

解説 1 3Dプリンターの能力を最大限に引き出す Altair のトポロジー最適化テクノロジー

アルテアエンジニアリング 由渕 稔*

*ゆぶち みのる：テクニカルスーパーバイザー

URL：http://www.altairjp.co.jp/

はじめに

大量生産に向かないことや使用できる材料の種類に制限があることなどの問題があるとは言え、型を製作する必要がなく、従来の製造手法では製作することができなかった複雑な構造物を製造することができる 3D プリンターが、製造プロセスを画期的に変える可能性があることは誰しもが認めるところであろう。しかし、従来の設計手法をただ単に適用するだけでは 3D プリンターの能力を十分に引き出しているとは言えない。製造に 3D プリンターが使用されることを最初から想定し、その特性を最大限に活用することができる設計手法が必要となる。

そのような設計手法の 1 つとして、動物の骨格や樹木のような生物組織の形状を模倣することが構造的に効果的であることは既に認知されていたが、このような構造を従来の経験や設計手法から生み出すことは困難であった。しかし、1980 年代後半に菊池と Bendsøe によりその手法が提案され、1993 年に構造解析プログラムである HyperWorks OptiStruct に導入されたトポロジー最適化は、工学的に有意な生物学的構造を作り出すことが可能な手法であり、このテクノロジーを適用することにより、従来設計手法の難点を克服し、3D プリンターの特性を活かすことのできるコンセプトデザインを創出することが可能となった。

本稿ではこのトポロジー最適化テクノロジーを概観し、トポロジー最適化と 3D プリンターの連携がもたらす相乗的効果を説明したあと、OptiStruct やコンセプトデザイン創生ツールである solidThinking Inspire の紹介と、それらによるトポロジー最適化と 3D プリンターの連携事例を紹介する。

1. トポロジー最適化

トポロジー最適化とは、構造を設計したい空間にどのように材料を配置すれば最適（例えば、重量が目標以下で剛性が最大となるような）構造となるのかを提案してくれる手法である。最終的には、この配置された材料を部材として認識して構造のヒントにすることになる。

このトポロジー最適化では、最初のステップとして設計空間の FEM（有限要素法）モデルを作成する。設計空間とはこれから設計する構造物が存在してもよい空間である。すなわち、それ以外の空間は、他の部品との干渉が生じるなどの理由により、設計範囲から除かれなければいけない空間であることを意味する。

設定された設計空間モデルに対して、与えられた最適化条件の下でトポロジー最適化を適用すると、大理石の塊から彫刻が削りだされるかのごとく、設計空間の不要な部分が削られて、構造とし

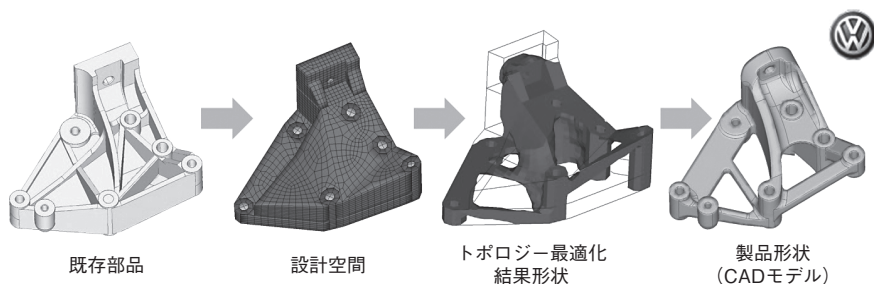


図1 トポロジー最適化の処理手順(エンジンマウントブラケットの例)

て必要な部分のみが残った形状が生成される(後述するように、実際には削られているわけではない)。これが、トポロジー最適化によって創出された構造物の最適形状の“荒削り”な状態である。この形状は、工学的な要件を満たしているだけでなく、過去の経験や従来の設計手法からは求めることのできない斬新なデザインとなることが多い。この“荒削り形状”を、適当な方法(例えば、Inspire の PolyNURBS 機能や CAD)を用いて“きれいな”CAD 形状に整備し、それをベースに設計検討をスタートさせることになる(図1)。

このように、トポロジー最適化を設計プロセスの初期検討段階から利用し、トポロジー最適化が作り出す最適なコンセプトデザインから設計をスタートさせることにより、設計の試行錯誤回数を劇的に削減させることが可能になるだけでなく、元々軽量化が考慮されたコンセプトデザインをベースとするため、結果として画期的な軽量化を達成することが可能となる。

トポロジーをはじめとする構造解析における最適化では、設計変数と呼ばれる構造物の特性を決定する複数のパラメータの最適値を、設定された最適化条件(目的関数および制約条件と呼ばれる)に合うように決める。すなわち、最適化の手順は大雑把に言って、

- ①設計変数を選ぶ
- ②設定された最適化条件に合うように設計変数の値を決める

という2つのステップから構成されると考えてよい。トポロジー最適化や寸法最適化、形状最適化

などの手法は、上記①の設計変数を決めるための手法である。本稿では言及しないが、最適性基準法や双対法、可能方向法、遺伝的アルゴリズムなどは、数値最適化手法と呼ばれる②のための手法であり、通常は①で選ばれた設計変数(および、最適化条件)との相性を考慮して選択される。

最近主流となっている均質化法と呼ばれる手法を用いたトポロジー最適化では、各要素の仮定の密度(0 から 1 の間で変化する)を設計変数として使用し、最適結果としてのその密度値が各要素の“必要性”を表している、と考える。すなわち、密度が 0.0 の要素は(実際には計算の安定性のために完全に 0 にはしないが)構造上不要であり、1.0 の要素は必要であると考えられる。つまり、密度が 1.0 の要素が集まる領域には何らかの構造部材の存在が必要であると理解する。

実際の計算では、密度は 0.0 か 1.0 に離散的に完全に分かれるわけではなく、結果として中間的な密度を持つ要素が生じる場合が多くある。その場合は材料配置が必要となる領域の境界を明確にするため、密度のしきい値を設定し(例えば、0.6)、それより高い領域のみに材料配置(すなわち、構造部材)が必要と考える(図2)。

ちなみに、最近のトポロジー最適化手法ではこのような中間密度要素をなるべく生成しないような工夫が凝らされている。

2. 製造プロセスからの制約と3Dプリンターの活用

トポロジー最適化は、初期には鋳造や押し出し、