外生信号に対する位相遅れを補正した繰返し制御系の設計

90437021　澤井 眞一　　藤井研究室

1　はじめに

本研究では、周期的な外生信号に対する制御性能を向上するための繰り返し制御系の一設計法を提案する．

2　繰返し制御系の原理

繰返し制御のように，任意の周期 L の目標信号に追従することを目的とした場合，固定周期 L をもつ周期信号すべてを発生する機構をつくり，それを内部モデルとして閉ループ内に組み込むことが考えられる．周期 L の任意の周期関数 $r(t)$ は，$0 \leq t < L$ で定義される関数 $r_0(t)$ を，周期 L ずつずらし重ね合わせたものである．したがって，この内部モデルは図 1 に示す形になる．

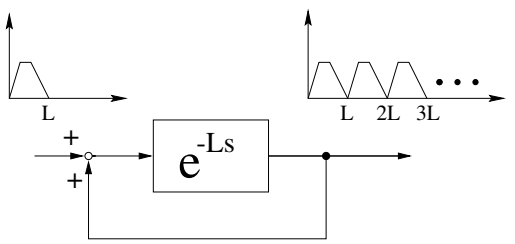


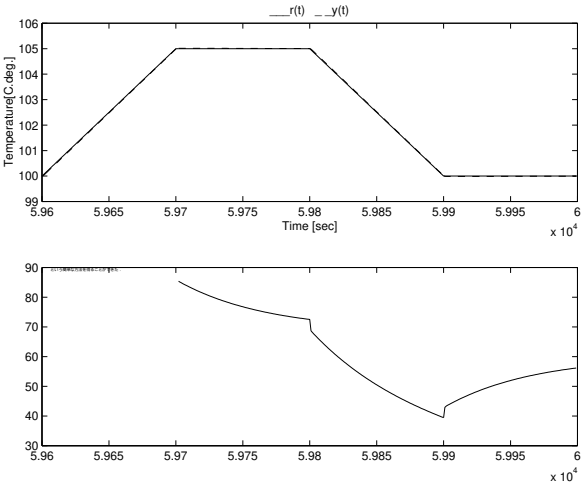
図 1: 周期関数の発生機構

この周期関数のモデルはむだ時間を含み，一般にその安定化はむずかしい．そして真にプロパーな系では，図 1 の内部モデルのままでは内部安定性が保証されないことが知られている．そこで，通常はむだ時間の前にローパスフィルタを用いた図 2 の形で制御系が構成される．なお，$C(s)$ は $1 + PC$ を安定にする PI 補償器であり，$a(s) = 1$ とする．

図 2: 繰返し制御系

3　問題点とその解析

ここでは，この図 2 の構成による問題点を解析するためにシミュレーションを行なう．シミュレーションに用いるプラント $P(s)$ は半導体実験装置のモデルとし，入力を周期的な台形波とする．これは，実際の半導体製造装置のウエハ設定温度のスケジューリングを想定したものである．シミュレーションの結果，制御系の安定性を補償するために繰返し補償器にローパスフィルタを用いると，出力の追従性能が劣化することが確認された．ローパスフィルタを挿入した繰返し補償器の伝達関数のボード線図からゲイン特性のピークが，入力信号の周波数 ($1/400$[Hz]) の整数倍からからずれていることが確認できたことから，このずれが追従性能の劣化を起こしていると考えられる．

4　位相遅れに対する補正

$F(s)$ に動特性をもつ要素を用いると，位相遅れが生じるのであれば，$F(s)$ に定数ゲイン q を用いればよい．ただし，q を含めた繰返し制御器の極配置から制御系全体が安定になる q の範囲は $0 < q < 1$ である必要がある．このことから $F(s)$ を定数ゲインとして全体の極の位置を考えながら設定し，シミュレーションを行なった．この 150 周期目のシミュレーション結果を図 3 に示す．この図より，良好な出力応答が得られていることがわかる．また，操作量も安定している．