

フルイダインで船を作ろう！

所属先 山梨大学大学院医工農学総合教育部

工学専攻機械工学コース

代表者指名 人見 和輝

小塚 達也 田中 裕大

土屋 公俊 村田 祐一

村松 範彦

## 1. 諸言

自動車に代表される動力源として、化石燃料を使用した内燃機関が広く用いられている。しかしながら、化石燃料の枯渇や二酸化炭素排出等の問題があり、化石燃料の消費を可能な限り抑えたい。最近、熱源の種類に依らず、爆発も伴わない外燃機関であるスターリングエンジンが注目されている。

一般的なスターリングエンジンは2つのピストンを有する。本提案では、ピストンの代替として、水などの流体を用いるフルイダインに着目した。スターリングエンジンと比べ構造が簡単であるが、ピストンが流体であるため、動力源として利用することは困難であるとされている。そこで、本提案では構造が簡単であるフルイダインを用いて、熱エネルギーを動力に変換し船を動かすことを目的とした。

## 2. フルイダインの原理及び実験装置

### 2.1 フルイダインの原理

フルイダインは液体の振動を利用した熱機関であり、メカニカルなシステムが一切ないことから構造が簡単で、製作・メンテナンスが容易である。フルイダインの一般的な構造は、U字型の流路である。装置の概略図を Fig.1 に示す。

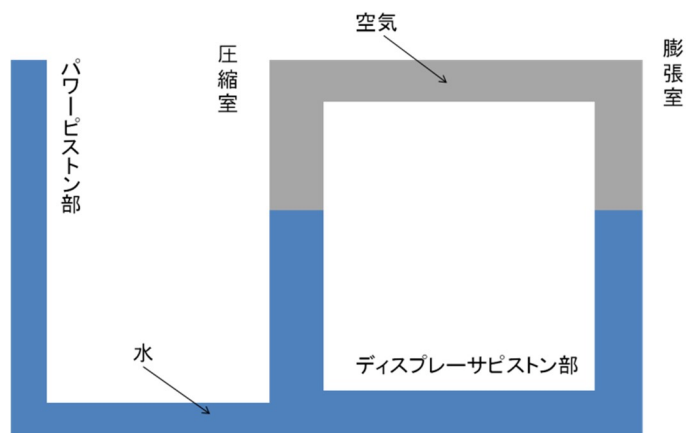


Fig.1 フルイダインの概略図

この熱機関の内部には適当量の水と空気が入っており、熱機関本体の 2 つの垂直管内の水が他の熱機関のピストンに相当しディスプレイサピストンと呼ばれる。一方の垂直管上部の空気の入った空間は膨張室といい、加熱されるため熱機関の高温部となる。もう一方の垂直管上部の空気は圧縮室といい、大気中に放置されるため、熱機関の低温部となる。U 字型流路の下部に管を取り付け、垂直にすることによって、この部分の水の振動によって外部に仕事させることができる。この水柱のことをパワーピストンと呼ぶ。両室に温度差がない場合でも、機関内部の水は揺らすことで振動するが、この振動は水の粘性により減衰する。しかしながら、両室の温度差がある値以上になると、熱から得られる仕事が摩擦によるエネルギーの消散に勝り、定常的に自励振動するようになる。この時パワーピストンも振動するため、仕事を外部に取り出せる熱機関となり得る。

フルイダインは、2 つの等温過程と 2 つの等積過程からなるサイクルとして表すことができる。フルイダインの熱学的作動原理は 4 工程に分けることができ、これは理想スターリング熱機関の対応する 4 工程に近似している。作動原理の説明を下記に示し、Fig.2 に説明のための理想スターリング熱機関のサイクル図を示す。

(1) 等積変化 B→C

膨張室側を加熱することで空気が膨張し、膨張室側の垂直管内の水位が下がり、圧縮室側の水位が上昇する。これにより機関本体の 2 つの水ピストンに水位差ができ、重力により圧縮室側から水が膨張室側に移動すると、内部の空気が膨張室から圧縮室側に定容で移動する。そして空気の圧力が低下する。(Fig.3)

(2) 等温圧縮 C→D

圧縮室側で空気は等温で圧縮し、パワーピストン部の水がディスプレイサピストン部に吸い込まれるため、装置は外部から仕事される。このとき、パワーピストン部に近い圧縮室側のディスプレイサピストンの水位の方が早く上昇する。(Fig.4)

(3) 等積変化 D→A

2 つの水ピストンに水位差ができるため(1)と同様に水の移動が起こる。このとき圧縮室側の低温の空気が定容で膨張室側に移動する。そして空気の圧力は上昇する。(Fig.5)

(4) 等温膨張 A→B

膨張室側で空気は等温的に膨張し、水はパワーピストン部に押し出され外部に仕事を行う。そして重力によって 2 つの水ピストンはつり合いを求めて大きく振り戻す。これは(1)の行程に戻ったことを意味する。(Fig.6)

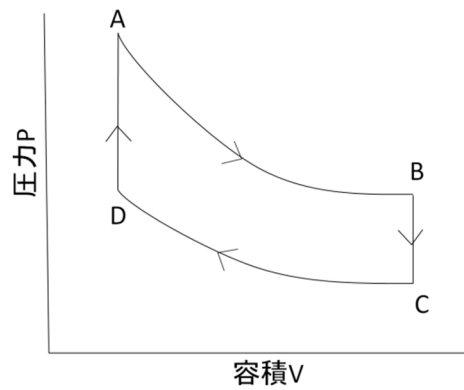


Fig.2 理想スターリング熱機関のサイクル図

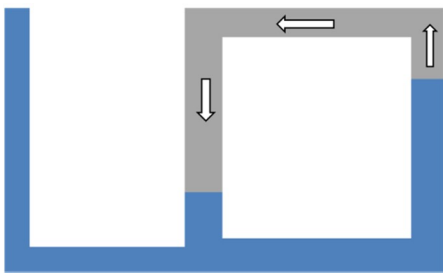


Fig.3 等積変化 B→C

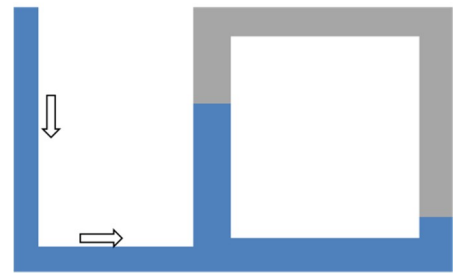


Fig.4 等温圧縮 C→D

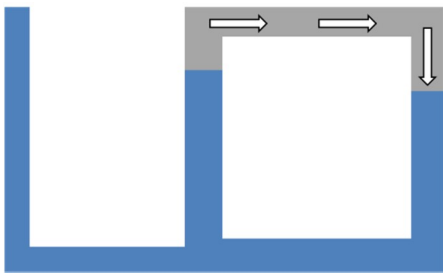


Fig.5 等積変化 D→A

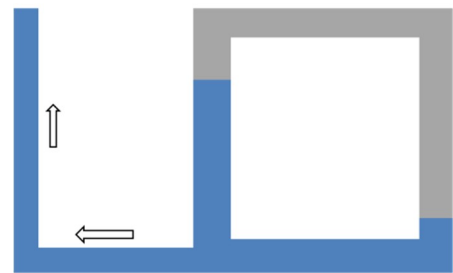


Fig.6 等温膨張 A→B

## 2.2 実験装置

Fig.7 に実験装置の概略図を示す。フルイダインを用いて船を製作するために、ポンプ機構を取り付けた実験装置を製作した。フルイダインの出力部を二分岐させ、逆止弁を取り付けることにより、ポンプを作成することが可能である。ポンプ機構を取り付けたフルイダインを発泡スチロールの上に乗せ、加熱することにより現象を発生させ、船前方より吸水、船後方に放水することにより駆動する船を製作した。

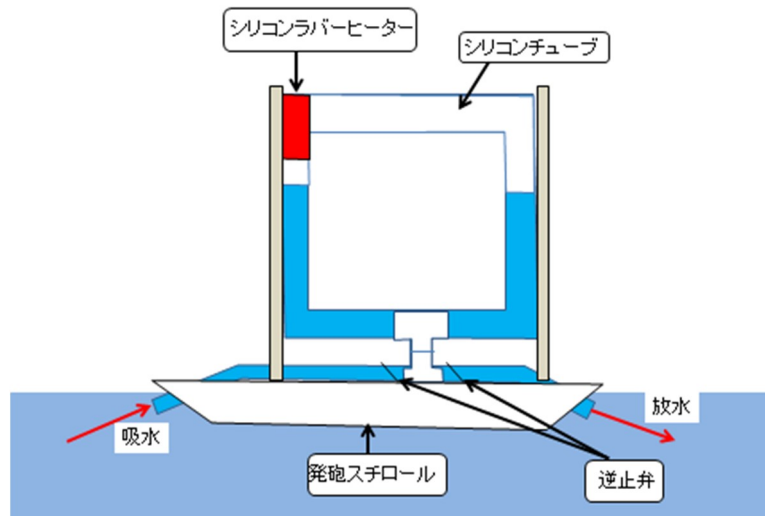


Fig.7 実験装置概略図

### 3. 実験の目的

本提案では構造が簡単であるスターリングエンジンの一つであるフルイダインを用い、動力を得ることによって船を駆動させることが目的である。実験の手順を以下に示す。

- (1) 様々な材料，熱源を使用し，現象が起こることを確認する。
- (2) 実験装置内の空気と水の比率と出力の関係を調査する。
- (3) 出力の観点から，船を製作する実験装置を検討する。
- (4) ポンプ実験装置を作成し実験を行う。
- (5) 船を製作し駆動させる。

### 4. フルイダイン実験

船の製作を行う前に，フルイダインの現象が起きるか，また各条件において出力がどのように変化するかを調査した。

#### 4.1 シリコンチューブ，シリコンラバーヒータによる実験

実験装置内の作動流体の動きが見える方が良いと考え，Fig.7に示すようにシリコンチューブで実験装置を製作した。Fig.8に実験装置を示す。本体は，外径 33mm 内径 25mm のシリコンチューブ(タイガースポリマー株式会社)を使用した。また，T型ホース継手(株式会社タカギ)，変径ホースコネクタ(藤原産業株式会社)を介し，外径 20mm 内径 15mm の出力

部であるシリコンチューブへと繋がっている。

加熱部は、100V50W のシリコンラバーヒータ(株式会社八光電機)を使用した。温度制御は温度測定器 (LOGTHERMO DGL0100, 株式会社八光電機) を使用した。ラバーヒータの設定温度条件を Table1 に示す。

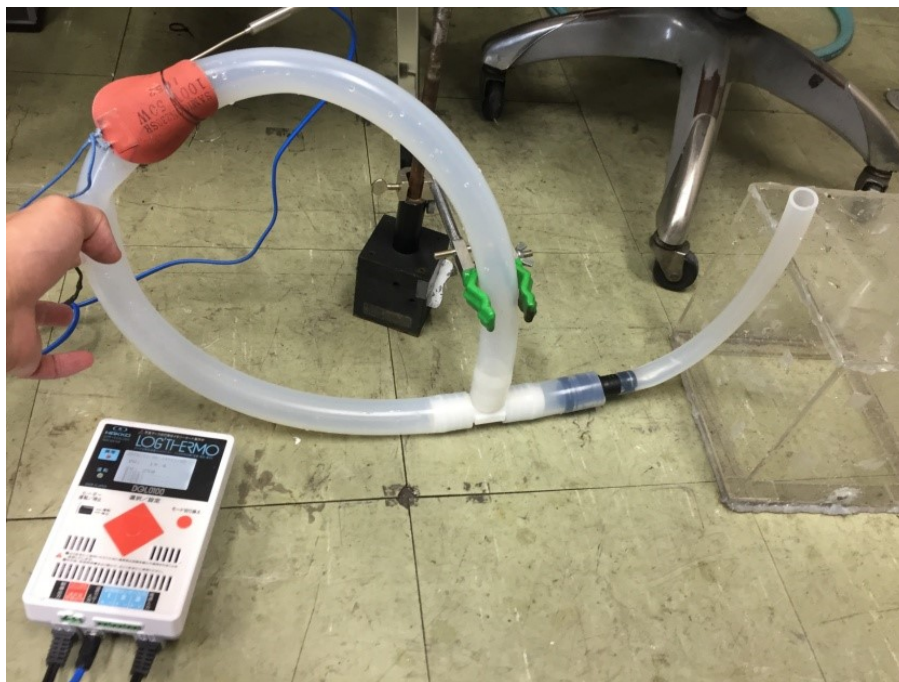


Fig.8 実験装置(シリコンチューブ, シリコンラバーヒータ)

Table1 ラバーヒータ温度条件

No.	ヒータ温度
1	50
2	100
3	150
4	200

・実験結果

すべての条件においてフルイダイン現象が見られなかった。フルイダイン現象が起きなかった理由としては、ラバーヒータの熱が実験装置内の空気に伝わりづらく、空気が膨張しなかったことが原因であると考えられる。200℃の温度条件では、若干の空気の膨張が見

られたが、現象が起きるにはさらに効率よく空気に熱を伝えることが重要であると考えられる。

#### 4.2 シリコンチューブ、加熱部銅管、シリコンラバーヒータによる実験

4.1 より、実験装置内の空気に十分熱が伝わっていなかったことが、現象が起きない原因だと考え、加熱部を熱伝導率の高い銅管にした実験装置を製作した。Fig.9 に実験装置を示す。本体は、4.1 と同様に外径 33mm 内径 25mm のシリコンチューブを使用した。ラバーヒータを巻きつける銅管は1インチ銅管(株式会社神戸製鋼所)を使用した。その他の構成は、4.1 の実験装置と同様である。

ラバーヒータの設定温度条件を Table2 に示す。

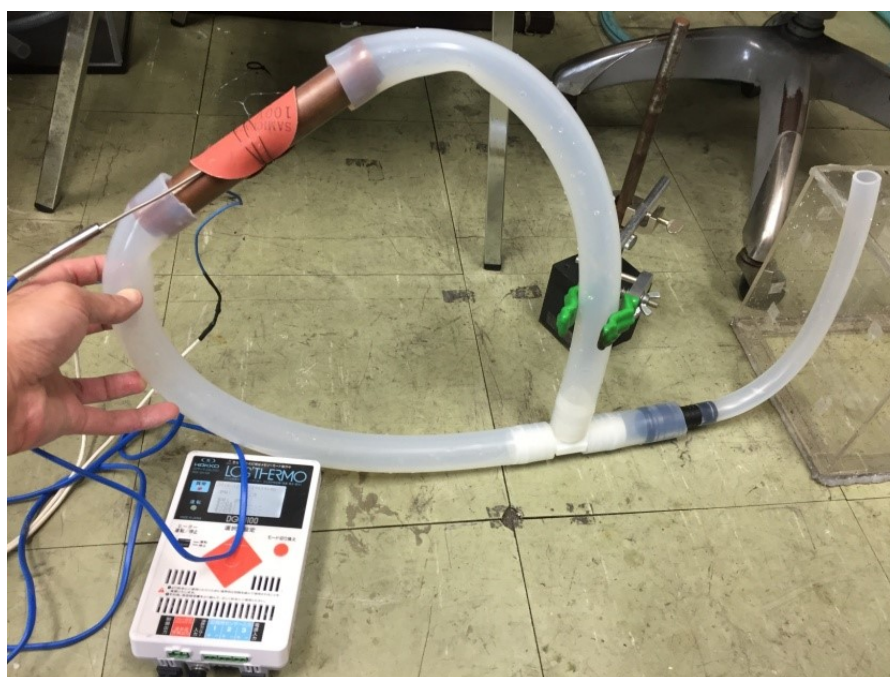


Fig.9 実験装置(シリコンチューブ、加熱部銅管、シリコンラバーヒータ)

Table2 ラバーヒータ温度条件

No.	ヒータ温度
1	50
2	100
3	150
4	200

・実験結果

この場合も全ての条件においてフルイダイン現象が見られなかった。加熱部を銅管にすることで実験装置内の空気に熱が伝わりやすくなり、空気の膨張は 4.1 の実験より大きくなったが、ラバーヒータの熱量ではフルイダイン現象が起きなかった。

### 4.3 銅管による実験

#### 4.3.1 銅管，ガスバーナーによる実験

シリコンチューブは、耐熱温度が 200℃程度と低いため、ラバーヒータによる加熱が限界であった。そこで、火炎を熱源とした実験装置とするため、銅管を用いて製作した。Fig.10 に実験装置を示す。1 インチ銅管とエルボ及びチーズ継手を溶接して製作した。また、出力部は外径 33mm 内径 25mm のシリコンチューブをチーズに接続し、違径ホースコネクタを介し、外径 20mm 内径 15mm のシリコンチューブに繋がっている。実験装置本体の寸法は、幅 230mm 高さ 260mm である。

加熱は市販のガスバーナーを使用し、加熱部は Fig.10 に示す位置とした。

実験装置の容積は、400ml であった。そこで、今回の実験では熱源をガスバーナーとし、冷却側は自然空冷とし、実験装置内に充填するピストン流体である水の量をパラメータとして実験を行った。出力は、出力部の内径 15mm のシリコンチューブ内の水の振幅を測定した。充填する水の量は、0~400ml まで 10ml 刻みで実験を行った。



Fig.10 実験装置

・実験結果

銅管を用いた実験装置では、熱量の大きいガスバーナーを熱源とすることで、フルイダイン現象が起きることを確認した。

Fig.11 に水の容積と出力の振幅の関係を示す。グラフより振幅にばらつきが生じているが、水の容積が増えるに従い振幅が大きくなる。実験装置の 50%の容積にあたる 200ml 以下では、フルイダイン現象が起き始めると同時に、それ以前に出力部のチューブに空気が漏れる現象が生じた。これは、空気の膨張によって実験装置内の水位が低下し、T 型の銅管継手から空気が出力部に侵入したことによるものである。したがって、水の容積 200ml 以下の条件ではフルイダイン現象発生後に空気が漏れだし、振幅は大きくなり、フルイダイン現象も短時間で終了した。これに対して 300ml 以上の条件では、空気が漏れず安定してフルイダイン現象が発生したため、振幅が大きくなったと考えられる。特に 330ml の場合において安定したフルイダイン現象が起きた。



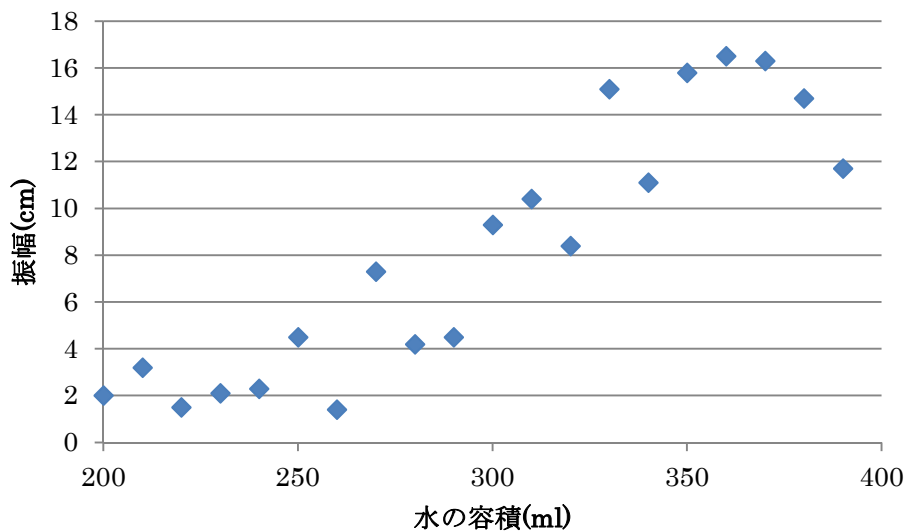


Fig.11 1 インチ銅管フルイダイン実験

#### 4.3.2 その他の熱源での実験

ガスバーナーで加熱した際、熱量が大きいため出力部の大きな振幅は平均して2分以内に生じた。そこで、ガスバーナーよりも小さい熱量の熱源を使用し実験を行った。実験条件を Table3 に示す。

加熱位置は、Fig.10 に示すガスバーナーの際と同様の位置とした。また、冷却部も同様に自然空冷とした。各熱源を Fig.12 に示す。

Table3 実験条件

熱源	設定温度[°C]	水の容積[ml]
ターボライター	/	330
着火マン		
シリコンラバーヒータ		



Fig.12 その他熱源

#### ・実験結果

ガスバーナー以外の熱源を用いて実験を行ったが、全ての条件においてフルイダイン現象は確認できなかった。

3つの熱源では、いずれも空気の膨張によって、出力部の水面が上昇した。しかしながら、1インチ銅管を用いた実験装置では、ガスバーナー以外の熱源では現象が生じるために必要な熱量が十分でないと考えられる。

#### 4.3.3 5分銅管による実験

1インチ銅管では、ガスバーナー以外の熱源では熱量が足りず、フルイダイン現象が発生しなかった。そこで、ガスバーナーより小さな熱量でフルイダイン現象を発生させるため、径の細い銅管を使用し実験装置を製作した。

5分銅管を使用し、実験装置の寸法は1インチ銅管と同様とした。Fig.13に実験装置を示す。加熱位置は1インチ銅管の場合と同様とした。

まず、ガスバーナーを熱源として実験を行った。1インチ銅管の場合と同様に冷却側を自然空冷とし、実験装置内に充填するピストン流体である水の量をパラメータとして実験を行った。実験装置の容積は130mlであったため、充填する水の容積を0~130mlとした。出力は出力部の内径15mmのシリコンチューブ内の水の振幅を測定した。



Fig.13 実験装置

・ガスバーナー実験結果

Fig.14 にガスバーナーを熱源とした際の水の容量と振幅の関係を示す。ガスバーナーを熱源とした場合、5分銅管の実験装置でフルイダイン現象が発生することを確認した。

5分銅管での実験においても1インチ銅管での実験と同様に、水の容積が増えるに従い、出力の振幅が大きくなる。水の容積が80ml以下の場合では、フルイダイン現象が起き始めると同時か、それ以前に出力部のチューブに空気が漏れる現象が生じた。1インチ銅管の場合と比較すると、振幅は小さくなることが分かった。熱源が同様である場合、実験装置の配管径の大きい方がより大きな出力を得ることができた。

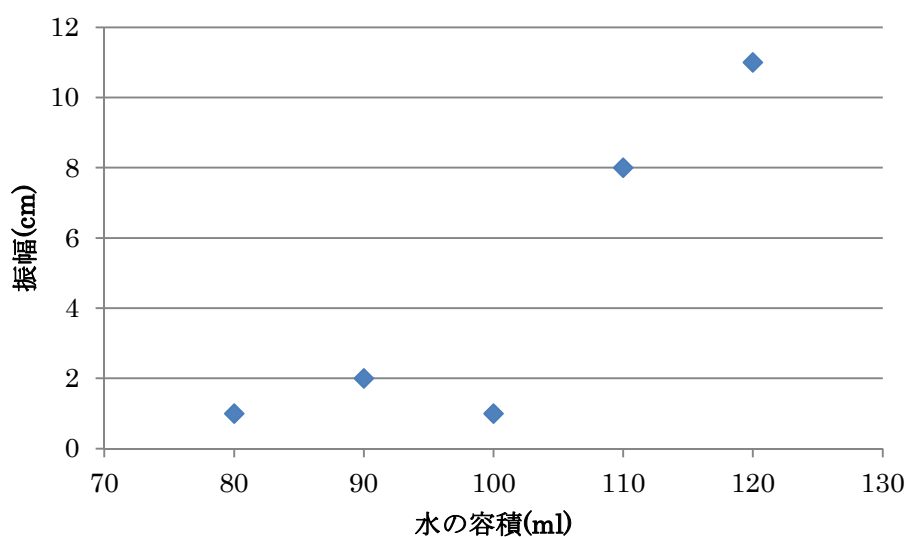


Fig.14 5分銅管フルイダイン実験

・その他の熱源での実験

1インチ銅管同様に、5分銅管でガスバーナー以外の熱源を用いて実験を行った。Table4 に実験条件を示す。加熱はガスバーナーと同様の位置とした。

Table4 実験条件

熱源	設定温度[°C]	水の容積[ml]
ターボライター		330
着火マン		
シリコンラバーヒータ	50,100,150,200	

・その他の熱源での実験結果

5分銅管の実験装置でガスバーナー以外の熱源を用いて実験を行った。1インチ銅管では径が大きいためフルイダイン現象を発生させるための熱量をガスバーナー以外の熱源から得られなかった。5分銅管を使用した場合でも同様に、ガスバーナー以外の熱源でフルイダイン現象は発生しないことを確認した。1インチ銅管の場合と同様に、加熱し始めると出力部の水位が上昇する様子が確認できたが、その後フルイダイン現象が発生することはない。5分銅管を用いた場合においても熱量が足りなかったと考えられる。

#### 4.4 アルミパイプ，トヨロンホースによる実験

5分銅管よりもさらに径の小さい実験装置を作成することによって、ガスバーナー以外の熱源でもフルイダイン現象が発生するかを検討した。また、銅管を用いた実験装置は、出力部の水面が振幅していることは確認できるが、ピストン流体が振幅している様子を見ることができない。

ピストン流体が振幅している様子を確認し、5分銅管よりもさらに径が小さい実験装置を製作した。Fig.15 に実験装置を示す。実験装置は、加熱部と上部の2辺をアルミパイプで構成し、他の2辺をトヨロンホースで構成した。アルミパイプとトヨロンホースの接続はエルボを3つ使用し、出力部に繋がる頂点はT型ホース継手を使用した。アルミパイプは外径15mm内径12mmであり、トヨロンホースは外径15mm内径9mmである。熱伝導率の高い銅管を使用するにあたって、エルボ継手が重いため、軽量化を考えアルミパイプを採用した。実験装置の寸法は銅管の実験装置と同様である。



Fig.15 実験装置

#### 4.4.1 ガスバーナーによる実験

ガスバーナーを熱源とし実験を行った。こちらの実験装置においてもフルイダイン現象が発生することを確認した。

そこで、銅管での実験と同様に、水の容積と出力の振幅の関係を調査した。加熱はガスバーナーで行い、冷却部は自然空冷とした。加熱位置は Fig.15 に示す位置である。本実験装置の容積は 100ml であったため、水の容積を 0~100ml として実験を行った。

##### ・実験結果

Fig.16 に水の容積と振幅の関係を示す。グラフより、60ml から 80ml の間で振幅が大きくなっている。50ml 以下ではフルイダイン現象が起き始めると同時か、それ以前に出力部のチューブに空気が漏れる現象が生じた。実験装置の水の容積が 50%以下では安定したフルイダイン現象は発生しないと考えられる。水の容積が増えるにしたがって、振幅が大きくなることは銅管の実験と同様の傾向を示している。90ml で振幅が小さくなった理由は、実験装置内の空気が少なすぎたため、ピストン流体である水を振動させる力が不十分であったものと考えられる。また、出力部の径が小さくなると振幅は銅管の実験よりも小さく

なり、径が小さくなることによって出力が低下するものと考えられる。今回の実験では、80ml の場合で最も安定したフルイダイン現象が発生した。

この実験装置では本体の一部がトヨロンホースで構成されているため、フルイダイン現象発生中のピストン流体の動きを観察することができた。出力部の振動の周期に合わせて実験装置内の水が振動することを確認した。

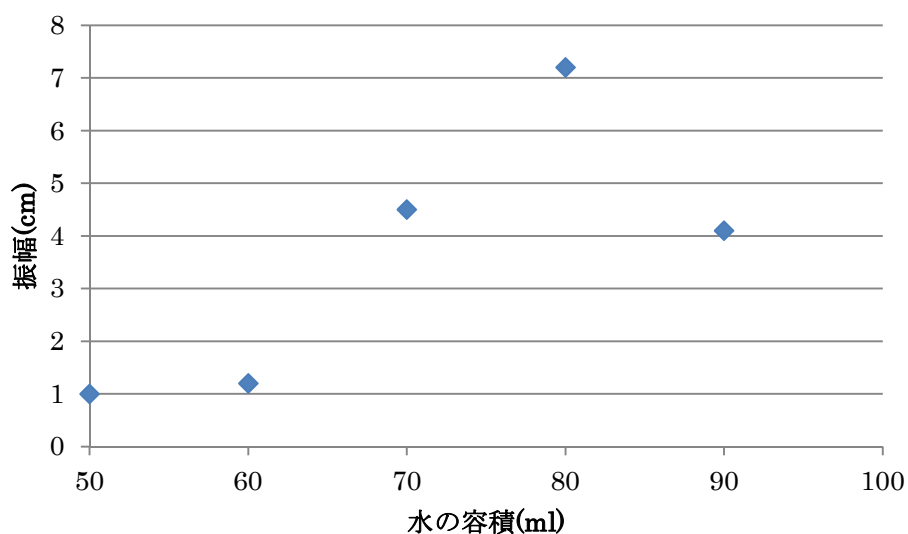


Fig.16 アルミパイプ，トヨロンホース，フルイダイン実験

#### 4.4.2 その他の熱源での実験

熱源をガスバーナーとした場合，この実験装置ではフルイダイン現象が発生することを確認した。1インチ，5分銅管の実験装置ではいずれもガスバーナー以外の熱源では熱量が足りずフルイダイン現象が発生しなかったものの，さらに径が小さい実験装置ではその他の熱源で現象が発生する可能性があると考えて，ガスバーナー以外の熱源を使用し実験を行った。加熱位置はガスバーナーでの実験と同様の位置とし，冷却側は自然空冷とした。Table5 に実験条件，各熱源を Fig.17 に示す。

Table5 実験条件

熱源	設定温度[°C]	水の容積[ml]
ターボライター	50,100,150,200	330
着火マン		
シリコンラバーヒータ		



Fig.17 その他熱源

#### ・実験結果

アルミパイプとトヨロンホースで構成した実験装置で，ガスバーナー以外の熱源を用いて実験を行った．

1 インチ，5 分銅管と同様に，出力部の水位が上昇し空気が膨張していることを確認したが，フルイダイン現象は発生しなかった．実験装置内の水位が下降していく様子が確認できたが，現象を発生させるためにはガスバーナー以外の熱源では熱量が不十分であると考えられる．

#### 4.5 フルイダイン実験まとめ

Table6 にフルイダイン実験の結果を示す．フルイダイン現象を発生させるためには，どの実験装置においてもガスバーナー程度の熱量が必要であることが分かった．また，実験装置本体の径が大きい方が大きな出力が得られることが分かった．また，出力部の振動と同時に実験装置内のピストン流体が振動していることを確認した．

Table6 フルイダイン実験まとめ

実験装置	ガスバーナー	ターボライター	着火マン	シリコンラバー ヒータ
シリコンチューブ				×
シリコンチューブ, 加熱部銅管				×
1 インチ銅管	○	×	×	×
5 分銅管	○	×	×	×
アルミパイプ, トヨロンホース	○	×	×	×

## 5. ポンプ実験

フルイダイン実験より，出力が最も大きい1インチ銅管を用いてポンプを製作した．ポンプ実験装置を Fig.18 に示す．実験装置は，銅管から外径 33mm 内径 25mm のシリコンチューブをチーズに接続し，違径ホースコネクタを介し，外径 20mm 内径 15mm のシリコンチューブまでフルイダイン実験で用いたものと同様であり，出力部のシリコンチューブに T 型ホース継手を取り付けた．T 型ホース継手から吸水部，放水部へと分岐し，それぞれに逆止弁(Kartell)を取り付けた．

加熱部はフルイダイン実験の際と同様の位置とした．充填する水の容積は，フルイダイン実験の結果よりもっとも安定したフルイダイン現象が発生した 330ml とした．冷却側は自然空冷とした．



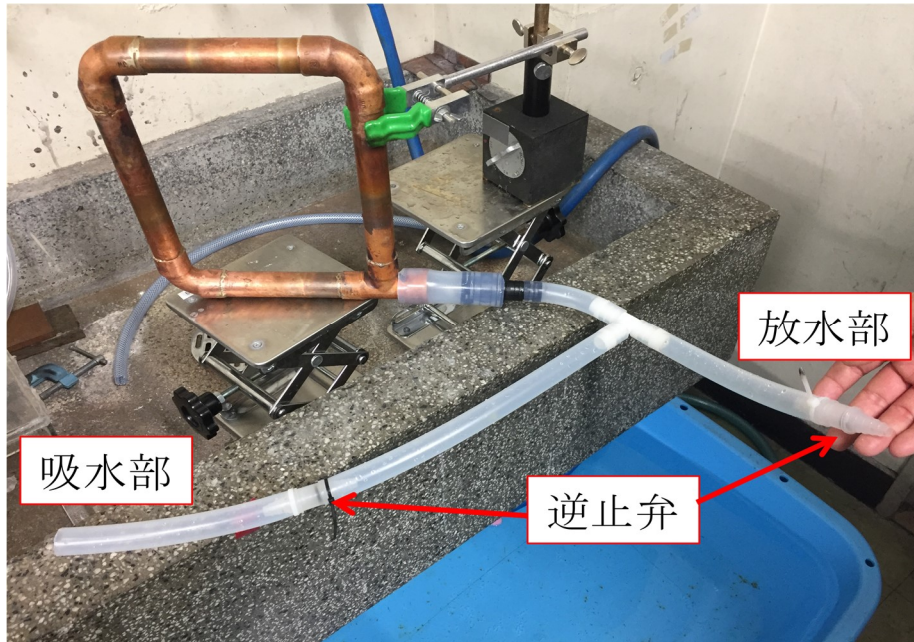


Fig.18 ポンプ実験装置

・実験結果

1 インチ銅管を用いてポンプを製作し実験を行った。ポンプが作動する様子は動画で示す。(別途添付)

ポンプとして作動することは確認したが、フルイダイン実験の際の出力と比較すると大幅に出力が低下した。フルイダイン現象が発生していることは、吸入部の逆止弁が作動していることから確認した。出力が低下した理由は逆止弁の流動抵抗が大きいためであると考えている。しかしながら、ポンプを製作する上で逆止弁は必要であり、これ以上の出力を得ることは困難であると考えられる。

## 6. フルイダイン船の製作

1 インチ銅管を用いたポンプを使用して船を製作した。船の概略を Fig.19 に示す。ポンプ実験の際に製作したポンプを発泡スチロールの上に乗せる単純な構造である。発泡スチロールに L 型金具を二つ接着剤で接着し、実験装置を挟んでいる。実験装置は船を駆動させるために水を充填する必要があるため、簡単に取り外しができるようにした。船底で吸水し、船後方に向かって放水することで船を前進させる動力を得る方法とした。

実験装置内に充填する水の容量は、フルイダイン実験の際に最も安定した結果が得られた 330ml とし、加熱部はフルイダイン実験の際と同様の位置、冷却側は自然空冷とした。

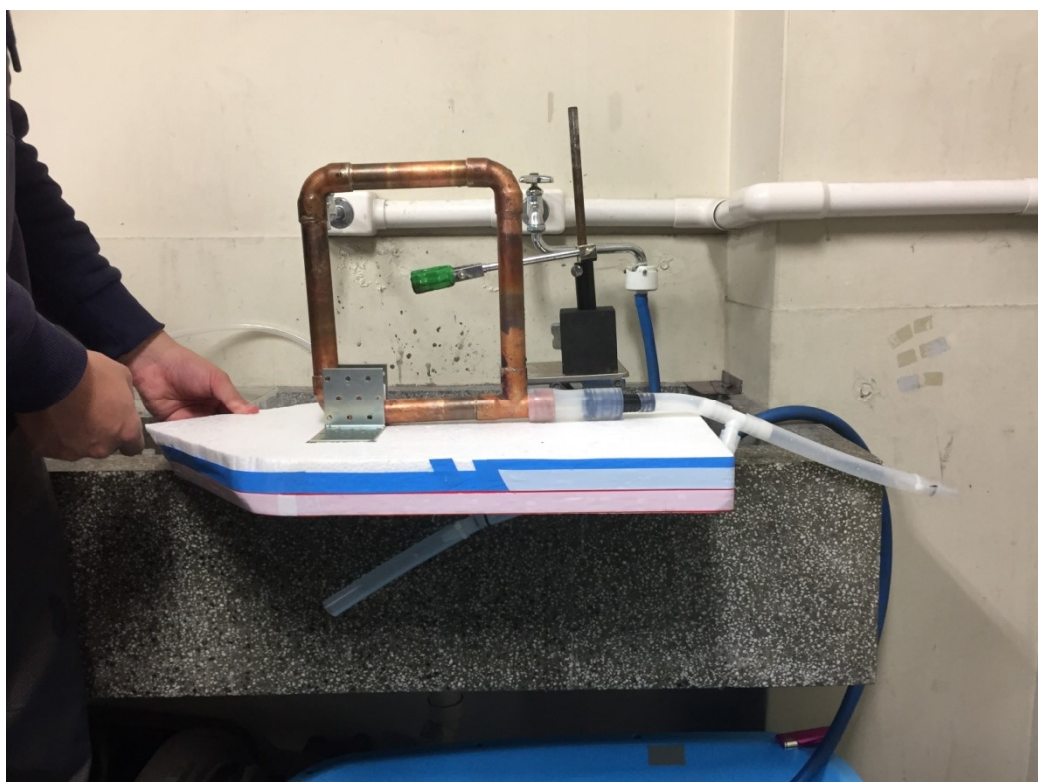
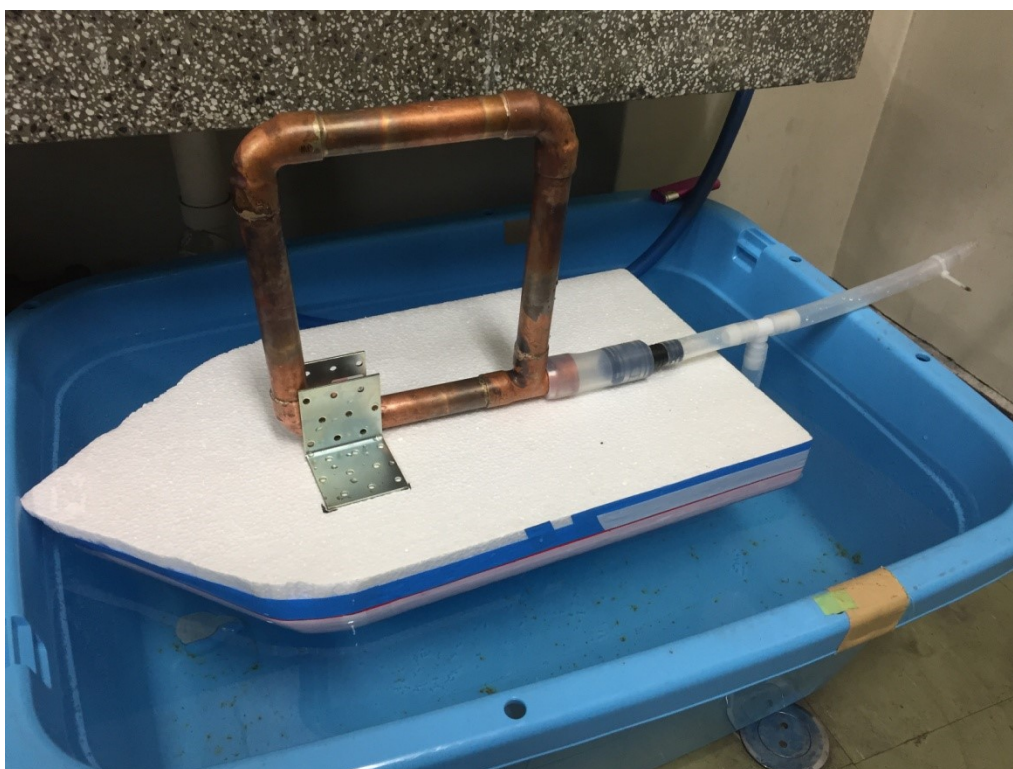


Fig.19 フルイダイン船

#### ・フルイダイ船駆動実験結果

ポンプを用いたフルイダイ船の駆動実験の様子を動画に示す。(別途添付)

フルイダイ実験では船を前進させるために十分な出力が得られると考えられたが、ポンプ実験では逆止弁が流動抵抗となり出力が大幅に低下してしまった。その結果、ポンプを用いたフルイダイ船はほとんど駆動することが出来なかった。このポンプ出力ではフルイダイ船を駆動させることは困難であると考えられる。

### 7. フルイダイ船 2号機の製作

ポンプの機構を用いたフルイダイ船では、逆止弁による出力の低下で駆動させることが出来なかった。そこで、ポンプの機構を取り外し、フルイダイ実験を行った際の実験装置を発泡スチロールに乗せるフルイダイ船 2号機を作成した。Fig.20 にフルイダイ船 2号機を示す。

出力部のチューブを直接水中に入れ、放水・吸水を 1本のチューブで行った。放水の際は船前方に力が生じるが、吸水の際は船後方に生じる力が放水の際の船前方に生じる力に比べると極めて小さいため、エネルギーの損失は極めて小さいと考えられる。船に乗せた状態でフルイダイ実験時の出力が出れば、フルイダイ船 2号機を駆動させることは可能であると考えた。

この場合も充填する水の容量は 330ml とし、加熱部の同様の位置とし、冷却側は自然空冷とした。



Fig.20 フルイダイン船 2 号機

・フルイダイン船 2 号機駆動実験結果

フルイダイン船 2 号機の駆動実験の様子を動画に示す。(別途添付)

ポンプ機構を取り外し，流動抵抗を低減させて出力が向上したことで，フルイダイン現象の周期的な振動に合わせてフルイダイン船 2 号機を前進させることができた．しかしながら，前進速度は小さく，長時間船を駆動させることは困難であった．ピストンに流体を用いるフルイダインでは仕事を取り出すことが容易ではない．今回の実験では，船を駆動することはできたものの，当初想定していた動きには出力が不十分であり，さらに大きな出力を得るのは容易でないと考えられる．

## 8. 撮影動画

1 インチ銅管，5 分銅管，アルミパイプによるフルイダイン実験での出力部の振幅の様子を別添の動画に示す．また，5 分銅管を用いた場合のポンプ実験，フルイダイン船，フルイダイン船 2 号機の駆動実験も別添の動画に示す．

## 9. 結言

本実験ではフルイダインを用いて船を駆動させる実験を行った。その過程で得られた知見及び結果を以下に示す。

- (1) シリコンチューブを用いた実験装置では熱源としてシリコンラバーヒータを用いて実験を行ったが、熱量が得られずフルイダイン現象は発生しなかった。
- (2) 銅管を用いた実験装置でも熱源としてシリコンラバーヒータを用いて実験を行ったが、熱量が得られずフルイダイン現象は発生しなかった。
- (3) 1 インチ銅管を用いた実験装置において、熱源としてガスバーナーを用いて実験を行い、フルイダイン現象が発生することを確認した。実験装置内に充填する水の容積と出力の振幅の関係を調査し、充填する水の容積が増加するに従い出力の振幅が大きくなることが分かった。ガスバーナー以外の熱源を用いた実験では、十分な熱量を得ることができず、フルイダイン現象は発生しなかった。
- (4) 5 分銅管を用いた実験装置において、熱源をガスバーナーとした場合の実験では、実験装置内に充填する水の容積と出力の振幅の関係を調査した結果、充填する水の容積が増加するに従い振幅が大きくなり、1 インチ銅管の結果と定性的に一致した。また、1 インチ銅管の場合に比べて出力は低下した。ガスバーナー以外の熱源を用いた実験では、十分な熱量が得られず、フルイダイン現象は発生しなかった。
- (5) 実験装置内のピストン流体の動きを可視化するため、直径の小さいアルミ管とトヨロンホースを用いて実験装置を製作した。熱源にガスバーナーを用いた実験を行い、実験装置内に充填する水の容積と出力の振幅の関係を調査した。銅管での実験結果と同様に、充填する水の容積が増加するに従い振幅が大きくなった。さらに、管径が小さくなると出力が低下することが分かった。熱源がガスバーナー以外の場合では、フルイダイン現象は発生しなかった。今回製作した実験装置ではいずれもガスバーナー以外の熱源ではフルイダイン現象を発生させるだけの熱量を得ることができなかった。
- (6) 1 インチ銅管を用いてポンプを製作し、実験の結果、フルイダイン現象が発生することを確認したが、逆止弁の流動抵抗により出力が低下した。
- (7) 1 インチ銅管を用いたポンプによりフルイダイン船を製作し、駆動実験を行った結果、逆止弁の流動抵抗による出力の低下の影響でフルイダイン船を駆動することができなかった。

- (8) ポンプ機構を取り外したフルイダイン船 2 号機では，フルイダイン現象の振動に合わせて前進したが，速度が小さく，長時間連続して安定に駆動させるには出力が不十分であった．

## 10. 謝辞

本実験は株式会社八光電機様より実験費の助成をいただきました．また，熱の実験コンテストという熱流動現象の理解を深めるための貴重な場を設けて頂き深く感謝の意を表します．

本実験を行うにあたり丁寧かつ熱心なご指導を下された武田哲明教授，船谷俊平助教には，深く感謝致します．そして多くのご指摘かつご協力をいただいた武田研究室の皆様にも感謝致します．