

# ジェネレーティブデザインと 金属 3D プリントを用いたフロントフォークの再設計とその考察

山本理人\*, 寺田洋大\*, 中村悠人\*, 堀江祥輔\*, 須田敦, 谷口幸典, 福岡寛

Redesign and Consideration of Front Forks  
Using Metal 3D Printer and Generative Design

Rihito YAMAMOTO\*, Hiroto TERADA\*, Hiroto NAKAMURA\*, Shosuke HORIE\*,  
Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI, Hiroshi FUKUOKA

## 1 緒言

近年、ものづくり産業が変化を求められる中で製造プロセスにおける設計部門を中心とした業務の刷新に取り組むことは企業にとって重要な課題である<sup>1)</sup>。企画構想から始まり、製品設計、工程・設備設計、生産準備、アフターサービスまでの一連業務のプロセスにおける、ジェネレーティブデザイン (Generative Design, 以下 GD とする) の意義は、設計サイクルの生産性を向上させることにある。GD では設計物に対して製造プロセスを認識する人工知能 (AI) が計算によって様々な設計案を生成できる。複数生成された案を比較検討することができる。人間の先入観を取り除いた斬新な設計案を素早く複数作成できる<sup>2)</sup>。

本研究は市販品であるキックボードのフロントフォークの形状を、GD で再設計し新たな形状を生み出すことによって、製品の比強度を向上させることを目的としている。提案手法の概要は、Fusion 360 (オートデスク) の機能である GD 機能を使用し、フロントフォークにかかる荷重に耐えうる形状を生成する。提案手法の妥当性確認方法として、金属 3D プリントを使用して Fusion360 上でデザインしたデータを出力し、実際のキックボードに取り付けて使用することで実際に発生した荷重に耐えるかを検証する。

## 2 設計方法

### 2.1 GD を用いた設計

株式会社カワセのブランド「Kaiser」から販売されているキックボードのフロントフォークの再設計をする。キックボードを分解後、フロントフォークの採寸を行う。図 1

に Fusion360 でモデリングしたキックボードのフロントフォーク周辺パーツを示す。図 1 は GD を作成する上で必要な車輪取り付け部の穴位置を確認できる元データとして使用する。

フロントフォークの元データから保持ジオメトリ、障害物ジオメトリ、荷重拘束、構造荷重、安全率、製造方法、材質の必要なパラメータを入力し、GD を出力する。製造方法として 3 軸マシニングセンタ、5 軸マシニングセンタ、積層造形 (Additive Manufacturing, AM)、の 3 手法が考えられる。GD で出力した結果として AI が推奨する製品に金属 3D プリントのものが多く、出力された他の物品と比較して、形状、比強度、安全率の点で優れているため、積層造形を用いた場合の GD の結果を絞り込み、製作する設計形状を決定する。

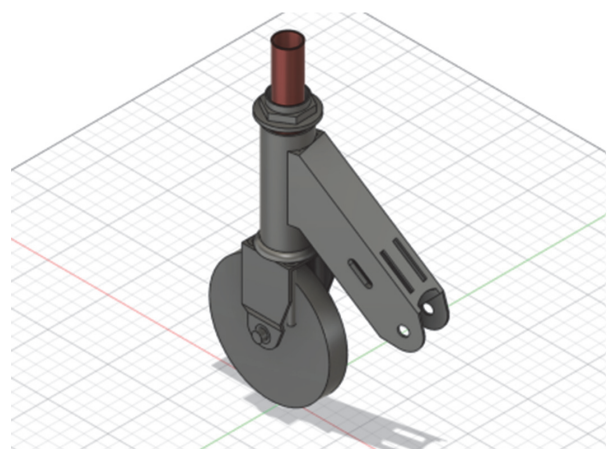


図1 フォークのアセンブリ

## 2.2 強度解析

決定したGD案がどの程度の強度を有するかを確認するため、Fusion360内のシミュレーション機能を用いて確認する。図2に変位量、図3にひずみ量、図4に応力のシミュレーション結果を示す。GD設計段階にて、ねじ締結部(図2中の上部の穴4か所、下部の穴2か所)を保持ジオメトリとして設計する。この内、上部の穴4か所に荷重拘束を与える。6か所の保持ジオメトリに、車輪から伝わるモーメントや人からフロントフォークにかかる体重を想定して

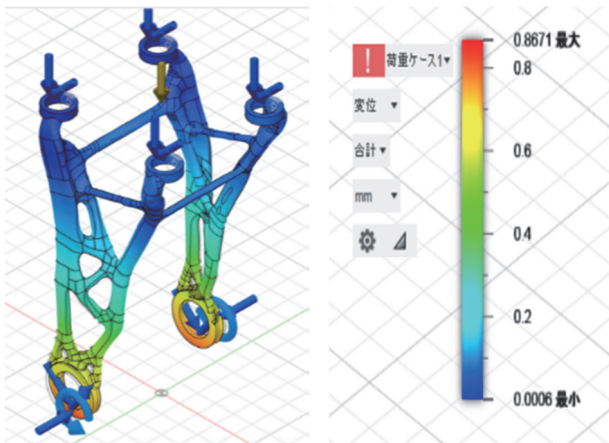


図2 変位量シミュレーション

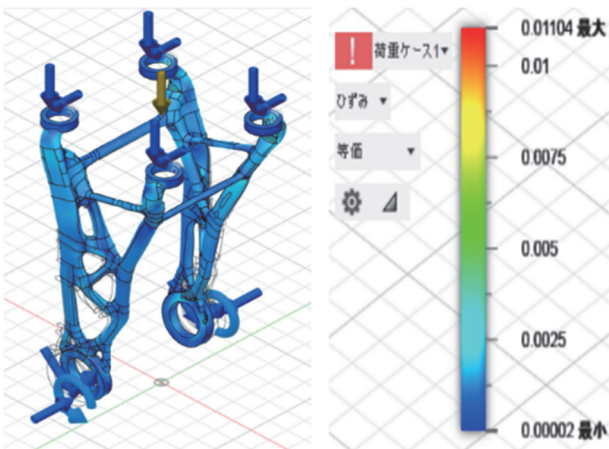


図3 ひずみシミュレーション

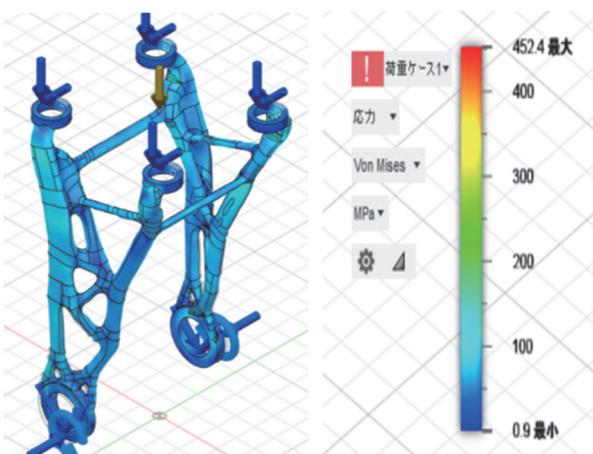


図4 応力シミュレーション

あらゆる角度から複数の力やモーメントを加える。図2の変位量結果より、実際の変形形状に近く妥当性があると考えられる。図3のひずみ量結果より、全体的に0.0025程度であり、剛性は比較的高いと分かる。図4の応力結果より、全体的に100~150 MPa程度であり、降伏応力を大幅に下回っている。

## 3 製作工程

### 3.1 樹脂3Dプリンタでの造形

GDで出力した設計で樹脂の3Dプリントを行い、設計に致命的な不具合がないかを確認する。図5に樹脂によって3Dプリントされたモデルを示す。樹脂3Dプリント品では、立て型で造形することができた。横に伸びる部分やベッドに垂直に円を描く軸受部などに少し樹脂の垂れがあるが、サポート材やラフトを使用することなく造形できた。

### 3.2 金属3Dプリンタでの造形

本研究で使用する金属3Dプリンタ及びファーンレスは、Desktop Metal社の「Studio システム2」である。図6に金属3Dプリンタ、図7にファーンレスを示す。この製品の大きな特長として、成形に有機溶剤を使用する必要がない点が挙げられる。この性質を持ち合わせていることにより安全かつ安心して造形、焼結の2ステップのみでモデルを作ることが出来る。

また、モデルの作成方法にBMD方式を採用している為、従来の工法では成形が困難であった複雑形状のモデルも作成可能となっている。加えて、モデルを支える為に必要なサポート材とモデルの間に融点の高いセラミックを押し出す機構を備えているため、金属同士の結合を防ぎ成型後に簡単にサポート材を取り除くことが出来る<sup>3)</sup>。図8に金属3Dプリント設定画面を示す。紫色がサポート材、青色がラフト部、濃い紫色がセラミック層(インターフェース層)を表す。



図5 樹脂3Dプリント品



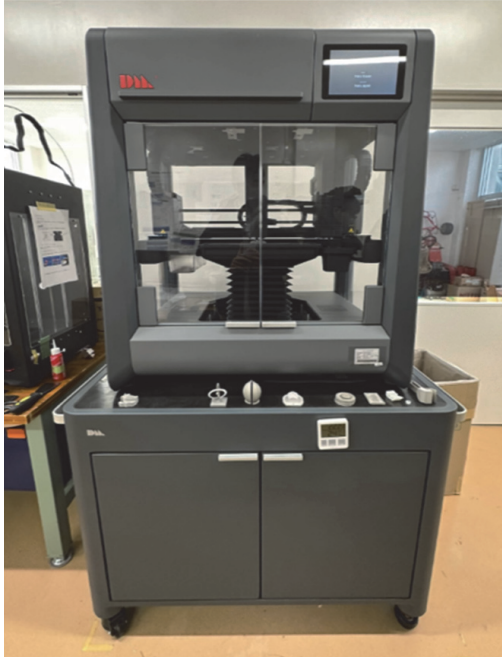


図6 金属3Dプリンタ



図7 ファーネス

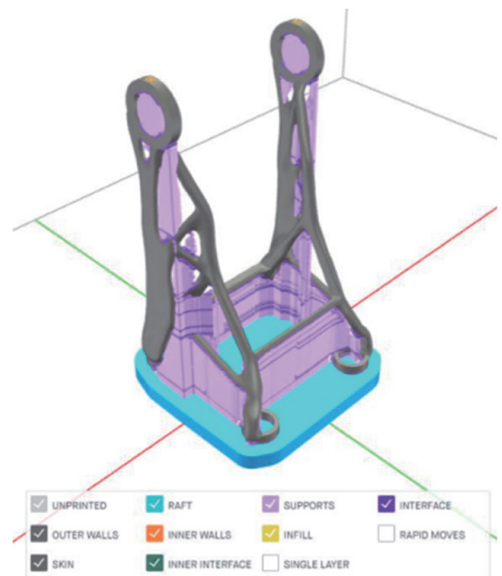


図8 金属3Dプリント設定画面

## 4 結果

### 4.1 GD案

GDの結果から、図9に示すGD案を造形する。ここで図中の矢印は、設定時に入力した構造荷重とその方向を示している。

図9から読み取れるようにGDでは、構造荷重の設定で大きく形状が変化することがわかる。一方向から大きな荷重を設定すると形状が単純な形に収束するが、実際の使用時に想定される比較的小さな荷重や回転モーメントを様々な方向から加えるとより合理的な形状に収束することがわかる。

### 4.2 立て型での金属造形の失敗

金属3Dプリンタで図8のようにモデルを立てた状態で造形すると、図10に示すように造形途中でモデルが折れて失敗した。白っぽく見える糸状のものはセラミックの塊である。このセラミックは製品とサポート材の間に生成され、離型を容易にする役割を果たしている。

### 4.3 横型造形への改良

立て型造形の失敗から、モデルを横倒しにして造形する。この結果、図11に示すように途中でモデルが折れることなく金属3Dプリンタにて造形することに成功した。

### 4.4 焼結後のGDモデル

金属3Dプリンタで造形したモデルをファーネスにて焼結する。焼結後に取り出した図9のGDモデルを図12に示す。設計通りのGDモデルを焼結することが出来た。

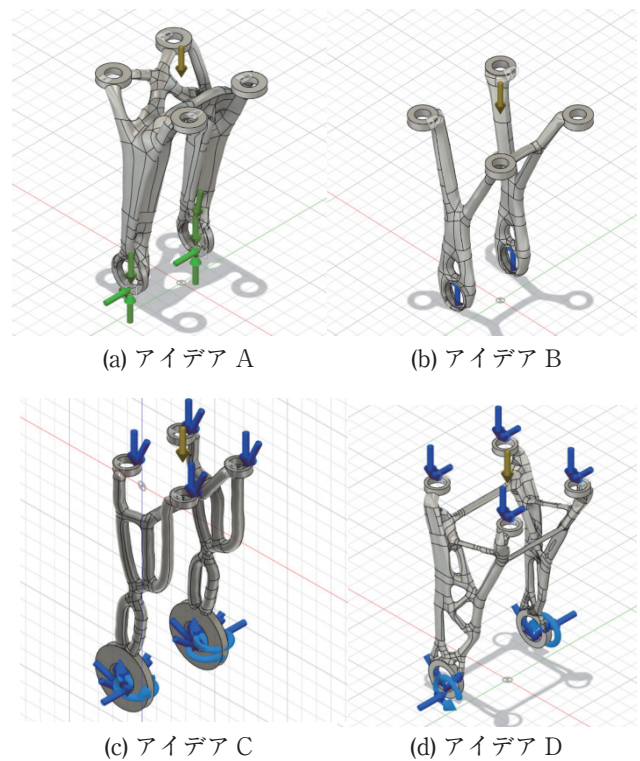


図9 GD案

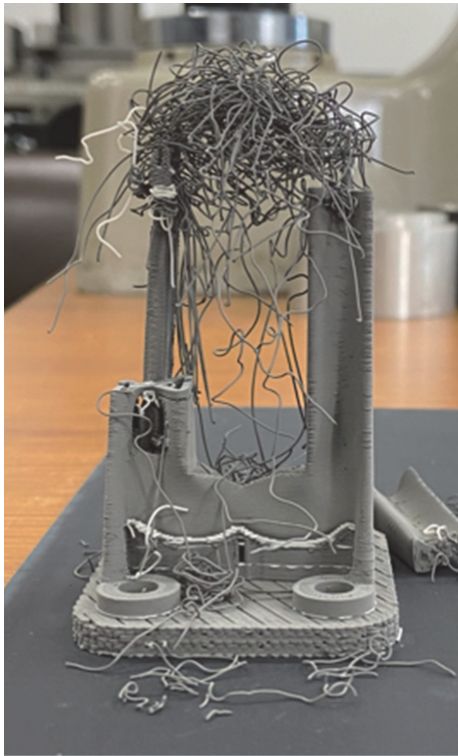


図10 立て型造形の失敗

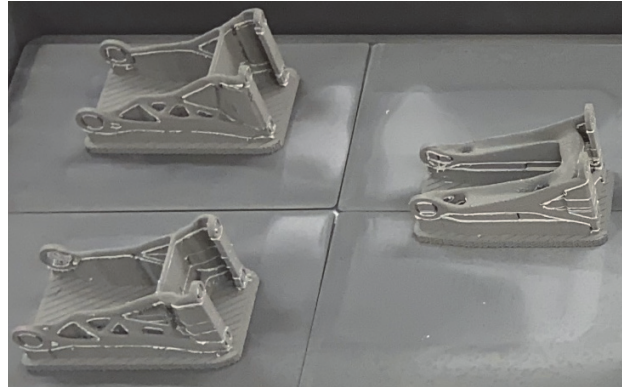


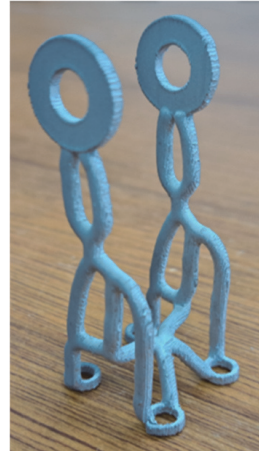
図11 造形成功例



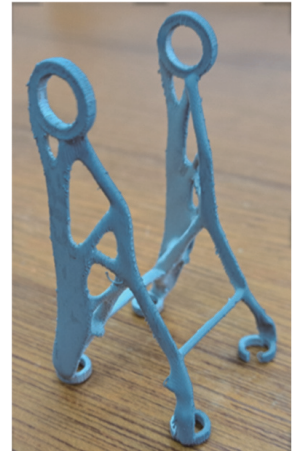
(a) アイデア A



(b) アイデア B



(c) アイデア C



(d) アイデア D

図12 GDモデル(焼結後)

## 5 考察

金属3Dプリンタでは、モデルを立てた状態で造形を行うと折れたが、横向きにする事で造形を成功させることが出来た。このような現象が発生する理由には、造形物の自重が関係していると考えられる。図10に示した失敗例から読み取れるように、造形が一定の高さまで進んだ途端、自重に耐えることが出来ず折れたと考えられる。このことを踏まえてモデルを横向きにする事で、自重を一点に集中させることなく造形を完遂させることに成功した。

## 6 結言

本研究では造形物の自重を考えて造形を行う必要があるという金属3Dプリンタの性質を把握することが出来た。このような性質の多くを理解していくことで、ジェネレーティブデザインと金属3Dプリンタを組み合わせた造形を様々なものに生かしていくことが出来る。今後の予定として、造形・焼結したものを、キックボードに取り付ける。その後、実際に使用可能か検証を行う。

## 謝辞

ジェネレーティブデザインのトレーニングはオートデスク株式会社の中村様、有限会社Jテクノの野村様にご支援いただきました。本活動は、本校機械工学科科内広報担当教員が主導する正課外活動組織 MeCafe の援助を受けたものです。心から御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) オートデスク株式会社：FUSION 360 GENERATIVE DESIGN EXTENSION, available from <<https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/generative-design-extension>>, (参照日 2023 年 2 月 16 日).
- 2) オリックス・レンテック：ジェネレーティブデザインとは？三つのメリットと設計の未来像を考える, available from <<https://go.orixrentec.jp/rentecinsight/it/article-191>>, (参照日 2023 年 2 月 16 日).
- 3) 丸紅情報システムズ株式会社：金属 3D プリンタ Desktop Metal Studio システム 2 | 丸紅情報システムズ [marubeni-sys.com](https://www.marubeni-sys.com), available from <<https://www.marubeni-sys.com/3dprinter/desktopmetal/studio.html>>, (参照日 2023 年 2 月 16 日).