

オールパスフィルタを用いた予見制御に関する一考察

学籍番号 23413545 氏名 田中 大史

指導教員名 米谷 昭彦

1 はじめに

化学プラントにおける温度制御は時代とともに高度化している。この温度制御に対する要求は大きくなりつつあり目標値に対する正確な追従性も同時に求められる。プロセス制御においては目標値変化が予め決められていることが多く、未来の目標値が入手可能な場合は、予見制御により目標値追従性能を向上させることができる。しかし既存の予見制御^[1]は離散時間でしか扱うことができず、モデル化誤差がある場合に制御性能を保証することができない。そこで本研究では、オールパスフィルタを用いた予見制御法を提案する。これは汎用性が高く様々な制御系に適用し予見制御を行うことができる。具体的には、オールパスフィルタを連続時間の LQI 制御系と H_∞ 制御系に適用し予見制御系を設計した。そして、既存の予見制御を含めた 3 つの予見制御を扱い、比較・評価を行った。

2 オールパスフィルタ

本研究では、入力信号がある時間 T_s だけ遅れて伝わるような要素であるむだ時間要素を有理伝達関数にパデ近似したものをオールパスフィルタとして制御システムに加える。そのとき、予見時間分前の信号を、オールパスフィルタへの入力信号とし、そこからの出力信号を、通常の制御系の指令値に代わる制御系への入力信号とする。未来から見て予見時間分遅らされた信号は現在における目標値信号として制御系に入力される。

3 最適制御

提案する予見制御系の設計は最適サーボ系の設計手法に基づいて行われる。目標値などの未来情報をフィードフォワードに利用するため、予見制御系は通常の最適サーボ系に未来情報を利用したオールパスフィルタを付加したサーボ系の形で構成される。1 入出力系の最適予見サーボ系を設計するために、評価関数を用いて制御系を決定する。制御対象の拡大系の状態変数を $\mathbf{x}_e(t) = (\dot{\mathbf{x}}_p \quad -\mathbf{e} \quad \dot{\mathbf{x}})$ と定義し

た。ここで、 $\mathbf{x}(t)$ は制御対象における状態変数、 $\mathbf{e}(t)$ は制御出力と目標値の偏差、 $\mathbf{x}_p(t)$ はオールパスフィルタにおける状態変数である。この拡大系の状態方程式に対し、予見サーボ系を構成する。予見動作を含むように、評価関数は次のように定義する。

$$J = \int_{-T_s}^{\infty} [\mathbf{x}_e^T(t) \mathbf{Q} \mathbf{x}_e(t) + \mathbf{u}_e^T(t) \mathbf{H} \mathbf{u}_e(t)] dt$$

ただし、 \mathbf{Q} は対称準正定行列、 \mathbf{H} は対称正定行列、 T_s は予見時間であり、むだ時間の長さで表される。

この評価関数を最小にする最適制御入力

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{K}_1 \mathbf{x}_p(t) - \mathbf{K}_2 \mathbf{e}(t) + \mathbf{K}_3 \dot{\mathbf{x}}(t)$$

となり、導出されたコントローラを用いて予見制御系を設計する。

4 ロバスト制御

本研究では直流ゲイン変動を誤差として扱い、次のような乗法的不確かさを有する制御対象を考える。

$$P(s) = P_0(s)(1 + P_\Delta(s))$$

また、ロバスト制御の代表として H_∞ 制御があり、制御対象の表現を扱うのに適している事などからこれを採用する。制御問題を定式化する際、次に示す一般化プラントを用いる。

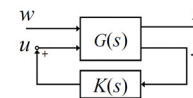


図1: H_∞ 制御問題における一般化プラント

H_∞ 制御問題は、内部安定させること、また、 w から z までの閉ループ伝達関数 $\phi(s)$ に対して

$$\|\phi\|_\infty = \sup_{\omega} \bar{\sigma}\{\phi(j\omega)\} < \gamma (\gamma > 0)$$

となる $K(s)$ を求めることを目的とする。本研究では制御性能とロバスト安定性を考慮して制御系を設計する混合感度問題を考える。これは制御系における感度関数を S 、相補感度関数を T とし、それぞれに対する周波数重みを W_S 、 W_T とした時、

$$\|W_S S \quad W_T T\|_\infty < \gamma$$

とする問題である。

提案する予見制御法では、混合感度問題における一般化プラントにオールパスフィルタを加え、予見動作も考慮したコントローラを導出するというアプローチを取る。一般化プラントは次のようになり、混合感度問題からコントローラ $K(s)$ を導出した。

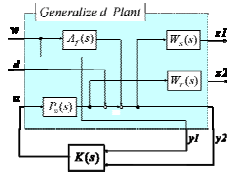


図2：APFを付与した一般化プラント

5 評価

設計した制御系は次のようになる。

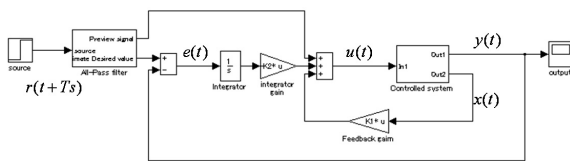


図3：APFを用いたLQI制御に基づく予見制御系

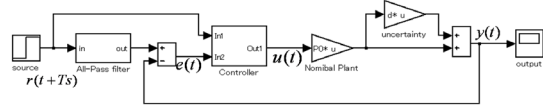


図4：APFを用いた H_∞ 制御に基づく予見制御系

まず、この2つの予見制御系において、目標値を時刻10[s]のステップ信号、パデ近似次数をN=4とした。制御対象に摂動がないと仮定したときの予見制御応答を次に示す。

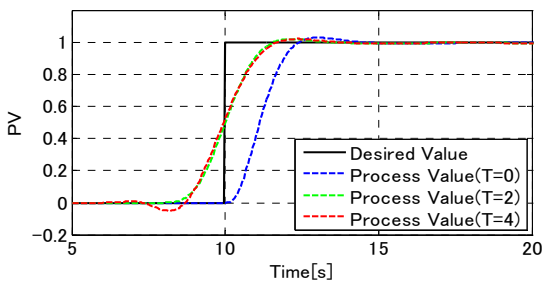


図5：APFを用いたLQIに基づく制御系の応答

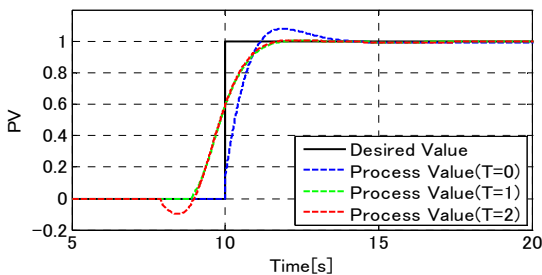


図6：APFを用いた H_∞ 制御に基づく制御系の応答

制御応答は予見動作を持ちオーバーシュートを抑制できていていると分かる。また、制御応答におけるアンダーシュートはパデ近似次数を適切に設定することで小さくことができる。

次に制御対象が摂動を有するとき、従来の予見制御系およびオールパスフィルタを用いた H_∞ 制御系に基く制御系での制御応答への影響を考える。

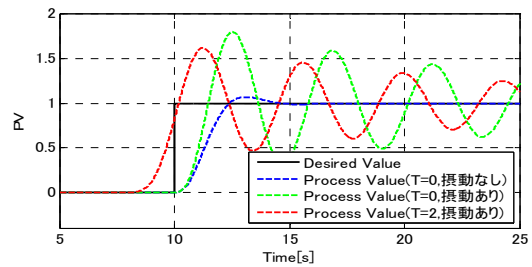


図7：従来の予見制御系の応答

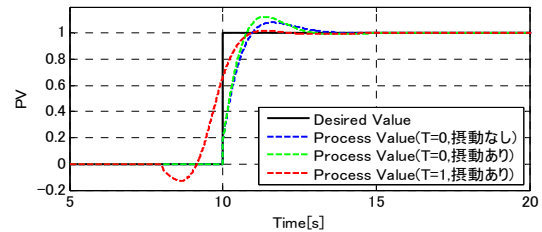


図8：APFを用いた H_∞ 制御に基づく制御系の応答

LQに基いて設計された従来およびオールパスフィルタを用いた予見制御系では微小変動に対しては出力レギュレーションを達成できていたものの完全に制御性能を保証することはできなかった。一方、 H_∞ 制御に基く予見制御系では摂動の影響を比較的抑えることができた。このことより H_∞ 制御が摂動を有する制御系に対して有効であると考えられる。

6 参考文献

[1] 井上 陽介：“1次元倒立振り子システムの予見制御に関する一考察”、名古屋工業大学 機械工学科 卒業論文 (2008)
 [2] 阿部 直人・児島 晃：“むだ時間・分布定数系の制御”、コロナ社 (2007)
 [3] 橋本 伊織・長谷部 伸治・加納 学：“プロセス制御工学”、朝倉書店 (2002)
 [4] 美多 勉：“ H_∞ 制御”、昭晃堂 (1994)
 [5] 仲井 智洋：“固有周波数変動を考慮した制御系の設計”、名古屋工業大学大学院 機能工学専攻 修士論文 (2008)