

技術紹介

12 射出成形 CAE の利用によるインシュレータの品質向上

Improvement in quality of the insulator by use of the injection molding CAE

高橋 伴実 Tomomi Takahashi コネクタ事業部 生産技術一部
有明 裕之 Hiroyuki Ariake コネクタ事業部 生産技術一部 主任

キーワード： 射出成形、CAE、流動解析、品質、樹脂、充填、変形、熱可塑性プラスチック

Keywords： Injection Molding, Computer-aided Engineering, Flow Analysis, Quality, Resin Filling, Warp Deformation, Thermo-plastics

要 旨

プラスチック射出成形加工において成形不良を防ぐことは大きな課題です。そこで、不良となる要因を事前に予測し、その対策を行うために射出成形 CAE を有効利用しています。

射出成形 CAE は樹脂流動解析とも呼ばれ、有限要素法により金型内の熔融樹脂の流動を解析して射出成形をシミュレートするものです。

金型製作の前に成形加工での問題点を検討することで試作 / 修正回数を削減、それによりコストと開発リードタイムを削減し、さらにはランナー、ゲート、冷却管配置などの最適化ができることで成形品質を向上、安定した生産を実現するものです。

しかしながら解析の結果は圧力や温度といった物理量であり、問題解決のための対策までは教えてくれるのではなくその使いこなしが重要となります。

この、射出成形 CAE について、解析の機能、作業手順、システム構成、そしてコネクタのインシュレータ成形における解析事例について紹介いたします。

SUMMARY

To prevent defective molding is a big issue in plastic injection molding process. To that end, we utilize the injection molding CAE effectively to forecast cause of defect in advance and take the corrective action.

The injection molding CAE is also called the resin fluid analysis and is to simulate the injection molding by analyzing the fluid of molten resin in mold by the finite element method.

By examining problems of molding process before manufacturing the mold, we can reduce times of trial production/modification and, accordingly, reduce cost and development lead-time. Furthermore, it is possible to improve the mold quality and realize stable production by optimal layout of runner, gate, cooling pipe, etc.

But, since the analysis results indicate only physical quantity such as pressure and temperature and don't tell us solution to clear problem, it becomes important how to use.

In this article, we introduce analysis function, work procedure and system configuration for the injection molding CAE, and actual analysis case in insulation molding of connector.

1 まえがき

コネクタの主要な要素部品の一つにインシュレータがあります。インシュレータはハウジングとも呼ばれ、コンタクトを保持・収容しコネクタの外殻を構成する絶縁材料でできている部品で、そのほとんどは熱可塑性プラスチックの射出成形加工によって生産されています。

近年、コネクタは小型・軽量化をはじめとしてさまざまな要求が厳しさを増し、インシュレータの成形においても薄肉・微細、高密・高精度、高強度などの課題を解決する成形技術力が求められています。

射出成形 CAE は、射出成形サイクルにおいて金型内での樹脂の流動から成形品のそりまでを予測するシミュレーションソフトであり、成形品の高品質化と製品量産までの開発期間の短縮、コスト低減などの要求に対して、設計段階での製品形状、材料選定、金型構造（ランナー、ゲートの方式、配置など）の最適化を図ることのできる有力なツールです。

コネクタ事業部ではインシュレータにおける射出成形 CAE の利用を進め、成形加工での諸問題解決の検討に有効利用しています。

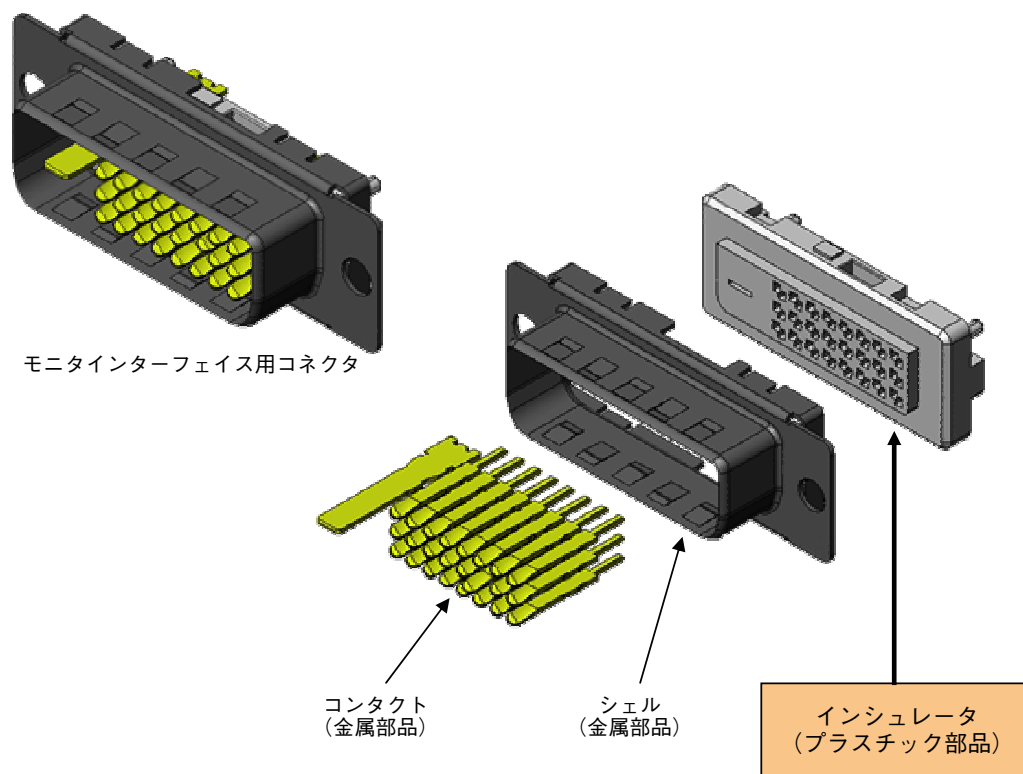


図1 インシュレータ部品

2 射出成形 CAE について

2.1 利用目的

プラスチック射出成形加工において、成形不良が発生してしまう頻度は決して少ないとはいえません。その原因には様々な要因がありますが、これら不良発生の原因について十分な検討がなされないままに製品設計・金型設計が行われると、最初の成形 TRY での合格は稀となり、さらに修正 & TRY を繰り返す結果、開発期間が長くなってしまいます。そして量産に移った後でも安定した生産ができない場合も起こり得ます。

そこで、成形不良となる要因を事前に予測し不良を出さない

- ・製品形状の作り込み（肉厚、肉抜きなど）
- ・成形材料の選定
- ・金型仕様の決定（ゲート位置、ガス抜きなど）

のために射出成形 CAE を有効利用しています。

2.2 CAE の概要とその効果

射出成形 CAE は樹脂流動解析とも呼ばれ、有限要素法により

- ・金型内の樹脂の流れを可視化
 - 樹脂が金型に充填される過程を時間経過にしたがって表示
- ・樹脂の流動過程で変化する物理現象の把握
 - 圧力、温度、体積収縮など

つまり、金型内の溶融樹脂の流動解析、保圧・冷却解析、配向解析などによって射出成形をシミュレートするものです。

それによって、充填不良、ウエルドライン、そり、変形、ひけなどの不良現象の予測を行うことも出来るものであり、金型製作の前に成形での問題点を検討することが可能となり、その結果として以下のメリットを得る事が出来ます。

- ・試作／修正回数を削減、それによるコストと開発リードタイムを削減
- ・ランナー、ゲート、冷却管配置の最適化ができることで成形品質を向上できる
- ・安定した生産ができる

さらに、金型内の現象を物理的に知ることができるということは、成形での諸問題を解決した際にその原因と解決に効果をあげた要因を明確に整理できることも意味し、その技術情報を蓄積することは、同じ過ちを繰り返す事を未然に防ぐ事につながります。

2.3 CAE を使いこなす

その一方で、現在の射出成形 CAE は多くの条件を理想化して解析計算をしており

- ・ 完全に実成形をシミュレートすることができない
 - 100%の信頼性はない
- ・ 解析結果は毎回同じ
 - 外乱要素がない(=非現実的)
- ・ 考慮されない現象がある
 - 金型内の空気抵抗、ジェティングなど

といった側面もあります。

そして解析の結果は圧力や温度といった物理量であり、問題を解決するための対策までは教えてくれるものではありません。解析結果を正しく判断するには専門の知識、経験と、さらに言えば成形技術者としての総合的なセンスも必要であるといえます。これらのことから、CAE は解析結果の読み方次第では結論が変わる可能性、つまり「結論を間違える可能性もある」といった点には十分に留意する事も必要です。

射出成形 CAE は、使いこなしていくことが重要であり、導入してマニュアル通りに使うだけではあまり効果を得る事はできないともいえます。そして使いこなしていくためには

- ・ 解析した製品の実成形データを収集する
- ・ 解析結果と実成形結果の差異を確認する
- ・ 解析と実成形で生じた差異の原因を検討する
- ・ 判断基準を設定・修正する

という作業を継続し、利用技術をブラッシュアップすることが重要です。ただし、成形機内部における樹脂の変化過程や、設定された成形条件と実際の成形機の状態は合っているのか、など、検証方法が未確立の分野もあることも認識しておく必要もあります。

2.4 予測精度

解析の精度については、樹脂の流動 / 充填からそり変形解析までを考えた場合、充填解析ほど高く、そり解析はそれよりも低くなります。その理由ですが、解析の大まかな順序として、冷却→充填→保圧→反り というような順番を経て最終的にそり解析の結果が得られるので、各パートの誤差の累積が解析結果への影響を及ぼしていると言えます。したがって高いそり解析の正解率を得るには各パートでの解析精度を相当に高めなければなりません。

しかしながら、確かに精度の向上を目指す事は解析利用の前提としても重要な事です。が、現実的には解析精度の向上には限界がある事も認識する必要があります。どこまでも高精度を追い求めることは、コスト面などから見ても採算が合わないのみならず、ともすれば精度向上が目的になりかねず「どのレベルの精度をもって実用とするかを見極める事も重要」との考えで利用しています。

とはいえ、解析結果に説得力がある最低限のレベルまでは精度を持って行かなければ実用と利用の普及になりませんので、そのための利用技術を確認し解析実績を積み上げる作業は射出成形CAEの導入初期には苦労した点ではありました。

3 機能

射出成形 CAE では以下の解析機能を利用しています。

①充填解析

熔融樹脂が金型内を流動する様子（時々刻々と変化する樹脂の位置、温度、圧力等）を数値計算により予測する。

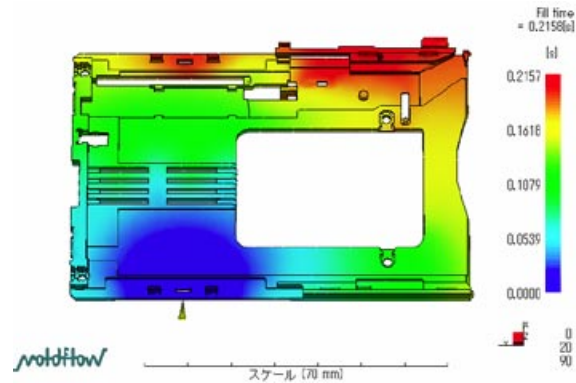


図2 充填時間

②保圧・冷却解析

充填解析の情報を踏襲しつつ保圧による体積補充と金型冷却による体積収縮の挙動を予測する。

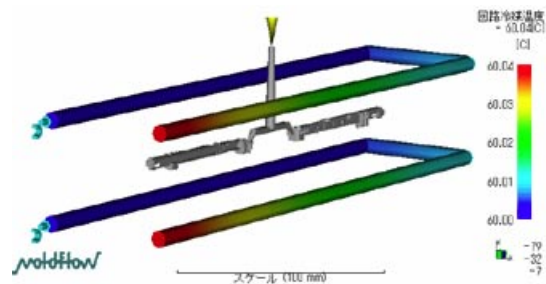


図3 金型冷却

③繊維配向解析

充填解析と保圧・冷却解析において繊維（主に GF）の配向挙動を予測する。繊維強化系の樹脂を使用する場合に適用。

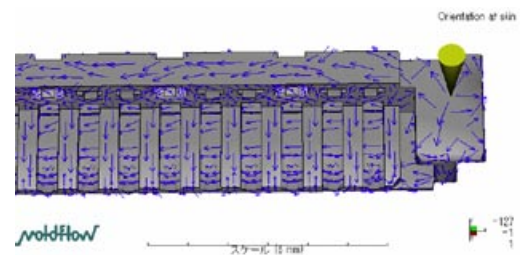


図4 繊維配置

④そり解析

充填、保圧・冷却解析（繊維配向解析）で得られた体積収縮、機械物性等の情報により構造解析を行いそり（変形）を予測、成形品の裏表の冷却差、収縮率分布、収縮（配向）異方性の各要因についても計算し表示する。

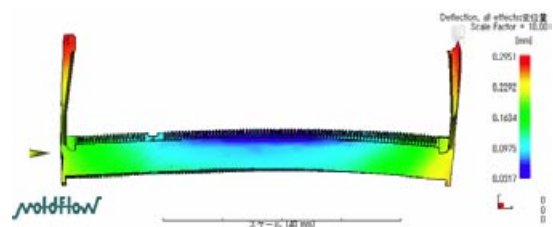


図5 そり（変形）

これらの解析の流れは以下ようになります。

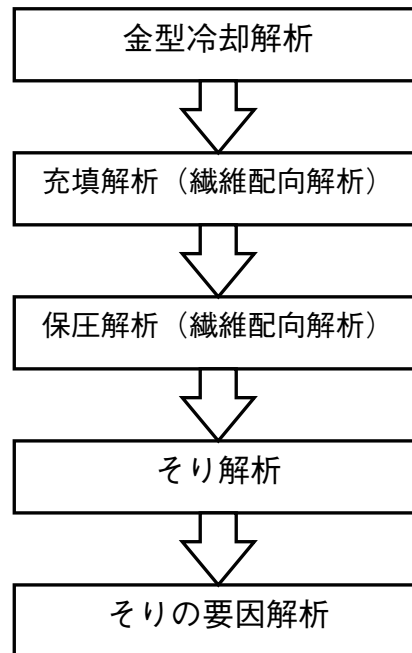


図 6 射出成形 CAE の解析フロー

4 解析作業

4.1 手順

実際の解析作業の手順概要は次のようになります。

- ① 3次元 CAD の形状モデルを CAE システムにインポート
- ② 解析用メッシュモデルを作成し、メッシュを修正
- ③ ゲート位置（ノード）を指定
- ④ 材料を選定
- ⑤ 成形条件を入力（樹脂温度、金型温度、射出時間等）
- ⑥ 計算スタート
- ⑦ 結果を確認（充填パターン、そり）
- ⑧ 形状、材料、ゲート位置を検討、必要があれば再度、条件を変えて解析を実施

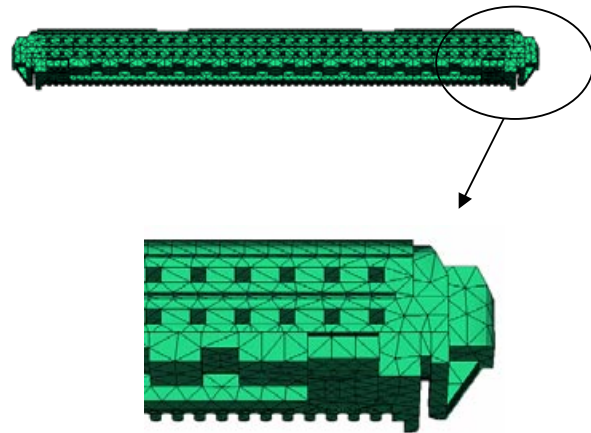


図7 解析メッシュモデル

解析の実施時には、使用樹脂の材料データがあることが重要な前提となります。新しい樹脂材料を使う場合などデータがない場合には必要に応じて材料メーカーにデータを要求し入手していますが、材料も日進月歩であり次々に新しい材料が使われますので、この最新の材料データの迅速な入手については射出成形 CAE の運用における課題の一つであります。

4.2 注意点

解析作業で留意すべき重要なポイントとして、モデルとそこに生成するメッシュの品質があります。メッシュの品質は解析結果に大きな影響をもたらすため、生成したメッシュのチューニングを行います。その作業がかなりの工数になってしまう場合があります。

例えば微小形状でメッシュがうまく貼れずに解析品質の低下を招いたり、不必要に細かいメッシュが生成され解析時間にも悪影響が出る場合などでは、CAE 側でメッシュを修正するのではなく、解析用にあらかじめ CAD で修正したモデルを使用することもあります。

5 システム構成

本稿で紹介している射出成形CAEは、成形／解析技術者用であり、充填、保圧、繊維配向、冷却、そり変形など様々な解析が可能な反面、操作性は専任者が操作できればよく、一般に複雑（高機能と反比例）で利用には高度な知識も要求され、解析の所要時間も長く高性能なハードウェアが必要であり、解析結果は解析者の設定や判断に依存する割合が大きい、といったものです。

コネクタ事業部ではこの成形／解析技術者用 CAE のほかにも設計者用 CAE を導入しており、2 タイプの射出成形 CAE を利用しています。設計者用 CAE は操作が簡単（ワンコマンド的）で解析の所要時間が短時間ですが解析の種類は限定されており、こちらは主に充填解析でショートショット（樹脂が完全に製品形状に充填しない不良）が起きてしまうかどうかの確認やゲート位置の検討などに利用しております。

いずれのタイプの CAE も、3 次元 CAD のモデルデータまたは CAD システムから出力される STL データをダイレクトに取り込んで利用するもので、以前の Midplane（中立面）モデルを作成して使用する射出成形 CAE システムと比較して圧倒的に使いやすさが向上しています。使用している射出成形 CAE のシステムの構成は下表の通りとなります。

表 1 射出成形 CAE システム構成

ソフトウェア	使用ライセンス数	使用台数
設計者用 CAE	フローティング× 1	4 台
成形／解析技術者用 CAE	プリ・ポストフローティング× 3 ソルバー× 1	プリ・ポスト 5 台 ソルバー用 WS 1 台
3 次元 CAD モデルデータ リンク	フローティング× 1	上記の全ての PC

6 利用形態

成形／解析技術者用 CAE については生産技術部門が主管となって利用しており、主な目的は、製品の開発手順で大きく分けてならべると

- ①新規開発品、既存品のモディファイ時の改良（製品形状の検討）
- ②新規金型設計時の検討（ゲート位置、ガス逃げなど金型構造の検討）
- ③不具合対策検討

となっています。

①は主に製品設計部門、②は金型設計部門、③については両部門からの依頼で解析を行っていますが、②のように金型設計段階からの検討では既に製品形状は決定している場合が多く解析の結果、部品の形状自体の変更が必要と判断された場合でも他の部品や後工程との関係もあってその形状変更は容易ではなく、また時間もかかるものです。

したがって、射出成形 CAE の利用はなるべく製品開発の上流段階で行い、形状が決定される前に予想される成形上の問題点の検討を十分にすることでより効果が出ると考えております。つまり、①の実施の比重を高くしていくことで②、③のケースが減らせる訳です。

射出成形 CAE の利用を開始した初期の頃は、発生してしまった不具合についての検討依頼の比率が高かったのですが、解析実績を積み重ねるにつれて開発の上流段階で不安要素がある場合の事前検討での利用のニーズが高まり、現在では開発初期での解析実施、検討の比重がかなり高くなってきており、品質の作り込みの更なるフロントローディングを進めております。

また、前述した設計者用 CAE については、操作が簡便なこともあり設計者に利用を開放しておりますが、解析に使用する材料データについては生産技術部門でフォローしています。

7 解析事例

次に解析の事例を紹介いたします。

事例 1 自動車コネクタ用インシュレータ

材料：GF SPS

充填パターン解析によりウエルド箇所やガス溜まり箇所などの最終充填箇所を予測し、ゲートやエアVENT配置などの金型設計に利用しています。また金型温度、樹脂温度、射出速度（充填時間）といった成形条件に関わる部分の最適化にも利用しています。

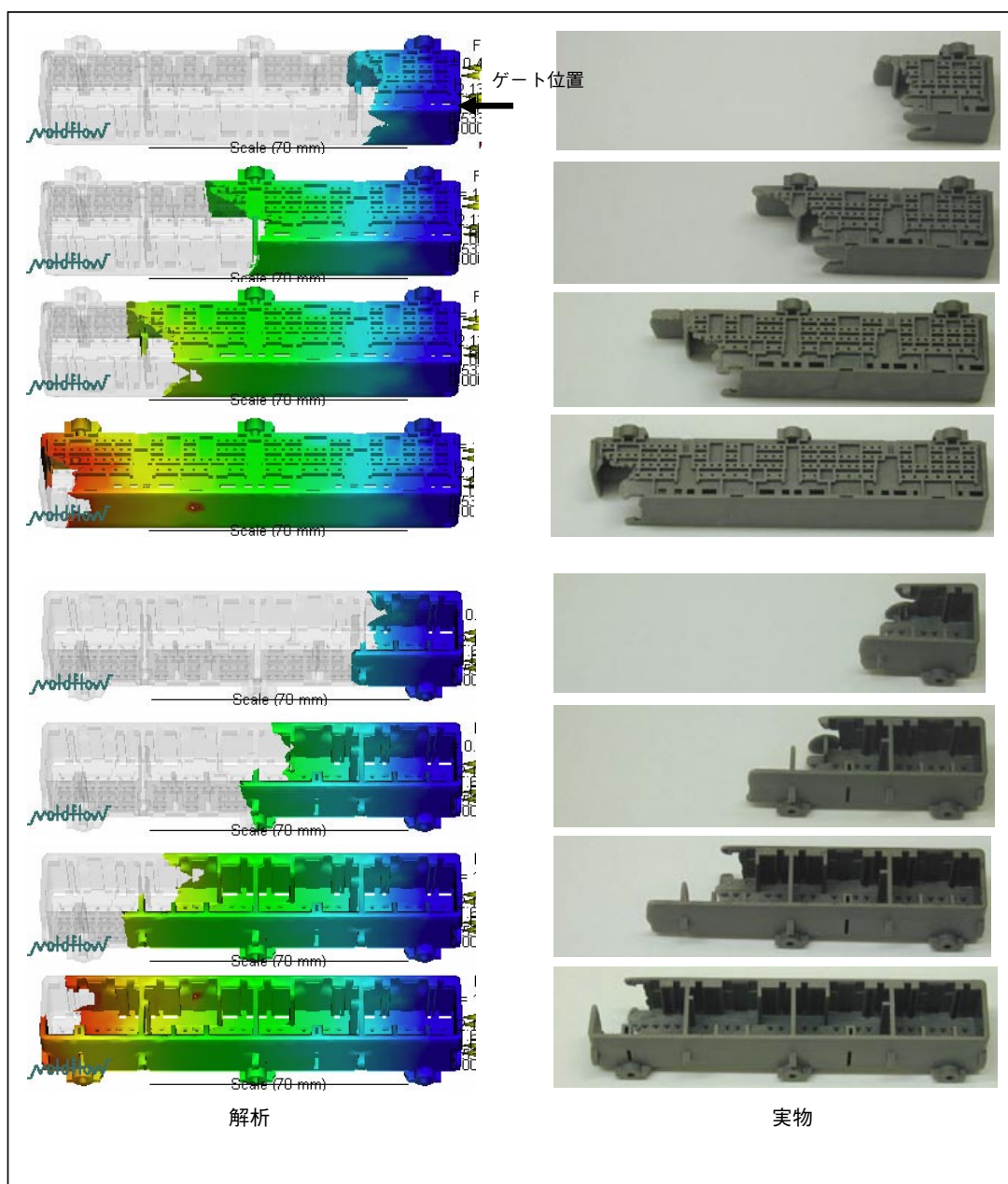


図 8 充填パターン

事例 2 SD カードコネクタ用インシュレータ

材料：GF LCP

本コネクタは低背化がセールスポイントの1つであります。そのためインシュレータは極めて薄肉品であり金型内の流動途中で樹脂が固まってしまう恐れがあります。よって材料選定、成形条件、ゲートなどについて十分な初期検討が必要となります。本件では充填パターンや充填圧力分布について解析を行い、最適ゲート位置を検討しました。

材料選定

良流動性で知られる LCP の中でも更に流動性の高いグレードを選定しました。

成形条件

充填解析の結果、非常に短い時間に流さなければ流動停止することがわかりました。よってその射出能力に見合う成形機の選定が必要となります。また充填圧力から必要型締め力も予測できるので同様に成形機の選定に利用します。

ゲート配置

数通りのゲートパターンを考案し、解析により比較検討を行いました。

ゲート案 1

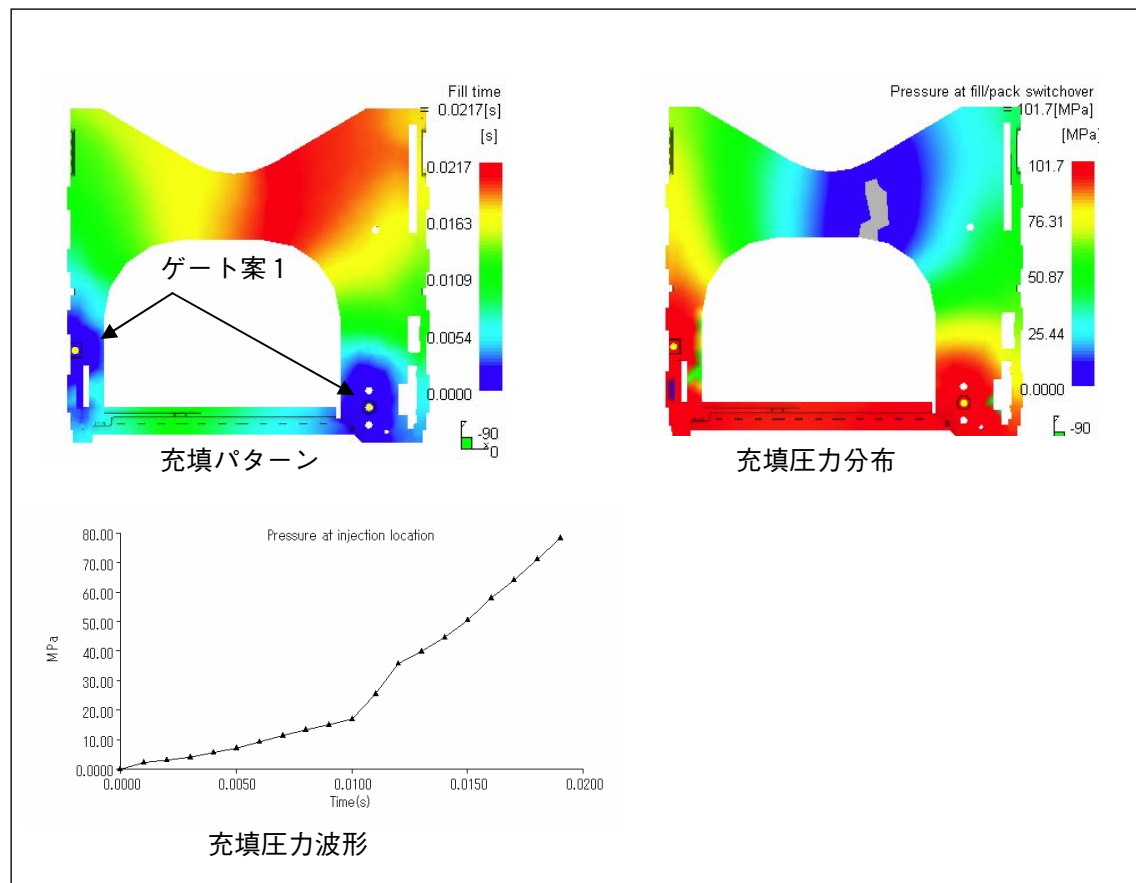


図 9 ゲート案 1 の解析結果

ゲート案 2

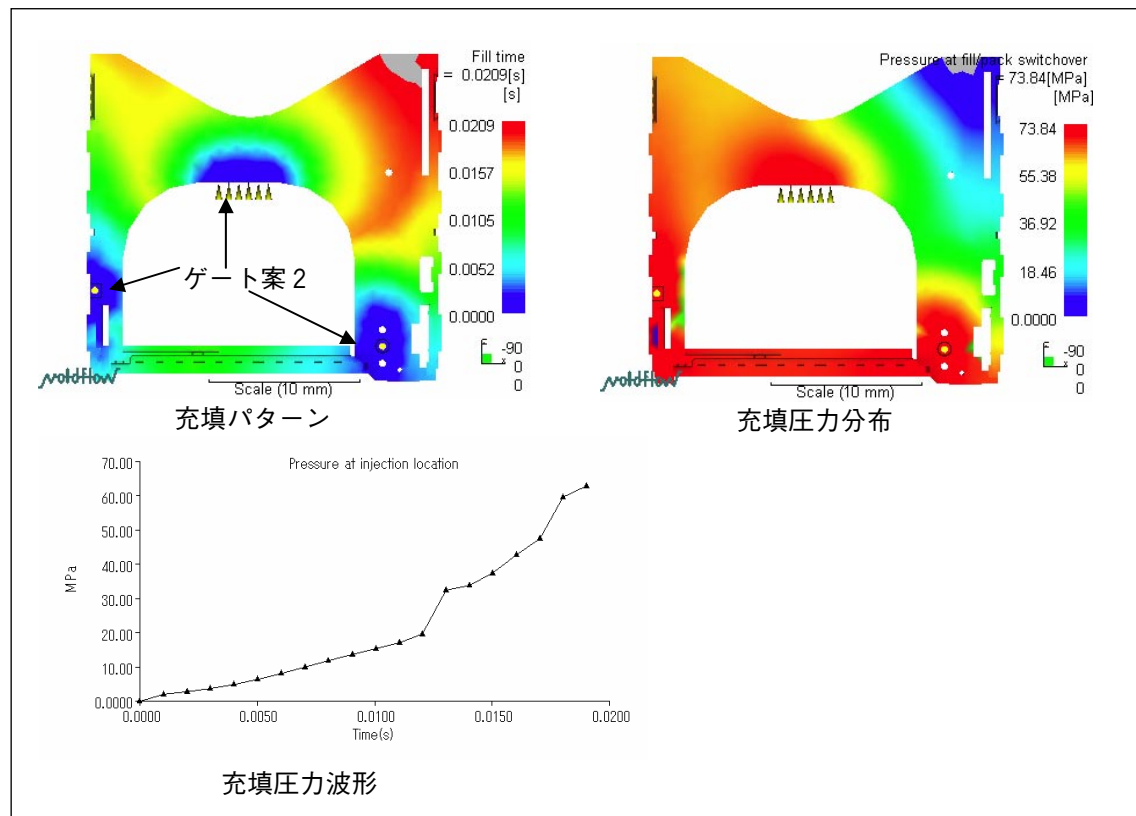


図 10 ゲート案 2 の解析結果

ゲート案 3

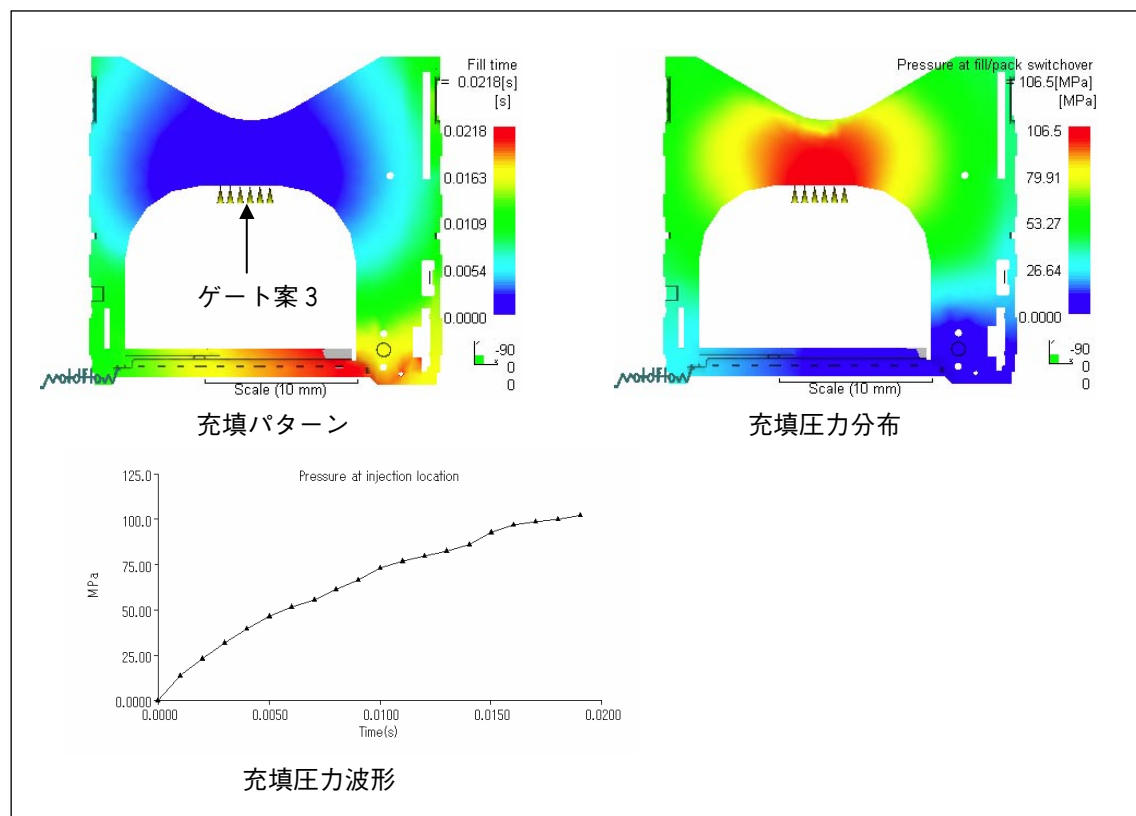


図 11 ゲート案 3 の解析結果

ゲート案 4

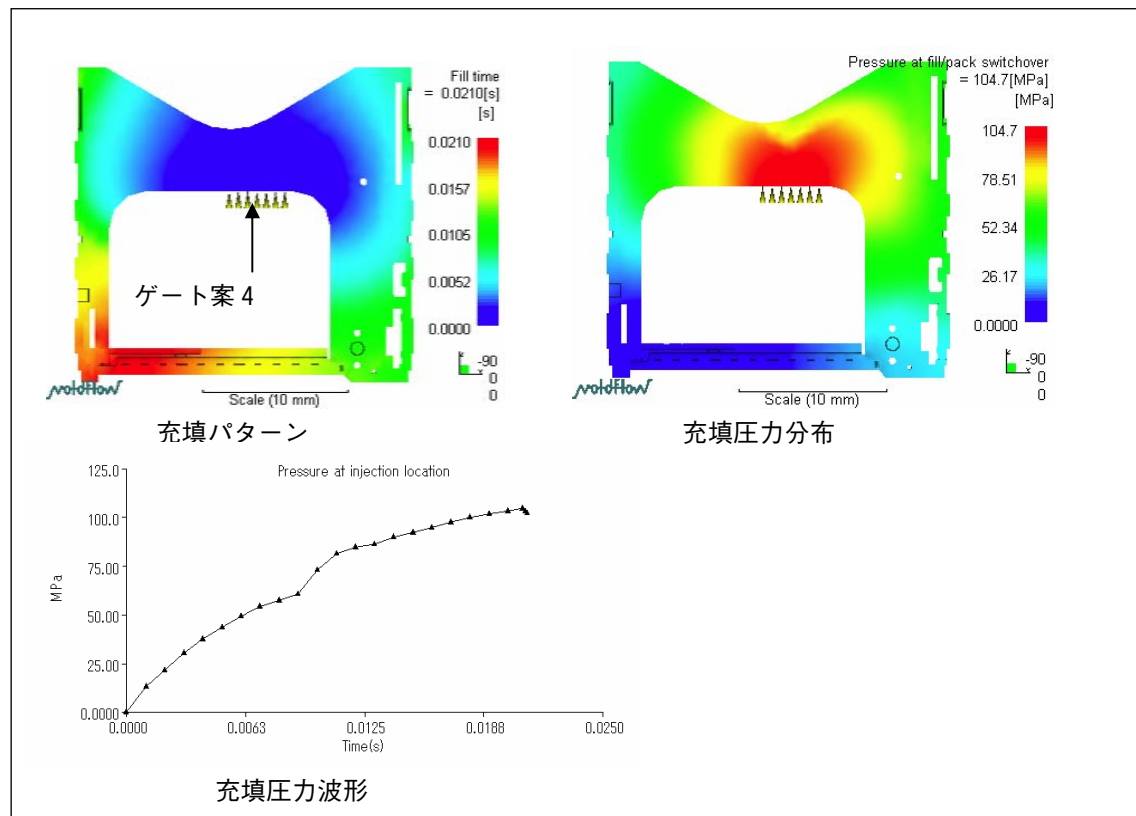


図 12 ゲート案 4 の解析結果

ゲート案 5

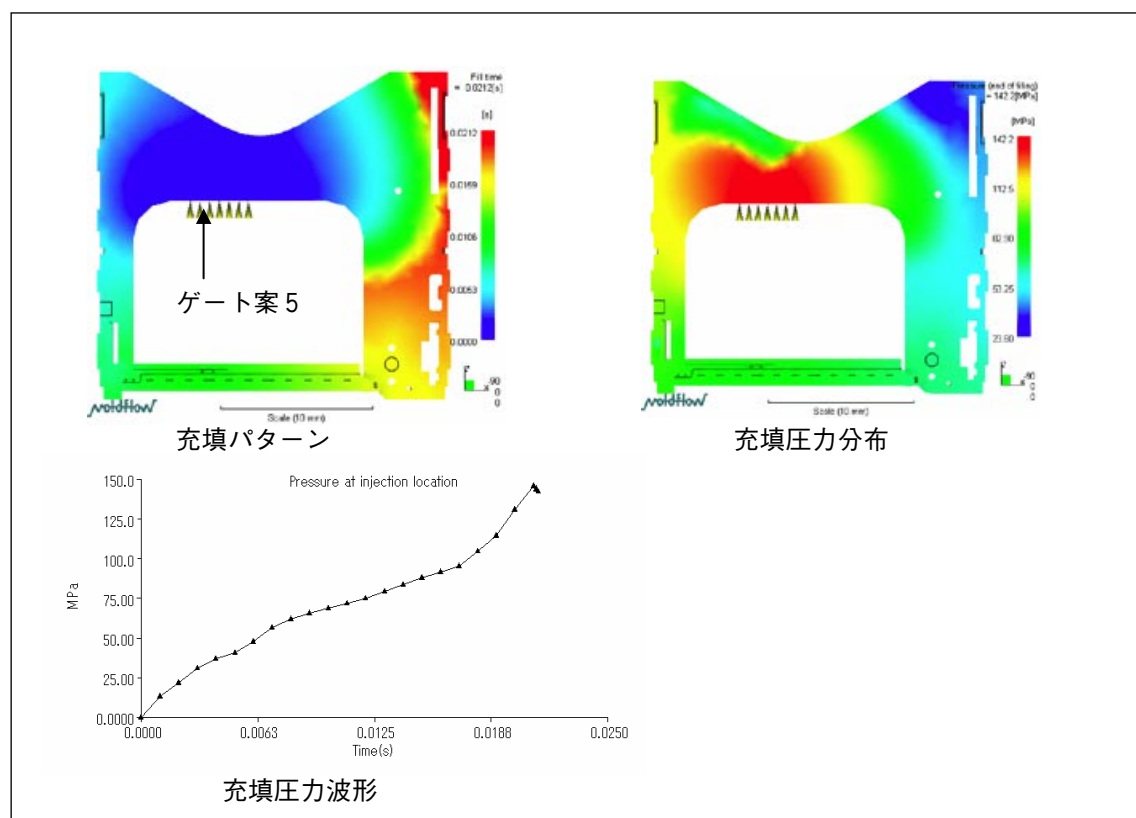


図 13 ゲート案 5 の解析結果

以上のような解析結果から、ヘジテーション（ためらい現象）による流動停止の影響を最小限に抑えるのに最適なゲート位置として案 5 を選定し、金型設計に反映しました。

事例 3 光コネクタ用プラグフレーム

材料：GMF LCP

フレームの反り変形が光コネクタの嵌合に悪影響を与えるため反りの低減を行いました。本件ではインシュレータの肉抜き形状に着目し、数パターンの肉抜き形状について反り解析を行い、肉抜き形状の最適化について検討しました。

肉抜き形状を変化させることにより樹脂の流動パターンや金型冷却性に影響を与え、収縮量の不均一を改善し、反りの低減を図ります。

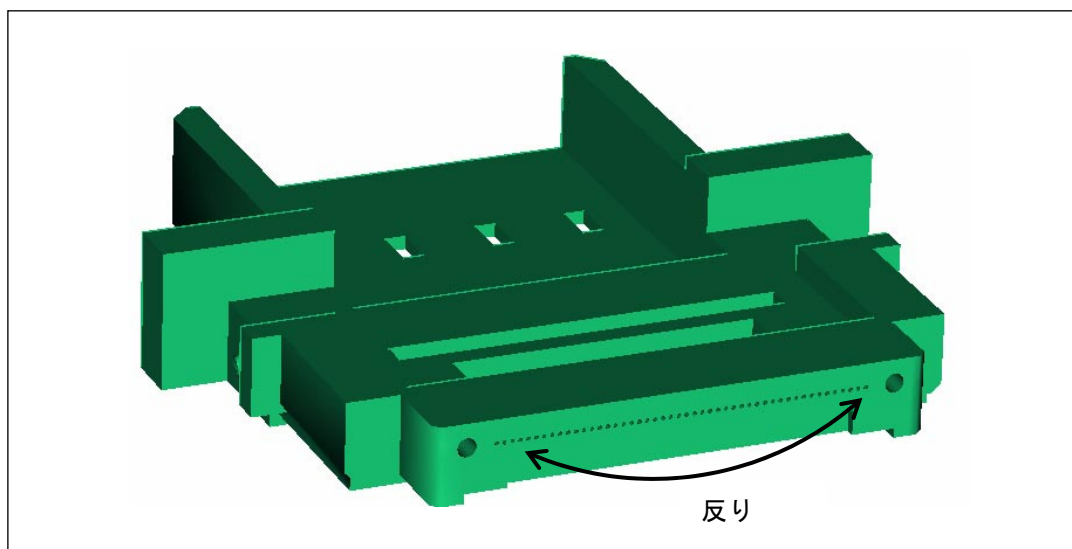


図 14 プラグフレームの反り

肉抜き形状案 1

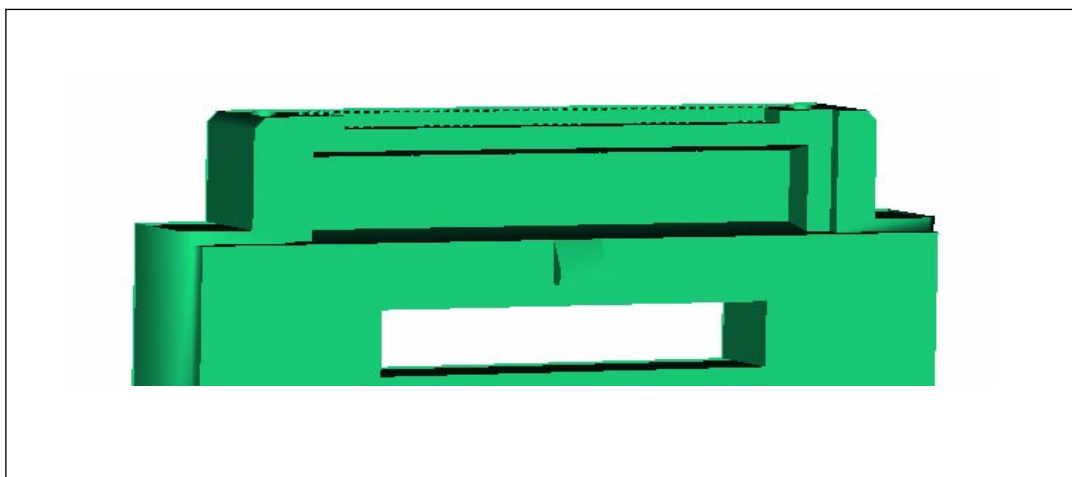


図 15 肉抜き形状案 1

肉抜き形状案 2

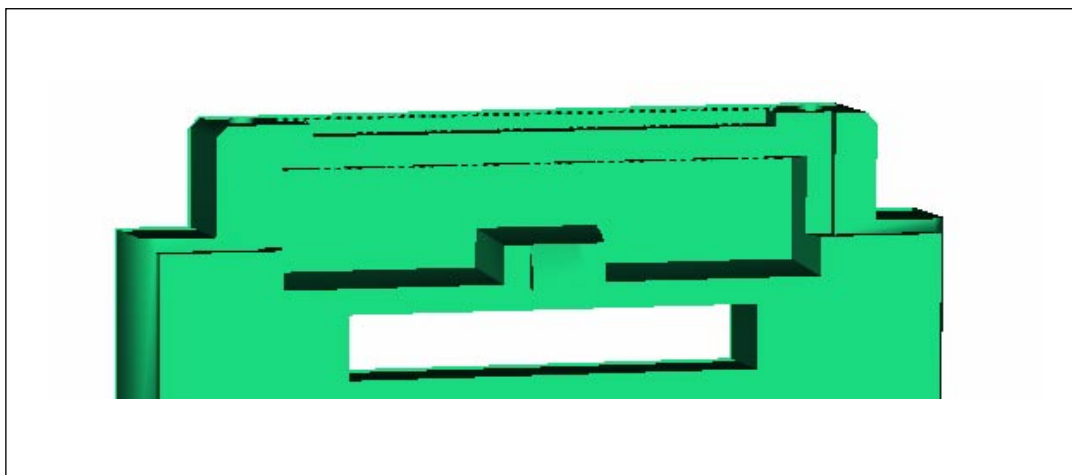


図 16 肉抜き形状案 2

肉抜き形状案 3

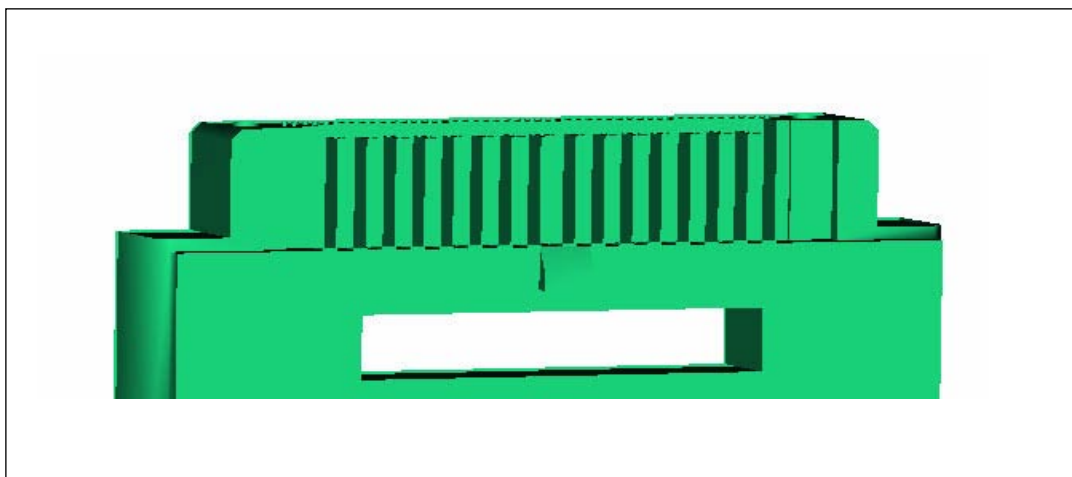


図 17 肉抜き形状案 3

反り解析の様子

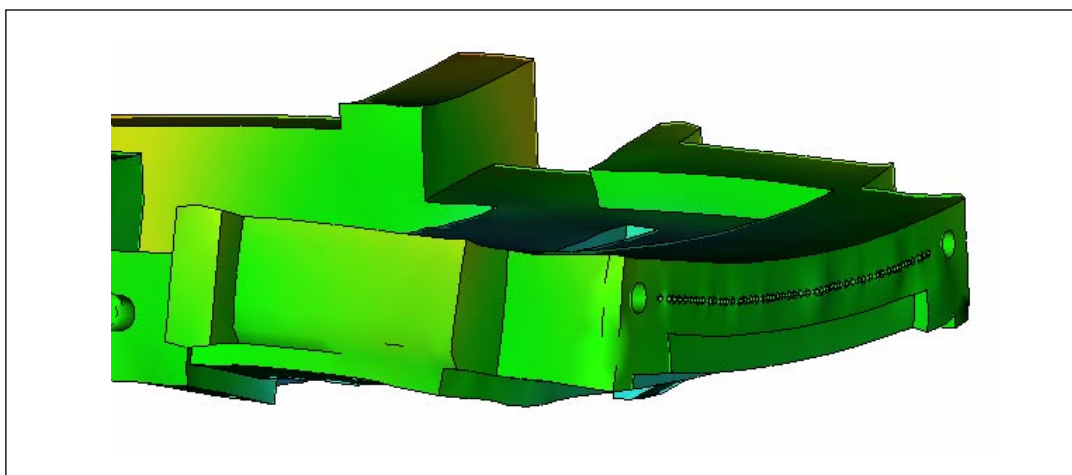
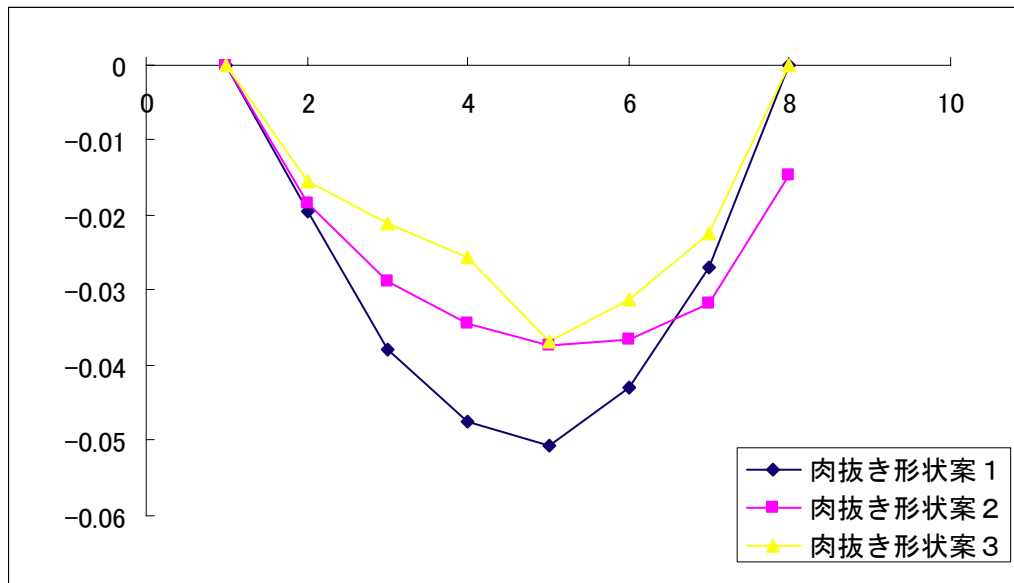


図 18 反りの解析の様子（尺度 1 0 : 1）



グラフ1 解析による反り量の比較

上のグラフから比較的良好な肉抜き案 2 を採用し金型改造を試みたところ、実物の反りにおいては約 70% も低減することができました。

以上 3 つの解析事例について紹介しました。その他には不具合分析への利用や既存金型のスプルーランナーの細径・軽量化にも利用しています。

8 むすび

射出成形 CAE の利用によりコネクタのインシュレータ部品におけるショートショットやそり変形などの成形不良を未然に予測することで、品質の向上及び製品立上げリードタイムの短縮が可能となります。

今後も対象製品や利用部門、利用者の拡大を推進するとともに、更なる利用技術の向上を目指したいと考えております。また、射出成形 CAE アプリケーションの解析計算速度の向上や機能強化にも期待するところです。