

Study of interference between bending and quadrupole magnet for HiSOR-II

Shinji Hanada^{1,A)}, Atushi Miyamoto^{B)}, Shigemi Sasaki^{B)}

^{A)} Department of Physical Science Hiroshima University
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8526, Japan

^{B)} Hiroshima synchrotron Radiation Center, Hiroshima University
2-313 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-0046, Japan

Abstract

The HiSOR-II is a storage ring planned as a succeeding caliber of HiSOR. This accelerator has the circumference equal to or less than 50 m, and it has the emittance less than 50 nm-rad and aims at the beam energy of 700 MeV.

In the HiSOR-II project, we decided to adopt an electromagnet with combined function for designing purpose. This type magnet has an advantage for constructing a small storage ring by reducing the total number of magnet, though it has a difficulty for the independent tuning of multipole field components. In addition, we decided to share a single return yoke between a bending magnet and adjacent quadrupole magnets in order to reduce the relative positioning errors.

In this paper, we discuss about a possible magnetic interference between a bending magnet and a quadrupole magnet. For the evaluation, the 3-dimensional magnetic analysis code, RADIA was used. Also, in the calculations, we used a combination of a simple rectangular dipole magnet and a quadrupole magnet for simplicity.

In the presentation, the results of harmonic analysis for the transverse field distribution and longitudinal field distribution are shown. Figure 1 shows an example of calculated results.

HiSOR-II用 機能複合型電磁石の磁場干渉に関する研究

1. はじめに

広島大学放射光科学センター（HSRC）は放射光科学分野の人材の育成と真空紫外・軟X線域の放射光を用いた学術研究を推進する目的で、1996年に学内共同教育研究施設として発足し、広島大学の放射光関連の研究者を中心とするチームにより、光源やビームライン、実験装置の建設と利用が進められてきた。

HiSOR-IIは現行のアクティビティー「軟X線を用いた物質科学（固体物理学）の分野において、世界トップレベルの高分解能光電子分光を用いた研究拠点としての地位を維持する」ためにさらなる高い性能を持つ放射光リングを目指して計画されている。

2. 本研究の意義

HiSOR-IIで用いる機能複合型電磁石は偏向電磁石部の磁極断面形状から2、4極成分を、端部を曲面にすることで6極成分を発生することができる。また隣接する4極電磁石も磁極断面形状を変えることにより6極成分を発生することができる。これにより磁石の総数とそれに伴う磁石間の直線部を減らすことで、挿入光源のための直線部を確保することができる。

また、HiSOR-IIの電磁石は電磁石間の相対的な設

置誤差を減らすために偏向電磁石と4極電磁石がヨークを共有して一つのブロックに作り込まれる。これによりアライメントエラーを抑えることができるが、それぞれの磁石の近接部分で磁場の干渉が起こるので、この干渉を磁場計算コードを用いて計算・解析し、HiSOR-IIの電磁石への採用の可否を検討することが本研究の意義である。

以下にHiSOR-IIの仕様を示す。

ビームエネルギー	700 [MeV]
周長	40.079 [m]
エミッタンス	13.57 [nm rad]
偏向磁場	1.4 [T]

表1 HiSOR-IIの仕様

3. 3次元磁場計算プログラムRADIA

RADIAは3次元の磁場計算を行うプログラムで、アンジュレーターやウィグラーといった挿入光源の設計のために開発された。RADIAの数値解析法は境界要素法を用いている。境界要素法とは、グリーンの定理を用いて偏微分方程式（磁場計算ではMaxwell方程式）を境界上の積分方程式の問題に置き換えて解く方法である。このとき、問題の次元が一つ下がるため計算量が減り、誤差も減らすことが

¹ E-mail: m091357@hiroshima-u.ac.jp

できる。境界要素法では、計算領域の境界を要素分割するだけでよく、その後、代理的な手法で近似解を求める。無限遠を無視できることから、電磁場解析によく利用される。

4. 3次元磁場計算プログラムRADIAを用いた電磁石の作成

RADIAを用いてヨーク一体型電磁石の作成を行った。まず、偏向電磁石と4極電磁石を独立に作成し、その後ヨーク一体型の電磁石とした。

HiSOR-IIの電磁石の仕様を表2に、ヨーク一体型電磁石の断面図と偏向電磁石の磁極形状を図1、2に示す。

	偏向電磁石	四極電磁石
偏向磁場	1.400 [T]	0 [T]
四極磁場	2.856 [T/m]	11.90 [T/m]
六極磁場	12.17 [T/m ²]	41.33 [T/m ²]
磁石長	1.309 [m]	0.200 [m]
磁石間距離	0.300 [m]	

表2 HiSOR-IIの電磁石の仕様

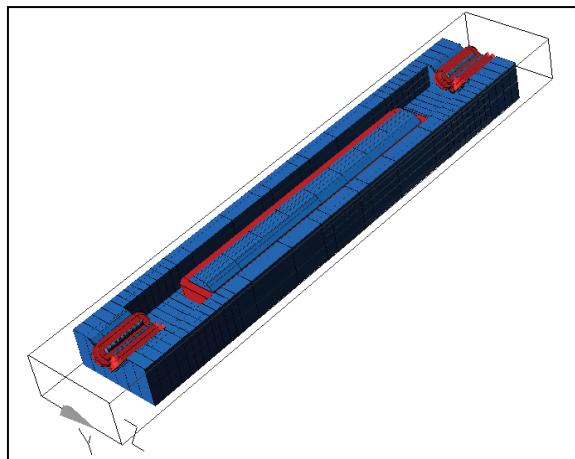


図1 作成したヨーク一体型電磁石の断面図

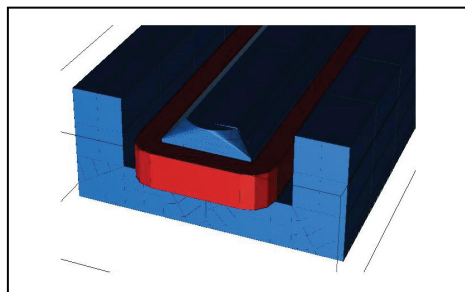


図2 偏向電磁石の磁極形状図

5. 磁場分布

2、4、6極成分の分布をグラフ化し図3に、8、10、12極成分は積分磁場を表3にそれぞれ示す。グラフの横軸は偏向電磁石の中心を $x=0$ とし、ビーム軸方向への距離である。

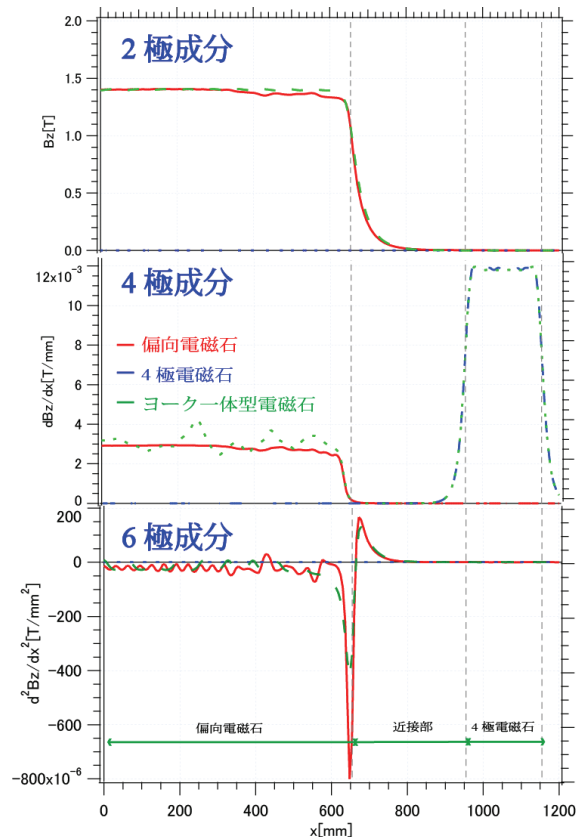


図3 2、4、6、極成分の分布

	8極成分	10極成分	12極成分
偏向電磁石	-8.82×10^{-6} [T/m ³]	-6.23×10^{-5} [T/m ⁴]	9.00×10^{-5} [T/m ⁵]
四極電磁石	-2.55×10^{-6} [T/m ³]	1.48×10^{-4} [T/m ⁴]	1.28×10^{-4} [T/m ⁵]
一体型電磁石	-3.53×10^{-6} [T/m ³]	-5.23×10^{-5} [T/m ⁴]	1.28×10^{-4} [T/m ⁵]

表3 8、10、12、極成分の積分磁場

図3のグラフより、各成分の磁場分布を見ると、問題の磁石の近接部にはほとんど磁場の干渉が見られないことが分かる。詳しく磁場の干渉を見るために、ヨーク一体型の電磁石にする前後での磁場分布の誤差をプロットしたグラフを図4に示す。

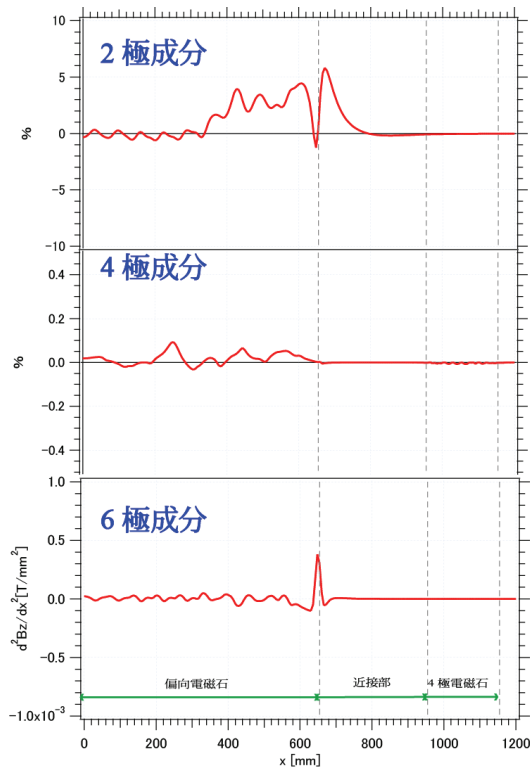


図4 磁場分布の誤差

図4より2極成分は磁石間で磁場の誤差が生じているが、ここでの2極成分の磁場の誤差はヨーク一体型の電磁石の作成段階で起こったエラーであると思われる、磁場の干渉によるものではないと考えられる。4、6極成分は磁石間で誤差はほとんど見られないので干渉が見られないことが分かる。

グラフの偏向電磁石部において磁場の誤差が全成分で出ているので、磁石の作成においてもう少し精度のよい電磁石を作成して磁場分布を再確認する必要があるが、磁石間では磁場の干渉と思われるものが見られなかったため、当初の目的であるHiSOR-IIへの採用の検討については、可能であると言える。

6. まとめ

3次元磁場計算プログラムRADIAを用いて電磁石を作成し、その電磁石の発生させる磁場分布を見ることでHiSOR-IIに採用が可能かを検討した。

偏向電磁石部において磁場の乱れが見られたが、問題なのである磁石間にははっきりとした磁場干渉が見られなかったため、このヨーク一体型電磁石の採用は可能であると思われる。

今後の発展として、4極電磁石の磁極面を変えることで6極成分を発生させるようなヨーク一体型電磁石を作成し、磁場の干渉を見ていく。4極電磁石が発生させる磁場の等ポテンシャル面は図5のような形である。

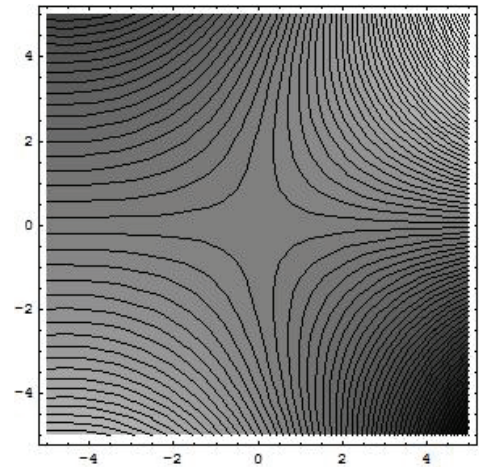


図5 4極電磁石の磁極面から発生する等ポテンシャル面

参考文献

- [1] R.E.Pywell et al, *β*RADIA Simulation of the CLS Storage Ring Quadrupole¹