

CONTROL SYSTEM OF THE KEK LASER UNDULATOR COMPACT X-RAY SOURCE (LUCX)

S. Araki^{*A)}, M. Fukuda^{A)}, K. Hirano^{†A)}, Y. Honda^{A)}, T. Muto^{‡A)}, S. Liu^{A)}, J. Odagiri^{A)},
 K. Sakaue^{B)}, M. Takano^{C)}, N. Terunuma^{A)}, J. Urakawa^{A)}, Y. Yamazaki^{†A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University

17 Kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044

^{C)} Saube Co., Ltd.

3-17-3 Hanabatake, Tsukuba-shi, Ibaraki 300-3261

Abstract

Laser Undulator Compact X-ray source (LUCX) is constructed jointly by High Energy Accelerator Research Organization (KEK) and National Institute of Radiological Science (NIRS) for R&D purposes of the multi-bunch photo-cathode RF Gun. We have finished the installation of 43-MeV linac and started operation in the summer of 2006.

The Second phase of the LUCX control system using PLC (KV-1000) and Network devices has been developed based on the EPICS toolkit running on PC/Linux. The present status of the control system is reported. A style of the designing small-scale control system is also discussed.

KEK小型電子加速器(LUCX)の制御システム

1. はじめに

将来の高フラックスX線源用要素技術開発のために、レーザー蓄積装置と高輝度電子ビーム源の研究開発を進めている。技術実証装置として、低コスト化、小型化、省電力化などの観点から我々グループはKEKアセンブリホール内に Laser Undulator Compact X-ray source (LUCX)と呼ばれる小型電子加速器を建設した。第一期実験は、高電荷のマルチバンチビームを発生させ、これを高品質で安定に加速させる技術の開発を目的として、2004年夏よりフォトカソードRF電子銃単体による高輝度電子ビームの生成実験を始めた。2005年夏には、RF電子銃で生成したビームエネルギー5MeVの100バンチ電子ビーム運転を開始し同年9月には250nC/100バンチの生成実験を成功させた[1]。

そして、第二期実験として高輝度の43MeV電子ビームとレーザー共振器内に蓄積したパルスレーザー（波長1064nm）との逆コンプトン散乱によるX線（33keV）生成の原理実証試験を計画した。X線生成の実証実験の為に、ビームラインの改造が必要である。エネルギーを43MeVまで増強するために3mのS-band加速管を組み入れ、コンプトン散乱用レーザー光蓄積装置も設置する必要がある[2]。ただし既存の加速器シールド内に納めるため、室内の配置（図1）を出来るだけコンパクトにする必要があった。電子銃およびシケイン部分の変更は無く、それ以降が更新された。ビームラインの主な変更部分は、加速管の設置、衝突点での電子ビーム収束用

の四極電磁石を4台、軌道補正用の偏向電磁石3セットの追加である。また、ビームダンプ直前の分析電磁石は縦置きにして、ビームダンプはその鉛直方向真下に設置した。電子ビーム・真空チェンバーは、長さが以前の約3倍程度になるため、イオンポンプと各種ビーム診断用モニタの再配置を行った。

2006年3月末に無事加速器の再建設を終えてRFのエイジングを再開した。そして、本年7月にはビームエネルギー40MeV程度の運転を開始し、加速器制御システムの総合テストを完了した。本システムの制御対象は、加速器とレーザー蓄積装置であり、これらの制御とデータ収集およびインターロック装置について現状を述べる。

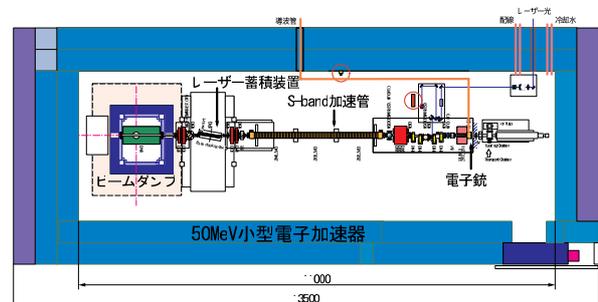


図1 小型電子加速器ビームラインの概略図。

右側に電子銃を配置し生成された4MeVの電子ビームは、レーザー入力用のシケイン部を通り加速管で43MeVまで加速される。収束された衝突点には、レーザー蓄積装置を配置する。偏向電磁石の真下にビームダンプがあり、その電磁石の周囲は厚さ200mmの鉛シールドで囲われている。

* E-mail : sakae.araki@kek.jp

† 現所属 : 日本原子力研究開発機構

‡ 現所属 : 東北大学原子核理学研究施設

2. LUCXの制御システム

LUCXの制御システムには二つの特徴がある。一つは、図2に示すようにイーサネットをフィールド・バスとして利用する事により、各種のデバイスを制御計算機(PC)に接続した事である。近年、PLCなどのインテリジェントなコントローラおよびデータ・ロガーの多くがイーサネット・インタフェースを備えているため、これらのデバイスは本制御システムに容易に接続することが出来る。

もう一つの特徴は、ソフトウェア・プラットフォームとしてExperimental Physics and Industrial Control System (EPICS)を採用した事である。EPICS 3.14は数多くのOS上で実行できるようになった。特にLinuxを利用できるようになったことには大きなメリットがある。3.13以前のバージョンのEPICSではフロント・エンドの計算機(Input/Output Controller, 以下IOCと略す)と操作画面などの上位アプリケーションを実行する計算機は別々の計算機を必要としたが、3.14ではLinuxを実行する一台のPCで両者の役割を果たせるようになった。また、その帰結として全てのソフトウェア開発がセルフ開発となることで開発の効率が著しく向上した。

イーサネット接続可能なデバイスをEPICSに接続するため、KEKのEPICS横断化グループと共同でデバイス/ドライバ・サポートを開発した。各種のデバイスを全てEPICSにより制御、モニタすることで一体化したシステムの構築が可能となった [3]。

2.1 データ・ロガー

加速器シールド内には数多くの温度モニタや電圧測定等が必要不可欠で、効率よくデータ収集するためにネットワークに接続可能なデータ・ロガー/DA100(横河電機製)を設置して、約40点を2Hz程度のサンプリングでデータ収集をしている。

2.2 CAMAC

真空度(イオンポンプとCCG)のモニタ、電磁石の電流設定、およびクライストロンRF制御系の入力レベルとタイミング調整は、安定性と実績を持つCAMACモジュールを介して行っている。クレーン・コントローラには、CPUを内蔵しLinuxが起動できるCC/NET[4]を使用している。これによりCC/NET自身をEPICSのIOCとして利用することが可能になる。IOCとしてのCC/NETは、デスクトップ

PCのIOCとチャンネル・アクセスを介して協調的に動作する。

電子ビームの診断をするためのビームモニタ(位置、電流値およびロスモニタ)系の読み出しにもCAMACモジュールを使用している。そのためCC/NET-EPICSで直にデータ収集し信号処理も可能であるが、安定性と収集速度および解析も重要なため実績のあるクライアント/サーバー・プログラム(C言語)で処理を行い、EPICSにデータを渡している。また、スクリーンモニタ(OTR光モニタも含む)は、専用PCで画像を取り込んで解析している。画像データはサイズも大きく、直接EPICSには組み込まれていない。

2.3 PLC

第一期から使用している。PLC/FA-M3(横川電機製)はクライストロンモジュラータ制御専用である。今回、新たにスクリーンモニタ5台の制御、冷却水流量モニタ、低速インターロック系制御用フィールド・バスとしてPLC/KV-1000(キーエンス製)を導入した。制御室と加速器室内の配線を簡素化し経済的に制御の分散化を図り、加速器運転と独立に開発・制御を可能にした。その際、PLC用のデバイス/ドライバ・サポート(NetDev)もKV-1000対応に更新した。また、放射線安全インターロックにもPLC/KV-1000が用いられているが、これは直接EPICSには組み込まず独立して安全を確保している。

2.4 レガシー機器

制御対象機器には、イーサネット・プロトコルに直接対応していない物もある。例えば、レーザーシステムの光学系の調整や、導波管フェーズ・シフト等はRS232C通信機器である。また、オシロスコープ等のGPIB通信機器も数多く利用されている。しかし、それぞれのEthernet変換器を介することでネットワークから制御可能となり、集約して制御が行える。

2.5 コンソールシステムおよび解析

ヒューマン・インタフェースはPC上のX-windowシステム上で実行される。操作画面として主にEPICSのMEDMを使用するが、必要に応じてGTKにより作成した物もある(図3)。ビームモニタ系に関わる制御はマシン・スタディと密接に関わるため、

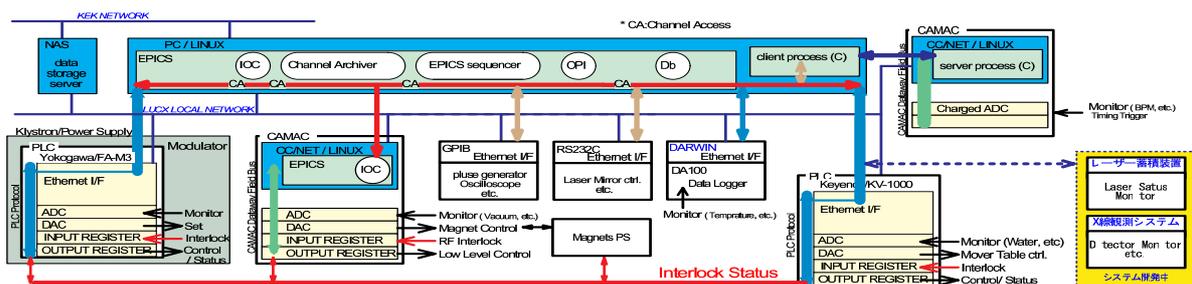


図2 小型電子加速器 (LUCX) の制御構成図。

ROOTプログラム[5]を利用してユーザが独自にデータ解析と開発を進めている(図4)。運転時に必要な制御は全てこれらのGUIを使用してネットワーク越しに行うことができる。

また、モニタしたデータの保存と復元にはEPICSのChannel Archiver[6]を採用している。保存するデータ量は第一期の運転期間では18MB/day程度、最近の拡張後では約30MB/dayに達した。バックアップと二次解析のために定期的にNAS(Network Attached Storage)にデータを複製しているが、画像データも含めた場合には60MB/dayになる。保存したデータの表示は、直接Shell Scriptで読み出してGNU PLOTで表示している。外部からWWW等での閲覧も検討しているが、小規模システムでは利用も限定しているので、今のところ然程の需要は見込まれていない。

3. レーザー蓄積装置

現在のレーザー蓄積装置の開発状況は、加速器に組み込むための真空チャンバーが完成し、単体テストが進行中である。蓄積装置は、光共振器内に赤外レーザーパルス(波長=1064nm)を蓄積する[7]。レーザー制御は、実績のある既に開発されたアナログ回路を用いて独立に行うが、衝突位置調整用の光蓄積装置ムーバー架台の制御、レーザーシステムのモニタ系およびミラー調整が新たに本システムの制御対象となる。また、電子ビームとの衝突で発生したX線の観測システムの開発も重要であり、データ収集も含めて加速器と一体化したシステムが望まれる。

4. まとめと今後の課題

第一期でPC/Linux-EPICSシステムの安定性および実用性が実証されたため、第二期ではそのシステムの拡張により短期間でシステムを再構築することができた。システムの低速インターロックなどをPLCの導入で切り分けることにより、応答速度と信頼性を高めて開発と独立制御が行えるようになった。イベント毎のデータはChannel Archiverで一括管理されて自由に復元できる。

運転時のインターロックによる停止の場合、自動復帰が行われるが、加速器を拡張したためRFや真空の状況により処理動作を選択する必要がある。今後、電子ビームの安定化のために、最適化の必要がある。また、X線生成に向けたレーザー蓄積装置の組み込みとLUCX制御システムとの連携を進める必要がある。

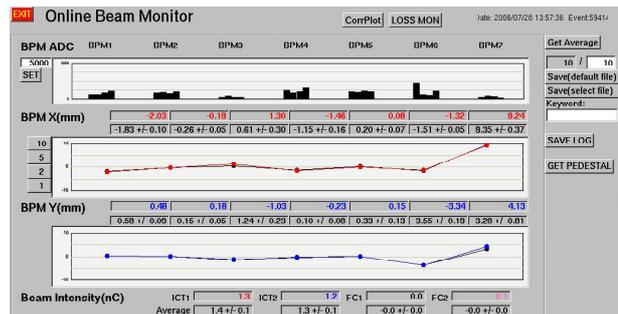


図4 ビームモニタのオンライン画面。

BPMによる位置表示およびICTとFCのビーム強度を表示している。ROOTにより作成。

参考文献

- [1] K. Hirano, et al., "High-intensity multi-bunch beam generation by a photo-cathode RF gun", Nucl. Instr. and Meth. A560, pp233-239 (2006).
- [2] M. Fukuda, et al., "Present status of Laser Undulator for Network-based Devices", in this meeting.
- [3] J. Odagiri, et al., "Development of EPICS Device/ driver Modules for Network-based Devices", in this meeting.
- [4] Y. Yasu, et al., "Development of the pipeline CAMAC controller with PC/104-Plus single board computer", Proceedings of 13th IEEE-NPSS Real Time Conference, Montreal, Canada, May 18-23, 2003.
- [5] <http://root.cern.ch/>
- [6] <http://ics-web1.sns.ornl.gov/~kasemir/archiver/>
- [7] K. Sakaue, et al., "Laser Undulator Compact X-ray source (LUCX) using pulsed-laser stacking cavity", in this meeting.



図3 ウィンドウアプリケーションの様子。

これらは加速器の通常運転時に最低限必要な画面である。真空インターロックによりRFと電子ビームが停止してその後自動復帰によりRFが徐々に設定出力まで上昇した様子を表している。主な操作は右側のウィンドウから行われ、左側にはステータス・モニタを表示している。黄線で示すものはMEDM、桃線で示す物はGTKで作製されている。