

平成 22 年 6 月 11 日現在

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：20860064

研究課題名（和文） 制約を有する系に対するロバスト制御系設計法の開発とその実験的検証

研究課題名（英文） Robust control system synthesis for constrained systems and its experimental validation

研究代表者

原 尚之（HARA NAOYUKI）

大阪府立大学・工学研究科・助教

研究者番号：10508386

研究成果の概要（和文）：

現実の制御対象は、入力・出力に対する上下限の制限などの制約を有しており、制約を考慮せずに制御系設計をおこなうと制御性能の劣化や不安定化を引き起こすこともあり、制約を考慮した設計が不可欠である。本研究は、制約を有する系に対しロバスト性を考慮した制御則の開発を目的としたものである。特に、1)制御系に印加される外乱を考慮したモデル予測制御、2)閉ループ系に対する制約補償則、について研究をおこない、以下のような成果を得た。1)外乱が印加される系に対し、min-max 型の評価関数を導入し、最悪外乱を構成する方法について考察した。そして、系に課された入力制約を満たし、外乱の影響を抑制するモデル予測制御則を低次元化した最適化問題から構成する方法を導いた。さらに、入力制約に加え、状態制約を考慮するため、外乱をある有界な集合に限定し、入力・状態制約を共に満足させる制御法を明らかにした。2)既に構成された閉ループ系に対し連続時間入力信号と制御器の状態設定が出力に与える影響について考察した。そして、系に影響を与えやすい連続時間入力信号と制御器の状態量の組み合わせを明らかにし、制約を満足させる補償則を導いた。

研究成果の概要（英文）：

Real control systems have constraints such as limitations on input and output signals. It is important to take into account system constraints since a control system may be destabilized or expected performance would be lost if system constraints are neglected in control system design. This research focused on robust control system design for constrained systems, in particular, 1) model predictive control with disturbance attenuation, 2) compensation law for constrained systems, and we have the following results. 1) We first introduce a min-max type objective function for systems with additive disturbance and characterize the maximizing disturbance sequence. Based on this result, we have obtained a reduced order model predictive control with disturbance attenuation property for input constrained linear systems. We further derived an MPC for systems with both input and state constraints by assuming the bounded disturbance. 2) We have investigated the relationship between the pair of a continuous-time input signal and controller state and corresponding output for a closed-loop system. We then clarified the pairs which have dominant effect on input-output relationship of the system. A compensation law that satisfies systems constraints is obtained based on this result.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	960,000	288,000	1,248,000
2009年度	1,060,000	318,000	1,378,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,020,000	606,000	2,626,000

研究分野：制御工学

科研費の分科・細目：制御工学

キーワード：制御工学、モデル予測制御、拘束系、ロバスト性、特異値分解

1. 研究開始当初の背景

現実の制御系には、設計時に考慮すべき様々な制約が存在する。例えば、化学プラントでは、安全性の確保や収益を最大にするために、プラントの温度・圧力などを適切な範囲に保ち制御をおこなう必要がある。また、電気モータなどにも印加可能な指令電圧などに制限が設けられている。これらの制御系の制約条件を仮に考慮せずに設計をおこなうと、制御性能の劣化や最悪の場合には不安定化を引き起こすこともあり、系の制約を考慮した設計は不可欠である。また、制御系を設計する際には、モデル化できなかった要素や印加される外乱の影響を考慮に入れる必要もあり、制約の満足と同時に不確かも同時に考慮したロバストな制御系を構成する必要がある。

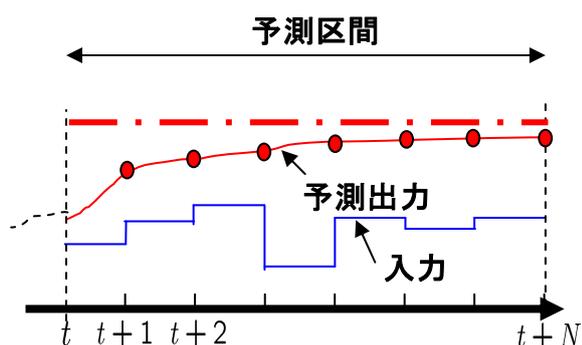


図1：モデル予測制御

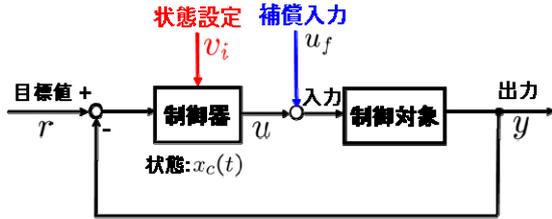
2. 研究の目的

本研究の目的は、申請者が従来従事してきた制約を有する系に対する制御法に関する研究に基づき、制約と同時に系の不確かさ・外乱に対処可能なロバストな制御系設

計法を開発することである。具体的な課題としては、1)外乱抑制を可能とする低次元化モデル予測制御、2)振動ダイナミクスを有する系に対する制約補償則の構成、に焦点を絞り、これらの解決を試みた。

3. 研究の方法

1) 外乱抑制を可能とする低次元化モデル予測制御 (図1)：はじめに、制御系の制約を考慮しない場合を考え、min-max型の評価関数を導入し、評価関数を最大化する最悪外乱列の構成法を与えた。つぎに、この最悪外乱列の特徴づけを用い、入力制約を考慮した場合について考察をおこない、閉ループ予測と補助入力を導入することにより、設計問題を最適化問題に帰着させた。また、二次形式の評価関数に関連した固有値問題に着目し、最適化変数の数を減らした最適化問題から制御則を構成する方法を導いた。2) 振動ダイナミクスを有する系に対する制約補償則の構成 (図2)：閉ループ系に印加する補助入力と制御器の状態設定に着目し、補助入力と状態設定の組み合わせと対応する出力の関係を整理した。つぎに、出力に影響を与えやすい入力と状態設定量の組み合わせの構成法を明らかにした。この結果に基づき、制約を満足させる補償則の構成法を導いた。また、閉ループ系に重み関数を導入した拡大系を考え、補償則にあらかじめ指定した信号を加える方法について検討した。



状態設定: $x_c(t_i+) = x_c(t_i) + v_i$
 状態変更量

図 2 : 補償入力と状態の同時設計

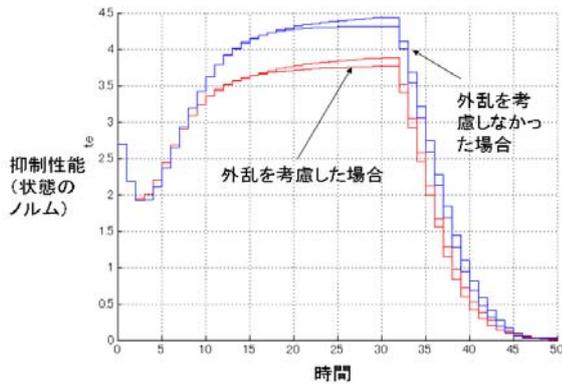


図 3 : 外乱を考慮したモデル予測制御

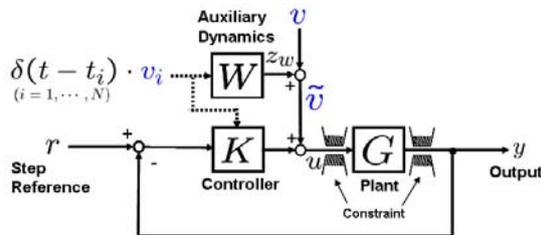


図 4 : 重みを導入した補償入力と状態の同時設計

4. 研究成果

1) 制御系に印加される外乱を考慮したモデル予測制御、2) 閉ループ系に対する制約補償則、について研究をおこない、以下のような成果を得た。1) 外乱が印加される系に対し、min-max 型の評価関数を導入し、最悪外乱を構成する方法を考察した。そして、系に課された入力制約を満たし、外乱の影響を抑制するモデル予測制御則を低次元化した最適化問題から構成する方法を導いた (図 3)。さらに、入力制約に加え、状態制約を考慮する

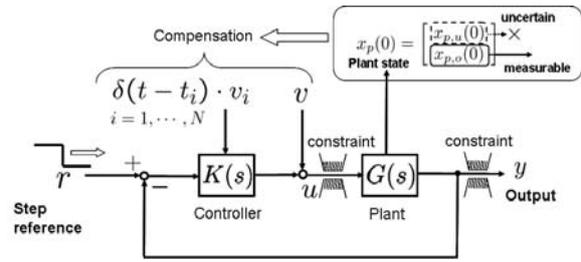


図 5 : 制御対象の初期状態の不確かさを考慮した同時設計

ため、外乱をある有界な集合に限定した場合を考え入力・状態制約を共に満足させる制御法を明らかにした。2) 既に構成された閉ループ系に対し連続時間入力信号と制御器の状態設定が出力に与える影響について考察した。そして、系に影響を与えやすい連続時間入力信号と制御器の状態量の組み合わせを明らかにした。これらの結果に基づき、制約を満足させる補償則を導いた。また、効果的な補償則を設計するための重みの導入についても検討をし、重みの種類とその効果について考察をした (図 4)。さらに、制御対象の一部分の初期状態が観測できない場合における、補償則の設計についても考察をおこなった。そして、観測できる初期状態の区分的アフィン関数により補償則を特徴づける方法を明らかにした (図 5)。これらの制御法の実験的な検証に関しては、現在も継続して研究を進めている。

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 4 件)

1. N. Hara, K. Konishi: Compensation law for constrained systems with initial state uncertainty based on piecewise affine function, Proc. of 18th Mediterranean Conference on Control and Automation, 2010 (採択決定), 査読有
2. M. Takahashi, N. Hara, H. Kokame, K. Konishi: Reduced order model predictive control for constrained linear systems with disturbance attenuation, Proc. of ICROS-SICE International Joint Conference 2009, pp. 2154-2157, 2009, 査読有
3. N. Hara, H. Kokame, K. Konishi: Compensation law for constrained

systems based on a decomposition of finite-horizon linear systems, Proc. of ICROS-SICE International Joint Conference 2009, pp.3072-3076, 2009, 査読有

4. N. Hara, A. Kojima: Constrained control based on a decomposition of finite-horizon linear systems, Proc. of the SICE annual Conference 2008, pp. 3137-3142, 2008, 査読有

〔学会発表〕(計2件)

1. 原, モデル予測制御の低次元化に関する検討—外乱抑制および入力・状態制約を考慮した場合—、平成22年電気学会全国大会, 2010年3月17日, 札幌
2. 原, 最悪外乱を考慮したモデル予測制御の低次元化に関する一検討、平成21年電気学会全国大会, 2009年3月19日, 東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 尚之 (HARA NAOYUKI)
大阪府立大学, 工学研究科, 助教
研究者番号: 10508386