

JAERI-Tech  
99-037



JP9950386



JRR-4 運転支援システムの開発

1999 年 3 月

高橋博樹・山本和喜・頼経 勉  
新井信義・美留町隆

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

**This report is issued irregularly.**

**Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.**

**© Japan Atomic Energy Research Institute, 1999**

編集兼発行 日本原子力研究所

## J R R - 4 運転支援システムの開発

日本原子力研究所東海研究所エネルギーシステム研究部

高橋 博樹・山本 和喜<sup>+</sup>・頼経 勉

新井 信義<sup>+</sup>・美留町 隆<sup>+</sup>

(1999年3月11日受理)

J R R - 4は熱出力3500kW、軽水減速及び冷却、黒鉛反射のプール型研究炉である。1996年2月、高濃縮燃料から低濃縮燃料への炉心改造作業が始まり、1998年5月に全作業行程を終了した。この改造工事の一環として、計測制御システムと主制御盤等の更新を行ない、それにあわせて新たに運転支援システムを設計・製作した。本報告書は、開発したJ R R - 4運転支援システムの構成・特徴についてまとめたものである。

運転支援システムは、運転員の負荷軽減・誤操作防止、利用者への適切な運転データ提供を目的として開発した。システムは、主にワークステーション (WS)、プロセス計算機 ( $\mu$ XL) とパーソナルコンピュータ (PC ; DOS/V) の計3台で構成されている。WSはデータ収集・保管に、 $\mu$ XLは冷却系の監視・制御に、そしてPCは運転支援に用いる。また、アプリケーションプログラムは、運転員からの要求、新しい運転モードなどに柔軟に対応できるように設計・製作した。これにより、運転に対応した監視画面の提供、運転データの保管などが容易に行えるようになった。さらに、一部運転操作の自動化も実現できた。

Development of JRR-4 Operation Support System

Hiroki TAKAHASHI, Kazuyoshi YAMAMOTO<sup>+</sup>, Tsutomu YORITSUNE ,  
Nobuyoshi ARAI<sup>+</sup> and Takashi BIRUMACHI<sup>+</sup>

Department of Nuclear Energy System  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 11, 1999)

The Japan Research Reactor No.4 (JRR-4) is a light water moderated and cooled, graphite reflected, pool-type reactor with the thermal output of 3500kW. In February 1996, a work on core modification from high-enriched fuels to low-enriched ones was started and the work on modification was completed in May 1998. As a part of the work, Operation Support System (OSS) was adopted for the purpose of reducing load of operator, preventing operator's error and supplying operation data to users.

In this paper, JRR-4 Operation Support System's configuration, characteristics and development process are described.

OSS consists mainly of a workstation (WS),  $\mu$ XL and Personal Computer (PC). WS is used for collection of operation data.  $\mu$ XL is used for cooling system control and PC is used for operators' support. All of the program applications used in WS,  $\mu$ XL and PC are designed to make sure of high flexibility for the demands on modification from operators and new operation modes.

The result of adopting this system, the consolidation monitoring, automation of part of reactor operation and data management were realized. In addition, the cooling control system was compacted.

Keywords: Operation Support System, JRR-4, Workstation,  $\mu$ XL, Personal Computer, Automation, Consolidation Monitoring, Data Management, Digital Control System

---

<sup>+</sup>Department of Research Reactor

## 目 次

1. はじめに	1
2. 運転支援システムの設計	2
2.1 ハードウェア設計方針	2
2.2 ソフトウェア設計方針	2
2.3 ハードウェア及びソフトウェアの選定	3
3. 運転支援システムの構成	4
4. 冷却系の監視・制御	5
4.1 プロセス計算機 $\mu$ XL	5
4.2 データ処理	6
4.3 データ表示	8
4.4 出力データ	9
4.5 自動運転（冷却計測制御系）	10
4.6 人的誤操作の防止	11
4.7 $\mu$ XL 制御／手動制御	12
5. データ収集・処理・保存	14
5.1 データ処理用WS	14
5.2 データ収集・処理・保存	14
6. 運転支援のためのデータ表示	16
6.1 データ表示用PC	16
6.2 データ表示	16
6.3 運転記録票	18
6.4 原子炉出力表示	18
7. システム異常時の対応	19
8. まとめ	20
謝辞	21

## Contents

1. Introduction	1
2. Design of Operation Support System	2
2.1 Design Principle of Hardware	2
2.2 Design Principle of Software	2
2.3 Selection of Hardware and Software	3
3 Configuration of Operation Support System	4
4 Cooling System Control and Monitoring	5
4.1 Process Computer $\mu$ XL	5
4.2 Data Processing	6
4.3 Data Display	8
4.4 Output Data	9
4.5 Automatic Operation (Cooling Control System)	10
4.6 Prevention of the Human Error	11
4.7 $\mu$ XL Control / Manual Control	12
5 Data Collection, Processing and Saving	14
5.1 WS for Data Process	14
5.2 Data Collection, Processing and Saving	14
6 Data Display	16
6.1 PC for Data Display	16
6.2 Data Display	16
6.3 Operation Record List	18
6.4 Reactor Power Indicator	18
7 Management to Abnormal State of System	19
8 Conclusion	20
Acknowledgments	21

## 1. はじめに

JRR-4の低濃縮燃料（LEU）化改造計画にあわせて計測制御系統施設の更新を実施した。更新の主目的は、安全設計の見直しによる改造と老朽化対策によるものであり、実際の更新作業は1996年度から1998年度に行われた。

その更新の一環として、運転員の負荷の軽減、運転員の操作ミスの防止、利用者への適切な運転データの提供を目的に、新たに運転支援システムを計測制御系統施設に導入した。運転支援システムは3台のコンピュータを中心に構成した。3台のコンピュータは、それぞれが異なる役割を持つ。その役割に適したコンピュータとして、ワークステーション（WS）、工業用計算機（ $\mu$ XL）とパーソナルコンピュータ（PC；DOS/V）を用いた。

それぞれのコンピュータは単独で動作しており、それぞれのコンピュータが他のコンピュータに及ぼす影響は少ない。一方、すべてのコンピュータはイーサネットによるLAN通信によりデータ共有が可能である。

さらに冷却制御系については、工業用計算機によりデジタル・コントロール・システム（DCS）を実現した。それにより冷却計測制御系のコンパクト化を図った。

本報告書では、開発した運転支援システムの構成と特長を3台のコンピュータの動作を含めて述べる。

## 2. 運転支援システムの設計

新たに設置する運転支援システムの目的は、運転員の負荷の軽減、運転員の操作ミスの防止、利用者への適切な運転データの提供である。そして、本システムはあくまでも支援を目的としており、JRR-4の運転において補助的なシステムという位置づけのもとに開発を行う。このことを踏まえて、システムの設計にあたり、ハードウェア及びソフトウェアの設計方針を以下のよう

### 2.1 ハードウェア設計方針

- (1) 運転支援システムに用いるコンピュータ等のハードウェアは産業界や研究機関などで使用実績があり、信頼性が高く、さらに拡張性の高いものを用いる。
- (2) ハードウェアは、アップグレードなどが容易に行えるように、市販のものを用いる。
- (3) 本システムでは冷却系計測制御、中性子計測系信号の監視を行う。従って、それぞれの系統動作に適したコンピュータを用いて構成し、可能な限りそれぞれが単独で動作できるようにする。
- (4) 冷却系計測制御に用いるコンピュータは、デジタル・コントロール・システム(DCS)を実現できるものを使用する。
- (5) 中性子計測系信号データを扱うコンピュータなどは、処理速度が速く、さらに耐ノイズ性に優れているものを使用する。
- (6) データ共有及びサービスが可能なように、コンピュータはLAN接続できるものを使用する。
- (7) 運転支援システムに使用するハードウェア及びソフトウェアなどが、誤動作を起こしたり動作不能になった場合でも、原子炉の運転が問題なく行えるようにする。
- (8) 原子炉の反応度制御には直接用いない。

### 2.2 ソフトウェア設計方針

- (1) ハードウェアで動作するアプリケーションソフトは、運転員の要求に応じて運転支援が出来るように、JRR-4で独自に開発を行う。
- (2) 運転支援システムの表示画面は、運転員マンマシン要求を十分取り入れて設計する。
- (3) アプリケーションの開発に用いる言語は、後の改良などが容易に行えるような、一般コンピュータ言語を用いる。
- (4) コンピュータのオペレーティング・システム(OS)、アプリケーションの開発に用いるソフトウェアは、アップグレードなどが容易に行える市販のソフトウェアを用いる。
- (5) 中性子計測系信号データを扱うアプリケーションは高速処理を実現する。



### 2.3 ハードウェア及びソフトウェアの選定

以上のような設計方針より、以下のハードウェア及びソフトウェアを選定した。

・ハードウェア

ワークステーション：HP 9000-745i (HEWLETT PACKARD)

VXI計測バス (HEWLETT PACKARD)

μXL及びRLバス (横河電機)

パーソナルコンピュータ：DOS/V互換機 (akia)

イーサネット (LAN) 及びRS-485

・ソフトウェア

OS (WS用)：UNIX

OS (PC用)：WindowsNT (Microsoft)

C言語 (UNIX用)：ANSI

SICL (HEWLETT PACKARD)

BASIC：μXL用 (横河電機)

Visual BASIC (Microsoft)

MS Excel (Microsoft)

NFS (Network File System) 及びFTP (File Transfer Protocol)

### 3. 運転支援システムの構成

運転支援システムでは、図1に示す計測制御系統施設の各種データを処理し、監視データの表示・管理を行い、運転を支援している。さらに冷却系においては監視・制御も行う。

システムは主にワークステーション (WS)、工業用プロセス計算機 ( $\mu$ XL) とパーソナルコンピュータ (PC) の3台のコンピュータで構成され、そのハードウェアは全て制御室に設置している。図2に示すように、PCと $\mu$ XLは制御卓に設置し、それぞれCRT1、CRT2として動作している。また、WSは安全保護系盤の横に設置している。

システム構成を図3に示す。 $\mu$ XLは工業用制御コンピュータで、主に冷却計測制御系の監視・制御を行う。RLバスを通して主に冷却系などのデータ収集する。またポンプやファンの起動停止信号、弁の開閉信号などのデジタル操作信号を出力する。

WSは中性子計測系信号などのデータ収集を行う。データはVXIバスを通して収集する。WSに入力される中性子計測系信号などのデータと、 $\mu$ XLから送られてくる冷却系のデータを1つのファイルにまとめ、全データの管理を行う。

PCは運転支援画面表示を行う。データを $\mu$ XLとWSより受取り、運転支援情報を表示する。またRS-485を通して原子炉出力表示器に表示信号を送る。

これら3台のマシンはイーサネットにつながっており、それぞれのマシンからデータの転送・読込などができ、データの共有を行える。

## 4. 冷却系の監視・制御

### 4.1 プロセス計算機 $\mu$ XL

$\mu$ XLは、長年、さまざまな産業分野や研究機関で制御用コンピュータとして使われてきた実績がある。制御部CPUやデータ入力部RLバスなどが多重化されている点など信頼性が高く、JRR-4の冷却系監視・制御用コンピュータとして $\mu$ XLを導入した。

$\mu$ XLの構成を図4に示す。 $\mu$ XLは表示及び操作を行うオペレータステーション(CRT2)と制御ユニット(MFSD制御ユニット)で構成される。制御ユニットにはシグナルコンディショナーや入出力ユニットが接続されており、それを通してプラントのデータを4mA~20mAの電流値に変換して入出力を行う。オペレータステーションと制御ユニットは独立している。すなわち、制御ユニットはそれぞれのプログラムに従って個々に動作し、オペレータステーションがなくとも制御ユニットは組込まれたプログラムにより動作するように設計されている。

制御ユニットの動作を図5に示す。動作は制御ユニットのCPUメモリカードに組込まれたプロセスに従って行われる。このプロセスはルーチン作業であり外部からの信号がない限り、決まった動作を継続する。通常とは異なった動作や現ルーチン動作から次のステップのルーチン動作への変更を行う場合は、オペレータステーションから運転員がスイッチ計器を操作して行う。このオペレータステーションはタッチパネルオペレーションとなっており、画面を見ながらの機器の監視・操作がしやすい。

この制御ユニットとオペレータステーション間でのデータ通信に使用されるRLバスは二重化され、互いにたすきがけ方式による相互チェックを行う機構になっており、その信頼性を確保している。同様に、制御ユニットのCPUも二重化され、高信頼性の設計がされている。

このような制御ユニットの独立性とバス・CPUの信頼性から、アラーム信号出力などの重要な動作はオペレータステーションの状態に関わらず、制御ユニットのみで常に動作するようにプログラミングしてある。このようにして最低限の運転は制御ユニットのみで可能である。

また、 $\mu$ XLの導入により、冷却系計測制御のデジタル・コントロール・システム(DCS)を実現した。これにより、アラームに関するリレー、機器制御に関するリレーなどの接点式リレーがDCS化され、冷却系計測制御システムのコンパクト化を実現した。

本システムに導入した $\mu$ XLの仕様を表4.1に示す。

表 4.1  $\mu$ XL の仕様

$\mu$ XL	CPU	32 ビット 25MHz 主記憶 8M
	FD	3.5 インチ 1.2MB
	HD	500MB
	通信部	RL バス Ethernet RS232C GP-IB ML2 バス HF バス
	CRT	17 インチカラー8色 光学方式タッチパネル
	ソフトウェア	内部計器 $\mu$ XL用シーケンステーブル BASIC 言語
プリンタ		シリアルプリンタ カラーハードコピー
MFSD 制御ユニット	プロセッサカード	12.5MHz メモリ：ROM 128KB RAM 1MB
	多点アナログ入力カード	8点入力×4枚
	多点アナログ出力カード	8点出力×2枚
	多点デジタル入力カード	3 2点入力
	多点デジタル出力カード	3 2点出力

#### 4.2 データ処理

データ処理は通常モードと高速モードの2種類のモードで行われる。通常モードでのデータ処理は1秒間隔、高速モードでは0.2秒間隔で行う。JRR-4においては、冷却材温度、pH、電気伝導率など、冷却系のほとんどのパラメータは、その変化がゆっくりしている。通常モードの処理間隔1秒は、大部分のデータ処理を行うのに十分な間隔である。このことから大部分の冷却系パラメータは通常モードでデータ処理を行っている。一方、JRR-4において冷却材流量のように速い変化が考えられるパラメータについては、高速モードの0.2秒間隔でデータ処理を行っている。これにより、流量低などのアラーム信号は異常発生後直ちに出力されるので、原子炉の安全は十分保たれる。

さらに $\mu$ XLでは、入力されたデータから熱出力、温度差 ( $\Delta T$ )、移動平均流量を計算で求めている。表 4.2 に入力データと計算データを示す。

表 4.2 入力データ及び計算データ

アナログ入力データ	<p>1次冷却水炉心入口温度、1次冷却水炉心出口温度、炉心タンク水温度、炉心直上温度、炉心直下温度、No.1 プール水温度、No.2 プール水温度、2次冷却系入口温度、2次冷却系出口温度、外気温度、湿球温度、2次冷却水熱交換器入口温度、2次冷却水熱交換器出口温度、1次冷却水熱交換器出口流量、1次冷却水炉心入口流量、2次冷却水熱交換器出口流量、炉心タンク水精製系出口流量、プール水精製系出口流量、2次冷却水ろ過水補給入口流量、主ポンプ出口圧力、サブポンプ出口圧力、炉心タンク水位、No.1 プール水位、No.2 プール水位、冷却塔ポンド水位、FFD タンク出口 pH、炉心タンク水精製系出口 pH、2次冷却水サンプリングライン pH、2次冷却系ろ過水サンプリングライン pH、1次冷却水精製系入口電気伝導率、1次冷却水精製系出口電気伝導率、プール水精製系入口電気伝導率、プール水精製系出口電気伝導率、2次冷却水サンプリングライン電気伝導率、2次冷却系ろ過水サンプリングライン電気伝導率、2次冷却水モニタ、流量弁開度、主ポンプ電流、2次冷却系主ポンプ電流、2次冷却系ファン電流、炉室負圧、排水ピット水位、排気第5系統風量</p>
デジタル入力データ	<p>照射室遮へい扉、ローディングドック、後備安全棒上限/下限、冷却機器室扉、No.2 プール水位低、中性子束高、ペリオド短、制御棒挿入障害、微調整棒位置不适当、信号偏差増大、エリアモニタ高、排気モニタ高、FFD モニタ高、燃料事故モニタ高、2次冷却水モニタ高、排水ピット高、ペリオドインヒビション、</p> <p>炉室負圧低、遮断弁/切替弁渋滞、非常用排気設備故障、発電機商用電源喪失、発電機起動渋滞、地震計、炉心ブリッジ固定解除、安全スイッチ投入、</p> <p>燃料事故モニタ高高、手動バックアップスクラム投入、炉心出口流量低低、1次冷却水炉心出口温度高高、炉心直下温度高高、1次冷却水熱交換器出口流量低低、炉心直上温度高高、No.1 プール水位低低、中性子束高高、ペリオド短短、燃料事故モニタ高高高、電源電圧低</p> <p>制御電源トリップ、サーボアラーム、CRDM5 Ready、主ポンプ一括漏電、ポンプ類漏電ブレーカー動作振動、2次冷却塔操作盤 MCB 投入、非常用排気設備異常</p> <p>排水ピット、DP タンク、起動ベル、AUTO 原子炉起動/停止、セレクトスイッチ、自然・強制循環、 主ポンプ起動、少量排水ポンプ起動、補助ポンプ起動、排水ポンプ起動、バックアップポンプ起動、プール水精製系循環ポンプ起動、2次冷却系主ポンプ起動、2次冷却系ファン起動、2次冷却系真空ポンプ起動、2次冷却系モニタポンプ起動、 炉心出口配管、1次冷却水精製系流量調整弁開/全閉、炉心出口配管開/全閉、熱交換器出口弁開/全閉、プール入口弁全開/全閉、プール出口弁全開/全閉、大量排水弁、大量排水手動弁、精製系入口配管、プール水精製系入口弁、熱交換器入口弁、ポンプ吸入側維持弁、燃料交換弁、自然循環弁</p>
計算データ	熱出力、温度差 $\Delta T$ 、1次系流量移動平均

これら入力データは、BASIC言語でプログラミングされたアプリケーションにより、テキストデータとして6秒周期で保存される。さらに保存されたテキストデータはWSに6秒周期で転送される。この周期は、ほとんどの冷却系データの変化がゆっくりしたものであることと、BASICアプリケーションの動作が機器操作やアラームなどの他のプロセスに影響を与えないことを考慮して決定した。また、2つのBASICアプリケーションが同一のファイルを用いてデータ保存とデータ転送を行っていることから、この2つのアプリケーションの動作がぶつからないように動作のタイミングに3秒のずれを持たせて、交互に動作するようになっている。

転送されるデータは $\mu$ XLで収集しているアナログデータと計算処理により求められた約60個のデータである。このデータの数を増やすことは容易に行える。また、転送にはWS及び $\mu$ XLのいずれでも使用でき、またイーサネットで一般的に用いられる転送システムであるFTP (File Transfer Protocol) を使用している。

#### 4.3 データ表示

入力されたデータは画面 (CRT2) に表示できる。通常は図6に示すような計器型で表示される。計器型表示では1画面に最大8個のデータを表示できる。各データは、名称、単位、データ値、データ状態、タグ等が表示される。ここで、データ状態はそれぞれのデータ値が正常値であるときは緑で表示され、異常値 (アラーム設定値) であるときは赤で表示される。また、タグは実際の測定機器名称と対応するように割り当てている。これらのデータは、運転モードに応じて、その運転モードに必要なデータを表示するように画面に割り当てられる。表示データが8個以上あるときは連続した画面に割り当ててあり、表示画面を前後するだけで関連するデータを見ることができる。各運転モード別の表示データを表4.3に示す。

表 4.3 運転モード別表示データ

運転モード	表示データ
強制循環モード	1次系流量、2次冷却系流量、1次系温度、2次冷却系温度、炉心タンク水位、プール水位、ポンプ出口圧力、ポンプ電流、電気伝導度、pH、弁開度、Fan電流 流量調整弁操作機器、ポンプ操作機器、Fan操作機器
自然循環モード	1次系温度、炉心タンク水位、プール水位
自然循環モード (サブポンプ運転)	1次系温度、炉心タンク水位、プール水位、サブポンプ出口圧力、サブポンプ電流、電気伝導度、pH、弁開度 流量調整弁操作機器、サブポンプ操作機器
水移動運転モード	1次系流量、炉心タンク水位、プール水位、ポンプ出口圧力、ポンプ電流、伝導度、pH、弁開度 流量調整弁操作機器、ポンプ操作機器

他に、図7に示すようなトレンドグラフで表示することもできる。トレンドグラフも計器型表示と同じように、1画面に8個のデータを表示することができる。各データはタグ、データ値、単位がトレンドとともに表示される。トレンドグラフの種類は、160分間、72時間、196時間の

3種類あり、パラメータの変化を3つのタイムスパンでみることができる。

#### 4.4 出力データ

$\mu$ XLからは、アラーム信号、グラフィックパネル用信号、機器操作信号、模擬信号が出力されている。出力信号の詳細を表4.4に示す。

表 4.4 出力信号

アラーム信号	熱出力高、炉心タンク水位低、No.1 プール水位低、炉心入口流量低、熱交換器出口流量低、2次冷却水流量低、1次系冷却水炉心出口温度高、主循環ポンプ圧力低、電気伝導率高、プール水精製系流量低、サブポンプ出口圧力低 照射室遮蔽扉開、制御棒挿入障害、非常用排気設備異常
グラフィックパネル・デジタル表示BCD信号	熱出力、炉心タンク水位、No.1 プール水位、No.2 プール水位、1次冷却水炉心入口温度、1次冷却水炉心出口温度、1次冷却水熱交換器 No.1 出口温度、1次冷却水熱交換器 No.2 出口温度、1次冷却水炉心入口A系流量、熱交換器2次側出口流量、炉心タンク水精製系 No.1 出口流量、プール水精製系出口流量、
機器操作 (デジタル出力)	主ポンプ起動/停止、排水ポンプ起動/停止、補助ポンプ起動/停止、排水ポンプ起動/停止、バックアップポンプ起動/停止、プール水精製系循環ポンプ起動/停止、2次冷却系主ポンプ起動/停止、2次冷却系ファン起動/停止、2次冷却系真空ポンプ起動/停止、2次冷却系モニタポンプ起動/停止、1次冷却水流量調整弁開/閉、熱交換器出口弁開/閉、プール入口弁開/閉、プール出口弁開/閉、大量排水弁開/閉、プール水精製系入口弁開/閉、熱交換器入口弁開/閉 自動起動(流量約8m <sup>3</sup> /minに設定)/自動停止(ポンプ停止・弁全閉)、原子炉運転ループ自動構成、水移動ループ自動構成
模擬信号	1次冷却水出口温度、炉心直上温度、炉心直下温度、1次系冷却水熱交換器出口流量、1次冷却水炉心入口流量、炉心タンク水位、プール水位 地震計、炉心ブリッジ固定解除、安全スイッチ投入スクラム、手動バックアップスクラム投入、排水ピット満水

出力もデータ処理同様に、通常モードと高速モードの2種類のモードで行われる。通常モードは1秒間隔、高速モードは0.2秒間隔である。大部分の出力信号は通常モードで出力されている。しかしアラーム信号については原子炉の安全を確保するために高速モードで出力する。また、アラームを出力する状態より前にサブアラームを発信するようにプログラミングされている。サブアラーム設定値になると、 $\mu$ XLのCRTにサブアラーム表示を自動的に出力し、さらに警報音を出し、運転員に注意を促す。これにより、運転員が異常に対して早く対応するための支援を行う。

また、起動前点検時には、炉心温度や炉心タンク水位等のアラーム/スクラムチェックに関して模擬信号(4mA~20mA)を $\mu$ XLから出力し、A/D入力カードに加えることによりシステム

の点検を行うようにした。図8に起動前点検の流れを示す。テスト信号切換回路を起動前点検時には $\mu$ XLからの信号が有効になるように切換える。これにより、 $\mu$ XLから出力されたテスト信号は警報設定器に入力されるようになり、スクラム回路の動作確認が行える。さらにテスト信号は動作確認を行う機器のデータ値として $\mu$ XLに入力される。 $\mu$ XLは入力されたデータ値がアラーム設定値になるとアラームを出力する。これによってアラームの動作確認が行える。動作確認の必要のあるパラメータは運転モードによって10個～20個程度ある。動作確認は個々のパラメータについて行われ、あるパラメータについて、アラーム及びスクラムが出る動作確認をした後、アラーム及びスクラムのリセットを行うと次のパラメータの動作確認を順次自動的に行うようにしている。

このアラーム及びスクラム試験により、以前に運転員が行っていた電流発生器を使って模擬信号を入力する方法に比べて、格段に早く機器動作確認を行えるようになった。

#### 4.5 自動運転（冷却計測制御系）

入力データと出力データからシーケンス制御を行い、運転モードにあわせて運転ループ自動構成や定流量（ $8\text{m}^3/\text{min}$ ）自動設定などの自動運転ができるようになっている。

運転ループ自動構成では、図9に示すように、画面に表示された運転ループ選択スイッチのうちの1つをONにすると自動的に選択したループを構成するために必要な弁の開閉を行い、運転ループを構成する。手動弁が選択したループ構成に適さない状態になっている等の何らかの理由により、選択した運転ループが構成できなかった時は音とメッセージによりそれを伝えるようになっている。この自動運転ループ構成は、人的誤操作などを防止するように設計されている。詳細は次の4.6節で述べる。

次に、定流量自動設定は強制循環時に流量を $8\text{m}^3/\text{min}$ にするものである。この自動運転は、現在JRR-4で使用されている電動弁の特性からPID制御を行うことは非常に困難であったため、定流量設定は運転員の知識をもとにして、 $8\text{m}^3/\text{min}$ になる弁開度を時間で管理して開いている。この自動運転で、現段階で、 $7.9\sim 8.0\text{m}^3/\text{min}$ に毎回設定することが出来ている。図10に自動流量設定の流れを示す。

定流量（ $8\text{m}^3/\text{min}$ ）自動設定では、まず、運転員が「自動設定開始スイッチ」をONにすることにより自動運転が開始される。主循環ポンプ1が自動起動後、流量調整弁1及び流量調整弁2が同時に15秒間開く。流量調整弁1及び2の開動作中に、主循環ポンプ2が自動起動し、最後に主循環ポンプ3が自動起動してポンプの起動シーケンスは終了する。一旦、流量調整弁1及び2の開動作が停止した時点で、流量は約 $6\text{m}^3/\text{min}$ になる。その後、流量調整弁1及び2が同時に開き、目標流量 $8\text{m}^3/\text{min}$ になる開度になる。次に、流量が $8\text{m}^3/\text{min}$ に整定したことを運転員が確認した後、「2次系起動スイッチ」をONにすることにより、2次冷却系ポンプ起動、2次冷却系弁開、2次冷却系ファン起動の順に自動運転が開始され、JRR-4の自動運転は完了する。定流量自動設定による流量の変化を図11に示す。図より、流量が一旦 $6\text{m}^3/\text{min}$ になり、その後 $8\text{m}^3/\text{min}$ になっていることがわかる。目標流量 $8\text{m}^3/\text{min}$ は約30秒で実現されている。

原子炉運転終了後は、定流量自動設定とは逆の手順で自動強制循環停止を行う。まず、「2次系



起動スイッチ」をOFFにすることにより2次系機器を停止する。その後「自動設定開始スイッチ」をOFFにすることにより、流量調整弁1及び2が自動閉となり、その後主循環ポンプ1と2が順次停止する。最後に流量調整弁1及び2の全閉状態後、主循環ポンプ3が停止しシーケンスが完了する(図10)。

運転ループと同様に、プール水精製系もループ自動起動や定流量自動設定が行えるようになっている。

これらの自動運転は、次節(4.6節)で述べるように、人的な誤作動を防止するように設計されている。

#### 4.6 人的誤操作の防止

人的ミスを防止するために、以下のような制限を加える。

- (1) 運転ループの構成は常に全閉状態からのみ行える。なんらかの運転ループが構成されているときは、全閉状態構成スイッチのみ動作する。
- (2) 主循環ポンプ起動中または原子炉起動中に、運転ループ構成スイッチは、何れも動作しない。同様に、プール水精製系循環ポンプが起動中は、プール水精製系運転ループ構成スイッチは何れも動作しない。

運転ループ構成の流れを図12に示す。 $\mu XL$ は、1秒周期で常に使用中の運転ループ状態確認を行う。まず、主循環ポンプの起動/停止信号及び原子炉運転中信号から運転ループが使用中かどうかを判断する。運転ループが使用されている場合、 $\mu XL$ はいかなる運転ループ構成をも行えないようにする。一方、運転ループが使用されていない場合、さらに使用する運転ループが全閉状態かを自動確認する。JRR-4では、No. 1プールとNo. 2プールがあり、プール間で冷却水の移動が可能である。このため、ある運転ループ状態から他の運転ループに、直接運転ループの変更を行うと、プール水が移動してしまう可能性がある。よって、運転ループが構成されているときは、全閉状態を構成するスイッチしか選択することは出来ないようになっている。表4.6.1に各運転ループ構成時に動作可能な機器を示す。この表に載っていない機器は、操作不可能となる。

表 4.6.1 各運転ループ構成時に操作可能な機器

運転ループ	操作可能な機器
全閉状態	運転ループ構成スイッチ
自然循環運転中	なし
自然循環(サブポンプ)	弁全閉、流量調整弁、サブポンプ
強制循環	弁全閉、流量調整弁、主循環ポンプ、自動運転起動、2次冷却系ポンプ、2次冷却系ファン、2次冷却系弁
水移動ループ	弁全閉、流量調整弁、主循環ポンプ

- (3) 機器操作などの重要なスイッチは、スイッチを操作する前に必ずシステム側より確認を求められるように設定している。

操作計器については、重要度が高い操作計器は操作時に必ず確認を行うという $\mu$ XL固有の機能を用いて、誤操作防止を実現している。 $\mu$ XLでは、表示計器や操作計器にそれぞれ5段階の重要度を設定することができる。この重要度にあわせて、 $\mu$ XLの警報音の種類を変化させるとともに、操作範囲を制限している。

(4) 運転ループ状態によって操作できる機器を制限する。

表 4.6.2 に各運転ループ使用時に操作可能な機器を示す。基本的に表に示されていない機器は、運転中はロックされ操作することは出来ない。機器の監視は、操作制限に関わらず可能である。

表 4.6.2 各運転ループ使用中に操作可能な機器

運転ループ状態	操作可能な機器
自然循環使用中	なし
自然循環（サブポンプ）使用中	流量調整弁、サブポンプ
強制循環ループ使用中	流量調整弁、主循環ポンプ、自動運転停止、2次冷却系ポンプ、2次冷却系ファン、2次冷却系弁
水移動ループ使用中	流量調整弁、主循環ポンプ

以上の操作機器制限シーケンスを図13に示す。

まず使用する運転ループ構成が完了すると、構成された運転ループが「全閉状態」かそれ以外の運転ループかを判断する。「全閉状態」であれば、後の処理は自動運転ループ構成シーケンスで行われる。

「全閉状態」以外の場合、運転ループが使用中かどうかを判断する。使用中ではない場合、どの運転ループで構成されているかを判断し、表 4.6.1 に示す運転ループ構成時の操作機器制限を行う。（この場合、その後「運転ループを使用する」か「全閉にしてループ構成を終了もしくは変更する」かの何れかが考えられるので、運転ループ構成完了後最初に行われる「全閉状態か？」の判断に戻る）

一方、運転ループが使用中である場合、まずどの運転ループで構成されているかを判断し、運転ループがどれであっても、全閉操作が行えないように「全閉操作スイッチ」の操作を制限（不可）とし、その後表 4.6.2 に示したような運転ループ使用中の機器操作制限を行う。その後は運転継続か運転停止の何れかが考えられるので、運転ループ使用中かどうかの判断に戻る。以上のようにして、運転ループ構成と運転ループ使用中の操作機器制限を行う。

#### 4.7 $\mu$ XL制御／手動制御

図3に示したように、冷却系の制御は $\mu$ XLによる自動制御と、運転員による手動制御のいずれかで行うことができる。この $\mu$ XL制御／手動制御の切換は運転員によって、必要に応じ運転中いつでも行うことができなければならない。このため $\mu$ XLでは、そのような切換が行われた際に、誤操作が生じないようにアプリケーションプログラムを設計した。

まず、アラームは 4.1 節でも述べたように、オペレータステーションの状況に関わらず制御ユニットのみで常に動作するようにプログラムしてあり、アラームの発信は制御ユニットのみで行われる。この動作は  $\mu$ XL 制御/手動制御に関わらず行われる。

次に制御の切換時のシーケンスについて述べる。図 14 に制御切換時動作を示す。まず、 $\mu$ XL 制御から手動制御に切換えられた場合について述べる。この場合、 $\mu$ XL は再び制御が  $\mu$ XL で行われることを考慮して、手動制御に切換えられた時点の操作計器の状態を記憶する。記憶する状態は、主に操作計器が、操作可能であったか、操作不可能であったかである。状態記憶は全制御計器について行われる。また、いつ  $\mu$ XL 制御になっても支障のないように、手動制御中は、 $\mu$ XL が運転員の操作を常に追従するようになっている。

次に手動制御から  $\mu$ XL 制御に切換えられた場合について述べる。 $\mu$ XL 制御に切換えられるとすぐに、 $\mu$ XL は流量調整弁の開動作及び閉動作の両方を中止する。前述したように、 $\mu$ XL は手動制御中の操作を追従しているため、流量調整弁操作中に  $\mu$ XL 制御に切換えた場合、弁の開操作または閉操作の信号を出し続けるという状態が発生する。このような動作を防止し、流量調整弁の開け過ぎや閉め過ぎを防止するために、流量調整弁の動作を  $\mu$ XL 制御に切換わった時に中止させる。その後、手動制御になった時の操作機器状態と、 $\mu$ XL 制御に切換わった時の運転状態の両方から判断して、直ちに操作可能機器と操作不可能機器を決定し、機器操作制限をかける。このようにして、制御切換による誤作動を防止するとともに、前節に述べたような人的ミスの防止を図っている。

## 5. データ収集・処理・保存

### 5.1 データ処理用WS

VXIバス（米・HEWLETT PACKARD 製）は、工業用計測バスVMEを拡張したバスであり、高速計測に優れ、さらに耐ノイズ性にも優れている。このような特性を持つことから、航空業界などで使用されており、その信頼性も極めて高い。また拡張性にも優れており、今後、収集するパラメータの数が増えたとしても十分にそれに対応できる能力をもっている。以上のことから、中性子計測系信号などの変化の速いパラメータの収集を行う機器として、VXIバスを採用した。また、VXIと接続しデータの処理・管理を行うコンピュータとして、OSなどの安定性とVXIの制御という点からWS（米・HEWLETT PACKARD 製）を採用した。

WSとVXIバスの仕様を表5.1に示す。

表5.1 WS及びVXI仕様

WS	本体	745 iワークステーション 17インチカラーモニター 1GB内臓HD 64MBメモリ CD-ROMドライブ
	外付	2GB外付DAT 4GB外付HD
	OS	HP UX9.07 (UNIX)
	ソフトウェア	C言語 (ANSI) VXI制御用言語 (SICL)
VXIバス	本体	C-size VXI Hi-power メインフレーム 13-slot 内臓コントローラ VXIbus エクステンダ(VXIbus-MXIbus 間)
	測定器	4×8ビット・デジタル Input/Output 64チャンネル・スキャニング A/D コンバータ 96チャンネルデジタル Input/Output 8チャンネル D/A コンバータ

### 5.2 データ収集・処理・保存

中性子計測系信号は図15に示すように、VXIバスを通してWSに入力される。表5.2にWSで収集しているデータを示す。また、WSのソフトウェア構成概念図を図16に示す。

データ収集アプリケーションは(Data Logging Process: DLP)、UNIXで標準のC言語(ANSI)を主とし、それにVXI制御用SICL言語をライブラリーとして追加してプログラミングされた。DLPは表5.2で示したデータを0.1秒以下の間隔で収集しWSのハードディスクに保存することが可能である。しかし、他のアプリケーションの動作など、負荷がWSにかかった場合を考慮して、確実にデータ収集・保存が可能な0.1秒間隔でデータを収集・保存するよう

にした。監視などを行うのに、この 0.1 秒間隔のデータは十分な早さであるといえる。この中性子計測系データはWSをNFS（Network File Service）サーバと稼動してPCに提供される。

また、同様にC言語でプログラミングされたもう1つのアプリケーション（File Time Control Process：FTCP）により、 $\mu$ XLから送られてくる冷却系のデータファイルと、WSに保存されている中性子計測系信号などのデータファイルを、0.1秒周期で1つのファイルに統合して運転データとして保存している。（ただし、 $\mu$ XLのデータは6秒毎にWSに転送される）。この運転データファイルはJRR-4利用者にLAN経由で提供される。

また、このデータを一定期間保管することにより、異常などが発生した場合に、異常発生前後のデータを調査することができ異常の原因を早期に判断することにも役立つ。

表 5.2 WS収集データ一覧

アナログデータ	線形出力系、安全系、対数出力系、FC 対数系、燃料事故モニタ、信号偏差計、ペリオド、FFD、制御棒位置、FC 位置、パワーデマンド、FCカウンタ、レンジスイッチ、安全系レンジスイッチ、出力標準偏差、ファーストスクラム信号、制御棒マグネット電圧、FCペリオド計、ペリオド計電圧、2次冷却水モニタ
計算データ	平均出力、出力標準偏差、公称出力、反応度計、時間
デジタルデータ	制御棒位置上限、制御棒位置下限、制御棒マグネットリミットON、制御棒ロッドジャム、FC>3cps、制御棒選択、粗調整安全棒選択解除、全制御棒挿入、粗調整安全棒引抜/挿入、Manual/Auto、自動制御下限/上限、自然循環冷却運転、強制循環運転、FC up/down、FC 上限/下限、微調整棒引抜/挿入、メインキー、原子炉起動、スクラム・アラーム確認、スクラムリセット、アラームリセット、手動バックアップスクラム投入、バックアップスクラム上限/下限
スクラム (デジタルデータ)	中性子束高高、ペリオド短短、炉心タンク水位低低、No.1 プール水位低低、熱交換器出口流量低低、炉心入口流量低低、1次冷却水炉心出口温度高高、地震計、電源電圧低、微調整棒下限、炉心ブリッジ固定解除、安全スイッチ投入、手動スクラム投入、燃料事故モニタ高高、燃料事故モニタ高高高
アラーム (デジタルデータ)	熱交換器出口流量低、中性子束高、ペリオド短、熱出力高、炉心タンク水位低、No.1 プール水位低、No.2 プール水位低、炉心入口流量低、2次冷却水流量低、1次冷却水炉心出口温度高、照射室遮へい扉開、主循環ポンプ出口圧力低、1次冷却水電気伝導率高、制御棒挿入障害、微調整棒位置不適當、信号偏差増大、排水ピット満水、破損燃料検出モニタ高、燃料事故モニタ高、2次冷却水モニタ高、非常用排気設備異常、エリアモニタ高、排気モニタ高、燃料事故モニタ高、

## 6. 運転支援のためのデータ表示

### 6.1 データ表示用PC

汎用性の高い点とハードウェアのアップグレードの容易さから、データ表示用コンピュータとして市販のパーソナルコンピュータ（PC）を採用した。PCの仕様を表6.1に示す。

表 6.1 PCの仕様

PC	CPU	Pentium II 300MHz
	ハードディスク	6.5GBHD
	メモリ	164MB
	CRT	17 インチカラー
	その他	3.5 インチ 1.44MB CD-ROM
	OS	Windows NT Workstation : Microsoft 社製
	ソフトウェア	Visual BASIC MS Excel 以上 Microsoft 社製

### 6.2 データ表示

PCは、NFSを用いてWSから中性子計測系信号データファイルを0.1秒周期で読みこんでいる。一方、冷却系のデータはFTP（File Transfer Protocol）によって6秒周期で $\mu$ XLからWSに送られてきているデータファイルを、6秒周期で読み込んでいる。このようにして収集された運転に関する全データを、変化の速いデータも含めて、運転員が一括監視できるように表示する。PCで表示可能なデータを表6.2に示す。

全アナログデータはデジタル表示形式に変換しCRTに表示することができる。そのうち、主に中性子計測系信号データは図17に示すような丸メーター、棒グラフのような形式でも表示できる。全データは0.3~0.4秒毎に自動更新される。また、線形及び対数出力系、安全系などのデータは図18に示すような、表示時間範囲が5分程度のトレンドグラフ（記録計タイプ）でも表示可能である。このトレンドグラフは1秒毎にデータが更新される。表示形式とデータの種類を表6.3に示す。

次に、表示するデータを任意に選択可能であり、各運転員が必要とするデータをそれぞれの選り、各自見やすいように配置することができる（表示するデータは何点でも可能であるが、CRTの大きさから8点以内が適当である）。

またPCのOSとしてはWindows NTを使用する。さらに表示プロセスはVisual BASICでプログラミングされており、市販のプログラム（Windows95/98）を使用するのと同じように支援システムを容易に操作することが出来る。従って、運転支援データ表示システムを使用するにあたっては運転員の訓練はほとんど必要としない。また、Windows NTはワークステーションと同じように、ログインするユーザごとにセキュリティーを設定できるので、運転員が運転支援のプロ

グラムを誤って削除したり、書き換えたりすることを防止できる。

表 6.2 PC表示可能データ一覧

アナログデータ	<p>1次冷却水炉心入口温度、1次冷却水炉心入出温度、炉心タンク水温度、炉心直上温度、炉心直下温度、No.1 プール水温度、No.2 プール水温度、2次冷却系入口温度、2次冷却系出口温度、外気温度、湿球温度、2次冷却水熱交換器入口温度、2次冷却水熱交換器出口温度、1次冷却水熱交換器出口流量、1次冷却水炉心入口流量、2次冷却水熱交換器出口流量、炉心タンク水精製系出口流量、プール水精製系出口流量、2次冷却水ろ過水補給入口流量、主ポンプ出口圧力、サブポンプ出口圧力、炉心タンク水位、No.1 プール水位、No.2 プール水位、冷却塔ポンド水位、FFD タンク出口pH、炉心タンク水精製系出口pH、2次冷却水サンプリングラインpH、2次冷却系ろ過水サンプリングラインpH、1次冷却水精製系入口電気伝導率、1次冷却水精製系出口電気伝導率、プール水精製系入口電気伝導率、プール水精製系出口電気伝導率、2次冷却水サンプリングライン電気伝導率、2次冷却系ろ過水サンプリングライン電気伝導率、2次冷却水モニタ、流量弁開度、主ポンプ電流、2次冷却系主ポンプ電流、2次冷却系ファン電流、炉室負圧、排水ピット水位、排気第5系統風量線形出力系、安全系、対数出力系、FC 対数系、燃料事故モニタ、信号偏差計、ペリオド、FFD、制御棒位置、FC 位置、パワーデマンド、FCカウンタ、レンジスイッチ、安全系レンジスイッチ、出力偏差、ファーストスクラム信号、制御棒マグネット電圧、FCペリオド計、ペリオド計電圧、2次冷却水モニタ</p>
デジタルデータ	<p>制御棒位置上限、制御棒位置下限、制御棒マグネットリミット ON、制御棒ロッドジャム、FC&gt;3cps、制御棒選択、粗調整安全棒選択解除、全制御棒挿入、粗調整安全棒引抜/挿入、Manual/Auto、自動制御下限/上限、自然循環冷却運転、強制循環運転、FC up/down、FC 上限/下限、微調整棒引抜/挿入、メインキー、原子炉起動、スクラム・アラーム確認、スクラムリセット、アラームリセット、手動バックアップスクラム投入、バックアップスクラム上限/下限</p>
計算データ	<p>熱出力、温度差<math>\Delta T</math>、1次系流量移動平均、平均出力、出力標準偏差、公称出力、反応度計、時間</p>
スクラム (デジタルデータ)	<p>中性子束高高、ペリオド短短、炉心タンク水位低低、No.1 プール水位低低、熱交換器出口流量低低、炉心入口流量低低、1次冷却水炉心出口温度高高、地震計、電源電圧低、微調整棒下限、炉心ブリッジ固定解除、安全スイッチ投入、手動スクラム投入、燃料事故モニタ高高、燃料事故モニタ高高高</p>
アラーム (デジタルデータ)	<p>熱交換器出口流量低、中性子束高、ペリオド短、熱出力高、炉心タンク水位低、No.1 プール水位低、No.2 プール水位低、炉心入口流量低、2次冷却水流量低、1次冷却水炉心出口温度高、照射室遮へい扉開、主循環ポンプ出口圧力低、1次冷却水電気伝導率高、制御棒挿入障害、微調整棒位置不適當、信号偏差増大、排水ピット満水、破損燃料検出モニタ高、燃料事故モニタ高、2次冷却水モニタ高、非常用排気設備異常、エリアモニタ高、排気モニタ高、燃料事故モニタ高</p>

表 6.3 表示形式とデータの種類

表示形式	表示可能データ
丸メータ	線形出力系、安全系、対数出力系、FC 対数系、燃料事故モニタ、信号偏差計、ペリオド、FFD、パワーデマンド、FCペリオド計、ペリオド計電圧、反応度計
棒グラフ	粗調整安全棒位置、微調整棒位置
デジタル表示	全アナログデータ
トレンドグラフ (記録計型)	線形出力系、安全系、対数出力系、FC 対数系、燃料事故モニタ、ペリオド、FFD、パワーデマンド、FCペリオド計、ペリオド計電圧
フラッシング	アラーム信号、スクラム信号

### 6.3 運転記録票

表計算ソフト Excel に Visual BASIC で機能追加したアプリケーションを用いて、今までは運転員が記入していた運転記録表を作成することができる。運転記録票の作成は手動入力モードまたは自動入力モードの何れかでされる。手動入力モードの場合は、運転員が通常 Excel を使用する時と同じように数値を入力する。自動記入モードの場合は、まず、原子炉出力が 20W に達してから 5 分後のデータが自動記入される。その後は、200kW 以上のときは一定出力になってから 10 分後、それ未満の時は一定出力になってから 5 分後のデータが自動で記入される。さらに、その後も出力が変わらない場合は、一定出力になった時刻から 1 時間毎にデータが自動で記入される。

### 6.4 原子炉出力表示

JRR-4では、実験者、見学者等へ運転状態の表示を行うため原子炉出力表示器が設けられている。設置場所は炉室、医療照射室、JRR-4 建屋入口の 3 箇所であり、これら原子炉出力表示器に公称原子炉出力を表示する。原子炉出力は線形出力系 (Lin-N) 信号、出力レンジ信号とパワーデマンド信号から算出している。この値は微妙に揺らぐため、公称出力は原子炉出力の有効桁 2 桁をとる計算処理(3 桁目を四捨五入)を行って求めている。表示器の出力は 5 秒毎更新される。データの送信には RS-485 を用いる。原子炉出力表示システムを図 19 に示す。



## 7. システム異常時の対応

現在、コンピュータなどのハードウェアが誤作動を起こしたり動作不能にならないことを完全に証明するのは不可能である。同様に、作成したアプリケーションなどのソフトウェアにバグなどが無いことを完全に証明することも不可能である。よってJRR-4運転支援システムにおいては以下のような設計を行い、ハードウェア及びソフトウェアの誤作動などに対応できるようにした。

まず $\mu$ XLにおいては、図3にあるように冷却計測制御盤にある切替スイッチにより、機器の制御権を $\mu$ XLと手動に切替えることが出来るようにした。従って、万一、 $\mu$ XLに異常が起これば、誤作動などによって運転の危険性が生じたときは、このスイッチを切替えることにより $\mu$ XLによる制御から手動制御に移行する。このように、 $\mu$ XLによらずに原子炉の運転ができるようにハードウェア的に設計されている。

$\mu$ XLでは、前に述べたようにアラーム信号を出力している。 $\mu$ XLに異常が生じた場合、アラーム信号の多くが出力されなくなる可能性がある。しかし、アラームより重要なスクラム信号に関しては、図20に示すように $\mu$ XLを介していないので、 $\mu$ XLの状態に関わらず出力される。よって最低限の原子炉の安全は確実に保たれる。

次にWSとPCにおいては、この2台のコンピュータはデータの収集と表示のみを行うもので、制御に関してはハード的に切り離されているので、この2台により誤操作は起こり得ない。

最後に運転データの表示に関しては、図21に示すように運転制御卓と冷却計測制御盤には運転に必要な最低限のデータの監視及び記録ができるように、従来の計測機器が取付けられている。従って、それぞれのハードウェアやソフトウェアの異常により、一部のデータ、もしくは全データの表示が出来なくなった場合でも運転を行うことは可能になっている。同様に運転に関しても、 $\mu$ XLからの操作ができなくなった場合でも運転制御卓と中性子計測盤・冷却系計測制御盤で手動操作ができるようになっている。運転制御卓と中性子制御盤・冷却系計測制御盤の概要を図22、図23に示す。

また、運転支援システムに使用するコンピュータなどのハードウェアは、常に予備の機器をJRR-4に用意しており、ハードウェアの故障などのときはすぐに機器を交換できるようになっている（PCについては、JRR-4で使用されているPC（Windows NT）は、どれでも代替機として使用できるので、特に予備の機器を用意する必要はない）。

また $\mu$ XLについては、予備機をJRR-4居室に設置しており、運転データの監視、プログラムの開発・デバック、操作トレーニングができるようになっている。これは代替機としての役割をもっている。

## 8. まとめ

今回の運転支援システムの開発により、運転員の労力の軽減、データ管理（運転データや運転記録票）及び運転の信頼性向上（誤操作防止）等を実現し、以下のような効率的運転が可能となった。

- ・ デジタル・コントロール・システムによるシステムのコンパクト化
- ・ 冷却制御系の一括集中管理
- ・ 冷却計測制御系の運転の一部自動化
- ・ 運転のデータ管理・保管・提供
- ・ 運転制御卓における運転データの一括監視

また、このシステムは、実績のある市販のハードウェアを採用して構成していることから、信頼性が高く、また、後々のハードウェアのアップグレードが容易に行える。ソフトウェアについても同様であり、ソフトウェアも市販のものを採用しているので、2000年問題などのOSによる対応がメーカーによって確実に行われ信頼性が高い。

制御プロセスや表示プロセスなどの各マシンで動作しているプログラムは、JRR-4で作成したものであり、アップグレードすることが可能である。現在、JRR-4運転支援システムは特に大きな問題もなく使用されており、運転員の労力の削減などの目的を十分に果たしているが、今後、運転員の要求などがあった場合には、随時それに対応することが可能である。

この様に、JRR-4運転支援システムは運転員の要求に応えたシステムである。その上、ハード的にもソフト的にも柔軟性が高く、さらに運転員の要求などに応えることが出来るシステムである。

## 謝 辞

本システムの開発は、ハードウェアの選定などシステム構成の検討から始まり、ソフトウェアの開発と検証まで約2年間を要した。その間、多くの方々のご協力とご助言によって達成されたものである。特に、中島照夫 J R R - 4 管理課長には基本設計から完成に至る間、親身になってご指導をいただき感謝いたします。また、島崎潤也原子力船システム研究室長及び中澤利雄氏(原子力船研究開発室)には、運転支援のあり方などについて貴重なご助言をいただき感謝いたします。

最後に、J R R - 4 運転員の方々の貴重な運転経験は、有用な運転支援システムを開発するにあたって非常に重要なものでありました。この場をお借りして、J R R - 4 関係者に深く感謝いたします。

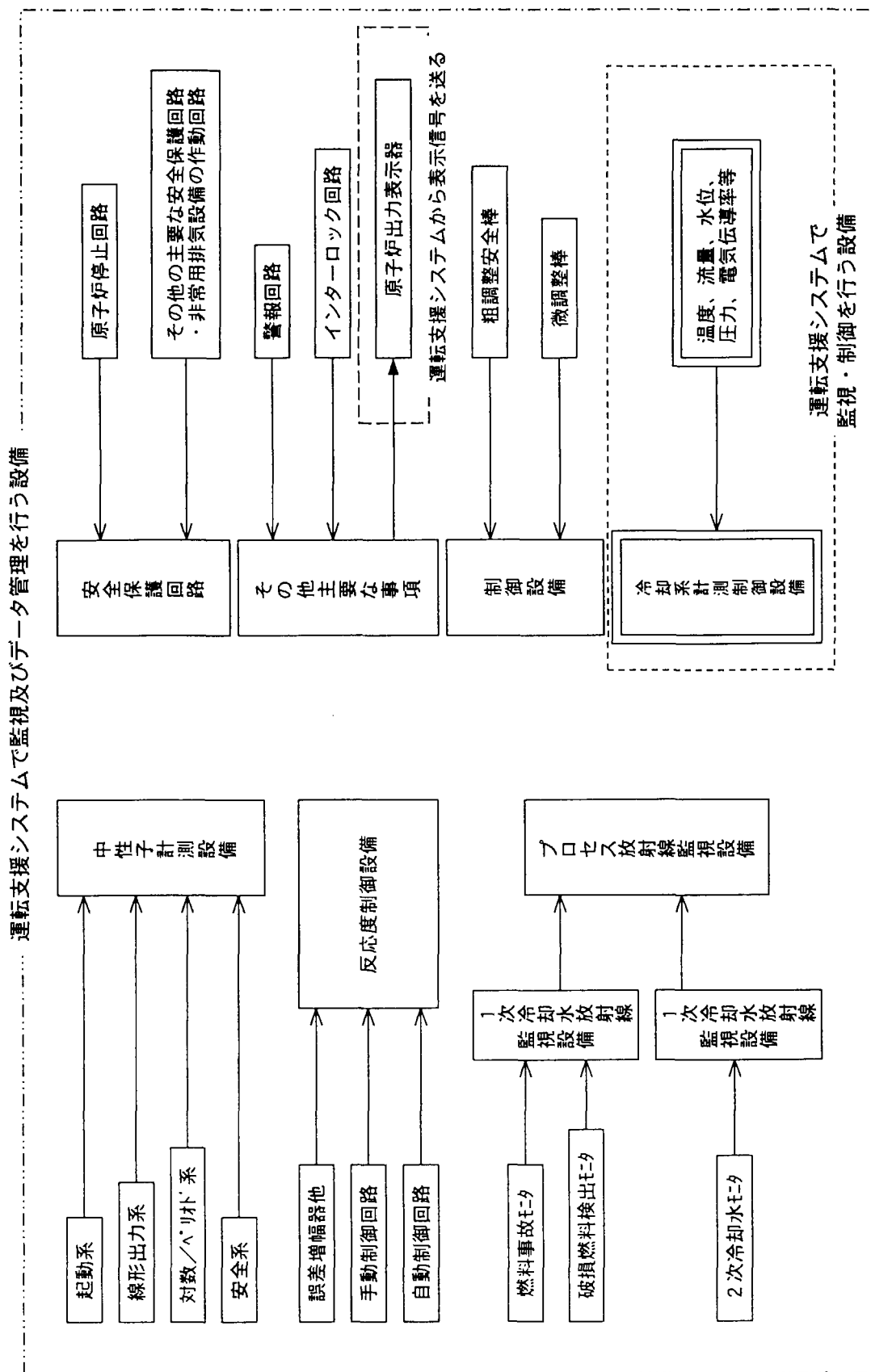


図1 運転支援システムの入出力データ

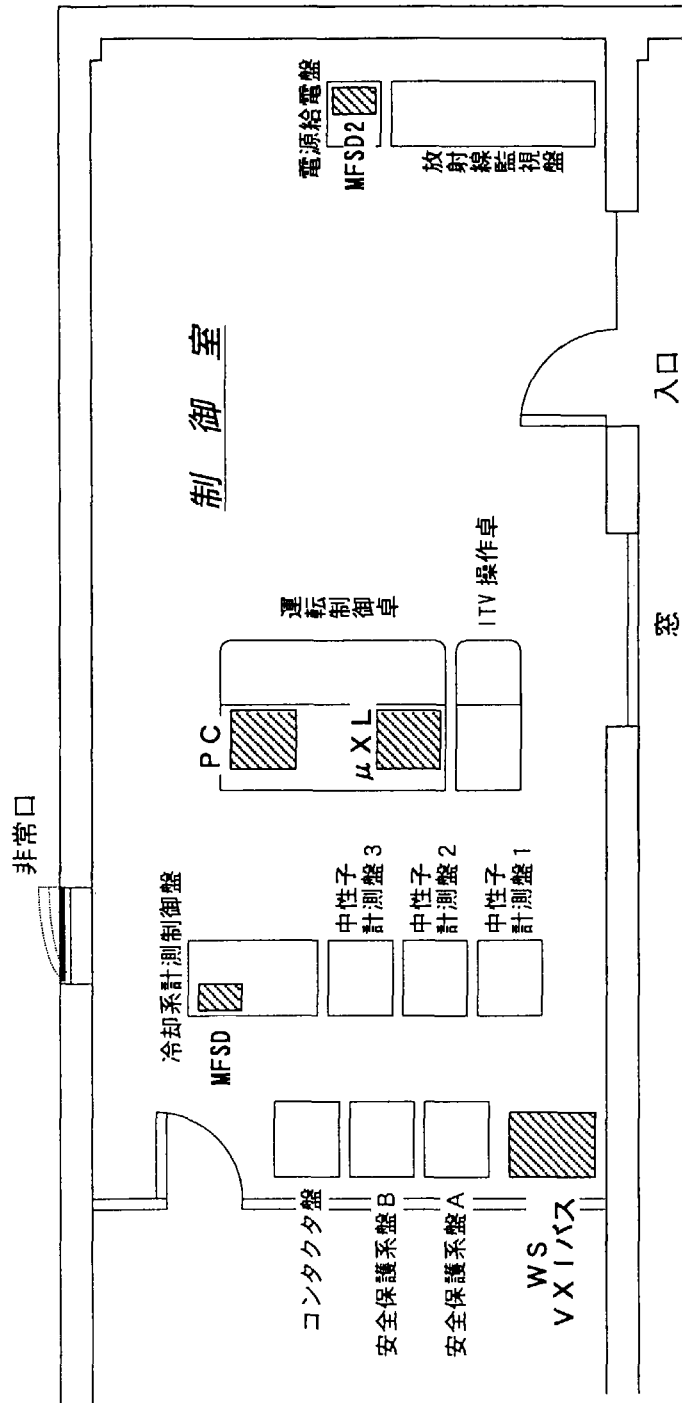


図 2 運転支援システムの制御室内配置

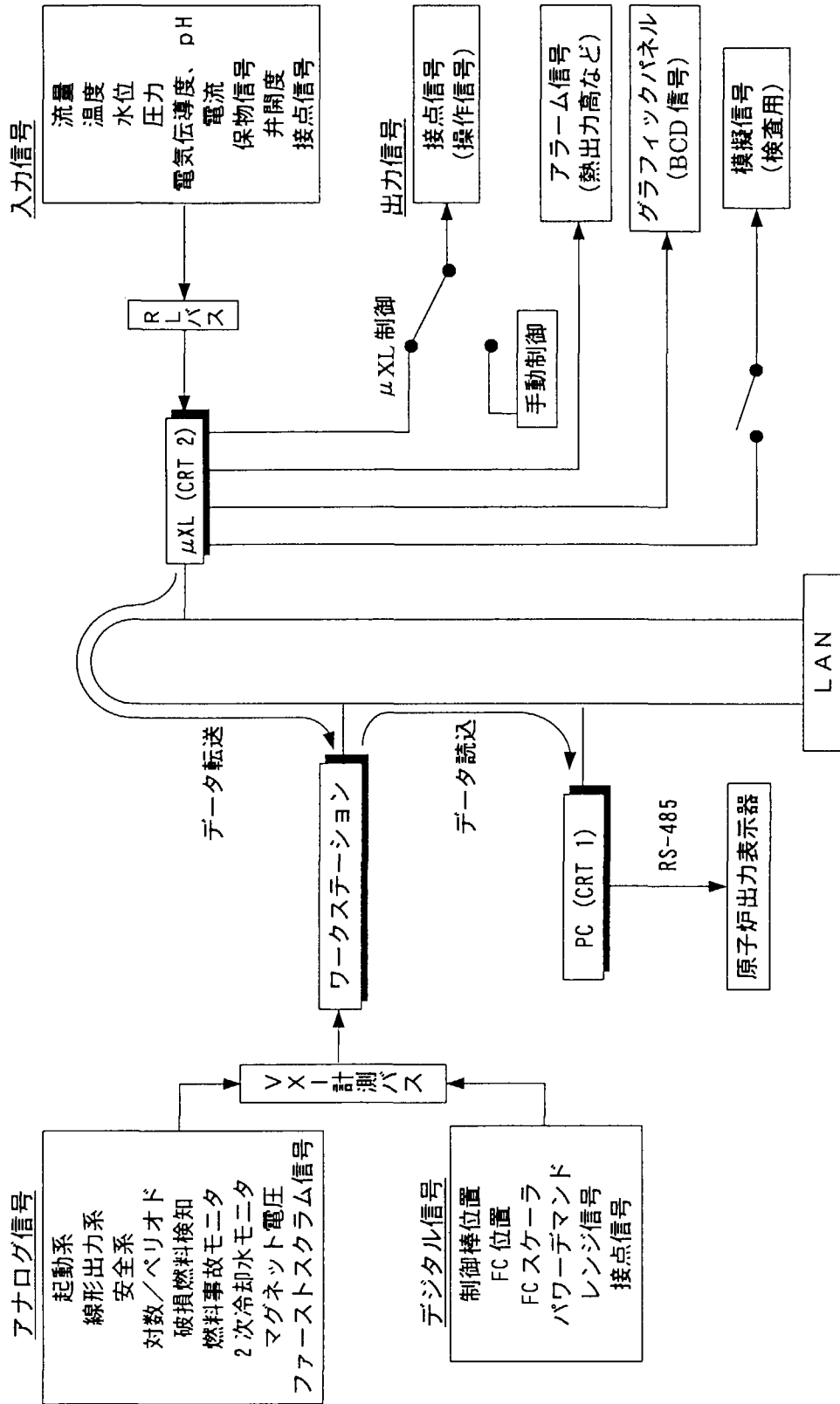


図3 運転支援システムのコンピュータ構成

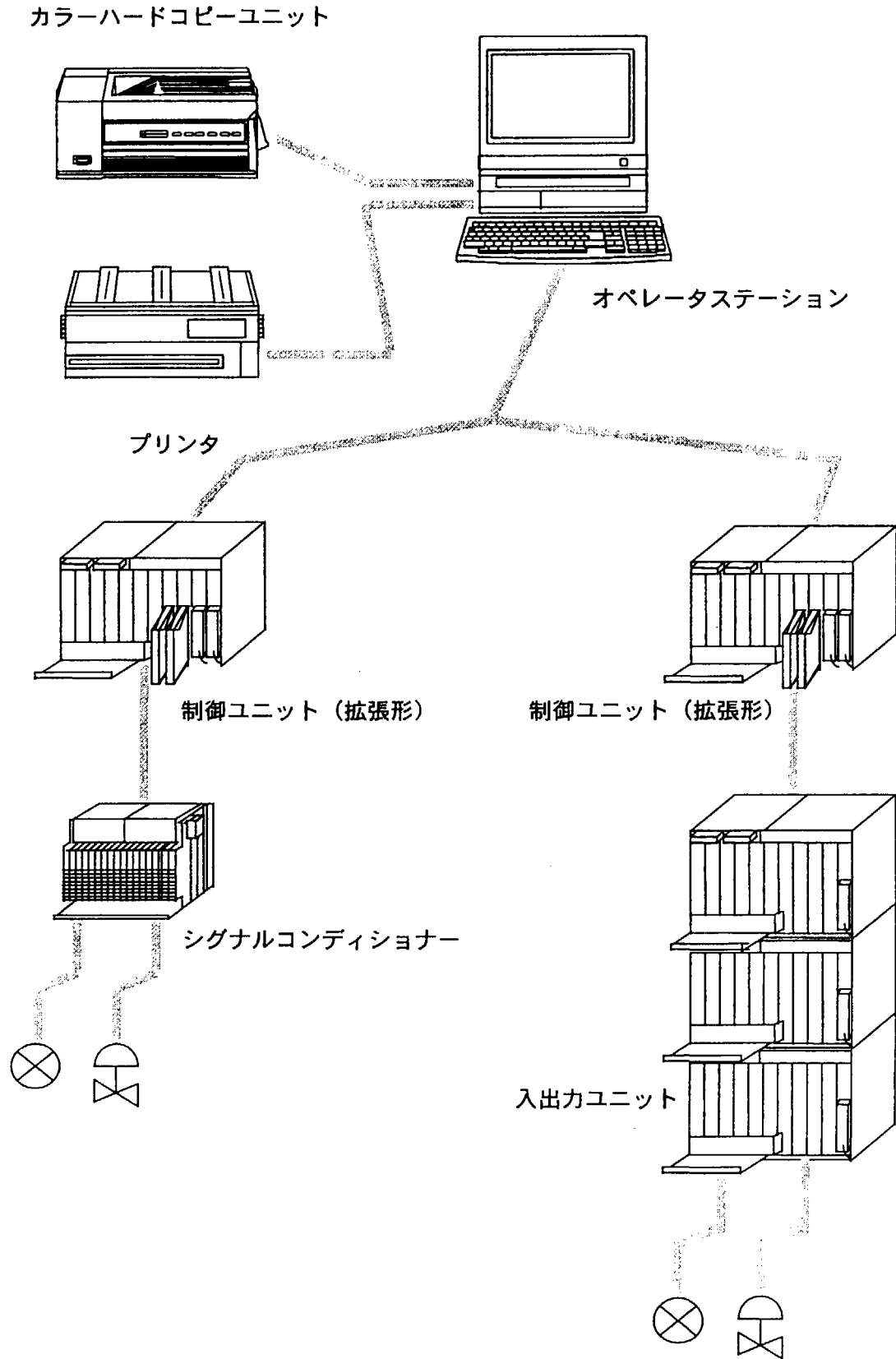


図4 プロセス計算機 ( $\mu$ XL) の構成

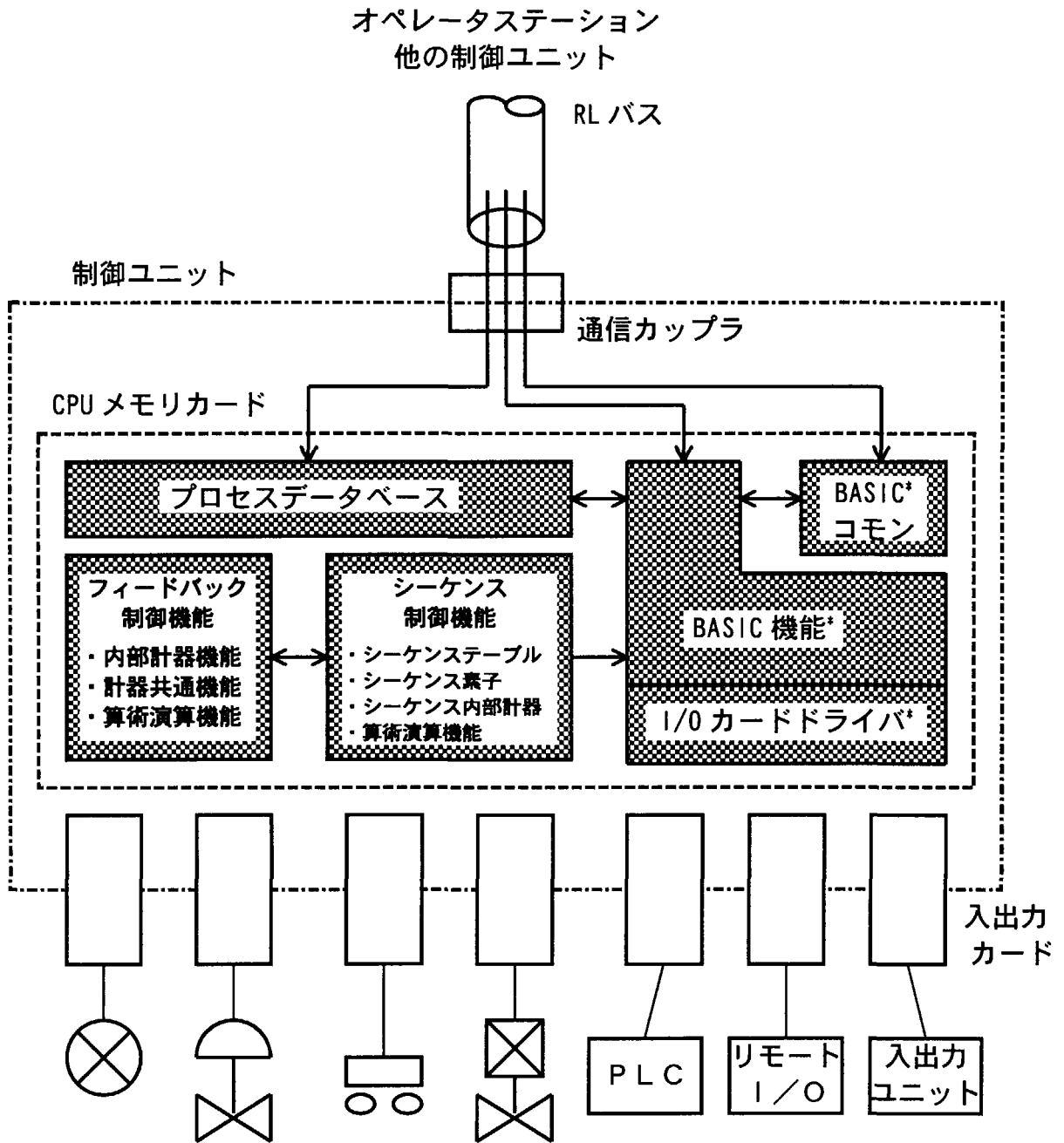


図5  $\mu$ XL制御ユニットの動作



S1 99.03.03 15:07  
 CG0014 14/480  
 主PUMP2 主PUMP3  
 出口压力 出口压力  
 kg/cm2 kg/cm2  
 3.84 3.82

主PUMP1  
 出口压力  
 kg/cm2  
 3.79

炉心入口  
 A系流量  
 m3/min  
 7.95

强制循環 監視1  
 炉心出口  
 温度 °C  
 28.57  
 P  
 S  
 M

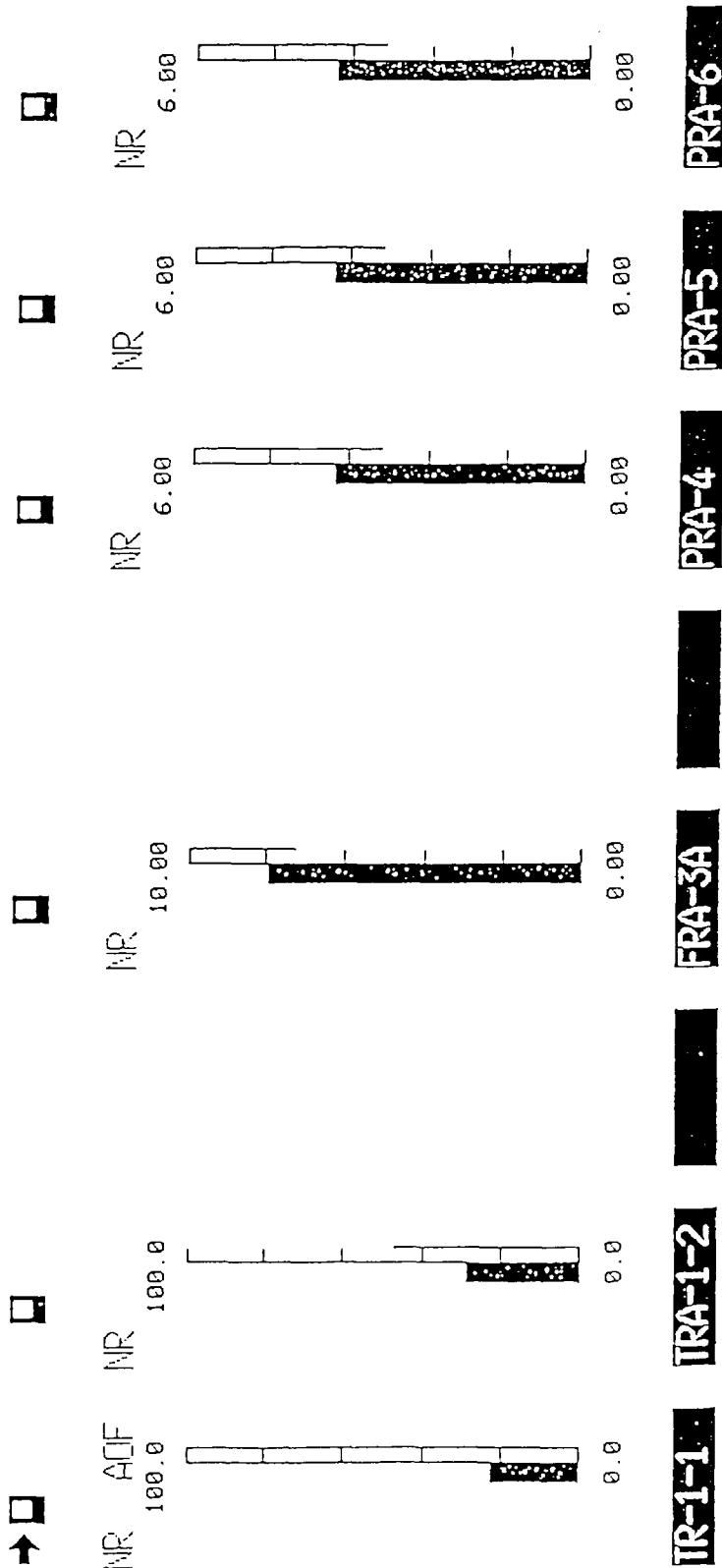
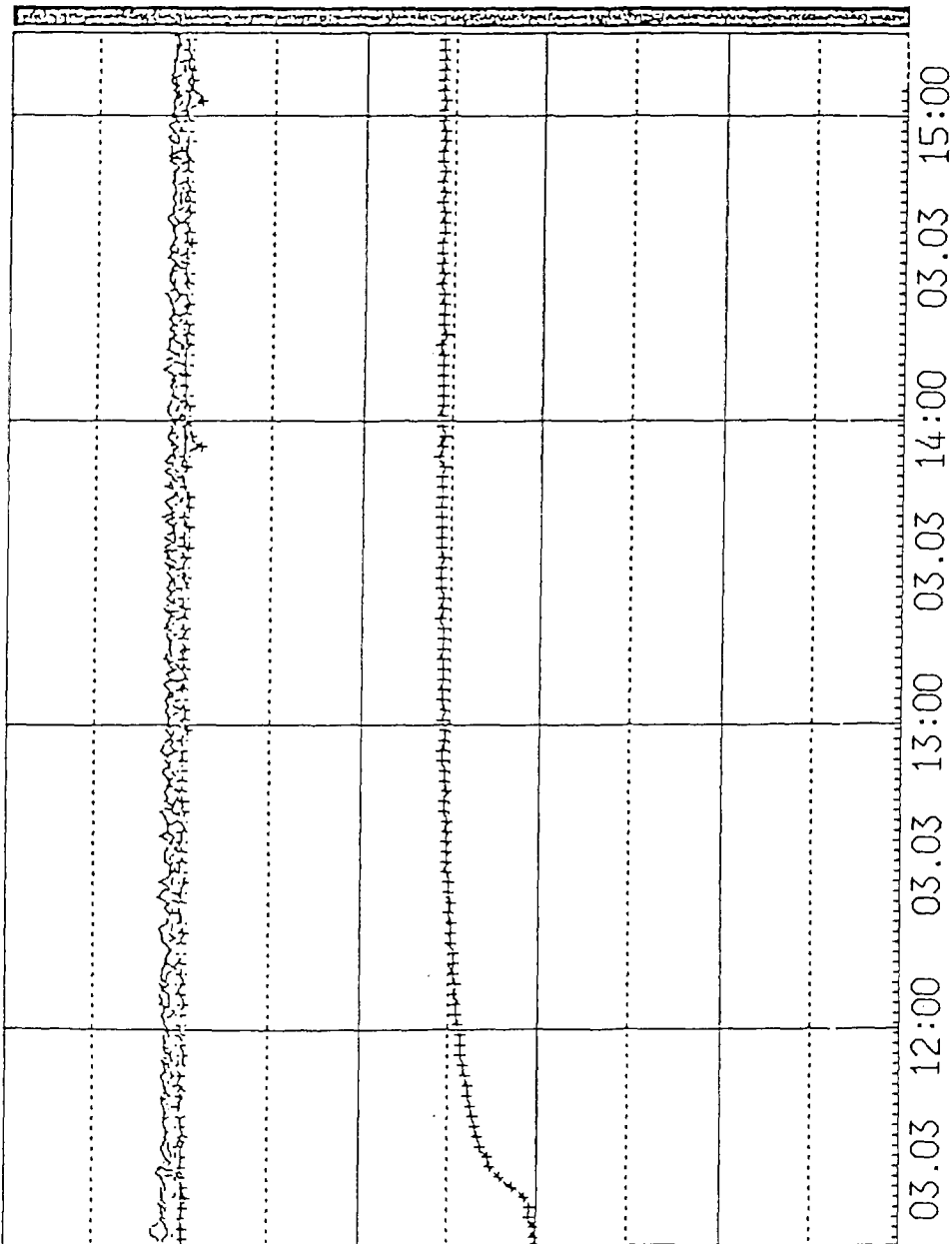


図6 μXL プロセスデータ表示画面 (計器型)

S1 99.03.03 15:16  
 .TG0017 017/320  
 99.03.03 15:16:00  
 レンジHI = 5.00  
 → **1** FRA-1 PV  
 — 4.09m<sup>3</sup>/min  
**2** FRA-2 PV  
 — 4.06m<sup>3</sup>/min  
 FRA-3A PV  
 7.98m<sup>3</sup>/min  
**4** FRA-3B PV  
 — 7.99m<sup>3</sup>/min  
**5** FRA-13 PV  
 +++++ 7.98m<sup>3</sup>/min  
**6** FRS-4 PV  
 +++++ 10.28m<sup>3</sup>/hr  
 FRS-5 PV  
 0.06m<sup>3</sup>/hr  
**8** FRS-20 PV  
 +++++ 0.00m<sup>3</sup>/hr  
 レンジLO = 0.00

1 次系流量



計器図
1PEN ON
↔4H
<<
>>
PAUSE
SOFT CHG

図7 . μXL プロセスデータ表示画面 (トレンドグラフ)

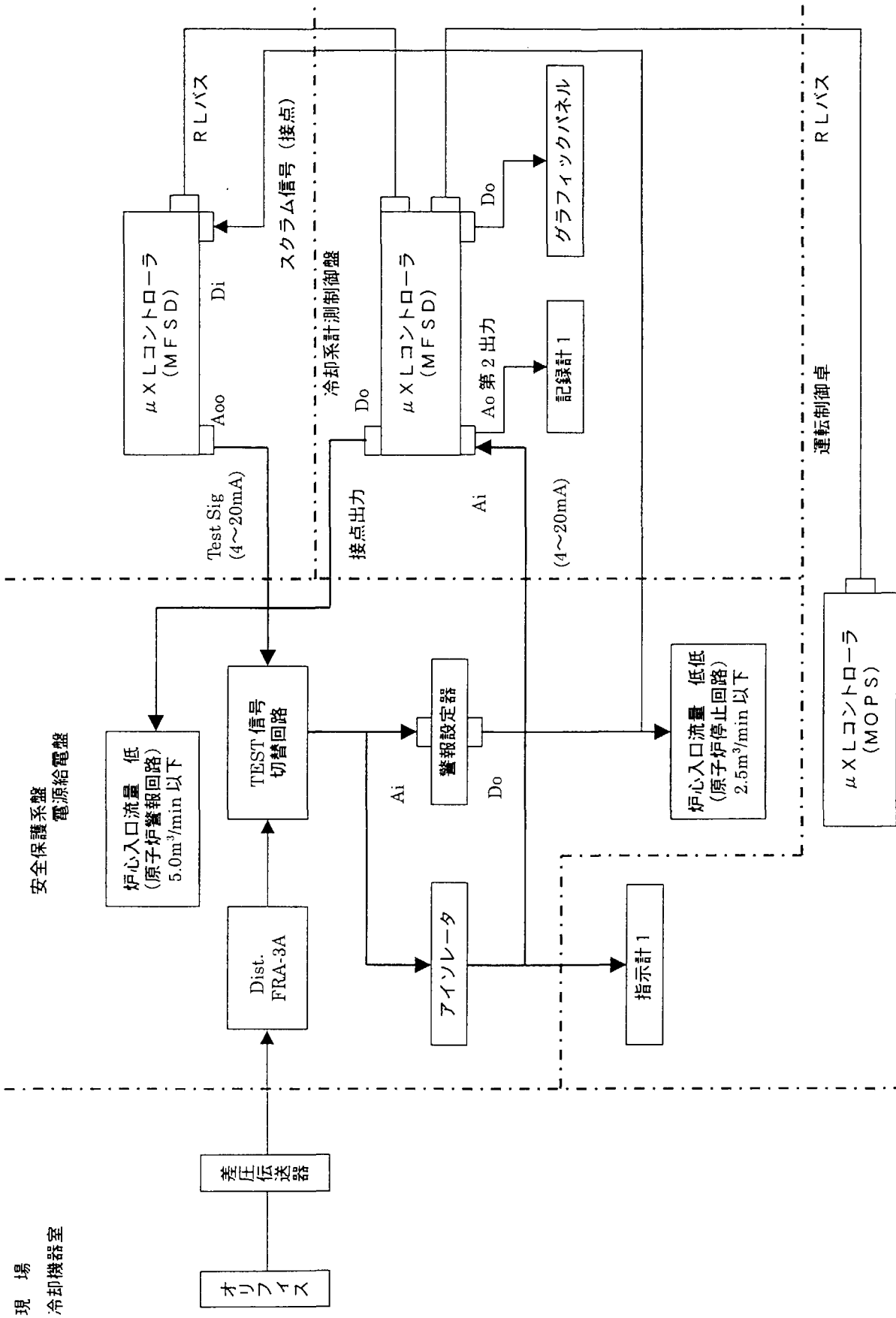


図8 起動前点検の流れ

S1 99.03.03 15:18  
.CG0001 1/480  
排水 LOOP構成  
プール2 用TIMER S 55

循環ループ選択  
全閉 強制循環  
自然循環 自然循環 水移動 1→2 水移動 2→1

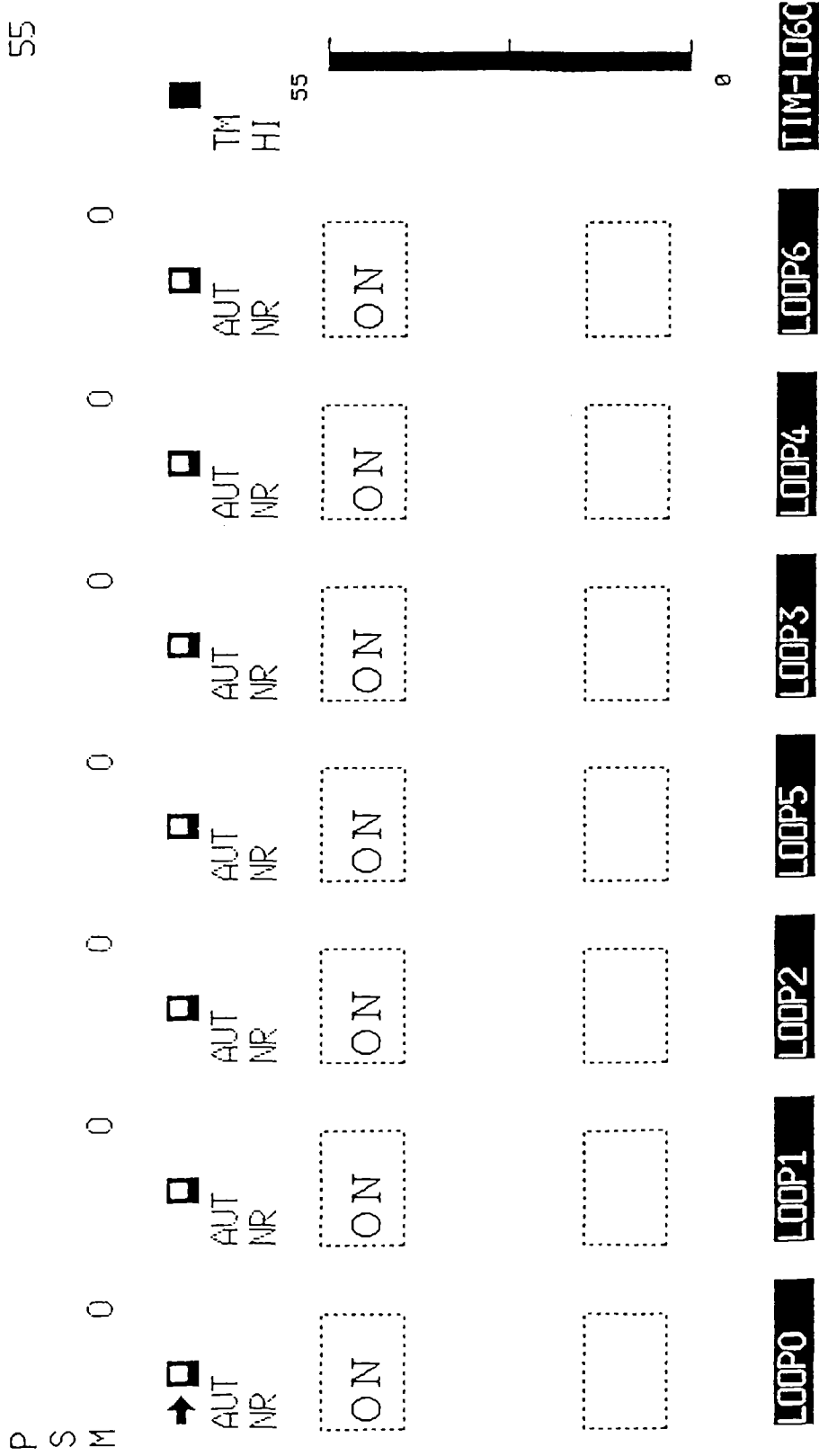


図9 運転ループ構成スイッチ画面

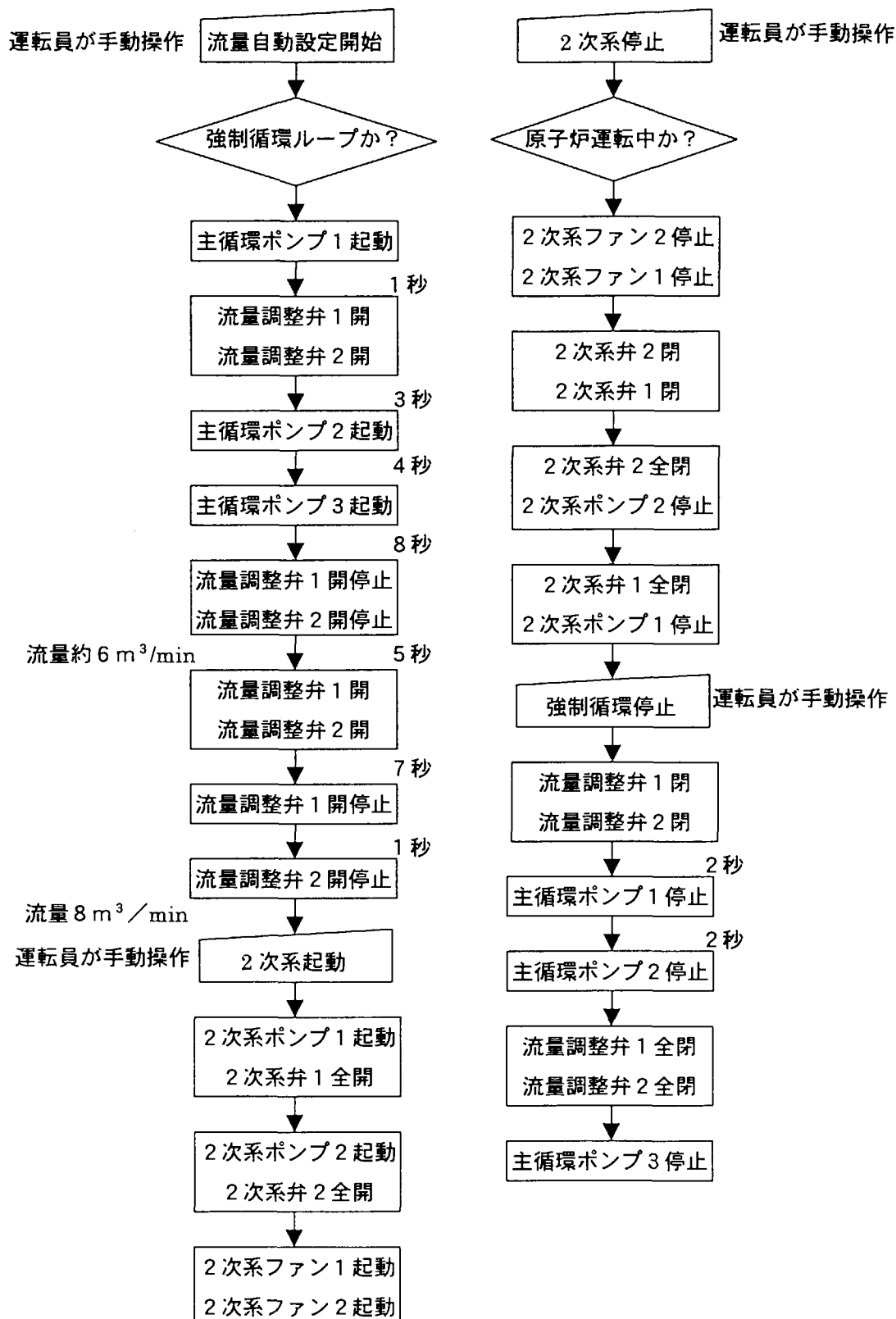


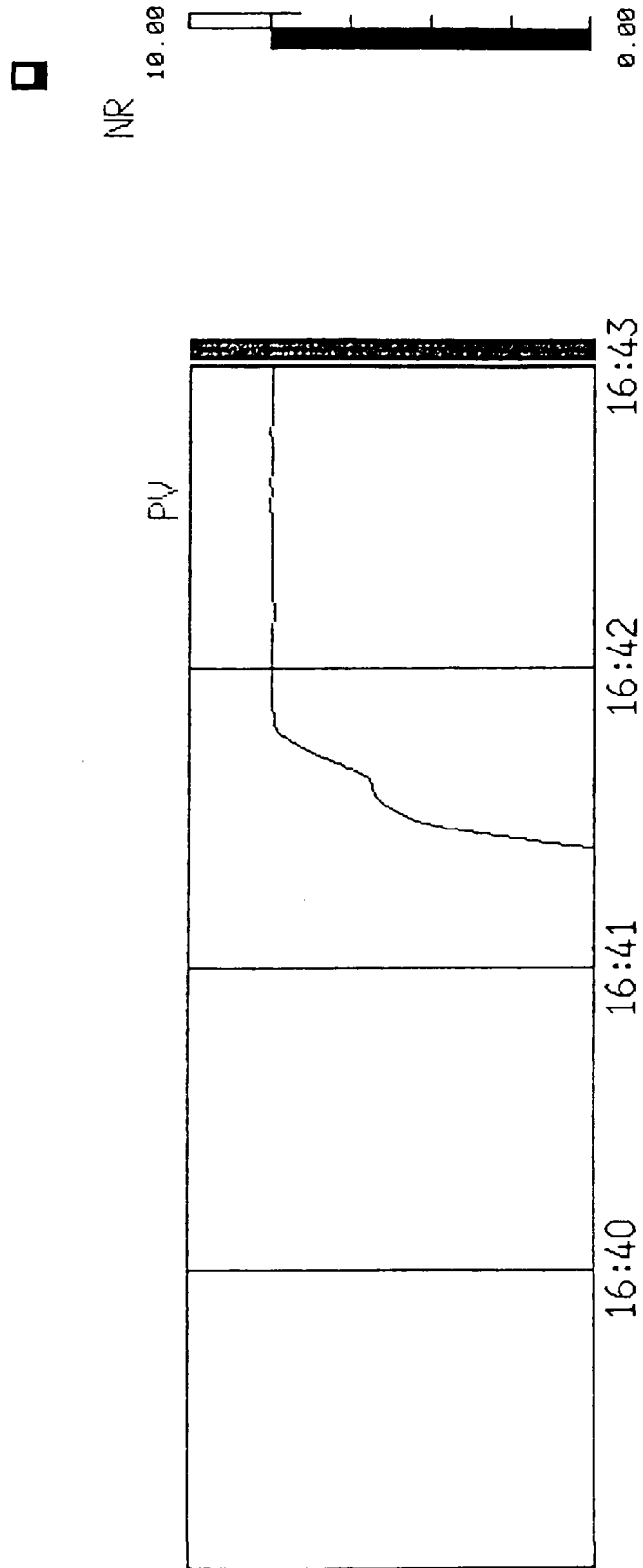
図10 自動流量設定の流れ

S1 99.03.05 16:42

炉心入口A系流量

□ FRA-3A

UNIT: m <sup>3</sup> /min	
SH : 10.00	HH : 10.00
SL : 0.00	PH : 10.00
PV : 8.01	PL : 7.50
RAW : 80.2	LL : 7.25
SUM :	VL : 10.00



FRA-3A

図 1 1 自動流量設定による流量設定 (μXL 画面)

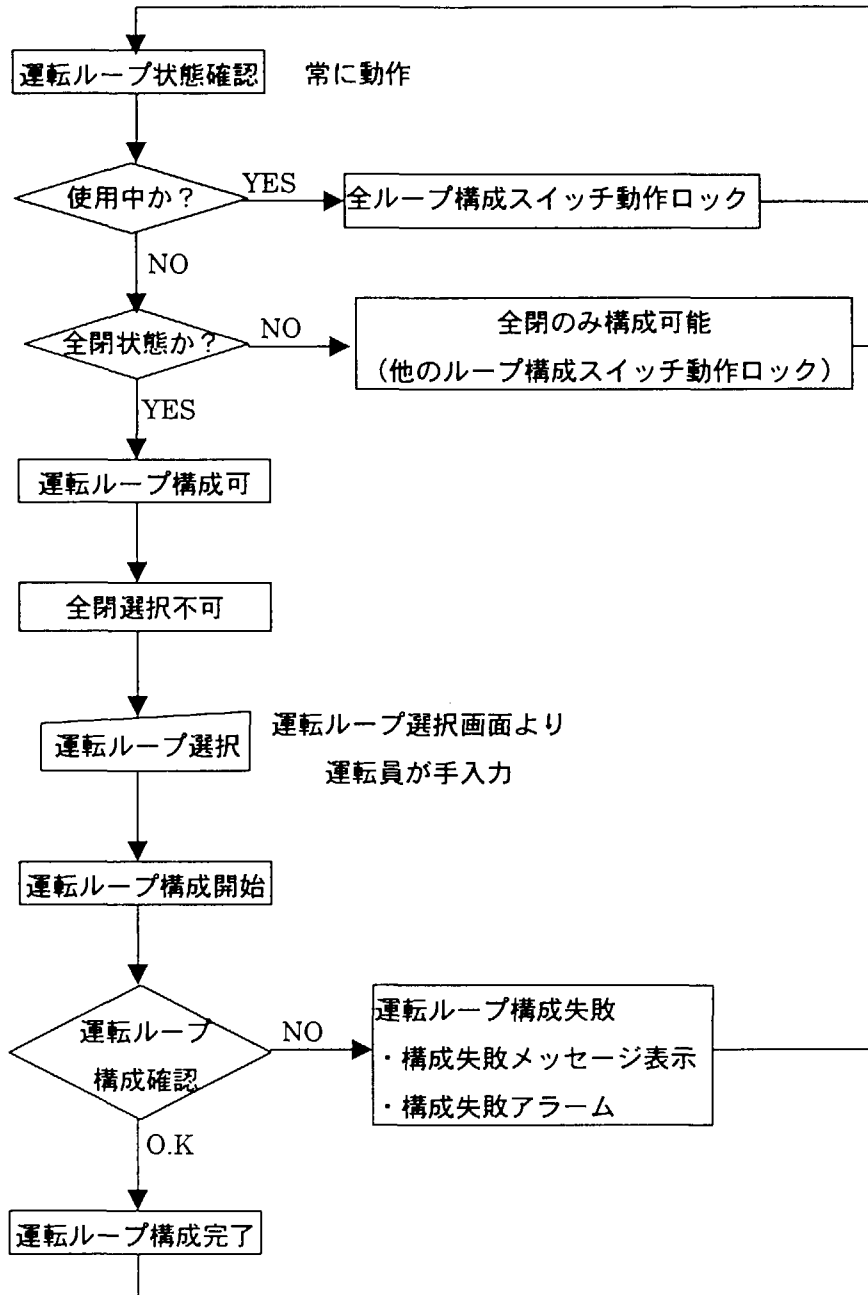


図 1 2 自動運転ループ構成の流れ

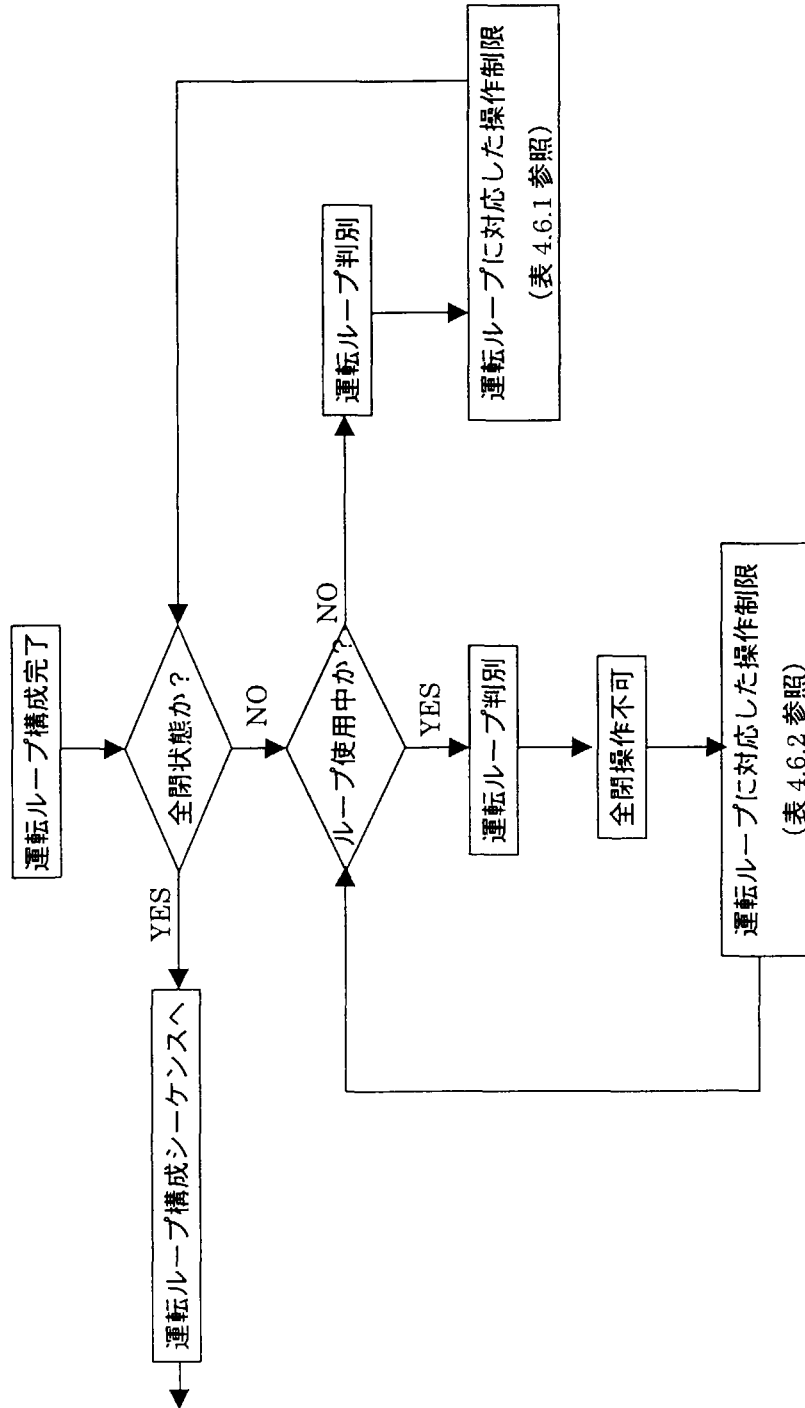


図 1 3 各運転ルールにおける操作制限機器シーケンス



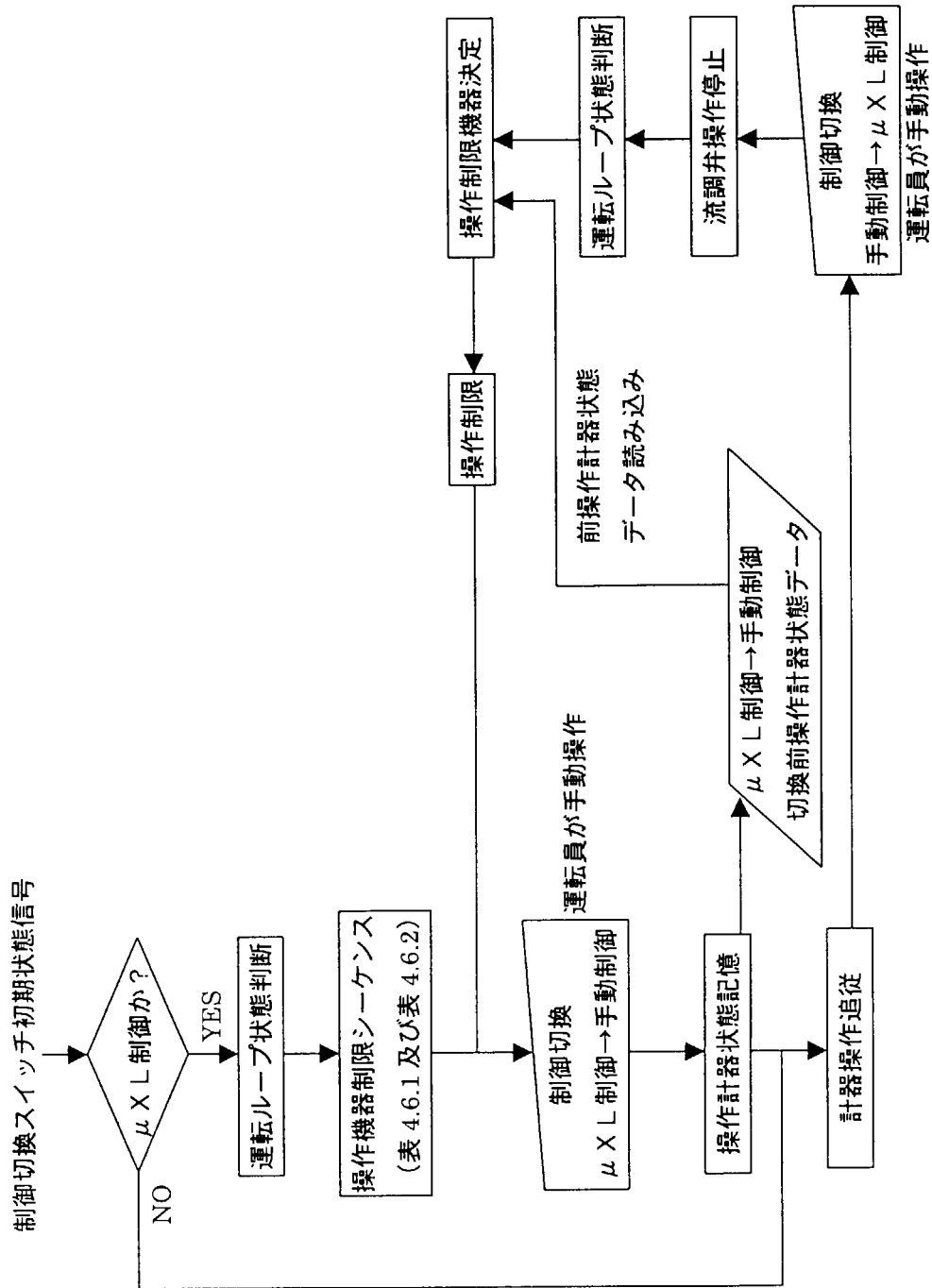


図 1 4 制御切換時  $\mu$ XL 動作

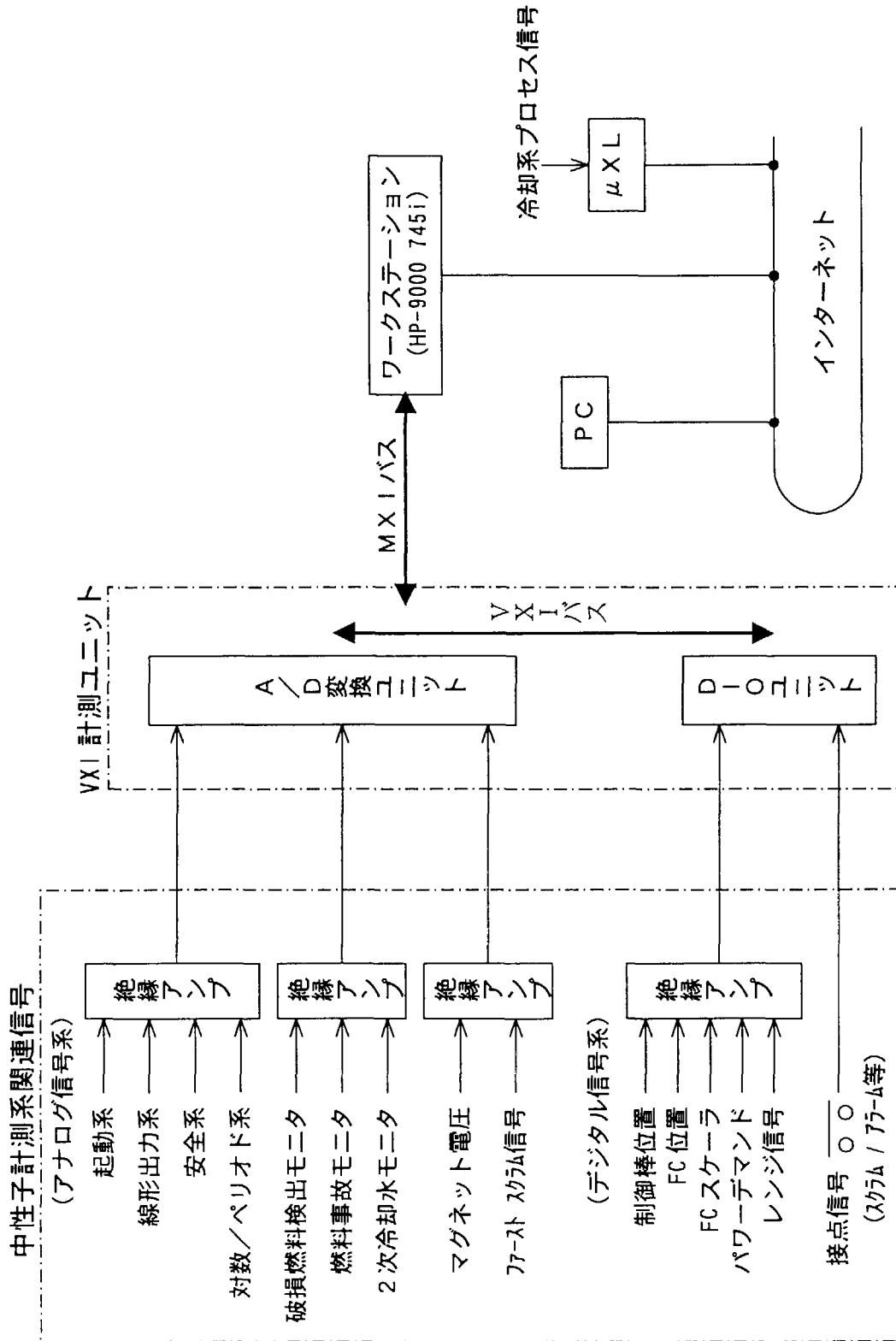


図 1 5 中性子系計測信号の接続

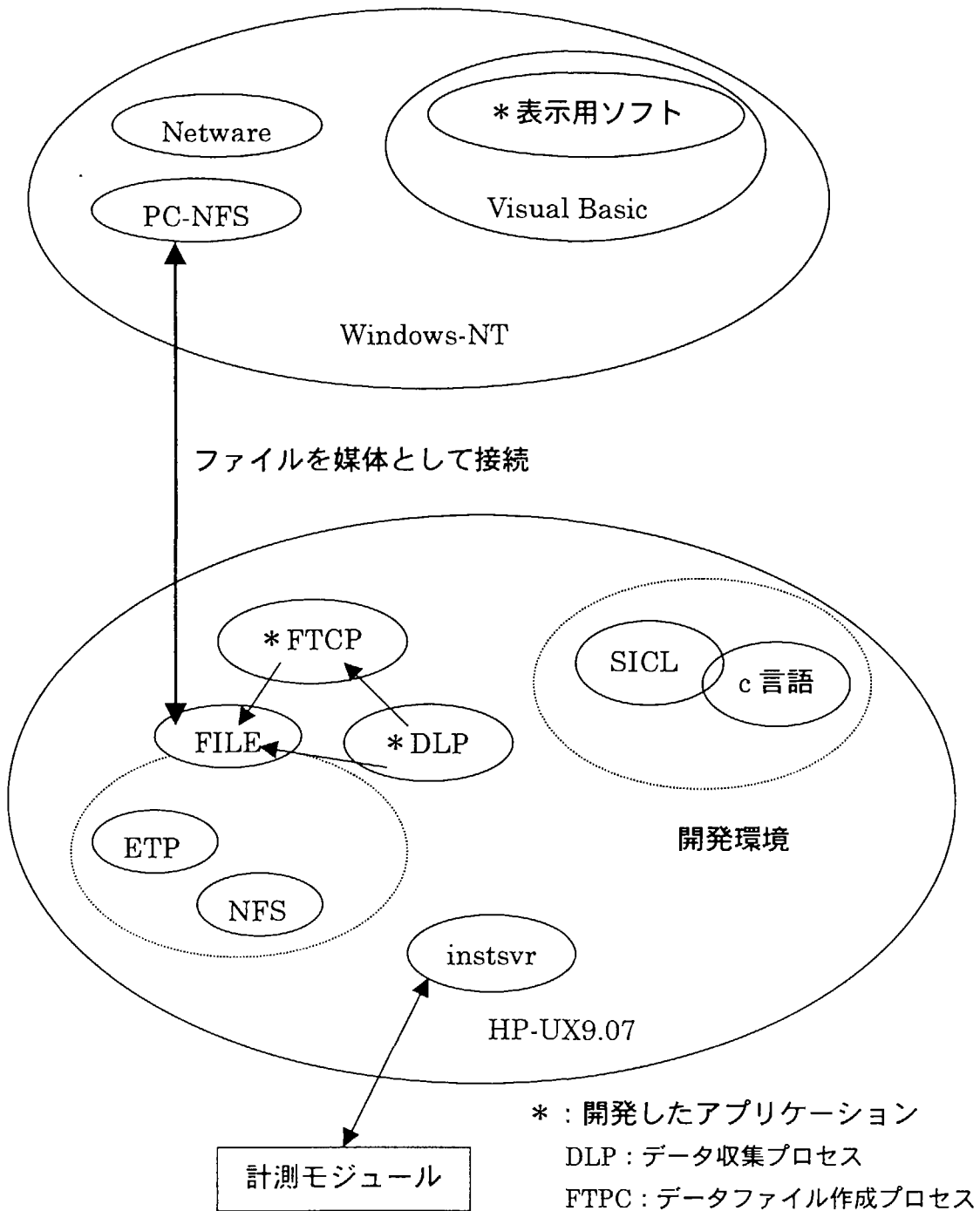


図16 WSソフト構成概念

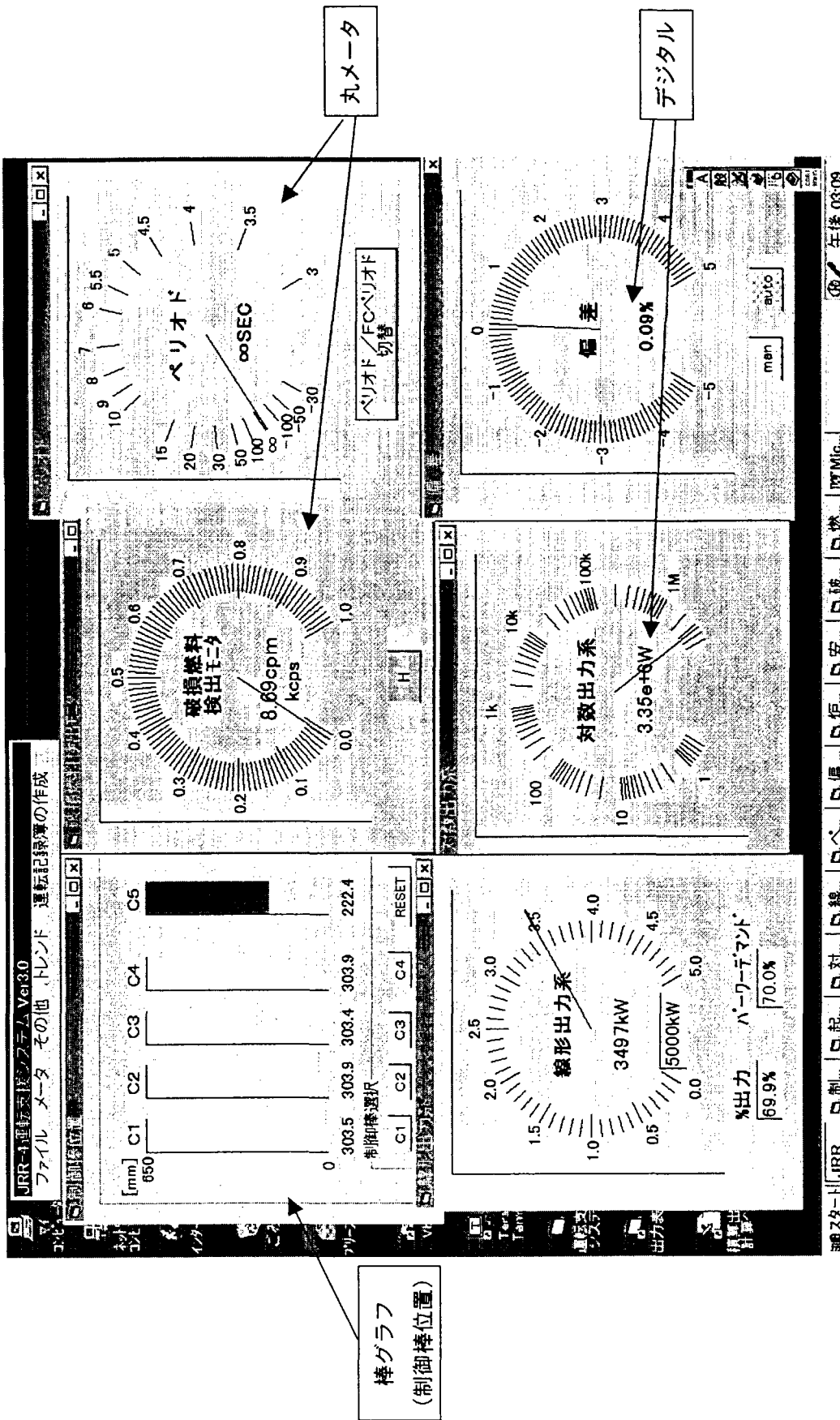


図17 データ表示画面 (丸メータ・棒グラフ)

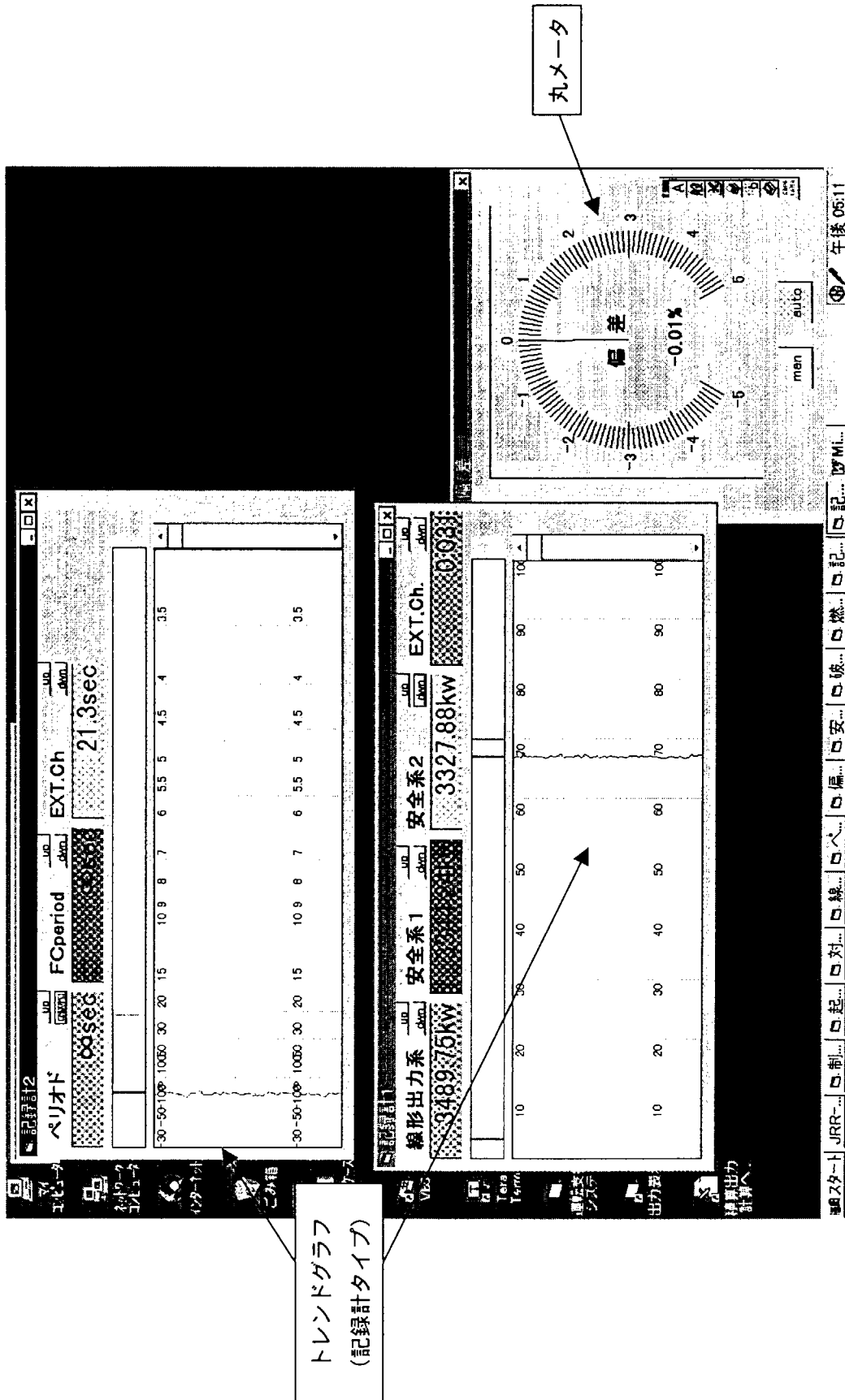


図18 データ表示画面 (トレンドグラフ)

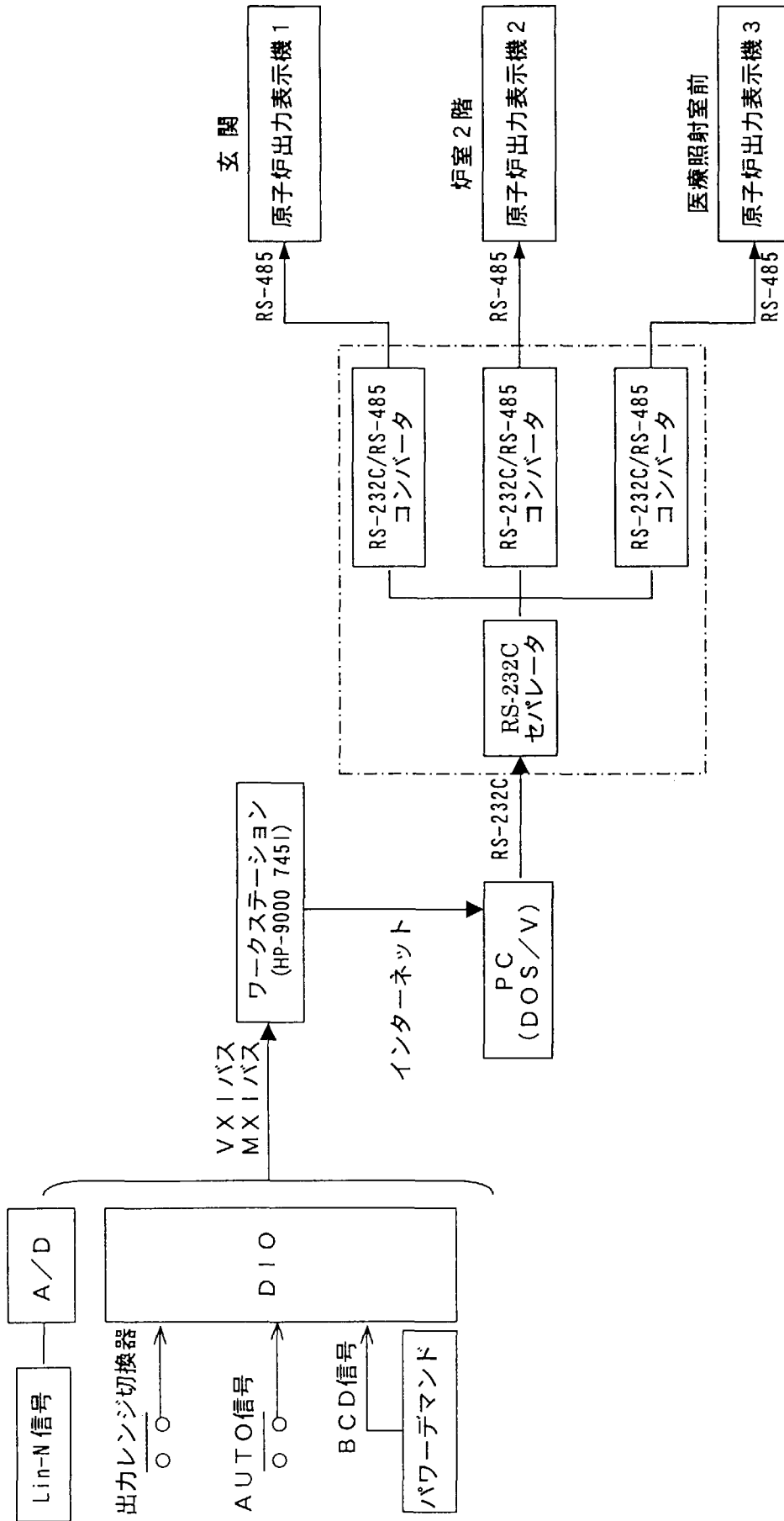


図 1 9 原子炉出力表示系統図

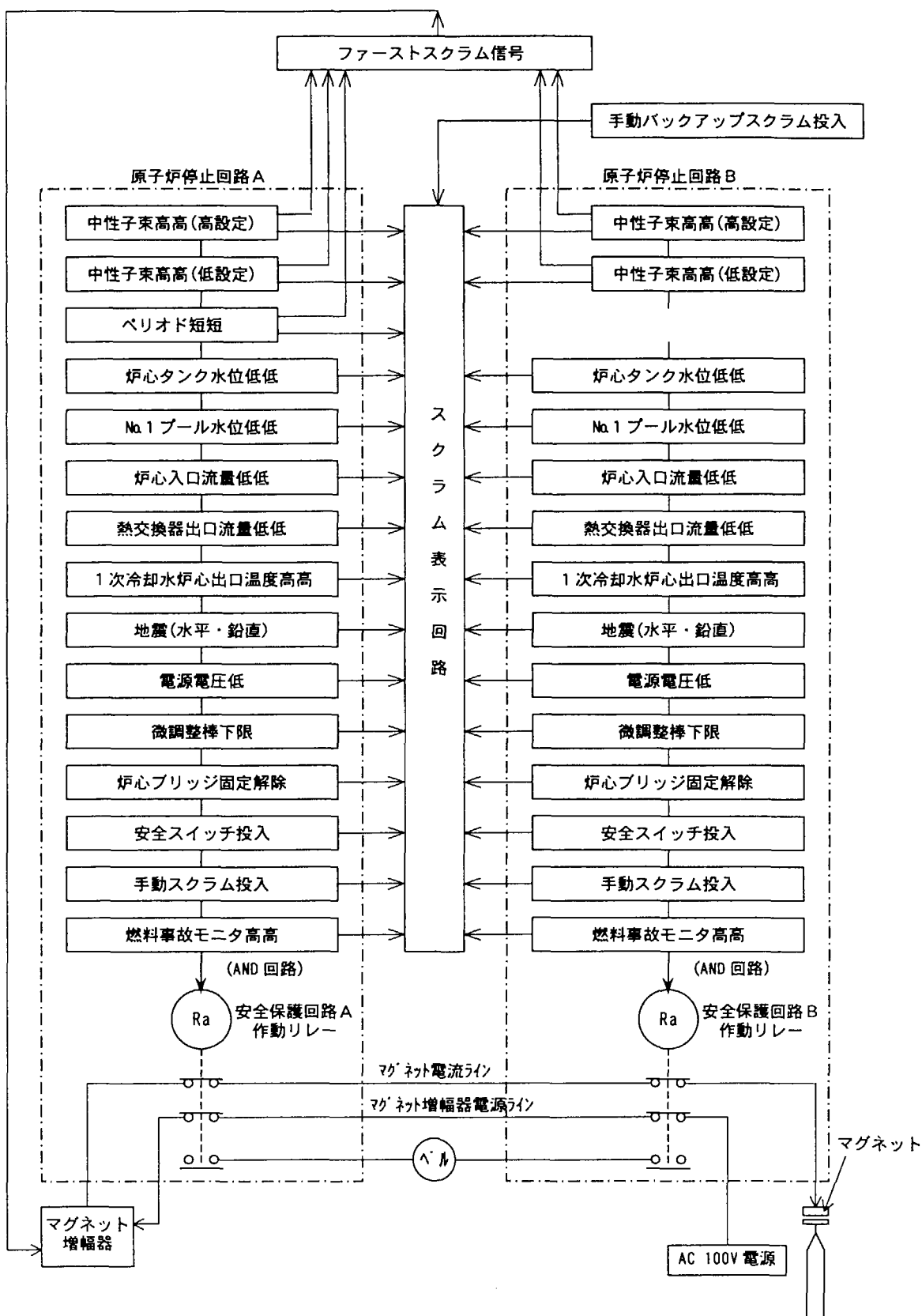


図 20 JRR-4 のスクラム回路

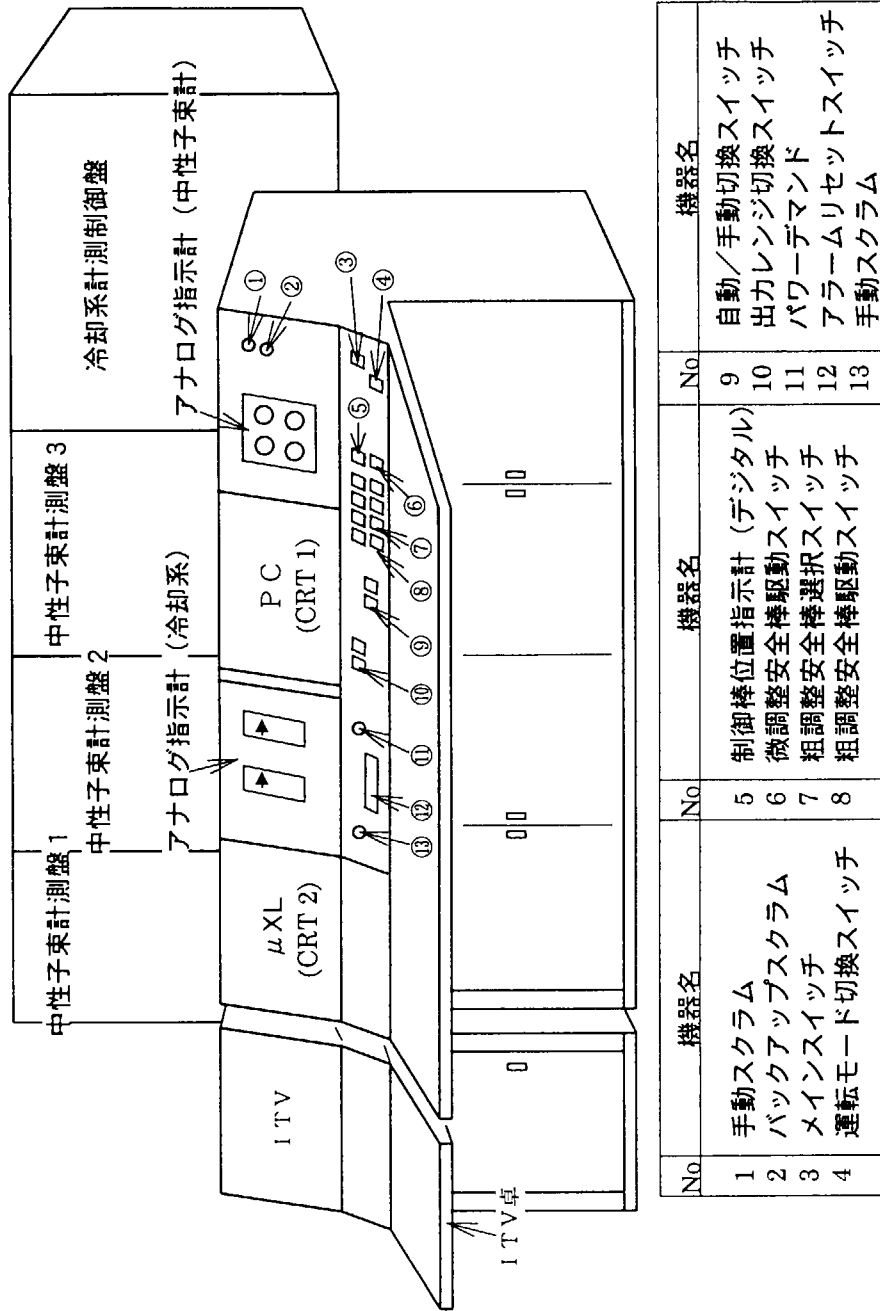


図 2 1 運転制御卓

No	機器名	No	機器名	No	機器名
1	手動スクラム	5	制御棒位置指示計 (デジタル)	9	自動/手動切換スイッチ
2	バックアップスクラム	6	微調整安全棒駆動スイッチ	10	出力レンジ切換スイッチ
3	メインストップ	7	粗調整安全棒選択スイッチ	11	パワーデマント
4	運転モード切換スイッチ	8	粗調整安全棒駆動スイッチ	12	アラームリセットスイッチ
				13	手動スクラム



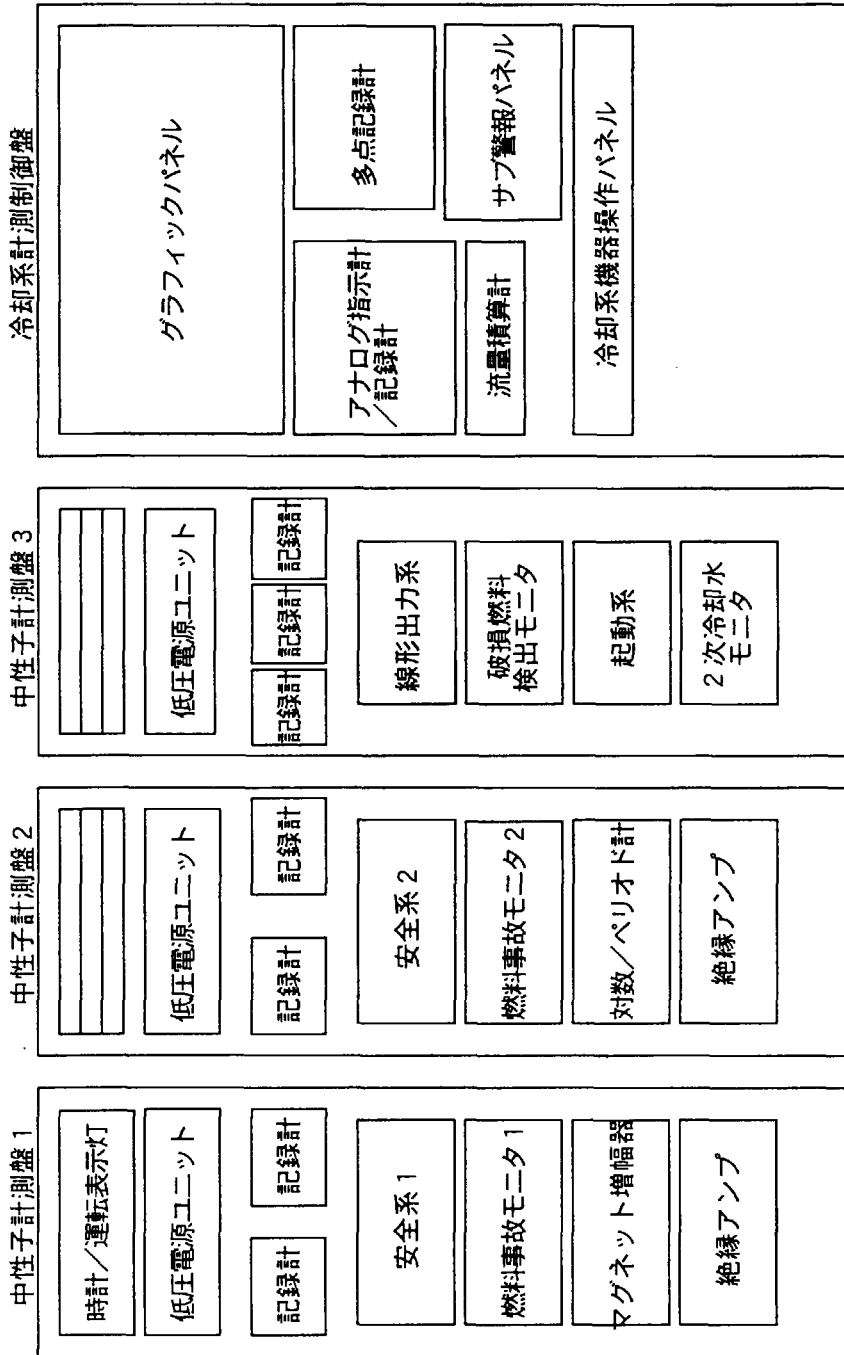


図 2 2 中性子計測盤及び冷却系計測制御盤

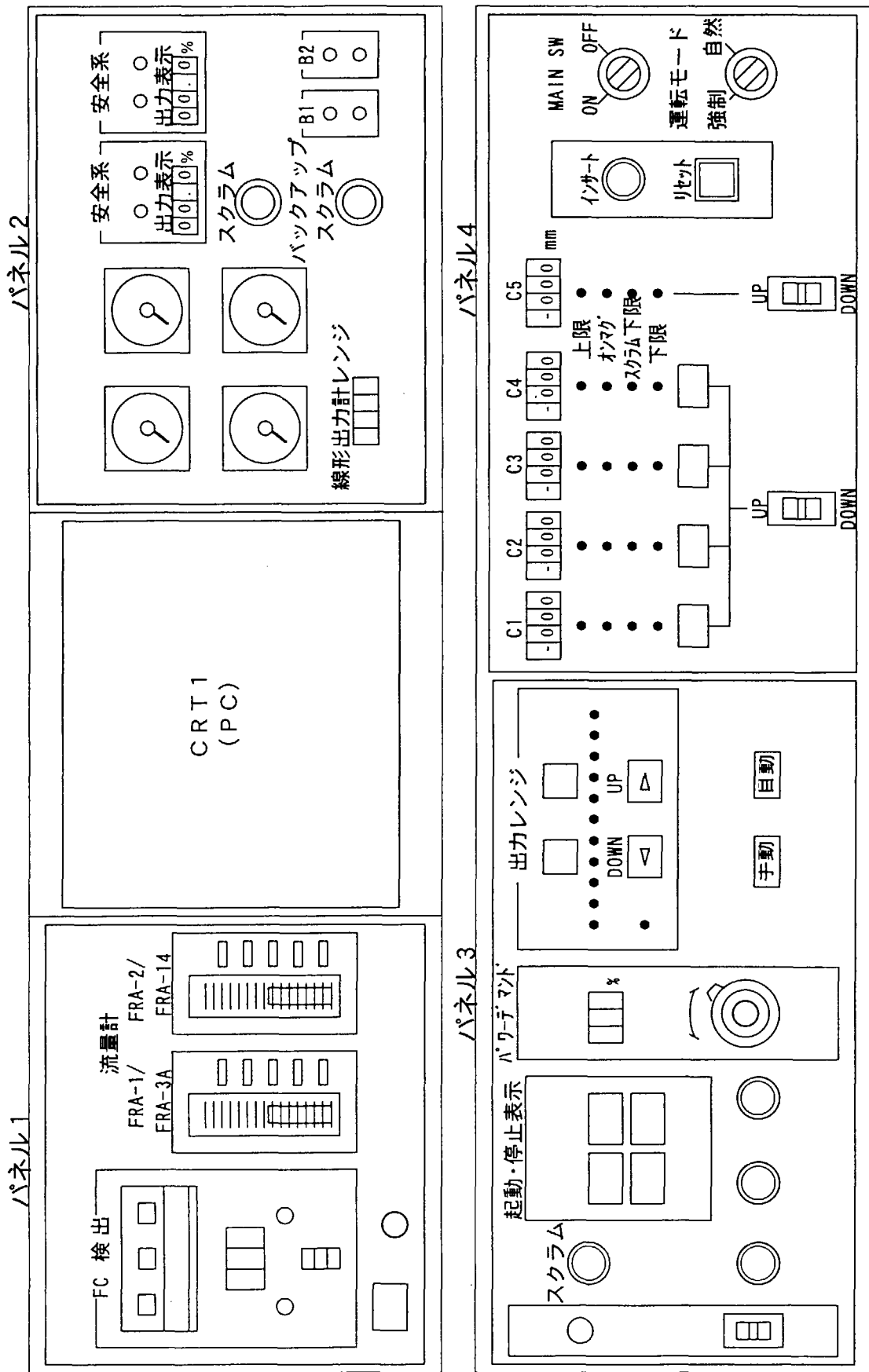


図 2 3 運転制御卓計器

# 国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$   
 $1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
$10^{18}$	エクサ	E
$10^{15}$	ペタ	P
$10^{12}$	テラ	T
$10^9$	ギガ	G
$10^6$	メガ	M
$10^3$	キロ	k
$10^2$	ヘクト	h
$10^1$	デカ	da
$10^{-1}$	デシ	d
$10^{-2}$	センチ	c
$10^{-3}$	ミリ	m
$10^{-6}$	マイクロ	$\mu$
$10^{-9}$	ナノ	n
$10^{-12}$	ピコ	p
$10^{-15}$	フェムト	f
$10^{-18}$	アト	a

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	$\text{s}^{-1}$
力	ニュートン	N	$\text{m} \cdot \text{kg} / \text{s}^2$
圧力, 応力	パスカル	Pa	$\text{N} / \text{m}^2$
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
工率, 放射束	ワット	W	$\text{J} / \text{s}$
電気量, 電荷	クーロン	C	$\text{A} \cdot \text{s}$
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	$\text{W} / \text{A}$
静電容量	ファラド	F	$\text{C} / \text{V}$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$\text{V} / \text{A}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	$\text{A} / \text{V}$
磁束	ウェーバ	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$
磁束密度	テスラ	T	$\text{Wb} / \text{m}^2$
インダクタンス	ヘンリー	H	$\text{Wb} / \text{A}$
セルシウス温度	セルシウス度	$^{\circ}\text{C}$	
光度	ルーメン	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
照射線量	ルクス	lx	$\text{lm} / \text{m}^2$
放射能	ベクレル	Bq	$\text{s}^{-1}$
吸収線量	グレイ	Gy	$\text{J} / \text{kg}$
線量当量	シーベルト	Sv	$\text{J} / \text{kg}$

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	$\text{\AA}$
バー	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$   
 $1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$   
 $1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$   
 $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} / \text{s}^2 = 10^{-2} \text{ m} / \text{s}^2$   
 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$   
 $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C} / \text{kg}$   
 $1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$   
 $1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値は CODATA の1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換 算 表

力	N (=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度  $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ}) (\text{g} / (\text{cm} \cdot \text{s}))$

動粘度  $1 \text{ m}^2 / \text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス}) (\text{cm}^2 / \text{s})$

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg (Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	$7.50062 \times 10^3$	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	$1.33322 \times 10^{-4}$	$1.35951 \times 10^{-3}$	$1.31579 \times 10^{-3}$	1	$1.93368 \times 10^{-2}$
	$6.89476 \times 10^{-3}$	$7.03070 \times 10^{-2}$	$6.80460 \times 10^{-2}$	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)
	1	0.101972	$2.77778 \times 10^{-7}$	0.238889	$9.47813 \times 10^{-4}$	0.737562	$6.24150 \times 10^{18}$	= 4.184 J (熱化学)
	9.80665	1	$2.72407 \times 10^{-6}$	2.34270	$9.29487 \times 10^{-3}$	7.23301	$6.12082 \times 10^{19}$	= 4.1855 J (15 °C)
	$3.6 \times 10^6$	$3.67098 \times 10^5$	1	$8.59999 \times 10^5$	3412.13	$2.65522 \times 10^6$	$2.24694 \times 10^{25}$	= 4.1868 J (国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	$1.16279 \times 10^{-6}$	1	$3.96759 \times 10^{-3}$	3.08747	$2.61272 \times 10^{19}$	仕事率 1 PS (仏馬力)
	1055.06	107.586	$2.93072 \times 10^{-4}$	252.042	1	778.172	$6.58515 \times 10^{21}$	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	$3.76616 \times 10^{-7}$	0.323890	$1.28506 \times 10^{-3}$	1	$8.46233 \times 10^{18}$	= 735.499 W
	$1.60218 \times 10^{-19}$	$1.63377 \times 10^{-20}$	$4.45050 \times 10^{-26}$	$3.82743 \times 10^{-20}$	$1.51857 \times 10^{-22}$	$1.18171 \times 10^{-19}$	1	

放射能	Bq	Ci
	1	$2.70270 \times 10^{-11}$
	$3.7 \times 10^{10}$	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	$2.58 \times 10^{-4}$	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

J R R 1 4 運 転 支 援 シ ス テ ム の 開 発