

研究論文

パン粉様食品の気泡壁の薄膜化に関する研究

半谷 朗*¹

Study on the Thinning Processes of Crumb-like Puff

Akira Hanya*¹Food Research Center*¹

エクストルージョンによるパン粉様食品製造において、パン粉様食品の気泡壁の薄膜化を原材料等の検討により試みた。その結果、エクストルージョンによるパン粉様食品の製造には、グルテンネットワークを形成できる十分なグルテン量と食塩、グルテンを伸展させる糖や乳、卵が必要であった。また、薄膜化のためには水蒸気以外の気泡の形成が必要であり、ベーキングパウダーによる二酸化炭素気泡を形成することで、薄膜化を達成することができた。

1. はじめに

パン粉は焼成した食パンを粉砕し製造されるため、発酵工程等で製造時間がかかるという問題がある。製造時間とコストの低減のために、エクストルージョンにより小麦粉を膨化したパン粉様食品が製造されている。

しかし、小麦粉、油脂、乳化剤を原材料とするパン粉様食品製造方法では、気泡壁が市販パン粉と比べ厚く、硬くなる（市販パン粉：内層膜厚 $25\mu\text{m}$ 、嵩比重 $22\text{g}/100\text{mL}$ 、圧縮破壊荷重 3.5N 、パン粉様食品：内層膜厚 $190\mu\text{m}$ 、嵩比重 $61\text{g}/100\text{mL}$ 、圧縮破壊荷重 7.4N ）。その結果、現状のパン粉様食品は、粉末または鱗状の製品となり、パン粉特有の毛羽立ち状のサクサクとした好ましい食感の製品は得られていない。

このような食感の違いは、以下のようなことに起因している。すなわち、パンは発酵工程によりグルテンネットワークが形成されつつ生地中に二酸化炭素が溶け込み、焼成時に水蒸気と共に気泡を形成する。そして型に入れて焼くため、加熱膨張によってグルテンネットワークと気泡が型に沿って引き伸ばされ、そのまま焼成乾燥するため形状が固定される。一方、エクストルージョンではこれら一連の形成作用がない。また、エクストルージョンでは、生地がエクストルーダの出口で外気に触れて温度が低下することで、気泡中の水蒸気が水に戻る。その結果、乾燥前にパン粉様食品の気泡が収縮して、気泡壁が厚くなる。

そこで、本研究では、エクストルージョンによるパン粉様食品製造での気泡壁の薄膜の保持、形状の改善を試みた。目標値はパン粉様食品の評価数値の半減（内層膜厚 $95\mu\text{m}$ 、嵩比重 $30\text{g}/100\text{mL}$ 、圧縮破壊荷重 3.7N ）

とした。検討項目は食塩の添加によるグルテン溶出の促進、ベーキングパウダーを使用した収縮しない均一な気泡の形成、糖などの添加による気泡壁の維持とした。

2. 実験方法

2.1 試料

原料小麦粉は、市販の薄力粉（クラブ：日清製粉㈱）、中力粉（あいりす：布袋食糧㈱）、強力粉（スーパーカメリア：日清製粉㈱）を使用した。食塩は市販精製塩、ベーキングパウダーはアイコク特青缶（㈱アイコク）、粉糖、脱脂粉乳、乾燥卵白はそれぞれ製菓用市販品（㈱きくやより購入）を使用した。

2.2 試作

試作にはエクストルーダ（KOBELKO model TCO-30、㈱神戸製鋼所製）を使用した。各試料の配合は構成が単純な配合のレシピ¹⁾を参考とした。ただし、現状のパン粉様食品及びパン用レシピに配合されている油脂類は、グルテンネットワーク形成を阻害すること、油脂が酸化することで賞味期限が短縮することを踏まえて除外した。また、食塩はグルテンの溶出性を高めるため、あらかじめ添加水に溶解して添加を行った。それぞれの配合は実験結果及び考察で述べる。

エクストルージョンは文献^{2)~5)}をもとに基本条件を設定し、予備試験により条件補正を行うことで最終的にバレルⅠ温度 70°C 、バレルⅡ及びバレルⅢ温度 120°C 、口温度 70°C 、回転数 120 回転/分、原料供給量 $106\sim 112\text{g}/\text{分}$ の条件とし試作を行った。生成物は直後に凍結し、凍結乾燥して以後の測定に用いた。

2.3 直径膨張率及び内層膜厚の測定

*¹ 食品工業技術センター 保蔵包装技術室

直径膨張率及び内層膜厚は、デジタルマイクロスコープ（VHX-2000、榊キーエンス製）を用い、画像解析により測定した。直径膨張率はエクストルーダ出口の直径（6mm）に対するエクストルーダ生成物の直径を百分率で表した。内層膜厚はエクストルーダ生成物の内層部10か所を測定した。

2.4 嵩比重の測定

嵩比重は試料を粉碎後ふるい分けを行い、ふるいの目開き8mmを通過し1mmを通過しない画分について100mLメスシリンダーに充填し、その重量を測定した。

2.5 圧縮破壊荷重の測定

圧縮破壊荷重の測定には、レオメータ（RE2-33005C、榊山電製）を使用し、嵩比重の測定と同様の粉碎、ふるい分けを行った試料について、試料より十分大きな円盤型プランジャーを使用し、ロードセル20N、圧縮速度0.1mm/秒で試料厚さの10%圧縮し、構造破壊時の荷重を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 Leanな配合での試作と評価

パン粉様食品の原材料のうち、グルテン量、食塩、ベーキングパウダーの割合による薄膜化への影響を検討するため、フランスパン程度のLeanな配合（表1、F01～F34）による試作と評価を行った。薄力粉または中力粉を原料とした場合では、内層膜厚は目標値を達成できたが、嵩比重、圧縮破壊荷重は目標値を達成できなかった（データ省略）。また、ベーキングパウダーを添加しても生成物はでん粉が硬化したガラス状であり（データ省略）、気泡壁の薄膜化は不十分であった。

表1 試作試験配合表

試験区	小麦粉	蒸留水	食塩	BP	粉糖	乳	卵
F01	薄	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F02	薄	8.0	0.24	0.0	0.0	0.0	0.0
F03	薄	8.0	0.24	5.0	0.0	0.0	0.0
F11	中	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F12	中	8.0	0.24	0.0	0.0	0.0	0.0
F13	中	8.0	0.24	5.0	0.0	0.0	0.0
F31	強	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F32	強	8.0	0.24	0.0	0.0	0.0	0.0
F33	強	8.0	0.24	5.0	0.0	0.0	0.0
F34	強	8.0	0.24	10.0	0.0	0.0	0.0

小麦粉100に対する割合

薄：薄力粉、中：中力粉、強：強力粉、BP：ベーキングパウダー、乳：脱脂粉乳、卵：乾燥卵白

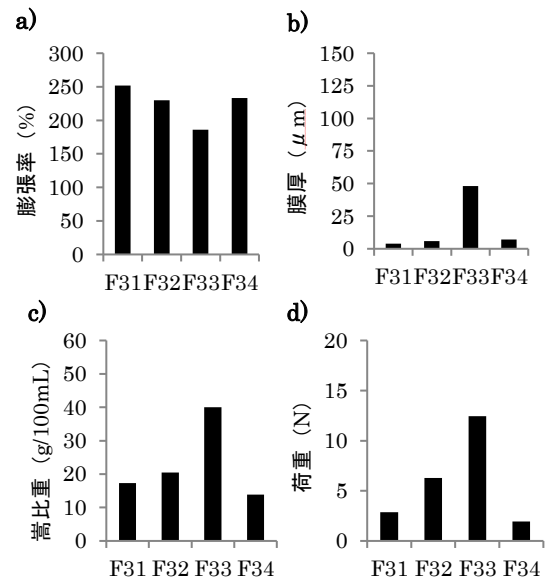


図1 エクストルーダ生成物の評価結果。a)直径膨張率、b)内層膜厚、c)嵩比重、d)圧縮破壊荷重。X軸ラベルは表1の試験区を示す（以下図3、4において同じ）。

一方、強力粉を原料とした場合（表1、F31～F34）の結果を図1に示す。F31と、F34で目標値を達成した。F31～F34の生成物を図2に示す。食塩及びベーキングパウダーを添加しない配合の生成物は焼麩状であった。それに対し、食塩、ベーキングパウダーを添加することによって構造はパン状となった。生成物は、食塩の添加とベーキングパウダーの添加に伴い、粘性が増加し、生地膨張が抑制される傾向が観察された。その結果、ベーキングパウダーを5%添加した場合には評価数値が悪化した（図1）。これは食塩によりグルテンネットワーク形成が促進されることと、ベーキングパウダーにより生地のpHがアルカリ性となり、糊化でん粉の粘度が高くなったことによると推測される。一方、生成物のデジタルマイクロスコープによる観察では、ベーキングパウダーの添加量が増加するほど気泡数は増加して生地は収縮しにくくなる傾向が見られた（図2）。そこで、ベーキングパウダーを10%配合した試験を行ったところ、評価数値は改善し（図1、F34）、気泡の発生量の増加に伴う膨張力が粘性を上回ったと推測された。このエクストルーダ生成物はパンの一種であるグリッシーニの形状を示した。しかし、食感はやや弾力を持つパリパリとした食感であり、パン粉らしいサクサクとした食感にはならなかった。

これらの結果から、パン状の構造を構築するにあたり第一条件として、グルテンと食塩により十分なグルテンネットワークを構築した上で、ベーキングパウダーによる気泡の形成を増加させることが必要であることが判

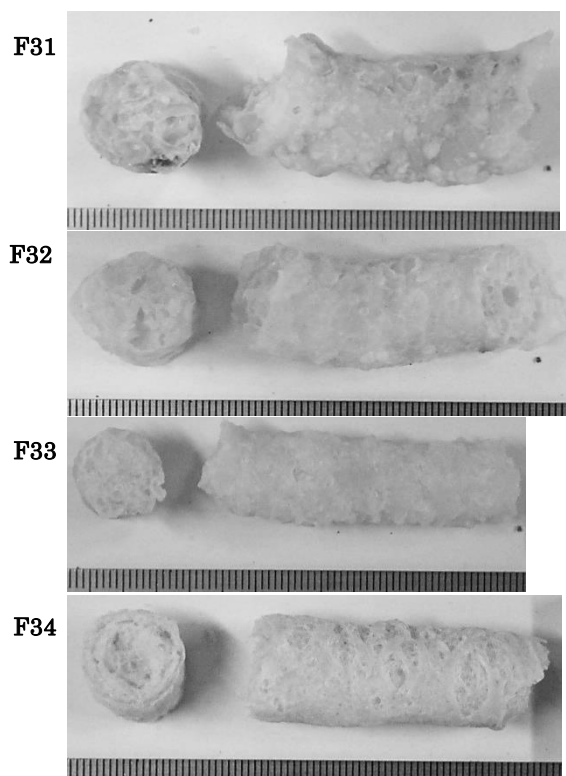


図2 エクストルーダ生成物 (F31~F34) 写真。目盛間隔はいずれも 1mm。気泡を明確化するため、コントラストを強調処理した。

明した。フランスパンと食パンの特性の違いが、原材料の違いや配合により生ずるものであることから、Leanな配合に対して、糖や乳などの副原料を添加することで食感の改良が期待できると考えられた。そこで、副原料の多い Rich な配合について検討を進めることとした。

3.2 Rich な配合での試作と評価

十分なグルテンネットワークを構築させるため、食パンに用いられる副原料を添加した試験と評価を行った (表2、B31~B33)。すなわち、小麦粉には強力粉、添加水は食塩水溶液とし、副原料として粉糖、脱脂粉乳を配合し、ベーキングパウダーの添加量を変化させ試作を行い、各評価項目の試験を行った。結果を図3に示す。

表2 試作試験配合表

試験区	小麦粉	蒸留水	食塩	BP	粉糖	乳	卵
B31	強	8.5	0.255	0.0	5.0	2.0	0.0
B32	強	8.5	0.255	5.0	5.0	2.0	0.0
B33	強	8.5	0.255	10.0	5.0	2.0	0.0

小麦粉 100 に対する割合

強：強力粉、BP：ベーキングパウダー、乳：脱脂粉乳、卵：乾燥卵白

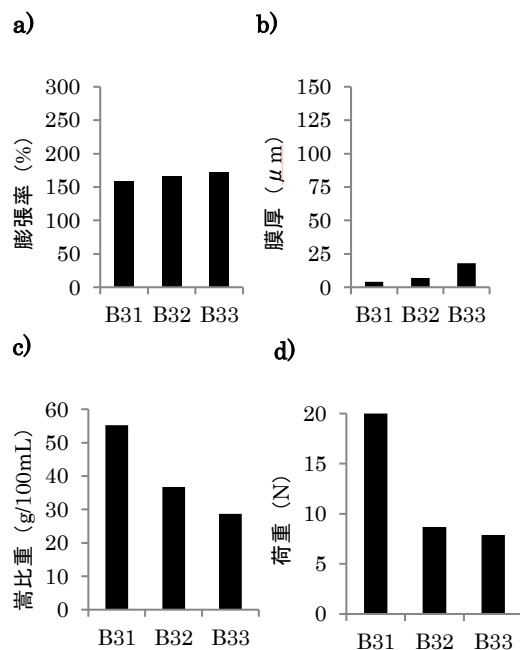


図3 エクストルーダ生成物の評価結果。a)直径膨張率、b)内層膜厚、c)嵩比重、d)圧縮破壊荷重。

評価の結果、ベーキングパウダー10%を配合した条件 (B33) でも圧縮破壊荷重が目標に到達しなかった。しかし、ベーキングパウダーの添加量が増加するとともに、いずれの評価数値も改善し、形状はグリッシーニ状のままであったが、サクサクとした食感に変化した。副原料の粉糖、脱脂粉乳は通常のパン生地の場合でも生地の伸展性を改善する効果が見られた。本研究でも、強力粉原料、食塩添加、ベーキングパウダー5%添加した条件での Lean な配合 (図1、F33) と、同条件での Rich な配合 (図3、B32) を比較すると、膨張率以外の数値が改善していた。そこで、製パンで使用される副原料の効果を確認し、物性等のより改善を図るため、食パンよりも食感が柔らかいロールパンで使用される、より Rich な配合を用い、次の検討を行った。

3.3 より Rich な配合での試作と評価

より Rich なロールパンの配合では、食パンの配合よりも、粉糖、脱脂粉乳を増量し、新たに乾燥卵白を配合した (表3、R31~R33)。すなわち、十分なグルテンネットワーク構築のために強力粉、食塩水溶液を使用し、そこへ粉糖、脱脂粉乳、乾燥卵白を配合し、ベーキングパウダーの添加量を変化させ試作を行い、各評価項目の試験を行った。結果を図4に示す。

評価の結果、ベーキングパウダーを 10%配合した条件 (図4、R33) で目標数値に到達し、市販パン粉に非常に近似した。Lean な配合 (図1、F34) と、ロールパン程度の Rich な配合 (図4、R33) とを比較した場

表3 試作試験配合表（小麦粉 100 に対する割合）

試験区	小麦粉	蒸留水	食塩	BP	粉糖	乳	卵
R31	強	8.5	0.255	0.0	10.0	3.0	1.0
R32	強	8.5	0.255	5.0	10.0	3.0	1.0
R33	強	8.5	0.255	10.0	10.0	3.0	1.0

小麦粉 100 に対する割合

強：強力粉、BP：ベーキングパウダー、

乳：脱脂粉乳、卵：乾燥卵白

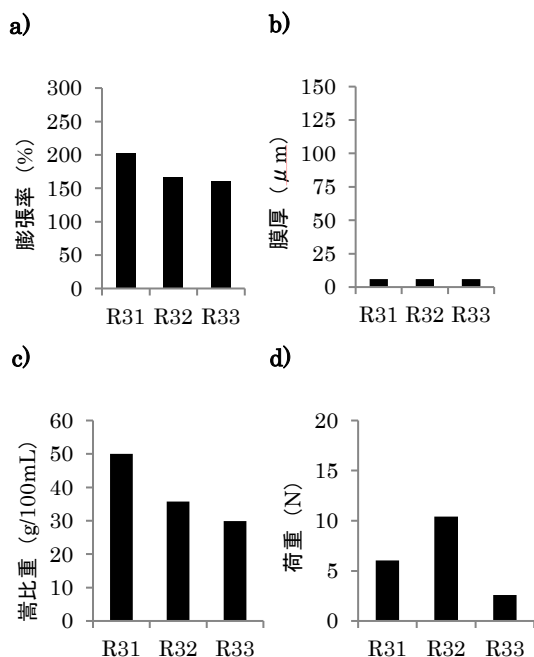


図4 エクストルーダ生成物の評価結果。a)直径膨張率、b)内層膜厚、c)嵩比重、d)圧縮破壊荷重。

合には、後者が圧縮破壊強度は硬かったが、食感はよりパン粉に近いサクサクとなった。ただし、形状は毛羽立ち状とはならず、グリッシーニ状のままであった。配合R33でのエクストルーダ生成物写真を図5に示す。パン粉らしい食感を得るためには、圧縮破壊強度は単純に低いよりことも適度に強度があることが重要と推測され、今後さらに詳細に物性解析を行う予定である。

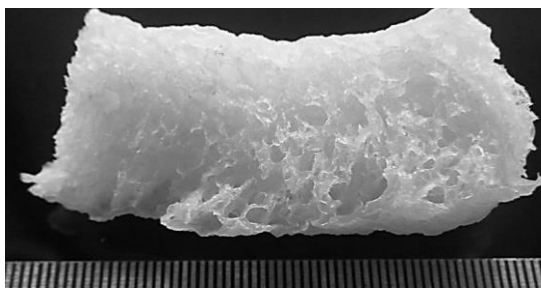


図5 エクストルーダ生成物（R33）断面図。目盛間隔は0.5mm。

本研究では、収縮しない気泡を発生させるために多量のベーキングパウダーを使用した。しかし、実際の生産工程では、ベーキングパウダーをこのように多量に配合することは、コストの点からも難点があると思われる。これを解決する手段として、エクストルーダ処理中の生地に窒素ガスや二酸化炭素を導入し、練りこむことが考えられる。工業用大型エクストルーダでは気体の吹き込み機構を備えているものもあり、これを活用することにより、ベーキングパウダーの大量使用と同等の気泡形成効果が得られることが期待できる。

本研究ではいずれの条件でも生成物は毛羽立ち状の形状にはならなかった。エクストルーダは吐出後の大気中で膨化しながら硬化するため、気泡は自然な球形となり、配合組成の変更のみで形状を自在にコントロールすることは困難であった。パン粉様食品にパン粉のような毛羽立ち状の形状を付与するには、気泡を引き伸ばして硬化させる必要があり、吐出後に何らかの物理的変位を与えつつ乾燥させる工程を追加する必要があると思われる。

4. 結び

- (1) エクストルーダによるパン粉様食品の製造には、グルテンネットワークを形成できる十分なグルテン量が必要であり、また、副原料として食塩のほか、グルテンを伸展させる糖や乳、卵を含む Rich な配合が適していた。
- (2) 薄膜化のための収縮しない気泡形成には、ベーキングパウダー使用による二酸化炭素を利用するなど、水蒸気以外の気泡を形成することで効果が得られた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご援助を賜りました公益財団法人エリザベス・アーノルド富士財団に深く御礼申し上げます。

文献

- 1) 旭屋出版編：パン生地の事典，(2013)，旭屋出版
- 2) J. M. Harper：EXTRUSION of FOODs Volume I，(1981)，CRC Press
- 3) J. M. Harper：EXTRUSION of FOODs Volume II，(1981)，CRC Press
- 4) C. Mercier，P. Linko，J. M. Harper：EXTRUSION COOKING，(1989)，American Association of Cereal Chemists
- 5) 食品産業エクストルーダクションクッキング技術研究組合：エクストルーダクションクッキング，(1987)，光琳