

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：35309

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06415

研究課題名(和文) スマート強安定系の構成について

研究課題名(英文) On Design Method of Smart Strong Stability Systems

研究代表者

矢納 陽 (YANO, Akira)

川崎医療福祉大学・医療技術学部・准教授

研究者番号：70351658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、安全性の指標の一つとして強安定率(閉ループ系と開ループ系の定常ゲインの比)を常に1に近づける制御系(以下、スマート強安定系と呼ぶ)の構成法を開発した。また、目標値追従性能や外乱抑制性能といった従来の制御性能だけでなく、安全性も含めたスマートインデックスという新しい評価指標について検討した。さらに、数値シミュレーションによって提案法の有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義は、自己調整機能を有する補償器に、安定性の概念の一つである強安定率を決定するパラメータを陽に組み入れたことにあり、これによって従来の制御性能を達成しつつ強安定系が構成できることを示した点にある。また、スマートインデックスという新しい評価指標を提案し、安全性という指標を強安定率という概念によって制御性能に付加できることを示唆した点に社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this research, a design method of smart strong stability systems was developed, which made strong stability rate that was one of the indices for safety approach to 1 constantly. This research considered a new performance index named as smart index, which included not only the conventional control performances about reference following and disturbance suppression but also safety. Moreover, numerical simulations showed the validity of the proposed method.

研究分野：制御理論

キーワード：強安定 最小分散制御 予測制御 既約分解 オンデマンド型フィードバック制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

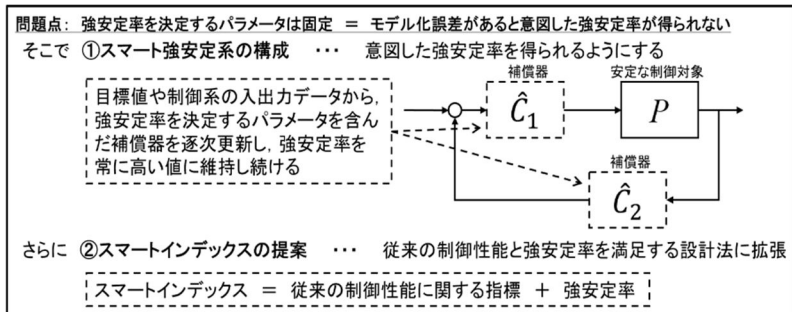
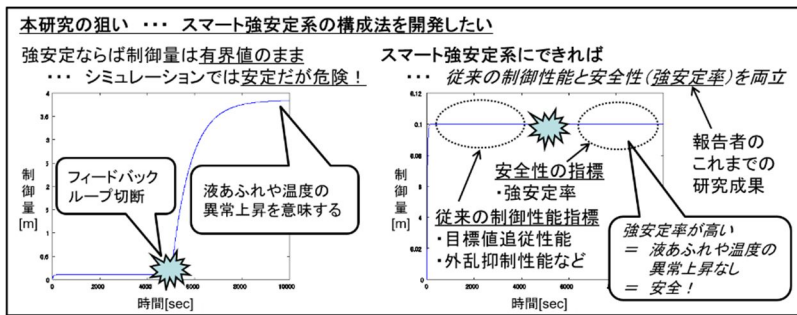
予測制御法(1)は、その制御法の概念が直感的に理解しやすく制御性能の向上も期待できるため、多くの研究が行われ、実システムへの適用もなされてきた。現在ではプロセス産業、空調制御、医療システム、自動車、軍事産業など多くの分野で適用されている(2)。これまで報告者は予測制御法によってあらかじめ設計された閉ループ特性を変えることなく、補償器自身を安定化する強安定系の構成法を提案した(3)。また、この手法を発展させ、制御系の閉ループゲインと開ループゲインの比を用いて、安全性の指標に対する新たな概念として強安定率を提案し(4)、制御系の安全性に寄与する研究を行っている。報告者はこの概念を利用した制御系設計法を現在も研究中であるが(5)、強安定率を決定するパラメータは固定であり、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、意図した強安定率が得られない場合がある。この問題に対し、目標値や制御対象の入出力データから補償器を逐次更新することで制御系設計を行う方法がある。近年ではPID制御系設計法としてE-FRIT、パフォーマンス駆動型、およびデータ駆動型といった設計法が提案されている(6)(7)。また、補償器を逐次更新する従来からの手法としてはセルフチューニングコントロール法(8)があり、盛んに研究が行われてきた。そこで、逐次更新される補償器に強安定率を決定するパラメータを陽に組み入れることができれば、制御系を意図した強安定率に維持することが可能になると考えられる。すなわち、目標値追従性能や外乱抑制性能といった従来の制御性能の指標に加え、安全性の指標として強安定率も同時に設計できる。言い換えれば従来の制御性能に加え安全性も考慮した、スマートな強安定系を得ることができる。また、強安定率の逐次計算も可能になるため、運転中の制御系に対する安全性の数値的な指標も与えることができる。そこで、従来の制御性能指標と強安定率を組み合わせた定量的な評価指標として“スマートインデックス”を提案すれば、従来の制御性能だけでなく、安全性も数値的に与えられるブレークスルーを生み出すことができる、との着想に至った。

<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) 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)
- (4) 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, Vol.50, No.5, pp.441-443, 査読有 (2014)
- (5) 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), Vol.134, No.9, pp.1241-1246, 査読有 (2014)
- (6) 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)
- (7) 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)
- (8) 大松, 山本: セルフチューニングコントロール, 計測自動制御学会 (1996)

2. 研究の目的

本研究では、目標値や制御系の入出力データから補償器を逐次更新することによって、強安定率を一定値に維持し続ける制御系設計法を開発する。具体的には、セルフチューニングコントロール法に強安定率を決定するパラメータを陽に組み入れ、強安定率を一定値に維持し続ける手法を確立し、スマート強安定系の構成法を開発することを目指す。さらにスマートインデックスを定式化し、これを指定すればその指標に従って従来の制御性能と安全性の指標(強安定率)を満足する手法へ拡張する。



3. 研究の方法

モデル予測制御法や一般化最小分散制御法によってコントローラを設計しておき、既約分解を利用して新しい設計パラメータをコントローラに導入する。つぎに、この設計パラメータの構造を定数、多項式さらに有理関数として定め、数値実験を行う。つぎに、強安定率を決定するパラメータを含んだ補償器を逐次更新することによって、スマート強安定系の構成を行う。さらに目標値追従性能や外乱抑制性能など従来の制御性能の指標と強安定率を組み合わせた評価関数について検討を重ね、スマートインデックスとして定式化する。

4. 研究成果

ここではスマート強安定系の構成に関する成果を報告する(1)。具体的には、従来の制御性能指標に加えて強安定率に関する指標も付加した評価関数を基にスマート強安定系を構成した数値例を示す。この例では300ステップ目以降において事故により従来法、提案法ともにフィードバック信号が0となった状況を考えている。図1、図2は従来法と提案法の出力を示している。それぞれ、破線が目標値、実線が出力である。これらの図から、雑音による影響があるものの300ステップ目までは両手法とも目標値追従を達成していることが分かる。その一方、300ステップ目以降においてフィードバック信号が0となった場合、従来法の出力は目標値から逸脱するのに対し、提案法は同定パラメータが真値に収束した場合に開ループゲインが1となるスマート強安定系であるため、目標値付近に留まり続けている。次に、図3と図4に従来法と提案法の制御入力を示す。それぞれ上の図が制御入力、中央の図がフィードフォワード信号、下の図がフィードバック信号を表している。図4が示すように、提案法のフィードバック信号の大きさはパラメータ同定値が真値に収束していくにつれほぼ0となることがわかる。また、300ステップ目以降では両手法とも事故を仮定してフィードバック信号を0にした。そのため従来法ではフィードバック信号が大きく変化し、結果として前述のように出力が目標値から逸脱する。これに対し提案法ではフィードバック信号が300ステップ目よりも前からほぼ0となっているため、事故の影響を受けず、出力は目標値付近に留まり続ける。図5と図6は従来法と提案法のパラメータ同定誤差を表しており、両手法ともパラメータ同定値が真値に収束していく様子がうかがえ、提案法では所望の制御結果が得られている。以上より、強安定率に関する指標を適切に選ぶことでスマート強安定系が構成できることを示した。しかし、ステップ信号等の外乱が印可されるとパラメータ同定に影響を与える恐れがあり、また、パラメータ同定誤差が大きいと強安定系の設計が適切になされず、所望の性質が得られない。そのため、状況に応じて同定機構を動作させるかどうかを考える必要がある。

今後はむだ時間の大きさが応答特性に及ぼす影響の考察や飽和などの特性を有する非線形系への適用について検討を行いたい。さらに予測制御法についても、予測式の立式時に強安定率に関する指標を付加する方法について検討を重ねていきたい。

<引用文献>

(1) 矢納陽, セルフチューニングコントローラによるスマート強安定系の設計, 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌), Vol.139, No.4, pp.313-317, 査読有 (2019)

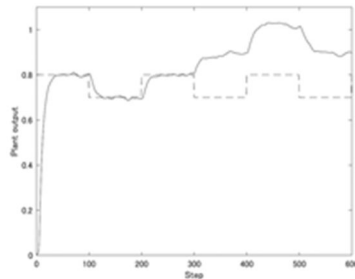


図 1

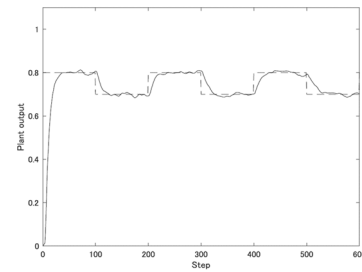


図 2

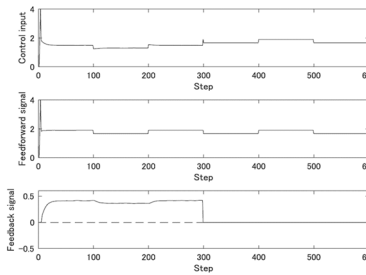


図 3

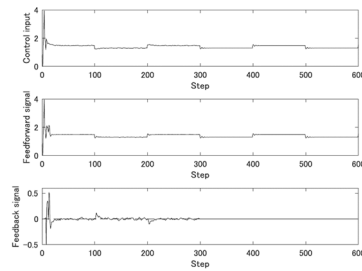


図 4

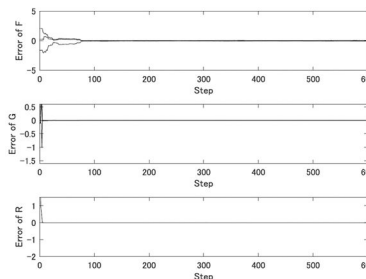


図 5

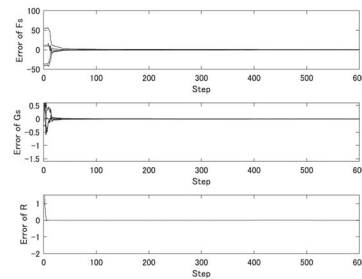


図 6

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 矢納陽	4. 巻 138
2. 論文標題 オンデマンド型フィードバック制御に基づく強安定セルフチューニングコントローラの一設計法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C（電子・情報・システム部門誌）	6. 最初と最後の頁 486～491
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1541/ieejeiss.138.486	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 矢納 陽	4. 巻 137
2. 論文標題 既約分解を用いない一般化最小分散制御則の拡張法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌. C	6. 最初と最後の頁 1134～1135
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1541/ieejeiss.137.1134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Akira Yanou, Mamoru Minami and Takayuki Matsuno	4. 巻 28
2. 論文標題 Self-tuning Generalized Minimum Variance Control Based on On-demand Type Feedback Controller	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 674-680
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Akira Yanou, Mamoru Minami and Takayuki Matsuno	4. 巻 10
2. 論文標題 On-demand Type Feedback Controller for Self-tuning Generalized Minimum Variance Control in State-space Representation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ICIC Express Letters	6. 最初と最後の頁 2695-2702
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 矢納陽, 内田茂樹, 細谷直紀, 和田克啓, 見浪護, 松野隆幸, 増井詠一郎	4. 巻 137
2. 論文標題 加熱炉からのふく射を考慮した耐火断熱れんがの熱伝導率と熱膨張率の推定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 266-272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.137.266	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 矢納陽	4. 巻 139
2. 論文標題 セルフチューニングコントローラによるスマート強安定系の設計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 313 ~ 317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 矢納陽	4. 巻 140
2. 論文標題 雑音を考慮した一般化予測制御法の提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 338 ~ 339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.140.338	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 On-Demand Type Feedback Controller by Implicit Self-Tuning Control
3. 学会等名 2018 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 On-Demand Type Feedback Controller for Self-Tuning Two-Degree-of-Freedom GPC
3. 学会等名 12th UKACC International Conference on Control (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 A Parameter Selection Method of On-demand Type Self-tuning Feedback Controller Based on State Space Approach
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 一般化予測制御則の拡張に関する一考察
3. 学会等名 スマートシステムと制御技術シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 A Consideration of Smart Strong Stability Systems Based on PID Control
3. 学会等名 The Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Yanou, M. Minami and T. Matsuno
2. 発表標題 Strong Stability System Regulating Safety for Generalized Minimum Variance Control
3. 学会等名 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies And Factory Automation (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Yanou
2. 発表標題 Study on On-Demand Type Feedback Control System under Noisy Environment
3. 学会等名 12th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 オンデマンド型フィードバック制御に基づくセルフチューニング一般化最小分散制御則のノイズ環境下における考察
3. 学会等名 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢納陽, 見浪護, 松野隆幸
2. 発表標題 安全性を規定した強安定系の応用について
3. 学会等名 第27回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 ノイズを考慮した強安定セルフチューニングコントローラの一設計法
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 スマート強安定系の検討
3. 学会等名 スマートシステムと制御技術シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 状態空間法に基づくオンデマンド型フィードバック制御のパラメータ選定法
3. 学会等名 第5回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 スマート強安定系における雑音の影響の考察
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 評価関数に着目した一般化最小分散制御則の拡張
3. 学会等名 電気学会研究会 (制御研究会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 評価関数に着目した一般化最小分散制御則の安定性に関する考察
3. 学会等名 第4回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢納陽, 内田茂樹
2. 発表標題 耐火断熱れんがのモデルを用いたファインセラミックスの熱伝導率の推定
3. 学会等名 電気学会研究会 (制御研究会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 A Study on Self-Tuning PID Control by Smart Strong Stability System
3. 学会等名 2019 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 A Study on Smart Strong Stability Systems Based on Self-Tuning PID Control
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 A Study on On-demand Type Feedback Controller Based on PID Control
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 A Study on Extension of Self-Tuning Generalized Predictive Control
3. 学会等名 2019 4th Conference on Control and Fault Tolerant Systems (SysTol) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Yanou
2. 発表標題 A Study on Generalized Predictive Control in Consideration of Noise
3. 学会等名 The 2020 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 スマート強安定系を利用したPID制御則の考察
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 スマート強安定系を利用した2次系に対するPID制御則の一設計法
3. 学会等名 2019年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢納陽
2. 発表標題 状態空間法を用いた一般化最小分散制御系の一考察
3. 学会等名 電気学会制御研究会（スマートシステムと制御技術シンポジウム2020）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----