

目次	1. ご挨拶	-----	1 頁
	2. 高効率ソーラーバイシクルシステムの開発	-----	土屋 敏明 2 頁～ 大山 孝志 池上 敦哉
	3. 帆走船用水中翼船に作用する流体力について	-----	増山 豊 5 頁～
	4. ' 96ASME国際学生ソーラーボートレガッタ結果速報	-----	増山 豊 1 4 頁
	5. 海外ニュース	-----	片岡登志夫 1 5 頁～

ご挨拶

大会まで残すところ 40 日を割りました。そろそろ水上テストを繰り返しておられること
でしょう。どうぞ頑張っている船を仕上げてください。

ソーラーボート、人力ボートの合同レースも 3 回目を迎え、実行委員会の面々もレース運
営に慣れてきて、落ち着いて準備を進めています。また暑いさなかですが、楽しいレース
が開催されるものと期待しております。

今年のエントリーが決まりましたが、ソーラーボート 16 隻、人力ボート 34 隻と残念な
がら昨年に比べて参加数が減っております。初参加の方がほとんどない状況でして、実行
委員会として事前の活動、特に新チームの勧誘の努力が足らなかったことを、遅ればせな
がら反省しております、そして来年に向けて新企画を推進しようと話し合っております。
例えば高校生の部門を新設し、お金のかからないボートと、電動船外機の組み合わせで、
船舶検査なしで湖、池などを走れる仕様を作ったり、簡単な推進装置を備えた安いペダル
ボートの設計を公表したりして、一番ベーシックな船に容易に取り付くことが出来、ステ
ップバイステップで改良を重ねてスピードを上げ、楽しみを深めることが出来るようなコ
ースが出来ないものかなど議論しています。皆様からも是非この辺のご意見をお聞かせく
ださい。

6 月 20 日から 23 日にかけてアメリカ、ミルウオーキーで行われた A S M E 国際ソーラ
ーボート大会に金沢工業大学チームが参戦し、見事総合優勝を果たし、3 連覇を達成され
ました。お帰り直後の増山先生に無理をお願いして速報を書いていただきましたので御覧
ください。アメリカのソーラーボートもぐんぐんレベルを上げており、決して油断の出来
る状況ではないようです。

では皆様の最後のご健闘を祈り、会場でお会いするのを楽しみにして筆をおきます。

高効率ソーラーバイシクルシステムの開発

Development of High Efficiency Solar Cycle System

○土屋 敏明 (計算流体研) 大山 孝志 (早大)

池上 敦哉 (ヤマハ発動機)

Toshiaki TSUCHIYA, Institute of Computational Fluid Dynamics

Takashi OHYAMA, Waseda University

Atsuya IKEGAMI, YAMAHA MOTOR CO.,LTD

This paper describes a new vehicle system powered by solar and human power, which is called "Solar Cycle". It was developed to cross the Australian continents on about 3000km for 1 week. The specific characteristics of this vehicle are well calculated aerodynamic form, highly developed light weight CFRP-Aramid-honeycomb sandwich panel monocoque structure with compact suspensions and high efficiency solar power system. It was actually tested on the road from Darwin to Adelaide in Australia (3014km). It was driven by 4 riders in rotation. The record was made. The solar cycle achieved average speed of 53.7 km/h during 56 hours 10 minutes on 3014 km, the momentary maximum speed was 109 km/h on the down slope. The average motor input power was estimated about 187 W.

Key Words: Solar Power, Human Power, Hybrid Vehicle, HPV

1. はじめに

近年、環境へのインパクトがより小さい移動手段への期待が高まっており、研究開発が進められている。実用的には、現在の内燃機関式自動車の代替として電気自動車(EV)やそれらを組み合わせたハイブリッド自動車の開発が進められている。こうした状況の中で、直接的な実用的価値とは別に長距離を移動するための高効率で低消費エネルギーを追求する研究開発も必要であり、重要である。その一例として、ソーラーカー等があげられる。ソーラーカーにおいては、平均巡航速度70km/h程度に対する消費エネルギーが1kw程度(2馬力未満)のレベルまで実証が進んでいる。このレベルにおいては、100W程度のエネルギーの差はその性能に大きな影響を及ぼすことになる。

一方、ヒューマンパワー(人力)のみによる高効率な移動手段方法はHPV(Human Powered Vehicle)として様々な研究が行われている。しかし、ヒューマンパワーと他のエネルギー源による移動方式については、ほとんど報告例がないのが現状である。そこで、特にソーラーパワーとヒューマンパワーとのハイブリッドによる移動方式について注目し、長距離巡航用の移動手段として世界初のソーラーバイシクルを開発した。太陽エネルギーと人力(ヒューマンパワー)のエネルギーシステムの高効率化が課題となり、駆動系最適化、空力特性向上、高効率太陽電池などエネルギー系の効率化を行った。また、実際に1996.1.1よりオーストラリア大陸縦断の性能試験を行い、全走行距離3014km、走行時間56時間10分、平均時速53.7km/hを記録した。

*本論では、この移動手段の総称を日本語で「ソーラーバイシクル」と呼ぶことにした。

2. デザインコンセプト

実用的な巡航速度で長距離巡航が可能であることを前提として、高効率低消費エネルギーの追求を行うことをデザインコンセプトとした。車両のサイズについては、ISF(International Solar Car Foundation)公認のWSBR(World Solar Bicycle Race)レギュレーションを基本とした。概要は以下の通りである。ただし、このレギュレーションでは、走行距離100km、2時間程度の走行時間を想定している。そこで、長距離巡航を目的とした今回の開発においては、バッテリー容量を2倍に増やすことにした。

最大全長:3000mm

太陽電池セル面積:1.2 m²

バッテリー容量:800Wh

この枠に対して、太陽電池発電能力、ヒューマンパワー、走行抵抗の概算により、性能の検討を行った。その結果、「3000kmを1週間で走破」が具体的な開発目標となった。

3. 性能検討

検討段階において、次のような性能を見積もった。

平均太陽電池発電能力:100 W

平均バッテリー放電量:40 W

2時間における平均人力出力:100 W

空気抵抗係数Cd:2.0

全面投影面積 A:0.63 m²

転がり抵抗係数:0.005

全重量:35 + 13(BT)+80(ライダー)= 128 kg

この仕様からFig.1のような性能曲線となる。240W程度の入力で42~46km/hが期待できることがわかる。この暫定的な性能値に

対してより良い性能を実現することが目標となった。

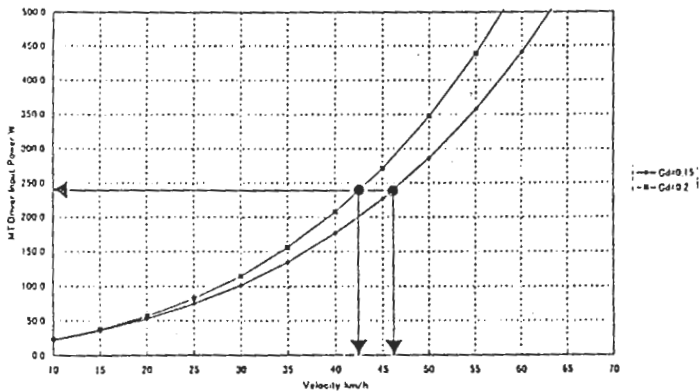


Fig.1 Power vs velocity in case of Cd=1.5, 2.0

4. 形状と構造

走行抵抗低減については、空気抵抗を低減させることが重要となる。そこで、基本的に似た形状を持つ3タイプについて、移動地面板式 1/5 風洞試験を行い、空力形状の検討を行った。表はその結果である。タイプ A は、全面投影面積を小さくする事を主眼とした。Bタイプは、ルーフをフラットとして太陽電池発電能力のロスを押さえた形状である。Cタイプは、Bタイプに対して、全面投影面積の低減を優先させた形状となっている。結果として、空力特性と発電能力のバランスを考えるとBタイプが有効であると考えられた。

タイプ	Cd
A	0.172
B	0.127
C	0.128

Table 1. Results of wind tunnel testing

この形状を基本として、シャーシ構造、ライダー、駆動系、サスペンション、ステアリング系のレイアウトを行った。外形図、サスペンション、人間のレイアウトを Fig.2、Fig3 に示す。

5. エネルギーシステム

エネルギーは Fig.4 のようなシステムとした。

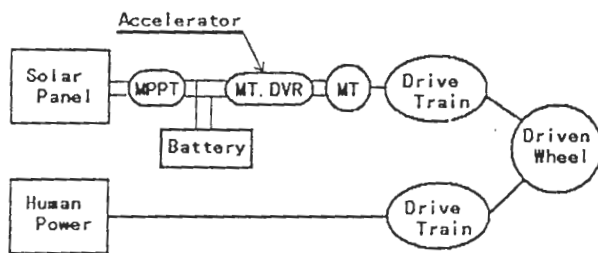


Fig.4 Solar and human power system

太陽電池パネルをMPPT(Maximum Power Point Tracker)でコントロールして太陽電池の最大出力点を追尾し、得られた電力をモータドライバに入力する。この時、バッテリーはMPPTとモータドライバ間でフローティングされており、アクセル開度と走行抵抗により充電もしくは放電の状態となる。モータドライバを通じて、モータに電力が入力されると機械的なエネルギーとして駆動輪を回転させることになる。このとき、ヒューマンパワーはモータ駆動系と並列してレイアウトされている駆動系から駆動輪に伝達される。

6. 車両仕様

車両の仕様を次に示す。

車体型式	ZDP-SB2 “トンカチ”
車体寸法 mm	3000×760×750 (L×H×W)
ホイールベース mm	1600
トレッド mm	525
車体重量 kg	47 (with BT)
車体構造	CFRP モノコック
車輪数(サイズ)	前2後1輪(20 inch)
太陽電池パネル	Sun Power 社製 単結晶シリコン太陽電池 1.2 m ² 発電効率:21% Td-EVA-Td フィルム構造
MPPT	AERL 製、1ユニット
バッテリー	湯浅電池製 YNZ7-13.6 13.6 V, 7 Ah, 4 直列 2 並列
モータ	特殊電装製 DC ブラシモータ 定格 260 W, 55 V , 3600 rpm, 90 %
駆動方式	モータ: 2段減速、固定 人力 :3 段増速、8段変速
サスペンション	Fr:ストラット Rr:トレーリングアーム
ホイール:	ケーブルストリングスによるテンション ディスク構造
タイヤ	Michelin 製 超低転がりスリック
ブレーキ	Fr:ドラム、Rr:サイドプル式
ステアリング	サイドスティック式

Table 2. Vehicle specification

7. 走行性能試験

1996年1月1日より、オーストラリアにおいて北端のダーウィンから南部のアデレードまでの3014kmを利用して走行性能試験を行った。走行方法はWSC(World Solar Challenge)のレギュレーションを参考にして、次のように決めた。

BT充電可能時間	日の出 ~ 日没
走行時間	8:00 ~ 17:00
ライダー	4人、2.5時間毎に交代
BT充電方法	太陽エネルギーのみ、追加のパネル利用可(14%、1.2m ²)
サポート体制	前後にサポートカー

Table 3. Regulation of the test in Australia

8. 結果

次のような結果となった。

走行中の最大水平面日射量	1546 W/m ²
瞬間最大発電量	317 W
モータ平均入力電力	187 W
コクピット内最高温度	49.2 °C
最高気温	40.7 °C
全走行距離	3014 km
全走行時間	56時間 10分
平均速度	53.7 km/h
瞬間最高速度	109 km/h

Table 4. Results of road testing

9. まとめ

- (1) 世界で初めて高効率低消費エネルギーの移動手段として、長距離巡航型ソーラーバイシクルを開発した。
- (2) 実際に長距離走行性能試験を行い、3014km を平均時速 53.7km で走破という記録を作った。
- (3) 今後もヒューマンパワーの特性とソーラーシステムとのマッチング、空力特性、軽量構造などについてさらに検討を続けていく考えである。

参考文献

- (1) J.W.V.Storey, A.E.T.Schinckel, C.R.Kyle, "Solar Racing Cars", Australian Government Publishing Service, p269-272,1994
- (2) P.E.ディプランペロ, "スポーツとエネルギー", 真興交易医書出版部, 1991

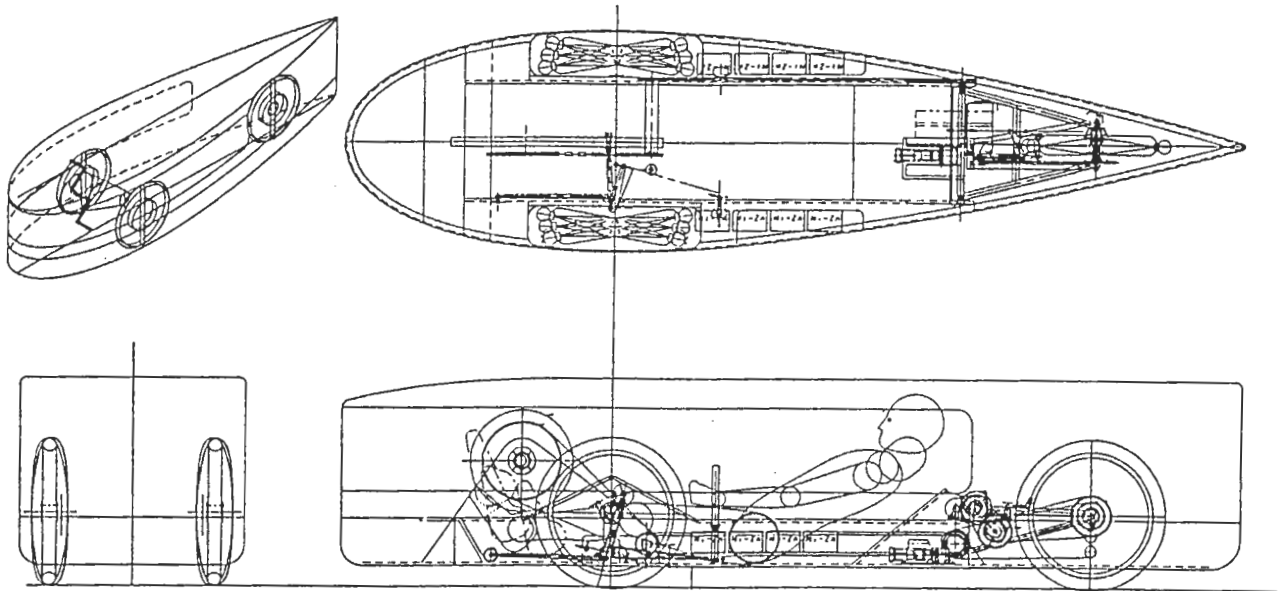


Fig.2 Three sides drawings of the solar cycle

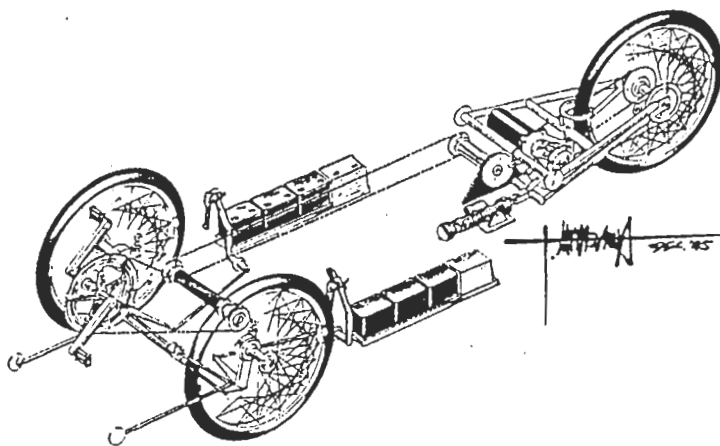


Fig.3 Layout of mechanical parts

帆走船用水中翼に作用する流体力について*

正会員 増山 豊**

Hydrodynamic Forces Acting on the Hydrofoils for a Hydrofoil Sailing Boat

By Yutaka MASUYAMA (*Member*)

With the aim of estimating performance of a hydrofoil sailing boat, hydrodynamic characteristics of a hydrofoil system is investigated by model experiment and theoretical calculation. The foil types investigated are submerged horizontal foil, surface-piercing dihedral foil, inverted "T" foil as well as a hydrofoil system for a sailing boat, composed of these types of foils. The submerged horizontal foil and the surface-piercing dihedral foil have ogival section with round leading edge and inverted "T" foil has NACA 16-009 section.

Experiments are made at the towing tank of Osaka University, speed being 2.5m/s and 3.0m/s corresponding to F_n of 3.02 and 3.62, and R_n of 1.9×10^5 and 2.3×10^5 respectively. Theoretical calculations of hydrofoil performance including free surface effect are carried out by Wadlin's method and Nishiyama's lifting line theory.

For the submerged horizontal foil, the Wadlin's and Nishiyama's theories agree well with experimental results. For the surface-piercing dihedral foil, the calculation of Nishiyama's theory gives satisfactory results compared with the experiments. On the other hand in applying Wadlin's theory to this foil, the surface-piercing foil is replaced by a horizontal foil of the same span at the average immersion of the surface-piercing foil (mid-span point immersion). This simple replacement works well for the aspect ratios of greater than two. The effect of leeway for the foil system is also treated. At a small leeway angle, the effect of the down wash of front foil to back foil proved negligible.

1. 緒 言

帆走船の性能を向上する1つの手段として水中翼を用いる方法が考えられる。帆による力で水中翼航走している状態では、推進器を有する通常的水中翼船に比べて、水中翼は比較的低速で作動し、かつ横流れをともなっている場合が多い。また推進力源となる帆に作

用する流体力の大きさや、方向が大幅に変動するため、翼系として縦方向および横方向の復元力に十分な余裕を有している必要がある。このような性能を満たすために、上反角を持った水面貫通型水中翼で構成される翼系を採用することが考えられ、これまでにいくつかの実艇実験例がある¹⁾²⁾。

三次元水中翼の性能については水中翼船の揺籃期に多くの研究が行われている。特に全没型水平翼ではWadlinら³⁾が詳細な実験を行い、かつ、翼を1本の馬蹄型渦におきかえた簡単な理論により、実験値と比

*昭和57年5月14日 関西造船協会春季講演会において講演

**金沢工業大学

較している。また西山⁴⁾は全没型水平翼と、上反角を有する水面貫通型翼の両方にわたって適用できる詳細な揚力線理論を示している。

しかしながら、水中翼を用いた帆走船の性能を推定するために必要な、具体的な翼形式についての実験的研究はほとんど見られず、特に上反角を有する水面貫通型翼が横流れしながら前進している場合の性能は明らかにされていない。このため上記帆走船に適用される翼系形式の一例をとりあげ、翼単独および、翼系全体の曳航実験を行ってその性能を調べた。また Wadlin⁵⁾らによる方法と、西山による揚力線理論を適用して計算を行い、曳航実験の結果との比較検討を行った。なお実験は平水中のみについて行った。

2. 水中翼模型および実験方法

翼系全体の性能測定に用いた模型を Fig. 1 に示す。翼配置は前翼が荷重の大半を支えるコンベンショナル型と呼ばれる形式であり、前翼は上反角 40° を持つ水面貫通型翼、後翼は舵と一体化した逆 T 字型翼である。これらの翼断面形状を Fig. 2 に示す。前翼は修正円弧翼と呼ばれるもので、その座標を Table 1 に示す。また後翼および舵はともに NACA 16-009 型⁶⁾の対称断面である。両翼とも弦長は 70mm、厚さ弦長比は 9% で耐食アルミ製である。

各翼の単独の性能は個々の支持装置を用いて実験を

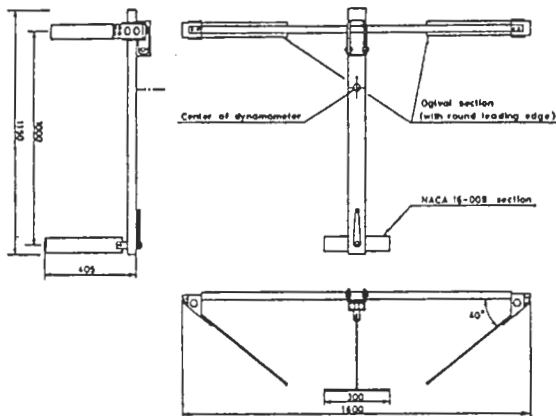


Fig. 1. Configuration of foilsystem.

Table 1. Ordinates of ogival section (with round leading edge).

Station (Base line)	0	1.25	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
Ordinate (Upper surface)	1.5	2.7	3.2	3.9	5.0	6.9	8.2	8.9	9.0	8.4	7.2	5.4	3.0	1.6	0.0
Ordinate (Lower surface)	1.5	0.7	0.3	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0

% of chord length (chord length : 70 mm)

行った。また上反角翼として用いた修正円弧翼については、全没水平状態でも実験を行い自由表面影響を調

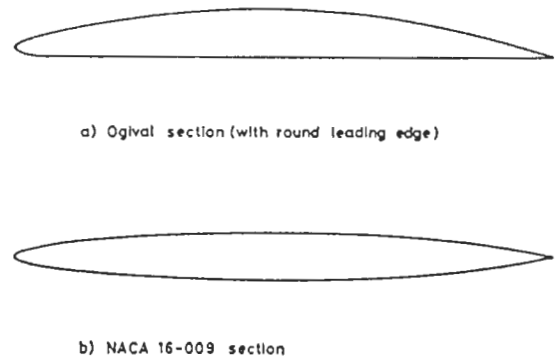


Fig. 2. Foil section.

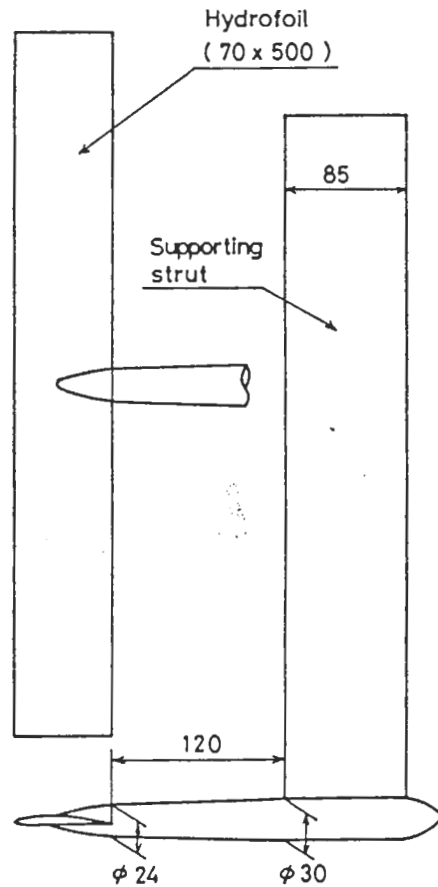


Fig. 3. Details of submerged horizontal foil support arrangement.

べた。この場合には Fig. 3 に示すようなストラットを用いて計測を行い、その後ストラットのみの流体力をさし引いて翼に働く流体力としている。従って翼とストラットの相互干渉については考慮していない。またストラットのみの流体力を測定する際は翼をとりはずし、この時のストラット先端の形状が変わらないように滑らかにフェアリングして実験を行った。また没水深さは、弦長点における平均キャンバー線の深さとしている。

曳航実験は大阪大学造船学科曳航試験水槽（100m×7.8m×4.3m）で行われ、曳航速度は2.5m/s, 3.0m/sとした。翼弦長で表わしたフルード数は各々、3.02, 3.62であり、レイノルズ数は 1.9×10^5 , 2.3×10^5 であった。流体力の測定には歪ゲージ式の検力計を用いた。

3. Flow axes と迎角

3.1 Body axes と flow axes

翼系模型の船体に固定した body axes を (x, y, z) で表わし、模型進行方向を x_f とする flow axes を (x_f, y_f, z_f) で表わす。なお、 z_f 軸は船体対称面内にとるものとする。Fig. 4 に示すようにこれらの座

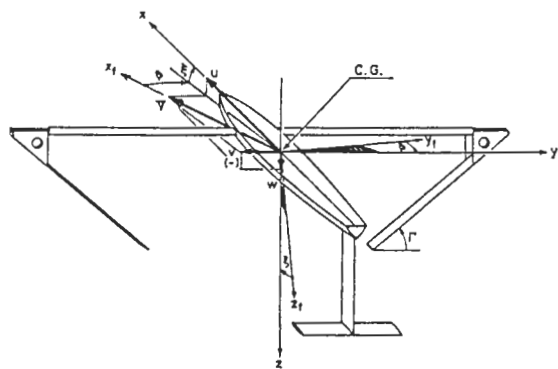


Fig. 4. Flow axes to body axes.

標軸がなす角度を β, ξ とし、図に示す方向を正とする。

body axes 方向の速度を u, v, w とすると β, ξ は次式で表わされる。

$$\beta = -\sin^{-1}(v/V) \quad \dots\dots(1)$$

$$\xi = \tan^{-1}(w/u) \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 $V = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$

各水中翼の揚力及び抵抗は次式で表わされる。

$$L = C_l \rho_w V^2 l_f c / 2 \quad \dots\dots(3)$$

$$D = C_d \rho_w V^2 l_f c / 2 \quad \dots\dots(4)$$

ただし、 l_f : 水中翼没水長さ

ρ_w : 水密度

c : 水中翼弦長

これらの流体力は flow axes に関して定義されるから、body axes へ変換するには次式の関係を用いればよい。

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \xi & \sin \beta \cos \xi & -\sin \xi \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \cos \beta \sin \xi & \sin \beta \sin \xi & \cos \xi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -D \\ -L \sin \Gamma \\ -L \cos \Gamma \end{pmatrix} \quad \dots\dots(5)$$

ここで Γ は水中翼の上反角を表わし、Fig. 4 の右舷側の上反角を正とする。

3.2 上反角翼の迎角

上反角翼が横流れしながら前進する場合は翼面上に横すべり角 λ が生ずる。この影響を考慮するため λ の後退角を持つ翼として考えることにし、その flow axes (一般流方向) に関する迎角を求めておく。

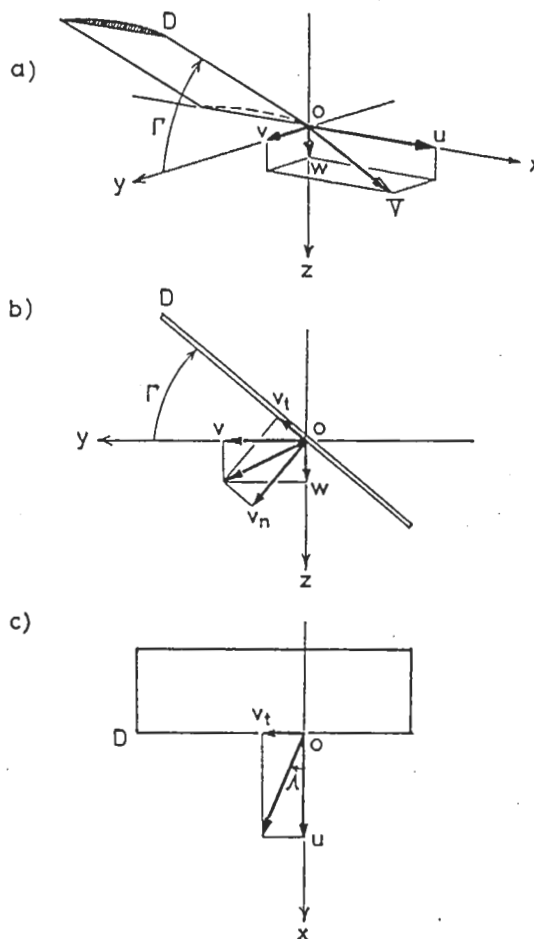


Fig. 5. Attack angle and side slip angle of dihedral foil.

u, v, w によって生ずる翼面法線方向の分速度 v_n は Fig. 5, b) より

$$v_n = v \sin \Gamma + w \cos \Gamma \quad \dots\dots(6)$$

また翼幅方向の分速度 v_t は

$$v_t = v \cos \Gamma - w \sin \Gamma \quad \dots\dots(7)$$

となる。よって翼面上に生ずる翼幅方向の横すべり角 A は Fig. 5. c) より

$$A = \tan^{-1} \frac{v_t}{u} = \tan^{-1} \frac{v \cos \Gamma - w \sin \Gamma}{u} \quad \dots\dots(8)$$

と表わされる。

翼弦方向に関する迎角 α_u は、翼断面零揚力角を α_0 とすると、

$$\alpha_u = \tan^{-1}(v_n/u) - \alpha_0 \quad \dots\dots(9)$$

と表わされるので、これを一般流方向に関する迎角 α_n になおすと次のようになる。

$$\alpha_n = \alpha_u \cos A = \tan^{-1}(v_n/u) \cos A - \alpha_0 \cos A \\ = \sin^{-1}(v_n/V) - \alpha_0 \cos A \quad \dots\dots(10)$$

また A , α_n を β , ξ で表わすと次式となる。

$$A = \tan^{-1} \left[\frac{\tan(-\beta)}{\cos \xi} \cos \Gamma - \tan \xi \sin \Gamma \right] \quad \dots\dots(11)$$

$$\alpha_n = \sin^{-1} \left\{ \sin(-\beta) \sin \Gamma + \sin \xi \cos(-\beta) \cos \Gamma \right\} \\ - \alpha_0 \cos A \quad \dots\dots(12)$$

4. 理論計算

三次元水中翼の性能を Wadlin らによる馬蹄形渦法と、西山による揚力線理論によって求める。

4.1 馬蹄形渦法

4.1.1 全没型水平翼

Wadlin ら¹⁾ は、全没型水平翼をその $1/4$ 弦長点において束縛渦と、2本の翼端渦で構成される1つの馬蹄形渦でおきかえ、さらに同一の回転方向を持つ鏡像馬蹄形渦を水面上に考えることによって自由表面影響を求めた。すなわち、これらの渦系が翼面上の $3/4$ 弦長点に誘起する誘導速度を、鏡像がある場合とない場合について求め、両者の比を揚力傾斜の比とした。その結果は、自由表面影響のある場合とない場合の揚力傾斜を各々 a_2 , a_1 とすると次式の関係で表わされる。

$$\frac{a_2}{a_1} = \left[1 + \frac{\frac{A}{4\sqrt{\frac{1}{4} + 4\left(\frac{h}{c}\right)^2 + \frac{A^2}{4}}} \left[\frac{1}{4 + 4\left(\frac{h}{c}\right)^2 + \frac{A^2}{4}} + \frac{1}{4 + 4\left(\frac{h}{c}\right)^2} \right] + \frac{1}{\frac{8}{A}\left(\frac{h}{c}\right)^2 + 2}}{\frac{2}{A}(\sqrt{A^2 + 1} + 1)} \right]^{-1} \quad \dots\dots(13)$$

ただし、 h : $1/4$ 弦長点の没水深さ

A : アスペクト比

自由表面影響のない場合の揚力傾斜は Glauert⁶⁾ によって次式で計算できる。

$$a_1 = \frac{a_0 \pi A}{\pi A + a_0(1 + \tau)} \quad \dots\dots(14)$$

ただし、 a_0 : 二次元揚力傾斜 (= $2 \pi m$, ここでは $m=0.95$ とする)

τ : 翼平面形状による修正 (Glauert による) によって自由表面影響のある場合の揚力傾斜は次のように表わされる。

$$\frac{dC_{l,3}}{d\alpha} = \frac{a_0 \pi A}{\pi A + a_0(1 + \tau)} \left(\frac{a_2}{a_1} \right) \quad \dots\dots(15)$$

また抵抗係数 C_D も同様の考え方のもとに次式で表わしている。

$$C_{D,3} = C_{D,0} + C_{D,1} \left\{ \frac{1 + \sigma}{\pi A} + \frac{K_1 c(1 + \sigma)}{8 \pi} + \frac{1}{2} \frac{V^2}{g c} e^{-h} \right\} \quad \dots\dots(16)$$

ただし、 σ : 翼平面形状による修正 (Glauert による)

$C_{D,0}$: 翼型抵抗係数

$$F = V / \sqrt{g h}$$

$$K_1 c = \frac{A}{\frac{A^2}{4} + 4\left(\frac{h}{c}\right)^2} \left[\frac{1}{2\sqrt{\frac{A^2}{4} + 4\left(\frac{h}{c}\right)^2} + 1} + 1 \right]$$

⑩式右辺括弧内第1項は無限流体中での誘導抵抗を示し、第2項は鏡像渦による誘導抵抗、第3項は造流抵抗を表わしている。 $C_{D,0}$ は Hoerner⁷⁾ によって示されている次式を用いるものとする。

$$C_{D,0} = 2C_{F,1} + 1.2t/c + 60(t/c)^4 \quad \dots\dots(17)$$

ただし、 C_F : 摩擦抵抗係数 (Schoenherr 式を用いる)

t/c : 翼厚弦長比

4.1.2 水面貫通型上反角翼

上反角翼が横流れをしながら前進する場合には前述のように翼面上に⑩式で表わされる横すべり角 A が存在するので、この影響を考慮するため A の後退角を持つ翼として考える。アスペクト比の比較的小さい後退角翼の揚力傾斜は Diederich⁸⁾ によって次式が示されているので、この関係を用いるものとする。

$$a_1 = \frac{\pi A}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\pi A}{a_0 \cos A} \right)^2}} \quad \dots\dots(18)$$

次に自由表面影響の算定には、Fig. 12 に示すように、上反角翼を単純に没水中心深さにおいた同一アスペクト比の水平翼に置きかえて、馬蹄形渦法を適用するものとする。従って自由表面影響を考慮した上反角翼の揚力傾斜は⑩式と同様に、

$$\frac{dC_{l,3}}{d\alpha_n} = \frac{\pi A}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\pi A}{a_0 \cos A} \right)^2}} \left(\frac{a_2}{a_1} \right) \quad \dots\dots(19)$$

となる。 α_n は⑩式または⑫式から求められる。

抵抗係数は全没型水平翼と同様に⑩式で求められる。

4.2 揚力線理論

全没型および水面貫通型の水中翼に適用される揚力線理論が西山によって詳細に展開され、数値計算法⁴⁾が示されているので、これに従って循環分布および揚力、抵抗を計算した。なお本報告では粘性による揚力傾斜減少率を0.95としている。また同理論では粘性によって生ずる翼型抵抗は含まれないので、 C_{D0} を加えて全抵抗係数としている。

5. 実験および理論計算の結果

5.1 全没型水平翼

C_L , C_D の迎角 α に対する変化を Fig. 6, Fig. 7 に示す。また没水深さに対する揚力傾斜の変化を Fig. 8 に示す。Fig. 6, 7 および後述の Fig. 10, 11 では図の煩雑さを避けるために、没水深さ、または没水長さの異なる結果を、迎角にして 4° ずつずらして示している。また理論値は Wadlin らによる結果を太線で、西山による結果を細線で示している。

C_L の理論値は $h/c > 1$ において Wadlin らによる結果と、西山による結果はよく一致しており、零揚力角からの迎角が 10° 以下の範囲では、実験値ともよく

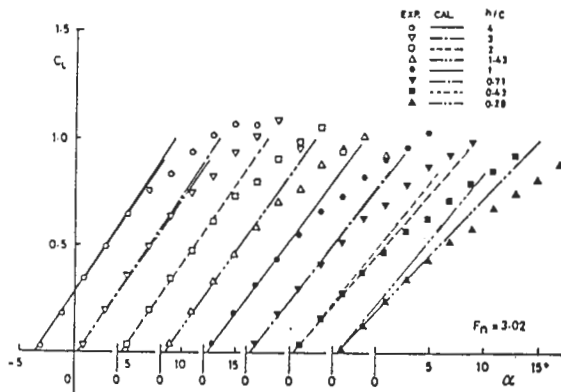


Fig. 6. C_L vs. attack angle (submerged horizontal foil).

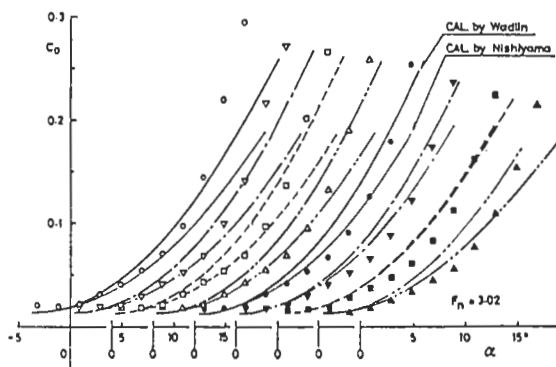


Fig. 7. C_D vs. attack angle (submerged horizontal foil).

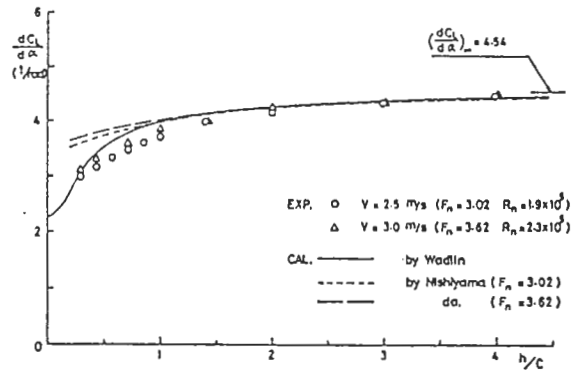


Fig. 8. Effect of depth of submergence on lift-curve slope (submerged horizontal foil).

一致している。 $h/c < 1$ では西山による結果がやや大きい値を示している。

C_D 値は迎角の小さい範囲で西山による方法が実験値とよく一致しているが、 C_L と同様に $h/c < 1$ でやや大きい値となっている。Wadlin らによる方法では全体に大きい値となっている。零揚力角からの迎角が 10° 以上になると迎角に対する C_L の増加率は減少しはじめ、 C_D は急速に増大するので、理論値が適用できるのはこの程度の迎角までであると言える。

没水深さによる揚力傾斜の変化は $h/c < 1$ において著しく、実験値と理論値との間にも差が見られる。これらの差は没水深さが小になるとともに水面の変形も大きくなり、線形性の仮定からはずれるために生ずるものと考えられる。

また h/c が小さく、迎角が大きい場合でも、本実験範囲ではベンチレーションは生じなかった。

5.2 水面貫通型上反角翼

上反角翼の迎角 α_n は θ 式の関係を用いて β と ξ によって設定することができるが、これによって設定し

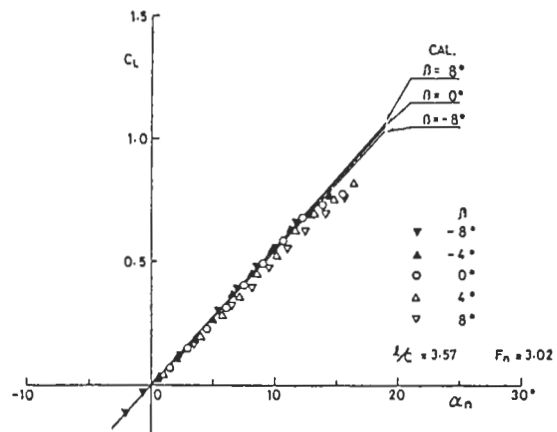


Fig. 9. Effect of leeway angle β on C_L (surface-piercing dihedral foil).

た例を Fig. 9 に示す。 β の範囲は帆走船のリーウェイ角として可能性のある $-8^\circ \sim 8^\circ$ としているが実験点の差は少く、(19)式がこれらの範囲では十分成立することがわかる。また図中の直線は(19)式によって得られた揚力係数であるが、実験値とよく一致している。さ

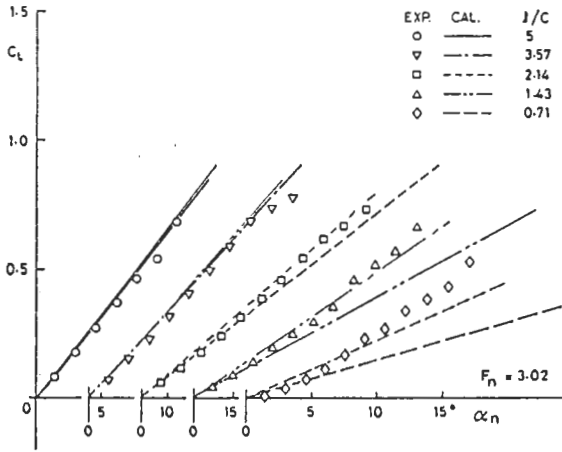


Fig. 10. C_L vs. attack angle (surface-piercing dihedral foil).

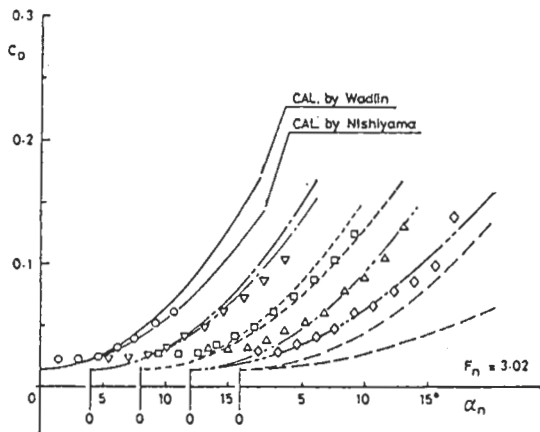


Fig. 11. C_D vs. attack angle (surface-piercing dihedral foil).

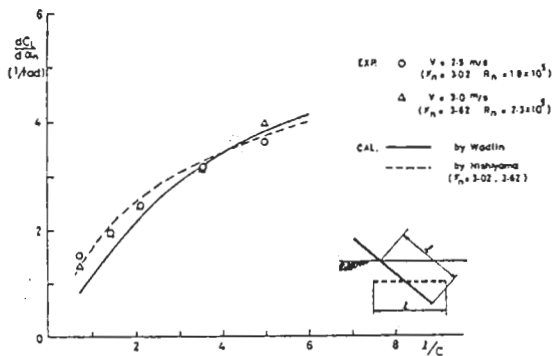


Fig. 12. Effect of depth of submergence on lift-curve slope (surface-piercing dihedral foil).

らにこれらの β の範囲では、翼面上の横すべり角 λ の影響はほとんど無視できると言える。

上反角翼の場合の C_L , C_D の迎角 α_n に対する変化を Fig. 10, Fig. 11 に示す。また没水長さに対する揚力傾斜の変化を Fig. 12 に示す。

西山による方法は、 C_L , C_D ともに非常によく実験値と一致しており、上反角翼の性能計算に有効であることがわかる。

一方、Wadlin らによる方法で計算する場合は前述のように Fig. 12 に示すような水平翼への置きかえを行っているが、このような単純な置きかえの割にはよい結果を与えているようである。しかしながら $l/c < 2$ では実験値との差は大きくなる。

Fig. 13 に C_L に与えるヒール角 ϕ の影響を示す。 l/c を同一としているので、各々 $\Gamma = 32^\circ, 40^\circ, 48^\circ$ に設定したことに同じであるが、 $\alpha_n < 12^\circ$ ではこれらの間にほとんど差は見られない。しかしながら $\alpha_n > 12^\circ$ で $\Gamma = 32^\circ$ の翼はベンチレーションをおこし、翼背面から流れは完全に剝離し揚力は激減する。このよう

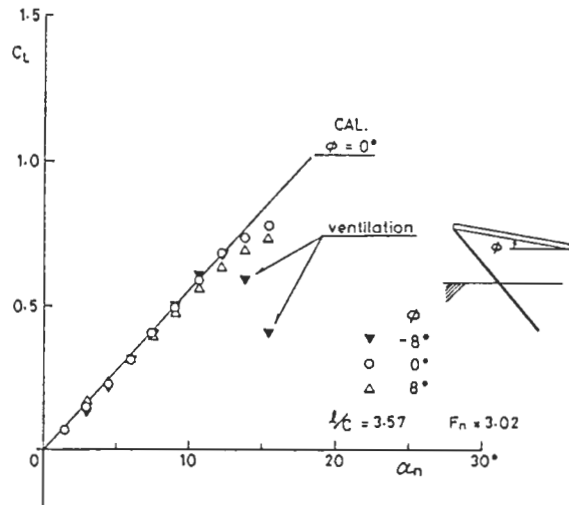


Fig. 13. Effect of heel angle ϕ on C_L .

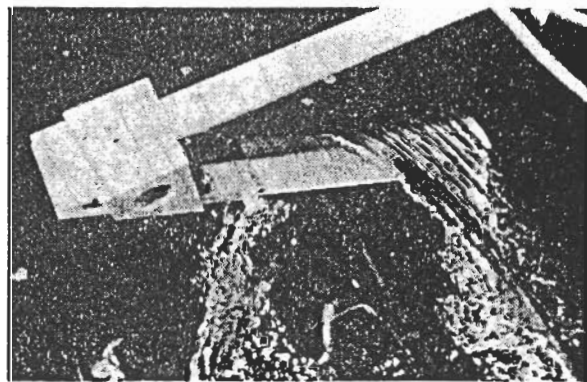


Fig. 14. Ventilation of surface-piercing dihedral foil.

すを Fig. 14に示す。ベンチレーションの発生はまったく唐突であるが、発生する迎角 α_n に関する再現性は確認された。

5.3 逆T字型翼

逆T字型翼の鉛直部分に作用する流体力、すなわち舵としての性能についての結果を Fig. 15, 16, 17に示す。これは下端に水平翼がついているので、大きなエンドプレートをついた舵と考えることができる。また図中には同一の条件で水平翼がなく、舵部分のみとした場合の性能も示している。水平翼のない場合の性能は西山の方法で上反角を 90° とすることによって求めることができる。この結果も図中に示すが、 $l/c > 2$ では舵のみの場合の実験結果とよい一致が見られる。 $l/c < 2$ では C_L の実験値は小さくなる。これは全流体力の中でスプレーによって生ずる流体力の占める割合が大きくなることと、水面の変形による浸水面積の変化が大きく影響してくるためと考えられる。

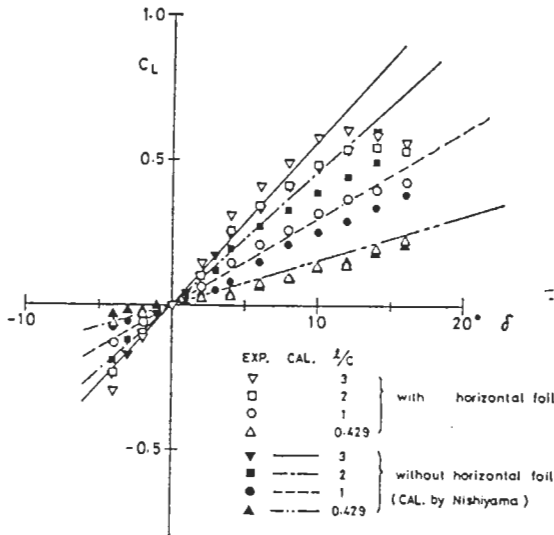


Fig. 15. C_L vs. attack angle of rudder.

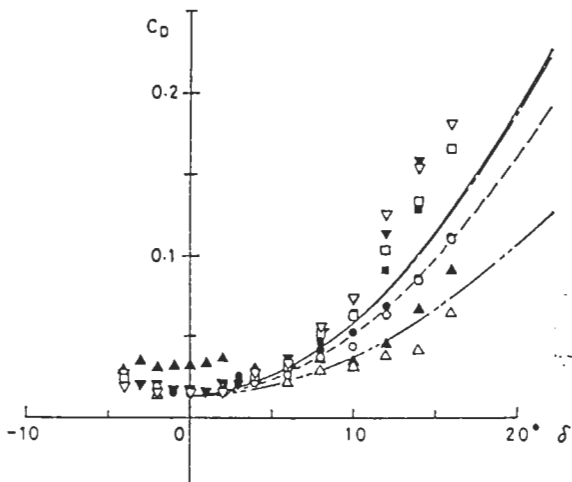


Fig. 16. C_D vs. attack angle of rudder.

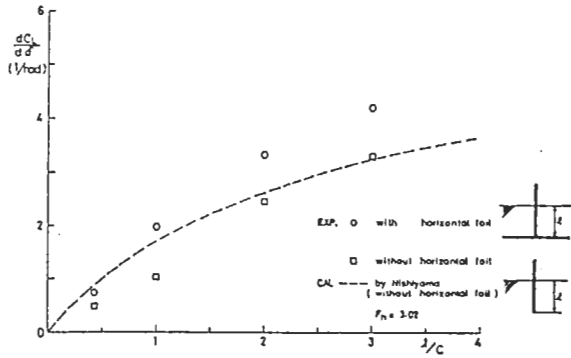


Fig. 17. Effect of depth of submergence on lift-curve slope of rudder.

水平翼がついた舵性能は全体の流体力から水平翼部分に作用する流体力を単純にさし引いて求めているが、 l/c が小さい部分では相対的に水平翼部分の抵抗が大きくなり誤差は大きくなる。水平翼がついた舵はエンドプレート効果により、揚力傾斜で30%以上の向上が見られる。また水平翼のない状態で $l/c=0.429$ 時の C_D 値が $\delta=0$ 付近で異常に高い値となっているが、水平翼がついた状態ではこの現象は見られなかった。

本実験範囲では、舵面および水平翼面へ至るベンチレーションは発生しなかった。

5.4 翼系模型

翼系模型を用いて流体力を測定した結果を次に示す。曳航速度は 2.5m/s であり、 $\xi=0$, $\phi=0$ とした場合の前翼没水長さは 250mm 、後翼水平翼没水深さは 185mm である。流体力 X , Y , Z およびモーメント K , M , N は各々 $\rho_w V^2 L^2/2$, $\rho_w V^2 L^3/2$ (L : 前後翼間隔) で無次元化し、プライムをつけて示している。

図中の実線は計算値であるが、ここでは前翼および後翼水平翼部分の計算には Wadlin らによる方法を用い、後翼舵部分の計算には後翼単独の実験から得られた近似式を用いている。また各翼の流体力作用中心は没水面積中心とし、前翼による後翼へのダウンウォッシュ影響は考慮していない。

Fig. 18は $\beta=0$, $\xi=0$, $\phi=0$ として舵角 δ のみを変化させた場合の結果である。また Fig. 19は $\beta=0$, $\phi=0$, $\delta=0$ として ξ (ここではトリム角に等しい) のみを変化させた場合の結果である。ともに実験値と計算値はよく一致しており、本実験に用いた翼系諸元では斜航角 $\beta=0$ とした場合に前翼のダウンウォッシュ影響や、翼相互の干渉はほとんど無視してよいと考えられる。

Fig. 20は $\xi=0$, $\phi=0$, $\delta=0$ として斜航角 β を変化させた場合の結果である。 X' , Z' の計算値と実験

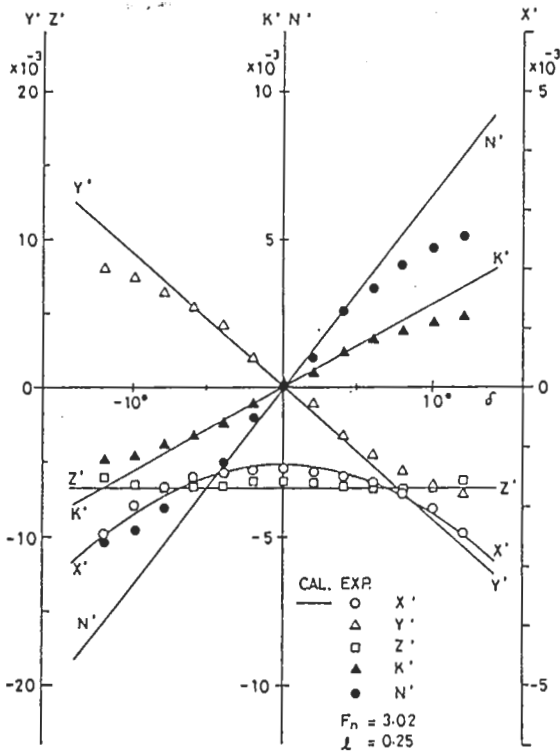


Fig. 18. Coefficients of foil system vs. rudder angle δ .

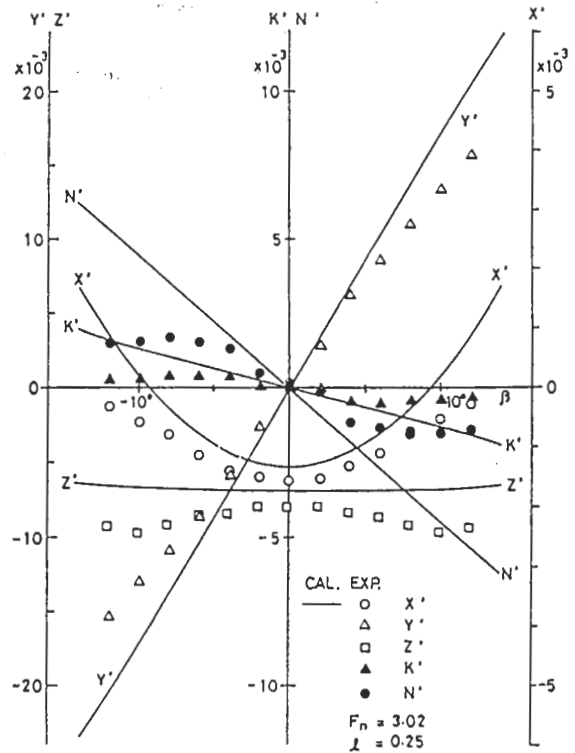


Fig. 20. Coefficients of foil system vs. leeway angle β .

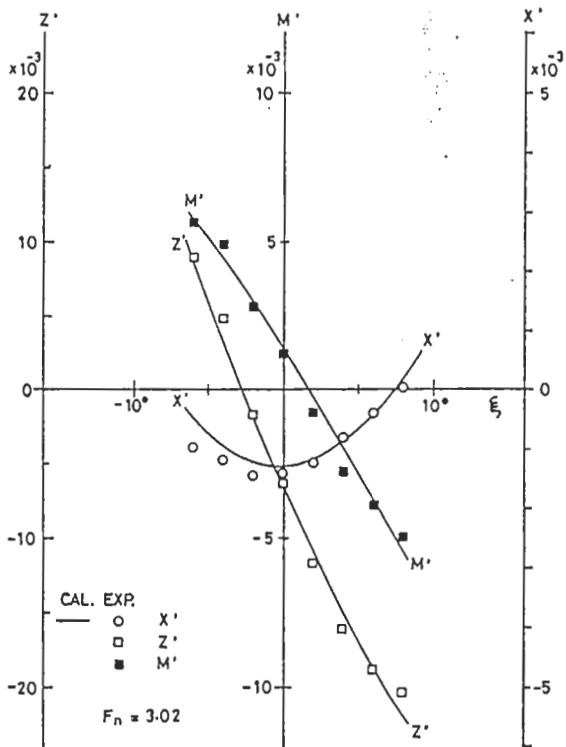


Fig. 19. Coefficients of foil system vs. trim angle ξ .

値に一定の差があるのは、翼系のセット時のわずかなミスアライメントによるものと考えられる。しかしながら Fig. 18と比較すると β が大きくなるとともに

K' , N' の計算値と実験値の不一致が目だっている。これは後翼が前翼の後流域に入るため、ダウンウォッシュ影響を受けてその性能を減じているためと考えられる。実際の帆走船に用いる翼系では、前翼の左右の間隔は本実験に用いた模型諸元よりもかなり大きい場合が多いので、このような場合には計算値はより改善されるものと考えられる。

以上より、翼系模型の性能予測に用いた本計算方法は全体的に満足できる結果を与えることができると言える。

6. 結 言

帆走船に用いる水中翼の流体力学的な性能を明らかにするため、翼単独および翼系全体の曳航実験を行い、さらに理論計算との比較を行った結果次のような点が明らかとなった。

1) 全没型水平翼の性能に与える自由表面影響は、Wadlin らによる馬蹄型渦法および、西山による揚力線理論によって、ともに実験値とよく一致する結果を得ることができる。しかしながら、 $h/c < 1$ ではこれらの間にやや差が見られる。また零揚力角からの迎角が 10° 以上の範囲では実験値と理論値は一致しなくなる。

2) 水面貫通型上反角翼については、まず横流れ状態の迎角計算法がほぼ満足できる結果を与えることを

確かめた。次に揚力係数，抵抗係数に与える自由表面影響は西山による方法が非常によい結果を与えることがわかった。また上反角翼を単純に水平翼に置きかえて Wadlin らによる方法を適用する計算によっても，かなりよい結果を得られることがわかった。

3) 舵単独の性能は，水平翼部分がない場合には西山による方法によって計算でき，アスペクト比が2以上では実験値と理論値はよく一致することがわかった。また水平翼が舵下端につくことによって揚力傾斜は30%以上向上することがわかった。

4) 翼系全体モデルの性能は，各翼単独の性能を組み合わせて計算した結果とよく一致し，前翼による後翼へのダウンウォッシュ影響や，翼相互の干渉は少いと考えられる。よって本報告で示した翼系全体の性能を計算する方法は全体的に満足できる結果を与えることがわかった。

最後に，本研究は大阪大学造船学科に，昭和56年度研修員として滞在中に行わせていただいた曳航水槽実験にもとづくもので，この間，終始御指導を賜った野本謙作教授，浜本剛実助教授に深く感謝いたします。また日立造船株式会社技術研究所の高木又男博士からは貴重な御助言をいただきました。厚く御礼申し上げます。また模型製作および水槽実験に御協力いただいた

大阪大学多田納久義助手，大西啓二技官に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) W. S. Bradfield : Some Observed Effects of Foil Control on Hydrofoil Sailing Vehicle Performance, Chesapeake Sailing Yacht Symp., S.N.A.M.E., Jan. 1974, p. 8—1
- 2) 増山 豊 : 水中翼を用いた帆走艇の性能について (第1報), 日本造船学会論文集, 第147号, 1980, P. 154
- 3) K. L. Wadlin, C. L. Shuford and J. R. McGehee : A Theoretical and Experimental Investigation of the Lift and Drag Characteristics of Hydrofoils at Subcritical and Supercritical Speeds, N. A. C. A. Report. 1232, 1955
- 4) 西山哲男 : 水中翼の一般揚力線理論とその応用, 日本造船協会論文集, 第116号, 1964, P. 1
- 5) I. H. Abbott, and A. E. Von Doenhoff : Theory of Wing Sections, Dover Pub., 1959, p. 329
- 6) H. Glauert : The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory, Cambridge, 1930, p. 145
- 7) S. F. Hoerner : Fluid-Dynamic Drag, published by the author, 1958, p. 6—6
- 8) 山名正夫, 中口 博 : 飛行機設計論, 養賢堂, 1971, P. 253

'96 A S M E 国際学生ソーラーボートレガッタ (SOLAR SPLASH '96) 結果速報

金沢工業大学 増山 豊

平成8年6月20日から23日にかけて、アメリカ、ミルウオーキーにおいて「'96 A S M E 国際学生ソーラーボート大会 (Solar Splash '96)」が開催され、金沢工業大学から参加した「ゴールデンイーグル III」が総合優勝し、3連覇を果たしました。16大学参加の下に行われた大会の詳細はあらためて報告いたしますが、簡単に結果のみをお知らせいたします。

a) 2時間耐久レース (1周800m程度。正確な距離不明)

- | | | |
|----|----------------------------|----------------|
| 1位 | マサチューセッツ大学ダートマス校 (MITではない) | (決勝周回数: 30.00) |
| 2位 | マーケット大学 | (　　　　　: 29.75) |
| 3位 | 金沢工業大学 | (　　　　　: 26.25) |

概要: 金沢工業大学は2時間耐久レースに全没型水中翼仕様で挑み、強風のためバランスのコントロールに苦しみながらも、予選ではダントツでトップであった。しかしながら決勝でモータートラブルを発生し約30分のピットインを余儀なくされ、修理後必死に追い上げたものの3位に終わった。なお総合成績のためのポイントでは、予選と決勝の走行距離を合計して求めることになっており、その結果では金沢工業大学がマサチューセッツ大学ダートマス校と同率1位で最高点の400ポイントを獲得した。またこのピットインしたときの、学生が一丸となって必死に修理を行った姿勢が高く評価され「スポーツマンシップ賞」を受賞した。

b) 300mスプリント (300mより少し短い?)

- | | | |
|----|-------------|-----------------|
| 1位 | ミシガン大学 | (決勝タイム: 25.73秒) |
| 2位 | 金沢工業大学 | (　　　　　: 30.06秒) |
| 3位 | グランドバレー州立大学 | (　　　　　: 35.11秒) |

概要: ミシガン大学は表面効果をねらった逆V字型の船型とサーフェスプロペラの2機掛けという大馬力仕様 (36V, 800A??) で他をよせつけず独走。ただし耐久は1周でリタイア。

c) 総合成績

- | | |
|----|------------------|
| 1位 | 金沢工業大学 |
| 2位 | グランドバレー州立大学 |
| 3位 | マサチューセッツ大学ダートマス校 |

概要: 今年から初めて総合成績の順位が出されることになり、耐久: 400、スプリント: 300、クオリファイ (スラロームショートコース、操縦性能テストを兼ねる): 150、テクニカルレポート: 100、プレゼンテーション: 50、の以上を合計したポイント数で競われた。金沢工業大学は、唯一アメリカ以外からの参加校であったが、プレゼンテーション3位、テクニカルレポート7位と言語的にハンディキャップのある面でも善戦し、クオリファイの3位とあわせて総合優勝を獲得した。

* GPSボート太平洋横断レース

第一回「GPSボート太平洋横断レース」(The Pacific Ocean GPS Boat Race on The Internet)が発表されました。これは「エコ・エネルギー」を動力とする無人の小型船を日本からアメリカまで太平洋を横断させるものです。船の大きさは法律上「海上の浮遊物」として認定させるために1m未満とされています。船にはあらかじめ航路をプログラムしたコンピューターを積み込み、GPSで自らの位置を確認しながら自力航行させます。またボートからのデータを通信衛星を經由してコントロールセンターへ送り、インターネットのホームページ上で紹介する計画です。第一回のレースは日本国内または近隣諸国との間の短距離レースを行い、第二回から太平洋横断に挑む予定です。(図1) (レースパンフレット)

問い合わせ

The Pacific Ocean GPS Boat Race on The Internet 事務局

八戸ファームウエアシステム株式会社

〒406-124 札幌市東区北28条東10丁目

Tel 011-702-6681 Fax 011-702-6680

ホームページ <http://www.visionj.co.jp/hfs/>

* 堀江謙一さん 順調に航海

アルミ缶リサイクル材製のソーラーボートで太平洋横断中の堀江謙一さんは4月29日現在北緯13度、西経121度の地点に到達しました。出発地エクアドルのサリナスから4900キロを航行し全行程の3分の1を走破しました。ソーラーパネルとバッテリーは正常に作動しているそうです。(朝日新聞 1996年4月30日)

* ペダル フォア ザ プラネット 続報

人力ボート、自転車、ローラーブレッドを使って地球を一周しているペダル フォア ザ プラネットの続報がとどきました。昨年ローラーブレッドで走行中に交通事故にあったジェイソンは順調に回復中です。スチーブはサイクリングで無事にサンフランシスコに到着しました。かれらの二人乗り人力ボート「モクシャ」はフロリダから陸送されフィッシャーマンズワーフの海洋博物館で公開されることが決まりました。当初の予定ではアメリカから太平洋を横断して日本またはホンコンへ渡る計画でしたが、予定を変更してサンフランシスコからエクアドルまで自転車で南下し、そこからオーストラリアまで南太平洋を航行すると発表しました。(ニュース レター 1996年3月)

* 2機の人力飛行機 あいついで博物館入り

日本大学の航空研究会が製作した人力飛行機「作蔵」が所沢市の所沢航空発祥記念館の（別館）に飛行可能な状態でこの4月から保存展示されることになりました。この機体は初めにメーベ6として製作(1989)され、阪本佳久さんの操縦で3708.2mのFAI公認の日本記録（1990年3月30日当時）を樹立しました。その後 作蔵1,2,3,4に改造され、鳥人間コンテストで 91年と 94年に優勝し、90年および92年に準優勝するなど めざましい記録を打ち立てました。（図2） なお 平成8年度の別館の公開は夏休みの数日間と埼玉県民の日(11月14日)に限定されていますのでご注意ください。

問い合わせ

所沢航空発祥記念館

〒359 埼玉県所沢市並木1丁目地内（県営所沢航空記念公園内）

Tel 0429-96-2225

休館日 月曜日（但し、祝日の場合は翌日）、年末年始

交通 西武新宿線 航空公園駅 下車 8分

伊丹市の吉川俊明さん率いるアクティブギャルズが製作した人力飛行機が 今年3月に新設された 各務原市のかかみがはら航空宇宙博物館に収められました。この機体は HYPER CHICK"KoToNo Limited" で1992年に堀琴乃さんの操縦で119m飛行し 日本初の女性パイロットによるFAI公認の飛行を記録しました。また同年の鳥人間コンテストでも3位に入賞しました。（図3）

問い合わせ

かかみがはら航空宇宙博物館

〒504 岐阜県各務原市下切町5丁目1番地

Tel 0583-86-8500 Fax 0583-86-9912

休館日 火曜日、年末年始

交通 JR高山本線 那加駅 下車 タクシー10分、
名鉄各務原線 各務原飛行場駅 下車 バス5分

* ウルフガング グロネン氏亡くなる

ドイツHPVクラブの創設者のウルフガング グロネンさんが昨年12月29日に亡くなられました、79才でした。彼は戦前 自転車選手として活躍、その後はナショナルチームのコーチを務められました。また IHPVAの創設時には理事となり、ドイツ国内大会を主催され、ヨーロッパでのHPVの普及に尽力されました。それだけでなく自ら Gronen-Vector Teamを主宰し 何度も世界記録やヨーロッパ記録を樹立し、アメリカ以外でもっとも成功したHPVチームとなりました。（図4,5） さら

に自転車史の研究者としても著名で、70年代にアメリカで誕生したとされていたHPVは10年代にすでにヨーロッパで誕生していたことを紹介するなど 著作活動も盛んにされていました。 慎んで お悔やみ申し上げます。(HPV NEWS Dec. 1995/Jan. 1996)

* IHPVAの本部が移転

IHPVAの本部が いままでのインディアナ州インディアナポリスからイリノイ州エルジンに移転しました。 これは事務局長のマーティ デイリーさんが 引退されたためです。 新しい住所は以下のとおりです。

International Human Powered Vehicle Association
P.O.Box 727
Elgin, Illinois 60121-0727 USA
voice/msg/fax:847-742-4933
Inter net address <http://www.ihpva.org>

* オーストラリアの第一回ソーラーボートレースの結果

会報7号でご紹介した オーストラリア初のソーラーボートレースが首都キャンベラで4月27日に行われました。 デンマーク、ドイツからの参加を含めて 27チームが出場しました。 5時間耐久レースは 一周目が6.2kmを 以後は5.8kmのコースを周回して行われました。 最高記録を出したのはカタマラン艇で11周(約63km、平均時速約17km)でした。 来年も4月に開催の予定です。(ソーラーシステム No.65)

* 有人ソーラープレーン コンテスト続報

世界で初めての有人ソーラープレーン コンテストがドイツのウルム市で行われることは会報4号で お伝えしましたが、当初予定されていた5月ではなく 7月7日に行われることになりました。 4月現在 イタリアのトリノ工科大学やアメリカのエリック レイモンドさんの外国勢とシュツトガルト大学らの地元グループの合計18チームが参加の予定です。(ソーラーシステム No.65)

* 訂正とおわび

会報7号の堀江謙一さんのソーラーボートの記事のなかで「ドライブユニットの設計者はコギト号の柳原序さん。」と書きましたが、 柳原さんから「ドライブユニットのコーディネートをしたというのが正しいのです。」との ご指摘をいただきました。ここに 訂正しおわびいたします。

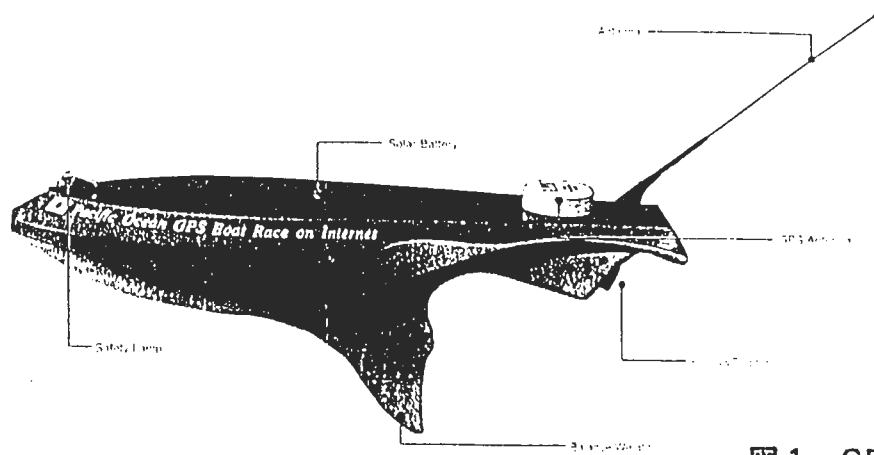


図1 GPSボート

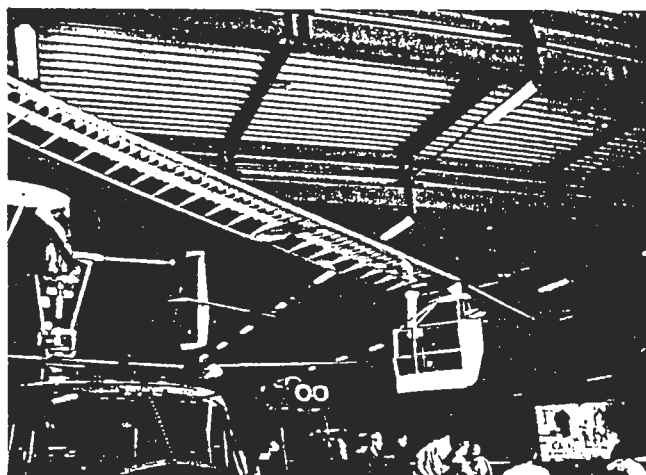


図2 作蔵4

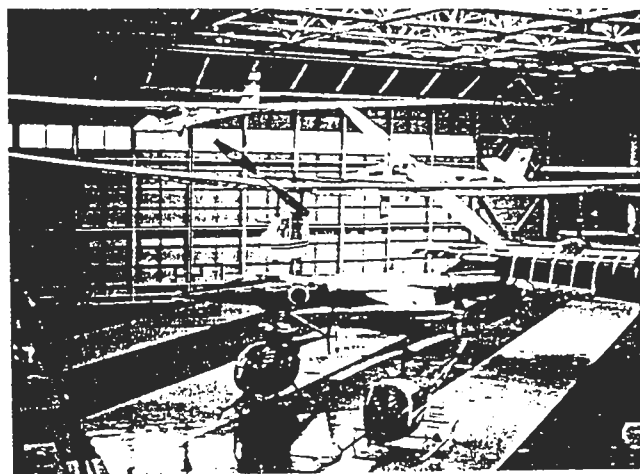


図3 HYPER CHICK"KoToNo Limited"



図4 グロネンさんとVector 007

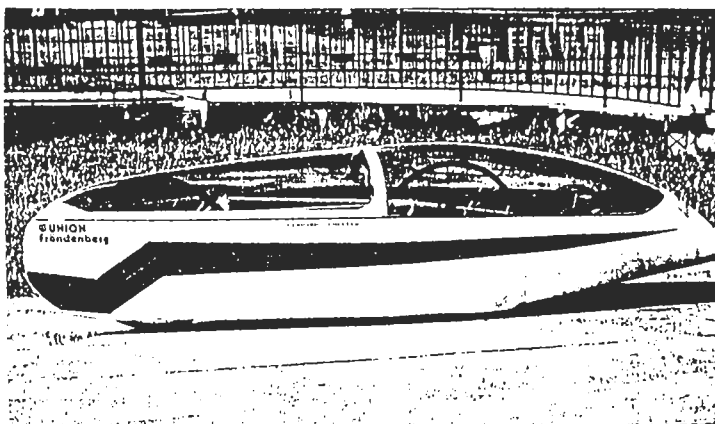


図5

カレンダー

1996年7月

20日～21日 第3回 ワールド・ソーラー・バイシクル・レース in 秋田
人力／ソーラー・ハイブリット車のレース

場所 秋田県南秋田郡大瀧村 スポーツライン

問い合わせ 〒010-04 秋田県南秋田郡大瀧村字中央1-1

大瀧村役場 ソーラー課内

ワールド・ソーラー・バイシクル・レース大会本部事務局

tel 0185(45)2111, fax 0185(45)2162

27日 第20回 鳥人間コンテスト選手権大会

人力飛行機 とグライダーの飛行距離競争

場所 滋賀県彦根市松原水泳場

問い合わせ 〒540-10 大阪市中央区城見2丁目2番33号

よみうりテレビ放送株式会社

第20回鳥人間コンテスト選手権大会事務局

tel 06(947)2314

8月3～4日 '96柳川ソーラーボートレース大会

ソーラーボートレース

場所 福岡県柳川市

問い合わせ '96柳川ソーラーボートレース大会実行委員会事務局

柳川市役所内

tel 0944-73-8111

9～11日 '96浜名湖ソーラー&人力ボートレース大会

ソーラー&人力ボートレース

場所 浜名湖ボート(浜名湖競争場)

問い合わせ 〒431-03 静岡県浜名郡新居町新居向島3380-67

(財)日本マリンスポーツ普及教育振興財団内

'96浜名湖ソーラー&人力ボートレース大会実行委員会

tel 053-594-1813 fax 053-594-6510

24日 ソーラーカーラリーイン能登'96

ソーラーカーレース

場所 石川県羽咋市千里浜海岸特設コース

問い合わせ 石川県グランドソーラーチャレンジ実行委員会

石川県商工労働部観光推進総室内

tel 0762-23-9204

10月27日～ Fourth World Solar Challenge
オーストラリア縦断ソーラーカーレース
今回から ソーラー/人カハイブリット クラスを新設
場所 オーストラリア、ダーウィン～アデレード
問い合わせ Energy Promotions,
1074 Pacific Highway, Pymble NSW 2073, AUSTRALIA
tel 61-2-988-4255, fax 61-2-449-8767

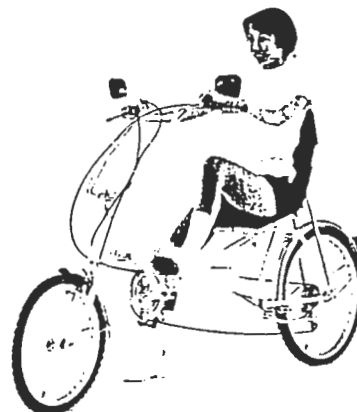
12月7～8日 第二回スカイスポーツシンポジウム/講演募集
スカイスポーツ全般に関する学術的シンポジウム
場所 日本大学理工学部(駿河台校舎)
問い合わせ 日本航空宇宙学会
〒105 港区新橋1-18-2
tel 03-3501-0463, fax 03-3501-0464

新製品紹介

「ナスカ/スター リカンベント」

日本で唯一のリカンベント自転車メーカー、
スナガ開発の最新モデル
全長2045mm, 重量16kg,
前輪20in, 後輪24in, 7万8000円

問い合わせ スナガ開発
〒326-03 足利市問屋町1160-5
tel 0284-72-8181

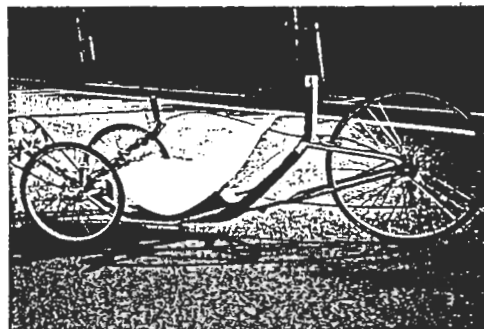


「FRP軽量シート」

「軽量」が要求される 人カやソーラー
パワーを利用した車、船、飛行機や
エコランカーなどの自作ビークル用に
開発された FRP製の座席

最大長 815mm, 最大幅 446mm,
重量 1kg, 3万5000円

問い合わせ (有) オリンポス
tel 03-5486-8955



「FRP軽量シート」を取り付けた
丸山一夫さんのリカンベント三輪車