

## 研究論文

## 組紐の3次元モデル作成ソフトウェアの開発

福田ゆか\*1、山内宏城\*1

## Development of the 3 Dimensional Structure Modeling for Braid

Yuka FUKUTA\*1 and Hiroki YAMAUCHI\*1

Owari Textile Research Center\*1

組紐構造の製品設計支援を目的に、これまでに開発した緯編ニットの3次元(以下 3D と表記)モデルを生成する手法<sup>1)</sup>を応用し、丸打の組紐構造の3Dモデルを生成するシステムの開発を目的に研究を行った。

組紐を構成する糸は交錯する部分で糸の向きが変換する。そこで、組紐構造から検討した糸の交錯点を基準点として設定し、カーディナルスプライン曲線の数式を用いてスムーズな曲線で基準点をつなぐように描くことで、組紐を構成するそれぞれの糸の中心座標を求めることとした。糸の断面は、対角線が糸の直径となる4角形~32角形とし、糸中心がカーディナルスプライン曲線を描く4角形~32角形の筒のつながりとして3Dモデルの生成を行うソフトウェアを作成した。

開発したソフトウェアで作成した3Dモデルは、3Dビューア、CADでの確認や3Dプリンターでの造形が可能であった。

## 1. はじめに

現在、機械系、建築系、電気系(回路)、半導体分野、熱解析、服飾デザイン等、CADシステムの普及は多岐にわたっている。工業分野ではCADシステムを用いた設計が主流となっており、試作工程を減らすことで短期間、低コストでの開発が可能となっている。さらに、CADで作成したデータを基に工作機械の加工プログラムを作成するCAMについても製造業では主流になっている<sup>2)</sup>。

FRP等産業資材に用いられる繊維材料として組紐構造のものがある。産業資材では成型時の樹脂の挙動や成型後の強度などのシミュレーションが行われるのが一般的である。また人工血管、ステント等組紐構造の医療機器の効果を予測するために、変形、強度などのシミュレーションが行われている。

テキスタイルを面として3Dモデルを作成する場合は通常のCADソフトでモデルの作成ができるが、糸1本から3Dモデルを作成する場合は、通常のCADソフトでは大変な労力がかかる。しかし、組紐構造を単なる1つの筒形状の面としてではなく、構成する各糸の3Dモデルから成る組紐構造の3Dモデルとして生成しシミュレーションを行えば、より実際の製品に近いシミュレーション結果を得ることができると考えられる。例えば、FRPの成型品では、糸と糸の空隙に樹脂が含浸するシミュレーションや糸と樹脂の接着性による強度のシミュ

レーションが可能となることが考えられる。医療機器では組紐構造のステントの変形をシミュレーションする場合に、組まれた糸(金属線)1本の糸構造からの3Dモデルとすることで、ステントを広げる場合の変形は、実際の変形に近いシミュレーションが可能となることが考えられる。

そこで、本研究は組紐構造の繊維製品設計支援を目的に、これまでに開発した緯編ニットの3Dモデルを生成する手法を応用し、丸打の組紐構造の3Dモデルを生成するソフトウェアを開発した。

## 2. 組紐構造 3Dモデル生成のアルゴリズム

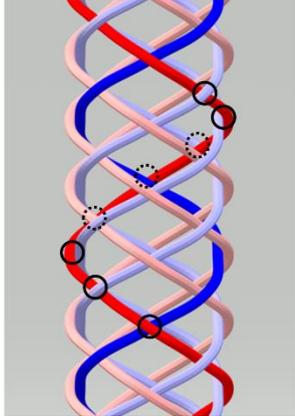
丸打組紐の打数分の糸について、まず組紐構造を解析し、糸が交錯する座標を基準点として設定した。次に糸直径を考慮した糸中心基準点の設定を行った。

丸打組紐の打数(組む糸の本数)、組紐の直径(円周を浮く糸と沈む糸の交錯点の中心)、ピック数(1インチ間の交錯点の数)、全体の長さを設定し、組紐構造から糸の交錯点となる座標を算出して基準点として設定した。交錯点から算出した基準点を糸の直径を考慮して、交錯するそれぞれの糸の中心となる座標に基準点を移動し糸中心基準点として設定した(図1)。

設定した糸中心基準点を、カーディナルスプライン曲線の数式を用いスムーズな曲線を描くように、構成する各糸1本の中心を結ぶ糸道の座標を算出した。

\*1 尾張繊維技術センター 素材開発室

側面から見たイメージ



断面から見たイメージ

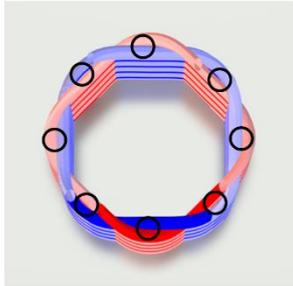


図 1 組紐構造のイメージ

2.1 組紐構造による基準点の設定

丸打組紐の打数、組紐の直径、ピック数、全体の長さを設定値として入力することとした。図 2 に示すように組紐構造を筒形状とした時の糸の交錯点となる座標を算出するため、設定した組紐直径の円周を打数で分割した座標として XY 平面上に算出した。

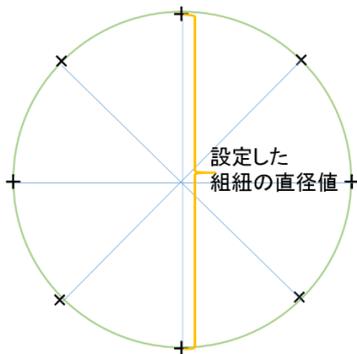


図 2 円周上を打数で分割した座標(打数 8 本)

丸打組紐の場合、通常打数は 4、8 本等と偶数本数で、例えば奇数番の糸が時計方向に回転する(図 3 左)とした場合、偶数番の糸は反時計方向に回転する(図 3 右)。設定したピック数から次の交錯点までの長さで円周を Z 軸方向へ積み重ねた円筒形状として設定した。

2.2 糸直径を考慮した糸中心基準点の設定

丸打組紐の場合、例えば奇数番の糸が時計方向に回転するとした場合、偶数番の糸は反時計方向に回転し、隣同士の 2 本の糸が交錯し、交錯点となる。8 本の場合、一度に 4 箇所交錯点ができ、交錯する 2 本の糸は浮き沈みしているため、糸の交錯面から糸の直径を考慮して、糸が浮いている場合は糸の半径分を円筒の中心から外側に向け座標を移動する。糸が沈んでいる場合は糸の半径分を円筒の中心に向け座標を移動する(図 4)。

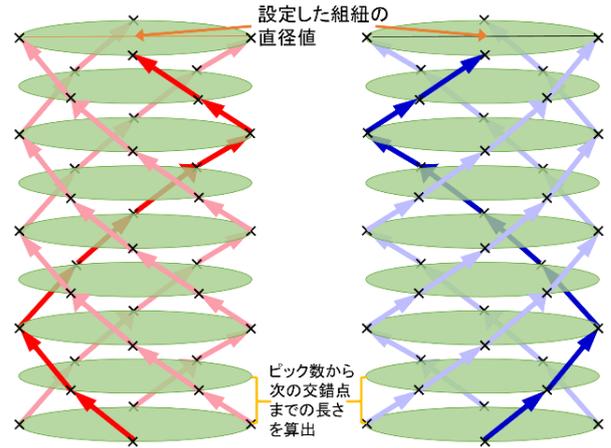


図 3 円筒形状に基準点を設定のイメージ

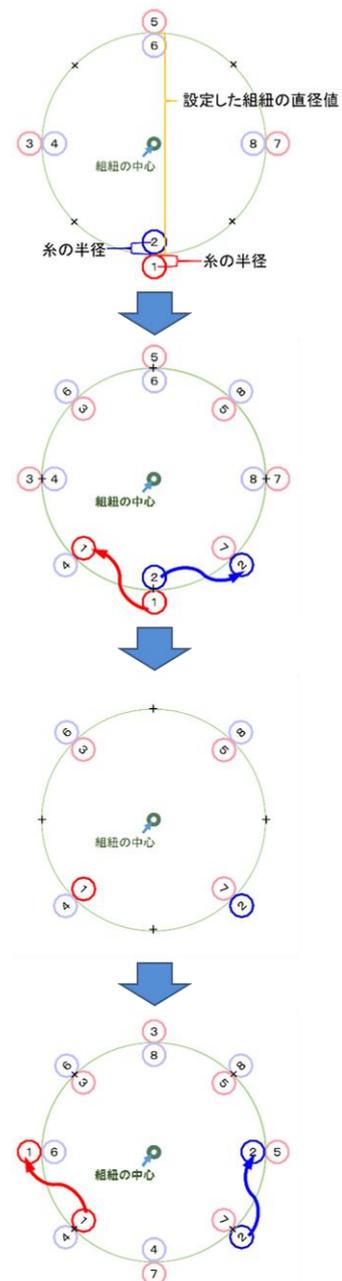


図 4 糸直径の移動と各糸の動きのイメージ

### 2.3 基準点から糸中心座標の算出

丸打組紐の打数分の糸について、まず組紐構造による基準点の設定を行い、次に糸直径を考慮した糸中心基準点の設定を行った。設定した糸中心基準点を、組み始めから組み終わりまでの糸中心基準点を通るスプライン曲線として各糸 1 本ずつの 3D モデルを生成するための糸道の座標を算出した。

スプライン曲線の算出にはカーディナルスプライン曲線<sup>3)</sup>の数式を用い、糸中心基準点の 2 点間に 2~10 点の糸中心座標を補間することにより糸道座標を算出した。

補間する糸中心座標は、以下の式より求めた。

#### 【X座標算出の式】

$$X'(n)=Axt^3+Bxt^2+Cxt+Dx$$

$$Ax=T(X_2-X_0)+T(X_3-X_1)+2X_1-2X_2$$

$$Bx=-2T(X_2-X_0)-T(X_3-X_1)-3X_1+3X_2$$

$$Cx=T(X_2-X_0)$$

$$Dx=X_1$$

$$T=0.7$$

$$t=n/m$$

$X_0, X_1, X_2, X_3$  : 糸中心基準点の座標

$n$  : 補間する座標の  $n$  番目

$m$  : 2 点間を補間する座標の総数( $m=4$  or  $m=9$ )

座標  $X_0, X_1, X_2, X_3$  から  $X_1, X_2$  間の補間座標を算出した。 $T$  は線分の硬さ(テンション)に対応する変数で、糸の硬さにより 0.1~1.0 の変数と設定した。

Y 座標、Z 座標についても同様の式で求めた。

以上から糸道の糸中心座標を算出した。

### 2.4 丸打組紐 3D モデルの生成

糸の断面は、対角線が糸の直径となる 4 角形~32 角形とし、糸中心がカーディナルスプライン曲線を描く 4 角形~32 角形の筒のつながりとして各糸 1 本の 3D モデルを構築した。打数分の糸の 3D モデルを生成することにより、丸打組紐構造の 3D モデルを生成した。

モノフィラメントの断面形状の多角形は、糸中心座標を中心とした円の座標から算出した(図 5)。

さらに、炭素繊維やマルチフィラメントの断面に、より近似した形状の 3D モデルを生成するため、糸の断面の多角形の算出には、糸中心座標を中心とした楕円の座標から算出した(図 6)。

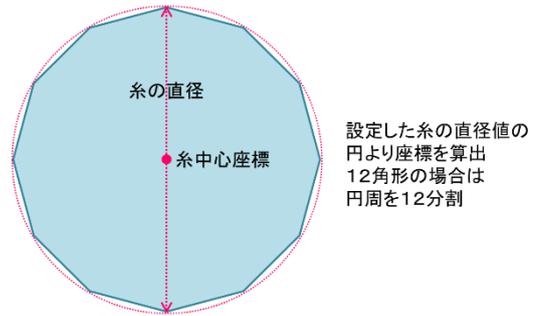


図 5 モノフィラメントの断面形状のイメージ

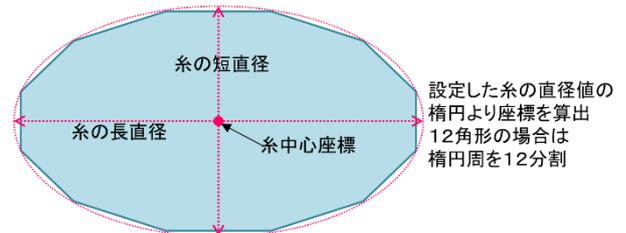


図 6 マルチフィラメントの断面形状のイメージ

## 3. 組紐構造の 3D モデリングソフトウェアの開発

ソフトウェア開発環境としては、OS : Windows10、プログラム言語は Visual Basic2017 を用いた。

入力値は、丸打組紐の打数(4 本~150 本までの偶数)、組紐の直径、ピック数、糸直径(楕円の場合は短直径および長直径)、全体の長さ(ピック数 95 まで)、糸の断面形状(4 角形~32 角形)、カーディナルスプライン曲線係数(糸の硬さ 0.1~1.0)、カーディナルスプライン曲線座標分割数(2~10 点)を設定値とした。

以上により算出した組紐の 3D モデルの座標を STL 形式もしくは OBJ 形式の 3D データとして出力するソフトウェアを開発した(図 7)。



図 7 開発したソフトウェアの設定画面

#### 4. 組紐の 3D モデル作成

開発したソフトウェアで生成した 3D モデルは、フリーの 3D ビューアであるペイント 3D(図 8)、MiniMagics(図 9)での形状の確認や、Rhinceros(図 10)等 CAD ソフトでの修正、変形作業が可能であった。

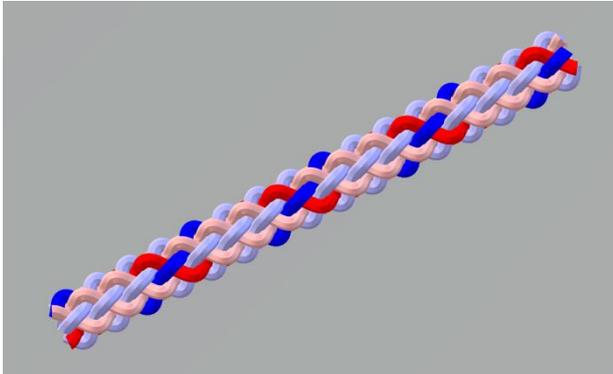


図 8 OBJ 形式の 3D モデル(ペイント 3D)

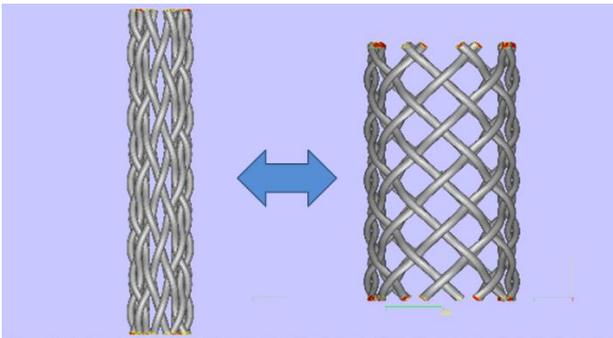


図 9 STL 形式の 3D モデル(MiniMagics)

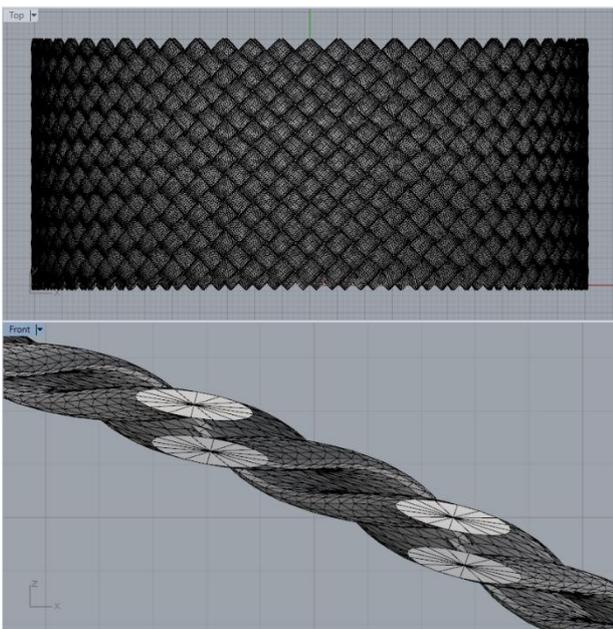


図 10 STL 形式の 3D モデル(Rhinceros)

また 3D プリンターでの造形が可能なデータであることを確認した(図 11)。

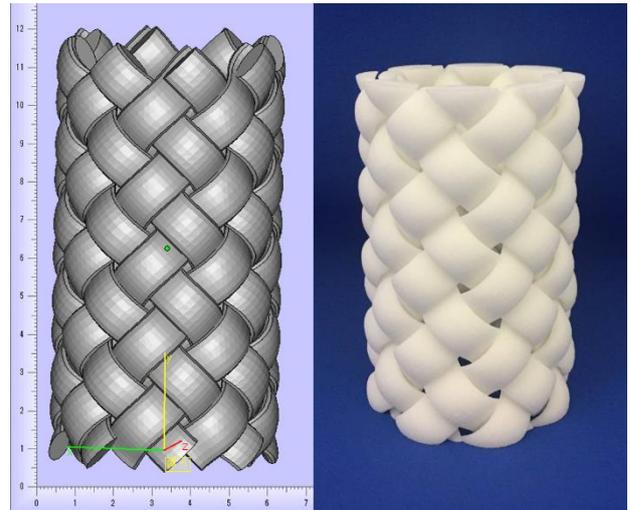


図 11 作成データ(左)3D プリンター造形品(右)

#### 5. 結び

本研究では、組紐の構造から糸の交錯点を基準点として設定し、丸打組紐(4 本~150 本までの偶数)について 3D 構造モデルを構築するためのアルゴリズムを開発した。丸打組紐の各糸の糸中心基準点をカーディナルスプライン曲線で描画することでなめらかな組紐の曲線モデルを描くことができた。

構築したアルゴリズムを基に、丸打組紐の打数(組む糸の本数)、組紐の直径(浮く糸と沈む糸の交錯点の中心)、ピック数(1 インチ間の交錯点の数)、糸直径、全体の長さなどの基本設定値の入力を行うことで、対応した組紐の 3D モデルを表示する 3D モデリングソフトウェアの開発を行った。

開発したソフトウェアで作成した 3D モデルは、3D ビューア、CAD での確認や 3D プリンターでの造形が可能であった。

#### 文献

- 1) Y. Fukuda, K. Ohta, T. Kinari: *Journal of Textile Engineering*, **57**(2), 37 (2011)
- 2) 安田仁彦: CAD と CAE, (1997), コロナ社
- 3) F. Balena: プログラミング Visual Basic.NET Vol.2 活用編, 229(2004), 日経 BP ソフトプレス