

令和元年9月28日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870211

研究課題名(和文) エマルジョンフォームのブロッキング現象の解明

研究課題名(英文) Study of blocking effect inside emulsion foams

研究代表者

吉武 裕美子 (YOSHITAKE, YUMIKO)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80453794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：生クリーム等で代表されるエマルジョンやサスペンションを用いたフォームは、界面活性剤、水、空気からなる一般のフォームに比べ桁違いに寿命が長い。泡の寿命は泡と泡の間のプラトー境界における排水が律速となっているが、エマルジョンフォームではここにエマルジョンのドロップレットが詰まるため排水が阻害され、長寿命が達成されると考えられる。

毛管をプラトー境界に見立てたモデル実験を行ったところ、ブロッキングは粒子同士が単純にすれ違いなくなるために生じるのではなく、粒子とその周りの流体の相互作用によるレイリーテイラーの不安定性によるものが強いと考えられることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、エマルジョンやサスペンションのフォームの寿命をコントロールすることを主眼に進められ、粒子が液体中に懸濁したサスペンションを管に閉じ込めたときに生じる挙動を調べたものである。このような系はフォームの中だけでなく、小麦粉やコンクリートの輸送など、サスペンションや粉体をパイプで輸送する際にも生じるものである。本研究によって工業的にも重要な知見を得ることにつながると期待できる。

研究成果の概要(英文)：The blocking effects plays an important role in form stability. The stability of emulsions foams are several orders of magnitude longer than simple foams which is made from water, air and surfactants, and are controlled by drainage at Plateau borders.

Because the emulsion droplets are blocked the drainage at Plateau borders, the form stability of emulsions are so long.

We investigate the blocking effect of suspensions inside capillary tubes as a model of Plateau borders. It would not be affected by the jamming effect, but would caused by Rayleigh-Taylor instability. The results offer a new insight to the old problem of stability of emulsion foams.

研究分野：ソフトマテリアルの物理学

キーワード：フォーム ブロッキング現象 プラトー境界

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生クリームのような、油滴を含むエマルジョンで形成されたフォームは、界面活性剤、水、空気からなる一般のフォームに比べて桁違いに寿命が長い。泡の寿命の長短はバブルとバブルの間にできるプラトー境界における排水で決まるが、エマルジョンのドロップレットはこの排水を阻害するため長い寿命を実現できていると考えられている。寿命の長さは、ホイップクリーム、ムース等の食品のほか、断熱材、軽量コンクリート等の工業製品への応用には大きなメリットであるが、逆に工業ラインにおいてはデメリットとなる場面が多くある。

エマルジョンドロップレットの動きは大きく分けてクリーミング現象、ブロッキング現象、粒子同士の衝突の3つに分類できる。これまで、エマルジョンおよびサスペンションをサンプルとし、毛細管をプラトー境界に見立てその内部の挙動を観察する独自の手法により、クリーミング現象が毛管の閉じ込め効果により加速されること、細い毛管ではクリーミング速度が遅くなり、ブロッキング現象が現われることを発見した。

2. 研究の目的

本研究では、プラトー境界におけるクリーミング現象、ブロッキング現象、粒子同士の衝突の3つの現象のうち、「ブロッキング現象」に着目する。ブロッキングがどのような条件下で生じ、どのようなメカニズムで解消するかを明らかにすることを目的としている。この現象はエマルジョンだけでなく、固体粒子懸濁液であるサスペンションでも観察されている。エマルジョンフォームの安定性だけでなく、粉体のジャミングにも着目し、総合的な理解を得る。

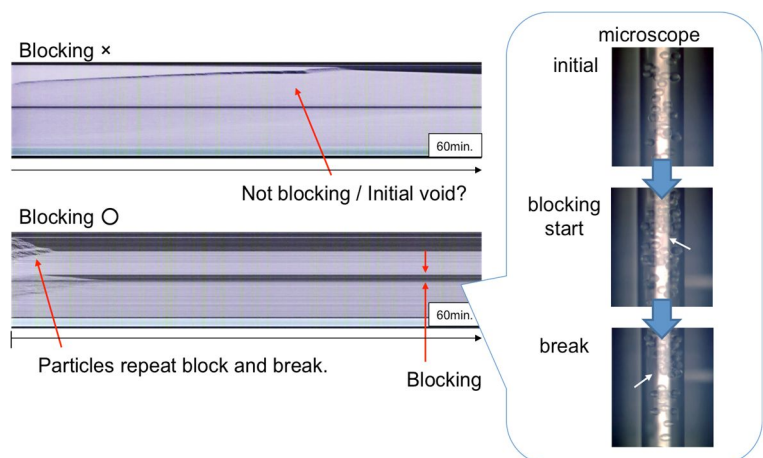
3. 研究の方法

実際のフォームにおけるプラトー境界は不安定で観察がむずかしいため、本研究ではガラスの毛細管をプラトー境界に見立てて実験を行う。現象を単純化するため、サイズの揃えやすい粒子を用いてサスペンションを作成し、それらの毛細管内における沈降挙動を顕微鏡やデジタルカメラで観察する。ブロッキング現象は単純に管の太さと粒径で決まる訳ではなく、粒子間の距離が狭くなり粒子もすれ違えない場合に生じる。毛管内で生じる粒子同士の衝突、大小の粒子の挙動の違い(大きな粒子間の隙間に小さな粒子が入り込む、隙間をすり抜ける)を明らかにすることがこの現象解明の鍵となる。録画した画像の中の縦1pxを時系列に並べると、図1のようなタイムスペースチャートが得られる。これよりブロッキングの有無を判断し、顕微鏡で粒子の挙動を観察する。

4. 研究成果

(1) 単分散粒子におけるブロッキング現象

数 μm 程度のサイズの粒径の揃ったポリスチレンビーズを用い、単分散の懸濁液を用意し、ブロッキング現象を観察した。低濃度(10vol%)懸濁液では、粒径 d と毛細管 D の比(D/d)が3以下となるとブロッキング現象が生じる。40vol%の高濃度では、 $D/d < 9$ でブ



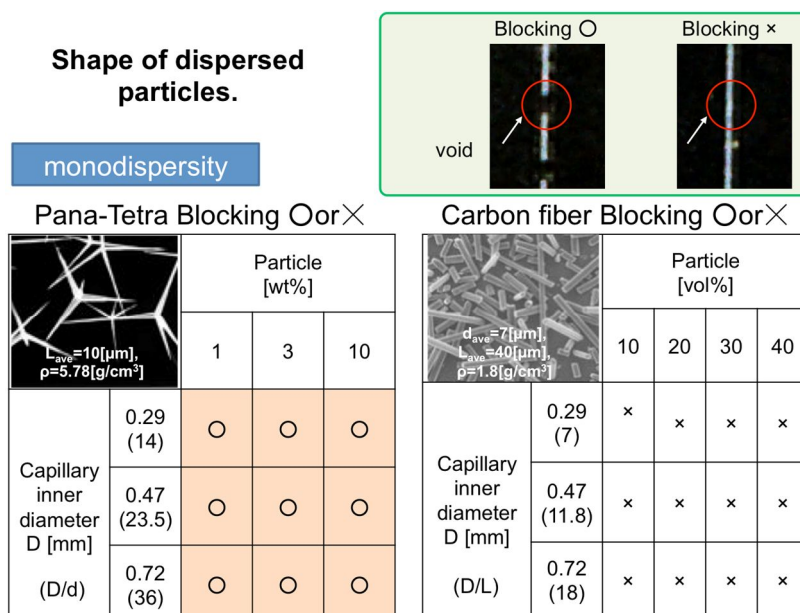
ロッキングが生じる。ブロッキング現象は単純に粒径だけで決まるものではなく、濃度が関係していることが分かった。粒子同士の衝突や、粒子が沈降しすれ違う際に押しのける流体の効果によるものが大きいと思われる。濃度と粒径の間に相関があることから、ブロッキング現象を生じさせる特徴的なサイズLが定義できる。

(2) ジャミング効果とブロッキング現象

大小様々な粒子が混ざっていることでジャミングによる粒子の詰まり、小さな粒子のすり抜けによるブロッキングの解消が予測できる。これらを確認するため、単分散の数種類の粒子を混合して粒子の分散性を調整した溶液を試料に用いた。サイズが2倍異なる粒子を低濃度で分散させたとき、ブロッキングは単分散でも生じるようになった。多分散系は単分散よりもブロッキングを引き起こしやすい。現象は粒径dの大きなものが支配すると考えられたが、単純ではなく、混合した粒径の比および濃度に依存している。ジャミングとの相関も見られるため、粒子1つ1つに着目し、その周りの流体の流れを明かにする必要がある。

(3) 粒子形状とブロッキング現象

球形の粒子ではなく、テトラブロックのような形状の粒子(パナテトラ)や棒状粒子(カーボンファイバー)を用いてブロッキング現象を観察すると、パナテトラは低濃度であっても、粒径が毛細管に対して十分に小さくてもブロッキング現象を生じる。他方、棒状粒子は高濃度、大きな粒子であってもブロッキング現象は生じない。棒状の粒子は周囲の流体の流れによるパッキングで、粒子が毛管の中央に集まり、流体は外側を流れていく。このためにブロッキングが生じにくいと考えられる。複雑な形状のパナテトラは粒子周囲の流れを複雑に変化させるため、沈降速度も遅く、ブロッキングが生じやすいと考えられる。



な粒子であってもブロッキング現象は生じない。棒状の粒子は周囲の流体の流れによるパッキングで、粒子が毛管の中央に集まり、流体は外側を流れていく。このためにブロッキングが生じにくいと考えられる。複雑な形状のパナテトラは粒子周囲の流れを複雑に変化させるため、沈降速度も遅く、ブロッキングが生じやすいと考えられる。

サスペンションと毛細管を用いた実験系での粒子沈降挙動は、固体粒子の動きだけでなく粒子の周りの流体と強い相関があると考えられる。ブロッキングは粒子同士の単純な”すれ違い”によって生じるのではなく、レイリーテイラーの不安定性によるものであると考えられる。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 4 件)

1. 杉原 幸信, 青木 翔, 吉武 裕美子, 高橋 勉、繊維懸濁液の流動配向による粘度異方性の

発現、日本機械学会 2014 年次大会 2014

2. 杉原幸信, 青木翔, 花崎恭平, 吉武裕美子, 高橋勉、繊維分散懸濁液の流動配向による流動特性の変化、第 62 回レオロジー討論会、2014

3. 松村彩可, 吉武裕美子, 高橋勉、懸濁液の毛管現象による細管内上昇流に関する研究、第 63 回レオロジー討論会 2015

4. 西川祐豊, 松村彩可, 吉武裕美子, 高橋勉、粒子分散系流体の毛管上昇現象に及ぼす粒径および濃度の影響、第 64 回レオロジー討論会、2016

〔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：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名： Dominique Langevin 教授(パリ11大学)、Anniina Salonen 助教(パリ11大学)

ローマ字氏名： Dominique Langevin、Anniina Salonen

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。