

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11177

研究課題名(和文) ロバスト非線形整数計画問題に対する離散凸解析アプローチの研究

研究課題名(英文) Research on Discrete Convex Analysis Approach for Robust Nonlinear Integer Programming Problems

研究代表者

塩浦 昭義 (Shioura, Akiyoshi)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：10296882

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：離散凸整数計画問題とは、与えられた制約の下で離散凸関数を最小化する整数ベクトルを求める、という離散最適化問題である。本研究では、問題の入力に不確実性が生じる「ロバスト離散凸整数計画問題」という新たな問題を考えた。離散凸解析の理論とアルゴリズムにおける応募者のこれまでの研究成果を生かし、解の品質および計算時間に関して理論的な保証を与えるアルゴリズムの構築を目指した。その結果、様々な離散最適化問題のロバスト版に対して興味深い研究成果を得ることが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既存の離散最適化アルゴリズムは問題の入力データが正確に与えられたと言う前提で適用されるが、実際に解くべき問題においては、与えられた入力データが正確に分らないという状況が一般的である。このような理論と現実のギャップを埋めるための一助として、本研究は役立つと考えている。また、現実問題からの要請に基づき新たな問題の枠組みを提案したが、これにより研究の新たな方向性を見いだすことができ、離散最適化分野のさらなる発展に貢献できるものと思われる。

研究成果の概要(英文)：Discrete convex integer programming problem is a discrete optimization problem to find an integral vector minimizing a given discrete convex function under a given constraint. In this research, we consider a new problem called "a robust discrete convex integer programming problem" in which uncertainty arises in problem input. Based on my previous research results, we aimed at developing algorithms for this new problem which has theoretical guarantee in the quality of an obtained solution and computation time. We obtained various interesting results on robust version of several discrete optimization problems.

研究分野：離散最適化

キーワード：離散凸関数 ロバスト最適化 離散最適化 離散凸解析 整数計画

1. 研究開始当初の背景

本研究では、与えられた制約の下で非線形な目的関数を最小化する整数ベクトルを求める、という非線形整数計画問題(NLIP)を扱う。数学的には、目的関数が f 、解集合が S により与えられるとき、以下のように定式化される：

$$\text{(NLIP) 最小化 } f(x) \quad \text{条件: } x \in S, \quad x \text{ は整数ベクトル}$$

目的関数が線形である古典的な線形整数計画問題に比べ、NLIP は現実問題をより正確にモデル化する能力が高い。そのため、NLIP の応用例は、ロジスティクス、生産計画、ゲーム理論など多種多様であり、最近では人工知能研究の数理基盤である機械学習においても頻繁に現れる。このように、NLIP は応用範囲がきわめて広い一方で、短時間で高品質の解を計算することが困難(NP困難)な問題として知られている。

NLIP は計算困難な問題であるが、様々な分野で応用されていることから、できるだけ短い時間で高品質の解を求めるアルゴリズムが必要とされている。このような「解きにくい」問題に取り組む上で、「解きやすい」問題の構造や性質を明らかにし、「解きやすい」問題のクラスを把握することは、「解きにくい」問題の深い理解につながるため、必要不可欠である。「解きやすい」NLIP の理論的な枠組みとして、「離散凸解析」という理論体系が室田氏(首都大)によって 1996 年に提唱された。離散凸解析の大きな目的は、NLIP の解きやすさを「離散的な凸性」の観点から明らかにすることであり、そこではM凸関数と呼ばれる離散凸関数が中心的な役割を果たしている。

離散凸解析の理論は離散最適化分野をはじめ、近年では機械学習や数理経済学分野の研究者から世界的に注目を集めているが、その研究においては応募者や室田氏を含む日本人グループが世界をリードしている。離散凸解析が提唱された当時より、M凸関数の離散構造、アルゴリズム、応用などの面で応募者は室田氏と共同で研究を行ってきた。とくに、目的関数がM凸関数の場合のNLIP(以下、離散凸整数計画問題(DCIP)とよぶ)に対するアルゴリズム開発については応募者が中心となって研究を進めている。これまでの研究により、最適解(もしくは理論保証付きの高品質の解)を高速に求めるアルゴリズムの整備が進んできた。

離散凸解析におけるアルゴリズム研究の次の重要な課題として、離散凸性をもたないNLIPに対する解法の構築があげられる。これまでに行われてきた「解きやすい」問題に対する研究成果を利用して、「解きにくい」問題の解法を構築することを目指す。これは、離散凸関数の理論である離散凸解析の枠組みを、離散凸性をもたない問題に拡張する、という意欲的な試みである。その試みのひとつとして、本研究ではロバスト離散凸整数計画問題という新たな問題のクラスに対する解法の構築に取り組む。

2. 研究の目的

離散凸整数計画問題(DCIP)に対する過去の研究では、問題の入力として与えられる関数が正確な値を返してくれるという仮定の下で問題を解いていた。しかし、現実の問題を数理モデル化する際、状況把握の際に生じる観測誤差や将来予測の難しさ等に起因するモデルの不確実性が生じるため、関数値の正確な値を得られるとは限らず、起こる状況によって観測される関数値が異なることが一般的である。本研究では、この問題をロバスト離散凸整数計画問題(ロバストDCIP)とよび、不確実性の下で最悪の状況においても高品質な解を求めるアルゴリズムの構築に取り組む。

目的関数が線形の場合の整数計画問題については研究の歴史が長く、不確実性を考慮した問題についても様々なアルゴリズムが提案されているが、その多くは解の品質に対する理論保証

はなく、数値実験のみによって性能評価がなされている。一方、本研究で扱う DCIP については本格的な研究が始まってから 20 年程度と短く、不確実性を考慮した問題については必要性が認識されていたものの、研究はほぼ手つかずの状態であった。したがって、本研究は世界に先駆けてロバスト DCIP の解法構築に取り組むことになる。とくにロバスト DCIP に対して、離散凸解析の理論に基づき、解の品質および計算時間に関して理論的な保証を与えるアルゴリズムの構築を目指す。このような数学的に理論保証を与えることは、理論的な興味に留まらず、アルゴリズムの利用者に信頼を与えるため、実用的にも重要である。

3. 研究の方法

本研究では機械学習分野などへの応用を踏まえ、以下の設定のロバスト離散凸整数計画問題を扱う：

- 設定(a) 理想的な状況での(未知な)目的関数 f に対し、観測される目的関数 g の関数値は高々 λ の誤差をもつ(つまり、条件 $|g(x) - f(x)| \leq \lambda$ が任意の整数ベクトル x に対し成立する)。
- 設定(b) 起こりうる状況は有限個であり、観測される目的関数は k 個の M 凸関数 g_1, g_2, \dots, g_k のいずれかである。

各々の設定において、最悪の状況における目的関数値を最良にすることを目指し、解の品質及び計算時間に関する理論保証をもつアルゴリズムの開発を行う。いずれの設定においても、制約なし問題および制約つき問題の両方を扱う。

[設定(a)の問題に対する研究] 観測される関数 g は一般に M 凸関数ではないものの、 M 凸関数への「距離」が近い関数と見ることができる。本研究ではこのような関数を「概 M 凸関数」と定義するとともに、設定(a)の問題を、概 M 凸関数を目的関数とする整数計画問題とみなし、アルゴリズムの構築を行う。

概 M 凸整数計画問題に対するアルゴリズム構築に際し、2 種類のアプローチを検討する。第 1 のアプローチは、概 M 凸整数計画問題を DCIP により近似して、既存のアルゴリズムを適用するというアプローチである。このアプローチの鍵となるのは、与えられた概 M 凸関数を近似する M 凸関数を求める手法である。この近似手法の構築のため、まず M 凸関数および概 M 凸関数の組合せ構造を調査するとともに、所与の概 M 凸関数から、それに「近い」 M 凸関数が計算可能かどうかを検討する。一般の M 凸関数による高速近似が困難な場合には、特殊な M 凸関数の利用も検討する。

また、第 2 のアプローチとして、DCIP に対する既存の解法を改良することにより、概 M 凸整数計画問題の解法を構築する。DCIP の既存の解法の多くは M 凸性を巧みに利用して高品質の解を求めているため、単純な修正では概 M 凸関数に対して適用できない。そのため、「概 M 凸関数 = M 凸関数 + 誤差」という事実をうまく利用して、既存のアルゴリズムを適用しつつ、計算途中で生じる累積誤差を適切に解消しながら、良質な解を求めることを試みる。

[設定(b)の問題に対する研究] この問題は k 個の M 凸関数の最大値

$$g(x) = \max\{g_1(x), g_2(x), \dots, g_k(x)\}$$

を最小にする整数ベクトル x を求める問題とみることができる。この最大値関数 g は一般に M 凸関数ではないが、良い離散構造を有していることが期待される。この関数の構造を解析し、高品質の近似解を求める解法につなげることを検討する。また別のアプローチとして、 $k-1$ 個の関数の値 $g_2(x), \dots, g_k(x)$ がいずれもパラメータ 以下であるという条件の下で、残りの 1 個の関数値 $g_1(x)$ を最小化する、という制約つき問題に定式化し直し、パラメータ を調整することにより近似解を求める手法についても実現を目指す。

4. 研究成果

5 年の研究期間において、当初想定したような研究成果は得られなかったものの、その過程に

において、ロバスト最適化に関連する様々な興味深い結果が得られた。以下、各年度ごとの研究成果について詳しく述べる。

2018年度は、様々な状況下においてロバストな解を求めることを目的とする、2種類の離散最適化問題に取り組んだ。まず、ジョブの処理時間が可変なスケジューリング問題において、ジョブの処理コストの最大値を最小にすることを目的とする問題に取り組み、高速なアルゴリズムの開発を行った。複数の同一プロセッサが与えられ、各ジョブの処理開始可能時間と終了時間が異なる場合について、既存のアルゴリズムの高速化が可能かどうか調査を始めた。とくに、問題の構造を解析し、高速なアルゴリズムに繋がられないか、検討を行った。

次に、目標値に近い解を得ることを目的として、所与のベクトルからのL1距離が定数以下という条件の下で、非線形な関数を最小にする離散最適化問題の研究に取り組んだ。とくに、目的関数が「M凸関数」とよばれる離散凸関数の場合について研究を行った。この問題に関する研究の動機のひとつとして、Freund-Henderson-Shmoys (2017)による、バイクシェアリングシステムにおけるドックの再配分問題がある。この問題が、L1距離制約の下でのM凸関数の最小化問題として定式化できることを明らかにした。また、問題の構造を解析するとともに、最適解の性質について調査を行った。その結果、M凸関数最小化に対する既存の貪欲アルゴリズムをうまく利用することにより、L1制約付きの問題の最適解が得られることが明らかとなった。この解法は分かりやすい、という利点の一方で、計算時間は比較的大きいため、計算時間の削減が今後の課題である。

2019年度は前年度に引き続き、所与のベクトルからのL1距離が定数以下という条件の下で、M凸関数と呼ばれる離散凸関数を最小にする離散最適化問題の研究に取り組んだ。前年度の結果により、この問題の最適解を求める際に、M凸関数の制約なし最小化問題に対する貪欲アルゴリズムが利用できることが分かっていた。そのアルゴリズムの挙動を解析することにより、M凸関数最小化に対する貪欲アルゴリズムの反復回数が、初期解と最も近い最適解のL1距離（の半分）に等しいことが明らかとなった。つまり、貪欲アルゴリズムが最短経路で最適解を求めることが判明した。アルゴリズムの反復回数に関する同様の結果は、貪欲アルゴリズムの改良版に対しては知られていたものの、オリジナル版に対しては有限回終了以外の結果は知られておらず、大きな発見といえる。

また、2019年度はL1距離制約下でのM凸関数最小化、および応用に現れる特殊ケースである、ドック再配分問題に対する高速なアルゴリズムの開発に取り組んだ。とくに、高速化手法としてよく知られる「スケーリング技法」が適用可能かどうか、検討を行った。今回扱っている問題の構造は複雑なため、そのままではスケーリング手法が適用できないが、目的関数の射影を扱うことにより、スケーリング手法の適用が可能となることが分かり、高速化が実現できた。また、特殊ケースであるドック再配分問題に対しては、スケーリング手法を直接適用することに成功し、さらに高速なアルゴリズムを実現することが出来た。

2020年度はコロナ渦で、例年のように国内外の出張が全く出来なくなり、研究計画の大幅な変更を余儀なくされたが、一方で国際会議のほとんどがオンライン開催となり、これまで参加できなかった会議にも参加でき、効率的に情報収集を出来るようになった。また、出張が出来ない分、大学や自宅にてじっくり考える時間を確保することが出来た。これにより研究を進めることができ、様々な成果を得ることが出来た。

具体的な成果としては、まずM凸関数およびその一般化に対する貪欲アルゴリズムについて検討を行った。M凸関数の貪欲アルゴリズムの反復回数が、初期解と最適解のL1距離に一致することが知られているが、この事実に対する簡潔な別証明を与えた。この証明を踏まえ、ジャンプM凸関数というより一般的な離散凸関数に対しても、同様の結果を得ることができた。

さらに、関連する問題として、ジャンプシステム上での分離凸関数最小化問題に対する貪欲アルゴリズムの反復回数について、初期解と最適解のL1距離でバウンドできるかどうか、検討を行った。上述の結果と同様の証明を試みたが、解析対象のアルゴリズムにおける解の更新方法が異なることから、同様の結果を得ることが現時点まで出来ていない。一方で検討を重ねると

に、この問題に対する理解が進み、この問題およびアルゴリズムの本質を理解しつつある。

また、複数のM凸関数の最大値を最小にする、という問題についても検討を始めた。この種の問題は近年、計算的社会選択の分野において、不可分財の公平配分という文脈で盛んに研究されているが、既存研究において、与えられた関数が線形という非常に特殊な場合でも一般には計算困難なことが示されている。そのため、解の計算をより容易にしつつ、元の問題の本質を失わないようにする問題設定の修正について検討している。

2021年度は、複数のM凸関数の最大値を最小にする、という問題について検討を行った。この種の問題は近年、計算的社会選択の分野において、不可分財の公平配分という文脈で盛んに研究されているが、既存研究において、与えられた関数が線形という非常に特殊な場合でも一般には計算困難なことが示されている。したがって、目的関数をM凸関数に一般化した問題はより難しい問題となり、最良の解を求めることは絶望的であり、理論保証をもった近似解を求めることが当面の目標となる。これまでの研究の結果、配分先が2つなどの非常に特殊な場合については近似解を効率的に計算できることが分かったが、より一般的な場合については手がかりが得られていなかった。しかし、arXiv上で発表されたプレプリントにおいて、配分する財の個数を1個から定数個に増やすことにより、一般的な場合において誤差が定数の近似解が効率的に計算可能、という結果が示された。近似精度としてはあまり良くない結果ではあるが、これまでの行き詰まりを打開するきっかけになると思われる。

また、全域木や最短路のような良いネットワークを設計すると同時にネットワークを築くためのスケジュールを求める問題について取り組んだ。この問題は、災害などにより被害を受けたネットワークの機能をいち早く復元するという動機から検討されてきた。既存の研究ではヒューリスティクスや厳密解法に関する成果が示されていたが、本研究では理論的な近似可能性に重点をおいて研究を行った。その結果、いくつかの問題に対して任意の近似精度で効率的に近似解を求めるアルゴリズムを提案することができた。さらには、ネットワークを築く際に利用可能な機械の台数に関する興味深い結果を得ることができた。この結果は論文にまとめて投稿中である。

2022年度は、全域木や最短路のような良いネットワークを設計すると同時にネットワークを築くためのスケジュールを求める問題について取り組んだ。この問題においては、全域木やs-tパスのような、指定された条件を満たす部分グラフを選び、その総コストを最小化すると同時に、その部分グラフを複数の同一な機械を使って構築するときのメイクスパンを最小化することを目的とする。この問題は2目的最適化問題であり、一方の目的関数に対する閾値条件の元で他方の目的関数を最適化する制約つき最適化問題に帰着して解を求めるアプローチや、2つの目的関数の凸結合を最適化する問題を解くというアプローチを考えることができる。2目的最適化問題に対しては、2つの目的関数をもつことから最適な解が一意に定まらず、そのため、多様な複数の解を求めることによって、利用者の要求に対してロバストな解を提示することができると考えられる。昨年度は部分グラフとして全域木を選ぶ問題について取り組み、制約つき最適化として帰着した問題に対して精度保証付きの近似アルゴリズムを提案した。本年度は昨年度の結果を拡張して、様々な部分グラフに対して同様の近似アルゴリズムが適用可能であることを示し、またその適用可能性に対する十分条件を示すことができた。この研究成果は2022年5月に開催された査読付き国際会議 International Symposium on Combinatorial Optimizationに採択され、オンラインで発表を行った。本研究から得られた知見として、所与の最適化問題に対してロバスト性の高い解を一つ求める代わりに、複数の多様な解を用いてロバスト性を担保する、というアイデアを得ることができた。このアイデアに基づく研究を2023年から開始する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Shioura Akiyoshi、Strusevich Vitaly A.、Shakhlevich Natalia V.	4. 巻 -
2. 論文標題 Preemptive scheduling of parallel jobs of two sizes with controllable processing times	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Scheduling	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/s10951-023-00782-w	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 Saito Yusuke、Shioura Akiyoshi	4. 巻 13526
2. 論文標題 Polynomial-Time Approximation Schemes for a Class of Integrated Network Design and Scheduling Problems with Parallel Identical Machines	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (Proceedings of ISCO 2022)	6. 最初と最後の頁 324 ~ 335
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-031-18530-4_24	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 Shioura Akiyoshi	4. 巻 47
2. 論文標題 M-Convex Function Minimization Under L1-Distance Constraint and Its Application to Dock Reallocation in Bike-Sharing System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mathematics of Operations Research	6. 最初と最後の頁 1566 ~ 1611
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1287/moor.2021.1180	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 Minamikawa Norito、Shioura Akiyoshi	4. 巻 64
2. 論文標題 TIME BOUNDS OF BASIC STEEPEST DESCENT ALGORITHMS FOR M-CONVEX FUNCTION MINIMIZATION AND RELATED PROBLEMS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Operations Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 45 ~ 60
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15807/jorsj.64.45	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 Fujimori Yusei, Kawase Yasushi, Matsui Tomomi, Shioura Akiyoshi	4. 巻 162
2. 論文標題 A fast algorithm for multiprocessor speed-scaling problem minimizing completion time and energy consumption	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Information Processing Letters	6. 最初と最後の頁 105991 ~ 105991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ipl.2020.105991	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 Minamikawa Norito, Shioura Akiyoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 SEPARABLE CONVEX RESOURCE ALLOCATION PROBLEM WITH L1-DISTANCE CONSTRAINT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Operations Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 109 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15807/jorsj.62.109	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 Shioura Akiyoshi, Shakhlevich Natalia V., Strusevich Vitaly A.	4. 巻 76
2. 論文標題 Scheduling problems with controllable processing times and a common deadline to minimize maximum compression cost	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Global Optimization	6. 最初と最後の頁 471 ~ 490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10898-018-0686-2	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

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Yusuke Saito, Akiyoshi Shiour
2. 発表標題 Polynomial-Time Approximation Schemes for a Class of Integrated Network Design and Scheduling Problems with Parallel Identical Machines
3. 学会等名 第188回アルゴリズム研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Saito, Akiyoshi Shiour
2. 発表標題 Polynomial-Time Approximation Schemes for a Class of Integrated Network Design and Scheduling Problems with Parallel Identical Machines
3. 学会等名 International Symposium on Combinatorial Optimization (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤 雄介, 塩浦 昭義
2. 発表標題 全域木設計スケジューリング問題の近似解法
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所RIMS共同研究(公開型) 「情報社会を支える計算機科学の基礎理論」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤 雄介, 塩浦 昭義
2. 発表標題 全域木設計スケジューリング問題の近似解法
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南川 智都, 塩浦 昭義
2. 発表標題 M凸関数最小化問題に対する最急降下法の反復回数の解析
3. 学会等名 日本応用数理学会 2020年度 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南川 智都, 塩浦 昭義
2. 発表標題 M凸関数最小化問題に対する最急降下法の反復回数の厳密なバウンド
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所研究集会「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 南川 智都, 塩浦 昭義
2. 発表標題 M凸関数最小化問題に対する最急降下法の厳密な反復回数
3. 学会等名 情報処理学会 第178回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akiyoshi Shioura
2. 発表標題 Connection Between Discrete Convex Analysis and Auction Theory
3. 学会等名 SIAM Conference on Applied Algebraic Geometry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiyoshi Shioura
2. 発表標題 M-convex Function Minimization Under L1-Distance Constraint and Its Application to Dock Re-allocation in Bike Sharing System
3. 学会等名 11th Hungarian-Japanese Symposium on Discrete Mathematics and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vitaly Strusevich, Akiyoshi Shioura, Natalia Shakhlevich
2. 発表標題 Max-Cost Scheduling with Controllable Processing Times and a Common Deadline
3. 学会等名 23rd International Symposium on Mathematical Programming (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩浦昭義
2. 発表標題 Polynomial-time Algorithms for Dock Reallocation Problem in Bike Sharing System
3. 学会等名 情報処理学会アルゴリズム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩浦昭義
2. 発表標題 Minimization of an M-convex Function under L1-distance Constraint
3. 学会等名 電子情報通信学会コンピューテーション研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩浦昭義
2. 発表標題 L1距離制約の下でのM凸関数最小化
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 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----

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		
英国	University of Greenwich	University of Leeds	