

単軸射出成形機内における 繊維破断定量化モデルの構築

京都工芸繊維大学

○今城彰彦

長岡国際技術士事務所

長岡猛

HASL

谷藤真一郎

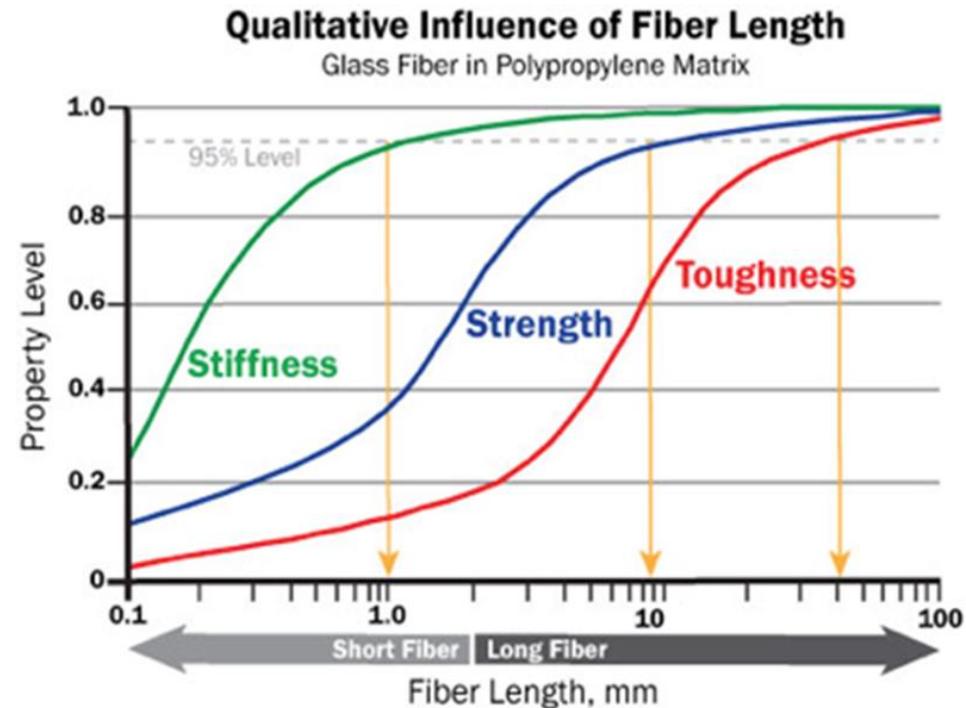
- 背景
- 繊維破断定量化モデル
- 実験方法
- 実験結果および解析結果
- 結言

複合材料技術 <射出成形>

炭素繊維やガラス繊維を含有した熱可塑性プラスチック(FRTP)は、機械的強度向上などの高機能化のために、自動車部品や機構・外観部品等に広く一般的に用いられている。

●FRTPの機械的強度

1. 繊維長
2. 強化材界面接着強度
3. 繊維配向
4. 繊維分散性



背景 - 複合材料 射出成形 -



現状：バレル内部は “ブラックボックス”

➡ 経験と勘によるスクリュ設計

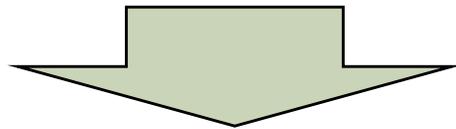


複合材料の場合，強化を目的として添加した繊維の破断現象がわからない。

射出成形における金型内の流動解析は進歩してきている

but

シリンダー内における繊維破断解析は、実用化に至っていない。



繊維破断定量化モデルの構築

および

シミュレーションによる繊維破断現象の予測

繊維破断定量化モデル

繊維破断定量化モデル (Fiber Attrition model)

Fiber Attrition Model^{*})

繊維長を離散化モデルで表現: $l_i = i\Delta l (i = 1 \sim i \max, \Delta l: \text{繊維長刻み幅})$

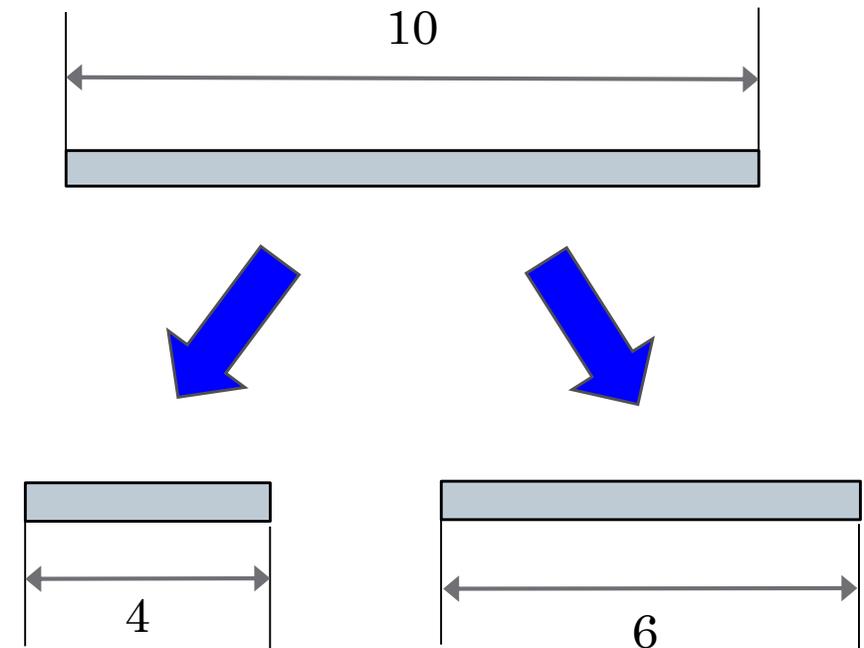
単位体積あたりに含まれる繊維長 l_i の繊維数: $N_i (i = 1 \sim i \max)$

$$\frac{DN_i}{Dt} = -P_i N_i + \sum_{k=i+1}^{i \max} R_{ik} N_k$$

繊維長 l_i の
繊維数の変化率

繊維長 l_i の
繊維の破断に
伴う減少率

別の繊維長($k > i$)の
破断に伴う繊維長 l_i
の繊維の増加率



^{*})参考文献: J.H. Phelps (2009). "Processing-Microstructural Models for Short- and Long-Fiber Thermoplastic Composites," PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801.

繊維破断定量化モデル (Fiber Attrition model)

Fiber Attrition Model^{*})

繊維長を離散化モデルで表現: $l_i = i\Delta l (i = 1 \sim i \max, \Delta l: \text{繊維長刻み幅})$

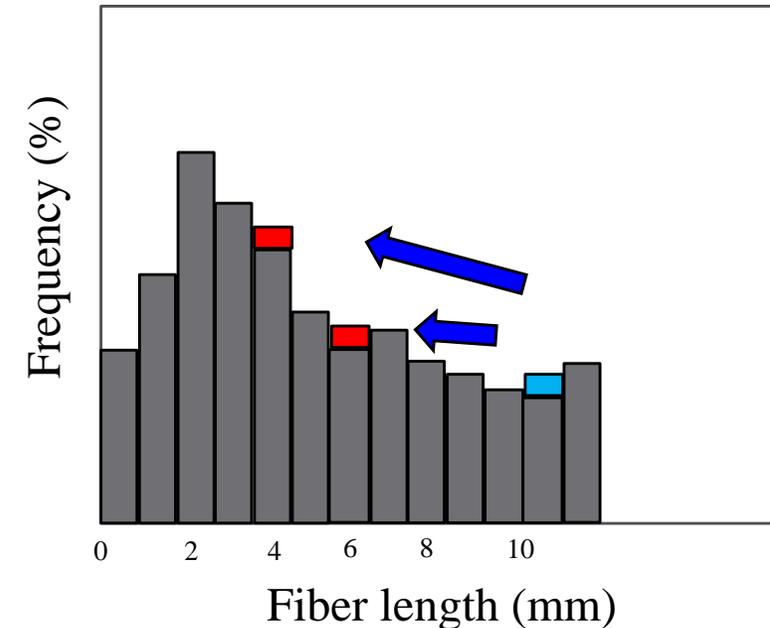
単位体積あたりに含まれる繊維長 l_i の繊維数: $N_i (i = 1 \sim i \max)$

$$\frac{DN_i}{Dt} = -P_i N_i + \sum_{k=i+1}^{i \max} R_{ik} N_k$$

繊維長 l_i の
繊維数の変化率

繊維長 l_i の
繊維の破断に
伴う減少率

別の繊維長($k > i$)の
破断に伴う繊維長 l_i
の繊維の増加率



^{*})参考文献: J.H. Phelps (2009). "Processing-Microstructural Models for Short- and Long-Fiber Thermoplastic Composites," PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801.

繊維破断定量化モデル (Fiber Attrition model)

単純せん断流動場内の繊維挙動に対してDinh-Armstrongの流体力計算モデルとオイラーの臨界座屈力計算式を利用:

$$P_i = C_b \dot{\gamma} \left[1 - \exp(1 - \hat{\gamma}) \right]$$

$$P_i = 0 \text{ for } \hat{\gamma} < 1,$$

$$\hat{\gamma} = \frac{4\zeta\eta_m\dot{\gamma}_i^4}{\pi^3 E_f d_f^4}$$

C_b : 無次元破断頻度係数,

ζ : 無次元抗力係数,

η_m : 流体粘度

E_f : 繊維ヤング率

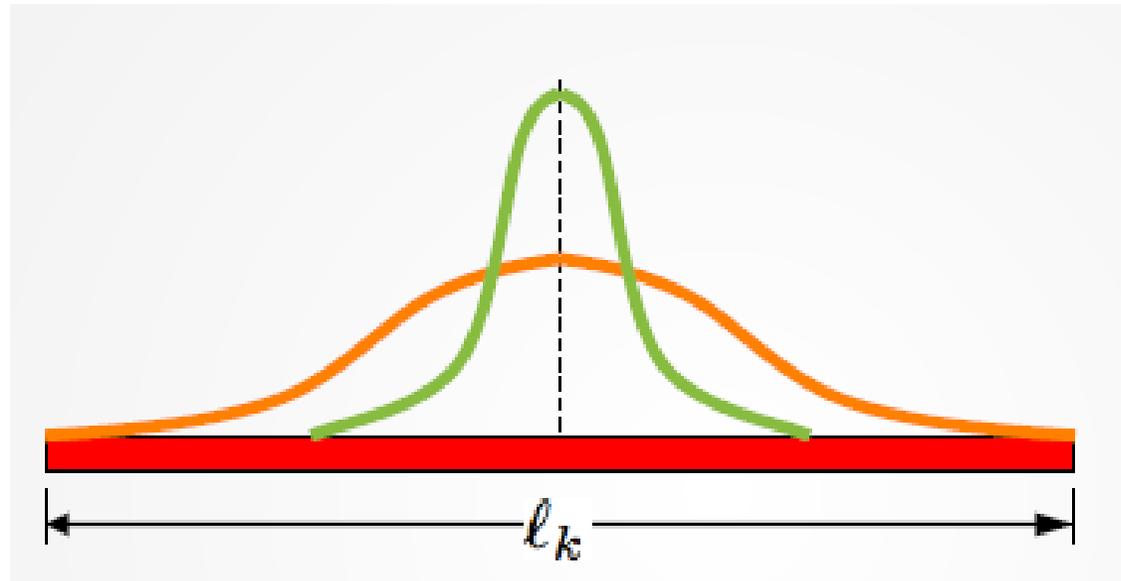
d_f : 繊維断面直径

繊維破断定量化モデル (Fiber Attrition model)

$$R_{ij} = C \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$x = l_i, \mu = \frac{l_j}{2}, \sigma = Sl_j$$

S: 繊維長分布の調整パラメータ
C: 規格化パラメータ



実験方法

・射出成形機

IS100-EN : (型締め力 : 100 t)

射出ユニット : (スクリュ径 : $\phi=40$ mm)

L/D 20 : Hm : 2.42 mm, Hf : 6.82 mm

・使用材料

GFPP

プラストロン (ダイセルポリマー(株)製)

Grade : PP-GF40-M1

初期繊維長 : 7mm

GF含有率 : 40%



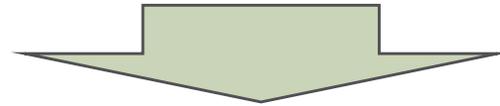
実験条件

成形条件

温度：210-240-250-250 [°C]

(ホッパー → ノズル)

スクリー回転数：150 [rpm]

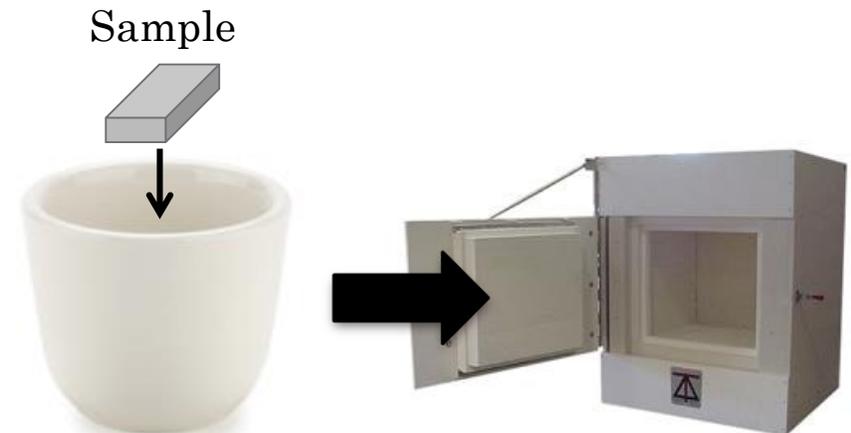


上記条件で，15ショット成形後にスクリーを抜き取りサンプルを入手した。

繊維長測定方法

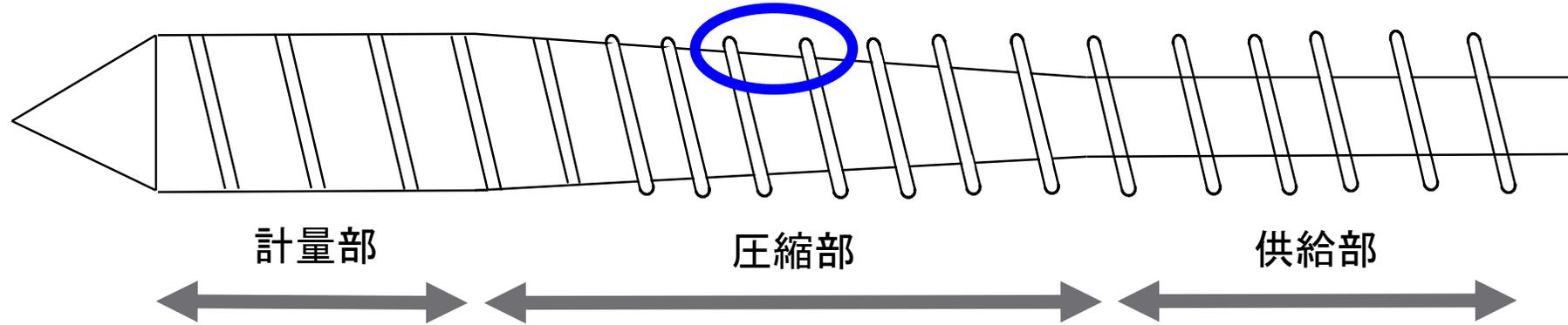
マッフル炉：600°C × 6 hours

サンプリング数：1000本以上

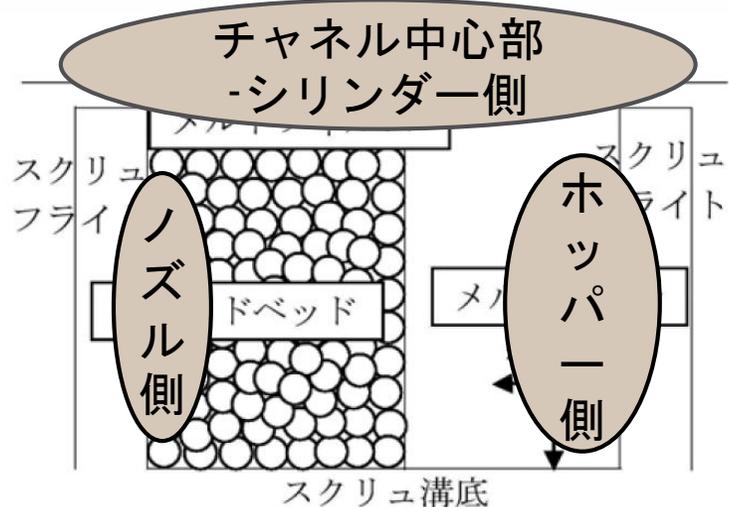


繊維長測定

①射出成形工程における繊維折損状況

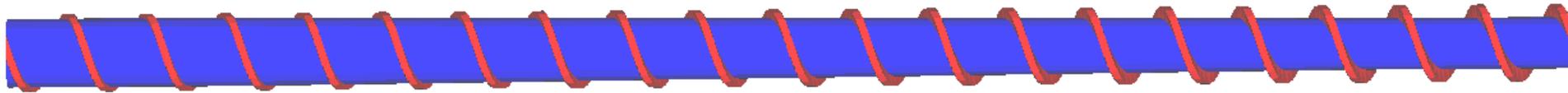


②同チャンネル内における繊維長分布



同チャンネル内におけるせん断速度の違いがおよぼす
繊維長の差異の確認の為

スクリーデザイン&解析モデル



スクリーデザイン 詳細

- ・供給部
チャンネル深さ 6.8[mm]一定, 3山
- ・圧縮部
チャンネル深さ 6.8→2.42 [mm]へと変化, 14山
- ・計量部
チャンネル深さ 2.42[mm]一定, 3山

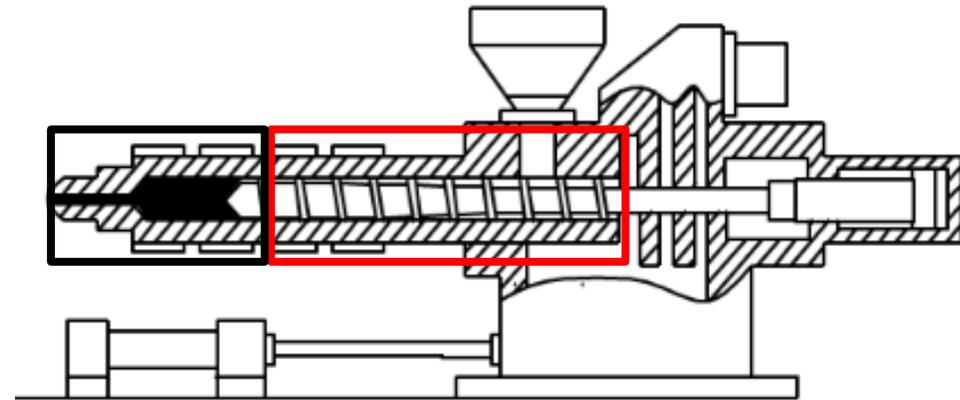
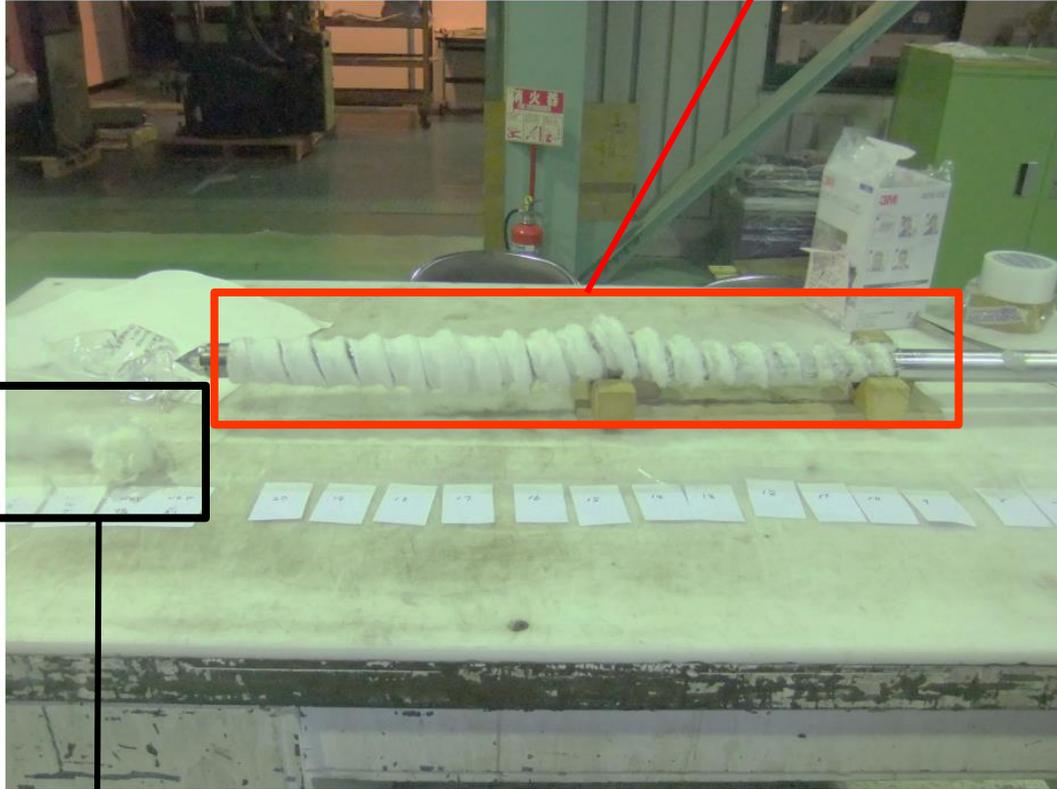
実験結果および解析結果

① 射出成形工程における繊維折損状況

② 同チャンネル内における繊維長分布

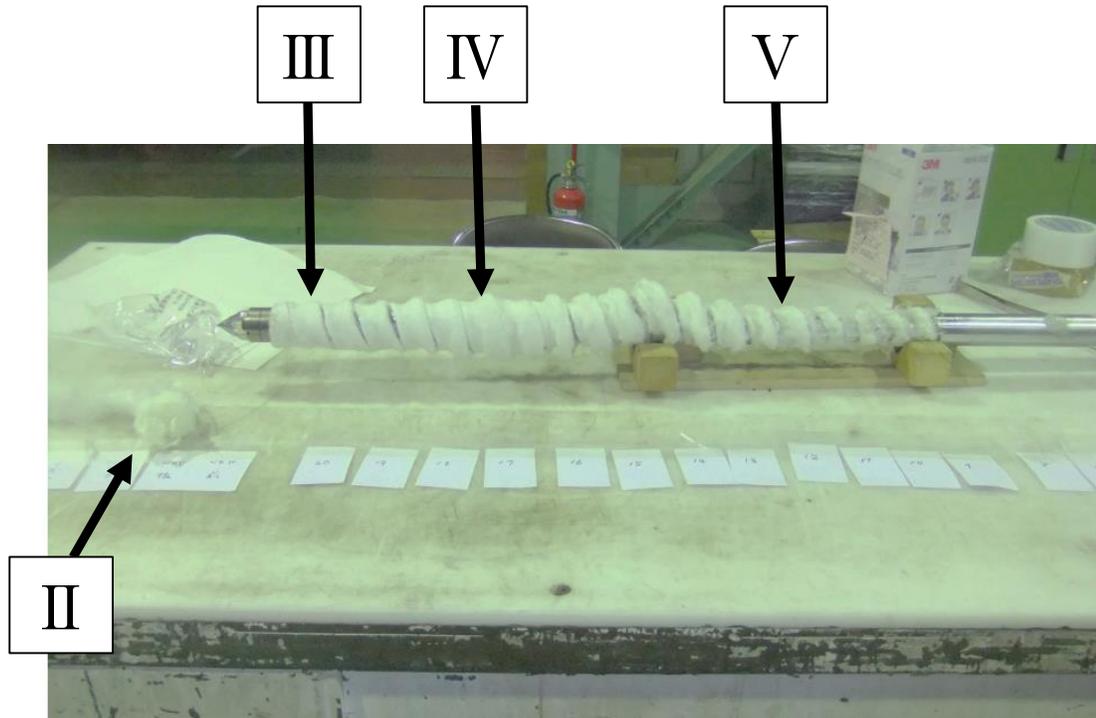
スクリーー抜出状況

スクリーー



樹脂溜まり

①射出成形工程における繊維折損状況

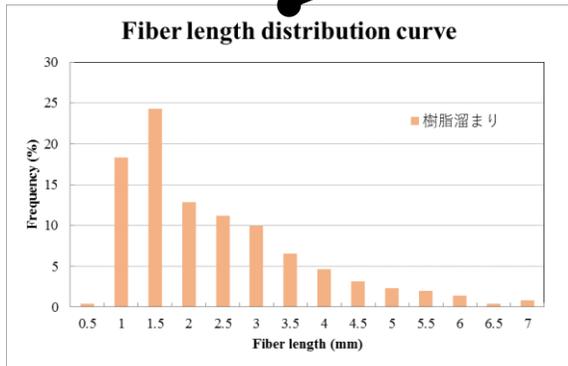
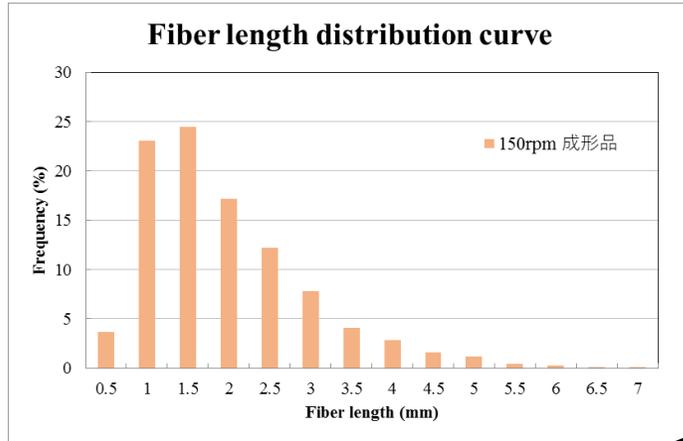


Sample name

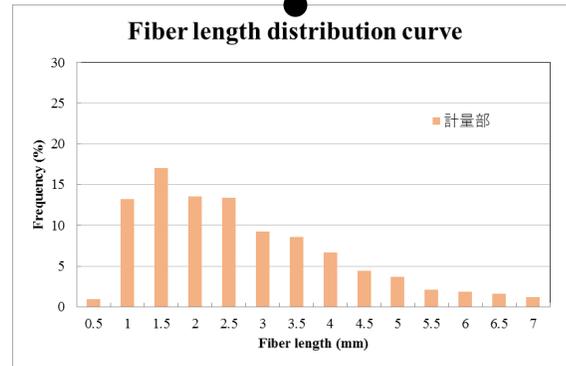
- I 成形条件(150rpm)-試験片
- II 樹脂溜まり
- III 計量部
- IV 圧縮部
- V 供給部

①射出成形工程における繊維折損状況

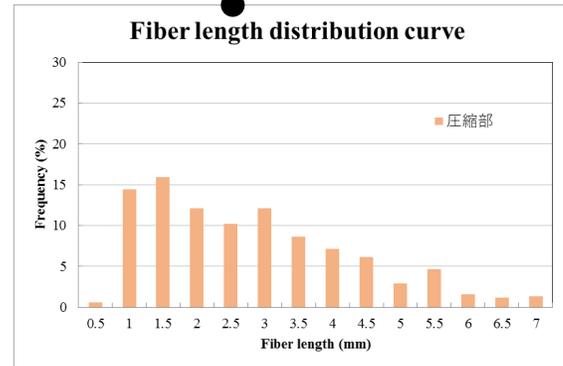
I 150rpm成形品



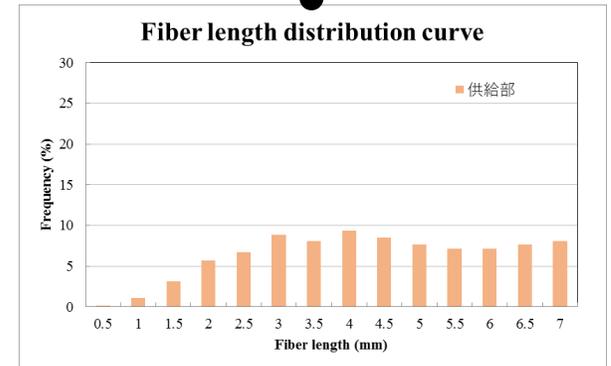
II 樹脂溜まり



III 計量部

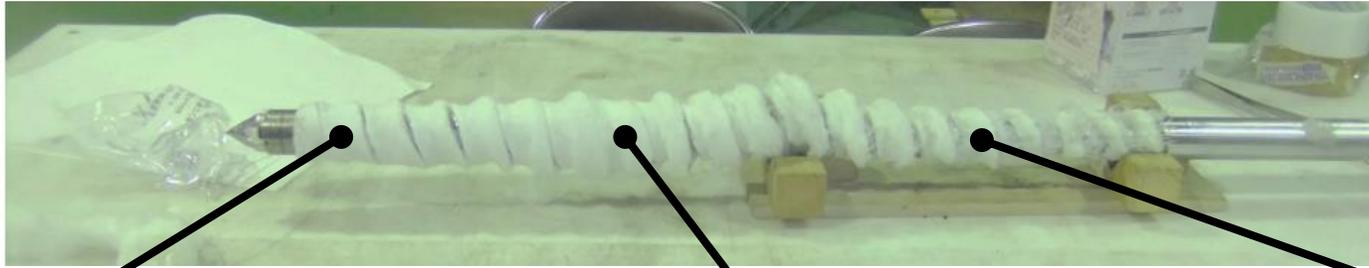


IV 圧縮部



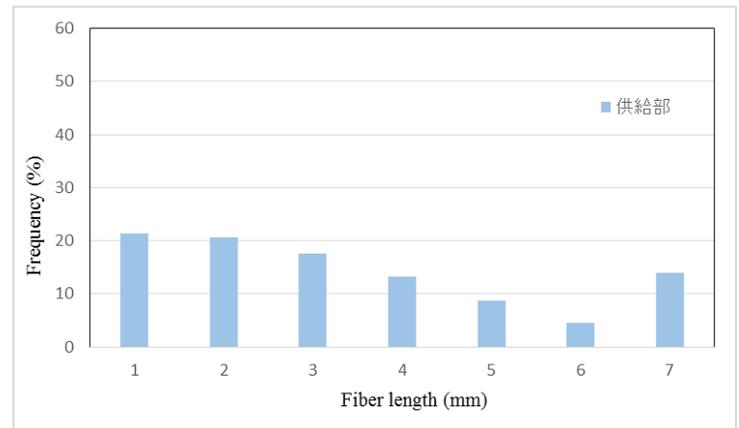
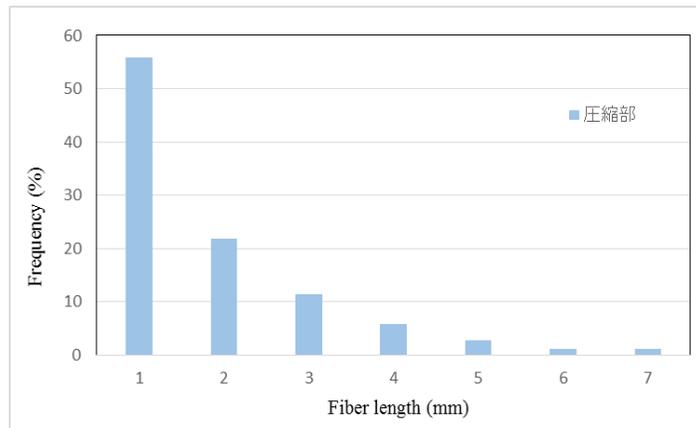
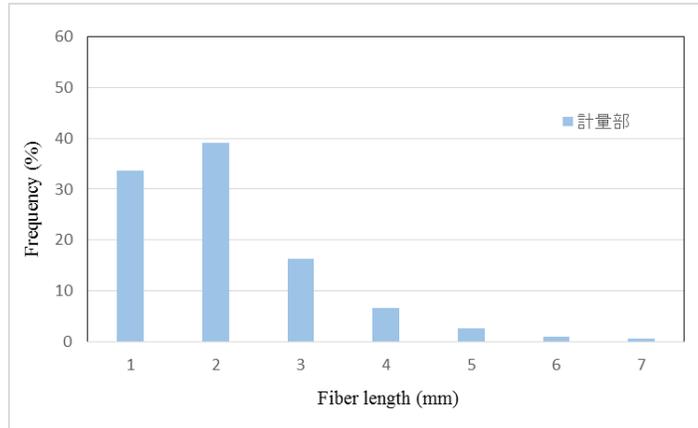
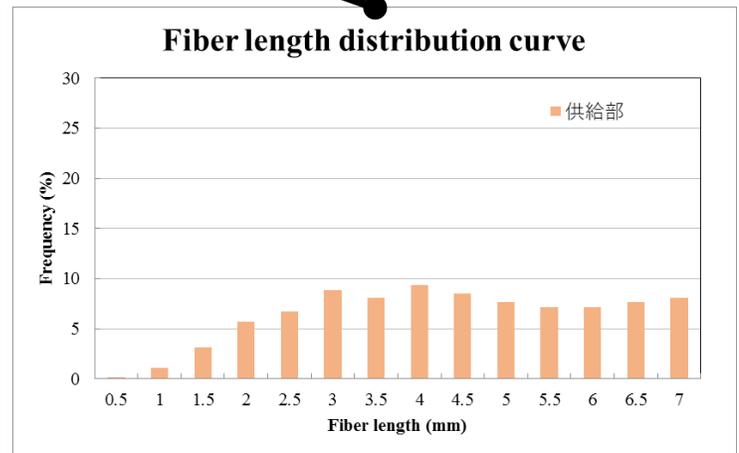
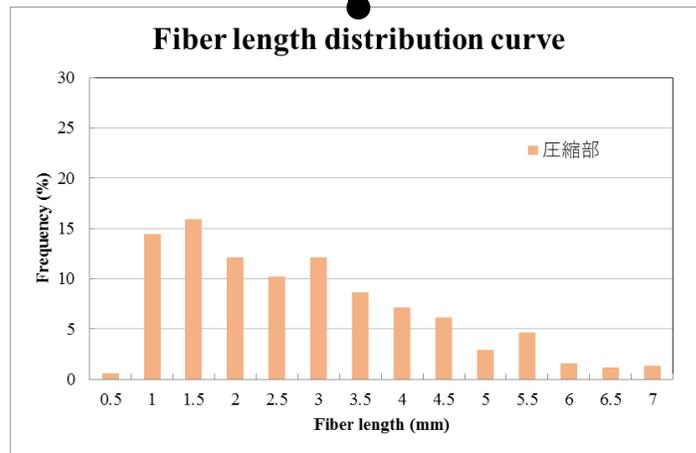
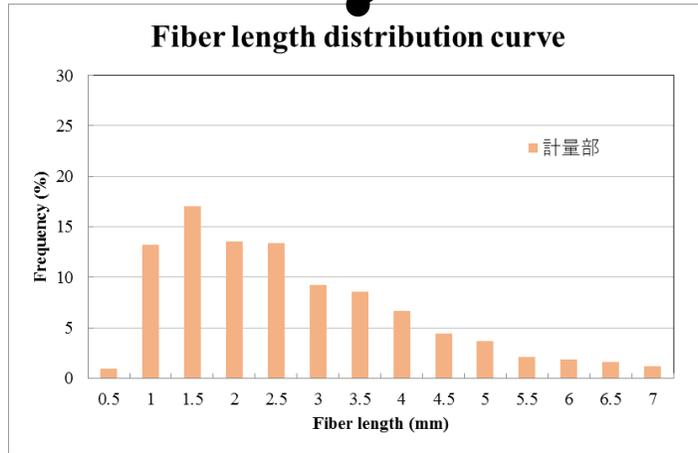
IV 計量部

①射出成形工程における繊維折損状況



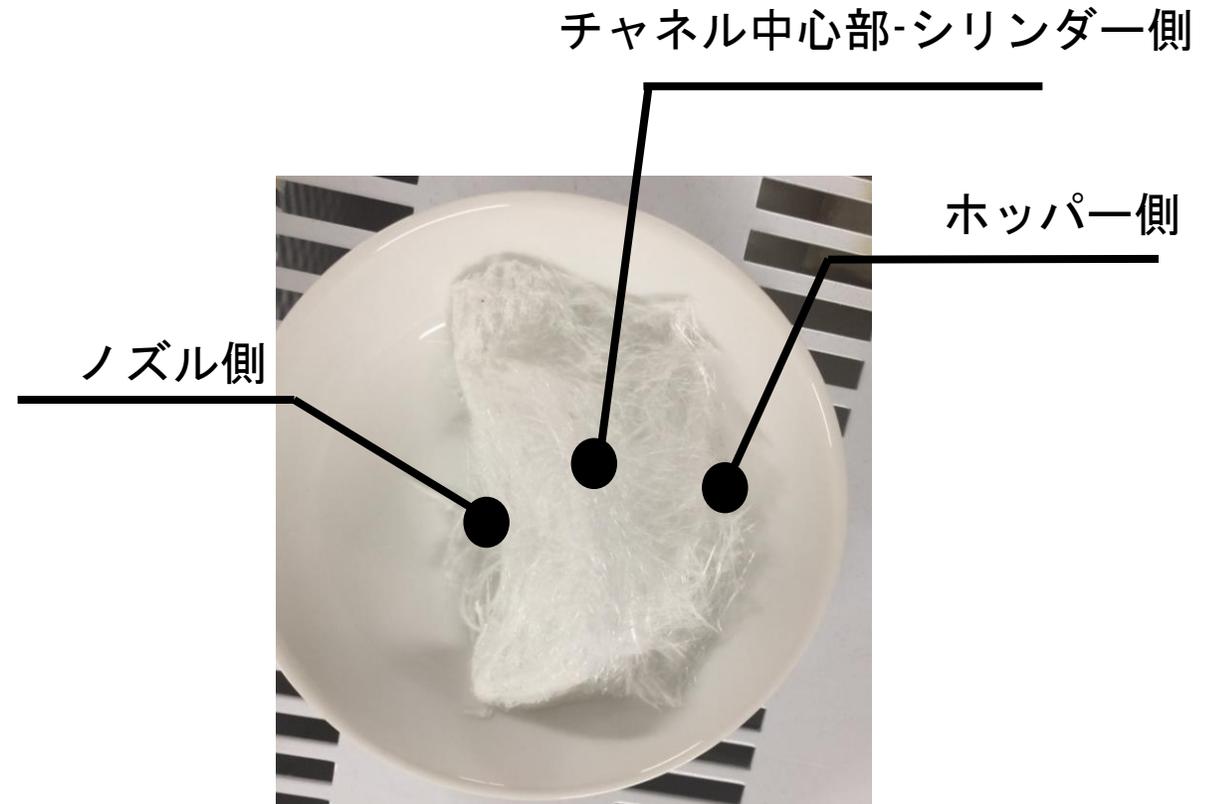
実験結果

解析結果

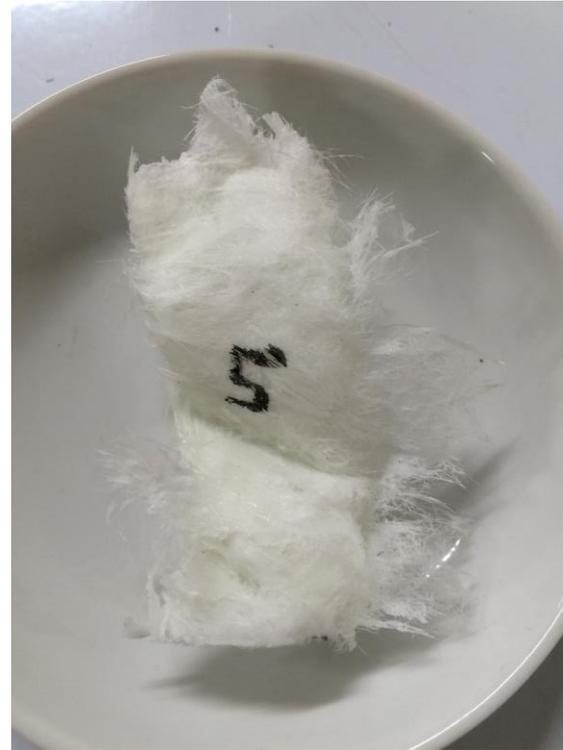


②同チャネル内の繊維長分布

マッフル炉を使用し、 $600^{\circ}\text{C} \times 6\text{hour}$ で焼成しガラス繊維を取り出した。

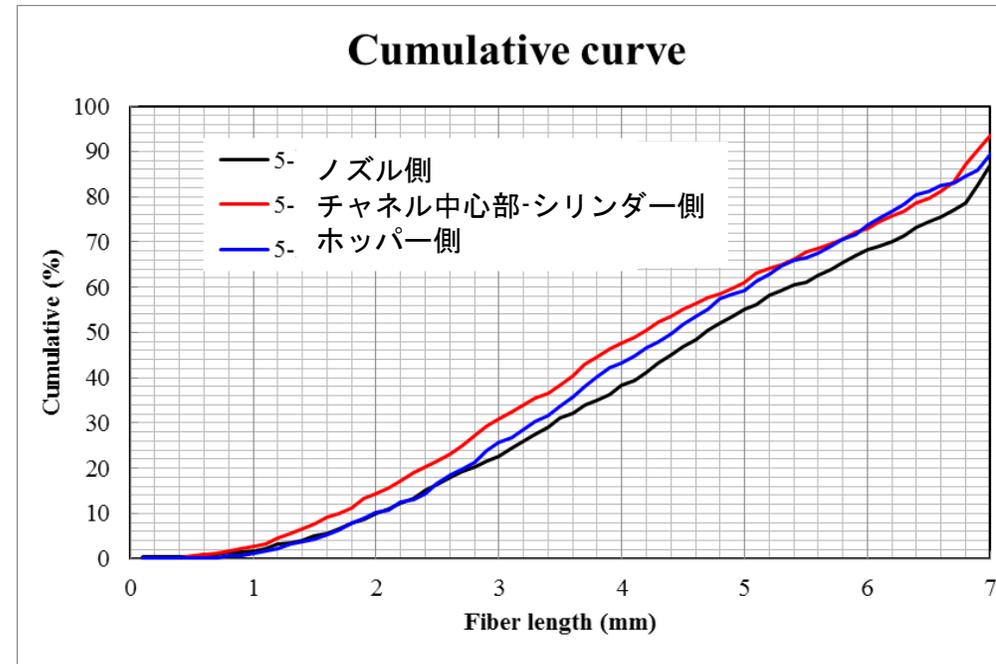
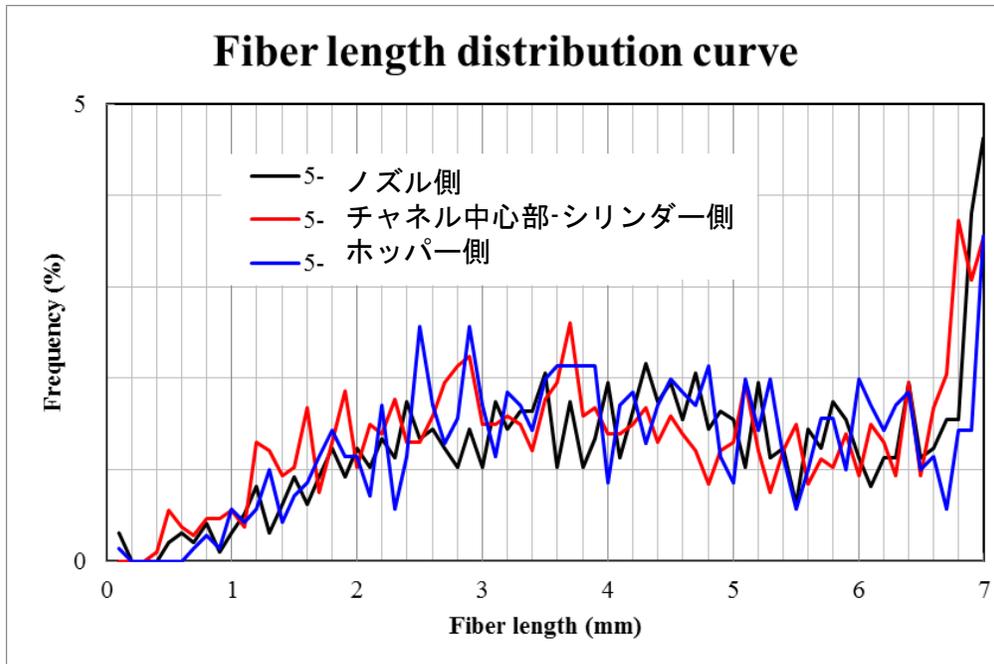


V 供給部



ノズル側 ← → ホッパー側

繊維長 - V 供給部 -



供給部の積算曲線は、場所を問わず一定の傾きを示すことがわかった。



供給部付近では、ガラス繊維の折損は同じ頻度で起きていると考えられる。

上流側およびチャンネル中心部-シリンダー側では樹脂が溶けていないため、同じぐらいのせん断力が働いていると考えられる。

IV 圧縮部



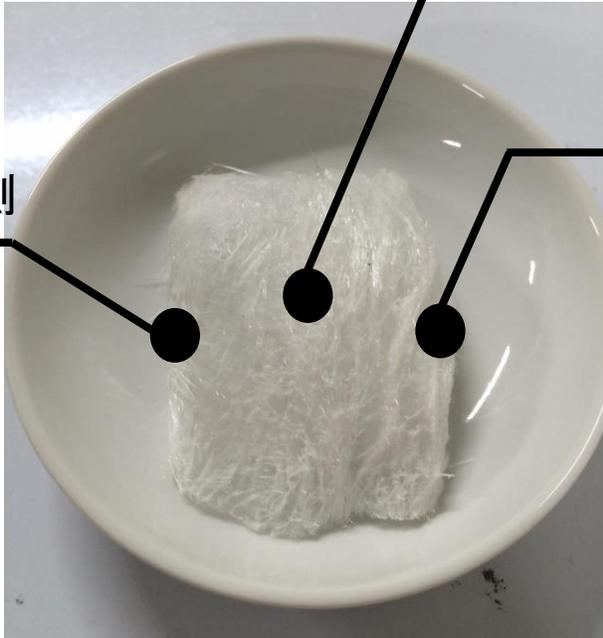
ノズル側 ← → ホッパー側

繊維長 -IV 圧縮部-

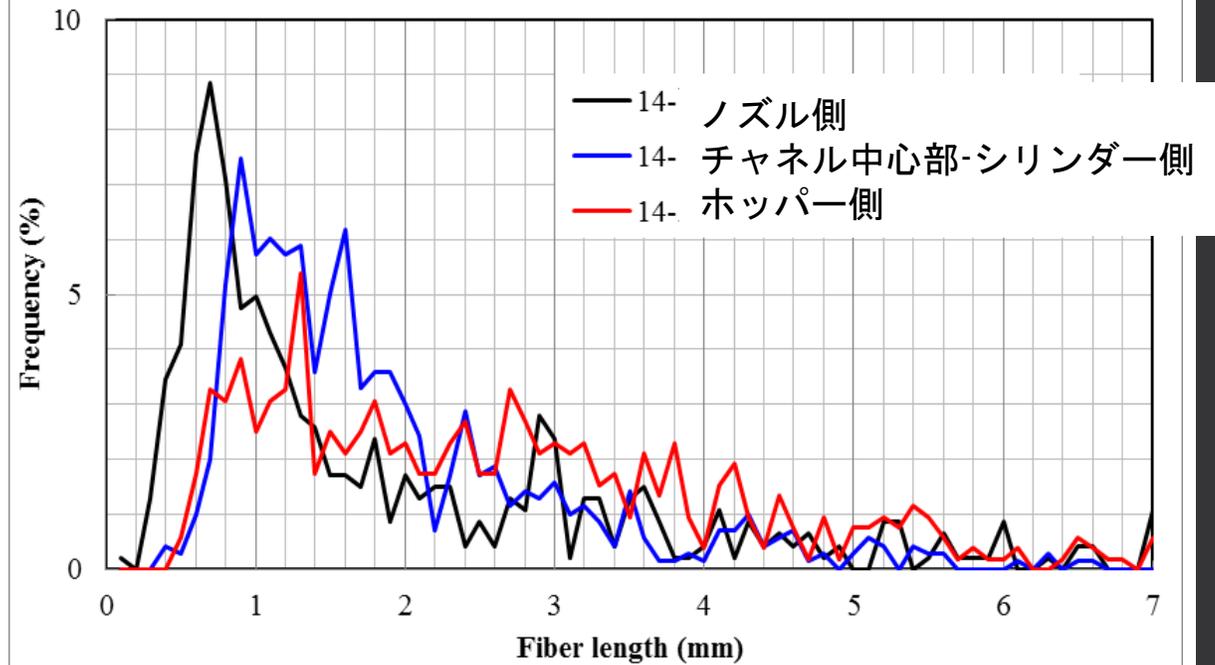
チャンネル中心部-シリンダー側

ホッパー側

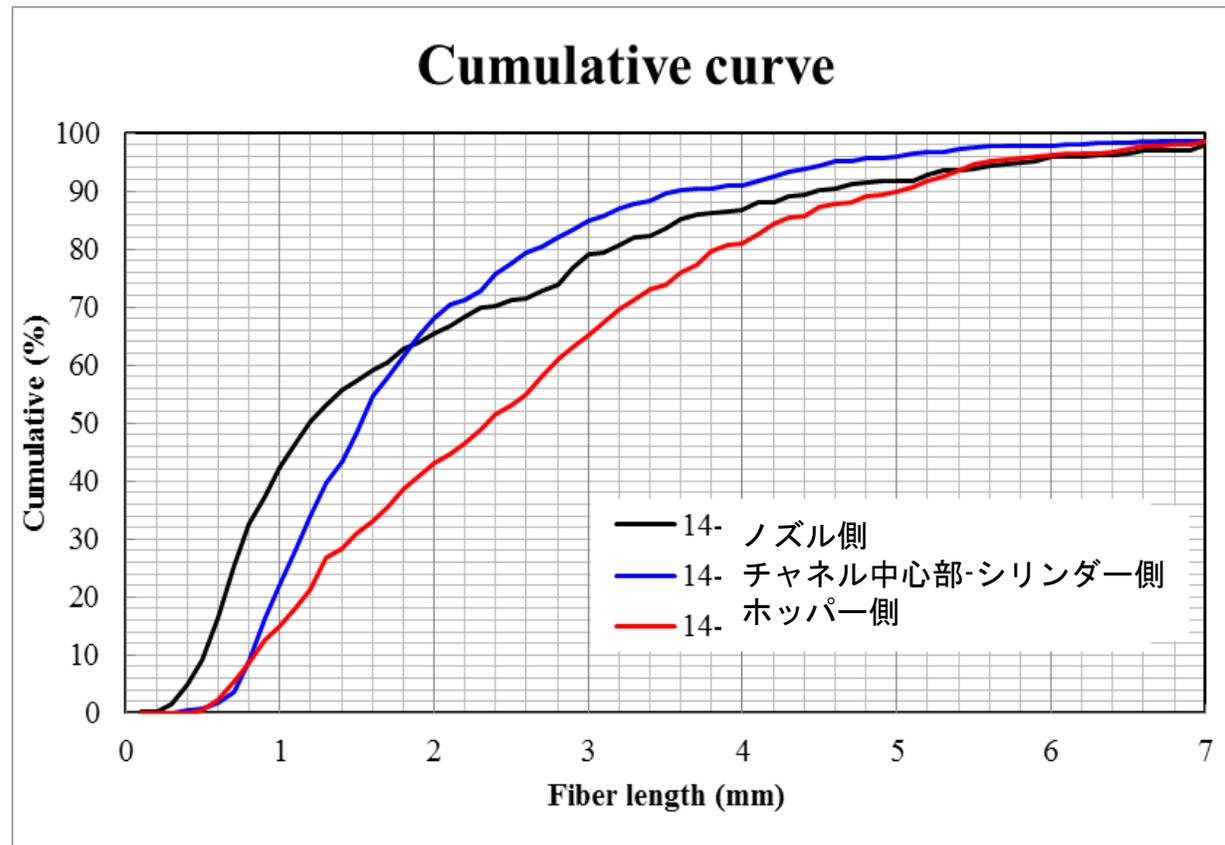
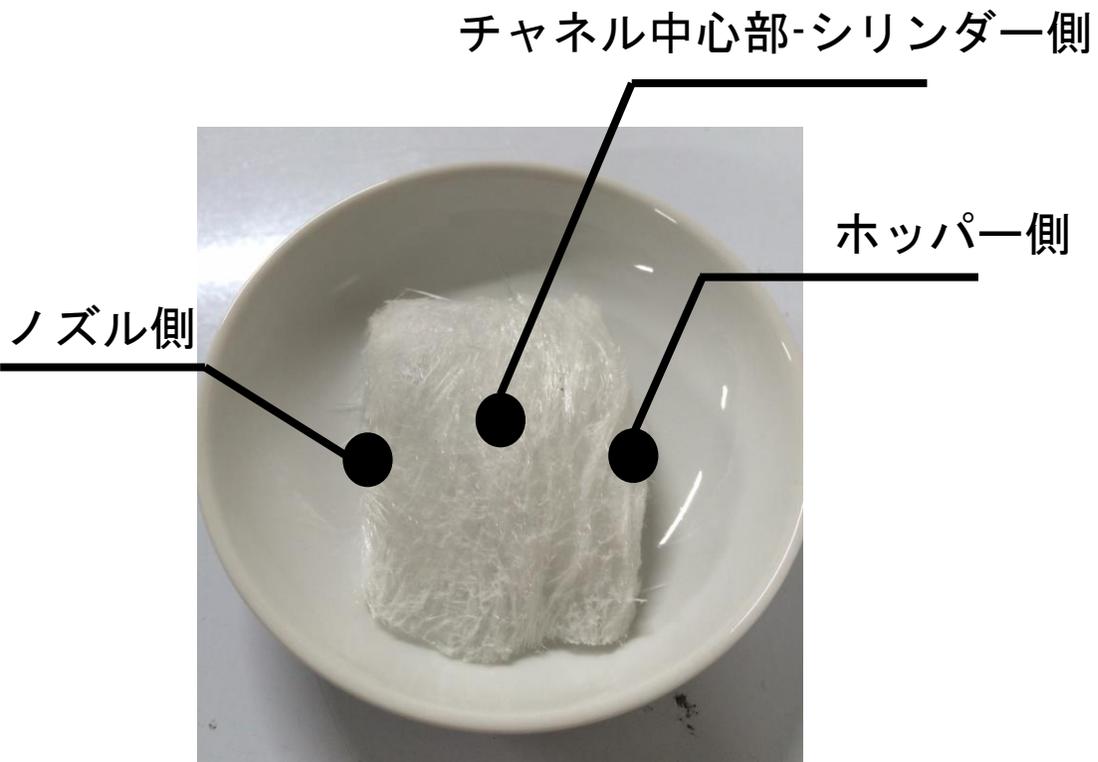
ノズル側



Fiber length distribution curve



繊維長 -IV 圧縮部-



同チャンネル内において

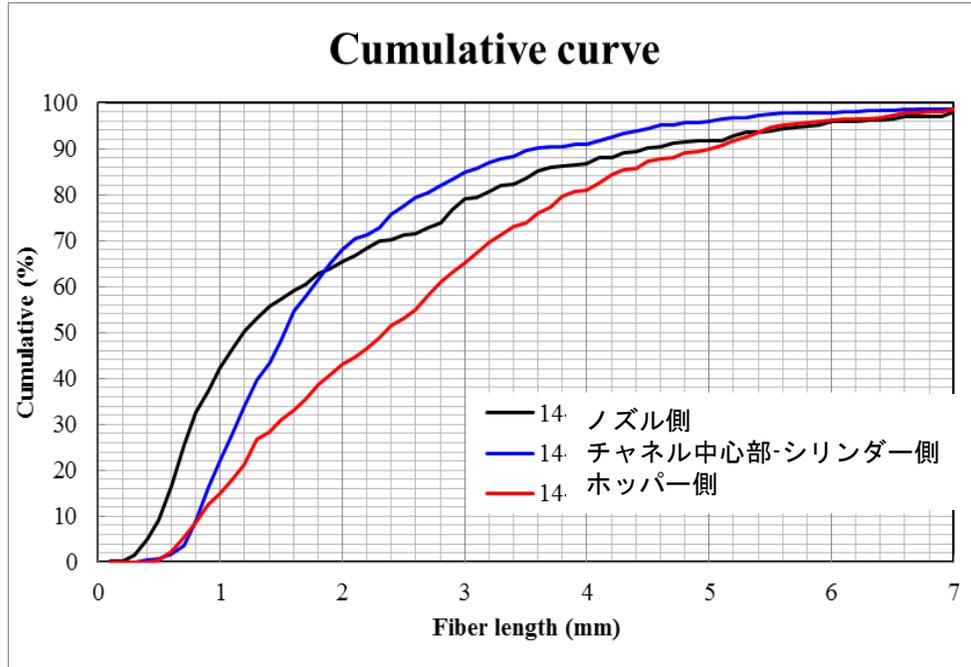
ホッパー側 : Fiber length

ノズル側 : Fiber length

長
短

繊維長 解析結果 -IV 圧縮部-

実験結果



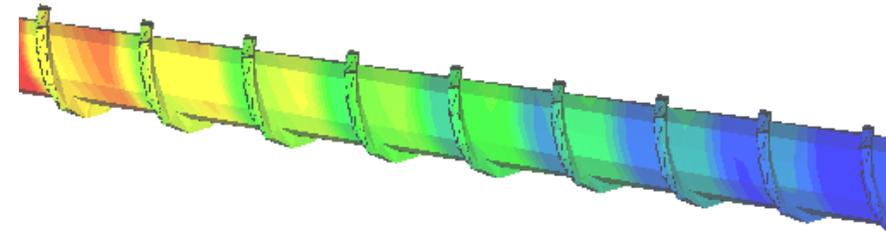
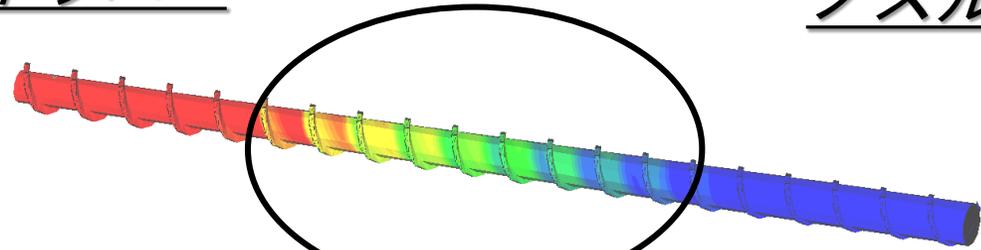
同チャンネル内において

ホッパー側 : 長

ノズル側 : 短

ホッパー

ノズル



Number averaged fiber length [mm]



3.0

2.5

2.0

1.5

Ⅲ 計量部

焼成前

焼成後



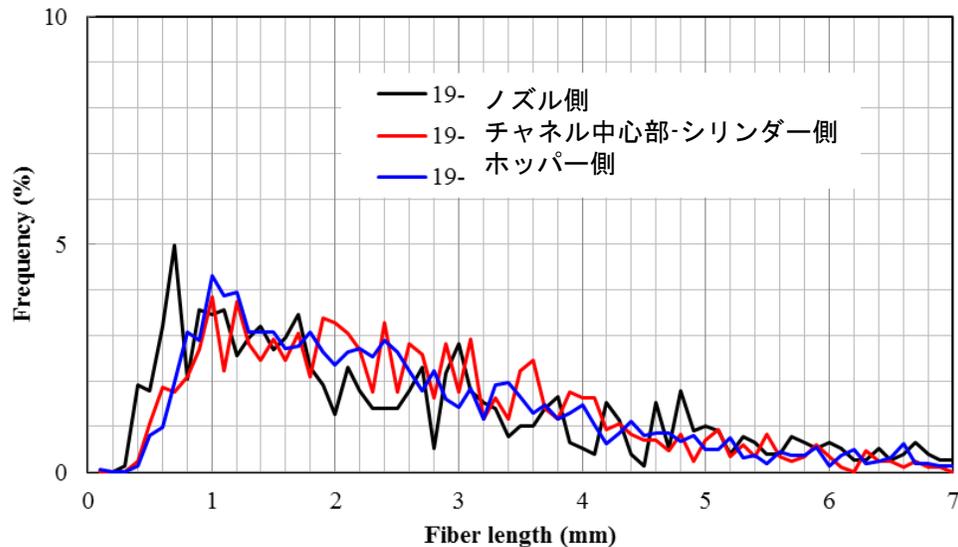
ノズル側



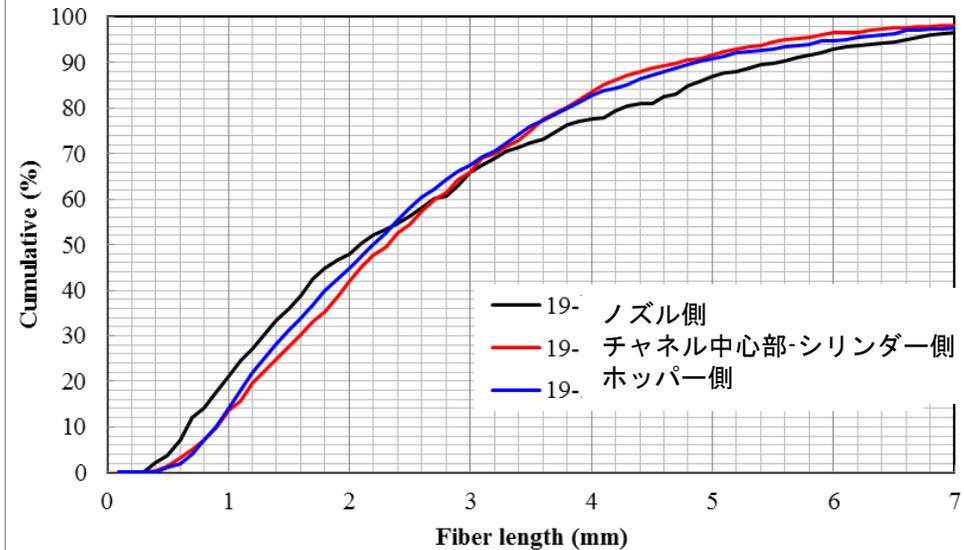
ホッパー側

繊維長 ーⅢ 計量部ー

Fiber length distribution curve



Cumulative curve



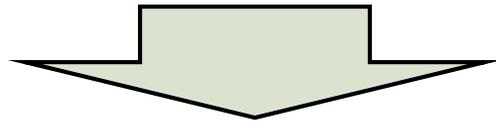
計量部の積算曲線は、場所を問わず一定の傾きを示すことがわかった。



計量部における溶融樹脂は完全溶融状態であり、各場所における繊維長は、ほぼ一定になる。

完全溶融であり、各場所において発生するせん断は同じと考えられる

- 2D(2.5D)にて，射出成形機シリンダー内の繊維破断現象を解析することができることを見出した。



今後は，①スクリーンデザイン

②樹脂

③強化繊維

の条件を変更し，様々な条件下での計算の再現性に努める。

ご清聴ありがとうございました。