

2023年度（第19回）研究助成報告

研究題名	濡れた食品粉体系の流動構造変化に着目した食感発現メカニズム探索
研究期間	2023年4月1日～2024年3月31日
研究機関・所属	東洋大学・食環境科学部
研究者名	藤井 修治

1. 研究成果の概要

これまでの研究では、せん断変形中のあんこがジャミングを起こし、粒の充填状態が変化することにより粘弾性挙動が変化することを突き止めた。

本助成では粉体の充填構造と粘弾性・食感との因果関係を突き止めることを目的とし、境界応力顕微鏡を用いて食感定量化手法を構築しつつ、あんこのレオロジー研究をさらに推進することとした。

口腔内で咀嚼する際、あんこには、せん断変形だけではなく、圧縮変形も加えられる。そこで、圧縮変形中のレオロジーを、あんこの密度を変えながら調べた。あんこ密度で弾性率は大きく変化するが、圧縮速度によっても弾性率とあんこの破壊挙動が大きく変化することが明らかになった。弾性率は圧縮速度が速いほど低くなる一方、破壊が始まる降伏ひずみは圧縮速度が速いほど大きくなる。

2. 助成期間内での研究成果の概要

○境界応力顕微鏡の構築と、それによる食感評価の挑戦

本助成金により倒立顕微鏡を部品から構築し、デジタルフォースゲージを組み合わせることにより、圧縮変形下におけるあんこの顕微鏡観察を可能にした。計画ではこのシステムを用いて境界応力計測を実施し、食感定量化手法を構築する予定であった。境界応力計測を行うためには、シリコンゲル表面に蛍光粒子を固定する必要がある。現時点でゲル表面に貼り付けることができる蛍光粒子密度が低く、高い精度での境界応力計測を実現できていない問題点がある。蛍光粒子の固定化について現在も改良を続けており、今後も引き続き境界応力顕微鏡を応用した食感評価手法の構築に取り組んでいく。

○圧縮変形下におけるあんこのレオロジー挙動

上記システムを用い、圧縮下におけるあんこの粘弾性計測を実施した。あんこ密度を調整した7つの試料について、三つの異なる圧縮速度で計測を行なった。測定したすべての試料について、圧縮速度が増大するにつれあんこのヤング率は低下することが明らかになった。圧縮速度による粘弾性変化はあんこ中でんぶん粒子のダイナミクスによって決まることを示唆し、粒子の緩和時間が系のダイナミクスを支配すると予測される。このことは、でんぶん粒子表面の改質によりダイナミクスを調整すれば、あんこの食感を制御できる可能性があることを示唆する。

3. 研究発表

○圧縮変形下における餡子の粘弾性挙動

餡子はでんぷん粒子が高密度に充填された粉体系食品である。一般的に、粉体は密度増加に伴い高い弾性を示す。あんこ中でのんぶん粒子の密度（体積分率）を変えて計測した圧縮下における応力ひずみ曲線を図1に示した。

図1では圧縮速度10mm/s, 1mm/s, 0.16mm/sごとにデータを整理した。それぞれのプロット中のデータは、異なる密度で得られたデータに対応する。

いずれの圧縮速度においても、密度の大きなあんこほど低ひずみ領域における応力増大が急激であり、ヤング率が大きいことがわかる。

応力ひずみ曲線の低ひずみ領域においてヤング率を求め、その圧縮速度依存性を調べると、圧縮速度が速くなるにつれヤング率は減少した。ヤング率の圧縮速度依存性は、でんぶん粒子の力学的な安定性に時間が関与することを示す。つまり、圧縮速度に応じてでんぶん粒子の運動状態が変化し、圧縮が速いほどでんぶん粒子の積層構造が容易に崩壊することを示している。

静止場では運動が拘束されているようなあんこにおいても、変形場下ではでんぶん粒子のダイナミクスが顕著にその粘弾性に影響することから、粒子の運動性があんこの粘弾性において非常に重要であることが示唆される。このことは、でんぶん粒子の表面を改質し、粒子の運動性を制御すれば、あんこの粘弾性制御、つまり食感制御が可能であることを示唆する。

境界応力顕微鏡による食感評価は計画よりも遅れているが、現在も改良を重ねており、次年度に予定している口頭発表では公表できるようにしたい。

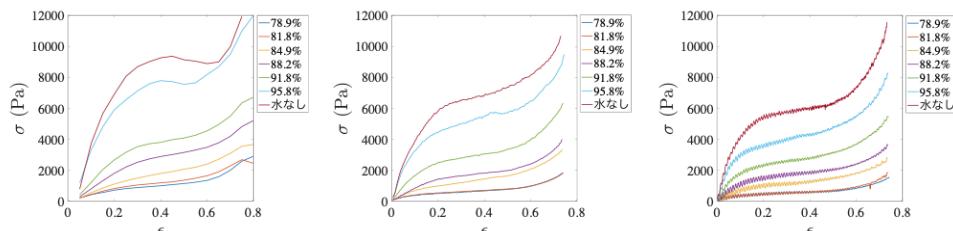


図1. 異なる体積分率のあんこ試料について計測した応力ひずみ曲線。

左：圧縮速度10mm/s、中央：圧縮速度1mm/s、右：圧縮速度0.16mm/sでの測定結果。

○国際会議におけるポスター発表

International Conference on Soft Matter 2023 大阪

2023年9月4-8日に開催された国際会議において、"Microscopic dynamics of adzuki bean paste yielding under oscillatory shear"の研究課題でポスター発表を行なった。発表申込時に口頭発表で申請したが、コロナ禍後初の開催で参加申込が多く、発表採択枠から漏れポスターでの発表となった。発表ではあんこのレオロジーに対し、粒度分散の影響やデンプン粒子の粘着性の影響などについて質問があり、それらについて議論した。本助成金により当該国際会議に参加し議論することができた。