



昨今の小麦、乳製品等の原料高における対応として、パン業界全体が利益確保のために合理化やコスト削減に向けて動いている一方、消費者の多様なニーズにこたえるため、製造現場では多品種少量化が進んでいます。その中、スパイラルミキサーは仕込み量の幅が他の方式のミキサーと比較して広く、合理化の切り札としてその必要性が一層高まると思われれます。しかし日本国内で普及している機種ほとんどがヨーロッパ各国で開発されたものであるために、強靱な麩質の強力粉を使い、アンダーミキシングからフルデベロップまでの幅広い製品を製造しているという日本の製パン事情に適合していない部分も見受けられる現状があるのではないのでしょうか。このような背景により、国内メーカーによる日本のパンづくりに適応したスパイラルミキサーの開発が急務であると考え、当研究所は関東混合機工業株式会社との共同研究を行い、「スパイラルミキサーの構造並びに回転運動がパン生地の混捏（ミキシング）に与える

影響」について検証しました。今回のはみ出し授業は、ミキサーのボウルやアジテーター（フック）の形状などのミキサーの構造や、それらの回転速度などの違いによるミキシング時の効果の差について得られた結果の概要をまとめて紹介します。

試験方法の概要

市販の外国製スパイラルミキサー及び試作したミキサーを用い、パン生地を調製して、ミキシング中の材料の様子を観察及び撮影し、生地の状態を確認しました。試作したパン生地の種類は、ノータイム法、ストレート法、加糖中種法、中種法の4種の食パンに加えて、3時間発酵フランスパン、ライ麦を配合したミッシュプロート、多加水で高速ミキシングを多用するチャバタなどです。これらの生地は、実験系に応じて種類、仕込み量、加水量などを増減して作成しました。ミキシングしたパン生地の一部は、分割、成形時のハンドリング特性などについても評価を行いました。

また数値評価には、ミキシング中の生地温度測定のほか、改造ドウグラフを用いたミキシング中のミキサーの消費電力のモニタリングによるミキシングカーブの測定、改良エクステンソグラフを用いた伸展性、弾力性、粘弾性の測定を行いました。これらの結果を総合してミキサーのボウル、アジテーターの形状、これら相互の位置関係、回転数などを変更、調整し、試作したミキサーの改良を行いました。なお、これらの詳細につきましては文末に示す様に、当研究所発行の「パン技術」に記載されています。



写真 1-2
試作したスパイラルミキサー
(写真提供 関東混合器工業(株))





写真3 ミキシング時の生地の状態確認の様子



写真4 試験製パンの様子(フランスパン)



写真5 改良エクステンゾグラフ(写真左、中)、改造ドウグラフ(写真右)

ミキサーの構造や回転速度の差による ミキシングに及ぼす効果の違い

1 スパイラルミキサーの構造と回転の違いによる影響

市販外国製ミキサーによるミキサーボウルとアジテーター(ローターフック)の形状に対するミキシングへの効果の違いについて試験を行いました。(A)、(B)2機種の半袋用ヨーロッパ製スパイラルミキサーを用いて、各種パンを混捏し、ミキシングの様子を観察した結果を示します



図1 ミキサー(A)の形状

図2 ミキサー(B)の形状

1-1 小型アジテーター、回転速度速い、また、ボウル底平坦、クリアランス若干広いミキサー(A)(図1)の特性

低速初期の粉の底上がりやや遅く、低速による原料の混合均一性は若干低く、また、高速時の回転数が大きく、麩質の弱い小麦粉の高速時のミキシング安定性はやや小さくなります。

高蛋白で強靱な小麦粉をフルデベロップまで捏ね、滑らかで艶のある生地に仕上げる能力は高く、多加水生地の生地膜形成も早くなりました。また、クルミなどの練り潰しの程度はアジテーターとボウルの間隙が若干大きいため、少ない傾向が見られました。

1-2 大型アジテーター、回転速度遅い、また、ボウル底凸部あり、クリアランス極狭いミキサー(B)(図2)の特性

低速初期の粉の底上がり早く、低速による原料の混合均一性は高く、また高速時の回転数が小

さく、麩質の弱い小麦粉の高速時のミキシング安定性は高くなります。高蛋白で強靱な小麦粉をフルデベロップまで捏ね、滑らかで艶のある生地仕上げる能力はミキサー(A)と比較して、やや低く、また、多加水生地の生地膜形成はやや時間がかかる傾向が見られました。アジテーターとボウルの間隙が極めて小さいため、クルミなどの練り潰しの程度はミキサー(A)と比較して、やや多くなりました。

2 アジテーター形状の違いによる影響

2-1 ボウル径に対するアジテーター口径の大小によるミキシングへの効果の違い。

同一形状のボウルに、巻径の異なる2種類のアジテーターを用意し、各種パンを混捏し、それぞれのミキシング状態を観察、比較しました。



図3 アジテーター径の違い 左:小、右:大

小口径+高速回転型は投入したエネルギーに対し、生地形成能力が高く、モーターの出力(消費電力)が少なく済みます。しかし、低速初期の粉消失(粉と水の混合)及び小麦粉の水和に時間がかかります。(ボウルの形状を変えることで改善が可能です。(後述))、また、生地がまとまった後ではアジテーターの回転が速く、その混捏力が十分に生地に伝わるためディベロップも早くなります。

これに対し、大口径のアジテーターを高速回転させるとモーターは大きな出力を必要とし、消費電力は多くなります。また、大口径で低速回転型では投入エネルギー比で生地形成能力が小さい傾向となります。低速初期の粉消失(及び小麦粉の水和)は前者と比較して早くなりますが、アジテーターの形状が等(間隔)ピッチで巻き数が多い場合、その生地のほとんどがアジテーターの渦巻き形状の内部に滞留するため、混捏力が生地に伝わり難くなることもあり、この様な場合、ディベ

ロップは遅くなります。

2-2 アジテーターの巻き数の多少によるミキシングへの効果の違い

同一形状のボウルに、巻き数の異なる2種類のアジテーターを用意し、各種パンを混捏し、それぞれのミキシング状態を観察、比較しました。図に示すように、巻き数が多いアジテーターでは少ないものと比較して巻ピッチ(間隔)は小さく(狭く)なります。



図4 アジテーターの巻き数の違い 左:少、右:多

適正な回転数に対して巻き数が少ない場合、棒フックを使用した縦型ミキサーの様に低速時では粉消失及び小麦粉の水和までの時間が長くなります。また、高速時でも生地形成が遅くなります。これに対し、回転数を大きくすることにより、生地が振り回されてボウル壁面に叩きつけられるため、生地膜形成は改善されますが、腰のない表面に艶のある汗をかいたような生地捏ね上がる傾向となります。

適正な回転数に対して巻き数が多い場合、低速時の粉の消失速度は向上しますが、高速時の生地形成能力は小さくなります。これは、アジテーターの渦巻き形状の内部に生地が滞留し易くなるためです。これをボウルの回転数アップで補おうとしても、アジテーターの回転にボウルの回転が接近するために、両者の速度差で生じる摩擦による混捏力が小さくなります(後述)

2-3 アジテーターの太さと先細の形状のミキシングへの効果の違い

太いアジテーターはミキシング時、生地に対して接触面積が大きく、ミキシングエネルギーの伝達量が多くなるためミキシング作用が高くなる傾向となります。しかし、太いアジテーターは製作が難しくなるとともに、回転部の質量が増える

ことにより運転時の振動やモーターの消費電力が増大します。逆に細過ぎるアジテーターはミキシング作用が低くなると同時に強度の確保が難しくなります。

これに対し、アジテーターの太さが先端になるほど細くなると、混捏力が

高まる傾向となります。アジテーターの回転によって生地は底部に押し付けられるような作用を受け、生地の上部と下部の反転がスムーズに行われるため、均一で高いミキシング作用が得られます。

アジテーターの先端がL字型に折れ曲がると、アジテーター中央の力によって下部に押し下がってくる生地がL字部分に引っ掛かるため、生地はアジテーター内に滞留しやすくなり、したがって混捏力は低下します。これに対して、アジテーターの先端が弧を描くように終末していると、生地は回転運動とアジテーター中央の力によって押し下がってきても、アジテーター下部より排出されやすくなるため、混捏力は大きくなります。

2-4 不等な巻き形状(巻きピッチ)のミキシングへの効果の違い

アジテーターの形状による違いを上部、中下部、先端部に分けて解説します。



図5 上部傾斜の急な形状

図6 中下部傾斜の急な形状

上部の傾斜が急な(立っている)時、生地を押し下げる(擦り付ける)力は弱くなりますが、生地を振りほどき、アジテーターから排出するためには有効です。しかし、極端な急な傾斜では生地



写真6 先端の曲りが大きい形状のアジテーター(試作品)

量が多い時にミキシング時間が長くなってしまふという問題が生じることがあります。これに対し、上部の傾斜が緩やかな(寝ている)時、生地を押し下げる力が強く、混捏力は強くなりますが、生地を振りほどく力が弱くなるため、例えば生地が粘性を帯びてアジテーターに粘着し易い条件では、アジテーター内部に生地が滞留し易くなり、混捏力が弱くなる場合があります。

また、中下部の傾斜が急な時、粉を指先で扱うような挙動となるため、低速初期の粉の消失が遅くなり、その後の高速では水和不十分によってベタつく生地になり易くなる傾向となります。これに対し、中下部の傾斜が緩やか過ぎる時、ボウルの底に溜まっている粉を掃く面積が大きくなるために、低速初期の粉の消失が早く水和の進行も早くなります。(ボウルの形状やボウル径に対するアジテーター口径の比率も影響する。)しかし、生地量が少ない時にはミキシング時間が極端に短くなったり、生地の擦り付け運動に起因する粘性の高い生地になることがあります。

3 センターポールの有無による影響

センターポールは生地形成を阻害しています。センターポールはアジテーターに付着した生地を剥ぎ取り、この剥ぎ取られた生地はボウルの回転によってアジテーター外の空間で生地は何ら作用を与えない空間を経由して再度アジテーターに供給されるため、部分的に生地はアジテーターから作用を受けてない時間が発生します。このため、ミキシング時間が長くなる傾向となります。また、ボウル径に対してアジテーター口径が小さい場合、ミキシング低速初期段階でボウル中央の粉が混ざり難いという現象が起こりやすくなります。一方、センターポールの先にカギ状の加工がされているもの(図1)は、中央に残った粉を掃いてアジテーターに供給し、粉の消失を助ける作用を持っています。これらのことから、ヨーロッパにおいてセンターポールがついた高速回転のミキサーが販売されている理由は、蛋白含量が少なく麩質の弱い小麦粉の捏ね過ぎの緩和とミキシング安定性を高めるための施策ではないかと考えられます。原料の投入や生地の取り出し、清掃などにおける作業性はセンターポールが無い方が良好なことは言うまでもありません。

4 ボウル底凸構造の影響

ボウル底部中央の凸構造はミキシング初期にボウル中央の小麦粉の混ぜ残しを解消し、粉消失を早める効果があります。その形状は重要で、アジテーターの形状に沿った形で凸部は丸く裾が広がった形状が最も適しています。また、アジテーターの口径によって適正な高さがあり、我々の試験では、大口径では低く、小口径では高い方がより良い結果が得られました。さらに、ボウルの底周辺の形状もアジテーターに沿った形が望ましく、この曲線によって、ボウル底に溜まった小麦粉の量は底の平らなボウルよりも高くなり、その分、アジテーターによって攪拌される量（部分）が増えミキシング初期の粉と水との混合速度を高める効果があります。（図7左）



図7 ボウル底部の凸部の違い

高さの低過ぎる凸構造（図7中央）では、ボウルの中央に残る小麦粉量が増えるために、粉の消失効果は小さくなります。一方、高速時でのアジテーターから排出された生地が再度アジテーターに食い込む回転運動に対して抵抗とならないため、混捏力はあまり低下しません。また、裾が狭く高く尖った凸構造（図7右）では、ボウル底面の平らな部分の面積が大きくなると同時に、凸部斜面への粉の擦り付け作用が低下するために、低速初期の粉の消失が遅くなる傾向となります。高速時では生地の回転に対して過剰な抵抗となり、アジテーターから排出された生地が一端凸部に引っ掛かった後にアジテーターに食い込むため、混捏力は低下します。硬めの生地のミキシングでは、センターポール付きのミキサーと同様に、回転する生地はドーナツ型になります。

5 アジテーターとボウルのクリアランスの影響

上部から中間部のボウル側面に接する部分のクリアランスが狭いと生地を押し下げる力が

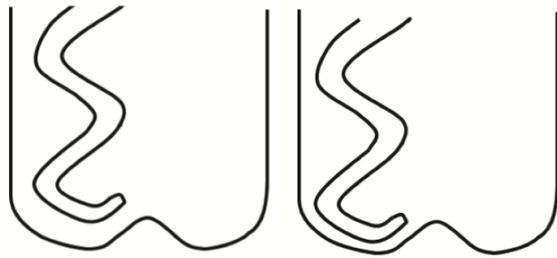


図8 クリアランスの広狭 左：広い、右：狭い

強く働くため、混捏力は高くなります。その作用は特に高速ミキシング時に有効に働きます。また、仕込み生地量が多い時、生地のせり上がりを防止する作用が大きくなります。これに対し、上部から中間部のボウル側面に接する部分のクリアランスが広いと生地を押し下げる力が弱く、生地量が多いと混捏力が低下します。また、巻き数の多いアジテーターや口径の大きいアジテーターでは生地がアジテーター内に滞留しやすくなるために、さらに混捏力が低下する傾向となります。この滞留を防ぐ目的で回転数を上げると、生地の形成は遅いまま、生地温度の上昇速度が大きくなります。

中間部から下部のボウル側面及び底面に接する部分のクリアランスが狭過ぎると、低速初期の粉の消失と水和は十分に進行しますが、高速では擦り捏ねたような粘性を帯びた生地となります。さらに、アジテーターの形状で下部の傾斜が小さ過ぎるような場合、下部からの生地の排出が不十分となり、非常に粘って腰がないにも関わらず、膜は厚く切れ易い生地になります。また、クルミなどの硬い穀物を練り込む場合、破碎され易いという問題があります。これに対し、中間部から下部のボウル側面及び底面に接する部分のクリアランスが広過ぎると、低速初期の粉の消失が遅くなり水切れの悪い生地となる傾向があります。しかし、練り込み穀物の破碎は少なくなります。

6 アジテーターの回転速度に対するボウルの速度比の影響

低速時、ボウルの速度が早いと、常に回転するアジテーターに粉と水の混合物が供給され、攪拌されるため粉の消失は速くなり、水和も進みやすくなります。逆に極端に遅いとアジテーターによって攪拌された混合物が再度アジテーターに戻ってくるまでに時間がかかるために粉の消失及び粉の

水和の速度は小さくなります。ボウルのみ逆回転でも同様に速くなりますが、生地に対する作用がかなり大きくなるため、生地がまとまりかけたと同時に未水和の小麦粉がボウルから飛散することがあります。一方、加水量調整時の足し水や油脂投入時における油脂の分散などはボウルの逆回転を上手く利用すると効率的な作業が可能となります。また、高速時のボウルの速度が早いと、アジテーターとの回転速度差が小さくなるために混捏力は低下します。逆に遅いとアジテーターとボウルの回転速度差による摩擦により混捏力は高くなります。

おわりに

現在、数多くのこの種のみキサーが存在していますが、各社、各機種ごとに構造、回転速度は異なり、それによる各種製品（パン生地）への適、不適があることは皆さんご存知と思います。これらに対し、今回の一連の試験ではいろいろな知見が得られました。たとえば、「センターポールが生地形成には必須である。」と考えていた製パン技術者の方は多いと思いますが、無い方が良い結果が得られる場合も少なくないことが裏付けられました。

また、国内で流通しているスパイラルミキサーは、その多くがヨーロッパ製で、現地と比較して強力度の大きい小麦粉を使用し、高速回転を多用する日本の製パン事情に対しては、パワー不足であることが否めません。日本における通常の強力小麦粉を使用した食パン生地のフルデベロップ時に要求されるミキサーの出力（馬力）は、同量の標準的なフランスパン生地の約 1.4 倍（図 9）、最近流通し始めた米粉を使用したパンにおいては、配合によって、一般的

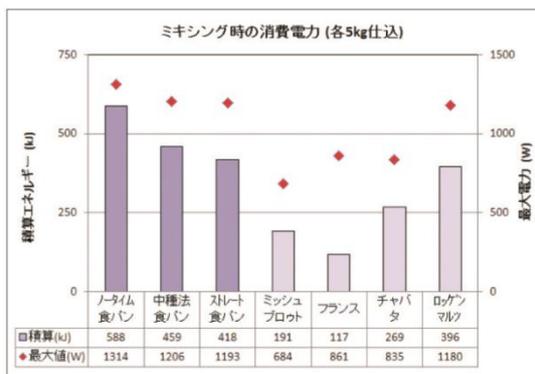


図 9 試作したスパイラルミキサーで測定した各種パン生地混捏時の消費電力

な食パン生地と比較して、更に 1.6 倍程度必要（図 10）となることがわかっています。

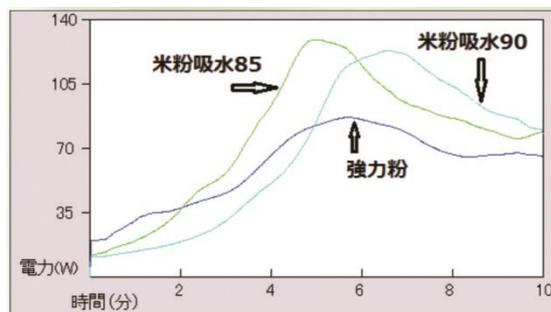


図 10 ドウグラフで測定した米粉パン生地のミキシング曲線

本編につきましては、使用する皆さんの目的に合ったミキサーの選定や、メーカーの方々が良いミキサーを開発設計する上で、有用な情報となりますことを本研究スタッフ一同、切望しております。また、本研究により開発、設計されたスパイラルミキサーは、2013 年 9 月現在、半袋及び 1 袋用が実用化されています（写真 1-2）。これらのミキサーは、多くの実験から得られたデータをもとにデザインされたミキサーボウルとアジテーター、任意の回転数の設定機能、可変アジテータークリアランス、海外製同種ミキサー比 2.5 倍の高出力モーター及び省電力インバーターの使用、加えて、低騒音、低振動設計など、国内の製パン事情に適した仕様となっています。

なお、本文中の説明図はミキサーの構造、形状をわかり易く概念的に、差異を強調して描いてあるため、実際とは異なる場合があります。また、冒頭に申しあげたように、試作したミキサーを用いて数多くの製パン試験を行い、その結果得られた知見をもとに記述をしていますが、紙面の都合上要点のみ抜粋したため、説明不足の点多々あることをご容赦ください。これら試験条件、結果等の詳細は、『パン技術』No. 731、No. 733、No. 736 「スパイラルミキサーの構造・回転が混捏に与える影響 1～3」に記述してありますので、ご参照くだされば幸いです。

本研究を進めるにあたり、試験機器をご提供頂きました関東混合機工業株式会社様に重ねて深く感謝の意を申し上げます。