

## Development of Turn-by-Turn Beam Position Monitor System for Central Japan Synchrotron Radiation Research Facility

Nagatani<sup>\*A)</sup>, M. Hosaka<sup>A)</sup>, N. Yamamoto<sup>A)</sup>, K. Takami<sup>A)</sup>, Y. Takashima<sup>A)</sup>, M. Adachi<sup>B)</sup>,  
H. Zen<sup>B)</sup>, K. Hayashi<sup>B)</sup>, M. Katoh<sup>A)B)</sup>, H. Hori<sup>C)</sup>, S. Sasaki<sup>D)</sup>, S. Koda<sup>E)</sup>

<sup>A)</sup> Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University, Nagoya, 464-8603 Japan

<sup>B)</sup> UVSOR Facility, Institute for Molecular Science, Okazaki, 444-8585, Japan

<sup>C)</sup> KEK, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

<sup>D)</sup> JASRI/SPring-8, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

<sup>E)</sup> SAGA-LS, Tosu, Saga, 841-0005, Japan

### Abstract

The light source accelerator complex for Central Japan Synchrotron Radiation Research Facility (tentative name) project consists of a linac, a booster synchrotron and a storage ring. Eight beam position monitors (BPMs) and 32 BPMs are planned to be installed in the booster synchrotron and in the storage ring, respectively. Single pass BPM system which will be used at the commissioning of both accelerators is being developed with UVSOR electron storage ring. The signal processing by a high-speed digital oscilloscope is employed in this system. The optimized BPM electrode geometry and system configuration are also examined based on the simulation using electromagnetic field analysis software POISSON.

## 中部シンクロトロン光利用施設(仮称)のための ターンバイターンBPM信号処理システムの開発

### 1. はじめに

現在、名古屋大学を中心として中部シンクロトロン光源利用施設(仮称)<sup>[1]</sup>の詳細設計進められている。この施設には周長72m、電子エネルギー1.2GeVの電子蓄積リングが建設される予定であり、小型でありながら硬X線の利用が可能な光源とするために、4台の超伝導偏向電磁石を導入することが最大の特徴となっている。

光源加速器は、線形加速器、ブースターシンクロトロン、電子蓄積リングから成り、ブースターシンクロトロンに8台、蓄積リングに32台のBPM(ビーム位置モニタ)を設置する予定である。

本施設の蓄積リングでは超伝導電磁石を用いるため、通常よりも閉軌道歪みが大きくなると予想される。このため、特にコミッション時には、ターンバイターンでビーム軌道が測定可能な計測システムが求められている。

本研究では、中部シンクロトロン光利用施設に最適化したターンバイターンBPMシステム<sup>[2]</sup>の設計を

行い、さらにUVSORで実際に用いられているBPM電極の信号に簡単な回路を用いることで電圧信号のピークを今まで以上に正確に測定することに成功した。

### 2. 信号処理系

中部シンクロトロン光利用施設で導入する予定のBPM信号処理システムを図1に示す。今回の測定は最大サンプリングレート10GS/s(1ch)、5GS/s(4ch同時測定)、アナログ帯域幅1GHzのオシロスコープ(LeCroy WaveRunner MXi104)を検波器として用いて行った。入射ビームの双極バンチング信号の時間幅は全幅で2nsであった。BPMの4電極からの信号はリアルタイムサンプリングによって4ch同時に記録した。

UVSORと中部シンクロトロン光利用施設の蓄積リングではバンチ長やダクトの大きさ等類似している点が多いため、予備実験をUVSORで行った。今回の測定は入射用セプタム電磁石下流にある

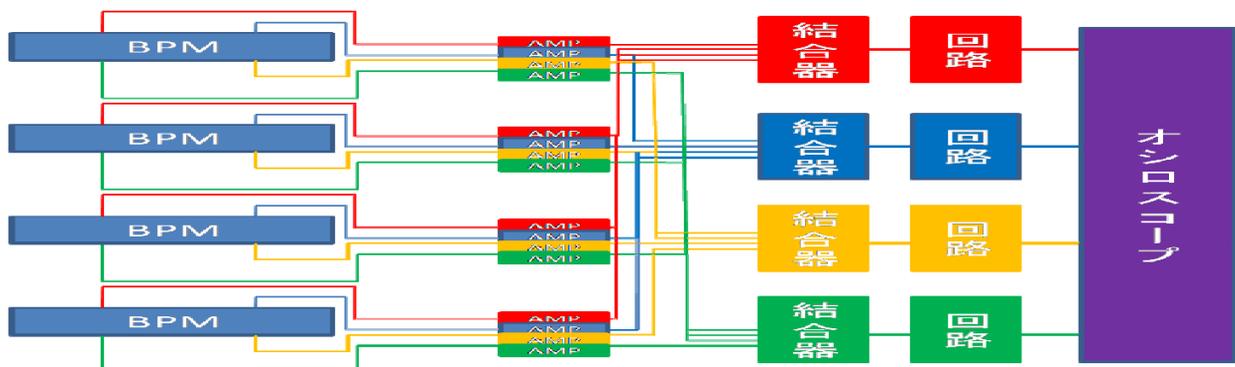


図1: 中部シンクロトロン利用施設におけるターンバイターンBPM信号処理システム概略図

BPM(B1U)4電極からの信号を読み取った。

ボタン電極からの信号強度は、双曲形状の正負のピークの差として決定した。各電極からの信号強度を $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ 、 $V_d$ としたとき、ビーム位置座標(x,y)は下記の式を用いて表される<sup>[3]</sup>。

$$X = ((V_a + V_d) - (V_b + V_c)) / ((V_a + V_b + V_c + V_d)) \quad \dots (1)$$

$$Y = ((V_a + V_b) - (V_c + V_d)) / ((V_a + V_b + V_c + V_d)) \quad \dots (2)$$

$$x = K_x \cdot X \quad \dots (3)$$

$$y = K_y \cdot Y \quad \dots (4)$$

UVSORのダクト中心付近のビーム位置換算係数 $K_x$ と $K_y$ はそれぞれ12.82 mm, 43.48 mmである。しかし、入射ビームはダクト中心付近から大きく離れた軌道をとるため、上記の式を用いることは出来ない。そこで、本研究においては電磁場解析ソフトPoisson<sup>[3]</sup>を用いて位置マップ<sup>[4]</sup>を作成しそこから見積もることとした。

### 3. UVSORにおける予備実験

#### 3.1 中部シンクロトロン光利用施設における信号強度の検討

UVSORにおいて、蓄積リングにシングルバンチでビームを入射し、B1Uの各電極から得られる信号をオシロスコープを用いて測定した。入射後3週までの結果を図2に示す。入射ビームの電流値は0.14 mAであった。

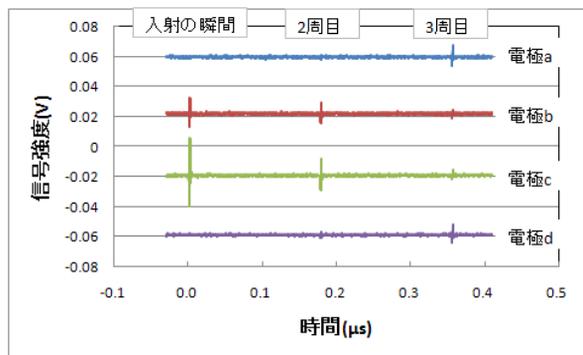


図2: ビーム入射後3週の測定結果(ダクトに設置した電極の右上から反時計回りに電極a、b、c、dとした)

図2において時間軸のゼロは入射の瞬間を示す。電極a、電極dにおいて入射した瞬間の信号がノイズにまぎれて測定できていないが、これは電極b、電極cの方向から入射されたため信号が非常に弱くなってしまったと考えられる。UVSORと中部シンクロトロン光利用施設の蓄積リングのバンチ毎の電荷量はほぼ同じであるため、UVSORと同程度のボタン型電極を用いることで中部シンクロトロン光利

用施設においても同程度の信号強度が得られると予想できる。

#### 3.2 UVSORのバンチ軌道測定

ビームが中心軌道から大きく外れた場合の位置測定精度を蓄積ビームのバンチ軌道を1つのBPM(B1U)の4電極から得られる信号をオシロスコープで測定することで調査した。蓄積電流値は16.1 mA(シングルバンチ)であった。その結果を図3に示す。

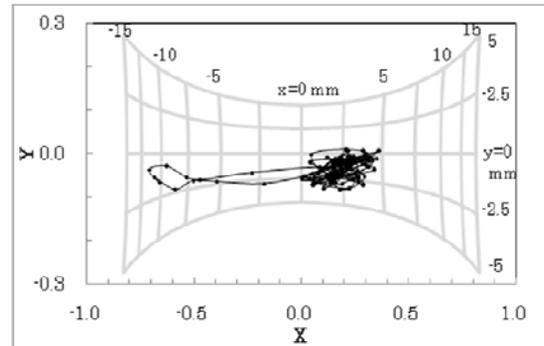


図3: バンチ時における蓄積ビームの変位

X、Yは式(1)、(2)を用いて得られた値であり、グラフ内の曲線は実空間での変位を示す。実空間での変位はBPMの電極・ダクト構造をもとに電磁場解析ソフトPOISSONを用いて計算した。UVSORの設計値によるとバンチ軌道はBPM(B1U)において中心から水平方向に15 mmの位置である。図3のプロットから得られるビームの移動距離は13 mmであったためバンチ軌道が設計通りに励磁されていたとすれば、水平方向には2 mmの誤差があると考えられる。

#### 3.3 蓄積ビームを用いた位置測定精度評価

ターンバイターンでのビーム位置測定精度を見積もるため、UVSORにおいて蓄積ビームを測定し得られた信号強度を式(1)~(4)を用いて実空間の位置に変換した。測定はマルチバンチモードで行い蓄積電流は1バンチあたり10 mAあった。節3.2と同じB1UのBPMで行った900周分の測定結果を図4に示す。

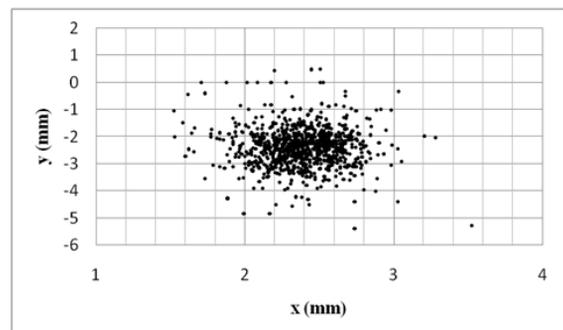


図4: ビーム位置計測結果

図4においてプロット点が全幅水平方向に1.5 mm、

垂直方向に4.5 mm程度ばらついていることが分かる。また、(x,y)=(2.4,-2.4)を中心とした分布のヒストグラムを図5に示す。

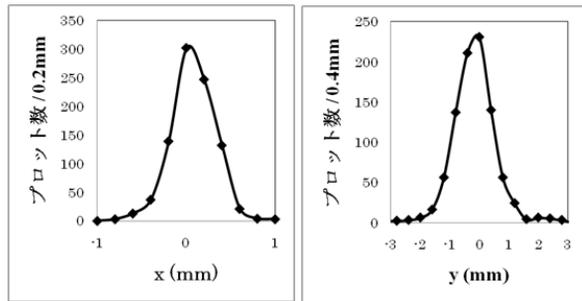


図5: 蓄積ビームのプロット点分布図

標準偏差は水平、垂直でそれぞれ  $\sigma_x=0.248$  mm、 $\sigma_y=0.713$  mmであった。しかし、本来蓄積ビームは一点を通過しているはずであるので、理想的にはプロット点は一点に集まらなければならない。この原因の一つとしてサンプリングレートが不足しており、ピーク値を正確に測定することができていないことが考えられる。サンプリングレートと信号ピークのばらつきを図6に示す。また、本測定において、蓄積電流値は間9~12mA(シングルバンチ)であった。

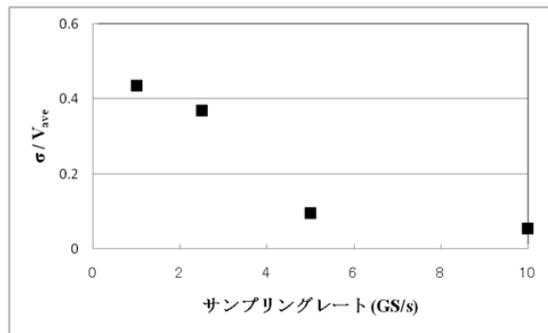


図6: サンプリングレートごとのばらつき

図6の $\sigma/V_{ave}$ は、平均信号強度で標準偏差を割ったものである。図6より5GS/sにおけるばらつきは平均信号強度に対して10%ほどあり、10GS/sではその半分にまで減少することが分る。

### 3.4 回路の導入

サンプリングレートによる信号ピークのばらつきを抑えるため、図7に示す信号鈍化回路を試作した。この回路でダイオードはショットキーダイオード1SS99、コンデンサーはチップセラミックコンデンサー 47 pF、抵抗は 470  $\Omega$ である。回路のInput側にアテネーター(30 dB)とアンプ(R&K-A541)を用い、Output側にオシロスコープを接続した。試作した回路導入前と後の波形を図8に示す。図8において信号取得時の蓄積電流値は250 mA(マルチバンチ)であった。

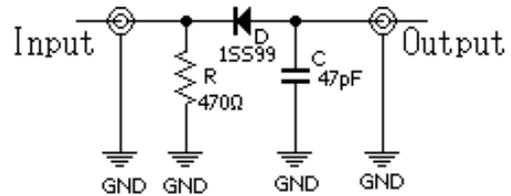


図7: 信号鈍化回路図

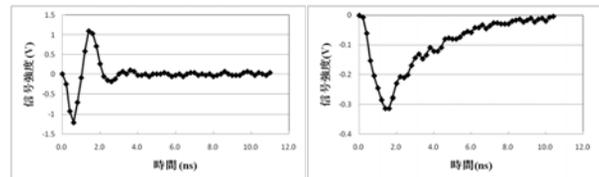


図8: 回路導入前と後の比較(左: 導入前、右: 導入後)

図8から今回試作した回路を用いることで信号が2nsから8nsまで緩やかになったことが分る。また、信号ピークをより正確に測定できるようになり、回路導入前に平均信号強度に対して10%であったばらつきを2%まで改善することに成功した。今後、この回路をBPM信号の取得に用いることで、より正確な位置測定が可能になると考えられる。

## 4. まとめ

中部シンクロトロン光利用施設ではビームコミッション時においてターンバイターン信号処理システムを用いる予定である。UVSORで行った予備実験において、中部シンクロトロン光利用施設でもビーム位置のターンバイターン測定が可能である見通しが立った。

また、試作した信号鈍化回路を用いることで、低サンプリングレートにおいても信号ピークを精度よく測定することに成功した。今後、この信号鈍化回路をBPM信号処理システムに導入し、ビーム位置測定精度の向上を図る予定である。現状における中部シンクロトロン光利用施設のBPM信号処理システム概略図を図1に示す。

## 参考文献

- [1] N. Yamamoto, Y. Takashima, M. Hosaka, H. Morimoto, K. Takami, M. Katoh, “中部シンクロトロン光利用施設(仮称)計画のための光源加速器の検討”, In this proceedings.
- [2] H. Kudo, K. Shinoe, *et al.*, “Single-Pass Monitoring of Beam Position at SOR-RING”, Proceedings of EPAC (1996), P1651-1653
- [3] T. Shintake, M. Tejima, *et al.*, “SENSITIVITY CALCULATION OF BEAM POSITION MONITOR USING BOUNDARY ELEMENT METHOD”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A **254** (1987) 146-150.
- [4] 平松 成範. “ビームモニター” URL: <http://acc-physics.kek.jp/soken/CORECARRI'02/HiramatsuText.pdf>