

樹脂ペレットの流動シミュレーション —形状と流動性の関係解明—

研究・開発機関 : [ダイキン工業株式会社 テクノロジー・イノベーションセンター](#)
 利用施設 : 自社内ワークステーション、FOCUSスパコン
 計算規模 : 10~30万要素 (10コア並列計算で10~30時間/ケース)
 利用ソフトウェア : LS-DYNA

Before

- 樹脂成型品の原料である樹脂ペレットの流動性は、その大きさと形状の影響を受けることが経験的に知られていますが、論理的な検討がなされておらず、その設計は経験と勘に基づいて行われていました。
- 実験によるデータ取得に基づく方法では膨大な工数とコストがかかり、また往々にして最適解に辿り着くことができず、流動性の良い樹脂ペレットの設計を行うには限界がありました。

After

- シミュレーションにより流動性を向上させた最適な樹脂ペレットの扁平楕円体形状を解明することができました。この最適樹脂ペレット形状は樹脂ペレットの量と材質、ホッパーの角度に依存せずに成立することが明らかになりました。
- 流動性を向上させた最適な扁平楕円体形状は、フッ素樹脂ペレットの実生産に適用され、商品価値の向上や電線の被覆などの樹脂成型品の品質安定性向上に寄与しています。

背景と目的

IoT/5G時代において、データを滞りなく大量かつ高速に転送できる通信ケーブル (LAN や USB) の高性能化と細線化に対する要求が高まり、通信ケーブルに用いられる電線の高性能化においては被覆状態の安定化が求められます。しかし、細線化に伴う押出成形機 (図1) の小型化などにより被覆状態の安定化は難しくなります。

その原因の一つとして、被覆過程において押出成形機のホッパーからシリンダーに流れる樹脂ペレットの流量が一定ならず、シリンダーにおいて樹脂が安定的に電線の被覆に供給されないことが挙げられます。電線を高速かつ安定的に被覆するためには、樹脂ペレットがホッパーからシリンダーに円滑に流れていく必要があります。

樹脂ペレットの流動性は、その大きさと形状の影響を受けることが経験的に知られていますが、論理的な検討がなされていません。これは、樹脂ペレットは離散的で相互作用が複雑で、その運動を一義的に定める支配方程式はまだ確立されていないことに加えて、モデルの規模や計算時間などの制約により、実現象をそのままシミュレーションするのが困難なことにも原因があると考えられます。そのため、樹脂ペレットの設計は経験と勘に基づいて行われていました。

電線の被覆状態の安定性を向上させるには、樹脂ペレットの流動性に及ぼすその大きさと形状の影響解明が望まれています。

今回、動的陽解法を用いた小規模なモデルのシミュレーションと統計的な手法により樹脂ペレットの流動性と、その大きさ、形状との関係を解明しました。

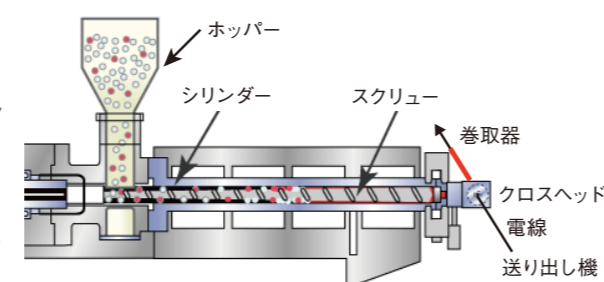


図1 押出成形機による電線の被覆

■ 利用成果

樹脂ペレットは、樹脂などの工業原料を加工しやすいように数ミリ程度の粒子状にしたものです。今回は、回転楕円体に近い形状を有するホットカットペレットを対象とし、樹脂ペレットのホッパーへの充填過程と、ホッパーからの流出過程の流動シミュレーションを行いました。図2左側に樹脂ペレット単体を、右側にホッパーとホッパーの上部に配置された樹脂ペレット群 (樹脂ペレット単体の集合体) の模式図を示します。ここで、樹脂ペレットを回転楕円体と見做すと、その大きさは赤道径と極径で決まります。なお、今回は、樹脂ペレットのホッパーからの流出時間を樹脂ペレットの流動性評価の指標とします。

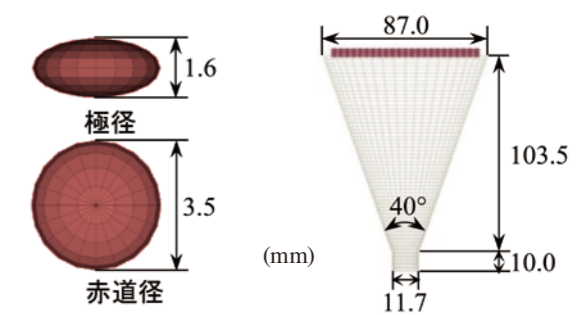


図2 樹脂ペレット単体とホッパーおよび樹脂ペレット群の模式図

樹脂ペレットの形状が相似形の場合

赤道径と極径との比 α が一定で大きさが異なる相似形の樹脂ペレットの形状とそのメッシュ分割状況を図3に示します。ここで、 α は2.1875です。シミュレーションに用いた質量と赤道径の違いによる樹脂ペレット群のホッパーからの流出時間の変化を図4に示します。これによると、同じ質量においては、赤道径が小さいほど樹脂ペレット群のホッパーからの流出時間が線形的に短くなるのが読み取れます。これは、すなわち、樹脂ペレットが小さいほどホッパーからよりスムーズに流出でき、流動性がよいことを意味します。なお、樹脂ペレットが小さくなると樹脂表面の帯電量が大きくなり、その取扱い性が低下するため、流動性と大きさとのバランスを考慮する必要があります。

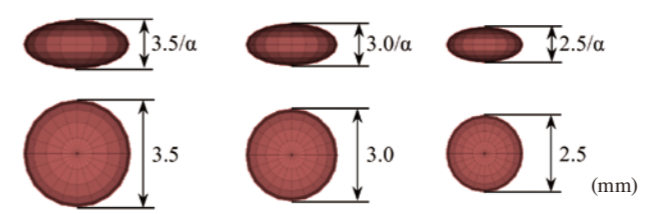


図3 相似形を有する樹脂ペレットのメッシュ分割

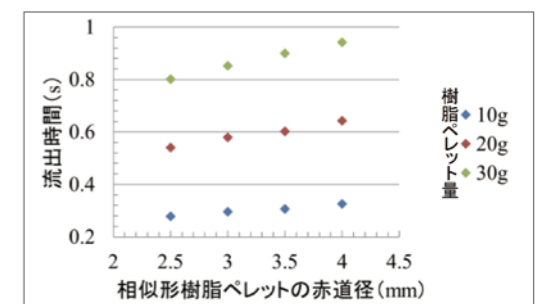


図4 相似形を有する樹脂ペレットの流出時間

樹脂ペレットの体積が等積の場合

赤道径と極径との比 α が異なり、等積の樹脂ペレットの形状とそのメッシュ分割状況を図5に、 α の違いによる樹脂ペレット群のホッパーからの流出時間の変化を図6に示します。これによると、 α が1の球体と比較し、1より小さい扁平楕円体 (長球) と1より大きい扁平楕円体 (扁球) にそれぞれ流動性のよい形状が存在することが見て取れます。具体的には α がそれぞれ0.47の扁平楕円体と2.19の扁平楕円体の樹脂ペレットは優れた流動性を有することが明らかになりました。また、最適な樹脂ペレットの形状は、樹脂ペレットの量と材質、ホッパーの角度に依存せずに成立することもシミュレーションにより確認しました。さらに、最適な扁平楕円体と最適な扁平楕円体は、それぞれの赤道径と極径との比が互いに逆数の関係 ($0.47 \times 2.19 \approx 1.0$) にあるという興味深い現象が判明しました。シミュレーションにより解明した上記の流動性を向上させた最適な扁平楕円体形状は、フッ素樹脂ペレットの実生産に適用され、商品価値の向上と電線の被覆状態や他の樹脂成型品の品質安定性向上に寄与しています。

弊社では、各種シミュレーションを行っており、必要に応じてFOCUSスパコンなど外部計算資源も活用しています。

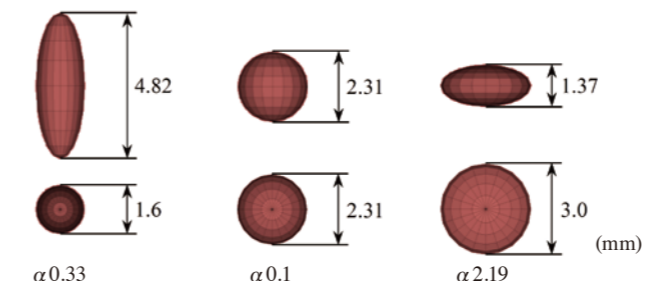


図5 形状が異なる等積樹脂ペレットのメッシュ分割

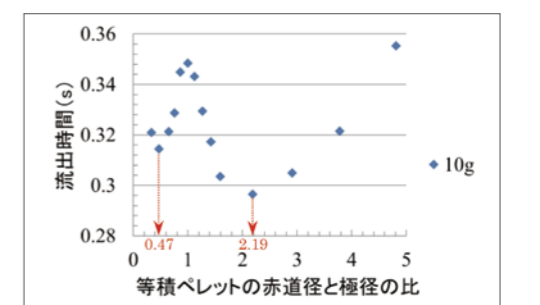


図6 形状が異なる等積樹脂ペレットの流出時間

出典: 劉 継紅, IoT, 5G時代の通信ケーブルの電線被覆用樹脂ペレットの形状適正化, 第32回計算科学講演会 (2019)