

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 14 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2016～2019

課題番号：16KT0023

研究課題名（和文）均質化法と連鎖反応理論による電気化学触媒反応の数理モデル構築

研究課題名（英文）Mathematical model of electrochemical catalysis by chain reaction theory

研究代表者

小川 知之（OGAWA, Toshiyuki）

明治大学・総合数理学部・専任教授

研究者番号：80211811

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,500,000 円

研究成果の概要（和文）：自己組織的連鎖反応におけるパルス進行波を理解するために現象論的に関連した3種反応拡散系の進行波解の分岐現象を解明した。その中で特に2種競争系の進行波解を加速することができるかどうか注目し、まず、3番目の外来種の成長速度をパラメータとして非自明な進行波解が分岐することを示した。そこでは、2種競争系に対して3番目の外来種からの影響が微小であると仮定し、力学系の進行波解の摂動理論を利用した。また非自明解が元の進行波を加速するのか減速するのかを、分岐点付近で分類することができるようになった。ドリフト分岐の解析的な定式化を行い、数値的に固有関数を求めることで高精度な分岐解析が可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3種の競争反応拡散系の進行波の分岐解析が高精度に可能になったのは解析技術的に重要である。また、ドリフト分岐点の周りの挙動が豊富で数学的にも新しい分岐構造が期待できる点でも発展性が見込める。一方、本来の目的であった自己組織的連鎖反応の理解には直接結びついていないが、現象論的にも自己触媒的に加速が実現する数学モデルの構造を提案していくことで将来的に実験科学に指針が得られることも期待される。実際、分担者の中西氏とは、生物が利用している代謝系のようなサイクリックな反応系に見られる自己触媒反応を人工的に構築するため、ネットワーク反応系に分岐構造を利用した制御を実現する次のプロジェクトに取り掛かっている。

研究成果の概要（英文）：In order to understand the pulse traveling wave in the self-organized chain reaction, we clarified the bifurcation phenomenon of the traveling wave solution of the three-component reaction diffusion systems which are phenomenologically related. In particular, we paid attention to whether or not the traveling wave solution of the two-species competitive system could be accelerated. First, we showed that the non-trivial traveling wave solution bifurcates by taking the growth rate of the third species as a parameter. Here, by assuming the influence of the third species on the two-species competitive system is small, we use the perturbation theory of the traveling wave solution of the dynamical system. It is now possible to classify whether the non-trivial solution accelerates or decelerates the original traveling wave near the critical point. By making an analytical formulation of drift bifurcation, highly accurate bifurcation analysis is realized.

研究分野：応用数学

キーワード：自己組織的連鎖反応 3種反応拡散系 Tributsch-Pohlmannモデル 進行波解

1. 研究開始当初の背景

白金等の優れた既存の触媒は、あたかも自己組織的に電子移動を促進しているかのように連鎖反応を効率的に行っているが、現状の電気化学理論はこれを理解するに至っていない。一方、生物はこうした希少金属を使わずして高効率なエネルギー変換を実現している。本研究課題では、合成分子から多電子移動性を示す触媒開発を目指す実験解析と非線形ダイナミクス理論の相互研究により、現象論的モデルを導きだし自己組織的連鎖反応を理解することを目指した。こうした効率の良い連鎖反応が起るには、反応の全過程で電気化学的ポテンシャルを理想的な状態に維持する必要がある。そんな中で連鎖反応の各過程に生成物からのフィードバックを仮定した Tributsch-Pohlmann モデルは多電子移動を説明し得る現象論モデルの卵と考えられていた。

2. 研究の目的

Tributsch-Pohlmann モデルでは、仮想的な中間生成物を考え、中間生成体の反応定数が中間生成物濃度に依存すると考える。さらに中間生成体方向に連続極限をとると、見かけ上は非線形の増殖項のある移流拡散方程式が得られる。自己組織化連鎖反応をその上での非自明なパルス進行波と捉えることで、現象論的な新しいモデルを構築することを目指す。材料科学との協働という意味で、定量的に合致させることは難しいまでも自己組織化連鎖反応に対応する進行波の性質を調べることで実験的な指針が得られることを期待した。そこでまず、現象論的に自己組織化連鎖反応と考えられるような反応拡散系を選び、その解構造を分岐論的に考察する。特に3種の競争反応拡散系は2種の持つフロント進行波を作る「場」に3番目の外来種が入り込み元の進行波と相互作用するので、反応の加速という意味で関連する。また、関連する問題として、大域フィードバックを持つ反応拡散系や修正された Benney 方程式の進行波解の分岐解析などを行う。

3. 研究の方法

応用数学分野の研究代表者:小川、研究分担者:宮路が、電気化学分野の研究分担者:中西と本研究課題に共同してアタックするため、ポスドク研究員を雇用し、異分野のスタディグループで主に数理モデル解析のための準備を行った。超電導に対する Ginzburg-Landau 理論の類推から、T-P 理論から得られる数理モデルがある種の反応拡散系になることを想定して、その数値シミュレーションを行った。また、スタディグループを中心に分岐解析、空間的パターンの制御などに関する最新的话题を吸収するためのセミナーを継続的に開催し、国内外から専門家を招聘して研究連絡を行った。また国際会議等で研究発表を行い、そこから広がったネットワークでフランス社会科学高等研究院の H. Berestyki 教授、パリ南大学の D. Hilhorst 教授、ベルリン自由大学の B. Fiedler 教授の、国立台湾大学の C-C. Chen 教授の研究グループとも緊密な研究討議を行った。なお、3種反応拡散系のパルス進行波に関しては最終的に台湾の研究グループとの共同研究が生まれ、取りまとめに時間がかかり補助事業期間を1年延長した。

4. 研究成果

Tributsch-Pohlmann モデルから得られた非線形の増殖項のある移流拡散方程式は、この原型のままでは自己組織的連鎖反応の説明が困難であることがわかってきた。そこで、問題を現象論的に類似した3種の反応拡散系に置き換え、2種競争系の進行波解を加速することができるかどうか注目した。

他にも進行波の安定性に関する解析方法を開発してきた。進行波解の固有値の集積問題などの数学的な取り扱い、進行波解のトラス分岐の追跡法を確立し、これを修正された Benney 方程式に応用し、矩形進行波解のさざ波解の分岐を示した。また反応拡散系の大域フィードバック制御をより幅広いものに改良し、定在波が現れる倍周期分岐を見つけた。

一方、本来の目的であった自己組織的連鎖反応の理解には直接結びついていないが、現象論的にも自己触媒的に加速が実現する数学モデルの構造を提案していくことで将来的に実験科学に指針が得られることも期待される。実際、分担者の中西氏とは、生物が利用している代謝系のようなサイクリックな反応系に見られる自己触媒反応を人工的に構築するためにネットワーク反応系に分岐構造を利用した制御を実現する次のプロジェクトに取り掛かっている。

3種反応拡散系の進行波解のドリフト分岐：3番目の外来種の成長速度をパラメータとして非自明な進行波解が分岐することを示した。(雑誌論文(1)) また非自明解が元の進行波を加速するのか減速するのかを分岐点付近で分類することができた。これは、富山大学の池田栄雄教授・北海道大学の栄伸一郎教授たちとの共同研究で、ドリフト分岐の標準形を定式化しその係数を adjoint 固有関数などの数値計算から精度良く求める方法を開発した。今後はこの3種の競争反応拡散系のドリフト分岐の解析をより詳細に進めたい。これはドリフト分岐点の周りの挙動が豊富で数学的にも新しい分岐構造が期待できるからである。(学会発表(1))

矩形進行波解の不安定化に伴うさざ波進行波の分岐現象：周期進行波の長波長不安定性を調べている過程で派生した問題である。散逸を伴う mKdV 方程式が、交通渋滞のモデルなど

から得られるが、これはキンク・アンチキンクタイプのいわゆる矩形進行波解を持つ。矩形進行波解の周期が長いと本質的スペクトルの不安定性に起因する不安定化を引き起こしトラスタイプの分岐が発生する事がわかった。また数値的にその分岐枝を追跡すると、2種類のタイプのさざ波進行波が出現することが明らかになった。(雑誌論文(11)、学会発表(5,7,11,12,14,15,17))

BZ 化学反応系のフィードバック制御：光感受性触媒を用いた BZ 化学反応系で実験制御系を構築することに成功した。BZ 系の光制御によるフィードバックは activator ではなく inhibitor に働くので、semi-passivity は成立しないが、数理モデルのシミュレーションから定在波パターンが得られた。これは全く予想していなかった副産物である。分岐構造を調べて見たところ、フィードバック強度をパラメーターとして一様振動解からの倍周期分岐として得られていることが分岐追跡シミュレーションから示唆された。実際、これを光感受性触媒を用いた BZ 化学反応系で実現した。(学会発表(9,10,18)) BZ 反応の Oregonator モデルに光制御を加えた振動子系の分岐構造を詳細に決定するという新たな研究の拡がりが見られ、拡散係数との2パラメーターサーチにより分岐構造にリコネクションも見つかった。(雑誌論文(9))

3種反応拡散系の 0-1-2 モードの退化分岐とカオス：Activator-Inhibitor 系で Turing 不安定化が生じる際には2つの隣接するモードが同時に定常分岐する事はあり得るが、それ以上退化した特異点はない。ところが、大域フィードバック制御を行うか、または等価な3変数の反応拡散系を考えると 0-1-2 の3つのモードの不安定化を同時に引き起こせる。そこで、0-1-2 モード退化分岐点の周りの分岐解析を行い、その周りで振動パターンやカオス的な挙動があり得る事を明らかにした。このような退化特異点は交差拡散系などにも現れる可能性があり、ここで行った標準形解析は普遍性を持つと期待される。(雑誌論文(17))

以下は、当初の目的の範疇にはないが、進行波の分岐解析を進める中で派生的に得られた結果である。

心臓生理学の Aliev-Panfilov モデルの周期進行波解の不安定化：本研究の BZ 反応の光制御を進めると当然スパイラル波の制御が視野に入ってくる。そこでまずは周期進行波の安定性解析を行う必要がある。その解析技術を検討する中で同じ興奮系の進行波でも心臓生理学に現れる2変数反応拡散系では波長により不安定化が生じることが明らかになった。それにより交互振動的な進行波が現れ、これが心室細動で現れるような複雑なスパイラル断裂につながる可能性がある事を指摘した。(雑誌論文(12),(16))

以下、上記参照のために雑誌論文等を記す：

〔雑誌論文〕

- (1) Chueh-Hsin Chang, Chiun-Chuan Chen, Li-Chang Hung, Masayasu Mimura, Toshiyuki Ogawa, "Existence and Stability of Non-monotone Traveling Wave Solutions for the Diffusive Lotka-Volterra System of Three Competing Species", *Nonlinearity*, 33(10), 5080~5110, 2020, doi: 10.1088/1361-6544/ab9244
- (2) Shintaro Kato, Kazuyuki Iwase, Takashi Harada, Shuji Nakanishi, Kazuhide Kamiya, Aqueous Electrochemical Partial Oxidation of Gaseous Ethylbenzene by a Ru-Modified Covalent Triazine Framework, *ACS Applied Materials & Interfaces*, in press (2020)
- (3) Yuxin Wu, Kazuhide Kamiya, Takuya Hashimoto, Rino Sugimoto, Takashi Harada, Katsushi Fujii, and Shuji Nakanishi, Electrochemical CO₂ reduction using gas diffusion electrode loading Ni-doped covalent triazine frameworks in acidic electrolytes, *Electrochemistry*, in press (2020)
- (4) Hiro Tabata, Shintaro Kato, Shingi Yamaguchi, Takashi Harada, Kazuyuki Iwase, Kazuhide Kamiya, and Shuji Nakanishi, Glycerol oxidation catalyzed by high-valency ruthenium species at electrochemical interfaces, *Chemistry Letters*, 49, 513-516 (2020)
- (5) Kazuyuki Iwase, Shuji Nakanishi, Masaru Miyayama, Kazuhide Kamiya, Rational Molecular Design of Electrocatalysts Based on Single-Atom Modified Covalent Organic Frameworks for Efficient Oxygen Reduction Reaction, *ACS Applied Energy Materials*, 3, 1644-1652 (2020)
- (6) Ichida Yu, Okuda Sakamoto Takashi, "Quasi traveling waves with quenching in a reaction-diffusion equation in the presence of negative powers nonlinearity", *Proceedings of the Japan Academy, Series A, Mathematical Sciences*, 96, 2020, 1-6, doi: 10.3792/pjaa.96.001
- (7) KOBAYASHI Shunsuke, SAKAMOTO Takashi Okuda, "Hopf Bifurcation and Hopf-Pitchfork Bifurcation in an Integro-Differential Reaction-Diffusion System", 査読有, Tokyo

- Journal of Mathematics, 42, 2019, pp.121-183, doi: 10.3836/tjm/1502179295
- (8) Tomoyuki Miyaji, Hisashi Okamoto, “Existence proof of unimodal solutions of the Proudman-Johnson equation via interval analysis”, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, 36, 2019, pp. 287-298, doi: 10.1007/s13160-018-00339-x
 - (9) Ohno Kota, Ogawa Toshiyuki, Suematsu Nobuhiko J., “Competition between global feedback and diffusion in coupled Belousov-Zhabotinsky oscillators”, Physical Review E, 99, 2019, 12208, doi: 10.1103/PhysRevE.99.012208
 - (10) Kamiya Kazuhide、Kuwabara Akito、Harada Takashi、Nakanishi Shuji, “Electrochemical Formation of Fe(IV)=O Derived from H₂O₂ on a Hematite Electrode as an Active Catalytic Site for Selective Hydrocarbon Oxidation Reactions”, ChemPhysChem, 20, 2019, pp.648-650, doi: 10.1002/cphc.201801207
 - (11) Miyaji Tomoyuki, Ogawa Toshiyuki, Sekisaka Ayuki, “Rippling rectangular waves for a modified Benney equation”, 査読有, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, 35(2), pp.939-968, 2018, doi: 10.1007/s13160-018-0304-1
 - (12) Gani M. Osman、Ogawa Toshiyuki, “Spiral breakup in a RD system of cardiac excitation due to front-back interaction”, Wave Motion, 79, 2018, 73-83, doi: 10.1016/j.wavemoti.2018.02.010
 - (13) Tatebe Tomomi、Harada Takashi、Kamiya Kazuhide、Nakanishi Shuji, “Photo-induced direct interfacial charge transfer at TiO₂ modified with hexacyanoferrate(III)”, Photochemical & Photobiological Sciences, 17, 2018, 1153-1156, doi: 10.1039/C8PP00237A
 - (14) Su Panpan、Iwase Kazuyuki、Harada Takashi、Kamiya Kazuhide、Nakanishi Shuji, “Covalent triazine framework modified with coordinatively-unsaturated Co or Ni atoms for CO₂ electrochemical reduction”, Chemical Science, 9, 2018, 3941-3947, doi: 10.1039/c8sc00604k
 - (15) Kamiya Kazuhide、Tatebe Tomomi、Yamamura Shuhei、Iwase Kazuyuki、Harada Takashi、Nakanishi Shuji, “Selective Reduction of Nitrate by a Local Cell Catalyst Composed of Metal-Doped Covalent Triazine Frameworks”, ACS Catalysis, 8, 2018, 2693-2698, doi: 10.1021/acscatal.7b04465
 - (16) M. Osman Gani, Toshiyuki Ogawa, “Stability of periodic traveling waves in the Aliev-Panfilov reaction-diffusion system”, 査読有, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 33, pp. 30-42, 2016, doi: 10.1016/j.cnsns.2015.09.002
 - (17) Toshiyuki Ogawa, Takashi Okuda Sakamoto, “Chaotic Dynamics in an Integro-Differential Reaction-Diffusion System in the Presence of 0:1:2 Resonance”, 査読有, in “Mathematical Fluid Dynamics, Present and Future”, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 183, pp. 531-562, 2016

〔学会発表〕

- (1) 小川知之、Bifurcation of traveling waves in RD system with 3 competing species、研究集会「反応拡散系のパターンダイナミクス2」、2019年3月
- (2) 杉本梨乃、原田隆史、神谷和秀、中西周次、「導電性基板上での触媒ネットワークによる亜硝酸の光誘起選択還元反応」、2019年電気化学学会第86回大会、2019年
- (3) 建部友実、原田隆史、岩瀬和至、神谷和秀、中西周次、「共有結合性有機構造体からなる局部電池触媒による窒素酸化物の選択的還元反応」、2018年電気化学学会秋季大会、2018年
- (4) 杉本梨乃、原田隆史、神谷和秀、中西周次、「有機構造体/酸化チタン複合材料から成る光局部電池触媒による亜硝酸の選択還元反応」、日本化学会秋季事業第8回CSJ化学フェスタ2018、2018年
- (5) Toshiyuki OGAWA, “Rippling Rectangular Waves for a Modified Benney Equation”, The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications(国際学会), 2018年
- (6) Toshiyuki OGAWA, “Oscillatory dynamics on membrane-bulk diffusion”, Applied Mathematics seminar (Paris-sud), Feb.8, 2018年
- (7) Toshiyuki OGAWA, “Rippling Rectangular Waves for a Modified Benney Equation”, The third international conference on the dynamics of differential equations, (国際学会), 2018年
- (8) Tomoyuki MIYAJI, “Mathematical Understanding of Kerr Frequency Combs From a Viewpoint of A Pattern-Formation Phenomenon”, KEIO Symposium on Microresonator

- Frequency Comb(招待講演), 2018
- (9) 大野航太、小川知之、末松信彦、「BZ 反応を用いた振動場反応拡散系の大域的制御」、第 27 回 非線形反応と協同現象研究会、2017 年
 - (10) 大野航太、小川知之、末松信彦、「BZ 反応を用いた反応拡散系の大域的制御」、応用数学合同研究集会、2017 年
 - (11) Toshiyuki Ogawa, “Rippling rectangular waves for a modified Benney equation”, The third international conference on the dynamics of differential equations, 2018 年 3 月 15 日
 - (12) Toshiyuki Ogawa, “Rippling rectangular waves for a modified Benney equation”, ReaDiNet 2017: International Conference on Mathematical Biology (招待講演), 2017 年 10 月 13 日
 - (13) 神谷和秀、山村修平、建部友美、原田隆史、中西周次, “Selective reduction of nitrate by the local-cell catalyst composed of metal modified covalent triazine frameworks”, International Workshop on Electrified Interfaces for Energy Conversions, 2017
 - (14) Tomoyuki MIYAJI, “Torus bifurcations to rippling rectangular waves”, Equadiff2017, 2017
 - (15) 宮路智行、小川知之、関坂歩幹、「さざ波立つ矩形波へのトーラス分岐」、日本数学会 2017 年年会、2017 年 3 月 27 日
 - (16) 小林俊介、坂元孝志, “Oscillatory hexagonal pattern in a 2-dimensional integro-differential reaction-diffusion system”, 日本数学会 2017 年年会、2017 年 3 月 27 日
 - (17) Tomoyuki MIYAJI, “Torus bifurcations to rippling rectangular waves”, The Taiwan-Japan Joint mini-workshop on Applied Mathematics(国際学会), 2017 年 03 月 09 日
 - (18) 大野航太、小川知之、末松信彦、「振動場 Oregonator model の大域的制御」、応用数学合同研究集会、2016 年 12 月 16 日
 - (19) 山口信義、神谷和秀、中西周次、橋本和仁、「ルテニウム担持有機構造体におけるアルコールの選択酸化特性」、電気化学会第 84 回大会、2017 年 03 月 26 日
 - (20) 岩瀬和至、神谷和秀、中西周次、橋本和仁、「硫黄架橋型誘起構造体への銅イオン担持とその酸素還元触媒能」、電気化学会第 84 回大会、2017 年 03 月 26 日

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Miyaji Tomoyuki, Ogawa Toshiyuki, Sekisaka Ayuki	4. 巻 35
2. 論文標題 Rippling rectangular waves for a modified Benney equation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 939 ~ 968
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s13160-018-0304-1	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 Gani M. Osman, Ogawa Toshiyuki	4. 巻 79
2. 論文標題 Spiral breakup in a RD system of cardiac excitation due to front?back interaction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Wave Motion	6. 最初と最後の頁 73 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2018.02.010	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 Ohno Kota, Ogawa Toshiyuki, Suematsu Nobuhiko J.	4. 巻 99
2. 論文標題 Competition between global feedback and diffusion in coupled Belousov-Zhabotinsky oscillators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 12208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevE.99.012208	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 Kamiya Kazuhide, Kuwabara Akito, Harada Takashi, Nakanishi Shuji	4. 巻 20
2. 論文標題 Electrochemical Formation of Fe(IV)=O Derived from H ₂ O ₂ on a Hematite Electrode as an Active Catalytic Site for Selective Hydrocarbon Oxidation Reactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 648-650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/cphc.201801207	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 Tatebe Tomomi, Harada Takashi, Kamiya Kazuhide, Nakanishi Shuji	4. 巻 17
2. 論文標題 Photo-induced direct interfacial charge transfer at TiO2 modified with hexacyanoferrate(iii)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photochemical & Photobiological Sciences	6. 最初と最後の頁 1153 ~ 1156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1039/C8PP00237A	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 Su Panpan, Iwase Kazuyuki, Harada Takashi, Kamiya Kazuhide, Nakanishi Shuji	4. 巻 9
2. 論文標題 Covalent triazine framework modified with coordinatively-unsaturated Co or Ni atoms for CO2 electrochemical reduction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 3941 ~ 3947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1039/C8SC00604K	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 Kamiya Kazuhide, Tatebe Tomomi, Yamamura Shuhei, Iwase Kazuyuki, Harada Takashi, Nakanishi Shuji	4. 巻 8
2. 論文標題 Selective Reduction of Nitrate by a Local Cell Catalyst Composed of Metal-Doped Covalent Triazine Frameworks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 2693 ~ 2698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.7b04465	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. Osman Gani and Toshiyuki Ogawa	4. 巻 33
2. 論文標題 Stability of periodic traveling waves in the Aliev-Panfilov reaction-diffusion system	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation	6. 最初と最後の頁 30-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cnsns.2015.09.002	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 T.Ogawa and T.O.Sakamoto	4. 巻 183
2. 論文標題 Chaotic Dynamics in an Integro-Differential Reaction-Diffusion System in the Presence of 0:1:2 Resonance	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 in "Mathematical Fluid Dynamics, Present and Future", Springer Proceedings in Mathematics & Statistics	6. 最初と最後の頁 531-562
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 Chang Chueh-Hsin, Chen Chiun-Chuan, Hung Li-Chang, Mimura Masayasu, Ogawa Toshiyuki	4. 巻 33
2. 論文標題 Existence and stability of non-monotone travelling wave solutions for the diffusive Lotka-Volterra system of three competing species	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nonlinearity	6. 最初と最後の頁 5080 ~ 5110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6544/ab9244	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 Ichida Yu, Okuda Sakamoto Takashi	4. 巻 96
2. 論文標題 Quasi traveling waves with quenching in a reaction-diffusion equation in the presence of negative powers nonlinearity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the Japan Academy, Series A, Mathematical Sciences	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3792/pjaa.96.001	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 KOBAYASHI Shunsuke, SAKAMOTO Takashi Okuda	4. 巻 42
2. 論文標題 Hopf Bifurcation and Hopf-Pitchfork Bifurcation in an Integro-Differential Reaction-Diffusion System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tokyo Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 121 ~ 183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3836/tjm/1502179295	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 Miyaji Tomoyuki, Okamoto Hisashi	4. 巻 36
2. 論文標題 Existence proof of unimodal solutions of the Proudman-Johnson equation via interval analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 287 ~ 298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-018-00339-x	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 Kato Shintaro, Iwase Kazuyuki, Harada Takashi, Nakanishi Shuji, Kamiya Kazuhide	4. 巻 -
2. 論文標題 Aqueous Electrochemical Partial Oxidation of Gaseous Ethylbenzene by a Ru-Modified Covalent Triazine Framework	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c07228	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 (3)Yuxin Wu, Kazuhide Kamiya, Takuya Hashimoto, Rino Sugimoto, Takashi Harada, Katsushi Fujii, and Shuji Nakanishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Electrochemical CO ₂ reduction using gas diffusion electrode loading Ni-doped covalent triazine frameworks in acidic electrolytes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 in press
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 Tabata Hiro, Kato Shintaro, Yamaguchi Shingi, Harada Takashi, Iwase Kazuyuki, Kamiya Kazuhide, Nakanishi Shuji	4. 巻 49
2. 論文標題 Glycerol Oxidation Catalyzed by High-valency Ruthenium Species at Electrochemical Interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 513 ~ 516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200056	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 Iwase Kazuyuki, Nakanishi Shuji, Miyayama Masaru, Kamiya Kazuhide	4. 巻 3
2. 論文標題 Rational Molecular Design of Electrocatalysts Based on Single-Atom Modified Covalent Organic Frameworks for Efficient Oxygen Reduction Reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1644 ~ 1652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b02141	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14件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Toshiyuki Ogawa
2. 発表標題 Rippling Rectangular Waves for a Modified Benney Equation
3. 学会等名 The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本梨乃、原田隆史、神谷和秀、中西周次
2. 発表標題 有機構造体/酸化チタン複合材料から成る光局部電池触媒による亜硝酸の選択還元反応
3. 学会等名 日本化学会秋季事業第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 建部友実、原田隆史、岩瀬和至、神谷和秀、中西周次
2. 発表標題 共有結合性有機構造体からなる局部電池触媒による窒素酸化物の選択的還元反応
3. 学会等名 2018年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本梨乃、原田隆史、神谷和秀、中西周次
2. 発表標題 導電性基板上的触媒ネットワークによる亜硝酸の光誘起選択還元反応
3. 学会等名 2019年電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoyuki Miyaji
2. 発表標題 Mathematical Understanding of Kerr Frequency Combs From a Viewpoint of A Pattern-Formation Phenomenon
3. 学会等名 KEIO Symposium on Microresonator Frequency Comb (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T.Ogawa
2. 発表標題 Rippling Rectangular Waves for a Modified Benney Equation
3. 学会等名 ReaDiNet 2017, International Conference on Mathematical Biology (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神谷和秀、山村修平、建部友美、原田隆史、中西周次
2. 発表標題 Selective reduction of nitrate by the local-cell catalyst composed of metal modified covalent triazine frameworks
3. 学会等名 International Workshop on Electrified Interfaces for Energy Conversions
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoyuki Miyaji
2. 発表標題 Torus bifurcations to rippiling rectangular waves,
3. 学会等名 Torus bifurcations to rippiling rectangular waves, (Equadiff 2017,)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮路智行、小川知之、関坂歩幹
2. 発表標題 さざ波立つ矩形波へのトーラス分岐
3. 学会等名 日本数学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野航太, 小川知之, 末松信彦
2. 発表標題 振動場Oregonator modelの大域的制御
3. 学会等名 応用数学合同研究集会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小林俊介, 坂元孝志
2. 発表標題 Oscillatory hexagonal pattern in a 2-dimensional integro-differential reaction-diffusion system
3. 学会等名 日本数学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Miyaji
2. 発表標題 Torus bifurcations to rippling rectangular waves
3. 学会等名 The Taiwan-Japan Joint mini-workshop on Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩瀬和至、神谷和秀、中西周次、橋本和仁
2. 発表標題 硫黄架橋型誘起構造体への銅イオン担持とその酸素還元触媒能
3. 学会等名 電気化学会第84回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口信義、神谷和秀、中西周次、橋本和仁
2. 発表標題 ルテニウム担持有機構造体におけるアルコールの選択酸化特性
3. 学会等名 電気化学会第84回大会
4. 発表年 2017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
研究分担者	宮路 智行 (MIYAJI Tomoyuki) (20613342)	明治大学・研究・知財戦略機構・特任准教授 (32682)	

6. 研究組織（つづき）

	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	坂元 孝志 (SAKAMOTO Takashi) (30546891)	明治大学・理工学部・専任講師 (32682)	
研究分担者	中西 周次 (NAKANISHI Shuji) (40333447)	大阪大学・太陽エネルギー化学研究センター・教授 (14401)	