様式１－３－１

論文内容要旨（和文）

平成29年度入学　大学院博士後期課程

有機材料システム専攻

氏　　名　矢野　裕子　　印

論　文　題　目　　高分子鎖構造の視点から発想した成形加工性に優れた澱粉分子鎖構造の決定に関する研究

我々の身近な食品であるパンや麺類、焼き菓子などは全て小麦粉から作られている。しかし、近年では小麦アレルギー患者が増加傾向にあり、小麦を使わないアレルギー対応食品への需要が高まっている。アレルギーを引き起こす原因は小麦生地中に形成されるグルテンにあるため、グルテンを形成しない米粉を材料として用いることでアレルギー問題を克服することができる。しかし、小麦生地の良好な成形性はグルテンに起因するため、グルテンを含まない米粉生地は小麦粉生地に比べると著しく成形性に劣るという問題を抱えている。そのため、1990年代までは米粉のみではパンを焼くことはできないというのが定説であった。2000年初頭、我々の研究グループは結晶性米粉に非晶性米粉を少量添加して米粉生地の粘度制御を行うことで米粉パンを膨らませることに成功した。これは合成高分子の発泡成形技術を応用することで成し遂げられた。合成高分子は材料の粘弾性を制御することで製品の成形性を向上させることができる。米粉パンの作製では、結晶性の異なる2種類の米粉をブレンドすることで生地の粘弾性の制御を可能にした。合成高分子の場合には、材料の物性は分子鎖構造に依存する。本論文では、米粉生地の場合でも澱粉の分子鎖構造を変えれば米粉のブレンドなしで生地の物性を制御できるのではないかと考えた。本論文では澱粉を高分子として捉え、その分子鎖構造と成形加工性との関係に着目する。

本論文は全4章から構成される。以下にその概要を記す。

第1章では、小麦粉や米粉の知識、米粉パンの製パン技術、澱粉の基本的な構造や特性、研究の目的などを述べた。本論文では、合成酵素が異なる複数の米を試料に用いることで澱粉の分子鎖構造よる違いを明らかにすることを説明した。また、本論文の目的は(1)澱粉の分子鎖構造が米粉生地の物性に与える影響を明らかにし、(2)製パンや製菓に適した澱粉の分子鎖構造を特定することであることを述べた。

第2章では、良好な製パンを可能とする澱粉の分子構造について述べた。これまでの研究により、澱粉の組成や分子鎖構造が米粉100％パンの製パン性に影響を与えることが予想されていた。具体的には、アミロースは生地の弾性を強くすることで気泡を保持し、アミロペクチンは糊化温度を変化させることによって気泡の成長を制御していることが想定されていた。しかし、品種改良により構造が制御された澱粉は、アミロース含量とアミロペクチンの分子鎖構造が同時に変化してしまうため、組成と分岐構造それぞれの影響を独立に調べる試みはなされていなかった。そこで第2章では、アミロペクチンの分子鎖構造が類似したモチ種とウルチ種の系統をブレンドすることで、アミロペクチンの構造を統一し、アミロース含量のみの影響を捉える手法を提案した。この手法を用いてアミロースが米粉生地に与える影響を明らかにした。実験は製パンとレオロジー測定、ヨウ素呈色を行った。製パン実験の結果、アミロース含量が高い方がパンの発泡率は高くなり、アミロースが気泡保持の役割を果たすことが明確になった。また、レオロジー測定の結果から、米粉生地のアミロース含量が高いほど貯

蔵弾性率が高くなり硬い生地になることが明らかとなった。アミロースが生地の弾性を強くするメカニズムを調べるために溶媒のヨウ素呈色を行った結果も示した。米粉と水から作製した米粉生地を遠心分離にかけて分解し、アミロースの所在を調べたところ、アミロースは水中に溶け出していることが明らかとなった。このことから、アミロースは米粉中から溶出して溶媒の粘度を上昇させることで米粉生地の硬化に寄与することが明らかとなった。

第3章では、良好な米粉100%クッキーの製造を可能とする澱粉の分子構造について述べた。先行研究により、米粉クッキーの焼き色と成形性を制御するには非晶性米粉の添加が有効であることが明らかとなっている。第3章では、結晶性米粉と結晶性米粉のそれぞれから米粉クッキーを製造し、米粉クッキーの製造に適した澱粉の分子構造を明らかにした。実験は、米粉クッキーの製造と広角X線回折測定を行なった。実験には澱粉の組成と構造の異なる複数の系統を試料に用いた。米粉クッキーを作製して成形性を評価した結果、澱粉の組成や結晶性の違いによって焼き色や強度が変化することが明らかとなった。非晶性米粉を用いた場合、アミロース含量が低い系統の方が米粉内部に脂肪酸を吸収して生地が粉末状になることがわかった。非晶化した澱粉はアミロペクチンの二重螺旋が開いていることから、開いた二重螺旋部分に脂肪酸が取り込まれたと推察した。広角X線回折測定により焼成前後の脂肪酸添加生地の結晶構造を調べたところ、米粉の結晶性によって結果に違いが生じた。結晶性米粉を用いた場合には焼成前後で結晶構造がほとんど変化しなかったのに対し、非晶性米粉を用いた場合には焼成後に再結晶化することが明らかとなった。これらの結果から、脂肪酸は米粉に対して結晶化助剤として働く可能性が示唆された。さらに、澱粉の結晶構造および組成がクッキーの成形性に影響を与えることが明らかとなった。

第4章では、各章で得られた小括をまとめ、研究を総括した。さらに、今後の展望について述べた。本論文では、米粉パンと米粉クッキーという製造方法に異なる2種類の食品に対して成形加工性に優れた澱粉の分子構造を明らかにした。本論文の結果と過去の知見を組み合わせることによって、米澱粉を「分岐度」「アミロース含量」「分岐の長さ」という3つの尺度に基づいてグループ分けすることが可能となった。米粉パンのような発泡を伴う食品に対しては分岐度が比較的大きく、アミロース含量が高く、分岐の長さは中程度の澱粉が適することが明らかになった。米粉クッキーのように油脂と混合して作製する食品に対しては分岐度に関係なく、アミロース含量が高く、分岐の長さが中程度の澱粉が適することが明らかとなった。

以上の研究成果は、これまで炊飯米や餅のように大まかな分類しかされてこなかった米に対し、新たな区分を示したことによって米粉としての用途拡大を促すことができる。また、米粉食品の製造技術の向上や品種改良の指標として重要なものになると考えられる。

様式１－３－２

論文内容要旨（英文）

平成29年度入学　大学院博士後期課程

有機材料システム専攻

氏　　名　　矢野　裕子　　印

論　文　題　目　Study on Determination of Starch Molecular Structure with Improved Processability from the Viewpoint of Polymer Chain Architecture

Foods made from wheat contain gluten, which causes excellent processability of wheat batter. However, many people want to use rice instead of wheat because rice flour does not contain gluten which causes serious problems on health of certain people. Rice batter is worse for food processing than wheat batter because of the absence of gluten. It was believed that rice bread cannot make without adding wheat or additives. However, after the innovation of the method to use amorphous rice flour for rice bread baking, the situation completely changed. About 20 years ago, we succeeded to make baked pure rice bread by using amorphous rice flour. In this paper, we examined how the starch structure of rice affect the processability of rice batter that uses amorphous rice flour. In this doctor thesis, it consists of 4 chapters. The outline is described below.

In Chapter 1, the knowledge of wheat flour and rice flour, the basic structure and characteristics of starch, and the purpose of study were explained. The purpose of this paper is to clarify the relationship between the molecular structure of starch and food processability.

In Chapter 2, the molecular structure of starch suitable for bread baking was examined.

氏　名　矢野　裕子

To clarify influence of amylose content, batter was made by blending with waxy and non-waxy type rice, whose amylopectin structure is similar. This method revealed the effect of amylose content on rice flour batter without changing amylopectin architecture. We concluded that foaming ratio of baked bread of higher amylose content was higher. Amylose contributed to keep bubbles in the bread baking process.

In Chapter 3, the molecular structure of starch suitable for making cookie was examined. In this study, rice cookies were made from crystalline rice flour and amorphous rice flour, respectively. Effect of crystalline structure and composition on processability of cookie was discussed.

In Chapter 4, all the results in this thesis were summarized. The relationship between processability and molecular structure of starch for rice bread and rice flour cookie was indicated. From the results of this paper and previous knowledges, we were able to group rice starch based on three measures: degree of branching, amylose content, and length of branching.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

令和２年８月４日

有機材料システム研究科長　殿

課程博士論文審査委員会

主査　西岡　昭博　印

副査　羽場　修　印

副査　香田　智則　印

副査　宮田　剣　印

副査　　印

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	有機材料システム専攻　　氏名　矢野　裕子		
論文題目	高分子鎖構造の視点から発想した成形加工性に優れた澱粉分子鎖構造の決定に関する研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	令和　２年　７月21日～ 令和　２年　８月　３日
論文公聴会	令和　２年　８月　３日	場所	工学部中示範Ｂ教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	令和　２年　８月　３日

学位論文の審査結果の要旨（1,000字程度）

本学位論文は、高分子工学の視点から澱粉を高分子鎖として捉え、米粉食品の成形加工と澱粉の分子鎖形状との相関について議論している。近年、小麦アレルギーによる健康被害が問題視されており、アレルギー対応食品として米粉が注目されている。アレルギーを引き起こす原因は小麦生地中に形成されるグルテンにあるため、グルテンを形成しない米粉を材料として用いることがアレルギー問題の解決に繋がる。しかし、小麦生地の良好な成形性はグルテンに起因するため、小麦粉を米粉に置き換えただけでは食品としての加工は困難である。本論文では、目的の食品に対してそれぞれに適した澱粉の分子鎖構造を選択することを提案し、米粉生地の成形加工性の問題の解決に果敢にアプローチしている。これらに関する成果について、本学位論文において４章構成で論じられている。

第１章では、小麦粉や米粉の知識、澱粉の基本的な構造や特性、研究の目的等が述べられている。第２章では、米粉パンに適した澱粉の分子鎖構造が検討されている。アミロースは生地の弾性を強くすることで気泡を保持し、分岐の長さは糊化温度を変化させることによって気泡の成長を制御していることを明らかにした。第３章では、製菓に適した澱粉構造が検討されている。アミロースやアミロペクチンの長鎖分岐はオレイン酸の吸収を抑制し、まとまりのある生地にすることを明らかにした。第４章では、本論文を総括した。本論文において、澱粉を「アミロペクチンの分岐度」「アミロース含量」「分岐の長さ」という３つの尺度に基づいて分類することで、目的の食品に適した澱粉構造を有する系統を選定することが可能となった。米粉パンにはアミロペクチンの分岐度が比較的大きく、アミロース含量が高く、分岐の長さは中程度の澱粉が適することが明らかになった。米粉クッキーにはアミロース含量が高く、分岐の長さが長い澱粉が適することが明らかとなった。

本研究成果については、申請者を筆頭著者とした学術論文２報がすでに掲載済みである。また、研究テーマには新規性と独自性が認められ、自ら研究を計画・遂行するための専門知識を基に、研究背景・目的が正しく述べられていた。学位論文の構成は適切で体裁が整っており、論理的な記述とテーマに沿った明確な結論が述べられていた。以上、当該専攻の審査基準から総合的に判断した結果、学位論文として十分に認められるものであり、審査員一同は合格と判断した。なお、本論文は研究倫理または利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

最終試験の結果の要旨

学位論文の内容について、口頭発表45分、質疑応答45分の最終試験を主査と副査３名により実施した。口頭発表においては、本研究の背景や目的、結果についてわかりやすく整理され、論理的な考察も十分になされていた。また、質疑応答においては、専門的な知識に基づいた適切な回答がなされ、関連分野に関する十分な知識があると判断した。最終試験の結果、矢野氏は博士の学位を授与するのに十分な知識と能力を有していると判断し、審査員一同は合格と判定した。