

# 3D プリンタを用いた弾力調整可能なコイルスプリングジョイント機構の試作と評価

新山 大翔<sup>1,a)</sup> 沖 真帆<sup>1</sup> 塚田 浩二<sup>1</sup>

**概要:** 本研究では、弾力を調整可能なコイルスプリングジョイントを提案する。径/全長/ピッチ等のパラメータをプログラム上で調整し 3D プリンタで出力することで、弾力や強度の異なるスプリングを作成するシステムを試作した。専用の連結ジョイントを用いることで、スプリングを辺とした立体構造物を作成できる。本稿では、これらの試作と作例を紹介し、また、コイルスプリングに対して行った性能調査について述べる。

**キーワード:** 3D プリンター, ジョイント, デジタル・ファブリケーション, 熱溶解積層方式, 構造体

## Design of Spring Joints with Adjustable Elasticity for Common 3D Printer

NIYAMA HIROTO<sup>1,a)</sup> OKI MAHO<sup>1</sup> TSUKADA KOJI<sup>1</sup>

### 1. はじめに

低価格な 3D プリンタが普及し、個人でも独自に 3D モデルを設計し出力できる環境が整いつつある。これに伴って様々な種類の出力素材（以下、フィラメント）が登場している。中でも、樹脂に合成ゴム等を混ぜたフレキシブルフィラメントは、柔軟で弾力のある出力物を作成できる。ただし、弾性/柔軟性/伸縮性は造形物の構造に依存するため、開発者は目的に合わせた幾何学構造を設計する必要がある。さらに、弾力や伸縮率は、地道に出力/調整を繰り返すか、シミュレーションソフトを用いて計算する必要があり、一般の開発者には調整が難しかった。本研究では、3D プリンタでの出力を前提とした、弾力を調整可能なコイルスプリングジョイント機構を提案する(図 1)。本稿では、試作したコイルスプリング/連結ジョイントの試作と作例を紹介し、コイルスプリングに対して行った性能調査について述べる。

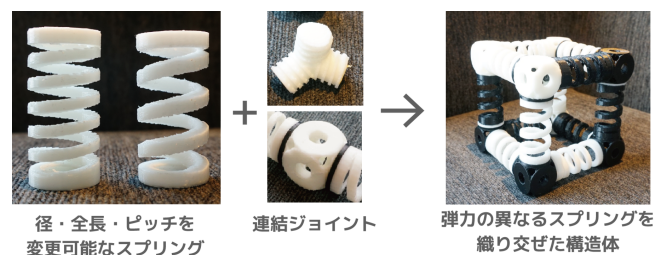


図 1 コイルスプリングジョイントの概要。コイルスプリングと連結ジョイントの組み合わせで構造体を作成する

### 2. 関連研究

ここでは、構造体作成技術、3D プリンタを用いた構造設計技術、導電性フィラメントを用いた入力技術の観点から、本研究の関連研究を紹介する。

#### 2.1 構造体作成技術

関連する構造体作成技術について Tensegrity[1], SpLink[2], MolaStructural[3]を紹介する。

Tensegrity は圧縮材（剛体、パイプ等）と張力材（弾性体、ワイヤ等）の二種を用いて構造体を構成する技術であ

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate  
<sup>a)</sup> niyama@fun.ac.jp

り、主に建築工学の分野で扱われる。力のつり合いにより形状を保持し、外力に対応して変形し衝撃を吸収するような特徴がある。

SpLink は、引きバネを用いて立体物を作成するブロックキットである。硬さや長さの異なる金属製のバネと金属ジョイントを用いて立体を作成できるが、玩具としての側面が強く、主に動物や家具などの形状作成を目的としている。Mola Structural は、コイルスプリングと球体磁石で構成された構造モデリングキットであり、建築の構造力学の学習に特化している。

本提案では、3D プリンタで出力することを前提として、サイズや弾力を調整可能なコイルスプリング機構を作成した。出力したコイルスプリングとジョイントを組み合わせることで、弾力の異なる立体構造物を作ることができる。

## 2.2 3D プリンタを用いた構造作成技術

高橋ら [4] は、3D プリンタの造形パラメータを調整することで、髪の毛ほどの細さの毛が密集したような構造体を作成するシステムを構築している。MetamaterialMechanisms[5] は、フレキシブル樹脂のフィラメントを用いてセル構造を変化させることによってドアのロック機構やスイッチなどの作動機構を作成している。また、Mueller,S.ら [6] の WirePrint では、3D プリンターで出力するモデルをワイヤーフレーム状にして、形状を保ちつつ出力時間を大幅に縮小する手法を提案している。

本提案では、パラメータの変更により弾力を調整可能なコイルスプリング／構造体の作成を目的とする。

## 2.3 導電性フィラメントを用いた入力検出

導電性フィラメントを用いて、静電容量の変化によるタッチ検出を行う研究も多く行われている。高田ら [7] は、非導電部と導電部が存在するタッチパッドを作成し、指が触れることによる静電容量の変化を計測して判別する単一電極タッチセンサを実装した。吉田ら [8] は、導電性フィラメントを用いて静電容量を持つコンデンサとして機能するようなブロックを作成し、静電容量の変化からブロックの連結を検出するシステムを提案している。

本提案の応用例として、導電性フィラメントを用いたスプリングジョイントを試作した。これにより離散的なタッチ検出だけでなく、連続的な押し込み量を検出しつつ押し込み時の反発力（弾力）を調整可能なセンサを構築できる可能性がある。

## 3. 設計と実装

### 3.1 設計方針

ジョイントは、連結方向を一意に決める固定ジョイント群と、任意の方向に可動する可変ジョイント群を中心に構成される (図 1)。コイルスプリングは、径／全長／ピッチ

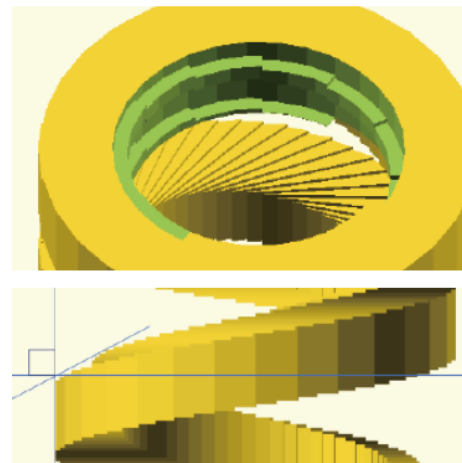


図 2 コイルスプリングの特徴。接続用のネジ溝（上）とサポート部の除去を助ける傾斜。

等のパラメータをプログラム上で変更することにより弾力や強度を調整する。ジョイントは、連結方向を一意に決める固定ジョイントと、任意の方向に可動する可変ジョイントを複数用意する。

### 3.2 コイルスプリングジョイント

スクリプトを用いて 3D データを作成する CAD ソフト OpenSCAD を用いて実装した。コイルスプリングの特徴は、連結ジョイントとの接続のために両端にナットのようなネジ溝がきられている点と、熱溶解積層方式の 3D プリンタで作られるサポート材を除去しやすくようにコイル部分に傾斜を設けている点である (図 2)。プログラム上で数値入力 (単位: mm) することにより、形状を変更することが可能である。調整可能なパラメータを図 3 に示す。具体的には、(1) コイルの外径、(2) ネジ溝径、(3) コイル線径、(4) ピッチ、(5) ネジ溝長さ、(6) 全長、巻き方向の正逆が変更可能である。作成した 3D モデルの例を図 4 に示す。

本システムで作成し出力したコイルスプリングの一例を、図 5 に示す。図左はピッチのみを変更して出力した例であり、図右は同スプリングにボールジョイントを接続した例である。なお、本稿で紹介するジョイントはすべて熱溶解式 3D プリンタ (UP!plus2) を用いて ABS 樹脂で出力した。

### 3.3 連結ジョイント

コイルスプリングジョイント同士を連結するためのジョイントを作成するシステムを、OpenSCAD を用いて複数開発した。コイルスプリングジョイントの両端にあるネジ溝のネジ径／ネジ溝長さに合わせて、連結ジョイントのネジの外径、全長、空洞径を調整することができる。連結方向を一意に決める固定ジョイントとして、6 方向ジョイント、三つ又ジョイントを用意した。連結した後、任意の方向に角度を調整できる可変ジョイントとして、ユニバー

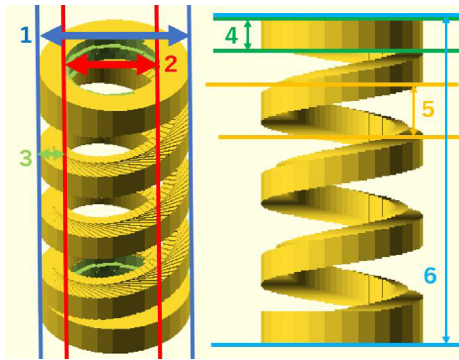


図 3 調整可能なパラメータ。(1) 外径, (2) ネジ溝径, (3) コイル線径, (4) ネジ溝長さ, (5) ピッチ, (6) 全長。



図 6 左上: 6 方向ジョイント, 右上: 三つ又ジョイント, 左下: ユニバーサルジョイント, 右下: ボールジョイント



図 4 (1) コイルの外径, (2) ネジ溝径, (3) コイル線径, (4) ピッチ, (5) ネジ溝長さ, (6) 全長を調整して作成した 3 D モデルの例。左 : (1)15, (2)10, (3)5, (4)6, (5)10, (6)60, 正巻, 中央 : (1)7.5, (2)5, (3)2.5, (4)4, (5)2, (6)50, 正巻, 右 : (1)15, (2)10, (3)5, (4)6, (5)10, (6)30, 逆巻。



図 7 スナップ式ジョイント。ネジ接合をスナップ接合に変換するパーツを使ってコイルスプリングを接続する。



図 5 スプリングの出力例 (左), スプリングとジョイントの接続例 (右)

## 4. 応用例

### 4.1 スプリングジョイントを用いた構造体の応用例

コイルスプリングとジョイントを用いて立方体を作成した例を図 8 に示す。図左の立方体は、コイルのピッチを大きくとることで、落下させ床に衝突したときの弾みが大きくなるよう弾力を大きくしたものである。図中央は、ピッチを小さくし、コイルの全長を長めにするにより手で触れた時の柔らかさを重視し、弾力を小さくしたものである。図右の立方体は、大型の構造体を出力することを想定し、自重によって形状崩壊しないように前述の二つよりコイルの太さを大きくしている。

サルジョイントとボールジョイントを作成した。各ジョイントの外観を図 6 に示す。これらの連結ジョイントを用いて構造体の組み立てを行ったところ、ネジ接合のためコイルスプリングをひねりながら接続させる必要があり、組み立ての難易度が高かった。そこで改良版として、ネジ接合をスナップタイプの結合方式に変更する変換パーツを作成した。一例を図 7 に示す。変換パーツの片側 (図 7 右下) はオスネジのためコイルスプリングジョイントと接続できる。逆側 (図 7 右上) には樹脂の弾性を使用したオスのスナップを備えており、構造体の接続点となるパーツに空いたスナップ穴に差し込んで取り付ける (図 7 左)。これにより、立体物の組み立てを簡単に行うことができるようになった。



図 8 コイルスプリングとジョイントを用いて作成した箱型の構造体の例

また、コイルスプリングの弾力を生かした応用例として、ボール型の構造体や枕として使用可能な程度の大きさの構

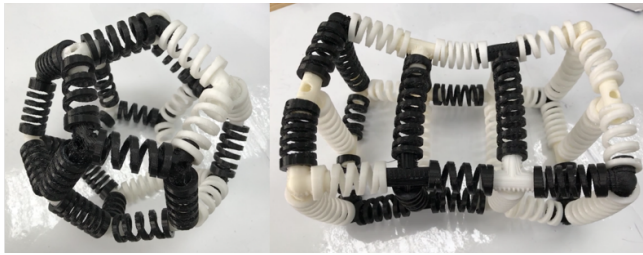


図 9 作成した構造体例. 左から, ボール型, 枕型



図 10 作成したボール型構造体の弾力表現

造体を作成した (図 9). ボールと枕はコイルスプリングの弾力や長さを変更する事でユーザーの好みに合わせることができる (図 10).

#### 4.2 導電性フィラメントを用いた応用例

コイルスプリングを導電性フィラメントで出力することで、スプリングの押し込みに応じて連続的な値変化を検出できる可能性がある。本システムで設計したスプリングを導電性フィラメントで出力し、Arduino の静電容量センサライブラリを用いて押し込み時の静電容量変化を観察した結果を図 11 に示す。スプリングのパラメータは外径 30, ネジ溝径 25, コイル線径 5, ネジ溝長さ 8, ピッチ 8, 全長 80, 正巻であり、フィラメントは導電性 ABS (匠, 株式会社ミジンコ) を使用した。導電性スプリングの下部にピンヘッダを埋め込んだ専用ジョイントをネジ接合で接続し、ワニ口クリップケーブルを介してピンヘッダと Arduino を接続した (図 12)。検出方法としては、導電性スプリングの上部に薄手の紙を挟み、紙の上から手のひらでスプリングを押し込む動作を行い、10 回分の平均を 200msec 毎に記録した。結果として、(a) のタッチ開始から (b) の押し込み、(c) の最大押し込み、(d) の押し戻し、(e) のタッチ終了まで、各動作に合わせて連続的に値が変化していた。押し込み量を検出可能かつ押し感を調整可能なセンサとして使用できる可能性があるため、今後条件を変えた試作/実験を繰り返し、改良を進めたい。

### 5. コイルスプリングの性能調査の概要

コイルスプリングジョイントに対する性能調査として、弾力調整の為に主要なパラメータを把握するためのコイルスプリング調整システムの弾力変化の調査と、熱溶解積層方式の 3D プリンターの特徴である異方性の影響の調査を

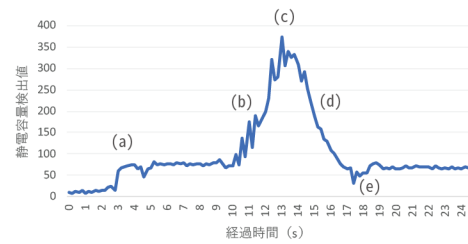


図 11 導電性スプリングの押し込み時の変化量. (a) 手のひらでバネ上部に触れる, (b) 手のひらでバネを徐々に押し込む, (c) 押し込み最大, (d) 徐々に押し込みをゆるめる, (e) バネから手を放す

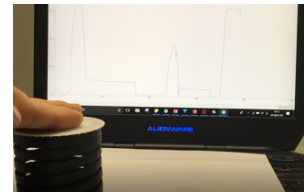


図 12 導電性スプリングを用いたセンサ

行った。異方性の影響については、コイルスプリングの積層方向を変えて出力し、それぞれに押下、引張、折曲、回転動作を加えて、性能が変化しているか調査を行った。

弾力調査については 6 章で、異方性の影響は、押下は 7 章、引張は 8 章、折曲は 9 章、回転は 10 章にて述べる。

### 6. コイルスプリング調整システムの弾力変化調査

個人が任意の弾力でコイルスプリングを出力できるようにするための調整項目の調査を目的として本実験を行った。

#### 6.1 手法

押下による反発力が 10N, 20N, 30N の時の押下量 (mm) をばねごとに各五回ずつ計測した。本実験に用いた 3D プリンターは UP Plus2 であり、計測用の治具は、フォースゲージ、デジタルノギス、ドリルスタンドを組み合わせて作成した (図 13)。この治具は、フォースゲージとデジタルノギスが連動することで、押下時の反発力とその時の押下量を計測できるようなしたものである。



図 13 調査に用いた自作治具. フォースゲージとデジタルノギスが連動し、押下時の反発力とその時の押下量を計測

## 6.2 調整項目

3Dプリンターの制御ソフトウェアの調整項目である「内部密度」と、本調整システムの調整項目であるコイルの「ピッチ」「線形」「外径」のパラメータを変えたコイルスプリングを、それぞれの項目ごとに4種類用意した。図12に、調整項目/出力したコイルスプリングの外観/パラメータの対応を示す。密度はソフトではグラフィカルに調整可能な項目であるため、超高密、高密、中密、低密として4種類を設定した。なお、全長は60mm、ねじ溝長は6mm、積層ピッチは0.2mmに設定した。



図 14 実験で使用するコイルスプリングの調整項目とパラメータ

## 6.3 結果

3Dプリンターソフト側の調整項目である内部密度について、反発力ごとの押下量を傾きにしたとき、超高密の傾きは0.57、高密の傾きは0.60、中密の傾きは0.62、低密の傾きは0.61であり、全種類の傾きの標準偏差は0.017である。ほとんど変化が見られなかったことから、内部密度は弾力に影響を与えないものと推測する。(図15)

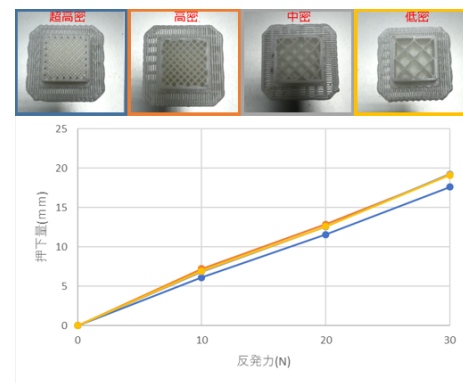


図 15 内部密度調整結果. 傾きは以下の通り: 超高密=0.57, 高密=0.60, 中密=0.62, 低密=0.61.

調整システム側の調整項目であるコイル外径について、結果を図16に示す。外径20mmの傾きは0.13, 30mmの傾きは0.67, 40mmの傾きは1.24, 50mmの傾きは3.23であり、外径の増加に伴い傾きも増加した。本調整項目である外径はデザイン上、調整を避けられないものであり、意図せずばねの弾力に変化が生じてしまう可能性があることを示していると推測する。

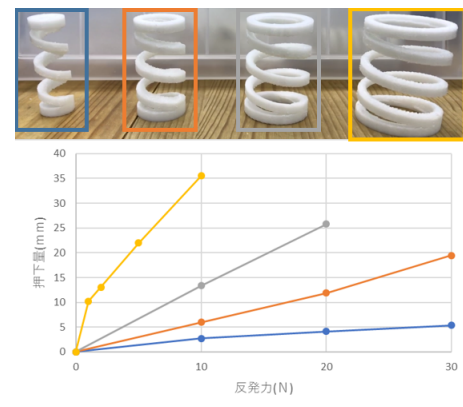


図 16 コイル外径調整結果. 傾きは以下の通り: 20mm=0.13, 30mm=0.67, 40mm=1.24, 50mm=3.23.

調整システム側の調整項目であるコイル線径について、結果を図17に示す。線径2.5mmの傾きは12.21, 5mmの傾きは0.70, 7.5mmの傾きは0.06, 10mmの傾きは0.03であり、線径の増加によって傾きが大きく減少した。このことから、線径のみで弾力の調整を行うことは困難であると推測する。しかし、コイル外径の変化による弾力への影響を抑えるための調整項目として機能する可能性も考えられる。

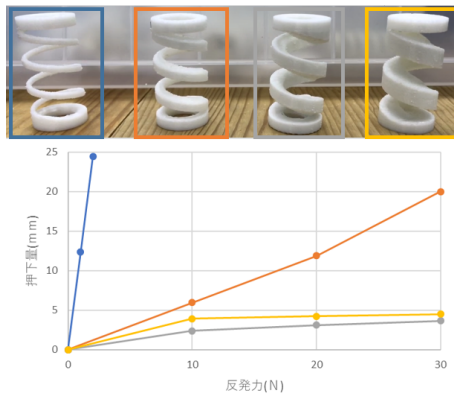


図 17 コイル線径調整結果. 傾きは以下の通り: 2.5mm=12.21, 5mm=0.70,7.5mm=0.06,10mm=0.03.

調整システム側の調整項目であるコイルピッチについて、結果を図 18 に示す。コイルピッチ 10mm の傾きは 0.66, 15mm の傾きは 0.67, 20mm の傾きは 0.54, 25mm の傾きは 0.39 であり、コイルピッチが小さいほど傾きが増加する傾向があった。押下量の変化が比較的安定しているため、弾力を調整するには適当な項目だと推測する。

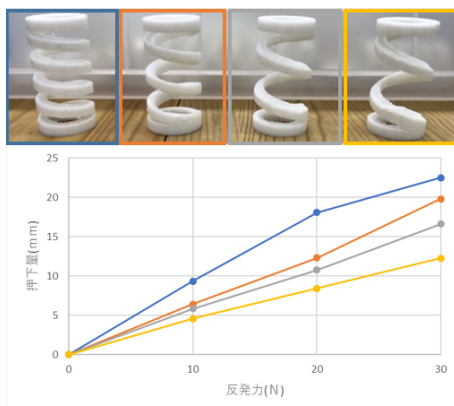


図 18 コイルピッチ調整結果. 傾きは以下の通り: 10mm=0.66, 15mm=0.67, 20mm=0.54, 25mm=0.39.

## 7. コイルスプリングの積層方向による押下時の弾力変化調査

コイルスプリング造形時の積層方向の違いによる押下時の弾力の変化を調査した。

### 7.1 手法

コイルスプリングの積層方向を水平方向にして出力し、これによる弾力の変化について、押下による反発力が 10N, 20N, 30N の時の押下量を各五回ずつ計測し、垂直方向で出力したもの (図 19) と比較した。本実験に用いた 3D プリンターは UP Plus2 であり、計測用の治具は、6 章で用いたものを利用した。実験に用いたスプリングの調整項目について、ねじ溝長: 6mm, 全長: 60mm, 積層ピッチ:

0.2mm, 内部密度: 高密, コイル外径: 30mm, コイル線形: 5mm, コイルピッチ: 15mm である。



図 19 コイルスプリング出力方向. 左から, 水平出力, 垂直出力

## 7.2 結果

結果は図 20 の通りとなった。垂直方向で造形した同じ調整項目のものと比較した時、30N の時に差が生じたものの 10N, 20N の時点で明確な差はみられなかった。しかし、サポート除去時に破損する等、垂直方向で作成したものと比較して破損しやすい傾向を確認した。

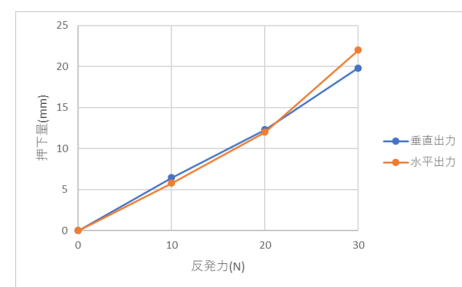


図 20 積層方向調整結果

## 8. コイルスプリングの積層方向による引張時の弾力変化調査

コイルスプリング造形時の積層方向の違いによる引張時の弾力の変化を調査した。

### 8.1 手法

コイルスプリングの積層方向を水平方向で出力したものと垂直方向で出力したもの (図 19) それぞれに対して、引張による反発力が 10N, 20N, 30N の時の移動量を各五回ずつ計測した。また、それぞれのコイルスプリングについて、完全な破断に至るまでコイルスプリングを引っ張り、破断時の反発力と移動量を計測した。本実験に用いた 3D プリンターは UP Plus2 である。計測用の治具は、フォースゲージ, デジタルノギスを組み合わせて作成した (図 21)。この治具は、フォースゲージとデジタルノギスが連動して動くことにより、引張時の反発力とその時の移動量を計測できるようにしたものである。実験に用いたスプリングの調整項目について、ねじ溝長: 6mm, 全長: 60mm, 積層

ピッチ：0.2，内部密度：高密，コイル外径：30mm，コイル線形：5mm，コイルピッチ：15mm である。

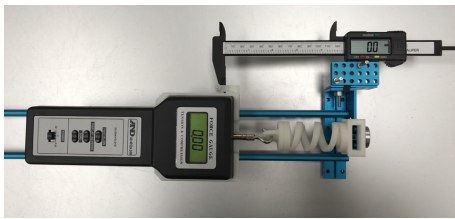


図 21 調査に用いた移動量調査用の自作治具。フォースゲージとデジタルノギスが連動して動くことにより、引張時の反発力とその時の移動量が計測可能

## 8.2 結果

結果は図 22 の通りとなった。垂直方向で造形した同じ調整項目のものと比較した時、30N の時に弾力に差が生じたが、10N、20N の時点で明確な差はみられなかった。また、破断時の反発力と移動量について、水平方向で出力したコイルスプリングの反発力は 40.38N，移動量は 25.4mm であった。垂直方向で出力したものは、反発力が 37.27N，移動量が 20.9mm の時に可動部コイルの根本が破損し、その後、反発力 47.11N，移動量 35.2mm の時点で破断した。破断は何れも積層面の剥離によるものであった (図 23)。

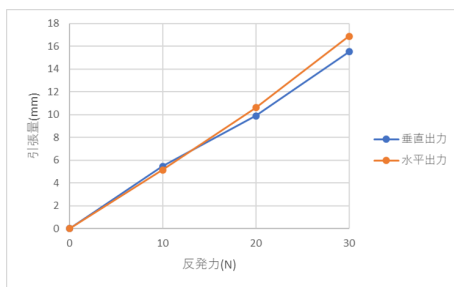


図 22 積層方向による調査結果



図 23 破断したコイルスプリング。左から、水平方向，垂直方向

## 9. コイルスプリングの積層方向による折曲可能角度調査

コイルスプリング造形時の積層方向の違いによる折り曲げ角度について調査した。

## 9.1 手法

コイルスプリングの積層方向を水平方向にして出力し、これによる折り曲げ時の限界角度について、垂直方向で出力したものと比較した (図 19)。本実験に用いた 3D プリンターは UP Plus2 であり、計測用の治具は、3D プリンターと分度器を用いて作成した (図 24 左)、この治具は、コイル部中央を軸にして折り曲げることができ、その時の角度を分度器によって計測するものである。この治具では最大 85 度まで折曲角度を計測できる。実験に用いたスプリングの調整項目について、ねじ溝長：6mm，全長：60mm，積層ピッチ：0.2mm，内部密度：高密，コイル外径：30mm，コイル線形：5mm，コイルピッチ：15mm である。

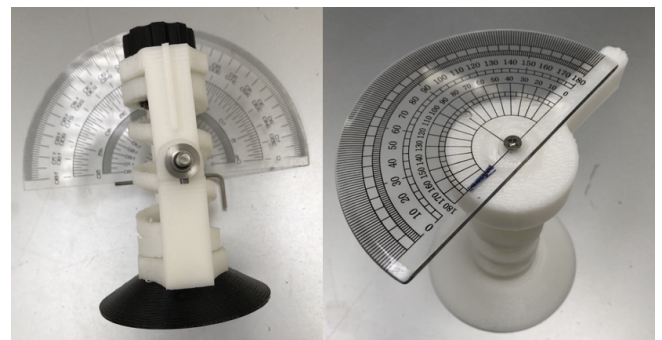


図 24 調査に用いた自作治具。左：コイル部中央を軸にして折り曲げることができ、その時の角度を分度器で計測。最大 85 度まで折曲角度が計測可能。右：コイルスプリング径の中央を軸にして回転させることができ、その時の角度を分度器で計測。最大 180 度まで回転角度を計測

## 9.2 結果

結果について、水平出力したものについては、65 度まで折り曲げた時点でコイル中央部が破断し、はじけ飛んだ。垂直方向については、85 度の角度まで折り曲げることができた。しかし、調査後にコイル部を確認すると、複数箇所にて積層の剥離を確認したが (図 25)、コイルスプリングとしての機能は保持していた状態であった。

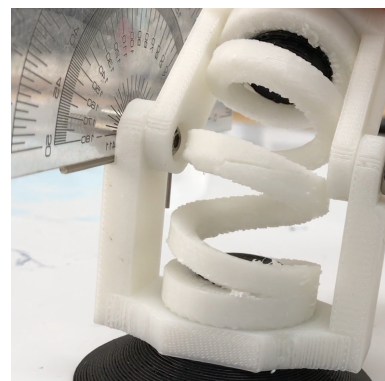


図 25 垂直出力の積層剥離

## 10. コイルスプリングの積層方向における回転可能角度調査

コイルスプリング造形時の積層方向の違いによる回転可能角度について調査した。

### 10.1 手法

コイルスプリングの積層方向を水平方向にして出力し、これによる回転時の限界角度について、垂直方向で出力したものと比較した(図19)。本実験に用いた3DプリンターはUP Plus2であり、計測用の治具は、3Dプリンターと分度器を用いて作成した(図24右)、この治具は、コイルスプリング径の中央を軸にして回転させることができ、その時の角度を分度器によって計測するものである。この治具では最大180度まで回転角度を計測できる。本調査では、コイルが巻き締められる方向に対して調査を行った。実験に用いたスプリングの調整項目について、ねじ溝長:6mm, 全長:60mm, 積層ピッチ:0.2mm, 内部密度:高密度, コイル外径:30mm, コイル線形:5mm, コイルピッチ:15mmである。

#### 10.1.1 結果

結果について、水平出力したものについては、55度まで回転させた時点でコイル部の積層が剥離し、破断した。垂直方向については、180度の角度まで回転させることができた。

## 11. 議論

ここでは、現状の出力物の弾力/耐久性に関する課題を議論する。

調整項目の変更が弾力に与える傾向について調査した結果、各調整項目について、内部密度は弾力にほぼ影響しないこと、コイル外径はその増加に伴い押下量が大きく増加することからコイルスプリングのデザインの調整で意図しない弾力の変化が起こる可能性があることが判明した。コイルの線径については、その増加によって押下量が大きく減少することから単体での弾力調整には向いていないが、コイル外径の変化による弾力への影響を抑えるための調整項目として見込めると考えられる。コイルピッチは押下量の変化が比較的安定しており、ばねの弾力調整のための主要なパラメータとして機能することが分かった。今後はコイルスプリングの弾力の定式化と検証を進めたい。

また、異方性に関する実験ではその結果から、垂直方向で出力したコイルスプリングは折り曲げや回転に強いが、引張には弱く、水平出力は折り曲げや回転に弱い、引張には強いことから、曲面の再現にコイルスプリングを曲げたり、ジョイントの接続にネジ接合を用いているため、構造体の作成には折り曲げや回転動作に強い垂直出力が適当である可能性があることが示唆された。一方、水平出力は

コイルスプリングが作動機構として用いられる場合の、伸縮動作において垂直出力より有効である可能性があることが示唆された。

## 12. まとめと今後の課題

弾力を調整可能なコイルスプリングジョイント機構と連結用ジョイントを、OpenScadを用いて試作した。コイルの径/全長/ピッチ等のパラメータを調整することで、スプリングジョイントの弾力や強度を変化させることができる。今回、構造物の一例として、出力したジョイントを組み合わせて立方体を作成した。さらに本提案の応用例として、導電性フィラメントを用いた押し込みセンサの試作を紹介した。

今後は、導電性フィラメントを使ったセンサの改良や、他の特殊な素材を用いた応用例の模索を進めたい。

## 参考文献

- [1] R.B.Fuller, "Tensile-integrity structures", United States Patent 3063521 A, November 13, 1962.
- [2] "バネのブロック SpLink【スプリング】ワクワクでつながる金属ばねブロック". <http://www.splinks.jp/>, (参照 2017-12-24).
- [3] "molamodel ". <https://molamodel.com/pages/info>, (参照 2017-12-24).
- [4] 高橋治輝, 宮下芳明. ブリッジ構造と樹脂の引き伸ばしを用いた高密度な毛構造の造形手法, 第25回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2017) 論文集, 2017.
- [5] Alexandra Ion, Johannes Frohnhofen, Ludwig Wall, Robert Kovacs, Mirela Alistar, Jack Lindsay, Pedro Lopes, Hsiang-Ting Chen, and Patrick Baudisch. Metamaterial Mechanisms. In Proceedings of UIST '16, pp.529-539, 2016.
- [6] Mueller, S., Im, S., Gurevich, S., Teibrich, A., Pfisterer, L., Guimbretière, F., and Baudisch, P. WirePrint: 3D Printed Previews for Fast Prototyping, In Proceedings of ACM UIST 2014, pp.273-280, 2014.
- [7] 高田峻介, 志築文太郎, 田中二郎. MonoTouch: 複数ジェスチャ判別が可能な単一電極タッチセンサ, WISS 2015 論文集, pp.91-96, 2015.
- [8] 吉田有花, 鶴田真也, 池川航史, 阿部哲也, 志築文太郎, 田中二郎, 静電容量に基づくブロックシステム, コンピュータソフトウェア, vol. 34, No.2, pp.93-101, 2017.