

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：14401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2022

課題番号：19KK0131

研究課題名（和文）ナノ物質ネットワークの情報知能

研究課題名（英文）Intelligence of nano-material networks

研究代表者

松本 卓也（Matsumoto, Takuya）

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50229556

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：ナノ物質ネットワークによる神経型情報処理デバイスの構築について、Twente大学（オランダ）、AGH大学（ポーランド）、UCLA（アメリカ）と共同で研究を行った。神経型情報処理の中心となるナノ物質による非線形電気特性について、以下の3つのアプローチで分子物性研究を行った。a)自己組織化Ru錯体単分子膜と金微粒子架橋を用いた分子軌道共鳴トンネリング、b)ボトルネック形成による電界集中を利用した電気伝導性ポリマーグレイン間のホッピング伝導、c)ポリマー中のイオン伝導を利用した電気化学的サイドゲート効果 についていずれも非線形電気特性を得ることに成功した。特にc)について、音声認識実験に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工知能（AI）の発展とともに、その社会的な重要性はますます大きく深くなっている。しかし、現在のAIは、生物の脳の数学モデルをソフトウェアとして既存のデジタル計算機で実行するものであるため、AIの普及とともに、際限なく計算機資源とエネルギーを消費しつつある。しかし、一方では生物はわずかなエネルギーで高度な情報処理を実際に行っていることから、新たな情報処理の方法論が求められている。本研究は、神経ネットワークの機能をナノ物質で模倣することにより、デジタル計算機に頼らない情報処理が物質で可能であること、即ちインマテリアル計算の可能性を示し、その学理を構築することにある。社会的な意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：The joint researches on neuromorphic devices using nanomaterials were performed with Twente University (The Netherlands), AGH University (Poland), UCLA (USA). The main subjects are exploring nonlinear electric properties focused on following three approaches. a) resonant tunneling through self-assembled Ru-complex monolayer with Au-nanoparticle bridge, b) electron hopping via conducting polymer grains under electric field concentration with bottle neck effect, c) electrochemical side-gate effect on ionic conduction in polymer networks. Nonlinear electric properties were obtained in these approaches. The demonstration of voice recognition was achieved using approach c).

研究分野：分子のナノサイエンス・テクノロジーに立脚したインマテリアル計算

キーワード：分子ネットワーク ナノ物質 走査プローブ顕微鏡 神経型情報処理 リザーバー計算 確率共鳴

### 1. 研究開始当初の背景

人類の科学の歴史は、物質や現象を要素に還元し、要素間の関係を精密に記述することにより発展してきた。化学の歴史を見ても、純物質の単離・精製、分子構造の精密解析、高収率反応プロセスの確立により、高い機能を有する化学物質が合成され、高度な技術文明社会を支えてきた。21世紀初頭には、ナノテクノロジーの展開とともに単一分子の物性科学が花開き、分子エレクトロニクス研究が盛んになった。単一分子電界効果トランジスタもほどなく実現し、個々の分子を部品のように精密に組み上げようとする還元主義的研究スタイルの極致に到達したと言える。

しかし、一方で、還元主義的な科学・技術の在り方に行き詰まりも現れてきている。たとえば、スーパーコンピュータを用いて莫大なエネルギーを投入しても、脳を模倣することは容易ではない。脳など生体が示す驚くべき機能は、科学・技術諸分野の大きな目標であるが、これらは還元的で決定論的な方法論だけでは到達できない領域であろう。生体を顕微的に見ると、膜タンパクは厳密に設計し尽くされたかのようなのであるが、細胞の形は全て異なり、神経組織は無秩序な絡み合いに見える。生命システムは、DNAのプログラムにより、厳密に分子設計されたリジッドな構造を持つ機能コアと、ランダムネスをあるがままに受け入れて帰納的に働くネットワーク型組織、そしてこれらを大きく関連づける高次構造により構築されている(図1)。

### 2. 研究の目的

神経細胞は刺激に対する積和機能を持ち、閾値を超えると「発火」する。生体の神経細胞は電気化学的な膜電位による極めて複雑な挙動を示すが、神経型情報処理のミニマルモデルは、閾値を持つ非線形特性とヒステリシスである。このミニマルモデルを分子系で実現してネットワー

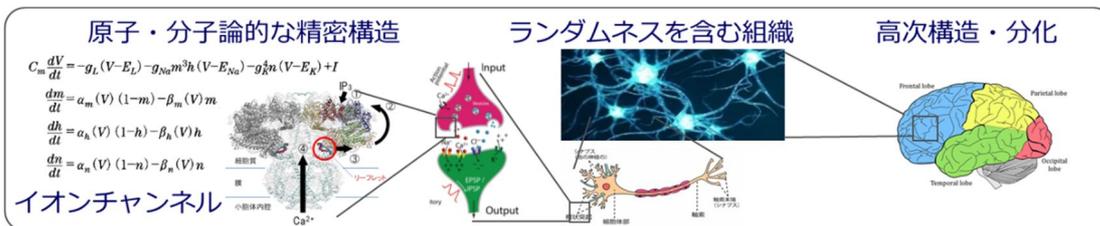


図1. 脳の階層構造

クを構築し、分子物質に情報処理能力が内在することを示し、インマテリアル計算のプロトタイプを実現することが目的である(図2)。

このような方向性は、実用的な側面からも重要性を増している。情報爆発の時代を迎え、データ量は急激に増加し、計算機には学習や最適化を含む極めて複雑な問題の解決が要求されている。この計算の量と質の劇的な変化に、人類は人工知能(AI)で対応しようとしている。しかし現在の人工知能の中核を成すニューラルネットワーク、ディープラーニングなどの脳型情報処理は、脳機能の抽象モデルをソフトウェア化したものに過ぎず、それらを実行している従来型デジタル計算機は脳の論理構造と隔絶している。現状ではノイマン型計算機の上で、いわば力任せに脳型情報処理が実行されているので、多くの計算資源とエネルギーを消費し、人工知能の深化と普及の阻害要因となっている。この計算爆発の問題への対処としても、環境から受ける膨大な情報を物質・材料で受け止め、さらに物質・材料そのものを計算担体とするエッジ処理は重要な課題である。

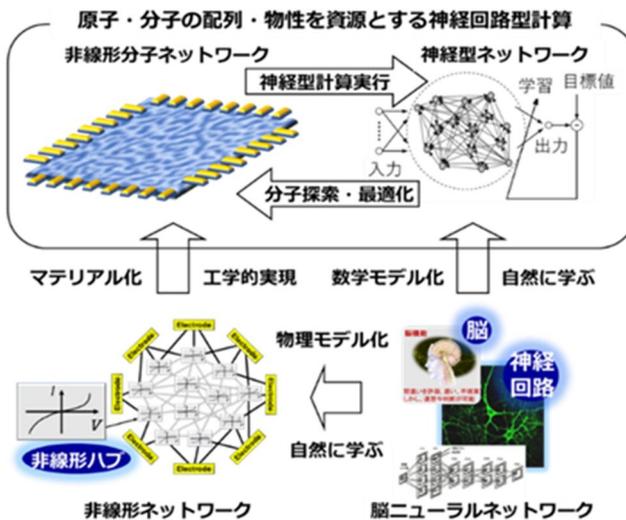


図2. インマテリアル計算の考え方

### 3. 研究の方法

インマテリアル計算の研究は、物質科学と情報科学の境界に位置するが、研究開始当初はこのような研究が可能なグループは極めて少なかった。そこで、インマテリアル計算のパイオニアと言える研究者を集め、国際共同研究を組織して研究を進めることにした。半導体希薄ドープ系で画像認識を実現しているオランダ Twente 大学の Prof. van der Wiel, 電気化学セルで音響認識を実現しているポーランド AGH 大学の Prof. Schwatnikowski, 原子スイッチで波形合成を実現したアメリカ UCLA の Prof. Gimsewski のグループと研究を進めようとした。残念ながら研究期間はコロナ禍の影響を受け、国際共同研究は極めて限られたものとなったが、オランダのグループと共同で、電気伝導性ポリマーを用いた研究で、際立った成果を得ることができた。日本側での

研究は、

- A) 分子軌道共鳴トンネル
- B) ポリマーゲイン間のホッピング伝導
- C) ポリマーのイオン伝導

の3つの方法を用いて、非線形電気特性を得ることを第一目的とし、次にデバイス化を行いリザーバー計算のデモンストレーションを行うことを目指した。C)について、音声認識を実現した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 分子軌道共鳴トンネルによる非線型特性発現

分子の電子状態は離散的であるので、もともと非線形応答に適している。電界効果トランジスタや量子コンダクタンスを目指したこれまでの研究の多くは、金属-分子接合界面における電子散乱を避けようとして、電極と分子の結合を出来るだけ密にする方向であった。しかし、分子の持つ離散的な電子状態を生かすためには、分子と電極との間の結合を疎にして、金属電極の連続的な状態密度の染み出しを抑える必要がある。図3に強結合と疎結合の場合の電子状態を模式的に示した[1]。実際、強結合では、分子の軌道は金属電極表面の無数の軌道と混成するため、分子軌道はばやけてしまい、急峻な非線形特性は得られないが、疎結合では金属電極表面と分子軌道はほぼ独立であるので、分子の持つ離散的な電子準位が保たれるので、電流-電圧特性は明確な閾値を持つ強い非線性を示すことが報告されている[2]。

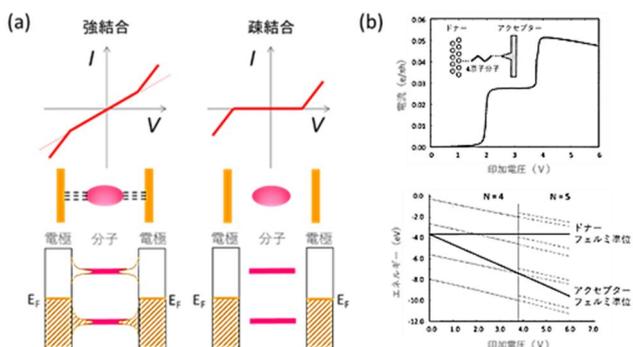


図3. (a) 単一分子接合における強結合と疎結合の場合の電流-電圧特性と電子状態についての対応関係を示した模式図。(b) 電極間に接合した仮想的な4原子分子の電気伝導度。上図は電流-電圧特性、下図は電位差をかけたときの分子軌道と電極電位の位置関係。

これまで、自己組織化 Ru 錯体膜と金微粒子架橋の組み合わせにより少数分子による良く定義された電極/分子接合界面を固体デバイスとして実現してきた(図4)[3,4]。電流-電圧特性は、1.2 V で正負対称にほぼ電流ゼロから急峻かつ直線的な立ち上がりを示し、10K から室温まで温度上昇による電流値の増大や線形の変化はほとんどない。このような特性は、図4で予測された分子軌道を介した共鳴トンネリングの特徴をよく現わしていて、デバイスの不完全性によるホッピング伝導もほとんどない、純粋なトンネリング特性を示している。

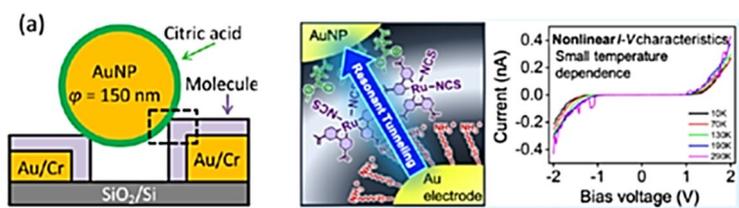


図4. 分子自己組織化と金微粒子を用いた Ru 錯体少数分子の二重トンネル接合。ホッピング伝導の寄与が極めて小さい二重トンネル接合が形成されている。

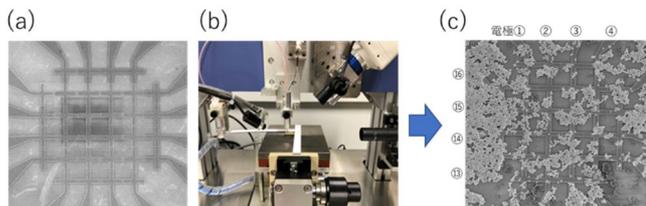


図5. (a)電子線リソグラフィーにより作成した100nmギャップアレイ (b)インクジェット装置 (c)インクジェットにより金微粒子を電極上に吸着した。

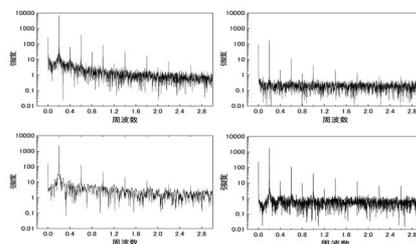


図6.電極の選択により、多様な高調波特性を示す電気特性が得られた。

この金微粒子を用いた Ru 錯体分子の二重トンネル接合をネットワーク化すれば、リザーバー計算など神経型の情報処理を行うことが出来る。そこで、微細加工により作製したナノギャップ電極アレイ上に Ru 錯体の自己組織化単分子膜を形成し、その上にインクジェットにより金微粒子溶液を滴下して、金微粒子架橋 Ru 錯体二重トンネル接合のネットワークを形成した(図5)。

このようにして作製したネットワーク型デバイスは、電極の選択により多様な非線形特性を示し、多くの高調波を含むことがわかった(図6)。既に波形生成実験に成功している。今後、このデバイスを用いた音声認識、文字認識などリザーバー動作を試みる。

## (2) ポリマー-グレーン間のホッピング伝導

電気伝導性ポリマーでは、高い伝導性を示す結晶性グレーンと絶縁的特性を示す無秩序層が混在している。結晶性グレーンではポーラロンバンドが形成されるが、全体では結晶性グレーン間のホッピング伝導となっている。ランダムなグレーン間のホッピング伝導では、個々の伝導性グレーンにかかる電位差は小さく、電流-電圧特性はオーミックである。しかし伝導経路を絞り、少数の伝導性グレーンからなるボトルネックを構成すれば、特定のグレーンに強い電界がかかる。このとき、伝導性グレーンの状態密度を反映した非線形な電流-電圧特性が得られるとともに、温度特性はホッピングのバリア高さを反映した熱活性化型となると期待できる。

このような伝導メカニズムを実証するために、ナノキャピラリーを用いたポリアニリン細線を形成して、電気特性の測定を行ったところ、期待通りの非線形電気特性を得ることができた。さらに脱ドーブによる電気特性の変化から、伝導性グレーンの電子状態を反映していることを明らかにした[5]。

一方、30nmのギャップを持つ微細加工電極を用いることにより、ポリアニリンの極めて少数の伝導性グレーンへの直接アクセスを試みた。2段階のステップを持つ特徴的な電流-電圧特性が得られた。これは、活性化エネルギーの電位依存性から、有機分子系における初めてのESホッピング伝導の例としてハバードギャップを反映する特性を得た。このデバイスは優れた波形生成機能を示した(図7)。

このように、電気伝導性ポリマーが本質的に持つ伝導性ポリマーと絶縁層からなる構造そのものが、神経ネットワーク型の構成を持っていることがわかった。

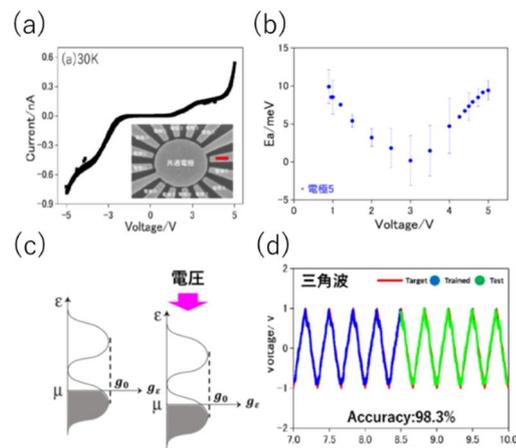


図7. (a)電子線リソグラフィーにより作成したギャップ幅 30nm のナノギャップを用いて測定してポリアニリンの電流-電圧特性 (b)活性化エネルギーのバイアス依存性。3V付近で明瞭な最小値を示す。(c)ハバードエネルギーを考慮したグレーン間ホッピングの状態図。外部電界により隣接するグレーン間の電子状態がシフトすることにより、ホッピング伝導の電流値に状態密度分布が現れる。有機分子系におけるESホッピングを初めて観測した。(d)ナノギャップデバイスを用いた波形学習の結果。

## (3) ポリマーのイオン伝導による非線形特性発現とリザーバー計算の実現

自己ドーブ型ポリアニリンネットワークは、大気湿潤環境下で電流-電圧特性に電気化学的な振る舞いがある。溶液系の電気化学では、溶液中には電場勾配はなく、溶液と電極界面にのみ電位差が生じる。これに対して、電気伝導性高分子では、電極間の高分子上に電位勾配が形成される。この電場勾配は第三の電極による外部電界で制御できるので、電気化学的なゲート動作が可能である(図8)。この現象を利用すれば、ナノスケールネットワークにおける多数の電極間で互いに相互作用を及ぼし合うことができるので、ニューラルネットワーク型の回路網を構築することが出来る。

図9はポリアニリンネットワークデバイスの16端子のうち一つに11Hzの正弦波を入力し、他の一つの出力をフーリエ変換した結果である。ネットワークの強い非線形応答により、豊富な高調波を含むことがわかる。このような高調波を利用すれば、複数の端子から得られる信号に重みを付けて加算すれば、図10のように様々な波形を形成できる。のこぎり波のような波形も、80%以上の精度で合成できるので、I-V特性に整流的な要素が含まれている。

このデバイスは、イオンの拡散による時定数も含まれているので、時系列を含むリザーバー計算に適用可能である。図11は自己ドーブ型ポリアニリンネットワークを用いたリザーバー計算による音声認識の概略図である[6]。人間の音声認識の仕組みを真似て、内耳の蝸牛に相当する働きとして高速フーリエ変換を用いて音声信号を4つの周波数帯域のエンベロップ変化の信号として入力する。出力は最小二乗法により重み定数を決定して、6人のone, two, three, ...の標準的な音声信号について認識を試みた。現状では認識率は70%程度であるが、伝導性高分子ネットワークが脳を模倣したりザー計算の能力を持ち、時系列信号の判別を行

えることがわかった

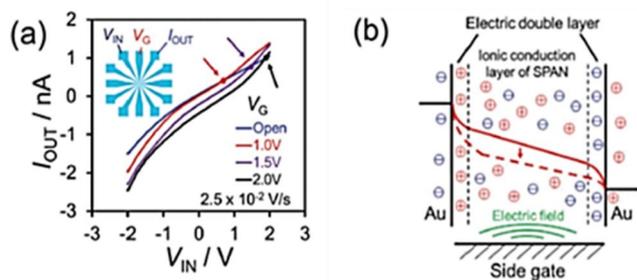


図8. 電気伝導性高分子のイオン伝導特性。(a)サイドゲートバイアスを変化させたときのI-V曲線。(b)電気化学的サイドゲート効果の模式図。電解質高分子導体内部で電位勾配がある。

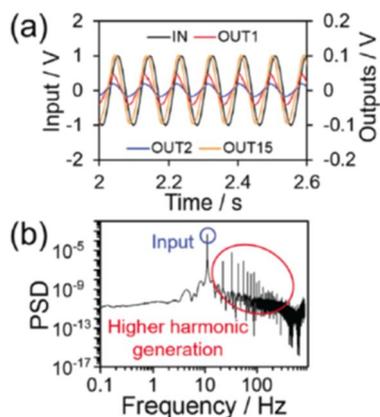


図9 . (a) 入出力波形 (b)出力信号の周波数分布

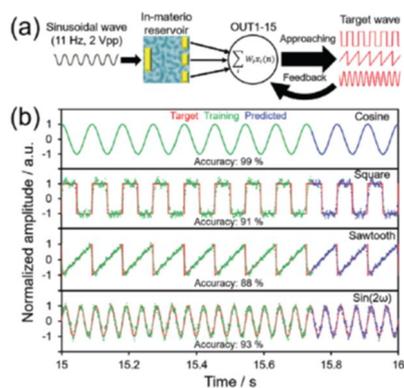


図10 . (a) 波形生成のスキーム (b)余弦波、方形派、のこぎり波、2倍高調波の学習結果

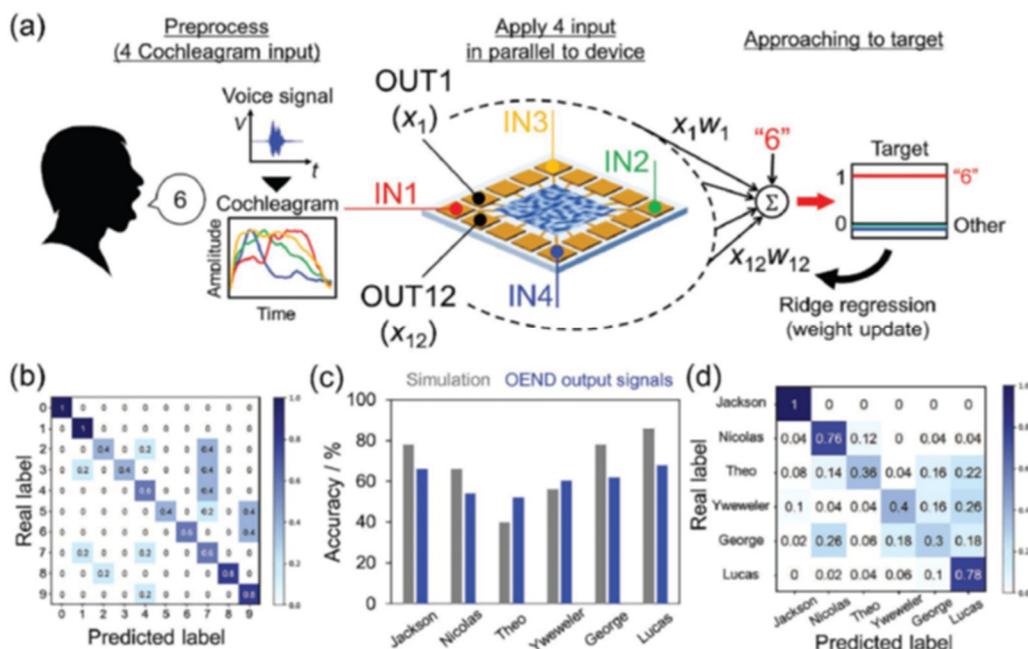


図11 . (a) 数字音声判別の概念図。(b)数字判別のマトリックス。(c) 6人の話者による正解率の違い。(d) 6人の話者の区別

#### (4) まとめと展望

コロナ禍の影響を受けて、国際的な往来がほぼ不可能な時期に、本課題を実施することになったが、課題実施前に既に構築していた国際的な協力関係を生かして研究を実施し、Advanced Materials など一流誌に国際共同研究の成果を発信することができた。本課題のメンバーが中心となり、すでに学術振興会の拠点形成プログラム「マテリアル知能による革新的知覚演算デバイス」が採択され、国際共同研究が加速しつつある。

#### 文 献

1. T. Matsumoto, H. Matsuo, S. Sumida, Y. Hirano, D. C. Che, H. Ohyama, *Int. J. Parallel, Emerg. Distrib. Syst.*, vol.32, pp.252-258 (2017).
2. A. Danilov, S. Kubatkin, S. Kafanov, P. Hedegård, N. Stuhr-Hansen, K. Moth-Poulsen, and T. Bjørnholm, *Nano Lett.*, vol.8, pp.1 (2008).
3. S. Nishijima, Y. Otsuka, H. Ohyama, K. Kajimoto, K. Araki, and T. Matsumoto, *Nanotechnology*, vol.29, pp.245205-1-6, (2018).
4. Yoichi Otsuka, Satoshi Nishijima, Leo Sakamoto, Kento Kajimoto, Kento Araki, Tomoki Misaka, Hiroshi Ohoyama, Takuya Matsumoto, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol.11, pp.24331-24338 (2019).
5. Jiannan Bao, Yoichi Otsuk\*, Hiroshi Ohoyama, and Takuya Matsumoto\*, *J. Phys. Chem. C* 126, 8029–8036 (2022).
6. Yuki Usami, Bram van de Ven, Dilu, G. Mathew, Tao Chen, Takumi Kotooka, Yuya Kawashima, Yuichiro Tanaka, Yoichi Otsuka, Hiroshi Ohoyama, Hakaru Tamukoh, Hirofumi Tanaka, Wilfred G. van der Wiel, Takuya Matsumoto, *Advanced Materials*, vol. 33, pp. 2102688-1-9, (2021).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Bao Jiannan, Otsuka Yoichi, Ohoyama Hiroshi, Matsumoto Takuya	4. 巻 126
2. 論文標題 Shape-Dependent Conduction Regime in Self-Doped Polyaniline	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8029 ~ 8036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c10929	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 Maehira Ai, Che Dock-Chil, Matsumoto Takuya	4. 巻 61
2. 論文標題 Change in surface properties of hemoglobin induced by heme reaction with $O_2$ and CO	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 075003 ~ 075003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac77cc	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 Misaka Tomoki, Ohoyama Hiroshi, Matsumoto Takuya	4. 巻 12
2. 論文標題 Time-dependent measurement of plasmon-induced charge separation on a gold nanoparticle/TiO <sub>2</sub> interface by electrostatic force microscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16678-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-21111-9	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 Kasai Seiya	4. 巻 37
2. 論文標題 Semiconductor technologies and related topics for implementation of electronic reservoir computing systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Semiconductor Science and Technology	6. 最初と最後の頁 103001 ~ 103001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6641/ac8c66	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 Kasai Seiya	4. 巻 33
2. 論文標題 Thermally driven single-electron stochastic resonance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 505203 ~ 505203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ac9188	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 Amemiya Yoshiki, Jose Ali Emiliano, Hagiwara Naruki, Akai-Kasaya Megumi, Asai Tetsuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Heuristic model for configurable polymer wire synaptic devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 379 ~ 384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.13.379	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 Kubota Hiroshi, Hasegawa Tsuyoshi, Akai-Kasaya Megumi, Asai Tetsuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Noise sensitivity of physical reservoir computing in a ring array of atomic switches	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 373 ~ 378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.13.373	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 Ali Emiliano J., Amemiya Yoshiki, Akai-Kasaya Megumi, Asai Tetsuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Smart hardware architecture with random weight elimination and weight balancing algorithms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 336 ~ 342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.13.336	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 Komura Mao, Sotome Hikaru, Miyasaka Hiroshi, Ogawa Takuji, Tani Yosuke	4. 巻 なし
2. 論文標題 Photoinduced Crystal Melting with Luminescence Evolution Based on Conformational Isomerisation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemRxiv	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26434/chemrxiv-2022-xv8bk-v2	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 Komura Mao, Sotome Hikaru, Miyasaka Hiroshi, Ogawa Takuji, Tani Yosuke	4. 巻 なし
2. 論文標題 Photoinduced crystal melting with luminescence evolution based on conformational isomerisation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3SC00838J	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 Yuki Usami, Bram van de Ven, Dilu G. Mathew, Tao Chen, Takumi Kotooka, Yuya Kawashima, Yuichiro Tanaka, Yoichi Otsuka, Hiroshi Ohoyama, Hakaru Tamukoh, Hirofumi Tanaka, Wilfred G. van der Wiel, Takuya Matsumoto	4. 巻 33
2. 論文標題 In-Materio Reservoir Computing in a Sulfonated Polyaniline Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2102688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202102688	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 該当する

1. 著者名 Kajimoto Kentaro, Araki Kento, Usami Yuki, Ohoyama Hiroshi, Matsumoto Takuya	4. 巻 124
2. 論文標題 Visualization of Charge Migration in Conductive Polymers via Time-Resolved Electrostatic Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 5063 ~ 5070
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.9b12017	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 Bao Jiannan, Otsuka Yoichi, Etoh Riko, Usami Yuki, Matsumoto Takuya	4. 巻 31
2. 論文標題 Local-field-induced current noise in shape-limited self-doped polyaniline	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 365203 ~ 365203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab96e4	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 Misaka Tomoki, Kajimoto Kentaro, Araki Kento, Otsuka Yoichi, Matsumoto Takuya	4. 巻 59
2. 論文標題 Frequency-modulation Kelvin probe force microscopy under tapping mode operation for surfaces with large protrusions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 090906 ~ 090906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abac6e	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31件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Takuya Matsumoto
2. 発表標題 Neuromorphic Functions in Nonlinear Molecular Networks: Stochastic Resonance and Reservoir Computing
3. 学会等名 16th International Conference on Nanostructured Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuya Matsumoto
2. 発表標題 Time-resolved Charge Observation by Tip-Synchronized Electrostatic Force Microscopy
3. 学会等名 10th International Congress on Microscopy & Spectroscopy (INTERM2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本卓也
2. 発表標題 時間分解静電気力顕微鏡を用いた導電性有機薄膜の電荷追跡
3. 学会等名 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会 (OME) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Kasai and S. Saito
2. 発表標題 Fabrication and Characterizations of Tunnel Diode-based Oscillator Nodes for Electronic Reservoir Computing
3. 学会等名 2022 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Kasai and M. Aono
2. 発表標題 Amoeba-inspired Electronic Computing System for Combinatorial Optimization
3. 学会等名 242nd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Kasai
2. 発表標題 Amoeba-inspired analog electronic computer
3. 学会等名 The 9th Japan-Korea Joint Workshop on Complex Communication Sciences (JKCCS 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 葛西誠也
2. 発表標題 確率共鳴における微弱信号検出の数理とデバイス
3. 学会等名 日本学術振興会R025先進薄膜界面機能創成委員会フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葛西誠也
2. 発表標題 電子アメーバにみる身体ダイナミクスと計算能力の関係
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akai-Kasaya M.
2. 発表標題 A physical system that enables reservoir computing through electrochemical reactions
3. 学会等名 UNCONVENTIONAL COMPUTING Workshop（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akai-Kasaya M.
2. 発表標題 Neuromorphic Devices and Systems Using Carbon Nanotubes
3. 学会等名 241st ECS Meeting（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akai-Kasaya M.
2. 発表標題 Construction of a neural network using organic materials and ions
3. 学会等名 Multiple Innovative Kenkyu-kai Association for wireless communications (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hagiwara N., Kan S., Asai T., and Akai-Kasaya M.
2. 発表標題 Construction of a neural network using organic materials and ions
3. 学会等名 The 29th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤井 患
2. 発表標題 イオニクス応答を利用した有機ニューロモルフィックデバイス
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yosuke Tani, Mao Komura, Takuji Ogawa
2. 発表標題 Liquefaction-induced room-temperature phosphorescence
3. 学会等名 The 28th IUPAC Symposium on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷洋介
2. 発表標題 立体配座であやつる有機分子の室温りん光機能
3. 学会等名 第43回光化学若手の会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷洋介
2. 発表標題 有機分子の立体配座と動的りん光機能
3. 学会等名 有機化学研究会（白鷺セミナー）第92回講演会，（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷洋介
2. 発表標題 ダイナミックな有機りん光機能
3. 学会等名 第5回有機化学学生ウェビナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷洋介
2. 発表標題 1,2-ジケトン骨格に基づく室温りん光液体の開発と応用
3. 学会等名 若手Wセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷洋介
2. 発表標題 金属原子を含まない有機分子の高速りん光と刺激応答機能
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会 若い世代の特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kentaro Kajimoto, Takuya Matsumoto
2. 発表標題 Time-Resolved Charge Observation by Tip-Synchronized Electrostatic Force Microscopy
3. 学会等名 The 5th international symposium on "Elucidation of Next Generation Functional Materials・Surface and Interface Properties" (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoki Misaka, Kentaro Kajimoto, Hiroshi Ohyama, and Takuya Matsumoto
2. 発表標題 EFM/KPFM measurement of plasmon-induced charge separation on Au nano-particle/ TiO <sub>2</sub> interface
3. 学会等名 29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Matsumoto
2. 発表標題 Neuromorphic Functions in Molecular Nano-Networks: Stochastic Resonance and Reservoir Computing
3. 学会等名 Material Research Meeting (MRM) 2021. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Matsumoto
2. 発表標題 Neuromorphic Functions in Molecular Nano-Networks: Stochastic Resonance and Reservoir Computing
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾 将矢、阪本 怜央、川嶋 悠哉、大塚 洋一、大山 浩、松本 卓也
2. 発表標題 リザーバ計算に向けた金微粒子架橋によるRu錯体分子の架橋アレーの構築
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川嶋 悠哉、宇佐美 雄生、琴岡 匠、田中 啓文、松本 卓也
2. 発表標題 ナノ電極を用いたポリアニリンネットワークによる物理リザーバ実装
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本卓也
2. 発表標題 時間分解静電気力プローブ顕微鏡の3次元展開
3. 学会等名 走査プローブ顕微鏡によるナノ計測の最前線 依頼講演（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本卓也
2. 発表標題 マテリアル知能：分子ネットワークによる脳型情報処理
3. 学会等名 2021/11/12 日本化学会近畿支部、北陸先端科学技術大学院大学、近畿化学協会 (On line) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本卓也
2. 発表標題 マテリアル知能：神経型機能を有する分子ネットワーク
3. 学会等名 第17回バイオオプティクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇佐美 雄生、川嶋 悠哉、福丸 知世、三坂 朝基、琴岡 匠、大塚 洋一、内藤 泰久、大山浩、田中啓文、松本卓也
2. 発表標題 脳神経型情報処理を目指した非線形電気物性を有する分子ネットワークの化学的構築
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇佐美 雄生、ファンデルヴィエール ウィルフレッド、松本 卓也、田中 啓文
2. 発表標題 自己ドープ型ポリアニリンを用いた電気化学的物性リザーバの演算機能創製
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiannan Bao, Yoichi Otsuka, Riko Etoh, Yuki Usami, Takuya Matsumoto
2. 発表標題 Physicochemical Modulation of Electronic and Spatial Density of States in Shape-Limited Self-Doped Polyaniline
3. 学会等名 Joint Symposium of JSPS-DST Bilateral Research Project “ Charge- and Spin-Blockade in Ultrathin-Layers of Single Molecule Magnets ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

分子一滴で音声認識 <a href="https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210922_1">https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210922_1</a>
--

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	葛西 誠也  (Kasai Seiya)  (30312383)	北海道大学・量子集積エレクトロニクス研究センター・教授   (10101)	
研究分担者	赤井 恵  (Akai Megumi)  (50437373)	大阪大学・理学研究科・教授   (14401)	
研究分担者	谷 洋介  (Tani Yosuke)  (00769383)	大阪大学・理学研究科・助教   (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	玉木 孝  (Tamaki Takashi)  (90815490)	京都大学・工学研究科・研究員    (14301)	

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			
オランダ	Twente University			
ポーランド	AGH University			
オランダ	Twente University			