

遠隔匂い再現装置を用いた匂い源の遠隔探知ゲーム

米 澤 和 也[†] Bartosz Wyszynski[†] 中 本 高 道[†]

本論文では遠隔地の匂いおよび映像を再現するシステムの基本原理を紹介し、またそのシステムを用いて嗅覚を頼りに一次元の匂い源探知を行う「遠隔匂い源探知ゲーム」の概要を説明する。また、デモを実施し 168 名のアンケート結果からシステムの有効性を確認した。

Game of odor-source localization from remote site using teleolfaction system

KAZUYA YONEZAWA,[†] BARTOSZ WYSZYNSKI[†]
and TAKAMICHI NAKAMOTO[†]

This paper introduces the basic principles of the odor reproduction together with movie at a remote site. It also explains the game of odor-source localization from remote site, where a user performs one-dimensional exploration by sniffing the smell. Moreover, the questionnaire survey for 168 people revealed the effectiveness of the proposed system.

1. はじめに

近年、視覚や聴覚に合わせて嗅覚情報の記録及び再現に関する研究が行われている¹⁾。匂いのセンシングには匂いセンサを、香りの提示には嗅覚ディスプレイを用いる。筆者らは視聴覚に合わせて匂いを記録し再生する研究を行い、さらに遠隔地でリアルタイムで香りの再現を行う方法を提案し、その実演も行った²⁾。遠隔地で匂いを再現する概念は以前から提案されていたが³⁾、実際に実現したのは筆者のグループが最初である。

最初を対象の移動を手動で行っていたが⁴⁾、移動ステージでセンサのノズルを移動できるようにし⁵⁾、さらに検知対象を増加させて実験を行った。また、画像と匂いを同期させる方法を工夫しなめらかな画像とともに匂いが伝送できるようになった⁶⁾。

本論文では遠隔匂い再現システムを用いた遠隔匂い源探知ゲームへの応用を紹介し、大学祭で 168 名に体験してもらった結果を報告する。

2. 基本原理

本論文で作成したシステムには、図 1 に示すように匂いの測定および判別を行う嗅覚入力モジュール、匂いの再現を行う嗅覚出力モジュール、そしてそれらの

橋渡しとなる通信モジュールを用いた。また、匂いセンシングと同時に Web カメラで映像を取得、転送し、体験者側のコンピュータスクリーン上に表示している。映像と匂いは同期するようにしており、体験者は遠隔操作で回転台を操作し嗅覚出力モジュールが発生する匂いを頼りに匂い源の位置を探索する。ここではそれぞれのモジュールについて簡潔に動作原理を述べる。

2.1 嗅覚入力モジュール

入力モジュールは匂いの測定を行う複数の水晶振動子 (Quartz Crystal Microbalance: QCM) センサおよび測定した匂いの種類を判別する判別器で構成されている。入力モジュールの構成を図 2(a) に示す。

QCM センサは水晶振動子の表面に匂い分子を吸着させる感応膜を成膜したもので、匂いの吸着に伴い発振周波数が変化する⁷⁾。センサ単体の選択性は幅広く、単体で匂い判別を行うことはできないが、異なる種類の感応膜を塗布した複数のセンサで構成されるセンサアレイ全体の応答パターンを機械判別の手法で分類することで多種多様な匂いを判別することが可能となる。本システムで使用している QCM センサ (20MHz, AT カット) に Siponate DS-10 (以下 DS-10)、Apiezon L (以下 AP-L)、リボポリマ被覆金ナノ粒子 + DS-10 (以下 NAU)、リボポリマ + Tween80 (以下 S2-T80)⁸⁾ の感応膜を成膜している。このセンサとレシプロカル方式のマルチャンネル周波数カウンタ⁹⁾を用い、melon, orange, banana 香料を測定した結果を図 3 にそれぞれ示す。この図から香料を嗅がせている

[†] 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

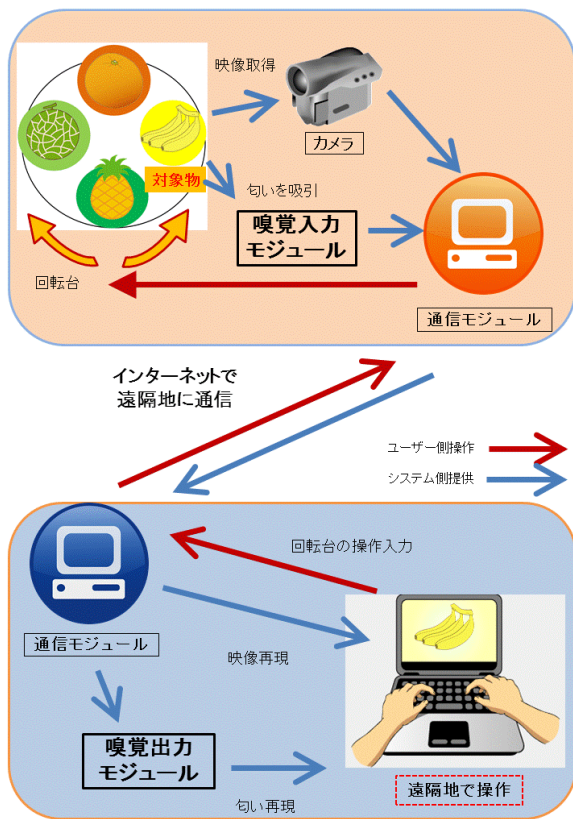


図 1 システム全体図

Fig. 1 Whole structure of teleolfaction system

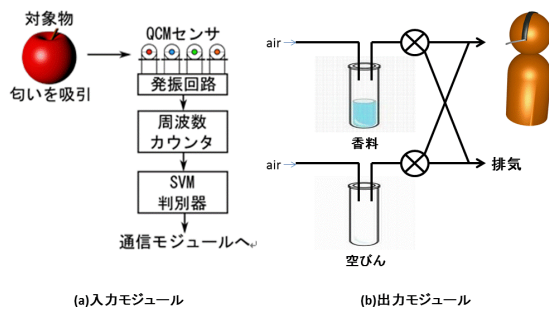


図 2 嗅覚インターフェース

Fig. 2 Olfactory interfaces

間にセンサの発振周波数が変化しており、各サンプルに対するセンサアレイ応答パターンが異なることが分かる。

筆者らは応答パターンの判別アルゴリズムとして Learning Vector Quantization (LVQ)¹⁰⁾ と、よりロバスト性に優れた Support Vector Machine (SVM)¹¹⁾ を使用可能であるが、前報⁶⁾ で優位が示された SVM を採用している。

SVM は入力データを高次元空間に写像するカーネ

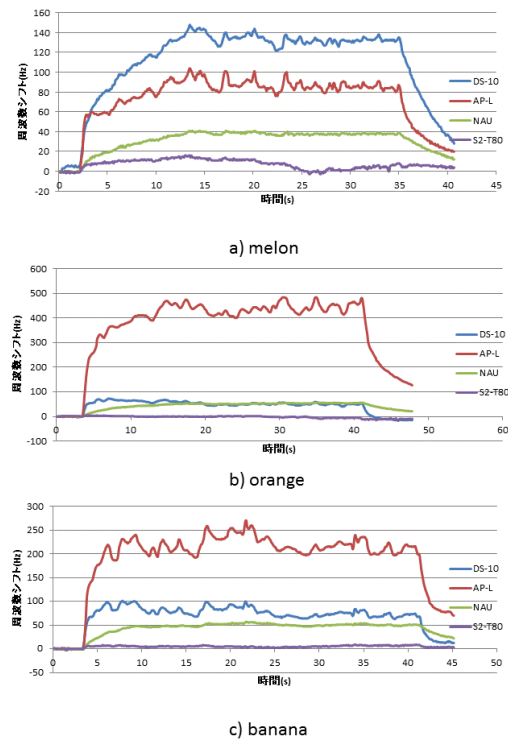


図 3 各香料を測定した場合のセンサ応答

Fig. 3 Sensor response to each flavor

ル関数と呼ばれる関数を用いることで非線形な境界をもつデータに対しても最適な判別境界を求めることが可能である。さらに、多群の入力データを 1 つの群とその他に分けて判別を行うという操作を各群に対して行うこと (One-Rest 法) で、多群判別への応用も可能である。本システムではカーネル関数として Gaussian カーネルを、多群拡張の手法として One-Rest 法を用いた SVM を Microsoft Visual C# 2010 を用いて独自に実装して使用している。

実装した SVM を用いて Apple, Melon, Orange の各香料を判別した結果を図 4 に示す。ただし、測定には 4 つのセンサを利用しているため測定結果に対して主成分分析を行い次元圧縮して得た平面上にデータを示しているとともに、主に匂いを嗅がせている部分を円で囲ってある。また、図の背景がそれぞれの香料と判別される領域を示している。この結果から、匂いを嗅がせている部分に関してほぼ正確に判別が行えていることが分かる。

2.2 通信モジュール

通信モジュールは嗅覚入力モジュールおよび Web カメラから得られたデータをリアルタイムで転送し、嗅覚出力モジュールおよびコンピュータスクリーンによって再現するものである。

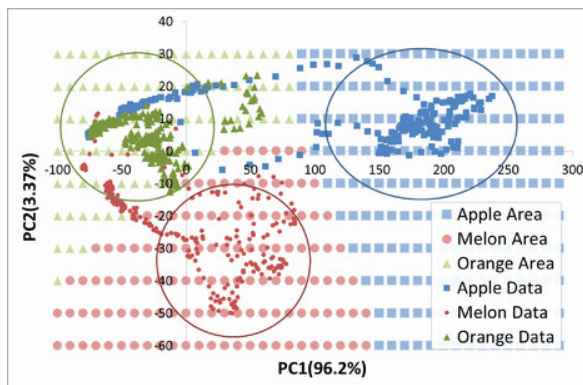


図 4 SVM で判別を行った結果
Fig. 4 Result of SVM classification

このシステムでは匂いおよび映像を専用のデータフォーマット (Odor Included Video: OIV⁶⁾) へと変換し、それを UDP プロトコルで連続的に転送することでリアルタイム転送を実現している。

2.3 嗅覚出力モジュール

出力モジュールは指定された匂いを調査、出力する嗅覚ディスプレイ装置で構成されている。

本システムで用いている嗅覚ディスプレイ装置は著者らが開発したもので現在はメーカーが製作しており、13 種類の匂い成分を電磁弁により高速に切り替えることで複雑な混合臭の調査を可能にしている¹²⁾。図 2(b) ではサンプル瓶の液体試料上のヘッドスペースの匂いと空気を電磁弁で切り替え、両者の割合を調整して人の鼻に匂いを提示する。それを 13 成分に拡張して混合できるようにした。嗅覚ディスプレイ装置の外観と使用の様子を図 5、図 6 にそれぞれ示す。図 6 ではユーザーの鼻元のノズル (嗅覚ディスプレイとチューブで接続されている) より香りがユーザーに提示される。

3. 装置の製作と実演

前章の原理に基づき実際にシステムを製作した。このシステムは遠隔地から操作できる回転台の上の特定の位置に香料を染み込ませ、その位置における匂いをセンサノズルで吸引、そして遠隔地で再現するものである。遠隔地のユーザーは画面に映される映像を見ながら回転台を操作し、嗅覚を頼りにターゲットを探すこととなる。システムに用いているプログラムはすべて Microsoft Visual C# 2010 を用いて記述した。製作したシステムの外観を図 7 に、ユーザーインターフェースのスクリーンショットを図 8 に示す。

回転台のカメラに近い側にセンサノズルが取り付けられており、匂いを含んだ空気が QCM センサへと送



図 5 嗅覚ディスプレイ装置 (小野電機製)
Fig. 5 Olfactory display (manufactured by Ono Electric)



図 6 嗅覚ディスプレイ使用時の様子
Fig. 6 Operation of olfactory display

られる。そして、センサノズル直下にある匂いが判別され通信モジュールへと渡される。回転台付近にはカメラを設置しており、映像は体験者のもとへと送られる。図 8 のようにユーザーは画面を見ながら回転台を遠隔操作することで、遠隔地における任意の位置の匂いを嗅ぐという体験を行うことができる。

ゲームを行うにあたって以下のような設定を行った。

- ターゲットの匂いはオレンジ
ターゲットを探す、というゲームの目的から匂いが分かりやすい香料を検討し、柑橘系であるオレンジを採用した。メロンとバナナの匂いも経路のいずれかにつけられているがこれらと区別して匂いを識別する。
- 回転台の上にダミーとなる果物の模型を設置
図 7、図 8 の果物は模型であり実際の匂いとは関係ないが回転位置の目印として用いている。また、視覚と嗅覚の齟齬により誤った判断を下すおそれがあるように状況設定を行った。

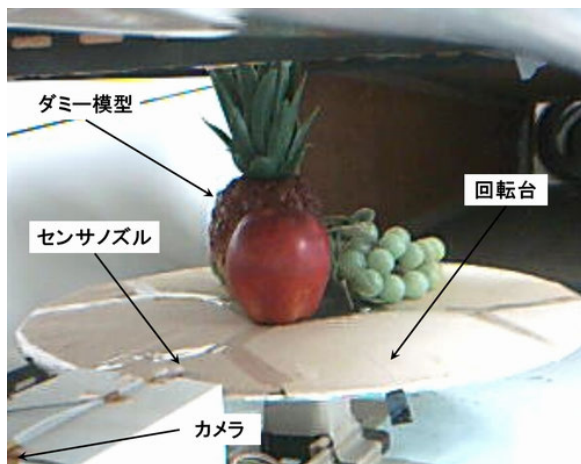


図 7 匂い源の埋め込まれた場所
Fig. 7 Place where hidden odor source is embedded

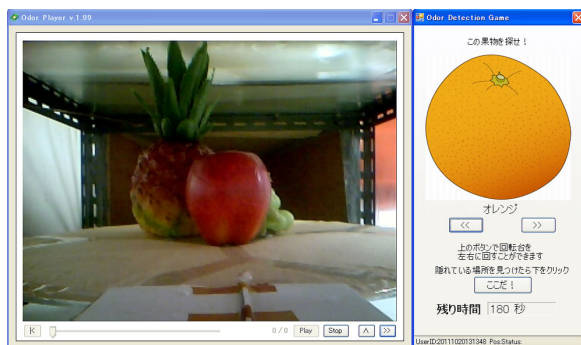


図 8 ユーザーインターフェイス
Fig. 8 User interface

- ターゲット以外にダミーとしてメロンとバナナの匂いを染み込ませる
システムは複数の匂いを判別可能なため、それを利用して対象以外にメロンとバナナの匂いを経路上につけた。模型とは意図的に異なる香料を選定した。
- 制限時間は 3 分
ゲーム性の向上が目的である。時間は数人の試行を行い少し余裕を持たせて設定した。
- 間違いは 2 回まで可能
同じくゲーム性の向上を目的として多くとも 2 回までに制限した。

2011 年 10 月に行われた大学祭においてこのシステムの実演を行い、同時にアンケートを実施した結果、男性 78 人、女性 90 人の計 168 人から有効な回答を得ることができた。アンケート結果の抜粋を図 9、図 10 に示す。

この結果から、実際にリアルタイムでの匂い再現が成功していることが分かったとともに、視覚、聴覚に次ぐ

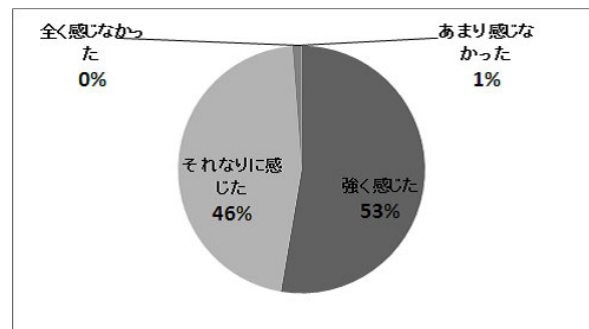


図 9 匂いをどれほど感じたかに対するアンケート結果
Fig. 9 Questionnaire-survey result about odor strength

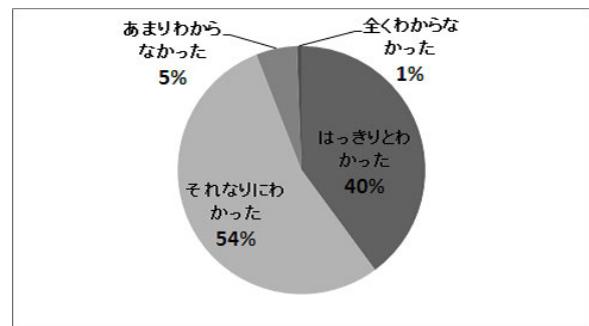


図 10 匂いの種類の違いに関するアンケート結果
Fig. 10 Questionnaire-survey result about odor recognition

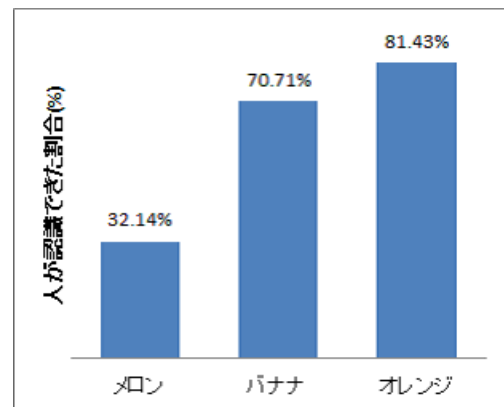


図 11 感じた匂いの種類に関するアンケート結果
Fig. 11 Questionnaire-survey result about type of odor users perceive

感覚再現として嗅覚が有用であることがわかった。

またどの匂いを感じたかという質問に対する回答を図 11 に示す。ただし事前に知らせてある匂いはオレンジのみである。

アンケートの尋ね方は選択肢を与えず自由に記述する形式だったため全体的に数値が低い、この結果からメロンの匂いを感じにくいことが見てとれる。しかし、ゲームではオレンジが対象だったためあまり影響はなかった。また上記の結果以外に模型から連想する

匂い、ガムの匂い、いろいろ混ざった匂いという意見があった。

視覚に引きずられて実際にはない模型の匂いを感じたり混乱する体験者が多かった。また、残り香から嗅覚が麻痺してしまう場合も見られた。

最後にゲームの難易度に対しての意見を年齢別で表 1 に示す。同表より子供にはやや難しく感じられたと考えられる。また、プレイ中説明をしながらデモを行ったので全体的に操作が簡単な方向に少し偏っている。しかし、体験者のアンケート記述より全体的に概ね好評を得られた。

4. 判別アルゴリズムの問題点とその改善策

本システムは匂い濃度、湿度、温度をきちんと制御した環境のセンシングではなく、大気中に放出された匂いをセンシングする必要がある。大気中の匂いは乱流により不規則に乱れるために外乱に対するロバスト性を向上させることが不可欠である。

前述のデモを通して得られた問題点とその解決策を以下に示す。

4.1 匂い有無アルゴリズム

本システムでは得られた応答に対して判別アルゴリズムを適用する前に、匂い有無アルゴリズムの処理を行っている¹³⁾。これは現在応答させている空間が匂い「有り」か「無し」かを判断するアルゴリズムであり、匂い「有り」と判断されて初めて判別が行われ、判別結果が得られる。センサ応答には時定数があり、実際に匂いが無い時にも判別を行うと認識率が低下する。また、センサ応答に外乱雑音が重畳されておりセンサ応答にも時定数がある状況で匂いの有無の判定を正確に遅れることなく行う必要がる。

しかしデモや実験を通して図 12 のような場合が時々存在した。上段はグラフのセンサ応答を表しており、下段は応答に処理をかけて判別結果を出力したものである。順番にピーチ（カテゴリ:1）の次にバナナ（カテゴリ:2）を測定し、出力が順に（1）（2）となればよいが、50 秒過ぎで十分なセンサ応答があるにも関わらず匂い無し（カテゴリ:0）と判断された。今後、匂い有無

表 1 ゲームの難易度
Table 1 Difficulty degree of game

	簡単だった	ちょうど良かった	難しかった
～20 歳	25.2%	59.8%	15.0%
20～40 歳	20.0%	77.1%	2.9%
40～60 歳	26.1%	69.6%	4.3%
60 歳～	0.0%	100/0%	0.0%
全体	23.8%	65.5%	10.7%

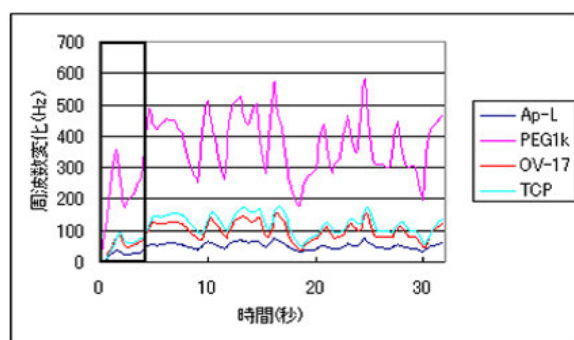


図 13 リンゴに対するセンサ応答
Fig. 13 Sensor response to apple

のアルゴリズムを再検討する。

4.2 外乱による判別不全

本システムではリアルタイムな判別と多様な状況に対して適用出来ることを主旨としていることから、温度、湿度等の外乱とは切り離すことが出来ない。そしてそれら外乱の一つとして乱流による濃度変化が考えられる。濃度変化の例として図 13 を示す。

これは任意の濃度変化を起こさせたリンゴに対するセンサ応答である。ゲームを実行する際は換気が必要なことから風の発生は必然であり、既存のシステムでは上記のような応答では判別率が著しく下がってしまう。センサ応答には時定数があり各センサとサンプルの組み合わせ毎に時定数が異なるので同じサンプルでもセンサアレイの応答パターンが変わってくるためである。よってこのような乱れた波形においても判別が可能であるようにシステムを改良しなければならない。

筆者らは短時間フーリエ変換を前処理に用いる方法で有用な特徴を得られることを既に示しており¹⁴⁾、この方法を遠隔匂い再現システムにも組み込む予定である。

5. 今後の展望

遠隔匂い源探知ゲームはデモを通して概ね良好な結果が得られたが、さらにロバスト性を向上させるために前項の改良を行う。また今回のゲームは回転台を利用した一次元探知に限定しているが、将来的には二次元の探知を行うことが出来るよう改良を加えていくつもりである。

インタラクション 2012 にて日本科学未来館（東京都江東区）から東京工業大学（東京都目黒区）内の匂い源を遠隔探知するゲームのデモンストレーションを予定している。

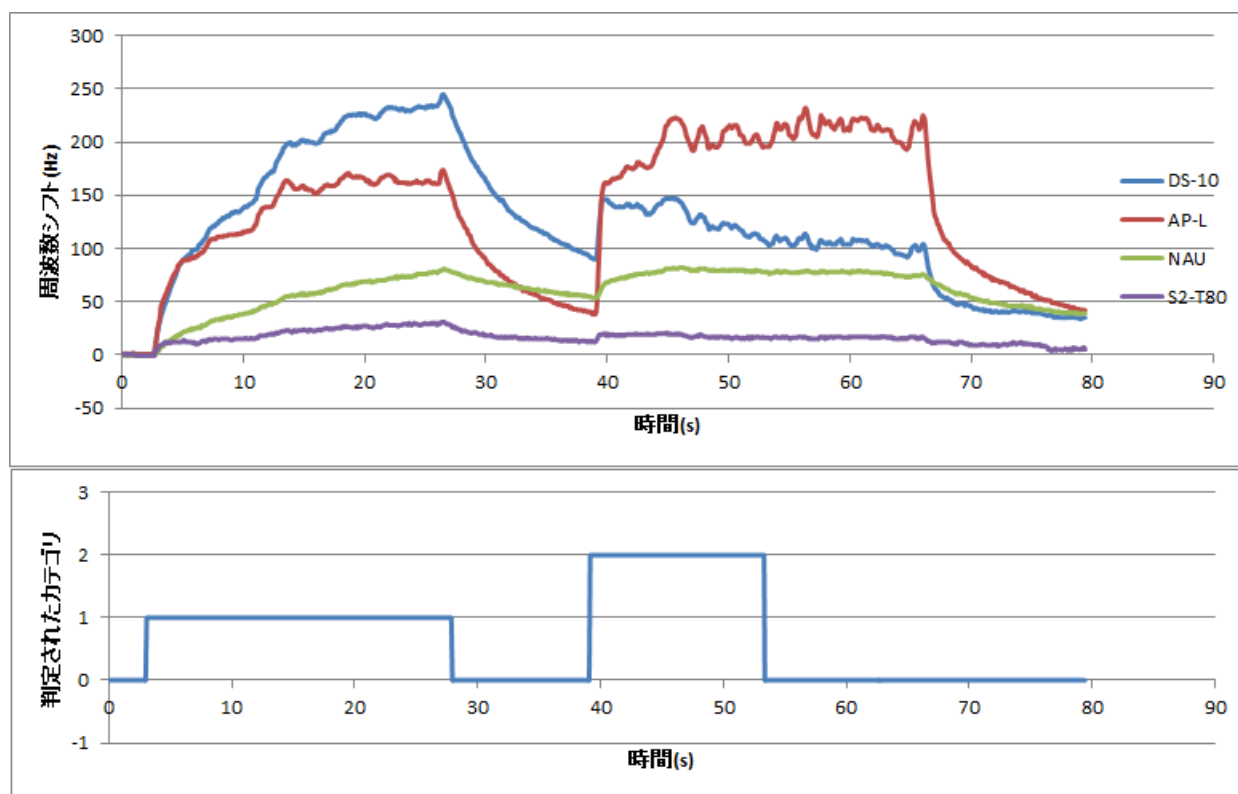


図 12 ピーチ&バナナ判別 上) 周波数応答 下) 判別結果
Fig. 12 Result of classification between peach and banana.
top:sensor response bottom:classification result

参 考 文 献

- 1) 中本高道編著, 嗅覚ディスプレイ, フレグランスジャーナル社, 2008
- 2) T.Nakamoto and T.Yamanaka, Odor reproduction with movie and its application to teleolfaction, E.Hines and M. Leeson (Eds.), Intelligent Systems for Machine Olfaction: Tools and Methodologies, IGI Global, 2011, 126-152.
- 3) F.Davide, M.Holmberg and I Lundstrom, Virtual olfactory interfaces: electronic noses and olfactory displays, G.Riva and F.Davide(Eds.), Communications Through Virtual Technologies, IOS Press, 2001, 193-220
- 4) T.Nakamoto et al., Experiment on Teleolfaction Using Odor Sensing System and Olfactory Display Synchronous with Virtual Information, Proc. International Conference on Artificial Reality and Telexistance 2008, 85-92.
- 5) N.Choh, H.Takushima, M.Kinoshita, B.Wyszynski, N.Nitikarn, T.Nakamoto, Demonstration of interactive teleolfaction with movie, Advanced in Computer Entertainment, 2008, 395-395.
- 6) 柏木健作, B.Wyszynski, 中本高道, 匂いセンサと嗅覚ディスプレイを用いた遠隔匂い・映像再現システムの性能向上, インタラクション 2011, 2011, 527-530.
- 7) B.Wyszynski, 中本高道, リポポリマーベースの複合材料でにおいを識別-高感度においセンサ, Biophilia Vol.6, 2010, 13-17.
- 8) B.Wyszynski, T.Nakamoto, Highly sensitive QCM odor sensors with lipopolymeric nanocomposites and physisorbed amphiphilic GC materials, Sensor Review 31, 2011, 277-284.
- 9) 瀬川信生, 徳弘崇文, 中本高道, 森泉豊栄, 水晶振動子匂いセンサ用マルチチャンネル高速周波数変化計測回路, 電気学会論文誌 122-E, 2002, 16-22.
- 10) T.Kohonen, Self-Organization and Associative Memory, Springer-Verlag, 1987, 199-202.
- 11) N.Cristianini, J.S.Taylor 著, 大北剛訳, サポートベクターマシン入門, 共立出版, 2005
- 12) 中本高道, 多成分嗅覚ディスプレイとその応用, 応用物理 80, 2011, 231-234.
- 13) 松村, 中本, ロバスト匂いセンシングシステムにおける匂い有無の判定アルゴリズムに関する研究, 電気学会全国大会, 2010, 3-139.
- 14) N.Nimsuk, T.Nakamoto, Study on the odor classification in dynamical concentration robust against humidity and temperature changes, Sensors and actuators. B 134, 2008, 252-257.