

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05869

研究課題名（和文）味蕾細胞モデルを模したVOCセンサーシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a VOC sensor system that bases a taste bud cell model

研究代表者

中村 修（Nakamura, Osamu）

筑波大学・環境安全管理室・教授

研究者番号：00400466

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は混合有機溶剤蒸気（VOC）のセンサーによるリアルタイム分離計測の実現である。複数の有機溶剤を実際に使用している印刷工場において現状を調査し、混合VOCのリアルタイム分離計測は社会的に必要な技術であることを確認した。本研究においては、2成分の混合VOCを分離定量することとし、3層ニューラルネットワークを構成した。2種の特性の異なるセンサーを用い、ガスに対する各センサーの応答特性関数をニューラルネットワークで学習し、特性関数から各VOCの分離定量ができる仕組みである。結果として、シミュレーション上において2成分の混合VOCの分離計測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

VOCセンサーが新規に発売されることは稀である。我々は社会的な実装の実現性を重視して、既存の市販VOCセンサーを選択し、分離計測が可能であることを示した。新規にセンサー素子を開発するより、実装に向けたプロセスは短くなることが期待できる。混合VOCの分離計測が求められている分野は労働衛生管理だけではなく、プロセス管理、一般環境管理など多岐にわたる。加えて今回提案したスパイクングニューラルネットワークは、複数のセンサーからの混合出力を分離し、それぞれの成分量を把握するものなので、VOC濃度だけではなく、光や音などにも適用可能な汎用的な技術になる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a sensor system for real-time measurement of mixed organic solvent vapors (VOC). We have conducted a field study at a printing plant and confirmed that real-time measurement of mixed-VOC was a necessary technology. We have address by separating and quantifying the two component mixed VOC. In the present study, two types of sensors with different characteristics were used and the response characteristic function of each sensor to the gas was trained by a spiking neural network. The concentration of each VOC was estimated from the response characteristic function. As a result, we successfully measured the separation of two VOCs in the simulation.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：スパイクングニューラルネットワーク 教師なし学習 揮発性有機溶剤 センサー

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 有機溶剤を使用した者が、そこから発生する有機溶剤蒸気(VOC)を吸い込み健康を害する事例が後を絶たない。平成 26 年には印刷業において、高濃度でかつ複数種類の混合 VOC に継続的にばく露された事による、使用者の集団的な胆管ガンの発生が社会問題化した。わが国では法律で指定された有機溶剤を使用する際には、定期的に作業場における有機溶剤濃度を測定(作業環境測定)する義務がある。作業環境測定では複数種類の VOC が空气中に混在している場合でも対応可能である。これにより一定の管理状態は維持されている。しかし、混合 VOC に対応した作業環境測定は、空気を捕集して分析室に持ち帰り、様々な工程を経る必要がある。このためコストが高く、作業工程の変更時などで気軽に実施可能な方法ではない。一方、VOC の濃度は市販のセンサーでも計測可能である。この方法は簡便であり、計測値がリアルタイムで表示されるため工程変更時の安全確認などの場面で極めて有効である。しかし、VOC センサーには特異性が無く、どの VOC でも反応するため、混合 VOC が存在する空気を VOC センサーで計測すると、各成分の合算量が表示されるという欠点がある。VOC センサーによる混合 VOC の分離計測技術は、有機溶剤のばく露管理において待ち望まれている。

(2) これまで混合 VOC の分離計測の試みは行われてきている。保利らは混合 VOC の成分及び存在割合が既知である場合、センサーの表示値から各成分の濃度が推定できることを報告している。また、「Electronic Nose(電子鼻)」と称する、様々なセンサーを組み合わせる鼻のような機能を目指した報告もある。一方、生体においてはその様な機能は既に味覚や嗅覚において備わっている。これらの機能は味蕾細胞のような神経細胞の集合体により実現されている。五十嵐らは神経細胞を簡素化した数理モデル(神経細胞モデル)のネットワーク(スパイクングニューラルネットワーク)と市販の VOC センサーの組み合わせで、エタノール濃度の計測に成功している。スパイクングニューラルネットワークをより高機能なものにすることで、混合 VOC におけるそれぞれの VOC の応答特性を分離し、それに基づき混合 VOC の分離計測が出来るのではないかと考えた。

2. 研究の目的

一般利用が可能な方法で混合割合が任意の 2 成分系混合 VOC をリアルタイムで分離計測する方法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 結合されておらず、かつ同一でない Hodgkin-Huxley 型神経細胞モデル対に、同一の VOC センサー出力を模したパルス(周期パルス)および(ガンマ)分布ランダムパルスを入力して、神経細胞モデル対の出力波における同期の程度を確認した(図 1)。

(2) (1)で得られた神経細胞モデルを活用したスパイクングニューラルネットワーク(図 2)を考案した。濃度応答特性が異なる 2 種類の市販センサーに積分発火型神経細胞モデルをそれぞれ接続し、センサーからの出力に応じて周期パルスを発生させる。(1)の結果において最も同期率が向上した条件のランダムパルスを、これらの周期パルスに混合させた。隠れ層は(1)で検討した Hodgkin-Huxley 型の神経細胞モデル(以降「隠れ層ニューロン」)100 個で構成した。これらの隠れ層ニューロンの閾値はランダムに設定した。これらの隠れ層ニューロンの、VOC 種ごとの同期の程度をシナプスで学習し、これを通じて出力層である積分発火型ニューロンモデルに入力する。そして出力層から出力波の発火数からそれぞれの VOC 種の濃度応答曲面を作成した。学習には各 VOC 単独ガスのみ教師なし学習を適用した。VOC にはエタノールとイソブタンを想定した。得られた濃度応答曲面を用いて濃度任意の混合 VOC の分離計測を試みた。

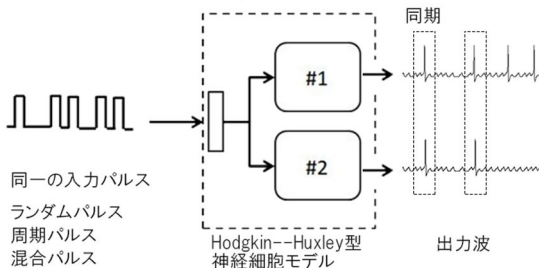


図 1 神経細胞モデル対の模式図

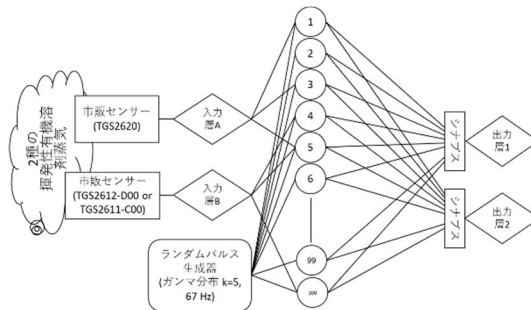


図 2 スパイクングニューラルネットワークの模式図

4. 研究成果

(1) カリウムイオンチャネル(発火閾値)をずらした分子細胞モデル対の出力波(以降「出力波」)の同期率は、分布ランダムパルス単独では、形状母数に依存した。一方、周期パルス単独では発火しなかった。これらの混合パルスの入力により、周期パルスの入力が励起され、入力波の周期に応じた周期的な応答を示した(確率共鳴)。これに伴い出力波の同期率は著しく向上した(ランダムパルス誘導同期)。また、入力波であるランダムパルスや周期パルスの周波数等によって出力波の同期の程度をコントロールできることも分かった。これらの性質は、ニューラルネット

ワークの隠れ層のノードとして有望なものであると結論した。
 (2)入力層からの周期パルスとランダムパルスの混合パルスによって、隠れ層ニューロンは(1)で確認した通りの周期的応答を示した。ただし、これらの隠れ層ニューロンの閾値が異なるので、同期の適度なばらつきが生じていた。このスパイクングニューラルネットワークに VOC 単一の教師無し教育のみを適用したにもかかわらず、混合 VOC におけるそれぞれの VOC の濃度応答曲面が得られた(図 3)。

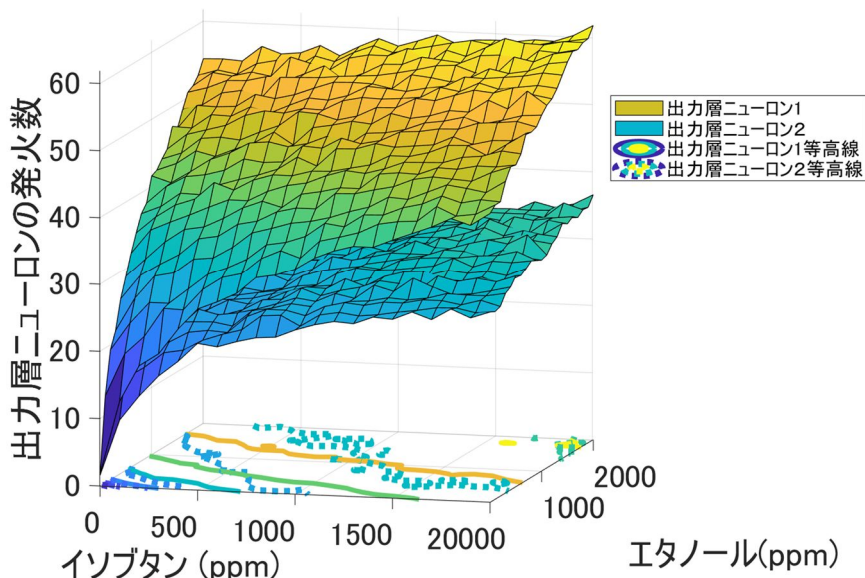


図 3 濃度応答曲面と等高線 (発火数は 1 秒あたり)

濃度未知の混合 VOC を学習済みのスパイクングニューラルネットワークに適用すると、それぞれの出力層ニューロンの発火数に基づき、等高線が 2 本得られる。それらの等高線の交点の座標から、各成分の濃度を推定した。その結果、イソブタン及びエタノールの共存下であっても、高い精度で濃度推定値が得られた(図 4)。2 成分系混合 VOC の分離計測に成功した。また、市販センサーを別の濃度特性を有する半導体型 VOC センサーに換装した場合でも、分離計測の性能を維持したことを確認した。

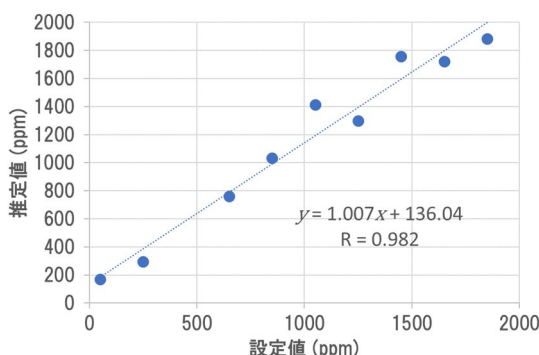


図 4 エタノール検量線
 (イソブタン 1000 ppm 共存下)

本研究では一般利用が可能なもののみを使用した混合 VOC の分離計測の道筋を示した。このため社会的な実装は比較的容易であると推測される。

参考文献

保利一, 上川路香, and 石松維世. 2010. “リアルタイムモニタリング法による混合有機溶剤蒸気の評価法の検討.” *作業環境* 31 (2): 57–62.

Yang, Wei., Wan, Peng., Jia, Mingyan., Hu, Jiming., Guan, Yafeng. and Feng, Liang. 2015. “A Novel Electronic Nose Based on Porous In₂O₃ Microtubes Sensor Array for the Discrimination of VOCs.” *Biosensors and Bioelectronics* 64: 547–53.

Tateno, Katsumi., Igarashi, Jun., Ohtubo, Yoshitaka., Nakada, Kazuki., Miki, Tsutomu. and Yoshii, Kiyonori. 2011. “Network Model of Chemical-Sensing System Inspired by Mouse Taste Buds.” *Biological Cybernetics* 105 (1): 21–27.

Nakamura, Osamu. and Tateno, Katsumi. 2019. “Random Pulse Induced Synchronization and Resonance in Uncoupled Non-Identical Neuron Models.” *Cognitive Neurodynamics* 13 (3): 303–12.

Nakamura, Osamu., and Tateno, Katsumi. 2020. “Mixed gas concentration estimation using a spiking neural network model” *RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020*: 159-162.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakamura Osamu, Tateno Katsumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Random pulse induced synchronization and resonance in uncoupled non-identical neuron models	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	6. 最初と最後の頁 30-312
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/s11571-018-09518-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Osamu Nakamura, Katsumi Tateno
2. 発表標題 Mixed gas concentration estimation using a spiking neural network model
3. 学会等名 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村修, 立野勝巳
2. 発表標題 印刷業における有機溶剤の健康障害リスクの把握と作業環境改善（続報）
3. 学会等名 第91回日本産業衛生学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Nakamura, Katsumi Tateno
2. 発表標題 A concerted spiking induced by a random pulse in uncoupled non-identical neuron models
3. 学会等名 6th International Symposium on Applied Engineering and Sciences (SAES2018)（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村修, 立野勝巳
2. 発表標題 共通ランダムパルス入力と協働した閾値下周期パルス入力による非結合神経細胞の周期的動機発火
3. 学会等名 第27回日本神経回路学会全国大会 (JNNS2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村修, 立野勝巳
2. 発表標題 印刷業における有機溶剤の健康障害リスクの把握と作業環境改善 (続報)
3. 学会等名 第91回日本産業衛生学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takaki Nakagawa, Osamu Nakamura, Katsumi Tateno
2. 発表標題 Algorithm for estimating gas concentration under a mixed VOC gas
3. 学会等名 SAES2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Osamu Nakamura, Katsumi Tateno
2. 発表標題 Periodic synchronization induced by common random pulse with periodic pulse in a spiking neural network model for sensor signal coding
3. 学会等名 NCSP'17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsumi Tateno
2. 発表標題 Periodic phase synchronization induced by random pulse in uncoupled non-identical neuron models
3. 学会等名 International Conference on Communication and Computing Systems (ICCCS2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 濃度判定装置、検知器、及びプログラム	発明者 中村修、立野勝巳	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-192961	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	立野 勝巳 (Tateno Katsumi) (00346868)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授 (17104)	