

J-PARC 50GeV-MR 電磁石の実機 1 号機の磁場測定について

仁木和昭、江川一美、武藤正文、森 義治、柳岡栄一

高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

大強度陽子加速器計画 (J-PARC) 50GeV-MR の主電磁石の量産が始まっている。偏向電磁石と4重極電磁石については実機1号機が製作され、NMR やホール素子を用いた磁場測定が行われている。その結果 50GeV-MR の電磁石として必要な BL 積や GL 積がほぼ得られている。また磁場分布は設計のために用いた POISSON の磁場計算と良い一致を得ている。

1 磁場測定方法

実機1号機の磁場測定は偏向電磁石については NMR とホール素子を用いて行った。ホール素子は3軸駆動装置に取り付けて、電磁石開口部付近である磁石端部から軸方向に±70cm の領域の X-Y 平面上をマッピング測定した。NMR ではビーム軌道中心に沿って磁石端部から 50cm、100cm、150cm、200cm、250cm と磁石の中心 (端部からは 292.5cm) の位置で測定した。またフリップフロップコイルによる測定も始めている[1]。4極電磁石についてはR&D機は回転コイルによる測定を行ったが[2]、実機用の回転コイルは現在製作中[1]のため今はホール素子を用いたマッピング測定を行っている。

2 R&D 機と実機 1 号機

R&D 機の磁場測定の結果は[2]で述べているが、R&D 機と実機の構造上の大きな違いは偏向電磁石においては磁極端部の形状がロゴスキーカットであったものが単純な直角のまま (スロープカットなし) となっていること、

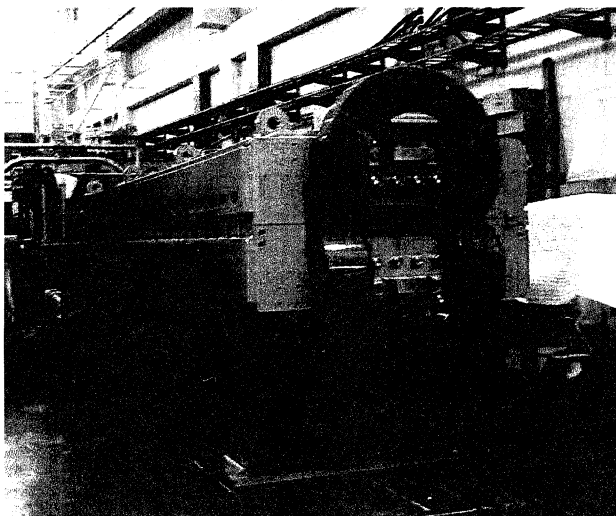


図 1: 偏向電磁石実機 1 号機

そして側板を鉄から SUS に変えたことである[3] (図 1)。4極電磁石においては R&D 機はボア直径が 126mmφ の設計であったが、実機では 130mmφ となった。また R&D 機は磁極長がもっとも短い 86cm であったが、実機1号機は短い方から2番目の 126cm である。

3 実機 1 号機の磁場測定結果

2.1 偏向電磁石

図 2 に NMR で測定した偏向電磁石の Excitation Curve を示す。30GeV に相当する約 1600A 以上で飽和が起こっていることが分かる。飽和の効果は 2 次元の計算コード POISSON の計算でも十分考慮に入れていたが、電流 3015A での磁場は POISSON の計算結果 1.9T に対して、実測では約 0.3% 小さい値となった。これは軸方向の飽和が磁極長約 6m の長さがあっても効いてくるためであると考えられる。図 3 に NMR で測定した軸方向の磁場分布を示す。縦軸は磁石の中心の磁場で規格化してある。横軸は磁石端部からの距離である。30GeV までは飽和があまり起きていないがそれをこえると急速に飽和が起きていることが分かる。BL 積で 50GeV の仕様 1.9T×5.85m を満たしているかを見るため、磁石端部の磁場分布をホール素子で測定して NMR とのデータを繋いだのが図 4 である。漏れ磁場が磁極から 50cm 以上のところまで延びている。リングで隣におかれる 4 極電磁石までの距離は約 80cm でそこでの漏れ磁場は約 50 ガウスほどになる。この軸方向の分布を全て積分すると BL 積は 11.236Tm となり 50GeV の要求仕様に対して 1% のマージンとなる。

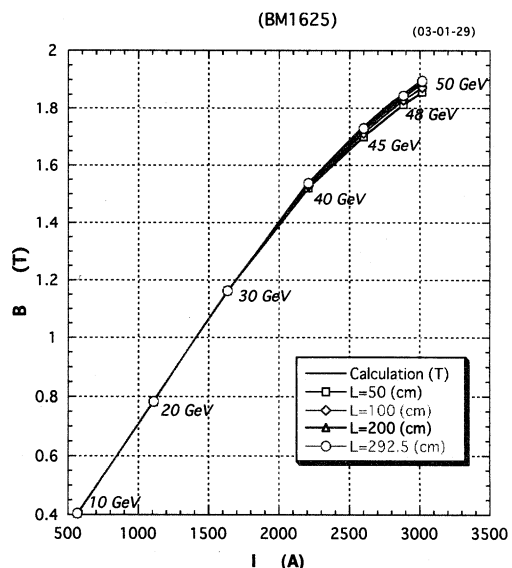


図 2: 偏向電磁石の Excitation Curve (NMR)

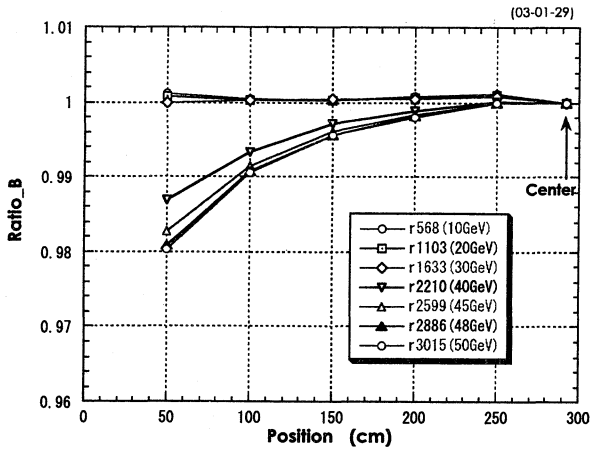


図3：偏向電磁石の軸方向磁場分布 (NMR)

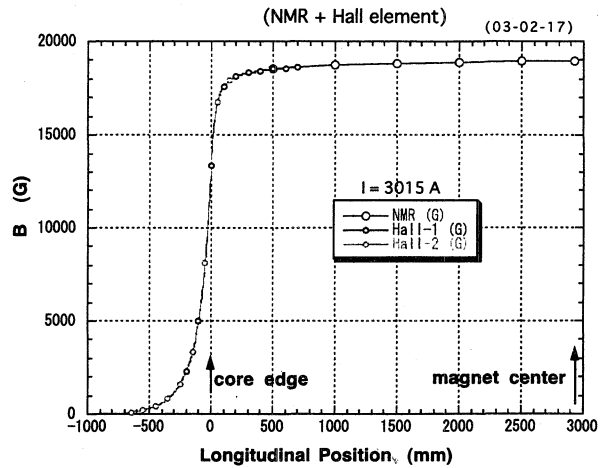


図4：偏向電磁石の軸方向磁場分布 (NMR+ホール素子)

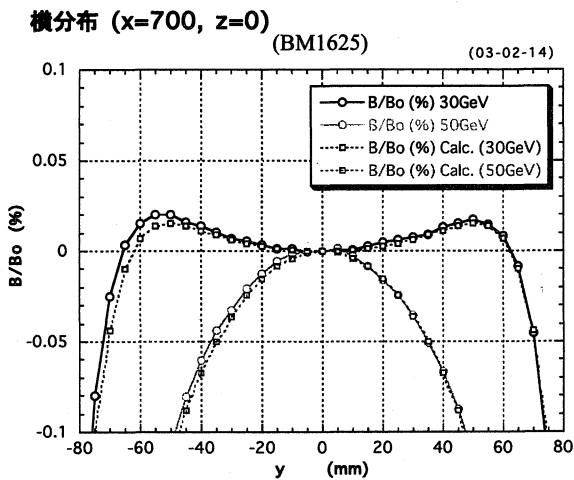


図5：偏向電磁石の横方向磁場分布 (ホール素子)

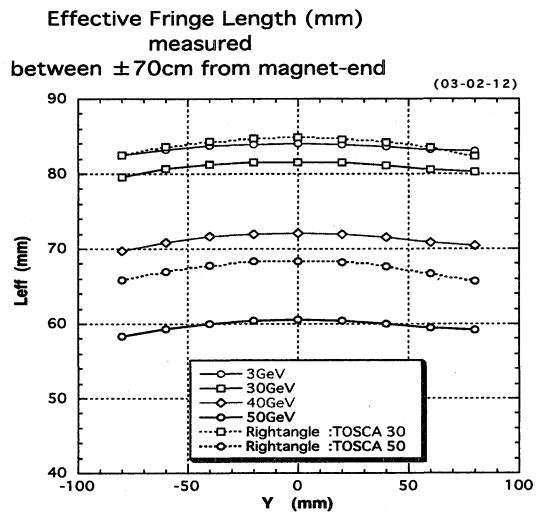


図6：偏向電磁石有効長の横方向依存性 (ホール素子)

これ以上は電源でのマージンを求めることになる。

次に横方向の分布を図5に示す。データは磁石端部から中に70cm入ったところをホール素子で測定した。同様の測定を30cmと0cmのところでも測定したが、30cmのデータは70cmの場合と分布の形はほとんど同じであった。図から分かるように POISSON の計算結果と測定データは良く一致している。ビーム軌道の左が右に比べてわずかに持ち上がっているのは磁石が 3.75° の曲率をもって曲がっているため内側 (図の左側) と外側 (図の右側) で非対称になっているためと考えられる。図6は有効長の磁極端部からの伸び分の横方向依存性を示す。TOSCA はメッシュの関係で鉄芯長が1.6mと短い磁石で計算したので絶対値は違っているが傾向は合っている。50GeV 励磁の場合でも軌道軸上と軌道から8cm離れたところでの有効長の違いは4mm程度であった[3]。

2.2 4極電磁石

図7は4極電磁石実機1号機である。まず磁極端部から63cmの軸方向中心位置と30cmと0cmの位置での横分布の測定を行った。軸方向中心の50GeV (約1500A)

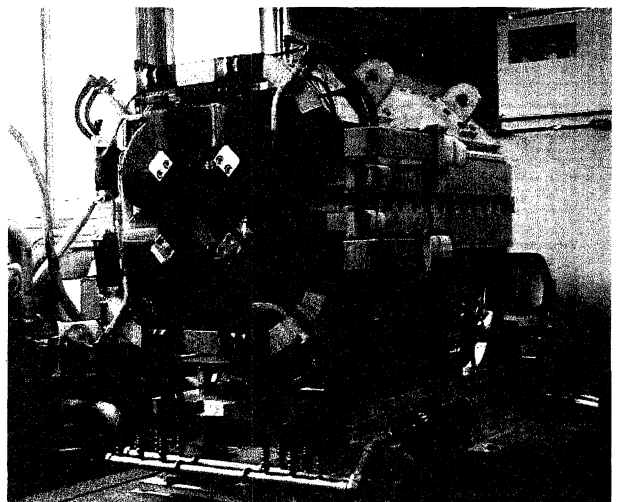


図7：4極電磁石実機1号機

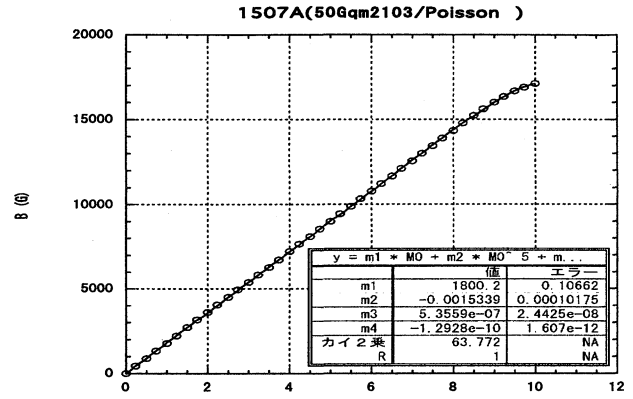
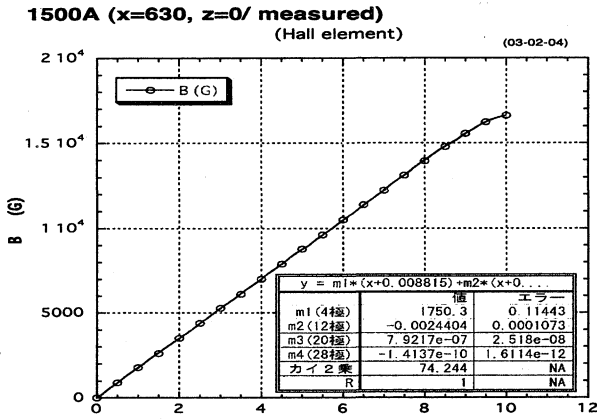


図8：4極電磁石の横方向磁場分布 (左) 実機1号機測定結果 (ホール素子)、(右) POISSON の計算結果

での結果を図8に示す。左の図は測定データ、右はPOISSONでの計算結果(計算は設計値電流1507A)である。偏向電磁石と同様に飽和による軸方向のもれのため磁極中心での4極成分が十分にでていないが、Allowed Multipole だけで展開した各係数の値は大きく違ってはいない。この4極成分を励磁レベルごとにプロットしたものが図9である。30GeVの約770A以上で飽和が始まっている。POISSONの計算と比べて50GeVの場合約2%低い値となった。軸方向の広がりも考えると50GeVでの有効長は129.75cmあるので(図10)、ほぼ18T/m×1.26mの要求仕様と同じになる。図10にビーム軌道軸から3cmと7cmの位置での軸方向分布を測定して求めた有効長を示す。30GeVから50GeVまで励磁することで有効長は132.1cmから129.75cmまで変化するが、横方向3cmと7cmの位置での有効長の違いは0.5mm程度である。これはGL積の横方向の依存性の内の有効長が効く分は0.04%以下であることを示す。

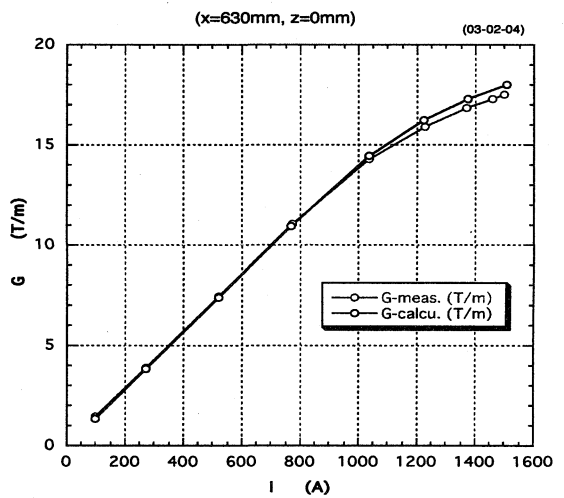


図9：4極電磁石の Excitation Curve (ホール素子)

4 まとめ

J-PARC 50GeV-MRの主電磁石の偏向電磁石と4極電磁石の実機1号機の磁場測定を行った。横方向の磁場分布はPOISSONの計算結果と良く一致した。50GeV励磁時の磁場の絶対値は有効長を考慮すると要求仕様を満たすことができる。今後はフリップドロップコイル、回転コイルを用いた測定試験や長時間運転試験をする予定である。

参考文献

- [1] 柳岡栄一 他, This Proceedings.
- [2] M. Muto, et al., Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, Osaka, Oct. 29-31, 2001, p.277.
- [3] 仁木和昭 他, This Proceedings.

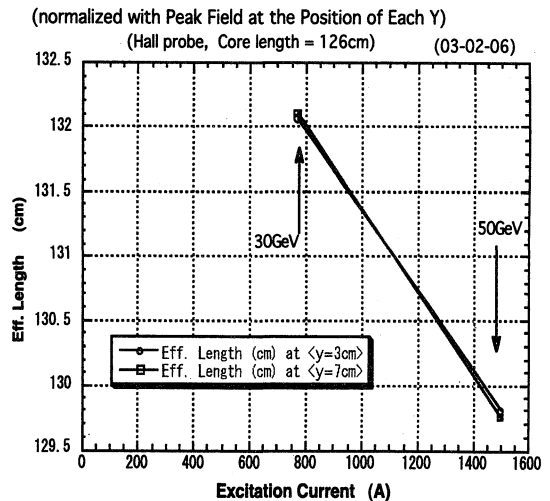


図10：4極電磁石の有効長の励磁レベル依存性(ホール素子)