

DESIGN AND PERFORMANCES OF PHASE MONITOR IN J-PARC LINAC

Tomoaki Miyao^{#,A)}, Zenei Igarashi^{A)}, Akihiko Miura^{B)}, Minoru Mayama^{C)}

^{A)} High Energy Accelerator Organization,
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0081

^{B)} Japan Atomic Energy Agency
2-4, Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

^{C)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd,
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

J-PARC linac employs a fast current transformer (FCT) as a beam phase monitor to calculate the beam energy by time-of-flight method, and the 4-stripline beam position monitors (BPMs) for the beam position measurement. At the great earthquake occurred off the Pacific coast of Tohoku, some CT monitors, such as a phase monitor and beam current monitor had damage and the vacuum leakage was observed. But no damage of BPMs was found. It has been considered that the signals from striplines of BPM would be useful for a phase measurement. A phase measurement using a BPM has been successfully conducted. Above the lessons learnt from the damage by the quake, we consider to employ the BPM for the FCT backups after evaluation of the performances of BPM as the phase measurement device. Finally, these performances of BPM are compared with those of FCT. Based on the results of the evaluations, we will discuss the performance to measure the beam phase both FCT and BPM.

J-PARC リニアックにおける位相モニタの製作と性能評価

1. はじめに

東日本大震災により J-PARC 加速器は大きな被害を受けた。J-PARC リニアックにあるビームモニタに関しても位相モニタ (FCT: Fast Current Transformers) や電流モニタのような CT モニタは被害を受け、真空が破れてしまった[1]。CT モニタはマグネットコアからのアウトガスを防ぐためにモニタの金属部分にセラミックの絶縁体をろう付けしているが、震災の影響でモニタの溶接部が変形した。しかし、ビーム位置モニタ (BPM: Beam Position Monitors) に関して震災による被害は全く受けなかった。

BPM はビーム位相を検出できることが知られており、我々は BPM を用いてビーム位相を測定しようと試みている[2]。結果として BPM からの信号は小さいが、ビーム位相は BPM の和信号で測定できる。そのため、BPM はビーム位相測定のデバイスとしてのバックアップと考えている。

我々はすでにリニアックのビームエネルギーを 400MeV にアップグレードするのに必要な BPM と CT モニタを製作した[3]。これらのモニタはリニアックの下流部に対して設計されている。そこで、BPM と FCT は近くに設置されるので、我々は両モニタの信号感度とカットオフ周波数を測定し、比較を行った。

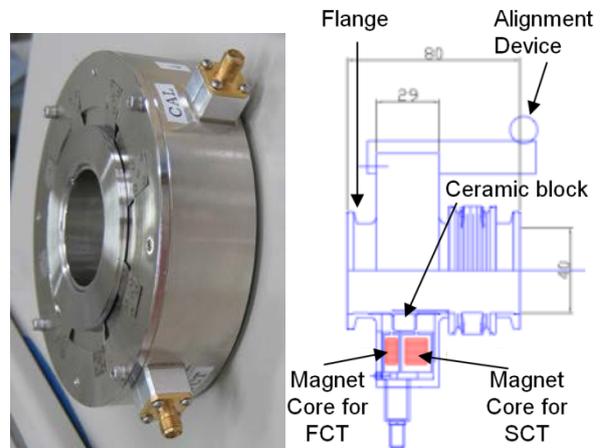


図 1: 電流モニタ・位相モニタ複合型(SCT/FCT)

2. 位相モニタ(FCT)の設計

ACS セクションでは各空洞に 2 台の FCT と 1 台の SCT をインストールする予定である。FCT はビームエネルギーを見積もるためのビーム位相を測定するモニタである。FCT を設計する際、5mm 厚のファインメットコア(日立金属製)にコイルを 1 巻したものを採用している。RF 信号がファインメットコアコアを真空から遮断するためにセラミック絶縁体を通してファインメットコアに伝播される。ここで、セラミックの絶縁体は金属板でシールドすることでビームから隠れている。ACS セクションは非常にスペースが狭いため、SCT と FCT の複合型を採用した(図 1)。

[#] tomoaki.miyao@j-parc.jp

CT モニタはコアに巻いたコイルに誘起される電圧はビーム電流に比例するので、信号を検出できる。ある周波数成分の出力応答は次式で与えられる[4]。

$$V = \frac{j\omega L/Z}{1+j\omega L/Z} \cdot \frac{RI}{N} \quad (1)$$

ここで、I はビーム電流 (J-PARC リニアックは 15mA)、Z はインピーダンス、N はコイルの巻き数、L はコイルの自己インダクタンスを表す。

3. ビーム位置モニタ(BPM)の設計

我々はリニアックのビームエネルギーを 181MeV から 400MeV へのアップグレードを目指している。これを達成するために BPM を含むビーム機器を開発する必要がある。そこで、我々は BPM を設計し、電極としてストリップライン型を採用した。BPM の精度はビーム軌道の誤差が 100 μ m 以内に校正されている必要がある。この要件を達成するために、電場計算を用いて特性インピーダンスが 50 Ω になるようなストリップラインの幅を決定し、BPM1 台あたり 4 つのストリップラインの隠インピーダンスを測定したこれはシミュレーションと一致している。最後に、BPM の電気的中心を周波数 324MHz、出力電圧 6dBm の擬似ビーム信号を用いて測定した(図 2)。



図 2: ビーム位置モニタ (BPM).

BPM において、荷電粒子ビームが通過するとき電極にはビームの電荷と逆符号の電荷が励起される。静電誘導ピックアップの原理から等価回路を考えると、ストリップライン電極に誘起される出力電圧は次式で与えられる[4]。

$$V = \frac{I\theta/2\pi}{1/R+1/Z} \quad (2)$$

ここで、Z は特性インピーダンスを表し、Z=50 Ω である。

4. 測定

テストスタンドでの測定

図 3 は FCT のテストスタンドの外観を示す。FCT 本体を 2 本のテーパー管で挟み、上側は 50 Ω でターミネートしている。テーパー管の中は、RF を伝播するための銅導体が挿入されている。ネットワークアナライザから RF 信号を下のテーパー管に入力し、FCT の端子からの出力を測定した(図 4)。



図 3: テストスタンドの外観 (FCT の測定)

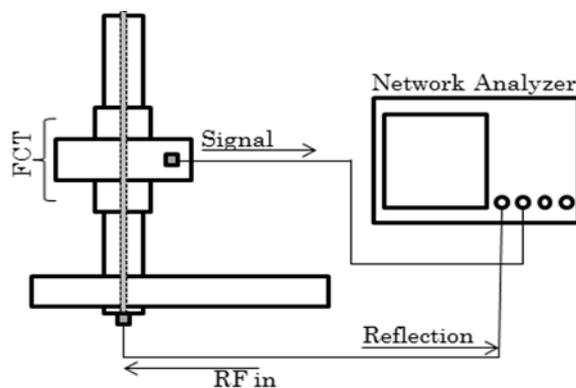


図 4: FCT 位相測定の概略図

BPM については、図 5 のようにセットアップをする。ストリップラインの各 SMA 端子の一方を 50 Ω でターミネートしている。RF 信号の入力は FCT と同じであるが、ビーム位相を測定するには各ストリップラインからの和信号を測定しなければならないため、コンバイナーを通して BPM の出力を測定した(図 6)。

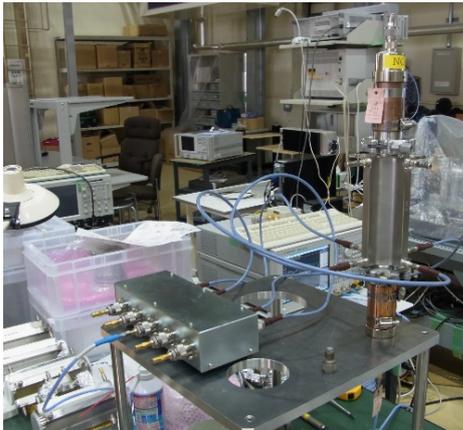


図 5: テストスタンドの外観 (BPM の測定)

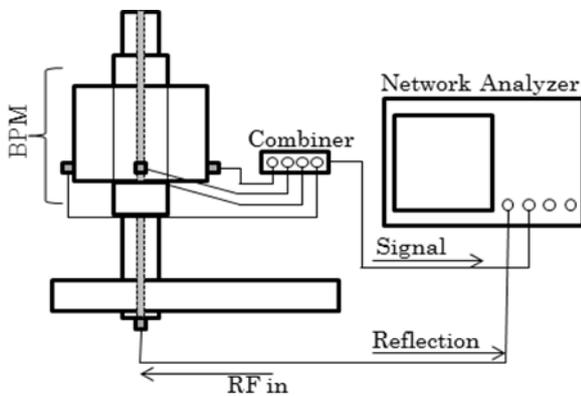


図 6: BPM 位相測定の概略図

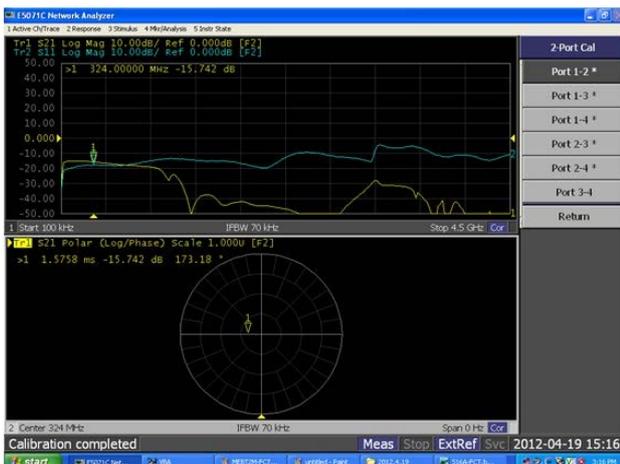


図 7: FCT の周波数特性。上が反射信号と出力信号の周波数特性。下がモニタを含む全経路の位相のオフセットを示す。

5. 結果

図 7 に FCT の周波数特性、図 8 に BPM の周波数特性と位相のオフセットを示す。位相のオフセットに関して、ここでは割愛する。J-PARC リニアック

の加速周波数である 324MHz での透過による信号減衰はそれぞれ、FCT は-15.742dB、BPM は-25.967dB であった。信号減衰と電圧との関係は次式で表される。

$$\text{Signal Loss(dB)} = -20\log(V_{\text{out}}/V_{\text{in}}) \quad (3)$$

我々が使用しているネットワークアナライザの入力電圧が 0.5V であるので、出力電圧はそれぞれ見積もることができ、FCT の方が 3 倍高い出力電圧を得ることができる。

$$V_{\text{FCT}}=82\text{mV}, \quad V_{\text{BPM}}=25\text{mV}$$

FCT と BPM の出力電圧の比をとると

$$V_{\text{FCT}}/V_{\text{BPM}} = R \frac{j\omega L}{50 + j\omega L} \frac{2516}{2\pi}$$

と計算でき、FCT の抵抗 R とコイルの自己インダクタンス L に依存すると考えられる。

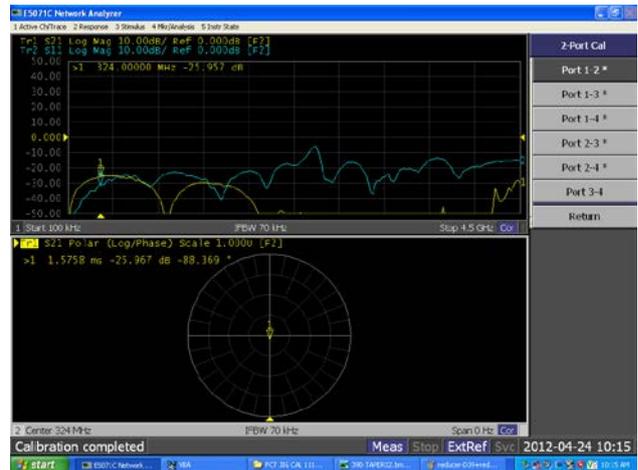


図 8: BPM の周波数特性

6. まとめ

FCT と BPM を位相モニタとしての性能を測定した。出力信号において、324MHz での特性は両モニタとも変わらないが、FCT の方が 10dB ほど多く利用できる。計算値との比較は再度考慮する必要がある。

参考文献

- [1] A. Miura, et al., “Beam Monitor Deformation by Tohoku Earthquake and its Recovery Project”, Proc. of IPAC2011, WEPC144, San Sebastian, Spain
- [2] S. Sato, et al., “Study of J-PARC Linac Beam Position Monitor as Phase Monitor”, Proc. of PAC09, TH5RFP061, Vancouver, Canada
- [3] A. Miura, et al., “Beam Diagnostics in the J-PARC Linac for ACS Upgrade”, Proc. of DIPAC2011, MOPD08, Hamburg, Germany
- [4] 平松成範 加速器のビームモニター