

(様式第7号)

## 令和2年度「仙台市放射光施設活用事例創出事業(トライアルユース事業)」 事例報告書詳細

### 1 課題名

X線CT評価による生物素材の開発と規格化

### 2 測定にあたっての体制(社外委託先を含め記載)

受注者

株式会社東北アグリサイエンスイノベーション

研究担当者 代表取締役 駒井三千夫(新たな評価法の社会実装の検討)

取締役 黒澤康之(新たな評価法の社会実装の検討)

共同研究者

国立大学法人東北大学 大学院 農学研究科

研究担当者 農学研究科 助教 日高将文 (研究の総括)

農学研究科 教授 藤井智幸 (テクスチャー評価法の検討)

研究実施場所

Spring-8(兵庫県播磨科学公園都市)、東北大学大学院農学研究科

### 3 背景と測定目的

#### (1) 背景

「魅力ある商品」を開発するためには、開発段階の試作品を高効率かつ正確に評価・数値化し、既存品との差別化を可視化(明確化)することが不可欠である。魅力ある商品の有すべき特性は様々だが、力学物性が品質のひとつとなる場合が多く、開発現場では力学物性を客観的に評価・数値化することが求められている。代表的な生物素材である食品においても力学物性は主要な特性のひとつである。食品のおいしさの要素には、味・香りなどの「食味」と「テクスチャー(食感)」がある。食味は成分分析などの方法で比較的数値化が容易である一方で、テクスチャーは硬さ、こし、歯ごたえ、滑らかさ、流動性などの力学的感覚が多様であり評価が難しい。複数の素材からある力学物性を有する商品を開発するときには、組成のみならず構造を制御しなければならない。本課題では、食品内部のマイクロ構造の非破壊的把握を試み、実際に食する状態のものに適用できる新手法を確立して、新商品開発の加速化への方途を探る。

#### (2) 測定目的

放射光特有の測定技術である単色X線を利用したCT測定を用い、素材の評価、加工法の精密化、品質保証に生かすことができる独自規格の開発と、それらを基にした製品開発を目指した基盤を確立する。その最初のモデルとして、原料・製造方法の選択により物理特性に変化を生じさせることが容易な宮城県特産の「かまぼこ」と「うどん」を測定対象とした。X線CT測定によって可視化する内部構造と、既に集積されている力学特性の比較により、画像解析によるテクスチャー評価法の確立を目指す。

#### 4 測定方法（測定手法、測定セットアップ、使用ビームラインなど）

##### 各試料の準備と測定内容

###### かまぼこ

魚すり身に NaCl を添加して混練した試料を、真空包装した後、加熱処理したものを生サンプルとした。生サンプルをマイナス 25 度で凍結したものを凍結サンプルとした。凍結サンプルを室温で解凍したものを解凍サンプルとした。

生サンプル・解凍サンプルは、600  $\mu$ l 容プラスチックチューブに封入し、室温（20 $^{\circ}$ C）で測定した。

凍結サンプルについては、ノコギリと彫刻刀を用いて凍結状態のまま 5 x 5 x 10 mm 角に裁断し、凍結状態を保ったまま測定を行った。

###### うどん

乾麺を茹で、室温まで冷却した試料を 600  $\mu$ l 容プラスチックチューブに封入し、室温（20 $^{\circ}$ C）で測定した。

##### 放射光測定条件

測定は SPring-8 のビームライン BL14B で行った。基本的な測定条件は、測定 X 線波長 1  $\text{\AA}$ 、250 ミリ秒の露光時間でサンプルを 0.5 度刻みで回転させて 360 枚（180 度回転）の透過像を撮影した。撮影像から、ビームライン BL14B2 の解析用ソフトウェアで 3 次元構成を行った。凍結サンプルの測定は、凍結サンプルにマイナス 30 度の冷却ガスを吹き付けながら測定した。

##### データ解析

3 次元構成したデータは、東北大学大学院農学研究科で解析ソフト ImageJ で解析した。

#### 5 結果および考察（代表的なグラフや図を用いて分かりやすく説明すること）

###### かまぼこ

生・凍結・解凍の 3 種のサンプルについて、X 線 CT による内部構造の観察結果を図 1 に示す。

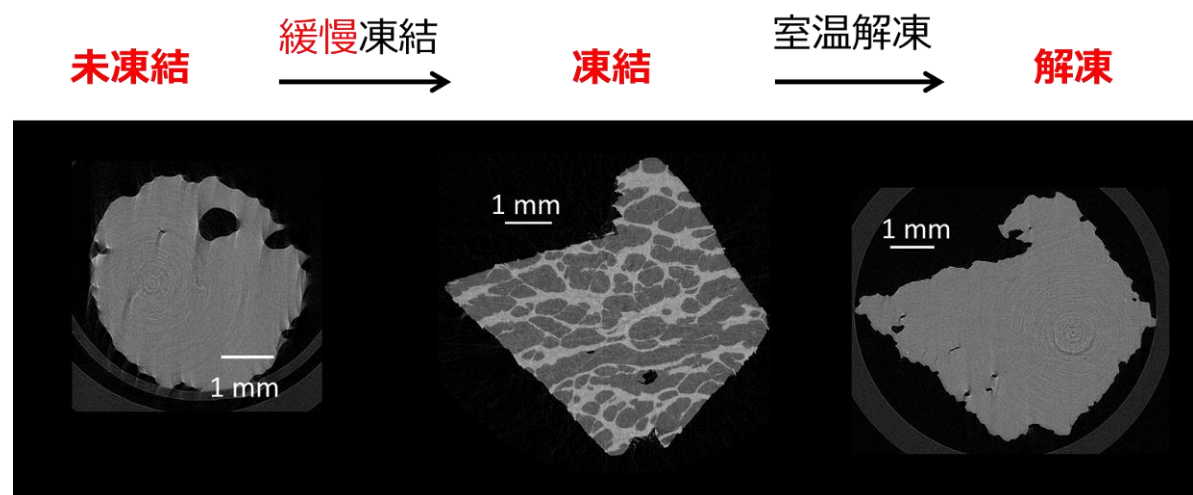


図 1：かまぼこの X 線 CT の断層画像

室温状態となっている生サンプル、解凍サンプルについては、内部は一様な X 線吸収を示した。一方、凍結サンプルにおいては X 線吸収の濃淡が見られた。

### 凍結による X 線吸収量の変化

画像解析から、各サンプルの X 線の線吸収係数（単位は  $\text{cm}^{-1}$ ）の平均値を表 1 に示す。

生（室温 20℃）	凍結（-30℃）	解凍（室温 20℃）
3.17	2.96	3.17

表 1：各サンプルの線吸収係数の平均値

生サンプル、解凍サンプルについては差が見られなかった。X 線吸収量は元素組成と密度によって決まるが、生サンプルと解凍サンプル間では物質（元素）の出入りがないため、線吸収係数の平均値に差が見られないことは測定系が妥当であるな結果と言える。

一方、凍結サンプルでは線吸収係数の平均値が低かった。これは、凍結により密度の低い氷が生成したため、サンプルの密度が低下したことを反映していると考えられる。

### 凍結サンプルにおけるコントラストの原因

凍結サンプルにおいては、内部が X 線吸収量の高い部分（明部）と低い部分（暗部）の 2 つの状態に分かれていることが示された。それぞれの平均線吸収係数値と体積比率を表 2 に示す。

	平均	体積比率
明部	4.12	0.31
暗部	2.45	0.69
全体	2.96	1.00

表 2：凍結サンプルの各部の平均線吸収係数値と体積割合

暗部の平均線吸収係数の実測値は氷の線吸収係数値の文献値 [1] と一致していた。

一方、明部に含まれる成分を検討した結果、4.12 の線吸収量のうち 1.67 を NaCl などのミネラル分が占めていると見積もられた。このことから、緩慢凍結により生じたコントラストはミネラル分の分布に由来していることが示唆された。

### うどん

乾麺と、それを茹でたうどんの X 線 CT 測定結果（断面像）を図 2 に示す。

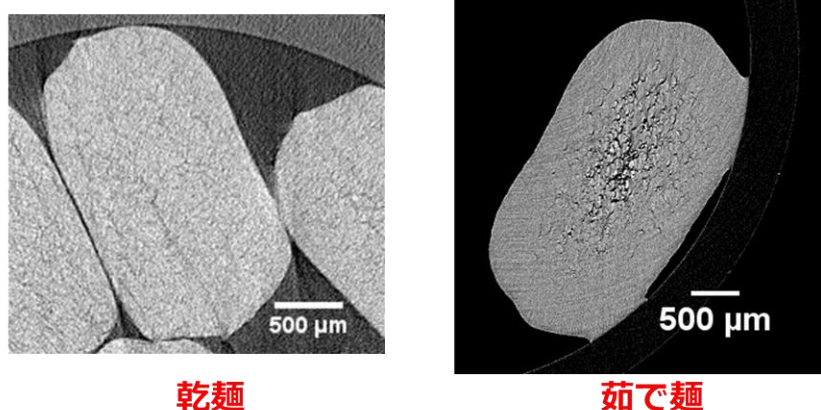


図 2：乾麺と茹で麺の X 線 CT 画像

茹で麺は、測定中の試料の乾燥と、乾燥に伴う変形により 3次元画像が構成できないことが懸念されたが、600  $\mu$ l 容プラスチックチューブに封入することで乾燥を防ぐことができ、結果として 3次元画像の構築に成功した。

### 乾麺と茹で麺の内部構造の比較

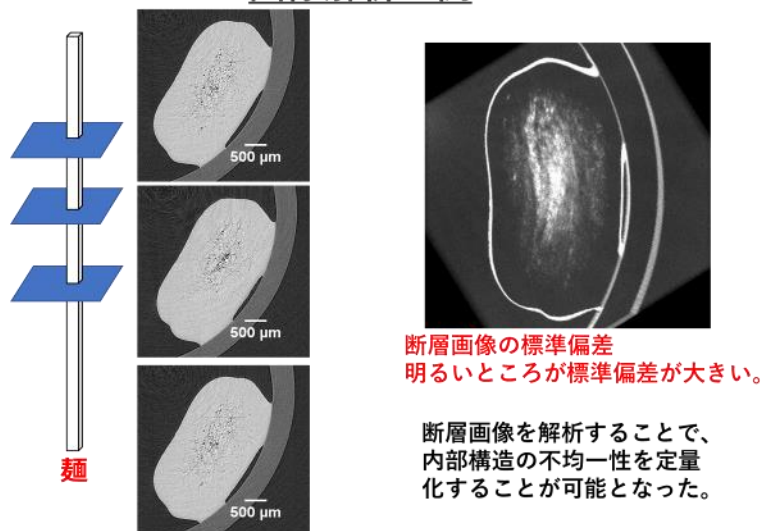
乾麺は均一な状態で、微小な空隙があることが分かった。

茹で麺状態のうどんは内部に空隙が見られることが分かった。

この空隙を数値化する方法がないため、解析方法について検討した。

空隙を定量化する方法として、解析例を示す。

### 画像解析の例



麺の長軸方向に対して、断層画像の標準偏差をとる。空気層がなく一様な周辺部については、長軸方向の画素強度に差が無いため、標準偏差が小さい。一方、空気層と麺が交互に現れる中央部については、標準偏差が大きい。

このようにして茹で麺内部の不均一性を定量化することができた。この解析法で、麺内部の構造の違いを定量化できると考えている。

## 6 今後の課題

- かまぼこ、うどんともに、試料の調製方法に対応した違いが画像上の違いとして顕著に見られたが、この違いがかまぼこ、うどんの品質にどのように関係しているのかについては、品質評価のための実験を行って解析し、画像データとの相関解析を実行することが不可欠であると考えている。
- 一方で、美味しさに差があると考えられる生かまぼこ凍結解凍かまぼこについては、CT 画像に差が見られなかったため、他の手法によるパラメーター化も検討する必要があると考えられた。
- 今回の測定は、1 サンプルあたり約 20 分の測定時間を要した。20 分ごとにサンプルの載せ替え、データ処理を行うため、測定に立ち会う人員が必要となった。
- 今回の測定では、プラスチックチューブにサンプルを封入して持ち込むことで、現地での作業を大きく減じることに成功した。今後、プラスチックチューブをビームラインにセットし、測定の自動化を図ることで、測定の効率化と測定サンプル数の増加が期待できる。仙台市、東北大学には、食品の測定に適したビームラインデザイン、測定治具の開発にも期待したい。

## 7 参考文献

- [1] Sato *et al.*, *Japan J., Food, Eng.*, 17(3), 83-88 (2016)