

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 18 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500177

研究課題名(和文)関数形状のタイプ推定と関数近似を利用した効率的な制約付き最適化に関する研究

研究課題名(英文)Efficient evolutionary algorithms for constrained optimization using landscape modality estimation and rough approximation

研究代表者

高濱 徹行 (TAKAHAMA, TETSUYUKI)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80197194

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：汎用的かつ効率的な制約付き進化的アルゴリズムを実現するために、次の項目について研究を行った。目的関数の形状タイプを推定するために、直線上にサンプリングを行う方法と近傍グラフを構成して谷点を推定する方法を提案した。Differential EvolutionとParticle Swarm Optimizationについて形状タイプに基づくアルゴリズムパラメータの自動調整法を提案した。制約付き最適化を行う制約法において、目的関数だけでなく制約逸脱度についても低精度近似モデルを導する方法を提案した。これにより、汎用性が高く探索効率の高い制約付き最適化アルゴリズムが実現できることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, general-purpose and efficient constrained evolutionary algorithms are studied: (1) We proposed two methods of estimating landscape modality of objective functions by observing the change of objective values in sampling points along a line, or by obtaining the number of valley points which are identified using a proximity graph created from search points. (2) We proposed several tuning methods according to the estimated landscape modality and the methods were applied to differential evolution and particle swarm optimization. (3) We proposed a method that a rough approximation model was applied not only objective functions but also constraint violation functions in order to improve the epsilon constrained method for constrained optimization. It was shown that the efficiency of the constrained optimization algorithms was much improved.

研究分野：知能情報学

キーワード：最適化アルゴリズム 制約付き最適化 進化的計算 Differential Evolution 低精度近似モデル 近似モデル 関数形状推定 制約法

1. 研究開始当初の背景

近年、様々な分野において複雑な最適化問題、特に制約付き最適化問題に対するニーズが高まってきているため、最適化の対象となる目的関数の評価コストや評価時間が増大する傾向にある。例えば、計算流体力学シミュレーションを要する空力設計最適化では、1回のシミュレーションに数10時間かかる場合もある。このため、最適化のための探索過程において、目的関数の評価回数を抑えることのできる効率的な最適化アルゴリズムの開発が大きな課題となってきている。

関数評価回数を大幅に削減するための代表的な方法としては、最適化アルゴリズムの動作を制御するアルゴリズムパラメータを、探索の状況に応じて動的に調整することにより探索効率を高める方法、目的関数の近似モデルを構成し、近似値を利用して探索を行う方法があり、進化的アルゴリズムを中心として研究が活発に行われている。

アルゴリズムパラメータを動的に調整する方法としては、以下のような方法が提案されている。

(1) 観測による調整：探索状況を観測し、観測量に応じて適切なパラメータ値を推論し、パラメータを動的に調整する。

(2) 成功による調整：良い探索点を生成した場合を成功と捉え、成功したときのパラメータ値が使用されやすいようにパラメータを動的に調整する。個体の遺伝情報に制御パラメータを含む自己適応(self-adaptation)も成功による調整の一種であると考えられる。

(1)は問題や問題のスケールに依存しない観測量を設定するのが困難であるという課題がある。(2)は、探索点の近傍で良い探索点を発見した場合、集団が収束する方向にパラメータが調整される。このため、良い探索点が存在する範囲の狭い稜構造問題や多峰性問題において、収束する方向にパラメータが調整され、局所解に収束する場合があるという課題がある。

目的関数の近似モデルを利用する方法は、近似モデルの精度により、下記のように分類できる。

(1) 高精度近似モデルの利用：高精度の近似モデルを構築すれば、大幅に関数評価回数を削減できる。しかし、事前知識が与えられなければ試行錯誤的な構築が必要となり、汎用性が低いという問題がある。

(2) 低精度近似モデルの利用：関数評価回数の削減はやや小さくなるという問題があるが、適切に誤差を考慮することができれば、汎用的に利用可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、進化的アルゴリズムを対象として、目的関数の形状タイプ推定によりアルゴリズムパラメータを自動調整する方法、近似モデルを用いた関数評価回数の削減方法、制約付き問題を解く制約法の

改良について研究を推進し、効率的で汎用的な制約付き最適化アルゴリズムを開発することである。

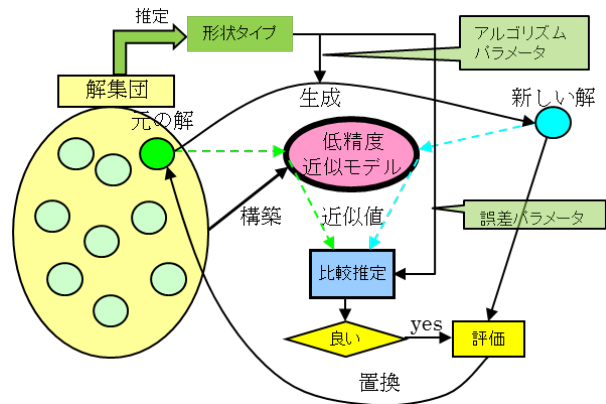
については、アルゴリズムパラメータの調整における(1)の課題を克服し、探索状況から得られた観測量により関数形状のタイプを推定し、パラメータを調整する。

については、汎用的な最適化アルゴリズムを提案するために、近似モデルにおける(2)のアプローチである低精度近似モデルを使用する比較推定法を改良するための研究を進める。

については、進化的アルゴリズムにおいて制約を扱う方法は多数提案されているが、本研究では汎用性の高いアルゴリズム変換法である制約法を改良するための研究を進める。

3. 研究の方法

本研究では、下記の項目について研究し、統合することにより探索効率を大幅に向上させることを目指した(下図参照)。



関数形状タイプの推定：解集団を観測し、最適化の対象となる関数の形状が単峰性、多峰性、稜構造など、どのような形状であるかを推定する。推定した形状に適したアルゴリズムパラメータを選択することにより探索効率を向上させる。

低精度の近似モデル：解集団から事前知識なしに低精度の近似モデルを構築する。

比較推定法：DEのアルゴリズムパラメータに基づき、各々の解から新しい解を生成した後、低精度近似モデルによりそれぞれの解の近似値を求める。新しい解が良いと推定された場合のみ、その解の真の関数値を評価し、新しい解の真値が元の解の真値より良ければ元の解を置き換える。これにより、比較推定が正しければ、悪いと推定される解の評価を削減でき、探索効率を向上することができる。比較推定法では推定値同士を比較するため、推定値により大小関係が正しく判断できれば、真の関数値との誤差が大きくても、最適解を見つけることができる。このため、低精度近似モデルの活用が可能となっている。さらに、比較推定法では、誤差余裕パラメータを指定することにより、近似誤差に配慮し

た大小比較を行うことが可能である。しかし、最適の誤差余裕パラメータを選択することは難しいため、形状タイプから予想される関数近似の難易度に基づき誤差余裕パラメータを調整する方法について検討する。

制約法による制約付き最適化：制約付き最適化問題では、目的関数を最適化するだけでなく、制約を満足させる必要がある。制約法では、厳しい制約領域を持つ問題、特に等式制約を有する問題において、拡張された実行可能領域で解を探索し、次第に拡張領域をオリジナルの実行可能領域へ収束させることにより、実行可能解を確実に探索し、最適解を発見する。本研究では、制約付き最適化の効率をさらに向上させるために、制約法を改良する方法について検討する。

4. 研究成果

主な研究成果を年度毎に記述する。

(1) 2012 年度の成果

目的関数の形状タイプ推定：目的関数の形状タイプとして、単峰性と多峰性の判定について研究を進めた。探索点群の重心と最良探索点を結ぶ直線上に均等にサンプリング点を設定し、サンプリング点における目的関数値の増減により、増減回数が1回ならば単峰性、そうでなければ多峰性と判定する方法を提案し、その有効性を確認した。

アルゴリズムパラメータの自動調整：進化的アルゴリズムである Differential Evolution(DE)を効率的に実行するためには、アルゴリズムパラメータを適切に設定する必要がある。アルゴリズムパラメータの一つであるスケールングファクターFについて、

の形状タイプ推定に基づき、単峰性の場合には収束速度を高めるためにFを小さくし、多峰性の場合には局所解を避けるためにFを大きくするという調整法を組み込んだ LMDE(DE with detecting Landscape Modality)を提案した。13種類のベンチマーク問題と20種類の大規模問題に対してLMDEを適用しその有効性を示した。

制約付き最適化の効率化：我々は各探索点を目的関数値によってランク付けし、そのランク情報に基づきアルゴリズムパラメータを調整する RDE (rank-based DE)を提案している。制約法の汎用性を確認するために、

制約法をRDEに組み込んだ RDEを提案し、探索効率が大きく向上することを示した。

(2) 2013 年度の成果

単峰性と多峰性を分類する方法として、グラフに基づく方法について検討した。探索点集合から近接グラフを構成し、接続された点における関数値の大小関係を比較する。隣接する全ての点よりも関数値が良好な点を谷点と推定する方法である。谷点の数が1ならば単峰性、そうでなければ多峰性と判定する方法を提案し、その有効性を確認した。

DEのアルゴリズムパラメータであるスケールングファクターFと交差率CRについて、

の形状タイプ推定に基づき、単峰性の場合には収束速度を高めるためにFを小さくCRを大きくし、多峰性の場合には局所解を避けるためにFを大きくCRを小さくするという調整法を組み込んだ NRDE(DE with Nest-building and Role-sharing)を提案した。ベンチマーク問題に対してNRDEを適用しその有効性を示した。

制約付き最適化の効率向上のために、比較推定法と制約法を統合する方法について検討した。目的関数を低精度近似モデルであるカーネル回帰モデルにより近似して関数評価回数を削減する DEkr を提案し、13のベンチマーク関数について実験を行い、その有効性を確認した。

(3) 2014 年度の成果

単峰性と多峰性を分類する方法として提案したサンプリングに基づく形状推定法の汎用性を調べるとともに、サンプリング法の改良を行った。サンプリングに基づく形状推定法を Particle Swarm Optimization(PSO)にも導入し、単峰性景観では gbest モデル、多峰性景観では lbest モデルに動的に切り換える方法を提案し、その有効性を示した。また、ある次元が縮退した場合にも形状推定ができるように、内積を用いてサンプリングの範囲を決定する方法を提案した。

DEにおけるパラメータの自動調整法の一つとして、2つのパラメータFとCRの平均値を調整する方法がある。平均値を中心に正規分布などに基づき多様なパラメータ値を生成し、良い探索点が生成できたパラメータ値が生成しやすいように平均値を調整する方法である。従来ではFとCRを独立に生成していたが、FとCRの相関関係に基づきパラメータ値を生成する方法を提案し、その有効性を示した。

比較推定法で用いる低精度近似モデルとして Gradient Boosting を用いる方法を提案し、その有効性を示した。ただし、近似精度を向上するためには計算量が大きくなるという課題もあった。

(4) 2015 年度の成果

単峰性と多峰性を分類する方法として提案した近傍グラフに基づく形状推定法の汎用性を調べるために、本手法をDEに加えて、PSOにも導入し、形状に応じて gbest モデルと lbest モデルを切り換える方法を導入し、その有効性を示した。

近傍グラフに基づく形状推定法では、谷点と山点を認識していたが、形状タイプの判定には谷数が1かどうかという情報のみを使用していた。谷点と山点の情報をさらに有効に活用するために、谷点に対しては局所探索を行うパラメータを選択し、山点に対しては大域探索を行うパラメータを選択する JADE-HVDE を提案した。本手法をDEとPSOに適用し、その汎用性と有効性を示した。

比較推定法では、目的関数の近似を行うことにより評価回数を削減してきたが、制約

逸脱度についても近似モデルを用いるために、探索点集合における実行可能解の割合が低いときは制約逸脱度を近似し、割合が高いときは目的関数を近似するという方法により、従来よりも関数評価回数が削減できることを示した。

以上のように、2種類の形状タイプ分類方法の提案、アルゴリズムパラメータの自動調整法の改良、新しい低精度近似モデルの提案、制約法の改良などを行うとともに、形状情報に基づくパラメータの自動調整法を提案することができた。形状タイプにより制約法の誤差余裕パラメータを調整する方法については今後も検討を続ける予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計23件)

- (1) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Improving an Adaptive Differential Evolution Using Hill-Valley Detection, International Journal of Hybrid Intelligent Systems, 査読有, 13, 1 - 13, 2016.
- (2) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Emerging Collective Intelligence in Othello Players Evolved by Differential Evolution, Proc. of the 2015 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, 査読有, 214 - 221, 2015.
- (3) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Improving Particle Swarm Optimization by Estimating Landscape Modality Using a Proximity Graph, Proc. of the First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, 査読有, 356 - 363, 2015.
- (4) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Improving an Adaptive Differential Evolution Using Hill-Valley Detection, Proc. of the 7th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition, 査読有, 284 - 289, 2015.
- (5) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Learning Game Players by an Evolutionary Approach Using Pairwise Comparison without Prior Knowledge, Proc. of International Conference on Intelligent Informatics and BioMedical Sciences 2015, 査読有, 121 - 127, 2015.
- (6) 阪井節子, 高濱徹行, パラメータの相関を考慮した適応型差分進化アルゴリズム JADE の改良, 不確実性の下での数理解析とその周辺, 数理解析研究所講究録 1939, 査読無, 114-124, 2015.
- (7) 串田淳一, 原章, 高濱徹行, NCRDE: 個体間の距離とランク情報に基づく Differential Evolution の提案, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, J97-D, 1604 - 1615, 2014.
- (8) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection, Proc. of the 2014 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 査読有, 215 - 221, 2014.
- (9) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection using Inner Products, Proc. of SICE Annual Conference 2014, 査読有, 1561 - 1566, 2014.
- (10) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, An Adaptive Differential Evolution Considering Correlation of Two Algorithm Parameters, Proc. of the Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 査読有, 618 - 623, 2014.
- (11) 阪井節子, 高濱徹行, 比較推定法における Gradient Boosting の利用に関する一考察, 不確実性の下での数理解析意思決定の理論と応用, 数理解析研究所講究録 1912, 査読無, 121 - 130, 2014.
- (12) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the ϵ Constrained Differential Evolution with Rough Approximation Using Kernel Regression, Proc. of 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 1334 - 1341, 2013.
- (13) 高濱徹行, 阪井節子, 進化的アルゴリズムにおける関数形状の概形推定, 第3回コンピューテーション・インテリジェンス研究会講演論文集, 査読無, 25 - 31, 2013.
- (14) 阪井節子, 高濱徹行, 巣形成と役割分担を用いた最適化手法に関する一考察, 確率的環境下での意思決定解析, 数理解析研究所講究録 1864, 査読無, 20 - 29, 2013.
- (15) 阪井節子, 高濱徹行, 巣形成と役割分担を用いた最適化手法の改良, 決定過程に関わる数理解析モデルの新たな展開と応用, 数理解析研究所講究録 1857, 査読無, 1 - 18, 2013.
- (16) 高濱徹行, 阪井節子, 原章, RDE: 探索点のランク情報を利用した効率的な Differential Evolution の提案, 電子情報

- 通信学会論文誌, J95-D, 査読有, 1196 - 1205, 2012.
- (17) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the ϵ Constrained Rank-Based Differential Evolution, Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 62 - 69, 2012.
- (18) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Differential Evolution with Dynamic Strategy and Parameter Selection by Detecting Landscape Modality, Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 2114 - 2121, 2012.
- (19) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Large Scale Optimization by Differential Evolution with Landscape Modality Detection and a Diversity Archive, Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 2842 - 2849, 2012.
- (20) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Differential Evolution with Graph-Based Speciation by Competitive Hebbian Rules, Proc. of the Sixth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, 査読有, 445 - 448, 2012.
- (21) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, Large Scale Optimization by Adaptive Differential Evolution with Landscape Modality Detection and a Diversity Archive, Journal of Business Studies (近畿大学商経学叢), 査読無, 58, 605 - 627, 2012.
- (22) 阪井節子, 高濱徹行, 制約付き最適化手法 制約 Differential Evolution における探索点のランク情報の利用法に関する一考察, 不確実・不確定環境下における数理的意思決定とその周辺, 数理解析研究所講究録 1802, 査読無, 34 - 41, 2012.
- (23) 高濱徹行, 阪井節子, 競合ヘブ則によるグラフ生成に基づく種分化型 Differential Evolution の提案, 第 22 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, 査読無, 2012.
- [学会発表](計 21 件)
- (1) Tetsuyuki Takahama, Learning Game Players by an Evolutionary Approach Using Pairwise Comparison without Prior Knowledge, International Conference on Intelligent Informatics and BioMedical Sciences 2015, 2015 年 11 月 28 日, 沖縄科学技術大学院大学(沖縄県国頭郡恩納村)
- (2) Tetsuyuki Takahama, Improving an Adaptive Differential Evolution Using Hill-Valley Detection, 7th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition, 2015 年 11 月 15 日, 九州大学(福岡県福岡市)
- (3) 阪井節子, レーティングシステムを利用した差分進化によるコンピュータオセロプレイヤーの学習, 平成 27 年度 RIMS 研究集会「不確実・不確定性の下での数理意思決定」, 2015 年 11 月 12 日, 京都大学(京都府京都市)
- (4) Tetsuyuki Takahama, Improving Particle Swarm Optimization by Estimating Landscape Modality Using a Proximity Graph, First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, 2015 年 10 月 30 日, 京都大学(京都府京都市)
- (5) Tetsuyuki Takahama, Emerging Collective Intelligence in Othello Players Evolved by Differential Evolution, 2015 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, 2015 年 9 月 1 日, 台南(台湾)
- (6) Tetsuyuki Takahama, An Adaptive Differential Evolution Considering Correlation of Two Algorithm Parameters, Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2014 年 12 月 4 日, 北九州国際会議場(福岡県北九州市)
- (7) 阪井節子, パラメータの相関を考慮した適応型差分進化アルゴリズム JADE の改良, 平成 26 年度 RIMS 研究集会「不確実性の下での数理モデルとその周辺」, 2014 年 11 月 13 日, 京都大学(京都府京都市)
- (8) Tetsuyuki Takahama, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection using Inner Products, SICE Annual Conference 2014, 2014 年 9 月 12 日, 北海道大学(北海道札幌市)
- (9) Tetsuyuki Takahama, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection, 2014 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 2014 年 7 月 21 日, ラスベガス(アメリカ)
- (10) 阪井節子, 峰判定を利用した Particle Swarm Optimization の戦略選択法に関する提案, 愛知大学経営学会主催ワークショップ「数理的意思決定モデルの新たな展開と応用」, 2014 年 2 月 22 日, 愛

- 知大学(愛知県名古屋市)
- (11) 阪井節子, 低精度近似モデルを用いた制約なし最適化における勾配ブースティングの効果, 平成 25 年度 RIMS 研究集会「不確実性の下での数理的意味決定の理論と応用」, 2013 年 11 月 12 日, 京都大学(京都府京都市)
 - (12) 高濱徹行, 進化的アルゴリズムにおける関数形状の概形推定, 第 3 回コンピュータショナル・インテリジェンス研究会, 2013 年 8 月 30 日, 大阪大学(大阪府吹田市)
 - (13) 高濱徹行, Differential Evolution とその周辺, 2013 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会(招待講演), 2013 年 07 月 13 日, 広島市立大学(広島県広島市)
 - (14) Tetsuyuki Takahama, Efficient Constrained Optimization by the ϵ Constrained Differential Evolution with Rough Approximation Using Kernel Regression, 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2013 年 06 月 22 日, カンクン(メキシコ)
 - (15) 阪井節子, 巣形成と役割分担を用いた最適化手法の改良, 平成 24 年度 RIMS 研究集会「決定過程に関わる数理モデルの新たな展開と応用」, 2013 年 2 月 18 日, 京都大学(京都府京都市)
 - (16) 阪井節子, 巣形成と役割分担を用いた最適化手法に関する一考察, 平成 24 年度 RIMS 研究集会「確率的環境下での意思決定解析」, 2012 年 11 月 19 日, 京都大学(京都府京都市)
 - (17) 高濱徹行, 競合ヘブリングによるグラフ生成に基づく種分化型 Differential Evolution の提案, 第 22 回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2012 年 8 月 31 日, てだこホール(沖縄県浦添市)
 - (18) Tetsuyuki Takahama, Differential Evolution with Graph-Based Speciation by Competitive Hebbian Rules, Sixth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, 2012 年 8 月 26 日, 北九州国際会議場(福岡県北九州市)
 - (19) Tetsuyuki Takahama, Large Scale Optimization by Differential Evolution with Landscape Modality Detection and a Diversity Archive, Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2012 年 6 月 14 日, ブリスベン(オーストラリア)
 - (20) Tetsuyuki Takahama, Differential Evolution with Dynamic Strategy and Parameter Selection by Detecting Landscape Modality, 2012 IEEE Congress on Evolutionary

- Computation, 2012 年 6 月 13 日, ブリスベン(オーストラリア)
- (21) Tetsuyuki Takahama, Efficient Constrained Optimization by the Epsilon Constrained Rank-Based Differential Evolution, 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2012 年 6 月 11 日, ブリスベン(オーストラリア)

〔図書〕(計 5 件)

- (1) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, A Comparative Study on Detecting Ridge Structure for Population-Based Optimization Algorithms, Contemporary Works in Economic Sciences: Legal Informatics, Economics, OR and Mathematics, 61 - 82, Kyushu University Press, 2016.
- (2) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, A Study on Adaptive Parameter Control for Interactive Differential Evolution Using Pairwise Comparison, New Solutions in Legal Informatics, Economic Sciences and Mathematics, 101 - 121, Kyushu University Press, 2015.
- (3) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the ϵ Constrained Differential Evolution with Rough Approximation, Evolutionary Constrained Optimization, 157 - 180, Springer, 2014.
- (4) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, A Comparative Study on Estimation Methods of Landscape Modality for Evolutionary Algorithms, Legal Informatics, Economic Science and Mathematical Research, 55 - 80, Kyushu University Press, 2014.
- (5) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, A Comparative Study on Graph-Based Speciation Methods for Species-Based Differential Evolution, Social Systems Solutions through Economic Sciences, 105 - 125, Kyushu University Press, 2013.

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
高濱 徹行 (TAKAHAMA TETSUYUKI)
広島市立大学・情報科学研究科・教授
研究者番号: 80197194
- (2) 研究分担者
- (3) 連携研究者