

3D プリンター造形品向け数値シミュレーション

東レエンジニアリング株式会社 CAE ソフト事業部 山田 高光

要 旨 近年、3D プリンター造形品に対する数値シミュレーションのニーズが高まっている。例えば、金型入れ子の冷却回路設計や、造形品の収縮・そり変形および異方性強度に関するものである。現在の取り組み状況を紹介する。

1. はじめに

樹脂射出成形過程をシミュレーションする射出成形 CAE ソフトウェア¹⁾3D TIMON[®]は、1980 年代から東レ株式会社で開発され、現在弊社で開発・販売を行っている。この間の累計ソフトウェア販売数は 1000 本を超え、例えば自動車や家電品で使用するプラスチック品の設計支援ツールとして、金型設計・製品設計・試作等の各方面で活用頂いている。最近、3D TIMON[®]のお客様が、将来 3D プリンターによるものづくりを促進するために、技術検討を開始するケースが増えてきた。そこで筆者らは、これまで培ってきた射出成形 CAE 技術をベースに、新たに 3D プリンター造形のシミュレーション技術開発を開始した。本稿では現在の取り組み状況を紹介する。

2. 金型冷却回路設計への適用

射出成形法は、金型内に熔融樹脂を流し、冷やして固める工程から成るが、成形中の金型は樹脂側から熱を受け、温度が上昇していく。製品品質（収縮バラツキ、そり変形の抑止）のためには、成形中の金型温度の均一化が必要で、それを実現するための冷却回路設計が重要になる。これまでの機械加工法による金型製作は、

金属の塊にドリル加工で穴を開けていくため、冷却回路は直線的な形状の組み合わせであった。理想的な冷却を考えると、製品部から一定の距離に冷却回路を設けることが望ましいが、例えば曲面が多い製品形状の場合、それを実現するのは容易ではない。一方、金属 3D プリンターは、テーブル上に 1 層分の金属粉を敷いて、レーザーで選択的に焼結し、積層していく。冷却回路位置に相当する領域を焼結対象から外すことで空洞部を製作できるため、曲面が多い製品に対しても、製品面に沿った冷却効率の高い冷却回路が可能になった²⁾。このような冷却特性の向上のメリットがある反面、造形ならではのデメリットも生じる。射出成形現場においては、長時間成形を行うと、冷却回路に水垢がたまり冷却効率が下がるため、定期的に金型を分解して洗浄・メンテナンスが行われている。しかし、造形品金型の場合、全体が一つの焼結体となっているので、メンテナンス性は劣る。そのため、あらかじめ冷却回路設計時に水垢が溜まらない形状設計することが求められる。その課題に対し、冷却回路内の熱流体シミュレーションを行い、流れの滞留部の有無を確認する必要がある。このような冷却回路形状の設計には最適化シミュレーションが有効であるが、現在世の中に回っているソフトウェアは、実験計画法、応答曲面法や遺伝的アルゴリズムをベースにしたパラメトリック最適化手法であり、最適解を得るために必要なパラメータ・スタディが膨大で、設計者が活用するには負

担が大きい。

この度、弊社は株式会社アドバンスドナレッジ研究所の熱流体ソフトウェア”FlowDesigner”と連携し、金型設計者向けに”FlowDesigner for 3D TIMON”を開発した(図1参照)。FlowDesignerの特徴機能として、冷却回路内の乱流状態を考慮した3次元熱流体シミュレーションが出来る点と、ノンパラメトリック最適化によ

る逆解析機能を利用して、圧倒的に短時間で最適な金型設計支援ができる点が挙げられる。

図2にFlowDesigner for 3D TIMONの解析例を示す。上図は、金属3Dプリンタで製作した金型入れ子の温度解析結果、下図は製品周辺温度を均一化するための熱伝導率分布をノンパラメトリック最適化手法で求めたものである。

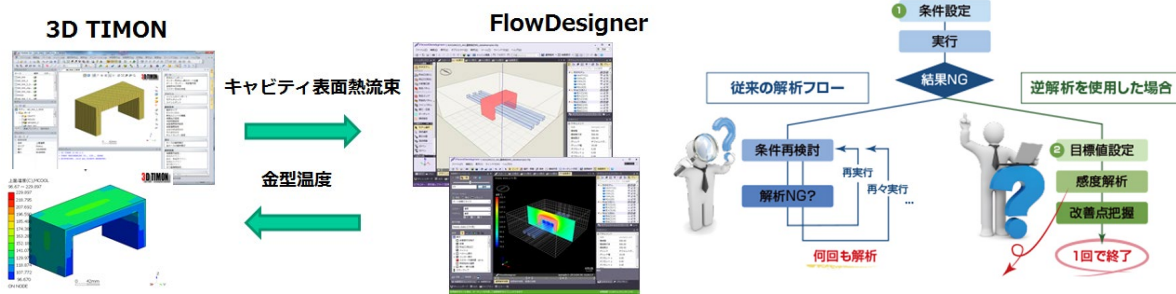
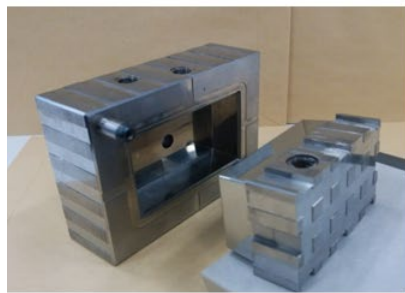
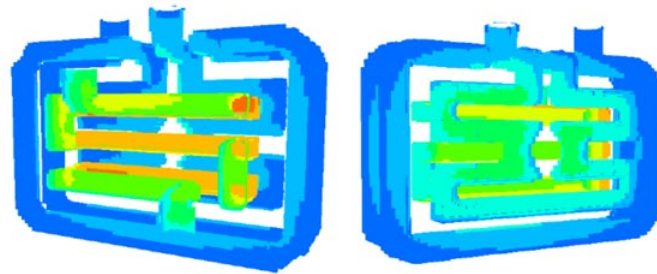


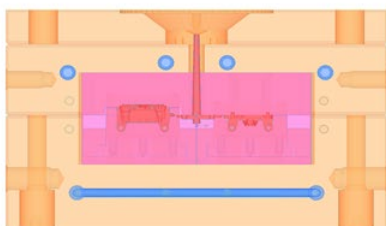
図1 FlowDesigner for 3D TIMONについて



実物



冷却回路内の温度分布



熱伝導率分布最適化

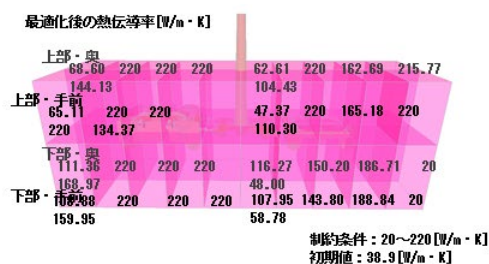


図2 FlowDesigner for 3D TIMONの解析例

3. トポロジー最適化の金型への応用

トポロジー最適化は、設計初期の形状設計に有益な手法で、例えば剛性を維持しつつ、不要な部分を削除して、重量を最小化する形状を求めることができる³⁾。

株式会社 東レリサーチセンター

射出成形中、金型には高い樹脂圧力が加わっているため、高い強度・剛性が必要とされる。図3に、金型ダウンサイジング化の検討の一環として、目的関数を金型剛性の最大化、制約条件を金型初期体積の30%以下を実現する形状を求めた結果を示す。計算の流れとしては、①樹脂の流動解析を行う②樹脂圧力による金型

変形を計算する③変形に対する感度を計算する④感度分布に応じて、密度の増加・減少を行い、剛性を最大化させる⑤密度の高い領域を最適化形状とする。
樹脂圧力とそれによる金型変形からトポロジー最適化

を計算するために、3D TIMON[®]と株式会社くいとんの OPTISHAPE-TS⁴⁾とを連携した。その結果、オリジナル体積の 68%減の金型形状を求めることができた。

樹脂圧による変形、熱変形に対する強度剛性を維持
入れ子部分の材料最小化。
トポロジー最適化による自由形状生成。

- ・ (最適化条件) 設計・非設計領域
 - 製品に接する面から3(mm)は非設計領域
 - それ以外は自由に肉を残せる
- ・ (最適化問題定義)
 - 目的関数: 剛性→最大化
 - 制約条件: 体積 ≤ 初期体積の30%



図3 トポロジー最適化を使った金型形状設計

4. 造形品の収縮・そり変形、異方性強度予測

長年、射出成形品の成形不良現象や強度予測に開発を注いできたが、3D プリンター造形品についても、そり変形や異方性強度が問題となる。造形品に発生する変を検証のため、図 4 (左) に示すように材料押出法で造形したものを三次元デジタイザで座標計測し、CAD データ化した後、元の CAD データと形状比較を行った。赤色に近い部位ほど、元の CAD データと造形品の形状に差が大きいことを示している。また、図 4 (右) は、材料押出法における強度に対する造形パスの影響を確認するため、長手方向に引張試験を実施した時の応力-ひずみ線図を示している。この結果から造形パスの違いで破断応力・歪に大きな差異が生じることがわかる。シミュレーションに期待することは、造形パラメータの違いによって生じる変形・強度予測を行い、最適なパラメータを算出することである。図 5 に、材料押出方式のそり変形シミュレーション例を示す。材

料押出方式は、フィラメントと呼ばれる樹脂材料を熔融状態まで加熱して、ノズルから吐出・積層していく。造形品の形状によっては、自重変位防止のためのサポート部も同時に造形する。造形の順番は、あらかじめ造形パスで定義されている。粉末焼結法に比べ、材料押出方式は積層面同士の密着が弱く、造形パスに起因する収縮のアンバランスが、そり変形の発生原因となる。シミュレーションでは、まず造形品全体をボクセルメッシュで分割し、造形パスを考慮しながら、積層中の計算領域を生成していく。計算領域内で、逐次温度・変形計算の連成解析を行い、造形完了後、室温に到達するまで温度・変形を求めていく。

図 6 に、ダンベル試験片の造形パス違いの強度予測を行った結果を示す。実線は実験データ、破線はシミュレーションによる予測値である。

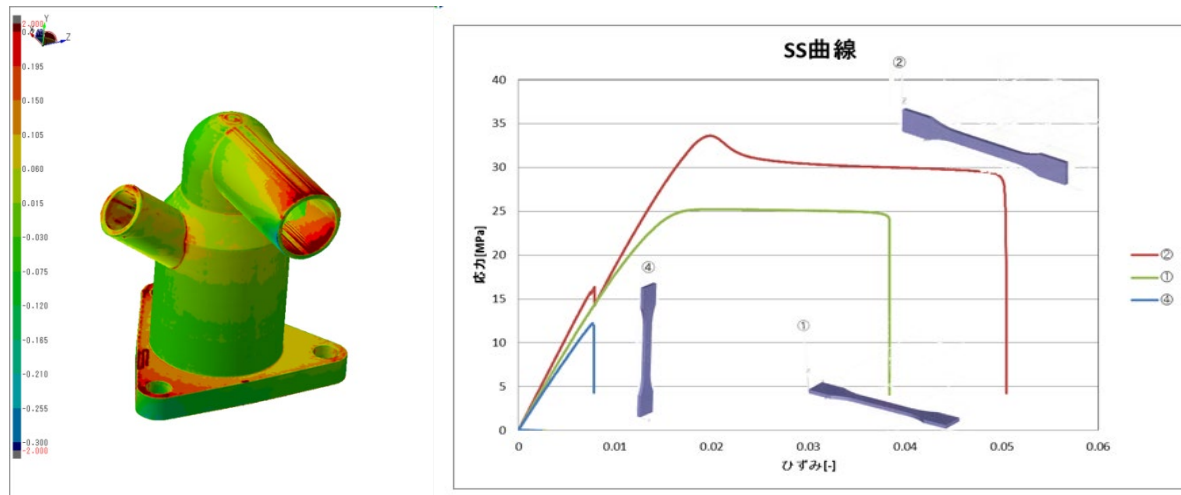


図4 造形品に発生する変形と異方性強度

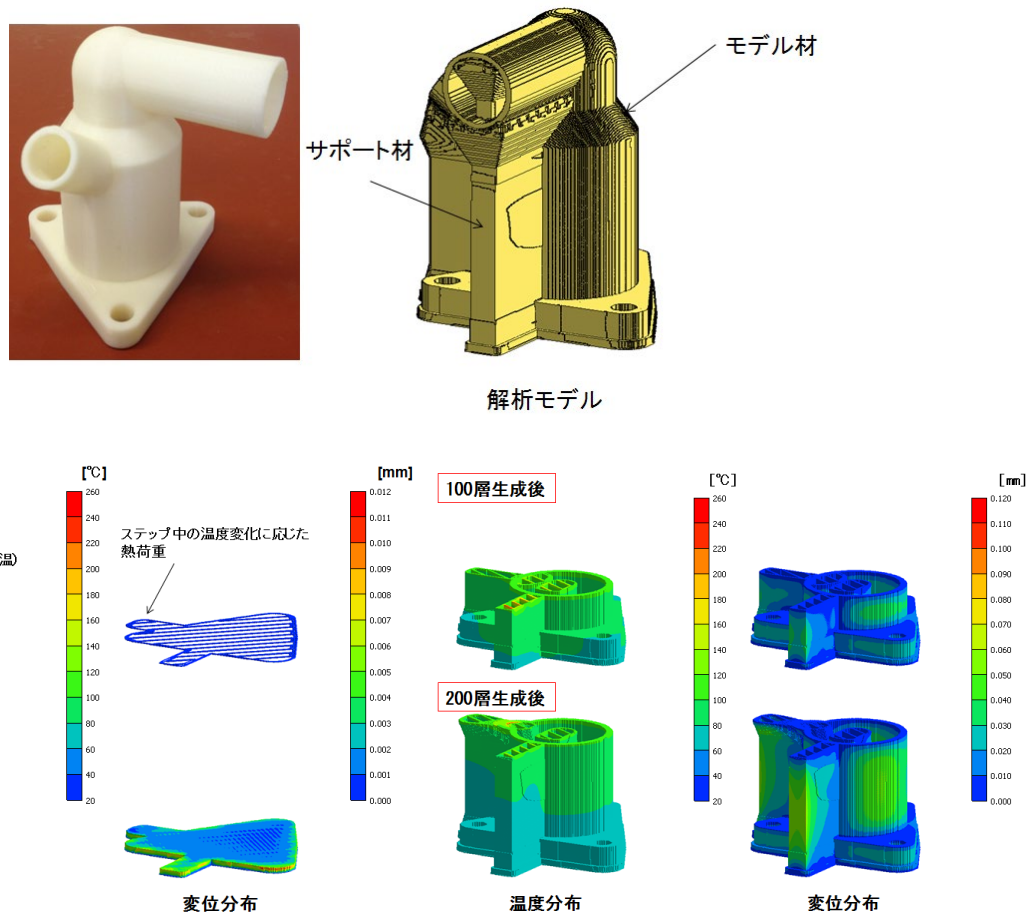


図5 材料押出方式のそり変形シミュレーション

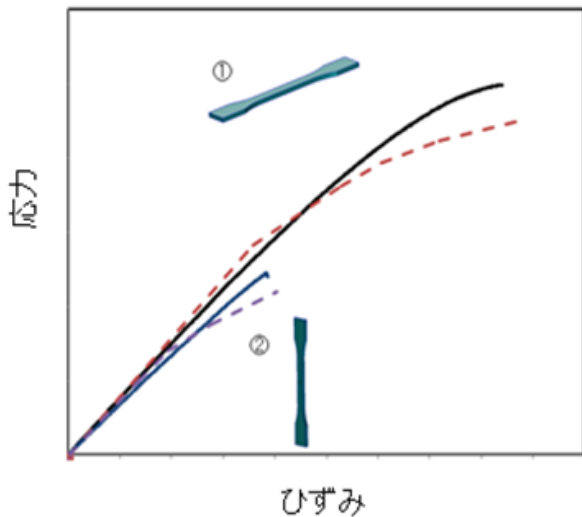


図6 造形品の異方性強度予測

5. まとめ

現在取り組んでいる 3D プリンター造形品関連のシミュレーション事例を紹介した。今後、造形品が広く普及するには、トポロジー最適化やノンパラメトリック最適化などを活用した新たな設計技術開発による付加価値の創造が必要になると思われる。今後も、お客様のご期待に添えるよう、努めていく所存である。

引用文献

- 1)中野 亮,坂場 克哉,澤田 聡,結城 高志,須賀 康雄,成形加工,15(8),550-555,2003
- 2)上本 誠一,阿部 諭,型技術, 31(2), 54-57, 2016
- 3)竹澤 晃弘, 日本機械学会誌,117(1151), 697, 2014
- 4) <http://www.quint.co.jp/jp/pro/ots/>

山田 高光（やまだ たかみつ）

東レエンジニアリング株式会社

CAE ソフト事業部 主任技師

趣味：ガーデニング、読書、旅行