

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）における放射光利用実験のための 制御・計測用ソフトウェアの開発

○高野琢^{A)}、真野篤志^{A)}

^{A)} 教育・研究技術支援室 計測・制御技術系

概要

中部シンクロトロン光利用施設（仮称）では、迫る平成 25 年 3 月 23 日からのユーザ供用開始へ向けて調整作業が急ピッチで進められている。実際に光源加速器を運転し放射光利用実験を行うにあたっては、シンクロトロン電子加速器（光源施設）の運転員およびビームラインユーザそれぞれのためのインターフェースとなるべきソフトウェアの開発が必須である。また、施設をユーザ供用できる状態に上げるためには、各種装置類の動作確認と最適化を行うスタディのためのモニタリングツールの開発が必要となる。本報告では、筆者が担当したソフトウェアのうち下記に挙げる 3 点を中心に、その詳細を報告する。

1. 放射光モニター
2. 電子加速器調整用状態監視モニター
3. 軟 X 線ビームライン(BL7U)用制御・計測ソフトウェア

1 放射光モニター

蓄積リングを周回する電子は、偏向電磁石などの外部磁場によりその進行方向を曲げられる際に運動接線方向に放射光を放出する。放射光施設は、この放射光（X 線から赤外線までの非常に広帯域な電磁波）を利用して回折・分光測定などの各種分析評価を行う実験研究環境を提供することを目的としている。したがって、いかに安定的に加速電子をリング上に蓄積できるかが放射光施設運用の成否を左右する最重要要因であるといっても過言ではない。例えば、電子ビームの位置がドリフト的に変動すればビームラインの光軸が変動する要因となるし、ビームサイズの変動は取り出される放射光の輝度の変動に直結する。また、電子ビームを収束する役割を果たす多極電磁石の復元力との共振により激しい振動とともに電子ビームが一瞬の内に失われることもある。これらのトラブルを可能な限り回避するためにも、電子ビームの現状把握のためのモニタリングツールが必須となる。

そこで我々は、偏向電磁石部から取り出した放射光（の内の可視光線）を集光光学系のもと CCD カメラで撮影し、リアルタイムに観察・解析を行う放射光モニタリングシステムの開発を行った。（具体的な光学系の詳細については真野篤志氏の報告 PKEI-2 を参照）直接観察するのはあくまで放射光であり、電子ビームそのものではない。しかしながら、電子ビーム運動を診断するうえでの多くの情報を得ることができる。

1.1 システムの概要

CCD カメラは、比較的安価に入手できる Imaging Source 社の DMK31BG03.H（80 万画素 1/3 インチモノクロ GigE 8bit 30fps）を用いた。（この機種は既に廃版となっている）Giga bit Ethernet 経由で遠隔から映像取得を行うため、回線への負担をなるべく抑えるためと、後述するデータ処理の高速化のためモノクロ機種を選

定した。

プログラミングについては、NI-IMAQ 共通ドライバを使用した LabVIEW、及び Win32API を使用した C 言語を利用した。ここで、画像データは 30 フレーム/秒で転送されてくるため、データの取得・最小 2 乗ガウスフィッティング解析・カラー化処理・画像表示・画像保存（バッファリング）・加速器異常検出・SQL データベースへのデータアップロード・その他諸々の全ての処理を 30(msec)以内には完結していかなくてはならないため、技術的要素としてはなるべく効率的なコーディングに腐心した（つもりである）。

使用した PC の主要スペックは、OS : Windows7 32bit、CPU : Intel®Pentium® G6950 2.8GHz、メモリ : 2.0GB である。

1.2 主な機能

放射光モニターの主な機能は以下のとおりである。

- ドライビングレコーダー機能(異常検知録画システム)

電子ビーム寿命の突発的な低下（後述の電子加速器状態監視モニターで監視している）や、各種インターロックエラーなど、加速器状態の異常を検知した場合、検知するまでの「過去の」映像を圧縮動画で自動的に保存する機能。加速器不具合発生の際の原因追及に有用となる。

- avi 保存(エンコーダは選択可能)

通常録画だけでなく、画像データバッファリングを行うことにより、直前 5 秒間の映像記録を取得できるようにした。

- リアルタイムフィッティング解析

ビームの中心位置及びサイズをガウスフィッティングによりフレームごとに解析を行う(図 1)。得られた解析結果は SQL データサーバにアップロードし、過去データへの参照を可能にした。

- 画像回転・ズーム機能

- オートゲインコントロール

CCD カメラの受光素子の損傷を防ぐため、過度な露光を検知した場合に自動的にゲイン調整を行う。ゲインが低すぎる場合も同様に調整を行い、最適な露光状態を保持する。

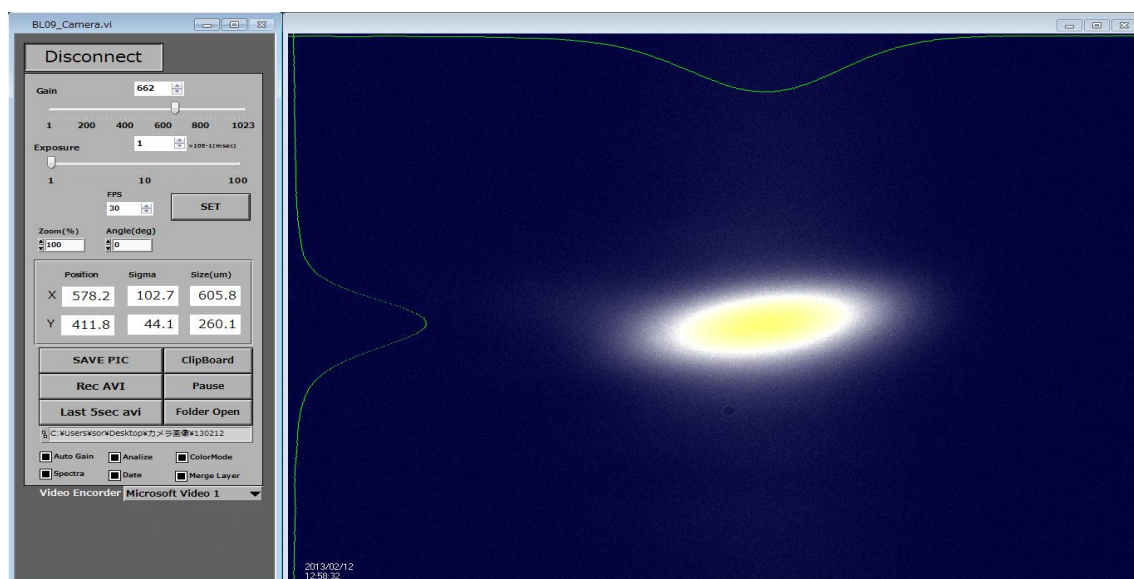


図 1. 放射光モニター画面。カラーマップを作成し適用することにより、モノクロデータをカラーに変換して表示している。典型的な放射光サイズは縦 250(μ m)、横 600(μ m)程度。

2 電子加速器調整用状態監視モニター

電子加速器は、電磁石・真空系・高周波系・冷却水系など実に多種多様で膨大な量のコンポーネントにより構成されており、運転時にはそれらが全て何の問題もなく動作することが求められ、例えば問題が生じていなくとも常に状態を把握し、監視・記録できるようなモニタリング体制が必要である。このため中部 SR では、EPICS と呼ばれる分散制御システム[1]を導入し、加速器運転上重要な監視項目はほぼ全てリモートから監視できる状態となっているが、その監視項目数はゆうに1万点を超える量であり、人間がそれらすべてを完全に把握することは不可能である。そこで、加速器運転上特に優先度が高い情報のみを効率よくピックアップし、かつ視覚的に状況を把握しやすくすることを目的として加速器状態監視モニターを開発した。光源加速器最適化のための調整スタディ、及び定常運転には必要不可欠なツールとなっている。

2.1 システムの概要

データの授受は EPICS システムによる Channel Access プロトコルにより行われ、Ethernet のネットワークに接続することにより、任意の場所から各 PLC が配信するリアルタイムなデータにアクセスすることができる。EPICS ホームページ上で配布されているドライバを Linux および Windows マシンにインストールすることが出来、簡単な設定操作でクライアントを作成することができる。データの受信+グラフ化は LabVIEW を用いて行った。(LabVIEW 用のドライバも配布されている。)

2.2 主な機能

監視項目を下記の約200点程度に絞り、効果的なデータ可視化とログ保存を行う。

- 直線加速器における加速電荷量と Bunch-by-Bunch の加速電子のエネルギー測定 (相対値)
- 電子の加速効率、入射効率、Life Time の計測
- 蓄積リング全周の32カ所に設置された Beam Position Monitoring 計測値の可視化
- インターロック等の Fault 信号の表示とログ記録
- 100カ所程度の真空度の表示と推移の可視化
- SQL データベースより過去の任意の監視項目についてのデータ取出しと EXCEL への出力

3 軟 X 線ビームライン(BL7U)用制御・計測ソフトウェア

中部 SR の「BL7U」は、挿入光源 APPLE-II 型アンジュレータから発せられる放射光から軟 X 線・紫外領域の光を分光して取り出し、光電子分光測定等を行うための軟 X 線ビームラインである。ここでは放射光を取り出すためのアンジュレータの制御、軟 X 線・紫外光を分光するための分光光学系の制御、軟 X 線・紫外光を利用した計測をそれぞれ一括して行うためのユーザ用制御・計測ソフトウェアの開発について報告する。なお、プログラムは未だ開発途上であり、今後数年単位の時間をかけて少しずつ (ユーザと相談しながら) 機能の拡充とコードの簡素化を図る予定となっている。

3.1 システムの概要

プログラムの開発は主に LabVIEW ベースで行っている。GUI 構築とイベント処理等は LabVIEW で記述し、その他特に計算処理速度が求められる部分のみ C 言語で記述し、外部ライブラリ(dll)として LabVIEW に読み込ませる形式を採用している。

放射光を発生させるためのアンジュレータは光源加速器側のコンポーネントであるため、この制御部分については EPICS の Channel Access を利用し、ビームライン側の光学素子類 (シャッター・ピンホール・ミラ

ー・分光器など)は5相ステップモータ駆動で Ethernet 経由の制御を行う。特に精密な制御を必要とする分光器部分(ミラーと回折格子)については、100 万分の 1 度精度の角度エンコーダを導入し、パルス数ではなくエンコーダ値でフィードバック制御を行うことにより、決められた角度へ再現性良く到達できるようにした。(ただし、現状では駆動軸のバックラッシュ・外気温変動・空調の風圧等の影響が無視できないため、今後ピエゾアクチュエータによる精密制御を行うなどの対策が必要である。)

不特定多数のユーザを対象としたプログラミングは特に細心の注意を必要とする。直感的に迷わず操作しやすい GUI の構築、予期せぬ操作によるトラブルの未然防止策など、検討を要する項目は枚挙に暇がない。その中でもプログラムの安定動作は最重要課題であり、綿密なバグ出しを要する。特に厄介なのは制御・測定機器間の通信部分であり、ほとんど予測不可能なエラーを出して実験が中断させられる状況もしばしば経験している。本システムでは、筆者が以前大型放射光施設 SPring-8 のビームライン制御計測ソフトを立ち上げた際の技術ノウハウを元に、(今のところは)安定なシステムをかなりの短期間で立ち上げることに成功している。

3.2 主な機能

- アンジュレータの制御(Gap と位相)と、スキャン測定
- 角度エンコーダによるフィードバック制御
- エネルギースキャン測定

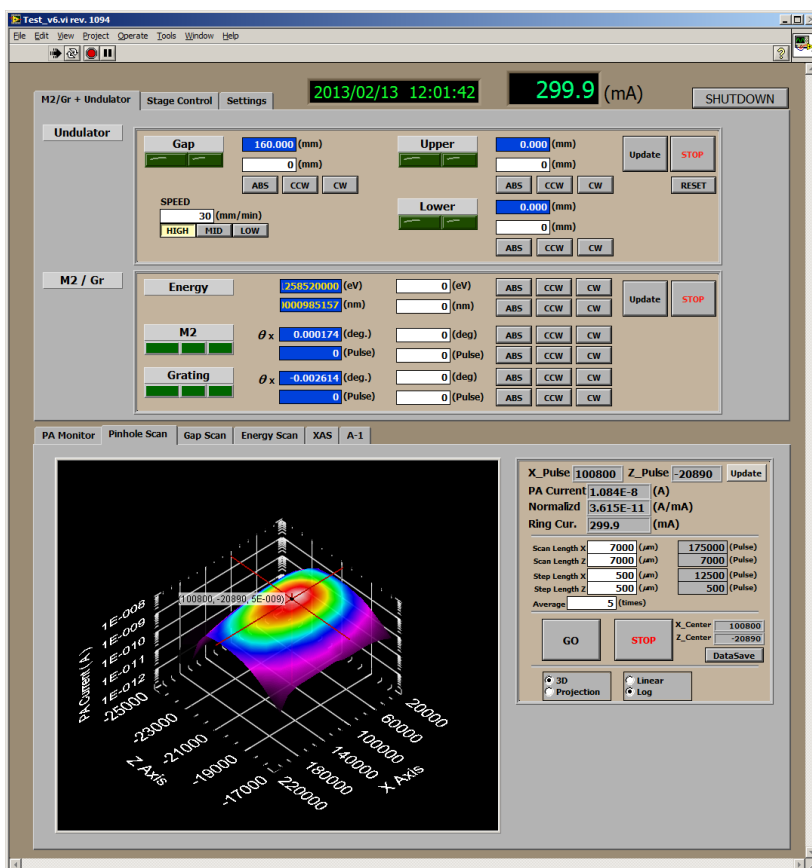


図 2. 軟 X 線ビームライン(BL7U)制御計測ソフト

参考文献

- [1] 分散制御システム EPICS のホームページアドレス <http://www.aps.anl.gov/epics/index.php>