



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A study of direct data-driven control and its application to automobile systems [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	矢作, 修一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14737号
Issue Date	2021-12-24
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/83883">https://hdl.handle.net/2115/83883</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Shuichi_Yahagi_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 矢作 修一

審査担当者 主査教授 梶原 逸朗  
副査教授 大橋 俊朗  
副査教授 清水 裕樹  
副査教授 山下 裕 (情報科学研究院)

### 学位論文題名

A study of direct data-driven control and its application to automobile systems

(データ駆動制御と自動車システムへの応用に関する研究)

近年, 制御対象モデルを用いずに直接的に制御系を設計するデータ駆動制御が注目されている. 特に, Virtual Reference Feedback Tuning (VRFT) や Fictitious Reference Iterative Tuning (FRIT) と呼ばれる手法は, PID 制御器等の構造が予め固定された制御器に対して, 1 回の実験から取得した制御対象の入出力データを用いて最適パラメータが得られることから, 適合工数の増加が課題となっている自動車システムとの親和性が高いといえる. 一方で, 線形システムを前提としていることや安定性が保証されていないことが理論面の課題であり, 実用面では自動車システムへの適用事例が少ないことが課題である.

本研究では, 自動車システムへの適用範囲を広げ, 閉ループ系の安定性保証や非線形システムへの対応が可能なデータ駆動制御を構築するため, 理論面では, 従来手法である VRFT/FRIT の拡張を行った. 実用面では, 自動車システムが有する課題の中で経年変化の対応が求められる自動変速機のスリップ量制御と非線形特性を有する空圧クラッチアクチュエータの位置決め制御を対象とし, データ駆動制御を用いた制御系を構築し, 実機検証を行った.

安定性を考慮したデータ駆動制御の理論構築では, 線形システムに対して有界入力有界出力安定性を保証する手法を提案した. 提案手法は, 制御器パラメータの関数である擬似参照信号を入力とし, 制御対象の応答を出力とした伝達関数を時間領域で推定することで, 極情報を保存した評価関数を導出した. これにより, 有界入力有界出力安定性が保証される. さらに, モデルマッチングを実現するために参照モデルの自動調整法を構築した. 提案手法の効果をシミュレーションおよび実験により検証した. その結果, 制御器および参照モデルのパラメータが自動調整されるとともに, 有界入力有界出力安定性を保証した制御器パラメータが得られることを確認した.

非線形システムへ対応したデータ駆動制御の理論構築では, 制御器のスパース性を考慮したゲインスケジュール PID 制御器の直接的設計法を提案した. PID 制御はゲインスケジュール制御に適した速度型 PID 制御器を用い, スケジューリング関数は多項式を用いた. さらに, 過学習の抑制に加え, コントローラの計算コストおよび ROM 容量の削減を目指し, LASSO 回帰を導入することで, スパース性を考慮した. 提案手法の有効性をシミュレーションにより確認した. その結果, 制御対象の特性を知ることなく, スパース性が高いゲインスケジュール制御器が得られることを確認した.

自動変速機のスリップ回転数制御への適用では, エンジンとクラッチの協調制御および制御器パラメータのオンライン自動調整法を構築した. 協調制御に関して, 従来手法では, 変速中に発生する

トルク変動が問題であった。提案手法では、クラッチトルクをドライバの操作量とし、スリップ量制御を実現するための制御入力をエンジントルクとすることで、スリップ量制御によるトルク変動が生じない制御構造とした。協調制御システムは、実装が容易な PID 制御器と外乱オブザーバで構成した。さらに、経年変化に対応するために、オンライン FRIT を導入した。提案法を実車試験により検証し、その結果、1 回の変速で制御パラメータがリアルタイムで最適化され、所望のスリップ回転数制御が実現された。これにより、快適な変速フィーリングが得られる。

空圧クラッチアクチュエータの位置決め制御への適用では、ゲインスケジュール制御パラメータの自動調整法を有する制御システムを構築した。制御システムは、ゲインスケジュール PD 制御やバルブの不感帯補償等から構成される。さらに、適合負荷を低減するために、データ駆動制御によるゲインスケジューラパラメータの自動調整法を構築した。実車試験により、制御対象の入出力データから直接的にゲインスケジューラのパラメータが得られることを確認した。これにより、非線形特性を有する空圧クラッチアクチュエータに対し、産業界で求められる計算負荷が小さく、適合工数が少ない制御が実現できた。

これを要するに、本研究は、自動車産業で求められるデータ駆動制御について、閉ループ系の安定性保証および制御器のスパース性を考慮したゲインスケジュール制御に関する直接的設計法を提案し、自動変速機のスリップ量制御および空圧クラッチアクチュエータの位置決め制御への適用により、それらの有効性と実用性を明らかにしたことから、データ駆動制御の適用範囲の拡大および自動車システムの開発効率/製品性能の向上に寄与すると考えられ、自動車工学分野および制御工学分野の発展に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。