UDC 628.12-523

配水ポンプ場におけるマイクロコントローラ制御システム
——名古屋市猪高配水場納入例——

Micro Controller System for Water Service Pump Station
—Example of Idaka Water Service Station, Nagoya City—

高橋金博* Kanehiro Takahashi・森　清** Kiyoshi Mori・荒木　守*** Mamoru Araki・筧　誠**** Makoto Kakehi

I. まえがき

最近，大都市に設置される上水道送配水ポンプ場は無人化され，1か所の管理センタから集中管理されることが多い。その場合，ポンプ場電気設備は給水の確保という大目的のため，高信頼性及び維持管理の容易さを特に要求される。

今回，猪高配水場においてポンプの増設工事に伴い，監視・制御システムを上記要求にそった改造置換工事を実施した。その主な特長を以下に挙げる。

(1) ポンプ場での監視操作を容易にし，コンパクトにまとめたCRTカラーディスプレイを採用し，維持管理の便を図った。

(2) 設備ごとに機能分離されたマイクロコントローラ(以下，μCと略す)システムを導入し，一部のシステムダウンにより，ポンプ場の機能全体が停止するのを防いだ。

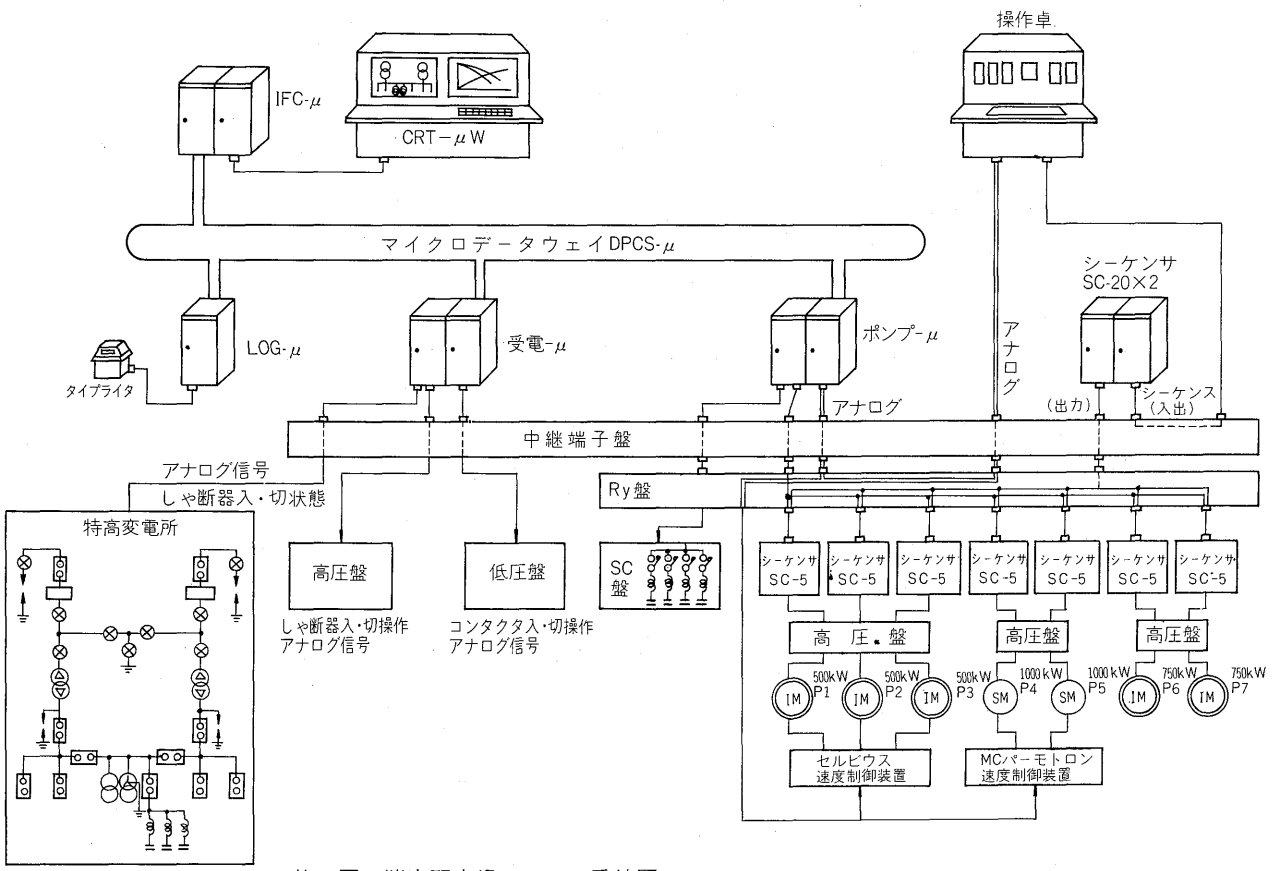
(3) 計算機及びμCの点検時，並びに万一のシステムダウンの場合にも，ポンプ場の運転を支障なく継続させる目的で，自動運転のためのバックアップシステムを設けた。

(4) ポンプ1台ごとの始動－停止－シーケンスを従来のリレーからシーケンサに置きかえ，無接点化を図り，信頼性の向上をめざした。

(5) 改造作業中，ポンプ場の運転を継続しなければならないため，設備，制御電源の分割などを考慮した。

II. 猪高配水場のシステム構成

猪高配水場は第1図に示す6台（将来7台）のポンプによって，名古屋市内の約1/3にあたる地域に配水して



第1図　猪高配水場システム系統図
Fig. 1. Block diagram of system for Idaka water service station

* 電子・制御技術センター　システム技術部　** システム本部　第二システム部　*** エンジニアリング本部　多摩事業所
**** 水処理事業部　技術部

いる。

今回納入した制御装置の主なものを列記する。

(1)	ミニコンピュータ	PFU-300	1台
(2)	CRT ディスプレイ	FATEC-3043 A	2台
(3)	マイクロコントローラ（FUJI MICREX）		
	DDC-μW	ポンプ制御用	1台
		電気設備制御用	1台
	LOG-μ	故障内容印字用	1台
	POC-μW	μC 保守点検用	1台
	IFC-μ	計算機インタフェース	1台
(4)	タイプライタ	F-811 A	3台
(5)	シーケンサ		
	SC-20	μC バックアップ用	2台
	SC-5	ポンプシーケンス用	6台
(6)	操作卓	バックアップ操作用	一式

III. CRT による監視制御

1. ポンプ場制御用 CRT-μW

CRT カラーディスプレイをポンプ場監視制御の目的で導入する利点としては，以下が挙げられる。

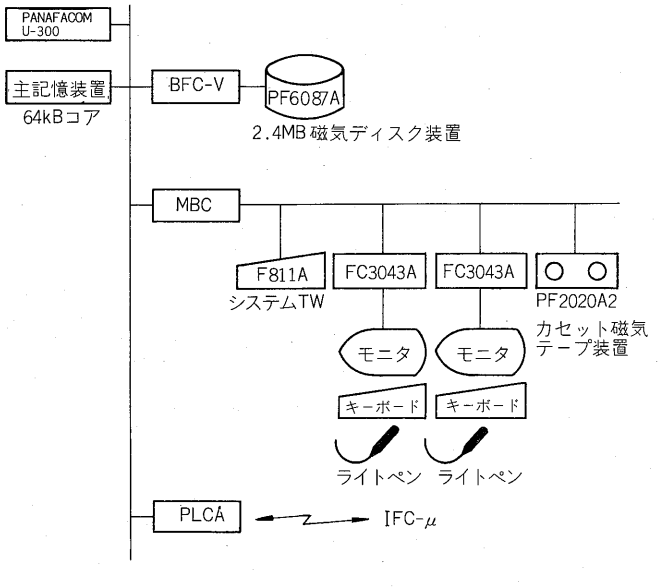
(1) 設備全体の監視を目的とする監視盤が不要となり，設備スペースの低減を図ることができる。

(2) ポンプなどの監視操作制御に必要な情報を盛り込んだ画面を，維持管理の目的にそって自由に製作できる。

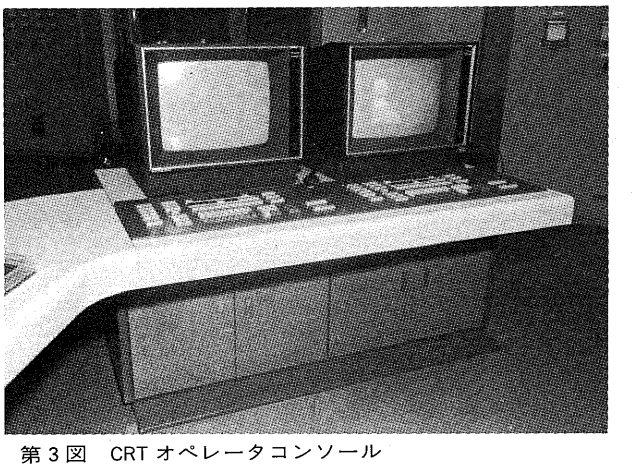
(3) 点検時の便を図るために，オペレータに対し必要な操作ガイダンスを行うことができる。

本 CRT システムのハードウェア構成図を第2図に示す。CRT 機種は，表示内容の高密度化，漢字表示及び操作の簡易化をねらい，FC-3043 A×2台（ライトペン付）を採用した。

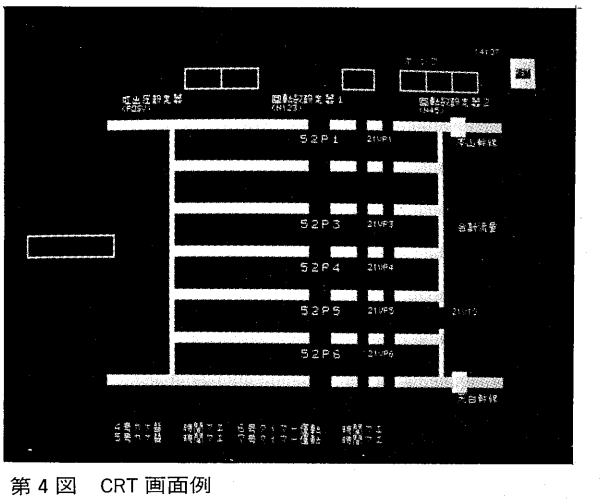
本 CRT システムの機能は，CRT-μW としての標準機能とポンプ制御オリエンテッドな機能とからなり，後者の概略機能を以下に示す。また，2台の CRT は同一機能とした。



第2図　CRT システムハードウェア構成図
Fig. 2. Configuration of CRT system



第3図　CRT オペレータコンソール
Fig. 3. CRT operator's console



第4図　CRT 画面例
Fig. 4. CRT display

(1) 系統図画面による受電系統設備の状態監視及び入・切操作。

(2) 系統図画面によるポンプ設備の状態監視及び入・切操作。

(3) 末端圧一定制御，吐出圧一定制御，ポンプ回転速度制御の制御モード切換及び目標値設定操作。

(4) 最小2乗近似法による管ロス推定曲線の算出。

(5) ポンプ高効率台数制御に基づくポンプ台数制御（DDC-μW への台数増減指令）（詳細後述）。

(6) 流量によるポンプ運転台数切換点の自動算出。

(7) オペレータへの操作ガイダンス。

2. 機能集約された系統図画面の活用

本 CRT システムは，ポンプ場設備の通常の状態監視及び操作は，プロセスイメージのつかみやすい系統図画面を通してすべて行うことが可能であり，画面の呼出しは，1対1の専用ファンクションキーにより1挙動で表示することができる。なお，系統図画面は21画面用意されており，下記に系統図画面の機能を示す。

1) 状態監視

次の項目を4秒周期で，表示更新を行う。

(1) 機能の状態表示

機器シンボルの色替えによる（運転－停止－故障，全開－全閉など）。

(2) 操作場所，制御モード表示

文字及びパターンを更新する（末端圧制御，吐出圧制御など）。

(3) CRT 操作可否状態表示

入・切操作項目に関し，CRT から操作できる状態にあるか否かをチェックし，画面上の機器コードの色を替える。

(4) 数値表示（アナログデータ）

データの更新及び正常/異常は色替え。

2) 制御目標値の設定

ライトペン，キーボードから設定項目を選択し，設定変更を行う。

3) 機器の入・切操作

ライトペン，キーボードから操作機器を選択し，入・切操作を行う。また，機器の動作中は該当シンボルがブリンクする。

4) アラーム新規発生表示

アラームが発生すると，系統図画面左上部にアラーム項目名称（文字）表示と，系統図画面内の故障機器シンボルがブリンクする。

次に，本 CRT システムの特長であるライトペン操作とアラーム表示方法について紹介する。

3. ライトペン操作

機器の入・切操作，制御目標値の設定及び制御モードの切換などの操作は，系統図画面を見ながら，ライトペンまたはキーボードどちらからでも可能であるが，本 CRT システムでは操作の簡易性により，ライトペン操作を主，キーボード操作を従としている。

第5図に操作のオペレーションフローを示す。

ライトペン操作の場合，基本的に項目選択と内容指定の2挙動ですますことができるが，操作が容易である反面，誤操作を生じやすいので，最終操作として画面上，「送出」を指定するように3挙動としている。

4. アラーム表示

アラーム内容と関連するプロセス状態が即把握できるように，画面を第6図のように3分割し，次のような表示方法とした。

(1) アラームが発生すると，重故障時ベル，軽故障時ブザーが鳴り，他画面表示中のときは画面上A部にそのアラームが属するプロセス名称（系統図画面名称）が表示される。該当の系統図画面表示中の場合は，発生時点で自動的に(3)へ移行する。

(2) オペレータは，アラームが発生した系統図画面を呼び出す（画面と1対1のファンションキー）。

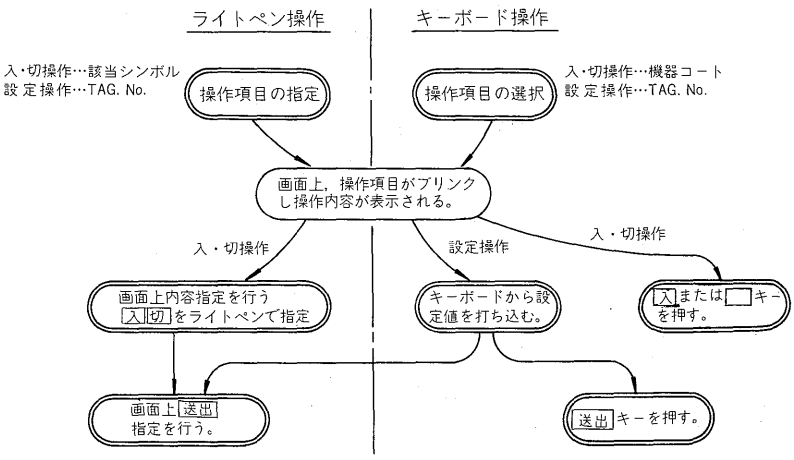
(3) 系統図画面上，アラームが発生している機器のシンボルが黄色でブリンクし，また画面上B部にアラーム項目名称（文字）が表示される。

(4) オペレータは，確認キーを押すことにより，画面上のブリンクが停止する。

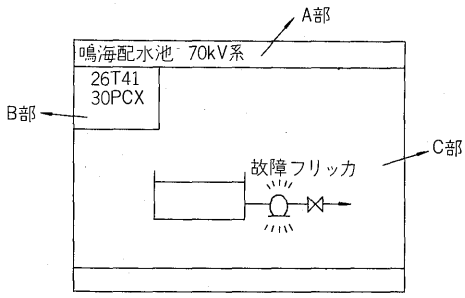
以上が，アラーム表示方法である。また，現在発生中のアラームの履歴を把握できるように，重軽別に発生時刻，アラーム項目名称及び展開接続図のページ番号を発生順序に表示するアラームサマリー画面も用意されている。

IV. マイクロコントローラを用いたポンプ制御

μC はその数値演算能力，論理判断能力，システム変更の容易さ，拡張性から上下水道設備に多く使用されているが，これらの機能をポンプ場制御に生かすことにより，従来のリレーシーケンス，アナログ制御では行えなかった多彩な制御を行うことができる。以下に今回納入



第5図 操作のオペレーションフロー
Fig. 5. Operation system



第6図 CRT 画面の分割（アラーム表示）
Fig. 6. Composition of picture (display of alarm)

の μC の機能を述べる。

1. 推定末端圧一定制御

管路抵抗は配水流量により変化するため，ポンプ場から配水する水の圧力を流量によって適当に変化させることにより，末端の圧力をほぼ一定に保つことが可能である。一般に推定末端圧一定制御を行うときのポンプ場吐出圧は，下記で表される（ヘーゼン・ウィリアムス公式）。

$$H = R \cdot Q^n + H_0$$

ここに，H：吐出圧

R, n：定　数

Q：流　量

H_0：末端圧

しかし，実際には，他ポンプ場との干渉や管路保護のための圧力の制限などにより，必ずしも上記と一致しないため，運用上は折線近似によるもので十分である。そのため，本システムでは7折線による末端圧力推定曲線を μC に記憶させ，配水池の水位変化（押込み圧力の変化）の加減演算を行ったものを吐出圧設定値としている（管路カーブはCRTより上記公式及び実測値からも入力可能である）。また，ポンプ回転速度制御はDDC制御によって行っている。

2. ポンプ始動頻度の均一化

猪高配水場は3種類の容量のポンプが混在しているため，第1表に示す三つの群について，あらかじめ運転順序を1-2-2-3-1-2-3群の順とするよう決定した。各群の中での始動順序は，停止しているポンプの中で最初に停止したものを次始動機とし，停止順序は先に始動したものが次停止機となるように決定した。この方法によって，各群ごとに始動頻度の均一化を図っている。

第1表　猪高配水場ポンプ仕様
Table 1. Specifications of water service pump

群 No.	ポンプ号機	容　量	流　量	備　考
2	1	500 kW	0.54 m³/s	サイリスタセルビウス（可変速）
	2			
	3			
1	4	1,000 kW	1.08 m³/s	サイリスタモータ（可変速）
	5			
3	6	750 kW	1.08 m³/s	定　速
	7			

また，第1群及び第3群については，冬期水需要の少ない時期に，長期にわたり運転または停止し続けることが予想される。そのため，第1群に対しては，停止しているポンプの停止時間により自動的にかけかえを行い，第3群に対しては，停止時間により定期的に吐出弁中間開度で短時間運転をすることとした。

3. 高効率台数制御

一般に配水ポンプの運転台数の制御は，配水量の増加減少によって行われている。しかし，今回システムはポンプが可変速と定速が混在しており，更に配水池の水位変化に伴って揚程も変化する。そこで，可変速ポンプの特長である省電力化を更に推し進める意味から，揚程に関しても考慮を払い，ポンプの追加・減少点を求めることとした。

今，吐出流量 Q，揚程 H で m 台のポンプが運転している場合の電力 P_m は，下式で表される。

$$P_m = \sum_{n=1}^{m} \frac{0.163\, Q_n H}{\eta_{Pn}\, \eta_{Mn}}$$

ここに，Q_n：n 号ポンプの送水量

$\left(\sum_{n=1}^{m} Q_n = Q\right)$

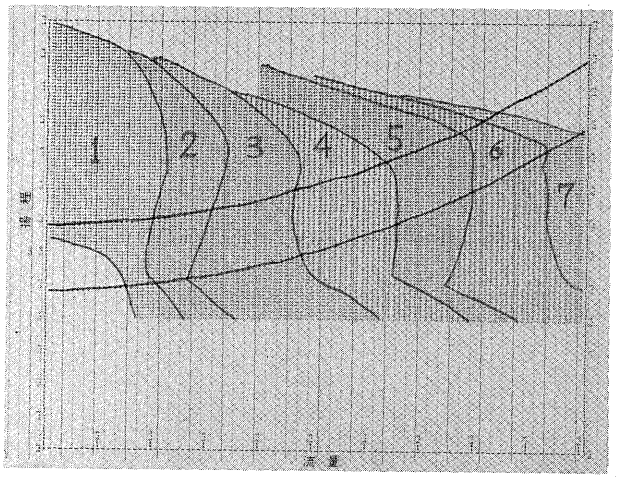
η_{Pn}：n 号ポンプの効率

（Q_n，回転速度の関数）

η_{Mn}：n 号モータの効率

（回転速度，負荷率の関数）

これによって求めた P_m と $m \pm 1$ 台が運転している場合の P_{m+1}，P_{m-1} を比較し，その最も小さいものを運転台数とすれば，ポンプ場として最も効率よい運転が行える。今回はポンプ及びモータの試験成績により，あらかじめ台数制御の領域を求めておき，ミニコンピュータに運転領域を記憶させることによって，ポンプ台数の増減指令を出すこととした。



第7図　ポンプ高効率台数制御
Fig. 7. High efficiency number control of pump

シミュレーションによれば，本台数制御方式は従来方式に対して約98％の消費電力となることが期待される（約40万 t/d 配水時）。

4. 異常時処理プログラム

本ポンプ場の条件から，前記の台数制御，末端圧一定制御が正常に行えない場合が生じてくる。その主な原因は，下記である。

(1) ポンプ，モータ，速度制御装置の故障時

(2) 保守点検時

これらの原因によって運転しなければならない群内に，始動可能ポンプがない場合は，次の処理を行う。

(1) 高効率運転台数制御を 500 kW 流量ごとの流量による台数制御に切り換える。

(2) 定速ポンプの影響による可変速ポンプの無送水防止のために，末端圧一定制御を吐出圧一定制御に切り換える。

この処理は正規の運転順序が得られた場合，自動的に正常に戻される。

次に停電復電時は，停電前運転中のポンプが，吐出弁を全閉し，始動準備完了するのを待つこととすると，給水開始時間が非常に遅くなる。そのため，停電以前の運転容量まで始動可能なポンプを優先して始動し，配水の回復時間の短縮を図った。

5. 故障項目印字用データロガー

猪高配水場の設備内容は，① 70 kV 受電設備，② 6 kV 及び所内動力設備，③ ポンプ設備，④ 直流電源設備，⑤ 制御装置，⑥ 構内設備（バルブ及び圧力水位等），⑦ 建築付帯設備などが挙げられ，多面的な状態監視を行う必要がある。これらの故障項目は数百点に及んだ。そのため，故障項目印字用に専用のデータロガーを設けた。故障内容はシーケンス上のデバイス No. とその記載ページで印字することとし，故障復旧の手引きとなるよう考慮を払った。

V. シーケンサ及び操作卓によるバックアップシステム

猪高配水場は完全無人であるため，万一計算機，μC がシステムダウンした場合であっても，自動運転は継続されなければならない。そのため，バックアップシステムが十分に配慮されている。そのシステムフローを第 8 図に示す。バックアップの主な機能を下記する。

1. ポンプ台数制御

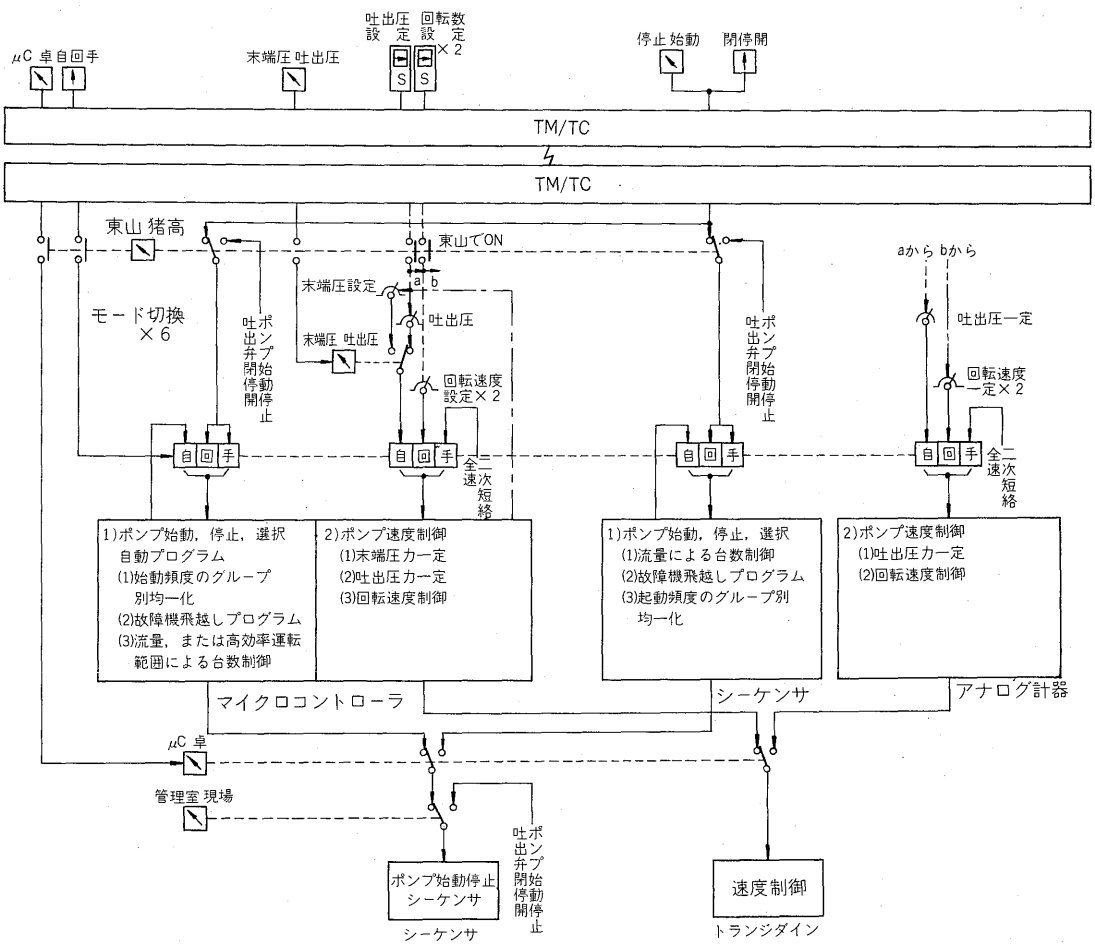
シーケンサによる台数制御は流量の変化に応じた台数制御とし，三つの群による台数制御，異常時処理に関しては μC と全く同じ考え方とした。

2. 圧力制御

アナログ調節計による吐出圧一定制御とし，μC 一卓のモード切換時に吐出圧の変動を起こさないようバンプレス回路が組まれている。

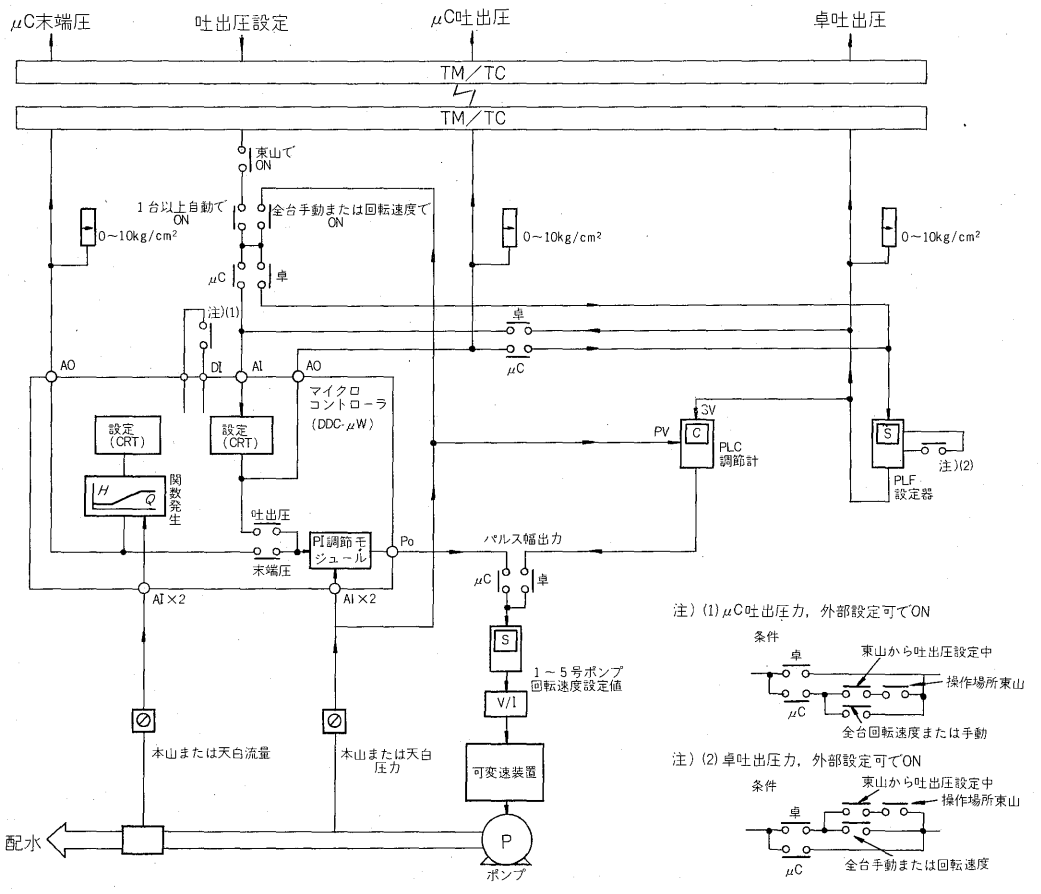
3. 選択計測

操作卓をコンパクトにまとめるため，アナログ項目の計測はテンキーによる選択計測を採用した。また，操作卓の機器選択操作と連動し，関連あるアナログ計測値を表示している。



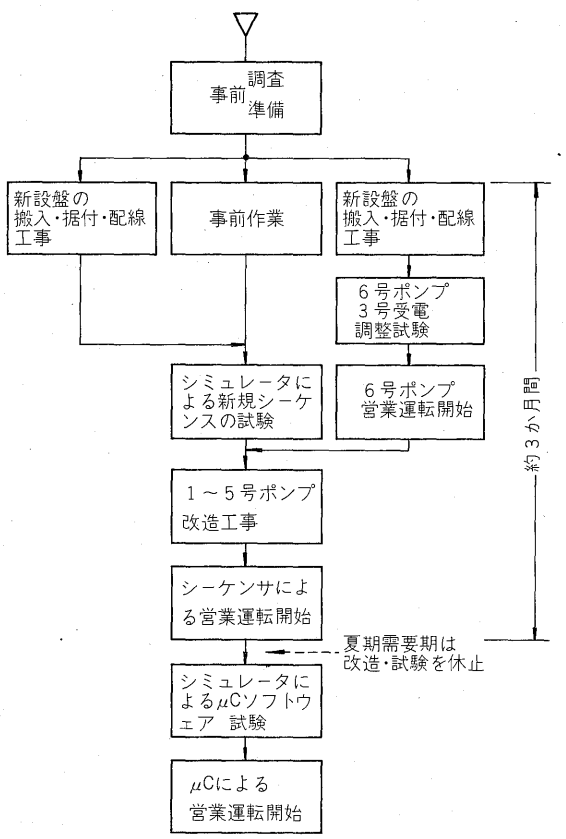
第 8 図　猪高配水場制御系統図

Fig. 8. Control flow diagram of water service pump



第9図　制御モード切換時のバンプレス回路

Fig. 9. Control flow diagram of pressure



第10図　猪高配水場改造工事手順

Fig. 10. Flow of reconstruction

4. 2挙動操作の操作卓

操作卓からの手動操作は，前述のCRTからの操作と考え方を統一するため，2挙動操作とし，模擬母線上に機器選択スイッチを配置するなどの配慮によって，オペレータが操作しやすくした。

VI. 改造工事

今回実施した改造工事は，営業運転中のポンプ場の改造工事のため，改造中もポンプを運転し，需要家に対する給水を確保しなければならない。そのため，事前に改造方法及び工程を綿密に計画し，それを確実に実施することにより，本工事は工程どおり無事故で完了した。

VII. あとがき

以上，猪高配水場納入のポンプ場制御用マイクロコントローラに関して，その概要を紹介した。本システムは納入後順調に稼動し，導入の当初の目的を十分に果たすことができた。今後，監視制御の集中化及び省エネルギーの要求が強くなっていくと考えられるが，これらの要求に対応できるシステムを更に開発していく所存である。

終わりに，種々の御指導並びに御協力を頂いた名古屋市水道局殿をはじめ，関係各位に深く感謝する次第である。

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。