

味覚・嗅覚センサによる化学物質のセンシング

Sensing for chemical substances by taste and odor sensor

矢田部 壘^{*1} バルトシュ ヴィシンスキー^{*1} 劉傳軍^{*1} 田原祐助^{*2} 小野寺武^{*1} 栗焼久夫^{*2} 都甲潔^{*1,2}
 Rui Yatabe Bartosz Wyszynski Liu Chuanjun Yusuke Tahara Takeshi Onodera Hisao Kuriyaki Kiyoshi Toko

^{*1} 九州大学 味覚・嗅覚センサ研究開発センター

Kyushu University Research and Development Center for Taste and Odor Sensing #1

^{*2} 九州大学 システム情報科学研究院

Kyushu University Faculty of Information Science and Electrical Engineering #2

Recently, chemical sensors are getting attention. Almost sensors are used measuring for physical quantities. Detection of chemical substances is carried out by analytical methods. We have developed a taste sensor and an odor sensor. The taste sensor is able to quantify taste of chemical substances. The odor sensor is able to detect the odor of explosives with ultra-high sensitivity. In addition of these sensors, we make presentation about a sensor for discrimination and quantification of chemical substances by pattern recognition using multichannel sensors.

1. はじめに

近年、化学物質のセンシングに注目が集まっている。従来、センサといえば音や光・磁気などの物理センサが主であり、化学物質の検出には分析的手法を用いるか犬のような動物の嗅覚や人間自らの味覚や嗅覚を用いているのが現状である。

例えば食べ物は多種多様な化合物から形成されるが、その味を評価する手段として最も広く行われているのは人間が実際に食して行う官能検査である。匂いについては爆発物や違法薬物の検査が探知犬によって空港などで行われている。

しかしこれらの方法は問題点も多い。分析的手法は一般的に時間がかかることが多く、また専門知識を備えた分析官によりデータ解析が必要であり、多くの場合では単一の分析結果では答えを得ることができない。人間や犬のような動物を使う方法では日による感度の変動や動物の個体差があるだけでなく、1日の稼働時間が短い。例えば犬の場合は集中力の問題で2~3時間しか稼働できないだけでなく、その間、ハンドラーと呼ばれる人間の専門家が付き添い、指示を出したり犬のモチベーションを高めたりする必要がある。

これらの問題を解決するために我々の研究室では味覚および嗅覚センサの研究開発を行ってきた。低分子量の有機物質

の検出にはその選択性の違いによってレセプターと対象が1:複数、1:1、複数:複数の物に分けることができる(図1)。ここではそれらの例として食品や医薬品の味を測定する「味覚センサ」と爆薬の匂い成分を超高感度に検出する「SPR 免疫センサ」とマルチチャンネルセンサの応答からパターン認識で物質を識別・定量を行う「低分子用 InSECT デバイス」を紹介する。

2. 味覚センサ

味覚センサは人間の味覚を再現するセンサで、サンプルの化学物質を分析するのではなくサンプルの“味”に対して応答するセンサである。人間の味覚は塩味・酸味・うま味・苦味・甘味の基本五味で表現でき、それぞれ親水性・疎水性、電荷の状態などに特徴がある。味覚センサはそれらの特徴に適応する脂質高分子膜を用いて味の情報を電気信号に変換するセンサである(図2)。これを広域選択性と呼び、味覚センサの大きな特徴である[Toko et al. 2013, Habara et al. 2006]

実際に味覚センサを用いてビールを測定した結果を図3に示す。この図から、いわゆるビールと呼ばれる飲料品には様々な苦味を持つものがあるが、発泡酒と日本で言われる製品は苦味が少なく酸味が多く、その後発売された第3のビールではその傾向がさらに高まる。一方で、その後に発売された第4のビールでは元々のビールの味に近いことが分かる。この様に味覚センサを用いることで味の情報を視覚的・客観的に表現することができる。

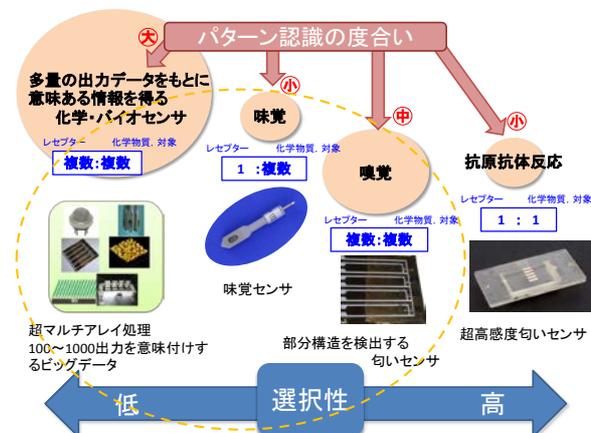


図1 検出手法と選択性



図2 味覚センサ TS-5000Z

連絡先: 矢田部壘, 九州大学, 福岡県福岡市西区元岡 744 W2-459, [092-802-3762](mailto:yatabe@nbelab.ed.kyushu-u.ac.jp), yatabe@nbelab.ed.kyushu-u.ac.jp

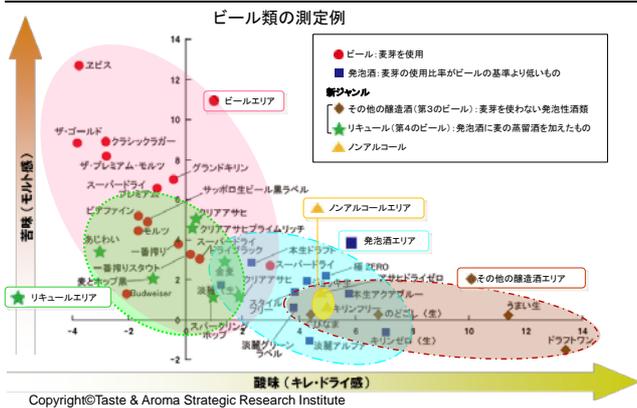


図3 ビールのテイストマップ
(株式会社 味の素 提供)

3. SPR 免疫センサ

SPR 免疫センサとは抗原抗体反応と表面プラズモン共鳴 (Surface Plasmon Resonance: SPR) センサを組み合わせたセンサで、検知対象物の特定の匂い物質を超高感度に検出できるセンサである。抗原抗体反応は生物の持つ免疫反応の一つで、対象分子に対して高い選択性を持っている。SPR センサは超高感度な屈折率計で、センサ表面で起こる相互作用を超高感度に検出できる。これらを組み合わせることで超高感度かつ高い選択性を持ったセンサが実現できる。

この SPR 免疫センサにより一般的な軍用爆薬であるトリニトロトルエン (TNT) を検出した例を図4に示す [Yatabe et al. 2013]。このグラフは各濃度でのセンサ応答の検量線である。この検量線のグラフとブランク測定標準偏差の3倍より、その検出限界は 5.7ppt となった。犬の検出限界は数十 ppt とされているので、この結果は犬に比べて 10 倍程度高感度といえる。しかしながら測定に約 30 分程度かかり、1 分程度で測定を終える方法を用いても検出限界が約数百 ppt 程度まで落ちるため、この点が課題である。

4. 低分子用 InSECT デバイス

上記の味覚センサや SPR 免疫センサは人間にとって意味のある応答を1つのレセプターを用いて実現していた。味覚の場合は基本味が存在し、それに対して高い選択性を持つレセプターによって味覚センサが実現された。しかし嗅覚には基本匂いというものがない。そのため SPR 免疫センサでは特定の1成分に的を絞り、爆薬の匂いを抗原抗体反応のような選択性

TNT 測定結果(間接競合法)

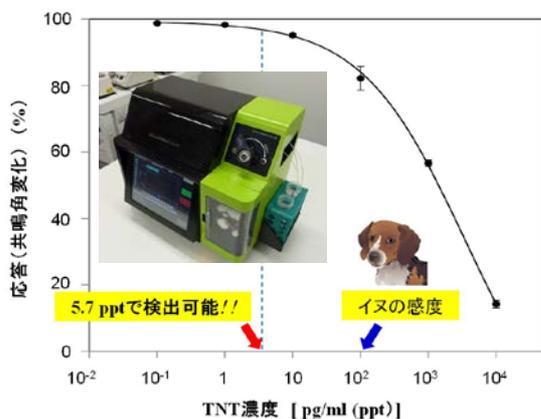


図4 SPR免疫センサによる TNT の高感度検出

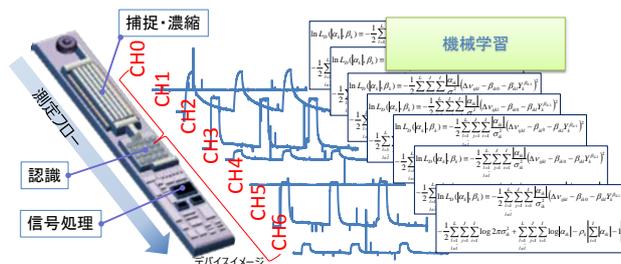


図5 低分子用 InSECT デバイス

の高い手法を用いて検出を行ってきた。しかし多種多様な物質を同時検知する場合、抗原抗体反応では対象ごとに抗体を作製する必要があり現実的ではない。

そこで病気をストレスのマーカーとなる多種多様な低分子を簡便に検出する方法として考え出されたのが低分子用 InSECT デバイスである。コンセプトとしては簡便・安価・高耐久を実現するために生体由来の抗原抗体反応を用いない。そのために感度・選択性に劣るが高耐久で安価な人工物質をレセプターとして用いる。そして感度を補うために濃縮部を持ち、選択性を補うためにパターン認識を用いる(図5)。このデバイスの目標について特徴的なのは物質を識別するだけでなく、その濃度も定量することである。

この InSECT デバイスのレセプターとしてガスクロマトグラフィの固定相物質や分子インプリンティング材料、人工ペプチドなどを用いる。これらと対象分子との相互作用を電気抵抗や電位の変化としてセンサ応答を得る。これらの複数の応答特性データを機械学習によって調整されたモデルにより識別・定量を行う。このようなデバイスにより我々の生活空間に存在する多種多様な化学物質を簡便かつ迅速に識別・定量できれば安全・安心な社会の実現に貢献できると考えられる。

5. むすび

化学物質を定量的に検出するセンサとして味覚センサ、SPR 免疫センサ、低分子用 InSECT デバイスを紹介した。味覚センサは人間の感じる味に選択的に応答するセンサであり、SPR 免疫センサは特定の化学物質にのみ選択的に応答するセンサであった。一方で低分子用 InSECT デバイスでは個々のレセプターは幅広い物質に応答し、単独では低い選択性しか持たない。しかしこれらを多数用いて得た応答に対し機械学習を用いた高度なデータ処理を行うことで物質の識別と定量を行うことができる。このようなデバイスは簡便かつ迅速な化学物質の測定を行えるだけでなく、機械学習のモデルを変更することで様々な物質の検出が可能になり、社会的にインパクトを与えうる成果につながる事が期待される。

参考文献

[Toko 2013] Toko, K.: Biochemical Sensors, Mimicking Gustatory and Olfactory Senses, Pan Stanford Publishing, 2013.
 [Habara 2006] Habara, M.; Toko, K.: Taste Sensor. In Encyclopedia of Sensors, American Scientific Publishers, 2006.
 [Yatabe 2013] Yatabe, R., Onodera, T., and Toko, K.: Fabrication of an SPR sensor surface with antifouling properties for highly sensitive detection of 2,4,6-trinitrotoluene using surface-initiated atom transfer polymerization. Sensors, 2013.