

第7回 八光熱の実験コンテスト

「ドライアイスを用いたオルゴールの製作」

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 情報駆動制御研究室
波多野隆馬, 菅原健, 市川貴仁, 山崎智貴, 宮木直樹

1 概要

本実験では, 身近に手に入るドライアイスを動力源としたオルゴールの製作を行うことで, ペルチェ素子を用いた発電方法の有効性を示すと共に, 玩具としてドライアイスを用いることを目的とした.

まず, ペルチェ素子を用いたモータの動作実験を行った. ペルチェ素子の両端に温度差を与えることで, どの程度の電圧及び電流が発生し, モータを回すことが出来るのかを実験した. この結果, ペルチェ素子一つでは電圧 0.64[V], 電流 0.39[A] が発生することが確認出来た. ペルチェ素子2つでは電圧 1.12[V], 電流 0.46[A] が発生することが確認できた. モータはペルチェ素子2つを使うことで動作させることが出来た.

次に, 金属とドライアイスから発生する音声解析実験を行った. アルミ棒や真鍮棒, 銅棒など複数の金属棒を用いて, ドライアイスに触れさせたときに発生する音声解析を行った. しかし, どの金属棒においても, 非常に高周波な音声しか発生せず, 棒の長さを変えて音階を奏することは極めて困難であることが確認された.

これら2つの実験を踏まえ, オルゴール製作実験を行った. オルゴールは回転部と機構部から構成され, 回転部はモータのトルクが出せないことを考慮し, 発泡スチロールによって作成した. 機構部については, 隣の金属棒との干渉を防ぐために, 支点の金属を2つにするなど工夫を施した. 製作したオルゴールを用いて, 動作確認を行った. まず, 電池で動作させ音楽を奏できることを確認したのち, ペルチェ素子の発電によってオルゴールを動作させた. 実験の結果, ドライアイスで動力源としたオルゴールによって, 音楽を奏することができた.

金属棒とドライアイスによって, 音階を奏するためにはどうすべきかを考察し, 粘土のような柔らかい物体を金属に取り付けることで, 高周波成分をカットできるのではないかと考えた.

2 はじめに

身近に手に入るドライアイスは沸点が -79°C であるという特性を持っている。また、ドライアイスに金属を接触させると音が鳴るという面白い特性も持っている。そこで、これら二つの特性を利用し、オルゴールを製作する。オルゴールの動力としては、現在注目されているペルチェ素子で発電した電力を用いる。これにより、ペルチェ素子を用いた発電の有効性を示すと共に、今までなかった玩具としてドライアイスを用いることに挑戦する。

3 理論

本実験で用いる理論の概要を述べる。

3.1 ゼーベック効果

本実験では、ゼーベック効果を用いてオルゴールを動作させる。ゼーベック効果とは、図1に示すように2種類の金属線を使ってループを作り、その接合部を互いに異なった温度に保つことで起電力が発生する現象のことである。

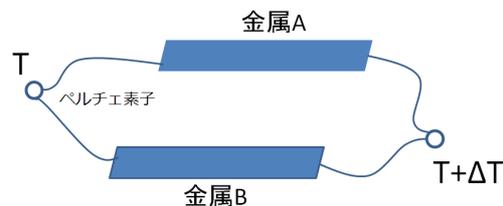


図 1: ゼーベック効果

この起電力 V は

$$V = \alpha \Delta T \quad (1)$$

と表すことが出来る。ここで、 T は金属の温度、 ΔT は2つの金属の温度差である。 α はゼーベック係数という熱電変換特性を表す一つの指標であり、この値が大きいほど良い熱電変換材料といえる。

3.2 音の発生源

オルゴールの音の発生源として、ドライアイスと金属棒を用いる。この音の発生原理について説明する。

ドライアイスに金属を接触させるとドライアイスが蒸発して、二酸化炭素が発生する。二酸化炭素の発生で、金属とドライアイスの中の圧力が上がって、金属とドライアイスが離れ、二酸化炭素が外に逃げる。外に逃げることにより、圧力が低くなって金属とドライアイスが接触・振動し、その現象により音が発生する。

4 使用機器・材料

本実験で使用した機器を表1に、材料を表2に示す。

表 1: 使用機器一覧

機器名	型番	メーカー
ペルチェ素子	TEC1-12706	Z-MAX
鉄琴	GD11063	開発堂楽器
低電圧 DC モータ	NFC03MG-021	JOHNSON MOTOR

表 2: 使用材料一覧

材料名	寸法	数量
ねじ切り棒	M4,100mm	4 本
六角ナット	M4	8 個
発泡スチロール	Φ 150 × 150mm	1 個
爪楊枝	-	20 本程度
ドライアイス	100 × 200 × 200 mm	大量

5 ペルチェ素子を用いたモータ動作実験

ペルチェ素子の両端にカイロとドライアイスを設置することで、温度差を与え、モータを動作させることが出来るかどうか実験を行った。モータ動作実験の様子を図1に示す。

実験の結果、ペルチェ素子一つではモータを動作させることはできなかった。そこで、ペルチェ素子を2つならべ直列に配線することでモータを動作させることができた。このとき発生した電圧及び電流の計測結果を表3に示す。

これより、オルゴールを動作させる際は、ペルチェ素子を2つ用いる必要があることがわかった。



図 2: モーター動作実験

表 3: ペルチェ素子で発生する電圧及び電流

ペルチェ素子の個数	電圧 [V]	電流 [A]
1	0.64	0.39
2	1.12	0.46

6 ドライアイスと金属による音声発生実験

6.1 実験装置構成

実験当初、予定していた実験装置を図3に示す。

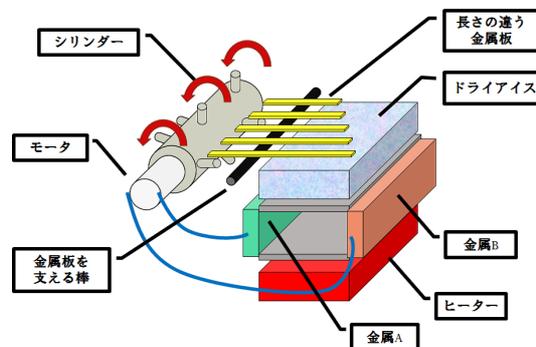


図 3: モーター動作実験

複数の金属を用いて、ドライアイスに接した際の音声の解析を行う。解析環境を図4に、使用する金属棒の種類を表4に示す。4mm アルミ棒と4mm 真鍮棒をドライアイスに接触させた時の音声信号を図5, 6に示す。波形より、2つの周波数にはほとんど差がないことがわかる。同じように複数の金属棒を用いて同様の音声解析を行ったが、音階を奏でることが出来なかった。これより、ドライアイスに金属を接触させ、音階を奏でることは非常に困難であるといえる。そこで、オ

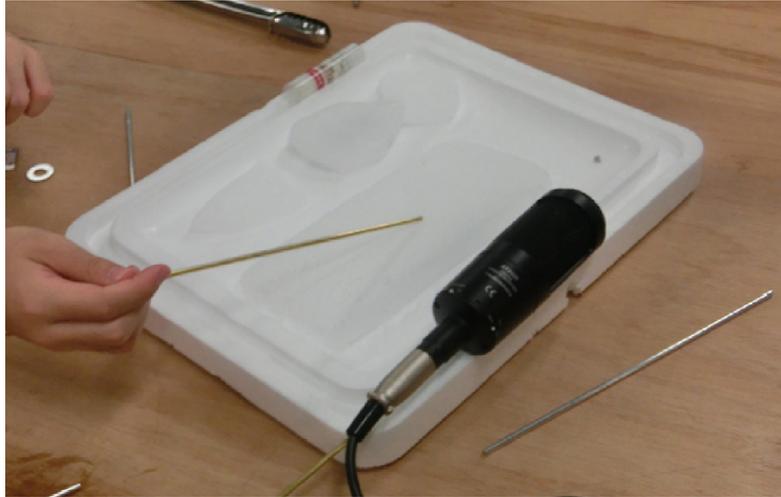


図 4: 音声解析実験環境

表 4: 使用する金属棒

金属棒	直径
アルミ	4[mm]
アルミ (空洞)	4[mm]
アルミ (空洞)	7[mm]
銅	4[mm]
真鍮	4[mm]
鉄	4[mm]
鉄 (空洞)	4[mm]

ルゴール製作においては鉄琴を用いることで音楽を奏でることとする。

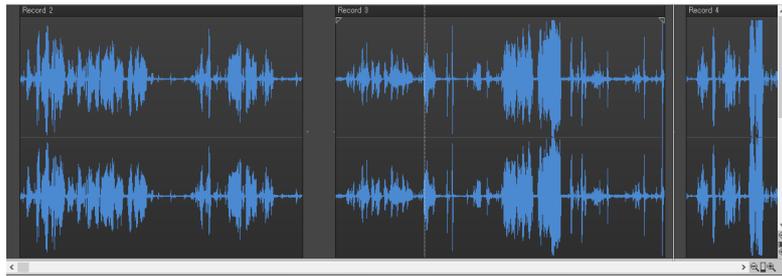


図 5: 音声信号 (4mm アルミ棒)

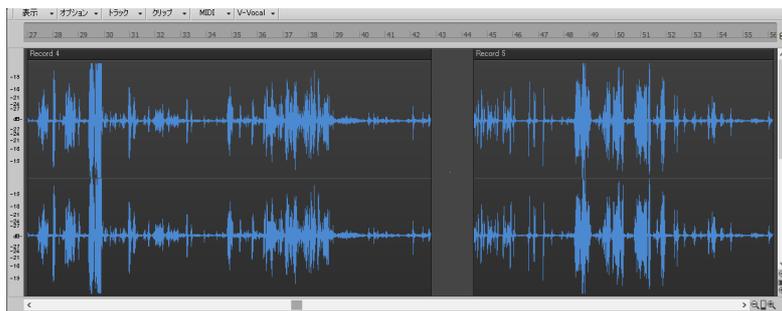


図 6: 音声信号 (4mm 真鍮棒)

7 オルゴール装置の製作・実験

実験で奏でる曲の選定及びオルゴール装置の構成について述べる．図7に実験機器構成図を示す．図のように，製作したオルゴールは”回転部”と”機構部”から構成されている．これら機構部の詳細については以下で述べる．

7.1 曲の選定

実験では，オルゴールによって「カエルの歌」を演奏することとする．この曲を選んだ理由としては，非常に簡単なメロディーラインであることと，使用する音階の幅が狭いことが挙げられる．

7.2 回転部の設計

オルゴールの動力源にはペルチェ素子を用いるため，モータは大きなトルクを出力することが出来ない．そのため，モータの先に取り付ける回転部は出来るだけ軽く，小さく設計する必要がある．しかし，小さければ小さいほど，1回転あたりの曲の演奏範囲が短くなってしまう．そこで，モータに負担をかけずに出来る



図 7: オルゴール装置全体図

だけ長い曲の範囲を演奏するため、「カエルの歌」の最後の節である”ドドレレミミ
ファファミレド”のみを演奏することにする．購入した鉄琴の鍵盤部分の中心から
次の鍵盤の中心までの距離は30mm であるため，回転部の凹凸は30mm 間隔でつ
ける必要がある．図8，9に上記の問題点を考慮し，3D CADで設計した回転部を
示す．

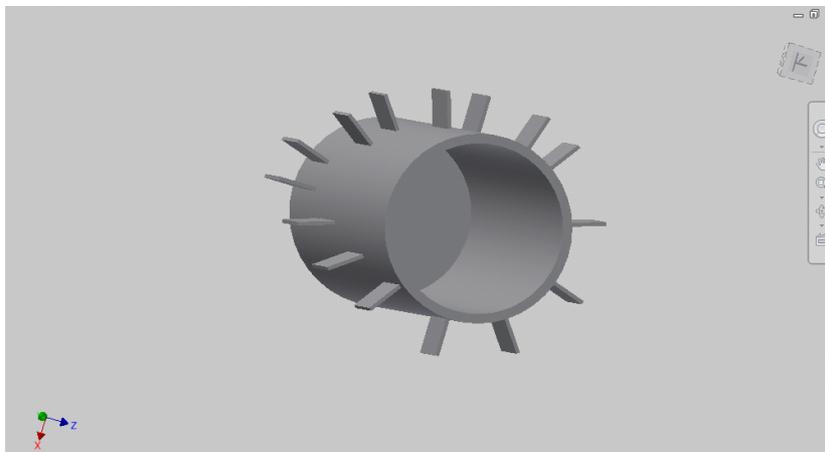


図 8: 回転部

図8，9の回転部を3Dプリンタによって作成した．しかし，モータに取り付け，
動作させると回転部の凹凸が折れてしまった．これは，3Dプリンタによって作る
ことが出来る素材が合成樹脂やプラスチックなど壊れやすいものに限られてしまっ
ていることが原因である．そこで図9に示すような新たな回転部を製作した．

回転部そのものを発泡スチロールとすることで，モータに負荷がかからないよ
うにしている．また，突起物を高密度な発泡スチロールを付けたつまようじにす

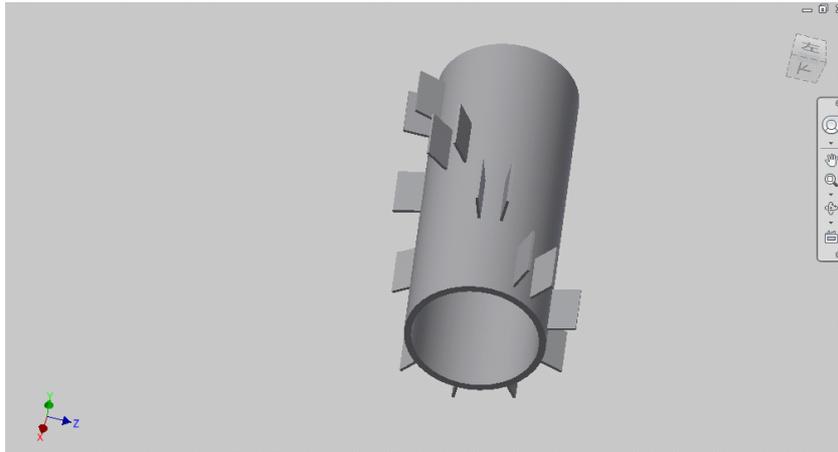


図 9: 回転部 (別アングル)

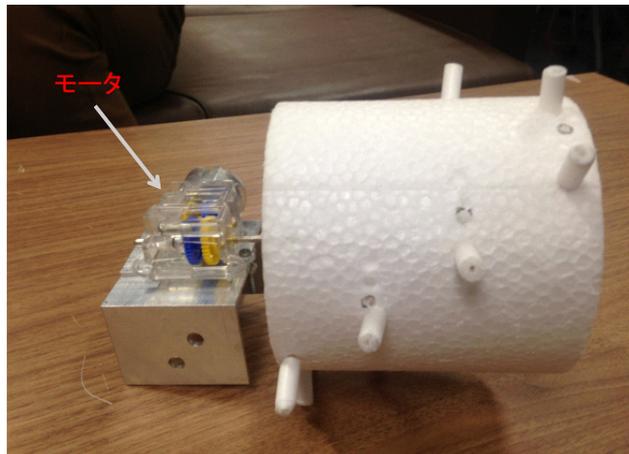


図 10: 回転部 (改良後)

ることで、なんども刺しなおすことができる。これにより、微妙なタイミングの調整ができるようになっている。

7.3 機構部の設計

回転部によって音になる機構部の設計を行う。回転部の突起物は、互いの間隔は 30[mm] であるため機構部の金属棒の間隔も 30[mm] とする。曲は「カエルの歌」の最後の節を演奏するため”ド” ”ファ”までの 4つの鍵盤が必要となる。そのため金属棒は 4本設置する。また、この金属棒が隣の金属棒に干渉にしないような工夫する必要がある。これらを考慮し、設計した機構部を図 11 に示す。

図 11 のように支点に 2 枚のアルミ板を用いることで、左右方向動かないような拘束をしている。さらに、金属棒が前後に動かないように支点の両サイドからナツ

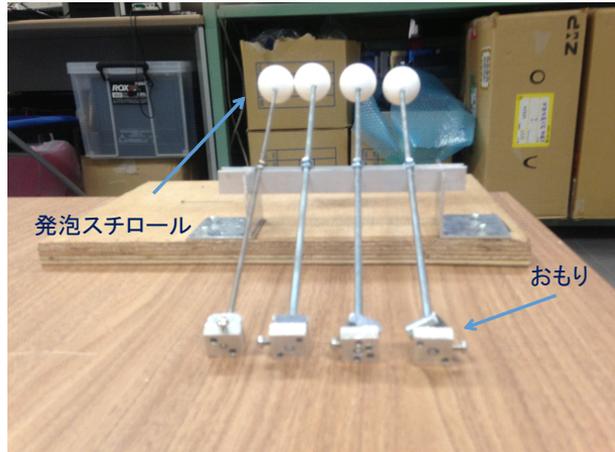


図 11: 機構部

トを取り付けている。金属棒の先端にはおもりを取り付けることで、鉄琴を鳴らすために適切な落下速度に調整をしている。回転部の突起物との接触部分には球体の発泡スチロールを取り付けることで、突起物が多少ずれて接触しても、摩擦とてこの原理によって金属棒が持ち上がり、音が発生するようにしている。

7.4 動作実験結果

オルゴール装置によって「カエルの歌」を演奏できるかどうかを確認するため、まず動力源に電池を使用することで装置を動かした。実験の結果、電池によってオルゴール装置が動作し、「カエルの歌」を演奏できることが確認できた。

次に、動力源にペルチェ素子を用いて、動作実験を行った。実験の結果、電池によってオルゴール装置が動作し、「カエルの歌」を演奏できることが確認できた。

これらの動作結果を「実験結果.wmv」に示す。

8 考察

今回の実験はドライアイスに金属棒を押し付けることで、金属棒を振動させ音階を奏でてオルゴールを作製することを目的とした。しかし、金属棒をドライアイスに押し付け振動させたところ金属棒から高音が発生した。そのため、音階を生じさせることができず金属棒を使用してオルゴールを作製することができないと考えたため、音を生じさせる部分に鉄琴を使用した。金属棒から生じる高周波を抑える方法として、粘土を取り付けることで金属棒の振動を抑えることで高周波成分を低減し高音が生じることを抑えることができると考える。

ペルチェ素子は2つの面の温度差により電圧・電流を生じさせる素子である。そのため、今回の実験ではペルチェ素子の下に100℃の熱湯が入った容器を用意し容器の上にアルミ板を置き、ペルチェ素子の上にドライアイスを置くことで、温度差により電圧・電流を生じさせた。しかし、ドライアイスを置くことにより熱湯が冷めてしまい電圧が発生しにくくなるため、モータからオルゴールのシリンダーを動作させるためのトルクを得ることができない問題が生じた。対策として、ペルチェ素子とドライアイスの上に金属性の薄い板を置くことで、熱湯が入った容器上のアルミ板にドライアイスが接触することを防ぐことで熱湯の温度が低下し、ペルチェ素子の2つの面の温度差が減少することを防ぐことで電圧・電流の低下を防ぐことができると考える。

また、ペルチェ素子から得ることができる電圧・電流が小さかったため、低電圧・低電流でも動作するモータを使用した。そのため、オルゴールのシリンダー部分を重くするとモータのトルクが足りないため、シリンダーを回させることができないと考えたため発泡スチロール等の軽い素材を使用してシリンダーを作製した。

9 結論

ペルチェ素子とドライアイスを用いたオルゴールの製作を行った。まず、ペルチェ素子の両面に温度差を与えることで、どれほどの電圧及び電流を得ることが出来るのか実験を行った。この結果、ペルチェ素子1個では電圧0.64[V]，電流0.39[A]を得られ、ペルチェ素子2個では電圧1.12[V]，電流0.46[A]が得られることが確認できた。ペルチェ素子は、動力源として有効であることがわかった。

金属棒とドライアイスを接触させることで、どのような音が発生するのかを知るため音声解析実験を行った。アルミ，真鍮，銅など様々な金属棒を用いて音声解析を行ったが，発生する音声の周波数がとても高く，また金属の種類や長さによって大きな変化がなかったため，ドライアイスと金属を用いて音階を奏でることが極めて困難であることが確認できた。

上記2つの実験を踏まえ，オルゴール装置の製作及び動作実験を行った。まず，電池によりモータを動かし，その後ペルチェ素子により動作させた。実験の結果，身近にあるドライアイスを動力源としたオルゴールを実現することができた。

10 謝辞

本実験は株式会社八光電機熱のコンテストにおいて助成を賜りました。このような貴重な実験の機械を与えていただき，ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 丹下京子，『ドライアイスであそぼう』，pp. 16-21，仮説社。