

Leak field analysis of the J-PARC MR slow extraction septum magnets

Yoshihisa Shirakabe[#], Yoshitsugu Arakaki, Ryotaro Muto, Masahito Tomizawa
 KEK, High Energy Accelerator Research Organization
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The magnetic leak flux analysis has been carried out for the slow extraction septum magnets of the J-PARC MR, and some of first results are reported. The leak flux, which disturbs the circulating beam orbit, should be avoided ideally. In the practical septum magnets, however, this condition cannot necessarily be fulfilled, mainly due to the realistic coil windings of the magnets. The slow extraction beam tests so far shows the effects of the leak flux are not negligible, and can be harmful when high power beams are to be extracted. In order to understand the present leak flux status, and to find out possible ways to reduce the leak flux, 3D field simulations are being studied using ANSYS 12.0 codes. Preliminary results agrees well with the measured fields, especially at the extraction region. Discrepancies at the circular beam region suggest some unknown effects are causing irregular fields at this area.

J-PARC MR 遅い取り出しセプタム電磁石の漏れ磁場解析

1. はじめに

J-PARCの主リング(MR)では、3つある直線部のうち一つを遅いビーム取り出し用に割り当て、そこから取り出したビームを、ハドロン実験施設へ送っている(図1)。MRの遅い取り出し方式では、3次共鳴を用いて空間的に横方向に広げたビームの最外周部を、静電セプタム(ESS)を用いて取り出し軌道に向けて削り出し、更にそれを下流のセプタム電磁石で外側に曲げることによって、リングから取り出しライン側にビームを取り出している(図2)^[1]。

静電セプタムは、静電場を用いてビームを曲げるので、大きな曲げ角は得られない。ここで周回ビームに対して僅かだけ曲げた取り出しビームを、約50 m下流のセプタム磁場で、更に大きく曲げるの

が、セプタム電磁石の本質的役割である。そのためには、理想的には、セプタム電磁石は取り出しビームの通る軌道上のみに磁場を発生させ、すぐ隣接する周回ビームの通る領域には磁場を生じないようにすることが必要である。しかし現実的には、周回ビーム部にも漏れ磁場が発生しており、今後のハイパワー化に当たっての影響が懸念される。

これまでのビーム試験が示す所では、周回ビーム部の漏れ磁場は、取り出しビーム部からの漏れ磁場(鉛直方向)のみでなく、水平方向の漏れ磁場もあることが判っている。これら漏れ磁場の発生要因・対策等を検討するために、セプタム磁場の3Dシミュレーションを開始した所である。

ここでは、最初に検討を始めた中磁場セプタム電磁石について、磁場測定と計算とを対比させて、検討の現状を報告する。

2. 遅い取り出しセプタム電磁石

MR遅い取り出しのセプタム電磁石は、図2に示すように、上流から低磁場(MS1)・中磁場(MS2)・高磁場(MS3)の3群より成り、下流に行くほど磁場が強くなっている。このうち、高磁場セプタムについては、MRへのインストールに先立つ磁場測定時に、ある程度の漏れ磁場対策が行なわれた。一方低磁場・中磁場セプタムは、インバキューム(磁極が真空容器中にある)タイプであるため、構造的に漏れ磁場対策が容易でなく、特段の対策は施されなかった。そのため、特に中磁場セプタム電磁石部で、水平・鉛直両方向に、周回ビームのC.O.D.が観測さ

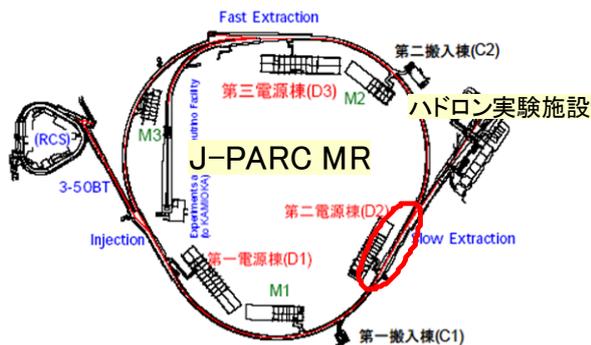


図1: J-PARC MR 概観図

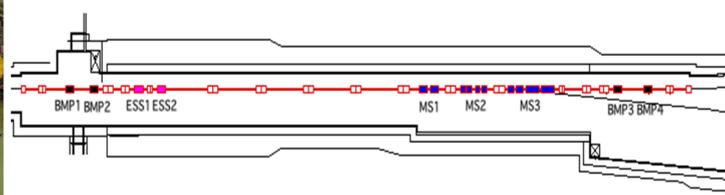


図2: 遅い取り出し直線部概観図

[#] yoshihisa.shirakabe@kek.jp

	SMS2_1~4
セプタム厚 [mm]	8.5
定格電流 [A]	3000
定格磁場 [T]	0.33
コア長 [m]	0.838
ギャップ [mm]	48
ターン数	4

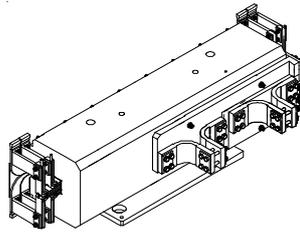


図3：中磁場セプタム電磁石(MS2)仕様・構造概略



図4：低・中磁場セプタム磁場測定状況

れている。図3に、中磁場セプタムの仕様と構造の概略、図4に、つくばキャンパスで2008年夏に行なわれた磁場測定の状態を示す。今回の検討では、測定された磁場データを、適切なモデリングによって可能な限り正確に計算で再現し、その上で有効な漏れ磁場対策の方式を見出すことを目標とする。

3. 3次元計算のモデリング

3.1 モデリング(Modeling)

遅い取り出しのセプタム電磁石はDC運転なので、計算モデルも静磁場解析で良く、動磁場を考慮する

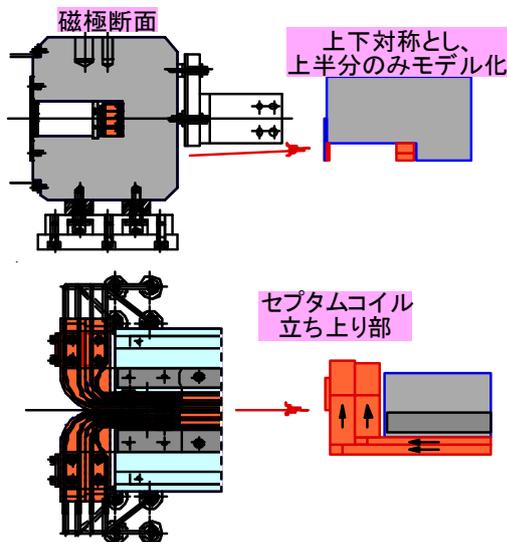


図5：中磁場セプタムの単純化したモデリング

必要は無い。一方セプタム磁場解析の本質的な要求として、主なる磁場の発生部(数kG程度)も、漏れ磁場の発生部(数G程度)も、同様に精度良く計算できる必要がある。広い磁場強度域に渡って正確な計算を保證するには、適切に単純化したモデリングで余分な計算負荷を減らし、一方現実的な範囲でメッシュ数を増やすことが必要である。

用いる計算ソフトはANSYS 12.0である。モデリングでは、磁極の構造やコイルの取り回しを、影響が少ないと考えられる範囲で単純化している(図5)。当面の計算では、電磁石系はmedian planeを挟んで上下対称と仮定し、上半分のみでモデル化している。周囲の配線取り回しまで考慮に入れなければならない場合は、この対称性は外さねばならないが、これは先の段階である。

セプタムコイルの立ち上り部は、図5左下のように水平から垂直に曲がりながら断面積も変わっている形状であるが、これは適切なモデリングが困難なので、当面は右下のような単純化した形状にしている。このようなモデリングの妥当性は、計算と実測の比較で適切に検証する必要がある。

3.2 メッシング(Meshing)

モデリングされた結果の中磁場セプタム電磁石の4分の1モデルを図6上に示す。この部分にメッシュを施したものが同中となり、周囲の領域まで含めた全計算領域が同下である。この計算例でのメッシュ数は約174万個である。

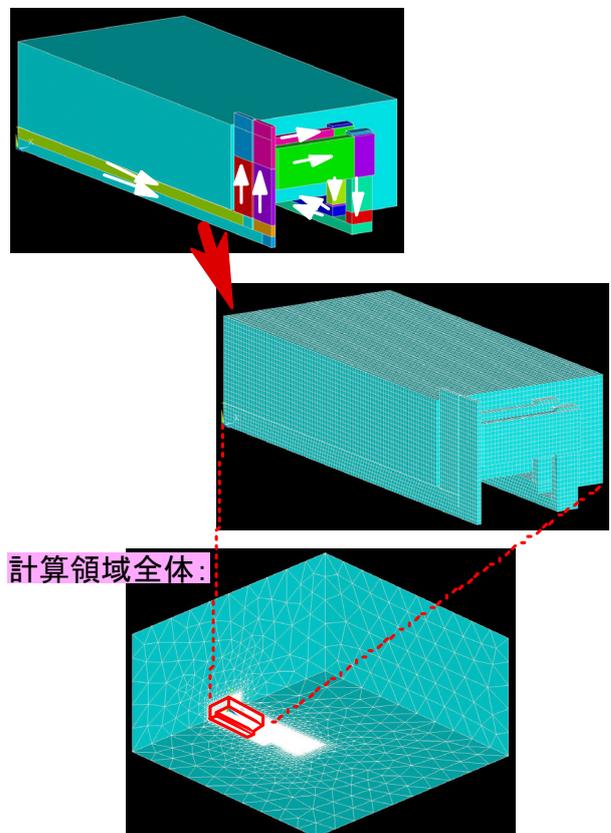


図6：コイル・鉄ヨークモデリング形状(上)、同一部分のメッシュ(中)、全体のメッシュ(下)

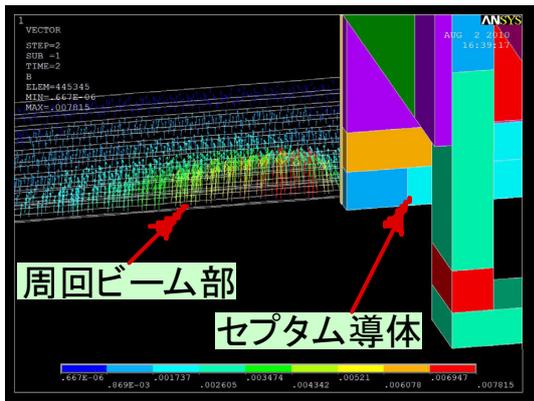


図7：磁極端部での周回ビームエリアへの漏れ磁場

4. 計算と実測の比較

問題となっている、セプトムコイル端部での周回ビーム領域への漏れ磁場分布を図7に示す。漏れ磁場シールド板がほぼコイル端まで覆っているが、そこから外れて20mm程度外側で、ほぼ鉛直方向の漏れ磁場が最大値となっているのがわかる。

取り出しビーム部・周回ビーム部の磁場計算値と実測値の比較を、図8・図9に示す。取り出し部のZ方向磁場分布(図8上)は、計算が測定値を良く再現しているため、本計算のモデリングは基本的に妥当なものと考えられる。X方向分布(同下)はセプトムコイルに近付くほど誤差が大きくなるが、原因はまだ明らかになっていない。

周回部漏れ磁場のZ方向分布(図9上)は、漏れ

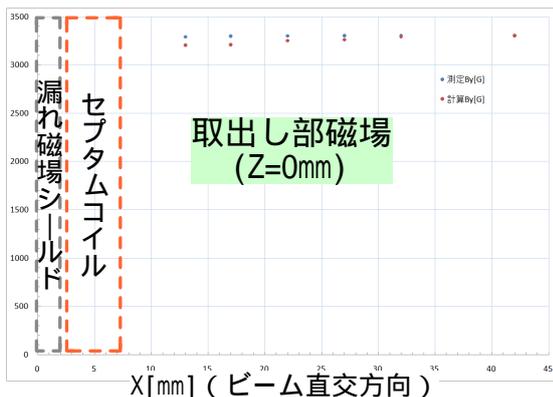
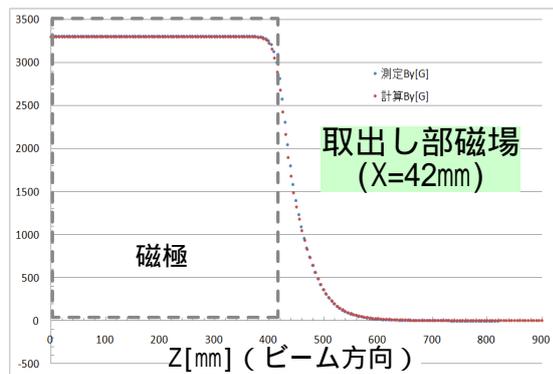


図8：取り出しビーム部の磁場分布

磁場シールド外側では、分布は再現しているが、絶対値は計算の方が大きい。これは図5右下に示したモデリングに改良の余地があるためと見られる。シールド内側、並びにX方向分布(同下)は、磁場値は小さいが不一致の度合いが大きい。これは、本モデリングには含まれない、外部からの要因による漏れ磁場の発生を示唆していると考えられる。X方向分布を見ると、漏れ磁場シールド付近で実測値は0に近く、シールドから離れる程、逆の極性の磁場が強くなる。これは、外部の導体により、逆方向の磁場がこの付近で発生しており、漏れ磁場シールド近傍ではシールドに吸われて値が小さくなっていると考えると理解できる。

5. まとめ

J-PARC MR 遅い取り出しセプトム電磁石で、周回ビーム軌道に悪影響を与え得る漏れ磁場の状況を理解するために、3Dの磁場解析を始めた。基本的なモデリングでは、計算値が実測値を良く再現しているため、妥当なシミュレーションとなっていると考えられる。より精度を高めた計算を行ない、漏れ磁場の現状の正確な理解、並びに解決策の検討に至ることが、今後の課題である。

参考文献

- [1] R. Muto, et al., "Development of the magnetic septa for the slow beam extraction from the J-PARC Main Ring", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, JAEA, Tokai (in Japanese).

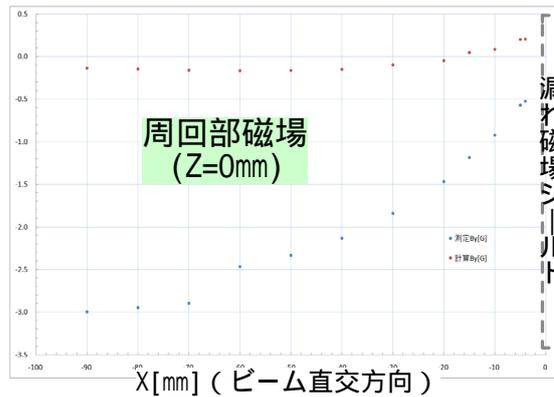
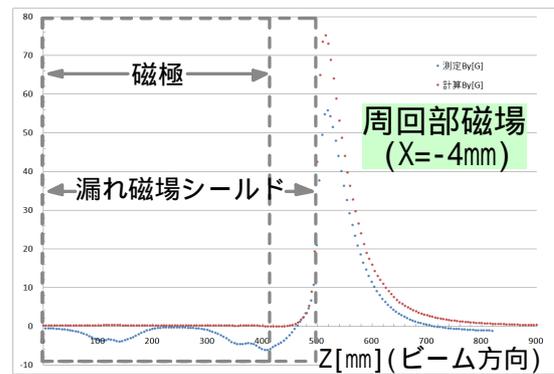


図9：周回ビーム部の磁場分布