

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05017

研究課題名（和文）分散型エネルギーシステムの設計と運用の階層的関係を考慮した最適化手法の開発と応用

研究課題名（英文）Development and Application of an Optimization Method of Distributed Energy Systems in Consideration of Hierarchical Relationship Between Design and Operation

研究代表者

横山 良平（Yokoyama, Ryohei）

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：70158385

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）：分散型エネルギーシステムの設計を対象として、これまでに構築してきた独自性の高い最適化手法を基盤として、(1) 最適化計算の効率化：モデル縮約手法の開発、並列計算手法の開発、(2) 最適化計算の機能拡張：多目的最適化への適用、K-ベスト解導出への適用、(3) 応用展開：ロバスト最適設計への適用、蓄エネルギー機器を有するシステムへの適用、時間集約による近似最適設計への適用、MILPソルバーへの実装および汎用化、など多様な課題の研究を着実に実施することによって、最適化手法を飛躍的に発展させ、実用に耐えられる最適化手法の構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分散型エネルギーシステムの設計への最適化手法の適用に関する研究は、最適化計算に必要なソルバーの高性能化に伴って近年盛んに行われるようになってきている。中でもこれまでに構築してきた最適化手法は独自性が高く、それに加えて本課題で行った最適化手法の高性能化および高機能化に関する研究によって得られた成果は、エネルギーシステムを対象とするシステム工学の学術分野の発展に貢献することができる。一方、構築した最適化手法を実際の分散型エネルギーシステムの設計に活用することによって、エネルギーのシステム的な有効利用という観点から、CO2排出量の削減や省エネルギー化に貢献することができる。

研究成果の概要（英文）：Based on the optimization method developed previously for designing distributed energy systems, the following research subjects have been resolved to develop the optimization method furthermore and utilize it for practical design: (1) Higher performance optimization: model reduction; parallel computation, (2) Extension of optimization functions: multiobjective optimal design; derivation of K-best solutions, and (3) Development for applications: robust optimal design; application to systems with energy storage; approximate optimal design by time series aggregation; implementation to MILP solvers and development of general-purpose software.

研究分野：エネルギーシステム工学

キーワード：エネルギーシステム工学 分散型エネルギーシステム 最適化 混合整数線形計画法

1. 研究開始当初の背景

温室効果ガスの排出に関する長期的な目標として 2050 年までに排出量の 80% を削減するという大きな目標が掲げられている。最大の排出量を占める CO₂ を削減するには、最終的に消費するエネルギー消費量を削減する、再生可能エネルギーを積極的に利用する、エネルギー変換機器の効率を向上させる、複数のエネルギー変換機器から構成されるエネルギーシステムによって効率的にエネルギーを利用するなどの総合的な対策を推進する必要がある。本研究では、これらのうち最後の課題をテーマに取り上げている。近年では、スマートグリッドに代表されるように、IT 技術によって分散型エネルギーシステムを効率的に運用していくことに注目が集まっている。一方、システムの運用はシステム的设计によって制約を受けるので、長期間の効率的な運用の可能性を高めるためには、設計を適切に行うことが極めて重要である。すなわち、長期間のエネルギー需要量を推定することによってシステムの適切な運用を考慮しながら、構成する機器の種類、容量、台数などの設計に関連する仕様を適切に決定する必要がある。しかしながら、近年のエネルギー源およびエネルギー変換方式の多様化によって、分散型エネルギーシステム的设计においては、多種多様な機器の中から適切なものを選択する必要がある。このような状況下においては優れた設計案を見つけ出すことは決して容易ではない。

上述の課題を解決するために、最適化手法を適用して、設計・運用に関する代替案の中から最良の案を導出する方法が考えられる。これまで、数理計画法やメタヒューリスティクスなどに基づく様々な手法が提案されてきた。また、数理計画法の中では、機器の種類、容量、台数、および運転・停止などの離散的な性質を有する決定変数を表現し易く、比較的最適解を導出し易いと考えられる混合整数線形計画 (MILP) 法に基づく手法が多数提案されている。しかしながら、最適解導出の困難さは、システムを構成する機器の数、ならびにエネルギー需要量の変化を考慮するために設定する期間の数に大きく依存し、計算時間および記憶容量の観点から最適解を導出することが容易ではない。そのため、これまでは、機器の容量を固定したり、連続変数として扱うというより簡単なモデルに基づく最適化手法がほとんどを占めてきた。一方、最適化手法を実際的设计に適用するには、機器の容量を離散的に扱うことができ、最適化計算においては短時間で確実に最適解を求められ、多目的評価および複数候補解導出などの多様な機能に応えられる最適化手法を開発することが重要である。

研究代表者らは、上述のような社会的・学術的背景に着目し、研究の初期段階として、機器の容量を離散的に扱い、設計変数として機器の種類、容量、および台数を最適に選択するとともに、エネルギー需要量の変化を考慮するために設定した各期間において、運用変数として機器の運転台数および負荷配分を最適に決定するための最適化モデルを提案した。また、設計および運用変数間の階層的関係を考慮することによって効率的に最適化計算を行うための手法を提案するとともに、ある公開の MILP ソルバーに実装し、このソルバーが適用できる小規模な問題への適用事例によって、手法の妥当性および有効性を示した。さらに、この手法を発展させ、最適化計算をより効率化させるとともに、ドイツの研究機関ツェベルリン研究所の数理最適化を専門とする研究員の協力を得て、商用の MILP ソルバー CPLEX にも実装し、大規模かつ実用的な問題にも適用できるようにした。

2. 研究の目的

上述のような背景から、本研究では、これまでに構築してきた独自性の高い最適化手法を基盤として、研究をさらに飛躍的に発展させ、最適化計算のさらなる効率化を行い、より困難さを伴う多目的評価および複数候補解導出を可能にするとともに、グラフィカルユーザインタフェース (GUI) を開発して、実用に耐えられる最適化手法の構築を行うことを目的とした。また、これによって、実際のシステム設計に役立て、システム設計という観点から CO₂ 排出量の削減や省エネルギー化に貢献することを目指した。なお、本研究はシステム工学的な研究であり、実験や数値解析のアナリシスによる現象解明を重視するものではなく、最適化によるシンセシスとその手法開発を重視するものである。

研究開始当初の具体的な研究目的を以下に示す。

(1) 最適化計算の効率化： これまでに構築してきた最適化手法を複雑な機器構成のエネルギーシステムに適用するとともに、後述するように最適化計算の機能を拡張したり、応用展開を行うためには、基本的な最適化計算をさらに効率化することが求められる。そこで、新たにモデル縮約手法および並列計算手法を最適化計算に組み込むことによって、最適化計算を効率化することを目指した。

(2) 最適化計算の機能拡張： これまでに構築してきた最適化手法は、単一の目的関数を最大/最小化するような最適設計解を唯一求めるといった基本的な最適設計問題にしか適用できなかった。しかしながら、実際の設計においては複数の目的関数を同時に最大/最小化したり、最適設計解のみならずそれに続く準最適設計解を導出し、目的関数の感度を評価したりすること

が求められる．そこで、これらの機能を実現するために、最適化計算の機能を拡張することを目指した．

(3) GUI の開発および応用展開： 最適化手法の実用性を高めるために、別途開発しつつあった GUI を完成させ、それに最適化手法を実装することを目指した．また、最適化手法の応用展開の一つとして、別途研究を行ってきたロバスト最適設計に最適化手法を適用することを目指した．なお、GUI の開発は他の課題に比較して長期間を要するため、GUI の開発は今後の研究で行うこととし、応用展開として他の複数の課題についても検討することに変更した．また、応用展開を拡大できるように、商用の MILP ソルバーとして CPLEX に加えて他の MILP ソルバーにも最適化手法を実装することを目指した．

3．研究の方法

上述の具体的な研究目的に対して、実施した研究の方法について述べる．

(1) モデル縮約手法の開発： 最適化計算の効率化方策の一つとして、エネルギー需要量の季節的・時間的变化を考慮するための期間を集約し、集約された複数期間内でエネルギー需要量を再評価することによって、変数および制約条件の数を減少させ、最適化モデルを縮約して最適化計算を実施することを試みた．通常はこれによって計算精度を犠牲にせざるを得ず、最適解の導出を保証することはできないが、ここではモデル縮約を行っても計算精度には全く影響を及ぼさず、最適解の導出を保証できるモデル縮約手法の開発を目指した．

(2) 並列計算手法の開発： 最適化計算の効率化方策の一つとして、階層的最適化の下位および上位レベルにおいて、それぞれに適した並列計算手法の開発を試みた．下位レベルにおいては、複数の最適運用問題を同時並行的に解き、それらの結果を総合して設計候補解の評価を行うことを目指した．一方、上位レベルにおいては、設計候補解の探索を並列計算によって行うことを目指した．なお、並列計算手法の開発は、ツューゼベルリン研究所の研究員に継続的に協力を得て実施することとした．

(3) 多目的最適化への適用： 最適化計算の機能拡張の一つとして、複数の目的関数を考慮した多目的最適化が行えるように、最適化手法を拡張することを試みた．なお、目的関数間の重視度の変更が階層的最適化の計算効率に大きな影響を及ぼすことが想定されたため、それに対する対策についても検討することとした．

(4) K -ベスト解導出への適用： 最適化計算の機能拡張の一つとして、設計支援という観点から、最適解だけでなくそれに続く複数の準最適解を導出し、設計の意思決定のためにより多くの情報を提供できるようにすることを試みた．なお、複数の準最適解を導出するためには、通常は最適化計算を反復する必要があるが、ここでは複数の準最適解を可能な限り効率的に導出することとした．

(5) ロバスト最適設計への適用： これまで他の研究において、エネルギー需要量の不確定条件下において、ミニマックス機会損失基準によるエネルギーシステムのロバスト最適設計手法を開発してきた．ロバスト最適設計に必要な最適化計算は、エネルギー需要量の確実条件下における通常の最適設計のための最適化計算に比較して極めて複雑であり、適用例が限定されていた．そこで、応用展開の一つとして、ロバスト最適設計における最適化計算に階層的最適化を適用することによって、適用例の範囲を拡大できるようにし、ロバスト最適設計手法の発展を目指した．なお、単一目的および多目的のロバスト最適設計について検討することとした．

(6) 蓄エネルギー機器を有するシステムへの適用： これまで階層的最適化は、蓄電池や蓄熱槽などの蓄エネルギー機器を有しないエネルギーシステムの最適設計のみに適用してきた．これは蓄エネルギー機器の特性の特殊性により、最適化計算がより複雑になるためである．そこで、応用展開の一つとして、蓄エネルギー機器を有するエネルギーシステムの最適設計にも階層的最適化およびモデル縮約による効率化方策を適用できるようにすることを試みた．

(7) 時間集約による近似最適設計への適用： これまで他の研究において、エネルギーシステムの最適設計を簡易的に行うために、期間集約に基づくモデル縮約によって近似最適設計解を導出するとともに、対応する目的関数値の誤差評価を行える手法を開発してきた．そこで、応用展開の一つとして、この手法の最適化計算に階層的最適化を適用し、計算効率を向上させることを試みた．

(8) MILP ソルバーへの実装および汎用化： 応用展開を拡大できるように、商用の MILP ソルバーとしてこれまでに使用してきた CPLEX に加え、最近性能向上が著しい GUROBI にも階層的最適化を実装するとともに、様々な最適化問題に適用できるように階層的最適化のソフトウェアの汎用化に取組んだ．なお、MILP ソルバーへの実装については、ツューゼベルリン研究所の研究員に継続的に協力を得て実施することとした．

4．研究成果

上述の研究の方法に対応して、得られた主要な研究成果について述べる．

(1) モデル縮約手法の開発： 階層的最適化の上位レベルのみにおいて、エネルギー需要量の季節的・時間的变化を考慮するための期間をクラスタリングによって集約し、クラスタ化された複数期間内でエネルギー需要量を平均化し、モデル縮約を行って最適化計算を実施する手法

を開発した。このように上位レベルの最適化問題の性質を利用して、階層的最適化の上位レベルのみにモデル縮約を適用することによって、計算精度には全く影響を及ぼさず、最適解の導出を保証することができ、適用事例によってモデル縮約手法の有効性を示すことができた。また、汎用的な k -メトリッド法による期間クラスタリング、ならびに本最適化問題の性質を考慮した運用方策に基づく期間クラスタリングを適用し、それらの有効性を示すことができた。

(2) 並列計算手法の開発： 下位レベルにおいては、Message Passing Interface を適用し、複数の最適運用問題を同時並行的に解くという並列計算を可能にすることができた。一方、上位レベルにおいては、MILP ソルバーに備わっている基本的機能を利用して設計候補解を同時並行的に探索するという並列計算を可能にすることができた。また、適用事例によって、並列計算による計算時間、解かれる最適運用問題の数、および探索される設計候補解の数を評価するとともに、それらに対する並列計算数の影響を明らかにし、並列計算手法の有効性を示すことができた。

(3) 多目的最適化への適用： 多目的最適化のための最も簡易的な手法として重み付け法を採用し、複数の目的関数の線形加重和を最大/最小化するとともに、上位レベルと下位レベルの目的関数の整合性を保つことによって、階層的最適化によって多目的最適化が行えるようにした。また、適用事例では、経済性および省エネルギー性の観点からパレート最適解を導出し、それら間のトレードオフ関係を明らかにすることができた。なお、重みを変更することによって、探索される設計候補解の数が増大し、最適化計算の効率化方を適用しても計算に長時間を要すること、ならびにそれが最適化問題の性質に依存していることを明らかにするとともに、上位レベルの最適化計算を工夫することによって、探索される設計候補解の数を減少させ、計算効率を向上させることができた。

(4) K -ベスト解導出への適用： 最適解だけではなく複数の準最適解として K -ベスト解（最適解およびそれに漏れなく続く K 個の準最適解）を、与えられた最大個数、目的関数値の最大絶対差、あるいは目的関数値の最大相対差の範囲内で導出できるようにした。なお、階層的最適化手法の特徴を利用し、1 回のみ最適化計算によって設計のみに関する K -ベスト解を導出することを可能にし、 K -ベスト解導出の計算効率を極めて向上させることができた。また、適用事例によって、計算効率の向上を具体的に示すとともに、 K -ベスト解に含まれる設計候補解の性質を明らかにすることができた。

(5) ロバスト最適設計への適用： 開発中のロバスト最適設計手法において、目的関数の最大機会損失を評価するための上界評価、ならびに目的関数の最大機会損失の最小化を行うための下界評価における各種最適化計算に階層的最適化を適用することによって、より複雑な機器構成のエネルギーシステムに対してもロバスト最適設計を行えるようにした。なお、最適化問題の形式を考慮して適用方法を適宜変更するとともに、長時間を要する最適化計算には特別な工夫を行った。また、適用事例を通して、エネルギー需要量の不確実性がロバスト最適設計解および目的関数の最大機会損失に及ぼす影響を明らかにし、階層的最適化を適用したロバスト最適設計手法の有効性を示すことができた。なお、単一目的の場合には、上界評価に対応するロバスト性評価、ならびに下界評価および両評価の反復に対応するロバスト最適設計を可能にすることができたが、多目的の場合には、現時点ではロバスト性評価のみを可能にすることができた。

(6) 蓄エネルギー機器を有するシステムへの適用： 蓄エネルギー機器を有するシステムにおける最適化問題の構造の特殊性に基づき、上位レベルの緩和最適設計問題において代表日と時間を独立に集約することによってモデルを縮約する方法を提案した。特に、時間の集約において集約する変数と集約しない変数を区別し、それらの関係式を緩和するという特徴的な方法を提案した。また、適用事例によって、代表日および時間集約の各および両効果を明らかにした。

(7) 時間集約による近似最適設計への適用： 開発中の近似最適設計手法において、設計解について目的関数の最大誤差を評価するための上界評価、ならびに目的関数の最大誤差の最小化を行うための下界評価における各種最適化計算に階層的最適化を適用することによって、より複雑な機器構成のエネルギーシステムに対しても近似最適設計を行えるようにした。なお、近似最適設計のための最適化計算は、ロバスト最適設計のための最適化計算に類似しており、比較的容易に階層的最適化を適用することができた。また、適用事例を通して、期間集約が近似最適設計解および目的関数の最大誤差に及ぼす影響を明らかにし、階層的最適化を適用した近似最適設計手法の有効性を示すことができた。

(8) MILP ソルバーへの実装および汎用化： MILP 法のソルバーとして CPLEX に加えて GUROBI も使用できるようにするため、GUROBI 用の階層的最適化のソフトウェアを開発した。また、階層的最適化を様々な最適化問題に適用できるように、この機会に両ソルバー用ともに階層的最適化のソフトウェアを汎用化した。その結果、別途依頼があった共同研究において他の最適化問題に階層的最適化を適用することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 R. Yokoyama, K. Takeuchi, Y. Shinano and T. Wakui	4. 巻 228
2. 論文標題 Effect of Model Reduction by Time Aggregation in Multiobjective Optimal Design of Energy Supply Systems by a Hierarchical MILP Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 #120505, 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2021.120505	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 該当する
1. 著者名 R. Yokoyama, H. Kamada, Y. Shinano and T. Wakui	4. 巻 229
2. 論文標題 A Hierarchical Optimization Approach to Robust Design of Energy Supply Systems Based on a Mixed-Integer Linear Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 #120343, 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2021.120343	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 該当する
1. 著者名 R. Yokoyama, Y. Shinano, Y. Wakayama and T. Wakui	4. 巻 181
2. 論文標題 Model Reduction by Time Aggregation for Optimal Design of Energy Supply Systems by an MILP Hierarchical Branch and Bound Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 782-792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2019.04.066	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 該当する
1. 著者名 R. Yokoyama, Y. Shinano, S. Taniguchi and T. Wakui	4. 巻 184
2. 論文標題 Search for K-Best Solutions in Optimal Design of Energy Supply Systems by an Extended MILP Hierarchical Branch and Bound Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 45-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2018.02.077	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 該当する

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 横山良平, 品野勇治, 涌井徹也
2. 発表標題 エネルギー供給システムの設計および運用の階層的関係を考慮した最適化（蓄エネルギー機器を有するシステムへの適用）
3. 学会等名 第40回エネルギー・資源学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山良平, 品野勇治, 涌井徹也
2. 発表標題 時間集約によるエネルギー供給システムの近似最適設計解の導出および評価（階層的最適化を援用した設計解の評価）
3. 学会等名 エネルギー・資源学会第38回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Yokoyama, H. Kamada, Y. Shinano and T. Wakui
2. 発表標題 A Hierarchical Optimization Approach to Robust Design of Energy Supply Systems Based on a Mixed-Integer Linear Model
3. 学会等名 33rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Yokoyama, K. Takeuchi, Y. Shinano and T. Wakui
2. 発表標題 Effect of Model Reduction by Time Aggregation in Multiobjective Optimal Design of Energy Supply Systems by a Hierarchical MILP Method
3. 学会等名 33rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Yokoyama, Y. Shinano and T. Wakui
2. 発表標題 Evaluation of Design Alternatives for a Gas Turbine Cogeneration Plant Based on Multiobjective K-Best Solutions
3. 学会等名 International Conference on Power Engineering (ICOPE-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Yokoyama, Y. Shinano, K. Takeuchi and T. Wakui
2. 発表標題 Operation-Based Time-Period Clustering for Optimal Design of Energy Supply Systems by a Hierarchical MILP Method
3. 学会等名 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山良平, 品野勇治, 竹内孝太郎, 涌井徹也
2. 発表標題 エネルギー供給システムの設計および運用の階層的関係を考慮した最適化 (モデル縮約のための期間クラスタリング手法の比較)
3. 学会等名 第38回エネルギー・資源学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内孝太郎, 横山良平, 品野勇治, 涌井徹也
2. 発表標題 エネルギー供給システムの設計および運用の階層的関係を考慮した最適化 (多目的最適設計へのモデル縮約の適用)
3. 学会等名 エネルギー・資源学会第36回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田拓希, 横山良平, 品野勇治, 涌井徹也
2. 発表標題 階層的最適化手法の援用によるエネルギー供給システムのロバスト最適設計
3. 学会等名 エネルギー・資源学会第36回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田拓希, 横山良平, 品野勇治, 涌井徹也
2. 発表標題 階層的最適化手法を用いたエネルギー供給システムのロバスト性評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第95期定時総会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内孝太郎, 横山良平, 品野勇治, 涌井徹也
2. 発表標題 エネルギー供給システムの設計および運用の階層的関係を考慮した最適化 (k-メドイド法に基づく期間クラスタリングの適用)
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第95期定時総会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Yokoyama, Y. Shinano, Y. Wakayama, T. Wakui
2. 発表標題 Optimal Design of a Gas Turbine Cogeneration Plant by a Hierarchical Optimization Method With Parallel Computing
3. 学会等名 ASME TURBO EXPO 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Yokoyama, Y. Shinano, Y. Wakayama, T. Wakui
2. 発表標題 Model Reduction by Time Aggregation for Optimal Design of Energy Supply Systems by an MILP Hierarchical Branch and Bound Method
3. 学会等名 31st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内孝太郎, 横山良平, 品野勇治, 涌井徹也
2. 発表標題 エネルギー供給システムの設計および運用の階層的関係を考慮した最適化 (運用を考慮した期間のクラスタリングによるモデル縮約)
3. 学会等名 エネルギー・資源学会第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鎌田拓希, 横山良平, 涌井徹也
2. 発表標題 混合整数線形モデルによるエネルギー供給システムのロバスト最適設計 (階層的最適化手法の適用)
3. 学会等名 エネルギー・資源学会第35回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪府立大学エネルギーシステム工学研究室 http://www.me.osakafu-u.ac.jp/esalab/

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
---------	---------