

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03782

研究課題名（和文）匂いイメージセンサによる匂い痕跡画像の要素臭プロファイル分解

研究課題名（英文）Decomposition of odor trace images into elemental profiles with odor image sensor

研究代表者

林 健司（HAYASHI, Kenshi）

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：50202263

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,100,000円

研究成果の概要（和文）：匂いの流れや痕跡を可視化する匂いイメージセンサを開発した。匂いイメージセンサは2次元ガスセンサデバイスで構成されており、化学物質情報を光学情報に変換する局在プラズモン共鳴（LSPR）をトランスデューサとしている。また、サブピクセル構造をマスクレス露光により実現し、匂い識別が可能な匂いイメージセンサを実現した。さらに、蛍光色素-LSPRカップリングを応答機構に持ち、ハイパースペクトルイメージングで画像ビッグデータを生成できるセンサを開発し、機械学習によるガス識別、高速な2次元キャリブレーション技術、匂い可視化画像の要素臭プロファイル分解する技術を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

要素臭プロファイルへ分解することを匂いセンシングの定義として明確にした。匂いなどの化学物質空間の可視化技術は、新しい価値を持つ情報を生成が可能で、災害現場などでの人の発見、危険物などの漏洩ガス源の発見などに繋がる技術である。また、2次元ガスセンサは化学センサの実用化を阻む根本的な問題を解決できる。すなわち、高速なセンサ特性のキャリブレーション、ビッグデータの取得を通じたデータ駆動型科学の導入を可能とし、化学センサによるサイバーフィジカルシステムを実現できる。

研究成果の概要（英文）：We have developed an odor image sensor that visualizes the flow and traces of odors. The odor image sensor is composed of a two-dimensional gas sensor device, and uses a localized plasmon resonance (LSPR) that converts chemical substance information into optical information. In addition, the sub-pixel structure was realized by maskless exposure fabrication methods, and an odor image sensor capable of odor identification was realized. In addition, we have developed a sensor that has a fluorescent dye-LSPR coupling as a response mechanism and can generate image big data by hyperspectral imaging, gas identification by machine learning, high-speed 2D calibration technology, and odor visualization image decomposition into element odor profiles have also been realized.

研究分野：センサデバイス

キーワード：匂いイメージセンサ 2次元化学センサ 化学空間情報 ビッグデータ 機械学習 プラズモニックガス
センサ 蛍光色素

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

我々を取り囲む化学物質が満ち溢れた空間を測定する化学センサはその情報量の乏しさから普及が遅れている。イメージセンサに代表される物理空間を可視化技術が産み出す豊富な情報は、偏った物理的世界観を形成している。本研究は高機能な匂いイメージセンサを用い、化学的世界観の提供を可能とするセンサ技術とセンサ情報の高度化に関する基盤技術開発に取り組む。化学物質をセンシングする匂いセンサは膨大な種類の化学物質の組合せ情報を高速に読み取り、微かな匂いの揺らぎを鋭敏に検知できるセンサである。研究開発を行っている匂いイメージセンサは、化学物質空間情報を可視化できるセンサデバイスであり、膨大な化学物質分布情報を瞬時に取得できる。本研究は匂いイメージセンサが出力する 2 次元状に広がった豊富なセンサ情報を、計算科学手法により形状情報をキーとして要素臭情報に分解する手法を創出する。そのために、匂いイメージセンサデバイスの材料・システムレベルの開発と高度化、匂い痕跡画像の要素分解に基づく空間的に広がった化学物質情報を可視化する技術を開発する。本研究により人が手にしたことが無い新しい可視化された匂い情報の応用展開が可能となる。

2. 研究の目的

化学物質空間を測定する化学センサは情報量が乏しく、高い必要性があるにも関わらずその普及が遅れている。一方、イメージセンサが産み出す物理空間の可視化情報は社会を変革する高いインパクトを持つが、形成される世界観は物理情報に偏っており、その修正には高度な化学センサが必要である。本研究では化学空間を瞬時に可視化する高次元化学センサである匂いイメージセンサ技術と 2 次元センサ情報の解析に関する基盤技術開発に取り組む。本研究の目的は匂いイメージセンサが出力する膨大な種類の化学物質分布とその組合せ情報で構成された 2 次元センサ情報を、形状情報をキーとして計算科学手法により理解可能な情報へと変換する基盤技術の創出にある。そのために、センサデバイスの材料・システムレベルの開発、匂い痕跡画像を要素臭プロファイルへ分解することで化学物質形状情報に変換し、化学的世界観を提供する可視化技術の開発に挑戦する。

3. 研究の方法

匂い痕跡画像計測とその応用展開、匂い痕跡画像が持つ物理的・化学的な情報の発見を目指し、匂いイメージセンサの要素であるピクセルの化学物質応答の調査と集積化を推し進める。また、画素応答データの要素臭プロファイル分解とセンサ情報の解析技術を構築する。その成果により匂いイメージセンサによる要素臭プロファイル画像の同時取得が可能なセンサシステム試作と情報解析技術開発を行う。そのためにレイヤ 1 [センサ機能性材料:匂い分子認識プローブの基礎開発] 匂いイメージセンサのピクセルを構成する個々のガスセンサ (サブピクセル) として金属材料組成・ガス応答特性が異なるプラズモニクナノ粒子と混合蛍光色素とのハイブリッド化により、スペクトル領域情報で分子認識能を持つ 2 次元ガスセンサを開発する。蛍光材料をプラズモニク金属ナノ粒子とカップリングさせ、FRET(蛍光共鳴エネルギー移動)や PET(光誘起電子移動)、MEF(金属近接場増強蛍光)を原理とし、高感度な匂い物質応答性を持つ匂い検知材料(サブピクセル材料)を開発する。さらに、ピクセルサイズレベルで応答特性分布を持つセンサとすることで、高い空間分解能を実現し、高精細な匂い画像の取得が可能な匂いイメージセンサとする。レイヤ 2 [デバイス・計測システム開発:可視化フィルム開発と匂い空間情報測定] レイヤ 1 で開発したセンサ機能性材料をサブピクセル構造として集積化し、そのハイパースペクトル応答画像をセンサ情報として取得できる 2 次元匂い可視化デバイスを作製する。その際、マスクレス露光技術と金属ナノ粒子光成長技術を組み合わせ、高密度なピクセル構造を作製する。得られた可視化デバイスを用い、表面分析技術と GC-MS/SPME 測定による材料の匂い分子選択吸着特性解析、フィルムの FRET/PET/MEF による蛍光応答、LSPR(局在プラズモン共鳴)、SERS(表面増強ラマン散乱)を組み合わせた超高感度分子指紋測定、およびハイパースペクトル計測によりセンサ画素の分子応答の基礎解析を行う。レイヤ 3 [要素臭プロファイル分解:組み合わせ最適化による匂い応答画像の要素臭プロファイル分解、分子認識特性解析] レイヤ 2 の研究により得られるピクセルサイズレベルの応答分布特性から、匂い応答画像の要素臭推定(要素集プロファイル分解)を行う。その際、匂い可視化デバイスの混合臭応答の要素分解と要素臭応答プロファイルの基本特性を解析することで、応答プロファイルの要素臭プロファイルへの分解を、NMF(非負値行列因子分解)、トピック解析などの手法により実施する。さらに、可視化された物理形状と分解形状の画像解析を実施し、匂い画像の理解につなげる。以上の 2 次元ガスセンサにより、化学センサの特性の校正、センサ特性取得、ビッグデータ化が可能な 2 次元化学物質空間情報を取得する基盤技術を構築する。

4. 研究成果

(1) 匂い分子ホストゲスト化合物の開発

バニラの香気成分や辛み物質(カプサイシン)として、バニロイド化合物は私たちの生活に身近な化学物質である。ホストゲスト化合物開発研究ではバニロイドを対象として蛍光センシング、

および蛍光イメージングを意図して人工レセプター・人工酵素の分子設計と合成、および分子センシング・イメージングのための蛍光性ナノ材料について研究した。

i) バニロイドを認識して選択的に結合する人工レセプター・人工酵素の分子設計と合成
 生体膜のリガンド依存性イオンチャンネルのうち、バニロイドチャンネルを選び、その受容器モデルについて種々検討した。その結果、カプサイシン選択的な宿主分子として機能する 26 量体ペプチド：YSEILFFVQS-HHHHHH-LAMGWTNMLY の合成に成功した。その特徴は、ゲスト分子を受容する α ヘリックスペプチド (YSEILFFVQS および LAMGWTNMLY) が、6 量体ヒスチジン (HHHHHH) で連結されていることである。この特殊な一次構造のため、ヒスチジン残基と金属イオンとの錯形成反応を利用して電極トランスデューサーに固定化できる。それだけでなく、2本の α ヘリックス (二次構造) が折り畳まれて一束となった三次構造を誘起して、ゲスト受容能が発現する。ここでは、水晶振動子センサーによる微小重量測定と組み合わせた結果、カプサイシンセンサーに応用することができた。一方で、ペプチドホストの探索研究の一環として、触媒作用を持つペプチドの合成を種々試みた結果、ペプチド酵素の一種であるマイクロペルオキシダーゼ-11 (MP11) の完全合成に成功した。MP11 も、天然由来の MP11 と同様にペルオキシダーゼ活性を示し、酵素反応を利用したバイオアッセイが可能であった。さらに、上記 VR のゲスト結合部位：MGWT を導入したハイブリッド人工酵素 (MPVR) について検討した。MPVR はペルオキシダーゼ反応で一般的に用いられる基質との反応性はごく低く、天然由来の MP11 との比較では活性は 1%未満であった。しかし、バニリンについては MP11 比 24%まで向上し、分子内に導入した VR サイトの効果を示唆する結果となった。ただし、反応生成物がバニリン二量体であり水不溶であることから、重量測定によるオフライン分析で酵素反応を解析している。なお、この測定系はバニリンセンサーとしてただちに応用できる。

ii) 分子センシング・イメージングのための蛍光性ナノ材料の開発
 カーボン量子ドット (CQD) は新しく発見された蛍光性ナノ粒子として注目されており、レーザーアブレーション法や水熱合成法などの合成法があるが、本研究ではマイクロ波加熱法と組み合わせた水熱合成法で粒径、蛍光スペクトルなどの点で再現性良く合成する方法を確立した。さらに、CQD が過シュウ酸エステル化学発光反応における蛍光物質になり得ることを発見し、過酸化水素の分析法を提案している。これらの成果をもとに、ペプチドホストとのコンジュゲート化により、バニロイドの蛍光センシングのためのナノ材料として検討した。また、CQD を含むフォトン・アップコンバージョン (UC) 蛍光系を見出した。UC を利用すれば、ゲストとの結合と組み合わせた蛍光の ON/OFF 制御が可能であり、バニロイド応答性 UC ナノ粒子が可能となる。

(2) サブピクセル構造を持つ 2 次元ガスセンサデバイスの開発

匂いイメージングデバイス開発では、光化学反応とマスクレス露光技術によって、異なる匂い物質応答特性を持つセグメント化されたピクセル構造 2 次元 LSPR (局在プラズモン共鳴) 基板の作製に成功した。このセンサは光化学成長により異なる Au/Ag 組成比を持つコアシェル構造ナノ粒子の LSPR スペクトル変化を情報とする。Au ナノ粒子と Ag ナノ粒子に対する化学物質の吸着特性は異なっているため、Au/Ag 組成を変化させたサブピクセルでは異なる LSPR ガス応答を示す。そのため、サブピクセルで構成されたピクセル化匂いイメージセンサは匂い物質情報を内包している。その匂い物質応答画像をプロファイル分解技術によって、ガス源からの流れ情報に要素分解することができた。このプロファイル分解は本研究が提案する匂いセンシングの基本定義であり、この結果により開発した 2 次元匂いセンサデバイスの基本性能を確認できた。また、次項に示す Au/Ag コアシェル構造と色素カップリングすることで匂い物質情報を増やす LSPR センシング技術についても蛍光色素や受容層構築の基礎条件を調査した。

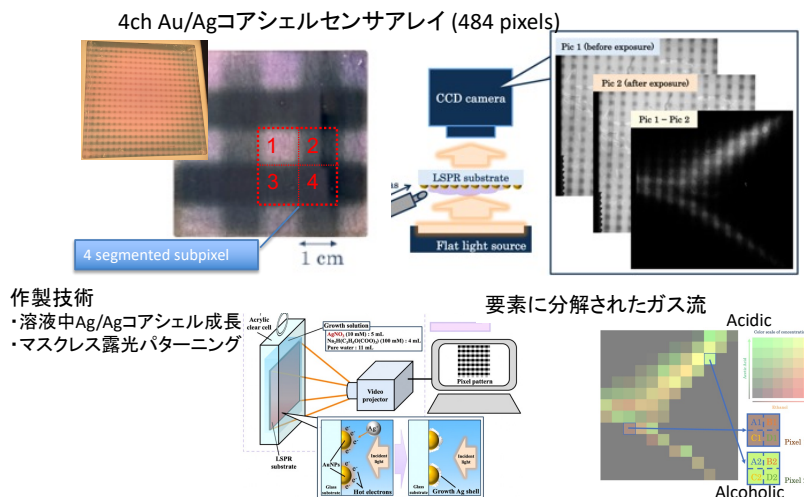


図 Au/Ag コアシェル構造によるサブピクセル構造を持つ 2 次元匂いイメージセンサと NMF 分解による要素臭プロファイル分解

(3) 色素カップリング 2次元ガスセンサデバイスの開発

匂いイメージングデバイス開発では、金属ナノ粒子の局在プラズモン共鳴 (LSPR) -混合蛍光色素カップリング系 (LSPR と色素の電磁気的なカップリング) への匂い物質の相互作用を介し、ハイパースペクトル情報を使うことで匂い物質情報を飛躍的に増加させることが可能である事を見出した。用いた Au/Ag コアシェル構造を持つナノ粒子基板は、幅広い吸収スペクトル帯を持つため、異なる吸収・蛍光スペクトルを持つ複数の色素と幅広くカップリングが可能であった。そのため、多種類の物質との相互作用が可能で、匂い物質検知能力 (物質選択性や検出感度) が上がる。この匂いイメージングデバイスにより、2次元的に配置した匂い源と検知系を構築し、センサのキャリブレーションと物質応答情報取得を一度に実施した。このセンサシステムは2次元センサの特徴である画素数相当のセンサアレイとハイパースペクトル情報によってセンサ数1千万個に相当する画像情報を10秒程度で取得可能であった。取得したビッグデータを用いて機械学習によって匂い物質を高い精度で識別できることを確認した。また、ロボットにマルチスペクトルセンサとして搭載し、空間的に広がる匂い情報を自動入手し、やはり機械学習によって匂い痕跡の空間分布の推定と可視化に成功した。

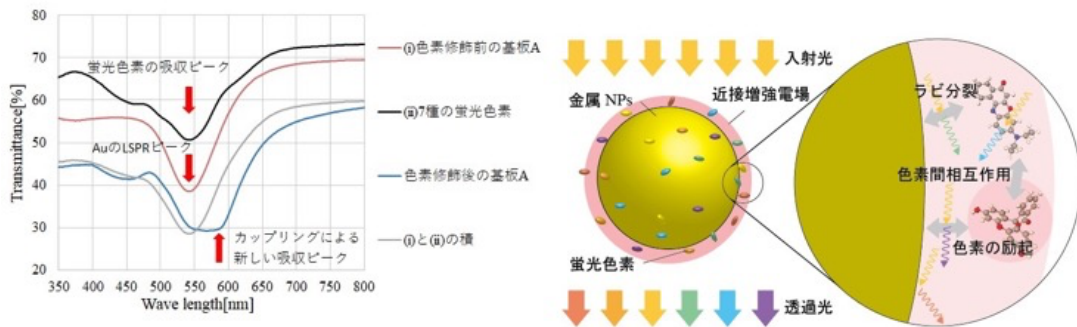


図 Au/Ag コアシェルナノ粒子の LSPR 近接場と色素カップリング

(4) 化学センサのキャリブレーション問題の解決

前項の結果は化学センサが一般に持つ実用上の問題の解決につながる。すなわちセンサ特性のキャリブレーションに要する多大な時間を効果的に短縮できる。匂い計測の場合、測定対象は数100種類以上の化学物質になるが、それらの化学物質応答特性を調べるには組み合わせの数とセンサ寿命を考慮すると現実的な時間で終わることができない。これが化学センサの実用化を阻んでいた。2次元化学センサはキャリブレーション対象となる化学物質を2次元的に配置できるため、桁違いの短い時間でセンサのキャリブレーションを実施できる。本研究成果はこれまで情報化が遅れ、その価値を見出すことが難しかった化学センサ情報のデジタル化、生成された空間化学情報のビッグデータによる AI 応用、あるいはデータ駆動型科学を実施できる可能性を示している。

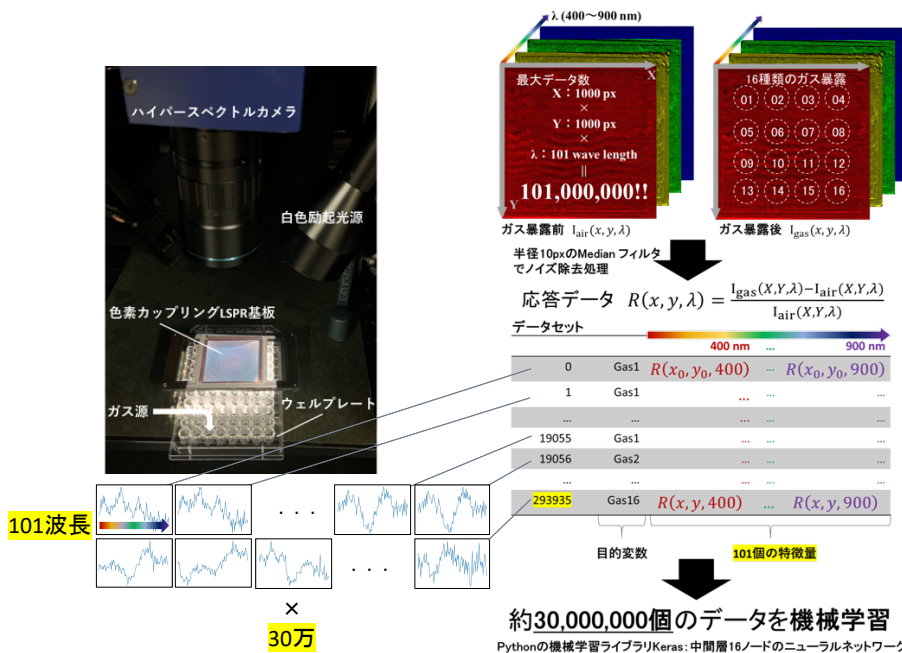


図 2次元ガスセンサによる多サンプルへのハイパースペクトル応答ビッグデータの同時取得

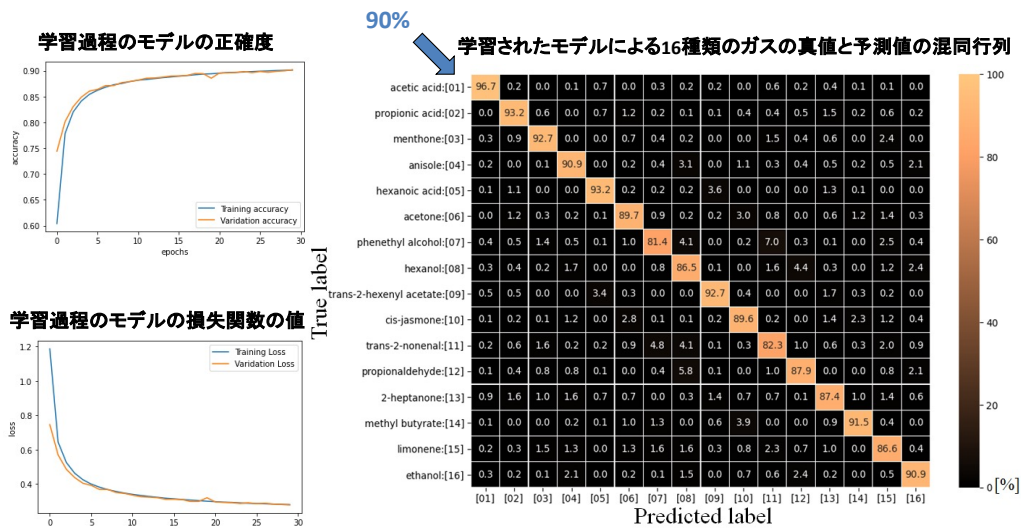


図 機械学習による多ガスサンプルの識別. 前図で示したハイパースペクトルイメージング情報を用い, 機械学習 (DNN) によって約 90%の精度でサンプルを識別

(5) 匂い応答の要素プロファイル分解

前項で示した匂い要素プロファイル分解では非負値行列因子分解 (NMF) によって, 要素臭分解の例を示した. この例ではピクセル構造を持つ 2 次元ガスセンサによって匂いの流れを可視化した画像を要素臭に NMF によって分解できることを示した. さらに, 匂い痕跡数が分かっている場合, NMF により, 匂い痕跡数の推定ができることをシミュレーションにより示した. 情報量規準を用いることで匂い痕跡数の推定を行えることをシミュレーションにより示すとともに, 複数の情報量規準間での比較を行った. また, 実データに対して痕跡数の推定が正しくできることを確認した.

以上, 本研究で開発された 2 次元化学センサである匂いイメージセンサは, 新しいセンサ情報を生み出す新しいデバイスであり, 物理情報を主体とするサイバーフィジカルシステムにおいて決定的に欠如している化学情報をデジタル化し, 新しいデジタルトランスフォーメーション (DXs) をもたらす技術である.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13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 Kohei Semasa, Fumihiko Sassa, Kenshi Hayashi	4. 巻 2020-October
2. 論文標題 2D LSPR gas sensor with Au/Ag core-shell structure coated by fluorescent dyes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE Sensors	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SENSORS47125.2020.9278828	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 Koji Nakano, Takafumi Sawada, Yoshifumi Mori, Kohei Morita, Ryoichi Ishimatsu	4. 巻 91
2. 論文標題 Covalent Hyperbranched Polymer Self-Assemblies of Three-Way Junction DNA for Single-Molecule Devices2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 10166-10174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c01621	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 Ryoichi Ishimatsu, Shinichi Shimizu, Surat Hongsibsong, Koji Nakano, Chacriya Malasuk, Yuji Oki, Kinichi Morita	4. 巻 218
2. 論文標題 Enzyme-linked immunosorbent assay based on light absorption of enzymatically generated aniline oligomer: Flow injection analysis for 3-phenoxybenzoic acid with anti-3-phenoxybenzoic acid monoclonal antibody	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Talanta	6. 最初と最後の頁 121102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.talanta.2020.121102	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 Naoki Matsuda, Hirotsugu Okabe, Toshihiko Nagamura, Koji Nakano	4. 巻 94
2. 論文標題 Direct Electron Transfer Reaction of Cytochrome c Immobilized on a Bare ITO Electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1128-1130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200192	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 高松 洋, 野口博司, 安福規之, 田中将己, 中野幸二, 柁川一弘, 津守不二夫, 田井 明	4. 巻 65
2. 論文標題 高校生を工学に惹きつけるための工学教育コンテンツ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 64-67
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 無
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 Hao Guo, Takaaki Soeda, Zhongyuan Yang, Fumihiro Sassa, Kenshi Hayashi	4. 巻 19025031
2. 論文標題 Probe gas sensing system based on reflected light detection from localized surface plasmon resonance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISOEN 2019 - 18th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, Proceedings	6. 最初と最後の頁 65-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISOEN.2019.8823157	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 Yasuhiro Kusuda, Zhongyuan Yang, Takaaki Soeda, Fumihiro Sassa, Kenshi Hayashi	4. 巻 2019-October
2. 論文標題 Invisible Odor Trace Tracking with LSPR based High Speed Gas Sensor Robot System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE Sensors	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SENSORS43011.2019.8956599	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 Takaaki Soeda, Zhongyuan Yang, Fumihiro Sassa, Yoichi Tomiura, Kenshi Hayashi	4. 巻 2019-October
2. 論文標題 2D LSPR multi gas sensor array with 4-segmented subpixel using Au/Ag core shell structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE Sensors	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SENSORS43011.2019.8956635	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 Eri KUNISAWA, Ryoichi ISHIMATSU, Koji NAKANO, and Toshihiko IMATO	4. 巻 35
2. 論文標題 Electrogenerated Chemiluminescence of Tris(dibenzoylmethane)phenanthroline Europium(III) as a Light Source: an Application for the Detection of PO ₄ ³⁻ -Based on the Ion Associate Formation of Phosphomolybdic Acid and Malachite Green	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 799-802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19N003	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 Ryoichi Ishimatsu, Hirosato Shintaku, Yuto Kage, Misaki Kamioka, Soji Shimizu, Koji Nakano, Hiroyuki Furuta, Toshihiko Imato	4. 巻 141
2. 論文標題 Efficient Electrogenerated Chemiluminescence of Pyrrolopyrrole Aza-BODIPYs in the Near-Infrared Region with Tripropylamine: Involving Formation of S ₂ and T ₂ States	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 11791-11795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b05245	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 Tanabe Junichi, Nakano Koji, Hirata Ryutarō, Himeno Toshiki, Ishimatsu Ryoichi, Imato Toshihiko, Okabe Hirota, Matsuda Naoki	4. 巻 5
2. 論文標題 Totally synthetic microperoxidase-11	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 172311 ~ 172311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.172311	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 Nakano Koji, Honda Takayuki, Yamasaki Kanako, Tanaka Yoshiki, Taniguchi Keiichi, Ishimatsu Ryoichi, Imato Toshihiko	4. 巻 91
2. 論文標題 Carbon Quantum Dots as Fluorescent Component in Peroxyoxalate Chemiluminescence for Hydrogen Peroxide Determination	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1128 ~ 1130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180095	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 Nakano Koji, Horiuchi Jun, Hirata Shingo, Yamanaka Makoto, Himeno Toshiki, Ishimatsu Ryoichi	4. 巻 35
2. 論文標題 Folding and Assembly of Vanilloid Receptor Secondary-Structure Peptide with Hexahistidine Linker at Nickel ²⁺ Nitrilotriacetic Acid Monolayer for Capsaicin Recognition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2047 ~ 2054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b03202	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 Ishimatsu Ryoichi, Kunisawa Eri, Nakano Koji, Adachi Chihaya, Imato Toshihiko	4. 巻 4
2. 論文標題 Electrogenerated Chemiluminescence and Electronic States of Several Organometallic Eu(III) and Tb(III) Complexes: Effects of the Ligands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 2815 ~ 2831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.201900595	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28件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 澤田 新, 佐々 文洋, 林 健司
2. 発表標題 応答特性分布を持つ2次元センサによるガス濃度分布の推定
3. 学会等名 令和2年度応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 楠田康弘, 楊中元, 佐々文洋, 林健司
2. 発表標題 人探索に向けた色素修飾LSPRガスセンサロボットシステム
3. 学会等名 令和2年度応用物理学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤田 新, 佐々 文洋, 林 健司
2. 発表標題 LSPR2次元センサの応答特性分布を利用した複数種のガス濃度分布の推定
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Semasa, Fumihiko Sassa, Kenshi Hayashi
2. 発表標題 2D LSPR gas sensor with Au/Ag core-shell structure coated by fluorescent dyes
3. 学会等名 IEEE SENSORS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野幸二, 田邊潤壺, 石松亮一
2. 発表標題 ペルオキシダーゼ活性を持つペプチド核酸モノリスハイブリッド-PNAzymeの合成と遺伝子センシング応用
3. 学会等名 日本分析化学会第70年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石松亮一, 清水慎一, 中野幸二
2. 発表標題 ピレスロイド系殺虫剤の体内代謝物である3-phenoxybenzoic acid検出に向けたフローインジェクションELISA法の開発
3. 学会等名 日本分析化学会第70年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hao Guo, Takaaki Soeda, Zhongyuan Yang, Fumihiro Sassa, Kenshi Hayashi
2. 発表標題 Probe gas sensing system based on reflected light detection from localized surface plasmon resonance
3. 学会等名 ISOEN2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Kusuda, Zhongyuan Yang, Takaaki Soeda, Fumihiro Sassa, Kenshi Hayashi
2. 発表標題 Invisible Odor Trace Tracking with LSPR based High Speed Gas Sensor Robot System
3. 学会等名 18th IEEE Sensors, SENSORS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Soeda, Zhongyuan Yang, Fumihiro Sassa, Yoichi Tomiura, Kenshi Hayashi
2. 発表標題 2D LSPR multi gas sensor array with 4-segmented subpixel using Au/Ag core shell structure
3. 学会等名 18th IEEE Sensors, SENSORS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬政 康平, 佐々 文洋, 林 健司
2. 発表標題 ガス拡散を用いた二次元化学センサ応答の較正
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水晶太, 河野寛貴, 楠田康弘, 佐々文洋, 林 健司
2. 発表標題 分子鑄型ゾルゲルフィルタを用いたマルチLSPRガスセンサの開発
3. 学会等名 MBE MICT
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野幸二、堀内 潤、平田真吾、山中 真、姫野俊基、石松亮一
2. 発表標題 人工バニロイドレセプターペプチドのHelix-Turn-Helixフォールディングを伴う自己組織化膜形成とカプサイシンセンシング
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石松亮一、山口雄輝、中野幸二
2. 発表標題 電極反応で生成する有機ラジカルイオンのミリ秒時間分解スペクトルの取得による均一電子移動速度反応の評価
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野幸二、堀内 潤、石松亮一
2. 発表標題 バニロイドレセプターペプチドのメトキシマリリン修飾アラニン組込みおよびポリエチレングリコール化による新規ペプチド宿主分子の合成とバイオ分析応用
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石松亮一、清水慎一、森田金市、中野幸二
2. 発表標題 ポリアニリン生成に基づくフロー吸光 ELISA 法の開発
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口雄輝、石松亮一、中野幸二
2. 発表標題 有機ラジカルイオンの吸収スペクトル測定に基づく高速検出法を用いた均一電子移動反応速度の解析
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬崎佑介、中野幸二、石松亮一
2. 発表標題 ペプチド核酸とタンパク質酵素のワンポット合成化合物-PNAzymeの研究と核酸分析への応用
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鄭 曉帆, 富浦 洋一, 林 健司
2. 発表標題 多チャンネル匂いセンサの出力の匂い要素へのプロファイル分解
3. 学会等名 情報処理学会九州支部「若手の会セミナー」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 副田 貴明, 楊 中元, 佐々 文洋, 林 健司
2. 発表標題 LSPR散乱光を利用したガス可視化撮像光学系
3. 学会等名 平成30年度E部門総合研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 副田 貴明, 楊 中元, 佐々 文洋, 林 健司
2. 発表標題 フォトバターンニングコアシェル構造を持つ ピクセル化マルチガスセンサによる匂い撮像素子
3. 学会等名 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 副田 貴明, 楊 中元, 佐々 文洋, 林 健司
2. 発表標題 イメージプロジェクタによる光誘起Au/Ag コアシェル構造LSPRマルチガスセンサの作製
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 楊 中元, 佐々 文洋, 林 健司
2. 発表標題 高速LSPRガスセンサを搭載した匂い痕跡可視化ロボット
3. 学会等名 平成30年度E部門総合研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中野幸二、堀内潤、姫野俊基、石松亮一、今任稔彦
2. 発表標題 パニロイド受容性電位チャネルタンパク質の分子認識ドメインの固相ペプチド合成とカプサイシンのバイオセンシング
3. 学会等名 日本分析化学会 第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中野幸二、本田敬之、山崎香菜子、田仲慶紀、谷口溪一、勝尾祐太、石松亮一、今任稔彦
2. 発表標題 カーボン量子ドットの過シュウ酸エステル化学発光反応における蛍光体としての組み込みと過酸化水素分析への応用
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石松亮一、古川佳栄、中野幸二、今任稔彦
2. 発表標題 電極反応で生成する有機ラジカルイオンのミリ秒時間分解スペクトル
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田拓也、石松亮一、中野幸二
2. 発表標題 フロー電気化学発光デバイスの開発に向けたアルキルピレンの電気化学発光特性
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清水慎一、石松亮一、森田金市、中野幸二
2. 発表標題 ジフェニルエーテル系除草剤の代謝物の定量分析を目的としたポリアニリン生成に基づくフロー吸光 ELISA 法の開発
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬崎佑介、田邊潤壺、石松亮一、中野幸二
2. 発表標題 PNAzyme-ペプチド核酸とタンパク質触媒のワンポット固相合成による新規核酸分析試薬の研究
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学システム情報科学研究所有機デバイス研究室 http://o.ed.kyushu-u.ac.jp/

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	中野 幸二 (Nakano Kouji) (10180324)	九州大学・工学研究院・准教授 (17102)	

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	富浦 洋一 (Tomiura Youichi) (10217523)	九州大学・システム情報科学研究院・教授 (17102)	

	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
連 携 研 究 者	佐々 文洋 (Sassa Fumihiro) (30722681)	九州大学・システム情報科学研究院・助教 (17102)	

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			
中国	Southwest University			