

目次	1. ごあいさつ	-----	堀内浩太郎	1 頁～
	2. 人力ボート優勝艇「コギトⅢ」について	-----	柳原 序	2 頁～
	3. 翼の形状と性能	-----	深沢 登一	7 頁～
	4. 人力ボートの人力エンジン	-----	堀内 俊介	11 頁～

#### ごあいさつ

ソーラー&人力ボートレースが終わってはや2ヶ月が過ぎようとしております。あの暑かった夏が嘘のように爽やかな秋がやってきました。

遅くなりましたが、レースの時には皆様のご協力まことにありがとうございました。お陰様で無事盛大な大会を終わることができました事を、心から感謝申し上げます。

会報も6号になりました。前回皆様からアンケートのご返事を頂いて、大いに参考にさせて頂きました。重ねて御礼申し上げます。

会報6号も執筆者の皆様から大変有益な原稿を頂きました。前回のアンケートによりますと、船体、水中翼、動力系の設計や作り方のご希望が多いことが分かりましたので、順次その辺りを充実していこうと考えております。

今年は、阪神大震災などの影響を受けて、事務局は大会運営の資金繰りに際どい思いをしました。なるべく皆様にはご心配を掛けぬよう努力はしたつもりですが、ハラハラする中でレース前の皆様へのご連絡が遠慮勝ちとなり、出場数にも影響が出たと思います。

また、閉会式で賞金の目録は差し上げましたが、中身を差し上げるのは10月になってしまい、まことに申し訳ない次第です。来年はこのような事の無いよう努力致します。

一方では、最近レース役員で反省会を行いまして、その席でこの大会をもっと国際ショナルで盛大なものにしよう、という議論が盛り上がりました。その中で国際的なネーミングの方を国際ショナル クリーン ボート チャレンジ (ICBC) と呼ぶことが提案されました。この名前で諸外国に声を掛けたり、体制を整えたりして、名前に相応しい大会になるよう努力してみたいと思いますが皆様のご意見はいかがでしょう。

今までレース事務局長として大変お世話になっていた久保田啓嗣さんに異動がありまして、今までは浜松ソーラー協会で進めておりましたレース関係事務を、10月からは財団法人マリンスポーツ普及教育振興財団に移すことになりました。この大会には二つの財団が関わっております。もうひとつの日本マリンスポーツ財団は略してマリスポと呼ばれておりますので、新事務局は振興財団と呼んで頂いたら便利かも知れません。

会報4号で会費納入のお願いを申し上げましたが、いまだに未納の方がおられます。

今回再び振替用紙を同封致しますので、10月末までには是非お送りください。金額が少ないのでつい忘れてしまうこともあるでしょうが、私ども、会員を一人でもふやしたいと考えておりますし、入会退会の目安と考えておりますので是非ともお送り下さるよう、何卒よろしくお願い申し上げます。

# 人力ボート優勝艇「コギト III」について

柳原 序

## 1 はじめに

95年の浜名湖ソーラ&人力ボートレースに優勝した「コギト III」は93年の「夢の船」コンテストに出場した「コギト II」を改良した艇です。

「夢の船」から数えると「コギト II」、「コギト 2.5」、「コギト III」と3連覇を果たしてきたこととなります。外見ではよく分からないでしょうが、この間に毎年色々な所を改良してきました。

「コギト II」については既にこの会報1号で紹介しましたが、ここでは、さらに、今までどのようにして「コギト」を改良してきたかを説明したいと思います。

## 2 「コギト II」について

まず、前回の紹介と少し重複するかも知れませんが「コギト II」の説明から始めます。図1は「コギト II」の一般配置図です。フレームはA6061-T6というアルミ合金を使用しました。はじめは、カーボンパイプで作ることを考えましたが、クランクの軸受けやギヤーボックスの取付を考えると、どうしてもインサート金具が必要になったり補強が必要になったりして構造が複雑になってしまい、この構造を選びました。フレームの設計では自転車(ロードレーサ)の寸法を計ることから始めました。クランク軸とサドル、および、ハンドルの相対的な位置関係は長い経験で決まった自転車のそれと変えることはよくありません。前と後ろのサドル距離が近すぎるとドライバーが乗り難くなるし、離れすぎると、強度上の問題や空気抵抗の上でも良くありません。自転車の雑誌を見たり自分で自転車をまたぎながら最適寸法を研究しました。フレームの設計では、ねじりを受ける部材は大口径のパイプを使うこと、曲げを受ける部材(例えばポンツーンを支えるパイプなど)には穴を明けないで組み立てる構造にすること、できるだけ圧縮でなく引っ張り方向に構造部材を配置すること、強度計算と工作が楽になるように不静定構造を避けるようにするなどの配慮をしました。

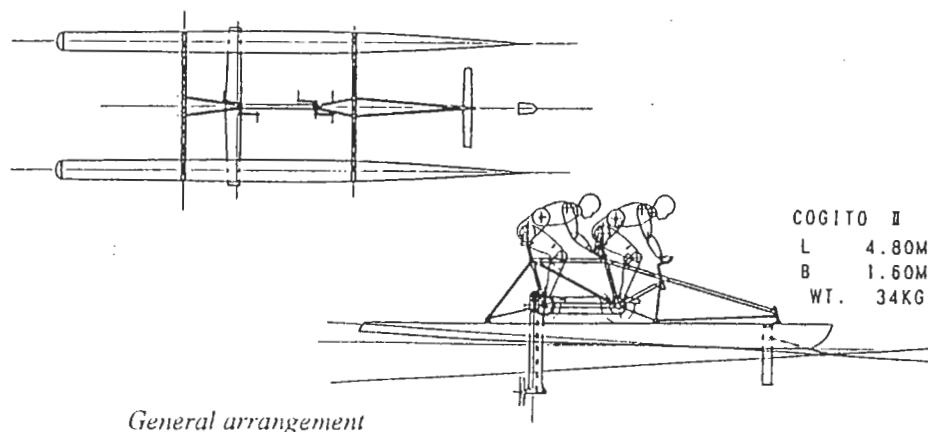
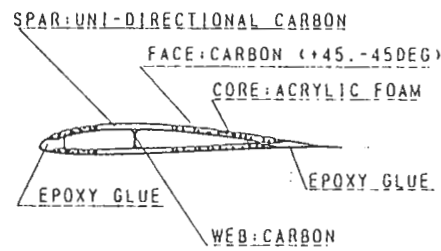


図1

主翼は雌型を作り、プリプレグカーボンファイバーを使って成形しました。できるだけ軽く作るため外板はサンドイッチにしました。図2にこの断面を示します。「コギトII」のスパンは1.6mですが、初め進水した時のスパンは2m以上あり、この時の主翼の面積は少し大き過ぎました。これは、スタンディングスタートのレースでは早く翼走したほうが有利だろうと考え、離水速度を3m/s（約6ノット）にして設計したためです。それと、型の製作は時間がかかるので作り直しのリスクを避けるため余裕のある寸法にしたのです。結局、テストを繰り返しながら翼端を切って行き、離水の容易さやタイム計測で最終の寸法を決めました。面積の減少に伴い離水の速度は3.5m/s（約7ノット）になりました。



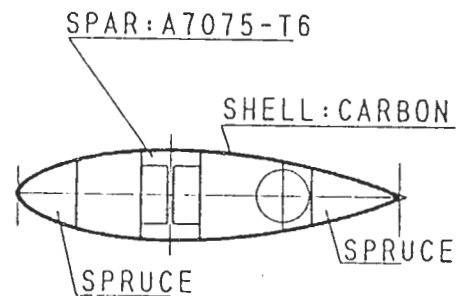
Main foil section

図2

高さコントローラの構造はリンク式でなく滑走板を取り付けたアームを前翼の前に配置したタイプにしました。水中翼船では高さコントローラが、恐らく誰もがいちばん苦労するところで、この調整に失敗したくないと考えました。抵抗を少しでも少なくしようとするリンク式にすべきですが、調節の容易さではこの方式が優れます。この部分の設計では、色々な調整が簡単にできるように工夫しました。滑走板の高さを調整するために前翼のストラットはテーパーを付けずに同じ翼弦長にし、アームの付け根はストラットに接着しないでステンレスバンドで止め、ストラットのどの位置でも固定できるようにしました。また、ストラットの上にある回転軸は前後方向に並べたたくさんの穴のどれかを選ぶことで最適位置を調整できるようにしました。やはり、走ってみると、この調整に苦労しました。低速時に合わせると高速ではうまくいかなかったり、その反対に高速のセッティングをすると離水時に不具合を生じると言ったことが起こりました。この原因は、前翼と回転軸が離れている為、船のトリム（横から見た時の船の傾き姿勢）が変わると力のバランスがとれなくなるためです。「コギト」では、ストッパーで前翼の可動範囲を制限したり、メカニカルケーブルでバランスのズレを戻したりする工夫をして解決しました。

今年の大会に、手動式の高さコントロールが付いた船や、全くこの装置が無い船が出場し、しかも、うまく走っているのを見て驚きました。恐らく、セッティングはそれなりに相当苦労されたと思います。

主翼のストラットは図3の様な構造にしています。翼厚は30mm、「コギトII」では上から下まで同じ断面でした。桁は機械加工のジュラルミンでしたので、同じ断面は加工の都合を考えたものです。しかし、水面下では翼厚比が大きすぎてプロペラに対する悪影響やスプレーが大きいと言う問題が発生しました。濡れ面積が増加することになりましたが、前縁側にパテを盛って断面形状を改良しました。前翼と前翼のストラ



Main strut cross-section

図3

ットはカーボンのソリッドで作りました。

優勝した時のタイムは30.21秒、もう少しで20秒台となるどころでした。

### 3 「コギト2.5」について

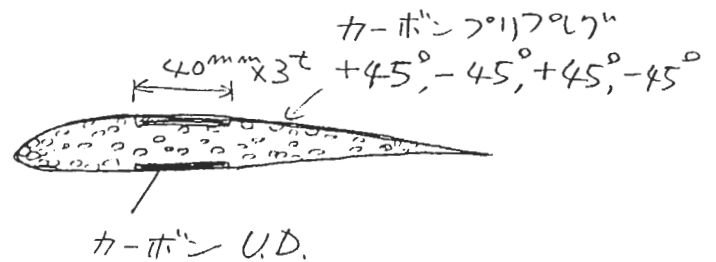
94年は「夢の船」コンテストが無くなり、代わりに、浜名湖でソーラ&人力ボートレースとして大会が開かれることになりました。この大会に備えて改造した項目は次のとおりでした。この時、「コギトIII」でなく「コギト2.5」としたのは、外見ではあまり変わらない改造だったからです。しかし、実際はご覧のような大改造でした。

#### 「コギト2.5」の改造項目

- (1) 主翼を新作し、翼面積を75%に小さくする
- (2) 前翼の面積を小さくする
- (3) 主翼ストラットを作り直し、翼厚を小さくする
- (4) フレームの改造
- (5) ハンドルの補強
- (6) ポンツーンを支えるパイプのフェアリング

離水の様子から、「コギトII」の翼面積をもっと小さくできるのは分かっていました。また、主翼の抵抗が下の表のように全抵抗の半分近くを占めますから、翼面積を小さくして抵抗を小さくするのが性能アップに最も効果があります。しかし、今までのように翼端を切っていくと、どんどんアスペクト比とテーパー比が小さくなり理想の形からずれてきます。そこで、スパンは今までと同じ1.6mのまま、付け根の翼弦長を160mmから142mmにして新しい型を作ることにしました。

翼断面の構造は図4のように外皮はサンドイッチではありません。翼が薄くなってサンドイッチの工作が困難になったこととボリュームが小さくなって重量増加を心配する必要がないと判断したからです。



同じように、前翼の面積も小さくしました。前翼はソリッドで作られていましたから、型の新作はしないで今までの翼を削って作り直すことにしました。

作り直すと言っても全部の断面形状が変わるので新しく作ったのと同手間はほとんど変わりませんでした。前翼ストラットの形状を図5のように

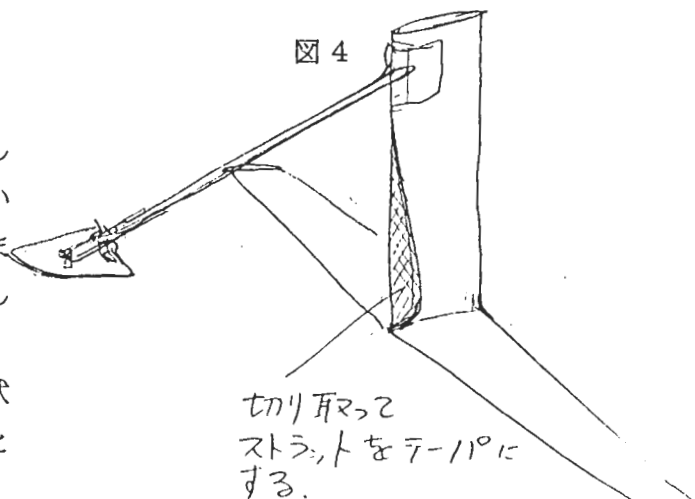


図5

テーパに改造しました。これまでのテストで、適当な高さコントローラのアーム位置を決めることができたので、どこにでもアームが取り付けられるようにと矩型にした必要が無くなったからです。これで、20%ほど面積を減らすことができました。また、前翼の前縁とストラットの前縁を結合部でずらすことができ、干渉抵抗の上からも好ましい形状にする事ができました。

主翼ストラットの改良は水面下の部分を薄くすることでした。今まで30mmあった翼厚を水面下で20mmになるようにしました。ジュラルミンのH断面の桁は同一断面でなくなるのでフライス加工がとても大変になりましたが、2/3の翼厚の効果には代えられません。これで、2%ほど抵抗が改善できたでしょう。以上の説明のように、主翼、前翼、ストラットの抵抗を改善して行きました。残るのは、高さコントローラ、つまり、滑走板の抵抗を減らすことと空気抵抗の部分です。滑走板の抵抗を減らすには、滑走板の荷重を小さくすれば良い訳で、方法としては、回転軸の前後位置をうまく調整すること、前翼と回転軸の距離をできるだけ短くする必要があります。つまり、ストラットを短くすれば良いことになります。「コギト2.5」では100mm短くしました。しかし、このままでは、前翼の高さ位置が変わってしまい、ポンツーンが水面に接触してしまいます。そこで、ストラットを短くしただけフレームの前部分を下げ、改造前と同じ高さに前翼を配置しました。

速度8m/s(16ノット)の「コギトII」の抵抗(全重量174Kg)

部 位	項 目	抵抗 Kg f	%
主 翼	有害抵抗	5.96	40.2
	誘導抵抗	0.73	4.9
	造波抵抗	0.26	1.8
前 翼	有害抵抗	1.82	12.3
	誘導抵抗	0.18	1.2
	造波抵抗	0.03	0.2
主翼ストラット	有害抵抗	1.30	8.8
	スプレー抵抗	0.72	4.9
前翼ストラット	有害抵抗	0.60	4.0
	スプレー抵抗	0.05	0.3
高さ制御装置	滑走板の抵抗	0.53	3.6
ローケース	有害抵抗	0.47	3.2
空気抵抗	有害抵抗	2.19	14.8
合計		14.84	100.0

空気抵抗の対策として、ポンツーンを支えているパイプに流線型のフェアリングを施しました。空気抵抗の5%が改善できた計算になります。全体の抵抗に対しては1%未満の効果ですが、簡単にできる改良でしたので採用しました。

「コギト2.5」のスタンディングスタート200mタイムは28.5秒でした。確実に30秒を切る性能になった訳です。途中の100m通過平均速度は15.48ノットでした。

#### 4 「コギトIII」について

「コギトIII」は外見上も大きく変わりました。特にポンツーンはそれまでのジュラルミ

ンからカーボン・ケブラーの外板にしましたから、がらっと雰囲気が変わりました。他にも次のような改造をしました。

- (1) 主翼の新作
- (2) 主翼ストラットのブラッシュプレートの追加
- (3) 前翼の翼端をカットして面積を小さくした
- (4) 長距離と短距離レース用に2種類の翼が取り付くようにしたこと

95年の大会では、レースのやり方が大きく変わりました。それまでのスタンディングスタートからフライングスタートになりました。それと、1000mのスラローム競技が追加されました。フライングスタートですから、早く翼走に入らなければならないという重要性は少なくなり、翼面積はさらに小さくする必要がでてきました。1000mレースは去年の翼のままで十分コースを走れることが分かっていたから、1000m用に去年の翼を使い、200m用に限界まで小さくした新しい翼を付けるという作戦を立てました。

実は、この作戦の他に画期的な改造を試みました。結論を先に言うと、この試みは失敗に終わり断念しました。主翼の限界の設計は高速走行時に揚力と抵抗の比、つまり、揚抗比が最良となるようにすれば良いのですが、このように設計すると低速では翼がすぐ失速することになります。また、離水スピードが高くなるので、離水するまでにドライバーのエネルギーを使い果たすことになってしまいます。この解決のために、主翼を複葉にして、高速時に上の翼を跳ね上げる構造にすれば良いのです。世界記録を持つMITの「デカピテータ」もこの方式にしています。画期的な改造とは正にこの方式の挑戦でした。我々の今年の作業のほとんどをこの製作に費やしました。失敗の原因は完全に解明していませんが再挑戦の参考になることは確かです。

今年の主翼はスパンを1.2mにしました。そして、翼厚が小さくなったので強度上カーボンのソリッドにしざるを得なくなりました。

図6にこれまでの主翼の平面型を示しました。同じく前翼の変遷を図7に示します。

また、ポンツーンを作り直したことで重量が3Kg軽くなりました。さらに、ポンツーンの深さが浅くなったことで船底と水面の距離が広くとれ、旋回傾斜を大きくとることができ、運動性が良くなりました。

200mレースではスタートの方法が違うので、「コギトIII」の性能がどのくらい良くなったかは比較できないが、100mの平均スピードは16.69ノットとなり約1ノットの性能改善ができたこととなります。

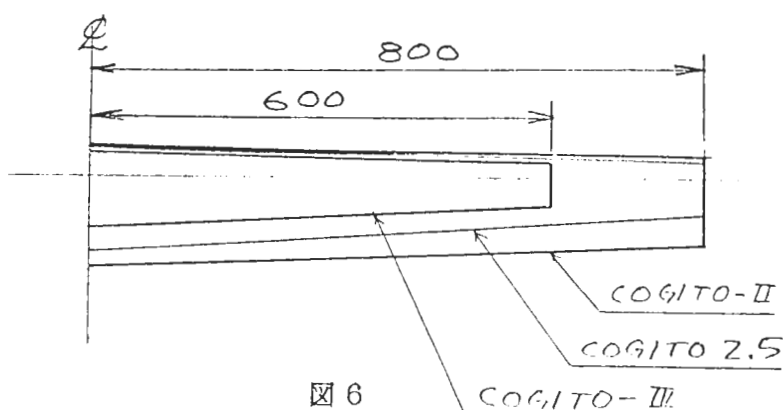


図6

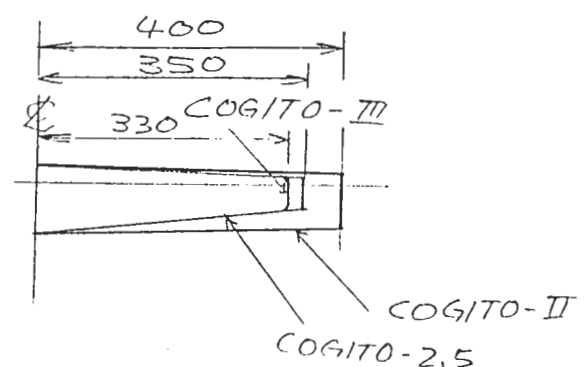


図7

# 翼の形状と性能

金沢工業大学 深沢塔一

## 1. 翼の形状

翼の形状は、通常、その断面形と平面形とで論じられ、断面形については単に「翼型」と呼ばれる。アスペクト比が比較的大きい翼は主として翼型によって性能が左右され、一方、アスペクト比の比較的小さい翼ではその平面形が重要となる。

## 2. 揚力と抗力

流れの中におかれた翼に働く力は、揚力と抗力の2つの成分に分解できる。揚力は、翼に働く合力の流れに直角方向の成分であり、翼全体を浮上させる働きを持つ。一方、抗力は、翼に働く合力の流れに平行な成分であり、翼の前進運動を妨げる方向に働く。したがって、翼の性能としては、なるべく揚力が大きく抗力が小さいものが望ましいことになる。

翼の特性は、揚力係数  $C_L$ 、抗力係数  $C_D$ 、揚抗比  $C_L/C_D$ 、モーメント係数  $C_M$  を用いて、これらの迎角  $\alpha$  に対する変化の図として表わされる。図1にその一例を示す。揚力係数は翼の迎角が大きくなるにしたがってほぼ直線的に増加するのに対し、抗力係数はほぼ迎角の2乗に比例して増加する。したがって、いたずらに迎角を大きくすることは揚力の増大よりも抗力が増加する割合が大きくなり、翼の効率という面からは不利になる場合があるので注意を要する。

さて、翼の迎角を増加していくと、あるところから揚力係数の傾斜が若干減少する。これは翼の背面で剥離がはじまるためであるが、翼の背面が全面的に剥離するようになると、揚力係数はそれ以上増加することなく減少をはじめめる。この現象を失速と呼ぶ。なお、揚力係数の最大値を最大揚力係数といい、その時の迎角を失速角という。一方、抗力係数については、その最小値を最小抗力係数と呼ぶ。抗力係数は失速角を越えると急激に増加する。また、翼の特性は、図1のような表わし方の他に、揚力と抗力の関係を迎角をパラメータとして表わした極曲線（ポーラカーブ）としても表わされる。図2にポーラカーブの一例を示すが、原点から曲線に引かれた接線の接点が最大揚抗比を与える点となる。

## 3. 翼に働く抗力の成分

翼に働く抗力は、形状抵抗（翼型抵抗）と誘導抵抗（3次元影響）とに分解できる。形状抵抗は流体の粘性に起因するもので、さらに摩擦抵抗と伴流抵抗に分けられる。摩擦抵抗は流体と翼との境界面に生ずる摩擦応力による抵抗であり、伴流抵抗は翼の後方にできる乱れた流れに起因する翼前後の圧力差による抵抗である。

### 3.1 摩擦抵抗

摩擦抵抗は翼表面での流体と翼との摩擦応力によって生ずる。摩擦応力  $\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$  は粘性係数  $\mu$  と速度勾配の積で表わされるが、これはレイノルズ数と呼ばれる無次元数  $R = \frac{LU}{\nu}$  によって変化する。ここで、 $U$  は一般流の流速、 $L$  は代表長さ（たとえば翼のコード長）、 $\nu$  は流体の動粘性係数であり、粘性係数と密度の比  $\frac{\mu}{\rho}$  で表わされるものである。

ここで、翼表面近傍の流れを考える。流体の粘性によって、翼表面では流体の相対速度はゼロであるが、翼の表面から離れるにしたがって一般流の速度（外側の流体の速度）に近づく。このような速度変化は翼表面のごく近傍のみで顕著となり、上式により翼の表面近くで摩擦応力が大きくなる。速度勾配が顕著となる翼表面近傍のある厚さの流体の層を境界層と呼び、ここでは粘性力が支配的と

なる。図3に平板の摩擦抵抗係数  $C_f$  のレイノルズ数に対する変化を示すが、境界層内の流れは、レイノルズ数が大きくなるにしたがって、層流境界層から遷移を経て乱流境界層に移行しており、それにつれて摩擦抵抗係数も変化しているのがわかる。流れが乱流になると、摩擦抵抗係数は層流の場合に比べて著しく（3～4倍程度）増加する。なお、層流境界層の厚さは、乱流の場合に比べて非常に薄いことが知られている。

さて、翼の表面は、通常平らな面ではなく、ある曲率を持っており、流れの方向に圧力が変化する。たとえば、翼型の背面では、前縁部と後縁部で圧力が高く、その間は圧力が低い。すなわち、翼の前半部では圧力が降下し、後半部では圧力が上昇することになる。流れとともに圧力が降下する場合には、流れの乱れやレイノルズ数がたとえ大きくても層流の状態が保たれるが、圧力上昇に逆らって流体が流れるとき、流れの乱れが増幅されて乱流となる。すなわち、翼の腹面では圧力上昇勾配となっているので、前縁直後で遷移して乱流境界層となるのに対し、翼の背面では前縁より圧力下降勾配となっているので層流境界層がある区間続き、最低圧力位置のやや下流で遷移して乱流境界層となる。

### 3.2 伴流抵抗

伴流抵抗は翼の前後の圧力差によって生ずる。もし、流体に粘性がなければ、たとえ円柱のような鈍い形状の物体でも、物体の前後の圧力は等しくなり、圧力差による抵抗は働かない（これをダランベールの背理という）。これは、流体に粘性が無いと仮定しているために、円柱回りの流れは表面から剥がれることが無いからである。ところが、実際の流体には粘性が存在するため、流れが物体表面から剥がれることがある。これを剥離という。すなわち、流れが円柱のように鈍い形状の物体を回るとき、物体の前部から圧力が降下し最小圧力点にいたるが、その後流れの方向に圧力が上昇するとき、流れは圧力に抗しきれず、物体表面から剥がれてしまう。物体回りの流れが剥がれれば、物体の後部で圧力は回復せず、物体の前後に圧力差が生じ、抵抗（伴流抵抗）が発生することになる。剥がれた流れが後方に形成する渦巻いた圧力の低い領域は伴流と呼ばれる。

剥離には、流れが層流の状態では剥離する層流剥離と、乱流の状態では剥離する乱流剥離があるが、剥離の起こりやすさは層流と乱流とで異なる。すなわち、乱流境界層では、境界層外の流れからの乱流拡散によって境界層内の流れが強められ、剥がれにくくなるが、層流境界層ではこれがないために、流れは剥がれやすい。

翼の背面での剥離のパターンは、以下のようになる<sup>1)</sup>（図4参照）。まず、最低圧力位置の下流で層流剥離が生じ、その後ほぼ一定の圧力を保つが、遷移点より圧力が上昇しはじめ、乱流境界層となって剥離泡が翼表面に再付着する。層流剥離点の位置はレイノルズ数には無関係に一定であるが、迎角が増加すると前方に移動する。一方、再付着点は、レイノルズ数が増加するか、または迎角が増加するかすると、前方に移動する。したがって、レイノルズ数が増加すると、再付着点のみが前方に移動し、剥離泡の長さが短くなって遷移点が層流剥離点に接近し、ついには層流境界層から直ちに乱流境界層に遷移するようになる。このときのレイノルズ数を臨界レイノルズ数と呼ぶが、これはほぼ  $5 \times 10^5$  とみることができる。

### 3.3 誘導抵抗

翼に働く抵抗で流体の粘性に起因する抵抗以外のものに、誘導抵抗がある。これは、アスペクト比が無限大の2次元翼には生じないが、有限スパンの3次元翼に発生する抵抗である。

一般に、流れの中におかれた翼は渦糸で近似できることが知られている。すなわち、翼の背面では流れが加速され、腹面では流れが減速されることを、翼面上に渦を置くことによってモデル化するのである。渦には、不生不滅であるという性質（ラグランジュの渦定理）とともに、理想流体中では端末が無いという性質がある（ストークスの定理）。すなわち、渦糸は無限に長いのか、または渦輪とならなければならない。

2次元翼の場合、翼はスパン方向に無限に長い渦糸で近似できる。しかしながら、スパンが有限である翼は、翼端があるため、スパン方向に配置された渦糸は、翼端から流れにそって無限後方に流れるように、折れ曲がる必要がある。これを馬蹄形渦といい、翼端から無限後方に流れる渦を自由渦（または翼端渦）と呼ぶ（図5参照）。



この翼端渦は、翼面上に下向きの速度 $v$ （吹き下ろしまたは誘導速度）を引き起こす。この結果、一般流の速度を $U$ とすると、実際に翼に流入する流れ（局所流）の速度は $U = \sqrt{U^2 + v^2} \cong U$ とほとんど変化しないが、迎角は $\phi$ だけ減少することになる。すなわち、定義により揚力は翼に働く合力の流れに垂直な方向の成分であるので、誘導速度がない場合と比べて揚力の方向が変化することになる。したがって、一般流 $U$ の方向に対して力を考えると、揚力が減少して抗力が増加したことに相当する。この増加した抗力成分を誘導抵抗という。誘導抵抗は、当然のことながら、翼のアスペクト比が大きくなるほど小さくなる。

#### 4. 翼の平面形

翼の平面形は、アスペクト比が同じである場合、楕円形の翼が最良の揚抗比を持ち得る。楕円翼の揚力係数分布はスパン方向に一定となるが、矩形翼では翼付根より翼端にかけて揚力係数が減少する。一方、テーパー翼ではこの逆で、翼端での揚力係数が翼付根より大きくなり、後退翼ではこの傾向がより強くなる。

実際の翼の平面形は、翼の付根での曲げモーメントを軽減するなどの強度上の理由や製作の都合などで、テーパー翼が使われることが多い。しかしながら、前述のように、テーパー翼、特にテーパー付き後退翼では、翼付根に比べて翼端での局所的な揚力係数が大きくなり、翼端失速を起しやすくなる。翼端失速を防ぐためには、航空機などではねじり下げと呼ばれる翼端の取付角を若干小さくするような工夫がなされているが、これ以外にも、翼端に向けてキャンバーの大きい（最大揚力係数の大きい）翼型にしたり、テーパーを小さくして矩形翼に近い平面形にするなどの対策がとられている。当然のことながら、矩形翼では翼端の方が揚力係数が小さくなるので、翼端失速を心配する必要はない。

このように、一般的な平面形の翼では、翼型が同じでも、翼の幅方向に揚力係数の分布が異なる。迎角が大きくなってくると、揚力係数の最も大きいところから剥離がはじまる。迎角がさらに増加すると剥離が周辺に広がるが、翼型が急激な失速特性を持つものであれば、翼全体が一気に失速してしまう。一方、翼型の失速特性が緩やかであれば、最大揚力係数となる部分が広がっていくのみで、急激な失速はおこらない。

なお、翼型の失速特性は4種類に分類できる。すなわち、前縁剥離緩徐失速型、前縁剥離急激失速型、後縁剥離緩徐失速型、後縁剥離急激失速型である<sup>5)</sup>。前縁剥離緩徐失速型は小さい前縁半径などによって前縁直後に層流剥離が生じ、剥離泡が後縁にまで達するもので、前縁剥離急激失速型は層流剥離が生じても再付着せず、全面剥離にいたるものである。後縁剥離型は後縁部の乱流剥離点の上流側に移動することによって生ずる。急激失速型は失速直後揚力係数が急激に減少するのに対して、緩徐失速型では失速後の揚力係数の減少は緩やかである。

揚力・抗力に対する翼のアスペクト比の影響は、図2に示すポーラカーブによってもみることができる。図をみると、一般にアスペクト比が大きい翼では最大揚抗比が大きい最大揚力係数が小さく、一方、アスペクト比の小さい翼では最大揚抗比が小さいかわりに最大揚力係数が大きくなっている。

#### 5. 翼端延長、翼端フィン、ウイングレット<sup>6)</sup>

翼のスパンを増加させると誘導抵抗は減少するが、翼付根の曲げモーメントは増加してしまう。曲げモーメントをあまり増加させずに誘導抵抗を減少させる手段として、母翼の平面内で翼端を単純に増加させる翼端延長、母翼の平面内で翼端に小さな翼を取り付ける翼端フィン、および母翼とほぼ直角に小さな翼を取り付けるウイングレットなどがある。曲げモーメントの増加量が同じ場合、誘導抵抗の減少量は翼端延長よりもウイングレットを装着したほうが大きいことが確認されているが、これはウイングレットが母翼とほぼ直角だからではなく、母翼よりもコード長が短く、翼端延長よりもその面積が小さいため、形状抵抗が小さくなるためであるといわれている。さらに、翼端フィンはウイングレットよりも抵抗の減少効果が大きいようであるが、揚力係数の大きくなる大迎角時には翼端フィンよりもウイングレットの方が特性がよいとされていることもあり、今後の研究課題ともなっている。

## 6. 翼型と性能

翼型の幾何学的形状を表わす特性値として、キャンバー、翼厚、前縁半径などがある。キャンバーの増加は迎角を増加したこととほぼ同じ働きをし、最大揚力係数はキャンバーの増加とともに大きくなるが、抗力係数も増加することに注意を要する。一方、翼厚を薄くすればするほど、最小抗力係数が減少するので有利となるが、薄くしすぎると流れが前縁を回りにくくなって前縁剥離を招きやすくなり、このため最大揚力係数は減少する。同様に、前縁半径についても、流れを前縁でまわりやすくする程度に大きくとる必要があるが、あまり大きくしても後縁での剥離が先行するため、最大揚力係数はほとんど増加しない。

翼の背面での流れの様子は翼の性能に大きく関係する。背面での剥離の心配があまり無い場合には、なるべく境界層を層流に保つことが抵抗軽減につながる。翼の背面での流れは、最低圧力位置のやや下流で遷移して乱流境界層となるため、最低圧力の位置が翼面上のなるべく後方であれば、その表面にできる境界層は層流部分が広く、摩擦抵抗は非常に小さくなる。このため、通常の翼の最大厚みの位置が25～30%であるのに対し、層流域をなるべく広くするために30%～40%位置に後退させた層流翼などが開発されている。

翼の背面での流れが剥がれることが予想される場合、伴流抵抗は剥離によって生ずるため、流れを剥がれにくくすることによって、抵抗を減少させることができる。層流境界層は乱流境界層に比べて圧力上昇勾配に弱く、剥離しやすい。したがって、圧力上昇域にある境界層などのように必ず剥離が生ずるような場合には、流れをわざと乱し、層流境界層を乱流境界層に変化させて抵抗を低減することができる。また、背面圧力の上昇域で境界層が剥離するのであるから、圧力上昇勾配を緩和すれば、剥離を遅らせることができる。剥離が遅れば、失速も遅れることになり、失速角が増加することから、最大揚力係数が増加する。これには、翼弦長を大きくしたりキャンバーを増加させたりする他、前縁スラット、後縁フラップなどの高揚力装置などを用いることが有効である。

## 7. 低レイノルズ数での翼性能<sup>1)</sup>

低レイノルズ数での翼型特性はレイノルズ数に大きく依存する。レイノルズ数が減少するにしたがって層流境界層の剥離後の遷移および再付着が次第に見られなくなる。中間レイノルズ数領域では、迎角の増減によって、層流境界層の剥離の発生および消失があるために、性能曲線にヒステリシスが現れる。レイノルズ数がある値以下となると性能曲線にはヒステリシスが現れなくなり、層流剥離による抗力が支配的となる。

## 8. おわりに

翼の形状と性能に関して、これまでに発表された研究成果を踏まえてまとめてみました。会員各位の知識の整理にお役に立てればと思います。なお、著者の不見識や思い違いから、誤った記述もあるかもしれません。遠慮なく御指摘頂ければ幸いです。

## 参考文献

1. 西山哲男、翼型学、日刊工業新聞社、1992.
2. 東昭、模型航空機と風の科学、電波実験社、1992.
3. 岡本哲史、応用流体力学、誠文堂新光社、1973.
4. 東昭、航空工学 (I)、裳華房、1989.
5. 内藤子生、飛行力学の実際、日本航空技術協会、1992.
6. 鳥養鶴雄、最新航空用語150、酣燈社、1990.
7. 長谷川克、植本多寿美、翼型 Vol.1、FF から RC 機まで、模型の翼型374種、電波実験社、1990.
8. 筒井康賢、松宮輝、“風車用翼型の研究”、日本風力エネルギー協会・日本科学技術振興財団共催、第10回風力エネルギー利用シンポジウム前刷集、1988.

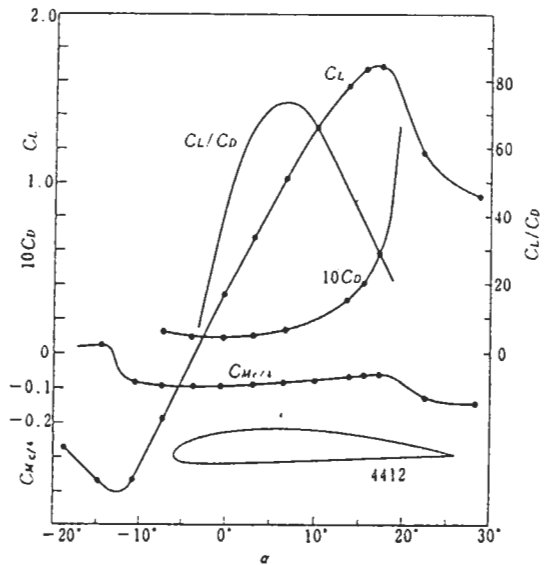


図1 翼型特性の迎角による変化  
(文献1による)

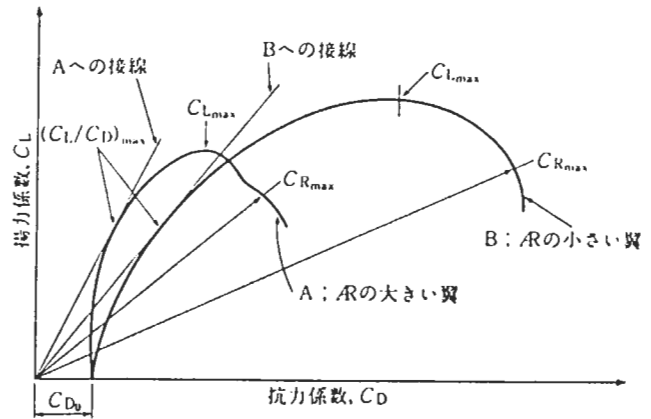


図2 極曲線 (ポーラカーブ)  
(文献2による)

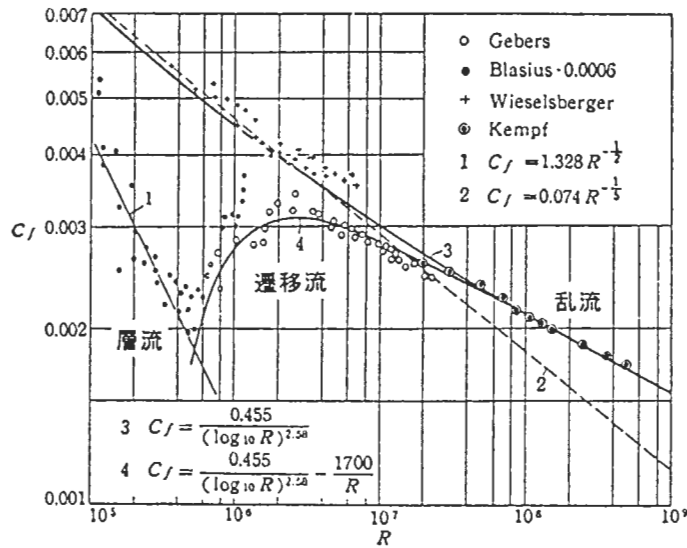


図3 平板の摩擦抵抗係数  
(文献3による)

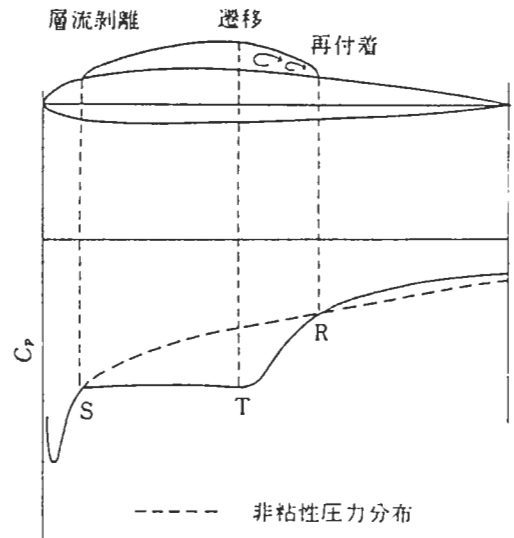


図4 翼背面における剥離泡および翼面圧力係数分布  
(文献1による)

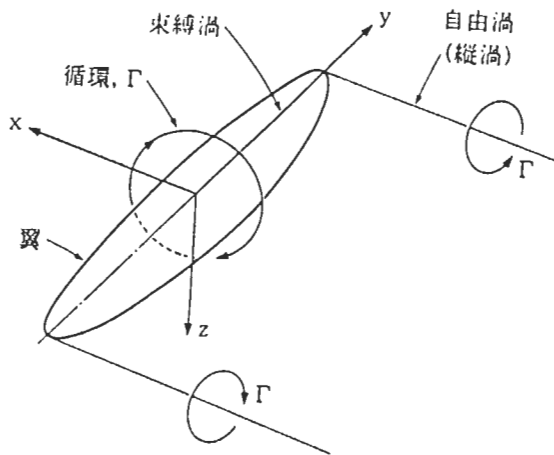


図5 馬蹄形渦  
(文献2による)

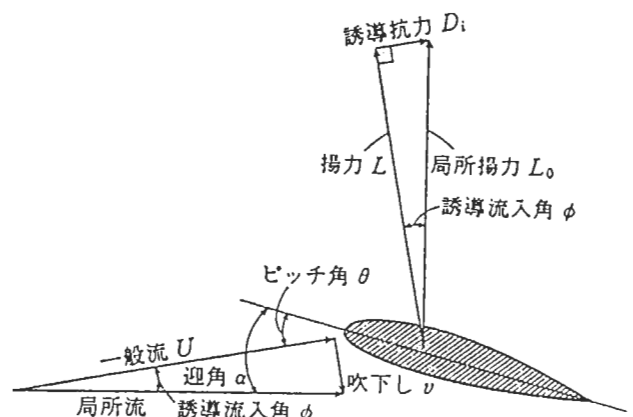


図6 誘導抵抗  
(文献4による)

# 人力ボートの人力エンジン

チームコギト ドライバー 堀内俊介

1992年、第2回夢の船コンテスト以来4年連続してチームコギトのドライバーを務め、4年連続してコンテスト優勝することのできた誠に幸運なドライバーとして、少しスポーツ科学的な視点を加え、なぜこの4年間勝ち続けることができたかを振り返ってみたい。

まず、本題に入る前にこの4年間トップを維持できた最大の理由は、性能・信頼性・完成度ともに最高のレベルの艇を作り上げてきたチーム全員の努力の賜物であり、ドライバーの役目は艇の自体の持つパフォーマンスをコンテストにおいて実現したに過ぎないことをお断りしておく。

人力ボートの動力源=エンジンは人間であり、ガソリンエンジンに代表される機械とはまったく性質を異にする。力は弱く、持続力に欠け、なによりきまぐれなものである。ときには二日酔いなどという機械ではありえない理由により不調になることさえあるすこぶる厄介な代物である。不安定ではあるが人力ボートを1つのシステムとして考えた場合、やはり人力=エンジンは重要な構成ユニットであることは間違いない。これから人力ボートにはどんな人間がエンジンとして適しているか考えてみることにする。

人力とは文字どおり人の力であるが、人間が物理的（機械的）な力を発揮するときには必ず筋肉の収縮がおきている。正しくは筋肉を収縮することにより人間は力を発揮するといえる。筋肉の収縮エネルギーは細胞内でATP(アデノシン三リン酸)が分解するときに発生するエネルギーによりもたらされる。〈図1〉 このエネルギー代謝の過程は3つに分類され、無酸素的過程である1) 非乳酸過程 2) 乳酸過程、および3) 有酸素過程がある。

供給過程の特徴をまとめたものが〈表1〉である。

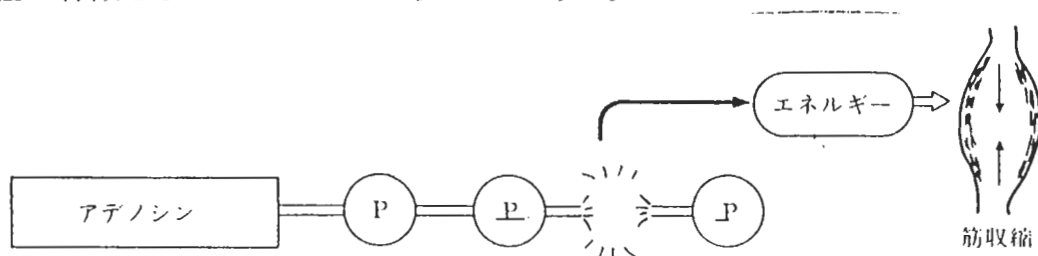


図1 アデノシン三リン酸の分解によるエネルギー  
ATP(アデノシン三リン酸)からP(リン酸)が1つはずれADP(アデノシン二リン酸)になるとき発生するエネルギーにより筋収縮がおこる

表1 エネルギーの供給過程とその特徴

エネルギー供給過程		供給スピード	供給限界	出力限界	特徴
無酸素過程	非乳酸過程	13cal/kg/秒	8秒	1.28馬力	爆発的な大きな力を発揮することができるが、持続時間はごく短い。
	乳酸過程	7cal/kg/秒	33秒	0.69馬力	比較的大きな力を短時間発揮する。疲労物質である乳酸が産生する。
有酸素過程		3.6cal/kg/秒	ほぼ無限大	0.35馬力	小さな力であるが長時間エネルギーを供給続けることができる。

エネルギーの供給過程をみてきたが、次に筋肉についてみてみよう。人間の筋肉を構成する筋繊維は大別して2つに分類される。筋繊維の収縮時間が速いか遅いかにより速筋繊維（FT繊維）あるいは遅筋繊維（ST繊維）とよんでいる。（図2）FT繊維はジャンプ、短距離走、あるいはサッカー、ラグビーなど球技スポーツにおける素早い動作等、短時間の短時間のパワフルな収縮をするときに重要な働きをする筋繊維である。一方、ST繊維は、マラソン、長距離走など長時間で持続的な運動において主に働く筋繊維である。

筋肉を構成するFT繊維／ST繊維の比率は生まれつき決まっていますその比率は人によって違っている。スポーツ選手はそのFT/ST比率によって競技種目の向き不向きが現われる。一流のマラソン選手においてはST比率が80%以上といわれおり、一方短距離選手はFT比率が60%以上である。これからも想像がつくように、少々たとえは古いですが、瀬古選手がいくらスプリントトレーニングをしてもカール・ルイスの様にはなれないし、その反対にカール・ルイスがいくら長距離を走り込んでもマラソンレースで瀬古を追い抜くことはできない。

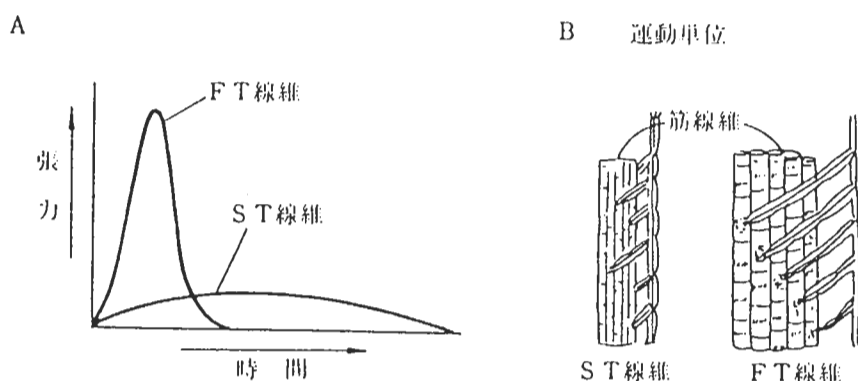


図2 STおよびFT繊維の運動単位

最大張力が発揮されるまでに要する時間はFT繊維はST繊維の約1/3である（図B）その理由の1つとしてFT繊維を支配している運動神経はST繊維の運動神経より大きいことがあげられる（図B）（フォックス）

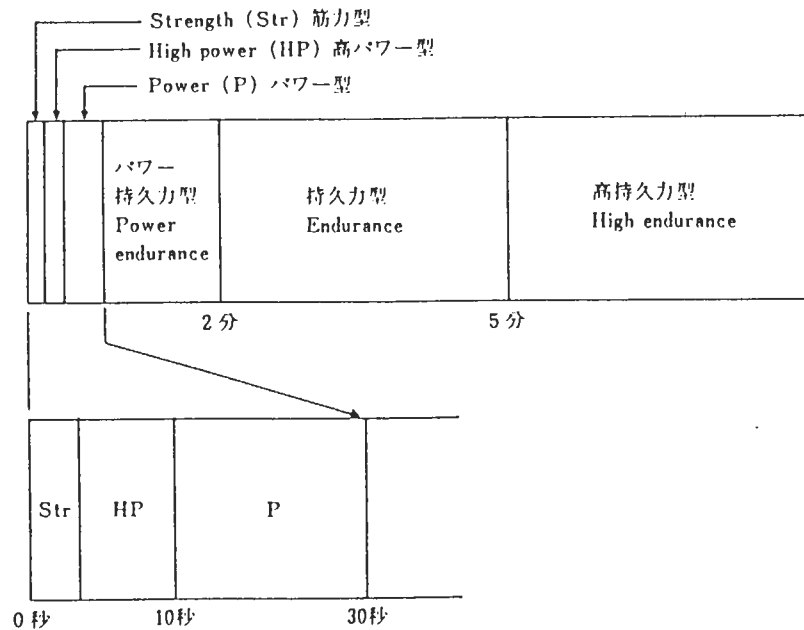


図3 持続時間による運動の分類 (エディントン)

さて、人力ボートのエンジンにはどんな特性が求められるのだろうか。〈図3〉の持続時間の運動の分類に基づいて人力ボートコンテストがどのような競技スポーツに位置付けできるかみてみよう。人力ボートのスプリントレース(200m)ではほとんどの参加チームが2分、決勝レベルのチームは40秒以内でゴールする。これは、パワー持久型に分類される。トップのコギトおよびフェニックスの2チームに至っては30秒を切り競技時間でいうとパワー型の領域に達している。すなわち競技をエネルギー供給過程でみると無酸素過程ですべて終えてしまっている。したがってこの領域では、筋肉量が多くFT繊維比率の高い筋肉を持ったパワフルな選手がよい。自転車の技術にも優れた競輪選手などは最適であろう。(人力ボートはたいてい自転車のユニットを流用しているので、要求されるスキルは自転車競技とほぼ同じである。)

今年から取り入れられた1000mスラロームのレース時間は持久力型の領域にあり、したがって有酸素摂取能力の高い(有酸素過程のエネルギー代謝能力に優れた、ST繊維比率の高い)選手がよい。

それでは、コギトチームのドライバーについてみてみよう。

表2 コギトチーム ドライバーの出身スポーツ

年度	艇のタイプ	ドライバーの構成
1992	排水量型1人乗り	漕艇選手1名
1993	水中翼型2人乗り	漕艇選手1名+自転車選手(ロード)2名
1994	水中翼型2人乗り	漕艇選手1名+自転車選手(ロード)2名
1995	水中翼型2人乗り	漕艇選手1名+自転車選手(ロード)2名

表2のとおりこの3年間構成は変わっていない。実際のコンテストではドライバー3名のうち2名が疲労を軽減するため交替でレースに臨んでいた。漕艇選手は（とは筆者であるが）今では引退しているが過去10年間日本のトップレベルにあった持久型、および高持久型の領域に優れた選手である。また自転車選手はいつでも現役の日常的に高度なトレーニングを積んだやはり高持久型の選手である。無酸素能力と有酸素能力は相反する能力であるが、この点でみると我がコギトドライバースタッフは1000mスラロームについては最適の布陣といえる。しかし、200mスプリントにおいては必ずしもベストとはいえない。

ではなぜ、過去人力ボートコンテストは200mスプリントを中心に行われてきたにもかかわらずコギトチームが勝利を収めてきたのだろうか。艇の圧倒的な性能は言うに及ばないが、エンジンの性能も他の参加チームの水準を超えていてかつ艇の性能を引き出すのに十分な資質を備えていたのではないかと思う。漕艇選手の豊富なレース経験と自転車選手の高いスキルがうまくマッチして成果を生みだしてきた。

一方、これまで他のチームは艇の開発に時間と労力を取られ優秀なエンジンの発掘に手がまわらなかった、あるいは優秀なエンジンは起用したけれども残念ながらボートの性能が十分に開発できなかったのではないだろうか。

コンテストも回数を重ねるにつれレベルが向上しチーム間の差も接近しつつある。エンジンについても若くて能力のある選手を起用するチームが増えてきた。これからはますますチームの総合力の闘いになる。

すでにライバルのフェニックスチームにおいては、スプリントとスラロームにおいてその選手の資質によってエンジンの起用を変えており科学的なアプローチを成功させている。（実際のレースでは1人乗りと2人乗りの性能差でコギトが勝利をおさめているが）今後、スプリントとスラロームでボートのセッティングを変えるように人力エンジンの起用も変えるチームが増えてくることだろう。

#### <参考文献>

公認C級コーチ教本（日本体育協会編）