

## IMPROVEMENT IN STRAY FIELD OF PULSE SEPTUM MAGNET AT NEWSUBARU

Takayuki Mitsui<sup>1</sup>, Yoshinori Hisaoka<sup>2</sup>, and Yoshihiko Shoji

LASTI, University of Hyogo

1-1-2 Koto, Kamigori, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

### Abstract

In this research, correction coil system for the stray field of the pulse septum magnet was designed, based on measurements using the stored electron beam. The stray field was different from the original design, probably because of the alignment error of the septum current sheet. Therefore, the stray field was separated to two components, one was the normal stray field component, and another was error component which had opposite field symmetry. The error field was cancelled by a correction coil. As the result, horizontal stray field during the 1 ms pulse was reduced from 0.2 mT\*m maximum to 0.008 mT\*m maximum.

### NewSUBARUにおけるパルスセプタム電磁石漏洩磁場の補償

#### 1. はじめに

NewSUBARU<sup>[1]</sup>は兵庫県立大学（旧姫路工業大学）高度産業科学技術研究所（LASTI）の附属施設であり、2000年から放射光利用運転を開始し、2003年6月からは定電流top-up運転を実施している<sup>[2]</sup>。表1にNewSUBARUの主要パラメータを示す。Top-up運転とは利用運転中にビーム入射を随時行い、蓄積電流値の減少を補う運転方式である。得られる放射光の強度が一定になる等の利点があり、多くの施設で実施の為の取り組みがなされている。

Top-up運転実施の為のポイントは、ビーム入射時のビームロスとパルスの軌道変動の改善である。パルスセプタムの漏洩磁場はこの両方に関与している。図1にパルスセプタムと入射部真空ダクトの断面を、表2にパルスセプタムのパラメータを示す。NewSUBARUのパルスセプタムは電源から直接セプタムに電流を流すタイプである。入射プロセスの理解の為には、漏洩磁場の持つ強い非線形性を知る事が重要である。本研究では空芯のコイルを設計し、漏洩磁場の補正を行った。

表1：NewSUBARUの主要パラメータ。

パラメータ	値
電子エネルギー	0.5~1.5GeV
入射エネルギー	1.0GeV
周長	118.73m
ベータトロン振動数	6.30 (水平方向)
	2.23 (垂直方向)
自然エミッタンス (1GeV)	38nm

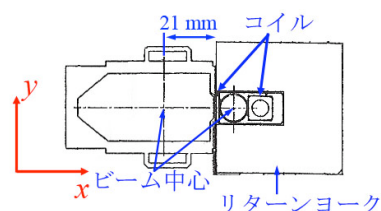


図1：リング上流から見た入射部の断面図。

表2：NewSUBARUのパルスセプタムのパラメータ。

パラメータ	値
材質	コイル：C1100 真空チェンバー：SUS316L リターンヨーク：35A300
電磁石全長	1m
セプタム導体寸法	幅12mm、厚さ3mm
曲率半径	9157 mm
電流波形	0.92msec幅ハーフサイン
最大電流	4949A
最大磁場	0.44T
利用運転時磁場	0.35T

#### 2. パルスセプタム電磁石の漏洩磁場

図2に、周回電子ビームを使って測定したパルスセプタムの漏洩磁場分布を示す。右図で赤の斜線で示した領域が磁場分布の表示領域である。漏洩磁場を磁場の各測定点を始点とした磁場ベクトルとして表示した。ベクトルの長さは誘導電流を差し引いた結果のピーク値を示している。漏洩磁場の測定については2006年の加速器学会で報告済みである<sup>[3]</sup>。漏洩磁場には予想されていた通常の漏洩磁場成分の他

<sup>1</sup> E-mail: mit-k@lasti.u-hyogo.ac.jp

<sup>2</sup> Present affiliation: SYSMEX CORPORATION

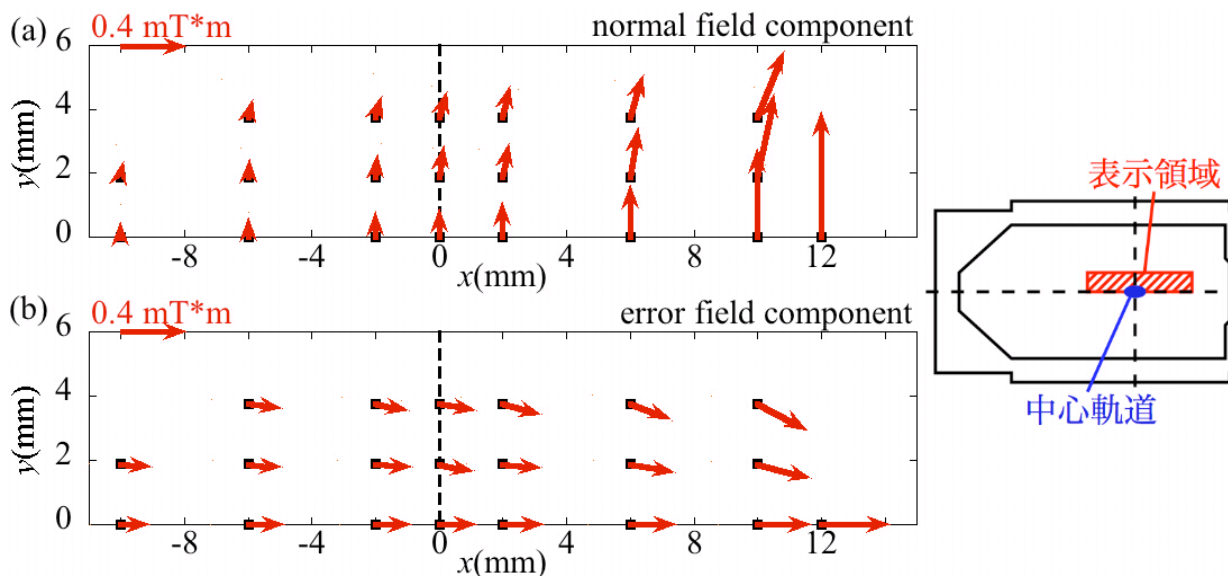


図2：パルスセパタムの漏洩磁場分布をリング上流から見た図。x, y=0の点が周回ビーム中心軌道である。 (a)通常の漏洩磁場成分、(b)エラー磁場成分。右図は周回ビームダクトの断面であり、斜線部分の磁場を左図に表示。

に、セパタムの真ん中に向かって発生しているエラー磁場成分が含まれていた。エラー磁場の時間構造は垂直磁場と明らかに異なっており、通常の垂直方向漏洩磁場とは発生原因が異なると考えられる。

### 3. シミュレーションによる磁場計算

磁場解析ソフトOPERA-3dを用いた磁場計算を行い、測定結果との比較を行った。通常の漏洩磁場成分はセパタムの構造から計算し、エラー磁場成分については発生原因を仮定して計算した。

#### 3.1 垂直方向磁場

垂直磁場はセパタム下流部のエッジ部分で強く発生していると考えられる。図3にビーム軸方向に積分した磁場の計算結果と測定結果のx方向依存を示す。

結果は計算の方が大きい値をとっているが、誤差を考えれば矛盾しない結果といえる。誤差原因としては測定時の $\beta$ 関数等の誤差やBPMの校正誤差、セパタム電流シートの水平位置ずれ等が考えられるが、特定に至っていない。

#### 3.2 水平方向磁場

水平エラー磁場の発生原因として、セパタムシートの位置がセパタム全域でy方向に一様にずれたと仮定して磁場を計算した。図4に計算結果と測定結果を示す。仮定したずれの絶対値は0.25 mmであるが、セパタムの構造上の最大値は1 mmであり、十分あり得る値である。計算結果の方が測定結果より積分磁場強度のx方向依存が強いのでこのずれが原因と特定する事はできない。但し、他に可能性のあ

る原因を見つける事ができていない。

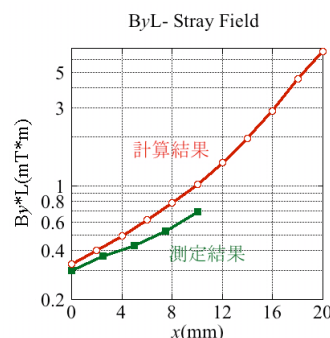


図3：垂直磁場のビーム軸方向積分値のx方向依存。

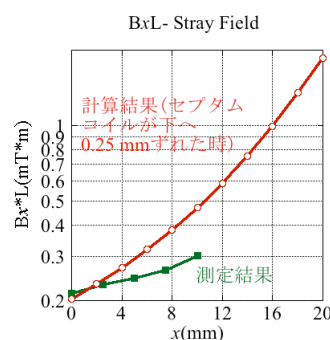


図4：水平磁場のビーム軸方向積分値のx方向依存。

### 4. 漏洩磁場の遮蔽

補正コイルを設計する前に、漏洩磁場の部分的遮蔽を行った。これにより、漏洩磁場のビーム軸方向分布についての情報が得られた。Fe-B-Si系アモルファス合金シート (25  $\mu m$ 厚、透磁率 $3 \times 10^5$ )で周回ビームダクトを覆って磁場遮蔽とした。セパタムの下流域15 cmの範囲はパルスセパタムとビームダクトの隙間がない為、シートを取り付けなかった。図

5に遮蔽前後での周回ビーム中心軌道での漏洩磁場波形を示す。遮蔽後の磁場波形には遮蔽前とは異なる誘導電流成分が含まれており、複雑になっている。

データ解析では誘導電流成分を除いたサイン成分のみを評価した。誘導電流成分の時間積分は全て0となるので、測定波形の時間積分を計算する事でハーフサイン成分を評価する事ができる。表3に磁場遮蔽効果を示す。垂直磁場はエッジ部分の寄与が大きい計算結果と合っている。又、水平磁場は誤差源がビーム軸方向に様に分布していると仮定した計算結果と合っている。

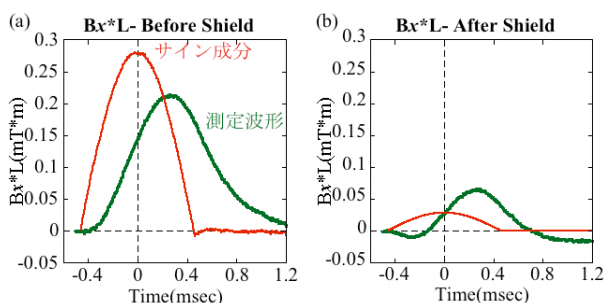


図5：(a)遮蔽前と(b)遮蔽後の水平方向積分磁場波形。

表3：遮蔽前の磁場強度に対する遮蔽効率。

	x	測定結果	計算による予想
水平磁場	0 mm	90 %	71 %
	10 mm	60 %	65 %
垂直磁場	0 mm	30 %	31 %
	10 mm	20 %	27 %

## 5. 補正コイルを用いた水平磁場補正

水平方向漏洩磁場の原因は特定できていないが、測定に基づいて補正コイルを設計して補正を行った。図6に補正コイルを取り付けた後の入射部の写真を、図7に補正コイルシステムの構成を、表4にコイルのパラメータを、図8にコイル磁場を示す。コイルによる磁場のx依存は計算よりやや弱いですが、コイル形状と位置の調整で漏洩磁場のx依存に近づけた。

図9に補正前後の水平磁場波形を示す。コイル電流波形を調整し、中心軌道での磁場が小さくなる様にした。その結果、中心軌道での水平磁場強度が、補正前の約4%まで減少した。この時、 $x=10$  mmでは磁場が補正前の約12%程度残ったが、これは漏洩磁場波形が0 mmと10 mmで異なる為である。

## 6. まとめ

空芯の補正コイルを用いて、中心軌道での水平方向漏洩磁場をほぼ補正する事ができ、中心軌道から離れた所でも改善できた。今後は入射時のビームの振舞いを把握し、垂直磁場の補正を行う予定である。



図6：補正コイルとパルスセパタム上流部の写真。

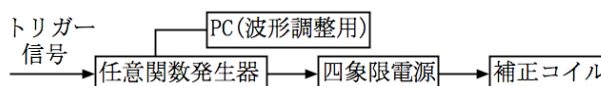


図7：補正コイルシステムの構成。

表4：水平磁場補正コイルのパラメータ。

パラメータ	値
コイル長	35 cm
ターン数	14ターン
電流	14 A
パルス幅	1.30 ms

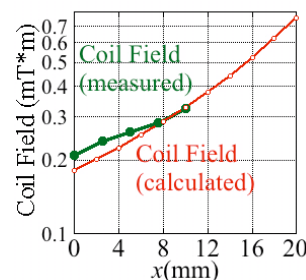


図8：コイル磁場のx方向依存。

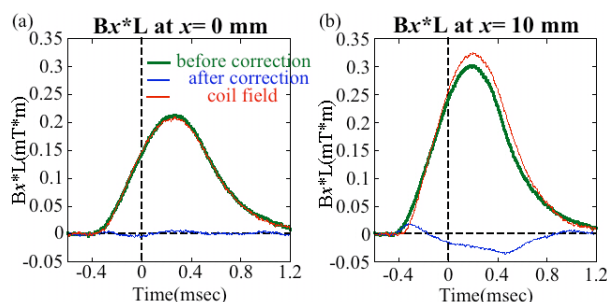


図9：補正前後の水平方向積分磁場波形。(a)中心軌道 ( $x=0$  mm)、(b) $x=10$  mm。

## 参考文献

- [1] A. Ando et al., J. Synch. Rad. 5(1998), pp.342-344.
- [2] Y. Shoji et al., Proc. APAC 2004, pp. 550-552.
- [3] T. Mitsui et al., 第3回日本加速器学会・第31回リニアック技術研究会、Proc. TO07.