

STUDY OF ASYMMETRY BETWEEN VERTICAL AND HORIZONTAL EMITTANCE AT PHOTOCATHODE RF GUN

Akihiko Mizuno¹, Tsutomu Taniuchi, Hideki Dewa, Hiromitsu Tomizawa, Kenichi Yanagida, Hirofumi Hanaki
Japan Synchrotron Radiation Research Institute/SPring-8
1-1-1 Koto, Sayo, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract

Vertical and horizontal emittance of the photo cathode RF gun do not generally coincide with each other, and these phenomena have become serious problems. In the SPring-8 system, vertical emittance is always measured as larger than horizontal one. We investigated thinkable causes of the asymmetry, and wakefield of an asymmetry mirror for laser incidence is found as one of causes using beam tracking simulation. Introducing a quasi-symmetry hollow mirror, most part of emittance asymmetry became reduced, but some problems still remained.

フォトカソード RF 電子銃における水平垂直エミッタンス非対称性の原因究明

1. はじめに

フォトカソード RF 電子銃において、水平垂直のエミッタンスが異なることが大きな問題の一つとなっている。一般的には、両者は同一ではなく、片方のエミッタンスだけが極端に小さく測定される例がある等、諸問題が生じている。

SPring-8 のフォトカソード RF 電子銃においては、実験開始当初 (2003 年まで) は、レーザーをカソードに対して斜め 66 度で入射し、電子銃 cavity より出力された電子ビームのエミッタンスを、ダブルスリット法を用いて測定していた。レーザー波面がカソードに同時に到達しないことから水平垂直のエミッタンス非対称性が観測され、この現象は図 1 の様にシミュレーションによっても確認されていた。^[1]

その後、RF 電子銃 cavity 下流に加速管 1 本を増設するグレードアップ工事を行った。同時に、エミッタンス非対称性を回避するべく、ソレノイド電磁石直下流のビームダクト中にレーザー直入射用ミラーを

設置した (図 3)。電子ビームと物理的に干渉しないように、ミラーの端はビームライン中心より 6mm オフセットして設置しているが、ビーム軸からは非対称なミラーである。レーザー入射角度は、ほぼ直入射に近い約 1 度である。エミッタンスは加速管下流のエネルギーが高い (26MeV) 場所で測定するため、ダブルスリット方式では測定精度を維持するのが難しく、測定法を Q スキャン法に変更した。

しかし、この直入射方式でもエミッタンス非対称性が観測された。一例として図 2 に示すように、常に y (垂直) エミッタンスが x (水平) エミッタンスより大きい。また、x エミッタンスが小さいときに、必ずしも y エミッタンスが小さくはならない。Q スキャンの 2 次曲線グラフの形も x と y で大きく異なる (図 6 上図)。これらの原因について調査を行った。なお、非対称性の問題は各所で報告されているが、次項からの議論は SPring-8RF 電子銃特有のものである。

2. 考えられる非対称性の原因

原因としては、大きく分けて、入射レーザープロファイル整形の不良、エミッタンス測定方法の問題、

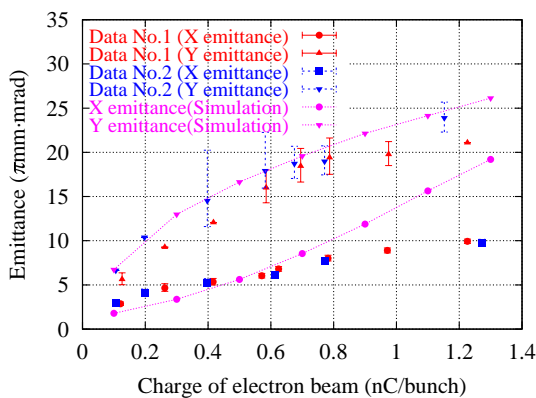


図 1: レーザー斜め入射時のエミッタンス測定データとシミュレーション結果

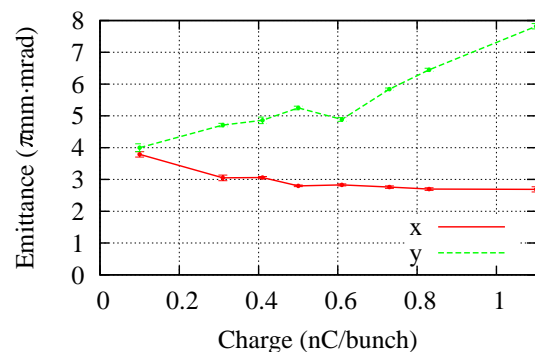


図 2: 直入射ミラーを用い、Q スキャン法で測定した xy エミッタンスの例

¹ E-mail: mizuno@spring8.or.jp

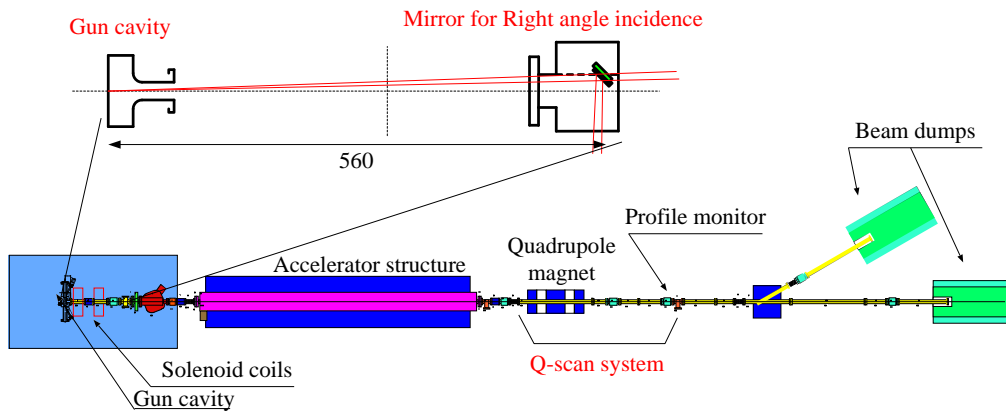


図 3: RF 電子銃装置全体図と非軸対称のレーザー直入射用ミラー

ビームライン上デバイスの影響、ビームオペレーションの問題が考えられる。この内、レーザープロファイル整形については、どのように整形しても必ず y エミッタンスの方が大きくなることから、非対称性の主因では無いと考えている。

2.1 エミッタンス測定法の問題

Q スキャンにおけるビームサイズは、0.15mm 厚のデマルケストを用い、CCD カメラ (SONY XCD-SX910) で測定している。測定システムに起因する非対称性を確認するためカメラを 90 度回転して水平垂直を入れ換えて測定したが、 y エミッタンスが大きい傾向は変わらなかった。水平垂直の被写界深度の差も、検討の結果問題ないことが分かっている。

2.2 ビームライン上デバイスの問題

ビームライン上デバイスで xy 間にビームダイナミクス上のカップリングを持つ可能性があるものとして、電子銃 cavity、S-band 進行波型 $2/3\pi$ モードの加速管と非軸対称の直入射ミラーが上げられる。

電子銃 cavity の構造によるエミッタンス非対称性は、シミュレーションの結果、観測が困難な程度小さいことが分かっている。

加速管に関しては、入力カップラセルの部分について HFSS を用いて解析を行った。RF 入力ポートがあるため、 B_θ が同芯楕円上ではないことによるわずかなカップリングがあったが、エミッタンス非対称性を説明できるものではなかった。

直入射ミラー本体は金属ホルダーで固定した誘電体であり、ミラー支持台は金属であるため、非軸対称のウェークフィールドが発生する。ウェークのエミッタンスに及ぼす影響を、MAFIA を用いて解析した。初期エミッタンスは 0、電子パンチサイズは実際の実験に近いものを仮定し、直入射ミラーの前後 10mm についてトラッキングを行っている。図 4 に示すように、 y エミッタンスの方が大きくなり、実験事実と傾向は一致した。また、ミラーをビームライン軸から 10mm 離すと、非対称性が大幅に軽減されることが分かった。

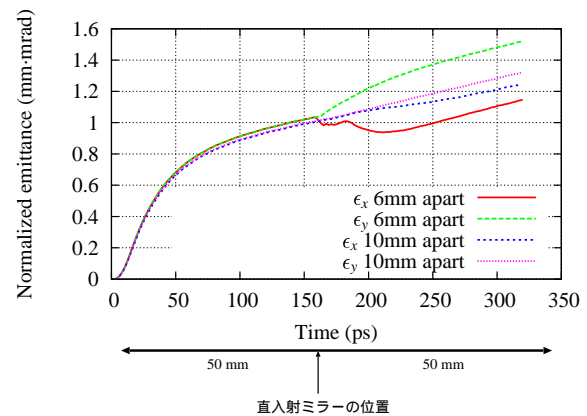


図 4: 直入射ミラーが電子ビームのエミッタンスに及ぼす影響。ミラーをビームライン軸から 6mm 離れた場合 (現状) と 10mm 離れた場合。

2.3 ビームオペレーション上の問題

加速管後の電子ビームが歪んでいる状況がよく観察される。このような正規分布から外れたビームに対し Q スキャンを行うと、正しくエミッタンスを測定できず、非対称性を生む要因になる。レーザー整形以外に考えられる原因は、カソード表面の量子効率分布、および、加速管入口でビームが加速管中心を通過していないため、電子ビームにコマ収差が発生すること等^[2]が挙げられる。

3. 非対称性回避に向けた実験

直入射ミラーからのウェークの問題が最も大きいと判断し、以下のような対策を施し実験を行った。

3.1 直入射用穴開きミラーおよび BPM(ビームポジションモニター) の設置

図 5 に示すような穴開きミラーを直入射ミラーの代わりに導入した。中心に電子ビームが通過するための穴を開けており、レーザーは、ドーナツ状ミラーの一部を用いて入射する。誘電多層膜ミラーであり、

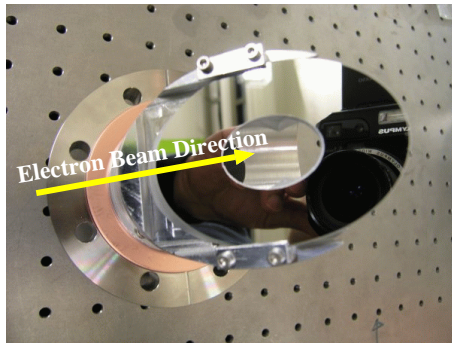


図 5: レーザー直入射用穴開きミラー

チャージアップを防ぐために表面をアルミ蒸着しているため原理的にウェークが発生するが、ドーナツ状にすることにより非対称性を低減している。電子ビーム通過用の穴は、この部分での平均的電子ビームサイズサイズの 3σ を採って $\phi 20\text{mm}$ とすることにより、ウェークの影響低減を狙った。(図 4 参照)

また、ビームが加速管の中心軸に沿って通過できるように、加速管直前および直後に BPM を設置し、加速管前のステアリングで調整できるようにした。

3.2 エミッタンス測定結果

図 6 に、代表的なエミッタンスの測定結果を示す。穴開きミラーを用いた場合には、2 次曲線の形に xy 間の大きな差は無くなった。これは、以前の直入射ミラーでは xy の軌道が大きく異なっていたことを示しており、穴開きミラー方式では、対称性が確保されたことが分かる。

図 7 に、穴開きミラーを用いて、様々なパラメータで測定した xy エミッタンスの対称性を示す。差異は小さくなったが、 y エミッタンスの方が大きいという傾向は依然として残った。

3.3 測定時の問題点

BPM により、エミッタンス測定中 (約 5 分間) の加速管入り口でのビーム軌道変動を測定すると、大きい場合で 1mm 程度の変動があった。直入射用穴開きミラーは金属蒸着を施した誘電体であるが、蒸着が完全ではなく、ダークカレント等がチャージアップしている可能性がある。

4. 考察および今後の方針

エミッタンス非対称性の主原因が直入射ミラーにあることが判明したが、非対称性はまだ解消されおらず、幾らかの要因が考えられる。

まず、穴開きミラーがチャージアップしていること。また、穴開きミラーが 45 度斜めに設置されているために、チャージアップやウェークが電子ビームに与える影響が非対称となること。チャージアップのために電子ビームの位置変動が大きく、加速管入口カップラ部の中心をビームが通過できていないことなどが考えられる。

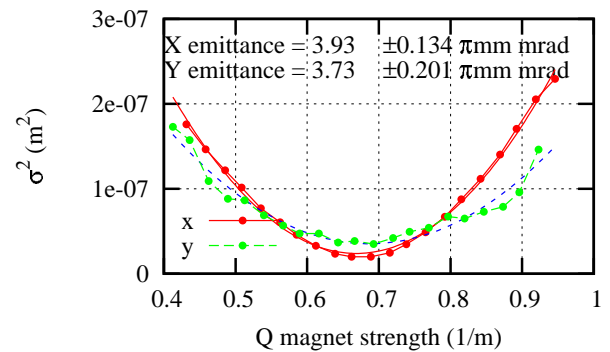
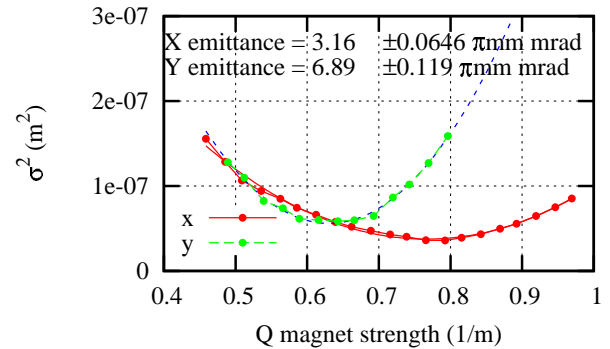


図 6: 上図は非軸対称の直入射ミラーを用いた場合、下図は穴開きミラーを用いた場合の Q スキャン測定データ。電荷量 0.37nC 、その他実験パラメータはほぼ同一。

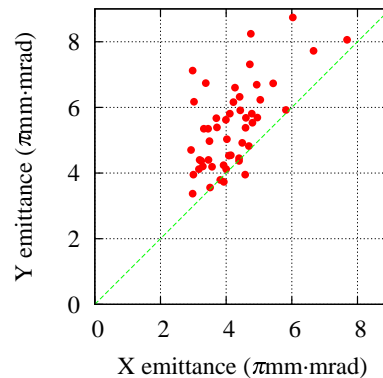


図 7: 様々な条件下で測定した xy エミッタンス対称性

このように、直入射ミラーを用いることによる弊害は非常に大きい。シミュレーションでは、カソードに対し数度程度の斜め入射であれば大きなエミッタンス非対称性は発生しないことが確認できている。このことから、ビームライン上に直入射ミラーを挿入せず、斜め 4 度程度の斜入射用ポートを用いてレーザー入射できるように改造することを計画している。

参考文献

- [1] A. Mizuno, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 528(2004) p. 387
- [2] A. Mizuno, et al., 'S バンド加速管におけるビーム収束効果について', proceedings of the 2nd annual meeting of PASJ, p. 126, Tosu, Jul 20-22, 2005