

## 米粉パンの気泡構造とテクスチャの解析 Analysis of Gas Cell Structure and Texture of Rice Bread

豊田 淨彦<sup>a</sup>, 黒木 信一郎<sup>a</sup>, 窪田 陽介<sup>a</sup>, 浅田 達広<sup>a</sup>,  
八木 直人<sup>b</sup>, 上杉 健太郎<sup>b</sup>, 星野 真人<sup>b</sup>  
Kiyohiko Toyoda<sup>a</sup>, Shinichiro Kuroki<sup>a</sup>, Yousuke Kubota<sup>a</sup>, Tatsuhiro Asada<sup>a</sup>,  
Naoto Yagi<sup>b</sup>, Kentaro Uesugi<sup>b</sup>, Masato Hoshino<sup>b</sup>

<sup>a</sup>神戸大学, <sup>b</sup>(公財)高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>Kobe University, <sup>b</sup>JASRI

グルテン入りおよびグルテンフリー米粉から製造した焼成パン, および市販米粉パンについて, X線CT画像による気泡構造の特徴を調べた。グルテンフリー米粉パンでは総じて気泡壁が厚く, 気泡のネットワーク構造が見られないものの, グルテン入り米粉では, 小麦粉パンに比較的近い気泡構造が観察された。コーンスターチを添加したグルテンフリー米粉ではグルテン入り試料と同等の気泡構造が見られ, 異種でんぷん添加による気泡構造の改善の可能性を確認した。

**キーワード:** グルテンフリー, 米粉, でんぷん, X線CT, 画像解析

### 背景と研究目的:

米の消費は長期低下傾向にあり, 新たな用途への需要拡大が強く求められ, 学校給食での米粉パンの普及が進んでいる。また, 最近の食物アレルギー患者の増加を受けて, 難治性のアレルギー疾患を引き起こすグルテンを含まないパンの開発が進められ, 米粉パンの普及を促した。しかし, グルテンはパン生地の膨張に欠かせない成分であり, 小麦パンのふくらとした食感を従来の米粉パンにより再現することは困難である。そのため, 増粘剤や超微粉碎米粉の利用が試みられたが, 食品安全性やコストの点で未解決の問題もある。低アレルゲンの米粉パンの需要は海外でも高く, 国内産パン用米粉の米国への試験的な輸出実績もある。このような状況から, 低アレルゲン食としてのグルテンフリー米粉パンの普及への期待は大きく, その需要拡大には小麦パンと同様の食感品質が望まれている。

パンの食感はパン内相の気泡構造に左右されることから, 従来, 小麦パンについて気泡構造の解析が行われている。海外では2000年代半ばからシンクロトロンによるX線CTの利用が活発になり, 2011年度から筆者らはSPRING-8において3次元X線CT解析を行い, 小麦パン内相の気泡構造の形態特徴の抽出による気泡構造の数値化表現を試みている[1][2][3]。本課題では, それらの研究実績をふまえ, 米粉パンの気泡構造とテクスチャとの関係を調べ, グルテンなどの生地材料, 製造条件による気泡構造への影響を明らかにすることを目的とした。

### 実験:

表1に示す市販のパン用米粉から製造, 焼成したパンおよび市販の米粉パンを供試した。グルテンフリー, グルテン入り, コーンスターチ添加ミックス粉など, 成分の異なるパン用米粉を用い, ホームベーカリー機(MK精工製HBK-151)の米粉パン用メニューに従って製造した。グルテンフリーの米粉にグルテンをベーカリーパーセントで10%, 20%添加, 製造した食パンを用いた。

焼成パンから電動ナイフにより切り出した2cm四方, 高さ4-8cmの直方体試料片をアクリル円筒容器(内径34mm)に挿入し, X線CT装置の測定ステージ上に設置し測定に供した。

### 実験条件:

SPRING-8 医学利用研究施設 X線CT装置(ビームラインBL20B2)を使用した。エネルギー25 keVのX線により, 透過像(吸収コントラスト)を撮影した。空間分解能を25.6 μm, 撮像範囲を52.4 mm×52.4 mm(2048×2048ピクセル)とした。回転撮影における投影角度間隔は0.2°, 180°の回転時間内に900枚の透過画像を得た。粘弾性特性の測定には, 同様の試料片をレオメータ(メーカー: SUN SCIENTIFIC CO. LTD, CR-200D, シリンダ直径: 58 mm, シリンダの材質: アクリル板)を用

い、圧縮試験および応力緩和試験を行った。

表 1. 供試材料

品名(メーカー、銘柄)		グルテン	配合材料	備考
パン用米粉	みたけ製、米粉パウダー パンミックス	入り	イースト、水	小麦入り
	栗の実 パン用米粉	入り	グルテン、糖、食塩、イースト、スキムミルク、マーガリン、水	グルテン入り、気流粉碎
	ライスアルバ パン用米粉ミックス	無	イースト、水	超微粒子・32ミクロン
	こめの香 パン用ミックス粉グルテンフリー	無	添付イースト、水	
	こめの香 パン用ミックス粉グルテン入り	入り	添付イースト、水	
市販米粉パン	みんなの食卓 米粉パン	無	—	冷凍パン
	koigakubo製、グルテンフリー米粉パン	無	—	焼成パン
	ハウスペーヤー製、米粉パン	入り	—	
	ハウスペーヤー製、玄米パン	入り	—	
	五穀七福製 玄米パン	入り	—	
小麦パン、いすず製、ソフト スライス	入り	—	対象区	

結果および考察：

図 1 に米粉から製造したパンの内相横断面の画像を示す。上段の a, b, c はグルテン入り米粉，下段 d, e はグルテンフリー米粉によるパン内相の気泡構造を，f は対象区として市販小麦食パンの気泡構造を各々示す。米粉パンの内相は小麦パン(図 1.f)に比べ，総じて気泡壁が厚く，気泡径が大きいため，小麦パンに比べ食感の柔らかさが劣るものと推測される。試料 a, d は同一メーカーの米粉であり，グルテンの有無が異なるが，気泡構造に顕著な違いは見られない。試料 b はグルテン入り米粉パンの中では気泡壁が比較的薄い，小さい気泡では気泡が局所的に凝集し，独立した気泡形状ではない。試料 e は，微粉碎した米粉にコーンスターチを添加したグルテンフリーのミックス粉であり，気泡径が比較的小さく，気泡壁は薄い。グルテンフリーの場合でも，微粉碎米粉と異種のデンプンの添加により，小麦パンにより近い気泡構造が得られることがわかる。試料 c はグルテン入りの気流粉碎米粉ミックス粉であり，用いたドライイーストと発酵条件が適合しなかったものとみられ，気泡合一に至る前の気泡成長段階に留まっている。

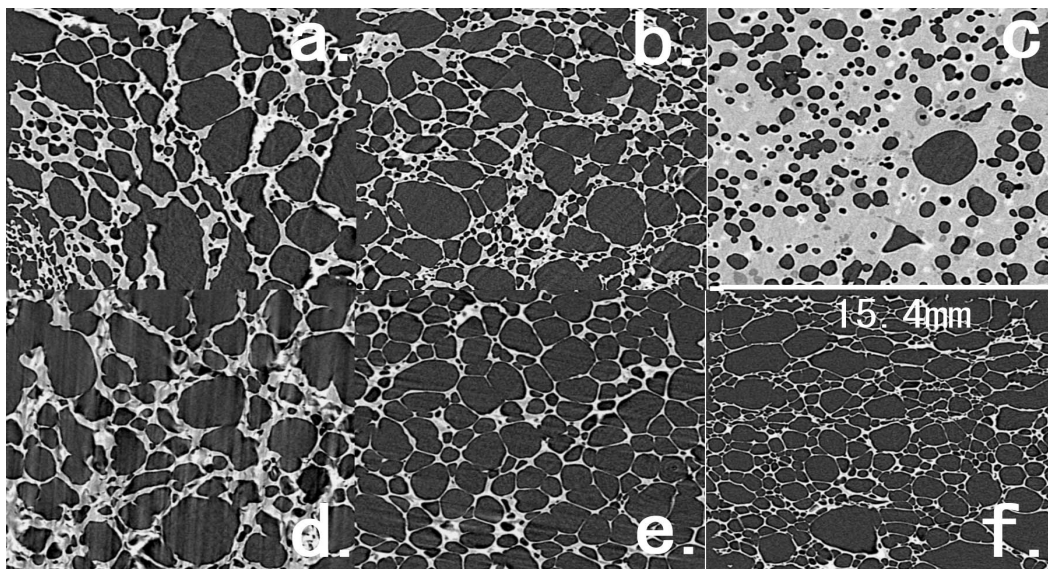


図 1. パン用米粉から製造されたパン内相気泡構造

- a. こめの香 グルテン入りミックス粉, b. みたけ製小麦入りミックス粉,
- c. 栗の実 グルテン入り米粉, d. こめの香 グルテンフリー米粉,
- e. ライスアルバ ミックス米粉, f. 市販小麦パン

図 2 に市販米粉パンの気泡構造を示す。上段の a, b, c はグルテン入り市販米粉パンを，下段の d, e はグルテンフリー市販食パンを，f は図 1 と同様に市販小麦パンの気泡構造をそれぞれ示す。図 1 と同様に，小麦パンに比べて気泡壁は厚く，試料 e を除き気泡径も大きい。グルテンの有無による気泡構造に顕著な違いは見られないが，試料 a, b と試料 d との比較からは，グルテン



フリーのパンでは気泡径の小さい気泡が局所的に凝集し、気泡の形状が独立していないため、厚い気泡壁が見られる。ただし、試料 e では、気泡壁は小麦パンより厚いが、気泡径は小さく、細かな気泡構造を形成しており、米粉パンにおいても細かい肌理が得られる可能性を示している。

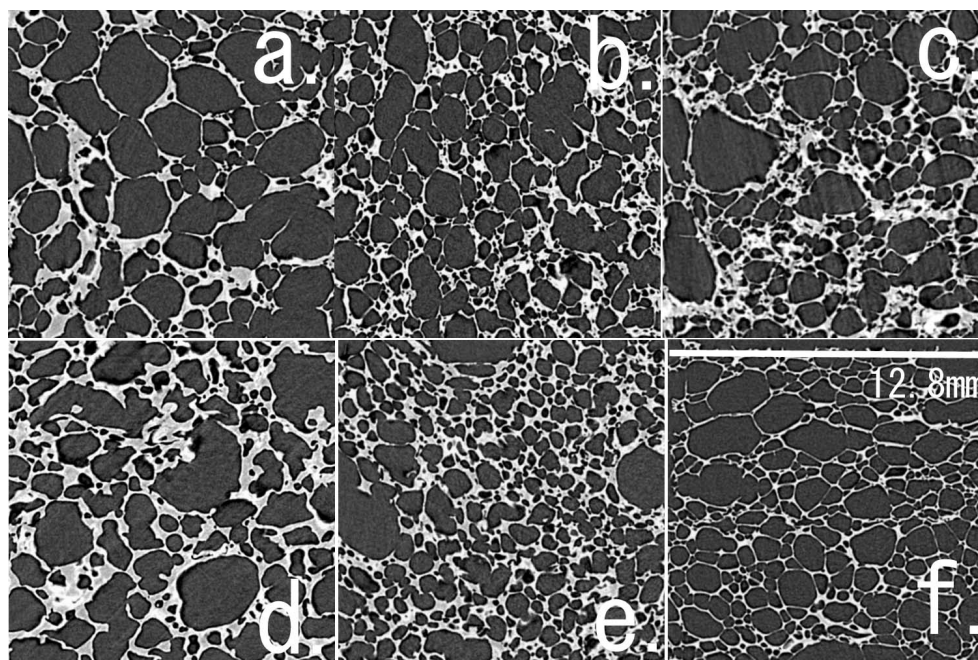


図 2. 市販米粉パンの内相の気泡構造  
 a. グルテン入り米粉パン, b. グルテン入り玄米パン,  
 c. グルテン入り玄米パン, d. グルテンフリー米粉食パン(冷凍パン),  
 e. グルテンフリー焼成食パン, f. 市販小麦パン

レオメータによる圧縮試験、応力緩和試験では、空隙率 0.78–0.86 の小麦パンにおいて、ヤング率は 1.2–12 kPa と大きく分布し、局所的な気泡構造がヤング率に影響することが推測された。米粉パンの力学的特性については解明途中であることから本報告では省略するが、次式の Peleg and Pollak らの粘弾性モデルのパラメータ  $k_1$ ,  $k_2$  が空隙率と負の相関を示すことを認めた[4]。

$$\frac{F_0 \cdot t}{F_0 - F(t)} = k_1 + k_2 \cdot t \quad (1)$$

ここで、 $F_0$  : 初期歪 20%付与時の発生力,  $t$  : 初期歪 20%付与後の経過時間,  $F(t)$  : 時間  $t$  における発生力,  $k_1$ ,  $k_2$  : 定数。

#### 今後の課題：

米粉パンの気泡構造の特徴として、気泡壁の厚さと小気泡の凝集が認められた。これらの定量的評価指標を明らかにすることにより、パン内相の粘弾性特性の解明に繋がる気泡構造を明らかにすることが今後の課題である。

#### 参考文献：

- [1] 豊田浄彦 他、利用課題実験報告書, 2011B1561.
- [2] 豊田浄彦 他、平成 24 年度 重点産業化促進課題・一般課題(産業分野)実施報告書(2012B), 2012B1407.
- [3] 豊田浄彦 他、平成 25 年度 重点産業化促進課題・一般課題(産業分野)実施報告書(2013B), 2013B1597.
- [4] 中井豪 他、パンの気泡構造と力学特性に関する研究, 農業食料工学会関西支部報, 第 118 号 (掲載予定), 2013B1662.