



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



むだ時間を含む液面制御系に関する実験的考察

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 成田, 忠雄, 山下, 光久, 久保田, 譲 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1094

むだ時間を含む液面制御系に関する実験的考察

成 田 忠 雄・山 下 光 久・久保田 謙

An Experimental Study on the Control for a Liquid-Level System with Dead Time

Tadao NARITA, Mitsuhsa YAMASHITA and Yuzuru KUBOTA

Abstract

In the process control field, process is very often represented by including dead time in the system model.

We selected a liquid-level system with dead time as such a system and controlled the system using the following control laws :

- (1) PI control
- (2) Smith predictor and PI control
- (3) Modified Smith predictor and PI control

Results are discussed from the standpoint of a response for the reference input and a disturbance rejection.

1. は じ め に

フィードバック制御系は、制御系構成の代表的なものとして広く使用されている。フィードバック制御系において制御対象内部に長いむだ時間が含まれている場合には、一般にシステム解析が複雑になったり、大きな動作遅れのために目的とする制御を行なうことが困難になるばかりか、ときには不安定な制御になることがある。

むだ時間を含む系の制御に関して、種々の観点から多くの研究がなされてきている。

なかでも、制御系の構成法に関するSmithの方法は⁽¹⁾、構成が簡単なこと、主制御器の設計が有限個の極のみに注目して行える等の点から有名であり、実システムへの応用も多い。⁽²⁾さらに、Smith法の導入によって生じる、いくつかの問題点に対しても検討、対策がなされてきている。

本研究では、比較的長いむだ時間を含むタンク液面系を実際に作製し、制御則として、

- (i) P I 制御
- (ii) P I 制御+Smith 法

(iii) P I 制御+Smith 法+外乱補償器

を用いた場合の目標値変化, 外乱付加に対する応答を求め, これらを比較検討した。

なお, 制御はマイクロコンピュータ (FM-8) を用いた DDC システムによって行なわれ, 制御対象内部の非線形要素に対しては計算機内部で線形補償を同時に行なっている。

2. Smith 法と外乱補償

Smith 法は, 図-1 に示すように, プロセスモデル $\{G_p(s) - G_p(s) G_c(s) e^{-LS}\}$ を主制御器 $G_c(s)$ のまわりに局所フィードバックしたものである。

r = 目標値

y = 制御量

d = 外 乱

e = 偏 差

L = 制御対象のむだ時間

$G_p(s)$ = 制御対象からむだ時間を除いたもの

$G_c(s)$ = 主制御器

図-1 の r - y 間の等価ブロック変換は図-2 となる。従って, むだ時間を含まない $G_p(s)$ に対するフィードバック系の設計を用いて \hat{y} が望む特性となる $G_c(s)$ を得ることが出来る。このとき, 制御量 y は単に \hat{y} をむだ時間 L だけ遅らせたものである。このように Smith 法は目標値-制御量間の伝達特性を得るためには有効であるが, 外乱-制御量間には次のような問題点があ

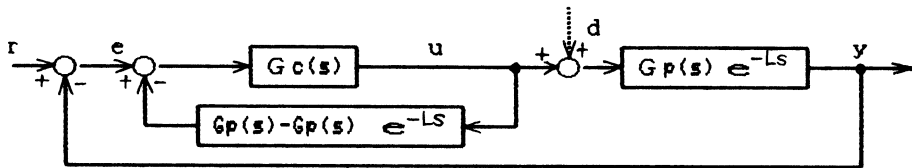


図-1 Smith 法



図-2 目標値 r に関する等価な系

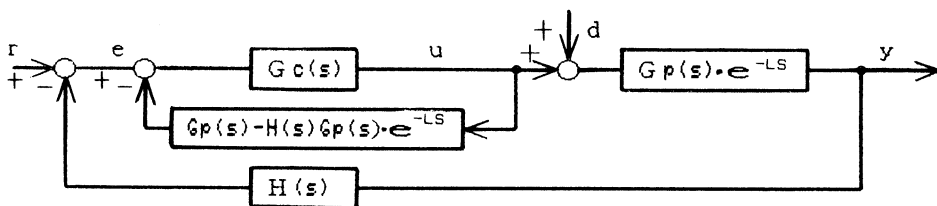


図-3 外乱補償器 $H(s)$ を用いた系

る。図-1の系に外乱 $d(s)$ が加わったとする、このとき外乱に対する出力偏差 $e_a(s)$ は

$$e_a(s) = \frac{G_p(s)}{1+G_c(s)G_p(s)} + \frac{G_c(s)G_p(s)}{1+G_c(s)G_p(s)} \{G_p(s) - G_p(s)e^{-Ls}\} d(s) \quad (1)$$

となる。従って(1)式から解るように制御対象が原点の近くに極を持っていると $G_c(s)$ の選択にかかわらず長時間外乱に対する偏差が残ることになり望ましくない。

目標値-制御量間の伝達特性をかえずに、外乱に対する特性を改善する方法として、渡部等の外乱補償法がある⁽⁹⁾。これは図-3に示すように外乱補償器 $H(s)$ をフィードバックループに挿入するものである。 $H(s)$ は外乱に対する特性の指定と $G_p(s)$ の特性によって定められる。

また Smith の方法は、プロセスモデルを使用しているため制御対象の同定の正確さを必要とする。

3. 実験装置と線形化補償

3-1 実験装置の構成

本実験装置は、タンク液面制御を目的とした机上モデルで図-4にその構成を示す。タンク形状は縦 150 mm、横 200 mm、高さ 300 mm のものである。むだ時間要素は $L=16.7$ (sec) のものと、 $L=39.3$ (sec) の 2 つのものを用意した。液位は液位検出器で測定しその信号を計算機システムに送り制御アルゴリズムに従って処理されたのち、流量制御弁 A への操作量として出力される。流量制御弁 B は液位に係わらずタンクの流出抵抗が一定になるように動作させる。従って、タンク特性の中に含ませることができ、本実験装置は 1 入力 1 出力のフィードバック系となる。

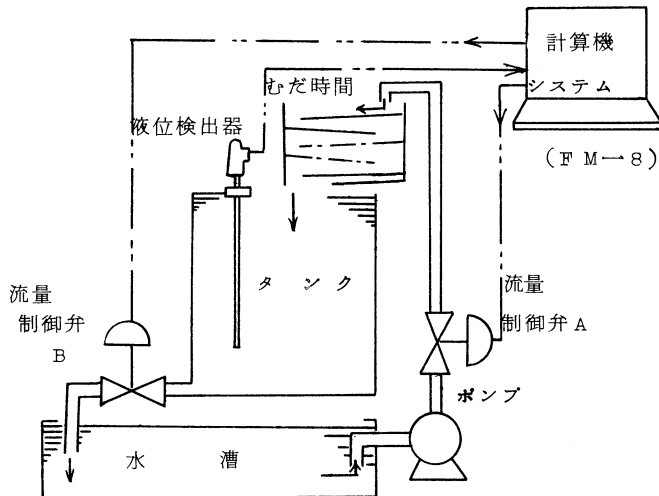


図-4 実験装置

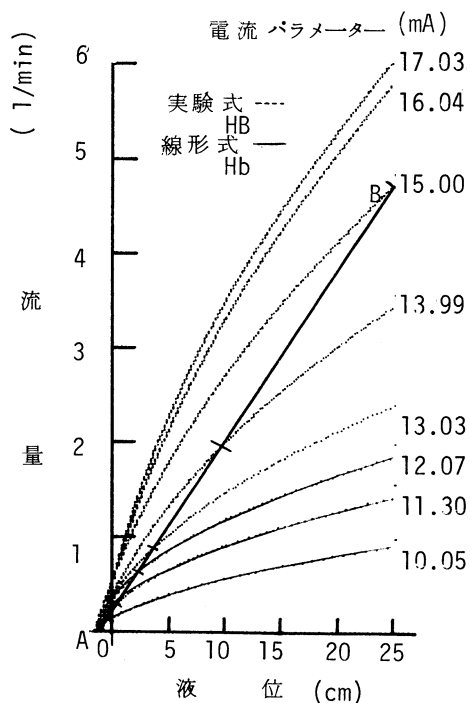


図-5 制御弁Bの流量-液位特性

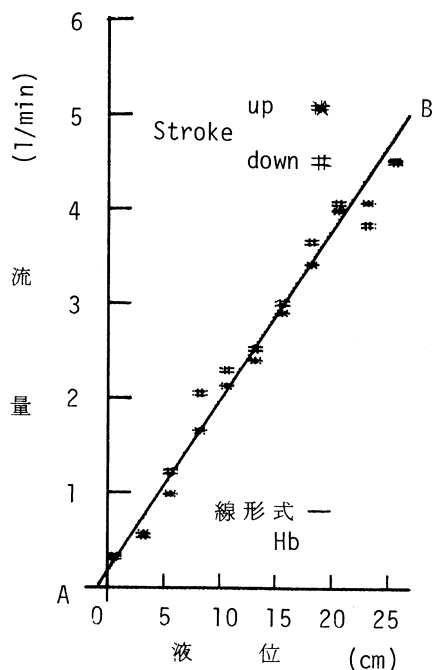


図-6 線形補償後の制御弁Bの特性

3-2 制御対象の伝達関数

図-4から、流入量を入力、液位を出力、 $1/R$ を制御弁Bを含めた流出抵抗、Aをタンク断面積とし、タンクのみ伝達関数を一次遅れ系とみなす。このときむだ時間を含めた伝達関数 $G(s)$ は

$$G(s) = \frac{R}{1+TS} e^{-Ls} \quad (2)$$

ここで、 R :プロセスゲイン、 $T=AR$:プロセス時定数となるよう線形化等を行っている。

3-3 線形化補償

前章で述べたように、Smithの方法はプロセスモデルを使用しているために制御対象の特性が大きく変化すると目的とする制御を得ることが出来ない。本実験ではこの対策として、次に述べる線形化補償を行なっている。

3-3-1 流量制御弁Bによるタンク系の線形化

これは(2)式における流出抵抗 $1/R$ を広い範囲で一定値とするため、即ち、タンク流出流量

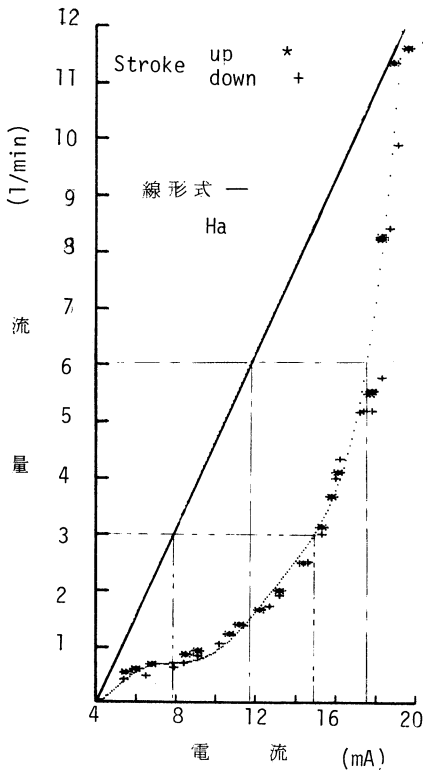


図-7 制御弁Aの流量-液位特性

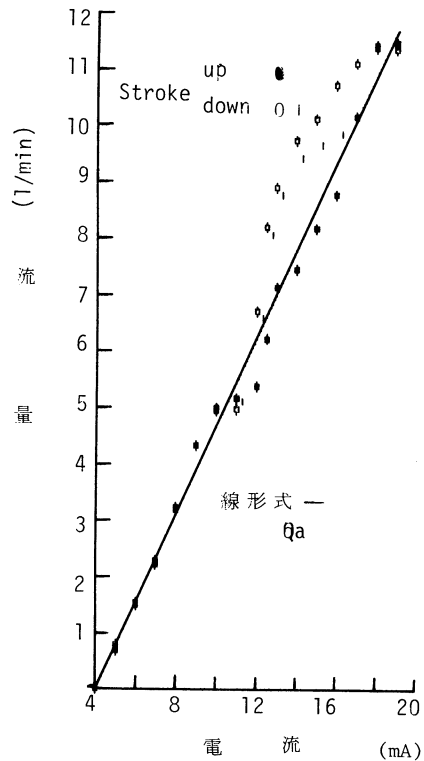


図-8 線形補償後の制御弁Aの特性

と液位間に比例関係を持たせるために行なったものである。図-5の流量-液位特性線図における直線ABは流出抵抗 $1/R$ を $3.0(1/\text{min}/\text{cm})$ に設定した場合であり、これに対する制御弁Bの操作電流の補正式は図-5の各特性曲線と直線ABの交点から得ることが出来る。補正後の流量-液位特性を図-6に示す。

3-3-2 制御弁Aの線形化

流入側制御弁Aの流量特性を図-7に示す。制御弁Aが全動作に渡って線形となるように補正式を定める。その結果を図-8に示す。入力電流 16 mA 以上の部分において補正結果と設定特性とに差異が認められるが、これは弁機構のヒステリシスによるものである。本実験では制御弁Aの動作範囲が $4\sim 16\text{ (mA)}$ であったのでこれ以上の補正は行なわなかった。

4. 実験方法

線形化補償後の制御対象の各定数を表-1に示す。制御方策を次の3種類とし

- (i) PI制御
- (ii) PI制御+Smith法

表-1 プロセス定数

むだ時間要素	I	II
むだ時間 L (sec)	16.7	39.3
プロセスゲイン R (cm/sec)	5.9	4.41
プロセス時定数 T (sec)	112.7	118.3

表-2 PI 制御定数 [20%行きすぎて応答時間最少]

むだ時間要素	目 標 値		外 乱	
	I	II	I	II
むだ時間 L (sec)	16.7	39.3	16.7	39.3
比例ゲイン K _p	0.685	0.410	0.799	0.479
積分時間 T _i (sec)	112.5	118.8	38.4	90.4

[Chien, Hrones, Reswick の方法による最適調整値]

(iii) PI 制御+Smith 法+外乱補償

各々の制御方策に対する

- (a) 目標値変化に対する応答
- (b) 外乱に対する応答

を調べる。各制御方策における制御定数は表-1 を基に次の様に定める。

- (1) PI 制御定数は「Chien, Hrones, Reswick の最適調整値」を用いて定める。この方法は制御対象の R, T, L を用いるので, (ii) (iii) に対しては, L を与える必要がある。本実験では, 表-1 における L をむだ時間として与えた。したがって PI 制御定数は表-2 となる。
- (2) サンプリング周期 (DT) はプロセスの時定数を考慮して 0.2 秒とした。
- (3) 外乱補償器は, 外乱がステップ入力, G_p(s) が一次遅れ系であることから

$$H(s) = a_0 + \frac{a_1}{s + \alpha} \quad (3)$$

ここで

$$a_0 = \frac{1}{T} \left[\alpha - \left(\alpha - \frac{1}{T} \right) e^{-L/T} \right] \quad (4)$$

$$a_1 = 1 - a_0 \quad (5)$$

となる。また, 自由パラメータ α はシミュレーションから $\alpha = 3$ と決定した。

以上で述べた制御方策は離散時間形に変換して, 本実験で用いる DDC システムに組み込まれ, その制御アルゴリズムを付録図-1, 図-2, 図-3 に示す。

5. 実験結果と考察

実験結果を示す図-9～図-18において、一点鎖線はシミュレーションの結果である。

5-1 目標値変化に対する応答

図-9から図-12に示すが、むだ時間の長さにかかわらず、整定時間はPI制御+Smith法のほうが短かく、またオーバーシュートも減少している。これはシミュレーションも同じ傾向を示している。立ち上り時間はPI制御の方が良いが、これはPI制御+Smith法のPI制御定数設定に必要なむだ時間を全長むだ時間にした為と考えられる。Smith法の構成を考えると、Lは純粋むだ時間と見なされる時間を除いた、高次遅れ等の時間すなわち全長時間より小さく取ることが考えられるが、その設定では立ち上りが速くなることが、オーバーシュートも大きくなることが予想される。

ここに実験結果はのせていないがPI制御+Smith法の応答と、さらに外乱補償を加えた応答とは同じ結果を示している。

5-2 外乱に対する応答

図-13から図-18に示す。むだ時間の長さにかかわらず、PI制御+Smith法はPI制御より外乱の影響が長くのこっている。この問題点は外乱補償を行うことによって除かれ、さらにPI制御よりも良い結果を得た。Smith法に外乱補償を併用した場合にも、先に述べたように、PI制御定数の変更が考えられる。

この時は比例ゲインが大きくなり、さらに積分時間は短くなる。従って整定時間は短縮されるものと思われる。

5-3 線形補償について⁽⁴⁾

3-3で述べたように制御弁Aと制御弁Bに線形化補償を行ない制御対象の係数R、Tを定係数とした。これによりPI制御においては、液位の動作点を任意に定めても、最適調整値を変更することなく用いることが出来る。図-19は制御弁Bの弁開度を初期定常液位で固定した時の目標値変化に対する応答であり、5-1で示した応答よりは悪くなっている。Smith法を用いた場合にも不安定な応答が確認されており、線形化が効果あることを示している。

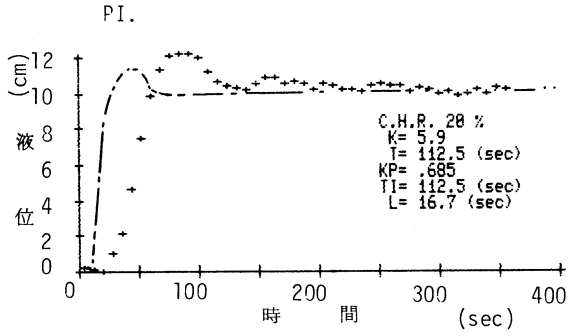


図-9 PI制御 ($L=16.7$ sec)

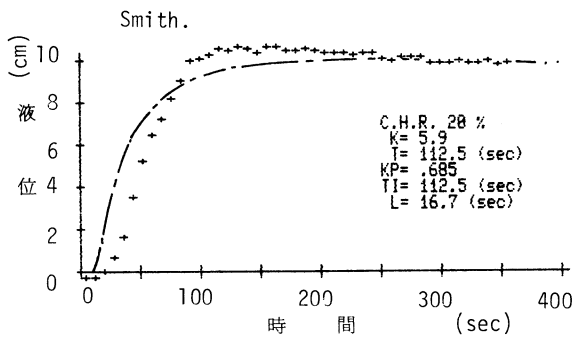


図-10 PI制御+Smith法 ($L=16.7$ sec)

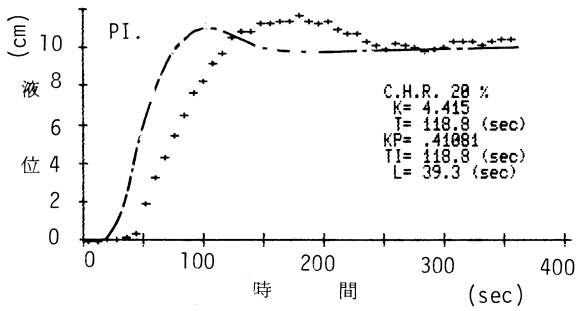


図-11 PI制御 ($L=39.3$ sec)

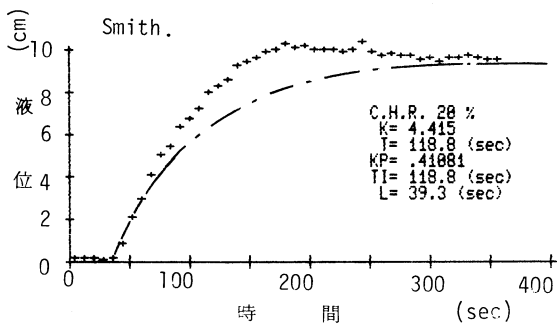


図-12 PI制御+Smith法 ($L=39.3$ sec)

むだ時間を含む液面制御系に関する実験的考察

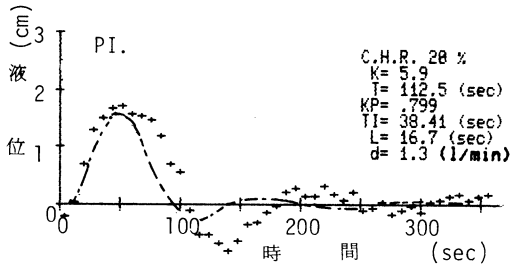


図-13 PI制御 ($L=16.7$ sec)

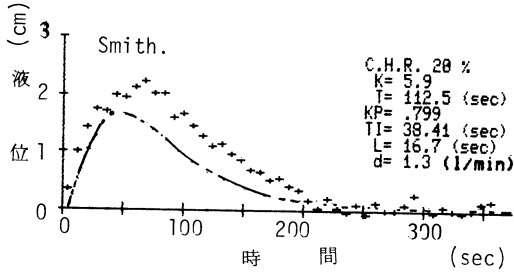


図-14 PI制御+Smith法 ($L=16.7$ sec)

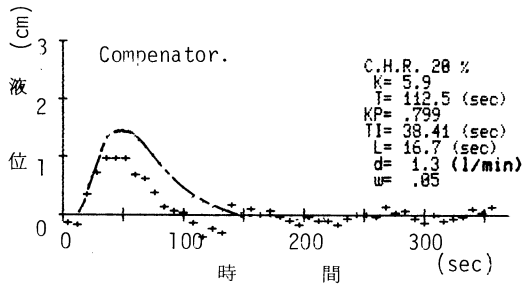


図-15 PI制御+Smith法+外乱補償 ($L=16.7$ sec)

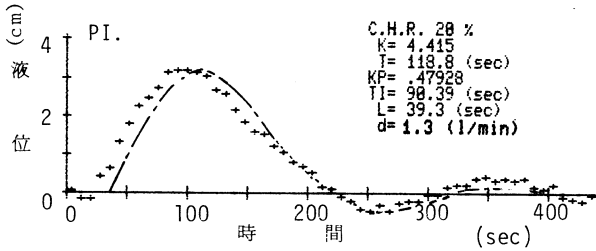


図-16 PI制御 ($L=39.3$ sec)

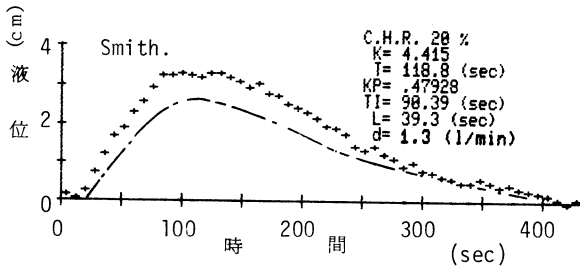


図-17 PI制御+Smith法 ($L=39.3$ sec)

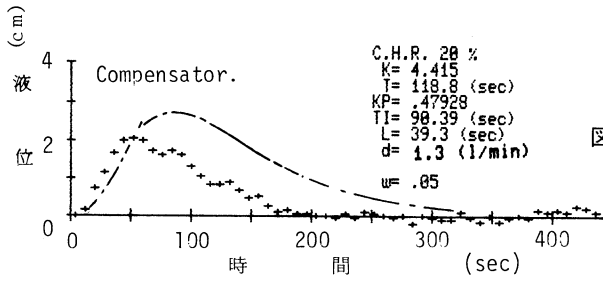


図-18 PI制御+Smith法+外乱補償 ($L=39.3$ sec)

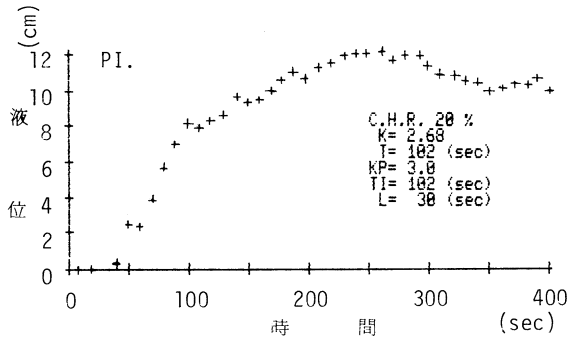


図-19 目標値に対する応答(線形補償なし)

6. あとがき

本論文はむだ時間を含む制御対象としてタンク液面系を実際に作製し、プロセス制御では一般的なPI制御、むだ時間をもつ系の制御に対するSmith法、および、その外乱補償を併用した場合における、目標値変化と外乱付加に対する実験を行ない、結果を比較検討した。実験結果から、Smith法の外乱補償を行った場合が、目標変化、および外乱付加に対しても有効であることが確認された。PI制御定数を定める為のプロセス定数において、むだ時間 L を全長むだ時間とした。これはPI制御定数をより安全な値に設定していることを意味している。Smith法の構成を考慮すると、純粹むだ時間を除いた時間で行うことも考えられ、それを短長時間とすると最適なものはいずれの間にも存すると思われる、この設定については今後の課題としたい。

デジタル計算機制御の柔軟性からも本研究で行なった制御系の非線形要素のソフトウェアによる線形化手法は制御対象のパラメータ変動に弱いSmith法などを用いる場合に有効な一手法であると思われる。Smith法に関してもプロセスとモデル間の mismatch による問題及びそれを積極的に利用したオーバーシュート⁽⁵⁾の抑制などの問題があり、先の問題と合せて今後検討したい。

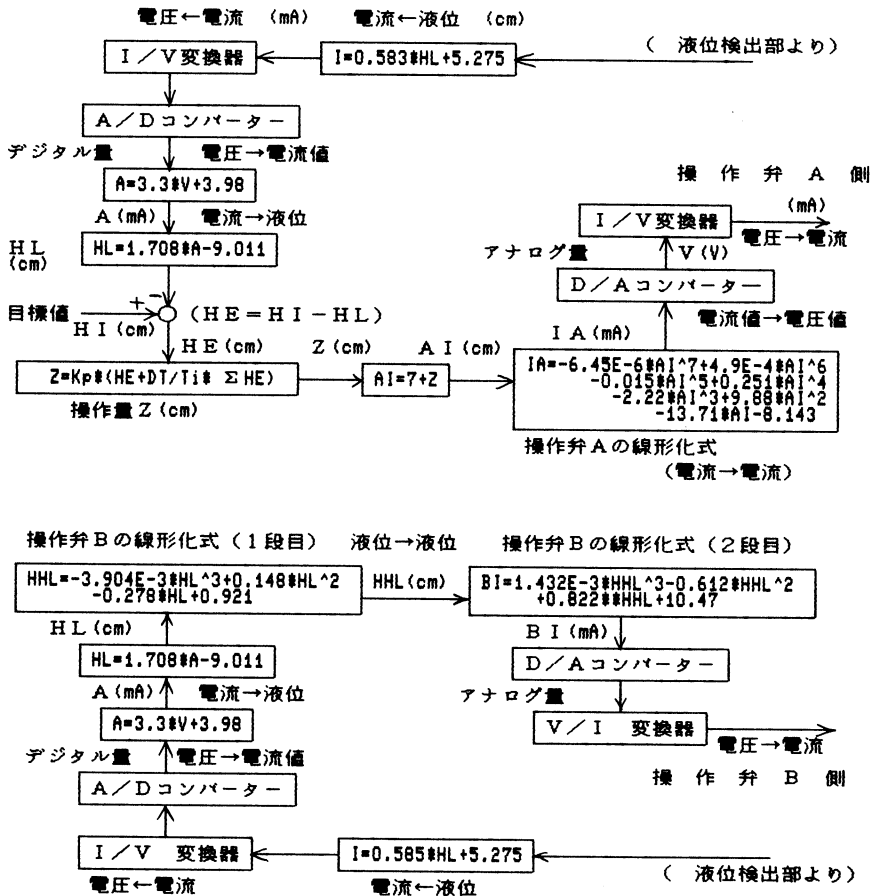
最後に本研究を進めるにあたり熱心なご討論をして載いた正田弘光助教授、ならびに本実験に御協力載いた当時本学卒論研究生であった山本 裕、竹内靖夫、矢部昭雄、池本雅俊の諸氏

に対して、感謝の意を表します。

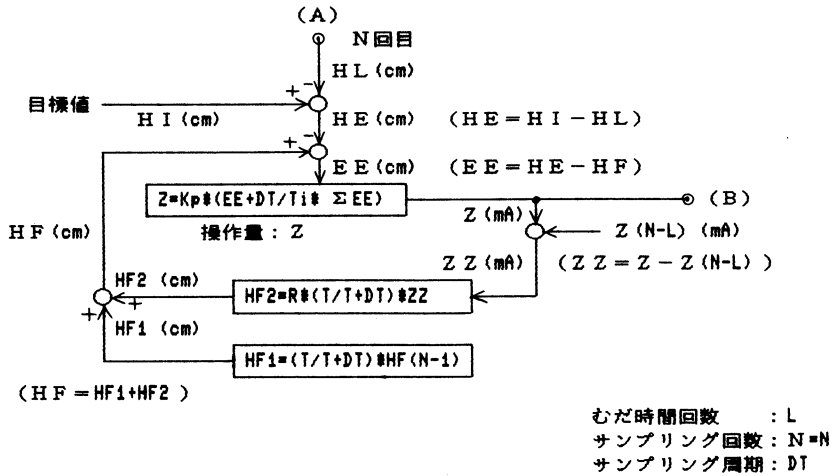
(昭和 59 年 5 月 19 日 受理)

参 考 文 献

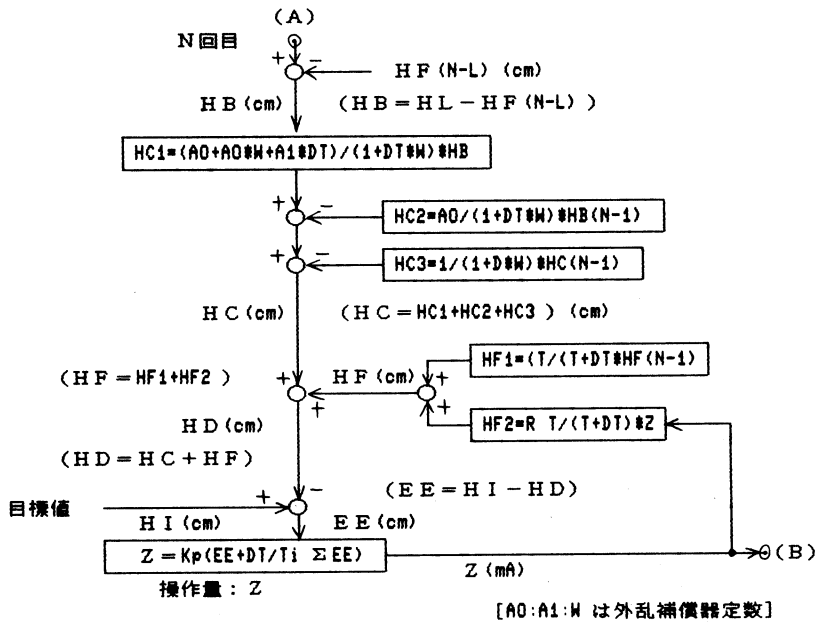
- 1) O. J. M. Smith : "A controller to overcome deadtime" ISA. J., 6, 2, 28 (1959)
- 2) 桑田・市岡：温度制御系における時間補償制御：計測と制御, Vol. 18, No. 10, pp. 861~868
- 3) 渡部・伊藤：Smith 法の外乱に対する制御特性の改善—補償器による方法；第 2 回 SICE Dynamical system Theory シンポジウム, pp. 73~78 (昭 54)
- 4) 成田・山下・久保田：第 25 回日本機械学会北海道支部講演会論文集 No. 832-2
- 5) 佐藤・渡部・伊藤：むだ時間系に対する Smith 法のステップ応答；第 20 回 SICE 学術講演会



附録 図-1 PI 制御の場合の演算回路とプロセスへの伝送過程図



附録 図-2 Smith 法の演算回路



附録 図-3 Smith 法に外乱補償器付加の演算回路