

令和 2 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02257

研究課題名(和文) 実時間最適化と代数的手法による複雑システム制御の展開と多分野応用

研究課題名(英文) Development of Complex System Control by Real-Time Optimization and Algebraic Methods and its Applications to Various Fields

研究代表者

大塚 敏之(Ohtsuka, Toshiyuki)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：40272174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,400,000円

研究成果の概要(和文)：非線形モデル予測制御の実時間最適化アルゴリズムに関して、並列計算による効率化に成功したほか、不連続性を含むシステムや非線形偏微分方程式、多リンク系といった問題の構造を利用した効率化に成功した。代数的手法については、最大事後確率推定問題の新しい解法、制約付き最適化問題に対する新しい最適性条件、ホロノミック勾配法によるマルコフ過程の解析手法などが得られた。応用に関しては、熱伝導系やロボットアーム、ドローンの耐故障制御やターゲット追従と障害物回避、ヒューマノイドロボットのクライミング制御、浮体式洋上風力発電施設のブレードピッチ角制御などで有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した実時間最適化アルゴリズムにより、極めて複雑な非線形システムにもモデル予測制御の適用可能性が広がった。また、非線形システムや非線形最適化に対する代数的アプローチによって得られた成果は、将来のブレークスルーにつながりうるものである。さらに、ホロノミック勾配法はシステム制御でさまざまな応用が期待され、数値計算と数式処理を融合させるアプローチとして今後の発展が期待される。一方、実用的な観点から、モデル予測制御の実装ツールやモデル化と評価関数設定の知見も重要であり、本研究の成果はさまざまな分野での活用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Regarding real-time algorithms of nonlinear model predictive control (NMPC), we succeeded in improving the efficiency by parallel computing and by exploiting structures of problems such as systems including discontinuities, nonlinear partial differential equations, and multi-link systems. For the algebraic approach, we obtained a new method for the maximum posterior probability estimation problem, new optimality conditions for constrained optimization problems, and an analysis method for Markov processes by the holonomic gradient method. In terms of applications, we demonstrated the effectiveness of NMPC in systems such as heat conduction systems, robot arms, fault-tolerant control, target tracking and obstacle avoidance of drones, climbing control of humanoid robots, and blade-pitch control of floating offshore wind turbines.

研究分野：制御工学

キーワード：最適制御 非線形システム 最適化 代数学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、自動運転車両、無人飛行機、スマートハウス、植物工場をはじめとする高度な制御システムの社会進出が注目を集めている。制御システムが複雑化するにつれて、制御対象をできる限り限定せず何らかの意味で合理的な制御システムを設計する手法がますます重要になっている。合理的な制御システムの代表的な設計手法としては、制御目的を反映した評価関数を最小化するように制御入力を決定する最適制御問題がある。ただし、制御応答を評価する時間範囲(評価区間、horizon)が固定されていると継続的なフィードバック制御に適さないため、つねにある程度未来までの応答を評価するよう評価区間を未来へ後ずさり(recede)させながら最適制御問題を解き直すモデル予測制御(receding horizon 制御)が応用範囲の広い最適制御手法として世界的に注目され、現在活発に研究されている。

最適制御問題を解くためのアプローチとしては、数値的な実時間最適化アルゴリズムが活発に研究され発展しているが、それとは別に、可換環論や代数幾何学の手法を応用した数式処理に基づく解法も生まれつつある。したがって、数値的な実時間最適化アルゴリズムと数式処理による代数的手法のそれぞれをさらに発展させるとともに、それら異なるアプローチを融合させることで、今まで以上に複雑なシステムの高度なモデル予測制御を実現できると考えられる。また、実問題で真に使える制御技術を確立するには、計算の効率化に加えて、複雑な制御対象のモデル化や制御システム実装のためのソフトウェアツール開発も重要な課題である。

### 2. 研究の目的

前述の背景に基づいて設定した本研究の目的は以下の通りである。

- 1) 実時間最適化アルゴリズムの計算量をさらに低減する。
  - 2) 最適制御問題の代数的手法を改良ないし拡張する。
  - 3) 実時間最適化アルゴリズムと代数的手法を融合させる。
  - 4) モデル予測制御実装のためのソフトウェアツールを開発する。
  - 5) 機械システムを中心とした実問題にモデル予測制御を応用し、高度な制御を実現する。
- 研究期間全体を通じて、これらの課題に並行して取り組む。

### 3. 研究の方法

#### 1) 実時間最適化の計算量低減

現在普及しているマルチコア計算機の能力を最大限活用するため、並列計算に適した実時間最適化アルゴリズムを開発する。並列化の手法としては、最適制御問題を時間軸方法に分割するか、システムをサブシステムに分割するなどを検討する。また、並列計算に限らず、ある程度問題のクラスを限定することで活用できる構造があれば、それを利用して計算を効率化する。

#### 2) 代数的手法

離散時間の非線形最適制御問題に対して、グレブナー基底や消去イデアルなどの代数的手法を適用し、数式処理によって問題を変形することで、解を求めたり、数値計算をやすくしたりする。また、最適制御問題以外に最適推定問題など他の問題設定への適用も検討する。

#### 3) 実時間最適化と代数的手法の融合

最適制御問題や最適推定問題に対して、代数的手法と実時間最適化の融合による解法を検討する。たとえば、あらかじめ代数的手法で問題を変形することにより実時間最適化の計算を効率化することが考えられる。

#### 4) モデル予測制御実装ツール

並列計算などで効率化された実時間最適化アルゴリズムが容易に適用できるよう、数式処理を活用して自動的にプログラムを生成するツールを開発する。

#### 5) 実問題応用

ドローン、ヒューマノイドロボット、熱流体システムなどの機械システムを中心に、非線形性や拘束条件を陽に考慮したモデル予測制御の定式化と適用を行い、従来にない高度な制御を実現する。

### 4. 研究成果

#### 1) 実時間最適化の計算量低減

非線形最適制御問題の最適性条件(KKT条件)に固有の構造を利用して、KKT条件を解くためのニュートン法に近似を導入し並列化するアルゴリズムを開発した。具体的には、KKT条件を時間軸方向に分割し、それぞれの時間区間ごとの最適化を並列計算によって同時に実行する。その際、隣り合う時間区間同士の影響を近似的に考慮することで、全体の最適化を達成しつつ計算の高速化に成功した。一般に、最適化する時間区間の数を増やすほど計算時間は増加するが、提案手法の場合は複数の時間区間を同時に最適化できるため、計算時間の増加率が従来手法の1/4未満となった(図1)。また、理論的にも超1次収束という優れた収束性を証明できた。

状態のジャンプやシステムの切替えといった離散事象を含むハイブリッドシステムの非線形モデル予測制御に関しても、ジャンプや切替えを陽に考慮した効率的な実時間最適化アルゴリズムを開発した。時間の経過とともに最適化しなおすモデル予測制御の特徴を利用し、離散事象の順序は変わらずかつ新たな離散事象は評価区間の最後で生じるものとして、離散事象が生じる時刻と状態の変化を追跡することで効率的に計算することが可能になった(図2)。

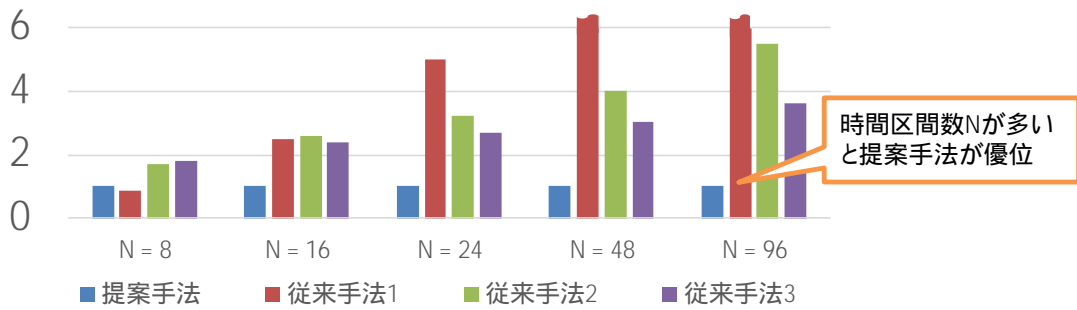


図1 提案した並列計算手法を1とした計算時間の比較

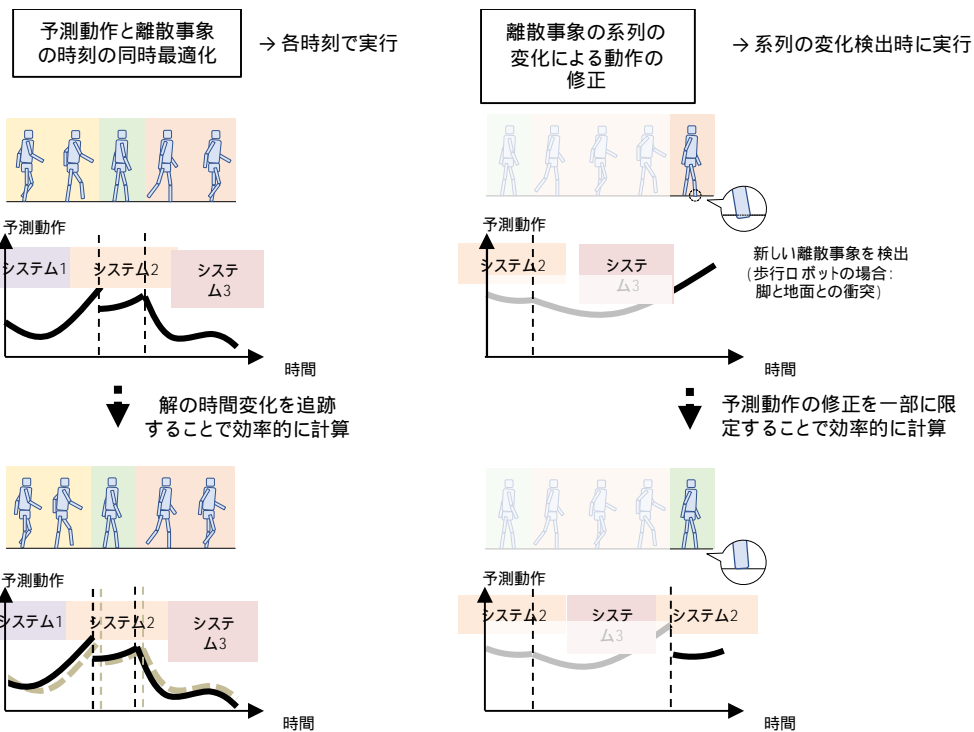


図2 離散事象を含む問題に対する提案手法

その他、問題設定を少し限定して効率化を図るアプローチの一つとして、拘束条件付き線形システムのモデル予測制御に関して、勾配法の少ない計算量とニュートン法の速い収束特性とを兼ね備えたアルゴリズムを提案した。また、非線形偏微分方程式に対して、問題の構造を利用した階層的なヤコビ法を開発した。熱伝導方程式を対象として数値シミュレーションにおいて、提案手法がニュートン法より百倍程度高速になることが分かった。さらに、ロボットアームなどの多リンク系に対して、極めて複雑な運動方程式を陽に求めず再帰的な逆力学計算の高速アルゴリズムを利用した効率的な実時間最適化アルゴリズムを開発した。これらの成果によって、極めて複雑な非線形システムにもモデル予測制御の適用可能性が広がった。

## 2) 代数的手法

離散時間の非線形最適制御問題に関して、グレブナー基底や消去イデアルを用いた解法を終端拘束条件がある場合に拡張した。また、あるクラスの問題ではグレブナー基底を計算せず簡単な逐次代入で最適制御則が陰関数表示できることを見いだした。これらは、線形システム最適制御問題に対する解法の自然な拡張になっている。特に、モデル予測制御では終端拘束条件を課すことで閉ループ系の漸近安定性を保証できる場合があるので、得られた成果は非線形システムのフィードバック制御において有用である。

最適制御問題のさらに基礎的な問題として、拘束条件付き最適化問題を扱う方法として古くから知られているペナルティ関数法を射影空間の理論で扱う方法を提案し、ペナルティパラメータを無限大にした極限での最適性条件を厳密に求める新しい方法を発見した。その結果、制約想定を必要とする標準的な KKT 条件と異なり、制約想定なしに成立する最適性の必要条件を求める手法が得られた。

その他、多項式システムの可制御性や状態フィードバック制御則設計法、非線形システムに対

する固有値の定義と性質、逆最適性に基づく制御系設計など基礎理論も進展した。これらの成果は現時点で計算の効率化にそのまま応用できるわけではないが、非線形制御の根本的な性質を明らかにすることで将来的なブレークスルーにつながる可能性がある。

### 3) 実時間最適化と代数的手法の融合

実時間最適化と代数的手法の融合方法としては、たとえば、代数的手法で求められた最適制御問題の解によってモデル予測制御の終端ペナルティを定義して実時間最適化に用いることが考えられる。さらに、従来のシステム制御では使われていなかった新しいアプローチとして、偏微分方程式の解として表される関数やその偏微分を評価するホロノミック勾配法についても検討を行った。一般に、偏微分方程式を解くことは困難だが、偏微分作用素環の数式処理を用いると、解の四則演算や積分が満たすべき別の偏微分方程式や、その解のある点における値を数値的に効率よく評価できる。解を大域的に求めることなしに、ある一点での値を評価できる点が大きな特徴である。一つの応用可能性として、離散時間マルコフ過程の推定問題に現れる周辺分布最大化がホロノミック勾配法で実行可能であることを見いだした。

### 4) モデル予測制御実装ツール

時間軸を分割した並列計算によるニュートン法について、Matlab の数式処理機能を用いて、状態方程式や評価関数等の問題設定を与えると実時間最適化アルゴリズムの並列計算 C++プログラムを自動生成するツールを開発した。並列計算については OpenMP を利用している。また、近年データサイエンスや人工知能の分野を中心に Python が普及しており、数式処理のライブラリ SymPy も整備されている。そこで、インタラクティブな実行環境 Jupyter Lab で状態方程式や評価関数等の問題設定を与えると SymPy による数式処理で実時間最適化アルゴリズムの C++プログラムを自動生成するツールを開発した。

### 5) 実問題応用

NMPC は非常に一般的な枠組みであり、制御対象の状態方程式と制御目的を反映した評価関数や拘束条件を設定すれば実時間最適化によってさまざまなタスクを実現できる。ただし、複雑なシステムやタスクの場合、適切な状態方程式や評価関数の設定は自明ではなく、問題固有の工夫が必要になる。本研究では、ドローンの追従回避制御やロータ停止時の制御、ヒューマノイドロボットの壁面登攀制御、浮体式洋上風力発電施設のブレードピッチ角制御など機械システムを中心とした実応用に取り組み、拘束条件や制御目的を考慮した複雑なシステムの制御を NMPC として定式化した。

ドローンの制御では、クォータニオンに基づく非線形モデルを用いロータの発生できる推力の制限も考慮した NMPC を 1 ミリ秒程度の計算時間で実現できた。また、ヒューマノイドロボットの壁面登攀制御では、適切な拘束条件と評価関数を設定することで、使うホールド(手がかりや足場)を切替えながら壁面を登っていく動作が、切替えルールの作り込みなしに統合的に実現できた。また、浮体式洋上風力発電に関しては、新しいモデル化手法を提案し、NMPC の効果を詳細なシミュレータで示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計53件（うち査読付論文 51件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 43件）

1. 著者名 Tomoyuki Iori, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Limit Operation in Projective Space for Constructing Necessary Optimality Condition of Polynomial Optimization Problem	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Operations Research Society of Japan (to appear)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sotaro Katayama, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 21
2. 論文標題 Efficient Solution Method Based on Inverse Dynamics of Optimal Control Problems for Fixed-Based Rigid-Body Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 21st IFAC World Congress (to appear)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sotaro Katayama, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 21
2. 論文標題 An Automatic Code Generator for Nonlinear Model Predictive Control with Jupyter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 21st IFAC World Congress (to appear)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Haoyang Deng, and Toshiyuki Ohtsuka,	4. 巻 58
2. 論文標題 An Iterative Horizon-Splitting Method for Model Predictive Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 58th IEEE Conference on Decision and Control	6. 最初と最後の頁 4304-4310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CDC40024.2019.9030071	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoaki Iori, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 58
2. 論文標題 A Recursive Elimination Method for Moving Horizon Estimation of Discrete-Time Polynomial Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 58th IEEE Conference on Decision and Control	6. 最初と最後の頁 1076-1082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CDC40024.2019.9029816	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuga Okada, Ken Haneda, Toshiki Chujo, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 52
2. 論文標題 Parameter-varying Modeling and Nonlinear Model Predictive Control for Floating Offshore Wind Turbines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IFAC PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 382-387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2019.11.810	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sotaro Katayama, Masahiro Doi, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 30
2. 論文標題 A Moving Switching Sequence Approach for Nonlinear Model Predictive Control of Switched Systems with State-Dependent Switches and State Jumps	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Robust and Nonlinear Control	6. 最初と最後の頁 719-740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rnc.4804	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Haoyang Deng, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 109
2. 論文標題 A Parallel Newton-type Method for Nonlinear Model Predictive Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Automatica	6. 最初と最後の頁 108560
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.automatica.2019.108560	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 廣田一貴, 佐藤康之, 元岡範純, 浅野雄太, 亀岡翔太, 大塚敏之	4. 巻 Vol. 31, No. 4
2. 論文標題 マルチコプタと移動物体の非線形 Receding-Horizon 微分ゲーム	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 150-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.31.150	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoaki Iori, Yu Kawano, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 Vol. 11, No. 3
2. 論文標題 Algebraic Approach to Nonlinear Optimal Control Problems with Terminal Constraints: Sufficient Conditions for Existence of Algebraic Solutions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 198-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.11.198	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 青木佑介, 浅野雄太, 本田瑛彦, 元岡範純, 大塚敏之	4. 巻 Vol. 32, No. 4
2. 論文標題 2枚のロータが停止したヘキサコプタにおける位置・姿勢の非線形モデル予測制御	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 168-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.32.168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Aoki, Yuta Asano, Akihiko Honda, Norizumi Motooka, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonlinear Model Predictive Control of Position and Attitude in a Hexacopter with Three Failed Rotors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th IFAC Conference on Nonlinear Model Predictive Control	6. 最初と最後の頁 262-267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2018.11.018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Haoyang Deng, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 A Highly Parallelizable Newton-type Method for Nonlinear Model Predictive Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th IFAC Conference on Nonlinear Model Predictive Control	6. 最初と最後の頁 426-432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2018.11.058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sotaro Katayama, Yasuyuki Satoh, Masahiro Doi, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonlinear Model Predictive Control for Systems with State-Dependent Switches and State Jumps Using a Penalty Function Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE Conference on Control Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 312-317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CCTA.2018.8511448	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sotaro Katayama, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Scenario-based Nonlinear Model Predictive Control for Switched Systems with Externally Forced Switchings	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 SICE Annual Conference	6. 最初と最後の頁 1098-1103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/SICE.2018.8492568	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Haoyang Deng, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 A Parallel Code Generation Toolkit for Nonlinear Model Predictive Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 57th IEEE Conference on Decision and Control	6. 最初と最後の頁 4920-4926
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CDC.2018.8619035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Anan Tabata, Yasuyuki Satoh, Hisakazu Nakamura, Kiyotaka Kato	4. 巻 -
2. 論文標題 Adaptive Fault Tolerant Control of Quadcopter by Using Minimum Projection Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	6. 最初と最後の頁 2201-2206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IECON.2018.8591587	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kota Ohno, Yasuyuki Satoh, Hisakazu Nakamura, Kiyotaka Kato	4. 巻 -
2. 論文標題 Disturbance Rejection Control of Rigid Body Attitude based on Nonsmooth Control Lyapunov Function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	6. 最初と最後の頁 2293-2298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IECON.2018.8592731	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田雅貴, 上野和浩, 羽田絢, 中條俊樹, 大塚敏之	4. 巻 Vol. 30, No. 9
2. 論文標題 浮体式洋上風力発電施設におけるタワー基部の曲げモーメントを評価したモデル予測制御	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 356-365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.30.356	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yu Kawano, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 Vol. 62, No. 12
2. 論文標題 Nonlinear Eigenvalue Approach to Differential Riccati Equations for Contraction Analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Automatic Control	6. 最初と最後の頁 6497-6504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TAC.2017.2655443	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 上野和浩, 山田雅貴, 羽田絢, 中條俊樹, 大塚敏之	4. 巻 Vol. 54, No. 2
2. 論文標題 強風下の浮体式洋上風力発電におけるブレード曲げ応力の変動抑制を目的とする非線形モデル予測制御	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 156-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.54.156	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoyuki Iori, Yu Kawano, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Algebraic Approach to Nonlinear Finite-Horizon Optimal Control Problems of Discrete-Time Systems with Terminal Constraints	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE Annual Conference 2017	6. 最初と最後の頁 220-225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/SICE.2017.8105543	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoyuki Iori, Yu Kawano, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Algebraic Approach to Nonlinear Finite-Horizon Optimal Control Problems with Terminal Constraints	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ASCC.2017.8287093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kai Fukushima, Yasuyuki Satoh, Masahiro Doi, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimization of Limb Reaching Movement for Climbing Humanoid Robots	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 1292-1297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ASCC.2017.8287357	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sotaro Katayama, Yasuyuki Satoh, Masahiro Doi, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonlinear Model Predictive Control for Systems with Autonomous State Jumps Using a Penalty Function Method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 2125-2130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ASCC.2017.8287503	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kazuki Hirota, Yasuyuki Satoh, Norizumi Motooka, Yuta Asano, Shota Kameoka, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonlinear Receding-Horizon Differential Game between a Multirotor UAV and a Moving Object	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 2137-2142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ASCC.2017.8287505	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto, T., Satoh, R., and Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol. 3, No. 2
2. 論文標題 Receding Horizon Control for Spatiotemporal Dynamic Systems	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 15-00345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mej.15-00345	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawano, Y., and Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol. 7, No. 4
2. 論文標題 Algebraic Geometric Approach to Output Dead-Beat Controllability of Discrete-Time Polynomial Systems	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 460-467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.7.460	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawano, Y., and Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol. 19, No. 3
2. 論文標題 Observability Conditions by Polynomial Ideals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Asian Journal of Control	6. 最初と最後の頁 821-831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asjc.1436	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawano, Y., and Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol. 80
2. 論文標題 PBH Tests for Nonlinear Systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Automatica	6. 最初と最後の頁 135-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.automatica.2017.02.027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yasuyuki Satoh, Hisakazu Nakamura, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 On Robustness of Lyapunov-Based Nonlinear Adaptive Controllers	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems	6. 最初と最後の頁 229-234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2016.10.168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yasuyuki Satoh, Hisakazu Nakamura, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Inverse Optimal Controller for Nonlinear Systems with Convex Input Constraints	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems	6. 最初と最後の頁 754-759
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2016.10.254	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsuyoshi Yuno, and Toshiyuki Ohtsuka	4. 巻 -
2. 論文標題 Rendering a Prescribed Subset Invariant for Polynomial Systems by Dynamic State-Feedback Compensator	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems	6. 最初と最後の頁 1060-1065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2016.10.305	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol.8, No.3
2. 論文標題 A Recursive Substitution Method for a Class of Nonlinear Optimal Control Problems	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 189-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TAC.2014.2321231	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawano, Y., and Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol.86
2. 論文標題 Stability Criteria with Nonlinear Eigenvalues for Diagonalizable Nonlinear Systems	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Systems & Control Letters	6. 最初と最後の頁 41-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sysconle.2015.10.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jaiwat, P., and Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol.8, No.3
2. 論文標題 Recovery of Vehicle near Rollover by Nonlinear Model Predictive Control	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 380-389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.8.380	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawano, Y., and Ohtsuka, T.	4. 巻 Vol.89, No.2
2. 論文標題 Commutative Algebraic Methods for Controllability of Discrete-Time Polynomial Systems	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of control	6. 最初と最後の頁 343-351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00207179.2015.1076939	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noga, R., Ohtsuka, T., de Prada, C., Blanco, E., and Casas, J.	4. 巻 -
2. 論文標題 NMPC for Superfluid Helium Cryogenics	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Reprints of the 5th IFAC Conference on Nonlinear Model Predictive Control	6. 最初と最後の頁 441-446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2015.11.318	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuno, T., and Ohtsuka, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Local Realization of a Vector Field by State Feedback	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Proceedings of the 54th IEEE Conference on Decision and Control	6. 最初と最後の頁 7125-7130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CDC.2015.7403343	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomiyama, K., Kawano, Y., Hashimoto, T., and Ohtsuka, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Real-Time Price Optimization for Local Frequency Control in Electric Power Systems with Wind Farms	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE International Symposium on Control Systems 2016	6. 最初と最後の頁 2A2-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SICEISCS.2016.7470164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計65件（うち招待講演 22件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 モデル予測制御の実時間解法と応用事例紹介
3. 学会等名 インテグレーションテクノロジーMBDセミナー2020～モデルベース開発に有用な応用技術，東京・ベルサール東京日本橋（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 モデル予測制御 最適制御の基礎から応用事例・ソフトウェアツールまで
3. 学会等名 SICEセミナー，大阪・新大阪丸ビル別館（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御・モデル予測制御の基本から応用事例まで
3. 学会等名 情報機構セミナー，東京・きゅりあん（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庵智幸，大塚敏之
2. 発表標題 射影空間上での極限操作を用いた多項式最適化問題に対する最適性条件の導出
3. 学会等名 2019年度計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会シンポジウム，大阪市・大阪府立大学I-siteなんば
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庵智幸, 大塚敏之
2. 発表標題 ホロノミック勾配法を用いた離散時間マルコフ過程の周辺分布最大化
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会, 札幌市・札幌コンベンションセンター
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Iori, and Toshiyuki Ohtsuka
2. 発表標題 A Symbolic-Numeric Penalty Function Method for Parametric Polynomial Optimizations via Limit Operation in a Projective Space
3. 学会等名 The 6th International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT 2019), The Technical University of Berlin, Berlin, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田悠河, 羽田絢, 中條俊樹, 大塚敏之
2. 発表標題 浮体式洋上風力発電施設におけるロール・ピッチ・ヨー運動抑制のためのブレードピッチ角制御
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都市・京都テルサ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木佑介, 浅野雄太, 本田瑛彦, 元岡範純, 大塚敏之
2. 発表標題 2枚のロータが停止したヘキサコプタにおける位置・姿勢の非線形モデル予測制御
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都市・京都テルサ
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 柳谷太郎, 岡島佑介, 橋本智昭, 大塚敏之
2. 発表標題 大容量風力発電導入時における確率モデル予測制御による実時間価格制度
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会, 名古屋市・南山大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木佑介, 大塚敏之
2. 発表標題 ドローンのフェイルセーフを実現するリアルタイム最適化
3. 学会等名 京都大学第13回ICTイノベーション, 京都市・京都大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Deng Haoyang, 大塚敏之
2. 発表標題 マルチコアプロセッサを用いた非線形モデル予測制御のための実時間最適化
3. 学会等名 京都大学第13回ICTイノベーション, 京都市・京都大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 湯野剛史, 大塚敏之
2. 発表標題 単一の代数不等式で定義される集合の不変性と安定化
3. 学会等名 第6回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 熊本市・熊本大学黒髪キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻本友樹, 大塚敏之
2. 発表標題 壁面近傍を飛行するマルチコプタにおける空力効果のモデル化
3. 学会等名 第6回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 熊本市・熊本大学黒髪キャンパス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御・モデル予測制御の基本から応用事例まで
3. 学会等名 情報機構セミナー, 東京・大田区産業プラザ(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 非線形モデル予測制御のためのニュートン型並列計算手法
3. 学会等名 計測自動制御学会制御部門 非線形現象の特徴化に基づく制御理論調査研究会 第5回研究会, 東京・東京理科大学神楽坂キャンパス(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 非線形機械システムのモデル予測制御
3. 学会等名 第6回マルチボディダイナミクス技術講演会, 東京・日本大学理工学部駿河台キャンパス(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御・モデル予測制御の基礎と応用事例
3. 学会等名 日本テクノセンターセミナー，東京・小田急第一生命ビル（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田一貴，佐藤康之，元岡範純，浅野雄太，亀岡翔太，大塚敏之
2. 発表標題 マルチコプタと移動物体の非線形Receding-Horizon 微分ゲーム
3. 学会等名 第61回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片山想太郎，佐藤康之，土井将弘，大塚敏之
2. 発表標題 状態ジャンプを含むシステムに対するペナルティ関数法を用いた非線形モデル予測制御
3. 学会等名 第61回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 湯野剛史，大塚敏之
2. 発表標題 単一の多項式関数の不等式で定義される部分集合を不変にする動的補償器の設計
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 実時間最適化の考え方と応用
3. 学会等名 第8回横幹連合コンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大山和晃, 大本康平, 大塚敏之
2. 発表標題 実時間最適化によるロボットの壁面登攀制御
3. 学会等名 京都大学第12回ICTイノベーション
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庵智幸, 河野佑, 大塚敏之
2. 発表標題 終端制約付き非線形最適制御問題に対する代数的アプローチ
3. 学会等名 京都大学第12回ICTイノベーション
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大山和晃, 佐藤康之, 土井将弘, 大塚敏之
2. 発表標題 壁面ポテンシャルと状態依存の重みを用いたクライミングロボットの非線形モデル予測制御
3. 学会等名 第5回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野村誠也, 佐藤康之, 中村文一, 加藤清敬
2. 発表標題 最小射影法による $S^0(3)$ 上の姿勢軌道追従制御
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田端亜南, 佐藤康之, 中村文一, 加藤清敬
2. 発表標題 アクチュエータ故障時におけるクアッドコプターの非線形適応制御
3. 学会等名 計測自動制御学会第5回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野孝太, 佐藤康之, 中村文一, 加藤清敬
2. 発表標題 サンプル入力状態安定性に基づく剛体姿勢の外乱抑制制御
3. 学会等名 計測自動制御学会第5回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庵智幸, 河野佑, 大塚敏之
2. 発表標題 離散時間多項式システムに対する終端状態固定の有限時間最適制御問題における逐次消去法
3. 学会等名 第59回自動制御連合講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤康之, 中村文一, 大塚敏之
2. 発表標題 逆最適制御則設計におけるHJB方程式とKKT条件の関連について
3. 学会等名 第59回自動制御連合講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上野和浩, 羽田絢, 中條俊樹, 大塚敏之
2. 発表標題 ブレード曲げ応力の変動抑制を目的とする非線形モデル予測制御による強風下の浮体式洋上風力発電
3. 学会等名 第4回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤康之, 中村文一, 大塚敏之
2. 発表標題 凸最適化の逆問題に基づいた逆最適制御則の再設計
3. 学会等名 第4回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御とモデル予測制御の基礎から応用展開まで ロボット, クルマ, スマートグリッド等への展開を目指して
3. 学会等名 日経エレクトロニクス技術者塾(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 モデル予測制御・実時間最適制御の基礎と応用事例
3. 学会等名 日本テクノセンターセミナー（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御の考え方とさまざまな応用
3. 学会等名 京都大学宇宙総合学研究ユニット2016年度第5回宇宙学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 数値計算を活用した非線形システムの最適制御
3. 学会等名 名古屋大学大学院工学研究科電子機械工学特論（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山田雅貴，羽田絢，中條俊樹，大塚敏之
2. 発表標題 浮体式洋上風力発電施設におけるタワー基部の曲げモーメントを評価したモデル予測制御
3. 学会等名 第58回自動制御連合講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 上野和浩, 山田雅貴, 大塚敏之, 羽田絢, 中條俊樹
2. 発表標題 浮体式洋上風力発電のモデル予測制御
3. 学会等名 京都大学第10回ICTイノベーション
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yu Kawano, and Toshiyuki Ohtsuka
2. 発表標題 Nonlinear Eigenvalue Characterization of Solutions to Differential Riccati Equations for Contraction Analysis
3. 学会等名 第3回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御とモデル予測制御の基礎から応用展開まで ロボット, クルマ, スマートグリッド等への展開を目指して
3. 学会等名 日経エレクトロニクス技術者塾 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 非線形モデル予測制御
3. 学会等名 第4回 Mathematics for Industry シンポジウム 基調講演 (招待講演)
4. 発表年 2015年



1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 AutoGenU, MPC他の応用, 将来の展望
3. 学会等名 第4回 Mathematics for Industry シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 実時間最適化による非線形制御
3. 学会等名 MathWorks Japan モデル予測制御(MPC)セミナー 基調講演 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 モノの一番良い動かし方とは?
3. 学会等名 京都大学大学院情報学研究科平成27年公開講座「制御でモノを自由自在に操る」(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御と非線形モデル予測制御
3. 学会等名 サイバネットシステム, C/GMRES法による非線形モデル予測制御セミナー, 大阪・中央大通りFNビル (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御と非線形モデル予測制御
3. 学会等名 サイバネットシステム, C/GMRES法による非線形モデル予測制御セミナー, 東京・富士ソフトビル(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 実時間最適制御(モデル予測制御)の基礎と応用事例
3. 学会等名 日本テクノセンターセミナー(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 最適制御と非線形モデル予測制御
3. 学会等名 サイバネットシステム, C/GMRES法による非線形モデル予測制御セミナー, 名古屋・富士ソフトビル(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 非線形モデル予測制御の基礎と応用
3. 学会等名 電気三学会関西支部専門講習会「最近の制御関連技術 これって使えるの?」(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大塚敏之
2. 発表標題 実時間最適化による非線形機械システムのモデル予測制御
3. 学会等名 電気学会産業応用部門メカトロニクス制御技術委員会精密サーボシステムの多様性探求調査専門委員会（招待講演）
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 川田昌克 編著, 東俊一, 市原裕之, 浦久保孝光, 大塚敏之, 甲斐健也, 國松禎明, 澤田賢治, 永原正章, 南裕樹 共著	4. 発行年 2017年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 240ページ
3. 書名 倒立振子で学ぶ制御工学	

1. 著者名 大塚敏之, 野波健蔵, 水野毅ほか	4. 発行年 2015年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 592
3. 書名 後退ホライズン制御, 制御の事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://www.ids.sys.i.kyoto-u.ac.jp/~ohtsuka/index_j.htm">http://www.ids.sys.i.kyoto-u.ac.jp/~ohtsuka/index_j.htm</a>
---

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	湯野 剛史  (Yuno Tsuyoshi)  (10756232)	九州大学・システム情報科学研究院・助教    (17102)	
研究分担者	佐藤 康之  (Yasuyuki Satoh)  (40738803)	東京理科大学・未来科学部・助教    (32657)	