

DEVELOPMENT OF J-PARC MR BUMP MAGNET FOR SLOW EXTRACTION

Katsuya Okamura, Masahito Tomisawa, *Eiichi Yanaoka
High Energy Accelerator Research Organization Accelerator Facility
1-1 Oho, Tsukuba-city, Ibaraki-ken, 305-0801

Abstract

At Slow Extraction of J-PARC MR ring, Resonance Sextuple Magnets and Bump Magnets increase efficiency of extraction. Bump Magnets are installed at the both end of slow extraction straight section. Considering eddy current, electromagnetic force and maintenance scenario, we developed Bump Magnets.

J-PARC主リング遅い取出しバンブ電磁石の開発

1. バンブ電磁石の概要

J-PARC 主リング遅い取出しでは、取出しの準備として、6極電磁石による共鳴と2極電磁石によるバンブ軌道形成がおこなわれる。[1]後者の2極電磁石(以下バンブ電磁石)に必要な性能を表1に示す。

表1 電磁石諸元表

Field	0.7 T
Effective Length	1.4 M
Useful Aperture	140 mm($\leq \pm 2 \times 10^{-4}$)
Gap Height	132 Mm
Length(including coil)	1700 Mm
Cooling Water Pressure	0.4 MPa
Cooling Water Amount	23 L/min
Water Temperature Rise	11* deg C
Number	4

*50GeV Standard Pattern

必要な磁場強度と磁場分布をつくる鉄芯断面形状を、計算で求めたのが図1である[1]。バンブ電磁石は、パターン電流で励磁するため0.5mmの積層鋼板で鉄芯でつくる。

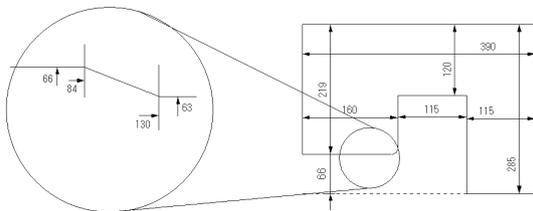


図1 鉄芯断面形状(上鉄芯の片側半分)

冷却水配管のインフラストラクチャーと最適の端子間電圧・励磁電流にする為に、冷却水路は図2の様形状で、上下鉄芯3水路の計6水路とした。

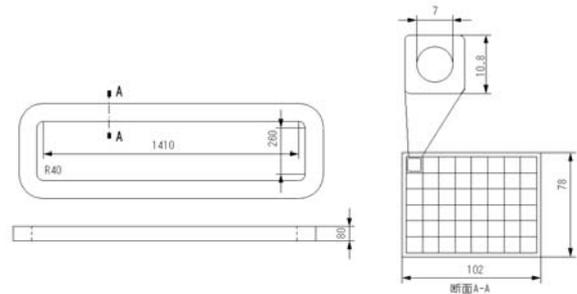


図2 コイル概形

2. 製作する際の課題

2.1 端板スリット

バンブ電磁石は、立ち上がり0.2秒のパターン電流で励磁され渦電流により電流に対して磁場が遅れる。電磁石の端部の鉄芯を、ビーム軌道方向にロゴスキーカーブに切るのよいが、設計段階で費用対効果を考慮して採用しなかった。

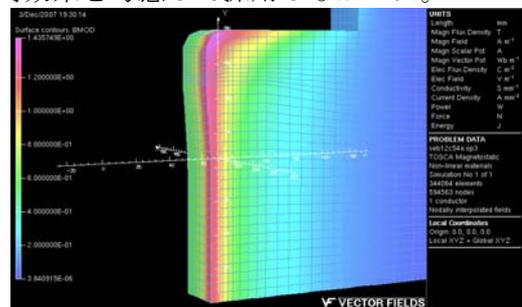


図3 端板に入り込む磁束

ステンレス製の端板中の磁束による渦電流も理由となる。磁極間0.7Tで端板中の磁場を計算したのが図3である。1Tを超えているのが先端の5~6mmほどだから、スリットは短めに間隔を密にす

るのが効果的である。端板の強度の面から間隔を10mm、長さを30mmとした。30mmのところでは、0.5T(図3中緑と青の境)程度でそれ以上スリットを長くしても、効果がうすい。



図4 スリット

2.2真空ダクトの固定

バンパ電磁石端部のダクトの上下は15mm程しか空いておらずダクトの磁極間への固定には使えない。(図5左上(鉛直面))。ダクトの横の端板から長めの腕を出すようにして、横から支持する(図5右上(水平面))。鉄芯から程よく離せば(図5の右上赤)、支持部材(ステンレス)にかかる磁場は0.05~0.1T程度である。(図5下)

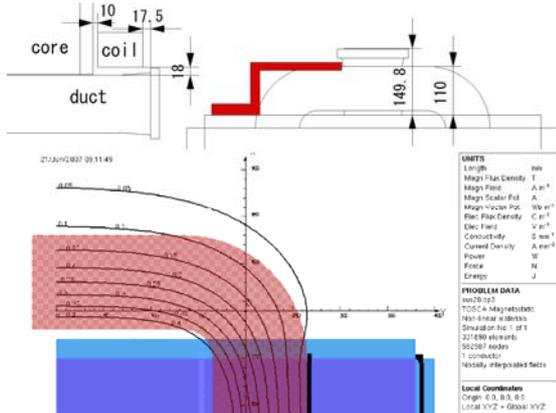


図5 磁石端部の概形と磁場計算



図6 真空ダクト固定部

2.3励磁コイルの固定

励磁コイルには電磁力と重力がかかるが、まず

鉄芯の両端で支えた場合のたるみを考える。11.8mm(絶縁層を含む)の銅管を同断面積の銅棒にし、(図6上段左から右に)その棒をくっつけて一本の銅棒にして計算する(図6中段右)。断面モーメントは $I = \int_A y^2 dA = (52^3 \times 70) / 12 = 820213 \text{ mm}^4$ で、均等荷重自由端として計算したるみ $Y = 5ML^3 / 384EI = 0.133 \text{ mm}$ ($M = 35 \text{ kg}$ 、 $L = 1460 \text{ mm}$ 、 $= 13000 \text{ kgf/mm}$)となる。電磁石の分割は、数回程度であるから問題ない。

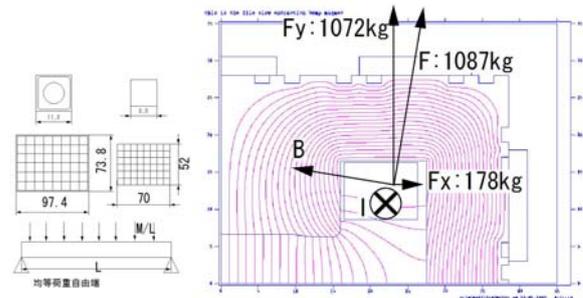


図6 自重たるみ

図7 電磁力

次に電磁力を、磁極間0.7Tに励磁した磁場計算から求めた結果が図7である。鉄芯に吸い寄せられる方向の力であり、1.4mあたり1087kgのせん断力も励磁コイルに損傷を与えることは無いだろう。パターン電流での励磁により、鉄芯から受ける抗力による振動を防ぎ信頼性を上げるため、上下コイル間を突っ張る棒を入れた。



図8 上下励磁コイル間突っぱり棒

2.4架台

架台は電磁石が載った上架台と床に固定する下架台からなり、上架台と下架台はピボットで位置関係が固定されている。ピボットによる位置精度は、2m程度の距離からセオドライトで見る精度より良く、20μm以下である。これによりバンパ磁石を交換する際、下架台をそのままにバンパ電磁石の載った上架台だけ交換すれば、現場でのアライメント作業を軽減できる。初めの設置は、下架台についての調整ボルトでアライメントを行う。

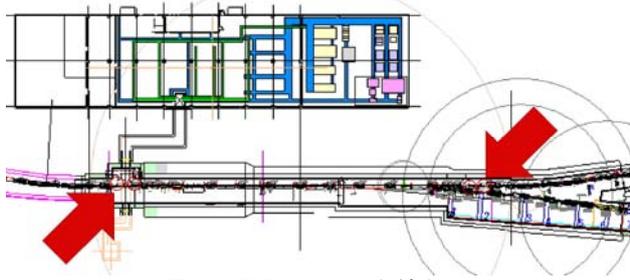


図9 遅取り出し直線部

4台のバンブ電磁石は、遅い取出しの直線部の両端（図9矢印）図に2台ずつ置かれる。上流の方は天井クレーンがなくチルタンクに載せて運ぶ、下流の方は取出しビームラインと壁に囲まれ天井クレーンを使うしかない。2台ずつ架台を別構造にすることも考えたが、今回は1種類の架台で両方に対応するように設計した。



図11 下架台

3. 予定

現在11月の運転に向けて、本機構つくばキャンパスにて電磁石の性能試験を行っている。9月中旬に電磁石単体での試験を終了し10月に東海キャンパスに運びトンネル内に設置する。



図12 通電試験中のバンブ電磁石
(下架台の脚は取外してある、実際の電力ケーブルの模擬抵抗をつけている。)

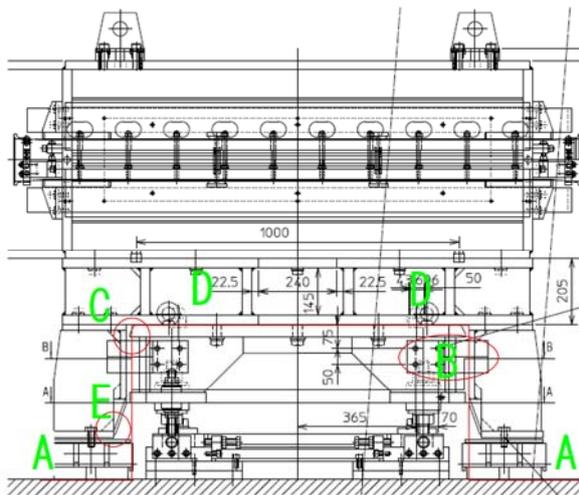


図10 全体図

直方体状の下架台にコの字型の上架台がかぶさる形であり、図10のA-Aで上架台と下架台分離できDのピボットで位置がきまる。上流の2台は、上架台を図手前から下架台に近づけ、上架台の脚の根元を下架台の角（図10C）に擦らせガイドとし、図10Bのあて止めで数センチ程度に位置がきまり、ピボットに入れる。下流2台の下架台には図10Bのあて止めを両側（図の手前と奥）につける。上架台をおろし上架台の脚の先（図10E）が下架台の角にあたりガイドとなり図の左右方向がきまる、図10Bのあて止めが両側から図の前後方向をおさえて数センチに位置がきまり、ピボットに入れる。

4. まとめ

バンブ電磁石の開発にあたって、特に目新しい技術はないが、磁場計算などの手法を手がかりに、費用・インフラ等かぎられた条件で最適のものを選んだ。例えば耐放射線の観点では、取出し近辺よりは放射線量は低いが円弧部にある偏向電磁石よりは、放射線の影響を受ける。そこで、励磁コイルの絶縁材は偏向電磁石とほぼ同じものであるが、架台を2つに分けることにより、交換を偏向電磁石より容易にした。電流の立上げスピードも、偏向電磁石と入射に使われる振り分け電磁石の間である。本格的な対策より、簡単で効果的な対策が求められる。

参考文献

- [1] E.Yanaoka, et al., "Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting of Japan(August 1-3, 2007, Wako Japan),p778-790
- [2] M.Tomisawa, et al., "Proceedings of the 8th European Particle Accelerator Conference", 2002, p1058-1060