

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560473

研究課題名（和文） モデルベース制御のためのシステム同定に関する研究

研究課題名（英文） A study on system identification for model-based control

研究代表者

足立 修一（ADACHI SHUICHI）

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：40222624

研究成果の概要（和文）：モデルベース制御を行うために必要な制御対象の数学モデルを構築する方法の一つであるシステム同定理論の実用化に関する基礎検討を行った。特に、システム同定入力の与え方、入出力データの計測法、確率的雑音と確定的誤差への対処、対象がおかれている環境の変化への対処などに対する理論検討を行った。そして、制御理論の産業応用問題（たとえば、自動車、精密機器、航空・宇宙、ロボット、医用機器など）におけるシステム同定の適用例を通して、検討してきたシステム同定理論の検証を行った。

研究成果の概要（英文）：Practical application of system identification theory which is a popular model building method of a plant, for model-based control has been studied. Especially, identification input selection, measurement method of input-output data of the plant, treatment of stochastic noise and deterministic error, and tracking of environmental change around the plant, were studied. Moreover, industrial application problems of system identification theory, for example, automobiles, precision instruments, aerospace, robotics, and medical instruments, were carried out in order to examine the effectiveness of the proposed methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：制御理論

## 1. 研究開始当初の背景

モデルベース開発（Model-Based Development: MBD）が自動車産業を中心に広く普及し始めたことに呼応して、モデルベース制御（Model-Based Control: MBC）に対

する関心が理論面と応用面の双方において高まっていた。MBC がうまく動作するかどうかは、その名称から明らかのように利用する制御対象のモデルの精度に大きく依存する。制御対象のモデリング法は、対象の物理

法則に基づく第一原理モデリングと、入出力データに基づく実験的な方法であるシステム同定に大別できる。特に、近年のIT技術の発展に伴い、大量データを計測、通信、保存することが可能になり、データに基づくモデリング法であるシステム同定の重要性が認識されてきた。線形システム同定理論を中心にシステム同定の理論的な展開がなされてきたが、実システムに適用するための実用的な検討はまだ十分とは言えないのが現状であり、その検討は行う必要が増していた。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、モデルベース制御のための実用的なシステム同定法の確立に向けた基礎理論研究を行うことを目的とした。

(2) 理論研究のみならず、自動車、航空宇宙などをはじめとするさまざまな産業応用分野におけるシステム同定理論の実用化検討を通して、システム同定理論の実用化に対する一般的な問題設定をその処方箋を与えることを目的とした。

## 3. 研究の方法

実際にシステム同定を行う場合、重要となる4つの課題、

(1) システム同定入力：入力の選定問題、入力のPE(持続的励振)性が不足した場合の対処、非定常信号への対処、低SN比データへの対処、閉ループデータへの対処など

(2) 入出力データの計測法：非線形センサ、低分解能センサなどへの対処

(3) 確率的・確定的雑音への対処 → モデル単純化の問題

(4) 環境の変化への対処

について、本研究ではシステム同定実験から得られた実データに基づいて検討を行う。

これらについては、システム同定に関する理論研究としてこれまで扱われてきたが、本研究では実システムへシステム同定理論を適用する立場から検討する。

具体的には、つぎのような同定対象を用いる。

- (1) ディーゼルエンジンの吸気制御システム (自動車メーカー)
- (2) 複写機のトナー補給制御システム (精密機器メーカー)
- (3) タイヤ内圧モデル (タイヤメーカー)
- (4) 超音波診断装置 (医用機器メーカー)
- (5) ロケットの航法システム (宇宙産業)

(6) 音響システム (放送関係の研究所)

また、研究分担者の平田光男准教授(宇都宮大学)とともに、具体的にはハードディスク装置のようなメカニカルシステムのシステム同定実験も計画する。

## 4. 研究成果

(1) 実用化に向けたシステム同定理論の研究  
具体的には、

- ① ソフト不感損失関数を用いたサポートベクター回帰による非線形システムの同定
- ② 部分空間法による多変数システム同定
- ③ 放射状基底関数を用いたJIT (Just-In-Time) モデリング
- ④ MCMC (Markov Chain Monte Carlo) 法によるベイズ推定

などに関する理論研究を行い、非線形システムに対するいくつかの新しいシステム同定法を提案した。

(2) システム同定理論の産業応用研究として、いくつかの企業との共同研究を通してシステム同定実験を行った。具体的には、

- ① エンジン制御系の非線形システム同定 (自動車メーカー)
- ② 複写機のトナー補給制御系 (精密機器メーカー)
- ③ ドプラ型超音波診断装置 (医用機器メーカー)
- ④ ロケットの航法システム (宇宙関連メーカー)
- ⑤ 頭部伝達関数の同定 (音響システム) などでシステム同定、パラメータ推定・状態推定を行い、システム同定理論を実システムに適用するためのさまざまなノウハウの取得を行った。

(3) この研究で得られた知見を図書

- ① 足立修一, 丸田一郎: カルマンフィルタの基礎, 東京電機大学出版局 (2012.9 発行予定)

にまとめた。

## 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7件)

- ① 竹中裕司, 足立修一: 最小二乗法による多入力システム同定のための同定入力の生成法, 計測自動制御学会論文集, Vol.47, No.6, pp.291 - 293 (2011.6)

- ② M. Hirata, S. Noguchi, and S. Adachi: Identification of a Mechanical Hybrid System Switched by the Absolute Value of Velocity or Displacement, Electronics and Communications in Japan, Vol.94, No.8, pp.65-72 (2011)
- ③ 足立修一: プラントモデリングにおけるシステム同定の役割, 計測と制御, Vol.49, pp.433-438 (2010)
- ④ M. Hirata, Y. Hashimoto, S. Noguchi and S. Adachi: A hybrid modeling method for mechanical systems, Mechatronics, Vol.20, pp.59-66 (2010)
- ⑤ 平田光男, 江田明浩, 古屋賢一, 児島 晃, 増田士朗, 浅野一哉: コイラー巻き取り装置のモデリングと制御, 鉄と鋼, Vol.96, No.7, pp.451-458 (2010)
- ⑥ 大明準治, 足立修一: シリアル 2 リンク 2 慣性系の非干渉化同定 - 閉ループ要素の導入と同定入力の振幅設定変更に対する精度評価 -, 電気学会論文誌 D, Vol.129, No.12, pp.1169 - 1177 (2009.12)
- ⑦ M. Hirata, and Takahiro Kidokoro: Servo Performance Enhancement of Motion System via a Quantization Error Estimation Method - Introduction to Nanoscale Servo Control, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.56, No.10, pp.3817-3824 (2009)

[学会発表] (計 2 1 件)

- ① 徳住ゆりか, 石川健太郎, 丸田一郎, 足立修一, 松井健太郎, 安藤彰男: 予測誤差法を用いた頭部伝達関数の三次元同時推定, SICE 第 12 回制御部門大会, 奈良県文化会館 (2012.3.15)
- ② 大明準治, 足立修一: シリアル 2 リンク 2 慣性系の振動抑制制御, SICE 第 12 回制御部門大会, 奈良県文化会館 (2012.3.14)
- ③ 木下俊弘, 伊藤大樹, 足立修一, 瀬川泰伸: MEMS センサを用いたロケット用低コスト航法装置の誤差に関する一考察, 第 54 回自動制御連合講演会, 豊橋技術科学大学 (2011.11.20)
- ④ 伊藤大樹, 木下俊弘, 足立修一, 瀬川泰伸: 複合航法システムのための GPS 誤差
- モデルに関する一考察, 第 54 回自動制御連合講演会, 豊橋技術科学大学 (2011.11.20)
- ⑤ 石川健太郎, 丸田一郎, 足立修一: L1 最適化を用いた循環構造を有するシステムのモデリング, 第 54 回自動制御連合講演会, 豊橋技術科学大学 (2011.11.19)
- ⑥ 大明準治, 足立修一: 弾性関節を持つ垂直多関節ロボットのためのシリアル 2 リンク 3 慣性系の同定, SICE 第 40 回制御理論シンポジウム, pp.51-56, ホテルコスモスクエア 国際交流センター (2011.9.26)
- ⑦ 徳住ゆりか, 竹中裕司, 足立修一, 松井健太郎, 安藤彰男: 予測誤差法による頭部伝達関数の多方向同時推定, 日本音響学会聴覚研究会資料, Vol.41, No.6, H-2011-78, pp.431 - 436 電子情報通信学会 技術報告, EA2011-59, 東北大学 電気通信研究所 (2011.8.10)
- ⑧ 城殿敦嗣, 東條芳明, 等々力圭史, 足立修一: 放射状量子化に基づく Just-In-Time 法による非線形システムのモデリング, pp.573-574, SCI'11, 大阪大学 (2011.5.19)
- ⑨ 大明準治, 足立修一: 非干渉化同定法に基づく垂直多関節ロボットのグレーボックスモデリング, SICE 第 11 回制御部門大会, 琉球大学 (2011.3.16)
- ⑩ 竹中裕司, 徳住ゆりか, 足立修一, 松井健太郎, 安藤彰男: システム同定理論を用いた頭部伝達関数の多方向同時推定, 日本音響学会 2011 年春季研究発表会, 早稲田大学 (2011.3.11)
- ⑪ 大甲真嗣, 等々力圭史, 足立修一: ソフト不感損失関数を用いたサポートベクター回帰による非線形システム同定法, 第 53 回自動制御連合講演会, 高知 (2010.11.4)
- ⑫ 竹中裕司, 足立修一, 松井健太郎, 安藤彰男: 部分空間法による頭部伝達関数の推定, 第 53 回自動制御連合講演会, 高知 (2010.11.4)
- ⑬ 大明準治, 足立修一: シリアル 2 リンク 2 慣性系の非干渉化同定法 - 非線形干渉トルク計算に用いる慣性パラメータの同時推定 -, SICE 第 39 回制御理論シンポジウム, 大阪 (2010.9.29)

- ⑭ 式守 崇, 足立修一 : 移動ホライズン推定を用いた部分空間法による異常検出法, SICE 第 39 回制御理論シンポジウム, 大阪 (2010.9.29)
- ⑮ 大室 篤, 城殿敦嗣, 足立修一 : MCMC 法による DD アームの基底パラメータのベイズ推定, SCI'10, 京都 (2010.5.21)
- ⑯ 平尾朋子, 式守 崇, 足立修一 : 分散不均一性を考慮した部分空間法による時系列データからの共振周波数推定, SCI'10, 京都 (2010.5.20)
- ⑰ A.Kidono and S.Adachi : Radial quantization method for Just-In-Time approach, SICE 2010 Annual Conference, Taipei, Taiwan (2010.8.21)
- ⑱ 大明準治, 足立修一 : ロボット運動制御のための 2 リンク 2 慣性系の非干渉化同定法, SICE 第 10 回制御部門大会, 熊本大学 (2010.3.18)
- ⑲ 室井秀夫, 足立修一 : 局所線形 PLS 法による非線形システム同定法, SICE 第 10 回制御部門大会, 熊本大学 (2010.3.18)
- ⑳ 大室 篤, 城殿敦嗣, 大明準治, 足立修一 : 視覚センサを用いた DD アームによる倒立振子の制御, SICE 第 26 回センシングフォーラム, pp.265 - 268, 東工大 (2009.9.29)
- ㉑ 大明準治, 足立修一 : シリアル 2 リンク 2 慣性系における非線形関節剛性の動的推定 — 線形同定アプローチと静的検証 —, SICE 第 38 回制御理論シンポジウム, pp.247 - 250, 大阪 (2009.9.15)

[図書] (計 4 件)

- ① 足立修一, 丸田一郎 : カルマンフィルタの基礎, 東京電機大学出版局 (2012.9 発行予定)
- ② T. Yamaguchi, M. Hirata, C. K. Pang: High-Speed Precision Motion Control, CRC Press (2011)
- ③ H.Takanashi and S.Adachi : Graphical User Interface for System Identification Toolbox in MATLAB, User Interfaces, edited by Rita Matrai, IN-TECH (2010.5)
- ④ 足立修一 : システム同定の基礎, 東京電機大学出版局 (2009.9.10)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

足立 修一 (ADACHI SHUICHI)  
慶應義塾大学・理工学部・教授  
研究者番号 : 40222624

### (2)研究分担者

平田 光男 (HIRATA MITSUO)  
宇都宮大学・工学研究科・准教授  
研究者番号 : 50282447

### (3)連携研究者

該当なし