

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月25日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560167

研究課題名（和文） フローフォーカシングにより高伸張速度を達成する平面伸張流動場発生技術の開発

研究課題名（英文） Development of technique to generate high elongation rate in planar elongation flow by flow focusing.

研究代表者

高橋 勉（TSUTOMU TAKAHASHI）

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：20216732

研究成果の概要（和文）：フィルムやペットボトルの成形加工に用いられる平面伸張流動場における高分子流体の挙動を調べるために、シース流を利用して試料を急速に加速しフィルム状に引き延ばすフローフォーカシングを用いて安定した高伸張速度の流れ場を形成した。伸張速度をさらに増加させるために流体駆動と試験部を一体化した装置を作り効果を確認した。さらに、定常伸張流動中に180回転する流路を用いて伸張応力の評価も行った。

研究成果の概要（英文）：The planar elongation flow is one of the important flow field to form thin film and PET bottle formation process. The flow field of a steady planar elongation with high elongation rate was generated by using the flow focusing technique with sheath flow. In order to generate the higher elongation rate, a new device which combines a flow driving piston with a test section were developed and the ability was confirmed. In addition, the planar elongation stress was evaluated by using the channel that was 180 turns while a regular expansion was flowing.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計			

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：非ニュートン流動，伸張流動

1. 研究開始当初の背景

平面伸張流動とはラップフィルムの製造工程で見られるように、幅を一定として厚みを減らしながら長手方向に引き伸ばす流れ場である。高分子流体や液晶，非球形粒子を含むスラリーなどでは平面伸張流動により分子・粒子を二次元的に配向した膜を形成することができるため，広い応用が考えられる。しかし，伸張速度一定の流れ場を得るために

は流れ方向に対して指数関数的に速度を増加させる必要がある。さらに，平面伸張ひずみ量は伸張前後の試料の厚さの比で決まり，試料あるいは流れ場は薄くなるほど取り扱いが難しくなる。このため，高い伸張速度場を継続的に発生させることはきわめて難しい。

新素材として期待される液晶，塗料，スラリーなどは粘度が低いために特殊な流動装

置を用いる必要がある。特に、せん断の効果を排除するために自由表面を持つ流れ場を用いる場合は、表面張力の効果から最終的には流れ場は糸状になり一軸伸張流動状態に移行する。このため、低粘度流体に関する平面伸張流動場の研究はきわめて少ない。

著者らは平面伸張流動の重要性に早くから着目し、二次元縮小流路による定常平面伸張流動場の発生と流動複雑折法と光弾性則を組み合わせた応力場計測システムを用いて低粘度流体の平面伸張粘度を評価する手法を開発した。その後、過渡的な平面伸張流動発生方法として平面スクイーズ流れの適用、さらに、環状縮小流路による簡便な平面伸張粘度測定法の開発を行ってきた。しかし、分子や粒子の配向を促進するためにはさらに高い伸張速度が必要となる。

2. 研究の目的

これらの背景を踏まえて本研究課題では今後需要がさらに増加する低粘度粘弾性流体に関して時間的に安定し、空間的に一定の高伸張速度場が形成される平面伸張流動発生技術を開発することを目的とする。この目的を達成するために、同程度の粘度を有する液体の流れ場をシース流として使用し、シース流の流れ場により試料を加速するフローフォーカシング技術を応用した流路およびシステム、さらにその評価方法を開発する。

3. 研究の方法

本研究は3つの段階で実施された。(i)二次元縮小流を用いてフローフォーカシングによる伸張流動場を平面伸張速度一定の状態に保つ流路の開発、(ii)高伸張速度達成のためにシース流、サンプル流ともにシリンジポンプ二より駆動し、シリンジポンプと流路を一体化することにより少量で高伸張速度の試験が実施できる流路の開発、(iii)発生させた平面伸張流動に対応する平面伸張応力の評価方法の開発、である。

実験には低せん断粘度で伸張粘度が高いポリエチレンオキサイド (PEO) 水溶液およびポリアクリルアミド (PAA) 水溶液を使用した。濃度は0.01~1.0wt%の範囲とした。

4. 研究成果

4.1 フローフォーカシングによる平面伸張速度一定流動場の形成

シース流を用いて測定試料である流体を駆動する手法は測定試料に対して壁面まさつの影響を低減できる効果がある。試験流体をノズルから流出させ左右から挟み込むように水压を加えて引きちぎるように流すフローフォーカシングでは試験流体に対して局所的に高伸張速度を与えることができる。この二つを組み合わせることにより高伸

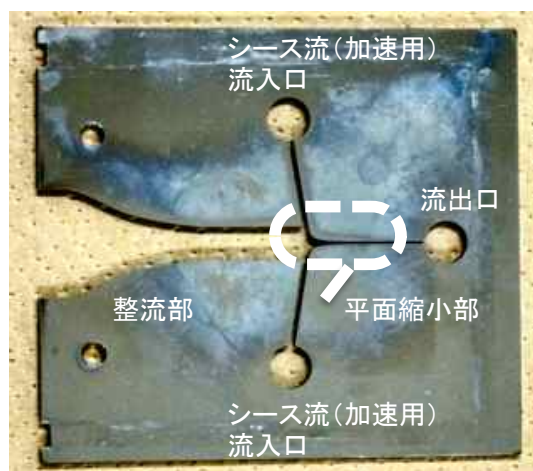


図1 実験装置概略図.

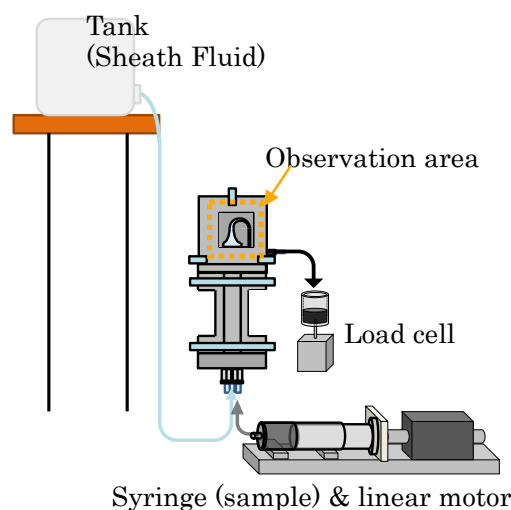


図2 実験装置概略図.

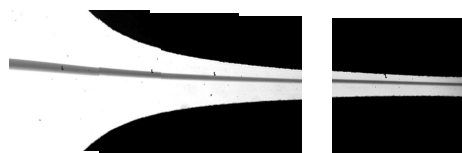


図3 形成されたサンプル流の例.

張速度を達成しながらもシース流により安定した定常伸張流動状態を維持する流路を開発した。図1に開発した流路の整流部および試験部の写真を示す。水によるシース流の形成に対して静水圧力を利用する。水圧はヘッドタンクの高さにより調整した。試料およびフローフォーカシングを誘起する加速用シース流はともにシリンジポンプにより制御された流量で供給される。装置全体の概略を図2に示す。

図3は開発された流路により形成されたサンプル流の例である。図3において上下の黒い曲面が二次元縮小流路の壁面である。透明な部分がシース流 (水道水)、グレーの細い線がサンプル流 (PAA0.05wt%) である。フロ

フォーカッシングにより高速に引き延ばされながらも流路の縮小に沿って設計通りの形状でサンプル流が形成されており、この試験部において定常平面伸張流動が形成されていることがわかる。

4.2 ピストン一体型流路の検討

図2の実験システムでは最初のシース流が静水圧により駆動されており、フォーカッシング用のシース流およびサンプル流供給のためのシリンジポンプの流量を増やしても伸張速度を制御するだけでは十分な調整ができなかった。より高伸張速度を正確に達成するためには静水圧による駆動をサンプル流と同様に体積型のポンプであるシリンジポンプなどを使うべきであることがわかった。また、測定試料はできるだけ少ない量で試験ができることが望まれ、シース流についても同様である。そこで、金属ブロックの中にシリンジポンプとして動作するピストンとフローフォーカッシング発生部を一体化させたピストン一体型流路を開発した。

図4に開発したピストン一体型試験装置の試験部を示す。ステンレスのブロックの中心部に試料を挿入するスリット型シリンジ、その左右にシース流体を蓄えるシリンジを配置している。試料およびシース流体用のピストンは外部のリニアモータにより駆動される。ピストンの移動によりシリンジ内に蓄えられた試料とシース流体は押し出され、試験部で衝突しフローフォーカッシングを発生させる。その下流には二次元縮小流路が設置されており、安定した定常平面伸張流動場が形成される。これにより形成された流れ場の一例を図5に示す。図5ではシース流体としてグリセリンを使用した。

ピストン一体型試験装置は小型であり必要なサンプル量が少ないメリットを有する。さらに、リニアモータによるピストン速度の制御により伸張速度を精密に調整可能である。しかし、ピストンの加工精度が要求され、製作した装置では高伸張速度試験においてシリンジ部からの漏れが発生した。構造に関してはさらなる改良が必要と考える。

4.3 二次元縮小旋回流路による平面伸張応力の評価

伸張速度は試験流体の流量と画像により評価することができるが、このとき伸張状態の資料に作用している平面伸張応力を評価できれば試験流体の平面伸張粘度を算出することができる。そのための試案として、本試験流路の平面伸張流動が発生している後半部分において一定の半径を持つ旋回部を設置し、遠心力と伸張応力のバランスにより決定されるサンプル流の軌道から平面伸張応力を評価する方法を検討した。

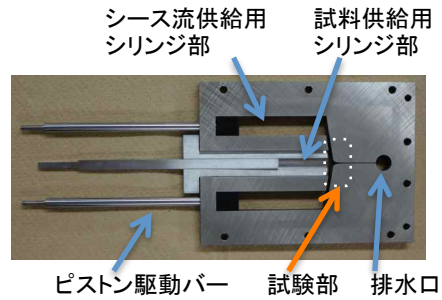


図4 ピストン一体型試験装置.

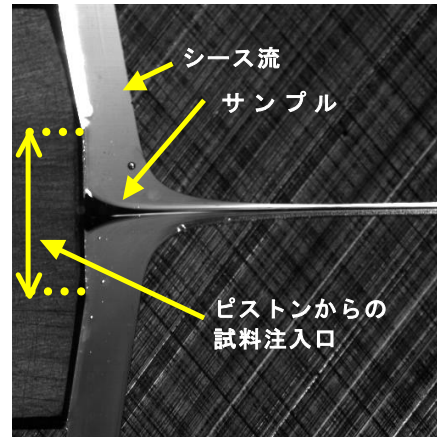


図5 ピストン一体型試験装置により形成された伸張流動.

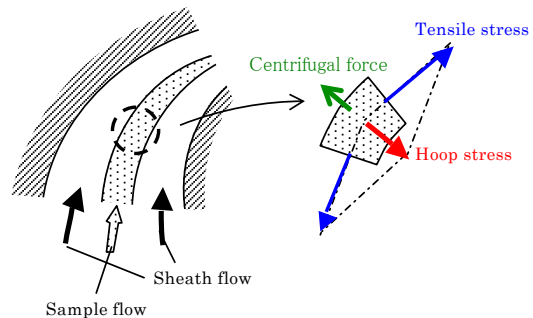


図6 旋回流路内のサンプル流の軌道.

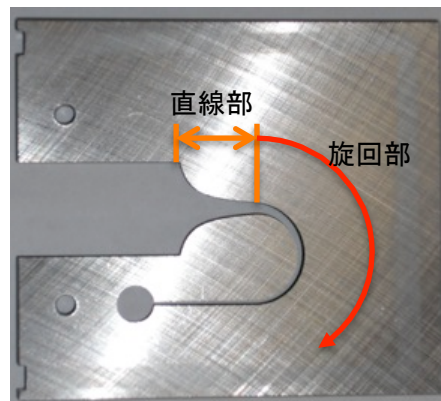


図7 二次元縮小旋回流動用流路.

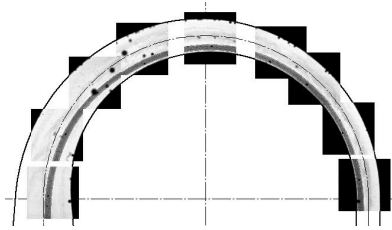


図8 旋回流路内のサンプル流の軌道.

図6に示すように旋回部におけるサンプル流には流速と半径により決定される遠心力が作用し、さらに平面伸張応力による張力がたが力として作用する。この二つの力のバランスによりサンプル流の軌道が決定する。この軌道を可視化するために二次元縮小旋回流路(図7)を製作した。これにより測定されたサンプル流の軌道の例を図8に示す。この軌道を精密に読み取り、サンプル流に作用する局所的な張力を評価する。この値と伸張速度の評価結果を対比することにより平面伸張粘度を算出することができた。この手法はまだ各種の仮定の証明が必用であるが、これまで測定が困難であった低粘度流体の平面伸張粘度の評価についての可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計◇件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 勉 (TSUTOMU TAKAHASHI)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号: 20216732

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし