

マイクロビーズミルによる小麦粉（薄力粉）の超微粉化に関する基礎検討

松崎晴美*・下田真**

Study on Sub-micronizing of Wheat Powders with Poor Weight of Gluten Using a Micro-beads Mill

Harumi MATSUZAKI* and Makoto SHIMODA**

Abstract

Experiments of sub-micronizing wheat powders with poor weight of gluten were carried out by using a micro-beads mill and three kinds of beads with each different density. As a result, it was showed that the relation between saturated mean particle diameter of the wheat powders and beads diameter was expressed by a characteristic curve without regard to beads material, and that it was necessary to use beads with diameter of less than about 50 μm to obtain wheat powders with sub-micron size.

Keywords: micro-beads mill, sub-micronizing, wheat powders

1. 緒言

今日、食品業界で、消費者動向を観察すると「健康」というキーワードが非常に頻繁に使われおり、様々な健康食品、機能性食品が販売され、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おり、一般家庭において自分で食材、薬草等を粉末化できる取り扱いの容易な製粉機の開発が必要と考えられる。

一方で、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報告されている¹⁾。しかし、これらの食感、薬効と微粉化の程度との相関関係についての系統的な報告は見られない。

い。これらの関係が見出せれば、食感、薬効を効果的に発現できる適正粒径範囲が明らかとなり、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思われる。

本報では、食材をサブミクロン (0.1~1 μm) 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。これらの結果について、報告する。

2. サブミクロン化による食感等向上効果と同技術の選定

図 1²⁾ は超微粉化効果を示す。食材、薬草等を微粉末化することにより、薬効、栄養では、粉の大きさ 10~15 μm で消化吸收向上、200 nm で腸管粘膜通過、10 nm で頭皮通過が、また、食感では、300 nm~6 μm でザラツキ感なし、なめ

平成 18 年 12 月 20 日受理

* 大学院工学研究科機械システム工学専攻・教授

** 大学院工学研究科機械システム工学専攻博士前期課程・1 年

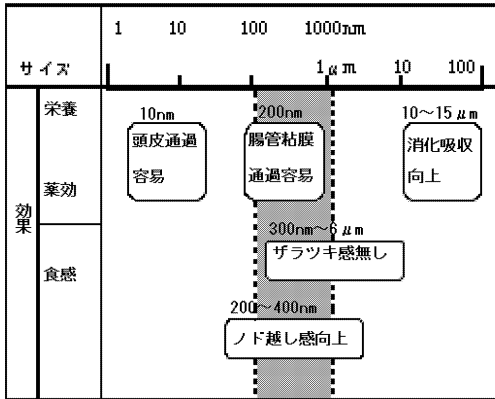


図1 超微粉化効果

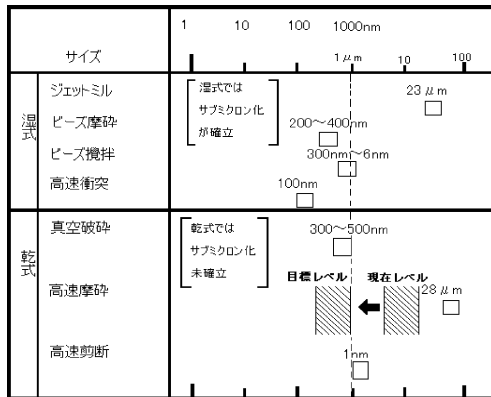


図2 微粉化技術の適用範囲

らか、200~400 nm でノド越感向上が報告されている。

図2²⁾は微粉化技術の適用範囲を示す。技術は湿式と乾式に大別でき、食材等有機物を対象としたものでは、湿式ではサブミクロン化が可能であるが、乾式では、真空低温破碎を除いて、サブミクロン化が未確立である。

麵等の食感、旨みについては、水分の存在の影響が大であることから、製麵時以前には、水分との接触をできるだけ避けることが必要である点から、乾式が望ましい。また、対象が食材等有機物であり、旨み成分である蛋白質、アミノ酸は熱に弱く、熱による変質を防止する点から、高速可動のものを避けることが必要である。

また、酸化による変質、微粉化に伴う粉塵爆発にも、留意が必要で、雰囲気調整が容易なことが必要である。上述の観点に加えて、サブミクロン化の可否も踏まえて、マイクロビーズミル技術³⁾を選定した。

3. 実験装置と方法

図3は実験装置(幅960×奥行490×高さ360mm)の外観を示す。装置はポットとポットを所定の回転数で回転させる2本のローラ(φ40×800mm)から構成される。使用可能ポット外径Dは100~300mmで、回転数は37~133rpmである。ポットに微粉化対象の食材と所定径のビーズを所定量充填し(同図参照)、ポットを回転させることにより、ビーズ間での衝突、こすれ等で食材を押しつぶすことにより、微粉化する。石臼の原理である。

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。供試ポットはセラミックス製(Al₂O₃: 95wt%, SiO₂: wt4%, その他: 1wt%)で、内容積300ml(D=100mm)とした。小麦粉充填量V_wは150mlとした。供試ビーズは、自己消耗量、安全性を考慮することに加え、密度の影響をみるため、表1に示す3種類とした。図3中に、供試ビーズの1例を示す。

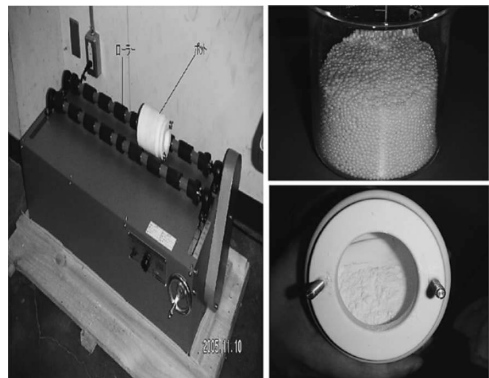


図3 実験装置の外観

表1 供試ビーズ特性

	組成	密度 (g/cm ³)	HV 硬度 (kgf/mm ²)	径 d_b (mm)
① ジルコニア	Y ₂ O ₃ ZrO ₂	6	1.25	0.2/0.5/2/10
② アルミナ	99.5% Al ₂ O ₃	3.9	1.75	1
③ シリコンナイトライド	90% Si ₃ N ₂	3.2	1.33	0.5/2

ある。

供試ビーズの充填量 V_B は 100 ml とした。ポット回転数 N は、石臼で小麦粒を挽く場合の標準の回転数が 1 分間に 14 回転との報告⁴⁾があり、ポットの周速度がこのときの臼の周速度になるように、ポット回転数を 50 rpm とした。

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。

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

ここで、 n_i は粒子の個数、 d_i は粒子直径である。

実験は所定時間毎にポット内小麦粉をサンプリングし、その粒径をシステム光学顕微鏡（オリンパス製）で計測した。図4はシステム光学顕微鏡の外観を示す。顕微鏡、CCD及びモニター（画像計測用パソコン）から構成される。

図5は粉化後の光学顕微鏡写真例を示す。数 μm の粉体単体から数 10 μm の塊が観察できる。本報では、マイクロビーズミルによるサブミクロン化の可否の見極めに重点を置き、図中、単体と思われる球体、楕円体のもののみを計測の対象とした。計測点は 100 点とし、粒径分布を求め、(1) 式を用いて、 d_s を算出した。

なお、実験終了後のポットは、水道水により、内部の供試小麦粉及びビーズをビーカーに洗い出し、乾燥後、実験に供した。洗い出された小麦粉及びビーズは、ビーカー内に水道水を供給し、希釈しながら、小麦粉を溶解除去し、最終的にビーズは乾燥して、実験に供した。

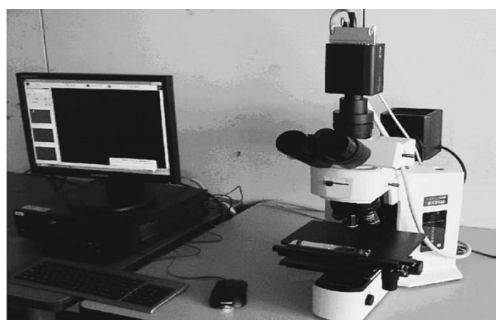


図4 システム光学顕微鏡の外観

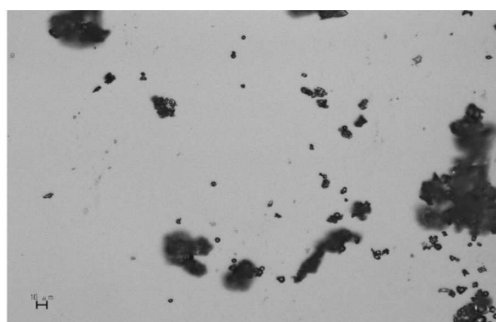


図5 粉化後の光学顕微鏡写真例

4. 実験結果及び考察

4.1 粉化速度特性

図6は、ジルコニアビーズ ($d_b=0.2\text{ mm}$) を供試したときの粉化前と粉化後 2 h での粒径分布を示す。図中、黒ノリの分布が粉化後である。粉化前の d は 1~7 μm の範囲に分布しているのに対して、粉化後の d はサブミクロン~3 μm の範囲に分布しており、微粉化しているのが確認できる。それぞれの d_s は 4.39 μm 、1.6

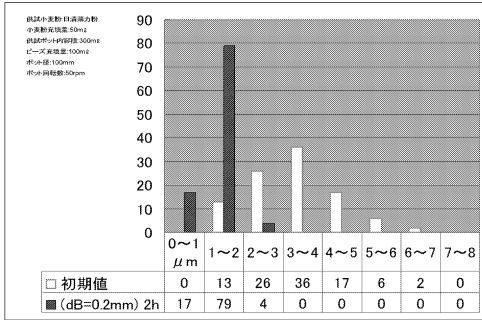


図6 粉化前後の粒径分布例

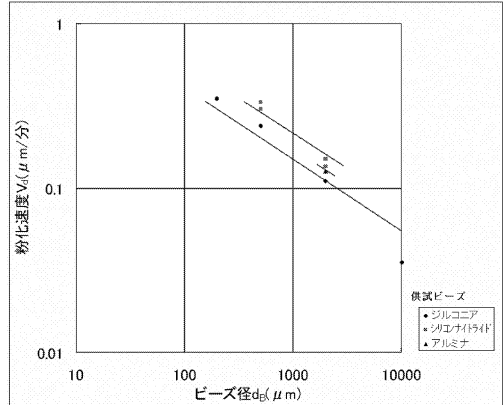


図9 v_d と d_B の関係

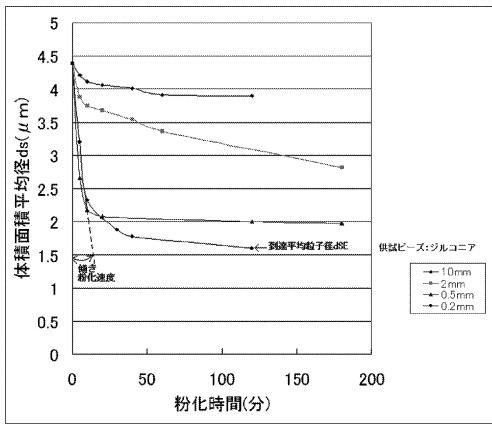


図7 d_s と粉化時間の関係 (ジルコニア)

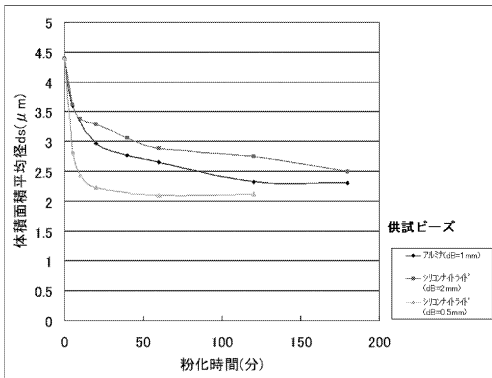


図8 d_s と粉化時間の関係 (アルミナ, シリコンナイトライド)

μm である。

図7はジルコニアビーズを供試し、 d_B を0.2mm~10mmの範囲で変化させたときの d_s と粉化時間の関係を示す。 d_s は粉化初期に急激に減少し、その後、緩やかに減少し、最終的に飽和する特性となる。また、 d_B が小さくなるほど、最終の d_s (これを到達平均粒子径 d_{sE} と呼称する)は小さくなる。

図8はアルミナ及びシリコンナイトライドビーズを供試したときの d_s と粉化時間の関係を示す。ジルコニアビーズと同様、 d_s は粉化初期に急激に減少し、その後、緩やかに減少し、最終的に飽和する特性となる。

d_s -粉化時間特性カーブにおいて、時刻0での接線の傾きの絶対値を粉化速度 v_d とする。図9は v_d と d_B の関係を示す。図中、記号●がジルコニア、■がシリコンナイトライド、▲がアルミナです。 v_d は d_B が小さくなると小さくなり、 $\ln v_d$ と $\ln d_B$ は直線関係にあると考えられるが、今後、データ数を増加する。また、 v_d はビーズの密度が小さいほど大きくなる傾向にある。この原因の1つは、ビーズの密度が小さいほど小麦粉の密度に近づき、ビーズと小麦粉の混合状態がよくなるためと考える。

4.2 到達平均粒子径特性

図10は d_{sE} と d_B の関係を示す。ここで、 d_B

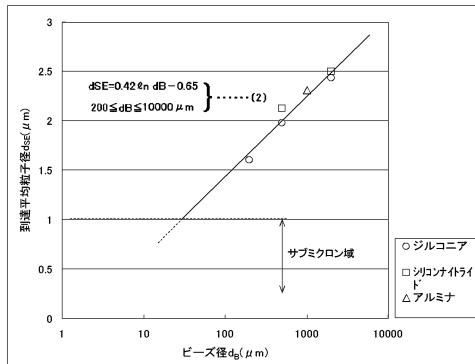


図10 d_{SE} と d_B の関係

の単位は μm とした。本実験範囲において、 d_{SE} と d_B の関係は、供試ビーズの種類によらず、一本の特性線で表される。 d_{SE} は $\ln d_B$ と直線関係にあり、次式で表される。

$$d_{SE} = 0.42 \ln d_B - 0.65 \dots\dots\dots (2)$$

$$(200 \leq d_B \leq 10,000 \mu\text{m})$$

これより、 d_{SE} をサブミクロン域まで小さくするためには、 $d_B = 50 \mu\text{m}$ 程度以下のビーズが必要である。

5. 結 言

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と思われる技術についての調査結果を基に、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、以下の結論を得た。

(1) マイクロビーズミルによる粉化特性は初期に急激に減少し、その粉化速度はビーズ径が小さい程大きい。また、ビーズの密度が小さい程大きい。

(2) 到達平均粒子径はビーズ径が小さい程小さくなる。到達平均粒子径とビーズ径の関係は、ビーズの種類によらず、1本の特性線で表される。

(3) この特性線から、到達平均粒子径をサブミクロン域まで小さくするためには、径が $50 \mu\text{m}$ 程度以下のビーズを使用することが必要であることを示した。

今後の課題は以下である。

- (1) さらなる微小ビーズによるサブミクロン化の実証
- (2) 塊を含めた粉化速度特性の検討
- (3) 強力粉に対する粉化特性の検討
- (4) 粉体粒子の形態検討

6. 参考文献

- 1) <http://www.h2.dion.ne.jp>
- 2) 山田：平成15年度八戸工業大学工学部機械工学科卒業研修論文
- 3) 院去，田原：粉体工学会第40回夏期シンポジウム講演論文集，p.13 (2004)
- 4) <http://www.suzukiseifun.co.jp>