

# Beam Position Monitor by Slot Antennas

Takeaki ENOTO, Akira ENDOU  
 45MeV ELECTRON LINAC LABORATORY  
 DEPARTMENT OF NUCLEAR ENGINEERING,  
 FACULTY OF ENGINEERING, HOKKAIDO UNIVERSITY

## Abstract

This paper describes the Beam Position Monitor by Slot Antennas in the grand plane. The slot antennas is just the dual of an electric dipole antennas. This monitor has characteristics of very compact, noiseless and high output voltage.

## 【 序 】

今日、加速器を利用した研究は、さまざまな分野で行われている。そして、測定機器の性能及び技術の向上によって、より精度の高い実験が要求されるようになってきた。そのためにはビームポジションモニターは必用不可欠であり、特に小型で非接触な、他の実験と併用して使用できるモニターの有用性は非常に高い。

今回、スロットアンテナを用いた、非常にコンパクトな非接触型ビームポジションモニターを試作したので、その結果をここに報告する。

## 【 理論 】

### 1. 電界計算

電子ビームによって作られる電場は、微細構造パルスによって作られる場の繰り返しと見ることができる。

そこでまず簡単には、微細パルスを電荷量  $q$  の点電荷と見なし、一定速度  $v$  で  $x$  方向に運動しているとし、時刻  $t$  に点  $(vt, 0, 0)$  にあるとすると、点  $(x, y, z)$  につくられる電界  $E_y$  は、相対論的に、

$$E_y = \frac{q}{4\pi\epsilon_0(1-\beta^2)^{3/2}} \cdot \frac{y}{\{(x-vt)^2/(1-\beta^2)+y^2+z^2\}^{3/2}} \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

( $\beta = v/c$ )

となる。しかし実際、微細構造パルスは  $\tau =$  数10pSecの長さを持っており、その分布をも考える必要がある。そこで次に、長さ  $2L (=c\tau)$  の一様分布した線状電荷として考えると、

$$E_y = \frac{q/2L}{4\pi\epsilon_0(1-\beta^2)^{3/2}} \cdot \int_{-L}^L \frac{y}{\{(x-vt-x')^2/(1-\beta^2)+y^2+z^2\}^{3/2}} dx'$$

$$= \frac{q/L}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{y}{y^2+z^2} \cdot \frac{1}{\{1+(1-\beta^2)(y^2+z^2)/(x-vt-L)^2\}^{1/2}}$$

$$\approx \frac{q/L}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{y}{y^2+z^2} \quad \dots\dots \textcircled{2}$$

となる。更に、ガウス分布をした線状電荷であると考え、その分布を

$$dq(x') = \frac{q}{L} \cdot (2/\pi)^{1/2} \text{EXP}\{-2(x-vt-x')^2/L^2\} dx'$$

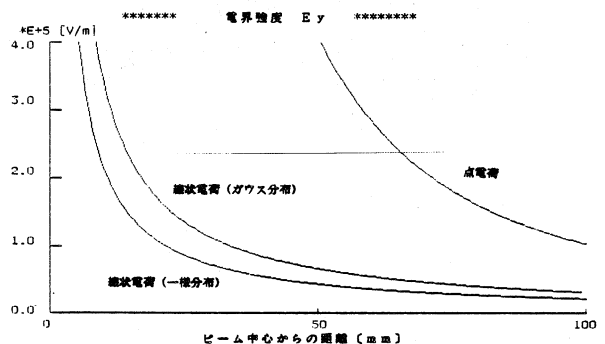
とすると、

$$E_y = \frac{y}{4\pi\epsilon_0(1-\beta^2)^{3/2}} \cdot \int_{-L}^L \frac{dq(x')}{\{(x-vt-x')^2/(1-\beta^2)+y^2+z^2\}^{3/2}} \quad \dots\dots \textcircled{3}$$

となる。

平均電流410nA、繰り返し周波数10p.p.s、パルス幅10nSec、エネルギー40MeV、微細構造パルス幅40pSecとしたときの点  $(vt, y, 0)$  における①②、③を、 $y$ を変数としてFig-1に示す。

実際の電界分布は③の仮定が最も良い近似と考えられ、グラフからそれは  $1/R$  の曲線と見なせることがわかる。



## 2. スロットアンテナ

図1に示すような無限平板上のスロットからの放射電界は、 $k_0 a \ll 1$ 、 $k_0 b = \pi/2$  ( $k_0 = 2\pi/\lambda$ )という条件のもとで、

$$E_\phi = -j \frac{v_0}{\pi} \cdot \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \cdot \sin\phi \cos\theta \cdot \frac{\cos(\pi/2 \sin\phi \sin\theta)}{1 - \sin^2\phi \sin^2\theta} \dots \textcircled{4}$$

$$E_\theta = j \frac{v_0}{\pi} \cdot \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \cdot \cos\phi \cdot \frac{\cos(\pi/2 \sin\phi \sin\theta)}{1 - \sin^2\phi \sin^2\theta} \dots \textcircled{5}$$

( $v_0 = 2aE_0$ )

と表される。故に、 $\phi = 0$  (y-z平面)では

$$E_\phi = 0 \dots \textcircled{6}$$

$$E_\theta = j \frac{v_0}{\pi} \cdot \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \dots \textcircled{7}$$

となる。また、 $\phi = 0$  (X-Z平面)では、

$$E_\phi = -j \frac{v_0}{\pi} \cdot \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \cdot \frac{\cos(\pi/2 \sin\theta)}{\cos\theta} \dots \textcircled{8}$$

$$E_\theta = 0 \dots \textcircled{9}$$

となり、これは  $I_m = -4aE_0 \cos(\pi y/2b) \hat{Y}$  の磁流ダイポールと等価である、と言える。

そして、受信アンテナの場合にも、送信アンテナとの可逆性から同様に考えることができる。

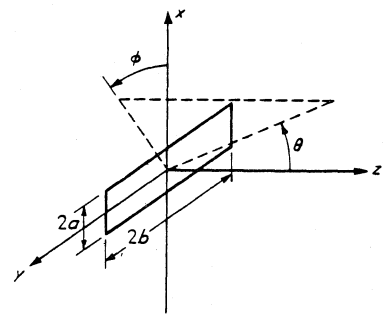


図-1

### 【 モニターの形態 】

図2に示すように、一枚の銅板にビーム通過口及び4つのスロットを開け、スロット中央には50Ωの同軸ケーブルを接続した。スロット長は、共振半波長 =  $0.475\lambda$  とし、波長  $\lambda = 105\text{mm}$  (= 350 pSec)に合わせた。

### 【 測定方法 】

モニターを木の枠にはめ込み、それを移動台の上に載せ、ターゲット口から約10mmの所に設置し、あらかじめガラス板に焼き付けたビーム位置に、モニターの中心を合わせた。移動範囲は、x方向(水平方向)に $\pm 25\text{mm}$ とし、左右及び上の出力を中性子実験室のオシロスコープ(テクトロニクス 7104+7A14 [帯域1GHz])で観測した。

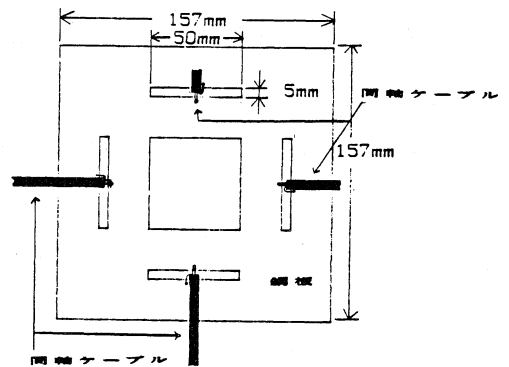


図-2

### 【 測定結果 】

出力波形をphoto-1に示す。また、ビームポジションと出力電圧の関係をFig-2, Fig-3に示す。

電界計算から $1/R$ の曲線が得られるであろうと予想されたが、結果はそうのように上に凸のグラフとなった。

そして、左右の出力電圧から求めた位置と真の位置との関係をFig-4に示す。

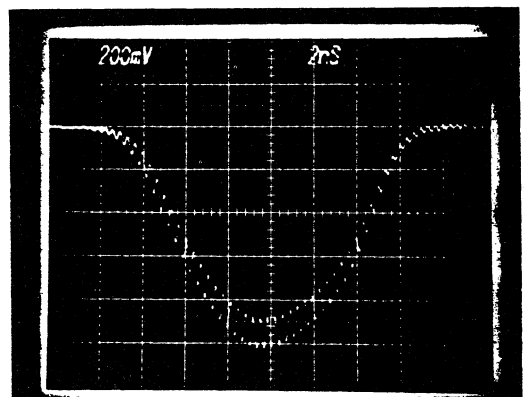


photo-1

( beam position = monitorの中心 )

グラフからわかるように、真の位置とのずれは大きい。これはスロットアンテナの出力電圧  $V$  が  $1/r$  に比例するとして計算したためであり、Fig-2を見てわかるように距離に対し飽和特性を示し、 $1/r$  の曲線にはなっていない。その理由としては、スロットアンテナの近接点波源に対する感度、指向性、又インピーダンス整合等の解析上の相違、或はモニターの寸法に関する問題点、などが考えられる。

今後、スロットアンテナを微小アンテナの集合と見なし、各々の far field pattern の合成として near field pattern を求めるとともに、より微細な  $10 \sim 40 \text{ pSec}$  のビームに共振するスロットアンテナ等を用いることを考えている。

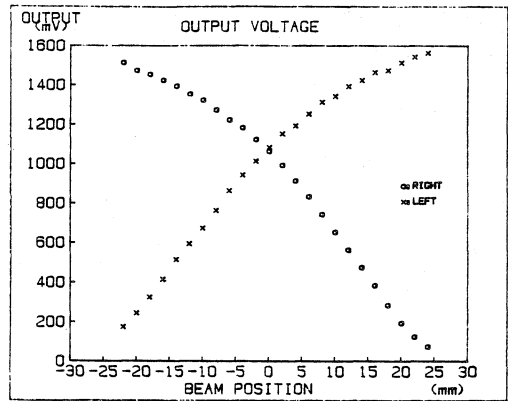


fig-2

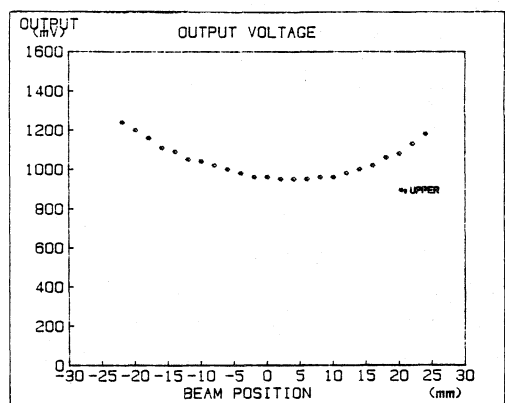


fig-3

— 参考文献 —

- ・「ANTENNA THEORY PART II」  
COLIIN and ZUCKER, McGRAW-HILL
- ・「ファイマン物理学 III, IV」  
Feynman, Leighton, Sands 岩波書店
- ・「理論電磁気学」  
砂川重信, 紀ノ国屋書店

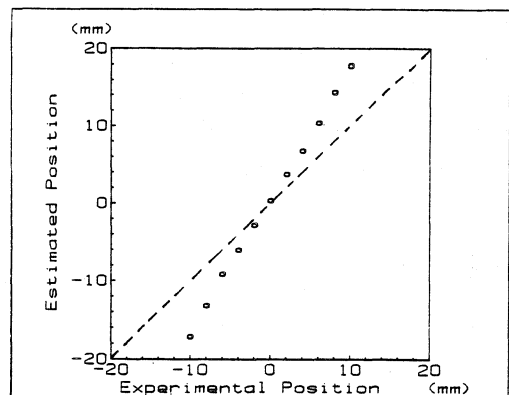


fig-4