

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02103

研究課題名（和文）光学式高速嗅覚センサを搭載したドローンの開発：大気環境の高精度モニタリングの実現

研究課題名（英文）Development of Drones Equipped with High-Speed Optical Electronic Nose Sensors:  
Toward High-Precision Atmospheric Environmental Monitoring

研究代表者

石田 寛 (Ishida, Hiroshi)

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：80293041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：廃棄物埋立地に発生するメタンなどの温室効果ガスを検知し、その発生箇所を自動探索するドローンの実現を目指し、要素技術を開発した。低空飛行させたドローンが作る気流を利用し、地表の埋立地ガスを上空のドローンまで巻き上げて検出する手法を提案して、実現可能性を示した。赤外線吸収式小型ガスセンサの実現に向け、その作製に不可欠な超小型赤外線光源の開発に成功した。粒子フィルタを用いた高精度ガス源位置推定や、深層学習を用いた超解像ガス分計測にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では高耐熱性材料を用い、メタンの吸収波長の赤外線を熱輻射する小型光源を開発した。この技術は、メタン以外にも様々なガスを検出する赤外線吸収式小型センサの開発に応用できる。また、ドローンが作る下降気流を利用し、地表を漂うガスを効率よくセンサに集めて検出する手法を提案した。気流の乱れが大きい屋外環境においても高精度にガス濃度分布を計測し、高い成功率でガス源位置を突き止めることに成功した。これらの技術は、環境計測に幅広く応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Landfill sites are large sources of greenhouse gases including methane produced through biological decomposition of organic waste. In this research project, we have developed elemental technologies toward realizing drones that can detect such greenhouse gases and autonomously locate their sources. In order to detect a gas source on the ground, we have proposed to utilize the airflow field produced by a multi-rotor drone hovering at a low altitude. Experimental results have shown that gas puffs wafting near the ground can be effectively collected to the gas sensor onboard the drone using the airflow produced by its rotors. To realize small infrared gas sensors that fit on a drone, we have developed a miniaturized infrared light emitter by using MEMS technologies. We also have succeeded in high-precision gas-source localization using particle filters and super-resolution gas-distribution measurement using deep learning.

研究分野：センサ工学

キーワード：知能ロボティクス センサ工学 計測工学 環境計測 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

廃棄物埋立地では、有機物の生物分解により各種ガスが発生する<sup>①</sup>。その主成分であるメタンは二酸化炭素に対して20倍の温室効果を持ち、その発生量を地球温暖化防止のためにモニタリングする必要がある。また、メタンは爆発の危険もある。埋立地を公園などに再利用する際には、ゴミが完全に分解されてメタン発生が止まったことを確認しなければならない。埋立地では硫化水素やメルカプタンなどの悪臭物質も発生し、悪臭公害を引き起こす。

しかし、現在、埋立地ガスのモニタリングは測定器を持った作業員が行っており、測定できる地点の数や頻度に限りがある。ガス濃度を数カ所で測定した結果から、埋立地における温室効果ガスの総放出量を推定しているが、測定地点の選択が不適切であると、推定値の誤差が大きくなってしまう可能性がある。地表にガスが放出されている地点をホットスポットと呼び、このホットスポットを見つけ出して測定を行うことが必要となるが、広大な埋立地でホットスポットを探索することは容易ではない。

一方、ロボットに化学センサを搭載し、人間の嗅覚に相当する感覚を付加したロボットシステムの開発が行われている<sup>②</sup>。水中や大気中で化学物質の分布を計測するロボットを開発し、人間の安全で安心な生活を担保するために、環境に存在する化学物質をモニタリングできるようにすることが期待されている。ロボットは、人間の作業者に代わって危険な環境で作業することができ、長時間にわたる単純な繰り返し作業も苦痛を伴わずに実行することができる。空气中を漂うガスを検出してその発生源の位置を自律的に特定するロボットはガス源探索ロボットまたは匂い源探索ロボットと呼ばれ、災害時の救助者探索や爆発物の位置特定などにも応用が期待されている。

このようなロボットシステムを使えば、埋立地ガスのモニタリングやホットスポットの探索を自動化できる。実際に、ガスセンサを搭載した陸上走行ロボットを用い、メタンのモニタリングを行おうとする試みが報告されている<sup>③</sup>。しかし、車輪で走行する陸上ロボットでは、不整地や湿地で用いることが困難である。そこで、ドローンにガスセンサを搭載し、メタン濃度を測定する研究も行われている<sup>④</sup>。現在、複数のロータ（回転翼）を使って飛行するマルチコプタ型のドローンが、簡便に高い飛行性能を実現できることから主流となっている。しかし、このタイプのドローンはロータを回転させ、強い下降気流を生成して飛行するが、この気流が地表に到達すると、地表に沿って放射状に広がって流れる。そのため、ドローンが地表付近を飛行すると、地表付近を漂うガスはドローンから遠ざかってしまう。ドローンにガスセンサを取り付けても、そのままではガスを検出することが困難である。

また、陸上走行型ロボットやドローンによる埋立地ガスモニタリングを実現するためには、新たなガスセンサの開発も必要となる。これまでに報告された研究では、メタンなどの可燃性ガスに対して高い感度を持ち、応答の長期安定性に優れた金属酸化物半導体ガスセンサが用いられていることが多い<sup>⑤</sup>。しかし半導体ガスセンサは、ガスが飛来した際には数秒で応答するが、ガスが流れ去った後で応答が回復するまでに数十秒を要する。また、水蒸気など様々なガスに反応してしまうため、センサが応答しても、何のガスが検出されているのか分からない場合がある。

応答が速く、測定対象ガスを選択的に検出できるガスセンサが開発されたとしても、メタンのホットスポットのようなガス発生源を自動探索するのは容易ではない。屋外環境では風向が目まぐるしく変動し、風向が180°反転してしまうことも珍しくはない。地表に放出されたガスは、大きく変動する風に運ばれて広がり、複雑なガス濃度分布を形成する。ガス源から風下にたなびくガスの分布が途切れ途切れとなり、分布を辿ることができない。しかも、その分布が時間と共に大きく変動する。ドローンのような移動ロボットによる埋立地モニタリングを実現するため、変動の大きな環境でも確実にガス源の位置を探索可能なアルゴリズムの開発が待たれていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、メタンなどの埋立地ガスを検知して、その発生箇所を自動探索するドローンの実現を目指し、以下の三つの要素技術の研究開発を行うことを目的とした。

### (1) ガスセンシング用ドローンの開発

陸上を走行するロボットと比べ、空中を飛行するドローンは機動性に優れているため、広大な埋立地におけるガス源探索に適している。しかし、現在主流となっているマルチコプタは強い下降気流を作るため、地表から放出された埋立地ガスを吹き飛ばしてしまう。そこで、ロータの配置を工夫し、地表から放出されたガスや悪臭物質を自身に引き寄せながら高感度に検知するドローンを開発することを目的とした。通常は、ドローンの機動性や航続時間を高めるように設計がなされる。一方、ドローンをガスセンシングに適用する場合には、機動性や航続時間を多少犠牲にしても、ドローン上に搭載したガスセンサで十分な応答が得られるように設計する必要がある、異なる設計手法が求められる。

### (2) 赤外線吸収式小型ガスセンサの開発

メタンなどの埋立地ガスを検出する赤外線吸収式小型ガスセンサの実現を目指す。メタンなどのガス分子は、その分子構造に応じて特有の赤外線吸収波長を持つ。これを利用してガスを検知する赤外線吸収式ガスセンサは、対象とするガスを選択的に検出でき、応答速度が速い。しかし、メタンなどのガスに吸収される波長の赤外線を発する光源の大きさが、センサの小型化の妨げとなっていた。そこで、MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) の技術を応用し、小型赤外線光源を開発することを目指した。

### (3) ガス源探索アルゴリズムの開発

ガスセンシング用に構造を工夫したドローンを開発し、小型、高感度で応答速度の速いガスセンサを開発できたとしても、それだけでは埋立地ガス発生箇所の自動探索を実現することはできない。風向変動の大きな屋外環境においても、高精度にガス発生源の位置を推定できるアルゴリズムの開発が必要となる。そこで、ドローンなどの移動ロボットに搭載したセンサで収集したデータを使い、ガス源の位置を推定するアルゴリズムの開発を本研究の三つ目の目的とした。測定領域内の複数の地点で測定したガス濃度や風向風速のデータを用い、センサに検出されたガスの飛来軌跡を推定してガス源の位置を突き止めることを目指した。

## 3. 研究の方法

### (1) ガスセンシング用ドローンの開発

マルチコプタ型のドローンを飛行させると、図 1(a)に示すように、ロータによって下向きに強い気流が生成される。この気流が地面に到達すると、その地点から放射状に気流が広がる。地中から放出されたメタンガスが地表付近を漂っていたとしても、ドローンから離れる方向にガスが吹き飛ばされてしまうため、ドローンにガスセンサを搭載しても応答は得られない。

これに対し、図 1(b)に示すように棒などで2台のマルチコプタをつなぎ、その中央にガスセンサを取り付ける。マルチコプタが作る気流が地面に達して放射状に広がると、2台のマルチコプタが作る気流が中央で衝突し、上方へと巻き上がる流れ（ファウンテンフロー）が生じる。2台のマルチコプタの間の地表付近にガスが分布していれば、そのガスはガスセンサを取り付けた場所までファウンテンフローによって運ばれる。上空に巻き上がる過程でガスが多少希釈されてしまうが、このようにすれば、地表付近のガスをマルチコプタにより上空で検出することが可能となる。

本研究では、1台のドローンで図 1(b)と同様のガス検知を実現することを目指し、研究開発を行った。原理的には、1台のドローンでも同様のファウンテンフローを生成することが可能である。ロータが作る気流場を数値流体力学シミュレーションで求めてロータ間隔などの検討を行い、実際に実験を行ってガスの巻き上げ効果を確認した。

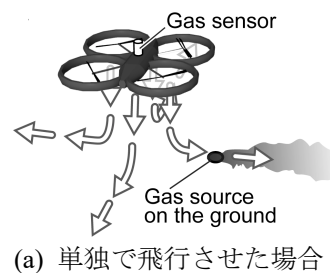
### (2) 赤外線吸収式小型ガスセンサの開発

半導体基板上に光の波長よりも微細な周期構造物を形成したメタサーフェス素子により、小型赤外線光源を実現する。800 nm 程度の長方形電極を周期的に配置して加熱すると、電極の中の電子が集団的に振動し（プラズモン共鳴）、その共鳴周波数に対応する赤外線を輻射する<sup>⑥</sup>。しかし、メタンなどのガスの吸収波長に相当する波長の短い赤外線を出すためには、加熱温度を高く設定しなければならず、出せる波長の範囲に限りがあった。そこで、窒化チタンなど高耐熱性材料を用いて熱輻射光源を実現することを目指し、凹凸構造を作製する技術を検討した。

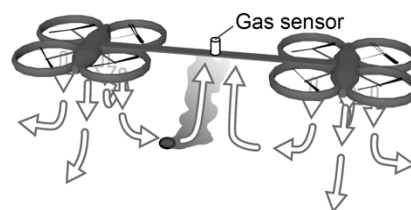
### (3) ガス源探索アルゴリズムの開発

移動ロボット上のセンサがガスを検出した際に、そのガスが飛来してきた軌跡を風速ベクトルの時系列データから推定するアルゴリズムが提案されている<sup>④,⑦</sup>。データを確率的に取り扱う粒子フィルタを用いることにより、変動の大きな屋外環境でも高い成功率でガス源を探索することを狙っているが、限られた環境でアルゴリズムをテストした結果しか報告されていない。

そこで本研究では、屋外環境に放出されたガスの挙動を再現するシミュレータを構築した。屋外で実測した風向風速の時系列データを用いることにより、大規模な風速変動をシミュレーションの中で再現する。このシミュレータを使い、これまでに提案された二つの粒子フィルタ<sup>④,⑦</sup>を比較した。また、これらのアルゴリズムに改良を加えることにより、ガス源位置の推定精度を向上することを検討した。



(a) 単独で飛行させた場合



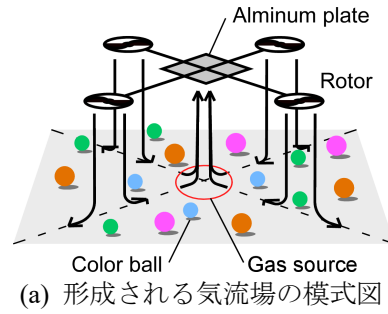
(b) 2台を連結して飛行させた場合

図 1. ドローンが作る気流がガス計測へ与える影響 (文献⑤から転載)

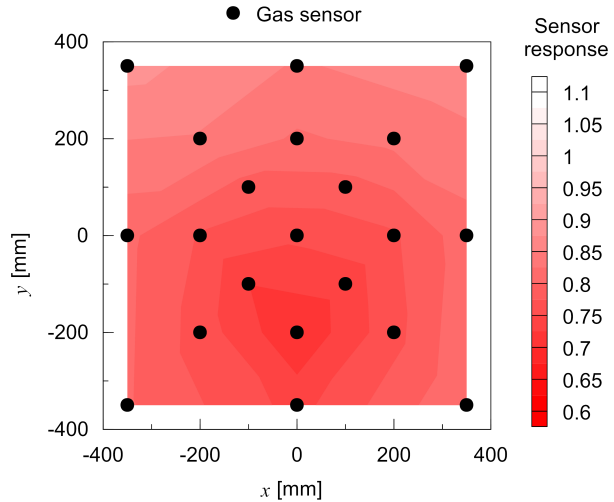
#### 4. 研究成果

##### (1) ガスセンシング用ドローンの開発

四つのロータを持つクアッドコプタが作る気流を数値流体力学シミュレーションにより求めた結果、対角線長の半分の高度まで下がると、図 2(a)に示すように各ロータが作る気流が互いに合流する前に地面に到達し、地表からドローンに向かうファウンテンフローが形成されることが分かった。そこで、対角線長 1 m のクアッドコプタを高さ 0.5 m に固定し、ガスの巻き上げ効果を確認する実験を行った。



固定したクアッドコプタと同じ高さの水平面にガスセンサ (TGS2620, フィガロ技研) を並べ、ガス濃度分布を測定した結果を図 2(b)に示す。0.7 kg の機体を浮かせられるようにロータを回転し、床面に設置したガス源からエタノール飽和蒸気を 500 mL/min の流量で放出した。図中のセンサ応答は、清浄空気中のセンサ抵抗値に対するガス中の抵抗値の比を表し、値が小さい (図中の色が濃い) ほどガス濃度が高いことを意味する。図中の黒い点は、ガスセンサの設置位置を表す。



(b) ドローンの高さにおけるガス濃度分布

図 2. 1 台のドローンが作るファウンテンフロー (文献⑧から転載)

ロータを回転しない場合には、放出されたエタノール蒸気は床面付近に留まり、ドローンの高さに設置したガスセンサには応答がほとんど現れなかった。一方、ロータを回転すると、ドローンの下に置かれたガス源からガスが巻き上げられ、図 2(b)に示すようにセンサが応答した。この実験では、ドローンの下の床面に直径 65~80 mm のカラーボールを合計 40 個配置して凹凸を設けたが、床が平らな場合と同様にガスを巻き上げることができている。床に傾きがある場合にも、傾斜が 20° までならガスを巻き上げて検出できた。

ドローンをガスセンシングに応用しようという試みは多数あるが、ドローンが作る気流がガスの分布を乱してしまうことが問題となっていた。これに対し本研究では、クアッドコプタを対角線長の半分の高さで低空飛行させれば、ドローンが作る気流を逆に活用し、地表のガスを巻き上げてセンシングできることを示した。この成果は、埋立地ガスの検出以外にも、ドローンを使ったガスセンシングに広く応用が可能である。

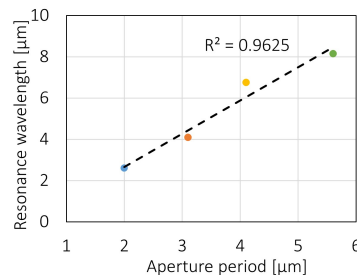
##### (2) 赤外線吸収式小型ガスセンサの開発

赤外線吸収式小型ガスセンサの開発に関しては、メタンなどのガスに対する吸収波長の赤外線を選択的に輻射するための熱輻射光源を開発した。材料には、耐熱性に優れた窒化チタン (TiN) を用いた。成膜条件を最適化して膜の内部応力を制御することで、図 3(a)のように周期的な孔構造を備えた自立型マイクロヒータを製作した。



(a) 試作したマイクロヒータ

孔構造の寸法に依存して表面プラズモン共鳴が発生するため、その波長が図 3(b)に示すように変化する。金とアルミナを用いた構造<sup>⑥</sup>に比べて耐熱性が増した結果、温度を上げて高いエネルギーの赤外線を輻射できるようになった。輻射波長が低波長側に拡大している。メタンの吸収波長の一つである 3.2 μm を輻射できるようになった。孔構造の寸法を変えれば、検知対象ガスに合わせて輻射波長を選択できる。赤外線吸収式小型ガスセンサの実現に向け、大きく貢献するものと期待される。



(b) 孔構造の寸法と輻射波長の関係

図 3. 熱輻射赤外線光源

### (3) ガス源探索アルゴリズムの開発

開発したシミュレータを使い、文献④に記載された粒子フィルタによるガス源探索を行った様子を図4に示す。ピンク色の点は、発生源から放出されたガスの広がりを表す。屋外で実測した風速ベクトルの時系列データを使い、風に運ばれて広がるガスの分布を計算した。与えられた領域をスキャンするように仮想ロボットを動かし、ガス源の位置を推定する。

粒子フィルタの粒子はガス源位置の候補を表し、その尤度に応じて色分けされている。ロボットがガスを検出したら、そこから風上の領域にガス源が存在する可能性が高いため、その領域にある粒子の重みが増し、赤く表されている。水色の四角は、この時点における粒子の分布から推定されたガス源位置を表す。

このシミュレータにより、気流やガス濃度分布の大きな乱れを再現しながら、様々なガス源探索アルゴリズムを比較できるようになった。粒子フィルタの重みの更新法を改良した結果、ガス源位置の推定誤差を14 mから2 mまで減少できた。再現する環境を変えて様々なシミュレーションを行うことにより、ガス源探索アルゴリズムの開発が加速されるものと期待される。

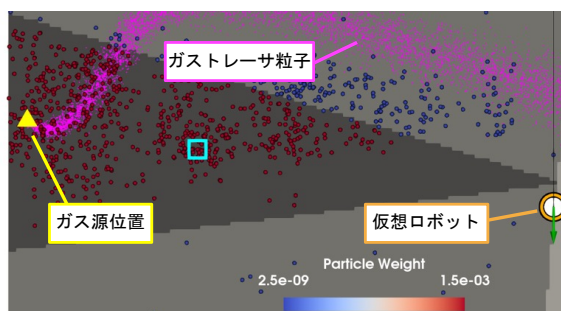
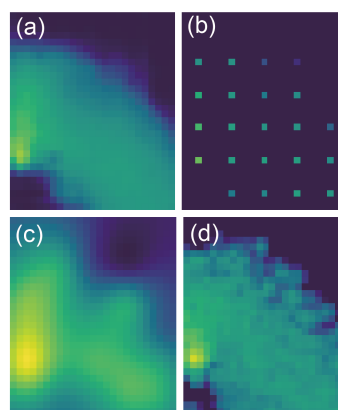


図4. ガス源探索シミュレータ

### (4) 派生した研究成果

開発したシミュレータを使い、ガス濃度分布の超解像計測を試みた結果を図5に示す。図5(a)がシミュレーションによって求めたガスの空間分布を示しており、そこに30個のセンサを配置すると図5(b)のような応答値を得る。この応答値に通常の補間法を適用すると図5(c)を得るが、図5(a)の分布とは相違があり、ガス濃度が最大となる点の位置も、やや下にずれている。

一方、ガス分布を復元するように学習させた深層学習ニューラルネットワークによって図5(b)のセンサ応答から推定したガス濃度分布を図5(d)に示す。最もガス濃度が高い位置や、ガスの広がっている範囲を正確に再現できている。少ない測定点で得たデータから高分解能のガス濃度分布を推定することが可能となっており、様々な環境計測に応用が期待される。



(a) 元のガス濃度分布データ  
(b) 30個のガスセンサの応答値  
(c) 応答値を補間して得た分布図  
(d) 深層学習で復元した分布図

図5. ガス濃度分布の超解像計測

#### <引用文献>

- ① 長森正尚, 山田正人, 石垣智基, “埋立地ガス調査による廃棄物最終処分場の安全確認について”, 廃棄物資源循環学会誌, vol. 27, no. 1, 2016, pp. 39–48.
- ② H. Ishida, Y. Wada, and H. Matsukura, “Chemical sensing in robotic applications: A review”, *IEEE Sensors Journal*, vol. 12, no. 11, 2012, pp. 3163–3173.
- ③ V. Hernandez Bennetts, A. J. Lilienthal, P. P. Neumann, and M. Trincavelli, “Mobile robots for localizing gas emission sources on landfill sites: Is bio-inspiration the way to go?”, *Frontiers in Neuroengineering*, vol. 4, 2012, article 20.
- ④ P. P. Neumann, V. Hernandez Bennetts, A. J. Lilienthal, M. Bartholmai, and J. H. Schiller, “Gas source localization with a micro-drone using bio-inspired and particle filter-based algorithms”, *Advanced Robotics*, vol. 27, no. 9, 2013, pp. 725–738.
- ⑤ R. Sato, K. Tanaka, H. Ishida, S. Koguchi, J. P. Ramos Ramirez, H. Matsukura, and H. Ishida, “Detection of gas drifting near the ground by drone hovering over: Using airflow generated by two connected quadcopters”, *Sensors*, vol. 20, no. 5, 2020, article 1397.
- ⑥ H. T. Miyazaki, T. Kasaya, M. Iwanaga, B. Choi, Y. Sugimoto, and K. Sakoda, “Dual-band infrared metasurface thermal emitter for CO<sub>2</sub> sensing”, *Applied Physics Letters*, vol. 105, no. 12, 2014, article 121107.
- ⑦ J.-G. Li, Q.-H. Meng, Y. Wang, and M. Zeng, “Odor source localization using a mobile robot in outdoor airflow environments with a particle filter algorithm”, *Autonomous Robots*, vol. 30, 2011, pp. 281–292.
- ⑧ 赤荻大貴, 小口彩希, 岡田卓也, 松倉悠, 石田寛, “ガスセンシング用ドローンの開発—ガスを巻き上げる効果に対する地表の凹凸の影響—”, 第37回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム論文集, 28P1-SS2-6, 2020, 3 pages.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 石田 寛, 松倉 悠	4. 巻 51
2. 論文標題 ISOEN 2019におけるTutorialsとSniffestコンテストの概要および嗅覚ディスプレイについて	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 におい・かおり環境学会誌	6. 最初と最後の頁 26 ~ 35
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 Hanako Ishida, Ryuichi Takemura, Tatsuki Mitsuishi, Haruka Matsukura, Hiroshi Ishida	4. 巻 20
2. 論文標題 Active chemical sampling using jet discharge inspired by crayfish: CFD simulations of the flow fields generated by the jet discharge device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 522-1 ~ 522-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20020522	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 Ryohei Sato, Kento Tanaka, Hanako Ishida, Saki Koguchi, Jane Pauline Ramos Ramirez, Haruka Matsukura, Hiroshi Ishida	4. 巻 20
2. 論文標題 Detection of gas drifting near the ground by drone hovering over: Using airflow generated by two connected quadcopters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1397-1 ~ 1397-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20051397	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 稲垣 理也, 松倉 悠, 岩井 大輔, 佐藤 宏介	4. 巻 141
2. 論文標題 圧縮センシングに基づいたガス分布マッピング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 113 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.141.113	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 Tao Jing, Qing-Hao Meng, Hiroshi Ishida	4. 巻 16
2. 論文標題 Recent progress and trend of robot odor source localization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 938 ~ 953
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23364	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

[学会発表] 計34件(うち招待講演 6件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Hanako Ishida, Ryuichi Takemura, Haruka Matsukura, Hiroshi Ishida
2. 発表標題 Experimental observation of olfactory search behavior of crayfish in seven arm maze
3. 学会等名 18th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akifumi Yamamoto, Christian Bilgera, Maki Sawano, Haruka Matsukura, Naoki Sawada, Chee-Siang Leow, Hiromitsu Nishizaki, Hiroshi Ishida
2. 発表標題 Application of sequence input and output long short-term memory neural networks for autonomous gas source localization in an outdoor environment
3. 学会等名 18th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 理也, 松倉 悠, 岩井 大輔, 佐藤 宏介
2. 発表標題 メタンガス分布の3次元計測システムの開発
3. 学会等名 令和元年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田 華子, 三石 健暉, 竹村 龍一, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 能動化学センシングシステム開発に向けた噴流によって形成される流れ場の定量的評価
3. 学会等名 令和元年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小口 彩希, 石田 華子, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 ガスセンシング用ドローンの開発：ドローンが作る気流場の数値流体力学シミュレーション
3. 学会等名 令和元年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Ishida
2. 発表標題 Chemical signal modulation devices for chemical sensors and human olfaction
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Sensors and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Matsukura
2. 発表標題 Gas source localization using deep learning neural network with gas sensor array
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Sensors and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Michiya Inagaki, Haruka Matsukura, Daisuke Iwai, Kosuke Sato
2. 発表標題 Application of compressed sensing to measurement of methane gas distribution
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田 華子, 竹村 龍一, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 化学物質を辿る水中ロボットの開発に向けて 7方向迷路におけるザリガニの嗅覚探索行動の観察
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 山本 晃史, Christian Bilgera, 澤野 真樹, 松倉 悠, 澤田 直輝, Chee-Siang Leow, 西崎 博光, 石田 寛
2. 発表標題 深層学習を用いた屋外環境における自動ガス源探索 入力するセンサデータの長さについての検討
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 澤野 真樹, Christian Bilgera, 山本 晃史, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 深層学習を用いた屋外環境におけるガス源探索 ガスセンサの個数の削減
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田 華子, 三宅 新人, 三石 健暉, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 水中ロボットの開発に向けたザリガニの嗅覚探索行動の解明 ザリガニが作る噴流を可視化する装置の試作
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ/バイオ・マイクロシステム合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 遼平, 田中 健登, Jane Pauline Ramos Ramirez, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 連結マルチコプタを用いたガスセンシング 横風の作用下におけるガス検出
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ/バイオ・マイクロシステム合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 佑典, 山本 晃史, 澤野 真樹, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 ガス源位置推定アルゴリズム開発のためのガス分布シミュレータの開発: 屋外における風の実測データの活用
3. 学会等名 令和2年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoki Uno, Maki Sawano, Haruka Matsukura, Hiroshi Ishida
2. 発表標題 Detection of chemical trail on the floor by mobile robot: Using fans to enhance chemical reception at gas sensors
3. 学会等名 IEEE Sensors 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liyuan Duan, Haruka Matsukura, Parinya Punpongsanon, Takefumi Hiraki, Daisuke Iwai, Kosuke Sato
2. 発表標題 Adaptive visualization of gas distribution using augmented reality glasses
3. 学会等名 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚田 鷹介, 吉田 朋子, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 匂い強度を短時間で増幅する装置の基礎的研究 濃縮セル構造の検討
3. 学会等名 第37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 2020年

1. 発表者名 赤荻 大貴, 小口 彩希, 岡田 卓也, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 ガスセンシング用ドローンの開発 ガスを巻き上げる効果に対する地表の凹凸の影響
3. 学会等名 第37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 2020年

1. 発表者名 石田 寛
2. 発表標題 ロボット工学的観点から探るザリガニの嗅覚探索行動
3. 学会等名 第39回日本動物行動学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大山 真介, 三宅 新人, 石田 華子, 石田 寛
2. 発表標題 ザリガニの嗅覚探索行動を模倣した水中化学物質源探索システムの改良
3. 学会等名 電気学会マイクロマシン・センサシステム/ケミカルセンサ/バイオ・マイクロシステム合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 匂いセンサと嗅覚ディスプレイの研究開発課題
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 晃史, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 深層学習を用いた屋外環境におけるガス源探索 環境変化の影響の低減
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 Yosuke Tsukada, Takumi Kawai, Haruka Matsukura, Hiroshi Ishida
2. 発表標題 Applying odor preconcentrator for enhancing human olfaction: Feasibility study
3. 学会等名 18th International Meeting on Chemical Sensors(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Iwami, Yuta Otome, Azusa Tahara, Satoshi Ikezawa
2. 発表標題 A suspended TiN film for thermal plasmonics platform
3. 学会等名 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤野 真樹, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 深層学習を用いた屋外環境におけるガス源探索 ガスセンサの個数の削減と精度向上に向けた検討
3. 学会等名 令和3年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤荻 大貴, 山下 恭平, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 ガスセンシング用ドローンの開発 ガスを巻き上げる効果に対する地面の傾きの影響
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂上 源生, 高橋 佑典, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 ガス源探索システムを開発・評価するための屋外風シミュレータ
3. 学会等名 第38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 2021年

1. 発表者名 田原 梓, 池沢 聡, 岩見 健太郎
2. 発表標題 窒化チタンを用いた自立メタサーフェスによる小型省電力赤外輻射光源
3. 学会等名 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田 朋子, 塚田 鷹介, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 匂い強度を短時間で増幅する装置の基礎的研究 濃縮セル構造の検討とE-Noseによる評価
3. 学会等名 日本機械学会第20回機素潤滑設計部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 佑典, 坂上 源生, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 ガス源位置推定アルゴリズム開発のためのガス分布シミュレータの開発: ガスセンサ応答モデルの検討
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ/バイオ・マイクロシステム合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 祐太, 石田 華子, 三宅 新人, 三石 健暉, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 水中化学探査ロボット開発に向けたザリガニの嗅覚探索行動中における噴流の観察
3. 学会等名 令和4年電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Motoki Sakaue, Yusuke Takahashi, Haruka Matsukura, Hiroshi Ishida
2. 発表標題 Gas dispersion simulator with strong fluctuations for developing gas source localization systems
3. 学会等名 19th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nicolas P. Winkler, Haruka Matsukura, Patrick P. Neumann, Erik Schaffernicht, Hiroshi Ishida, Achim J. Lilienthal
2. 発表標題 Super-resolution for gas distribution mapping: Convolutional encoder-decoder network
3. 学会等名 19th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 晟也, 谷口 大輔, 吉田 朋子, 坂上 源生, 松倉 悠, 石田 寛
2. 発表標題 匂い強度を増幅する装置の開発 マルチチャンネル匂い濃縮セルの試作
3. 学会等名 令和4年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 中本 高道, 松倉 悠, 石田 寛, 他33名	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 289
3. 書名 匂いのセンシング技術	

1. 著者名 塩田 清二, 松倉 悠, 石田 寛, 他54名	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 543
3. 書名 においのセンシング、分析とその可視化、数値化	

1. 著者名 大松 繁, 松倉 悠, 石田 寛, 他66名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 533
3. 書名 人工知能を用いた五感・認知機能の可視化とメカニズム解明	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京農工大学生物システム応用科学府石田研究室ホームページ  <a href="https://web.tuat.ac.jp/~h-ishida/">https://web.tuat.ac.jp/~h-ishida/</a>          センサイト・プロジェクト 特集 「化学センサ」(におい編) 嗅覚センサとロボット(1)  <a href="http://sensait.jp/10578/">http://sensait.jp/10578/</a>          センサイト・プロジェクト 特集 「化学センサ」(におい編) 嗅覚センサとロボット(2)  <a href="http://sensait.jp/10580/">http://sensait.jp/10580/</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	岩見 健太郎  (Iwami Kentaro)  (80514710)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授   (12605)	



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	田中 雄一  (Tanaka Yuichi)  (10547029)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授    (12605)	
研究分担者	松倉 悠  (Matsukura Haruka)  (60808757)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教    (12612)	

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			
英国	ハル大学			
ドイツ	ドイツ連邦材料試験所			