

Susumu YAMASHITA, Toshiyuki KASAI, Gyo KAMINAGA

****小山高専専攻科1年生**

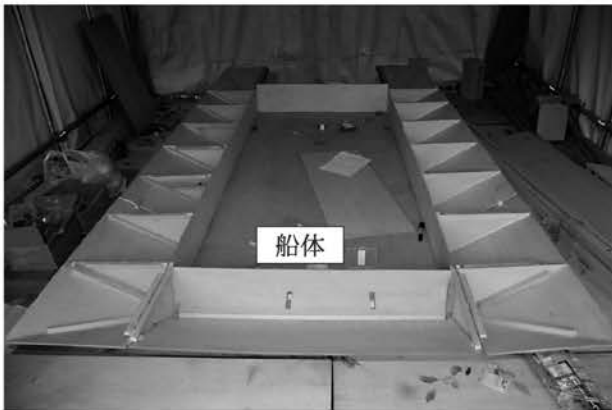


図2 船体内部の写真

3-2 スカートの設計

スカートは、船体を浮上させる高さに合わせて大きさを決めた。今回製作するACVでは1cm浮上させることを想定している。スカートの形式は受ける抵抗を少なくできる6ピース・パッグタイプを採用した。比較的設計が容易で、スカート形式の中でも走行中の抵抗が少ないこの形式は、前後左右と斜め前方二箇所の6つのパーツで構成される形となっており、空気の噴出し口（エア脱出孔）の大きさを変えることで圧力室内の圧力を調節できるようになっている。噴出し口の合計面積は浮上ダクト面積の約1.5倍とした。また、本来ならば水上走行の際にスカート内に流入した水を外に逃がすための穴をあける必要があるが、今回は水上での走行は予定していないため空気穴のみをあけている。

素材は強度・耐摩耗性・価格などの点からナイロン製のものを使用した。船体に装着する際にはスカートの端で輪を作り、船体外周に取り付けたカーテンレールに通し、アルミ棒材を使用して固定する形を取った。図3に実際に製作したスカートを示す。



図3 6ピース・パッグスカート

4. 浮上システムと推進システムの設計

4-1 浮上システムの設計

ここでは、浮上に必要となるエンジンの馬力を計算する。まず、浮上に必要な圧力を計算するため、ACVの質量と圧力室内の面積を決める。ACVの質量は、浮上ユニット30kg、推進ユニット60kg、船体部分50kg、乗員2人で120kg、燃料などが10kgと想定し、総質量 $W_T=270\text{kg}$ とした。圧力室内の面積 A_c は作図により求めることができ、結果として約 5.69m^2 となった。これらの値から圧力室内で発生する圧力 P_c は次式で求められる。

$$P_c = \frac{W_T g}{A_c} = \frac{270 \times 9.8}{5.69} = 465 [\text{N} / \text{m}^2] = 465 [\text{Pa}]$$

次に、 $P_c=465\text{Pa}$ の圧力を生じさせるために必要な空気の流出速度 V_E は、ベルヌーイの定理より次のようになる。なお、空気の密度 ρ は気温 20°C での値 $1.21\text{kg}/\text{m}^3$ とした。

$$P_c = \frac{1}{2} \rho V_E^2 \text{ より}$$

$$V_E = \sqrt{\frac{2P_c}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 465}{1.21}} = 27.7 [\text{m} / \text{s}]$$

浮上時の空気の流出面積 A_E はスカートの接地線の全長 L と浮上高さ H_c を掛けた値になる。スカートの接地線は作図により、縦 3.16m ×横 1.8m となり、浮上高さ H_c は 1cm と考えているので、 A_E は次のように計算できる。

$$A_E = H_c \times L = 0.01 \times (3.16 \times 2 + 1.8 \times 2) = 0.0992 [\text{m}^2]$$

次に、船体を1cm浮上させるのに必要となる送風量 Q_L を求める。空気の逃げにくさを示す縮流係数 T_c は、文献や既存のACVを参考にして0.65という値をとった。したがって、計算式は次のようになる。

$$Q_L = A_E \times V_E \times T_c = 0.0992 \times 27.7 \times 0.65 = 1.79 [\text{m}^3 / \text{s}]$$

以上により、浮上に必要な馬力 P_L は、浮上ユニットの全体効率を50%と仮定すると、次のように計算される。

$$P_L = \frac{P_c \times Q_L}{\text{浮上ユニットの全体効率}}$$

$$= \frac{465 \times 1.79}{0.5} = 1664.7[Nm / s] = 2.26[HP]$$

したがって、搭載する浮上エンジンに必要な馬力は $P_L=2.26HP$ となることがわかる。しかし、エンジン自体の出力効率は決して完全ではなく、使用条件などで大きく低下する。ユニットと同じく50%と仮定すると、実際の定格馬力では4.52HPの出力が必要となる。そのためエンジンを選定する際には、4.52HPを安定して出力できるものを選ばなくてはならない。

4-2 推進システムの設計

ここでは、推進に必要なエンジンの馬力を計算する。はじめにACVが走行する際に、どのような抵抗が生じるかを考える。陸上走行の場合、ACVの走行により発生する空気抵抗 D_A と、浮上用ファンが空気を吸い込むことで発生するモーメント抵抗 D_M の2つが大きな抵抗要因となる。水上走行の場合は、これらに加えて波による造波抵抗や水力抵抗を考慮する必要があるが、今回は陸上走行を想定しているため、これらの抵抗は考慮しないことにした。製作するACVは、陸上では最大速度60km/hでの走行を想定している。これを秒速に換算すると $V=16.7m/s$ となる。空気抵抗 D_A は次式より得られる。ここで、 C_D は抵抗係数であり、参考文献より自作ACVの場合は0.85となる。 S はACVを前面から見た投影面積で、今回の場合は $1.2m^2$ とした。

$$D_A = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 S$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.85 \times 1.21 \times (16.7)^2 \times 1.2$$

$$= 172.10[N] = 17.55[kgf]$$

モーメント抵抗 D_M は次式より算出する。これは吸い込まれる空気すべてが見えない壁にぶつかって抵抗を生じると考えている。

$$D_M = \rho Q_L V_E$$

$$= 1.21 \times 1.79 \times 27.7 = 60.0[N] = 6.12[kgf]$$

得られた抵抗値を足し合わせることで、陸上走行の際に船体を受ける全抵抗 D は次のように計算できる。

$$D = D_A + D_M = 17.55 + 6.12 = 23.67[kgf]$$

推進ユニットの全体効率は浮上ユニット同様に既存のACVを参考にして55%とした。最終的に推進に必要な馬力 P_P は次式で求められる。

$$P_P = \frac{D \times V}{\text{推進ユニットの全体効率}}$$

$$= \frac{23.67 \times 16.7}{0.55} = 718.7[kgfm / s] = 9.58[HP]$$

したがって、積載する推進エンジンに必要なとされる馬力は9.58HPとなる。しかし、浮上と同じように、エンジン自体の出力効率を考慮する必要がある。こちらもユニットと同じ55%の効率と仮定すれば、要求される定格馬力は17.42HPとなる。

5. 浮上および推進ユニットに必要な部品の選定

5-1 浮上用エンジンとファン

前節で導出した浮上に必要な馬力を、安定して出力できるエンジンと、それに接続して必要な流量を発生させられるファンを選定する。計算上では2.26HPとなったが、前述のとおりエンジン自体の効率を考慮すると4.52HPの定格馬力が必要となる。そこで今回は富士重工製Robin engine EH-17Dを使用する。このエンジンは、前年度使用する予定だったものが未使用のまま残っていたためそれを流用した。表1にこのエンジンの基本性能を示す。最大馬力が約5.0HPであるため条件は満たしているといえる。

ファンについては、使用条件や接続するエンジンの出力などを専門の業者に相談し、適切なものを使用することにした。

表1 EH-17Dの基本性能

形式	空冷4サイクル立形単気筒 OHV式ガソリンエンジン
総排気量	172cc
乾燥重量	16.0kg
連続定格出力	3.45HP/3000rpm 3.95HP/3600rpm
最大出力	4.93HP/3600rpm
最大トルク	10.7N・m/2600rpm

5-2 推進用エンジンとファン

浮上と同様に推進システムに使用するエンジンとファンを選定する。計算で得られた必要馬力は9.58HPとなったが、これもエンジン自体の効率を考慮することで17.42HPの出力が必要となる。この出力を満たすエンジンとして富士重工製Robin engine EH65DSを採用した。このエンジンの最大出力は22HPとかなり大きなものとなっているが、走行時のエンジンにかかる負担を少なくさせるためにもこのエンジンを選択した。

表2にこのエンジンの基本性能を示す。また、今回の設計では標準装備されていたマフラーのサイレンサー部分が直結させるファンのブレード部分と接触する危険性があったため、これを取り外してエンジン本体から直接排気させて作動させることにした。

ファンについては、浮上用と同様に使用条件などを専門業者に相談した上で選定した。

表2 EH-65DSの基本性能

形式	空冷4サイクルV形2気筒 OHV式ガソリンエンジン
総排気量	653cc
乾燥重量	44.0kg
連続定格出力	17.0HP/3600rpm
最大出力	22.0HP/3600rpm
最大トルク	45.6N・m/2500rpm

6. 浮上および推進システムの概要

6-1 浮上システム

図4に浮上システムの概要と製作した浮上ユニットを示す。前述のとおり、本来ならば縦型エンジンを使用し、それにファンを取り付けて真下に向けて送気するという形が理想的であるが、エンジンの入手が困難だったため、横型エンジンからの送気をベンディングダクトで方向転換させてスカートの中を送る形をとった。最初はいかさ歯車をつなげてファンを下方方向に向ける方法も考えられたが、軸の固定や安定性に不安が残るなどの理由から断念した。また、ダクト内での損失が大きくなると予想されていたため、図のように仕切りをおいて整流させることを考えていたが、実際に走行させてみると十分にス

カート内に送気されていたので、これは取り付けなかった。エンジンの出力を最大限に発揮させるためにファンとクランク軸は直結させて駆動させた。巻き込みなどの危険防止対策として金網を取り付けている。

ダクトの素材はFRPを用い、ベンディング部分はスカートと同じナイロンを使用した。高さの確保や振動緩和のために取り付けられているマウントは、以前製作したⅢ-C型ACVのものが鉄製で大きさに適していたためこれを流用した。

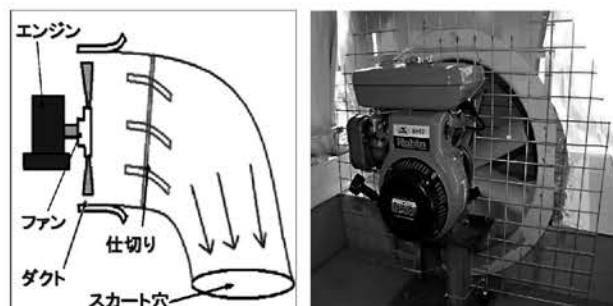


図4 浮上システムの概要と浮上ユニット

6-2 推進システム

図5に推進システムの概要と製作した推進ユニットを示す。浮上用に比べて、使用するエンジンや取り付けるファンが大型になり、ファンのブレードが船体に接触するのを防ぐ必要がある。そのため高さの確保や発生する振動を抑えるためのマウントもかなり大きなものを使用した。これは鉄製の板材とアングルを溶接して製作した。

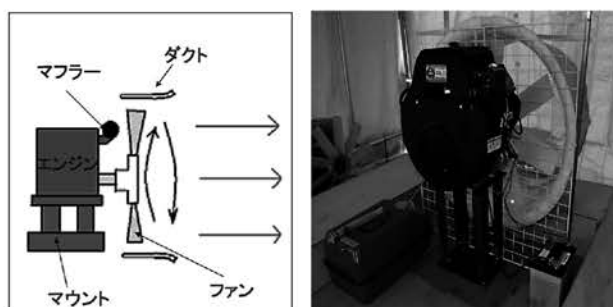


図5 推進システムの概要と推進ユニット

また、前述したように、標準装備されていたマフラーのサイレンサー部分が、ファンを直結させる場合、ファンのブレード部分に接触してしまう。これを解決するためにエンジンのクランク軸の延長、ベルトによる二軸間での伝達などが考えられ

るが、いずれも安定性に不安が残り、故障が発生した場合の修繕が大掛かりになってしまう。そのため、排気口からエキゾーストパイプを横方向に伸ばし、そこからサイレンサーをつなげる方法をとることにした。また、浮上用と同じように危険防止のための金網を取り付け、ダクトの素材はFRPを用いた。

7. ACVの組み立て

船体、スカート、浮上ユニット、推進ユニットを組み立て、完成した実験用小型ACVの写真を図6に、主要仕様を表3に示す。ここで、浮上高とは、スカート内にエアが十分に送気され、船体部が持ち上がっている状態での地面から船体上面までの高さを表す。



図6 完成した実験用小型ACV

表3 実験用小型ACVの主要仕様

全長	3600mm
全幅	1800mm
浮上高	225mm
自重量	150 k g
クッション面積	5.69m ²
搭乗員数	2人
シート配置	並列
送気方式	V-A型送気方式
スカート形式	6ピース・バッグスカート
浮上用エンジン	Robin engine EH-17D
浮上用ファン	475mm-8枚-40° MWF※
浮上用ダクト	直径 480mm (FRP)
推進用エンジン	Robin engine EH-65DS
推進用ファン	680mm-7枚-32.5° MWF※
推進用ダクト	直径 685mm (FRP) ベルマウス付き

※Multi Wing Fan

8. 基本性能試験

完成した実験用小型ACVに対して、基本性能試験を行った。試験項目は、①浮上高 ②圧力室、スカート内圧力 ③走行時の推進力 ④推進ファンから発生するエアの速度の4項目である。いずれの測定においても浮上・推進エンジンの回転数は最大の状態で固定して行った。実験の方法はⅢ-C型ACVと同じように行った。

8-1 浮上高の測定

図7のように船体の四隅に棒を取り付け、地面からの高さを測定した。乗員数を0人、1人、2人の3パターンについて、それぞれ4回ずつ測定を行った。

8-2 圧力室、スカート内圧力の測定

圧力室とスカート内と大気中の間にU字管マンオメータを取り付けて差圧を測定した。測定は、浮上高の測定と同時に行った。

8-3 走行時の推進力の測定

船体の後部にばね秤を取り付け、ACVを推進させた際に発生する力を測定する。この実験も乗員数を3パターンに分けて測定を行った。なお測定回数は1回である。

8-4 推進ファンの風速測定

図8のようにファンの内部に4点を取り、風速計を使ってそれぞれの点での風速を測定した。

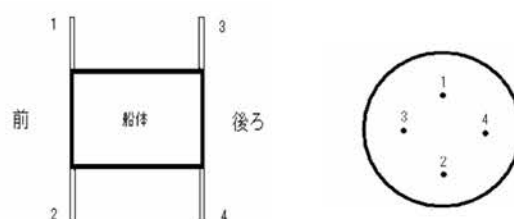


図7 浮上高の測定位置 図8 風速の測定位置

9. 実験結果と考察

9-1 浮上高の測定

表4に浮上高の測定結果を示す。誰も乗っていない状態では前後での浮上高に大きな差が生じており、船体後部の浮上高さ前部に比べて低い値を示した。乗員数が増えるにしたがって、この差は小さくなっていった。これは、乗員数が少ないほど、浮上用エンジンと推進用エンジンの重量差が大きく影響するためと思われる。また、前後とも浮上高が設計段階で想定していた値よりも低い値

を示していた。理由としては、スカート内(圧力室内)の空気の量が予想よりも少なかったことが考えられる。

9-2 圧力室、スカート内圧力の測定

表5に圧力の測定結果を示す。いずれの乗員数のパターンでも圧力室内とスカート内での圧力に大きな差はなく、1人が乗っている状態ではほぼ同じ値を示した。人数が増えるにしたがって圧力は大きくなり、導出した圧力 $P_c=465\text{Pa}$ を満たすには、最低でも1人以上の搭乗が必要であることがわかる。同じ面積ではかかる力が増えるほど圧力も増していくため、この実験については予想通りの結果が得られたといえる。

9-3 走行時の推進力の測定

表6に推進力の測定結果を示す。今回測定に使用したばね秤が10kgfまでしか測れないものだったため、いずれの乗員数のパターンでも目盛りが振り切れてしまい正確な値を調べることが出来なかった。そのため、結果としてすべて『10kgf以上』という形で記録した。

9-4 推進ファンの風速測定

表7に風速測定の結果を示す。左右での測定値には大きな差は見られなかったが、上下での差が大きく見られた。しかし本来、風洞実験などでの風速分布では左右での測定値に大きな差があり、上下ではあまり差は見られない傾向にある。このような結果になった原因として、推進ファンのブレード部分とダクトとの間のクリアランスが均一でなかったことが考えられる。

10. おわりに

FB36型ACVを参考に、船体、スカート、浮上および推進システムの設計を行い、V-A型ACVを製作した。基本性能試験を行った結果、目標値をほぼ満足したデータが得られた。

運動特性を調べるための走行実験を行うためには、マフラー、方向舵、ファンの回転数を変えるためのスロットルが必要であるため、引き続き実験装置としての完成度を高めていく予定である。

【参考文献】

- 1) 三野：ホバークラフトトータル・ガイド、パワー社。
- 2) 山下、三野、山本、力丸：小型ACVの操縦性に関する研究（その1）、小山工業高等専門学校研究紀要、第30号、pp.91-96(1998)。

- 3) 山下、三野、貝賀、増淵：Ⅲ-C型小型ACVの運動解析、第45回飛行機シンポジウムアブストラクト集、(2007)。

表4 浮上高の測定結果(単位mm)

乗員数0	位置1	位置2	位置3	位置4
1回目	250	272	79	42
2回目	243	282	99	52
3回目	240	262	102	102
4回目	260	242	84	102
平均値	248.3	264.5	91.0	74.5

乗員数1	位置1	位置2	位置3	位置4
1回目	220	212	179	152
2回目	220	222	189	162
3回目	220	202	189	162
4回目	230	212	189	162
平均値	222.5	212.0	186.5	159.5

乗員数2	位置1	位置2	位置3	位置4
1回目	152	182	199	202
2回目	190	152	229	182
3回目	180	162	219	182
4回目	180	152	219	182
平均値	175.5	162.0	216.5	187.0

表5 圧力室、スカート内圧力の測定結果(単位Pa)

乗員数0	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値
スカート	372.8	363.0	372.8	363.0	367.9
圧力室	313.9	343.4	353.2	343.4	338.4

乗員数1	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値
スカート	461.1	461.1	461.1	461.1	461.1
圧力室	461.1	451.3	451.3	470.9	458.6

乗員数2	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値
スカート	588.6	569.0	569.0	549.4	569.0
圧力室	519.9	510.1	510.1	510.1	512.6

表6 推進力の測定結果(単位kgf)

乗員数	0	1	2
測定値	10	10	10

表7 風速の測定結果(単位m/s)

測定位置	1	2	3	4	平均値
風速	40.2	33.5	23.1	25.1	30.5

小山工業高等専門学校 機械工学科

E-mail: syama@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2008年9月26日」