3-4 制御

1．加速器制御

1-1　計算機制御系

計算機制御系では、2008年度の活動として、主に中央制御室サーバ計算機の仮想化、ファイルバックアップシステムの単純化、ディスプレイウォールの本格導入に向けたR&D、新データベースサーバの導入準備を行った。

(1) 中央制御室サーバ計算機の仮想化

近年の計算機性能の向上により、サーバの仮想化が普及しつつある。仮想化とは１つの計算機上に複数の仮想的な計算機を起動し、それらを独立な計算機として扱う技術である。１つのハードウェアに多数の計算機が動作するので、ハードウェア管理の容易さ、電力消費の削減、スペース節約などの利点がある。2008年度ではプログラム開発用計算機を中心として中央制御室のサーバの仮想化を行った。その結果13台あった計算機の機能を２台のサーバに集約できた。

SPring-8では、特に制御用組み込み計算機で動作するオペレーティングシステムが、プログラムの開発時期によって異なっている。2008年現在ではSolaris 9が主力であるが、古いSolaris 7、8も一部では使用されている。それらの古いオペレーティングシステムのために新規にプログラムを開発することはほとんど無いが、プログラムのメンテナンスのために、開発環境は常に使用できる状態でなければならない。このような状況に仮想化計算機の導入は非常に有用である。すなわち、

●殆ど使用されないが、起動しておかなければならないコンピューターを仮想化して、資源の節約を図る。

●古いオペレーティングシステムは最新のマシンでは動作しないが仮想化マシン上では動作する。

といった利点がある。

また、開発用計算機の他にも外部からのアクセス用のゲートウェイ計算機や、グループ内のウェブサーバなど、高負荷にならないが、常時起動が必要なサーバも仮想化向きである。

計算機制御系では、２種の主流の仮想化環境（VMWareとXen）を様々にテストし、VMWareを選択した。これにより、前述のとおり13台のサーバから２台のサーバへの集約を果した。またこのサーバ資源にはまだ余裕があり、要求があればハードウェアの導入無しにサーバを自由に追加できるという利点もある。

(2) ファイルバックアップシステムの単純化

計算機制御系では、ファイルサーバのアプライアンス化など大容量化かつ省力化に対応できるファイルサーバの導入を行ってきた。2008年度はSPring-8の制御系と中立系の２つのファイルサーバを１つのオンラインバックアップファイルサーバでいったんバックアップし、それを最終的に１つのテープバックアップ装置でバックアップを行う方式を構築した。またデータベースのバックアップもオンラインバックアップファイルサーバに行い、テープに直接バックアップする方法をやめた。これらにより、バックアップは単純化、省力化された。バックアップテープは、所内の別の場所の金庫内と所外の保管庫に保管され、データーの安全をはかることは以前と変らない。

(3) ディスプレイウォールの本格導入に向けて

中央制御室の正面のディスプレイを大型化、高精細化する基礎的な研究を2007年度に行い、その方向性を決定した。2008年度はそれに従い、高性能化と実用に向けての研究を行った。

高性能化についてはハードウェアの高性能化とソフトウェアの高性能化の２面で研究を行った。ハードウェアについては高性能CPUとグラフィックカードの使用、ネットワーク速度の改善を、ソフトウェアについてはLinuxクラスターの導入を行った。その結果、描画性能、操作性、安定性の向上があり、本格導入への目処もたった。

中央制御室への導入にあたり、実際のディスプレイウォールの設計も行った。40インチディスプレイを12面使用して2009年８月に工事を行う。

(4) 新データベースサーバの導入

SPring-8の運転開始以来、加速器およびビームライン制御用のデータベースサーバは、ヒューレット・パッカード（HP）社製のPA-RISCアーキテクチャ上のHP-UXオペレーティングシステムで安定動作してきた。近年では高可用性クラスターを導入し、信頼性の向上を行ってきた。

しかし同社はPA-RISC CPUの新規開発を中断し、さらなるハードウェアの性能向上は望めなくなった。この状況に対して、２つ選択肢があった。１つはHP-UXが動作するItanium CPUを使用するシステム、もう１つはIntel X86アーキテクチャ上のLinuxオペレーティングシステムである。テストの結果、性能、将来性、データベース管理システムのライセンスを考慮し、後者を選択した。

クラスタリングシステムに代る信頼性向上の手段としてフォルトトレラント（fault tolerant）サーバを導入するこ

ととした。このシステムは、ハードウェアを内部的に二重化することでクラスターシステム以上の信頼性が得られることの他に、クラスター引き継ぎの際のデータベースチェックが不要なこと、ライセンスが１本であることなど利点も多い。今回は予備的にフォルトトレラントサーバをリリーフサーバに導入し、長期安定性テストを行っている。

1-2　機器制御系

(1) VME Solaris化完了

2008年度も、旧型のVME計算機用CPUボード（HP9000/743rt）とOS（HP－RT）の交換作業を実施し、NewSUBARU制御系を含めた全加速器機器制御用VME計算機のIntel系CPUボード＋Solaris OSへの置き換えが完了した。交換後のシステムは安定に動作している。

(2) 汎用アナログ入力ボード交換および高密度化

昨年に引き続き、主に蓄積リングRF系で利用していた12bitVMEアナログ入力ボード（AVME9325）を新型の16bitアナログ入力ボード（Advme2618）に交換した。Advme2618は、AVME9325と互換性をもつP2コネクタ側からの入力時には32ch（シングルエンド入力時）であるが、フロントパネル側の入力は64chあり、高密度化による実装ボードの削減も可能である。2008年度は、蓄積リングRF系で使用している43枚のAVME9325を39枚のAdvme2618に交換した。RF Aステーションでは、フロントパネル側からの読み出しに変更する変換基板を製作し、システムの大幅な変更を行うことなく使用ボード数の削減にも成功した。ボード交換後は安定に動作している。

(3) ネットワーク接続機器の安定化

Motor Control Unit（MCU）や、Keithley 2701型デジタルマルチメータ（DMM）などのネットワーク接続機器は、ネットワーク負荷の増大で通信タイムアウトによるデータ取得エラー、機器のハングアップなど月数回の頻度でトラブルが発生していた。様々な原因調査の結果、MCUファームウェアの改良、Keithley 2701ファームウェアの更新を行い、ネットワーク負荷への耐性を向上させることでトラブルを回避することができた。また、他のネットワーク接続機器Keithley 3706 DMMも真空系における温度測定などで利用を始めた。これらをSPring-8の制御フレームワークであるMADOCA（Message And Database Oriented Control Architecture）で利用できるよう整備を行い、安定稼働している。

(4) RS-232C機器制御用小型組み込み計算機の導入

ビームラインのPLCデータ収集システムで安定稼働しているRS-232C-Ethernet変換器Armadilloを加速器制御系に導入した。ArmadilloはRS-232Cインターフェースを持つLinux OSを搭載した小型組み込み計算機であり、高信頼性、耐障害性に優れ、任意のアプリケーションプログラムを稼働できるなどの利点がある。導入を行ったのは、(a) Linacクライストロン変調器PLC制御、(b) 蓄積リングRF系冷却水制御、(c) 音声発生装置の３箇所である。RS-232C-Ethernet変換器としてだけでなく、MADOCAを組み込んだ高度な制御機器としての運用も成功している。Armadillo導入によって、ディスク障害や通信エラーなど制御系の信頼面での課題を克服することができた。

(5) 光伝送ボード（OPT-CC, OPT-COMBOdao）デバイスドライバの開発

2007年度開発した光伝送ボードマルチプレクサボード（OPT-CC）とブースターシンクロトロンNIOシステム後継ボードであるOPT-COMBOdaoボード用のSolarisデバイスドライバを2008年度に開発した。開発にあたっては、既存ソフトウェアとの互換性を保ち、中継モードで使用するOPT-CCがトランスペアレントに見えるよう設計を行ったため、容易にOPT-CCへの移行が可能となっている。

(6) PoE対応24チャンネルPt100温度測定モジュールの開発

以前開発したE-060（PoE対応４チャンネル３線式Pt100モジュール）をSCSS試験加速器マシン収納部で使用した結果に基づいて、新たな温度測定モジュール（E-069）の開発を行った。E-069では、E-060のコンパクトさやPoE給電、Linuxベースであることの利便性はそのままに、チャンネル密度の向上（４チャンネル→24チャンネル）、耐ノイズ性能の向上（使用センサを４線式Pt100に変更、モジュールのアナロググランドを適切なグランドに接続出来るよう設計）を図った。SCSS試験加速器マシン収納部内にインストールしてトンネル内の気温を測定したところ、加速器運転中であっても0.01℃程度の高い精度で温度測定が可能であることが分かった。本モジュールは、XFEL挿入光源部の温度測定に用いられる予定である。

(7) 代替PTGボードの開発

蓄積リングRF系の制御に用いられる可変リファレンス電源（UP DOWN MODULE）に制御パルス列を送信するパルストレインジェネレータ（PTG）の代替システム開発を行っている。PTGはパルス列の発生を行うVMEボードとバッファーアンプからなる。VMEボードとしてマイクロクラフト社MP0351を用いてきたが、本ボードは既に生産中止となった。そこでSPring-8で開発された汎用ロジックボード[1]にPTGの機能を搭載することにした。本ボードは従来品の代替となるだけでなく、MP0351の６倍のチャンネル数を持たせることができ大幅な省スペースを実現する。本ボードに対応するバッファーアンプも開発中である。

(8) VMEバスブロック転送への対応

VMEバスのデータ転送を高速化する要求があるので、ブロック転送による高速化に着手した。SPring-8で製作したPCI/VMEバスブリッジチップUniverse-Ⅱ用のデバイスドライバはブロック転送に対応していなかった。2008年度Universe-Ⅱデバイスドライバの改造を行い、ダイレクトメモリアクセス（DMA）を用いたブロック転送機能の実現に成功し、数倍程度の高速化を達成した。2009年度以降も引き続きブロック転送への対応を進めていく予定である。

(9) Tsi148 PCI-X/VMEバスブリッジチップ用デバイスドライバの開発

最近VME CPUボードの市場ではPCI/VMEバスブリッジチップとしてTsi148を採用しているボードが増加しており、今後Universe-Ⅱに替わって主流になることが予想される。縮小傾向にあるVME CPUボード市場での選択肢を狭めないよう、新たにTsi148用のSolarisデバイスドライバの開発を行った。開発にあたっては既存Universe-Ⅱデバイスドライバとの互換性に考慮し、従来のソフトウェア資産を行かせるように設計した。2009年度以降も改良を行い、Tsi148でのブロック転送の実現を行う予定である。

(10) COM Expressモジュール VMEキャリアボードの開発

縮小傾向にあるVME市場おいてCPUボードの選択肢を広げるため、最近市場に多く出回り始めたCOM ExpressというPICMG規格のシステムオンモジュールを実装することでVME CPUボードとして機能するキャリアボードの開発を行った（図1）。任意のスペックのCOM Expressモジュールを実装することで、目的にあったCPUボードを構築することが可能になる。また、COM Expressモジュールを実装しなくても、PMC/XMCスロットに適当なボードを実装することで、外部CPUからVMEバスの制御が出来るように設計を行った。さらにネットワーク経由で遠隔からの監視・管理が出来るドーターボードが実装できるようにした。2009年度は、引き続き監視用ドーターボード上に実装するソフトウェアの製作を進める予定である。

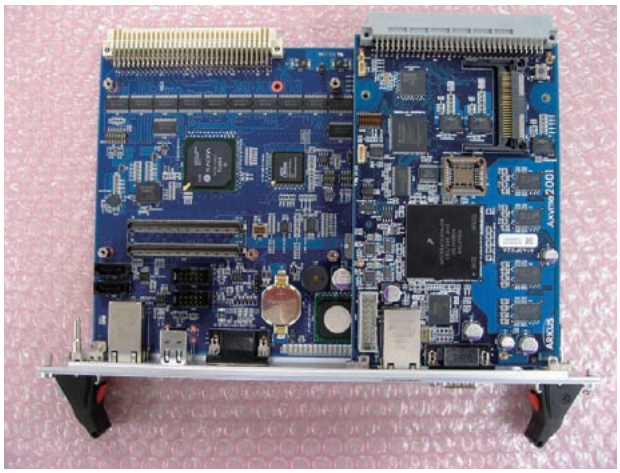

図1　COM ExpressモジュールVMEキャリアボード

(11) バンチセレクターの開発

SCSS試験加速器EUV実験棟で使用するバンチセレクター制御システムを開発した。本バンチセレクターは、加速器およびユーザ持込装置から与えるトリガに同期して高速回転シャッタを操作し必要な時間構造のパルス光を得る。用いる脱調レスステッピングモータの制御には、トリガ入力に対してマイクロ秒オーダの精度で反応して駆動パルス列を出力するモータコントローラが必要である。しかしながら、この動作は従来用いられてきたステッピングモータコントローラでは対応できない。そこで汎用ロジックボード[1]を用いた新しいステッピングモータコントローラを開発した。ユーザは併せて開発したMADOCAを用いた制御プログラム（GUIを含む）を用いることで、EUV棟に準備されたワークステーションを通じてバンチセレクターを操作することができるようになった。

1-3　インターロック系

2008年度、インターロック系は、加速器安全インターロックシステム、入退管理システム、ビームライン・インターロックシステムの整備と管理を行った。これらのシステムは、故障すると施設の運転の停止に直結するため、非常に重要である。

(1) 加速器安全インターロック

加速器安全インターロックは、運転の安定化や、将来のXFELとの連動に備え、大幅な改修の検討を行い、エリア管理という新たな概念を導入した。現在は、加速器施設同士の組み合わせでインターロック動作を管理する方式のモード管理を行っているが、加速器施設が増設されるにつれて、組み合わせの総数が急激に増えていくため、この方式では限界がある。新たに導入されるエリア管理では、加速器施設の組み合わせではなく、加速器施設単位でインターロック動作を完結する方式である。これにより、加速器施設の増設に柔軟に対応できるようになる。

2008年度はこの改修に必要な加速器インターロックシステムを重点的に整備した。L3加速器インターロックは２つのシーケンサーで構成されていたが、これを１つにまとめる作業を行い、保守性が向上した。SSBTの取り合い信号については、エリア管理に移行するための信号線の修正を行った。また、インターロックの劣化対策、SR関係の信号線の敷設、および信号系統の書籍整備を行った。さらに、加速器安全インターロックの情報を読み出すためのシステムを構築した。2009年夏には、SPring-8データベースにこの情報が記録されるようになり、トラブルシューティングなどに活用される予定である。

(2) 入退室管理システム

個人認証媒体に非接触式ICタグ（FeliCa）を使った入退室管理システムを2008年３月に導入し、１年間が経過した。認証媒体を発行する端末で操作上の不具合点が出たので、本年度にそのソフトの改修を行った。また、ユーザにFeliCaタグを渡す際に、最終確認を行うための装置を製作した。これらの作業により、スムーズなカード発行ができるようになっている。

システムの不具合として、長期間のデータを検索するとパーソナルキーボックスが一部ダウンする現象があった。安全上の問題はないが、ダウンすると入室ができなくなるため、このバグについては早急に対応した。この不具合を除けば、入退室管理システムは安定して運用ができている。さらに、SPring-8サイト内の他施設（SCSS、XFELなど）の入退室管理システムの統合も進んでいる。従来の入退室管理システムが不要になったため、この物品の撤去作業を行った。

(3) ビームライン・インターロック

すべてのビームライン・インターロックシステムに対し、ハードウェアのメンテナンスを行った。旧入退室管理システムが管理していた認証式の鍵管理システムが停止したため、これに代わって鍵管理を行うために、すべてのビームラインに鍵管理ボックスを設置した。

一方、20本のビームラインに対してソフトウェアメンテナンスを、４本のビームラインに対して劣化対策を実施した。加えて遠隔実験に向けたインターロックのシステムの改造を行った。また、新設ビームライン、BL33XU、BL32XU、BL07SU、BL03XUの建設協力を行った。

(4) ニュースバルインターロックシステム

機器の劣化対策として、自動表示装置と回転灯の交換を行った。また、2009年度から2010年度に予定されている入退管理システムと安全インターロックシステムの劣化対策を行うための完成図書の整備を行った。

参考文献

[1] "Development of Flexible and Logic-Reconfigurable VME Boards" T. Hirono, T. Ohata and T. Kudo : Proc. of ICALEPCS07, Knoxville, USA (2007) p427-429.

2. ビームライン制御

2-1 全般

ビームライン制御では、BL03XU（ソフトマター）、BL07LSU（東京大学アウトステーション）、BL32XU（理研ターゲットタンパクビームライン）、BL33XU（トヨタビームライン）の建設の支援を行った。このうちBL33XUは年度末に完成を迎え、BL33XUのビームライン制御システムはハードウェア、ソフトウェア共に完成を迎えた。また、BL07LSUでは第１期分アンジュレータが夏に導入され、ID管理用VMEの設置、立ち上げを行った。2008年度末現在、106台のVMEと４台のビームライン制御計算機を運用し、夏冬の長期停止期間にはハードウェアの点検・保守を行っている。

ビームライン制御用VME、ネットワーク機材などを納めた19インチラックは、これまで全面パネルにスモークパネルを使用していたが、収納された機器のインジケータ類の視認性が悪く保守性に問題があったため、全数をクリアパネルに交換する作業を行った。これにより状態の確認、異常表示の発見が迅速に行えるなど、保守性が向上した。また、VMEにはバッテリーバックアップによって記録された様々な情報を保持しているSRAMボードが搭載されているが、長期間の使用にともない電池の有効期間切れが始まったため、保守作業に合わせて交換を行った。

このほか、安定化、保守性の向上のために次期仮想環境や次期X端末の調査・検討、小型汎用計算機、汎用ロジックボード等の制御用機器、検出器開発、ソフトウェア開発等を行っている。

2-2 安定化、保守性向上

(1) 次期仮想化環境構築

2007年夏期停止期間に導入が完了した仮想化ビームライン制御システムも安定動作していたが、高負荷時、共有メモリの排他制御に不具合が発生して、PLCのデータ収集が稀に出来なくなるトラブルが発生した。また、開発環境（SUSE Linux Enterprise Server 10）と実行環境（Ubuntu Linux 6.06 LTS）の違いから、一部の制御用アプリケーションの動作で障害が発生していた。これらの障害を解決する為に、新仮想化環境の構築を行い、試験を実施した。

サーバOSはUbuntu 6.06 LTS からUbuntu 8.04.3 LTS へ、仮想マシンはUbuntu 6.06 LTSからSUSE Linux Enterprise Server 10.2 準仮想化へとそれぞれ変更し、仮想サーバXenについては3.0.3 から3.2 へバージョンアップした。

試験環境では、実際のビームラインのシミュレーション環境を構築し、アプリケーションの動作試験、共有メモリの排他制御試験などを行い、不具合が起きない事を確認している。この結果を受けて、2009年夏の停止期間に新仮想環境への移行を行う予定である。

また2009年度中に、仮想化ビームライン制御システム専用の共有ストレージ環境を構築して、更なるシステムの安定化と高可用化、高信頼化を追及していく事を計画している。

(2) 次期X端末選定

現在ビームラインで使用中のX端末（ハイテックシステム製EES-3610）の老朽化に伴い、新しいX端末の選定作業を行った。選定に際しては、電源の安定性、筐体の発熱量、システムの安定動作、簡単なリモート管理、低コストで導

入がしやすい、などの点を考慮した。

ハイテックシステムEES-3610が既に販売終了となっている事から、後継機であるHTC-780（VIA Eden 1GHz、メモリ1Gbyte、Netboot対応）とHP製シンクライアント端末t5545（VIA Eden 1GHz、メモリ512Mbyte、HP ThinPro OS搭載）の試験を行った。t5545は独自のThinPro OSにより専用のルートファイルシステムをファイルサーバからローディングする必要が無い為、ファイルサーバへの負荷軽減が期待できる上、端末管理も簡単に行える。また、導入コストもHTC-780の約半分である。結果として、選定条件に合ったHP製t5545を次期X端末として導入する事に決定し、2009年度夏以降に順次導入する予定である。

(3) ノイズ調査

2003年頃からSPring-8のビームライン制御システムにおいて、モノクロメータなどを駆動するパルスモータの自走や、制御機器が破損する等のトラブルが報告され、これまでに制御機器の電子回路に対し接地環境の見直しやバリスタによる回路の保護対策を施すなどの対応を行ってきたが、完全にトラブルの解決に至っていなかった。SPring-8利用にあたってより安定した実験環境を実現するために、ビームライン機器のノイズ環境調査を実施した結果、パルスモータの制御ライン上にスパイク状の電気的ノイズを観測できた。放射光を導入している時にのみノイズが発生すること、発生頻度が導入している放射光の強度に強い相関を持つことから、強力な放射光による２次電子発生がノイズ源であろうと推定される。

図2のプロットはモノクロメータ主軸を制御するパルスモータに接続されているモータドライバのCWおよびCCWのパルス制御線で観測したノイズプロファイルである。パルスモータドライバの動作電圧の閾値を図に示した。この観測結果は、モノクロメータのパルス制御線で観測されたノイズはパルスモータドライバを動作させる閾値を越えた電気信号であり、パルスモータ制御線のノイズ除去が必要不可欠であることを示している。我々は、ノイズ対策として、既存の機器に簡易に付加でき、観測された周波数帯ノイズに対して有効であるフェライトコアを用いたノイズ対策試験を実施しており、これまでの評価では良好な結果を得ることができた。2009年度は、フェライトコアを既存ビームラインに導入するための手法を検討していく予定である。

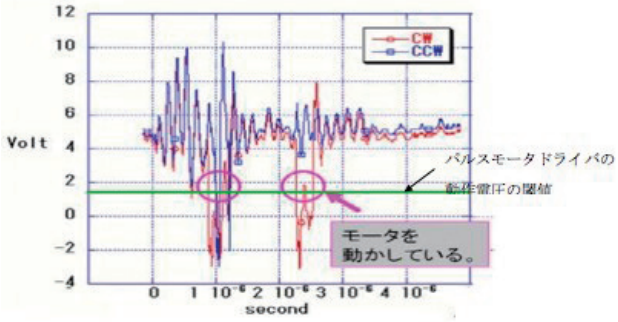

図2　測定により捕らえられたノイズ

(4) 物品管理システム

SPring-8では、独自に開発した地理情報システム（GIS）を用いた物品管理システムにより機器の管理を行ってきたが、2008年度は大規模な物品管理を可能とするために大幅なリニューアルを行った。リニューアル後のシステムは、管理データの正規化を重視したデータ管理システムとなっており、100万件以上の機器を管理できるシステムになる。また、機器の識別に２次元バーコード（QR-Code）シールを採用し、運用上のアプリケーションの開発、管理機器の整備を実施した。今後、継続的に未登録の管理機器をGISシステムに登録し、保守メンテナンスに活用していく予定である。

2-3　制御機器開発

(1) 制御インターフェース付き汎用計算機　Blanc4の開発

実験ステーション制御システムは、通常、ビームライン毎にPCベースで構築されている。被制御対象ごとにPCを用意し、PCI制御ボードと機器接続用のケーブルや端子台を設けている。また、制御ボード毎にソフトウェア開発が必要となり、実際に動作させるまでには、個々のビームラインでかなりの労力が必要となっていた。そこで、より簡便に導入できる制御システムとして、制御インターフェース付き汎用計算機 Blanc4を開発した。Blanc4は、CPUモジュールとして、PICMGが標準規格として制定した組み込み用途向けシステムオンモジュールCOM Expressを採用し、高さ1Uの19インチラックマウント型として設計した。今回選択したCOM Expressは、低消費電力のIntel Atomプロセッサを搭載しているためCPU冷却ファンを必要としない。ストレージにはDiskOnModuleを採用し、ハードウェア障害の頻度が高いハードディスクや冷却ファンなどのパーツを極力使用しない構成とし、耐障害性を高めた。拡張カードは、PCIスロットに２枚、PCI Expressスロットに２枚の計４枚が実装可能である。2008年度はさらに、ステーション制御において最も利用頻度の高いモータ制御I/Oの整備も行った。モーションコントローラとして１枚あたり４軸パルス出力と４軸リミット入力制御が可能なInterface製PCI-7414M（PCI）を採用し、このボードとビームライン標準ステッピングモータドライバとの中継を行う中継基板およびDsub9ピンコネクタを装備した外部コネクタパネルを開発した。これらの構成により最大８軸のモータ制御が可能となる。Blanc4の特徴として、制御用計算機、制御I/Oボードおよび端子台が一体となっているため、設置やケーブリングの手間がかなり軽減される。８軸分のモータ制御部を装着したBlanc4を図3に示す。今後は、カウンタボードなどの制御I/Oを増やしてより汎用性を高

め、使いやすいアプリケーションソフトウェアを整備していく予定である。

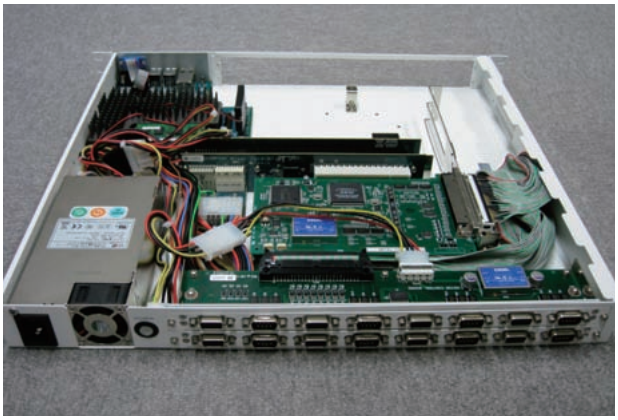

図3　パルスモータ制御ボードをインストールしたBlanc4

(2) 高速汎用ロジックボード

SPring-8で開発を行っている汎用ロジックボードは、モータのパターン駆動など、複雑なシーケンスや計算を高速かつリアルタイムに制御するためのVMEボードである。シーケンスはFPGA（Field Programmable Gate Array）で実行されるため、高速かつリアルタイムにデータを収集、演算することができる。FPGAで実行されるシーケンスは通常VHDLなどのハードウェア記述言語で開発されるが、開発者の多いC言語で開発できる環境を整備した。同時に汎用ロジックボードに特化した開発ツールも作成した。これにより、FPGAで実行されるシーケンスの開発期間を大幅に短縮することができた。

さらに2008年度は汎用ロジックボードの改版を行った。これまでの汎用ロジックボードは、データをボード外部へ取り出すにはVMEバスしかなく、大量のデータを高速に外部へ転送することができなかったためである。新たに開発された高速汎用ロジックボードは1Gbit Ethernet のポートを実装しており、高速にデータ転送を転送することができる。２次元検出器など画像データの収集などに使用する予定である。

2-4　ステーション制御

(1) BL04B2実験制御システム更新

BL04B2に設置されている非晶質回折計の制御は、これまでLinuxベースのマシンによってコマンドライン制御でユーザ実験が行われてきた。ユーザは表計算ソフトを用いて測定スケジュールを作成し、表計算ソフトのマクロ機能を使って、バッチジョブ形式で測定を行っていた。実験の進行状況の監視・変更が難しく使いにくい制御系であった。また、回折計や検出器制御にGP-IBが多く使われていて信頼性が低く時折再起動を必要とする、速度が遅い、等の問題を抱えた制御系であった。

そこで、ビームライン制御で用いられている制御系を非晶質回折計の制御系にも適用して、信頼性が高く、また高速な測定が行えるよう整備を行った。まず、モータ制御系、カウンタ読み出し系をVMEシステムに交換し、制御系の高速化と安定化を図った。また、VME上にパルスモータおよびカウンタを同時に制御するソフトリアルタイム制御ソフトウェアを構築し、数msecの時間精度で連続スキャンを行えるようにした。これにより、これまでステップスキャンで数10分掛かっていた予備測定が数分で行えるようになり、ユーザに好評である。

また上位制御系は、コマンドライン・インターフェースからグラフィカル・ユーザインターフェース（GUI）に全面的に作り替えた。セットアップ、予備測定から測定パラメータ設定、本測定まで一連のユーザ操作の流れを考慮してユーザインターフェイスを設計・製作した。図4に実行中のGUIの画面の例を示す。図4の左上がメインパネルになっており、タブを左から順番に操作すると一連の測定セットアップ作業が行えるようになっている。また右上に表示された本測定用の測定条件設定パネルを用いることで、ユーザは測定に必要な時間を確認しながらスキャンの時間やステップ数などを設定することができるようになっており、与えられたビームタイムを有効に活用できるようになっている。

本システムは2008年夏の停止期間明けから利用実験に提供している。ユーザからは使いやすくなった、連続スキャンによりセットアップが早くなった等の意見を頂いており、さらにユーザからの提案を受けて改良を加えながら、BL04B2の標準制御系として用いられていく予定である。

(2) 遠隔実験システム開発

タンパク質構造解析や粉末X線回折実験では、多くの場合測定条件が統一されており、来所しなくても測定できる場合が多い。これらの実験ではメールイン測定システムが開発され、試料をSPring-8に送付し、測定条件をWeb上から入力することで測定を行うことが出来るようになっている。しかしながら、タンパク質構造解析では、試料となるタンパク質結晶を均一に作成することが困難であり、結晶上のビーム照射位置によっては良いデータを得られない場合がある。メールインサービスではSPring-8のオペレータが照射位置を選んだ後、予備的なデータ取得を行い、後ほどユーザがWeb経由などでデータを確認して適切な照射位置かどうかを確認しているが、これには時間と手間が掛かる。そこで、遠隔ユーザが照射位置などの実験条件を試料や実験装置を実際に操作しながらより直接的に決めるための遠隔実験システムの整備が望まれてきた。

SPring-8等の共同利用型放射光施設で遠隔から実験を行うためには、次の３点を考慮する必要がある。(1) 放射線安全、(2) 実験装置周りの人的安全、(3) 特定の実験を行

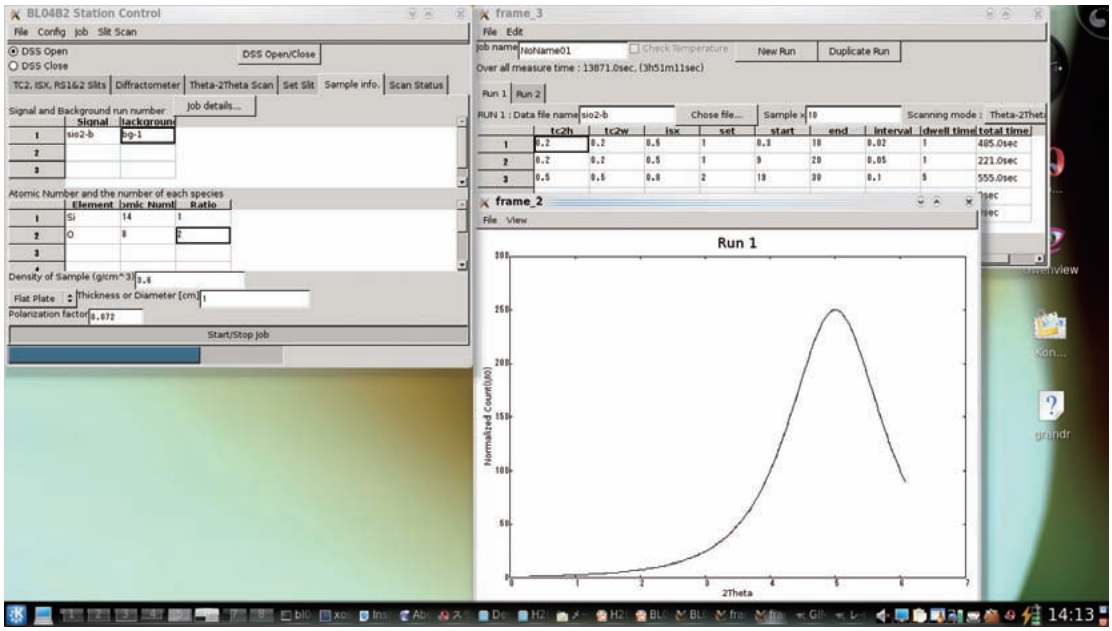

図4　BL04B2非晶質回折計GUI画面

っている際に、他の遠隔ユーザから実験を妨害されないこと、である。

(1) 放射線安全に関しては、ビームライン・インターロックシステムで担保されているので、遠隔実験であっても特に問題はない。(2) 実験装置周りの人的安全とは、実験装置の保守等で人が実験装置の付近に居るにもかかわらず、遠隔から誤って操作を行ってしまい大型回折計のアームなど重量物が人に当たる等の事故が起こらないようにすることである。放射光実験では、一般に放射光を放射線遮蔽ハッチ内に導入している際には人がハッチ内に居ないことがインターロックシステムによって担保されることを利用して安全を確保することが出来る。ビームライン・インターロックシステムからの接点信号により、放射光導入可能な状態になっているとき（ハッチ正常閉）のみ実験装置が操作できるような動作制限ユニットを製作して、人的安全を確保するようにした。(3) 特定の実験を行っている際に他の遠隔ユーザから実験を妨害されないことというのは、次の実験準備などでビームタイムを与えられていないにも関わらず遠隔実験システムに接続してしまい、現在実行されている実験のセットアップ等を変えてしまうことを防止することである。また、悪意のある部外者による「なりすまし」等の妨害も防ぐ。このため、ネットワーク上の商取引などでも実績があるSSL (Secure Socket Layer) により遠隔実験ユーザ計算機とSPring-8を結び、さらにSSLの双方向認証機能を用いて、正しい「証明書ファイル」を持っているユーザだけにアクセスを許可する。この証明書はSPring-8で「署名」されており、第 3 者が改竄を行うとSSLによる接続が出来なくなる。この証明書の中に課題情報を埋め込み、SPring-8側でこの課題情報と、SPring-8側で保持しているユーザやビームタイムの情報とを付き合わせることにより、ビームタイムを与えられたユーザ (課題) のみが遠隔実験システムを利用できるようにした。接続に用いる課題情報の登録や証明書ファイルの発行はSPring-8内スタッフのみにアクセスを許可されたweb serviceによって簡単に行うことが出来るようになっている。

また遠隔実験ユーザがハッチ内や試料の状況を確認できるようビデオストリーミングを行えるようなシステムも構築した。さらにメールインサービス用にWeb経由で実験データを取得できるシステムが構築されているので、遠隔実験の際にもこのシステムを利用することで、実験結果をリアルタイムに取得することが出来る。

以上の機能を遠隔実験接続用サーバ（ハードウェア）上に構築された専用のSSLサーバ（ソフトウェア）と、課題データベースサーバおよび課題情報web serviceを中央に、動作制限ユニットを各ビームラインに配置することで、遠隔実験システムの根幹を構築した（図5)。現在、この遠隔実験システム上でタンパク質構造解析実験を行うための遠隔ユーザ用プログラムの開発を進めており、2009年度後半からテスト実験に入る予定である。

(3) 実験制御・測定機器のユニット化

実験ステーション制御系は多くの場合、モータ等の可動部を制御する部分と放射線計測器からのデータを処理するデータ収集系が別々に構築されている。さらに操作のために実験ハッチ外までモータケーブルやアナログ信号を引き出して処理している事が多く、多数のケーブル類が実験ハッチ内から引き出されている。しかしながらこの状況ではアナログ信号のS/N比に問題があったり、実験装置を他の

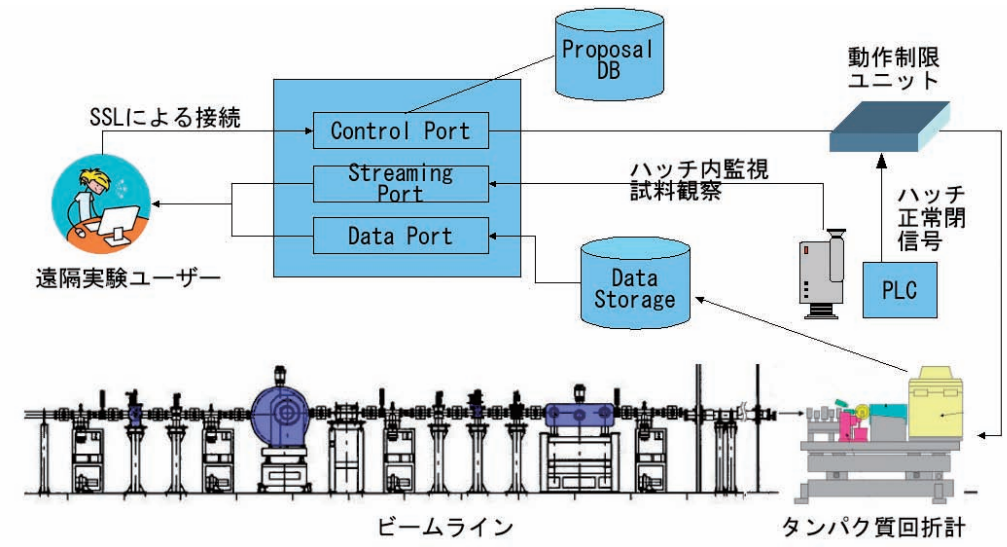

図5　遠隔実験システム

ビームラインへ移動させるなどの作業に時間と労力を必要としたりする等の問題があった。

そこで、実験に必要なモータ制御系、アナログ信号処理、デジタル信号処理を１つのラックに纏めることで、実験装置の直近で操作・信号処理を行うユニットを作成した。図6にその概念図を示す。デジタル部分はビームライン制御や他の実験ステーション制御で実績のあるVMEシステムを採用し、操作は実験ハッチ外に置かれたClient-PCからネットワークを通じて行う。このため、実験ハッチ外に引き出す必要のあるケーブルはネットワークケーブル１本のみになり装置の移設が簡単になる、データのS/Nが向上する等のメリットが得られた。ユニットをBL40B2の小角散乱実験装置の制御に適用すべくソフトウェアの構築を進めている。

2-5　検出器開発

(1) PILATUS検出器

標準型検出器であるPILATUS-100K型の利用は拡大の一途であり、BL02B1、BL46XU等でのX線回折実験に加え、BL01B1、BL37XUでの溶液界面反射率計、深さ分解XAFSやBL19B2での極小角散乱実験等、利用している課題数も順調に増えてきている。SPring-8では、ビームライン制御グループ２台、産業利用推進室１台、分光物性Ｉグループ１台の４台を運用しているが、更なる整備が必要な状況である。

上記の課題のうちBL19B2で実施している小角散乱実験

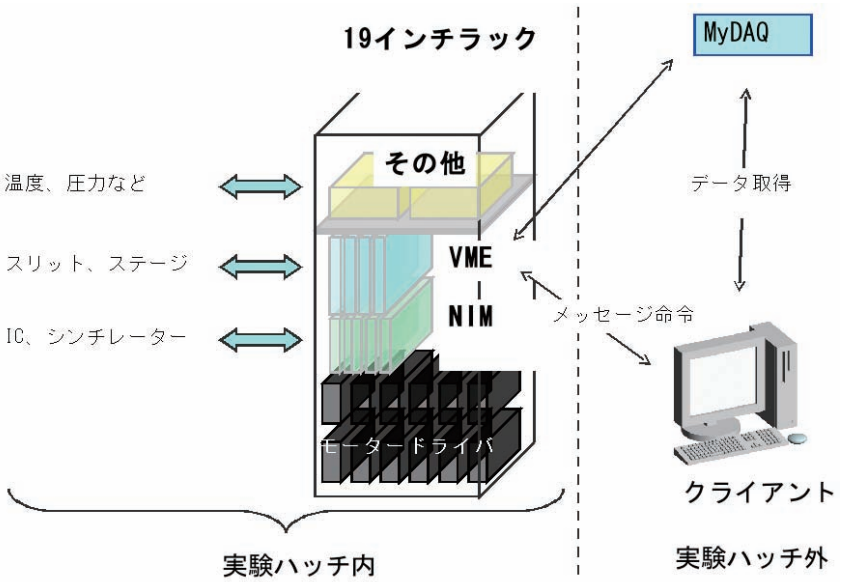

図6　ユニット化された計測制御系

では、PILATUS-100K検出器位置を駆動ステージでスキャンすることで広角度の情報を得ている。この手法でも、従来のイメージングプレートを用いた測定に比べて20分が４分へと計測時間の短縮化が図られているが、広視野を有するPILATUS検出器が利用できれば、更に１分以内での測定が可能となる。このようなニーズに向けて、横３×縦８倍のマルチモジュールを搭載することにより有感面積25.4cm×28.9cmを覆う大面積型PILATUS-2M検出器の開発を進めている。2006年度はフルスペック実装可能な筐体に３×２モジュールを搭載したプロトタイプ検出器を製作し、2007年度には３×４モジュールへと拡大させ、2008年度は残りの12モジュールの製作を完了した。2009年度前期に組み上げを完了し、後期より運用を開始する予定である。

(2) CdTeピクセル検出器

PILATUS検出器の利用が世界規模で拡大していくなか、SPring-8の特徴の一つである高いエネルギーの領域の高感度化を求めるユーザの声が高まってきている。PILATUS検出器には320μm厚のシリコンセンサーが用いられており、その吸収効率は10keVから20keVの領域では92%から53%と高効率が得られるが、30keVになると10%、50keVでは3%と低下してしまう。高エネルギー領域で実用化されている半導体検出器としてはGe-SSDがあるが、液体窒素冷却での動作が求められ、ピクセル検出器への応用には不向きである。そこで本年度より、常温で動作し、高い実効原子番号を持つCdTe素子を用いたピクセル検出器開発を開始した。素子厚500μmのCdTeセンサーを用いることで50keVまでほぼ100%の吸収効率が得られ、100keVでも45%と高効率での測定が実現可能となる。

またPILATUS検出器は、閾値以下のエネルギー成分をカットすることにより試料環境からの蛍光X線バックグラウンドを効果的に除去できることが利点の一つであるが、放射光ビームに含まれる高次光成分からの高エネルギー成分のバックグラウンドの混入は避けられない。そこでセンサー部のみならず、読み出し回路部も含めてトータルでの見直しを図ることとし、上限と下限のエネルギーウインドウ回路へと拡張することとした。

2008年度にプロトタイプの読み出し集積回路レイアウト開発、2009年度にプロトタイプ回路製作および同回路を用いた小型検出器の製作および評価、2010年度にPILATUS-100K検出器規模の大面積検出器を製作する３年計画を予定している。なお、本研究開発推進にあたり、独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部の技術支援を受けている。

制御・情報部門
田中　良太郎