

3-4 制御

1. MADOCA IIメッセージ通信

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、次期計画で必要と想定される制御系の機能拡張を検討し、MADOCAフレームワークを強化すべく、以下に示すような開発を2011年度から継続して進めてきた。

- 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) はメッセージ通信の機能であり、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2014年度の状況に関して詳しく述べる。

1-1 MADOCA IIメッセージ通信機能向上

メッセージ通信機能向上に関しては2012年度までに基本機能の実装及び動作確認が完了している。2014年度初頭からSPring-8加速器及びビームライン制御系へ導入を行い、順調に運転を行っている。また2013年度にSACLA実験制御系へ導入を行ったが、SACLA BL2の

稼働に向けて実験制御系の整備・更新を進めるなかで、BL3とBL2の独立性の確保、BLやデータ収集用制御・ネットワークとユーザー用ネットワークの分離の観点から、新しい機能の追加、導入を行った。

元々MADOCAの基本的な考え方はフラットなネットワーク空間にクライアントとサーバがあり、クライアントから機器を操作する制御フロントエンド計算機上で動作しているサーバに直接接続する形態を想定していた。この形はサーバと制御対象機器が一対一に対応しており、分かりやすい形になっている。しかし、多数の機器を扱うためには多くのサーバに接続する必要があり、日々入れ替わるユーザー持ち込み計算機からSACLA実験制御用計算機群に対し持ち込む度に多数の接続を行うことは現実的ではない。また、フラットな接続では、あるクライアントからの指示と他のクライアントからの指示が矛盾した場合に、実験制御に支障が出る。

これらの問題を解決するため、制御マスターとなる計算機を置き、すべてのクライアントはこの制御マスターを通じて実験制御を行うよう実験制御系の見直しを行った。この際、各クライアントからのメッセージは制御マスターを経由してフロントエンド計算機に送られるため、

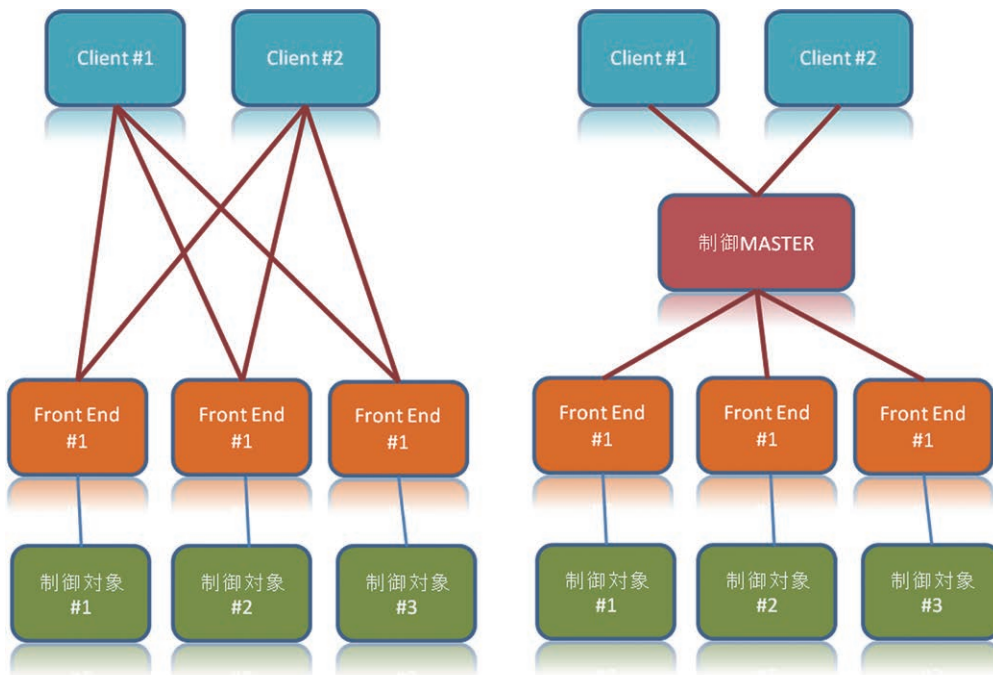


図1 メッセージルーティング機能のない場合（左）とある場合（右）の接続の違い

多段のホストを渡ってメッセージが送られ、送り返されなければならない。このためMADCOCA IIメッセージングの機能向上としてメッセージの送られた経路を記録し、その記録に基づいて返信メッセージが送り返されるようにした。

本機能は2014年9月のSACLA利用運転時にBL2及びBL3に導入され、問題なく動作している。

2. MADCOCA II データベースとデータ収集

MADCOCA IIはデータ収集部分に非同期メッセージ、データベース部分にNoSQLデータベースを採用し、旧MADCOCAと比較して大幅な速度、信頼性、拡張性、柔軟性の向上を図った。2012年度にはテストベンチでの性能試験、2013年度には導入試験を行うなど慎重に導入の準備を行ってきた。導入試験の結果から、いくつかの改変を行い2014年度には旧来のMADCOCAシステムを置き換える本番導入に至った。

2014年度には

1. Cassandra テーブル構造の改変
2. クラスタの拡張
3. システム診断ツールの作製
4. アラーム監視システムの作製

を行い本番導入にあたった。

2-1 テーブル構造の改変

MADCOCA II データベースではデータの永久保存にNoSQLシステムであるCassandraを使用している。導入試験では単一テーブルに全てのデータを格納するテーブル構造であったが、この構造はCassandraのデータ管理メカニズムに適さないことが分かった。そこで、本番導入したシステムでは、月毎にテーブルを分割する構造に変更した。1つのテーブルが持つデータ容量を小さくし、ファイルの肥大化を避けた。これにより、ディスクの有効活用、バックアップやリストアが容易になるなどの利点が生まれた。デメリットとしては、月をまたぐようなデータ取得の場合、複数のテーブルに対してアクセスが必要となったが、これについてはAPI関数を改修して対応した。また、この変更に伴って、旧システムから1997年以降のデータを再度コピーした。

2-2 クラスタの拡張

先行導入したシステムは6台のサーバでCassandraクラスタを構築していたが、扱うデータ量に対してクラスタが小規模であることが判明したため、12台クラスタへと拡張した。

2-3 システム診断ツール作製

MADCOCA IIデータ収集・蓄積システムの安定運用のため、各種診断ツール類を整備した。主に次の4つのツールを導入、作製した。

1. ハードウェアとオペレーティングシステムの資源をモニターするZabbixシステムの導入。
2. 中継プロセス、データベース書き込みプロセスの健全性をモニターする管理者用ツールの作製。これは1秒間に処理したメッセージ数やデータベース書込みに要した時間などプロセス内部情報の表示に加え、簡単なメッセージ送受信テストも行うことができた。
3. 運転オペレータープロセス動作表示ツール。これは中央制御室の中央に位置する大型ディスプレイ上で動作し、一目でシステムが正常動作しているかどうかを判断できた。(図2)
4. 異常通知メールシステム

異常通知を速やかに行うために、プロセスの異常検知で管理者にメールを配信するシステム。

2-4 アラーム監視システムの作製

MADCOCA IIシステムでは、アラームシステムはリアルタイムデータをリレーショナルデータベースから得てアラームの判断を行っていた。MADCOCA IIではリアルタイムデータをNoSQLであるRedisから読むため、大幅な改変が必要となった。そこでアラーム監視システムをMADCOCA II用に製作した。試験は長期にわたって旧MADCOCAのアラーム監視システムと並行して監視を行い、両者のアラームに違いが無いことを確認した後、MADCOCA II用のアラーム監視システムを導入した。

2-5 本番導入

データ収集と蓄積自体は2013年度から行われていたため、制御アプリケーションのデータ読み込み先を旧システムから新システムへ変更することをもって本番導入とした。これは2015年の1月に行われ、新システム用のライブラリを使用したアプリケーションが制御を開始した。旧システム用制御アプリケーションと新システム用制御アプリケーションを別の制御用ワークステーション

Status	Running	Name	Update Time
■	12/12	Archive DB (Cassandra)	2015/01/07 12:17:05
■	2/2	Online DB (Redis)	2015/01/07 12:17:05
■	2/2	Relay Process	2015/01/07 12:17:05
■	40/40	Writer Process	2015/01/07 12:17:05

図2 運転オペレータープロセス動作表示ツール



MicroTCA platform

図3 MicroTCAプラットフォーム化されたデータ収集システム

にインストールし、新システムに不具合が発見されてもすぐに旧システムで制御できる体制を整えたが、変更は混乱も無く終えることができた。以降特にトラブル無く順調に稼働している。

3. DDH (Digital Data Handling) プロジェクト

本プロジェクトの目的は、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プラットフォームの構築である。これまでのネットワーク分散制御／データ収集 (DAQ) システムに対して、従来のレベルを超える大容量データ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システムの構築を容易に実現可能とする。

基盤技術選定^[1]、応用展開として2次元検出器 (SOPHIAS) のデータ収集システム開発^[2]、外部トリガ受信やリアルタイムデータ処理等の機能追加^[3]を経て、放射光実験への本格的な利用に向けたシステム構築を進めてきた。

2014年度は、さらなる利用実験の大規模化に伴うセンサー数の増加に対応するために、現在のボックスタイプモジュールと汎用計算機の組合せから、バックプレーンタイプのプラットフォームへの移行を進めた。プラットフォームは、20 Gbit/sを超えるバックプレーンデータ伝送帯域性能とオープンスタンダードであることから、MicroTCA (Micro Telecommunication Computing Architecture) を選定し、これまでに開発したデータ収集機能 (データ収集、トリガ信号制御、イベント再構築情報制御、データエラー検出、データ収集パラメータ表示、異常状態監視とアラーム表示機能等) を組み込んだ。検出器インターフェース部分は、高機能化に伴うプラットフォームの移行を想定して採用した汎用モジュール規格が劇的な効果を上げ、そのまま新システムに搭載するだけで極めて短期間に開発が完了した。2個のセンサー

を同時にデータ収集するシステムにおいて、7.4 Gbit/sの全体データ伝送帯域かつ40時間以上の連続動作を確認し、データ伝送帯域や長時間安定性について良好な結果を得ている。

参考文献

- [1] C. Saji, et al.: Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A (2013), DOI : 10. 1016 / j. nima. 2013. 05. 019.
- [2] C. Saji, et al.: Proceedings of ICALEPCS, San Francisco, CA, USA, 2013, WECOCB03.
- [3] C. Saji, et al.: Conference Record of IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS / MIC), 2014, N51-2.

4. 加速器制御

4-1 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、オペレータ端末ならびに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。

4-1-1 データベースシステムの高度化

加速器及びビームラインにおいてデータ収集を行っている信号点数は年々増加している。2014年度も691点の信号追加があった。2014年度末時点で27,052点の信号をデータ収集に利用しており、リレーショナルデータベースに蓄積しているデータ量は4.1 TB (Terabyte) となった。これら信号情報はパラメータデータベースで管理することでデータ収集や機器制御に活用している。しかしながら管理テーブルが正規化されていない為、信号登録時のミスにより、ホスト名やサブグループ、信号名設定等において様々な不整合が生じていた。パラメータデー

データベースの設定を見直すことでこれら不整合を洗い出し、解消した。

4-1-2 データベース用ストレージ機器の更新

2007年度から7年間使用してきたSPring-8制御系メインデータベースシステムのストレージ機器を、経年劣化対策として更新した。実効容量が5 TBから10 TBに増加し、当面のデータ量増大にも対応可能となった。計算機とストレージ機器の接続インターフェースを4 Gb FC (ファイバーチャネル)から8 Gb FCに速度向上させ、データ伝送速度を強化した。またストレージデバイスの記録密度向上により、筐体サイズが旧型の6筐体から2筐体に減少し、省スペース化と消費電力の大幅な削減を実現した。

4-1-3 データ収集端末のリモートコンソール環境の改善

SPring-8制御系データ収集端末は、計算機本体を制御計算機室内に設置し、画面を中央制御室のリモートコンソール端末に表示することで、電源やネットワークの冗長化と中央制御室での操作性を両立させている。従来使用していたリモートコンソール端末はThinClient端末とリモートデスクトップソフトウェア (VNC) の組み合わせであったが、画面を2段階で転送する構成のため画面描画の遅れが発生し、マウスやキーボードの反応が遅く見えるためGUI等の操作性があまり良くなかった。2014年度にこれらの機器を、PCoIPテクノロジーを使用して高速画像転送が可能なりモートコンソール専用機器に更新し、画面描画の速度向上による操作性の改善を実現した。

4-1-4 加速器及びビームライン制御用端末の更新準備

中央制御室には25台の制御用端末が置かれ、加速器及びビームラインの運転制御に使用されている。これらは2010年度に導入されたもので、既に4年以上が経過しており、経年劣化対策として2015年度に更新を予定している。これに先立ち、2014年度に次期制御用端末の機種選定を行った。制御用端末は基本的にモニタリングと制御操作のみ行うため、高い処理速度は求められていない。一方、25台という台数を一室に収めるため、静音性と省電力性が求められる。機種選定においては、単なる計算機の更新ではなく、近年の技術の向上により小型化した計算機端末に注目し、静音性と省電力性、また小型であることによる管理性の向上を目指した。選定の結果、DELL社製の小型端末とZOTAC社製の手のひらサイズの超小型端末を候補とした。運用試験の結果はどちらも良好であり、2015年度の夏の導入を予定している。

4-1-5 システムログ解析・閲覧環境の整備

加速器やビームラインの制御に用いる計算機は、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てている。2012年度のSPring-8制御系ログシステム更新の後、ログは年々増加し、2014年度には約360のホストから一日当たり約350 GB (Gigabyte)、行数にして30億行、が書き込まれた。ログサイズが大きい場合、機器担当者はログ解析に多くの時間と労力を消費する。この課題を解決するため、2013年度からログのデータ化と可視化手法の調査を開始し、2014年度にログ解析ソフトウェアのfluentdと可視化ツールkibanaを用いたログ解析環境を構築した。これらを用いてwebサーバログとsnmp負荷監視ログの可視化試験を行い、統計集計やトレンドグラフによる傾向分析等、ログ解析・閲覧が簡便に行えることを実証した。2015年度には実際に加速器制御系のログサーバに導入し、大量のログ解析が効率よく行える環境を整える。

4-1-6 音声発生システム開発

SPring-8制御系のアラーム通知は、音声発生サーバに音声テキストを送信することにより行われている。音声発生サーバには音声合成ボードが利用されているが、このハードウェアは既に製造中止になっている。納入から5年以上が経過しており、故障時の代替に備えるため、OpenJTalk (音声合成ソフトウェア)を用いた新しい音声発生システムを開発した。新システムでは、音声テキストの送信に現状と同様のRPC (リモートプロシージャコール)方式の他、MADCOA IIのメッセージング方式も使用できる。また、Windows計算機からの利用、複数文字コード対応、複数の音声発生サーバによる冗長構成などの機能を追加した。小型計算機 (Intel NUC, Linux)を新しい音声発生サーバとして音声合成ソフトウェアを実装し、加速器点検調整期間中にシステム試験を行い、基本動作を確認した。

4-2 機器制御系

4-2-1 蓄積リング主電磁石電源制御用後継ボード開発

SPring-8蓄積リング主電磁石電源の制御には、1997年の運転開始以来、三菱電機製RIOシステムが使用されている。各主電磁石電源筐体内にインストールされたスレーブボード (RIO Type-Bボード)は、VME規格のRIOマスターボードとの間を光ケーブルで接続され、VME計算機から制御される。主電磁石電源とRIO Type-Bボードの間は、デジタル入力信号32点、デジタル出力信号32点で取り合い、ON/OFF等の制御、電源ステータスの読み込み、電流値設定や電流値モニターデータの読み

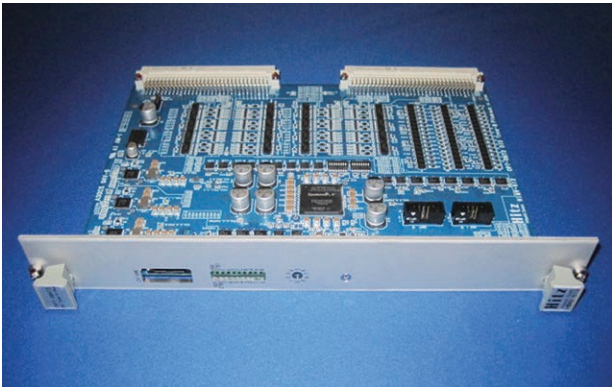


図4 新たに開発したOPT-RMT DIO Type-B Plus ボード

込みなどを行っている。RIO Type-B ボードは既に幾つかの使用部品が入手不可となっており、今後の維持に問題を抱えている。そこで新6極電磁石電源の製作のタイミングに合わせて、SPring-8で開発を行った光伝送ボードシステムをベースに上位互換ボードOPT-RMT DIO Type-B Plusボードの開発を行った(図4)^[1]。既存の主電磁石電源にも適用できるようにRIO Type-Bボードとのピン互換性を維持すると共に、新たに電圧モニター値の読み込みや、機器保護インターロックの詳細情報の読み取りなどが行えるようデジタル入力信号32点とデジタル出力信号16点を追加した。また従来VME 計算機のソフトウェアで行っていたサイクリング処理を、ボード上のFPGAで行えるようにFPGAロジックの製作を行った。既にSolaris デバイスドライバの開発も完了し、実機への適用の準備は整っている。新6極電磁石電源側の準備が整い次第、実機への適用試験を実施する予定である。

4-2-2 次期電磁石電源低速制御システム

SPring-8加速器制御系では、電磁石電源の制御を中心に光リンクリモートI/Oシステムを採用し、数多くのリモートI/Oボードを少数の高価なVME 計算機から集中制御している。昨今FPGAの低価格化・高機能化が進み、従来VME 計算機が担っていた処理の多くを、リモートボード側のFPGAで受け持たせることが可能となった。このような状況を踏まえ、最近発展が目覚ましいPLCに注目し、これを次期低速制御システムとして利用することを検討している。現在所持している膨大な光リンクリモートI/Oシステムの資産を有効に生かした低速制御システムの構築を実現するため、横河電機製e-RT3^[2]用光リンクリモートI/Oシステムマスターモジュール(OPT-PLC)の開発を行った(図5)。OPT-PLCは5チャンネルの光リンクを持つ2スロット幅のモジュールとして製作した。基板は3枚から構成され、ロジック制御部と光リンクインターフェース部分を別基板として分離した。ロジック制御基板にはXilinx社製 Zynq-7000を採用し、

EthernetインターフェースやSDカードスロットを実装して高い汎用性を確保した。光リンクインターフェース基板とは70ピンのスタッキングコネクタで取り合い、将来拡張用として6.25 Gbpsの高速シリアル信号4ペアを渡せるようにしている。VMEシステムではデバイスドライバが担っていた通信処理の一部をARM CPU上のアプリケーションとして実装するよう設計を進めていて、これをファームウェア化することでシステムの移植性を高め、メーカーが提供する汎用デバイスドライバが利用可能となる。また通信処理ロジックを見直し、e-RT3用Linux CPUモジュールからだけでなくシーケンスCPUモジュールからも利用可能としている。ソフトウェアの製作は2015年度に行う予定である。

4-2-3 機器制御系MADCOCA II対応

2013年度に引き続き、機器制御系のMADCOCA II^[3]への移行を進めた。2014年度は蓄積リング電磁石系6ホスト、蓄積リングユーティリティ系24ホスト、施設監視データ収集系6ホストの計36ホストの移行を実施した。また、MADCOCA II DBへの移行については、データ収集プログラムのテストやデバッグ、実際の運用に合わせた制御環境の整備などを行った。

4-2-4 MADCOCA簡易制御系整備

MADCOCAフレームワークを構成するソフトウェア群の一つに、実際の機器を制御するために使用するEquipment Manager (EM)がある。EMは機器に直接アクセスするため、制御対象の機器に合わせてカスタマイズを行う必要がある。従って、多くの場合、新しい機器が追加されると新しいEMを作成することになる。共通部分を上手く抽出し、機器毎の違いは外部からEMに与えるパラメータによって吸収することが可能な汎用的なEMが用意できれば、機器を制御するまでに掛かる手



図5 開発したOPT-PLCモジュール

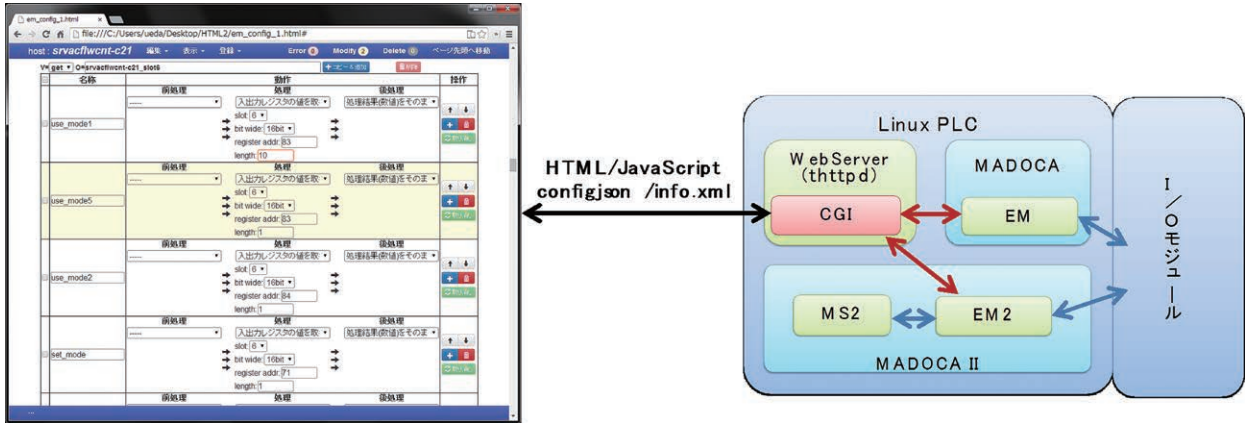


図6 構築したe-RT3用MADOCA簡易制御システム

間や時間を大幅に削減できるようになり、メリットは非常に大きい。そこで、SPRing-8制御系への導入が始まっている横河電機製e-RT3をターゲットに汎用的なEMの作成を行った。EMには機器を制御するために必要な情報を記述するための設定ファイル (config.tbl) が存在するが、汎用化のためには、数多くのパラメータをconfig.tbl中に記述しなければならず、内容の把握や維持管理が困難になる。そこで、簡便にconfig.tblを作成し、EMに読み込ませるためのWebベースのユーザーインターフェースも併せて整備した。e-RT3の利用者は、制御コマンドや使用するモジュール、使用する関数をこのWebインターフェースからメニュー形式で選んでいくことでconfig.tbl

を新規作成または更新し、EMに読み込ませることが可能となる。ここで整備したe-RT3用簡易制御系^[4]を図6に示す。

4-2-5 蓄積リングCODデータ収集の高速化

蓄積リングのCOD補正を高速化するために、Linac同期データ収集系を拡張してCODデータ収集システムを構築した (図7)。4台のVME計算機から収集される合計2,400点ほどのデータの収集を高速かつリアルタイムに行うために、5台のVME計算機とCOD補正プロセスを動作させる上位計算機をリフレクティブメモリで接続し、データ取得を行うタイミングをリフレクティブメモ

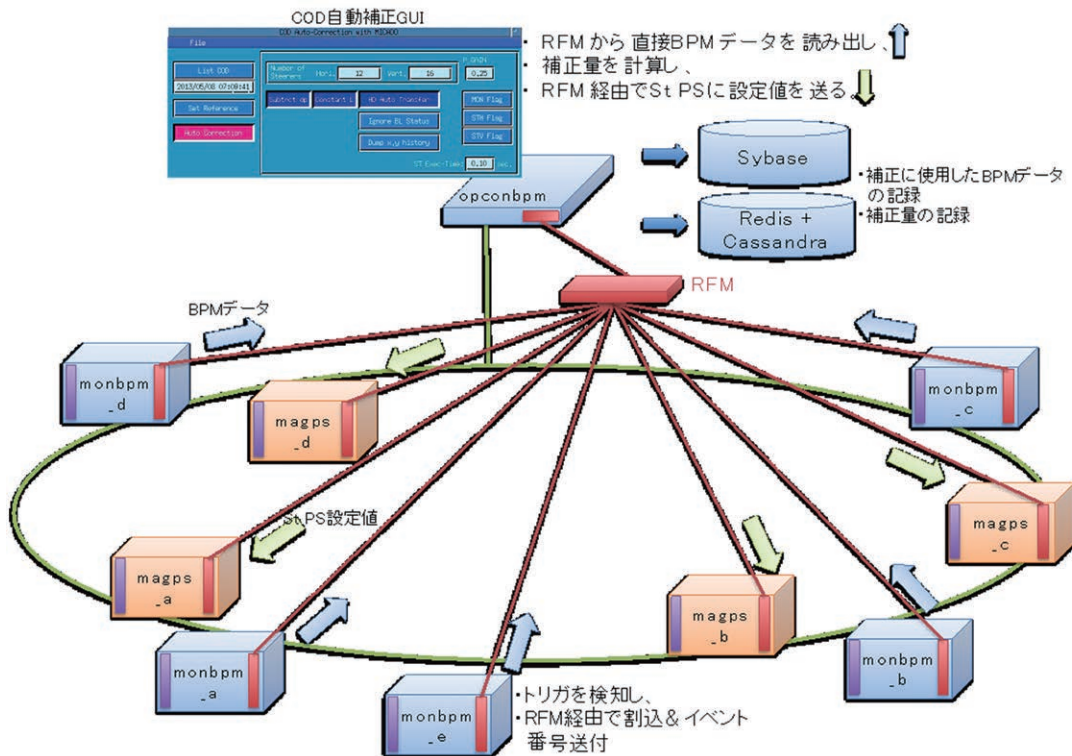


図7 蓄積リングCOD補正データ収集システム

リ (RFM) のネットワーク割り込み機能を用いて通知することでプロセス間の同期を取る。データ取得を高速かつリアルタイムに行えるようVME計算機をマルチコア化し、かつデータ収集プロセスを6ないし7並列化した(1プロセスあたりのデータ取得点数を100点程度にした)。原因は不明であるが、VME CPUボードのHyper ThreadingをONにすると、稀に100ミリ秒を超えるデータ収集の遅延が起こることが分かったため、Hyper ThreadingをOFFにすることで25～30 Hz程度の実時間データ収集を実現した。現在の実運用では10 HzでRFM経由の実時間データ収集を行い、補正はネットワークを経由して1 Hzで行っている^[5]。補正もRFM経由で高速かつリアルタイムに行えるように2015年度以降に整備を進める予定である。

4-2-6 蓄積リングステアリング電磁石電源異常監視用EMA

蓄積リングステアリング電磁石電源では、数十ミリ秒程度の短い時間で出力電流値がスパイク状に変化する現象が起こることが確認されていて、これが蓄積ビームのアポートを引き起こしている。この現象を確実に捉まえて、どのステアリング電源がビームをキックしたかの情報が得られれば、電磁石電源の交換などの対策を打つことができるようになる。このため、蓄積リングステアリング電磁石電源を制御している4台のVME計算機上で、各々4つずつのEMA (Equipment Manager Agent) プロセスを起動して、全ステアリング電磁石電源の出力電流値の監視を30～50 msの周期で行うようにした。このEMAによる監視は2013年度より導入していたが、設定値を大きく変えた場合などに誤検知が見られたため、2014年度には異常検知のアルゴリズムの改良を行った。この監視はVME計算機のCPUをマルチコア化したことで実現可能となった。今後、このような高速動作のソフトウェアによる異常監視を積極的に導入することを考えている。

4-2-7 光伝送リモートボード用シャーシ整備

2013年度に引き続き、老朽化した光伝送ボードシステムリモートボード用シャーシの更新を実施した。2014年度はLinacで使用している31式の旧型シャーシを新型シャーシに更新した。これで約80台のシャーシのうちの約半数の更新が終了した。2015年度も引き続き更新を進める予定である。

参考文献

[1] T. Masuda, et al.: “Development of the Succeeding Control Board for the SPring-8 Main Magnet Power

Supplies”, Proc. of 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, Japan, 2014, p.1275.

[2] <http://www.e-RT3.com>

[3] T. Matsumoto, et al.: “Development of New Control Framework MADOCA II at SPring-8”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Japan, Aug. 2013, 14.

[4] S. Ueda, et al.: “Development of General-purpose Equipment Manager for Linux PLC”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, Japan, 2014, p. 1250.

[5] S. Ueda, et al.: “Development of General-purpose Equipment Manager for Linux PLC”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, Japan, 2014, p. 1250.

4-3 インターロック

4-3-1 加速器安全インターロック

2014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。改造案件として、以下に示す作業を実施した。

- ・インターロックシステムネットワーク整備：
2011年のインターロックアップグレードに伴い、よりシンプルなシステムへ移行を進めてきている。2014年度はL3BTエリアの見直しを進め、光ネットワーク経路の最適化により管理システム数を60%に削減した。これにより、メンテナンス性と安定稼働性が向上している。
- ・劣化対策：
L3BTエリアの盤I面について劣化対策を施工した。
- ・インターロック状態表示の視認性向上：
加速器運転業務を円滑に行うため視認性について聞き取り調査を実施し、表示画面の変更を実施した。具体的には、色認識の個人差を考慮した表示色変更により、通常状態と非常状態をより明確に区別できるようになった。

4-3-2 放射線データ収集システム

放射線データ収集システムは2014年度も安定に稼働した。しかし、複数のシステムが混在かつ複雑化しているため、運用性に難がある。このため複数年度に渡って盤内整備を実施している。2014年度は、全体の一部である入射系施設、組立調整実験棟、RI棟について整備完了した。今後も運用性と可用性の向上のために残りのシステム整備を継続する。

4-3-3 入退室管理システム

北管理棟増築に伴ってシステム操作端末を増設した。同時にソフトウェアの機能向上、使用ハードウェアのスペック見直しを行い、ユーザーの業務効率およびメンテナンス性を向上させた。また、2013年度に発覚したカードリーダーのハングアップや認証遅延などの不具合対策として、全てのカードリーダーに対してソフトウェアのバージョンアップを行った。

4-3-4 ビームライン・インターロック

BL13XUハッチ増設に伴うインターロックの改修工事を行い、完了した。また、インターロックのソフトメンテナンス、及び経年劣化した機器、ラッチボックス、状態表示盤、瞬時電圧低下保護装置、グラフィックパネル等の計画的な交換を実施した。一方、経年劣化に起因するケーブル硬化による不具合が見つかった。これは2015年度に調査を行う予定である。

4-3-5 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、ニュースバル加速器安全インターロックシステム及びBL01Aインターロックシステムは2014年度も大きなトラブルも無く順調に稼動した。

5. ビームライン及び実験ステーション制御

2014年度はビームライン制御システムにおけるデータ収集系のMADDOCA II データベースへの移行を進めた。

保守点検作業としては、安定且つ継続的なビームラインの運転を維持するために、各ビームラインおよび挿入光源制御機器のハードウェアメンテナンスを夏期と年度末の長期点検調整期間に実施した。また制御システム更新の年次計画の一環として、ユーザー制御用端末 (BLWS) の点検・保守及び更新を併せて実施した。

5-1 挿入光源ステアリング電磁石制御用シャーシの老朽化対策

既設の挿入光源ステアリング電磁石制御用シャーシの約半数は、電源と冷却ファンの耐用年数を大きく超えており、複数の個体でファンの停止等による故障が頻発し、挿入光源が正しく制御できない障害が発生している。この問題への対応として、動作状態を監視する機能を付加した新しいシャーシの設計開発を行い、老朽化対策としての更新を行った。新型シャーシでは、電源や冷却ファンステータスのリモート監視を可能とし、中央制御室の全系アラーム監視システムで一括監視することで、迅速

な障害原因の特定と復旧対応を可能とした。

5-2 FE/TC VMEの高速化とMADDOCA II対応

ビームライン制御システムの機器制御用VME CPUボードは、およそ10年前に導入したもので、耐用年数を大きく超えて運用を行っていた。これらの老朽化対策として、約半数のVME CPUボードの更新を行った。更新に際してMADDOCA IIに対応したCore i7化を進めた。

2014年度はビームラインフロントエンド制御用として20式のCore i7版VME CPUボードへの導入準備を進めた。全数の導入に先立って、2014年度冬期点検調整期間に1式の先行導入を行い、実環境における長期運用テストを行った。残りは2015年度夏期点検調整期間に順次導入していく予定である。これと並行してツジ電子製ステッピングモータコントローラ (PM16C) の制御インターフェースをRS-232CからEthernetへの切り替えを進めている。

5-3 BL14B2遠隔実験システムの構築支援

2012年度から産業利用XAFSビームラインBL14B2の遠隔実験システム構築支援を進めてきた。2014年度は外部ユーザーによるテスト遠隔実験を目指し、外部公開用ウェブソケットサーバの構築および複数の測定条件を纏めて登録するために必要な可変長データの受け渡し機構の実装を行った。その結果、産業利用推進室で進めてきた実験制御用ソフトウェア整備と合わせて、基本的なXAFS測定システムが完成し、2015年2月に外部ユーザーによる接続試験を行い、問題なく一連の光学調整、XAFS測定、データ転送が行えることを確認した。今後複数の資料を纏めて測定するAutoXAFSソフトウェアの整備を行い、2015年度下期には供用を開始する予定である。

5-4 BL41XU, BL38B1実験ステーション更新に伴う計測システム構築支援

共同利用蛋白質結晶構造解析ビームライン (BL38B1及びBL41XU) の高度化として、X線照射位置-回折角同時スキャン法の導入により、結晶のX線照射損傷が原因で引き起こされるデータクオリティの低下を抑制する対策を行った。具体的にはSPring-8で開発した汎用小型計測装置Blanc-8を用いて、4軸制御、X線シャッター制御及びCMOS検出器読み出しタイミング制御の6つの制御対象をミリ秒精度で、且つ指定されたシーケンスで動作させるリアルタイム制御ソフトウェアを開発し、上記ビームラインに実装した。これにより、結晶へのX線照射時間を短くすることに加え、X線ビームに対して斜めになっているような針状結晶でも、確実にビームを照射しながら精度の高いX線回折像を取得できるようになった。

5-5 小型組み込み計算機の後継機選定

全系制御システムのMADDOCA IIへの移行に伴って、現在使用しているBL-PLC制御用組み込み計算機(Armadillo-220)の更新を進めている。2014年度はこれまで運用してきた既存の資産を最大限に活用するために、Armadillo-210の後継機(Armadillo-410)の評価試験とPoE対応拡張基板の試作と動作試験を行った。今後、2015年度に調達と導入を予定している。

5-6 次世代機器制御プラットフォームの開発

近年の実験計測手法の高度化に伴い、複数のモータ軸を連動させたトラジェクトリコントロールなど、高速同期制御システムへの要求が高まっている。これに対応するため、2014年度は2種類のリアルタイムフィールドバス(EtherCAT、CC-Link IE Field)の評価を行った。評価に際して、導入時のコスト削減と運用の最適化を目指し、産業用計算機(PLC)をプラットフォームとした試験環境を用いた。評価の結果、双方とも数十ns(ナノ秒)の同期精度でモータ駆動が可能であることが分かった。2015年度は、MADDOCA IIとの連携を実現するためのソフトウェア開発を進める予定である。

5-7 挿入光源電磁石パターン制御ボードの高度化

電磁石による位相切り替え機能を有する挿入光源について、パターン制御の高速化の要請を受け、パターン制御ボード(HIMV-724)の高度化を行った。これまでのパターン制御性能は、トリガ周期:10 Hz、クロック周期100 kHzであったが、より高速な位相切り替え(~100 Hz)への対応のため、トリガ周期:1000 Hz、クロック周期:10 MHzへの機能拡張を行った。パターンデータが滑らかにつながるように十分なレコード長を確保した。既存のアプリケーションへの影響が最小限になるように、FPGAファームウェアとEM APIの修正を行っている。

5-8 機器制御PLC用位置決めモジュールの環境整備

2015年6月にVME CPUが生産停止なることを受けて、PLCをベースとした機器制御用の代替環境の整備を進めてきた。2014年度は、ビームライン制御システムにおける機器制御の主要コンポーネントであるステップモータ制御の環境整備を行った。この整備により、ビームライン制御システムにおける既存のVME環境のほぼ全域をPLCベースの機器制御システムに移行が可能となった。本整備においては、横河電機製e-RT3用位置決めモジュール(FA-M3/F3YP28-0P)のdevapiとSPring-8標準型パルスモータドライバへの接続変換ケーブルを製作

した。

5-9 実験ステーション制御

5-9-1 LabVIEW-MADDOCA IIと高感度カメラ制御

MADDOCA IIは複数の計算機を同期制御し、柔軟で堅牢な制御系を構築することができる制御フレームワークである。このフレームワークはWindowsでも動作可能であり、SPring-8実験ステーションに導入すれば、ステーション機器と分光器などの上位機器がシームレスに制御できるようになり、さらにプログラムも効率的に開発できるようになる。そこで、実験制御によく利用されているLabVIEWからMADDOCA IIを利用できるように、LabVIEW用のライブラリの制作を行った。簡単なプログラムでMADDOCA IIフレームワークの様々な機能を利用できる。MADDOCA IIでは制御命令に加えて画像などの大容量データも計算機間で容易に転送可能であり、画像データを転送するサンプルプログラムも用意した。これから数年かけて機能向上を図っていく予定である。

MADDOCA IIの実験計測システムへの応用として、高感度カメラORCA FLASH4.0(浜松フォトリクス製)用のデータハンドリングソフトウェアEM(Windows版)の開発を行った。画像のデータ量が多いためC++言語を使って製作した。上記のLabVIEW-MADDOCA IIと繋ぐことができ、LabVIEW上でORCA FLASHの画像を取り込むことが可能になった。今後も様々な種類のカメラへの対応を進める予定である。

5-9-2 SP8DR (SPring-8 実験データリポジトリ)

BL14B2において2013年度に運用を開始した実験データリポジトリのさらなる安定化とデータ投入部分の高機能化のための開発を進めた。主な安定化対策として、1) Webアプリケーション動作プラットフォームOSの変更、2) シングルサインオン機構の見直し、3) 実験データを参照するためのWebインターフェースのバグフィックス等を行い、これまでの運用で課題となっていた不具合の修正を行い、ストレスのない利用環境を実現した。データ投入部分の高機能化としては、計測システムからのシームレスにデータ投入を実現するために、MADDOCA IIフレームワークによる実装を行った。これにより、WindowsやLinuxなどビームライン毎に独自且つ多彩な開発が進められている実験計測システムから、自由にSP8DRが利用可能となる環境を整備した。

6. 検出器開発

6-1 2次元型CdTe検出器

X線受光センサーとASIC(読み出し集積回路)を一体化し、各ピクセルに独立したアナログ・デジタル混合

回路系を搭載した検出器をピクセルアレイ検出器或いはピクセル検出器と総称する。各種の形態のうち、サブミクロンのCMOSプロセスで製作されたASIC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させて独立に開発することができる利点がある。この技術は高エネルギーX線を利用する放射光・医療分野で特に期待が高く、SPring-8では、X線受光センサーにCdTeを採用することで20～150 keVに渡る広いエネルギーレンジで高検出効率を確保するとともに、ASICには窓型コンパレータによりエネルギー弁別されたX線光子数をカウントする回路系を搭載し、各ピクセルが独立したフォトンカウンティング型検出器として動作する放射光実験用の2次元検出器開発を行っている。シリコンセンサーを用いたPILATUS検出器では検出効率が20 keVで約30%、30 keVでは約10%であるのに対し、本検出器では30 keV領域での検出効率をほぼ100%に向上させ、更には100 keVを超える高エネルギー領域でも50%以上の検出効率で行えるように高感度化する。また、PILATUS検出器のASICのコンパレータがX線の下限值のみを制限する回路であるのに対し、本検出器のASICは下限と上限の両方を制限する回路に高機能化されており、高エネルギー成分のバックグラウンドも除去できるようになる。

2013年度までにSP8-01型(16×16ピクセル)、SP8-02、SP8-02B及びSP8-03型(20×50ピクセル)とASICのピクセル数の拡大、ノイズレベルの軽減、配電線の強化などの改良を重ねてきた。また、受光面積8.2×40.6 mm²のセンサーにSP8-02B型ASICを2×4個実装した検出器を試作し、マルチチップ技術による大面積化に向けてのR&Dを実施し、小規模ASICによる要素技術開発を完了させた。2014年度は利用実験に向けてSP8-02B型及びSP8-03型検出器を用いたエネルギー分散型ひずみ測定技

術のR&Dを開始すると共に、ピクセル数を95×100に更に拡大したSP8-04F10K ASICを製作した。CdTeセンサー2次元検出器の基本仕様は、ピクセルサイズをPILATUS検出器と同程度の200ミクロン、1素子のCdTeセンサーの受光面積を2 cm×2 cmないし4 cm×4 cmとし、これをタイル状に並べることで大面積化する。図8は2015年度製作する2 cm×2 cmのCdTeセンサーにSP8-04F10K ASICを1素子接合したSP8-04F10K型シングルモジュール型検出器の製作図である。受光部はボードのコーナーに配置されており、ボードを2×2枚並べた4 cm×4 cm検出器へと高度化する計画である。2015A期よりビームラインでの評価を開始し、2015B期からの実運用を目指す。

6-2 1次元型CdTe検出器

1次元型検出器としてSPring-8での利用が広がっているMYTHEN検出器は素子間隔50ミクロンと優れた位置分解能を有することが特徴だが、シリコンセンサーを用いているため、PILATUS検出器と同様に高エネルギー領域での検出効率の向上が課題となっている。SPring-8では、2次元型CdTe検出器で開発したAlショットキー型CdTeセンサー技術を応用した1次元型CdTeセンサー開発を行っている。1次元型センサーを開発する上で克服しなければならない課題はセンサーと読み出しASICの各チャンネルを如何にして接合するかにある。シリコンセンサーの場合はワイヤーボンディングにより直接結線することができるが、CdTeはもろく割れやすいためこの方法を用いることができない。本開発ではCdTeセンサーと読み出しASICの間にインターポーザを挟み、センサーとインターポーザをIn/Auスダッドボンディングで接合した後、インターポーザとASICとのワイヤーボンディングで結線する方法で製作している。図9はPSIとの国際協力により開発したCdTeセンサー搭載

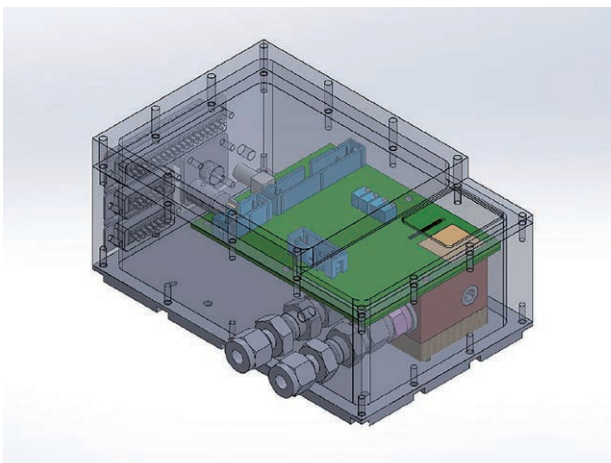


図8 SP8-04F10K型シングルモジュール型検出器の製作図

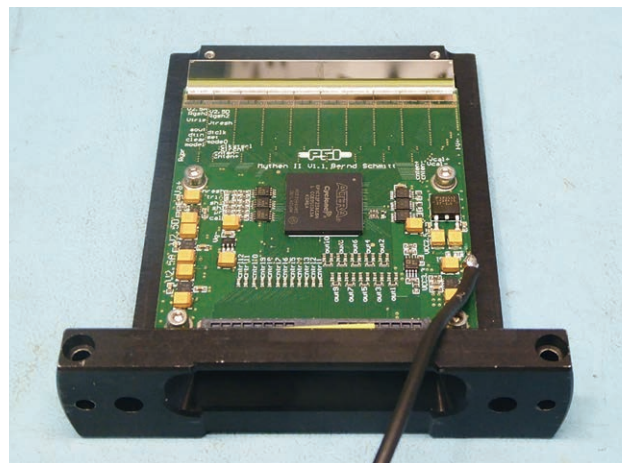


図9 CdTeセンサー搭載MYTHEN検出器

MYTHEN 検出器である。受光部には50マイクロンピッチ×638ストリップ形状の大型センサーを2素子が並べられている。2素子間のデッドエリアは200マイクロンである。インターポーザと読み出しボードとの接合部はシリコンセンサーに準拠して設計されており、特別な改良なく標準型MYTHEN検出器と同様に組み立てることができるように設計されている。

制御・情報部門

松下 智裕