

3-4 制御

1. 加速器制御

1-1 計算機制御系

加速器およびビームライン制御に使用される計算機群のうち、上位系にあたる計算機として、ファイルサーバー、データベースサーバー、開発用サーバー、ウェブサーバーなどのサーバー類の他、オペレーター用のワークステーション、シンクライアントなどがある。以下に示すように、これらの維持、管理、新規の機器の導入、それに伴う研究開発を行った。また、制御用ソフトウェア、開発用ライブラリー、制御用データベースの管理も行った。

1-1-1 フォルトトレラント型データベースサーバーの導入

制御用データベースサーバーとしてクラスター型高可用性サーバーを長年にわたって使用してきた。クラスター型高可用性サーバーは、ディスクを共有する2台以上のコンピュータが互いをモニターし、一方が故障した場合は他方が引き継ぎ、運転を継続させる。この方式でデータベースサーバーは高い信頼性を得てきた。今回の更新にあたってはクラスター方式は採用せず、フォルトトレラント型のデータベースサーバーを導入した。フォルトトレラント型サーバーは、ハードウェア的なクラスターコンピュータと呼ぶべきもので、1つの筐体内に2つのシステムを有し、それらは専用のハードウェアで管理されている。フォルトトレラント型サーバーは管理の容易さ、故障時のクラスター引き継ぎ時の時間短縮、データベースライセンスの節約の点で有利である。フォルトトレラント型サーバーは2008年度に既にリリース用のサーバーとして導入を行い、Linuxサーバー上での長期の動作検証を行っていた。実際にリリースサーバー運用中に故障が発生したが、停止することなく

交換修理ができることが確認できた。長期運転経験を元に、メインのサーバーへの導入はスムーズに行うことができた。メインサーバーはリリース用のサーバーより高性能を得るため、NFSファイルサーバーではなくSAN (Storage Area Network) を採用し、期待通りの性能を得ることができた。

1-1-2 IP変更にとまなう作業

2009年夏に制御系ネットワークの更新にとまなない、計算機制御系で担当する計算機についても大幅にIPアドレスの変更を行った。IPアドレスの変更は各オペレーティングシステム、さらにLinuxのディストリビューションにおいて設定ファイルが異なる。短時間にIPアドレス変更を行うために、事前に使用中の各オペレーティングシステムやディストリビューションを網羅したテストベンチを仮想計算機技術を用いて作成し、事前に3回の予行演習を行った。このため、実際のIPアドレス変更はスムーズに行うことができた。

1-1-3 データベースの維持作業

2009年度には制御用データベースには3396信号が新規に追加された。2010年度末現在では29885信号が登録されデータ収集されている。

1-1-4 ディスプレイウォールの実機導入

従来、中央制御室の正面には50インチ型のプラズマディスプレイ4基がそれぞれ単独のディスプレイとして使用されてきた。今回実機導入されたディスプレイウォールは40インチ型の液晶ディスプレイを2×6=12基使用し、それを一体の高精細大型ディスプレイとして使用するものであ

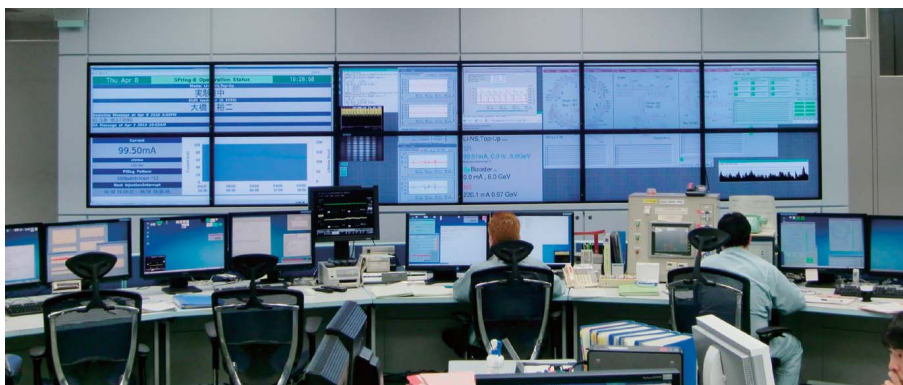


図1 中央制御室に導入されたディスプレイウォール

る。これについては、テスト機を製作し2年にわたって性能向上の研究を行ってきた。このような高精細で大型の一体となったディスプレイを安価に構築し加速器制御室に使用することは他でも例がない。ディスプレイの制御は7台のPC（パーソナルコンピュータ）で構成されたクラスターを使用した。1台は制御用6台がそれぞれ2基のディスプレイに接続されている。実機の写真を図1に示す。

1-1-5 仮想計算機の研究

2008年度は、中央制御室のサーバー類に仮想計算機を導入して物理サーバー数を16台から3台に大幅に減少させることができた。2008年度から使用してきたのはVMWare社製のVMWare Server 10.7であるが、新規のバージョンアップ等々に問題があり、次世代の仮想化ソフトウェアの選択を迫られた。市場にある有償無償も含めた多数の仮想化ソフトウェアのうち4つの無償ソフトウェアについて詳細なテストと検討を行った。管理の容易さ、オーバーヘッドの小ささ等からlinux KVMを次世代の仮想化ソフトウェアと決定し、新規仮想化計算機から導入を進めることとなった。

1-1-6 スケールアウト型ストレージの研究

SPring-8サイトでは、XFELプロジェクトが順調に進展している。このXFELプロジェクトでは、多数の画像データなどの膨大なデータを高速、かつ安価に蓄積することが必要である。そこで高速、大容量のデータ蓄積の研究を開始した。大容量データを蓄積するにはSAN (Storage Area Network) などのスケールアップ型（1つのコントローラに多数のディスクを接続する）とスケールアウト型（多数のコントローラとディスクの組を使用する）がある。近年の安価な計算機とディスクを多数使用することで、スケールアウト型ストレージを低コストかつ安全に実現することを目標とする。2009年度は予備的な研究として低コストのノード計算機といくつかのソフトウェアをテストした。結果として8サーバー4クライアントの構成で計400MB/secの書き込み速度が得られた。2010年度はこれらの研究を本格化させる。

1-1-7 安全管理室移転に伴う移転タスクフォース

2010年4月より安全管理室が中央制御室前に移動することに伴い、この部屋にあったプログラム開発ブースの撤去と、制御開発用機器の移動を行い、旧制御開発室にサーバー類を移動させる準備を行った。このためにグループ横断的なタスクフォースを結成し作業にあたった。両部屋とも近年のIT技術の進展に適応することを目的に整備を行った。整備は空調、電源の増強やラックの設置を中心に行われ、耐震性、保守性、拡張性の向上が得られた。

1-2 機器制御系

加速器等の高度化へ対応するために、線型加速器タイミング監視系整備、L3およびL4電荷積算計のFL-net化、BPM監視回路系へのArmadillo整備、SRキッカー電磁石整備、SSRB電磁石電源入れ替え、加速器安全インターロック情報収集系整備を行った。加えて、以下に示す安定化/高信頼化対策および高度化等を実施した。

1-2-1 放射線モニターデータ収集システム整備

放射線モニターデータ収集システムは、もともと安全管理室により設計・構築されたシステムであった。放射線モニター77台、産業用PCであるMulti Controller Unit (MCU) 11台から構成されており、MCUで集められた各放射線モニターの瞬時値データはネットワーク経由で収集され、専用データベースに蓄積されていた。蓄積データはグラフィカルユーザインターフェース (GUI) やWebにて閲覧可能であったが、これらは閉じた安全管理系ネットワーク上に構築されていたため、加速器制御系からは参照することができなかった。情報の共有化と集中化作業の一環として、2009年8月に、加速器制御系および安全管理系双方からデータを参照出来るよう放射線モニターデータ収集システムの整備を行った。放射線モニター用のネットワークを加速器制御系ネットワークに組み替え、MADOCAデータ収集フレームを導入し、加速器制御系と全く同じ方法で放射線モニターデータを加速器データベースに蓄積した。また、過去のデータを加速器データベースにマージした。加速器データベースからデータを取得し、データを表示する放射線モニター用GUIを新規開発した。放射線モニターのデータは、加速器データと同様に、居室等からもWebにて参照可能である。2010年度は、MCUを撤廃し、より信頼性の高いPLC（プログラマブルロジックコントローラー）を用いて放射線監視およびインターロック出力機能を実現する予定である。

1-2-2 汎用アナログ入力ボード交換

2008年度に引き続き、SPring-8加速器制御で用いている旧式の12bit VMEアナログ入力ボード（AVME9325、AVME9350）を、新しく開発した16bit VMEアナログ入力ボード（Advme2618）に更新した。2009年度は、主にシンクロトロンで使用している11枚の旧式ボードを8枚の新式ボードに交換し、初めて新式ボードにおいて外部トリガーモードでの運用を行った。また2008年度同様、新式ボードにおける信号数高密度化により使用ボード数の削減ができた。ボード交換後は安定に動作をしている。

1-2-3 高可用VMEシャーシへの交換

加速器制御系で共用運転開始当初から使用しているVMEシャーシは、電源や冷却用ファンが冗長構成になっ

ておらず、故障に対して脆弱である。また、これらは活線での交換が出来ないため、多くの場合は交換の間トップアップ運転を停止させる必要がある。このような事態を回避するため、電源やファンが冗長構成を持ち活線で交換可能な高可用VMEシャーシへの交換を進めている。2009年度は、主に蓄積リングRF系で使用していた8台のVMEシャーシを高可用VMEシャーシに交換した。

1-2-4 新PTGボードおよびバッファアンプ製作

加速器RF系におけるアップダウンモジュールの制御に従来用いられてきたPTG (Pulse Train Generator) は、5軸/10チャンネルのVMEパルスモータコントローラボードMP0351とバッファアンプにより構成されていた。MP0351は販売終了となったため、汎用ロジックボードに搭載するチャンネル間絶縁のドーターDOカードを開発し、後継ボードとした。省スペース化のため、サポートチャンネル数をカードあたり30チャンネル、VMEボードあたり最大60チャンネルとし、従来の6倍の実装密度とした。バッファアンプも従来品の回路を踏襲しながらサポートチャンネル数を30チャンネルに増加させた。

1-2-5 RIO光ケーブル調査およびコネクタ付け替え

蓄積リングのRIO用光ケーブルの両端コネクタにおいて、スリーブの破損などが見られる箇所があり断線などの懸念があった。また、敷設後10年以上が経過しており、光ケーブルの信号伝達特性の劣化も懸念されていた。そこで夏期停止期間中に、ケーブル総数226本中60本のサンプリング調査により信号伝達減衰試験を行った。信号減衰が見られた箇所は1箇所のみであり、コネクタの不良が原因であった。コネクタ交換により特性は回復した。光ケーブルの信号伝達特性の劣化はみられなかった。

1-2-6 光伝送ボード通信安定化対策

光伝送ボードは、加速器およびビームライン制御系で広く使われている光リンクのリモートI/Oシステムである。フィールドバスとしては十分に高速な伝送速度と高いシステム可用性が特徴で、導入以来安定動作を続けている。ただし、線型加速器制御系の特設数箇所ですら通信エラーが起きることがあった。システムの更なる安定化を図るため、この原因を調査し対策を行った。

調査の結果、この通信エラーの原因は、光ボードの伝送遅延に対するマージン不足であることが分かった。加えて、光ケーブルの劣化やボードの動作電圧の低下で伝送遅延は増大する方向に働くことが分かった。対策として伝送遅延に対するマージンを拡大するよう制御ロジックを改修し、春期停止期間に全光ボードのファームウェアを交換した。交換後は特定箇所においても通信エラーは起こらず、システムの安定化が実現出来た。

1-2-7 バスブリッジチップデバイスドライバ整備

市販のVME CPUボードでは、旧来から使用されているUniverse II (PCI/VMEバスブリッジチップ) に代わり、PCI-X/VMEバスブリッジチップであるTsi148が数多く使用されるようになってきた。今後、Tsi148を実装したCPUボードを実機環境で使用出来るよう、Tsi148用Solarisデバイスドライバを開発した。2009年度は、割込機能の実装、Solaris10でのシステム起動時の不具合対策、DMAエンジンを用いたブロック転送の実現、PCIの多重割込み問題への対策、64bit Solarisでの動作検証を行った。結果、実機でのTsi148使用に目処が立ち、DMA+ブロック転送によるより高速なデータ転送が可能となった。また併せてUniverse II デバイスドライバの改修も行い、同じくSolaris10でのシステム起動時の不具合対策、DMAエンジンを用いたブロック転送の実現を行った。不具合の解決により、Solaris10での実機運用を安定させることに成功した。

1-2-8 超高繰り返しX線チョッパー制御システムの開発

利用促進部門により開発された、動圧浮上式エアベアリングモータを用いるバンチセクタは、PLL制御により回転位相の安定化が行われているにもかかわらず、主として回路系の温度ドリフトに依存するところの位相ドリフト (~0.5 μ s/h) が残存する。このドリフトを抑制するために、加速器クロックから分周して作成された回転制御の外部クロックとチョッパーの回転を検出するホール素子出力の位相差を一定に保つシステムを開発した (図2)。本制御システムにより開口時間の安定度として $\sigma \sim 23$ nsが実現された。本システムはテクノウェーブ社のLANインターフェースI/OユニットLANM3069にて位相検出を行い、ファンクションジェネレータWF1974の遅延 (分解能10 ns) 機能により位相制御を行うものである。ユーザはPC上に開発したLabVIEWプログラムにより本システムを制御することができる。

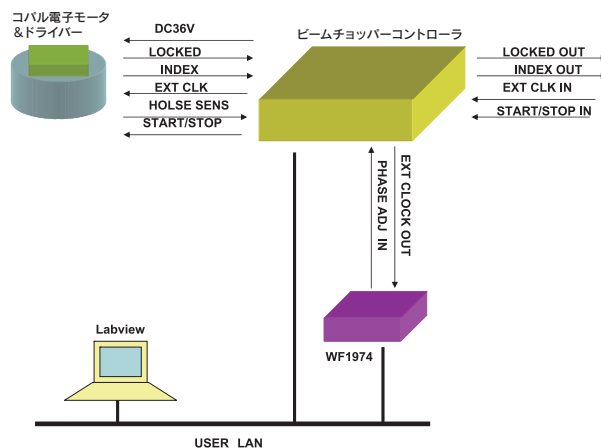


図2 位相ドリフト抑制制御機構付ビームチョッパーコントロールシステム

1-2-9 LANインターフェースI/Oユニットを用いたビームライン機器開発

前述のLANM3069は、多くのビームラインに普及したLabVIEWとのマッチングに優れた汎用I/Oであり、この他にも様々な応用が可能である。2009年度開発した代表例として、ガス混合切替器、Be窓保護、汎用RIOがある。

現在蓄積リング棟における高圧ガスボンベ保有量の増大が大きな問題となっている。XAFSビームラインBL01B1においては、イオンチェンバーのガスは4種類のガス（のうち2種類）をある混合比で混ぜたガスボンベをいくつか（BL01B1では9本）用意して、測定するエネルギー領域ごとに切り替えて使っている。これは高圧ガスボンベ保有量を増やすことにつながる。そこで、LANM3069を導入して100%のガスを4種類用意し、ガスの切り替えと混合比を調整できるようにした。4本の100%ガスボンベを切り替えるバルブの制御、マスフローコントローラによる流量設定はLANM3069を通じてPCから行える。本システムは、さらに他2ビームラインへの導入が検討されている。

従来ほとんどのビームラインにおいて、HeフローチャンバーによりBe窓の空気酸化を防いできた。最近、ボンベの交換作業を必要とするHeフロー方式にかわり、空気を連続的に吹きつける送風式が検討されている。そこで、BL03XUにおいて、Be保護送風器の送風状態を監視し、送風停止時にアラームを発生するシステムをLANM3069にて構成した(図3)。本システムは、現在は送風停止時に警報音が鳴る仕掛けのみであるが、LANM3069を通じて送風停止信号をネットワークに送信することが可能である。

また、LANM3069のI/Oをリレー接点、TTL、セレクトなどの電氣的仕様に変換する回路ボックス（汎用RIO）を

開発した。汎用RIOは、多様なユーザ持ち込み機器の制御において、必要なトリガー信号などを作り出すのに有効な装置であり、実験の効率化に貢献している。

1-3 インターロック系

2009年度、インターロックチームは、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管理と高度化を行った。特に2010年度には、加速器インターロックの構造が大きく変化する高度化が予定されており、それに対応するための作業を集中的に行った。

1-3-1 加速器安全インターロック

加速安全インターロックは、運転の安定化やメンテナンスの効率化、将来のXFELとの連動に備え、2010年度夏に大幅な構造の高度化を予定している。新しいインターロックでは、エリア管理という新たな概念を導入する。今までは、Li、Sy、SR、L3、NSの5つの加速器施設に対し、運転する施設の組み合わせをインターロックで管理する方式、「モード管理」を行っていた。しかし、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った。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、加速器施設単位で独立してインターロック動作する方式である。これにより、施設単位でのメンテナンス性が向上し、さらに、加速器施設を増設に柔軟に対応できるようになる。この高度化は、すべての施設に対して、同時に完了しなければならない。全ての施工を、2010年度夏期点検調整期間に行うことは困難であるため、2009年度中に、先行して可

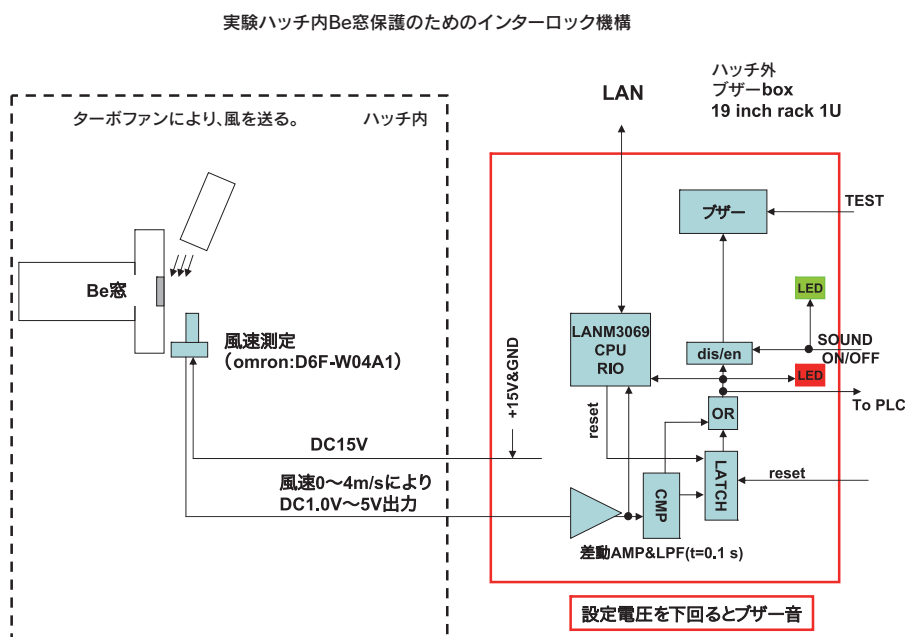


図3 実験ハッチ内Be窓保護のためのアラーム機構

能な部分の施工を行った。Li、Syのインターロック盤の改造、新制御卓の制作、新インターロックシステムで使われる機器、例えば、退避確認ボタンなどの設置等を行った。また、新インターロックのラダープログラムの開発や、グラフィックパネル（表示装置）の開発を行った。

1-3-2 入退室管理システム

2008年3月に、個人認証媒体に非接触式ICタグ（FeliCa）を使った入退管理システムを導入し、2年間が経過した。比較的スムーズな運用が続いている。2009年には、メンテナンス作業を行った。また、SPring-8内のネットワーク構成において大規模な変更があり、これに対応するため、カードリーダー等のIPアドレスの変更を行った。また、安全管理室からの要望があり、入退管理記録のデータ保持期間を1年間のデータ保持から5年間に拡張した。

1-3-3 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。ソフトウェアメンテナンスを20本、劣化対策を3本のビームラインに対して実施した。また、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）に対して建設支援を行った。

1-3-4 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

ニュースバル入退室管理システムを、SPring-8入退室管理システムと同等な個人認証媒体（非接触式ICタグ FeliCa）を使った入退室管理システムに更新した。これにより、SPring-8と同様な手続きで管理区域に入退出できるようになった。また、ニュースバル加速器安全インターロックシステムの更新を行った。この更新では、ニュースバル加速器安全インターロックシステムと一体化していた入退室管理システムを分離するなど、新しい入退室管理システムへの対応を行うと同時に、2010年度に行うSPring-8サイト加速器安全インターロックシステムの改造に対応できる構造に変更した。

2. ビームラインおよび実験ステーション制御

2-1 全般

ビームライン（BL）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）の建設支援を行い、これら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。2009年度末現在113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。

また後述するように、安定性向上のために、ビームライ

ン制御系の仮想化環境の試験、構築、X端末の整備、ノイズ対策、物品管理データ整備などを行った。またX線検出器の整備、開発を継続して行うなど、放射光実験の高度化を進めている。

2-2 安定化、保守性向上

2-2-1 BL仮想化環境構築

2007年夏の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の不具合が原因で、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で障害が発生した。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。

仮想サーバOSは、Ubuntu 8.04.3 LTSからSUSE Linux Enterprise Server 10 SP3へ、仮想マシンは、Ubuntu 6.06 LTS から SUSE Linux Enterprise Server 10 SP2 準仮想化へとそれぞれ変更。仮想サーバXenについては、3.0.3から3.2.3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の構築を行い、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た。この結果、合計53のビームラインで新仮想環境への移行を2009年夏の停止期間に行い、概ね安定した仮想BL-WS（ビームラインワークステーション）を提供する事ができた。

2-2-2 BL仮想化環境用共有ストレージの構築試験

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動作と高可用性、信頼性を追及していく事を計画し、試験環境を構築して調査を進めている。2009年度はヒューレットパカード社製 Storage Works MSA2000を用いたSAS型共有ストレージの構築を行い、BL仮想化環境の安定動作試験を実施した。

2010年度には、iSCSIを用いたクラスタファイルシステムの試験を行う予定である。

2-2-3 新X端末選定と環境構築

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。電源の安定性、筐体の発熱量、システムの安定動作、簡単なりモート管理、低コストで導入がしやすいなどの点を考慮し、ヒューレットパカード社製シンクライアントt5545に決定した。このシンクライアントは、独自のThinPro OS（Debian Linuxベース）により専用のRootFileSystemをFile Serverからローディングする必要があるが、File Serverへの負荷軽減が期待できる。ThinPro

OSをSPring-8のビームライン用にカスタマイズし、2010年夏までに全てのビームラインに導入を行う計画である。

2-2-4 ノイズ対策

電気ノイズによってビームライン機器のモータが自走し、機器が破損する等のトラブルが発生した。調査の結果、電気ノイズは、アンジュレータビームラインの二結晶分光器内で発生し、モータケーブルを媒体として、制御機器に侵入して誤作動を引き起こしていることが分かった。テストとして、フェライトコアにケーブルを巻きつけてノイズを阻止をした結果、3ターン以上(インピーダンス約160 MΩ)で阻止できることが分かった。しかし、既存敷設ケーブルにフェライトコアを巻きつけるには、ケーブル余長及び設置スペースに問題があった。そこで、一般的なフェライトコアの使用法(フェライトコアにケーブルを巻きつける)ではなくクランプ形のフェライトコア複数を媒体ケーブルにクランプする方法をテストした。クランプ形のフェライトコア(TDK社製 PE22)を8個(インピーダンス合計は、160 MΩ程度)を用いた。設置は、図4のように、二結晶分光器(電気ノイズ源)側近のケーブルラダーにアルミ板を引いて、16本のモータケーブルをフェライトコアでクランプするだけというシンプルな方法を採用した。BL39XUとBL46XUで半年間テストを行った結果ノイズの侵入を防ぐことに成功した。2010年度にすべてのアンジュレータビームラインに導入する予定である。

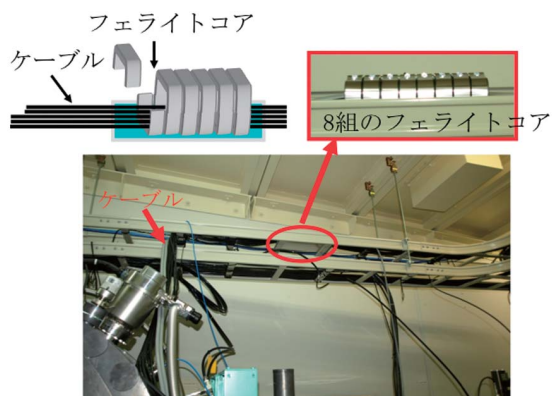


図4 ノイズ対策用フェライトコア設置方法。下の写真のように光学ハッチ内部のケーブルトレーに敷設されたパルスモータケーブルに上の図のようにフェライトコアを設置した。

2-2-5 物品管理

SPring-8の広いサイトの中に点在する機器を管理する目的で物品管理システムを独自で開発し使用している。このシステムは、物品の様々なデータを蓄積するデータベース部とGoogleMapのようなマップシステムを連動させたシステム構成となっている。地図上の絵をクリックするだけで、実際に設置される機器の履歴や構成部品、部品の図面

等を知ることができ、どの機器がどこに設置されているかが容易に把握できるようになっている。

2009年度は、2000点の機器データを採集し管理システムに取り込んだ。管理システムには、現在約4000点の機器のデータが取り込まれており、引き続き物品管理、予備品の補充、交換スケジュールの立案などのメンテナンスの判断材料として使用する。

2-3 ステーション制御

2-3-1 PCI Express版カウンターボード開発

Quick XAFS実験などの高度な計数実験に用いるため、200 MHzまで計数可能な4chカウンターボードを製作した(図5)。これは以前に開発したCompact PCIカウンターボードのバスをPCI Expressに変更した物で、2008年度開発を行ったインターフェース付き汎用計算機 Blanc4に搭載して、簡便に高度な実験制御システムを構築するためのキーになるボードである。また、パーソナルコンピュータに搭載して計数実験に用いることも可能であり、Compact PCI版と併せて利用範囲が広がることが期待できる。2009年度はボード開発と基本機能確認を終了し、2010年度Blanc4にモータ制御ボードと共に搭載したシステムとして組み上げ、高度化する放射光実験に素早く容易に対応できる実験制御システムの構築を目指す。

また2008年度開発したBlanc4に関して、筐体に一部使いづらい点や強度が不足する部分があったため、筐体の一部手直しを行い、使いやすいシステムになるように工夫を行った。

表1 PCI Express版カウンターボード諸元

チャンネル数	4ch
ビット数	32bit/ch
入力	TTL/NIM(ソフトウェアにて)
最大繰り返し周波数	200MHz
ゲート信号	内部ゲート・外部ゲート切り替え (内部ゲート信号出力可能)
測定モード	カウントモード、タイマーモード

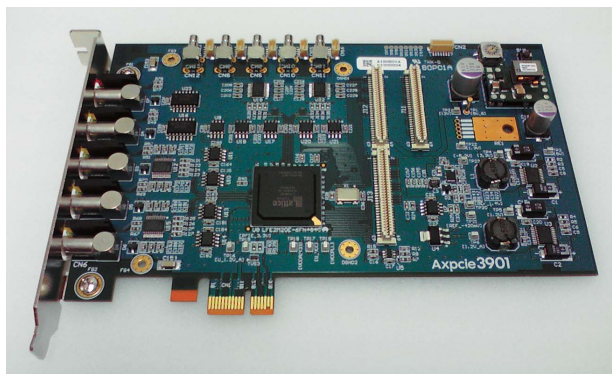


図5 PCI Express版カウンターボード

2-4 検出器開発

2-4-1 大面積PILATUS-2M検出器

SPring-8では新世代型 2次元検出器PILATUSの高性能化及びユーザー実験への支援を継続して行っている。2008年度まで、2台の標準サイズPILATUS-100K検出器を汎用として複数のビームラインに対して、産業利用や分光物性ビームライン専用としてPILATUS-100K検出器各1台をユーザー実験に提供してきた。

SPring-8はSwiss Light Source (SLS) との国際協力により、国内外の他施設に先行してPILATUS検出器の導入を進めてきたが、標準サイズのPILATUS-100K検出器については、世界各国の放射光施設に於いても利用が急速に普及し、今日では放射光実験に於けるスタンダード検出器の一つとなりつつある。SPring-8に於いても上記の4台の他にもBL13XUでも導入されるなど運用台数が急速に増えてきている。

2009年度は、PILATUS-100Kサイズを単位モジュールとし、横方向3台×縦方向8台に合計24モジュールをタイル状に並べることにより有感面積を25.4 cm×28.9 cmに拡大させた大面積型PILATUS-2M検出器システムを製作し、2009B期よりBL19B2、BL46XUでの産業利用課題に於いて正式運用を開始した。本検出器は、2006年度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として試用を開始し、2007年度には3×4モジュールへと拡大させ、2009年度は残りの12モジュールを組み込んで完成させたもので、SLSのX12SA (cSAXS) の同型機に次ぐ第2号機である。従来は広角度の回折データを得るためには小型のPILATUS-100K検出器を駆動ステージで走査して複数毎のデータを重ね合わせて取得していたが、PILATUS-2M検出器により一度に1枚の画像データとして取得できるようになるなど、PILATUS-100K検出器を利用していたユーザー実験の多くがPILATUS-2Mに置き換えられた。

2-4-2 CdTeピクセル検出器

高エネルギーX線領域でのピクセル検出器の高感度化を目指し、2008年度よりCdTeを検出素子としたピクセル検出器開発を行っている。現在標準のピクセル検出器であるPILATUS検出器には320 μm厚のシリコンセンサーが用いられているが、その吸収効率が10 keV～20 keVの低エネルギー領域では92%～53%と高効率が得られるものの、30 keVになると10%、50 keVでは3%と低下してしまうことから、高エネルギー領域での検出効率の向上が課題の一つとなっている。一方、CdTeは、素子厚500 μmで50 keVまではほぼ100%の吸収効率が得られ、100 keVでも45%と高効率での測定が実現可能となる。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ることから、ピクセル検出器への応

用には不向きである。この点、CdTeは常温で検出器として動作可能であることも利点である。

2008年度はプロトタイプ検出器用の読み出し集積回路SP8-01 ASICの回路シミュレーション及びレイアウト設計まで完了したが、2009年度はSP8-01 ASIC及びCdTeピクセルセンサーの実製作を行い、Auスタッドバンパにより両者を接合してセンサーモジュールに組み立ててプロトタイプ検出器SP8-01の基本性能試験まで実施した(図6)。SP8-01の規模はピクセルサイズ200 μm、ピクセル数16×16で、各ピクセルにプリアンプ、波形整形アンプ、コンパレータ、20ビットカウンターが搭載されている。従来のPILATUS検出器は閾値以下のエネルギー成分のみをカットできるのに対し、SP8-01では上限と下限のエネルギーを制限するウィンドウ型回路へと拡張しており、高次光ミラーに頼らずに基本波の成分を切り出せるように設計されていることも特徴である。

今後の計画としては、2010年度にSP8-01の詳細な評価を行ったのち、微細ピクセル化と規模を拡大したSP8-02プロトタイプの設計・製作を行い、最終的には2011年度以降にPILATUS-100K検出器規模の大面積検出器を製作する予定である。なお、本研究開発推進に当たり、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。

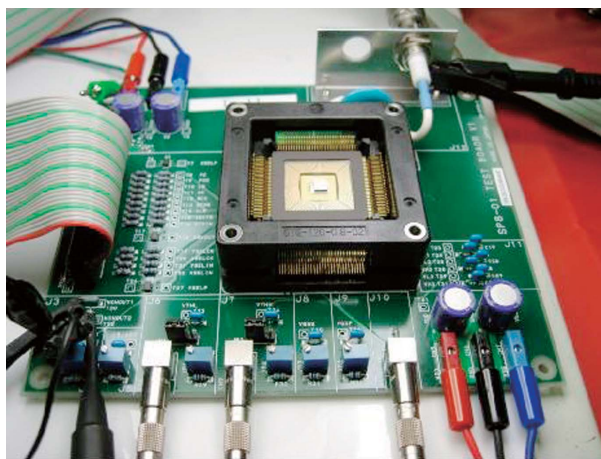


図6 プロトタイプ検出器SP8-01動作試験

制御・情報部門
田中 良太郎