操作量切り換えによる押出成形機の H_{∞} 温度制御

正 員 小野 垣 仁 (工学院大)

正 員 横山 修一 (工学院大)

学生員 山崎 智行 (工学院大)

H_{∞} Temperature Control of a Extruder by the Switching Actuating Value

Hitoshi Onogaki, Member, Shuichi Yokoyama, Member, Tomoyuki Yamazaki, Student Member (Kogakuin University)

キーワード：押出成形機，操作量切り換え， H_{∞} 制御

1 まえがき

プラスチック成形機の一つである押出成形機は，金属円筒のバレルをカスケード接続したシリンダを形成し，バレル単位で外周からバンドヒータにより加熱される．この温度制御系は，構造上むだ時間による影響が大きく，熱容量の大きさの割にバンドヒータの電力密度が小さいため，ロバスト性能と速い立ち上がり特性が求められる [2]．筆者らは，押出成形機単体バレル温度制御系に速応性のある規範モデル追従を実現した FF 型 2 自由度制御法 [3] を報告したが，規範モデルは操作量が飽和しない範囲内で選定するため，それ以上の速い立ち上がり特性を得ることはできない欠点があった．本レターでは，飽和操作量を積極的に用いる制御法 [1] により，その欠点を改善できたので報告する．

2 制御対象のモデルと制御系の構成

実験より制御対象 $P(s)$ は一次遅れ+むだ時間で表現できる．むだ時間 L は 2 次のパディ近似として扱う．

$$P(s) = \frac{k}{Ts+1} \exp(-Ls) \dots \dots \dots (1)$$

各パラメータの変動を表 1 に示す． $P(s)$ は図 1 に示す乗法的変動をもち， $10^{-2} \sim 10^{-1}$ [rad/sec] 間において L による変動分のピークを持つ．

いま，ノミナルな制御対象 $P_n(s)$ について考える． $0 < L < T$ の関係と (1) 式より，目標入力 $r = y_a = k_n u_a$ に対する $P(t)$ のステップ応答は次式で表される．

$$y(t) = y_a \{1 - \exp(-\frac{t-L_n}{T_n})\} \dots \dots \dots (2)$$

ここで， $0 < y_a < y_b$ かつ $0 < L_n < t_{y_a}$ が成り立つとき， $t = 0, y = 0$ で $r = y_b$ に対するステップ入力 u_b を印加すると，

$$y(t_{y_a}) = y_a, \quad t_{y_a} \in [0, \infty) \dots \dots \dots (3)$$

なる時刻 t_{y_a} が唯一存在する．そこで，

$$t_{sw} = t_{y_a} - L_n \dots \dots \dots (4)$$

のタイミングでステップ入力 u_a に切り換えると，(2) 式のみの応答よりも速く目標値 y_a に整定できる．

したがって， $P(s)$ は L の変動でピークを持つことから，目標値偏差 $e = y - r > 0$ が切り換え温度の偏差

$$e_{sw} = y_a - y(t_{sw}) > 0 \dots \dots \dots (5)$$

以下のとき，定常熱流 ($u_a = y_a/k_n$) + ロバスト制御により $P(s)$ の変動が抑制可能ならば，その閉ループ系は， $P_n(s)$ へ収束する．よって $0 \leq u_a \leq u_b$ で u_b が飽和値である操作範囲を持つとき，次式

$$u = \begin{cases} u_b & (e_{sw} < e) \\ u_a + K(s)e & (e \leq e_{sw}) \end{cases} \quad \begin{matrix} (a) \\ (b) \end{matrix} \dots \dots \dots (6)$$

より，ロバストな速い立ち上がりを持つ温度制御系が構成できる． $K(s)$ はフィードバックコントローラで，その初期値は (6) (b) 式が開始される前に 0 にリセットされる．図 2 に本制御法のブロック線図を示す． e_{sw} を (2)~(5) 式より計算し，(6) (a) 式の条件を満たす時は a 側に，(6) (b) 式の条件を満たす時は b 側に各スイッチが倒れる．

3 シミュレーションおよび実験結果

初期値 0°C ，目標値を 2 時間ごとに $100, 200, 300^\circ\text{C}$ と変化させた場合， $P(s)$ の各パラメータ k, T, L が公称値，

表 1: プラントモデルのパラメータ

Table 1. Parameters of plant model

記号	最小値	ノミナル値	最大値
ゲイン k [sec $\cdot$ $^\circ\text{C}$ /cal]	0.100	0.126	0.160
時定数 T [sec]	6000	7400	12000
むだ時間 L [sec]	55	70	95

図 1: 制御対象の変動特性

Fig. 1. Dynamic character of plant

図 2: ブロック線図
Fig. 2. Block diagram

図 3: シミュレーション結果
Fig. 3. Simulation result

図 4: 実験結果
Fig. 4. Experiment result

最小値、最大値のとき、提案法とFF型2自由度制御系のシミュレーション結果を図3に示す。ただし、感度重み $W_S(s)$ 、相補感度重み $W_T(s)$ 、 $K(s)$ 、自由パラメータ $U(s)$ 、及び規範モデル $P_M(s)$ は文献[3]と同じ値を用い、離散化は双一次変換にて20secとした。また、どちらの方法も速応性向上のため $K(s)$ の直前でゲインを10倍にした。これらは根軌跡により安定性は十分確保できている。図3より、提案法はFF型2自由度制御系に比べ1時間40分速く目標値に整定している様子が分かる。また、どちらの方法も H_∞

サーボコントローラによってプラントパラメータの変動にかかわらずロバストな応答となっている。

図4は、初期値が13.0℃、提案法の実験結果である。図4(a)は、 $K(s)$ に図3の H_∞ サーボコントローラを用い、同(b)は $K(s)$ にPIDコントローラを用いている。比較のため、PID各パラメータは1自由度系において H_∞ サーボと同じ時間応答となるよう決めた。(a)、(b)ともシミュレーションと同様に30分以内に目標値整定している。しかし、(a)の方が(b)よりもオーバーシュートとアンダーシュートが少なく、 H_∞ サーボの効果が表れている。

4 まとめ

本レターは、押出成形機単体バレル温度制御系において、ロバストで速い立ち上がり特性を実現する制御法について検討したものである。本方法はむだ時間による影響が多めで時定数の大きい一次遅れ+むだ時間系に限定されるが、以下のような特徴がある。

- (1) 操作量の飽和を積極的に利用するFF制御により、物理上最短時間で立ち上げることができる。
- (2) (1)のFF制御をノミナルモデルより算出したタイミングでFF+FB制御に切り換えることにより、ロバスト性が確保できる。

本方法より、プラントの生産性向上が期待される。

(平成7年7月31日受付)

文 献

- [1] 小野垣, 水野, 横山: 操作量切換え法による押出成形機の H_∞ 温度制御, 電気学会全国大会講演論文集, 6, 170(1993)
- [2] 村上, 押出成形, プラスチックエージ(1989)
- [3] 横山, 小野垣: 速応性を考慮したFF型2自由度温度制御, 電気学会論文誌D, Vol.114-D, 704/705(1994)

小野垣 仁 (正員)

1968年2月6日生。1991年工学院大学工学部電気工学科卒業。1993年工学院大学大学院工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)。現在、同学園統合情報システムセンター勤務。計測自動制御学会などの会員。

横山 修一 (正員)

1944年7月10日生。1970年工学院大学大学院工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)。現在同教授。工学博士。移動ロボット、ニューラルネットワーク、保護継電器、ロボットクレーン、制御工学の研究教育に従事。IEEE、日本ロボット学会、計測自動制御学会、日本機械学会などの会員。

山崎 智行 (学生会)

1971年1月6日生。1994年工学院大学工学部電気工学科卒業。現在、工学院大学大学院工学研究科修士課程(電気工学専攻)に在学中。