JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	むだ時間を含むシステムにおけるスミス制御器の安定余裕
Author(s)	花房，聡人
Citation	
Issue Date	1998-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1119
Rights	
Description	Supervisor:示村 悦二郎，情報科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

むだ時間を含むシステムにおけるスミス制御器の安定余裕

花房 聡人

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1997 年 2 月 13 日

キーワード： むだ時間，スミス法，ミスマッチ，安定余裕 .

概論

フィードバック制御は，目標入力と制御出力との偏差をよりどころにして，その出力偏差を小さくするように制御量を修正する方法である．しかし，制御系の信号路に沿ってむだ時間が存在すると制御の効果がすぐに出力に現れない．そのため、単に同時刻の目標入力と制御出力との差からは有用な情報を得る事が出来ないため，通常のシステムに対する方法では制御量を適切に修正しシステムを安定化することは困難である．

このようなむだ時間を含むシステムに対する制御方法として，古くからスミス法が知られている．スミス法はむだ時間を含む制御対象 $G_r(s)e^{-sL_r}$ に対して，制御対象のモデル $G_m(s) - G_m(s)e^{-sL_m}$ を用い，補償器の周りに局所フィードバックを行う方法である．これにより，制御に障害となるむだ時間要素を特性多項式から取り除くことができ，通常の線形制御系設計の問題として扱う事が出来る．しかし，制御にモデルを組み込むために，モデルと制御対象との間にどうしてもモデル化誤差 (ミスマッチ) が生じてしまう．ミスマッチが存在すると，スミス法によって取り除いたはずのむだ時間要素が特性方程式に再度現れるため，このむだ時間要素が制御を再び困難とする．そこで、どのくらいの大きさのミスマッチにまで安定性が保たれるかといった，ロバスト安定性の解析が必要となる．

従来研究としては，位相の遅れが生じてしまうむだ時間のミスマッチのみを扱ったものは多々見られる．しかし，むだ時間とその他のミスマッチは同時に存在し，複数のパラメータの相互的な影響があると考えられる．本研究では，むだ時間のミスマッチとシステムパラメータのゲインにミスマッチが存在すると仮定した．この仮定は限定的なものに感じるかも知れない．しかし，制御対象のゲインと位相のモデル化誤差をこの仮定で十分に表現出来るので，この仮定のもとで得られる結果も十分に実用的であると考えられる．

Copyright © 1998 by Akihito Hanafusa

次のような流れで研究を行った．

まず，対象となるむだ時間を含むシステムにおけるスミス法について言及する．制御対象とモデルとの間にミスマッチが存在した場合のスミス法の問題点について明らかにし，ミスマッチに対するロバスト安定性の議論の必要性を述べる．むだ時間のみのミスマッチを扱った多くの従来研究と違い，同時にゲインのミスマッチを考慮するため状態空間表現によりスミス制御系の構造について述べる．

状態方程式を基に表現されたスミス制御系について，ゲインとむだ時間のミスマッチを導入する．安定判別の方法として包らが，スミス法と同様にむだ時間対策として有名な状態予測制御系に対して用いた方法をスミス制御系へ拡張する．制御対象のパラメータを (A_r, b_r, c_r, L_r) ，モデルのパラメータを (A, b, c, L) とする．但し，本文を通じてシステムは安定， (A, b) は可制御および (A, c) は可観測とする．モデル化誤差としてゲインのミスマッチをϵ ，むだ時間のミスマッチを ζ とする．するとモデルのパラメータを用いて制御対象は $[A, b, (1+\epsilon)c, L+\zeta]$ と表すことが出来る．ミスマッチが無い場合のスミス制御系の特性多項式を $f(s)$ とすると，ミスマッチのパラメータを導入した時の特性多項式は， $f(s) \times [1 + M(s)N(s)]$ と表すことができる．ただし， $M(s)$ はミスマッチが無い場合のスミス制御系の伝達関数， $N(s)$ はミスマッチにのみ関係する項である．この特性方程式を考察すると，まず仮定より $f(s)$ は安定である．したがって，ミスマッチが存在する場合，このスミス制御系の安定性は $[1 + M(s)N(s)] = 0$ の根により決定される．そこで $M(s)$ の軌跡と $N(s)$ の軌跡の振る舞いを観察し，その相互関係から $M(s)N(s)$ の軌跡の振る舞いを考えることができる．そして，$M(s)N(s)$ の軌跡から，ナイキストの安定判別法により安定性の判別を行える．これにより，安定条件を定量的に求められる．

次に，求められた安定条件を例題に対して用い，その応答特性をシミュレーションより求め有効性を検証した．まず，ゲインにのみミスマッチがある場合は，ゲイン余裕となる点を境界としてシステムが安定から不安定へ移り変わる．また，ゲイン余裕となる点においては定常状態となることが認められた．これは安定判別によって求められたゲイン余裕の点がまさにシステムの安定限界となる点であるということを示している．続いて，むだ時間にのみミスマッチがある場合は，$M(s)$ の軌跡と $N(s)$ の軌跡との交点の数によってむだ時間余裕となる点の意味する事が異なった．まず，１点で交わる場合は求められたむだ時間余裕となる点を境界として安定から不安定へと移り代わることが認められる．これは，むだ時間余裕の点が安定限界となっている事になる．３点で交わる場合は，むだ時間余裕となる点では定常状態を見る事が出来なかった．また，同時に安定となる範囲を外れた点においても安定となることが認められた．検証結果から，求められたむだ時間余裕の範囲は全く的外れではなく十分に実用的であると言えた．

むだ時間とゲインの両方にミスマッチが存在した場合，前出のむだ時間余裕を求める手順をさまざまな ϵ の値に対しおこなうと，ϵ–ζ 平面上にゲインとむだ時間の相互関係の安定領域が求められる．応答特性をシミュレーションによりもとめ，その有効性を確認した．

次に，時定数を変化させた幾つかの制御対象に対して，同様の方法を用いて ϵ–ζ 平面上の安定領域を求める．これにより，時定数を指針とした定量的な安定条件の移り変わり

を見る事ができ，その変化に対し検討を行なった．分析結果として，時定数の変化に伴って，ゲイン余裕は殆ど変化しないのに比べてむだ時間余裕は変化に比例して変動していくことがわかる．時定数の小さい即応性の高い制御対象は，むだ時間のミスマッチの存在に対して大変敏感であり微小なミスマッチが存在してもすぐさまシステムが不安定となってしまう．時定数が大きな制御対象は，ゲインとむだ時間のミスマッチの関わりが大きくなる．例としては取り扱いの難しいとされるむだ時間の大きなミスマッチに対しても，ゲインのミスマッチの変動によっては安定化できる可能性もあることが分析できた．

この安定条件の導出によって，ゲインとむだ時間のミスマッチの安定性に対する相互的な影響の分析が可能であり，制御系設計において有用な情報を得る事ができる．