

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月22日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560348

研究課題名（和文）

匂いセンサと生物の嗅覚系を模倣した匂いセンシングシステムの開発

研究課題名（英文）

Development of odor sensors and odor sensing system mimicking biological olfactory system

研究代表者

齋藤 稔 (SAITO MINORU)

日本大学・文理学部・教授

研究者番号：20318330

研究成果の概要（和文）：

本研究では、有機材料フタロシアニンを感応膜とした安定性・信頼性に優れた匂いセンサの開発を行った。そして、これらの匂いセンサが特に窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）に対して高感度に（ppbオーダーから）応答することを見出し、爆発物検知装置への応用の可能性を示した。また、様々な匂いに対する高い識別能力を有する匂いセンシングシステムを実現することを目指し、ナメクジ嗅覚系の生理実験を行い、その結果に基づいて嗅覚系ニューラルネットワークのハードウェアモデルを構築した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we developed stable and reliable odor sensors using phthalocyanine films. The sensors could detect NO<sub>x</sub> sensitively from 1 ppb order, suggesting their application to the detection of explosives. To realize the odor sensing system which can discriminate various odors, we also attempted to construct the olfactory hardware neural network models based on the physiological experiments on the olfactory system of land slugs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：センシング技術、嗅覚情報処理

## 1. 研究開始当初の背景

生物の味覚・嗅覚では、非常に多くの種類の化学物質を同時に受容しており、その受容

機構・認識機構はあまりよく解明されていない。また、その量を客観的に表現する尺度がなく、味覚・嗅覚の機能を模倣したセンサの

開発も遅れている。このため、人を使った官能試験が広く行われているが、健康状態により結果が変動したり、疲労のため長時間の試験ができないなどの欠点があり、客観的な計測手段の開発が望まれている。特に、嗅覚の機能を模倣した匂いセンサが実現できれば、様々な応用分野が期待される。例えば、食品・飲料や化粧品などの工業分野では工程管理・製品開発・検査などに、環境計測分野では大気汚染・悪臭の計測やビル・住宅の空調管理などに、医療・健康分野では口臭・体臭テストなどに応用可能である。また、防災関連でガス爆発や火災の早期検知に使われる可能性もある。さらに、犯罪捜査・危険物検知の分野での応用も期待できる。例えば、匂いセンサを用いた麻薬臭の検出装置が開発されれば、空港などで麻薬の不法持込みの阻止に役立つ。また、火薬の匂いを検知することにより爆発物検知装置が開発されれば、空港や発電所などの重要施設におけるセキュリティ向上につながる。

## 2. 研究の目的

本研究では、人工的な有機材料であるフタロシアンオンやトリエタノールアミンを感応膜とした安定性・信頼性に優れた匂いセンサの開発を行うことを目的とした。同時に、実験動物、特に軟体動物の嗅覚系の生理実験を行い、匂い情報がどのように脳の神経細胞の活動パターンによって処理されるかを解明し、それに基づいて嗅覚系ニューラルネットワークのハードウェアモデルを構築する。そして、これを匂いセンサと組み合わせて様々な匂いに対する高い識別能力を持つ匂いセンシングシステムを構築し、これを主に爆発物検知装置として実用化することを目指した。

## 3. 研究の方法

(1) フタロシアンオンとトリエタノールアミンを感応膜とした場合の匂いセンサの応答特性を確認し、これによりどのような分野に応用可能かを調べた。特に、爆発物検知装置への応用の可能性を検討した。  
(2) 爆発物検知装置への応用に向けて、爆薬から蒸気として発生する成分に関するデータの分析および本匂いセンサの感度について検討を行った。そして、さらに速い検知スピード、高い検出感度を実現するため、感応膜の成膜条件（本匂いセンサでは感応膜の成膜には真空蒸着を用いる）の最適化、また最適な検出方式の考案を行った。  
(3) 生物の嗅覚機構に基づき、様々な匂いに対する高い識別能力を有する匂いセンシングシステムの構築を試みた。このため、実験動物、特に軟体動物の嗅覚系の生理実験を行い、匂い情報がどのように脳神経系の活動パ

ターンによって処理されるかを調べた。また、その結果に基づき、嗅覚系ニューラルネットワークのハードウェアモデルを考案した。

(4) 以上の研究結果に基づき、ハンディタイプの匂いセンサ装置の試作を行った。

## 4. 研究成果

(1) まず爆発物検知装置への応用を視野に入れ、爆薬から発生する成分に関するデータを分析し、それに適する匂いセンサの感応膜材料の選択、センサ素子構成の検討を行った。その結果、検出対象を爆薬から発生する窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )とし、感応膜材料としては主に銅フタロシアンオンを用いることにした。センサ素子構成としては、これまで主に楕形電極を用い、匂い物質が吸着した際の感応膜の電気特性の変化から匂い物質を検出する方式を用いてきたが、さらにSAW (Surface Acoustic Wave) デバイスの挿入損失変化を測定する新規な検出方式を考案した。そして、基板温度・成膜速度・膜厚等の成膜条件の最適化を行った結果いずれの方式でもppbオーダーの $\text{NO}_x$ の検出が可能になった。

(2) 本匂いセンサが $\text{NO}_x$ 以外にアミン系匂い物質や二酸化硫黄に対してもppbオーダーから応答することを見出した。また、フタロシアンオンの中心金属を変えることにより、匂いセンサの応答特性が変化することを見出し、本匂いセンサが様々な匂い物質を検出可能であることが分かった。このことから、例えば医療・健康分野への応用も考え得る。すなわち、病気の罹患患者から発生する匂い物質（がん患者の呼気には揮発性有機化合物（アルカン、芳香族化合物など）、糖尿病患者の呼気にはアセトン、肝機能・腎機能障害患者の呼気にはアミン系物質（アンモニア、トリメチルアミンなど）が含まれていることが分かっている）を本匂いセンサで検出することにより、病気を早期発見できる可能性がある。

(3) ナメクジ嗅覚系の生理実験を行い、ナメクジが匂い認識を行う際、嗅覚系において神経細胞の活動の同調性が変化し、それぞれの匂いに応じた特有の時空間活動パターンが形成されることが分かった。その結果に基づいて、ナメクジ嗅覚系ニューラルネットワークのハードウェアモデルを構築した。そして、匂いセンサからの信号をこの嗅覚系ニューラルネットワークモデルに入力できるような構成を考案し、その出力時系列パターン及びそれから再構成したアトラクタから様々な匂いを識別できる可能性をシミュレーションにより確認した。

(4) 爆発物検知装置への応用を含め汎用的な匂いセンサ装置の実現のため、ハンディタイプ（10cm×10cm×5cm）の匂いセンサ装

置の試作を行った。また、上記の嗅覚系ニューラルネットワークモデルを匂いセンサ装置に搭載するため、その IC 化を可能とする回路構成を検討した。

#### 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 7 件)

- ① Yuuta Hamasaki, Makoto Hosoi, Shogo Nakada, Tomoya Shimokawa, Minoru Saito, Fluorescence Voltage Imaging Technique for the Measurement of Molluscan Neural Activities, Open Journal of Biophysics, 査読有, Vol. 3, 2013, 54-58.
- ② Minoru Saito, Yuuta Hamasaki, Makoto Hosoi, Shogo Nakada, Various Firing Patterns Found in a Giant Neuron of the Pond Snail *Lymnaea stagnalis* and Their Dynamics, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol. 82, 2013, 034801-1-4.
- ③ Shinnosuke Asai, Katsutoshi Saeki, Minoru Saito, Yoshifumi Sekine, A Study on Odor Sensors Using Copper Phthalocyanine, Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, 査読有, C-W2-04, CD-ROM, 2012.
- ④ Yoshimasa Komatsuzaki, Yusuke Hatanaka, Gen Murakami, Hideo Mukai, Yasushi Hojo, Minoru Saito, Tetsuya Kimoto, Suguru Kawato, Corticosterone Induces Rapid Spinogenesis via Synaptic Glucocorticoid Receptors and Kinase Networks in Hippocampus, PLoS One, 査読有, Vol. 7, 2012, e34124.
- ⑤ Hiromi Osanai, Akiyoshi Suzuki, Yoshimasa Komatsuzaki, Hideo Mukai, Suguru Kawato, Minoru Saito, The binding site for acute corticosterone effects on N-methyl-D-aspartate receptor-mediated  $Ca^{2+}$  signals in mouse hippocampal slices, Journal of Biophysical Chemistry, 査読有, Vol. 2, 2011, 430-433.
- ⑥ 齊藤健, 増本秀史, 内木場文男, 関根好文, 齋藤稔, 嗅覚中枢の振動パターンを生成するパルス形ハードウェアニューラルネットワークのIC化に対する検討, 電気学会研究会資料, 査読有, ECT-11-1101, 2011, 55-60.
- ⑦ 齊藤健, 畑野裕一, 齋藤稔, 関根好文, パルス形ハードウェアカオスニューロンモデルを用いた嗅覚中枢の振動パターン生成, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 130/7, 2010, 1102-1107.

[学会発表] (計 22 件)

- ① 杉山克俊, 浅井信ノ輔, 佐伯勝敏, 齋藤稔, 関根好文, SAW センサを用いた二酸化硫黄濃度測定に対する一検討, 2013 年電子情報通信学会総合大会, 2013 年 3 月 19 日~22 日, 岐阜
- ② 下川智也, 浜崎雄太, 石田康平, 齋藤稔, 匂い刺激に対するナメクジ嗅覚神経系の時空間活動パターン変化とその非線形解析, 第 22 回非線形反応と協同現象研究会, 2012 年 12 月 8 日, 東京
- ③ 増本秀史, 齊藤健, 齋藤稔, ナメクジ嗅覚中枢の振動パターンを生成するパルス形ハードウェアニューラルネットワークの検討 II, 第 22 回非線形反応と協同現象研究会, 2012 年 12 月 8 日, 東京
- ④ 下川智也, 浜崎雄太, 小松崎良将, 齋藤稔, チャコウラナメクジ嗅覚神経系に見られる時空間活動パターンとその非線形解析, 第 50 回日本生物物理学会年会, 2012 年 9 月 22 日~24 日, 名古屋
- ⑤ 仲田正吾, 細井誠, 小松崎良将, 齋藤稔, ヨーロッパモノアラガイの中枢神経系における神経活動の膜電位イメージング, 第 50 回日本生物物理学会年会, 2012 年 9 月 22 日~24 日, 名古屋
- ⑥ 田中裕一, 加藤功弥, 齋藤稔, 小松崎良将, 軟体動物ナメクジの嗅覚中枢における長期活動ダイナミクス, 第 50 回日本生物物理学会年会, 2012 年 9 月 22 日~24 日, 名古屋
- ⑦ 浜崎雄太, 下川智也, 齋藤稔, チャコウラナメクジ嗅覚神経系に見られる時空間活動パターンとその非線形解析, 第 35 回日本神経科学大会, 2012 年 9 月 18 日~21 日, 名古屋
- ⑧ 杉山克俊, 金森洋介, 浅井信ノ輔, 佐伯勝敏, 齋藤稔, 関根好文, SAW センサを用いた二酸化窒素濃度測定システムに対する検討, 平成 24 年電気学会 C 部門大会, 2012 年 9 月 5 日~7 日, 弘前
- ⑨ 仲田正吾, 細井誠, 齋藤稔, モノアラガイの咀嚼運動に関わる神経系における神経活動の膜電位イメージング, 第 21 回日本バイオイメーキング学会学術集会, 2012 年 8 月 26 日~28 日, 京都
- ⑩ 浜崎雄太, 下川智也, 石田康平, 齋藤稔, チャコウラナメクジ嗅覚神経節における神経活動パターンの膜電位イメージング II, 第 21 回日本バイオイメーキング学会学術集会, 2012 年 8 月 26 日~28 日, 京都
- ⑪ Shinnosuke Asai, Katsutoshi Saeki, Minoru Saito, Yoshihumi Sekine, A Study on Odor Sensors Using Copper-Phthalocyanine, The 27th International Technical Conference on Circuits/

Systems, Computers and Communications, July 15-18, 2012, Sapporo

- ⑫ 浅井信ノ輔, 金森洋介, 佐伯勝敏, 齋藤稔, 関根好文, トリメチルアミン濃度検出用匂いセンサに対する検討, 2012年電子情報通信学会総合大会, 2012年3月20日~23日, 岡山
- ⑬ 浜崎雄太, 齋藤稔, チャコウラナメクジ嗅覚神経系に見られる時空間活動パターンとその非線形解析, 日本生物物理学会関東地区研究会, 2012年3月5日~6日, 東京
- ⑭ 浜崎雄太, 齋藤稔, チャコウラナメクジ嗅覚神経系における時空間活動パターンの非線形解析, 第21回非線形反応と協同現象研究会, 2011年12月17日, 広島
- ⑮ 仲田正吾, 細井誠, 齋藤稔, 軟体動物モノアラガイの中枢神経節における時空間活動パターンの膜電位イメージング, 第21回非線形反応と協同現象研究会, 2011年12月17日, 広島
- ⑯ 増本秀史, 齊藤健, 齋藤稔, ナメクジ嗅覚中枢の振動パターンを生成するパルス形ハードウェアニューラルネットワークの検討, 第21回非線形反応と協同現象研究会, 2011年12月17日, 広島
- ⑰ 浜崎雄太, 細井誠, 小松崎良将, 向井秀夫, 齋藤稔, チャコウラナメクジ嗅覚系の電氣的振動パターンのウェーブレット解析, 第34回日本神経科学大会, 2011年9月14日~9月17日, 横浜
- ⑱ 齊藤健, 増本秀史, 浜崎雄太, 関根好文, 齋藤稔, ナメクジの嗅覚神経系モデルのためのパルス型ハードウェアニューラルネットワーク, 第34回日本神経科学大会, 2011年9月14日~9月17日, 横浜
- ⑲ 浜崎雄太, 中川聡, 小山内裕美, 小松崎良将, 向井秀夫, 齋藤稔, 第20回日本バイオイメージング学会学術集会, 2011年

8月31日~9月2日, 千歳

- ⑳ 細井誠, 仲田正吾, 小山内裕美, 小松崎良将, 向井秀夫, 齋藤稔, モノアラガイの巨大ニューロンに見られる複雑な活動パターンとその膜電位イメージング, 第20回日本バイオイメージング学会学術集会, 2011年8月31日~9月2日, 千歳
- ㉑ Yuuta Hamasaki, Makoto Hosoi, Minoru Saito, Nonlinear analysis of firing patterns of the central giant cell of *Lymnaea stagnalis*, Neuro 2010, September 2-4, 2010, Kobe
- ㉒ Ken Saito, Yuuta Hamasaki, Hirokazu Hatano, Minoru Saito, Fumio Uchikoba, Yoshifumi Sekine, Olfactory center model of land slug using pulse-type hardware chaotic neuron models, Neuro 2010, September 2-4, 2010, Kobe

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

齋藤 稔 (SAITO MINORU)  
日本大学・文理学部・教授  
研究者番号: 20318330

### (2) 研究分担者

佐伯 勝敏 (SAEKI KATSUTOSHI)  
日本大学・理工学部・教授  
研究者番号: 60256807

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: