

令和 3 年 5 月 26 日現在

機関番号：62603

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K06435

研究課題名(和文) 応答曲面法を用いた大規模シミュレーション内包型ブラックボックス最適化手法

研究課題名(英文) Black box optimization methods including large-scaled simulation by using a response surface method

研究代表者

相吉 英太郎 (Aiyoshi, Eitaro)

統計数理研究所・大学共同利用機関等の部局等・客員教授

研究者番号：90137985

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)：モデル化されていない要素を有するシステムの最適化であるブラックボックス最適化に対し、モデリング機能を最適化機能に内包させた「能動学習統合型最適化法」を提案した。具体的には、基底関数の線形結合による近似モデルに対し、サンプルデータには一様な誤差を許容しつつ、最適解の近傍ほど逐次的に近似精度を高める手法で、ブラックボックスの具体的な近似モデルとして、(1)目的関数のモデル、(2)等式制約としての静的システムモデル、(3)2レベル最適化問題における上位変数に対する下位問題の応答解のモデル、(4)多目的選好最適化問題における重み係数に対するPareto解集合のモデル、などを構築する手法へと展開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

システム科学やシステム工学の分野における基盤技法である「システム最適化」と「システムモデリング」に関し、後者の機能を前者の機能に内包させた新たな方法論を創出した点で、当研究課題の成果の学術的意義が高く、これに類する研究成果も国内外において見受けられない。同時に、本手法を社会的課題解決のための新しい概念的方法論である「螺旋型システムズアプローチ」に位置付け、さらに近年話題となっているスマート社会のプラットフォームの設計・計画・運用するための新しいシステム方法論を提供する点で、当成果は社会的意義を有している。

研究成果の概要(英文)：For black-box optimization that is system optimization with some of un-modeled elements, we proposed "integrated optimization methods with active learning" in which modelling mechanism are included into optimization mechanism. Concretely, on an approximated model by linear combination of bases functions, errors of sampling data are acceptable uniformly and approximation accuracy increases near an optimal solution. Proposed methods are applied to construct following models: (1) a model of an objective function, (2) a model of a static system as equality constraints, (3) a model of response solution to a lower problem in a two-level optimization problem, (4) a model of Pareto solution set in response to weighting coefficients in a multi-objective preference optimization problems, and others.

研究分野：システム工学

キーワード：システム最適化 システムモデリング ブラックボックス最適化 モデル構築型最適化 能動学習統合型最適化 メタヒューリスティクス

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

システム工学は、工学的・社会的諸課題を解決するための科学的方法論の提供を目的とするが、近年飛躍的に向上した情報処理技術は、従来にはない新しいシステムズアプローチの提供を可能とするようになった。たとえば、システム最適化の分野やその技法を例にあげると、モデリングやシミュレーションの技法を、従来はこれらと独立したシステム最適化の技法に内包させた統合的な新しいシステムズアプローチである。一方において、内部構造が観測できない、または構造を記述できない大規模で複雑な工学的・社会的システムの設計・計画・制御の必要性が、とくに社会的課題解決のために提起されるようになった。近年盛んに用いられている人工知能に対する学習も、ブラックボックスに対するモデリングの手段の一つであるが、ブラックボックスを対象としたシステムの設計・計画・制御の本質は、いわばシステムの逆問題を解くことであり、学習のためにどんなに多くのデータ(いわゆるビッグデータ)を用いるとしても、人工知能(AI)を用いて逆問題を解くことは本質的に容易でないのが現状であり、モデリングのための学習機能と設計・計画・制御のための最適化機能の統合化が必須といえる。こうした課題解決に加えて、ブラックボックス最適化のために有力な計算手法であるメタヒューリスティクスの登場や、これらの計算手法を用いることで、応答曲面法の機能をシステム最適化の機能に組み込む最適化手法の登場など、新しい統合的アプローチを試みる動向も当研究課題の背景にある。

2. 研究の目的

内部構造を観測できないあるいは記述できないいわゆるモデル化することが容易ではない要素を有するブラックボックスを対象とした最適化において、モデリング機能・シミュレーション機能を内包した統合的最適化法を提案することを当研究課題の第一の目的とするとともに、社会的課題解決のために、このような統合的システムズアプローチを適用するための概念的な方法論も提案することを第二の目的とする。ブラックボックス最適化に適した計算手法であるメタヒューリスティクスと総称される多点型試行探索法の高性能化も当研究課題の目的とする。

3. 研究の方法

(1) 最適化の対象が静的システムの場合

まず、システムのモデリング機能を統合化した最適化のための問題の定式化をおこなった。モデリングの対象であるブラックボックスとして静的システムを想定し、この入出力特性を関数 $h(x)$ で表し、これを M 個の基底関数 $b(x; v_m), m = 1, \dots, M$ の線形結合のモデルにより

$$h(x) \approx Wb(x; V) \quad (1)$$

と近似するものとした。ただし、 $W^T = (w_1, \dots, w_L), b^T(x; V) = (b(x; v_1), \dots, b(x; v_M))$ である。このような近似モデルの想定は、いわゆる近年の人工知能(AI)と称するモデルの基本構造が、基底関数の線形結合を有するニューラルネットワークであり、本研究成果の AI への拡張性も意図するためである。こうして構築される近似モデルに対し、最良の近似モデルを最適化する問題を

$$\min_x f(x, \bar{W}(X)b(x; V)) \quad (2a)$$

$$\text{subj. to } x \in X \quad (2b)$$

$$\text{where } \bar{W}(X) = \operatorname{argmin}_y (\|W\|_2)^2 \quad (2c)$$

$$\text{subj. to } \|Wb(x'; V) - h(x')\|_\infty \leq \varepsilon \quad \forall x' \in X \quad (2d)$$

と定式化した。ここで、式(2d)は普遍近似定理に基づき、すべての $x' \in X$ に対して誤差 ε を一様に許容する条件である。また、式(2a)の目的関数は、いわゆる可能な限り過学習を防ぐための目的関数である。当研究課題では、緩和法の考え方により、許容条件(2d)が有限個のサンプル $x^{(s)}, s = 1, \dots, S$ に対して成立するように緩和した代替問題を考え、サンプルの個数 S を逐次増やししながらこの緩和問題を繰り返し解く過程を「能動学習統合型最適化法」と命名した。ここで、新しいサンプルは、(a)緩和問題の最適解近傍への配置、(b)すでに配置サンプルの疎な領域への配置、によって生成追加される。また、最適解付近でのサンプル個数の増加に伴い、その付近での近似精度は向上する反面、全体的な近似精度が劣化するおそれがあり、これを防ぐための基底関数の個数の増加が必要である。基底関数のパラメータ v_m としてサンプルデータの x 座標 $x^{(s)}$ を用いるラジアル関数を基底関数 $b(x; v_m)$ とし、サンプルデータ $x^{(s)}$ に対応する所望データ $h(x^{(s)})$ (教師データ)がブラックボックスから検出されると仮定し、シミュレーションを行って提案手法の有用性を確認した。

(2) 2 レベル最適化問題への展開

複雑な構造を有するブラックボックスの例として階層構造を有するシステムを取り上げ、その最適化として、下位の最適化問題が上位の最適化問題の入れ子になっている 2 レベル最適化問題の解法に「能動学習統合型最適化法」を展開した。2 レベル最適化問題は、

$$\min_x F(x, y^o(x)) \quad (3a)$$

$$\text{subj. to } (x, y^o(x)) \in C \quad (3b)$$

$$\text{where } y^o(x) = \operatorname{argmin}_y f(x, y) \quad (3c)$$

$$\text{subj. to } (x, y) \in D \quad (3d)$$

と定式化されるが、上位の決定者が下位決定者の問題(3c,d)の目的関数等の情報が未知の場合に、最適応答解 $y^o(x)$ をブラックボックスとして、サンプルデータ $x^{(s)}$ とその応答解データ $y^o(x^{(s)})$ から、式(1)のように近似モデルを構築して上位問題を解く手法を提案し、その有用性をシミュレーションにより確認した。

(3) 多目的選好最適化やマイクロ-マクロ結合型最適化への展開

2レベル最適化問題に対する「能動学習統合型最適化法」のさらなる展開先として、多目的選好最適化やマイクロ-マクロ連結型確率的最適化へ展開した。前者の問題は、下位問題(3c,d)に相当する問題が、多目的問題のPareto解を与える重み係数付き最大成分最小化問題であり、問題(3a,b)に相当する上位問題が、その解集合のなかから最良の解を与える重み係数を選好する問題である。この重み係数に対する最大成分最小化問題の応答解をブラックボックスと見做してそれを近似しながら、最良のPareto解を与える最適重みを選好する手法を「能動学習統合型最適化法」を用いて開発した。

後者の問題は、下位問題(3c,d)に相当する問題がマイクロな視点での確率最適化問題で、この下位問題の最適解の平均値や分散などの統計的指標をマクロな視点から評価し、下位問題に対する調整変数の最適解を求めるのが上位問題(3a,b)に相当する。調整変数に対する下位問題の最適解の統計的指標の応答をブラックボックスと見做して近似しながら調整変数の最適解を求める問題で、このための最適化手法をやはり「能動学習統合型最適化法」を用いて開発した。

(4) 適応性・ロバスト性を有する多点型試行探索法(メタヒューリスティクス)の開発

ブラックボックスを最適化の対象とする「能動学習統合型最適化法」の実行には、多点型試行探索法(メタヒューリスティクス)の適用が不可欠である。これらの手法は、アルゴリズム内に含まれるパラメータの適切な調整を必要とするが、特性が不明なブラックボックスを最適化の対象とする場合には、適応性・ロバスト性を有することが望まれる。そこで、Particle Swarm Optimization・Firefly Algorithm・Cuckoo Search・Artificial Bee Colony Algorithmなどのメタヒューリスティクスにおけるブラックボックス最適化としての性能を高めたアルゴリズムを提案し、ベンチマークによるシミュレーションによってその性能を検証した。

(5) 社会的課題解決への応用ないしはその可能性の検討

ブラックボックス最適化の手法として「能動学習統合型最適化法」を提案する意義や目的は、エネルギー供給システムや電力システムなどの社会基盤システムの設計・計画・運用などの場に応用することである。こうした社会システムに対するシステムズアプローチの基本概念として、図1のような螺旋型システムズアプローチを提唱し、この枠組みの中で能動学習統合型最適化法を位置付けた。具体的には、「帰納段階」が「モデリング・学習」、「仮説生成」が「問題の定式化」、「演繹段階」が「最適化」に相当するが、変化が激しく流動的な社会に適応するには、この螺旋を速やかに進化的に循環させる必要があり、そのためにも帰納段階・仮説生成・演繹段階を統合、つまりモデリング・学習、問題の定式化、最適化を統合的におこなう必要があり、この統合的な機能として、能動学習統合型最適化法を位置付けた。

また、社会基盤のスマート性に関する議論がおこなわれているが、市場原理の導入によって生まれる階層構造の下での決定権の分散化、市場活動結果に対するPareto最適性による公平性の担保、および時空間の場での融通性の付与と捉え、こうした各機能が入れ子構造となった階層構造下での2レベル最適化の場に能動学習統合型最適化法を用いることを想定した。

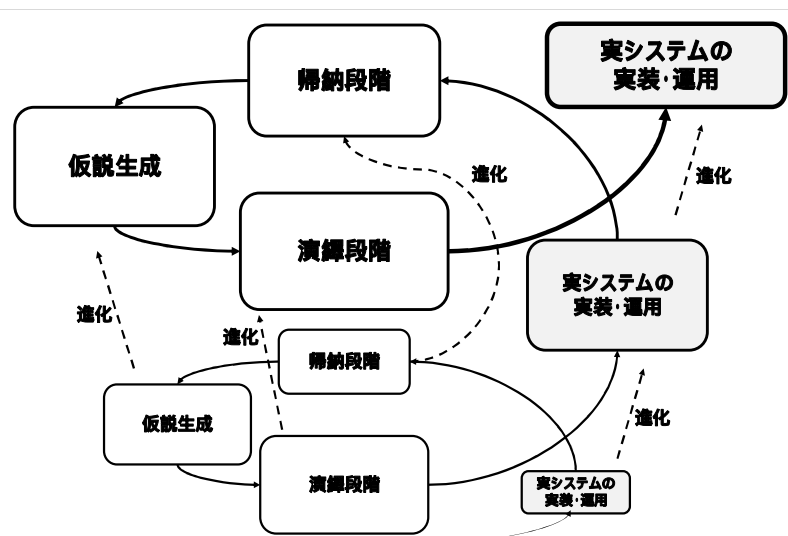


図1. 社会的課題解決のための螺旋型システムズ・アプローチ

4. 研究成果

システム科学・システム工学の分野において基盤的技法である「システムモデリング」と「システム最適化」を、前者の機能を後者の機能に内包させる形で統合化した「能動学習統合型最適化法」と命名した新たな方法論を創案した点で、当研究課題の成果の学術的意義が高く、これに類する研究成果も国内外において見受けられない。同時に、社会的課題解決に向けた新しい概念的方法論として提唱した「螺旋型システムズアプローチ」における「帰納段階」「仮説生成」「演繹段階」を統合する点や、話題となっているスマート社会におけるプラットフォームの設計・運用のための新しいシステム方法論を提供する点で、社会的意義も有している。

なお、モデリングで想定する近似モデルは、基底関数の線形結合によるモデルであるが、これは近年人工知能(AI)と称されているモデルの基本構造であり、将来的には人工知能の機能を最適化機能に統合化することによって、人工知能に本質的に欠落しているといえる逆問題を解く機能を実現することで、人工知能の性能を質的に革新することも意図している。また、システムの不確実性を考慮したモデリングとそれを統合化した最適化に対しても、「能動学習統合型最適化法」の適用が可能であることの知見を得ているが、このような補助事業期間中に発表することができなかったいくつかの知見は、近い将来公表する予定である。

引用文献

- 相吉 英太郎, 田村 健一, 安田 恵一郎, 入出力データの逐次生成による能動学習統合型最適化法, 電気学会 電子・情報・システム部門誌, 139 巻, 2019, 1348-1355
- 相吉 英太郎, 田村 健一, 安田 恵一郎, 2 レベル最適化問題に対する能動学習統合型最適化手法, 計測自動制御学会論文集, 56 巻, 2020, 317-326
- 相吉 英太郎, 田村 健一, 安田 恵一郎, 能動学習統合型最適化手法を用いた多目的問題に対する選好最適化法, 電気学会 電子・情報・システム部門誌, 141 巻, 2021, 228-236
- 相吉 英太郎, 田村 健一, 安田 恵一郎, ミクロ-マクロ結合型 2 レベル最適化問題に対する学習統合型最適化法, 電気学会 システム・産業計測制御合同研究会, 2018
- 安田 恵一郎, 熊谷 渉, ブラックボックス最適化と応用, 計測と制御, 59 巻, 2020, 914-917
- W. Kumagai, K. Yasuda, Making Rotational Invariance of Particle Swarm Optimization Based on Correlativity, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 12, 2017, S131-S132
- 熊谷 渉, 安田恵一郎, 回転不変性を有する適応型 Particle Swarm Optimization, 電気学会 電子・情報・システム部門誌, 139 巻, 2019, 1201-1214
- 大隅 竜太, 熊谷 渉, 田村 健一, 安田 恵一郎, 単一目的最適化における優良解集合探索問題と Firefly Algorithm に基づく解法, 電気学会 電子・情報・システム部門誌, 136, 2016, 1497-1498
- Y. Miyake, W. Kumagai, K. Tamura, K. Yasuda, Search Point Ranking Based Adaptive Cuckoo Search, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 13, 2018, 1075-1076
- W. Kumagai, Z. Xu, K. Tamura, K. Yasuda, Artificial Bee Colony Algorithm with Rotational Invariance Based on Hypersphere, IEEJ. Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 15, 2020, 1405-1407
- 相吉 英太郎, 螺旋型システムズアプローチの提唱 大規模・複雑な社会的課題解決に向けて, 計測と制御, 55 巻, 2016, 650-656
- 相吉 英太郎, 村田 純一, 社会基盤スマートプラットフォームのための設計・計画・運用のための概念的枠組み システム最適化の視座から, 計測と制御, 59 巻, 2020, 895-901
- E. Aiyoshi, J. Murata, Conceptual Framework for Designing, Planning, and Operating Smart Platforms as Societal Foundations: A System-optimization Standpoint and a Spiral-up Systems Approach, in "Innovative Systems Approach for Designing Smarter World" (Edited by T. Kaihara etc.), Springer, 2020, 17-36

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 E. Ogawa, E. Aiyoshi, T. Arai	4. 巻 59
2. 論文標題 A Three-compartment Non-linear Model of Myocardial Cell Conduction Block During Photosensitization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical & Biological Engineering & Computing	6. 最初と最後の頁 703 ~ 710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11517-021-02329-7	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 相吉英太郎, 田村健一, 安田恵一郎	4. 巻 141
2. 論文標題 能動学習統合型最適化手法を用いた多目的問題に対する選好最適化法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会 電子・情報・システム部門誌	6. 最初と最後の頁 228 ~ 236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss,141.228	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 安田恵一郎, 熊谷渉	4. 巻 59
2. 論文標題 ブラックボックス最適化と応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 914 ~ 917
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.59.914	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 相吉英太郎, 村田純一	4. 巻 59
2. 論文標題 社会基盤スマートプラットフォームのための設計・計画・運用のための概念的枠組み システム最適化の視座から	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 895 ~ 901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.59.895	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 鈴木亮平, 安田恵一郎, 相吉英太郎	4. 巻 140
2. 論文標題 離散変数を有するMulti-Area Optimal Power Flowに対する2レベル最適化に基づく分散型計算法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会 電力・エネルギー部門誌	6. 最初と最後の頁 786 ~ 791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejpes.140.786	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 W. Kumagai, Z. Xu, K. Tamura, K. Yasuda	4. 巻 15
2. 論文標題 Artificial Bee Colony Algorithm with Rotational Invariance Based on Hypersphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1405 ~ 1407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23209	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 相吉英太郎, 田村健一, 安田恵一郎	4. 巻 56
2. 論文標題 2レベル最適化問題に対する能動学習統合型最適化手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 317 ~ 326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.56.317	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 熊谷渉, 安田恵一郎	4. 巻 139
2. 論文標題 回転不変性を有する適応型Particle Swarm Optimization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会 電子・情報・システム部門誌	6. 最初と最後の頁 1201 ~ 1214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjeiss.139.1201	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 相吉英太郎, 田村健一, 安田恵一郎	4. 巻 139
2. 論文標題 入力データの逐次生成による能動学習統合型最適化法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会 電子・情報・システム部門誌	6. 最初と最後の頁 1348 ~ 1355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.1348	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 Y. Miyake, W. Kumagai, K. Tamura, K. Yasuda	4. 巻 13
2. 論文標題 Search Point Ranking Based Adaptive Cuckoo Search	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1075-1076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.22667	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 橋本雅俊, 田村健一, 土屋淳一, 安田恵一郎	4. 巻 138
2. 論文標題 解空間の上位構造と多様化・集中化に基づく多点探索型組合せ最適化手法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会 電子・情報・システム部門誌	6. 最初と最後の頁 860-869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.138.860	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 Y. Uno, E. Ogawa, E. Aiyoshi, and T. Arai	4. 巻 6
2. 論文標題 A Three-Compartment Pharmacokinetic Model to Predict the Interstitial Concentration of Talaporfin Sodium in the Myocardium for Photodynamic Therapy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bioengineering	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/bioengineering6010001	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 森田聖惇, 田村健一, 安田恵一郎	4. 巻 137
2. 論文標題 機能分担に基づく多目的最適化手法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会 電子・情報・システム部門誌	6. 最初と最後の頁 750 ~ 758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.137.750	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 W. Kumagai, K. Yasuda	4. 巻 12
2. 論文標題 Making Rotational Invariance of Particle Swarm Optimization Based on Correlativity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 S131 ~ S132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.22559	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 森田真英, 落合広樹, 田村健一, 安田恵一郎	4. 巻 136
2. 論文標題 問題構造の概形の推定機構を有する多点探索型組合せ最適化手法	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電気学会 電子・情報・システム部門誌	6. 最初と最後の頁 963 ~ 976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.136.963	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 相吉英太郎	4. 巻 55
2. 論文標題 螺旋型システムズアプローチの提唱 - 大規模・複雑な社会的課題解決に向けて -	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 650 ~ 656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.55.650	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 大隅竜太, 熊谷渉, 田村健一, 安田恵一郎	4. 巻 136
2. 論文標題 単一目的最適化における優良解集合探索問題とFirefly Algorithmに基づく解法	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電気学会 電子・情報・システム部門誌	6. 最初と最後の頁 1497 ~ 1498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.136.1497	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 H. Koita, R. Maeda, E. Aiyoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Distributed Optimization for Energy Flow Problem by Price Coordination using Augmented Lagrangian Method	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration,	6. 最初と最後の頁 242 ~ 250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.9.242	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 -

[学会発表] 計12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 X. Li, K. Tamura, J. Tsuchiya, K. Yasuda
2. 発表標題 Combinatorial Optmization Method Using Expanded Search Mechanism Based on Hierarchical Interpretation in Solution Space
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cyberetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相吉英太郎, 村田純一
2. 発表標題 社会基盤プラットフォームの設計・計画・運用のための概念的枠組み
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 2019年

1. 発表者名 相吉英太郎, 田村健一, 安田恵一郎
2. 発表標題 入出力データの逐次生成による能動学習統合型最適化法
3. 学会等名 第28回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 W. Kumagai, K. Yasuda
2. 発表標題 Particle Swarm optimization with Rotational Invariance Using Correlativity
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Obinata, K. Tamura, J. Tsuchiya, K. Yasuda
2. 発表標題 Combinatorial Optimization Method Using Distance in Scheduling Problem
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相吉英太郎, 田村健一, 安田恵一郎
2. 発表標題 2レベル最適化問題に対する能動学習統合型最適化手法
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 2018年

1. 発表者名 相吉英太郎, 田村健一, 安田恵一郎
2. 発表標題 ミクロ-マクロ結合型2レベル最適化問題に対する学習統合型最適化法
3. 学会等名 電気学会 システム・産業計測制御合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福嶋 竜, 田村健一, 土屋淳一, 安田恵一郎
2. 発表標題 優良解集合探索問題のための逐次近似最適化に基づく探索手法
3. 学会等名 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 土屋淳一, 安田恵一郎
2. 発表標題 Differential Evolutionを用いた統合的最適化によるアクチュエータの磁極形状の最適設計
3. 学会等名 進化計算シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相吉英太郎, 田村健一, 安田恵一郎
2. 発表標題 サンプルデータの逐次選択による一様近似モデル構築型最適化法
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 2017年

1. 発表者名 R. Oosumi, K. Tamura, K. Yasuda
2. 発表標題 Novel Single-objective Optimization Problem and Firefly Algorithm-based Optimization Method
3. 学会等名 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Morita, K. Tamura, K. Yasuda
2. 発表標題 Functional Specialization Based Search Strategy for Multi-objective Optimization
3. 学会等名 2016 IEEE International Conference on Sysyems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 E. Aiyoshi, J. Murata (Editor: T. Kaihara etc.)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 20/168
3. 書名 Conceptual Framework for Designing, Planning, and Operating Smart Platforms as Societal Foundations: A System-Optimization Standpoint and a Spiral-up Systems Approach, in "Innovative Systems Approach for Designing Smarter World"	

1. 著者名 K. Yasuda, K. Tokoro (Editor: T. Kaihara etc.)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 13/168
3. 書名 Smartification of Social Infrastructure for Efficient Power and Energy Use, in "Innovative Systems Approach for Designing Smarter World"	

〔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
研究 分 担 者	安田 恵一郎 (Yasuda Keiichiro) (30220148)	東京都立大学・システムデザイン研究科・教授 (22604)	

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