

特別招待論文    インテリジェント味覚センサが人間の舌を超える！

都甲 潔

九州大学大学院 システム情報科学研究科 電子デバイス工学専攻

〒812-8581 福岡市東区箱崎6丁目10-1

TEL: 092-642-3941

E-mail: toko@ed.kyushu-u.ac.jp

あらまし    快・不快や好き・嫌いといった感情は生物の生存にかかわる本質的応答である。「感性」とは五感を総動員し、しかも過去の体験等も考慮して生じる感覚、感受性である。来るべき21世紀は、感性に立脚した、人に優しい技術について再考する時代であろう。本稿では、感性の中でも最もあいまいな感覚である味覚に客観的物差しを与えるセンサについて紹介する。

キーワード    味覚センサ, 感性, 脂質膜, 化学物質, 広域選択性

## Intelligent taste sensor is superior to the human tongue !

Kiyoshi Toko

Department of Electronic Device Engineering, Graduate School of  
Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581

TEL: 81-92-642-3941

E-mail: toko@ed.kyushu-u.ac.jp

Abstract    A recently developed multichannel taste sensor is composed of several kinds of lipid/polymer membranes for transforming information of taste substances into electric signals, which are analysed by a computer. The sensor output shows different patterns for chemical substances which have different taste qualities such as saltiness and sourness, while it shows similar patterns for chemicals with similar tastes. The taste of foodstuffs such as beer, mineral water and vegetables can be discussed quantitatively using the taste sensor, which provides the objective scale for the human sensory expression. The taste sensor will open the door to a new stage of food culture.

Keywords    Taste sensor, Sensitivity, Lipid/polymer membrane, Chemical substances, Global selectivity

## 1. はじめに

21世紀は人の原点に立ち返り、人にやさしい、人を幸せにする技術開発を再考する時代であり、その意味で「感性」とは何かを積極的に追求しなければならない時代ともいえる。ここで紹介する味覚センサは人の感じる味を定量化するものである。

食文化は人類の長い歴史の中で培われてきた。センサは五感を再現、そしてそれを超えることを目的としており、人のもつ主観的かつあいまいな感覚を定量化することを目指すものである。近年の科学技術の発展にともない、センサは視覚・聴覚・触覚（光・音・圧力）といった、単一の物理量を捉えるものから、味覚や嗅覚を含めた総合的情報を捉えるものへと要求が高まってきている。五感の中でも味覚や嗅覚は、現時点でも多分に主観的・生物学的感覚といえよう。

しかし科学の発展の歴史が「主観的量」を「客観的量」で表現する計測技術の発展とともにあったことを思うと、味覚や嗅覚もその例外ではないであろう。事実、時間や長さの定量化については、エジプト時代にもさかのぼる歴史をもっているが、これらも当初は多分に主観的量であったはずである。

これまで味覚の世界は人の主観が支配していた。しかしながら、この状況はここで紹介する味覚センサの登場で大きく見直す時期にきている。<sup>1,2)</sup>

## 2. 広義の味と狭義の味

味細胞で受容される味は、酸味・塩味・苦味・甘味・うま味の5つから構成される。酸味は主として水素イオンの生じる味、塩味は塩化ナトリウムなどの金属イオンの呈する味、苦味はカフェインなどの植物系アルカロイドの呈する味、甘味はショ糖などの呈する味である。うま味はグルタミン酸ナトリウム(MSG)やイノシン酸ナトリウム(IMP)、グアニル酸ナトリウム(GMP)に特有の味である。これらが味細胞で受容されて「味」を生じる。

私たちはものを味わう際、数多くの要因で味を感じる。「美味しさ」は数多くの要素がからむ複合的な感覚である。基本となる味に加えて、辛味や渋味といった味細胞以外で受容される（と考えられている）味、さらに匂いや舌ざわり、なども効いてくる。一般にこれらを合わせて広義の味という。他方、舌の味細胞で受容される味、つまり上記5つの味、を狭義の味と称

する。味覚がこれまで主観的であった一つの理由は、この狭義の味すら定量化できなかったことにある。味覚センサの目的は、この狭義の味を定量化することにある。

## 3. 味覚センサ

### 3.1 測定原理

味覚センサは脂質/高分子ブレンド膜を味物質の受容部としている。これは舌の細胞の生体膜が脂質とタンパク質からできていることに着目し、その構成成分の一つである脂質を実際に利用できる形で作り上げたものである。既にアンリツ(株)より味認識装置SA401, SA402として市販され、各地の研究所、試験場で使われ始めている。

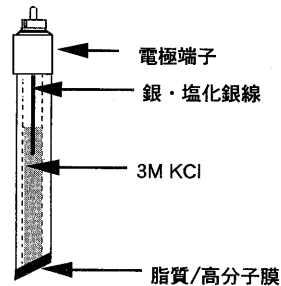


図1 味覚センサの脂質膜電極

図1に示すように、脂質膜電極はポリ塩化ビニルの中空棒にKCl溶液と銀・塩化銀線を入れ、その断面に脂質/高分子膜を貼りつけたものである。特性の異なる膜を7つ（または8つ）準備し、脂質膜電極と参照電極との間の電位差を計測し、これら複数の出力電圧により構成されるパターンから味を識別・認識する。

脂質の選択には任意性があるが、まずは生体膜の脂質の官能基を網羅する形で選ばれた。もちろん測定対象と目的に応じて適宜選択し直すべきである。

### 3.2 基本味応答

5つの味のうち、うま味に対する応答パターンを図2に示す。<sup>3)</sup> 誤差は1%を切っているため、各味の識別が明瞭にできる。

注目すべきは、5つの味に対しては異なる応答パタ

ーンを示すのに対し、似た味では似たパターンを示すことである。例えば塩味を呈するNaCl, KCl, KBrでは似たパターンを示し、うま味を呈するMSG, IMP, GMPでも同様に似たパターンを出す。この事実は、味覚センサに必須の条件を満たしていること、すなわち「個々の味物質ではなく味そのものに応答」していることを意味する。

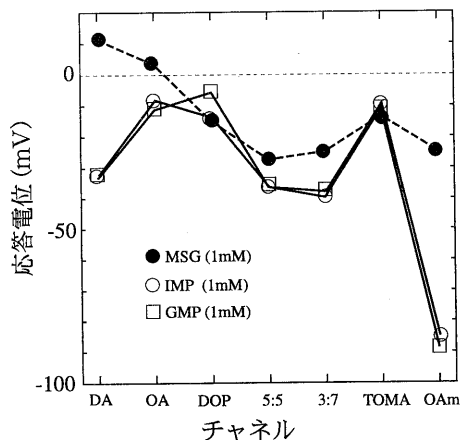


図2 味覚センサのうま味物質に対する応答  
DA, OA, DOP, TOMA, OAmはそれぞれデシルアルコール, オレイン酸, ジオクチルホスフェート, トリオクチルメチルアンモニウムクロライド, オレインアミンなる脂質。5:5, 3:7はDOPとTOMAをそのモル比で混合した膜。

#### 4. 食品への適用

##### 4.1 ビールの味

図3は各種ビールを測定した結果である。放射軸のフルスケールは20 mVである。各種ビールが異なる電位応答パターンを示すことがわかる。あらかじめこれらのパターンを覚え込ませておくと、未知のビールを測定して銘柄を当てることも容易である。

またセンサ出力に主成分分析を施すことで、図4に示すような味の地図を作ることが可能である。主成分分析とは多次元の情報を少数次元で表現する統計解析の一手法であり、今は8次元からなるセンサ出力を2次元の空間で表したいわけである。

図4において、右方向に「さわやかな味」、左方向に「こくのある味」、上方向に「刺激的な味」、下方向に「まろやかな味」となっている。

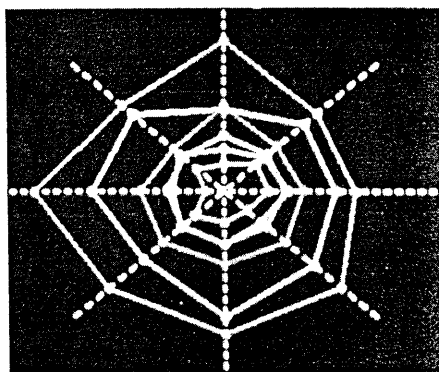


図3 ビールに対する応答パターン

さらに、アルコール濃度やpH, Bitter (BUs) などの分析量とも高い相関を示した。<sup>4)</sup> 味覚センサはビールのロットの違いを容易に識別できるほどの高い識別能を持つが、このように種々の分析値の測定や官能表現の定量化が行えるわけである。

##### 4.2 ミネラルウォーター

図5は41種類のミネラルウォーターを味覚センサで測り、主成分分析して得られたテイストマップである。<sup>6)</sup> 数値は硬度を表している。第1主成分(横軸)がほぼ硬度を反映していることがわかる。また図を上に行くほど1価イオン濃度が高く、下に行くほど2価イオン濃度が高くなる。従って図の上方がソルティ、下方がビターといえる。

同時に官能検査も試みられたが、硬度が低い左半平面では再現性のある味の表現ができず、たかだか図5の右と左の離れた位置にあるミネラルウォーター同士の識別がついた程度であった。その意味において味覚センサは、人が再現よく表現できない味を定量化でき、すでに人の舌の感度を超えている。

この結果は、味覚センサが水質モニタ用センサとして使えることを示唆している。これまでの水質検査は特定の汚染源に的を絞って、原因を探るといった本質的に後追い検査であった。しかしながら、人が水を口にする前に水質の安全性を迅速に判断するセンサは事故の未然防止のために必須のものである。味覚センサは不特定多数の化学物質を検出できるため、本質的に簡易・迅速リアルタイム計測が可能である。

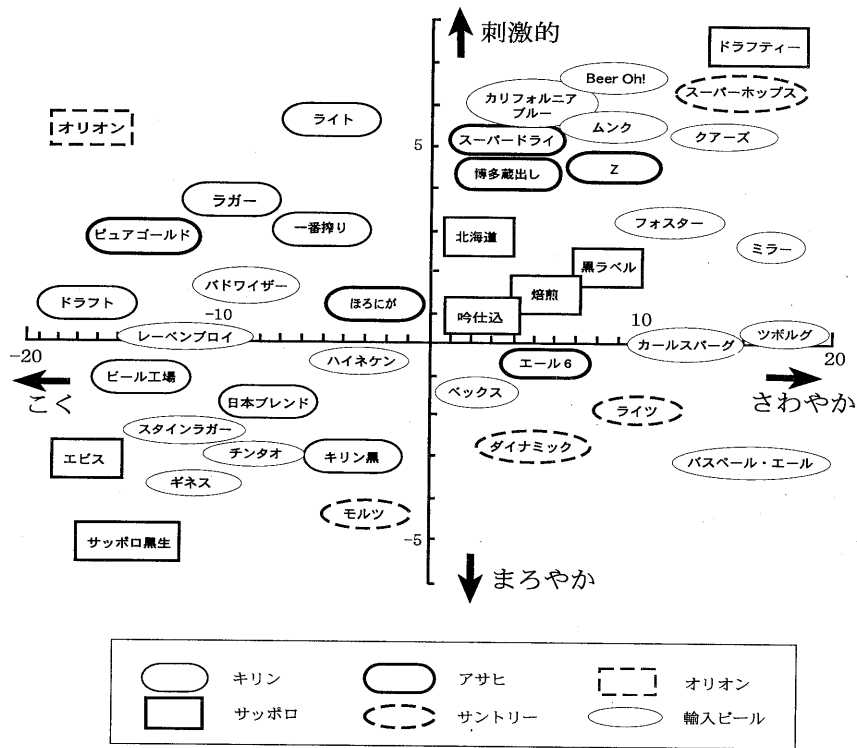


図4 ビールのテイストマップ

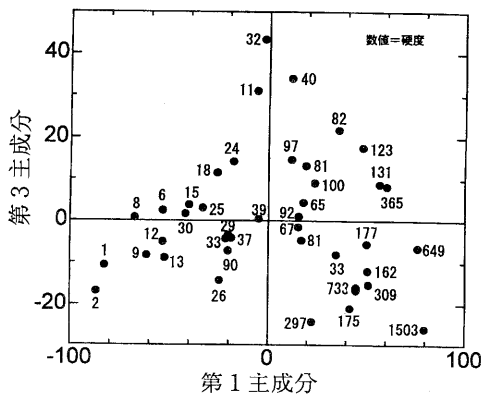


図5 ミネラルウォーターのテイストマップ

### 4.3 日本酒の醸造管理

味覚センサは、平成5年に長野県で開催された信州博覧会に出展され、参加者と日本酒の銘柄当てを連日行い、3ヶ月間同一の膜で無事完走した。大吟醸酒、純米酒、本醸造酒、アルプス吟醸酒に対して、酒の濃さや酸味の強さに応じ、それぞれの酒は独特の味覚センサ応答パターンを示し、容易に判別が可能であった。<sup>6)</sup>

さらに清酒もろみのオンライン測定用センサとしての可能性が調べられた。その結果、約1ヶ月間の醸造過程において酸度は単調に増加し、センサ出力との相関は0.99であることから、味覚センサの醸造管理用センサとしての可能性が示唆された。<sup>7)</sup>

清酒の場合、滴定酸度は10 mlの酒をpH7.2まで上昇させるのに要した0.1 N NaOHの量で表す。酒に含まれる成分(アミノ酸、有機酸等)による緩衝効果があるため、必ずしも初期pHが低いからといって、滴定酸度が高いとは限らない。滴定酸度は、清酒製造

にあたり、発酵管理、ブレンド、成分指標としてきわめて重要な量である。

また日本酒中のエタノール濃度にも応答し、簡便なエタノールセンサとして使うことも可能である。<sup>7)</sup> 味覚センサの最大の長所はサンプルをそのまま計測することが可能である点であり、事実濾過などの操作なしにエタノール濃度を測れる。このようなポータブル投げ込み式の簡易型センサの普及には、今の複数のチャネルからなるロボットアーム駆動の固定型センサシステムを、2チャネル程度のコンパクトな形に作り上げることが必要であり、現在このラインを検討中である。

#### 4.4 味噌の熟成管理

味噌は日本の伝統的な発酵食品である。現在味噌の熟成管理における熟成度評価は、人間の経験（見た目や味）に頼っており、このような評価はその時々体調や環境に影響を受けやすい。それゆえ、体調や環境に左右されない客観的尺度の導入が待ち望まれていた。

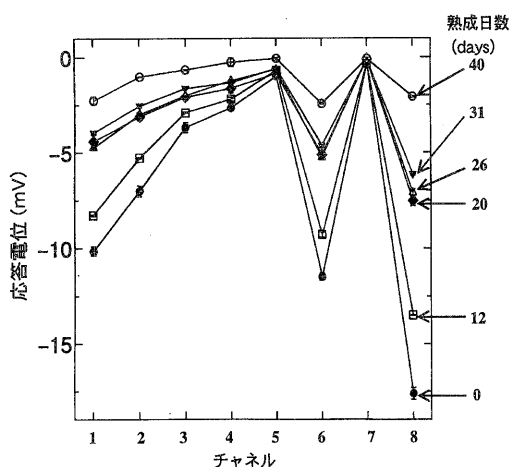


図6 味噌の熟成中の味覚センサ応答パターン

味覚センサを用いて味噌の熟成中の味覚センサ応答パターンの変移を調べた結果を図6に示す。<sup>8)</sup> ほとんど全てのチャネルで電位の増加が見られるが、特にチャネル1、6と8の出力は熟成日数に対して単調に増加しており、味覚センサの味噌の熟成管理用センサとしての応用が十分に期待される。

味噌は熟成中に各種アミノ酸が増加しており、味覚センサ応答との相関を取った結果、高い相関が得られた。これらの結果は、先に紹介した清酒もろみの醸造過程を調べた結果と酷似している。

加えて、出荷後の味噌について味覚センサを用いて測定を行った結果、ゆっくりとはあるが、単調な電位増加が見られ、出荷後の味の変質をとらえることができた。

このように、味覚センサは味噌の熟成や味の変化をモニタするセンサとして使える。その場合、センサはマルチチャネルの構造をとる必要はなく、ちょうど私たちがpHメーターを使うような感じでメンテナンスフリーのポータブルセンサを使うようになることが望ましい。

#### 5. 展望

味覚センサは、測るべきものは個々の化学物質ではなく味そのものでなければならないということを実際に示すことに成功したセンサである。近年のバイオテクノロジーで生まれた新しい食品（化学物質）への味覚センサの応用も可能である。苦味が強い医薬品の味の自動調合も将来的には可能となるであろう。

食品の「美味しさ」は、多くの因子を含む複雑な感覚である。しかし、少なくとも舌で受容される化学的な味については客観的に判定できる方法がないと、いつまでたっても味の文化は成長しないであろう。もちろん、味細胞で受容される狭義の味を定量化できたからといっても最後に好き嫌いを決めるのは私たち人間である。しかしそれにしても、味に関する共通の定量的言葉は他の感覚同様必要である。長さはものさしで何cmといった具合に非常に簡単に測ることができる。時間も同様であり、主観的時間と客観的時間が見事に共存している。味覚センサは味のものさしを与えるものである。

生物は外界を認識するセンサ（五感）を有しているがゆえに、この地球上を謳歌した。しかし、人間は自分の五感ではもはや検知、制御できないほどの力や物質を得るに至り、今度はそれらを認識、制御できる人を越えたセンサを必要としている。ここで述べた味覚センサはその新しい技術の萌芽である。私たちはいまや、長さや時間の尺度が発明されたあのエジプト時代に相当する食文化の黎明期に入ろうとしている。

#### 参考文献

- 1) 都甲 潔 編著：味覚センサ，朝倉書店（1993）
- 2) 都甲 潔，宮城幸一郎：センサ工学，培風館（1995）
- 3) K. Hayashi, M. Yamanaka, K. Toko and K. Yamafuji: Sens. Actuators B2, 205 (1990)
- 4) 江崎 秀，幸 利彦，都甲 潔，津田泰弘，中谷和夫：電気学会論文誌 E-117, 449 (1997)
- 5) S. Iiyama, M. Yahiro and K. Toko : Sens. Materials 7, 191 (1995)
- 6) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Oguri and S. Baba: Sens. Materials 7, 261 (1995)
- 7) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Oguri and S. Baba: J. Ferment. Bioeng. 82, 371 (1996)
- 8) T. Imamura, K. Toko, S. Yanagisawa and T. Kume: Sens. Actuators B37, 179 (1996)