

成形品の取り出しに着目した MOLD 金型設計効率化の取り組み

Efforts to Improve Injection Mold Design Efficiency with a Focus on Molded Product Removal

谷 川 裕 美, 関 口 朗

要 約 樹脂射出成形のプロセスには、金型内への樹脂の充填、保圧、冷却、型開、離型がある。成形品を金型から取り出す離型工程では、成形品が金型に密着して残ろうとする力（離型抵抗）や、成形品を突き出すときに部品へかかる荷重バランスを考慮して、突出部品を配置する。しかし、離型抵抗や部品の荷重状態は定量化することが難しく、突出部品をどこに配置するかは熟練者の経験則に頼ってきた。そこでUELでは、株式会社先端力学シミュレーション研究所からソルバの提供を受けて離型抵抗や部品の荷重状態を定量化する解析機能「離型解析 (CAE-EJECT)」を開発し、2021年にCADmeisterのオプション機能としてリリースした。そしてその離型解析と連携させて、突出部品の自動配置機能を今後提供する予定である。

Abstract The resin injection molding process includes filling the mold with resin, holding pressure, cooling, mold opening, and mold release. In the mold release process, where the molded product is removed from the mold, the force that causes the molded product to remain in contact with the mold (mold release resistance) and the load balance applied to the parts when the molded product is ejected must be taken into consideration when arranging the ejector parts. However, it is difficult to quantify the mold release resistance and the load condition of the parts, so the placement of protruding parts has relied on the rule of thumb of experienced molders. To solve this problem, UEL developed an analysis function “Mold Release Analysis (CAE-EJECT)” to quantify the mold release resistance and loading conditions of parts with a solver provided by Advanced Simulation Technology Of Mechanics R&D Co., Ltd. In the future, we plan to provide an automatic placement function for protruding parts in conjunction with the mold release analysis function.

1. は じ め に

CADmeister のユーザである金型業界でも人材不足、熟練者の退職、技術伝承の途絶などが課題となっている。それらを解決するためには、金型設計業務の自動化や、熟練者の勘・コツの定量化が求められる。そこでUEL株式会社（以下、UEL）ではCAEにより、熟練者の勘・コツを定量化し、その結果と連携させたCADによる金型設計の自動化機能の開発を進めている。

実用的な機能を開発するには、ユーザの意見を十分にヒアリングして要件を定めることが肝要である。UELは、MOLD系型設計分野での効率改善につながる機能の要件を整理することを目的とした、ユーザ主体の技術研究会を2015年度から実施している。2023年度は「突出部品の自動配置」をテーマにして、ユーザ11社25名と共にヒアリングや検討を進めてきた。

本稿では、プラスチックの射出成形プロセスにおける成形品を金型から取り出す工程で起きる問題に着目し、その工程で発生する不良を事前に予測することができるCAEの「離型解析

機能（CAE-EJECT）」（以下、離型解析）について述べる。さらに、技術研究会での起案から実現した、離型解析との連携による「突出部品自動配置」機能について述べる。まず2章で成形品を金型から取り出すときの問題を説明した後、3章で離型解析、4章で突出部品自動配置の機能について述べる。

2. 成形品の取り出し工程の現状と問題

本章では、射出成形プロセスのうち、本稿で紹介する離型解析に大きくかわる、成形品を金型から取り出す工程に着目し、その現状と課題について説明する。

2.1 成形品を金型から取り出すためには

射出成形のプロセスには、金型内に溶融した高温のプラスチックを流し込む「充填」、充填したプラスチックに圧力をかけて押し込む「保圧」、成形品が抜ける温度まで冷やして固化する「冷却」、成形品を取り出すために金型を開く「型開」、金型から成形品を押し出す（突き出す）「離型」がある。これらのプロセスの中で、本稿で紹介する離型解析は、成形品を金型から取り出す工程である冷却→型開→離型に関係する。それらの工程を具体的に説明する。

金型には、固定側（キャビティ）と可動側（コア）がある（図1）。金型内に流し込まれた溶融したプラスチックは、冷却され固化し収縮する。それにより、成形品の凹部が可動側の金型の凸部に密着し抱きついた状態となる。そのため可動側が動作して金型が開いた（型開した）時点では成形品は可動側に残ったままととなる（図2左）。その後、可動側に残った成型品を部品で押し出すことで成形品が金型から離型し、取り出すことができる（図2右）。この押し出す動作のことを、MOLD 金型設計では「突き出し」と言い、金型の開閉動作によって作動し成形品を突き出す仕組みを「突出機構」、さらに成形品を押し出す部品を「突出部品」という。

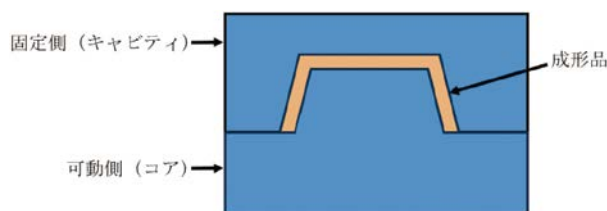


図1 金型の固定側と可動側

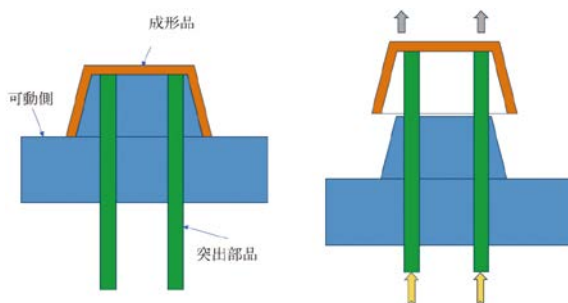


図2 成形品の取り出し

2.2 離型抵抗とは

成形品が金型に密着して残ろうとする力を「離型抵抗」という。成形品の離型抵抗には、以下の要素が関連している。

- ・ 成形収縮（加熱することで体積が膨張し、冷却することで体積が収縮する）
- ・ 金型表面摩擦係数
- ・ 成形品の抜き勾配
- ・ プラスチック材料の密着性
- ・ 成形品の表面温度（取り出し可能温度）

成形品を金型から取り出すためには、成形品の離型抵抗よりも大きな力で突き出さなければならない。また、荷重バランスが良くなるように突出部品を配置することで、安定した状態で突き出すことができる。

2.3 成形品の取り出し時の問題

不良品につながるような、成形品取り出し時の問題について説明する。一つ目の問題は、金型が開いた際に「固定側に取られる」現象である（図3左）。金型が開いたときに本来なら可動側に残らなければならない成形品が固定側に密着して残ることがある。これを「固定側に取られる」という。成形品をスムーズに離型させるために、金型の立壁部には抜き勾配というわずかな勾配が設けられている。しかし固定側の抜き勾配角度が小さいと固定側に強い離型抵抗が発生し、さらにその離型抵抗が可動側の離型抵抗よりも大きい場合に「固定側に取られる」現象が起きる。成形品が「固定側に取られる」現象により、金型が開いたときに成形品が破損したり、また成形品を金型から取り出せなかったりすることで不良品につながる。

二つ目の問題は、成形品を突き出す際の「荷重バランスの不均衡」である（図3中央）。成形品の離型抵抗に対して、突出部品の荷重が不均等になりバランスが悪い状態で突き出すと、成形品の一部に荷重が掛かりその周辺にひび割れや亀裂が入ったり、白化と呼ばれる白い跡が残ったりする。ひび割れや白化した成形品は外観上の観点と、強度上の観点で不良品という扱いになる。また、離型抵抗に対して突出部品の面積が小さい場合も、局所的に荷重が掛かることで、成形品を突き破ったり、白化したりする（図3右）。

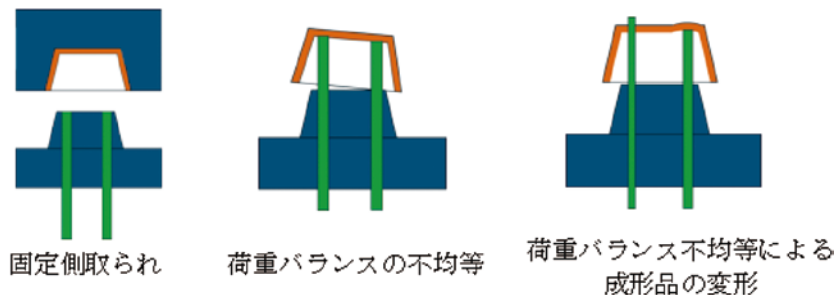


図3 成形品取り出し時の問題

これら二つの問題は、離型時の離型抵抗や突出部品の荷重が定量化されていないことに起因している。そのため、どこが固定側に取られるか、また、突出部品をどこに配置するべきかという判断を、設計者は過去の経験や勘（経験則）に頼っているのが現状である。

経験の少ない設計者は、過去の金型図面を参考にして突出部品を配置するしかなく、形状ごとの特徴を考慮した適切な位置に突出部品を配置することができないため、離型時に不良を発生させることがある。つまり、従来のやり方は設計者の経験則に依存しているため、成形品の品質にばらつきがでていた。

3. 離型解析について

成形品を突き出す際に発生する問題を予測するためには、離型時の離型抵抗や突出部品の荷重を定量化し、成形品の離型動作を可視化しなければならない。そこでUELは、株式会社先端力学シミュレーション研究所からソルバの提供を受けて、離型解析を開発した^{*1}。離型解析は、離型時の冷却工程、型開工程、突出工程のそれぞれにおいて、成形品の挙動をシミュレーションして離型抵抗や突出部品の荷重を定量化し、可視化することができる。

3.1 冷却工程の離型解析

冷却工程では、溶融した高温のプラスチックが冷却されることにより収縮し、金型へ密着し、離型抵抗が発生する。冷却工程の解析では、この離型抵抗を節点力として定量化し、離型抵抗の分布状態を可視化できる。これにより、固定側に取りられやすい部位や可動側に突出部品を配置すべき部位（離型抵抗の高い部位）を特定できる（図4）。離型解析を用いることで、設計者は、特定した部位に対して抜き勾配の角度を調整するなど、成形品を離型しやすくするための対策を事前に施せるようになる。

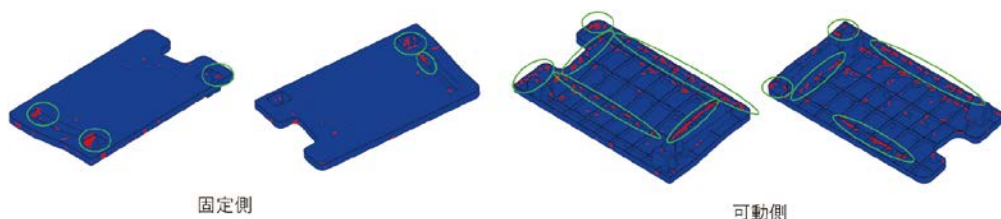


図4 離型抵抗の高い部位（楕円部分）

3.2 型開工程の離型解析

型開工程の解析では、冷却後の成形品が金型に密着した状態から、金型が開く動作中の摩擦による離型抵抗を確認できる。この離型抵抗から固定側に取りられる部位を特定でき、さらに型開きにより成形品がどのように変形するかをシミュレーションで確認することもできる。そのため、設計者は特定した部位に対して、立壁形状の抜き勾配を変更することや、金型を細かく磨いて摩擦抵抗を少なくするなど、事前に対策を施せるようになる。

3.3 突出工程の離型解析

突出工程の解析では、可動側から成形品を突き出す動作中の摩擦抵抗による離型抵抗と、突き出している最中の突出部品に掛かる荷重値を確認できる。図5は突出部品に掛かる荷重値を時系列のグラフに表わし、荷重・配置バランスを可視化したものである。

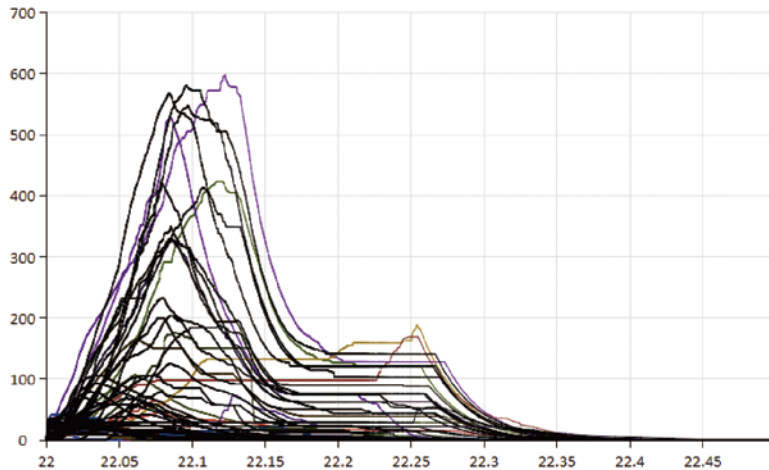


図5 突出部品荷重グラフ

突出部品に掛かる荷重が高い場合には、周囲に突出部品を追加して荷重を分散させるか、突出部品のサイズを変更して突出部品の面積に対して荷重の割合を低くすることで、荷重のバランスを調整することができる。逆に荷重が低い、または荷重がほぼかかっていない場合は、突出部品としての役割を果たしていないため、配置位置を変えるか削除するかを判断する。

離型時の成形品の挙動を定量化してシミュレーションすることで、設計者は問題を事前に予測でき、事前に対策を打つことで成形品質が保証される。

4. 離型解析を利用した突出部品の自動配置

本章では、離型解析と連携させた突出部品の自動配置機能について説明する。

4.1 突出部品配置における現状の問題点

成形品の取り出し時に発生する問題から、突出部品の配置に関して以下の課題を抱えている。

1) 品質面での課題

突出部品をどこに配置するかは設計者の経験則で判断されるため、設計者の経験値やスキルにより成形品の品質にばらつきがある。

2) コスト面での課題

成形不良を避けるために、突出部品を過剰に配置する傾向がある。

3) 納期面での課題

成形後でないと良いか悪いかを判断できないため、手戻りを繰り返して、納期間際まで突出部品の配置を修正することがある。

そこで UEL は、離型解析により定量化された離型抵抗や、突出部品の荷重状態を参照して、離型抵抗が高い箇所へ、CAD システムが突出部品を自動で配置するようにした。さらに、配置された突出部品の荷重バランスを見て、配置位置を最適化することができれば、現状抱えているこれらの課題をすべて解決できると判断した。

4.2 突出部品自動配置機能構想 (1)

最初に検討した機能の構想は次のとおりである。まず、離型解析の冷却工程までの結果から離型抵抗の高い部位を特定し、そこへCADシステムが突出部品を仮配置する。次に、仮配置した突出部品に対して離型解析の突出工程を計算し、その結果から荷重バランスを評価する。荷重バランスが悪い場合は、突出部品を編集して、再度離型解析の突出工程を計算する。それを繰り返し、荷重バランスが均一になったところで、配置終了となる。突出部品の仮配置から突出部品の配置終了までを、システムがノンストップで行うフローを考案した(図6)。

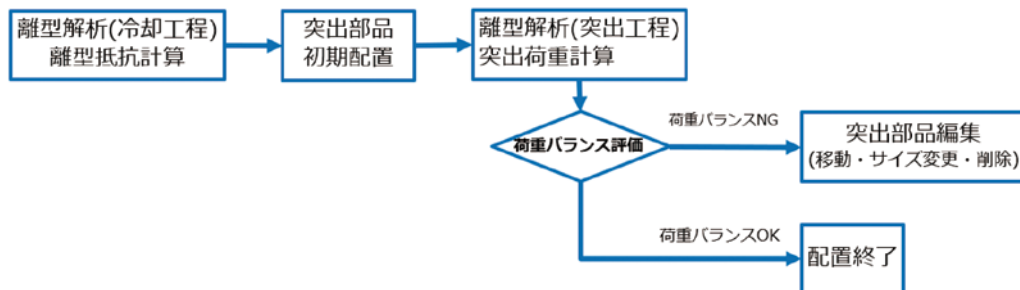


図6 突出部品自動配置構想 1

4.3 解析時間の課題

前節の構想では、突出工程の離型解析時間が問題となった。技術研究会でのヒアリングでは、特に車のグリルやバンパーといった大型の成形品を取り扱うユーザから、離型解析に時間が掛かるとの指摘を受けた。この突出部品の自動配置機能は、金型設計における初期構想設計の段階で使用する機能であり、解析時間が短いことは必須の要件である。

そこで、離型解析の計算ソルバを見直して解析時間を短くすることを検討したが、考える対策はすべて実施済みであり、ソルバの改修による更なる時間短縮は難しいと判断した。そのため、当初構想した突出部品の自動配置機能のフローを見直した。

4.4 突出部品自動配置機能構想 (2)

初期構想段階で使用するスピードを重視した突出部品の自動配置「自動配置1」と、設計最終段階で使用する配置された突出部品の正確性を検証しながら最適化していく「自動配置2」を分けて、2段階の設定を踏むフローとする構想を考案した(図7)。

離型解析は冷却工程、型開き工程、突出工程の3工程に分けて解析を行っており、解析時間としては1:2:7の割合である。最初に行う冷却工程での解析時間は比較的短く終わる。

自動配置1で、冷却工程までの離型解析を実施し、冷却時の樹脂の収縮により発生する離型抵抗を計算する。その結果を基に離型抵抗の高い箇所へCADシステムが自動で突出部品を配置する。冷却工程の離型解析は短時間で済むため、突出部品の初期配置までは初期構想設計の段階での運用に耐えうると想定した。

自動配置2で、離型解析の突出工程までの解析を実施し、配置されたそれぞれの突出部品にかかる荷重や、離型時の離型抵抗を計算する。その結果を基に、CADシステムが自動で再調整、再解析を繰り返しながら荷重バランスが均一になるように突出部品の配置を最適化する。

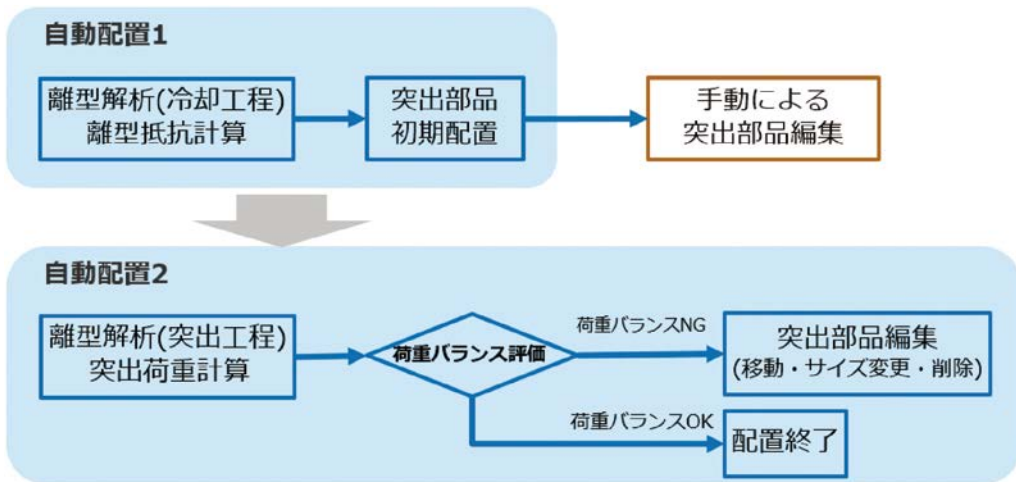


図 7 突出部品自動配置構想 2

このように、「自動配置 1」によるスピード重視の部品配置と、「自動配置 2」による正確性を検証しながら最適化していく部品配置という、2 段階のフローにすることで、求められるスピードと結果精度によって、使い分けができるようになる。

この突出部品の自動配置機能は今後提供する予定である。この機能を提供できれば、設計者の経験則に頼ることなく突出部品の配置ができるようになる。それにより、問題となっていた品質面・コスト面・納期面での課題は解消され则认为している。

5. お わ り に

人材不足、熟練者の退職、技術伝承の途絶といった問題は今後ますます色濃くなってくると予想され、今までは人の手や判断に頼っていたところをシステムで代替することが必須となる。そのために UEL では、CAE と連携させた自動設計機能を充実させようと考えている。ただし、CAE には計算時間という弱点があるため、その点をカバーできるサロゲートモデルを取り入れた機能開発も今後は視野に入れて機能改善を進めていく。ものづくり産業の抱える課題を解決する機能を開発し、提供し続けて、これからも日本のものづくりを支えていきたい。

* 1 離型解析は、株式会社先端力学シミュレーション研究所から ASU/V-Struct を離型解析向けに整備されたソルバの提供を受けている。

執筆者紹介 谷 川 裕 美 (Hiromi Tanigawa)

2004 年日本ユニシス・エクセリューションズ(株)入社. 金型設計 CAD/CAM システム CADmeister の教育・品質保証を経て現在は商品企画部門に所属し, CADmeister の MOLD 専用機能の商品企画に従事.



関 口 朗 (Akira Sekiguchi)

2007 年日本ユニシス・エクセリューションズ(株)入社. 主に金型設計 CAD/CAM システム CADmeister の MOLD 専用機能の商品企画, 及びユーザサポートに従事.

