

DESIGN OF MULTI-ELEMENT CORRECTOR MAGNET FOR NewSUBARU

Yoshihiko Shoji¹

NewSUBARU/Spring-8, LASTI, University of Hyogo
1-1 Kouto, Kamigori, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

An octupole-base corrector magnet of multi-elements was designed. The new corrector magnets will be installed in the electron storage ring NewSUBARU in place of vertical steering (dipole) magnets in 2010. The new magnet will have coil windings to produce skew quadrupole, skew sextupole, normal octupole, and the skew dipole field. The skew dipole element will work as a vertical steering. The skew quadrupole and the skew sextupole elements are for the resonance correction. The normal octupole element will be use to control the higher order dispersion function and the higher order momentum compaction factor of the ring.

In designing the magnet, a consideration to a field interference with the neighboring magnet was an important issue, because the yoke length, space between the yokes and the bore diameter are comparable. The field interference was calculated using OPERA-3D.

ニュースバル用多機能補正電磁石の設計

1. はじめに

電子蓄積リングニュースバルの分散部用に、多機能補正電磁石を設計した。設置スペースが限られているため、既設のvertical steering magnetと置き換える予定である。更に隣のquadrupole magnetとの磁場干渉が無視できない為、設計には3次元磁場計算ソフトOPERA3Dを用いた。

磁極形状は8極で、vertical dipole, skew quadrupole, skew sextupoleに加え、normal octupoleを発生させる。新しく加える多極磁場発生機能によって、coupling correctionやresonance correctionによるトップアップ入射の改善 [1] や、高次 dispersion と momentum compaction factorの制御[2]が可能になる。

2. 設計上の制限

Fig. 1は逆偏向電磁石近くの vertical steeringである。上流のQと下流のBPMが使用可能なスペースを決めており、磁極長は最大80mmである。真空チャンバーのhorizontal mechanical (=physical) apertureは $\pm 37\text{mm}$ である。磁場の強さという点からはボア径は小さいほど良い。磁極内真空チャンバー断面から決まる最小値は、磁極形状をoctupole scalar potentialのequi-potential lineに合わせた場合に35 mm、標準的なフラットに近い形状ならば40mmである。

表 1 に、必要な磁場成分の強さを示す。Vertical dipoleは既存のsteering magnetのパラメーターから決まり、skew quadrupoleは現状のskew quadrupole resonanceの強さから、skew sextupoleはnormal sextupole resonanceの強さから、またnormal octupoleはhigher order momentum compaction factor補正に必要な

な強さから決めた。特にvertical steeringは旧電源をそのまま使用するので、電源から見て同程度の負荷である必要がある。更に磁場の電流に対する比が同一であれば都合が良い。3次元磁場計算によれば、現有steering magnetは最大電流6.2Aに対して0.081 Tm (近隣4極電磁石との干渉による約10%の積分磁場減少[3]を考慮してない) である。

最大許容誤差磁場は、蓄積リング設計時に用いた簡単なガイドラインに従う。則ち「最大磁場励起時 $x=30\text{mm}$ の位置で、理想磁場との差が300 Gauss $\text{cm}=3\text{X}10^{-4}$ Tm以下」である。実は既存のvertical steering magnetは、理想磁場との差が450 Gauss cm であるが、新しい磁石はガイドラインの範囲内で設計する。

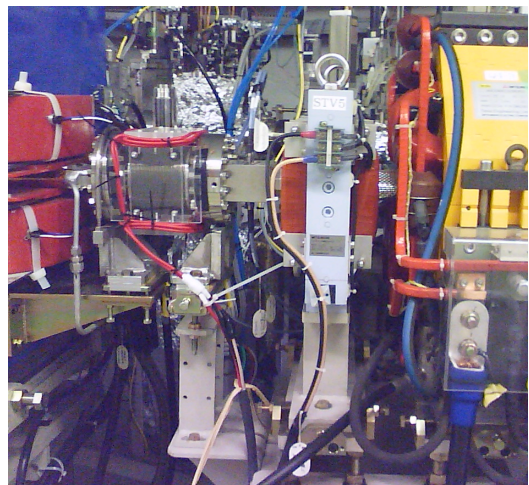


Fig.1; Vertical steering (thin gray magnet) at IB section.

¹ E-mail: shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

Table I Required magnetic field strength

Field component	integrated field strength
Skew dipole	$BxL=0.081$ Tm
Skew quadrupole	$dBxL/dx=0.05$ T
Skew sextupole	$d^2BxL/dx^2=2$ T/m
Normal octupole	$d^2ByL/dx^2=100$ T/m ²

3. 磁場計算 (ボア半径40mm)

最も大きな磁場成分はvertical dipoleなので、多機能電磁石は既存のsteering magnetと同様に、空冷で十分である。磁極長は前述の最大値である80mm、ボア半径は40mmとした。近隣電磁石との干渉も考慮する為、3次元磁場計算ソフトOPERA3Dを用いた。計算に用いた3次元構造モデルをFig. 2に示す。近隣の4極電磁石とのヨーク間間隔は120mmである。

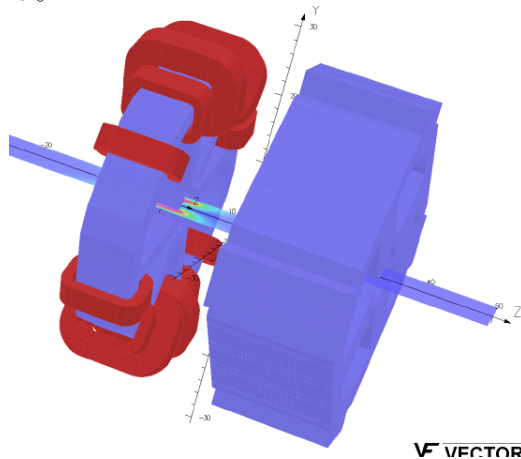


Fig.2; 3D model of the multi-element magnet with the quadrupole magnet nearby.

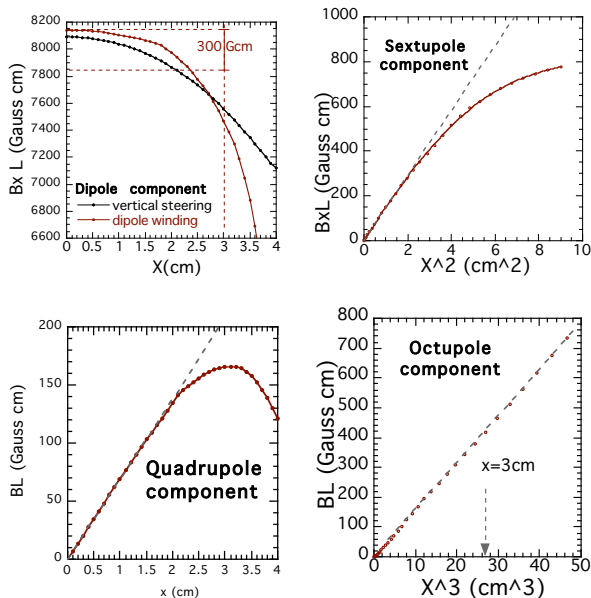


Fig.3; Integrated magnetic fields produced the each coil windings.

最初に、自由空間に電磁石を設置した場合の磁場分布を計算した。Fig. 3に各多重極磁場成分に対するビーム方向 (Z) 積分磁場の半径方向 (X) 分布を示す。磁場強度は、Table Iに示した必要磁場である。計算は電流値1Aで行い、磁場は電流値に比例すると仮定した。理想磁場との差を見ると、前述の誤差磁場についてのガイドラインを満たしているのは normal octupole fieldのみである。

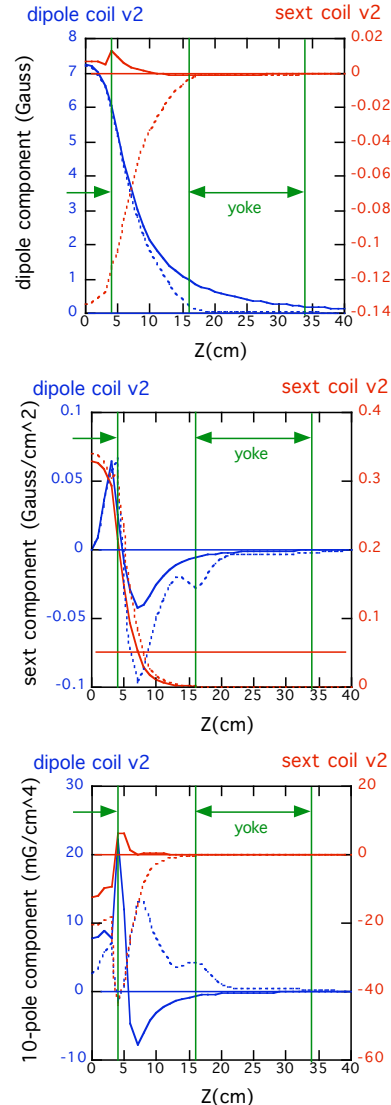


Fig.4; 近隣のQによるビーム軸方向 (Z) の多極成分分布の変化。実線は自由空間に置いた場合。破線は近くにQを置いた場合。

次に近くのQ電磁石との干渉を計算した。問題となるのは dipoleとsextupole windingである。Dipole windingに対しては、dipole fieldが約9%減少し、弱いsextupoleが現れた。またsextupole windingに対しては、弱いdipoleが現れ、sextupoleはあまり変化が無い。Dipoleの減少分に対してはコイルの巻き線を増やす事で対応する。他の成分は誤差磁場ガイドライ

ンの範囲内にあるので問題ない。

Dipoleまたはsextupoleのみの積分磁場を作るコイル設定での、ビーム軸方向(Z)の磁場component分布をFig.4に示す。磁極端部での分布の凸凹は計算誤差と思われるが、おおまかな傾向は見てとれる。4極電磁石が設置された側は、4極磁石の磁極付近で急激に減衰する。磁場成分毎に見ると、多重極であるほど、自由空間でも減衰が早く、従って干渉も小さい。これが近隣のQの影響がdipole componentとsextupole componentで異なる原因である。

4. 磁石設計(ボア一径50mm)

誤差磁場をガイドラインの範囲内とする為に、ボア一径を50mmまで拵げた設計に変更した。近隣の電磁石との磁場干渉は増すが世用範囲であろう。現在、以下の設計で磁場の再計算を進めている。

磁極形状をFig. 5に示す。磁極とリターンヨークの断面積は既存のvertical steeringよりやや大きい程度である。このヨークに対して4種類の磁場を発生させるコイルをFig. 6のように配置する。Dipoleとsextupoleはリターンヨークにコイルを巻く。Dipole componentとsextupole componentを別の巻き線で作る事とし、磁場が独立になるよう、それぞれに対して中央のヨークとサイドのヨークの巻き線比を調整する。4極成分と8極成分は磁極に巻いたコイルで作る。

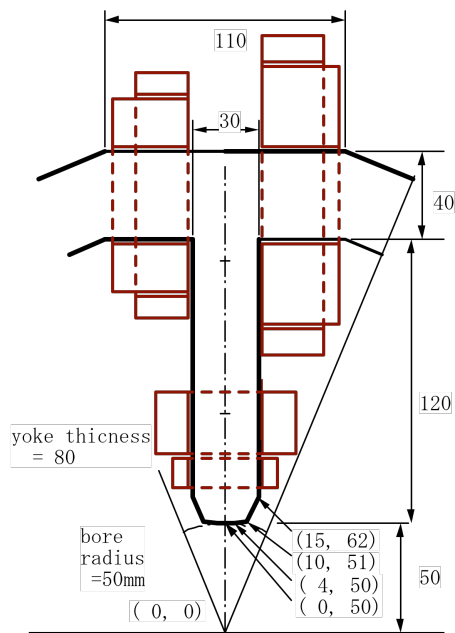


Fig.5; Yoke design (1/8 of magnet)

導体断面は既存のvertical steeringと同一の2mm X 3mmとした。Dipole windingの長さを概算すると490mで、既存のvertical steeringの453mよりやや大きい程度に納まっている。

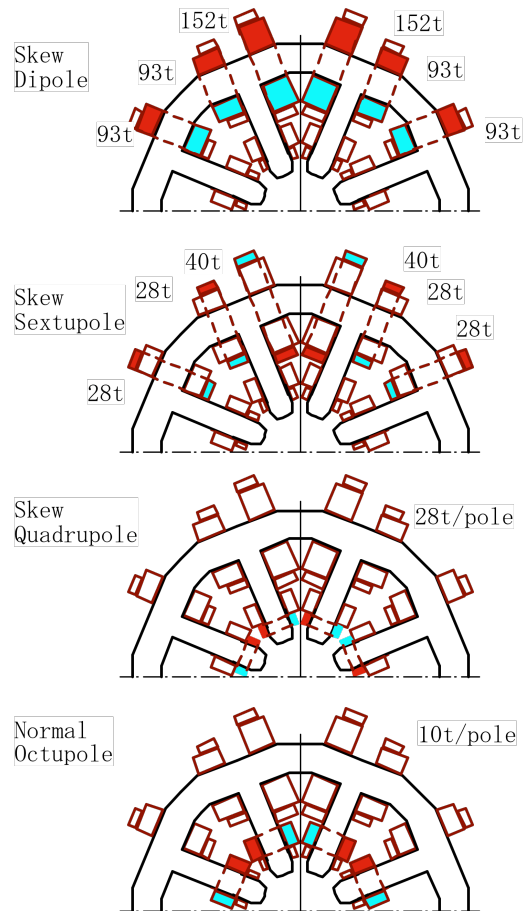


Fig.6; 多極成分用コイルの配置、極性とターン数。図示してあるのは上半分だが、下半分は、skew fieldに対しては反対称、normal fieldに対しては対称極性。

5. まとめ

ニュースバル電子蓄積リング用に多機能補正電磁石を設計している。十分な有効磁場領域を確保する為に、ボア一径を50mmとした。近隣の電磁石との磁場干渉は重大な障害とはならない。

参考文献

- [1] Y. Shoji, et al., "Beam Based Search for Linear Imperfection Fields in 11m Long Undulator at NewSUBARU", AIP Conference Proceedings 705, pp.247-250 (2004).
- [2] Y. Shoji, et al., "Bunch compression at the SPring-8 linac and successive generation of THz pulse train in the isochronous ring", Y. Shoji, et al., Infrared Physics and Technologies, vol.51 (2008) pp.394-396.
- [3] Y. Shoji, "Beam-based calibration of linear optics model of NewSUBARU", Proc. of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, Osaka, Japan, 2001, Proc. pp.310-312.