

# X線CTによる繊維配向観察とシミュレーション

Fiber Orientation Observation used by X-ray CT and Simulation

(東レ(株)) ○(賛)速水弘樹、(東レエンジニアリング(株)) (賛)中野亮  
(株)島津製作所 塩田忠弘、開本亮  
(日本ビジュアルサイエンス(株)) 千容星、高塩創、滝克彦

It is important to get information of orientation conditions of glass fibers in plastic products because they correlate closely with some mechanical properties and the defective of molding such as warpage. We apply X-ray CT to observe them because it has been difficult to observe a 3D perspective of glass fibers in them. It is found that the fiber orientation analysis results qualitatively correspond to the tendencies of fiber orientations of skin and core layer evaluated by the image analysis of X-ray CT data.

*Keywords:* X-ray CT, fiber orientation

## 1. 緒言

ガラス繊維の配向状態と成形品の機械物性やそりなどの成形不良には深い相関があり、ガラス繊維配向状態を知ることは、成形品の剛性などの機械物性やそりなどの成形不良現象を理解する上で必要不可欠である。そこで、容易に3次元配向状態を観察する方法として、X線CTスキャンを用いたガラス繊維配向の観察を行い、繊維配向解析結果との比較を行った。

## 2. 実験方法および実験装置

### 2.1 テストピース形状と繊維配向観察用サンプル

Fig.1 にテストピース形状(1辺が80mmの正方形で、角板肉厚2mm、ゲート肉厚1mm)と繊維配向観察用サンプルを裁断した位置(角板中心の5×4mmの範囲)を示す。

### 2.2 使用樹脂と成形条件

材料は GF30%ナイロン 66(CM3001G30:東レ(株)製)を用い、樹脂温度:290℃、金型温度:80℃、射出圧40MPa、保圧40MPaの条件にて成形した。

### 2.3 X線CT撮像装置

X線CT撮像装置には(株)島津製作所製「SMX-100CT」を用いた。本装置は、X線発生器と検出器の位置は固定して、試料の方を回転させる構成となっている。X線は水平に放射され、測定対

象試料を回転ステージ上で回転させて、X線の透視像をあらゆる角度から捉えてコンピュータに蓄積し、断層像を再構成計算して表示する<sup>1)</sup>。

X線CTは、物質のX線吸収率を3次元画像化する装置である。ここで樹脂は一般に炭素、水素、酸素窒素等の軽元素で構成されているためX線吸収率が低く、樹脂のみのCT画像はコントラストが明瞭につかない場合が多い。しかし樹脂にガラス繊維が含まれる場合は、同繊維が珪素から構成されているため、軽元素との明瞭なコントラストが付き、ガラス繊維を判別できる画像を得ることができる。

ガラス繊維を明瞭に判別するためには、X線の分解能を上げたCT像を得る必要がある。X線の分解能を上げるためには、サンプルをX線の発生点に近づけて倍率を高め、回転させる必要があることから、樹脂のサンプルを小さくカットした。

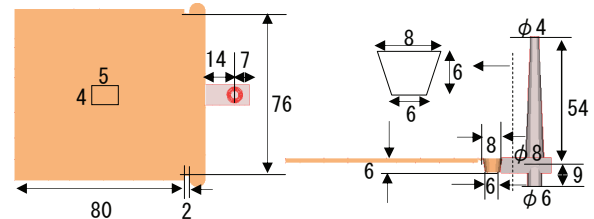


Fig.1 Test piece shape and Cut place of fiber orientation observation specimen

## 3. X線CTデータの画像解析

ソフトウェアによる三次元画像解析<sup>2)</sup>を実現するには、十分な密度分解能と空間分解能が必須であるため、サンプルに応じて、X線CTの撮像条件を良く検討する必要がある。今回は、約2.2×2.2×2.0mmの視野に裁断した樹脂サンプルを置いて撮像し、16bitグレースケール、解像度512×512pixels、460

\*Hiroki Hayami Toray Industries, Inc., Ryo Nakano Toray Engineering Co., Ltd, Tadahiro Shiota, Akira Hirakimoto SHIMADZU CORPORATION, Cheon Yong-Sung, Hajime Takashio, Katsuhiko Taki Nihon Visual Science, Inc.

Tel:077-533-8464, Fax: 077-537-5719

Hiroki\_Hayami@nts.toray.co.jp

枚の断層画像を出力した。

撮像したデジタルデータは画像解析ソフト(日本ビジュアルサイエンス(株)製「VGStudioMAX」)を用い、読み込んだ。Fig.2に示すように材料密度の差により生じた樹脂と繊維の輝度分布に適切なコントラストを設定すると、明瞭に繊維を視認することができた。

この撮像条件では、X,Y,Z方向の画素サイズは、 $4.33\ \mu\text{m}$ であり、約 $10\ \mu\text{m}$ の径を持つ繊維が太さ方向に約3個の画素で描画される。

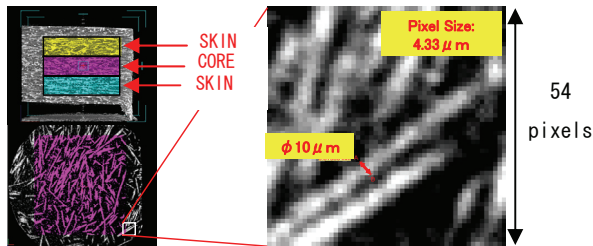


Fig.2 Extraction of skin layer and core layer

次に上下の最表層を除いて三等分したスキン層、コア層、スキン層からなる画像領域を抽出し、そのデータをExFact Fiber Analysis(日本ビジュアルサイエンス(株)製)に渡して解析を行った。まず、三次元画像中の繊維を細線化し、つながった繊維同士の構造も維持したまま、全ての三次元的な経路を認識した。そして、抽出した三次元画像領域のX(流動方向),Y(直交方向),Z(肉厚方向)それぞれの方向の矩形の対面について、経路の最短経路の端点が存在する場合に最短経路長と両端最短距離の割合を求めて、この最短経路がどの程度迂回しているかを示す迂回度(Fig.3参照)を用いて、繊維配向の傾向を評価した。

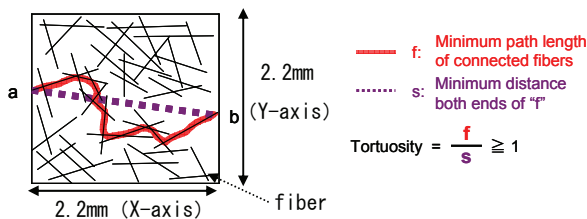


Fig.3. Calculation method of Tortuosity

Fig.4にスキン層とコア層におけるX、Y方向の迂回度(横軸)と頻度(縦軸)の関係を示す。迂回度が1に近いほど基準とした方向へ配向する傾向を示し、頻度が1に近いほど、迂回度に対応したガラス繊維数が多いことを示すことから、以下のことが言える。

- ・スキン層は流動方向へ配向する傾向がある。
- ・コア層は流動直交方向へ配向する傾向がある。

#### 4. CAEによる繊維配向解析

##### 4.1 解析方法

解析モデルは、Fig.1に示す形状について、角板部のソリッド要素分割はメッシュサイズを2mmとし、肉

厚方向へのメッシュ分割数は10分割とした。スプルーランナー部のモデル化にはビーム要素を用いた。

解析には3D TIMON(東レエンジニアリング(株)製)を用い、充填解析<sup>3)</sup>を実施して求めた流速ベクトルを基に繊維配向解析<sup>4)</sup>を行った。

##### 4.2 解析結果

Fig.5に表層から深さ0.2mmと1mmのX線CT画像とX線CT撮像した部位近傍の表層から2層目と5層目の繊維配向結果とを示す。2層目は流動方向への配向が多く、5層目は流動方向に対して直交した配向が多い。

#### 5. 結言

X線CT撮像データによりガラス繊維配向を観察し、画像解析によるスキン層とコア層の配向状態の分析結果と繊維配向解析結果を比較した結果、定性的に一致した。

#### 6. 参考文献

- 1) 開本ら, 実験力学, Vol.1, N0.3, 127 (2001)
- 2) 滝ら, 理研シンポジウム ものづくり情報技術統合化研究(第5回)論文集, 245 (2005).
- 3) 坂場ら, 日本機械学会計算工学講演会論文集, Vol.15, 91 (2002)
- 4) J. L. York, Master's thesis, Delaware (1982)

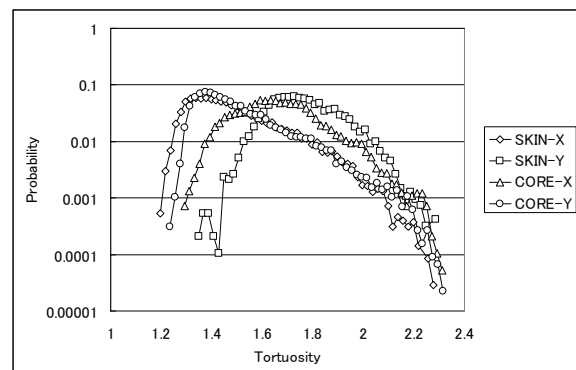
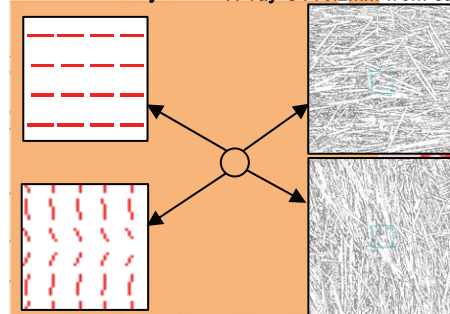


Fig.4 Relationships between tortuosity and probability

Analysis result: 2nd layer X-ray CT: 0.2mm from surface



Analysis result: 5th layer X-ray CT: 1mm from surface

Fig.5 Fiber orientation analysis results and X-ray CT images at the place of X-ray CT observation