

## エクストルーダを利用したパスタ様食品の製造試験

河野慎一・熊林義晃・清水英樹・山崎邦雄・清水條資

### A Study of Extruder-assisted Pasta Production

Shinichi KONO, Yoshiteru KUMABAYASHI, Hideki SHIMIZU, Kunio YAMAZAKI and Josuke SHIMIZU

This study involved the production of wheat-grain pasta, using an extruder, and examined the operating environment of the extruder, in an attempt to simplify the pasta-making process. It was also an attempt to develop an unprecedented wholewheat noodle.

Experiments were separated into two main processes: milling and noodle making, or processing. In the milling experiment, optimal operating conditions, which yielded finely milled hulls and albumen, were achieved by combining a reverse-screw and kneading-disk, increasing the revolutions per minute of the screw and/or decreasing the supply rate of the raw material.

In the production of noodles, the amount of water added profoundly affected the resulting noodles' physical properties. When noodles were made with small amounts of water, starch was gelatinized or protein was denatured by heat resulting from the high pressures generated by dough passing through the die. As a result, the noodles' tensile strength increased. On the other hand, noodles made from a dough containing greater moisture closely resembled noodles now on the market.

A novel wholewheat noodle was produced by combining the milling and processing steps into one continuous sequence using a single extruder. In this experiment, a high screw revolution rate and large water volume were found to achieve a noodle possessing an acceptably low tensile strength.

By using an extruder, wholewheat noodles were successfully created from wheat grain. This also demonstrated the ability of the extruder to mill wheat grain and process noodles in one continuous sequence of events.

北海道産の小麦を用いたパン、ラーメン等の製品は最近、道内の製粉会社、加工業者により開発され、多く市場に出回っている。これらは輸入小麦のポストハーベスト問題等から、消費者の食品に対する安全性指向が高まっている中で、好評を得ている<sup>1)</sup>。

エクストルーダは、装置内部で圧縮、粉碎、せん断、混合、混練、加熱、組織化、成型、膨化などの複数の加工工程を同時に連続的に行うことが可能である。このため高い生産効率を得られ、エネルギー、労働力の節減に役立つ新しい食品加工機械として注目されている。

一方、エクストルーダは、スクリュの種類や組合せ、スクリュ回転数、原料供給量、バレル温度等の制御因子が多い。また、これらの制御因子が、製造物の性状に及ぼす影響について解析されていない部分が多い。このた

め複数の制御因子の最適な組み合わせは容易には特定できない。エクストルーダを用いて食品を加工する場合は、制御因子が製造物の性状に及ぼす影響及び、制御因子の最適な組合せ、すなわち運転条件を検討する必要がある。

本試験では北海道産の小麦を用いて、エクストルーダによるパスタ様食品の製造試験を行なった。原料に小麦粒を用い、小麦粒の粉碎から麺の製造までを1台のエクストルーダで行うことによって工程の短縮を試みた。また今までに例が少なく、外皮の部分を含むため繊維質が含まれる全粒粉麺の製造を試みた。繊維質は、生体の消化管、主に腸に種々の影響を与え、消化管の動きを活発にする、腸内細菌の種類を変動させる、腸内圧及び腹圧を低下させる等の機能を持ち、腸疾病の発生を制御するとされている物質である。わが国は古くから繊維質の多

い食品に恵まれていたが、食生活が近代化するにつれて加工食品の摂取が多くなり、繊維分の多い食品の摂取が少なくなっている。全粒粉麺は繊維質摂取を補助できる機能的な食品として、また、北海道産の小麦を用いることにより消費者の安全性指向を満たす食品として期待できる。

運転条件の検討は粉碎試験、製麺試験、全粒粉麺の製造試験の3段階を経て行った。

粉碎試験では小麦粒を原料として用い、小麦の粉碎に最適な運転条件の検討を行った。製麺試験では小麦粉を原料として、製麺の最適な運転条件の検討を行った。全粒粉麺の製造試験では小麦粒の粉碎、製麺の2工程を同時に連続的に行うために、粉碎試験、製麺試験で得られた結果を組み合わせて、最適な運転条件を検討した。

### 実験方法

#### 1. エクストルーダの運転条件

エクストルーダ(TCO-30, 神戸製鋼所製)は、バレル内径が30 mm, 長径比(L/D)が24のものを用いた。

バレルには温度制御用のヒータが3台附属されており、本試験ではいずれも20°Cに設定した。また、スクリュパターン、スクリュ回転数、原料供給量、添加水量の運転条件を変化させ試験を行った。

成型部分であるダイは直径2 mm, 丸形, 2穴のものを用いた。

スクリュは、フォワードスクリュ、ニーディングディスク、リバーススクリュの3種類を用いた。これらを図1に示す3つのパターンに組み合わせて試験を行った。

エクストルーダの運転の際はデータログを用いて、バレル温度(°C)、ダイ温度(°C)、スクリュの回転数(rpm)、モータの負荷(A)、原料供給量(kg/h)、圧力(N/mm<sup>2</sup>)、材料温度(°C)のデータを記録した。

#### 2. 小麦粒の粉碎試験

粉碎試験は小麦粒を粉碎し全粒粉を製造した。原料はチホクコムギ(清水町産)の小麦粒を用いた。成型部分であるダイは装着せずに行い、水は添加しなかった。運転条件を表1に示した。

スクリュパターンは図1に示す1と2の組合せで行った。

製造した全粒粉は、1 mm以上の外皮をふるい分け、残りの部分の平均粒径を粒度分布測定装置(LS 130, COLTER社製)を用いて測定した。粒度分布測定装置は液体モジュールを使用し、分散媒はメタノールを用いた。

#### 3. 製麺試験

製麺試験は、原料にデュラム小麦のセモリナ(A社製)、チホクコムギの小麦粉(B社製)を用いて行った。運転条件を表2に示した。

スクリュパターンは図1に示す1の組合せで行った。

製造した麺について水分の測定、走査型電子顕微鏡(S-2400, 日立製作所製)を用いた表面の観察を行った。また、100°Cのお湯の中で3分間ゆでた後に万能引張試験機(AGS-500 A, 島津製作所製)を用いて引張強度を測定し、あわせて食味試験を行った。

#### 4. 全粒粉麺の製造試験

全粒粉麺の製造試験は、原料にチホクコムギ(清水町産)の小麦粒を用い、表3に示す運転条件で行った。ス

表1 小麦粒の粉碎試験の運転条件

使用原料	小麦粒(チホクコムギ)
添加水量(l/h)	0
スクリュ回転数(rpm)	50, 100, 300
バレル温度(°C)	20
原料供給量(kg/h)	1.5, 2.9
ダイ	なし

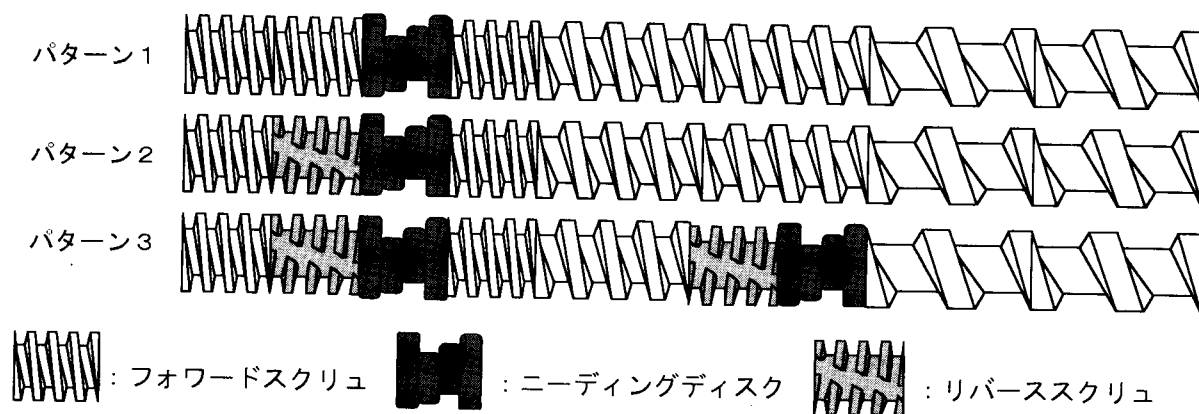


図1 スクリュパターン

表2 製麺試験の運転条件

使用原料	デュラム小麦のセモリナ	チホクコムギ
添加水量 (l/h)	0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1	0.6, 0.8, 0.9, 1.0
スクリュ回転数 (rpm)	100, 200, 300	100, 200, 300
バレル温度 (°C)	20	20
原料供給量 (kg/h)	1.5	1.5, 2.9
ダイ	2 mm×2	2 mm×2

表3 全粒粉麵の製造試験の運転条件

使用原料	小麦粒 (チホクコムギ)
添加水量 (l/h)	0.4, 0.5, 0.6, 1.2
スクリュ回転数 (rpm)	150, 200, 300
バレル温度 (°C)	20
原料供給量 (kg/h)	1.6, 3.5
ダイ	2 mm×2

クリュパターンは図1に示す3の組合せで行った。

製造した麵について製麺試験で行った測定と同様の測定を行った。

## 結果および考察

### 1. 粉碎試験

粉碎試験は小麦粒のふすまの部分をおこくすることが課題になると思われ、粉碎した全粒粉の平均粒径で評価を行った。

エクストルーダを用いた小麦粒の粉碎は、スクリュとバレル内壁との間に生じるせん断力によって行われる。粉碎はフォワードスクリュのみでも可能であるが、ここではよりせん断効果の大きいとされるニーディングディスクを組み込んで行い、図1のスクリュパターン1の様に配置した。さらにスクリュパターン2ではリバーススクリュを組み込んだ。このことにより原料は押し戻され、ニーディングディスク上に長い時間滞留し、せん断効果が更に上がると予想される。

図2にスクリュ回転数と平均粒径の関係を示した。

一部を除いて、スクリュ回転数が大きくなるに従い平均粒径は小さくなる傾向が認められた。小麦粒の粉碎は、前述の通り、バレルの内壁とスクリュの間に生じるせん断力によって行われるが、スクリュ回転数が大きいほどせん断力は大きくなり、小麦粒はより小さく粉碎されたと思われる。

条件IとIIを比較すると、スクリュ回転数が50 rpmを除いて、原料投入量の多い条件Iが、少ない条件IIよりも平均粒径は大きく、原料投入量が多くなると平均粒

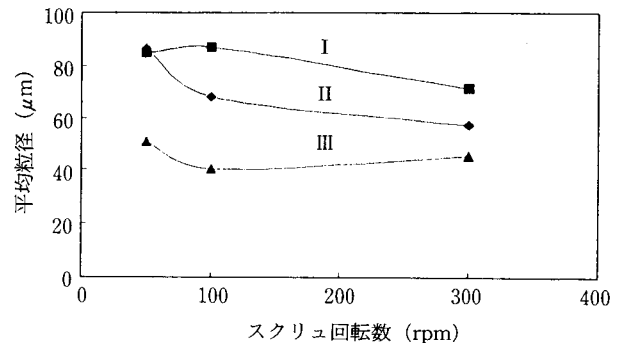


図2 スクリュの回転数と平均粒径

- I (■) : スクリュパターン1 処理量:2.9(kg/h)
- II (◆) : スクリュパターン1 処理量:1.5(kg/h)
- III (▲) : スクリュパターン2 処理量:1.5(kg/h)

径は大きくなる傾向が認められた。

ニーディングディスクは、フォワードスクリュに比較し、原料をせん断する能力が大きいディスクであるが、原料を進行方向へ送る搬送能力が小さい。原料の搬送は、新たな原料がディスク上に搬送され、滞留していた原料が押し出されることにより行われる。ディスク上に滞留できる原料の量は一定であるため、原料供給量が多くなると、ディスク上に原料が滞留する時間は小さくなり、ディスクの作用を受けにくくなる。このため、原料供給量が多くなると平均粒径は小さくなったと思われる。

また、条件Iでは、スクリュ回転数が50 rpmの時に平均粒径が大きくなると予想されたが、条件IIとの差が認められなかった。スクリュ回転数が低回転の場合、原料の搬送速度が遅くなる。このため、スクリュが高回転の場合に比較し、原料がディスク上に滞留する時間が長くなり原料供給量の差が生じなかったと思われる。

スクリュパターンの異なる条件IIとIIIを比較すると、リバーススクリュを組み込まない条件IIは組み込んだIIIよりも平均粒径が小さくなった。リバーススクリュを組み込むことによって、ニーディングディスク上に滞留する時間が長くなり、小麦粒はディスクのせん断効果をより多く受ける。このため、平均粒径が小さくなったと思

われる。

## 2. 製麺試験

製麺試験では原料に小麦粉を用いたため粉碎を考慮する必要はないが、麺の生地を作成するため、ニーディングディスクを図1のスクリュパターン1のように配置した。ニーディングディスクは小麦粒のような固形物に対してはせん断効果が期待できるが、生地のような粘性のあるもの、またペースト状のものに対しては混練効果が期待できる。

図3にチホクコムギにおける添加水量と引張強度の関係を示した。添加水量が増えるに従って引張強度が小さくなる傾向が認められた。本試験で用いたダイは長さが24 mmである。原料がこの間を移動する間に内径は30 mmから2 mmに減少する。水分が低い材料は流動性が悪いために、ダイを移動する際の材料圧力が高くなる。

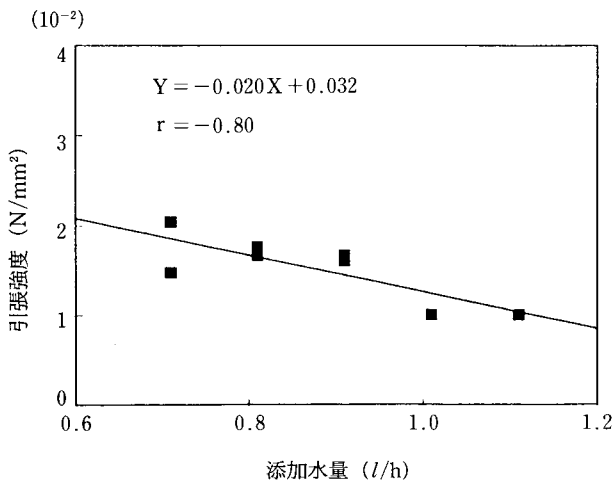


図3 添加水量と引張強度（デュラム小麦）

このため、材料温度は上昇し、材料中のデンプンの $\alpha$ 化、タンパク質の熱変成が起こり麺の強度が高くなったものと思われる。

図4と図5に強度の異なる麺の表面の電子顕微鏡観察図を示した。図4はデュラム小麦の麺で強度は $1.98 \times 10^{-2}$  (N/mm<sup>2</sup>)であった。図5はチホクコムギの麺で強度は $0.90 \times 10^{-2}$  (N/mm<sup>2</sup>)であった。強度の低いチホクコムギの麺の表面にはデンプン粒が認められ、タンパク質の網目構造も観察された。一方、強度の高いデュラム小麦の麺はデンプン粒や、タンパク質の網目構造がほとんど認められず、緻密な組織であった。

麺の食味は、添加水量が多い麺が市販されている麺に近い食感であった。

## 3. 全粒粉麺の製造試験

全粒粉麺の製造は、小麦粒の粉碎と製麺とを1台のエクストルーダで行う必要がある。このためスクリュパターンにニーディングディスクを組み込むこととし、またその効果を高めるためリバーススクリュを組み合わせた。更にその組み合わせを2カ所に配置した。すなわち、原料供給側の組み合わせで小麦粒の粉碎を行い、ダイ側の組み合わせで生地を混練することを図り、図1のパターン3のようにスクリュを配置した。

表4に運転条件と引張強度の結果を示した。運転条件No.5の麺が最も良好な食感であった。

全粒粉麺の製造試験は小麦粒の粉碎と製麺という2つの工程を同時に行った。小麦粒の粉碎試験からスクリュ回転数を大きくすると粉碎度が上がり、また製麺試験から添加水量を多くすると麺の引張強度が小さくなり麺の食感は市販品に近くなるとの結果を得た。これらの結果

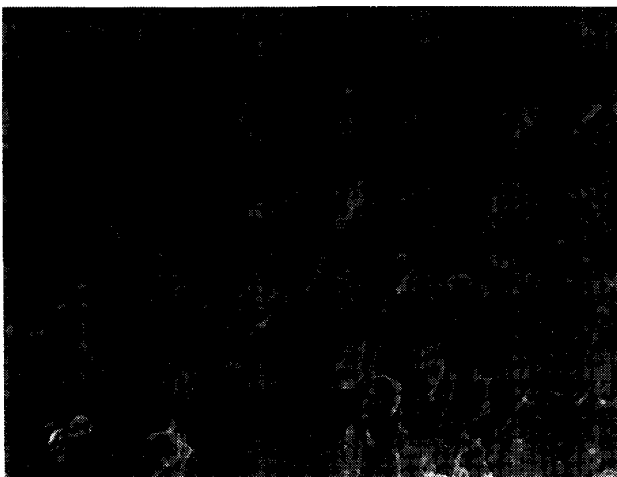


図4 デュラム小麦の麺の表面  
引張強度： $1.98 \times 10^{-2}$  (N/mm<sup>2</sup>)  
倍率×300

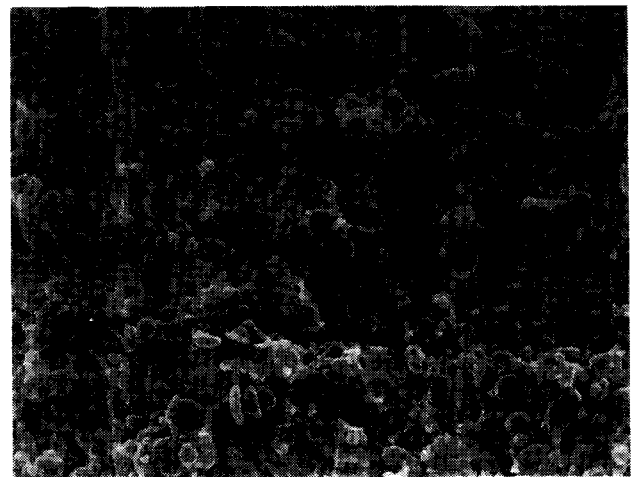


図5 チホクコムギの麺の表面  
引張強度： $0.90 \times 10^{-2}$  (N/mm<sup>2</sup>)  
倍率×300

表4 運転条件と引張強度

No.	スクリュ回転数 (rpm)	原料投入量 (kg/h)	添加水量 (l/h)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
1	300	2.4	0.5	$0.70 \times 10^{-2}$
2	300	2.6	0.4	$0.98 \times 10^{-2}$
3	150	2.9	0.6	$1.22 \times 10^{-2}$
4	200	3.1	0.5	$1.03 \times 10^{-2}$
5	300	4.5	1.2	$0.77 \times 10^{-2}$

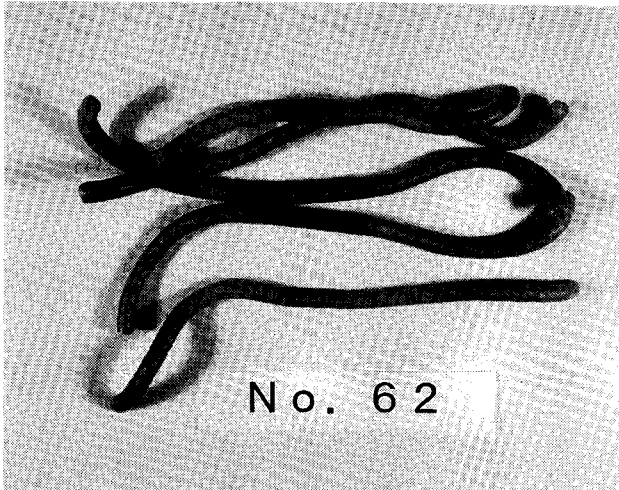


図6 全粒粉麵の外観

を踏まえて、全粒粉麵の製造を行ったところ、スクリュ回転数が大きく、添加水量が大きいほど引張強度が低くなる傾向が認められた。

製造した全粒粉麵を図6に示した。全粒粉麵の外観は、外皮の影響のため茶色味を帯びた。食感は少しざらついたが、スクリュの回転を上げ、小麦粒をより細かくすることで改善できると思われる。

#### 要 約

エクストルーダを用いて小麦粒からパスタ様食品を製造した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) リバーススクリュとニーディングディスクを組み合わせることで、小麦の外皮、胚乳部が細かく粉碎でき

た。スクリュ回転数を大きくすることや原料供給量を少なくすることでも同様の傾向がみられた。

- 2) 製麵試験では添加水量が麵の物性に影響を与え、添加水量が多い麵は市販品に近い食感であった。
- 3) 全粒粉麵の製造ではスクリュ回転数が大きく、添加水量が多いほど引張強度は小さくなる傾向が認められた。

エクストルーダにより工程の簡略化が図れ、粉碎工程と製麵工程とを同時に連続的に行うことができた。このような複数の工程を同時に行う場合の運転条件については、各工程の試験を独立して行い、それぞれの最適な運転条件を把握し、それらを組み合わせることで推測できることが示唆された。

本試験では今までにない食感の全粒粉麵の試作を行った。全粒粉麵は繊維質摂取を補助する機能的な食品として、また、北海道産の小麦を用いることで、消費者の安全性指向を満たす食品として期待できる。

#### 文 献

- 1) 北海道農政部：平成5年度北海道農業の動向，第1版（北海道，札幌），p.113，1994。
- 2) 日本麦類研究会：改訂版小麦粉—その原料と加工品，第1版（日本麦類研究会，東京），p.971，1976。
- 3) 小田間多：新めんの本，第6版（食品産業新聞社，東京），p.162，1991。
- 4) 食品産業エクストルージョンクッキング技術研究組合編：エクストルージョン・クッキング—2軸型の開発と利用—，第1版（光琳，東京），1987。
- 5) 日本食品工業学会編：食品工業における科学・技術の進歩（II），第1版（光琳，東京），p.81，1985。
- 6) 塚本守：日本調理科学会誌，17，2（1984）。
- 7) 渡辺治ら：北海道立食品加工研究センター研究報告，1，（1994）
- 8) 食品成分研究会編：食品の食物繊維・無機質・コレステロール・脂肪酸含量表，p.1，1985。