



# 瓶から液体を注ぐときに出る音の性質について

石川県立小松高等学校

研究の動機 : 瓶からお酒を注ぐときに聞こえるトクトクという音に興味を持った。

研究の目的 : 詳しい「トクトク音」の性質を明らかにし独特な響きを持つ理由を発音メカニズムから解明する

## 実験方法

斜面台に固定した瓶をゆっくりと傾けていき、発生した音を騒音計とオシロスコープで測定し、測定した音をフーリエ変換して音の周波数分布を調べた。

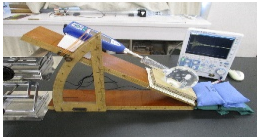


図1 実験器具

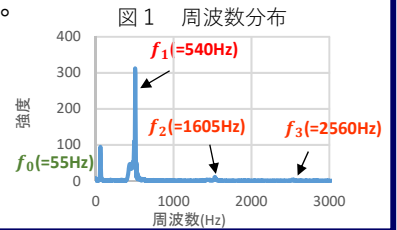


図2 実験に用いたフラスコ等

## トクトク音とは

フラスコ内に侵入して来る空気がちぎれて液体中に気泡が生成される瞬間に発生する音である。

フーリエ変換の結果、トク音には約55Hzの低い音( $f_0$ )及び、約540Hzの高い音( $f_1$ )また $f_1$ の奇数倍の周波数の音がみられた。

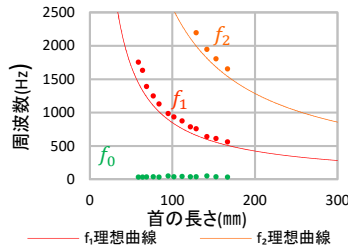


## 高い音の成因と性質

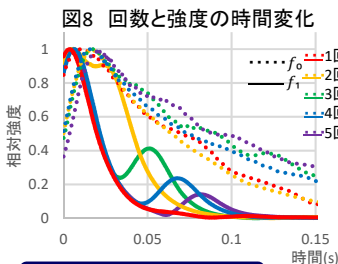
フラスコの首の長さを変化させ、「トク音」を測定し、波形全体をフーリエ変換した。

$f_1, f_2$ の実験値は理論値とよく一致する。 $f_0$ は、気柱の長さによっては変化しない。  
※実験値と理論値のずれは液面が斜めであることで節の位置が変わったためだと考えられる。

図2 首の長さ変化に伴うトク音の変化



さらに、連続フーリエ変換をし、各周波数の音の強度がどのような時間変化するかを調べた。



- 2回目以降の $f_1$ は強度が小さくなる後に再び強度が増幅し、第2波が励起される。
- フラスコ内部に気泡がない1回目の「トク音」では第2波が見られない。
- 第2波は回数を重ねるごとに第1波との時間差は大きくなり、強度は小さくなる。
- $f_1$ の強度は $f_0$ の強度よりも早く減衰した。

### まとめ1

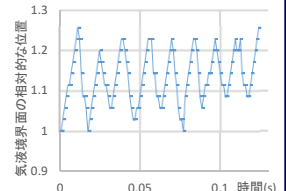
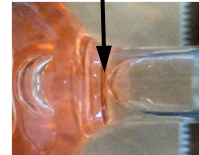
- $f_1, f_2$ は気柱共鳴による音である。
- 第2波はフラスコ内にたまった空気と新しくできた気泡がぶつかることで発生すると考えられる。
- またその衝突地点が回数を重ねるごとに遠くなるため第2波は第1波との時間差が大きくなり、強度が小さくなっていったと考えられる。

※ハイスピードカメラで確認したところ音の発生から第2波が励起されるまでの時間と、気泡の発生から気泡がフラスコ内の空気に到達するまでの時間はおおよそ一致した。

## 低い音の成因と性質

ハイスピードカメラで気液境界面の運動(気泡の変形による振動)を調べた。

気液境界面の運動

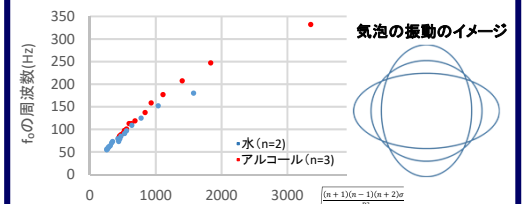


約70Hzで振動( $f_0$ と一致)  $f_0$ は気泡の振動

気泡の表面張力による固有周波数

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(n+1)(n-1)(n+2)\sigma}{\rho R^3}}$$

$n$ : 2以上の整数  $\sigma$ : 表面張力  
 $R$ : 気泡半径  $\rho$ : 液体の密度  
( $n=2,3,4,\dots$ )



$f_0$ の値はほぼ1つの直線上に乗り、 $f_0$ は $\sqrt{\frac{(n+1)(n-1)(n+2)\sigma}{\rho R^3}}$ に比例した。

### まとめ2

低い音は気泡の振動が表面張力によって変形することにより周囲の水が振動して発生する音である。

## 結論

- 瓶から液体を注ぐに出る「トクトク音」は、2種類の音で構成されている。
  - ① 気柱音: 瓶の首の部分の空気の振動による高い周波数の音
  - ② 気泡音: 液体内部の気泡の表面張力による変形によって振動する液体から発生する低い周波数の音
- 気柱音は気泡音より早く減衰する。
- 2回目以降に音が鳴るときは、生成した気泡が瓶内部の空気と出会う瞬間に、もう1度気柱音が励起される。

## 参考文献

秋田県由利本荘市立出羽中学校科学部 青少年のための科学の祭典 2014 全国大会 実験解説集 トクトクを科学する～ビンから出る音の秘密～  
G.Kong, H.Mirsandi, K.A.Buist, E.A.J.F.Peters, M.W.Baltussen, J.A.M.Kuipers Oscillation dynamics of a bubble rising in viscous liquid - Experiments in Fluids (2019)

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、金沢大学の佐藤先生、小松崎先生よりご指導、ご助言をいただきました。心よりお礼申し上げます。

## 瓶から液体を注ぐときに出る音の性質について

## 抄録

本研究では、瓶から液体を注ぐときに聞こえる音をオシロスコープで測定し、フーリエ変換をすることで音の解析をした。実験の結果、気柱共鳴による音と、瓶内の液体の振動による音の2種類の音が同時に鳴っていることが分かった。

## 1. 研究の背景と目的

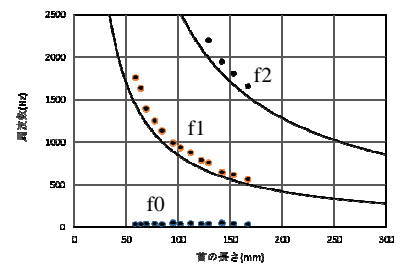
瓶から液体を注ぐとき、「トクトク」という特徴的な音「トクトク音」が聞こえる。トク音は瓶の中に入っていき空気がちぎれる瞬間に発生する。本研究の目的はトク音の性質、及び、その発生メカニズムを明らかにすることである。

## 2. 方法

水を入れたフラスコをゆっくり傾けていき、発生したトク音をフーリエ変換することによって周波数分析を行った。また、1つの波形データを短い時間間隔でフーリエ変換して、周波数の強度の時間変化を調べた。フラスコの首の長さや液体の種類を変えて比較した。さらに、ハイスピードカメラでフラスコ内部の様子を撮影し、水の動きを分析した。

## 3. 結果

トク音は複数の周波数成分から構成されていた。周波数の値はフラスコの形状に依存するが、低い音は概ね100Hz程度であり、高い音は数100～数1000Hz程度であった。高い音の周波数(図中の $f_1, f_2$ )は、フラスコの首の長さが長いと低くなり、首の長さに反比例した。一方、低い音の周波数(図中の $f_0$ )は、首の長さにほとんど依存しなかった。また、フラスコ内に既に空気が存在している場合、高い音の強度が減衰した後、再び増加する現象が見られた。



フラスコの首の長さとトクトク音の周波数の関係

## 4. 考察

高い音の周波数は、首の部分を開管と考えて計算した気柱の固有周波数と近い値となった。フラスコ内の空気の動きを動画分析したところ、新たに生成される気泡が既に存在する空気と衝突する瞬間に強度が増加することが確かめられた。再び強度が増加する音は、瓶を傾けていくことで、瓶の首の部分でちぎれた気泡が瓶に既にたまっていた気泡にぶつかりその衝撃が周囲の水に伝わって、再び気柱音が励起されたと考えられる。ハイスピードカメラで空気と水の境界面の振動を調べたところ、その周波数は低い音の周波数と一致した。さらに、低い音の周波数は気泡の表面張力による固有周波数に比例した。

## 5. 結論

瓶から液体を注ぐときに出る音は瓶の首の部分にできる気柱音(高い音)と水中に生成される気泡の変形による音(低い音)で構成されている。

## 6. 参考文献

G. Kong, H. Mirsandi, K. A. Buist, etc. Oscillation dynamics of a bubble rising in viscous liquid - Experiments in Fluids (2019)

## 7. キーワード

フーリエ変換 気柱共鳴 表面張力