速応性を考慮した FF 型 2 自由度温度制御

正 員 横 山 修 一 (工学院大)

正 員 小野垣 仁 (工学院大)

Temperature Control with FF Type Two Degrees of Freedom that Considered Speed Response Characteristics

Shuichi Yokoyama, Member, Hitoshi Onogaki, Member (Kogakuin University)

キーワード：温度制御，2 自由度制御系，押出成形機， H_{∞} 制御

1. ま え が き

最近の温度制御は，プロセスの高度化，複雑化に伴い，サーボ機能が要求されている。そこで，

- (1) 制御系の安定化
- (2) 公称値における定常状態での目標値追従
- (3) 目標値モードにおける系の零感度化

を達成できる FF 型 2 自由度系⁽²⁾の適用を考えた。温度制御においてはこの種の制御系の検討は十分でない。

温度制御の制御対象は，時定数が大きい。そのため，制御対象モデル $P(s)$ が公称値モデル $P_0(s)$ から変動したとき，制御量が規範モデル $P_M(s)$ に速く追従しなければ実用的でない。

本レターでは，FF 型 2 自由度系において H_{∞} サーボを用いたフィードバックコントローラ $K(s)$ の前にゲイン要素 A を導入し，速応性の改善ができたので報告する⁽¹⁾。

2. 制御対象とモデリング

制御対象は，プラスチック成形機の一つである押出成形機の単体バレル温度である。単体バレルは，鉄を主成分とする円筒状の金属であり，外周からバンドヒータにより加熱される。図 1 に実験装置の概略図を示す。

$P(s)$ は，ステップ応答実験より最小 2 乗法でシステム同定し，一次遅れ+むだ時間を得た。ただし，ゲイン $0.100 \leq k \leq 0.160$ ($\text{sec} \cdot ^\circ\text{C}/\text{cal}$)，時定数 $6000 \leq T \leq 12000$ (sec)，むだ時間 $55 \leq L \leq 95$ (sec) の範囲で変動してい

る。このとき $P_0(s)$ は

$$P_0(s) = \frac{0.126}{7400s+1} \exp(-70s) \dots\dots\dots (1)$$

と同定できる。低次元の $K(s)$ を設計するため，むだ時間 L を二次のパディ近似とした。すると， $P_0(s)$ からの変動は乗法的変動となる。

3. 制御系の設計と結果

FF 型 2 自由度制御系のブロック線図を図 2 に示す。 $K(s)$ は，混合感度問題として捉え，自由パラメータ $U(s)$ による H_{∞} サーボ系⁽³⁾を用いた。相補感度関数 $T(s)$ ，感度関数 $S(s)$ に対する周波数重みは，それぞれ

$$W_T(s)^{-1} = \frac{3}{8000s+1} \dots\dots\dots (2)$$

$$W_S(s)^{-1} = \gamma^{-1} \frac{100000s+1}{10} \dots\dots\dots (3)$$

とした。このとき，標準問題を解くと，中心解 $U(s)=0$ で $\gamma=3$ となった。ここで，1 型の積分特性を $K(s)$ にもたせるため，

$$U(s) = 9.886 \times 10^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

とし，

$$K(s) = \frac{2.177 \times 10^3 (s + 1.351 \times 10^{-4})}{s} \times \frac{(s + 4.510 \times 10^{-5})}{(s + 1 \times 10^{-5})} \times \frac{(s + 4.286 \times 10^{-2} + j2.474 \times 10^{-2})}{(s + 4.286 \times 10^{-2} + j2.560 \times 10^{-2})}$$

図 1 実験装置の概略図

Fig. 1. Block diagram of experimental setup.

図 2 FF 型 2 自由度制御系のブロック線図

Fig. 2. Block diagram of control system with FF type two degrees of freedom.

図 3 根軌跡
Fig. 3. Rootlocus.

図 4 $S(s)$ と $T(s)$ のゲイン線図
Fig. 4. Gain diagram of $S(s)$ and $T(s)$.

$$\times \frac{(s + 4.286 \times 10^{-2} - j2.474 \times 10^{-2})}{(s + 4.286 \times 10^{-2} - j2.560 \times 10^{-2})} \dots\dots (5)$$

を得た。また、 $K(s)$ とは独立に

$$P_M(s) = \frac{1}{2000s + 1} \exp(-70s) \dots\dots\dots (6)$$

を定めた。離散化は双一次変換にて 20 sec とした。

次に、速応性を得るため、離散時間の根軌跡を求めた。図 3 より閉ループが安定である A の範囲は、 $0 < A \leq 60$ である。図 4 は、 $A=1, 10, 30, 60$ と変化させたときの $P_0(s)$ における $S(s)$ と $T(s)$ のゲイン線図を示す。系の速応性を上げるため A を大きくすると、その代償として高域で相補感度特性のゲインが増加する。 $A=30$ を過ぎるとピークが現われてくるので、これを避けるよう $0 < A \leq 30$ で A を選択する。ここでは、極が実軸に近くなる $A=10$ を選んだ。

初期値 0°C 、目標値は 2 時間ごとに 100, 200, 300°C と変化させたときのシミュレーション結果を図 5(a), (b) に示す。同図(a) $A=1$ では、 $P_0(s)$ 以外の $P_M(s)$ への追従は遅い。それに対し、同図(b) $A=10$ では、 $P(s)$ が変動をしても $P_M(s)$ に素早く追従していることがわかる。 $A=10$ のときの実験結果を同図(c)に示す。(b)と同じ応答が得られることが確認できた。

4. む す び

本レターでは、時定数の大きい温度制御系に対し、ゲイン要素 A を導入した FF 型 2 自由度 H_∞ サーボ系を用い、速応性のある規範モデル追従が得られたことを示した。本手法は、現場でのチューニングにも有効であると考える。

(平成 6 年 3 月 1 日受付)

(a) シミュレーション $A=1$

(b) シミュレーション $A=10$

(c) 実験 $A=10$

図 5 シミュレーションおよび実験結果
Fig. 5. Simulation and experiment result.

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，電気学会全大 (1993)
- (2) 前田・杉江：アドバンス制御のためのシステム制御理論，(1990) 朝倉書店
- (3) 杉江：状態空間法による H_∞ 制御と制御系設計，第 41 回システム制御情報講習会 (1992)

横 山 修 一 (正員) 昭和 45 年工学院大学大学院修士課程修了。現在同教授。工学博士。IEEE, 日本ロボット学会などの会員。

小野垣 仁 (正員) 平成 5 年工学院大学大学院修士課程修了。現在、同学園統合情報システムセンター勤務。