

蒸気機関を用いた二足歩行ロボットの製作

岩手大学 学内カンパニー Heat Think Lab.
代表者氏名：嵯峨 遥介, 工藤 大暉, 竹内 清人

1. 緒言

代表的な熱機関として挙げられる蒸気機関は様々な機械の動力として用いられている。本実験では、蒸気機関の活用法における新しいアプローチとして、二足歩行をするロボットを製作し、動かしてみることにした。ロボットを歩行させるための機構としてチェビシユフリンクを用いる。実験の目標として一般的なペットボトルの容量と同じ 500 ml の水を沸騰させ発生した蒸気で 1 m 以上の歩行をさせることを目指し、動力源としての蒸気機関の性能を評価する。また、小・中学生、あるいはさらに下の世代に熱への興味を持ってもらうための教材として提案する。

2. 動作の原理

2.1 蒸気機関

蒸気による動力発生は 1712 年の Newcomen 機関から始まった。初期の蒸気機関は 5.5 馬力で運用されていたが 20 世紀に入ると 100 万 kW の蒸気タービンが運用されるようになった。本実験では蒸気機関を作るにあたって、導入として Newcomen の蒸気機関を参考にした。Newcomen の蒸気機関はシリンダとボイラを分離させた特徴がある。この蒸気機関はボイラ内の圧力が大気圧を超えないので、ボイラが破裂するという事故も起こらないという利点がある。

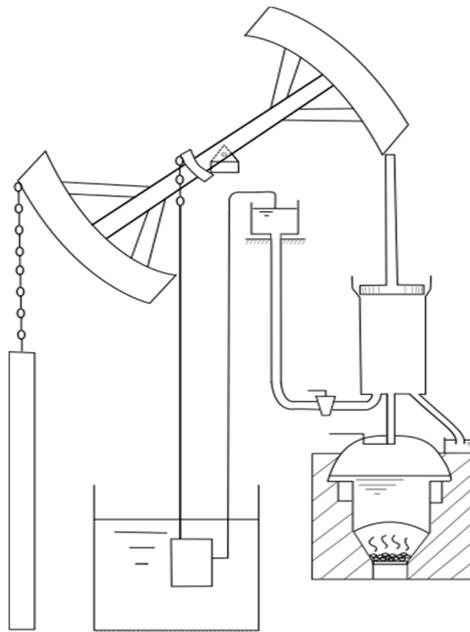


図 1 Newcomen の蒸気機関の概略図

2.2 チェビシェフリンク

チェビシェフリンクとは近似直線運動機構の一つであり，サイクロイド曲線を利用したものである．図2のように，連鎖 ABCD のリンク AB と CD は長さが等しく，互いに交差をしている．リンク BC の中心を点 P とすれば，P は図のような近似直線運動を描く．また， $AB = AC$ ， $AB : AD : CD = 1 : 2 : 2.5$ の比であるとき近似直線の直線性が最も良くなる．

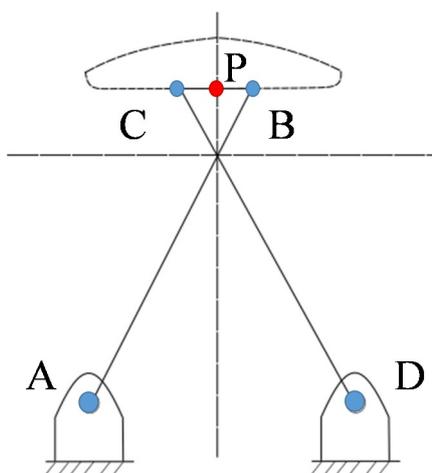


図2 チェビシェフの機構

3. 実験の目的

本実験の目標は，一般的なペットボトルの容量と同じ 500 ml の水を沸騰させて発生した蒸気で二足歩行ロボットに 1 m 以上の歩行をさせることである．この実現のために，以下の3つの実験装置を製作し，実験，改良を行った．※詳しい内容については次項に記す．

- ① 蒸気機関を用いた動力部．
- ② チェビシェフの機構を用いた二足歩行動作部．
- ③ 動力部を動かすためのボイラ．

4. 実験装置の製作

実験装置は，小・中学生が興味を持ち，仕組みを理解しやすいように複雑な機構は採用せず，大部分を自作することにした．

4.1 動力部の製作

動力部は径の違う二本のアルミパイプを切り出して，シリンダとピストンの製作を行った．基本的な構造を図3に示す．吸気口にボイラから蒸気を入れ，その蒸気の圧力

で外側のシリンダを押し上げる。その後、一定の高さまで押し上げたところで、排気口から蒸気を排気するようにした。蒸気を輸送する部分はゴムチューブを用いることで蒸気を可視化した。二足歩行動作部にはチェビシェフの機構を採用しているため、回転運動として力を伝える必要がある。そのため、ピストンによる上下運動を回転運動に変換する機構を含めた動力部を製作することにした。動力部①と動力部②の2パターンの実験を行った。

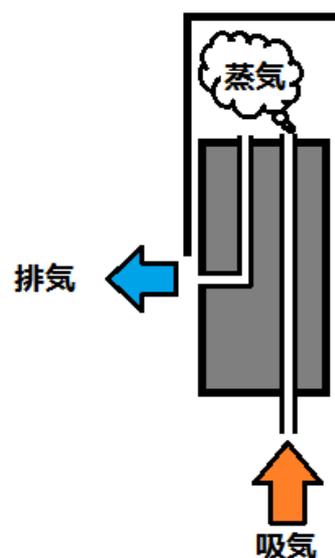


図3 蒸気機関概略図

4.1.1 動力部①

動力部①は、ピストン部に外径 ϕ_{PA} が 25 mm, 内径 ϕ_{PB} が 23 mm のアルミパイプ, シリンダ部には外径 ϕ_{SA} が 32 mm, 内径 ϕ_{SB} が 29 mm のアルミパイプをそれぞれ使用した。ピストンの外径とシリンダの内径の差を埋めるため、耐熱性のある合成接着剤をピストン表面に塗り、ピストンとシリンダを組み立てた。

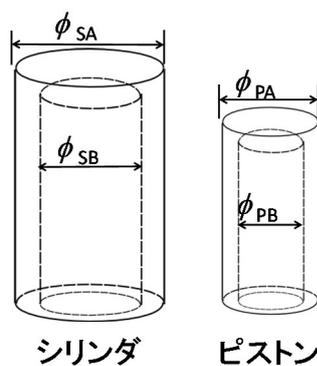


図4 シリンダとピストンの各寸法の定義

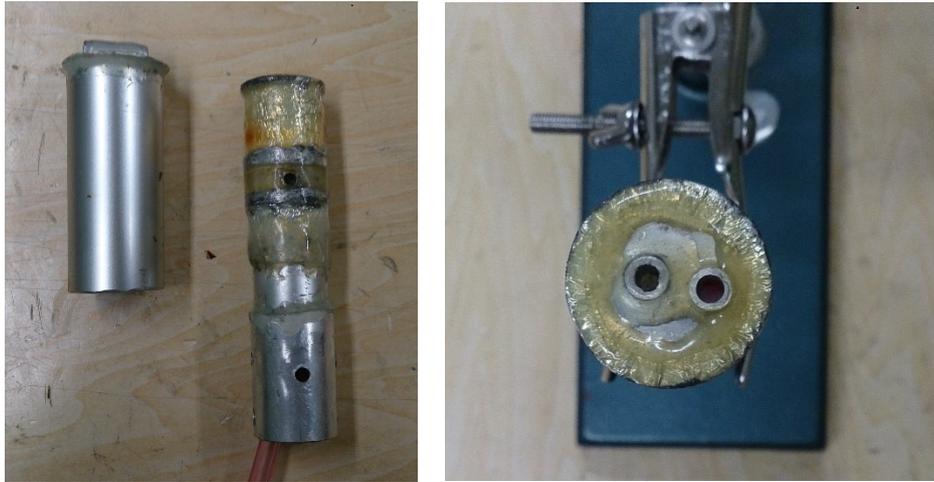


図 5 蒸気機関動力部①

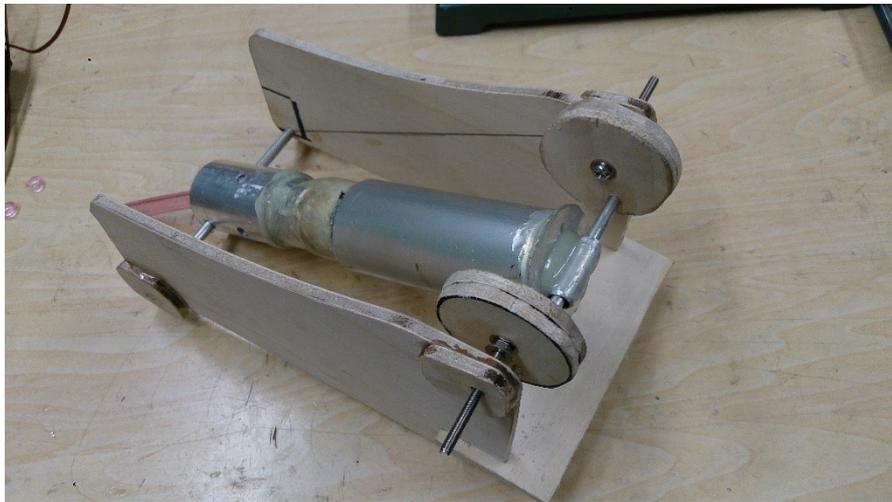


図 6 回転機構に組み込んだ動力部①

4.1.2 動力部②

動力部②は、ピストン部に外径 ϕ_{PA} が 27 mm, 内径 ϕ_{PA} が 25 mm のアルミパイプ, シリンダ部には外径 ϕ_{SA} が 32 mm, 内径 ϕ_{SA} が 29 mm のアルミパイプをそれぞれ使用した。ピストンとシリンダの組み立ては、動力部①と同様の方法で行った。直線運動を回転運動に変換する機構は、図 7 に示す株式会社斎藤制作所 MODEL STEAM ENGINE T-1 を参考に製作した。

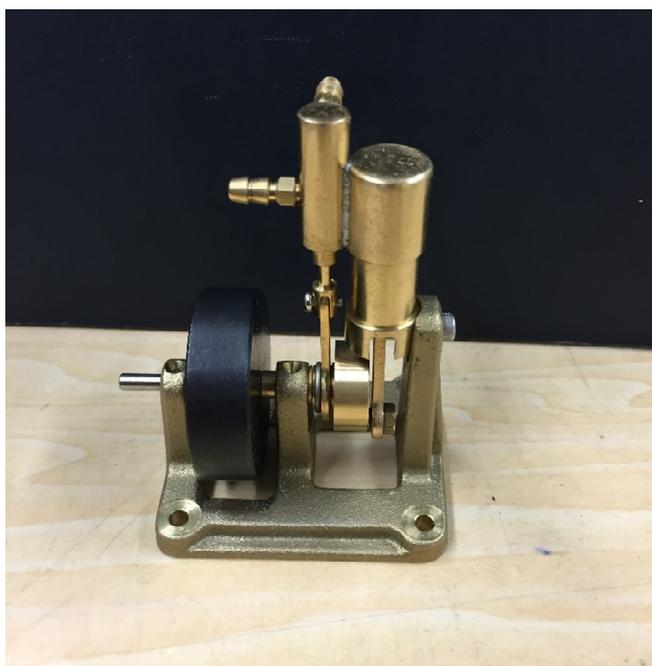


図7 参考とした機構



図8 蒸気機関動力部②

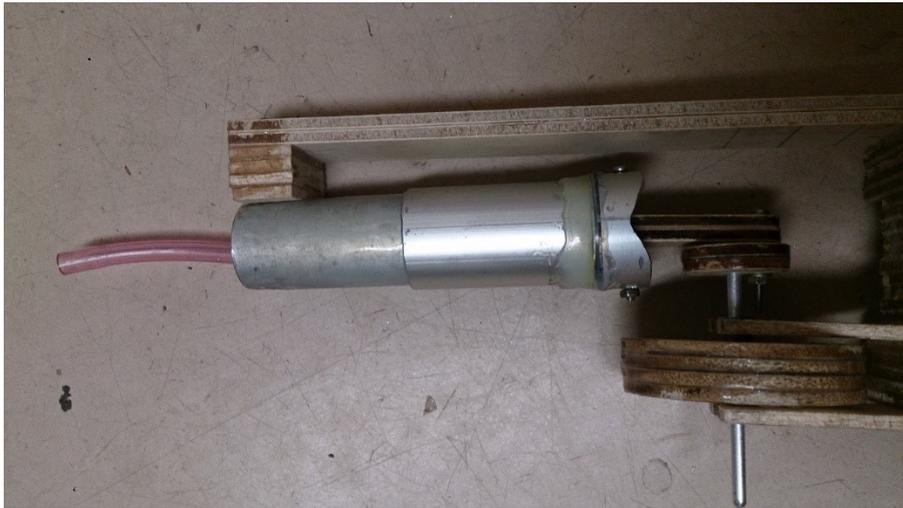


図 9 回転機構に組み込んだ動力部②

4.2 二足歩行動作部の製作

動作部の CAD データを作成し、実験装置となる二足歩行ロボットを製作するための基盤とした。

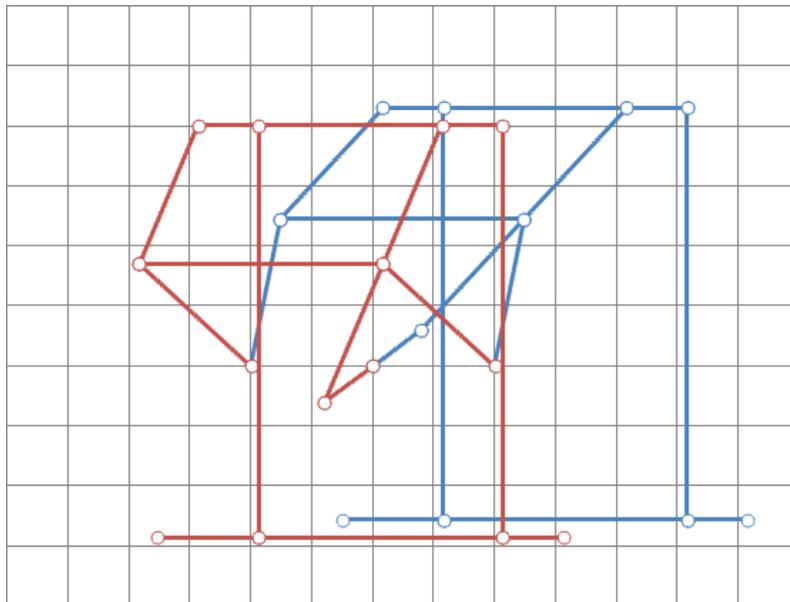


図 10 ロボットに用いたチェビシェフリンクの機構

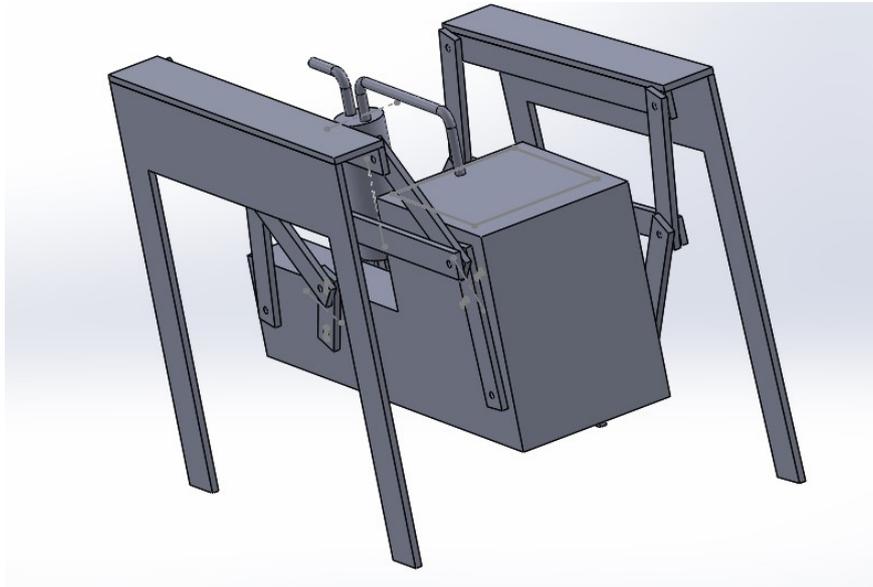


図 11 二足歩行ロボット初期構想図

チェビシェフの機構を採用した足周りの動作を CAD データで確認した際、チェビシェフリンクの寸法比が少し変化するだけで正確な直線運動の軌跡を描かないことが確認できた。そのため、実際に製作した本体の足には、初期構想図として設計した図面を利用したが、ロボットの足以外の構造はできるだけ簡略化した。これにより、不具合が生じた場合、容易に改良を加えられるようになった。そして、歩行動作部に使用する材質を変更することで、2 パターンのボディを製作した。一方は、軽量で加工が容易であるため、ポリエチレンをベースにした材料を使用し、もう一方は、剛性を期待して、木材をベースとした合板を使用した。

4.2.1 ポリエチレンを使用した歩行動作部

ポリエチレンを材料として使用した歩行動作部は、軽量で加工が容易だが、強度に問題があった。そのため、初期構想図で想定していたものよりも構成部品を厚く加工した。また、地面との接地部分の形状が不安定であるため、設置面積を拡張する改良を加えた。

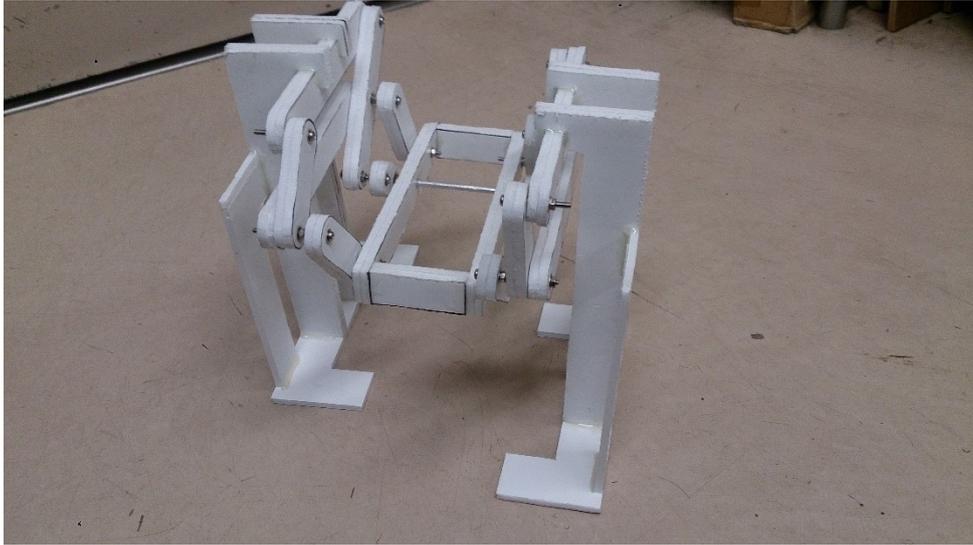


図 12 ポリエチレン材料を使用した本体(前面)

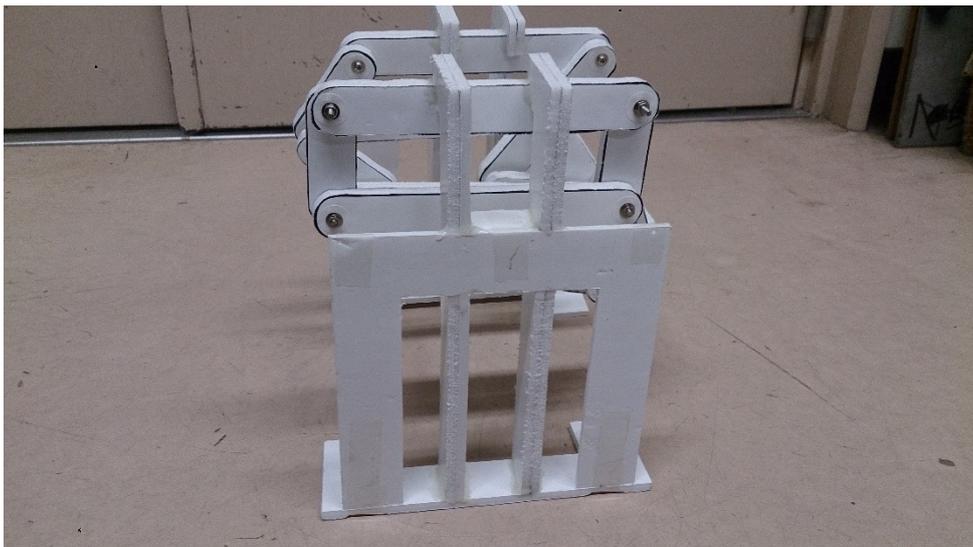


図 13 ポリエチレン材料を使用した本体(側面)

4.2.2 木の合板を使用した歩行動作部

木の合板を使用した歩行動作部は、ポリエチレン材料を使用したものよりも十分な剛性を得られたため、より初期構想図に近い形状で加工できた。接地部分はポリエチレンの歩行動作部と同様に初期構想図の形状では不安定であるから、安定性を持たせるためにポリエチレンの場合と同様の改良を加えた。

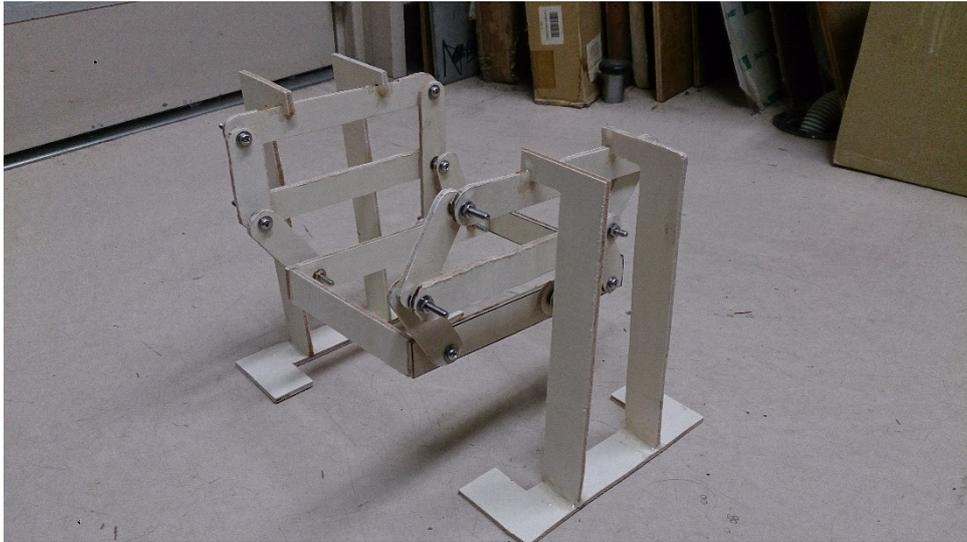


図 14 木の合板使用したボディ(前面)

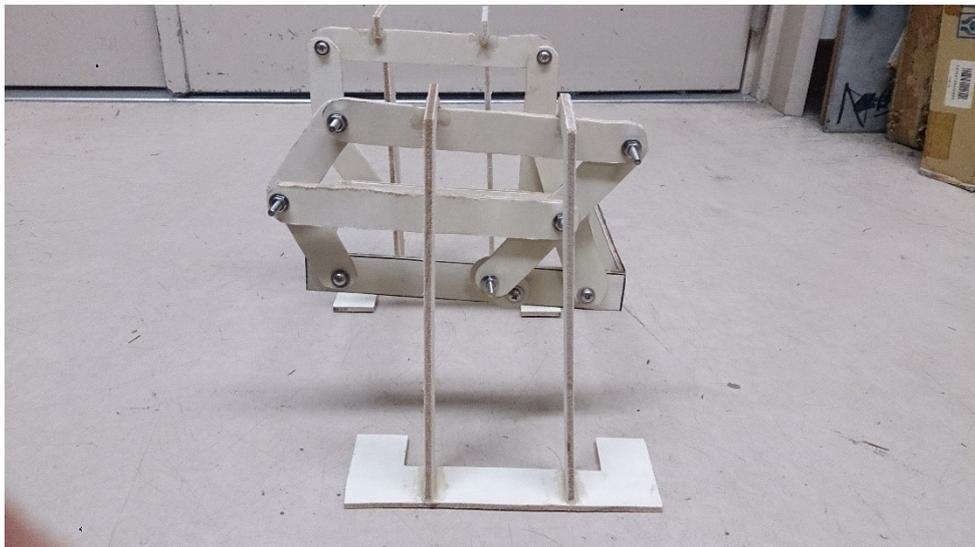


図 15 木の合板を使用したボディ(側面)

4.3 ボイラの製作

ボイラの性能目標は、500ml の水を沸騰させて動力源としての蒸気機関を十分に動作させるだけの蒸気を発生させることである。そこで、市販されている飲料用のアルミ缶をボイラとして使用し、ヒータとしてステンレスヒータ、アルコールランプ、業務用バーナを使用した加熱実験をそれぞれ行い、最終的に 500ml のアルミ缶で十分な蒸気を作り出すことを目指した。

また、図 16 のようにアルミ缶をボイラとして動力部と接続するため、蒸気の排気口にチューブを接続できるよう加工を施した。



図 16 ボイラの蒸気排気口

5. 実験内容と結果・考察

製作した実験装置を実際に動かし、それぞれの構成要素における成果と課題について考察した。

5.1 ボイラ

アルミで筐体を作り、図 18 のような自作ステンレスヒータで加熱を行った。初期水温を 13.1°C とし、 5 W ずつ加熱量を増加させた。温度はステンレスヒータの加熱部とアルミ筐体内の水を熱電対によって測定し、ボイラの性能試験を行った。以下にその結果を記す。



図 17 自作ステンレスヒータ

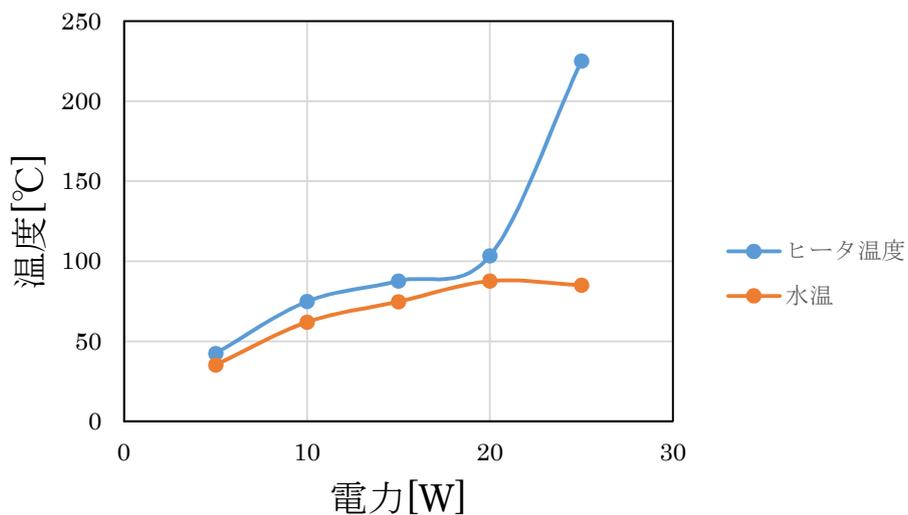


図 18 供給した電力値と温度変化の関係

ステンレスヒータの温度は、 200°C を上回ったもののシリンダを持ち上げるほどの蒸気量は得られなかった。そこで、アルコールランプによる加熱を試みたが、ステンレスヒータと同様にシリンダを持ち上げるが出来なかった。最終的に、業務用バーナ (3500 W)を用いて加熱することで、シリンダを持ち上げるだけの蒸気量を得られた。

ステンレスヒータによる加熱では水面温度が 100°C に到達すると同時に蒸発潜熱で熱が奪われてしまうため水温が 100°C に達することがなかったと考えられる。しかし、業務用バーナにおける加熱では水面だけではなく水の大部分が 100°C に達していたことで蒸気量が増加したと考えられる。

5.2 動力部

自作のステンレスヒータと業務用バーナでそれぞれボイラを加熱し、作成したシリンダが動力部として正常に動作するかを確認した。

ステンレスヒータ（20 W）で加熱した場合、蒸気量が足りず、シリンダを動作させることが出来なかったが、業務用バーナ（3500 W）で加熱した場合、シリンダを持ち上げることが出来た。しかし、蒸気量が多すぎるためにシリンダが下降できなかった。これは、蒸気の流入量に対して、流出量が少ないためシリンダ内の空気を排気することが出来なかったからだと考えられる。

動作自体については、モータによって正常に動作していることが確認できた。その様子は別途動画で添付する。

5.3 歩行動作部

実際に手動で回転軸を回し、動作させてみたところ CAD データとは異なり、左右の脚の高低差によって全体が傾いてしまうことがわかった。そのため、本体の平行を保てなくなりリンク間の距離が変化し、動作に抵抗が生じた。したがって、本体を延長し地面に接するように改良を加えた。その結果、リンク機構に関しては手動で動作させることが出来た。しかし、動力部の開発が難航したためにボディ本体に実装して動作させることは出来なかった。



(a) 改良前



(b) 改良後

図 19 改良を加えた本体

6. 結言

実際に、二足歩行ロボットを 1 m 歩行させることは出来なかった。しかし、自作したシリンダによる動力の生成やリンク機構が動作する事をそれぞれ個別に確認することができた。八光熱コンテストには間に合わなかったが、原因を追求し、蒸気機関による二足歩行ロボットを完成させたいと思う。

7. 謝辞

本実験は、株式会社八光電機様からご支援していただきました。本実験を通して、蒸気を扱うことの難しさを含め、様々な知見を広めることが出来ました。このような貴重な機会を与えていただきました事に深く感謝いたします。また、実験に際し廣瀬福江研究室にご協力していただいたことを感謝いたします。