

カラー ディスプレイによる原子カプラントの 運転監視法

Operation Monitoring by Color CRT Displays in Boiling Water Reactor Plant

原子カプラントの大形化に伴い、制御盤の設計方針は「運転に必要なデータだけを表示する」という思想に変わりつつある。そこで日立製作所は、運転情報の処理にプロセス計算機を導入した計算機化制御盤の実験機を製作した。実験機は3台のカラーCRT(Cathode Ray Tube)を使い、更に警報表示窓、操作器の機能を多重化して、制御盤面積を現状の $\frac{1}{10}$ にした。

運転監視機能として、3レベルに階層分割した運転情報を対話形式でCRTに表示する対話形データアクセス法と、プラント状態に応じて優先情報を自動的に選択して表示する自動選択法を開発した。制御盤の小形化、及び開発した運転監視機能により、運転員はプラント状態に応じて簡単・迅速な監視操作ができる。

岸 勝一* *Kishi Shoichi*
長岡 幸夫* *Nagaoka Yukio*
米田 吉之* *Yoneda Yoshiyuki*
福崎 孝治* *Fukuzaki Takaharu*
清川 和宏* *Kiyokawa Kazuhiro*
芹沢 道哉* *Serizawa Michiya*
二川原誠逸** *Nigawara Seiitsu*

1 緒 言

原子力発電プラントの中央制御盤は、現在「プラント データはできる限り表示する」という思想で設計されている。しかし、今後プラント規模が拡大し、操作・監視の必要な機器が増大するに従い、プラント運転員の負担が大きくなるのが予想される。このため設計方針は、「必要最小限のデータを必要なときだけ表示する」という方向に変わりつつある¹⁾。このような制御盤合理化の手段として、運転情報の処理にプロセス計算機とCathode Ray Tube(以下、CRTと略す)表示器を導入した計算機化制御盤が注目されている^{2)~5)}。

日立製作所では、BWR(Boiling Water Reactor)発電プラントの中央制御盤を対象にして、制御盤を極限まで簡素化し、むだを省いた、いわばスケルトンというべき計算機化制御盤の実験機COCONUT(Computer Based Console for Nuclear Power Plant Trial)を試作した。実用化に際しては、これに冗長性、実用性などの観点から、ユーザーの要求にも応じて肉付けをすればよいように、制御盤として必要な機能をこの実験機で開発している。

ここでは、実験機の概要とカラーCRTによる運転情報の監視機能について述べる。

なお、プロセス計算機とCRTを使用した制御盤の合理化は、原子力発電プラントだけでなく、火力発電プラント、電力系統及び上下水道などでも開発が進められている。

2 制御盤の合理化

発電容量460MW級BWR発電プラントの中央制御盤表示パネルには、指示計・記録計が約270台、表示燈が約1,200個、警報表示窓が約600個、及び操作卓には操作スイッチが約600個あり、制御盤の全長は約20mにもなっている。プラント運転員はプラントを安全に運転するために、複雑な操作・監視と広い行動半径が要求されている。現状では、高度に熟練した数名の運転員の運転技術とチームワークでこれらの要求に対処している。操作・監視性能を向上し、必要最小限の運転員でプラントの運転が可能ないように制御盤を合理化するため

には、盤面積の縮小化及び運転情報の集中化が不可欠となる。

盤面積を縮小するためには、制御盤上に設置されている機器の小形化、又は多重化が考えられる。現状の単能機器の小形化では、プラント規模の拡大に伴い、機器数も増加するため根本的な解決にはならない。そこで、ここではプロセス計算機とカラーCRTを導入して、操作・監視機能の多重化による制御盤の合理化を試みた⁶⁾。

以下、日立製作所で発電容量460MW級BWR発電プラントを対象にして開発中の実験機(COCONUT)について述べる。実験機は、現状の中央操作盤に相当する運転員用コンソールと当直長用コンソールで構成されている。

運転員用コンソール(図1)は、合理化を極限まで進めた制御盤を想定し、ワンマンコントロールが可能ないように盤面積を現状の制御盤の約 $\frac{1}{10}$ とした。表示パネルは、カラーCRT、常時監視ディスプレイ及び警報表示窓、また操作卓はプラント操作器及びCRT表示制御のためのデータアクセスキーボードで構成されている。

操作・監視に必要なプラント データは、それぞれ原子炉補機系、原子炉系、タービン発電機系を分担する3台のカラーCRTに表示される。CRTによる監視法については次章3.で詳述する。

常時監視ディスプレイは、プラントの運転に特に重要なデータをオシロスコープ上に極座標で連続的に表示する装置である。プラントが正常であれば、オシロスコープ上の輝点が同一円周上に表示され、輝点のパターンからプラント状態を直観的に把握することができる。

警報表示窓は、発生する警報の重要度から2種類に分類される。すなわち、一つは原子炉スクラム、タービントリップなど警報発生時の処置に緊急を要する警報であり、他は補機系の警報など比較的緊急を要しないものである。前者に関しては従来の単一警報表示窓に、後者は一つの表示窓に最大10種類の警報を表示できる多重警報表示窓にそれぞれ表示する。

プラント操作器に関しても、操作の重要度及び使用頻度に

* 日立製作所原子力研究所 ** 日立製作所大みか工場

よって分類し、重要度、使用頻度の低いものは、1個の操作スイッチで複数台の機器を操作できるページ式プラント操作器を導入し操作部を多重化している。

当直長用コンソール(図2)は我が国におけるBWR発電プラントの運転体制を考慮して新設したコンソールである。カラーCRT1台とデータアクセスキーボードとで構成されており、当直長はこのコンソールより運転員用コンソールにおけるすべての操作とプラント状態の監視ができ、必要に応じて運転員の操作をブロックすることができる。

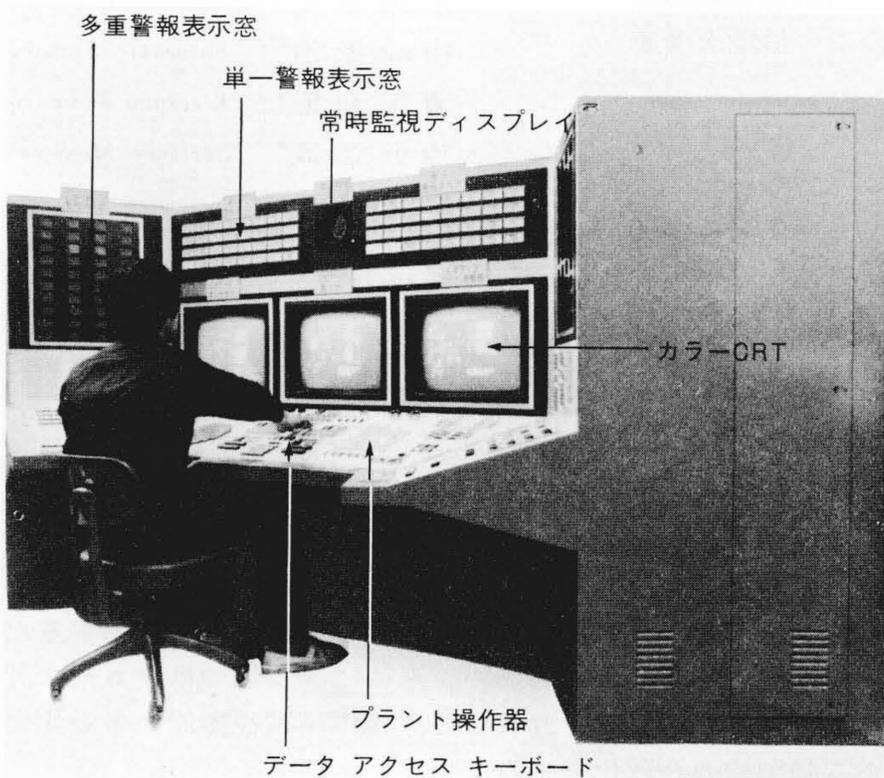


図1 運転員用コンソール 表示パネル、操作卓の機能を多重化することにより、盤面積を従来の制御盤の約 $\frac{1}{10}$ にした〔幅3×高さ1.6×奥行0.8(m)〕。



図2 当直長用コンソール 運転員の操作とプラント状態の監視ができ、必要に応じて操作をブロックすることができる。

3 カラーCRTによる運転監視

3.1 運転情報の対話式監視

CRTを使った制御盤では、プラント状態が適切に把握できかつ目的とするプラントデータへのアクセス手順が簡単であることが必要である。このため、CRTの表示内容を見ながら対話形式でプラントデータにアクセスでき、同時にプラント状態も監視できる対話形データアクセス法を開発した。

以下、対話形データアクセス法の概要と運転情報の表示例について述べる。

(1) 運転情報のアクセス法⁷⁾

対話形データアクセス法では図3(a)に示すようにアクセス手順を機器の系統と運転モードによって3レベルの階層構造に分類している。まず、最初に運転員は希望するプラントデータに関連した機器の系統(System)、又は運転モード(Mode)の表示を要求する。いま、仮に F_2 を要求するとCRTには $F_{21} \sim F_{2m}$ の項目を含む系統図が、系統の運転状態を示す主要なプラントデータとともに表示される。これらの項目 $F_{21} \sim F_{2m}$ は F_2 に含まれているより詳細な系統(Sub-system)又はサブ運転モード(Sub-mode)である。次に、運転員は $F_{21} \sim F_{2m}$ の中からアクセスしたいプラントデータに関連する項目を選択する。例えば、 F_{22} を選択するとCRT上には F_{22} に含まれる機器(Component) $F_{221} \sim F_{22n}$ が関連するプラントデータとともに表示される。その中からアクセスしたいデータに関連した機器を選択すると、その機器の状態を示すすべてのデータがその機器の概略図とともに表示され、運転員は目的の運転情報にアクセスできる。図3(b)は系統及び運転モードによる階層分割の例である。

(2) 運転情報の表示例

原子炉出力上昇モードで、再循環ポンプモータAに関連した情報にアクセスしたときの表示例を図4に、データのアクセスに使用するキーボードを図5に示す。

データアクセスの第1ステップでは、原子炉出力上昇モードにおける原子炉系の大まかな情報が表示される(図4(a))。図4(a)で、流量制御系“2”をデータアクセスキーボードから指定すると、これに関する詳細な情報が得られる(図4(b))。更に、ここで再循環ポンプモータA“5”を指定すると、図4(c)に示すようにこの機器に関するすべての情報が得られる。

図4に示すように運転情報はCRT画面の左半分は系統図、右半分はアナログデータとレファレンスメッセージを表示する。これらの運転情報は、メッセージ、配管などのプラント状態によって変化しない情報を、緑、白、シアンで表示し、プラント状態によって変化するアナログ、デジタルデータは正常時には黄、異常時には赤で表示する。

また、系統図中のバルブ、ポンプなどの運転状態は、機器シンボルの形状によって判断できるようにした。アナログデータは、通常は定格値を100%として棒グラフで表示するが、必要に応じてデジタル量も同時に表示することができる。このような表示形式にすることにより、運転員はデータアクセスの各ステップでプラント状態を直観的に把握することができる。

以上、述べたようにデータアクセスの各ステップでプラントデータと系統図が同時に表示されるので、運転員はプラント状態を直観的に把握できる。

データアクセスキーボード(図5)には、アクセス手順の制御ボタン、希望する情報を指定するためのテンキー、デ

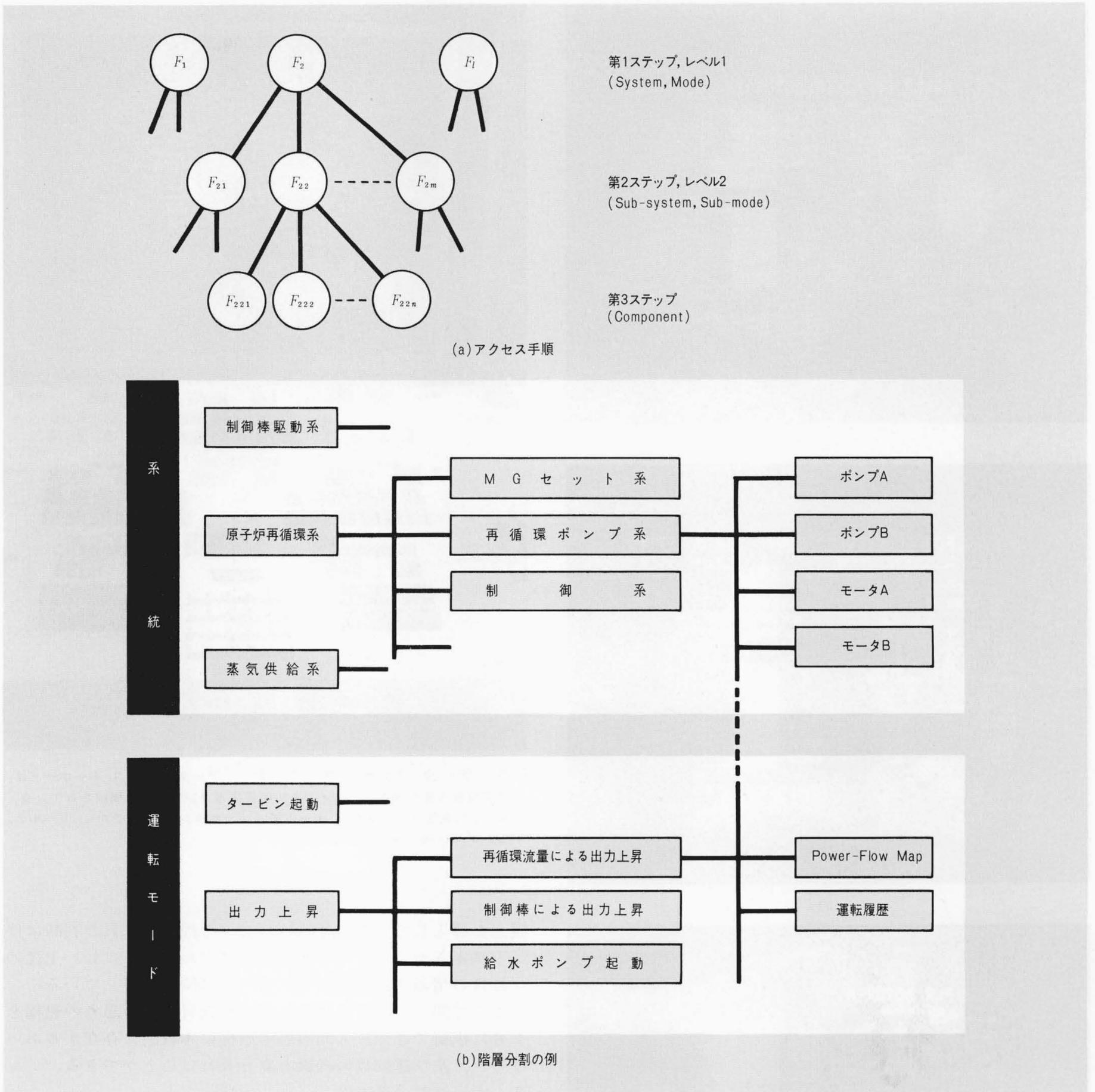


図3 データのアクセス手順と階層分割の例 データのアクセス手順は、系統又は運転モードでそれぞれ3段階に階層化されている。運転員はCRT画面を見ながら、対話形式で目的とするデータにアクセスする。

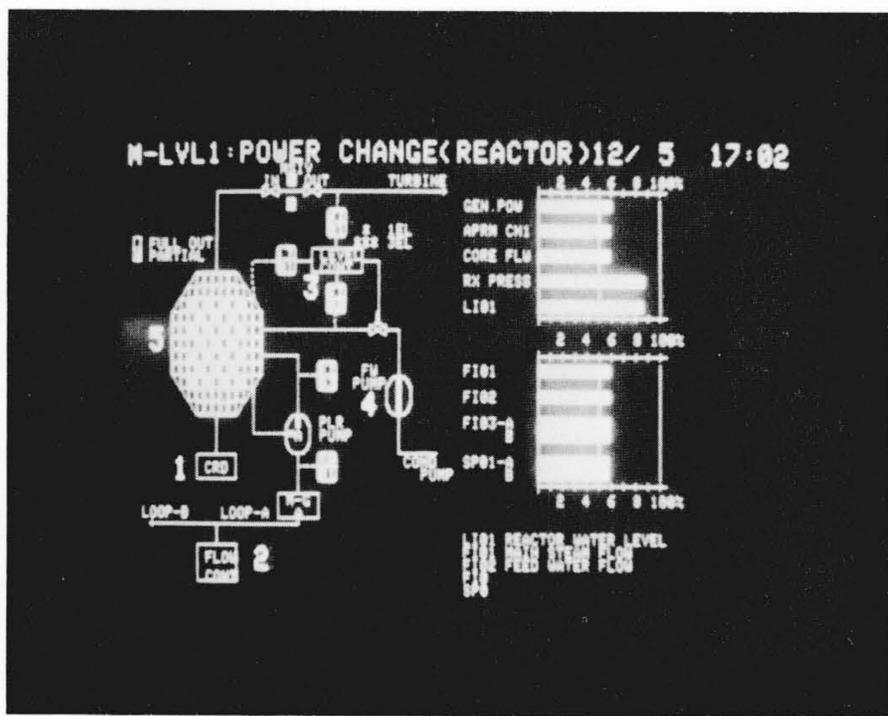
デジタル量表示要求ボタン、3.2で述べる優先情報の表示要求ボタンなどが配置されている。

3.2 優先情報の選択監視

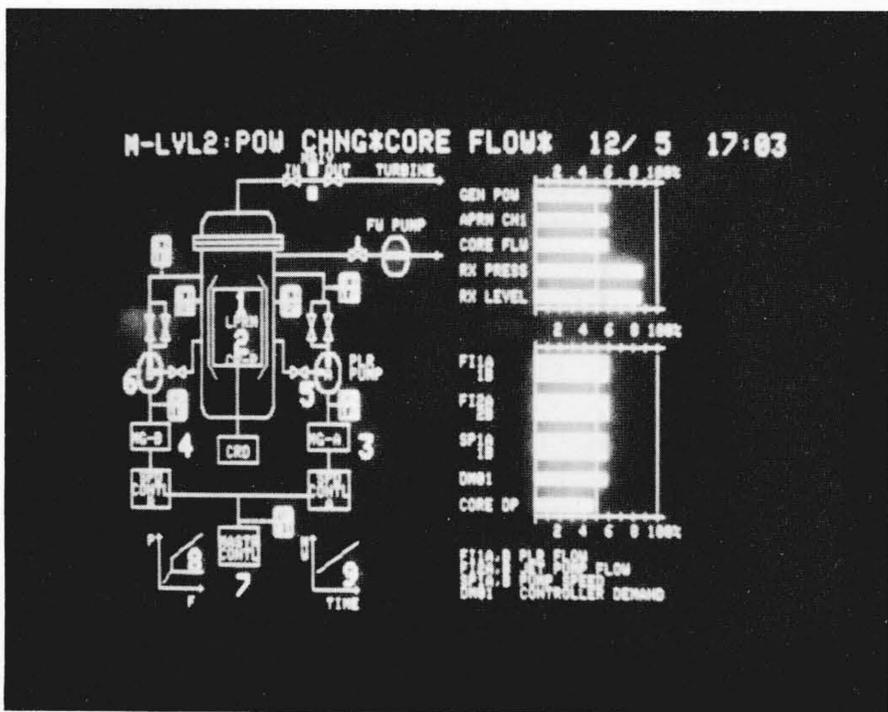
プラントに異常が発生したとき、運転員が手動で運転情報にアクセスするのでは、前述の対話方式により手順が簡略化されていても迅速に対処できない。このため、プラント異常状態に対応して適切な運転情報を自動的に選択して、CRTに表示する機能が望まれる。しかし、システム設計者があらかじめ、プラント異常状態に応じて表示すべき情報を決めておくことは困難であり、また安全サイドに多数の情報を表示するのも得策でない。このため、優先情報の自動選択表示法を開発した。

(1) 自動選択法⁸⁾

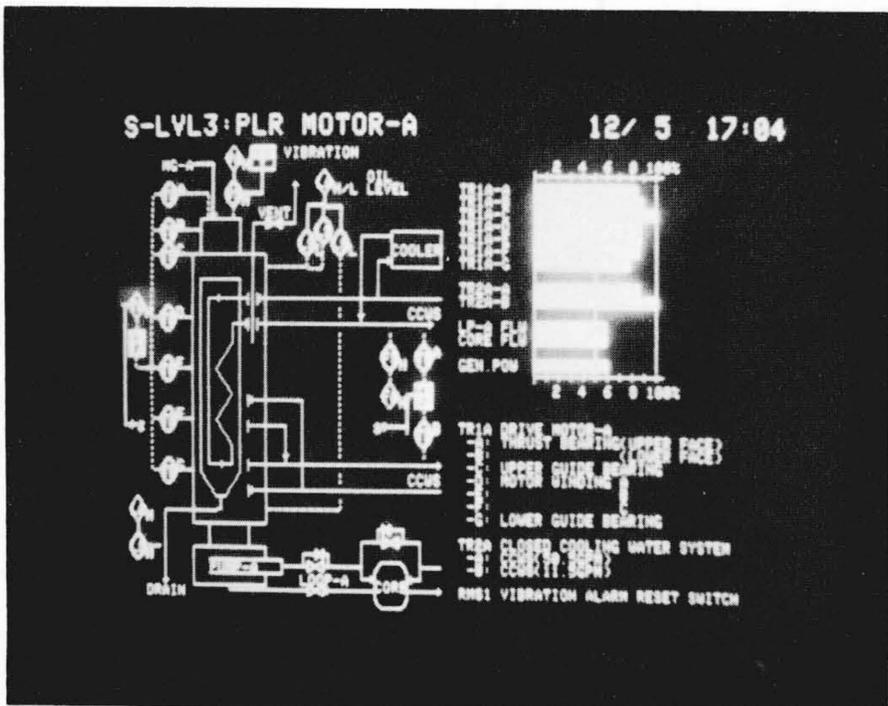
プラント異常の一例として、警報発生時の優先情報について述べる。現状の制御盤では警報が発生すると、運転員は警報メッセージを見てどこにその発生原因があるか見当をつける。その後、制御盤上の計器類を選択監視して機器が運転継続可能かどうかを判断して、運転停止、出力減少などの処置をとる。しかし、運転情報の不十分さ、運転制限条件に関するあいまいさなどから、警報の発生箇所、機器の運転可否を確定的に決めることはできない。熟練した運転員は、多数の運転情報から判断するときの不確定さが少なくなる、すなわち、よりはっきりと判断できる情報を、経験に基づいて選択している。ここでは、情報理論で定義されている情報価値の



(a)



(b)



(c)

図4 対話形データ アクセス法による運転情報の表示例 図(a)は、第1ステップの表示例(原子炉系の出力上昇に関する情報…レベル1)を、(b)は、第2ステップの表示例((a)の「2」流量制御に関する情報…レベル2)を、また(c)は、第3ステップの表示例(図(b)の「5」再循環ポンプ モータAに関する情報…レベル3)を示す。



図5 データ アクセス キーボード データ アクセス キーボードは、CRT画面表示要求ボタン、デジタル値要求ボタンなどから構成されている。レベル1の画面は、システム モード要求押しボタン スイッチから、レベル2, 3はテン キーから要求される。

概念を導入している。運転情報がどの程度運転員の判断に伴う不確定さを減少させるか定量的に表わすようにし、上述の運転員の情報選択機能をプロセス計算機で代替している。

ここで開発した方法によれば、運転員の判断思考の過程を十分に模擬できて、人間の思考過程に本質的に存在するあいまいさ、及び運転員の経験を取り入れることができる。

(2) 優先情報の表示例

警報発生時の優先情報の表示例を図6に示す。これは、原子炉再循環系に再循環ポンプA、B流体継手温度「高」と、再循環ポンプ モータ振動「高」の2種類の警報が発生したときの例である。ここでは、二つの警報の発生箇所として再循環ポンプ モータA、Bを含む系統図が選択されている。また、この機器の運転を継続できるか否かの判断に必要な情報として、4種類のアナログ データが選択されCRT画面の右半面に表示されている。系統図は3.1で述べた対話形データ アクセス法と同一のものを使用しているので、必要があれば、より詳細な下位情報にアクセスすることが可能である。

この機能によって、運転員は迅速、簡単に再循環ポンプの運転状態を把握することができ、運転継続の可否を判断することができる。

4 結 言

BWR発電プラントの制御盤を極限まで合理化した計算機

表1 計算機化制御盤実験機の特徴と効果 本装置の効果として、プラント状態の集中監視、プラント状態の直観的把握、プラント異常時の簡単迅速な監視操作及びワンマンコントロールも可能なことが挙げられる。

	特 徴	効 果
制 御 盤	1. CRTによる運転情報の表示 2. 多重警報表示器の導入 3. 常時監視ディスプレイの導入 4. 当直長用コンソールの新設	ワンマン コントロールも可能 制御盤寸法 3m×1.6m 盤 面 積 $\frac{1}{10}$ * 警報表示窓 $\frac{1}{5}$ * プラント状態の集中監視 プラント状態の直観的把握 プラント異常時の簡単迅速な監視操作
運 転 情 報 の 監 視	1. プラント系統図の活用 2. 運転情報の階層化と対話形式 3. プラント状態に応じて優先情報を判定・表示 4. 熟練した運転員の思考過程を計算機で代替	

注：* 発電容量460MW級BWRと比較

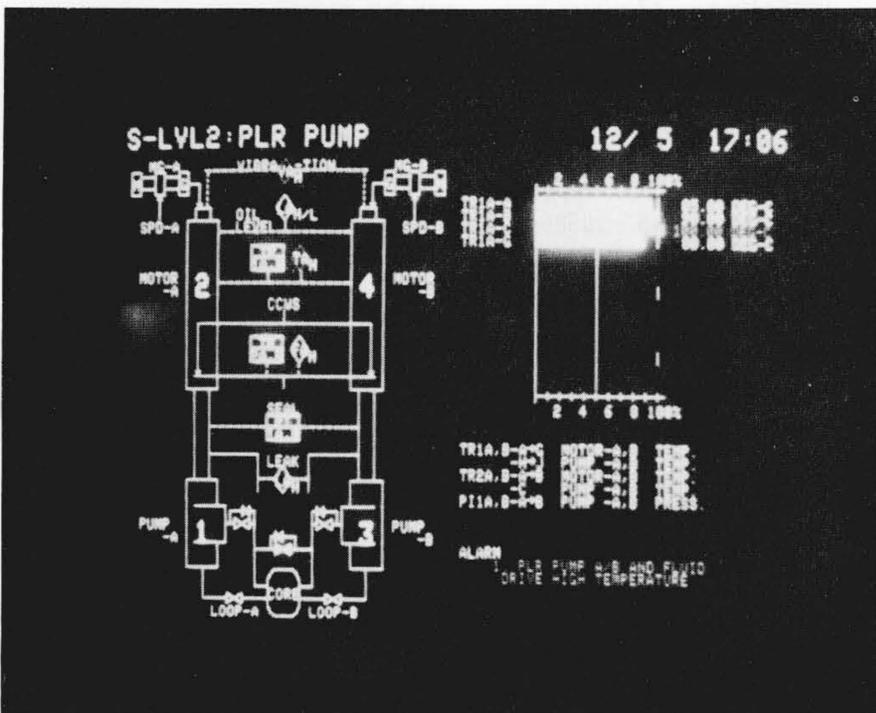


図6 優先情報の自動選択表示例 再循環ポンプ A, B 流体継手温度“高”再循環ポンプ モータ振動“高”の二つの警報が発生したときの表示例を示す。

化制御盤の実験機(COCONUT)の構成と機能、及びカラー CRTによる運転監視機能について述べた。

表1に試作した実験機の特徴と効果を示す。

実験機では、現状のBWR発電プラントの中央制御盤にある指示計・表示燈を3台のCRTに置き換え、また、多重警報表示窓、ページ式プラント操作器などを導入することにより、警報表示窓、プラント操作器の数を、それぞれ約 $\frac{1}{5}$ 、 $\frac{1}{3}$ に減少させた。このように、操作監視機能を多重化することにより、盤面積は現状の制御盤の約 $\frac{1}{10}$ に縮小することが可能となった。

更に、常時監視ディスプレイを導入することにより、分散している計器を個々に監視しなればできなかったプラント運転状態の把握が、1箇所、しかもパターン認識的にできるようになった。

運転情報を機器の系統及び運転モードで3レベルの階層構造に分類し、これをCRTを見ながら表示を要求する対話形

データ アクセス法を開発した。アクセス手順の各ステップで CRTには系統図とアナログ データが表示され、プラント状態が直観的に把握できる。

熟練した運転員の思考過程をプロセス計算機で代替し、プラント状態に応じて優先情報を自動的に判定してCRTに表示する優先情報の自動選択表示法を開発した。この機能により、プラント状態が変化したときにも簡単で迅速な監視、操作ができる。

このような、盤面積の縮小、新しいプラント監視機能の導入により、従来3~4名の運転員を必要としたプラントの運転監視が、1名でも十分可能となった。

この実験機は、従来の制御盤を極端に簡素化し、むだを省いているので、実用化に際しては冗長性、実用性などの観点から肉付けしなければならないことは言うまでもない。

参考文献

- 1) M.H.Raudenbush: "Human Engineering Factors in Control Board Design for Nuclear Power Plants", Nuclear Safety 14, 1, 21~26, 1973
- 2) 上谷:「コンピュータハイアラキへの可能と条件」, 計装, 18, 4, 11~16, 1975
- 3) S.E.Rippon: "Taking the Complexity Out of the Control Complex", Nuclear Engineering International 18, 200, 36~39, Feb. 1973
- 4) J.A.Calvo: "A More Efficient Control Room Operator Process Interface", IEEE Trans. on Power Apparatus & Systems, PAS-90, 6, 1971
- 5) 和嶋, 芹沢:「原子力発電プラントの計算機化制御盤の動向」, 火力原子力発電, 26, 12, 79~87, 1975
- 6) 岸, 米田:「運転操作用コンソール」原子力学会昭和49年秋の分科会, 炉物理・炉工学, C26
- 7) S.Kishi, Y.Nagaoka and M.Serizawa: "A Conversational Data Access Procedure for CRT Operator Consoles", IEEE Trans. on Nuclear Science, NS-22, 5, 2113~2117, Oct. 1975
- 8) 芹沢, 須田:「プラントモニタリングにおけるfuzzy情報量」, 第17回自動制御連合講演会 1079