報 文

スラリーシステムの動特性とフィードバック
制御による発振防止について*

(昭和39年6月13日受理) 会 員 中 島 条 男**

→ 摘 要 ←

目 的

スラリータンクをむだ時間と滞留時間とからなる数学模型で近似すると、生産を上げ過ぎたときの発振現象を説明できることを以前に報告した。さらに一步進めてスラリープレスに至るまでのスラリーシステム全体について考えたときの動特性はどうなるであろうかという点を解析し、発振現象をフィードバック制御によって防止するのに都合のよい方法を理論的に検討する。

成 果

スラリータンクの発振現象はサージタンクでは防止できない。サージタンクはむしろスラリープレスのつまりに対する安全装置である。スラリータンクの出口側のスラリーのアルセル濃度をパルプ供給速度にフィードバックすると発振を防止できるが、アルセル濃度の検出は困難である。これにかわるべき方法としてたとえばサージタンクあるいはスラリープレス室の圧力をフィードバックすると、発振を防止することが可能となる。さらにフィードバック制御によって、安定系の性能を改善できそうである。

1. ま え が き

以前にスラリータンクから流出するスラリーのアルセル濃度（以下濃度はすべて体積濃度）とスラリータンク内のスラリーの平均仮想アルセル濃度（空間平均）との間にむだ時間が存在すると仮定して、流出スラリーのアルセル濃度の安定判別を論じた¹⁾。（ただしその場合単にパルプ濃度という表現を用いた）続いてこの流出スラリーのアルセル濃度を検出し、パルプの供給速度へフィードバックすることによって、無条件安定化が可能であることを示した²⁾。しかし現状では流出スラリーのアルセル濃度を連続的に検出することは不可能であるので、上記の安定化の方法は机上の空論に過ぎなかった。

この問題を解決するために、スラリータンクからスラリープレスに至るスラリーシステム全体をひとつの系と考えて、この系全体の動特性を解析し、これをもとにして流出スラリーのアルセル濃度以外の検出可能な量からのフィードバックによる安定化の方法を検討してみよう。

2. 記 号

本文中においては下の記号を用いる。（第1図参照）
ただし時間の関数は、定常状態における一定の値とそれからの偏差との和の形にあらわす。

 V_0 : スラリータンクの容積 τ_1 : スラリータンクのむだ時間 q_1 : スラリータンクからサージタンクへのスラリー流量 A : サージタンクの断面積 H : サージタンクの高さ γ : サージタンク内のスラリーの平均比重 τ_2 : サージタンクのむだ時間 R : サージタンクの流出側の管路抵抗 V_4 : スラリープレス室の容積 q_5 : スラリープレスからのスラブの流出量 k : 比例定数 t : 時間

* On the Dynamic Characteristics of Slurry Tank System and Their Stabilization by means of Feedback Control.

** K. Nakajima, Member. 大阪府立大学工学部

s : ラプラス変換の助変数

$F(s)$: サーボ機構の伝達関数

$G(s)$: 比較すべき伝達関数.

ω : 周波数

u : 無次元周波数

K : ゲイン

T : 時定数

ζ : 減衰係数

α : 時定数とむだ時間の比

$\tilde{q}_0(t) = \bar{q}_0 + q_0(t)$: スラリ タンクへの仮想アルセル

供給速度 (単位時間当りの供給量を体積であらわしたもの)

$\tilde{r}(t) = \bar{r} + r(t)$: スラリ タンクへの仮想アルセル供給速度の目標値

$\tilde{c}_0(t) = \bar{c}_0 + c_0(t)$: スラリ タンク内のスラリの平均仮想アルセル濃度 (各瞬間の空間平均)

$\tilde{c}_1(t) = \bar{c}_1 + c_1(t)$: サージ タンクへの供給スラリのアルセル濃度

$\tilde{x}(t) = \bar{x} + x(t)$: サージ タンク内の空間の高さ

$\tilde{p}_2(t) = \bar{p}_2 + p_2(t)$: サージ タンク内の圧力

$\tilde{c}_2(t) = \bar{c}_2 + c_2(t)$: サージ タンク内のスラリの平均アルセル濃度 (各瞬間の空間平均)

$\tilde{q}_3(t) = \bar{q}_3 + q_3(t)$: サージ タンクからスラリ プレスへのスラリ流量

$\tilde{c}_3(t) = \bar{c}_3 + c_3(t)$: スラリ プレスへの供給スラリのアルセル濃度

$\tilde{p}_4(t) = \bar{p}_4 + p_4(t)$: スラリ プレス室内の圧力

$\tilde{q}_4(t) = \bar{q}_4 + q_4(t)$: スラリ プレスからの苛性ソーダ流出量

$\tilde{c}_4(t) = \bar{c}_4 + c_4(t)$: スラリ プレス室内のスラリの平均アルセル濃度 (各瞬間の空間平均)

$\tilde{c}_5(t) = \bar{c}_5 + c_5(t)$: スラリ プレスから出て行くスラプのアルセル濃度

仮想アルセルとは、供給パルプ中のセルローズをアルセルに換算したもので、こうすることによってアルセルの生成の反応を単にむだ時間のみで表現することが可能となる。

3. 仮 定

基礎方程式の誘導に当ってつぎの仮定を用いる。

(1) スラリ タンクを滞留時間とむだ時間とからなる数学模型であらわす。

(2) パルプの供給は連続的である。

(3) スラリ タンクからのオーバーフロー中にはセルローズは含まれていない。

(4) スラリ タンクからサージ タンクへの流量は、スラリ ポンプにより一定に保たれる。

(5) サージ タンクも滞留時間とむだ時間とからなる数学模型であらわす。ただしサージ タンクのむだ時間は、スラリ タンクのむだ時間に比べて、はるかに小さい。

(6) サージ タンク内のスラリの平均比重は一定である。

(7) サージ タンク内の空気の圧縮特性は Boyle の法則であらわされる。

(8) スラリ プレスはスラプと苛性ソーダ液とを分離するが、スラプをも液体の連続的な流れとみなし、流量とアルセル濃度の考えを応用する。

(9) スラリ プレスのケーシングマングルによって分離される苛性ソーダ液の流量は、スラリ プレス室内の圧力に比例し、スラリのアルセル濃度に逆比例する。

(10) 上記の苛性ソーダ液中にはアルセルは含まれていない。

(11) スラリ プレスのケーシングマングルからスラプコンベヤに送られるスラプの流量は、ケーシングのすきまと周速度によって定まる定数である。

(12) スラプのアルセル濃度は、スラリ プレス室内のスラリのアルセル濃度に比例する。

(13) 濃度と供給速度とはすべて体積比であらわし、スラリ タンクを出てからは、反応による体積変化はないものとする。

(14) 管路の輸送おくれは無視する。

(15) スラリなどの液はすべて圧縮性を有しない。

(16) 変数の変動量は定常値に比べて小さく、2 次以上の項は無視できる。

(17) 熱の問題は無視する。

以上の仮定中、スラリ タンク、サージ タンクに関するものは常識的なものであるが、スラリ プレスに関するものそのほかにはかなり大胆な仮定が含まれている。この点についてはもっと詳細な研究を必要とする。しかしここではスラリ プレスそのものの性能を論ずるのが主目的ではなく、むしろスラリ タンクの発振防止を、スラリ システム全体から考察しようというのが、その目的であるから、スラリ プレスについては以上の仮定で一応満足することにする。それ以上のことは、今後の本分野での研究の発展に期待したい。

$$\begin{aligned} q_3(t) &= q_4(t) \\ V_4 \frac{d}{dt} c_4(t) &= \bar{q}_3 \cdot c_3(t) + \bar{c}_3 \cdot q_3(t) - q_5 \cdot c_5(t) \\ q_4(t) &= k_5 \cdot p_4(t) - \frac{k_6}{\bar{c}_4^2} \cdot c_4(t) \\ c_5(t) &= k_7 \cdot c_4(t) \end{aligned}$$

..... (14)

ただしこれらの式の誘導に当っては、仮定 (16) を用いて線型化した。

以上 11 個の式中より 10 個の変数を消去すれば、変数 $q_0(t)$ と $c_5(t)$ との関係が求められる。

5. スラリ システムの伝達関数

スラリ タンクへの仮想アルセル 供給速度の定常値からの偏差 $q_0(t)$ と、スラリ プレスから出てゆくスラブのアルセル濃度の定常値からの偏差 $c_5(t)$ とを、それぞれスラリ システムの入出力と考え、これら両者を結ぶ伝達関数を求めよう。

まず (14) の各式の両辺にラプラス変換をほどこし、 $C_0(s)$ 、 $C_2(s)$ 、 $X(s)$ を消去すれば

$$\begin{aligned} (V_0 s e^{\tau_1 s} + q_1) C_1(s) &= Q_0(s) \\ R \{1 + (\gamma/A)(1/s)\} Q_3(s) &= P_2(s) - P_4(s) \\ (\bar{p}_2/A) Q_3(s) &= -\bar{x}(s) \cdot P_2(s) \\ \{A(H-\bar{x}) s e^{\tau_2 s} + q_1\} C_3(s) &= q_1 \cdot C_1(s) \\ Q_3(s) &= k_5 \cdot P_4(s) - (k_6/\bar{c}_4^2) \cdot C_4(s) \\ (V_4 s + q_5 k_7) C_4(s) &= q_1 \cdot C_3(s) + (\bar{q}_0/q_1) \cdot Q_3(s) \\ C_5(s) &= k_7 \cdot C_4(s) \end{aligned}$$

..... (15)

この連立方程式をブロック線図にあらわせば、第 2 図を得る。第 2 図に記入されたゲインおよび時定数はそれぞれ次式で与えられる。

(第 2 図) スラリ システムのブロック線図

$$\begin{aligned} K'_1 &= 1/q_1, & T'_1 &= V_0/q_1 \\ K'_2 &= q_1, & T'_2 &= A(H-\bar{x})/q_1 \\ K'_3 &= 1/q_5 k_7, & T'_3 &= V_4/q_5 k_7 \\ K'_4 &= A/\gamma R, & T'_4 &= A/\gamma \\ & & T'_5 &= A\bar{x}/\bar{p}_2 \end{aligned}$$

..... (16)

伝達関数 $C_5(s)/Q_0(s)$ を求めるには、(15) 式から $C_5(s)$ 、 $Q_0(s)$ 以外を消去するか、あるいは第 2 図のブロック線図を等価変換するかのいずれかの方法によればよい。その結果次式が得られる。

$$\frac{C_5(s)}{Q_0(s)} = \frac{K_0(1+T_4s)}{(1+T_1s e^{\tau_1 s})(1+T_2s e^{\tau_2 s})(1+2\zeta T_3s+T_3^2s^2)}$$

..... (17)

ただし

$$\begin{aligned} K_0 &= 1/q_5 \\ T_1 &= V_0/q_1, & T_2 &= A(H-\bar{x})/q_1 \\ T_3 &= \{V_4 A \bar{x} (1+k_5 R)/q_5 k_5 k_7 (\bar{p}_2 + R \gamma \bar{x})\}^{1/2} \\ T_4 &= A \bar{x} (1+k_5 R)/k_5 (\bar{p}_2 + R \gamma \bar{x}) \\ \zeta &= \{V_4 k_5 (\bar{p}_2 + R \gamma \bar{x}) + q_5 k_7 A \bar{x} (1+k_5 R) \\ &\quad + \bar{q}_0 k_6 A \bar{x}/q_1 \bar{c}_4^2\} \{q_5 k_5 k_7 (\bar{p}_2 + R \gamma \bar{x})\}^{1/2} \\ &\quad \div 2 \{V_4 A \bar{x} (1+k_5 R)\}^{1/2} \end{aligned}$$

..... (18)

もし $\tau_1 \gg \tau_2$ ならば

$$\frac{C_5(s)}{Q_0(s)} = \frac{K_0(1+T_4s)}{(1+T_1s e^{\tau_1 s})(1+T_2s)(1+2\zeta T_3s+T_3^2s^2)}$$

..... (19)

普通はこの式で十分であろう。理想系では $\tau_1 = \tau_2 = 0$ であるから

$$\frac{C_5(s)}{Q_0(s)} = \frac{K_0(1+T_4s)}{(1+T_1s)(1+T_2s)(1+2\zeta T_3s+T_3^2s^2)}$$

..... (20)

なお以上のほかにつぎのような伝達関数も得られる。

$$\frac{C_3(s)}{Q_0(s)} = \frac{K'_1}{(1+T_1s e^{\tau_1 s})(1+T_2s e^{\tau_2 s})}$$

..... (21)

および

$$\frac{C_4(s)}{P_2(s)} = K_1(1+T_4s)$$

$$K_1 = (k_5 \bar{c}_4^2/k_6) (\bar{p}_2 + R \gamma \bar{x})/\bar{p}_2$$

..... (22)

6. 考 察

伝達関数 (17) の分母の第 1 項と第 2 項とは、それぞれスラリ タンクおよびサージ タンクに関するもので、前に示したように

$$\tau_1 < \frac{\pi}{2} T_1, \quad \tau_2 < \frac{\pi}{2} T_2$$

..... (23)

でないと、不安定を生ずる。またたとえ (23) の条件がみたされていても、 τ が $\frac{\pi}{2} T_i$ に近付くと、 $\omega = 1/T_i$ の付近の周波数において、周波数応答のゲインにピークを生ずる。一般に $\tau_2 \ll \tau_1$ 、 $T_2 < T_1$ であるから、 $\omega = 1/$

T_1 の付近のピークの方が問題になるであろう。

いずれにしても (17)~(20) 式の与えるゲインは ω が小さいと 1 に近付き、 ω が大きいと小さくなり、低周波領域のみを通過させるフィルタの作用を示している。上記のむだ時間によるゲインのピークのほかに、 ζ が小さいと、 T_1, T_2, T_3, T_4 の大小関係によっては、 $\omega = 1/T_3$ の付近にゲインのピークのあらわれる可能性がある。また T_4 が小さいと、 $\omega = 1/T_4$ からしばらくの間、ゲインが 1 より大になる領域のあらわれるおそれもある。

つぎにサージタンクの役割を考えてみよう。それにはスラリタンクへの仮想アルセル供給速度 $q_0(t)$ とサージタンクへの供給スラリのアルセル濃度 $c_1(t)$ との関係および $q_0(t)$ とスラリプレスへの供給スラリのアルセル濃度 $c_3(t)$ との関係を比較すればよい。後者の関係は (21) で与えられている。前者の関係はゲインを別にすれば、(21) の分母の第 1 項であらわされる。したがってスラリタンクで発振が起これば、サージタンクで安定化することはできない。またスラリタンクで発振しない場合は、もし τ_2 が T_2 に比べて十分小さければ、 $1/T_2$ より大きな周波数領域の変動は減少するからサージタンクはその役割をはたしてくれる。しかし T_2 が T_1 より小であるのが普通で、この場合は $1/T_2$ までの間の周波数領域の変動は減少せず、 $1/T_2$ をこえた領域のもののみが減少し、サージタンクはそれほど効果的ではなくなる。

それではサージタンクの果たす役割は何かを考えてみよう。サージタンク内の圧力 $p_2(t)$ とスラリプレス室内のスラリのパルプ濃度 $c_4(t)$ との関係は (22) で与えられている。この式をみると、 $p_2(t)$ の比例微分が $c_4(t)$ であることがわかる。スラリプレスではプレス室内のスラリ濃度 $c_4(t)$ が高くなりすぎると、スラリプレスがつまる危険がある。それゆえスラリ濃度 $c_4(t)$ を圧力 $p_2(t)$ によって検出することができる。すなわちこの性質を利用して、サージタンクを一種の安全装置に用いていると考えるべきであろう。*

$$\frac{C_5(s)}{R(s)} = \frac{K_0(1+T_4s)}{(1+T_1se^{\tau_1s})(1+T_2se^{\tau_2s})(1+2\zeta T_3s+T_3^2s^2)+K_2 \cdot F(s)} \quad (25)$$

ただし

$$K_2 = k_6 \bar{p}_2 / k_5 k_7 q_5 \bar{c}_4^2 (\bar{p}_2 + R \gamma \bar{x}) \quad (26)$$

(25) の特性方程式は

$$(1+T_1se^{\tau_1s})(1+T_2se^{\tau_2s})(1+2\zeta T_3s+T_3^2s^2)+K_2 \cdot F(s) = 0 \quad (27)$$

であり、もし $\tau_2 \approx 0$ であれば

$$e^{\tau_1s} + \frac{1}{T_1s} \left[1 + \frac{K_2}{(1+T_2s)(1+2\zeta T_3s+T_3^2s^2)} F(s) \right] = 0 \quad (28)$$

* 7. フィードバック制御による安定化

第 2 報²⁾の方法による無条件安定化は、スラリのアルセル濃度の連続的検出が非常に困難であって、実現の可能性はうすい。しかるにスラリタンクからサージタンクへ送られるスラリのアルセル濃度 $c_1(t)$ とサージタンク内の圧力 $p_2(t)$ とは、(15) の連立方程式から誘導される関係によって結び付けられるから、 $c_1(t)$ のかわりに $p_2(t)$ を検出することが考えられる。 $p_2(t)$ 以外にサージタンク内の空間の高さ $x(t)$ あるいはスラリプレス室内の圧力 $p_4(t)$ で代用することも理論的には可能である。

たとえば $p_2(t)$ を検出して伝達関数 $F(s)$ なるサーボ機構を通して、仮想アルセル供給速度 $q_0(t)$ へフィードバックする場合を考えてみよう。仮想アルセル供給速度の目標値 $\tilde{r}(t)$ は、定値制御においてはもちろん $r(t) = 0$ で、 $\tilde{r}$ が目標値そのものとなるが、過渡応答、周波数応答を考えるときは、 $r(t)$ をステップ入力あるいは正弦波入力にとって議論する。そうすると全体のブロック線図は第 3 図で与えられる。

(第 3 図) サージタンクの圧力をフィードバックした場合のブロック線図

第 3 図のブロック線図より、入力 $r(t)$ と出力 $c_5(t)$ との関係を求めるには、このブロック線図を等価変換するか、あるいは (15) と

$$Q_0(s) = R(s) - F(s) \cdot P_2(s) \quad (24)$$

との連立方程式から $R(s)$ 、 $C_5(s)$ 以外の変数を消去すればよい。いずれの方法を用いても

となり、Satche の方法³⁾を利用して、無条件安定化することが可能となる。たとえば一例として

$$F(s) = \frac{K_3 T_1}{K_2} s (1 + T_2 s) (1 + 2\zeta T_3 s + T_3^2 s^2) \quad \dots\dots\dots (29)$$

と選ぶことが可能であれば、(28) は

$$e^{\tau_1 s} + \left(\frac{1}{T_1 s} + K_3 \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (30)$$

となり、たとえ τ_1 が大きくてそのままでは発振する場合

でも、 $K_3 > 1$ に選ぶことにより、無条件安定系を実現することができる。またこの場合の伝達関数は

$$\frac{C_5(s)}{R(s)} = \frac{K_0 (1 + T_4 s)}{(1 + K_3 T_1 s + T_1 s e^{\tau_1 s}) (1 + T_2 s) (1 + 2\zeta T_3 s + T_3^2 s^2)} \quad \dots\dots\dots (31)$$

となる。

同様に、スラリ プレス室の圧力をフィードバックすれば、第3図のかわりに第4図を得る。この場合の伝達関数は

$$\frac{C_5(s)}{R(s)} = \frac{K_0 (1 + T_4 s)}{(1 + T_1 s e^{\tau_1 s}) (1 + T_2 s e^{\tau_2 s}) (1 + 2\zeta T_3 s + T_3^2 s^2) + K_4 (1 + T_5 s) \cdot F(s)} \quad \dots\dots\dots (32)$$

ただし

$$K_4 = k_6 / k_5 k_7 q_5 \bar{c}_4^2, \quad T_5 = R A_2 \bar{x} / (\bar{p}_2 + R \nu \bar{x}) \quad \dots\dots\dots (33)$$

$\tau_1 \approx 0$ と仮定して特性方程式を求めれば

$$e^{\tau_1 s} + \frac{1}{T_1 s} \left[1 + \frac{K_4 (1 + T_5 s)}{(1 + T_2 s) (1 + 2\zeta T_3 s + T_3^2 s^2)} F(s) \right] = 0 \quad \dots\dots\dots (34)$$

となり、Satche の方法が応用できる。前同様

$$F(s) = \frac{K_5 T_1 s (1 + T_2 s) (1 + 2\zeta T_3 s + T_3^2 s^2)}{K_4 (1 + T_5 s)} \quad \dots\dots\dots (35)$$

と選べば無条件安定型が得られ、伝達関数は

$$\frac{C_5(s)}{R(s)} = \frac{K_0 (1 + T_4 s)}{(H K_5 T_1 s + T_1 s e^{\tau_1 s}) (1 + T_2 s) (1 + 2\zeta T_3 s + T_3^2 s^2)} \quad \dots\dots\dots (36)$$

となる。ただし無条件安定のためには $K_5 > 1$ にとらねばならない。

8. フィードバック制御を行なった場合の周波数特性

フィードバック制御による安定化ならびに不安定度およびフィードバックゲインが、系全体の周波数特性にどんな影響を及ぼすかを、数値計算によってしらべた。

そのためには、フィードバック制御を行なってない場合のたとえば(19)式とフィードバック制御を行なった場合のたとえば(31)式とを比較し、また(31)式において τ_1/T_1 および K_3 の影響をしらべればよい。もっとも(31)式はフィードバックの伝達関数を(29)式と仮定した場合のもので、実現可能かどうかは別に検討を要する。しかし(31)式を用いてもだいたいの見当はつくと考えられるので、(31)式を計算することにした。

(19)と(29)の両式を比較すると、相異なるのは分母の第1項のみである。それゆえ

$$G_1(s) = \frac{1}{1 + T_1 s e^{\tau_1 s}} \quad \dots\dots\dots (37)$$

と

(第4図) スラリ プレスの圧力をフィードバックした場合のブロック線図

$$G_2(s) = \frac{1}{1 + T_1 s (K_3 + e^{\tau_1 s})} \quad \dots\dots\dots (38)$$

との2式を考えればよい。

いまこれら両式に、 $s = j\omega$ を代入し、また

$$\alpha = T_1/\tau_1, \quad u = \tau_1 \omega$$

と置いて無次元化すれば

$$G_1(j\omega) = \frac{1}{(1 - \alpha u \sin u) + j \alpha u \sin u} \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$G_2(j\omega) = \frac{1}{(1 - \alpha u \sin u) + j (K_3 + \alpha u \cos u)} \quad \dots\dots\dots (40)$$

となる。

まずフィードバック制御の周波数応答に及ぼす影響をしらべるために、安定な場合を例にとりて、 $\alpha = 2/3 = 0.667$ 、また $G_2(j\omega)$ 中の $K_3 = 2$ と定めて比較する。ただし $\alpha = 2/\pi = 0.637$ が発振限界であり、 $K_3 = 1$ が無条件安定化の限界である。結果を第5図に示した。なお第5～7図中の K は本文中の K_3 である α が発振限界に近い値であるため $|G_1(j\omega)|$ は $u \approx 1.5$ 付近で 30 db という高いピークを示しているが、 $|G_2(j\omega)|$ は常に 0 db

以下の値にとどまっている。 $\angle G_1(ju)$ は 0° から $-\infty$ へと下っているのに反し、 $\angle G_2(ju)$ は 0° から振動しな

(a) フィードバックなし
(第5図)

から -90° へ近づく。このようにしてフィードバック制御は、安定系においても周波数特性の改善に役立つ。

つぎに $G_2(ju)$ において、 $G_1(ju)$ の安定度 α がフィードバックの効果に及ぼす影響をしらべてみよう。(38)式において前同様 $K_3=2$ とおき、 α を安定系の $2/3$ から不安定系の $1/2$, $1/3$, $1/5$ と変えて計算した結果を第6図に示す。この図から明らかなように、安定の度合のわるいものほど、ゲインの低下の始まる位置が高周波域の方

(b) フィードバックあり

(第5図) 安定系にフィードバックを行なった場合とそうでない場合との周波数特性の比較

(a) u

(b) u

(c) u

(d) u

(第6図) フィードバック制御を行なった場合の不安定度が周波数特性に及ぼす影響

(第7図) フィードバック制御を行なった場合のフィードバックゲインが周波数特性に及ぼす影響

へずれ、またピークの値が大きくなる。なお図のゲイン曲線中にひいてある折線は、1次要素

$$\frac{1}{1+T_1 K_3 s}$$

のゲイン漸近線で、 $K_3 \rightarrow \infty$ になったときの $|G_2(ju)|$ の極限值と考えられる。

最後にフィードバックゲインの影響をしらべてみよう。不安定度 α を臨界値を少しこえた2に選び、 K_3 を1.2, 2, 4, 8, と変えてボード線図をえがくと第7図を得る。フィードバックの度合を増すが、周波数特性の改善に役立っていることがわかる。

以上の数値計算結果は、最初にも述べたように、ある一例について行なわれただけである。しかし第5図にも示されているように、たとえ安定系であっても不安定度が低い場合は、フィードバック制御を行なった方がはるかによい成績を与えている。このことからしてフィードバック制御は、不安定系の無条件安定化のほか安定系における特性改善の有力な手段となりそうに思える。

9. む す び

以前の研究結果をもとにして、スラリシステム全体の動特性をしらべてみると、つぎの諸事項が明らかとな

った。

(1) スラリタンクで発振した場合、サージタンクはこの発振の防止には役立たない。

(2) スラリタンクが発振しない場合、サージタンクは周波数特性の改善には若干は役立つが、大きな期待は持てない。

(3) サージタンクの主要な役割は、スラリプレスのつまる危険を、サージタンクの圧力として検知することである。

(4) スラリタンクが発振するのを防止するには、サージタンクの圧力あるいは水位、あるいはスラリプレス室の圧力を検出して、スラリタンクへのバルブ供給量にフィードバックすればよい。

(5) 上記のフィードバック制御は、不安定系を無条件安定化するのみならず、安定系においても周波数特性の改善に役立つ。

なお本研究に対し東洋紡績村上文男氏より有益な示唆と検討を得た。また数値計算には南条久子氏をわずらわした。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中島榮男; 本誌, 11, 47 (1958)
- 2) 中島榮男; 本誌, 16, 593 (1963)
- 3) M. Sastche; J. Appl. Mech., 16, 419 (1949)