

ジェットホバーMTの運動特性に関する研究

山下 進*1, 田中 陽一*2, 磯山 貴志*3, 嘉神 春雄*4

A Study on Motion Properties for Jet Hover MT

Susumu YAMASHITA, Youichi TANAKA, Takashi ISOYAMA, Haruo KAGAMI

In this study, a moving test is carried out for Jet Hover MT made by Sumitomo Heavy Industries, Ltd., and it is a purpose to clarify the motion properties. Specifically, a basic performance test and moving test were carried out.

As a result, next became clear.

1. The rotary torque that is going to turn the left always acts on the hull.
2. When it inclined the rudder to the right around 10 degrees that going straight characteristics were the best.

KEYWORDS : Air Cushion Vehicle, Rudder, Moving Test, Motion Properties

1. はじめに

ジェットホバーMTは、住友重機械工業社製のレジャー用小型ACVである。図1にその写真を示す。またACVとはAir Cushion Vehicleの略で、一般的にホバークラフトと呼ばれている乗り物である。ACVは空気圧力により浮上して走行するという特徴から、水上や雪上など、どんな地面の状況でも走行することが可能である。しかし、サイドフォースを発生しないため、横滑りを起こすなど、操縦が難しく、不安定な乗り物でもある。

そこで、このACVの運動特性を調べることで、安定した走行の手掛かりになるのではないかと考えた。本研究室では以前からACVに関する運動特性についての研究が行われ、自作したACVについてはすでに調べられている。今年度は既製品であるジェットホバーMTの運動特性

を調べ、自作ACVとの比較をすることが目的である。

具体的には、基本性能試験として、浮上高の測定、方向舵の性能試験を行い、走行特性試験では、直進性能、旋回性能（左回り、右回り）を調べることにした。

なお、本研究で使用されたジェットホバーMTは、ホバークラフトの研究推進と、普及を目的として、鳥取大学から譲り受けたものである。



図1 ジェットホバーMT

*1 機械工学科(Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: syama@oyama-ct.ac.jp

*2 機械工学科 2010 年度卒業生 現 東京農工大学 3 年生

*3 専攻科 2010 年度修了生 現 株式会社ナカニシ

*4 専攻科 2 年生

2. ジェットホバーMTについて

ジェットホバーMTは、1基のエンジンで浮上と推進を行う送気方式(III-Cタイプ)を採用した、乗車定員2名(タンデムタイプ)のホバークラフトである。

艇体はFRP材および補強木材などで構成されている。浮力体が設置されており、その材質はウレタンフォーム製である。駆動軸はプーリーを介してのベルト駆動方式である。エアクション装置は機関、プロペラおよびスカートなどから構成され、重量が合計150kgまでの乗員2名が乗り込んだ状態において、航走時、浮揚高さが200mmを保持されるように設計されている。

表1に主な仕様を示す。

表1 ジェットホバーMTの主要な仕様

艇体	艇材質	FRP製		
	主要寸法	全長	4.04m	
		全幅	1.64m	
		全高	1.10m	
	重量	全重量	220kg	
		燃料	45kg	
		乗員	150kg	
装備品		5kg		
合計	420kg			
最大速力	約25ノット			
スカート	バッグ型(着脱式) ナイロンゴム引布製			
機関	名称	富士ロビン EC50PM-02		
	形式	空冷2サイクル2気筒 ガソリンエンジン		
	総排気量	488cc		
	最大出力	50PS/6250rpm		
	最大トルク	5.8kgf・m/6000rpm		
	回転方向	左(出力軸側から見て)		
	使用燃料	潤滑油混合ガソリン (混合比20:1)		
7ドリング 回転数	2000rpm			
プロペラ	形式	軸流型, 9枚羽根		
	直径	800mm		
	材質	羽根	ナイロン製	
		ハブ	アルミダイキャスト製	
	ピッチ角度	40°		
最大回転数	3000rpm			

3. 基本性能試験

3.1 浮上高の測定

図2に示すような、船体の4ヶ所(①~④)の浮上高を、エンジンの回転数、搭乗人数の違いにより測定した。4ヶ所を測定することで、船体が水平かどうか把握することができる。エンジン回転数は2000rpm, 4000rpm, 6000rpm, 搭乗人数は0~2名でそれぞれ測定した。

測定結果を表2に示す。座標を図3のように設定し、測定結果をグラフに表わしたものが図4~6である。

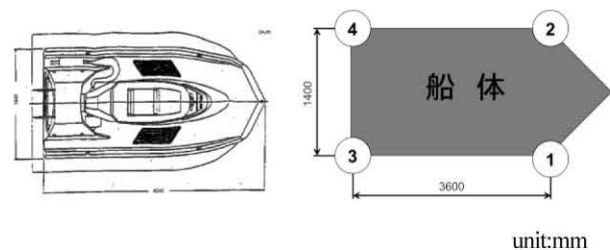


図2 浮上高の測定位置

表2 浮上高の測定結果

回転数[rpm]	搭乗人数	浮上高[mm]			
		①	②	③	④
2000	0	53	34	0	7
	1	4	3	0	9
	2	1	5	0	8
4000	0	285	281	11	0
	1	196	196	137	125
	2	173	172	139	104
6000	0	245	256	151	136
	1	205	220	179	180
	2	203	210	179	182

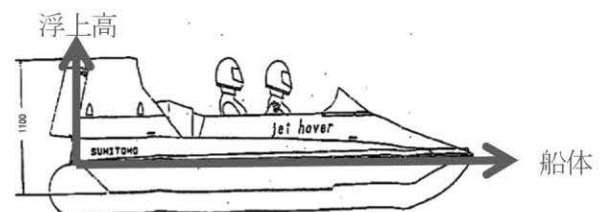


図3 グラフの座標説明図

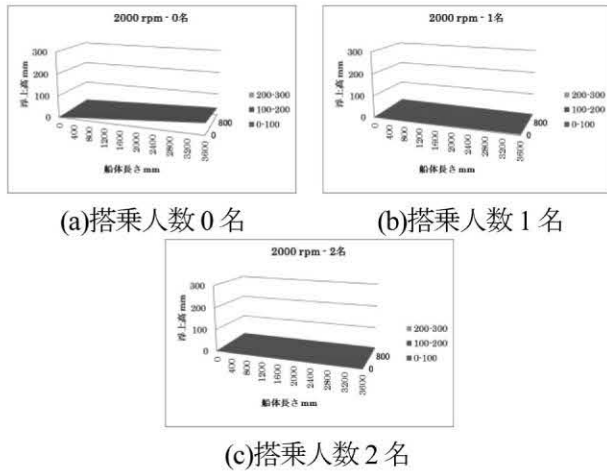


図4 2000rpm のときの浮上高

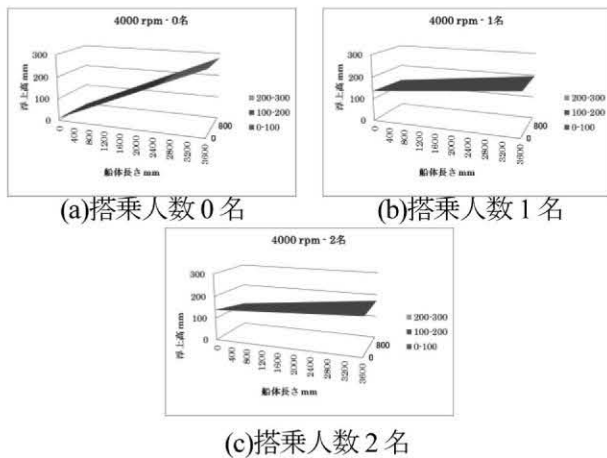


図5 4000rpm のときの浮上高

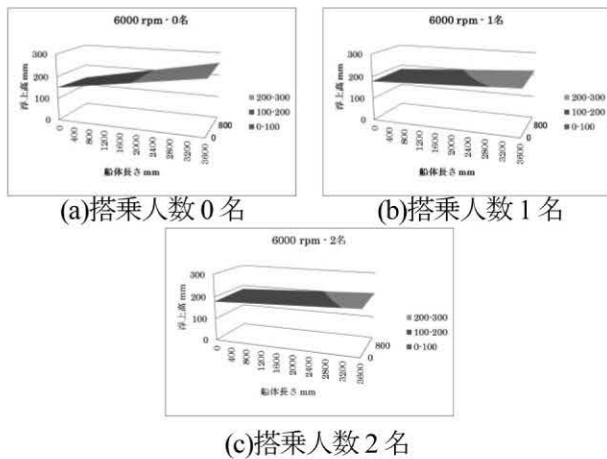


図6 6000rpm のときの浮上高

これらの測定結果から、船体が浮上し始めるのは2000rpm よりも高い回転数だということがわかる。それぞれの回転数での浮上高は4000rpm のとき約160mm、6000rpm のとき約200mmである。

また、船体は前方の方が浮上高が高く、人が乗っていないときにその傾向が顕著に表れている。(図5(a)を参照) これより、船体は人が乗った状態でほぼ水平になるよう設計されていることが確認できた。

搭乗人数1名のときと2名のときとではあまり浮上高に変化はみられず、人が乗って船体が水平になるのは4000rpm よりも高い回転数であることもわかった。

この測定結果より、走行試験は1名乗船、エンジン回転数5000rpm 固定で実施することにした。

3. 2 方向舵性能試験

図7に示すようなコースと測定機器を設定し、方向舵の角度に対する船体の軌跡を求めた。試験方法は、予め方向舵の角度を固定しておき、助走区間では船体が直進するよう補助をする。測定区間に進入したら、レーザセンサにより船体までの距離 r と、レーザセンサに取り付けられたポテンシオメータによりレーザセンサの向いている角度 θ を測定し、極座標を用いて船体の位置を計算する。これをグラフに表すことで、船体の軌跡を描くことができる。方向舵の角度は右 30° から左 30° まで 10° 刻みで固定し、それぞれ試験を行った。(図8を参照)

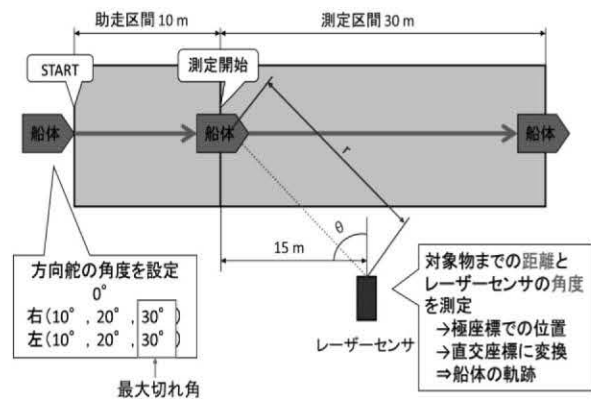


図7 方向舵性能試験

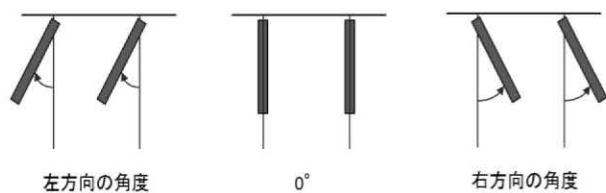


図8 方向舵角度

図9に方向舵性能試験から得られた測定結果をもとに計算した船体の軌跡を示す。グラフの横軸は走行距離、縦軸は左右方向のずれ(左方向を+)であり、グラフの線の数は試験回数を表している。

これらのグラフから、各々の角度でほぼ同じ傾向がみられた。また、方向舵の角度が大きくなるほど船体の旋回半径は小さくなっていった。さらに、左旋回の方が右旋回と比べて、同じ操作なら回転半径が小さいということから、船体には左旋回しようとする回転トルク(反トルク)が常に働いていることがわかった。図10に試験の様子を示す。

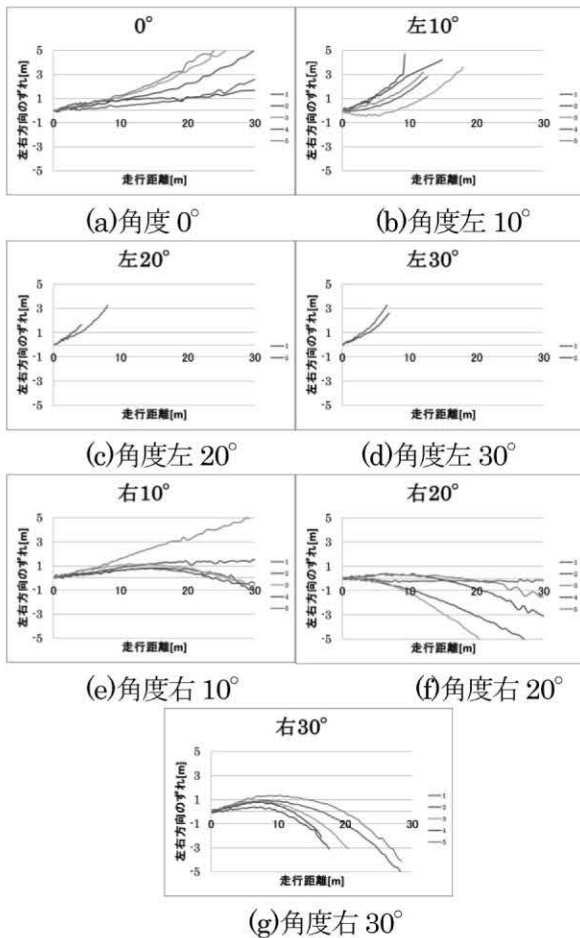


図9 船体の軌跡



図10 試験の様子

4. 走行特性試験

4.1 直進性能試験

図11のような方向舵性能試験と同様のコース上を船体が直進するよう方向舵を操作し、その時の方向舵の角度を測定し、船体の軌跡を求めた。方向舵の角度は、方向舵に取り付けられたポテンシオメータにより測定した。

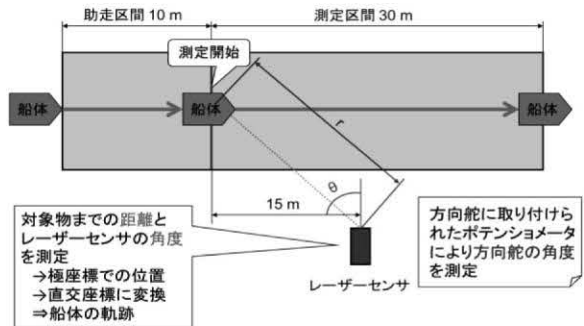
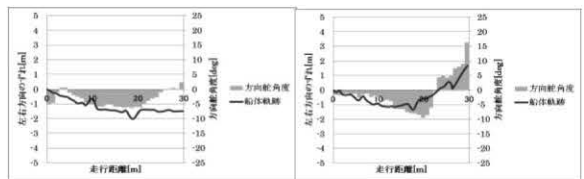


図11 直進性能試験方法

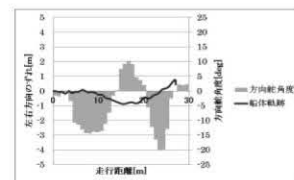
図12に直進性能試験から得られた測定結果をもとに、船体の軌跡と方向舵の角度を示す。船体の全幅は1.64mであるので、測定中の船体軌跡が左右2m以内の試験結果を直進性がよいと考えた。線グラフは船体の軌跡、棒グラフは方向舵の角度を表している。横軸は走行距離を、縦軸はそれぞれ左右方向のずれ(左方向を+)、方向舵角度(左方向を+)を表す。

方向舵性能試験から、右に10°程度傾けると直進性がよいということがわかっている(図9(e)を参照)ので、そのように操作した。図を見ると、確かに右方向の操作量が多く、その角度は10°程度だということがわかる。



(a) 1回目

(b) 2回目



(c) 3回目

図12 船体の軌跡および方向舵の角度

4. 2 旋回性能試験

図 13 に示すような、小山高専の校庭のトラックのコーナー（半径 26.8m）を使用し、船体がコースに沿うよう方向舵を操作するという方法で、左右の旋回の性能試験を行った。走行中の方向舵の角度を測定し、レーザセンサで船体の位置を、ビデオカメラで船体の向きを求めた。（図 14 を参照）

また、船体とビデオカメラとの距離によってポール間距離は変わるため、補正が必要である。その方法を図 15 に示す。ここでいうポール間距離とは、船体に取り付けられたリフレクターホイールとポールの間の距離である。（図 16 を参照）なお、船体・ビデオカメラ間の距離はレーザセンサから得られた値を使用した。

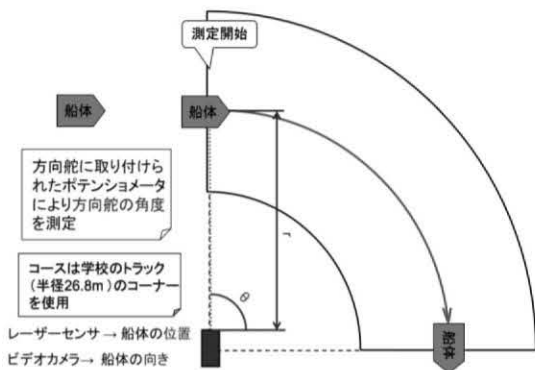


図 13 旋回性能試験方法

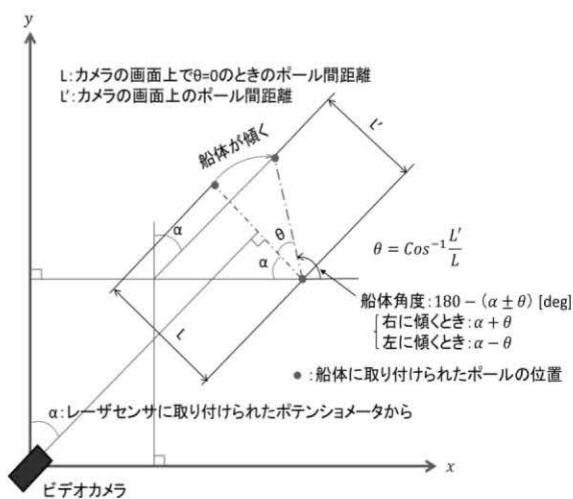


図 14 船体の角度の求め方

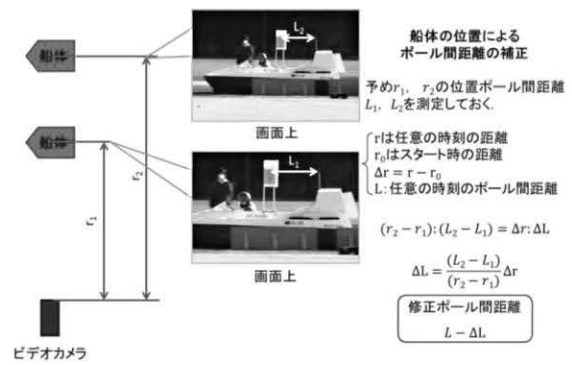


図 15 ポール間距離の補正



図 16 ポール間距離

図 17 と図 18 に船体の旋回の様子をベクトルで表したものと、走行中の方向舵の角度を示す。ベクトルの大きさは船体の速度、方向は船体の向きを表している。棒グラフは走行中の方向舵の角度の変移を示しており、横軸は時間、縦軸は方向舵の角度（左方向を+）を表している。

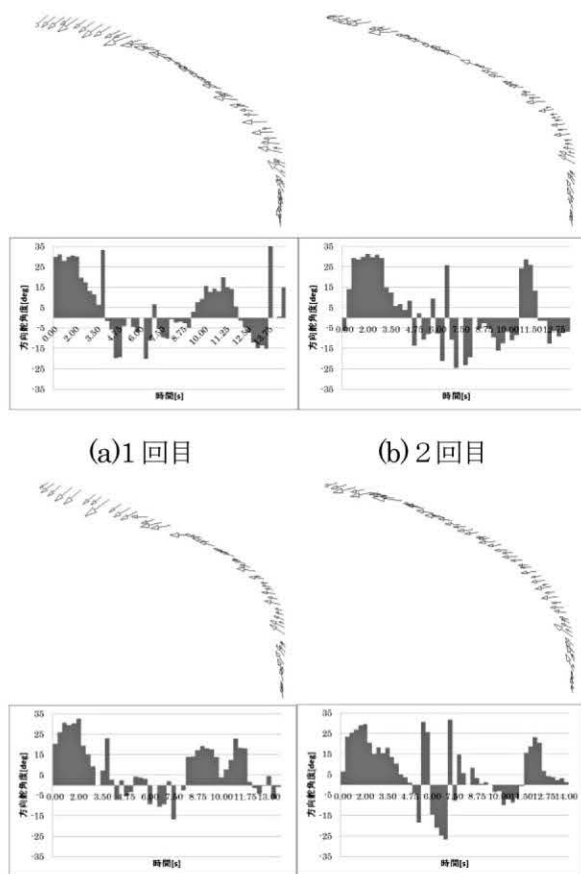
左・右旋回それぞれ共通していえることは、船体が描く弧の接線方向よりも、船体の向きが回転中心へ向いているということである。これは、回転運動するための求心力が ACV の場合、地面との摩擦が極端に小さいため、ファンから発生する推力で作用させなければならないからである。

また、方向舵の角度の変移を示した棒グラフから、旋回する直前に曲がりたい方向に大きく方向舵を傾けていることがわかる。上述の理由から、旋回する初期の段階で船体を回転中心の方向へ大きく傾ける必要があるからである。

次に、左旋回と右旋回を比較する。例えば、図 17(d) と図 18(a) は似たような弧を描いているということから、これらの比較を行う。ベクトル図から右旋回の方が大回りになったことがわかる。方向舵の角度のグラフをみると、右旋回する場合、走行中、方向舵はほとんど右方向を向いている。これに対し左旋回では、方向舵は左方向のみならず、右方向にも向いている。船体には常に左旋回しようとする反トルクが働いているということは、

方向舵性能試験，直進性能試験から明らかになったが，旋回性能にもこの影響が表れる結果となった。そのため左旋回と右旋回では，同じカーブを曲がろうとする場合，異なった操作が必要である。

具体的な操作方法は，カーブの半径によって異なると予想されるので一概にはいえないが，左旋回の場合，船体が左に傾きすぎるのを抑えるため，方向舵を右に傾ける操作が必要であり，右旋回の場合は方向舵を右に傾け続けなければ旋回できない。すなわち，左旋回の方が方向転換が容易にできるということがわかった。



(a)1回目 (b)2回目
(c)3回目 (d)4回目
図17 船体の軌跡および方向舵角度（左旋回）

5. おわりに

これまで行ってきた走行性能試験より，ジェットホバーMTの運動特性をまとめると次のようになる。

(1)船体には常に左旋回しようとする反トルクが働いている。

(2)方向舵を右に10°程度傾けたとき，直進性が最もよい。

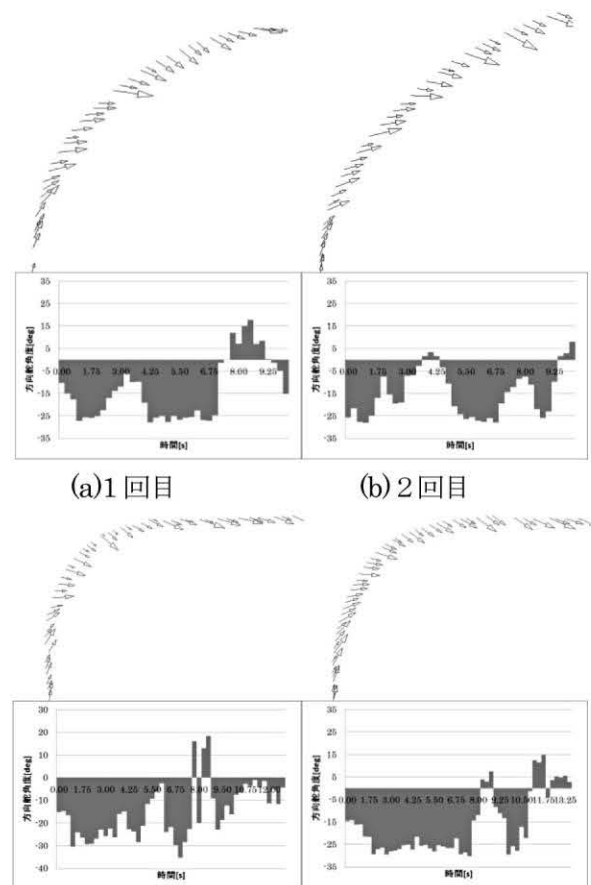
(3)旋回しようとするときは方向舵を早めに操作し，船体を回転中心へ大きく傾ける。

(4)左旋回の方が方向制御がしやすい。

(1)は自作ACVにもみられた特性¹⁾であり，この原因はエンジンおよびファンの回転トルクによるものだと考えられる。今後は，ファンの回転数に対する，船体にかかる回転トルクを測定し，これらの関係を明らかにしたい。

参考文献

1)磯山貴志，山下 進：V-A型小型ACVの運動特性，日本機械学会関東支部関東学生会第48回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集，pp.369-370(2009)



(a)1回目 (b)2回目
(c)3回目 (d)4回目
図18 船体の軌跡および方向舵角度（右旋回）

【受理年月日 2011年 9月30日】