

## Development of Emittance Measurement for an Electron Gun

• Yoshio Yamazaki, Toshikazu Kurihara, Hitoshi Kobayashi and Akira Asami

• The Graduate University for Advanced Studies

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan

### Abstract

In the test linac project at KEK, generation and acceleration of a high brightness electron beam have been studied. In order to evaluate the beam quality, we have developed an emittance measurement system for a low emittance beam. "Pepper-Pot method" was selected among many methods of emittance measurement. The great advantage of the method is that it is possible to measure the performance of beam in a single shot. In this meeting the emittance measurement of a low emittance electron gun will be described by using this system.

### 電子銃ビームのエミッタンス計測系の開発

#### 1. はじめに

KEK放射光入射器では、TEST LINACを建設し、電子線型加速器に関する基礎研究やFEL、光源、陽電子源等の研究も計画中である<sup>(1)</sup>。特にその中で、電子線形加速器のビームの質の改善についての研究が現在進行中である。昨年、高輝度電子銃の設計においての報告の中で、特にエミッタンスを重視し、直径1mmφのBIカソード(バリウム含侵型タングステン)を用いることで、計算上 $2\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ ほどのビームを得られることを述べた<sup>(2)</sup>。現在、このような低エミッタンスのビームに対するエミッタンス計測系の開発が進められている。測定法には、シングルショットで $(x, x')$ ,  $(y, y')$ のデータを同時に得られるペーパーポット法を用いた。この測定系を用いて、低エミッタンスの電子銃ビームを測定した。また、高速ゲートをかけられるイメージインテンシファイアを使ったビームパルス内での、エミッタンスの変化を観測することも検討中である。

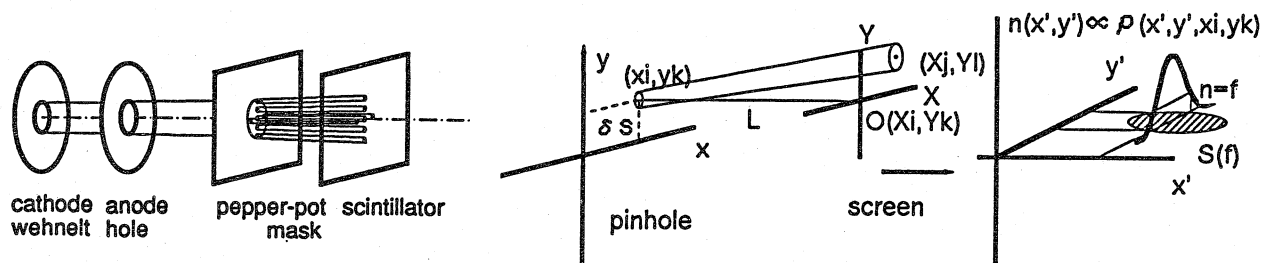
#### 2. エミッタンス測定法(ペーパーポット法)<sup>(3)</sup>

##### ①原理

ペーパーポット法とは、ピンホールの開いた遮蔽板でビームを遮り、その位置から適当にはなれた面での、ピンホールを通ったビームの広がりを、シンチレータなどによる蛍光板により観測する方法である。

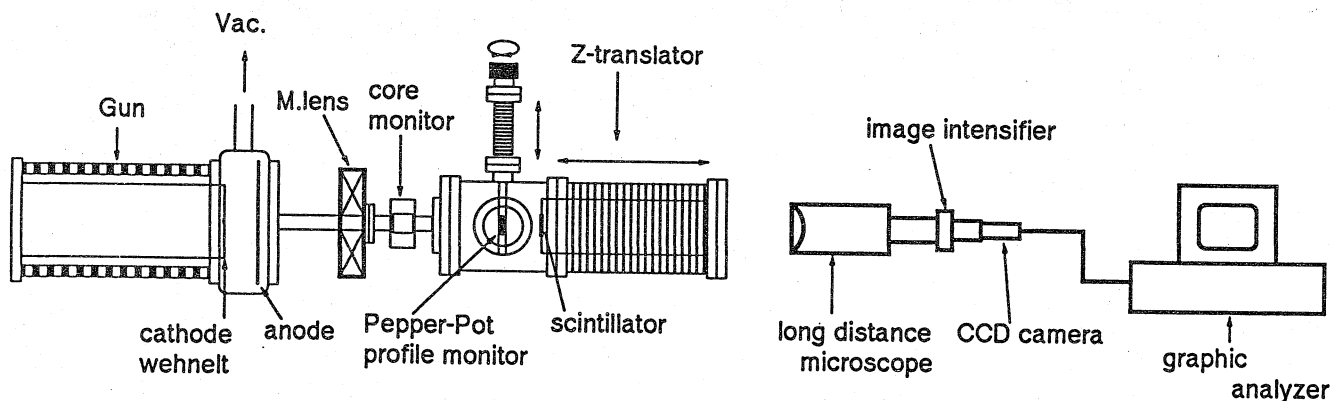
ビームがあるピンホール $(x_i, y_k)$ を通過し、重なることなくスクリーン上のある点 $(X_j, Y_l)$ に対応するとする。スクリーンで、電子の密度分布 $\rho_4(x_i, y_k, x_j', y_l')$ は、光の輝度分布 $n(x_j', y_l')$ に比例すると仮定する。 $x_j' = X_j/L$ ,  $y_l' = Y_l/L$ (ただし $X_j, Y_l \ll L$ )、 $\delta S = dx_i dy_k$ の関係に着目すれば、 $(X_j, Y_l)$ 座標での分布は、 $(x_j', y_l')$ 座標に置き換えることができる。ここで、あるしきい値 $n = f$ を決め、 $(x', y')$ 平面へ射影される面積 $S(f, x_i, y_k)$ を求める。この面積を各ピンホールで求めすべて加え、 $\delta S \rightarrow 0$ の極限を取ったものがエミッタンスである。

$$\begin{aligned} \varepsilon_4(f) &= (1/\pi^2) \int dx \int dy \int \int dx' dy' \\ &= (1/\pi^2) \int \int S(f, x, y) dx dy \end{aligned}$$



## ②装置

ビーム径が数mmの低エミッタンス（ $1 \sim 3 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ ）のビームを正確に測定するには、ペーパーポットを精密かつ微細に作らなければならない。このためペーパーポットとして、厚さ  $30 \mu\text{m}$  のチタンホイルに放電加工によって、穴径  $30 \mu\text{m}$  のピンホールを放射状に  $200 \mu\text{m}$  間隔で配置したものを使用した。また、電子ビームの広がりを観察するために、シンチレーターによって電子を光に変換している。その際に、電子ビームの断面が正確に光の輝度分布に反映しなければならない。電子のシンチレーター内での拡散による輝度分布の増大を避けるために、極力シンチレーターは薄いものが好ましい。また、エミッタンスの時間的な変化を観察するために、発光の立ち上がり時間が速い必要がある。以上の条件を考慮して、厚さ  $10 \mu\text{m}$  のプラスチックシンチレーター（BICRON社 BC-422 rise time 350ps）を使用した。これは、 $380 \text{ nm}$  付近の紫外光をピークとする発光特性を持っているために、適当なフィルターを用いれば、カソード表面からの熱放出による発光などのノイズを取り除ける。シンチレーターには、電子ビームによるチャージアップを避けるために表面に  $\text{Ag}$  を  $100 \text{ \AA}$  蒸着してある。光は透過で観測する。光のスポットは、その大きさが、数百  $\mu\text{m}$  と非常に小さく輝度は微弱であるため、観測を可能にするためには、像を拡大できる光学系と輝度を増幅するための装置を用意しなければならない。像の拡大には望遠顕微鏡（QUESTAR社 QM1）を使用した。輝度の増幅にはイメージインテンシファイア（浜松ホトニクス社 C2925）を使ったが、これは外部からのトリガーに同期して、高速のシャッターを切ることができる（最高シャッター速度  $3 \text{ ns}$ ）。ビームのパルス信号をトリガーにすれば、 $S/N$  比を上げることができる。このように取り込まれた光の信号は、CCDカメラを経由して、画像処理系に送られて解析される。



### ③解析法

光の輝度分布  $n(X, Y)$  を求めることによって、電子の密度分布関数  $\rho_2(x, x')$ 、 $\rho_2(y, y')$  を算出できる。エミッタンスの算出法は、Root-Mean-Square emittanceを採用する。

$$\epsilon_x = 4 [\overline{x^2 x'^2} - (\overline{xx'})^2]$$

$$\epsilon_y = 4 [\overline{y^2 y'^2} - (\overline{yy'})^2]$$

ただし

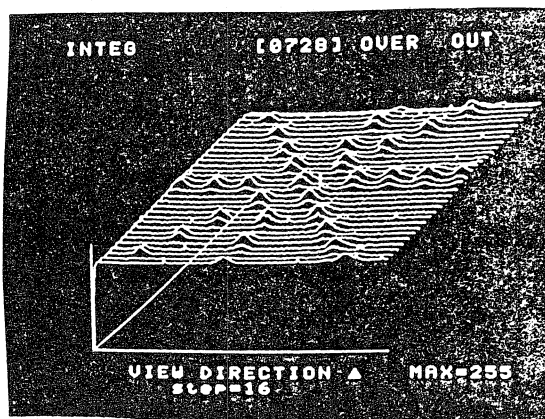
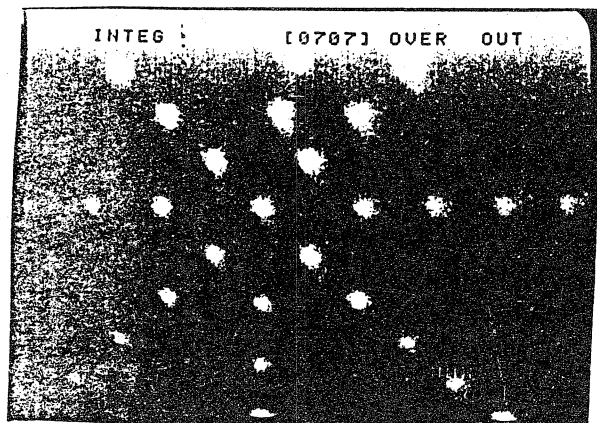
$$\overline{x^2} = \frac{\iint x^2 \rho_2(x, x') dx dx'}{\iint \rho_2(x, x') dx dx'}$$

$$\overline{x'^2} = \frac{\iint x'^2 \rho_2(x, x') dx dx'}{\iint \rho_2(x, x') dx dx'}$$

( $y, y'$  についても同様)

### 3. 実験

通常の電子銃に小さいアノードを付けて、低エミッタンスのビームをコリメートし、測定した例を下図に示す。カソードはグリッド付きの10mmφ (EIMAC社 BIカソード Y646E) を使い、アノードは2mmφにした。カソードの表面温度は約1000℃である。グリッドのバイアス電圧は60V、パルス電圧は120Vで、幅2μs、くりかえし10Hz、印加電圧は30kVであり、穴径30μmのピンホールを用いて、ペーパーポット像を撮影できた。



高輝度電子銃 (1mmφ BIカソード) の開発は、完成の最終段階に入っている。当日にこの電子銃の測定結果も併せて報告する予定である。

### 4. 参考文献

- (1) H. Kobayashi, et al., "Present Status of KEK TEST LINAC", this meeting.
- (2) Y. Yamazaki, et al., "Design and Manufacture of High Brightness Electron Gun",  
15th Linear Accelerator meeting.
- (3) Claude Lejeune and Jean Aubert, "Emittance and Brightness",  
Advanced in Electronics and Electron Physics, supplement 13A, p159-259