

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03250

研究課題名（和文）非線形変数変換を用いた積分型固有値解法による固有値解析技術の開発

研究課題名（英文）Development of eigenvalue analysis methods using a quadrature-type eigensolver with nonlinear transformations

研究代表者

櫻井 鉄也（Sakurai, Tetsuya）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：60187086

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、積分型並列固有値解法の非線形変数変換による高性能化手法の開発を行った。積分型固有値解法は、従来の逐次型の固有値解法と比較して高い並列性を持ち、また、非線形固有値問題に対しても線形固有値問題と同様のアルゴリズムで求解できる特徴を持つ。一方で、その性能は対象領域近傍の固有値分布の影響を受ける。本研究課題では、非線形変数変換を用いて線形固有値問題を非線形化し、得られた非線形固有値問題を非線形版の積分型固有値解法を用いて求解する手法を提案した。提案手法の性能の理論解析を行うとともに、いくつかの実アプリケーションに対して開発手法を適用し提案方法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題において、線形固有値問題を非線形固有値問題に帰着させて解くこれまでにない新規の方法論を提案し、その手法の構築と評価を行ったことが学術的な意義である。大規模な固有値解析は、素粒子や原子核などの基礎物理分野、ナノ材料やフォトニック結晶の応用物理分野、自動車・建築物の設計、新素材・デバイスの開発、流体・振動解析、創薬、ネットワーク・データ解析など、幅広いシミュレーションでの応用がある。本課題で開発・拡張を進めた超並列な固有値解法が活用されることで、幅広い分野の科学技術シミュレーション・データ解析応用の発展に寄与する。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed a method for improving the performance of the quadrature-type parallel eigenvalue solver through nonlinear variable transformation. Compared to conventional sequential eigenvalue solvers, quadrature-eigenvalue solvers have high parallelism and can solve nonlinear eigenvalue problems with the same algorithm as linear eigenvalue problems. On the other hand, its performance is affected by the distribution of eigenvalues in the neighborhood of the target domain. We proposed a method to transform the linear eigenvalue problems to the corresponding nonlinear eigenvalue problems by using nonlinear variable transformations. The obtained nonlinear eigenvalue problem is solved using the nonlinear version of the quadrature-type eigenvalue solver. The performance of the proposed method is theoretically analyzed, and the effectiveness of the proposed method is confirmed by applying the developed method to several applications.

研究分野：数値解析学

キーワード：固有値解析 積分型固有値解法 非線形変換

1. 研究開始当初の背景

(1) 学術的背景

大規模な固有値解析は計算科学分野の各種応用分野の基盤的な位置付けにある。例えば、素粒子や原子核などの基礎物理分野、ナノマテリアルやフォトニック結晶の応用物理分野、自動車・建築物の設計、新素材・デバイスの開発、流体・振動解析、創薬、ネットワーク・データ解析など、幅広いシミュレーションやデータ解析での応用がある。大規模なモデルやデータから現れる固有値問題に対しての計算機によるシミュレーションは重要性が高く、超並列な固有値解法の開発が望まれている。積分型固有値解法(Sakurai-Sugiura 法、以下 SS 法)[Sakurai, Sugiura, J. Comput. Appl. Math. 03]、[Asakura, Sakurai, Tadano, Ikegami, Kimura, Japan J. Indust. Appl. Math. 09] は超並列計算環境及び超大規模問題に対して高効率性能を発揮することからその優位性が認められ、海外においても活発に研究が行われてきた[Tang, Polizzi, SIAM J. Matrix Anal. Appl. 14]。

(2) 研究課題の核心をなす学術的「問い」

非線形固有値問題は構造解析や物性予測などの分野で現れ、その高性能な解法が求められている。多くの場合、非線形固有値問題は離散化等を工夫することで問題を線形に帰着させる、あるいは多項式固有値問題のように多項式の次数に応じて大型化した線形の固有値問題として解くことが一般的である。積分型の固有値解法である SS 法は線形固有値問題の場合と同等の計算コストで非線形固有値問題を直接求解できるという特徴を持ち、物理分野で成果をあげている[Iwase, Futamura, Imakura, Sakurai, Ono, SC' 17, 17]。効率的な非線形 SS 法を用いることで、データ解析分野で広く用いられる「線形問題の非線形化」が固有値問題の求解に対しても有効となり得るかが本研究課題の核心をなす学術的問いとなる。

(3) 着想に至った経緯

機械学習の分野においては、線形データに対して非線形カーネルを適用することでより高精度な解析ができることが知られている。一方、非線形固有値問題では、その求解自体が非常に困難であるという問題点から、離散化を工夫して問題を線形化して近似的に解くことが一般的であった。効率的な非線形固有値解法を基盤として、データ解析分野で成功を納めている「線形問題の非線形化」というアイデアを固有値問題に組み込むことで、従来手法と全く異なる解法として確立する。

(4) 国内外の研究動向と本研究の位置付け

本研究課題で着目する積分型並列固有値解法は、我々が世界に先駆けて開発を進めてきた手法であり、その高並列性能から海外においても注目されており、理論研究のみならず、並列ソフトウェアの開発および実アプリケーション分野への適用など、多岐にわたる研究が活発に進められている。

2. 研究の目的

本研究課題では、非線形変数変換に基づく問題の非線形化による積分型固有値解法の高性能化手法の開発を目的とする。また、実問題に対して提案手法を適用し性能評価を行う。本研究課題を通して、線形問題の非線形化が固有値問題の求解に対しても有効となり得るかとの学術的問いへの答えを見つける。積分型固有値解法(SS 法)の計算対象は大きく分けると、

- i. 指定領域内部の固有値のみ
- ii. 指定領域内部の固有値と固有ベクトル(固有対)
- iii. 指定領域の固有値密度分布の計算

である。積分型固有値解法である SS 法は、周回積分に基づき対象の固有ベクトル成分を抽出するフィルタを形成し、指定領域内部の固有値を選択的に計算することができるが、指定領域外部に固有値が密集していると精度が劣化する場合がある。各状況について、固有値分布を改善することで SS 法の性能を改善するような、非線形化手法(非線形変数変換)を考案する。

本研究の特色は、積分による多項式フィルタを用いた先端的な固有値解法である SS 法の高い並列性を維持したまま精度を向上することにある。独創的な点は、高性能な非線形固有値解法に基づき非線形変数変換によって線形問題を敢えて非線形化することで SS 法の高性能化を目指す点である。具体的には、変数変換によって固有空間成分を抽出するための良質なフィルタを構成して計算量を低減する。クリロフ部分空間に基づく非定常多項式フィルタの特性は指定領域の外部近傍における固有値に依存する。このため予想される結果として、考案した非線形変数変換によって線形・非線形の各種固有値問題に対して多項式フィルタの特性を向上させて求解精度も向上できるようになることが挙げられる。

これまでは数値積分点数を増加させることで問題を解消していたアプローチとは異なり、積分点数を大幅に低減させても精度を維持することができることが予想される。本研究では、指定領域外部の固有値分布に従ってフィルタの特性を調整できるような変数変換を、個別の被積分関数の性質に依らずに分類することで汎用的なアプローチを目指す。

3. 研究の方法

本研究課題では、非線形変数変換に基づく問題の非線形化による積分型固有値解法の高性能化手法の開発を目的とし、以下の項目について明らかにする。

- 1) 非線形変数変換による固有値解析のための理論基盤 SS 法の指定領域に応じて、対象とする固有値問題の固有値分布を緩和することができるような固有値の非線形変数変換の理論基盤について解明する。
- 2) 数値計算における提案手法の理論的正当化 1 の非線形変数変換によってフィルタ特性が向上することを理論的に明らかにし、非線形変数変換に基づき線形問題を敢えて非線形化する提案法が精度良く真の固有値を近似できることを示す。
- 3) 実アプリケーションへの適用と性能の実証ナノマテリアルシミュレーション(オーダーN 密度汎関数法)、および原子核シミュレーション(殻模型)等の実問題に対して従来法との性能を比較することで提案手法の優位性を示す。

上記の項目の実現のため、本研究課題で具体的に取り組んだ研究実施項目は以下の 5 点である。

- (1) 固有値問題の条件を改善するための非線形変数変換の考案
- (2) (1)の非線形変数変換を用いた SS 法のアルゴリズム設計
- (3) (2)のアルゴリズムによるフィルタ特性および近似固有値の精度の理論解析
- (4) (3)のアルゴリズムの実装を行い、計算機実験によって従来法に比する優位性を評価
- (5) 実アプリケーションへの適用による提案法の実効性能に関する優位性を評価

4. 研究成果

本研究課題では、非線形変数変換に基づく問題の非線形化による積分型固有値解法である SS 法の高性能化手法の開発のため、以下の項目について明らかにする研究に取り組んだ。1) 非線形変数変換による固有値解析のための理論基盤、2) 数値計算における提案手法の理論的正当化、3) 実アプリケーションへの適用と性能の実証。

本手法で帰着させる非線形固有値問題に対して複素モーメントを用いた固有値解法の理論解析 Arnoldi 型の解法の構築を進めた。また、解法において必要とされる線形方程式の解法について、複素右辺ベクトルを持つシフト線形方程式に対する多項式前処理の有効性の検証や反復線形ソルバを用いた性能検証を行った。本手法の適用対象の一つである特異値分解や低ランク近似の応用として想定される次元削減法や非負値行列分解についても解法の開発やそのデータ解析や深層学習への応用について研究を進めた。非線形変数変換後に現れる固有値問題に対して効果的なパラメータを求めるため、確率的固有値分布推定法についての検討を進めた。本課題が対象とする複素モーメント型の非線形固有値問題の解法の理論解析と性能向上に取り組むとともに、解法注で現れる複素右辺を持つ線形方程式のブロック形の解法の性能評価など、解法の基盤部分について研究成果が得られた。また、課題の一つである実応用に向けた解法の改善のため、特異値分解や低ランク近似が現れる応用についても適用し性能評価を実施した。

複素モーメントを用いた固有値解法の理論解析と Arnoldi 型の解法の構築を進めるとともに、本手法の適用対象の一つである特異値分解や低ランク近似の応用として想定される次元削減法や非負値行列分解について解法の開発を行った。大規模スパース行列に対して従来広く用いられている大規模スパース行列向けの解法と性能を比較し、高い性能が得られることが確認された。特に大規模スパース行列が現れるデータ解析や機械学習分野での利用を想定し、ソフトウェア開発を進めた。本課題が対象とする複素モーメント型の非線形固有値問題の解法の理論解析と性能向上に取り組んだ。また、課題の一つである実応用に向けた解法の開発を進め、データ解析や機械学習で現れる大規模でスパースな行列の特異値分解での性能評価を行った。従来用いられてきた大規模スパース行列の標準的な解法と比べ計算速度の改善が得られた。

また、特にデータ解析、機械学習、グラフ解析などの分野での応用を想定し、大規模データ解析で必要とされる次元削減で現れる固有値問題、およびスパースな大規模行列の特異値分解を対象として手法開発を進めた。実応用に向けた解法の開発を進め、データ解析や機械学習で現れる大規模でスパースな行列の特異値分解での性能評価を行った。特に大規模スパース行列の特定範囲の特異値とそれに対応する特異ベクトルを求める問題において、非線形変換を用いた固有値分布範囲の変換を適用することで、精度の改善とそれに伴う計算量の削減を達成した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 X. Ye, H. Li, T. Sakurai and P.W. Shueng.	4. 巻 16(7)
2. 論文標題 Ensemble feature learning to identify risk factors for predicting secondary cancer.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7150/ijms.33820	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 H. Chen, J. Meng, T. Sakurai and X. Wang	4. 巻 26
2. 論文標題 Backward error analysis for linearizations in heavily damped quadratic eigenvalue problem.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Numerical Linear Algebra with Applications	6. 最初と最後の頁 e2253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nla.2253	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 L. Du, A. Imakura, T. Sakurai	4. 巻 77(8)
2. 論文標題 Simultaneous band reduction of two symmetric matrices.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers and Mathematics with Applications	6. 最初と最後の頁 2207-2220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.camwa.2018.12.003	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 関川悠太, 二村保徳, 今倉暁, 櫻井鉄也	4. 巻 29
2. 論文標題 複数右辺ベクトルを持つシフト線形方程式に対する多項式前処理の有効性の検証.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本応用数学会論文誌	6. 最初と最後の頁 141-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/jsiamt.29.1_141	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 T. Sakurai, Y. Futamura, A. Imakura, T. Imamura	4. 巻 24
2. 論文標題 Scalable Eigen-analysis engine for large-scale eigenvalue problems.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing	6. 最初と最後の頁 37-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/ida-194942	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 X. Ye, H. Li, A. Imakura and T. Sakurai	4. 巻 28
2. 論文標題 Distributed Collaborative Feature Selection Based on Intermediate Representation.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 28th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-19), Macao	6. 最初と最後の頁 4142-4149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24963/ijcai.2019/575	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 A. Imakura, M. Matsuda, X. Ye and T. Sakurai	4. 巻 33(01)
2. 論文標題 Complex Moment-Based Supervised Eigenmap for Dimensionality Reduction.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 3910-3918
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v33i01.33013910	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 Matsuda, Momo; Morikuni, Keiichi; Sakurai, Tetsuya	4. 巻 1巻
2. 論文標題 Spectral feature scaling method for supervised dimensionality reduction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 2560-2566
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 松田萌望, 保國恵一, 今倉暁, 櫻井鉄也	4. 巻 118巻 no81
2. 論文標題 高次元データのスペクトラルクラス分類における特徴量スケーリング	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報, IBISML2018-2	6. 最初と最後の頁 9-14
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 Imakura, Akira; Sakurai, Tetsuya	4. 巻 74
2. 論文標題 Block SS-CAA: A complex moment-based parallel nonlinear eigensolver using the block communication-avoiding Arnoldi procedure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Parallel Computing	6. 最初と最後の頁 34 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.parco.2017.11.007	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 R. Arai, A. Imakura, T. Sakurai	4. 巻 8巻
2. 論文標題 An improvement of the nonlinear semi-NMF based method by considering bias vectors and regularization for deep neural networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International J. Machine Learning and Comput	6. 最初と最後の頁 191-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18178/ijmlc.2018.8.3.686	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 T. Yano, Y. Futamura, A. Imakura and T. Sakurai	4. 巻 10巻
2. 論文標題 Performance evaluation of the Sakurai-Sugiura method with a block Krylov subspace linear solver for large dense Hermitian-definite generalized eigenvalue problems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 77-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.10.77	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 T. Sakurai, Y. Futamura, A. Imakura, T. Imamura	4. 巻 1巻
2. 論文標題 Scalable Eigen-analysis engine for large-scale eigenvalue problems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing	6. 最初と最後の頁 37-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-1924-2_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 関川悠太, 二村保徳, 今倉暁, 櫻井鉄也	4. 巻 29巻
2. 論文標題 複数右辺ベクトルを持つシフト線形方程式に対する多項式前処理の有効性の検証	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本応用数学会論文誌	6. 最初と最後の頁 141-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/jsiamt.29.1_141	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17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Nakai, Akie; Takahashi, Yuta; Imakura, Akira; Okada, Sakurai, Tetsuya
2. 発表標題 Empirical Study of Non-Model Shared Data Collaboration Analysis Using Pseudo-data.
3. 学会等名 サービス学会 第8回国内大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲葉弘明; 今倉暁; 栗山大輔; 鎮目進一; 岡田幸彦; 櫻井鉄也
2. 発表標題 組織内に分散された共有不能データのデータコラボレーション解析による活用実験.
3. 学会等名 サービス学会 第8回国内大会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Sakurai, Tetsuya
2 . 発表標題 Development of an Eigen-Analysis Engine for Large-Scale Simulation and Big Data Analysis.
3 . 学会等名 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP20) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Imakura, Akira; Matsuda, Momo; Ye, Xiucan; Sakurai, Tetsuya
2 . 発表標題 A complex moment-based dimensionality reduction for data analysis.
3 . 学会等名 2019 Mini-Workshop on Computational Science (MWCS2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ye, Xiucan; Li, Hongmin; Akira, Imakura; Sakurai, Tetsuya
2 . 発表標題 Distributed Collaborative Feature Selection Based on Intermediate Representation.
3 . 学会等名 28th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-19) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Imakura, Akira; Sakurai, Tetsuya
2 . 発表標題 Nonlinear semi-NMF based method for deep neural network computations and its improvements.
3 . 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Imakura, Akira; Sakurai, Tetsuya
2. 発表標題 A novel dimensionality reduction method using a complex momnet-based subspace.
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakurai, Tetsuya; Funamura, Yasunori; Ye, Xiucai; Imakura, Akira
2. 発表標題 A complex moment-based spectral method for detecting anomalous structures in large graphs.
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakurai, Tetsuya
2. 発表標題 Data Collaboration for Distributed Data Analytic Infrastructure.
3. 学会等名 The 6th Japan-U.S. Digital Innovation Hub Workshop: Alliance for the Future of Digital Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 与田裕之; 今倉暁; 松田萌望; 叶秀彩; 櫻井鉄也
2. 発表標題 最小二乗確率的分類器を用いた多峰性のあるデータに対する特異点検出.
3. 学会等名 第48回数値解析シンポジウム (NAS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakurai, Tetsuya
2. 発表標題 Data Collaboration for Robust Anomaly Detection in Cybersecurity.
3. 学会等名 International Symposium on "Digital Science Now" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ye, Xiucan; Li, Hongmin; Sakurai, Tetsuya; Pei-Wei Shueng
2. 発表標題 Ensemble Feature Learning to Identify Risk Factors for Predicting Secondary Cancer.
3. 学会等名 International Conference on Medical and Health Informatics (ICMHI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xiucan Ye; Sakurai, Tetsuya
2. 発表標題 Spectral Clustering with Adaptive Similarity Measure in Kernel Space.
3. 学会等名 International Conference on Soft Computing and Machine Learning (SCML2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲川裕太, 二村保徳, 今倉暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 Intel Xeon Phiを用いたSpectral nested dissectionの性能評価
3. 学会等名 SWoPP2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuta Inagawa, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Efficient Parallel Implementation of Spectral Nested Dissection for Large-Scale Sparse Linear System
3. 学会等名 PMAA18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢野貴大, 二村保徳, 今倉暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 反復線形ソルバを用いた大規模密一般化固有値問題向けSS-RR法の性能評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田萌望, 保國恵一, 今倉暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 スペクトラル特徴量スケーリングの多クラス分類問題への拡張
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	二村 保徳 (Futamura Yasunori) (30736210)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	

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	今倉 暁 (Imakura Akira) (60610045)	筑波大学・システム情報系・准教授 (12102)	
研究分担者	保國 恵一 (Morikuni Keiichi) (90765934)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	

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