

卒業研究におけるホバークラフトの試作

ポリテクカレッジ小山 産業機械科
(小山職業能力開発短期大学校)

長野 修
学生 須内正昭・高橋伸一

1. はじめに

ものづくりには技能と技術が欠かせないが、教育訓練においてこれらを学生が育む一過程としてホバークラフトの試作を卒業研究で行うこととした。十数年前、多翼送風機を使用したホバークラフトを製作しているのを見たことがあった。あるとき二条城の園内の清掃に遠心式の送風機を使用していたのを見てひらめき、これを利用することで自立型のホバークラフトが作れるのではないかと考えた。

さて、ホバークラフトが走行するためには浮上および推進が必要であり、浮上用の送風機は一般に多翼送風機を使用しているが、今回は遠心式送風機を使用することでユニークなものとなった。

ホバークラフトの製作は初めてだった。走行するためには浮上することが第一条件であるから、今回は特に浮上を目標に機体の製作を行った。製作過程でホバークラフトの浮上に問題が生じたため、スカート改善および送風機の改良と性能試験を行ったのでここに報告する。

2. ホバークラフトについて

ホバークラフトという言葉はHoverとCraftの合成語である。Hoverとはその場に浮いてとどまるの意味で、Craftとは飛行機、船などの乗物の意味である。小型のホバークラフトは乗員10名以内、重量1トン以内、全長6.0m以内とされている。

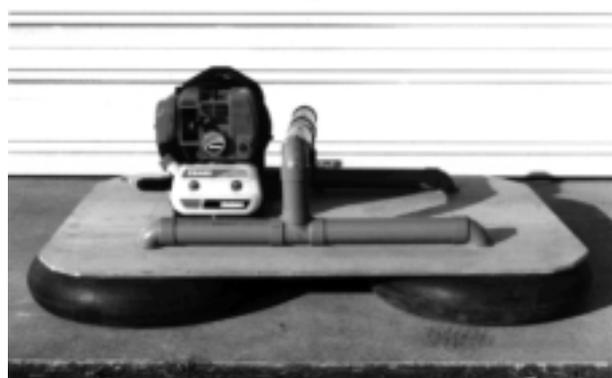


図1 ホバークラフトの全体図

ホバークラフトとは自分でつくる空気の膜に乗って浮上するものであり、ヘリコプターのように下向きに空気を噴き出しているわけではない。ヘリコプターの場合はプロペラがつくる「推力」によって浮上し、ホバークラフトはファンがつくる「圧力」によって浮上している。1馬力程度のエンジンがつくる「推力」はせいぜい10kg程度しかない。したがって総重量500kgのヘリコプターを浮上させるためには、少なくとも50馬力のエンジンが必要となる。一方「圧力」は面積との関係により大きな揚力を得られるため、ホバークラフトは空気の漏れを最小限にすれば1馬力のエンジン出力で重さ1トンの機体を浮上させることも不可能ではない。このように「圧力」を利用すれば非常に大きな力を発揮することができ、このことがホバークラフトの最大の特徴になる。

小型のホバークラフトに使用されるエンジンは次の3種類ある。

表1 ホバークラフトとヘリコプターとの比較

	ヘリコプター	ホバークラフト
浮上の原理	・下向きに空気を噴き出し浮上 推力(プロペラ)	・圧力による空気の膜に乗り浮上 圧力(タービン)
1馬力当たりの力	・推力は10kg程度 ・500kgを浮上させるには50馬力必要	・圧力は大きな出力が得られる ・空気の漏れを最小限にすれば1馬力の出力で重さ1.0トンの浮上も不可能ではない
エンジンシステムの特徴	・エンジンと直結したロータを傾け前進と浮上 ・浮上用と推進用エンジンが共同となる	・浮上用と推進用の独自のエンジンに分かれている

浮上用(リフト)エンジン

推進用(スラスト)エンジン

共用(インテグレート)エンジン

この中で今回は浮上を目標としたため浮上用のエンジンを中心に調べた。

ホバークラフトが他の地上を走る乗物と最も相違する点は、自分が浮くための専用の浮上用エンジンを必要とするところである。したがって浮上のための独自のエンジンを持つことがホバークラフトということになる。浮上用エンジンと推進用エンジンの出力の比率は、1:3 ~ 1:7が適当である。

浮上するための出力はホバークラフトの特徴である圧力を利用するため小さくてすむが、推進用は大出力が必要なのでこの割合となる。

ホバークラフトには機体の下にスカートと呼ばれるものが取り付けられる。スカートとは障害物よけを兼ねて車両の下部を覆うものである。このスカートの役割は主として次の2点にある。

エンジンがつくる空気の流れを圧力室でせき止め効率的な空気圧をつくること。

圧力室から逃げようとする空気を最小限に抑えること。

圧力室から漏れる空気の量を少しでも少なくする最も良い方法は、スカートの接地面と接触する部分ができるだけ地面と密着させ空気の逃げ道を狭くする。また具体的にはスカートの内側に沿って流れる空気を強制的に曲げて、内部の空気を漏れにくくする方法がある。今回はこのスカート部分に容易に手

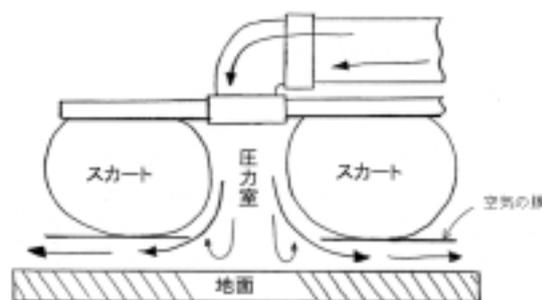


図2 スカートの仕組み

に入れられるタイヤのチューブを使用することにした。タイヤのチューブの断面はほぼ円に近く、内側に沿って流れる空気は地面でせき止められて圧力室の圧力を高くすることで、機体を押し上げ浮上することができる。浮上したときこの面に沿う空気は均一に圧力室から流出しスカートと地面との間で空気の膜になる。この仕組みを図2に示す。

3. ホバークラフトの製作

浮上用エンジンに新型のエンジン式プロワを使用し、スカートにタイヤのチューブを使用することで独自のホバークラフトを製作することにした。

機体に使用する材料は鉄よりも加工が容易であり、そのうえ軽く強度の高さも確保できる木材を選んだ。その中でも入手が容易な合板を使用した。寸法は縦幅1.8m、横幅1.2m、厚さ12mmのものを使用した。動力源に使用したエンジンプロワの概要を表2に示す。

配管にはパイプ(JIS K6471 3780180 エスロンパイプ VR65 KC95110303)を使用した。接合部にはエルボとチーズを使用した。その寸法を以下に示す。

パイプ 外径75.0mm 内径70.4mm

全長2.34m

エルボ 外径83.5mm 内径76.5mm

高さ120mm

チーズ 外径82.5mm 内径75.5mm

縦幅11.6mm 横幅15.5mm

動力源に使用するエンジンプロワやホバークラフトの製作に使用する材料を選び、すべての材料をそろえたあとホバークラフトの製作を行った。以下に

表2 エンジンプロワの概要

動力	EB480エンジンプロワ
排気量	43.6〔cc〕
使用燃料	混合ガソリン 20：1
燃料タンク	2.1〔l〕
長さ	320〔mm〕
幅	375〔mm〕
高さ	475〔mm〕
本体質量	9.0〔kg〕
始動方式	リコイル
備考	空冷2サイクル

その製作手順を説明する。

3.1 製作手順

製作にとりかかる前に全体の寸法・重心の位置を検討し、各材料の規格などを把握した。ホバークラフトの概要を図3に示す。

まずはじめに動力源のエンジンプロワでつくる空気を4つのスカートに均等に送るよう配管をしなくてはならないので、配管の方法を試行錯誤した。結果、図3のH型の形をとることにした。配管にはエルボとチーズとパイプを使用し、圧力室に空気を送るため、まず合板に穴を開けエルボを取り付けた。このときドリルでエルボの外径より小さめに穴を開け、そのあと紙ヤスリでその部分を研磨しエルボと穴を「とまりばめ」にすることでエルボが合板から容易に抜けなくなり、接合のために接着剤を使用しなくても空気の漏れを最小限に抑えられるようにし

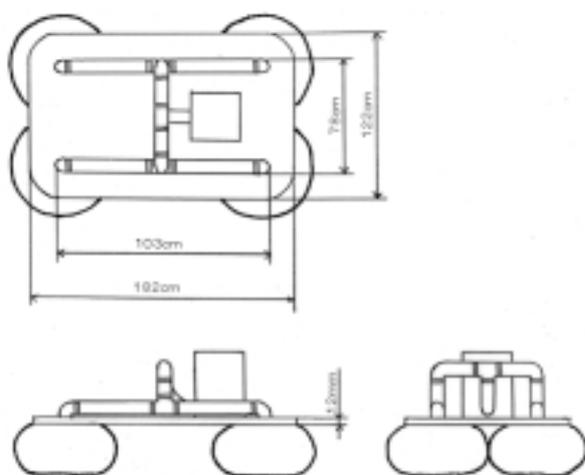


図3 ホバークラフトの三面図

た。

次に合板にスカートとなるタイヤのチューブを取り付けた。この部分はホバークラフトが浮上するために重要な部分であるため、取り付けを慎重に行った。合板とスカートを接合させるとき完全に接着できるようにした。合板の表面が平らになるようにヤスリで研磨し、タイヤのチューブは接着面を何度も洗い、汚れとほこりを落として接着強度を確保した。

次にエンジンプロワの土台と合板にそれぞれ直径5mmの穴を3つ開け、ボルトを通して固定した。使用したエンジンプロワの始動方式がリコイルなので、引いたときの力に耐えられるようにボルトで取り付けた。エンジンプロワの土台がプラスチック製で中が空洞だったため、あまりきつくボルトを締めることができなかったが、3ヵ所ボルトで止めたため、エンジンの始動時には十分耐えることができた。

このようにホバークラフトを製作し、工程がすべて終了したあと燃料タンクに混合ガソリンを注入しエンジンを始動させた。しかしホバークラフトは浮上しなかった。このため、いくつかの改良を行うことにした。

タービンカバーの改良

チューブ内圧の改良

3.2 タービンカバーの改良

なぜ浮上をしないのか原因を探ると、タービンのあたりから空気が漏れていることがわかった。

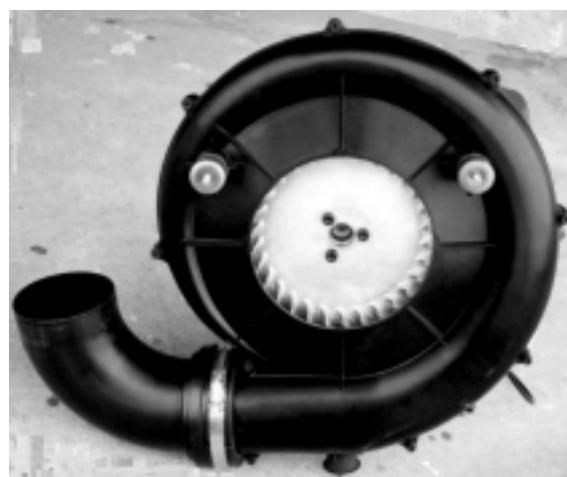


図4 タービンカバー

そこで図4に示すタービンカバーをはずすと、上部タービンカバーには9個の穴が開いていた。その穴からタービンでつくる空気がカバーの外へむだに漏れていたのので、それぞれの穴の大きさに合わせてアルミの板を切り取り、接着剤を使用してその穴のすべてをふさいだ。この穴をふさぐことにより空気の漏れをなくし流量と圧力を高めることができると考えたが、マフラーを冷却する穴までふさいでしまったため加熱し続け、その熱でマフラーから煙が発生するようになった。したがってエンジンは短時間しかかけていられなくなった。

3.3 チューブ内圧の改良

スカートで大切なことは、タイヤのチューブと地面を接地させたときに凹凸を生じさせないことである。当初は地面とチューブの接地面積を少なくし、チューブの内圧を高める方法で空気が圧力室から流れやすく機体が浮上しやすくなると考えた。しかしチューブ内圧を上げたことにより図5に示すようにタイヤに凹凸ができてしまい、接地面に隙間が生じてしまった。

チューブを大きく膨らませても相似形に膨張するものだと考えていたが、チューブ自体が凸凹に変形してしまった。さらにチューブと地面との間に大きな隙間があると圧力室から空気がそこから漏れてしまい、圧力が上がらなくなった。チューブの空気圧を上げて失敗してしまったため、逆に空気を抜いてチューブ内圧を下げることにより、エンジンや合板の重さでタイヤのチューブがつぶれて接地面が平らになった。

その結果、スカートの凹凸がなくなったため実習

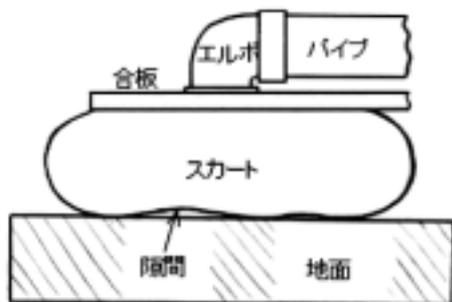


図5 スカートの状態

場のコンクリートの上で機体を浮上させることができ目標は達成することができた。しかしこの形だとスカートから空気が流れにくいため浮上の高さもあまり望めなくなり、そしてチューブ内圧が低いため、ホバークラフトに人が乗って重量が増加したときチューブが振動してしまう問題が新たに出てきた。

4. エンジンプロウの性能試験

ホバークラフトを製作し浮上できたが、より性能のよい次機の製作をするため動力源に使用したエンジンプロウの性能を把握しておく必要が生じた。そのため流量・圧力がどのように変化しているかエンジンプロウの性能試験を行うことにした。

4.1 試験装置

浮上用エンジンに図6に示すエンジン式の背負い型エンジンプロウ（送風機）を使用した。

現在ほとんどのホバークラフトの浮上用エンジンがマルチウィングファン（多翼送風機）を装備している。しかしオリジナリティのあるホバークラフトを製作することが目標であるため、エンジンプロウを浮上用エンジンとして用いることにした。

エンジン式の送風機の試験規格がないため性能曲線を作成するために電動機用JIS規格（JIS B 8330）送風機の試験および検査方法に準じて試験を行った。その試験装置を図7に示す。

U字管マンオメータ2本、ピトー管、細管、回転計、絞りをを用い、その他に温度計、湿度計、気圧計を使



図6 エンジンプロウ

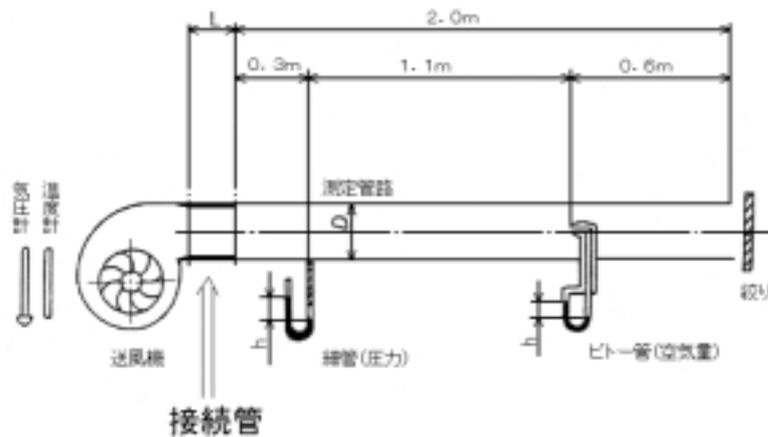


図7 試験装置の全体図

用し、試験当日の天候状態を計測した。測定管路は内面が滑らかで、その断面積がブロウの吐き出し口断面積に等しい円形断面の管を用いる。しかし今回使用したパイプはブロウ吐き出し口断面積より小さく、継ぎ手に隙間が生じ空気が漏れてしまうため、円筒の接続管を製作した。

接続部分の空気の流れの抵抗が生じないように斜めにヤスリで加工し、ずれがなくなるようボンドで接続することにした。

測定管路の長さをJISでは、

$$14D+L \quad (D: \text{直径} \quad L: \text{接続管の長さ})$$

としている。これに基づいて計算し、

$$14 \times 0.071 + 0.005 = 1.004$$

となり約1m必要となるが、吐き出し口の途中で管路が曲がるためその倍の2mとすることにした。流量の調節装置には測定管路の吐き出し側に絞りを設けることにした。この絞りには図7のように絞り板を使用し空気の流量を調節した。そしてタービンの回転数を測定するために図8に示す非接触型の回転計を使用することにした。1分間のタービンの回転を計測するため単位はrpmとなる。

この回転計は反射テープにより回転数を計測する装置であるため、テープを1cm四方の正方形に切り、タービンに貼ることにした。そして回転計はテープの正面から測定することが望ましいため、エンジンの土台に穴を開け図8のように取り付けた。U字管マンメータは2本使用し、1本は細管により測定管路内の圧力と大気圧との差圧を測定し、もう1



図8 回転計の取り付け

本はピトー管により流れ込む空気的全圧と静圧の差圧を測定することにした。

まず回転数をエンジンのスロットルで調節しアイドリング、ハーフスロットル、フルスロットルの3ヵ所のデータを測定する。そして圧力の測定はU字管マンメータを用いることにした。細管を測定管路に取り付け、U字管マンメータの圧力差によりmmAqを求め、これをPaに換算する。U字管マンメータ内の液体には水を使用するため単位はmmAqとなり、流量は空気が単位時間にブロウ吐き出し口より排出する量である。その測定方法はピトー管により測定することができる。

4.2 試験方法および試験結果

まず試験前後の温度・湿度・気圧をそれぞれ測定する。そしてエンジンを始動させる。回転数N〔rpm〕を読み取りアイドリング、ハーフスロット

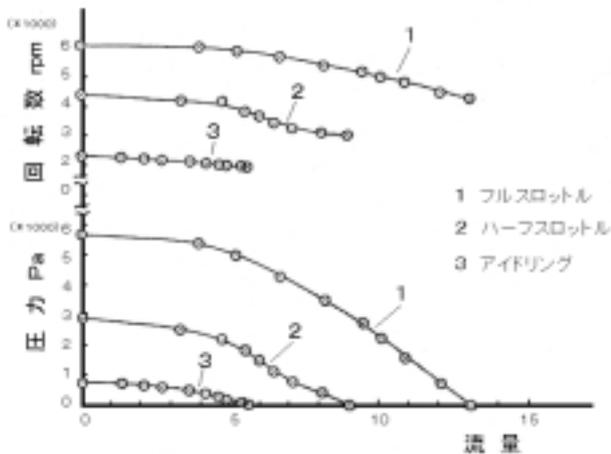


図9 性能曲線図

ル、フルスロットルのいずれかに調節する。回転数が安定したなら、次にピトー管と細管をセットしてU字管マンオメータの液面が落ち着くことを確認する。そして絞りにより測定管路を全閉状態にして、まず流量を0にしてから徐々に増やしていき、流量ごとに回転数とマンオメータの圧力差を測定した。測定結果を算出方法で説明した計算式に代入してデータを整理する。そして図9の性能曲線図を作成した。

性能曲線図より、送風機から送り出される空気流量が少ないほど高い圧力を発生することがわかった。今回のホバークラフトでスカート部に均一な空気の幕をつくりだすことができなかったため、圧力低下を招いていることがわかった。このことからスカート部部材や大きさの変更が必要であることもわかった。

また不要な空気流失があってもより良好な浮上をさせるためには、送風量および圧力を高めるためにより大きな送風機に変更することも考えられるが、現在ある送風機にはタービンに改善の余地があると考えられるのでこれを改善する。

5.まとめ

ホバークラフトの試作・浮上をテーマとし試作、試験に取り組んできた。その結果機体を完成させ、平らなコンクリート上において浮上させることができた。そしてエンジンプロワの性能試験を行い流量、

圧力、回転数のデータを取り性能曲線図をつくることができ、エンジンプロワについての理解を深めることもできた。しかし製作面では機体が完全に浮上していないこと、4つのスカートの圧力が均等でないこと、機体が大きな重量に耐えられないためスカートが振動してしまうなどの問題点があり、今後は以下の点について改善すべきと考える。

エンジンプロワのタービンの改良を行いスカート内部の浮上圧力を高める

スカートが変形しにくい部材に変更し、さらに圧力室の地面面積を拡大する

エンジンプロワの位置を変えるか重りを乗せることにより、重心を中心にする

最後に本卒業研究にあたりご指導していただいた諸先生方に心より感謝いたします。

6.卒業研究総括

今回の卒業研究テーマは「実学一体」を実践することであり、ホバークラフト製作についてはいろいろな障害を乗り越えながらの「ものづくり」を体験することである。卒業研究のテーマへの関心を高めるために、製作結果として製作したものを自ら乗ることで体感することができることとし、機体の送風機に多翼式から遠心式送風機を使用することで今までにないユニークなものへの挑戦を設定としたことで、学生自身の知的好奇心を目覚めさせることができた。製作過程において1つ2つと障害を乗り越えるに従って、そのとき感じた感激や知的興奮から次第に学生自ら積極的に研究に没頭するようになった。卒業研究成果についてはいろいろな不備があり十分とは言い切れない部分もあるが、学生自身が実学一体としての実践の中で「生きた能力」を身につけることができた。

<参考文献>

- 1) 三野正洋：「ホバークラフトトータルガイド」, パワー社.
- 2) 今市憲作・他：「わかる水力学」, 日新出版.
- 3) 日本機械学会：「機械実用便覧」, 日本機械学会.
- 4) JIS B 8330 送風機の試験および検査方法.