

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04145

研究課題名（和文）悪条件錐線形計画問題の理論とアルゴリズム

研究課題名（英文）Theory and algorithms for ill-conditioned conic linear programming

研究代表者

村松 正和（Muramatsu, Masakazu）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：70266071

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：機械学習でよく用いられるRectified Linear Unitの特性を活かしたスモールゲイン定理を導出した。また、2次制約付き2次計画問題（QCQP）の半正定値計画（SDP）緩和条件を解析し、森構造や同時三重対角化可能な場合への適用を示した。さらに、悪条件下のSDPにおいて、強い最適性条件（SOSP点）への収束を保証するアルゴリズムを開発し、従来の手法と比較して局所的な収束性を強化した。そのほかに、リカレント・ニューラルネットワークの安定性解析、正定値錐上の制約付き最適化問題の改善、および2部グラフを用いたQCQPの解析等を行った。また、悪条件SDPの完全解法に関する理論も構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、機械学習や最適化理論において進展をもたらすものである。例えば、Rectified Linear Unitを用いたスモールゲイン定理の導出により、安定性解析がより正確かつ効率的になる。また、QCQPに関する研究は、従来より大きなQCQPを高速に安定的に解くことを可能にしたので、応用の幅が広がった。SOSPへの収束の証明や悪条件の錐線形計画問題を厳密に解く研究は、理論を深めるものとして重要なものであり、今後の進展が待たれる。全体として、錐線形計画に関連するこれらの技術は、最適化問題の理論的な深まりと実践的応用を促進するものである。

研究成果の概要（英文）：A small-gain theorem leveraging the characteristics of the Rectified Linear Unit, commonly used in machine learning, was derived. Next, the semidefinite programming (SDP) relaxation conditions for quadratic constrained quadratic programming (QCQP) were analyzed, demonstrating applicability to forest structures and simultaneously tridiagonalizable cases. Additionally, an algorithm guaranteeing convergence to points satisfying strong optimality conditions (SOSP points) under ill-conditioned SDP was developed, enhancing local convergence compared to traditional methods. Other research also included stability analysis of recurrent neural networks, improvements in constrained optimization problems on the positive semidefinite cone, and QCQP analysis using bipartite graphs. Furthermore, a theory for the complete solving ill-conditioned SDPs was established.

研究分野：連続最適化

キーワード：半正定値計画 錐線形計画 2次錐計画 数理最適化

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

錐線形計画 (Conic Programming) は、凸最適化問題の一つであり、閉じた凸錐と線形部分空間、定ベクトルによって定義される問題である。この問題は、線形計画 (Linear Programming, LP) を凸性を保ちながら拡張したもので、さまざまな最適化モデルを含んでいる。近年、錐線形計画の研究は急速に進展しており、その応用範囲も広がっている。たとえば、線形計画 (LP)、二次錐計画 (SOCP)、半正定値計画 (SDP) などがその代表的なサブクラスである。

しかし、これらの問題の実用化においては「悪条件な問題」が大きな障害となっている。悪条件な問題とは、最適解が存在しない、もしくは双対問題と最適値が一致しないような問題を指す。このような悪条件な錐線形計画問題に対して、既存のアルゴリズムでは適切に解くことが難しいため、本研究ではこれらの悪条件問題に対応する新しいアルゴリズムの開発を目的としている。また、この研究により錐線形計画の理解を深め、実用的な解決策を提供することを目指した。本研究は錐線形計画における悪条件性を克服し、より広範な応用を実現するための重要なステップとなることが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、錐線形計画の実用化の障害になっている悪条件性を深く理解し、それに対応する新しいアルゴリズムを開発するとともに、さまざまな錐線形計画問題において実用化を目指すものである。具体的には、以下を目標としていた。

- (ア) 悪条件な錐線形計画問題に対する FRA (Facial Reduction Algorithm) に関する研究
- (イ) 一般化 KYP 補題に現れる不安定な SDP に関する研究
- (ウ) Positive System と錐線形計画に関する研究
- (エ) 半無限計画と PRA (Projection and Rescaling Algorithm) に関する研究
- (オ) 悪条件 SOCP の解法とその応用に関する研究

3. 研究の方法

基本的に理論系の研究なので、集まって議論したり、互いに情報交換したりというのが研究スタイルになる。あとは計算機を用いた数値計算によって理論を検証することである。

各自で適切に情報交換しながら研究を進めていき、年に1度くらいはみんなで集まって議論をしよう、というのが当初の計画であったが、まさにコロナ禍に直撃されたため、計画通りには進まなかった。最終年にシンポジウムを開催したのが最初で最後の対面ミーティングとなってしまったことは誠に残念である。

4. 研究成果

本研究プロジェクトは、錐線形計画における悪条件性を深く理解し、これに対処する新しいアルゴリズムを開発することを目的としていた。以下に、過去4年間の研究成果を述べる。

2019年度

本年度の研究は、Chubanov が提案した多項式アルゴリズムを半無限計画に拡張することに焦点を当てた。このアルゴリズムは、オラクルと射影およびスケールリングを用いて同次 LP の許容解を求めるものであり、許容領域の体積を条件数として反復回数を評価する手法である。特に条件数がゼロの場合には、面削減法を適用する必要があることが確認された。また、Chubanov の最初のアルゴリズムを対称錐に拡張し、数値実験を通じてその有効性を検証した。これらの研究結果は国際会議で発表された。

2020年度

この年度は、主に以下の三つの領域で研究が進展した。第一に、非負信号に限定した離散時間線形時不変系の l_2 誘導ノルムに関する研究が行われた。具体的には、Rectified Linear Unit が非負信号のみを出力することに着目し、 l_2 誘導ノルムを導入することで、スモールゲイン定理を導出した。第二に、二次制約付き二次計画問題 (QCQP) に対する半正定値計画 (SDP) 緩和の研究が行われた。森構造を持つ QCQP に対して、半正定値計画緩和が元の QCQP と同じ最適値を得るための条件を解析し、同時三重対角化可能な QCQP への適用も行った。第三に、悪条件な SDP に対する新しいアルゴリズムの開発が進められた。特に、制約想定が成立していない条件下で AKKT および TAKKT 最適性条件を満たすアルゴリズムを開発し、その大域的および局所的収束性を実証した。

2021 年度

この年度には、非凸二次計画(QCQP)の二次錐計画(SOCP)緩和における aggregate sparsity を用いた手法を提案し、その有効性を数値実験により確認した。また、半正定値制約を持つ非線形最適化問題に対する新しい主双対内点法を提案し、その大域的収束性を証明した。さらに、悪条件な半正定値計画問題における主双対ペアの双対ギャップの解析が進められた。特に、主双対ペアが弱実行可能または弱実行不可能な場合において、双対ギャップが正となる可能性を示し、非許容内点法の解析につなげた。

2022 年度

本年度の研究は順調に進展し、特に制御理論、非凸二次計画問題、および錐制約を持つ非線形最適化問題に関する研究が進められた。具体的には、以下の四つのカテゴリに分けて実施された。第一に、スイッチングを跨ぐ線形時不変離散時間システムのハンケルノルムに関して、非負システムを用いた特徴づけを行い、その一部が線形計画(LP)および半正定値計画(SDP)として特徴づけられることを示した。第二に、非凸二次制約を持つ非凸二次計画(nonconvex QCQP)に関する研究で、SOCP 緩和に aggregate sparsity を用いる手法を提案し、これが実際に二次錐の数を減らすことを証明した。第三に、錐制約を持つ非線形最適化問題に対する理論的な研究で、新しいタイプの主双対内点法を提案し、その大域的に KKT 点に弱収束することを証明した。第四に、悪条件な錐線形計画の理論に関する研究で、半正定値計画問題の主双対ペアにおいて、双対ギャップがあるときに少しだけ主双対ペアを摂動させる問題を考え、その最適値関数の性質を調べた。

総じて、これらの研究成果は錐線形計画の理論的理解を深めるだけでなく、実用的な解決策を提供するものである。特に、悪条件性に対する新しいアプローチやアルゴリズムの開発が進展し、広範な応用が期待される成果を挙げている。今後も引き続き研究を深化させることで、錐線形計画の実用化がさらに促進されることが期待される。また、これまでの研究を基に、他の最適化問題への応用も視野に入れており、最適化分野全体に対する大きな貢献が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Okuno Takayuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Local convergence of primal?dual interior point methods for nonlinear semidefinite optimization using the Monteiro?Tsuchiya family of search directions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	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） 10.1007/s10589-024-00562-y	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 Obara Mitsuaki, Sato Kazuhiro, Sakamoto Hiroki, Okuno Takayuki, Takeda Akiko	4. 巻 69
2. 論文標題 Stable Linear System Identification With Prior Knowledge by Riemannian Sequential Quadratic Optimization	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Automatic Control	6. 最初と最後の頁 2060 ~ 2066
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TAC.2023.3318195	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 Arahata Shun, Okuno Takayuki, Takeda Akiko	4. 巻 86
2. 論文標題 Complexity analysis of interior-point methods for second-order stationary points of nonlinear semidefinite optimization problems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 555 ~ 598
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10589-023-00501-3	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 Marumo Naoki, Okuno Takayuki, Takeda Akiko	4. 巻 84
2. 論文標題 Majorization-minimization-based Levenberg?Marquardt method for constrained nonlinear least squares	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 833 ~ 874
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10589-022-00447-y	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 Takao Ryota, Fujii Tatsuki, Motooka Hayato, Ebihara Yoshio	4. 巻 36
2. 論文標題 Stability Analysis of Continuous-Time Recurrent Neural Networks by IQC with Copositive Multipliers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers	6. 最初と最後の頁 17 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.36.17	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 Ebihara Y.	4. 巻 15
2. 論文標題 The l_q / l_p Hankel norms of discrete-time positive systems across switching	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 109 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/18824889.2022.2090801	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 Tsuchiya Takashi, Lourenço Bruno F., Muramatsu Masakazu, Okuno Takayuki	4. 巻 200
2. 論文標題 A limiting analysis on regularization of singular SDP and its implication to infeasible interior-point algorithms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mathematical Programming	6. 最初と最後の頁 531 ~ 568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10107-022-01891-8	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 該当する

1. 著者名 Yamakawa Yuya, Okuno Takayuki	4. 巻 83
2. 論文標題 A stabilized sequential quadratic semidefinite programming method for degenerate nonlinear semidefinite programs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 1027 ~ 1064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10589-022-00402-x	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 Okuno Takayuki、Fukushima Masao	4. 巻 199
2. 論文標題 Primal-dual path following method for nonlinear semi-infinite programs with semi-definite constraints	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mathematical Programming	6. 最初と最後の頁 251 ~ 303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10107-022-01827-2	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 該当する

1. 著者名 Sheen Heejune、Yamashita Makoto	4. 巻 37
2. 論文標題 Exploiting aggregate sparsity in second-order cone relaxations for quadratic constrained quadratic programming problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optimization Methods and Software	6. 最初と最後の頁 753 ~ 771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10556788.2020.1827256	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 Yuya Yamakawa and Takayuki Okuno	4. 巻 1909.13544
2. 論文標題 A stabilized sequential quadratic semidefinite programming method for degenerate nonlinear semidefinite programs.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 arXiv	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 無
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 本岡駿人, 蛭原義雄	4. 巻 35
2. 論文標題 非負値入力に対するL2 誘導ノルムの解析と再帰型ニューラルネットワークの安定性解析への応用	5. 発行年 2021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 29-37
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 Azuma Godai, Fukuda Mitsuhiro, Kim Sunyoung, Yamashita Makoto	4. 巻 82
2. 論文標題 Exact SDP relaxations of quadratically constrained quadratic programs with forest structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Global Optimization	6. 最初と最後の頁 243-262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10898-021-01071-6	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 該当する

1. 著者名 Lourenco Bruno F., Muramatsu Masakazu, Tsuchiya Takashi	4. 巻 36
2. 論文標題 Solving SDP completely with an interior point oracle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optimization Methods and Software	6. 最初と最後の頁 425-471
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10556788.2020.1850720	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 該当する

1. 著者名 Ebihara Yoshio, Waki Hayato, Magron Victor, Mai Ngoc Hoang Anh, Peaucelle Dimitri, Tarbouriech Sophie	4. 巻 62
2. 論文標題 l2 Induced Norm Analysis of Discrete-Time LTI Systems for Nonnegative Input Signals and Its Application to Stability Analysis of Recurrent Neural Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Control	6. 最初と最後の頁 99 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejcon.2021.06.022	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 Takayuki Okuno	4. 巻 2009.0302
2. 論文標題 Local convergence of primal-dual interior point methods for nonlinear semi-definite optimization using the family of Monteiro-Tsuchiya directions.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 arXiv	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 無
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 Mitsuaki Obara, Takayuki Okuno, and Akiko Takeda	4. 巻 2009.07153
2. 論文標題 Sequential quadratic optimization for nonlinear optimization problems on riemannian manifolds.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 arXiv	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 無
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 Kawakami Takefumi, Ide Takanori, Moriyama Eiji, Hoki Kunihiro, Muramatsu Masakazu	4. 巻 69
2. 論文標題 Development of Artificial Intelligence to Classify Quality of Transmission Shift Control Using Deep Convolutional Neural Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 16168 ~ 16172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVT.2020.3032191	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 -

[学会発表] 計24件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Godai Azuma*, Mituhiro Fukuda, Sunyoung Kim, Makoto Yamashita
2. 発表標題 Tight Semidefinite Relaxations for Sign-Indefinite Qcqp with Bipartite Structures
3. 学会等名 SIAM Conference on Optimization 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Godai Azuma, Mituhiro Fukuda, Sunyoung Kim, Makoto Yamashita*
2. 発表標題 Tightness conditions of SDP relaxation for QCQPs with bipartite graph structure
3. 学会等名 10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 東悟大*, Sunyoung Kim, 山下真
2. 発表標題 正確なランク1行列補完のための二乗和緩和の疎性構造
3. 学会等名 シンポジウム：錐線形計画とその周辺
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoki Marumo, Takayuki Okuno, Akiko Takeda
2. 発表標題 Generalized Levenberg-Marquardt method with oracle complexity bound and local convergence
3. 学会等名 ICIAM 2023 Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Ebihara
2. 発表標題 Lp+ Induced Norm Analysis of Linear Systems
3. 学会等名 Workshop on Uncertain Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Ebihara, X. Dai, T. Yuno, V. Magron, D. Peaucelle, and S. Tarbouriech
2. 発表標題 Local Lipschitz Constant Computation of ReLU-FNNs: Upper Bound Computation with Exactness Verification
3. 学会等名 The 22nd European Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 正木峻雅, 山下真
2. 発表標題 Domain-space conversion と Block factor-width-2 decomposition による疎な半正定値計画問題の高速化
3. 学会等名 日本経営工学会関東支部2022年度学生論文発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Namchaisiri Charles, Liu Tianxiang, Makoto Yamashita
2. 発表標題 An Adaptation of Dual Spectral Projected Gradient Method
3. 学会等名 International Workshop on Continuous Optimization (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Godai Azuma, Mituhiro Fukuda, Sunyoung Kim, Makoto Yamashita
2. 発表標題 Exactly Solving a class of QCQPs via Semidefinite Relaxation with Bipartite Sparsity Patterns
3. 学会等名 International Workshop on Continuous Optimization (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ning-Wen Yang, Makoto Yamashita
2. 発表標題 Conic Optimization for Drone Ship Routing Problem
3. 学会等名 International Guest Lecture, World Class Professo (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Godai Azuma, Mituhiro Fukuda, Sunyoung Kim, Makoto Yamashita
2. 発表標題 Exactness Conditions for Semidefinite Relaxation of Nonconvex QCQPS with Forest Structures
3. 学会等名 SIAM Conference on Optimization 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Godai Azuma, Mituhiro Fukuda, Sunyoung Kim, Makoto Yamashita
2. 発表標題 Exact semidefinite relaxations for QCQPs with forest-structured matrices and its applications
3. 学会等名 IFORS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Ebihara, H. Waki, N. Sebe, V. Magron, D. Peaucelle, and S. Tarbouriech
2. 発表標題 L2+ Induced Norm Analysis of Continuous-Time LTI Systems Using Positive Filters and Copositive Programming
3. 学会等名 Proc. of the 18th European Control Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本岡駿人, 蛭原義雄, 脇隼人, 瀬部昇
2. 発表標題 L2+ 誘導ノルムの解析I: 上界値解析
3. 学会等名 第9 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 2022年

1. 発表者名 蛭原義雄, 本岡駿人, 脇隼人, 瀬部昇
2. 発表標題 L2+ 誘導ノルムの解析II: 下界値解析
3. 学会等名 第9 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 2022年

1. 発表者名 坂井祐太, 山下真
2. 発表標題 緩和法とペナルティ法を用いた二次錐計画問題に対する安定した解法の構築
3. 学会等名 日本経営工学会関東支部2021年度学生論文発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東悟大, 福田光浩, Kim Sunyoung, 山下真
2. 発表標題 二部グラフで表現可能な疎性を持つ二次制約付き二次計画問題と狭小な半正定値計画緩和の条件
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2022春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Saeki and Y. Ebihara
2. 発表標題 Stability Analysis of Dynamical Systems with Saturation Nonlinearities via IQC with Copositive Multipliers
3. 学会等名 Proc. of the SICE Annual Conference, Kumamoto, Japan
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ebihara, H. Waki, V. Magron, N. H. A. Mai, D. Peaucelle, and S. Tarbouriech
2. 発表標題 Stability Analysis of Recurrent Neural Networks by IQC with Copositive Mutipliers
3. 学会等名 Proc. of the 60th IEEE Conference on Decision and Control, Austin, USA (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山川雄也, 奥野貴之
2. 発表標題 非線形半正定値計画問題に対する安定化逐次二次半正定値計画法の大域的収束性について
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所 共同研究(グループ型) 数理最適化の理論・アルゴリズム・応用
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 東悟大, 福田光浩, 山下真, Sunyoung Kim
2. 発表標題 三重対角性を持つ二次制約付き二次計画問題の狭小な半正定値計画緩和
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所 共同研究(グループ型) 数理最適化の理論・アルゴリズム・応用
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Ebihara, H. Waki, V. Magron, N. H. A. Mai, D. Peaucelle, and S. Tarbouriech
2. 発表標題 Stability Analysis of Recurrent Neural Networks by IQC with Copositive Mutipliers
3. 学会等名 Proc. of the 60th IEEE Conference on Decision and Control, Austin, USA (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新幡駿, 奥野貴之, 武田朗子
2. 発表標題 非線形半正定値最適化問題に対する2次の最適性保証付き主双対内点法
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小原 光暁, 奥野 貴之, 武田 朗子
2. 発表標題 Sequential Quadratic Optimization for Nonlinear Optimization Problems on Riemannian Manifolds
3. 学会等名 研究集会「最適化：モデリングとアルゴリズム」
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

悪条件非線形計画問題の理論とアルゴリズム https://muramatsu-lab.jp/seminar/kakenb/

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	山下 真 (Yamashita Makoto) (20386824)	東京工業大学・情報理工学院・教授 (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	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	奥野 貴之 (Okuno Takayuki) (70711969)	成蹊大学・理工学部・准教授 (32629)	
研究分担者	蛭原 義雄 (Ebihara Yoshio) (80346080)	九州大学・システム情報科学研究院・教授 (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関