

射出成形の品質向上を支えるシミュレーション技術

Simulation Technologies Supporting Quality Improvement in Injection Molding

矢島 あす香 YAJIMA, Asuka

菅田 好信 SUGATA, Yoshinobu

横森 則晴 YOKOMORI, Noriharu

電気絶縁性に優れたプラスチックは、その力学的特性や性質を生かしてさまざまな製品で使用されている。富士電機では、プラスチック部品の高品質化のため、樹脂流動解析により開発の初期段階で品質や生産性に関わる問題を顕在化させ、製品・金型設計に反映している。解析結果と三次元プリンタの活用により、反りを考慮した組立性を検証し、自動組立に適した部品を短期間で開発した。非定常伝熱解析では、金型温度調節回路を最適化し、成形サイクルを大幅に短縮した。また、繊維強化プラスチックの繊維長予測に取り組み、部品の強度に影響する繊維長分布傾向を把握できるようにした。

Plastic has excellent electrical insulation properties and is often utilized in various products due to its mechanical properties and characteristics. In order to improve the quality of plastic parts, Fuji Electric has utilized resin flow analysis to elucidate the quality and productivity issues that exist during the early stages of development. Furthermore, we have been reflecting our findings into the design of our products and molds. We have verified ease of assembly in consideration of warping by using the analysis results and a 3D printer, and as a result, we developed parts suitable for automated assembly in a short time. We have also utilized unsteady heat transfer analysis to optimize the temperature control circuit for molds and have significantly reduced the molding cycle. Furthermore, we have been working to estimate the fiber length of fiber-reinforced plastic, and are now able to determine the distribution trends of the fiber length that affects the strength of parts.

① まえがき

プラスチックは電気絶縁性に優れ、かつ工業部品に使用できる力学的特性や撻動（しゅうどう）性、耐溶剤性などを持つものが多数ある。富士電機では、パワーエレクトロニクス（パワエレ）機器、食品流通機器、電子デバイスなど、多くの製品で使用している。

近年、生産拠点のグローバル化が加速するとともに、世界同一品質が要求されている。これに応えるため、プラスチック部品の成形においては、製品形状や金型構造の自由度が高く、修正コストが低い開発の初期段階で、製品・金型設計に起因するさまざまな問題を確実に顕在化させ、品質を作りこむことが重要である。

樹脂流動解析をはじめとするシミュレーション技術は、寸法や外観不良の予測だけでなく、組立性の検証や金型温度調節回路の最適化など、生産性を考慮した製品・金型設計にも有効なツールである。

本稿では、シミュレーション技術を活用した射出成形部品の品質向上への取組みについて述べる。

② 射出成形におけるシミュレーション技術

射出成形において、プラスチック材料は射出工程で金型内に充填され、保圧、冷却工程を経て金型から取り出される。この過程で、プラスチック材料の主成分である樹脂は金型と熱交換しながら流動状態から固体へと変化し、離型後に温度平衡状態となるまで収縮する。また、繊維強化プラスチック材料の強化繊維は金型内の樹脂の流れに沿って配向し、収縮や強度に異方性を生じる。樹脂流動解析はこの間の樹脂の挙動・状態のシミュレーションを行う技術である。

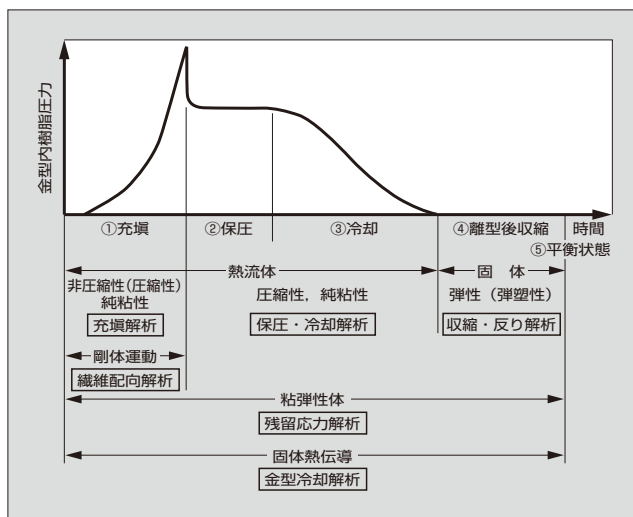


図1 射出成形プロセスと樹脂流動解析の関係

図1に射出成形プロセスと樹脂流動解析の関係を示す。樹脂流動解析では、充填圧力や未充填部の有無から成形ができるか否かの判断ができる。また、反り、インサート部品の变形、ウェルドの発生位置など、さまざまな成形品質の予測ができる。さらに、繊維強化プラスチックの強度を左右する繊維配向の予測も可能である。

充填圧力により、射出成形機の型締力（金型が開かないように金型に加える力）の算出だけでなく、構造解析と連携することで金型の発生応力や変形の予測ができる。金型製作前に金型部品の強度確認や無駄のない最適な形状を検討することで、金型をより高度に設計し、信頼性の高い製

〈注〉ウェルド：溶融樹脂の合流部に発生する細い線状の成形不良をいう。

品が供給できる。

樹脂流動解析で予測した繊維配向やウェルド発生位置、反りを解析モデルに組み込んで構造解析を実施することで、成形品の強度を予測することが可能である。近年では繊維配向だけではなく、成形機シリンダ内も含めた樹脂の流動中の繊維折損状況を解析し、成形品内の繊維長分布を予測することも可能となってきており、より高い精度で強度を予測し、製品・金型設計に反映できるようになってきた。

金型温度は成形性や成形品質はもとより、生産性にも大きく影響する因子である。従来の金型冷却解析は、成形サイクル内で温度が変動するが平均値は一定とする定常解析であった。最近では非定常金型冷却解析により、成形開始から金型温度が安定するまでの金型各部温度の経時変化、および安定後の熱溜り部の有無を確認することができる。

③ 樹脂流動解析

3.1 反り解析の活用

樹脂の収縮に起因して発生する成形品の反りは部品機能を阻害するだけでなく、他部品とのはめ合いや自働組立の可否などにも影響する。

これまでも、はめ合い性の検討に反り解析結果を活用してきた⁽¹⁾(図2)。しかし、組立性に関しては図面寸法に基づき切削や三次元プリンタなどで作製した試作品で確認するが、反りの影響は試作型での成形品による検証が主体

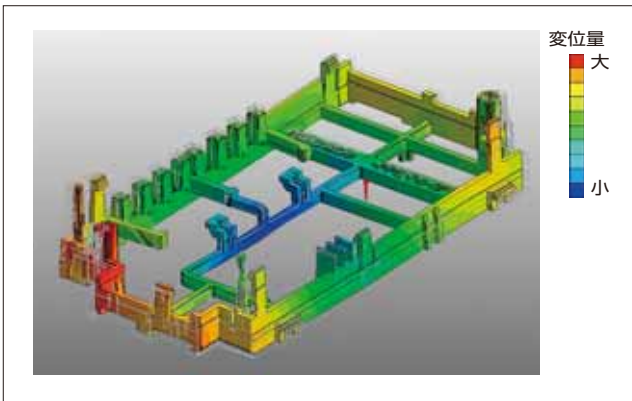


図2 パワエレ機器部品の反り解析の例

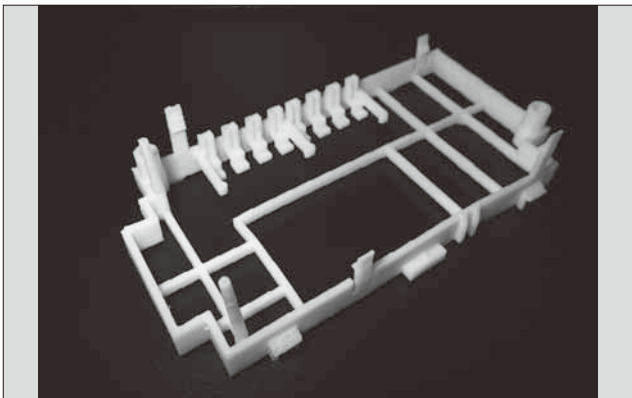


図3 パワエレ機器部品の三次元プリンタ出力の例

であった。近年では、反り解析で得られる変形後の形状を三次元プリンタで出力し、組立性の確認に活用している(図3)。このような取組みにより、設計段階で自働組立が可能な寸法となるように部品形状や金型構造の最適化が得意、金型改造の抑制と開発期間の短縮が可能となる。

3.2 ウェルド回避

ウェルドは外観不良となるだけでなく、特に強化繊維を配合したプラスチック材料では、ウェルド部分において強度が著しく低下し破壊の起点となることが知られている⁽²⁾。

富士電機が扱うプラスチック部品には、高い機械的特性が求められる製品筐体(きょうたい)や機構部品が多く、複雑な形状や開口部を持つためウェルドの発生は避けられない。そこで、充填解析でウェルド発生位置を予測し、成形の可能性(充填圧力、未充填部の有無)や繊維配向、反り量なども考慮してゲート位置や製品形状の最適化により、高応力部でのウェルド発生を回避している。

図4に、ウェルド発生位置の予測の例を示す。前述のパワエレ機器部品において、ゲート位置を最適化することで高い応力が発生するスナップフィットの根元に生じるウェルドを回避している。

3.3 金型腐食抑制

射出成形において、プラスチック材料を充填する前に金型内に存在する空気や、金型内に流入するプラスチック材料の分解ガスは、ショートショット(未充填)やヤケ(成形品表面に焦げた跡が残る現象)などのさまざまな成形不良の原因となる。特に難燃グレードのプラスチック材料から発生するガスには腐食性があり、金型の最終充填部で断熱圧縮されて高温となり、金型を腐食して生産性や品質を阻害する可能性があるため、効率よく金型の外に排出する必要がある。

充填解析は、最終充填位置やエアトラップ(樹脂によるガスの囲い込み)位置の予測が可能のため、ゲート位置やガスベント(型内のガスを排出するための隙間)設置箇所、製品形状の最適化に活用している。

図5に、低圧遮断器の筐体における充填解析の例を示す。

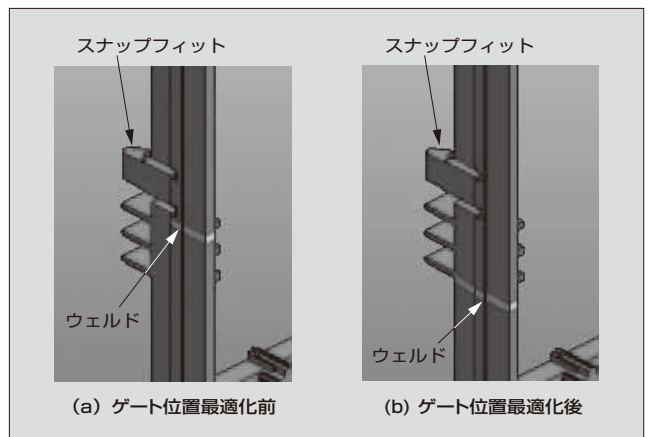


図4 ウェルド発生位置の予測の例

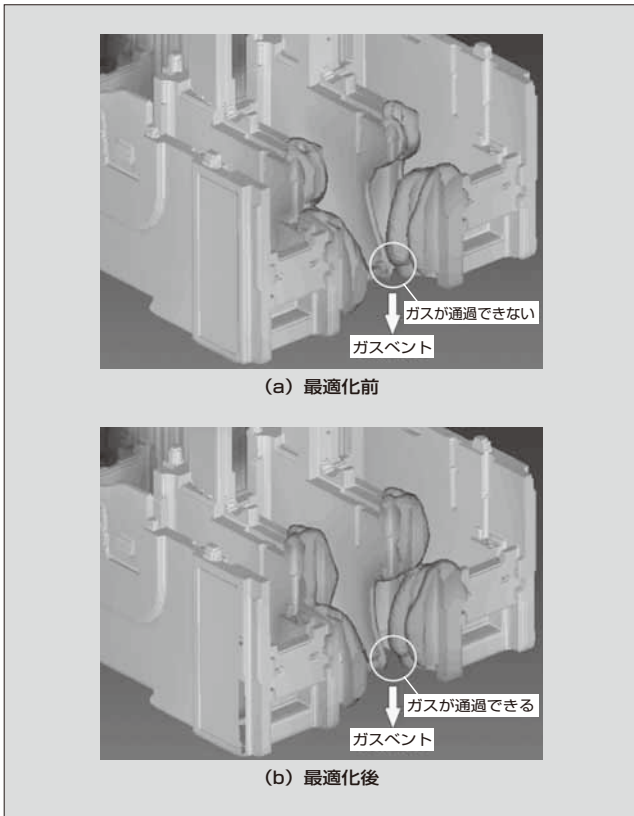


図5 低圧遮断器の筐体における充填解析の例（充填率 90%）

これは、製品形状を最適化することで金型腐食を抑制した例である。最適化前は、ガスベント側の方が早く樹脂の充填が完了してガスの排出を阻害しているのに対し、最適化後は、ガスベント側の樹脂の充填が遅くなり、ガスの排出が容易になったことが分かる。

4 品質向上に向けた新たな取組み

4.1 高速成形用金型における温度調節回路の最適化

射出成形では冷却時間が成形サイクルの大半を占め、大型の成形品ほどその割合が高くなる傾向にある。したがって、生産性を向上する手段として、金型温度を低くして射出成形部品の冷却時間を短縮することが考えられる。しかし、金型温度を低くすることは充填不良や転写不良などを引き起こす可能性がある。

そこで富士電機では、成形サイクル中に金型温度を積極的に制御することで高い品質を確保しながら、成形サイクルを大幅に短縮する高速成形技術を確認した。図6に、高速成形技術における金型温度プロファイルを示す。具体的には、金型のプラスチック材料との接触面の近傍に配置した加熱用ヒータで前ショットの成形品取出しから射出開始までの間に金型を急速に加熱し、充填完了後は冷却水により材料の冷却を促進するよう制御している。

本技術には、金型を早く均一に加熱・冷却できる温度調節回路が不可欠である。樹脂流動解析にて樹脂温度分布を予測して積極的に加熱あるいは冷却すべき部位を決定し、高速成形用金型の設計に反映している。高温になりやすい

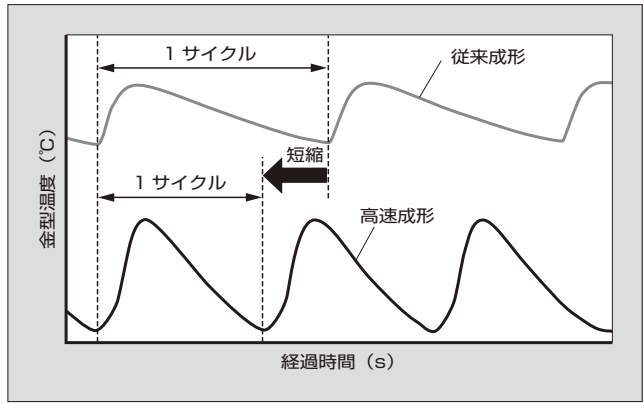


図6 金型温度プロファイル

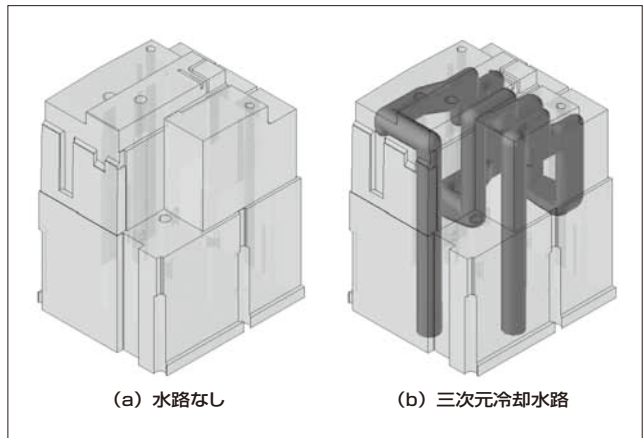


図7 金型部品における三次元冷却水路

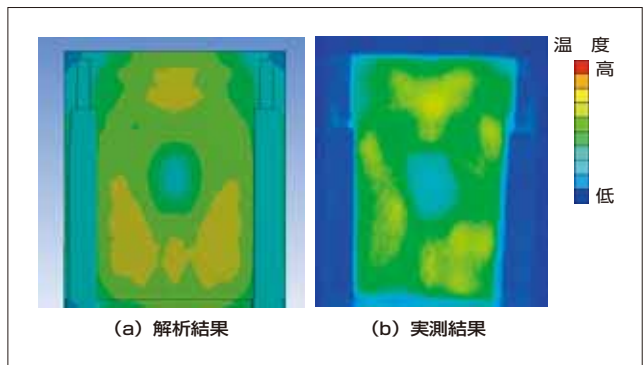


図8 金型の温度分布の比較

金型部品については積極的に冷却するため、図7に示すように、三次元プリンタにより内部に三次元冷却水路を形成することで、金型の冷却効果と均熱化を実現した。

加熱用ヒータは、非定常伝熱解析にて加熱面の昇温速度と温度分布を確認しながらレイアウトを最適化している。熱効率の良いヒータの設置方法や、小さく複雑な構造を持つ可動部品へのヒータの設置を行った。図8に金型の温度分布の解析値と実測値の比較を、図9に金型昇温速度のヒーター電流依存性の解析値と実測値の比較を示す。金型の温度分布と昇温速度の実測値は解析結果とよい一致を示している。

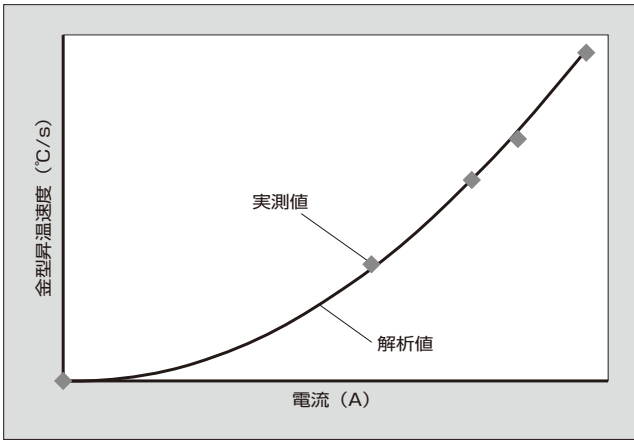


図9 金型昇温速度の解析値と実測値の関係

4.2 ガラス繊維長予測

繊維強化プラスチックの強度は、成形品中の強化繊維の長さおよび配向に依存し、繊維長は流動中に折損して短くなり、強度が低下する。強化繊維が長いほど折損しやすくなるため、金属材料に匹敵する強度を持つ長繊維ガラス強化プラスチックの適用においては、成形品内のガラス繊維長を予測する技術を確認し、製品や金型の設計に反映することが重要である。

これまでに、モデル化の範囲、ならびに成形機のシリンダ内での折損の考慮（解析条件へのスクリュ形状の取込み）の有無が、ガラス繊維長の解析結果に影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、ガラス繊維が折損する確率、樹脂の流動に伴う圧縮力が繊維折損に寄与する度合いなどの解析パラメータの検討に取り組んできた。

図10は、高い強度が要求される機構部品を模擬した形状におけるガラス繊維長の解析結果である。図11は、同部品の成形過程におけるガラス繊維長の変化を実成形品と比較したものである。成形の進行に伴って、ガラス繊維が短くなっており、成形機シリンダ内からゲート通過直後までのガラス繊維長は実測値とよく一致している。

今後、要素分割やガラス繊維物性、繊維長分散パラメータなどの最適化により、ゲート通過以降の解析精度を向上

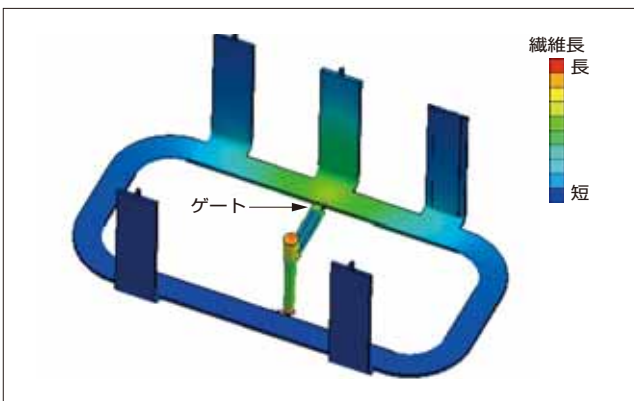


図10 ガラス繊維長解析結果

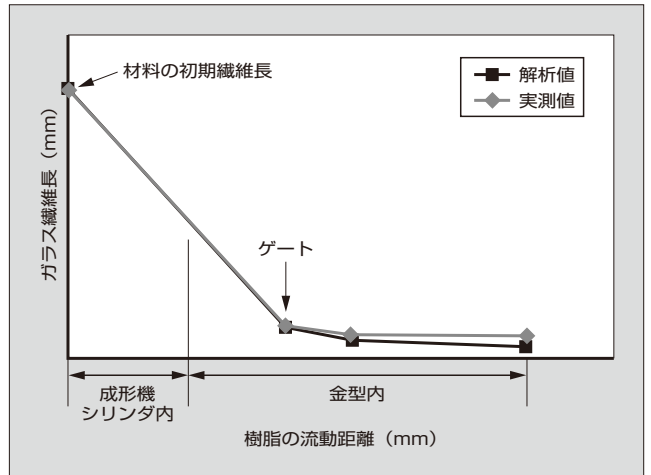


図11 成形過程のガラス繊維長変化

させ、長繊維ガラス強化プラスチック成形品の製品・金型設計に活用していく。

5 あとがき

本稿では、シミュレーション技術を活用した射出成形部品の品質向上への取組みについて述べた。

今後も、解析技術のさらなる高度化と精度向上に努め、より高品質な製品をお客さまに提供できるように貢献する所存である。

参考文献

- (1) 石川和幸, 坂田昌良. 受配電・制御機器への樹脂流動解析による品質の向上. 富士時報. 2009, vol.82, no.3, p.206-210.
- (2) 高野菊雄. “ウエルド不良の未然防止のための成形技術”. プラスチック成形技術の要点. 初版, 工業調査会, 2009, p.157-159.



矢島 あす香

プラスチック成形技術開発, 材料開発, 樹脂流動解析に従事。現在, 富士電機株式会社生産・調達本部生産技術センター設備技術部主任。プラスチック成形加工学会会員。



菅田 好信

有機材料デバイス開発, プラスチック成形技術の開発に従事。現在, 富士電機株式会社生産・調達本部生産技術センター設備技術部主任。応用物理学会会員。



横森 則晴

プラスチック成形用金型の設計, 樹脂流動解析に従事。現在, 富士電機株式会社生産・調達本部生産技術センター設備技術部主任。型技術協会会員。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。