

トポロジー最適化設計におけるデザインの活用

阿部 顕一（情報・生産技術部 試作加工グループ）

村石 伊知郎（情報・生産技術部 デザイン・設計グループ）

1. はじめに

部材に与える荷重条件に対して、最適な材料分布を解析するトポロジー最適化技術は、これまでもあったが、解析結果は複雑形状になるため加工が難しく、製品設計には限定した範囲でのみ用いられてきた。しかし、設計者が意図しないような結果も得られることから、従来製品との差別化を図った製品デザインを実現するためのツールとして、トポロジー最適化を活用することを試みた。

トポロジー最適化技術は複雑な解析結果が出力されるため、製品設計に利用される場面は少ない。しかしながら3Dプリンターをはじめ今後の加工技術の向上により、一般的に利用されると思われる。今後のデザイン・設計技術の向上のため、トポロジー最適化に必要な解析条件や要点を調査した。さらに解析結果を製品デザインに活かすため、デザインの一手法としての可能性を模索した。

2. 実験及び結果

2. 1. トポロジー最適化

利用した解析ソフトウェアは、Altair Inspire (2017.3) を用いた。トポロジー最適化は、拘束条件や荷重条件により解析結果が大きく変化するため、解析条件を変化させた時の解析結果について調査した。対象として、背もたれのある4脚椅子について調査した。

手順として、形状を変化させない結合部を設定する。今回は、4脚それぞれの接地部、座面4か所、背もたれ4か

所、計12か所を3D CADを用いて空間に配置する。次に、全ての結合部に接触する設計領域を設定する。設計領域はトポロジー最適化により不要な部分が削除されることから、計算結果の最大外形を決定する要因になる。これは、切削加工における材料に相当する（図1）。

Inspireで解析する際には、一般的なCAEのように解析条件を設定する。主に、材料、結合状態、固定部、荷重条件等である。Inspireでは、さらに解析結果（形状）に対して対称性や、加工方法に合わせた拘束条件を設定できる。

今回、与える荷重条件として、座面に対して垂直荷重をかけた場合、水平モーメントをかけた場合、背もたれに垂直荷重をかけた場合の、解析結果を報告する。解析条件を表1に、解析結果を図2～6に示す。各結果の左図が設計領域との体積比10%、右図が5%の結果を示す。

表1 荷重条件

座面 垂直	座面 モーメント	背もたれ 垂直	結果
○			①
	○		②
○	○		③
○		○	④
○	○	○	⑤

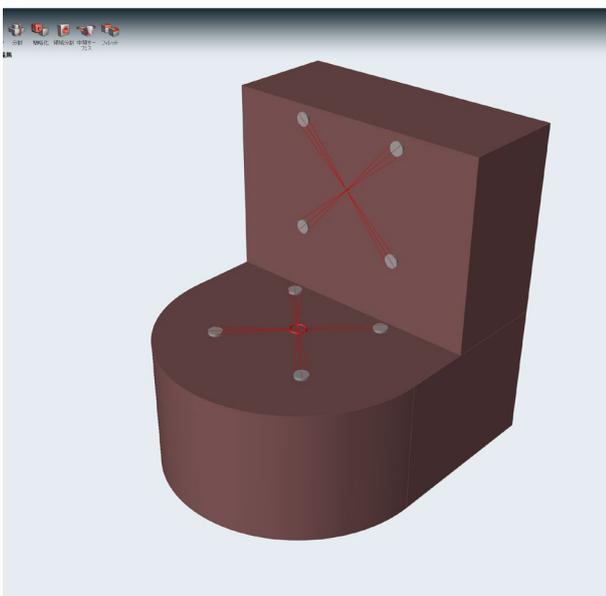


図1. 椅子の設計領域

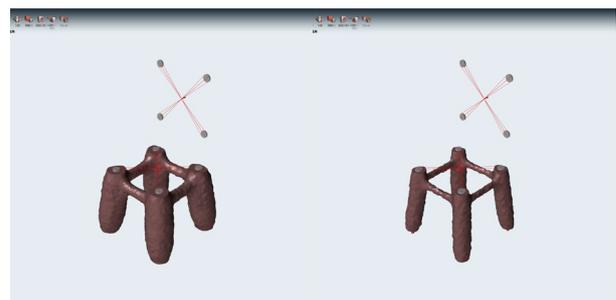


図2. 結果①

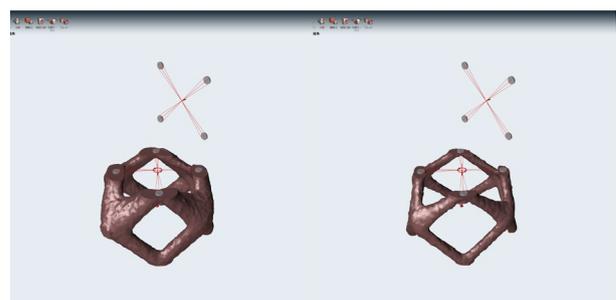


図3. 結果②

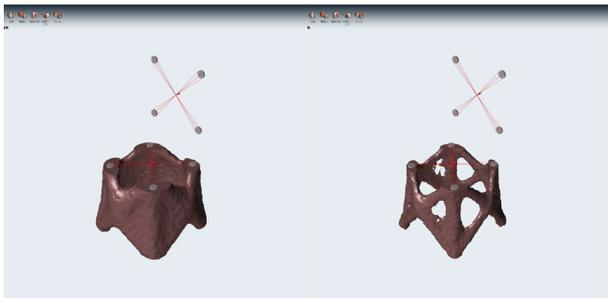


図 4. 結果③

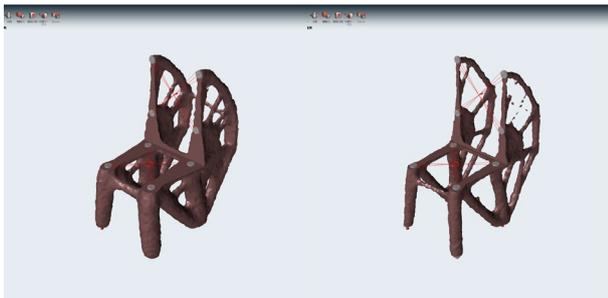


図 5. 結果④

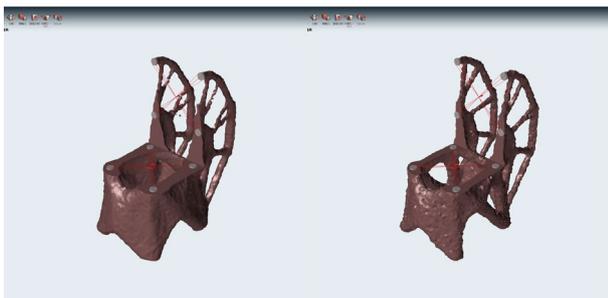


図 6. 結果⑤

脚部に注目すると、垂直荷重のみをかけた結果①、④は接地部から直線状の脚が生成されており、垂直荷重に対し当然と思われる形状が生成された。モーメントのみをかけた結果②では、斜め方向の直線構造が生成された。垂直荷重とモーメントを同時にかけた結果③、⑤は、垂直荷重のみの結果とモーメントのみの結果を合成したかのような形状が生成された。背もたれに注目すると、トラス構造を有するアーチ構造が生成された。

与えた条件に対して得られた結果は、意外性が少なく当然と思われる結果となった。与える荷重条件が単純であるからと思われる。荷重条件が複雑であると構造も複雑になる傾向がある。

2. 2. トポロジー最適化を用いたデザイン

条件を複雑にすることで、結果が複雑になり、意外性のある結果が得られれば、従来の製品とは異なるデザインとして利用できると思われる。そこで、標準的な形状を有する工業製品について、トポロジー最適化結果を利用して、新たなデザインを試みた。解析結果はそのままで粗い形状になるため、3D CAD等のデザインツールで再デザインして立体化し有効性を検討した。

対象はテーブルとした。効果を強調するため基本形状（設計領域）は軸対称で、接地面と天板は単純な円板、胴体部分は R 曲面を有する円筒とした（図 7）。荷重条件として天板に垂直荷重やモーメントを設定したところ、図 8 のような中空構造となった。特にモーメントは最小質量で最大の強度確保しようとするため外縁部が支配的になる。単純な形状に対して単純な荷重条件を与えると、設計領域とあまり変わらない単純な外見になってしまった。

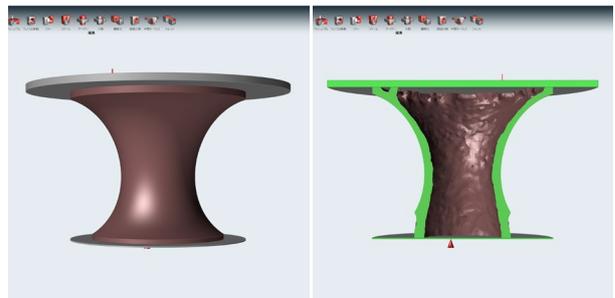


図 7. テーブルの設計領域

図 8. 結果（断面）

そこで、Inspire の機能を用いて結果形状に拘束条件を与えた。得られる結果形状に回転対称構造や引き抜き構造に拘束する条件を設定できる。図 9 は回転対称で拘束した例であるが、今回は設計後の生産性が容易と思われる引き抜き構造で拘束することとした。

椅子と同様に、垂直荷重とモーメントを個別、合成した解析結果を図 10～12 に示す。



図 9. 回転対称

図 10. 引き抜き 垂直荷重



図 11. 引き抜き
モーメント

図 12. 引き抜き
垂直荷重+モーメント

垂直荷重、モーメントとも想像しにくい結果となった。垂直荷重+モーメントも合成されたと思われる形状となった。

製品デザインへの適用例として、加工性も考慮し、モーメント・引き抜き拘束での結果を採用することとした。得

られた結果を参考に、3D CAD でモデリングを行った。(図13) モデリング後は、実際の材料や荷重条件を与え構造解析により強度を確認できるので、細部の形状を決定できる(図14)。

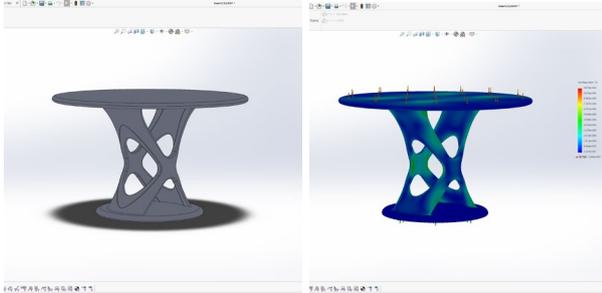


図13. 再モデリング

図14. 内部応力解析例

トポロジー最適化結果を参考にした製品デザインへの適用例を図15, 16に示す。図15の加工には5軸制御マシンングセンタを使用して接地部と胴体部を加工している。天板はガラス板を用いている。図16の加工では木材を使用し原寸で加工した。



図15. 加工例①



図16. 加工例②

3. 考察及び今後の展開

最適化のための、荷重条件や拘束条件を把握できたが、今後は汎用的な構造材に対する解析や再デザイン、さらに造形物での荷重試験を行い、実用性を検証していく(図17)。

単純な形状で、解析結果の傾向を検討したところ、特にモーメントが強くなると、設計領域の最外縁部が残りやすい。そのため設計領域の形状が支配的になってしまい、意外性の少ない結果になりやすかった。

また、得られた結果は、そのままでは3Dプリンターでなければ造形できず、中小企業の製品製造への適用が難しい。解析条件に一方方向への引抜形状等に限定することにより加工が容易になり適用性が高まると思われる。

切削加工や鋳造加工で製造可能な形状や解析条件についてまとめ、3Dプリンターやマシニングセンタと組み合わせ、製品設計や試作での支援に活用できるようにし、製品デザインの幅を広げ、中小企業への支援に結び付けたい。

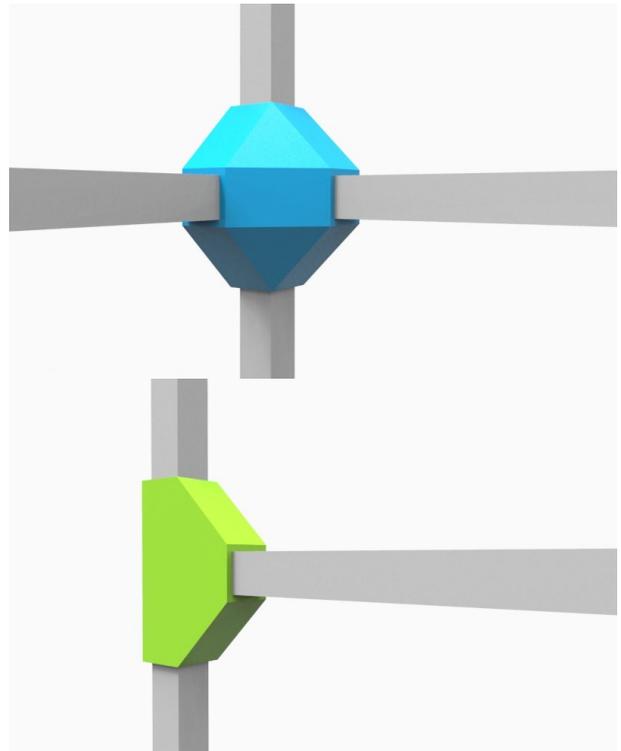


図17. 汎用的な構造材の設計領域例