

# DEVELOPMENT OF THE MAGNET POWER SUPPLY FOR THE SLOW BEAM EXTRACTION FROM THE J-PARC MAIN RING

Katsuya Okamura<sup>A)</sup>, Eiichi Yanaoka<sup>A)</sup>, Masahito Tomizawa<sup>A)</sup>, Junichi Odagiri<sup>A)</sup>,  
 Atsushi Kawasaki<sup>B)</sup>, Takanori Aoki<sup>B)</sup>  
<sup>A)</sup> KEK

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki Prefecture, 305-0801

<sup>B)</sup> Nichicon Kusatsu Corporation

3-1 Yagura 2-chome, Kusatsu-shi, Shiga Prefecture, 525-0053

## Abstract

We developed a bump magnet power supply and a resonant sextupole magnet power supply for the slow beam extraction from the J-PARC main ring. These magnets should be magnetically excited only on extraction period in the operation cycle of the main ring accelerator. Therefore, we aimed at fast rise and fall time of 0.2 seconds. We adopted a high frequency chopper scheme to realize this. This paper describes a schematic design and test results of these power supplies.

## J-PARCメインリングにおける遅い取り出しのための電磁石電源

### 1. はじめに

J-PARCメインリングからハドロン実験ホールへの遅い取り出しのためのバンプ電磁石電源、共鳴六極電磁石電源を新規に製作した。

これらの電源はいずれも、加速器の運転サイクル即ち、入射-加速-取り出しにおいて取り出し期間のみ磁石の励磁に供することが基本でありその他の期間においては出力ゼロであることが望ましい。そのため今回製作した電源では0.2秒という高速での立ち上がりと立ち下りをおこなうことを目標とし、これを実現するために出力部にIGTを用いた高周波インバータ方式とした。本報告では、設計の概要とJ-PARCにおける実負荷試験の結果について述べる。

### 2. 負荷電磁石と電源の定格

MRトンネル内における遅い取り出しバンプ電磁石(SXBMP)と共鳴六極電磁石(RSX)の配置を図1に示す。

SBMPは取り出し時にバンプ軌道を作るために遅い取り出しを行う直線部に4台配置され、それぞれが個別の電源で励磁される。電源からみた負荷の大きさはマグネットのインダクタンス60mHとマグネットとケーブルをあわせた抵抗111mΩである。

また、RSXはベータトロン振動に3次の共鳴を励起するためにアーク部に8台が配置される。RSXは4台づつ2つのファミリーに分けられ、ファミリー毎に1台の電源で励磁される。即ち電源の台数は2台となる。電源からみた負荷はマグネット4台のインダクタンス60mHとマグネットとケーブルをあわせた抵抗220mΩとなる。

電源の定格を表1に示す。

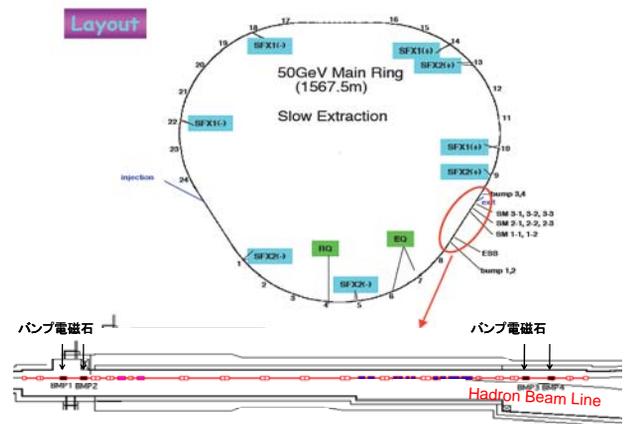


図1 遅い取り出し電磁石の配置

表1 電源の定格

磁石	電源名称	入力	電流	電圧	冷却	メーカー	備考
バンプ電磁石 SBMP-1~4	BMPPS_D2_01~04	400V-62kVA (4台)	771A	505V	水冷	ニチコン	ダイオード整流+IGBTチョップ
共鳴六極電磁石 RSX-1~8	RSXPS_D2_01~02	400V-48kVA (2台)	657A	505V	水冷	ニチコン	IGBTコンバータ+IGBTチョップ

### 3. 電源の設計概略

#### 3.1 励磁パターン

遅い取り出し電源の励磁パターンをリングの主電磁石の励磁パターンと対比して図2に示す。ビームの入射、加速期間においては遅い取り出し電磁石の電流は0であり、加速終了とともに急激に電流が立ち上がる。立ち上がり時間は短いほど良いが、本電源では0.2秒を目標とした。

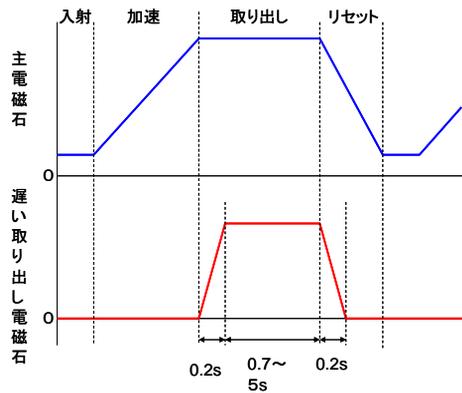


図2 励磁パターンの比較

### 3.2 電源回路の構成

電源回路の基本構成を図3に示す。

上で述べた高速の立ち上がりを実現するために電源回路方式として20kHzの高周波スイッチングのチョッパー方式を採用した。スイッチング素子はIGBTである。パターン運転中の素子温度の変化により素子劣化が生じないよう、素子定格には十分余裕を持たせている。

なお、図3の回路構成図では出力のチョッパーは2回路となっているが実際にはSX BMPではこの回路をさらに4並列、RSXでは2並列としている。

また、入力の整流回路はRSXに限り入力電流のピーク値を下げるためIGBTを用いた自励型としている。

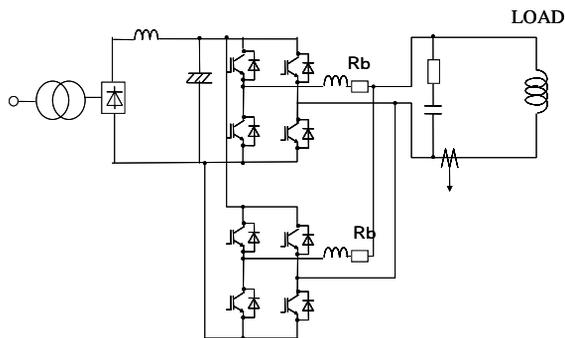


図3 電源回路構成

## 4. 試験結果

### 4.1 並列ユニット間の電流バランス

試験調整中に出力電流が一見正常に見えるにもかかわらず出力過電流により電源がトリップする現象が発生した。出力過電流は全体の電流ではなく、並列接続された個別のユニット毎に検出しているため各ユニットの出力波形を調査したところ、図4のように電流上昇中あるタイミングから急激に電流が増加するユニットがあることが判明した。

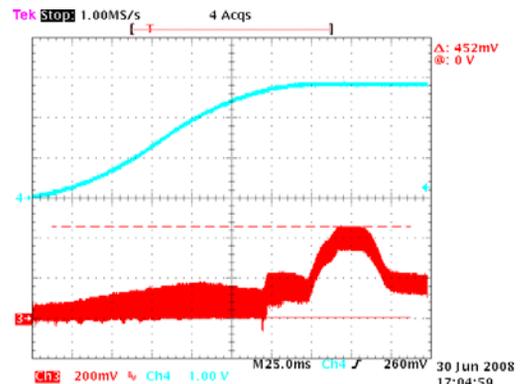


図4 電流アンバランスの発生  
(上)全体電流波形 (下) 個別ユニット波形

このアンバランスは並列ユニット間において一種の共振が起きているためではないかと考えられる。

そこでバランス抵抗(図3のRb)の値を大きくすることによって共振をダンピングすることを試みた。抵抗値を10倍にしたときの電流波形を図5に示す。

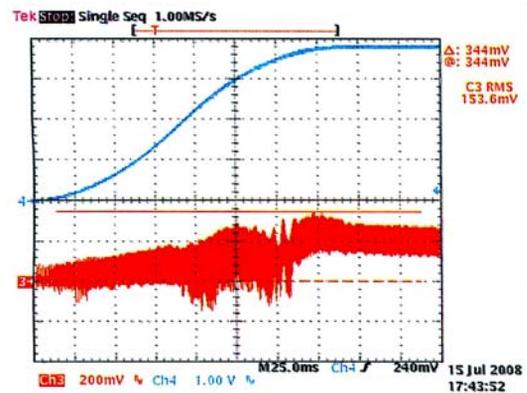


図5 バランス抵抗Rbを10倍にしたときの電流波形  
(上)全体電流波形 (下) 個別ユニット波形

不平衡率を比較すると、元の状態では約320%であったのに対して抵抗を10倍にすると190%に改善された。完全なバランスは得られなかったが、これ以上バランス抵抗を大きくすることは抵抗の損失が過大となるため、現在はこの状態で運転している。

### 4.2 電流リップル評価

バンパ電磁石のパターン出力中の電流と電圧波形を図6に示す。電流立ち上がり初期において電圧波形に振動が重畳されていることがわかる。

この振動電圧から負荷のインピーダンスを考慮して電流リップルを解析した結果を図7に示す。

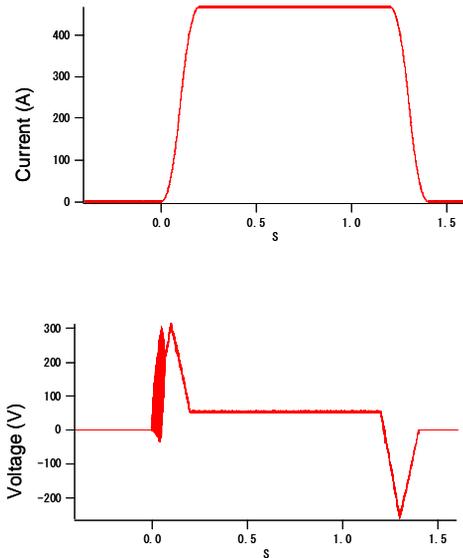


図6 パターン運転中の電流(上)、電圧(下)波形

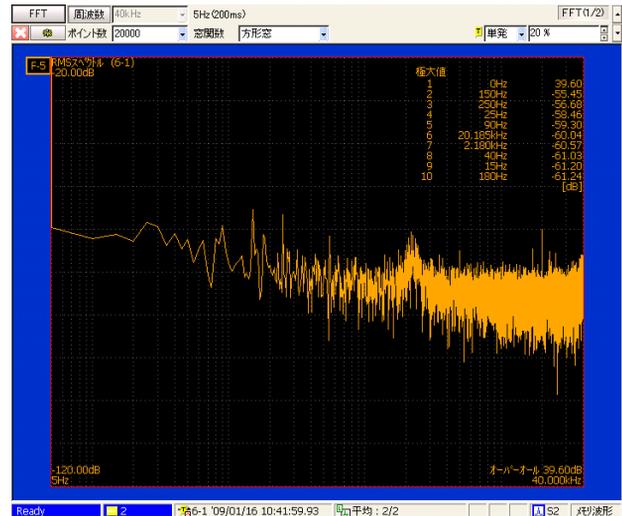


図8 フラットトップ期間中リップルのFFT

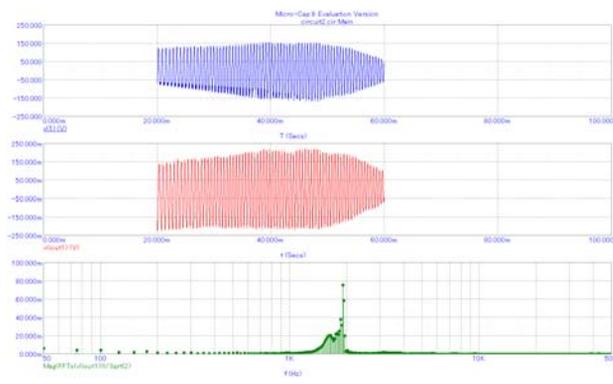


図7 電流上昇途中の電圧リップル(上)、電流リップル(中)、電流リップルのFFT解析(下)

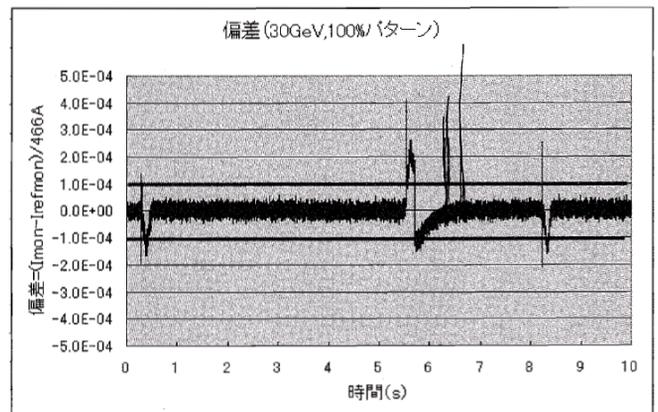


図9 パターン運転中の電流偏差

電流リップルの大きさは180mA (0-p) 程度であり、周波数は1~2kHzに分布していることがわかる。このリップル周波数は電源のスイッチング周波数よりも低く、主回路の共振点がこの付近にあるのではないかと推定される。

フラットトップ期間中の電流リップルのFFT解析結果を図8に示す。

直流成分(フラットトップ電流)との比較からリップルの大きさは $1.8E-5$  (11mA) と十分小さいことがわかる。また周波数特性上、立ち上がり時のような1~2kHzの大きな成分は含まれていない。

### 4.3 パターン追従性

パターン運転時の電流偏差(フラットトップ電流で規格化)の時間変化を図9に示す。立下り時(ここでの追従性はビーム取り出しには無関係である)を除けばほぼ $1E-4$ 以下に収まっていることが分かる。

## 5. まとめ

これらの電磁石と電源は2009年1月から2月におけるビームコミッションに供された。この取り出し試験において本文で示した残留リップルなどの影響は見られなかったが、現在はMR全体がよりハイパワー化を目指して性能向上を図っている段階であり、遅い取り出しの電磁石電源についても低リップル化の道を探っている。

## 参考文献

- [1] M.Tomizawai, et al., “J-PARC MRの遅い取り出し”, in this conference