

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00739

研究課題名（和文）ゲル材料モデリングの高度化と成長誘起形態形成の分岐座屈解析フロンティア

研究課題名（英文）The advancement of gel material modeling and the bifurcation buckling analysis frontier of growth-induced morphogenesis

研究代表者

奥村 大（Okumura, Dai）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：70362283

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、ゲル材料モデリングの高度化と成長誘起形態形成の分岐座屈解析フロンティアを目指して研究を進めた。ゲル材料モデリングでは、Flory-Rehner形式の自由エネルギーを一般的に設定し、状態に依存する弾性特性を評価する理論解を汎用的な形で導出した。分子鎖伸び切り効果や粘性効果を明らかにする実験研究も行った。代表者の提案している逐次的座屈固有値解析を応用して、複雑な変形パターンと分岐モードの関係について分岐経路上にて素過程を明らかにすることに成功した。さらにゲル化過程の機構を組み合わせてパターン変態を引き起こすことができることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の遂行によって、ゲル材料の状態に依存した弾性特性評価の理論的な道筋が明るくなった。形態形成における、変形パターンの複雑化は分岐モードとしては比較的単純な組み合わせに依存しており、逐次的な解析によってトレース可能であることがわかり、全貌解明につながることで世界で初めて明らかとなった。これらの知見を組み合わせれば、今後の成長誘起形態形成の実験や計算の解釈や機構解明が容易になり、工学的な応用に発展する下地となる研究成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：This research project aimed at the advancement of gel material modeling and the bifurcation buckling analysis frontier of growth-induced morphogenesis. In the gel material modeling, the Flory-Rehner free energy form is generally considered, and the theoretical solution for evaluating the state-dependent elastic properties is derived in a general form. Experimental studies were also carried out to clarify the molecular chain extensibility effect and the viscosity effect. By applying the step-by-step eigenvalue buckling analysis proposed by the representative, we succeeded in clarifying the process on the bifurcation path for the relationship between the complex deformation pattern and the bifurcation mode. Furthermore, it was demonstrated that pattern transformation can be induced by combining the mechanisms of the gelation process.

研究分野：固体力学

キーワード：固体力学 材料力学 ゲル 高分子合成 不安定変形 膨潤 パターン変態 形態形成

## 1. 研究開始当初の背景

ゲルとは高分子の網目構造が溶媒を吸収して膨張した状態であり、身近には豆腐やゼリーのような食品があり、生体(骨等除く)もゲルとみなされる。生体代替材料の開発という強い動機づけから研究は推進されており、高強度ゲルの他にも外部刺激感受性ゲルも数多く開発されるなど、著名雑誌である Nature や Science で取り上げられる最先端研究課題である。したがって、材料開発は高分子化学の分野で競争激しく進められており、一方、近年、Harvard 大学の Suo 教授を中心とする固体力学研究グループの精力的な研究活動の成果として、ゲル材料の膨潤収縮現象を考慮した固体力学解析のための基礎フレームワークは整いつつあり、研究代表者らの研究でも、膨潤誘起パターン変態解析や膨潤誘起不安定変形や膨潤限界の予測といった理論解析が進んでいる。

このような背景の下、非常に挑戦的な研究がフィンランド、フランス、アメリカの合同研究グループによって行われた [ Tallinen et al., Nature Physics (2016) ]。一般に高等生物ほど大脳皮質には複雑で細かなしわが形成され、大脳皮質の表面積増加に寄与している。彼らの検証実験では、ゲル材料の膨潤を成長因子とみなすことによって脳の成長過程の再現実験が行われており、非常に類似した大脳皮質のしわ形成の再現に成功している。比較的単純な有限要素解析でも同様の結果の予測に成功しており、すなわち、進化の歴史において固体力学的貢献は相当に大きいことを期待させる結果である。したがって、生物の形態形成を固体力学的に再現し、機構を解明することは、工学の枠組みを超えて非常に重要であり、将来的に生物を模倣した効率的かつ能動的なシステム開発を進める上でも基礎的かつ重要な研究未開拓領域を提供している。

## 2. 研究の目的

分岐座屈解析をフロンティアと考える理由は、分岐座屈の発生がモノづくりの設計段階における単なる回避事項ではなく、生物の進化や成長の歴史に極めて重要な役割を果たしているという検証実験に基づいている。生体軟組織のような柔らかい材料に生じる分岐座屈は、成長に伴いプログラムされたかのように連続して発生し、形態の複雑化による組織の高度化と結びついている。進化の歴史に刻み込まれた固体力学的寄与の大きさや機構を明らかにすることは、将来的に生物模倣した能動的システム開発を進める上でも基礎的で重要な研究未開拓領域を提供している。本研究では、理論と実験、解析を組み合わせ、この未開拓分野の研究基盤構築を目指す。

## 3. 研究の方法

成果によって異なるため、次章にて必要に応じてその都度、説明する。

## 4. 研究成果

この章では、得られた研究成果の中で代表的な内容について5つの節に分けて説明する。

### 4. 1. 大変形下にある膨潤エラストマーの線形弾性特性

大変形を受ける膨潤エラストマー(ゲル)の線形弾性特性を評価するための理論解を導出した。より一般的な導出を行うために、自由エネルギーは弾性ひずみエネルギーと混合エネルギーの和で構成されるとして式展開を行った。図1はポアソン比の変化を表している。溶媒と高分子の相性を表す相互作用係数 $\chi$ 、弾性ひずみエネルギーに含まれる分子鎖の伸び切りを表す定数 $J_m$ 、 $I_2$ 不変量の影響を表す定数 $c$ の影響をそれぞれ示しており、この図は自由膨潤下において、体積増分が拘束される場合( $\Delta J = 0$ )と化学ポテンシャル増分が拘束される場合( $\Delta\mu = 0$ )の挙動が示されている。この図が示すように、膨潤エラストマーの物性値は状態に依存して大きく変化し、理論解が導出されたことによって影響因子とその寄与分が明らかとなった。

### 4. 2. ゲル膜に生じる分岐と変形の解析

軟質基盤上の硬質膜に生じるパターン変態は第一分岐によって、六方ディンプルパターンやチェッカーボードパターンになることはこれまでに知られていたが、その後の第二分岐によって生じる分岐モードや結果として発達する変形モードの関係は研究されることがなかった。代表者らの逐次的な座屈固有値解析の手法とゲルの代表的な材料モデルである Flory-Rehner モデルを組み合わせて有限要素解析を行った結果として、六方ディンプルパターンの後の第二分岐点では長方形チェッカーボードの分岐モードが3つの対称方向に同時発生することがわかり、その重畳によって、分岐経路を探索すると、六角形ハニカム面の内座屈によって生じる、単軸モード、二軸モード、花状モードに対応するリンクルパターンが得られることが明らかとなった(図2)。分岐モードとその後の変形パターンは単純に対応しておらず、しかし、このようなパターンは実験において観察されていることから、このような解析を通じて分岐モードと変形パターンの理解が進むことが新しく示唆された。

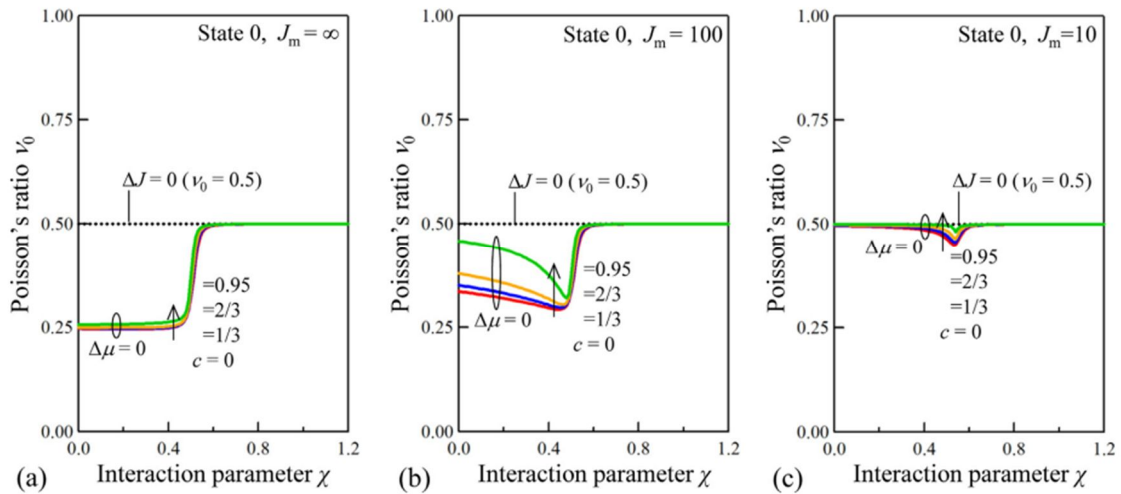


図1 . 自由膨潤 (State 0) 下でのポアソン比の分子鎖伸び切り定数  $J_m$  ,  $I_2$  不変量  $c$  , 相互作用係数  $\chi$  , 化学ポテンシャル変化  $\Delta\mu$  に対する依存性 [Okumura et al., J. Mech. Phys. Solids 2020] .

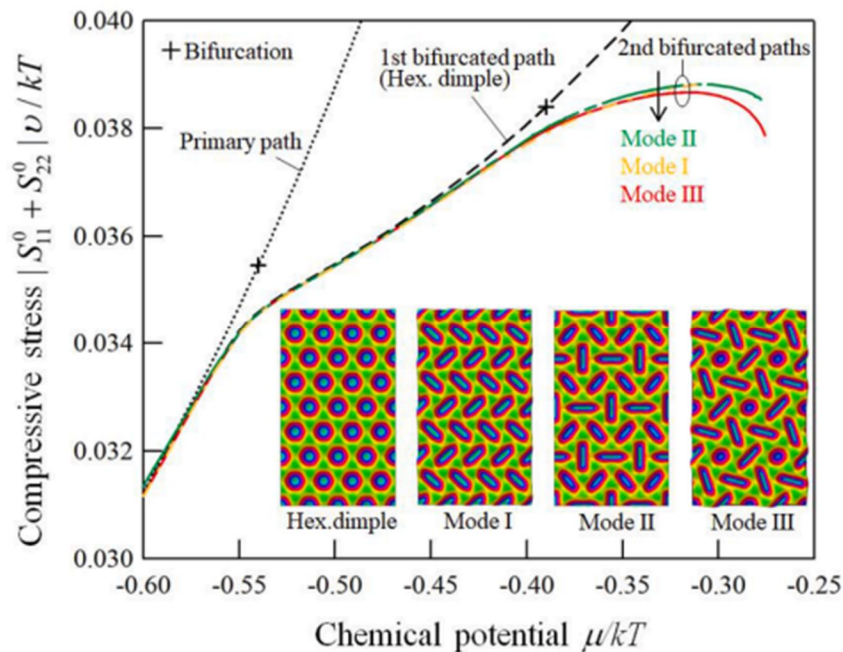


図2 . 六角ディンプルパターンからの第二分岐経路でのパターン発展 [Miyosshi et al., J. Mech. Phys. Solids 2021] . 第二分岐点では対称性に起因して3つの分岐モードの重畳が許され, Modes I-III が発生する . この形態は六角形ハニカム面の内屈パターンとアナロジーを有する .

#### 4 . 3 . アクリルアミド水ゲルの弾性・膨潤相互関係

膨潤エラストマーの弾性係数 (ここではせん断剛性) はゲル作成時 (AP 状態) より溶媒吸収後の膨潤平衡状態 (ES 状態) の方が減少することが知られている . しかし, 現象の程度や傾向は材料によって異なっており, 図3はアクリルアミド水ゲルに対して, モノマー量 (AAm) と架橋剤量 (BIS) を設計変数として幅広いレンジでこの影響を調査した結果である . この結果から, せん断剛性と膨潤相互作用の間には単純な線形関係が当てはまることを示すとともに, その関数形を用いて特性評価の解析を進める方法を示した . AAm と BIS をパラメータとして系統的に弾性特性と膨潤特性を比較したのはこの実験が初めてになると考えており, 所望の弾性・膨潤特性を有するゲルを調製したいときにここで得られた実験データは非常に有用となる .

#### 4 . 4 . 多様な分岐と変形: ヘリンボンの安定性と豊富な兄弟パターン

4 . 2 節に示した解析をより一般的にヤング率比と第一分岐点での初期不整量をパラメータとして広範囲に解析したところ, 図4に示すようなヘリンボンパターンになる分岐経路は複数存在することがわかり, 実験においてヘリンボンパターンがよく観察される事実と合致することが分かった . 一方, 同じ分岐点において, 対称性に起因する分岐モードの重畳が許され, その結果として発生し得る兄弟パターンの存在も明らかにされた . 第二分岐モードは長方形チェッカーボードの対称方向への組み合わせによって構成されており, その組み合わせを分岐モードとするとときに発達する変形パターンは, 従来ヘリンボンパターンと関係があるとは思われてい

なかった大きく異なる変形パターンが実は兄弟関係を有することを明らかにした．このような知見は，一見異なる形態形成も起源が同じであることを明らかにしており，代表者の提案している逐次的な座屈固有値解析と座屈後解析が独自性のある強力な解析手法であることを示唆する．

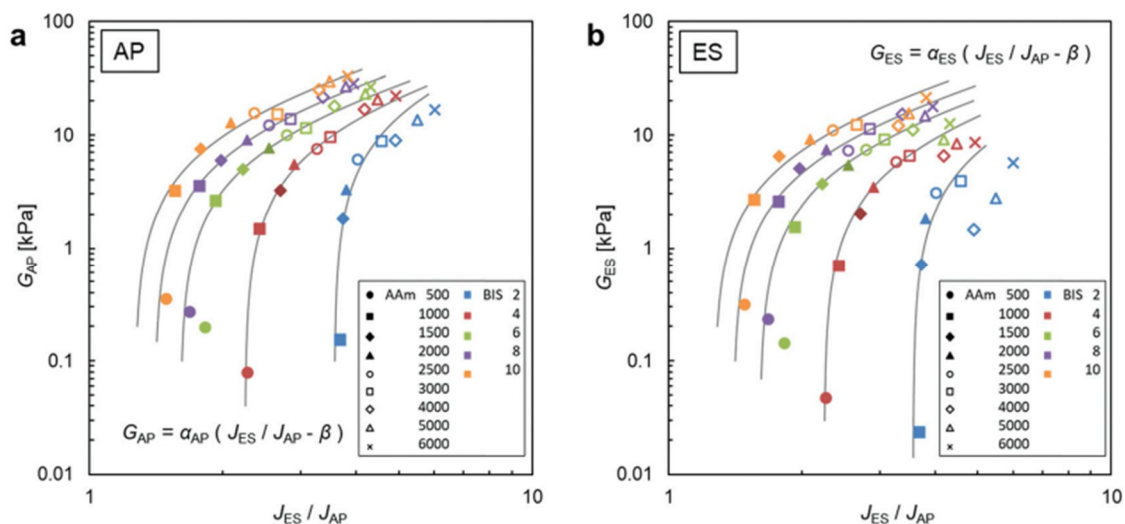


図3．アクリルアミド水ゲルのせん断剛性と体積膨潤比のモノマーAAm及び架橋剤 BIS 依存性 [Kawai et al., Soft Matter 2021]．AP はゲル作成時，ES は膨潤平衡状態をそれぞれ表しており，それぞれの BIS 濃度ごとに図中の線形関係で整理することができる．

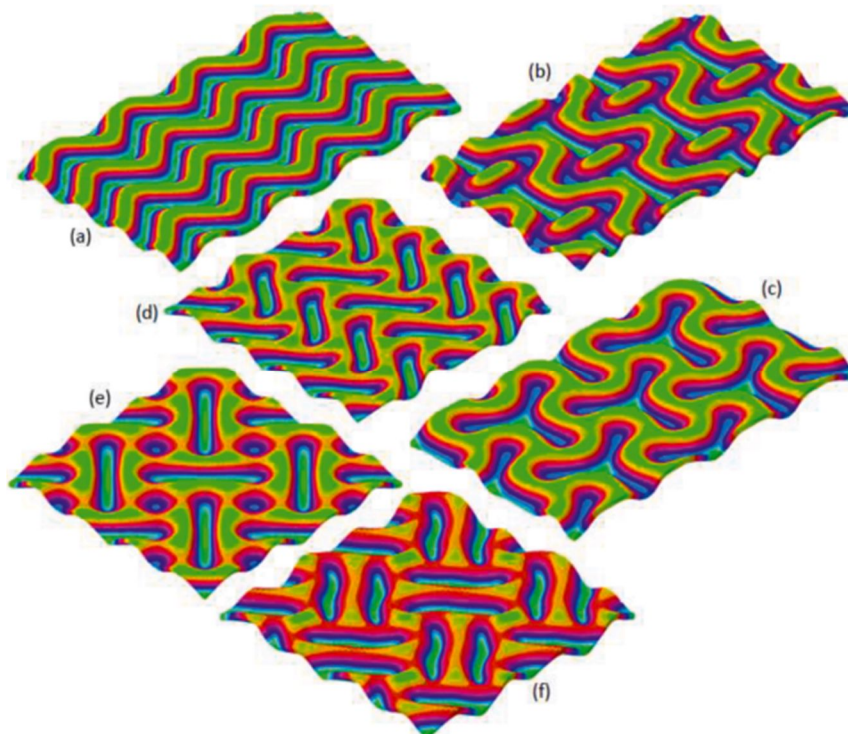


図4．第二分岐によって生じる多様なパターン [Kikuchi et al., J. Mech. Phys. Solids 2022]．長方形セルは六方ディンプルパターン，正方形セルは正方ディンプル(チェッカーボード)パターンからそれぞれ派生する．これらはどれも同じ分岐点から派生している兄弟パターンであり，ヘリンボンパターンに発達する経路は複数存在する．トリプルジャンクションパターンやジッパーパターン，織物パターン，バスケットパターンなど多様で明らかに異なるパターンが兄弟パターンとして現れる．

#### 4.5. 二層体のゲル化誘起パターン変態

ゲルを用いて成長誘起パターン変態を観察しようとするとき，ゲルの膨潤は溶媒の吸収によって生じる．溶媒の吸収は接する自由表面から内部への溶媒の拡散現象であるため，大きな寸法の構造体にパターン変態を生じさせるためには数日単位の時間が必要となる．これに対して，図5に示されるパターン変態はゲル基盤上にゲル膜水溶液を注ぐことによって，ゲル膜のゲル化過程で形成される．ゲル化は数十分単位でおおよそ完了するため，大変便利である．また，図中のリンクルパターンの波長は数十 mm オーダーに達しており，大きなパターンを形成できる利



点を有している。開発されたゲル化過程のパターン変態は、初期段階におけるゲル基盤のゲル膜水溶液中の溶媒の吸収とゲル化最終段階におけるゲル基盤からの溶媒の奪い返し及びゲル膜表面の未硬化液体層の吸収によって生じると考えられており、今後のフォローアップ研究によって、より定量的な妥当性が確かめられるとともに、パターン制御方法として洗練されることを期待している。

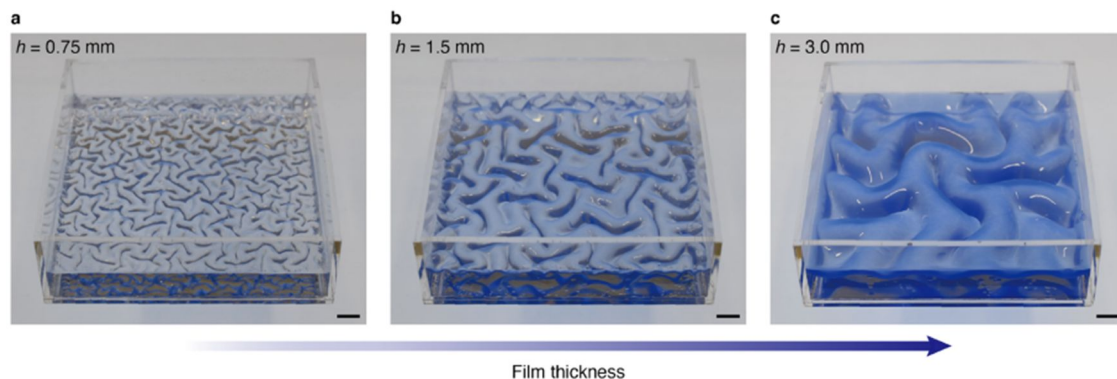


図5．ゲル膜のゲル化過程で生じるリンクルパターン[Nagashima et al., Langmuir 2023]．膨潤誘起ではないため、ゲル化という短い時間スケールの中にパターンが形成される．スケールバーは10mm．アクリルボックスの一边は120mm程度、膜厚  $h$  に応じてリンクル波長を幅広く変化させることができる．

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 S. Matsubara, A. Takashima, S. Nagashima, S. Ida, H. Tanaka, M. Uchida, D. Okumura	4. 巻 -
2. 論文標題 TIME-SWELLING SUPERPOSITION PRINCIPLE FOR THE LINEAR VISCOELASTIC PROPERTIES OF POLYACRYLAMIDE HYDROGELS	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Structured Materials	6. 最初と最後の頁 (28 pages)
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 田中大地, 若林駿人, 松原成志朗, 永島壮, 奥村大	4. 巻 22
2. 論文標題 リッジパターン変態のプレストレッチ依存性と分岐座屈特性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 117-121
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. MORITA, M. UCHIDA, Y. KANEKO, D. OKUMURA, H. TANAKA, S. IDA	4. 巻 7
2. 論文標題 Evaluation of the Effects of Cross-Link Density and Swelling Ratio on Loading-Unloading Response in Large Strain Range of Hydrogels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Experimental Mechanics	6. 最初と最後の頁 90-96
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Nagashima, N. Akamatsu, X. Cheng, S. Matsubara, S. Ida, H. Tanaka, M. Uchida, D. Okumura	4. 巻 39
2. 論文標題 Self-Wrinkling in Polyacrylamide Hydrogel Bilayers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 3942-3950
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.2c03264	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 Ryota Kawai, Hiro Tanaka, Seishiro Matsubara, Shohei Ida, Makoto Uchida, Dai Okumura	4. 巻 17
2. 論文標題 Implicit rule on the elastic function of a swollen polyacrylamide hydrogel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 4979-4988
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SM00346A	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 Shotaro Kikuchi, Seishiro Matsubara, So Nagashima, Dai Okumura	4. 巻 159
2. 論文標題 Diversity of the bifurcations and deformations on films bonded to soft substrates: robustness of the herringbone pattern and its cognate patterns	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Jornal of the Mechanics and Physics of Solids	6. 最初と最後の頁 No.104757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmps.2021.104757	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 田中大地, 菊池正太郎, 松原成志朗, 永島 壮, 奥村 大	4. 巻 21
2. 論文標題 ヘリンボン及びトリプルジャンクションパターンの発達に対する影響因子解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 51-56
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 星 亮吾, 三好宏明, 松原成志朗, 奥村 大	4. 巻 87
2. 論文標題 リンクル・クリース解析における初期不整と要素分割の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 No.21-00045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00045	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. Miyoshi, S. Matsubara, D. Okumura	4. 巻 148
2. 論文標題 Bifurcation and deformation during the evolution of periodic patterns on a gel film bonded to a soft substrate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanics and Physics of Solids	6. 最初と最後の頁 104272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmps.2020.104272	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 菊池正太郎, 三好宏明, 松原成志朗, 奥村大	4. 巻 86
2. 論文標題 膨潤エラストマーに対するGent-Gent超弾性モデルの有限要素実装	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 20-00233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00233	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 M. Morimura, S. Ida, M. Oyama, H. Takeshita, S. Kanaoka	4. 巻 54
2. 論文標題 Design of hydrogels with thermoresponsive crosslinked domain structures via the polymerization-induced self-assembly process and their thermoresponsive toughening in air	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1732-1741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c02569	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 D. Okumura, H. Kawabata, S. A. Chester	4. 巻 135
2. 論文標題 A general expression for linearized properties of swollen elastomers undergoing large deformations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanics and Physics of Solids	6. 最初と最後の頁 103805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmps.2019.103805	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 N. Bosnjak, S. Nadimpalli, D. Okumura, S. A. Chester	4. 巻 137
2. 論文標題 Experiments and modeling of the viscoelastic behavior of polymeric gels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanics and Physics of Solids	6. 最初と最後の頁 103829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmps.2019.103829	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 三好宏明, 奥村大	4. 巻 19
2. 論文標題 ゲル膜のリンクル解析に及ぼす軟質基盤厚さの影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 31-36
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 S. Ida, M. Morimura, H. Kitanaka, Y. Hirokawa, S. Kanaoka	4. 巻 10
2. 論文標題 Swelling and mechanical properties of thermoresponsive/hydrophilic conetworks with crosslinked domain structure prepared from various triblock precursors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 6122-6130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9PY01417A	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 M. Uchida, R. Wakuda, Y. Kaneko	4. 巻 174
2. 論文標題 Evaluation and modeling of mechanical behaviors of thermosetting polymer under monotonic and cyclic tensile tests	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 130-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2019.04.064	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63件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 D. Nakajima, R. Hoshi, S. Matsubara, S. Nagashima, D. Okumura
2. 発表標題 Crease Nucleation and Propagation from a V-shaped Notch in an Elastomer
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM-XV) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松原成志朗, 高島 晃, 永島 壮, 伊田翔平, 田中 展, 内田 真, 奥村 大
2. 発表標題 ハイドロゲルの線形粘弾性特性評価のための時間・膨潤重ね合わせの原理
3. 学会等名 日本機械学会M&M2022材料力学カンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村 大, 星 亮吾, 中島大貴, 松原成志朗, 永島 壮
2. 発表標題 切り欠きから伝播するクリースの周期間隔
3. 学会等名 日本機械学会M&M2022材料力学カンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神 圭佑, 松原成志朗, 永島 壮, 奥村 大
2. 発表標題 チューブ内壁に生じるクリースの伝播及び間隔の制御
3. 学会等名 日本機械学会最適化シンポジウム2022(OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田竜也, 荻野敦也, 松原成志朗, 永島 壮, 奥村 大
2. 発表標題 リンクルからクリースへの変態制御のための非線形有限要素解析
3. 学会等名 日本機械学会最適化シンポジウム2022(OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島大貴, 松原成志朗, 永島 壮, 奥村 大
2. 発表標題 ソフトマテリアルの表面不安定に及ぼす底面の影響
3. 学会等名 日本機械学会第35回計算力学講演会(CMD2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荻野敦也, 松原成志朗, 永島 壮, 奥村 大
2. 発表標題 クリースのスケール・メッシュ依存性に及ぼす負荷条件の影響
3. 学会等名 日本機械学会第35回計算力学講演会(CMD2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊田翔平
2. 発表標題 精密ラジカル重合を用いた架橋構造設計に基づく高分子ヒドロゲルの機能化
3. 学会等名 高分子加工技術研究会第95回例会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊田翔平
2. 発表標題 精密重合化学に基づく架橋高分子の構造設計と機能開拓
3. 学会等名 2022年度関西接着ワークショップ第2回研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Kikuchi, S. Matsubara, S. Nagashima, D. Okumura
2. 発表標題 Diversity of bifurcations and deformations on films bonded to soft substrates
3. 学会等名 The International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Hoshi, S. Matsubara, S. Nagashima, D. Okumura
2. 発表標題 Effects of initial imperfection and mech resolution on finite element analysis of crease initiation and propagation
3. 学会等名 The International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Takashima, S. Matsubara, S. Nagashima, M. Uchida, H. Tanaka, S. Ida, D. Okumura
2. 発表標題 Study on the viscoelastic properties of polyacrylamide hydrogels during transient swelling
3. 学会等名 The International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永島壮, 赤松直紀, 松原成志朗, 奥村大
2. 発表標題 二層ハイドロゲル表面に自律形成する凹凸パターン
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第16回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菊池正太郎, 松原成志朗, 永島壮, 奥村大
2. 発表標題 膜基盤構造体の分岐座屈解析に及ぼすヤング率比及び幾何学的不整量の影響
3. 学会等名 日本機械学会第34回計算力学講演会 (CMD2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荻野敦也, 星亮吾, 松原成志朗, 永島壮, 奥村大
2. 発表標題 エラストマーの二次元表面不安定解析に及ぼすV字型ノッチの影響
3. 学会等名 日本機械学会第34回計算力学講演会 (CMD2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星亮吾, 荻野敦也, 松原成志朗, 永島壮, 奥村大
2. 発表標題 Vノッチ欠陥によって誘起されるクリーズの伝播
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村大, 古谷徹朗, 松原成志朗, 永島壮
2. 発表標題 ゲル材料の弾性・膨潤特性に及ぼす分子鎖伸び切りの影響
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中展, 河合遼太, 松原成志朗, 伊田翔平, 内田真, 奥村大
2. 発表標題 拡張Flory-Rehnerモデルによるハイドロゲルの膨潤弾性特性評価
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池正太郎, 松原成志朗, 永島壮, 奥村大
2. 発表標題 膜・基盤構造体の表面パターン発達における分岐と変形
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島晃, 松原成志朗, 永島壮, 伊田翔平, 田中展, 内田真, 奥村大
2. 発表標題 過渡膨潤状態におけるアクリルアミドハイドロゲルの弾性・粘性特性評価
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 荻野敦也, 星亮吾, 松原成志朗, 永島壮, 奥村大
2. 発表標題 V字型ノッチのリンクル・クリース表面不安定解析に及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菊池正太郎, 三好宏明, 松原成志朗, 奥村大
2. 発表標題 膜・基盤構造体の第二分岐座屈に及ぼすヤング率比と初期不整の影響解析
3. 学会等名 日本計算工学会第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星亮吾, 三好宏明, 松原成志朗, 奥村大
2. 発表標題 クリース発生に及ぼすV字型ノッチの影響の有限要素解析
3. 学会等名 日本計算工学会第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊田翔平
2. 発表標題 精密ラジカル重合の活用とモノマー連鎖配列に着目した高分子ヒドロゲルの動的機能創成
3. 学会等名 第67回高分子研究発表会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊田翔平
2. 発表標題 精密ラジカル重合を用いた刺激応答性架橋高分子の設計
3. 学会等名 第33回散乱研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森田隼平, 内田真, 兼子佳久, 奥村大, 田中展, 伊田翔平
2. 発表標題 負荷除荷試験によるハイドロゲルの非弾性応答に関する検討
3. 学会等名 日本実験力学会2021年度年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sunpei Morita, Makoto Uchida, Yoshihisa Kaneko, Dai Okumura, Hiro Tanaka, Shohei Ida
2. 発表標題 Evaluation of cyclic deformation behavior of hydrogel with different swelling ratios
3. 学会等名 The 16th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Okumura, H. Miyoshi, S. Matsubara
2. 発表標題 Bifurcation and Deformation in Periodic Pattern Evolution on a Gel Film Bonded on a Soft Substrate
3. 学会等名 IMECE2020 virtual conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Miyoshi, S. Matsubara, D. Okumura
2. 発表標題 Buckling and post-buckling analysis in surface pattern evolution from hexagonal dimples on a gel film bonded on a soft substrate
3. 学会等名 The 3rd international conference on computational engineering and science for safety and environmental problem (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Hoshi, H. Miyoshi, S. Matsubara, D. Okumura
2. 発表標題 Finite element analysis of influential factors in a three dimensional structure assembled from a gel film
3. 学会等名 The 3rd international conference on computational engineering and science for safety and environmental problems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Kikuchi, H. Miyoshi, S. Matsubara, D. Okumura
2. 発表標題 Finite Element Implementation of Gent-Gent Hyperelastic Model for Swollen Elastomers, and Verifications
3. 学会等名 The 3rd international conference on computational engineering and science for safety and environmental problems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三好宏明, 奥村大
2. 発表標題 軟質基盤に拘束された硬質ゲル膜のパターン発展解析
3. 学会等名 日本計算工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 星 亮吾, 三好 宏明, 奥村 大
2. 発表標題 ゲル膜の立体化に及ぼす吸着力の影響解析
3. 学会等名 日本計算工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高島晃, 松原成志朗, 伊田翔平, 田中展, 内田真, 奥村大
2. 発表標題 アクリルアミドハイドロゲルの粘弾性特性に及ぼす含水量の影響
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河合遼太, 松原成志朗, 伊田翔平, 田中展, 内田真, 奥村大
2. 発表標題 ガラス基盤上のアニオン性アクリルアミドゲル膜の立体構造構築における影響因子解析
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三好宏明, 松原成志朗, 奥村大
2. 発表標題 硬質ゲル膜のパターン発展分岐座屈解析
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池正太郎, 三好宏明, 松原成志朗, 奥村大
2. 発表標題 膨潤エラストマー解析のための Gent-Gent モデルの有限要素実装
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 星亮吾, 三好宏明, 松原成志朗, 奥村大
2. 発表標題 ゲル膜立体化の有限要素影響因子解析
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤松直紀, 松原成志朗, 伊田翔平, 田中展, 内田真, 奥村大
2. 発表標題 ゲル化により誘起される2層ゲル膜パターンの評価・制御
3. 学会等名 日本材料学会東海支部 第15回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古谷徹朗, 奥村大, 田中展, 松原成志朗, 内田真, 伊田翔平
2. 発表標題 アニオン性アクリルアミドゲルの膨潤・弾性相互作用の評価
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第70期講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荻野敦也, 星亮吾, 三好宏明, 松原成志朗, 奥村大
2. 発表標題 リンクル・クリース発展に及ぼす表面欠陥と要素分解能の影響解析
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第70期講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森田隼平, 内田真, 兼子佳久, 奥村大, 田中展, 伊田翔平
2. 発表標題 引張状態で膨潤させたハイドロゲルのひずみ場の動的観察および数値解析
3. 学会等名 第69期日本材料学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田隼平, 内田真, 兼子佳久, 奥村大, 田中展, 伊田翔平
2. 発表標題 圧縮応力下で膨潤させたハイドロゲルの引張変形挙動の評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第96期定時総会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Ida
2. 発表標題 Design of Amphiphilic Polymer Hydrogels with Crosslinked Domain Structure
3. 学会等名 第69回高分子討論会日韓ジョイントセッション(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Dai Okumura, Shawn A. Chester
2. 発表標題 Evolution of Surface Patterns from Hexagonal Dimples to a Labyrinth in a Stiff Gel Film Bonded on a Soft Substrate
3. 学会等名 KSME-JSME Joint Symposium on Computational Mechanics & CAE 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dai Okumura, Hironori Kawabata, Shawn A. Chester
2. 発表標題 Linear Elastic Properties of Swollen Elastomers Undergoing Large Deformations
3. 学会等名 International Mechanical Engineering Congress & Exposition 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Miyoshi, Dai Okumura
2. 発表標題 Evolution of Surface Patterns from Hexagonal Dimples to a Labyrinth in a Stiff Gel Film Bonded on a Soft Substrate
3. 学会等名 International Mechanical Engineering Congress & Exposition 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Ida
2. 発表標題 Design of Crosslinked Domain Structure for Improved Function of Thermoresponsive Polymer Hydrogels
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Yangon (ICPAC Yangon) 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好宏明, 川端宏典, 奥村大, 大野信忠
2. 発表標題 硬質ゲル膜の凸凹パターン変態に及ぼす膨潤効果解析
3. 学会等名 日本計算工学会第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥村大, 三好宏明
2. 発表標題 硬質ゲル膜に生じるディンプルパターンの発生と発達に分岐座屈解析
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川端宏典, 奥村大
2. 発表標題 膨潤エラストマーの線形弾性特性に及ぼす負荷条件の影響
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菱田湧士, 河合遼太, 奥村大, 伊田翔平, 田中展, 内田真
2. 発表標題 ゲル膜の表面不安定から誘起される立体構造構築における影響因子解析
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川端宏典, 奥村大, 大野信忠
2. 発表標題 基盤に拘束されたゲル膜の線形弾性特性解析
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河合遼太, 菱田湧士, 奥村大, 伊田翔平, 田中展, 内田真
2. 発表標題 ガラス基盤上のゲル膜に生じる膨潤誘起形態形成の基礎的観察
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好宏明, 奥村大
2. 発表標題 硬質ゲル膜の六方ディンプルパターンから派生する形態
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星亮吾, 三好宏明, 奥村大
2. 発表標題 ゲル膜の立体化に関する形態形成機構解析
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第69期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池正太郎, 三好宏明, 川端宏典, 奥村大
2. 発表標題 膨潤エラストマーのためのGent-Gent超弾性モデルの有限要素実装
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第69期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河合遼太, 伊田翔平, 田中展, 内田真, 奥村大
2. 発表標題 ガラス基盤上のアクリルアミド-アクリル酸ナトリウム共重合ゲル膜に生じるパターン変態の観察
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第14回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤松直紀, 奥村大, 伊田翔平, 内田真, 田中展
2. 発表標題 ゲル膜に生じるパターン変態のFFT解析による時間発展評価
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第14回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊田翔平, 森村光稀, 戸田翔伍, 金岡鐘局
2. 発表標題 RAFT重合を用いて架橋ドメイン構造を設計したヒドロゲルの力学特性
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊田翔平, 森村光稀, 戸田翔伍, 金岡鐘局
2. 発表標題 RAFT重合を用いて架橋ドメイン構造を設計したヒドロゲルの合成と特性
3. 学会等名 第67回レオロジー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田真, 仙石達也, 森田隼平, 兼子佳久, 奥村大, 田中展, 伊田翔平
2. 発表標題 ハイドロゲルの膨潤に関する速度形構成式の定式化
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仙石達也, 森田隼平, 内田真, 兼子佳久, 奥村大, 田中展, 伊田翔平
2. 発表標題 圧縮環境下で膨潤させたハイドロゲルの膨潤量および引張挙動
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p> <a href="https://scholar.google.com/citations?user=uY5i9UkAAAAJ&amp;hl=en">Google Scholar</a>  <a href="https://scholar.google.com/citations?user=uY5i9UkAAAAJ&amp;hl=en">https://scholar.google.com/citations?user=uY5i9UkAAAAJ&amp;hl=en</a>            ResearchGate  <a href="https://www.researchgate.net/profile/Dai-Okumura">https://www.researchgate.net/profile/Dai-Okumura</a>            ORCID  <a href="https://orcid.org/0000-0002-4020-8258">https://orcid.org/0000-0002-4020-8258</a>            publons  <a href="https://publons.com/researcher/4421200/dai-okumura/">https://publons.com/researcher/4421200/dai-okumura/</a>            大学ホームページ  <a href="https://www.mech.nagoya-u.ac.jp/mml/">https://www.mech.nagoya-u.ac.jp/mml/</a> </p>
---

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	内田 真  (Uchida Makoto)  (90432624)	大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授    (24402)	
研究分担者	田中 展  (Tanaka Hiro)  (70550143)	大阪大学・工学研究科・准教授    (14401)	
研究分担者	伊田 翔平  (Ida Shohei)  (80610740)	滋賀県立大学・工学部・講師    (24201)	

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