

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04502

研究課題名（和文）脂質高分子膜を用いた味の時間的相互作用検出を可能とするマイクロ流体デバイスの開発

研究課題名（英文）Development of a microfluidic device for the time-dependency of taste interaction detection using lipid polymer membranes

研究代表者

田原 祐助（Tahara, Yusuke）

信州大学・学術研究院繊維学系・助教

研究者番号：80585927

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は脂質高分子膜と味物質の吸脱着時間プロファイルを用いることで、「味の立ち上がり」、「味の余韻」を検出可能とする新規味覚センサの開発を目指し、マイクロ流体デバイスを用いた味覚センサを開発した。PDMS流路と脂質高分子膜を配置したポリカーボネートフィルムを化学接着することでマイクロ流体デバイスを作製し、マイクロポンプで送液する測定システムを開発した。性能を評価した結果、味サンプル溶液に対して脂質高分子膜との経時的な相互作用を反映した膜電位の計測に成功した。従って、本センサを用い、味の経時変化として新たな味の情報を抽出することで、ヒトの感じる味をより厳密に表現できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、ヒトが感じる味の経時変化を客観的に数値化するためのセンサの実現を示すものであり、味を計測するためのセンサとしての学術的な価値は高い。また、食品や医薬品、農産物といった分野において、産業への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a novel taste sensor that can detect changes in human taste over time using a lipid polymer membrane and taste substance adsorption/desorption time profiles. A microfluidic device was fabricated by chemically bonding a polycarbonate film with a polydimethylsiloxane (PDMS) channel and a lipid polymer membrane, and a measurement system was developed in which the fluid was pumped by a micropump. The performance of the system was evaluated and the membrane potential was successfully measured for a taste sample solution, reflecting the interaction with the lipid polymer membrane over time. Therefore, it was shown that this sensor could be used to extract new taste information as a change in taste over time and to show the taste perceived by humans.

研究分野：センサ工学

キーワード：味覚センサ 脂質高分子膜 味の経時変化 吸着 マイクロ流路

1. 研究開始当初の背景

食べることは、生きるために必要な行動であると同時に、おいしく食べるという喜びや幸福感を得ると重要な役割を担っている。近年では、健康志向や長く生きるためのノンカロリー飲料、機能性食品の開発がグローバルな視点で進められている。また、食品業界（加工）の市場は約35兆円の巨大市場であり、日本の工業会の重要な一分野である。味を測る手法としては、検査員が実際に味わって評価するという官能評価が用いられているが、官能検査員の育成や評価手法の確立、再現性のある結果を得るために多大な労力を必要としている。

一方、ノンカロリー食品としてアセスルファム K、サッカリン Na、アスパルテームといった人工甘味料や、ステビアといった天然由来の高甘味度甘味料が使われているが、甘味料ごとに「味の立ち上がり」や「味の余韻」が異なるため、複数の甘味料を混合し、官能評価からおいしい食品・飲料の開発を行っている。また、近年、和食が世界文化遺産に登録され、世界的な和食ブームとなっており、日本人研究者によって発見された「うま味」、「うま味」の後味、「コク」といった「味の余韻」が今後益々注目されるであろう。しかしながら、これらの味感覚を計測可能なセンサ技術は実現しておらず、官能評価に頼らざるを得ない。

味を計測するための客観的なセンサとして、脂質高分子膜を用いた味覚センサが用いられており、申請者は研究開発を進めてきた [1]。味覚センサの測定手順は、はじめに味を呈さない電解質溶液（基準液）に電極を浸漬させ、その後味サンプルに浸漬させる。この時、2種類の吸着により膜電位変化が起こり、この電位変化を相対値と呼び、人の官能評価の先味の指標としている。また、その後電極を再び基準液に浸漬させると脂質高分子膜に吸着していた味物質の内、親水性物質は膜から離れ、疎水性物質のみが吸着した状態となる。この時の膜電位変化値を CPA 値と呼び、人の官能評価の後味の指標としている。この従来の味覚センサの測定系では、センサ電極と参照電極を溶液に浸漬してから 30 秒後の膜電位を計測（定点観察）している。一方、ヒトは味の立ち上がりや余韻といった経時的な味変化を感じているため、それを客観的にセンサで測定できる新規センサの開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、この味の経時的変化を測定できる味覚センサを開発することである。方法としては、マイクロ流路を用いて溶液を脂質高分子膜上に送液することで、脂質高分子膜に味物質を常に供給し、膜電位変化を連続的に測定することで新たに膜電位の時系列データを取得する。この時系列データから、味の経時的変化として新たな味の情報を抽出することで、人の感じる味をより厳密に表現できると考えている。

3. 研究の方法

マイクロ流路の構造は、送液する溶液（基準液、サンプル溶液、洗浄液）のために流路を三又にして、脂質高分子膜設置部に溶液が脂質高分子膜全体を通過できるようにふくらみをつけた。また、センサの測定原理としては、脂質高分子膜を固定化したマイクロ流路にサンプル溶液をマイクロポンプで送液し、流路内に設置した参照電極で膜外の膜電位を、膜上に設置した参照電極で膜内の膜電位を測定し、その膜電位差の変化量を電気化学アナライザで測定を行なう設計とした。送液を行うためのマ

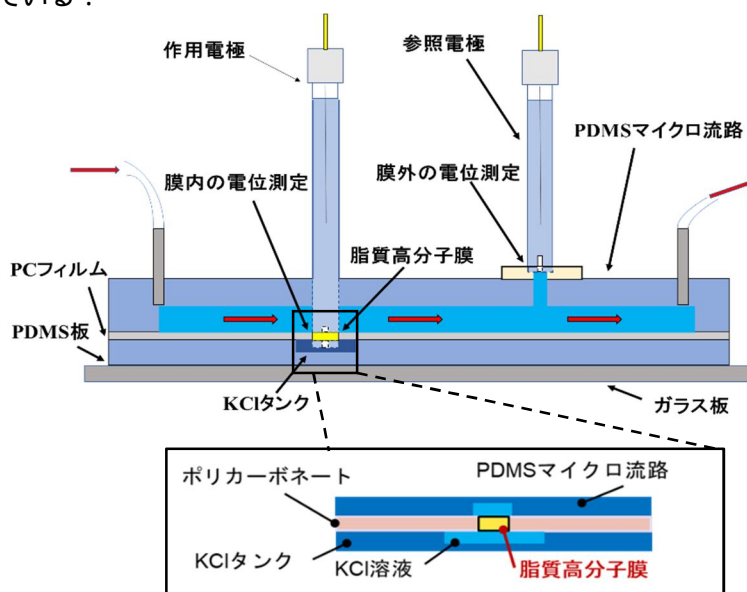


図1 試作したマイクロ流路型味覚センサ

イクロ流路には polydimethylsiloxane (PDMS)を採用した 流路幅は 500 μm とし溶液送液側の Inlet を三又とし 1 本への流路に合流する流路構造とした。味物質を受容するための脂質高分子膜を φ1 mm の貫通孔を設けたポリカーボネートフィルム (100 μm 厚)に固定化し、PDMS マイクロ流路に化学接着した。化学接着は、PDMS 流路をプラズマ処理し、表面を親水化した後、1 % (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)溶液を滴下して約 20 分間インキュベートすることで表面修飾を行った。次に、APTES 溶液を完全に取り除いた後に、ポリカーボネートシートを圧着させることで接合した。脂質高分子膜の電位は、PDMS 流路に穴を開け、味溶液が通過する側に銀塩化銀電極を配置した参照電極と、味溶液が通過しない膜の外側に塩化カリウム溶液を接触させ、

そこに銀塩化銀電極を配置した作用電極を用い、電気化学アナライザ (BAS 社製) で電位計測を行った。脂質高分子膜は渋味物質に反応する渋味用の膜組成 (tetradodecylammonium bromide (TDAB, 脂質), di-n-octyl phenylphosphonate (DOPP, 可塑剤), ポリ塩化ビニル (PVC, 高分子支持材)) を用い、その組成量及び作製方法は以前の報告と同様に行った[1]。サンプルには渋味物質であるタンニン酸溶液を用いた。送液はマイクロポンプとバルブを三又流路の Inlet 側に接続して、サンプル溶液、電解質溶液、洗浄液の流速、時間制御を PC で行った。

センサの評価は、渋味を呈するタンニン酸を用いた。タンニン酸はお茶に含まれる渋味物質であり、脂質高分子膜に対し、疎水性吸着の強い物質である。

4. 研究成果

異なる濃度での味覚センサでの電位応答を図 2 に示した。この膜電位の経時変化から、各味サンプル濃度での味物質の吸脱着による膜電位の変化と濃度依存性を確認することができた。測定結果から、脂質高分子膜への味物質の吸着過程を表現するために、得られた膜電位値の絶対値を積分し比較した。この経時的な膜電位の積分値を用いることで味物質の膜への供給量と吸着量との比例的な関係が確認できるようになった。本実験では味物質の供給量に対する脱着速度の比例的な関係があるかどうかは明らかにならなかったが、膜電位の挙動は送液約 100 秒で安定していることから、味物質の脱着は約 100 秒間で、膜上で濃度に関係なく平衡状態となることが考えられる。先行研究 [2] より、脂質高分子膜へのタンニン酸の吸着量と膜電位変化の関係が明らかとなっており、従来の味覚センサでは CPA 値から概算すると脂質高分子膜への味物質の吸着量は味サンプル濃度 5.0×10^{-2} wt% を用いた場合約 $3.4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ だった。一方、本研究での味覚センサでも同様に概算すると、同条件では味物質の吸着量は約 $6.8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ であった。つまり、本研究での味覚センサでの膜電位測定では、従来の味覚センサより多い量の味物質が吸着していることが分かった。

以上、本研究では、PDMS 流路を設計し、味物質に対する脂質高分子膜の膜電位変化を計測可能なマイクロ流路味覚センサの開発に成功した。渋味物質であるタンニン酸サンプルでの膜電位測定を行った結果、味物質の供給量に対する吸脱着の量や吸着速度の関係性を示すことができ、ヒトが感じる味の余韻や立ち上がりといった経時変化を数値化できる可能性が示された。また、先行研究との比較により、味物質の吸着量が従来の味覚センサより多くなっており、より高感度で味覚測定を行うことができる可能性が示唆された。また、実サンプルを用いた測定を行ったところ、再現性の課題が見つかった。これは、脂質高分子膜の味物質の吸着に対して洗浄時間や流速を最適化することで解決できると考えている。今後の方針として、より詳しく味物質の吸脱着に関する調査を行い、これを官能評価と合わせることで味の経時的な変化を数値化する味評価システムの構築を行う予定である。

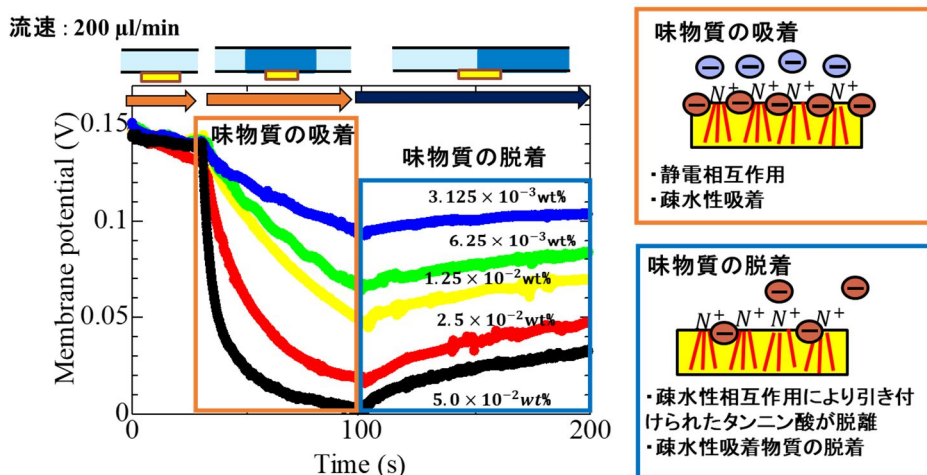


図 2 タンニン酸に対する膜電位の経時変化と吸着イメージ

<引用文献>

- [1] Tahara, Y, and Toko, K: Electronic Tongues—A Review, IEEE Sensors Journal 13, 3001-3011.
- [2] 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, 12, 1172-1176, 2014

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田原 祐助	4. 巻 39(2)
2. 論文標題 味のデジタル情報化技術	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 188-189
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tahara Yusuke, Sassa Fumihito, Takigawa Ryo, Kurihara Yuma	4. 巻 62
2. 論文標題 Development of a microfluidic-based taste sensor using lipid polymer membrane	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1014
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acb4fa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Y. Kurihara, R. Takigawa, F. Sassa, Y. Tahara
2. 発表標題 Development of microfluidic-based taste sensor with lipid polymer membrane
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原 祐助
2. 発表標題 eスポーツとデバイス技術
3. 学会等名 LIFE2020-2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原 祐助, 多喜川 良
2. 発表標題 マイクロ流路を用いた味覚センサの開発
3. 学会等名 第35回エレクトロニクス実装学会春季講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Kurihara, R. Takigawa, F. Sassa, Y. Tahara
2. 発表標題 Development of microfluidic-based taste sensor for detection of time dependent taste
3. 学会等名 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原 祐助, 鈴木 悠人
2. 発表標題 脂質高分子膜を用いたマイクロ流路型味覚センサの開発
3. 学会等名 第36回実装学会春季講演大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 K. Toko, Y. Tahara, M. Habara, H. Ikezaki	4. 発行年 2021年
2. 出版社 IOP publishing Ltd.	5. 総ページ数 26
3. 書名 Electronic Tonges	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------