

# PH 制御系における自動調節弁について

山 口 純 一  
五 郎 丸 剛 志

## On the Control Valve of the P.H. Control System.

Junichi Yamaguchi.

Tsuyoshi Goromaru.

Automatic P.H. control is more difficult than that of flow, temperature and liquid level because the P.H. happens to be a typical non-linear one.

Through theoretical analysis of the existing automatic control system, we found that the chief cause of trouble in the P.H. control was traceable to the existence of dead time.

A reduction of this dead time, therefore, was tried. This brought about an adverse effect on the characteristics of the control valve. But by modifying the characteristics of the control valve, we were able to bring the P.H. variations down to less than  $PH=3.6\pm 0.5$  by a simple process.

### 1. ま え が き

水銀法食塩電解においてはその不純物を除く操作によって塩水はアルカリ性となるが、電槽へ送る前にこれを塩酸で中和して適当な PH にしている。この PH を自動的に制御するにあたって制御系が本質的に非線形であるため、温度、流量ならびに液面レベルなどの自動制御を行う場合とは異なり複雑な問題を提示している。このような理由により PH の自動制御は一般に困難ではあるが、制御系の特性を検討するとともに自動調節弁の流量特性その他を改造した結果十分満足できる状態になったのでここにまとめて報告する次第である。

### 2. PH 制御系の検討

PH の制御を行うにあたっては、PH 値を一定に保つことがすこぶる困難であり、水銀法食塩電解においても仲々うまくゆかなかった。したがってまずその原因がどこにあるかということを確認、それに対する

対策をもとめるために系の解析を試みた。

#### 〔1〕 PH 制御系の特性

アルカリ性となっている塩水を混合槽へ送りここで 35% HCl を加えて攪拌し、適当な PH の塩水として貯槽へ送りこまれる。HCl の加えられた塩水の PH 検出は混合槽出口主管より一部連続試料採取を行っておりその検出値により調節器から自動調節弁へ指令として供給空気圧の変化を与えている。この自動調節弁の操作によって HCl 量を調節し PH=3.6 に調整する。この概略図を図 1 に示す。

混合槽へ送りこまれる塩水の PH 値は 11.5~12.0 の範囲である。この塩水に 35% HCl を加えていった場合における HCl 量と PH 値との関係を示すと図 2 のようになる。図をみればわかるように典型的な非線形であって、その設定値を 3.6 とし許容範囲を  $\pm 0.5$  にとるとすれば、PH=3.6 の場合に HCl の必要な量を 100% とするとき、許容範囲で HCl の変化量は  $\pm 1.8\%$  以内で行われなければならないというきびしい要求をうけていることがわかる。

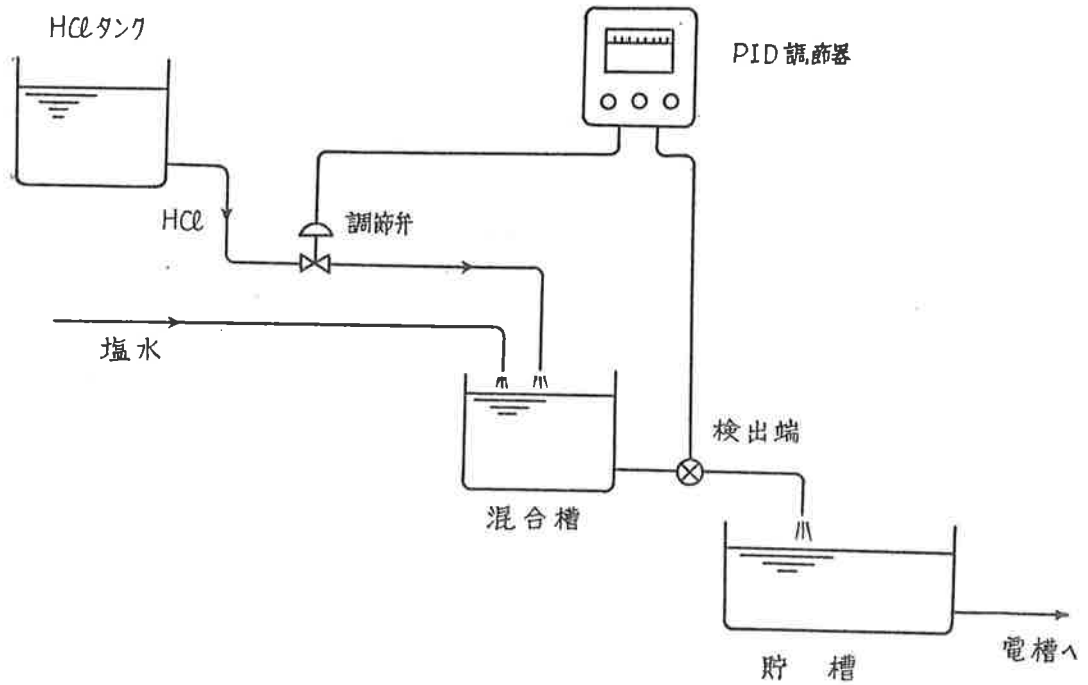


図 1 PH制御のプロセス

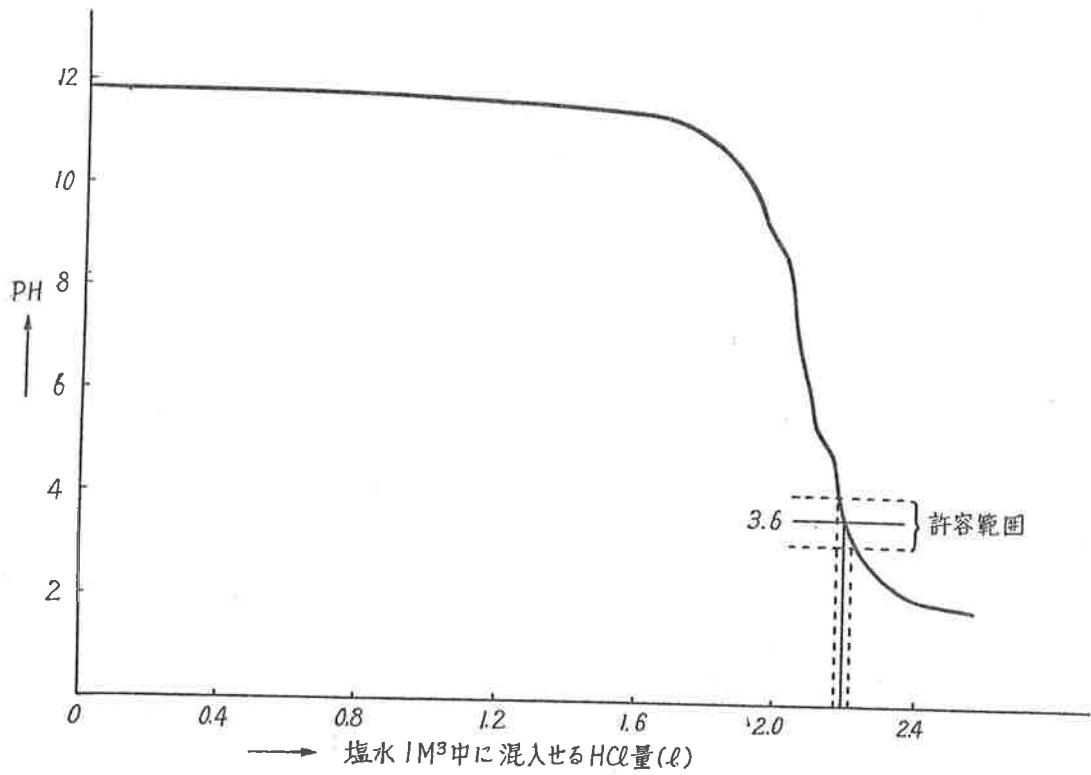


図 2 滴 定 曲 線

〔2〕 PH 制御系の解析

自動制御系は一般に制御対象と制御装置とに分けられる。PH 制御系においても両者に分けられ、制御対象として混合槽、制御装置として調節器、検出部および調節弁の三つを含むことになる。ここでは特に解析の都合上制御対象として混合槽と調節弁を含め、制御装置として PID 調節器および検出部とした。したがって制御量は混合槽から出る HCl 酸性塩水の PH、操作量は調節器から調節弁へ送られる供給空気圧とな

る。

また調節弁にはおくれがなく調節器は理想的な PID 調節として取扱っている。

この制御対象のインディシャル応答を実験によって求めると図 3 のようになる。これをみるとむだ時間として 50sec 程あり、その変化の状態から推察すると高次おくれと思われる。解析の都合上これを (むだ時間 + 2 次おくれ) で近似すると図 3 の鎖線で示す曲線となる。

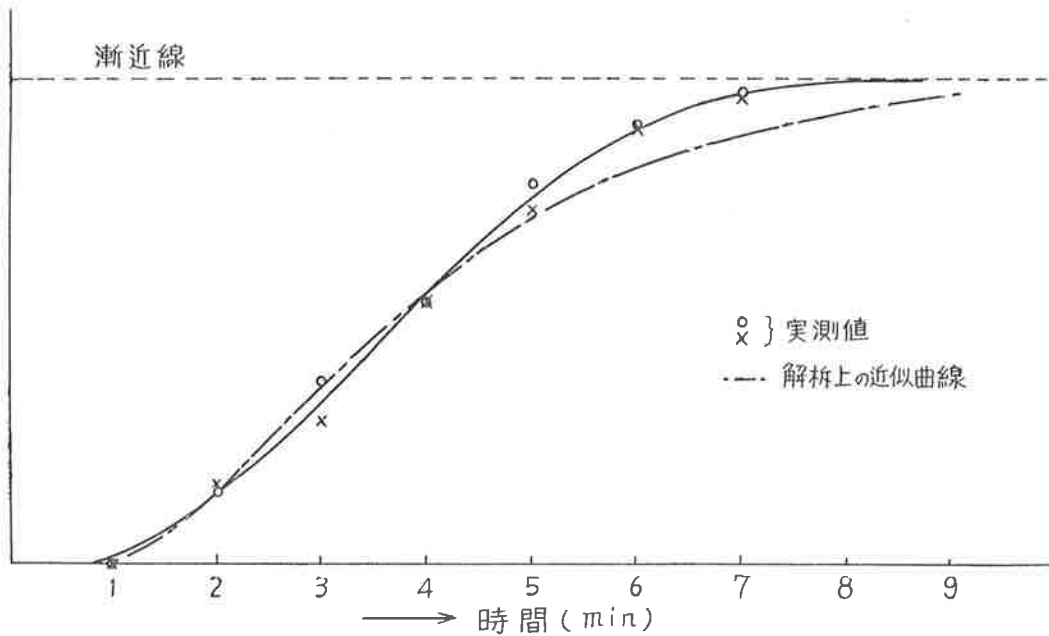


図 3 インディシャル応答

その時の

$$\left. \begin{array}{l} \text{むだ時間 } L=0.83 \text{ min} \\ \text{時定数 } T=1.67 \text{ min} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

また比例定数 K は図 2 において、PH = 3.6 附近の曲線の傾きから求められる。

$$\text{比例定数 } K=150\text{PH/kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2)$$

したがって制御対象の伝達関数は(1)式および(2)式によって次のように表わせる。ここで演算子を  $S (=d/dt)$  とすれば

制御対象の伝達関数は

$$G_1 = \frac{K \cdot e^{-LS}}{(1+TS)^2} = \frac{150 e^{-0.83S}}{(1+1.67S)^2} \dots\dots\dots(3)$$

制御装置の伝達関数は次式で表わされる。ここで  $K_P$  は比例感度、 $T_I$  は積分時間および  $T_D$  は微分時間を表わす。

制御装置の伝達関数は

$$G_2 = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S \right) \dots\dots\dots(4)$$

(3)、(4)式を用いてブロック線図を描くと図 4 のようになる。

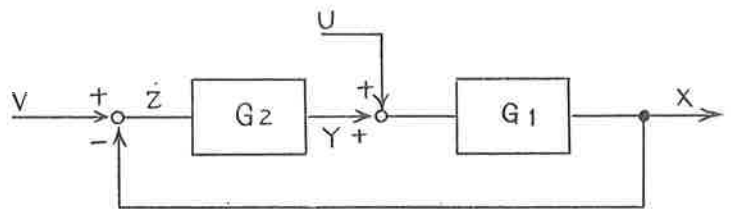


図 4 ブロック線図

ここで V : 設定値      Z : 動作信号  
Y : 操作量      X : 制御量  
U : 外乱

を表わす。

この系の外乱としては流量や成分の変動などがあげられる。ここでは簡単のために外乱は  $G_1$  と  $G_2$  との間に入ってくるものとした。

外乱Uに対する系の伝達関数は(5)式で与えられる。

$$\frac{X(S)}{V(S)} = \frac{G_2(S)}{1+G_1(S) \cdot G_2(S)} \dots\dots\dots(5)$$

同様に設定値Vの変動に対しては次式で表わされる。

$$\frac{X(S)}{V(S)} = \frac{G_1(S) \cdot G_2(S)}{1+G_1(S) \cdot G_2(S)} \dots\dots\dots(6)$$

この系における一巡伝達関数は  $G_1(S) \cdot G_2(S)$  である。この一巡伝達関数のボード線図の形によって系の特性がほぼ推察できるので、ここでは次の3種類についてしらべてみた。

- A : 調査した当時（改造前）のPH制御系の特性
- B : Aの状態において混合槽の容量を $\frac{1}{2}$ に縮小したと仮定した場合の特性
- C : Aの状態において混合槽の容量を $\frac{1}{2}$ に縮小しかつむだ時間を $\frac{1}{2}$ に短縮したと仮定した場合の特性

ここにおいて調節器の  $K_P$ ,  $T_I$  および  $T_D$  は一巡伝達関数および設定値変動の場合の系の応答を解析した結果から最も適当だと思われる値をえらんだ。その結果を示すと図5のようなブロック線図となる。

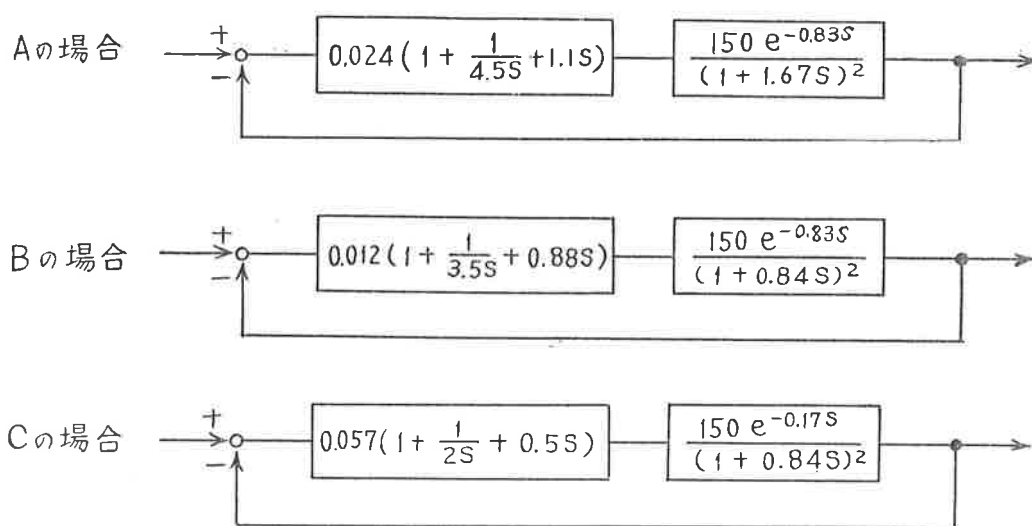


図5 ブロック線図

このブロック線図によってボード線図を描くと図6のようになる。またこれを整理すると表1のようになった。

プロセス制御においては特にPID制御であれば位相余有は26~62°, ゲイン余有は3~6dbに入っていればよいからA.B.C.ともこの点は満足している。しかしよくみるとAおよびBの位相曲線は-110°附近から急に下降している。Cにおいてはあまり顕著ではない。これは明らかにむだ時間の影響だといえる。位相が-180°になる点の角周波数をみるとBはAに比較してきほど高周波域にはっていない。これはむだ時間があるため、容積を縮小したとしてもあまりよい結果はえられないことを示している。これに対してCでは高周波域に伸びていっている。つまり速応性をあらわしている。したがってA, BおよびCの中ではCが一番制御性がよいということになる。

以上のべた3種類の比較によって次のことが判明した。

- (1) この系においてはむだ時間が大きくなる程制御性がわるくなっている。
- (2) Bのように混合槽の容量を縮小したとしてもさほど特性はよくなるらない。
- (3) Cのように容量とともにむだ時間を少なくすれば驚くほど特性が改善されることを示している。
- (4) したがってまずむだ時間を極力少なくするようにすれば特性が相当に改善できる。

むだ時間を少なくするには自動調節弁と混合槽との距離をできるだけ短縮すれば弁開度の変化によるHCl量の変化が直ちに混合槽中に影響するからむだ時間を短縮できることになる。しかし混合槽の近くに調節弁をもってゆくとすれば今までとは弁の取付位置がかわることになるから調節弁々前圧力が変わり、そのために流量特性が非常に異ってきたため弁を改造しなければならなくなった。

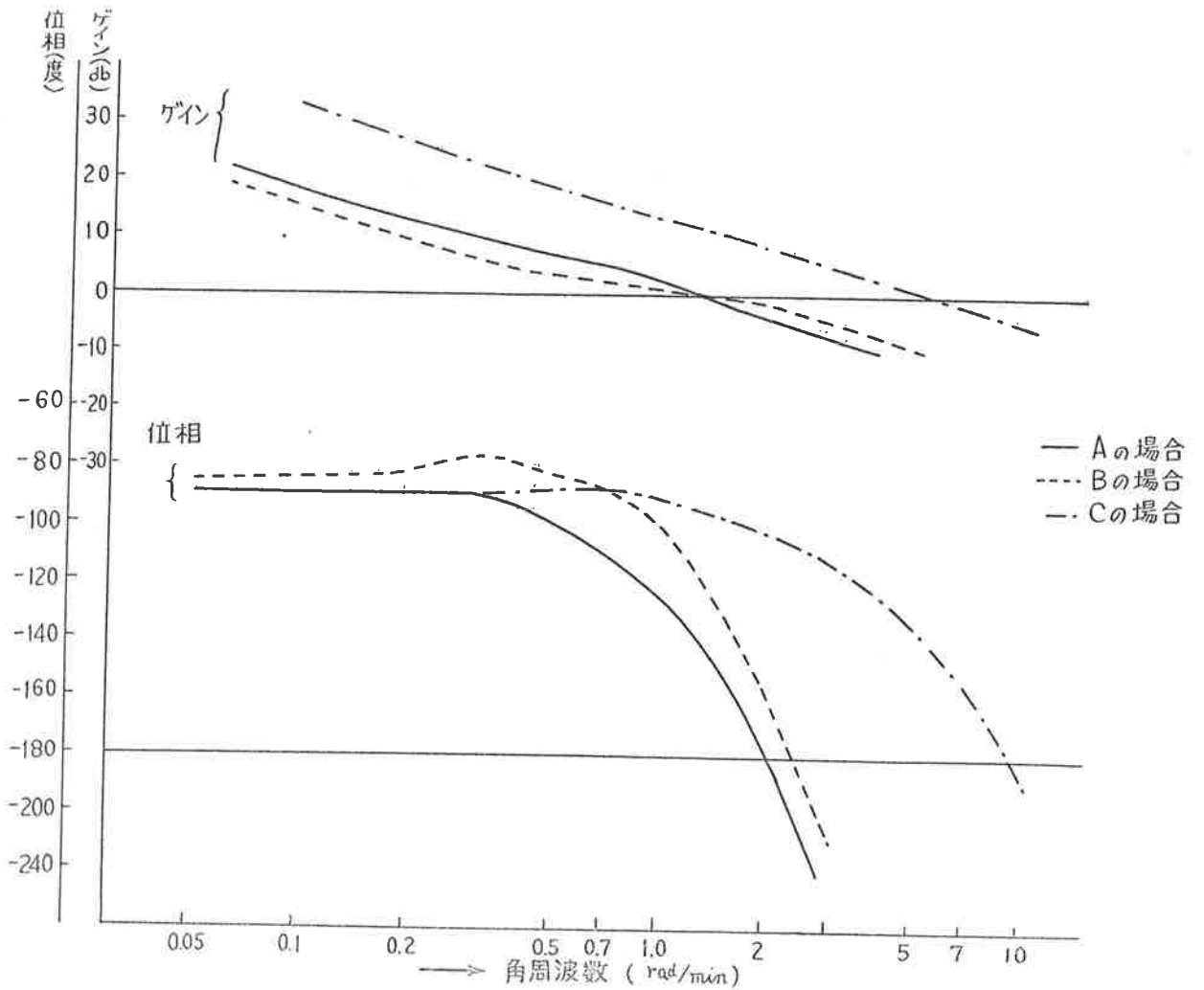


図 6 ボーデ線図

表 1 周波数応答特性の比較

種 類	A	B	C
位 相 余 有 ( 度 )	42	65	38
ゲ イ ン 余 有 ( db )	4	3	4
位相が $-180^\circ$ のときの角周波数 (rad/min)	2.1	2.5	9.5
む だ 時 間 ( sec )	50	50	10

〔3〕 自動調節弁の改造

PH 制御系の解析においては自動調節弁の供給空気圧と流量との関係を直線形と仮定したが実際においては必ずしも直線形ではなくその上ヒステリシスがあるのが普通である。

この制御系に最初に取り付けられた調節弁は図7に示

すように軸封パッキンを使用したために軸との摩擦が大きく、空気圧の微小変動に対しては作動が不確実であった。このためにあまり良好な結果はえられなかった。この点を解決するために図8に示しているようにポリエチレン製のペローズに取り換えたところヒステリシスが実用上差支えない程度に減少した。

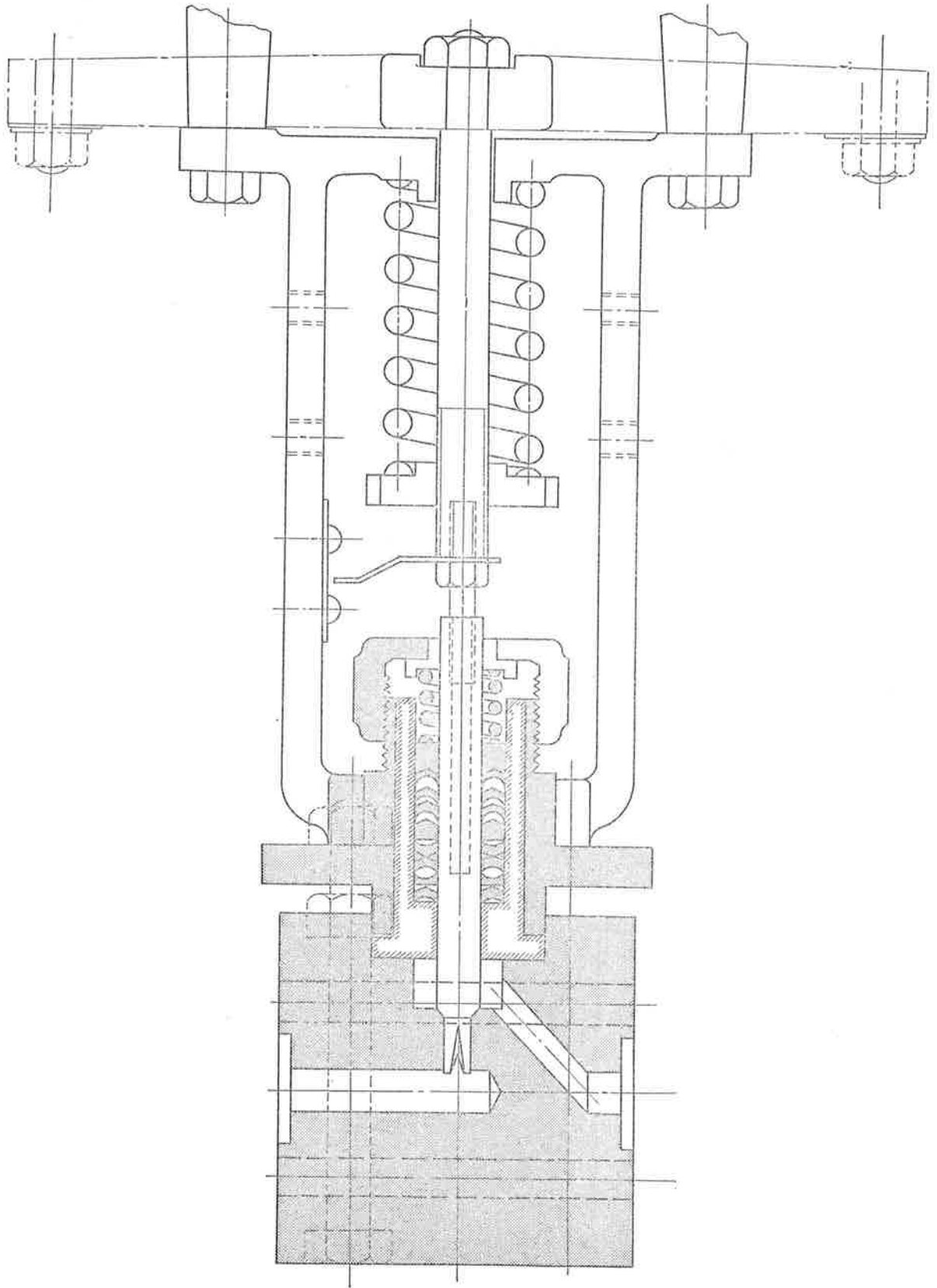


図 7 自動調節弁

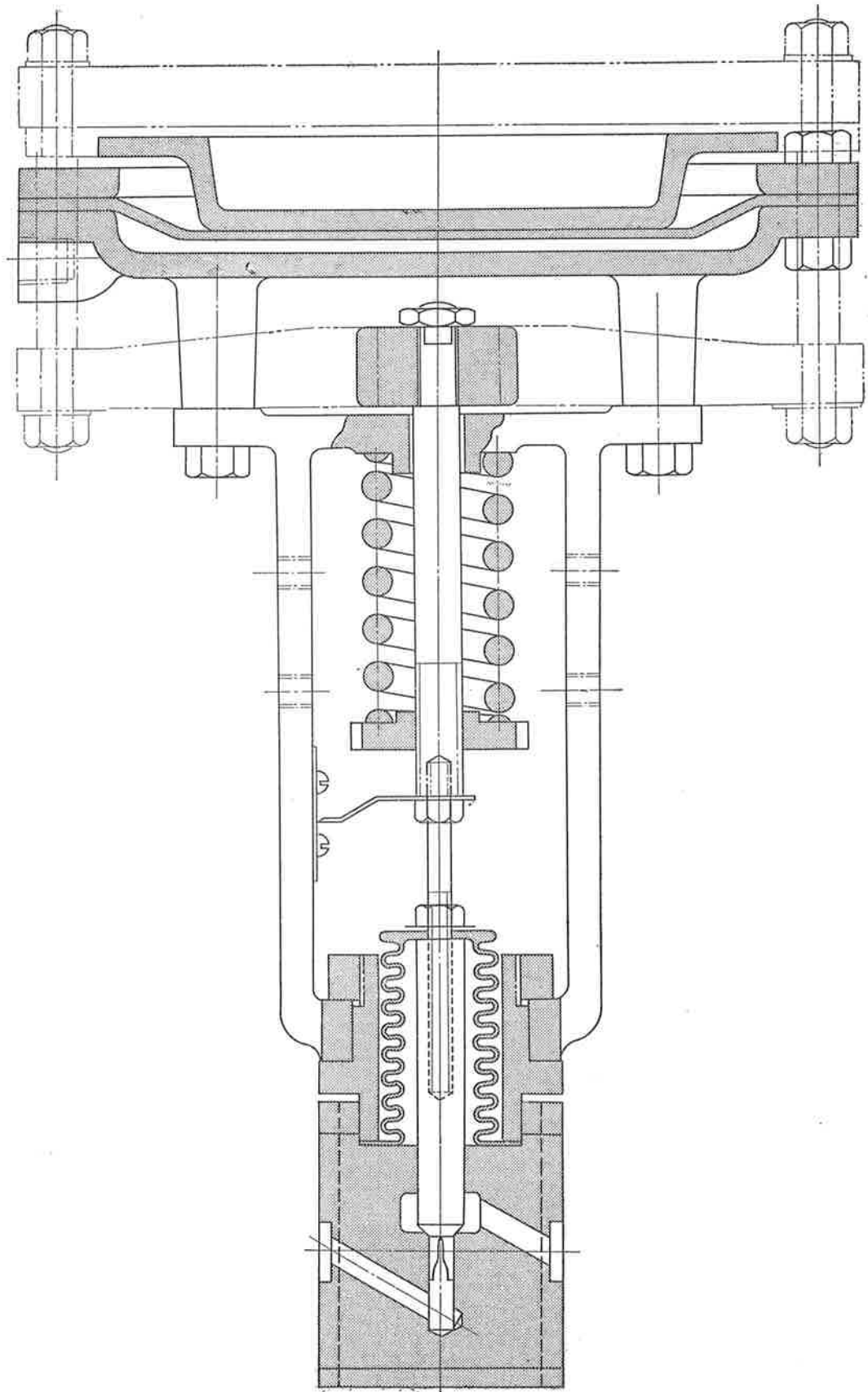


図 8 自動調節弁

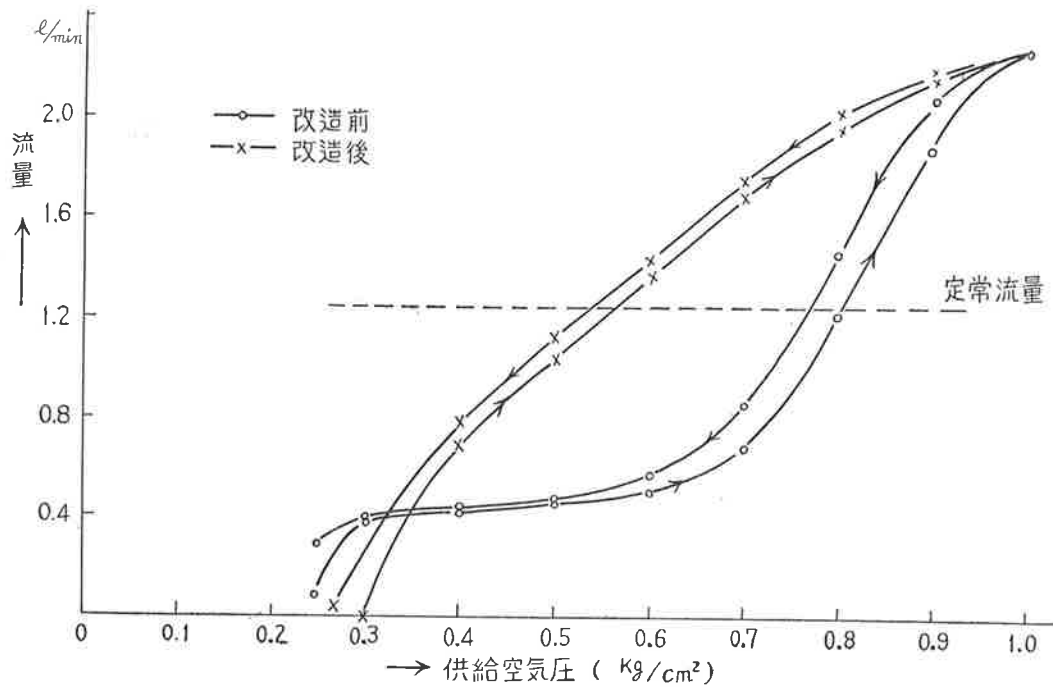


図9 調節弁の流量特性

むだ時間を少なくするために調節弁を混合槽の近くへ移した場合、その弁にかかる HCl の圧力が大となり、そのため弁の流量特性が変わるのでそのままでは使用できない。したがって内部弁の形状を変えることにした。弁の流量特性は図9に示すように空気圧が  $0.6 \text{ kg/cm}^2$  附近から急激に流量が増大している。このために空気圧の少しの変化によっても HCl 量が大巾に変化し、あたかもオン・オフ動作の様相を呈しているため好ましい状態とはいえなかった。図10(a)にその変動状態を示している。この振れの大きいのは流量特性が良くないからである。したがって特性を改善することがのぞましいが、その中の一つの方法としては内部弁の形状を改めればよい。図11の中の(a)に示すような形状をしていたものをA-A'の部分から切断して(b)に示すような形のものに取り換えたのであるが、この改造によって流量特性は図9に示されるように使用状態附近での勾配は以前に比較して緩やかになっており、特性が改善されたことを表わしている。この改造した弁を使用してみると前にもましてよくなっていることが図10(b)をみると理解できる。

#### 〔4〕 検出部によるおくれ

混合槽からでてきた塩水の一部を取りだし、そのPHを検出しているのであるが、その検出部の容器が大きい過ぎるために検出おくれがかなりあることがわか

ったので容器を小さくした。そのため検出おくれが縮小され図10(c)に示すように振れを  $3.6 \pm 0.5$  以内に押えることができるようになった。

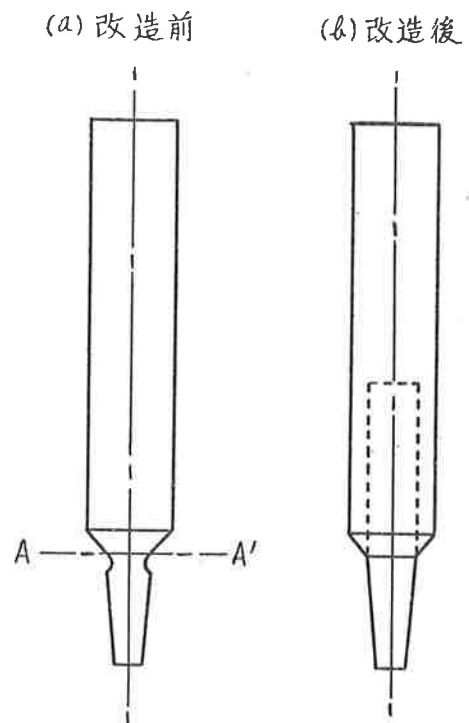


図11 内部弁の構造



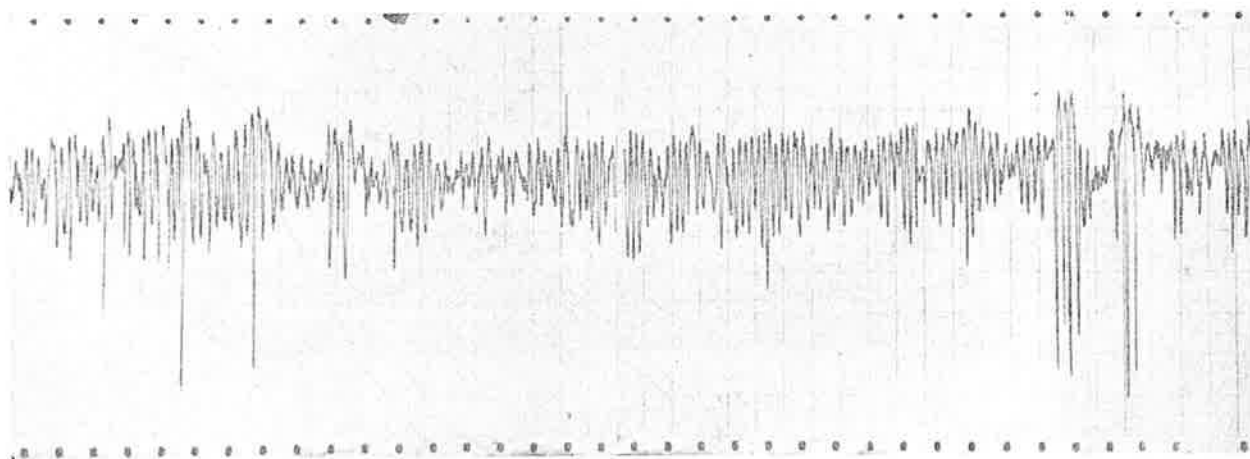


図 10 (a)

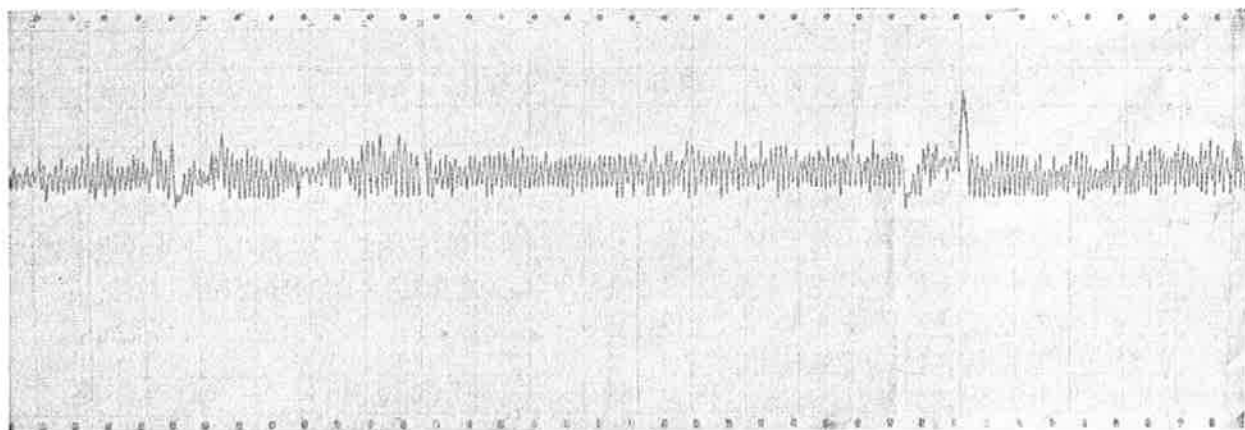


図 10 (b)

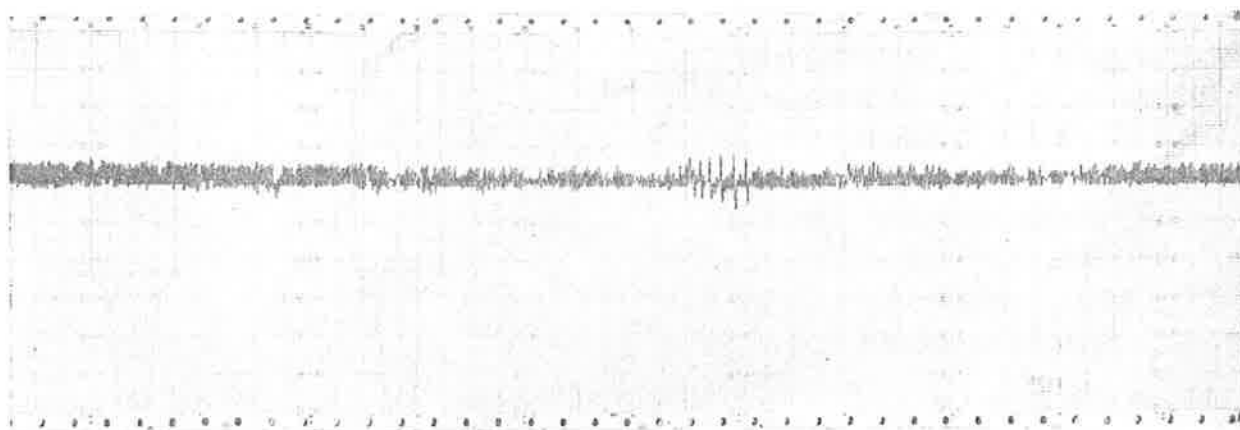


図 10 (c)

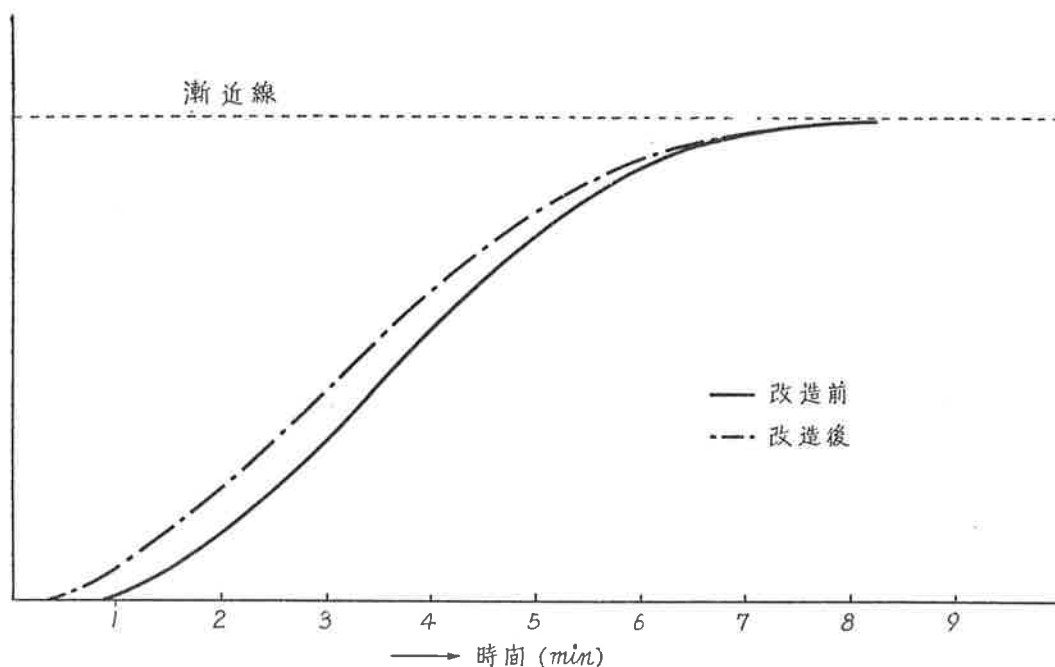


図 12 インディシャル応答の比較

## 〔5〕 む す び

PH制御系の特性の改善にはむだ時間をできるだけ短縮する必要があることを理論的にみだし、むだ時間をなくするために色々と工夫をこらし調節弁の改造などを行ってきた。ここで改造前のインディシャル応答と改造後のそれとを比較してみるとかなりむだ時間が短縮されており、立上りが速くなっている。図12にこの状態を示している。このように応答が速くなると必然的に制御性がよくなってくるので制御系全体からみた特性も一段と改善されるわけである。しかしながら流量の大巾の変動があった場合にはかなり振れるこ

とがあるが、このような時には貯槽があるために変動が緩和され電槽へ送られる塩水にはその影響は無視してさしつかえない程度のもとなっている。現在までの運転実績を検討するとこの制御系における最良の状態にあるようであり、これ以上の向上はカスケード制御等の他の方法によらなければ望めないようである。これらについての理論的な解析は別報にゆづることにする。

終りにのぞみ本研究に際して多大の助力をしてくださった蔵田一信氏ならびに第二製造部の方々に対しここに厚く感謝いたします。