

解説

SPring-8 ビームライン制御システム

大端 通, 田中 良太郎

SPring-8, (財)高輝度光科学研究センター・放射光研究所*

SPring-8 Beamline Control System

Toru OHATA and Ryotaro TANAKA

Beamline division, SPring-8, Accelerator Division, SPring-8

Beamline control system is designed to achieve the controls by beamline experimental users. The system is designed adopting the so-called Standard Model concept which has advantage for extension of the system and for easy maintenance. The VMEbus is used as the front-end control system and UNIX workstations are used as the operator consoles. These computer system are connected to the FDDI backbone network as a distributed system. The control software is designed based on the event-driven client/server scheme. The remote procedure call (RPC) is used for communication between application software over the network. As a result, beamline users can control many beamline components such as insertion devices simply.

1. はじめに

現在, SPring-8 では, 一昨年秋の共用開始から精力的な利用研究が行われており, 第3世代の放射光研究施設を特徴づける挿入光源を主とした赤外光から硬 X 線までの幅広いエネルギー範囲の光を用いた様々な実験が計画されている。なかでも30 m 長直線部や1 km 長尺ビームラインなどは SPring-8 独自の特徴であり, この特色を生かした利用研究が期待されている。施設は現在, 20本余りのビームラインが利用可能となっているが, 今後2年間のうちにさらに10数本のビームラインが建設され, 全体の半数以上のビームラインが利用可能になる予定である。

SPring-8 は, 線型加速器, シンクロトロンおよび蓄積リングの3つの加速器と総数62本にも及ぶビームラインからなる。ビームラインへ至るまでの加速器制御系における精密な電子ビーム制御によって, 安定な高輝度放射光の発生を可能にしている。ビームラインにおける制御システム(以下, ビームライン制御システムという)は, 挿入光源, 基幹部および輸送部の全てのコンポーネントとハッチ等の放射線安全に関わる機器を総合的に管理するシステムとして, 入射器系から実験ステーションにおけるユーザインターフェース部まで, 幅広くカバーする制御系である。

ビームライン制御システムは, 基本設計として, 蓄積リング制御システム¹⁾と同様のシステム設計を採用しているが, ビームラインとしての機能の相違により, 幾つかの点で特化した形態を取っている。昨今のコンピュータ関連分

野のめまぐるしい進歩により, ビームラインの建設スケジュールにあわせた制御システムの改良が順次行われているが, 本解説では現時点でのビームライン制御システムについて述べさせて頂きたい。ここで, ビームライン制御システムは蓄積リング制御システムと統合された部分も多いため, 蓄積リング制御システムについての記述が一部含まれていることを付け加えておく。

2. 基本設計

SPring-8 における制御系は線型加速器制御系, シンクロトロン制御系, 蓄積リング制御系, ビームライン制御系, 中央制御系の5系からなり, これに安全監視系を加えたものが, 放射光施設としての SPring-8 全体の運転に深く関わっている。ビームライン制御システムは, 大別すると, 1)光学系の精密ハンドリングを主体としたデータ収集系を含んだ機器制御, 2)ビームラインの運転に伴う人的保護および機器保護を目的としたインターロックシステム, および, 3)安全性と作業効率の高いネットワークシステム, により構成されている。

SPring-8 におけるビームライン制御システムは, 挿入光源, 基幹チャンネル, 輸送チャンネルおよび光学ハッチの各種コンポーネントを制御対象としており, 特に挿入光源制御がビームライン制御システムに組み込まれているのは SPring-8 の大きな特徴である。その結果, 実験ユーザ主体の自由なビームライン制御が可能となり, 現在では建

* SPring-8, (財)高輝度光科学研究センター・放射光研究所 〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町三原323-3
TEL 0791-58-0831 FAX 0791-58-0830 e-mail ohata@spring8.or.jp

設当所の目標であった「挿入光源の独立調整 (Independent Tuning)」が実現している。このようにビームライン制御システムは、加速器制御とユーザ実験の制御対象が複雑かつ密接に関連しており、システムの安定性、信頼性およびセキュリティの維持が重要な課題となる。

ビームライン制御システムの構築にあたって、ビームラインの制御対象機器が共通コンポーネント化・カタログ化²⁾されていることと併せて、制御システムのコンポーネント化を図った。これにより、それまで多くの施設で為し得なかった、高機能で柔軟性の高いソフトウェアや制御機器の共通化が、高いレベルで達成されている。ビームライン制御システムの基本的な設計方針は以下の通りである。

- 1) 機器の操作を主体とした制御系および人的安全の確保を目的としたインターロック系の機能分離と同時に両系の情報集中を図る。
- 2) ネットワーク透過の「クライアント・サーバ方式」による機能分散と、データベースによる一元的な情報管理と Web による情報公開を行う。
- 3) 建設時期の違いや運用形態に影響されないように、ビームライン毎の独立性を確保する。
- 4) Look & Feel を統一した GUI ベースのアプリケーションによる操作性の向上を図る。
- 5) 保守性・再利用性を考慮したソフトウェアのコンポーネント化を行い、開発効率の向上を目指す。
- 6) 業界標準のハードウェアおよびソフトウェアを用い、制御システムの規格化・標準化を目指す。
- 7) インターロックシステムは人的安全と最低限度の機器保護を担保するため、ハードワイヤードロジックと同等の高い信頼性を有し、将来の高度化に対応可能なものとする。
- 8) 実験ユーザを主体としたビームライン制御を実現する。

ハードウェアおよびソフトウェアの選定に際しては、長期にわたるビームライン建設において予想される、システムの維持・管理また拡張を考慮して、蓄積リング制御グループで採用したヒューレットパッカード社製のコンピュータシステムと同グループで開発されたソフトウェアフレームワークを採用した。

ビームライン制御用ネットワークは、ビームライン毎および挿入光源毎に蓄積リング制御用ネットワークの FDDI ノードシステムとルータを介して接続されている (Fig. 1)。ビームライン制御システムは、このネットワーク上に制御フロントエンドシステムとして各々の被制御機器をコントロールする下位 VME 系と、実験ユーザ用オペレータコンソールであるビームライン管理ワークステーションとがビームライン毎に設置された「ネットワーク分散型」の制御系となっている。インターロック系はビームライン毎に独立したシーケンサにより構成され、ビームライン管理ワークステーションと専用ネットワークを介して、

緩やかに結びついている。ネットワーク構成は、ネットワークの管理、障害検知、障害復帰を容易にするため、できるだけ「フラット」なネットワークトポロジとした上で、機能的な差別化を図り、蓄積リング制御用の 1 セグメントに加え、ビームライン制御用 4 セグメント、挿入光源制御用 4 セグメントの構成をとっている。それぞれのビームラインおよび挿入光源のネットワークは、将来の高速化を考慮した光ファイバにより、基幹ネットワークのハブから 1 対 1 に接続されている。

SPring-8 におけるビームライン制御システムは、複雑かつ高度なネットワーク通信技術の上に成り立っている。昨今騒がれ出したネットワークにおけるセキュリティ問題は、ビームライン制御システムにおいても十分な考慮が必要となる。分散化された制御系は、悪意のあるなしに関わらず制御対象の誤認や誤操作によって、施設の運用に重大な障害を及ぼす可能性がある。そのため、「ファイアウォール」により隔離した制御専用のネットワークを張り、安全性の高い制御環境を構築している。

前述したように、SPring-8 における制御系は 5 制御系 + 安全監視系により構成されているが、安全で円滑なビームライン運転を実現するためには、他の制御系との密接な情報交換が必要となる。各制御系との取り合いは、蓄積リング制御用ネットワーク上に置かれたデータベースサーバを介して行なっている。データベースサーバは主・副の 2 台により構成されており、データベース上に、運転記録、各種制御機器の運転パラメータなどを保存し、これを市販のリレーショナルデータベース管理系を用いて運用している。また、データベース上に記録されたデータは、SPring-8 内において Web により閲覧することが出来る。

ビームラインの運用において最も問題となる放射線防護のために、人的保護を目的としたインターロックシステムを構築している。このインターロックシステムは、ビームラインの健全性を保つため、真空や高熱負荷からの機器保護も担保している。機器構成として、高い信頼性と将来の高度化に対応の容易な PLC (Programmable Logic Controller) を採用した。

ビームライン制御システムは、ビームライン調整や簡単な運用にあたって必要最低限度の操作を行なうためのプリミティブな制御機器群である。実際のユーザ実験等においては、実験ステーション機器の制御用コンピュータなどの、さらに上位の制御システムが必要となると考えられる。そのためビームライン制御システムでは、上位制御システムを想定したインターフェースを用意することにより、実験ステーション機器と挿入光源やモノクロメータとの連携操作など、さらに高度な制御系の構築が可能なシステム設計としている。インターフェースとしては、最近のコンピュータシステムのはほぼ全てにおいて利用可能な、RS-232C と Ethernet 上の BSD Socket を採用した。

以下に、システム構成の詳細を示す。

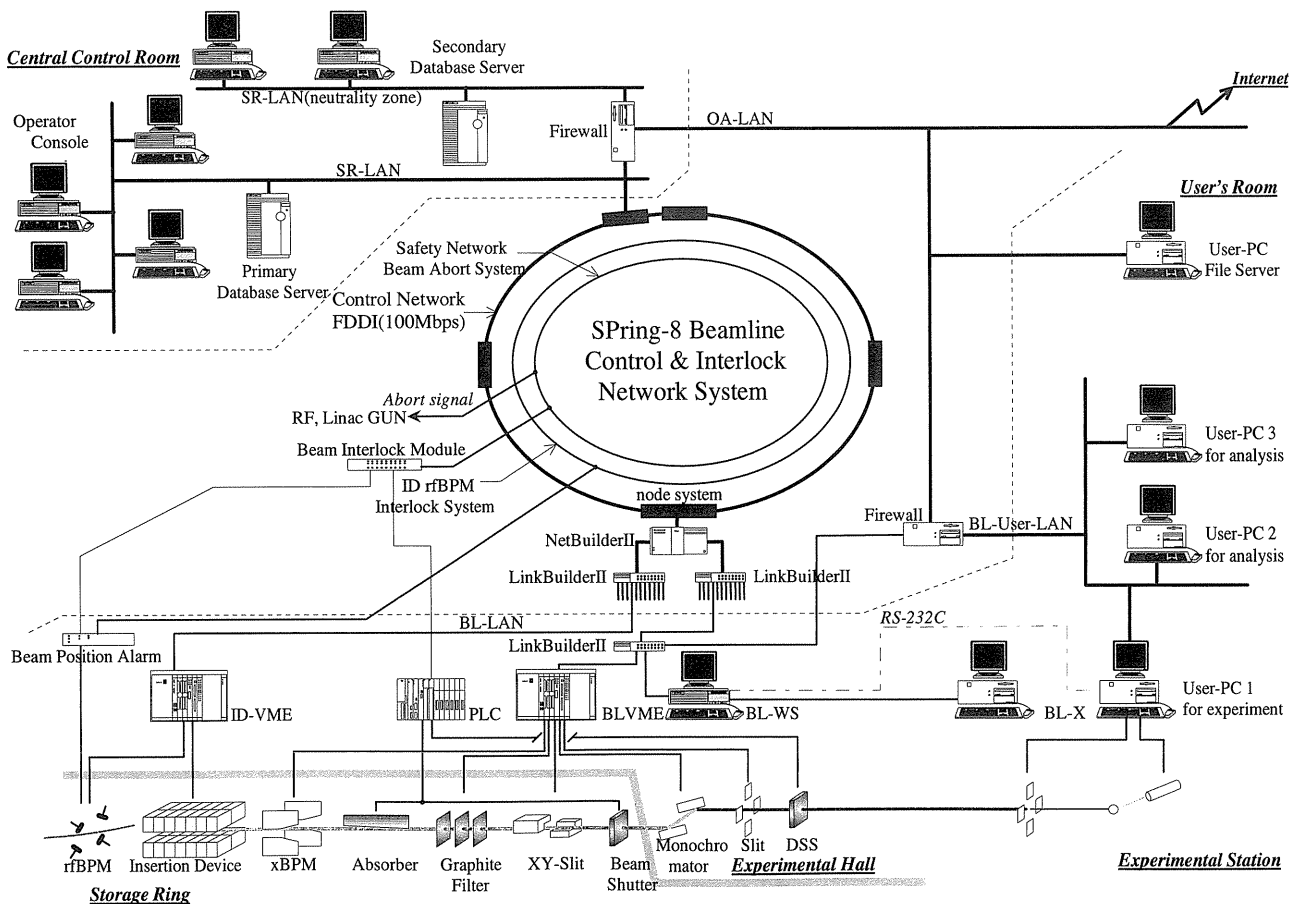


Figure 1. Schematic drawing of networks for the beamline control and the interlock system. Lower part of the figure shows the connection of beamline components and computer system over the standard model. The three network zones are separated by the firewall; one is SR (BL)-LAN for the beamline control, BL-USER-LAN for experimental users, and OA-LAN which is connected to internet directly.

3. システム構成

3.1 制御システム

ビームライン制御システムで扱う標準的なビームラインは、挿入光源から実験ステーションまで全長およそ80 mの間に分散した機器により構成されている。今後1 km ビームライン建設も計画されており、システムの拡張性や開発・保守性に優れた、いわゆる標準的なクライアントサーバ型の分散処理系はこの点有利である。ネットワークを利用した分散処理系を構築するにあたり、計算機システムとしては長期間の無停止運転に耐えられる安定性を有し、ネットワーク関連技術に優れ、また柔軟で開発効率の高いUNIX系のコンピュータシステムを採用した。

分散環境における下位の制御フロントエンドとして、多くの制御システムにおいて高い信頼性と実績を誇るVMEシステムを採用した。CPUボードとしては、77.7 MIPSと十分な性能を有するRISCプロセッサPA-RISC 7100LCを搭載したHP9000/743rtを採用している。実装メモリは16 MBで、他に起動用として20 MBのPCMCIAインターフェースのフラッシュROMカードを実装してい

る。ハードディスクと異なり可動部の無いメモリカードによるブート機構は、制御システムの安定性の面から非常に重要なポイントである。一般にVMEにおけるオペレーティングシステムの起動は、bootp/tftpによるネットワークブートが行われるが、カーネルデバッグの終えた安定版のオペレーティングシステムはフラッシュROMにより起動する方が簡便である。

743rtをドライブするオペレーティングシステムHP-RTは、PA-RISC専用のオペレーティングシステムで、LynxOSをベースとしたリアルタイムオペレーティングシステムであり、システムコールは、標準的なSystem V系コールに加えて、POSIXコールもサポートしている。開発環境としては、HPワークステーション上でのクロス開発となるが、HP SoftBench等の統合開発環境が利用できるため、開発効率の向上を図ることができる。現行のHP-RTのバージョンは2.20である。

VMEシステムで扱う被制御機器は、パルスモータ、エンコーダ、熱電対、その他標準的なデジタル入出力、アナログ入出力など様々な入出力系機器により構成される。以

下に機器構成の概略を示す。

GP-IB (General Purpose Interface Bus) : 多くの計測機器に採用されている GP-IB は、高速なデータ転送が可能な汎用的なインターフェースであるが、ビームライン制御システムにおいては、ツジ電子製パルスモータコントローラ (PM16C) やエンコーダ読み取り装置のインターフェースバスとして用いられている。GP-IB ボードとしては、日新電機製 EVME-GPIB21 を採用している。このボードは GP-IB 専用 LSI μ PD7210 の他、モトローラ製 CPU 68HC000 を搭載しており、簡単なコマンドセットにより複雑な GP-IB 制御が可能となっている。それにより CPU ボードの負荷の軽減が実現されている。

RIO (Remote I/O) : 挿入光源制御装置の一部の機器にフィールドバスのような使い方として、三菱電機製 RIO システムを使用している。RIO は光ケーブルにより接続されたマスタカードとスレーブカードからなる。マスタカードはデュアルポートメモリにより簡便なデバイスアクセスを実現している。また、スレーブカードは使用目的に合わせて、DI, DO, AI 等が選択可能である。光による接続形態を採ることから、電気的に絶縁されたノイズに強いシステムが構築可能であり、1 Mbps の通信速度で 1 km の通信距離を実現している。

ADC (Analog to Digital Converter) : 高熱負荷機器の温度監視用に熱電対出力直入力可能なアドバネット製 ADC ボード Advme2602 を採用している。初期のビームライン制御システムにおいては GP-IB インターフェースを備えた多チャンネル熱電対直入力型マルチメータを使用していたが、データ収集速度の遅さから VME バス直結型の上記カードに変更した。この ADC ボードは入力信号として μ V オーダーの微小信号から、 ± 10 V までの広範囲のアナログ信号を 16 bit の高精度で扱うことができるもので、熱電対直入力時には冷接点補償の機能を有している。A/D 変換部は二重積分方式で、1 チャンネルあたり 100 msec の変換時間と十分な応答性を持っている。

真空度、流量、流水圧、rfBPM 信号出力など、汎用的なアナログ入力系として VMIC 製の高精度 ADC, VMIVME-3122 を採用した。このボードは 16 bit の分解能で、最大 100 KHz の高速サンプリングが可能である。また、1024 word バッファを内蔵しており、幅広いアナログ入力系を構築できる。

AO (Analog Output) : 挿入光源ステアリング電磁石用電源の制御用としてアドバネット製絶縁型 AO ボード, Advme2701 の改造型を採用している。このボードは 12 ビットの分解能を持つアナログ出力ボードで、8 ch の出力ポートを備えている。通常は、パワーオン時や SYS-RESET 信号により VME システムのリセット時に、全てのアナログ出力を強制的に 0 にするような回路となっているが、ビームライン制御システム用に特化して、SYS-RESET 時にリセット以前のアナログ出力を保持するよう

な改造を加えている。これは、蓄積リングの運転中、制御システムに異常が発生した場合や VME システムのリセット時に、ステアリング電磁石の励磁が保持されるようにした仕様である。

DIO (Digital I/O) : 汎用的なデジタル入出力ボードとして、日立造船製絶縁型 DIO ボード, HIMV-602A を採用した。全チャンネルが独立した回路で構成されており、入出力とも各ビットごとにフォトカプラにより絶縁されているため、長尺ビームライン等において問題となるグラウンドレベルの変差に関わらず、異なった機器を混在させて使用することができる。

SRAM : リチウム電池とスーパーキャパシタによるバッテリーバックアップ機能がついたスタティックラムボードで、主にソフトウェアデバッグ用に使用している。他の用途としては次期パルスモータコントローラの動作パラメータ保存用として用いる予定である。高速パラメータバックアップが可能のため、パルス出力中におけるシステムのリスタートやシャットダウン時にもパラメータを保持すること可能となっている。

PMC (Pulse Motor Controller) : 現行のパルスモータコントローラは GP-IB インターフェースを有したツジ電子製 PM16C を使用している。このコントローラは、16 軸のパルスモータを取り扱うことができ、最大 2 軸同時駆動が可能である。特徴として、前面操作パネルにより簡便な手動操作が可能であり、ビームライン建設初期のコンポーネントのアライメント時に威力を発揮した。しかし、GP-IB の応答速度の遅さが問題となるため、将来的には次期パルスモータコントローラとしてアドバネット製 Advme2005 パルスモータコントローラを採用することが決まっている。Advme2005 は VME バス準拠のパルスモータコントロールボードであり 8 軸同時駆動が可能ことから、SPring-8 標準型モノクロメータ等の複雑な動機制御が必要な機器に対して、より高い操作性が得られることが期待できる。

分散環境における上位システムは、GUI を備えたユーザアプリケーションが動作するオペレータインターフェースとして機能する。このオペレータインターフェースとして HP 社製の UNIX ワークステーション HP9000/712 および HP9000/B132L+ を採用した。これらは HP 製 UNIX ワークステーションのエントリークラスであるが、前述の 743rt と同じ PA-RISC により駆動するシステムで、HP-UX10.20 により動作している。最近の PC/AT パーソナルコンピュータに比べると若干見劣りのする性能ではあるが、非常に安定したシステムである。ビームラインにおける実験ユーザは、上記の HP ワークステーションの他、実験ハッチ毎に X 端末が利用可能であり、より効率的な操作環境を得ることができる。X 端末としては、保守性やパフォーマンスの観点から PC/AT パーソナルコンピュータと PC-UNIX の組み合わせを採用している。

上記のシステムはビームライン制御システムとして必要となる最低限度の機能を有している。しかし、ステーションにおける実験の手順を考えた場合、実験ステーション機器とビームライン機器の連携した制御が必要になる場合が多く、実験ステーション制御用などの外部制御系との取り合いが必要になる。詳細は後述するが、ワークステーションにビームライン制御システムを統合するサーバ機能を持たせ、外部制御系との取り合いとしてRS-232CおよびEthernetによりインターフェース可能な設計としている。

3.2 ビームラインインターロックシステム

ビームラインは利用者の実験目的に応じて放射光ビームの整形や単色化などを行なう光学系から構成されている。ビームラインの運用にあたって、利用者の放射線被曝やビームライン機器破損の防止、蓄積リングの真空度維持を図って実験を安全に行なえるようにすることは必要不可欠である。従ってビームラインは、人的安全や機器保護のための制御・監視系を持ち、被曝事故等を未然に防ぐために独自に高度なインターロックシステムを持つことが必要となる。制御・監視対象としては、挿入光源部 rfBPM、基幹チャンネル部および輸送チャンネル部のゲートバルブ、真空ゲージ等の真空機器、またハッチ等の放射線防護機器がある。Fig. 2 にインターロックシステムの概要を示す。

SPring-8 では、人的安全に関わるシステムは全てハー

ドワイヤードロジックまたはそれに準ずるシステムで構成することが規定されており、ビームライン制御システムにおいてはハードワイヤードロジックに準ずるシステムとしてPLCを採用した。現在までに初期型インターロックシステムとして東芝製シーケンサ T シリーズを用いているが、1999年1月のシャットダウン時にインターロックシステムの拡張工事を行い、新システムとして一部を三菱電機製シーケンサ MELSEC-QnA シリーズへ変更した。初期型インターロックシステムでは、中央制御系とのインターロック情報を共有するために PLC 専用ネットワークである TOS-LINE を用い、ビームライン毎の運転状況の監視を行っている。新型インターロックシステムでは、ビームラインの独立性を高めるために、トークンリング方式の TOS-LINE から、Ethernet への転換を図っている。

前述したビームラインインターロックシステムの高度化に伴い、新たに挿入光源インターロックシステムとも言うべき rfBPM の監視系を構築した。このシステムは、挿入光源の電子軌道監視装置である rfBPM により、ビームの軌道異常を監視するインターロックシステムである。このシステムのインターロックロジックは、全ての挿入光源の状態により判断されるため、高精度の監視システムとなっている。

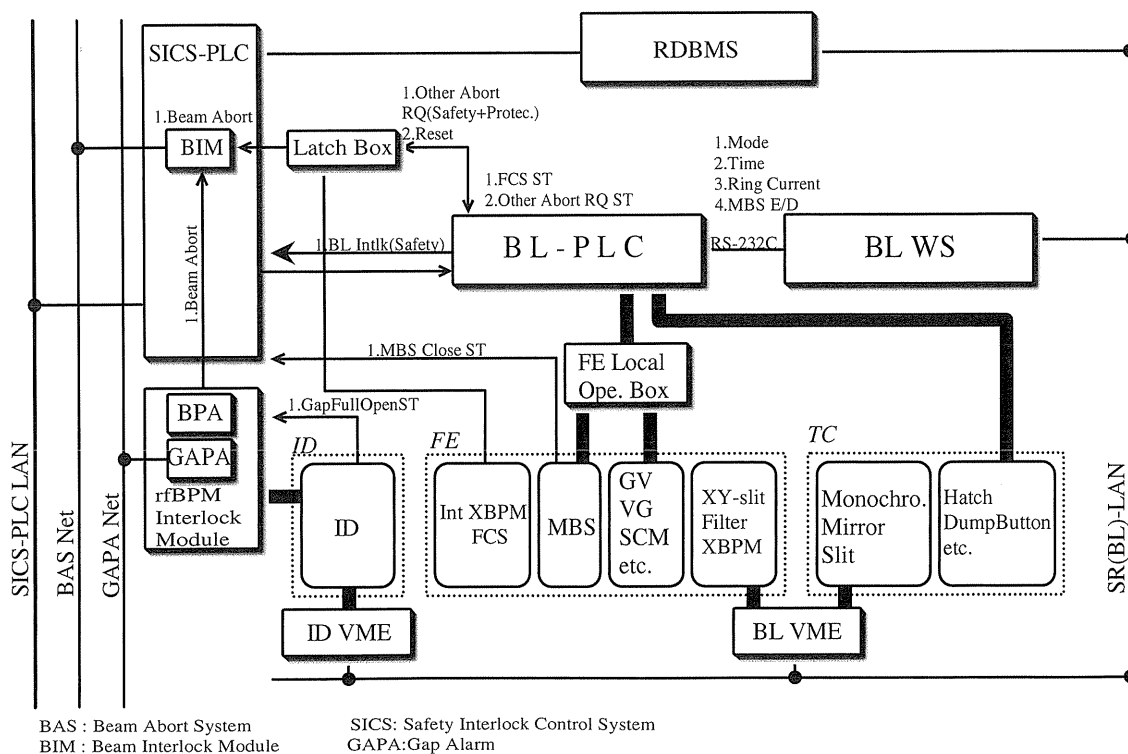


Figure 2. Schematic drawing of the beamline interlock system. All of the human safety and a part of device protection are guaranteed by the BL-PLC at the beamline. The information of the interlock system are taken by the WS and stored to the relational database system (RDBMS).

3.3 ネットワークシステム

ビームライン制御システムに関連したネットワークは、蓄積リング制御専用ネットワーク「SR-LAN」とビームライン制御専用ネットワーク「BL-LAN」および実験ステーション制御用ネットワーク「BL-USER-LAN」の3種類である (Fig. 1 参照)。BL-LAN は SR-LAN の基幹 FDDI 上のノードシステムからルータによりネットワークセグメントを分けて分岐しており、BL-USER-LAN は BL-LAN からファイアウォールを介して接続されている。

SR(BL)-LAN へ分岐する FDDI ノードシステムは、3Com LANPlex2500により構成され、A, B, C, D の4つのゾーンに設置されている。次に、各ノードから 10BASE-F によりビームラインネットワーク専用ルータ、3Com NetBuilder II へ接続され、そこからビームライン制御用および挿入光源制御用の2つのネットワークポートへ分岐し、それぞれスタックされた光ハブ、3Com LinkBuilderFMS II ST Fiber のアップリンクポートへ接続している。続いて約16本のビームラインと12本の挿入光源の制御システムへと1対1で接続されているネットワーク構造になっている。ノードシステムから各制御システムまでのネットワークは、収納部上部を經由し、グレーテッドインデックス (GI) 光ケーブルが敷設されている。

各ビームラインまで引かれた光ケーブルは、3Com 製 LinkBuilderFMS II TP ハブまたは SuperStack II Switch 1100ハブに接続され、10BASE-T へと変換された後、ワークステーションおよび VME へ接続している。上記のハブはブリッジ機能またはスイッチング機能を有しており、ビームラインで閉じたネットワークパスを形成し、ビームライン毎のネットワークパフォーマンスの向上とネットワーク全体のトラフィック軽減を図っている。

BL-USER-LAN の基幹は100BASE-FX により構成されており、蓄積リング棟中央の CVCF 室より A, B, C, D 各ゾーンへ対称的なネットワークトポロジを組んでいる。実験ホールや実験準備室におけるネットワークの利用は、蓄積リング電話・ネットワークシステムで採用されている統合配線設備により、情報コンセントからの簡便な利用が可能である。情報コンセントへ至る端部ネットワークは 10BASE-TX のスイッチングハブにより 10 Mbps の全帯域が利用可能である。

上記のネットワークシステムは、それぞれの制御系の運用にあたって非常に重要なネットワークであり、ネットワークの障害検知は早期に行なう必要がある。そのために、ネットワーク管理機構として SNMP (Simple Network Management Protocol) を用い、その監視ツールとして HP OpenView を導入している。

SPring-8 におけるビームラインネットワークの大きな特徴として、ユーザ実験と蓄積リングに挿入された挿入光源制御との密接なリンクが挙げられる。挿入光源制御はビームライン制御システムに含まれており、実験ステーシ

ョンに設置されたビームライン制御システム専用 WS や X 端末による制御だけでなく、RS-232C や Ethernet を経由したユーザ独自のコンピュータ環境から、プログラマブルな独立調整 (Independent Tuning) が可能となっている。

ここで、ネットワークシステムの高度化による弊害として不正なネットワークアクセスについて考慮する必要がある。ここで言う不正なネットワークアクセスは、必ずしも悪意のあるものとは限らない。分散化された数多くの被制御機器群を遠隔で操作する場合、ちょっとした勘違いから思っても見ない機器を誤って操作してしまうことは十分に考えられる。このような事態を未然に防ぐ最良の方法は、操作のためのコンピュータ環境はネットワークに接続せず、決められた場所で決められた人員のみが操作することであるが、これによるデメリットは大きく、システムの使い勝手を損なうことになる。そこで、ビームライン制御システムでは、これらを両立させる手段としてファイアウォールを導入した。ファイアウォールは、これまでのネットワークを OA 用ネットワーク、実験ユーザ用ネットワーク、ビームライン制御専用ネットワークの3つのネットワークに切り分け、それぞれのネットワーク間でパケットフィルタリングにより通信制限を行なっている。3つのネットワークの内、OA 用ネットワークはインターネットに直結でありセキュリティ管理は全く行なわれていない。実験ユーザ用ネットワークは実験ステーション制御システムの構築に利用可能なネットワークであり、ファイアウォールにより OA 用ネットワークから隔離されている。ただし、実験データ等を外部に持ち出すことを考え、実験ユーザ用ネットワークから OA 用ネットワークへのアクセスは可能としている。ビームライン制御専用ネットワークは、実験ユーザ用ネットワークよりさらに高い安全レベルを実現しており、ごく限られたコンピュータシステムのみが利用可能なネットワークである。

4. ソフトウェアデザイン

制御用のソフトウェアはイベントドリブンのクライアント/サーバ構造を取り、全て C 言語で記述している。開発効率や保守性を考慮し、ソフトウェアのモジュール化を図った。各モジュール間のインターフェース関数 (API) は出来るだけシンプルなものとし、将来の高度化にも対応しやすい設計となっている。このソフトウェアデザインは、SPring-8 において蓄積リング制御用に開発されたものを一部拡張して使用している。本ソフトウェアの基本概念およびデザインの詳細については、以前の解説³⁾を参照されたい。ここでは Fig. 3 を基に基本的なソフトウェアモジュールについての簡単な解説をしてみたい。

デバイスドライバ: 前述の VME カードのデバイスドライバとして、プリミティブな機能のデバイスドライバを作成し、カーネルレベルで実行している。これを専用デバイスドライバアクセス用 API により、アプリケーションが

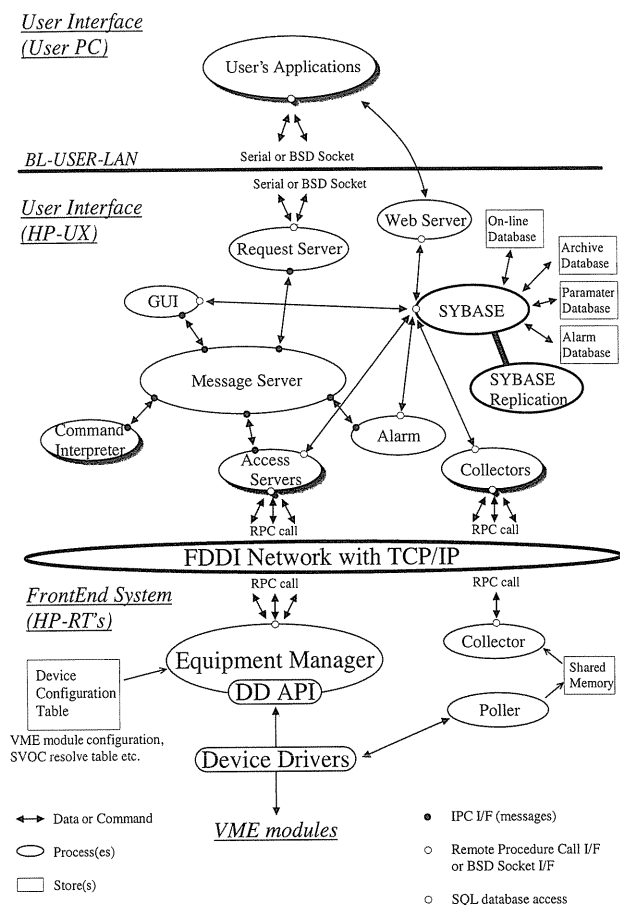


Figure 3. The client/server software structure of the beamline control system.

ら呼び出している。このように構造化したソフトウェア仕様とすることで、開発効率や保守性の向上を図っている。GPIB等、幾つかのデバイスドライバに関しては、リアルタイムOSの特性を生かし、実行レベルの優先度を動的に変更することで、効率的な制御系を実現している。HP-RTのカーネルサイズは、上記のVMEカードのデバイスドライバを組み込んだ時点で約6MBとなる。

Equipment Manager (EM) : 制御対象を抽象的な「オブジェクト」からデバイスの実体へ変換するためのサーバプログラムで、制御用ソフトウェア構造の下層に位置する。制御対象となる機器を抽象的に扱うことで、上位ソフトウェアは機器制御のためのアドレス情報などに関する知識を持つ必要がなくなる。その結果、システム全体の見通しが格段に良くなり、上位ソフトウェアの大幅な変更なしにシステムの高度化が容易に行えるため、開発効率や保守性の向上が期待できる。

Access Server (AS) : EMにアクセスするクライアントプログラム。ASとEM間の通信にはONC-RPC (Remote Procedure Call) を利用しており、高信頼性でかつ簡便なネットワーク通信が可能となっている。ASは上位アプリケーションから発行される抽象化された制御メッセ-

ジを、ネットワーク上に広く分散しているどのEMに送信するかを判定し、対応するEMに対して制御メッセージの転送を行うものである。

Command Interpreter (CI) : ビームライン制御用に特化した新たなプログラムモジュール。下に示したMSを中心としたメッセージドリブンのプログラムモジュールの一つで、GUIから発行される制御対象の複合的な操作を表わす「高級オブジェクト (複合命令)」を、各々の制御対象についてEMが解釈可能な「低級オブジェクトセット」への変換を行う。現在、モノクロメータ、XYスリットおよび挿入光源においてCIを用いている。

Message Server (MS) : ビームライン管理ワークステーション上で動作する制御ソフトウェア群の中心としてメッセージの配送を受け持つプログラム。GUI, CI, ASをUNIX標準のIPC, メッセージキューにより結合するので、完全なメッセージドリブンのソフトウェア群が構築可能となる。受け渡されるメッセージは、EMで扱う「オブジェクト」を特定できるような書式で構成されており、英文法で一般的に用いられるS/V/O/Cの形態を取っている。また、メッセージにおける送り主と宛先オブジェクトの対応から、機器に対するアクセス制限を加えることができるように設計されており、不要な誤操作等を避けることができる。

Graphical User Interface (GUI) : ビームライン制御システムにおける最上位のソフトウェアで、ユーザ用インターフェースとしての操作性、視認性を重視したGUIにより構成されている。これまでに開発されたGUIとして代表的なものに、MAIN, MONO, XBPM, XY-SLIT等がある。GUIの作成のために、X11/Motifに準拠したGUI構築ツールであるフジデータシステム製X-Mateを使用している。X-MateはGUIエディタにより画面構築を行うことで、C言語のソースコードを自動生成するものである。ここで生成されたソースコードに各GUIのコンポーネントの操作により発生するイベントに対応したコードを記述するだけで、一連のGUIソフトウェアの開発を効率的に行うことが可能となっている。

Request Server (RS) : ビームライン制御システムにおけるソフトウェアは、制御対象のプリミティブな操作ができることを目的に作成されており、多様なユーザ実験において、より複合的な制御を実現するためには、ユーザが自由に任意の上位アプリケーションを製作することができるようなシステムを構築する必要がある。そのフレームワークとしてEthernetおよびRS-232C経由でユーザからのコマンドリクエストを受け付けるソフトウェアレイヤを実装したのがRequest Serverである。Request Serverは上記のGUIと同等のソフトウェアレイヤに属し、ユーザからのコマンドリクエストによってMS-CI-AS-EM経由で機器の制御を行ない、そのレスポンスをユーザへ戻す。インターフェースとしては、ユーザ実験に使用されるコンビ

ュータ環境が特定できないことから、ほとんど全てのコンピュータで対応可能なインターフェースとして、RS-232C および Ethernet を採用した。Ethernet に関しては、汎用性や開発環境の充実度などから、BSD Socket を採用している。

ここで Ethernet を使用したことの問題点として、ネットワークユーザの認証について考慮しなければならない。Request Server では分散システムで問題となるネットワークユーザのアクセス権を認証するための簡易認証機能を装備し、ファイアウォールと連携してビームラインにおける不正な制御を禁止している。

Poller/Collector/Alarm : ビームライン制御システムでは、前述した制御系とは独立したデータ収集・監視のためのシステムを構築している。このシステムは蓄積リング制御系と共通のデータベースサーバへのデータ収集系であり、読み取り専用の EM フレームワークにより定期的に定型のデータ収集を行ない、ビームラインの運転記録や障害検知に利用している。

5. おわりに

SPring-8 におけるビームライン建設はようやく総数の3分の1に到達するあたりであり、今後の制御技術の発展に伴って様々な改良が行なわれていくことも予想される。特に、コンピュータ環境やネットワーク技術の進歩は目覚ましいものがあり、今回の解説では、これまでのビームライン建設で構築された制御システムの概要について示した。SPring-8 におけるこれらのシステムも必要に応じて随時高度化して行く予定である。

ビームライン制御システムを設計するにあたり、いろいろな方々からご教示を頂いた。特にインターロック系の構築や操作系のヒューマンインターフェース部の制作にあたっては、大型放射光施設計画推進本部の多数のスタッフの方々から、有益なご助言とご支持を頂いたことをここに感謝します。

参考文献

- 1) R. Tanaka et al.: Proc. of the Int. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Chicago, October (1995) p. 201.
- 2) Y. Sakurai et al.: Rev. Sci. Instrum. **66**, 1771 (1995).
- 3) 田中良太郎: 放射光 **9**, 1 (1996).