

## 浮流重油自動追跡ヨット型ブイの再設計

赤松 達哉	大阪大学大学院工学研究科
加藤 直三	大阪大学大学院工学研究科
鈴木 博善	大阪大学大学院工学研究科
千賀 英敬	大阪大学大学院工学研究科
虞 魯斌	日産自動車
吉江 宗生	港湾空港技術研究所
田中 敏成	港湾空港技術研究所

### Design of spilled oil tracking autonomous buoy with a yacht type

Tatsuya AKAMATSU	Graduate School of Engineering, Osaka University E-mail: Akamatsu_Tatsuya@naoe.eng.osaka-u.ac.jp
Naomi KATO	Graduate School of Engineering, Osaka University
Hiroyoshi SUZUKI	Graduate School of Engineering, Osaka University
Hidetaka SENGA	Graduate School of Engineering, Osaka University
Lubin YU	NISSAN MOTOR CO., LTD.
Muneo YOSHIE	Port and Airport Research Institute
Toshinari TANAKA	Port and Airport Research Institute

#### Abstract

Once oil is spilled in the ocean, it drifts ashore and results in long-term damage to the environment and human life. To prevent oil spills from spreading and causing further damage, the spilled oil must be recovered while it is still drifting on the sea surface. To realize it, we need the information on the exact location and oceanographic data round it in real time. We have been carrying out research and development of Spilled Oil Tracking Autonomous Buoy System (SOTAB) since 2005. Drifting spilled oil on sea surface has a physical characteristic that it drifts by the effect of wind and water current around it. Our recently developed spilled oil tracking autonomous buoy named SOTAB-II consists of a cylindrical floating body with an adjustable sail in its area and direction. We concluded that the control system of the sail works well, but the present SOTAB-II can't reach the speed of drifting oil, judging from results of experiments. In this study we designed a new model of SOTAB-II with a yacht to reduce the water resistance on it and improve the drifting speed. In the process of the design based on an actual yacht shape, dynamic stability, course stability, scale of break board and that of sail for adjusting resistance and thrust force by wind, respectively, maneuverability, and performance of tracking spilled oil on sea surface were considered by using CFD analysis and other programs.

#### 1 章 諸言

2010 年のメキシコ湾原油流出事故や 1997 年のナホトカ号重油流出事故に代表されるような海上での事故による油の流出が、近年度々発生している。油流出による環境被害は甚大である。被害を最小限に抑えるためには、海上で浮流している油を回収するか、漂流が予想される沿岸に油防除機材を設置するなど、油を早急に回収する措置が重要となってくる。

海上で浮流する油を回収する、また漂着される沿岸を予測するためには、海上での油の位置を把握することが必要である。現在、大阪大学加藤研究室では海底から噴出した油の浮上シミュレーションと海上を浮流する油のシミュレーション、そのシミュレーションを行うのに必要なデータを取得するロボット SOTAB (Spilled Oil Tracking Autonomous Buoy) の開発が進められている。

ロボットは海上用と海中用の 2 種類があり、本研究ではそのうち海上用の自動追跡ロボット (SOTAB-II) を扱っている。現在までに、SOTAB-II は過去の研究によって設計されたモデルで実際に制作され、数々の実験が行われた。SOTAB-II の現行モデルの主な構成は、円盤型の機体に風速計、GPS、潮流系、油の位置を感知するカメラ、制御を行うコンピューターを搭載している。加えて、浮流している油は風による水面流れ (風速の 3% 程度) と潮流の流れの合ベクトル方向に漂流することがわかっているため、SOTAB-II は油を追従するために、大きさの調整可能な帆を張り、風の力を利用する設計となっている。湖上や海上での実験で、SOTAB-II は一定の成果を上げてきたのだが、現行の SOTAB-II は抵抗の大きい円盤型の機体が妨げとなり、風速の 3% での浮流が困難であることが実験から判明した<sup>1)</sup>。

これらの問題を改善するために、抵抗の小さい船型を用いて、実用に耐えうる新たな SOTAB-II の設計を行った。検討課題としては船型の選定、復原性、針路安定性の確保、抵抗調節用のブレーキ板の選定等である。

## 2 章 船型および縮尺の決定

### 2.1 長期連続運転可能な電池容量

まず、電池の容量を決めるに際し、SOTAB2 の消費電力を計算した。センサー等に関しては現行と同型を用いるものとした。

Table.1 Power Consumption

	消費電力[W]
制御ボード	15
帆(面積の制御用モーター)	1
GPS, 潮流計, 風速計等	6
合計	22

次に、この消費電力を一週間まかなえるだけの電池の容量を決める。しかし、蓄電池のみでこの電力を供給しようとすると、かなりの重量が必要となる。加えて、将来のさらなる長期的な連続運転への展望のため、太陽電池を併用するものとして考える。そこで、太陽電池で得られる電力を試算してみる。試算に必要な条件として、発電効率、ソーラーパネルの発電損失、バッテリー損失がある。今回はその条件として以下の値を用いた。

Table.2 Parameters

発電効率	0.13
パネルによる損失	1.15
バッテリー損失	0.8

結果、電力容量 803Wh のリチウム電池を 4 つ、ソーラーパネルを約 0.6m<sup>2</sup> とすると下のグラフに示すように、1 週間程度であれば連続運転可能となる電池容量が確保できる。日射量についての条件としては、大阪の 4 月の晴天時の平均的なもので、天候は 1 週間晴天が続くものとした。

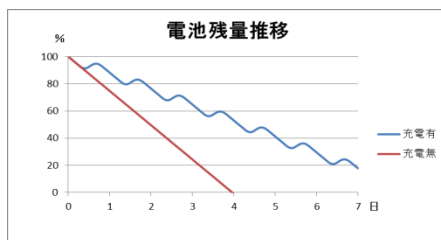


Fig.1 Battery Consumption

### 2.2 船型の決定

DIMENSIONS		original scale	縮小割合			
(1) HULL			1/10	2/5	1/5	3/10
LOA	m	10.68	1.068	4.272	2.136	3.204
LWL	m	8.55	1.5	1.6	1.71	2
Displacement(DWL)	kg	3460	3.46	221.44	27.68	93.42
Displacement(2WL)	kg	6570	6.57	420.48	52.56	177.39
Deck Area	m <sup>2</sup>	22.48	0.2248	3.598	0.8995	2.024

自動追尾に必要なセンサー類や、長期連続運転のため電池を大量に搭載するため、船形には排水量の大きいものが求められる。そこで、目を付けたのが金沢工業大学で開発された「KIT34」である。この船形は船幅が大きく、機器を搭載するには最適であった。金沢工業大学の増山先生の御協力の下、この船のオフセットや、線図などの資料をいただき、十分な排水量が確保できるように縮尺を検討した。

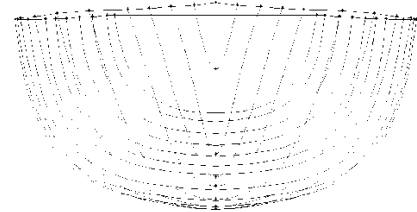


Fig.2 Body Plan of KIT34

Table.3 Dimensions of KIT34

DIMENSIONS		
HULL		
LOA	m	10.68
LWL	m	8.55
BMAX	m	3.04
BWL	m	2.42
Draft(Canue body)	m	0.41
Draft(Fin keel)	m	1.94
Displacement(DWL)	kg	3460
Wetted Surface Area	m <sup>2</sup>	16.6
GM	m	1.307
Cb (方形係数)		0.398
Cp (柱形係数)		0.563
Ballast/Displacement Ratio		0.488

### 2.3 縮尺の決定

喫水線を DWL で維持しようとすると、必要な排水量を確保するためには、あまりに大きなものになってしまう。そこで、排水量と安定性の兼ね合いから、喫水線が 2WL 近傍になるようにして検討を続けた。そのために、まずオフセットデータから 2WL での排水量をシンプソン積分を用いて求めた。また、ソーラーパネルの設置を行うためのデッキの面積も考慮しないとならないので、同様にデッキ面積も求めた。

Table.4 Deck Area and Displacement at 2WL

Displacement(2WL)	kg	6570
Deck Area	m <sup>2</sup>	22.48904

これらのデータをそれぞれ縮尺 1/10, 1/5, 3/10, 2/5 に直して必要項目を比較した。

Table.5 Dimensions for Each Scale

DIMENSIONS	original	縮小割合				
		scale	1/10	2/5	1/5	3/10
(1) HULL						
LOA	m	10.68	1.068	4.272	2.136	3.204
LWL	m	8.55	1.5	1.6	1.71	2
Displacement(DWL)	kg	3460	3.46	221.44	27.68	93.42
Displacement(2WL)	kg	6570	6.57	420.48	52.56	177.39
Deck Area	m <sup>2</sup>	22.48	0.2248	3.598	0.8995	2.024

また、ここで排水量の選定に必要なセンサーや電池等の重量を示す。ただし不明確なものは少し重めに見積もっている。

Table.6 Weight of Each Part

	重量[kg]
潮流系	0.55
GPS	0.4
風速計	0.5
ボード類	1
ケーブル	1
マスト, セイル	3
スラスター	0.7
リチウム電池 x4	15.6
太陽電池関係	9
合計	31.05

Table.6 に示した他に、船体重量および、機器を載せたことによる重心の上昇により失われる復原性を回復させるためのキールの重量も考慮しなくてはならない。キールの重量に関しては、計算をした上で決定しなければならないのである程度の余裕をもっておく必要がある。船体重量は FRP で製作する予定なので FRP の厚さを 3mm として概算する。以上のことより、縮尺としては 1/5 が適していると判断した。

### 3章 動的復原性の確保

機器の搭載により、重心があがり、GM が小さくなることにより船の動的復原性が小さくなる。機器の積載前と積載後の GZ カーブをプログラミングにより求めたものが、下の図のそれぞれ Fig.3, fig.4 である。

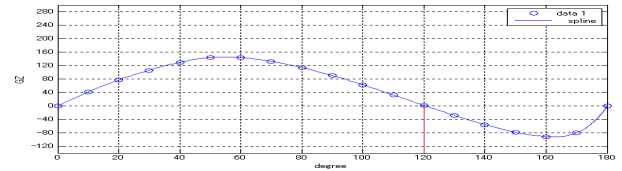


Fig.3 GZcurve of Ship without load

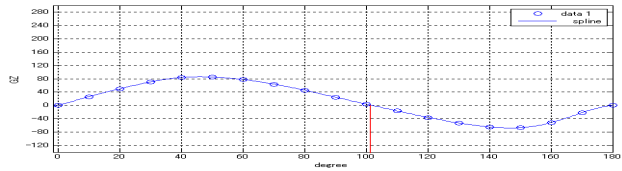


Fig.4 GZcurve of Ship with load

赤線部が復原力消失角であるが、20度近く低下していることが見て取れる。この小さくなった動的復原性を回復させるために、キール大きさ及び、位置を検討する。キールは簡単の為ステンレスの中実棒を用いることとした。4 パターンの半径、設置位置の異なるキールをシミュレーションした結果が次に示す Table.7 である。

Table.7 Results of Simulations

	r 半径[mm]	ko 船底からの距離[mm]	喫水線高さ[mm] (2WL=40mm)
①	15	320	40.84
②	20	220	44.36
③	20	320	44.36
④	25	320	48.8
	キール重量[kg]	重心高さ[mm]	復原力消失角
①	3.7	37.8	117°
②	6.6	27.1	120°
③	6.6	15.4	126°
④	10.3	-10.3	135°

これより、④の r=25mm, ko=320mm のキールが最も復原力消失角が大きいことがわかる。しかし、r=25mm の時にキール重量が 10kg を超えてしまい、喫水線も 2WL を大きく超えてしまう。よってこの中で最も適しているのは、復原力消失角も確保しつつ、喫水線高さも 2WL 近傍で維持できる③の r=20mm, ko=320mm のキールである。このキールを付けることで復原力消失角が約 20 度向上し、積載物を載せる前の状態に戻ることができる。

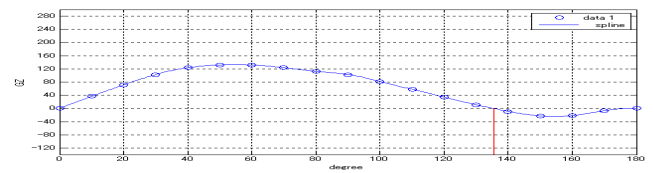


Fig.5 GZcurve of ④

## 4章 帆とブレーキ板の選定

### 4.1 ブレーキ板の意義

今回設計している SOTAB2 は、海面上を浮遊する油を風の力を利用し、自動で追従するためのものである。ゆえに、SOTAB2 自身も油と同等の速度で航行する必要がある。油の浮遊速度は風速の 3% ということが既知なので、どんな風速の時でも、その速度を維持できるようにブレーキ板を設定しなければならない。

### 4.2 海面付近での風速

風速の 3% というのは海拔 10m での地点での風速のため、船のある海面付近での風速と異なる。よって海拔 10m での風速を海面付近（海拔 0.4m）に換算し、帆にあたる流体力を求める必要がある。その換算には下の式を用いた。

$$U(z) = \frac{u^*}{\kappa} \log \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_s}{\rho_a}} \quad (2)$$

$$\tau_s = \rho_a C_f U_{10}^2 \quad (3)$$

$$C_f = \begin{cases} 1.4 \times 10^{-3} & (0 \leq |U_{10}| < 10) \\ (0.49 + 0.065|U_{10}|) \times 10^{-3} & (10 \leq |U_{10}| < 26) \\ 2.18 \times 10^{-3} & (26 \leq |U_{10}|) \end{cases}$$

[z: 海面からの高さ z<sub>0</sub>: 粗度定数 u\*: 海面の摩擦速度  
κ: カルマン定数 τ<sub>s</sub>: 風の応力 ρ<sub>a</sub>: 空気密度]

### 4.3 流体力の解析

流体力を求めるのには解析ソフトの Fluent を用いており、解析方法は以下の通りである。

風速 U<sub>10</sub> を設定する。船と油は等しく潮流に乗っているため潮流の流れは無視し、船が単純に風速 U<sub>10</sub> の 3% で前進するものとして考える。よって船速 u=0.03U<sub>10</sub> で定常航行中には、前方から喫水線から上には速度 u の空気の流れが、下には水の流れがあることになる。また、後方からは海面付近に換算した速度 U<sub>0.4</sub> の空気の流れがあるので、船には相対的に W=U<sub>0.4</sub>-u の空気の流れがあることになる。これらの各流れによる流体力を求めるために、三次元描画ソフトの Gambit を用いて、船のオフセットデータから 3 次元モデルを作り、船を喫水線で分割し、Fig.7 で示すような下部のみ 2 つを組み合わせたものと、Fig.8 で示す上部だけのものを作成した。そこに Fig.9 で示すような長方形の流場に計算格子を張った物を、Fluent を用いて解析し、それぞれから得られた流体力を 1/2 にすることで、船にかかる流体力を求めることができる。造波に関しては、SOTAB-II は低速での航行を主としているので影響のないものとして無視した。

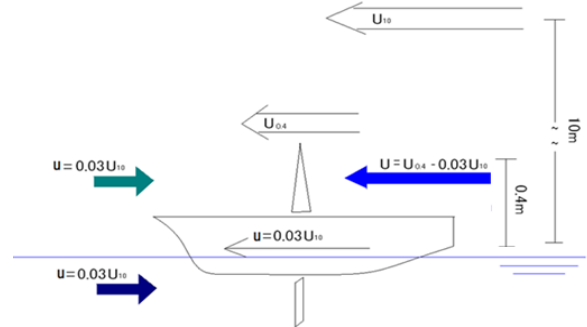


Fig.6 Relations of Fluid

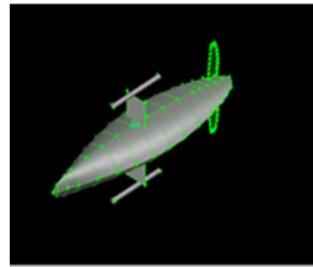


Fig.7 Lower Side

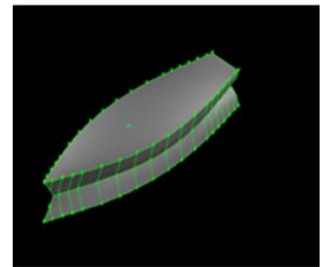


Fig.8 upper Side

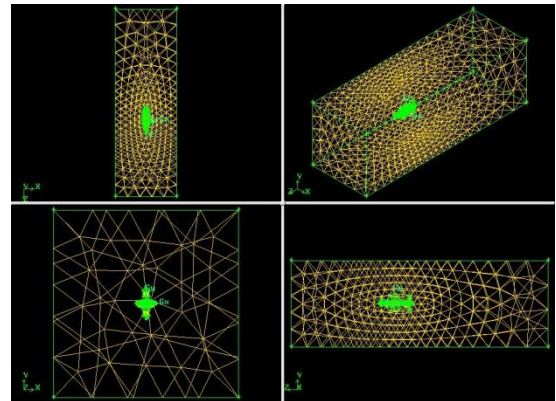


Fig.9 Mesh For Analysis

### 4.4 ブレーキ板の選定

船はどんなに風速が大きくとも、船速を風速の 3% に維持しなければならない。そこで、実際に起こり得る状況で最も大きな風速を想定して、必要なブレーキ板の大きさを検討した。今回想定する最大風速は、強い台風と同程度の風速 50m/s とした。この風速でも船速が風速の 3% を帆がない状態で、船体にかかる流体力が進行方向に対して負となるようブレーキ板の大きさを変えて、計算をした。負となるようにしたのは、推進力は帆を広げるにより確保できるので、あらかじめある程度の抵抗力を持たせておくことで、帆による制御をしやすくするためである。

計算に用いた値 比較した3パターン

$U_{10}=50\text{m/s}$  ①150mm×150mm×5mm  
 $U_{0.4}=29.6\text{m/s}$  ②100mm×100mm×5mm  
 $u=1.5\text{m/s}$  ③80mm×80mm×5mm  
 $U=28.1\text{m/s}$  (縦×横×奥行)

結果は Table.8 の通りである。

Table.8 Fluid Force of Brake Board

流体力[N]	①	②	③
船体上部	15.6	15.6	15.6
船体下部	-48.6	-26.1	-19.5
合計	-32.9	-10.5	-3.9

流体力は進行方向を正としている。また、船体上部にかかる抵抗（進行方向からの空気による流体力）は他の力に比べ微小なため、省略した。

流体力の合計の大きさだけで考えれば③のブレーキ板が釣り合っている状態に近いので、適しているように思われる。しかし、帆で速度の制御をすることを考えると、帆がない状態で船体にかかる流体力がほぼ釣り合っていると、必要な帆の面積が小さくなり、速度の制御が難しくなるように思える。よって、ある程度の帆の面積を確保し、速度を制御しやすくするために、あえて少し抵抗の大きい②のブレーキ板を用いることにした。また、SOTAB2 がスクリューを用いて移動する場合には、ブレーキ板は負荷となるので不必要である。よって、ブレーキ板は ON, OFF を制御できるようにする。OFF とはすなわちブレーキ板を 90° 回転させるなどして、ブレーキの利かない状態にすることである。

#### 4.5 帆の選定

帆には、如何なる風速の場合でも、風速の 3% の速度で航行するために必要な推進力を稼ぐことができる面積が求められる。そこで、選定方法であるが、ブレーキ板の時とは異なり、通常の運航時を想定し、風速を大阪湾の平均風速である 3m/s とした。また、帆の面積は様々な風速に対応できるように最大面積の 50% の面積を基本として、ブレーキ板の選定と同様に流体力を求めて検討した。

帆は安定性、設定のしやすさから Fig.16 のような底辺と高さの等しい、二等辺三角形とした。

計算に用いた値 比較した3パターン

$U_{10}=3\text{m/s}$  ①212mm, 212mm  
 $U_{0.4}=1.42\text{m/s}$  ②250mm, 250mm  
 $u=0.09\text{m/s}$  ③300mm, 300mm  
 $U=1.33\text{m/s}$  (底辺, 高さ)

結果は Table.9 の通りである。

Table.9 Fluid Force of Sail

流体力[N]	①	②	③
船体上部	0.0777	0.0909	0.112
船体下部	-0.115	-0.115	-0.115
合計	-0.0375	-0.0243	-0.003

それぞれの船にかかる合計の流体力を比較してみると、③の帆の場合の流体力が 0 に近く、釣り合っている状態とみなせる。よって風速 3m/s で定常航行するためには、底辺 300mm、高さ 300mm の帆が適しているの、帆は③のものを採用した。

加えて、この大きさの帆で全ての状況に対応できるかを確認する。風速が 3m/s, 10 m/s, 20 m/s, 30 m/s, 40 m/s のとき、帆が 0% の状態と帆が 100% の状態で得られる推進力と、船にかかる抵抗を比較して、帆の制御範囲内に、抵抗力と釣り合う推進力を得る帆の大きさがあるかどうかを確認する。

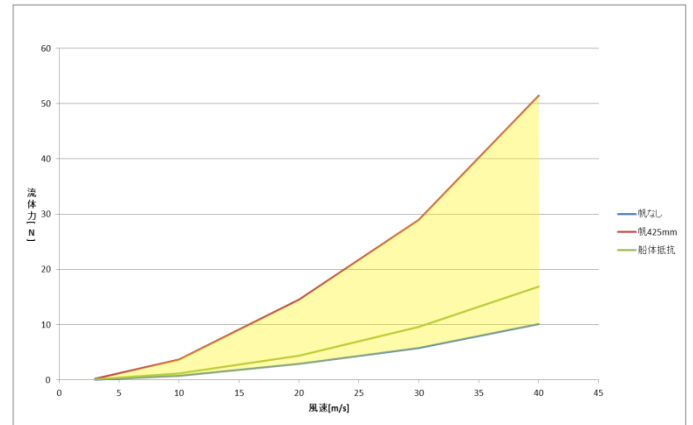


Fig.10 Coverable Area of Sail

Fig.10 の一番上の赤色の線が、帆が 100% の時に得られる推進力で、一番下の青色の線が、帆がない場合の推進力、間の緑色の線が船体の抵抗力である。黄色で覆われた部分が帆の制御により調整できる推進力の範囲である。見ての通り、各風速での船体抵抗は調節可能範囲に入っており、③の帆は如何なる状況においても十分に対応することができることが確認できた。

## 5章 操縦性能

### 5.1 運動方程式

平水中での操舵に関する応答を主として考察するので、サージ、スウェイ、ヨーの運動を考えれば十分であり、この時の運動方程式は下のように表示した。

$$(m+m_x)\dot{u} - (m+m_y)vr - m_y ar^2 = X_u u + X_E \quad (4)$$

$$(m+m_y)\dot{v} + (m+m_x)ur - Y_r \dot{r} = Y_v v + Y_\delta \delta + Y_E \quad (5)$$

$$(I_{zz}+J_{zz})\dot{r} - N_v \dot{v} + (m_y - m_x)uv + m_y ar \quad (6)$$

$$= N_v v + N_r r + N_\delta \delta + N_E$$

### 5.2 針路安定性

操舵角 $\delta(t)$ が時間の関数として与えられるとき、それに対する船の応答は、運動方程式を与えられた初期条件を満たすように解けば求められる。式(\*)より、操舵に外力以外は作用しないと $Y_E = N_E = 0$ とし、操舵の時時刻歴 $\delta(t)$ が既知であれば、 $\delta(t)$ に対する船の応答は、 $\delta(t) = 0$ とした次の同次方程式、

$$(m+m_y)\dot{v} - Y_v v - Y_r \dot{r} + (m_y + m)Ur = 0 \quad (7)$$

$$-N_v \dot{v} - N_v v + (I_{zz}+J_{zz})\dot{r} - N_r r = 0 \quad (8)$$

の解に、(7)、(8)式の右辺をそれぞれ $Y_\delta \delta(t)$ 、 $N_\delta \delta(t)$ で置き換えた式の解を加え、未定定数を与えられた初期条件に合うように定めれば求まる。(7)、(8)式の同次方程式は、

$$v = c_1 e^{\lambda t}, \quad r = c_2 e^{\lambda t} \quad (9)$$

の形の解をもつので、(6.2-3)式を(6.2-1)、(6.2-2)式に代入すれば、未定定数 $c_1$ 、 $c_2$ は次の同次方程式を満たさねばならない。

$$[(m+m_y)\lambda - Y_v]c_1 - (Y_r \dot{r} - (m_y + m)U)c_2 = 0 \quad (10)$$

$$(-N_v \lambda - N_v)c_1 + [(I_{zz}+J_{zz})\lambda - N_r]c_2 = 0 \quad (11)$$

(10)、(11)式が自明でない解をもつためには、 $c_1$ 、 $c_2$ の係数の行列式が0でなければならない。すなわち、

$$\begin{vmatrix} (m+m_y)\lambda - Y_v & -Y_r \dot{r} + (m_y + m)U \\ -N_v \lambda - N_v & (I_{zz}+J_{zz})\lambda - N_r \end{vmatrix} = 0 \quad (12)$$

これを書き下せば、 $\lambda$ に関する次の2次方程式になる。

$$A\lambda^2 + B\lambda + C = 0 \quad (13)$$

ただし、

$$\begin{cases} A = (m+m_y)(I_{zz}+J_{zz}) - Y_r N_v \\ B = -(m+m_y)N_r - Y_v(I_{zz}+J_{zz}) \\ \quad - Y_r N_v + (m_y + m)U N_v \\ C = Y_v N_r + (m_y + m)N_v \end{cases} \quad (14)$$

(13)式は $a$ 、 $b$ を実数とすれば次の共役な複素根をもつ。

$$\lambda = a \pm ib \quad (i: \text{虚数}) \quad (15)$$

このとき、(9)式で表される $v$ または $r$ は

$$\begin{pmatrix} v \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} e^{at} (\cos bt \pm i \sin bt) \quad (16)$$

となるので、 $a$ の符号の正負により解 $v$ 、 $r$ の $t \rightarrow \infty$ における挙動が著しく異なる。

すなわち、

$a > 0$ ならば、 $t \rightarrow \infty$ で $v$ 、 $r$ は $\infty$ に発散する。

$a < 0$ ならば、 $t \rightarrow \infty$ で $v$ 、 $r$ は0に収束する。

これは、操舵せず家事中央のまま直進中の船に、船の進路を乱す極わずかな外乱が瞬間的にも作用する場合、以後の船体運動が $a$ の正負によって著しく対照的な挙動をすることを意味する。 $a > 0$ であると、初期の極わずかな攪乱も時間の経過とともに際限なく発達するのに対し、 $a < 0$ では、初期の極わずかな攪乱は時間の経過とともに減衰する。船の安定性において、後者の船のほうが好ましい。

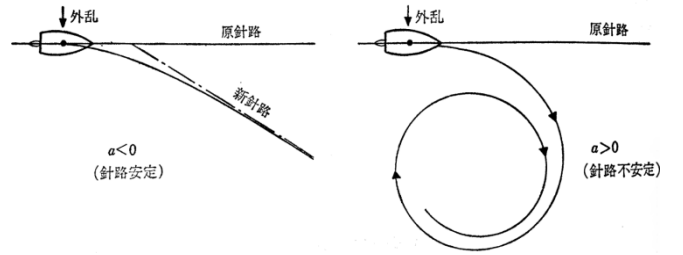


Fig.11 Direction Stability

$a < 0$ となり進路安定であるための条件は、2次方程式の根と係数の関係より(6.2-6)式の2根 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ は、

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 2a = -\frac{B}{A} \quad (17)$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = a^2 + b^2 = \frac{C}{A} \quad (18)$$

を満たす。 $a$ 、 $b$ はともに実数であり、 $a < 0$ でなければならないことから、

$$\frac{B}{A} > 0, \quad \frac{C}{A} > 0 \quad (19)$$

が進路安定のための条件となる。

### 5.3 針路安定性の確認

SOTAB-II の進路安定性を確認するため、Fluent を用いて、PMM 試験のシミュレーションを行い、フーリエ解析を行うことで、(4)~(6)式の流体力微係数を求めた。

Table.10 Hydrodynamic Force Coefficients

$X_u$	-17.19
$m_x$	4.361
$m_y$	34.06
$Y_v$	-164.8
$N_v$	-0.8941
$N_{\dot{v}}$	-0.2267
$Y_r$	-0.6454
$J_{zz}$	6.586
$N_r$	-39.7126
$Y_{\delta}$	-0.1715
$N_{\delta}$	0.1486
$I_{zz}$	9.715
$m$	56.77
$U$	0.09

Table.10 より、先に示した A, B, C を求める。

Table.11 ABCs

A	1480
B	6295
C	6548

これより、

$$\frac{B}{A} \cong 4.25 > 0, \quad \frac{C}{A} \cong 4.42 > 0 \quad (20)$$

となるので、進路安定であることが言える。

### 5.4 旋回性

船速が風速の3%という超低速航行であるため、舵が受ける流体力が小さい、これより舵のみでの旋回は困難であることが旋回シミュレーションにより判明した。

SOTAB-II は旋回といっても、風にそって浮流重油を追従することが目的であり、自由自在に旋回する必要はない。よって風の力を利用し、ヨットが風の向きに進むことができるようにするため所謂ジブセールを取りつけることとした。ジブセールとはヨット用語で、船首付近についている小さな帆のことである。これにより風見鶏のように自然と、風の力で風が吹いている方向にヨットを向けることができる。

底辺 40mm、高さ 40mm の直角三角形のジブセールを機体先端に取り付け、その旋回性をシミュレーションにより確かめた。加えて、舵の操作は電池の消耗にも関わるので、その操作の有無での旋回性の比較を行った。

Fig.12 のように定常航行中に風向が 20° 傾いたとして、その後の運動の様子を求める。

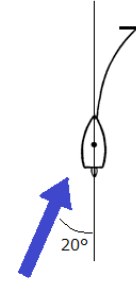


Fig.12 Method of Analysis

結果は Fig.13 と Table.12 に示す。

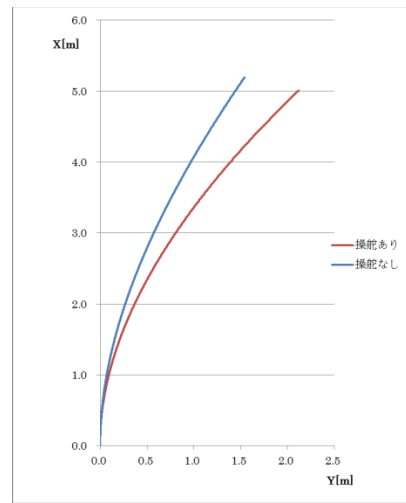


Fig.13 Effect of Rudder Control

Table.12 Reach Time of 18° and 20°

ヨ一角	18°	20°
操舵なし	166[sec]	358[sec]
操舵あり	73[sec]	89[sec]

Fig.13 と Table.12 より操舵をすることでより追従性が上がる事がわかる。操舵なしの状態では旋回に操舵時の2倍以上の時間がかかるため、操舵はやむを得ないと判断した。

## 6章 結言

### 6.1 完成概念図

以上第5章までを踏まえて、SOTAB-IIの完成予想図をFig.14に示す。

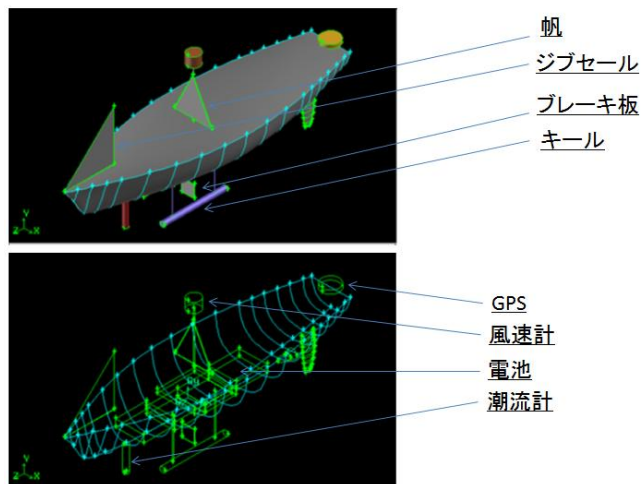


Fig.14 Conceptual Diagram of SOTAB-II

### 6.2 結言

今回の設計においては、流体力を求めるシミュレーションの際にヨットを一体として、空気中と水中を同時に解析する方法が確立できておらず、やむなく空気中と水中を別で解析する方法をとったが、これによりロールなどの運動を無視した2次元での運動の様子のみを扱う結果となってしまった。

今後の課題としては、ジブセールの設置によってよりロール運動に影響が出てくると考えられるので、正確な運動を検証するには3次元解析をする必要がある。加えて、設計時は波の影響を踏まえておらず、横波中および追い波中での安定性についても考慮しなければならない。キールを支持している棒および潮流系により発生する渦であるが、これは振動のもとになり、データを正確に収集する妨げになるので、渦の発生を防ぐ何らかの工夫をする必要がある。

今回設計したブレーキ版について、流体力学的に有効であることを示したが、実際のオペレーション時には、海中の漂流物が引っ掛かる可能性があり、これをなくして、その流体抵抗分を船体の幅を大きくすることが望ましい。

### 謝辞

金沢工業大学 増山豊教授には、セーリング・ヨット「KIT-34」のオフセットや線図などの資料を頂き、また貴重なご意見を頂いた。ここに謝意を表す。

この研究は、平成23年度から平成27年度にわたり、日本学術振興会の科学研究費基盤研究(S)(研究課題「流出重油・ガスの自動追跡システムの確立と革新的海洋防災システムへの展開」)の支援を受けている。関係各位にお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) H. Senga, N. Kato, L. Yu, M. Yoshie, T. Tanaka: Verification Experiments of Sail Control Effects on Tracking Oil Spill, OCEANS 2012(IEEE), May 21-24, Proc.(CD-ROM), 2012
- 2) 関西造船協会：造船設計便覧 P335-337
- 3) 元良誠三：船体と海洋構造物の運動学 P227-236, P251-257
- 4) 大串雅信：理論船舶工学 上巻 P161-164