

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23240029

研究課題名(和文) 味覚・嗅覚・視覚融合バイオセンサシステム

研究課題名(英文) Integrated biosensor system for taste, odor and visual senses

研究代表者

都甲 潔 (TOKO, Kiyoshi)

九州大学・システム情報科学研究科(研究院・教授)

研究者番号：50136529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円、(間接経費) 10,740,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、味覚、嗅覚、視覚を対象とし、センサ情報を融合させることで人間が感じる「食のおいしさ」を表現するためのセンサシステムの構築について検討した。なお、味覚センサについては甘味、渋味、辛味受容膜並びに測定方法の開発を行った。嗅覚と視覚情報は、ガスクロマトグラフ質量分析(GC-MS)と測色をそれぞれ用いた。匂いについては劣化臭に着目し、視覚ではCIE L*a*b*表色系を採用した。各センサ情報を基に、トマトのおいしさ評価を統計解析した結果、官能検査とよく一致するモデルを得ることが出来た。この結果から、おいしさの評価するための味覚・嗅覚・視覚融合バイオセンサシステムの実現可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we tried to construct an integrated biosensor system for taste, odor and visual senses among five senses for expressing "palatability" of foods. Receptor membranes for sweetness and astringency were developed in the taste sensor, and a new measurement method using surface plasmon resonance (SPR) and antigen-antibody interactions for pungency was developed. We considered methods to evaluate change in palatability of tomato samples with time using the taste sensor, GC-MS and color measurements as taste, odor and visual information, respectively. In multiple linear regression analysis, we could find a good correspondent model compared with sensory scores. This result suggests realizability of an integrated biosensor system for taste, odor and visual senses to express "palatability" of foods.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学，ソフトコンピューティング

キーワード：感性情報学 電子デバイス機器 ソフトコンピューティング 計測工学

1. 研究開始当初の背景

周知の通り、化学感覚である味覚と嗅覚に関するセンサ開発は遅れており、本研究代表者を中心とした研究により、やっと他の感覚（触覚、視覚、聴覚）のセンサレベルに近づいてきている。実際、先の基盤研究(S/H18-22)における味覚センサの開発では、五基本味（塩味、苦味、酸味、甘味、うま味）の中でもその開発が遅れていた糖類の「甘味」のセンサ開発に的を絞り、予定通り、その開発に成功し実用化に至った。また、嗅覚では、生体の受容機構に倣い、匂い物質の特徴的な化学構造（部分構造）に応答特異性を有する匂いセンサ（部分構造認識型センサ）受容部の作製に成功した。

他方、物理感覚である触覚、視覚、聴覚では、圧力センサ、CCD カメラ等、マイクロホンといったセンサ素子が既に開発、実用化されている。

人間が感じる「食のおいしさ」は総合感性情報であり、味覚のみならず、嗅覚、視覚、触覚、聴覚の寄与により表現される。つまり、おいしさの定量表現には、人の感覚を融合したセンサシステムを構築する必要がある。

2. 研究の目的

食の多様性、高品質化、大量生産に伴い、その味や香り、おいしさ、そして安全性の客観的評価手法の早急な確立が強く望まれている。また昨今の食のグローバル化のため、特に東アジアは世界の食品産業の生産・加工の拠点としての役割を果たしており、世界の食品産業が着目する魅力的な市場である。本提案課題は、このような状況を踏まえ、感性情報学、インテリジェントセンサ技術、ナノテクノロジー、電子材料物性工学、電子計測工学、認知科学等の科学技術を領域横断的に融合し、食品の品質（おいしさと安全性）のグローバルな指標化を可能とする味覚・嗅覚・視覚融合バイオセンサシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) 味覚情報

これまでの研究によって、味覚における五基本味について、そのセンサの受容膜の設計が基本的には可能となっている。そこで、ここでは、天然・人工甘味料用の甘味センサ、物理的感覚である渋味、辛味用センサの開発を実施した。センサの受容部には、甘味用及び渋味センサでは脂質高分子膜を用い、従来の味覚センサと同様の測定機構を用いた。同時にこれらの物質への受容メカニズムの追求も試みた。辛味センサは、自己組織化膜（SAM）と抗体を用いた SPR イムノセンサの開発を行った。

食品の分析において、微小量のサンプルで測定可能なポータブル味覚センサの開発を実施した。センサチップは、従来の味覚セン

サの受容部である脂質高分子膜を用い、フラットチップに複数の脂質高分子膜を配置し、ポータブル可能なセンサ本体の試作を行った。

(2) 嗅覚情報

食品の品質を評価するために食品が劣化する際に発生し、品質を損なう匂い（ダメージ臭）を同定し、ダメージ臭を測定するセンサの開発を実施した。測定サンプルには、入手しやすく、品質が安定しており、食品として生産量・消費量が多く、測定する価値があると考えられる、パン及びトマトを選定した。劣化する際に発生する匂い物質の測定・同定にはガスクロマトグラフ質量分析（GC-MS）を用いた。

また、劣化臭として同定されたガスを選択的に吸着する分子ふるい吸着剤を作製した。ダメージ臭選択性を持つセンサを構築するため、劣化臭を構成する匂い物質を選択的に吸着する分子ふるい吸着剤を分子鑄型法により開発した。吸着剤として PDMS、鑄型ポリマとしてアクリル酸を用いた。分子鑄型ポリマの分子選択性は GC により吸着ガスを定量することで確認した。

(3) 視覚情報

トマトの色から「おいしそう」という印象を推定する方法について検討した。具体的には、トマトの色をかなり忠実に再現できるシステムを構築した。評価刺激を作成するために、撮影したトマトの赤色部分だけについて、CIE Lab 表色系の L^* 、 a^* 、 b^* を独立に操作できるプログラムを作製した。実際に用いた評価刺激としては、 L^* は -10、0、+10 の 3 段階、 a^* は -6、0、+6、+12 の 4 段階、 b^* は -6、0、+6、+12 の 4 段階の全てについて総当り的に組合せて、計 48 刺激を作成した。21 歳から 36 歳の男女 20 名に、各刺激を 1 通り閲覧してもらった後に、各刺激を「おいしそう」、「明るい」、「鮮やか」、「赤い」に関して 100 点満点で評価してもらった。

(4) 味覚・嗅覚・視覚融合バイオセンサシステム

測定対象をトマトとし、味覚、嗅覚、視覚に準ずる味覚センサ、GC-MS、測色による測定と「おいしさ」（または「おいしそう」）を項目とした官能検査を実施し、重回帰分析によるモデルの構築を行った。

4. 研究成果

(1) 味覚情報

渋味センサの開発に当たり、出力である膜電位と膜へのタンニン酸（渋味物質）吸着量の間に関係があることを見出し、センサの電位応答メカニズムを明らかにした。辛味センサの開発では、食品から辛味物質を抽出する方法ならびに代表的辛味物質であるカプサイシンの抗体を検討した。また糖類の甘



図1 ポータブル味覚センサ

味センサの感度と選択性向上の視点から、受容膜である脂質高分子膜の構成成分の再検討を行った。その結果、甘味センサに従来用いられていた没食子酸やトリメリット酸におけるベンゼン環の使用は必須ではないことが判明した。また、センサの複数回使用で基準電位が負値から正值へ変動する際に甘味応答が出現すること、また使用する脂質にも最適濃度域が見られた。これらの結果は、甘味センサにおける甘味物質受容のメカニズムに大きく迫ると同時にセンサの性能向上につながるものと期待される。さらに研究を進め、アスパルテームやアセスルファムカリウム等の人工甘味料用センサの開発に成功した。

ポータブル味覚センサの開発として、複数の脂質高分子膜を配置可能なセンサチップとハンディタイプのポータブル味覚センサの開発に成功した(図1)。

(2) 嗅覚情報

パンおよびトマトの劣化臭

パン劣化において発生するダメージ臭については、有機酸類 (butanoic acid, acetic acid), アルコール類 (ethanol, 1-butanol, 2,3-butanediol, phenylethyl alcohol), ケトン類 (2-butanone) が日変動物質として検知できた。このうちアルコール類は減少, ケトン類は増加傾向であり, ケトン類を測定することでパンの劣化を匂い成分で検知できる可能性がある(図2)。なお, 2-butanoneは揮発性の溶剤のような匂い, butanoic acidは強い腐敗臭である。

トマトに関しても複数の物質が検出され, その中で 3-methyl-1-butanol が典型的な劣化臭であることを確認できた。

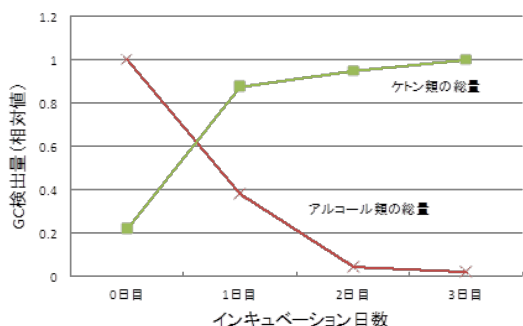


図2 パンの劣化臭の検出量

劣化臭用分子ふるい吸着剤の作製
ダメージ臭選択性を持つセンサを構築するため、パンの劣化臭として検知されたケトン類 (2-butanone など) を選択的に吸着する分子ふるい吸着剤を作製した。GCを用いた吸着選択性の検証の結果, 2-butanone をテンプレートとした分子ふるい吸着剤は基板材料である PDMS 吸着剤に比べて 3.86 倍の吸着能力を持ち, 一方で 2-heptanol に対しては 1.04 倍の吸着量増加に留まり, 分子選択性と濃縮能力を持つセンサ材料となることが分かった。食品劣化の際にはアルコール類の発生も多いが, アルコール類は半導体ガスセンサを用いて検知が可能であるため, 本研究で開発したケトン選択性を持つセンサ材料と組み合わせることで, アルコール類とケトン類の発生の比率を指標とすることで劣化を定量できる。

(3) 視覚情報

「おいしそう」を目的変数, 他の主観評価を説明変数として重回帰分析を実施した結果, 「鮮やか」と「明るい」を説明変数とするモデルが選ばれた (自由度調整済み決定係数 0.800)。「おいしそう」を目的変数, 物理量を説明変数として重回帰分析を実施した結果は, a^* と L^* を説明変数とするモデルが選ばれたが, 自由度調整済み決定係数が 0.482 と低かったため, データの見直しを行った。その結果, 物理量の変化と心理量の変化が線形ではないことがわかった。つまり, L^* や a^* , b^* には最も心理評価が高くなる値があり, そ

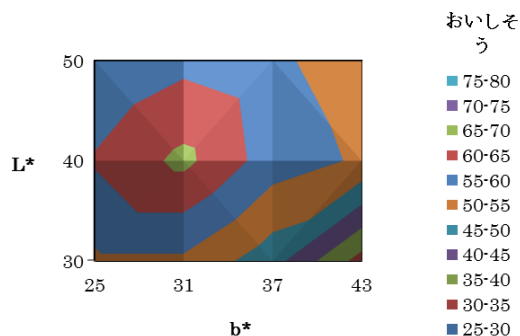


図3 a^* が 36 のときの $L^* \times b^*$ 平面の主観評価値

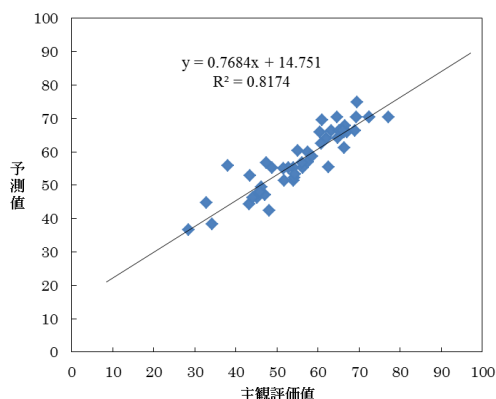


図4 主観評価値と予測値

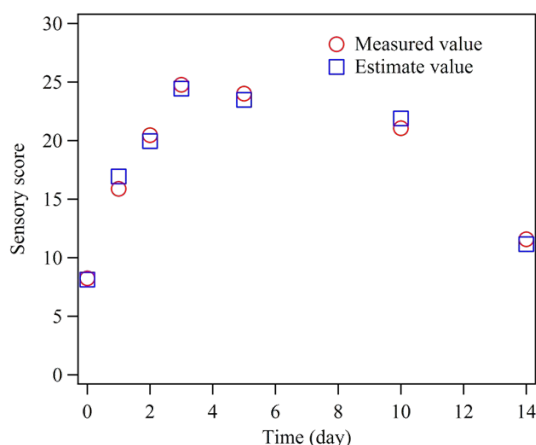


図5重回帰分析を用いた予測値と測定値

れよりも低値や高値では評価が低くなる傾向があった。その様子の一例を図3に示す。図では a^* が 36 のときは、 L^* が 40、 b^* が 31 のときに評価が最も高いことが示されている。

そこで、最も心理評価が高くなる値の前と後で異なる評価式を用いることとした。その結果、自由度調整済み決定係数が 0.82 となる結果を得ることができた(図4)。この物理量からおいしそうという心理評価を予測する式については今後の検証が待たれる。

(4) 味覚・嗅覚・視覚融合バイオセンサシステム

トマトをサンプルとし、味・匂い・視覚のセンサ情報を融合した「おいしさ」評価の基礎的検討を実施した。収穫後2週間にわたりトマトの品質変化を計測した。具体的センサ情報として、味覚センサ、GC-MS、測色の計測を行い、「おいしさ」に起因するセンサパラメータの検討を実施した。主観評価を目的変数とし、センサパラメータを説明変数とした重回帰分析を実施した(図5)。その結果、酸味、うま味、 a^* の寄与が高いことが分かった。味・匂い・視覚のセンサ情報を融合した「おいしさ」評価の実現性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計10件)

M. Yasuura, H. Okazaki, Y. Tahara, H. Ikezaki, K. Toko, Development of sweetness sensor with selectivity to negatively charged high-potency sweeteners, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 査読有, vol. 211, 2014, 329-335, doi:10.1016/j.snb.2014.04.087

M. Yasuura, Y. Tahara, H. Ikezaki, K. Toko, Development of a sweetness sensor for aspartame, a positively charged high-potency sweetener, *Sensors*, 査読有, vol. 14, No. 4, 2014, 7359-7373, doi:10.3390/s140407359

D. Hara, T. Fukagawa, Y. Tahara, M. Yasuura, K. Toko, Examination of amount of astringent substances adsorbed onto lipid/polymer membrane used in taste sensor, *Sensor Letters*, 査読有, 2014 (accepted)

田原 祐助, 志堂寺 和則, 林 健司, 都甲 潔, 味・匂い・視覚のセンサ情報を用いたトマトのおいしさ評価, 信学技報 (IEICE Technical Report) MBE2013-102, 査読無, Vol. 113 No. 409, 2014, 45-48, Y. Tahara, K. Toko, Electronic tongues-A review, *IEEE Sensors Journal*, 査読有, Vol. 13, No. 8, 2013, 3001-3011, doi: 10.1109/JSEN.2013.2263125

田 勝熙, 馬 苗苗, 安浦雅人, 矢田部 壘, 小野寺 武, 都甲 潔, 表面プラズモン共鳴 (SPR) 免疫センサを用いたカプサイシノイドの検出, 電気学会研究会資料センサ・マイクロマシン部門総合研究会, 査読無, CHS-13-12, 2013, 65-69

Y. Tahara, K. Nakashi, K. Ji, A. Ikeda, K. Toko, Development of a portable taste sensor with a lipid/polymer membrane, *Sensors*, 査読有, vol. 13, No.1, 2013, 1076-1084, doi:10.3390/s130101076

T. Fukagawa, Y. Tahara, M. Yasuura, M. Habara, H. Ikezaki, K. Toko, Relationship between taste sensor response and amount of quinine adsorbed on lipid/polymer membrane, *Journal of Innovation in Electronics and Communication*, 査読有, Vol. 2, No. 1, 2012, 1-6

Y. Tahara, Y. Maehara, K. Ji, A. Ikeda, K. Toko, Development of multichannel taste sensor chip for a portable taste sensor, *The proceedings of 2012 IEEE Sensors*, 査読有, 2012, 414-417, doi:10.1109/ICSENS.2012.6411197

H. Akitomi, Y. Tahara, M. Yasuura, Y. Kobayashi, H. Ikezaki, K. Toko, Quantification of tastes of amino acids using taste sensors, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 査読有, vol. 179, 2013, 276-281, doi:10.1016/j.snb.2012.09.014

[学会発表](計23件)

D. Hara, T. Fukagawa, Y. Tahara, M. Yasuura, K. Toko, Relationship between taste sensor response and amount of astringent substance adsorbed on lipid/polymer membrane, 15th International Symposium on Olfaction & Electronic Nose, 2013年07月03日, Daegu, Korea

Y. Tahara, K. Toko, Development of a portable taste sensor, International

Symposium on Olfaction & Electronic Nose, 2013年07月04日, Daegu, Korea
岡崎 広昂, 安浦 雅人, 田原 祐助, 都甲 潔, 高感度甘味料対応型センサに関する研究, 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会 ケミカルセンサ研究会, 2013年08月09日, 東京工科大学
原 大智, 安浦 雅人, 田原 祐助, 池崎 秀和, 都甲 潔, 味覚センサの苦味応答と苦味物質の脂質高分子膜への吸着量との関係, 2013年応用物理学会九州支部学術講演会, 2013年11月30日, 長崎大学
沈 晴月, 安浦 雅人, 田原 祐助, 都甲 潔, 脂質高分子膜の甘味物質への応答に関する研究, 2013年応用物理学会九州支部学術講演会, 2013年11月30日, 長崎大学
岡崎 広昂, 安浦 雅人, 田原 祐助, 池崎 秀和, 都甲 潔, 負電荷高感度甘味料に応答するセンサの開発, 2013年応用物理学会九州支部学術講演会, 2013年11月30日, 長崎大学
田原 祐助, 志堂寺 和則, 林 健司, 都甲 潔, 味・匂い・視覚のセンサ情報を用いたトマトのおいしさ評価, MEとバイオサイバネティクス研究会, 2014年01月24日, 佐賀大学
田 勝熙, 馬 苗苗, 安浦雅人, 矢田部 壘, 小野寺 武, 都甲 潔, 表面プラズモン共鳴 (SPR) 免疫センサを用いたカブサイシノイドの検出, ケミカルセンサ研究会, 2013年08月09日, 東京工科大学
折元 亮・丸山高徳・志堂寺和則, おいしそうなたまごの色彩印象, HCGシンポジウム, 2013年12月18日, 愛媛大学
志堂寺和則, おいしそうなたまごの外観特徴, 日本心理学会第77回大会, 2013年09月19日, 札幌市産業振興センター
都甲 潔, 味覚センサ開発の背景, 経緯, 現状, そして今後, 平成25年度戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 研究成果発表会 (招待講演), 2013年07月10日, TKP 天神シティセンター
都甲 潔, 味覚・嗅覚を情報化する, M&BE 新分野開拓研究会2013/応用物理学会・有機分子バイオエレクトロニクス分科会 (招待講演), 2013年08月21日, 豊田中央研究所
Kiyoshi Toko, Biochemical sensors (Kansei biosensors) for gustatory and olfactory senses, IDF World Dairy Summit 2013/国際酪農連盟日本国内委員会 (招待講演), 2013年10月30日, 横浜ベイホテル東急
都甲 潔, 感性バイオセンサ, 次世代センサ協議会 特別講演会/一般社会法人次世代センサ協議会 (招待講演), 2014年01月29日, スクワール麹町
都甲 潔, 味と匂いを測る感性バイオセンサ開発の現状と将来, 電子情報通信学会「食メディア研究会」(招待講演), 2014

年03月06日, 別府国際コンベンションセンター
田原祐助, 前原義弘, 籍 可, 池田晃裕, 都甲 潔, ポータブル味覚センサの開発, 2012年電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会 (E部門京都大学総合研究会), 2012年06月12日, 京都大学
原 大智, 深川拓朗, 田原祐助, 安浦雅人, 都甲潔, 味覚センサの渋味物質に対する選択性向上に関する研究, 平成24年度 電気関係学会九州支部連合大会 (第65回連合大会), 2012年09月24日, 長崎大学
三好 悟, 安浦雅人, 田原祐助, 崔紅, 豊田健太郎, 池崎秀和, 都甲 潔, 甘味受容膜の組成と甘味応答との関係, 平成24年度電気関係学会九州支部連合大会 (第65回連合大会), 2012年09月24日, 長崎大学
Y. Tahara, Y. Maehara, K. Ji, A. Ikeda, K. Toko, Design of miniaturized taste sensor chip with lipid/polymer membranes, IEEE Sensors 2012, 2012年10月29日, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan
原 大智, 深川拓朗, 田原祐助, 安浦雅人, 都甲潔, 渋味物質の味覚センサ応答と脂質高分子膜への吸着量の関係についての研究, 2012年 (平成24年度) 応用物理学会九州支部学術講演会, 2012年12月02日, 佐賀大学
②① 三好 悟, 安浦雅人, 田原祐助, 崔紅, 豊田健太郎, 池崎秀和, 都甲 潔, 脂質高分子膜と甘味物質との相互作用に関する研究, 2012年 (平成24年度) 応用物理学会九州支部学術講演会, 2012年12月02日, 佐賀大学
②② 古澤雄大, 横山諒平, 平田真吾, 中野幸二, 小野寺 武, 劉 傳軍, 林 健司, 蛍光性 His-TRPV1による匂いの検知, 電子情報通信学会 MEとバイオサイバネティクス研究会, 2013年01月25日, 九州工業大学
②③ K. Toko, Biochemical sensors for mimicking gustatory and olfactory senses, IEEE Sensors 2012 (招待講演), 2012年10月29日, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan
〔図書〕(計 4件)
Kiyoshi Toko, Takeshi Onodera, Yusuke Tahara, Wiley-Blackwell, Bio-Nanotechnology: A Revolution in Food, Biomedical and Health Sciences, 2013, 分担 pp. 270-291
editor. K. Toko, Pan Stanford Publishing, Biochemical Sensors: Mimicking Gustatory and Olfactory Senses, 2013, 総ページ数560
都甲 潔, 技術情報協会, 技術シーズを活用した研究開発テーマの発掘, 2013, 分担 pp. 544-548
Kiyoshi Toko, Kyoto University Press,

Physical and Biological Properties of
Agricultural Products , 2013 , 分担
307-325

研究者番号 : 80585927

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等,
本研究成果の一部は 2014 年 5 月 18 日放映の
『夢の扉+』(TBS 全国ネット)にて紹介され
た。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

都甲 潔 (TOKO, Kiyoshi)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・主幹教授
研究者番号 : 50136529

(2) 研究分担者

林 健司 (HAYASHI, Kenshi)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授
研究者番号 : 50202263

志堂寺 和則 (SHIDOJI, Kazunori)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授
研究者番号 : 50243853

(3) 連携研究者

小野寺 武 (ONODERA, Takeshi)
九州大学・味覚・嗅覚センサ研究開発セン
ター・准教授
研究者番号 : 50336062

池田 晃裕 (IKEDA, Akihiro)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教
研究者番号 : 60315124

廣瀬 信之 (HIROSE, Nobuyuki)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教
研究者番号 : 40467410

田原 祐助 (TAHARA, Yusuke)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教