

# スポンジケーキ生地のミキシング工程における品質安定化と自動化

中井機械工業株式会社

代表取締役社長 中井 節

中井機械工業(株) 技術部 滝本 真吾

中井機械工業(株) 技術部 渡辺 高行

中井機械工業(株) 製造部 麻田 昌成

中井機械工業(株) 営業部 的場 啓太

## 開発の背景

スポンジケーキの生地をミキシングする工程では材料を厳密に管理しないと、「冷蔵した材料と、常温の材料」、「気温差」、「使用する材料の品質のバラつき」など多種多様な要因によって、混ざり具合や最終の焼成工程での出来上がりに差が出てしまい、経験を持つ職人でも常に一定の品質を年間を通して維持することは非常に神経の使う作業となっている。それでも、職人たちは常にできるだけ同じ条件で商品を製造できるように意識し、条件が異なる時は他のパラメーターを調節しながら商品を作り出している。そういった職人技のお陰で消費者は、いつものお店で、いつものおいしいケーキを食べることができるのである。

しかし、昨今の洋菓子店または洋菓子工場では後継者不足や人手不足で熟練したケーキ職人が不足しており、経験の伝承や技術力の維持が難しくなっている例が珍しくない。当社は、ユーザーのこうした現状を目にすることが多かったため、スポンジケーキの焼成前の生地製造工程で使用されるケーキ用縦型ミキサーの自動化に着目した。

従来のミキサーでは、機種によりタイマー動

作などを組み合わせて自動運転できるものも存在しているが、その時の気温や水温、材料の品質や温度などを考慮すると機械が全く同じ動作をしたとしても、全く同じ泡立ち具合を再現するのは困難である。また、ボールを加熱するための装置が付いていないので、一部ユーザーはボールの下に水を張ったボールを設置しそれをガスバーナーで炙る湯煎装置や、ボール自体をバーナーで炙って温度を調節したりしていた。しかしいずれの方法も扱う作業者によってもバラつきがあり、生地温度を1℃刻みで厳密に管理することは到底不可能であった。

また、従来のミキサーによる比重管理方法としては、ミキシングにより生地の内部に生成される気泡の状態と量を比重と置き換えて管理する方法であり、ミキシング途中で一旦停止し、決められた計量カップ(テスターカップ)に生地を流し入れ、その重量を量る方法である(図1)。比重が小さくなるほど生地内部の気泡量が多くなり、逆に比重が大きくなると気泡量が少なくなる(図2)。しかしこの方法ではミキシングを止めてサンプリングしなければ比重を測定できないので、頻繁に計測するとミキシングの連続性が妨げられて品質がバラつく要因となる。また最終の出来上がりの判断も、職人の経験によるものとなっていた。



図1 テスターカップを使用した比重の計測方法

従って当社では人の手や目の代わりとなる計測技術を搭載し、最終目標として自動運転が可能になるような機械がユーザーから多く望まれていると考え、材料の投入以外は自動化し工程管理ができて、気温の差や使用する材料の年間を通しての僅かな差に関係なく経験やカンを必要としない機械を目標に開発に着手した。

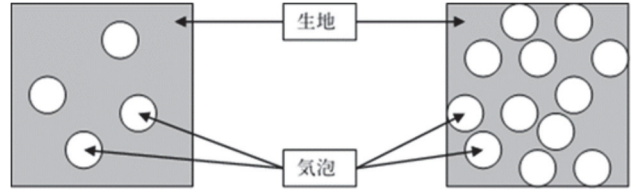


図2 ホイップ生地の比重と気泡の関係

## 技術的な説明

### (1) 効率的なミキシング構造の開発

スポンジケーキの製造において、生地内部の気泡は焼成した時に膨張してスポンジケーキの体積（高さ）や食感を左右する重要な要素である。気泡は生地をホイッパーでミキシングすることにより、生地の中に空気を抱き込みそれをホイッパーワイヤーでせん断することで細かい気泡が生成される。従ってホイッパー回転速度やミキシング時間が気泡生成メカニズムの最も大きなパラメーターとなる。

本開発の機械はボールを IH ヒーターで加熱し、常に生地温度を監視することで、温度を 1℃ 単位でコントロールができる構造とした。また、そのためにボールの形状を見直し、従来の丸底ではなく、平底の形状として IH ヒーターで均一に加熱ができる構造とした。また、平底という



図3 ホットミックスのみキシング部

ボール形状を生かして、従来のシングルホイッパーではなく、大小二つのダブルホイッパー形式を採用した（図3）。これにより中心部分のデッドスペースを解消し、短時間で混ざりの良い効率的なミキシング構造が実現しており、それにより従来品と比較してボール内部における比重のバラつきを低減することができた。

## （2）新しい測定技術（ホイップセンサー）の開発

スポンジやメレンゲなどの生地は、泡立ち具合により比重が変化する。空気をより多く取り込むことで、比重が軽くなると同時に、空気の含有量が増えて電気を流し難くなるため、導電率が低下する。これらの現象を利用し導電率を測定することで、生地の比重が今どの状態であるか、実際に比重を測定しなくても計測できるのではないかと考えた。また実際にメレンゲを泡立てながら比重と導電率を測定すると、同様の変化が見られた（図4）。

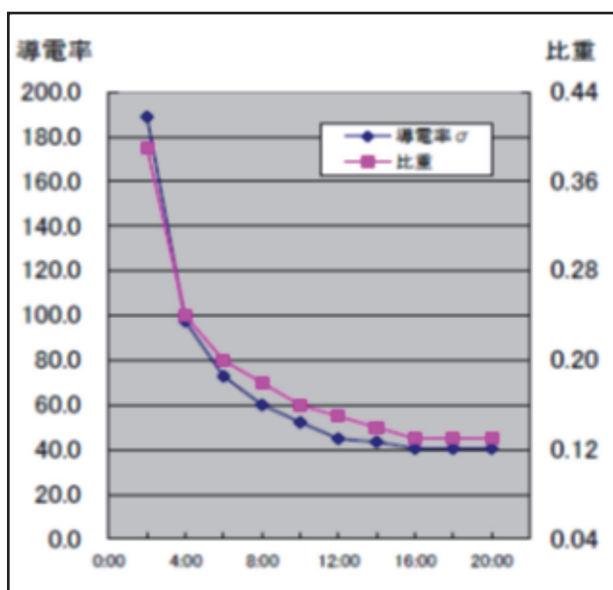


図4 メレンゲ泡立て時の導電率と比重の関係

またミキシングする材料の種類や銘柄により、ホイップセンサーの数値は大きく変化しますが、同じ材料、同じ条件でミキシングした場合、同じ導電率の値を再現できることが実験により検証できているので、この数値を目安にミキシング時間、回転速度、温度などをコントロールす

ることで出来上がり品質の安定化を実現することができる。泡立ち具合という最終目標が数値化されているので、工程の自動化が可能になる。

この数値を当社では「ホイップ値」と定義している。

## （3）技術的な課題

ホイップセンサー（図5）を開発するにあたり、ホイップ値を安定して測定するには、ホイップセンサーの先端の形状が大きく影響する。従って先端の形状を決定するために多くの試作品や時間を費やし試行錯誤を繰り返した。



図5 ホイップセンサー外観図

また導電率の値は、生地温度の変化によって測定値が変化するため、温度帯に応じた補正が必要となる。そこで、導電率のセンサー付近に温度センサーを取り付け、導電率測定と同時に温度を測定し、2つのデータをあわせて送信し、受信側で温度補正をすることで、温度が変化した場合でもホイップセンサーで安定した導電率測定が可能となった。これには先に開発し商品化されているワイヤレス温度計の技術が応用されており、計測データはワイヤレス方式で受信器に送信されるので制御盤との間の配線が不要となり、計測により効果的な場所へ自由に装着

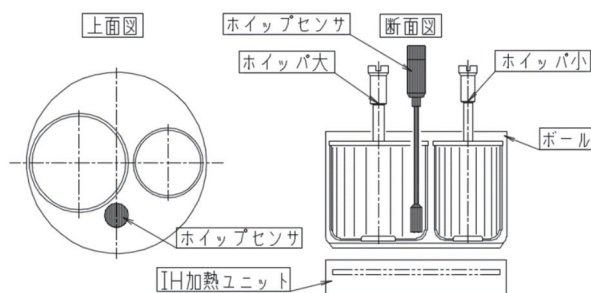


図6 ミキサー内部配置図

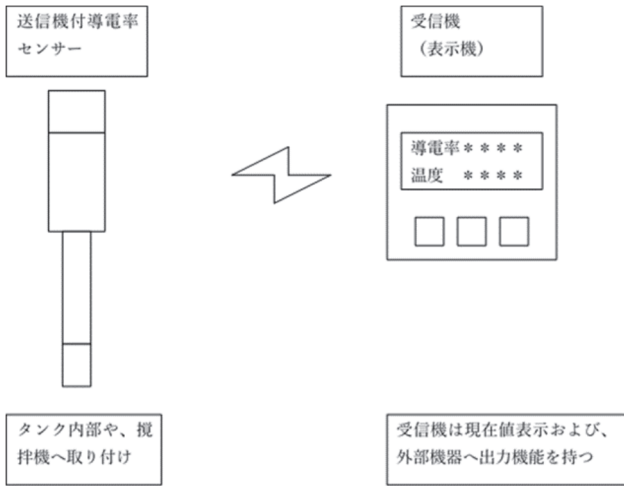


図7 ワイヤレスセンサー概略図

できるため、測定値の安定化にも寄与している（図6、図7）。なおかつ配線が無く丸洗いができるため、洗浄性にすぐれており衛生的である。

### 従来技術との比較

ホイップセンサーの技術により常にボールの中の導電率と温度を監視しながら運転することができる。ホイップセンサーはスポンジ生地の気泡状態を常に数値化し、リアルタイムで可視化することができる技術であり、その数値を見ながらミキシング時間や回転速度を調節することもできる。

従来のミキシング技術と比較して大きな違いは商品の仕上がり状態を数値目標として計測し、各種のパラメーターを機械が自動的にコントロールしながらミキシングができることである。スポンジ生地の完成まで自動で運転することができるので、その日の気温や素材のバラつきによる泡立ち具合の変化にあわせて、商品としての最適な生地状態にまで機械任せで到達することができる。また、製造工程の自動化を行うためにタッチパネルを使用しており、商品の工程を機械に記憶させることで、経験が浅くても誰もが簡単な操作で同じ品質で商品を効率的に作ることができる。記憶できる商品の種類は20種類まで記憶できる。（図8）

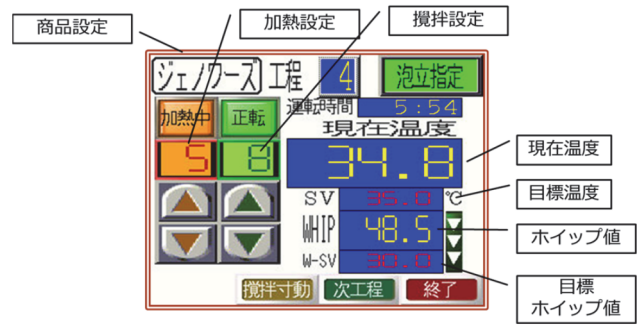


図8 タッチパネル操作盤

ホイップセンサーの技術を応用することで、経験の浅い職人にも製造の管理を任せられることができるようになった。これにより多店舗展開をスムーズに行うことができ、店舗ごとの味や品質の均一化にも貢献できるようになった。

### まとめ

さまざまな製造業界ではすでに AI やロボットなどが人に替わり作業を行うことも珍しくなくなってきた。しかし食品工業や和洋菓子の製造現場では味覚や食感を扱うために、人間でしかできない繊細な作業が多く存在し機械化、自動化が進んでいない。

私たちは全てを完全に自動化することは求めておらず、反復的な単純作業や、人が行うことでバラつきの出る作業などを機械化、自動化することで、人間が本来の創造的な仕事に集中できるようにできれば、と考えている。

また今回の技術を開発し、実現することができたことで、開発初期、想定していたよりも、数多くのメリットを得ることができたので、これからも食品工業の発展に貢献していきたいと考えております。