

## 粘度曲線とドロレゾナンスの相関

(山形大院) 小野洋介、杉本昌隆、谷口貴志、小山清人  
(京工織大院) 石原英昭

### [緒言]

ドロレゾナンス現象は、紡糸、フィルムの製膜時に生じ、糸の直径(フィルムの場合は厚み)が周期的に変動する現象としてよく知られている。また、糸の細い部分は極端に強度が落ちるために成形不良品として扱われる。これまで、この現象に対して多くの研究結果が報告されており、紡糸条件の影響や粘度の非線形性の影響など様々なアプローチが試みられてきた。<sup>1)~4)</sup> ドロレゾナンスは伸長時に生じるため、材料の伸長時における粘度挙動と関係があると考えられる。しかし、粘度の線形部との相関に関する報告は見当たらない。本研究では、粘度挙動の中でも粘度が一定値に落ち着くまでの粘度の変化、それまでの時間、粘度の大きさの3点に注目した。その比較を行うにあたり、マクスウェルモデルとトルトン則を用いることで様々な伸長粘度曲線を作成した。さらに、その粘度曲線から得られるパラメータを同じマクスウェルモデルを用いたドロレゾナンスの数値計算プログラムに取り込んだ。それにより、マクスウェルモデルから予想される伸長粘度の振る舞いがドロレゾナンスにどのような変化をもたらすのかを検証した。また、実験との比較も行った。

### [実験]

ドロレゾナンスは伸長変形領域において試料が熔融状態(熔融温度と同じ温度)で巻き取られることで生じることが知られている。我々はその条件を満たすために水冷却式紡糸法を用いてドロレゾナンスを発生させることを試みた。試料には粘度挙動の異なる3種類のPPを使用した。

### [数値計算]

単一緩和で自在に粘度曲線を設定する事は困難であるため複数の緩和時間を用いて設定した。その粘度曲線を取り込むためには数値計算をマルチモードにして解かなければならない。マルチモードには単一緩和の式に応力の加性成を取り込むことで対応した。今回用いた熔融紡糸の支配方程式及び構成方程式を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{連続の式: } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(AV)}{\partial x} &= 0 & \text{運動の式: } \frac{\partial(A\sigma)}{\partial x} &= 0 \\ \text{構成方程式: } \frac{\partial\sigma_m}{\partial t} &= \frac{2\eta_m}{\lambda_m} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + 2\sigma_m \frac{\partial V}{\partial x} - V \frac{\partial\sigma_m}{\partial x} - \frac{\sigma_m}{\lambda_m} & \text{但し、} \sigma &= \sum_{m=0}^M \sigma_m \end{aligned}$$

ここで、 $\sigma, A, V, \eta, \lambda, x, t, M$  はそれぞれ応力、糸の断面積、糸速度、伸長粘度、緩和時間、ノズルからの距離、時間、緩和時間の数である。

### [結果と考察]

作成した粘度曲線とそれに対応するドロレゾナンスの数値計算結果を Fig.1 ~ Fig.3 に示す。図中の  $\phi$  はドラフト比(巻き取り速度と押し出し速度の比で定義された値)である。 $\Delta x$  は紡糸間距離の空間分割の間隔を表す。また、ドロレゾナンスの波形の最初のピークは周期性の比較のために合わせて

#### **Influence of elongational viscosity curve on Draw Resonance;**

Yousuke ONO, Masataka SUGIMOTO, Takashi TANIGUCHI, Kiyohito KOYAMA (Department of Polymer Science and Engineering, Yamagata University 4-3-16, Jonan, Yonezawa, 992-8510) and Hideaki ISHIHARA (Advanced Fibro-Science, Kyoto Institute of Technology), Yamagata University, TEL 0238-26-3058, FAX 02380-26-3411, Email [ono@ckpss.yz.yamagata-u.ac.jp](mailto:ono@ckpss.yz.yamagata-u.ac.jp)

**Key Word;** Draw resonance / Melt spinning / Multi mode Maxwell model

**Abstract;** Draw resonance is known as a phenomenon that occurs in polymer processings such as melt spinning. This phenomenon exhibits a periodical oscillation in fiber diameter in melt spinning. It is considered that draw resonance is related to behavior of elongational viscosity because it occurs in an elongational flow. Therefore, from viewpoint of rheology we have been compared our experimental results for draw resonance with theories that have already been investigated. In the present study, we investigate how the elongational viscosity causes a change in periodical oscillation by simulations using the Maxwell model for polymer melt. As a result, it is found that the fiber becomes more stable when it is steep inclination of elongational viscosity to time. It means to expect behavior of draw resonance from behavior of elongational viscosity.

ある。粘度曲線とドローレゾナンスの波形は線の種類が同じもの同士が対応している。また、粘度曲線における粘度は通常のポリマーに比べかなり低い値を示しているが、ここで重要なのは値ではなく相対的な差である。故に定性的な結果しか得られないが、ドローレゾナンスの挙動を知るには十分であると考えられる。実験との比較に関しては、当日報告するものとする。

・一定値に至るまでの挙動

Fig.1 に示したように、粘度が一定値になるまでの粘度の傾きのみが異なる粘度曲線を作成した。一定値になるまでの傾きが急なものほど安定化する傾向にあった。特に、最も急なものの影響が著しい。

・一定値に至るまでの時間

Fig.2 も同様に、一定値になるまでの時間が異なる粘度曲線を作成した。その時間が遅くなるにつれ、ドローレゾナンスの波形の周期及び直径変動が減少（安定化）していく事が分かる。これも、最も遅いものの影響だけが著しい。

・粘度の大きさ

Fig.3 も粘度の大きさ以外の部分は同じ挙動を示すような粘度曲線を作成した。このグラフでは全く変化がないように見えるが、実際はわずかに粘度の大きいものほど安定化する傾向にある。

・まとめ

伸長粘度の挙動をドローレゾナンスの数値計算に取り込むことで粘度曲線がドローレゾナンスに与える影響が明らかになった。しかし、もっと大きな範囲で条件を変えてみる必要があると考えられる。これまで、粘度の高いもの、つまり緩和時間が長いほど安定とされてきたが<sup>1)</sup>、その粘度の高さが重要なのではなく、長時間緩和成分の持つ粘度の挙動の方が重要であることが分かる。故に最終的な伸長粘度ではなく、短時間側での伸長粘度がドローレゾナンスにおいて支配的であると言える。これは紡糸におけるひずみ速度が速いためであると考えられる。今、粘度の大きさを無関係とするならば、安定化に関して粘度の傾きでまとめることができる。一定粘度に至るまでの時間が遅れるということは同じ時間（ひずみ）範囲において傾きが大きくなることを意味する。つまり、Fig.1,2 の結果から粘度の傾きが大きいほど安定化するということが言える。紡糸距離間において粘度の変化が大きくなることで均一な変形が加えられ、糸が安定化に向かったと考えられる。

[Reference]

- 1) H. Ishihara, S. Hayashi, , *The Society of Rheology, Japan*, **17** (1989)
- 2) J. S. Lee, H. W. Jung, S. H. Kim, J. C. Hyun, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, **99** (2001) 159-166
- 3) H. Ishihara, M. Shibaya, C. Nonomura, *Seikei-Kakou*, **16**, No.4 (2004)
- 4) A. Sato, *Yamagata University technology master paper*, (2004)

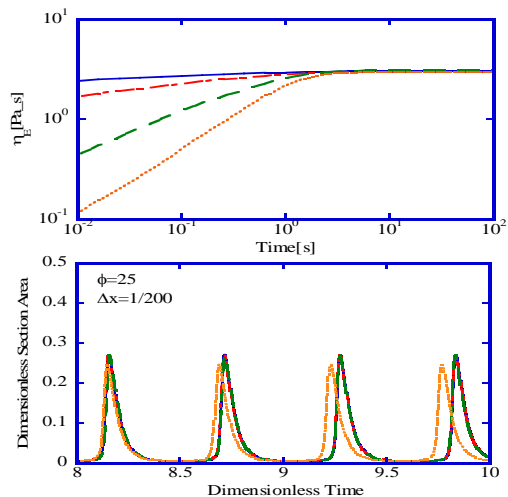


Fig.1 Influence of the slope until elongational viscosity converges on a constant value on draw resonance.

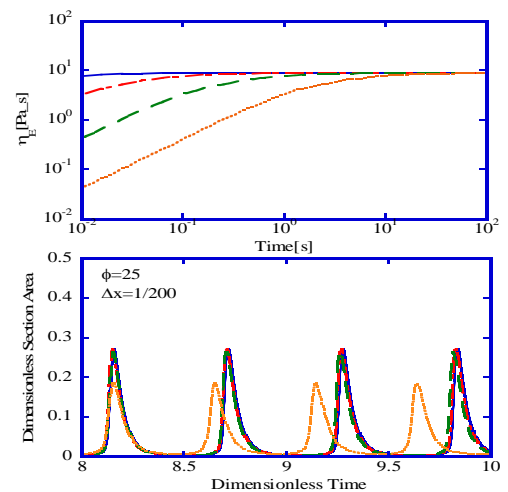


Fig.2 Influence of the time until elongational viscosity converges on a constant value on draw resonance.

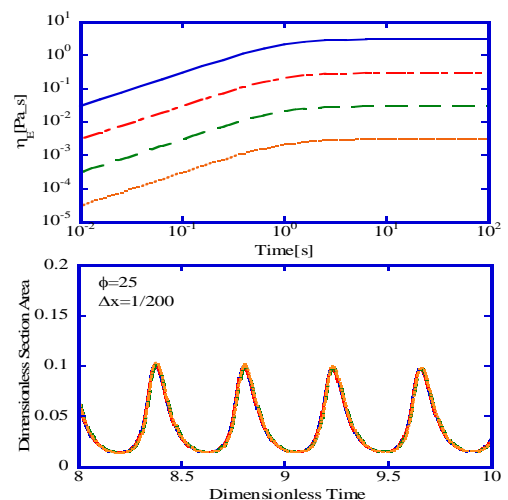


Fig.3 Influence of the value of elongational viscosity on draw resonance.