

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20日現在

機関番号：55301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22654048

研究課題名（和文） 薄液膜中の音速測定による膜破壊機構の解明

研究課題名（英文） Investigation of thin liquid film break with measuring sound speed in the film

研究代表者

佐藤 誠 (SATO MAKOTO)

津山工業高等専門学校・一般科目・教授

研究者番号：90413830

研究成果の概要（和文）：シャボン膜中の音速の分散を測定することにより、表面を覆う石鹸分子間の結合力と内部の液体の結合力を分離して求めることを目的とした。液膜を伝播する音波のモードとして、膜厚の変化を伴わない通常の音波モードと表面張力波の2つのモードの他に膜厚の変化を伴うモードが存在すると推測される。3番目の波について、励起に圧電セラミック素子、受信にポリマー圧電素子を用いて音速の分散を計測することを試みた。周波数掃引しながら受信信号を2位相ロックインアンプで検出して分散を計測することを計画したが、周波数のシリーズとしての検出に成功していない。検出された最低周波数から音速は、80m/s程度と推測された。

研究成果の概要（英文）：The aim of this theme is to estimate binding molecule forces between surfactant molecules and inner liquid molecules in a soap film separately, and clarify the mechanism of the thin liquid film break. For this aim measuring sound speed and dispersion in a soap film was undertaken. Mixed sound mode of surface tension wave and longitudinal wave, stimulated by a piezo ceramic in the soap film was detected with a piezo polymer. Sweeping the frequency of the sound, and using a 2-phase lock-in amplifier, the sound dispersion was tried to be measured. Series of frequency has not yet obtained successfully. From the lowest frequency obtained the sound speed of the mixed mode is estimated to be 80 m/s.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	550,000	0	550,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
年度			
総計	750,000	60,000	810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎，応用物理学一般

キーワード：液薄膜，音速，表面張力

1. 研究開始当初の背景

界面活性剤を添加した水溶液でシャボン膜を作ることができるが、水だけではシャボン膜は作れない。当たり前のことのようにあ

るが、納得できる説明は得られていない。図1に示すように、界面活性剤を混入することにより表面に界面活性剤分子が析出し表面張力が低下することの他に、図1に示すような

部分的に膜厚が薄くなることを防ぐ機構が働くことは推測される。さらに極端に薄くなると洗剤分子による2分子膜構造になり、シャボン膜が安定になると一般に説明されるが、液膜の安定性について簡単な考察を進めると疑問が生じる。厚さ t の液膜に直径 D の穴が開いたとして、 $D < t$ では穴が開くことで表面積が増えることになる。表面積の増減が系のエネルギーの増減になるので、結果として穴は自発的に閉じることになる(図2)。また、穴が自発的に広がる、すなわち液膜が壊れるにはあるエネルギー障壁を越える必要があり、その値は表面張力 γ と膜厚 t の2乗に比例する。したがって、表面張力が大きいほうが液膜は安定であることになる。必ずしも洗剤の混入による表面張力の低下がシャボン膜を作りやすくしているとは言えない。

この膜破壊に必要な閾値エネルギーは熱揺らぎ $k_B T$ のレベルよりはるかに大きく、シャボン膜は簡単には破壊されず安定であると推測される。しかしながら実際には水膜やシャボン膜は容易に割れる。

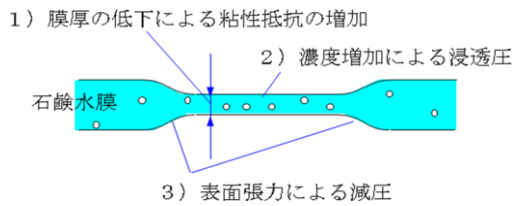


図1 シャボン液膜の膜厚安定機構

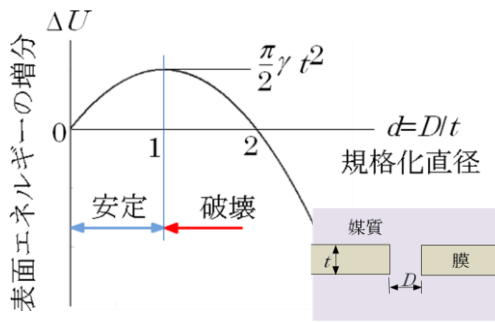


図2 膜破壊に必要な閾値エネルギー

このように、閾値エネルギーの観点からは、水でもシャボン膜でも破壊に至る違いはないことになる。シャボン膜は薄くなった極限として石鹸分子の2分子膜になるが、これが安定であることが洗剤を混ぜるとシャボン膜が容易に形成され、水だけでは膜ができない原因であろうと推測される。すなわち、2分子

膜に穴が開くときに関係する膜面に平行な方向の分子間の結合エネルギーが膜の表面エネルギーより大きいために安定と考えられる。水のように一様な液体の場合は、上記の説明のように膜が薄くなると必ず破損することになり、水だけでは液膜を安定に形成できないと推測される。

2. 研究の目的

石鹸膜の安定性を調べる目的で膜厚の時間変化を測定するのが本研究の目的である。液膜の厚さはサブミクロン以下になり、可視域の光の干渉では測定できない。本研究は、シャボン膜中を伝播する音波の音速を測定することにより、膜に沿った方向の液膜を形成する液体分子間の結合力、および液膜の厚さの時間変化を得る。それにより、液膜の安定性と破壊の機構を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

シャボン膜を伝わる波には3つのモードが存在すると推測される。1つは水中の音速と同じ通常の疎密波、残り2つは表面張力波で、ひとつは膜厚一定で表裏が同位相の横波であり、3つ目は表裏が逆位相の縦横両成分含む波である。この3番目の波は図3に示すような密度波と表面張力波が複合したモードである。1番目と3番目は同じ縦波として膜に同時に励起できるが、速度が大きく異なるので分離して計測できる。後者は表面張力波のため、波長が短いほど速度が大きくなる分散を持ち、前者は密度波のため分散は無いと思われる。

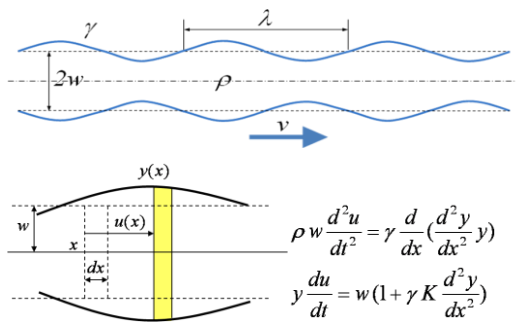


図3 密度波表面張力波複合モード

シャボン膜に発信器としてセラミックピエゾ素子を挿入し、縦波を励起し、同じく膜に挿入したポリマー圧電素子で受信する(図4)。受信した信号は2位相ロックインアンプからの x 出力最大、 y 出力最少を検出して、送受信素子間距離が波長の整数倍になる振動数を周波数掃引して抽出する。抽出された振動数

を等間隔でプロットし、次数 i を求めることで波長を決め、速度と分散を同時に求めることができる。

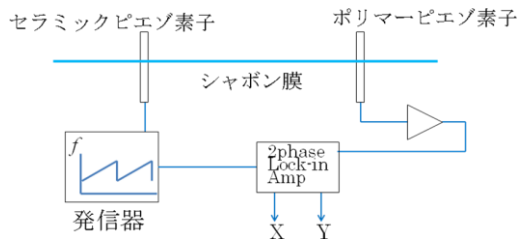


図4 測定系

4. 研究成果

シャボン膜に音波を励起して受信することを実現できた。空中を伝わる信号でないことは膜の破壊とともに信号レベルが下がることから確認できる。また、シャボン膜を保持する枠からの反射を防止する構造（枠に三角状の凹凸を設けた）が有効であることを確認できた。しかしながら、膜信号の減衰が大きいらしく高い周波数での検出が難しい。周波数のシリーズとしてロックインアンプ出力を得ることを期待したが、実現できていない。

図5は100Hzから20kHzまでを10秒間に対数スケールで周波数掃引して、受信位置で同位相になる周波数を検出するために2位相ロックインアンプのx出力とy出力を記録したグラフである。同位相では、x出力最大、y出力0となる。3.8s付近でx出力最大、y出力が0Vと交差していることから、この周波数で位相が一致していることが確認できる。この周波数を最小の周波数と仮定すると、音速は80m/s程度と見積もられ、理論から予想される値にほぼ一致する。分散を求めることが必要なので、高い周波数での信号が拾えていないことが問題である。

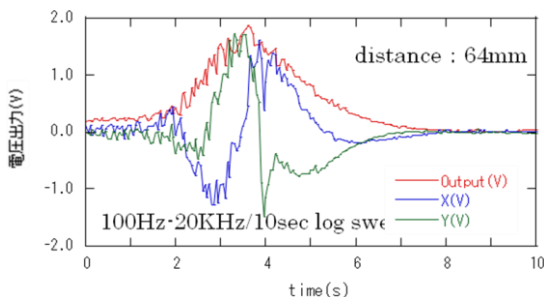


図5 周波数掃引による受信側2位相ロックインアンプ出力

受信信号を増幅して送信素子の駆動信号に加算駆動すれば、送受信素子間距離が波長

の整数倍のとき共振を生ずる。この方法であれば、減衰の大きな周波数でも検出可能になると期待できる。現在の方法でも同様だが送受信素子間の距離を変えて測定することで任意の周波数の音速を計測することができるだろう。

また、薄膜の長時間の維持に難点がある。現在、1分程度の維持しかできず、周波数を分解能良く掃引することができない。安定に計測を行うには10分以上薄膜を空中に保持できる工夫が必要である。飽和状態のチャンバー内でシャボン膜を水平に保持しているが、必要な時間、膜を維持することは難しく、新たに膜に傾斜を付けて連続的に液を供給するような形に変更することを計画している。

音響インピーダンスの整合を期待してポリマー圧電素子による受信を行っているが、なお、受信効率に問題があるかもしれない。機械的な受信から光学的な検出に変更して計測の改善を進めることも検討している。また、膜厚の同時計測を組み合わせることを次のステップとする。

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）

なし

〔学会発表〕（計1件）

①佐藤誠, シャボン膜中の音速測定, 2012年春季応用物理学関係連合講演会, 早稲田大学, 2012/3/17

〔図書〕（計0件）

なし

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

なし

○取得状況（計0件）

なし

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 誠 (SATO MAKOTO)

津山工業高等専門学校・一般科目・教授

研究者番号：90413830

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

