

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12135

研究課題名(和文) 進化計算による最適化問題セットのサイマルテナス最適化

研究課題名(英文) Simultaneous Problem Set Optimization Using Evolutionary Computation

研究代表者

佐藤 寛之 (Sato, Hiroyuki)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：60550978

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：複数の目的関数を同時に最適化する進化計算法について研究した。最適化問題における設計変数値が連続値で表される連続問題と、離散値、とくに0/1の2進数で表される離散問題に対し、目的関数のあいだの類似度を設定できるテスト最適化問題を構築した。これらの問題に対し、最適化の過程で設計変数空間における変数値の分布の違いによって、目的関数の類似度を計測し、交叉という解の組み合わせで新しい解を生成する協調探索を促進、抑制させる方法を構築した。提案法が、最適化中に目的関数の類似度を適切に求めること、類似度を利用する提案法が、従来法より高い同時最適化性能を示すことなどを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的には、異なる複数の目的関数の関係性が未知の状態から、最適化の過程で類似性を推定し、類似度が高い目的関数について、探索する解集合を共有する方法論として意義があると考えられる。社会的には、昨今、設計最適化などに進化計算が利用されるようになってきており、本研究によって、人々の多様なニーズに合わせたバリエーションが豊富な製品を同時に設計するシーンなどへの利用が促進される意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We studied evolutionary computation methodology to optimize multiple objective functions simultaneously. For continuous problems with real value design variables and discrete problems with discrete design variables, binary 0/1 especially, we respectively proposed test optimization problems that could specify similarities among objective functions. For these problems, we proposed evolutionary optimization algorithms that estimate similarities among objective functions by solution distributions in the variable space and utilize them to enhance or suppress the cooperative search in crossover generating new solutions by recombining two existing solutions. Results showed that the proposed algorithms could estimate similarities among multiple objective functions and utilized them to improve the simultaneous optimization of multiple objective functions compared to conventional evolutionary algorithms.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：最適化 進化計算

1. 研究開始当初の背景

産業界における最適化技術の浸透が加速している。その背景には、製品の複雑化、開発期間の短縮化、製品の多様化などがある。産業界で注目される最適化法のひとつに進化計算がある。進化計算は、解（設計案）を生き物のように扱い、目的関数（設計の評価指標）値が改善するように進化させる方法で、最適化問題の特徴が不明であっても適用可能な汎用性の高さに注目が集まっている。進化計算は、産業界を支える基盤技術になりつつあり、多様な製品への水平展開が期待されている。工学製品は、機能や用途によって複数のラインナップがあることが多い。これらは同時期に市場投入するために同時期に設計するが、これまでは、それぞれを個別に最適化することが通常だった。類似製品において、共通設計部を自動的に見出し、まとめて同時に最適化することができれば、産業界における進化計算の利用がさらに拡大することが期待できる。進化計算の学術研究において、複数の最適化問題を同時最適化することについては、最適化問題の関係を表現すること、それを同時最適化に活かすこと、複数の問題における進化計算の協働のさせ方に解決すべき課題がある。

2. 研究の目的

本研究では、複数の最適化問題を同時に最適化する進化計算の方法論を構築する。具体的には、複数の最適化問題の設計変数の類似部分を見出し、問題の境界を横断する最適化に活用することで同時最適化にシナジーをもたらす方法、問題間の類似関係をわかりやすく可視化する方法を構築する。

3. 研究の方法

本研究で取り組んだ研究の方法を整理して、まとめた上で述べる。

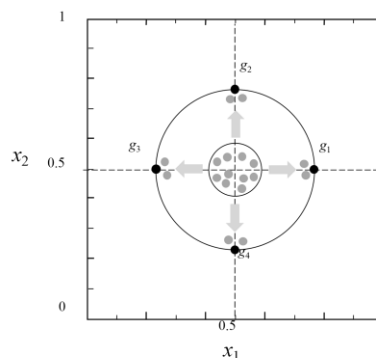
最適化問題は、特徴によってクラス分けできる。本研究では、設計変数に着目し、(a)設計変数が連続値で表される連続問題、(b)設計変数が離散値で表される離散問題に分けた。これらについて、以下の研究項目について取り組んだ。

(1) 問題の類似度を調整可能なテスト最適化問題

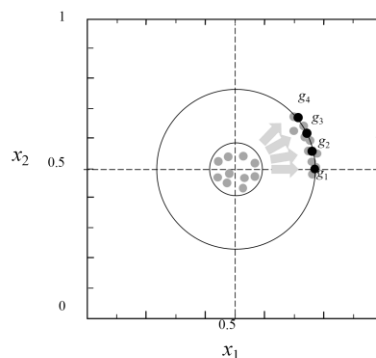
多様な同時最適化問題を表現するため、目的関数間の類似度を調整可能なテスト最適化問題を構築した。設計変数の種類が異なる連続問題と離散問題を構築した。

(1-a) 連続問題

設計変数空間において、最適解 g の位置を任意の場所に設置する従来の距離最小化問題をもとに、複数の目的関数の最適解 g の配置によって、目的関数間の類似度を調整するテスト問題を構築した。図 1 に例示する。図 1(a) は、連続値で表現される二次元の設計変数空間を表している。設計変数空間の中央を中心とする外側の円上に各目的関数の最適値を配置する。ひとつめの目的関数 f_1 の最適解の位置が g_1 、ふたつめの目的関数 f_2 の最適解の位置が g_2 といった具合で、図 1(a) は、4 つの目的関数の最適解が円上に均等配置されるケースを示している。図 1(b) の場合、4 つの目的関数の最適解を偏って配置している。図 1(a) と (b) の双方において、最適解を探索する解集団を灰色で例示した。探索の違いのわかりやすさのため、設計変数空間の中央を中心とする内側の円から探索を始める例を示した。図 1(a) の場合、各目的関数の最適解を探索するために、それぞれ異なる方向に探索しなければならないのに対し、図 1(b) の場合、各目的関数の最適解の位置が近い場合、探索方向が類似することがわかる。このように、最適解の配置によって、目的関数間の類似度を調整可能にした。このテスト問題は、目的関数の数を任意に増加させられる利点もある。さらに、二次元空間に最適解を配置させるため、設計変数空間における探索の過程と結果を可視化できることにも利点がある。



(a) 均等配置



(b) 不均等配置

図 1 : 連続問題

(1-b) 離散問題

設計変数が離散値で表される問題のうち、0/1 のバイナリで表されるバイナリ問題に注目する。従来の CMNK 景観問題をもとに同時最適化問題を表現することにした。CMNK 景観問題は、M で目的関数の数、N で変数の数、K で変数のうち目的関数値に与える変数の関係数を設定できる。また、C は、相関行列であり、目的関数間の相関を設定できる。M=3 つの目的関数 f_1 , f_2 , f_3 がある例を図 2 に示す。目的関数 f_1 と f_2 の相関係数は、 $c_{1,2}$ と $c_{2,1}$ で設定できる。同様に各目的関数間の相関係数を設定できる。

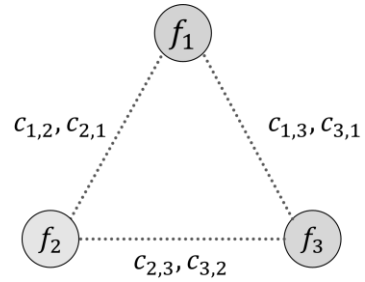
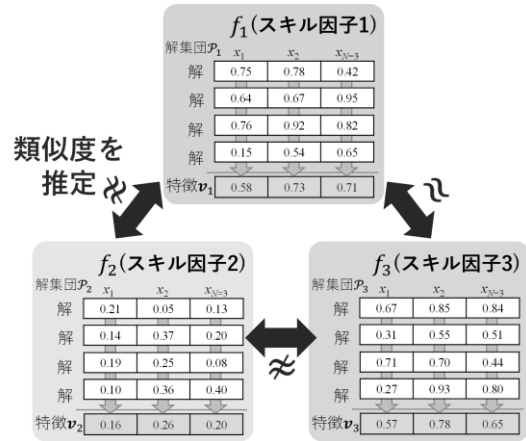


図 2：離散問題

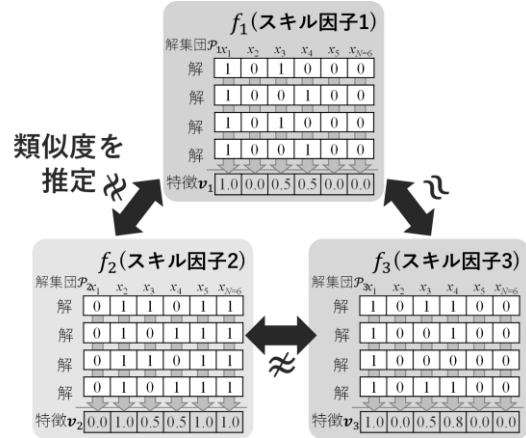
(2) 設計変数の類似度計測と協調探索

(2-a) 連続問題

連続問題において、複数の目的関数間で解集合を共有することで協調探索を促し、複数の目的関数の同時最適化性能を高める。目的関数間の類似度の推定には、各目的関数を最適化するための解集合の連続値の設計変数空間における分布を利用する。M=3 つの目的関数 f_1 , f_2 , f_3 がある例を図 3 (a) に示す。各目的関数を最適化するために 4 つずつの解が割り当てられている。一つの解は、3 つの連続値の変数の要素を持つ例を示している。各目的関数について、変数の要素ごとに平均値を特徴値とし、特徴ベクトル v を算出する。特徴ベクトル v は、各目的関数を最適化しようとする解集合の設計変数空間における分布の統計情報である。特徴ベクトルを目的関数ごとに算出する。特徴ベクトル間のコサイン類似度を算出する。類似する目的関数の解は、交叉という方法で解を組み替えて新しい解を生成することを促進し、相違する目的関数の解は、交叉することを抑制する。図 3 (a) は、 f_1 と f_2 , f_2 と f_3 の類似度が低く、 f_1 と f_3 の類似度が高い例を示している。これにより、複数の目的関数の同時探索を促進する。また、コサイン類似度に基づく交叉の仕方については、パラメータ α を導入し、類似度を重視する探索から、類似度を軽視する探索までを実現できるようにした。



(b) 連続問題



(b) 離散問題

図 3：類似度計測と協調探索

(2-b) 離散問題

離散問題において、複数の目的関数間で解集合を共有することで協調探索を促し、複数の目的関数の同時最適化性能を高めるために、離散値の設計変数空間における分布を利用する。連続問題に対する方法との違いは、特徴ベクトルの算出方法である。M=3 つの目的関数 f_1 , f_2 , f_3 がある例を図 3 (b) に示す。

図 3 (a) と比べて、各解の設計変数値が 0/1 のバイナリであることがわかる。離散問題における各設計変数について、1 の出現確率を求めることで特徴ベクトル v を算出する。各目的関数の特徴ベクトルの類似度によって、探索の協調を促進するのか、抑制するのかは、連続問題と同様である。このように、提案法は、設計変数の差異によって、各目的関数の特徴ベクトルの算出方法を変えることで、同一の協調探索のフレームワークを利用できる。

4. 研究成果

本研究で取り組んだ研究の結果と成果を整理し、まとめた上で述べる。先述した (a) 連続問題と (b) 離散問題にわける。

(a) 連続問題

連続問題に対する結果を抜粋して述べる。図 4(a) に 12 目的の連続問題を掲載した。3 つの最適解が近くに分布するグループが 4 つある問題である。最適解が近くに分布する 3 つの目的関

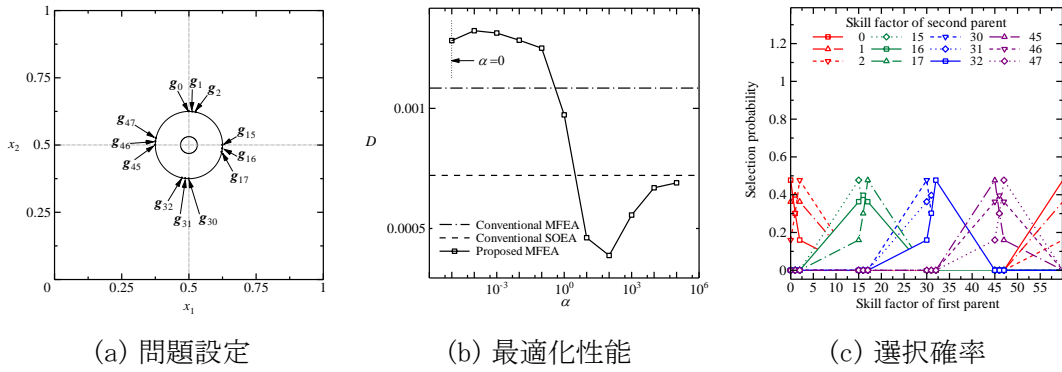


図 4 : 連続問題

数の探索は協調を促進するが、それ以外は協調を抑制したい例である。最適化性能の結果を図 4(b)に示す。縦軸の D は、最適化性能の尺度であり、値が小さいほど、最適化性能が高いと判断する。横軸は、先述のパラメータ α であり、値が小さすぎると目的関数間の類似度を気にせず探索することになる。値が大きすぎると、目的関数間の類似度を気にしすぎて、目的関数ごとに独立して探索することになる。 α には、目的関数間の類似度を考慮するバランスが重要である。また、図 4(b)には、従来の単一最適化法 SOEA と従来の同時最適化法 MFEA の結果を併せてプロットしている。この結果から、提案法は、 α の調整によって、従来法より 12 個の目的関数の同時最適化性能が良くなることがわかる。図 4(c)に各目的関数において、提案法が交叉を適用した目的関数の解集合の確率を示す。縦軸が確率、横軸は、図 4(a)と対応する各目的関数の最適解の位置、複数の線は各目的関数を示している。この結果から、提案法は、最適解が近い解集合を選んで交叉していることが確認できた。すなわち、提案する目的関数の類似度の推定法によって、最適解の近さを捉えられていることがわかる。この方法で、問題間の類似関係を可視化することができた。

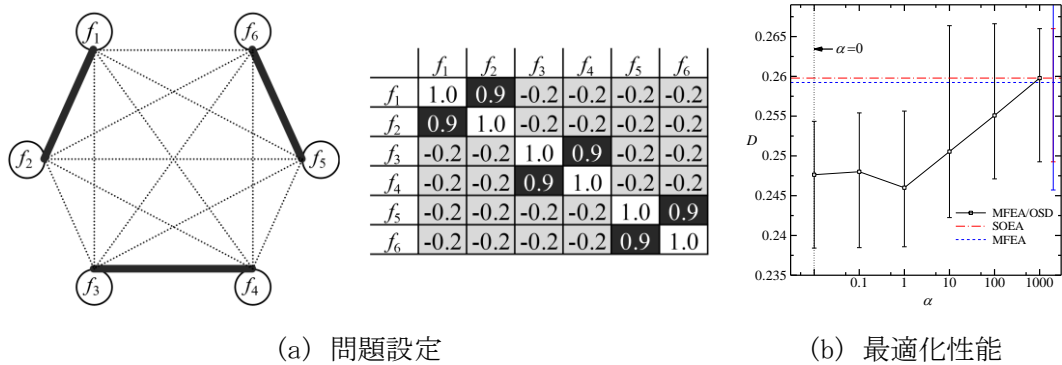


図 5 : 離散問題

(b) 離散問題

離散問題に対する結果を抜粋して述べる。図 5(a)に 6 目的の離散問題を掲載した。右は、目的関数間のグラフ関係、左は相関行列 C である。強い相関のある 2 つの目的関数が 3 グループある例を示している。最適化性能の結果を図 5(b)に示す。グラフの形式は、図 4(b)と同様である。この結果から、連続問題と同様に、提案法は、 α の調整によって、従来法より 6 個の目的関数の同時最適化性能が良くなることがわかった。

以上より、連続問題と離散問題において、目的関数の類似度を解探索中に推定しながら、協調探索を推進、抑制することにより、複数の目的関数の同時最適化性能が高まることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 高木 智章, 高玉 圭樹, 佐藤 寛之	4. 巻 12
2. 論文標題 推定パレートフロントに基づいて重みベクトル群を配置する多目的進化アルゴリズム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 進化計算学会誌	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) 10.11394/tjpnsec.12.45	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 富田 一光, 佐藤 寛之, 奥野 剛史	4. 巻 12
2. 論文標題 VBAとGASを用いたシフト表自動化アプリの作成とシフト組合せ最適化用の遺伝的アルゴリズムの検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 進化計算学会誌	6. 最初と最後の頁 88-97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11394/tjpnsec.12.88	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39件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Weight Vector Arrangement Using Virtual Objective Vectors in Decomposition-based MOEA
3. 学会等名 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shio Kawakami, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Multi-factorial Evolutionary Algorithm Using Objective Similarity Based Parent Selection
3. 学会等名 13th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies (BICT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kensuke Kano, Tomoaki Takagi, Shoichiro Tanaka, Keiki Takadama, Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Variable Elite Population in Grid-based Multi-objective Evolutionary Optimization
3. 学会等名 The 3rd ASEAN-UEC Workshop on Informatics and Engineering for SDGs (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shio Kawakami, Keiki Takadama, Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Preliminary Study of Multi-factorial Evolutionary Algorithm Using Objective Similarities on Different Objective Landscapes
3. 学会等名 The 3rd ASEAN-UEC Workshop on Informatics and Engineering for SDGs (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Supervised Multi-objective Optimization Algorithm Using Estimation
3. 学会等名 2022 IEEE World Congress on Computational Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuyuki Mitsui, Yuki Yamakoshi, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Evolutionary Real-world Item Stock Allocation for Japanese Electric Commerce
3. 学会等名 2022 IEEE World Congress on Computational Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Fukuhara, Ryo Kumagai, Fukawa Yuta, Shinichi Tanabe, Hiroki Kawano, Yoshihiro Ohta, Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Digital Twin Based Evolutionary Building Facility Control Optimization
3. 学会等名 2022 IEEE World Congress on Computational Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shoichiro Tanaka, Keiki Takadama, Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Impacts of Single-objective Landscapes on Multi-objective Optimization
3. 学会等名 2022 IEEE World Congress on Computational Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加納謙介, 高木智章, 田中彰一郎, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 グリッド型多目的進化計算における可変エリート集団に関する検討
3. 学会等名 インテリジェント・システム・シンポジウム 2021 (FAN 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木智章, 田中彰一郎, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 多目的意思決定を支援する有向パレートフロントの推定
3. 学会等名 インテリジェント・システム・シンポジウム 2021 (FAN 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中彰一郎, 古谷博史, 日和悟, 廣安知之, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 吸収マルコフ連鎖に基づく局所解ネットワークに関する検討
3. 学会等名 第20回進化計算学会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 推定を利用する教師あり多目的最適化アルゴリズムに関する検討
3. 学会等名 第20回進化計算学会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上紫央, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 目的関数の類似度を利用した多因子進化計算に関する検討
3. 学会等名 第20回進化計算学会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原博文, 高木智章, 佐藤寛之
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムの複数の実問題に対する概念実証のプログラム作成を通して 進化計算ソフトウェア開発のビジネス展開の検討
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 洸平, 熊谷 涼, 川野 裕希, 太田 恵大, 佐藤 寛之
2. 発表標題 デジタルツインを用いたビル設備制御設計の制約付き多数目的最適化
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三井 康行, 山越 悠貴, 佐藤 寛之
2. 発表標題 多目的進化計算による EC における商品在庫配置最適化
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中彰一郎, 高玉圭樹, 佐藤 寛之
2. 発表標題 単一の目的関数のランドスケープが多目的最適化に与える影響
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 3目的最適化結果の可視化法に関する比較検討
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Ohta, Takafumi Sasakawa, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Evolutionary Air-Conditioning Optimization Using an LSTM-Based Surrogate Evaluator
3. 学会等名 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Non-dominated Solution Sampling Using Environmental Selection in EMO algorithms
3. 学会等名 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Incremental Lattice Design of Weight Vector Set
3. 学会等名 Workshop on Decomposition Techniques in Evolutionary Optimization, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Yamamoto, Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Visual Mapping of Multi-objective Optimization Problems and Evolutionary Algorithms
3. 学会等名 Workshop on Visualisation Methods in Genetic and Evolutionary Computation, 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Kensuke Kano, Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題	Preliminary Study of Adaptive Grid-based Decomposition on Many-objective Evolutionary Optimization
3. 学会等名	Workshop on Evolutionary Many-objective Optimization, 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2020) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Ryo Kumagai, Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題	A Study on Multi-objective Evolutionary Stage Generation Using MarioGAN
3. 学会等名	The 7th UEC Seminar in ASEAN, 2020 and The 2nd ASEAN-UEC Workshop on Energy and AI
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, Hiroyuki Sato
2. 発表標題	Pareto Front Estimation Using Distance from Unit Hyperplane
3. 学会等名	the 11th Edition of International Conference Series on Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO2021)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Shio Kawakami, Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題	Distance Minimization Problems for Multi-factorial Evolutionary Optimization Benchmarking
3. 学会等名	The 12th World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC 2020)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Weight Vector Arrangement Using Virtual Objective Vectors in Decomposition-based MOEA
3. 学会等名 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 多目的意思決定支援のためのパレートフロントの上位集合の獲得に関する検討
3. 学会等名 第17回進化計算学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田恵大, 佐藤寛之
2. 発表標題 多目的進化計算によるオフィスビルの空調設定スケジュールの最適化 数理モデルからシミュレーションベース, ロバスト, サロゲート最適化への展開
3. 学会等名 第17回進化計算学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 仮想目的ベクトル群によるパレートフロントの形状推定
3. 学会等名 第18回進化計算学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊谷涼, 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 MarioGANと進化計算による多様なステージ生成に関する検討
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 目的関数空間の単位超平面を基準とするパレートフロント推定とその利用
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本康平, 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 最適化問題の類似性を利用した未知の最適化問題に適した進化計算法の推薦
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田恵大, 佐藤寛之
2. 発表標題 多目的空調設定スケジュール最適化問題における局所的な多峰性に関する考察
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川上紫央, 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 多因子距離最小化問題における進化計算の性能比較
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好陵太, 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 競争群最適化における比較群サイズが最適化性能に与える影響
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤寛之, 高玉圭樹
2. 発表標題 分解型多数目的最適化における指向確率選択と二重連鎖更新の効果
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 進化計算による多目的最適化における 重みベクトル群の適応配置に関する基礎検討
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納謙介, 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 格子型多数目的進化アルゴリズムにおける分解粒度の適応的決定に関する検討
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019
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