

## POWER SUPPLY DESIGN FOR THE XFEL/SPring-8 MAGNET

Hideki Takebe<sup>1,A)</sup>, Toru Hara<sup>A)</sup>, Kenji Fukami<sup>B)</sup>

Toru Fukui<sup>A)</sup>, Noritaka Kumagai<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> SPring-8 Joint-Project for XFEL/RIKEN

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

<sup>B)</sup> SPring-8 Joint-Project for XFEL/JASRI

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

### Abstract

A conceptual design of the magnet power supply for the XFEL/SPring-8 project<sup>2</sup> will be presented in this paper. Magnet power supply output specification, chassis configuration, remote control system, panel design, maintenance method, power efficiency, and cost performance considerations are discussed. VME-optical IO module, 2-channel mounting chassis system, and water cool EIA rack system will be taken.

## XFEL/SPring-8 電磁石電源の設計

### 1. はじめに

世界のXFEL建設計画は独/DESYに約1200億円をかけた建設計画が今年6月に決まったことで、米国のSLAC、日本のSPring-8/理研とで三極の国際競争になってきた。XFEL/SPring-8は2006年春に国家基幹技術として約400億円で理化学研究所が建設することに決まり、2010年までに全長700 mのX線自由電子レーザー施設を兵庫県西播磨にあるSPring-8の1km長尺BLの脇に建設する[1]。電子銃から出た1ナノ秒のビームは、238MHz、476MHz、1428MHz、2856MHz、5712MHz (L-band, S-band、及びC-bandなど)の線型の各種加速管で8GeVまで加速され、途中Velocity Bunchingと3カ所のBunch Compressorによってビームパンチ長が数百フェムト秒までに圧縮される。その後ろに5本の並列したアンジュレータビームラインが繋がり、波長1 Å程度の硬X線極短パルスを生じさせる。2010年の完成当初は、線型加速器とアンジュレータビームライン2本(内1本をビームダンプ用バイパスラインとして利用)が設置される。その電磁石として、10台のソレノイド電磁石、100台の四極電磁石、約200台のSteering電磁石、および10台の偏向電磁石の製作に向けて設計を進めている[2]。現在その各電源について仕様、設置、配線及び制御方法に関して詳細設計を行い製作の準備を進めているので報告する。

### 2. 電源の基本構造

定格はバイポーラー・ユニポーラーの両方の合計で12種類に分類される。制御用にはSPring-8で開発、

利用されているVMEのField Busである光IOカードを利用する。2電源を1式として1つのカードで制御し、受電、シャーシを共有する。また低コスト化のため、ローカル操作機能を省きリモート制御のみとする。ほとんどの電源は空冷でありEIA標準ラック内に収容される。電磁石電源は500W程度以下の小型のものは2台1シャーシとし高さ4U~6U、奥行き600mm以下に納める。冷却ファンは筐体外部から簡単に交換できる構造とし保守作業を容易にする。

### 3. 電源の仕様と種類

電磁石電源は全て直流定電流出力であり、偏向電磁石、Magnetic Lens用電源、及び四極電磁石電源はユニポーラー型である。一部の四極電磁石、偏向電磁石補正用、軌道補正用電磁石(ステアリング)電源はバイポーラー型である。線型加速器以降のアンジュレータ部までの磁石電源も含む。リップル及び長時間安定度は20ppmとする。受電は60Hz、単相100V、又は3相200Vとする。1日の受電電圧変動は6%、また2%の瞬時電圧変動に対応させる。

#### 3.1 偏向電磁石電源

以下に偏向電磁石に対する電源の名称、電流、電圧を示す。 B-BC1; 20A 8.3V, B-BC1-dump; 20A 21V, B-BC2; 20A 21.2V, B-BC3; 600A 8.5V, B-Sw-DC1; 600A 11.8V, B-Sw-DC2; 600A 11.8V, B-und-u; 600A 11.7V, B-dump1; 600A 58V, B-dump3; 600A 58V。それぞれ各1台で計9台である。放射線安全に関わるものは電流偏差値異常信号接点を設ける。

<sup>1</sup> E-mail: [takebe@spring8.or.jp](mailto:takebe@spring8.or.jp)

<sup>2</sup> <http://www-xfel.spring8.or.jp/>

### 3.2 偏向電磁石補正用電源

前項の偏向電磁石 2 台ないし 4 台が直列に励磁される。その磁石の補正コイルを励磁する補正用電源を以下に示す。B-BC1-aux; 5A 2V, B-BC1-dump-aux; 5A 5V, B-BC2-aux; 5A 5V, B-BC3-aux; 5A 5V, B-Sw-DC1-aux; 10A 10.4V, B-Sw-DC2-aux; 10A 10.4V, B-und-u-aux; 5A 5V。それぞれ各 1 台ないし 4 台で、全てバイポーラー型で計 19 台である。

### 3.3 ステアリング電磁石電源

以下にステアリング電磁石に対する電源を以下に示す。全てバイポーラー型とする。St-inj; 3A 3V 14 台, St-L-APS, St-BC1; 3A 3V 18 台, St-SB; 3A 3V 6 台, St-BC2; 3A 3V 8 台, St-BC3; 3A 3V 8 台, St-LOLA; 3A 3V 2 台, St-align\_und; 3A 3V 4 台, St-MS; 3A 6V 2 台, St-und\_u; 3A 6V 6 台, St-und; 3A 6V 72 台, St-und\_d; 3A 6V 8 台, St-Bypass; 3A 6V 28 台, St-C1-X,Y; 3A 6V 4 台, St-CB-X,Y; 3A 6V 28 台, St-Long-Coil; 3A 6V 36 台の計 246 台である。

### 3.4 四極電磁石電源

以下に四極電磁石に対する電源の電流、電圧、台数を示す。Q-inj; 3A 3V 1 台, Q-L1,L2,L3; 3A 4V 3 台, Q-BC1~7; 3A 4V 7 台, Q-SB1~3; 3A 4V 3 台, Q-BC2-1~8; 5A 5V 8 台, Q-C1~2; 5A 5V 2 台, Q-LOLA; 20A 5V 2 台, Q-BC3; 10A 7V 9 台, Q-CB1~5; 5A 5V 5 台, Q-CB6~14; 10A 5V 9 台, Q-MS; 20A 5V 5 台, Q-und\_u; 20A 5V 8 台, Q-und; 10A 6V 17 台, Q-und\_d; 10A 6V 4 台, Q-DL1~21; 20A 5V 21 台, の計 104 台である。

### 3.5 ML電磁石電源

ソレノイド型のマグネチックレンズ (ML) 電磁石が入射部付近に設置されるため、ユニポーラー型 20A 16V 電源を 10 台設ける。

### 3.6 電源仕様まとめ

以上の多種に渡る電源は極性の有無、電圧、電流で分類して 12 種にまとめて製作コストを下げる。これにより予備品の台数も削減できる。表 1 に加速器 (Linac) と Matching Section 以降アンジュレータ部 (MS-Undu) を分けた台数を示す。

表 1 : 電源定格別種類集計表

Unipolar 電源	Linac	MS-Undu	合計	種別
3A, 4V	11	0	11	U1
5A, 5V	13	0	13	U2
10A, 7V	15	21	36	U3
20A, 6V	13	21	34	U4

20A, 22V	13	0	13	U5
600A13V	4	0	4	U6
600A62V	0	2	2	U7
小計	53	60	113	

Bipolar 電源	Linac	MS-Undu	合計	種別
±3A, 3V	61	72	133	B1
±3A, 6V	65	52	117	B2
±5A, 5V	15	4	19	B3
±20A, 7V	2	0	2	B4
±10A, 12V	2	2	4	B5
小計	145	130	275	

合計台数	198	190	388
------	-----	-----	-----

## 4. 制御方式

遠隔制御方式として VME-光 I/O か PLC-Device Net かの検討を行った結果、プログラムの変更の容易性・耐ノイズ性などで VME-光 I/O 方式を選択した [3]。光 I/O カードは SPring-8 LINAC や XFEL の先行実験機である SCSS 試験加速器でも使用しているが、今回さらに電源内部に実装する方式に改造する。この VME 光 I/O カードは 64bit の入出力点数があるために、コスト面を考慮し基本的に光 I/O カード 1 枚で 2 電源を制御収容する方式とする。また、今回の電源設計方針として下記の点に特に留意した。

- ・パネル、ボタン色の共通規準化と GUI との親和性
- ・インターロック (安全系、機器保護系との) 取り合いの検討

- ・電源配置、ケーブリングの検討、2ch のまとめ方
- ・水冷ラック実装と他の機器との取り合い
- ・Linac 部と Undulator 部の電源一括製作 など。

出力が 1kW 以上、50A 以上、100V 以上の電源には外部からの非常停止入力接点を設ける。

### 4.1 電源制御出力信号

各電源 (1ch) からの出力信号には以下の 27bit がある。電流モニター 16bit, 電源種別 (Bi/Mono-polar), On/Off ステータス, DAC ビジー, ADC ビジー, 電源異常 (アラーム), 温度異常, 過電流, 負荷温度異常, 流量異常, 非常停止 (外部), 偏差異常 ±5% アラーム (重要電源のみ)。

### 4.2 電源制御入力信号

各電源 (1ch) への入力信号には以下の 21bit がある。電流設定 16bit, DAC-Strobe, ADC-Strobe, On/Off, Reset, On/Off/Reset-Strobe, (外部) 非常停止。

#### 4.3 電源ローカル制御

電源はローカルでは運転しない。ただし非常停止ボタンとNFBなどはローカルに設置される。工場などで試験する場合は光IOカードの模擬SWボードを利用し、またDACやADCの試験など複雑な設定をする場合は光IOカードと可搬型VMEを利用する。

Power Supply Layout for XFEL Magnet

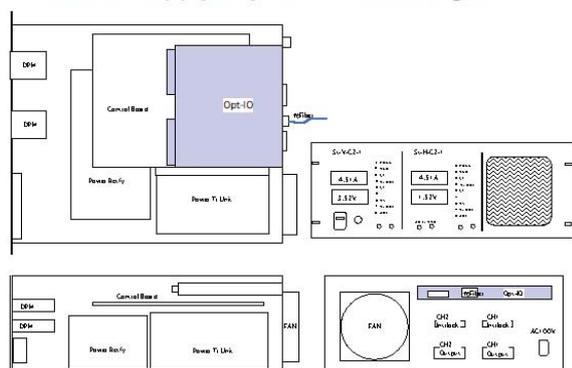


図1：電源内部品配置案。

### 5. 電源設置、配線方式

#### 5.1 電源配置と配線

XFEL加速部の大半を占めるC-Band加速部はクライストロン1本に対して約4mの加速空洞があり(1ユニット)、これに関連した真空装置、モニター装置、同期装置等の電源および制御機器は4連の標準ラックに収容される。この装置が4ユニット単位で(約16m)1セクションの構成をとる(図2)。

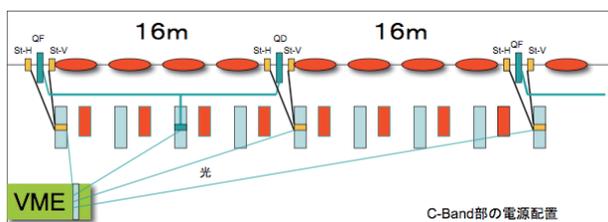


図2：C-bandにおけるQ, St電磁石と電源配置。

このセクション中にQ magnet (X又はYの1台)、Steering Magnet (XとYの2台)が配置される。したがってこの1セクション(16m)中に2chのSt電源が1式、2セクション(32m)中に2chのQ電源1式が設置される。そのためQ-magnet負荷ケーブル長が往復で20mを越える事になるが電圧ドロップは十分小さい。これは単位長さあたりの発熱を押さえる様にケーブル断面積を大きくとり電流密度が1.5A/mm<sup>2</sup>以下に設計するためである。電子銃、Injector部は多くの装

置が配置されるため電磁石電源はやはり16mほど離れた場所に設置されるが同様に問題にはならない。

#### 5.2 電源冷却方式

前述の4連標準ラック内の装置にはタイミング信号分配など温度に関する安定度が非常に重要であるため26°C±0.2°C以内の冷却水によって盤内を空冷する水冷式ラックを導入する。近年、計算機サーバーラック用に水冷方式を取ったものが各社から開発されており、また既に販売されてきているのでこれを利用する。この水冷ラックの1部のスペースに電磁石電源も実装し、温度安定な空冷方式を取れるため電源内部に恒温槽は設置しない。大型の電源で単独で水冷式にする場合もコスト比較を行い、標準水冷ラックを利用するかどうかを決定する。図3にC-band部4連水冷標準ラックの実装案を示す。

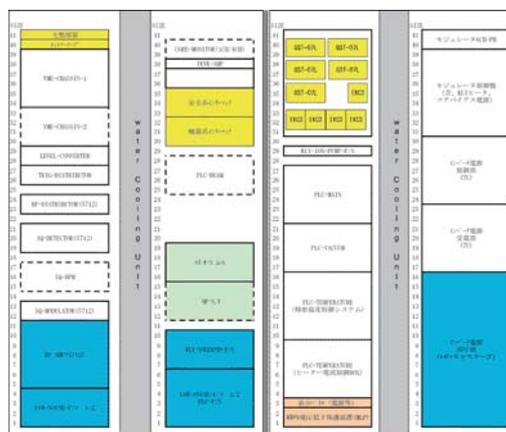


図3：ラック内機器配置(C-Band部)。

エネルギーの高い後段部以降の大型電源は電源単体で水冷方式をとる。

### 6. まとめ

現在、入射部、Bunch Compressor部等のラック内配置取合や各機器名称、管理方法などの調整を行っている。また、4連水冷ラックに収容される他の機器の接続ケーブル等についても配線量、ルートを検討している。年内に1枚の光IOカードと2chの電源のIOとのピンアサイン表の策定作業などを行う予定である。

### 参考文献

- [1] 新竹 積, “X線自由電子レーザー建設の現状”, (W006) 第4回加速器学会年会, 和光, Aug.1, 2007
- [2] K.Fukami, et al., “Design of Electro-magnets for XFEL/SPring-8”, (FP52) Proceedings of the 4th Accelerator Symposium in Japan, Wako, Aug. 3, 2007
- [3] T. Masuda et al., “Upgrade of the SPring-8 Linac Control by Re-engineering the VME Systems for Maximizing Availability”, Proc. Of ICALEPCS '03, Gyeongju, Korea, 2003