

研究論文

エクストルージョン食品への構造方向性付与の検討

半谷 朗^{*1}、市毛将司^{*1}、丹羽昭夫^{*1}

Study on Control of Structural Directionality in Crumb-like Puff Product

Akira HANYA^{*1}, Masashi ICHIGE^{*1}, Akio NIWA^{*1}Food 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ける毛羽立ち状の形状の付与を吐出後の牽引及び粉碎方法の検討により試みた。牽引を行うことで、気泡のみならずグルテン構造にまで方向性の付与が可能であった。さらに、ローラーによる圧縮粉碎を行うことで、パン粉にみられる毛羽立ち状の粉碎物を得ることが可能であった。吐出後に牽引を行わなかった場合には圧縮粉碎でも毛羽立ち状の形状は得られず、牽引と圧縮粉碎の両方がエクストルージョンによるパン粉様食品製造での毛羽立ち状形成に必要であった。

1. はじめに

パン粉は焼成した食パンを粉碎し製造するため、発酵工程等で製造時間がかかるという問題がある。これを改善するために、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の従来の製造方法では、気泡壁が市販パン粉と比べて厚く硬くなるため(市販パン粉:膜厚 $25\mu\text{m}$ 、嵩比重 $22\text{g}/100\text{mL}$ 、圧縮破壊荷重 3.5N 、パン粉様食品従来品:膜厚 $190\mu\text{m}$ 、嵩比重 $61\text{g}/100\text{mL}$ 、圧縮破壊荷重 7.4N)、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¹⁾。これまでに原料の配合を改良することで気泡壁膜厚、嵩比重、圧縮破壊荷重については市販品と同等にまで低減することができた¹⁾。一方、形状に関しては顆粒状であり、毛羽立ち状には至っていない。

パン粉のもととなる食パンは型に入れて焼くため、加熱膨張によってグルテン構造と気泡が型に沿って上に引き伸ばされ、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。

そこで、本研究では、エクストルージョン後に牽引を行うことでグルテン構造への方向性の付与を行い、さらに、形成されたグルテン構造を壊さないでパン粉状にするための粉碎方法の検討を行うことで、エクストルージョンによるパン粉様食品製造における毛羽立ち状形成を達成することを目指した。

2.1 試験材料

原料小麦粉は、市販の強力粉 3 銘柄(それぞれ銘柄 A、銘柄 B、銘柄 C と表す)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(株)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を使用した。

2.2 試作試験

試作にはエクストルーダ(KOBELKO model TCO-30、(株)神戸製鋼所製)を使用した。各試料の配合は前報の研究結果¹⁾を踏まえ、小麦粉 100 に対し、粉糖 10、脱脂粉乳 3、乾燥卵白 1、食塩 1、ベーキングパウダー10、添加水 8.5 の配合とした。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した。スクリュール回転数はいずれの条件も 120 回転/分、原料供給量 $106\text{g}/\text{分}$ の条件とした。エクストルージョン温度は文献^{2)~5)}をもとに 3 条件を設定した(表 1)。さらにエクストルージョン生成物に対し吐出直後に手作業で 3 条件の牽引処理を行った。すなわち、牽引を行わないもの(なし)、膨化直径の半分まで中度の牽引を行ったもの(中度)、吐出ノズル径(6mm)まで最大の牽引を行ったもの(最大)を試作した。銘柄種類、温度条件、牽引条件の合計 27 条件の生成物を以後の測定に用いた(表 2)。

表 1 エクストルージョン温度条件

	バレル I	バレル II	バレル III	吐出口
条件 1	100℃	110℃	120℃	120℃
条件 2	100℃	120℃	140℃	140℃
条件 3	100℃	130℃	160℃	160℃

2. 実験方法

^{*1} 食品工業技術センター 保蔵包装技術室

表 2 試料番号とエクストルージョン条件

温度条件	牽引	銘柄 A	銘柄 B	銘柄 C
条件 1	なし	1	10	19
	中度	2	11	20
	最大	3	12	21
条件 2	なし	4	13	22
	中度	5	14	23
	最大	6	15	24
条件 3	なし	7	16	25
	中度	8	17	26
	最大	9	18	27

2.3 物性(折強度及び圧縮強度)の測定

折強度及び圧縮強度は、レオメータ(RE2-33005C、(株)山電製)を使用した。折強度測定は、長さ 5cm の試料を谷型試料台に渡し掛けるように設置し、くさび形プランジャーにより、ロードセル 200N、圧縮速度 0.1mm/秒で試料直径の 60%まで圧縮し、構造破壊時の荷重を測定した。

圧縮強度測定は試料を長さ 1cm の円柱状に切断して径方向に圧縮できるように設置し、直径 40mm 円盤型プランジャーにより、ロードセル 200N、圧縮速度 0.1mm/秒で試料直径の 30%まで圧縮し、構造破壊時の荷重を測定した。

2.4 主成分分析

主成分分析は統計解析ソフトウェア R を使用し、試作条件、折強度、圧縮強度をパラメータに用いた。

2.5 電子顕微鏡による観察

電子顕微鏡(JSM-6010PLUS/LA、日本電子(株)製)により試料の縦断面を構造観察した。30 倍で気泡構造全体の観察、350 倍でグルテン構造の観察を行った。

2.6 破砕方法の検討

エクストルージョン生成物の破砕には、ミキサー(TNC5200/VS/2L、Vita-Mix 社製)、及び製麺用ローラー(UTT-AI 型製麺機、(株)豊製作所製)を使用した。破砕後、デジタルマイクロスコープ(VHX-2000、(株)キーエンス製)により形状を観察した。

3. 実験結果及び考察

3.1 牽引による生成物の形状変化

エクストルージョン処理は、エクストルーダより生成物が連続して吐出され続けるため、牽引を行っても吐出速度が増加するだけで形状が変化しない可能性があった。そこで同一銘柄、同一温度条件で牽引を行った生成物と行わなかった生成物を外観観察した(図 1)。牽引を

行わなかった場合に比べ、牽引を行った場合には生成物の表面が割れ、内部で生地が引き伸びている形状が観察された。しかし強力粉のようなグルテンの強い小麦粉では、牽引した生成物が乾燥するまでに収縮し、構築した方向性が失われる部分が発生することも判明した。吐出後に表面が速やかに乾燥した場合には、この収縮は観察されなかったことから、吐出後に表面を乾燥する工程を追加する必要があると思われ、今後の検討課題である。いずれにしろ、牽引によって外観的な差が認められたことから、牽引によるグルテン構造改善効果を検証するため、物性試験及び主成分分析を行った。

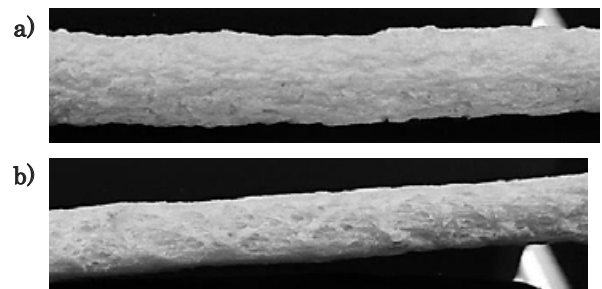


図 1 エクストルージョン生成物の牽引に伴う変化
a) 試料 10、b) 試料 12

3.2 物性試験及び主成分分析

試作条件と物性試験の結果について主成分分析を行った。その結果、第一主成分には牽引の有無と物理強度が対応し、正方向に牽引の強さ、負方向に物理強度の強さが特性づけられた(図 2)。牽引を行わない場合、生成物には均一な細かい気泡が形成され、スポンジのように構造の方向性がない状態になることが判明している¹⁾。一方、牽引を行った場合、生成物は牽引方向に引き伸ばされる(図 1)。そのため一定の方向に対して気泡数が少なくなった結果、物理強度が低下したと考えられる。このことから、内部のグルテンネットワークも引き伸ばされ、型に入れて焼いたパンのような構造となっていることが想定されたため、第一主成分が正方向で最大に位置した試料 15 を電子顕微鏡で構造観察した。

一方、第二主成分には主に銘柄が対応した(図 3)。銘柄によって使用されている小麦品種、割合も異なり品種の影響は今後の検討課題である。

また第二主成分のみに着目すると、圧縮強度は正方向、折強度は負方向に特性が指向している。圧縮強度が小であり、折強度が大である場合、最もグルテン構造が牽引方向に構成されていることが考えられ、以降の工程で粉砕を行った場合にも粉末状にはならず、毛羽立ち状になることが想定された。そこで、第二主成分が負方向で最大の試料 3 について電子顕微鏡で構造観察した。

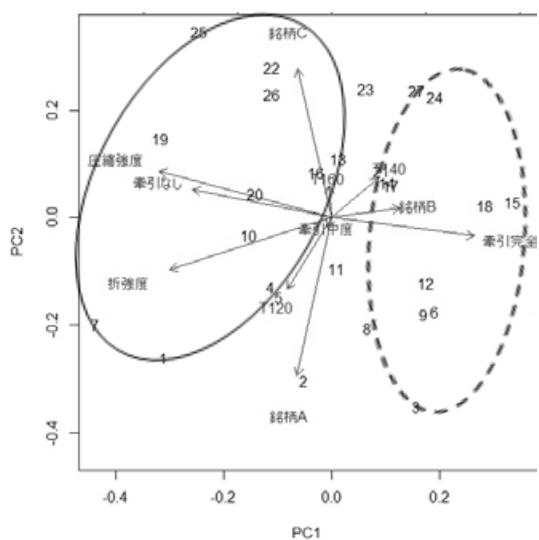


図2 試作条件と物性試験の結果についての主成分分析(牽引条件による分類)

実線:牽引を行わなかった試作物のグループ

点線:最大牽引を行った試作物のグループ

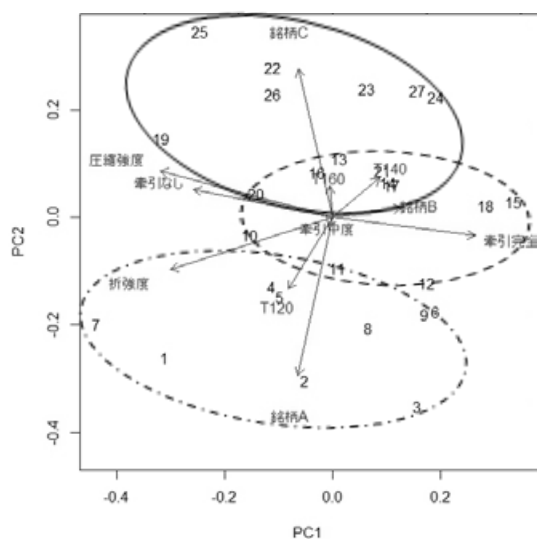


図3 試作条件と物性試験の結果についての主成分分析(銘柄による分類)

一点鎖線:銘柄A、破線:銘柄B、実線:銘柄C

3.3 エクストルージョン生成物の電子顕微鏡観察

試作条件と主成分分析により選択した試料 15 及び試料 3、およびそれらと主成分分析で対角に位置する試料 7 と試料 25 について、電子顕微鏡で構造を観察した(図4)。試料 15(図4a)、試料 3(図4b)ともに低倍率では方向性のある気泡が観察され、試料 7(図4c)、試料 25(図4d)では方向性のない気泡が観察された。また高倍率では試料 15、試料 3 とも、多くの細いグルテンの繊維が牽引方向に引き伸びている構造が観察された(図5)。一方、牽引を行っていない試料 7、試料 25 では、試料 7 はグルテンの構造は観察されず、試料 25 は網目状のグルテン構造となっていることが観察された。このことか

ら、牽引による生成物への方向性の付与は、気泡の方向性のみならず、グルテン繊維の構造まで及ぶことが明らかとなった。

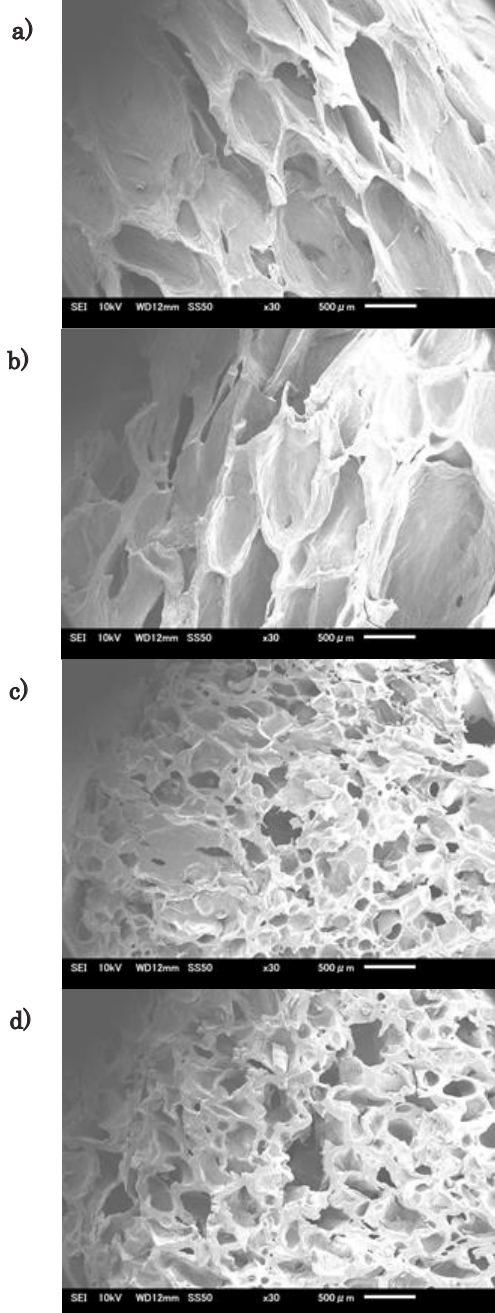


図4 エクストルージョン生成物の電子顕微鏡観察

a) 試料 15、b) 試料 3、c) 試料 7、d) 試料 25

倍率はいずれも 30 倍。

3.4 エクストルージョン生成物の破碎方法の検討

生成物をミキサーとローラーで破碎し形状を顕微鏡観察した(図6)。その結果、牽引による構造がある生成物をローラーで破碎することで、市販のパン粉に近似した毛羽立ち形状の破碎物が得られることが判明した。一方、牽引による構造を構築していない試料 7 ではローラーで破碎を行っても毛羽立ち形状にはならなかった。

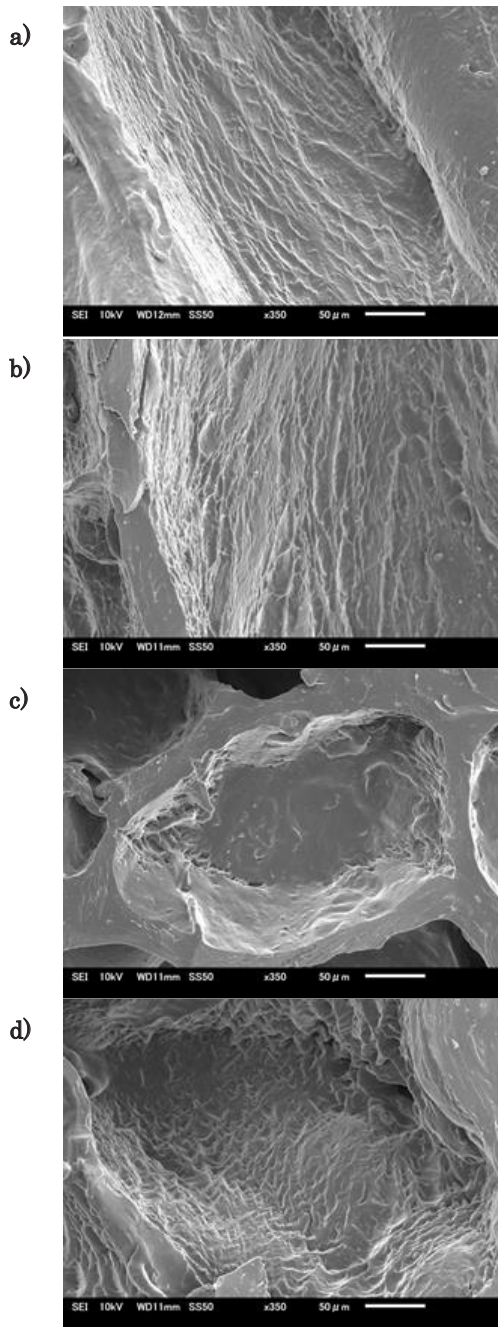


図5 エクストルージョン生成物の電子顕微鏡観察
a) 試料 15、b) 試料 3、c) 試料 7、d) 試料 25
倍率はいずれも 350 倍。

4. 結び

エクストルージョン後に牽引を行い、かつローラー粉砕を行うことで、市販パン粉に近似した生成物を得ることができた。牽引による構造への効果は、気泡の方向性が得られるだけでなく、グルテン構造にも牽引方向に方向性が得られ、このことが粉砕後にも形状が維持できた要因と考えられ、今後検証を行う。

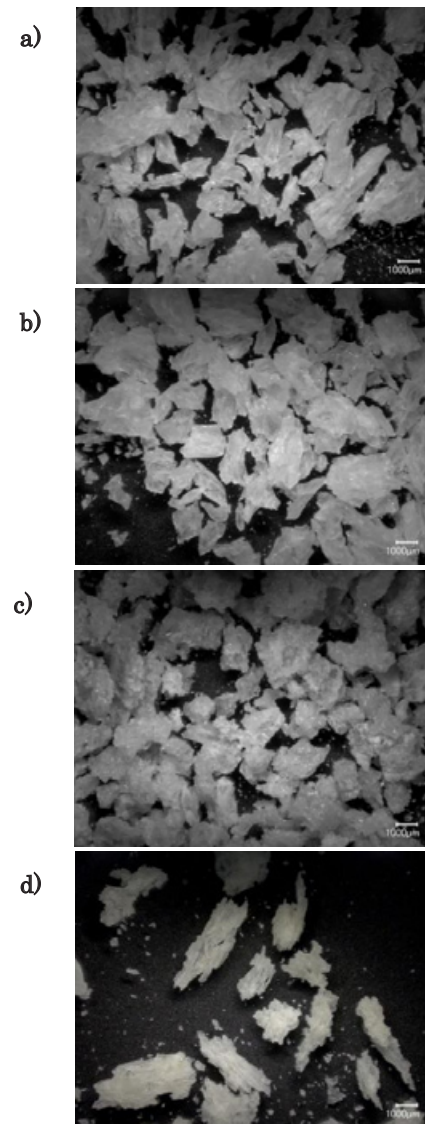


図6 破砕物の形状観察

a) 牽引後ローラー破砕(試料 3)、b) 牽引後ミキサー破砕(試料 3)、c) 牽引せずローラー破砕(試料 7)、d) 市販パン粉。

文献

- 1) 半谷朗：あいち産業科学技術総合センター研究報告，**5**，96 (2016)
- 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，and J. M. Harper：EXTRUSION COOKING，(1989)，American Association of Cereal Chemists
- 5) 食品産業エクストルージョンクッキング技術研究組合：エクストルージョンクッキング，(1987)，光琳