

# スリットスキャン法による 4 MeV 光電子ビームエミッタンス測定

工藤 経生<sup>1,A)</sup>、川合 啓<sup>A)</sup>、黒田 隆之助<sup>A)</sup>、坂上 和之<sup>A)</sup>、濱 義昌<sup>A)</sup>、鷲尾 方一<sup>A)</sup>、柏木 茂<sup>B)</sup>

早野 仁司<sup>C)</sup>、浦川 順治<sup>C)</sup>

A) 早稲田大学理工学総合研究センター

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

B) 大阪大学産業科学研究所量子ビーム発生科学研究分野

〒567-0047 大阪府美穂ヶ丘8-1

C) 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0081 茨城県つくば市大穂1-1

## 概要

早稲田大学理工学総合研究センターでは、高品質電子ビーム生成及びそれを用いた様々な応用実験を行うことを目的として、フォトカソードRF電子銃システムの構築を行った。高品質電子ビーム生成には、加速器の最適パラメータを把握することが極めて重要であり、早稲田大学では、特にエミッタンスの最適値の探求を行っている。生成された光電子ビームのエネルギーは約4MeVとあまり高くないので、空間電荷効果の影響による測定誤差の少ない(シングル)スリット法を用いてエミッタンスを測定した。今回は新たにダブル・スリット法を取り入れ、ソレノイド電磁石によるエミッタンス補正効果を両方法で測定した。本研究会ではその結果及び測定法の改善過程について報告する。

## 1. はじめに

現在、早稲田大学では、フォトカソードRF電子銃から生成された電子ビームをX線発生などの応用実験<sup>1)</sup>に用いることを目的として、電子ビームの高品質化を行っている。フォトカソードRF電子銃によって生成された電子ビームの品質は、レーザー入射位相、ソレノイド電磁石の磁場強度、ビーム電荷による空間電荷効果などに大きく左右され、高品質電子ビーム生成のためには加速器の最適パラメータを把握することが重要である。

エミッタンスの測定法としては、Qスキャン法が広く用いられているが、早稲田大学の電子ビームのエネルギーは約4MeVとあまり高くなく、空間電荷効果の影響が無視できなくなる。そこで、昨年度に引き続き、空間電荷効果による測定誤差の少ないスリット・スキャン法(以下スリット法)を用いて横方向エミッタンスの測定を行ってきた。

## 2. スリット法

### 2.1 スリット法

スリット法とは、ビームライン上に設置されたス

リットにより電子ビームを細かく切り取り、その下流で切り取られた電子ビームのプロファイル(形状)または電荷量を測定することにより電子ビームの位相空間分布(エミッタンス)を求める方法である。スリットを1枚だけ使用し、蛍光スクリーンでビームプロファイルを測定する方法をシングル・スリット法、スリットを2枚使用し、ファラデーカップで電荷量を測定する方法をダブル・スリット法という。(図1参照)

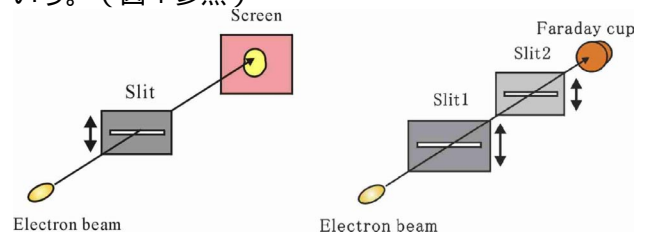


図1: スリット法の概念図

昨年度まではシングル・スリット法<sup>2)</sup>でエミッタンスを測定していたが、この場合、切り取られたビームの電荷量が弱いと蛍光スクリーンが光らないといった問題や電荷量が十分な場合でもビームが蛍光スクリーン上でにじんでしまい実際よりもビームサイズを大きく測定し、エミッタンスを大きく算出してしまふなどの問題点がある。そこで今回は、ファラデーカップを用いてスリットで切り出された電子ビームの電荷量を測定するダブル・スリット法を取り入れた。

### 2.2 ダブル・スリット法

ダブル・スリット法を位相空間分布上で説明する。図2の斜線部分がスリット1で切り取られた部分の電子ビームである。スリット間がドリフトスペースだと仮定すると、スリット1で切り出された電子ビームは、スリット2に輸送される間に位相空間上で横に広がる。さらに、スリット2で細かく小片に分割し、分割した小片の電荷量を測定し、それらを総合してスリット1上での運動量方向の強度分布を再現する。同様の事をスリット1を動かして測定す

<sup>1</sup> E-mail: easy-going@suou.waseda.jp

れば全体のエミッタンス（位相空間分布）が求まる。（図2参照）

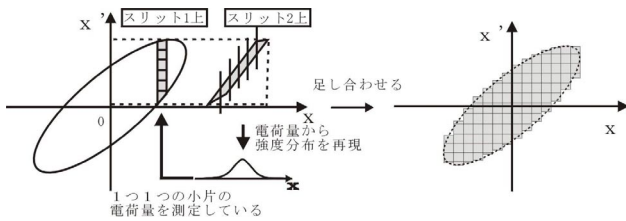


図2：ダブル・スリット法による位相空間分布

### 3．実験結果

#### 3.1 セットアップ

カソードから95.5cmの位置にスリット1（厚さ1mm）を、117.5cmの位置にスリット2（厚さ2mm）を設置した（図3参照）。スリットはタングステンでできており、スリット幅は200 $\mu$ m、スリットのステップ幅は200 $\mu$ mとした。

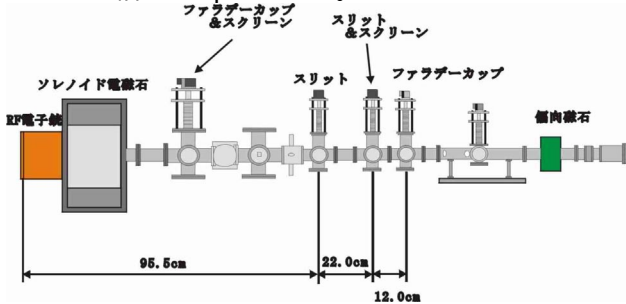


図3：セットアップ

#### 3.2 シングル・スリット法とダブル・スリットの比較

まず、エミッタンス補正用ソレノイド電磁石の電流量を変えてシングル・スリット法とダブル・スリット法によりそれぞれの場合における電子ビームの横方向エミッタンスを測定しその比較を行った。

図4より、ソレノイド電流量を変えることにより位相空間分布（エミッタンス）を制御できることがわかる<sup>[3]</sup>。また、図4（C、D）は、ソレノイド電流量を同値にして、シングル・スリット法とダブル・スリット法で再現される位相空間分布を比較したものである。どちらの方法で測定しても位相空間分布やエミッタンス値の変化の傾向はほぼ同様になることがわかる。エミッタンスが小さくなるときは、シングル・スリット法とダブル・スリット法のエミッタンスの値の差が広がり、エミッタンスが大きくなっていくあたりでは逆に差は縮まっている（図5参照）。これは、エミッタンスが小さいときは電子ビームも絞られるため、電荷密度が高くなり、蛍光スクリーン上でのビームのにじみの効果が大きくなり、シングル・スリット法ではエミッタンスを大きく算出してしまおうと考えられる。またエミッタンス

が小さいときは、電子ビームは広がっているため、蛍光スクリーンが発光せず、シングル・スリット法ではエミッタンスを小さく算出してしまおうと考えられる。

この実験での電子ビームの電荷量は、1バンチあたり約0.5nCであった。

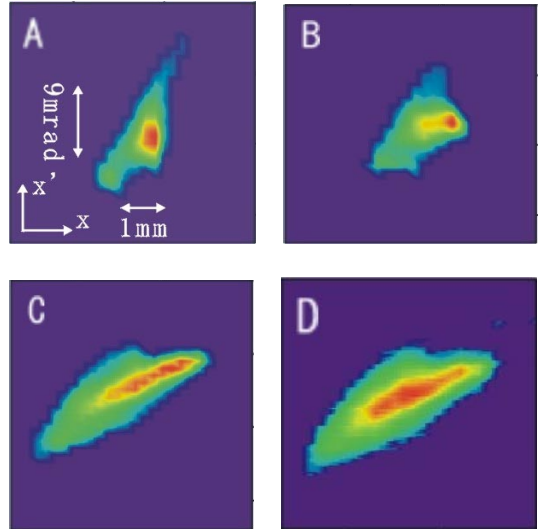


図4：ソレノイド電流量を変えたときの位相空間分布(A,B,Cは100A,98A,96A（ダブル・スリット法で測定）、Dは96A（シングル・スリット法で測定）)

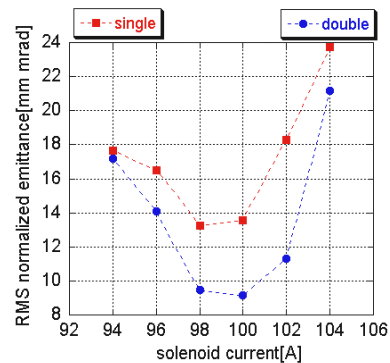


図5：ソレノイド電流量 VS エミッタンス

#### 3.3 レーザー入射位相とエミッタンスの関係

次に、カソード上でのレーザー入射位相を変化させ、各位相ごとにソレノイド電磁石の電流量を変えて、エミッタンスを測定した。今回は、すべてスリットのステップ幅を400 $\mu$ mにし、ダブル・スリット法でエミッタンスを測定した。

まず、図6にカソード上でのレーザー入射位相とビームの電荷量・エネルギーの関係を表した。また図7は、ソレノイド電流量を変えたときの横方向エミッタンスの変化を各位相ごとにプロットしたものである。図8は、各位相ごとの横方向エミッタンスの最小値をプロットしたものである。

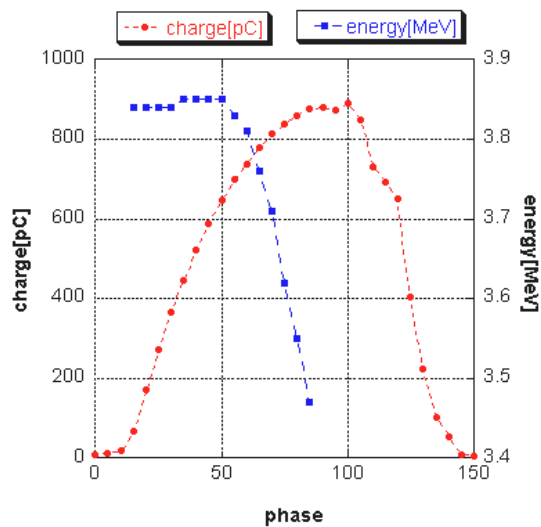


図 6 : 位相と電荷量・エネルギーの関係

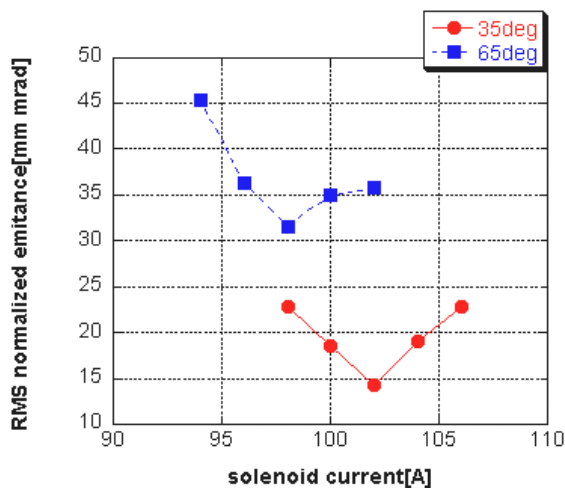


図 7 : ソレノイド電流量とエミッタンスの関係

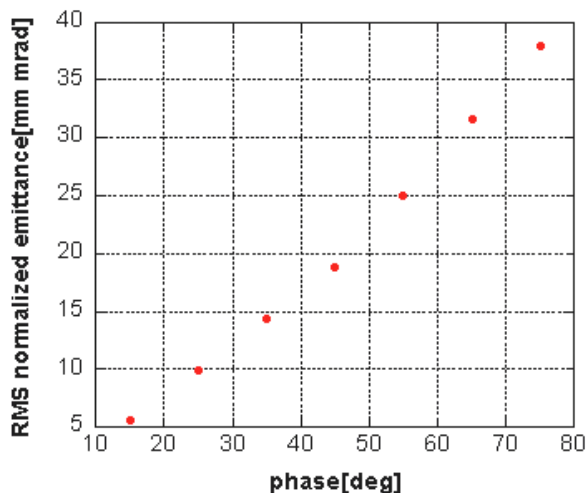


図 8 : 位相とエミッタンスの関係

図 7 より、電子ビームのエネルギーが異なると、エミッタンスが最適値をとるソレノイド電磁石の電流量も異なることが確認された。また、図 8 より、レーザー入射位相を大きくしていくと、エミッタンスも大きくなるのがわかる。これは、レーザー入射位相を大きくしていくとショットキー効果によりビームの電荷量も大きくなり(図 6 参照)、空間電荷効果の影響が大きくなることと、空洞出口での RF によるビーム発散の効果による影響のためと考えられる。

#### 4 . まとめと今後の予定

早稲田大学では、今年度新たにダブル・スリット法を導入し横方向エミッタンスを測定した。今後は、スリットのステップ幅を小さくしたり、バックグラウンド除去方法を工夫したりして、測定精度を上げていく予定である。また、電荷量を一定にしてレーザー入射位相を変化させ、横方向エミッタンスを測定し、RF によるエミッタンス増大の影響も測定していく予定である。それとともに、シングル・スリット法でのスクリーンの滲みによる効果を消すために、ワイヤースキャン等の他の測定法でエミッタンスを測定し、ダブル・スリット法で測定されるエミッタンスと比較する予定である。

また、横方向エミッタンスだけでなく、RF キッカーを用いたパンチ長の測定等、他のパラメータについてもその最適化を行っていく予定である。

#### 参考文献

- [1] S. Kashiwagi, et al., proceedings of the 27<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, , 2001,p.39
- [2] S. Kashiwagi, et al., proceedings of the 27<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, , 2001,p.353
- [3] D.T. Palmer., Proceedings of PAC, , 1997,p.2843