

共通技術開発

(1) 検出器

1) 先端的 X 線検出器技術の国際的潮流

検出器技術は今後の放射光科学進展の上で重要なキーテクノロジーである。生命科学分野では CCD 型検出器を主に位置敏感型検出器の導入が比較的速やかに進んでいる。その一方で、より高いエネルギー領域での応用が求められる物質科学分野では、単素子のシンチレーター・半導体検出器を用いたスリットスキャン計測が依然として中心的手法として用いられており、高エネルギー X 線対応の位置敏感型検出器の導入が待望されている。ここでの技術的な課題は、受光媒体の微細多素子、微細多電極の形成と読み出し回路系の集積化に大別される。位置敏感型検出器の国際的な動向は、GEM (Gas Electron Multiplier) によるガス増幅を利用したマイクロストリップ・パッド型ガス検出器、及び Si, CdTe, CdZnTe 等による半導体ピクセル検出器が急速な進展を遂げている。特に、後者のピクセル検出器は、高エネルギー X 線に対しても有力視されている。この背景には、センサーと ASIC チップをバンブ結合法により導通する事により 10mm 角程度のサイズに数千個のプリアンプ回路系を並列配置する事が可能になった事、及び FPGA・PLD による信号処理系の集積化が上げられる。SPRing-8 検出器チームは上記の技術革新を背景に、マイクロストリップゲルマニウム検出器、シリコンピクセル検出器、YAP イメージャーの 3 つの開発プロジェクトを遂行している。

2) マイクロストリップゲルマニウム検出器

マイクロストリップゲルマニウム検出器は、検出器チームが BL08W ビームライングループ・姫路工業大学坂井研究室との共同で、高分解能コンプトンスペクトロメーター用一次元型検出器として開発した検出器である。ここでは、70~90keV の領域で 350 μ m の位置分解能の実現、かつバックグラウンド X 線除去の為に 3% 以下のエネルギー分解能を有する事が条件とされ、これを達成する為に、面積 50mm x 55mm、厚さ 6mm のゲルマニウム素子に 300 μ m x 40mm の電極を 350 μ m ピッチで 128 本配置した。プリアンプ・ディスクリ回路系には ASIC として 4 連の VA32c-TA32cg 搭載カスタムボード (IDE-AS 社製) を採用した。マイクロストリップゲルマニウム検出器を BL08W に設置し、ニオブ等のコンプトンプロファイルを取得して、共同利用に供すべく検出器系の評価/調整作業を実施した。

3) シリコンピクセル検出器

シリコンピクセル検出器は、JASRI がスイスの Paul

Scherrer Institut (PSI) に新設された放射光施設 Swiss Light Source (SLS) との研究協力により技術導入を図っている検出器である。ピクセルサイズ 217 μ m x 217 μ m に対し 44 x 78 ピクセルを並列に制御する読み出し ASIC チップ (SLS06) を独自に開発している。基本的には、受光面積約 35mm x 81mm、厚さ 300 μ m のシリコンセンサーに 8 x 2 個の ASIC チップを数ミクロン径のインジウムボールを用いてバンブ結合する事により単位モジュールを形成する。SLS では最終的に 60 モジュールにより 400mm x 400mm の受光面積を実現し、670 フレーム / 分の連続露光を目指している。SPRing-8 に於いても、国産協力の一環として単位モジュールによるテスト実験が計画されている。

4) YAP イメージャー

YAP イメージャーは、未開の領域である 100keV 以上の X 線画像計測を主目的としている。1mm x 1mm x 6mm の YAlO₃:Ce (YAP) シンチレーターを 128 x 128 素子二次元配列し、前面及び背面にそれぞれ 128 本の波長変換ファイバーを直交方向に張り合わせ、プロジェクション読み出しを行う事により X 線入射位置を決定する。各素子は、アルミニウム薄膜により光学的に遮蔽されている。また、FPGA を用いた高速位置変換モジュールを独自に開発し、パイプライン読み出しでメモリーモジュールに蓄積する方式により、迅速時分割測定を実現している。遮熱コーティング材を有する多層金属構造の X 線回折像の高速取得等の課題研究が実施されているが、詳細は本年報の特別研究 (高度利用技術開発) の項を参照されたい。

5) 大強度対応型ビームモニター

X 線ビームの強度モニターには、従来、電離箱が広く用いられてきた。しかし、第三世代放射光施設の創出する大強度 X 線ビーム照射下に於いては、電離箱には μ A 以上の電離電流が流れる。こうした状況下では電子・イオン再結合が著しく進行しており、電離箱に耐圧限界の電圧を印加しても収集電荷の飽和はせず、X 線ビーム強度と電離箱に収集される電離電流との線型性は破綻する。しかし、蛍光減衰時間がナノ秒領域のキセノン蛍光現象は、大強度 X 線ビーム照射下に於いても、ビーム強度と発光光量とが比例関係を保存する事が期待される。こうした観点から、重希ガスの蛍光強度を計測して大強度対応型ビームモニターを製作する試みが始まっている。詳細は本年報の特別研究 (所長ファンド) の項を参照されたい。

ビームライン部門 検出器チーム 鈴木 昌世

(2) 放射線評価

1) 蓄積リング内線量評価

放射光による蓄積リング内の電源ケーブル等機器損傷への対策として、加速器グループと共同で放射線線量分布測定を行った。マシンスタディ時に数十～数千 Gy の線量をガフクロミックフィルムを用いて測定し、クロッチアブソーバ真上で1000Gy/Ahr (Ahr はリング電流と時間の積) 床上で50Gy/Ahr、蓄積リング内壁で5 Gy/Ahr の結果を得た。線量は、クロッチからの距離のほぼ逆自乗(1.8乗)に比例したが、クロッチ形状および直線偏光により下方により強く散乱されていた。さらに、クロッチアブソーバからの散乱光子スペクトルをモンテカルロ輸送計算により求め、位置にも依るがおおよそ50～200keV に分布していることを明らかにした。

光学ハッチ内(BL38B1)の線量測定も同様にガフクロミックフィルムを用いて実施した。TCスリット下流面の線量が300Gy/Ahr と最も高い結果が得られた。

2) 放射光絶対強度モニターの開発

SPring-8 放射光は従来にない大強度な X 線であり、その絶対強度を精度良く測定する手法はいまだ確立していない。しかし、実現すれば上記に述べた放射線損傷関連の照射をビームラインにおいて定量的に行うことができるようになり、その他にも単色性など放射光の特長を生かして検出器の校正など様々な利用法が期待される。そこで、日本原子力研究所と共同して放射光絶対強度モニター機器の開発研究を開始した。50mm 極板間隔の平行平板自由空気電離箱が偏向電磁石ビームラインの10～40keV の X 線に対して3%の精度をもつこと、また、アンジュレータビームライン(BL47XU)においては、カロリメータとの比較により、シリコンフォトダイオードが 10^{12} 光子/秒オーダーの強度まで利用できること等を今年度は確認した。さらに、より強い放射光に対しては、アルゴンガスシンチレータおよび2次電子チェンパーを用いた直線性、再現性等の測定を行った。

BL40XU は光子強度が SPring-8 で最も強いが単色ではなく、その強度を求めるにはスペクトルを知る必要がある。そこで、ヘリウムガス散乱スペクトロメータを用いて測定を行い、アンフォールディングを行ったところ、ピークの位置、形状について以前の測定値と高エネルギー側のテール部分を除いて良く一致する結果を得た。

3) 被曝線量評価システムの構築

放射光の医学利用あるいは不慮の事故による放射光被曝時の人体内線量分布を求められるモンテカルロ輸送計算コードを日本原子力研究所、海上技術安全研究所および株式会社三菱総合研究所と共同で整備した。ベースには、低エネルギー領域に拡張された光子・電子輸送計算コード EGS4 を用い、放射光のような細いビームが入射した場合の実効線量、各臓器線量および線量分布が得られる。

日本人の CT データを元に作製されたボクセルファントムを用いている。

高エネルギー放射光に対するファントム内の線量測定は BL20B2 および BL38B1 にて行った。60, 100keV 単一エネルギー光子をファントムに入射させ、内部の線量を熱蛍光線量計およびガフクロミックフィルムを用いて測定した。

4) 放射線漏洩検査

新規ビームラインに対するコミッション時の放射線漏洩検査を5月に BL13XU および BL19B2 において、12月に BL12XU において実施した。その他、増設あるいは改造ハッチの漏洩検査を6回実施した。

ビームライン部門 放射線評価チーム 成山 展照

(3) 周辺技術

周辺技術チームは主に設計製作の業務を行う。今年度からは各分野のサポート事例を紹介する。

今回は BL12B2 における米国 ADSC 社の CCD カメラを乗せる架台および架台自動制御システムの設計・製作について紹介する。

架台は、外形約1300mm×850mm、高さ約1100mm、重量約450kg、耐荷重400kgである。駆動部は2ステージに分かれており、垂直及び垂直角度の調整、水平及び水平角度の4軸調整をする。

架台自動制御システムは、イオンチェンバ(IC)により収集した X 線強度のデータに基づいて PM16C でモータを制御して、架台の位置と傾きを調整するものであり、図1のようにコンピュータ(PC)と三つの系統で構成される。

「スリット制御」系統：GPIB Relay でスリット・シャッタの開閉を制御する。シャッタを半分降ろしたとき、電流値が半値になれば、ビームの中心位置と判断する。

「データ収集」系統：CCD カメラの前部にイオンチェンバ(IC)が2個あり、IC から得た電流をピコ・アンプで電圧に変え、A/D 変換装置(KEITHLEY2000)に転送する。

「モータ制御」系統：パルスモータコントローラ PM16C で4つのモータを制御して、水平、垂直及び水平、垂直の

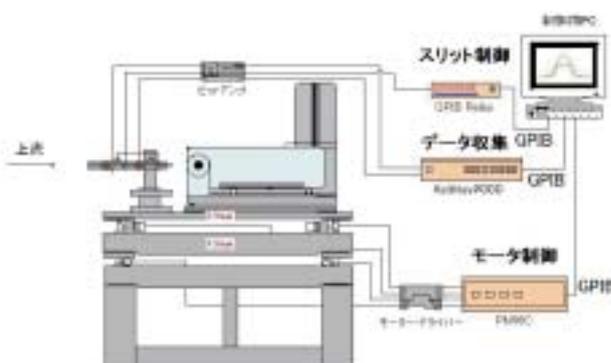


図1 架台自動制御システム

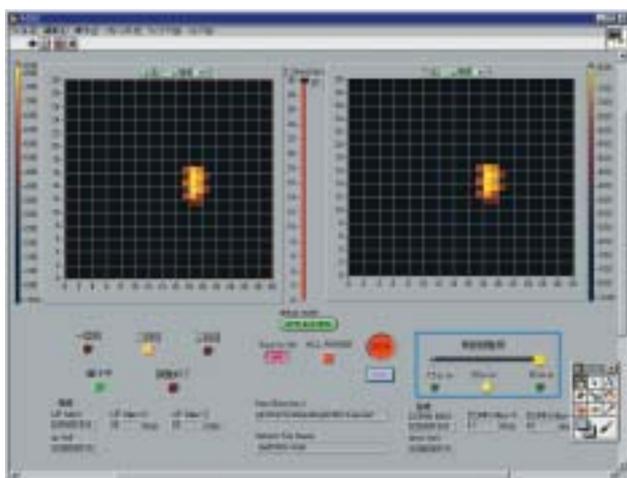


図2 第一段階のウィンドウ

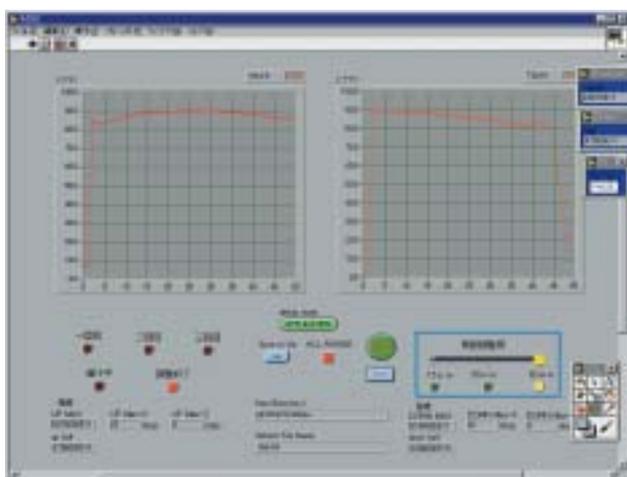


図3 第二段階のウィンドウ

傾きを調整する。

開発用ソフトウェアには Labview を、通信制御には GPIB 方式を用いている。

架台自動制御システムにより、ボタン一つを押すだけで、自動的に光ビーム中心に合わせることができる。調整段階は、広域スキャンとローカル調整の2段階に分けられる。第一段階は、広域スキャン(図2)であり、40mm×40mmの範囲を1mmステップでビームの中心を探索する。架台を据え付けた後最初に一度だけ使用する。調整時間は約6分である。第二段階は、ローカル調整(図3)であり、現時点のビーム位置を中心として3mm×3mmの範囲を、15μm/30μm/60μm可変ステップで、細かくスキャンして架台を調整する。通常はローカル調整のみを使用する。調整時間は、水平、垂直、および水平垂直の角度調整を含み、およそ5～10分程度である。最終的に15μmの精度で、誤差が電流値の10%以内にセットできることが確認できた。

本システムは周辺技術チーム内で共同開発、製作した一つの例である。今後は幅広い分野に、チームを超えて共同

開発を目指すべきであろう。

ビームライン部門 周辺技術チーム
呉 樹奎・入江 崇起

(4) 制御

1) 全般

ビームライン制御システムは、2001年度末の段階で、150台にもおよぶワークステーションやVME、約40式のインターロック機器およびこれらを繋ぐネットワーク機器により構成されている。収集しているデータや制御対象は6000信号にもおよぶ巨大な制御系である。これらの制御系を健全に維持するために、夏期および冬期の停止期間の2度にわたるメンテナンス作業を行い、障害機器の早期発見に注力した。その結果、機器故障に由来する障害は大きく減少し、障害発生時も大きなダウンタイム無しに復旧が可能であった。

今年度特筆すべき点として、制御システムの共通基盤を実験ステーション制御へ導入したことが挙げられる。実作業としてBL09XU, BL12XU, BL13XU, BL23SUの実験ステーション制御に下位制御用のVMEシステムの導入を行った。特に今年度はこれまでビームラインフロントエンドおよび輸送チャンネル制御系へ適応してきた、Intel Architecture (IA32)のCPUボードを実験ステーション制御用にも導入した。また、これら下位制御用VMEシステム上に、これまで上位制御用ワークステーション上で動作させていたコマンドインタプリタ[1]を移植することで、VME単体でも纏まったシーケンス制御を可能にしたことが特徴的である。これは、昨年度から始まった蛋白3000プロジェクトのための回折計制御を念頭に開発を行ったもので、これまで遠隔からのシーケンス制御では実現できなかった高いタイミング精度(10msec以内)の制御が実現できる。現段階では、蛋白3000プロジェクトのためのHigh Throughput ビームラインの建設にあたった理研との共同で検証を行い、要求された精度を実現できることを確認した。なお、最終的な性能確認は、来年度から始まるHigh Throughput ビームラインの立ち上げ試験運転時に行う予定である。このシステムは創薬産業ビームラインにも導入されることが既に決定されている他、今後既存の蛋白質構造解析共同利用ビームラインの実験ステーションの高度化においても順次適用される予定である。また間もなく完成するBL26B1, BL26B2, BL32B2の実験ステーション制御については、上記の蛋白質構造解析システムを標準的な実験ステーション制御系として導入するべく準備を進めている。

カウンタボードについては昨年度までに導入したビームラインでの利用の経験を基に、複数のボード間で同期を取った計数を可能にするための改良を行い、現在テス

トを進めている。これはEXAFS実験などで用いられている多素子の検出器を効率良く使用することが目的である。

また、ビームラインへの信号配信のインフラとして、全ビームラインの実験ハッチに信号配信用リレーボックスの設置を行った。これは、来年度以降予定されているトップアップ運転時に必要とされる信号伝達系を考慮し、メタル線による接点信号の他、光ファイバによる高精度信号の配信も可能となっている。

2) 機器の高度化作業

機器の高度化として、VMEシステムへのSolaris (x86)の導入、ビームライン管理ワークステーションの更新とシステムのアップグレード、およびGP-IBパルスモータコントローラの置き換えを行った。

昨年度より継続しているHP743rtに代わる後継システムのR & Dの成果として、IA32システムにSolaris (x86)を搭載した新型VMEシステムを新規建設ビームラインBL13XU, BL19B2, ID22, ID37およびBL09XU, BL13XU, BL38B1の実験ステーション制御系に導入した。

ビームライン管理ワークステーションの更新は、制御対象の増加や制御内容の高度化によって低下した制御応答速度を改善すること、およびシステムの安定運用を目的としたものである。初期建設ビームライン20本を対象として、既存のHP9000 712/100, B132, B180から新型ワークステーションHP B2000への更新、およびHP-UX10.20からHP-UX11.0へのアップグレードを行った。

輸送チャンネル制御の高速化、高信頼性化のために、GP-IB制御のパルスモータコントローラを廃し、VMEパルスモータコントローラへの置き換えを進めた。今年度はBL02B1, BL10XUの置き換えを行い実運用に供した。

3) ネットワークシステム

ビームラインにおけるネットワークは、制御系ネットワーク(BL-LAN), 実験ホールにおける実験ユーザネットワーク(BL-USER-LAN), 情報ネットワーク(OA-LAN)で構成されており、これらのネットワークはファイアウォールにより相互接続されている[2]。このファイアウォールの安定運用は、SPring-8における実験環境には必要不可欠なものであり、システムの冗長化は重要な課題である。今年度は、冗長化システムの早期導入を目指し、ネットワーク負荷分散装置を用いたファイアウォールのハイアベラビリティ化のR & Dを行った。

4) ビームラインインターロックシステム

全ビームラインを対象としたハードウェアのメンテナンス作業、および全てのALARM6.7の動作試験、また20ビームラインを対象としたラダー「ビームラインインターロック2001」のアップデートを行った。「ビームライ

ンインターロック2001」は真空関連のアラームの見直し、MBS開閉ロジック修正、ビームライン担当者がMBSをロックすることが可能なWS_PERMISSIONシグナルの追加などの変更がなされている。

ビームラインインターロックシステムの高度化R & Dとして、R & DビームラインBL46XUにおいて、グラフィックパネルのレスポンスの高速化、音声ガイダンスの導入、簡易Help画面によるユーザーフレンドリーなシステムの構築を行った。

また特筆すべき点として、複雑且つ大規模になったインターロックシステムの検査や構築を容易にするため、ゲートバルブやスクリーンモニター等の模擬装置を製作した。これにより機器メンテナンス中などで実機が存在しない場合でも、インターロックの動作テストが行えるなど、保守性が劇的に向上している。

5) 高度化計画

ビームライン制御システムの将来計画として、システムの信頼性の向上や冗長化による安定運用状態の確保、および様々な実験ステーション機器への対応を目的とした制御システムの拡張を予定している。

ネットワークシステムのより安定した運用の為にlink aggregation技術の導入を予定している。これは、基幹ラインを二重化することにより、1本のラインが断線もしくは機器の不具合によって切断された時に、リンクをもう1本のラインに動的に切り替えることによって、ネットワークのダウンタイムを大幅に減少させる技術である。

無機材料の単結晶構造解析に多く用いられている4軸回折計の制御をコマンドインタプリタの応用として開発を進めており、来年度に実ビーム試験を計画している。4軸回折計の制御ソフトウェアは既製のものが多く使われているが、管理上の問題から本施設では使い難い場合があり、輸送チャンネル等の制御系と整合性の良いものが求められていた。従来のソフトウェアの機能の置き換えのみならず、半自動による試料結晶の「軸立て」の迅速化等も含めた開発を進めていく計画である。

この他に、周辺技術グループや検出器グループと共同で、モノクロメータのピエゾを利用した変位補正フィードバックシステムの制御や、ピクセル型検出器のデータ収集など、実験ステーション制御を睨んだシステムの拡張を計画している。

発表など

- [1] Y .Furukawa , M .Ishii , T .Nakatani , T .Ohata :
Development of an Interpreter Program for an
Equipment Control , Proc . of ICALEPCS 2001 ,
San Jose , USA (2001)
- [2] M .Ishii , T .Fukui , Y .Furukawa , T .Nakatani , T .
Ohata , R .Tanaka : Upgrade of SPring-8 beamline
network with VLAN technology over Gigabit
Ethernet , Proc . Of ICALEPCS 2001 , San Jose ,
USA (2001)
- [3] T .Ohata et al . Secure network for beamline control ,
Nucl .Instrum .Methods 467 825 (2001)
- [4] T .Ohata et al . ,Spring-8 beamline control system ,
Nucl .Instrum .Methods 467 820 (2001)

ビームライン部門 制御グループ

(5) 情報ネットワーク

SPring-8 情報ネットチームとして以下のような SPring-8 内の JASRI , 理研 , 原研を含む OA 系ネットワークの整備・増強及び維持・管理・運用を行った。

1) ネットワーク機器整備・増強

(a) 高速化 (図 4 参照)

近年急速に多くの利用者の計算機は100Mbps以上のネットワークポートを備えて高速化して通信量が増大している。複数の通信が輻輳するとデータの衝突が起き、再送信が起これり実効的速度が低下するのでこれに備え幹線をギガビット化し基幹のルータを最新の高機能機種にした。またタンパク質結晶構造解析等で所外の研究所ともデータを共有化した研究をするため、柔軟な通信制御を取りやすい様に基幹ルータを C6500 に入れ替え高速化した。

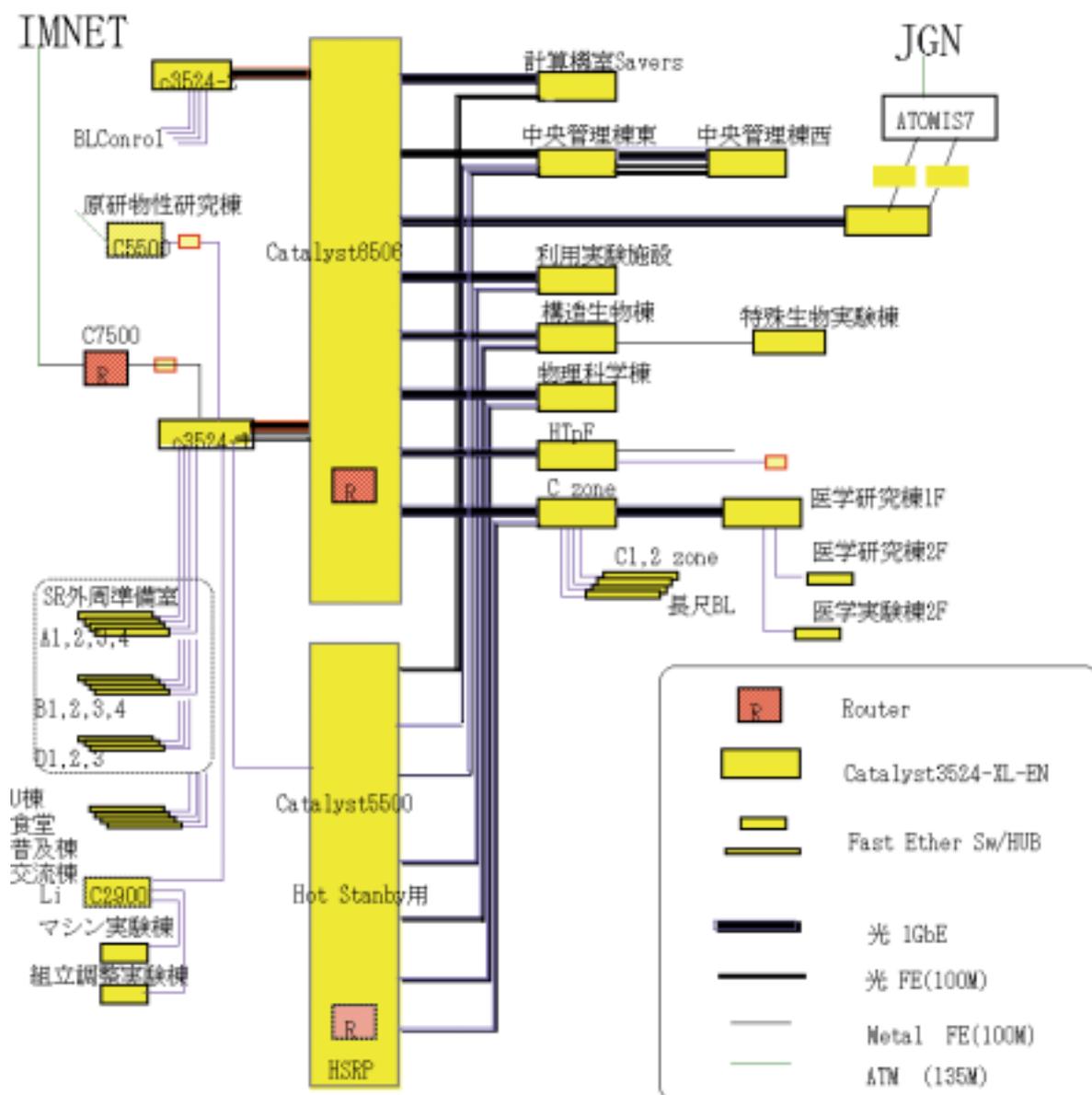


図 4 C6506 SP8 Gigabit Network System .
Hot Standby Routing Protocol を利用 : 基幹 Sw-R、幹線がダウンしても切り替わる構成をとった。

(b) 冗長化 (図4参照)

前述の幹線ギガビット化の時の旧幹線100M 光ファイバーシステムを利用した旧来の C5500をバックアップ機として利用する。これは基幹ルータ SW の故障に対して即座に自動的にバックアップ機に切り替わるシステムを構築したものである。またルータや基幹 SW の電源二重化を行っている。

(c) 光ファイバー整備

蓄積リング棟 D ゾーンの実験準備室のネットワークは一部区域が SPring-8 建設当初のものであり、10Mbps 対応の旧式配線システムでありであったため、その高速化のために光ファイバーを収納部上まで敷設し整備を行った。

2) ネットワーク機器保守・管理

(a) SPring-8 全体のネットワーク接続機器(OA系大型放射光施設に導入したネットワークスイッチ等)の保守・管理を行った。これらの設備は今や重要な通信基盤であることから、故障及び障害が発生した際の対応には即時性を要することやめ毎日24時間体制での保守契約の締結を行うこととする。また、緊急の場合に備えて、基幹装置であるネットワークスイッチ及び末端のハブ、スイッチの代替装置を準備する。

(b) ネットワーク利用者の IP 管理の強化を行うため、またデータベース統合化の一環として Notes Database System を利用したシステムを構築し、ユーザーデータの変更や、検索、管理・連絡を行いやすくした。JASRI 関係の IP の登録は約1800件、理研関係の IP 登録は約600件である。

3) 運転情報表示端末の保守・整備

2000年度に約6台が故障したので修理・交換等を行った。またCATV 運転情報表示システムはこれまで研究交流施設のみであったが、新たに SPring-8 施設全体に配信されているCATVのC15チャンネルに運転情報表示を放送する設備を設置した。

4) 研究交流施設管理棟共用 PC の管理

研究交流施設管理棟ロビーに設置されている PC 3台に対して1年間で約720件の利用があった。

5) サーバー類の運用

(a) SPring-8 代表 WWW サーバーを運用管理している。
 (b) SPring-8 内での電子メールの利用のためのメールサーバーを設置し維持・管理・整備を行っている。
 (c) SPring-8 のネットワークは蓄積リング棟各ブロック、中央管理棟及び理研・原研の各棟、その他の小さな領域のネットワークの集合体から構成されている。そこで、ネットワークを円滑に運営するために、それぞれのネットワークを管理するためのワークステーションを設置している。

6) 外部接続・JGN 接続

インターネット等外部接続として IMNET (文部科学省の省際ネット)大阪 NOC に 4 Mbps で接続しているが、このほかに BL33LEP と大阪大学間を、また、タンパク質結晶構造解析グループの HTPF 棟と横浜理研間を研究データのセキュリティを確保しつつ、兵庫県粒子線医療センターに 1 Gbps で接続し総務省の JGN 接続を利用して100Mbpsの高速で接続した。また2002年度の IMNET-SINET 統合に向けて準備研究を行っている。

7) インターネットセキュリティの維持・強化

(a) 2000年度より導入したファイアウォール装置については、新たな手口によるネットワーク侵入に常に備えるために、保守契約に基づいたソフトウェアの更新を行った。

(b) 所外からのメールに添付されて外部から侵入してくるウィルスプログラム・データをチェックし、除外するためのメールチェックシステムを導入した。

(c) 所外からの違法アクセスの可能性を検査するため、精査ソフトウェアを利用したセキュリティ検査を外部機関に依頼して実施した。2001年11月と2002年2月に所内から外部発信計算機4台に対してセキュリティ検査を行った。特に深刻なセキュリティホールは発見されなかった。

8) 講演発表の電子化利用試験

無線 LAN 等を利用し国際会議等での外来者のインターネット利用、及び、講演発表を行いやすくする為のサーバーの試験を行って次年度の本格導入に向けて研究・検討を行った。

ビームライン部門情報ネットワークチーム

武部 英樹・間山 皇・酒井 久伸