

Precise measurement of small sized beam from electron-gun using characteristic X-rays

Mitsuo Ikeda^{1,A)}, Satoshi Ohsawa^{A)}, Takashi Sugimura^{A)}, Masafumi Tawada^{A)}, Yasufumi Hozumi^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization, Accelerator Laboratory

^{B)} Graduate Univ. for Advanced Studies

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

This system was developed in order to measure small sizes of an electron beam on a target. For a higher brightness X-ray generator a new electron-gun beam is required, which sizes are 0.1 mm x 1mm on the target, however, become as small as 0.1mm x 0.1mm when observed from diagonal of 10 degrees. The system is composed of a pinhole camera for characteristic X-rays, an optical system, a micro-channel plate (MCP) and a low illumination CCD camera. We succeeded in observing precisely beam sizes in the order of 0.1mm. The setup and system performance are described in detail.

特性X線を用いた電子銃ビームの微小サイズ精密測定

1. はじめに

本件は、実験室で利用可能な超高輝度X線発生装置開発^[1]の過程に於いて必要なビーム測定システムである。現在強力なX線を必要とする研究には、放射光 (SR) が利用されているが、さまざまな制約が伴うので本発生装置の実現が期待されるものである。

2. X線発生装置と測定系の構成

図1^[2]に示すように、電子銃から発生した電子ビームは、直径3mmのコリメーターを通り磁気レンズで集束され四重極磁石とステアリング磁石を通過した後、偏向磁石で180度曲げられて銅板のターゲット上に集束する。この時発生するX線をピンホールカメラとストリーク管 (MCP) 及び暗視カメラを用いた測定装置によりビームサイズの測定を行う

ものである。ターゲットから発生したX線はBe窓に貼られた直径100 μ mのピンホール板を通った後、光学系の入光部に設けられた蛍光スクリーン (Fluorescent screen) 上に、ターゲット上のビーム像を結像する。このX線により蛍光スクリーンから発する光は、電子ビームがマイクロ秒パルス (1 μ s, 20Hz) であるため極めて微弱である。パルスビームを用いているのは、ターゲットを水冷する煩雑さを避けるためである。像を明るくして、ビームサイズをより正確に測定するために、ストリーク管のマイクロチャンネルプレート (MCP) を用いて、光の強度を最大数千倍に増幅できるようにした。これによりストリーク管の蛍光面に映し出された画像が明るくなり、暗視カメラによる測定が短時間で行えるようになった。図1はX線発生装置と光学測定系の構成図で、図2にその全景写真を示す。

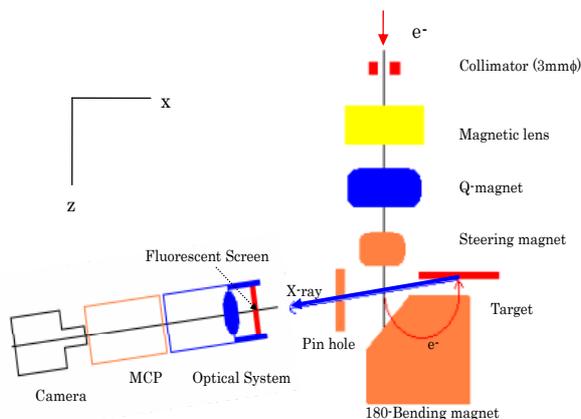


図1：X線発生装置と光学測定系の構成図

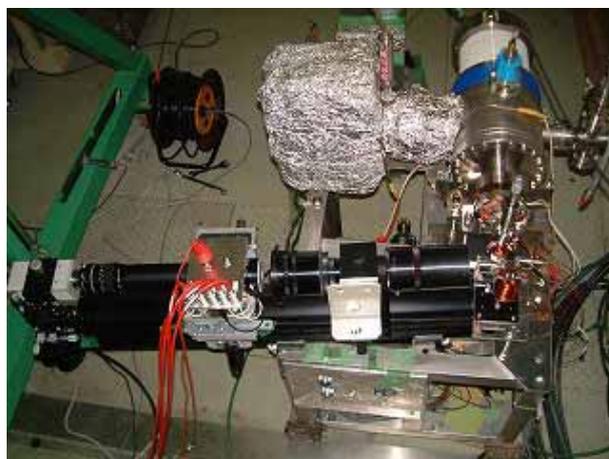


図2：X線発生装置と光学測定系の全景

¹ E-mail: mitsuo.ikeda@kek.jp

3. 光学測定系の構成機器

3.1 光学系

図3に、光学測定系の構成図を示す。ターゲットから発生したX線ビームは、ピンホールカメラの原理で蛍光スクリーン上に結像する。光学系は、その像をストリーク管の光電面にフォーカスさせるためのものである。蛍光スクリーン上に方眼紙を貼り付け、暗視カメラの画像を見ながら、接眼レンズの位置を調整して光学系の焦点を合わせる。

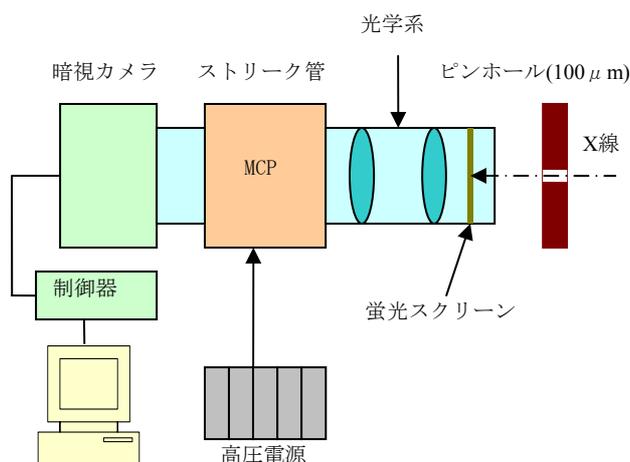


図3：光学測定系の概略図



図4：ストリーク管用の各種高圧電源

3.2 ストリーク管 (MCP)

ここで使用したストリーク管 (MCP) は、浜松ホトニクス社製のN895-01である。その動作は、入射した光が、まず光電面で光電効果により電子に変換され、加速電極で加速された後、マイクロチャンネルプレート (MCP) で最大数千倍に増幅され、最後に蛍光面に当たり増幅された光となる。今回光学測定系を構築するために市販の高圧電源 (図4参照) との間を配線し、各電極に表1の電圧を印可した。尚、ストリーク管として使用する場合は一対の偏向

電極で偏向させるが、今回はその必要がないので、この電極は使用せず接地している。

表1：ストリーク管の各種電極電圧

各電極の名称	印可電圧
光電面 (カソード)	-6.5kV
加速電極 (メッシュ)	-5.0kV
集束電極 (フォーカス)	-5.5kV ± 0.5kV
アノード	0V (GND)
MCP出力	+400V ~ +900V
蛍光面	+3.9kV

フォーカス電圧及び、MCP出力電圧は、出力画像をモニターしながら適正值に調整する必要がある。

3.3 暗視カメラ

ストリーク管 (MCP) の蛍光面に結像した画像を、暗視カメラによって観測する。このカメラには、浜松ホトニクス社製のモノクロリドCCDカメラC5985を使用した。このカメラは、低照度下での観察用として開発されたもので、CCD電荷蓄積時間を0.0001秒から最大5分まで設定することができるので幅広い光量領域に対応している。また、バックグランド減算機能により光学系の固定パターンやシェーディングを取り除くことができる。表2にその仕様を示す。

表2：モノクロマルチCCDカメラC5985の仕様

映像素子	1/2型インターラインCCD
信号方式	EIA
映像出力	コンポジットビデオ1.0V/75Ω (BNC)
レンズマウント	Cマウント
冷却方式	空冷方式 (ペルチェ+ファン)
露光時間 (蓄積時間)	0.0001秒~5分
有効画素数	756(H) × 483(W) × 8bit (D)
画像メモリ	メインメモリ 1面 サブメモリ 1面 コンピュータアクセス 1面
画像積算機能	減算 (バックグランド積算)
同期方式	内部同期
ガンマ	1
ゲイン	0 ~ +18dB
外形寸法: カメラヘッド カメラコントロール ユニット	70(W) × 60(H) × 140(D) 232(W) × 81(H) × 308(D)

4. 測定結果

図5は、ビームサイズの校正のために蛍光スクリーン上に貼った方眼紙を、本件の光学測定系で観察した画像である。この1mm角のメッシュ画像からx, y

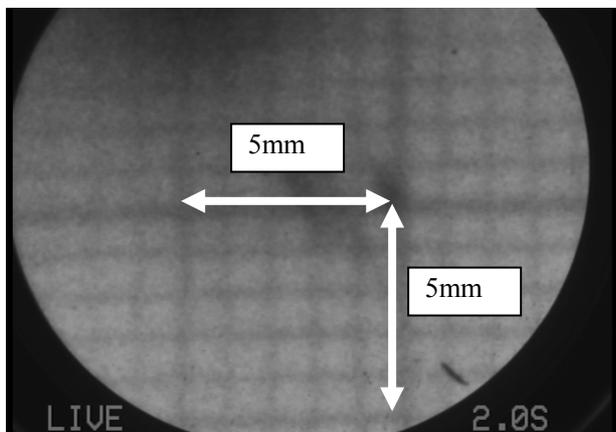


図5：サイズ校正に用いた1mmメッシュの方眼紙画像

方向の画素当たりのサイズを決定した。この画面はストリーク管 (MCP) の出力画像を暗視カメラで測定したものである。画面中央部の暗黒箇所はMCP面の不活性箇所である。この箇所へのX線ビームの照射をできるだけ避けるように、蛍光スクリーンのビーム位置を下方に調整して測定した。尚、ビームサイズを測定する時は方眼紙を取り外した。

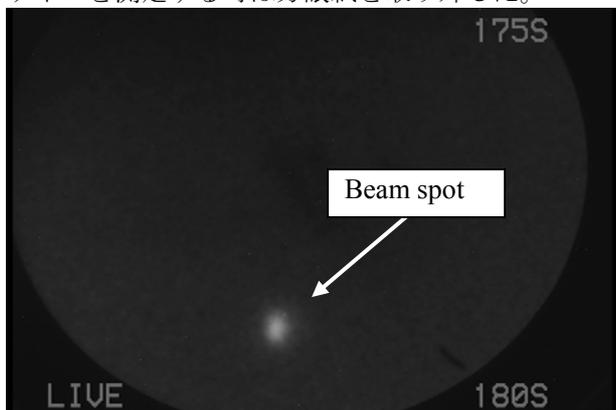


図6：図5と同じシステムで測定したターゲット上の電子ビーム像 (1 μ 秒、20Hz、66mA)

図6は、光学測定系で見たターゲット上の電子ビーム像である。ターゲットから発生したX線ビームを、斜め10度方向から見ている。この画像をパソコンで処理し、電子ビームの分布を画像の輝度から求めた。ビームスポットの垂直断面を図7に、水平断面を図8に示す。この例では、垂直及び水平方向の電子ビームサイズは、それぞれ0.37mm (FWHM) と0.27mm (FWHM) である。ビームスポットは綺麗に測定されており、目標とする0.1mmのビームサイズは充分測定可能であることがわかった。

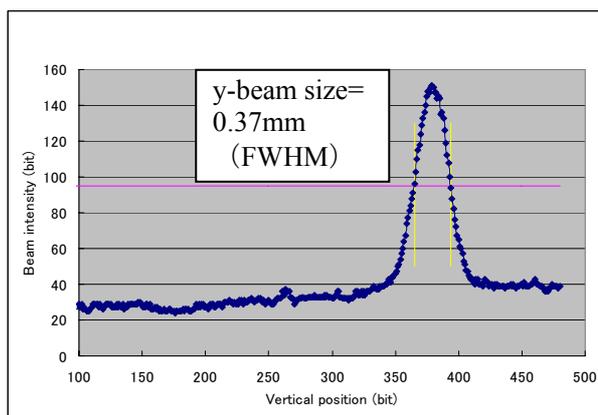


図7：垂直方向の電子ビーム分布

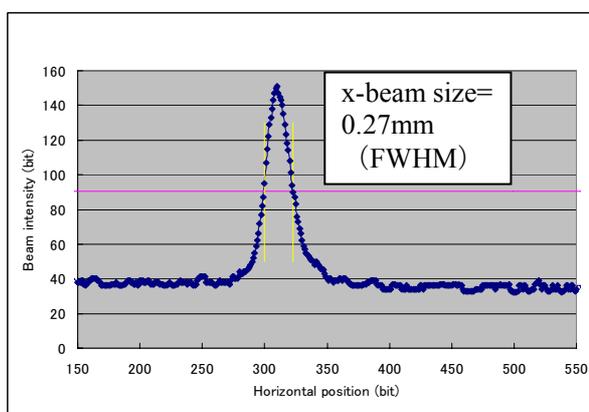


図8：水平方向の電子ビーム分布

5. まとめ

今回開発したシステムにより、0.1mm程度の微小な電子ビームサイズが、X線を用いて光学的に測定できることを確認した。この装置は、高輝度X線発生用電子銃の開発に於いて必要不可欠なものである。0.1mmよりもさらに微小なビームサイズも、ピンホールのサイズと蛍光スクリーンまでの距離を調整することにより測定可能である。

6. 謝辞

X線ビームサイズ測定に際して坂部知平先生には、蛍光スクリーンや、モノクロリドCCDカメラC5985を快くお貸しいただきました。またご指導、ご助言により本開発が滞りなく遂行できましたことを心より感謝いたします。また、ストリーク管の仕様を調査いただき使用方法についてご助言いただきました浜松ホトニクス社殿に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] S.Ohsawa, et al., “X線発生装置用電子銃の要素開発研究”, Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, Saga, July 20 - 22, 2005
- [2] S.Ohsawa, et al., “HIGH BRIGHTNESS ELECTRON GUN FOR X-RAY SOURCE”, PAC2005, Knoxville, USA, May 16 - 20, 2005

