

ガスセンサアレイによる人工嗅覚実現へ向けた試み
Metal-Oxide-Semiconductor Gas Sensor Array Toward Artificial Olfaction

齋藤 雄太^{*1} 横山 誉宗^{*1} 田中 貴久^{*2} 内田 建^{*2}
Yuta Saito Takamune Yokoyama Takahisa Tanaka Ken Uchida

^{*1} 慶應義塾大学 理工学研究科 総合デザイン工学専攻
Faculty of Science and Technology, Keio University

^{*2} 慶應義塾大学 理工学部 電子工学科
Department of Electronics and Electrical Engineering, Keio University

As key components of artificial olfaction, small, stable, low-power, and highly selective gas sensors are demanded. Metal oxide semiconductor (MOS) gas sensors satisfy some of those requirements. However, sensors in this category do not have high selectivity against target molecules. On the other hand, it is considered that human olfaction is realized by a number of various low-selectivity acceptors and processing of acceptor signals in brain. In this work, we prepared a sensor array consisting of three MOS-based gas sensors with different target molecules. Sensor array responses to three kinds of Sake were analyzed using machine-learning techniques. Accuracy of Sake indefication was achieved to be greater than 90%.

1. はじめに

人工嗅覚を実現させる要素となるガスセンサは、小型・低消費電力、高いガス選択性や安定性が必要であるといわれている。現在開発されているガスセンサには酸化物半導体式ガスセンサや膜型表面応力センサ、導電性ポリマーセンサなどがあり、ナノワイヤやグラフェンなどの新素材を用いた研究も行われている[Kumar 15]。しかし、これらの要求をすべて満たすようなガスセンサはまだ実現されていない。

一般に流通している酸化物半導体式ガスセンサは、主に二酸化スズや酸化亜鉛などの酸化物半導体が用いられ、200-400℃程度まで加熱して使用される。ガス分子が半導体センサ表面に吸着すると表面で酸化還元反応が生じ、半導体中のキャリア密度や移動度が変化し、センサ抵抗が変化する。このため、センサの小型化が容易であり、小型化により感度上昇と低消費電力を実現することができる。一方で、酸化還元反応を利用しているためにガス選択性が低く、対象となるガス以外にも大きな応答を示してしまう。これにより、応答が任意の対象ガスであるのか正確な判定が難しく、汎用なにおいの識別は難しい。[北村 17]

また、ヒトの嗅覚の構造は対象となる化学物質が異なる複数の受容体で構成されており、それぞれの受容体も複数の化学物質に応答する。これらの受容体からの電気信号を脳で処理することによってヒトはにおいを識別しているといわれている。最近では深層学習によって画像内の物体認識を行う研究が広く行われており、同様の手法によってにおいの識別を行える可能性がある。

本稿ではヒトの嗅覚を参考にし、異なる種類の酸化物半導体式ガスセンサを複数組み合わせることでセンサアレイを作成し、データ解析によるにおい分析を報告する。においの対象としてヒトがある程度識別可能である、日本酒の銘柄識別とした。データ解析には前処理として正規化処理およびデータ拡張を行い、判別器には深層学習を用いた。センサアレイ及びデータ解析の

システムによって日本酒の各銘柄および大気状態のリアルタイムでの判別を検証する。また、他種センサにおける前処理手法について考案を行う。

2. 実験

2.1 センサアレイ

ユニバーサル基板上にセンサを固定し、センサアレイを作成した。使用したガスセンサは市販の酸化物半導体式ガスセンサ3種類を用いた。センサ番号とセンサ種類、型番、サンプリングレートを表1に示す。

表1 センサアレイで使用したセンサ

センサ番号	型番	対象ガス	サンプリングレート
Sensor 1	TGS2620	エタノール	1000 Hz
Sensor 2	TGS2602	VOC	1000 Hz
Sensor 3	TGS8100	水素	1 Hz

それぞれのセンサ回路(図 1)へ接続されている負荷抵抗の電圧値(V_{OUT})を測定し、電圧値をセンサ応答とした。

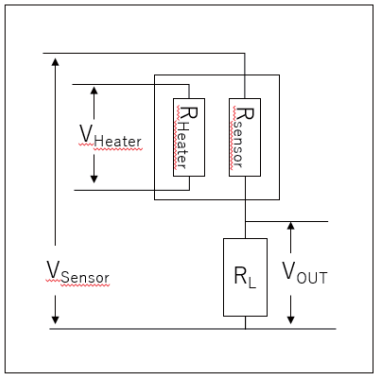


図1 センサ部分回路概要

連絡先: 齋藤 雄太, 慶應義塾大学 理工学研究科 内田研究室,
神奈川県横浜市港北区 3-14-1 14-306,
e-mail:saito@ssn.elec.keio.ac.jp

このセンサアレイを試験槽の蓋へ取り付け、試験槽内へ日本酒を入れた容器を設置し、蓋の開け閉めを繰り返すことにより日本酒のにおいの有無の切り替えを行った。一度の測定でおよそ15分間測定した。これをすべての日本酒にて複数回行った。反応概要を図2に示す。

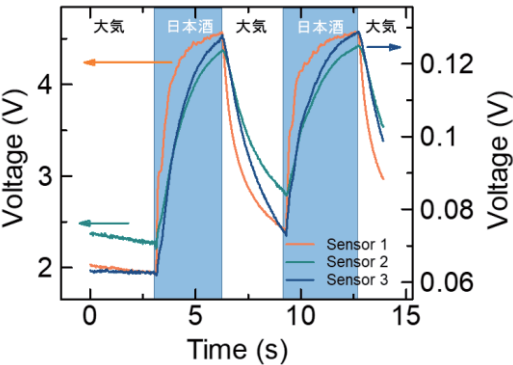


図2 センサアレイ反応概要(日本酒:八海山)

2.2 データセット

においの状態をリアルタイムで判別するため、15分間すべての測定を1データとするのではなく、30秒前から現在時刻までの30秒間を1データと定義した。データセットのパラメータをまとめたものを表2に示す。また、1データの概要を図3に示す。

表2 データセット詳細

ラベル	データ個数
大気	5,065 個
久保田(日本酒)	754 個
八海山(日本酒)	1,055 個
越乃寒梅(日本酒)	2,111 個

1データあたりのデータ点数はサンプリングレート×30秒間より、Sensor 1, 2 は30,000点、Sensor 3は30点となっている。

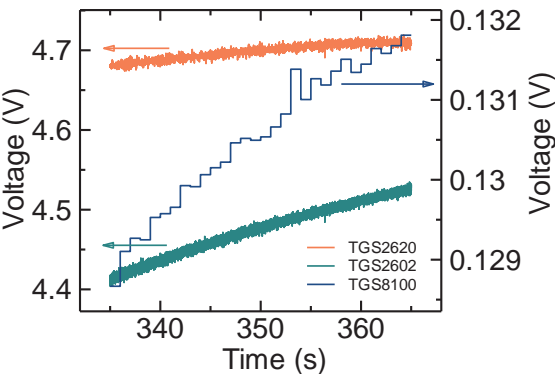


図3 1データ例(日本酒:八海山, 334-364秒)

3. 解析手法

3.1 前処理

深層学習で学習するに当たって、データセットへいくつかの前処理を行った。センサの仕様によりセンサ経路へ入力している電圧(図1 V_{Sensor})が異なっているため、センサ応答のレンジが異なっている。これを入力電圧で割ることでレンジを0~1となるように正規化処理を行った。

センサ数に依存しない配列処理として、各センサ毎にレイヤーを作成し、それぞれのセンサへ227x227の配列変換を行った。また、データ点の不足分は0パディングを行った。(図4)

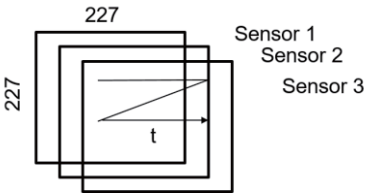


図4 前処理概要

Sensor 3においては、他のセンサよりデータ点数が少ないため、30点で学習したモデルと、それぞれのデータ点を1000個に複製し、データ点数を30,000点へ拡張したデータセットも用意し、それぞれの比較を行った。また、センサ毎にデータを削減し、単一センサとみただけの場合の比較も行った。

3.2 深層学習

本研究では分類器として深層学習を用いた。ネットワーク部分はAlexNetをベースとしたCNNを用い、最適化手法はAdam、反復回数は1000回とした。前処理を行ったデータセットは8:2に分割し、それぞれを訓練、テストセットとした。訓練セットによって学習したモデルをテストセットで検証した精度を表3に示す。

表3 各データセットの日本酒識別精度

データセット	精度
単一センサ(平均)	81.73%
全センサ(データ拡張前)	80.97%
Sensor 3 データ拡張後	90.72%

データの拡張することによって90%以上の精度得られた。単一センサとした場合と、データ拡張していない全センサの精度が同様であることから、各センサの特徴を生かしていないと考えられる。データ点数をそろえることによって各センサの特徴が現れるようになり、センサアレイの効果を得たにおいの識別が可能になった。

4. おわりに

本稿では市販の酸化物半導体式ガスセンサによるセンサアレイとデータ解析によって日本酒の銘柄を識別した。判別精度として90%程度の精度を得ることができた。また、データ点数が異なる場合、データ点数を拡張することによって精度向上の効果が得られることが示唆された。

今回の判別器では各センサデータを2次元配列にし、時系列情報へ周期性を持たせてしまっていたが、1次元配列にし、より時系列情報の効果を得られるように改善をしていきたい。

参考文献

[北村 17] 北村雅季, 酸化物半導体ガスセンサのための材料作製技術: 最近の研究動向, J. Vac. Soc. Jpn, 2017.
[Kumar 15] Rakesh Kumar, Shweta Malik, B.R. Mehta: Interface induced hydrogen sensing in Pd nanoparticle/graphene composite layers, Sensors and Actuators, B: Chemical, 2015.