

# 太陽熱音響クーラーを製作しよう

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科  
岩瀬・畠山研究室 (B班)  
代表者氏名：鈴木峻

# 1 概要

本実験の目的は、太陽より集めた熱によって動作する熱音響クーラーを製作することである。加えて、災害時にその場で製作することも視野に入れ素材は一般的に入手しやすいものを使用することも目標とする。

本実験の内容として、太陽を自動で追尾し集熱する集熱器と熱音響効果を利用したクーラーを製作し、動作の確認実験をする。クーラーの製作に関してはまず、熱音響効果の実現に必要なスタックを6種類製作し、単管に詰めて加熱した時に熱音響効果が確認可能かを実験する。次に、クーラー本体としてループ管を製作し、熱音響効果が確認できたスタックを詰めてループ管においても熱音響効果が確認可能か実験する。集熱器の製作に関しては太陽に対して柱と光センサから製作したセンサ部を設置し、できた影から太陽を追尾するアルゴリズムの動作確認と太陽を追尾する制御の有無による集熱効率の違いを実験によって確認する。

本実験の結論として、製作したスタックは6種類中3種類において熱音響効果が確認できた。製作したループ管は熱音響効果が確認できたスタックを使用したとき約2 sほどではあるが熱音響効果が確認できた。製作した集熱器はセンサ部が感知した影から疑似太陽である室内家庭菜園用120 wのLEDを追尾し、集熱することが確認できた。制御の有無による集熱効率の違いは制御ありの方が高いことがわかった。

本実験の結論として、太陽熱を集熱し、動作する熱音響クーラーの製作に取り組んだ。しかし、熱音響クーラーを製作することはできず本実験の目標を達成することはできなかった。ただし、クーラーにおいてはループ管における熱音響効果が確認できた。さらに、太陽に追従する集熱器を製作し、その有用性を示した。また、太陽熱音響クーラーの製作には一般的に入手しやすいものを用いて取り組んだ。

## 2 社会背景・目的

日本は、外国と比較して台風、大雨洪水、土砂災害、地震、津波、火山噴火などの自然災害が発生しやすい国土である。昨今、日本で起きた大規模な自然災害と被害の例として2011年に起きた東日本大震災では、大規模な地震や津波によって、発電所などの電力設備が被害を受け大規模な停電が引き起こされた。また、2018年に起きた西日本豪雨では、強風により電線が切れる、電柱が倒れるなどの設備の破壊が起き、同じく大規模な停電が引き起こされた。2019年現在では、大型の台風15号により千葉県で西日本豪雨と同様な要因による大規模な停電が引き起こされている [1]。

自然災害による停電は災害の種類によって原因が異なる。場合によっては停電から数時間程度で復旧するが、変電所の浸水や倒木によって電柱が折れるなどした場合停電の復旧には1週間以上の期間を必要とする。これらによって、被災地において困ることとして食糧難が挙げられる。停電時には冷蔵庫が動かなくなるため、常温で保存のきく缶詰類を除き多くの食料は1日または2日程度で腐る。これに対して、冷蔵庫内に保冷剤を詰めることである程度の延命は可能であるが1週間にもおよぶ停電が起きた場合は食料を腐らないように保存することは難しくなる。

これらの問題に対して、私たちは停電時の被災地においてものを冷やすことが可能なクーラーが必要であると考え。そこで、本実験の目的は、太陽より集めた熱によって動作する熱音響クーラーを製作することである。加えて、災害時にその場で製作することも視野に入れ素材は一般的に入手しやすいものを使用することも目標とする。

### 3 実験日時

実験日：12月21日(土)，天候：曇り，温度7.0℃，湿度：72.0%

実験日：12月23日(月)，天候：曇り，温度12.0℃，湿度：71.0%

実験日：12月21日(土)，天候：曇り，温度23.0℃，湿度：45.8%

### 4 使用機器

本実験において使用した機器を表1に示す。

表 1: 使用機器一覧

機器名	型番	個数
ICS パイプ	-	4
エルボ 25mm	-	3
T型接手	-	1
ステンレス 30 メッシュ	-	1
ステンレス 10 メッシュ	-	1
アルミパイプ	-	3
アルミパンチング	-	1
CdS セル 1MΩ	GL5528	4
Arduino Uno Rev3	-	1
スタンダードサーボモータ	#900-00005	2
ソーラークッカーミニ	-	1
SHINZIALight	-	1
ガスバーナー	-	1

## 5 システム構成

まず熱音響効果とは、熱を加えることで音が発生する現象のことである。熱を加えると周囲の気体との間に温度差が生じ、空気が振動することで音が発生する。例として、ガラス管の中に金網を張り、この金網を熱することで音が鳴るレイケ管や鳴り釜と呼ばれる「吉備津の釜」、パイプオルガンの修理の際に熱することで音が鳴る現象が該当する。さらに、熱から音が発生する現象の延長として音を加えることで冷凍作用を発生させることが可能である。

熱音響効果を利用したデバイスの研究は多くされており、その中で最も注目されているのが熱音響エンジンと熱音響クーラーである。熱音響デバイスについてまとめたものを図1に示す。

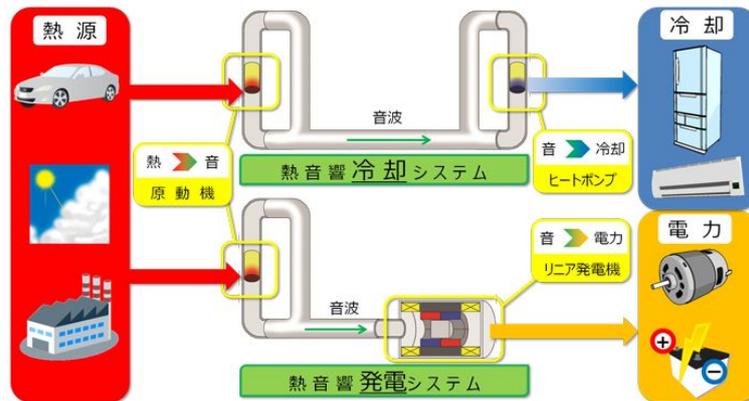


図 1: 熱音響デバイス [2]

現代の熱機関は高い性能を実現する反面、複雑で精緻な機構を持っている。そのため、高価であったり、可動部の劣化によって破損することがある。これらに対して、熱音響デバイスは図1に示すように構成が単純で安価かつ可動部が存在しないため長寿命であり、外燃機関であるため熱源を選ばない利点が存在する。

本実験において目標とするシステムの構成について述べる。本実験では太陽から熱を収集し、集めた熱を利用して熱音響効果を用いたクーラーを製作する。目標とするシステムの構成を図2に示す。

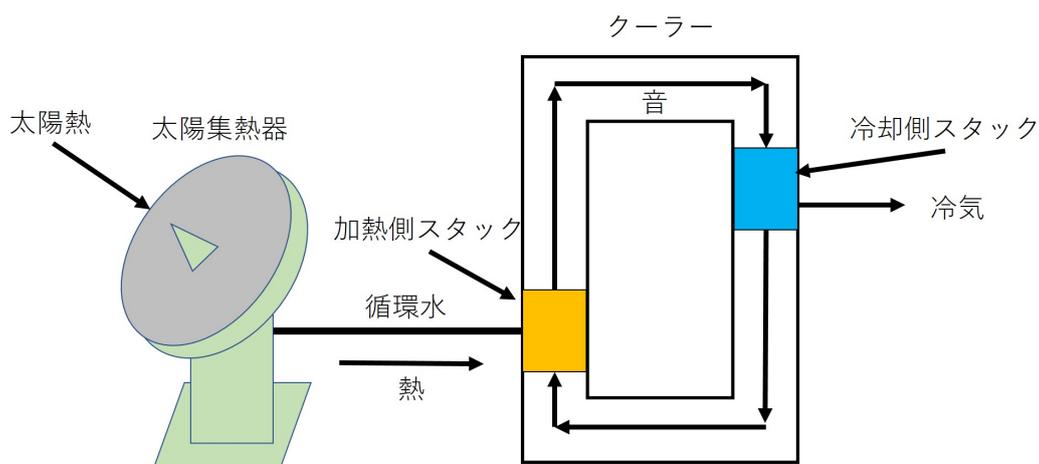


図 2: 太陽熱を用いた熱音響クーラー

本実験で製作する熱音響クーラーは図2に示す太陽熱を収集する集熱器と熱音響効果を用いて加えた熱から冷気を発生させるクーラーの2つからなる。まず、集熱器が太陽熱を収集し、そ

の熱を循環水を通してクーラーの加熱側スタックに伝える。次に、クーラー内の加熱側スタックにおいて熱エネルギーを音に変換する。音は管内の大気を伝搬し、冷却側スタックにおいて大気を圧力の高いスタックの向こう側に押しやり圧縮し体積を小さくする。このとき、断熱圧縮によって大気の温度は上がるがスタック壁に放熱されるため大気の温度が下がる。さらに、その大気は再度音によってもとの圧力の低い側に移動させられ、断熱膨張し温度が下がる。先ほどの温度が高い側でスタック壁に放熱して温度が下がった分だけ周囲より温度がより低くなる。この微小サイクルがスタック壁に沿って連なってバケツリレーで熱を運び、図2の冷却側スタックの上端が最も低温に下側が最も高温になる [3]。

本実験では、太陽熱の収集をより効率的にするため太陽を追尾する制御を実装する。集熱器の具体的な構成を図3に示す。

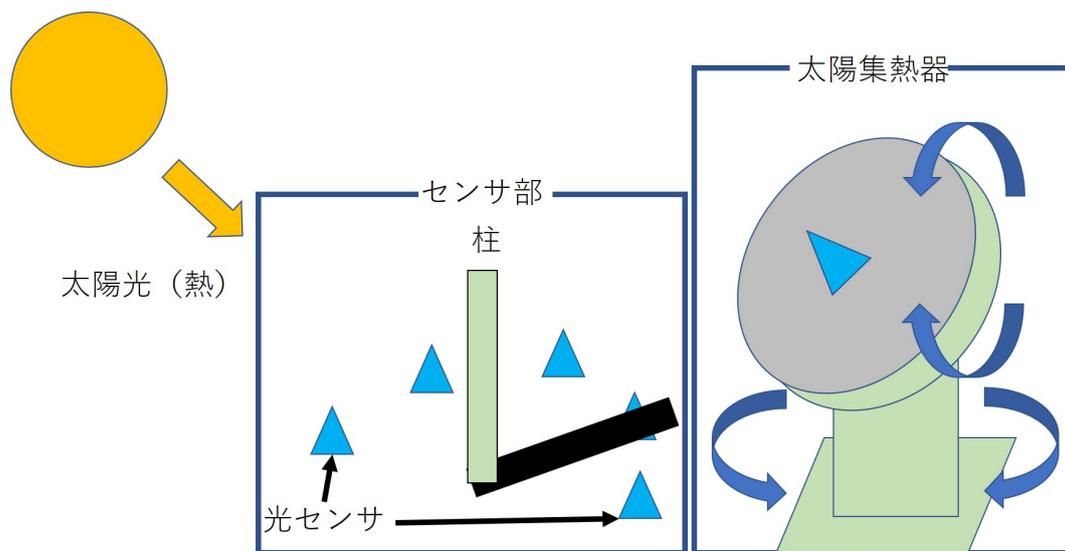


図 3: 太陽熱集熱器の構成

図3に示す集熱器には2つのサーボモータが搭載されており、集熱部をピッチ角およびヨー角方向に回転可能になっている。集熱部のピッチ角方向の回転度合は、集熱器と別に設けたセンサ部によって決定される。センサ部は、中心に備えた1本の柱と5つの光センサによって構成されている。太陽光によってできた柱の陰から光センサによって最も暗い箇所を判別、その角度から180度の方向を集熱器が向くようになっている。集熱部のヨー角方向の回転度合は基準角度より5度ずつ集熱部を動かす、最も明るかった箇所に最終的に向くようになっている。

## 6 実機製作

本章では、実験で使用するクーラーと集熱器の実機を製作する。主に、クーラーでは、ループ管およびスタックの製作、集熱器では、集熱器本体およびセンサ部の製作、制御回路およびアルゴリズムの製作について述べる。

### 6.1 熱音響クーラー

まず、本実験で製作したループ管を図4に示す。

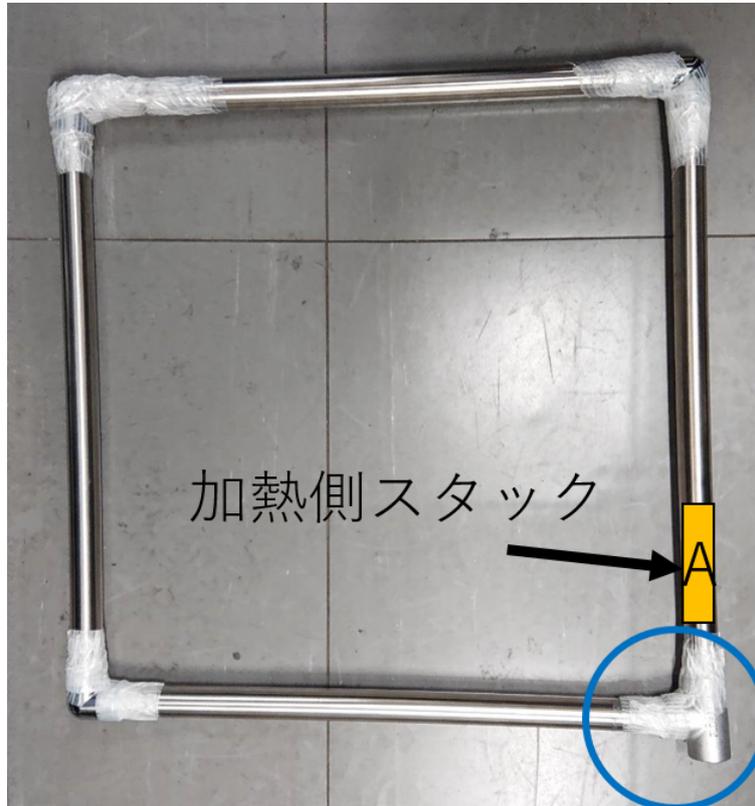


図4: 製作したループ管

図4は、直径25 mm、長さ300 mmの4本のICSパイプを3つのエルボ25 mmとT型接手で接続した1辺455 mmのループ管である。各接続は強度と密閉性を高めるためにテープで固定している。通常ループ管は完全密閉するため図4の青枠のような部分は設けないが、本実験ではまず、簡易的にループ管が動作可能であるか（音が発生するか）を確認するためにガスバーナーによる加熱が可能な部分を設けた。簡易な動作確認のため、ループ管内に詰めるスタックについても加熱側のみとなっている。加熱側スタックはT型接手側からICSパイプの1/4の長さにあたる図4のラベルAに詰められている。

次に、本実験で製作したスタックについて述べる。本実験で製作したスタックを図5から12に示す。



図 5: アルミパイプ

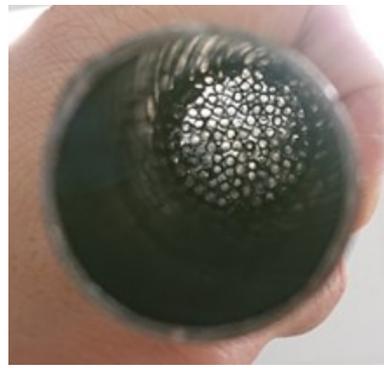


図 6: アルミパイプ設置時

図 6 に示すスタックは、図 5 に示す直径 1.5 mm、長さ 20 mm のアルミパイプを束にして ICS パイプに詰め込んだものである。



図 7: 積層アルミパンチング正面



図 8: 積層アルミパンチング側面

図 7, 8 に示すスタックは、穴径 1.5 mm、厚さ 1.5 mm のアルミパンチングを厚さ 20 mm まで積層したものである。



図 9: ステンレス 30 メッシュ 厚さ 3 mm

図 9 に示すスタックは、厚さ 0.5 mm、30 メッシュのステンレスメッシュを 3 mm に積層したものである。



図 10: ステンレス 30 メッシュ 厚さ 4 mm

図 10 に示すスタックは、厚さ 0.5 mm、30 メッシュのステンレスメッシュを 4 mm に積層したものである。



図 11: ステンレス 30 メッシュ 厚さ 9 mm

図 11 に示すスタックは、厚さ 0.5 mm、30 メッシュのステンレスメッシュを 9 mm に積層したものである。

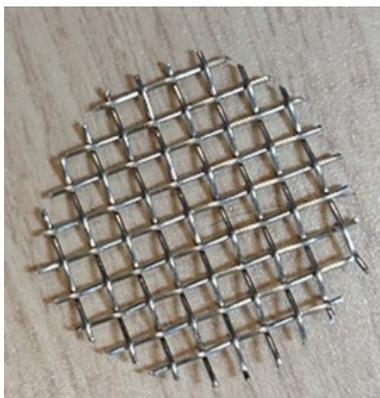


図 12: ステンレス 10 メッシュ

図 9 に示すスタックは、厚さ 0.5 mm、10 メッシュのステンレスメッシュである。

## 6.2 集熱器

図 13 に本実験で製作した集熱器を示す。



図 13: 製作した集熱器

図 13 に示す集熱器は目標としたシステム構成と同様に太陽熱を収集する集熱器と柱と光センサから太陽の位置を把握するセンサ部からできている。集熱にはソーラークッカーを使用し、熱や光を吸収しやすいように黒い筒をまいた缶内の水を蓄熱器として動作する。集熱器が動いたとき缶が倒れないように缶の下にはシリコンシートが敷いてあり、集熱器の光の当たり具合を確認するために光センサが1つソーラークッカーに設置されている。集熱器の土台部分の三面図を図 14 に示す。

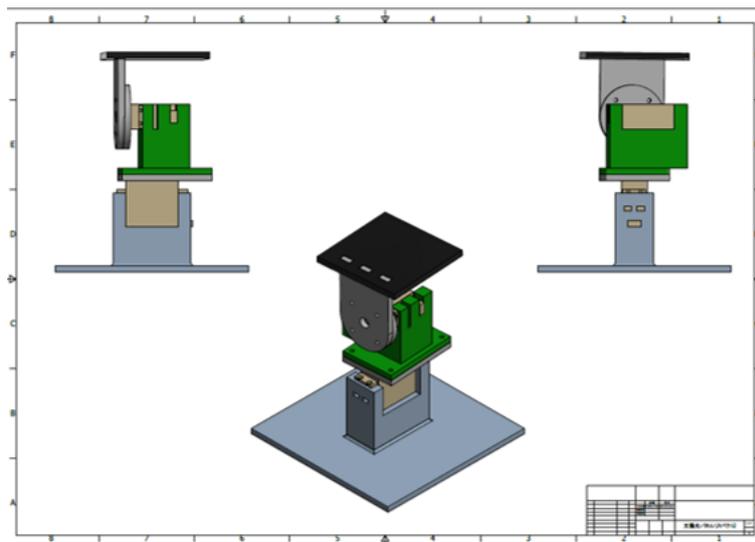


図 14: 集熱器の土台部分

図 14 に示すように集熱器の土台は2つのサーボモータを搭載している。これにより、集熱部分

をピッチ角およびヨー角方向に動かし太陽に向けることができるのである。次に、センサ部について述べる。センサ部の構成を図 15 に示す。

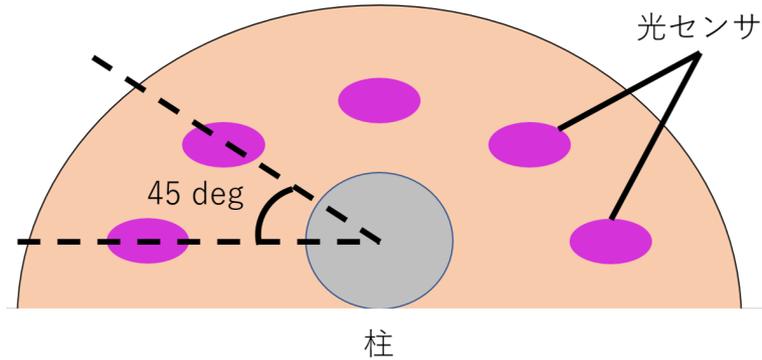


図 15: センサ部

センサ部は、図 16 に示すように直径 320 mm の半円の弧の内側に光センサを 45 deg ずつ等間隔に配置したものである。センサ部は使用する際に太陽が南中する方向に光センサが手前になるよう配置することによって、柱の陰が等間隔に配置した光センサにかかるようになっている。このとき、光センサから取得できる明るさが最も暗い角度から 180 度方向に集熱部が向くことで太陽をピッチ角方向に追尾する仕組みとなっている。最後に、集熱器の回路の構成と制御アルゴリズムについて述べる。集熱器の回路構成を図 16 に示し、制御のフローチャートを図 17 から 19 に示す。

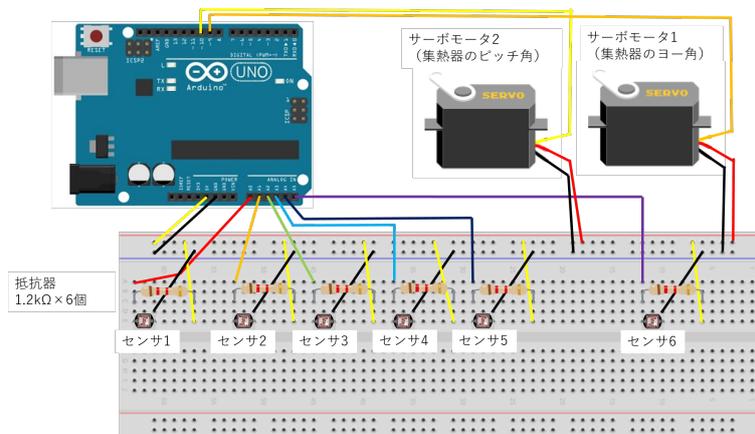


図 16: 集熱器の回路構成

図 16 に示すように本実験で製作した集熱器の回路は、制御に用いる Arduino と、2つのサーボモータ、5つの光センサからできている。

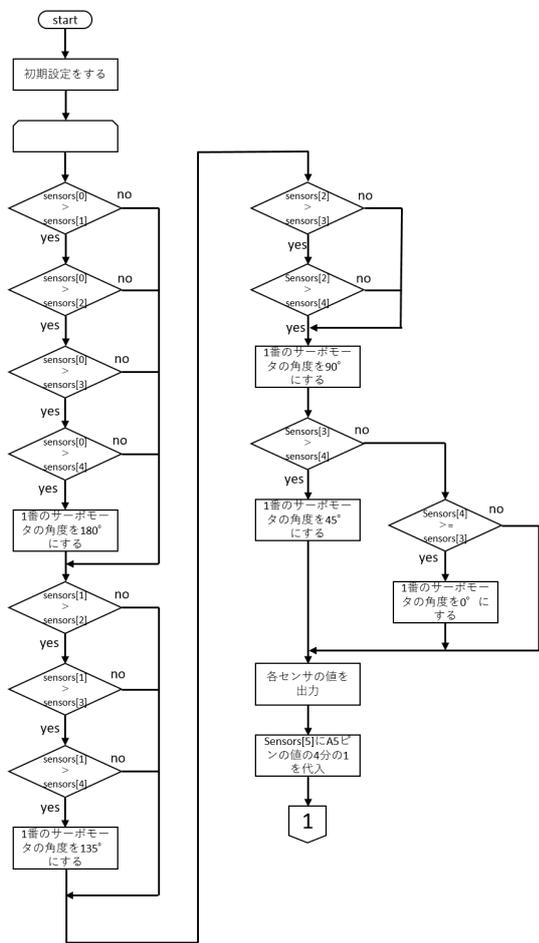


図 17: 制御フローチャート 1

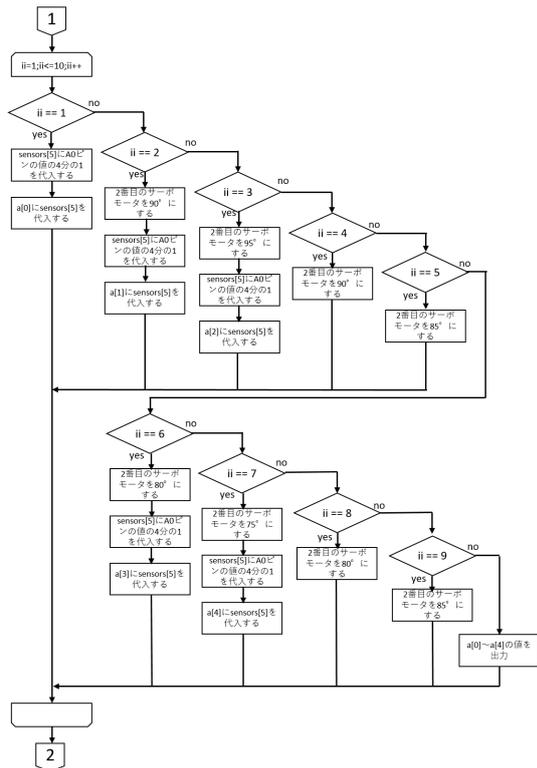


図 18: 制御フローチャート 2

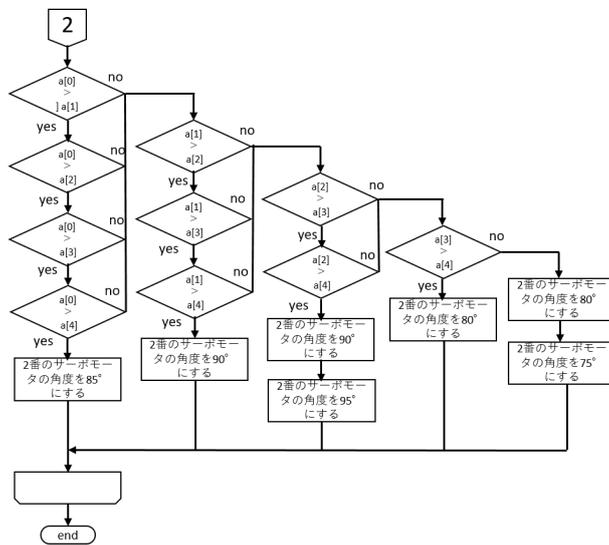


図 19: 制御フローチャート 3

図 17 はセンサ部で述べた制御のアルゴリズムである。図 18 と図 19 は集熱器のヨー角方向に関する制御のアルゴリズムである。集熱器は太陽の高さに対してヨー角方向に首を傾げることで追従する。このとき、初期角度を 85 deg として集熱器は 95 deg から 75 deg の範囲で 5 deg ずつ首を傾け光センサの値を確認し、最も明るかった角度に調整するのである。

## 7 熱音響効果確認実験

本章では、製作したスタックおよびループ管に関して熱音響効果が確認可能であるか実験する。

### 7.1 スタック確認実験

本実験では、製作した各スタックにおいて熱を加えたとき熱音響効果を確認可能であるか確認する。図 20 に実験の様子を示す。



図 20: スタック確認実験環境

図 20 に示すように本実験は熱音響効果の確認実績がある単管において実施する。単管の下部から全体の長さに対して 1/4 の箇所に図 6 から 12 に示したスタックを詰めてガスバーナーで 15 秒間加熱する。このとき、熱音響効果が確認できるかを騒音計で確認する。騒音の大きさの目安を図 21 に示し、実験の結果を図 22 から 27 に示す。

騒音レベル[dB]	音の大きさのめやす		
極めてうるさい	140	ジェットエンジンの近く	聴覚機能に異常をきたす
	130	肉体的な苦痛を感じる限界	
	120	飛行機のプロペラエンジンの直前・近くの雷鳴	
	110	ヘリコプターの近く・自動車のクラクションの直前	
	100	電車が通る時のガード下・自動車のクラクション	
	90	大声・犬の鳴き声・大声による独唱・騒々しい工場内	
うるさい	80	地下鉄の車内（窓を開けたとき）・ピアノの音 <b>聴力障害の限界</b>	うるさい
	70	掃除機・騒々しい街頭・キータイプの音	
普通	60	普通の会話・チャイム・時速40キロで走る自動車の内部	日常生活で望ましい範囲
	50	エアコンの室外機・静かな事務所	
静か	40	静かな住宅地・深夜の市内・図書館	静か
	30	ささやき声・深夜の郊外	
	20	ささやき・木の葉のふれあう音	

図 21: 騒音の目安 [4]

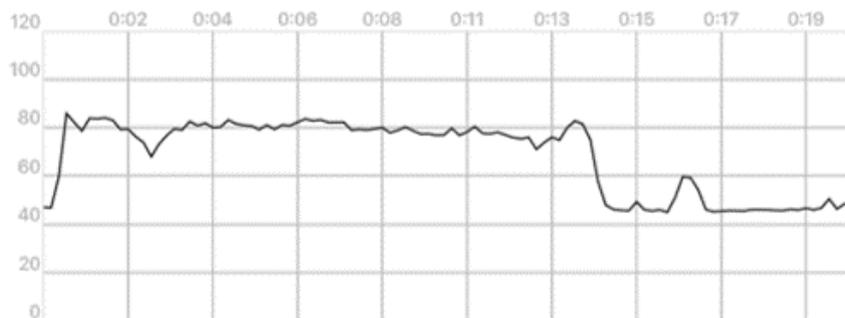


図 22: アルミパイプの熱音響効果

図 22 に示すグラフは、図 6 に示したアルミパイプの束で製作したスタックを加熱した際の時間応答を示したものである。図 22 より、ガスバーナーで加熱していた 15 s 付近まではガスバーナーの音が騒音計に記録されており、約 80 dB の音が発生しているが加熱終了と同時に音が環境音を示す 40 dB まで下がっている。つまり、熱音響効果は確認できなかった。

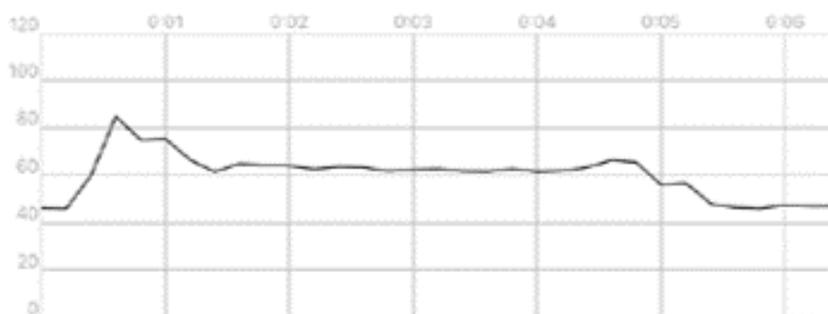


図 23: アルミパンチングの熱音響効果

図 23 に示すグラフは、図 7 に示したアルミパンチングで製作したスタックを加熱した際の時間応答を示したものである。図 23 より、実験時間が 6 s しかないことがわかる。これは、ガスバーナーでスタックを加熱した際にガスバーナーの火が消えガスが漏れるのみになったからである。騒音値も 1 s 付近までガスバーナーの音が記録されていることがわかるがそれ以降はガスが漏れる音によって約 60 dB を推移していることがわかる。つまり、熱音響効果は確認できなかった。

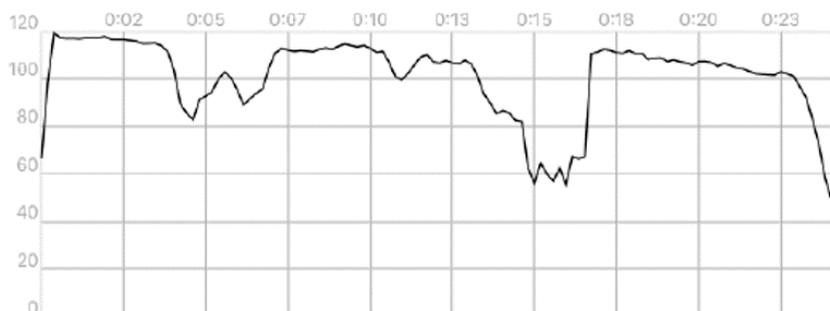


図 24: ステンレス 30 メッシュ 厚さ 3 mm の熱音響効果

図 24 に示すグラフは、図 9 に示した 30 メッシュで厚さ 3 mm の積層ステンレスメッシュで製作したスタックを加熱した際の時間応答を示したものである。図 24 より、ガスバーナーで加熱し始めてからガスバーナーの加熱が終了した後を通して約 110 dB の騒音が記録されていることがわかる。加えて、実験者も管より音が発生していることを知覚した。つまり、熱音響効果は確認できた。

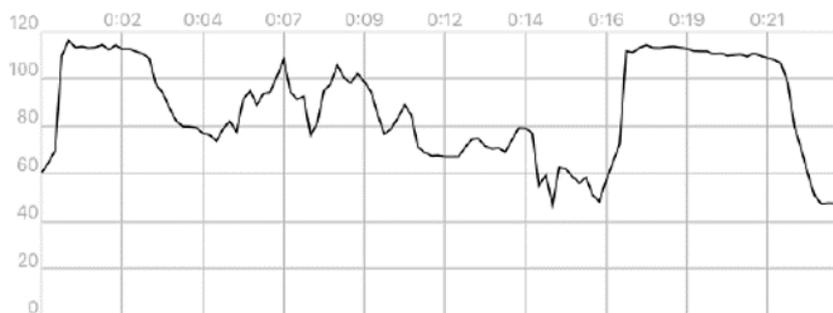


図 25: ステンレス 30 メッシュ 厚さ 4 mm の熱音響効果

図 25 に示すグラフは、図 10 に示した 30 メッシュで厚さ 4 mm の積層ステンレスメッシュで製作したスタックを加熱した際の時間応答を示したものである。図 25 より、ガスバーナーで加熱し始めてからガスバーナーの加熱が終了した後を通して約 110 dB の騒音が記録されていることがわかる。加えて、実験者も管より音が発生していることを知覚した。つまり、熱音響効果は確認できた。

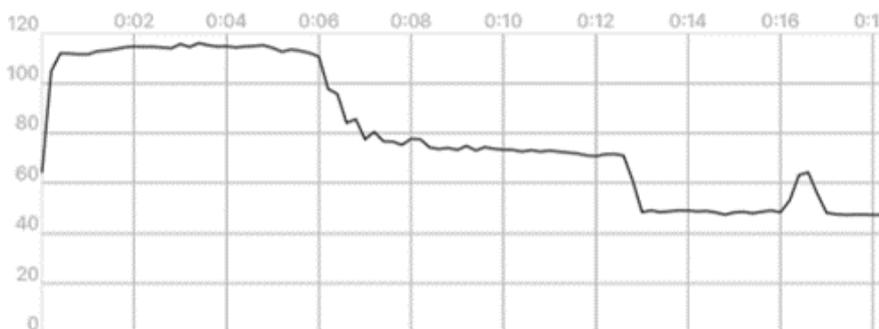


図 26: ステンレス 30 メッシュ 厚さ 9 mm の熱音響効果

図 26 に示すグラフは、図 11 に示した 30 メッシュで厚さ 9 mm の積層ステンレスメッシュで製作したスタックを加熱した際の時間応答を示したものである。図 26 より、ガスバーナーで加熱を開始した時間より約 6 秒間は約 110 dB の騒音が記録されていることがわかる。しかし、6 s 以降はガスバーナーの音のみとなった。実験者は管より音が発生していることを知覚した。つまり、熱音響効果は確認できた。

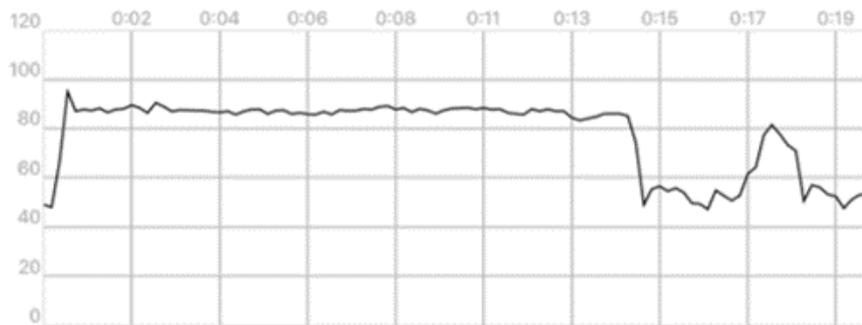


図 27: ステンレス 10 メッシュの熱音響効果

図 27 に示すグラフは、図 12 に示した 10 メッシュのステンレスメッシュで製作したスタックを加熱した際の時間応答を示したものである。図 27 より、ガスバーナーで加熱していた 15 s 付近まではガスバーナーの音が騒音計に記録されており、約 80 dB の音が発生しているが加熱終了と同時に音が環境音を示す 50 dB まで下がっている。つまり、熱音響効果は確認できなかった。

## 7.2 ループ管確認実験

本実験では、製作したループ管において熱を加えたとき熱音響効果を確認可能であるか実験する。図 28 に実験環境を示す。



図 28: ループ管確認実験環境

図 28 に示すように本実験では図 4 のループ管にスタック確認実験で用いた図 9 のスタックを詰め、図 28 のラベル B からガスバーナーでスタックを加熱する。ガスバーナーで加熱する時間は 15 s とする。図 29 に実験結果を示す。

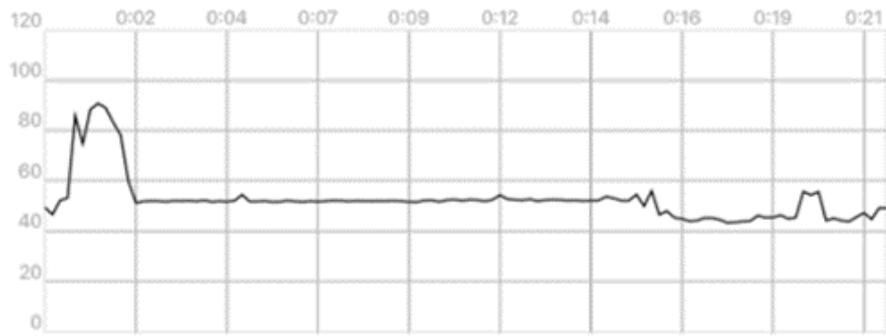


図 29: ループ管の熱音響効果

図 29 より，ガスバーナーで加熱し始めてから 2 s 付近までに約 90 dB の音が発生している．しかし，それ以降は環境音を示す 50 dB まで下がっている．加えて，実験者も管より音が発生していることを知覚した．つまり，熱音響効果は一瞬のみ確認できた．

## 8 集熱器比較実験

本実験では、製作した集熱器に関して太陽に追従する制御が実現できているかと制御の有無による集熱の違いを確認する。実験環境を図 30 に示す。

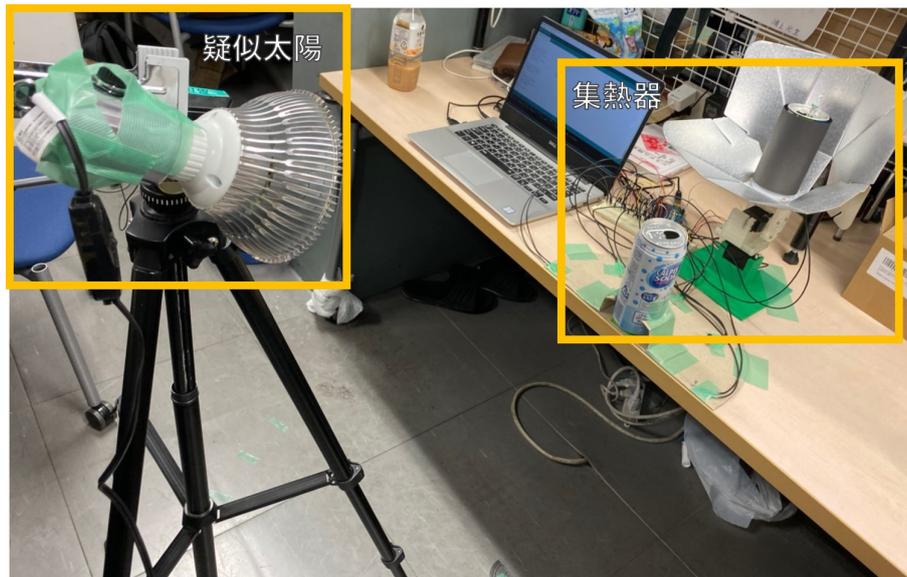


図 30: 集熱器実験環境

図 30 に示すように、本実験では天候による実験条件の著しい変化が予想されるため、疑似太陽として室内家庭菜園用 120 w の LED ライトを使用する。LED ライトを三脚に固定しその正面に集熱器およびセンサ部を設置する。集熱器上の缶には缶自体の重さも含め 150 g になるように水を入れ、温度計を設置する。表 2 に 2019 年 12 月 20 日の太陽の軌道を示す。なお、表 2 では、東が 90 deg, 南が 180 deg, 西が 270 deg であるとする。

表 2: 太陽の軌道 [5]

	日の出	南中	日の入
時刻	6:45	11:38	16:31
高度 [deg]	0.00	30.9	0.00
方位角 [deg]	119	180	242

本実験では、太陽の日の出から日の入を簡易的に再現するために日の出から日の入までの軌道において 10 deg ずつ LED ライトを移動するものとする。このとき、太陽の方位角は日の出から日の入までで約 120 deg 変化していることが表 2 よりわかる。つまり、計測は全部で 13 回となる。本実験では、1 回の計測で 171 s の LED ライトの照射時間を設ける。また、太陽の南中する際の高度を集熱器から約 30 deg の高度とし、日の出および日の入における高度を 0 deg, 各計測は南中に向けて 5 deg ずつ高くなるものとする。制御の実現に関する実験の結果を図 31 から 33 に示す。



図 31: 追従制御結果 1



図 32: 追従制御結果 2



図 33: 追従制御結果 3

図 31 から 33 より，太陽追従制御によって疑似太陽を追従する動作を集熱器がしていることがわかる．次に，制御の有無による集熱の違いに関する実験の結果を図 34 に示す．

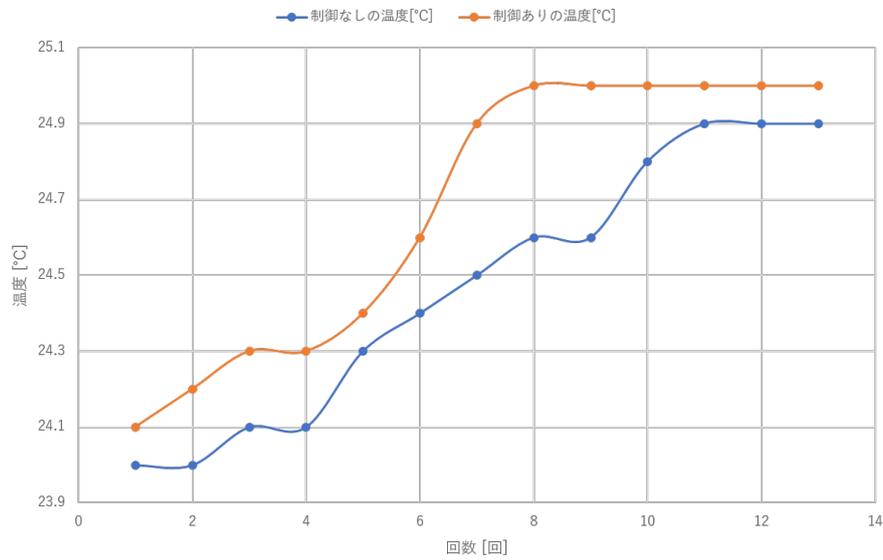


図 34: 制御の有無による集熱の違い

図 34 より，制御なしと比較して制御ありのほうが定常値に至るまでの早さが早いことがわかる．加えて，集熱器内の水の温度の最高値が制御ありのほうが高いこともわかる．これらより，太陽追従制御なしと比較して制御ありの方が集熱の効率が上がることがわかった．加えて本実験では，気候の条件を統一するため LED ライトを疑似太陽として用いたため図 34 に示すように缶内の水の温度は初期温度と比較して大きく上昇していないことがわかる．

## 9 考察

本章では、熱音響クーラーの実験結果に対する考察をする。

### 9.1 スタック

スタック確認実験の結果より熱音響効果が確認可能なスタックとそうでないスタックの違いを考察する。まず、図6のスタックおよび図7のスタックの実験の結果と図9, 10, 11のスタックの実験結果を比較する。比較より、スタックの厚さが熱音響効果を確認するには厚すぎるのが要因のように見受けられる。しかし、論文調査をすると20 mmを超える厚さのスタックを用いて熱音響効果を実現している例がある [6]。つまり、スタックの厚さは熱音響効果の発生に対して本実験に使用した20 mm程度であるなら影響しないと考えられる。次に、図7のスタックの実験の結果と図9, 10, 11のスタックの実験結果、図12のスタックの実験結果を比較する。比較よりスタックに設けられた流路が図12のように大きすぎる場合、流体の圧縮・膨張のサイクルが短くなってしまい流体が等温変化せず、熱音響効果が確認できなくなると考えられる。逆に流路が狭い場合も、流体がそもそもスタックを通過できず同じく等温変化が起きないと考えられる。図7のスタックは穴径が1.5 mmであり、ステンレス30メッシュより大きい積層の過程で使用した接着剤が各層からスタック内部の穴にはみ出して固まっていたため流路が狭くなったと考えられる。

### 9.2 ループ管

ループ管確認実験の結果よりループ管において熱音響効果が一瞬のみしか確認できなかった原因を考察する。ループ管において熱音響効果が一瞬のみしか確認できなかった原因としてスタックの詰める位置と加える熱量の不足が考えられる。熱音響効果は熱エネルギーを加えることで、管内スタックの上部と下部で発生した温度勾配から作動流体を振動させて音を発生させる現象であるが、加えた熱エネルギーがすべて音に変化するわけではない。この場合、いかにしてより多くの熱エネルギーをスタックに効率よく加えて熱音響効果が確認可能なエネルギーのボーダーを超えるかが重要である。熱を加える箇所とスタックが離れすぎているとスタックの下部が効率的に温まらず、近すぎると下部だけでなく上部も温まり温度勾配ができないのである。つまり、スタックの詰める位置は試行錯誤的に調整するほかないと考える。加える熱エネルギーに関しては、ガスバーナーで加熱する方法以上に大気圧において加熱することは現実的でない。しかし、大気圧よりも気圧の小さいアルゴンやヘリウムを作動流体として管内に充填することで同じ加熱方法でも加えることができる熱量が相対的に増加するためより多くの熱エネルギーを加えることができると考える。

### 9.3 単管による熱音響効果を用いたクーラー

本実験では、ループ管を用いて熱音響効果の観測ができたが極端に短かった。これより、本考察においてループ管を用いたものとは異なる、熱音響現象を利用したクーラーシステムについて考察する。

本実験では、単管を用いた方法でクーラーの設計を考案する。ループ管を用いた場合、エネルギーはジェット機約100機分の騒音に匹敵するエネルギーを生み出すことが可能であり、図35に示すシステムを構築することにより冷却効果を得る [7]。

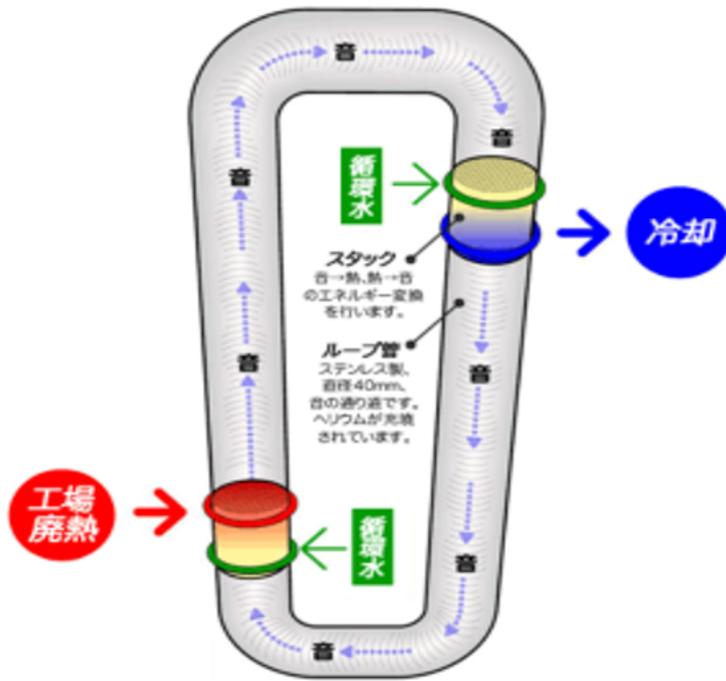


図 35: ループ管によるクーラー [7]

しかし、図 35 に示すループ管と同等なエネルギーを単管で発生させることは困難であるため、私たちは図 36 に示すエネルギー変換工程を用いてクーラーの実現を考える。

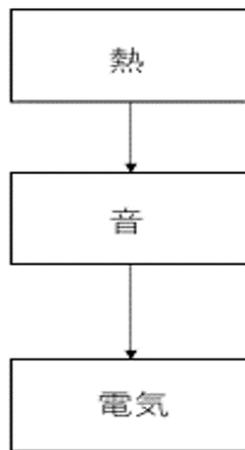


図 36: エネルギー変換工程

私たちが新たに考案する単管を用いたシステムでは、まず図 36 に示すように太陽から集熱器を用いて熱エネルギーを取り出す。次に、取り出した熱エネルギーを単管内のスタックに加えることで音に変換する。最後に単管より出る音をダイナミックスピーカーに加えることで電気に変換し、コンデンサなどで蓄電する。小さな発電量であっても蓄電することで電化製品のクーラーや継続的な電気供給によって冷たくなるペルチェ素子を動作できると考える。このようなシステムが実現可能であるかを確認するため図 37 に示すようなシステムを構成し、図 38 に示す実験環境において発電の有無を確認する。

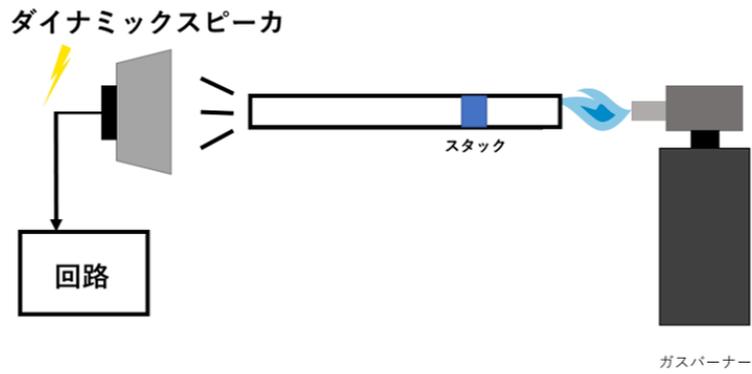


図 37: 単管のシステム構成

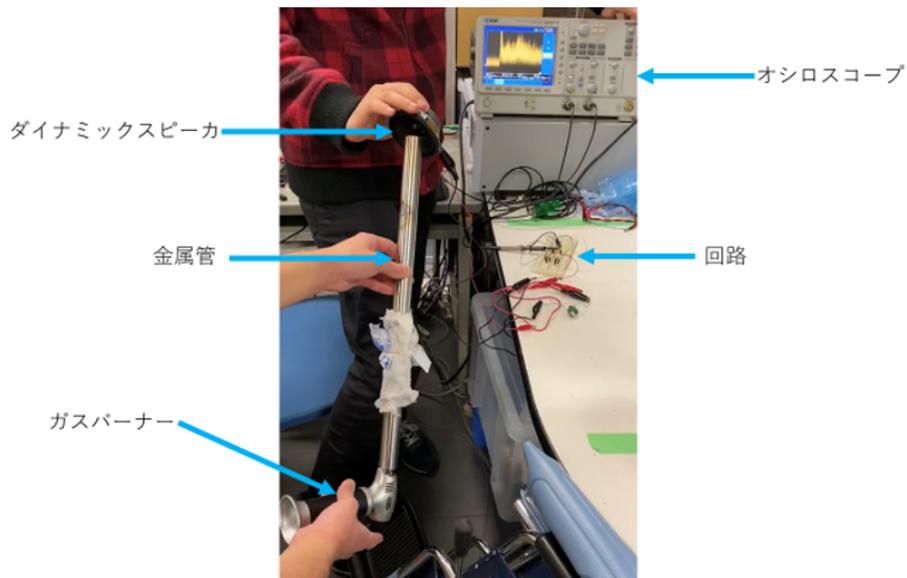


図 38: 単管の実験環境

図 37 に示すシステムは，単管から生じた音をダイナミックスピーカーを通して電力として回路に入力するシステムである．実験は図 38 に示すように回路にオシロスコープを接続し電圧値の変化の有無を確認する．ここで，使用するスタックは，図 10 に示したスタックである．本実験で使用する回路図を図 39 に示す．

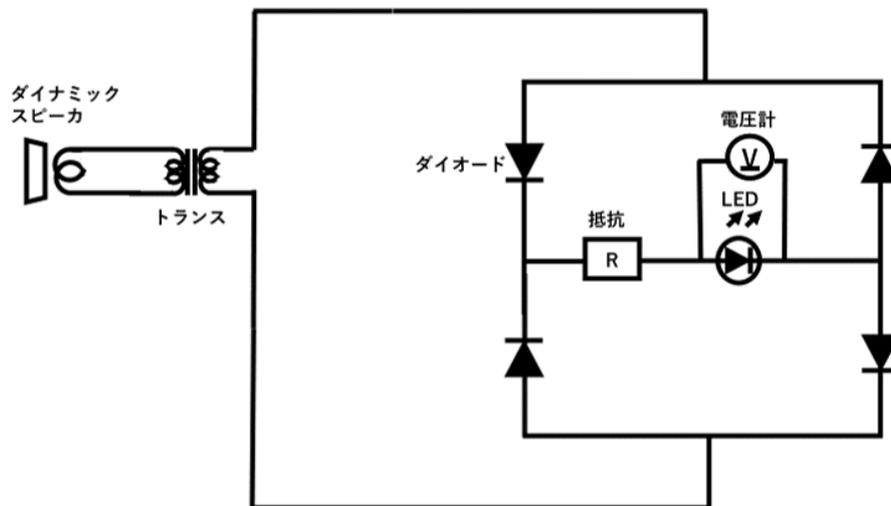


図 39: 使用回路図

図 39 に示す回路は、まずダイナミックスピーカーに音を入力することで交流電圧が生じる。次に、生じた交流電圧をトランスを用いて昇圧し、ブリッジ回路を形成しているダイオードで整流する。最後に、直流電圧をオシロスコープを用いて計測する。本実験の結果を図 40 に示す。

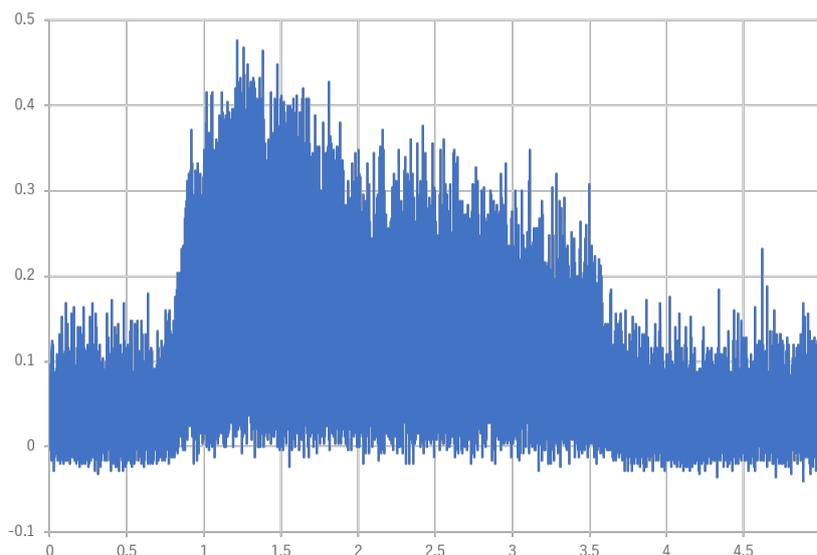


図 40: 単管の実験結果

図 40 は、オシロスコープを用いて取得した直流電圧値である。図 40 より、1.26 s において最大値 0.468 V の電圧が確認できた。これによって、図 37 のシステムで微小ではあるが発電できることがわかった。

## 10 結論

本実験の結論として、太陽熱を集熱し、動作する熱音響クーラーの製作に取り組んだ。しかし、熱音響クーラーを製作することはできず本実験の目標を達成することはできなかった。ただし、クーラーにおいてはループ管における熱音響効果が確認できた。さらに、太陽に追従する集熱器を製作し、その有用性を示した。また、太陽熱音響クーラーの製作には一般的に入手しやすいものを用いて取り組んだ。

## 参考文献

- [1] Life Charm, ”[台風 15 号 停電] 自然災害により起きた停電と対策法”,  
<https://lifecharm.jp/2019/09/14/disaster-blackout/>
- [2] キニブロ, ” 東海大学の熱音響エンジンとは？ - 発電の原理, 効率について”,  
<https://kininarun.com/post-1465>
- [3] 日本冷凍空調学会, ” 熱音響冷凍”,  
<https://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/36.html>
- [4] 東邦精機, ” 騒音”,  
<http://www.toho-seiki.com/index05.html>
- [5] 国立天文台, ” 日の出入り”,  
<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/2019/s1312.html>
- [6] 同志社大学, ” 小型熱音響冷却システムのエネルギー変換効率に関する検討 ”,  
<http://www.acelec.cei.uec.ac.jp/nl/rec/NL2007/NL-07-02.pdf>
- [7] 熱音響技術研究 — SHIN-ICHI.ORG 坂本 眞一, ” 熱音響技術研究”,  
<http://shin-ichi.org/ctt.html>