

# 上下水道計測機器

## Measuring Instrument of Water Supply and Sewerage

The recent growth in capacity of water supply and sewerage plants gives rise to a demand for an instrument capable of measuring large process volumes accurately. Also for realizing rational and economical operation of such plants without requiring much labor, ease of maintenance and administration of instruments, simplification and systematization of measurement controllers, etc. and in demand. In meeting these demands, Hitachi, Ltd., as a leading manufacturer of industrial measuring instruments, has already completed large-bore magnetic flow meters, and presently is making its best effort to develop and improve sequencers and analyzers, to cover almost the whole range of instrumentation for water supply and sewerage plants.

久芳 議\* *Hakaru Kuba*  
 倉持義徳\* *Yoshinori Kuramochi*  
 藍 光郎\* *Mitsuo Ai*  
 柏迫一民\* *Kazutami Kashiwasako*  
 酒井 馨\*\* *Kaoru Sakai Dr. Sc.*

### 1 緒 言

近年、産業の急速な発達による都市人口の集中化、衛生観念の向上、国民一人当たりの消費水量の増加、公害問題などに伴い、上下水道の設備作りが、各地区で急務になってきた。特にここ数年、河川の汚染など人間環境保護に対する問題がクローズアップされており、上水道設備においては良質の水を必要量だけいかに確保するか、また下水道設備においては、自然環境の汚染をいかに少なくするかが社会的に大きな課題になってきた。

さらに、上下水道設備の保守、管理、運営においては昼夜兼行の運転のため、人手の確保がむずかしくなり、省力化のためにも計測技術の信頼性は大きなウエイトを示している。手動運転の自動化、さらにシーケンシャルなバッチ処理には、シーケンサの採用による省力化などが図られてきた。

ここでは主として、現在上下水道用計測機器として開発され、使用されているものについて述べることにする。

### 2 上下水道における計測について<sup>(1)~(3)</sup>

#### 2.1 上水道の計測

上水道計測のおもな目的は、浄水場における種々の計測量、たとえば、流量、圧力、水位、水質などの量を測定し、その浄水場での水処理の経過が、合理的かつ経済的に運営されるよう必要な操作を施し、需要水量、良質水を確保できるようにすることを目的としている。そのためには信頼性の高い計測機器が必要である。特にここ数年大きな問題になってきた公害問題に対しては、政府所管の省庁が生活環境にかかわる環境基準を制定している。また国民の健康にかかわる環境基準においては、有害物質、ならびに重金属類の検出限界まで詳細に制定されており、浄水場での水質計の計測の役割も非常に大きくなってきている。

浄水場における現在一般的に行なわれている計測および制御の一例をフローシートで示すと図1のようになる。

流量計としては取り扱う量が大いいため、オリフィス式、ベンチュリー式差圧計、せき式流量計に代わって精度が良く(±1%以内)圧力損失のない大口径電磁流量計が用いられるようになった。そのほか開溝(かいこう)部ではせき式流量計が現在でも使用されているが、ディスプレイメント液位計、差圧式液位計により液位を測定し、 $\frac{2}{3}$ 乗の演算をして流量

を測定しているため、総合精度が悪くなる。超音波式流量計も大口径流量計として部分的に使用されているが、精度的な面、レンジアビリティの面で電磁流量計に劣るため、あまり採用されていない。薬品注入関係の流量計としては耐薬品性を考慮して電磁流量計、面積式流量計、差圧式流量計などが用いられている。

水位計としてはフロート式液位計、差圧式液位計、ディスプレイメント式液位計、気泡(きほう)式液位計などが用いられ、ポンプのON・OFF制御には電極式なども使用される。薬品タンクなどの液位測定には、耐薬品性材質を容易にコーティングできる差圧式液位計、静電容量式液位計が用いられ、気泡式液位計は空気源の準備さえあれば材質の面では非常に有利である。

圧力計は、ポンプ吐出圧測定用としてブルドン管式圧力計が用いられているが、配水池などには残留塩素があるため耐腐食性を考慮した材質を使用する必要がある。

水質計としては、温度、濁度、pH、電導度、残留塩素、アルカリ度などの計測が普通一般に採用されているが、最近の公害環境保全に対する考え方から、さらにBOD<sub>5</sub>、COD、TOD、TOC、アンモニア性窒素、シアン、油分、フェノール、重金属類などの計測の必要がある。

またシーケンス関係としては排泥弁開閉シーケンス、ろ過池として洗浄工程シーケンス、洗浄選択シーケンス、ポンプに関しては起動シーケンス、運転台数選択シーケンス、運転順序シーケンス、故障の時の飛び越し運転シーケンス、緊急停止シーケンス、渋滞チェックシーケンスなど多くのシーケンス業務がある。現在までは有接点・無接点リレーなどによりシーケンスを組み立てていたが、シーケンサの開発により一挙にハードウェアの煩雑さがなくなり、コンパクトにしかもMSI(中規模集積回路)などの使用により信頼性も高くなり、メンテナンスも簡単になった。またソフトウェアの作成、変更においても現在までの有接点・無接点においては、ハードウェアの変更に直接影響して容易に行なうことができなかつたが、シーケンサにおいてはそれがキーボタン一つで自由かつ簡単にできるようになり、シーケンス業務においては画期的な出現として注目を浴びるに至っている。

上水道における計測制御は中央管理室への伝送距離が長く、電

\* 日立製作所那珂工場 \*\* 日立製作所那珂工場 理学博士

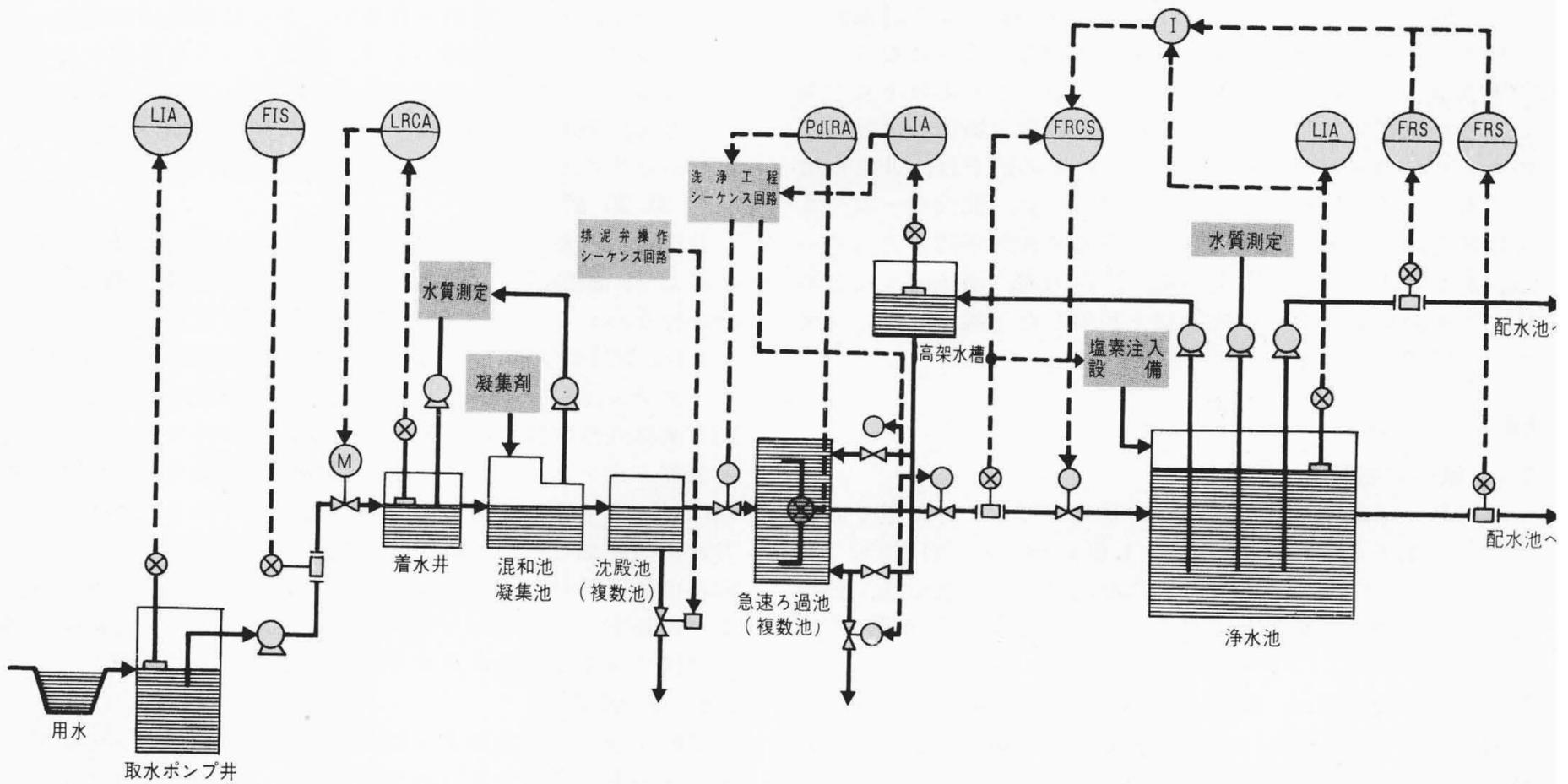


図1 上水道(浄水場)計装フローシート 沈殿池、急速ろ過池は複数個の設備で運用され、流量は大口径電磁流計で測定される。

Fig. 1 Flow Sheet of Water Supply

気信号での送受信が大半であるが、これらの計測機器に対しては誘導雷による対策としてアレスタによる保護が必要である。

### 2.2 下水道の計測

下水道の計測は下水道処理設備の運用には欠かせないもので、最近特に産業構造の複雑な発達に伴い人間の生活廃水に限らず、種々雑多な産業廃水があるためよりいっそう下水道

処理設備の運用をむずかしいものになっている。下水道における計測機器は上水道のそれに比べて、使用環境が非常に悪いため、耐薬品性、耐腐食性、信頼性、保守性の面でよりいっそう高い要求がなされている。また処理された廃水の良否の問題は河川や海洋の汚染に直接つながるもので、これらに関しての水質管理も重要なものとなってくる。

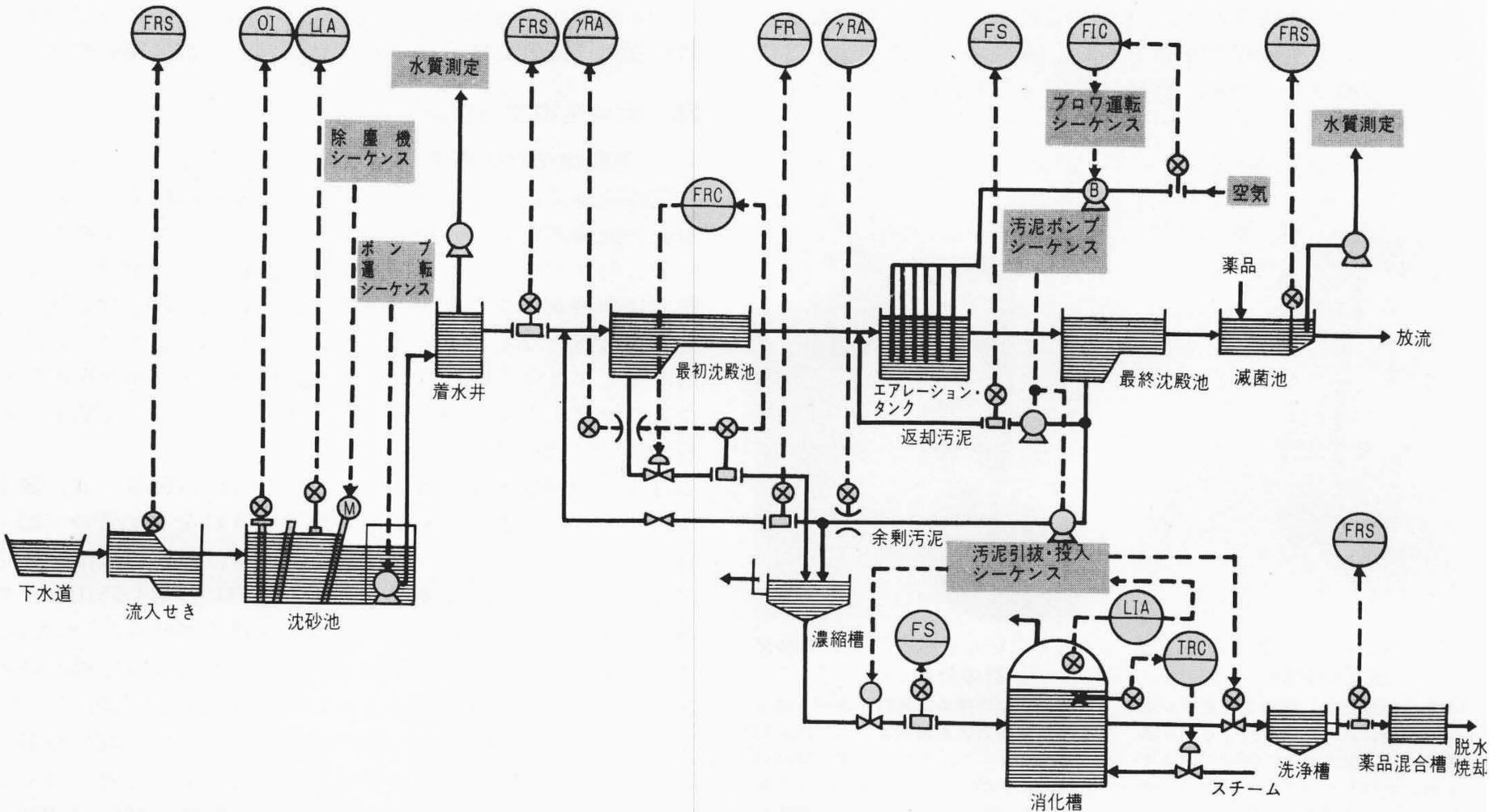


図2 下水道(処理場)計装フローシート 汚水は活性汚泥法により、汚泥はケン気性消化法により処理される計装例を示す。

Fig. 2 Flow Sheet of Sewerage

下水処理場において現在一般的に行なわれている計測および制御の一例をフローシートで示すと図2のようになる。

下水道における工業計測機器は上水道のそれとほとんど同じものが現在では使用されているが、被測定物中の汚物などのセンサへの付着による計測機能、精度の低下は、非常に激しいものでその対策としてウォーターパージ、間欠パージ、または超音波洗浄、ワイパ洗浄など多くの補助手段を使っている。また下水道計測では生汚泥、返送汚泥、濃縮汚泥などの汚泥量を計算するために放射線を利用したγ線密度計が採用され好結果をあげている。

### 3 一般計測器

#### 3.1 電子式制御系

制御系を構成する計測器には、情報処理をすべて電子回路で行なう電子式のもの、0.2~1.0kg/cm<sup>2</sup>の空気圧信号で行なう空気式とがある。水道計測には信号の遠距離伝送、情報処理のやりやすさなどの点から、もっぱら電子式計器が使用される例が多い。

電子式の制御系は、温度、圧力、流量、液面などのプロセス変数をすべて、DC 4~20 (0~16) mAの直流伝送信号に変換する各種伝送器、伝送器の出力信号を受けて種々の処理を行なうPID調節計、積算計、指示計、記録計その他各種演算器などの受信計器群、調節計の出力信号で弁などの操作器を作動させる電空変換器および電空ポジションなどから構成されている。

#### 3.2 伝送器

圧力はブルドン管の先端の変位に、流量はオリフィスで絞られた管路の前後の圧力差、すなわち差圧となり、これが差圧伝送器のダイアフラム変位に、また液面はフロートの上下変位になど機械的な変位にいったん変えられる。そしてこの機械的な変位が、低ドリフト、高感度のストレインゲージによって電気抵抗に変化され、増幅器によりDC 4~20 (0~16) mAの信号電流に変換される。ブルドン管、ダイアフラムなどの変位がリンク機構などを使わずに、直接ストレインゲージの抵抗に変換されるため、機構に起因する非直線性、ヒステリ

シスなどがほとんど認められない。さらに差圧伝送器は、独特な可変ダンピング機構により、流量ノイズを必要なだけ減衰させることができるすぐれた性能をもっている。圧力、差圧、液面伝送器の増幅器は、全く等しいものが使用されているため互換性があり、保守などの面でも有利である。

#### 3.3 調節計

各種伝送器からの信号電流は、操作器を最適に操作することにより、調節計で、P (比例)、I (積分)、D (微分) の演算が行なわれる。この増幅器には、FET (電界効果トランジスタ) とIC (集積回路) により構成される高利得、高入力インピーダンス、低ドリフトの特殊演算増幅器が使用されている。PID演算回路の構成は、微分動作が最初に行なわれる微分先行演算方式をとっているため、目標値、負荷などの急激な変化に対してすぐれた過渡応答特性をもっている。さらに入出力および電源との間が直流的に絶縁され、出力メータには、常時自動、手動の出力が監視できる2針のメータを採用し、また運転中の保守サービスのため、外部より補助手動調節器が接続できるなど数々のすぐれた特長をもっている。

#### 3.4 演算器

電磁流量計の出力のように、流量と直線関係にある信号電流をそのまま積算するリニア積算計と、差圧伝送器の出力のように流量の自乗に比例しているのを、これを開平して積算する開平積算計との2種類がある。いずれもICを使用した高い安定度をもった積分増幅器を、電圧一周波数変換回路に使用した精度±0.5%の積算計である。積算値は6けたのカウンタで表示され、手動で零戻しも可能である。

差圧伝送器の出力信号を開平して流量に比例した信号電流を作る開平演算器がある。これは8本のトランジスタスイッチを用いて9本の折線で開平曲線を近似する一種の関数発生器で、開平演算精度は±0.5%である。

3入力までの流量の和または差を求める加算演算器がある。おのおのの入力流量に対して任意のスケールファクタをかけることができ、各入力信号相互間、入出力間および電源との間が互いに直流的に絶縁されているため非常に使いやすい。

### 4 大口径電磁流量計

#### 4.1 電磁流量計の構造

電磁流量計はその原理、構造からくる特色によって、上下水道の流量測定に広く用いられるようになった。すなわち、配管に絞りがないうえに圧損が生じない。したがってポンプ能力に余裕が生ずる。また下水のように沈殿物を含む流体でも測定可能となる。その他レンジアビリティが大きいので、低流量も精度良く測れること、流れのプロファイルが中心対称であれば乱流でも層流でも誤差が生じないので、直管部が絞り流量計に比べて大幅に短くてすむなどである。

日立大口径電磁流量計の外観および寸法は図5、6、表1に示すとおりである。図からわかるように全く配管の一部であり、内側はネオプレーンのライニング、外側は全溶接構造になっているため、標準品でもピット内に設置し降雨などで数日間浸水状態に置かれても、機能を低下させることはない。また設置の都合で埋設しなければならない場合には、標準品の端子箱部分の簡単な改造によって埋設形も容易に製作できる。

電磁流量計用増幅器には屋内設置のラック形と現場設置の防水形があり仕様に依りて容易に使い分けられるようになっている。この増幅器はレンジを0.1%の精度で100~1,000%の間、自由に設定できるようになっており、発信器定数をダイヤル設定することによって、発信器と増幅器は実流校正な

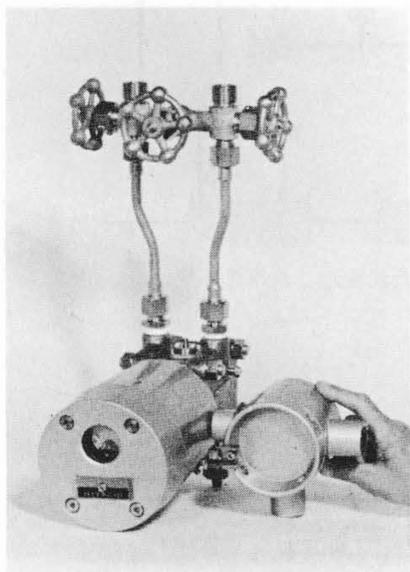


図3 EDR-II形電子式差圧伝送器の外観

本差圧伝送器は、独特な可変ダンピング機構により、流量、ノイズを必要なだけ減衰させることができるすぐれた性能をもっている。圧力、差圧、液面伝送器の増幅器は全く等しいものが使用されているため、互換性があり、保守面では特に有利である。

Fig. 3 Model EDR-II Electronic Differential Transmitter

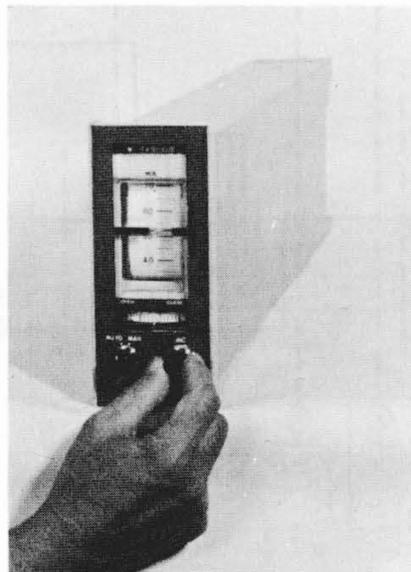


図4 VI<sub>86</sub>-E形電子式PID調節計の外観

高性能な特殊の演算器を使用し微分先行演算方式を採用すぐれた過渡応答特性をもち、入出力と電源間は直流的に絶縁され2針メータにより常時出力が監視できるなど多くのすぐれた特長をもっている。

Fig. 4 Model VI<sub>86</sub>-E Electronic PID Controller

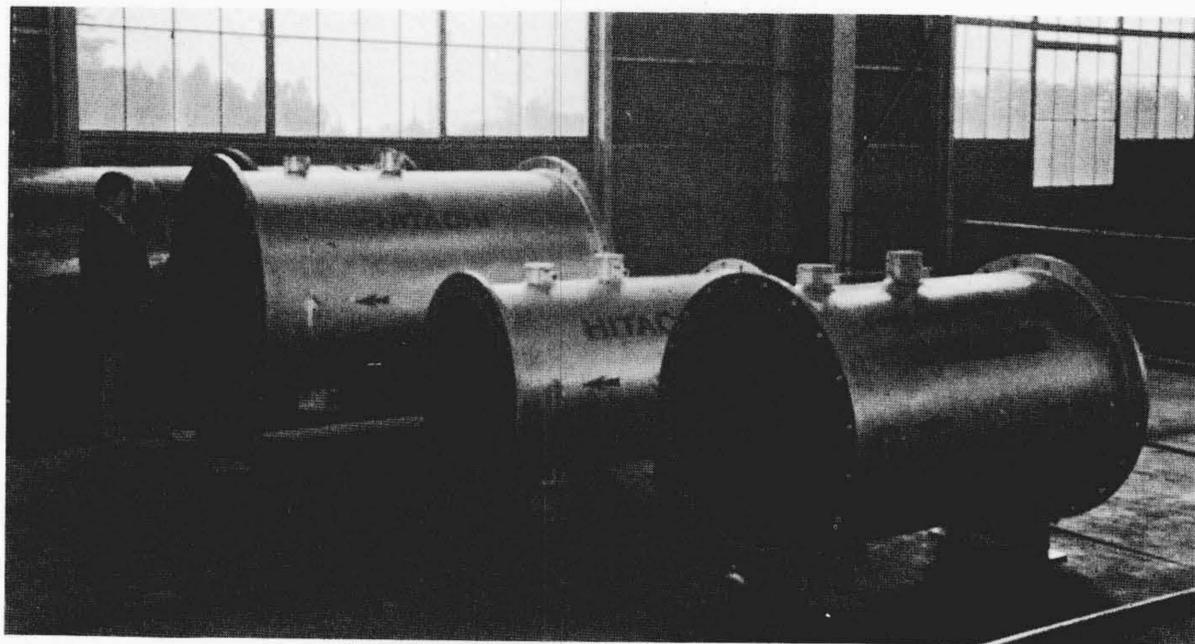


図5 日立大口径電磁流量計発信器の外観 上下水道のほかに工業用水, 排水, 農業用水の流速測定に用いられ, 500~2,400φの各種口径がある。その他, 地中埋設形がある。

Fig. 5 HITACHI Model FMR Large Diameter Electro-Magnetic Flow Meter

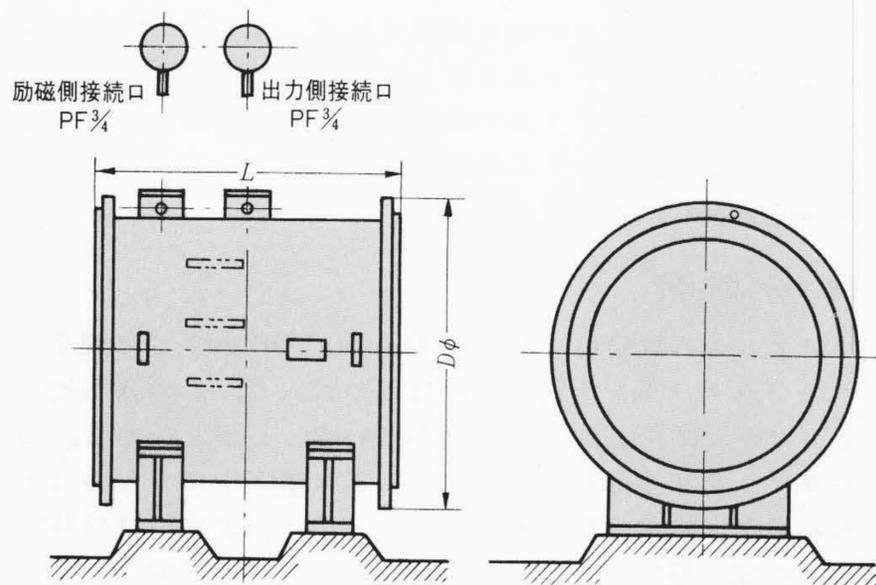


図6 日立大口径電磁流量計発信器寸法図 このほかに単管, レジューサ付も製作可能である。

Fig. 6 Section of HITACHI Model FMR Large Diameter Electro-Magnetic Flow Meter

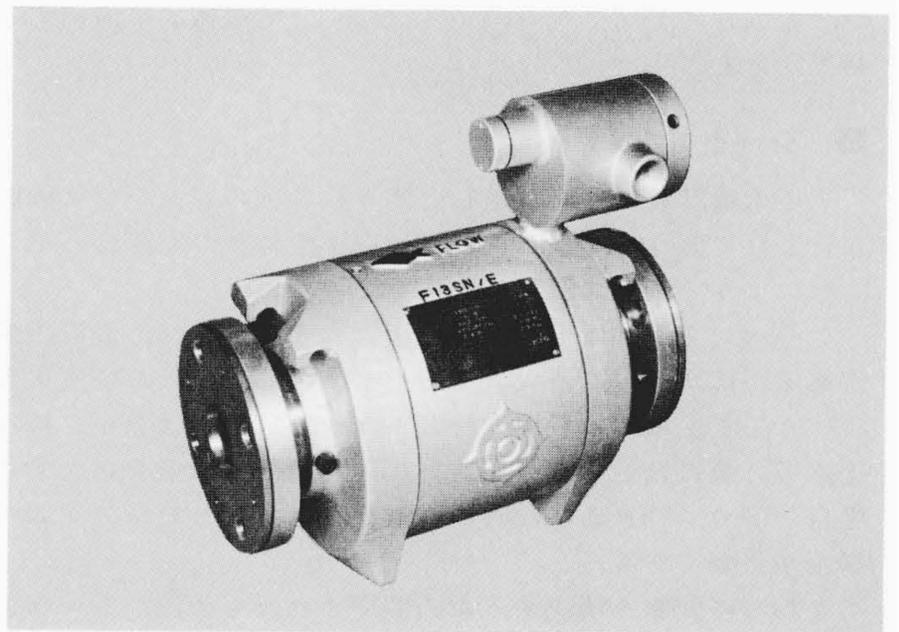


図7 小口径電磁流量計発信器の外観 口径としては8~400φ各種ある。

Fig. 7 HITACHI Model FMR Small Diameter Electro-Magnetic Flow Meter

表1 日立大口径電磁流量計発信器寸法表 このほかにもJIS B2212, JIS G5521, DIN2632 東京都水道規格など口径も2,200φ以上が製作可能である。

Table 1 Dimension of HITACHI Model FMR Large Diameter Electro-Magnetic Flow Meter

呼び径 (φ)	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,350	1,500	1,600	1,800	2,000
L	700	800	900	1,100	1,250	1,400	1,550	1,700	1,850	2,000	2,200	2,300	2,500	2,600	2,700
Dφ	464	582	706	810	928	1,034	1,156	1,262	1,366	1,470	1,642	1,800	1,930	2,130	2,345
重量 (t)	約 0.3	約 0.4	約 0.6	約 0.7	約 0.8	約 1.0	約 1.2	約 1.5	約 1.8	約 2.1	約 2.5	約 2.9	約 3.3	約 3.8	約 4.5

- 注 1. 呼び径300~1,500φのフランジ規格; JIS G 3451 2種 (水道用塗覆鋼管の異形管 最大使用静水頭・75m)  
 2. 呼び径1,600~2,000φのフランジ規格; DIN 2633溶接管フランジ呼び圧 16kg/cm<sup>2</sup>G  
 3. 呼び径 800φ以上にステップがつく。  
 4. 呼び径1,500φ以上に踊り場がつく。

しに完全互換性がある。

このほかにも薬注関係に小口径の電磁流量計が使用されている (図7)。

#### 4.2 使用上の注意

従来, 電磁流量計は直管部が不要であるという誤った通念があった。しかし, 電磁流量計は前述のように流れのプロファイルが中心対称であるという前提に成り立っているから, そ

の前提がくずれた場合, 誤差が生ずるのは当然である。配管中の流れのプロファイルについての文献はほとんどないが, 単純な90度ベンドの後のプロファイルに関するデータ<sup>(4)</sup>から, 直管部は少なくとも5D以上必要である。複雑なベンドがある場合は直管部をさらに長くとらねばならない。小口径の場合, 口径に比べて面間寸法がかなり長いので, 直管部を考慮しなくても問題がなかったが, 大口径の場合は口径に比べて面間

寸法（電極から端面までの寸法）が1～2Dであるので、直管部が問題になる。

直管部がかなり大きい場合にはピットの大きさ、設置の簡便さなどの点から電磁流量計そのものの面間寸法は短いほうが良い。また、ゲート弁、バタフライ弁などの弁の位置は、上流側では上記の問題が生ずるので、下流側に設置することが好ましい。この場合、弁の開度によって上流側への逆流があるので、1D以上離れたほうが良い。

次に下水道に使用する場合は、汚泥あるいは異物、金属粉などの付着による誤差が問題になる。極端な場合には1～2日で測定不可能になる例もある。これに対して超音波電極装置<sup>(5)</sup>とか、電極の形状とか、電極部への付着を防止する方法が種々考案されているが、ライニング面に異物が付着して電極とライニング間の絶縁が劣化するとやはり誤差になるので、あまり有効な対策にはなっていないのが現状である。

この異物付着の最良の防止法は測定流体の流速を上げることであり、経験によると生汚泥関係で流速2m/s以上、その他汚泥で1m/s以上あれば付着がほとんど生じていない。しかし数ヶ月に1回ぐらいの頻度（ひんど）で機械的に清掃する必要がある。

### 5 シーケンサ

上下水道計装には、既述したように各種のシーケンス制御が含まれており、従来有接点リレーを配線でつなぎ合わせるにより、所要の論理を実現していた。

シーケンス制御はその内容が複雑になるにつれ、装置の製作あるいは試運転に多大の労力を必要とし、ひとたび変更しようとしても多くの費用と時間がかかり容易ではない。特に上水道計装においては、人口増加と並行して設備を拡大するケースが多く、将来の増設時の融通性まで考慮したシステムの採用が必要である。

これらの問題を解決するため開発されたものが、シーケンス制御専用コントローラのシーケンサである。シーケンサは必要とする論理をすべてプログラムで実現するもので、従来

のハードワイヤードロジックに対し、ソフトワイヤードロジックである。したがってハードウェアは標準化されており、それぞれのシーケンス制御の内容に適合したプログラムだけ製作すれば、シーケンス制御の論理部は完成する。

シーケンサには融通性の高い大規模システムのDSC-6形と汎用形の中形システムDSC-5形がある。前者は有接点リレー換算で数百個以上の演算能力を持ち、コアメモリを用いているため、プログラムの変更、増設が容易である。後者はプログラム収納部にLSI（大規模集積回路）のROM（Read Only Memory）を用いているため小形で、かつ比較的安価なシステムを構成することができる。

図8はDSC-6形シーケンサのシステム構成図を示したもので、シーケンサの入出力部にそれぞれの入出力配線を行なうのみですべての配線が完了する。

DSC-5形、6形ともプログラムは共通で、所要の論理内容をブール代数式で書き表わし、これをそのままプログラムとすることができ、特殊なコーディング技術を必要とせず従来のリレーベースの技術者にとっても理解は容易で、変更、増設が簡単である。

シーケンサをマクロ的に表現すれば、システム的には大形の複合無接点リレーとみることができ、技術的にはコンピュータと同じくプログラムで制御される高速時分割演算装置である。つまり目的とする論理演算装置をコンピュータの基本技術で実現したものである。

### 6 分析計

アメリカのWQO（Water Quality Office）では表2のようなパラメータを水質の評価に用いており、この基本的な考え方はわが国でも踏襲する人が多い<sup>(3)</sup>。しかしながら、このパラメータを全部常時計測することは事実上できないことである。上下水道における計測においては、地域の特殊性を別にすれば一般に次のような項目の常時監視が必要となる。

- (1) 汚染度：導電率，濁度，pH，溶存酸素
- (2) 化学的成分：塩素，塩素イオン，BOD（5日法），COD

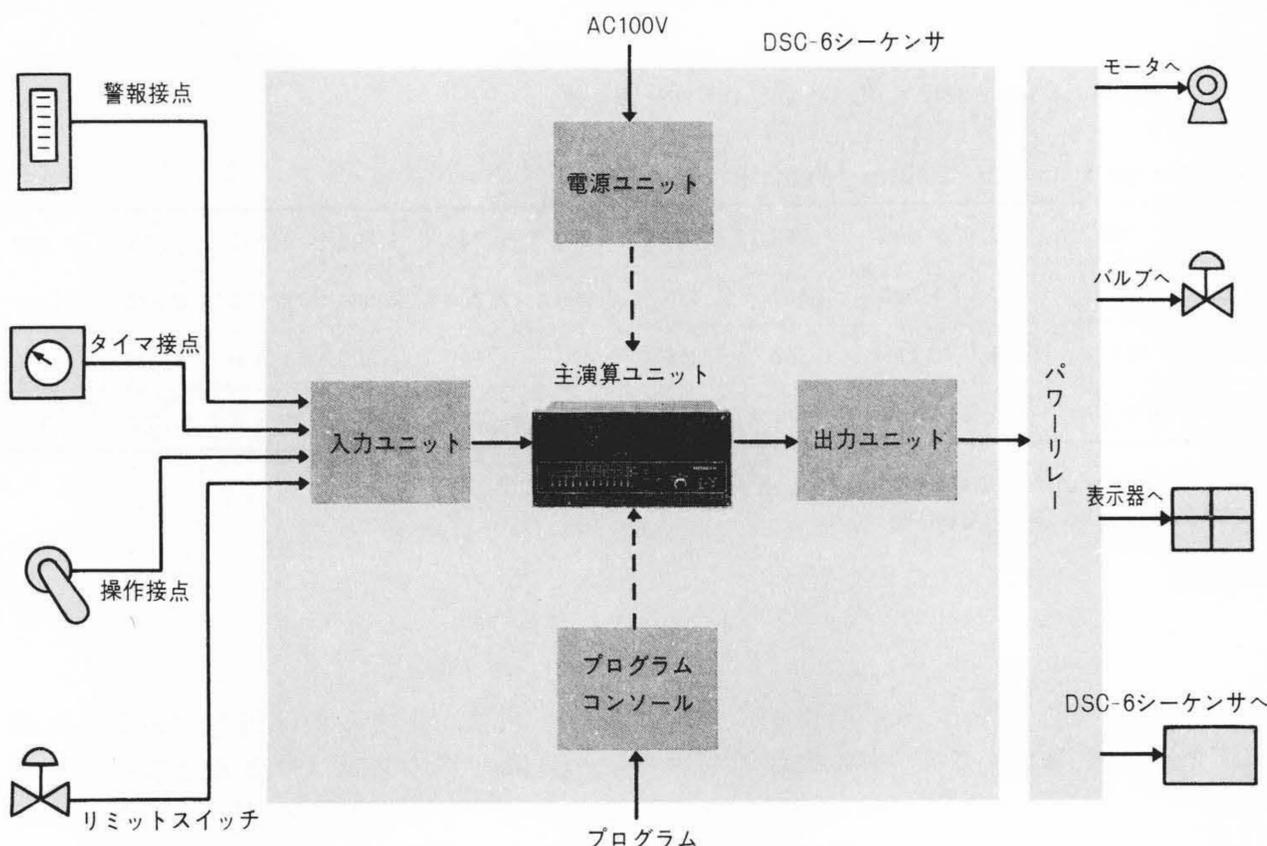


図8 シーケンサシステム構成図 DSC-6形シーケンサのシステム構成図を示したもので、複雑な論理配線部はすべてプログラムで置き換えられている。

Fig. 8 Block Diagram of Sequencer System

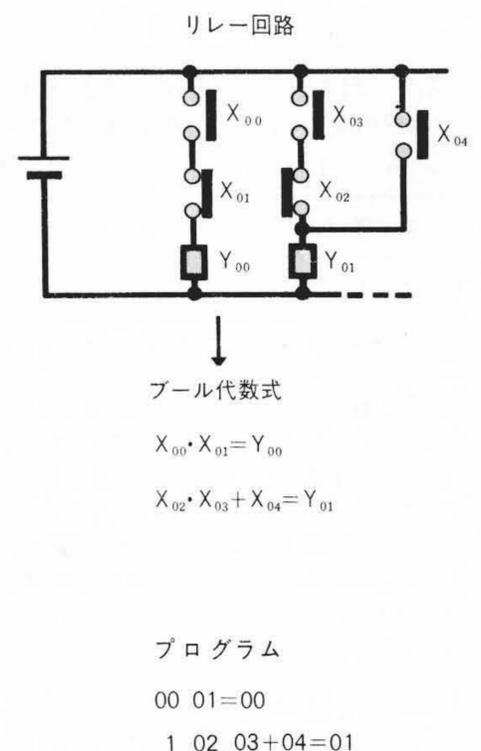


図9 リレー回路とプログラム リレー回路と、この回路を示すブール代数式およびシーケンサのプログラムを示したものである。

Fig. 9 Relay Circuits and Sequencer Program

表2 水質評価に用いられるパラメータ(WQOによる)  
Table 2 Parameter for Evaluation of Water Quality

気 象	物 理 的	化 学 的			富 栄 養 素	細 菌	生 物
		一般成分および鉱物質	微量 元素	有 機 物 質			
流 量	温 度	溶 存 酸 素	アルミニウム	B O D	有機体-N	大腸菌群	プランクトン類
流 速	導 電 率	溶存二酸化炭素	ヒ 素	瞬 間 法	NH <sub>3</sub> -N	ふ ん 尿	ペリフィトン
流水時間	濁 度	硫 化 水 素	バ リ ウ ム	5 日 法	NO <sub>2</sub> -N	ふん尿性ストレプト	ベントス
深 度	日 光 透 過	硬 度	ベ リ リ ウ ム	長 時 間 法	NO <sub>3</sub> -N	トコシイ	魚 類
潮 変 動	色 度	硫 酸 イ オ ン	ホ ウ 素	C O D	全 リ ン	一般細菌類	水 鳥
風 速	臭 気	塩 素 イ オ ン	カ ド ミ ウ ム	塩 素 要 求 量	可 溶 性 リ ン	サルモネラ	維管束植物
風 向	pH	溶 解 性 固 形 物	ク ロ ム	全 有 機 性 炭 素	有 機 リ ン	シ ゲ ラ	そ の 他
日照強度	全 固 形 物	鉱 質 質 :	銅	活 性 炭 吸 着 物	オ ル ト リ ン 酸 塩	ビールス :	
気 温	懸 濁 物 質	酸 度	フ ッ 素 イ オ ン	ク ロ ロ ホ ル ム 抽 出 物	ポ リ リ ン 酸 塩	コ ク サ ッ キ ー	
湿 度	浮 上 物 質	ア ル カ リ 度	鉄	そ の 他 の 抽 出 物		A, B	
	沈 降 性 固 形 物	カ ル シ ウ ム	鉛	シ ア ン 化 物		ポ リ オ	
	沈 積 物 濃 度	マ グ ネ シ ウ ム	マ ン ガ ン	農 薬		ア デ ノ ビ ル ス	
	粒 径	炭 酸 水 素 イ オ ン	カ リ ウ ム	油 脂		エ コ ー	
	水 底 負 荷	水 素 イ オ ン	セ レ ニ ウ ム	フ ェ ノ ー ル 類			
			水 銀				
			ナ ト リ ウ ム				
			亜 鉛				
			放 射 性 物 質				

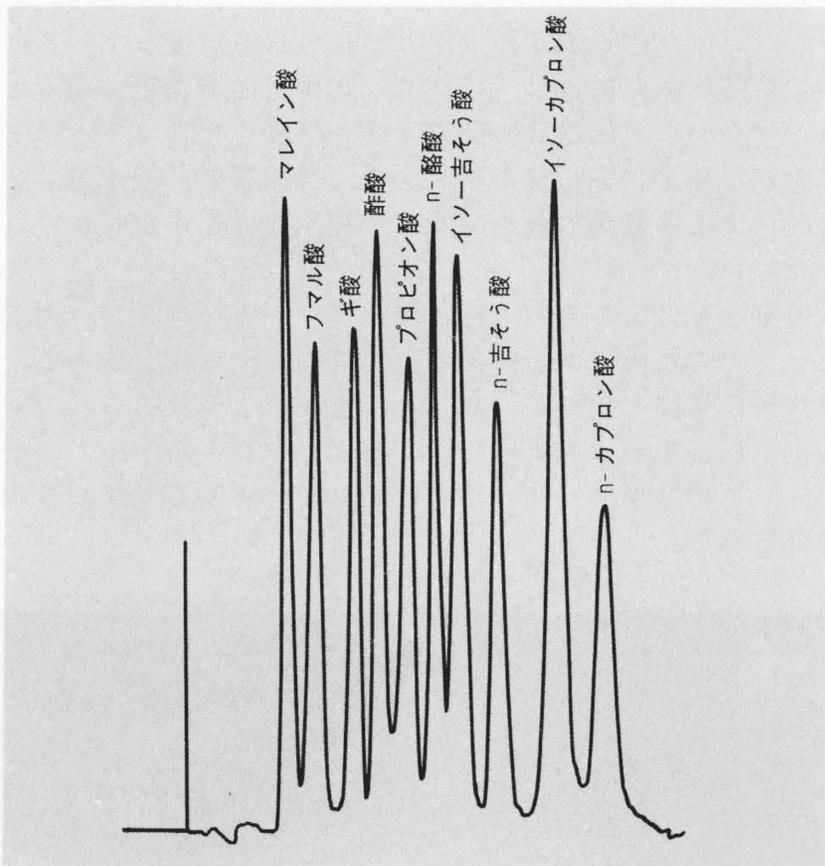


図10 有機酸の液体クロマトグラフ 活性汚泥処理などの処理過程で生成する可能性のある有機酸を分析することにより、処理状況を推定しようとするものである。

Fig. 10 Liquid Chromatograph of Organic Acids

TOC(またはTOD), フッ素イオン, 有機体一窒素, アンモニウムイオン, 亜硝酸イオン, 硝酸イオン, リン化合物, 有機酸, 公害対象成分となるシアン, カドミウム, 鉛, 水銀, ヒ素, 銅, 油分, フェノール類, 農薬, 界面活性剤などの混入は絶対にならないことが特に上水道では大きな前提となる。日立製作所ではすでに発表<sup>(6)</sup>したように種々の計測機器を開発しているが、特に定電位クーロメトリーを液体クロマトグラフィに適用して、既報のような重金属成分の完全分離分析を行なうほかに、カラム分離条件の工夫により図10のような有

機酸の分離分析が行なわれるようになり、活性汚泥処理法のチェックという目的に適するとして最近注目されている。分析条件は試料: 0.5~1.0×10<sup>-7</sup> mole, カラム: 9φ×540mm, 54°C, 樹脂: 日立球状イオン交換樹脂<sup>#</sup> 2613, 溶離液: 10%メチルセロソルブ水60ml/h, 検出電位+0.45V vs Ag-AgIである。

## 7 結 言

上水道における工業計測器としては、水質計の一部を除いては現在はほとんど完成されている。

下水道における工業計測器は精度、材質、信頼性の面では十分であるが、保守、管理の面でやや難点があり、今後の開発の課題である。特に下水の性質は多種多様であり、測定状態としては、他の工業プロセスに比べて最悪の部類に属するため、工業計測としての万能製品に値するものを開発するか、またはそれをカバーする補助処理装置などの対策を考慮しての計測を考えねばならない。

水質計は一般に工業計測の立場から考えると、従来の計測器とは性質を異にしており、化学分析の技術と理化学機器的技術、工業計測的技術の総合されたものであり、プロセスのオン・ライン化に使用するためにはまだ十分のものとはいわなく、今後の開発をまたれるものである。本稿が上下水道計測計画になんらかの参考になれば幸いである。

## 参考文献

- (1) 川口: 制御工学 48, 574 (昭45-9)
- (2) 黒須: 計装 10, (昭47-2)
- (3) 酒井: 計装 64(5月), 68(6月), 69(7月), (昭47)
- (4) 長塩, 小宮: 第8回SICE学術講演会 416 (昭44-8)
- (5) 北川, 鈴木: 日立特許 第791387
- (6) 酒井, 笹間, 松井, 柏迫, 新井, 日立評論 54, 562 (昭47-6)