

# 衝撃式粉碎機を用いた製パン用米粉の開発

高橋 克嘉\*<sup>1</sup>・永山 志穂\*<sup>2</sup>・柚木崎 千鶴子\*<sup>1</sup>

Development of rice flour for breadmaking by pin mill

Katsuyoshi TAKAHASHI, Shiho NAGAYAMA and Chizuko YUKIZAKI

米粉の利用・普及拡大に向け、小型の衝撃式粉碎機を用いた米粉製造及び製パンについて検討を行った。通常は乾式で粉碎を行う本粉碎機においても、吸水させた米による湿式製粉は可能であった。60分間吸水させ、遠心脱水させた米を、15kg/hで投入する条件が最も良好であった。また、給水の後に静置時間を設定することで、遠心脱水工程を省略可能であった。試作された米粉は乾式製粉による米粉と比較して損傷澱粉率が大幅に低下し、気流式粉碎機による米粉と同程度となった。平均粒径は気流式粉碎機による米粉より大きくなったが、製パン時の膨らみは近い値を示した。これより、小型の衝撃式粉碎機においても、湿式粉碎により製パンに適した米粉が製造可能であることがわかった。

キーワード：米粉、米粉パン、衝撃式粉碎機、損傷澱粉、ドウ高さ

## 1 はじめに

日本の食糧自給率は低下傾向にあり、40%前後にまで低下してきている。その原因の1つは日本人の米離れであり、平成20年度の一人当たり米消費量は59kg/年と<sup>1)</sup>、ピークである昭和37年の半分以下のレベルまで落ち込んできている。水田利用については転作や休耕で利用率が減っており、主食用水稻が生産されているのは水田全体の6割にすぎない。そこで米の消費拡大を目的とした、米の新規用途開発が進められている。新規用途としては、米粉として利用する研究が進んでいるが、なかでも米粉パンに関する研究は数多くの報告が行われている。

米粉で小麦と同様のパンを製造しようとした場合、米粉に小麦のタンパク質であるグルテンを添加し、小麦の製パンに習って製造するのが一般的である。そして、その米粉パンの品質・膨らみは同様の配合・製パン方法の場合でも、使用する米粉の特性により大きく違ってくる。米粉の特性は、品種や産地、米の状態等で変わってくるが、米粉にする際の製粉方法でも大き

く変化する。米は小麦に比べて堅く、米を構成する澱粉粒同士が強固に接合しているため、微細に粉碎しようとするとその澱粉粒が損傷した「損傷澱粉」の割合が多くなる。損傷澱粉は通常の澱粉と比べ吸水が多く、その割合とパンの膨らみ（比容積）には負の相関があることが報告されている<sup>2),3)</sup>。

損傷澱粉率が低く製パンに適した米粉を製造する方法として、米を水分調整した後に気流式の粉碎機にて粉碎する方法が広く行われている。この気流式の粉碎機は装置価格が高く、装置規模も大きいいため大規模な製粉施設に向けた装置である。しかし、各地域において、地域ブランドとしての米粉及び米粉製品を製造する場合、それぞれの地域で小規模に米粉を製造する必要性も出てくる。

そこで本報では、通常は乾式で使用される小型の衝撃式粉碎装置を用い、湿式製粉することにより製パンに適した米粉を製造可能かどうか検討した。また、製造した米粉と、他の粉碎方法による米粉との比較を行った。

## 2 実験方法

### 2-1 米の吸水率および硬度試験

\*1 食品開発部

\*2 現 財団法人宮崎県公園協会

原料米は平成 20 年度および平成 21 年度宮崎県産ヒノヒカリを使用した。一定時間浸漬させた米を、遠心機にて 1 分間脱水し測定用の試料とした。米の吸水率は初期重量と吸水後重量の差より算出した。米の硬度はレオメーター（(株)サン科学製, CR-200DS）を用い、矢尻型プランジャー、上昇速度 6cm/min の条件で 30 粒を圧縮し、その平均より求めた。

## 2-2 製粉試験

製粉には衝撃式粉碎機（(株)名濃製, HS-20 型）を用い、精米から直接製粉を行う乾式製粉と、精米を水洗・浸漬して水分調整してから製粉を行う湿式製粉を検討した。湿式製粉の水分は一定時間浸漬させた米を、脱水することにより調整した。製粉は 0.2mm のスクリーンを用い、一度粉碎したものをもう一度粉碎機に投入する 2 回粉碎で行った。試作した米粉の水分は、135℃常圧乾燥法により算出した。

## 2-3 米粉の各種物性測定試験

損傷澱粉量は Starch damage assay kit（Megazyme 社）により測定した。粒度分布はレーザー回折散乱式粒度分布計（SALD-2000, 島津製作所製）で、湿式により測定した。固め見掛け比重は粉体特性測定装置（パウダテスタ PT-R, ホソカワミクロン(株)製）を用いて測定を行った。米粉形状の観察は、走査型電子顕微鏡（S-510, 日立製作所製）を用いて、加速電圧 15kV, 倍率 150, 500, 1500 倍で観察を行った。

## 2-4 製パン試験

表 1 に示す原料及び配合により、米粉パンを製造した。製法は直捏生地法にて行った。油脂を除く原料をミキサー（KM-800, 愛工舎製作所製）を用いて 1 速 3 分, 2 速 2 分のミキシングした後、油脂を添加し 1 速 2 分, 2 速 5 分ミキシングした。生地は 500g に分割し、楕円形に成形してパン型（スルトン加工 1 斤型, 内寸 L180×W80×H90 mm）に詰め、38℃, RH80%に設定したホイロ（MH-T, (株)ワールド精機製）で 60 分発酵を行った。電気オーブン（FE-21DT, (株)ワールド精機製）で 20 分焼成した（上火 205℃, 下火 200℃）。焼成後、米粉パンは室温で放冷し、1 時間後に重量、ドウ高さおよび切断面形状を観察した。

表 1 米粉パンの原料及び配合

原料	ベーカース%
米粉ミックス	100
米粉（水分13%換算）	(85)
シトギグルテンミックス	(15)
食塩	2
グラニュー糖	6
ドライイースト	1.5
脱脂粉乳	5
ショートニング	3
バター	3
水	74

## 3 結果および考察

### 3-1 米の吸水率および硬度試験

米の吸水率は吸水開始直後から急激に上昇した（図 1）。約 60 分浸漬させた時点で、ほぼ一定となった事から、飽和吸水に達したものと思われた。一方、米の硬度は、吸水に伴い低下し、吸水率と同じく 60 分以降はほぼ一定となった。粉碎を容易にするには、米の硬度を低下させる必要があるが、吸水による米硬度の調整は、給水時間 60 分で十分であると考えられた。

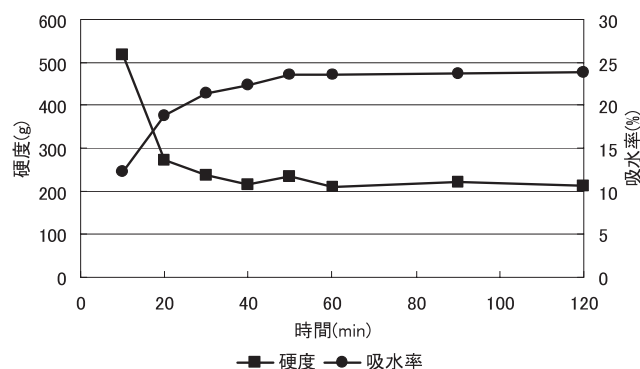


図 1 米の吸水率と硬度の変化

### 3-2 乾式製粉および湿式製粉による米粉の比較

乾式による粉碎を、米の投入速度を変えて実施した結果を表 2 に示す。損傷澱粉率は、投入速度 10kg/h がわずかに良好であった。粉碎の様子を観察すると、投入量が多い場合、粉碎機自体の温度及び米粉品温が上昇する傾向が見られた。これは、投入量が増加すると、米粉が内部で滞留する時間が長くなり、米粉と内部で回転するピンとの間の摩擦が増加することによって加熱され、温度が上昇しているためと考えられた。加熱は澱粉質の変

性させ、損傷澱粉率を上げる原因ともなるため、好ましくない。このことから、乾式粉碎における米投入速度は、10kg/h の速度が適当であると判断された。

表2 投入速度と米粉品質（乾式製粉）

米投入速度 (kg/h)	水分 (%)		損傷澱粉率 (%)	
	1回目	2回目	1回目	2回目
5	11.5	10.7	10.2	12.2
10	12.0	10.8	9.3	10.0
15	11.8	10.8	10.1	13.0

湿式製粉には、60 分間浸漬させた後、遠心機にて1分間脱水し表面の水を切って水分一定に調製した米を使用した。乾式の場合と同様、米の投入速度を変えて製粉を実施したところ、投入量の増加とともに、粉碎された米粉の水分が増加する傾向が見られた（表3）。この衝撃式粉碎機は、内部のピンが回転することにより試料とともに外気を引き込む。米粉は粉碎されるとともにこの外気により一定度乾燥されるが、投入量は上がっても引き込まれる外気の量は一定なので、乾燥効率が低下して水分が増加していくものと考えられた。

表3 投入速度と米粉品質（湿式製粉）

米投入速度 (kg/h)	水分 (%)		損傷澱粉率 (%)	
	1回目	2回目	1回目	2回目
10	25.4	22.7	1.7	2.6
15	26.3	23.3	1.5	2.2
20	27.1	24.2	1.7	2.6
25	目詰まり発生			

投入の速度をさらに増加させると、目詰まりが発生した。粉碎機内部を観察すると、スクリーン内周面に米粉が付着しており、一部は糊化した状態であった（図2）。これは、乾式の場合と同様に内部で滞留する米粉と回転するピンとの間の摩擦が原因であると考えられた。湿式製粉の場合では、米粉の水分が高いため、摩擦による加熱と水分で糊化が進行し、スクリーンを目詰まりさせたものと思われる。損傷澱粉率については、どの投入速度でも低く抑えられており、衝撃式粉碎機においても、湿式製粉が製パンに適した米粉製造に有効である可能性が示唆された。投入速度は、作

業効率と目詰まりの両面を考え、15kg/h の速度が適当であると判断された。

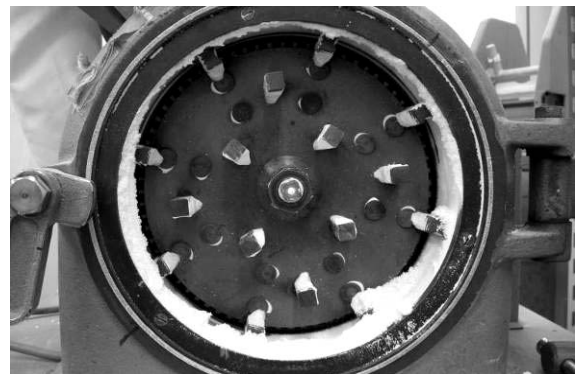


図2 スクリーンへの米粉の付着

湿式製粉による米粉は水分が多く保存性が悪いため、米の糊化温度より低い温度である50℃で乾燥を行った。元の米とほぼ同じ水分13%まで熱風乾燥機を用いて乾燥を行ったが、粒子同士の凝集は見られず、損傷澱粉率の増加も見られなかった。

表4 両製粉による米粉の比較

	水分 (%)	損傷澱粉率 (%)	平均粒径 (μm)
乾式製粉	10.8	10.0	86.3
湿式製粉	23.3	2.2	84.6

両方の製粉方法で試作した米粉を比較した結果を表4に示す。平均粒径はほぼ同じであり、ほぼ同程度まで粉碎されているものと考えられた。損傷澱粉率は、湿式製粉による米粉が有意に低い結果となった。電子顕微鏡による観察でも、乾式製粉による米粉が粒子表面に澱粉粒の形状が確認できないのに対し、湿式製粉による米粉は粒子表面に澱粉粒の形状が確認された（図3）。製パン試験の結果を図4に示す。湿式製粉による米粉は明らかに膨らみが良好であった。発酵・焼成時の様子を観察すると、湿式製粉による米粉は発酵時の膨らみが大きく、焼成時にも釜のびが見られたのに対し、乾式製粉による米粉は発酵時の膨らみが少し悪く、焼成時には釜のびが見られず逆に縮む傾向が見られた。クラストの焼き色に関しては、乾式製粉による米粉の方が濃色となった。パンの焼き色は、カラメル化反応およびメイラード反応による。



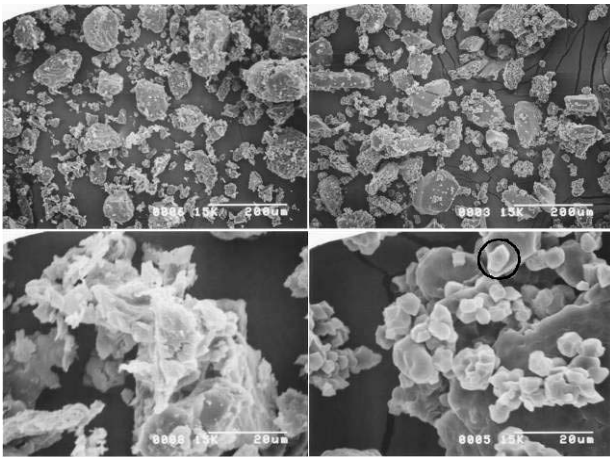


図3 両製粉による米粉の電子顕微鏡写真  
 左：乾式製粉 右：湿式製粉  
 上：150倍 下：1500倍  
 ○は澱粉粒一粒の大きさ



図4 両製粉による米粉の製パン試験結果  
 左：乾式製粉（ドウ高さ 9.0cm）  
 右：湿式製粉（ドウ高さ 11.5cm）

湿式製粉では粉碎前に米を浸漬させるため、焼き色に関係ある糖質やタンパク質の一部が水中に溶出してしまうためだと考えられた。内層を観察したところ、湿式製粉による米粉の方が、より気泡の壁面が薄くきめ細かくなっている様子が確認された。

以上の結果より、衝撃式製粉機においても、乾式製粉により湿式製粉の方が製パンに適した米粉を製造可能であると判断された。

### 3-3 浸漬工程の簡易化

衝撃式粉碎機でも湿式製粉により、製パンに適した米粉を製造可能なことが分かったが、実用化に向けて更なる工程の簡素化を検討した。製粉する米の水分調整のため、米を浸漬させたあと遠心脱水を行っているが、この工程には遠心脱水装置が必要となる。そこで、遠心脱水工程の省略を試みた。

米表面に水分が付着していると、粉碎機に投入した際に水分過剰で目詰まりの原因となる。そこで、給水時間を短く設定し、吸水後に静置時間を設定することで、米表面に付着した水を米内部に浸透させることにより遠心脱水工程を省略することを検討した。

米の給水時間と静置時間を任意に設定し水分を調整した米を粉碎した米粉の各種物性値を表5に示す。給水時間を15分に設定したものでは損傷澱粉率が高く、平均粒径も大きい結果となった。製粉後の米粉の水分も低いことから、吸水時間が短すぎ、吸水が十分に行えていないことがこの原因であると考えられた。給水時間を20分に設定したものは、静置時間を60分以上とすることで損傷澱粉を低く抑えられることが分かった。これは、表面に付着した水が徐々に米内部に浸透し、澱粉粒の結合を弱めるためだと考えられた。30分の静置では十分浸透する時間が足りないため、米の一部が硬いまま残り、損傷澱粉が増えたものと考えられる。逆に60分以上静置しても変化がほぼ無いことから、静置時間は60分で十分だと判断された。20分吸水・60分静置により、60分吸水・遠心脱水とほぼ同じ米粉が得られる事がわかった。

表5 吸水・静置時間の違う米粉の比較

給水時間 (min)	静置時間 (min)	水分 (%)	損傷澱粉 率(%)	平均粒径 ( $\mu\text{m}$ )
15	60	23.9	4.1	95.9
	90	23.9	3.7	104.3
	120	24.0	3.5	96.0
20	30	24.8	3.7	86.5
	60	26.5	1.8	88.3
	90	26.4	1.7	94.6
	120	26.4	1.8	91.0

表 6 各種製粉による米粉の物性比較

	製粉方法	前処理	水分 (%)	損傷澱粉率 (%)	平均粒径 ( $\mu\text{m}$ )	固め見掛け比重 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )
A	気流衝撃	湿式	12.3	2.8	35.9	0.626
B	気流衝撃	湿式	12.7	2.5	31.8	0.468
C	気流	不明	13.0	4.1	30.5	0.714
D	気流	不明	12.4	6.7	40.2	0.766
E	衝撃	湿式	14.7	8.1	57.1	0.759
F	剪断	乾式	13.5	12.1	100.3	0.676
乾式製粉	衝撃	乾式	10.8	10.0	86.3	0.836
湿式製粉	衝撃	湿式	13.7	2.2	84.6	0.680

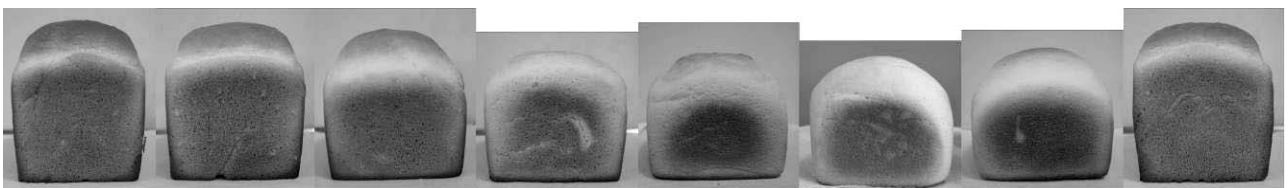


図 6 各種製粉による米粉の製パン試験

左から A(11.0cm), B(11.0cm), C(9.7cm), D(8.5cm), E(8.5cm), F(8.0cm),  
乾式製粉(8.5cm), 湿式製粉(11.0cm) 括弧内はドウ高さ

### 3-4 他の粉碎方法による米粉との比較

各種製粉方法による米粉と、今回試作した米粉の物性値を比較した結果を表 6 に示す。気流式系の製粉機による米粉は、平均粒径が 30~40  $\mu\text{m}$  程度と小さい。損傷澱粉率に関しても、全体的に低い値となっているが、D に関しては 7% 近い値となった。D は平均粒径も若干大きめであり、固め見掛け比重も大きい。これは乾式製粉による米粉に類似している。D の前処理方法は不明であるが、乾式製粉もしくは吸水が十分ではない米による湿式粉碎の可能性があると考えられた。一方、衝撃式・剪断式粉碎による米粉は、平均粒径が大きく、損傷澱粉率も高い。電子顕微鏡でも、澱粉粒の形状が崩れた様子が多く観察された (図 5)。

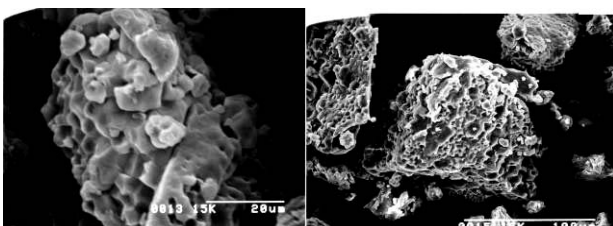


図 5 米粉の電顕写真

左 : E (1500 倍) 右 : F (500 倍)

それらの米粉を用いて製パン試験を行った結果を図 6 に示す。良好な膨らみを呈したのは、A, B, および当センターで湿式にて粉碎した米粉であった。これら三つに共通するのは、損傷澱粉率が低いという点である。今回のパンのドウ高さ と 損傷澱粉率の関係を見ると、損傷澱粉率の増加に伴い、ドウ高さが減少している傾向が見られた (図 7)。Araki ら<sup>2)</sup>や興座ら<sup>3)</sup>は、損傷澱粉率と比容積に負の相関があることを報告しており、今回の結果からも損傷澱粉率とパンの膨らみの間に相関があることが示唆された。

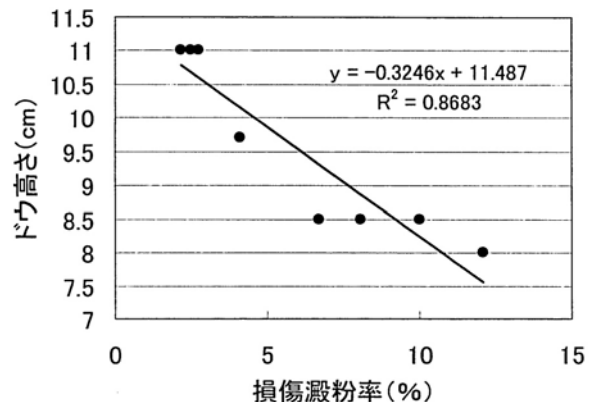


図 7 ドウ高さ と 損傷澱粉率 の関係

以上の結果から、衝撃式粉碎機を用いた湿式製粉による米粉は、気流式米粉による米粉パンと近い膨らみを呈する米粉パンを製造可能であることがわかった。

#### 4 まとめ

- 1) 衝撃式粉碎機の場合でも、湿式製粉は可能であった。
- 2) 米の吸水時間は60分で十分であり、更に吸水時間を20分、静置時間を60分とすることで、遠心脱水工程の省略が可能であった。
- 3) 衝撃式粉碎機を用いた湿式製粉による米粉は気流式米粉による米粉パンと近い膨らみを呈する米粉パンを製造可能であることがわかった。

#### 5 参考文献

- 1) 農林水産省, 国民1人・1年当たり供給純食糧, 食糧需給表 (2008)
- 2) Araki, E., Ikeda, T., Ashida, K., Takata, K., Yanaka M. And Iida, S., Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten. Food Sci. Technol. Res., **15**, 439-448 (2009)
- 3) 興座宏一, 松木順子, 岡留博司, 岡部繭子, 鈴木啓太郎, 奥西智哉, 北村義明, 堀金 彰, 山田純代, 松倉 潮: 製粉方法の異なる米粉の特性と製パン性の関係, **74**, 37-44 (2010)
- 4) 瀬口正晴, 松本博: 製パンプロセスの科学第1版, 光琳, 207-220(1991)