

令和元年6月14日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05757

研究課題名(和文)液体架橋のせん断における界面すべりの起因

研究課題名(英文) Interfacial Slip on Sheared Liquid Bridge

研究代表者

田中 健太郎 (Tanaka, Kentaro)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：60359693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：液体架橋のせん断における固液の界面のすべりと摩擦力の影響を明らかにするために、固液の界面の濡れを精密に測定できる実験装置を開発した。またその動力学を解析するために気液界面の大変形を追跡可能な数値シミュレータを開発した。干渉縞の観察を利用した実験装置は従来の装置では測定が難しかった接触角が1度以下の薄い濡れ界面の測定を可能にした。粒子法を用いた数値シミュレータは、液体架橋のせん断変形から破断までを解析可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した実験装置と数値シミュレータは、ともに従来の方法では扱うことが難しかった対象を測定可能、解析可能にしたものである。干渉縞を利用した実験装置は、非常に薄い濡れ膜の濡れ界面位置の判定と非常に小さな接触角の同時測定を実現した。粒子法を利用した数値シミュレータは、従来の格子法に基づく計算手法では難しかった気液界面の大変形を伴う流動を解析可能とした。

研究の対象とした二面間に挟まれた液体架橋による摩擦メカニズムだけでなく、工業的にはより関心の高い流体潤滑の発展に寄与できる研究となった。たとえば、従来は測定・解析することが難しかった、油膜切れを伴う枯渇潤滑などを対象にできうる手法が得られた。

研究成果の概要(英文)：To reveal effects of an interfacial slip on frictional behavior of a sheared liquid meniscus bridge, experimental apparatus which can detect the interfacial wet precisely is developed. And, to analyze a mechanism of the interfacial slip, numerical simulator which can trace fluid dynamics with large deformation of liquid-air interface is developed.

The experimental apparatus with an interference fringe method allows precise detection of wet line, and measurement of contact angle of below 1 degree. The numerical simulator by using particle-based method allows simulation of shearing liquid bridge with large deformation.

研究分野：トライボロジー

キーワード：液体架橋 毛管現象 メニスカス 摩擦 表面粗さ 粒子法

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

1. 研究開始当初の背景

一定の隙間を保って相対運動を行う二面間に液体架橋が介在する場合、架橋の変形あるいは固液濡れ界面の移動による摩擦力が生じる。この摩擦力は上下面の粗さの影響を受けることが分かっている。粗さの大きな面では、濡れの移動に対する抵抗が大きい。このため上下面がともに粗い場合には、濡れの界面が移動せず、架橋が変形する。この変形に要するエネルギーが摩擦力の増加に寄与する。液体架橋がせん断されることによる摩擦作用が支配的になるような状況はそれほど多くはないが、フリップチップボンダやダイコーティング、またスキーと雪面の摩擦などにその影響を見出すことができる。

2. 研究の目的

液体架橋のせん断による摩擦力は、上下面の粗さの影響を受けることが分かっている。しかも単に粗さ大きい面の場合に摩擦力が大きくなるというだけでなく、二面の粗さに差がある場合には、上面を粗くするか、下面を粗くするかによって摩擦力の大きさが異なる。表面粗さと濡れ界面の移動の関係に上下（重力）の影響が関与していると思われる。濡れ界面の運動を詳細に研究するためには、界面の位置、形状を精密に捉える必要がある。そこで、第一の研究目的として濡れ界面の位置と、形状（接触角）を同時に測定できることを目指した測定方法の開発を行った。また第二の研究目的として、液体架橋のせん断変形を追跡できる数値シミュレータの開発を行った。

3. 研究の方法

液体架橋の濡れ界面の位置と形状（接触角）を精密に測定するために、図1のような観察系を開発した。固気界面に入射するときには全反射する、固液界面に入射するときには全反射しない角度で、界面の斜め下方からレーザ光を入射することで、反射像の明暗から濡れ界面の位置を精密に測定できる。また反射像に現れる干渉縞から、濡れ界面付近の形状（接触角）を測定することができる。

気液界面の大変形を取扱可能な粒子法を用いて液体架橋のせん断変形を追跡できる数値シミュレータを開発した。

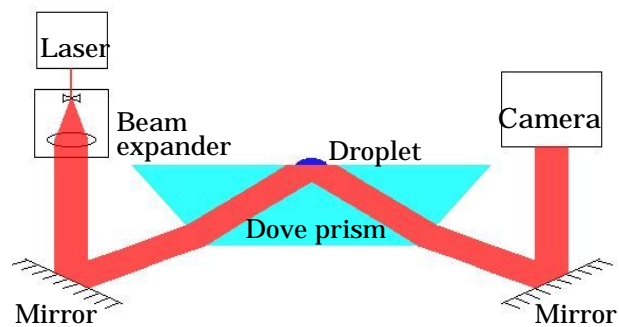


図1 斜め下方からの干渉縞による濡れ界面の計測

4. 研究成果

図2は開発した実験装置を用いて、エタノールがガラス表面を濡れ広がる様子を測定した結果である。エタノールはガラス表面に非常に濡れがよく薄く濡れ広がるため、従来の測定方法では、濡れ界面の位置と形状を精密に測定するのが困難であったが、接触角が約0.1度の濡れ挙動をよく捉えることが出来ている。この方法を用いれば、表面粗さが濡れ界面の挙動に与える影響を調べることができると期待している。

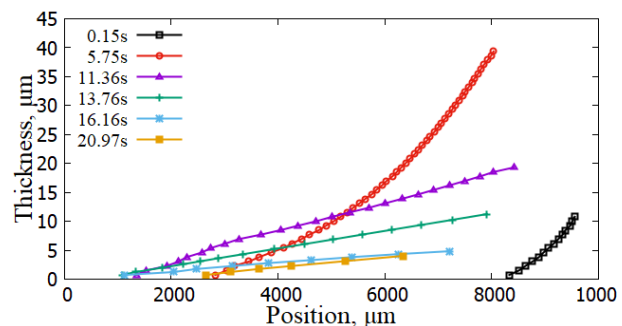


図2 ガラス表面でのエタノール液滴の濡れ

液体架橋のための数値シミュレータは、粒子法（SPH, Smoothed Particle Hydrodynamics）を用いて開発した。独自に開発した表面張力の計算手法を組み込むことで、固液の濡れを安定に解析することを可能にした。図3は、二面に挟まれた液体架橋のせん断をシミュレーションした例である。せん断の際の摩擦力の推移について、実験結果を定性的に再現する結果が得られた。また液体架橋の変形だけではなく、油膜切れを伴う流体潤滑の数値計算など従来の方法では取り扱いが難しかった対象にも適用可能な手法となった。

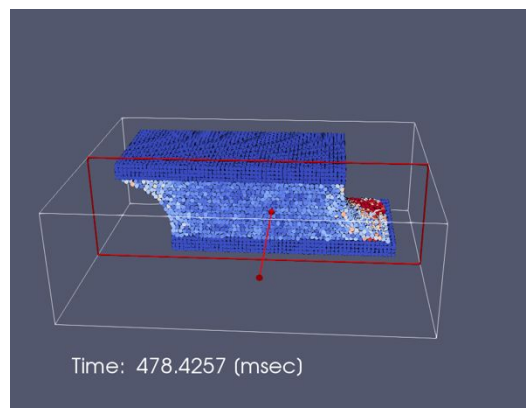


図3 粒子法を用いた液体架橋せん断のシミュレーション

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, “ Effective Shear Displacement on Lateral Adhesion Force of a Liquid Bridge between Separated Plates ”, Tribology Letters ,64,7,1-9(2016)

〔学会発表〕(計 10 件)

1. Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, “ Slippage at Liquid Solid Interface of Sheared Liquid Bridge ”, International Tribology Conference 2015 (2015)
2. Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, “ Numerical Simulation of Shearing Liquid Bridge ”, World Tribology Congress 2017 (2017)
3. He Li, Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, “ Observation of Contact Angle of Water Droplet by Fringe Method with Bottom Up Oblique Incident Light ”, World Tribology Congress 2017 (2017)「Best Poster Award 受賞」
4. 李賀, 田中健太郎, 岩本勝美, “ 干渉縞を用いた動的濡れの観察 ”, 第8回マイクロ・ナノ工学シンポジウム(2017)
5. 田中健太郎, 岩本勝美, “ 粒子法による液体架橋の形成と破断過程の数値計算 ”, トライボロジー会議(高松)(2017)
6. Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, “ SPH Simulation of Breakup Process of Stretching Liquid Bridge ”, Water on Materials Surface 2018 (2018)
7. Li Ga, Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, “ Observation of Wetting Behavior by Fringe Method ” Water on Materials Surface 2018 (2018)
8. 崔峻, 李賀, 田中健太郎, 岩本勝美, “ 毛管付着力と濡れ面の形状 ”, IIP2019 情報・知能・精密機器部門講演会(2019)
9. 李賀, 田中健太郎, 岩本勝美, “ 光干渉法を用いた濡れ挙動の観察 ”, トライボロジー会議(東京)(2019)
10. Li Ga, Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, “ Wetting process observation by optical fringe method with bottom up oblique incident laser ”, International Tribology Conference 2019 (2019.9 予定)

〔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：李 賀

ローマ字氏名：Li Ga

所属研究機関名：東京海洋大学大学院

部局名：海洋科学技術研究科 応用環境システム学専攻

職名： 博士課程 2年

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。