

## 小型ACVの方向制御に関する研究

### Study on Directional Control of Light ACV

山下 進, 三野正洋\*, 安納一徳\*\*\*  
北山剛之\*\*\*, 菊地 健\*\*, 山崎弘幸\*\*\*

Susumu YAMASHITA, Masahiro MINO, Kazunori ANNO  
Takeyuki KITAYAMA, Ken KIKUCHI, Hiroyuki YAMAZAKI

#### 1. はじめに

ACVの走行の特徴は、一部を地表と接触させないかぎり、接地面との摩擦抵抗が少なく、旋回時にはサイドフォースが発生しない。そのため、前進方向にも横方向にも滑り易く、小回りが効かず、方向制御には熟練が必要となる。

一般にLACVの方向制御は、体重移動と方向舵の操作によって行われる。筆者らは、これまで、エアクッションにより浮上走行する小型ACVの方向制御特性に注目し、いくつかの走行実験を行ってきた<sup>1)~3)</sup>。その結果、「体重移動のみの方が、コースからのずれの量は少なかったが、方向舵を使用した方が方向制御がしやすい」ということが明らかになった。したがって、体重移動よりも方向舵が、方向制御に大きな影響を与える結果となり、従来の結果とは異なった結論に至った。

#### 2. 研究の目的

本研究では、ACVの運動特性に大きな影響を与える方向制御特性をさらに詳しく検討するため、再度走行実験を行い、データ収集を行った<sup>4)</sup>。

方向舵の操作や、体重移動を行うことによって船体がどのような挙動を示すかを、走行実験を行うことによって解明することを目的としている。

具体的には、走行中の軌跡と正面に対する船体の左右の向き (Yaw) を測定する。また、操縦条件として、直線コース、旋回コース (右旋回、左旋回) に対して、方向舵の操作のみ、および体重移動のみでの走行実験を行い、それぞれがどのようにACVの運動に影響するかを考察する。

さらに、方向舵の操作量や体重移動の度合いを定量的に測定するための新しい測定システムを提案する。

#### 3. 実験方法

図1は実験用小型ACVを示している。主な仕様は、付録1を参照のこと。Yawを測定するために、船体の前後にポールが取り付けられている。これについては後で詳しく説明する。ビデオ撮影した画像から、実際の長さを読み取るために、基準の長さを赤いラインで示してある。また、ダクトの上部にはレーザー光を反射させるためのリフレクタホイルが取り付けられている。スロットルはアイドリングを含め、5段階に調整できるようにになっている。ACVの左右には、体重移動を行う際、安全のために手すりがついている。また、方向舵は3翼あり、ハンドルと直結したワイヤーで引張ることによって、向きを変え、風の吹き出す方向を変えることにより、船体の進む方向を変えることができる。体重移動では、船体に上から圧力をかけ、船体の傾きを変え、スカートから出て行く風の量を変えることで、横方向の力を与えて進む方向を変えることができる。

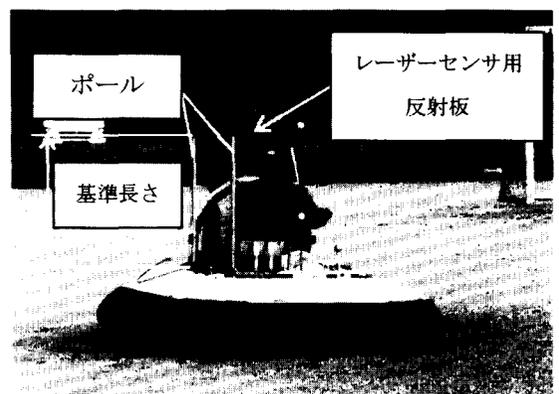


図1 実験用小型ACV

\*日大講師 \*\*小山高専専攻科生 \*\*\*小山高専卒業生

実験内容は、以下の通りである。

【基本性能試験】

まず、ACVの仕様を多少変更したため、基本性能試験を行った。基本性能試験の内容は以下のとおりである。

- 1) スロットルの位置を変えた場合のファンの回転数の測定
- 2) 回転数の変化による、船体の浮上高の測定
- 3) 回転数の変化によるダクト出口の送風量測定

【走行実験（直線コース）】

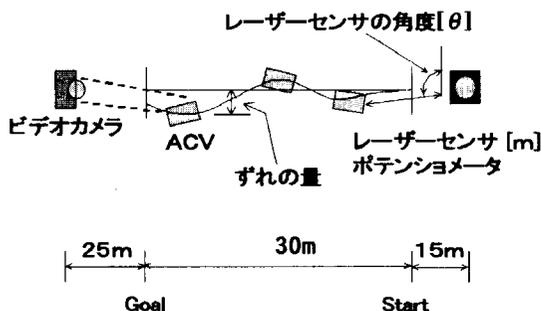


図2 実験コース1（直線コース）

直線コースの走行実験は、小山高専グラウンドで行い、図2に示すようなコースと各測定位置で行った。

後方からレーザーセンサで距離、ポテンシオメータで角度を測定することにより、走行中の船体の位置が決定される。これにより中央にひかれた走行線からのずれの量(m)を求めることができる。

さらに、前方からビデオカメラで撮影を行い、船体の前後に取り付けられたポール間距離の変化をビデオ画像から読み取ることによって、船体のYawを算出する。もし、ポールが重なった状態（ポール間距離ゼロ）、すなわち全くずれていなければ、Yawは0であり、船体はまっすぐ正面を向いていると考えられる。ビデオ上での基準長さを測り、もともとの基準長さとの比から、ずれた距離の本当の長さを導きだす。図3に示すように、ポール間のもともとの距離がわかっているので、この2つの長さから、三角比を使ってYawを求めることができる。

しかし、ビデオカメラの位置は固定されているため、ビデオカメラの向きが変わり、ビデオカメラで測ったYawと、実際のYawとでは誤差が生じる。そのために向きを補正する必要がある（付録2参照）。

正面から見た距離

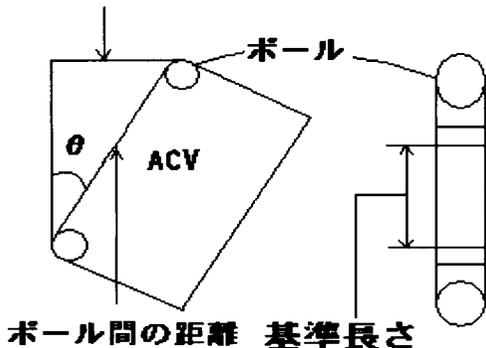


図3 Yawの測定方法

【走行実験（旋回コース）】

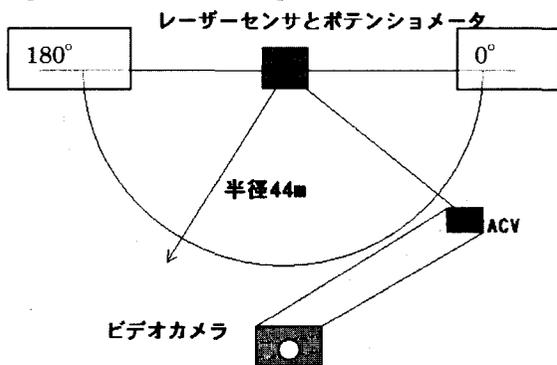


図4 実験コース2（旋回コース）

旋回コースの走行実験は、小山市運動公園の陸上競技場を使用し、図4に示すようなコースと各測定位置で行った。

半円弧の内側にポテンシオメータの付いたレーザーセンサを設置する。ビデオカメラは円の外側に置いた。ACVの位置やYawの求め方は直線コースと同様に算出する。直線コース同様、レーザーセンサでACVまでの距離、ポテンシオメータで角度を測定する。走行線は、中心点から半径44mの位置に描かれている。あくまでもYawは、正面に対する船体の向きであるため、旋回コースの場合では、走行線上で接線方向へ向いているればずれの量0、Yawの角度0度となる。ここでも、直線コース同様、ビデオカメラで撮影した画像から測定したYawと、実際のYawとの誤差の補正が必要となる（付録2参照）。中心点の位置を基準とし、図のように0度、180度とし、スタート位置は右旋回の場合は30度の位置、左旋回の場合は150度の位置とした。図5は、船体の位置を測定している様子である。

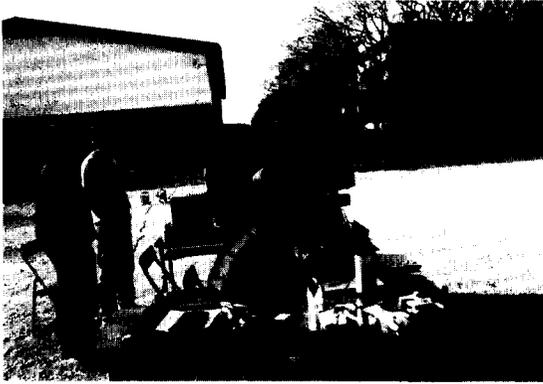


図5 船体の位置の測定

4. 実験結果と考察

4-1 直線コースでの走行実験 (付録3 図12)

直線コースでの実験結果を図6, 図7に示す。図6は方向舵のみの場合、図7は体重移動のみの場合の小型ACVの位置と向きを示している。ここで、x軸はACVの進んだ距離(m)、y軸はACVのずれの量(m)である。

それぞれの実験で共通していることは、最初に右方向に進んでいくことである。これは、小型ACVのファンが右回転のため、トルクが発生してしまうからである。

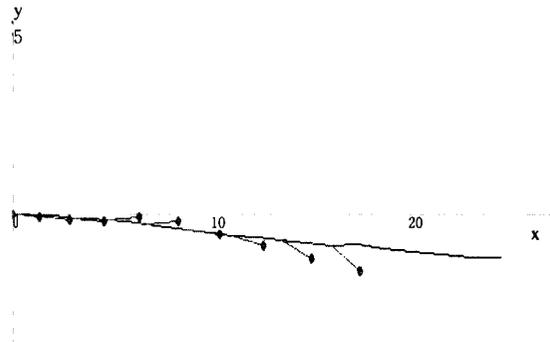
また方向舵のみの場合よりも、体重移動のみの場合の方が、ずれの量が少なく、向きもあまり変化していない。これは、体重移動のみの場合の方が、体重移動に対する応答が遅いため、操縦者に船体の動きを予測する余裕があり、方向制御が正確にできるためである。一方、方向舵のみの場合は、応答が速く、船体の動きを予測できないため、ずれの量が多くなっていると考えられる。

y  
5



5

図6 ACVの軌跡と向き (直線コース、方向舵のみ)



5

図7 ACVの軌跡と向き (直線コース、体重移動のみ)

表1 直線コースでのずれの量の平均値

	方向舵のみ(m)	体重移動のみ(m)
ドライバーA	2.5	3.0
ドライバーB	4.2	2.5
ドライバーC	6.3	2.0

表1は、直線コースのずれの量の平均値を表に表したものである。ドライバーAは熟練者、Bは数回乗ったことがある人、Cが初心者である。この表を見ると、操作に慣れている人ほど方向舵のみの場合、ずれが少なく、初心者ほど、体重移動のみの場合、ずれが少ないことがわかる。理由として考えられるのは、方向舵のみの操縦では、その応答が速いので、船体の動きにドライバーが追従できないためだと考えられる。したがって、方向舵を用いた操縦については、多少の熟練が必要と考えられる。これに対して体重移動のみの操縦については、先にも述べたが、応答が遅いためにACVの動きが予想しやすく、方向制御が容易にできるものと考えられる。今回は、方向舵と体重移動の両方を使った場合の実験を行わなかったが、その場合の特性についても今後調べる予定である。

4-2 旋回コースでの走行実験 (付録3 図13)

旋回コースでの実験結果を図8, 図9に示す。図8は方向舵のみの場合の右旋回時の軌跡と向き、図9は方向舵と体重移動両方の場合の右旋回時の軌跡と向きを示している。ここで、x軸はACVの進んだ距離(m)、y軸はACVのずれの量(m)である。

それぞれの実験結果において共通していることは、スタート直後は、小型ACVが進もうとする方向と船体の向きが一致していないこと、すなわち、横滑りを

起こしている点である。また、はじめACVは走行線に対して左のほうを向いているが、60度付近になり、速度が上がってくると徐々に走行線に沿う形になってくる。しかし、軌跡のほうはどんどんと右へずれていき、最初左側を走行していたはずのACVは最終的に右側へずれていってしまうことがわかる。これは、直線コースのときと同様、ファンによるトルクの影響と考えられる。ここでは図を示していないが、左旋回時では、ACVの向きはほぼ円弧の内側を向きながら横滑りしながら走行した。これは、右にずれていく特性を持ったACVを、無理に左に曲げようとしながら左旋回を行うためだと推測される。ここでもやはり、軌跡は左から右にずれた。



図8 右旋回時の軌跡と向き  
(旋回コース方向舵のみ)

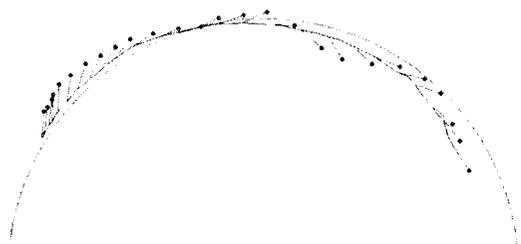


図9 右旋回時の軌跡と向き  
(方向舵と体重移動と両方使ったとき)

表2はドライバー全員のずれの量を平均して表にしたものである。この比率はずれの量の小さいほうを1として右旋回と左旋回を比べた。これを見ればわかるように、右旋回よりも左旋回のほうがずれにくいことがわかる。

表2 ずれの量の平均値とその比率

実験条件	ずれの量(m)	比率
左旋回 方向舵	0.804	1.0
右旋回 方向舵	2.33	2.9
左旋回 両方	1.86	1.0
右旋回 両方	2.90	1.6

これは、トルクの発生によるずれを修正しようとして、余計ずれてしまうか、そのずれがなかなか修正できず、ずれの量が多くなってしまったためだと考えられる。左旋回の場合は、その右にずれようとする力と、左に曲がろうとする力がうまく具合に影響しあうために、うまく走行線に乗って走れたものと考えられる。これにより、右旋回よりも左旋回のほうが方向制御性が良いことがわかった。また、体重移動と方向舵の両方を使ったほうがずれの量が大きくなってしまふのは、体重移動に対する船体の応答が遅いため、ずれを修正しようとしても、修正したいところで修正できず、余計なところで横滑りを起こしてしまふずれが大きくなってしまふものと考えられる。

## 5. おわりに

実験用小型ACVを用いて、直線コース、旋回コースでの走行実験を行ってきた。

その結果、直線コースの場合、体重移動の方が動きを予測しやすいため、方向制御しやすいことがわかった。旋回コースでは体重移動と方向舵の両方を使うより、方向舵のみを用いた方が方向制御性がよかった。

今後は、直線コースでの方向舵と体重移動の両方を使った走行実験を行うこと、そして、旋回コースでのより詳細なデータの収集を行う予定である。さらにポテンショメータとロードセルを用いて、方向舵の操作量と体重の移動量を測定したいと考えている。

## 【参考文献】

- 1) 安納、北山他：小型ACVの方向制御に関する研究，関東学生会第41回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集，PP79-80 (2002)。
- 2) 山下、三野他：小型ACVの方向制御の特性，日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集，PP235-236(2002)。
- 3) 三野、山下他：小型ACVの運動特性に関する研究，第40回飛行機シンポジウムアブストラクト集，P57(2002)。
- 4) 山崎、菊地他：小型ACVの方向制御に関する研究，関東学生会第42回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集，PP395-396 (2003)。

## 【付録1：実験用小型ACVの仕様】

表3に実験用小型ACVの仕様を示す。

表3 実験用小型ACVの仕様

全長	3010mm
全幅	1600mm
全高	880mm
自重量	90kg
材質	木材
搭乗者数	1名
送風型式	III-C型
スカート形式	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 600mm-45° -10翼(MWF)*
ダクト	直径 700mm (FRP製)
方向舵	3枚 (アルミニウム製)
動力伝達形式	エンジンとファンを直結

\*MWF(Multi Wing Fan)

## 【付録2：補正について】

## 1. 直線コースでの補正

ビデオカメラはレーザーセンサの反対側にあり、固定されている。ACVの位置によっては、ビデオカメラの向きが変わってしまう。それによって、撮影されたACVから測ったYawと、実際のYawとでは誤差が生じてしまう。

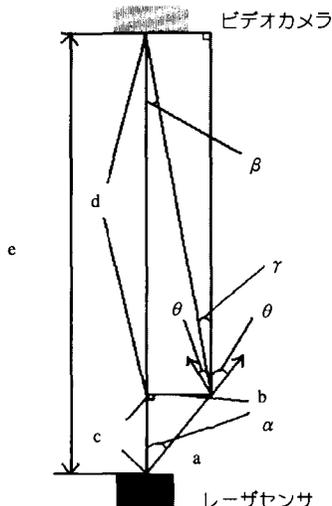


図10 補正用直線コース

図10のように角度、距離に記号を付け、それぞれを使って補正計算を行う。

a:レーザーセンサで測った距離(m)

b:ずれた距離(m)

c,d:任意の距離(m)

e:レーザーセンサからカメラまでの距離(m)

$\alpha$ :ポテンショメータで測った角度( $^{\circ}$ )

$\beta$ :誤差の角度( $^{\circ}$ )

$\theta$ :ビデオカメラの画像から測ったYaw( $^{\circ}$ )

実測値として $e=60m$ , また $b=a \cdot \cos \alpha$ ,  $c=a \cdot \sin \alpha$ ,

$d=e-c$  なので、 $\beta = \tan^{-1} \frac{b}{d}$  となる。

絶対角度 $\gamma$ は、画像上での $0^{\circ}$ を基準として、船体がずれた方向にYawが向いていれば、

$$\gamma = |\theta - \beta|$$

となり、ずれた方向と逆を向いていれば

$$\gamma = \theta + \beta$$

となる。

## 2. 旋回コースでの補正

旋回コースの場合、ビデオカメラでの $0^{\circ}$ と、法線が一致する場所では誤差は生じず、その位置が2つある。その2つの位置から離れるほど誤差は大きくなる。また、その位置を境に誤差の取り方が変わる。そのそれぞれの位置をX、Yとおき、さらに、ACVが $90^{\circ}$ の位置に来た場合には誤差も $90^{\circ}$ となるとし、その点をZとする。スタート位置からX点までをP間、X点からZ点をR間、Z点からY点までをR間、Y点からゴール位置までをS間とする。

図11のように角度、距離に記号を付ける。

A:レーザーセンサで測った距離(m)

B,C,D:任意の距離(m)

E:レーザーセンサからカメラまでの距離(m)

$\alpha$ :ポテンショメータで測った角度( $^{\circ}$ )

$\beta, \gamma$ :任意の角度( $^{\circ}$ )

$\delta$ :誤差の角度( $^{\circ}$ )

$\theta$ :ビデオカメラの画像から測ったYaw( $^{\circ}$ )

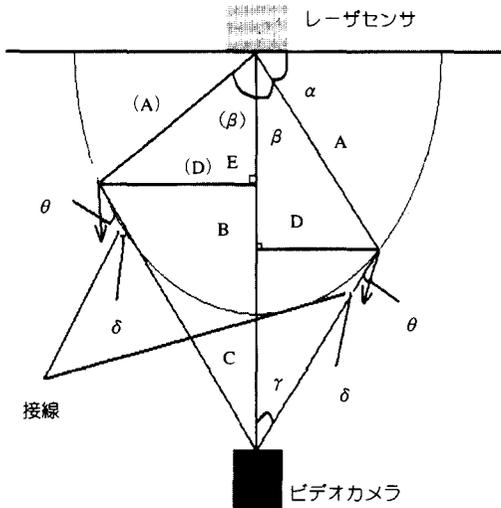


図11 補正用旋回コース

実測値として、 $E=50\text{m}$  である。

$\beta = |90 - \alpha|$ 、 $B = A \cdot \cos \beta$ 、 $D = A \cdot \sin \beta$  とおく。

$C = E - B$  なので、 $\gamma = \tan^{-1} \frac{D}{C}$  となる。

P間では、誤差  $\delta$  は、

$$\delta = \beta + \gamma - 90$$

となり、絶対角度  $\phi$  は、ACVが円弧の外側を向いている場合、

$$\phi = |\theta - \delta|$$

となる。

内側を向いている場合、

$$\phi = \theta + \delta$$

となる。

Q間では、誤差  $\delta$  は、

$$\delta = 90 - \beta - \gamma$$

となり、絶対角度  $\phi$  は、ACVが円弧の外側を向いている場合、

$$\phi = \theta + \delta$$

となる。

内側を向いている場合、

$$\phi = |\theta - \delta|$$

となる。

R間では、誤差  $\delta$  は、

$$\delta = 90 - \beta - \gamma$$

となり、絶対角度  $\phi$  は、ACVが円弧の外側を向いている場合、

$$\phi = |\theta - \delta|$$

となる。

内側を向いている場合、

$$\phi = \theta + \delta$$

となる。

S間では、誤差  $\delta$  は、

$$\delta = \beta + \gamma - 90$$

となり、絶対角度  $\phi$  は、ACVが円弧の外側を向いている場合、

$$\phi = \theta + \delta$$

となる。

内側を向いている場合、

$$\phi = |\theta - \delta|$$

となる。

### 【付録3：走行実験の様子】



図12 走行実験の様子（直線コース）

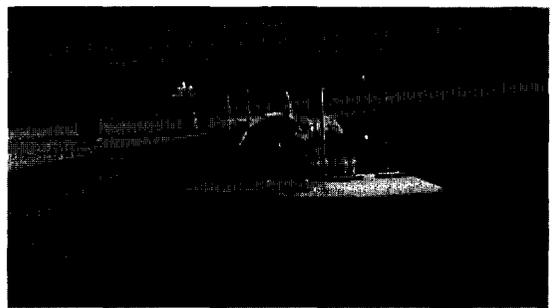


図13 走行実験の様子（旋回コース）

小山工業高等専門学校機械工学科  
syama@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2003年9月30日」