

北海道産小豆粉の製造法と利用技術の開発

松嶋 景一郎, 浦 晴雄, 三津橋 浩行, 内山 智幸*,
渡邊 治*, 佐藤 恵理*, 能登 裕子*, 吉川 修司*

Development of Methods for Production and Utilization of Red Bean Powder

Keiichiro MATSUSHIMA, Haruo URA, Hiroyuki MITSUHASHI,
Tomoyuki UCHIYAMA*, Osamu WATANABE*, Eri SATO*,
Hiroko NOTO*, Shuji YOSHIKAWA*

キーワード：粉碎，分級，混合，単位操作，小豆

1. はじめに

小豆は北海道の特産品であり，国内の90%以上が本道で生産されている¹⁾。また，小豆は血糖値上昇を穏やかにする低GI食品であることや，食物繊維，ポリフェノールなどを豊富に含むことが知られており，昨今の健康志向にも適した素材である。

しかし，おもな用途である餡製品の消費低迷や，餡以外の用途の少なさなどから，小豆の生産量が減少しており，関連業界から小豆の需要拡大が強く要望されている。

一方，食品加工研究センターでは，米を粉碎操作により粉末化し「米粉」とすることで，その用途がパンや麺などへ拡大した事例をもとに，「小豆粉」の製造及び利用技術について基礎的検討を行ってきた。その結果，小豆粉が，クッキーやスポンジケーキなどへ適用できる可能性が示された。この成果について，道内の食品業界が，「小豆粉は北海道の地域性や機能性をアピールする素材」になり得るとして，強い関心を示している。

そこで，本研究では，道産小豆の新たな需要創出を目的に，粉碎及び分級などの粉体技術を用いて，製パン・製菓に利用可能な小豆粉の製造技術を検討した。

2. 粉碎法の検討

走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した，小豆断面の画像を図1に示す。

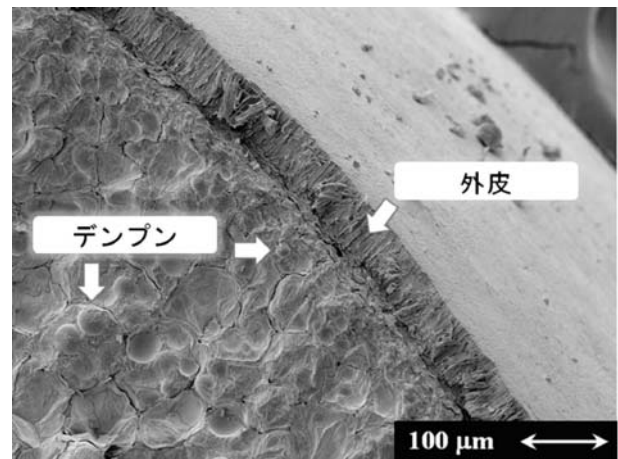


図1 小豆の断面

小豆内部にタンパク質などに包まれたデンプン粒子が観察された。粉碎を進行するに当たって，このデンプン粒子の破損を防ぐ必要があった。これは，破損したデンプン，すなわち損傷デンプンは，正常のデンプンと比較し吸水性が2倍程度大きくなるため，「べたつき」など食感や味に悪影響を及ぼすからである²⁾。

2.1 ロールミル

小麦粉の製造に使用されているロールミルを用いて，小豆の粉碎を検討した。

本研究で使用したロールミル（Quadrumat Junior，Brabender GmbH & Co KG社）の構造を図2に示す。

* 道総研 食品加工研究センター，Hokkaido Research Organization Food Processing Research Center

事業名：重点研究

課題名：北海道産小豆粉の製造とそれを活用した食品製造技術の実用化に関する研究

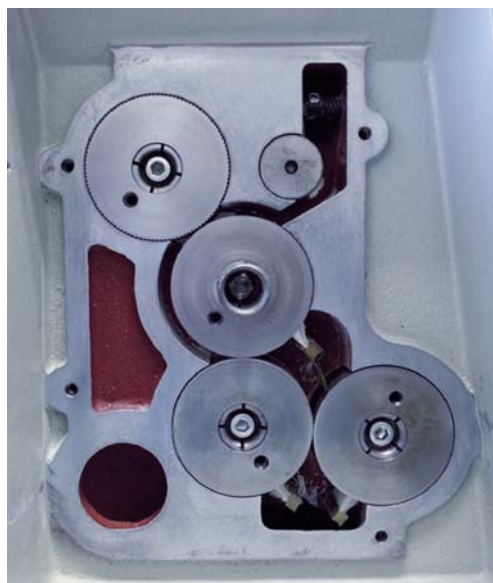


図2 ロールミルの構造

ロールミルは、一般に、2個以上のロールの間に対象物をかみ込み、圧縮力及びせん断力により粉碎する。また、ロール表面は平滑なものや、本機のように凹凸の刻みを持つものがある。

ロールミルでは、図3に示すように、損傷デンプンの発生を抑えながら小豆の粉碎を進行することはできなかった。

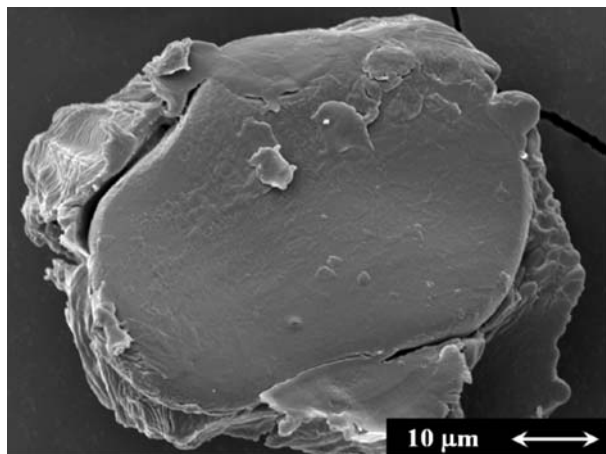


図3 ロールミル粉碎により開裂・変形したデンプン粒子

そこで、ロールミルとは異なる作用の粉碎方法を検討することにした。

2.2 ピンミル

有機物の微粉碎に多用されているピンミルを用いて、小豆粉の製造を検討した。

使用したピンミル（自由粉碎機M-4、(株)奈良機械製作所）を図4に示す³⁾。



図4 ピンミル

粉碎室内では、衝撃柱（ピン）が1周もしくは放射状に取り付けられた円盤が高速回転している。対象物は、回転盤の中央に供給され、遠心力により内周から外周へ移動する際に、ピンにより衝撃力・切断力を受け粉碎される。

本装置を用いて、損傷デンプンの発生を2%以下に抑え、 D_{50} 径（メジアン径：本報告では体積頻度の累積が50%になる粒子径）が $60\mu\text{m}$ 程度にまで小豆を粉碎することができた。例として、 D_{50} 径 $57.6\mu\text{m}$ 、損傷デンプン1.77%の小豆粉について、レーザー回折・散乱法（HRA、マイクロトラック・ベル(株)）により測定した体積基準の粒度分布を図5に示す。

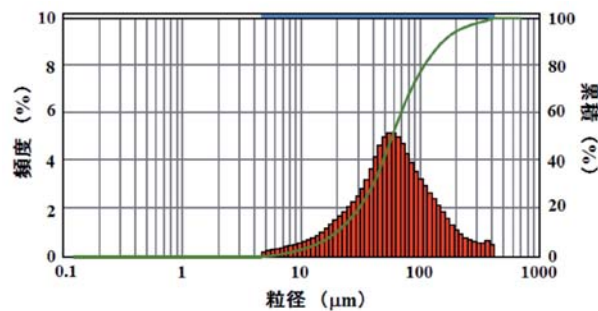


図5 ピンミルにより製造した小豆粉の粒度分布

さらに小豆粉の粉体物性を測定し、市販の小麦粉と比較した結果を表1に示す。

表1 小豆粉及び市販小麦粉の粉体物性

	D_{50} 径 (μm)	かさ密度 (g/cm^3)		圧縮度 (%)	安息角 (deg)
		疎充填	密充填		
小豆粉	57.6	0.60	0.80	25	40
強力粉	56.3	0.43	0.67	36	51
薄力粉	36.8	0.36	0.61	41	52

ここで、かさ密度とは、粉体を容器に充填した際の空隙も含めた見かけの密度のことで、疎充填はゆるく充填した場合、密充填はタッピングにより固く充填した場合のかさ密度である。また、圧縮度及び安息角は粉体の流動性を表す指標である。圧縮度は、密充填と疎充填のかさ密度をそれぞれ A 、 P で表したとき、 $(P-A)/P \times 100$ で求められ、値が小さいほど流動性が良いことになる。安息角は、一般に粉体を平面に落下させたときに生ずる円錐の斜面と水平面がなす角度で、流動性が良いほど角度は小さくなる。

小豆粉のかさ密度は、市販の強力粉及び薄力粉より大きかった。また、圧縮度及び安息角が強力粉及び薄力粉より小さかったことから、小豆粉が小麦粉と同等以上の良好な流動性を持つことが示された。

以上より、衝撃力を主とする粉碎法により、食品に利用可能な小豆粉を製造できることがわかった。

3. 小豆粉の特性

前章で粒度分布を示した D_{50} 径 $57.6 \mu\text{m}$ の小豆粉のSEM画像を図6に示す。

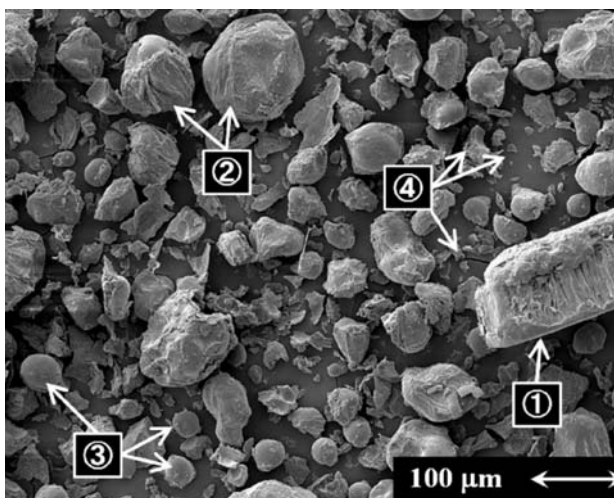


図6 小豆粉のSEM画像

画像観察から、大きさの異なる①外皮、②複数のデンプンをタンパク等が包んだ粒子、③デンプン粒子、④タンパク質などの破片の4種類の粉末が確認された。このことから、小豆粉は粒度区分によって、成分組成が大きく異なることが予想された。そこで、小豆粉を大きさにより分級し、各区分の成分組成を分析した。

分級は、目開き $125 \mu\text{m}$ のふるいで外皮を取り除いた後、乾式の遠心分級機（ターボクラシファイアTC-15N、日清エンジニアリング㈱）を用いて行った。この操作により5区分に分けた小豆粉のSEM画像を、図7に示す。

画像観察から、小豆粉が、ふるいにより外皮が主の区(図7(a)：収率12.8%)、また、遠心分級により、主となる粒子が I：複数のデンプンをタンパク等が包んだ粒子(図7(b)；収率48.5%)、II：デンプン(図7(c)；収率28.0%)、III：デンプンを包んでいたタンパクなどの破片(図7(d)；収率3.3%)、IV：微粉(図7(e)；収率7.4%)の区に分級されていることを確認できた。

乾式の遠心分級により得られた4区分の小豆粉と、小豆全粒粉の成分比較を表2に示す。

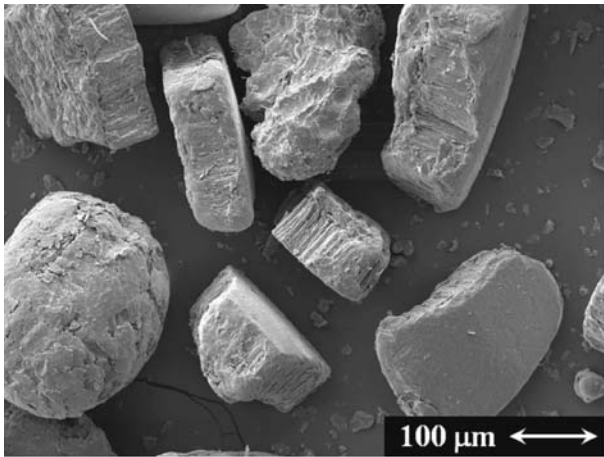
表2 分級区分ごとの小豆粉の成分組成

		炭水化物 (g/100g)		脂質 ^{*4} (g/100g)	灰分 ^{*5} (g/100g)	水分 ^{*6} (g/100g)	
		タンパク質 ^{*1} (g/100g)	糖質 ^{*2} 食物繊維 ^{*3}				
全粒粉		21.3	53.4	10.0	0.7	4.0	10.7
遠心分級区	I	18.3	60.9	5.9	0.5	3.3	11.1
	II	16.8	65.8	3.7	0.5	2.9	10.3
	III	33.7	38.9	13.3	0.6	5.2	8.3
	IV	41.2	14.3	29.3	0.9	6.1	8.3

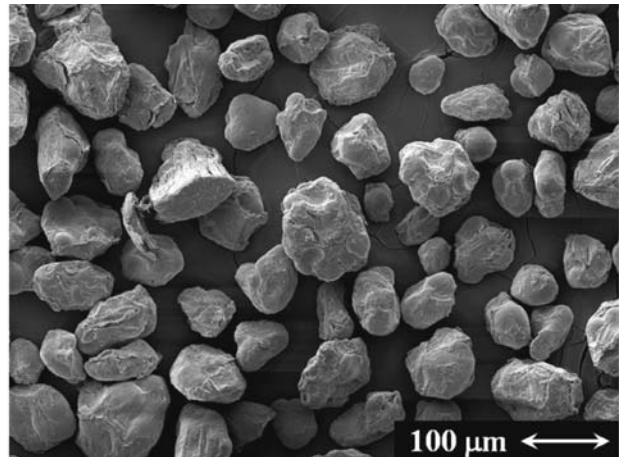
*1:ケルダール法、*2:100-(食物繊維+タンパク質+脂質+灰分+水分)
*3:プロスキー法、*4:酸分解法、*5:直接灰化法(550℃)、
*6:常圧加熱乾燥法(135℃)

分級区I及びIIは、全粒粉と同様に炭水化物が主成分であったが、消化可能な炭水化物である糖質の割合が全粒粉より大きかった。この傾向は、分級区Iに比べIIの方が顕著だった。一方で、タンパク質の含量は、全粒粉と比較し、I及びIIともにやや低かった。分級区III及びIVは、全粒粉と比較しタンパク質の含量が多かった。また、IIIとIVで炭水化物の内訳を比較すると、IIIは糖質が多く、IVは細胞壁由来のセルロースやペクチンが含まれる食物繊維が多かった。

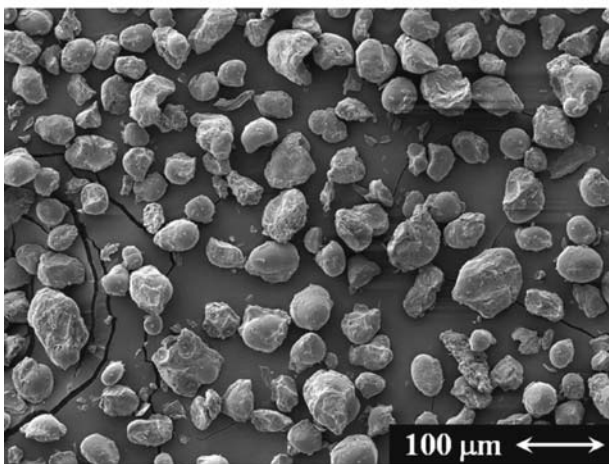
小豆粉をパンやクッキーなどの加工食品に利用する際には、それぞれの食品に適した成分組成や粒度が求められるはずである。本章の検討結果から、粉碎や分級といった単位操作の組み合わせにより、様々なバリエーションの小豆粉素材を製造できることがわかった。



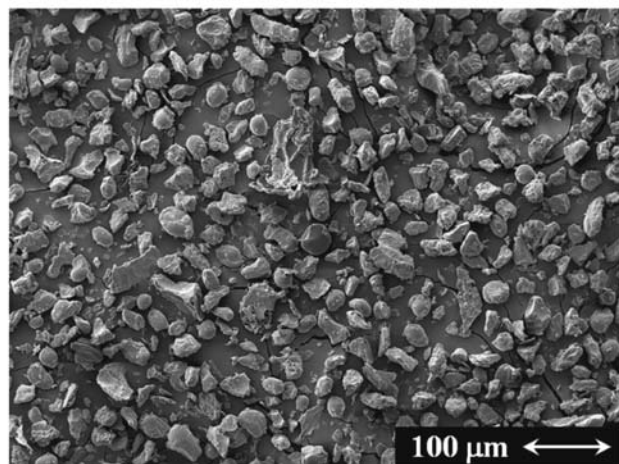
(a) ふるい分級区



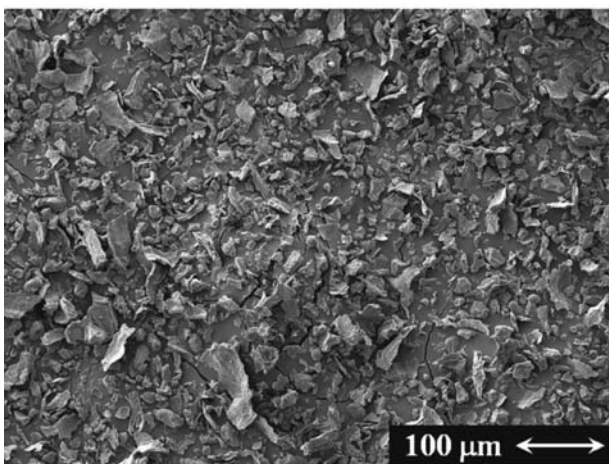
(b) 遠心分級区-I (D_{50} 径: $74.1 \mu\text{m}$)



(c) 遠心分級区-II (D_{50} 径: $43.9 \mu\text{m}$)



(d) 遠心分級区-III (D_{50} 径: $24.8 \mu\text{m}$)



(e) 遠心分級区-IV (D_{50} 径: $17.9 \mu\text{m}$)

図7 分級した小豆粉のSEM画像

4. 小豆粉を用いたパンの試作検討

小豆粉を活用する加工食品としてパンを選定し、粒度調整した小豆粉を用いて試作検討を行った。

ピンミルを用いて、小豆を D_{50} 径 $65.0\mu\text{m}$ にまで粉碎した後、目開き $131\mu\text{m}$ 、 $104\mu\text{m}$ 、 $91\mu\text{m}$ 、 $75\mu\text{m}$ の4種のふるいを用いて超音波振動ふるい (RF型 C701C, ㈱ダルトン) により分級し、7種類の小豆粉を調製した。パンの製作は一般的なレシピに則って行い、小麦粉の20wt%を小豆粉に置き換えたパンを製作した。

分級区ごとの小豆粉の粉体物性と試作したパンの評価結果を表3に、外観を図8に示す。なお、比較のために通常の小麦粉のみと、小豆全粒粉を使用したパンの写真も載せた。

表3 小豆粉の粉体物性と試作パンの評価結果

分級区	かさ密度 (g/cm^3)		圧縮度 (%)	比容積 (-)	膨らみ
	疎充填	密充填			
① 131 μm ふるい上	0.68	0.85	21	3.3	
② 131-104 μm	0.66	0.84	22	3.7	
③ 104-91 μm	0.64	0.80	20	4.4	○
④ 91-75 μm	0.65	0.81	19	4.4	○
⑤ 75 μm ふるい下 (104 μm ふるい通過 → 91 μm ふるい通過)	0.52	0.70	26	4.5	○
⑥ 104-75 μm	0.65	0.80	19	5.0	○
⑦ 75 μm ふるい下 (104 μm ふるい通過)	0.52	0.71	26	4.6	○



図8 試作パンの外観

かさ密度及び圧縮度から、微粉区である⑤と⑦の流動性が、他の区より低いことが示されたが、工業的に取り扱うには問題ない値であった。

一方、パンには「膨らみ」を持たせることが必要であり、その定量的な指標が「比容積」である。比容積はパンの重量を容積で割った値で、その値が大きいくほど食感がソフトになる。山形食パンでは4~5程度の比容積が良好な食感を与えるとされている。表3より、 $104\mu\text{m}$ 以下の小豆粉を使用することで、良好な膨らみを持ったパンを製作できることがわかった。このことは、図8の外観写真において、分級区③~⑦の小豆粉を使用したパンの膨らみが、小麦粉で作ったパン(比容積:5.0)と遜色ないことから確認できた。また、小豆粉全粒粉を使用したパンは、図8からわかるように良好な膨らみを持たなかった。

パンの膨らみを阻害する因子である分級区①の $131\mu\text{m}$ 以上と、分級区②の $131\sim 104\mu\text{m}$ の小豆粉のSEM画像を、それぞれ図9、10に示す。

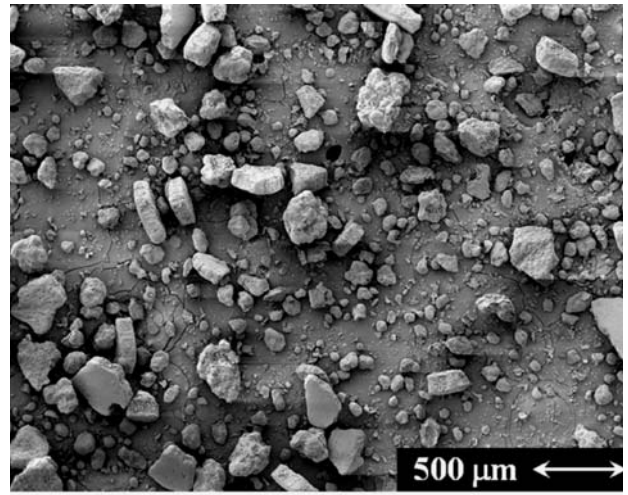


図9 131 μm ふるい上の小豆粉のSEM画像

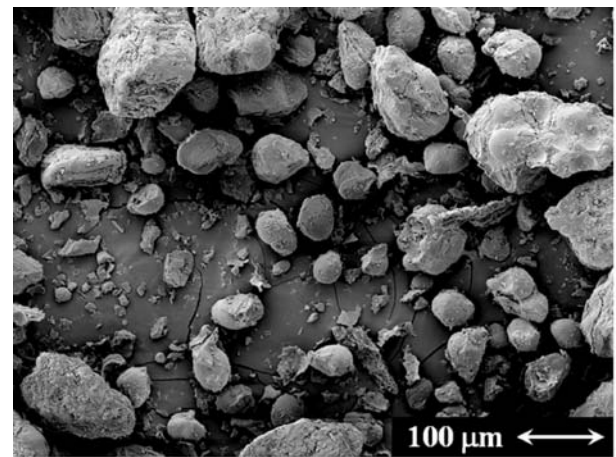


図10 粒径104~131 μm の小豆粉のSEM画像

画像より、分級区①では外皮が、分級区②ではデンプンやタンパク等が包んだ粒子がおもに観察された。

これらの粉末は、小豆を食パンに利用する際には除く必要があるが、他の食品では活用可能と推察できる。外皮は、クッキーといった「サクサク感」が求められる食品への適用や、含有されるポリフェノールなどの機能性物質の有効利用、赤色の食用色素としての利用が期待できる。また、デンプンやタンパク等が包んだ粒子は、そもそも給水・加熱により「餡」となるが、「モチモチ」した食感が好まれるケーキなどの洋菓みに利用できると考えられる。

5. まとめ

衝撃力をおもな作用とする粉碎法を用いて、食品素材として利用可能な小豆粉を製造することができた。また、小豆粉の粉体特性を評価した結果、食品に利用する際には、粉碎に加え分級等の単位操作が必要になることが示唆された。

小豆粉の食品への活用例としてパンへの適用を検討した結果、適正な粒度調整により、良好な食感を持ったパンを製

できることがわかった。

本研究成果をもとに、既に道内企業が、小豆全粒粉を用いたクッキーやケーキの製品化を決定している。また、パンの商品化も進行中である。今後も食品加工研究センターと共同で、道産小豆の新規需要創出に向けた技術移転を進める。

引用文献

- 1) 農林水産省：特定作物統計調査
- 2) D. W. Greer and B. A. Stewart: The water absorption of wheat flour: Relative effects of protein and starch, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 10 Iss 4, pp. 248-252, (1959)
- 3) <http://www.nara-m.co.jp/product/usage/mil.html>