

## 小型ACVの操縦性に関する研究 (その1)

山下 進, 三野正洋\*, 山本健作\*\*, 力丸卓哉\*\*

### A Research of Handling Property for Light ACV (PART 1)

Susumu YAMASHITA, Masahiro MINO  
Kensaku YAMAMOTO, Takuya RIKIMARU

#### 1. 序 論

ACVは、空気圧力によって浮上しながら走行するため、接地面との摩擦抵抗が少なく、また旋回時、サイドフォースを発生させることができない。そのため前進方向にも横方向にも滑り易いという、特殊な運動特性をもっている。このことから、その操縦は操縦者の技量や慣熟度に大きく依存する。

ACVには、大型のものでは300トンを超えるものもあり、ロシアやカナダなどで旅客用、貨物用フェリーあるいは軍用として利用されている。日本においては、三井造船によって旅客用として開発されたMV-PP10「ドリーム1号」などがある。このMV-PP10の水上での操縦性能に関して、実船試験結果およびシミュレーション計算結果が既に報告されている<sup>1)</sup>。また最近では、三井造船と三菱重工業が共同開発している高性能貨物船テクノスーパーライナー(TSL)「飛翔」などがある<sup>2)</sup>。

本研究で採りあげるACVは、重量1.0トン以内、全長6.0m以内の運輸省基準による小型と呼ばれているもので、主にレジャー用(写真1<sup>3)</sup>)や救助用として利用されている。

これまでのACVについての研究<sup>4)7)</sup>は、スカートの特性などの技術的分析、性能向上を目的とするものが大部分であった。しかし、ACVは先にも述べたように、特殊な運動特性をもっているため、特に小型ACVに関する運動解析の研究は、ほとんど行われていない。



写真1 レジャー用小型ACV<sup>3)</sup>



写真2 実験用小型ACV

\* 日本大学生産工学部専任講師  
\*\* 平成8年度機械工学科卒業生

大型ACVについては、いくつかのメーカーにより行われているが、具体的なデータは公表されていないことが多い。

そこで本研究では、小型ACVの運動特性に注目し、このような乗り物に対して、人間がどのように操縦し、また操縦技術を高めていくのかを定量的に把握するために、走行実験を行った<sup>8),10)</sup>。その結果がある面においては、技術面へフィードバックされると考える。

ここでは、まず実験用として製作した小型ACVの基本性能試験の結果を示す。次に学生の中から数名の操縦者を選び、ある決められたコースを数回走行してもらった。そして走行回数とゴールするまでの時間との関係を示し、操縦技術の向上の度合を定量的に把握することを試みたので、その結果を報告する。

## 2. 実験装置（実験用小型ACVの仕様）

本研究で、実験用として製作した小型ACVは、既製のものの設計プランを参考としている。写真2に今回製作した小型ACVを、表1にその主要緒元を示す。このACVは、表1にも示したように、1基のエンジンで浮上、推進を兼ねるⅢ-C型<sup>9)</sup>と呼ばれるもので、ファンの作り出すエアの約30%をベンディング・ダクトでスカートの中に取り入れるタイプである。Ⅲ-C型ACVの構造の概略を図1に示す<sup>9)</sup>。この型式を選択した理由は、比較的容易に製作でき、操縦が簡単であることである。またスカートは、バッグ型スカートとした。その理由として、製作が容易であり、走行中、重心の位置が多少変化しても、船体を水平に保つことができるといった長所をもっているからである<sup>9)</sup>。ファンの周りには、推力の効率向上、危険防止、騒音の防止などの理由から、ベルマウス付きのダクトが取り付けられている。さらに将来V-A型（浮上と推進を別々のエンジンで行うタイプ）<sup>9)</sup>への改造が容易にできるような工夫もされている。V-A型ACVの構造の概略を図2に示す<sup>9)</sup>。

## 3. 実験方法

### 3-1 基本性能試験

まず、製作した小型ACVの基本性能を調べた。写真3はその様子である。船体を動かさないように固定した上で、エンジンを始動する。そして人が乗っていない場合と乗っている場合について、エンジンとファンの各回転数(1500,2000,2500rpm)におけるスカート内部と圧力室の圧力、図3(a)に示す船体の4ヶ所における浮上高を測定した。さらにファンの性能を調べるた

表1 実験用小型ACVの主要緒元

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| 全 長    | 3010 mm                   |
| 全 幅    | 1600 mm                   |
| 全 高    | 880 mm                    |
| 自重量    | 90 kg                     |
| 材 質    | 木材                        |
| 搭乗者数   | 1 名                       |
| 送風型式   | Ⅲ-C 型                     |
| スカート型式 | 6 ピースバッグタイプ               |
| エンジン   | 空冷 4 サイクル立型単気筒 OHV 式      |
| ファン    | 直径 680 mm-35° -10 翼(MWF*) |
| ダクト    | 直径 700 mm(FRP)            |
| 方向舵    | 1 枚 (アルミニウム)              |
| 動力伝達方式 | エンジンとファンを直結               |

\*MWF(Multi Wing Fan)

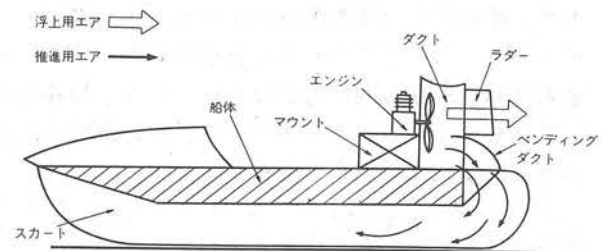


図1 Ⅲ-C型ACVの構造<sup>9)</sup>

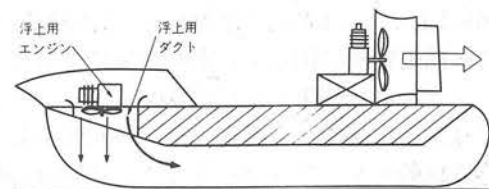


図2 V-A型ACVの構造<sup>9)</sup>



写真3 基本性能試験

め、先に述べた各回転数におけるダクト出口での風速を測定した。図3(b)に風速の測定位置を示す。

### 3-2 走行実験

操縦に対する人間の技術的上達あるいは慣熟度を定量化するための走行実験を試みた。写真4は走行実験の様子である。今回の走行コースは、ACVの直進性と旋回性をみるために、図4に示すようなL字の右回り、左回りとした。操縦者は小山高専の2年生から5年生までの男子とした。右回り、左回りで、操縦者は別とし、1人20回ずつ走行してもらい、ゴールするまでの時間を計測した。

## 4. 実験結果と考察

### 4-1 基本性能試験

図5は人が乗っていない場合および乗っている場合の、各回転数における浮上高の変化を示している。人が乗っていない場合、船体の荷重バランスが崩れ、船体後部が重くなるため、低回転時ではスカート後部の膨らみ具合が悪く、つぶれた状態となるが、スカート前部は順調に膨らんでいくので、船体は後ろのめりになりながら前方から浮上していく形となる。そのため1500rpmでは点1,2の浮上高が高く、点3,4の浮上高が低くなっている。そして回転数が上がるにしたがって、ファンからの送風量も増えるので、スカートの膨らみも均一となり、浮上高も一定になっていくことがわかる。

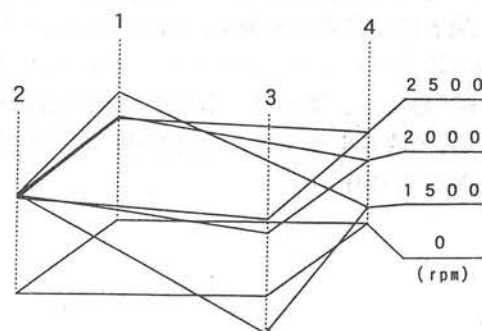
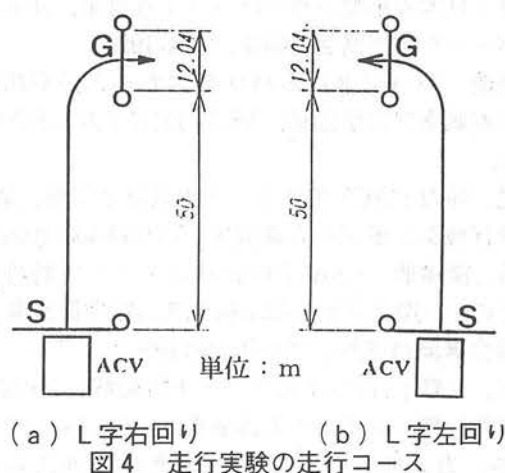
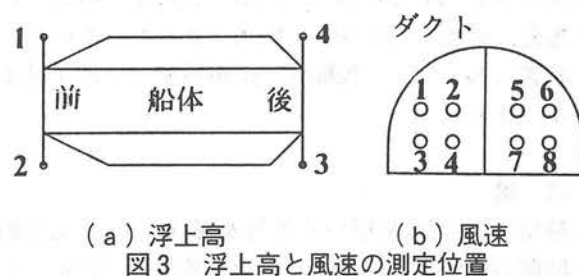
人が乗っている場合は、設計の段階で重心計算して求めた位置に重心がくるので、どの回転数においても浮上高はほぼ一定である。

図6は、ダクト出口における風速分布を表している。測定位置によって、風速はかなり異なった値を示しているが、これはファンの回転方向やベンディング・ダクトの導入板（推進と浮上の空気を分けるために設置した板）の影響によるものと考えられる。

### 4-2 走行実験

図7は走行回数と時間との関係を表したものである。右回り、左回りともに走行回数が増えるにしたがい、多少のばらつきはあるものの、傾向としてはほぼ直線的に時間が短縮されていくことがわかる。また右回りと左回りとでは、回帰直線の傾きが違うが、最終回での時間がほぼ同値となっているため、走行実験時の路面状態の影響によるものと推測する。

図8は走行回数と決められたコースを逸脱しない



成功率の関係を示したものである。特に走行回数が10回を越えた後半あたりから、成功率が上がっている。この結果においても、操縦者の操縦技術の上達を見ることができる。

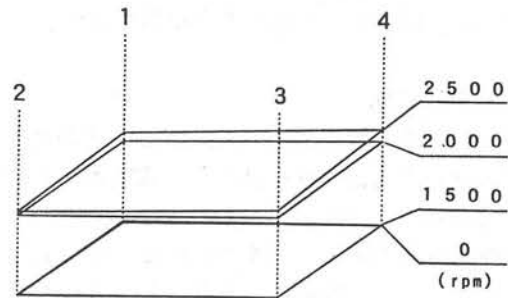
## 5. 結 論

実験用小型ACVを用いて走行実験を行い、走行回数と時間の関係を調べてきた。その結果、L字コースにおいては、走行回数の増加とともに、ゴールに達するまでの時間は、ほぼ直線的に短縮される傾向があることが明らかにされた。

なお、この論文は平成8年度卒業研究<sup>10)</sup>に、一部加筆したものである。

### 【参考文献】

- 1) 吉野, 山下: MV-PP10の操縦性能について, 第31回飛行機シンポジウム講演集, PP502-505(1993).
- 2) 坂井: TSL-A実海域模型船の構造について, 第33回飛行機シンポジウム講演集, PP427-430(1995).
- 3) 三野: 日本の小型ホバークラフト写真集, 日本小型ホバークラフト協会他編集, P34(1980).
- 4) 松尾他: ACVにおけるバググスカートの形状推定法, 日本航空宇宙学会誌, VOL.42, NO.485, PP45-52(1994).
- 5) 村尾, 坪内: ACV用スカートの設計と実験, 第33回飛行機シンポジウム講演集, PP459-462(1995).
- 6) 須藤, 深津他: LSACPにおけるスカート特性の研究(その6), 関東学生会第35回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, PP241-242(1996).
- 7) 山下, 三野: LSACPのスカート振動解析その2, 第34回飛行機シンポジウム講演集, PP33-36(1996).
- 8) 山本, 力丸他: 小型ACVの操縦性に関する研究(その1), 日本機械学会関東学生会第36回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, PP223-224(1997).
- 9) 三野: ホバークラフトトータル・ガイド, パワー社.
- 10) 山本, 力丸: 小型ACVの操縦性に関する研究(その1), 平成8年度小山工業高等専門学校機械工学科卒業研究(1997).



(b) 人が乗っている場合  
図5 回転数による浮上高の変化

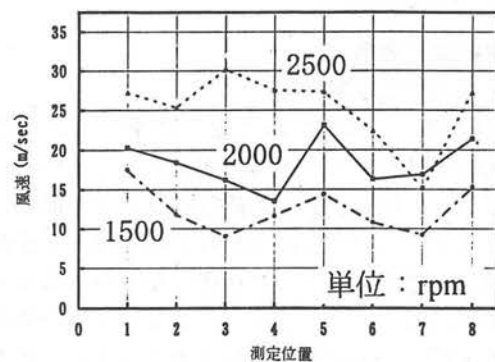


図6 ダクト出口の風速分布

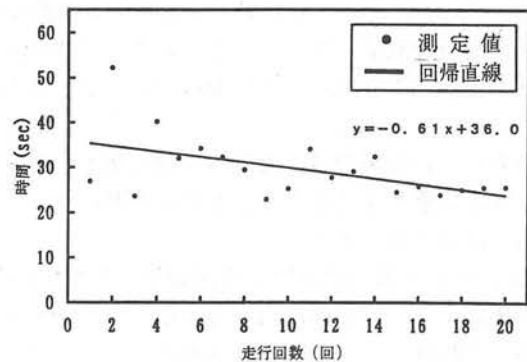


図7 (a) 走行回数と時間の関係 (L字右回り)

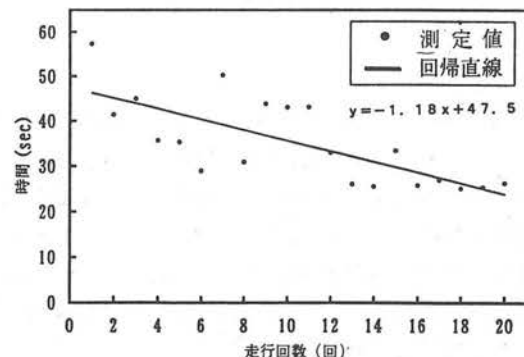


図7 (b) 走行回数と時間の関係 (L字左回り)

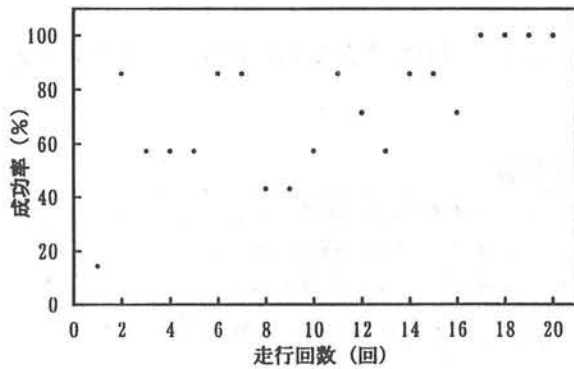


図8 (a) 走行回数と成功率の関係(L字右回り)

【付 録 1】

表2と表3は、浮上高などの測定データである。

表2 人が乗っていない場合の測定結果

測定結果 [単位: 回転数rpm, 高さmm, 風速m/s, 圧力Pa, 推力kg, 騒音dB(A)]

|             |     | 相 対 浮 上 高 |       |       |       | 圧 力 | 推 力 | 騒 音  |
|-------------|-----|-----------|-------|-------|-------|-----|-----|------|
|             |     | 1         | 2     | 3     | 4     |     |     |      |
| 第1段階 (0)    |     | 164       | 168   | 170   | 168   | 0   | 0   | 0    |
| 第2段階 (1500) | 1回目 | 402       | 372   | 165   | 205   | 24  | 24  | 1420 |
|             | 2回目 | 404       | 370   | 165   | 198   |     |     | 1430 |
|             | 3回目 | 404       | 368   | 158   | 203   |     |     | 1435 |
|             | 4回目 | 404       | 368   | 149   | 203   |     |     | 1420 |
|             | 5回目 | 404       | 367   | 148   | 195   |     |     | 1445 |
|             | 平均  | 403.6     | 369.0 | 155.0 | 200.8 |     |     | 1429 |
| 第3段階 (2000) | 1回目 | 377       | 370   | 298   | 320   | 27  | 26  | 2000 |
|             | 2回目 | 377       | 368   | 295   | 320   |     |     | 2030 |
|             | 3回目 | 377       | 365   | 295   | 320   |     |     | 2020 |
|             | 4回目 | 377       | 365   | 300   | 323   |     |     | 2000 |
|             | 5回目 | 377       | 365   | 299   | 323   |     |     | 2005 |
|             | 平均  | 377.6     | 368.8 | 297.4 | 321.2 |     |     | 2011 |
| 第4段階 (2500) | 1回目 | 370       | 361   | 330   | 350   | 31  | 29  | 2500 |
|             | 2回目 | 372       | 362   | 325   | 353   |     |     | 2550 |
|             | 3回目 | 373       | 360   | 325   | 353   |     |     | 2550 |
|             | 4回目 | 373       | 360   | 325   | 357   |     |     | 2545 |
|             | 5回目 | 374       | 361   | 324   | 355   |     |     | 2545 |
|             | 平均  | 372.4     | 361.8 | 325.8 | 353.8 |     |     | 2544 |

表3 人が乗っている場合の測定結果

測定結果 [単位: 回転数rpm, 高さmm, 風速m/s, 圧力Pa, 推力kg, 騒音dB(A)]

|             |     | 相 対 浮 上 高 |       |       |       | 圧 力 | 推 力 | 騒 音  |
|-------------|-----|-----------|-------|-------|-------|-----|-----|------|
|             |     | 1         | 2     | 3     | 4     |     |     |      |
| 第1段階 (0)    |     | 167       | 167   | 164   | 168   | 0   | 0   | 0    |
| 第2段階 (1500) | 1回目 | 170       | 169   | 164   | 168   | 29  | 28  | 1435 |
|             | 2回目 | 170       | 169   | 164   | 168   |     |     | 1445 |
|             | 3回目 | 170       | 169   | 164   | 168   |     |     | 1430 |
|             | 4回目 | 170       | 169   | 164   | 168   |     |     | 1420 |
|             | 5回目 | 170       | 169   | 164   | 168   |     |     | 1435 |
|             | 平均  | 170.0     | 169.0 | 164.0 | 168.0 |     |     | 1432 |
| 第3段階 (2000) | 1回目 | 327       | 326   | 328   | 333   | 40  | 44  | 2000 |
|             | 2回目 | 330       | 328   | 327   | 332   |     |     | 1995 |
|             | 3回目 | 327       | 330   | 325   | 333   |     |     | 2000 |
|             | 4回目 | 327       | 330   | 325   | 332   |     |     | 2000 |
|             | 5回目 | 329       | 330   | 326   | 334   |     |     | 1997 |
|             | 平均  | 328.0     | 328.8 | 326.2 | 332.8 |     |     | 1997 |
| 第4段階 (2500) | 1回目 | 344       | 337   | 340   | 357   | 47  | 44  | 2420 |
|             | 2回目 | 345       | 337   | 340   | 357   |     |     | 2435 |
|             | 3回目 | 344       | 336   | 341   | 357   |     |     | 2420 |
|             | 4回目 | 345       | 337   | 339   | 358   |     |     | 2430 |
|             | 5回目 | 344       | 336   | 339   | 354   |     |     | 2430 |
|             | 平均  | 344.4     | 336.6 | 339.8 | 356.8 |     |     | 2431 |

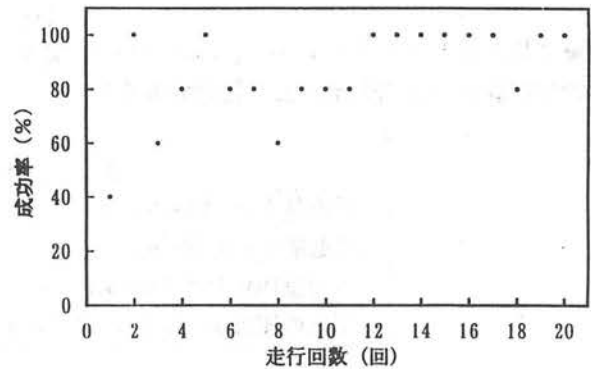


図8 (b) 走行回数と成功率の関係(L字左回り)

表4と表5は、相対浮上高とその標準偏差を計算したものである。

表4 人が乗っていない場合の計算結果

|      |     | 相 対 浮 上 高 |       |       |       | 平均に対する標準偏差 |
|------|-----|-----------|-------|-------|-------|------------|
|      |     | 1         | 2     | 3     | 4     |            |
| 1500 | 1回目 | 228       | 204   | -5    | 37    | 58.98      |
|      | 2回目 | 240       | 202   | -15   | 38    |            |
|      | 3回目 | 240       | 200   | -12   | 35    |            |
|      | 4回目 | 240       | 200   | -21   | 35    |            |
|      | 5回目 | 240       | 199   | -22   | 27    |            |
|      | 平均  | 241.6     | 201   | -15   | 32.8  |            |
| 2000 | 1回目 | 213       | 202   | 128   | 152   | 15.20      |
|      | 2回目 | 213       | 200   | 125   | 152   |            |
|      | 3回目 | 212       | 197   | 125   | 152   |            |
|      | 4回目 | 212       | 198   | 129   | 155   |            |
|      | 5回目 | 212       | 197   | 129   | 155   |            |
|      | 平均  | 212       | 198.8 | 127.4 | 153.2 |            |
| 2500 | 1回目 | 206       | 192   | 160   | 182   | 8.44       |
|      | 2回目 | 208       | 194   | 155   | 185   |            |
|      | 3回目 | 209       | 192   | 155   | 185   |            |
|      | 4回目 | 209       | 192   | 155   | 189   |            |
|      | 5回目 | 210       | 193   | 154   | 188   |            |
|      | 平均  | 208.4     | 192.8 | 155.8 | 185.8 |            |

表5 人が乗っている場合の計算結果

|      |     | 相 対 浮 上 高 |       |       |       | 平均に対する標準偏差 |
|------|-----|-----------|-------|-------|-------|------------|
|      |     | 1         | 2     | 3     | 4     |            |
| 1500 | 1回目 | 2.0       | 2.0   | 0     | 0     | 0.574      |
|      | 2回目 | 2.0       | 2.0   | 0     | 0     |            |
|      | 3回目 | 2.0       | 2.0   | 0     | 0     |            |
|      | 4回目 | 2.0       | 2.0   | 0     | 0     |            |
|      | 5回目 | 2.0       | 2.0   | 0     | 0     |            |
|      | 平均  | 2.0       | 2.0   | 0     | 0     |            |
| 2000 | 1回目 | 160       | 158   | 184   | 165   | 0.629      |
|      | 2回目 | 163       | 161   | 162   | 164   |            |
|      | 3回目 | 164       | 162   | 161   | 165   |            |
|      | 4回目 | 160       | 162   | 161   | 164   |            |
|      | 5回目 | 162       | 162   | 162   | 166   |            |
|      | 平均  | 161       | 161.8 | 162.2 | 164.8 |            |
| 2500 | 1回目 | 177       | 170   | 176   | 189   | 3.028      |
|      | 2回目 | 178       | 170   | 175   | 189   |            |
|      | 3回目 | 177       | 169   | 177   | 189   |            |
|      | 4回目 | 178       | 170   | 175   | 190   |            |
|      | 5回目 | 177       | 169   | 175   | 186   |            |
|      | 平均  | 177.4     | 172.8 | 175.8 | 188.8 |            |

【付 録 2】

表6は小型ACV走行実験データシートである。

表6 データシート

| 実験年月日   |             | 年     | 月           | 日     | 天気  | 気温 | C° |
|---------|-------------|-------|-------------|-------|-----|----|----|
| ドライバー氏名 |             | 年 齢   |             | 機 体 重 |     | kg |    |
| 実験の概要   |             | 実験年月日 |             | 特記事項  |     |    |    |
| 先 導 員   | 年・月・日       | 年     | 月           | 日     |     |    |    |
| 計 算 員   | 年・月・日       | 年     | 月           | 日     |     |    |    |
| 回 転     | 年・月・日       | 年     | 月           | 日     |     |    |    |
| 走行パターン  |             | 道 線   | ひ ず         | 5 字   | 8 字 |    |    |
| 回数      | 走行タイム (sec) | 回数    | 走行タイム (sec) |       |     |    |    |
| 1       |             | 11    |             |       |     |    |    |
| 2       |             | 12    |             |       |     |    |    |
| 3       |             | 13    |             |       |     |    |    |
| 4       |             | 14    |             |       |     |    |    |
| 5       |             | 15    |             |       |     |    |    |
| 6       |             | 16    |             |       |     |    |    |
| 7       |             | 17    |             |       |     |    |    |
| 8       |             | 18    |             |       |     |    |    |
| 9       |             | 19    |             |       |     |    |    |
| 10      |             | 20    |             |       |     |    |    |
| 備 考     |             |       |             |       |     |    |    |



【付 録 3】

実験で得られたデータをもとに、いくつかの諸量を計算した。表 7 に計算に必要な実験用小型 ACV の実測値、基本性能試験からの測定値および物理定数を示す。

表 7 計算に必要な数値

|                                                |                                    |
|------------------------------------------------|------------------------------------|
| 総重量 $T_w = 160.0(\text{kg})$                   | クッション面積 $A_c = 3.91(\text{m}^2)$   |
| 自重量 $H_w = 90.0(\text{kg})$                    | エンジン出力 $P_e = 900(\text{kgm/s})$   |
| 圧力室内圧 $P_i = 44.0(\text{kg/m}^2)$              | ダクト断面積 $A_d = 0.385(\text{m}^2)$   |
| 空気の密度 $\rho = 0.125(\text{kg/s}^2/\text{m}^4)$ | 最大風速 $V_{\max} = 25.3(\text{m/s})$ |

1. クッション圧力( $P_c$ )

1-1 総重量に対するクッション圧力( $P_{ct}$ )

$$P_{ct} = T_w / A_c = 160.0 / 3.91 = 40.9(\text{kg/m}^2)$$

1-2 自重量に対するクッション圧力( $P_{ch}$ )

$$P_{ch} = H_w / A_c = 90.0 / 3.91 = 23.0(\text{kg/m}^2)$$

2. 動圧( $P_d$ )

$$P_d = \rho V^2_{\max} / 2 = 0.125 \times 25.3^2 / 2 = 40.0(\text{kg/m}^2)$$

3. ベンディングダクトを考慮しない場合

3-1 送風量( $Q_1$ )

$$Q_1 = A_d V_{\max} = 0.385 \times 25.3 = 9.74(\text{m}^3/\text{s})$$

3-2 推力( $T_1$ )=送風される空気の質量( $m_1$ )

$$T_1 = \rho Q_1 V_{\max} = 0.125 \times 9.74 \times 25.3 = 30.8(\text{kg})$$

3-3 運動エネルギー( $K_1$ )

$$K_1 = m_1 V^2_{\max} / 2 = 30.8 \times 25.3^2 / 2 = 9857.4(\text{kgm}^2/\text{s}^2)$$

3-4 ファンのした仕事( $W_1$ )

$$W_1 = \rho A_d V^3_{\max} / 2 = 0.125 \times 0.385 \times 25.3^3 / 2 = 389.7(\text{kgm/s})$$

3-5 ファンの全効率( $f_1$ )

$$f_1 = W_1 / P_e \times 100 = 389.7 / 900 \times 100 = 43.3(\%)$$

4. ベンディングダクトを考慮した場合

(ダクト断面積が 3 分の 2)

4-1 送風量( $Q_2$ )

$$Q_2 = 2 Q_1 / 3 = 2 \times 9.74 / 3 = 6.49(\text{m}^3/\text{s})$$

4-2 推力( $T_2$ )=送風される空気の質量( $m_2$ )

$$T_2 = 2 T_1 / 3 = 2 \times 30.8 / 3 = 20.5(\text{kg})$$

4-3 運動エネルギー( $K_2$ )

$$K_2 = 2 K_1 / 3 = 2 \times 9857.4 / 3 = 6571.6(\text{kgm}^2/\text{s}^2)$$

4-4 ファンのした仕事( $W_2$ )

$$W_2 = 2 W_1 / 3 = 2 \times 389.7 / 3 = 259.8(\text{kgm/s})$$

4-5 ファンの効率( $f_2$ )

$$f_2 = 2 f_1 / 3 = 2 \times 43.3 / 3 = 28.9(\%)$$

5. 測定したクッション圧力からファンのした仕事を求める (ベンディングダクトを考慮しない場合)

5-1 ベルヌーイの定理より風速  $V$  を求める

$$V = (2 P_i / \rho)^{1/2} = (2 \times 44.0 / 0.125)^{1/2} = 26.5(\text{m/s})$$

5-2 送風量( $Q$ )

$$Q = A_d V = 0.385 \times 26.5 = 10.2(\text{m}^3/\text{s})$$

5-3 運動エネルギー( $K$ )

$$K = \rho Q V^3 / 2 = 0.125 \times 10.2 \times 26.5^3 / 2 = 11863.6(\text{kgm}^2/\text{s}^2)$$

5-4 ファンのした仕事( $W$ )

$$W = \rho A_d V^3 / 2 = 0.125 \times 0.385 \times 26.5^3 / 2 = 447.8(\text{kgm/s})$$

5-5 ファンの全効率( $f$ )

$$f = W / P_e \times 100 = 447.8 / 900 \times 100 = 49.8(\%)$$

○ベンディングダクトを考慮した場合のファンの効率( $f_b$ )

$$f_b = 2 f / 3 = 2 \times 49.8 / 3 = 33.2(\%)$$

この 33.2(%) という効率は、ファンの効率がダクト内で均一な場合である。実際には浮上用のエアが発生する場所 (ベンディングダクトのある場所: ファンの外周) はファンの効率がよく、上側 3 分の 2 の部分にはハブなどの影響により効率の悪い場所がある。このような理由から前に示した 28.9(%) との間に差が生じているものと思われる。

(受理年月日 1997 年 9 月 26 日)