



3. SACLA 加速器制御システム

福井 達¹, 石井美保², 大端 通², 籠 正裕², 佐治超爾²,
杉本 崇², 田中良太郎², 広野等子², 古川行人², 細田直康²,
増田剛正², 松下智裕², 松本崇博², 山鹿光裕², 山下明広²

¹独立行政法人理化学研究所 播磨研究所 放射光科学総合研究センター XFEL 研究開発部門

〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

²財団法人高輝度光科学研究センター 制御・情報部門

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

要旨 SACLA の加速器制御システムは SPring-8 の制御系として開発された MADOCA をフレームワークとして採用しており、本制御システムでは施設制御やビームショットに同期したデータ収集系にも対応を広げている。本稿では機器構成を中心に設計方針等を交えながら解説する。

3.1 制御系の設計

SACLA が目指している X 線領域での安定なレーザー発振を実現するためには加速器の各機器に対して非常に厳しい安定度が要求されるとともに、制御系に置いても安定に動作することに加え、レーザー発振が不安定になる要因を検知して素早く対応するための機能が要求される。SPring-8 の制御システムに比べてもビームショットごとのデータの取り込みや 5 倍以上のデータ点数等を扱う必要があり、安定性と高速な制御系が必要となる。

SACLA の制御系を建設するにあたっては、以下のよう
な項目を考慮して設計を行うことにした、

- 高電圧、大電流の機器を取り扱い、インターロックを多く含む制御に対して Programmable Logic Controller (PLC) を使って実現している。
 - 低電圧高周波系は高速の DAC/ADC と IQ 変調/復調を組み合わせたシステムであるため大量のデータを扱う必要がある。
 - 安定したレーザー発振を実現するため最大 60 Hz のビームショットに同期したビーム位置、加速位相等を収集する必要がある。
 - 安定した環境を実現するため電気、冷却水および空調などのデータを取り込む必要がある。
 - ユニット（加速管および挿入光源）ごとの繰り返しが多いため制御ファンクションとしては多くはないが、繰り返しの数が多いため制御点数が大量にある。
 - 建設期間が短く、人的資源も限られている。
- 上記の状況をふまえて制御システムの構成としては
- SPring-8 や SCSS 試験加速器で使用され安定した制御を実現している Message And Database Oriented

Control Architecture (MADOCA)¹⁾を制御系のフレームワークとして採用する。同じ理由で制御用コンピュータのバスとして VMEbus を採用する。

- PLC との取り合いはファクトリーオートメーションでも使用されている Ethernet をベースとした FL-net を使用し、XFEL コントロール室に仮想ネットワークを利用して FL-net を集約する。施設管理システムにも FL-net を適用しデータの共有を実現する。
 - PLC のデータを FL-net 経由で収集するための VME システムは、高周波系と真空系、精密温調と低ノイズ電源および ID 制御とスクリーン制御に関してそれぞれ FL-net カードを共用で使用するために VME 側では Solaris 10 のコンテナを利用した仮想環境を立ち上げ、それぞれを独立して管理出来る構成とする。
 - リアルタイムに 60 Hz のデータを吸い上げるためにビームモニター系には共有メモリシステムを採用する。
 - 大量のデータを扱うタイミング・低電圧高周波系およびビームモニター系と比較的低速な FL-net 系は VMEbus を共有しない。
 - 電磁石制御に関してはモジュレータ等からのパルス状のノイズが通信ラインに影響を与えることを防ぐため、マスター・スレーブボード間が光ファイバーで接続されたリモート I/O ボードを使用する。
- という構成とした。また、その他に短期間で制御系の立ち上げを行えるように以下のような対策を行った。
- 制御用データベースへの信号登録と VME 上で動く制御プログラム用設定ファイルの不整合を減らすためにスプレッドシートで一括管理、一つのシートからデータベース登録ファイルと設定ファイルの両方を生成する
 - スプレッドシートの表ですべてのネットワークスイッチ

の設定を事前に製作して、設置の前にスイッチの設定と各ポートの配線の整合を確認しておく。

- VMEbusに使用するCPUの立ち上げ用のCompact Flashはデバイスドライバー等の環境を整備したマスターを用意して後はコピーする。

以上のような構成で2010年4月までに設計をほぼ終了し、10月からのRF機器の高出力コンディショニング開始に向けて、ハードウェアの整備にあわせて順次制御系を立ち上げた。

3.2 制御システム構成

SACLAの加速器制御用ソフトウェアフレームワークとして採用しているMADUCAはSPRing-8で開発され、データベースを内包したクライアント・サーバー型制御フレームワークであり、SPRing-8における加速器およびビームライン制御システムを始めとしてSCSS試験加速器など数多くの実績を有している。Fig. 1に制御システムの全体図、Fig. 2にソフトウェア構成図を示す。

3.2.1 機器制御システム

機器制御用フロントエンドは、アナログ信号を扱う高速

・高精度な制御システムを含めてVMEbusを用いた。VMEbusコントローラとして高速な演算性能と低発熱を両立させるために、IA32ベースの超低電圧CPUを採用したCPUボードである、サンリットオートメーション社製SVA041、とオペレーティングシステムとしてSolaris 10 x86を用いた。加速器では、タイミング・低電圧高周波お

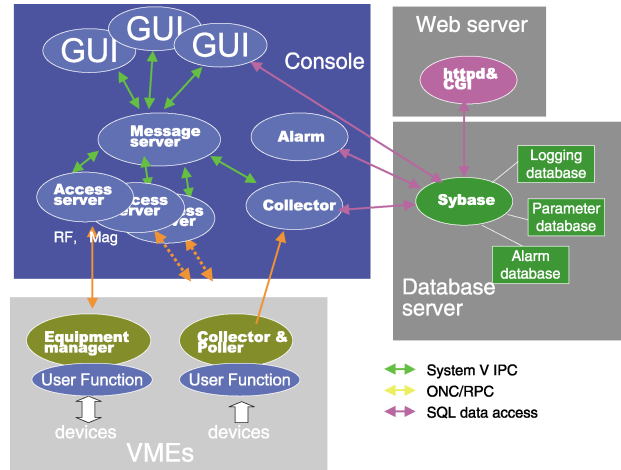


Fig. 2 Software component of the control system.

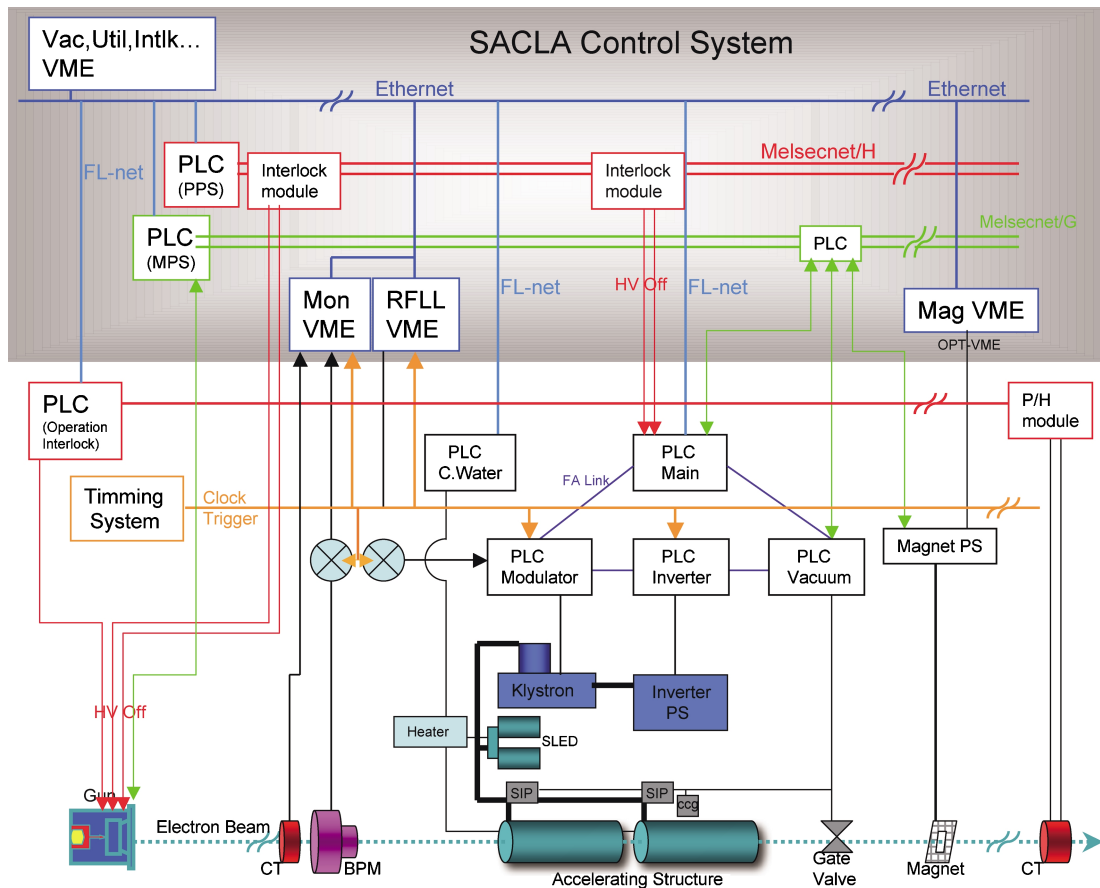


Fig. 1 Schematic of the control system for SACLA.

よびビームモニター用として111台の VMEbus システムによって加速器と挿入光源の機器制御を行っている。これらの高速・高精度が要求されるシステムは冷却水によりラック内の温度が安定化された水冷ラックシステムに収められ、レーザー発振に必要な安定性を実現している。VMEbus 上に高速・高精度のアナログ系を必要としない電磁石制御系、真空制御系、精密温調系およびインターロック系などについては冗長電源を採用し、保守の容易な Rittal 社製 VME シャーシをトータルで19台使用した。

PLC には加速器制御系に横河電機製 FA-M3 をインターロック系に三菱電機製 MELSEC-Q を採用している。また、施設制御用としてオムロン製の PLC が使われている。PLC 系と VME 系との取り合いには FL-net を用いることとし、接続用には SCSS 試験加速器で開発された VME ボードを使用した。FL-net は PLC や計算機などの異機種コントローラ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り日本工業規格 (JIS B 3521) 等に制定されているため、複数のメーカー間での取り合いを容易に行うことができる。今回 SACLA で使用したメーカー以外にも国内の主要な PLC は FL-net をサポートしており PLC との取り合いを共通化できるメリットは非常に大きいと考えている。FL-net は技術的に実績のある Ethernet をネットワークの物理層として利用しており、既存の制御系ネットワークとシームレスな接続が可能である。通信プロトコルとして、UDP/IP とブロードキャストを基盤としていることから、Ethernet 用ネットワークプロトコルアナライザなどの管理機器やツール類をそのまま流用できるなどのメリットがある。

安定な加速器運転を実現するために、各機器の高精度温度モニタを行う必要がある。これらは加速器本体に沿って広く分散した少数点数の計測が主で、標準的に採用している VMEbus に加えて可搬性に優れた軽量な計測システムが望まれた。SACLA では、Power over Ethernet (PoE) 技術を利用した分散モジュールを開発し²⁾、高密度な温度計測を省配線で設置場所の自由度が高い計測システムを実現している。

3.2.2 同期データ収集系

SACLA ではレーザー発振を安定化する際、60 Hz のショット毎のデータを用いて、レーザーや電子ビーム特性と機器パラメータとの因果関係を利用して機器のパラメータや制御系を最適化していく。このため診断機器だけではなく変動しうる

低電圧高周波機器等の膨大なデータをショットに同期させて取得するための同期データ収集システム³⁾が必要である。このように大規模なデータを高速で確実に同期が取れるよう、多数の分散した VME 上に同期したトリガーパルスを分配し、個々の VME に実装されているカウンターによるイベント番号をデータに付与することで加速器制御シ

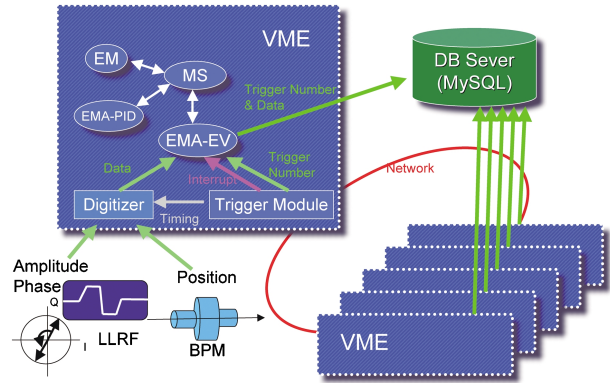


Fig. 3 Schematic view of the event-synchronized data acquisition system.

ステム全体に渡りショットに同期した (同一のイベント番号の)一連のデータセットを取得できる。Fig. 3 に同期データ収集系の構成を示す。

3.2.3 ビームプロファイル用画像収集系

SACLA ビームプロファイルの画像収集のシステム⁴⁾は各スクリーンモニタ用 CCD カメラにより取得したビームプロファイル画像を Camera Link 規格のグラブボードを搭載した画像サーバを使用して収集を行う。スクリーンモニタはビーム破壊型の測定器であるため使用時はターゲットとなるスクリーンに該当する CCD カメラを選択する。約50台の CCD カメラから1つ画像データを選別するために11台のカメラ切り替え器を用いている。CCD カメラと XFEL 制御室に置かれた画像サーバ間は最大約600 m 程度の距離があるため、信号を光に変換し光ファイバーを用いて送られる。CCD カメラは2種類のカメラ JAI : CV-A10CL (モノクロ46万画素, フレームレート60 fps) と, JAI : CV-M4+CL (モノクロ145万画素, フレームレート24 fps) を, モニタ位置により使い分けている。各 CCD カメラへのトリガー配信及びカメラ制御 (露光時間, ゲイン等) は Camera Link 経由で行うことができる。現状では画像データ収集は最大10 Hz で行うことを想定してシステムを設計している。CCD カメラへのトリガーはビームに同期したタイミングで入力するが, 画像サーバに実装したカウンターボードでマスタートリガーをカウントして同期データ収集系と同期したイベント番号を画像に付加する。このことにより, 取得した画像データと他の同期収集系のデータ (ビーム位置モニター, ビーム電流モニター) とビームショット毎の比較が可能になる。

3.2.4 施設制御系

SACLA の施設ユーティリティ装置は分散設置された26台のローカル PLC で制御されている⁴⁾。操作系にはタッチパネルを備えたメイン PLC を設け, XFEL 制御室および SPring-8 中央管理棟にある中央監視室からの管理を可

能にしている。メイン PLC とローカル PLC の間は FL-net で接続し、異機種 PLC 間の接続を可能としている。加速器制御系とメイン PLC の間は VME を介して FL-net で接続している。施設ユーティリティの全信号は SACLA 加速器制御系と同じデータベースに保存される。これにより施設ユーティリティ装置を加速器制御システムと同等に扱うことが出来、レーザの安定度と環境条件の相関を容易に調べることが可能となっている。

3.2.5 データ収集系

MADOCA の機能の一部であるデータ収集やアラーム監視にはリレーショナルデータベース (SYBASE ASE) を中心としたデータベースシステムが構築されている⁶⁾。データ収集とアラーム監視は 2 台のデータベースサーバとデータ収集サーバ、アラーム監視サーバとそれに接続される複数の機器から構成されている。データベースシステムではプライマリデータベースとセカンダリデータベースの 2 台が使われていて、これらのデータベースに接続するクライアントは次の 5 種類である。

Collector Client : 機器等の制御対象からデータ収集を行うプロセスである。機器から決められた周期でデータを集め、プライマリデータベースへタイムスタンプとともに時系列のデータとして保存する。

アーカイブプロセス : Collector Client によって収集、保存されたデータをプライマリデータベースの別領域とセカンダリデータベースの 2 か所にコピーする。アーカイブされたデータは間引きされたあと永続的に保存される。

GUI などの加速器運転用アプリケーション : データベースへのアクセスには専用のユーザー関数が準備されており、GUI など SACLA の運転に使用されるアプリケーションはこの関数を使用してデータベースのデータを利用している。機器から収集された時系列データの最新値にアクセスするものが多い。

アラーム監視プロセス : 機器から収集されたデータの値とあらかじめ設定されている閾値を比較し、アラームの条件が成立すると GUI と音声によって通知するプロセスである。

ウェブサーバ : 機器から収集されたデータはウェブサーバを使ってグラフ表示することができる。データはアーカイブプロセスがコピーしたセカンダリデータベースから取得している。

データ収集系で扱うデータ点数は約 45000 点あり最短で 1 秒間隔、ほとんどが 2 秒間隔でデータを収集している。

3.2.6 オペレータコンソール

運転用コンソールは Xeon プロセッサを搭載したワークステーションに WUXGA 液晶ディスプレイ 2 台を接続した構成を採用している。オペレーティングシステムとして

SUSELinux Enterprise 11 を用いた。オペレータコンソールとして 6 台、それとは独立に、データ収集用端末、アラーム表示用端末、各一台により、アラーム監視系を構築している。メンテナンス用として 5 台のコンソールと無線 LAN 接続のできる可搬型ワークステーションを用意して迅速な加速器の立ち上げに対応している。また、MADOCA の特徴の一つであるデータがすべてデータベースに格納され自由に Web 経由で中にアクセスできることを利用して、iPad を現場でのデータ確認のツールとして活用している。ユーザインターフェースアプリケーションは、MADOCA で広く使用している X-Mate により構築した。加速器制御システムのソフトウェア開発に X-Mate を使用することで SCSS 試験加速器の運転を通じて得られた経験とライブラリー群を利用することができ、構築にかかる時間を短縮することができた。

3.2.7 ネットワーク

ワークステーションや VMEbus などを結ぶネットワークは FL-net と共通のバックボーンとしてギガビットイーサネット で構築し、ネットワーク間の干渉を避けるため仮想ネットワーク (VLAN) を機能毎に独立したネットワークセグメントとして設定した。加速器制御系にある 7 台の基幹ネットワークスイッチ間は信頼性の向上のため 2 本のギガビットイーサネットを束ねて片側が故障しても通信が継続できるように設計した。FL-net を管理する VLAN と VMEbus 制御用および無線 LAN 用を含めると VLAN の数は 50 に達しているため機器設置後に設定をしていくことは手間と時間を要するため、SACLA の建設に当たっては設置工事が始まる前にネットワークの設計とネットワークスイッチの設定をおこなうことで制御系の立ち上がり時間を短縮することができた。

3.3 まとめ

加速器制御システムは MADOCA を使用することで構築にかかる時間を短縮できた。ADC/DAC および FL-net などの汎用的に使用するデバイスに対しては API の共通化を行うことで新たな機器の追加や変更の際に機器設定用のファイルの変更のみで対応できソフトウェア開発の負担を減らしている。強力なデータベースシステムとショットごとのデータを同期させて収集出来るシステムを用意することで円滑なコミッショニングをサポートすることができた。

参考文献

- 1) 田中良太郎 : 加速器 2, 162-169 (2005).
- 2) T. Masuda et al.: Proceedings of PCaPAC08, Ljubljana, Slovenia, Oct. 20-23 (2008).
- 3) M. Yamaga et al.: Proceedings of ICALEPCS09, Kobe, Oct.

12-16 (2009).

- 4) 松本崇博, 他: 第 8 回加速器学会年会プロシーディング (2011).
5) 増田剛正, 他: 第 7 回加速器学会年会プロシーディング

(2010).

- 6) 広野等子, 他: 第 8 回加速器学会年会プロシーディング (2011).

3. The Accelerator Control System for SACLA

**Toru FUKUI¹, Miho ISHII², Toru OHATA², Masahiro KAGO², Choji SAJI²,
Takashi SUGIMOTO², Ryotaro TANAKA², Toko HIRONO², Yukito FURUKAWA²,
Naoyasu HOSODA², Takemasa MASUDA², Tomohiro MATSUSHITA²,
Takahiro MATSUMOTO², Mitsuhiro YAMAGA², Akihiro YAMASHITA²**

¹RIKEN, XFEL Research and Development Division, Kouto 1-1-1, Sayo, Hyogo 679-5148

²JASRI, Controls and Computing Division, Kouto 1-1-1, Sayo, Hyogo 679-5198

Abstract The control system for SACLA was based on the MADOCA frame work, which was developed for the control system at SPring-8. The system is extended to the facility control and the event driven data acquisition system synchronized with beam shots. We describe the control system and component including a design concept for SACLA.
