

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289055

研究課題名(和文) 気流操作ロボット群と操作者の協調により迅速かつ確実なガス源探知を実現するシステム

研究課題名(英文) Gas Source Localization System That Can Rapidly Search for a Gas Source with High Success Rate by Cooperation with Human Operator and Airflow Generator Robots

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)・准教授

研究者番号：80293041

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：複雑な現実環境でロボットによる迅速かつ確実なガス源探索を実現した。空気中に漏れ出したガスは気流に運ばれて広がるため、環境内の気流場が既知であれば、効率のよい探索が可能となる。そこで、操作者がロボットを助けながら数値流体力学計算を行って気流場を推定する手法を提案し、実際に推定が可能であることを示した。気流の乱れが大きい環境では、ファンを搭載したスレーブロボットを複数配置して定常的な気流場を作り出し、マスターロボットによるガス源探索を可能にする。屋内外で実験を行い、本手法の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, new robotic gas source localization methods are proposed to attain rapid and reliable search for a gas source. Gas molecules released in the air are transported by the airflow and spread in the environment. Therefore, the search can be expedited if the airflow field in the environment is known a priori. To estimate the airflow field developed in a given environment, we propose to let the robot do computational fluid dynamics simulations with the help of a human operator. Experimental results have shown the feasibility of this method. Search for a gas source in a highly fluctuating environment is extremely challenging. To solve this problem, we propose to align slave robots equipped with fans in a given environment and actively generate a constant uniform airflow field. A master gas-source localization robot can easily find a gas source in the simplified airflow field. Experimental results have shown the effectiveness of this method.

研究分野：ロボット工学

キーワード：知能ロボティクス マルチモーダルインターフェース 数値流体力学 計測工学 能動センシング

1. 研究開始当初の背景

犬は鋭敏な嗅覚を持ち、地中から漏れ出る微弱な火薬の匂いを嗅ぎつけ、地雷を探し出す。オスの蛾は性フェロモンの匂いを辿り、数百メートルもの遠方からメスを探し当てると言われている。このような匂い・ガス源探索能力をロボットで実現できれば、ガス漏れ箇所や環境汚染源、悪臭発生箇所の探索、爆発物や麻薬の探知、災害時の生存者救助など様々な応用が可能となる。

しかし、現実環境で実際にガス源を探索可能なロボットは、これまで開発されていなかった^①。空気中に放出されたガスの分子拡散速度は1時間に20 cm 足らずであり、ガスは主に気流に運ばれて空間を広がる。研究代表者の石田は、蛾の行動を模倣し、ガスの流れを上流に辿るロボットを開発した^②。単純な気流場が形成された風洞のような試験環境では、ガス源探索に成功している。しかし、室内、屋外を問わず、実際の環境においては風向が時間と共に大きく変動する。しかも、同じ環境内でも場所によって風向が異なるため、ガスの分布は非常に複雑な形状となる。このような環境では旧来のガス源探知ロボットは無効であり、実用化に向けて非定常・非一様な環境への対応が求められていた。

2. 研究の目的

従来はガス源探知ロボットは昆虫の行動を模倣しており、ガスを検知したら反射的に風上に向かう。一方に風が吹く理想的な環境ではガス源の探索に成功するが、風向の時間変動が大きいと、あらぬ方向に進み、彷徨ってしまう。その様は、光を求めて窓ガラスに繰り返しぶつかるハエのようである。本研究では、昆虫レベルを脱却し、複雑な現実環境においても迅速かつ確実にガス源を探索できるロボットの実現を目標とした。

初めに、ガス源探知ロボットの高知能化に取り組んだ。ガス源探知ロボットに必要な「知能」とは、「与えられた環境の中でガスがどのように分布しているかを限られた測定データから予測し、ガス源の位置を推定する能力」である。そこで、数値流体力学シミュレーションを導入し、環境を見渡すだけで、そこに形成されている気流場を予測する機能をロボットに持たせることを目指した。なお、以下では数値流体力学 (computational fluid dynamics) を CFD と略記する。

また、そのままでは計測が困難な対象物に対して何らかの形で働きかけると、計測が容易になることがある。このようなアクティブセンシングにより、複雑な環境におけるガス源探知を実現することも試みた。マスターロボットがガス源を探索する際に、ファンを搭載したスレーブロボットが編隊を組んで気流を作り出し、環境内の気流場を局所的に整える。非定常・非一様な気流場の中でも、能動的な気流生成によりガス源探索が可能になると期待される。そこで、様々な環境で実

際にガス源探索実験を行い、この手法の有効性を示すことを目指した。

しかし、現状のロボット工学の粋を集めても、ガス源の完全自律探索は実現困難である。そこで、操作者がロボットと協調してガス源探索を行えるように、各種インターフェースの開発も行った。怪しげな箱を開け、中の匂いを嗅いで爆発物の有無を確認するといった複雑な動作をロボットに行わせることは難しいが、人間にとっては容易い。そこで、人間の知覚能力を上回る感度で匂いを嗅ぐことを可能にする嗅覚アシストマスクを開発し、操作者自らもガス源の探索に参加できるようにすることを目指した。また、ガス源探知ロボットが収集したデータを操作者に分かりやすく示すため、映像と共に匂いを提示可能な嗅覚ディスプレイの開発を行った。

3. 研究の方法

科学研究費の交付を受けた3年間においては、主に以下の開発課題に焦点を絞り、研究を行った。

(1) CFD シミュレーションを用いた室内気流場の推定

先述したように、空気中に放出されたガスは気流に運ばれて空間を広がる。工場やオフィスビル、一般家庭などで可燃性ガスの漏洩事故が発生した場合を想定すると、このような室内環境には換気設備や空調機が備え付けられている。これらの機器が稼動していれば、比較的強い気流が作り出される。空調機器が稼動していない場合でも、一般的な室内環境において壁面の温度が全て等しいということはあり得ず、微弱ながらも自然対流が発生する。空調機がどのような気流を作るか予想することは、比較的容易である。一方、室内にどのような温度分布が生じ、その結果としてどのような自然対流場が形成されるか予想することは困難である。そこで、この自然対流場をガス源探知ロボットに推定させることを試みた。

換気扇や空調機が稼動していない場合、室内に形成される自然対流場は、その部屋の壁面の形状と温度分布により決まる。そこで、ロボットにレーザスキャナとサーモグラフィカメラを搭載する。レーザスキャナにより部屋の三次元形状を計測し、サーモグラフィカメラにより壁面の温度分布を計測する。これらの計測結果を境界条件として使い、CFD シミュレーションを行うことにより、その室内にどのような自然対流場が形成されているか推定する。この一連のプロセスをロボットにより自動的に実行することを目指した。

(2) 気流操作ロボットによるガス源探索の支援

一般に、ガス源探知ロボットの活躍が期待される現場では、非定常・非一様で乱れた気流場が形成されている。その結果、図 1(a)に

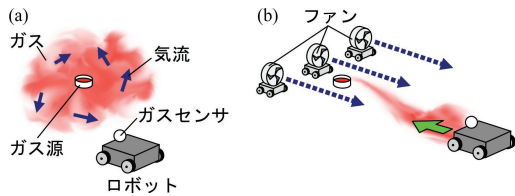


図1 気流操作ロボットによるガス源探索支援
(a) 現実環境における気流場とガス濃度分布
(b) 気流操作ロボットが作る気流場

示すようにガスの分布も複雑な形状となるため、ガス濃度分布を辿ってガス源に向かうことが困難になる。たとえガス源に向かうことができても、ガス源に辿り着く前に風向が変わってしまうことがある。その結果、直前まで辿っていたガスの分布が移動してしまうと、そのまま探索を続けることができない。

そこで、ガス源を探索したい環境の中に、ファンを搭載した気流操作ロボットを図1(b)に示すように並べる。気流操作ロボットを用いて一様で定常な気流場を作れば、ガス源から風下に一筋に伸びるガス濃度分布が形成される。ガスセンサを搭載したガス源探知ロボットは、気流操作ロボットが作る気流の風下の方向からガス源の探索を始めればよい。一筋に伸びるガスの分布を辿り、容易にガス源に向かうことができる。本研究では屋内外の様々な環境で実験を行い、気流操作によるガス源探索支援の効果を確かめた。

(3) 各種嗅覚インターフェースの開発

本研究で開発を行った嗅覚アシストマスクは、匂いを増強して操作者に提示する装置である。操作者が装着するガスマスクの外側にはガスセンサが取り付けられており、操作者の周囲に漂うガスを検出する。また、操作者が携帯する装置本体の内部には、濃度の異なる液体香料を入れたバイアル瓶と電磁弁、制御回路などが納められている。ガスセンサが応答したら、液体香料から作り出した匂いをガスマスクの内部に提示する。センサが微弱なガスを検出した際に、明確に知覚できる強い匂いを提示すれば、あたかも人間の嗅覚感度を向上したかのような効果が得られる。また、提示する匂いの強度をセンサにより検出されたガスの濃度に応じて変えることにより、空気中に漂う匂いをあたかも直接嗅いでいるかのような感覚が得られる。

映像と共に匂いを提示する嗅覚ディスプレイの開発も行った。液晶モニタの四隅にファンを取り付け、生成した気流を互いに衝突させることにより、モニタ画面上の特定の位置から操作者へと向かう気流を作り出す。液体香料から揮発した香気成分をこの気流に混入すると、あたかも画面上の特定の位置から匂いが放出されているかのような匂いの空間分布が形成される。この装置を利用すれば、ロボットがガス源の探索を行っている現場の状況をカメラ画像により確認するだけでなく、その現場に漂っているガスの分布を

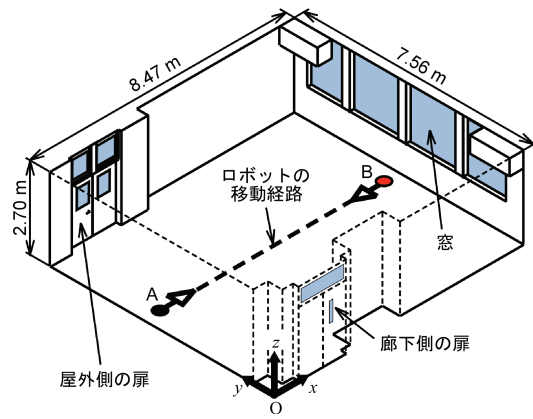


図2 自然対流場を推定する実験を行った部屋の概略図

操作者に伝えることが可能になる。現実感を持って遠隔地からロボットを操作することが可能になると期待される。

4. 研究成果

(1) CFD シミュレーションを用いた室内気流場の推定

4輪で走行する移動ロボット (Pioneer 3-AT、MobileRobots) をベースとし、レーザスキャナ (UTM-30LX、北陽電機) とサーモグラフィカメラ (ARTCAM-320-THERMO、アートレイ) を取り付け実験に用いた。レーザスキャナとサーモグラフィカメラは電動雲台 (PTU-D46-70、FLIR) の上に取り付けられており、ロボットを停止したまま様々な方向に機器を向けて計測を行うことができる。

室内に形成される自然対流場を推定する実験を行った部屋の一例を図2に示す。図の右奥と左奥の壁は屋外に面しており、廊下や隣の部屋に面した壁とは温度が異なる。また、右奥の壁には大きな窓がある。この部屋の中で、まず点Aにロボットを設置し、図中に矢印で示した方向に向け、レーザスキャナとサーモグラフィカメラによる計測を行った。続いて、ロボットを点Bまで走行させ、先ほどとは逆の方向にロボットを向けて、再び計測を行った。

レーザスキャナは、レーザ光を様々な方向に照射し、レーザ光が反射した地点までの距離を求める。このレーザ光の反射点の座標を集めたデータは、ポイントクラウドと呼ばれる。図3は、図2に示す室内の点AとBで得られたポイントクラウドを統合し、一つの三次元座標系にプロットした結果を示す。図2に示した部屋の三次元形状がポイントクラウドに現れていることが分かる。ポイントクラウドの中の各点の温度は、同じ場所をサーモグラフィカメラで撮影して得た画像から求めることができる。図3では、各点を温度に応じて異なる明るさで表している。窓のブラインドを閉めた状態で日中に計測を行ったため、日光がブラインドに当たり、窓の部分の温度が高くなっていることが分かる。

このポイントクラウドを境界条件として使い、CFD シミュレーションを自動的に実行

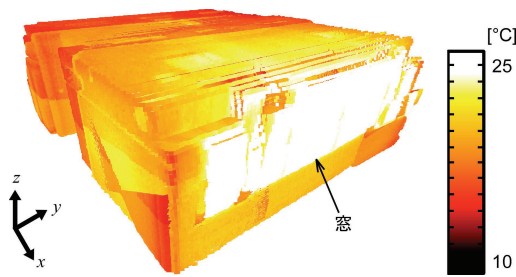


図3 図2に示す室内で取得されたポイントクラウド

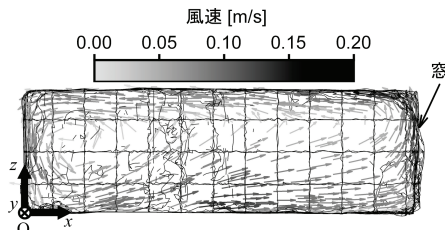


図4 部屋の中央断面における気流分布の推定結果

する手順を確立した。まず、オープンソースソフトウェアの MeshLab を用い、部屋の壁面や天井、床面の形状を面の集合で表したサーフェスモデルを、点の集合であるポイントクラウドから作成する。これを流体シミュレーションソフトウェア ANSYS Fluent に読み込み、シミュレーションを実行する。MeshLab の各種機能は、自作プログラムから呼び出して実行することができる。また、ANSYS Fluent を用いる際には、テキスト形式のスクリプトを用いて全ての操作を指示することができる。したがって、シミュレーションを行う全工程を自動化することができる。

シミュレーションを行って得られた気流分布を図4に示す。この図は、図2に示した部屋の中央の縦断面における流速分布を表している。窓の付近で温められた空気が上昇し、室内を循環する気流場が形成されていることが分かる。推定された自然対流の速度は、約 0.1 m/s であった。室内に三次元超音波風向風速計を設置して実際の風速や風向を測定した結果、シミュレーション結果とよく一致していた。この他にも異なる部屋で昼間や夜間に実験を行った結果、実測値と概ね一致するシミュレーション結果が得られた。気流場の推定結果を用いれば、ガスが検出された際に、そのガスがどこから漂ってきたか推定することが可能になる。効率のよいガス源探索が可能になると期待される。

図3に示すポイントクラウドは、窓のブラインドを全て降ろした状態でレーザスキャナによる計測を行って得た。しかし、ブラインドが上がっていると、レーザ光が窓を透過してしまい、そこに窓が存在することをロボットが正しく認識できなくなる。また、タイル張りの床面でレーザ光が鏡面反射してしまい、床の一部が正しく検出されないこともあった。このようにしてポイントクラウドの一部に欠損が生じてしまうことを完全に防ぐ

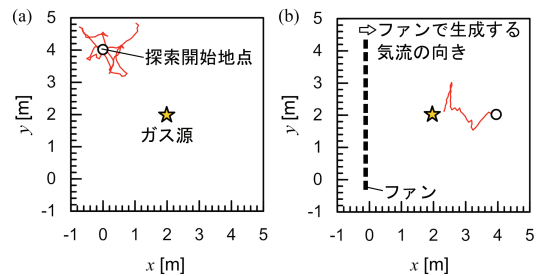


図5 ガス源探知ロボットの移動軌跡
(a) 気流操作を行わなかった場合
(b) 気流操作を行った場合

のは不可能である。そこで、ロボットが計測して得たポイントクラウドをモニタ画面上に表示し、欠損がないか人間が確認できるようにした。人間がポイントクラウドを見れば、ガラスをレーザ光が透過してしまったことを容易に見て取れる。そこで、ガラス窓がある部分を画面上でクリックし、その場所にポイントを追加できるようにした。多様な環境の全てにロボットを適応させることは困難である。操作者が窓の位置や空調機器の存在をロボットに教えてあげるにより、様々な状況に適切に対処することが可能になり、実用的なシステムを実現することができる。

(2) 気流操作ロボットによるガス源探索の支援

風の乱れが強い環境では、気流操作ロボット群を用いて定常な気流場を作り、環境を整えた中でガス源を探索する。ガス源探知ロボットを支援する気流場を作り出すため、最大出力 25 W の DC ファンを 2 台搭載した気流操作ロボットを作製した。複数のロボットを環境内に並べて配置することが容易になるように、ロボットの移動には全方向移動車輪を用いた。

実験結果の一例を図5に示す。この実験では、屋内のアトリウムに 4 m 四方の実験領域を用意し、ロボットによるガス源探索を試みた。実験領域の中央からエタノールの飽和蒸気を流量 500 mL/min で放出し、これをガス源とした。ガス源探索を行うロボットには半導体ガスセンサ (TGS2620、フィガロ技研) が搭載されており、このセンサを用いてガスを検出する。また、二次元超音波風向風速計 (WindSonic、Gill) が搭載されており、ガスを運ぶ気流の方向を計測する。ガスを検出したら、ロボットは風上の方向に移動し、ガス源に近づいていく²⁾。

ロボットによるガス源探索実験に先立ち、実験領域内に 30 個の半導体ガスセンサを並べてガス濃度分布を測定したところ、時間の経過と共に風向が揺らぎ、ガスがたなびく方向も変化していることが確認された。このため、ガス源探知ロボットは意図した通りにガスの分布を風上に辿ることができず、図5(a)に示すように、ガス源に到達しないことが多かった。一方、同じ環境内に出力 1 W の DC

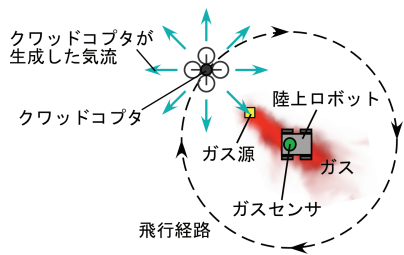


図6 クラウドコプタによるガス源探索支援

ファンを12個並べたところ、4m四方の実験領域にほぼ一様な気流場を作ることができた。その結果、図5(b)に示すように、ガス源探知ロボットは探索開始地点からガス源へ迷わず直線的に向かった。気流操作によりガス源探索の成功率が大きく向上しただけでなく、ガス源へ到達するまでに要する時間も短縮された。

屋外環境においても実験を行い、風の穏やかな日であれば、気流操作によりガス源の探索が容易になることを確かめた。ガス源探知ロボットを高知能化しても、あらゆる環境でガス源探知を成功させることは困難である。一方、気流操作を行えば、様々な現実環境でガス源探知を容易に実現することができる。ガス源探知ロボットの実用化に向けて、研究を大きく進展させることができた。

また、ドローンが生成する気流を気流操作に利用することも試みた。図6に示すように、陸上に停止しているガス源探知ロボットの上空でクラウドコプタを飛ばす。クラウドコプタは飛行する際に強い下降気流を生成するが、この気流が地表に達すると、そこから放射状に気流が広がる。したがって、ガス源から放出されたガスは、クラウドコプタが作る気流に運ばれ、クラウドコプタから遠ざかる方向にたなびく。陸上ロボットの周囲で円を描くようにクラウドコプタを飛行させると、図6に示す位置にクラウドコプタが来た際に、中央のロボットの位置でガスが検出される。したがって、ガスが検出された際のクラウドコプタの位置を調べることにより、ガス源が存在する方向を推定することができる。本手法についても屋内外の環境で実験を行い、実現可能であることを示した。

(3) 各種嗅覚インターフェースの開発

嗅覚アシストマスクに関しては、バッテリー駆動で可搬型の装置を試作した。液体のエタノールが入ったシャーレを段ボール箱の中に隠し、箱の外に漏れ出てきたエタノール蒸気の匂いを嗅いで、どの箱にシャーレが入っているか当ててもらおう実験を行った。箱から漏れ出たエタノール蒸気の濃度は非常に低く、嗅覚アシストマスクを装着しない場合には、人間には匂いがほとんど感じられない。しかし、嗅覚アシストマスクを装着すると、エタノール蒸気の濃度変化を別の匂いの強度変化に置き換えて明確に知覚することができ、どの箱の前で最もエタノール蒸気の濃

度が高くなるか正しく判定することができた。嗅覚ディスプレイに関しては、整流板により匂い提示用気流の乱れを軽減し、ガス源をモニタ画面上に提示する際の位置制御性を向上した。操作者にガス源の方向を指し示すガス源方向判定プローブの開発も行った。

<引用文献>

- ① Achim J. Lilienthal, Amy Loutfi, and Tom Duckett, "Airborne chemical sensing with mobile robots," *Sensors*, vol. 6, 2006, pp. 1616–1678.
- ② Hiroshi Ishida, Yuta Wada, and Haruka Matsukura, "Chemical sensing in robotic applications: A review," *IEEE Sensors Journal*, vol. 12, no. 11, 2012, pp. 3163–3173.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Haruka Matsukura, Kazuya Takayasu, and Hiroshi Ishida, "Devices for assisting human olfaction: Some fundamental experiments," *Procedia Chemistry*, 掲載決定, 査読有.
<http://www.journals.elsevier.com/procedia-chemistry/>
- ② 松倉悠, 石田寛, "Smelling screen—モニタ画面から匂いが漂ってくるように感じさせる嗅覚ディスプレイ—", *AROMA RESEARCH*, vol. 16, no. 4, 2015, pp. 316–321, 査読無.
<http://www.fragrance-j.co.jp/book/b213752.html>

[学会発表] (計31件)

- ① 吉田誉, 松倉悠, 石田寛, "探索領域内に能動的に生成した気流場を用いたガス源の有無の自動判定", 平成28年電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会, 2016年6月29日～6月30日, 金沢市文化ホール(石川県・金沢市)。
- ② Ryohei Sato, Haruka Matsukura, Ryuichi Takemura, and Hiroshi Ishida, "Detection of a gas source using a flying robot and a ground robot," *Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2016*, 2016年6月26日～6月29日, 金沢市文化ホール(石川県・金沢市)。
- ③ Hiroshi Ishida and Haruka Matsukura, "Mobile robot olfaction and olfactory assisting devices," *11th Asian Conference on Chemical Sensors*, 2015年11月16日～11月18日, ペナン(マレーシア), 招待講演.
- ④ Haruka Matsukura, Kazuya Takayasu, and Hiroshi Ishida, "Devices for assisting human olfaction: Some fundamental experiments," *11th Asian Conference on Chemical Sensors*,

- 2015年11月16日～11月18日, ペナン(マレーシア) .
- ⑤ Ayano Murai, Kamon Yoshimoto, Ryuichi Takemura, Haruka Matsukura, and Hiroshi Ishida, “Robotic gas source localization assisted by active airflow generation,” *IEEE Sensors 2015*, 2015年11月1日～11月4日, 釜山 (大韓民国) .
- ⑥ Takashi Yoshida, Ryuichi Takemura, Haruka Matsukura, and Hiroshi Ishida, “Determination of gas source existence in a specified area by active airflow generator robots,” *IEEE Sensors 2015*, 2015年11月1日～11月4日, 釜山 (大韓民国) .
- ⑦ Hiroshi Ishida, “Olfactory displays: Toward digitalization and reproduction of scents,” *16th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose*, 2015年6月28日～7月1日, デュジョン (フランス) , 招待講演.
- ⑧ Takafumi Kusunoki, Haruka Matsukura, and Hiroshi Ishida, “Active quad nose: Gas sensing system that can determine two-dimensional direction of gas source,” *16th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose*, 2015年6月28日～7月1日, デュジョン (フランス) .
- ⑨ Haruka Matsukura, Takafumi Kusunoki, Yuki Arai, and Hiroshi Ishida, “Active airflow generation in gas sensing system to enhance its directivity,” *The 6th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology*, 2015年4月22日～4月25日, 沖縄コンベンションセンター(沖縄県・宜野湾市) .
- ⑩ Ayano Murai, Takashi Yoshida, Ryuichi Takemura, Haruka Matsukura, and Hiroshi Ishida, “Active airflow generation to aid robotic gas source localization,” *2nd World Congress of Digital Olfaction Society*, 2014年12月8日～12月9日, 東京工業大学・大岡山キャンパス (東京都目黒区) .
- ⑪ Genta Urasaki, Tatsuhiro Yoneda, Haruka Matsukura, and Hiroshi Ishida, “Display system for presenting spatial odor and/or airflow distribution: Adding air straightening vanes and supplemental supports to fans,” *2nd World Congress of Digital Olfaction Society*, 2014年12月8日～12月9日, 東京工業大学・大岡山キャンパス (東京都目黒区) .
- ⑫ Haruka Matsukura, Hironori Hashiguchi, and Hiroshi Ishida, “Olfactory search behavior of human wearing olfactory assist mask,” *IEEE Sensors 2014*, 2014年11月2日～11月5日, バレンシア (スペイン) .
- ⑬ Hiroshi Ishida, Ryuichi Takemura, and Haruka Matsukura, “Mobile robot olfaction: Tracking of spatially distributed chemical,” *The 15th IUMRS International Conference in Asia*, 2014年8月24日～8月30日, 福岡大学 (福岡県・福岡市) , 招待講演.
- ⑭ Haruka Matsukura, Keita Yoshikawa, and Hiroshi Ishida, “Three-dimensional gas-source localization in indoor environment,” *225th ECS Meeting*, 2014年5月11日～5月15日, オーランド (アメリカ合衆国)
- ⑮ Takafumi Kusunoki and Hiroshi Ishida, “Using air curtains in gas sensing system to enhance its directivity,” *225th ECS Meeting*, 2014年5月11日～5月15日, オーランド (アメリカ合衆国)
- ⑯ 村井彩乃, 吉田誉, 松倉悠, 石田寛, “気流操作によるガス源探索ロボット支援に関する基礎的研究”, 平成26年電気学会全国大会, 2014年3月18日～3月20日, 愛媛大学・城北キャンパス (愛媛県・松山市) .
- ⑰ Haruka Matsukura, Junpei Ohmi, and Hiroshi Ishida, “Olfactory assist mask: Addition of sensitivity adjustment function,” *15th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose*, 2013年7月2日～7月5日, 大邱 (大韓民国) .
- [図書] (計1件)
- ① Hiroshi Ishida, Achim J. Lilienthal, Haruka Matsukura, Victor Hernandez Bennets, and Erik Schaffernicht, “Using chemical sensors as ‘noses’ for mobile robots,” *Essentials of Machine Olfaction and Taste*, Takamichi Nakamoto ed., John Wiley & Sons, 2016, 総ページ数 322 (担当ページ pp. 219-245) .
- [その他]
- ① 東京農工大学生物システム応用科学府石田研究室研究内容ホームページ
http://web.tuat.ac.jp/~h-ishida/projects/project_stop.html
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
 石田 寛 (ISHIDA, Hiroshi)
 東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：80293041
- (2) 研究分担者
 遠山 茂樹 (TOYAMA, Shigeki)
 東京農工大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号：20143381
- (3) 連携研究者
 岩本 薫 (IWAMOTO, Kaoru)
 東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：50408712
- (4) 研究協力者
 松倉 悠 (MATSUKURA, Haruka)
 東京農工大学・大学院生物システム応用科学府・特任助教