

JIBはみだし授業

日本パン技術研究所教育コースの興味深いテーマを解説します。

「パンの保形性について考える」

～焼き上がりのパンが凹むのは何故？～



(一社)日本パン技術研究所 研究調査部 原田昌博

リテールベーカリーの極一部だと思われるが、食パンの腰折れを大きな問題として捉えてないところもあるらしい。つまり問題なく売れるからだ。恐らく店の顧客は「腰折れ」に対して「製品上の欠点」という認識ではないということだろう。

さらに、某業界誌取材の談話中に或る人が言ったひと言で、その場に笑いが巻き起った。ケービングを「柔らかさのエクボ」と言ったのです。確かに、言葉の通り柔らかい食パン程、腰折れし易いのは間違いない。

一方、これがホールセールベーカリーになると深刻な問題として捉えられています。さらに昨今、この問題に苦慮している工場が多いように感じます。実際、100日コースの受講生から、その防止策の質問が多くなってきたのも事実です。

そこで、今回、ケービングの原因について予測される要因を幾つか挙げて、対策のヒントになるような内容に的を絞って迫ってみます。



1. クラストの軟化速度 VS クラムの固定化速度

ケービングは焼き上がったパンの冷却中に起こります。

特に焼き立て直後は温度差が大きいため、多量の水蒸気がクラムから出ていきます。

これに対して、焼き上げ直後に最も水分が少ないクラストを通過して水蒸気が大気中に放出されるため、クラストは時間とともに水分が戻って軟化します。つまり、パンの中心温度が室温に近くなるまで水蒸気は出続けるということです。

このクラストの軟化速度に対して、クラムが冷えて固まる速度（固定化速度）が遅ければ、クラストはパンの重さに耐えきれなくなって折れます。ひどい時にはクラム自身も自重に耐えられずに下部に底溜まりを起こします。

このため、クラストが厚ければ水分が少々戻っても軟化することが無く、また、パンが小さい或いは棒状で表面積が大きければパンが早く冷えるためクラストが折れ難くなります。

そこで、製パン諸条件を見直すに当たって、最終工程の冷却から順次原因を絞り込んでいきます。

2. クーリングゾーンの管理あるいは真空の利用

製品から水蒸気が最も多く出ている時が一番危険な時間帯です。減多にない事ですがリテール

で冬場の開店時に訪問すると、時折冷却不十分で包装フィルムの内側に水滴がこもって、食パンがふにゃふにゃの状態に包装されている様子を目にします。

これはパンが完全に室温に近い温度まで冷却されてない事を意味します。この過剰な水滴は雑菌汚染の原因にもなります。もし滅菌不十分な設備や小麦粉などが舞っている環境下でスライスされた場合、粒子に付着したカビや細菌などが、パンに付着するため日持ちも低下します。

一方、大型ラインでは専用のクーリングラインで冷却され、窯出しから包装まで人の手が触れることはありません。さらにスライスする部屋はフィルターで濾過された空気が非常に遅い風速で入ってくるため、浮遊粒子や微生物が非常に少なく空気の動きが感じられず、極めて衛生的で、雑菌汚染は非常に遅くなります。

このような工場の冷却ラインについて、1つの部屋（温度帯）で冷却するよりも2つの部屋で冷却するとケービングは幾分改善される傾向があります。

つまり1室冷却だと焼成直後のパンの熱で部屋全体の温度が下がらず湿度も上がります。もしも2室で冷却可能であれば、窯出し直後の部屋でパンの温度が一気に下がるように（実際はパンの

熱であまり下がらないかもしれないが)冷却と除湿を効かせることが望ましいでしょう。

もしも、設備投資可能であれば、第1ゾーンに真空冷却設備を導入し、パンから出る水蒸気を気化熱として利用し、短時間にパンの温度を下げ、クラストが戻る前にクラムの固定化ができれば形状は保持し易いでしょう。

3. 気泡構造の非連続性による収縮

生地膨張している間、気泡は多くが非連続的で個々がつながっていない。これが焼成初期にホイロ中に蓄えたガスが熱膨張し、その後気泡膜の液相中に溶け込んでいる溶存炭酸ガスとアルコールが気化して窯伸びする。

そして、このタイミングで澱粉の糊化とグルテンの脱水変性により気泡膜が破れてガス漏れし窯伸びが停止する。

ここで、部分的に非連続的な気泡構造となる。このため、窯出し直後にクラムの気圧が低下しても、極端に収縮する事はない。

この時、もしも気泡が不連続のままだったら、餅を焼いている時に膨らんだ気泡と同じで、焼成を中断したら一気に収縮する筈である。

しかしパンは餅の様に気泡が連続状態ではないためホイロ終了時の体積まで極端に収縮することはない。また、一部で連続的な構造が残っているのか、あるいは窯出し初期の気圧低下に対する空気の通路が小さいなどの要因もあって、窯出し後の衝撃が収縮防止に効果があるといわれている。

4. 焼成条件、オープンの特性

所定の焼き色と焼減率の両方を所定の焼成時間内に達成し製品が焼き上がる。この時間が短いと腰折れすることは言うまでもない(写真1)。

焼成諸条件の内、焼減率が高過ぎるとパンが硬くなり易いため可能であれば高温短時間で焼成は済ませたいという所ですが、焼減率不足は製品中の水分が多いため、クラストの戻りが早くなることは言うまでもない。

特に、高温短時間焼成ではクラストは薄くなり焼減率も低下するので、2つの要因で腰折れし易くなる。それでは逆に低温長時間焼成なら良いかという、それも問題で、製品が焼成後に焼き縮みし、ひどい時には焼成中に折れる時もある。

焼成時のクラストの着色性に影響を及ぼす糖類の配合量も配慮が必要で、糖分の多い生地では焦げないように焼成温度を下げて所定の時間焼成することになるが、温度が低いということは同時に焼減率も低下することになる。従って製品の甘味度を上げるにしても、製品の大きさ(生地重量)や形状によっては限界がある。

オープン熱源について、ガスの対流型オープン(リールオープンやランダム型オープン)では焼成室内の空気が常に排気によって抜かれているため、水蒸気圧が一定以上に高くなることは先ず無いが、熱源が電気で密閉性の高いデッキオープンの場合、特に食パンはオープンの焼成室に投入する生地量が多いということもあって、オープンに対する負荷が最も大きく、焼成後半は生地から蒸発した大量の水蒸気が炉内にこもる。

従って、場合によってはオープンのダンパーの開閉で密閉性を下げる操作が必要かもしれない。

さらに、オープンに多量の生地を投入すると炉の温度が下がるため、ヒーターがONになり製品上面と側面は上火からの熱放射の影響を受ける。この輻射熱は直線的に放射され、食パン型の側面は上からの放射に対して縦面で熱を受け止めるため単位面積当りの熱吸収量が減る。この2つの要因で特に側面の焼き色がつき難い。

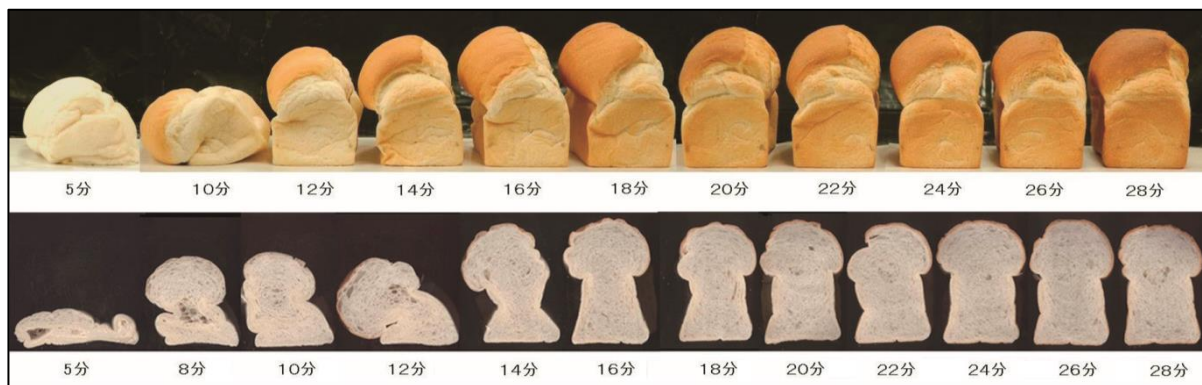


写真1. ワンローフ型食パンの焼成時間毎の保形性とクラムの状態

従って、側面の熱吸収を高めるためには、側面が黒く塗装された型を使用すると良く、加えて面倒であるが炉内側壁で吸収し放射される二次的な輻射熱を効率よく吸収させるために、食型を斜め向きに並べると側面の着色が向上する。

さらに、食型は金属製であるため熱の伝導性は生地よりも高い。そこで、炉床から伝わる伝導熱を型側面まで伝えるという意味で、少し厚い鉄板を使用すると幾分改善される。しかし、型重量が増えるので作業性を考えると重たい型はリテイルでは不向きかもしれない。

また、型が熱を吸収する分だけ熱ロスとなり、焼き色は薄くなるので焼成温度を上げるなど工夫が必要になる。他方、製品の表面積を増やしてクラストの強度を高めるとい意味で型側面に凸凹の模様が入っている型を使用すると幾分改善される。

工場で使用される大型のオーブンでは生地が入って出てくるまでの間、生地は幾つかの温度設定の異なる部屋（ゾーン）を通る。

これらのゾーンの中で最も重要なのは第1ゾーン（生地が最初に入る部屋）であり、第1ゾーンの設定温度とレスポンス（応答性）が窯伸びに最も影響する。

まず温度設定について、第1ゾーンの温度が高過ぎると生地が早く焼き固まって窯伸びが悪化し、逆に低過ぎると窯伸びするが生地中心の温度上昇が遅くなる。

しかし、単純に考えて「焼き上がるまでの生地への総熱量が同じであれば、温度設定が各ゾーンで異なっても、同じ焼き色と焼減率が得られる」と仮定した場合、入り口ゾーンの温度が低ければ、中間あるいは出口ゾーンの温度を高くし、逆に入り口ゾーンが高ければ、中間あるいは

出口ゾーンの温度を低く設定すると良い事になる（実際は単純ではない）。

しかし、第1ゾーンを低めの温度設定にした場合で、且つ第1ゾーンの蓄熱性が高くレスポンス（温度回復速度）が悪い場合、冷たい生地が連続して入ってくると、ロット後半の生地投入時に第1ゾーンの温度が回復できずに温度が低くなり過ぎる場合があるため望ましくない。

このため第1ゾーンでは蓄熱性よりレスポンスの速さを追求すべきで、むしろ温度低下時に即反応して熱を発生する予備のバーナーやヒーターが欲しい。この低めの温度設定と温度回復の即応性によって窯伸びを維持しつつ、生地中心温度の上昇タイミングの遅延を防いで、ロット内の安定的な焼き色と焼減率が達成できると思われる。

但し、ランナム型オープンの場合、入り口ゾーンと出口ゾーンが同じ温度帯の部屋になるため、構造上、第1ゾーンだけの制御は厳しいかもしれない。

5. ホイロ出し条件と窯伸び具合

角型食パンでは型生地比容積で生地重量を計算して総生地重量が求められ、所定の形状に焼き上げるにあたり、生地状態に応じてホイロ出しの高さをホイロ時間で調整し、フタをして窯に入れ、後は祈る！

この時、不幸にして所定のホワイトラインの太さで焼き上がらない場合がたまに起こり得る。

ホワイトライン部分は焼き色が薄くクラストの厚さも薄いため、パンの各面よりも先に柔らかくなってシワが寄る。つまりホワイトラインは冷却中のパンの収縮に対する緩衝の役目を果たしている。

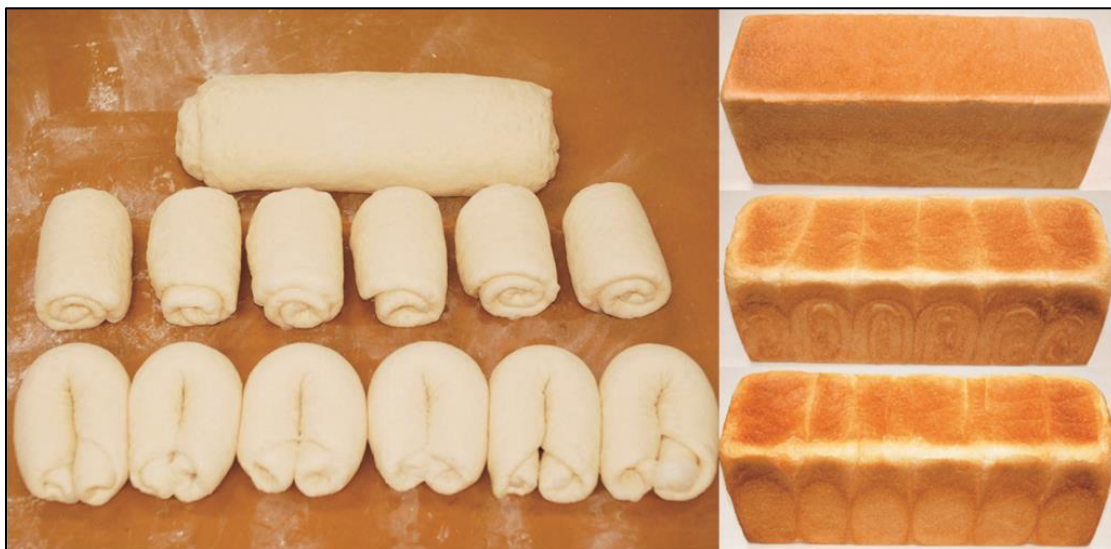


写真2. 角型3斤食パンの分割個数、成形方法と製品の外観

従って、伸び過ぎてカクカクの航空母艦型になった時、生地が全てのクラスト面に向かって大きく強く伸びるためクラスト部分に圧着し続けクラムの密度は低下し、焼成後半でもパンが焼き縮みせず、焼き型から熱が伝わり続けて表面から水蒸気が発生し、水蒸気の気化によってクラストの温度が上がらないため、パン全体の焼き色が淡い色になる。それでもクラストは厚く硬い。

一見、折れそうにないほど硬いが収縮緩衝部分の角が固まっているため、ケーピングする場合は最も弱い部分の上面や側面の中央が折れる。

さらに上面の中央部が凹んだ場合、歪みは内相下部へ影響を及ぼし下部が目詰まりする。

逆にホワイトラインが太すぎる場合は、ケーピングし難いものの、上面鉄板で吸収した熱はパン上面の鉄板に接した狭い面積部分だけでパンに伝わるため、上部の鉄板接触部分の焼き色は濃くなる。


従って、適度な形状で安定させるためには、生地調製とホイロ終了時の高さコントロールの妙技が必須となる。

6. 成形方法と側面の強度

焼成時にフタをする角型とフタをしない山型を比べると山型の方が側面のクラストは薄くなります。

フタをしない場合オープンキック（窯伸び）の力は上面に逃げていきます。その反面、側面に押し付ける力が弱くなりクラストが薄くなるのです。

逆にフタをした場合、力の逃げ場が生地とフタの僅かな空間に制限され、その僅かな窯伸びの後は全方向の鉄板に向けて生地が押し付けられることとなります。この強い力によってクラストの密度は高くなるのです。

そして、角型において U 字に折った生地を交互方向に対して同方向（）に詰めた場合、常に U 字の折曲げた部分側が先に折れます。

つまり、側面の生地のつなぎ目はクラストに強度を与えるための柱の役目を果たすのです。

例えば試験的に 3 斤型を巨大な 1 つの生地として分割しモルダーを 1 回だけ通して（通常はあり得ないが）型詰めすると、側面に生地のつなぎ目が無い製品ができます。

このような成形では側面は非常に弱く、少しでも焼成が不足するとケーピングしてしまうという結果になるのです（写真 2）。

また、同様の事例として、生地を型の長辺に対して平行に 2 本ずつツインにして型詰めする製品も同様に、側面の生地のつなぎ目の本数が少ないのでケーピングし易くなります。

従って、U や N、M の場合で、さらに側面の強度を上げるには、生地を曲げた部分に圧力をかけて（モルダー出口で折り曲げる部分だけをピンポイ

ントで強く押し付ける等）組織を強化すると幾分改善されます。

他方、リテイルではモルダーを 2 回通して俵型にして型詰めすることも多く見受けられます。この場合、俵型の生地の伸びる方向は生地を巻いている方向に伸び、渦巻き目の方向（側面）には強く伸びません。

食型内では 3 斤型の短辺の両端に向かって互いの生地同士が強く押し付け合いながら伸びるため、スライス面の内相は非常に奇麗になりますが、その反面、長辺側の側面へ押し付ける圧力が弱くなるため、ケーピングにはやや弱くなります。

これを阻止するには俵型成形後に渦巻き模様の側面を手で押さえて組織を強化するとケーピングは幾分改善されます。

7. 分割成形時の生地状態による影響

製法の違いによって分割成形時の最適な生地状態は異なりますが、中種法、ストレート法、ノータイム法の標準的な食パン生地と比較すると、ストレート法はホイロ終了時の残糖量が少なく焼き色が薄くなり易いことに加えて、気泡膜が厚いため窯伸びが若干劣ります。

この違いがクラストの強さに対して負に働き他の製法より腰折れを起こし易くしています。

一方、ノータイム法はストレート法と同等の加水量で製パンするため、生地重量当たりの固形分量はストレート法に近い筈です。それにも関わらず腰折れはストレート法より起こりにくい傾向です。

この違いの要因は分割成形時の生地状態が間接的にクラストの強度に影響を与えるためではないかと考えられます。

ノータイム法の生地状態はストレート法と比べると明らかに伸展性に富んだ状態です。この伸展性がホイロ中の生地の流動性を高め、ホイロの時間経過とともに食型の底の角に生地が行きわたり底が角張ります。そして、焼成初期に生地から蒸発したガスの逃げ道が生地と型の密着によって塞がるため底部分に若干のピンホールを生じさせます。

このような二次的な要因も伴って、底部から側面（ホイロ出し時に鉄板に付着している焼き色の薄い部分）にかけての強度が上がり折れにくくなるのです。

従って、生地状態としては弾力性が強い過熟（伸展性<弾力性）傾向よりも未熟傾向（伸展性>弾力性）の方がクラストの強度は向上することになります。

しかし、腰折れし易いからと言ってストレート法の分割成形時の生地状態を未熟傾向にすると窯伸びが低下するため、製法ごとの適正な生地状態にして窯伸びさせるには適正な生地になる様に、ある程度配慮が必要です。

他方、中種法は上記2製法と比較するとノータイム法に近似であり、伸展性に富んだ状態が「適」です。よって、底部から側面下部にかけてのクラストの状態はノータイム法に近く、比較的腰折れし難い傾向です。

しかし、中種法でも腰折れする場合、前述のホイロから焼成・冷却を疑って、ホイロ以降の工程で問題がない場合、後述のように生地調製時の問題を探る必要が出てきます。

8. 配合・製法による影響

ソフトであるべき製品に究極のソフトさを望むのは技術者や職人の常であり、少しでも多くの水を生地に入れようとしています。

しかし、加水が増えればパン生地中の固形分が減って含水率が増え、パンの骨格となる気泡膜の量、いわゆる強度が低下するだけでなく、ミキシング時のグルテンの薄膜化が水によって阻害されることで気泡膜は厚くなり、この膜の中のグルテンが強じんな場合、冷却中に強く収縮します。

さらに抵抗役の澱粉は糊化度が高まるため冷却初期で固まり難くなり、結果としてクラストは早く戻って軟化し、グルテンの収縮に抵抗できず腰折れ、最悪な場合、クラム自身も自重に耐えられずクラム底部分に目詰まりを起したりします。

このため、加水量を増やすにしても限界があります。そうは言っても加水を少しでも増やしてボリュームを出す目的で、高蛋白粉を用いるケースもあります。

高蛋白の小麦粉を使用すると、確かに加水が増え、強い生地を滑らかにするために高速ミキシング時間も長くなりますが、十分にミキシングされた生地は、しなやかさと強さを兼ね備え、窯で大きく伸びます。

ただ、ボリュームが出すぎれば、その分だけクラムの密度が減り、既に述べたように、高蛋白ゆえの焼成後の強い収縮と、パンの骨格となる澱粉が相対的に減るために、焼きあがったパンの構造は弱くなります。このため、腰折れに注意が必要です。

中華まんやイーストドーナツのシワもケービングと類似したメカニズムで発生します。

これらを防ぐには加水量や蛋白含量を下げたり、フロアタイム後の麩切り処理で収縮の原因となるグルテンのネットワークを破壊すると改善されます。ただし、食感は歯切れ感が弱まりサクくなります。

生地に練り込む可塑性油脂は一般にボリュームアップに寄与するといわれています。しかし、規定のレシピの中の油脂の配合だけを増やせば良いというのではなく、増えた油脂に対して生地の硬さのバランスを調整しなければ油脂増量が腰折れの一因になる場合もあります。

パンの冷却初期の温度が高い状態では油脂は液状で存在するため、一般に油脂の配合量が多くなるとパンの保形性としてはマイナス要因になります。

しかし、生地の作業性を考慮すれば、油脂が多くなるに従って加水量は逆に減るため、この両者の適切なバランスを調整することで、油脂を増やした時のケービングは阻止できます。

但し、加水量が減るということは、焼き上げ時の澱粉の糊化の程度が低くなるためパンはパサつき易くなります。

澱粉の糊化度が高くなって腰折れするというケースでは、前述の通り加水量を増やことが挙げられますが、それ以外では、湯種あるいは湯捏ね法が腰折れし易い傾向です。

公知の通りこの製法は製パンに使用する小麦粉の一部を事前に熱水で捏ねて澱粉の糊化度高め、これをパン生地に練り込む手法です。このため製品中の澱粉の糊化度は一般的な製パン法と比べると高く、製品の焼減率はやや低くなります。

また、窯出し後のクラムの固定化が遅く、グルテンの収縮に対して、クラストの戻りが早いため、腰折れし易くなります。

特に湯種比率が多くて軟らかい生地に調整し山型成形で大きく窯伸びしてしまった場合、パンのウエストが次第に凹んで、お辞儀したようなスライス面になってしまうという結末を経験された方も多いのではないかと思います。

この腰折れ阻止には、やや少なめの加水量で本捏ねし、湯種以外の澱粉の糊化度を下げ、ミキシング時の湯種によるグルテンの薄膜化阻害を解消するために油脂投入前のミキシングを十分に行い、5～10°C程度低い焼成温度で少し長く焼成して焼減率を高めると腰折れは幾分解消されます。

パンの老化を論じる際、澱粉構造のアミロースとアミロペクチンの話で論じられますが、これらの比率もケービングに関係しています。

具体的には、外国産パン用小麦の小麦粉よりもアミロース含量が少ない(低アミロース/アミロペクチン比率が多い)原料をブレンドすると、窯伸びした際に腰が折れる危険性が高まります。

その理由は、アミロースがケービング阻止に関与しており、窯出し後の冷却中にアミロースはアミロペクチンよりも先に固まり(老化し)、グルテンの収縮に対して抵抗する骨格となるためです。

従ってパン生地中にある程度のアミロース構造体は保形性維持に必要という訳です。ただ、逆にアミロースが多過ぎると老化が早くなります。

アミロースが少ない原料の一例を挙げると、米粉、タピオカ澱粉、日本麺用の小麦粉(原料がASW)、アミロース含量が少ない国内産小麦品種(春よ恋、ゆめちから、キタノカオリ、きたほなみ)などがあります。

パンのソフトさ向上に利用される酵素製剤についても、最近、過剰使用による弊害に気付かず現場で腰折れが多発し、その対策に病んで問い合わせにくるという事が度々あります。

機械耐性向上とソフトさアップの目的で採用し、ラボで配合を決めて現場でラインテストを行う訳ですが、大量仕込みでは分割の幅や、返し生地の処理等も配慮が必要であり、ラボで品質検討する時以上に酵素反応の影響が表れます。

具体的には、分割後半の生地が酵素作用によって軟化し（「柔」ではない）、ラウンダー（丸め機）に生地が付着し、最終的にケーピングしたり、酷い時にはクラムの底詰まりが生じます。

そこで、現場ではラウンダーへの付着を阻止するために、本捏ミキシングや加水量を控えるという対策がとられるかと思えます。しかし、この対策は老化防止の逆を行って製造安定性を高めているという、本質からかけ離れたことを行っているのです。

昨今、製パンに利用される酵素の殆どが小麦粉成分の中の多糖類を分解し水を遊離させる作用を持っています。

例えば、 α アミラーゼ、キシラナーゼ（或いはヘミセルラーゼ）など。これらの配合量が多過ぎた場合、生地中の多糖類は時間経過とともに分解を受けて水を遊離させ、本来、弾力性が強くなるはずの工程後半（例えば分割工程後半）の生地を離水によって流動性を高めて軟化させます。

つまり、分割後半は酵素反応の進行によって「やや加水過剰で生地を調整している」とこと類似の現象が生じるのです。

そして酵素反応はホイロから焼成初期まで続き、結果として前述のように加水過剰で固形分が少ない生地で生じる現象と類似した症状がパンに生じるという結果に至るのです。

さらに、この配合に乳化剤のモノグリが併用された場合は、窯出し直後のアミロースの老化が遅延し、クラムの固定化が遅れます。

これに米粉や低アミロース、湯種までも併用してしまうと、保形性不足の負の連鎖に陥ってしまい、これを阻止するために、加水を減らしミキシングを控えると窯伸びが悪くなり、場合によってはカルシウム配合の多い生地改良剤（イーストフードの2種併用）を加えたりするなど……。

本来、究極のソフトさを求めるつもりが腰折れの原因となり、老化促進のアプローチで腰折れを防止するという相殺行為を行い、これに気付かず、結局、原価が上がって老化が遅くならないという、なんとも言えない「落ち」がついた相談だったりします。

以上のように、考えられる原因を幾つか挙げましたが、現場では必ずしも原因が一つではなく、配合から工程まで多岐に渡る可能性が高いため、1つの原因だけを排除しても、十分な解決には至らないかもしれません。

また、既存の商品に対して対策を講じる場合、商品の規格を変えることになりかねないため、複数の想定される要因を分析し、これらの中から調整可能な点を微調整することをお勧め致します。

そして、究極のソフトさには腰折れはつきもので、それを極めるには使用原料や配合、必要であれば生地改良剤も含めた全体で基本的な生地物性のあるべき状態に微調整し、それに加えて、仕込みから焼成、冷却までの製造条件や設備についても十分に検討した結果、腰折れしない究極のソフトさが得られるのではないかと、最近、つくづく感じます。

最後に、製パンにおける複合的な問題点を応用力で解決するには経験が必要です。しかし100日間で習得した知識と技術だけでは応用力としては不十分だと思っています。

手前味噌ですが、その応用力の元になる「気付く力」を指導するように心がけています。

卒業生には十分に感じて頂いていると思います。が、パン学校100日コースにおける私の担当する課題研究「製法比較+機械製パン」では、実学に沿った厳しい課題を取って出しています。

研修生はそのレポートに幾度となく悲鳴を挙げ、中には徹夜して頑張った人もいと聞いています。

しかし、真の「応用力」は「気付く力」をベースに、現場の経験と理論的対処ができる実践力も備わって加速度的に高まっていくものだと思います。

これを読んだ卒業生の皆さんへ、後輩の良き指導者になって下さい。そして、パン学校の価値を周りの方々に伝えて下さい。宜しくお願い致します。