

Magnetic Field Measurement of the Extraction Kicker in J-PARC RCS

Masaya Kuramochi, Junichiro Kamiya, Michikazu Kinsho, Osamu Takeda, Masahiro Yoshimoto

Tomohiro Takayanagi, Masao Watanabe, Yoshio Yamazaki, Tomoaki Ueno

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan

Abstract

Production of the extraction kicker magnet of 3GeV RCS in J-PARC has been completed. We performed the magnetic field measurement in vacuum at the actual operation condition, which means the charging voltage of 60 kV and repetition rate of 25 Hz. We especially discuss the stability of the magnetic field and the comparison of the magnetic field between the same type of magnets.

J-PARC RCS出射キッカ電磁石の磁場測定

1. はじめに

現在建設中の大強度陽子加速器研究施設 (J-PARC: Japan Proton Accelerator Research Complex)[1]は、イオン源と線形加速器、3GeV高繰返しシンクロトロン加速器(RCS: Rapid Cycling Synchrotron)、50GeVシンクロトロン加速器(MR: Main Ring)の3つの加速器に大別される。

J-PARC RCSビーム出射キッカ電磁石[2]はRCS出射ラインに8台設置されL3BTより入射され3GeVに加速されたビームを下流の3NB、3-50BTへ蹴り出す役割を持っている。今回、実機キッカ電磁石8台の組立てが完成し、真空中での磁場測定を行ったので結果を報告する。本報告書では、まずキッカ電磁石のRCSにおける配置及び主要パラメータを示し、あわせてキッカ電磁石の構造について説明をする。次に、真空中での磁場測定における測定方法を説明する。測定データとして、大強度陽子ビームを安定に出すために重要となる、磁場の安定度について結果を示す。また、2台の同型のキッカ電磁石の磁場波形について比較し、議論を行う。

キッカ電磁石には縦方向ギャップ長によりS型(146mm),M型(166mm),L型(192mm)の3種が存在する。本キッカ電磁石は充電電圧で60kVという高電圧がかかり放電を防ぐために真空環境下で動作させる形となる。本キッカ電磁石は立上り時間300nsec以下、フラットトップ900nsec以上の磁場を要求されている。図2にキッカ電磁石の全体図及び概念図を示し表1に主要パラメータを示す。電磁石の鉄心形状はフェライトコアをC型に組み、向い合せた双子型である。コアはアルミ高圧電極板によって挟まれ、高圧電極版間にアルミ接地電極板が挿入される。アルミ部材には、アウトガスを低減する為に、ピットフリー電解研磨と呼ばれる表面処理を施している。図2の概念図は左側の電極版を省略しているが実際には左右対称である。またC型の内側に電磁石のコイルとなるアルミ導体駒が挿入される。電極板により静電容量、コイルによりインダクタンスが発生し分布定数回路の1セルを形成する。全20セルが1台のキッカ電磁石を形成し特性インピーダンスは10Ωに設計されている。

2. RCS出射用キッカ電磁石

図1にRCSビーム出射ラインを示す。キッカ電磁石は2台の真空容器A,B内に設置される。それぞれの真空容器は出射部QFXの上下流に設置され真空容器Aには3台、真空容器Bには5台入れられる。

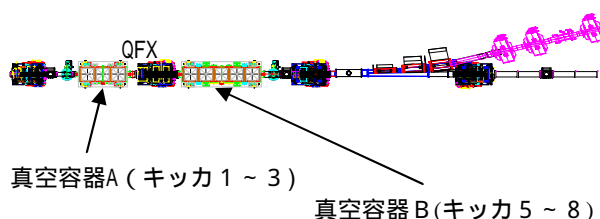


図1: 3 GeV RCS出射ビームライン

表1: キッカ電磁石主要パラメータ

形状	双子・分布定数型、終端短絡
台数	8台
有効長	680mm
磁性体	フェライト(PE14)
使用磁場	370~480 gauss
蹴角	1.8~2.4 mrad/1台
特性インピーダンス	10Ω
静電容量	約300 pF/セル
インダクタンス	約30 nH/セル
全セル数	20セル/1台
磁場立上り時間	300 nsec以下
磁場フラットトップ	900 nsec以上

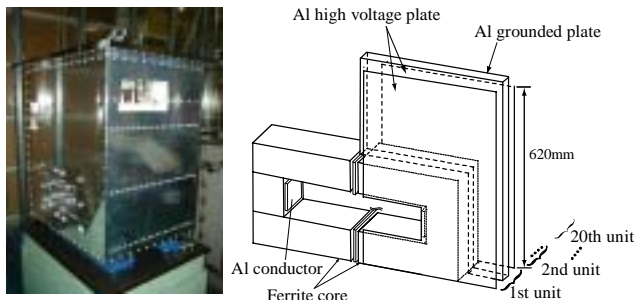


図2：キッカ電磁石全体、概念図

3．磁場測定方法

今回の磁場測定は以下の様なセットアップで行った。

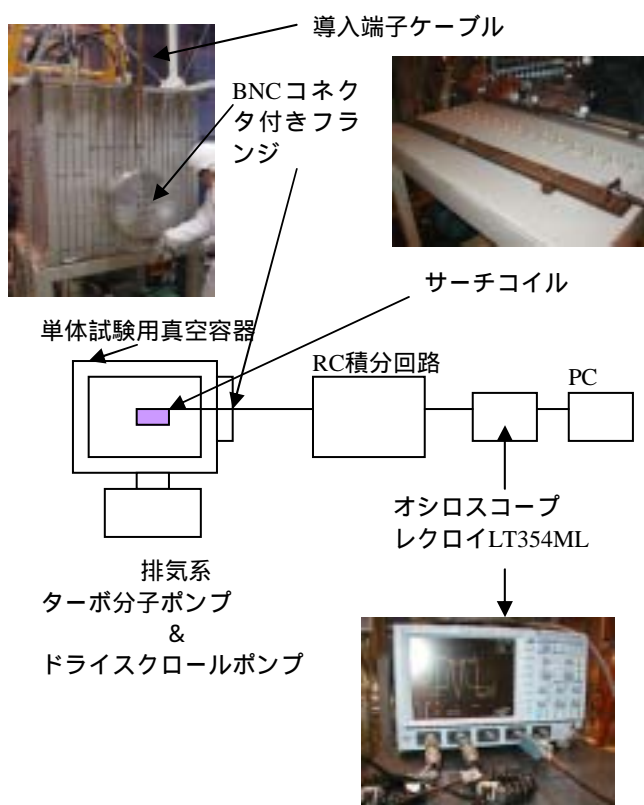


図3：磁場測定のセットアップ

励磁電流は上図からわかる様に電磁石上部の電流導入端子より導入される。

今回の磁場測定は直径20mm、6ターンのサーチコイルをアパーチャーの中心に設置し、図3中で示したBNCコネクタ付きフランジを介してシグナルを取り出しRC回路で積分してオシロスコープで測定を行った。排気系として毎秒1000リットルの真空ターボ分子ポンプと毎分500リットルのドライスクロールポンプを装着した。測定時の圧力は $1 \times 10^{-3 \sim -4}$ Paで

ある。

4．磁場の安定度

4.1 磁場波形

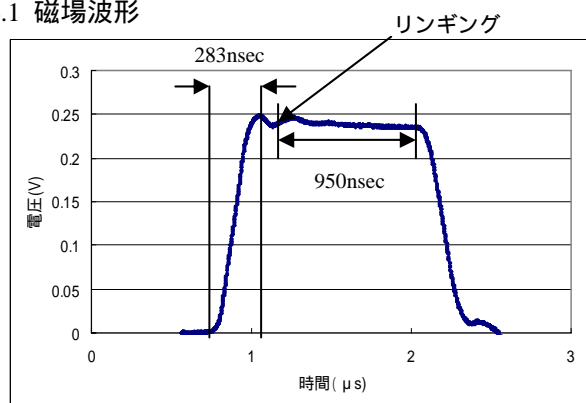


図4：測定磁場波形

図4に測定した磁場波形を示した。磁場立上り時間は283nsec フラットトップ部は950nsecであり、要求磁場波形を満たしている。立上り後のリングングの主な原因は負荷ケーブルと電磁石のミスマッチであると考えている。

4.2 パルス毎の安定度

パルス毎の安定度を確認するために短時間(約4分間)で11パルスをランダムに測定し比較した。結果を図5に示す。図中の青の菱形はサーチコイルで測定した磁場波形のフラットトップ部の平均値を使用している。ただし、値は11個のデータの平均値で規格化したものである。赤の四角はCTで測定した負荷電流波形のフラットトップ部の平均値であり、同様に11個のデータの平均値で規格化したものである。図より短時間内でのパルス毎の磁場及び負荷電流の変動率は約0.1パーセントという安定度が確認された。

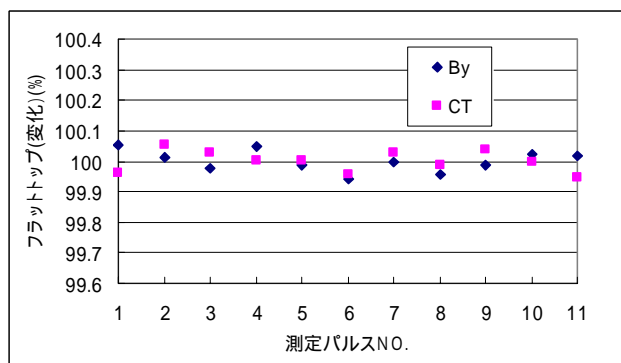


図5：パルス毎の安定度

4.3 連続通電時の安定度

通常運転電圧長時間通電での磁場の安定度を確認するために60kV 25ppsでの長時間(～9h)連続通電試験を行った。Byはt=0で規格化した磁場フラットトップ部の平均値の時間変化と、その時の室温変化である。

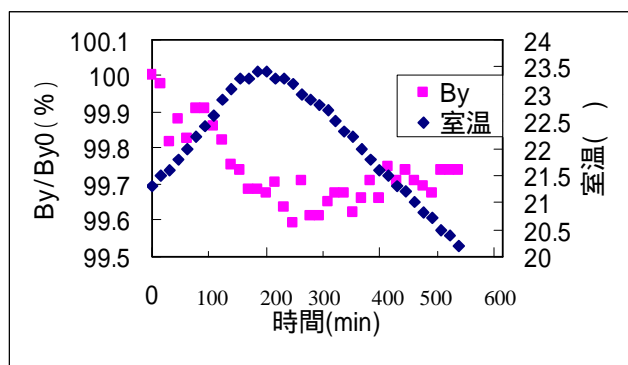


図 6 : 時間経過による磁場変化

上図より磁場は温度に依存していると考えられる。実際のオペレーションでは、波形をモニタリングして電源を制御することを検討している。よって温度の磁場への影響は補正可能である。

5 . 2 台の電磁石の比較

同ギャップ長を持つ2台のキッカ電磁石で測定を行った磁場波形の比較をした。図7に磁場波形比較を示す。

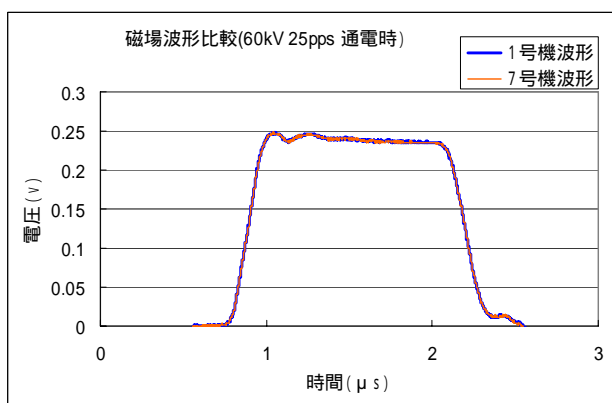


図 7 : 磁場波形比較

立上り部及びフラットトップ部における波形の差はほとんどない。以上よりキッカ電磁石の同型による磁場波形の個体差は非常に小さいことがわかった。

6 . まとめ

J - P A R C R C Sキッカ電磁石について、真空中での通電試験として以下のことを行った。

- ・ 磁場波形を測定し立上り時間、及び、フラットトップ時間の要求値が満たされていることを確認した。
- ・ 短時間内での磁場フラットトップ部、及び、負荷電流波形フラットトップ部の変動率は約0.1%であることを確認した。
- ・ 同型のキッカ電磁石における磁場波形の個体差は非常に小さいことを確認した。

参考文献

[1] JAERI/KEK Joint Project Team, “Accelerator Technical Design Report for J-PARC,” KEK Report 2002-13; JAERI-Tech2003-044, March 2003.
[2] J. Kamiya, T. Takayanagi, T. Kawakubo, S. murasugi, E. Nakamura, “Kicker Magnet System of the RCS in J-PARC,” the proceedings of the 19th International Conference on Magnet Technology (MT-19), IEEE Transaction of Applied Superconductivity, in press.