

Phase-space collimator for transverse acceptance measurement

Hirotsugu Kashiwagi¹, Nobumasa Miyawaki, Susumu Okumura, Ikuo Ishibori, Satoshi Kurashima, Yosuke Yuri, Tomohisa Ishizaka, Takahiro Yuyama, Ken-ichi Yoshida, Takashi Agematsu, Takayuki Nara, Wataru Yokota
 Takasaki Advanced Radiation Research Institute, Japan Atomic Energy Agency
 1233 Watanuki-machi, Takasaki, Gunma, 370-1292

Abstract

In the TIARA AVF cyclotron, a phase-space collimator was developed to measure an acceptance of the system including the accelerator. The collimator consists of two pairs of position slit and angle slit to select an arbitrary small portion of transverse phase-space. A beam which occupies the portion is injected into the system. Measurement of the acceptance is made by testing every portion in the whole phase-space, which should large enough to cover the acceptance. The sum of the portions for the beams which pass through the system can be estimated as the acceptance of it. This phase-space collimator will be used to evaluate the matching of the acceptance with the injected beam emittance.

アクセプタンス計測のための位相空間領域制限装置

1. はじめに

原子力機構高崎量子応用研究所のサイクロトロン施設においては通常のビーム照射に加え、生物細胞や微細構造を持った半導体デバイス等へのビーム照射のためのマイクロビーム形成プロジェクトを進めている。迅速なマイクロビーム供給のために、加速器への入射ビームの高輝度領域をマイクロビーム形成ラインエンドまで輸送することが求められている。また、通常運転においてもイオン源で生成したビームの高効率利用のため、加速器内でのビームロスを低減することが求められている。

これらの要求を満たすためには加速器へのビーム入射において、加速器側のアクセプタンスと入射ビームのエミッタンスの整合を向上させることが重要である。整合の向上のためにはエミッタンス・アクセプタンスを求め、整合の評価を行うことが必要である。

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。本論文では横方向アクセプタンスの計測原理および装置について述べる。

2. アクセプタンス計測

アクセプタンスの定義

アクセプタンスとは、加速器が加速可能かつ目的とする場所まで輸送可能な位相空間の領域である。アクセプタンスは定義する場所によって異なる。例えばサイクロトロンにおいてはインフレクター入り口からデフレクター出口まで等、ビームラインを含むものとしては入射ビームラインのある場所から高エネルギービーム輸送ラインのある場所まで、のように様々である。

マイクロビームは、ビームライン末端において図1に示すマイクロビーム形成装置によって、加速さ

れたビームを集束することで形成される。この装置では、数 μm のオブジェクトスリットと数 $100\mu\text{m}$ の発散制限スリットによってビームのエミッタンスのごく一部を四連四重極電磁石に通してビームをマイクロメートルオーダーまで集束する。マイクロビーム形成にはビームの輝度ができるだけ高いことが要求されるため、イオン源から出射したビームの高輝度領域をマイクロビームライン末端まで輸送するためには、加速器入射ビームラインからマイクロビーム形成装置末端までのアクセプタンスが重要となる。

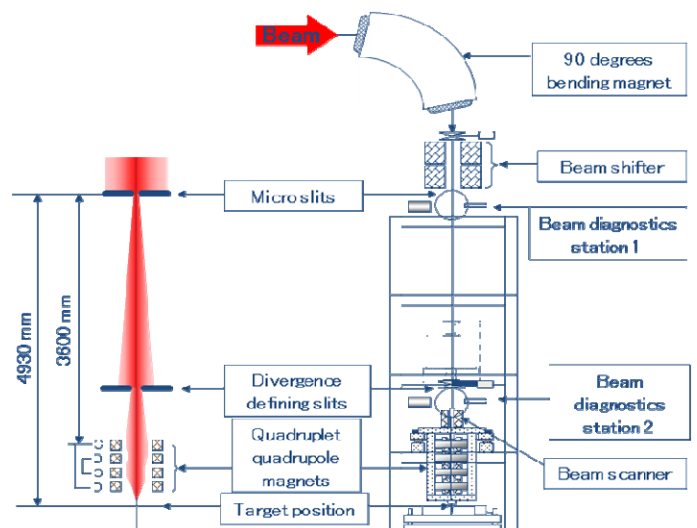


図1 高エネルギー重イオンマイクロビーム形成装置

アクセプタンス計測装置

アクセプタンスは、理想的には位相空間上の格子点を1つずつ加速器へ入射し、それが出口まで到達するかを調べることで求められる。従って、この格子点のビームを出射する装置と出口でのビーム検出

¹kashiwagi.hirotsugu@jaea.go.jp

器の組み合わせでアクセプタンス計測装置が実現することになるが、実際の出射装置では格子点でなく、指定したある位置及び角度の範囲のビームを出射することになる（位相空間領域制限装置）。

横方向二次元位相平面（ $x-x'$ 平面または $y-y'$ 平面）におけるアクセプタンス計測においては、この出射装置は位置と角度を制限する1対のスリットによって実現する。図2にこの装置の概念図を示す。

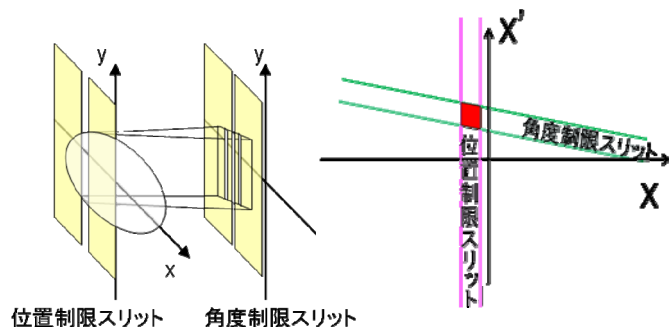


図2 アクセプタンス計測装置のための位相空間領域制限装置および、各スリットによって制限される領域の例。

位置制限スリットである位置範囲のビームのみが通るように制限し、下流の角度制限スリットで角度範囲を制限する。各スリットは計測位置及び角度範囲に応じてそれぞれの位置及びスリットギャップを変えられるようになっている。

位置制限スリットと角度制限スリットで規定される横方向二次元位相平面領域は、次式で表される平行四辺形で囲まれる領域となる。

$$\begin{cases} x_p - \frac{w_p}{2} \leq x \leq x_p + \frac{w_p}{2} & \text{①} \\ -x + x_d - \frac{w_d}{2} \leq x' \leq -x + x_d - \frac{w_d}{2} & \text{②} \end{cases}$$

- x_p : 位置制限スリットギャップ中心位置
- w_p : 位置制限スリットギャップ
- x_d : 角度制限スリットギャップ中心位置
- w_d : 角度制限スリットギャップ
- x : 位置制限スリット位置における x 座標
- L : 位置制限スリットと角度制限スリット間の距離

①は位置制限スリットで規定される位置範囲、②は角度制限スリットで規定される角度範囲を表している。

四次元位相空間制限装置はこの $x-x'$ 平面用と $y-y'$ 平面用二次元の位相平面領域制限装置を組み合わせ

ることで実現する。入射ビームのエミッタンスがアクセプタンスよりも小さい場合は、この制限装置の上流にステアラーを設置し、ビームを位相空間内で移動させればよい。

位相空間領域制限装置から出射したビームを出口で検出する装置はそのビーム電流に応じて、ファラデーカップ・シンチレーションカウンタ等の一般的なビーム検出装置で行うことが可能である。

3. 位相平面領域制限装置

装置設置位置

位相空間領域制限装置を製作し、3台のイオン源のビームを用いて測定可能なサイクロトロン入射ビームライン”IS2”に設置した。図3に設置位置および入射ビームラインのビーム軌道及びIS2におけるビームエミッタンスを示す。

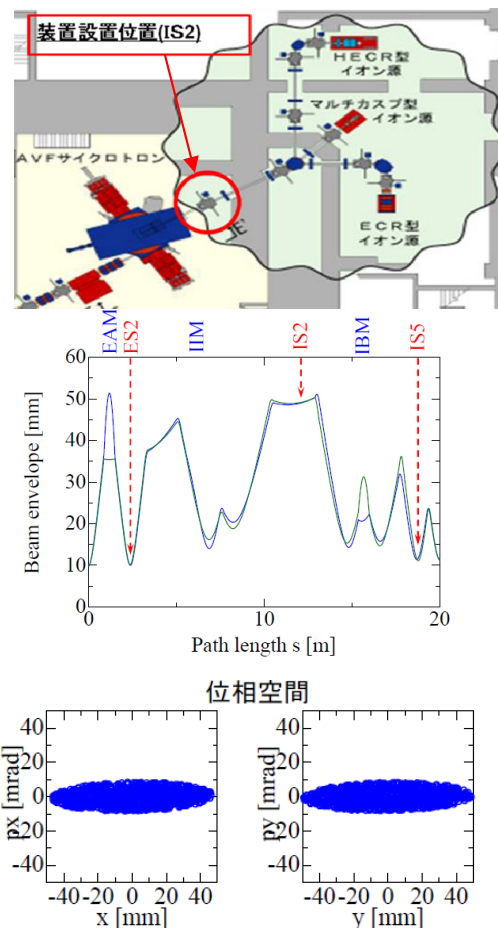


図3 装置設置位置(上), 入射ビームラインのビーム軌道(中), 装置設置位置におけるビームエミッタンス(下)

IS2では x , y 共に位相空間で扁平な分布である。すなわちビーム径が大きく(約100mm)、発散角が

小さい($\pm 10\text{mrad}$)。

製作した位相平面領域制限装置

$x-x'$ 、 $y-y'$ のアクセプタンスを計測のための2組の位置制限スリット、角度制限スリットを製作しビームラインに設置した。

位置制限スリットY、角度制限スリットYを図4に示す。位置制限スリットYはスリット間のビーム以外を下流に通さないようにするため、下流の角度制限スリットよりもスリットの上下幅が広い構造となる。ビームが $x-x'$ 、 $y-y'$ 位相空間共に扁平な分布のため、各スリットともに幅(120mm)およびストロークが大きい(約230mm)。

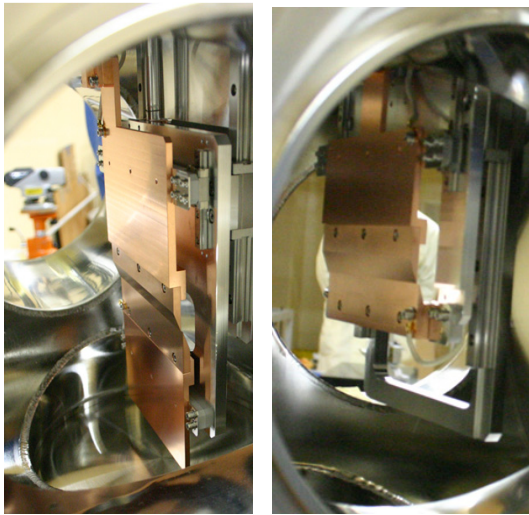


図4 位置制限スリットY(左)、角度制限スリットY(右)

まとめと今後の予定

アクセプタンス計測装置について、その計測原理をもとに位相平面領域制限装置の設計製作を行った。今後は計測プログラムを作成し、アクセプタンス計測実証実験を行う予定である

参考文献

- [1] 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) 85-90