

令和5年度

博士學位論文

内容の要旨

および

審査結果の要旨

(令和6年3月)

近畿大学大学院

産業理工学研究科

学位論文審査結果の報告書

氏 名

八尋 美希

生年月日

昭和 42 年 2 月 18 日

本籍(国籍)

福岡県

学位の種類

博 士 (工 学)

学位記番号

第 54 号

学位授与の条件

学位規程第 5 条該当

(博士の学位)

論文題目

脂 質 高 分 子 膜 型 味 覚

セ ン サ の 汎 用 化 に 関 す る 研 究

学位論文受理日

令和 5 年 12 月 22 日

学位論文審査終了日

令和 6 年 1 月 20 日

審査委員

(主査) 白土 浩

(副主査) 喜屋武 毅

(副主査) 今宿 互

指導教員

白土 浩

論文内容の要旨

脂質高分子膜型味覚センサは、生体膜を模倣した人工脂質高分子膜の膜電位により、食品に含まれる様々な味成分を基本味強度に圧縮し、人の味覚を再現する。この味覚センサは開発当初、基本味物質を含む水溶液に対して基本味の検出と識別を保証したが、食品に含まれる基本味物質以外の様々な物質は、味覚センサによる測定を不安定化させる要因にもなった。また、食品の美味しさには基本味以外の客観的評価も求められた。このような背景から、本研究では以下の三つを大きな目的とした。まず味覚の温度依存性の再現を試みること、次に脂質高分子膜の汚染をもたらす油脂分を含む食品や固形食品を安定に測定すること、さらに基本味での評価が困難な食品の味の定量評価法を検討することである。これらにより、味覚センサをさらに汎用化することを目指した。

第1章では、これまで味覚センサが対象としてきた5つの基本味に加え、美味しさを構成する広義の味を再現する広域選択性を持ったセンサとして、さらに発展させるための研究の背景について述べた。都甲らが開発した味覚センサ以前の化学センサや分析機器は、特定物質の選択性・特異性が求められた。これに対し、脂質高分子膜型味覚センサは生体膜を模倣した人工脂質膜を用いたマルチチャンネル型味覚センサであり、多種類の味物質を5つの基本味にカテゴライズする広域選択性を有する点が特徴である。すでに様々な食品への定量評価も可能にしている。本章では脂質高分子型味覚センサの基本構造および水溶液中の味物質に対する膜電位応答原理を解説した後、食品への適用例について述べ、最後に本研究が対象とした課題について述べた。

第2章では、味覚センサの仕組みと基本味の応答特性を述べた。人の舌の上にある生体膜を構成する脂質二分子膜に着目し、8種類の人工脂質高分子膜を作成した。脂質膜は水溶液中で正負の電荷を帯び、そこに荷電性の味物質が吸着することなどで膜電位が変化する。5つの基本味はそれぞれの味質に対して応答パターンが異なる。味覚センサにおいては基準溶液とサンプル溶液を交互に測定し、相対値を応答とする。膜電位は温度に依存するため、測定は25°Cで実施された。

第3章では、基本味の温度依存性の再現について述べた。まず味覚センサにおいて脂質膜のみ温度変化をさせる測定装置を構築した。それには電極内液のAg/AgCl電極に影響を与えない条件を模索し、脂質膜の浸漬の深さと測定時間の最適な条件を得ることができた。味覚センサの特性を評価する方法として人の官能評価を採用した。塩味および酸味の味覚センサ応答については官能評価による温度依存性と一致しなかった。一方、高温で減少した苦味、高温で強度が増した旨味については官能評価と一致した。味質によって異なる結果となったが、味覚センサの応答に対して温度比例成分を補正すると塩味と酸味についても官能評価の温度依存性と一致したことから、味覚センサにより味覚の温度依存性の再現が可能となった。

第4章では、牛乳の味の定量評価について述べた。牛乳に含まれる油脂成分は電極の

脂質高分子膜に作用し、応答電位の不安定性の原因となる。そこで基準溶液、サンプル溶液ともに牛乳を用いるプリコンディション法を導入することで電極の不安定性を取り除くことが出来た。また6か月間用いた脂質膜電極にデータの重心校正を施すことで、異なる測定日との比較が可能になった。さらに5:5膜は牛乳の官能評価の「こく」との相関が高く、「こく」を用いて牛乳の味が定量化できることが示唆された。

第5章では、コメの識別と定量評価について述べた。官能評価は通常の米飯を対象とした一方、味覚センサは固形物を除いた粥を測定対象とした。第4章と同様にプリコンディション法を採用し、測定が可能となった。味覚センサから得られたデータに主成分分析を施すことで外国産米、国産米のクラスタリングが明確になった。官能評価も味覚センサと同じ結果であることを確認した。さらに官能評価の「味」とセンサ出力からの回帰分析によりコメの「味」の定量化が可能となった。他方、プリコンディションが脂質高分子膜電極本来の特性を変えてしまい、味の評価をサンプル間の相対評価でしか行えなくなった。また、基準溶液やサンプルの調整が煩雑であることの問題も残った。

第6章では、コメ抽出液を用いた米飯の味の絶対評価について述べた。第5章の基準溶液における課題解決のために改善策としてコメの抽出液を作成し、非加熱処理を試みた。抽出液および粥の応答パターンの特徴は類似しており、コメ抽出液は溶液調整の手間やプリコンディションを不要とし、電極の不安定性を解消することができた。さらに、抽出液の成分分析を併用することでコメの味を決定する2つの物質を特定し、合成コメ溶液を作成することで、 NaH_2PO_4 濃度と CaCl_2 濃度の2軸を評価軸としてコメの味を表現できた。

第7章では、以上の結果を総括して述べた。

論文審査結果の要旨

本論文は、味覚センサとして初めて実用化された脂質高分子膜型味覚センサに関する論文であり、センシングに際して発生する脂質高分子膜の特性変化や劣化などの問題に対して取り組んだ研究がまとめられている。

脂質高分子膜型味覚センサは、生体膜を模倣した人工脂質高分子膜の膜電位により食品に含まれる様々な味物質情報を基本味強度に圧縮し、人の味覚を再現するものである。この味覚センサは開発当初、基本味物質を含む水溶液に対して基本味の検出と識別を保証したが、食品に含まれる基本味物質以外の様々な物質は、味覚センサによる測定を不安定化させる要因にもなっていた。また、食品の美味しさには基本味以外の客観的評価も求められていた。このような背景から、本論文では味覚の温度依存性の再現を試みることで、脂質高分子膜の汚染をもたらず油脂分を含む食品や固形食品を安定に測定すること、および基本味での評価が困難な食品の味の定量評価法を検討することを目的として、味覚センサをさらに汎用化することを目指した論文となっている。

本論文の内容は、以下の7つの章から構成されている。

第1章では序論として、脂質高分子膜型味覚センサが対象としてきた基本味に加え、美味しさを構成する広義の味を再現する広域選択性を持ったセンサとして、さらに発展させるための研究の背景が紹介されている。脂質高分子膜型味覚センサの基本構造および水溶液中の味物質に対する膜電位応答原理が概説され、食品への適用例および本研究が対象とした課題について述べられている。

第2章では引き続き、本論文の主題となっている脂質高分子膜型味覚センサのメカニズムおよびセンサの基本特性である基本味溶液に対する応答について解説されている。生体膜を構成する脂質二分子膜を模倣した8種類の人工脂質高分子膜が水溶液中で正負の電荷を帯び、そこに荷電性の味物質が吸着し膜電位が変化する基本メカニズム、および5つの基本味物質に対して固有の応答パターンを有することにより味の識別が可能となることが紹介されている。

第3章では、脂質高分子膜型味覚センサにより味覚の温度依存性を再現できることが検証されている。長時間高温にさらされた脂質高分子膜中の脂質の溶出による劣化を避けるため、味覚センサにおいて脂質膜のみ短時間温度変化をさせる測定装置が構築されている。味覚センサ応答特性の比較対照として、人の官能評価が採用されている。味覚センサ本来の応答特性は、必ずしも官能評価による温度依存性と一致しなかったが、イオンセンサと同様の温度比例成分を補正すると官能評価の温度依存性と一致し、これにより味覚センサによる味覚の温度依存性の再現が可能となることが示されている。

第4章では、牛乳の味の定量評価に関して述べられている。油脂成分が電極の脂質高分子膜に強く作用し、応答電位の不安定性の原因となる問題に対し、油脂を多く含む牛

乳を例に解決策が示されている。脂質高分子膜を牛乳に長期間馴染ませるプリコンディショニング法を導入することで、電極の不安定性を取り除くことが出来ることが述べられている。加えて、官能評価との比較から味覚センサにより牛乳の「こく」を定量化できることが明らかになっている。

第5章では、コメの識別と定量評価について述べられている。通常のお米の味を人が官能評価した一方、味覚センサによる測定が困難な固形物であるお米の代わりに粥を測定対象とし、4章と同様にプリコンディショニング法を採用することで評価を可能としたことが述べられている。粥に対するセンサ出力を用いてお米に対する官能評価の「味」の回帰分析を実施し、味覚センサにより官能評価を再現できることが示されている。

第6章では、引き続きお米が対象とされており、お米抽出液および合成お米溶液を用いたお米の味の絶対評価について述べられている。脂質高分子膜電極本来の特性を変えてしまい相対評価しか行えないという問題を抱えるプリコンディショニング法を避ける方策として、粥ではなく非加熱処理によるお米抽出液が測定対象に採用されている。その結果、お米抽出液は溶液調整の手間やプリコンディショニングが不要になり、電極の不安定性も解消されている。さらに、抽出液の成分分析の併用によってお米の味を決定する2つの物質が特定され、 NaH_2PO_4 濃度と CaCl_2 濃度の2軸を評価軸として味覚センサによるお米の味の絶対評価が可能となったことが述べられている。これらの手法は、他の固形物や基本味以外の味を呈する食品にも適用できることが示唆されている。

第7章では結論として、6章までの結果が総括されている。

以上のとおり本論文では、脂質高分子膜型味覚センサの食品応用において適用範囲を拡大し、食品業界における味覚センサの価値を高めることを企図した研究がまとめられている。

食品ロス問題など様々な観点から食生活が語られる現代において、品質が確保された食品を安定に供給することが食品産業に課せられている。その中で食品の味を客観的に評価する味覚センサの必要性はますます高まっており、味覚センサの適用範囲を拡大することを目指した本論文の研究成果には、高い価値を見出すことができる。よって本論文は、博士（工学）の学位論文に十分値するものであると認められる。

(課程・論文)

博士学位論文最終試験結果の報告書

令和 6 年 1 月 31 日

審査委員	主査	白土 浩
	副主査	喜屋武 毅
	副主査	今宿 互
学位申請者氏名	八尋 美希	
論文題目	脂質高分子膜型味覚センサの汎用化に関する研究	

(試験結果の要旨)

令和6年1月20日、博士学位論文公聴会を開催し、提出論文内容に関する発表を行った。その後、研究成果を確認するため、論文に関する内容を中心とした口頭試験を実施した。同公聴会における質疑内容に対する申請者の応答は適切なものであり、これにより申請者は最終試験に合格したものと判定する。