

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13997

研究課題名(和文)人間の嗅覚感度を飛躍的に高める「補嗅器」の開発

研究課題名(英文)Development of Olfaction Aid System That Can Significantly Enhance Human Olfactory Sensitivity

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：人間の嗅覚感度を擬似的に増強する装置の開発を行った。空気を吸引してその中に含まれる匂い分子を吸着剤に捕集した後、吸着剤をヒータで瞬時に加熱し、濃縮した匂いを作り出す。三次元微細ナノ構造を持ち吸着能が高いシリカモノリスを吸着剤として採用し、これをヒータに接着して直接加熱することで、素早い匂い提示を可能にした。4倍の濃度に濃縮した匂いを8秒程度で提示することができ、加齢などによる嗅覚の衰えを補う装置の実現に向けて有望な結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this research project, an olfaction aid system that allows the user to sense smells with amplified sensitivities has been developed. In the proposed system, air samples are sucked by using a pump into a flow-through cell that houses an adsorbent. Odor molecules wafting in the air are collected on the surface of the adsorbent. Then, odor vapor with an increased concentration is generated by heating the adsorbent to thermally desorb odor molecules. In the proposed system, a nano-porous silica monolith adsorbent is used because of its large surface area and high adsorption capability. A disk silica monolith adsorbent is directly glued on a heater to attain quick thermal desorption of the collected odor molecules. Experimental results show that odor vapor with four times higher concentration can be presented in 8 s by using the fabricated prototype system. The proposed system is expected to be used for assisting aged people with declined olfaction capabilities.

研究分野：計測工学

キーワード：計測工学 感覚・知覚・感性 ヒューマン・インターフェース

1. 研究開始当初の背景

災害救助犬は鋭敏な嗅覚を使い、瓦礫に埋もれた生存者を探索する。癌探知犬は、癌患者に特有な体臭を識別する。一方、人間の嗅覚は犬に比べて劣るが、既存のガス分析機器に比べて人間の鼻の匂い識別能力は優れている。特定のガスに反応するセンサや、数種類の匂いを識別できるセンシングシステムは、既に開発されている。しかし、人間の鼻のように1万種の匂いを即座に嗅ぎ分けることができる装置は、実現されていない。

本研究では、人間の鼻を優れた匂いセンサとして使い、その性能を最大限に引き出すシステムを実現する。食品工場では一定の割合で製品を抜き取り、品質検査を行っているが、匂いを確認する際にはセンサではなく人間の鼻が用いられている。何らかの方法で人間の嗅覚の検出感度を向上し、犬の嗅覚に少しでも近づけることができれば、食品検査以外にも様々な化学物質の分析に役立つものと期待される。

我々はこれまでに、図1に示す「嗅覚アシストマスク」を開発した^①。ガスマスクの外側に取り付けたガスセンサを使い、空気中を漂う可燃性ガスの濃度を測定する。その結果に応じてリンゴ香料の蒸気の濃さを調節し、ガスマスクの中に提示する。人間には匂いが感じられないほど可燃性ガスの濃度が希薄であっても、マスク内には明確に知覚できる強さの匂いが提示される。マスクを装着した作業者が室内を移動すると、微弱な匂いを直接的に鼻で感じて嗅ぎ回っているかのような感覚が得られる。この例では、可燃性ガスの濃度をリンゴの匂いの強さに置き換えて提示している。嗅覚アシストマスクを使えばガス漏れ位置を容易に突き止めることはできたが、どんな種類のガスが漂ってきても、センサが反応すれば同じリンゴの匂いが提示される。一方、空気中を漂う匂いを実際に強めて使用者に提示できれば、漂ってきた匂いが何であるか、使用者自身の鼻で嗅ぎ分け



図1 嗅覚アシストマスク

ることが可能となる。そこで、本研究において匂い濃縮器を開発する着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、空気中を漂う匂いを濃縮して使用者に提示し、人間の嗅覚の感度を増強するシステムを開発する。空気中に含まれるガス成分を濃縮すること自体は、既に行われている。ガスを吸着剤に捕集し、濃度を高めてからガスクロマトグラフなどの分析器にかける手法が普及している。しかし、ガス分析では一般に、内径4 mm程度のステンレス管に0.1 gほどの吸着剤を封入し、この中に空気を流してガス成分を吸着剤に捕集する。管の周囲に巻いたヒータを使い、吸着剤を200°C程度まで数十秒をかけて加熱すると、吸着したガス成分が揮発性の違いに応じて成分ごとに別れて揮発する。これをガスクロマトグラフィ分析器に導いてガス種を同定し、空気中に含まれていた含有量を定量化する。

しかし、濃縮した匂いを人間に直接嗅がせる試みは、ほとんど行われていない。分析機器と組み合わせて使う装置ではなく、濃縮した匂いを人間に提示する装置を開発する場合には、人間が匂いを嗅ぎたい時に瞬時に匂いを濃縮して提示できることが望ましい。人間の自然な呼吸周期に合わせて素早く匂いを濃縮することが可能になれば、匂い濃縮装置を使用していることを使用者に意識させることなく、あたかも自分の鼻の感度が向上したかのような感覚を与えることができるであろう。

そこで本研究では、濃縮した匂いを素早く提示できる装置の開発を目指した。高い匂い濃縮倍率を素早く得るために、少量でも高い匂い捕集能力を持つ吸着剤を選定し、大量の空気を吸引してその中に含まれる匂い分子を余すことなく捕集する。この吸着剤を瞬時に加熱して匂いを脱着し、高濃度に濃縮した匂い蒸気を使用者に提示する。

3. 研究の方法

吸着剤を短時間のうちに加熱し、捕集した匂い分子を一気に脱着するためには、熱容量を小さくすることが必要となる。そこで、高い匂い捕集能力を持つ吸着剤を選定して用いる。同じ量の匂い分子を捕集するのに必要な吸着剤の量が少なければ、それだけ短い時間で脱着温度まで加熱することができる。本研究では、シリカゲルを母材とし、大きな表面積を持つモノリス構造のナノ多孔体を吸着剤として用いた。

また、ガス分析に用いられるガス濃縮器では、金属管の中に顆粒状の吸着剤を充填した構造を持つものが多い。金属管の外側にヒータを巻いて加熱するが、管壁を通して管内の吸着剤に熱が伝わり、所定の温度に達するまでに多少の時間を要する。そこで、熱容量の小さなヒータを作成し、その上に吸着剤を接

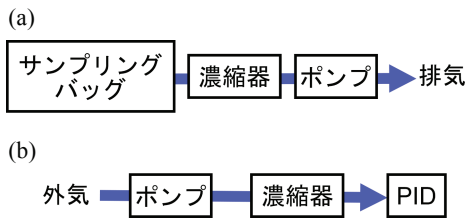


図2 ブタノール濃縮実験における装置の接続
(a) ブタノール吸着時の流れ
(b) ブタノール脱着時の流れ

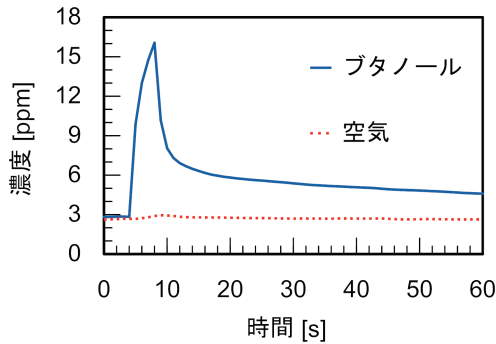


図3 加熱脱着したブタノールの濃度

着して直接加熱する構造とした。

このヒータと吸着剤をフローセルの中に入れ、空気を吸引して匂い分子を吸着する。十分な量の匂い分子が捕集されたら、吸着剤を加熱する。吸着剤から脱着した匂い分子はフローセル内の空気流に運ばれ、ユーザに提示される。ユーザに提示された匂い蒸気の濃度を C 、初めにフローセルの中に流した匂い分子の濃度を C_0 とするとき、匂い濃縮倍率を両者の比 C/C_0 で表すこととする。本研究では、光イオン化検出器 (photoionization detector、以下では PID と略す) を用いて濃縮前後の匂い濃度を測定し、濃縮倍率を評価した。

4. 研究成果

初めに、本研究で用いたシリカモノリス吸着剤の吸着能力を調べる実験を行った。匂い濃度の測定に用いた PID (ppbRAE 3000, RAE Systems) には様々なガスに対する校正係数が予め入力されており、その中からガス種を選べば、濃度を測定することができる。今回は、悪臭などの臭気判定において基準臭として用いられる 1-ブタノールを濃縮する実験を行った。

まず、0.02 g のシリカモノリス (MonoTrap RSC18 TD, ジェールサイエンス) をガラス管の中に入れ、ブタノールの濃縮を試みた。標準ガス発生器 (PD-1B-2, ガステック) を用いて一定濃度のブタノール蒸気を作り出し、サンプリングバッグに入れる。次に、シリカモノリスをガラス管に封入して濃縮器を構成し、サンプリングバッグ、ポンプを図 2(a) に示す順に接続する。シリカモノリスを通してブタノール蒸気を流量 0.8 L/min で 10 分間流

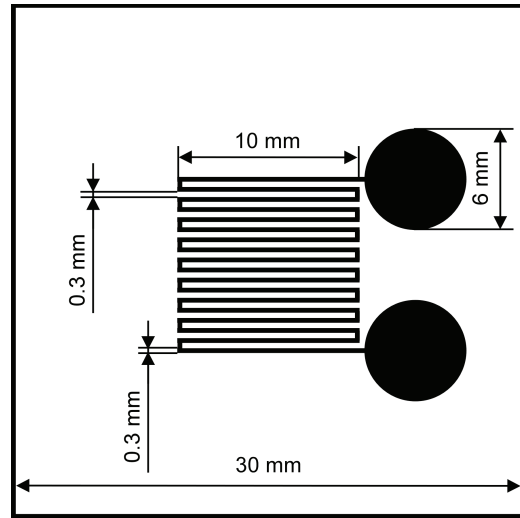


図4 ヒータの概略図

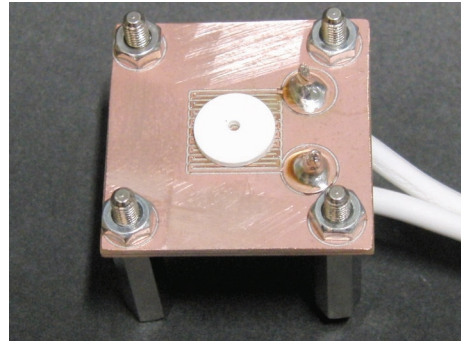


図5 シリカモノリスを接着したヒータ

し、ガスを吸着させた。捕集したブタノールを脱着させる際には、図 2(b) に示すように接続を変える。まず、ポンプを停止した状態で、150°C に設定したヒータを使い、ガラス管の外からシリカモノリスを 10 分間加熱する。その後、脱着したブタノールを流量 0.8 L/min の空気流で押し出し、ガラス管から出てきたブタノール蒸気の濃度を PID で測定した。

この実験の結果を図 3 に示す。サンプリングバッグ内のブタノール濃度を PID で測定したところ、8.4 ppm であった。一方、捕集したブタノールを加熱脱着した際に、ガラス管から出てきたブタノール蒸気の濃度は、最大で 16 ppm になった。ブタノールを 2 倍に濃縮できたことが分かる。比較のため、シリカモノリスを入れたガラス管に、ブタノール蒸気ではなく空気を流して同様の測定を行った結果も図 3 に示している。この場合には、シリカモノリスを加熱しても、PID の指示値はほとんど変化していない。ブタノール蒸気を流した後に現れた PID の指示値の変化は、捕集したブタノールが熱脱着して生じたものであることが確認された。

ガス分析用のガス濃縮装置に広く用いられている Tenax TA 吸着剤を用いて同様の実験を行ったところ、1.5 g の Tenax TA をステンレス管に詰めた濃縮器を用い、15 倍に濃縮

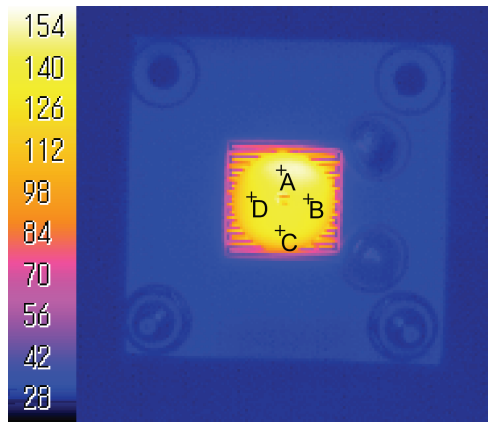


図6 ヒータ過熱時の温度分布

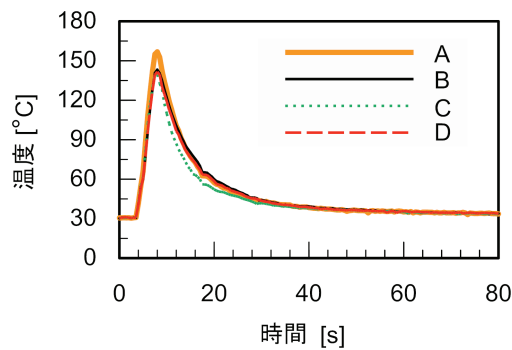


図7 シリカモノリスの表面温度の時間変化

したブタノール蒸気を 1.4 L/min の流量で得た。単位質量の吸着剤に吸着されていたブタノールの量を比較すると、シリカモノリスの方が 5.7 倍多い結果となった。シリカモノリスを使えば、少量の吸着剤で同じ濃縮倍率を実現できる。吸着剤の熱容量を小さくすることができ、瞬時に加熱するために有利であることが示された。

次に、シリカモノリス吸着剤を直接加熱するため、厚さが 35 μm の銅箔が貼られたガラスエポキシ基板を用い、図 4 に示すパターンのヒータを製作した。このヒータ上に直径 10 mm、厚さ 1 mm のシリカモノリス (MonoTrap DSC18, ジェールサイエンス) を、図 5 に示すように接着した。ヒータに 3.2 V の電圧を 3.7 秒間印加し、サーモグラフィカメラでシリカモノリスの表面温度を測定した結果を図 6 に示す。同図には、シリカモノリスの表面が最高温度に到達した時の温度分布を示している。また図 6 に示した点 A から D の温度変化を図 7 に示す。4 点の温度が立ち上がりから 4 秒程度で最高値に達し、匂いの脱着が可能で 150°C 程度までシリカモノリスが加熱されていることが確認された。

そこで、匂い濃縮器のプロトタイプを製作し、ブタノールを濃縮する実験を行った。図 5 に示すディスク型シリカモノリス吸着剤の上に直径 27 mm、深さ 1.5 mm のチャンバを被せ、内径 2 mm のステンレス管を 2 本接続してフローセルを構成した。標準ガス発生器

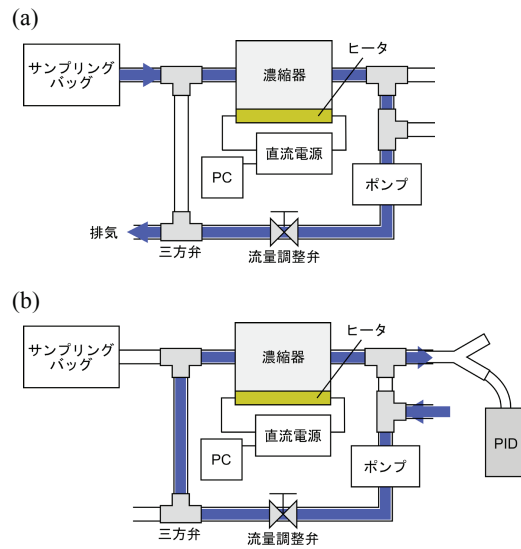


図8 匂い濃縮装置のプロトタイプの構成

(a) 匂い吸着時の流れ

(b) 匂い脱着時の流れ

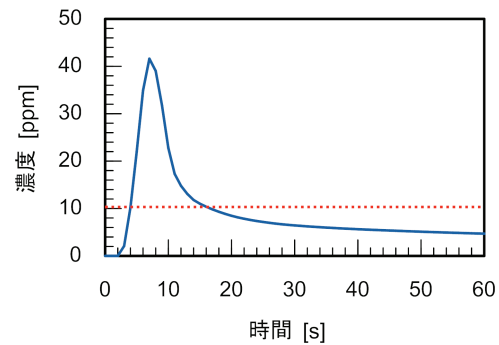


図9 提示されたブタノールの濃度
(図中の点線は濃縮前のブタノール濃度を表す)

で生成した一定濃度のブタノール蒸気をサンプリグバッグに入れ、図 8(a)に示すようにフローセルとポンプに接続する。ポンプの流量を 0.8 L/min に設定してサンプリグバッグ内のブタノール蒸気を吸引し、フローセルを通して 10 分間流し、ブタノールをシリカモノリスに吸着させた。この 10 分間のうち、最後の 30 秒間の間にポンプの吸引流量を 0.4 L/min に変更し、10 分が経過した時点で図 8(b)に示すようにバルブの接続を切り替える。ヒータに 3.3 V の電圧を 3.7 秒間印加し、脱着されたブタノールを流量 0.4 L/min の空気流で押し流して、濃縮器から出てきたブタノールの濃度を PID で測定した。ヒータに印加する電圧は、パーソナルコンピュータを用いて制御した。

この実験の結果を図 9 に示す。ヒータに電圧を印加してから 8 秒程度で、濃縮器から加熱脱着したブタノールが PID に達し、PID の指示値が上昇した。サンプリグバッグ内のブタノール濃度を PID で測定すると、10.3 ppm であった。図 9 には、この濃縮前のブタノール濃度を点線で示している。一方、濃縮

器から出てきたブタノール蒸気の濃度の最大値は41.6 ppmであり、4倍の濃度に濃縮することができた。

試作した装置を用いると、吸着した匂いを8秒程度で脱着し、匂いを4倍に濃縮して提示できる。濃縮前後の匂いを嗅いで強度を比較すると、匂いが強くなっていることがはっきりと感じられる。したがって、開発した装置を用いれば、嗅覚の衰えを補う「補嗅器」を実現できるものと期待される。加齢に伴い嗅覚が衰えると、食べ物が味気なく感じられるようになる。食品の匂いを増強して提示すれば、食事の楽しさを取り戻すことができる。しかし今回の装置では、十分な量の匂いを捕集するために0.8 L/minの流量で匂い蒸気を吸引し、最低でも2分程度は待つ必要がある。空気の吸引流量を増やせば、匂い吸着に要する時間を短縮することが可能であり、今後、装置の改良を行う。

<引用文献>

- ① 松倉 悠, 近江 淳平, 石田 寛, “嗅覚アシストマスクの開発”, 電気学会論文誌 E, vol. 133, no. 6, 2013, pp. 212–218.

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 石田 寛, 松倉 悠, 石田 華子, 村井 彩乃, “陸上や水中で化学物質の発生源を探索するロボット”, *AROMA RESEARCH*, vol. 18, no. 2, 2017, pp. 133–140, 査読無.
<http://www.fragrance-j.co.jp/book/b287822.html>

- ② Haruka Matsukura, Kazuya Takayasu, and Hiroshi Ishida, “Devices for assisting human olfaction: Some fundamental experiments,” *Procedia Chemistry*, vol. 20, 2016, pp. 60–62, 査読有.
DOI: 10.1016/j.proche.2016.07.010

[学会発表] (計 7 件)

- ① Hiroshi Ishida, “Mobile robot olfaction: Using actively generated airflow to enhance chemical reception,” *The 12th Asian Conference on Chemical Sensors*, 2017年11月12日～11月15日, ハノイ(ベトナム), 招待講演.
- ② 松倉 悠, 石田 寛, “匂い強度増幅装置の実現に向けて: 虚濃縮と実濃縮によるアプローチ”, 平成 29 年電気学会全国大会, 2017年3月15日～3月17日, 富山大学・五福キャンパス(富山県・富山市), 招待講演.
- ③ 河合 拓実, 松倉 悠, 岩見 健太郎, 石田

寛, “嗅覚感度増強装置の開発—匂い提示時間の短縮に向けた基礎的検討”, 第33回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2016年10月24日～10月26日, 平戸文化センター(長崎県・平戸市).

- ④ 高安 和也, 松倉 悠, 石田 寛, “嗅覚感度増強装置の開発—薄膜吸着剤の使用に関する基礎的検討”, 第16回日本機械学会機素潤滑設計部門講演会, 2016年4月18日～4月19日, グランディア芳泉(福井県・あわら市).

- ⑤ 高安 和也, 松倉 悠, 石田 寛, “嗅覚感度増幅装置の実現に向けた基礎的検討”, 平成 28 年電気学会全国大会, 2016年3月16日～3月18日, 東北大学・川内北キャンパス(宮城県・仙台市).

- ⑥ Haruka Matsukura, Kazuya Takayasu, and Hiroshi Ishida, “Devices for assisting human olfaction: Some fundamental experiments,” *The 11th Asian Conference on Chemical Sensors*, 2015年11月16日～11月18日, ペナン(マレーシア).

- ⑦ Hiroshi Ishida and Haruka Matsukura, “Mobile robot olfaction and olfactory assisting devices,” *The 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.

[その他]

ホームページ等

<http://web.tuat.ac.jp/~h-ishida/>

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・教授
研究者番号: 80293041

(2) 研究分担者

岩見 健太郎 (IWAMI, Kentaro)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 80514710

(3) 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