

# MAGNET POWER SUPPLY CONTROL PROGRAM DEVELOPED FOR SACLA/SPring-8

Takuya Otake<sup>#,A)</sup>, Yutaka Kano<sup>A)</sup>, Hideki Takebe<sup>B)</sup>, Takemasa Masuda<sup>C)</sup>, Toru Hara<sup>B)</sup>

A) SPring-8 Service Co., Ltd.

1-20-5 Kouto, Shingu-cho, Tatuno-shi, Hyogo, 679-5165

B) RIKEN SPring-8 Center/XFEL

1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo, Hyogo, 679-5198

C) Japan Synchrotron Radiation Research Institute

1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo, Hyogo, 679-5148

## Abstract

The electro-magnets and those power supplies for the XFEL/SPring-8(SACLA) 8-GeV linac and beam lines of the undulator hall have been installed in October 2010. To avoid long time initializing current pattern setting process for hundreds of magnet power supplies, a multiple power supplies current setting program was developed. If we set each power supply individually, it takes 1 or 2 hours for hundreds of magnet power supplies. Therefore initializing sequences for erasing magnet hysteresis were required from the magnet team. Graphical user interface, database application, and VME equipment manager programs have been also developed and are being modified. In this paper, development of the SACLA magnet power supply control program will be summarized.

## SACLA 電磁石のための電源制御プログラムの開発

### 1. はじめに

SPring-8 に新設された XFEL 施設 (SACLA) [1] では、熱電子銃とバンチャーを組み合わせた入射部を採用している。熱電子銃から取り出されたビームは、4 台の偏向電磁石で構成される 3 箇所磁気パンチ圧縮(BC)部によって、百フェムト秒以下程度にまで圧縮される。また、35MV/m という高加速勾配の C バンド加速管により効率良く 8GeV まで加速することができる。さらに、真空封止アンジュレータにより、短い距離でレーザー発振を行う。

電子ビームの軌道やビームサイズを制御する電磁石は、加速器棟 400m、光源棟 230m、実験棟 60m 合計約 700m ある SACLA のほぼ全域にわたり設置され、13 種、約 370 台の電磁石用電源を使用している [2]。

偏向電磁石、四極電磁石のヨーク材には純鉄のブロックを使用しているため、残留磁束密度が大きくなる。また、磁場の時間変化率が異なるとヨーク内の渦電流の大きさが変わり、励磁特性に影響を与える。このため、パターン励磁が必須である。

電磁石電源には急激な電流変化を避けるための RAMP 回路が設けられているが、磁場の時間変化率、すなわち電流変化速度を制御する機能はない。そこで、電流をゆっくり変化させる磁石初期励磁処理などをソフトウェアで実現させる必要がある。1 台ずつ全数の電磁石の初期励磁を行うと実用的な時間で完了させることができない。これを避けるために、並列初期励磁を行なうプログラムの開発を行った。

### 2. 電磁石電源制御システム

電磁石電源制御は、SACLA 用に開発された光 IO カード (i-DIO カード) を電源に組み込み、1 枚の i-DIO カードで 1 つの筐体に収められた 2 台の電源を制御する。電流値の設定や、電源の状態の読み取り機能、さらには電流偏差監視やローカル制御等の機能を i-DIO カードに内蔵された FPGA を用いて行う [3]。

i-DIO カードは VME 計算機に組み込む OPT-CC カードと TOSLINK 光ファイバーで接続されている。OPT-CC カードは、直接接続する場合には 12 枚、OPT-CC を Hub のように使いカスケード接続する場合には最大 132 枚の i-DIO カードを接続することができる (図 1)。しかし、カスケード接続で通信する場合はドライバでの処理も含めるとストレート接続の 10 倍程度の時間がかかってしまう。

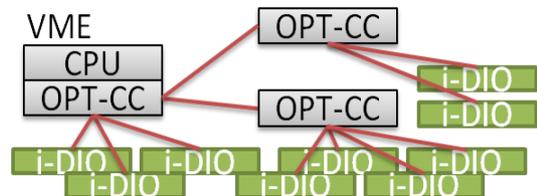


図 1: OPT-CC

SACLA 全体で 5 台の VME 計算機を用いて全ての電磁石電源を制御している。また、これら VME 計算機の制御は MADOCA (Message And Database Oriented Control Architecture) [4] を用いて、制御室にあるワークステーションから行う。

MADDOCA は SPring-8 で開発されたクライアント・サーバー型の制御フレームワークで、人間に分かりやすい S/V/O/C の命令形態を用いて各機器に制御命令を送る。機器名に当たる O(Object)には意味論的な名前を付けることで、実際の物理配線や制御ボード等を意識せずに済むように設計されている。

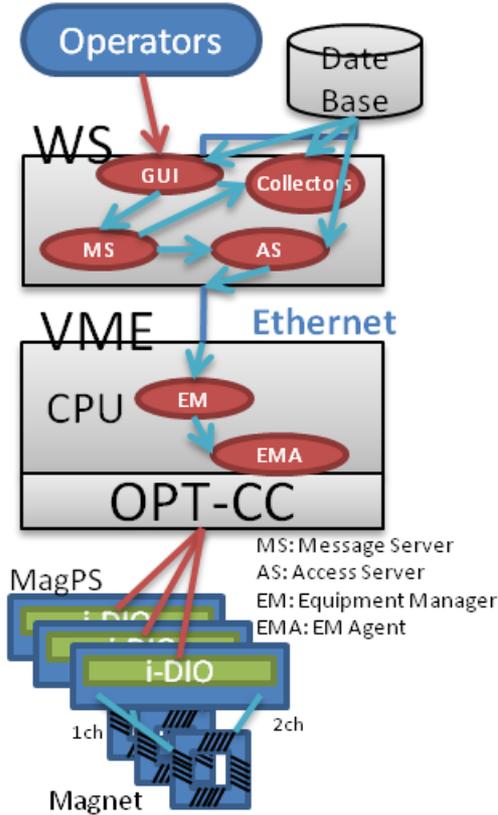
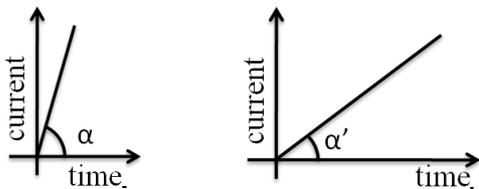


図 2: 制御システム構成図

### 3. 励磁の制御

#### 3.1 初期化励磁に求められるもの

電磁石にはヒステリシスがあり、一定の初期化励磁パターンを経て目的の電流値に設定する必要があるが、RAMP 回路によって最大電流変化率  $\alpha$  が決められており、実際の初期化プロセスに必要な電流変化率  $\alpha'$  はこの値よりも小さくしなければならない (図 3)。



a.ハードの設定角度 b.初期化に必要な角度  
図 3: 電流変化速度

初期化のためには、図 4 のように wait1、wait2、I、 $\alpha'$  などの複数のパラメータを持つパターンで励磁する必要がある。

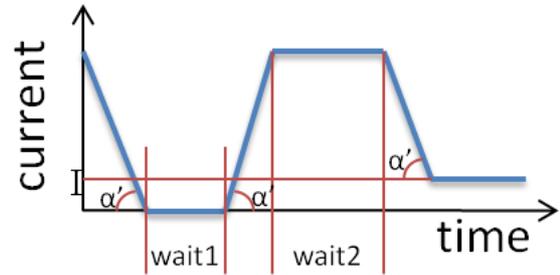


図 4: 基本的な励磁パターン

また、この初期化励磁パターンは電源 1 台につき 4 分程度の時間が必要で、順番に処理を行うと実用的な時間では終わらない。そこで、全ての励磁を並列に行うことで時間を短縮する (図 5)。

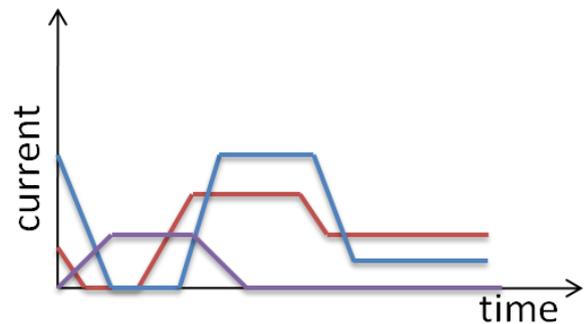


図 5: 複数の電源の励磁パターン

#### 3.2 EMA を用いた制御

当初この初期化励磁処理を、オペレータコンソール上の GUI (Graphical User Interface) プログラム上で行なう予定であった。初期化励磁が必要な電磁石は約 150 台あり、これらを 20Hz で制御する必要がある。オペレータコンソールと VME 計算機間の Ethernet 通信に時間がかかり、この要件を満たす制御速度を得ることが出来ないことが分かった (図 6)。

通常の電源制御を行っている MADDOCA 上の

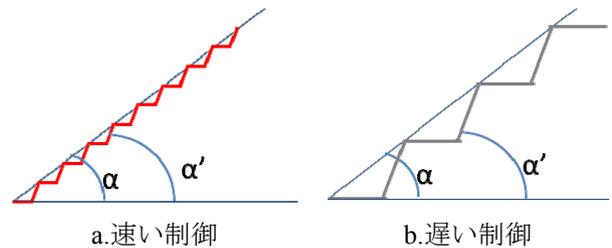


図 6: 制御間隔

EM(Equipment Manager)に、これらのシーケンスを実行する関数を組み込むことも考えられる。EM はシングルスレッドのサーバプロセスであるため、同時に 2 つ以上コマンドを実行することができない。このため、初期化パターンを実行中に電源の状態や電流値等の必要な情報を監視することが出来ず、また非常停止も動作しない。

MADDOCA にはソフトウェア的にデバイスのように振舞う EMA(Equipment Manager Agent)という仕組みがあり、検討の結果 EMA に励磁パターンを実行するデバイスのような振る舞いをさせることとした。

EMA は EM から起動される独立プロセスであり、GUI などの上位系から来る S/V/O/C 命令 が EM を介して EMA に送られ実行されるため、上位系からは EMA があることを意識せずすむ。

しかし EM で使用していた電流値を指定するシーケンスは DAC 値を送信した後で 1ms のストロブ信号を送るため無駄が多く、電源の台数に比例して実行間隔が伸びてしまう。そこで複数の電磁石で実行したときに最適となるように制御シーケンスを改良した。

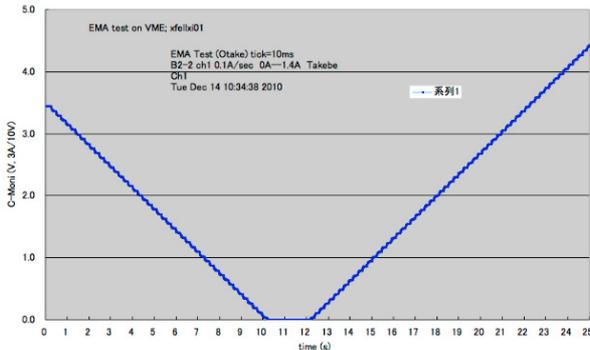


図 7: 1ch 制御

このシステムを用いて、実際に 1ch のみを制御したときのグラフを図 7 に示す。同じように 4ch を制御したものを図 8 に示す。4 倍の電源数を制御しているにもかかわらず、同じ程度の間隔で電流制御が出来ていることがわかる。

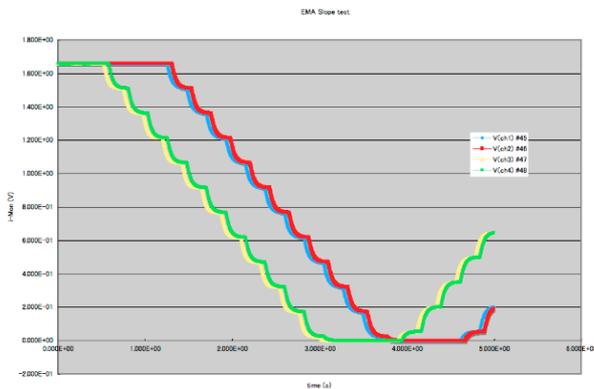


図 8: 4ch 制御

#### 4. 制御速度の向上

現在、制御間隔のさらなる短縮化、システムの安定化に向けて、デバイスドライバ内部での busy wait の使用を検討している。

現在 OPT-CC と i-DIO の通信処理の数十〜数百  $\mu$  sec の待ち時間には、sleep wait を使っている。sleep wait の時間最小分解能は OS の定める値 (HZ 値) で決まる。システムを安定に運用するためには、

HZ 値を 1000 程度に保つことが望ましいが、この値では sleep wait の最小分解能は 1ms となり、カスケード接続された i-DIO ボードの制御が非常に遅くなってしまふという問題がある。これを避けるため、現在は HZ 値を 10000 に設定し、sleep wait の時間最小分解能を 0.1msec としている。

busy wait は、高分解能で短時間の wait 処理には適しているが、CPU リソースをほぼ 100%使用する。このため、他のプロセス処理に影響がでるなどシングルコア CPU ではデメリットが大きい。しかし、マルチコア CPU を使えば、プロセスが 1 つの CPU リソースを消費していても、別の CPU コアが空いているので、全体の CPU リソース消費は押さえられるため、この問題は解消される。

サンリツオートメーション株式会社のシングルコア CPU ボードの SVA041 と、Concurrent Technologies 社のマルチコア CPU (2 コア・HT テクノロジー対応) ボードの VP717 を使用し、sleep wait は HZ=10000 busy wait は安定動作が確認されている HZ=1000 で実際に動作試験をした。

ADC の値を 1 万回読み込み、読み込みに掛かった時間を平均したものを表 1 に示す。sleep wait を

表 1: i-DIO ボードの値読み取り時間と負荷率

試験項目		接続方式	ストレート接続	カスケード接続
		接続方式	ストレート接続	カスケード接続
シングルコア CPU	sleep		0.25ms 1%	2.8ms 1%
	busy		0.20 ms 100%	2.0 ms 100%
マルチコア CPU	sleep		0.21 ms 1%	2.6 ms 1%
	busy		0.23 ms 25%	2.1 ms 25%

sleep wait 時 HZ=10000 busy wait 時 HZ=1000

用いた場合、CPU 使用率は 1% 以下だった。busy wait を用いた場合、シングルコア CPU の使用率はほぼ 100%であったのに対し、マルチコア CPU では 25%だった。それ以外の項目は、sleep wait と busy wait で大きな違いが無く、マルチコア CPU と busy wait を使えば利点だけを楽しめる。

#### 5. まとめ

初期化励磁シーケンスを実行するには、電流変化率制御、パターン制御、並列化を行う必要があったが、柔軟な MADDOCA フレームワークの枠内で実装することができた。

現在、初期化シーケンスを全て電源に対して同時に開始し、開始の際に EMA の初期化を行う必要があるなど、手続きが複雑であるという問題がある。さらに、初期化シーケンス実行中には別の電源を初期化することはできない。これを、開始処理を簡単にし、随時初期化シーケンスを開始できるように改良する準備を進めている。

また、マルチコア CPU は期待通りの性能を發揮

してくれた。このことにより、**busy wait** を用いたデバイスドライバの使用が現実的になった。このことにより、**HZ 値**を安定動作が確認されている **1000** で運用することができる。

## 参考文献

- [1] <http://xfel.rilen.jp>
- [2] Kenji Fukami, et al., “DESIGN OF ELECTRO-MAGNETS FOR XFEL/SPring-8”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 3, p.805 (2007).
- [3] H.Takebe, et al., “Power Supply Control System for the XFEL/SPring-8 Magnets”, (TUP067), Proceedings of the 6th ICALEPCS’09 in Japan, Kobe Oct. 13, 2009.
- [4] R. Tanaka, et al., “The first operation of control system at the SPring-8 storage ring”, Proceedings of ICALEPCS’97, Beijing, China, 1997, p1