Measuring Device for Acceptance Measurement" Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2010) 628