

EVALUATION OF DEFLECTIONS BY THE STEERING MAGNETS OF NewSUBARU

Yoshihiko Shoji^{#, A)}

^{A)} LASTI, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

In the summer of 2010 at NewSUBARU, four of the 18 vertical steering magnets were replaced by multi-element corrector magnets. The new magnets were designed to work as steering magnets with almost the same magnet parameters. The strengths of these 18 magnets were identified by means of the measurement of response matrix. The variation of magnets was well explained by a calculation of the integrated field including the effect of the yokes of nearby magnets. The 3D magnetic field were calculated using OPERA-3D. The measurement confirmed that the new magnets were working as were designed with the accuracy of a few %.

ニュースバルにおける垂直ステアリングのキック力評価 ～近隣磁石ヨークによる実効長減少～

1. はじめに

ニュースバルでは 2010 年夏期停止期間に 18 台の垂直ステアリング電磁石(stv)のうち 4 台を多機能補正電磁石に置き換えた(Fig. 1)。この多機能補正電磁石は、交換前の stv とほぼ同じパラメーターでステアリング機能を持つ設計である^[1, 2]。磁石設計には 3次元磁場計算を用いて、上流 4 極電磁石ヨークの影響も取り入れた。多機能補正電磁石制作後の試験は電磁石の健全性を確認する測定のみで^[3]磁場測定は行なわなかったが、交換前後で明らかなステアリング電流値の変化は無く、問題なく運転を行えた。

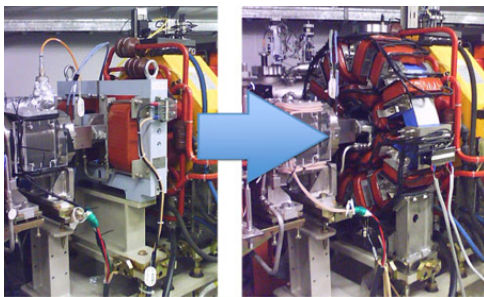


Fig. 1: Replacement of stv with multi-element magnet.

一方で、電磁石交換後に COD 補正プログラム改良を目的として、ステアリングの応答関数を測定した^[4]。この測定結果の解析から、ステアリング電磁石の個性が得られた。交換を行わなかった 14 台のステアリング電磁石は同一設計であり、この個性は周辺電磁石ヨークの影響によると推測できる^[5]。測定結果を 3次元磁場計算と比較する事で周辺電磁石の影響が定量的に確認できた。同時に、多機能電磁石のステアリング機能がほぼ設計通りである事も定量的に確認できたので、併せて報告する。

[#] shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

2. 垂直ステアリング電磁石

ニュースバルの垂直ステアリング電磁石(stv)のパラメーターを Table I に示す。電磁石設計は共通だが、周辺電磁石の配置は、LSS (Long Straight Section)、SSS (Short Straight Section)、BS (Bending Section)でそれぞれ異なり、Fig. 2 のようになっている。周辺電磁石の配置は設置セクションではほぼ決まるが、より詳細には、SSS の stv 近くにはイレギュラーに入射用パルスバンプ電磁石が設置されている^[5]。

Table 1: Parameters of vertical steering magnet

Cooling	Air
Gap	100 mm
Length	core=60 mm w.coil=148 mm
Max. current/voltage	6.2 A /9.3 V
BL	0.006 Tm
Coil	425 turns/pole
Conductor	2mm X 4mm Cu
Temperature rise	38 deg (calculation)

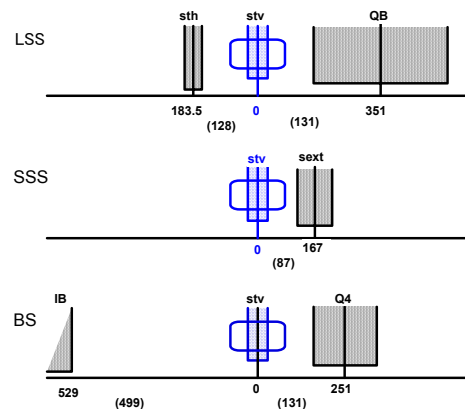


Fig. 2: Magnetic yokes near stv.

3. 電磁石の磁場計算

3.1 6極電磁石ヨークの影響

磁場計算には OPERA-3D を用いた。計算に用いた 3次元磁石モデルを Fig. 3 に示す。ひとつは自由空間に設置した場合で、もう一つは両側に 6極電磁石を配置した場合である。

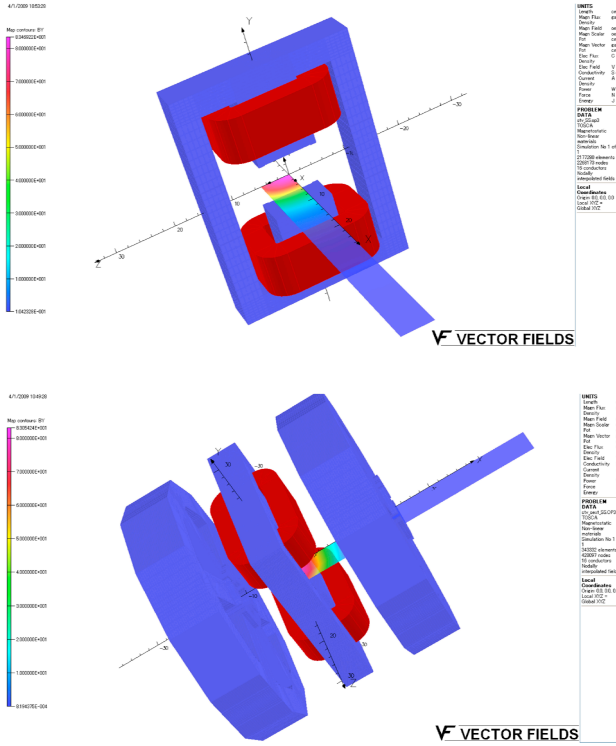


Fig. 3: Simulation model of the vertical steering magnet and the 2-dimensional field distribution in the median plane without (above) and with (below) the neighbor magnet yokes.

計算結果の一つとして、Fig. 4 に水平方向磁場 (B_x) のビーム軸方向 (z) の磁場分布を示す。Fig. 5 は、6極ヨークの有無を比較した図である。6極磁石のヨークエッジの手前から急激に磁場が減衰し、積分磁場強度は約 20%小さくなっている。これは上下流に 6極電磁石を設置した場合なので、片側だけの場合は約 10%と推定できる。

このレポート課題からは外れるが、多極磁場成分を評価できるデータとして、ビーム軸方向積分磁場の x 依存性を Fig. 6 に、stv を自由空間に置いた場合の多極磁場成分を Table II に示しておく。

Table II: 定格励磁したときの stv の多重極磁場成分.

Dipole	$BL = 0.0081 \text{ Tm}$
Skew sextupole	$d^2(BL)/dx^2 = -1.14 \text{ T/m}$
Skew decapole	$d^4(BL)/dx^4 = -590 \text{ T/m}^3$
Skew 14 pole	$d^6(BL)/dx^6 = -2.2E6 \text{ T/m}^5$

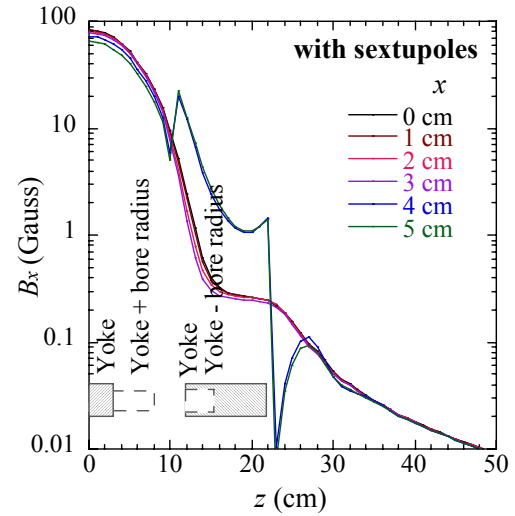
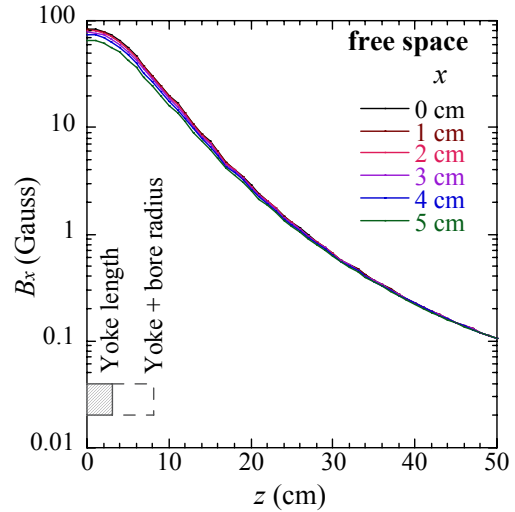


Fig. 4: Magnetic field distribution along the beam axis on the median plane ($y=0$).

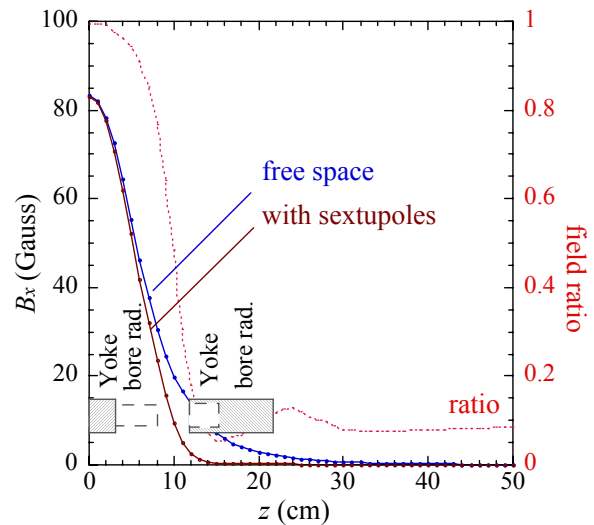


Fig.5: Field reduction by the sextupole yoke near by.

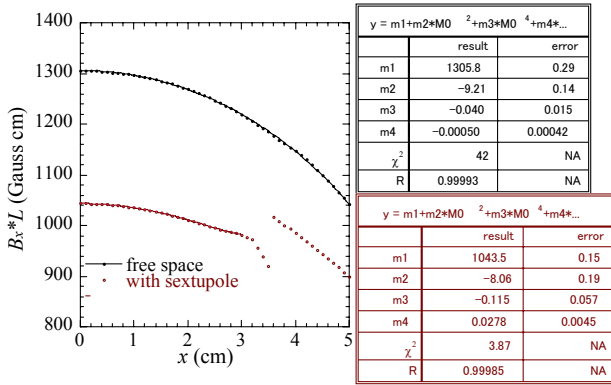


Fig. 6: 積分磁場強度の水平方向分布.

3.2 他の電磁石ヨークの影響評価

他の電磁石ヨークの影響を見る為に、電磁石を自由空間に設置した場合のテール部の積分磁場への寄与を計算した。Fig. 7が結果で

$$\text{integrated field}(z) = \left[\int_z^\infty B_x dz \right] / \left[\int_0^\infty B_x dz \right]$$

を示してある。同図には辺磁石のヨークの端部位置も示した。これらから、粗くではあるが積分磁場減少分をグループ毎に推定できる。その結果を Table III に示した。先に述べた入射バンパ電磁石は stv から 20cm 以上離れており、フェライトヨークの影響は 2%程度で小さいと考えられるので、無視した。

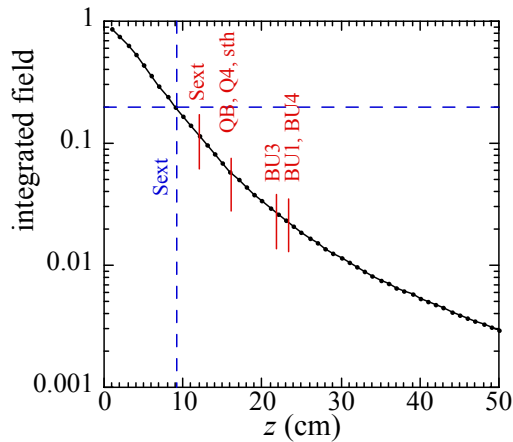


Fig.7: ビーム軸方向の位置(z)から、無限遠までの積分磁場。図中赤線は周辺磁石のヨークの端部位置を示す。青線は、sextupole magnet yoke による積分磁場減少 (20%) ライン。コイル電流は 1A。

4. 応答測定の結果と磁場計算との比較

ステアリング応答の測定については、この学会の別の報告^[5]を見て頂くとして、ここでは結果だけを Table III 下部の行に示す。対称性を仮定して解析した為、ステアリング設置位置は 6 種類である。結果は磁場計算からの推定値とよく一致している。

また、多機能電磁石との交換による変化は、+2%程度以下であった事も確認できた。

Table III: Stv の蹴り角の個性。自由空間設置時からの減少分を%で示した。括弧内は、多機能電磁石。

Location	LSS	SSS	BS
Number of magnets	4	8	2 (4)
Calculation	-8%	-10%	-4%
Stv response (measurement)			
(Stv-2,11)			(-2.7%)
Stv-3,4,12,13	-7.3%		
(Stv-5,14)			(-5.4%)
Stv-1,6,10,15		-9.7%	
Stv-7,9,16,18		-10.3%	
Stv-8,17			-4.7%

5. まとめ

ニュースバルにおいて、COD の垂直方向ステアリング電磁石応答を測定し、その結果からステアリング電磁石の個性を得た。近隣電磁石ヨークの影響を考慮した 3 次元磁場計算は、この個性を数%程度のエラーで説明できた。

参考文献

- [1] Y.Shoji, "Design of a Multi-Element Corrector Magnet for the Storage Ring NewSUBARU", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.20, pp.230-233 (2010).
- [2] 庄司善彦、「ニュースバル用多機能補正電磁石の設計」、第 6 回日本加速器学会年会、(2009, 8/5-7, 東海村)
- [3] 庄司善彦、藤村栄作、「「ニュースバル用多機能補正電磁石の製作」、第 7 回日本加速器学会年会、(2010, 8/4-6, 姫路市)
- [4] Y.Shoji, "Beam-based calibration of linear optics model of NewSUBARU", The 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, Osaka, Japan, 2001, Proc. pp.310-312.
- [5] 皆川康幸, 篠本考秀, 竹村育浩, 庄司 善彦「ニュースバルにおける COD 補正の改善」本会プロシーディングズ