

## DEVELOPMENT AND INSTALLATION OF HIGH RESOLUTION POWER SUPPLY FOR SPring-8 STEERING MAGNET

Hideki Takebe, Koji Tsumaki, Chao Zhang, Sakuo Matsui  
And Hitoshi Tanaka  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute  
Koto 1-1-1 Mikaduki, Sayo, Hyogo 679-4167, JAPAN

### Abstract

High-resolution Steering magnets are required for the slow feedback system of the beam orbit correction at the SPring-8. Other 48 sets of 21-bit evaluated resolution power supply system was developed and installed to the storage ring in Summer 2004. We investigated an accuracy and hysteresis of an iron core steering magnet and the way to modify the usual steering power supply, developed and installed to the Storage Ring at the SPring-8.

### Steering磁石電源の高分解化の実験と実用化

#### 1. はじめに

蓄積リングステアリング電磁石 (NST) は鉄心を利用してその電源の電流は現在 $\pm 5A$ を16bitで設定している。また空芯であるステアリング電磁石 (HRST) の磁場はNSTの1/100の出力であり同じ電源を利用して水平用24台、垂直用24台がSlow Drift補正用に、高分解能補正として使用されている。しかしDynamic Rangeが足りなかったために、1日に1~2度の入射時を利用して、HRST電流をResetしてNSTで修正してきた(2004年以前)。その後Topup運転が始まって、数日間の連続運転が行われるためのSlow Drift軌道補正用にH,V方向それぞれ24台ずつのHRSTが必要になってきた。

このため既存のステアリング電磁石(NST)を使って電源の分解能を上げる計画を立てた。その方法として4つの方法について検討し、2つの案(A案、B案)で改造実験を行った結果、1つの方法(B案)で実用化を行った(2004.8)。なおこれに先だって鉄心のNSTの微細なヒステリシスや磁場/電流の分解能、精度を検証している[1]。

表1;軌道補正用ステアリングの種類と台数(X,Y各々)

COD correction	Normal steering magnet 240 sets(1996)
HR correction	Air Core steering magnet (HRST) 24sets(2002)
HR new correction	Normal steering magnet 24sets (New, 2004)

設置場所の問題から空芯のHRSTを増やすとNST台数が減らされることになるため、NSTの電源を高分解能化させて補正を行うことにした。鉄心入りのNSTの磁場対電流の精度、再現性、安定度のバランスから新高分解電源(HD-PS)は1/32の微量を制御するものとして設計し、Dynamic RangeはHRSTの3倍を得る事とした。こうして、2004年9月からの実運転にH,V方向各々48台で高分解能補正が長時間連続で行えるようになった。

表2; Steering Magnetと電源の諸元

Magnet	PS name	Max. Field(v), Max. Kick Angle(h)	Max. Current, Resolution	Min. Field(v), Min. Kick Angle
NST Iron Core	St-PS	26680 G · cm, 1mRad	$\pm 5A$ , 16bit, (0.15mA)	0.8G · cm, 30 nRad
HRST Air Core	St-PS	300 G · cm, 10 $\mu$ Rad	$\pm 5A$ , 16bit, (0.15mA)	9mG · cm, 0.3 nRad
NST Iron Core	St-HD- PS	26680 G · cm, 1mRad	$\pm 5A$ , 21bit, (4.7mA)	25mG · cm, 0.95 nRad

注釈; 垂直Steering磁石の最大水平磁場は 13340 G · cmである。

## 2. 高分解能化の方法

### 2-1) A案: 16+4 bit DAC

現状のRIOユニット(A-type)内のDOの使用していない4bitの信号を利用する。上位Softwareの改造が楽。下位Software(EM)の改造が重要。安価である 直線性/精度に問題や、Strobeの問題を検討する。RIO-DACの精度が1-LSBの誤差があると仮定した場合軌道補正は2回以上やらないと目的値まで行かない場合がある。そのためRIO測定して良いもの選択する必要あり。(Fig.1)

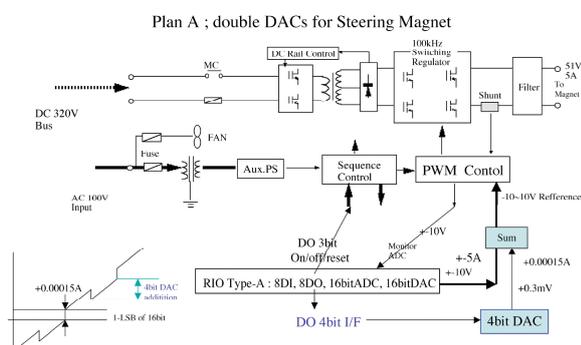


Fig.1.

### 2-2) B案: 16+16 bit DAC(1)

現状のRIOユニットとは別に、更にもう一枚のRIOユニットを電源UNIT内で装着し、そのアナログ出力信号を微細化して電流設定に加算する。従来のSt-PSに別なRIO-Aを内蔵し、DAC値(1/32にして)加算。RIO予備機の48個を利用するので改造は安価。Softwareの改造も楽である。(Fig.2)

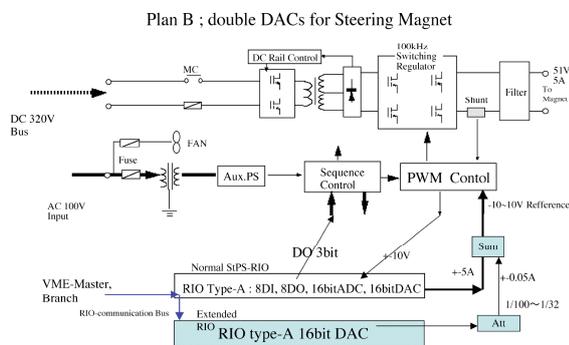


Fig.2.

### 2-3) C案: 16+16 bit DAC(2)

B案でSTPのシャーシを改造出来ない場合にSTPS36台収容の筐体に6個のDAC(RIO-A)を付加する。BranchやRIOのシャーシを増設。

### 2-4) D案: 20bitDAC内蔵カード開発

光IO board 又は RIOに20bitDACを積んで新規開発。StPS; Di, Do, Ai, Ao 外付けI/F制作。同じサイズにするか、あるいは電源シャーシを改造。新規I/Oカード開発費も必要。

## 3. 試験結果

### 3-1) 20bit化試作 (A案)

4bitと16bitのDAC出力の合算回路のスケールを調整した結果、誤差は2ppm程度以内に入った。(Fig.3 赤)

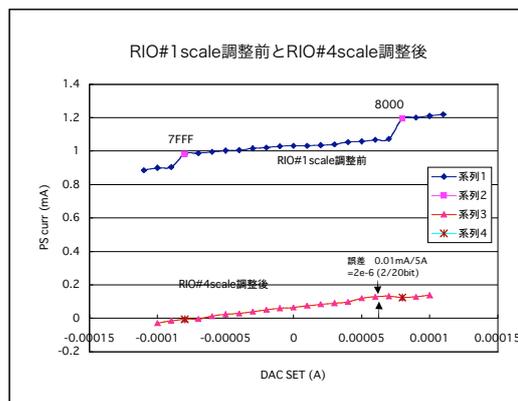


Fig.3.

### 3-2) RIOの最小ビットの誤差を測定

- ・ A, B案いずれにおいても、RIOの最小ビットと高分解能DACとの連続性の確保は必要であり、その為に既存のRIOの最小ビットの直線性誤差を測定した。(Fig.4)

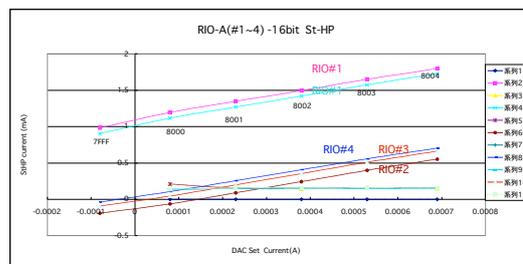


Fig.4.

(但し、B案でSub-RIOのみでSlow Feedback を走らせる場合は問題にはされない。) 4枚のRIOを調べた結果 7FFFと8000(HEX)の設定

誤差が大きくLSBの1/4ないし1/3程あった。

### 3-3) ST電源への実装と試験 (B案)

- ・ RIOカード2枚のうちRIO1枚 (Main) は従来通りの電源として動作させる。
- ・ 2台目のRIOをSub (High Resolution用)としてDAC出力を32分の1に減衰させて従来の電流に重畳させる。
- ・ RIO-Subは Mainとは異なった制御系Addressを付与されて動作する。(DAC, ADC, Statusの動作のみとする。On, Off, Reset, 信号は使わない。)



Fig.5

StPの高分解能化としてB案の試験機が2004年4月23日に製作納入され、この試験と長時間運転を行った。



Fig.6

写真(Fig.5, 6)の様にRIO2枚がうまく納められ、RIOデータ通信BUSを内部に入れ込んでいるために、光ファイバー1本で上位 (VME RIO Master) と通信できるためにBranchの増設が不要になった。(その結果、C案は不要になった)

## 4. 結論

・ 試験結果はB案で予想したとおりの動作と安定度がえられた。4bitのDACをRIO-Main に重畳させる**A案**は16ビット+4ビットの直線性を出すためにRIOのいいものを調査選択しなければならない。これに比べて**B案**では HRSTと同じ運転方法を取ればこの必要がない。 B案では高分解能化を抵抗分割で決めることが可能。現在は 1/32 に設定; 5Aに対して31ppm(0.15mA)の分解能が 0.94 ppmとなり、SPring-8の運転には十分とした。ソフトウェアもほぼ既存のものが使えて、これまでの空芯の高分解能ステアリング; HP-STの電源と同様の使用方法が採れる。1/32 に設定したのでDynamic Rangeが HRSTの3倍取れた。

・ 既存のST電源に空間的余裕があったため、RIO2枚がうまく納められ、さらに光ファイバー1本で上位制御システムと通信できるためにBranchの増設が不要になった。(製作コストはA案に比べて安価) ---> ただしRIOは台数分必要になるが、予備品を流用できたので結果は安価であった。(当方は準備品RIO-A 48個を利用して試験運転と位置づけた。)

・ **C案**はB案でユニット内にRIOが実装できたので不要とした。

・ **D案**は新規に開発するコストが大きすぎたので見送りとした。

・ 2004年9月から48台をSRに組み込んで実用運転を行って大きな成果が出ている[2]。

## 参考文献

[1] Acc-memo: 高精度軌道補正のためのステアリング電磁石のヒステリシスの測定、平成15年8月4日 妻木孝治、武部英樹、張超。 <http://acc-web.spring8.or.jp/~takebe/mag/STHD/STM-hysteresis.htm>

[2] The 3rd International Workshop on Beam Orbit Stabilization 2004 December 6-10, 2004, Hotel Kirchbul, Grindelwald, SWITZERLAND, <http://iwbs2004.web.psi.ch/documents/program/Tanaka.Hitoshi/1.pdf>