

Beam Monitor system Controller for XFEL/SPring-8

Shinobu Inoue^{1,A)}, Hirokazu Maesaka^{A)}, Kenichi Yanagida^{B)}, Shinichi Matsubara^{A)},
Hiroyasu Ego^{B)}, Akihiro Yamashita^{B)} and Yuji Otake^{A)}

^{A)} RIKEN, XFEL Joint Project /SPring-8
1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148

^{B)} JASRI, XFEL Joint Project /SPring-8
1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract (英語)

We have developed a controller for the beam monitor system of XFEL/SPring-8. The control items are the electronics of a beam position monitor (BPM) and a current transformer (CT), the actuator of a screen monitor (SCM) and the stepper motors of a SCM lens system and a beam collimator. To operate such complicated devices, we designed a control system based on a programmable logic controller (PLC). The PLC enables us to implement complex commands easily. For the communication between the PLC and other equipments, we employed FL-net (a protocol to communicate with computers) and DeviceNet (a connection with peripheral devices). Since FL-net is strongly supported by MADOCA, the official framework of SPring-8, we can easily integrate the PLC into the upper level system. DeviceNet is used for the electronics of the BPM and the CT, and for the motor controllers of the SCM and the collimator. We newly developed a DeviceNet-based motor controller to satisfy our complicated requirements of motion manipulation. We tested the beam monitor controller at the SCSS test accelerator and confirmed that it worked well.

X線自由電子レーザー計画におけるビームモニターシステム制御装置

1. はじめに

現在SPring-8キャンパスに建設中のX線自由電子レーザー (XFEL/SPring-8) では、位置測定にRF空洞型ビーム位置検出器 (RF-BPM) [1], ビーム電荷測定に差動型電流モニタ (CT) [2], 形状測定に遷移放射光(OTR)や蛍光板を用いたスクリーンモニタ (SCM) [3], バンチ長測定にコヒーレント遷移放射を用いたマイクロ波波長計[4], ビーム整形にコリメータといったビームモニターシステムを使用する。これらのビームモニターシステムは、測定データ処理などの高速処理を必要とするデータ収集装置と、機器の電子回路や駆動部を制御するための制御装置を必要とする。

ビームモニターシステムの機器を制御する制御装置の設計方針と特徴を以下に挙げる。

- 1) XFEL/SPring-8では、制御装置を制御するための上位制御用ソフトウェアフレームワークとしてデータベースを有するクライアント・サーバー型フレームワークでありSPring-8で開発されたMADOCA (Message And Database Oriented Control Architecture) [5]を採用する。MADOCAの端末である計算機と制御装置のネットワークには、異機種間の相互接続を目的としたオープンなネットワーク規格であるFL-net[6]を採用した。
- 2) 建設時の迅速な立ち上げ・低コスト・メンテナンスの簡略化を目指し、制御装置の機能

(RF-BPMとCTの電子回路装置, SCMのスクリーンの駆動, SCMのズーム・フォーカスやコリメータのステッピングモータの制御など)を集約し種類の共通化したビームモニターシステム制御装置に統合した。これらの多数で複雑な機器を制御するために、複雑な命令を容易に実現できるPLC (Programmable Logic Controller) ベースで構成した。

- 3) 省配線化による建設時間の短縮を目指し、ビームモニターシステム制御装置とRF-BPMとCTの電子回路装置およびステッピングモーターコントローラとの接続は、耐ノイズ性に優れた世界標準化規格のフィールドネットワーク規格であるDeviceNet[7]を採用した。また、SCMスクリーン駆動用のエアシリンダ電磁弁などは接点を切り替える必要があるため、D-subネクタを用いた集合ケーブルで接続した。

このように設計されたビームモニターシステム制御装置は、XFEL/SPring-8に組み込む前に工場で上位計算機と通信するための試験、制御対象とする機器との動作試験を行うことができ、建設時の立ち上げ時間を短縮することができる。

ステッピングモーターコントローラについては、DeviceNetで通信する絶対位置検出・多種の機械原点復帰方法などの高い機能を備えたものを新しく開発した。

本稿では、ビームモニターシステム制御装置とス

¹ E-mail: inoues@spring8.or.jp

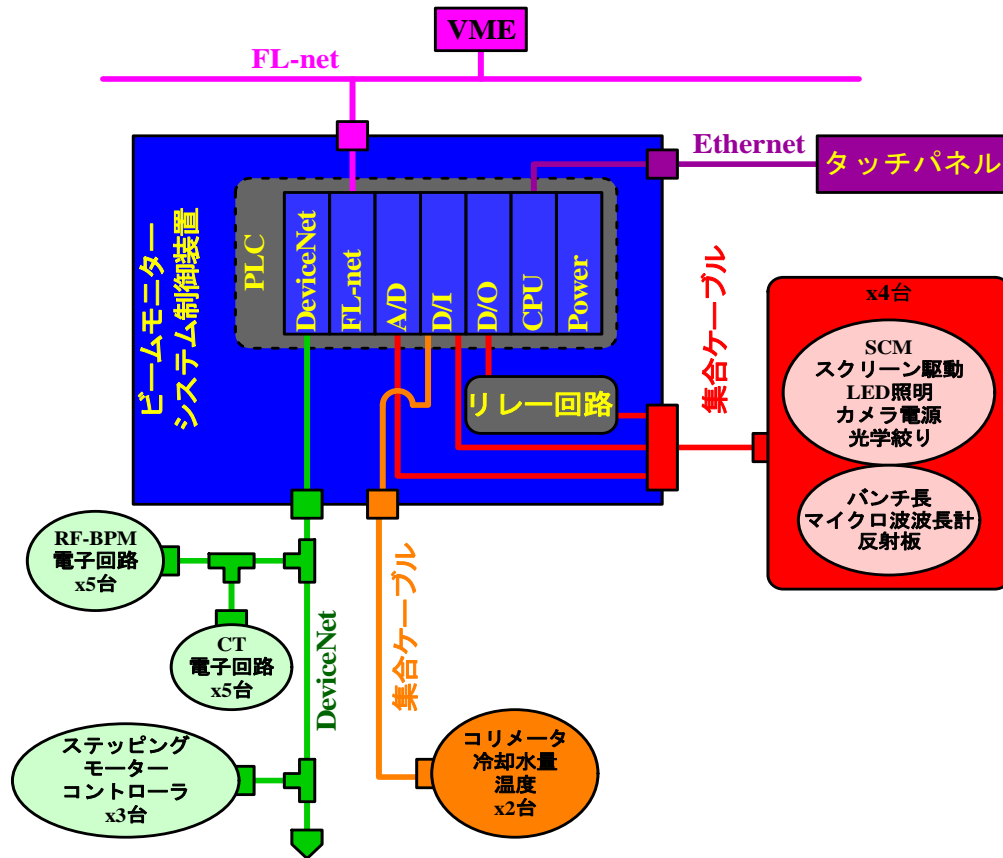


図1：ビーム診断制御装置構成概略図
接続台数は最大数を示す

テッピングモーターコントローラについて報告する。

2. ビームモニターシステム制御装置

ビームモニターシステム制御の構成概略図を図1に示す。ビームモニターシステム制御装置内の構成は、PLCに電力供給するための電源モジュール・Ethernetポート付CPUモジュール・接点信号を出力するためのD/Oモジュール・接点信号を入力するためのD/Iモジュール・アナログ電圧を取り込むためのA/D変換モジュール・MODOCAの端末である計算機（VME）と通信するためのFL-netモジュール・フィールドネットワークを構築するためのDeviceNetモジュールからなるPLCモジュールと、接点の出力信号に応じて動作しSCMなどと接続するためのリレー回路からなる。

ビームモニターシステム制御装置の外観には、ローカル操作のためのタッチパネルやスイッチを設けず、この制御装置はEthernetによって隣ラックに設置される他の制御装置（クライストロン制御装置など）のタッチパネルから操作できる。また、メンテナンス時を考慮し、可搬式のタッチパネルケースを製作した。

ビームモニターシステム制御装置から制御される構成機器を以下に挙げる。

2.1 RF-BPM電子回路

RF-BPM電子回路は、RF-BPMの基準空洞と位置検出空洞から得られたRF信号をIQ（In-phase and Quadrature）復調器で同期検波する回路である。また、入力回路にはアッテネータ切替器があり、アッテネータ切替器制御用のDeviceNetのI/Oポートを備える。

2.2 CT電子回路

CT電子回路は、CTの出力パルス信号を積分回路で波形整形する回路である。また、入力回路にはアッテネータ切替器があり、アッテネータ切替器制御用のDeviceNetのI/Oポートを備える。

2.3 ステッピングモーターコントローラ

ステッピングモーターコントローラは、RF-BPMの架台駆動、SCMのズーム・フォーカス駆動とコリメータ駆動の制御に用いる。制御用のDeviceNetポートを備える。詳細については、第3章にて述べる。

2.4 コリメータ水冷却制御

コリメータは、冷却水で冷却する。冷却水の流量と温度の異常を検出するセンサを備えており、集合

ケーブルを接続するためのD-subコネクタを備える。

2.5 SCMとバンチ長測定

ステッピングモーターコントローラを除いたSCM制御項目は、スクリーン駆動用のエアシリンダ電磁弁制御・スクリーン位置検出用のマイクロスイッチ接点信号検出・LED照明への電力供給と調光制御・カメラへの電力供給・光学絞り回路である。加えて他の制御項目は、バンチ長測定に用いるマイクロ波波長計に関するもので、マイクロ波を導く反射板制御（駆動用のエアシリンダ電磁弁制御・位置検出用のマイクロスイッチ接点信号検出）である。この波長系の詳細構造は、SCMスクリーンに電子ビームが衝突した際に発生するコヒーレント遷移放射を、SCMのビューポートから取り出し、レンズの前に設置された反射板上に反射させ、マイクロ波波長計に導く構成である。つまり、バンチ長測定に用いるマイクロ波波長計とSCMは一体化した構成である。以上の制御信号の伝送は、D-subコネクタを用いた集合ケーブルにより行われている。

2.6 LED照明制御

スクリーン表面を確認するためのLED照明は、印加電圧を調整することで調光できる。印加電圧の調整は、抵抗とリレーによる4ビットのディスクリートのD/A変換回路で行われる、この回路を、ビームモニターシステム制御装置に組み込み、D/A変換回路のリレーをPLCのD/Oモジュールで制御する。

2.7 光学絞り回路

レンズの開口数 (NA) を変え被写体深度を深めるための光学絞りは、監視カメラなどの部品として市販のものを用いた[8]。この光学絞りは駆動用コイル・制動コイル・磁石・バネ・ホール素子で構成されている。絞りは通常はバネで閉まっており、駆動コイルに流れる電流による磁力で開き、開口度合が変わることで制動コイルに起電力が発生し、絞りの開口度合をホール素子で検出する仕組みである。開口調整は、この磁力とバネが釣り合うことで行い、制動コイルの起電力とホール素子の出力電圧で駆動コイルに流す電流をフィードバックすることで行う。このため、抵抗とリレーによるディスクリートの6ビットのD/A変換回路と、OPアンプによるフィードバック回路を組み合わせ、光学絞り回路を製作した。PLCで開口度合を監視するには、ホール素子の出力電圧を光学絞り回路のOPアンプで増幅し、PLCのA/D変換モジュールに入力することで行われる。

2.8 PLCロジックによる共通化

機器の接続台数を共通化したビームモニターシステム制御装置は、接続台数が最大のセクションと比較して少ないものがある。このため、この制御装置のXFELにおける設置場所により、制御台数を変更する必要がある。

また、通常のSCMのスクリーンは、電子ビームの

エネルギーによってOTR測定用の金属板と蛍光板のどちらかを備えているため、スクリーン退避・挿入の2つの位置がある。しかし、XFEL加速器の入射部の50MeV付近のSCMは、金属板と蛍光板の両方を備えているため、スクリーンの退避・金属板・蛍光板の3つの位置がある。このため、制御方法の異なる二種類のSCMがあり、種類の設定を変更する必要がある。

これらの制御台数や種類の設定変更は、PLCロジックで自動化した。

DeviceNetで接続されている機器は、PLCの電源投入時に接続されている機器ノード番号 (DeviceNetアドレス) をスキャンし、ノード番号の有無によって識別できる。この識別には、DeviceNetで接続されている機器のプロファイル (機器メーカーが公開するEDSファイル) と接続されている機器のノード番号を、PLCに予め関連付けて登録している必要がある。SCMの場合は、電源投入時にスクリーン位置検出のためのマイクロスイッチの数量で識別する。また、マイクロ波波長計の反射板についても、SCM同様である。

3. ステッピングモーターコントローラ

電子ビームモニター機器駆動部のステッピングモーターを制御するためコントローラ (以下モーターコントローラ) は、絶対位置管理と機械原点復帰プロセスの機能を持つ。ビームモニター機器のモニターとしての原点は、電子ビーム軌道によって初めて決定される座標によるものであり、機器の機械原点とは異なる。このため、電子ビームの座標軸で機械原点が何処に位置するかを正確に把握しておく必要がある。このため、デバイスの物理的な移動距離に対するステッピングモーターの実際の回転量を知るための絶対位置管理機能と、再現性の高い機械原点復帰プロセスが必要であった。この開発したモーターコントローラは、コントローラとドライバを一体化しており、DeviceNet通信により二軸の5相ステッピングモーターを制御できる。また、1. ステッピングモーターの種類毎に必要な設定機能 (駆動時の励磁電流、1パルス当たりのステップ角、停止時の励磁電流)、2. 機器毎に応じた設定機能 (開始・最高速度設定、加速・減速レート設定、ソフトリミット設定、原点セット機能、回転方向切替機能など) 3. 駆動するために必要な機能 (JOG工程、スキャンドライブ、相対値・絶対値ドライブ、2軸直線補間ドライブ、電磁ブレーキ制御) を持つ。

機器の絶対位置は、レゾルバと5相ステッピングモーターを一体化し、モーターコントローラはレゾルバの出力を検出する。この絶対位置管理によって脱調検出が可能となり、モーターコントローラは正常にステッピングモーターが回転していることを確認できる。このレゾルバは、電磁誘導を使って、軸の角度 θ に比例した $\sin\theta$ と $\cos\theta$ の関係の2つの電圧を出力し、簡単に放射線に強い丈夫な構造なセンサである。一回転内の絶対位置を検出するセンサであるが、モーターコントローラはレゾルバの回転回数をカウ

ントして一回転内の絶対位置と組み合わせることで、総合的な絶対位置を管理している。この絶対位置は、コントローラのメモリーの電池バックアップで、停電でも保持される。

機械原点復帰プロセスでは、機械原点に用いるセンサは、一般的に使用されているマグネスイッチ等の原点センサだけではなく、CW・CCWのリミットセンサも使える。これは、このレゾルバが一回転内で絶対位置測定ができる理由による。しかし、リミットセンサを原点センサとした場合、再現性が問題になる。そこで原点精度向上のためには、図2に示すように、リミットセンサ検出信号のエッジ検出で設定済みの減速レートでステッピングモータを停止させ、リミット検出信号が消えてレゾルバのZ相信号エッジ検出まで逆方向に駆動するようにした。リミットスイッチからモータが離れて最初のZ相に出会う位置は、絶対位置であり、マイクロオーダーの位置精度が保証される。これは、ステッピングモータで一回転させる駆動量に対してリミットセンサの位置決定精度の値が十分小さいために可能となるものである。

参考文献

- [1] H. Maesaka et al., "Development of the RF Cavity BPM of XFEL/SPring-8", Proc. of DIPAC'09 (2009).
- [2] A. Higashiya et al., "Development of a Beam Current Transformer for the X-FEL Project in SPring-8", Proc. of FEL'07 (2007).
- [3] K. Yanagida et al., "Spatial Resolution of Screen Monitor for XFEL/SPring-8", in these proceedings; K. Yanagida, et al., "Optics of Screen Monitor for XFEL/SPring-8", Proc. of the 5th Meeting of the Particle Accel. Soc. of Japan (2008); S. Inoue, et al., "Screen Monitor Prototype for XFEL/SPring-8", Proc. of the 5th Meeting of the Particle Accel. Soc. of Japan (2008).
- [4] H. Maesaka et al., "Development of The Microwave Spectrometer For The Bunch Length Measurement Using Coherent Transition Radiation At The SCSS Prototype Accelerator" Proc. of the 3rd Meeting of the Particle Accel. Soc. of Japan (2006).
- [5] R. Tanaka, et al., "The first operation of control system at the SPring-8 storage ring", Proceedings of ICALEPCS'97, Beijing, China, 1997, p1
- [6] <http://www.jema-net.or.jp/>
- [7] <http://www.odva.org/default.aspx?tabid=66>
- [8] <http://www.nissei-kk.co.jp>

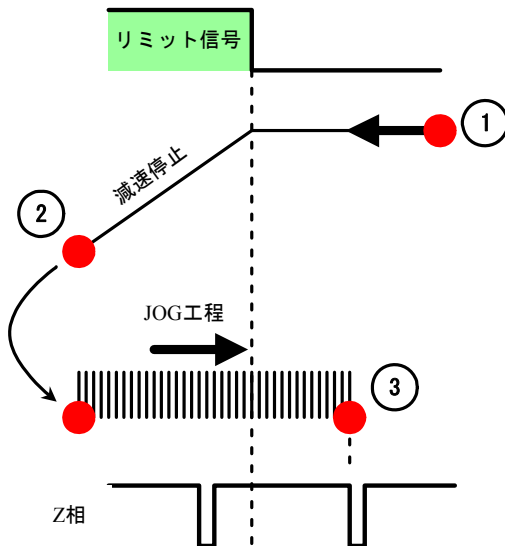


図2：リミットセンサによる機械原点復帰

4. まとめ

XFEL/SPring-8の原理実証を行うために建設されたSCCC試験加速器において、ビームモニターシステム制御装置とステッピングモーターコントローラの評価試験を行い、安定に動作することを確認した。