



Food Technology Chemical Center
University of Lund, Lund, Sweden
Amm-Charlotte Eliasson Kåre Larsson

〈文献〉 Cereals in Breadmaking 〈文献紹介者〉 瀬口正晴神戸女子大学教授

製パンに於ける小麦(15)

5. パン③

(4) ガス保持力

先のドウ構造に関する議論の中で、ドウは発酵の最後には一個の泡として形づくられると述べた。ドウのガス保持力は、製パンの最も主要な機能の一つで、気泡の表面構造に大きな関係がある。このドウのガス保持力は、ベーキングの間の速い容積膨張に関係し、それが加熱の間におけるオープンスプリングとなる。主に水蒸気蒸発によるガス容積膨張の著しい特徴は、不可逆的である点である。これは以下述べるような構造変化によって説明される。

オープン中で起こるガス膨張にかかわる各成分の役割については、最近Blokksmaによって報告された。相対容積は、約5のファクターによって増加する。水の蒸発はこの膨張後の重要なファクターである。二酸化炭素とエタノールもまた蒸発するだろう。二酸化炭素の分圧は液体ドウの濃度と平衡状態にあり、すべてのエタノールはベーキング中に蒸発すると考えた。デンプンが糊化するとすぐガス保持力はなくなるのであるが、大部分のエタノールは沸騰点の近くで蒸発してしまうため、オープンスプリングには関係ないだろうと思われる。しかしながら、Blokksmaの実験から水の分圧は飽和蒸気圧に等しいと考えられる。

Moore, Hoseneeyも又、ガス膨張に各成分が貢献していることを述べている。彼らは水の蒸発は無視できると考えた。それは気室に面しているグルテンゲルのゾーンから水のある部分が蒸発することは当然ありえる。この水を含んだゾーンは、

デンプンが糊化する前に“自由”水相から、水が移動してできたものであろう。デンプンと“自由”水相を含んだ他成分との相互作用は、気室表面ゾーン中の貯蔵タンパク質と水との相互作用同様、水蒸気圧が飽和蒸気圧に等しいというありそうにもないような結論を与えている。BlokksmaやMoore, Hoseneeyらの値の中間的な値が可能性がありそうで、それは彼らの実験値からの全計算値が大きかったり、小さかったり、それぞればらばらであるためである。

加熱中の容量変化は、抵抗器付きオープンのテクニックを用いて十分に示されている。速い膨張を説明するためには、ガス保持特性を保つための気室表面構造を明らかにしなければならない。MacRitchieの再構成実験では、極性脂質がこの膨張の間、気室の界面で重要な役割をしていることをあきらかにした。

我々は、グルテン構造の議論の中で、加熱がグルテンゲルをどのように段階的にポリメリゼーションによってコアゲルに変えてゆくのかを論議してきた。グルテン単層膜に関する研究からこの架橋反応が、ガス/水の界面で非常に効果的に起こるということも明らかにされた。そこで考えねばならないのは焼成中の初期の段階で、界面においてグルテンはその安定性を失うということである。極性脂質が界面ゾーンにおいて(ラメラ会合体とし分散している)ある適当な状態になると、それはオープンスプリングの初期には生じてくる穴をふさぐことが出来、続いてだんだんと界面全

表6 210°Cで異なった時面ベーキングした時のクラストとクラムの比率

Experimental condition	Bread fractions (% of total fresh weight)		
	Crumb	Inner crust	Outer crust
210 °C, 22 min	57.5	33.6	8.6
210 °C, 35 min	53.0	37.5	9.5

体をおおうようになり、さらにその先は以下述べるように説明される。

これに関連して、異なった分子で混合された膜は形成されないということを思い浮かべることが大切だ。そのため、タンパク質と脂質は単層膜の中で分かれた相を作っている。高分子量(HMW)区分からできているタンパク質膜は熱による架橋反応で伸展性が低下するようになるだろう。それ故に、脂質単層膜の方が気室膨張の際、脂質会合物から伸びて界面をおおうようになるだろうと考えられた。

そして最終的にはそれらは内側にタンパク質の単層ユニットを持つ連続した単層相になる。恐らく大部分の脂質(L α 会合体として分散している)とその会合体から広がった単層膜の間で直接多くの接触が生じるであろう。膜圧はそれ故平衡伸展圧(ESP)に近づくと考えられる。極性脂質のESP値が約40mN/mである時、タンパク質の方はだんだん膜から追い出されてゆく。

グルテンゲルに集まっている脂質の局部位は、コアゲルへの変化がそれらの脂質を自由にした、それらのあるものは界面に存在するようになることを意味している。グルテンゲルの中に閉じこめられてしまい、もしその位置で界面がたまたま開かなかつたら、それらの表面特性はでてこない。このことは、オープンで加熱するまでは脂質がどんな表面安定化の役割もしないという事実の非常にうまい説明である。

最後に極性小麦脂質の2番目の働きは、非極性脂質を乳化することだということを指摘せねばならない。油表面を柔順にするような極性脂質の存在がないと、気室を安定化させるために必要なタ

ンパク質がその界面で油滴に固定化されることにより不活性化されてしまう。極性脂質は、かなり界面エネルギーを減らす能力を持ち、この界面でのタンパク質との競合でもタンパク質を追い越すほどの力をもっている。

デンプンの糊化後、焼成中に起こる膨張ロスの原因は、明らかにグルテン相からデンプン-水のコンパートメントに移動する水と関係している。ゲルからコアゲルへの移行に関係したこの容積変化は、その結果として、我々がドウ中に見るグルテンゲル表面ゾーンの破裂につながる。気室はこれらの変化の間、互いに融合しあって大きな穴になるが、その細かな構造については次のセクションで記述する。

2. パンの構造

パンをオープンから出せるころには、パンはクラストとクラムになっている。もちろんクラストとクラムの間にははっきりとした境目で別れているわけではないが、しかしパンを再現性よくこれらの二つの部分に分けることが可能である。白パンでは更にクラム、内側のクラスト、外側のクラストとに分けることができる。当然のことながら、クラスト量はオープン中のベーキング時間で決まってくるが(表6)、標準型のパンではその全重量(乾物重量で計算)のうちの59%か、それ以上の重量になる。

(1) クラム

我々は前のセクションで、パン全体の構造は糊化やゲルがコアゲルに変化する間に生じることを述べた。これらのプロセスは、ドウからパンに完全に変化する重大なステップである。その間の巨

視的な最も著しい変化は、泡から成る気室が外気と通じてオープンになった穴構造を作ることと、水を含むパン本体が固化する点である。この固化は部分的にはグルテンがコアゲルに変化する時その粘着性を失うために生じ、部分的にはデンプン粒が全く余分の水のない状況下で糊化するために生じるものである。

穴構造のわん曲の重要性は既に述べた。基本的な穴の効果に加えて、二つの機能がこの穴のわん曲にはある。この一つは、これまで述べたように熱の移動のメカニズムである。穴の構造の中でおこる水蒸気の蒸発や凝固が、わん曲と直接関係がある。二つ目の機能はクラムのフレーバー成分の吸着である。このフレーバーは加熱プロセスの中で形成される。吸着とわん曲の関係はAnderssonらによって調べられている。パンの脂肪含量が高い時、温度を高めていくことにより液状油は穴構造の表面をカバーする。このプロセスは界面エネルギーの減少によってすすむ。

次にクラムの穴のシステムと、一定の平均的わん曲を持つ周期的な表面のいろいろなタイプとの関係を述べたい。このタイプの幾何学の論証は先に記した。このように液体のようなしんを持つシンメトリックな穴の壁と圧力平衡は、穴にある幾何学をあたえるものと予想されるが、理想的には最少表面積の穴をとらうとする。クラムの一表面には不秩序な穴のネットワークの概略面があらわれる。この表面はgyroidと呼ばれ、三方向に効果的に最密充填されたラセンの穴からなっている。

我々は今や、クラムの穴の壁が分子やコロイドユニットによってどのように配列されているかを知る十分な情報を有している。図20は、違ったレベルでのクラム構造を図式的に示したものである。その穴の表面は、そこに分散しているHMW貯蔵タンパク質構成ユニットの重合化したものが、わずかにあちらこちらにみられるような単分子脂質膜からなっている。この穴の壁は単一の連続相から成っている。それは部分的に糊化したデンプン-水相の乾燥体である。オープンスプリング中におこる穴構造形成の複雑さは、クラム中心部から表面へむかって温度勾配があるためである。

温度の平衡化は全クラムの温度が約100℃に達

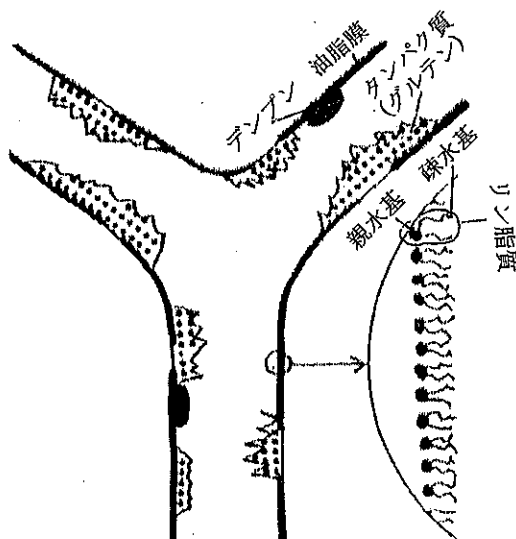


図20 クラムをつくる穴の壁の構造エレメント

するまではおこらず、その平衡化に達した温度でパンができる。オープンな穴のネットワークが完成される前に、その温度勾配によって気室構造に作用する圧力勾配があらわれる。その結果気室拡張の勾配は、シリンダー状のパンモデル中心部から表面にむけて一方向にひろがった格子状の組織をつくるようになる。もし、このようにひろがったアワの格子がそれに相当する穴のシステムに変化するならば、その穴の構造も同じような広がりを見せるだろう。このようなパンは、クラストの内側に沿って容易に割れる。

オープン中の熱勾配は、気室の海面を形づくるグルテン膜の強さと関係しており、それはちょうどいま述べたパンの膨張効果をさせるのに効果がある。このようなパンの悪例を図21に示した。

(2) クラスト

クラムとクラストの主な違いは、ベーキング中に到達する温度の違いにより生じる。クラストの高温化は、水分蒸発を引き起こすので、クラストの水分含量はクラムに比べかなり低い。外側のクラストの乾燥物量(表6)は、210℃で22分間加熱すると89.9%、35分間加熱すると93.7%であった。クラムでは22分間で56.7%、35分間で57.3%であった。

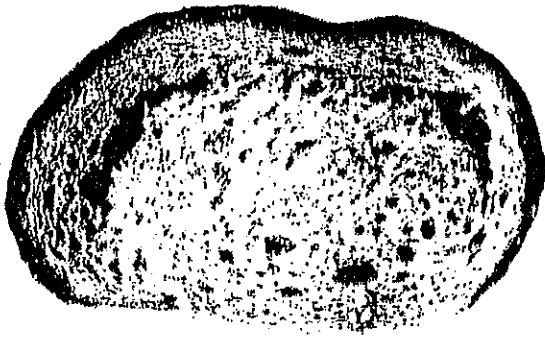


図21 パンクラムの割断で、クラムから離れたクラスト

別のタイプのパンでは、クラストの水分含量は、最適な焙焼時間（24分間）で18.3%、更にベーキング時間を延長すると（27分間）15.50%に減少する。もっと短いベーキング時間（21分間）では、水分含量は21.60%だった。クラムでこれに相当する値は、最適なベーキング時間では44.03%、27分間では44.08%、そして21分間では44.28%だった。これらの数値はパンの表面の乾燥プロセスを示している。クラスト中ではデンプン粒のX線回折パターンはAとVタイプがみつかる。

クラストの水分含量はベーキングアブソーブションで影響される。もし、最適加水量より加える量が少なければ、クラストの水分含量も少なくなり、より多く水を加えたならば、水分含量も多くなる。しかしながらその差はあまり大きくない。即ち、最適加水量より、もっと少ない水分でできたパンは17.78%（ベーキングアブソーブション-3%）、で、最適よりもっと多い水分でできたパンは18.47%（ベーキングアブソーブション+3%）であった。クラストの水分含量は又、他の成分によっても影響される。例えば、塩、砂糖、及びショートニングをその仕込みから除去すると、クラスト中の水分含量は増加する。更に損傷デンプンレベルが増加すると水分含量はかなり増加する。

クラストの高温化はいくつかのタイプの化学反応をおこすが、これらの反応はクラム中では起こらない。これは、クラストに色を付ける反応で、カラメル化反応やメイラード反応と呼ばれる。メイラード反応には還元糖（グルコース、フラクトース、マルトース等）や、アミノ基（例えばリジンの）が必要である。リジン含量は小麦タンパク質には低いので、レシピ中に牛乳を加えることでその褐色化をすすめることができる。カラメル化反応は砂糖の重合化でおこる反応である。

クラストの高温化はデンプンのデキストリン化を起こし、生成したデキストリンは更に別の反応をおこす。デンプンは種々の反応で消費されるが、その結果クラム中のデンプン含量は75.1%なのに対し、外側のクラストは74.4%という低い値になっている。この差はベーキング時間を35分に延ばすと更にはっきりできて、外側のクラストのデンプン含量が72.8%の時、クラムは75.8%であった。

デンプンの分裂反応やグルコシド交換反応は、特にクラストで分析すると、デンプン量の減少となってあらわれてくることが観察された。パンを焼くと抵抗性デンプンが生成する。しかし、抵抗性デンプン形成には、かなり高い水分含量を必要とするので、デンプン含量の減少にまではいたらない。それはクラム中で最も高く（0.95~1.02%）、外側のクラスト（0.30%）中で最も低く、その外側のクラスト中の量はベーキング時間によっては影響を受けない。

構造的にみるとクラストは、つぶれたクラムの穴の壁からできた堅い、ガラス質の表面層である。それは分散したタンパク質と脂質会合体を含んだ乾燥デンプンゲルの連続体である。

熱勾配の重要性については、穴構造に関連してこれまで議論してきた。それはまた、クラスト形成をコントロールする要因の一つでもある。もしクラストがあまりにも早期に乾燥により形成され、“固定化”されるならば、クラムの膨張がなくなる。その時は裂目ができ、パンはクラストに沿って亀裂が入るだろう。クラストの機能についてさらに追加すると、パンの風味や水分の蒸発を防ぐためのバリアにもなっている。