

# I 工学的単位操作による米の品質・加工特性の制御

## —粒食・粉食での事例—

### はじめに

国内における現在の米の年間消費量はピーク時の半分以下まで減少してきており、今後も人口減少に伴い減少すると推計されている<sup>1)</sup>。一方、米の消費が落ち込む中、加工米飯（無菌包装米飯、レトルト米飯、冷凍米飯等）や中食・外食産業は近年シェアを着実に伸ばしてきている<sup>2,3)</sup>。これは女性の社会進出や高齢者・単身者の増加等に伴う社会構造の変化が要因であり、今後も食の外部化・簡便化が進行して、米の消費形態が益々多様化することが予想される。また農林水産省では米の需要拡大に向け、「21世紀新農政2008」の中で国際的な食料事情を踏まえた食料安全保障の確保のため、米については「ご飯」としてだけでなく、「米粉」としてパン、麺類等に活用する取組を本格化させている。しかしながら、米粉の用途は和菓子原料に限定されてきた経緯があり、小麦代替原料として活用するには解決すべき技術的課題が多く<sup>4)</sup>、また食育からのアプローチも必要だと思われる。

このようなことから、米については粒食・粉食の両方で需要拡大に向けた加工技術の開発が望まれる。米の品質や加工特性は、基本的には品種特性に左右されるが、栽培・気象条件や収穫後の貯蔵・加工流通条件でも変動する。このため、多様な実需・消費ニーズに応えるには加工技術の開発だけに終始するのではなく、米を取り囲むフードチェーン全体で品質・加工特性を安定・向上させるシステムを構築し、社会実装に向けて最適化していくことが重要であろう。本稿では筆者らがこれまで取り組んできた工学的単位操作（表面加工、加熱、冷却、粉碎等）による米の品質・加工特性の制御研究を中心に粒食及び粉食での事例について紹介する。

## 1. 粒食用途向けの品質・加工特性の制御

### 1-1 表面加工による玄米の加工特性制御

玄米は白米より一次機能（栄養）や三次機能（生体調節）が優れているものの、二次機能（嗜好性）が劣るため、玄米の消費拡大が進んでいない。このため、農研機構では玄米表面に僅かに創傷を形成させた表面加工玄米を製造する表面加工技術を開発した。

表面加工玄米は精米歩留まりが99.8%程度であるため、玄米と栄養成分は殆ど変わらないが、玄米表面に傷が形成されることにより品質・加工特性が改善される知見が幾つか得られた。図1-1は生米での吸水性の比較例を示す<sup>5)</sup>。全て

の米試料で浸漬時間の経過とともに吸水率は上昇するが、30%到達時間は白米、一分搗き米、表面加工玄米、玄米の順に短いことがわかる。すなわち、玄米は吸水が遅いため、軟らかくするには白米よりも炊飯時間を長く設定する必要があるが、表面加工玄米の場合には吸水が早いため、玄米よりも炊飯時間を短縮できることが示唆された。

図1-2は少量炊飯(10g)した場合の米飯粒の物性の比較例である<sup>6)</sup>。3種類とも加水量の増加に伴って、表層及び全体とも硬さが低下傾向を示す。同加水量では表面加工玄米の方が玄米よりも表層が軟らかくなっており、表面加工が表層の硬さの低減に有効であることがわかった。また表面加工玄米では加水量を多めに設定することで白米と同程度の硬さに調製できることもわかってきた。一方、粘りに関しては、表面加工玄米は玄米よりも表層の粘りが大きい結果が得られた。おにぎり成型機で成形性を比較した結果では、白米と表面加工玄米では加水量の増加に伴っておにぎり重量が増加するのに対して、玄米では重量変動が小さく、表面加工玄米と玄米では成形性が異なる知見を得た。これは上述の表層の硬さや粘りが加工成形性に影響することが考えられ、機械成型の際にはそれぞれに応じた成型条件の設定が必要であることが示唆された。栽培条件による品質への影響については、一般的に窒素多肥ではタンパク含量が高くなり、白米では食味低下が指摘されているが、表面加工玄米でも同様に窒素多肥では食味が低下する知見が得られた<sup>7)</sup>。

実際、長期間(4週間)食べたときの食べやすさの比較では、表面加工玄米の方が玄米よりも食べやすいという結果が得られている<sup>8)</sup>。表面加工玄米のインビトロ消化性や咀嚼性についても知見が得られており、詳細については掲載論文を参照されたい<sup>9-10)</sup>。またヒト介入試験による機能性の検証効果については、前糖尿病患者及び過体重者を対象に一定期間摂取した試験(UMIN000014276及びUMIN000016293)を実施した結果、体重や腹囲の減少効果等が見られた<sup>11)</sup>。

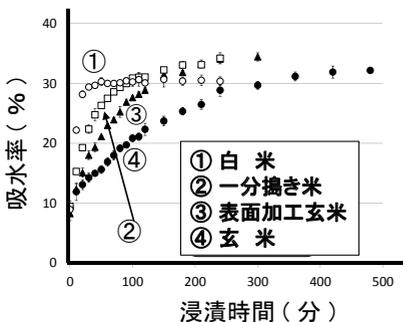


図1-1 生米の吸水性の比較

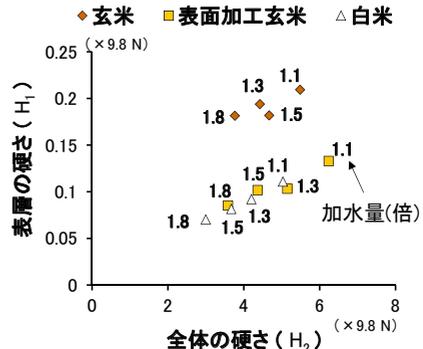
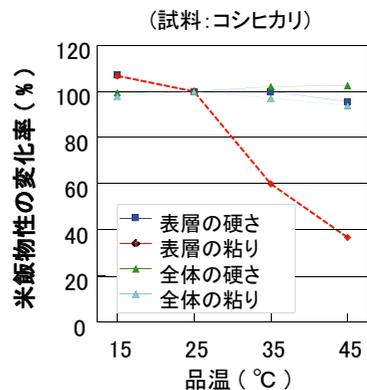


図1-2 加水による米飯粒の硬さの変動

## 1-2 温度変化による米飯の加工特性の変動

加工米飯等の製造においては、炊飯後の冷蔵、冷凍・解凍、レトルト、乾燥、輸送等の工程での米飯の温度制御が必要となる。そこで、温度制御による米飯の加工特性の変動について検討した事例を紹介する。米飯の硬さや粘りは食味の重要な要因であるが、品温で変動することが指摘されているため、機器測定で数値化する場合、バラツキを抑えるために通常、一定温度で測定する<sup>12)15)</sup>。図1-3は実際、米飯物性が品温でどの程度変動するのかを具体的に調べた事例で、品温が15℃から45℃まで変動した場合の物性の変化率を示す。全体の硬さ、全体の粘り及び表層の硬さは品温による変動は殆どないのに対して、表層の粘りは室温25℃から20℃上昇することにより半減している。すなわち、他の項目に比べると温度依存性が高く、換言すると、温度制御で表層の粘りは制御し易いと言える。これにより、製造現場の炊飯後の工程においては品温の制御次第で米飯粒同士やコンベア・ホッパーとの付着性が変動することとなり、結果的にハンドリング特性（成形、計量、充填等の精度）が変動することが推察される。従って、製造工程でのトラブル回避には米飯の品温を一定に維持して物性変動を最小限に抑える等の対策が必要と言える。例として、シャリ玉成型機に保温機能を搭載したり、職人さんが人肌でシャリ玉やおにぎりを握ったり、あるいは冷やご飯を一度加熱してチャーハンを作ったりする場面が挙げられる。これらの例では粒子同士や成型ロール、手のひら、フライパンとの付着性を適度に和らげ、成形性や作業性を向上させるために比較的高い温度帯を維持していると考えられる。

一般的にごはんを冷蔵庫で保存すると硬くなることは誰もが経験している。図1-4はいろいろな品種・系統を使って低温保存したときの物性変化を比較した結果を示す<sup>16)</sup>。代表的な良食味品種であるコシヒカリ（澱粉の構成成分であるアミロース含量：18%前後）は低温で24時間保存後では、表層の粘りが半減し、表層の硬さは倍以上に増大していることがわかる。これは常温に比べて低温では米の主成分である澱粉の老化が進行しやすいためである。しかし、コシヒカリよりもアミロース含量が少ない低アミロース米（5～15%前後）の中には低温での変化率がコシヒカリよりも小さい品種・系統が見られる。特に奥羽系統では低温による物性変動が少ない。これより、チルド輸送で食感変動を抑えるという観点で

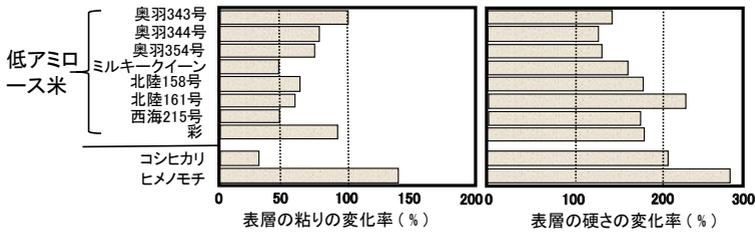


※25℃の物性値を100とした場合の変化率

図1-3 米飯粒の品温によるテクスチャーの変化率

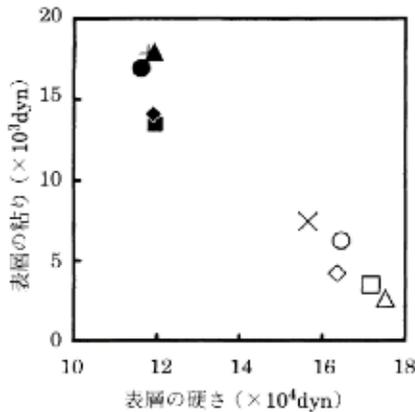
はコシヒカリのような良食味米よりも低アミロース米の方が適しており、使用温度帯での品種の使い分けを提示している知見である。

次いで、図 1-5 は酢飯での低温保存後の物性変動を調べた結果を示す<sup>17)</sup>。これはテイクアウト用の寿司ではネタの鮮度保持や衛生面からチルド帯での販売・流通を想定し、低温下での酢飯の食感が寿司酢の種類によってどの程度異なるのかを調べたものである。「当日」は室温 2 時間後の、「冷蔵後」は 4℃ で 18 時間保存後に室温に戻したときの表層の物性を示す。「当日」は表層の硬さは寿司酢の種類で殆ど差はないが、表層の粘りは水とブドウ糖を添加した酢飯粒で若干低くなっている。しかし、「冷蔵後」ではいずれの酢飯粒も当日に比べて表層の硬さ



※炊飯直後の物性値を100としたときの5℃で24時間保存後の変化率

図 1-4 低温保存に伴う米飯粒表層の物性変化



◆、水 (当日); ●, ショ糖使用 (当日); ■, ブドウ糖使用 (当日); ▲, 果糖使用 (当日); +, 麦芽糖使用 (当日); ◇, 水 (冷蔵後); ○, ショ糖使用 (冷蔵後); □, ブドウ糖使用 (冷蔵後); △, 果糖使用 (冷蔵後); ×, 麦芽糖使用 (冷蔵後)

図 1-5 冷蔵保存に伴う各種酢飯粒の表層の物性変化

が増大し、表層の粘りは低下しており、中でも果糖を使用した酢飯粒の物性変化が最も大きかった。これより、低温下での酢飯の食感の変動抑制には果糖以外の糖の方が適していることになる。いずれにしても、低温流通では、寿司酢の種類で酢飯の食感の変化速度が異なるので、使用する糖の種類や濃度を変える等対策を講じるが必要となる。

## 2. 粉食用途向けの品質・加工特性の制御

### 2-1 粉砕機の種類について <sup>18-22)</sup>

粉砕とは粉体や固体に外力を加えてさらに細かくすることであり、目的としては1) 利用しやすい粒径にする、2) 表面積を大きくして乾燥、抽出、溶解、蒸煮等を容易にする、3) 成分分離を行って使い分ける、4) 他の粉体と混合しやすくする、5) 流動性を向上させることである。表 2-1 に食品分野で使われる粉砕機を示す。小麦は米よりも粉砕し易いため、大規模工場ではロール式粉砕機が主に導入されている。これに対して、米はロール式以外にも衝撃式、胴搗き式、気流式等様々な原理の粉砕機が使われている。また小規模工場が多く、工場によって導入粉砕機の種類が異なるのが現状である。さらに米粉の製粉には湿式と乾式

表 2-1 食品分野で使われる粉砕機

メカニズム	形 式	特 徴	使 用 例	製 品 名
回転するハンマーやビンによる機械的な衝撃で粉砕	機械的衝撃式	ハンマーの高速回転や杵の往復運動による衝撃力で粉砕	穀物、香辛料、砂糖、食塩、デンプン、茶、乾燥果実、ゼラチン	ハンマーミル アトマイザー バルベライザー スタンプミル
	遠心衝突式	回転する装置の中心に原料を供給し、遠心力を発生させてビンなどに衝突させて粉砕		ピンミル 自由粉砕機 インバクトミル
高速気流により粉砕	渦流式	ローターを高速で回転させて発生する渦流で粉砕	穀物、砂糖、食塩、香辛料、魚粉、海藻、植物根、ゼラチン、コンニャク	ターボミル マイクロマット ブレードミル ウルトラローター
	高速気流噴射式	ノズルから高速気流を噴射	茶、米、乾燥野菜	ジェットミル ジェットオーマイザー ウルマックス カレントジェット
機械的せん断力により粉砕	挽き臼式	上臼の荷重のもとで、回転により発生するせん断力により粉砕	抹茶、ソバ、コムギ	石臼
	湿式回転式	ステーターに対して高速で回転するローターのせん断力により粉砕	大豆、プロイラー、魚肉、野菜、果物、米(醸造用)、味噌	コロイドミル マスコロイダー
一対のロールで粉砕	ロール回転式	ロール間隙、一対のロールの回転数の差で粉砕性を調整	コムギ	ローラーミル
媒体とともに回転させて粉砕	媒体式	金属やセラミックスのボールを媒体	茶、米、鯉節、香料	ボールミル チューブミル 遊星ボールミル

の2種類の方法があり、湿式は原料となる米粒の水分含量を予め高めると粉碎しやすいという性質を利用したものであるが、製粉後に乾燥を要するため乾式よりも製粉コストが高くなる。

回転するハンマーやピンによる機械的衝撃で粉碎する装置としてスタンプミル（胴搗き製粉機）は杵の往復運動による打撃衝撃力によって原料を粉碎していく。具体的には精米を水洗後に水分を約28%に調整し、スタンプミルで粉碎し、シフターにより篩い分けし、乾燥して製造されるため、湿式製粉の米粉となる。ハンマーミルは高速回転するハンマーの衝撃で粉碎する。ピンミル、インパクトミル、自由粉碎機は回転する装置の中心に原料を投入し、遠心力を発生させてピンなどに衝突させて粉碎する遠心衝撃式の粉碎機である。

微粉碎を特徴とする気流式粉碎機は高速気流を利用する粉碎機で、ローターを高速回転させて発生する渦流を利用して粉碎する渦流式とノズルから高速気流を噴射させて粉碎する高速気流噴射式がある。渦流式粉碎機の例として、スーパーパウダーミルやマイクロシクロマットでは空気の高速渦流による圧力変動で原料を高周波振動させて原料を自己破壊させ、回転数や吸引空気量などを調整することで目的の粒度が得られるようになっている。また、気流式粉碎機は高速気流そのものが粉碎媒体としての役目を果たすため温度上昇が少ないのが特徴である。

石臼は最も原始的な製粉方法であり、上下一対の臼からなり、上下臼の接触面には4～12分画するような放射状の主溝が刻まれ、その主溝に平行して複数の複溝が刻まれている。上臼の原料投入用の穴から投入された穀粒は上下臼の隙間に落下し、臼間の摩擦により砕かれ、外側へ向かうほど細かく粉碎されていく。石臼は発熱が少ないのが特徴であるが、生産性が低い。

ロールミルは一对のロールの回転により粉碎する装置で、ロールの間隙や回転数を調整することで米粉の粒度を調節することができる。精米を洗米した後に通風乾燥で水分を15%以下に乾燥し、ロールミルで粉碎し、シフターによりふるい分けして製造するので乾式製粉の米粉となる。

## 2-2 粉碎方法による米粉の粉体特性の相違について<sup>23)</sup>

粉体特性は粉体の製造工程でのハンドリング特性を把握する上で有用な情報となる。そこで、まず基本的な粉体特性として、実際、米粉の製粉現場で使用されている数種類の粉碎機を用いて作製した米粉の粒子径分布を測定した例を図2-1に示す。気流式粉碎機で粉碎された米粉は粒度が細かく（平均粒径が20～80 μm前後）、またシャープな粒度分布を示したのに対して、ロールミルやピンミルでは粒度が粗く（140～260 μm前後）、分布幅が大きかった。すなわち、同じ原料を使っても粉碎機の種類や粉碎条件（乾式・湿式）で米粉の粒度が異なることがわかる。

次いで、多様な特性を持つ米品種（糯米、低アミロース米、高アミロース米、

多収米等)を用いて粉砕した米粉について、平均粒径とゆるめカサ密度及び安息角との関係を図2-2及び図2-3に示す。ゆるめカサ密度は一定容量のカップに粉体試料を自然落下させたときの充填密度のことであり、製造工程のサイロやホッパーの設計の際に有用な指標となる。安息角は粉体試料を自然落下させた状態で形成される粉体の山の勾配の角度であり、粉体の流動性を判断する簡易な方法で、安息角が小さければ流動性が良いと判断できる。米粉のゆるめカサ密度は平均粒径の増大に伴って増加傾向を示した。すなわち、カサ密度は品種よりも粉砕方法の影響が大きく、ロールミルでは粒度が粗く、密度が大きいものに対して、気流式粉砕機では粒度が細かく、密度が小さい傾向を示した。すなわち、この結果

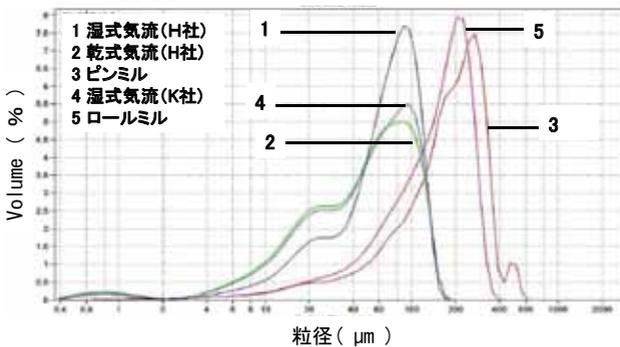


図 2-1 米粉の粒子径分布の測定例  
(原料：コシヒカリ白米)

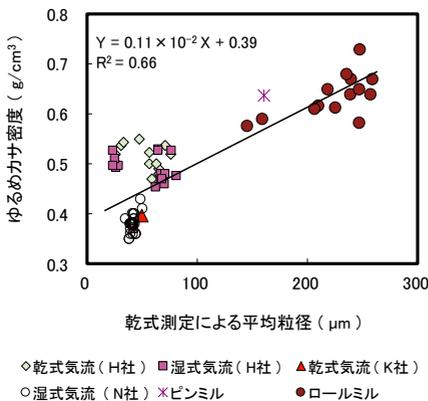


図 2-2 米粉の粒径とゆるめカサ密度の関係

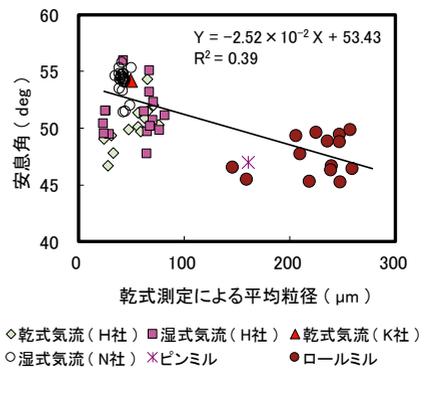


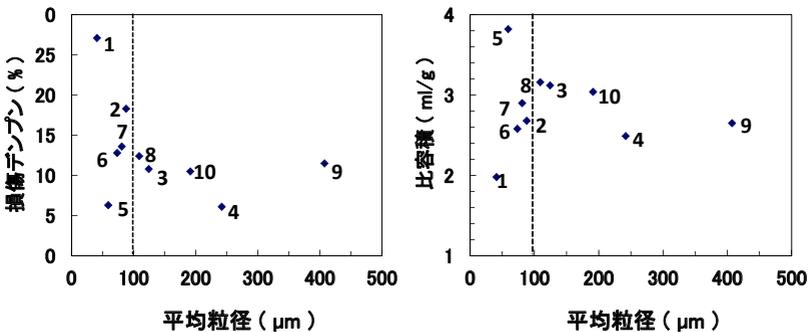
図 2-3 米粉の粒径と安息角の関係

は粉碎方法によって粒度や密度が異なるため、包装資材の設計容量やトラック輸送での積載量等が変わることを示唆している。安息角は平均粒径と負の相関を示し、粒度が大きい米粉は安息角が小さくなる傾向を示した。これより、粒度の粗いロールミルやピンミルの米粉は粒度の細かい気流式粉碎の米粉よりも流動性が良いと判定できる。

このように、米粉の粉体特性は品種よりも粉碎方法、すなわち粒度に影響されやすいため、製造工程（粉体の搬送、サイロ貯留、包装資材への充填等の工程）でトラブルを防ぐには目的とする粒度に合った粉碎機を導入した際にはその粒度に適した製造工程の条件設定が必要となる。

### 2-3 粉碎方法による米粉の加工特性の変動について<sup>24-27)</sup>

同一原料を用いて幾つかの粉碎条件で作製した米粉の加工特性の比較例を図2-4に示す。調製した米粉の平均粒径は40～400 $\mu\text{m}$ 前後の範囲で、粉碎方法で平均粒径が10倍程度異なっており、石臼で粉碎した米粉が最も粗く、気流式粉碎機による米粉は細かい。損傷澱粉（粉碎時の衝撃や熱で傷がついた澱粉）の割合が6～27%の範囲で、米粉80%にグルテンを20%配合してストレート法で製造した米粉パンの比容積（パンの体積/重量）が2～4 ml/gの範囲で、同じ原料でも粉碎方法により米粉の加工特性が変動することがわかる。特に平均粒径100 $\mu\text{m}$ 以下の細かい米粉の製造では同程度の平均粒径でも粉碎方法によって損傷澱粉や比容積が大きく変動しているのがわかる。このため、細かい米粉を使用する際には粒度データのための判断では目的とする加工特性が得られないケースがあるので、他の品質項目も組み合わせて判断する必要がある。



- 1: ハンマーミル (スクリーン径: 0.7 mm)、2: ハンマーミル (1.0 mm)、  
 3: ハンマーミル (2.0 mm)、4: ピンミル、5: 湿式気流、6: 湿式気流、  
 7: 乾式気流、8: サイクロンサンプルミル、9: 石臼、10: 超遠心式粉碎機

図 2-4 粉碎方法が米粉の加工特性に与える影響

## 2-4 ジェットミル等によるマイクロ・ナノスケール粉碎による加工特性の制御<sup>28-34)</sup>

筆者らは上述の米粉よりも粒子サイズがさらに細かい平均粒径が  $10\ \mu\text{m}$  ～数百 nm 程度の米粉の特性解明を目的として、マイクロ・ナノスケール粉碎技術の開発に取り組んできており、その成果について一部紹介する。図 2-5 はジェットミルやハンマーミルを用いて乾式でマイクロスケール粉碎した米粉スラリーの分散性の比較結果を示す。全体的には分散直後に比べると 25 分後では吸光度が低下傾向を示すが、ジェットミルで粉碎した平均粒径  $3\ \mu\text{m}$  の微細米粉は吸光度の低下が小さく、分散が良好であることがわかった。図中の写真はジェットミルで粉碎した米粉スラリーの分散状態を示しており、平均粒子径  $45\ \mu\text{m}$  と  $14\ \mu\text{m}$  では白から透明に変化しているが、 $3\ \mu\text{m}$  では白濁状態が保持されていることが確認できる。

図 2-6 はいろいろな作物から精製された澱粉粒をジェットミルにより乾式で 3 回繰り返し粉碎し、その特性変化について比較した結果である。馬鈴薯澱粉では平均粒径  $50\ \mu\text{m}$  (粉碎前) から  $10\ \mu\text{m}$  程度 (3 回粉碎後) まで粉碎すると最高粘度 (回転粘度計の一種である RVA で測定した澱粉懸濁液の加熱糊化過程の粘度曲線におけるピーク粘度) が約 8 分の 1 まで低下した。一方、 $5\ \mu\text{m}$  程度 (粉碎前) の米澱粉の粉碎では、3 回

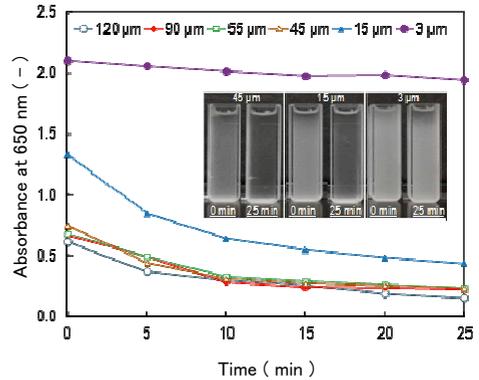


図 2-5 米粉スラリーの分散性の比較

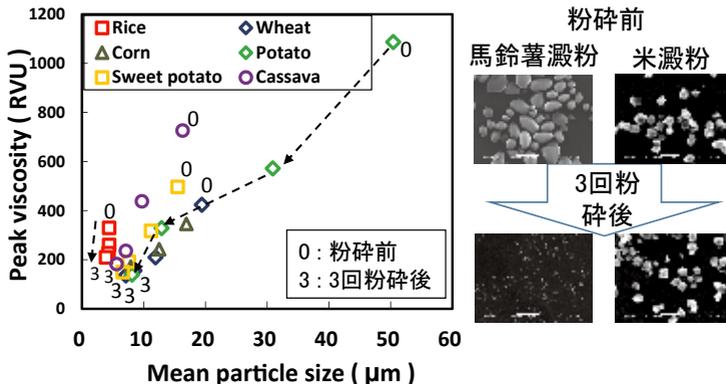


図 2-6 反復微粉碎による各種澱粉粒の特性変化

粉碎後でも粒径の変化は殆ど見られないが、最高粘度は半分程度まで減少した。電子顕微鏡写真から、3回粉碎後では馬鈴薯では澱粉粒が完全に破碎されているのに対し、米澱粉では部分的に破壊されており、澱粉粒の破壊の度合いに応じて加熱糊化時の澱粉粒の膨潤度が変化し、最高粘度が変動することが考えられた。

図 2-7 はマイクロ・ナノ粉碎による米粉の特性差異を示す。平均粒径 600 nm の米粉はジェットミルでマイクロスケール粉碎後に湿式メディアミルでナノ粉碎して作製したものである。澱粉の損傷割合は吸水性と正の強い相関を示しており、ナノ粉碎した最も細かい平均粒径 600 nm の米粉では吸水性や損傷澱粉度が劇的に増加することを見出した。これより、米の単粒澱粉 (5  $\mu\text{m}$ ) のサイズ以下の領域では、物理的粉碎で粒径を変えることによって、損傷澱粉や吸水性をフレキシブルに制御できる可能性があることがわかってきた。

以上、マイクロ・ナノスケール粉碎した細かい米粉の特徴について幾つか紹介したが、基本的にはターゲットとなるサイズが単粒澱粉のサイズ前後以下となるため、澱粉粒の破壊と損傷澱粉の増加は避けられず、米粉パンには適さないと判断できる。しかし、物理的粉碎による粒径制御のみで分散性や吸水性を可変にコントロールできる可能性を秘めていることがわかったことから、このような加工用途を目的とした場合には十分使える素材ではないかと考えている。

(食品加工流通研究領域 食品製造工学ユニット 岡留 博司)

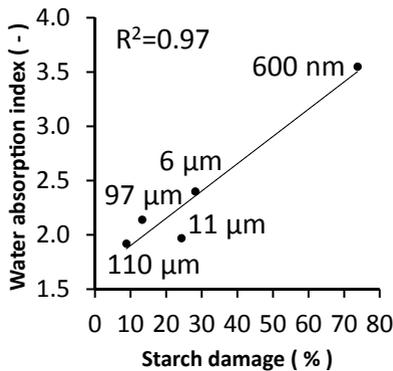


図 2-7 マイクロ・ナノスケール粉碎による米粉の特性変化

## 引用文献

- 1) 米穀機構. 米に関する調査レポート H26-6「ライフスタイルの変化と米消費の動向」(2015年3月5日発刊).
- 2) 米穀機構. 米に関する調査レポート H26-4「中食・外食の動向 (No.3 弁当給食事業者, 弁当等製造事業者)」(2014年9月17日発刊).
- 3) 米穀機構. 米に関する調査レポート H26-4「加工米飯の動向 (No.1 無菌包装米飯)」(2014年8月8日発刊).
- 4) 與座宏一・岡部繭子・島 純. 米粉利用の現状と課題—米粉パンについて, 日食科工誌, **55**, 444-454 (2008).
- 5) 奥西智哉, 岡留博司, Hossen Md. Sharif, 松木順子, 堀金彰, 宮下香苗, 矢口貴代. 表面加工玄米の炊飯特性, 日本調理科学会平成 27 年度大会研究発表要旨集, p.16 (2015).
- 6) 岡留博司, 知野秀次, 七山和子, 五月女格, 奥西智哉, 佐々木朋子, 安藤泰雅, 堀金彰. 異炊飯条件に伴う表面加工玄米の機械成形性の変動解析, 日本食品工学会第 17 回年次大会講演要旨集, p.25 (2016).
- 7) 岡野克紀, 飯島智浩, 宮本勝, 岡留博司, 堀金彰. 玄米タンパク質含量の違いによる表面加工玄米の食味特性日本作物学会第 240 回講演会要旨集, p.132 (2015).
- 8) 荒木理沙, 松浦文奈, 藤江敬子, 中田由夫, 鈴木浩明, 橋本幸一. 表面加工玄米の食べやすさに関するランダム化クロスオーバー試験, 日本栄養・食糧学会誌, **69**, 249-255 (2016).
- 9) Tomoko Sasaki, Tomoya Okunishi, Itaru Sotome and Hiroshi Okadome. Effects of Milling and Cooking Conditions of Rice on In Vitro Starch Digestibility and Blood Glucose Response, *Cereal Chemistry*, **93**, 242-247 (2015).
- 10) 神山かおる. 精米法と調理法が異なる米飯の咀嚼特性, 日本咀嚼学会雑誌, **26**, 14-19 (2016).
- 11) 橋本幸一. 表面加工玄米の機能性について—ヒト介入試験による効果検証一, 日本食品科学工学会第 63 回大会講演集, p.43 (2016).
- 12) 竹生新治郎・渡辺正造・杉 本貞三・真部尚武・酒井藤敏・谷口嘉広. 多重回帰分析による米の食味の判定式の設定: 米の食味と理化学的性質の関連 (第 2 報), 澱粉科学, **32**, 51-60 (1985).
- 13) Ohtsubo, K. et al. Comparative study of Texturometer and Instron texture measurements on cooked milled rices. *Rep. Nat. Food Res. Inst.*, **54**, 1-9 (1990).
- 14) Hiroshi OKADOME. Application of Instrument-Based Multiple Texture Measurement of Cooked Milled-Rice Grains to Rice Quality Evaluation,

- JARQ, **39** (4), 261-268 (2005).
- 15) Hiroshi Okadome, Hidechika Toyoshima, Naoto Shimizu, Keitaro Suzuki, and Ken'ichi Ohtsubo. Quality Prediction of Rice Flour by Multiple Regression Model with Instrumental Texture Parameters of Single Cooked Milled Rice Grains, *Cereal Chemistry*, **82**, 414-419 (2005).
  - 16) 高見幸司・郡山剛・大坪研一. 低アミロース米飯の低温保存中における硬化性とその評価方法, *日食科工誌*, **45**, 469-477 (1998).
  - 17) 小田原 誠・底押秀康・高橋鍛・岡留博司・大坪研一. すし酢が酢飯の低温保存後のテクスチャーに与える影響, *日食科工誌*, **51**, 620-625 (2004).
  - 18) 日本食品工学会編. *食品工学ハンドブック* (朝倉書店, 2006), p. 77-78.
  - 19) (社) 日本食品機械工業会. *最新日本の食品機械総覧 2008-2009/CD-ROM*, 光琳 (2008).
  - 20) (社) 日本粉体工業技術協会. *粉体技術総覧 2004/2005* (2004.11.9), p. 8-54.
  - 21) 江別製粉株式会社 執筆. *食品加工総覧 3 加工共通技術* (農文教, 2002), p.117-121.
  - 22) 奥田聡 分担執筆. 「改訂・粉碎」(株式会社化学工業社発行, 昭和 47 年), p.53-65.
  - 23) 農林水産技術会議事務局. 低コストで質の良い加工・業務用農産物の 安定供給技術の開発 第2分冊(2系 大豆, 3系 畑作物, 4系 稲, 5系 モデルコンソーシアム), *研究成果シリーズ* **485**, 349-352 (2013).
  - 24) 與座宏一・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, *食品総合研究所報告*, **74**, 37-44 (2010).
  - 25) 吉井洋一・中村幸一. 新たな展開を見せる米の加工食品, *農林水産技術研究ジャーナル*, **31** (7), 22-27 (2008).
  - 26) 穴戸功一・江川和徳. ベクチナーゼ処理による米粉の製造法及びその製パン適性 (第1報) 米の粉食文化に関する研究, *新潟県食品研究所・研究報告*, 第 27 号, 21-28 (1992).
  - 27) 岡部繭子・岡留博司・與座宏一・松木順子・奥西智哉・春日重光. 米粉の粒子径分布構成範囲が粉体特性および製パン性に与える影響, *粉体工学会誌*, **49**, 901-906 (2012).
  - 28) Md. Sharif Hossen, Itaru Sotome, Kazuko Nanayama, Tomoko Sasaki and Hiroshi Okadome. Functional properties of submicron sized rice flour produced by wet media grinding, *Cereal Chemistry*, **93**, 53-57 (2016).
  - 29) 岡留博司 (分担執筆). 澱粉系素材のマイクロ・ナノスケール粉碎とその特性 (食品素材のナノ加工を支える技術, 監修: 安達修二, 中嶋光敏, 杉山滋一), シーエムシー出版, p.109-119 (2013.10).

- 30) Md. Sharif Hossen, Itaru Sotome, Makiko Takenaka, Seiichiro Isobe, Mitsutoshi Nakajima, Hiroshi Okadome. Effect of particle size of different crop starches and their flours on pasting properties, Japan Journal of Food Engineering, **12**, 29-35 (2011).
- 31) Md. Sharif Hossen, Itaru Sotome, Makiko Takenaka, Seiichiro Isobe, Mitsutoshi Nakajima, Hiroshi Okadome. Starch Damage and Pasting Properties of Micro-pulverized Rice Flours Produced from Dry Jet Grinding Method, Cereal Chemistry, **88**, 6-11 (2011).
- 32) Md. Sharif HOSEN, Itaru SOTOME, Makiko TAKENAKA, Seiichiro ISOBE, Mitsutoshi NAKAJIMA, Naoto SHIMIZU, and Hiroshi OKADOME. Ultra-fine Pulverization of Rice: Effects on Hydration Properties and Enzymatic Hydrolysis, Japan Journal of Food Engineering, **14**, 37-46 (2013).
- 33) 五月女格・津田升子・岡部繭子・大島紗也香・ムハマド シャリフ ホッセン・板倉真由実・竹中真紀子・岡留博司・五十部誠一郎. 粉碎方法および粒子径が米粉の Carr の流動性指数および噴流性指数に与える影響, 日本食品工学会誌, **10**, 95-106 (2009).
- 34) 岡留博司. 米粉の用途拡大に向けた粉碎技術「粉碎技術とエコ・リサイクル」(齋藤文良, 伊ヶ崎文和 監修), NGT コーポレーション, 256-262 (2010).

