

# IMPROVEMENT OF J-PARC MR SLOW EXTRACTION DYNAMIC BUMP CONTROL SYSTEM

Eiichi Yanaoka #<sup>A)</sup>, Takurou Kimura<sup>A)</sup>, Youichi Igarashi<sup>A)</sup>, Masahito Tomizawa<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

## Abstract (英語)

At J-PARC MR Slow Extraction, Dynamic Bump System is implemented to reduce the beam loss. During extraction, bump orbit is defined by the bare horizontal tune which depends on the QFN and EQ current values. The bump current values are processed by a dynamic bump DSP from the given QFN current pattern and the real time EQ current value. But the control instruments of bump magnet powersupplies wasn't suitable, this system was unstable. We developed a new DAC and amplifier for powersupply control. Dynamic bump system has become stability.

## J-PARC MR 遅い取出しダイナミックバンプ制御システムの改善

### 1. ダイナミックバンプシステム

#### 1.1 安定性の向上

J-PARC 主リング遅い取出しは、入射、加速、取出しを6秒周期でおこなっている。30GeVまで加速した陽子ビームを、バンプ軌道を形成し1/3共鳴を利用し、2012年6月の時点で約2.2秒かけて取出している。

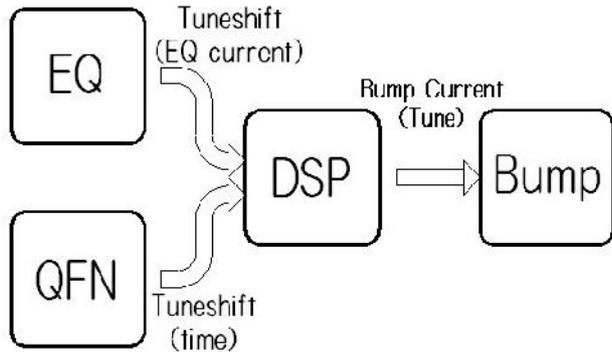


図1 ダイナミックバンプ概略図

ダイナミックバンプシステムは、取出しの間変動するチューンにあわせて、バンプ軌道を制御する。4極電磁石の1ファミリーであるQFN電磁石と取出し用4極電磁石のEQ電磁石の励磁が、チューンを変動させる。QFNによるチューン変動は、毎出射(取出し)同じな時刻による関数であり、EQ電磁石によるチューン変動は、スピル(取出しビーム)をリアルタイムで調整し変化している。時間の関数であるQFN電磁石によるチューン変動と、EQ電磁石のリアルタイムの励磁電流から、チューンを求める。このチューンから計算したバンプ電磁石電流で、バンプ電磁石電源を制御する。

#### 1.2 使用機器

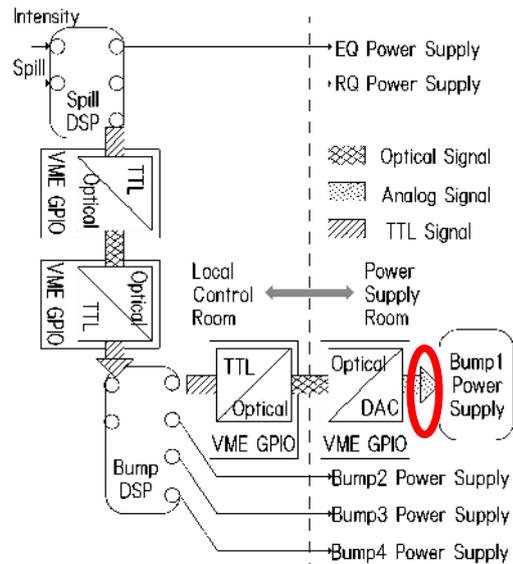


図2 全体機器構成

ダイナミックバンプシステムの中心となるのは、バンプ用のDSP(Digital Signal Processor)である。EQの電流値は、EQ電磁石を制御しているスピル用のDSPからきており、QFN電磁石によるチューン変動は、バンプ用DSP装置のメモリにかかっている。計算されたバンプ電磁石電流値は、バンプ電磁石電源に送られる。2つのDSP装置は電源棟内の制御室に、バンプ電磁石電源は電源ヤードに設置されている。DSP間は5m、電源への経路は40mある為雑音対策で、TTL信号を光信号に変えて伝送している。バンプ軌道を形成しているバンプ電磁石は4台あり、1つの電源で1つの電磁石を励磁している。バンプ2~4への経路は図2では省略されているが、バンプ1への経路と同一である。

### 3. 問題点

バンプ電磁石電源の入力は、アナログ最大電圧10Vで、信号の反射等を考慮して入力インピーダンス50Ωである。しかし、バンプの電流波形の変化は信号の反射等考慮しなくてもよい程くらい低周波数であった。システムの機器構築の際、工程の関係でVME規格の既成品DACをつかい、電源の入力信号にあわせるために、市販のアンプを電源の前段（図2赤○、図3赤○）にいたした。

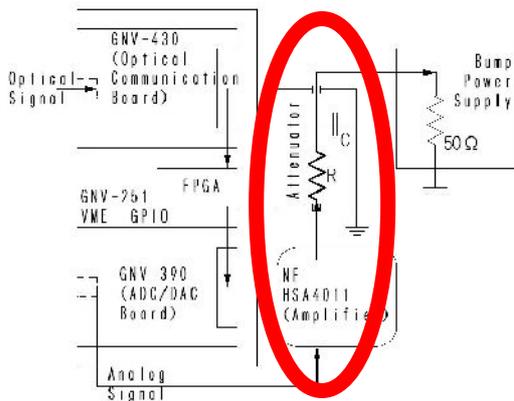


図3 電磁石電源への入力部

信号用のアンプでは、必要な電圧を得られず電力増幅のアンプを使った為、電圧の揺らぎが電源室設置で100mVもあり、電源制御できなかった。（図4青線）電流0付近で揺らぎが大きいと電磁石電源につかっているIGBTのゲートがうまく動作しないことが原因だった。揺らぎを5mV以下に抑えないと動作しない、加速器の安定した運転の為には3mV/month以下の揺らぎに抑えることが必須である。一度アンプで50Vまで上げ減衰器で5分の1にすることで、ふらつきを抑え急場をしのいだ。（図3）しかし、減衰器をいれることで、温度依存性も目立ち、3mV程度の揺らぎものこっている。（図4赤線）

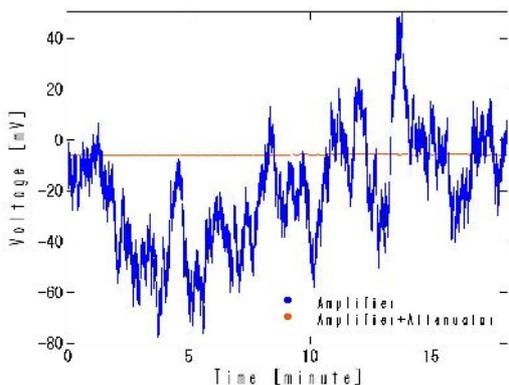


図4 零出力時の出力経過

### 4. 光信号による電源制御装置の製作

光転送ボード、DACと今回開発した出力の時間変動、温度変動の小さいアンプを組合わせて、光信号をアナログ電圧に変える機器を設計した。これは、ローカル制御室からの信号を受け、電磁石電源の要求する信号を出力するものである。光転送ボードは、送り側と同様のポートを、基板にさして使うよう考えた。この機器は、図3の全部分の機能を、含んでいる。

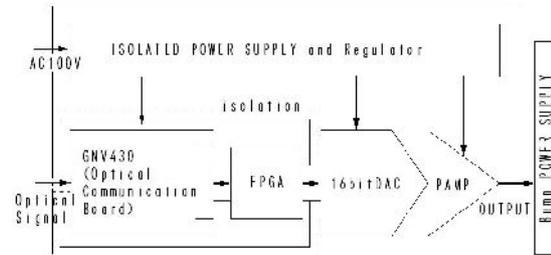


図5 製作機器概略図

#### 4.1 アンプ

従来つかっていたHSA4011は定常ドリフトでも3mVある。（図6赤）今回つくったアンプは、電源を入れてから平衡状態までの変化と定常ドリフト両方合わせて0.1mV以下である。（図6青）

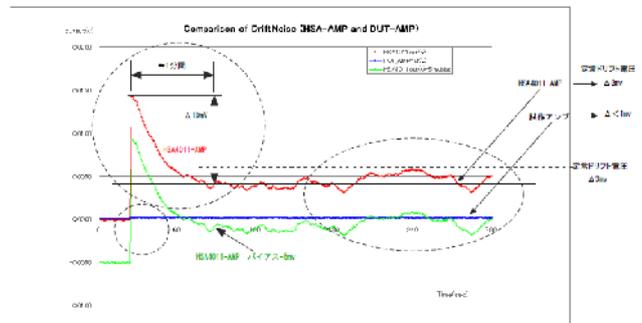


図6 旧・新アンプの時間ドリフト

#### 4.2 DACとアンプの組合せ試験

DACとアンプで組合わせて時間変化と温度特性をしらべた。



図7 組合せ試験

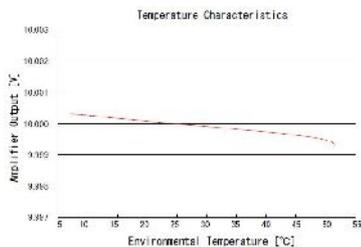


図8 温度特性(DAC+アンプ)

DACですべてのビットをたてた時の出力電圧を、摂氏5°Cから50°Cまで測定した(図8)。約50度差で1mV(0.01%)変動で取まっており、0V出力時の時間変化も0.1mV程度である。組合せ試験から、必要以上の性能が達成できるとみて、試験した部品で機器製作した。

### 4.3 性能試験



図9 電源制御機器

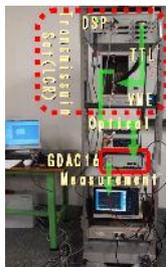


図10 性能試験

図9は完成した電源入力の為の信号変換機器である。機器の右脇にある光転送ボードを、基板にさして使用する。FPGAのプログラムをつくり、動作試験をおこなった。実際に使う構成でDSPからの送られてきた光信号を入力し、出力信号を確認しとこる、必要性能が確認できた。

## 5. 電源制御機器の運用

### 5.1 機器設置

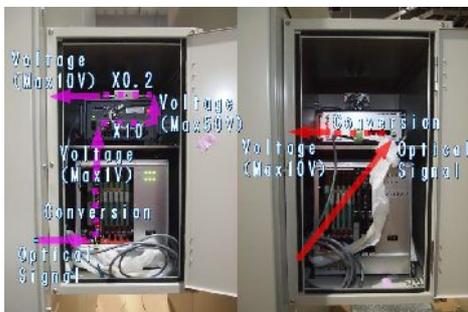


図11 電磁石電源への信号入力部(左:旧、右:新)

旧機器は下から、ボードのさしてあるVMEラック、電力増幅器、減衰器と並んでいるが、新機器は今回製作した電源制御機器だけである。VMEラックは、旧機器への切替えが容易なように残してある。

### 5.2 安定性の向上

0入力時の電源入力電圧(図12)が安定し、旧機器にくらべダイナミックバンプの安定性が格段に高まった。旧機器では、5mV(2012年1月の終り~2月の終り)変動したが、新機器では0.3mV(2012年6月初め7月初め)しかかわっていない。

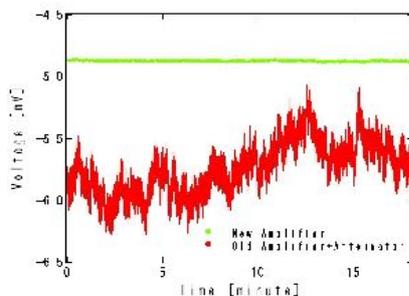


図12 零出力時の出力推移

DSPから指令値とバンプ電磁石励磁電流の関係は、図13の用になる。古い機器をつかったものは、増幅器、減衰器や電磁石電源の入力インピーダンスの誤差で、4台間で個性差が大きい。300Aでの個性差は8Aあるが、新機器では0.3Aに収まっている。個性差はプログラムで較正でき深刻ではないが、ない方が安定で電流値の微調がしやすい。

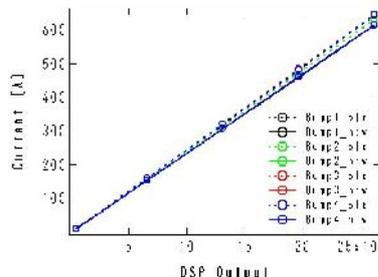


図13 電磁石励磁電流の較正曲線

## 4. まとめ

長期(一ヶ月)にわたる安定したアナログ電圧による電源制御により、ダイナミックバンプの安定性が高まった。ハードとしてのバンプ関連の機器(電磁石、電磁石電源、電源制御)は既に完成している。今後は、新しいビーム条件にたいするプログラム製作とJ-PARC全体の制御の中にDSPを組込む必要がある。

## 参考文献

- [1] M.Tomizawa, et al., Proceedings of IPAC2012, New Orleans, Louisiana, USA, May, 20-25, 2012
- [2] E.Yanaoka, et al., Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Ibaraki, Japan, Aug. 1-3, 2011