

# FDM 方式 3D プリンタによる発条の作成とその特性評価

迎 崇久\* 宮下 芳明\*

**概要.** 発条（ぜんまい）は電気や燃料を用いることなく動力を生み出せる機構である。発条を 3D プリントすることで、造形物に動力を組み込むことが可能となり、造形物の活用の幅が広がる。本稿では FDM 方式 3D プリンタで発条を作成し、その特性評価を行った。また、得られたデータをもとに 3D プリンタ製のプルバックカーを作成し、動作することを確認した。

## 1 はじめに

今日、3D プリンタの普及と 3D プリント技術の急速な発展に伴い、今まで出力することが不可能とされていた様々な物の出力が可能となっている。その中の 1 つに発条（ぜんまい）がある。発条は電気や燃料を用いることなく動力を生み出すことができる数少ない機構であり、様々な場で用いられてきた。発条を 3D プリントすることが可能となり、今まで以上に出力物の活用の幅が広がると考えられる。しかし、一般に普及している FDM 方式の 3D プリンタで用いられるフィラメントでは、実際に使われているような弾力のある金属製のぜんまいばねは出力できず、出力できる大きさにも限度がある。このため本物と同じような発条を作ることは現状できない。本稿では一般に普及している FDM 方式の 3D プリンタで作成できる発条について、性能の限界を調査し、作成した発条の使用例（図 4）を示す。

## 2 発条の構造

発条は図 1 (a) のように基本的にぜんまいばね、香箱（こうばこ）、香箱真（こうばこしん）と呼ばれる 3 つの部品から成り立っている。ぜんまいばねは発条の動力源であり、金属などの素材を渦巻き状に巻き、端を折り返した構造をとっている。香箱真はぜんまいばねの中心と連結しているパーツであり、香箱の中心を貫くように存在している。なお一般的にはぜんまいばねのことを発条と呼ぶが、本稿では区別しやすくするため上記 3 点のパーツを合わせたものを発条と呼ぶ。

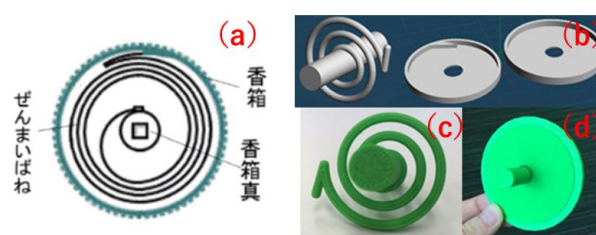


図 1. 発条の構造 (a), 作成したぜんまい機構 (b), 出力物 (c), 組み立てた状態 (d)

## 3 関連研究

本研究と同じく、3D プリンタで発条を作成した例を紹介する。Christoph Laimer は、ぜんまいばねとその他部品を 3D プリントし、実際に機能する時計を作ることに成功している[1]。ここで使用されている発条は回転運動を与えるためのものではなく、エネルギーを蓄える役割をしているものである。また、小泉ら[2]は電子ビーム積層造形法という特殊な手法で金属製の 3D プリントぜんまいばねを作成しその評価を行っている。大場ら[3]はレーザーカッターを用いることでぜんまいばねを作成し、その性能についての評価を行っている。

## 4 3D プリンタでの発条の作成

本研究では図 1 (b) のようなアルキメデス螺旋形のぜんまいばねと香箱真を合わせたものと香箱の上下を出力し、それらを組み合わせて発条を作る。なお、ぜんまいばねのモデリングは Autodesk Fusion360 で、香箱のモデリングと後述の実験で用いたモデルデータの編集は Metasequoia で行い、3D プリントには Zortrax 社の Zortrax M200 を用いて出力し、Z-ABS の樹脂を用いた。ぜんまいばねは、香箱真が地面と垂直になるように配置することで、3D データにより近い形で出力することが可能であり、サポート材の除去も容易である。また、組

み立てもぜんまいばねを香箱で挟むだけであり、香箱同士の接着もほとんどの場合不要である。この手法で出力したぜんまいばねが図 1 (c) であり、組み立てた状態が図 1 (d) である。

## 5 特性評価実験

アルキメデス螺旋にはいくつかのパラメータがありその値により形状が変化する 図 2 (左)。今回はこれらのうち、巻き数、断面直径、ピッチの 3 つをぜんまいばねのパラメータとした。本稿ではこれらのパラメータの変化による限界回転角、トルクの 2 点の変化について調べる。今回は測定数減らすためにベースとなるぜんまいばねを定め、そのパラメータの 1 種類のみを変化させたものを測定する手法をとった。ベースのパラメータは巻き数を 3 回、断面直径を 3.0mm、ピッチを 6.0mm とした。

実験で計測する限界回転角とは、発条をどれくらい巻けるかを示す値である。ぜんまいばねの折り返し部と香箱の突起が接触してなお且つエネルギーを貯めている状態を始点とし、図 2 (中央) のように香箱と香箱真に印 a をつけておく。この状態から発条を巻けなくなるまで回転させ、巻けなくなったときの香箱真の印に対応する香箱の位置に新たに印 b をつける。a と b の成す角を限界回転角とする。

本稿でのトルクは、発条を巻いた状態で手を離れたときにどれだけ勢いよく回転するかを示す値である。この実験では穴の開いた香箱真と糸を通すためのレールを搭載した特殊な香箱を用いた。計測ではまず糸を香箱に 1 周巻きつけておき、端を結んでおく。もう一端をばねばかりに結びつけておき、装置に固定する。固定した状態で発条を前実験で得られた限界回転角になるまで図 2 (右) のようにはかりを引く。この時のはかりの値からトルクを算出する。

実験により得られた結果を図 3 に示す。図 3 (左上) は巻き数、図 3 (右上) は断面直径、図 3 (下) はピッチの変化に対する限界回転角とトルクの遷移をそれぞれ示している。本実験を通して分かったのは、勢いよく回転する発条ほどぜんまいばねの巻き数とピッチは小さく、ぜんまいばねの太さは太いということである。勢いはないがよく回転する発条ほどぜんまいばねの巻き数とピッチは大きく、ぜんまいばねの太さは細いということであり、発条の勢いと回転数は相反するパラメータだということである。勢いよく回転し、なお且つ回転数も多い発条を作るにはすべてのパラメータを増やすしか方法がなく、それに伴った発条自体の巨大化はやむを得ないことも分かった。

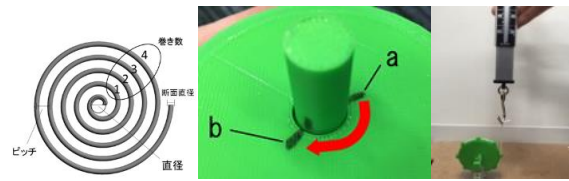


図 2. ぜんまいばねのパラメータ (左), 限界回転角の定義 (中央), 実験の様子 (右)

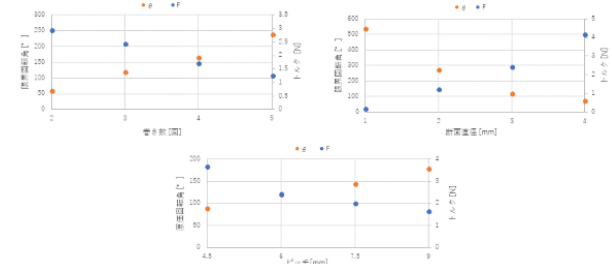


図 3. 巻き数に関する実験結果 (左上), 断面直径に関する実験結果 (右上), ピッチに関する実験結果 (下)

## 6 作例

実験で得られたデータをもとに、作成した発条を利用して、図 4 のような 3D プリンタ製のプルバックカーを作成した。作成には ABS 樹脂を使用し、出力には Zortrax M200 を用いた。タイヤ直径はすべて 65mm とし、本体サイズは 11mm × 25mm × 65mm である。パラメータによって走行距離が変わり、最大走行距離は約 300mm であった。



図 4. 作成したプルバックカー (左) と内部構造 (右)

## 参考文献

- [1] Christoph Laimer, 3D-printed Watch with Tourbillon – How it's made, 2018/07/20  
<http://www.thingiverse.com/thing:1249221>  
<https://www.youtube.com/watch?v=Go8woPGOggg>
- [2] 小泉 雄一郎, 孫 世海, 齋藤 毅, 黒須 信, 千葉 昌彦. 電子ビーム積層造形による C0-Cr-Mo 合金製ゼンマイばねの試作. J-Jpn. Soc. Powder Powder Metallurgy, Vol. 61, No. 5, 2014.
- [3] 大場直史, 宮下芳明. レーザカットによるぜんまいばね製作とその性能評価. インタラクシオン 2017 論文集, pp.838-843, 2017.