

2型モデル予測制御系の設計

本研究では、ランプ状の外乱や設定値変更に対して定常偏差をゼロにできる2型制御系を、モデル予測制御(MPC)の枠組みの中で実現することを目的としている。

従来のMPCでは、プロセスとモデルとの出力の差が、現時刻以降も一定に保たれると仮定されている。本研究では、プロセスとモデルとの出力の差に適切な動特性を持たせることによって、2型制御系を実現する。そのために、従来の予測式に予測フィルタを導入し、未来の予測値を次式に基づいて計算する。

$$y_p(t+k) = y_m(t+k) + F^{[k]}(d)(y(t) - y_m(t))$$

ここで、予測フィルタ $F^{[k]}(d)$ は遅延演算子 d の多項式とする。さらに、2型制御系を実現するために、制御区間 $[t, t+M-1]$ では操作量を適切に変化させ、それ以降は操作量の傾きを一定に保つと仮定して、予測値を計算する。

新たに提案したアルゴリズムに基づいて導出される制御系の閉ループ方程式を

$$Ae(t) = PB(r(t) - v(t)) + dQ(d)C(d)r(t)$$

と表すことができる。ここで、 A, B, C は遅延演算子 d の多項式、 e, r, v はそれぞれ偏差、設定値、外乱であり、 P, Q はプロセスの動特性を表す多項式である。この閉ループ方程式から、2型制御系を実現するための条件を導出することができる。

<必要十分条件>

制御系が2型となるための必要十分条件は、次の3つの条件がすべて満たされることである。(1)多項式 A が安定多項式である。(2)多項式 B が多項式 $(1-d)^2$ を含む。(3)多項式 C が多項式 $(1-d)^2$ を含むか、あるいは恒等的にゼロとなる。

条件1は制御系が安定であることを要求するものである。以下では、適切なチューニングによってこの条件を満たすことができると仮定する。条件2, 3から、2型制御系を設計するために予測フィルタが満たすべき条件を導出すると、

$$F^{[k]}(1) = 1$$

$$F^{[k]}(1) = -k$$

が得られる。

実用的な2型モデル予測制御系を実現するためには、モデル化誤差や測定誤差の影響を受けにくい予測フィルタを設計する必要がある。そこで、過去 K ステップにわたる区間全体におけるプロセスとモデルとの出力の差の平均的な挙動を捉え、最小二乗法により未来の予測値の傾きを決定した後、現時刻の差を予測式が通るように切片を調整する。この考え方に基づいて導出される予測フィルタが設計条件2, 3を満たしていることは容易に確かめられる。

提案した制御アルゴリズムの有効性を検証するために、反射炉プロセスへの適用について検討する。反射炉内で熔融された銅はまずポットに送られ、さらに鑄造装置へ供給される。このプロセスの制御目的は、反射炉からの熔融銅の流出流量を適切に操作し、ポット内の液レベルを一定に保持することにより、鑄造製品の品質低下してしまふを防ぐことにある。制御対象のモデルは次式で与えられる。

$$G_M(s) = \exp(-30s)/s$$

モデル誤差の影響について検討するために、モデルとは異なる動特性を有する3種類のプロセスを対象として制御シミュレーションを行った。その結果を図1に示す。シミュレーション開始後5秒の時点でランプ状外乱を加え、さらに500秒の時点で設定値をステップ状に変更している。シミュレーション結果から、モデル誤差が存在する場合でもランプ状外乱に対してオフセットフリーな制御系が実現できていることが確認できる。

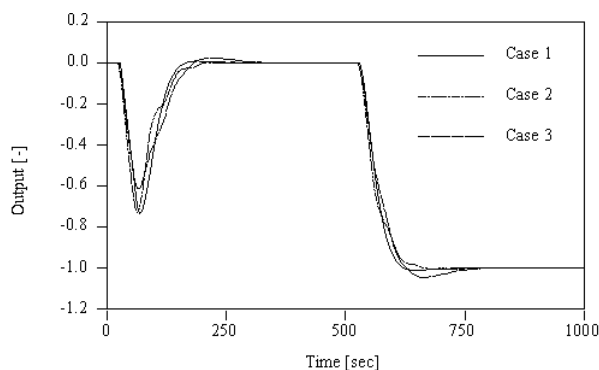


図1 制御シミュレーション結果