

人工脂質膜を用いた味センサの実用化に関する研究

Research on Commercial Taste Sensor using Multichannel Lipid Membranes

池崎 秀和

(研究所・工学博士)

この論文は工学博士の論文審査のために九州大学に提出した申請論文を要約したものである。

Abstract

This paper proposes two new measurement methods and a new membrane for commercialization of the taste sensor developed by Kyushu University. A new measurement method (pre-condition measurement) makes it possible to discriminate between product brands and even different lots of some foods. Another new measurement method (CPA measurement) makes it possible to improve the selectivity and data quantity of the taste sensor by about five times. As a result of application of green tea, a strong correlation between the taste sensor and sensory test is obtained. A new membrane developed by control of membrane charge density has about 10 times more selectivity to non-charged taste substances than conventional taste sensor. The possibility of taste quantification using a taste sensor is greatly improved by these techniques.

1 まえがき

食品メーカーにおいて、味の評価は非常に重要であり、その場面は多い。清酒の場合、原料のチェックから製造工程はもちろん、清酒ができてから熟成時期の判定や、味を調えるためのブレンド、さらには出荷検査、出荷後のクレーム処理まで、多岐に渡っている。しかも、味の評価は、現在でもパネラーと呼ばれる人間が実際に味わって行う官能検査に大きく依存している。しかし、官能検査では、パネラーの個人差や体調等による官能データの客観性や再現性に問題がある。さらに、官能検査は大変神経を使い、疲労度が大きいという問題がある。

都甲らは、この生体の味認識メカニズムをモデル化した味認識装置の開発を試みた¹⁴⁾。これは、生体を模倣した脂質膜を人工的に合成し、性質の異なる複数の脂質膜からの信号をパターン認識することで味を識別しようというものである。生体の細胞膜は脂質とタンパク質から作られており、構成成分である脂質を成膜化し、その人工脂質膜を化学物質を受容

して電気信号に変換するトランスデューサとした。その概要を図1に示す。味検出に重要な働きをする脂質を高分子化合

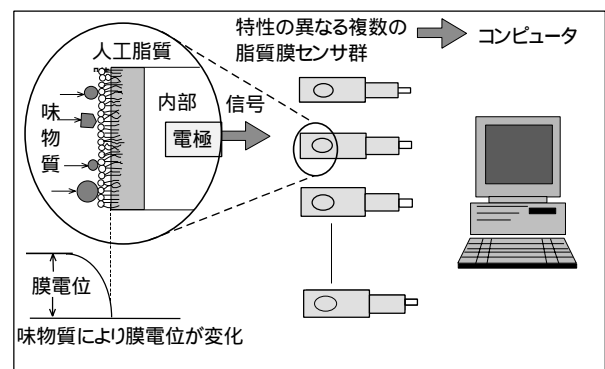


図1 人工脂質膜を用いたマルチチャンネル型味センサの概要
Taste sensor using multichannel lipid membranes

物で固定化して人工脂質膜（脂質高分子膜）を作り、呈味物質の吸着による脂質高分子膜の膜電位変化を情報として取り出す。その際に特性の異なる味細胞の代わりに、応答特性の異なる脂質を膜材料に選び、特性の異なる味センサを作った。これらの味センサから得られる複数の信号をコンピュータでパターン認識して味の識別を行う。

味センサは生体の細胞膜の有する脂質をトランスデューサ部に採用した。バイオメテック（生体模倣）デバイスであり、その結果、5基本味の識別を可能とし、また、その応答領域は生体系ときわめて良い一致を示した。しかしながら、現実に実用化するに当たって以下の課題があった。

（1）識別分解能の向上：

食品業界においてパネラーは銘柄の差のみならず、ちょっとした異常を検知しなければならない。味センサも同等の識別分解能が要求される。

（2）選択性向上：

味の定量化が行えるように、センサの特異性を高め、情報量を増やすことが必要である。

（3）非電解質の感度向上

従来の味センサで採用されている脂質高分子膜の電位測定では、非電解質の甘味物質への感度は、電解質の味物質の感度に比較して、 $1/5 \sim 1/10$ と低く、両者が混合されたサンプル中では、甘味の信号を特徴抽出することが難しかった。他方、脂質高分子膜のインピーダンス測定では、脂質高分子膜を用いた非電解質の検知の可能性が示唆されたものの、応答再現性の点で課題が残っている^{16,17)}。

まず課題1であるが、再現性を著しく悪くする膜への吸着物質に着目して測定方法の開発を行うことで対応した。次に課題2については、非吸着物質と吸着物質の膜への影響の差に着目して測定方法の開発を行うことで対応した。課題3については、イオン性の味物質と非イオン性の味物質の膜特性へ及ぼす効果の差に着目して膜の開発を行うことで対応した。

2 プリコン測定方式の提案

食品のロット間の差のような微少な味の差の識別が行えるように、センサの再現性を高めることを目的として、測定方法の開発を行った。味センサ受容膜をあらかじめ被検液に近い組成の溶液にならし、かつ測定の基準液もその溶液を用いることで、受容膜の特性変化を少なくする、いわゆるプリコ

ン測定を提案した。加えて測定において周期的過程を取り入れた。以上の2点の改良で、ビールのロット間差といった極めて微妙な味の識別が可能となった。現在この方法はビール、コーヒー、日本酒、味噌、牛乳といった食品へ適用され、大きな成功をおさめている。また、味物質の濃度変化の狭い範囲で味覚推定を行い、味センサ出力は人の味覚とよく合うという結果を示した。

3 CPA 測定方式の提案

味の定量化が行えるように、センサの特異性を高め、情報量を増やすことを目的として、測定方法の開発を行った。改良点は、以下の通りである。第1は、脂質膜の洗浄を可能としたことで、苦味物質やうま味物質等の脂質膜への吸着の大きい味物質を感度良く安定に測定できるようになった。第2は、被検液を測定する前後での膜特性の変化を測定することで、膜の吸着物質のみの影響を測れるようになり、これらの吸着物質に対する特異性が向上した。この測定方法をCPA測定（Change of membrane Potential caused by Absorption）と呼ぶ。

この測定方法を用いて、緑茶、コーヒー、ビール、日本酒においてプリコン測定では情報量が1～2次元であったものが5～6次元に増加し、それら情報を元に官能評価値の重回帰分析を行うと高い相関が得られるようになった。つまり、味センサの持つ情報量が飛躍的に向上し、味の定量化へ向けて大きく前進した。

4 CPA 測定方式による緑茶への応用

緑茶に関して、CPA測定方式による味センサ出力と官能評価値および化学分析値との関係を調べ、緑茶の味の定量化の可能性を探った。主成分分析により5次元の情報があることが分かり、このPC1～PC5を説明変数として官能評価値および化学分析値に対して2次の重回帰分析を行った。官能評価値では滋味、香り、色と総合評価（前記3項目の平均）および化学分析値ではテアニンとタンニンの各々に対して高い相関が得られ、数量化の可能性が得られた。しかも、高級茶葉から、本来ウーロン茶や紅茶に用いる茶葉を緑茶に加工したもので広範囲での適応可能性が得られた。したがって、今回得られた官能評価値を推定する重回帰式は、未学習サンプルに対して適合性が大きいと思われた。

官能評価値との相関が高い理由の1つは、緑茶の評価に重要とされているタンニン（渋味）とテアニン（うま味）に味

センサの感度が良い点である。さらに、タンニンとテアニンのみでは官能評価値を十分説明できないところがあり、味センサは、これら以外の緑茶中の重要な味物質にも応答していると思われる。

これらの結果から、味認識装置による分析結果と官能評価値を照らし合わせた味の標準軸を作ることにより、主観的な感覚である味覚を客観的に判断することが可能になると思われる。

5 脂質膜の電荷密度調整による甘味物質の選択性向上

非電解物質の選択性向上を目指して、膜の開発を行った。膜中の脂質含有量をパラメータとして各基本味に対する感度比較を行った結果、膜中の電荷密度をある程度下げ、かつプラス電荷とマイナス電荷を中和させるとショ糖に対する応答特異性が上がることが分かった。従来の脂質膜に比べると、電荷密度の低い膜は、全般に約1/10の感度であるが、繰り返し測定誤差の標準偏差は0.02mV程度であり、ショ糖の出力が数mVに対して約2%の誤差率であり、十分に大きな応答とみなせる。また、3種類の甘味物質に対して、センサ応答は官能評価とよく一致しており、甘味センサとしての可能性が高いことが分かった。

また、電解質の味物質への脂質高分子膜応答とショ糖への応答のメカニズムは異なると思われ、脂質高分子膜のショ糖への応答メカニズムの解明が今後の課題である。

6 まとめ

以上のように、測定方法の開発および膜の開発により、再現性と選択性の向上および甘味等の非電解質に対する選択性向上が得られ実用化に近づいた。最後に残された課題、および今後の課題と展望について述べる。

この味センサの特徴を生かしながら、さらに高感度化、高機能化をめざして、5基本味の定量化だけでなく、渋味や辛味といった刺激味まで機能を広げることが課題である。さらには、匂いセンサとの組み合わせで風味といった人の感じる広い意味での味の総合評価を目指したい。下記に予定の概要を示す。

・味センサで5基本味の定量化

センサの再現性の向上と校正方法の確立を行い、官能評価との関連付けを行うデータ解析手法を検討し、5基本味の定量化を行う。

・味センサの高機能化

5基本味以外の刺激味、特に辛味への味の拡張が考えられる。特に膜表面近傍での情報が重要であると考えられ、脂質膜の耐久性の優れた薄膜化技術の開発を行う必要がある。脂質膜表面のインピーダンス変化、誘電率変化より、刺激味検知の可能性を探る。

・味センサと匂いセンサとの組み合わせによる風味センサ

匂いセンサと官能評価との関連付けを行うデータ解析手法を検討する。また、総合的な風味の信号処理を含めた評価手法を開発する。

上記のような味センサの実用化に向けた研究により、世界中の食品業界の人々に貢献できることを切に望むものである。特にパネルといった味の専門家のご苦労、ご努力をしのび、この味センサを道具として使って頂きたいと切に思うところである。

また、今後、味覚だけでなく、生体の一部分をモデル化することで、医薬品、環境ホルモン、毒物等の人体への影響を検知する新しいタイプのセンサが出てくるであろう。現状では、化学センサは特性物質の検知が目的であり、人体への影響を測る訳ではない。他方、人体への影響はホルモットや直接人体への臨床での検知であり、両者の間がない。味センサは、世界で初めて生体への影響を検知した新しい思想のセンサである。この思想が、味の世界だけでなく、医療の分野や環境問題に広まり、それによって、我々の生活が安全で安心して暮らせる世界になることを切に望む。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始多大なる御教授と御指導と御鞭撻を頂きました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の都甲潔教授に心より感謝致します。

また、本論文をまとめるにあたり、有益な御助言を頂きました同電子デバイス工学専攻の吉田啓二教授、同知能システム学専攻の松永勝也教授に深く感謝いたします。

本研究を進める過程におきまして、数々の貴重な御助言、御指導を頂きました九州大学山藤馨名誉教授、同電子デバイス工学専攻の林健司助教授、近畿大学の飯山悟教授、江崎秀助教授に深く感謝いたします。

修士課程におきまして、御指導と御鞭撻頂きました早稲田大学理工学部電子通信学科堀内和夫教授、同情報学科大石進

一教授に、深く感謝いたします。

味センサの食品応用におきまして、数々の貴重な御助言と御指導を頂きました農林水産省畜産試験場中井博康加工部長、国税庁醸造研究所高橋康次郎前研究所長、石川雄章研究所長、木崎康造室長、荒巻功室長、農林水産省食品総合研究所一色賢司上席研究員、大坪研一室長、長野県食品工業試験場蠟川幸彦氏、岩手県工業技術センター斉藤博之博士、中山繁喜様に、深く感謝いたします。

最後に、多年にわたって、支援してくれた両親と支えてくれた妻に感謝します。

参考文献

- 1) 斉藤：工業技術院平成7年度第2回人間工学関連技術シンポジウム（1995）32。
- 2) 栗原：味覚，東京大学出版会（1978）。
- 3) R.P. Erickson：Olfaction and Taste (ed. Y. Zotterman), Pergamon Press (1963) 205.
- 4) G. Gordon, R. Kitchell, L. Strom and Y. Zotterman：Acta Physiol. Scand., 46 (1959) 119.
- 5) 小俣：美味しさと味覚の科学，日本工業新聞（1986）。
- 6) H. Henning：Z.F. Psychol., 74 (1916) 203.
- 7) D.H. McBurney：Chem. Sens. Flav., 1 (1974) 17.
- 8) S.S. Schiffman and R.P. Erickson：Neurosci. Behav. Rev., 4 (1980) 109.
- 9) 佐藤：味覚の科学，朝倉書店（1981）。
- 10) Y. Kawamura and M.R. Kare：Umami：A Basic Taste, MerceL Dekker (1987).
- 11) S.S.S tevens：Science, 103 (1946) 677.
- 12) S. San vageot：Chem. Sens., 12 (1987) 537.
- 13) 佐藤，小川編：最新味覚の科学，朝倉書店（1997）。
- 14) 都甲編：味覚センサ，朝倉書店（1993）。
- 15) K. Hayashi, M. Yamanaka, K. Toko and K. Yamafuji：Sens. Actuators, B2, 205 (1990).
- 16) H. Akiyama, T. Tsuzak, K. Toko and K. Yamafuji：Trans. IEE Japan, 117-E (1997) 89.
- 17) K. Toko, H. Akiyama, K. Chishaki, S. Ezaki, T. Iyota and K. Yamafuji：Sens. Materials, 9 (1997) 321.
- 18) H. Ikezaki, K. Toko, K. Hayashi, R. Toukubo, M. Yamanaka, K. Sato and K. Yamafuji：Tech. Dig. 10th Sensor Symp. (1991) 173.
- 19) 池崎，林，山中，立川，都甲，山藤：電子情報通信学会論文誌，

J74-CII (1991) 434。

- 20) K. Hayashi, K. Yamafuji, K. Toko, N. Ozaki, T. Yoshida, S. Iiyama and N. Nakashima：Sens. Actuators, 16 (1989) 25.
- 21) 樽木，中川，都甲：九州大学大学院システム情報科学研究科報告，2 (1997) 297。
- 22) K. Toko, T. Murata, T. Matsuno, Y. Kikkawa and K. Yamafuji：Sens. Materials, 4 (1992) 145.
- 23) 江崎，幸，都甲，津田，中谷：電気学会論文誌，117-E (1997) 449。
- 24) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Oguri and S. Baba：Sens. Materials, 7 (1995) 261.
- 25) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Ogura and S. Baba：J. Ferment. Bioeng., 82 (1996) 371.
- 26) T. Fukunaga, K. Toko, S. Mori, Y. Nakabayashi and M. Kanda：Sens. Materials, 8 (1996) 47.
- 27) K. Toko, T. Iyota, Y. Mizota, T. Matsuno, T. Yoshioka, T. Doi, S. Iiyama, T. Kato, K. Yamafuji and R. Watanabe：Jpn. J. Appl. Phys., 34 (1995) 6287.
- 28) H. Yamada, Y. Mizota, K. Toko and T. Doi：Materials Sci. Eng., C5 (1997) 41.
- 29) T. Imamura, K. Toko, S. Yanagisawa and T. Kume：Sens. Actuators, B37 (1996) 179.
- 30) 飯山，池田，都甲，八尋：日本食品科学工学会誌，44 (1997) 615。
- 31) H. Ikezaki, K. Toko, K. Hayashi, R. Toukubo, K. Sato and K. Yamafuji：Tech. Dig. 11th Sensor Symp. (1992) 221.
- 32) 池崎，谷口，都甲：電気学会論文誌E，118-E (1998) 506。
- 33) 坂田，高田，百武：基礎統計学，朝倉書店（1992）p.151。
- 34) 佐藤：官能検査入門，日科技連（1978）p.21。
- 35) 山西：お茶の科学，葦華房（1992）p.31。
- 36) American Society of Brewing Chemists：7th revised ed., Method Beer-23A., The Society, St Paul, MN, USA.
- 37) 池崎，谷口，都甲：電気学会論文誌，117-E (1997) 465。
- 38) 池ヶ谷：茶の科学，朝倉書店（1991）p.86。
- 39) K. Oohira and K. Toko：Biophys. Chem., 61 (1996) 29.
- 40) M. Watanabe, K. Toko, K. Sato, K. Kina, Y. Takahashi and S. Iiyama：Sens. Materials, 10 (1998) 103.
- 41) K.N. Mikhelson：Sens. Actuators, B18-19 (1994) 31.
- 42) 白濱：蛋白質核酸酵素，35 (1990) 2874。
- 43) 池崎，谷口，都甲：九州大学大学院システム情報科学研究科報告，

3 (1998) 239 .

44) 都甲, 宮城: センサ工学, 培風館 (1995).

45) 田中, 垂水, 脇本編: パソコン統計解析ハンドブック, 共立出版 (1984).

46) J.J. Hopfield, D.W. Tank : Biol. Cybern, 52 (1985) 141.

47) 日本化学会編: 化学便覧基礎編改訂4版, 丸善 (1993).

著者紹介



池崎 秀和 (いけざき ひでかず)

1984年: 早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。

早稲田大学大学院理工学研究科にてネットワーク構造を持つシステムの信頼性の評価に関する研究に従事。

1986年: 早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程電気工学専攻修了。

アンリツ株式会社入社。研究所第センシング技術プロジェクトチーム配属。

1986 ~ 1989年:

ニューラルネットワークの研究に従事。

1989 ~ : 人工脂質膜を用いた味センサの研究に従事。

1996年: 九州大学大学院システム情報科学研究科社会人博士課程入学。

九州大学大学院システム情報科学研究科にて人工脂質膜を用いた味センサの研究に従事。

