

平成 31 年 5 月 6 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02823

研究課題名(和文) 通信回避・削減アルゴリズムのための自動チューニング技術の新展開

研究課題名(英文) A Novel Development of Auto-tuning Technologies for Communication Avoiding and Reducing Algorithms

研究代表者

片桐 孝洋 (KATAGIRI, TAKAHIRO)

名古屋大学・情報基盤センター・教授

研究者番号：40345434

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)：(1) AT方式開発：コード変換を伴うAT方式、実行時にスレッド数を変更する新方式を提案し有効性の評価を行った。また、機械学習を適用する新しいAT方式の実現可能性について検討と評価を行った。(2) AT性能モデル化：複数の性能パラメタからなる多次元空間上でd-Spline関数により一次元探索を繰り返す超軽量なAT機構を実現した。(3) アプリケーション適用：4次元変分法をフェーズフィールドモデルに実装したアプリケーションを構築し、高性能実装手法による高速化を行った。核融合プラズマの磁気流体力学(MHD)不安定性の解析にて使用される簡約化二流体モデル解析を半陰的時間積分法の導入により高速化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

幅広い分野のプログラムに適用できる自動チューニング方式と性能モデルを開発したことにより、科学の進展に資するプログラムや、ものづくりなどのプログラムの高速化を、最先端のスーパーコンピュータ上で、低いコストで実施できるようになる可能性がある。このことで、新たな科学上の発見や、効率の良い工業製品の開発、などを支援する計算機環境の構築に貢献することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：(1) AT Method Development: an AT method with code transformation, which is a new method for changing number of threads, is proposed and evaluated to show its effectiveness. (2) Performance Modeling for AT: A very light AT facility with d-Spline function to model multiple dimensions with multiple parameters of performance by one-dimensional incremental search is developed. (3) Application Adaptation: The four-dimensional variational method is adapted for phase-field model. It is also speeding up by high performance implementation method. Simplifying two-fluid model to analyze instability for Magnetohydrodynamic (MHD) in nuclear fusion plasma is speeding up by introducing semi-implicit time integration method.

研究分野：高性能計算

キーワード：自動チューニング 通信削減アルゴリズム 機械学習 データ同化 ループ変換 時空間ブロッキング
マルチコア ポストムーア

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

次世代スパコンでは、ノード数が100万ノード級と想定され、高い並列性の確保と通信時間の削減が強く要請される。特に通信時間については、通信レイテンシの削減がハードウェア上困難であることが知られている。そのため、通信回避（Communication Avoiding (CA)）、および通信削減（Communication Reducing (CR)）アルゴリズムによる数値計算ライブラリの再構築が必須となる。一方ハードウェアの観点では、厳しい電力制限に加え、計算機アーキテクチャの複雑化が予想されている。

このような状況のもと、利便性の向上と多様な入力や計算機環境での高性能化のため、アプリケーションの性能パラメータを対象計算機のキャッシュサイズ、コア数、通信性能などの計算機アーキテクチャの特性に加えて、数値アルゴリズム選択に至る広範な要因を自動的にチューニングするソフトウェア自動チューニング技術（以降、「AT 技術」）が、国内外から注目を集めている。

2. 研究の目的

（新しい原理に基づく通信回数削減手法の開発）が重要となる。次世代メモリでは、3次元積層技術の採用による階層化や非対称レイテンシ化が進み利便性の悪化や高性能化が困難となる。そこで、〈通信回避や通信削減（CA/CR）が可能な新アルゴリズム〉を採用した実装方式の探求を行う。CA/CRを用いる新しい数値計算ライブラリの性能パラメータを明らかにし、〈自動チューニング（AT）技術を適用〉することで、利便性と性能が高いソフトウェア構築の仕組みを明らかにする。データ同化処理など実用アプリケーションで求められる機能要件をもとにAT機能を設計する（コ・デザインを強力に推進）し、世界初のAT技術開発の道を切り開く。

3. 研究の方法

〈AT方式設計グループ〉、〈AT実装方式開発グループ〉、〈ATアプリケーション適用グループ〉の3グループを編成し、CA/CRのためのAT機能のアルゴリズム、API仕様策定、実装、および、性能評価を機能的に実施する。次世代スパコン環境でのAT評価・機能実証のため、名古屋大学や東京大学の最先端のスーパーコンピュータを活用する。研究分担者と連携研究者が、いままで研究を進めてきたAT要素技術を適用発展させる。開発工程を5つのフェーズに分け、CA/CRのためのAT方式を開発する。

4. 研究成果

(1) **AT方式開発の成果**：コード変換を伴うAT方式、実行時にスレッド数を変更する新方式を提案し有効性の評価を行った。また、機械学習を適用する新しいAT方式の実現可能性について検討と評価を行った。さらに、AT方式への機械学習の適用可能性、および、次世代計算機環境のポストムーア時代におけるAT方式の指針を世界に先駆けて示すことができた。

① **コード変換と実行時スレッド数変更を行うAT方式**：2重以上の多重ループをOpenMPでスレッド並列化する場合において、並列化の対象ループを変更するループ変換手法をAT言語ppOpen-ATの新機能として提案した。

② **ポストムーア時代のAT方式**：ポストムーア時代には相対的に演算性能（FLOPS）よりもデータ移動性能（BYTEs）が向上するという仮定を置き、B/F値が上がるにつれ高B/Fカーネルのほうが低B/Fカーネルより高速になる事実を世界で初めて明らかにし、AT構成方式への知見を示した。

③ **AT方式への適用を考慮した通信削減実装**：京コンピュータ/FX100に搭載されている機能であるRDMAを用いることによりノード間のデータ通信を高速化する実装方式を開発した。

(2) AT性能モデル化とそのAT方式の成果

① **多次元性能パラメータに適用可能な性能モデルによるAT方式**：プログラムの性能を決定する性能パラメータを、複数同時に、かつ、最適値を効率よく推定する方式を開発した。複数の性能パラメータからなる多次元空間上をd-Splineと呼ぶ近似関数を用いて、次元探索を繰り返すことにより、超軽量のAT機構を構築した。

② **時空間ブロッキングに対応した性能モデル**：通信削減アルゴリズムである時空間ブロッキングを適用したプログラム、例えば5点ステンシル演算コードに対して、AT機能を適用可能な精度で性能をモデル化できる手法を開発した。

(3) アプリケーションへの適用の成果：

① **データ同化**：現代の数値気象予報の根幹をなす「データ同化」は、大規模数値シミュレーションと大容量観測データをベイズ統計学の枠組みで融合する計算技術として、地球科学のみならず、生物学や材料科学などの様々な分野への応用展開が始まっている。しかしながら、データ同化の既存手法をナイーブに実装すると、必要な計算機資源や計算量が極めて膨大となるため、それらをいかに削減するかが喫緊の課題となっている。大雑把に言えば、データ同化は、(i)シミュレーションに基づく将来の状態予測と、(ii)予測と観測データの比較による状態の再推定、という2つのステージで構成されるが、これまでの計算コスト削減に関するほとんどの研究は、ベイズ統計学理論に基づく(ii)への対処が主体であり、計算機科学に基づく(i)へ

の対処はほぼ皆無に等しかった。本研究では、気象予報における主力のデータ同化手法である4次元変分法を、まずは、材料科学分野におけるシミュレーション手法として近年発展してきたフェーズフィールドモデルに実装して4次元変分法アプリケーションを構築した。次に、コンピュータサイエンス学者との協働(コ・デザイン)により、時空間のキャッシュブロッキングに基づいて上記(i)の計算コストを削減する研究を実施した。

②核融合プラズマ：核融合プラズマの磁気流体力学(MHD)不安定性の解析にて使用されるモデルの一つである、簡約化二流体モデルを数値的に解く計算コードへの半陰的時間積分法の導入による高速化を行った。これまでは陽的時間積分法を用いてきたが、本研究において半陰的時間積分法を導入し、その有効性について確認した。ここで導入した半陰的時間積分法では、線形項に対して陰的時間積分法を、非線形項に対して陽的時間積分法を適用している。揺動振幅の増加につれ非線形項の寄与が増加するため、時間の刻み幅を適切に減少させる必要があるが、揺動振幅が最も大きくなる飽和状態では、クーラン条件で決定される時間刻み幅の10倍程度の時間刻み幅を取ることが可能であることがわかった。全体の計算時間を比較すると、半陰的時間積分法を導入した計算コードの計算時間は、陽的時間積分法を用いた計算コードによる計算時間の1割程度に短縮されており、半陰的時間積分法導入の有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 22 件)

- ① Ito, S., H. Nagao, T. Kurokawa, T. Kasuya, and J. Inoue, Bayesian inference of grain growth prediction via multi-phase-field models, *Physical Review Materials*, 査読有、2019 (採録決定)
- ② 范谷瑛、関直人、多部田敏樹、藤井昭宏、田中輝雄、ソフトウェア自動チューニングにおける反復2次元d-Spline探索法の提案と評価、研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、査読無、2019-HPC-168巻、2019、1-8
- ③ Takahiro Katagiri and Daisuke Takahashi, Japanese Auto-tuning Research: Auto-tuning Languages and FFT, *Proceedings of the IEEE*, 査読有、106巻、2018、2056-2067
- ④ Takahiro Katagiri, Auto-tuning for The Era of Relatively High Bandwidth Memory Architectures: A Discussion Based on an FDM Application, *Proceedings of IEEE IPDPSW2018*, 査読有、2018、1084-1092
DOI: 10.1109/IPDPSW.2018.00167
- ⑤ 藤川隼人、片桐孝洋、永井亨、荻野正雄、時空間ブロッキングを用いたアジョイント法の性能モデル構築の試み、研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、査読無、2018-HPC-167巻、2018、1-8
- ⑥ 石黒史也、片桐孝洋、大島聡史、永井亨、荻野正雄、GPGPUによる高精度行列-行列積アルゴリズムのためのBatched BLASを用いた実装方式の提案、研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、査読無、2018-HPC-165巻、2018、1-8
- ⑦ 櫻井刀麻、片桐孝洋、永井亨、荻野正雄、OpenMPの対象ループを変更する自動チューニング手法の評価、研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、査読無、2018-HPC-165巻、2018、1-7
- ⑧ 大島聡史、藤井昭宏、田中輝雄、深谷猛、須田礼仁、Chebyshev基底通信削減CG法のマルチコア・メニーコア計算環境における性能評価、研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、査読無、2018-HPC-165巻、2018、1-9
- ⑨ 深谷猛、岩下武史、Knights LandingにおけるTiled 3D FDTDカーネルの性能評価、査読無、研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、査読無、2018-HPC-164巻、2018、1-9
- ⑩ 望月大義、藤井昭宏、田中輝雄、ソフトウェア自動チューニングにおける複数同時性能パラメータ探索手法の提案と評価、査読有、情報処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS)、11巻、2018、1-16
- ⑪ G. Fan, A. Fujii, T. Tanaka, T. Katagiri, D-Spline Performance Tuning Method Flexibly Responsive to Execution Time Perturbation, *Springer LNCS*, 査読有、10777巻、2018、381-391
- ⑫ Tomoya Ikeda, Shin-ichi Ito, Hirofumi Nagao, Takahiro Katagiri, Toru Nagai, Masao Ogino, Optimizing Forward Computation in Adjoint Method via Multi-level Blocking, *Proc. of ACM International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCAsia2018)*, 査読有、2018、98-107
- ⑬ 長尾大道、伊藤伸一、不確実性評価が可能な新しい4次元変分法、*地盤工学会誌*、査読無、Vol. 65, No. 10, 2017、2-5
- ⑭ 深谷猛、岩下武史、タイルレベルの並列処理を可能とする時空間タイリング手法を用いた3次元FDTDカーネルの実装と性能評価、研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、査読無、2017-HPC-160巻、2017、1-11
- ⑮ 池田朋哉、伊藤伸一、長尾大道、片桐孝洋、永井亨、荻野正雄、時空間ブロッキングを用いたアジョイント法の高性能化～ForwardとBackward計算～、査読有、情報処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS)、11巻、2018、12-26

- ⑯ Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Auto-tuning on NUMA and Many-core Environments with an FDM code, Proceedings of IEEE IPDPSW2017, 査読有, 2017, 1399-1407
DOI: 10.1109/IPDPSW.2017.27
- ⑰ 池田朋哉, 伊藤伸一, 長尾大道, 片桐孝洋, 永井亨, 荻野正雄, MPI と通信削減アルゴリズムによるアジョイント法の高性能化, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 査読無, 2017-HPC-162 巻, 2017, 1-10
- ⑱ 山田賢也, 片桐孝洋, 永井亨, 荻野正雄, 疎行列形状のカラー画像を入力としたディープラーニングによる数値計算ライブラリの自動チューニング方式, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 査読無, 2017-HPC-162 巻, 2017, 1-10
- ⑲ Masayoshi Mochizuki, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Fast Multidimensional Performance Parameter Estimation with Multiple One-Dimensional d-Spline Parameter Search, 査読有, 2017, 1426-1433
- ⑳ Sato M., Ishizawa A., Nonlinear parity mixtures controlling the propagation of interchange modes, Physics of Plasmas, 査読有, 24 巻, 2017, 082501-082501
- 21 片桐孝洋, 松本正晴, 大島聡史, 3 次元積層技術による高メモリバンド幅時代の自動チューニング~FDM コードを例にして~, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 査読無, 2016-HPC-155 巻, 2016, 1-8
- 22 池田朋哉, 伊藤伸一, 長尾大道, 片桐孝洋, 永井亨, 荻野正雄, アジョイント法における Forward model への階層ブロッキング適用による高性能化, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 査読無, 2016-HPC-157 巻, 2016, 1-8

[学会発表] (計 35 件)

- ① 長尾大道, フェーズフィールド法に基づくデータ同化モデリング, 第 2 回計測インフォマティクス研究会 (招待講演), 2019
- ② Teruo Tanaka, Fan Guuing, Akihiro Fujii, Takahiro Katagiri, Enhancement of Performance Parameter Search Method for Multiple Parameter Estimation, Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT in HPSC 2019) (国際学会), 2019
- ③ 出蔵英真, 藤井昭宏, 田中輝雄, 共役勾配法におけるダブルバッファリング利用した RDMA 通信の性能評価, 第 81 回情報処理学会全国大会, 2019
- ④ Takahiro Katagiri, Toward Auto-tuning of Preconditioners for Sparse Iterative Solvers by Deep Learning, 2019 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT2019) (国際学会)
- ⑤ H. Nagao and S. Ito, Data assimilation based on four-dimensional variational method: Optimization and uncertainty quantification, 3rd International Symposium on Research and Education of Computational Science (RECS 2018) (招待講演) (国際学会), 2018
- ⑥ H. Nagao and S. Ito, Data assimilation for massive autonomous systems based on a second-order adjoint method, 2nd International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2018) (国際学会), 2018
- ⑦ M. Sato and Y. Todo, Ion kinetic effects on MHD instabilities in high-beta LHD plasmas, 27th IAEA Fusion Energy Conference (国際学会), 2018
- ⑧ Takahiro Katagiri, Code Optimization with ppOpen-AT and Preconditioner Selection by Deep Learning, International Symposium on Research and Education of Computational Science (RECS2018) (招待講演) (国際学会), 2018
- ⑨ 片桐孝洋, 櫻井刀麻, 藤川隼人, ポストムーア時代に向けた自動チューニング言語 ppOpen-AT の機能開発について, 第 23 回計算工学講演会, 2018
- ⑩ Takahiro Katagiri, Shuntaro Ichimura and Kenya Yamada, High Precision Computing of Matrix-Matrix Multiplications and a New Approach of Auto-Tuning to Numerical Libraries by Deep Learning, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018 (PP18) (国際学会), 2018
- ⑪ Takahiro Katagiri, Auto-tuning of Preconditioner Selection for Sparse Iterative Solvers --- Adaptation of Deep Learning and its Limitations, Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT2018) (国際学会), 2018
- ⑫ Teruo Tanaka, Masayoshi Mochizuki, Akihiro Fujii, Takahiro Katagiri, Low Cost Multiple One-dimensional d-Spline Parameter Search for Multiple Performance Parameter Estimation, 2018 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT in HPSC 2018) (招待講演) (国際学会), 2018
- ⑬ Reiji Suda, Communication-Avoiding CG Method, Second International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT) (国際学会), 2017
- ⑭ Satoshi Ohshima, Auto-tuning of directives: tuning directives of OpenMP and OpenACC, Second International Workshop Deepening Performance Models for Automatic Tuning

- (DPMAT) (国際学会)、2017
- ⑮ 長尾大道、フェーズフィールド法への4次元変分法データ同化の展開、第9回自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウム (ATA2017) (招待講演)、2017
 - ⑯ Nagao, H. and S. Ito, Data assimilation for massive autonomous systems based on a second-order adjoint method, Taiwan-Japan Joint Workshop on Inverse Problems in Kanazawa 2017 (招待講演) (国際学会)、2017
 - ⑰ 長尾大道、伊藤伸一、フェーズフィールドモデルに基づく4次元変分法データ同化、日本機械学会 第30回計算力学講演会 (招待講演)、2017
 - ⑱ Nagao, H. and S. Ito, Data assimilation for massive autonomous systems based on a second-order adjoint method, Asia Oceania Geoscience Society, 14th Annual Meeting (国際学会)、2017
 - ⑲ Toru Nagai, An introduction to a new method for solving wave equation and numerical demonstrations, The Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (ATAT2018) (招待講演) (国際学会)、2018
 - ⑳ 深谷猛, 岩下武史, 時空間タイリングを用いた反復型テンソル計算とその応用、日本機械学会 第30回計算力学講演会 (CMD2017)、2017
 - 21 片桐孝洋, 自動チューニング言語 ppOpen-AT の機能とオープン CAE への展開、オープン CAE シンポジウム 2017、2017
 - 22 山田賢也, 片桐孝洋, ディープラーニングによるカラー画像を用いた疎行列反復解法ライブラリの自動チューニング、NVIDIA GPU Technical Conference in Japan 2017 (GTC Japan 2017)、2017
 - 23 Tomoya Ikeda, Shin-ichi Ito, Hikomichi Nagao, Takahiro Katagiri, Toru Nagai, Masao Ogino, Optimizing Forward and Backward computations in the adjoint method via Multi-level Blocking, Second International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT) (国際学会)、2017
 - 24 Takahiro Katagiri, Auto-tuning to Scientific Applications ---Traditional Approach by Code Transformations and New Approach by AI ---, Second International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT) (国際学会)、2017
 - 25 Masayoshi Mochizuki, Hiroki Fujito, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Evaluation of Four-dimensional Performance Parameter Search by Iterative One-dimensional d-Spline Search, The 16th International Symposium on Advanced Technology (ISAT-16) (国際学会)、2017
 - 26 Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Algorithmic Revolution and Auto-Tuning for Matrix Computations in Post Moore's Era, SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE17) (国際学会)、2017
 - 27 Takahiro Katagiri, Impact of Auto-tuning to Many-core and NUMA Environments, 2017 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT in HPSC2017) (招待講演) (国際学会)、2017
 - 28 Tanaka Teruo, Masayoshi Mochizuki, Guing Fan, Akihiro Fujii, Two topics about fitting function d-Spline for realization of practical AT, 2017 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT in HPSC2017) (招待講演) (国際学会)、2017
 - 29 Toru Nagai and Mineo Kumazawa, Numerical validation of DOWT (Discrete Operational Wave Theory) in frequency-wavenumber domain, International Conference on Seismic Imaging, Inversion, and Visualization Methods (国際学会)、2017
 - 30 Toru Nagai, On Parallelism of a New Method of Solving Wave Equations DOWT, 2017 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT in HPSC2017) (招待講演) (国際学会)、2017
 - 31 Nagao, H., S. Ito, T. Kasuya, and J. Inoue, Data assimilation based on 4DVar for structural materials, American Physical Society March Meeting (国際学会)、2017
 - 32 田中輝雄, 望月大義, 村田陸, 藤井昭宏, 複数性能パラメタ空間における実行時 AT 機構, 2016年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、2016
 - 33 Masayoshi Mochizuki, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Reiteration of Linear Search for Multiple-dimensional Performance Parameter Estimation, ITBL booth, Super Computing 2016(Poster) (国際学会)、2016
 - 34 Takahiro Katagiri, Auto-tuning and related topics, JIFS Workshop, Innovations and co-designs of fusion simulations towards extreme scale computing (招待講演) (国際学会)、2016
 - 35 Takahiro Katagiri, Auto-tuning Towards to Post Moore's Era: Adapting a new concept from FLOPS to BYTES, First International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT) (国際学会)、2016

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.abc-lib.org/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：長尾 大道

ローマ字氏名：(NAGAO, Hiromichi)

所属研究機関名：東京大学

部局名：地震研究所

職名：准教授

研究者番号（8桁）：80435833

研究分担者氏名：佐藤 雅彦

ローマ字氏名：(SATO, Masahiko)

所属研究機関名：核融合科学研究所

部局名：ヘリカル研究部

職名：助教

研究者番号（8桁）：80455211

研究分担者氏名：田中 輝雄

ローマ字氏名：(TANAKA, Teruo)

所属研究機関名：工学院大学

部局名：情報学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：90622837

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：黒田 久泰

ローマ字氏名：(KURODA, Hisayasu)

研究協力者氏名：岩下 武史

ローマ字氏名：(IWASHITA, Takeshi)

研究協力者氏名：大島 聡史

ローマ字氏名：(OHSHIMA, Satoshi)

研究協力者氏名：櫻井 隆雄

ローマ字氏名：(SAKURAI, Takao)

研究協力者氏名：須田 礼仁

ローマ字氏名：(SUDA, Reiji)

研究協力者氏名：今村 俊幸

ローマ字氏名：(IMAMURA, Toshiyuki)

研究協力者氏名：福田 淳一

ローマ字氏名：(FUKUDA, Jun'ichi)

研究協力者氏名：伊藤 伸一

ローマ字氏名：(ITO, Shin-ichi)

研究協力者氏名：永井 亨

ローマ字氏名：(NAGAI, Toru)

研究協力者氏名：今野 雅

ローマ字氏名：(IMANO, Masashi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。