

X線CTによる冷凍パスタ中に形成される氷結晶の形状解析 X ray CT Analysis of Ice Crystal Shape Formed in Frozen Pasta

入江 謙太郎^a, 平内 亨^a, 河原 俊雄^a, 村勢 則郎^b, 佐藤 優希^b,
佐藤 眞直^c, 梶原 堅太郎^c, 佐野 則道^c,
Kentaro Irie^a, Toru Hirauchi^a, Toshio Kawahara^a, Norio Murase^b, Yuki Sato^b,
Masugu Sato^c, Kentaro Kajiwara^c, Norimichi Sano^c

^a(株)日清製粉グループ本社, ^b東京電機大学, ^c(公財)高輝度光科学研究センター
^aNisshin Seifun Group Inc., ^bTokyo Denki University, ^cJASRI

X線CTにより保管期間を経た冷凍パスタ断片内の氷結晶の観察を試みた。その結果、氷結晶は明瞭には観察できなかったが、パスタ表層付近において空隙の発生が認められた。今回のサンプルはいずれも目視では冷凍焼けは認められず、この空隙は冷凍焼けの前兆の現象のように考えた。また、保管期間0ヶ月のサンプルで見られる、同心円状の不均一な線吸収係数の分布が、保管期間が長くなると全体的に均質化してくるよう見られた。

キーワード： X線CT、冷凍パスタ、氷結晶形状解析、冷凍焼け、劣化

背景と研究目的：

ゲル状食品の冷凍保存において、生成する氷結晶のサイズ・形状は品質に大きな影響を及ぼす。冷凍麺類においては、保管中に生じる食感の劣化(ボソボソ感の発生)や冷凍焼け等の発生は、品質維持上の大きな課題となっている。冷凍麺の保管中の品質劣化は、氷結晶の成長と密接な関係があると想定している。これらの課題解決のためには冷凍麺の凍結状態における氷結晶の状態をそのまま観察して、その挙動をとらえる必要がある。しかしながらこれまでは、氷組織の形態を凍結した状態のまま非破壊で観察することのできる分析技術が確立されていなかった。これに対し、近年 SPring-8 産業利用ビームラインにおいて、放射光 X線CTが冷凍食品の氷組織の非破壊観察に有効であることが実証され、冷凍食品の凍結試料を測定するための技術開発(液体窒素吹付冷凍装置、等)がなされており[1]、その応用も進んでいる[2][3][4]。そこで今回、SPring-8の産業利用ビームライン BL19B2の冷凍食品の放射光 X線CT測定技術を利用することにより、凍結状態そのまま、保管期間ごとに冷凍パスタの内部の氷結晶の成長を追跡することを試みた。これにより、冷凍パスタの品質劣化との関係において氷結晶の成長を実証することができれば、解凍麺の組織変化、ひいては食感の劣化及び冷凍焼けといった、困難な課題を解決するための大きな手がかりを得ることが期待できる。

実験：

冷凍パスタは、1.7 mmの乾麺を茹でて水冷し、-40°Cの庫内でパスタ1本ずつを凍らせて急速凍結し、その後-20°Cで保管したものを用意した。これを試料ホルダーにセットして測定に用いた。ビームライン BL19B2の実験ハッチ内に設置された回転ステージに試料をセットし、液体窒素蒸気を吹き付けて冷却した。熱電対(クロメル-アルメル)を用いて測定した試料台の雰囲気温度は約-80°Cであった。X線のエネルギーは12.4 keVに設定し、高調波除去のためX線ミラーをミラー角4 mradに設定した。試料ステージ下流側にはX線CCDカメラを設置した。凍結試料を回転させながら透過X線をCCDカメラで取り込み、1画素のサイズが2.9 μmの二次元画像を再構成した。試料からCCDカメラまでのカメラ長は10 cm、試料は1.2 %/secで回転させ、露光時間は120 msであった。

結果および考察：

凍結状態の冷凍パスタの二次元画像を Fig.1 に示した。画像の色はX線の線吸収係数を意味し、色が明るく(白く)なるほどその位置の線吸収係数が小さいことを示している。したがって、画像中の黒い部分はでん粉質やたんぱく質などのパスタの組成成分を、白い部分は水分(氷)や空隙を示し

ていると見られる。また、保管期間 6 ヶ月のサンプルを、保管期間 0 ヶ月のサンプルと比較するとパスタの表層付近に空隙のようなものが認められた。このサンプルは目視では明白な冷凍焼けは認められていなかった。そのためこれはいわゆる冷凍焼けの前兆の挙動をとらえていると見られる。氷結晶については、今回は解像度とコントラストの関係から明瞭に観察するまでには至っていない。

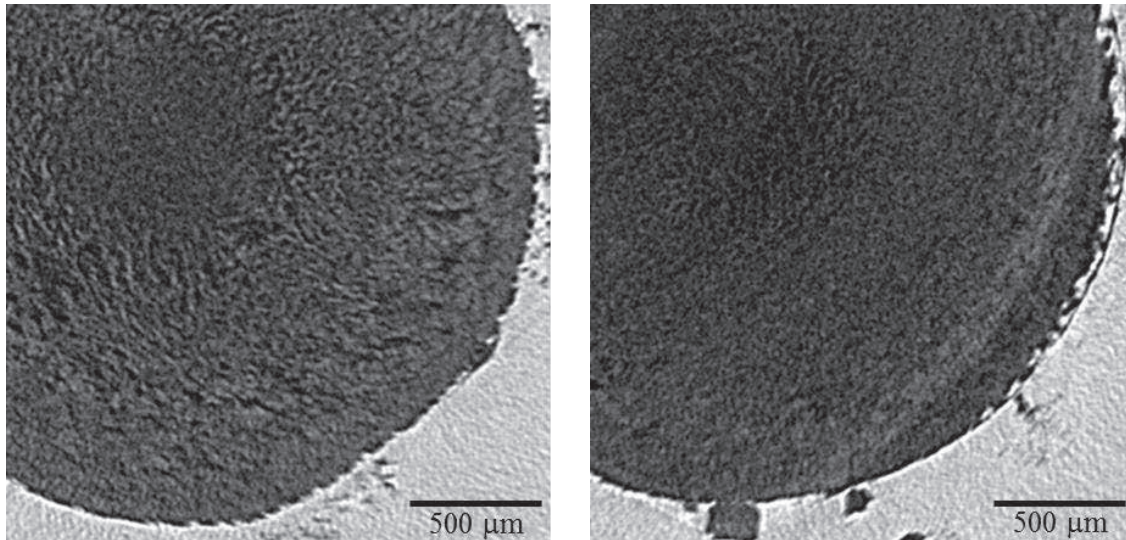


Fig.1. Two-dimensional X-ray CT images of cross sections of frozen pasta. Left: storage period for 0 month; right: storage period for 6 months. In 500 layers, the 250th layer from the top was used.

保管期間 0 ヶ月では試料中心に対して同心円状の不均一な線吸収係数の分布が見られるが、これが、保管期間が長くなると全体的に均質化してくるようにも見られた。氷結晶の挙動の詳細な観察については、今後実験条件を改良して試みる必要があると考えている。

今後の課題：

今回は、月単位の保管期間を経たサンプルにおいて、目視では明白な冷凍焼けが見られないが X 線 CT の画像では表層付近に空隙のようなものを認めた。これを冷凍焼けの前兆の現象のように考えたが、今後は実際に明白な冷凍焼けが認められるサンプルについて X 線 CT での観察を行って、この空隙と冷凍焼けの関係性を確認したい。

また、今回の実験では未だ氷結晶を明瞭に観察できていない。そのためこの先は観察条件等を改良して精度よく氷結晶の挙動を観察し、保存中における氷結晶の形状変化に関する知見を得たいと考えている。

参考文献：

- [1] 佐藤真直、梶原堅太郎、利用課題実験報告書, 2013B1847.
- [2] 小林りか 他、平成 26 年度 産業新分野支援課題・一般課題(産業分野)実施報告書(2014A), 2014A1788.
- [3] 佐藤真直 他、日本食品工学会 第 15 回(2014 年度)年次大会 講演要旨集, p.78.
- [4] 村勢則郎 他、平成 27 年度 産業新分野支援課題・一般課題(産業分野)実施報告書(2015A), 2015A1852.