

近畿大学理工学部 正会員 江藤剛治
 近畿大学理工学部 正会員 竹原幸生
 近畿大学大学院 学生会員 鍋坂誠志

1. はじめに

本研究は、水表面の気体輸送を規定する素過程として気泡が崩壊する現象に着目し、可視化により、そのメカニズムを明らかにしていくことを目的としている。

例えば、風波によって水中へ取り込まれた空気は、水表面で気泡となって崩壊し、大気へ水滴を放出する。この水中への空気を取り込み、大気中への水滴放出といった現象は大気－水域間の物質輸送に大きな影響を与えることが報告されている。大気－水域間の物質輸送に及ぼす影響を評価するためには、まずその現象について把握する必要がある。水表面で気泡が崩壊する現象は肉眼でその詳細を捕らえるのは不可能なほど速く、微細な構造をもつ現象である。著者らは、これまで水表面での気泡崩壊現象を高速ビデオカメラによって可視化し、観察を行ってきた。今回は、以下に示す2つの可視化実験から、気泡崩壊現象における液体の物性の影響と、気泡の大きさの影響を調べた。

2. エタノール水溶液の物性

液体固有の物性のうち、粘性と表面張力を取り上げる。これらは分子の熱運動に起因する性質であり、個別に操作することは容易でない。

エタノール水溶液は濃度を上げると表面張力は単調減少するが、粘性はいったんピークをもち、再び減少するという特異な性質をもっている。この性質を用いれば、2つの液体で表面張力を同じ値にして粘性を異なる値にすることができる。また、逆に表面張力を近い値にして粘性を大きく異なった値にすることができる。

2.1. 動粘性係数

エタノール水溶液の粘性は、液温が10℃の場合、濃度を高くしていくと粘性も高くなるが、濃度が約40%で最も大きな値をとり、それ以上高い濃度になると粘性は小さくなるという性質をもっている(図1参照)。図1は化学便覧より粘性率の値を抜粋し、動粘性係数に換算してプロットしたものである。

2.2. 表面張力

可視化実験と平行して、デユヌーイ式表面張力試験器を用いてエタノール水溶液の表面張力の測定を行った。濃度が高くなるほど表面張力は小さい値になるが、濃度－表面張力の勾配は40%濃度付近から緩やかになるという性質をもっている。

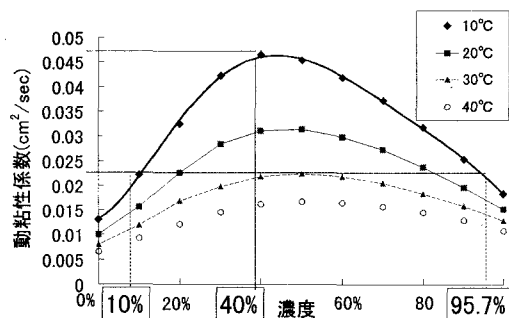


図1 エタノールの動粘性係数と濃度

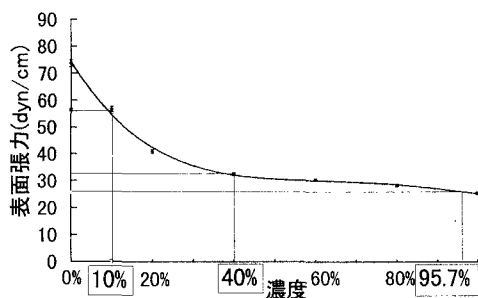


図2 エタノールの表面張力と濃度

3. 実験方法

図2の液体の温度が10℃のデータに近似曲線をあてはめ、10%濃度での動粘性係数の値(0.0221cm²/sec)とほぼ等しい動粘性係数の値をもつエタノール水溶液の濃度を算出した。その結果95.7%の濃度で10%濃度とほぼ等しい動粘性係数の値が得られ、かつ、表面張力は異なった値となった(図1, 2参照)。また、粘性は40%濃度で最も大きくなり、濃度－表面張力の勾配は40%濃度付近から緩やかになる。これから、40%濃度と95.7%濃度で粘性は近い値になり、表面張力は大きく異なった値になった。これから以下の2つのことが可能になった。

- ① 2つの液体で、同じ粘性の値で表面張力のみを異なった値にする。
- ② 2つの液体で、近い表面張力の値で粘性を大きく異なった値にする。

この2つを用いて実験を行い、気泡崩壊現象における物性の影響をみる。気泡の直径を10mm, 12.5mm, 15mmにし、気泡の直径と崩壊現象の違いをみる。実験は気温約20℃、液温約10℃で行う。

a. 気泡崩壊現象に対する物性の影響

- 1) 10%濃度エタノール水溶液と 95.7%濃度エタノール水溶液を用いて気泡崩壊現象の可視化実験を行い、可視化映像を観察、比較し、表面張力の影響をみる。
- 2) 40%濃度エタノール水溶液で実験を行い、95.7%濃度エタノール水溶液の気泡崩壊現象と比較し、粘性の影響をみる。

表ー1 各濃度における物性値
(表面張力測定時の液体の温度は8.6℃～13℃。他の物性は10℃の値)

	表面張力 (dyn/cm)	動粘性係数 (cm ² /sec)	比重 (g/cm ³)
10%濃度エタノール	56.325	0.0221	0.98393
40%濃度エタノール	34.052	0.0466	0.94238
95.7%濃度エタノール	25.627	0.0221	0.81155

b. 気泡崩壊現象に対する気泡の大きさの影響

上記実験1の3パターン濃度の気泡の直径約10mm, 12.5mm, 15mm, の3ケースで可視化実験を行い気泡崩壊現象における直径の影響について調べた。

4. 結果 (気泡崩壊速度の比較)

紙面の都合上、比較しやすい崩壊速度について記す。

a. 気泡崩壊速度に対する物性の影響

図3, 図4は、気泡の膜の崩壊した最長距離の水平成分を、気泡の崩壊に要する時間(気泡の膜が崩壊を始めてから膜の端が液体表面に到達するまでの時間)で除して代表速度スケールに換算し、崩壊速度として横軸にとり、分布する割合を縦軸に百分率で示したものである。ここでの崩壊速度とは、厳密に膜が崩壊していく移動速度ではないが、現象の指標の一つとして用いる。

① 粘性が等しく表面張力が異なる場合

(10%, 95.7%濃度エタノール水溶液での比較)

表面張力が小さい液体(エタノール95.7%濃度・表面張力25.627dyn/cm)の方が崩壊する速度が速い傾向がある。

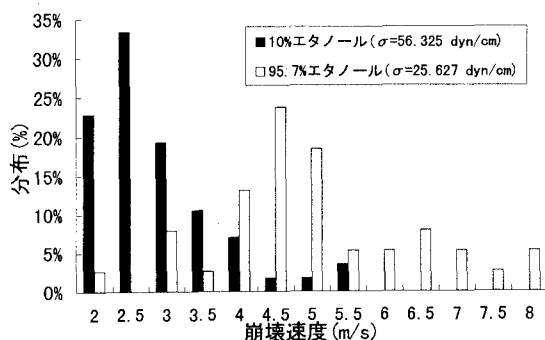


図3 表面張力が異なる場合の崩壊速度の比較

② 表面張力が近い値で動粘性率が大きく異なる場合 (直径約10mmの気泡: 95.7%, 40%濃度エタノール水溶液での比較)

粘性が小さい液体(エタノール95.7%濃度・動粘性係数0.04658cm²/sec)の方が崩壊する速度が速い傾向がある。

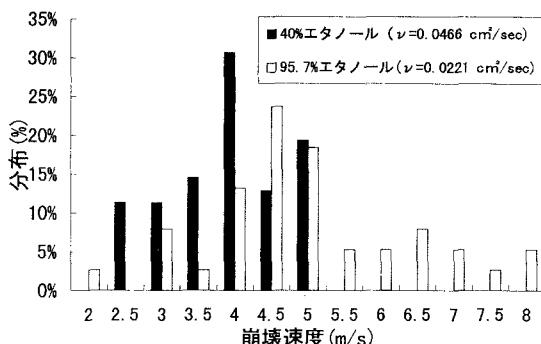


図4 粘性が異なる場合の崩壊速度の比較

b. 気泡崩壊速度に対する気泡の大きさの影響

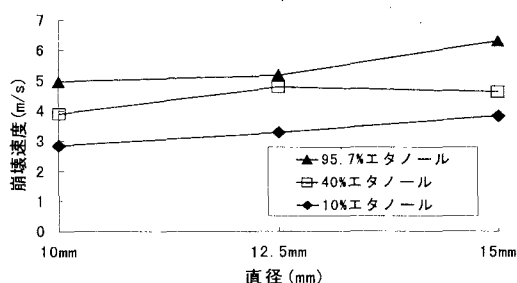


図5 気泡の直径と崩壊速度の平均値の比較

図5から直径は、気泡崩壊の速度へは大きく影響しない。濃度が高くなるにつれ崩壊速度も速くなる。

5. 結論

- ・気泡崩壊の速度には粘性も影響するが、表面張力が支配的に影響する。
- ・気泡の直径は、気泡崩壊の速度に大きな影響は与えない(10mm～15mm)。

参考文献

- 1) 日本化学会, 化学便覧基礎編Ⅱ改訂3版, pp. 3-84, 1984
- 2) 鳥羽良明, 海面における物理過程に関する研究, Journal of the Oceanographical Society of Japan, Vol. 45, pp. 350-359, 1989
- 3) 上平恒, 水溶液の構造, 水とは何か ミクロに見たそのふるまい, pp. 66-93
- 4) 江藤剛治, 4,500枚/秒の高速ビデオカメラ, テレビジョン学会誌, Vol. 46, No. 5, pp. 543-545, 1992