



炊飯方式の違いによる米飯内部構造の観察

氏名 藤村 洋
アイリスオーヤマ株式会社

キーワード：米飯、CT、位相 CT、内部構造、炊飯器

1. 測定実施日

2022年 6月 21日 BL8S2 (2シフト) 2022年 7月 15日 BL8S2 (1シフト)
2022年 8月 10日 BL8S2 (1シフト) 2022年 10月 7日 BL8S2 (2シフト)
2022年 10月 19日 BL8S2 (2シフト)

2. 概要

本研究ではご飯をアルコール脱水させたサンプルの X 線 CT 観察により、炊き方の違いによるご飯の内部構造の差異を明らかにした。かまど（右写真）で炊いたご飯は一般的な家庭用炊飯器で炊いたご飯には見られない構造が確認され、この内部構造が食感に関わることが推察された。

また、家庭用炊飯器とは製法が異なるパックご飯（無菌包装米飯）の内部構造比較も行い、炊飯器で炊いたご飯との比較も行った。

さらに脱水工程を経ずに「生」の状態でご飯の位相 CT 測定を行い、水分を含んだ状態での内部構造を可視化した。



3. 背景と研究目的

1) 一般に美味しいとイメージされるかまどで炊いたご飯（以下、かまどご飯とする）とは羽釜と呼ばれる炊飯専用の金属製容器に水と米を入れ、薪の高火力により炊き上げたご飯である。その香り、味、食感は炊飯器で炊いたご飯とは異なり、炊飯器メーカー各社はこのかまどご飯のおいしさに近づけようと炊飯器開発を行っている。また、ご飯のおいしさにおいてテクスチャー（食感）は非常に大きな要因であり、でんぷんの糊化状態だけでなく細胞壁を含む内部構造も寄与すると考えられる。

本研究では炊き方の違いによるご飯の内部構造の差異を明らかにし、弊社の炊飯器とパックご飯の製品開発にフィードバックすることを目的とした。

2) ご飯内部の構造観察には観察中の乾燥による構造変化が伴うため、脱水したサンプルを用いるのが通常取られる手法である。さらに観察したい面を出す際にサンプルの切断も必要である。しかし脱水過程による構造変化（実際食べるものと観察しているものの状態が異なる）の懸念や切断面では評価できず得られる情報に制限があるといった課題があった。

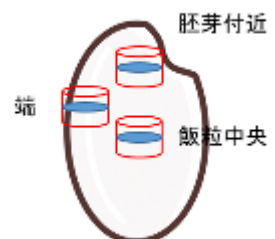
これらの課題を解決するため水分を含む状態でのご飯の位相差 CT で内部構造観察を試みた。水分を含む状態での CT 測定は内部構造とテクスチャーとの相関を見る上で非常に重要であり食品開発において意義のある試みである。

4. 実験内容

①脱水米飯の X 線 CT 測定

かまどご飯を提供する有名店でご飯（令和3年産コシヒカリ）をいただき、アルコール脱水サンプルを作製した¹⁾。また令和3年産コシヒカリ3合(450g)を各炊飯器で炊飯し、かまどご飯同様にアルコール上昇系の脱水置換法により脱水し、風乾した後に測定サンプルとした。

観察部位



炊飯器は IH 炊飯器、圧力 IH 炊飯器、かまどを模した炊き方をした炊飯器 A と炊飯器 B の 4 種類を比較した。サンプルは測定直前に 1 粒を UV 硬化樹脂で試料台に固定し全体を同樹脂でコーティングし X 線 CT 測定を行った。

測定箇所は飯粒中央、端、胚芽付近の三か所（右図）で撮影倍率は 10 倍で撮影イメージの視野は $1.3 \times 1.3 \text{ mm}^2$ 、ピクセルサイズは $0.65 \times 0.65 \text{ }\mu\text{m}^2$ で撮影した。

②吸水米（炊飯前）の X 線 CT 測定

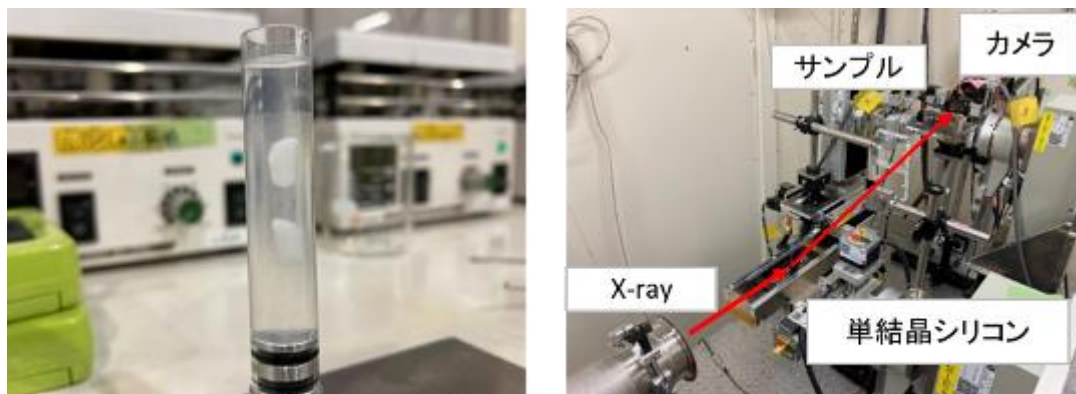
各条件で吸水させた米粒を①と同様にアルコール脱水、風乾させたサンプルを測定した。弊社低温製法米®（令和 3 年産コシヒカリ）と他社精米（令和 3 年産コシヒカリ）の比較を行った。測定条件は①と同様に行った。

③パックご飯の X 線 CT 測定

弊社パックご飯（コシヒカリ 賞味期限 2023.02）、パックご飯 A（コシヒカリ 賞味期限 2023.07）、パックご飯 B（コシヒカリ 賞味期限 2023.07）を電子レンジ 500W で 2 分加熱した後、前述同様アルコール脱水処理を施したものを測定した。測定箇所、測定条件は①と同様に行った。

④炊飯米の位相 CT 測定

①と同様に炊飯器 B で炊いたご飯粒をアガロースゲル内に包埋し、一晚放置したサンプルを位相 CT 測定した（次頁写真）。撮影倍率は 3.54 倍で撮影イメージの視野は $7.16 \times 3.03 \text{ mm}^2$ 、ピクセルサイズは $1.56 \times 1.56 \text{ }\mu\text{m}^2$ で撮影した。



ゲルに包埋したサンプルと測定の様子

5. 結果および考察

①脱水米飯の X 線 CT 測定

かまどご飯の断層像観察結果を図 1 に示す。飯粒の中央、端、胚芽付近のいずれも米胚乳細胞の間に亀裂（図内赤矢印）が確認された。透過像を三次元化すると飯粒全体にネットワークを形成していることが分かった（図 2）。

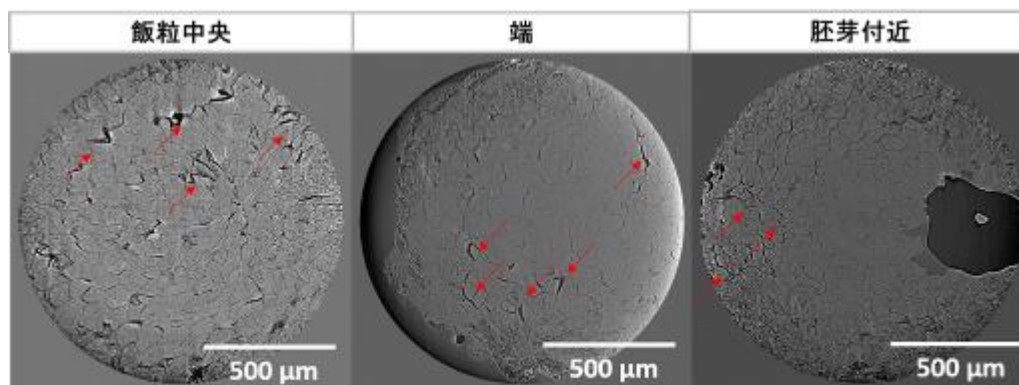


図1. かまどご飯の吸収CT像

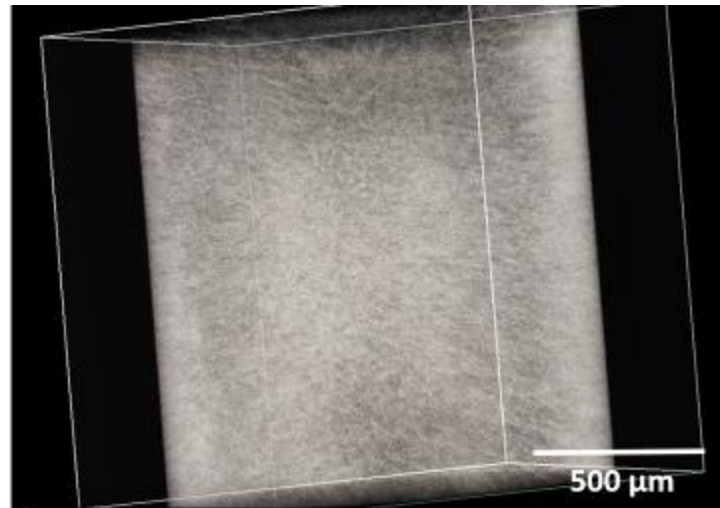


図2. かまどご飯のX線吸収CT三次元像(飯粒中央)

次に IH 炊飯器、圧力 IH 炊飯器で炊いたご飯の測定結果を図 3 に示す。IH 炊飯器で炊飯したご飯は細胞の境界が明瞭ではなく、かまどご飯に見られたような亀裂は確認されなかった。また、でんぷん粒の集合体であるアミロプラストが顕著に確認された。圧力 IH 炊飯器で炊いたご飯は細胞がさらに不明瞭になり、アミロプラストも確認されなかった。このようにかまどご飯と炊飯器で炊いたご飯は粒内部の組織構造が異なり、その差が食感の差異に表れると考えている。

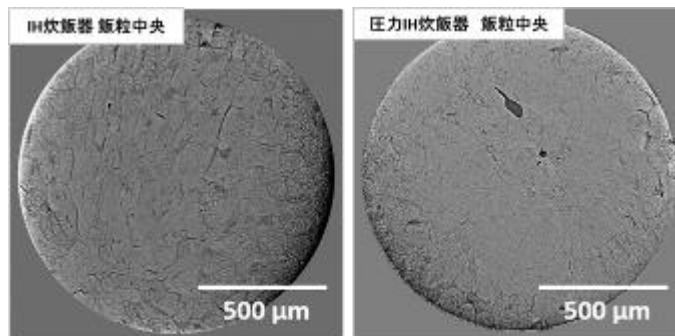


図3. IH炊飯器、圧力IH炊飯器で炊いたご飯の比較

この結果も踏まえてかまどご飯の炊き方を模した炊飯器 A、炊飯器 B で炊いたご飯を測定したところ、ともに米胚乳細胞の間に亀裂が見られ、かまどご飯に近い内部構造を持つご飯であることがわかった。(図 4)

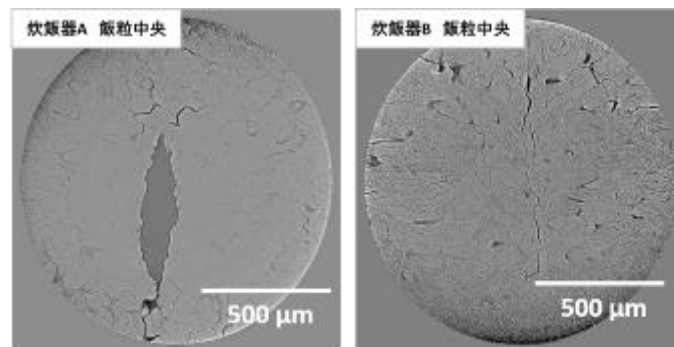
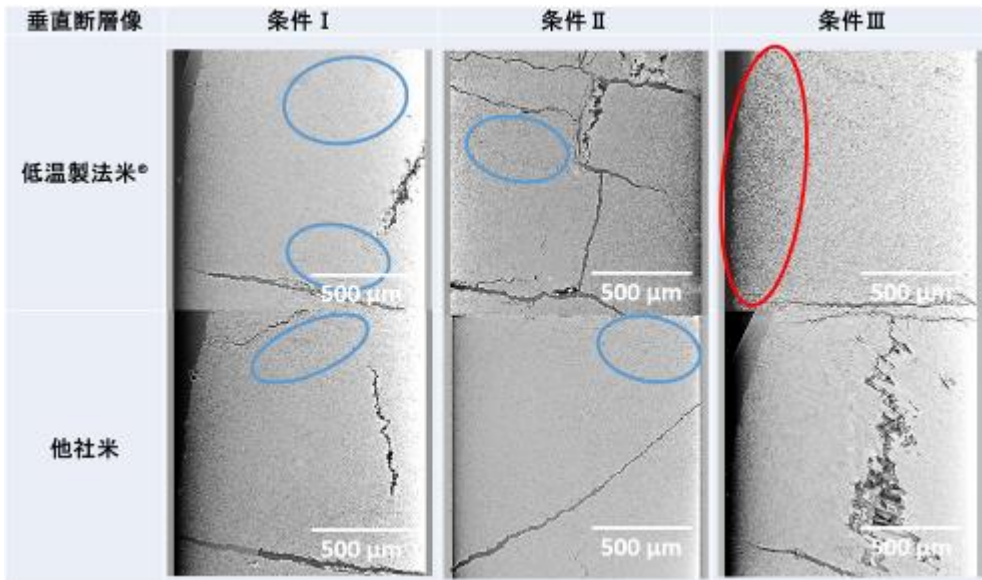


図4. かまど炊きを模した炊飯器A,Bで炊いたご飯の内部構造

②吸水米（炊飯前）の X 線 CT 測定

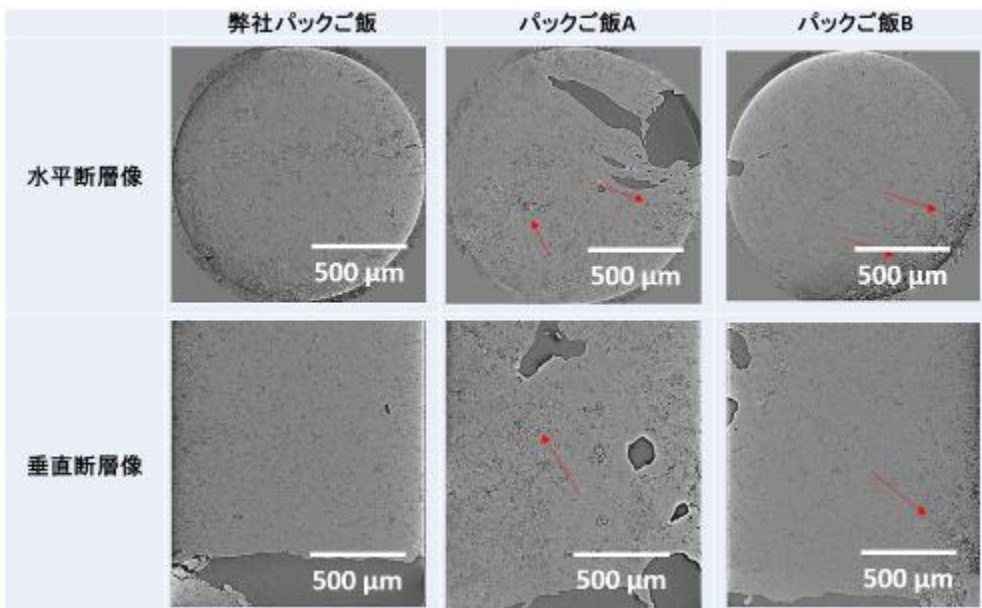
吸水米の CT 断層像（垂直面）を下表に示す。測定箇所は米粒中心であり一部端もかかっている。条件 I、II では米胚乳細胞の隙間が薄い線となって見えている（図中青部分）。このことから、上述のかまどご飯に見られた細胞間の細かい亀裂は吸水時から発生しており、吸水条件がかまどご飯を目指す重要なポイントであることが分かった。

また、条件 III では米表面の組織が荒くなっており弊社低温製法米[®]で顕著に見られた（図中赤部分）。



③パックご飯の吸収 CT 測定

パックご飯の CT 断層像を下表に示す。測定箇所はご飯粒中心である。内部の組織構造を比較すると製品 A、製品 B にはスポンジ状の組織が見られる（赤矢印）。このスポンジ状の構造は炊飯器で炊いたご飯の CT 観察結果では確認されなかった。また、米胚乳細胞の見え方にも差があり、弊社製品は比較的細胞が見える状態であることが分かった。



④炊飯米の位相 CT 測定

炊飯器 B で炊いた炊飯米の位相コントラスト像を図 5 に示す。脱水米飯の吸収 CT と同様の亀裂と思われる模様が確認された。周囲に存在する水分豊富なアガロースゲルとほぼ同じコントラストであることから、ご飯内部の亀裂が水で満たされていることが推察される。

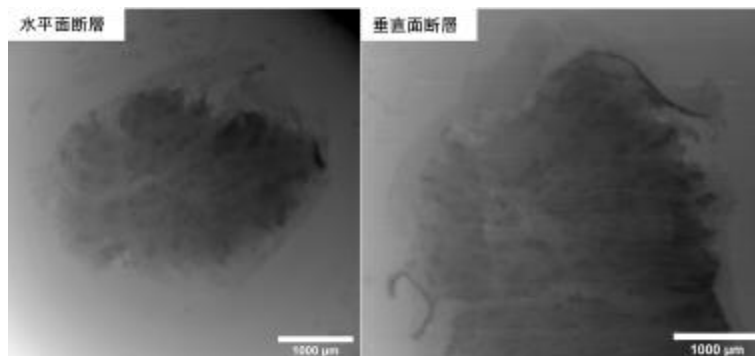


図5. 炊飯米の位相コントラスト像

6. 今後の課題

シンクロトロン光による X 線 CT でかまどご飯の内部構造を可視化し、炊飯器でかまどご飯の内部構造を再現できる可能性が確認できた。かまどご飯のおいしさを炊飯器で再現する大きな一歩となった。今後、炊飯途中の組織構造を把握することでテクスチャーを近づけ、さらなるおいしさを追求していく。

また、位相 CT では「生」のご飯の内部構造を観察できたが、サンプルがゲルの水分を吸収、膨張するなど解決すべき課題が明確になった。浸透圧の調整や最適なゲルの選定をすることで解決できると考えている。これまで吸収 CT では把握できなかった「生」のご飯の内部構造を可視化できた意義は大きい。今後、動的な位相 CT での内部構造の変化、例えば咀嚼を模した食品の圧縮状態の観察が可能になると期待している。ご飯だけでなくさまざまな食品のテクスチャー可視化につながると考えている。

7. 参考文献

1. 日本食品科学工学会誌 Vol. 50, No. 7, 319～323 (2003)