

### 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弾性体の影響など様々なアプローチを試みられてきた。また、粘弾性体をモデルとしたシミュレーションも実施されている。これまでの研究から不安定化する要因や安定化する要因は次第に判明してきている。また、発生の原因についても紡糸線上の張力の伝達が上手く行われないうことにあると言われている。しかし、未だこの現象が完全に解明されているとは言いがたい。そこで、本研究の最終目的をドローレゾナンスの完全な解明とする。ここでは実際に実験とニュートン流体のシミュレーションを行い、ドローレゾナンス現象に対する理解を深める事を目的とする。

### 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熔融状態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図1に示す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（巻き取る速度と押し出される速度の比）、エアギャップ、冷却風の有無、分子量、分子量分布の影響を調べた。

### 3. シミュレーション

溶融紡糸の支配方程式は、以下のとおりである。

$$\text{連続の式 ; } \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{F}{\eta A}$$

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

$$\text{初期条件 ; } 0 \leq x \leq L; t=0; A=A_0, V=V_0$$

$$\text{境界条件 ; } \begin{matrix} x=0; t>0; A=A_0, V=V_0 \\ x=L; t>0; V=V_w \end{matrix}$$

ここで、 $F, A, V, \eta, L, x, t$  はそれぞれ張力、糸の断面積、糸速度、伸長粘度、エアギャップ、ノズルからの距離、時間であり、下付きの 0 と w はノズル点と水面を意味する。

### 4. 結果

ドラフト比の増加は糸を不安定化させた。ドラフト比の増加は局所的な張力が増加するためと考えられる。また、エアギャップが小さいほどドローレゾナンスを抑制し、冷却風の効果も同様に抑制した。エアギャップの減少は張力の伝達距離の減少により、張力が紡糸線上に十分伝わったためであると考えられる。冷却風に関しては糸を冷却することで試料の粘度が増加し張力の伝達を助けたからであると考えられる。分子量については高分子量（粘度が高い）のものほど不安定化した。冷却の効果から考えると矛盾した結果が得られた。また、分子量分布は狭いものより、広い分布の方で安定化が見られた。分子量が高いほど、また、分布が狭いほど張力の伝達を妨げる何らかの因子が働いていると考えられる。これらの事については今後、確かめていきたい。シミュレーションはドラフト比による周期的な直径変動をよく再現できたが、数値的な誤差が大きかった。

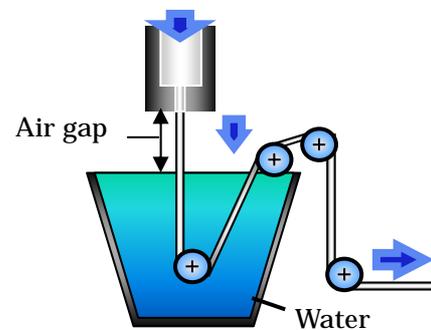


Figure 1 Schematic diagram of water-cooled melt spinning.