

令和 4 年 4 月 25 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02904

研究課題名(和文)プラスチック研究者の知見が可能にする成形性に優れた澱粉構造の決定と加工技術の開発

研究課題名(英文) Determination of starch architecture with excellent processability and development of processing technology by the knowledge of plastics researchers

研究代表者

西岡 昭博(Nishioka, Akihiro)

山形大学・大学院有機材料システム研究科・教授

研究者番号：50343075

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、プラスチック材料を専門とする研究代表者の知見を全くの異分野である食品科学や澱粉科学へ応用したものである。本研究により、二軸押出機による混練履歴は澱粉の分子鎖を切断し、せん断粘度を低下させることが分かった。これは、混練速度の増加に伴い顕著であった。さらに、澱粉の分子鎖形状により混練履歴の影響が異なることが分かった。アミロース含量が低いほどアミロペクチンが切断されやすく、アミロース含量の低い糯米澱粉の場合には混練部を持たないスクリュウ中のせん断流れだけで低分子化することが分かった。澱粉生地での混練履歴は、製パン性にも大きく影響することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、澱粉生地が加工時に受ける流動変形と加工後の生地のレオロジーおよび成形加工性の関係性を明らかにするという学術的意義をもつ。澱粉生地のレオロジー制御はグルテンアレルギーに対応するためのグルテンフリー食品の開発につながるという社会的意義をもつ。良好な成形性を示す小麦生地の粘弾性を担うグルテンを持たない米粉生地のみでグルテンフリー食品を開発するためには、米粉生地のレオロジーを詳細に制御することが必須となる。本研究により得られた知見は、米粉生地をグルテンフリー食品へ加工する際の重要な指針となり得る。

研究成果の概要(英文)：This interdisciplinary study merges fields of polymer science and food science based on knowledge of molecular rheology. One of the aim of this study is to determine the effect of kneading hysteresis on rheology of starch batter. We mainly examined shear flow hysteresis imposed on starch batter in a twin-screw extruder for various rotation speed and screw elements. We also examined baking properties of bread made from hysteresis imposed batter. From this study we knew that kneading starch batter in a twin-screw extruder easily reduced starch molecular weight causing reduction of viscosity of the batter. Furthermore, the hysteresis of kneading depended on molecular composition of starch. Amylopectin in starch of lower amylose content was cut more easily. Amylopectin in waxy rice starch, which contains low amylose, was easily cut in a screw even without kneading elements. Findings in this study are important for food processing and will contribute to the development of gluten-free food.

研究分野：高分子物性工学

キーワード：米澱粉 レオロジー 混練履歴 加工性 高分子鎖

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プラスチック材料と澱粉はどちらも炭素を主骨格とした高分子であり、分子鎖形状は直鎖状と分岐鎖状に分類される。プラスチック材料の分野では高分子鎖の形状によって粘度(レオロジー特性)が異なり、成形加工性に影響を及ぼすことが知られている。また、最近では加工に伴う混練履歴が高分子鎖に記憶として残り、粘度に影響を及ぼすことも報告されている。澱粉を主たる成分とする食品加工の技術を発展させる上では、全くの異分野であるプラスチック材料の知見を導入することの意義は大きい。このような背景をもとに、本研究課題では、澱粉を高分子材料として理解し、分子構造と成形工程が澱粉生地の物性に与える影響を捉えるための研究を遂行した。研究計画は次に示す4つの小テーマから構成される。具体的には(1)「澱粉の高分子鎖形状が生地のレオロジー特性に及ぼす影響」、(2)「エクストルーダー内の混練履歴が生地のレオロジー特性に及ぼす影響」、(3)「分子動力学シミュレーションによる高分子鎖形状および混練履歴が生地の物性や加工性に与える影響の解析」、(4)「高分子鎖の形状や混練履歴による物性変化を考慮した物性制御法と加工法の確立」である。以下に「研究の目的」、「研究の方法」、「研究成果」の各項目を立て、適宜小テーマごとにまとめて記載した。

2. 研究の目的

小テーマ(1) 澱粉の高分子鎖形状が生地のレオロジー特性に及ぼす影響

澱粉は直鎖状のアミロースと分岐状のアミロペクチンで構成された高分子である。澱粉の高分子鎖形状として(a)アミロース含量(以下、ACと表記)と(b)アミロペクチンの分岐鎖構造のそれぞれに着目した。本テーマでは、混練履歴のない条件での生地のレオロジー特性と高分子鎖形状との関係性を明らかにすることを目的とした。

小テーマ(2) エクストルーダーによる混練履歴が生地のレオロジー特性に及ぼす影響

澱粉の生地を食品に加工する製造現場では、一般に澱粉を水と熱により糊化させるために混練工程を経る。従って、混練工程後の生地のレオロジー特性が食品の加工性を決める大きな要因となる。本テーマでは、混練履歴の有無が生地のレオロジー特性へ与える影響を明らかにすることを目的とした。

小テーマ(3) 分子動力学シミュレーションによる高分子鎖形状および混練履歴が生地の物性や加工性に与える影響の解析

アミロペクチンの糊化挙動に混練履歴が及ぼす影響を分子スケールで可視化することを目的とした。可視化の手法として、全原子モデルによる分子動力学シミュレーションを用いた。

小テーマ(4) 高分子鎖の形状や混練履歴による物性変化を考慮した物性制御法と加工法の確立

高分子鎖形状及び混練条件の違いが米粉生地の製パン性に与える影響を明らかとすることを目的とした。本テーマの検討により小テーマ(1)、(2)で明らかとなる澱粉の基礎物性と製パン性との相関が得られる。

3. 研究の方法

小テーマ(1) 澱粉の高分子鎖形状が生地のレオロジー特性に及ぼす影響

試料

試料米として日本米を4種(ヒメノモチ、はえぬき、A2BC2、A6BC2)とタイ米を3種(品種非公開のためタイA、タイB、タイCと表記)を用いた。ヒメノモチとタイAは糯米(AC=0%)、はえぬきとタイBは中アミロース米(AC=10-25%)、A2BC2、A6BC2とタイCは高アミロース米(AC>25%)である。ヒメノモチ、はえぬき、タイA、タイBは一般的なアミロペクチンの分岐鎖構造を持つ。A2BC2は分岐が多く、A6BC2は分岐が少ないアミロペクチンを持つ。A6BC2及びタイCのアミロペクチンは長い二重螺旋をもつ傾向にあることが鎖長分布測定から分かっている。試料米から澱粉と米粉を作製した。澱粉はアルカリ浸漬法により精製することで作製した。米粉はエアータグミル旋回気流式微粉砕機MP2-350YS2(山本製作所製)を用いて気流粉砕法により作製した。

実験方法

(a) 示差走査熱量(DSC)測定: 糊化温度の測定

測定試料は水/澱粉を50wt/50wt%となるように調整した。この試料を総量15-19mgなるように秤取りアルミニウムパンに密閉しDSC測定を行なった。リファレンスには空パンを用いた。25 から90 まで5 /minで昇温する条件で測定した。

(b) Rapid Visco Analyzer(RVA)測定: 糊化時のレオロジー特性の測定

測定試料として米粉3gと水18gを混合した米粉懸濁液を用いた。円筒セルに注いだ米粉懸濁液を昇温しながらパドル型の治具を回転させることで米粉懸濁液の粘度(以下、米粉の粘度と表記)を測定した。50 から93 まで10.8 /minで昇温し93 で保持する条件で測定した。

(c) 動的粘弾性測定: 糊化後のレオロジー特性の測定

米粉に同量の水を加えて混合した米粉生地を測定試料として用いた。米粉生地は測定前に共軸二重円筒を備えたレオメーター内で1000秒間、温度90 で加熱した。1000秒間の加熱後は粘度変化がほとんど見られなかったことから、この条件で糊化に伴う澱粉粒の膨潤と崩壊は終了し、米粉生地は高分子鎖が水に分散した状態になったと考えられる。測定は角周波数0.1-100rad/sの範囲で角周波数依存測定を行った。測定温度は90、ひずみは事前に同じ生地のひずみ依存測定を行って決定した線形領域内の値を用いた。

小テーマ(2) エクストルーダーによる混練履歴が生地のレオロジー特性に及ぼす影響

試料

試料には上越スターチ社製のうるち米澱粉(以下、RSと表記)と上越スターチ社製の糯米澱粉(以下、WRSと表記)を用いた。各澱粉のみかけのAC含量はRSが16.9%、WRSが1.7%である。各澱粉を25wt%澱粉懸濁液になるよう加水しながら、卓上二軸押出機Process11(Thermo Fisher SCIENTIFIC社製)を用いて糊化し、生地を作製した。混練条件は、スクリュウ回転速度50rpm、ニーディング長(混練部)0mm、混練温度90 とした。次に、作製した生地に混練履歴を与えるために上記の卓上二軸押出機を用いて混練を行った。混練条件は、スクリュウ回転速度50、100、

150rpm、混練温度 30 °C とした。また、吐出口近傍に混練部を 120mm 設けたスクリーを用いた。

実験方法

レオロジー特性を評価するため定常流粘度測定と応力緩和測定を行った。定常流粘度測定の測定器具には 25mm パラレルプレートを用いた。測定条件として温度を 30 °C、ひずみ速度を 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10 s⁻¹ とした。得られた測定結果よりフローカーブを作成した。応力緩和測定の測定器具には 25mm パラレルプレートを用いた。測定条件として温度を 30 °C、ひずみを RS では 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1 とし、WRS では 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 3, 4 とした。得られた測定結果よりダンピング関数 $h(\gamma)$ を算出した。

小テーマ(3) 分子動力学シミュレーションによる高分子鎖形状および混練履歴が生地の物性や加工性に与える影響の解析

重合度が 15 のアミロペクチン 1 つと多数の水分子からなる系の分子動力学計算を行った。計算で使用したアミロペクチンのモデルは、アミロペクチンの 1 本の二重螺旋を再現したものである。高機能材料設計プラットフォーム OCTA のグラフィカルユーザーインターフェース gourmet を用いてアミロペクチンのモデリングを行なった。セル内に水とアミロペクチンを配置させ、密度が 1.25g/cm³、体積が 1.6 × 10⁻²⁰cm³、水分子が 80wt% 存在している系を作成した。分子動力学シミュレーションには OCTA のシミュレーションエンジンの一つである COGNAC を用いた。せん断は Lees-Edwards 境界条件で SLLD 法を用いて与えた。せん断速度は 0/s, 200/s, 5 × 10¹⁰/s とした。せん断速度 200/s は、二軸押出機を用いて回転速度 50rpm で混練した際のせん断速度に対応している。

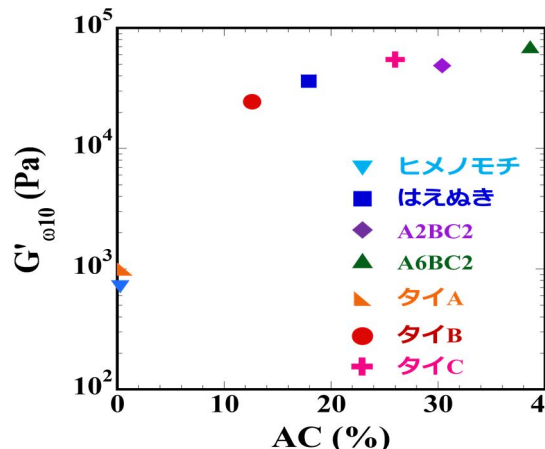


図1 アミロース含量 AC と貯蔵弾性率 G' との関係

小テーマ(4) 高分子鎖の形状や混練履歴による物性変化を考慮した物性制御法と加工法の確立

試料

米粉は、日の本穀粉株式会社製の紫純生粉を用いた。澱粉生地は、テーマ(2)と同様に卓上二軸押出機で作製した。各澱粉に対し、25wt%澱粉懸濁液になるよう加水しながら RS と WRS の澱粉生地を作製した。卓上二軸押出機の混練条件をスクリー回転速度 50rpm、混練部 0mm、混練温度 90 °C とした作製した澱粉生地を「混練履歴なし」の澱粉生地とした。この条件で作成した「混練なし」の RS、WRS からなる澱粉生地をそれぞれ RS (混練履歴なし)、WRS (混練履歴なし) と記述した。一方で、上記の混練なしの澱粉生地を吐出口近傍に混練部を 120mm 設けたスクリーを設け、スクリー回転速度 150rpm、混練温度 30 °C の条件で混練した試料を「混練履歴あり」の澱粉生地とした。RS、WRS の混練履歴ありの澱粉生地をそれぞれ、RS (混練履歴あり)、WRS (混練履歴あり) と記述した。

実験方法

(a) 製パン実験

混練履歴を与えた澱粉生地の添加が米粉の製パン性に与える影響を明らかにした。製パン実験によりパンの発泡率を測定し、製パン性を評価した。評価基準となる米粉パンの生地は米粉 170g、水 170g の 2 成分のみからなるものである。これに対して比較対象となる生地は、米粉 165g、水 155g に対し、混練履歴の異なる澱粉 (RS および WRS の混練履歴ありとなしの試料) をそれぞれ 20g 添加し作製した。製パン実験に用いた全ての生地には砂糖 20g、ドライイースト 3g、塩 2g を加えた。料理用混練機 KitchenAid KSW150WH (FMI 社製) を用いて澱粉生地以外の材料を高速で 10 分間攪拌し、その後、澱粉生地を加え低速で 2 分間攪拌した。攪拌後、パン型に生地 300g を流し込み電子発酵器 SK-15 (大正電気社製) を用いて 40 °C で 30 分間発酵させた。その後、ガスオープン OZ100BOEC (オザキ社製) を用いて 180 °C で 30 分間焼成した。

(b) 動的昇温粘弾性測定

本実験は製パン工程における温度変化が米粉生地のレオロジー特性に与える影響を明らかにするために実施した。上記製パン実験で作製した生地から砂糖、ドライイースト、塩を除き、測定に使用した。測定条件は、角周波数 10rad/s、ひずみは各試料の線形領域とした。線形領域は、ひずみ依存測定の結果より決定した。測定器具は、直径 24mm の共軸二重円筒または直径 25mm のパラレルプレートを用いた。発酵温度域である 25 °C、30 °C、35 °C の各温度ではそれぞれ一定温度での測定を行った。また焼成温度域 (35 ~ 90 °C) では昇温速度 17 °C/min で昇温しながら貯蔵弾性率 (G') の温度依存性を測定した。

4. 研究成果

小テーマ(1) 澱粉の高分子鎖形状が生地のレオロジー特性に及ぼす影響

示差走査熱量 (DSC) 測定: 「糊化温度の測定」

全ての試料で澱粉の糊化に起因した吸熱ピークが発現した。吸熱曲線の頂点の温度を澱粉の糊化温度と定義した。ヒメノモチ、はえぬき、A2BC2、A6BC2、タイ A、タイ B は 60 °C 付近で同程度の糊化温度を示し、AC 含量との相関は見られなかった。一方で、タイ C の糊化温度は 72 °C と高かった。アミロペクチンの長鎖の存在が高い糊化温度の要因と考えられる。この結果から、澱粉の糊化温度に対しては主にアミロペクチンの分岐鎖構造が影響を与えることが示唆された。

Rapid Visco Analyzer(RVA)測定：「糊化時のレオロジー特性の測定」

糊化温度以下である 50 のとき、全ての試料で粘度が著しく低い値を示した。この結果は澱粉の高分子鎖形状は糊化温度以下では生地粘度に顕著な影響を与えないことを示唆している。一方で昇温に伴う糊化により生地粘度は急激に上昇した。特にピーク粘度(糊化温度以上で最も高い粘度)には高分子鎖形状の影響が現れた。具体的には、はえぬき、A2BC2、A6BC2、タイ B において AC 含量が低いほどピーク粘度が大きくなった。昇温に伴う粘度の上昇の要因は、アミロペクチンの分子内部に水を取り込むことで澱粉粒が膨潤し粒同士の摩擦が大きくなるためである。AC が低くアミロペクチンが多いほど、この影響が顕著であるためピーク粘度が高くなったと考えられる。またタイ C は同等の AC 含量を持つ A2BC2 と比べて高いピーク粘度を示した。タイ C はアミロペクチンの二重螺旋を構成する分岐鎖が長い。この分岐鎖の長さがピーク粘度値の高さの要因になっている可能性がある。これらの結果から、糊化時のレオロジー特性に対して AC 含量とアミロペクチンの分岐鎖構造の両者が影響を与えていることが考えられた。

動的粘弾性測定：「糊化後のレオロジー特性の測定」

図 1 に米粉生地の貯蔵弾性率 G' (角周波数 $\omega=10\text{rad/s}$) と AC 含量との関係を示す。AC 含量が高い品種ほど G' は高い値を示した。具体的には AC 含量が 20%程度までは AC 含量の増加に伴い G' も増加した。これに対して AC 含量が 25%を超える A2BC2、A6BC2、タイ C の場合、AC 含量に依存せずほぼ一定値を示した。上記、「試料」の項でも述べたようにこれらの 3 種類の試料は AC 含量だけではなくアミロペクチン構造も異なっている。アミロペクチン構造が互いに異なるにも関わらず、 G' が一定値を示したことから、 G' には AC 含量の影響が大きく、アミロペクチンの構造の違いによる影響は小さいと言える。

小テーマ(2)エクストルーダーによる混練履歴が生地のレオロジー特性に及ぼす影響

定常流粘度測定：「フローカーブによる評価」

図 2 異なるスクリュウ回転速度で混練した各生地のフローカーブを示す。図 2 より混練履歴を与えることによって澱粉の高分子鎖形状に関わらず、生地のせん断粘度が低下することが分かった。また混練履歴を与える際のスクリュウ回転速度の増加に伴い、各生地のせん断粘度の低下が顕著であることも分かった。

応力緩和測定：「ダンピング関数による評価」

図 3 に異なるスクリュウ回転速度で混練した各生地のダンピング関数を示す。ダンピング関数とは分子鎖にどの程度変形が効率的に伝わるかの尺度である。混練履歴がない場合、RS は WRS よりもダンピング関数のひずみ依存性が強く発現した。これは WRS が糯米澱粉であることから RS よりもアミロペクチン含有量が多いことから、分子鎖の絡み合いに寄与したことを示している。これは通常の合成高分子材料の知見と一致する。

一方で、ダンピング関数のひずみ依存性については、RS と WRS どちらにおいても混練履歴の有無による影響が見られなかった。この結果は (1) 二軸押出機による混練では絡み合いに影響するような分子鎖の切断は少ないこと、(2) 分子鎖形状の違いと混練履歴との相関はないことを示している。鎖長分布測定により混練の有無によるアミロペクチンの分岐鎖長への影響は見られないことが分かっており、上記の結果を支持している。一方で分子量分布測定の結果から混練によるアミロペクチン同士を繋ぐ主鎖の低分子化が確認されている。

以上の結果から、混練によるせん断粘度の低下はアミロペクチンの分岐鎖の切断によるものではなく混練過程での主鎖の低分子化が一要因であると考察した。スクリュウ回転速度は工業的にも扱いやすい因子であることから、一連の結果は混練履歴を食品加工技術へ応用する上では重要な知見であると言える。

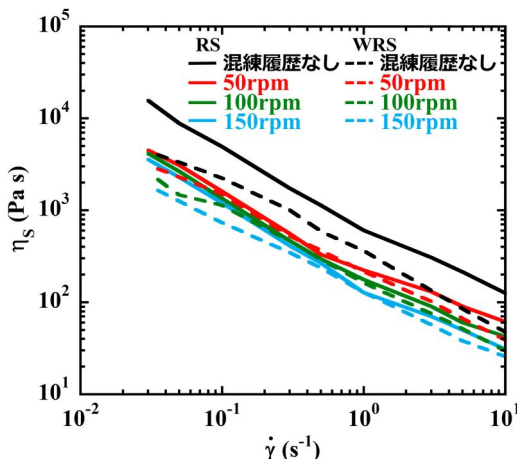


図 2 異なるスクリュウ回転速度で混練した各生地のフローカーブ

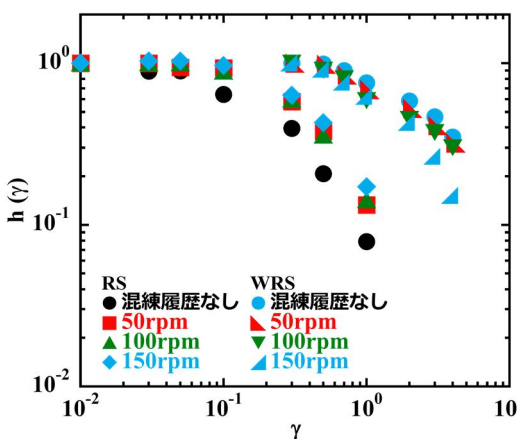


図 3 異なるスクリュウ回転速度で混練した各生地のダンピング関数

小テーマ(3) 分子動力学シミュレーションによる高分子鎖形状および混練履歴が生地の物性や加工性に与える影響の解析

図4にせん断速度ごとに計算した後のアミロペクチンのスナップショットを示す。この結果より、二軸押出機に対応するせん断速度(200/s)では混練を与えていない結果と同様に二重螺旋が解けていなかった。テーマ(2)で、混練によってアミロペクチンはクラスター単位で低分子化しており、アミロペクチンの二重螺旋の構造には影響していないことが分かっている。分子シミュレーションの結果でも二軸押出機によるせん断はアミロペクチンの二重螺旋の構造を大きく変化させないことを示しており、上記テーマ(2)の結果を裏付けている。

また、二軸押出機よりも高いせん断速度を与えることで二重螺旋が大きく解けていることから、熱を印可しない条件下でも強いせん断を与えることでアミロペクチンの二重螺旋が解けることが示唆された。

小テーマ(4) 高分子鎖の形状や混練履歴による物性変化を考慮した物性制御法と加工法の確立

製パン実験：「混練履歴の異なる澱粉生地への添加が製パン性に与える影響」

表1に各米粉生地の発酵後と焼成後の発泡率を示す。発酵後の発泡率において、澱粉生地への添加系では全てにおいて評価基準よりも高い値を示した。特にWRSを添加した系では混練履歴による発泡率への影響は殆ど見られないにもかかわらず、RSを添加した系では混練履歴がある方が高い発泡率を示した。この違いは各試料を添加した生地のレオロジー特性が互いに異なっていることを予想させる。これを明らかにするため、次項では生地の動的昇温粘弾性測定を行った。

動的昇温粘弾性測定：「製パン工程中の生地の硬さを評価」

図5に各米粉生地の貯蔵弾性率 G' の温度依存性を示す。RSおよびWRSについて混練履歴の異なる試料をそれぞれ用意し、評価基準試料に添加することで混練履歴の物性への影響を検討した。特に低温域(30-50℃付近)に着目すると混練履歴がない場合、RSでは評価基準の試料に対して明らかな G' の増加が見られた。これに対して逆にWRSでは評価基準よりも低下した。RS(混練履歴なし)およびWRS(混練履歴なし)は、糊化の工程で混練効果のないスクリー(いわゆるフルフライト)を通過させ作成している。この工程でWRSのみに分子量低下が起こっていることを確認しており、これがWRSの生地粘度の低下に繋がったと思われる。従って、混練履歴なしの互いの試料を比較した場合、低分子化していないRSの方が粘度は高いはずである。このような理由でWSを添加した系では評価基準よりも高い G' を示したと言える。一方でWRSを添加した系において評価基準よりも G' が低下している点はWRSの分子量低下だけでは説明できない。現時点ではこの理由は定かではないが、WRSの低分子化したアミロペクチン分子が可塑剤となり高分子鎖同士の絡み合いを低下させたことが要因ではないかと考えている。次に混練履歴ありの試料を添加した場合を比較する。RSとWRSでは異なる結果となった。具体的にはRSでは混練履歴により G' は大きく低下した。これは混練履歴によるRSの低分子化が要因である。これに対してWRSでは混練履歴の有無は G' にほぼ影響していない。この結果はアミロース含量によって混練履歴の影響の度合いが異なることを示唆しており非常に興味深い。

総括

本研究の一連の結果から、(1)糊化特性やレオロジー特性に澱粉分子鎖形状が影響すること、(2)混練履歴により澱粉分子鎖が切断されること、(3)混練履歴が生地のせん断粘度等の物性に影響を与えること、(4)分子構造の違いにより混練履歴による物性への影響は異なること、(5)混練履歴は製パン性に影響を与えることを明らかにした。以上のことから、混練履歴は澱粉生地の物性と加工性に大きく影響を与えるため、澱粉が主成分の食品を加工する場合には十分に混練履歴による物性変化を考慮する必要があると結論づけた。

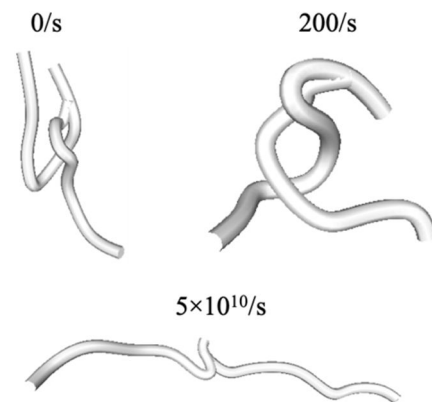


図4 せん断速度ごとに計算したアミロペクチン分子のスナップショット

表1 各サンプルの製パン時の発泡率

サンプル名	発泡率	
	発酵後 (%)	焼成後 (%)
評価基準	168.8 ± 10.3	248.7 ± 3.4
RS (混練履歴なし)	198.8 ± 7.4	187.7 ± 5.9
RS (混練履歴あり)	220.6 ± 6.3	209.8 ± 4.0
WRS (混練履歴なし)	194.4 ± 2.9	207.8 ± 7.3
WRS (混練履歴あり)	183.4 ± 3.1	191.4 ± 3.4

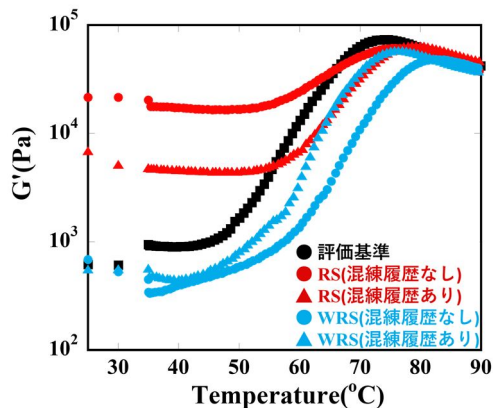


図5 各米粉生地の貯蔵弾性率 G' の温度依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yu Kanke, Hiroko Yano, Tomonori Koda, Chukwan Techakanon, Somwang Lekjing, Paramee Noonim, Akihiro Nishioka	4. 巻 27(4)
2. 論文標題 Comparison of Properties of Indica and Japonica Amorphous Rice Flours Produced by Shear and Heat Milling Machine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 551-557
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 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 該当する

1. 著者名 Marin Abiko, Tomonori Koda, Akihiro Nishioka	4. 巻 45
2. 論文標題 Effect of Conditions of Shear and Heat Milling Machine on Structures and Properties of Rice Batter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Food Processing and Preservation	6. 最初と最後の頁 e16005(1-8)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jfpp.16005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Apakorn Thongmeepech, Tomonori Koda, Akihiro Nishioka	4. 巻 74
2. 論文標題 Application of Shear and Heat Milling Machine for Amorphization of Tapioca Starch	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Starch-Starke	6. 最初と最後の頁 2100159(1-6)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/star.202100159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 吉田拓気、香田智則、相澤悠樹、西尾太一、西岡昭博
2. 発表標題 全原子モデルによるアミロペクチンの糊化挙動シミュレーション
3. 学会等名 日本応用糖質科学会 2020年度大会（第69回）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安孫子真鈴、香田智則、西岡昭博
2. 発表標題 独自粉碎技術により作製した米粉がレオロジー特性に与える影響
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部 令和2年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 狩野直也、香田智則、西岡昭博
2. 発表標題 二軸押出機による混練履歴が澱粉のレオロジー特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部 令和2年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅家優、香田智則、Chukwan Techakanon、Somwang Lekjing、Paramee Noonim、藤田直子、西岡昭博
2. 発表標題 澱粉の分子鎖形状の異なる米から製造した非晶性米粉の物性比較
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部 令和2年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小谷田愛里、香田智則、西岡昭博
2. 発表標題 製造方法の異なる非晶性米粉が製パン性および老化現象に与える影響
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部 令和2年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅家優、矢野裕子、宮田剣、香田智則、西尾太一、西岡昭博
2. 発表標題 加熱・せん断型臼式粉碎装置により粉碎したインディカ米とジャポニカ米の比較
3. 学会等名 第11回 日本応用糖質科学会 東北支部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅家優、矢野裕子、宮田剣、香田智則、西尾太一、西岡昭博
2. 発表標題 加熱・せん断粉碎法によるインディカ米の非晶化に適する粉碎温度の検討
3. 学会等名 日本食品科学工学会 第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安孫子眞鈴、矢野裕子、宮田剣、香田智則、西尾太一、西岡昭博
2. 発表標題 米粉の結晶化度制御が米粉生地のレオロジー特性と製パン性に与える影響
3. 学会等名 日本食品科学工学会 第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安孫子眞鈴、矢野裕子、宮田剣、香田智則、西尾太一、西岡昭博
2. 発表標題 結晶化度を制御した米粉生地のレオロジー特性と製パン性
3. 学会等名 第11回 日本応用糖質科学会 東北支部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Kanke, Hiroko Yano, Ken Miyata, Tomonori Koda, Taichi Nishio, Akihiro Nishioka
2. 発表標題 Comparison of Indica and Japonica Rice Flour Milled by the Shear and Heat Milling Machine
3. 学会等名 Polymer Engineering and Science International Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Kanke, Hiroko Yano, Ken Miyata, Tomonori Koda, Taichi Nishio, Chukwan Techakanon, Somwang Lekjing, Akihiro Nishioka
2. 発表標題 Comparative Study of Indica and Japonica Amorphous Rice Flour Made by Using the Shear and Heat Milling Machine
3. 学会等名 The 7th International Conference on Smart Systems Engineering 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Marin Abiko, Hiroko Yano, Ken Miyata, Tomonori Koda, Taichi Nishio, Akihiro Nishioka
2. 発表標題 Effect of Crystallinity of Rice Flour on Rheological and Baking Properties
3. 学会等名 The 7th International Conference on Smart Systems Engineering 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安孫子真鈴、矢野裕子、宮田剣、香田智則、西尾太一、西岡昭博
2. 発表標題 米粉 100%パンの製造に適した米粉の開発
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部 令和元年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Marin Abiko, Hiroko Yano, Tomonori Koda, Taichi Nishio, Akihiro Nishioka
2. 発表標題 Rheological Properties of Pure Rice Batter Depending on Rice Flour Crystallinity
3. 学会等名 The Second International Conference of Polymeric and Organic Materials in Yamagata University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安孫子眞鈴、香田智則、西尾太一、相澤悠樹、西岡昭博
2. 発表標題 結晶化度を制御した米粉生地の分散形態とレオロジー特性及び製パン性の関係
3. 学会等名 日本食品科学工学会 第68回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安孫子眞鈴、香田智則、西尾太一、相澤悠樹、西岡昭博
2. 発表標題 粒度が異なる米粉の生地中の澱粉形態とレオロジー特性及び製パン性
3. 学会等名 日本応用糖質科学会 2021年度大会 (第70回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安孫子眞鈴、香田智則、西尾太一、相澤悠樹、西岡昭博
2. 発表標題 結晶化度の異なる米粉生地の澱粉形態とレオロジー特性及び製パン性
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部令和3年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小谷田愛里, 香田智則, 西尾太一, 相澤悠樹, 西岡昭博
2. 発表標題 非晶性米粉の製造方法の違いが澱粉の老化に与える影響
3. 学会等名 日本応用糖質科学会 2021年度大会 (第70回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小谷田愛里, 香田智則, 西岡昭博
2. 発表標題 非晶性米粉の製造方法が米粉生地老化に与える影響
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部令和3年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Apakorn Thongmeepech, Tomonori Koda, Akihiro Nishioka
2. 発表標題 Effect of Using Shear and Heat Milling Machine on Amorphization of Tapioca Starch
3. 学会等名 日本食品科学工学会 第68回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Apakorn Thongmeepech, Tomonori Koda, Akihiro Nishioka
2. 発表標題 Preparation and Characterization of Composite Material from Amorphous Tapioca Starch and Cellulose Nanofibers
3. 学会等名 日本応用糖質科学会 2021年度大会 (第70回)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分担者	香田 智則 (Koda Tomonori) (60261715)	山形大学・大学院有機材料システム研究科・准教授 (11501)	
研究 分担者	藤田 直子 (Fujita Naoko) (90315599)	秋田県立大学・生物資源科学部・教授 (21401)	

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
---------	---------