

レイケ管の音が鳴る原理

北海道札幌啓成高等学校 理数科 5 班
山田玲弦 佐々奨英 星祥太 織田湊也

Rijke tube is a tube with a wire mesh. When you heat the wire mesh in it, a sound occurs. To clarify the principle behind this sound of this, we experimented different conditions, such as changing the type of the wire mesh and the position of it. From this experiments, we found that the wire mesh and airflow in the tube are necessary for the sound to occur. Furthermore, to clarify why those condition is necessary, we compared air temperature distribution with and without sound. From this experiments, we found that air vibrations created by the sudden temperature distribution of air in front of and behind the wire mesh produce the sound and this temperature distribution is produced by the wire mesh and the airflow.

1. はじめに

1.1 研究動機

私たちは音の現象を調べていく中、レイケ管という装置を見つけた。レイケ管は内部の金網を加熱するだけで音を発生させることができる。金網を加熱しただけに関わらず、音が発生するという不思議な現象に私たちは興味を持ち、レイケ管をテーマに研究することにした。

1.2 レイケ管について

レイケ管とは開管に、金網を取り付けた管のことである（図 1）。内部の金網を加熱することで音が発生する。発生する音は管の固有振動数と同じ音である。管を横や逆さまにすると音は発生しない。レイケ管は熱音響現象と呼ばれる現象によって音が発生する⁽¹⁾。

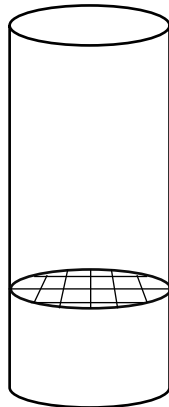


図 1 レイケ管のイメージ

1.3 熱音響現象とは

熱音響現象とは熱を音に変える現象である。この熱音響現象を活用することで、工場の排熱などの未利用熱を利用することができるため、エネルギー問題の解決につながると考えられている⁽¹⁾。

1.3.1 熱音響現象の基本原理

熱音響現象はエンジンの仕組みと似ている。そのため熱音響現象をわかりやすく説明するために先にエンジンの仕組みを説明する。エンジンは 圧縮→加熱→膨張→放熱

のサイクルを繰り返して仕事を生み出す。

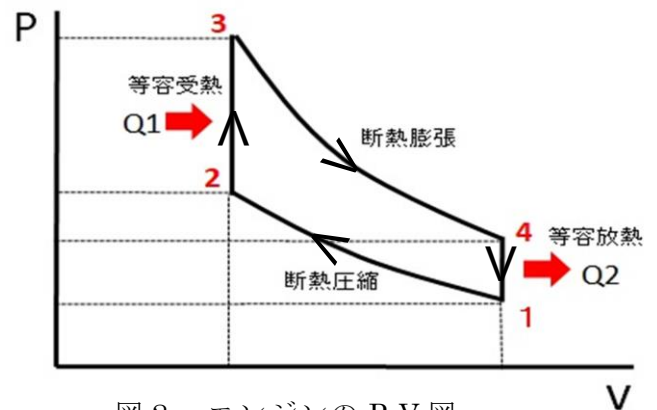


図 2 エンジンの P-V 図

エンジンはピストンによって内部を圧縮する（1→2）。その後、内部で爆発を起こし、熱（ Q_1 ）を与える（2→3）。その結果内部の圧力が上がる。圧力が上がることで内部が膨張しピストンが動く（3→4）。その後、内部の熱（ Q_2 ）を放出し元の状態に戻る（4→1）。エンジンはこのサイクルを繰り返し仕事を発生させる。

1.3.2 レイケ管（熱音響現象）の場合

レイケ管では音波がピストンの代わりをしている。まずレイケ管内部の空気は管の気柱共鳴により若干振動している。そこに熱が与えられることによりエンジンのように仕事をする⁽¹⁾。つまりレイケ管は音を発生させる仕事をしている。

2. 音が鳴る条件を調べる実験

2.1 実験方法

実験 1、実験 2、実験 3 に共通して用いられる使用材料は以下のとおりである。

- ・ スチール管（直径 4cm、長さ 91cm）
- ・ ステンレス金網（網目 10mm）
- ・ ガスバーナー

また、普通の実験方法は図 3 のように行う。

管口から 22.75cm の位置に金網を差し込む。ガスバーナーでレイケ管内の金網を 10 秒間加熱した後、ガスバーナーからレイケ管を取り出して加熱をやめた。取り出したレイケ管を縦向きにする。

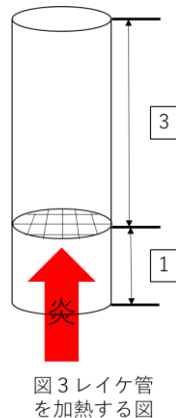


図3 レイケ管を加熱する図

2.2 実験 1 金網による違いを調べる実験

2.2.1 実験方法

この実験では、差し込む金網の種類を変えながら実験を行った。加熱後、レイケ管を取り出して縦向きにした時の、音の有無と鳴った時間を記録した。

使用材料は、2.1 実験方法に加えて、図 4 に示しているものを用いた。

- ・ 1 渦巻き状の針金
- ・ 2 ステンレスたわし（目が粗い方）
- ・ 3 ステンレスたわし（目が細かい方）
- ・ 4 スチールウール
- ・ 5 ステンレス金網（網目 10mm）



図4 使用した金網の写真

2.2.2 実験結果

金網を加熱した時は音が鳴った。ステンレスたわし、スチールウール、針金を加熱した時は音が鳴らなかった。ただし、スチールウールは、 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 程度の密度の物だと音が鳴る傾向があった。

2.3 実験 2 金網の位置による違いを調べる実験

2.3.1 実験方法

金網の差し込む位置を変えて行なった。加熱後、取り出したレイケ管を縦向きにした時の、音の違いを調べた。

使用材料は、2.1 実験方法のとおりである。

2.3.2 実験結果

管口から管の半分の範囲では、音が鳴った。音の大きさと高さの違いは無かった。管の半分より奥の位置は、ガスバーナーの火が届かなかったので、実験することができなかった。

2.4 実験 3 管を横にして風を送る実験

管を縦にしているときは、空気が加熱されることで上昇気流が発生していると考えた。そのため、管を横向きにしたときに空気の流れをつくることで音が発生するか調べた。

2.4.1 実験方法

図 5 のように実験を行った。加熱後、取り出した管を水平に倒して置き、管口に向かって、扇風機で風を送った時の音の有無を調べた。

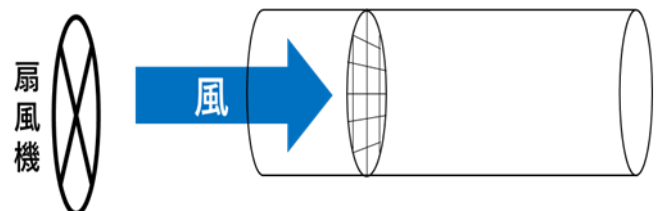


図5 管に風を送る図

使用材料は、2.1 実験方法に加えて以下のものを用いた。

- ・ 手持ち扇風機

2.4.2 実験結果

扇風機で風を送ることで、音が発生した。また、風速が速いほど音が大きくなった。ただし、風速 2.5 %以上の風を送ると音が発生しなかった。空気を逆向きに送った場合は発生しなかった。

2.5 実験 4 電熱線を用いた実験

管の中心の空気が加熱されることで空気の膨張収縮が起き、音が発生すると考えた。そのため、電熱線で管の中心の空気を加熱することで音が発生するか調べた。

2.5.1 実験方法

この実験は、図6のようにして行った。管の中に、金網の代わりに電熱線を差し込んだ。差し込んだ電熱線を加熱した時の音の有無を調べた。

2.5.2 実験結果

空気の温度を少しずつ上げたが 400° になっても音が発生しなかった。



図6 実験風景

2.6 実験1～4の考察

実験3よりレイケ管が音を発生させるために空気の流れが必要と考えた。

このことから実験1のステンレスたわし、スチールワールで音が発生しなかったのは密度が大きすぎるため、空気の流れを遮ってしまったからだと考えた。また、針金で音が発生しなかったのは隙間が大きすぎて空気を十分に加熱できなかったからだと考えた。

実験2で金網の位置による音の変化がなかったのは、レイケ管が熱音響現象によって音を発生させているからだと考えた。また、実験3の風を逆向きに送ったときに音が発生しなかったことと管を逆向きにしたときに音が発生しないことから、金網を半分より奥において加熱した場合、ある一定の位置から音が発生しなくなると考えた。

実験4では通常のレイケ管の空気の温度は 100° 程なので、電熱線では音が発生しないと考えた。

3. 実験5温度分布を調べる実験

電熱線を使った実験で音が鳴らなかったことから、音の鳴る条件は管の中心が高温で外側は低音という温度分布ではないことが分かった。そのため、レイケ管が鳴っている時と鳴っていない時の温度分布の違いを調べた。

3.1 仮説

管の中心部まで高温が続いている。

3.2 実験方法

- ①ガスバーナーで金網を10秒間熱する
- ②管を縦、または横にして管の端から6cmごとに温度計を差し込む。
- ③加熱後から10秒後の温度を3回ずつ測り、平均を調べる。

3.3 結果

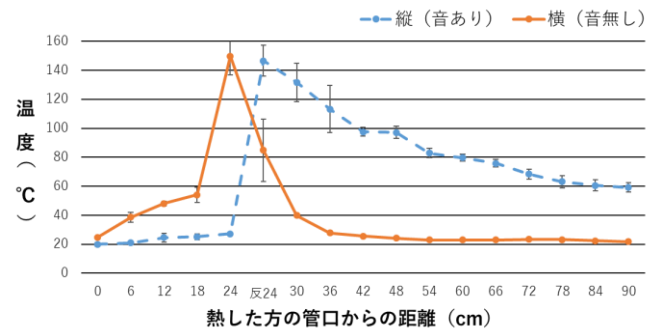


図7 管の中の空気の温度分布

管が横向きの場合、金網の熱されている側の温度が最も高かったが、縦向きの場合、熱されていない側の温度が最も高かった。また、管が縦向きの場合、金網の前後に急激な温度差が生まれた。

3.4 実験5の考察

管が縦向きの場合上昇気流が発生するため金網の熱していない側の温度が最も高くなったと考えられる。

4. 結論

実験5で縦向きのとき金網の前後で急激な温度差が生まれていたことと実験4では空気の温度差をつくっていなかったことから、レイケ管が音を発生させるには、空気の急激な温度差が必要と考えた。

実験3と、実験5より気流が音を発生させるのに必要な温度分布をつくり、空気の温度差をつくると考えた。

5. 謝辞

研究に主に携わっていただいた中原先生やその他先生方、並びにアドバイスを頂いた東海大学の長谷川真也教授に深く感謝致します。

6 参考文献

- (¹) 東海大学工学部動力機械工学科長谷川研究室,「HASEGAWA/KUZUU/SENGA LAB.」(最終閲覧日: 7 月 14 日 <http://www.ed.u-tokai.ac.jp/thermoacoustic/>)
- 富永 昭 (1998/7/1), 熱音響工学の基礎, 内田老鶴圃
- 超音波エレクトロニクス・応用計測研究室,「レイケ管内の熱音響自励振動について」(最終閲覧日: 7 月 14 日 nonlinear-acoustics.jp)