

## Extrusion

## 二軸スクリューストローターによる フレーバー成分のカプセル化

### 著者

Gabriela Saavedra, Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe,  
Germany

### はじめに

フレーバー、フレグランス、および栄養補助食品や医薬品の分野で採用されているような生物活性食品化合物は、最終製品の取り扱いを容易にし、より正確に利用するために、粉末または粒状の形で供給されることがよくあります。さらに、ここ数十年で、カプセル化技術がこれらの形状に新しい機能を追加してきました。カプセル化により、蒸発、酸化、湿気、およびその他の攻撃的な環境物質から保護して製品の貯蔵寿命を延ばしたり、事前に設定された条件下での主要な化合物の放出の制御をサポートしたりできます。フレーバー業界で使用される最も一般的なカプセル化技術は、スプレードライ、スプレーコーティング、および押出混練です。

スプレードライは食品業界で広く使用されていますが、この技術の高温と速い乾燥速度では、温度に敏感な化合物のカプセル化ができません。さらに、供給物の粘度は、初期製剤の乾物含有量を制限する要因となり、処理中の溶媒使用量を増加させる可能性があります。これにより、プロセスのコストとエネルギー消費が増加します。

二軸スクリューストロージョンは、フレーバー、フレグランス、およびアロマコンパウンドをカプセル化するためのモジュール式で柔軟な方法を提供します。このプロセスには、主に2つの利点があります。二軸スクリューストロージョンでは、熱的および機械的エネルギーによりカプセル化マトリックスが溶融するため、溶剤は使用されません。これは、コストを増加の要因となる溶媒の供給と回収が必要ないことを意味します。さらに、二軸スクリューストローターは、設置面積を削減します。その他の利点として、エネルギー消費量の削減、目的の材料特性を得るための処方制御の強化、化合物の劣化を避けるために複数のゾーンで異なる温度設定する能力も挙げられます。

このアプリケーションノートでは、Thermo Scientific™ Process™ 16二軸スクリューストローターを使用した糖マトリックスへのシトラスオイルのカプセル化を紹介し、目的の製品の生産に対応するためのプロセス開発のヒントをいくつか紹介します。



Process 16 二軸スクリューストローター

## 押出混練プロセス

### 製剤化の重要性

配合は、押出混練プロセスの設計の鍵です。各材料や成分はそれぞれ役割を持ち、大まかにマトリックス形成、分散相、添加剤の3つのカテゴリーのいずれかに分類できます。

マトリックス形成化合物は、カプセル化のベースとして機能するという重要な役割を担っています。通常、(半)非晶質炭水化物オリゴマー、デンプン、場合によっては分散相と相互作用する可能性があるタンパク質で構成されるマトリックス形成物質は、カプセル化を必要とするさまざまなアプリケーションで極めて重要な役割を果たします。それらは、分散相の保持/放出と動作温度の両方を決定し、望ましい結果に不可欠なレオロジー特性と物理化学的特性を持ち合わせています。

分散相とは、フレーバー、アロマ、フレグランス、または生理活性化合物であるかどうかにかかわらず、カプセル化される化合物を指します。それは溶媒の形態であったり、オイルベースでもよく、希望するアプリケーションや処理条件によって、エマルジョンや単一相として導入することができます。

この分散相の極性は、カプセル化に最適なマトリックスを決定する上で重要な役割を果たします。マトリックスが異なれば、極性物質と非極性物質との相互作用も異なり、カプセル化の効率と有効性に影響を与えます。分散相の極性とマトリックスの極性を一致させることは、最適な状態のカプセル化を得るために不可欠です。さらに、分散相の熱感度は、エクストルーダーのバレルのどの位置から材料を投入するかを決定する重要な要素です。材料が劣化したり、揮発性が高くなったりする可能性があるため、押出プロセスの長さに沿った温度プロファイルを慎重に検討して、分散相が適切な段階で追加され、望ましくない劣化を受けないようにすることが重要です。

添加剤はカプセル化プロセスで重要な役割を果たし、最終製品にさまざまな利点をもたらします。水などの一部の添加剤は可塑化効果を生み出し、材料のガラス転移温度 ( $T_g$ ) を下げ、ポリマーマトリックスの柔軟性を高めます。また、レオロジー特性を変更し、押出混練中の流れの挙動を制御することもできます。さらに、添加物は、不飽和脂肪酸を含む材料の酸化を防ぎ、栄養価を維持するのに役立ちます。

乳化剤などの添加剤は、保持力を高め、液滴の分布に影響を与え、製品の品質と貯蔵寿命を向上させます。乳化剤が配合物に添加されるかどうかによっても、得られる粒子の形態が決まります。図1は、押し出しによって得られる可能性のある粒子形態を示しています。

1. マトリックス内の粗分散
2. 乳化剤や他の添加剤によって促進される微分散
3. 芯材へのフィルムコーティング
4. 分散相にコーティングを追加した微分散性
5. 分散相とマトリックスの両方のコーティング

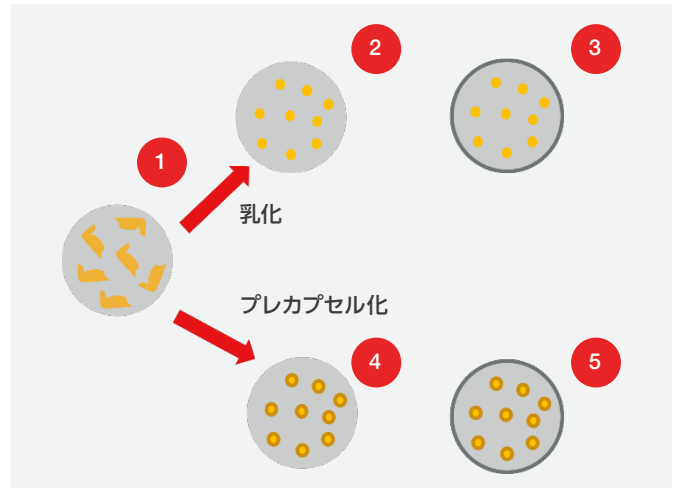


図1. 粒子形態の種類

粒子の形態は、材料の配合だけでなく、予備乳化や押出混練プロセスなどの処理ステップにも依存します。粒子の形態は、他の特性の中でも特に、分散相の放出と粒子負荷に影響を与えます。

### 押出混練パラメーター

このアプリケーションノートでは、マルトデキストリンとスクロースの混合物をマトリックスとして、シトラスオイルを分散相として選択しました。特定の実験では、最大5重量%の濃度で水を可塑剤として使用しました。2番目のフィードゾーンから水を供給し、4番目のフィードゾーンにシトラスオイルを供給しました。上述したように、水は溶融物の $T_g$ と粘度を減少させ、分散相のカプセル化と得られる製品の形態に影響を与えます。図2は、実験装置の構成例を示します。

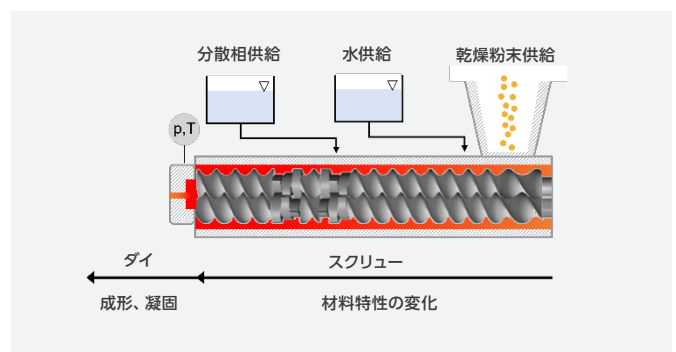


図2. エクストルーダーの装置構成概略図



スクリー速度の範囲は200~600 rpmで、温度は  $T_{\text{barrel}2}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{barrel}3}= 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{barrel}4-6}= 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{barrel}7}= 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{barrel}8}= 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{die\_adapter}}= 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ に設定しました。

スクリー構成には、適切なポリマーの溶融、適切な混合とポリマーマトリックスへのオイルの分散を確保するために、複数の混練ゾーンを設定しました。さらに、スクリーはエクストルーダーの最後のゾーンに溶融物を保持し、後工程に必要な十分な冷却を確保します。図3は、5 wt%のシトラスオイルと5 wt%の水を添加した場合(右)、水を添加しない場合(左)の2つのサンプルを示しています。

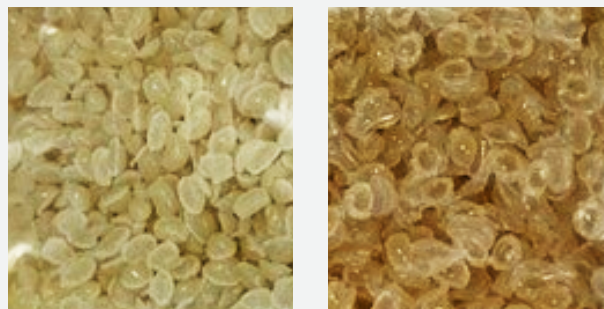


図3. スクロース-マルトデキストリンマトリックス中の5 wt%シトラスオイル(水あり)(右)と水なし(左)

## 後工程

最終製品は、さらに室温まで冷却し、後工程で特定の形状や直径に成形することができます。典型的な後工程機器として、ペレタイザー(ストランドまたはフェイスカット)、フレークを製造するためのチルドロール、フィルムを製造するためのシート巻取機があります。これらの機器は、中間製品や最終製品に希望する特性を与えるためにパラメーターの調整が可能です。このアプリケーションノートで実施したプロセスでは、2つの回転ブレードと直径3 mmの1つのオリフィスを備えたフェイスカットペレタイザーを使用しました。

## 結論

このアプリケーションノートでは、フレーバーコンパウンドをカプセル化するための同方向回転二軸スクリーエクストルーダーを使用したホットメルトエクストルージョンのプロセス設計について説明しました。

このトピックに関する動画もご覧ください。

## 参考文献

- N. Castro et al., (2016) Melt Extrusion Encapsulation of Flavors: A Review
- Markus W. Tackenberg et al., (2015) Encapsulation of orange terpenes investigating a plasticisation extrusion process, Journal of Microencapsulation, 32:4, 408–417
- Bouvier & Campanella, (2009) Extrusion Processing Technology—Food and Non-Food Biomaterials

詳細はこちらをご覧ください [thermofisher.com/process16](https://thermofisher.com/process16)

研究用에만使用できます。診断用には使用いただけません。

© 2025 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved.

All trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific and its subsidiaries unless otherwise specified.

実際の価格は、弊社販売代理店までお問い合わせください。

価格、製品の仕様、外観、記載内容は予告なしに変更する場合がありますのであらかじめご了承ください。

標準販売条件はこちらをご覧ください。 [thermofisher.com/jp-tc](https://thermofisher.com/jp-tc) MC508-A25060B

サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社

お問い合わせはこちら [thermofisher.com/contact](https://thermofisher.com/contact)

**thermo** scientific