

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12361

研究課題名（和文）洋上風力発電の大規模導入による地域エネルギーシステムの脱炭素化と新たな価値の創出

研究課題名（英文）Decarbonizing local energy systems and creating new value through the large-scale introduction of offshore wind power

研究代表者

古林 敬顕（Furubayashi, Takaaki）

秋田大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：40551528

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：洋上風力発電を大規模導入する地域エネルギーシステムをデザインして、脱炭素化に求められる技術開発、導入設備、政策などを明らかにすると共に、新たに創出される価値を示すことを目的とする。秋田県をケーススタディとして、地域の洋上風力発電の賦存量およびエネルギー需要量を、時間変動を考慮して解析した。供給量及び需要量から余剰電力量を推計して、蓄電池への貯蔵、水素製造等、多様な余剰電力の活用によるエネルギー効率、CO2削減効果、経済性を定量評価した。得られた結果から、電力、熱、輸送用燃料を脱炭素化する地域エネルギーシステムをデザインするとともに、経済循環や地域内外の再生可能エネルギーのコスト差等を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義および社会的意義として、風力発電の大規模導入を考慮した地域エネルギーシステムをデザインしたこと、発生する余剰電力を多様なエネルギー貯蔵で貯蔵することを想定して分析、比較することで、最適な利用方法を明らかにしたこと、再生可能エネルギーの地産地消による経済循環効果、地域と都市部との再生可能エネルギー供給コストの差等、脱炭素化が地域に創出する価値を評価したこと、地域の脱炭素化に向けて求められる技術、政策、インフラなどを明らかにしたこと、得られた成果を県や市町村等の地域自治体や地元企業と共有して、再生可能エネルギーの社会実装に資することが挙げられる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to design a regional energy system in which offshore wind power is introduced on a large scale, and to identify the technological development, installation facilities, and policies required for decarbonization, as well as to demonstrate the new value to be created. Using Akita Prefecture as a case study, regional offshore wind power availability and energy demand are analyzed, taking into account time variability. The amount of surplus electricity was estimated from the supply and demand volumes, and the energy efficiency, CO2 reduction effect, and economic efficiency of various uses of surplus electricity, such as storage in storage batteries and hydrogen production, were quantitatively evaluated. Based on the results obtained, we designed a regional energy system to decarbonize electricity, heat, and transportation fuels, as well as economic cycles and cost differences between renewable energy sources within and outside the region.

研究分野：エネルギーシステム学

キーワード：洋上風力発電 地域エネルギーシステム 脱炭素 エネルギー貯蔵 水素

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2020年10月に日本政府が2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにするという目標を明らかにする等、脱炭素化への取り組みは加速している。国内では、洋上風力発電が再生可能エネルギーの総導入ポテンシャルの約70%を占めている(環境エネルギー政策研究所, 2017)。2019年には再エネ海域利用法が制定され、秋田県の2区域を含む4区域が有望な区域として指定される等、洋上風力発電の事業化に向けた動きが活発となっている。

一方、太陽光発電の事業者に対して出力抑制が実施される等、大規模に導入された再生可能エネルギーのすべてを有効に活用する仕組みは未だ整っていない。また、現在計画されている洋上風力発電の多くは固定価格買い取り制度による売電を前提としており、地域内の脱炭素化や経済循環には貢献しない。洋上風力発電を持続的に利用して温室効果ガスを効率的に削減するためには、発電した電力を地産地消して、レジリエンスの強化および地域循環を実現することが求められる。同時に、電力需要を上回った発電量をどのように利用することが最も有用となるのかを示す必要がある。そのためには、脱炭素化に向けた地域エネルギーシステムのデザインと、地域に創出される新しい価値の分析が必須である。

2. 研究の目的

本研究は、洋上風力発電の大規模導入を考慮して、脱炭素社会に向けた地域エネルギーシステムをデザインするとともに、再生可能エネルギーの地産地消が地域に創出する価値を明らかにすることを目的とする。地域エネルギーシステムの概要を図1に示す。本研究の学術的独自性として、以下が挙げられる。

- 洋上風力発電の大規模導入を考慮した地域エネルギーシステムをデザインすること。
- 発生する余剰電力をエネルギー貯蔵または長距離送電することを想定して分析、比較することで、最適な利用方法を明らかにすること。
- 再生可能エネルギーの地産地消による経済循環効果、地域と都市部との再生可能エネルギー供給コストの差等、脱炭素化が地域に創出する価値を評価すること。

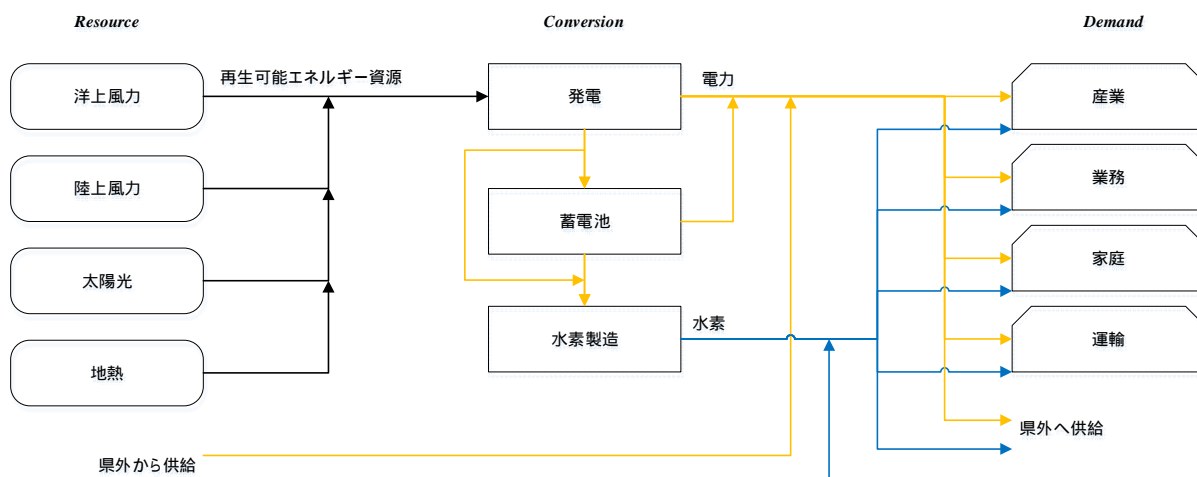


図1 脱炭素地域エネルギーシステムの概要

3. 研究の方法

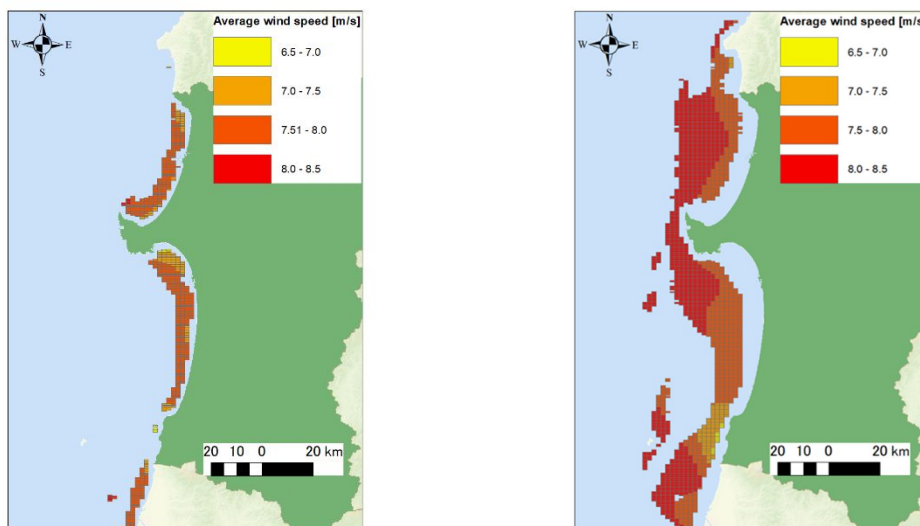
本研究では、第一に対象地域の洋上風力発電の賦存量およびエネルギー需要量の分布を空間情報に基づいて分析して、エネルギーバランスを明らかにする。次に、余剰電力を、蓄電池や水素製造によるエネルギー貯蔵、送電線の増設を含む地域外への供給等に利用した場合のエネルギー効率、温室効果ガス削減量、経済性を、インベントリ分析によって定量評価する。さらに、洋上風力発電の大規模導入を想定して、対象地域の電力、熱、輸送用燃料の需要を考慮した脱炭素地域エネルギーシステムをデザインする。得られた成果から、再生可能エネルギーの地産地消が地域に創出する価値を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 洋上風力発電の賦存量およびエネルギー需要量の分布の空間情報分析

秋田県沖を対象とした洋上風力発電の賦存量分布を図2に示す。水深50m未満の海域では着床式、水深200m未満の海域では浮体式の洋上風力発電が設置されるとして、漁業権が設定されている海域を除外して分析した結果、着床式で3,240 MW、浮体式で28,580 MWが設置可能であることが明らかとなった。このとき予想される発電量は、着床式が10.5 TWh/year、浮体式が

98.7 TWh/year となり、着床式のみで秋田県の電力需要量を、浮体式まで含めると東北地方の電力需要量を超えることが示された。



(a) 着床式 (b) 浮体式
 図2 秋田県沖の洋上風力発電のポテンシャル分布

実施期間中に再エネ海域法によって能代市・男鹿市・三種町沖と、由利本荘市沖にそれぞれ478.8MW、819MWの洋上風力発電が設置されることが決定した。これらの容量は現在の送電容量と比較して大きく、送電線や変電所の増設が計画されている。しかし、洋上風力発電の発電量を受け入れられるとしても、最大で1,298MWの出力変動が発生する可能性があり、システムの安定性に与える影響は大きいと予想される。そのため、洋上風力発電の出力変動の抑制による余剰電力の発生量、余剰電力を用いた水素製造可能量、水素製造コストなどを定量評価した。

図3に得られた洋上風力発電の発電量と、既存の再生可能エネルギーによる発電量、県内の電力需要量を示す。導入が決定した洋上風力発電が稼働した場合、他の再生可能エネルギーと合わせれば現在の電力需要と同程度の発電量を得られることが示された。しかし、1時間あたりの発電量の変化に上限を設定したところ、それぞれの海域にて洋上風力発電の発電量の8%が余剰電力となった。余剰電力の1時間あたりの最大値は能代市・男鹿市・三種町沖で376MW、由利本荘市沖で648MWとなった。この容量が水素製造装置の最大容量となるが、その場合の設備利用率は3-5%程度となり、水素製造コストは約500JPY/m³と割高となった。水素製造装置の容量を縮小することで、水素製造コストを100JPY/m³程度に低減することができる。

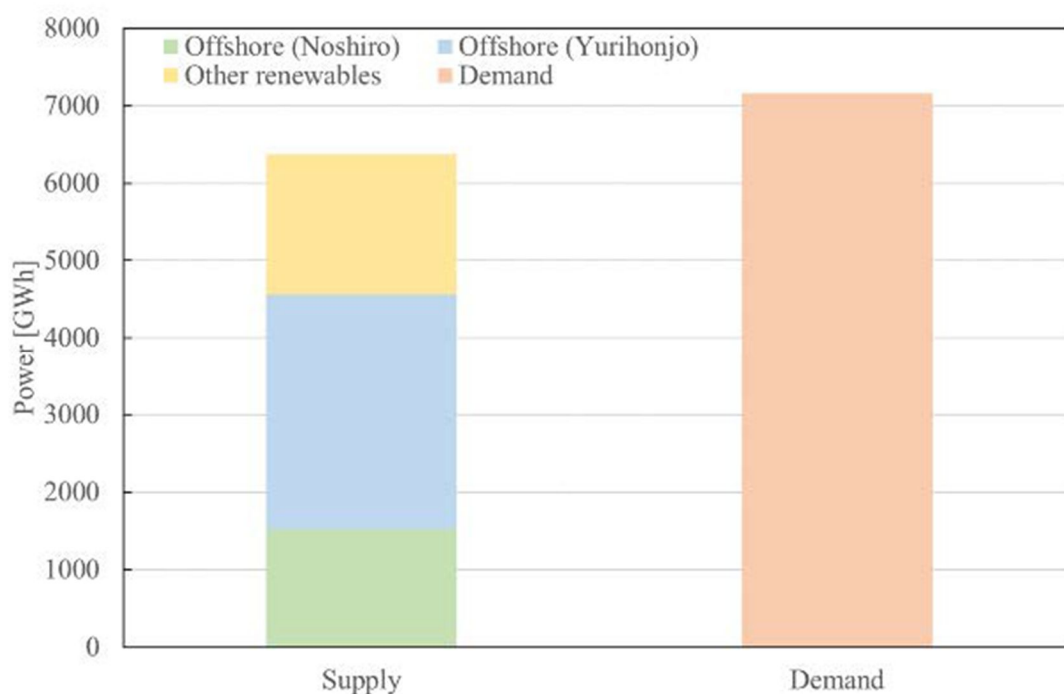


図3 秋田県内の再生可能エネルギー発電量と電力需要量

(2) 風力発電の大規模導入を想定した脱炭素地域エネルギーシステムのデザイン

秋田県を対象として、風力発電が大規模に導入される地域エネルギーシステムをデザインした。一次エネルギーは再生可能エネルギーのみとして、需要量を上回る発電量は蓄電池または水素製造に利用される。再生可能エネルギーで供給できない電力は蓄電池から供給するため、蓄電池の容量は再生電力が不足する量で定められる。

図4に余剰電力の負荷曲線およびその際の再生可能エネルギーの発電量、電力需要量を示す。再生可能エネルギーのほぼすべては13.6GW導入された風力発電であり、余剰電力は最大で11.8GW発生することが示された。多くの時間帯で再生可能エネルギーによる発電量が需要量を上回ったが、年間1000時間程度は再生電力が不足した。この不足を補うため、48.4GWhという膨大な容量の蓄電池が必要となり、その設備利用率が低いことため電力供給コストが約40 JPY/kWhを超える結果となった。蓄電池の設備利用率を向上するため、蓄電池の電力を電力需要だけでなく水素製造にも利用できる条件を加えた結果、蓄電池、水電解装置ともに設備利用率が大幅に向上し、電力供給コストは約20 JPY/kWhまで低減した。しかし、水素供給コストに占める水電解のコストは低減したが、蓄電池のコストが増加したため、水素供給コストは蓄電池を水素製造に用いない場合に比べて増加した。

蓄電池の容量が膨大であることがエネルギー供給コストを増加させているため、再生電力が不足する時間を短縮するため、バイオマス発電をベースロード運用または不足時のみ発電する運用を想定して分析した。その結果、図5に示すように再生電力が不足する時間が短縮され、蓄電池の必要容量は16%減少した。バイオマス発電の導入規模は64MWと風力発電のわずか0.05%であったが、小さな発電出力でも再生電力が不足する連続時間を短くできるため、蓄電池の容量を大きく削減することができた。一方、再生電力が不足する時間のみバイオマス発電を稼働し、蓄電池を導入しない場合は、蓄電池のコストはゼロとなるが設備利用率が低いバイオマス発電のコストが割高となり、発電コストは蓄電池の電力を水素製造に使用する場合に比べて割高となった。また、蓄電池が導入されないことで水電解装置の設備利用率が低くなり、水素製造コストも同様に割高となった。以上の結果から、風力発電の大規模導入に伴う大量の余剰電力の利活用には、単一の技術で対応するのではなく、小規模でも複数の技術を導入し、それぞれを連携して活用することが有効であることが示された。

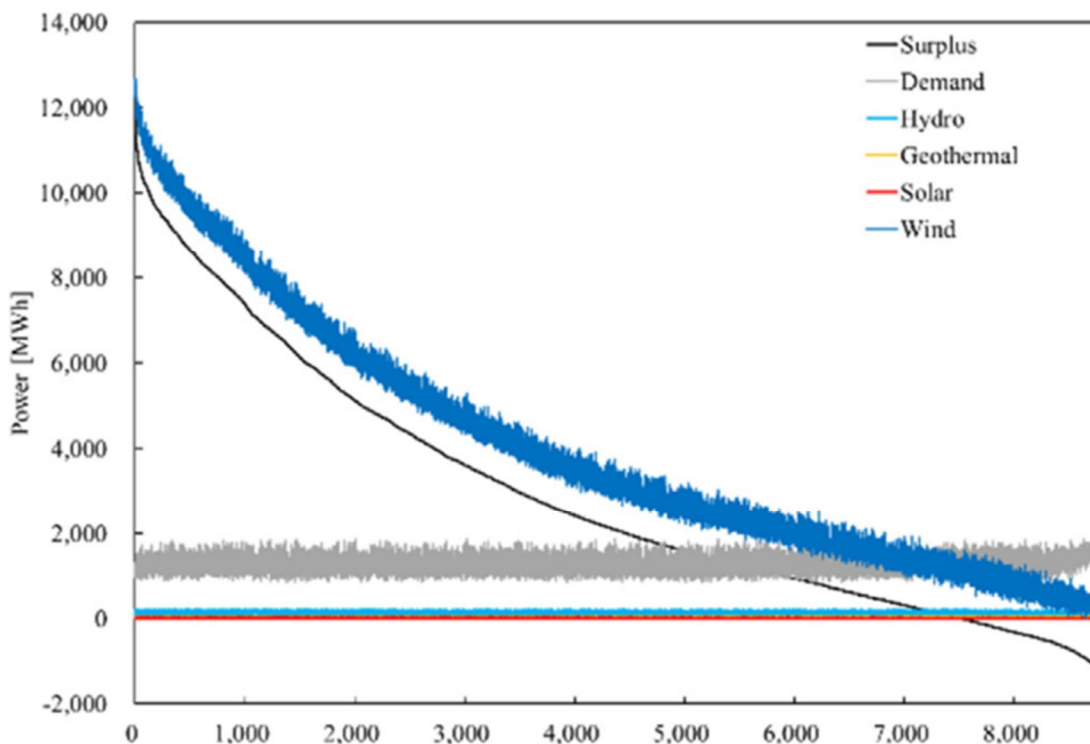


図4 余剰電力の負荷曲線

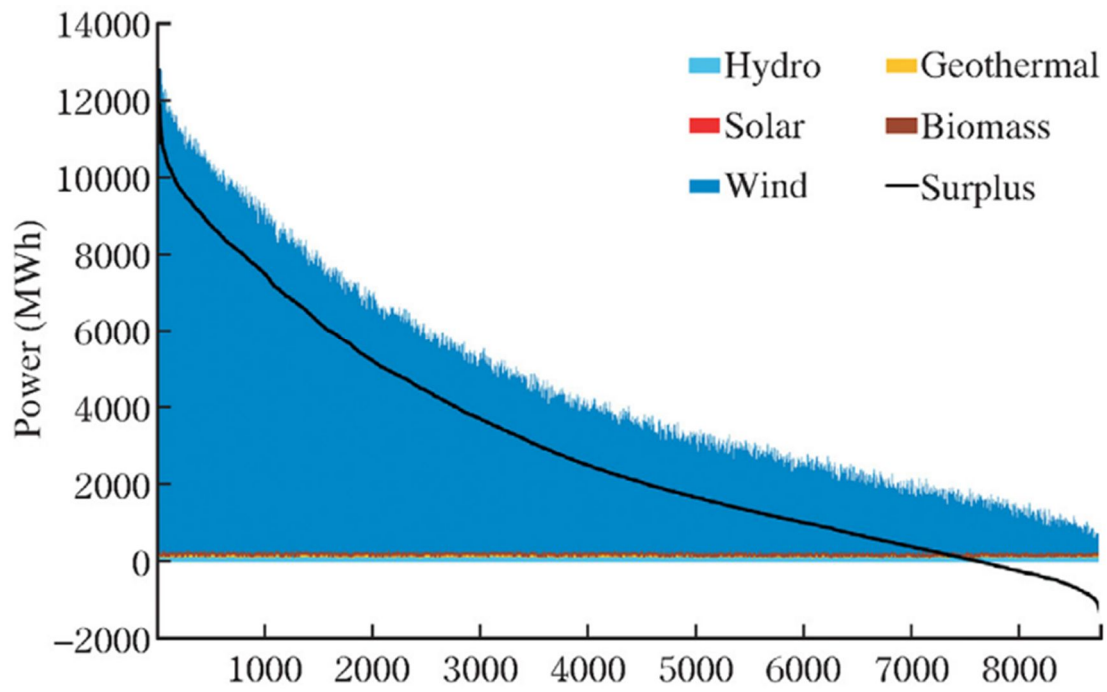


図5 バイオマスをベースロード運転した場合の余剰電力の負荷曲線

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 2件）

1. 著者名 Furubayashi Takaaki	4. 巻 1
2. 論文標題 The role of biomass energy in a 100% renewable energy system for Akita prefecture, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy Storage and Saving	6. 最初と最後の頁 148 ~ 152
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.enss.2022.04.003	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 Furubayashi Takaaki	4. 巻 2
2. 論文標題 Design and analysis of a 100% renewable energy system for Akita prefecture, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Smart Energy	6. 最初と最後の頁 100012 ~ 100012
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.segy.2021.100012	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10件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 古林敬頭, 小澤暁人, 立川雄也, 吉岡剛, 辻本将晴, 古川智裕, 中島良
2. 発表標題 洋上風力発電の大規模導入を考慮した地域水素供給システムの設計
3. 学会等名 2022水素エネルギー協会 特別講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古林敬頭
2. 発表標題 洋上風力発電を用いる水素製造システムの導入影響評価
3. 学会等名 第39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 2023年

1. 発表者名 渡辺樹, 古林敬頭
2. 発表標題 秋田県の森林簿を用いた持続可能な木質バイオマスのポテンシャル推計及びサプライチェーン構築
3. 学会等名 第18回バイオマス科学会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 工藤裕太郎, 古林敬頭
2. 発表標題 秋田県秋田市を対象とするごみ焼却廃熱と雪氷冷熱を利用した地域冷暖房システムの設計
3. 学会等名 第39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 2023年

1. 発表者名 Takaaki Furubayashi
2. 発表標題 The role of biomass energy in a 100% renewable energy system for Akita prefecture, Japan
3. 学会等名 The 16th SDEWES conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古林敬頭
2. 発表標題 洋上風力発電のポテンシャル分析と地域エネルギー需給に与える影響
3. 学会等名 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 古林敬顕
2. 発表標題 秋田県を対象とした脱炭素エネルギーシステムにおけるバイオマスの役割
3. 学会等名 第17回バイオマス科学会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jose Mari Lit, Takaaki Furubayashi
2. 発表標題 Combining biomass, solar & wind power: optimization analysis and assessment for off-grid rural electrification efforts in Laguna province, Philippines
3. 学会等名 11th Asian Conference on Biomass Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jose Mari Lit, Takaaki Furubayashi
2. 発表標題 Preliminary estimation and analysis of the renewable energy potential of Laguna province, Philippines
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古林敬顕
2. 発表標題 脱炭素化と地域活性化の両立に向けた秋田県のエネルギーフロー分析
3. 学会等名 日本リアルオプション学会2023年研究発表大会 (招待講演)
4. 発表年 2023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
---------	---------