

3-4 制御

1. MADOCA II

MADOCA (Message And Database Oriented Control Architecture) はSPring-8の制御フレームワークであり、蓄積リング、放射光ビームラインの制御へ活用された後、SPring-8入射器、HiSOR、XFEL プロトタイプ加速器(SCSS)の制御にも適用されている。最近ではSACLA/XFELの加速器、ビームライン、データ収集(DAQ)系の制御にも適用され、順調に運用されている。SACLA加速器の高度化やDAQ系の拡充、SPring-8放射光実験ステーションへの適用及び今後のSPring-8 IIで想定される制御系への要求を検討しMADOCAに以下に示すような機能拡張を2011年度から継続して進めた。

- 1) 可変長データへの対応
- 2) 制御用端末とフロントエンド計算機間の通信の非同期化
- 3) より多い点数、より高いデータレートでのデータ収集への対応

1), 2) はメッセージ通信機能の拡張であり、3) は主にデータベース機能の拡充である。以下にそれぞれの項目について詳しく述べる。

1-1 MADOCA IIメッセージ通信機能向上

2011年度に行った基本仕様の策定及びPython言語を用

いたプロトタイプによる検証を経て、2011年度前半にC++言語による実装を行った。さらに仮想マシンを利用したテストベンチを立ち上げ、クライアントとなるLinuxマシン4台、デバイス制御計算機となるSolarisマシン50台による大規模試験を約1ヶ月間実施し、基本機能、接続性、安定性に問題がないことを確認した。また想定される様々なトラブルのシミュレーションをテストベンチ上で行い、問題なく正常状態に復帰できる事を確認した。

この結果を受けて、2012年度下期よりビームラインBL36XUの制御系にMADOCA IIメッセージングシステムを導入し、実環境試験を開始した。図1にBL36XUに導入した制御系の概要を示す。中央制御室等で動作している既存のMADOCA制御系と相互運用が可能となるように、Access Server2, em_to_ms2を作成した。BL36XUの立ち上げ及びその後の運用に関して大きな問題はなく、設計・制作したMADOCA IIメッセージングシステムは実運用に耐えることが確認できた。

さらに、Qtを用いたGUIにより簡単にメッセージ通信を行い、動作確認を行うためのソフトの作成など、ツール類の整備を行った。

2013年度には加速器・ビームラインの制御系への適用を行うため、開発環境整備、実行環境整備、既存のソフトウェアの移行作業を行う予定である。

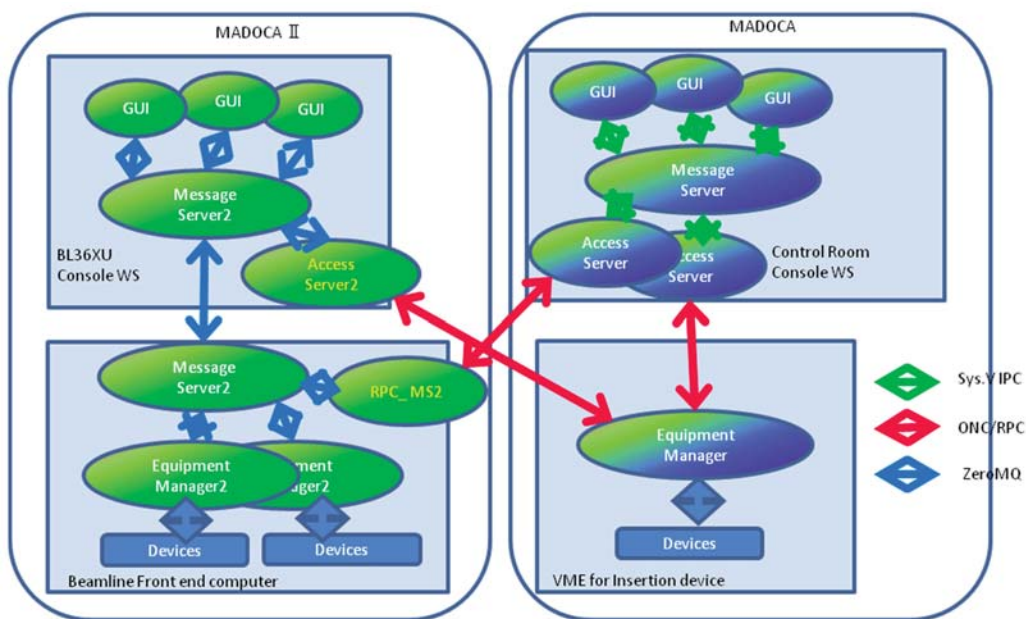


図1 BL36XUに導入したMADOCA II制御系の構成

1-2 データベース

2011年度のNoSQL (Not Only SQL) データベースシステムの選定の後、MADOCA IIの2013年度末の本格導入への準備として2012年度はデータ収集システムの開発とデータベースを組合せた長期テストを行った。

MADOCA II データ収集とデータベースは現在のMADOCAと比較してデータの管理性、データ収集の柔軟性、高性能、高可用性、高拡張性を持つことを目的としている。そのためデータベース系はRDBMS (リレーショナルデータベース管理システム) に代わってNoSQLを採用したが、データ収集系もその目標を満たすべく設計された。

MADOCAにおいてデータ収集プロセスはデータ収集命令を各組込みコンピュータに送り、データ集合を一括して取得/蓄積する方法が取られていた。これは設計当時のコンピュータとネットワークの性能に合わせた仕様であったが、データの管理が複雑になることやデータ収集の周期、データ型が固定的であることが今後の加速器の高度化を続けていく上で問題となっていた。

一方で、簡便なデータ収集系として別に製作されたMyDAQでは、データ収集プロセスに対して組込みコンピュータが信号毎にデータをプッシュする方法が取られた。これによりデータ管理の容易さ、データ収集の柔軟性 (各信号が独自の周期、型を持つことができる) が得られるが、MyDAQは小規模、低周期向けに設計されたシステムであり、高性能化は不可能である。

MADOCA II データ収集系ではMyDAQのデータプッシュの方法を取り入れさらに大規模、短周期に対応でき、高拡張性を持ったものとして設計された。ここではデータは非同期、一方通行のメッセージの形で組込みコンピュータから中継プロセスに送られる。中継プロセスは複数あり、メッセージは自動的にロードバランスされ各中継プロセスに分散される。中継プロセスは、データベース書き込みプロセスへメッセージを中継する。

データベース書き込みプロセスは、メッセージを加工しRedis (オンラインデータベース)、Apache Cassandra (アーカイブデータベース) に専用スレッドから同時に書き込む。書き込みモジュールを追加することにより、別のデータベースシステムへ書き込むことも可能な設計になっている。

メッセージングはMADOCA IIメッセージングシステムと同じくZeroMQを採用した。メッセージのロードバランシングや、ノードの故障の検知などの高度な管理を担う。また中継サーバや書き込みサーバを追加することで容易に性能向上ができるスケラブルなシステムが実現できた。

2012年度はこのデータ収集系とデータベースシステムを使用し、長期テストを行った。テストはSACLAのデータ収集を模擬して行い、さらに全データの収集周期を1秒にするなど、時間あたりの収集量を現在のSpring-8の6倍以上に厳しくして3ヶ月の長期テストを連続して行った。

同時にオンラインデータベース (Redis) の単独/複数クライアントによる読み込み試験、アーカイブデータベース (Apache Cassandra) の読み込み試験、Cassandra nodeの停止、復帰試験を行った。

長期の書き込みテストでデータの書き漏れは発見されなかった。Cassandraノードの強制停止と復帰でもデータに抜けは見られなかった。また読み込み試験ではオンラインデータベースでは150以上のクライアントの同時読み込みでも現在のRDBMSを使用したものより約10倍以上の速度を得た。またアーカイブデータベースの読み込みでも1日分の読み込みが1秒で完了した。分散化によりさらに高速化が確認された。以上の結果からMADOCA IIのデータ収集と蓄積システムは十分な安定性を持つと判断された。

2012年度のデータ収集系の実装と試験によりMADOCA IIの実戦投入に向けて基本的な準備が整った。2013年度末の本格導入に向けて周辺システムの整備などを行う。

2. DDH (Digital Data Handling) プロジェクト

検出器を始めとする実験計測システムから生成される大容量のデジタルデータを高速に処理することを目指し、2011年度にDDHプロジェクトをスタートした。DDHでは、これまでのネットワーク分散制御/データ収集 (DAQ) システムのさらなる広帯域化を目指し、従来のレベルを超える大容量データのハンドリング方法を規格化することで、広帯域且つリアルタイムな制御/DAQシステムを汎用的に構築することが可能となる。

2011年度は再構成可能な回路技術であるField Programmable Gate Array (FPGA) と演算部と物理インターフェースを分離するFPGA mezzanine card (FMC) 技術を選定、性能計測用テストベンチを製作し、これらの組合せが要求性能を満足する結果を得た^[1]。

2012年度はこれらの技術を実際のアプリケーションに適用し、SACLAを中心に開発が進められているSOI技術を用いた2次元検出器 (SOPHIAS) のためのプロトタイプDAQシステムを新規開発した。システムは、SOPHIAS検出器の出力インターフェースであるCamera Link full configuration規格のFMC基板、データ収集用FPGA回路、FMCインターフェースとFPGAを搭載したPCI expressボード、DAQ用計算機で構成される。2012年度はインターフェース基板のみを新規製作し (図2)、その他は2011年度に動作確認が完了している機器を有効利用したことにより、短期間でシステムの構築を達成した。SOPHIASから出力される約3.7 Gbpsの広帯域画像データを本システムにより取得可能であることが確認された。またCamera Link規格に適合しているため、Camera Link対応の商用カメラと組み合わせ、最大帯域6.8 Gbpsのデータ収集が可能である。



図2 新規開発したCamera Link インターフェースFMC

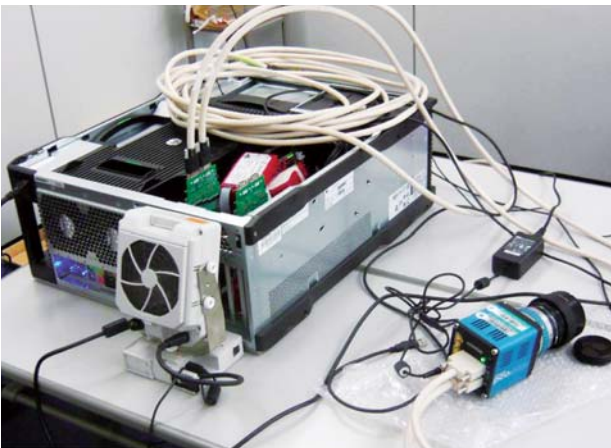


図3 データ収集プロトタイプシステムセットアップ(商用カメラのpco.edge Scientific CMOS(右下)と組み合わせた例)

SOPHIAS 検出器は、2014年度にユーザ実験に供用される予定である。このため、2013年度は、実験環境投入を考慮したシステムのモジュール化、システム運用に必要な機能の実装、長期安定稼働の確立等について開発と整備を継続する予定である。

参考文献

- [1] C. Saji, et al.: Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A(2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2013.05.019>

3. 加速器制御

3-1 計算機制御系

計算機制御系では、加速器及びビームライン制御に関わるサーバ計算機、オペレータ端末及びデータベースシステムについて、以下のとおり維持・管理及び高度化研究を行った。

3-1-1 データベース管理システムの安定運用への取り組み、及びデータ閲覧手法の改善

加速器・ビームラインの高度化に伴い、データベースに登録される信号点数は年々増加している。2012年度末時点で、信号点数合計39620点、オンラインテーブル数466

に上るデータ量をリレーショナルデータベースに蓄積し、加速器・ビームライン情報として幅広く提供している。

加速器・ビームラインの運転を安定に遂行するため、データ蓄積システムやアラーム管理システムに障害が発生した際には対策を迅速に行うことが求められる。このため2011年度に整備した制御系総合試験環境を活用した。実環境で利用しているデータベース管理システムを総合試験環境内で再現させることで、加速器運転中においても総合試験環境内で障害理由の調査、対応策の検討を行うことが可能になり、データベース管理システムの安定性・信頼性向上のための改良を短期で行うことができた。

また、蓄積されたデータをより有効に活用できるよう、ウェブユーザーインターフェース上でデータの統計量を表示するなど利便性を改善し、冗長構成のデータベースサーバを活用して負荷分散を行い大量のデータアクセスにも対応できる改善を行った。

データベース計算機の老朽化対策として、耐障害性に優れた高い信頼性を持ち、かつデータ点数の増加とデータ収集頻度の高速化に伴うデータアクセスの大容量化・高速化にも対応できるよう、最新の高性能フォルトトレラント型サーバ機器を導入した。

3-1-2 ディスプレイウォールの改修

2011年度に設置したディスプレイウォール2号機の改修を行い、信頼性・保守性を向上させた。ディスプレイウォール用計算機を架台内部に収納し、排熱を天井裏に排気する冷却環境を整えることで安定稼働を実現したほか、計算機の稼働音を抑えることができ室内騒音の低減により環境が改善された。また架台背面部からディスプレイパネルを直接メンテナンス可能なように架台の改造を行い、保守性を向上させた。

3-1-3 仮想計算機環境の整備

制御ネットワーク上のプログラム開発サーバやウェブサーバ、監視サーバは、2008年度から仮想計算機として運用している。現在では32台の仮想計算機を5台のホストサーバ上で動作させ、省電力、省スペース化を実現している。2012年度は、7台の仮想計算機を追加した。仮想計算機の増加に対応するため、ホストサーバ1台を増設し、旧式化したホストサーバ2台の更新を行った。また仮想計算機管理ツールを導入し、仮想計算機の制御コマンドを簡素化するとともに、仮想計算機のホストサーバへの配置状況や、起動/停止状態をWeb上に表示させ、外部から確認できるようにした。計算機の仮想化に使用するソフトウェアは、2008年度から使用していたVMware社製のVMwareServerと、2011年度に導入した安定性の高いKVM (Kernel based Virtual Machine) が混在しており、管理が複雑になっている。このため、VMwareServerの仮

想計算機をKVM上で動作するようコンバート作業を進めた。2012年度はコンバートの基礎研究を行い、1台のコンバートを行った。

今後は全ての仮想計算機をKVMに統一し、管理コストの軽減を目指す。

3-1-4 システムログサーバの堅牢化

加速器やビームラインの制御に用いられる計算機は、システムの状態やプログラムの動作結果を、逐一、システムログサーバに送信し、故障やトラブルがあった際の原因究明に役立っている。システムログサーバが受信するログは、一日でおよそ13億行、容量にして480 GByteに達するが、旧来のシステムは全てのログが正確に書き込まれないことやシステムログサーバ自体がダウンしてしまうなどの問題を抱えていた。このため2012年度にログソフトウェアとサーバハードウェアの更新を行い、遅延なく全てのログが書き込まれるようにした。ログソフトウェアに関しては、書き込み不具合の原因調査のため、さまざまに条件を変えて高速でログを書き込む試験を行い、書き込みロスの割合を比較した。この結果、ログ送信側で使用されている古いシステムログソフトウェアが原因であることが分かり、関係チームと協力して新しいソフトウェアに置き換えた。サーバハードウェアに関しては、高密度なブレードサーバから冷却能力に余裕のある2Uサイズサーバに置き換え、負荷分散のためCPUコアの数を増やし、1ヶ月のログを保存しても十分な余裕を持つハードディスク容量を持たせた。また、受信するログメッセージから不必要な情報を削除し、書き込まれるログの容量を削減することで、書き込み負荷の軽減とディスク容量の節約を行った。更新後のシステムは運用開始から6ヶ月間問題なく稼働している。

3-2 機器制御

3-2-1 MicroTCA 画像処理システムの開発

蓄積リングでは、電子ビーム横断面空間プロファイルの非破壊診断のために2次元放射光干渉計を設置している。現状ではPCベースの画像処理システムを利用して、2次元干渉縞の水平・垂直方向のビジビリティを1 Hzのビーム入射信号に同期して測定し、それぞれビームサイズに変換してデータベースに書き込んでいる。老朽化した画像処理システムを更新するとともに、2次元フィッティング処理によりビーム軸の傾き角を1 Hzで測定するため、新たにMicroTCAベースの汎用画像処理システムを開発した。MicroTCAはスイッチベースの高速シリアルインターフェースを持つ堅固なモジュラー型プラットフォームで、PCと比べて省スペースで拡張性に優れる。新システムは、いずれも市販品であるプロセッサカード、CameraLink FMC (FPGA Mezzanine Card) とFMCスロット付きSpartan6 FPGAカードを組み合わせ、CameraLink IPコア、Linux用ドライバ及びライブラリを新規に開発することで構築した。

完成した画像処理システムは、12ビット階調VGAサイズのCameraLinkカメラを用いて、連続シャッターモードではカメラの最大レートである100 Hz、外部トリガモードでは最大60 Hzでの画像取り込みが可能であることを確認した。2次元放射光干渉計の画像処理システムとして求められる性能を十分に満たすとともに、SACLAの放射光実験で求められる60 Hz運転にも対応可能なことから、汎用性の高いCameraLinkカメラ画像処理システムであるといえる。これを用いて2次元放射光干渉計の制御システムを構築し、2013年夏期点検調整期間にCCDカメラと共に更新する予定である。

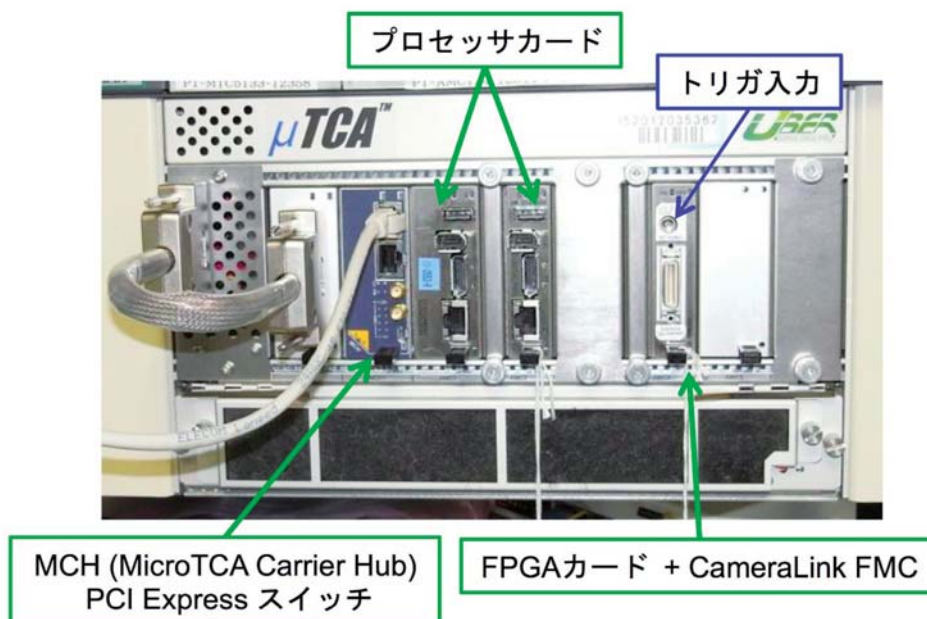


図4 MicroTCA 画像処理システム

3-2-2 BL05SS Turn-by-turn放射光プロファイルモニター制御系整備

蓄積リング加速器診断ビームラインII (BL05SS) には、アンジュレータ放射の空間プロファイルをビーム周回毎に計測可能な Turn-by-Turn 放射光プロファイルモニター (TPPM) が整備されている。TPPM では、複数の周回プロファイルを1枚の画像に記録できる機能を持った高速カメラ (Princeton Instruments 社製 ProEM 512BK) で撮像している。ProEM はインターフェースとしてギガビットイーサネットを搭載しており、BL05SS に設置された Windows PC 上で動作する専用ソフトウェア WinSpec32 により制御される。TPPM を用いて、ユーザ運転中の Top-up 入射時における蓄積ビームの微小振動の連続測定や、大電流シングルバンチを含むバンチフィリングモードでの運転時のビーム安定性監視などを中央制御室で行えるようするため、制御系の整備を行った。BL05SS の Windows PC 上には、MADOCA II で使用される通信ライブラリである ZeroMQ を用いて中央制御室のクライアントソフトウェアから送られるカメラ制御指令を受け取り、WinSpec32 を介してカメラ制御を行うソフトウェアを整備した。ZeroMQ を使用したのは、将来的な MADOCA II への移行を考慮したためである。またクライアントソフトウェアとして、取得した画像の表示、フィッティング処理と結果の表示、DB に格納する機能などを有する2種類の GUI (入射時のビーム振動測定用 GUI、シングルバンチ不安定性観測用 GUI) を整備した。2012年12月より整備したソフトウェアを用いて中央制御室での連続監視を行っている。

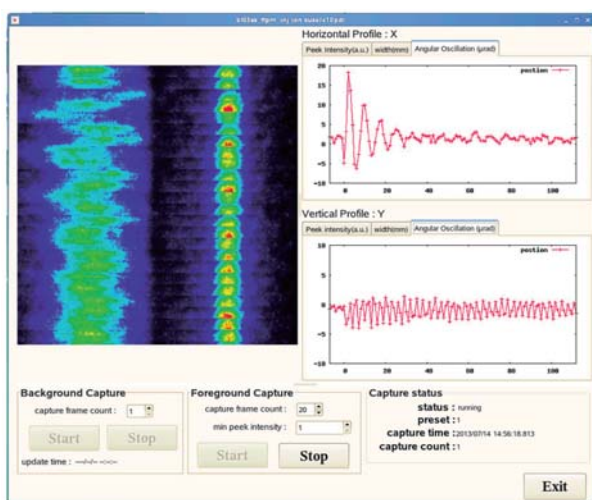


図5 TPPM 制御系で整備した入射時ビーム振動測定用 GUI

3-2-3 蓄積リング補正電磁石電源適用に向けた OPT-RMT COMBOmini ボード改修

主に蓄積リング補正電磁石電源の制御に使用している RIO Type-A の代替ボードとして利用できるよう、光伝送ボードベースのピン互換ボード OPT-RMT COMBOmini の

開発を進めている。2011年度に実電源を用いた評価試験を行ったところ、ADCの測定値に100 digits程度の大きなオフセットが乗ってしまっていることが分かった。2012年度はこのオフセットの原因調査とその低減化対策を実施した。その結果、オフセットの原因が補正電磁石電源から来る100 kHz程度のスイッチングノイズであること、アナログ入力部に0.02 μ Fのコンデンサを実装してカットオフ周波数7 kHz程度のローパスフィルタを構成することでオフセットを数 digits 程度まで低減できることが分かった。そこで SPring-8 で所有する全104枚の OPT-RMT COMBOmini ボードに0.02 μ Fのコンデンサを取り付ける改修を実施した。改修ボードを用いて再度評価試験を行ったところ、アナログ出力、アナログ入力共に蓄積リング補正電磁石電源に必要とされる性能を満たすようになったことが確認され、実機への適用が可能となった。

3-2-4 Libera 計測系整備

加速器では、蓄積リングのCOD補正の精度を上げるため、挿入光源の上下流部に設置されている非破壊ビーム位置モニター (BPM) を補正に組み込むことを検討している。既存の Bergoz Instrumentation 社製の信号処理回路ではバランス補正ができず、ビーム位置の計測には適さないため、世界の多くの加速器で採用されている Instrumentation Technologies 社製 Libera を使用した計測系の整備を計画している。Libera は、いわゆる EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) Ready デバイスであり、EPICS 制御フレームワークからは簡単に接続し制御を行うことが可能である。Libera 以外にも計測器メーカー等から数多くの EPICS Ready デバイスが提供されている。SPring-8 で使用している MADOCA フレームワークから、これら EPICS Ready デバイスを容易に制御できるようにするために、MADOCA と EPICS Ready デバイスとの橋渡しをするソフトウェアライブラリを開発した。EPICS は CA プロトコルと呼ばれる通信方式でネットワーク通信を行っているため、MADOCA の機器制御ソフトウェア EM (Equipment Manager) で CA プロトコルを使用するためのライブラリを組み込み、EPICS Ready のデバイスと通信を行えるように整備を行った。

3-2-5 蓄積リングバンチ純度測定の高高度化

蓄積リングのバンチ純度モニタは、マイクロチャンネルプレート内蔵型光電子増倍管 (MCP-PMT) を光子検出器とする光子計数装置と、時間差波高変換器とマルチチャンネルアナライザ (MCA) からなる時間測定系で構成されている。現状では、MCP-PMT の保護と MCA のデッドタイムを考慮して計数レートを約20 kカウント/秒に制限しており、1つの孤立バンチにつき約4分の測定時間を必要としている。計数レート1 Mカウント/秒程度を実現し、

測定時間を10秒以内に短縮できれば、Top-up入射毎のバンチ純度測定が可能となる。そのため光子検出器と時間測定系の両方の高度化を進めているが、制御系高度化として時間測定系の開発について述べる。

1 Mカウント/秒の測定を可能にするため、CAEN社製16チャンネルマルチヒットTDCボードV1290N（時間差をデジタル測定するボード）を導入した。V1290Nは時間分解能25 ps、最大測定範囲52 μ sで、一度の計測でリング1周分4.8 μ sの時間構造が測定可能となる。2012年度はV1290Nボードを制御するためのSolarisデバイスドライバとAPI関数の開発を行った。開発したドライバを用いてTDCボードからVME CPUボードへのデータ転送速度を計測したところ、ブロック転送を使用して130 ns/wordであった。1 Mカウント/秒程度の計測を行うとき、1イベントあたり約5ヒット、TDCデータとしてはイベントヘッダも含めて6 words程度であるため、トリガ周期4.8 μ s内で充分測定が可能であることが確認できた。2013年度には光子検出器の更新を行い、1 Mカウント/秒の計測を実現する予定である。

3-2-6 線型加速器タイミング計測系整備

3-2-5で述べた蓄積リングのバンチ純度モニタの高度化で改修したTDCボードV1290Nのドライバを使用することで、線型加速器のタイミング計測で懸案であった1 TDCボード/1 CPUボードという制約を外すことが可能になった。4枚のTDCボードを1枚のVME CPUボードで制御するよう線型加速器タイミング計測系を整備した。

3-2-7 線型加速器非破壊ビーム位置モニタ同期データ収集系更新

線型加速器では、主にTop-up運転時のビーム監視機能を強化するためBPMの6電極化を進めている。これによりビームの2次モーメントが測定でき、ビームの広がりに関係する物理量が得られるようになる。2012年度には数台の6電極BPMの導入を行ったが、これに合わせて、ビームに同期して線型加速器の全BPMデータを収集しデータベースに書き込む同期データ収集系の更新を行った。旧来の4電極型に比べて信号数が1.5倍に増える6電極BPM信号処理回路との取り合いには2011年度に開発を行った128ビットデジタル入力光伝送スレーブボードを使用した。高速実時間データ転送と6台のVME計算機間でのソフトウェア同期制御を実現するために使用している共有メモリネットワークとして、より高速なデータ転送（2.2 Gbps）とより大容量のメモリサイズ（128 MB）を持つリフレクティブメモリボードを導入し、これに対応するようソフトウェアを更新した。また、VME計算機に新たにマルチコアCPUボードを導入し、実時間スケジューリングで動作するソフトウェアの運用の安定化と、busy-wait処理の導入

等による光伝送ボード用デバイスドライバの高速化を実現した。更新の結果、信号数が1.5倍に増加したにもかかわらず、旧来の約1/8のデータ収集時間（144点で16 ms以内）に短縮することができた。

3-2-8 Top-up 電荷積算計読み出し系の改造

Top-up電荷積算計のデータ群はFL-netを介してVME計算機に送られ、poller/collectorソフトウェアによって収集されてデータベースに書き込まれている。データベースに書き込まれたデータ群は加速器運転に利用されているが、FL-net通信とpoller/collectorデータ収集ソフトウェアが持つ非同期性によって、同一周期で書き込まれるデータに別のタイミングのデータが混じるという不整合が生じていて、運転上問題となっていた。そこで、VME計算機に更新タイミングを知らせるためのトリガ割り込みボードを組み込み、トリガ受信時に一括してデータを収集するようにソフトウェアの改造を行った。トリガ信号は、Top-up電荷積算計のデータ更新タイミングにFL-net通信の遅延時間（約100 ms）を加えたタイミングとした。改造後、VME計算機で使用しているFL-netボードが原因でハングアップする現象が頻発したが、FL-netボードのファームウェアの更新によってハングアップをなくすことができた。本改造の結果、データの不整合をなくすことに成功した。

3-2-9 Linux PLCの導入

横河電機のLinux PLC e-RT3はMADUCA制御フレームワークの移植が行われている。豊富なI/Oモジュールが揃っていることとVMEに比べて安価で省スペースであることから、CPUパワーを必要としないslow control系に有用である。現在、FL-netを介した情報収集系にはVME計算機を使用しているが、FL-netのノード離脱やVMEシステムのハングアップ等のトラブルが起こっていたため、その代替ソリューションとなるよう、Linux PLCとFL-netモジュールによるFL-net情報収集システムを整備した。2012年度の蓄積リング真空・電磁石の機器保護インターロックPLCからのFL-netを介した情報収集系を追加するにあたり、本Linux PLCを実導入した。

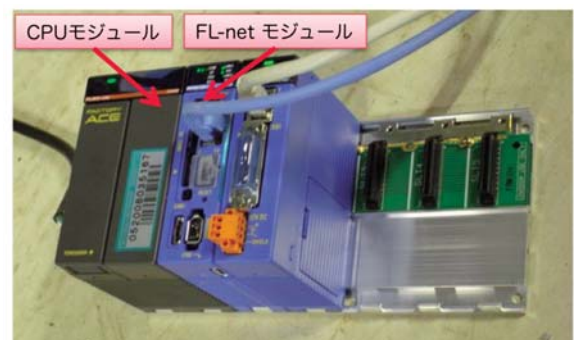


図6 Linux PLCによるFL-net情報収集システム

3-2-10 rsyslogの導入

SPring-8のような分散制御システムにおいては、VME計算機のOS及びアプリケーションソフトウェアが出力するログは、トラブル時の調査を行う際に極めて重要である。ログを長期間にわたって保存し調査ができるよう、各VME計算機のログはログサーバに記録して集中管理を行っているが、従来のsyslogによるログ送信はUDP接続のため25%程度しか記録できていなかった。ログの記録漏れを防ぐために、TCP接続のrsyslogを導入した。2012年度に約250ホストのrsyslog移行を行い、これら全てのホストでログが100%記録できるようになった。

3-2-11 PCI-Expressを利用したデータ転送技術の検証

PCI-Express (Gen2) は、1レーンあたりの片方向実効転送レート4 Gbpsの高速シリアルバスである。一般的には汎用計算機の内部バスとしてグラフィックボードなどを扱うことが多い。2012年度、我々はリモート計算機間におけるPCI Expressを経由したデータ転送について、PCI Express x8 (Dolphin社製 IXH610) を使用してテスト環境で検証した。その結果、DMA転送の場合、約22 Gbpsでデータ転送が行えることを確認した。Ethernetと比較すると、PCI Expressの方が伝送時間のばらつきが小さく、かつ、低遅延伝送が行えることがわかった。今後、PCI Expressはリモート計算機間の広帯域実時間データ転送のインフラの一つとして考えられる。

3-3 インターロック

3-3-1 加速器安全インターロック

2012年度の運用状況は大きなトラブルも無く順調であった。年2回の定期点検と自主検査を実施した。さらに下記のインターロックシステムの整備を行った。

- ・運転表示灯（トンネル内3色回転灯）改修作業

現在、運転表示灯の点灯動作が完全に統一できておらず、場所によって注意、警告表示色に違いがあり混乱を招くため順次改修している。2012年度はL3BTエリアの施工を完了した。残りは蓄積リング棟エリアのみであり、2013年度以降に整備する。

- ・旧入退システム中継盤関連改修作業

2011年度に安全系信号線が未使用の旧入退システム中継盤を経由していることが明らかになった。安全系の信号線は安定稼働を最優先するため、通常は中央の制御装置と末端のセンサーは直接接続することを基準としている。この改修作業を実施し、さらなる安定運用が可能となった。

- ・加速器運転高度化対応のためのインターロック改修

2012年度に「BM-L3電源高度化」と「Sy/NS振分入射の高速化」の加速器運転高度化が行われた。これらは安全

インターロックに関連するため、インターロック動作と整合するように概念設計し、それを元にシステムの改良を行った。現在、順調に稼働し、SyとNSへ各1 Hzでの振分入射が可能となっている。

- ・SACLAからSPring-8へのビーム入射のためのインターロック設計

2013年度秋にSACLA加速器で生成した電子ビームをSPring-8へ入射する計画が進行中である。これに対応する全インターロックの概念設計を検討した。新設・改造対象は入射器であるSACLAエリア、SACLAからSynchrotron (Sy) へ電子ビームを輸送するXSBTエリア、SyエリアとStorage Ringエリアである。概念設計を元にシステム設計とロジック製作まで完了した。2013年度秋までに全体システムを動作させる予定である。

3-3-2 放射線データ収集システム

2011年度にデータ収集をFL-net化した放射線データ収集システムは2012年度も安定に稼働した。しかし、複数のシステムが混在しているため複雑化している。2012年度は運用性向上のため一部の区域で盤内整備を実施した。今後は運用性と可用性の向上のためにシステム整備を行っていく。

3-3-3 入退室管理システム

2012年度は大きなトラブルも無く順調に稼働した。劣化対策として定期点検時にメモリバッテリー、内部リレーなどの消耗部品を交換した。加えて、入退履歴を保持するサーバ計算機の更新を実施した。また、BL31LEP II (大阪大学) における入退室管理システムの設計支援を行った。

3-3-4 ビームラインインターロック

17ビームラインに対して遠隔実験用信号出力の追加、安定運用のためのシステムの変更及び4ビームラインに対して機器のオーバーホールを実施した。又、先端触媒構造反応リアルタイム計測ビームライン (BL36XU: 電気通信大学) 及びレーザー電子光ビームライン (BL31LEP II: 大阪大学) の建設支援及び産業利用ビームライン (BL46XU: 共用ビームライン) ハッチ増設に伴うインターロック改修を実施した。

3-3-5 ニュースバル 入退室管理システム・加速器安全インターロックシステム・BL01Aインターロックシステム

ニュースバル入退室管理システム及びニュースバル加速器安全インターロックシステムは2012年度も順調に稼働した。またニュースバルBL01Aではハッチを1つから2つに増設する改造がなされた。それに合わせてインターロックシステムを大幅に改修した。実績のあるSPring-8ビーム

ラインインターロックと同様のロジックと操作体系を導入し、安定性と操作性の向上を図った。現在、順調に稼働している。

4. ビームライン及び実験ステーション制御

4-1 全般

2012年度は電気通信大学先端触媒構造反応リアルタイム計測ビームラインBL36XU及び大阪大学レーザー電子光ビームラインBL31LEP IIにおいて、ビームライン制御系建設及び立ち上げを行い、利用運転に供した。BL36XUでは立ち上げ時にビームアポートを繰り返し、施設全体の運転に影響を及ぼしたため原因の調査を行った。強力な放射光を受けるミラーチャンバー内の配線系統の取り回しに問題があり、放射光により誘起された光電子による電気ノイズが機器の誤動作を招いている事が判明し、ノイズ対策を施したところアポートが発生しなくなった。

またBL29LXUハッチ増設、BL43LXU挿入光源増設、BL33XU分光器及びミラー増設に対応して、制御ソフトウェアの更新を行い、ビームライン管理用計算機(BL-WS)用仮想マシン、57ホストに対してOSのアップデートを実施し、安定性の向上を図っている。

また、毎年安定且つ継続的なビームラインの運転を維持するため既設ビームライン制御機器の保守・点検を実施している。2012年度は、約600台の機器を対象に夏期・年度末の長期点検調整期間に行った。

また、これまでビームライン・実験ステーション制御に用いてきたVMEパルスモータ制御ボードが生産終了となったため、新たに新型モータ制御用ボードとしてAdvanet社製ADVME2006を選定し、そのデバイスドライバ・ソフトウェアの開発を行った。本ボード及びデバイスドライバは前述のBL36XUに導入され、安定して稼働している。

その他、下記に記すようにビームライン及び実験ステーション制御系の安定化、高度化のための開発を行った。

4-2 ビームライン制御

4-2-1 挿入光源制御高速化

挿入光源制御で使用しているVME-CPUボードは、2001年に選定したもので、Gapとステアリング電磁石のフィードフォワード制御速度が遅く、Gap駆動時の軌道変動が顕在化してきている。

CPUボードのマルチコア化と処理速度の高速化及びドライバソフトウェアの高速化を行う事により、約一桁のフィードフォワード制御の高速化を行い、ビーム軌道への影響の最小化と安定化を目指す。

2012年度は、Gapの変更が頻繁なID37、ID39とパターン駆動を行っているID23、ID25及び5軸同時駆動を行っているID19Bの更新を行った。残りの挿入光源については、2013年度順次更新する予定である。

4-2-2 挿入光源用チラー遠隔制御・モニタ

挿入光源冷却用チラーの遠隔制御とモニタリング(データ収集)を行うシステムを構築した。本チラーは収納部天井上部に設置されていて、チラー監視と運転・停止操作は大変な作業となっており、遠隔制御・モニタシステムの構築が急務となっていた。

本システムには、ビームラインインターロック制御システムでも使用している小型計算機armadillo-220を使用して実現している。現在28台のチラーについて本システムが稼働中である。

4-2-3 ビームラインインターロック制御システム更新

ビームライン管理計算機(BL-WS)上で動作していたビームラインインターロック用データ収集・制御システムを小型Linux計算機armadillo-220上で動作させる様に変更を行い、BL-WSではクライアント機能のみが動作するようになった。

この事により、BL-WSの停止、再起動がデータ収集に影響を及ぼさない様になり、BL-WSの個別のトラブルが加速器の運転に支障を与えないシステムとなった。

4-3 実験ステーション制御

4-3-1 SPring-8実験データリポジトリ

2011年度に構築したSPring-8実験データリポジトリのレビューにより改修項目を洗い出し、データ登録、ユーザインターフェース、データ転送の各機能について改修を行った。

・データ登録

SPring-8実験データリポジトリでは、実験データファイルは実験条件などのメタデータと共に登録されることを前提としている。ところが、タンパク質結晶の回折実験などでは、複数の画像ファイルから構成されるデータセットとして管理するほうが解析に際しての利便性が高い。そのため、ディレクトリ単位でデータ登録を可能する機能を追加した。

・ユーザインターフェース

実験データを検索するユーザインターフェースとして、従来のリスト型表示に加え、課題番号やデータセットなどをグルーピングすることにより、目的の実験データを容易に識別できるツリー型表示機能を導入した。これにより、実験データの管理性が格段に向上した。

図7にツリー型表示機能の例を示す。ローカルツリー表示、及び課題番号・日付・SPring-8 IDなど、メタデータを利用したツリー表示が選択できる。加えて、選択したデータを一括ダウンロードする機能を実装した。

・データ転送

SPring-8実験データリポジトリを利用する上で、大容量

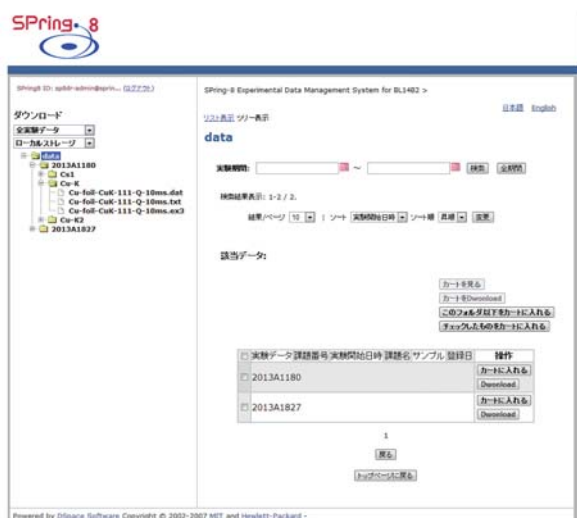


図7 ツリー表示画面

表1 SkeepFileMessengerによる転送効率改善例

○北海道大学	34 Mbps	→	94 Mbps	280%	高速化
○高エネ研	21 Mbps	→	50 Mbps	240%	高速化
○名古屋大学	36 Mbps	→	140 Mbps	380%	高速化
○京都大学	2.3 Mbps	→	×	UDP	遮断
○大阪大学	54 Mbps	→	66 Mbps	120%	高速化
○沖縄科技大	92 Mbps	→	133 Mbps	144%	高速化

データを如何に短時間に転送できるかは、ユーザの利便性を大きく左右する。2012年度は、SPring-8実験データリポジトリのアドオンとして高速転送機能を実装した。ネットワーク転送の高速化技術は、長年研究されてきており、いくつかの市販品が存在している。今回採用したSkeepFileMessengerは、ユーザ側に特別なソフトウェアを必要としない高速データ転送支援ツールである。

性能評価の結果、表1のような転送レートが得られた。

4-3-2 実験データストレージ基盤の整備

ストレージ基盤として、オープンソースソフトウェアであるGlusterFSをベースにしたSCSK製CuSAストレージシステムを採用した。本製品は必要に応じて稼働中に容量拡張が可能なスケールアウト型のクラスタストレージで、実験データリポジトリのストレージ基盤として十分な可用性を有している。2012年度は8ノード160TBの導入を行った。

4-4 検出器開発

4-4-1 CdTe検出器

SPring-8の特徴である高エネルギーX線領域(20～100 keV)での散乱・回折実験の高効率化、更にはXAFSなどの分光分析への応用を目指し、CdTeセンサーによる1次元・2次元型検出器開発を行っている。各種形態のうち、サブミクロンのCMOSプロセスで製作された読み出し集積回路とアレイ状に微細電極加工された半導体センサー

を接合したハイブリッド型ピクセル検出器は、センサー及び回路をアプリケーションに最適化して独立に開発できる利点がある。2011年度でSP8-02B型集積回路の露光マスクのレイアウト設計まで完了したが、2012年度は0.25 μm CMOSプロセスを用いて集積回路製造を行った。SP8-02B型集積回路は前バージョンのSP8-02型の改良版で、入力を電子の負極性に特化し、ピクセル間のオフセットの均一化、2つのアナログアンプの間のゲインの独立化などの回路修正の他、グラウンド及び電源ラインの強化したレイアウト修正を行ったものである。ただし、ピクセルサイズ(200 μm×200 μm)とピクセル数(20×50)はSP8-02型と同じで、接合するCdTeセンサーの仕様変更を行わないようにした。これらを用いてシングルチップ型検出器及びデュアルチップ型検出器(1枚のセンサーにSP8-02B型集積回路を2チップ接合)を製作し評価を行った結果、等価雑音電荷が360電子から166電子へと大幅に改善され、各ピクセル間のコンパレータ閾値を3 mV以下(30 keVに対して1.5 keV相当)に均一化するなどの大幅な性能向上を達成した。面積8 mm×40 mmの大面積型センサーの製作も完了しており、2013年度はSP8-02B型集積回路を8チップ接合したオクタールチップ型検出器を完成させ、ビームラインでの試験運用を開始させる予定である。

4-4-2 EIGER検出器

X線散乱・回折実験を中心に放射光実験における最先端の2次元検出器としての利用されるようになったPILATUS検出器は、元々はSwiss Light Sourceの検出器グループにより開発されたものであるが、国際協力によりSPring-8でも他の放射光施設に先駆けて早期より実運用を開始させ、深さ分解XAFS法などの独創的な分析手法を開拓してきた。PILATUS検出器の最大の特徴はフォトンカウンティング型の計測手法を2次元アレイ化した技術だが、ピクセルサイズ、フレーム率などに関し、更なる高性能化のニーズも高い。

EIGER検出器はPILATUS検出器の後継機としてSwiss Light Sourceが開発している次世代型のフォトンカウンティング型2次元検出器で、ピクセルサイズが172 μmから75 μmに高分解能化され、フレーム率が300 fpsから24 kfpsへと高速化されている。Swiss Light SourceではcSAXSビームラインに於いて利用実験が開始されたが、SPring-8でもBL14B2に於いて蛍光XAFS検出器としての評価、BL11XUに於いて共鳴非弾性X線散乱(RIXS)検出器としての評価を行うなど、PILATUS検出器と同様にSwiss Light Source以外の放射光施設としては世界に先駆けて利用実験を開始した。2013年度は、XAFSとRIXSのみならず、超高速時分割X線回折実験など、高空間分解能特性と高フレーム率測定の利点を活かした幅広い分野への展開を計画している。

4-4-3 6連 MYTHEN 検出器

MYTHEN 検出器は1次元のフォトンカウンティング型で、1モジュール当たり1280本のストリップ電極が50 μm ピッチで形成されている。1次元方向ではあるが、PILATUS 検出器の172 μm 、EIGER 検出器の75 μm と比べて高い空間分解能が得られることが特徴であり、主たる応用としては粉末X線回折実験を想定している。2011年度までは1モジュール型検出器を回折計の回転軸に設置して分割測定を行っていたが、6モジュールを搭載した6連 MYTHEN 検出器を製作し(図8)、BI19B2及びBL46XUに於いて、時分割X線回折検出器としてのユーザ実験を開始した。次のステップとしては、12モジュールないし24モジュールを扇形状に配置したより広角をカバーしての粉末回折計を当該ビームラインに設置することを検討している。

制御・情報部門
田中 良太郎

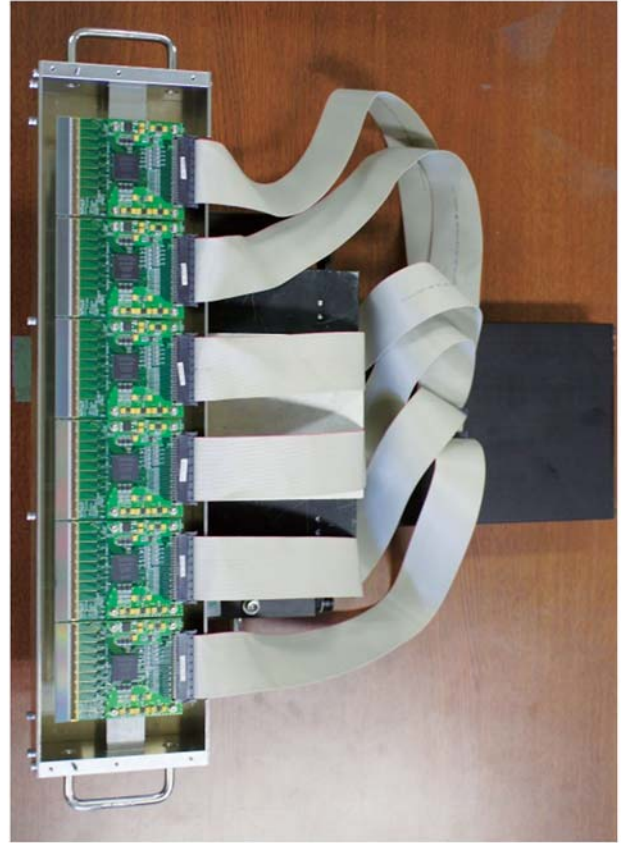


図8 6連 MYTHEN 検出器