

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360183

研究課題名(和文)モデル・制御・性能のトリプレット構造の解明によるJIT適応型内部モデル制御の構築

研究課題名(英文)Construction of JIT adaptive internal model control by unraveling the triplet structure of the model, control, and performance

研究代表者

山本 茂 (Yamamoto, Shigeru)

金沢大学・電子情報学系・教授

研究者番号：70220465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円

研究成果の概要(和文)：フィードバック制御系の適切な制御性能を得るための制御器の実時間最適化が容易にできる手法の開拓を行った。特に対象の数式モデルも同時に得ることのできる内部モデル制御系の構成法、データを活用するジャストインタイム制御法、閉ループ同定法などを開発した。有効性の確認は数値シミュレーションだけでなく、空気圧人工筋肉、小型無人ヘリコプタ、カメラ-プロジェクタ画像処理などの実験を行って確認できた。

研究成果の概要(英文)：We have investigated a method which enables us to real-time optimize feedback controllers obtaining appropriate control performance. In particular, we have developed a design methodology for an internal model control system which gives us a mathematical model of a control objective simultaneously, just-in-time control utilizing data in feedback systems, and closed loop identification. We also evaluated the effectiveness of the developed methods by experiments for the pneumatic artificial muscles, a small-sized unmanned helicopter, and camera-projector image processing together with numerical simulations.

研究分野：制御工学

キーワード：制御理論 制御系設計 内部モデル制御 Just-in-time (JIT) モデリング

## 1. 研究開始当初の背景

制御系の設計・保守を省力化する閉ループ系のオートチューニングは制御工学における永遠、究極のテーマであり、古くから様々なアプローチで研究されてきた。研究代表者らは、観測データをデータベースに逐次記録し、必要になった時に最も関係するデータを検索抽出して制御やチューニングに利用する JIT (Just-In-Time) 手法や一回の閉ループ実験データから仮想参照入力を計算機内で生成し制御器パラメータを調整する FRIT (Fictitious Reference Iterative Tuning) 手法を開発してきた。

上記の研究成果は、制御結果のデータに基づいて制御器調整を行うダイレクトチューニング法で、制御対象のモデルを取得する段階をスキップすることによる省力化が図れるメリットがある。ところが、モデルを取得しない方法では制御対象の動特性が見えず、対象のモデルも同時に同程度のコストで取得できる方法が望ましい。一方、内部モデル制御(IMC, Internal Model Control)は、「モデル-制御-目標伝達関数」の構造を閉ループに内在させる方法として知られている。研究代表者らはこの構造に着目し、内部モデル制御の調整に FRIT 法を適用して、「所望の閉ループ特性」を達成する「制御器」とその制御のための「内部モデル」を同時に獲得できる手法を考案した。この手法では、制御対象の完全な同定モデルが得られるわけではなく、所望の閉ループ特性を達成する制御器の設計のためだけに必要なモデルが同定できたと言ってよいが、内部モデル制御に内在する閉ループ調整の構造をさらに調べることで、同定精度の限界や制御性能の限界などが明らかにできると考えられた。

## 2. 研究の目的

閉ループ観測データから所望の閉ループ性能を達成する制御器と対象の数式モデルを同時に求める問題を解き、「モデル-制御-閉ループ性能」の相互依存性であるトリプレット構造の理論的解析を行うと同時に、外部環境や対象の変化に応じて閉ループ系の自動調整が可能な適応型の制御系を構築することを目的とする。

具体的には次の課題に取り組み研究を実施した。

- (1) データ駆動型内部モデル制御によるモデルと制御器の同時獲得法の拡張と理論解析。
- (2) ジャストインタイム法を用いた内部モデル制御。
- (3) 極値探索による閉ループ系の実時間最適化。
- (4) ジャストインタイム予測制御法の簡略化。
- (5) 制御器と閉ループ制御性能の同時チューニング。
- (6) データ駆動チューニングによるモデル

と制御器の同時獲得法の状態空間アプローチ。

- (7) 閉ループ同定法の開発。

- (8) 適応モデル予測制御系の構成法。

## 3. 研究の方法

研究代表者と研究分担者の各人がこれまでの研究成果を発展させるように理論的考察と数値シミュレーションおよび検証実験を進め、問題の解決に取り組んだ。その際に得られた成果をさらに発展させるよう理論的考察、数値シミュレーション、検証実験を繰り返す形で研究を実施した。研究グループが金沢大学と大阪工業大学に分かれているが、研究打ち合わせなど相互に連絡連携を図りながら進めた。

## 4. 研究成果

(1) データ駆動型内部モデル制御によるモデルと制御器の同時獲得法の拡張と理論解析

内部モデル制御器にある特殊な構造を持たせることで、データ駆動制御によるモデルの精度と制御器の性能を同時に改善する方法を拡張し、その理論解析を行った。対象を非最小位相系、むだ時間系、出力側にむだ時間をもつ多入出力むだ時間系、Hammerstein タイプやラゲールネットワークで表現できる非線形系に拡張し〔学会発表 3, 26〕、同時獲得の方法論の構築を行った。

制御器の構成を自由度系に拡張し、制御器の中に対象のモデルと制御仕様を適切に実装することで、同時獲得を可能にしている。線形時不変の場合には、制御仕様に対象のむだ時間や非最小位相特性などの性能限界をパラメータ表現した形で取り入れることで、モデルと制御器の同時獲得を可能にすることができた。非線形系に対しては、理論解析にはまだ改善の余地はあるものの、空気圧人工筋肉の制御実験を通じて、提案する内部モデル制御モデルと制御の同時改善が可能になることが確認された。

(2) ジャストインタイム法を用いた内部モデル制御

ジャストインタイム法を用いた内部モデル制御の現実のシステムへの応用を検討する中で、レンズ加工機では内部モデルを利用した制振制御器の実装に、カメラプロジェクトを用いた画像処理系では、モデル予測制御の機構を内部モデル制御系に等価変換してむだ時間を補償する制御系を構築することにそれぞれ成功した。いずれの実装例においてもモデルの良し悪しが制御性能に直結する適応型内部モデル制御系が構成された。したがって、ジャストインタイム法のようなデータ駆動型の適応パラメータ調整法が利用可能な制

御系の実例を手に入れることが出来たと考えられる。

### (3) 極値探索による閉ループ系の実時間最適化

フィードバック制御系に摂動信号を与えて、評価関数の最適化を実時間で実行する極値探索法を援用し、制御対象の入力部の不感帯の影響を低減する非線形補償の手法を開発した。車輪型ロボットの安定化制御に適用し、数値シミュレーションで効果を確認した〔雑誌論文1〕〔学会発表12〕。

### (4) ジャストインタイム予測制御法の簡略化

数式モデルの代わりに蓄えられた過去の制御データを用いる予測制御法の一つであるジャストインタイム予測制御法は、予測のための線形回帰が複雑であった〔学会発表43〕。それに代わる簡略化アルゴリズムを導出するため、予測のための線形回帰を線形方程式の求解問題に帰着して、最小ノルム解〔学会発表14〕とL1最適解〔学会発表1〕を利用する手法を開発した。

### (5) 制御器と閉ループ制御性能の同時チューニング

データ駆動型閉ループ調整では、所望の閉ループ特性を事前に伝達関数として与える。しかし、その閉ループ特性は実現可能であるかは制御対象に依存する。この課題では、閉ループ実験データを用いて、PID制御器のチューニングを行うと同時に、所望の特性を表す伝達関数もチューニングを行って、当初の所望の特性に近づける制御器パラメータを得る手法を開発した〔学会発表33〕。

### (6) データ駆動チューニングによるモデルと制御器の同時獲得法の状態空間アプローチ

データ駆動チューニングはこれまで伝達関数ベースで行われている。この課題では、対象の状態が観測出来る場合にそのデータから直接極配置ゲインと対象の数式モデルを同時に求めるアルゴリズムを導出した〔学会発表2〕。この結果は、データ駆動チューニングの状態空間アプローチの新たな可能性を示唆するものである。

### (7) 閉ループ同定法の開発

不安定多入力多出力系である小型無人ヘリコプタを対象とした閉ループ同定実験より得られた6自由度モデルを用いて最適レギュレータによる自律飛行制御系を設計し、モデルと制御器パラメータと達成可能な制御性能の関係について調査した。その際、モデルに積分要素が含まれており、積分要素の僅かな推定誤差がモデルによる出力予測に顕著な影響を与えることが

観測された。その問題解決に関して、モデル構造に積分要素が含まれることを先見情報として用いるグレーボックスモデリングに関する知見が同定実験を通して得られた。また、MOESP型閉ループ部分空間同定法に由来する監視対象の動特性変化を検出するための統計学的検定論に基づくオンライン変化検出法を開発した。

### (8) 適応モデル予測制御系の構成法

モデル予測制御で用いる対象の数式モデルを逐次更新する方法を考察し〔学会発表4〕、非線形制御対象に対し、ボルテラ級数展開型非線形ARXモデルを用いた場合、モデル同定にL1最適化を用いることが有効であることを示した〔学会発表5〕。

## 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) Dessy Novita and Shigeru Yamamoto, Extremum Seeking for Dead-Zone Compensation and Its Application to a Two-Wheeled Robot, Journal of Automation and Control Engineering, Vol. 3, No. 4, pp. 265-269, 2015. DOI:10.12720/joace.3.4.265-269 (査読有)
- 2) 奥谷明大, 金子 修, 山本 茂, FRITを用いた多入出力むだ時間系に対するスミス補償器のチューニング - 出力にむだ時間を持つ場合, システム制御情報学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 58-65, 2015. (査読有)
- 3) Osamu Kaneko, Yusuke Wadagaki, Shigeki Yoshitake, and Shigeru Yamamoto, FRIT for Non-Minimum Phase Systems in the 2DOF Control Architecture: Simultaneous Attainment of Controllers and Models, SICE Journal of Control, Measurement and System Integration, Vol.7, No. 1, pp. 35-40, 2014. DOI: 10.9746/jcmsi.7.35 (査読有)
- 4) Hien Thi Nguyen, Osamu Kaneko, and Shigeru Yamamoto, Fictitious Reference Iterative Tuning to Modified IMC for Unstable Plants, SICE Journal of Control, Measurement and System Integration, Vol. 6, No. 5, pp. 345-352, 2013. DOI:10.9746/jcmsi.6.345 (査読有)
- 5) Hien Thi Nguyen, Osamu Kaneko, and Shigeru Yamamoto, Fictitious Reference Iterative Tuning of Internal Model Controllers for Non-Minimum Phase Systems: A Laguerre Expansion Approach, SICE Journal of Control, Measurement and System Integration, Vol. 6, No. 1, pp.38-44, 2013. DOI:10.9746/jcmsi.6.38

(査読有)

- 6) 松葉一孝, 生田 俊, 奥 宏史, 3自由度運動を行う小型無人ヘリコプタの閉ループ部分空間同定によるモデリングとモデルベース飛行制御, 日本機械学会論文集C編, Vol. 78, No. 792, pp. 2797-2807, 2012. DOI: 10.1299/kikaic.78.2797 (査読有)
- 7) Osamu Kaneko, Hien Thi Nguyen, Yusuke Wadagaki, and Shigeru Yamamoto, Fictitious Reference Iterative Tuning for Non-minimum Phase Systems in the IMC Architecture: Simultaneous Attainment of Controllers and Models, SICE Journal of Control, Measurement and System Integration, Vol. 5, No. 2, pp. 101-108, 2012. DOI:10.9746/jcmsi.5.101 (査読有)

[学会発表](計50件)

- 1) Shigeru Yamamoto, A Model-Free Predictive Control Method by  $l_1$ -Minimization, The 10th Asian Control Conference 2015 (ASCC 2015), 2015年6月2日, Kota Kinabalu (Malaysia)
- 2) 山本 茂, 岡野祐貴, 金子 修, 状態観測値を用いた極配置法, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会2015年5月21日, 中央電気倶楽部(大阪府大阪市)
- 3) 浅井恭平, 山本 茂, ラゲールネットワークを用いた非線形システムのオブザーバース制御, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会, 2015年5月20日, 中央電気倶楽部(大阪府大阪市)
- 4) 谷原 渉, 山本 茂, 適応モデル予測制御系の構成に関する一考察, 第47回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, 2015年3月9日, 北海道大学(北海道札幌市)
- 5) 岡田裕介, 山本 茂, 非線形ARXモデルの $l_1$ ノルム最小化に基づく同定とモデル予測制御, 第2回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 2015年3月5日, 東京電機大学(東京都足立区)
- 6) 河野邦起, 生田 俊, 天野敏之, 現実の環境に適した見かけ制御アルゴリズム提案, 平成26年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 2015年1月26日, 大阪大学(大阪府吹田市)
- 7) 土井研治, 田中志音, 松村拓哉, 生田 俊, 奥 宏史, レンズ加工機の性能向上を目的とした加工圧制御系構築, 平成26年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 2015年1月26日, 大阪大学(大阪府吹田市)
- 8) T. Amano, I. Shimana, S. Ushida, and K. Kono, Successive Wide Viewing Angle Appearance Manipulation with Dual Projector Camera Systems, Proc. of the 24th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2014), 2014年12月8-10日, Bremen University (Germany)
- 9) Shogo Takada, Osamu Kaneko, Taiki Nakamura, and Shigeru Yamamoto, Data-Driven Tuning of Nonlinear Internal Model Controllers for Pneumatic Artificial Muscles, 2014 Australian Control Conference, 2014年11月17日 Canberra (Australia)
- 10) 板井謙太郎, 奥 宏史, 積分器を含むシステムの同定実験, 第57回自動制御連合講演会, 2014年11月11日, ホテル天坊(群馬県渋川市)
- 11) 高田翔午, 金子 修, 山本 茂, 二自由度制御構造を用いたヒステリシス特性の補償と推定のデータ駆動型同時実行 - FRITによるアプローチ, 57回自動制御連合講演会, 2014年11月11日, ホテル天坊(群馬県渋川市)
- 12) Dessy Novita and Shigeru Yamamoto, Extremum Seeking for Dead-Zone Compensation and Its Application to a Two-Wheeled Robot, The 2nd International Conference on Control, Robotics and Cybernetics (ICRC2014), 2014年8月9日, Singapore (Singapore)
- 13) Junki Kojio, Hiroaki Ishibashi, Ryo Inoue, Shun Ushida, and Hiroshi Oku, MIMO Closed-Loop Subspace Model Identification and Hovering Control of a 6-DOF Coaxial Miniature Helicopter, SICE Annual Conference 2014, 2014年9月12日, 北海道大学(北海道札幌市)
- 14) Shigeru Yamamoto, A New Model-Free Predictive Control Method Using Input and Output Data, The 3rd International Conference on Key Engineering Materials and Computer Science (KEMCS 2014), 2015年8月5日, Singapore (Singapore)
- 15) Osamu Kaneko, Fumiaki Sawakawa, and Shigeru Yamamoto, FRIT of ILQ Based Integral Type Servo Controllers and Its Applications, The 12th International Conference on Motion and Vibration Control, 2014年8月5日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)
- 16) Hiroshi Oku, Online statistical change detection for a multivariable system in closed-loop using recursive estimation of a high-order model, The 21st International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems, 2014年7月8日, Groningen (The Netherlands)
- 17) Shogo Takada, Osamu Kaneko and Shigeru Yamamoto, Fictitious Reference Iterative Tuning of Internal Model Controllers for Nonlinear Systems with Hysteresis, The 5th International

- Symposium on Advanced Control of Industrial Processes, 2014年5月28日, メルパルク広島(広島県広島市)
- 18) 河野邦起, 河野陽平, 小山健太, 生田 俊, カメラとプロジェクタからなる光学系を用いた見かけ制御システムの機能構築, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会, 2014年5月21日~2014年5月23日, 京都テルサ(京都府京都市)
  - 19) 土井研治, 北村 駿, 生田 俊, 奥 宏史, レンズ加工機のモータ駆動モデルを用いた制振制御系の性能評価, 第58回システム制御情報学会研究発表講演会, 2014年5月21日~2014年5月23日, 京都テルサ(京都府京都市)
  - 20) 辻 昌紀, 山本 茂, 金子 修, 4チャネルバイラテラル制御系のチューニング法, 第46回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, 2014年3月9日, 北海道大学(北海道・札幌市)
  - 21) 北村 駿, 奥 宏史, 生田 俊, レンズ加工機のモータ駆動モデルを用いた制振制御系の構築, 計測自動制御学会 第1回制御部門マルチシンポジウム, 2014年3月7日, 電気通信大学(東京都調布市)
  - 22) 北村 駿, 奥 宏史, 生田 俊, 玉摺機の振動解析および振動低減手法の提案, 計測自動制御学会 若手研究発表会, 2014年1月17日, 学校法人常翔学園大阪センター(大阪市)
  - 23) 澤川史明, 金子 修, 山本 茂, ILQサーボ系を利用したFRITによるモデル・目標応答・制御ゲインの同時獲得, 第56回自動制御連合講演会, 2013年11月16日, 新潟大学工学部(新潟県新潟市)
  - 24) 奥 宏史, 予測誤差型閉ループ部分空間同定法を用いたオンライン変化検出法, 第56回自動制御連合講演会, 2013年11月16日, 新潟大学(新潟県新潟市)
  - 25) Hiroshi Oku, A signal for online whiteness testing generated by recursive subspace model identification from closed-loop data, The 45th ISCTE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 2013年11月1日, 琉球大学(沖縄県中頭郡西原町)
  - 26) 浅井恭平, 山本 茂, 金子 修, 非線形システムのためのラグールネットワークを用いた内部モデル制御とチューニングアンモニア除去プロセスへの適用 ; 平成25年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2013年9月4日, 北見工業大学(北海道北見市)
  - 27) 奥 宏史, 閉ループ部分空間同定法に基づく統計学的変化検出法, 第57回システム制御情報学会研究発表講演会, 2013年5月17日, 兵庫県民会館(兵庫県神戸市)
  - 28) 土屋佑輔, 生田 俊, 奥 宏史, 高精度非接触型センサによる無人飛行体の閉ループシステム同定, 日本機械学会 関西支部 第88期定時総会講演会, 2013年3月17日, 大阪工業大学(大阪府大阪市)
  - 29) 土屋佑輔, 生田 俊, 奥 宏史, 6自由度無人飛行体の閉ループシステム同定, 第13回計測自動制御学会制御部門大会, 2013年3月7日, アクロス福岡(福岡県福岡市)
  - 30) 奥 宏史, 逐次閉ループ部分空間同定法による白色性検定のための信号生成, 第13回計測自動制御学会制御部門大会, 2013年3月7日, アクロス福岡(福岡県福岡市)
  - 31) 土屋佑輔, 生田 俊, 奥 宏史, 非接触型センサによる6自由度飛行体の閉ループシステム同定実験, 平成24年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 2013年1月18日, 学校法人常翔学園大阪センター(大阪府大阪市)
  - 32) 吉武繁樹, 金子 修, 山本 茂, 二自由度制御器のフィードフォワード部に対するFRIT むだ時間系への拡張 ; 電気学会制御研究会, 2012年12月18日, 広島大学東京オフィス(東京都港区)
  - 33) Naoki Ikegami, Shigeru Yamamoto, and Osamu Kaneko, A PID tuning method based on matching between one-shot experimental data and filtered desired closed-loop responses, The 51st IEEE Conference on Decision and Control, 2012年12月11日, Hawaii (USA)
  - 34) Nuttapun Nakpong and Shigeru Yamamoto, Just-In-Time Predictive Control for a Two-Wheeled Robot, The 10th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT-KE2012), 2012年11月21日, Bangkok (Thailand)
  - 35) 奥 宏史, 生田 俊, 閉ループ部分空間同定法のモデル次数決定について - 小型ヘリコプタの3自由度システム同定実験におけるケーススタディ -, 第55回自動制御連合講演会, 2012年11月17日, 京都大学(京都府京都市)
  - 36) 土屋佑輔, 生田 俊, 奥 宏史, 複数センサ情報を利用した6自由度飛行体の閉ループシステム同定実験, 第55回自動制御連合講演会, 2012年11月17日, 京都大学(京都府京都市)
  - 37) 金子 修, 和田垣祐介, 吉武繁樹, 山本 茂, 二自由度制御系に対するFRITを用いた非最小位相系の同定第55回自動制御連合講演会, 2012年11月17日, 京都大学(京都府京都市)
  - 38) Hien Thi Nguyen, Osamu Kaneko, and Shigeru Yamamoto, Data-driven Approach to IMC for Unstable Plants, Australian Control Conference, 2012年11月15日, Sydney (Australia)
  - 39) Osamu Kaneko, Shigeki Yoshitake, and

- Shigeru Yamamoto, Data-Driven Parameter Optimization of Two-Degree-of-Freedom of Controllers Approximated by Laguerre Expansions, 15th IFAC Workshop on Control Applications of Optimization, 2012 年 9 月 15 日, Rimini (Italy)
- 40) 吉武繁樹, 金子 修, 和田垣祐介, 山本 茂, 二自由度制御器のフィードフォワード部に対するデータ駆動型パラメータチューニング 非最小位相系への拡張 ; 平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2012 年 9 月 6 日, 弘前大学 (青森県弘前市)
- 41) Shigeki Yoshitake, Osamu Kaneko, and Shigeru Yamamoto, Fictitious Reference Iterative Tuning of Non-Minimum Phase Systems in the Two-Degree-Of-Freedom Control Architecture: A Laguerre Expansion Approach, SICE Annual Conference 2012, 2012 年 8 月 22 日, 秋田大学 (秋田県秋田市)
- 42) Ikko Matsuba, Shun Ushida, and Hiroshi Oku, MIMO Closed-Loop Subspace Model Identification and Hovering Control of a Coaxial Mini Helicopter with 3 DOFs, 16<sup>th</sup> IFAC Symposium on System Identification, 2012 年 7 月 13 日, Brussels (Belgium)
- 43) 山本 茂, データ指向型制御への期待: Just-In-Time 法を中心に, 電気学会制御研究会 (招待講演), 2012 年 5 月 25 日金沢大学サテライトプラザ (石川県金沢市)
- 44) 土屋佑輔, 永田晃士, 牛田 俊, 奥 宏史, 小型無人ヘリコプタの姿勢制御のための 6 自由度センシング, 第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2012 年 5 月 23 日, 京都テルサ (京都府京都市)
- 45) 高橋良輔, 牛田 俊, 二自由度倒立振子の安定化に向けた非接触型角度計測システムの構築, 第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会. 2012 年 5 月 21 日. 京都テルサ (京都府)
- 46) 志原 開, 牛田 俊, 足裏圧力センサによる人型ロボットの傾斜歩行の安定化制御, 第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会. 2012 年 5 月 21 日. 京都テルサ (京都府)
- 47) Osamu Kaneko, Yusuke Wadagaki, and Shigeru Yamamoto, FRIT based PID parameter tuning for linear time delay systems -Simultaneous attainment of models and controllers, IFAC Conference on Advances in PID Control, 2012 年 3 月 28 日, Brescia, (Italy)
- 48) 松葉一孝, 牛田 俊, 奥 宏史, 3 自由度をもつ小型無人ヘリコプタの MIMO 閉ループ部分空間同定と飛行制御, 第 12 回計測自動制御学会制御部門大会, 2012 年 3 月 16 日, 奈良県文化会館 (奈良県奈良市)
- 49) 和田垣祐介, 金子 修, 山本 茂, 離散時間非最小位相系に対する FRIT を用いたデータ駆動型 IMC によるモデルと制御パラメータの同時獲得, 第 54 回自動制御連合講演会, 2011 年 11 月 19 日, 豊橋技術科学大学 (愛知県豊橋市)
- 50) 奥 宏史, システム同定、しまじょうか, Advanced Theory and Application of Control Systems 2011 (招待講演), 2011 年 10 月 15 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都渋谷区)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 茂 (YAMAMOTO, Shigeru)  
金沢大学・電子情報学系・教授  
研究者番号: 70220465

### (2) 研究分担者

金子 修 (KANEKO, Osamu)  
金沢大学・電子情報学系・准教授  
研究者番号: 00314394

奥 宏史 (OKU, Hiroshi)  
大阪工業大学・工学部・准教授  
研究者番号: 20351455

牛田 俊 (USHIDA, Shun)  
大阪工業大学・工学部・准教授  
研究者番号: 30343114