

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00311

研究課題名（和文）高次元多峰性問題における山谷構造と分布タイプ推定を利用した効率的な集団的最適化

研究課題名（英文）Efficient population-based optimization for high dimensional multimodal problems by estimating hill-valley structures and distribution types

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） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：様々な分野に出現する複雑な最適化問題、特に局所解が存在する高次元の多峰性最適化問題を解くために、次の項目の研究を行った。目的関数の山谷構造を推定するために、近傍グラフを利用して山点と谷点を判定する方法を提案した。谷点と判定された点を解候補とみなし、その周辺で近傍探索を行う方法を提案した。探索点の分布を決定する変数間の依存関係に応じて子個体を生成するために、相関行列を用いた交叉を提案した。高次元問題に対処するために、Gabrielグラフと相対近傍グラフの中間的グラフである緩和相対近傍グラフとそれを用いた種分化を提案した。これにより、探索効率の高い進化アルゴリズムが実現できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、様々な分野において、高次元の多峰性最適化問題を安定的に解くニーズが高まってきている。また、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ため、探索効率の向上も大きな課題となっている。例えば、空力設計最適化では計算流体力学シミュレーションのために1回の計算に数10時間かかる場合もある。本研究では、複数の探索点によって最適解を探索する進化的アルゴリズムにおいて、近傍グラフを用いて探索点間の隣接関係を把握し、隣接点間における関数値の大小関係から山谷構造を求め、谷点を中心とする種分化によって探索点をグループ化し、複数の最適解を探索する効率的なアルゴリズムを提案した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted research on the following items in order to solve complex optimization problems that appear in various fields, especially high-dimensional multimodal optimization problems. (1) We proposed a method for determining hill and valley points using a neighborhood graph. Valley points can be considered as solution candidates. We also proposed a method of performing local search around the valley points. (2) We proposed crossover using a correlation matrix in order to generate offspring according to the dependency between variables that determine the distribution of search points. (3) We proposed a beta-relaxed relative neighborhood graph (beta-RNG), which can generate an intermediate graph between Gabriel graph and relative neighborhood graph using a parameter beta, and also proposed graph-based speciation using beta-RNG to deal with high-dimensional problems. These studies showed that evolutionary algorithms with high search efficiency can be realized.

研究分野：知能情報学

キーワード：最適化アルゴリズム 多峰性最適化 関数形状推定 山谷構造 近傍グラフ 進化的計算 差分進化

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、特に局所解が存在する高次元の多峰性最適化問題を安定的かつ効率的に解くニーズが高まってきている。また、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ため、探索効率の向上も大きな課題となっている。例えば、計算流体力学(CFD)シミュレーションを要する空力設計最適化では、CFDシミュレーションのために1回の計算に数10時間かかる場合もある。このため、多峰性最適化問題において、安定的に最適解を発見でき、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。

多峰性問題を安定的に解くためには、探索集団の多様性を維持する必要があるが、代表的な方法として、以下のような方法が提案されている。

- (1) 探索点の関数値(適合度)を近傍の探索点と分け合うことにより、優良な探索点の近傍に探索が集中しないようにするシェアリング(sharing)
- (2) 生成された新しい探索点を集団中でそれに近い探索点と置換することにより、探索点の収束速度を低下させ、集団の多様性を維持するクラウディング(crowding)
- (3) 探索点を距離の近い幾つかの部分集団に分割し、部分集団毎に探索を実行することにより全体として多様性を確保する種分化(speciation)

しかし、多くの研究では峰の状態を把握していないため、(1)ではシェアリングの範囲を決めるのが困難であるという課題、(2)では収束速度の低下により、全般的に探索効率が低下するという課題がある。(3)にも部分集団の数や範囲を決めるのが困難であるという課題がある。

また、探索効率を高め、関数評価回数を削減するために、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方法として、以下のような方法がある。

- (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。探索点の移動量と関数値の変化量からファジィ推論を行うFADE、ファジィクラスタリングにより得られた分割エントロピーを利用するDESFC、直線上のサンプリングを用いて単峰性か多峰性を判定する方法、近接グラフにより推定した近傍構造を利用する方法などが提案されている。

- (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。なお、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。自己適応によりパラメータを調整するDESAP、自己適応によりパラメータを調整し成功率により変異戦略の選択確率を調整するSaDE、成功に応じてパラメータの平均値を調整するJADE、CADEなどが提案されている。

- (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が発見した場合、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。

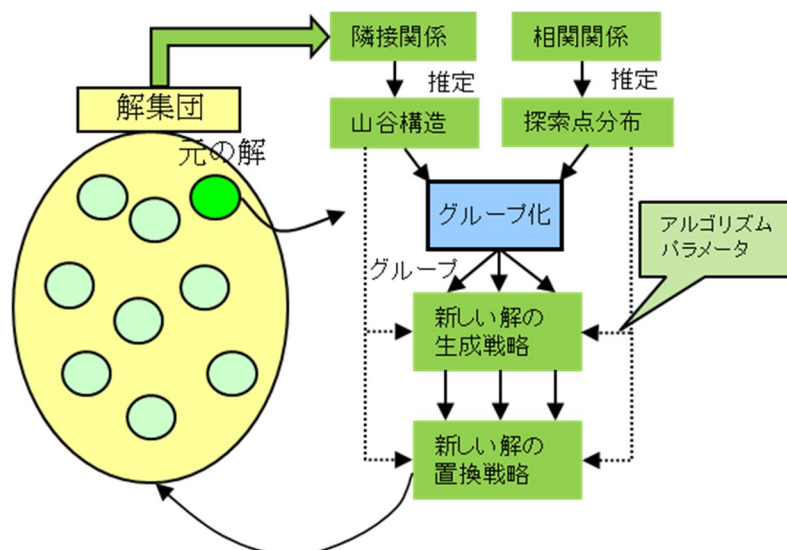
2. 研究の目的

本研究では、山谷構造と分布タイプを利用してパラメータを調整するという観測による調整と成功による調整を組み合わせるとともに、山谷構造と分布タイプによって探索点をグループ化し、グループ毎にパラメータを調整する方法について研究を進める。

本研究では、下記の項目について研究することにより多峰性問題において探索の安定性と効率性を大幅に向上させることを目指す(右図参照)。

山谷構造の推定

集団中の探索点間の隣接関係を把握する方法として、近接グラフを利用する方法を中心にk-近傍法などの方法も検討する。全ての隣接点より関数値の小さい(大きい)探索点を谷点(山点)とする。最小化問題の場合は谷点の数が峰の数に対応するため、谷点の数が小



さければ、峰の数が少ないため、探索効率を重視する解生成方法を選択することができる。谷点数が大きければ、より多様性を維持する方法を選択する必要がある。

探索点分布の推定

基準点からの距離のランクと関数値のランクとの順位相関係数によって探索点分布を推定する方法を中心に、相関行列を利用する方法なども検討する。探索点の分布が偏っている場合には多様性を高める必要がある。

探索点のグループ化

谷点、山点、その他の点というグループ化や隣接点の方が関数値の大きい割合（谷率）に基づくグループ化について検討する。

生成・置換戦略とアルゴリズムパラメータ

推定された山谷構造、谷率、分布タイプを利用して、新しい解の生成戦略および置換戦略を選択する方法について検討する。例えば、局所解に近い谷点では近傍探索性を重視して近く局所解を探索し、優良な解から離れた山点では大域探索性を重視して異なる峰に移動することにより、探索の安定性を向上させることができる。また、谷点を破壊しないように、谷点についてはクラウディングを採用することが有効である。さらに、谷点の数や谷率の観測に基づく調整と成功に基づく調整を組み合わせることでアルゴリズムパラメータをグループ毎に調整することにより、従来よりも優れたパラメータ調整を実現する。

高次元問題

高次元問題では、空間の広さと比べて探索点の数が非常に少なくなる。このため、近接グラフである Gabriel グラフを構成すると全ての探索点が他の全ての探索点と隣接関係にあるように判定されることが多い。この場合には、目的関数の景観とは無関係に1つの谷と1つの山という景観に判定されてしまうため、より疎な近接グラフを採用する必要があると考えられる。また、谷点のアーカイブを使用することにより、多様性を確保する方法についても検討する。

3. 研究の方法

研究の方法を項目毎に以下で説明する。

探索点の隣接関係および山谷構造の推定

隣接関係を決定する方法として、探索点を頂点として Gabriel グラフなどの近接グラフを生成し、辺で接続された探索点間に隣接関係が存在すると判定する方法について研究してきた。しかし、探索の初期段階では、探索空間に対して探索点の数が少ないため、高次元問題と同様に全ての探索点間に隣接関係が存在すると判定されることがある。これを回避するために、より隣接関係が少なく谷点・山点の数が多めになる近接グラフである相対近傍グラフを考慮することが有効であると考えられる。初期段階では相対近傍グラフによる山谷構造を考慮する方法や、相対近傍グラフによる山谷構造と Gabriel グラフによる山谷構造を併用する方法について検討する。

最適化が困難な関数形状に平坦構造と稜構造がある。関数値が同じ値を持つ平坦構造では、どの方向に移動すれば最適解に近づくのかを判断するのが困難である。また、稜構造では、探索点が狭い範囲を移動して最適解を探索する必要があるため、探索点が急速に収束し、多様性および探索速度が低下しやすい。多峰性問題で平坦構造や稜構造を同時に有する問題が存在するため、山谷構造の推定において、稜構造や平坦構造の検出も行うための研究を進める予定である。

探索点分布タイプの推定

順位相関係数に基づく分布タイプ推定について検討してきたが、相関行列に基づく分布タイプ推定について検討を開始する。一般に、相関係数が1あるいは-1に近い場合には偏った分布であり、0に近い場合には一様な分布であると考えられる。

探索点のグループ化

グループに分類する方法として、山点、谷点、その他の点に分類する方法、谷率に基づいて分類する方法、関数値のランクに基づいて分類する方法について検討する。

生成・置換戦略とアルゴリズムパラメータの制御

DE および粒子群最適化(PSO)のアルゴリズムパラメータを調整するために、観測による調整と成功による調整を組み合わせるという方法として、山点、谷点以外の探索点については成功に基づいてパラメータを調整し、山点、谷点については固定的パラメータあるいは成功に基づくパラメータ値を修正した値を用いるという方法を提案してきたが、本研究ではより一般的に集団をグループに分割し、グループ毎にパラメータを調整する方法を提案する。このために、成功に基づいてパラメータを調整する JADE の方法をグループ毎に適用することを検討する。グループ毎にパラメータを調整する方法として、JADE の成功による調整法、推定された山谷構造による調整法、分布タイプによる調整法を組み合わせる方法について研究を進める。また、山谷構造（単峰性、多峰性）、分布タイプ（一様分布、偏った分布）に基づいて新しい解を生成する操作を適切に選択する方法について検討する。さらに、多様性を重視する必要がある多峰性や偏った分布において、クラウディングを導入するための研究を進める。

高次元問題

高次元問題では、空間の広さに対して探索点の数が非常に少なくなる。このため、既述べたように、Gabriel グラフと相対近傍グラフを利用する方法が高次元問題に対応できるかを調査し、必要な改良を加える予定である。また、山谷構造の推定については、アーカイブの導入が有効であると考えている。山点と谷点の履歴をアーカイブに保存しておき、現在の集団とアーカイブの

両方の探索点を用いて山谷構造を推定することにより、山谷構造の推定精度を向上するための研究を進める。

4. 研究成果

主な研究成果を年度毎に記述する。

(1) 2017 年度の成果

探索点集団に対して、目的関数値の良さに従った順位付けを行い、上位・中位・下位のような幾つかのグループに分割するというグループ化の方法と、各グループで独立にアルゴリズムパラメータを適応的に調整する方法を提案した。差分進化(Differential Evolution)を用いた提案手法により、グループ化せずにパラメータを適応的に調整する方法と比較して優れた結果が得られることを示した。

自然界において災害を生き残るために極端な個体(extreme individual)の重要性が知られている。極端な個体を考慮したグループ化として、極端な個体である最良探索点群と最悪探索点群については特定のアルゴリズムパラメータを使用し、その他の個体群はアルゴリズムパラメータを適応的に調整する方法を提案した。差分進化を用いた提案手法により、集団全体でパラメータを適応的に調整する方法と比較して優れた結果が得られることを示した。

変数間依存性の高い最適化問題は、探索点の分布が偏った形状を持ち、特定の方向へ探索を進める必要のある難しい問題である。このような問題に対して、斜交座標系を構成し、斜交座標上で子個体を生成する交叉方法を提案した。実数値遺伝的アルゴリズムと粒子群最適化(Particle Swarm Optimization)を用いて、通常の交叉と提案した交叉を併用することで、変数間依存性の高い回転問題を解き、通常の交叉と比較して、優れた結果が得られることを示した。

(2) 2018 年度の成果

高次元問題では完全グラフになりやすいという課題がある Gabriel グラフ(GG)に対して、相対近傍グラフ(RNG)を併用する方法について検討を継続した。GG による谷点と RNG による谷点を併用する方法に加えて、探索点毎に GG の条件と RNG の条件を確率的に使い分けて隣接関係を決定する方法について検討し、高次元関数に対応しやすくなることを確認した。

変数間依存性の高い最適化問題は、探索点の分布が偏った形状を持ち、特定の方向へ探索を進める必要がある、すなわち、依存性の強い変数を同時に改善する必要がある問題である。これに対処するために、相関係数を利用する方法を提案した。各変数毎に相関係数が最大になる変数を求め、一方の変数が子個体に継承されていればもう一方の変数も継承するという交叉方法を提案した。通常の交叉と提案した交叉を併用することで、変数間依存性の強い問題を解き、通常の交叉と比較して、優れた結果が得られることを示した。

現実世界の最適化問題の多くは制約付き最適化問題である。制約付き最適化問題を解くために、新しい適応的ペナルティ法を提案した。本手法では、親個体と子個体の拡張関数値が等しくなる等価ペナルティ係数値(EPC)を定義し、全個体の EPC の中で指定されたパーセント順位の EPC をペナルティ係数として使用することにより、適応的にペナルティ係数を制御する。本手法を差分進化に導入し、幾つかの制約付き工業設計問題を最適化することにより、その有効性を示した。

(3) 2019 年度の成果

変数間依存性の高い最適化問題は、依存性の強い変数を同時に改善する必要がある困難な問題である。これに対処するために、昨年度に提案した相関係数を利用する方法をさらに改良し、相関係数の値が「相関係数の平均値+標準偏差」を超える変数間に依存性があると判断し、グループ化する方法を提案した。交叉の際にはグループ毎に交叉するかどうかを決定する。通常の交叉と提案した交叉を併用する確率を適応的に調整することにより、変数間依存性の強い問題を解き、通常の交叉と比較して、優れた結果が得られることを示した。

実問題に多い制約付き最適化問題を解くために、昨年度に提案した等価ペナルティ係数(EPC)法を改良し、EPC 法のパラメータを適応的に調整する方法を提案した。提案手法を差分進化および粒子群最適化(PSO)という異なる最適化アルゴリズムに適用し、代表的な制約付き最適化ベンチマーク問題を最適化することにより、その有効性を示した。

アルゴリズムパラメータの適応的制御を改良するために、失敗情報を利用する方法を提案した。アルゴリズムパラメータ F と CR の値を各 20 区間に分割した 400 区分毎に、子が親より良くなった成功回数と悪くなった失敗回数を記録する。失敗回数と成功回数をそれぞれ最大失敗・成功回数で正規化し、その差を失敗しやすい確率とする。JADE アルゴリズムによって生成された F と CR の組を失敗しやすい確率でリジェクト・再生成することにより、JADE より優れた結果が得られることを示した。

(4) 2020 年度の成果

目的関数の概形推定、特に山谷構造の推定について、Gabriel グラフ(GG)と相対近傍グラフ(RNG)の併用について研究してきたが、適切な選択確率の設定が困難であった。新しい近傍グラフとして、パラメータによって GG と RNG の中間的な性質を持つグラフを設定できる 緩和相対近傍グラフ(RNG)を提案した。グラフを用いた種分化に基づく差分進化(SDE-G)のグラフとして RNG を採用し、代表的なベンチマーク問題を最適化することにより、提案手法の有効性を示した。

悪い解から良い解への方向ベクトルを利用する directional mutation において、解を関数値

でランク付けし、悪い解と良い解を選択するランクの範囲を適応的に調整する adaptive directional mutation を提案した。これにより、良い方向だけでなく、適度に悪い方向への移動ができるため、局所解からの脱出が可能となり、安定した探索が実現できた。代表的なベンチマーク問題を提案手法で最適化し、従来手法と比較することにより、有効性を示した。

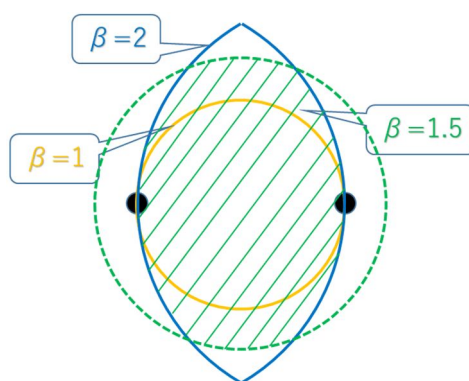
制約付き最適化問題を解くために、2019 年度に提案したパラメータを適応的に調整する等価ペナルティ係数(EPC)法について、粒子群最適化(PSO)アルゴリズムへの適用を確認・改良するために、トポロジーの選択と突然変異確率の設定に関する比較実験を行った。また、次元を調整可能な制約付き最適化問題を用いて提案手法のスケラビリティに関する調査を行い、その有効性を示した。

(5) 研究成果のまとめ

研究成果を研究項目毎にまとめたものを以下に簡潔に記述する。

探索点の隣接関係および山谷構造の推定

特に高次元問題において、初期は多くの解を補足するために RNG のような疎なグラフが、終盤は収束性を高めるために GG のような密なグラフを使用することが望ましい。このため、GG と RNG を確率的に併用する方法について検討し、一定の成果が得られたが、GG と RNG で山谷構造が急に変化するため、安定性に欠けるところがあった。これに対して、パラメータ によって GG から RNG の中間的なグラフを連続的に構成できる 緩和相対近傍グラフ(下図参照)を提案することができた。このグラフにおける 2 点を接続する条件は、RNG の条件領域 ($\beta=2$ の青い領域内) と で定義される超球内 (緑の点線内の領域) との共通領域に他の点が存在しないことである。 $\beta=1$ ならば GG, $\beta=2$ ならば RNG と一致し、中間の値では GG と RNG の中間的なグラフとなる。図の斜線領域は 2 次元における $\beta=1.5$ の場合の条件領域である。 を関数評価回数に基づいて 2 から 1 まで連続的に減少させることにより、初期には RNG、終盤には GG を実現することが可能になり、安定かつ効率的な山谷構造の推定が可能となった。ただし、稜構造や平坦構造の検出については良い方法を考案できていないため、今後の課題とする。



探索点分布タイプの推定

探索点の分布タイプについて検討を進めるうちに、変数間の依存関係が分布タイプを決めていることに気づいた。例えば、変数間依存関係が強い場合は細長い分布、弱い場合は広い分布となる。そこで相関行列により依存関係を求め、依存関係に基づき変数をグループ化し、グループ毎に交叉を行うという方法を提案した。これにより、分布タイプの推定を行わずに子個体を生成することが可能となった。

探索点のグループ化

グループ化について様々な検討を行ったが、グラフに基づく種分化が効果的であることが分かった。これは、近傍グラフによって探索点の隣接関係を求め、各探索点に接続された点の中で最良の探索点を種のシードとし、シードとその隣接点で 1 つの種(グループ)を構成するという方法である。

生成・置換戦略とアルゴリズムパラメータの制御

戦略とパラメータの制御については、谷点とその隣接点を含む種(シードが谷点の種)では近傍探索を行うように戦略・パラメータを選択・調整し、シードが谷点でなければ広域探索を行うように戦略・パラメータを選択・調整するという方法が簡単かつ効果的であることが分かった。

高次元問題

で述べたように、高次元問題では、初期は多くの解を同定するために疎なグラフが、終盤は収束性を高めるために密なグラフを使用することが望ましい。これに対して、 緩和相対近傍グラフを提案することにより、高次元問題に対処した。

これ以外の研究テーマに関連する成果として、制約付き多峰性問題に対処するために、等価ペナルティ係数(EPC)法とそのパラメータを適応的に調整する方法を提案した。

以上により、おおむね研究の目的を達成することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko	4. 巻 1
2. 論文標題 An Adaptive Differential Evolution Algorithm Utilizing Failure Information and Success Information	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2021)	6. 最初と最後の頁 掲載決定
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 Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko	4. 巻 1
2. 論文標題 Multimodal Optimization by Particle Swarm Optimization with Graph-Based Speciation Using - Relaxed Relative Neighborhood Graph	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 15th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems 2021 and the 4th International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics 2021 (DARS-SWARM2021)	6. 最初と最後の頁 掲載決定
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 Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko	4. 巻 25
2. 論文標題 Constrained Optimization by Improved Particle Swarm Optimization with the Equivalent Penalty Coefficient Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 612 ~ 623
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10015-020-00653-z	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 Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko	4. 巻 1
2. 論文標題 Adaptive Directional Mutation for an Adaptive Differential Evolution Algorithm	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2020)	6. 最初と最後の頁 262 ~ 268
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 阪井節子、高濱徹行	4. 巻 2158
2. 論文標題 相関係数を用いた遺伝子のグループ化に基づくグループ交叉を導入した適応的差分進化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 110 ~ 119
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 Takahama Tetsuyuki、Sakai Setsuko	4. 巻 1
2. 論文標題 An Equivalent Penalty Coefficient Method: An Adaptive Penalty Approach for Population-Based Constrained Optimization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2019)	6. 最初と最後の頁 1621 ~ 1628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CEC.2019.8790360	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 Takahama Tetsuyuki、Sakai Setsuko	4. 巻 1
2. 論文標題 Constrained Optimization by Improved Particle Swarm Optimization with the Equivalent Penalty Coefficient Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2019)	6. 最初と最後の頁 266 ~ 273
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 阪井節子、高濱徹行	4. 巻 2126
2. 論文標題 集団的降下法に対するペナルティ係数の適応的調整法の提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 53 ~ 62
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 高濱徹行、阪井節子	4. 巻 1
2. 論文標題 失敗情報を利用する適応的差分進化アルゴリズム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第30回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集	6. 最初と最後の頁 46～49
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 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai	4. 巻 23
2. 論文標題 The Velocity Updating Rule According to an Oblique Coordinate System with Mutation and Dynamic Scaling for Particle Swarm Optimization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 618～627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-018-0498-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 Tetsuyuki Takaham, Setsuko Sakai	4. 巻 1
2. 論文標題 A New Binomial Crossover Considering Correlation Among Decision Variables for Adaptive Differential Evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2018)	6. 最初と最後の頁 467-473
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 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai	4. 巻 1
2. 論文標題 Grouping of Genes According to Correlation Coefficients and Grouping-Based Crossover for Adaptive Differential Evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The 50th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (extended abstract)	6. 最初と最後の頁 115～116
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 阪井節子、高濱徹行	4. 巻 2078
2. 論文標題 変数間依存性を解消する変換を導入したブレンド交叉の提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 65～72
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 高濱徹行、阪井節子	4. 巻 2018-MPS-120/8
2. 論文標題 差分進化における相関係数に基づく遺伝子のグループ化とグループ単位の交叉の提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告 第120回数理解モデル化と問題解決研究会	6. 最初と最後の頁 1～6
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 阪井節子、高濱徹行	4. 巻 1
2. 論文標題 対話型差分進化における一対比較に基づく鏡映点の利用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2019年春季研究発表会アブストラクト集	6. 最初と最後の頁 92～93
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 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai	4. 巻 1
2. 論文標題 An Adaptive Differential Evolution with Learning Parameters According to Groups Defined by the Rank of Objective Values	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the Eighth International Conference on Swarm Intelligence (ICSI2017)	6. 最初と最後の頁 411～419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-61824-1_45	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 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai	4. 巻 1
2. 論文標題 An Adaptive Differential Evolution with Exploitation and Exploration by Extreme Individuals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of SICE Annual Conference 2017 (SICE2017)	6. 最初と最後の頁 1147 ~ 1152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/SICE.2017.8105438	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 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai	4. 巻 1
2. 論文標題 Particle Swarm Optimization with the Velocity Updating Rule According to an Oblique Coordinate System	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2017)	6. 最初と最後の頁 70 ~ 77
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 高濱徹行、阪井節子	4. 巻 2017-MPS-113(29)
2. 論文標題 斜交座標系に基づく回転不変なブレンド交叉の提案	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会 第113回数理モデル化と問題解決研究会	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
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 阪井節子、高濱徹行	4. 巻 2044
2. 論文標題 適応型差分進化JADEにおける個体順位に基づくグループ別パラメータ制御	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 159 ~ 170
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 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Takahama Tetsuyuki、Sakai Setsuko
2. 発表標題 Adaptive Directional Mutation for an Adaptive Differential Evolution Algorithm
3. 学会等名 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahama Tetsuyuki、Sakai Setsuko
2. 発表標題 An Equivalent Penalty Coefficient Method: An Adaptive Penalty Approach for Population-Based Constrained Optimization
3. 学会等名 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahama Tetsuyuki、Sakai Setsuko
2. 発表標題 Constrained Optimization by Improved Particle Swarm Optimization with the Equivalent Penalty Coefficient Method
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阪井節子、高濱徹行
2. 発表標題 相関係数を用いた遺伝子のグループ化に基づくグループ交叉を導入した適応的差分進化
3. 学会等名 RIMS研究集会「不確実・不確定性の下における数理的意決定の理論と応用」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高濱徹行、阪井節子
2. 発表標題 失敗情報を利用する適応的差分進化アルゴリズム
3. 学会等名 第30回ソフトサイエンス・ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai
2. 発表標題 A New Binomial Crossover Considering Correlation Among Decision Variables for Adaptive Differential Evolution
3. 学会等名 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai
2. 発表標題 Grouping of Genes According to Correlation Coefficients and Grouping-Based Crossover for Adaptive Differential Evolution
3. 学会等名 The 50th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS'18)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阪井節子、高濱徹行
2. 発表標題 集団的降下法に対するペナルティ係数の適応的調整法の提案
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所RIMS共同研究(公開型)「確実性の下での意思決定の数理とその周辺」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高濱徹行、阪井節子
2. 発表標題 差分進化における相関係数に基づく遺伝子のグループ化とグループ単位の交叉の提案
3. 学会等名 情報処理学会 第120回数理モデル化と問題解決研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阪井節子、高濱徹行
2. 発表標題 対話型差分進化における一対比較に基づく鏡映点の利用
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai
2. 発表標題 An Adaptive Differential Evolution with Learning Parameters According to Groups Defined by the Rank of Objective Values
3. 学会等名 The Eighth International Conference on Swarm Intelligence (ICSI2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai
2. 発表標題 An Adaptive Differential Evolution with Exploitation and Exploration by Extreme Individuals
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2017 (SICE2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai
2. 発表標題 Particle Swarm Optimization with the Velocity Updating Rule According to an Oblique Coordinate System
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高濱徹行、阪井節子
2. 発表標題 斜交座標系に基づく回転不変なブレンド交叉の提案
3. 学会等名 情報処理学会 第113回数理モデル化と問題解決研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阪井節子、高濱徹行
2. 発表標題 変数間依存性を解消する変換を導入したブレンド交叉の提案
3. 学会等名 RIMS 共同研究(公開型) 不確実性の下での意思決定理論とその応用：計画数学の展開
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Sakai Setsuko, Takahama Tetsuyuki	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Kyushu University Press	5. 総ページ数 26 (15-40)
3. 書名 "Graph-Based Speciation Using ϵ -Relaxed Relative Neighborhood Graph for Multimodal Optimization by Differential Evolution", in New Approaches for Operations Research and Applied Economics	

1. 著者名 Sakai Setsuko、Takahama Tetsuyuki	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Kyushu University Press	5. 総ページ数 13 (59-71)
3. 書名 "A Study on a Directional Mutation Operation for an Adaptive Differential Evolution" in Current Researches for Applied Economics, Information Systems, Mathematics and OR	

1. 著者名 Setsuko Sakai、Tetsuyuki Takahama	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Kyushu University Press	5. 総ページ数 22 (65-86)
3. 書名 "A Study on an Equivalent Penalty Coefficient Value for Adaptive Control of the Penalty Coefficient in Constrained Optimization by Differential Evolution", in Advanced Studies in Economic Sciences: Information Systems, Economics and OR	

1. 著者名 Setsuko Sakai、Tetsuyuki Takahama	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Kyushu University Press	5. 総ページ数 23 (65-87)
3. 書名 "A Study on Selecting an Oblique Coordinate System for Rotation-Invariant Blend Crossover in a Real-Coded Genetic Algorithm", in A.Kadoya and H.Teramoto (eds.) Recent Studies in Economic Sciences: Information Systems, Project Managements, Economics, OR and Mathematics	

〔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
---------	---------