

## 乾麺の乾燥過程における水分分布変化の可視化 Visualization of Changes in Moisture Distribution of Dry Noodles during Drying Process.

日高 将文<sup>a,b</sup>, 藤井 智幸<sup>a,b</sup>, 佐藤秀則<sup>c</sup>  
Masafumi Hidaka<sup>a,b</sup>, Tomoyuki Fujii<sup>a,b</sup>, Hidenori Sato<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 東北大学大学院農学研究科, <sup>b</sup> 東北大学大学院農学研究科附属放射光生命農学センター,  
<sup>c</sup> はたけなか製麺株式会社

<sup>a</sup> Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University,

<sup>b</sup> Center for Agricultural and Life Sciences using Synchrotron Light; A-Sync.

<sup>c</sup> Hatakenaka Seimen Co., Ltd.

麺の乾燥過程において、急激な水分変化や内外の水分差は亀裂の原因となることから、水分分布をコントロールしながら乾燥することが重要である。しかし、乾燥過程にある麺の中で、水分分布を含む麺の状態がどのように変化しているのか調べることは難しい。本研究では、様々な湿度条件下で調湿した麺の X 線 CT を測定し、麺内部の X 線の吸収量の違いを可視化する手法により、麺内部の水分分布を含む状態変化の可視化につながる可能性を見出すことができた。

キーワード： 乾燥、乾麺、食品、X 線 CT

### 背景と研究目的：

麺製造において乾燥工程は非常に重要な工程で、水分を微生物が繁殖し得ない水分値以下になるまで減らすことによって長期保存可能な製品となる。麺乾燥においては、定率乾燥期間におけるガラス転移や定率乾燥期間から減率乾燥期間への移行など乾燥機構は複雑である。故に水分減少に伴う重量変化と品温変化を同時測定することによって、品温変化が認められない定率乾燥期間と水分分布・品温変化が顕著な減率乾燥期間を区別して評価する必要があるが、乾麺に関しては乾燥現象に人為的影響を与えないように重量及び品温を測定することが困難であるためその詳細は充分には解明されていない。従って、条件設定しながらの麺内部の状態変化を研究することは新しい発見をもたらす、半日以上かけていた乾燥時間の短縮が可能となれば製麺業界にとってのイノベーションにつながると考えている。

乾麺の乾燥状態を調べる方法として、従来は電子顕微鏡観察のような手法をとっているが、この方法は測定試料調製の段階で生じる状態変化と乾燥で生じた状態変化を区別することが難しく、また水分の分布については非破壊で評価することができず、正確に評価することが難しい。内部の水分が移動していく様子や亀裂などの形態変化を評価するためには、非破壊で水分をコントラストとした非破壊イメージングが必要となる。

本研究課題では、調湿した乾麺を試料とした CT (Computed tomography) を測定し、麺の水分分布、形態が乾燥の進行に伴って変化する様子を放射光 X 線によって明らかにすることができるか評価することを目的とした。

### 実験：

麺は市販のうどんを用意した。飽和塩溶液で調湿したデシケーター内に麺を 72 時間以上静置し、様々な湿度条件下で調製した。測定直前に 0.7 mL 容プラスチックチューブに封入した。試料を BL14B2 に設置した X 線イメージング装置の回転試料台に載せて、25 °C で測定に供した。この試料に、スリットで矩形に成形した X 線 (エネルギー 12.4 keV、波長 1 Å) を照射し、試料と 30 mm の距離に設置した AA40 イメージングユニットと C4880-41S CCD カメラ (いずれも浜松ホトニクス社製) からなる検出器で投影像を記録した。投影像の画像解像度 2.91 μm/px、測定画像サイズは、横 4000 px × 縦 1400 px (横 11.64 mm × 縦 4.07 mm の視野サイズに相当) とした。投影像は試料を 180 °回転して測定し、試料方位角間隔 0.175 °、露光時間 250 ms で撮影した。撮影し

た 1030 枚の投影像を用いて、filtered back-projection (FBP) 法に基づく再構成ソフトを用い断層画像を得た。

各調湿条件下における麺の水分含量は、麺を 110 °C で乾燥した場合に減ずる重量を水分重量とし、総重量に占める水分重量として算出した。

画像は ImageJ を用いて解析した。空隙率は、二値化によって分離した空隙部分のピクセル数麺が麺の総ピクセル数に占める割合を求めることで算出した。

### 結果および考察：

調湿条件の異なる麺について測定した断層画像を図 1 に示す。水分含量が多くなるにしたがって断面積が大きくなっており、各湿度条件の麺内部の状態を、X 線の吸収係数に基づいて可視化することができた。

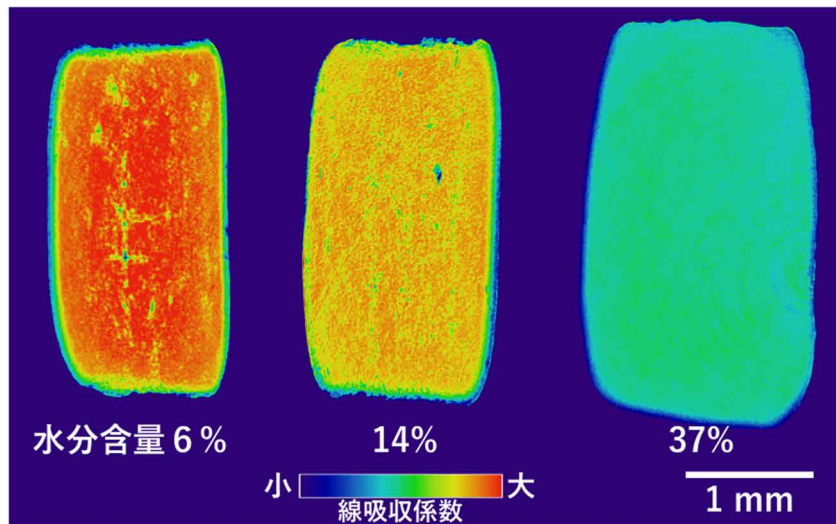


図 1 水分含量の異なる乾麺の X 線 CT の断層画像

各麺の水分含量と、麺の線吸収係数の平均値の関係を図 2 に示す。線吸収係数は、麺の全体、内部、外縁部に分けて算出した。全体、内部、外縁部において、水分含量が低下すると平均線吸収係数が増加する挙動を示した。一方、同一試料においては、調湿によって水分含量が増加した試料においても減少した試料においても、内部に比べて外縁部の線吸収係数が有意に低い傾向が見られた。麺の内部と外縁部には状態の違いが生じていることが可視化された。

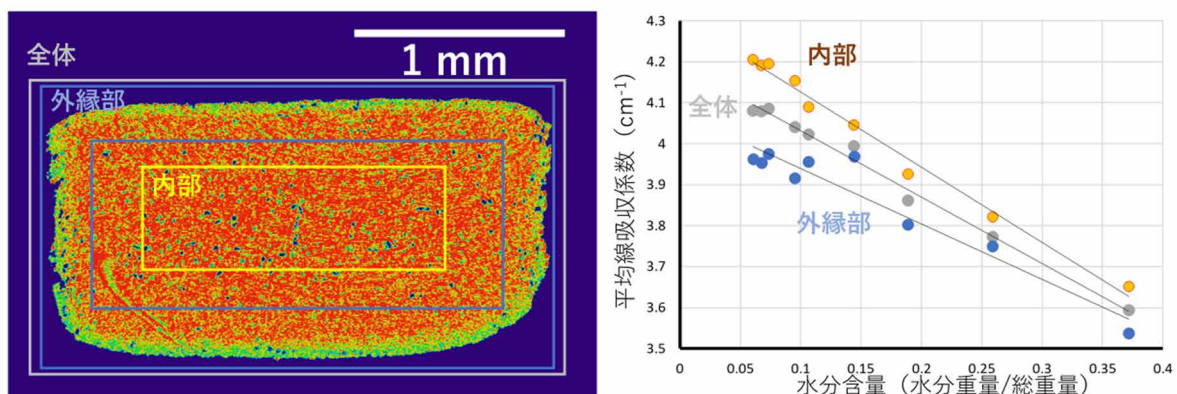


図 2 各水分含量条件下における麺の平均線吸収係数

線吸収係数に差が見られた要因として、麺の膨潤・湿度による密度変化、または水分分布の粗密が考えられる。

各調湿条件下における麺の中には空隙が見られた (図 3)。水分含量が低いほど空隙の占める割合が高かった。このことから、麺内部における空隙の生成状態が可視化され、空隙率が空間構造を評価するパラメータとなると考えられた。

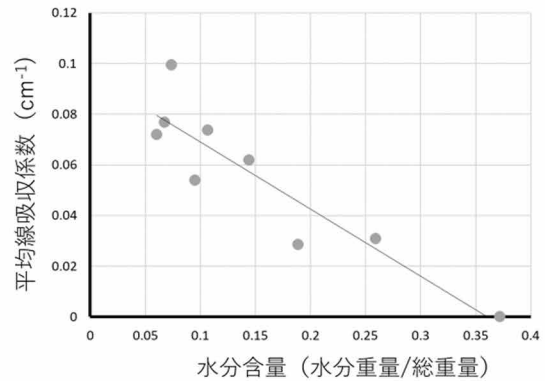
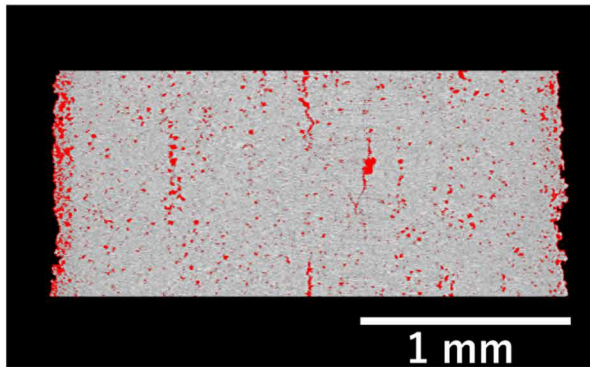


図 3 麺に占める空隙の割合。赤で示した部分が空隙に相当する。

#### 今後の課題：

X 線吸収量に基づいて可視化することで、麺の状態変化を可視化することができた。X 線吸収量に差が生じる要因として、麺の密度変化、水分分布が考えられるが、これらの影響を独立に調べることができれば、麺の乾燥工程の理解に直結することが期待される。今後は、多試料を測定した統計的処理や、麺の元素組成に基づく X 線吸収係数の精緻な理論計算を用いて、麺の密度変化、水分分布の可視化を試みる。