# **ELEMENT R&D FOR X-RAY GENERATOR ELECTRON GUN**

Satoshi Ohsawa <sup>1,A)</sup>, Mitsuo Ikeda <sup>A)</sup>, Takashi Sugimura <sup>A)</sup>, Masafumi Tawada <sup>A)</sup>,

Yasufumi Hozumi <sup>B)</sup>, Kouichi Kanno <sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization, Accelerator Laboratory

<sup>B)</sup> Graduate Univ. for Advanced Studies

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

<sup>C)</sup>AET Japan Inc., 1-2-3 Manpukuji, Azabu-ku, Kawasaki, Kanagawa 215-0004

#### Abstract

A new electron-gun system is under development in order to increase X-ray brightness from a rotating target. In commercial X-ray generators, an electron beam hits a target at outside. Owing to deformation by centrifugal force, there has been a limit on the electron beam intensity. In order to overcome this difficulty, our new system focuses electrons inside of a rotating target. It has an advantage in that a heated-up point has support back side against centrifugal force. It is expected that this merit makes it possible to raise beam brightness to give stronger X-rays with brightness more than 10 times higher. We succeeded in focusing an electron beam of 60keV, 73mA as small as 2.1x0.24 mm<sup>2</sup>.

# X線発生用電子銃の要素開発研究

# 1.はじめに

X線発生装置は市販されており、研究室で広く 用いられている。その輝度を1桁上げることは出 来ないか? この夢を実現すべく坂部知平氏はコ の字型回転対陰極を発案し、その内側に電子ビー ムを照射することにより、X線の輝度を1桁上げる ことが出来ると提案した。

この案を実現するためには、コの字型回転対陰 極の内部に電子ビームを集束するための小型の集 束系が必要である。そこで考えられたのが、小型 の永久磁石で180度ビームを偏向し、同時にエッ ジもしくは勾配磁場で集束する案である。この案 の利点は、短い焦点距離で強く集束することによ り、ビームサイズを小さくすることが可能である ことである。

本研究の課題は、180度偏向磁石を用いた集束 系の性能を実験的に評価することである。昨年度 後半に科学技術振興機構の委託を受け、ビーム集 束系の具体的な設計と製作を始め、現在ビームを 用いた性能試験を行っている。

# 2.装置の構成

この装置は、電子銃とビームの集束系、及び光 学測定系の3つの部分から成る。電子銃から出た ビームをまず直径3mmのコリメーターで切り出し、 磁気レンズ(ML)と四極磁石で集束した後、偏 向磁石で180度曲げ、固定の標的に当てる。その 際、偏向磁石のエッジ集束を用いて、y方向の ビームサイズを極小にする。ステアリングコイル は、入射角を変え、エッジ集束の強さを調整する のに用いる。標的で発生した特性X線を、ピン ホールカメラの原理を用いた光学測定系で観測し、 標的上の電子ビームサイズを測定する。



図1:X線発生装置と光学測定系の構成図

## 3.実験の経緯と測定結果

#### 3.1 実験の経緯

標的での発熱を避けるために、実験にはマイクロ 秒のパルスビームを用いることにした。しかし、予

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> E-mail: satoshi.ohsawa@kek.jp

備的な実験の結果、ピンホールの径を10µmまで小さ くすると、ビーム像の輝度不足になることが判明し た。この問題はマイクロチャンネルプレート (MCP)を導入し可視光を増幅することで解決した。

また180度偏向磁石の漏れ磁場の影響で、その磁 場強度を上げると、ステアリングコイルの磁場強度 が不足し、最適な入射角が得られないという問題が 発生した。これは自作したコイルの巻き数不足によ るもので、コイルを再製作して解決した。

3.2 電子ビーム像の測定例

電子ビーム像をピンホールカメラの原理で測定している<sup>[1]</sup>。銅板標的の表面で発生する特性X線を用いているので、絶縁物のスクリーンを用いた可視光による測定よりもにじみが少ない利点がある。



図2:光学測定系で観測した蛍光板上のX線ス ポット像



図3:上のX線スポット像の垂直断面輝度分布。 このデータから、y方向の電子ビームサイズ(半値 幅)が0.25mmと算出される。

3.3 測定装置の分解能

X線蛍光板の位置を変えて、X線スポットサイズの 変化を測定した結果が図4である。2本の直線とy軸 の交点の値dx、dyが、x及びy方向の分解能を示し ており、それぞれ $dx = 67 \mu m \ge dy = 86 \mu m$ である。 これらの内訳は、ピンホールの大きさ10 $\mu m$ と暗視カ メラの画素の大きさ17.0 $\mu m$  (x方向),18.5 $\mu m$ (y方 向)、およびMCPと光学系に起因する像のボケであ る。



図4: 蛍光板の位置を変えて測定したX線スポット サイズの変化

3.4 電子ビームサイズの算出式

光学測定系で観測した蛍光板上のX線スポットサ イズ $\Delta x$ ,  $\Delta y$ から、標的上の電子ビームサイズ  $W_x$ ,  $W_y$ を算出するのに次式を用いた。

 $W_{x} = (\Delta x - dx - \beta d_{c}) / \beta \sin \theta$  $W_{y} = (\Delta y - dy - \beta d_{c}) / \beta$ 

ここでdx, dy は上の3.3で求めた分解能で、 $\beta$  は 光学系の倍率(コリメーターから測ったスクリーン までの距離と電子ビームスポットまでの距離の比) を表す。また $\theta$ は標的面と測定系のなす角度である。  $d_c$ はコリメーターの直径で、 $\beta d_c$ は無限小光源に よるピンホール像の増大分である。

3.5 電子ビームサイズの測定結果

以下に集束条件を様々に変えて測定した電子ビー ムサイズの変化の様子を示す。いずれも、蛍光板の 位置を $\beta$  = 1.15、 $\theta$  = 10.4°に固定して測定した。



図5:ステアリングコイル電流とビームサイズ

図5は、180度偏向磁石に入る入射角を変えて、 エッジ集束の強さに対する応答を見ている。図6 は、四極磁石の電流に対するビームサイズの変化 で、図7はその時のターゲットに照射したビーム 電流である。また図 8 は、180度偏向磁石の強度 を変えた場合のビームサイズ変化である。 いずれの磁石の変化に対しても、ビームサイズの 最小値が $W_x = 2.1mm, W_y = 0.24mm$ 付近にある。 このときのビーム電流は73mAである。



図7:図6の各測定値に対応するビーム電流



図8:180度偏向磁石電流とビームサイズ

図9は、ビーム電流と電子銃グリッド電圧の関係を表している。高電圧側でビーム電流が減少しているが、この理由は、電流が増すと陽極とコリメーター間(15cm)でビームが空間電荷でより広がるためであり、陰極電流が減少しているためで

はない。また図10は、このときのビームサイズの 変化を表している。



### 4.考察

シミュレーションではビームが (1mm,0.1mm)<sup>[2]</sup>、 になるが、測定値が (2.1mm,0.24mm) に制限され ている理由は、電子ビームのエミッタンスの差にあ ると考えられる。実際と配置はシミュレーションと 異なり、陽極とコリメーターの間に15cmの空間があ る。EGUNの計算によると、この間でエミッタンスが 約2倍に悪化する。従って、この空間を無くせば、 予定通りのビームサイズが得られると期待される。

## 5.謝辞

坂部知平先生には、X線測定について多大なるご 助言とご協力を頂きました。深く感謝いたします。

### 参考文献

- [1] M. Ikeda, et al., "特性X線を用いた電子銃ビームの微小 サイズ精密測定", 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", Proceedings of PAC2005, Knoxville, U.S.A., May 16-20, 2005