

研究種目：若手研究（スタートアップ）
研究期間：2008～2009
課題番号：20860025
研究課題名（和文） 有限周波数特性に基づく分布定数系の統一的ロバスト制御系設計：ビヘイビアアプローチ
研究課題名（英文） A Unified Robust Control System Design Based on Finite Frequency Properties: Behavioral Approach
研究代表者
小島 千昭 (KOJIMA CHIAKI)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号：00456162

研究成果の概要（和文）：本研究課題は、ビヘイビアアプローチの消散性理論で重要となる2次微分形式に基づき遂行した。まず、分布定数系の有限周波数特性を、消散性に基づき特徴づけ、その物理的な意味を明確化した。さらに、2次元分布定数系の安定性の必要十分条件を、2次微分形式と多項式行列方程式を用いて与えた。最後に、有限周波数特性を達成するプラントの設計条件を2次微分形式に基づき導出した。なお、実験による検証は、今後の課題として残った。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we studied the research topics using quadratic differential forms (QDFs) which play an important roles in the dissipation theory based on behavioral approach. We first characterized the finite frequency properties of distributed systems based on dissipativity and clarified their physical interpretation. moreover, we have derived a necessary and sufficient condition for the stability of two-dimensional distributed systems in terms of QDFs and polynomial matrix equation. Finally, we have derived a synthesis condition of a controller which achieves finite frequency property specifications. A robust control systems design and experimental validations remained as future works.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,120,000	336,000	1,456,000
2009年度	1,040,000	312,000	1,352,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,160,000	648,000	2,808,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：統合化設計，ロバスト制御，有限周波数特性，消散性理論，ビヘイビアシステム理論，分布定数系，双対性

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景
有限周波数特性に関するロバスト制御系設計の研究は、岩崎（バージニア大学）、原（東京大学）らによって、集中定数系において一般化 KYP 補題に基づく多くの成果をあげられていた。しかし、制御系解析の観点では、有限周波数特性の消散性の観点からは、十分に精査されているとは言えなかった。また、分布定数系は一般に非因果的であるが、分布定数系の有限周波数特性の解析やロバスト制御系設計の研究は、国内外を通じて存在しなかった。さらに、分布定数系のロバスト制御系設計の統一的理論を構築し実応用までを目指す研究は、皆無であった。

2. 研究の目的

本研究課題では、以下の(1)-(3)の項目（およびそのサブテーマ）を明らかとすることを目的とした。

(1) 有限周波数特性解析

- ① 分布定数系の有限周波数特性を、(a) 消散不等式 (b) 多項式行列方程式 を用いて記述される 2 種類の条件によって、それぞれ特徴付ける。
- ② ①の特徴付けに等価な条件を、(a) (b) に等価な線形行列不等式（有限周波数 KYP 補題）によって与える。
- ③ 2 次微分形式に基づく半正定値計画問題の基礎的性質を解明する。

(2) ロバスト制御系設計

- ① 分布定数系の Lyapunov 安定性の必要十分条件を導出する。
- ② 分布定数系のロバスト制御系設計のための解析的な条件を、消散不等式を用いて与える。
- ③ 有限周波数 KYP 補題に基づくロバスト制御系設計法を確立する。

(3) 応用による検証

(2)③の有限周波数 KYP 補題を用いた分布定数系のロバスト制御系設計法を、つぎの 2 つの実験装置に適用し、その有効性を検証する。

- ① デジタル画像処理フィルタの設計。
- ② 柔軟倒立振子の制御。

3. 研究の方法

「2. 研究の目的」の各項目と対応させて、研究の方法について説明する。

- (1) ①② まず平成 20 年度に、集中定数系の有限周波数特性が、変化率に制約のあるサブシステムの消散性に等価であることを示した。本成果は SICE Annual Conference 2008 にて発表し、国際論文誌に投稿した。さらに、本成果を分布定数系へと一般化し、消散性と線形行列不等式に基づく有限周波数特性の特徴付けを、それぞれ SICE 第 37 回制御理論シンポジウムおよび SICE 第 9 回制御部門大会にて発表した。

つぎに、平成 21 年度において、分布定数系の有限周波数特性が変化率に制約のあるサブシステムの消散性に等価であることを示し、平成 20 年度の集中定数系に対する結果を一般化させた。本成果は European Control Conference 2009 にて発表した。

③ 平成 20 年度では、従来行われてきた線形行列不等式に基づく枠組みを 2 次微分形式へと展開させた。その結果、集中定数系が漸近安定ではないための必要十分条件を導出した。

さらに、平成 21 年度においては、平成 20 年度の集中定数系に対する結果を分布定数系へと一般化した。本成果は ICROS-SICE International Joint Conference 2009 にて発表した。

- (2) ① 平成 20 年度において、2 次元分布定

数系の安定性の必要十分条件を、2次微分形式と周波数依存型の多項式行列方程式を用いてそれぞれ与えた。本成果は、48th IEEE CDC-CCCなどの国際会議にて発表し、国際論文誌および図書にも採録決定となった。

② 本サブテーマでは、平成21年度において、有限周波数特性を達成するプラントの設計条件を、消散性不等式に基づいて集中定数系と分布定数系に対してそれぞれ導出した。本成果は、SICE第38回制御理論シンポジウムおよび第10回SICE制御部門大会にて発表した。また、SICE Annual Conference 2010での発表が決定となった。

③ 本サブテーマについては着手することができなかつたため、今後の課題として残った。ただし、(1)①の有限周波数KYP補題と(2)②の結果を組み合わせることによって導出可能であると考えている。

(3) ①②ともに着手することはできなかつたため、今後の課題として残った。

4. 研究成果

「2. 研究の目的」「3. 研究の方法」の各項目と対応させて、研究の成果について説明する。

(1) ①② 消散性に基づく有限周波数特性の特徴付けは、集中定数系と分布定数系の両方でこれまで消散性理論に基づいては明確化されていなかった。よって、本サブテーマの成果は、特にシステム制御の理論の観点から大きなインパクトを与えるものである。

③ 本サブテーマでは、半正定値計画問題において、従来の線形行列不等式に基づく枠組みを2次微分形式へと展開させた。この結果は新規性を有することに加えて、

ロバスト制御系設計の保守性の低減化に大きく貢献することが期待される。

(2) ① 本サブテーマの2次元分布定数系の安定性の必要十分条件は、高階の微分代数方程式によって記述されるシステムに対して与えられるものである。これまで行われてきた分布定数系の安定解析はFornasini-MachesiniモデルやRoesserモデルといった特定の状態空間モデルに対して与えられたものであった。本サブテーマで与えた安定条件はより多くのシステムに適用可能であるので、システム制御の理論と応用の両方で、大きなインパクトを与えた。

② 本サブテーマの有限周波数特性を達成するプラントの設計条件は、従来研究では線形行列不等式を用いて複雑であったため十分に扱い切れなかつた保守性を、2次微分形式を用いることによって解決した。この成果はロバスト制御系設計に大きく役立つものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Chiaki Kojima, Paolo Rapisarda, Kiyotsugu Takaba, Lyapunov stability analysis of higher-order 2-D systems, Multidimensional Systems and Signal Processing, 査読有, 2010 (掲載確定)
- ② Chiaki Kojima, Yusuke Kaizuka and Shinji Hara, Characterizations of Finite Frequency Properties Using Quadratic Differential Forms, Mathematical Engineering Technical Reports, 査読無, 2010, METR 2010-06

[学会発表] (計12件)

- ① Chiaki Kojima, Shinji Hara, Controller Synthesis for Multiple Finite Frequency Specifications: Dissipation Inequalities Approach, SICE Annual Conference 2008, 査読有, 2010 (掲載確定), 台湾・台北
- ② 小島千昭, 原辰次, Achievability

Condition for Two-Dimensional Behaviors with a Finite Frequency Specification: Dissipation Inequalities Approach, 第10回 SICE 制御部門大会, 2010年3月16日

- ③ Paolo Rapisarda, Kiyotsugu Takaba, Chiaki Kojima, Lyapunov Stability Analysis of Higher-order 2-D Systems, Combined 48th IEEE Conference on Decision and Control and 28th Chinese Control Conference, 2009年12月16日, 中華人民共和国・上海
- ④ 小島千昭, 原辰次, 有限周波数仕様を達成するコントローラ的设计-消散不等式に基づくアプローチ, SICE 第38回制御理論シンポジウム, 2009年9月14日, 大阪府大阪市
- ⑤ Chiaki Kojima, Shinji Hara, A Time Domain Characterization of Finite Frequency Properties for Multi-Dimensional Behaviors, European Control Conference 2009, 2009年8月24日, ハンガリー・ブダペスト
- ⑥ Chiaki Kojima, Semidefinite Programming Duality on n-D Behaviors, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009年8月20日, 福岡県福岡市
- ⑦ Chiaki Kojima, Paolo Rapisarda, Kiyotsugu Takaba, Lyapunov Stability Analysis of Higher-Order 2-D Systems, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, , 2009年8月20日, 福岡県福岡市
- ⑧ 小島千昭, Paolo Rapisarda, 鷹羽浄嗣, 2次差分形式による2-DシステムのLyapunov安定条件, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会, 2009年5月21日, 兵庫県神戸市
- ⑨ 小島千昭, 原辰次, N次元システムの有限周波数特性のLMIによる特徴付け, 第9回計測自動制御学会制御部門大会, 2009年3月4日, 広島県東広島市
- ⑩ Chiaki Kojima, Dual Lyapunov Stability Analysis in Behavioral Approach, Proceedings of the 47th IEEE Conference on Decision and Control, 2008年12月11日, メキシコ・カンクン
- ⑪ Chiaki Kojima and Shinji Hara, Finite Frequency Property Characterization of Two-Dimensional Behaviors, 計測自動制御学会第37回制御理論シンポジウム, 2008年8月20日, 鹿児島県霧島市
- ⑫ Yusuke Kaizuka, Chiaki Kojima, Shinji Hara, Time Domain Characterization of Finite Frequency Properties via

Behavioral Approach, SICE Annual Conference 2008, 査読有, 2008年8月21日, 東京都調布市

[図書] (計1件)

- ① Chiaki Kojima, Paolo Rapisarda, Kiyotsugu Takaba, Lyapunov Stability Analysis of Higher-Order 2-D Systems, In Perspectives in Mathematical System Theory, Control, and Signal Processing, Springer Berlin/Heidelberg, 2010, 10

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島 千昭 (KOJIMA CHIAKI)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号: 00456162

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: