

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760337

研究課題名(和文)モデルフリー強安定系の構成法

研究課題名(英文)A Design Method of Model-free Strong Stability Systems

研究代表者

矢納 陽(YANO, Akira)

岡山大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：70351658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、既約分解表現を用いて強安定率を定義し、この強安定率を安全性の指標として提案した。また強安定率を制御系設計に利用できることを示した。さらに、入出力信号と目標値信号を用いてセルフチューニングコントローラを構成し、得られた制御系の強安定率を逐次計算することで、制御系の安全性をオンラインで評価できる手法を示した。これらのことは安定かつ安全なモデルフリー強安定系の設計という点で重要な役割を持つ。

研究成果の概要(英文)：This research newly defined strong stability rate using coprime factorization, and the strong stability rate was proposed as an index of safety for controlled systems. It was also shown that control systems can be designed through the strong stability rate. Moreover a self-tuning controller using input, output and reference signals was constructed aiming to design model-free strong stability system. The self-tuning controller was also used in order to evaluate the safety of the controlled system online and calculate the strong stability rate of the system repeatedly. As a result, this research has played an important role in the meaning of design for stable and safe model-free strong stability systems.

研究分野：工学

キーワード：モデルフリー 強安定 予測制御法 最小分散制御法 既約分解表現

1. 研究開始当初の背景

予測制御法[1]は、その制御法を直感的に理解しやすく制御性能の向上も期待できるため、多くの研究が行われ実システムへの適用もなされてきた[2]。これまで申請者は予測制御法によってあらかじめ設計された閉ループ特性を変えることなく、補償器自身を安定化する強安定系の構成法を提案し[3,4]、制御系の安全性に寄与する研究を行ってきた。しかしこの手法は、モデルベースの制御系設計法であり、実際の制御対象の正確なモデルが得られない場合には、補償器が実際のモデルからずれて設計されるため、良い制御結果が得られない場合があった。この問題に対し近年、目標値や入出力データなどを補償器の設計に用いることで、より良い制御結果を求める手法が提案されてきた[5,6]。

<引用文献>

[1] D. W. Clarke, C. Mohtadi and P. S. Tuffs: Generalized Predictive Control, Automatica, Vol.23, No.2, pp.137-160 (1987)  
 [2] E. F. Camacho and C. Bordons: Model Predictive Control in the Process Industry, Springer (1995)  
 [3] A. Yanou, M. Deng and A. Inoue: A Design of a Strongly Stable Generalized Minimum Variance Control Using a Genetic Algorithm, Proc. of ICROS-SICE International Joint Conference 2009, pp.1300-1304 (2009)  
 [4] 岡崎聡, 西崎純基, 矢納陽, 見浪護, 鄧明聡: 閉ループ特性に着目した強安定予測制御系, 計測自動制御学会論文集, Vol. 47, No. 7, pp.317-325 (2011)  
 [5] 田坂, 加納, 小河, 増田, 山本: 閉ループデータに基づく直接的 PID 調整とその不安定プロセスへの適用, システム制御情報学会論文誌, Vol.22, No.4, pp.137-144 (2009)  
 [6] 加納: データ駆動型アプローチによる製造技術強化 -いかにプロセス特性変化に対応するか, システム/制御/情報, Vol.54, No. 3, pp.80-85 (2010)

2. 研究の目的

そこで本研究は、すでに運転されている制御系に対して、前述の制御系設計法のように目標値と入出力データから申請者の研究成果である強安定系を構成する手法を開発する。本手法の実現によって、既存の制御系を強安定系として直接に拡張できるようになる。さらに、どれくらい強安定であるか、という定量的な評価指針として“強安定率”を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

制御系の入出力データや目標値に基づきモデルフリー強安定系を構成する手法を開発し、制御性能を数値実験によって検証する。具体的には、既約分解表現を用いて一般化予

測制御法や一般化最小分散制御法を拡張し、制御則を決定するための自由度を増やすとともにパラメータ同定則を付加することで制御則を構成する。そして得られた制御系に対して数値実験を行う。また、実験装置を用いて本手法の有効性を確認する。さらに、強安定率の概念をフィードバックループが切断された時の有界値と理想的な制御量との比として定式化し、実験を通して制御系の安全性の評価に用いることができることを示す。

4. 研究成果

制御系の入出力データや目標値に基づきモデルフリー強安定系を構成するため、ここではセルフチューニング一般化最小分散制御系に対して強安定率を用いて安全性を評価した成果について報告する[1]。

まず図1に示す閉ループ系を考える。目標値を  $w$ 、制御入力(操作量)を  $u$ 、出力(制御量)を  $y$  として与えている。制御入力は既約分解表現を用いて一般化最小分散制御則が拡張され、 $U$  を新しい設計パラメータとして利用できる状態にしている。このとき、目標値  $w$  と出力  $y$  の間の関係は、 $U$  の値に依存しない。言い換えれば、制御入力  $u$  の特性(補償器の極)は  $U$  によって変化するが、閉ループ伝達関数の極は  $U$  に依存しない。

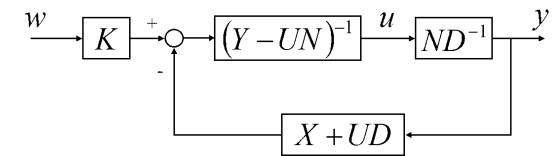


図1 制御系

そこで本研究では設計パラメータ  $U$  を利用して強安定率の概念を定義した。具体的には、閉ループ系と開ループ系の定常ゲインの比を強安定率として定義した。例えば、強安定率が1になる(閉ループ系と開ループ系の定常ゲインが等しくなる)場合は、不測の事態によりフィードバック信号が切断され0になったとしても、その開ループ系の出力定常値が通常運転時の閉ループ系の出力定常値と一致し、最も安全性が高い。すなわち、不測の事態に陥ったとしても開ループ系の出力定常値が目標値付近に留まるため、液あふれや異常な温度上昇が起こらず、制御系の安全性を維持し続けられると考えられる。

また、経年劣化等により制御対象の特性変動が想定されるため、それに応じて強安定率も変化すると想定できる。すなわち、安全性の観点から制御系の強安定率の推移を平常時から監視しておく必要がある。さらにこの推移を利用すれば安全性を高く維持し続けられるような制御系設計法の開発につながると考えられる。

そこで以下では拡張したセルフチューニング一般化最小分散制御則を用いた際の数値シミュレーション結果を示し、強安定率が

安全性の評価に利用できることを示す。

まず、図 2、図 3 はそれぞれセルフチューニングコントローラを適用した場合の制御系の出力およびパラメータ同定値を表している。ここで図 2 の破線は目標値、実線が出力を表し、図 3 の破線は制御対象のパラメータの真値、実線がその同定値を表している。これらの図から、制御系の出力は目標値信号へ追従することが分かるとともに、制御対象のパラメータは真値に収束していくことが確認できる。

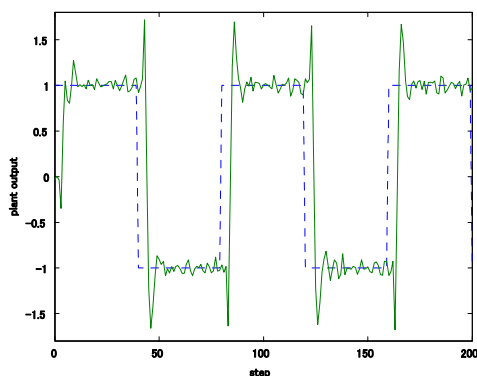


図 2 出力応答

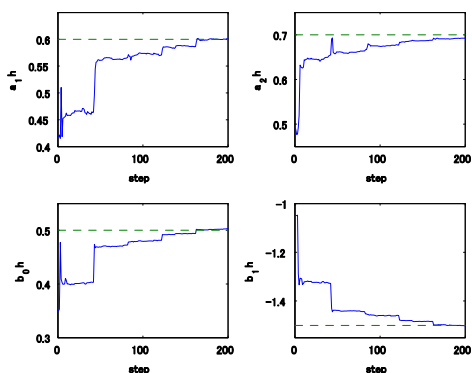


図 3 パラメータ同定結果

つぎに図 4、図 5、図 6 はそれぞれ閉ループ極の絶対値、セルフチューニングコントローラの極の絶対値、および強安定率の推移を表している。ここで図 4 の点線は制御対象のパラメータ同定値とセルフチューニングコントローラから計算した閉ループ極の絶対値、実線は制御対象のパラメータの真値から計算した（すなわち、実際に構成される）閉ループ極の絶対値を表している。また、図 6 の破線は本研究で最も安全性が高いと定義している値、実線は制御対象のパラメータの真値とセルフチューニングコントローラから計算した強安定率の推移を表している。図 4、図 5 の実線より、閉ループ伝達関数とコントローラの伝達関数のすべての極の絶対値が 1 未満で推移しており、それぞれの極が安定に推移していることが分かる。すなわち本手法によって強安定系が構成できていることを確認できる。さらに図 6 より制御系の

安全性の評価が定量的に行えることを確認できる。

今後は本課題で新規に提案した強安定率を利用した制御系設計法の開発や多入出力系への拡張について研究を進める。

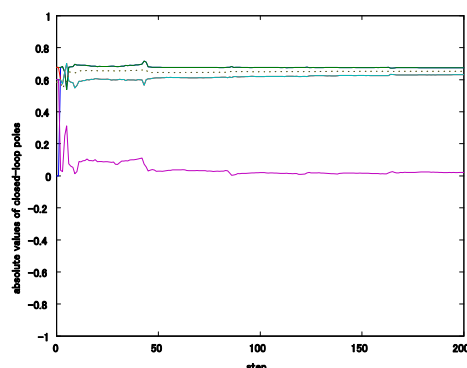


図 4 閉ループ伝達関数の極の絶対値

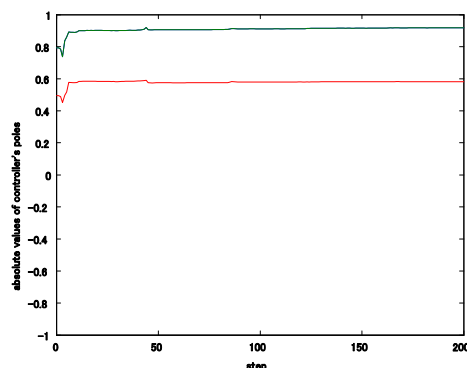


図 5 セルフチューニングコントローラの極の絶対値

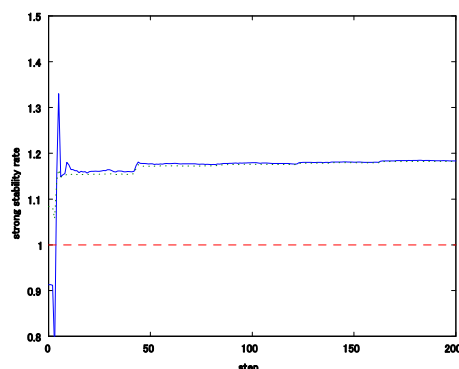


図 6 強安定率の推移

#### <引用文献>

[1] 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, セルフチューニング一般化最小分散制御系に対する強安定率を用いた安全性の評価, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), 査読有, Vol.134, No.9, 1241-1246 (2014)

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

1. 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, セルフチューニング一般化最小分散制御系に対する強安定率を用いた安全性の評価, 電気学会論文誌

C (電子・情報・システム部門誌), 査読有, Vol.134, No.9, 1241-1246 (2014)

2. 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, 既約分解表現を用いた制御系に対する強安定率の概念, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.50, No.5, 441-443 (2014)

3. Akira Yanou, Mamoru Minami and Hiro Tanimoto, Continuous shape-grinding experiment based on model-independent force / position hybrid control method with on-line spline approximation, Artificial Life and Robotics, 査読有, Vol.18, No.3-4, 219-227 (2013), 10.1007/s10015-013-0119-8

4. 矢納陽, 岡崎聡, 西崎純基, 増田士朗, 見浪護, 斎藤誠二, 2自由度一般化予測制御法のアルミ板温度制御実験への応用, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), 査読有, Vol.132, No.6, 879-885 (2012), 10.1541/ieejieiss.132.879

〔学会発表〕(計17件)

1. A. Yanou, M. Minami, and T. Matsuno, A Design Method of On-demand Type Feedback Controller Using Coprime Factorization, 10th Asian Control Conference 2015, (Accepted, 2015.6.2) (Kota Kinabalu, Malaysia)

2. N. Hosoya, A. Yanou, M. Minami, and T. Matsuno, Temperature Control of a Mold Model using Multiple-input Multiple-output Two Degree-of-freedom Generalized Predictive Control, 10th Asian Control Conference 2015, (Accepted, 2015.6.2) (Kota Kinabalu, Malaysia)

3. 細谷直紀, 矢納陽, 岡本庄平, 見浪護, 松野隆幸, セルフチューニング一般化予測制御則のアルミニウム板温度制御装置への適用, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, (2015.5.21) (中央電気倶楽部(大阪府, 大阪市))

4. 矢納陽, 内田茂樹, 細谷直紀, 見浪護, 松野隆幸, アルミ板温度制御モデルに対する熱伝導率の推定, 第57回自動制御連合講演会, (2014.11.10) (ホテル天坊(群馬県, 渋川市))

5. A. Yanou, M. Minami, and T. Matsuno, Design Method of Generalized Minimum Variance Control Using Strong Stability Rate, Proc. of the 5th International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes (ADCONIP2014), 484-489 (2014.5.28) (Mielparque Hiroshima (Hiroshima, Hiroshima))

6. 細谷直紀, 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, 平面型アルミ板温度制御実験モデルに対する2自由度一般化予測制御法の適用, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会 (2014.5.23) (京都テルサ(京都府, 京都市))

7. 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, 強安定率を用いたセルフチューニングコントローラの一設計法, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2013 (2013.11.19) (ピアザ淡海(滋賀県, 大津市))

8. 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, 既約分解表現を用いた制御系に対する強安定率の概念の提案, 第3回コンピューショナル・インテリジェンス研究会 (2013.8.30) (大阪大学(大阪府, 吹田市))

9. Akira Yanou, Mamoru Minami and Takayuki Matsuno, Extended Self-tuning Generalized Predictive Control with Computation Reduction Focused on Closed-loop Characteristics, Proceedings of the 11th IFAC International Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing, pp.51-56, 10.3182/20130703-3-FR-4038.00112, (2013.7.3) (Caen, France)

10. 吉川浩平, 荒木翔, 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, 入出力データに基づくアルミ板温度制御実験装置への2自由度一般化予測制御系の構成, 第57回システム制御情報学会研究発表講演会 (2013.5.17) (兵庫県民会館(兵庫県, 神戸市))

11. 矢納陽, 西崎純基, 見浪護, 松野隆幸, ワインドアップを考慮した2自由度一般化予測制御法によるアルミ板温度制御実験, 計測自動制御学会第13回制御部門大会 (2013.3.8) (アクロス福岡(福岡県, 福岡市))

12. 荒木翔, 西崎純基, 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸, 入出力データに基づくアルミ板温度制御モデルへの2自由度一般化予測制御法の適用, 第21回計測自動制御学会中国支部学術講演会 (2012.11.24) (広島工業大学(広島県, 広島市))

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://soran.cc.okayama-u.ac.jp/>

6. 研究組織  
(1)研究代表者  
矢納陽(YANOUE AKIRA)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号: 70351658