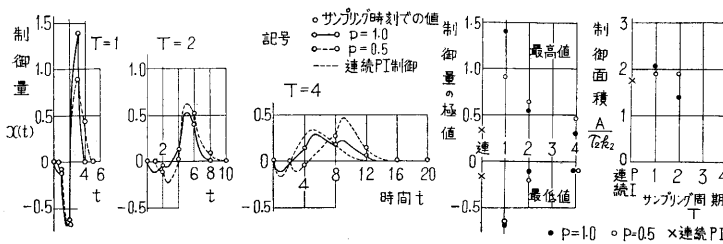


第 3 図 階段状目標値入力に対する制御結果,  $G_p(s) = \frac{1.3}{1+2s} - \frac{1}{1+s}$   
○印, サンプル時刻における値



第 4 図 階段状外乱入力に対する制御結果

(この場合の  $G_{sc}^*(z)$  を求めることは第(1)式のときは簡単ではない.)

$$G_c^*(z) = \frac{r_0 z^2 + r_1 z + r_2}{(z-1)(z+k)} \quad (7)$$

## O. J. M. Smith の方法の拡張による逆応答プロセスの連続制御

Continuous Control of the Reverse Reaction Process by Applying O. J. M. Smith's method

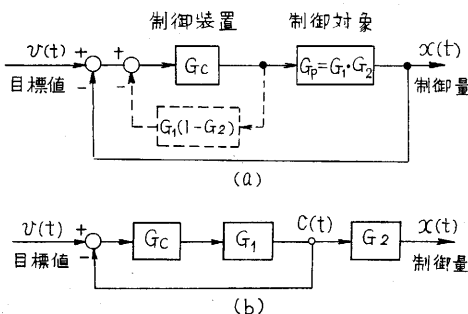
森 政 弘・松 本 幸 生

### 1. ま え が き

O. J. M. Smith の方法<sup>(1)(2)</sup>を拡張した逆応答プロセスの連続制御が、単一ループによる連続制御よりも非常に安定であることを示す。

### 2. O. J. M. Smith の方法とその拡張

筆者らはむだ時間について示された Smith の方法の本質をつぎのように解釈する。すなわち第 1 図(a) にお



第 1 図 (a) O. J. M. Smith の方法による制御  
(b) (a) の等価変換系

いて、制御対象の伝達関数  $G_p (= G_1 \cdot G_2)$  のうちの制御系を不安定化する伝達関数  $G_2$  (たとえばむだ時間) を、破線のような局所フィードバックを制御装置のまわりに設けることによって、等価的に第 1 図(b) のように閉ループの外に追い出して安定な制御を行おうとするのがそのねらいである(ただし図中で  $c(t) \equiv x(t)$  を前提とすることはもちろんである)。ボイラの液位その他にしばしば見られる逆応答プロセス(第 2 図(a))は、本来ならば負のフィードバックが行われるべき制御系において、逆応答の間、正のフィードバックを生ずる結果、制御が行ないにくい。筆者らは Smith の方法にヒントを得て、逆応答プロセス特性を第 2 図(b) のように分解して考え、そのうち系の安定性を害する  $G_1$  (逆応答部分) と  $G_2$  (むだ時間) を閉ループ外に追い出すための局所フィードバックを第 3 図のように求めることができた。

### 3. 逆応答プロセスの本法による安定な制御

第 3 図が筆者らの提案する制御系である。制御量のラプラス変換  $X(s)$  はつぎのようになる。

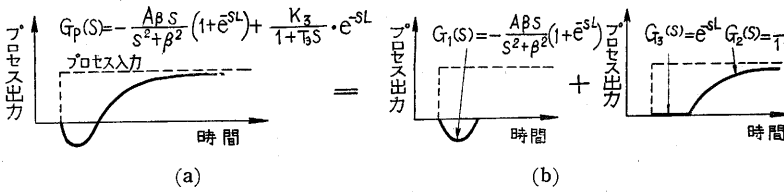
$$\begin{aligned} \text{ただし } r_0 &= [k_1 k_2 (d_1 - d_2)^2 + k_1 (k_1 - k_2) \\ &\quad (1 - d_1)^2 d_2^4 - k_2 (k_1 - k_2) (1 - d_2)^2 d_1^4] / \Delta \\ r_1 &= [-k_1 k_2 (d_1 - d_2)^2 (d_1 + d_2) + \\ &\quad k_1 (k_1 - k_2) (1 - d_1)^2 d_2^4 (1 + d_1) \\ &\quad - k_2 (k_1 - k_2) (1 - d_2)^2 d_1^4 (1 + d_2)] / \Delta \\ r_2 &= [k_1 k_2 (d_1 - d_2)^2 d_1 d_2 + k_1 (k_1 - k_2) (1 - \\ &\quad d_1)^2 d_2^4 d_1 \\ &\quad - k_2 (k_1 - k_2) (1 - d_2)^2 d_1^4 d_2] / \Delta \\ \Delta &= k_1 k_2 (k_1 - k_2) (1 - d_1)^2 (1 - d_2)^2 (d_1 - \\ &\quad d_2), \\ K &= 1 + d_1 + d_2 - \{k_1 (1 - d_1) - k_2 (1 - d_2)\} \\ r_0 \end{aligned}$$

制御装置の伝達関数を第(7)式に合わせ、て制御した結果を第 4 図に示す。なお図中には同一プロセスを連続 PI 制御した場合の最良応答を併記した。制御面積、行きすぎ量、整定時間などの評価により、まえがきに示した(2), (3)の結果を得た。

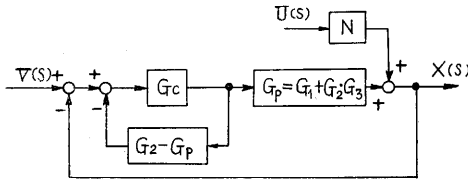
おわりにこの研究に対し激励、ご援助を賜った高橋安人教授、東洋紡績敷田副社長、木田技術室部長、村上技術課長に御礼申し上げる。(1958. 10. 6)

### 文 献

- (1) 高橋安人, J. G. Ziegler: 生産研究, vol. 8, No. 3, (1956), p. 23
- (2) 森政弘: 東大生研報告, vol. 7, No. 3 (1958)
- (3) E. I. Jury, W. Schroeder: Trans. AIEE, I, 28, (1957), 317.

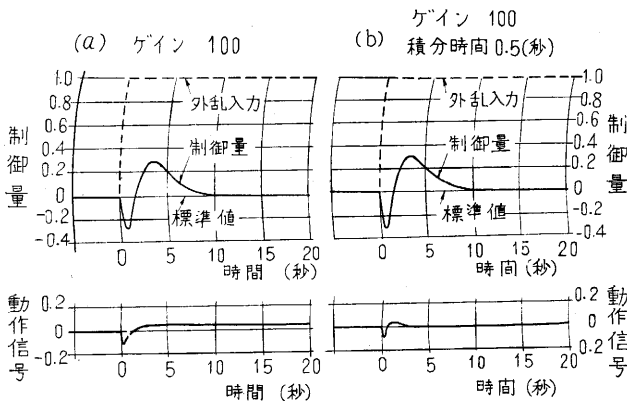


第2図 逆応答プロセスの分解



第3図 筆者らの提案する制御方法

$$X(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)\{G_2(s) - G_p(s)\}} V(s) + \frac{N(s) \cdot U(s)}{1 + \frac{G_c(s) \cdot G_p(s)}{1 + G_c(s)\{G_2(s) - G_p(s)\}}} \quad (1)$$



第4図 本法による制御経過

第(1)式を展開すれば  $1 + G_c G_2 = 0$  という特性方程式を有する次式を得る。

$$X(s) = \frac{G_c(s)\{G_1(s) + G_2(s) \cdot G_3(s)\}V(s) + N(s) \cdot [1 + G_c(s)\{G_2(s) - G_p(s)\}]U(s)}{1 + G_c(s)G_2(s)} \quad (2)$$

第2図(b)を参照すれば  $G_2(s) = \frac{k_3}{1 + T_3 s}$  だから

第(2)式より第3図の系の特性方程式はつぎのようになる。

$$1 + \frac{k_3 \cdot G_c(s)}{1 + T_3 s} = 0 \quad (3)$$

この特性方程式は、1次おくれ特性を有する制御対象の（その伝達関数は  $k_3/(1 + T_3 s)$ ）単一ループによる制御の場合と同一のものである。したがって制御装置  $G_c$  のゲインは極めて大に（理論上は無限大に）することができる。ゆえにまた積分動作は不要になる。自動

制御系ではゲインをどこまで上げようかは、その系の安定度を表わす一つの目安である。

第4図は本研究所設備の日立製低速アナコンによる、本法による制御経過の計算結果である。また第5図は通常の単一ループによる制御の経過の計算結果である。第5図ではゲインが2.5ですでに振動的になっているのに第4図ではゲインが100でも振動状の応答は現われていない。（この結果は(3)式の当然の結論である。計算によると単一ループによる通常の方法ではゲインが4で、すでに不安定に陥ることがわかっている。本法ではゲインが100でさえも安定である。アナコン計算では、むだ時間の実現が困難なため、逆応答特性は第2図の方法によらずに二つの1次おくれ特性の差<sup>(3)</sup>として表わしていった。

#### 4. あとがき

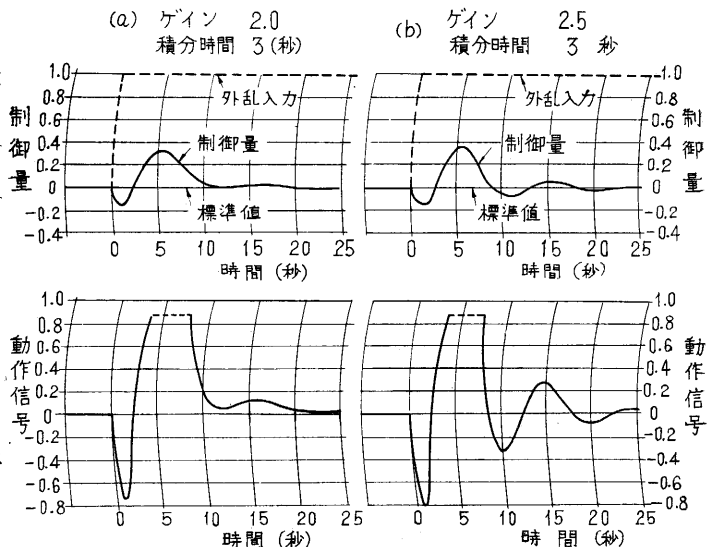
第3図のような制御を行えば、従来不安定な難物とされていた逆応答プロセスを、極めて安定に高いゲインで制御でき、その上積分動作は不要なことを明らかにした。今後はこの方法でのプロセスのパラメータの変化に対する安定度の変化を研究する予定である。

おわりに、アナコン使用についてご援助を賜った野村助教授、山本尚志氏に御礼申上げる。

(1958. 10. 6)

#### 文 献

- (1) O. J. M. Smith: Closer Control of Loops with Dead Time Chemical Engineering Progress, vol. 53, No. 5, pp. 217-219, May, 1957.
- (2) O. J. M. Smith: Improved Regulation of Loops with Flow Time, Proc. ISA Instrumentation and Control Symposium, May, 1957.
- (3) 高橋安人: 自動制御理論, 岩波全書, pp. 62.



第5図 普通の方法による制御経過