

## 洗淨機構に関する流体力の検討

－ 界面活性剤水溶液の粘弾性挙動の解明と汚れ除去機構との関連－

(研究課題番号：13680110)

平成13-14年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))

研究成果報告書

平成15年6月

研究代表者 天 木 桂 子

(岩手大学教育学部・助教授)

## ま え が き

ここに報告する研究は、研究課題「洗浄機構に関する流体力の検討—界面活性剤水溶液の粘弾性挙動の解明と汚れ除去機構との関連—」として、平成13-14年度の2年間にわたって文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））の交付を受けて行われたものである。

本研究の組織、経費および成果は以下の通りである。

### 研究組織（1名）

研究代表者 天 木 桂 子 岩手大学教育学部助教授

### 研究経費

平成13年度	直接経費	3,100	千円	間接経費	0	千円	計	3,100	千円
平成14年度	直接経費	600	千円	間接経費	0	千円	計	600	千円
総計	直接経費	3,700	千円	間接経費	0	千円	計	3,700	千円

## 研究成果の概要

### 1. 研究目的

洗浄における汚れの除去機構を考える場合、化学的洗浄作用と物理的洗浄作用の2点からアプローチする必要がある。化学的洗浄作用とは、主として洗浄液である界面活性剤水溶液が持つ浸透作用、分散作用、乳化、可溶化、再汚染防止作用といった要因によって汚れ除去が行われるメカニズムである。これらに関しては従来からあらゆる観点で多くの研究が行われており、ある程度の解明も進んでいる。一方、物理的洗浄作用とは、主として外から布地や汚れに与えられる機械力で、摩擦力、衝撃力などである。洗浄にこうした機械力を積極的に活用することは、汚れ除去には有効だが、同時に繊維や布地の損傷、劣化をもたらすことは避けられない。

筆者は、この点を改善する、すなわち汚れ除去と布地損傷の低減の両方を満足させるねらいから、これまで洗浄液の持つ流体力に着目して検討を行ってきた。

その第1段階として、代表的な界面活性剤水溶液を調製して、基質に付着させた汚れモデルにせん断流を外部流として当てることにより生じる圧力損失を測定し、これを抗力によって生じたものと見なして抗力係数を算出した。同様に水や希薄高分子水溶液についても実験し、界面活性剤水溶液との比較から流動状の特徴を明らかにした。また、抗力でみられた特徴を溶液の粘性から検討したり、汚れモデルのサイズや溶液濃度を変えた実験を行ってそれぞれ流体力にどう影響するかを明らかにしてきた。

続いて第2段階として、布モデルである基質をせん断流に直角におき、流体が内部流として布間隙を通過する際に生じる圧力損失を計測して抗力を算出し、外部流の実験と比較しながら各種溶液の特徴を明らかにした。

本研究は、これらを背景としながら、界面活性剤水溶液の流動時の特徴をさらにミクロな視点から解明することを目的として行った実験である。洗浄に用いられる界面活性剤のほとんどは、水溶液中でミセルを形成することが知られており、形は球状である。この球状ミセルが静止時と流動時ではどう変化するかをとらえ、ミクロレベルでの解析を行って、洗浄液全体の挙動と界面活性剤ミセル個々の挙動を比較しながら、洗浄への影響を探ることを目的とする。

### 2. 実験概要

#### 2-1 実験装置

実験装置は、試料観察部と制御・解析部の2つから構成されている。詳細および装置の全景は以下の通りである。

##### ①試料観察部

・加熱せん断流動観察システム

顕微鏡用加熱せん断ユニット：ステージ、コントローラー

(ジャパンハイテック株式会社 CSS-450A)

・光学顕微鏡

(Nikon Eclipse 400)

・デジタル CCD カメラ

(Fuji film Fujix Digital Camera HC-300)

・デジタルカラーモニター

(HITACHI Color Video Monitor CT-1451)

②制御・解析部

・PC 本体

(富士通 FMV Deskpower ME3/505P, Windows98)

・PC モニタ

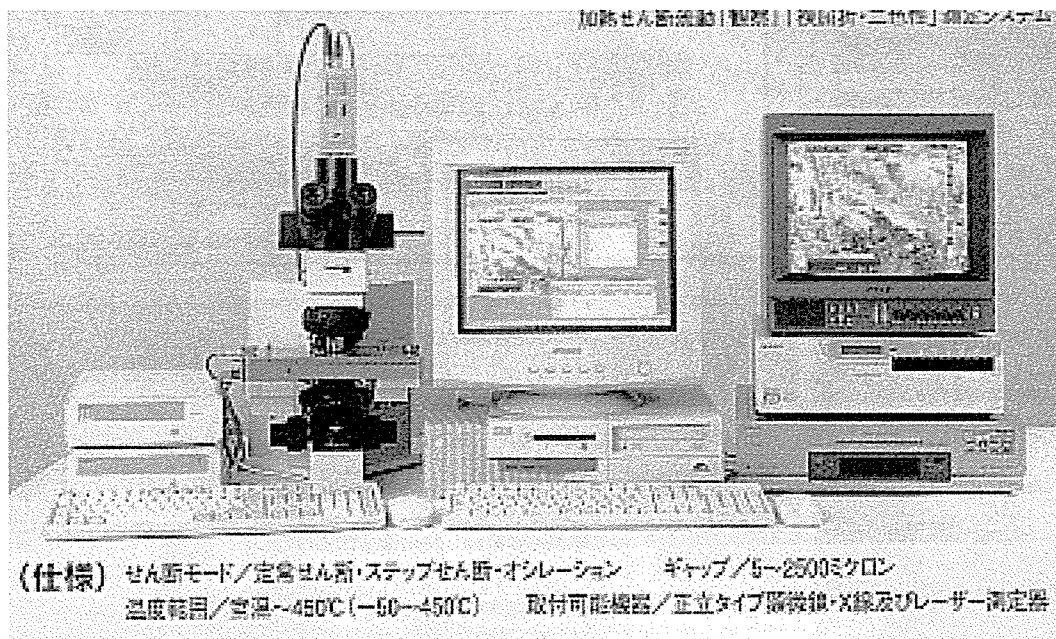
(富士通 FMV-DP97Y2)

・制御用ソフト Linksys for Win

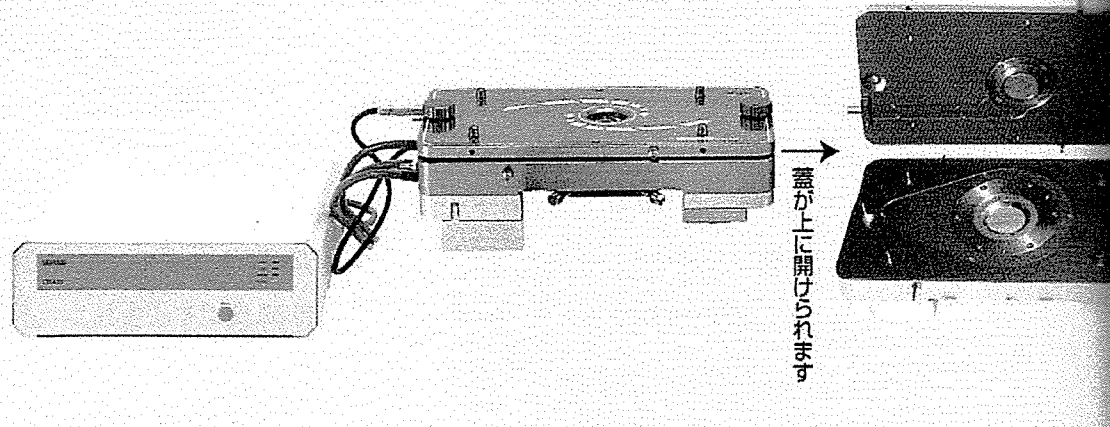
・画像解析ソフト Image-Pro Plus for Win

光学顕微鏡の直筒部には、リレーレンズを介してデジタル CCD カメラがセットされており、画像モニターと接続されて、映像が映し出される。さらに CCD カメラは制御用 PC と接続されており、Photograb-300 を用いて画像を取り込む。

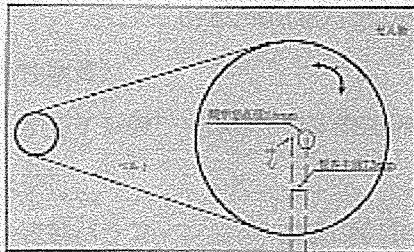
加熱せん断ユニットのステージ部は光学顕微鏡の対物レンズの下にセットされており、コントロール部と接続されている。制御用 PC にインストールされた Linksys によりステージ部の速度及び温度がコントロールされる。さらに、取りこんだ画像を制御用 PC にインストールされたソフト Image-ProPLUS によって解析する。



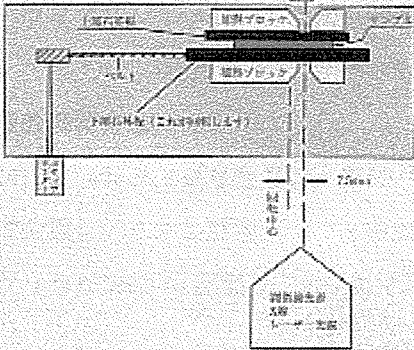
顕微鏡用加熱せん断ユニットCSS-450 装置説明



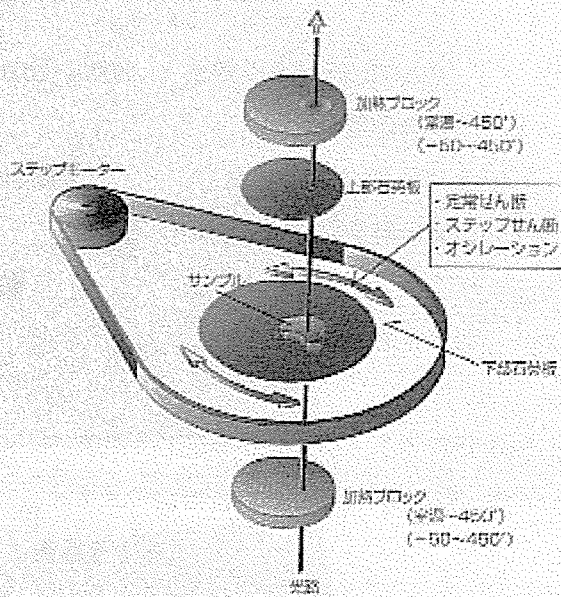
平面図



側面図



石英板・加熱ブロック記号図



## 2-2 試料

### 2-2-1 O/Wエマルジョン

#### 〈水溶性界面活性剤〉

- ・ラウリル硫酸ナトリウム [SDS] ナカライテスク株式会社  
C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>O<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>Na MW = 288.38 陰イオン系界面活性剤

#### 〈油性物質〉

- ・オレイン酸 [OA] CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>CH=CH(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>COOH 比重 0.885~0.906g/ml  
関東化学株式会社 鹿 1 級

#### 〈溶液の調製方法〉

SDS0.5w%水溶液を 100ml 調製する。この溶液 10ml を試験管に分取し、オレイン酸 0.2g を加える。これを上下に約 30 回振り、O/W エマルジョン溶液とする。

### 2-2-2 W/Oエマルジョン

#### 〈油溶性界面活性剤〉

- ・ポリオキシエチレン(4)ラウリルエーテル [AE(4)] SIGMA 社  
C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>O(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>H MW = 362 非イオン系界面活性剤

#### 〈油性物質〉

- ・オレイン酸 [OA] CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>CH=CH(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>COOH 比重 0.885~0.906g/ml  
関東化学株式会社 鹿 1 級
- ・流動パラフィン CH<sub>2</sub>(OH)CH(OH)CH<sub>2</sub>(OH) 比重 0.880~0.890 g/ml  
関東化学株式会社 1 級
- ・グリセリン CH<sub>2</sub>OH-CHOH-CH<sub>2</sub>OH 比重 1.252 g/ml  
関東化学株式会社 1 級

#### 〈溶液の調製方法〉

AE(4) 0.5w%OA (グリセリン, 流動パラフィン) 溶液を 100ml 調製する。この溶液 10ml を試験管に分取し、イオン交換水 0.2g を加える。これを上下に流動パラフィンは 30 回、オレイン酸とグリセリンは 70 回振り、W/O エマルジョン溶液とする。

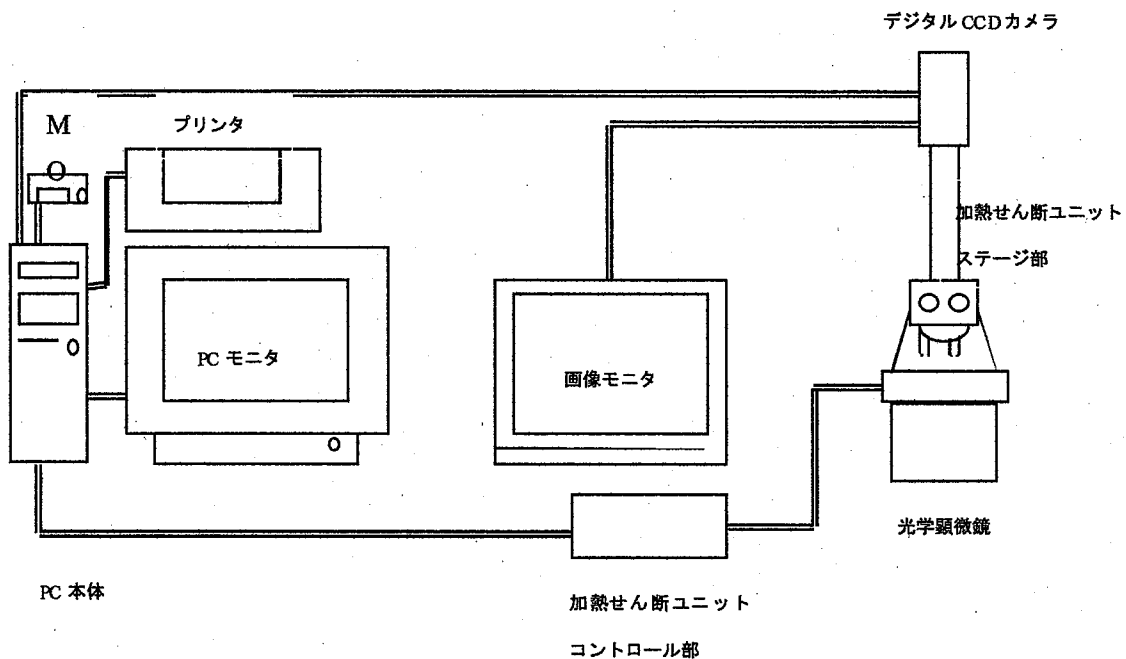
## 2-3 測定方法

### 〈実験の準備〉

- ① PC 本体の電源を入れ Windows を立ち上げる。
- ② デスクトップ上のアイコン[Linksys]をダブルクリックして立ち上げる。

- ③ コントローラー, 光学顕微鏡, デジタルカメラ, 画像モニタのスイッチを ON にする.
- ④ [Linksys]のタスクバーの[Setup]をクリックし, プルダウンメニューから[Comm Port]を選択し Comm 1 に設定する.
- ⑤ タスクバーの[File]をクリックし, プルダウンメニューから[Reset Serial Interface]を選択して温度表示を出しておく.

#### <観察方法>



#### 装置全図

- ① 顕微鏡の対物レンズに接触しないように注意しながら, ステージ部の上蓋を静かにはずし, スタンドに乗せる.
- ② 試料溶液を, スポイトで Bottom window 内に入れる. この時こぼれたり, 溢れたりしない程度に適量入れる.
- ③ 上蓋を対物レンズに注意しながらセットし, 水平になるように両側の2つのねじを交互にしめる.
- ④ 4倍または10倍の対物レンズをセットし, 画像モニタを見ながら各試料のピントを合わせる.
- ⑤ Linksys の Data Table ボタンをクリックしプログラム表を開く. Rate, Limit, Time それぞれに温度設定に関わる条件を入力する. 入力後コントロールバーに入力した値が表示されているのを確認する. 表示されていない場合は, 入力できていないのでやり直す.

(Rate : 1 分間に何℃ずつ上げるか. 本実験では 10℃)

(Limit: ステージの温度を何℃まで上げるか. 本実験では 25, 40℃)

(Time: Limit に達した後ステージの温度をどれくらいキープさせておくか. 本実験では 20 分)

⑥ Motor Control Sheet をクリックしプログラム表を開く. Mode に「Steady」, Gap に「2500」, Dirn1 に「Cw」または「Acw」, Time に「/」を入力する.

(Mode 「Steady」: 一定速度で動くこと)

(Gap 「2500」: ステージの上下間隔. 統一してある)

(Dirn1 「Cw」または「Acw」: 時計回りまたは反時計回り)

(Time 「/」: 永遠に繰り返すこと)

⑦ Motor Control Sheet の Shear Rate に所定のスピード値

(0.001~10rads/sec 範囲内の値) を入力する.

⑧ 所定温度に達したら, Motor Start をクリックしてステージ部を回転させる. 画像モニタを見ながら観察し, エマルションが大きいものから小さいものまで見られる画面を選び, 3 枚画像を取り込む. 取り込み方法は 2-4 で述べる.

⑨ 画像を取り込んだら, Motor Stop をクリックし回転を停止する.

⑩ 再び Shear Rate に所定のスピード値を入力し, ⑧⑨を行って同様に観察する.

⑪ 1 種類の試料溶液の観察が終わったら, 対物レンズに気を付けながら, ステージの上蓋をはずし, スタンドにのせ, たちちに Bottom window 中の試料溶液をキムワイプで完全に拭き取る. 放置しておく, 試料溶液が乾燥してこり固まり故障の原因になるのですぐ拭き取る.

⑫ 別の種類の試料を入れる場合は, Bottom window 内をエタノールで拭き取り, 完全に乾燥させた後注入する.

Mode	Gap	Dirn	Time	Limit	倍率
O/W エマルションの設定条件					
Stdy	2500	Cw	/	25℃	× 4
Stdy	2500	Cw	/	40℃	× 4
W/O エマルションの設定条件					
Stdy	2500	Cw	/	25℃	× 4
Stdy	2500	Cw	/	25℃	× 10
Stdy	2500	Cw	/	40℃	× 4

## 2-4 解析方法

(画像の取り込み方法)

Photograb-300 を用いて, 顕微鏡の各倍率における画像を取り込む. Mac SCOPE により解析し, 粒子 10 個あたりの縦横比を求める.

〈Photograb-300 による画像の取り込み〉



- ① 顕微鏡, デジタルカメラ, モニタのスイッチを入れる.
- ② Photograb-300 を立ち上げる.
- ③ モニタを見ながら, エマルションが大きい粒子から小さい粒子まで見られる画像をとらえ, 取り込む画像を決定する.
- ④ Shoot をクリックする. 取り込みが完了すると画面右上に表示されるので確認する. 顕微鏡の 10×4, 10×10 の各倍率につき, それぞれ 3 枚の映像を取り込む.
- ⑤ Acquire to Window をクリックする.

この時, モニタの画面が切り替わっても 20%にならない場合は, 調子が悪くなってきているので, 1 度 Photograb-300 を Close し, 顕微鏡, カメラ, モニタのスイッチを切って, 再度同じ手順で立ち上げた方がよい.

- ⑥ Close をクリックして画面を閉じる. 後ろにある Window をアクティブにし, [File] → [save as... ] の順に選択し, 保存先に M0 を指定してファイル名をつけて保存する.

#### 〈Image-ProPLUS による画像の処理方法〉

- ① Image-ProPLUS を立ち上げる.
- ② [ファイル] → [開く] を選択し, 所定の画像を画面上に呼び出す.
- ③ 画像上にポインタをおいて右クリックして拡大を選択し, 画像を適当な大きさに拡大する.
- ④ [強調] → [コントラスト強調] を選択し, 見やすい画面の濃さに調節する.
- ⑤ [測定] → [マニュアル測定] を選択し, 図形選択を長さに設定する. \ (直線) をクリックしたら, 小さい粒子から大きい粒子までバラバラの大きさのエマルションを無作為に 10 個選んで測定する. 1 個ずつ縦, 横の順に測定する.
- ⑥ 測定値をメモしたら [ファイル] → [画面印刷] を選択し, 画面を印刷する.

#### 〈Excel による処理〉

- ① Excel を立ち上げ, シート上に Image-ProPLUS で測定した縦, 横の値を入力し, 表を作成する.
- ② 10 個分の縦横比(縦/横)を計算し, さらに平均値を出す.
- ③ 横軸に SheetRate, 縦軸に縦横比をとってグラフを作成する.

### 3. 結果および考察

#### 3-1. O/Wエマルションの実験結果

全体的にオイルドロップの輪郭がぼやけており、解析が難しかった。そのため、当初考えていたほどせん断速度を上げることができなかった。また、粒子の流動にともなって焦点深度があるため、時間が経過するにつれてピントのずれが生じ、調整が大変困難であった。この場合は、一度ステージの上蓋を取り外した状態でピントを合わせ、その後再び上蓋を乗せた状態でピントを合わせるとよい。これを行った後はピントがぴったりあい、有効な方法であった。

O/Wエマルションは、溶液の粘度が低いため、1ml 入れるだけで Bottom Window 全体に広がった。しかし、主に水でできているために蒸発しやすく、Photograb-300 に取り込める画像の枚数が限度いっぱいになった時点(12枚)で溶液を取り替えて再び実験を行った。

#### (倍率の決定)

図1、画像1に顕微鏡の倍率と縦横比の関係を示す。

画像1は30回振とうし、静止状態で25°Cに設定し、10×4倍と10×10倍を比較したものである。10×4倍では、視野が広いため多くのオイルドロップを確認でき、0.5/secまで観察できた。また、肉眼であれば0.6/secまで観察でき、0.4/sec以降オイルドロップが楕円形になるのも確認できた。10×10倍は、10×4倍より見やすくなるが、視野が狭いため確認できるオイルドロップの数は減少する。そのため、0.2/secまでしか観察できなかった。肉眼であれば0.7/secまで観察でき、データは取れなかったが0.3/sec以降オイルドロップが楕円形になるのが確認できた。図1を見ると、10×4倍、10×10倍とも、せん断速度が速くなるほど縦長になることが確認できる。しかし、両者の傾向はやや異なっていた。

これらの結果をもとに、解析しやすいエマルションの大きさと密度がそろっており、せん断速度の影響を調べやすい10×4倍で以降の実験を行うことに決定した。

#### (振とう回数決定)

図2、画像2に振とう回数による影響を示す。

振とう時の様子としては、10回までは溶液が上下している感触があるものの、それ以降は感じられなかった。10回で溶液も白濁していることから、ある程度乳化したと判断できる。

画像2をみると、10回と20回はオイルドロップの密度も高く、画面の4分の1にもなる大きなオイルドロップも見られた。また、溶液をセットした直後から会合現象が見られたため、エマルションが安定していないと判断した。図2をみると、70回と100回は10~50回とは異なり、縦横比の値が飛び抜けて大きい傾向が見られ、オイルドロップが小さく解析時に誤差が出やすいと考えられ、不適當だと判断した。50回と30回を比べると、全体的に30回が解析に適したオイルドロップの大きさと密度であった。以上の結果により、振とう回数を30回として以降の実験を行うことに決定した。

#### (せん断速度の影響)

図3にせん断速度による影響を示す。

解析の結果、回転時は静止時より縦長になっていた。しかも、画面下から上へ、流れに沿って縦長へと形を変えていた。回転停止後は静止時の値まで縦横比の値がもどっていたため、オイルドロップ

の形が元に戻ることをわかる。

せん断速度が速くなるとカメラでとらえにくくなり、ピントが合わなくなる。ピントがぼやけると解析できないため、その限界の速度を探した。その結果、解析できる限界のせん断速度は 0.8/sec であった。

#### (温度の影響)

図 4 に温度によるちがいを示す。

ほぼ室温に近い 25°C と、ある程度の違いが出るであろうと予想して決定した 40°C を比べた結果を図 4 に示す。温度が高い方がエマルションの粘度が低下し、オイルドロップの動きが活発になることから、せん断速度は 25°C の方が速い速度まで見られると予想したが、結果は 25°C が 0.5/sec、40°C が 0.8/sec が限度で、40°C がより高かった。両者とも、回転時が静止時よりも縦長になっていた。また、回転停止後は静止時の値までもどっていたため、オイルドロップの形が元に戻ることが確認できた。さらに、25°C では縦横比の増加はわずかであったが、40°C では大きく増加した。40°C ではオイルドロップの流動が活発になる速度の山が 2 つ確認できた。図 4 を見ると、0.4/sec と 0.7/sec がそれに相当する。このことから、速度の上昇と共に変形も大きくなるのではなく、両者には複雑な関係があり、オイルドロップが変形しやすい速度というものがあると判断できる。これは、回転時におけるオイルドロップと、それを囲む水溶液の流動速度が必ずしも一致しないためだと推察できる。すなわち、水溶液よりオイルドロップの流動速度が速い場合と、オイルドロップより水溶液の流動速度が速い場合では、オイルドロップが受ける抵抗が異なり、変形しやすい、又は変形しにくい状態が生じて、縦横比に反映されると推測できる。本結果から、0.4/sec および 0.7/sec 前後に 0~0.3/sec、0.5/sec~0.6/sec、0.8/sec~とは異なる流動が起こる、または、相対速度の逆転が起こると考えられるが、この点については今後さらに詳しく解析する必要がある。肉眼観察でも、見やすくなる速度とそうでない速度があることを確認できた。この傾向は、25°C では確認できなかった。

### 3-2. W/O エマルションの実験結果

画像 3 に焦点深度による影響を示す。

溶液の粘度が高いため、Bottom Window 全体に広げるには約 1.5ml 必要だった。その分焦点深度が大きく、画像 3 を見てわかるように溶液の表面部分と底部分ではウォータードロップの見え方が大きく異なった。回転時はと小さく軽いエマルションは表面部分に、大きくて重いウォータードロップは底部分に集まる傾向が確認された。そのため、今回の実験では観察しやすい底部分にピントを合わせることに決定した。

溶液全体が主に油であるため、Bottom Window から溶液を拭き取るのが大変な作業であった。エタノールをキムワイプに付け、何回も拭き取った。溶液の取り替えは、Photograb-300 に取り込める画像の枚数がいっぱいになった時点(12枚)で行った。

オレイン酸では、ウォータードロップの輪郭が O/W エマルションに比べてはっきりしており、解析が容易であった。また、W/O エマルションでウォータードロップの輪郭がはっきりするのは、オレイン酸、流動パラフィン、グリセリンの順であった。

#### (倍率の決定)

オレイン酸で、70 回振とうし、静止の状態では 25°C に設定し、10×4 倍と 10×10 倍を比較した。10

×4倍は、視野が広いので0.8/secまで観察できた。また、モニタ画面上であれば2.0/secまで観察でき、1.5/sec以降ウォータードロップが楕円形になるのが確認できる。10×10倍は、10×4倍より見やすいが、視野が狭いため確認できるウォータードロップ数は減少する。数が少なく解析できないため、O/Wエマルション同様10×4倍に決定した。

流動パラフィンとグリセリンでは、振とう回数にかかわらずウォータードロップが小さく、10×4倍ではいずれも確認できなかったため、10×10倍で観察することに決定した。しかし、エマルションの輪郭がはっきりせず、解析が困難であった。

#### (振とう回数の決定)

オレイン酸の場合、振ったときの様子として、30回までは鈍い音がして混ざっていないようだったが、50回以上振とうすると鈍い音はなくなり、白く濁ったのが確認できた。画像を比較した結果、解析に適した大きさと数がそろっている10×4倍に顕微鏡の倍率を決定した。30回までは溶液を流し込んだ直後から会合が見られ、実験には不都合だった。70回と100回ではウォータードロップが小さすぎて解析が困難であった。以上の結果から一旦は振とう回数を50回に決定して実験を始めた。しかし、50回でも会合が激しく起こったため、100回に変更した。しかし、100回では前述したようにウォータードロップが小さかったこと、暖房の影響で室温がこれ以上上昇すると観察が困難になると予想されたことから、70回とし、これを最終決定とした。ここまでで実験した、50回、70回、100回を比較すると、やはり会合が見られた50回は少し傾向が異なり、0.5/secの縦横比が跳び抜けて大きかった。

グリセリンは、オレイン酸より粘度が高いため振とうしても混ざっている感じがしなかった。振とう後も溶液は透明なままで、わずかに分離していた水と界面活性剤が乳化したのは確認できたが、気泡が入っただけのようにも見えた。30回では会合がみられた。画像4-12からわかるように70回と200回ではあまり大きな違いが見られなかった点と、オレイン酸を70回に決定した点もふまえて、グリセリンの振とう回数も70回に決定した。

流動パラフィンも、グリセリンほど粘度が高くないためか乳化もしやすく、数回の振とうだけで白濁し、乳化が確認できた。会合は10回するときのみ見られた。30回と70回ではあまり大きなちがいが見られなかった点と、O/Wエマルションのオレイン酸が30回だった点から流動パラフィンの振とう回数は30回に決定した。

グリセリンと流動パラフィンの振とう後の試験管内の様子を比較すると、グリセリンは振とうさせても透明なままであったが、流動パラフィンは乳化して白濁している様子がわかる。

#### (せん断速度の影響)

図5、図6、図7にせん断速度による影響を示す。

解析の結果、回転時は静止時より傾きが高く縦長であった。回転停止後は静止時の値までもどっていたため、ウォータードロップの形状が元に戻っていたことがわかる。実験時はせん断速度の上昇と共にカメラでとらえにくくなり、ピントが合わなくなる。ピントがぼやけると解析できなくなるため、その限界の速度を探った。その結果、解析できる限界のせん断速度はオレイン酸が1.8/sec、グリセリンが0.2/sec、流動パラフィンが0.05/secであった。オレイン酸は、0.1/secの縦横比の変化が小さく、動きが活発になるのは、0.3/sec以降であると予想された。

せん断速度は、実験日が異なってもほとんど変わらなかったことから、本実験の値が正確なものと

言える。

#### (温度の影響)

図8に温度による影響を示す。

オレイン酸を用いて、室温に合わせた25°Cと、ある程度の違いが出ると予想し決定した40°Cを比較した。温度が高いと粘度が低下してウォータードロップ全体の動きが活発になることから、せん断速度は25°Cの方が速い速度まで見られると予想したが、結果は25°Cが1.8/sec、40°Cでは4.0/secで、予想とは逆であった。両者とも、回転時が静止時の場合より縦長になっていた。また、回転停止後は静止時の値まで縦横比がもどっていたため、ウォータードロップの形が元に戻っていたことがわかった。

25°C、40°C、どちらの場合も速度と縦横比には比例関係が見られず、最も縦横比が大きくなる速度があることが確認できた。25°Cでは0.5/sec~0.8/sec付近、40°Cは0.5/secと2.0/secである。それ以上の速度でも山が認められることが予想されることから、ウォータードロップが変形しやすい速度が複数存在し、さらにその波も複数存在するようであり、流速とウォータードロップの変形には複雑な関係があると判断された。モニタ画面上でも、見やすい速度と見づらい速度があったことから、この予想はある程度裏づけられたと言える。

#### (油の種類による影響)

オレイン酸、グリセリン、流動パラフィンともに、縦横比は静止時の状態より回転時が縦長になる傾向が見られた。回転停止後は、静止時の値までもどっていたため、ウォータードロップの形が元に戻っていたことがわかる。また、O/WエマルションよりもW/Oエマルションは粘度が低い分、ウォータードロップの形は元に戻りやすいと判断された。

#### (入れ替えのタイミング)

図9に溶液の入れ替えのタイミングによる影響を示す。

これは、溶液を入れるタイミングが縦横比に影響を与え、値が変化するという予想から行った確認実験である。オレイン酸で、1.0/secで入れ替えた場合と、1回ごとに入れ替えた場合を比較した結果、どちらも縦横比の値が高くなる山がグラフに見られた。すなわち、入れ替えるタイミングは実験結果に影響を及ぼさないことが証明された。

### 3-3. まとめ

O/Wエマルション、W/Oエマルションとも、オレイン酸を用いた場合10×4倍が観察に適していた。しかし、O/WよりW/Oの方がエマルション粒子の輪郭がはっきりして解析しやすかった。同じ条件でもエマルション粒子の大きさは異なり、オレイン酸の場合は、O/Wの方が少ない振とう回数でエマルションが安定した。

振とう回数は、少なすぎると会合してしまうため、最低でも30回は必要だった。また、回転時縦長になる傾向が見られた。回転停止後は静止時の状態まで縦横比が戻ることから、一度縦長に形を変えるが、再びもとの形へ戻ることが分かった。さらに、温度が高い方が顕微鏡でとらえやすく、そのためせん断速度も速めることができた。縦横比の増加も温度が高い方が大きかった。最も大きな特徴として、エマルション粒子には変形しやすいせん断速度が存在することが上げられる。40°Cの場合には特に顕著に現

れた。O/W, W/Oどちらの場合も、25°Cと40°Cのグラフを比較すると0.1/secまではほぼ同じ値であるのに、0.5/secから急激に変化する。エマルション粒子に変化をもたらすせん断速度は0.5/sec以降と考えられる。

O/Wエマルションの場合、25°Cの条件でカメラがとらえることのできるせん断速度は0.5/secで、せん断速度が上がるほど縦横比も増加傾向を示した。40°Cの条件でカメラがとらえることのできるせん断速度は0.8/secで、オイルドロップが好むせん断速度は0.4/secと0.7/secの2ヶ所であった。

W/Oエマルションの場合、オレイン酸を用いて実験すると25°Cの条件でカメラがとらえることのできるせん断速度は1.8/sec、40°Cの条件では4.0/secであった。どちらの温度でも、せん断速度のなかにウォータードロップが変形しやすい値が存在し、25°Cでは0.5/secと3.0/sec付近の2ヶ所、40°Cでは0.5/secと2.0/secの2ヶ所確認できた。油性物質を変えた場合では、グリセリン、流動パラフィンとも、10×10以外は見られなかった。カメラがとらえることのできるせん断速度はグリセリンが0.2/sec、流動パラフィンでは0.05/secだった。また、粘度が高く、多くのせん断速度を調べることができなかったため、この2種類ではウォータードロップの変形しやすい速度までは確認できなかった。

今後行うべき実験として、次の7つが考えられた。

- ① 40°Cより高温（60°Cなど）
- ② 界面活性剤の濃度を変える
- ③ 界面活性剤の種類を変える
- ④ エマルション粒子が何秒で静止の状態に戻るのか調べる
- ⑤ 10×10倍で40°C
- ⑥ O/Wエマルションで溶液を1回ごとに入れ替える
- ⑦ O/Wエマルションで油性物質を変える

オレイン酸

25°C

30回

9/24.29

	静止	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
10×4倍	0.980	1.004	0.994	1.030	1.174	1.078
10×10倍	0.963	1.081	1.075			

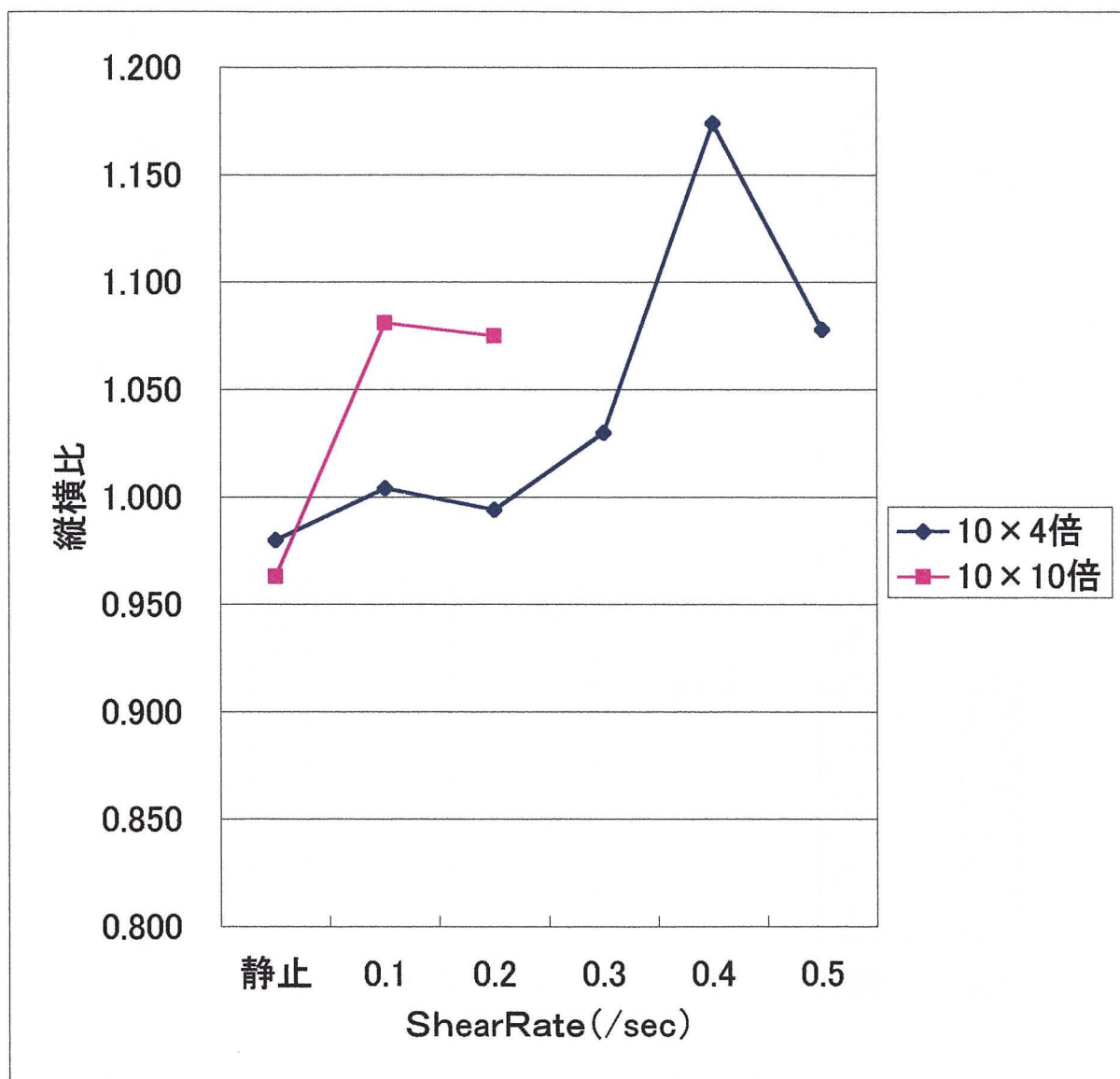


図 1

顕微鏡の倍率と縦横比の関係 [O/W]

オレイン酸

4倍

25°C

0.1/sec

9/5.8

振る回数	10回	20回	30回	50回	70回	100回
縦横比	1.001	0.992	0.991	0.998	1.034	1.028

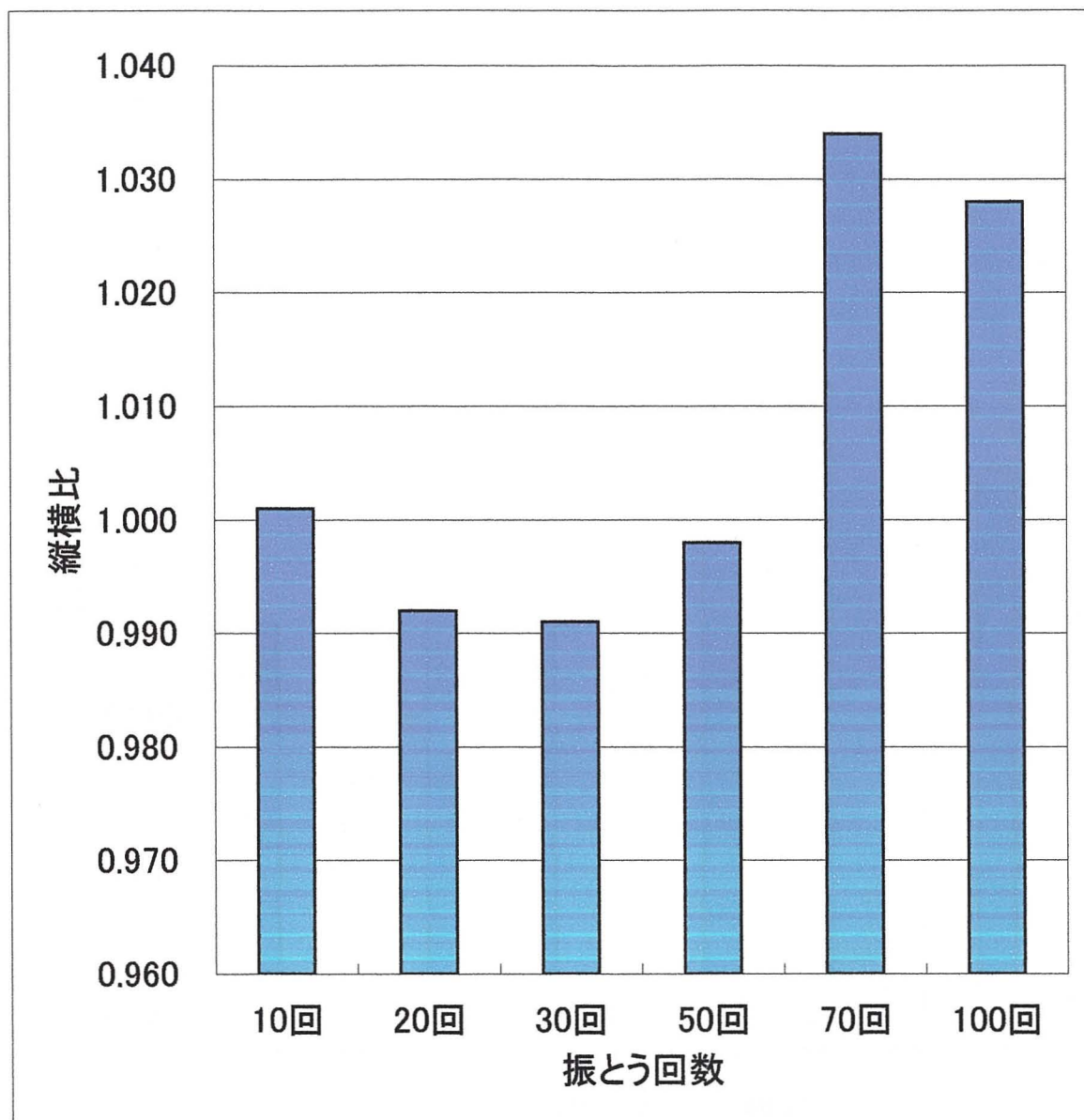


図 2

振とう回数と縦横比の関係 [O/W]



	静止	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	停止後
縦横比	1.019	1.033	1.152	1.220	1.525	1.304	1.336	1.640	1.218	1.031

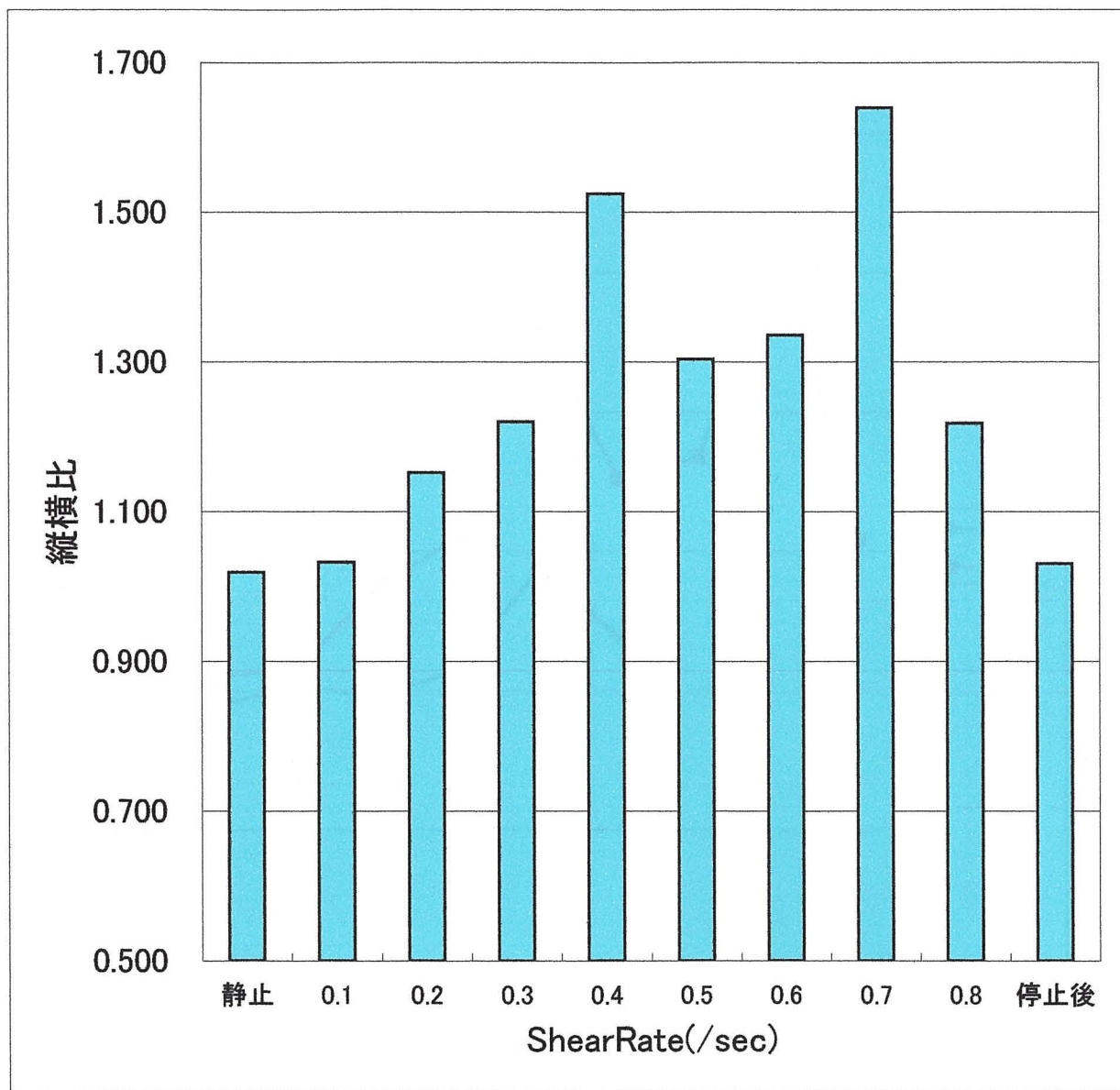


図 3 せん断速度と縦横比の関係 [O/W]

	静止	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
25°C	0.980	1.004	0.994	1.030	1.174	1.078			
40°C	1.019	1.033	1.152	1.220	1.525	1.304	1.336	1.640	1.218

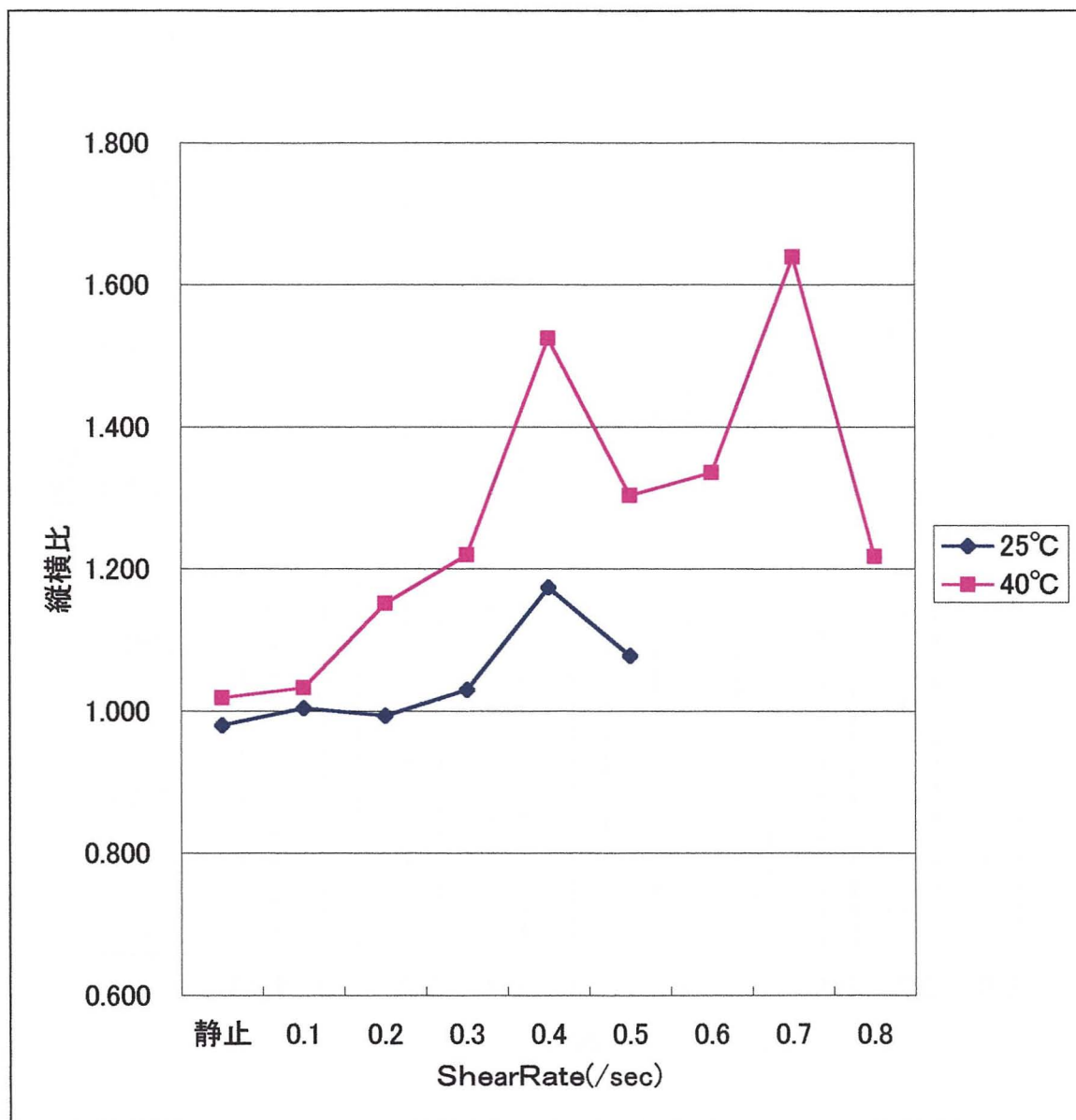


図 4 温度と縦横比の関係 [O/W]

	静止	0.1	0.5	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
縦横比	1.011	1.024	1.165	1.058	1.030	1.090	1.136	1.112	1.010	1.068	1.098

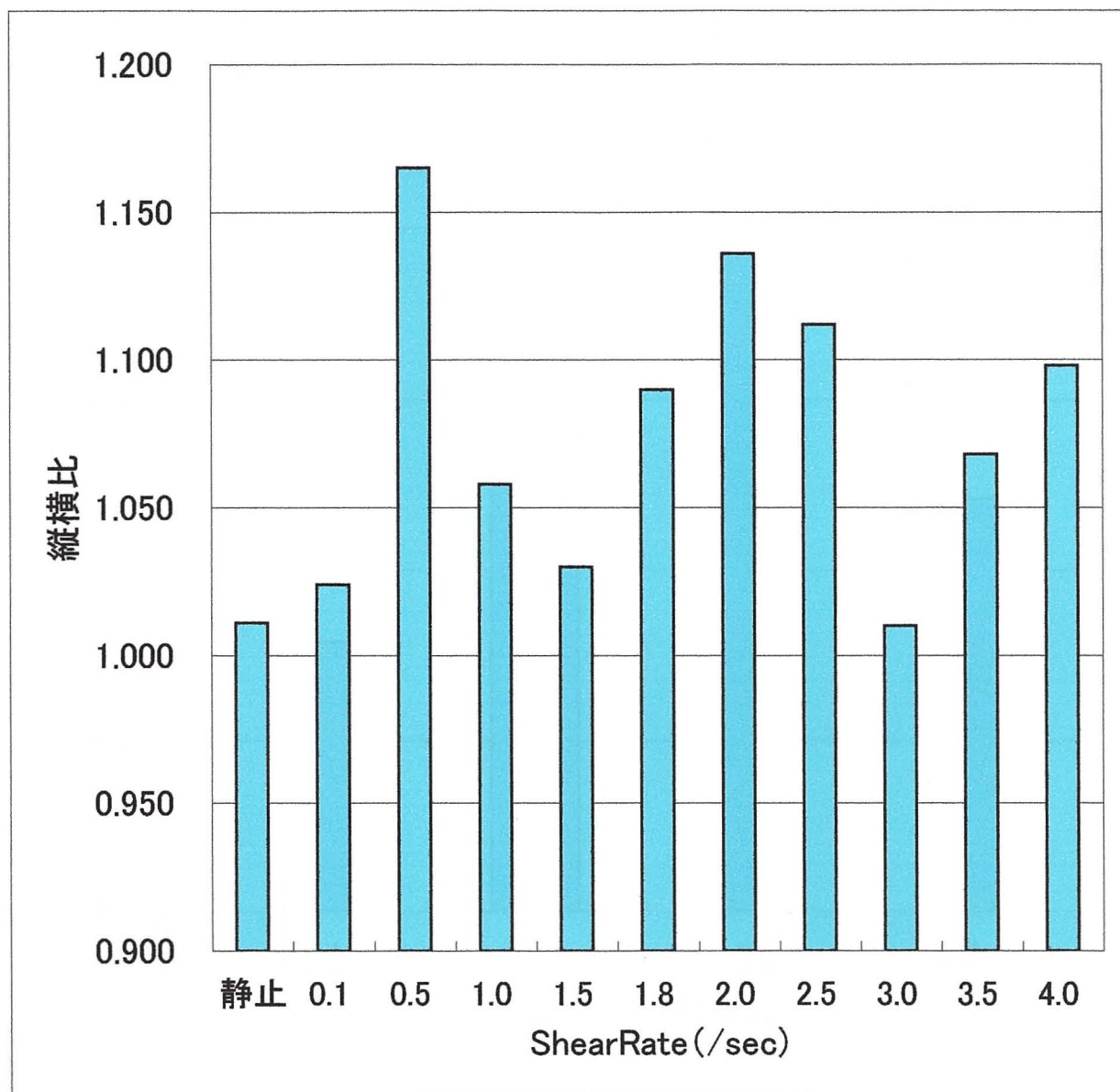


図 5

せん断速度と縦横比の関係 [W/O]

	静止	0.1	0.2	停止後
縦横比	1.029	1.114	1.156	1.071

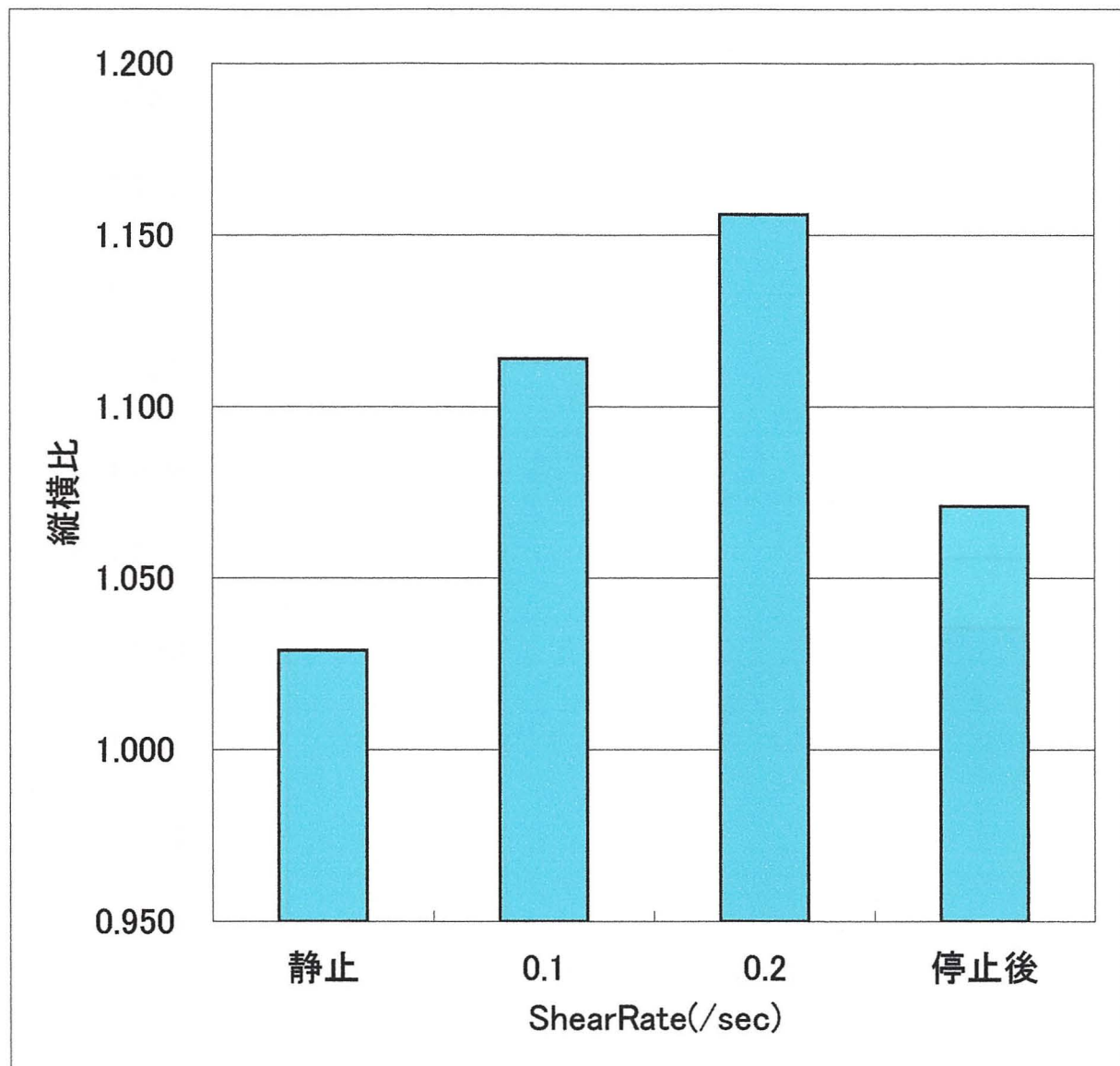


図 6

せん断速度と縦横比の関係[W/O]

	静止	0.01	0.05	停止後
縦横比	1.034	1.082	1.131	1.025

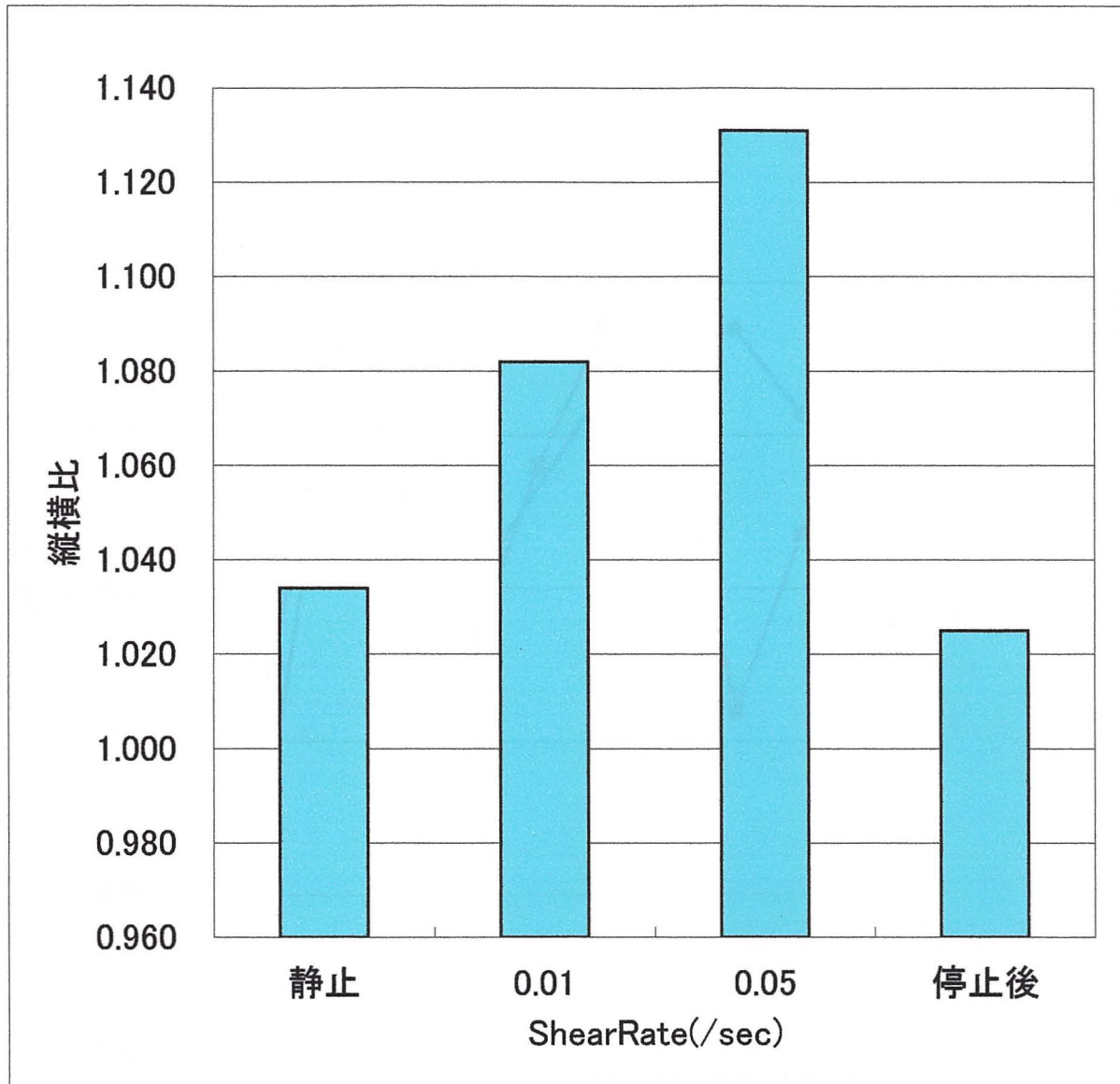


図 7 せん断速度と縦横比の関係 [W/O]

オレイン酸

4倍 70回

11/23. 1/7

	静止	0.1	0.5	1.0	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
25°C	0.993	0.995	1.129	1.079	1.052		1.115		1.135	1.107	
40°C	1.011	1.024	1.165	1.058	1.030	1.090	1.136	1.112	1.010	1.068	1.098

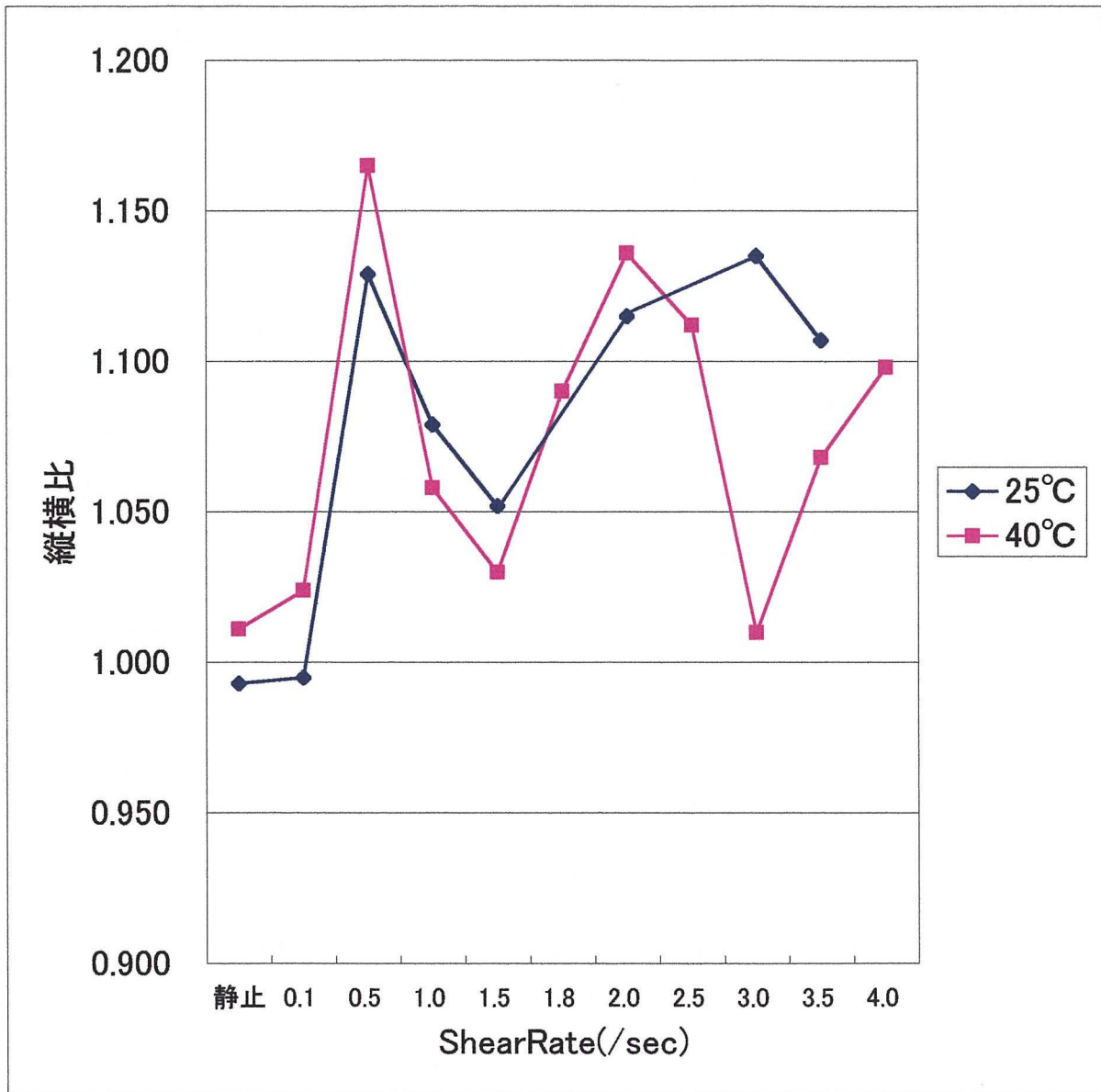


図 8

温度と縦横比の関係 [W/O]

オレイン酸

4倍

25°C

70回

11/23. 12/25

	静止	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8
1.0/secで入れ替え	1.012	1.013		1.088	1.084	1.152	1.079	1.081	1.073	1.129
1回ごとに入れ替え	1.028		1.048		1.130	1.178	1.077		1.153	1.118

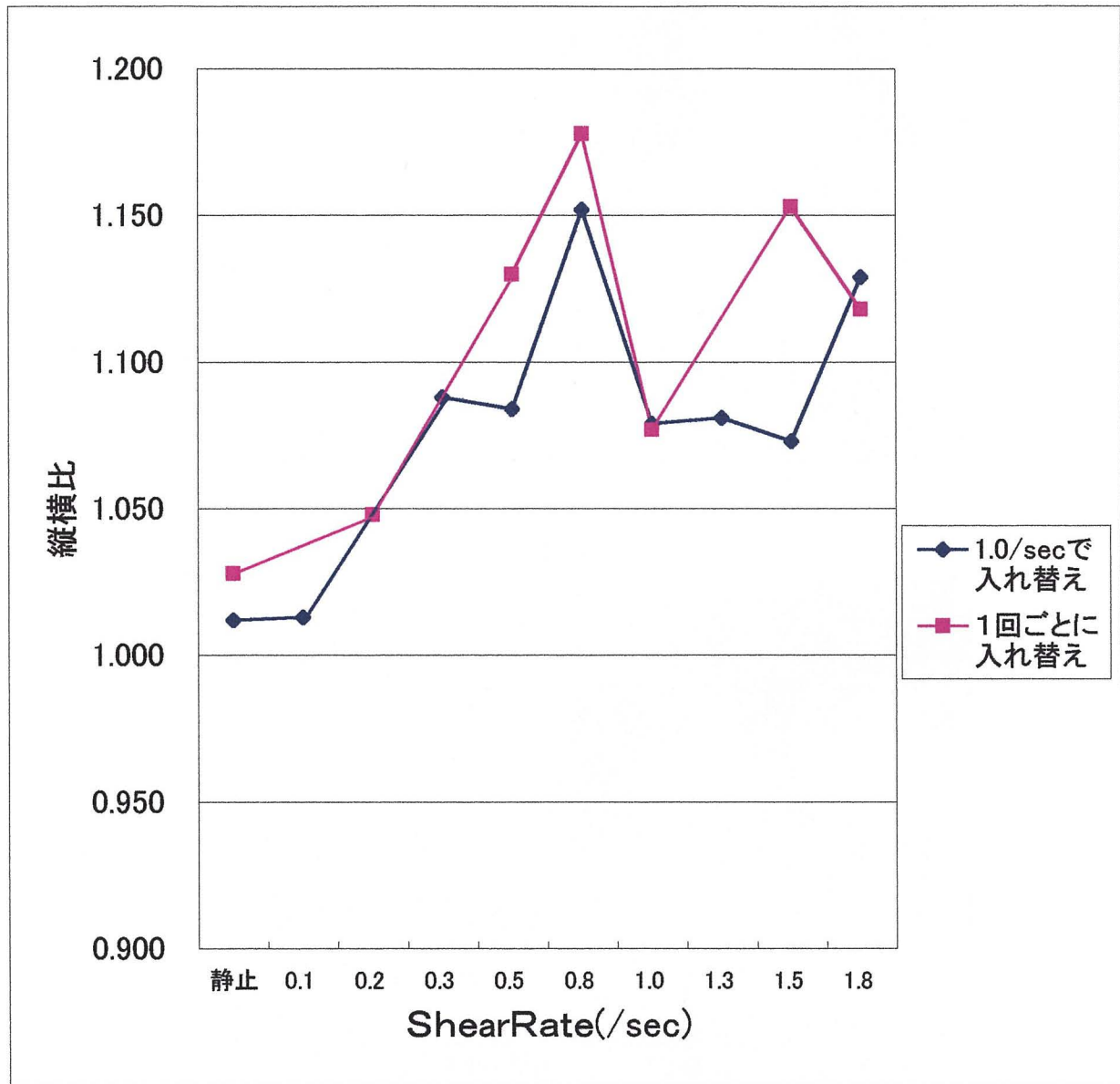
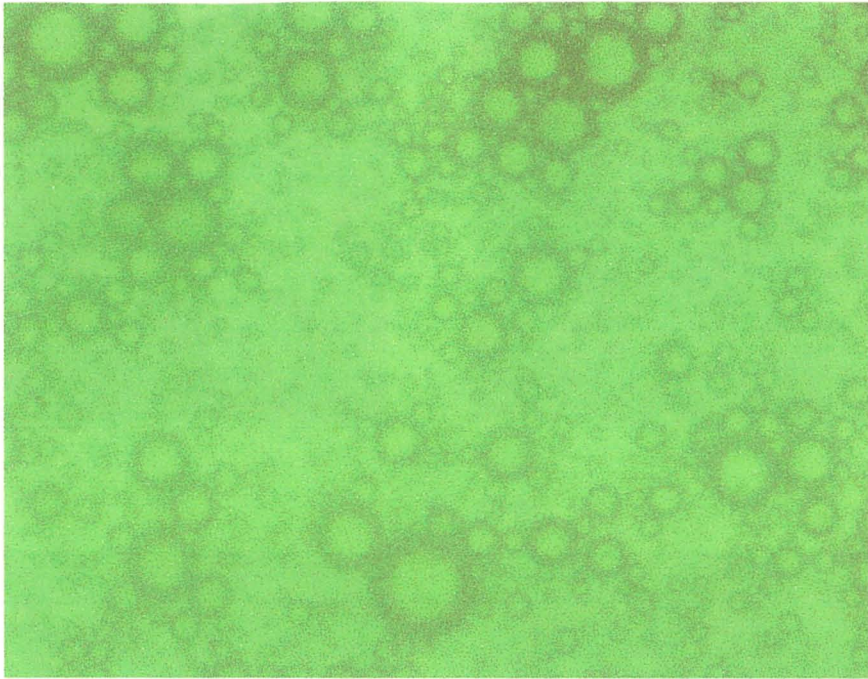


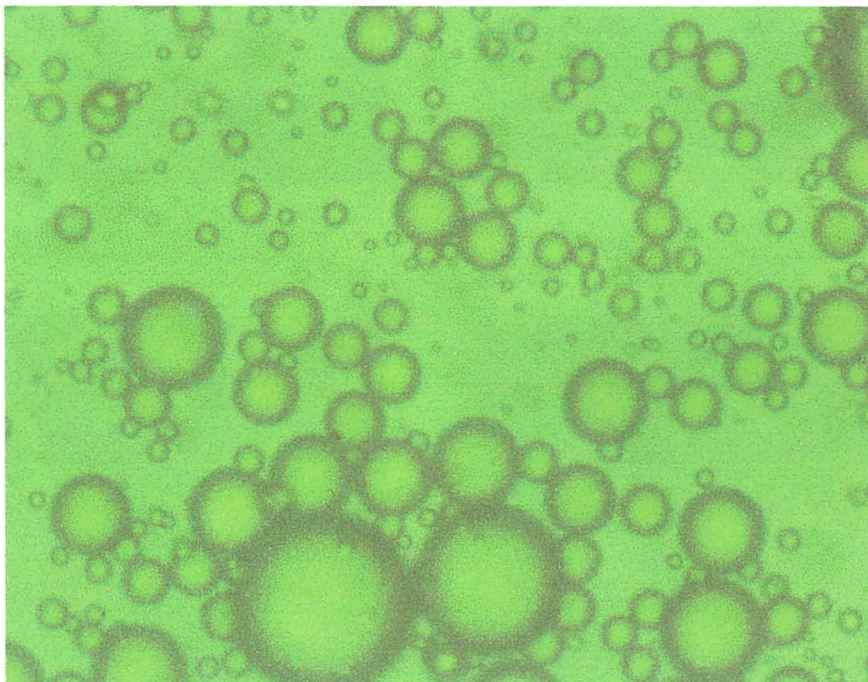
図 9 入れ替えのタイミングによる影響 [W/O]

オレイン酸 30回 25℃ 静止

4倍



10倍

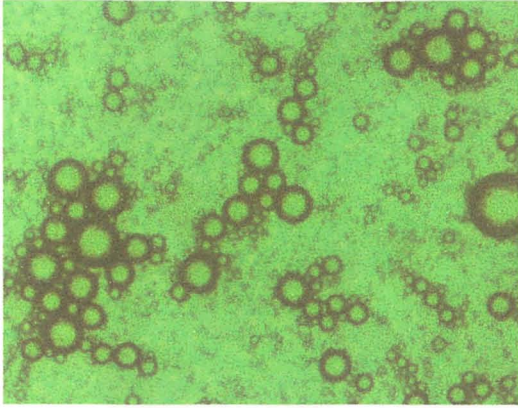


画像 1 顕微鏡の倍率による影響[O/W]

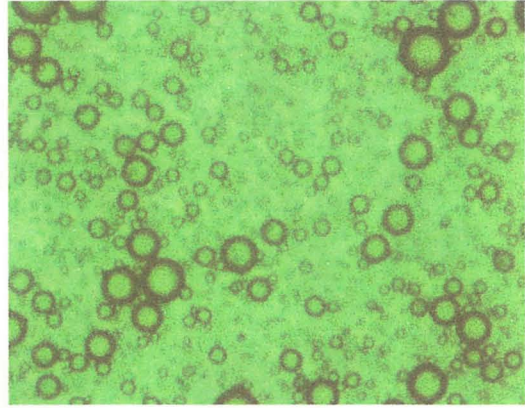


オレイン酸 4倍 25°C 0.1/sec

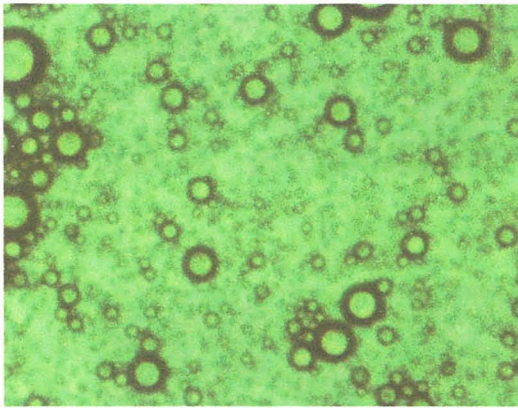
10回



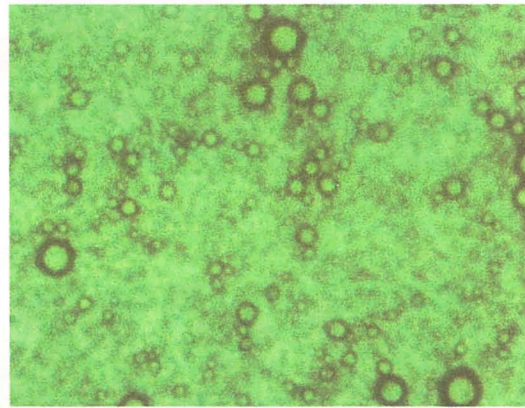
20回



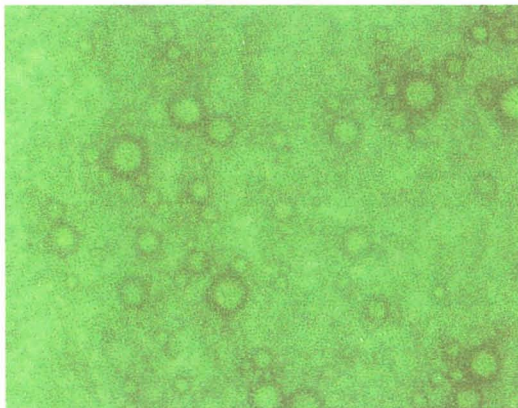
30回



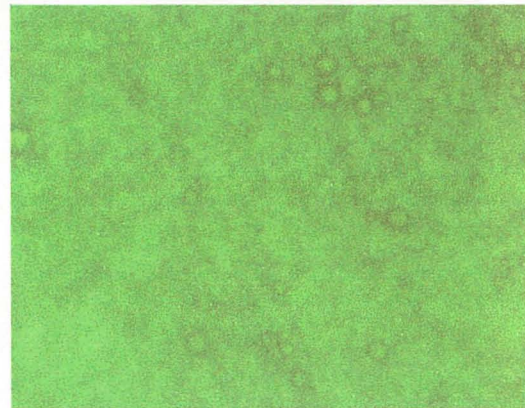
50回



70回

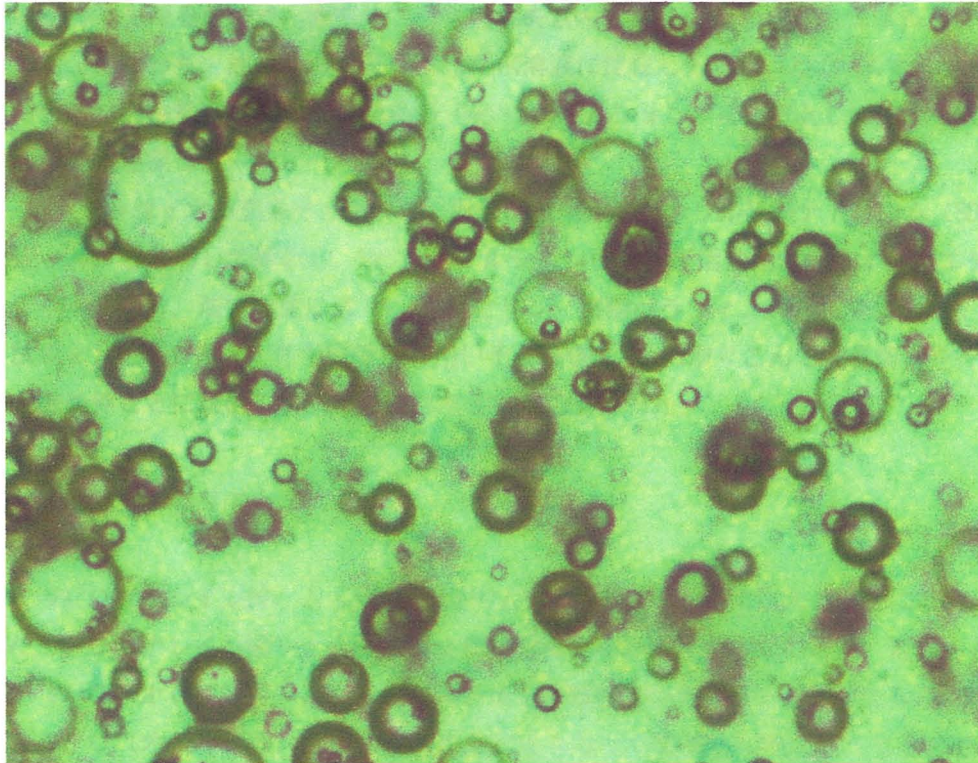


100回

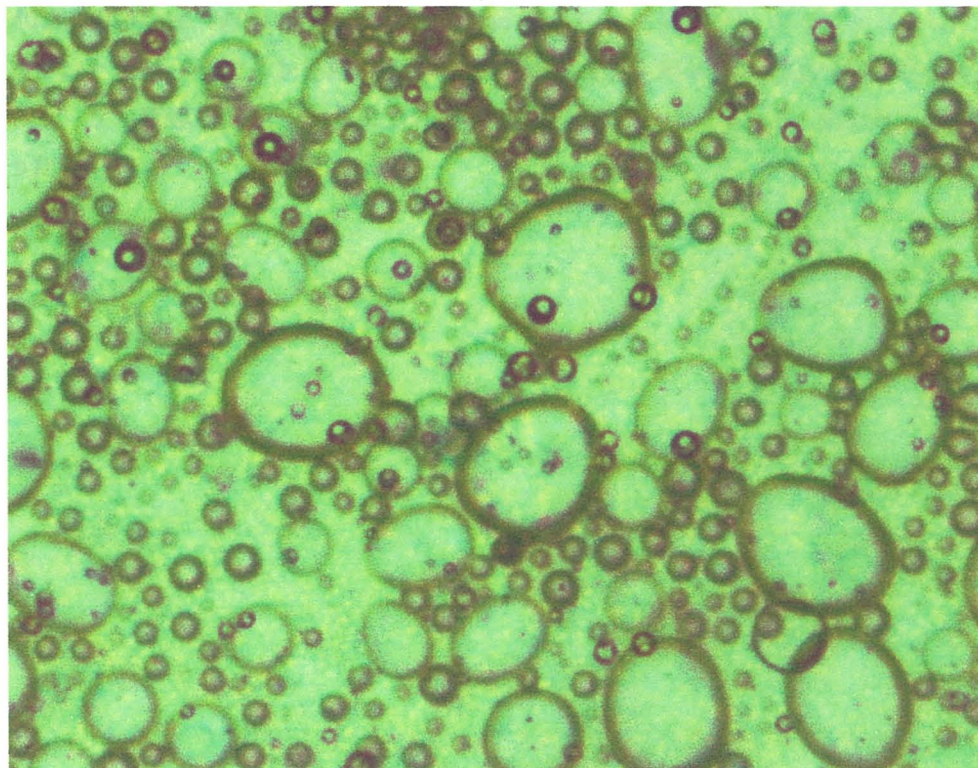


画像 2 振とう回数による影響 [O/W]

オレイン酸 4倍 25℃ 100回  
静止



回転後



画像 3 焦点深度による影響—同じピントの場合—[W/O]

#### 4. 総括

洗浄液の流動特性を探る目的で、本研究は特に汚れを含んだ洗浄液を想定したエマルションに着目して実験を行った。すなわち、油性物質が界面活性剤水溶液に混在した状態（O/Wエマルション）、および水が界面活性剤油性物質溶液に混在した状態（W/Oエマルション）を対象として、せん断流動下における流れ挙動の特徴を探った。

O/Wエマルションはイオン交換水を用いて、界面活性剤にはラウリル硫酸ナトリウム（SDS）、油性物質オレイン酸（OA）を添加して調製し、W/Oエマルションは、界面活性剤にポリオキシエチレン(4)ラウリルエーテル（AE(4)）、油性物質にはOA、グリセリン、流動パラフィンの3種を用い、イオン交換水を添加して試料とした。さらに、光学顕微鏡を用いその画像をPCに取りこんで画像解析を行い、縦横比を算出して実験条件ごとに比較し、流動挙動に与える要因を探った。

得られた結果は以下の通りである。

- ① O/W, W/O（オレイン酸）とも回転流動時は流れに沿って縦横比は大（縦長）になる。
- ② O/W, W/O（オレイン酸）とも回転停止後は縦横比が静止時の値にもどり、形ももどる。
- ③ O/W, W/O（オレイン酸）とも温度が高いほうが縦横比が大になり、縦長になる傾向が強い。
- ④ O/W, W/O（オレイン酸）とも速度の増加にともなって縦横比も順に大になるのではなく、速度によってエマルション粒子の変形が活発になるせん断速度とそうでないせん断速度が存在し、グラフは波のような形状を示した。最もエマルション粒子の変形が活発だったせん断速度は、O/Wでは40°Cで0.4/sec, W/Oでは25°Cで0.5/secと3.0/sec, 40°Cで0.5/secと2.0/secであった。
- ⑤ グリセリンと流動パラフィンをを用いて調製したW/Oでは、両者とも回転流動時は流れに沿って縦長になり、せん断速度が速くなるにつれ縦横比も大きくなった。また、回転停止後はもとの形へもどった。