慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	拡張極値制御方式の確立とエンジンパワートレインへの応用
Sub Title	Modified extremum seeking control and its application for engine power train
Author	大森, 浩充(Omori, Hiromitsu)
Publisher	
Publication year	2014
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2013.)
JaLC DOI	
Abstract	(1)エンジンシフトを含む単気筒エンジンMLDモデルをMAPLE上に作成した。(2)NN学習制御則のシミュレーションを行ったが、中間層、NNタイプを変化させても、良い制御性能を得ることができなかった。(3)切換型(ゲインスケジューリング)PID制御のシミュレーションを行った。公称的結果が得られたが、事前にスケジュール点選択と精度の良いパラメータチューニングが必要であることが判明した。(4)拡張極値制御理論(内部モデル利用、時間積分誤差利用、フィードバック可変ゲイン利用)の理論的検討を行った。(5)(4)の制御系を構成した。路面変化のある場合にでも(3)の結果よりも制動距離短縮することができた。 (1) The MLD model of the single-cylinder engine including the engine shift is constructed on MAPLE. (2) Simulated NN-Learning law is applied for the MDL model, but it was not able to get good control performance even if changed the middle class and an NN type in various ways. (3) Simulated the switching type (gain scheduling) PID control, and a result is provided an ordinary performance, but it became clear that schedule point choice and good PID parameter tuning of the precision were necessary beforehand. (4) Performed the theoretical examination of the modified extreme seeking control theory (including the internal model use, the time integral calculus error use, and the feedback variable gain use). (5) When constituted (4) with control system, and there was the road surface change, depending was able to shorten braking distance as a result in (3).
Notes	研究種目：基盤研究(C) 研究期間：2011～2013 課題番号：23560539 研究分野：工学 科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_23560539seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２６　年　　６　月　１６　日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2011～2013
課題番号：２３５６０５３９

研究課題名（和文）拡張極値制御方式の確立とエンジンパワートレインへの応用

研究課題名（英文）Modified Extremum Seeking Control and Its Application for Engine Power Train

研究代表者
大森　浩充（Ohmori, Hiromitsu）

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：９０２０３９４２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,800,000円、（間接経費）　　1,140,000円

研究成果の概要（和文）：（１）エンジンシフトを含む単気筒エンジンMLDモデルをMAPLE上に作成した．（２）NN学習制御則のシミュレーションを行ったが．中間層，NNタイプを変化させても，良い制御性能を得ることができなかった．（３）切換型（ゲインスケジューリング）PID制御のシミュレーションを行った．公称的結果が得られたが，事前にスケジュール点選択と精度の良いパラメータチューニングが必要であることが判明した．（４）拡張極値制御理論（内部モデル利用，時間積分誤差利用，フィードバック可変ゲイン利用）の理論的検討を行った．（５）（４）の制御系を構成した．路面変化のある場合にでも（３）の結果よりも制動距離短縮することができた．

研究成果の概要（英文）：(1) The MLD model of the single-cylinder engine including the engine shift is constructed on MAPLE.(2) Simulated NN-Learning law is applied for the MDL model, but it was not able to get good control performance even if changed the middle class and an NN type in various ways.(3) Simulated the switching type (gain scheduling) PID control, and a result is provided an ordinary performance, but it became clear that schedule point choice and good PID parameter tuning of the precision were necessary beforehand.(4) Performed the theoretical examination of the modified extreme seeking control theory (including the internal model use, the time integral calculus error use, and the feedback variable gain use).(5) When constituted (4) with control system, and there was the road surface change, depending was able to shorten braking distance as a result in (3).

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：制御工学　極値制御　パワートレイン

１．研究開始当初の背景

極値制御はシステムの効率や性能を絶えず最適な値に保持することを目的とした制御方式であり，目標値などで制御目的を与える制御方式と大きく異なっている．本研究では，(1)可変型内部モデルを組み込んだ極値制御方式，(2)予測制御区間を設けた時間積分評価に基づく予測型極値制御方式，の２つの理論的な方法論（以下，拡張極値制御と呼ぶ）の提案と，(3) 拡張極値制御を用いたエンジン・パワートレインにおける空燃比最適化問題に対する技術応用の確立を目指す．エンジン・パワートレインでは燃焼プロセスが極めて複雑で，精密モデルが開放環境における連続・離散ハイブリッドダイナミカルシステムとなるため，簡略化モデルに基づく制御理論や従来法の極値制御方式ではオンラインで最適な空燃比の制御を行うことが難しいという背景にある．

２．研究の目的

多くの体系化されている制御理論では，制御対象の望まれる状態が制御系を設計する段階で事前に想定できる場合を考えており，目標値あるいは規範モデルまたは評価関数という形で制御系設計に取り込んでいる．しかし，制御対象は，入力を加えたことでも変動し，開環境の影響を絶えず受けていることを考えると，制御対象の最適な状態そのものを事前に設定することは難しい．このような問題に対処するため，1922 年のフランスの Leblanc の提案からはじまる極値制御の研究がある．極値制御は，システムの効率や性能を絶えず最適な値に保持することを目的とした制御方式であり，事前に目標値の情報を必要とせず，時々刻々と変わる評価量のみの情報から，効率の極大値あるいは損失の極小値に評価量を保持する制御方式である．

本研究では，(1)可変型内部モデルを組み込んだ極値制御方式，(2)予測制御区間を設けた時間積分評価に基づく予測型極値制御方式，を有する拡張極値制御の提案と，(3)これらを用いたエンジン・パワートレインにおける空燃比最適化問題に対する技術応用の確立を目指す．

研究内容は，(1)「新たに提案する拡張極値制御方式の設計手順の確立の部分」と(2)「エンジン・パワートレイン実機制御の部分」の２つに分けることができる．両者はそれぞれ単独に行われるものではなく，それぞれの進捗状況に応じた相互検証が必要である．まず，予測型極値制御方式の設計手順の確立の部分では，ハイブリッドダイナミカルシステムの一つの表現である一般の MLD(Mixed Logical Dynamical)モデルに対する予測型極値制御方式の設計論を確立する．そこでは，一般化予測制御方式が素直な形で導入することが可能であり，近年めざましく発展を遂げている混合整数計画のオンラインソルバ（例えば ILOG 社の CPLEX ソルバ）との連立探索問題として設計手順の一般化が可能であると考えている．一方，エンジン・パワートレイン実機制御の部分では，単気筒エンジンの始動制御問題を考える．対象の実機試験の前に，数値シミュレーションのためのエンジン・パワートレインの数理モデルを構築する．

これまでの 80 年近い極値制御の歴史の中で，探索空間を１次元の値空間から因果性のある時間軸を含む関数空間に拡張した研究は応募者の知る限り存在しない．この点は，予測型極値制御方式の真に独創的な点であり特色である．本件に関する着想は一般化予測制御の考え方から発想しているが，極値制御において理論的な解析と設計方式の提案はまだ行われていない．さらに，ハイブリッドダイナミカルシステムの表現形式である MLD モデルに対して予測型極値制御方式を適用し，オンライン最適化を極値探索と連立させて駆動するという着想もこれまでに無かった点である．また，今回は摂動法を極値制御のベース方式として用いるが，スイッチング法，セルフドライビング法にも応用することが考えられ，ロバスト性，むだ時間補償，離散時間系，マルチパラメータ系への拡張も期待できる．可変型内部モデル原理については，適応サーボ問題の応用で行われているもので，この技術移転はそれほど難しくないと考えている．一方，応用面での特色と意義について述べる．自動車は平均車速が下がる程，加減速度頻度が高くなり，走行に必要なエネルギーが増大，燃費が悪化する．したがって，都市内用途の商用車にとって，高効率化のポイントはパワートレイン系の加減速度頻度の削減である．今回，定式化した単気筒エンジンの始動制御問題では，始動時の効率の最適性を保持することができるため，加減速度の頻度毎の最適化を達成することが可能であり，エネルギーフローにおける走行効率，熱効率を向上させることに寄与でき，引いては，車社会の都市内における環境保全にも貢献できるものと考えている．

３．研究の方法

可変型内部モデル原理に基づく極値制御方式の提案では，従来の適応サーボ問題の解法として知られた手法を組み合わせることにより，アルゴリズムの開発が行われる．一方で，予測型極値制御方式の提案は，モデルと積分区間（過去，現在，未来（予測）），それぞれの順問題と逆問題を組み合わせる必要があり，数値シミュレーションと理論構築の両方を具体的に試行していく必要がある．初年度，購入予定の単気筒エンジン・パワートレインの実機試験機と既存の堅牢パソコンとを組み合わせて，制御ループを確立し，同時に数値シミュレーションに必要なモデルパラメータの獲得をおこない，次年度以降の拡張極値制御の応用が可能となるための実験環境を整える．2 年目と 3 年目には，可変

型内部モデル原理に基づく極値制御と予測型極値制御の実機応用を行う．最終的には，可変性と予測性を兼ね備えた極値制御アルゴリズムの開発が必要であり，それによりはじめて，本来の目的である，環境条件に適応した空燃比の最適制御が可能となる．

４．研究成果

（１）シフトを含む単気筒エンジンの MLD モデルを MAPLE 上に作成した．（２）NN 学習制御則のシミュレーションを行ったが．中間層，NN タイプをいろいろと変えても，良い制御性能を得ることができなかった．（３）切換型（ゲインスケジューリング）PID 制御のシミュレーションを行った．公称的結果が得られたが，事前にスケジュール点選択と精度の良いパラメータチューニングが必要であることが判明した．（４）拡張極値制御理論（内部モデル利用，時間積分誤差利用，フィードバック可変ゲイン利用）の理論的検討を行った．（５）（４）の制御系を構成した．路面変化のある場合にでも（３）の結果よりも制動距離短縮することができた．

ここでは，操作量をスロットル開度，気筒のポート燃料噴射量，気筒の点火時期とし，エンジン速度，スロットル通過空気流量を観測量かつ制御量とした．さらに，達成すべき制御仕様を次の５つとする，(S1)閉ループ安定性確保，(S2)外乱に対するロバスト性確保，(S3)モデル不確かさに対するロバスト安定性確保，(S4)サイクル平均エンジン速度が 650[rpm]に漸近すること，および，(T1)エンジン速度がエンジン始動後 1.5 秒以内に 650±50[rpm]に到達すること，(T2)始動後に発生するエンジン速度のオーバーシュートを低減すること，(T3)エンジン速度の一時的上昇・下降に対応して，エンジン速度が速やかに 650[rpm]に復帰すること，(T4)操作量はチャタリングを起こしてはならない，(T5)燃料噴射量の積算値を最小とする燃費の良い状態に状態がホールドされること．この設計仕様を満足する制御システムを拡張極値制御を利用し，設定パラメータを効果的に決定することで達成した．

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 13 件）すべて査読有り

①Maiku Ogawa and Hiromitsu Ohmori, FES frequency control using NARX-NN and PID Gain Scheduling Controller , 2013 International Conference on Biological, Medical and Chemical Engineering (BMCE2013), Hong Kong, December 1-2, 2013.

②Tsuyoshi Shiota and Hiromitsu Ohmori, Design of Adaptive I-PD Control System with Variable Reference Model, The proceedings of 2013 Australian Control Conference, AUCC 2013, Perth, Western Australia, November 4-5, 2013.

③Takahiro Takamatsu and Hiromitsu Ohmori, State-Feedback Control System using Adaptive Observer for Continuous-time Linear Fractional Calculus System, The SICE Annual Conference 2013, Nagoya University, Nagoya, Japan, September 17, 2013. ISBN 978-4-9077644-42-5

④Tsuyoshi Shiota and Hiromitsu Ohmori, Adaptive I-PD Control Systems using Delta Operator, The SICE Annual Conference 2013, Nagoya University, Nagoya, Japan, September 17, 2013. ISBN 978-4-9077644-42-5

⑤ Maiku Ogawa and Hiromitsu Ohmori, "Comparison between Pulse Frequency and Width Control Using Fatigue Cost Function, The SICE Annual Conference 2013, Nagoya University, Nagoya, Japan, September 16, 2013. ISBN 978-4-9077644-42-5

⑥ Yuji Ikutake and Hiromitsu Ohmori, Financial Time Series Analysis Using FWNN with Robust Training Algorithm, The SICE Annual Conference 2013, Nagoya University, Nagoya, Japan, September 16, 2013. ISBN 978-4-9077644-42-5

⑦Takahiro Takamatsu and Hiromitsu Ohmori, Design of Adaptive Systems by Using Fractional Calculus System's Approach, The 32nd Chinese Control Conference, Xi'an, China, 6 July, 2013.

⑧ Tsuyoshi SHIOTA, Hiromitsu OHMORI, "Design of Adaptive I-PD Control for Systems including Time Lag," IFAC Conference on Advances in PID Control(PID'12), Brescia, Italy, 2012-03.

⑨Kentaro YAJIMA and Hiromitsu OHMORI, "Analysis of Discrete-Time Plug-In Adaptive Control Systems Using Frequency Estimation," Society of Instrument and Control Engineers(SICE) Annual Conference 2011, pp.2910/2914, September 13-18, 2011, Waseda University, Tokyo, Japan, 2011-09.

⑩Keisuke Funaki and Hiromitsu Ohmori, "Optimal Portfolio Management by Using Extremum Seeking Control," Society of Instrument and Control Engineers(SICE) Annual Conference 2011, pp.2596/2601,

September 13-18, 2011, Waseda University, Tokyo, Japan, 2011-09.

⑪Yuta Kochiyama and Hiromitsu Ohmori, “Design of Model Reference Adaptive Control Systems Basedon Virtual Error Method,” Society of Instrument and Control Engineers(SICE) Annual Conference 2011, pp.1710/1714 , September 13-18, 2011, Waseda University, Tokyo, Japan, 2011-09.

⑫Takanobu Shida and Hiromitsu Ohmori. “Robustness of Consensus Algorithm for Communication Delays and Switching Topology,” Society of Instrument and Control Engineers (SICE) Annual Conference 2011, pp.1373/1379, September 13-18, 2011, Waseda University, Tokyo, Japan, 2011-09.

⑬Takanobu SHIDA, Gen LI, Hiromitsu OHMORI and Akira SANO, "Consensus Problems in Continuous-Time with Time-Varying Communication Delays," Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano, Italy, August 28 - September 2, 2011-08.

〔学会発表〕(計 12 件)

①李根, 志田宇信, 大森浩充、非同一ノードと結合むだ時間を有する複雑動的ネットワークの大域的同期、計測自動制御学会 制御部門 第 3 回プラントモデリング,第 12 回適応学習制御 合同シンポジウム, 2012 年 4 月 12 日（木）～4 月 13 日（金）, 東京工業大学 大岡山キャンパス、2012-04.

②高松尚宏, 大森浩充, 分数階積分システムを用いた適応制御器,平成 26 年度電気学会全国大会, 愛媛大学, 2014 年 3 月 18 日.

③塩田強, 大森浩充, ２自由度柔軟リンクロボットの適応 I-PD 制御に関する一考察, 第 1 回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 電気通信大学, 調布, 2014 年 3 月 6 日.

④大森浩充, 極値探査法の理論と応用, 電気学会　電子・情報・システム部門（C 部門）制御研究会, 特別講演, 首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス, 秋葉原ダイビル 12 階 1202 室(会議室 C), 2013 年 12 月 2 日(火) 16:10～17:10

⑤塩田強, 大森浩充, 固定補償要素を用いた適応 I-PD 制御の一設計, 第 56 回自動制御連合講演会, 新潟大学, 2013 年 11 月 16 日.

⑥塩田強, 大森浩充, 可変規範モデルを用いた適応 I-PD 制御系の設計, 電気学会, 第 27 回産業応用部門大会, 山口大学吉田キャンパス, 2013 年 8 月

⑦塩田強, 大森浩充、多入出力系に対する拡張誤差法を用いた適応 I-PD 制御系の設計、計測自動制御学会 制御部門 第 3 回プラントモデリング,第 12 回適応学習制御 合同シンポジウム, 2012 年 4 月 12 日（木）～4 月 13 日（金）, 東京工業大学 大岡山キャンパス、2012-04.

⑧塩田強, 大森浩充、“多入出力系に対する適応 I-PD 制御系の設計”、電気学会　D 部門産業計測制御研究会、IIC-12-090、テーマ「産業計測制御一般」、横浜国立大学、2012-03.

⑨志田宇信、大森浩充、“リーダーレスマルチエージェントシステムの状態変数に対する適応合意形成アルゴリズム”、第 12 回計測自動制御学会制御部門大会、適応アプローチによるシステム制御オーガナイズドセッション、奈良県文化会館、2012-03.

⑩澤井航遥、高松尚宏、大森浩充、“分数階積分システムを用いた適応制御則の提案”、平成 24 年電気学会全国大会、広島工業大学五日市キャンパス、3-080, 2012-03.

⑪大森浩充、適応制御システムにおける適応ループの設計法、上智大学特別講演会、上智大学 2 号館 510 号室、2012 年 1 月 24 日、2012-01.

⑫舟木慧介、大森浩充、“離散時間極値制御を利用したポートフォリオ最適化、”第 54 回自動制御連合講演会、豊橋技術科学大学（愛知県豊橋市）2011-11.

〔図書〕(計１件)

大森, 第 6 章吸気バルブリフト量に着目したエンジン制御, 自動車エンジンのモデリングと制御, pp.120-150, コロナ社, 2011

〔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
http://www.contr.sd.keio.ac.jp/

６．研究組織
(1)研究代表者
大森 浩充(OHMORI, Hiromitsu)
慶應義塾大学理工学部・教授
研究者番号：９０２０３９４２

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし