

# 蒸練工程による米粉デンプンの変化

大竹 嘉尚

## 1. 緒言

米菓製造時の最重要ポイントは、経験的に蒸練機での粉から餅までの蒸練過程であるといわれている。蒸練とは、粉を $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の蒸気の圧力で、練りながら加熱する操作である。

米菓製造での蒸練工程の位置づけは、

米 製粉 蒸練 練り 圧延成形

乾燥 焙焼 調味 米菓製品

の通りで、製粉直後の加熱工程で、以後の製品の良否を決定すると考えられている。それは、とりもなおさず、米の粉中のデンプンの糊化過程が重要であるという証明である。しかし、過去から現在に至るまで、この過程は全く研究の対象とされず、経験的に製造業者間で議論されてきたにすぎない。例えば、「ソフトな米菓」をつくるには、細かい粉で、蒸練時間を長くとる。逆に、「かたい米菓」をつくるには、粗めの粉で、蒸練時間を短くするとされている。

そこで、蒸練機内での糊化過程を時間を追って、電子顕微鏡で観察したので、報告する。

## 2. 実験方法

### 使用粉

水に浸漬した他用途利用変形加工米を、グライダ-方式の粉砕機で、水（米：水 = 1：1）とともに粉砕した粉を使用した。米菓業界では、水挽き粉と言われており、その特徴は粒度が細かく、均一で、ソフトな米菓をつくるのに適していると言われている。

### 蒸練方法およびサンプルの調製法

図1の試験用蒸練機（新井機械製作所製 T-SK 容量20L）に、この粉6kgを投入し、水1000mlを加えて、20秒程攪拌の後に蒸気 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ を導入した。

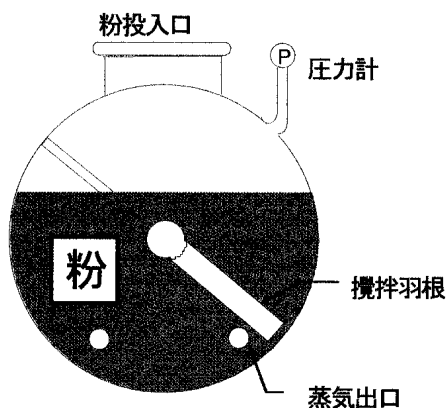


図1 蒸練機の構造図（断面図）

蒸練機とは、内部の攪拌羽根で、粉を攪拌しながら蒸気を導入して、米の粉を糊化させていく機械である。

蒸気導入の時刻を0として、2,3,4,5,6分後にサンプリングを行った。サンプリング法としては、蒸練機への蒸気の導入停止後、楊枝を用いて採取した。サンプリング直後、液体窒素で冷却凍結した後、凍結乾燥品（ $-40$ ）をつくり、その乾燥品を爪で2つに割って、金スパタリ

ングの後、断面を電子顕微鏡で撮影した。

### 3. 実験結果および考察

水挽き粉の糊化の経時変化を電子顕微鏡で観察を行った。図2は、粉砕直後の粉の蒸練工程前の写真である。デンプン粒が集合していて、粉砕によってその集合が崩されたところの写真である。デンプン粒同士が接触していて、その接触面の角が尖ったり、角張っている。そして、1つ1つのデンプン粒の角がしっかりと角張っている。

写真の右下の数字の左側の10は、 $10\mu\text{m}$ を意味し、数字の上の黒い線が $10\mu\text{m}$ の長さである。倍率は、2000, 3500, 5000倍のいずれかの写真である。

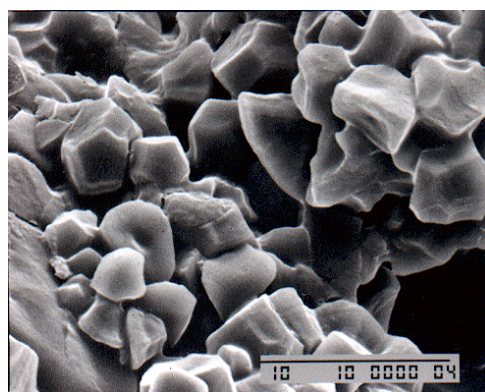


図2 粉砕直後の粉

図3は、蒸練2分後の写真である。図2の蒸練前の粉の状態と比べると、デンプン粒の角が、丸みを帯びているのが、明確に観察できる。デンプンが蒸練前の未糊化の状態から糊化開始の時期である。

図4は、図3同様、蒸練2分後の写真である。デンプン粒は蒸練前の角張った状態がややみられるが、表面に $0.1\mu\text{m}$ 程度の糸状のものが出現している。この糸状体は、デンプン粒表面からでていて、内部のデンプンが糊化して、糸状の糊になったと推測される。デンプンの糊化が始まったばかりの状態である。

以上より、蒸練時間2分では、粉中のデンプンの糊化が始まったばかりの時間と言える。

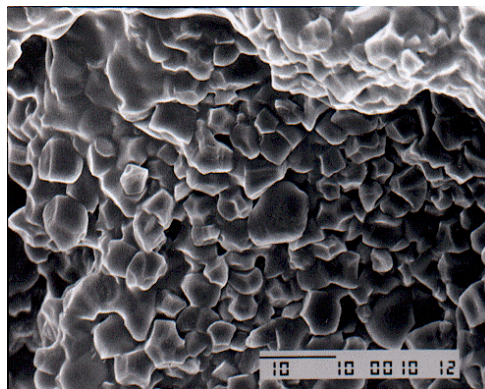


図3 蒸練2分後

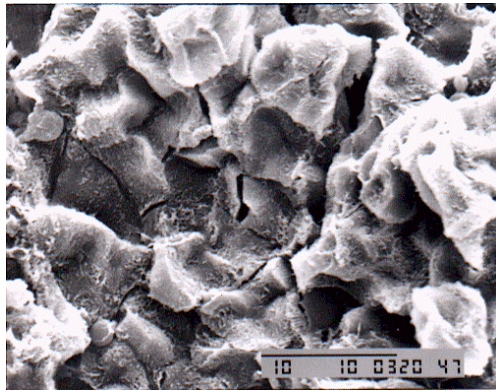


図4 蒸練2分後

図5は、蒸練4分後の粉の状態、デンプン粒の角張った状態はほとんどわからないが、粒のような形が推測できる。いたるところで、蒸練2分時に見えた糸状の糊が発達して、網目のような構造が観察できる。

図6は、図5と同様に、蒸練4分後の違う場所での粉の状態である。図5と違って、元のデンプン粒の形は全く推測できず、デンプン粒が崩れ、きれいな網目構造が発達している。この状態はもはや粉とは言えず、餅の状態である。蒸練時間4分では、デンプンの網目構造が十分発達しはじめ、デンプンの糊化がかなり進み、餅の状態になっている。

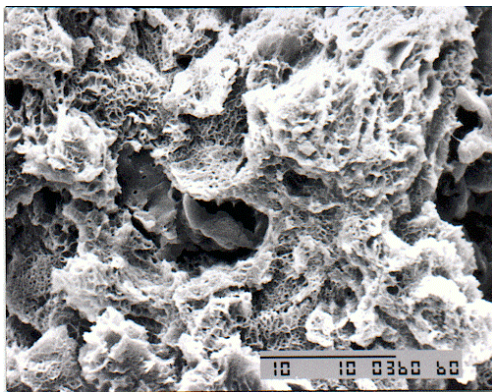


図5 蒸練4分後

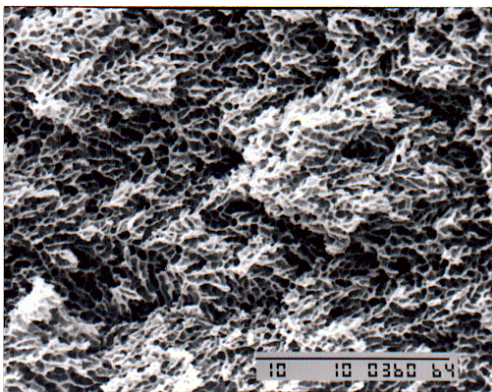


図6 蒸練4分後

図7は、蒸練6分後の粉の状態というより、餅の状態である。図6と同様に、元のデンプン粒の状態は全く崩れてしまって、きれいな網目構造になっている。この網目構造も蒸練4分時よりもより細かい構造となっている。これは、糊化デンプンがさらに糊化して流動性が増した

ために網目構造が細くなったと推測される。

図8は、図7と同じ蒸練6分の状態である。糊化前のデンプン粒の形が推測できるとともに、粒の形がつぶれて、網目構造に発達していく状態のデンプン粒がある。蒸練時間6分でも、蒸練機内の機壁などに付着した部位は、十分な網目構造が発達していず、構造的に観察すると糊化不十分である。このような糊化不十分な部位が、蒸練後の工程で、他の糊化十分な餅の中で、不均一な部分となる。この不均一な部分が生地にしたときの乾燥時の割れ、焙焼時の割れの原因になると推察される。

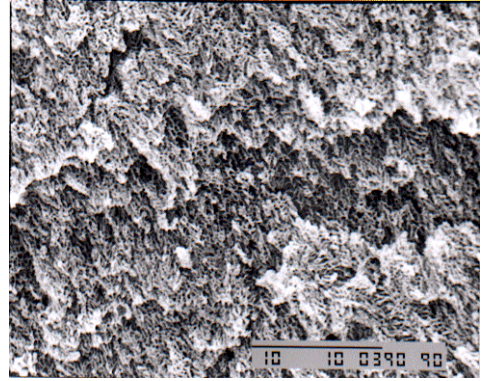


図7 蒸練6分後

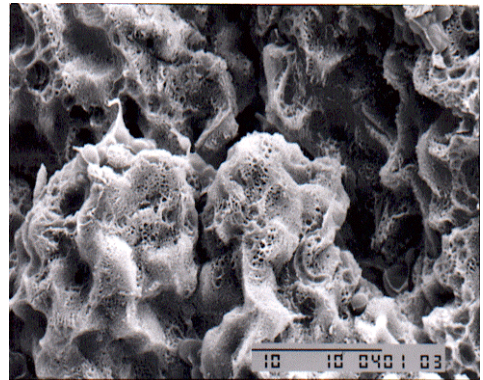


図8 蒸練6分後

電子顕微鏡写真で糊化デンプンが、網目構造になることについて考察してみる。糊化デンプンは蒸練機内では、このような網目状態ではなく、均一であると推定される。これは、デンプンの糊化した米菓の乾燥生地の表面を電子顕微鏡で観察すると、平滑であることから理解できる。糊化温度にあるデンプンの状態を時間的に安定に保持し、顕微鏡で観察可能な状態にするのに、液体窒素による凍結乾燥法が必要である。そして、この網目構造は、液体窒素の使用に起因している。糊化過程のデンプンの水分は50%程度あり、水蒸気圧はかなり高い。今回の実験では、全圧力はゲージ圧で0.5kg/cm<sup>2</sup>である。糊化過程のデンプンは、多くの水分を水蒸気という形で含んでいる。もちろんデンプン自体の温度も高い。この熱い状態のデンプンを、液体窒素で急速に冷却凍結すると、水蒸気は短時間に水、そして氷へと凝固して、その体積はかなり減少する。そこに空隙ができる。これが網目構造の孔である。同時に糊化デンプンが冷却されて、流動性がなくなり固化する。そして、網目構造が時間的に安定して存在することになる。この水蒸気の体積減少とデンプンの流動性の減少の競争反応で、孔の開いた網目構造ができ

る。

この網目構造は、糊化時のデンプンの温度、水分、流動性、弾性、もちろん比重、冷却過程などを総合的に表現している。温度、水分、冷却過程を一定にすると、流動性や弾性といったデンプンの物性の違いを表すことになる。

糊化しやすく、流動性のあるデンプンほど、網目構造は小さくなる。さらに、デンプンに弾力性があれば、表面張力に勝って流動性のある状態でも、水蒸気の凝固でできた、無数の空隙も維持されやすい。

デンプンの流動性が同じとすれば、弾性の弱いデンプン、例えば、アミロース含量の多いデンプン、長期保存で劣化したデンプンでは、この網目構造はきれいに発達しない。

#### 4. 結言

蒸練機内で、蒸気が導入された後、時間と共に米の粉が、糊化していく様子を電子顕微鏡で観察撮影を行った。その様子は、デンプン粒から0.1 $\mu$ m程度の細い糸のような糊が発生して、この糊の部分が糊化とともに増加して、網目状の構造をつくる。

デンプンの網目構造の観察からみると、蒸練時間2分では、蒸練機内のデンプンは、まだまだ糊化終了の状態とは言えない。

蒸練時間6分では、蒸練機内の粉は、ほとんどが細かい網目構造をとり、粉が糊化した状態の餅になっていた。しかし、蒸練機壁や攪拌羽根付近には、構造的には糊化不十分な部分があることを観察した。そして、この不均一部分が、後の製造工程での歩留まりの低下の原因になると推測した。

今回はできなかったが、金スパタリングを行わないで撮影可能なWET-SEMを用いて、最初に糊化途中の粉の写真を撮影後、その部位について、糊化度を鋭敏に数値化できる酵素を利用したBAP法(ベータアミラーゼ・プルナーゼ)の測定を行う。そして、糊化途中のデンプンの構造と糊化度の数値の対比を行うと、構造上の糊化と酵素法の糊化との対比ができて、おもしろい結果が得られると思う。

今回の粉は、「ソフトな米菓」をつくるのに適した細かい粉であったが、比較対照として、「かたい米菓」をつくるのに適した粗めの粉の糊化過程の観察も行えば、構造上の違いが観察できたかも知れない。さらに、米菓の加工適性の良くない、高たんぱく質米の糊化過程を観察するのもおもしろい。

最後に、電子顕微鏡の撮影のご指導を頂きました茨城大学農学部松田智明教授に感謝いたします。

#### 参考文献

農文協編：おいしいコメはどこがちがうか，(社)農山漁村文化協会