

## DEVELOPMENT OF EMITTANCE MONITOR SYSTEM AT THE SPring-8 LINAC

Takeshi Watanabe<sup>1,A)</sup>, Takao Asaka<sup>B)</sup>, Takamitsu Katsube<sup>A)</sup>, Shoji Matono<sup>A)</sup>,  
Hiromitsu Tomizawa<sup>B)</sup> and Hirofumi Hanaki<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> SPring-8 Service Co., Ltd. (SES)

2-23-1 Koto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205, Japan

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

### Abstract

In the top-up operation of the SPring-8 and NewSUBARU, it is important to maintain the beam emittance as well as the stable beam energy in the 1-GeV linac. Five sets of screen monitors by utilizing the optical transition radiation have been installed in order to obtain the precise beam emittance at the end of the 1-GeV linac. An automatic beam emittance measurement system with using those monitors was developed. The measured beam emittance for horizontal and vertical axes were  $1.5 \times 10^{-8} \mu\text{m rad}$  and  $4.7 \times 10^{-9} \mu\text{m rad}$ , respectively. The composition and the performance of this monitor system are described in this report.

## SPring-8線型加速器エミッタンス測定用モニターシステムの開発

### 1. はじめに

SPring-8線型加速器1GeV部でのエミッタンスは、8GeVブースターシンクロトロン、および1.5GeV蓄積リングNewSUBARUへの入射において、ビーム品質を判断する上で重要なパラメーターのひとつである。2003年より開始されているTopUp運転[1]では、線型加速器1GeV部に設置されている振り分けマグネットにより、ブースターシンクロトロンへ1分または5分間隔で適宜入射を行い、その合間にNewSUBARUへ数秒ごとにビームを供給している。ユーザー運転中は、24時間の連続運転が数週間にわたって行われるため、線型加速器には長期間ビーム品質を維持することが要求されている。このため、エミッタンスを定期的に測定し、時系列データを取得することはビーム品質管理の上で重要である。しかし、現在設置されている蛍光板を用いたビームプロファイルモニターやワイヤースキャナーモニターでは、画像精度による制限、及び測定に時間がかかることから定期的なエミッ

タンス測定がおこなわれていない。本システムは、入射ビームのエミッタンス、およびTwiss Parameterを迅速かつ高精度で測定することを目的として、新たに5台の遷移放射光(OTR)モニターを線型加速器1GeV部へ導入した。各モニターで撮像されたビーム形状からビームサイズを求め、そのエンベロープを算出し上記したパラメーターを求める。本報告では、システム構成、データ処理について述べ、さらに実際におこなった測定結果を示す。

### 2. システムの構成

遷移放射光モニターの設置場所を図1に示す。5台の遷移放射光モニターは、1GeVシケイン部四極電磁石直後から、マッチング部四極電磁石直前までの10mのドリフト空間に約2.5m間隔で設置した。この間のビーム位置調整は、2台の軌道補正電磁石とBPMにより行われ、本スクリーンモニター中心付近でのビーム観測を可能とする。

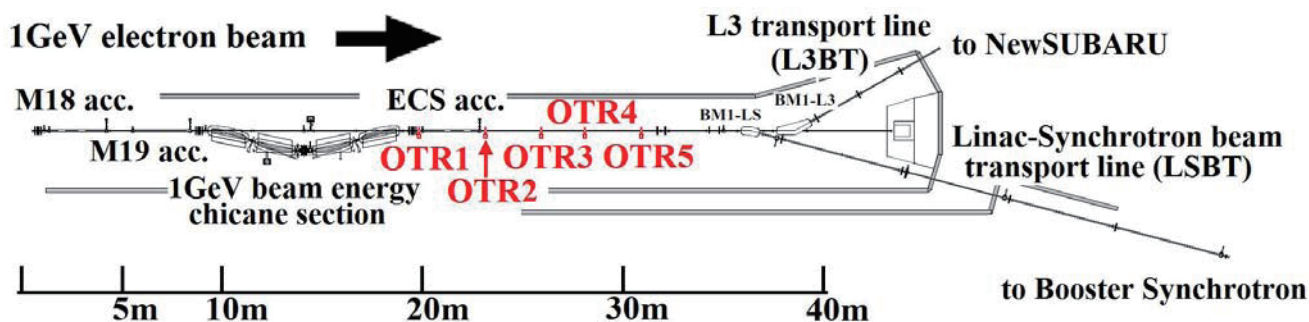


図1 遷移放射光設置図

<sup>1</sup> E-mail: watanabe@spring8.or.jp

遷移放射光モニターの全体図を図2に示す。遷移放射光モニターには2枚のスクリーンが直列に搭載されており、2つのシリンダーによる圧搾駆動の組み合わせにより、任意のスクリーンをビームダクトの中心まで挿入できるしくみになっている。1枚目のスクリーンは、図3に示すような目盛が施された厚さ0.2mmのSUS304で製作した金属板である。このスクリーンは、画像処理ユニットより出力される独自の単位に対して、寸法校正に用いられる。2枚目のスクリーンは実際にビーム形状を測定するための鏡面仕上げを施した金属板で、表面粗度は1 $\mu$ m以下である。サイズは、縦30mm、横35mm、厚さ0.5mmで、素材はアルミで製作した。

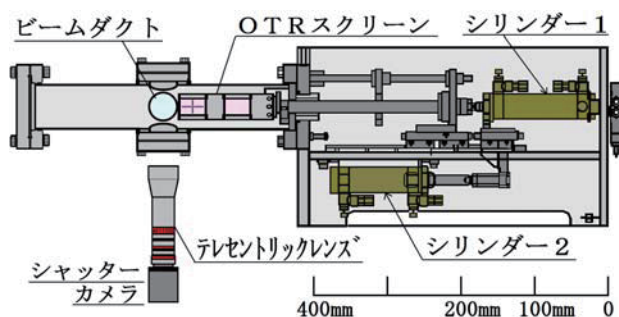


図2 遷移放射光モニターチェンバー

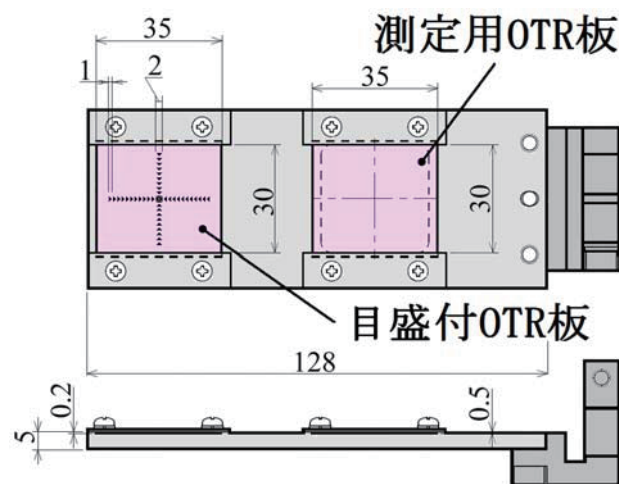


図3 スクリーン詳細図

45°傾けた金属板から下方に発生した遷移放射光は、テレセントリックレンズ (Edmond Optics社製 58429) を装着した外部トリガ入力機能を搭載したランダムシャッターカメラ (TAKEX社製FC300M) で撮像し、映像信号切替器 (TAKEX社製) によってNTSC信号に変換され、画像処理ユニットへ入力される。テレセントリックレンズは、既に線型加速器シケイン部に導入されているエネルギー分布測定用のビーム透過型薄膜スクリーンモニターでその有効性が確認されており[2]、特に被写体の寸

法測定を行なう際には、ディストーション (歪曲収差) が非常に小さく被写界深度が充分深いので、撮像画像に補正をかけることなく正確な計測が可能となる。

テレセントリックレンズは、ビーム直径が最大で6mmであることと、被写体位置が多少ずれていても画面内に納まることを考慮して、1/3インチのCCDカメラ使用で実視野が9.6mmとなるものを選択した。この組み合わせによって映し出された目盛サイズから、画像処理ユニットの校正をおこなった結果、画像分解能は、15 $\mu$ m程度となった。

画像処理ユニットでは、あらかじめ画像解析領域を設定しておき、領域内に映し出されたビーム画像から、水平、垂直方向のビームサイズをそれぞれ統計的な標準偏差 (Std) と、ガウス分布のフィッティングにより算出される標準偏差 ( $\sigma$ ) の2つの方法で導きだす。これにより、両データを比較することで、ビーム分布に対して正規分布を適用可能か否かを判断できる。算出したStdと $\sigma$ の値は、画像データ変換器を介して5秒ごとにデータベース (MADCOCAシステム[3]) へ記録される。

MADCOCA (Message And Database Oriented Control Architecture) システムとは、SPring-8が独自で開発したフレームワークで、これにより図4に示すような、データベースに記録されたデータの履歴をWeb browserへアクセスすることでリアルタイムに閲覧することができる。また容易にGUI (Graphical User Interface) 上に取り込むことも可能である。

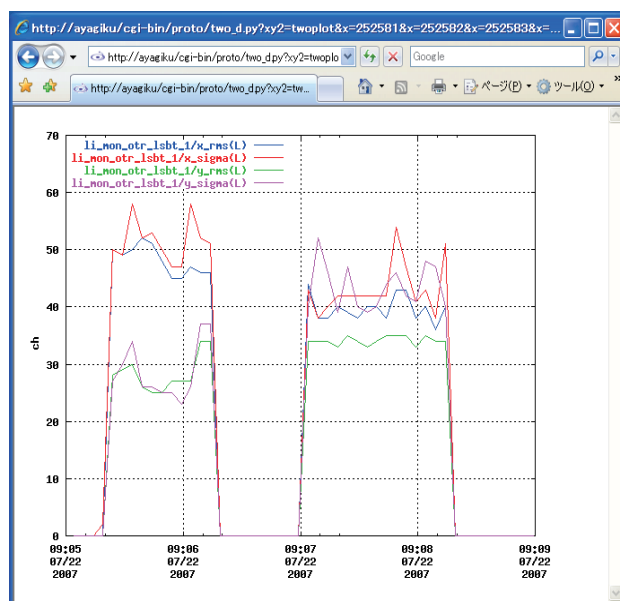


図4 OTR1で取得した水平・垂直方向ビームサイズの時間変動 (MADCOCAシステムのデータベースからWeb読み出しを行うことで可能)

### 3. エミッタンス測定

エミッタンス測定は、中央制御室の端末から全て遠隔で行い、GUIよりVMEを介してOTRコントローラーを操作する。測定から解析までの一連の作業は、全てGUIで行われる。測定は、5台のOTR板を上流から順番に1分間ずつ挿入し、各モニターで得られるビームサイズから、Std、 $\sigma$ の値を5秒に一度データベースへ記録させる。データの書込み間隔を5秒としたのは、同じビームデータの重複を確実に防ぐためである。データ取得後、計算処理の過程で異常な値を取り除くため、最大値、最小値のデータは切捨て、残り10発の値を二乗したものと、その二乗したデータの平均値をグラフへプロットする。横軸は、モニター間の距離 (m) である。平均データをもとに最小二乗法を用いてフィッティングしエミッタンスを求め、その結果をGUIに表示させる。

実際に本システムを用いて表1にあるビーム条件でエミッタンスの測定を行なった。そのときに得た画像処理ユニットのビームサイズ解析結果の画像例を図5に示す。

図6に測定GUIを用いて得られた水平、垂直方向のエミッタンス計算結果を示す。図中に示したように、水平エミッタンスは、 $1.3 \times 10^{-8} \pi \text{m rad(Std)}$ 、 $1.5 \times 10^{-8} \pi \text{m rad}(\sigma)$ で、垂直エミッタンスは、 $5.6 \times 10^{-9} \pi \text{m rad(Std)}$ 、 $4.7 \times 10^{-9} \pi \text{m rad}(\sigma)$ である。

すべての処理を含めた1回のエミッタンス測定に要する時間は、5分程度で終了し、今までの測定方法と比較して格段に時間を短縮することができた。

Beam current	1.12A
Beam pulse width	1ns
Beam energy	1GeV
Energy spread	<0.2%
Repetition rate	1Hz(max)

表1 エミッタンス測定時ビームパラメーター

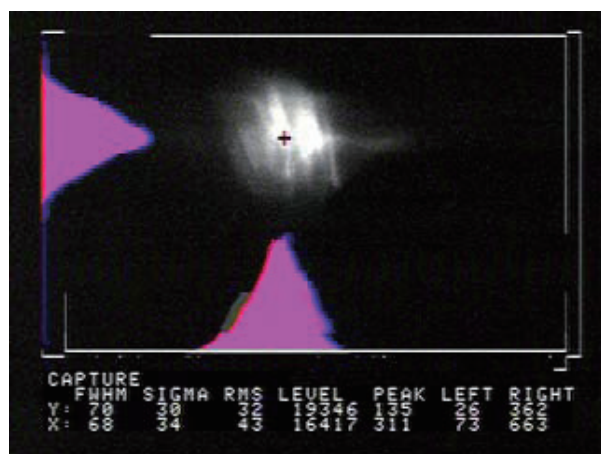


図5 OTR2でのビームサイズ測定画像例

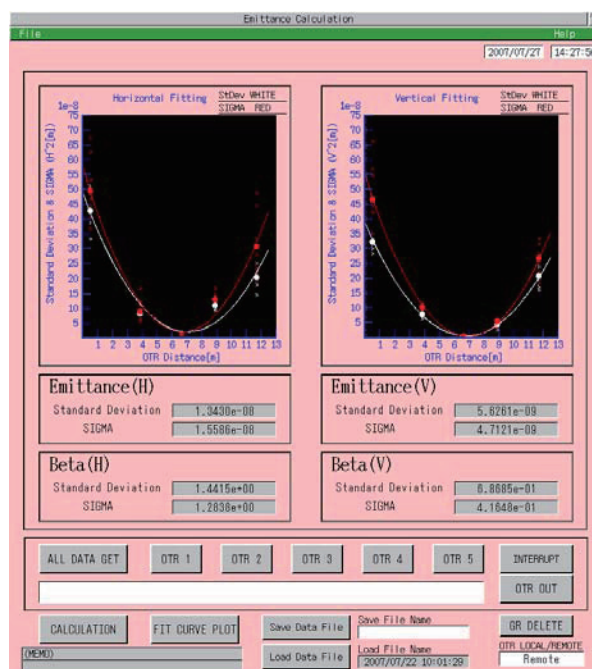


図6 エミッタンス測定結果  
(縦軸:ビームサイズの2乗、横軸:各OTR間距離)

### 4. まとめ

線型加速器のエミッタンスを定期的に測定することは、ビーム性質を計る上での重要な目安となる。さらにTop-Up運転を行っているSPring-8蓄積リングでの長期安定化を実現させていく上で、欠くことのできないパラメーターのひとつである。また、画像処理ユニットより得られたビームサイズをデータベースに蓄積し、長期的変動を観測することは、短い期間では気づきにくい機器の異常を知るための手がかりとして有効であると考えられる。

現在、測定に要する時間は5分程度であるが、データ収集時間を短縮することで1分以内に完了することができる。つまり運転状況次第では、ユーザー運転中のエミッタンス測定も可能である。さらにビーム入射時の測定を実現するために、スクリーンを薄膜化し、ビーム透過型へ変更することを考えている。

### 参考文献

- [1] H. Tanaka, et al., "Top-up operation at SPring-8 towards maximizing the potential of a 3rd generation light source", EPAC2004, Lucerne, Switzerland.
- [2] 安積隆夫「ビーム透過型薄膜スクリーンモニターの開発」第27回リニアック技術研究会予稿集,京都, 326 (2002).
- [3] 田中良太郎「SPring-8独自開発の制御システム-MADCOCA」、日本加速器学会誌、Vol.2 No.2, (2005) p.162