

スポットライト

～第6回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～ パイプを炙った結果、音が出ました ～熱音響機関を身近に～

千葉市立千葉高等学校 理数科3年(2022年3月卒業)

森本 紗羽

私は、新しいエネルギー変換の方法である熱音響機関の基礎研究をしています。熱音響機関とは、低温(150℃程度と言われています)の熱からエネルギーを取り出すというものです⁽¹⁾。現在の火力発電では、多くの低温の廃熱を発生させています。この捨てられている熱からエネルギーを効率よく、音として取り出すことを目標に研究を進めています。

研究では、パイプ(ステンレス鋼製、外径38 mm、内径36 mm、長さ300,600,900 mmの3種類)と金網(ステンレス鋼製、線径1.00 mm×10メッシュ)で作ったレイケ管をガスバーナーで炙るという実験を行っています。具体的な実験方法は以下の通りです。

図1のようにして鳴らした音をイーザーセンスの音センサー(音の振幅の時間変化を測定・記録できる装置)で測定し、エクセルで値を2乗・積分することで、得られた面積部分を結果としました。積分範囲は開始点(イーザーセンスからExcelに出力した値が±10以上であり、その値が3つ連続したときの1つ目の値の秒数)から、終了点(記録終了から見て、出力した値が±10以上が出た値の秒数)と決めました。高校物理の範囲で音のエネルギーは、 $E=2\pi mf^2 A^2$ (f は振動数、 A は振幅、 m は音センサーに依存する定数)と表されるので⁽²⁾、今回はこの面積を熱から音に変換されたエネルギーの大きさを示すと仮定して実験を評価します。

実験では、パイプの長さ、加熱時間、網の位置、網の枚数火力の強さなどの条件を変えて対照実験を行うことで、1番効率よくエネルギーが得られる組み合わせを模索しました。

予備実験より、重ねる網の枚数を3枚にすることで安定して音が出るのがわかったため、本実験で使う網の重ねる枚数は3枚に固定しました。

本実験では、ステンレスパイプを用いて①パイプの長さを与える影響、②網の位置が与える影響(その1)、③網の位置

が与える影響(その2)、④加熱時間を与える影響、⑤与えた火力と加熱時間の関係、の計5つの実験を行いました。

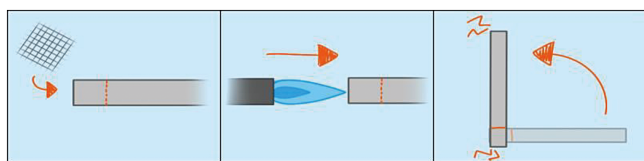
①では、パイプの長さをそれぞれ300 mm、600 mm、900 mmに変えて対照実験を行い、網の位置は管における相対的な値を揃えるために、それぞれの1/4に固定しました。結果は、300 mmでは音が鳴らず共鳴が起こりませんでした。また、最も高いエネルギーが得られたのは600 mmのパイプで、900 mmのパイプの約2倍のエネルギーが得られました。300 mmで音が鳴らなかったのは、音が出る理由と言われている「温度勾配」⁽³⁾がうまく作られなかったからだと考察しました。その原因は、パイプ内すべての空気が温まってしまうほど、パイプの長さが短かったことだと考えました。

②では、600 mmパイプを用いて、網の位置をパイプの端から1/4、1/8の場所に変えてそれぞれ対照実験を行いました。結果は、網の位置が1/8のときよりも1/4のときの方がエネルギーが大きくなりました。これは、ガスバーナーの炎の先端がちょうど網の位置に来るからだと考えました。炎は先端の方が中心よりも温度が高いため、炎の先端がちょうど網の位置にあたる1/4のときの方が、効率よくエネルギーを吸収出来るのではないかと考察しました。

②の結果から、①の実験で600 mmのパイプが最もエネルギーが得られた理由は炎の先端がちょうど網の位置に来るからではないかという仮説を立てました。そこで、③では網の位置を炎の先端が当たる端から15 mmの場所に揃えて実験を行いました。しかし、結果は600 mmの方が大きかったため、エネルギーが大きい理由は網の位置よりもパイプの長さに依存していると考察しました。

④では、パイプの加熱時間を5秒と10秒にして対照実験を行った結果、僅差で10秒加熱したときの方が得られるエネルギーが大きくなりました。しかし、2倍の熱量を与えているにも関わらず結果はあまり変わらないため、効率という観点から、加熱時間は5秒で十分であると判断しました。結果があまり変わらない理由としては、長時間加熱することで全体的に空気が温まってしまう、温度勾配がうまく作られなかったからだと考察しました。

⑤では、次の3つの条件でそれぞれ実験を行いました。条件1:高火力(3/4火力)×短時間加熱(3秒)、条件2:低火力(1/4火力)×長時間加熱(7秒)、条件3:その中間の火力(1/2火力)×その中間の加熱時間(5秒)。結果は、条件3で1番大きいエネルギーが得られ、僅差で条件1、大差をつけて条件2が続きました(表1)。このことから、長く弱い火力で加熱するより、短く強い火力で加熱する方がより多くのエネルギーが得られるということがわかりました。



1. パイプに金網を入れる 2. 金網を加熱する 3. パイプを立てる

図1 実験方法。(オンラインカラー)

これまでに分かった事をまとめます。まず、実験方法を明確にすることができました。内容としては実験装置の作製、実験条件の決定、解析方法の決定です。実験条件の決定では、予備実験より網の枚数3枚。本実験より網の位置1/4、パイプの長さ600 mm、加熱時間5秒、火力の強さ1/2火力

表1 実験⑤の条件および結果.

試行名称	火力指標(—)	加熱時間(s)	積分面積(—)
低火力	1/4	7	757545
中火力	2/4	5	1351069
高火力	3/4	3	1263183

表2 現時点で最も効率の良い条件.

網の枚数 (枚)	加熱時間 (s)	網の 相対位置	パイプの 長さ (mm)	火力指標
3	5	1/4	600	1/2

がそれぞれの条件に焦点を当てた際、最もよい結果が出るものと分かりました。

これらのことを踏まえて、この項目を組み合わせたものが現時点で最も効率のよい条件であるということもわかりました(表2)。

今後の展望としては、実験で得られた仮説・考察の検証を

することで、より説得力のある研究をしたいと考えています。

この研究を行うにあたって、東京農工大学の上田祐樹教授のご助力を頂きました。この場を借りて深く御礼申し上げます。ありがとうございました。

昨年度に引き続き今年度も、オンライン発表会の多い年となりました。私は、今回が初めてのポスターセッションで、パワーポイントでの発表をポスター仕様に変更することに苦労しました。発表後には多くの先生方に感想と助言を頂き、自分には持ち合わせていなかった視点の提案から新たな気づきを得ることができたので、参加してよかったと強く思いました。今回いただいた助言を今後の研究に生かしていきたいと考えています。

文 献

- (1) 坂本真一, 渡辺好章: 日本機械学会誌, **111**(2008), 428-431.
- (2) 國友正和他: 改訂版 総合物理1-力と運動・熱-, 数研出版(2020), 159.
- (3) 富永 昭: 日本物理学会誌, **55**(2000), 326-331.

(2021年12月3日受理)[doi:10.2320/materia.61.229]
(連絡先: 〒263-0043 千葉市稲毛区小仲台9-46-1)

