

# Development of Transition Radiation type Bunch Length Measurement System

Tatsuyuki Sakurai, Hirokazu Maesaka and Tsumoru Shintake

RIKEN/SPring-8, 1-1-1, Kouto, Sayo-sho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148

## Abstract

Development of a new bunch length measurement system using multiple plate transition radiator is described. Since it uses diffraction radiation from electron running through circular hole, non destructive measurement is possible. In the newly developed radiator, by means of multiple alternative stacking of metallic plate with beam hole and parabola mirror, radially polarized diffraction radiation is converted into a plane wave with linear polarization, which makes signal processing much easier. We installed the radiator in the electron beam line right before the undulator in the SCSS test accelerator, and performed beam test.

## 遷移放射型バンチ長測定システムの開発

### 1. はじめに

SPring-8敷地内に建設中のX線自由電子レーザー(XFEL)は非常に短い電子バンチを作ることが必要であり、加速器入射部での適切なバンチ圧縮がFEL発振を左右する。そのためバンチ圧縮,特に速度変調バンチング時の各段階でバンチ長を測定することが成功への最も近道だと言える。

SCSS試験加速器(以下、SCSSと呼ぶ)ではプロファイルモニターの蛍光板から放射されるコヒーレント遷移放射を多段導波管型のマイクロ波波長計でスペクトルを測定し、速度変調バンチングの各段階でのRF位相の最適値調整を行っている<sup>[1]</sup>(図1)。この方法はSCSSのビーム調整で威力を発揮してきた。

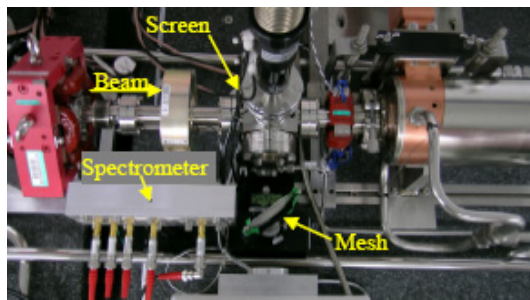


図1: SCSSでのビーム調整時のマイクロ波波長計のセットアップ<sup>[1]</sup>

しかし

- 計測のためにプロファイルモニターを光軸に挿入するため、FEL運転時に常時モニターとして使えない
- 遷移放射の信号強度が弱い

などの改善点・高度化が求められている。

本報告ではバンチ長測定のための新しいターゲットの開発を行い、SCSSで行った評価試験の結果を

述べる。

### 2. 多周期放射器の設計

前述の改善点・高度化を元に多周期放射器を考案した(図3及び4参照)。多周期放射器のコンセプトは

1. 穴あき金属板からの回折放射を利用。
2. 放物鏡によって、直線偏光の平行ビームに変換する。

である。

まず厚さ0.1mmの銅板にφ6mmの穴を開け、電子ビームを穴の間を通す構造にした。これにより電子ビームの誘導電場による回折放射が発生する。この放射は電子バンチ長に相当する波長を持つコヒーレント放射成分をもつため、これを測定することで電子バンチ長を測定することができる。またターゲットと電子ビームは非接触のため、ビームを壊すこと

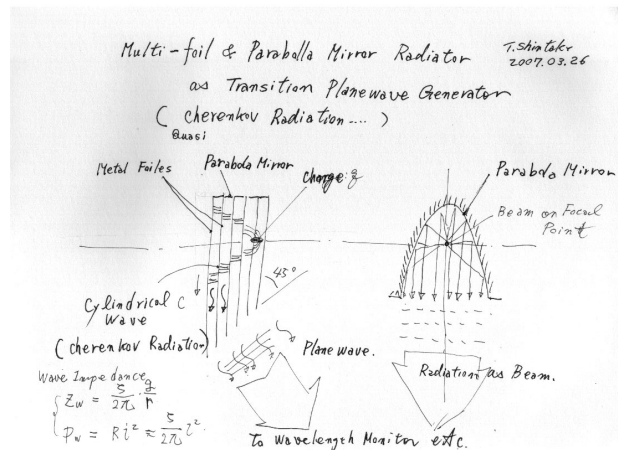


図2: 多周期放射器のスケッチ (by T. Shintake, 2007)

はない。そのためFEL光を観測しながら、電子バンチ長の常時モニタリングが可能となる。また放射強度増やすために、上述の銅板を複数枚並べた。さらに銅板の間に厚さ1mmのアルミニウムで作製した放物面ミラーを挟んだ。これにより放射器から発生する電磁波を直線偏光のビームに形成し、効率よく検出器に放射パワーを伝送することが可能となる。また放射される電磁波を検出器の方向に平行化するために、放物面ミラーの焦点を電子ビームが通過するようにした。製作した真空チャンバーにはこの多周期放射器が26周期並べられており、ICF114フランジに固定して収められている。電磁波取り出しのための真空窓はテラヘルツ帯域の透過率が良いサファイア窓を使用している。

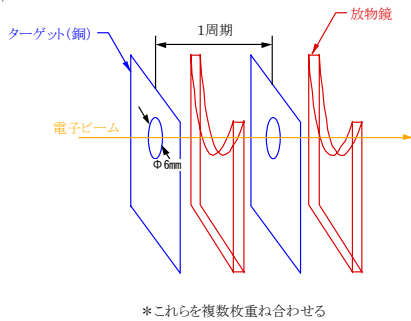


図3：放射器部分構成図  
(ターゲットと放物面ミラーが交互に並べた多周期構造)

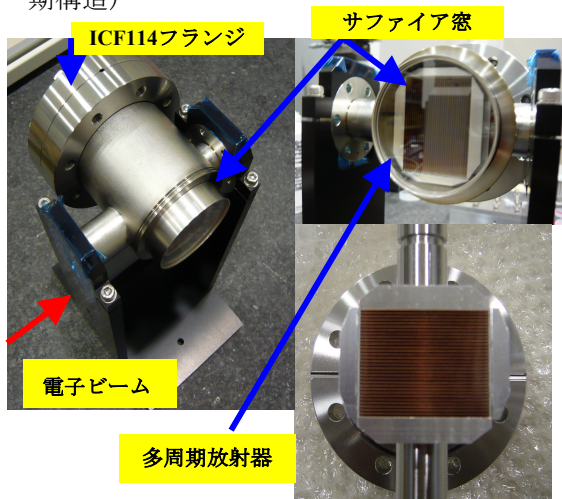


図4：製作した多周期放射器用チャンバー  
左：全体像  
右上：サファイア窓からの側面像  
右下：放射器組立像

### 3. SCSS試験加速器での評価実験

この放射器をSCSS試験加速器にインストールし評価実験を行なった。開発した放射器はアンジュレータ直前に設置した。この部分での電子ビームエネルギーは250MeV、ビーム電荷量0.37nC、ビームサ

イズは700  $\mu\text{m}$ である。電子バンチ長は1psec以下である。

#### 既存方法との強度比較

SCSS試験加速器で行っているプロファイルモニターからの遷移放射をマイクロ波波長計と金属メッシュの組み合わせた従来法と、多周期放射器による方法との放射強度の比較を行なった。

実験のセットアップを図5に示す。多周期ターゲットのサファイア窓から斜め45°後方にマイクロ波波長計を設置した。また下流にあるプロファイルモニターに金属メッシュとマイクロ波波長計を設置した。マイクロ波波長計は内部に5段階の遮断周波数を持った導波管を有している。表1にマイクロ波波長計が有する遮断周波数を示す。検波器はアンリツ社製の75VA50を使用した。検波器の帯域は10MHz~50GHzである。強度比較はマイクロ波波長計の30GHz帯と60GHz帯を用いて行った。

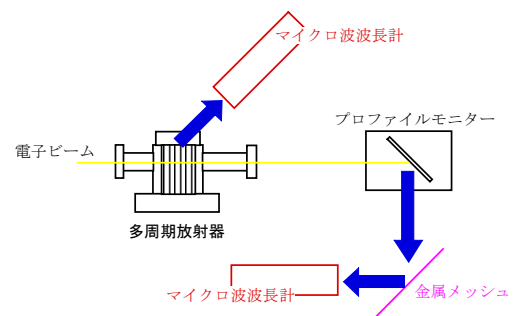
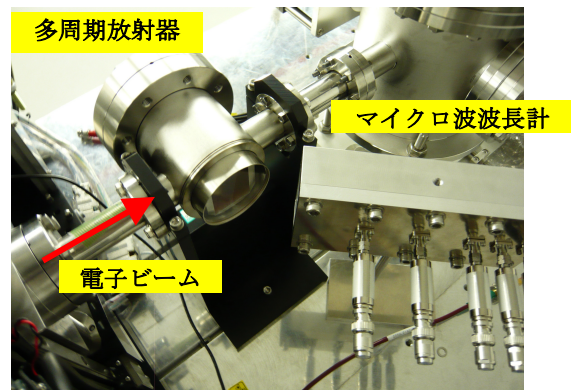


図5： 上 多周期放射器の設置  
下 強度比較時の実験配置

実験結果を図6に示した。帯域30GHzは2.5倍、帯域60GHzで8.5倍の強度増加が確認された。

表1 マイクロ波波長計の有する遮断周波数

| 導波管断面寸法<br>[mm <sup>2</sup> ] | 遮断周波数[GHz] |
|-------------------------------|------------|
| 40×20                         | 3.75       |
| 20×10                         | 7.5        |
| 10×5                          | 15         |
| 5×2.5                         | 30         |
| 2.5×1.3                       | 60         |

#### 放射強度のビーム電荷量依存性

電子ビームの電荷量変化によって放射強度がどのように変化するか測定した。電子ビームの電荷量の制御は上流にある空間コリメータで調整した。

測定結果を図7に示した。電荷量の減少に伴い多周期ターゲットからの放射強度は線形減少している。

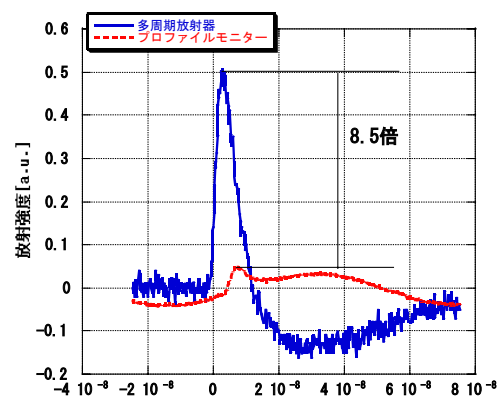
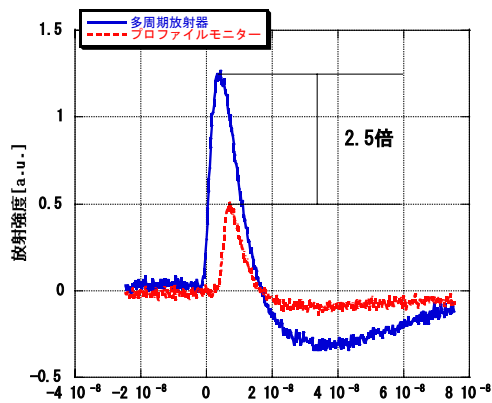


図6：多周期ターゲットと従来法の強度比較  
上：波長計の帯域30GHzを使用  
下：波長計の帯域60GHzを使用

た。SCSS試験加速器に設置し評価試験を行った。従来法との強度比較はマイクロ波波長計の帯域30GHzと60GHzを用いて行い、それぞれ2.5倍と8.5倍の放射強度の増加を確認した。また放射強度の電荷量依存性を測定し、放射強度が線形減少することがわかった。

今後はこの多周期ターゲットを加速器の速度変調バンチングの部分に設置し、バンチ長の長い部分でマイクロ波波長計の遮断周波数に対応するバンチ長の部分で放射強度のバンチ長依存やFEL光強度のバンチ長依存などを行いたい。将来的にXFELの加速器調整時の強力なツールとなるよう開発を進める。また現在ターゲット設置している短いバンチ長の部分においても、測定できる検出器の開発も検討する。

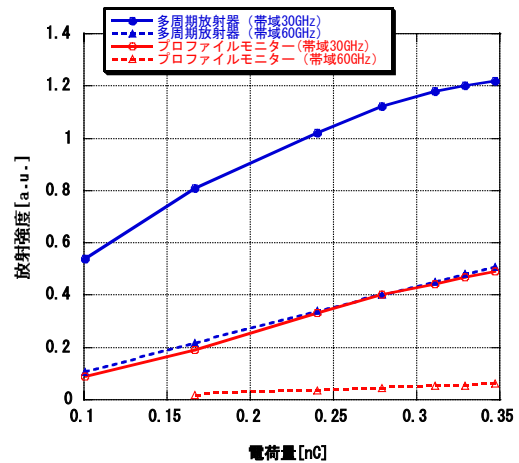


図7：放射強度のビーム電荷量依存性

#### 参考文献

- [1] H.Maesaka.et.al 「SCSS試験加速器におけるコヒーレント遷移放射を使ったバンチ長測定のためのマイクロ波波長計の開発」 第三回日本加速器学会年会 仙台 2006年

#### 4. まとめ

FEL発振のための加速器チューニングを行う上で重要な電子ビームバンチ長の測定のためにコヒーレント回折放射を利用した多周期ターゲットを開発し