

3-4 制御

1. MADOCA II

1-1 MADOCA II データ収集系整備

MADOCA II は遠隔にある制御計算機に対して制御コンソールからメッセージを送って制御を行うメッセージング部、制御計算機でデータを収集して、データベースにデータを送るデータ収集部、送られてきた収集データをストレージし、表示等を行うデータベース部からなる。このうちメッセージ部及びデータベース部は2014年度までに完成し実運用に供した。データ収集部はMADOCAのデータ収集機能を利用してMADOCA→MADOCA II変換を行ってデータベースに保存してきた。

2015年度はデータ収集部のMADOCA II フレームワークの整備を行い、一部のVME等に適用した。データ収集部に関しては2つの大きな部分から成る。一つは制御計算機上でデータを収集しMADOCA II データベースへ送るソフトウェア部分、もう一つはどの制御計算機でどのようなデータ（以下、信号と呼ぶ）をどのようなタイミング（定周期、イベント駆動のタイプや収集周期）で収集するかを事前に登録する信号登録部分である。

まず後者の信号登録であるが、これまでのMADOCAでの信号登録は機器制御担当者が信号リストを作成し、これをデータベース担当者が信号登録を行い、各機器制御端末用のデータ収集用設定ファイルを作成して初めて収集が開始できるものであった。このため、信号リストとデータ収集用設定ファイルが矛盾した場合は、データ収集開始後に気付く場合があり、これが課題であった。

新たに開発したMADOCA II フレームワークのデータ収集部の整備により、図1のように機器制御に使われる情報を元に登録リストを作成し、データ収集用設定ファイル（図1の<host>.datacol ファイル）を信号登録前に用意することができるようになった。さらに、事前にテンポラリデータベースを使ってデータ収集試験を行うことができ、機器担当者だけで簡単にデータ収集の試験及び登録情報の修正を行うことができるように登録フローを見直した。また信号リスト作成を支援する為、チェック機構を備えた専用のエディタの開発を検討している。この部分の作成は2016年度に行う予定である。

次に上記のデータ収集用設定ファイルを元に各制御計算機上でデータを取得して、データベースに送るソフトウェアフレームワーク、DataCollectorを作成した。DataCollectorは異なる幾つかのデータ収集に対応できるようになっている。基本形は図2に示したもので、データ収集を行うタイミングを決めるスレッドがデータ収集スレッドに収集を指示する形になっている。タイミングを決めるスレッドがタイマーで定期的収集をすれば定周期pollingとなり、旧MADOCAのpoller相当となる。タイミングを決めるスレッドを外部割込みなどのイベント待ちタイプにすると外部トリガによる同期収集やイベント駆動型同期収集になる。また、LabVIEW等によるデータ収集を行うために、制御用プログラム（EM）からMADOCAメッセージを使ってデータを取得するタイプも用意した。

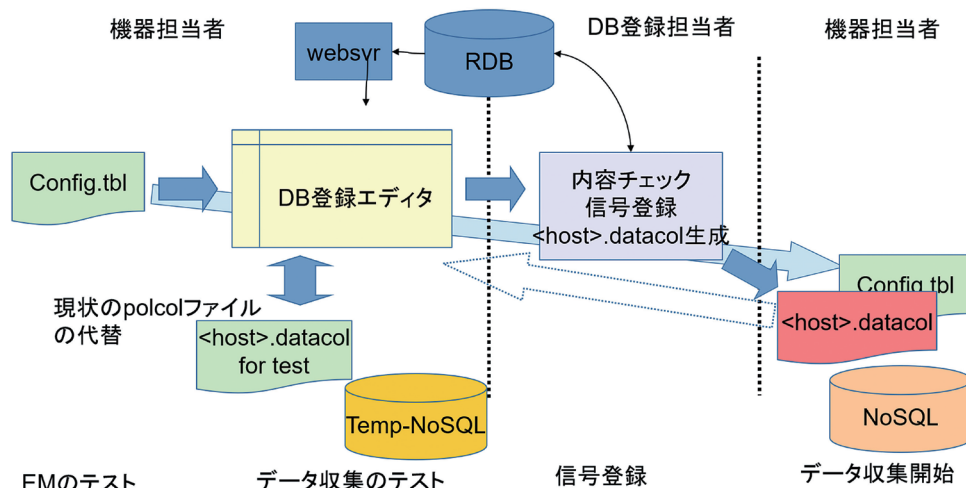


図1 MADOCA II 信号登録フロー

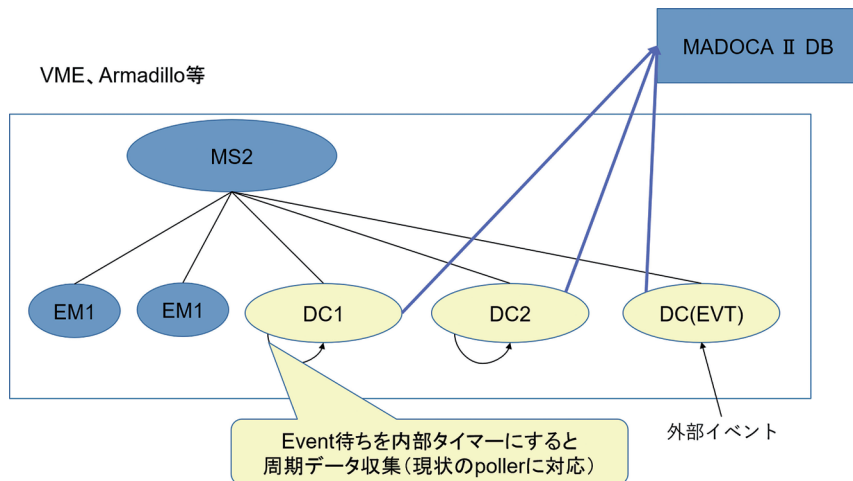


図2 データ収集ソフトウェアフレームワーク（図中の黄色部分）。Equipment Manager (EM1, 2) がMessage Server (MS2) 経由で遠隔の制御端末からのメッセージを受け取って機器制御を行い、DataCollector (DC1, 2, EVT) がデータ収集を行う。

多数のホストのデータ収集の開始、停止や収集状態の確認を行うための管理用ソフトウェアも整備し、MADOCA II データ収集系は2015年度末に蓄積リングの環境データ測定に新規導入したほか、Linac 光伝送ボードシャーシの状態監視、ビームライン安全インターロックデータ収集及びビームラインフロントデータ収集系の一部をMADOCA II データ収集系に移行させ、順調に稼働している。

1-2 特殊データ収集系のMADOCA II データベース移行

加速器データ収集の一部では、生のデータを一旦コンソール計算機に吸い上げて、演算や判断を行った結果をデータベースに書き込んでいるものや、波形データ等の旧MADOCA データ収集系では扱えないデータ収集を

行うためのカスタム収集系が稼働しており、これらをMADOCA II データ収集へ移行させる必要があった。それぞれに対応したMADOCA II データベース書き込み及び読み出し用ライブラリを作成することで、2015年度夏期点検調整期間にMADOCA II データベースへの移行作業を完了した。

1-3 制御メッセージログ分析基盤の開発

加速器・ビームライン運転を安定運用するためには、障害発生時にその原因を直ちに特定し速やかに問題解決を行うことが必要不可欠である。このため、SPring-8では加速器制御に用いる約400ホストの計算機ホストにおいてMADOCAによる制御のメッセージログを収集し、障害原因の分析に活用している。この収集されるログデ

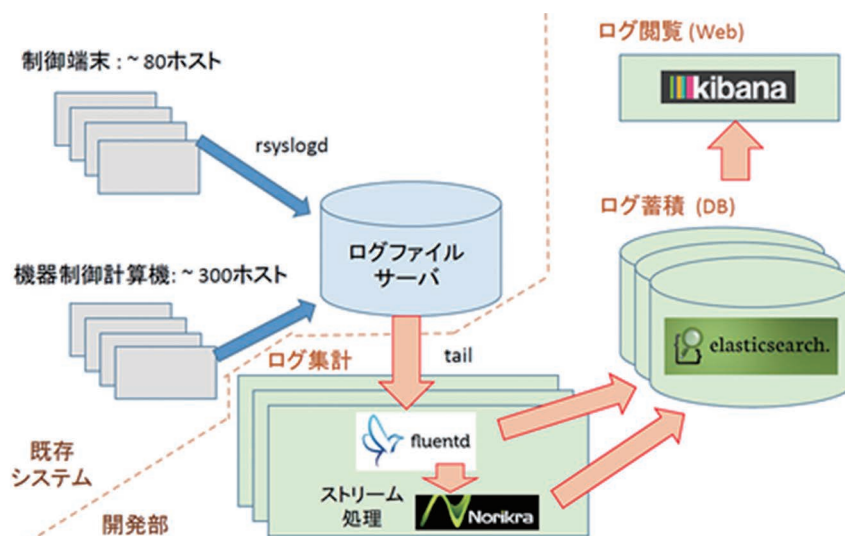


図3 開発した制御メッセージログ分析システムの構成図。ログファイルサーバに蓄積されたメッセージログを読み出してログ集計を行い、データベースへのデータ蓄積及びWebを介したログ閲覧を行う。

ータは1日に約30億行にも及ぶ。このデータをログファイルサーバ上のファイルに保存し検索を行っていることから、ログ分析に多くの手間と時間がかかっていた。この状況を改善するため、簡易かつ迅速にログ分析するためのフレームワークを構築した。開発した制御メッセージログ分析基盤の構成を図3に示す。ログファイルサーバ上のファイルからflutendを用いてログ集計を行いNoSQLデータベース elasticsearchにデータを蓄積する。蓄積したデータはkibanaを用いてデータの可視化ができるようにした。また、本システムではnorikraを用いたストリーム処理により図4に示すようにエラー発生件数の状況を準リアルタイムで監視できる。SPRing-8制御系の制御端末及び一部のモニター用計算機に本ログ分析基盤を試験導入し、ログ検索の大幅な時間削減、障害に対する理解向上などその有用性を確認した。

1-4 データベースシステムの高度化

次世代データベースとして開発してきたMADDOCA II データベースシステムを2014年度末にSPRing-8制御系に導入した。MADDOCA II データベースシステムではオンラインデータ参照及びデータ蓄積にKey-Value型NoSQL分散データベースのRedisとApache Cassandraを使用する。RedisとApache Cassandraシステムは共に複数の計算機ノードで構成され、単一障害点を持たないことが特徴で、構成するハードウェアに故障があっても運用を止めることなく対処・修復できる。これによりトラブルやメンテナンスによるダウンタイムを大幅に減らすことが可能となった。実際に計算機ハードウェアトラブルでCassandraシステムの一台のノード計算機が停止したが、データベースの運用を停止することなく当該計算機を予備機と交換して復旧し、加速器運転に影響はなかった。データベース機能のうちパラメータデータバ

ースについては今後も従来と同じくリレーショナルデータベースのSybaseを使用し、データの利用形態に合わせてシステムを使い分けている。2015年度は移行期とし、初期はオンラインデータ及びログデータについて旧システムと新システムの両方を稼働させて、新システムの安定性を確認した。安定性が確認されたため、9月以降は基本的に新システムのみに移行し、2015年度末まで安定的に運用できた。またアラームシステムやデータ閲覧・管理のためのソフトウェアについて、新システムに対応する改修・更新整備を実施した。

2. 加速器制御

2-1 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。

2-1-1 Sybase データベースサーバ更新

Sybase データベースはメインサーバと、メインサーバに運用継続不可能な障害が発生した場合、あるいは点検調整期間のメンテナンス中にこれを代替するリリーフサーバからなり、いずれも二重化された無停止型計算機を使用してきた。このたび、メインサーバ用の無停止型計算機が保守期限到来により継続的な安定運用が困難になった。この代替を検討した結果、導入時期が新しく、同等以上の性能を有するリリーフサーバをメインサーバへ転用し、リリーフサーバ用には無停止型でない通常のサーバ計算機を手当てすることにした。メインサーバに無停止型計算機を導入して以後、その完全二重化された機能によってSPRing-8加速器運転に影響を及ぼす障害は発生していないこと、データ収集系がMADDOCA II デー

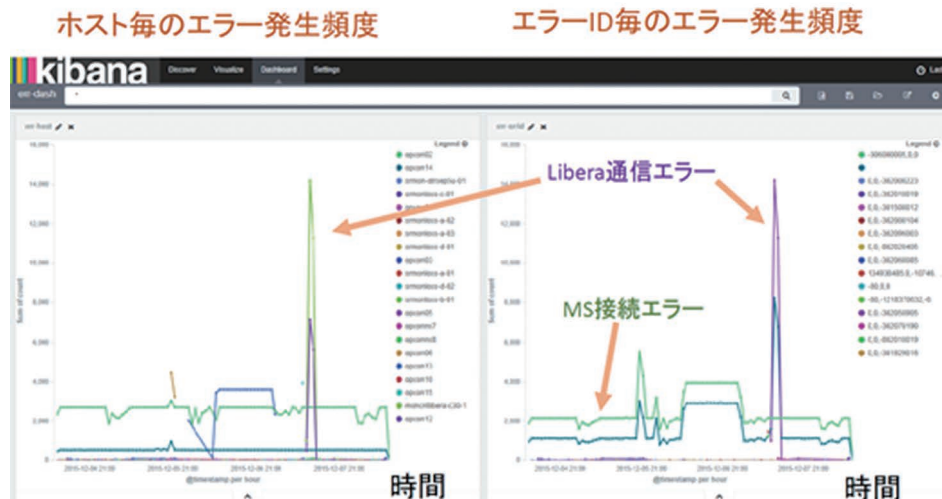


図4 制御メッセージログ分析基盤を用いて作成したエラー発生頻度のトレンドグラフ

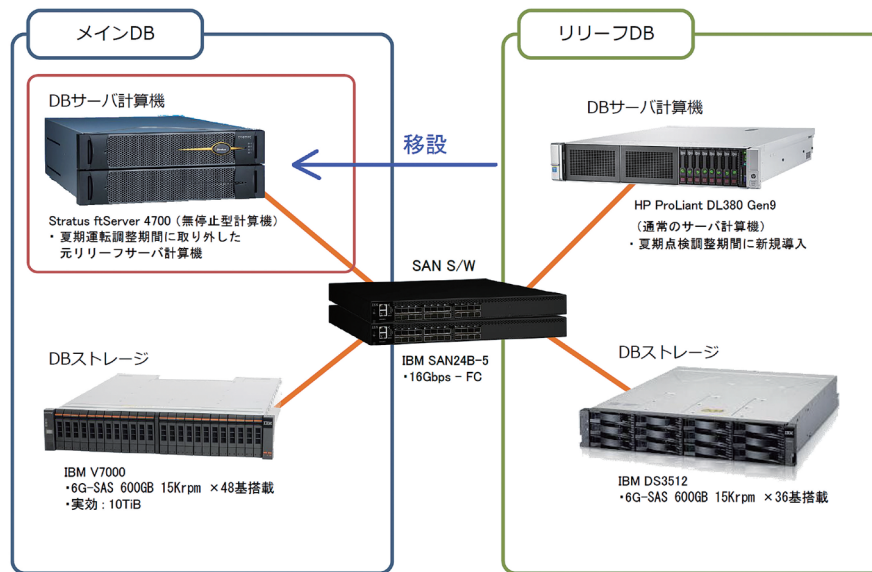


図5 Sybaseデータベースサーバ更新とストレージの構成

データベースに移行するなどの状況の変化があったことから、無停止型計算機の運用はメインサーバのみとした。これによって老朽代替費用と今後の保守経費を圧縮することにした。

新規に調達したサーバ計算機を2015年度夏期点検調整期間中にリリースデータベースへ投入、運用を開始した。その後、冬期点検調整期間に、保守期限が到来したメインサーバ機をデータベースストレージから切り離し撤去した。データベースストレージと、元リリース用の無停止型計算機の接続、調整、動作検証を経て、本番運用に投入した（図5）。

2-1-2 データバックアップ装置の更新

SPring-8制御系ファイルサーバ上にあるプログラムコードをはじめとする各種データは、磁気テープ媒体でも耐火金庫や所外貸金庫で一定期間保管することになっている。現在使用している磁気テープバックアップ装置は導入後8年を経過し、故障発生時の修理が困難になっている。このため、テープライブラリ装置と、これを動作させるバックアップソフトウェア実行用のサーバ計算機の老朽代替を実施した。

置き換えに当たっては、新たにUltrium LTO-6規格の磁気テープを利用可能とし、カートリッジあたりで従来使用していたLTO-4の約3倍、LTO-5の約1.5倍の記憶容量を確保できるようになった。これにともない、テープカートリッジチェンジャーの実装本数を従来の48本から24本に半減することができ、装置の小型化、導入価格と保守費用の軽減を実現した。

2-1-3 加速器制御系・制御開発中立系仮想化基盤計算機更新

加速器制御系や、制御用プログラム開発中立系では、サーバ計算機を極力仮想化統合することによって、操作性、管理性の向上と省電力化を行っている。この仮想化統合を行うための基盤であるホスト計算機が経年により老朽化していること、また従来は仮想ゲスト計算機のOSによって仮想化方式が複数存在したものを、汎用性が高くなったCitrix XenServerに集約することを目指し、仮想化基盤計算機の更新を行った。

本計算機は、制御系と制御開発系それぞれ2台ずつのHA（高可用性）構成とし、1台に障害が発生した場合は、残る1台で全ての仮想ゲスト計算機の運用を継続できる構成とした。

2-1-4 加速器及びビームライン制御運転用端末計算機の更新

加速器運転用のLinux OS計算機21台（データ収集系などを除く）（図7）は2010年に導入したもので、既に製造元での修理受付が終了しており、安定運用継続のために老朽代替を実施した。

これに先立ち、2014年度に次期端末計算機の評価を行い、制御卓内に収納可能なスリムタワー型の計算機でも、手のひらサイズの超小型端末（NUC）でも問題なく使用できることを確認していた。21台の代替に向けた検討では、スリム型でも超小型でも1台当たりの調達単価に大差がなく、機種を統一して予備機を削減した方が全体として低コストに実施できるとの結論に達した。検討の結果、運転メインGUIや、蓄積リング軌道制御用のGUIプ

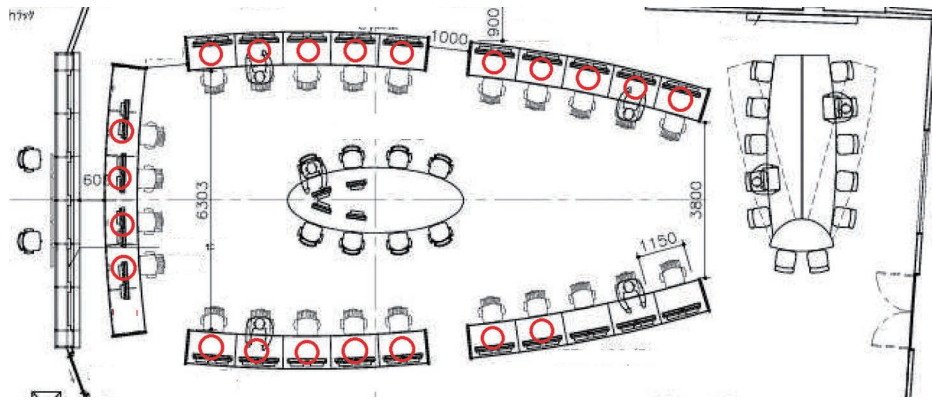


図6 更新対象となった運用のLinux OS 計算機21台（赤丸）

プログラムを動作させるのに必要な大容量メモリを搭載可能なスリム型計算機を選択した。

入札仕様を決定するにあたり、特に制御卓の計算機収納部から工具等を用いず取り出せる筐体寸法に留意した（図7）。

2-2 機器制御系

2-2-1 蓄積リングクライストロン電源更新に伴う制御システムの整備

老朽化が進んでいたC、D RFステーションの高圧電源入替えに伴い、制御システムの更新を行った。これまで、オペレーションGUIによる遠隔操作やデータ収集を各ステーションに設置していたVME経由で行っていた。2015年度の電源改修により、高圧電源の統括制御を行うクライストロン現場制御盤と加速器制御システムとの取り合いにはFL-net通信を採用した。従って、FL-netゲートウェイを1台構築し、各ステーションに対しての遠隔

操作やデータ収集はFL-netゲートウェイを介して行うこととした。あわせて、蓄積リングネットワークノードラックから光ファイバを敷設し、ネットワークインフラも整備した。

2-2-2 画像処理システム整備

Spring-8では加速器ビーム診断系に様々なカメラが使われているが、老朽化したPCベースの画像処理システムの高度化を含めた更新を行うにあたり、MicroTCAをベースとした画像処理システムを開発して導入を進めた。2013年度に蓄積リング2次元放射光干渉計へ導入した後、蓄積リング入射部OTRモニターの更新と線型加速器プロファイルモニタの更新においてMicroTCA画像処理システムを導入した。蓄積リング入射部OTRモニターでは、画像処理システムの更新により2次元フィットによるビームサイズの実タイム測定を実現した。線型加速器プロファイルモニタ系では、49台のアナログカメラをCameraLink規格のデジタルカメラへ更新することとなった。MicroTCA画像処理システム1台とCameraLink切替器2段で全カメラを切り替えて読み出す構成で、2015年度はL4ビーム輸送系7台のカメラを更新した。切替器制御はシリアル接続が可能なArmadillo-410を導入しMADOCA II対応EMを動作させて、画像処理システム上のEMから独占的に切り替え制御を行う構成とした。画像処理システムの更新により、切替器制御、画像転送、そしてビーム位置と広がり・電荷量の実タイム測定とデータベースへの書き込みを実現した。

2-2-3 MADOCA II 非対応機器の更新

加速器制御で多く使われている小型組み込み計算機のArmadillo-220は、搭載メモリが小さいことからMADOCA II対応EMを動作させることができない。そのため、Armadillo-220の後継機として、より高スペックなArmadillo-410を搭載したPoE対応小型組み込み計算機をビームライン制御が開発した。これを用いて光



図7 中央制御室制御卓への端末計算機実装状態

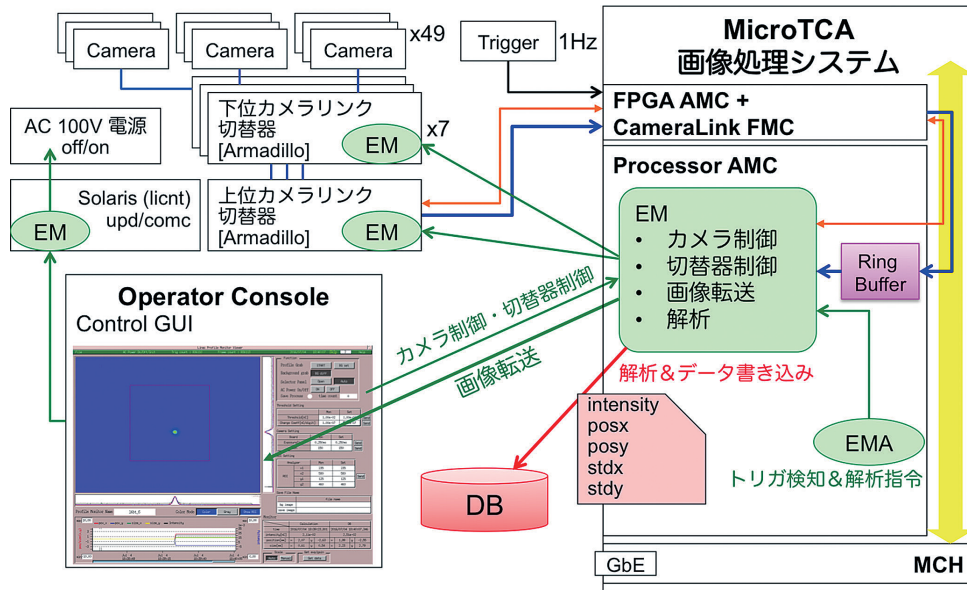


図8 Linac ビームプロフィールモニター画像処理システム構成図

伝送リモートボード用シャーシの状態監視を行っていた Armadillo-220の更新を行った。

Armadillo-410は温湿度センサーを搭載することで、温湿度計としても活用することができる。ビーム位置モニターの変動と温湿度との因果関係を調べるためにこの後継機が使用されることとなり、蓄積リング収納部内の36カ所に新たに設置された。

Armadillo-410を用いた後継機からのデータ収集は、2014年度にリリースされたMADCOCA II データ収集ソフトウェアであるDataCollectorを用いて行った。

2-2-4 光伝送リモートボード用シャーシ電源ユニット改修

故障時の復旧作業の空冷用ファンや電源のユニット化し、電源やファンの状態や温度の状態監視用小型組み込み計算機を搭載した新型の光伝送リモートボード用シャーシを2012～2013年度に開発し、2013年度から順次交換を進めている。2015年度までに36台の交換が完了したが、アナログボードが正常に動作しないトラブルが起きた。原因はアナログボードで使用する $\pm 15\text{ V}$ が $+5\text{ V}$ に対して約270 ms遅れて立ち上がることであり、300 msのタイマーモジュールを追加して $+5\text{ V}$ 電源の立ち上がりを遅らせる対策をとることで解決した。

2-2-5 次期電磁石電源低速制御システムの開発（継続）

次期電磁石電源低速制御システムとしてLinux PLCを利用することを検討している。2014年度には横河電機社製e-RT3^[1]で利用できる光伝送ボードシステムマスターモジュールのハードウェアと通信制御ロジックを開発した。2015年度は、引き続き光伝送マスターモジュールの制御を行うためのファームウェアと光伝送ボード用API関数の開発を行った。光伝送マスターモジュールは、Xilinx社製のZynq-7000 SoC（System-on-a-Chip）デバイスを制御基板に搭載している。VME 計算機の光伝送ボードシステムにおいてはデバイスドライが担っていた通

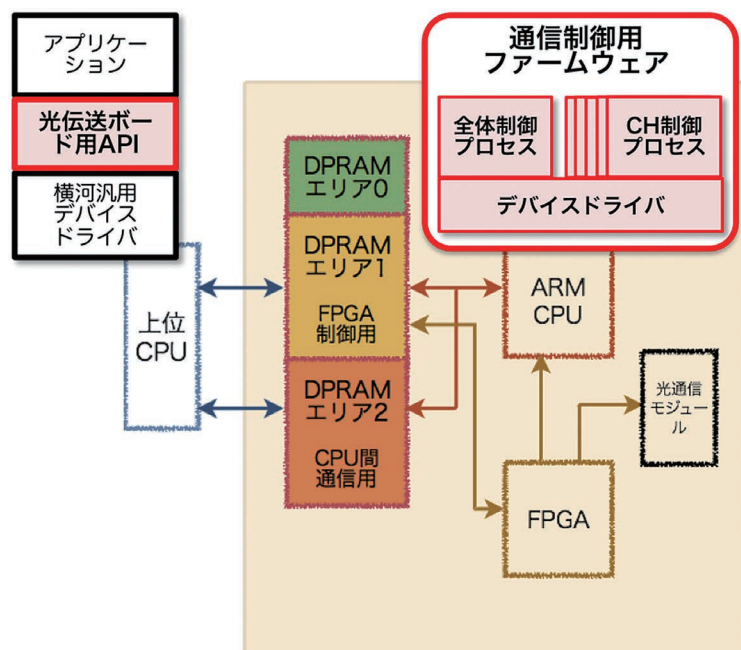


図9 光伝送モジュールのソフトウェア構成図

信処理の一部を、SoCのARMプロセッサ上で動作するファームウェアに担わせた。ファームウェアはチャンネル毎で独立に動作させるため、上位CPU上で動作するアプリケーションのスループットの向上が期待できる。また、光伝送ボード固有の処理をファームウェアに持たせたことで、横河電機(株)が提供する汎用デバイスドライバが利用可能となり、システムの移植性が高まる。2017年度には実際にブースター補正電磁石電源制御システムに適用する予定である。

2-2-6 蓄積リング主電磁石電源制御用後継ボード開発(継続)

SPRing-8蓄積リング主電磁石電源の制御に使用している三菱電機社製RIO Type-Bボードの老朽化対策として、光伝送ボードシステムをベースに上位互換のOPT-RMT DIO Type-B Plusボードを2014年度に開発した。新6極電磁石電源SP2側の準備が整ったため、2015年度に開発ボードをSP2へ適用した。新規インターロック信号の取り込み(8点)、16ビット出力電圧値の取り込みに加えて、電流設定値の20ビット化、電流モニター値の24ビット化の拡張を行った。これに合わせてソフトウェアの更新も行い、2016年度からの加速器の実運転に使用している。

2-2-7 “24日問題”の調査について

VME計算機の老朽化対策と並列化によるスループット向上のために、CPUボードのマルチコア化を進めてきた。マルチコアCPUと32 bit Solarisの組み合わせにおいて、uptimeカウンターの最上位ビットが0から1に変わる際にCPU負荷が上昇してデータ収集が停止するなどの問題が発生することが分かった。システムのHZ値を1000に設定した場合、1回目がシステム起動後24.85日後、2回目以降は49.7日毎に発生する。このいわゆる“24日問題”を解決するために、2014年度はSolarisの提供元であるOracle社と保守契約を結んで調査を行った。BIOSの更新や設定変更、Oracleが推奨するOSのパッチを幾つか当てるなどの対策を数多く試してみたが、いずれも効果がなかった。これ以上の調査を行うのは困難であると判断し、Solarisを64 bit化することで実質的に問題を発生させない対策をとることにした。Solarisを64 bit化するためには、使用しているデバイスドライバを64 bit対応に変更しなければならない。2016年度以降に使用数の多いデバイスドライバから64 bit対応の作業を進めていく予定である。

参考文献

[1] <http://www.yokogawa.co.jp/rtos/rtos-index-ja.htm>

2-3 インターロック

2-3-1 加速器安全インターロック

2015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1回の定期点検と年2回の自主検査を実施した。また5年に1回の施設検査を実施した。改造案件として、以下に示す作業を実施した。

・屋外自動表示装置の劣化対策：

自動表示装置の経年劣化による視認性の低下が見られる。2015年度は特に経年劣化が顕著である屋外自動表示装置の整備を実施した。劣化対策に合わせて発光ユニットの高輝度化と直射日光を避ける位置への移設を実施した。これにより日照状況によらず良好な視認性が得られるようになった。

・蓄積リングマシン収納部一時立入り扉追加：

SR収納部内機器調整に要する時間を短縮するため、一時立入り扉を追加した。このため従来1カ所からのみ一時立入り可能であったところを4カ所になるよう、インターロックロジックを改造した。本改造により、収納部内機器へのアクセス時間が最大30分から10分に短縮され、機器トラブル時の迅速な対応など、加速器運転の効率化が期待できる。

2-3-2 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2015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。2015年度は、全体の一部である蓄積リング棟A区域について整備し、これで全てのエリアの整備を完了した。

2-3-3 入退室管理システム

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調査を実施してきた結果、人から発せられる静電気が原因であることが判明した。そこで、100式のカードリーダーに対して電気回路の改造を行った。その結果、カードリーダーの不具合は発生しなくなった。

2015年度、入退管理システムソフトウェアの一部に管理上のトラブルが発生している事が判明した。2016年度はトラブル原因の調査を実施し、その対策を検討する予定である。

2-3-4 ビームライン・インターロック

インターロックシステムに対してのソフトウェア及び、機器に対して計画的なメンテナンスを実施した。2015年度ビームラインインターロックシステムのトラブルで利用運転を停止させることはなかった。

2015年度、グラフィックパネル用コネクタの高信頼化、

状態表示装置発光部の消費電力削減を検討した。2016年度には、それらを評価し導入していく予定である。

2-3-5 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2015年度も大きなトラブルも無く順調に稼動した。ニュースバル入退室管理システムの帳票出力機能に不具合が見つかり、ソフトウェアの修正を行った。

2-4 ネットワーク

2-4-1 制御用ネットワークシステムの老朽化対策

ネットワーク機器の年次更新を進め、ノードネットワークスイッチ2台と、エッジ用ネットワークスイッチ16台を代替した。

制御系ノードネットワークスイッチは、入射器に2台、蓄積リングA、B、C、Dゾーンに1台ずつ、ニュースバルに1台の計7台が設置され、旧機器は2007～2008年から稼働している。近年モジュール故障等の発生頻度が上がっており、加速器運転と実験ユーザーへの安定した放射光供給のために老朽化対策が必要であった。2015年度は蓄積リングA、Bゾーンのノードネットワークスイッチを代替した。

各々のビームライン制御用ラックには、エッジ用ネットワークスイッチが計62台設置されている。2014年度より老朽化対策に着手しており、2015年度は共用ビームライン13台、専用ビームライン1台の計14台を更新した。更新によりダウンリンクが1ギガビット接続(1000BASE-T)に対応し、ビームライン制御用VMEのNFSファイルシステム性能が向上した。

3. ビームライン及び実験ステーション制御

2015年度は2014年度に引き続きビームライン制御システムのCPUボード老朽化対策（交換）とMADDOCA II対応を進めた。

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、各ビームライン及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（BL-WS）の点検・保守及び更新を併せて実施した。また光学系や実験ステーションの変更、入れ替え（BL02B2分光器入れ替え、タンパク質結晶構造解析BLステーション制御機器追加）に対応してBL制御ソフトウェアの変更作業を行った。

3-4-1 ビームラインインターロックデータ収集用小型計算機の交換とMADDOCA II化

SPRING-8制御系では制御フレームワークのMADDOCA IIへの移行を進めているが、従来インターロックデータ収集に用いていたArmadillo-220はRAM 32 MB、ROM 8 MBとメモリが不足しているため、MADDOCA IIを動作させることができなかった。そこで十分なメモリが搭載されてサイズが同等の小型計算機であり、PoEにも対応したArmadillo-410（CS-A410-POE）への交換（58式）を行い、MADDOCA II移行を完了した。

3-4-2 ID07のACモード運転対応

ID07は30 m超直線部に設置された4台の水平偏光用8の字アンジュレータと4台の垂直偏光用8の字アンジュレータが交互に並んだ構成になっており、各アンジュレータ間の電子ビーム軌道長を変更する位相器を調整することで任意の偏光状態を作り出すことができる。BL07LSUではこの偏光を切り替えながら様々な物質の電子状態、磁気状態を測定する。これまでは位相器のDC運転により偏光をゆっくり切り替えながらの測定を行ってきたが、BL23SU、BL25SUのように高速偏光切り替えを実現するために、電磁石位相器のAC運転に対応するようソフトウェアの整備を行った。基本的にはBL23SU、BL25SUの変更切り替えと同じ方法であるが、AC運転とDC運転を共存させる新しい機能を導入した。

3-4-3 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10年以上前に導入したものが多く、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、20ビームライン分の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、新たにフレームワークに導入されたDataCollectorをMADDOCA IIデータ収集として採用した。

3-4-4 ゼロ番地信号配信システム電源更新

SPRING-8の様々なバンチモードを利用した時間分解実験では、どのタイミングで光が来るかを知ることが重要であり、このためにバンチの先頭のタイミングを伝えるゼロ番地信号配信システムを構築し運用してきた。このゼロ番地信号配信システムは蓄積リング収納部天井の4カ所に設けられた配信ノードから各ビームラインに分配されている。この配信ノードの電源は近隣のビームラインの分電盤から供給されており、当該のビームラインの改造などにより電源が遮断されるとゼロ番地信号配信システムも停止してしまい、他のビームラインの実験に支障が出るという問題があった。また運用開始してから10

年以上経っており、電源及び配信モジュールの老朽化という課題もあった。

そこで2015年度に、ビームラインとは独立した電源を確保したうえで老朽化した配信用モジュールの更新を行い、今後も安定にゼロ番地信号配信システムを運用していくことができるようにした。

3-4-5 実験データ収集システムの汎用化

BL03XUの実験データ収集システムを例に、SPRING-8利用実験システムの汎用化による実験環境改善のための開発を進めた。ビームライン毎に異なる各種検出器制御及びデータ収集のためのツールを汎用化して整備することにより、機器制御・データ収集・データ管理システムを統一化し、実験準備から実施、データ収集からデータ解析まで、どのビームラインでも一貫した形でデータ収集システムを簡単に構築できるよう整備することを目的としている。特に複数の機器から構成される実験装置を個別に操作・調整する従来の手法に対し、MADUCA II 制御フレームワークを活用して機器を集中管理することで、制御の自動化をはじめ実験準備・実施手順の大幅な効率化が図れ、ビームタイムを有効利用できるようになる。当施設のみならず他施設の実験装置にもソフトウェア上の簡単な仕掛けを導入するだけで利用できるよう、基盤ソフトウェアフレームワークとして整備を進める。

2015年度は、主として複数のビームラインで共通に使用される2次元検出器を制御するためのシステム開発を実施し、実験データの管理方法の検討と試作、並びに複数の機器から構成される分散システムをMADUCA II 制御フレームワークによって集中制御・集中管理する手法の開発を進めた。BL03XUは2016年度内にこのシステ

ムでの実験運用を開始できる見込みである（図10）。

3-4-6 検出開発（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ある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。本開発では、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次元検出器の高性能化を行っている。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、CdTe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。最近、CdTeセンサーを搭載したPILATUS検出器が市販されたが、ASICのコンパレータがX線の下限値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。また、窓型コンパレータをスキャンすることにより、任意のピクセルを選びエネルギースペクトルを得ることができる。

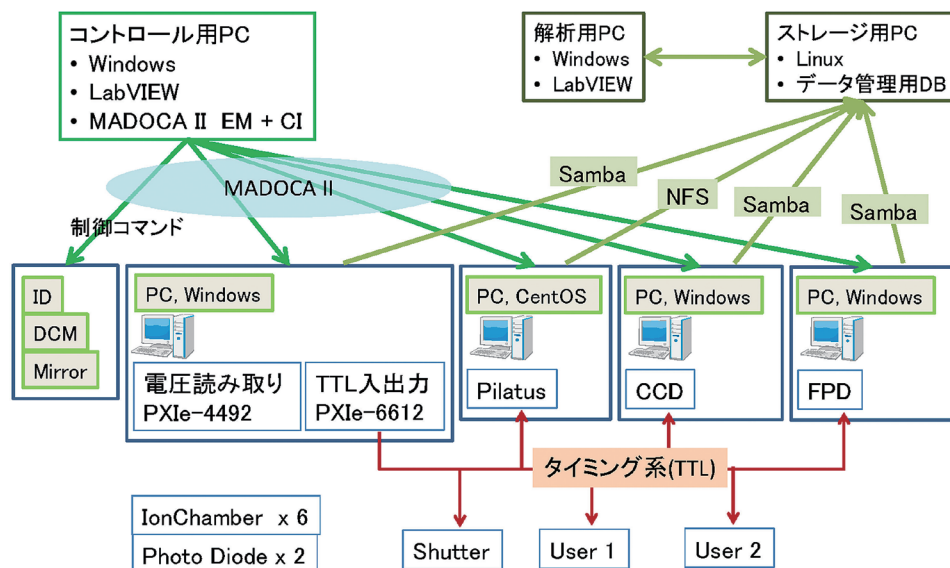


図10 BL03XU汎用データ収集システム構成図

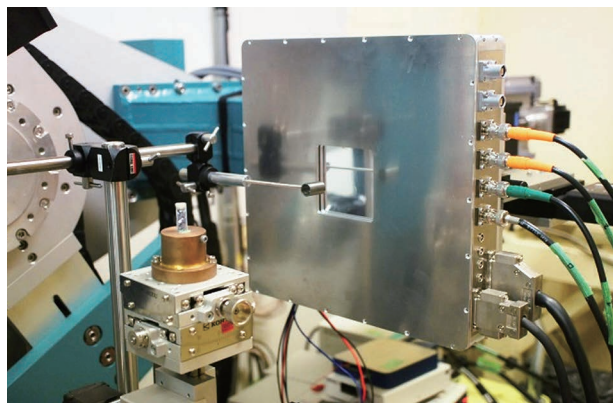
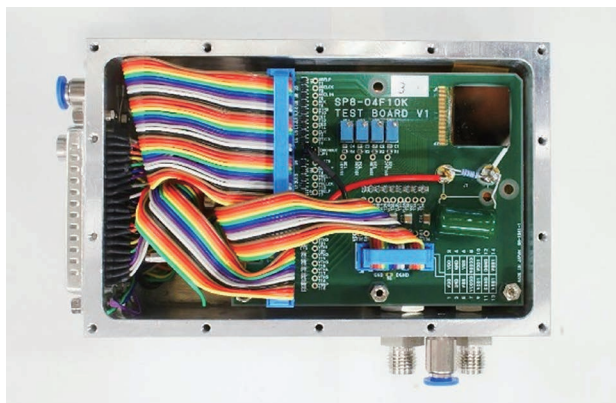


図11 シングルモジュール型検出器（左）及びマルチボード型検出器（右）

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11左は2 cm×2 cmのCdTeセンサーにSP8-04F10K ASICを1素子接合したシングルモジュール型検出器である。受光部はボードのコーナーに配置されており、図11右はボードを2×2枚並べたマルチボード型検出器である。現在、4 cm×4 cmセンサーにASICを4チップ搭載した大面積型ボードの開発を進めており、これを4ボード並べることにより16 cm×16 cmの有感面積に拡大する計画である。

制御・情報部門
松下 智裕