

# Development of Emittance Measurement System for an Electron Gun (II)

Yoshio Yamazaki<sup>a</sup>, Toshikazu Kurihara<sup>b</sup>, Hitoshi Kobayashi<sup>b</sup>, and Akira Asami<sup>c</sup>

<sup>a</sup>The Graduate University for Advanced Studies

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan

<sup>b</sup>KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan

<sup>c</sup>Naruto University of Education

Naruto-cho, Naruto-shi, 772, Tokushima, Japan

## Abstract

The emittance measurement system by a pepper-pot method for a low-emittance electron gun was developed. In this system, a pepper-pot mask whose holes are  $30\ \mu\text{m}$  in diameter and opened at intervals of  $300\ \mu\text{m}$  with grid pattern, a thin scintillator ( $10\ \mu\text{m}$ ) with very fast response characteristics (rise-time 350ps, decay 1.6ns), a long distance microscope with high spatial resolution ( $3\ \mu\text{m}$ ) mounted on a precise movable platform to measure spot size of beamlet precisely, and an image intensifier with high-speed shutter (3ns) are used. This system can measure beam emittance with  $1\sim 2\ \pi\ \text{mm}\cdot\text{mrad}$  and get informations of electron emission distribution and cathode surface condition. In this meeting, we will report typical examples of measurements using this system.

## 電子銃ビームのエミッタンス計測系の開発 (II)

### 1. はじめに

KEK放射光入射器系のTEST LINACでは、電子線形加速器における、高輝度電子ビームの発生および加速についての基礎研究を進めている。その中で、高輝度電子銃と、そのビームを的確に評価できるエミッタンス計測系の開発を行っている。電子銃では、ビーム径2mm程度、規格化エミッタンス  $1\sim 2\ \pi\ \text{mm}\cdot\text{mrad}$ 、規格化ブライツネスはオーダーで  $10^{10}\ \text{A}/\text{m}^2\ \text{rad}^2$  の高輝度電子銃を開発することができた<sup>(1)</sup>。カソード材料としては、高電流密度が得られるBI (Ba含浸型W)<sup>(1)</sup>カソード、およびLaB<sub>6</sub><sup>(2)</sup>を用いた。昨年度には、エミッタンス計測系に、ペーパーポット法を採用し、低エミッタンスのビームを精度良く測定するための、装置系の特徴を述べた。今回、その後の改良点と、この装置系を用いた測定例、具体的な解析法、課題などについて報告する。

### 2. 装置系

ペーパーポット法を用いたエミッタンス計測の装置系を図1に示す。装置系の主な特徴を、表1にあげる<sup>(3)</sup>。

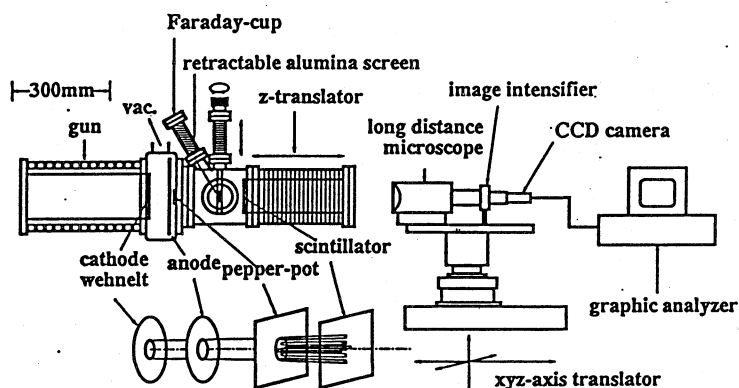


図1

表 1

Pepper-pot-mask-----	Ti foil, width 20 μm, pinhole 300 μm, interval 300 μm, grid pattern
Scintillator-----	width 10 μm, luminance peak 375nm, rise time 350ps, decay time 1.6ns
Optical system-----	long distance microscope(max ×178, resolution 3 μm)
	image intensifier(high-speed shutter min 3ns)
	mounted on xyz movable platform

測定は、スポットの大きさを精度良く測るために、1つずつ拡大して記録できるようになっている。スポットの座標は、精密可動ステージの移動距離から決められる。イメージインテンシファイアの高速シャッターを用いて、高圧パルスの立ち上がり立ち下がりの影響を除くことで、単一エネルギーのビームの軌道を観察することができる。

### 3. 解析法<sup>(3)</sup>

シンチレーター上の像の大きさより、ビームの位相空間における形状、および面積を算出する。図2に、あるビームレットがペーパーポットの1つの穴を通過し、ドリフトスペースを走って、シンチレーターにあたる過程の断面の様子を示す。また、この穴を通過したビームの位相空間で占められるペーパーポット上での領域、およびシンチレーター上での領域を図3に示す。

ペーパーポット上のビームレットエッジの位相空間での座標  $(r_1, r_1')$ 、 $(r_2, r_2')$  を、それぞれ長さLのドリフトスペースの変換行列をかけて、シンチレーター上での座標を求める。結局、シンチレーター上でのスポットの大きさは次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 Dz &= r_{\max} - r_{\min} \\
 &= D \cdot \frac{Sz}{S} + L(\Delta r'_1 + \Delta r'_2) \\
 &= D \cdot \frac{Sz}{S} + L\Delta r' \quad (1)
 \end{aligned}$$

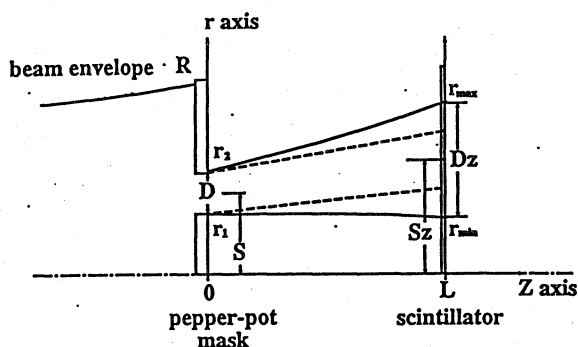


図 2

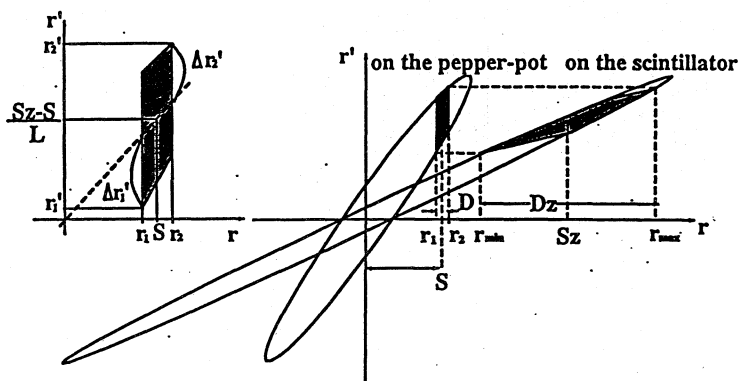


図 3

右辺第1項は、ビームがドリフトスペースを走ることで、自然に発散する大きさで、エミッタンスがゼロのときのスポットの大きさに相当する。また第2項は、ビームが有限なエミッタンスをもつために現われる値である。スポットの位置と大きさを測定すれば、それぞれのビームレットに対する、位相空間での拡がり  $\Delta r'$  を求めることができる。シンチレーター上のビームスポットの輝度分布は、ほとんどガウス分布で近似できるものと、必ずしもガウス分布をしていないものがあり、それぞれ  $2\sigma$  または輝度分布の面積の95%を囲むような大きさを、そこでのビームスポットの拡がりとした。ビームスポットの中心は、輝度分布のピークであると仮定した。ビームのエミッタンスは、以上のようにして得られた位相空間のプロットから、各点の外周を結んだ直線で囲まれる面積を  $\pi$  で割ったものとして求めた。単位は、 $[\pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}]$  である。

#### 4. 測定例

この測定系を用いて、高輝度電子銃のビームのエミッタンスを測定した例を示す。測定は、イメージインテンシファイアのゲートパルスを、高圧パルスの平坦部  $1 \mu\text{s}$  にしほって観測した。また、光学系の量子誤差を小さくするために、ビームスポットを1点ずつ拡大して記録した。表2に結果を示す。図4にビームスポットの一つとそのプロファイルの例を示し、そのような結果から算出したそれぞれのビームレットの位相空間上での拡がり  $\Delta r'$  を図5に示した。

表 2

Electron gun parameter and performance			
Cathode	BI (Ir coating)	1.2mm $\phi$	1080°C
	New Vogel type (surrounding with a carbon) <sup>(4)</sup>		
Anode	5mm $\phi$ , width 3mm, K-A gap 31mm, diode type <sup>(5)</sup>		
High voltage	150kV, pulse width 6 $\mu\text{s}$ , freq. 1Hz		
Vacuum condition	$6.8 \times 10^{-6}\text{Pa}$		
Current	412mA (Current density 36.4A/cm <sup>2</sup> )		
Emittance	1.37[ $\pi\text{mm} \cdot \text{mrad}$ ] (normalized 1.10[ $\pi\text{mm} \cdot \text{mrad}$ ], $\beta\gamma=0.8$ )		
Brightness	$2.22 \times 10^{10}$ [A/m <sup>2</sup> rad <sup>2</sup> ](normalized $3.45 \times 10^{10}$ [A/m <sup>2</sup> rad <sup>2</sup> ])		

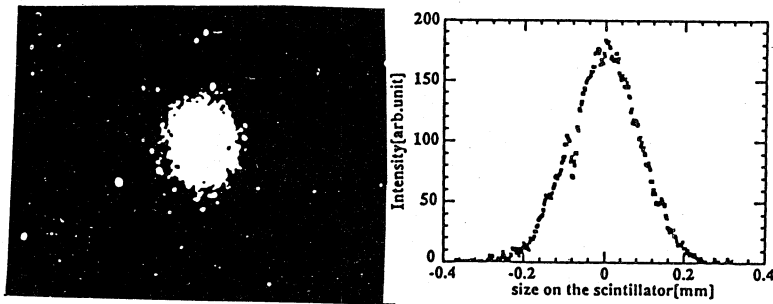


図 4

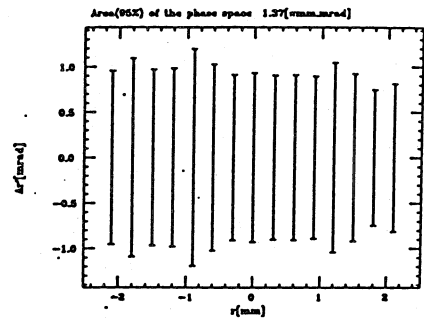


図 5

#### 5. まとめと今後の課題

初期の目的通り、 $1 \sim 2 \pi\text{mm} \cdot \text{mrad}$ のエミッタンスを測定できる計測系を開発できた。ペーパーポット法でのビームエミッタンス測定において、シンチレーター上のパターンは、ペーパーポットマスクのパターンの大きさと、電子の横方向の速度成分の大きさとで決定され、(1)式より  $\Delta r'$  を求めることが、前提となっている。我々の測定系では、ビームを微細に分割し分解能が良いため、カソードの表面状態、ポテンシャルの乱れによる、非対称なスポットや、通常のペーパーポットパターン以外のスポットが観測された<sup>(2) (5)</sup>。しかし、これらの局所的な効果を含んだエミッタンスの算出法は確立しておらず、今後の課題と言える。

#### 6. 参考文献

- (1)Y.Yamazaki, et al., Proc. of the 8th Symp. on Accelerator Science and Technology, Saitama, Japan, 1991, p.287
- (2)T.Kurihara, et al., "Characteristics of the single-crystal lanthanum hexaboride cathode electron gun", this meeting
- (3)Y.Yamazaki, et al., Nucl. Instr. and Meth. A, to be published
- (4)Y.Yamazaki, et al., "Development of High-Brightness Electron Gun", this meeting
- (5)Y.Yamazaki, et al., Proc. 16th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1990, p.278