

新 BL13A の制御システム

○永谷康子、小菅隆、濁川和幸

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光科学研究施設

概要

2009 年度に BL-13A が有機薄膜・生体分子研究用高輝度研究用の真空紫外・軟 X 線分光ビームラインとして建設された^[1]。これに伴い、光学制御系も現在 KEK-PF で進められている「ビームライン制御の標準化」^[2]に沿った形で STARS (Simple Transmission and Retrieval System)^{[3][4]}を使用した制御システムの構築を行なった。制御対象としては、モノクロメータ、ミラー、スリット、ワイヤーモナがありこれらを主としてパルスモータコントローラで制御している。またビームラインからの挿入光源のギャップ制御も行なっている。

現在は、様々なスキャン処理やデータ収集を行なう計測系プログラムの開発を進めている。

本稿では BL-13A 制御システムの詳細および実際に行なった導入作業について報告を行なう。

1 BL-13A の制御対象となるハードウェア

今回再構築されたビームライン BL-13A はアンジュレータから放射される放射光を利用する真空紫外のビームラインであり、図 1 に示すような光学系の配置となっている。このうちワイヤーモナ、ミラー(M1、M2、M3)及び回折格子(G)はパルスモータにより駆動される。そして M2 及び回折格子の軸にはそれぞれリニアエンコーダが取り付けられている。また、ビームラインからの挿入光源のギャップ変更が行なえるようになっている。

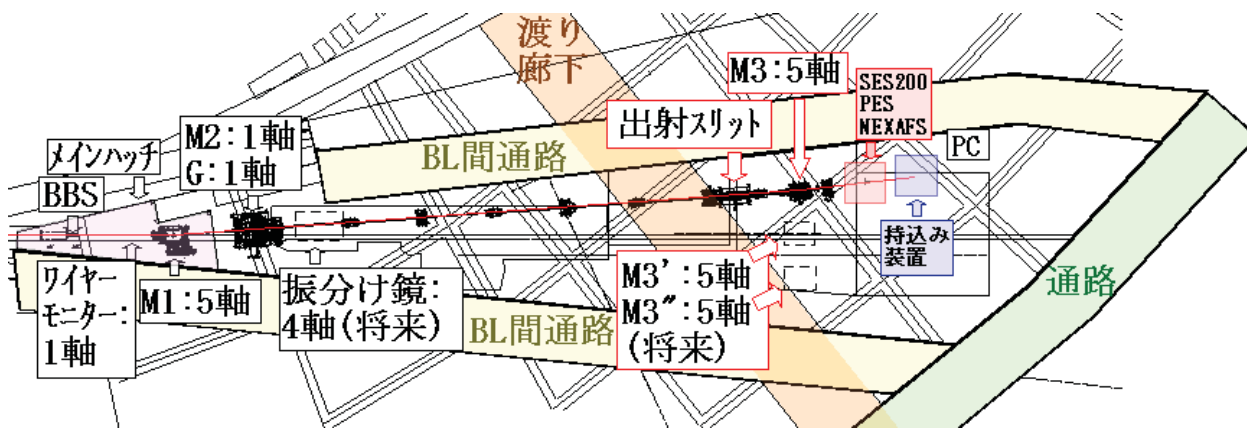


図 1. BL-13A 光学系の配置

1.1 パルスモータ

ワイヤーモナ、ミラー等のコンポーネントの駆動軸数 (=パルスモータの数) は、ワイヤーモナ 1 軸、M1 が 5 軸、M2 が 1 軸、M3 が 5 軸、回折格子 1 軸、の合計 13 軸である。

各パルスモータは規格に合わせたそれぞれのパルスモータドライバに接続され、2 台のパルスモータコントローラ(ツジ電子製 PM16C-04XDL)により制御される。更にこれら 2 台のパルスモータコントローラは

Ethernet に接続し、STARS を用いた制御システムから制御される。

1.2 エンコーダ

M2 及び回折格子それぞれについてサインバーの高さを計測するためのリニアエンコーダが取り付けられており RS-232C ポートを持った表示ユニット(HEIDENHAIN ND287)に接続されている。この表示ユニットはシリアルデバイスサーバ(MOXA NPort 5410)を介して Ethernet に接続し、制御システムから制御される。

1.3 カウンタ

放射光ビームのプロファイルを測定するための出力をカウンタ(ORTEC 975)に接続している。このカウンタは RS232C ポートを有しており、シリアルデバイスサーバ(MOXA NPort 5410)を介して Ethernet に接続し、制御システムから制御される。

1.4 挿入光源のギャップ

放射光光源系の管理下で挿入光源制御用ワークステーション (以下 挿入光源制御 WS) が専用の LAN (以下、挿入光源制御用 LAN) に接続されており、リモートから制御コマンドを送る事で挿入光源のギャップが制御出来るようになっている。今回 STARS から挿入光源のギャップ制御を行なうにあたっては、挿入光源制御用 LAN とビームライン制御用の LAN の間に Linux OS を搭載した OpenBlockS を設置し STARS から制御出来るようにした。

2 システム構成

STARS では複数のクライアントプログラム(User client、I/O client 等)が TCP/IP ソケットを介して STARS サーバに接続しメッセージの送受を行なう事で一つの制御システムを構築していく。STARS サーバ及びクライアントプログラムは同一コンピュータ上にあっても良いが、ネットワークを介した別々のコンピュータ上で動作させても良い。今回はパーソナルコンピュータ 1 台(以下 制御 PC)と OpenBlockS 1 台を用いて構築する事とした。(図 2 参照)

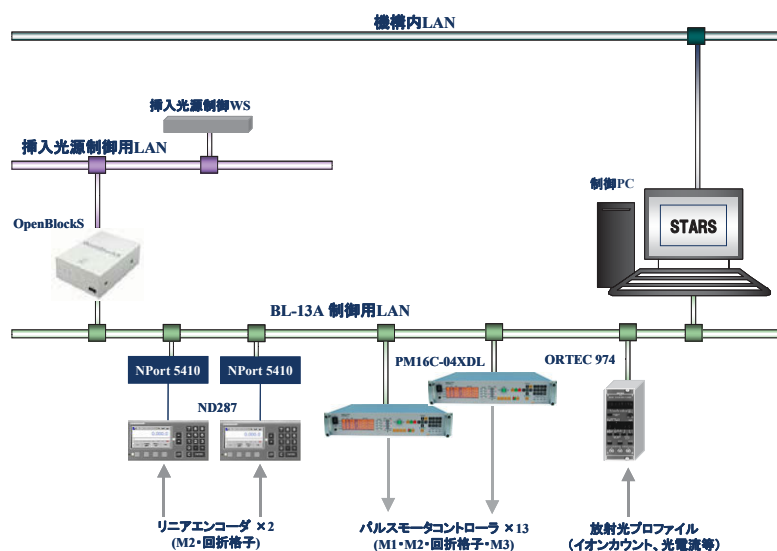


図 2. システム構成図

2.1 制御 PC、OpenBlockS およびネットワーク

まず BL-13A 制御専用の LAN を用意し、制御対象となる 2 台のパルスモータコントローラ、M2 及び回折格子のエンコーダの表示ユニットならびにカウンタそれぞれが接続された 2 台のシリアルデバイスサーバ、そして STARS プログラムが動作する制御 PC、OpenBlockS の接続を行なった。制御 PC (OS: Windows XP Professional) では、挿入光源ギャップ制御用プログラムを除く全ての STARS クライアントおよび STARS サーバが動作する。また、制御 PC にはネットワークインターフェースを 2 つ用意してあり、もう一方は機構内のネットワークに接続した。更にビームラインから挿入光源のギャップ制御を行なうためには挿入光源制御用 LAN に接続する必要があるが、OpenBlockS は 2 つのネットワークインターフェースを持っているので、

もう一方のインターフェイスを挿入光源制御用 LAN に接続させる事とした。OpenBlockS 内でのネットワークルーティングを禁止するよう設定を行ない、かつ挿入光源のギャップ制御に必要なサービスのみを動作させる事によって挿入光源制御用 LAN に対する不用意なアクセスを防止している。

2.2 STARS ソフトウェアの配置

OpenBlockS 上では挿入光源ギャップ制御用 I/O Client が動作し STARS クライアントとして制御 PC 上の STARS サーバとつながる一方、挿入光源制御用 LAN 上の挿入光源制御 WS を制御する。制御 PC の再起動等で一時的にネットワークが切断する事があっても自動的に制御 PC の STARS サーバへの再接続を行なえるよう設定を行なっている。

制御 PC では、STARS サーバと挿入光源ギャップ制御用 I/O Client を除く全ての STARS クライアント（パルスモータコントローラ用 I/O Client、エンコーダ用 I/O Client、ORTEC 用 I/O Client、操作用 GUI、モノクロメータ・ミラー用 I/O Client、各種スクリプトプログラム等）が動作している。

3 システム構築および調整作業

今回はビームライン担当者によるビームラインの調整作業と並行して、制御システムの動作チェックや調整および開発を行なう事となった。なお、BL-13A のシステムを構築するにあたっては、同様の真空紫外ビームラインである BL-16A のビームライン制御システム^[5]からプログラムの多くを利用しながら行なった。

ここでは、STARS 制御システムのインストール後に行なった作業について述べる。

3.1 パルスモータ動作チェックおよび可動範囲の確認

STARS のパルスモータ制御用 GUI を使用し、1 軸ずつパルスモータを動作させ「正しい方向に回転しているか」、「回転はスムーズであるか」、「発熱等がないか」等の基本的な動作チェックを行なった。

次に、可動範囲を超えてしまった際に、インターロックとして動作するリミットスイッチが正しく機能するかのチェックを行なった。

3.2 ワイヤーマニタ、M1、M3 の原点設定

次に、ワイヤーマニタ、M1、M3 の各軸についてパルスモータの原点設定を行なった。手順としては、これらの軸には原点を検出するためのセンサーが可動範囲の中心付近に設置されており、パルスモータコントローラに備わっている原点検出機能を用いる事で原点の位置を検索し、そのパルスの位置でパルスのカウントを 0 にセットする。これらの作業については、BL-16A で使用実績のある STARS スクリプト機能を用いた原点設定プログラムを利用し、対象となる全ての軸に対し自動で原点検出が行なえるようにした。

実際にプログラムを用いて原点設定を行なってみると、原点設定を行なった後パルスモータを元の位置に戻してほしいとの要望がビームライン担当者から寄せられた。原点設定後パルスモータを元の位置に戻す機能については元の原点設定プログラムになかったために、原点設定を行なう前のパルスを記録しておき、原点設定で書き換えられたパルスの差分から元のパルスモータの位置を再計算して、手動でパルスモータを元に戻すようにした。原点設定を頻繁にやり直す事はないと考えての事だったが、実際にはビームライン調整作業中に何度か原点設定のやり直す機会があり些細な作業ではあるがその都度手間が掛かった。今後、パルスモータを元の位置に戻すための機能を原点設定プログラムに追加していきたいと考えている。

3.3 M2、回折格子の原点設定

M2 及び回折格子の 2 軸については、エンコーダの値が 0 となる箇所を原点としてパルスのカウントを 0 にセットする。作業手順としては、パルスモータコントローラを動かしてエンコーダの値が最も 0 に近くな

るところでパルスのカウントを0にセットすればいいのだが、パルスを動かした直後はエンコーダの値にふらつきが発生してしまうため、エンコーダの符号が逆転する付近ではパルスとエンコーダを複数回計測しその平均値が最も0に近いパルスの位置を原点とするのが望ましいと考えた。この一連の作業を行なうプログラムを新たに開発し、M2、回折格子の軸に対し自動で原点検出が行なえるようにした。

3.4 スキャンプログラムの開発

可動範囲の確認と原点設定が終わると、ワイヤーモータ、M1、M2 および回折格子、M3 といった各光学機器について、付随する軸を動かしながらカウンタを通して計測されるイオンカウントや光電流等の値を見てビームライン調整を行なっていく。

これらの一連の作業についても自動で行なえるよう STARS のスクリプト機能を用いたスキャンプログラムを開発した。駆動軸、開始値、終了値、ステップ値、カウンタの計測時間といった計測条件およびコメントを入力すると、条件に従ってパルスモータコントローラが駆動し、カウンタの計測を行なう事が出来るようになってきている。計測結果はテキストファイルに出力され、グラフ作成アプリケーションプログラム gnuplot を用いて計測データの確認が行なえるようになってきている。

3.5 モノクロメータ、ミラー用の I/O Client の導入と計算パラメータの調整

モノクロメータやミラーを動かす場合、長さや角度あるいはエネルギーを指定して動かしたいというニーズが圧倒的に多い。STARS 制御システムを導入した多くの放射光ビームラインではモノクロメータ、ミラー制御用の I/O Client が導入され、このような値を与えるとパルスモータへ送るべきパルス数を計算してパルスモータコントローラを制御出来るようになってきている。BL-13A の M1、M3 のミラーについては、BL-16A で使用されているミラー用の I/O Client を利用してそれぞれのミラーの仕様に合わせて計算パラメータの設定を行なった。BL-13A のモノクロメータは BL-16A のものと同一の規格であるが、BL-16A では M2、回折格子のそれぞれの軸に角度を示すロータリエンコーダが取り付けられているのに対し、BL-13A ではサインバーの高さを示すリニアエンコーダが取り付けられているといった違いがあった。そこで BL-16A のモノクロメータ用 I/O Client を利用して BL-13A のモノクロメータ用 I/O Client を開発し、更に計算式より求められるパルスと実際の移動量について誤差がないか検証する必要がある。

検証作業はビームライン担当者により行なわれたが、制御に関する事柄でいうと、M2 及び回折格子それぞれのパルスとエンコーダの値の関係をプロットしたいとの要望がビームライン担当者から寄せられた。そこで先だって開発したスキャンプログラムに修正を加え、M2 と回折格子をスキャンする際には、エンコーダの値の記録も合わせてとるようにした。ちなみに、図 3 は実際に計測された回折格子とパルスの関係を示すグラフである。このようなビームライン担当者による検証結果を計算パラメータに反映していく事で誤差を最小限にとどめるようにした。

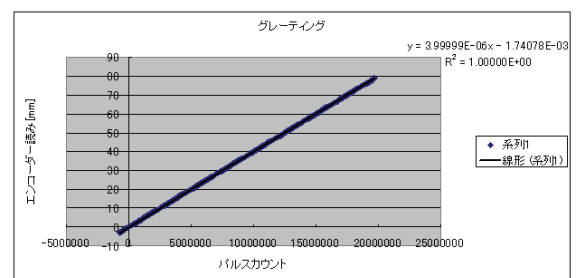


図 3. 回折格子とパルスの関係

3.6 挿入光源ギャップ制御プログラムの開発

現在、放射光光源系で「ビームラインからの挿入光源のギャップ制御の共通化」作業が進められており順次そのための設備の置き換えが進められている。BL-13 の挿入光源についてはこの設備の置き換えがしばらく先になるため、BL-13 の挿入光源制御専用の STARS プログラムを開発する事となった。

現在、挿入光源のギャップの変更は出来ているが、挿入光源制御 WS に送る制御コマンドがわからない

め現在値を取りにくい事が出来ていない。この課題に対しては、放射光光源系が公開している PF 運転情報サーバから PF リング情報を取得するための STARS プログラム群を別途導入する事で、挿入光源のギャップの現在値を確認出来るようにしている。

4 制御に関するトラブル

ここでは、BL-13A の制御に関して実際に起こったトラブルについて述べる。

4.1 カウンタから想定どおりのカウントがとれない

スキャンプログラムを実際に動かしてみると、想定通りのカウントがうまくとれていない事があった。調査を進めていくと、ORTEC カウンタの本体にある DWELL スイッチが ON になっていると、リモート制御とは関係なくカウンタ本体で自動的にゲートの開閉を行ってしまう事がわかった。この現象を回避するため、ビームライン担当者に本体のスイッチを OFF にして運用してもらうようお願いした。

4.2 スキャンを繰り返すとパルスの位置がずれていく

ある軸についてスキャンを繰り返すとパルスの位置がずれていくという現象がおこった。調査を進めていくと、パルスモータコントローラ本体の HOLD OFF の設定が有効になっていたため、パルス駆動時のみモータドライバに対して通電するようになっており、この設定を無効にすると位置ずれの現象が回避される事がわかった。また、HOLD OFF を無効に設定すると常にモータドライバに対して通電を行なうようになるため発熱等の問題がおきないかどうかについても確認を行なった。この後さらに、問題が発生していない他の全ての軸に対しても念のために HOLD OFF の設定を無効に変更した。

4.3 スキャンプログラムのエラー判定処理がもれていたために起こったトラブル

例えば可動範囲を超えてモータを動かそうとしたりあるいはカウンタから LAN までの配線が切れていたりとするとスキャン計測は不可能となるが、スキャンプログラムにエラー判定の処理が組み込まれていなかったため、処理が続行され正しくないデータが書き込まれてしまい、ビームライン担当者から調査を求められる事があった。これらについては該当箇所を調査しプログラムの修正を行なった。

5 BL-13A の制御の現状

その後、スキャンプログラムを GUI から動作させるための機能や、スキャンを行なっている途中の計測データをグラフで確認出来るようにするための機能 (図 4) が追加された。

また、エレクトロメータ (Keithley Model 6517A, 6514) を用いて、様々な放射光のプロファイルの計測を行ないたいというビームライン担当者からの要望を受けて STARS の I/O Client の開発を行なった。現在はビームライン担当者からの導入指示を待っている状態である。

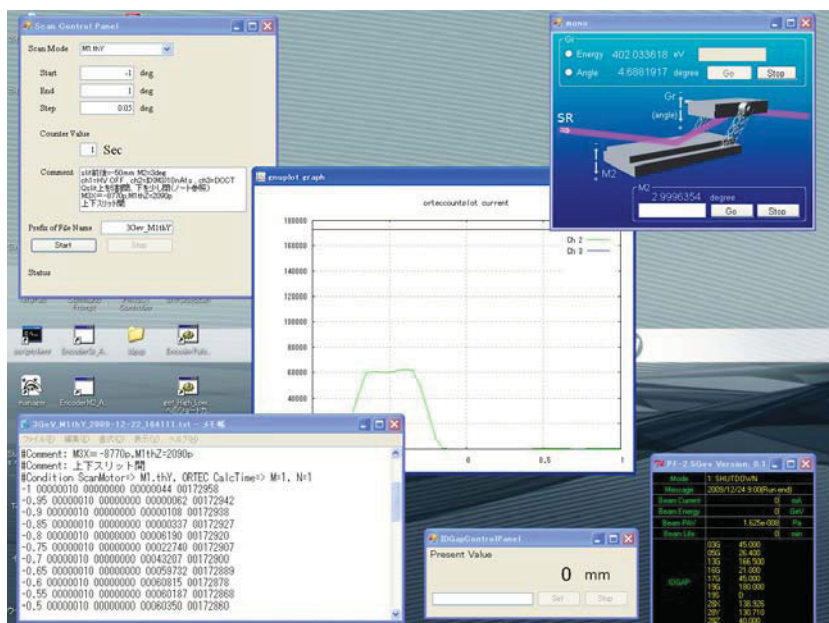


図 4. BL-13A の GUI

6 まとめと今後の課題

今回の BL-13A ビームライン制御システムの導入および開発は、STARS を利用した事、そして BL-16A をはじめとする過去の資産を利用する事で容易に構築する事が出来た。制御対象となるハードウェアの設定に関することや、原点設定後モータを元の位置に戻す必要が発生した事等、実際にビームライン調整作業の中でシステムを使ってみて気がつかされた事が多くあった。これらについては今後の制御システムの構築に生かしていきたい。

今後は、ユーザが利用する事を想定した機能開発を行なっていく予定である。また BL-13A に関しては引き続きビームラインの建設が行なわれる事になっており、要請があれば必要な制御プログラムの開発を行なっていく。

参考文献

- [1] K. Mase, A. Toyoshima, T. Kikuchi, H. Tanaka, K. Amemiya, and K. Ito, AIP conference proceedings, submitted.
- [2] 小菅 隆, et al, “P Fにおけるビームライン制御標準化に関する取り組み”, 平成 17 年度分子科学研究所 技術研究会
- [3] <http://stars.kek.jp>
- [4] T Kosuge et al, “Recent Progress of STARS”, PCaPAC2005 proceedings, March 2005
- [5] 小菅 隆, et al, “放射光ビームライン BL-16A への STARS 導入 “, 平成 19 年度核融合科学研究所 技術研究会