

1. 序論

高エネルギー物理学研究所の放射光施設（通称「フォトン・ファクトリー」，以下「PF」と略す）は，1982年に完成し，その後順調に運転を続け，今日に至っている。

PFは，電子を2.5GeVまで加速するライナックと，それを蓄積するストレージ・リングから成るが，このリングを周回する電子から放射されるさまざまな波長の電磁波（主として真空紫外線，X線領域），いわゆる軌道放射光を用いて物理学，化学，生物学など基礎分野のみならず，半導体素子の開発や医学などの応用面にわたる幅広い分野の実験が行なわれている。

ここでは，PFストレージ・リング（以下「PFリング」と呼ぶ）の制御システムについて，このセミナーの主旨に添って，主として計算機とその周辺部に重点を置いて紹介する。現在，PFリングでは制御用の計算機を入れ替えて，新しいシステムへの移行作業を行っている最中なので，先づ旧システムの概略とその問題点について触れた後，新システムについて述べることにする。後者については現在，構築中と

いうことで，実現している部分と計画中の未完の部分とが入り交じって述べられていることを御了解いただきたい。

2. 計算機制御の目的

2.1 制御対象としてみたPFストレージ・リング

制御システムの話をする前に，先づ制御の対象となるPFリングについてその概要を述べておくり。表2-1にPFリングの性能，諸元を掲げる。

電子ライナックで2.5 GeVまで加速された電子パルスはビーム・トランスポートを経て，1 Hzの周期でストレージ・リングに入射され蓄積される。リングは大きく分けて，電子ビームを閉軌道に保つためのマグネット系，ビームの通り道を超高真空に排気するための真空系，制動放射で失ったエネルギーを電子に補充するためのRF加速系，電子ビームの位置，強度，振動数などを測定するためのビーム・モニター系の各コンポーネントで構成され，これらがすべてうまく働いて初めてビームが蓄積される。リングの構成要素としてはこの他にも，各偏向マグネットから軌道放射光を取り出し，実験室へ導くためのビーム・チャンネル，短波長，大強度の放射光を発生させるための超伝導ウィグラーやアンジュレーターなどのインサージョン・デバイスなども含まれる。放射光の取り出し口（ビーム・ライン）は現在10本あり，各ライン2～4本のブランチを持っているので30以上の実験を同時にセットすることが可能である。

さて，PFリングの制御の概要を把握していただくため，主なコンポーネントについて制御すべき機器，点数，制御方法などをざっと見ていくことにする。

マグネット系はリング円周に沿って配置された偏向マグネットおよび集束用四極マグネットの電源（13台）の制御（ON/OFF，ステータス読み出し，電流設定）をCAMACのインプット・レジスター（16ビット），アウトプット・レジスター（16ビット），コントロール・レジスター（入出力8ビットずつ）を用いて行っている。更にこれらの電源の補正用として，あるいは垂直，水平方向のステアリング・マグネット用として，110台の3 A電源を用いているが，これらは特別に開発したコントロール・ユニット（NIM規格モジュール，通称「CU85」）により制御している。これは12ビットのADC/DAC，8ビットのTTLパラレルI/Oを持ち，RS-232Cシリアル・リンク，マルチドロップ方式で制御用計算機に接

表2-1 Principal parameters of the storage ring

Energy	2.5 GeV max. achieved 3.0 GeV
Stored current	150 mA max. achieved 250 mA
Mean radius	29.77 m
Radius of curvature	8.66 m
Critical wavelength	2.98 Å (0.5 Å at 6 T wiggler)
Emittance	horizontal $5.4\pi \times 10^{-7}$ m.rad. vertical $6.5\pi \times 10^{-8}$ m.rad.
RF frequency	500.105 MHz
Harmonic number	312
No. of cavity	4
Radiation loss	399 keV/rev. (510 keV with wiggler)
Straight section	2 long 5 m 8 medium 3.5 ~ 3.75 mm
Insertion devices	vertical wiggler 4.5 T (aimed 6 T) 60 period undulator k=1.78 ~ 0.1
SR channel	SR Exp. 8, beam diagnosis 1
Vacuum pressure	3×10^{-11} torr no beam 4×10^{-10} torr at current of 100 mA
Beam lifetime	15 hr at I=150 mA. 30 hr at 100 mA
Injection energy	2.5 GeV
Injection rate	1 Hz
Injection time	1.5 ~ 10 minutes

続されている。各モジュールは固有のアドレスをもっており、ローカル・コントロール用にマイクロプロセッサ (i8085) を内蔵し、計算機からの簡単なコマンド・ストリングでドライブできるようになっている。

マグネット系にはこの他にトランスポート・ラインのマグネット群の制御も含まれる。なお、入射用のキッカー、セプタムなどのパルス・マグネット系の制御は別系統となっている。

真空系はリングの真空チェンバーに内蔵された28台の distributed ion pump の他に、sputter ion pump と Ti-sublimation pump の対より成る55の pumping port および48台の真空ゲージが主な制御、監視対象である。イオンポンプや真空ゲージの電流測定は GPIB で、真空ゲージのスキャン、ポンプ類の ON/OFF、ゲートバルブの開閉ステータス読み出し、インターロック・ステータス(冷却水、ポンプなど)の読み出しなどは16ビット・パラレル I/O で夫々、インターフェースしている。

RF 加速系はリング2箇所に夫々、2台ずつの加速空洞があり、2台まとめて1基のクライストロンでRFパワーを供給している。大きく分けてクライストロンおよびその高圧電源部、高周波パラメータ設定部(マスター・オシレーター、フェーズ・シフター、AGC、RFスイッチ、フェーズロック・ループ、チューナー・コントロールなど)、モニター部(RFパワー、イオンポンプ電流、クライストロンの電流と真空度、チューナー・ポジション、冷却水の流量と温度などの測定)の3部より構成され、殆どすべて CAMAC モジュールにより制御されている。コントロール/モニターの点数は約450点である。

制御の主要な部分(位相、振幅、チューナー制御、重要なインターロック)はハードウェアのみでも運転できるようになっているが、計算機制御により自動立上げ、ビーム・ローディングの補正、ビームの加速・減速、真空度のモニターによるきめ細かいフィードバックなど、より安全で省力化した運転を可能にしている。

ビーム・モニター系では次のような装置でビームの諸パラメータを測定している。蛍光板モニター;ライナックからリングへのトランスポート・ラインの12箇所に出し入れ可能な蛍光板を置き、随時切り替えてモニターTVでビームの位置を観測する。ビーム電流測定;トランスポート・ラインに7台のカレント・トランスフォーマー、リング内にファスト・カレント・トランスフォーマーとDCカレント・トランスフォーマーが1台ずつある。チューン

測定;トランジェント・レコーダーで収集したビーム波形を周波数分析する。ビームロス測定;リング内の43箇所に設けたロスモニターからの信号処理。ビーム・プロファイル測定;モニター用ポートから取り出した放射光を垂直・水平方向の2列の光ダイオード・アレイで受けてその信号を処理する。COD(Closed Orbit Distortion)測定;リング・ビームダクトの45箇所に取付けたビーム位置モニター(6極ボタン型)の信号切り換えと測定。

これらのコントロール/モニターのインターフェースは、すべて GPIB である。

以上、PFリングの主なコンポーネントについて、制御の側面からそのあらましについてざっと眺めてみたが、これ以外にも運転上、欠かせない要素としてセーフティ・インターロック系がある。

これは運転中の放射線防護の目的でリング・トンネルや実験エリアの各所に設けられた遮へい扉の開閉状態のモニターや、その他安全に必要な各種インターロックのシステムで、いろいろな運転モード(ライナック単独、入射、蓄積、実験)に対応したインターロック条件の成立をハードワイヤード・ロジックでチェックしており、計算機はステータス・モニター用として使われている²⁾。

この他、ビーム・チャンネル系³⁾、超伝導ウィグラーなどの制御もあるが、これらは独立した制御系となっているのでここでは触れず、他の機会に譲ることにする。

2. 2 理想的コントロールとは?

以上見てきたようにPFリングのような大型加速器は機能も形態もさまざまな数多くの機器の複合システムであり、これらがうまく有機的に結びついて制御される必要があり、計算機を用いた systematic control が不可欠となっている。

では、計算機による制御システムを構築する場合に一般的に目標となるのはどういうことかであろうか?

(1) 運転の容易さ、確実性

一 運転に関連した多くの機器をすべて一箇所で集中的にコントロールでき、動作状態をモニターできること。

一 各機器に固有のパラメータではなく、加速器のマシン・パラメータを用いて総合的に運転できること。

一 マシン・スタディに便利な種々のユティリティを提供する。

— 得られた運転経験をソフト化し、以後、容易に利用できること。

(2) 運転の再現性

— 運転に関連した各機器のパラメーターを記録する。

— これを元にして、あるいは適当なデータを入力することによって任意の運転状態を再現できること。運転記録は故障診断、マシン・スタディにも有効に使える。

(3) 運転の安全性

— 各機器の動作状態を常にモニターし、異常発生時はその程度に応じて適当な処置を行うなり、オペレーターに知らせたりする。

— 一定常的なオペレーション・シーケンスを自動化することにより、オペレーターの介入度を減らしミス・オペレーションを防ぐ。

— 各機器の定期的保守、点検の自動化。

これらの目標を現実の制御システムに展開、具体化するにあたり、PF リングのような加速器では、運転を次の2つのモードに分けて考えた方がよい。

(1) 定常的サービス運転

ビームを使って共同利用実験を行う場合などである。質の良いビームを安定して供給することが望まれるが、なるべく自動化することによりオペレーターの負荷を軽減し、誤操作を防止する他、故障の場合の通知はもちろん、ある程度の自動復帰機能もあった方がよい。

(2) 非定常的運転

マシン・スタディやセットアップの変更の場合などである。インタラクティブなマシン操作性の向上、つまりマン・マシン・インターフェースの充実や、データベース、グラフ化ツールなどデータ管理システムの充実がクローズアップされる。

制御システムもこれらのモードに対応できるように設計されねばならない。

さて、加速器の計算機制御はすでに確立した技術であるとも言われている。確かに、計算機、機器インターフェース、マン・マシン・インターフェースなど道具立てはそろっていると書いてもよいであろう。しかし、これらを加速器の制御というまとまったシステムに統合化し組み上げるところに難しさがあり、依然として開発の余地は残っているように思われる(特にソフトウェアの面では研究すべきことが多い)。

上で述べたような理想は、まだまだ実現されていないのが現状である。PF リングでの状況はどうであろうか、次に紹介する。

3. 旧システムの概略と問題点

最初に触れたように PF リングでは最近、制御用計算機のリプレースを行い、新システムへの移行作業を進めているが、ここでは先づ、旧システムの概略と問題点について述べる⁴⁾。

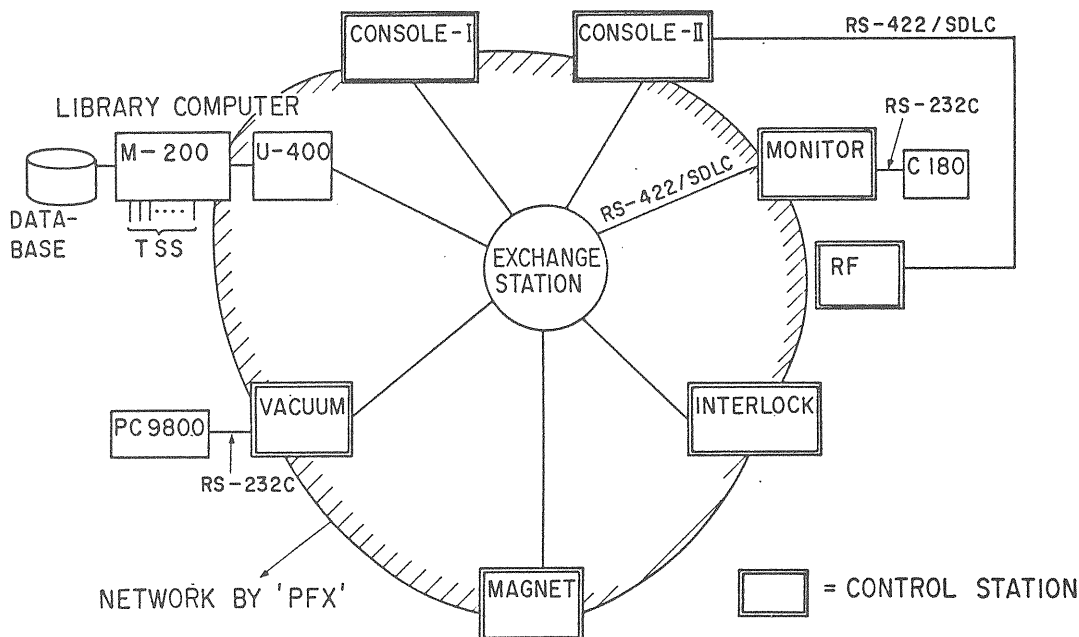


図 3-1 Layout of the computer control system of Photon Factory storage ring (old version).

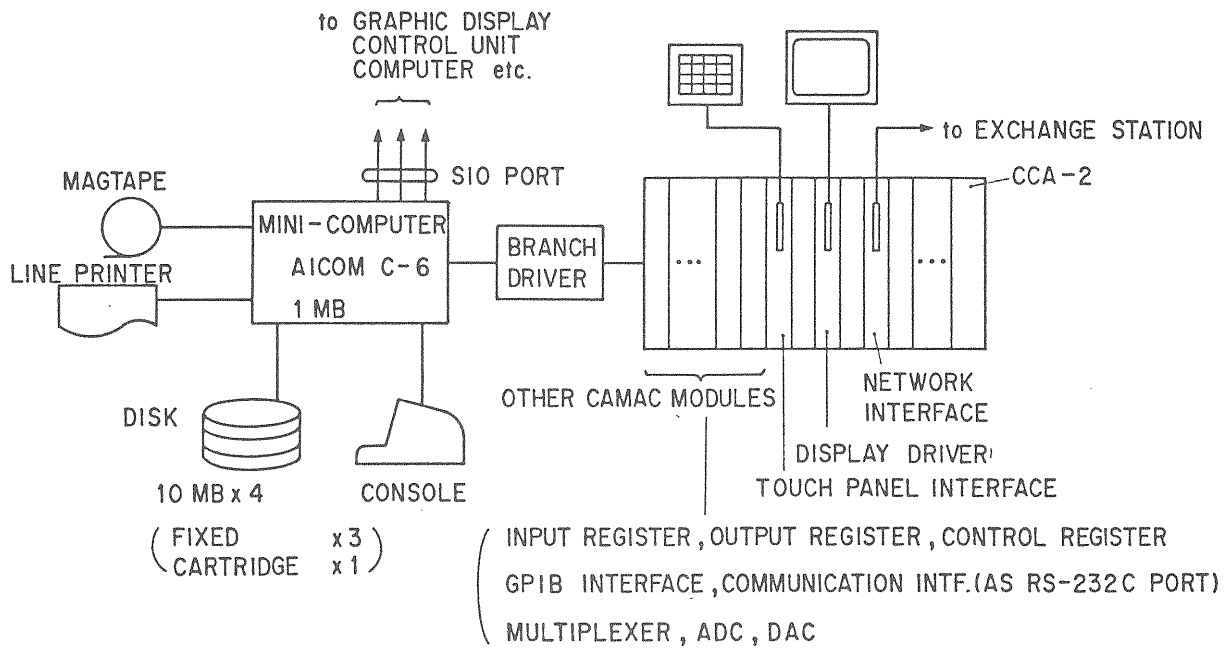


図 3-2 Typical configuration of a control station.

3.1 概略

〈システム構造〉

制御システムは7つの制御ステーションで構成されており、夫々はスター型のネットワークで結合されている(図3-1)。

通常、各ステーションはほぼ独立にマグネット系、RF系、真空系、ビーム・モニター系、インターロック系など夫々の制御、監視を行うが、必要に応じて他のステーションとプログラムの起動、プログラム間通信、ファイル転送などの通信を行うことができる。

ネットワークには制御ステーションの他に、更にライブラリとして汎用大型計算機(FACOM M-200, 6MB)がフロントエンド・プロセッサ(PANAFACOM U-400)を介して接続されており、各制御ステーションから転送されてきたデータの蓄積、検索、解析やビーム軌道の計算を行う。

〈制御ステーションのハードウェア配置〉

殆どすべての制御対象(加速器各部の機器、コンソール卓の入出力機器など)はCAMAC規格の入力/出力レジスタ、ADC、DAC、マルチプレクサー、ディスプレイ・ドライバー、タッチパネル・インターフェースなどのモジュールを通して操作される。デジタル・マルチメーター、同軸リレースイッチなど一部のGPIB規格をもつ機器はGPIB-CAMAC変換モジュールにより、やはりCAMACにインターフェースされている。

各ステーションの制御、データ処理は1台のミニ・コンピューター(AICOM C-6, 16ビット, 1MB)により行われ、これには40MBのハードディスク、ラインプリンター、ブランチ・ドライバーが標準的に装備されており、更にシステム保守用として磁気テープ装置が備えられているものもある(図3-2)。

システム・コンソールはシステムの起動、保守用に使われ、オペレーターは通常コンソール卓からタッチパネル、スイッチボードなどの機器により運転操作を行う。

〈制御ステーションのソフトウェア構造〉

ローカルなデータ処理とネットワーク処理を並列して行うため、マルチタスク、リアルタイム処理可能なオペレーティング・システムを採用している。

実記憶のうちユーザ空間は「ローカル空間」と「リモート空間」の2つの独立な部分に分けられており、その境界はシステムのスタート時に自由に設定できる(図3-3)。ローカル空間ではシステム・コンソールから起動した1個のジョブの他にシステム・コマンドを同時に4つまで実行できる。リモート空間ではネットワークを通じて他の計算機からの起動により複数個のジョブを並列処理できる(図3-3)。

CAMACのアクセスはCXC(CAMAC eXclusive Controls)と呼ばれるシステム・ソフトウェア・モジュールを通して行う。これはマルチタスク環境下での複数タスクによる同一CAMACモジュールへの同時アクセスを避けるためである。

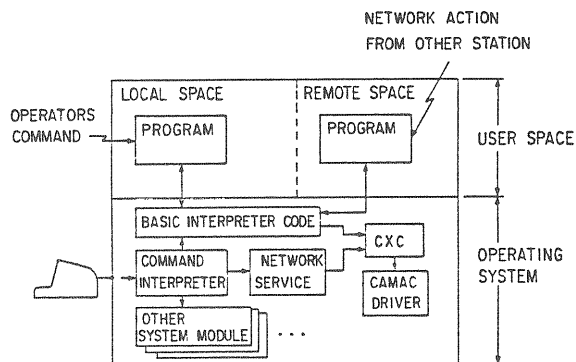


図 3-3 A schematic view of memory assignment of a control station.

プログラミング言語は独自に開発したPF-BASICと呼ばれるもので、標準的なBASICにマトリックス計算、仮想記憶アクセス、計算機間通信、種々の割り込み処理（CAMAC、クロック、ネットワーク）などの拡張機能を加えたものである。ブロック転送やストリング変換、高級レベルの入出力処理（ディスプレイ、タッチパネル、インテリジェント機器）などのユーティリティはグローバル・モジュールと呼ばれるサブルーチンの形でサポートされている。

〈ネットワーク〉

計算機間ネットワークはCAMACのインターフェース・ユニットにより実現され、これは2つのモジュールで構成されている。一つは「基本モジュール」と呼ばれ、CAMACファンクションの処理、ユニット全体の制御を行い、もう一つは「回線制御モジュール」といい、物理的回線の制御を行う。インターフェース・ユニットは送受信それぞれに2KBのバッファをもち、転送は16ビット単位である。回線はRS-422上にSDLC方式のプロトコルを採用しており、回線スピードは最大1Mbpsである。

ネットワークのソフトウェア（通信プロトコル）は3つの階層構造をもっている（図3-4）。最下層はDLC（Data Link Control）と呼ばれ、伝送線で接続された物理ノード間のリンクの管理を行う。中層部はPC（Path Control）と呼ばれ、同一伝送路上を共有する複数の会話間の論理パスの管理を行う。最上位の層はPFX（Photon Factory eXecutive）と呼ばれ、会話の手順を定めており、ユーザプログラムへのインターフェース部である。

メッセージ・パケットは44バイトの固定ヘッダ部と最大2000バイトまでの可変長テキスト部および2バイトのトレーラ部（チェックサム）より成る。

PFXにより提供される基本的な機能としてはファイル転送、相手計算機でのプログラムの起動、

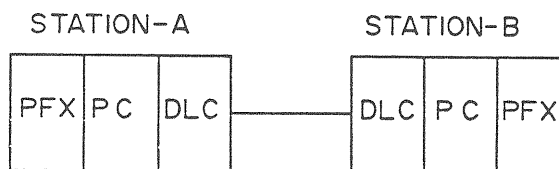


図 3-4 Three-layered structure of the network software. DLC=Data Link Control, PC=Path Control, P F X=Photon Factory Executive.

プログラム間通信などがあり、PF-BASICにより実行される。又、最初の2つはシステム・コマンドによっても実行可能である。

3.2 問題点

PFリングのネットワーク・システムにおいて、スターの中心にある交換局は（図3-1）、物理的なノード・アドレスに従ってパケットを集配するのみで、3層のプロトコル処理はすべてノード側で行われるが、専用のノード・プロセッサはなく制御計算機にとってかなりの負荷となった。

このネットワークを支えるために各計算機のオペレーティング・システムも大規模なものになり、実記憶の3分の2弱がシステム関係で占有されるため、ユーザ空間を圧迫し、ジョブの多重度はせいぜい2つにとどまり、システムやユーザ・プログラムのロードにも非常に時間がかかり、速い処理を必要とする制御には実行時間の面でも不満足であった。

制御用プログラムについて見れば、PF-BASICのグローバル・モジュールを作成する場合、高級言語で記述してコンパイルする手段が提供されていないため、すべてアセンブラでコーディングせねばならず、必要最小限なモジュールを準備するにとどまり、特に上位レベルのモジュール化ができないため、いきおい1本のプログラムが長大なものとならざるを得ず、例えばマグネット系コントロールでは3000ステップ近くに達し、ソフトウェアの維持、改善という点で困難が生じていた。

又、メモリーやディスクなどハードウェアの信頼性も充分でなく、保守の手数、費用がかかり、対策が必要になっていた。

4. 新システムについて

4.1 概要

PFリング制御においては、前節で述べたような計算機システムの問題点を克服し、より良いコントロールを実現するため、今年の4月に制御用計算機の

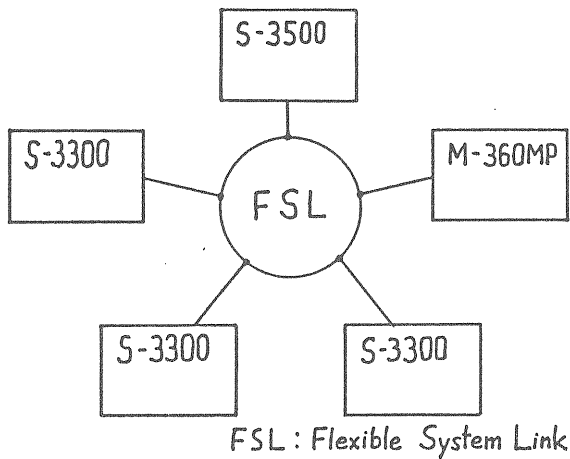


図 4-1 Physical connection diagram of the control computers of Photon Factory storage ring (new version).

全面的入れ替えを行い、現在は図 4-1 に示すようなシステム構成になっている。

旧システムから新システムへの移行に際し、検討すべき点がいくつかあった。

- (1) 現有のネットワーク・システムである PFX をどうするか？
- (2) システム構成は分散型か集中型か？
- (3) 分散型の場合、ミニコン・ネットワークかマルチマイクロプロセッサ・システムか？
- (4) プログラミング言語は？現有ソフトウェアの移行は？

(1)に関しては、新しいシステム上で PFX をそっくりそのまま構築するという方法もあったが、旧システムでの開発経緯をふり返ってみると、これには多大な労力と時間を要すること、現 PFX が機能過剰なところもあり我々の使用目的のためにはもう少し贅肉をそぎ落としてスリムでシンプルなものにしてスピードアップし使いやすくした方がいいことなどを考慮し、PFX にかわるネットワーク・システムを新たに設計することにした。

(2)については、PF リングの規模では 1 台の高性能計算機で集中的に制御することも不可能ではないが、処理のタイミングも量もさまざま異なるタスクを同時に多量に処理するためにシステム負荷が大きくなりシステム設計も複雑になること、故障時の危険性分散という点などを考えて集中型は採らなかった。

さて、(3)についてであるが、最近の大型加速器制御における世界の趨勢は mini-computer-less のマルチマイクロプロセッサ・システムを採用する傾向にある⁵⁾。これは近年、マイクロプロセッサなどの

ハードウェアの高性能化、低コスト化が進む一方、ソフトウェアの開発コストは逆に増え続けており、貴重なハードウェアをソフトで工夫に工夫を重ねて使いこなすという図式があてはまらなくなりつつあることによる。複雑なマルチタスク処理を行っていたミニコンを多数のマイクロプロセッサに置き換えれば、それぞれはシングル・タスクで比較的単純な処理をすればいいことになり、ソフトウェアの開発はぐっと容易になる。しかも、徹底してプログラムのモジュール化をはかれば、多人数で分業して大きな応用プログラムを開発するのに便利であり、出来上がったプログラムの保守、改善もやり易くなる。

PF リングで次期システムの検討が始まった時、既にこのような傾向があることは考慮していたが、マルチマイクロプロセッサ・システムを開発するのに投入できるマンパワー、時間を考えると未だ機は熟さずの感があり、しかもプロトタイプを開発した後の量産化によるメリットもそれ程は期待できなかった。マルチ・パソコンによるシステムも検討したがソフトウェアの公開、改造の問題や適当なレンタル品がないこと、又、財源も限られていることなど色々な事情により、結局ミニコン 4 台による分散システムということに落ちつき、ホスト計算機を提供しているメインフレームからミニコンもレンタルして制御用に使うことになった。これには、数年後ハードウェアが陳腐化した場合にリプレースが容易にできるというメリットがあるが、そのためにはソフトの変更は極力少なく済むように工夫しておかねばならない、ということで(4)の問題となる。

PF リングの制御ではこれまでは一部を除いて PF-BASIC をプログラミング言語として使ってきたが、インタプリタ言語はコンパイル言語に比べてモジュール化しにくく、スピードも遅いという難点がある。今回は将来のシステムアップにも備えてできるだけ一般的な言語で、ということで FORTRAN77 を採用した。I/O 処理、ネットワーク処理などもすべてユーザレベルでは FORTRAN で扱えるようになってきている。ただ、インタプリタのようにデバッグ時に一行ずつの実行結果を即座に見るわけには行かないという弱点もあるが、TESTFORT のようなインタラクティブ・デバッガを活用してできるだけ補いたいと考えている。

プログラムは規格を統一したモジュール（サブルーチン、ファンクション形式）を下位は機器のアクセスから、上位は制御のフロー処理まで階層的に積み上げて作る方式をとる。各モジュールには機能、

表 4-1 新旧計算機の性能比較

		旧システム	新システム	
		AICOM C-6	FACOM S-3500	FACOM S-3300
計 算 機		7	1	3
台 数		7	1	3
主 記 憶 *		1 MB	16MB	8 MB
演算速度	浮動小数点加減算	27 μ s	0.36 μ s	0.99 μ s
	浮動小数点乗算	135 μ s	0.48 μ s	1.08 μ s
ディスク容量 *		40 MB	826 MB	628 MB

(* 計算機 1 台あたり)

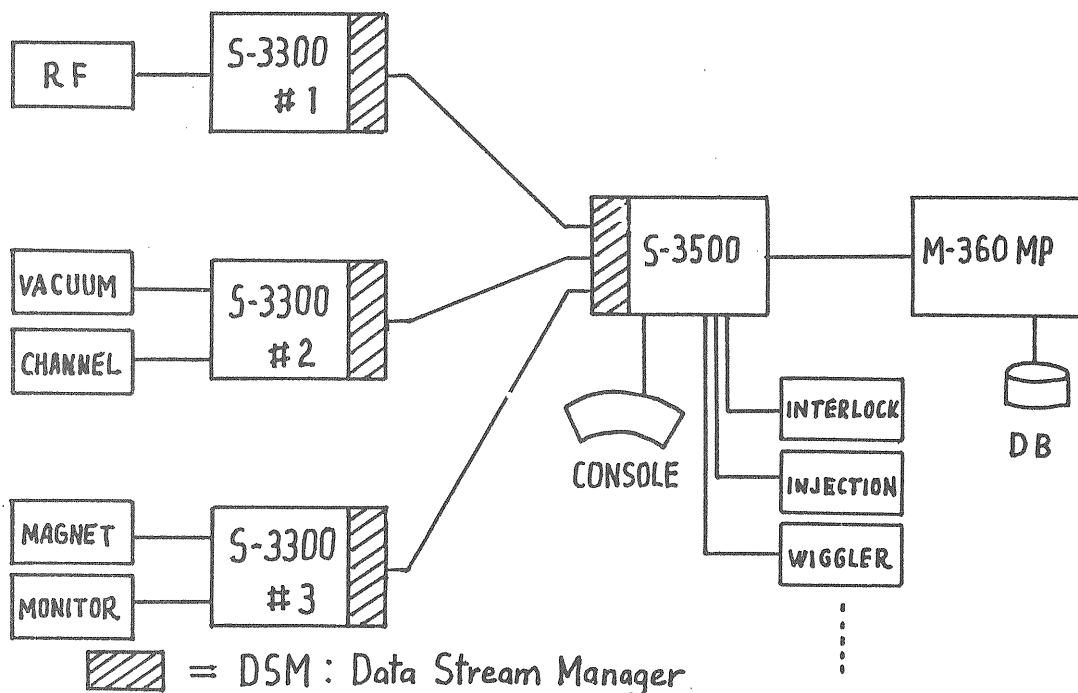


図 4-2 Logical structure of the computer control system of Photon Factory storage ring

使用方法、入出力仕様、使用する他のモジュールなどを記述した specification を必ず用意する。又、一つ一つのモジュールの機能はできるだけ単純にし、ソース・コードもリスト 1 ページ程度にとどめるようにすることなどを作成時の原則とした。

<新旧計算機の比較>

表 4-1 に新旧計算機の能力の比較を示す。

台数まで含めて総合的に評価すると計算処理能力で約 30 倍、メモリー容量で約 6 倍、ディスク容量で約 10 倍となり、あり余る能力と言えなくもない。

しかし、そう手放しで喜んでばかりはいられないのである。1 台でいくつかの種類の異なるプロセスを同時処理する必要があるため、リアルタイムなマルチ・タスク・システムにするという点は旧システムと同じであり、しかも 1 台あたりの処理能力は向上

したが台数は減ったことによりタスクの多重度が大きくなるなどの問題が予想され、今後の課題として残っている。又、計算機が高性能になればそれだけ、システム・ソフトウェアがメモリーやディスクをかなり食うという事情があり、これらの増加が単純にユーザ領域の増加分に正比例では結びついてこないということも念頭に置かねばならない。

<新システムの論理構成>

新システムの物理的な全体構成については既に図 4-1 に示したが、次にこれをどのような論理構成で使うのかという点について述べる。図 4-2 にその模式図を示す。

ネットワークの構成上、原理的にはどの計算機間でもコミュニケーションは可能であるが、リアルタイム制御においては、S-3500 をその中核とし、こ

れと各計算機間で通信を行うというスキームにした。各S-3300ではストレージ・リングの各コンポーネントに対応した1~2個のプロセスを殆んどローカルに閉じて処理するが、マン・マシン・インターフェースとしてのコンソールの機能はすべてS-3500で受け持つようになっている。オペレーターからの入力はネットワークを通じて各S-3300の関係タスクへ送られ、処理結果などは再びネットワークを通じてS-3500へ送り返してCRTなどにディスプレイするという仕組みである。こうすることによって、柔軟性に富んだ汎用的コンソールを組み立てることが可能となる。又、運転ログとして保存すべきデータもS-3500経由でホスト計算機のM-360MP(24MB)に送られ蓄積される。又、ホスト計算機ではCODの補正などミニコンでは処理しきれないような大型数値計算も受け持ち、結果をS-3500へ送り返す。なお、S-3500はコンソール機能、データ中枢機能の処理の他、S-3300に入りきれないいくつかの制御プロセスの処理も行う。

以上のようなスキームではネットワークの使いやすさ、スピードが一つのキーポイントになってくるが、これについては節を改めて述べる。

各計算機につながる機器のインターフェースはCAMAC, GPIB, RS-232Cなどを旧システムからそのまま引き継ぐことになるが、その使用法(ソフトウェア)はかなり変わることになる。これについても後程、述べる。

4.2 リアルタイム・システム

新システムではFORTRANでプログラミングすると述べたが、でき上がった応用プログラムは、そのまま、制御用に動かせるわけではない。これをリアルタイム・システムに組み込んで、制御の流れに応じて装置からのさまざまな割り込みを処理して、必要なタスクを起動したり、優先処理、並行処理などタスク間の交通整理をしたりせねばならない。このためにRCL(Real time Control Language)という言語を用いてリアルタイム・システム(RTS; Real

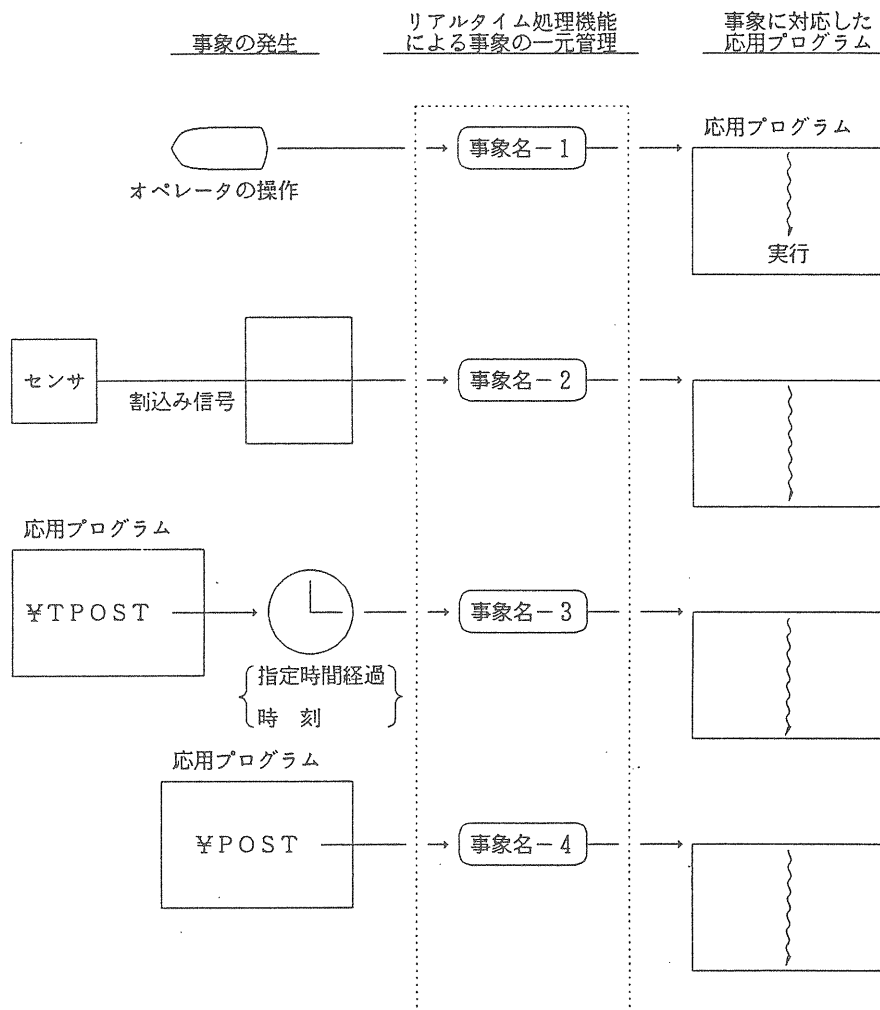


図4-3 リアルタイム処理における事象と応用プログラムの実行

表 4-2 リアルタイム・システムにおけるユーザ空間のリージョン特性

リージョンの名称	特 性
スーパーリージョン	<ul style="list-style-type: none"> ・実記憶常駐のリージョンである。 ・このリージョンは、システムに一つあり、このリージョンに配置されたタスクは、その他のリージョンのタスクよりも優先して実行される。また、このリージョンから発せられた入出力処理も、その他のリージョンより優先される。 ・ハンドラは、このリージョンに配置する。
リアルリージョン	<ul style="list-style-type: none"> ・実記憶常駐のリージョンである。 ・このリージョンに配置されたタスクは、リージョンに与えられた優先順位と、リージョン内のタスク優先順位とにより、実行制御される。
バーチャルリージョン	<ul style="list-style-type: none"> ・ページング制御を受けるリージョンである。 ・このリージョンに配置されたタスクは、リージョンに与えられた優先順位と、リージョン内のタスク優先順位とにより、実行制御されるが、実記憶常駐ではないため、プログラム実行中にも、ページングにより、実行権を放棄することがある。

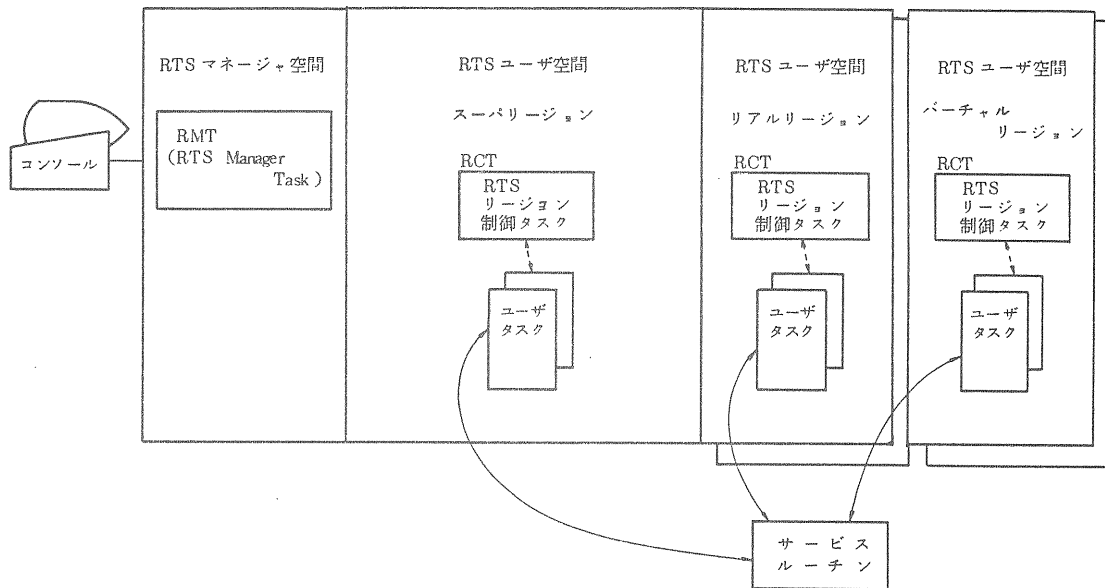


図 4-4 リアルタイムシステムの構成

表 4-3 リアルタイム・システムにおけるプロセスの諸元

項 目	仕 様
プロセスの数	RTSの下で同時に動作できるプロセスは最大16。
プロセス内のリージョン	各プロセスごとに、 <ul style="list-style-type: none"> ・スーパーリージョン ・リアルリージョン ・バーチャルリージョン を設けられる。スーパーリージョンは、実際にはシステムに一つであり、複数のプロセスから共有される。
リージョン内の 実行単位	スーパーリージョン ハンドラ：割り込み点の数だけ。 タスク：全プロセスで最大200。
	リアルリージョン タスク：各プロセスごとに最大200。
	バーチャルリージョン タスク：各プロセスごとに最大200。

Time System) の構成を記述することができる。

RCLではタスクの優先順位の定義などを行う他、外部機器からの割り込みや、時間割り込み、タスクの起動要求 (POST) などを「事象」として一元管理しており、タスクとの関係づけが容易に行えるようになっている (図 4-3)。

リアルタイム処理では独立性の高い部分をまとめ

て「プロセス」という単位で管理しており、システム内で最大16個までのプロセスを動作させることができる。各プロセスには表 4-2 に示すような3種類のユーザ空間が割り当てられ (図 4-4)、夫々の空間に最大200個までのタスクを置くことができる (表 4-3)。

各プロセスの各タスクから共通に参照、書き込み

のできるデータ領域として RTS 共通ブロックが用意されており、タスク間のデータの受け渡しなどに使える。これは応用プログラムレベルでは FORTRAN の名前付コモン・ブロックとして扱われる。なお、複数のタスクに対してリアルタイム処理環境をシミュレートするリアルタイム・テスト機能があり、タスク同志やタスクと事象間の同期関係の整合性などをインタラクティブに検査することができる。

4.3 入出力制御

PF リングの制御の場合、2.1 節で見たように対象となる機器は実にさまざまであるが、その計算機へのインターフェースは CAMAC, GPIB それに RS-232C などのシリアル・リンク (以下「SIO」と略) の 3 種類にほぼ限られる。コントロール室のコンソール卓のディスプレイ、タッチパネル、スイッチボードなども基本的にはこれらのインターフェースで動作している。

この節ではこれらのインターフェースに対する入出力動作について特にソフトウェアの面について述べる。一般的に入出力といった場合、ファイルやプリンターに対するものも含まれるがここでは取り上げない。

新システムの制御用計算機 (S-3000 シリーズ) では CAMAC (Branch driver, Serial driver) GPIB, SIO は C-バスと呼ばれるシステム・バス (最大転送速度 1.5 MB/s) に結合されており、これらに対する統一的な入出力サービス・ルーチン (HIOS ; Input Output Service Routine for High Level Language) が用意されている。これは FORTRAN から呼び出され、C-バス配下の機器に対する入出力を完了復帰 (同期式) あるいは即時復帰 (非同期式) にて実行するものである。更にこの HIOS を集約して各インターフェース固有の手順をある程度吸収し、視認性を高め使い易くしたものとして、前述の 3 種のインターフェースに対して夫々、CAMPER/SR, GPIB/SR, SIO/SR と呼ぶサービス・ルーチンを開発し、応用プログラムからは殆どの場合これらを使えばすむようになっている。GPIB/SR, SIO/SR では使用機器によりさまざまに異なるコード系に対応できるようコード変換機能もサポートしている。

CAMAC の LAM など各機器からの割り込みは前節で述べた RTS の事象と結びつけることにより処理することができる。

4.4 ネットワーク

新システムでの計算機間通信は FSL (Flexible System Link) と呼ばれるトークン・リング型のネットワークにより行われる。表 4-4 に FSL の基本仕様を示す。

FORTRAN, PL/I などの高級言語レベルでプログラム間通信を実現するために IPCF (Inter Program Communication Facility) というサービス・ルーチンが用意されている。これにより自システム (ここでは独立した単一計算機システムを指す) 内のプログラム間はもちろん、他システムのプログラムとも FSL を介して全く同一の仕様で通信が行えるようになっており、又、リアルタイム処理とインタラクティブ処理など異なる動作環境下にあるプログラム間の通信も可能である。

更に PF リングでは、我々の制御システムの通信形態に合わせて、プログラム間通信やネットワーク機能をより使い易くするため、IPCF より一階層上のレベルに DSM (Data Stream Manager) と呼ばれるユーティリティを準備している。DSM では図 4-5 に示すようなツリー型のルーティング構造に従い、通信データ入出力ポートを経由して自他シス

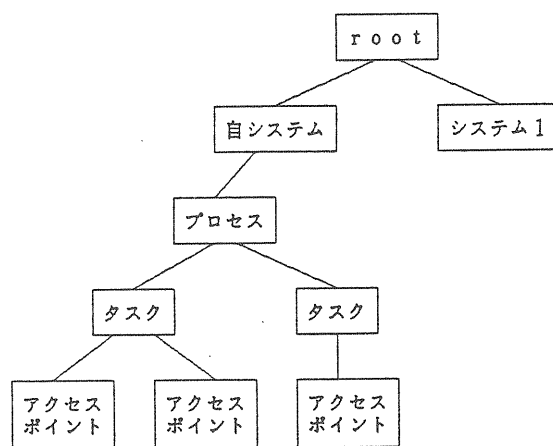


図 4-5 DSM のルーティング構造

表 4-4 FSL (ネットワーク) の基本仕様

通信形態	N 対 N
ネットワーク形態	二重化リング構成
伝送速度	10Mbps
伝送方式	トークンパッシング方式
伝送距離	最大 192 km/リング
使用ケーブル	光ファイバーケーブル
接続ノード数	最大 64 台
接続プロセッサ数	最大 256 台

テムを問わず任意のタスク間でやり取りができる。アクセスポイントから送信したデータは宛先として指定されているアクセスポイントのすべてに伝送される(同報型)。一方、受信用アクセスポイントは受信したデータを先着順に取り出せる逐次型と最新のものを保持している更新型の2種類に分けられる。データ伝送方法の原理を宛先が自システム内の場合と他システムの場合にわけて図4-6に示す。

FSLネットワーク上では上に述べたDSM/IPC-Fの他にシステム間ファイル転送や自端末から他システム(S-3000シリーズ, M-360MP)へのログオン機能, ホスト計算機のリモート・ジョブ・エントリー機能もサポートされている。

4.5 データ管理

加速器の運転に伴って管理すべきデータは大まかにいって、各機器をコントロールするために設定するパラメーター類と、それらの機器から上ってくるステータス、測定値などのデータの2種類に分けられる。ここでは、主として後者について述べる。

各種データを運転ログとして蓄積し、必要に応じ

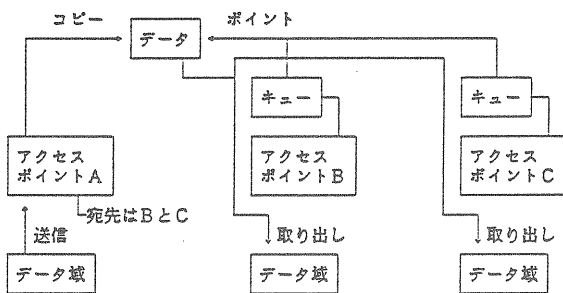
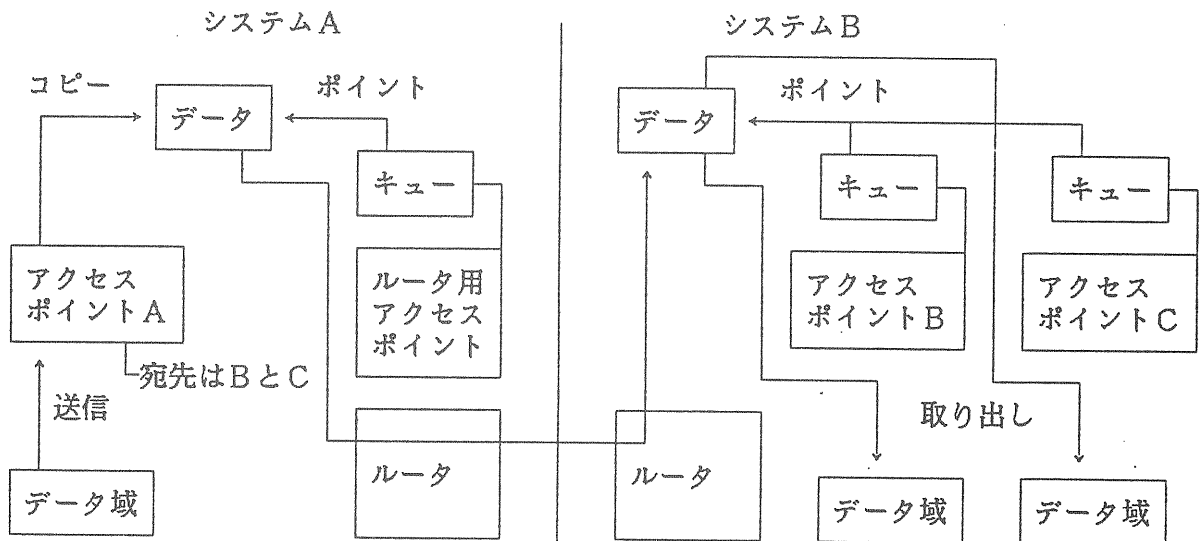


図4-6 DSMにおけるデータの伝送方法
a) 宛先が自システムの場合



b) 宛先が他システムの場合

て取り出して使う場合、PFリングの制御システムでは、RF系、マグネット系、真空系など各セッション毎にデータの量、フォーマット、レートがさまざまに異なっており、既存のデータベース構造にそのままでは当てはめにくいという事情がある。そこで、新システムではいろいろなデータ管理方式を検討しているが、その例を次に示す。

先づ、システムで統一的に扱うすべてのデータに対し表4-5に示すような項目より成るデータ定義テーブル(DDT; Data Definition Table)をつくる。これはデータを検索してグラフィック・プロットをつくる場合や、surveillance taskで測定データの異常をチェックする場合に有用である。各機器から送られて来るデータは、図4-7に示すようなフォーマットに整え、ホスト計算機へ転送しストアする。データ・ブロックはヘッダー部とデータ部に分かれ、ヘッダー部は固定長、固定形式であるが、データ部は長さ、形式とも自由である。ヘッダー部に含

表4-5 データ定義テーブル

項目名	内 容
DATAID	データ識別番号
NAME	データ名
DEPTH	データ奥行
A/D	データ種別(アナログ/デジタル)
MIN	とりうる最小値
MAX	とりうる最大値
LWL	下限警戒値
HWL	上限警戒値

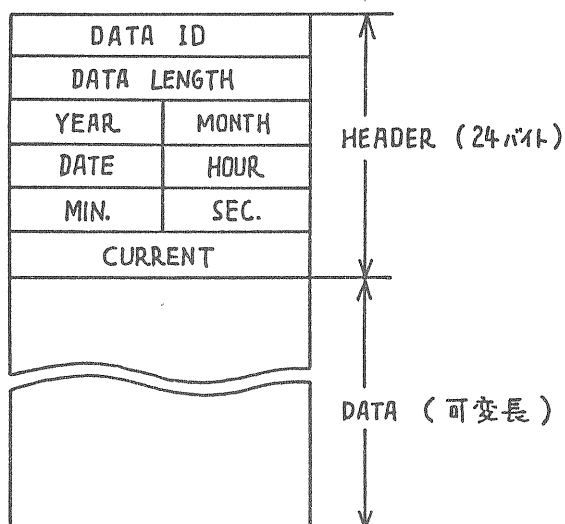


図4-7 運転ログ・データのフォーマット

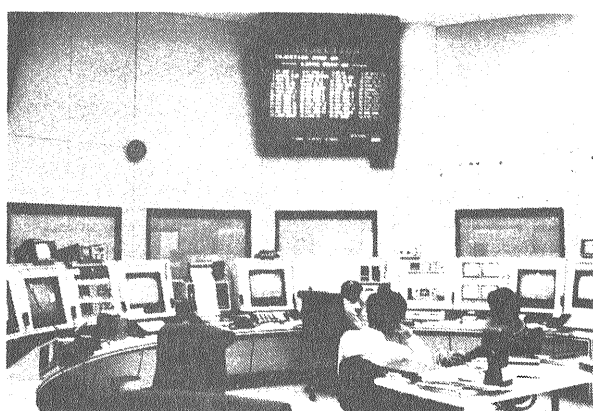


図4-8 PFストレージリングのコントロール室

まれている情報をもとにデータの検索、読み出しができる。

データはテンポラリ・ファイルに追加する形で書き加えられてゆき、適当なサイズとなったところでパーマネント・ファイルに移される。このとき後の検索に便利のように、そのファイルに含まれるデータの情報をインデックス・ファイルに作っておく。

ホスト計算機の TSS 端末から IDPS (Interactive Data Processing Service) と呼ばれるツールを用いて、インデックス・ファイルやデータに含まれたヘッダーを手がかりにログ・データを検索し、その解析、グラフィック・プロットなどが行える。

以上の方式は旧システムの P F X ネットワーク上でも部分的に開発しテストを行っている。

4.6 オペレーター・コンソール

現在の PF リング・コントロール室のようすを図4-8に示す。マグネット系、ビーム・モニター系など各セクション毎に dedicate されたコンソール配置となっており、統一性、柔軟性に乏しい構成となっ

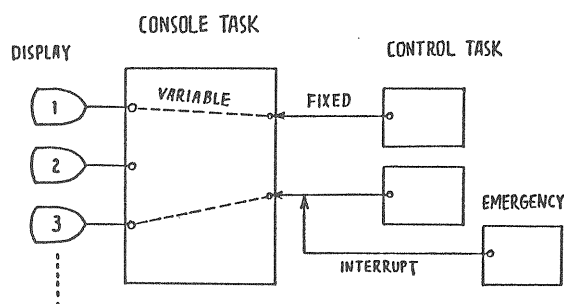


図4-9 コンソールのディスプレイ・ルーティング機能

ている。これはシステム構築上の問題の他、計算機ネットワークが当初の予定通りには性能を出しきれなかった事にもよる。

新システムでは計算機およびネットワークの性能が向上することを考慮に入れ、オペレーター・コンソールを次のように改良する予定である。

新コンソールは、ディスプレイ装置2台、タッチパネル1台をまとめて基本ユニットとし、これを数ユニット並べたものにする。各ユニットにはタッチパネルと相補的に使えるマウスやロータリー・エンコーダ(ノブ)などを適宜加えてもよい。各ユニットは汎用コンソール機器として、ストレージ・リングの何れの部分のコントロールにも使え、その割り当てでも自由に変更できるようになっている。このため、すべてのコンソールの入出力機器は単一の計算機(S-3500)で制御され、他の計算機とネットワークを介してデータやコマンドのやり取りを行う。例えばデータをディスプレイする場合、データは夫々の制御タスクから固定したルートを経てコンソール・タスクへ送られ、そこでどの装置にディスプレイするか決められる(図4-9)。

グラフィック・ディスプレイのうち何台かはマイコン(FACOM 9450-II)を用い、GPIBでコンソール用計算機に接続しているが、応用プログラムからはDSS(Display Service System)というユーティリティを用いることにより、煩雑なグラフィック・ルーチンやGPIBによる転送ルーチンを操作することなしに、基本的なグラフ類(棒グラフ、折れ線グラフ、二次元プロットなど)は簡単に描けるようになっている。

5. 将来の展望(結びにかえて)

これまでのPFリングの制御システムはRF系やマグネット系など各セクションの個別的制御の役目は果たしていたものの、総合的システムとして見た

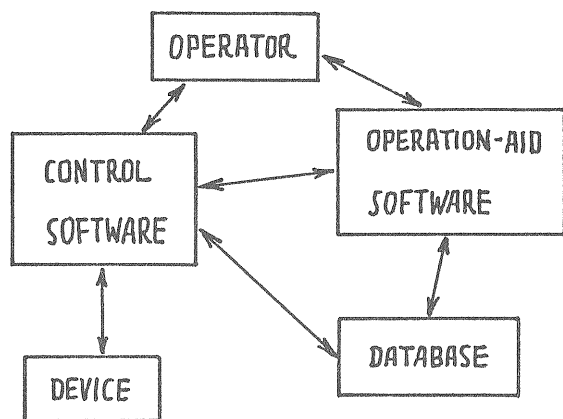


図5 加速器制御における AI の応用

場合、統一性に欠け、不満足な点があったが、制御用計算機の入れ替えとともに準備している新たなシステム・アーキテクチャが実現すれば、理想的な制御システムに一步近づけるものと信じている。4月に新しい計算機が搬入され、現在は過渡期ということで旧システムが部分的に残り、新システムも個別の運用にとどまっているが、この秋からはネットワーク・システムも動き出し、総合的システムの構築を始める予定である。

ところで、ここ数年はさておき、もう少し先の将来、PFRリングも含めて加速器の制御システムはどうなっているであろうか？ 4.1節で触れたマルチ・マイクロプロセッサ化が隆盛になっているのは、ほぼ確実であろう。それ以外にも何か新しいものが取り入れられている可能性はないのであろうか？ 加速器制御が基本的には既存の有用な道具や手段を組み合わせ、まとまった制御システムをつくりあげる「システム工学」であるという観点に立つなら、全く原理的に新しいものの出現を期待するのは少々、困難かも知れない。

この拙稿を締めくくるにあたり最後に少し、「夢物語」のようなことを書くことをお許しいただきたい。最近、「人工知能」、「知識工学」といった言葉が計算機分野のみならず一般のマスコミでも、もてはやされているようである。中身の割に言葉が先行している感もあるが、それでも応用は徐々に開けているようで(例えば、エキスパート・システムによる医療診断など)、将来はこれを加速器制御にも使えないだろうかといった話もある。各種の運転経験、マシンの状態評価、故障の診断法や対策などを AI (Artificial Intelligence) 応用プログラムに入力して、自動運転、故障診断、マシン・スタディなどに役立つのである。この場合、知識やデータの入出力には自然言語(あるいはそれに近いもの)による対

話形式でこれを処理することになろう。又、AIプログラムは制御プログラムからは独立したソフトウェアであるが、両者は図5に示すように weak couple して運転中に制御プログラムから直接、データ入力を行ったり、AIプログラムから判断結果などをフィードバックできるようにする。

AI分野の研究、開発が進み応用技術が進歩すれば、このような話もあながち夢ではなくなるかも知れない。

最後に、本稿をまとめるにあたり、いろいろと御助力をいただいた高エネルギー物理学研究所放射施設光源研究系のスタッフの方々、特に制御グループの柴田進吉、五十嵐務、三科淳の各氏に深く感謝いたします。又、一部の図面の転載にあたり、ファコム・ハイタック株式会社の御協力をいただきました。

文 献

- 1) Photon Factory Activity Report 1983/84, KEK.
- 2) T. Igarashi, Proc. of the 5th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tsukuba (1984), 344.
- 3) N. Kanaya, S. Sato and T. Koide, *ibid.*, 350.
- 4) C. O. Pak, T. Igarashi, N. Kajiura, A. Mishina and S. Shibata, *ibid.*, 347.
- 5) J. Altaber, M. C. Crowley-Milling, P. G. Innocenti and R. Rausch, CERN SPS/83-14 (ACC).