

# 伝熱解析とトポロジー最適化による金属製品設計手法の開発

機械情報システム課 能登有里彩\*1、中村陽文

## 1. 緒言

身の回りにある金属製の製品は、触れたときに寒い環境だとひやっと感じ、日光などで温められるような環境だと熱いと感じるため、使用者に触ることを躊躇させることがある。持ち手や手摺りなどがその一例であり、特に掌で握ったときの冷感が使用者に好まれていない。この問題を解決するために、木製やプラスチック製の製品が販売されているが、木製品は湿気によりカビが発生しやすく、プラスチックは環境負荷低減の観点から製品への利用が低調である。そのため、金属でありながら冷感を感じにくく、体温になじみやすい製品開発が求められている。

本研究では、伝熱解析と形状最適化により、掌に冷感が伝わりにくい金属製品の設計手法を開発する。中空構造の製品の形状や表面に凹凸を設けることで、掌と金属の接触面積及び熱容量の低減化を図る。また、最適設計した製品形状については、金属積層造形装置で試作を行い、設計手法の検証を行う。

## 2. 実験方法

### 2.1 解析モデルの作成

解析モデルの概要を Fig. 1 に示す。掌で握ることを想定し、CAD で中空構造の形状データを作成した。Fig. 1 に示すように、最大で長軸 30mm、短軸 20mm、長さ 120mm のデータを作成した。この解析モデルは内側方向に厚さの変更が可能ないように設定した。



Fig. 1 Configuration of the specimen

### 2.2 形状最適化

冷感を抑えるには、製品が体温に到達する時間の短縮化が有効である。2.1 に示した形状データについて、使用を仮定した負荷に耐えうるかつ熱容量の低減化が図れるよう形状最適化を行った。市販の類似形状の持ち手に圧力測定フィルムを巻き付け、成人男性が握ったときの圧

力を簡易的に測定した。一番圧力の高い場所で 0.2MPa となったため、0.2MPa の圧力を一様に与えることとした。市販品の持ち手は、板厚が 1.5mm、材料が SUS304 の製品が多い。形状の厚さは、実際に使用されているステンレスの板厚より薄くなるように、0.5mm~1.5mm に変化させ、変形が起きない最適な形状を見出す。材料は、実際に製作することを想定し、金属積層造形装置で利用可能なステンレスである、SUS316L を用いた。

### 2.3 伝熱解析と製品形状の作製

解析モデルの板厚が大きいと、熱容量が大きくなるため、冷たく感じる時間が長くなる。そのため、板厚の増減によるモデル表面の温度変化への影響を確認する。形状最適化したモデルを考慮して、板厚を変化させた場合の伝熱解析を行う。形状最適化と伝熱解析の結果を元にモデルを決定し、金属積層造形装置で材料 SUS316L を用いて作製を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 形状最適化のシミュレーション結果

解析モデルについて、厚さを一番薄い 0.5mm で負荷を与えた場合、応力が高く変形する挙動を示した。0.7mm までは変形する挙動を示したため、0.7mm まではこの形状では強度を保つことができないことが分かった。Fig. 2 は、0.8mm の厚さの場合の構造解析結果である。SUS316L の耐力は 175MPa 以上と JIS に記載されている。また、金属積層造形装置で作製した場合も 200MPa であるというデータもある。Fig. 2 で応力は、175MPa より低いため、ど

thickness(4)=0.8mm サーフェス：フォン・ミーゼス応力 (N/m<sup>2</sup>)



Fig. 2 Structural analysis diagram of a model

\*1 現 生活工学研究所

これらの基準を用いても変形しないと考えられる。製品として使用するには最低でも 0.8mm 以上の厚さを持たせる必要があることが分かった。

### 3.2 解析モデルの伝熱解析結果

3.1 の解析結果から、厚さ 0.8mm のサンプルについて伝熱解析を行う必要があることが分かった。Fig. 3 に厚さ 0.8mm、0.9mm、1.0mm のサンプルにおける表面温度の経時変化を示す。0.7 秒後にはどの厚さも人の体温と同様の温度に近づいていることが分かる。0.1 秒時においては、0.8mm と 1.0mm では温度差が 3°C あり、これが触った瞬間のひやっと感じる差であると考えられる。0.2mm の厚さの違いで温度差が大きいため、できるだけ薄いモデルが適していることが分かった。

### 3.3 製品形状の作製結果

形状最適化と伝熱解析結果から、厚さ 0.8mm のモデルを金属積層造形装置で作製した。Fig. 4 に実際に造形したものを示す。積層造形のため、表面に凹凸が生じるため、細かすぎる造形は難しいことが分かった。しかし、機械的強度を評価するには十分であり、今後落下衝撃試験などで、製品形状としての評価を行う必要がある。実際には、プレス加工品が多いため、金属造形以外の加工による製品試験も行う必要がある。また、造形品の表面の凹凸形状を測定し、解析モデルにフィードバックし、凹凸形状による表面近傍の伝熱解析も検討していきたい。

## 4. 結言

本研究では、伝熱解析と形状最適化により、掌に冷感が伝わりにくい金属製品の設計手法を開発した。中空構造の製品の厚さを 0.8mm に変更することで、実際の使用に耐える強度と熱容量の低減化を両立することができた。最適設計した製品形状については、金属積層造形装置で試作を行い、設計手法の検証を行った。

キーワード：形状最適化、伝熱解析、金属製品

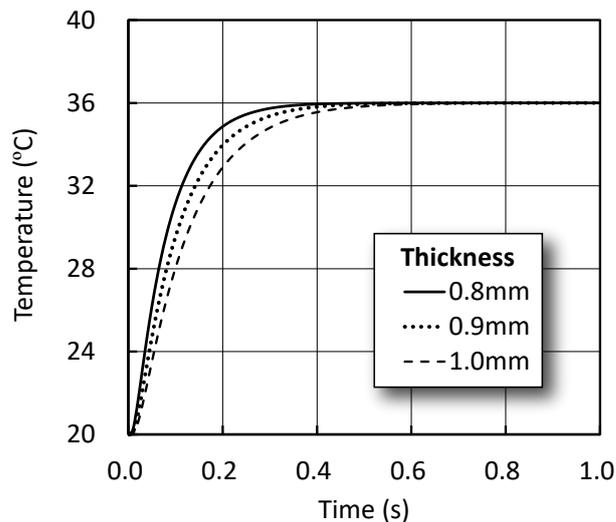


Fig. 3 The relationship between heat transfer time and surface temperature



Fig. 4 Appearance of a trial piece

### 参考文献

- 1) H.Miyauchi and K. Yokota:Effect of Nitrogen Atmosphere on the Mechanical Properties and Microstructure of SUS316L Stainless Steel Additively Manufactured by Selective Laser Melting (2020).

## Development of metal product design method by heat transfer analysis and topology optimization

Mechanics and Digital Engineering Section; Arisa NOTO\*<sup>1</sup> and Takafumi NAKAMURA

A design method of metal products such as handle and handrail was studied to reduce the coolness to touch. After making a hollow metal model, the thickness of shape was optimized by simulating the strength. And the heat transfer was analyzed depend on the thickness. In result, it is recognized that sufficient thickness was higher than 0.8mm under the conditions. Further the hollow model was shaped by the metal additive manufacturing.