

## Beam Diagnostics with Button Monitor

A. Zako, Y. Miyauchi, E. Oshita, S. Okuma, K. Wakita, A. Koga and T. Tomomasu

Free Electron Laser Research Institute, Inc. (FELI)  
4547-44, Tsuda, Hirakata, Osaka 573-01, Japan

### Abstract

The button type beam monitor can measure the electron beam position and dynamics without disturbing electron beam orbit. Our button type monitors detect the 178.5MHz RF signal that generates at passing through the electron beam. This paper describes the performance of the button monitor and the result of the measurement on beam dynamics.

### ボタンモニタによる電子ビーム計測

#### 1. はじめに

電子ビームを安定に伝搬させアンジュレータの中心を通し、FEL光と相互作用させることがFELの発振には不可欠である。そのためにビームダクトの途中にセラミック板やA1箔を挿入し、電子ビームを衝突させ、発光するビームのプロファイルから位置や軌道を計測するのが一般的であるが、この方法には計測位置でビームの軌道を妨げるという欠点がある。

ボタンモニタは電子を妨げることなく、電子ビームの状態を計測する簡便な計測器といえる。本書では開発したボタンモニタの詳細と計測された電子ビームについて述べる。

#### 2. ビームモニタシステム

ボタンモニタはビームダクト内壁に配置した4つのボタン型の電極により、伝搬する電子ビームの静電プローブによって検知する計測器である。図1に示すように、計測系は、1)センサー部、2)切換器、3)RFフィルタ、4)周波数変調部、5)検波部、6)ピークホールド部の6つの部分から成る。センサー部はSMAタイプのフィードスルーの先端に取り付けたステンレス製の円盤(直径5mm, 厚さ2mm)をビームダクト内壁に沿うように同一円内の±x, ±y方向に配置し、ダクト内を伝搬する電子ビームの高周波信号を検知する。切換器はFEL装置中の主要な各所に配置したボタンモニタの任意の測定したいボタンモニタの信号を選択できる。RFフィルタからピークホールド部までの回路を図2に示す。ボタンモニタの微弱な検出信号の中から178.5MHzの成分をローパスフィルタで選別し、信号レベルを設定する可変減衰器(0-50dB)を通し、次に44dB増幅された後、70MHzの中間周波数に変調する。その後バンドパスフィルタを通った後、再度28dB増幅され検波される。この178.5MHzの周波数は電子銃のグリッドパルサーの最大周波数であるが、現在の実験では22.3125MHzで運転しているため、8倍高調波を検出している。検波信号はピークホールド部で外部又は内部のトリガー信号により任意の時間にピークホールドできる。

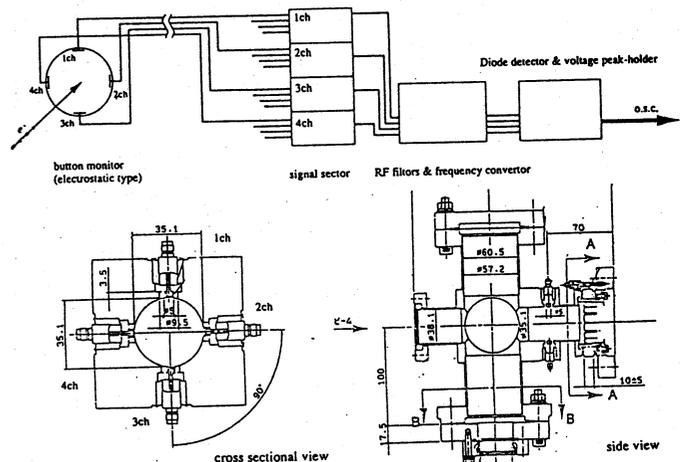


図1 4ch button monitor system

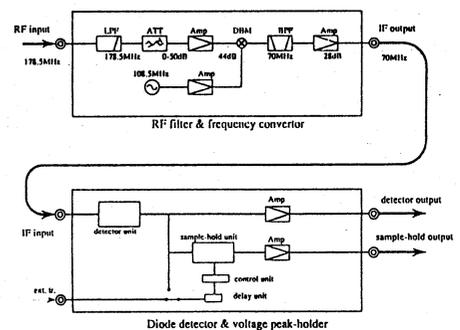


図2 RF detector circuit block diagram

#### 3. ボタンモニタの特性

ボタンモニタをポジションモニタとして使う際、電子ビーム中心からのずれは次式によって求められる。

$$\Delta x = A_x (V_2 - V_4) / (V_2 + V_4)$$

$$\Delta y = A_y (V_1 - V_3) / (V_1 + V_3)$$

$V_1$ ; ch 1 ボタンモニタ信号 (+y 側)

$V_2$ ; ch 2 ボタンモニタ信号 (+x 側)

$V_3$ ; ch 3 ボタンモニタ信号 (-y 側)

$V_4$ ; ch 4 ボタンモニタ信号 (-x 側)

ただし  $A_x$ ,  $A_y$  はビームの位置とビームダクト半径  $r$  によって決まる係数であり、近似的に  $A_x = A_y = r \{ 1 + (\Delta x/r)^2 + (\Delta y/r)^2 \} / 2$  で計算できる。しかし実際には誤差が生じるので、ボタンモニタは図3に示す配置で校正する。電子ビームは末端を開放したセミリジットケーブルから発生するRF信号によって模擬される。セミリジットケーブルはYZステージに固定され、ビームのボタンモニタ中心

からのずれと、ボタンモニタの信号から係数  $A_x$ ,  $A_y$  は与えられる。計測結果を図4に、校正結果を表1に示す。

表1

$A_x$	$A_y$
7.28	7.25

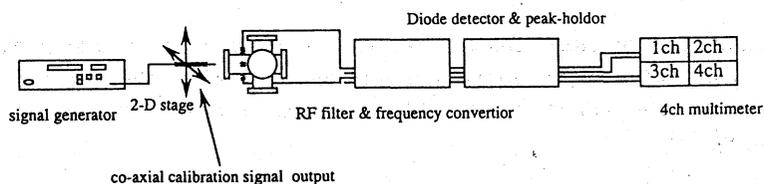


図3 Button monitor calibration setup

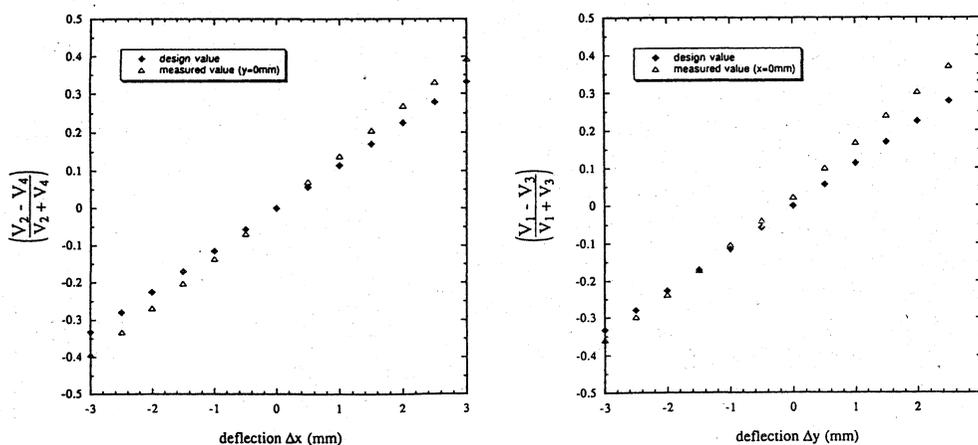


図4 Results of the calibration

#### 4. 電子ビーム電流計測

ボタンモニタを電流計と使用する為の予備試験を行った。半径方向によく絞られている(実験時の半径方向の拡がり1mm以下)電子ビームでは、ボタンモニタの4chの信号の足し合わせは、ビームの位置に依らずほぼ安定であることがわかった(図5)。

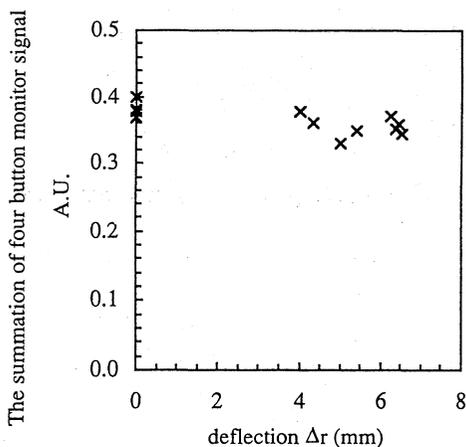


図5 The relation between deflection and electron beam current

#### 5. FEL発振による効果

位置モニタとしての計測の例として、アンジュレータの入口、出口におかれたボタンモニタを用いFEL発振時のボタンモニタ信号の比較を行った。ボタンモニタの位置を図6に示す。ボタンモニタの信号のうち、x方向(水平方向)の2つの信号の差を測定した。それぞれのボタンモニタの位置では、電子ビームは偏向電磁石により曲げられているので、ボタンモニタとビーム位置はビームエネルギーにより変化する。図7にその計測結果を示す。(a)は発振時、(b)は非発振時のボタンモニタ信号を演算したものである。それぞれ実線はアンジュレータ出口、破線はアンジュレータ入口における-x方向と+x方向のボタンモニタ信号の差である。アンジュレータ出口では電子ビームはFEL発振に寄与するためエネルギーの減少が計測される。

#### 6. 電流計測

ボタンモニタは電子ビームを妨げることなく計測できるため、加速中運転の電子ビームの計測が可能である。図8はそれぞれ、a)サブハーモニックバンチャー出口、b)バンチャー入口、c)バンチャー出口、d)加速管出口に

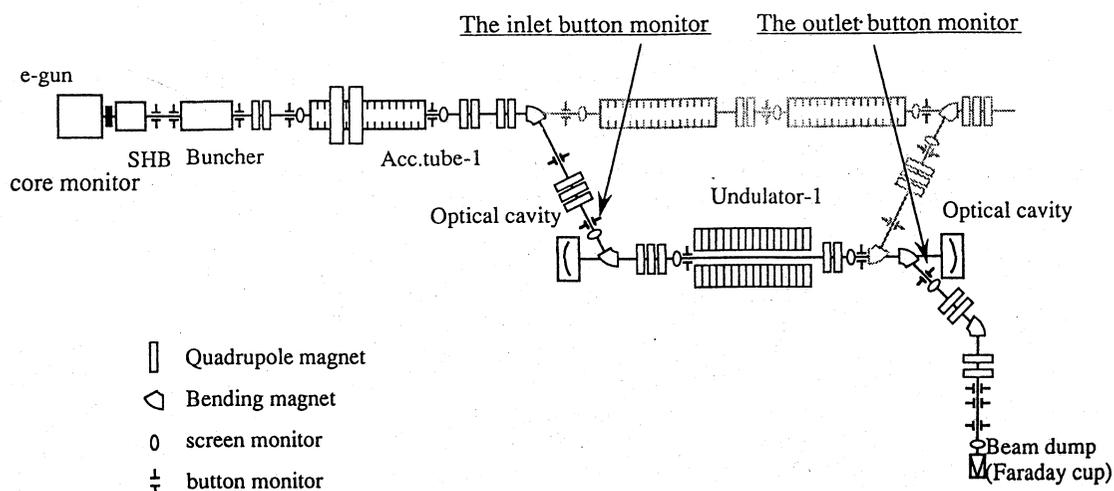


図6 The position of button monitor

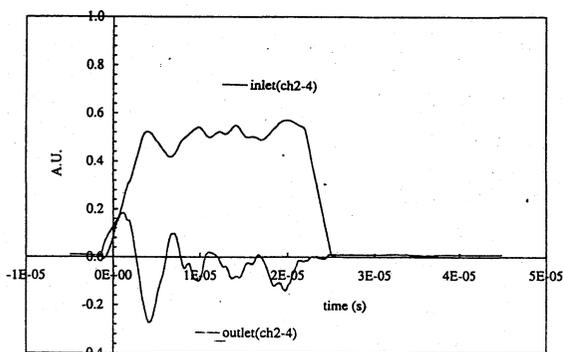


図7 (a) Button monitor signal at lasing

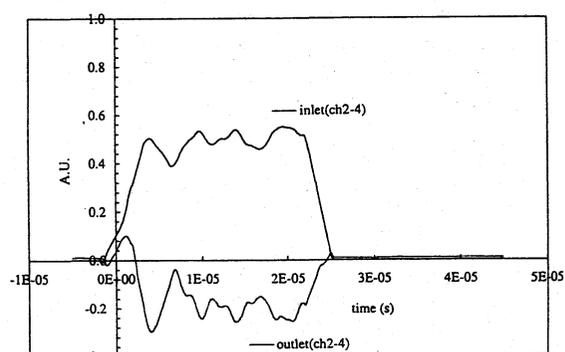


図7 (b) Button monitor signal without lasing

おける電子ビームの状態を計測したものである。電子ビームは電子銃から $24\mu\text{s}$ のパルス幅で出力される。マイクロ波は電子ビームの発生後 $10\mu\text{s}$ 遅れて、 $10\mu\text{s}$ のパルス幅でサブハーモニックバンチャー、バンチャー、加速管に投入されるように設定してある。サブハーモニックバンチャーを出た後では、加速された電子ビームとはそのボタンモニタ信号では顕著に区別できない。しかしバンチャーを出た後では、ビームは数MeVまで加速されながらバンチし、またフォーカシングコイルにより収束されているので区別可能となる。さらに加速管を出た後では、加速されない電子ビームは加速管を通過できないのでその信号は計測されなくなる。

### 7. おわりに

今回の計測では、電子ビームの電荷がビーム中心に集まっているとし、ビームの太さを無視したが、実際には計測信号が、ボタンモニタとの距離に依存しているため、その太さを考慮する必要がある。今後はその関係を明らかにして計測結果に反映していきたい。

### 参考文献

- [1] J. Cuperus, Nucl. Inst. Meth., 145(1977)219
- [2] M.Tajima, et al., Proc. of the 1994 Linac Conf. 914-916
- [3] A.Zako, et al., Proc. 1995 Annual Meeting of the Atomic Energy Society of Japan, TIT, March 28-30

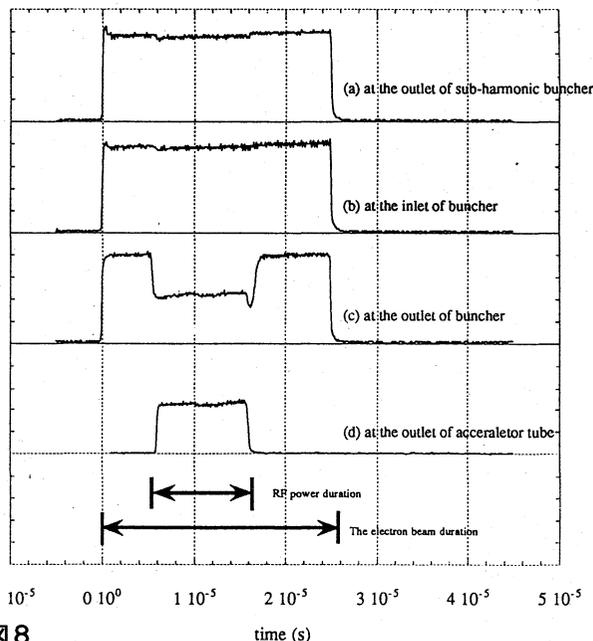


図8

- (a) Button monitor signal at the outlet of SHB
- (b) Button monitor signal at the inlet of buncher
- (c) Button monitor signal at the outlet of buncher
- (d) Button monitor signal at the outlet of the accelerating waveguide