

マイクロビーズミルによる小麦粉サブミクロン化 メカニズムの基礎検討

松崎 晴美*・富樫 直樹**・下田 真***

Study on Mechanism of Sub-micronizing Flour with Poor Weight of Gluten using a Micro-beads Mill

Harumi MATSUZAKI*, Naoki TOGASHI** and Makoto SHIMODA***

Abstract

The mechanism of sub-micronizing flour with poor weight of gluten was studied comparing characteristic of the grain degree distribution with the electron microscope image of flour. As a result, it was shown that it was necessary to use two or more kinds of micro beads with a different diameter for sub-micronizing flour, because the beads with each average of diameter have the effective range of the powder diameter.

Keywords: Micro-beads mill, Mechanism of sub-micronizing, Grain degree distribution, Flour

1. 緒 言

食品業界では、「健康志向」の高まりから、特定保健用食品が開発、販売され、マーケットは拡大している。また、既製品ばかりに頼らず、消費者自らが食材を微粉化したり加工したりといった新しいニーズが出始めてきている。食材等を粉末化することにより、吸収率の向上、食感の改善、少ない量で効果を発揮するなど数々の利点がインターネット上に記述されている。また、パン、うどん等小麦粉製品の幾何学的特性と食感についての報告¹⁾はあるが、食材微粉化の程度と食感との相関関係についての系統的な報告は見られない。食感は製麺の仕方と深い関係がある¹⁾が、素材の段階での微粉化の程度

と食感との関係が見出せれば、製粉、製麺技術の効率化に役立つと同時に、新たな機能性食品の開発につながると考える。

既報²⁾では、食材をサブミクロン(0.1~1 μ m)程度まで超微粉化した場合の効果特性並びにサブミクロン化が可能な技術について調査した。また、その結果を基に、マイクロビーズミルを選定し、これによる小麦粉(薄力粉)の超微粉化についての基礎検討を実施した。本報では小麦粉の電子顕微鏡画像及び粒度分布特性からサブミクロン化メカニズムを検討した結果について報告する。

2. 実験装置と方法

実験装置は、図1に示したもの²⁾を、供試マイクロビーズではジルコニアビーズ(ビーズ平均粒子径 $d_B=0.03, 0.2, 0.5$ mm)を供試した。実験条件はビーズ充填量 100 ml, 小麦粉充填量 100 mlとした。粒度分布は日清エンジニアリング

平成 20 年 12 月 15 日受理

* 大学院工学研究科機械・生物化学工学専攻・教授

** 大学院工学研究科機械・生物化学工学博士前期課程・1年

*** 富士通メディアデバイス株式会社

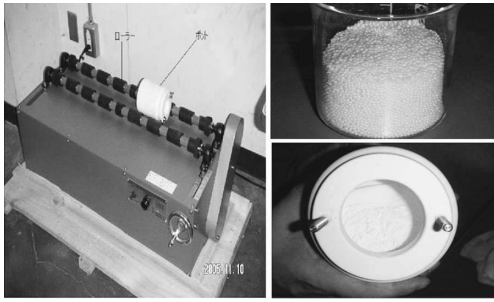


図1 実験装置外観

(株)に分析依頼した。以下は粒度分布測定装置の概要である。

機器名：マイクロトラック MT3300EXII

メーカー：日機装株式会社

原理：レーザー回折・散乱

計測可能レンジ：0.02 μm (20 nm)～1,400 μm (1.4 mm)

小麦粉粒子を分散させるための媒体に関しては、小麦粉膨潤性、粒子分散性、粒子溶解性の観点から、適正な媒体を選択する必要があるが、今回は、メタノールとした。あらかじめ、ビーカー内で、メタノールにサンプルを分散させた後、測定装置に導入する。計測に必要なサンプル量は、粒度測定装置が要求する濃度までサンプルを投入する。導入サンプルは測定装置内を循環する間に、サンプル中の粒子はレーザー回折・散乱法により、その体積分布のデータが計測される。

供試小麦粉は日清製で最も粉化が容易とされる薄力粉とした。表1はその成分分析表を示す。小麦粉の種類はグルテンの量によって分けられ強力粉(グルテン含有量 21 wt% 以上)、中力粉(グルテン含有量 9～11 wt%)、薄力粉(グルテン含有量 8.5 wt% 以下)の範囲に入る。

なお微粉化の程度は次式で表される体積面積平均径 d_s で評価した。

$$d_s = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} \quad \dots (1)$$

表1 供試小麦粉の成分分析
100 g あたりの値 (g)

エネルギー (kcal)	水分	たんぱく質	脂質	炭水化物	灰分
374	12.2	9.0	1.6	76.7	0.5

グルテン含有量：7.2 wt%

分析依頼先：青森県工業総合研究センター 弘前地域技術研究所

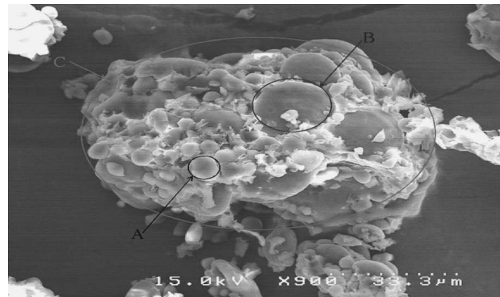


図2 供試小麦粉(日清薄力粉)の電顕写真

ここで、 n_i は所定粒径分布幅に入る粒子の個数、 d_i は同分布幅の平均粒子直径である。

3. 実験結果と考察

3.1 小麦粉の電子顕微鏡画像

図2は供試小麦粉(日清薄力粉)の電顕写真を示す。図中、Aはでんぷん粒、Bは植物細胞、Cは植物細胞の集合体である。Cはロールミルにより、粉碎された塊で、画像から70 μm程度の大きさになる。Bの大きさは20 μm程度になる。Aは植物細胞内に存在するでんぷん粒で、細胞壁が粉碎され、その内部から出てきたものと観察され5～7 μmの大きさである。

3.2 粒度分布特性

図3は供試小麦粉(粉化前)の粒度分布を示す。図中には、頻度と累積を示した。図中A、B、Cはピークを示し、それぞれ、7 μm、20 μm、75 μm程度になる。これらは、その大きさから図

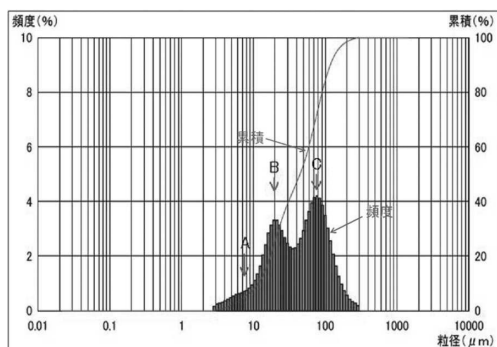


図3 供試小麦粉（日清薄力粉）の粒度分布

3のA, B, Cに相当すると考える。最も小さい粒子は $3\mu\text{m}$ 程度で、これは既報²⁾で光学顕微鏡により計測した粉化前の単体粒子の大きさに一致する。

図4は、粉化处理小麦粉（粉化時間 $t=24\text{h}$ ）の粒度分布を示す。実験条件はビーズ充填量 100ml 、小麦粉充填量 100ml 、ビーズ呼径 $30\mu\text{m}$ である。ビーズ混入により、ビーズのピークであるDが出現する。Aのピークは明確になるが、Cのピークが不明確となる。最大粒子の大きさは、 $300\mu\text{m}$ で、粉化前後で変化していないことが観察される。

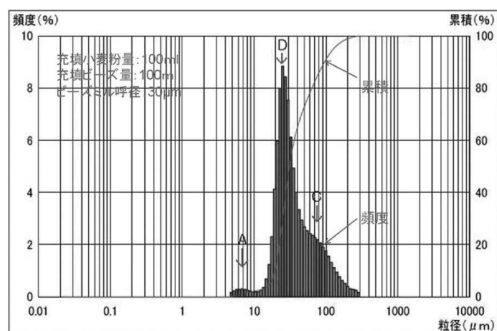


図4 粉化小麦粉とマイクロビーズミルの粒度分布

図5はマイクロビーズ（呼径 $30\mu\text{m}$ ）のみの粒度分布を示す。ほぼ、 $30\mu\text{m}$ にピークがある。

図6は $d_B=0.5\text{mm}$ のマイクロビーズを供試した時の粉化時間 1h の粒度分布を示す。処理

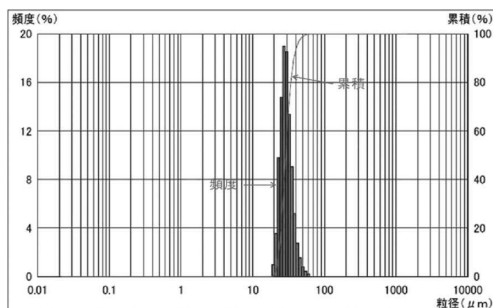


図5 マイクロビーズ（呼径 $30\mu\text{m}$ ）のみの粒度分布

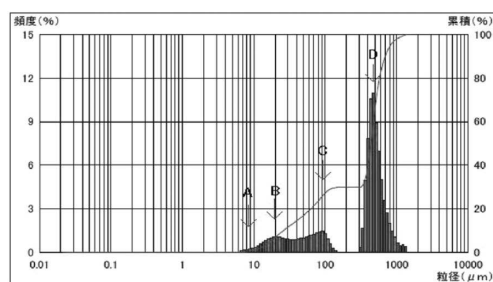


図6 $d_B=0.5\text{mm}$ 、粉化時間 1h の粒度分布

後の粒度分布は、ピークA, B, Cに加えて、ビーズのピークDが出現し小麦粉の分布(A, B, C)とビーズの分布(D)が分離している。ピークAについては明確でない。また、未処理の小麦粉の粒度分布における最小粒径は $3\mu\text{m}$ 程度になるに対して、処理後での最小粒径は $5\sim 7\mu\text{m}$ 程度と大きくなっている。また、最大粒子の大きさは $300\mu\text{m}$ から $150\mu\text{m}$ 程度まで小さくなっている。

図7は $d_B=0.5\text{mm}$ のマイクロビーズを供試したときのそれぞれ粉化時間が 0h , 1h , 2h , 5h , 10h の時の粒度分布に基づき求めた小麦粉分布の d_s と t の関係を示した。図中B+Cが小麦粉全体の d_s 、B及びCは、ピークBC間の粒径で、最も小さい頻度の時の粒径を境として、その境値より小さい部分の分布 d_s 及びその境値より大きい部分の分布の d_s を示す。小麦粉全体の d_s は粉化開始とともに急減し、一定値に飽和する特性となる。 d_{SE} は $100\mu\text{m}$ 程度である。し

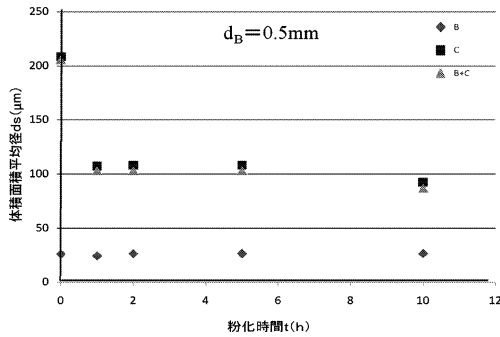


図7 d_s と t の関係
(ジルコニアビーズ, $d_B=0.5$ mm)

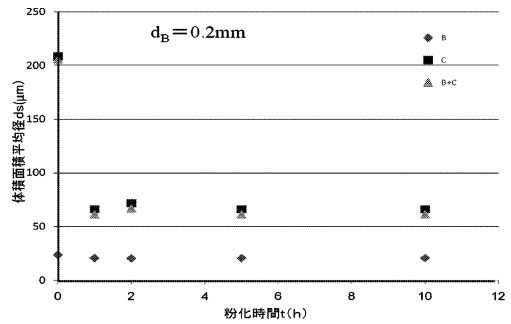


図9 d_s と t の関係
(ジルコニアビーズ, $d_B=0.2$ mm)

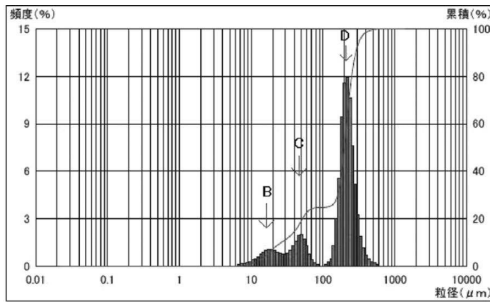


図8 $d_B=0.2$ mm, 粉化時間 1 h の粒度分布

かし植物細胞レベルの大きさのもの (B) は変化していない。

図8は、 $d_B=0.2$ mmのマイクロビーズミルを供試したときの1hのときの粒度分布を示す。 $d_B=0.5$ mmと同様に、未処理の小麦粉の粒度分布(図3)がピークA, B及びCを有するのに対し、処理後の粒度分布はピークB, Cに加えて、ビーズのピークDが出現し、小麦粉の分布(B, C)と、ビーズの分布(D)が分離している。また、未処理の小麦粉粒度分布における最小粒径は $3\mu\text{m}$ 程度あるに対して、処理後での最小粒径は $5\sim 7\mu\text{m}$ と大きくなっている。最大粒子の大きさは $300\mu\text{m}$ から $90\mu\text{m}$ 程度まで小さくなっている。

図9は、 $d_B=0.2$ mmのマイクロビーズミルを供試したときの、それぞれ0, 1h, 2h, 5h, 10hのときの粒度分布に基づき求めた小麦粉の

d_s と t の関係を示した。図中 B+C が小麦粉全体の d_s , B 及び C は、ピーク BC 間の粒径で、最も小さい頻度の時の粒径を境として、その境値より小さい部分の分布 d_s 及びその境値より大きい部分の分布の d_s を示す。 d_s は粉化開始とともに急減し、一定値に飽和する特性となる。 d_{SE} は $62\mu\text{m}$ 程度であり、 $d_B=0.5$ mm の時と比較すると小さくなる。 d_B が小さくなると d_{SE} が小さくなるという傾向は既報²⁾ に示した特性と同じである。しかし、植物細胞レベルの大きさのもの (B) の変化はわずかである。また、最大粒子の大きさは、 $d_B=0.5$ mm, 0.2 mm で、それぞれ $300\mu\text{m}$ のものが、 $150\mu\text{m}$, $90\mu\text{m}$ と小さくなっているが、 $d_B=30\mu\text{m}$ では、最大粒子の大きさは $300\mu\text{m}$ で変化がない。このことは、それぞれの d_B に対して、効果的に粉化作用を発揮する守備範囲あることを示し、さらに、このことは小麦粉粉化には、径の異なる複数のマイクロビーズが必要であることを示す。

図10は既報²⁾の $d_{SE}-d_B$ 特性に基づき、到達平均粒子径 d_{SE} を粉化前 ($t=0$) の体積面積平均径 d_o で除した値 d_{SE}/d_o を縦軸に、 d_B を横軸に、記号●で示した。これは単体粒子のみを計測対象とした場合で、このときの d_o は $4.4\mu\text{m}$ である。 d_{SE}/d_o と $\ln d_B$ は直線関係にある。

図中記号○は全粒子を計測対象とした場合で、このときの d_o は $300\mu\text{m}$ である。実験点が2点であり、かつ、バラツキもあるため、現時点

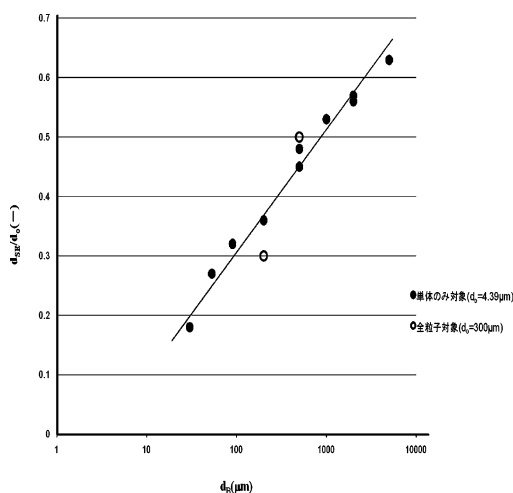


図10 d_{SE}/d_o と d_B の関係

で、断定は困難であるが、これらの特性は d_o に依存せず、1本の特性線で表示できる可能性がある。

4. 小麦粉サブミクロン化メカニズム

図11に小麦粉サブミクロン化メカニズムを示した。小麦粉は植物細胞の集合体であり、その塊の大きさは $70\ \mu\text{m}$ 程度である。これらの塊を植物細胞レベルに粉砕することが必要で、このためには、塊より大きなマイクロビーズで粉化する必要がある。大きさは $20\ \mu\text{m}$ 程度となる。塊より小さなマイクロビーズでは塊は粉化されない。次に、植物細胞を取り囲む頑丈な細胞壁を粉砕し、植物細胞内に存在するでんぷん粒を脱落させる。植物細胞より大きなマイクロビーズで粉砕させる。この際、でんぷん粒をつなぎ止めている介在物質も脱落する。でんぷん粒の大きさは $7\ \mu\text{m}$ 程度であるが、介在物質はさらに小さく、サブミクロンレベルにあるものもある。サブミクロン化にはマイクロビーズの大きさを $50\ \mu\text{m}$ 以下にすることが必要である。最終段階では、でんぷん粒をさらに微粉砕することが必要である。したがって、小麦粉の植物

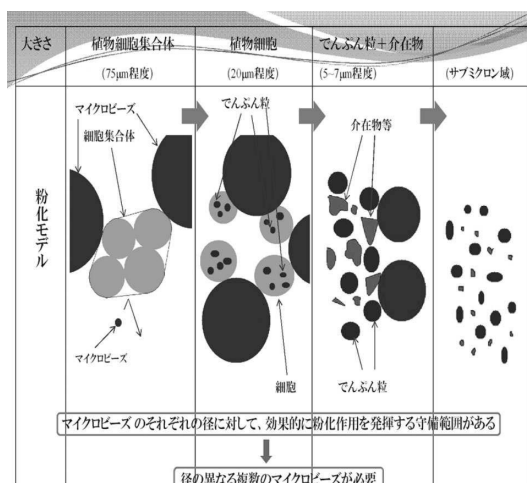


図11 小麦粉サブミクロン化メカニズム

細胞集合体をサブミクロン化するためには、複数径のマイクロビーズが必要である。

5. 結 言

小麦粉の電子顕微鏡画像及び粒度分布特性からサブミクロン化メカニズムを検討し、以下の結果を得た。

(1) 粉化の第一段階は植物細胞レベルまで粉砕し、第二段階は細胞壁を粉砕し、植物細胞内に存在するでんぷん粒及びでんぷん粒介在物を脱落させる。この時点でサブミクロン粒子が発生する。最終段階はでんぷん粒をさらに微粉砕することが必要であることを示した。

(2) それぞれの d_B に対して、効果的に粉化作用を発揮する守備範囲がある。そのため、小麦粉の粉化には径の異なる複数のマイクロビーズを使用する必要がある。

参考文献

- 1) Maeda, T., Japanese Journal of Taste and Smell Research, 12(2), 139-144, (2005)
- 2) 松崎, 下田; 八戸工業大学紀要, 26, 9-13, (2007)