

1B08 マルチモードシミュレーションを用いたドローレゾナンスの理論解析

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

1. はじめに

ドローレゾナンス現象は、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、実験では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。しかし、線形部の粘度に着目した研究は見当たらない。ドロー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。伸長粘度挙動に大きな影響力を持つものとして分子量と分子量分布が挙げられる。そこで本研究では、これら2つの要素と伸長比（ドラフト比）がドローレゾナンスに及ぼす影響を実験とマクスウェル流体のマルチモードシミュレーションの比較を行うことで明らかにしていく。

2. 実験

ドローレゾナンスは伸長変形領域において試料が溶融状態（溶融温度と同じ温度）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ーレゾナンスを発生させることを試みた。また、発生したドローレゾナンスに対してドラフト比を15,25,45,65,85とし、それぞれのドラフト比での分子量、分子量分布の影響を調べた。

3. シミュレーション

使用した溶融紡糸の支配方程式及び構成方程式を以下に示す。

$$\text{連続の式； } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(AV)}{\partial x} = 0$$

$$\text{運動の式； } \frac{\partial(A\sigma)}{\partial x} = 0$$

$$\text{構成方程式； } \frac{\partial \sigma_m}{\partial t} = \frac{2\eta_m}{\lambda_m} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + 2\sigma_m \frac{\partial V}{\partial x} - V \frac{\partial \sigma_m}{\partial x} - \frac{\sigma_m}{\lambda_m} \quad \text{但し、} \sigma = \sum_{m=0}^M \sigma_m$$

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。

4. 結果

ドラフト比の増加による振幅と周期の増加は全ての試料において同様であることが分かった。また、分子量が大きいものほど振幅・周期が小さい。このことは、数値計算でも同様な傾向が見られた。分子量分布については、実験結果を Fig.1 に、数値計算結果を Fig.2 に示す。Fig.1 より分子量分布が異なることによって、ドローレゾナンスが発生するドラフト比もドラフト比による成長の程度も異なることが分かる。しかしながら、この傾向を数値計算では再現することはできなかった。応力の加成性による単純な応力の増加がこのような傾向を示したのではないと言える。故に、単純に緩和時間の数（mode数）だけでドローレゾナンス挙動が変化するのではなく、全体的な粘度曲線の形状が影響していると考えられる。今後、粘度曲線を取り込むことができるようなシミュレーションを用いた比較が必要であると考えられる。

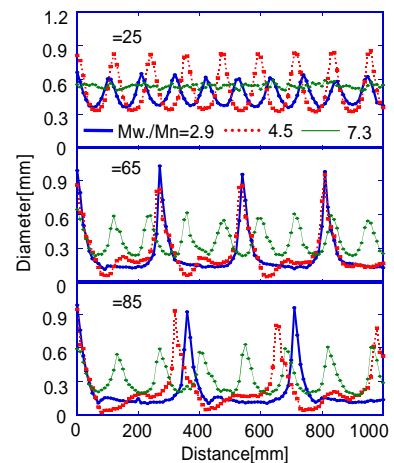


Fig.1 Effect of the molecular weight distribution on draw resonance for each draw down ratio. (Experiment)

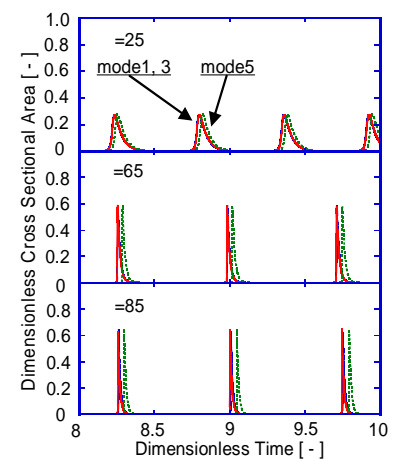


Fig.2 Effect of the molecular weight distribution on draw resonance for each draw down ratio. (Simulation)