

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360175

研究課題名(和文) 新たな香りセンサを用いた電子調香師の構築と香り制御による快適空間の創生

研究課題名(英文) Construction of a New Type E-Nose and Creation of Comfortable Space by Odor Control

研究代表者

大松 繁 (Omatsu, Shigeru)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：30035662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は新たな電子調香師の構築とそれを用いた香り制御による快適空間の創生を行うことである。このために、香り計測システムとして半導体ガスセンサによる香り計測システムと水晶振動子を用いたガスセンサによる香り計測システムを新たに構築し、香り識別の高度自動化を図った。さらに、香りを構成する組成分析を行い、香り合成を試み、香り制御系を構築して、快適香り空間の創生を行った。

研究成果の概要(英文)：The aim of the research is to construct a new type e-nose system by developing two kinds of gas sensors and to make a comfortable odor space by using an odor control system. Two kinds of odor sensors are metal oxide semiconductor gas sensors and quartz crystal microbalance gas sensors. Using those sensors, we construct an intelligent odor classification system. Then we have constructed a comfortable odor space by using odor control systems autonomously.

研究分野：システム工学

キーワード：香り計測 香り制御 香り識別 香センサ 酸化物半導体ガスセンサ 水晶振動子ガスセンサ 香り制御

1. 研究開始当初の背景

(1) 古代から香りは人類に共通した癒しの文化を形成し、近年では香りのみならず匂い全般に対する研究へ発展し、嗅覚機能に関する医学的知見による匂い情報処理の研究も行われている。しかし、国内では、嗅覚に関する工学的研究が視覚の研究と比較してあまり脚光を浴びていない。

(2) 国外では、2004年にLinda B. Buck and Richard Axelが嗅覚受容体に関する研究論文でノーベル生理学・医学賞を受賞したが、国内と同様に嗅覚に関する研究はあまり盛んでないが、欧米では香りに関する関心が高く、香り識別の研究は徐々に注目されると思われる。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、香り分子の脱離を高速に行う香りセンサの開発とそれをアレイ状に配置したセンサアレイおよびモレキュラーシーブを用いた高感度香り計測装置の作製と電子調香師の構築および香り制御による快適な香り空間の創生を行うことである。

3. 研究の方法

(1) 金属酸化物p型半導体を用いた香りセンサとセンサアレイの作製：香り計測に必要なセンサとしてマグネシウムクロメートによる金属酸化物p型半導体ガスセンサを開発する。酸化チタンと酸化マグネシウムをクロメート処理することによって、金属酸化物p型半導体を構成することができた。それをヒータで加熱することで、香りの有無によって抵抗が100倍程度変化するセンサを作製することができた。

計測すべき香りをモレキュラーシーブに吸着させ、その後にモレキュラーシーブを高温加熱して、注目している香り成分と関係のない水分やエタノール等の不純物を時系列的に分離して出力するモレキュラーシーブ法を提案し、それを用いた香り計測装置を新たに作製した。

(2) 水晶振動子を用いた香りセンサとセンサアレイの作製：本研究で開発する香り計測装置作成した。本研究で使用した水晶振動子は9MHzと20MHzであり、それらの水晶振動子の表面に香り計測用の膜をゾルゲル法で貼った。

(3) 本研究で開発する香り計測装置作成：金属酸化物p型香りセンサアレイと水晶振動子香りセンサアレイを直列に接続し、この香り計測の精度向上を図った。

(4) 香り計測と香りデータベースの構築：本研究で作製する香り計測装置を用いて、香料に関する様々な香りの計測データを収集し、香りデータベースを構築した。香りの種類として120種類を選出し、それぞれ、各香りに対

して50個の香りデータを収集し、それらをまとめたデータベースを構築した。

(5) 香りの独立成分・基本要素・香りの基本化学組成の推定：香り計測データからノイズを除去し、香りデータを構成する独立成分をICAで計算した。ICAで計測装置のセンサの個数と同じ独立成分を求めた。本研究では、香りセンサ個数は24個以上想定しているため、ICAの計算でセンサ個数×センサ個数の逆行列の計算が必要であり、これを高速化する研究手法について考察した。

(6) 香りの分解と合成：前記の香り計測データからICAと信頼性評価規範付きSOMの演算を行い、香りの基本要素を求めた。また、香り計測データを香りの基本要素（基本化学組成に対応）の線形荷重和で表現し、この表現は香りの分解を行った。

(7) 電子調香師：香り計測装置で不純物を除去した香り成分を金属酸化物p型半導体ガスセンサと水晶振動子香りセンサを通過させ、その特徴量を抽出し、調香師が識別した香りとなるようにニューラルネットワークを学習した。

(8) 快適な香り空間の創生：特定のユーザに対して、WEB検索の情報フィルタリングでユーザの好む香りを提示し、ユーザと対話的に香り調査を行ってユーザが希望する香り空間を創生した。

4. 研究成果

(1) 金属酸化物 p 型半導体を用いた香りセンサとセンサアレイの作製：香り計測に必要なセンサとしてマグネシウムクロメートによる金属酸化物 p 型半導体ガスセンサを開発した。その構造は図1に示す。

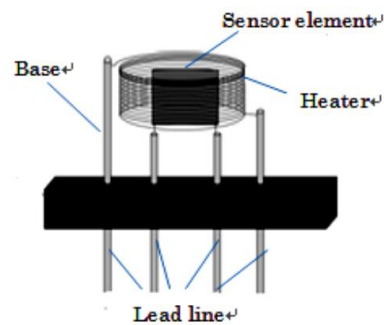


図1. 試作ガスセンサの構造

図2はガス感応特性として、 H_2 、 CO 、 C_2H_4 ガスに対して、ガス濃度と感応素子の抵抗値変化の割合(検出感度)と、ガスの吸脱着に伴う抵抗変化の時定数(応答速度)を計測した。検出感度 σ は、ガス濃度 C (ppm)の変化量 $(\log C_1 - \log C_0)$ と、感応素子の抵抗値 $R[\Omega]$ の変化量 $(\log R_1 - \log R_0)$ の比として、 $\sigma = (\log R_1 - \log R_0) / (\log C_1 - \log C_0) = \Delta \log R / \Delta$

logC と定義した。検出感度は添加物の種類によらず H₂ に対して最も高くなるが、H₂ に対する CO や C₂H₄ の相対感度は添加物によって異なる。また、応答速度も測定した結果、検出感度の差だけでは弁別が難しいガスを、複数の感応素子（例えば CO に対する時定数の長い Nb₂O₅ と C₂H₄ に対する時定数の長い ZrO₂）の応答速度の差も測定することで、識別できることが分かった。

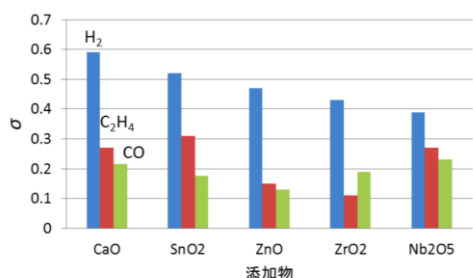


図 2. 検出感度

(2) 水晶振動子を用いた香りデータの計測：本研究で開発する香り計測装置作成し、p型香りセンサアレイと水晶振動子香りセンサアレイを直列に接続し、この香り計測の精度向上を図った。水晶振動子は9MHzと20MHzを用い、それらの水晶振動子の表面に香り計測用の膜をゾルゲル法で貼った。9MHzの感度が悪く周波数差が最大16Hzであったが、20MHzの場合には100~150Hzの周波数差を実現できた。しかし、センサ間の干渉がひどく、回路全体を全面的に改変することが必要であった。図3に水晶振動子9MHzに対する計測データの1例を示す。

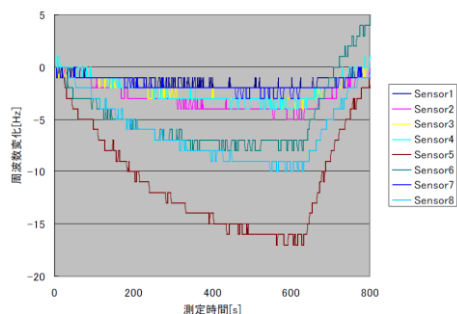


図 3. 水晶振動子香りセンサの香り計測結果

(3) モレキュラーシーブ法による香り成分の抽出機構を有する香り計測装置の作製：調香師のように極微量な香りを識別させるためには、水分や不純物による香りセンサの影響を取り除くことが重要である。本研究では、ガスクロマトグラフィの原理からヒントを得て、香り計測を行う前にこれらの不純物をハード的に除去する計測システムを構築した。

本研究で開発する香り計測装置は、金属酸化物p型香りセンサアレイと水晶振動子香りセンサアレイを直列に接続し、この香り計測の精度向上を図ったが、乾燥空気の圧力が弱く十分な計測が得られなかったため、金属酸

化物p型香りセンサアレイだけを用い、その結果の1例を図4に示す。

図4では11個の金属酸化物p型香りセンサを使用し、常温でワインの香りを計測し、1,200秒から2,000秒の間に常温から250℃まで上昇させたときのワインの香りに対するセンサ出力を示している。

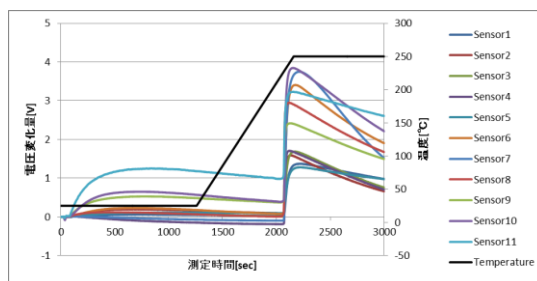


図4. モレキュラーシーブの温度変化による香りデータの時間変化

ワインの赤と白を分類するために、常温とヒータを利用した場合の違いを表1に示す。表1で、左列が検査入力、(常)は常温、(H)はヒータ使用を示す。僅かではあるが、モレキュラーシーブを用いた方が優れていることが分かる。

表1 ワインの識別結果

	白(常)	赤(常)	白(H)	赤(常)
白	92.3%	7.7%	97.5%	2.5%
赤	17.0%	83.0%	16.5%	83.5%

(4) 香りデータベース・独立成分分析・香りの基本要素：12個の金属酸化物p型半導体によるデータのみ限定して解析した。この理由は、水晶振動子20MHzに対する動作が不安定で、望ましい安定したデータが十分に得られなかったため、独立成分分析で得られる結果から統一的な結論を出すことが困難であると判断したためである。

まず、総数120種類の香りに対して、それぞれ、50個の匂いサンプルデータを収集し、それらを整理したデータベースを構築した。

無機化学物質の代表的な香りサンプルを12個選び、独立成分分析を適用した。その結果、かなり安定した12個の独立成分を得ることができた。この中で類似なものをSOMで類クラスタリングしたところ、6~10個程度のクラスタに縮約できた。これを香りの基本要素とした。

つぎに、有機化学物質の中で芳香族に属する20種類のデータについて同様な処理を行い、12個の独立成分を求め、それをSOMでクラスタリングした。この場合には基本要素数のバラツキが大きく8~10個となった。これは芳香族成分の違いによって、金属酸化物p型半導体による香りデータが大きく異なったためと思う。

(5) 香りの分解と合成：

香りの基本要素で香りを表現することを試みた。その結果、基本要素の直交性は保証されないが、基本要素以外の成分はノイズとして取扱い、香りの分解を完了した。香りの合成に関しては、香りの基本要素の化学組成がまだ解明されていないため、十分な香り合成は完成の域に達していない。

(6) 電子調香師・快適香り空間の創生：電子調香師に関しては、濃度が1～10 ppmまでの種々の香り成分に対しても精度よく識別できるシステムを略完成することができた。したがって、わずかな香りを検出し、それを基に、状態フィードバックで、香り制御を行うことで、望ましい香り空間を構成することが確かめられた。

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 20 件)

- ① S. J. Lu, A.H.M. Salleh, M. S. Mohamad, S. Deris, S. Omatu, and M. Yoshioka, Identification of Gene Knockout Strategies using a Hybrid of an Ant Colony Optimization Algorithm and Flux Balance Analysis to Optimize Microbial Strains, *Computational Biology and Chemistry*, Vol. 53, Part B, No. 12, 2014, pp.175-183
DOI:10.1016/j.compbiolchem.2014.09.008
- ② L. E. Chai, M. S. Mohamad, S. Deris, C. K. Chong, Y. W. Choon, S. Omatu, Current Development and Review of Dynamic Bayesian Network-Based Methods for Inferring Gene Regulatory Networks from Gene Expression Data, *Current Bioinformatics*, Vol. 9, No. 5, 2014, pp. 531-539
<http://www.ingentaconnect.com/>
- ③ Y. W. Choon, M. S. Mohamad, S. Deris, R. M. Illias, C. K. Chong, L. E. Chai, S. Omatu, and J. M. Corchado, Differential Bees Flux Balance Analysis with Opt-Knock for in Silico-Microbial Strains Optimization, *PLoS ONE*, Vol. 9, No. 7, 2014, Article ID 124537, 10 pages
DOI:10.1155/2015/124537
- ④ M. Yano, K. Koike, K. Mukai, T. Onaka, Y. Hirofujii, K. Ogata, S. Omatu, T. Maemoto, and S. Sasa, Zinc Oxide Ion-Sensitive Field-Effect Transistors and Biosensors, *Phys. Status Solidi A* 211, No. 9, 2014, pp. 2098-2104
DOI 10.1002/pssa.201300589
- ⑤ 寺田 二郎、平原 陽介、大松 繁、佐々 誠彦、矢野 満明、 $(Zn_{1-x}Mg_x)Cr_2O_4-TiO_2$ 系 P 型セラミックスガス感応素子の特性、*電気学会論文誌 E*, Vol. 134, No. 9、2014、pp. 308-314
DOI:10.1541/ieejsmas.134.308
- ⑥ K. Shirai, Y. Amano, and S. Omatu, Improving Throughput by Considering the Production Process, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 9, No. 12, 2013, 4917-4930
ICIC International C 2013 ISSN pp.1349-4198
- ⑦ 寺田 二郎、平原 陽介、大松 繁、佐々 誠彦、矢野 満明、 WO_3 を添加した $MgCr_2O_4-TiO_2$ 系 P 型セラミックスガス感応素子の特性、*材料*, Vol. 62, No. 11、2013、pp. 683-688
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ieejsmas/134/9/_contents/-char/ja/
- ⑧ K. Shirai, Y. Amano, and S. Omatu, Consideration of Phase Transition Mechanisms During Production in Manufacturing Processes, Vol. 9, No. 9, 2013, pp. 3611-3626
ICIC International C 2013 ISSN 1349-4198
- ⑨ K. Shirai, Y. Amano, and S. Omatu, Mathematical Model of Thermal Reaction Process Attached for External Heating Equipment in the Manufacturing Semiconductor (Part2), Vol. 9, No. 5, 2013, pp. 1889-1898
ICIC International C 2013 ISSN 1349-4198
- ⑩ K. Shirai, Y. Amano, and S. Omatu, Mathematical Model of Thermal Reaction Process Attached for External Heating Equipment in the Manufacturing Semiconductor (Part1), Vol. 9, No. 4, 2013, pp. 1557-1571
ICIC International C 2013 ISSN 1349-4198
- ⑪ H. Araki and S. Omatu, Measurement System for Metal-Oxide Gas Sensors, *Artificial Life and Robotics*, Vol. 17, Nos 3&4, 2013, pp. 357-361
DOI 10.1007/s10015-012-0061-1
- ⑫ K. Shirai, Y. Amano, and S. Omatu, Power-Law Distribution of Rate-of-Return Deviation and Evaluation of Cash Flow in a Control Equipment Manufacturing Company, Vol. 9, No.3, 2013, pp. 1095-1112
ICIC International C 2013 ISSN 1349-4198
- ⑬ H. Araki and S. Omatu, Measurement System for Quarts Crystal Microbalance

Sensors, Artificial Life and Robotics,
Vol. 17, Nos. 3&4, 2012, pp. 270-274
DOI 10.1007/s10015-012-0061-1

- ⑭ S. Omatu and H. Araki, Image Restoration by Revised Bayesian-Based Iterative Method, International Journal On Advances in Software, Vol. 5, Nos. 3&4, 2012, 358-367
ISSN:1942-2628,
<http://www.iariajournals.org/>
- ⑮ Y. Y. Leong, C. K. Chong, Y. W. Choon, L. E. Chai, S. Deris, R. M. Illias, S. Omatu and M. S. Mohamad, Simulation of Fermentation Pathway Using Bees Algorithm, Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal, Vol. 2, 2012, pp. 13-23
DOI: 10.14201/ADCAIJ201212
- ⑯ S. Omatu, H. Araki, T. Fujinaka, M. Yano, M. Yoshioka, H. Nakazum, and I. Tanahasi, Mixed Odor Classification for QCM Sensor Data by Neural Network, Vol. 2, 2012, pp. 43-48
DOI: 10.14201/ADCAIJ201212
- ⑰ 永島 侑佳 大松 繁 吉岡 理文、対数振幅スペクトルを用いたPSFの推定とボケ画像の復元、文、電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌)、Vol. 132、No. 2、2012、pp. 284-290
DOI: 10.154/ieejieiss.132.284
- ⑱ M. S. Mohamad, S. Omatu, S. Deris, and M. Yoshioka, A Modified Binary Particle Swarm Optimization for Selecting the Small Subset of Informative Genes From Gene Expression Data, IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, Vol. 15, No. 6, 2011, pp. 813-822
DOI:10.1109/TITB.2011.2167756
- ⑲ S. Omatu, M. Yoshioka, and T. Fujinaka, Neuro-PID Control for Electric Vehicle, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 15, No. 7, 2011, pp. 846-853
<https://www.fujipress.jp/JACIII/>
- ⑳ S. O. Olatunja, A. Selamata, A. A. A. Raheem, and S. Omatu, Modeling the Correlations of Crude Oil Properties Based on Sensitivity Based Linear Learning Method, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 24, No. 4, 2011, pp. 686-696
doi:10.1016/j.engappai.2010.10.007

[学会発表] (計5件)

- ① S. Omatu, Odor Sensing and Intelligent Classification, RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, (Keynote Speech), 2015-2

<http://www.risp.jp/NCSP15/>

- ② S. Omatu and M. Yano, E-Nose System by Using Neural Networks, 11th Int. Symp. on Distributed Computation and Artificial Intelligence (DCAI 2014), Springer Lecture Note, Advances in Intelligent Systems and Computing 290, 2014, Salamanca Spain, 311-318
DOI:10.1007/978-3-319-07593-8_36
- ③ S. Omatu, M. Yano, and T. Fujinaka, Odor Classification Based on Weakly Responding Sensors, 10th Int. Symp. on Distributed Computation and Artificial Intelligence (DCAI 2014), Springer Lecture Note, Advances in Intelligent Systems and Computing 217, 2014, Salamanca Spain. pp. 121-128
DOI:10.1007/978-3-319-00551-5_15
- ④ S. Omatu, Odor Sensing and Classification by Intelligent Neural Networks, The fifth Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, Kuala Lumpur, Malaysia, (Keynote Speech), 2013-3
<http://seminar.spaceutm.edu.my/aciids2013/>
- ⑤ S. Omatu, New Trends on Odor Sensing and Classification, ADVCOMP 2011, Lisbon, Portugal, (Keynote Speech), 2011-11
<http://www.proceedings.com/14376.html>

[図書] (計2件)

- ① T. Nakamoto, IGI Global, Human Olfactory Displays and Interfaces: Odor Sensing and Presentation, S. Omatu, Chapt. 5, 2013, 533
ISBN-13: 978-1466625211
- ② V. Haasz, River Pub. , Advanced Data Acquisition and Intelligent Data Processing, Chapt. 7, S. Omatu, Odor Classification by Neural Networks, 2014, 245
ISBN-10: 8793102739

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計1件)

名称：匂い識別方法
発明者：大松 繁、吉岡 理文、岡崎 誠司、
松山 健吾、松田 純一

権利者：学校法人 常翔学園
種類：特許
番号：特許第 5403621
出願年月日：2010 年 2 月 19 日
取得年月日：2013 年 11 月 8 日
国内外の別： 国内

〔その他〕
ホームページ等
www.oit.ac.jp

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大松 繁 (OMATSU Shigeru)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号：30035662

(2) 研究分担者

矢野 満明 (YANO Mitsuaki)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号：4020563

原嶋 勝美 (HARASHIMA Katsumi)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号：20238174

(3) 連携研究者

()

研究者番号：