

イカ型水中移動体(屈曲型側ヒレ推進器を持つ水中移動体)

大阪大学大学院工学研究科

地球総合工学専攻、船舶海洋工学部門

戸田保幸、真田有吾、粉原直人、淡野 将

1. はじめに

本稿では、著者らのグループで研究中のイカ型的水中移動体について紹介する。この水中移動体は生物模倣型の人工物の 1 つである。われわれの属する大阪大学の船舶海洋工学部門には生物模倣型水中ロボットの研究で高名な加藤教授がおられ、胸鰭を模した推進器などを研究されている。加藤教授らのグループは操縦性の高いロボットを作成するためヒレ運動の最適化など多くの研究を積み重ねてきている。図 1 が現在研究に使われている 2 対の胸鰭推進器をもつ水中ロボットで PLATYPUS (かものほし) と呼ばれている。このロボットを用いて充電装置を想定した装置へのドッキングや海洋構造物の監視などに必要な運動の研究が進められている。図 2 がドッキング装置に向かう PLATYPUS である。

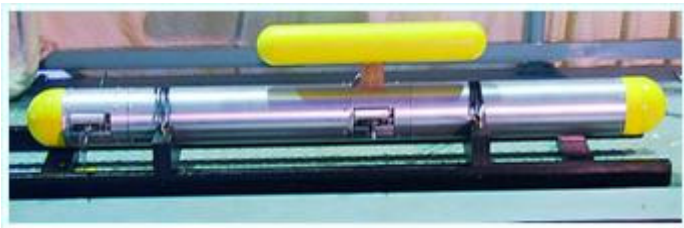


図 1 加藤教授（船舶海洋工学専攻）らの PLATYPUS



図 2 ドッキング装置へ向かう PLATYPUS

加藤教授のほかにも、生物模倣型ロボットの研究が数多くなされている中で、著者らはイカ、エイあるいはカレイなどの

1 つの遊泳モードである側ヒレに進行波を作るように運動させ推進力や方向変化などの運動力を得るタイプのロボットについて数年前から研究してきた。まだまだ水中移動体にカメラ以外のセンサーなどが装備されておらず基礎的な状態でありロボットとはいえないが、水中ロボフェスに参加させていただいた。

2. なぜイカか？

なぜイカかということであるが、料理屋などの水槽に入れているすめイカを見ているうちに以下に示すような特徴があるためこれを海洋観測などの細かい動きが必要な水中移動体に利用してはどうかと思い立ったのが最初である。図 3 に水槽内を泳ぎ回るスルメイカのビデオから 0.5 秒ごとに静止画にしたものを示す。図に矢印で示してあるイカを見ると、左から右に泳いでいたかと思うと、急に逆方向に動き、また円錐状にまとめた足を非常にうまく舵のように使い方向を制御している。水槽内のイカをかなり長時間見てもヒレを上下に動かしているように見えるだけでそれほど動きに変化はないにもかかわらず方向転換をしている。詳細に見るとヒレの各部分の動きの位相を変えて水を送り出す方向を変化させているのがわかる程度である。またイカの本体と足で作った抵抗体と考えられる部分はほとんど進行方向のみに動いておりそれに直角な動きや回転はしていないことがわかった。図 4 にコウイカの遊泳の例を示す。こちらは側ヒレをスルメイカの場合よりさらに波数の多い進行波状の運動をさせ、進行していることがわかる。矢印で示した個体は最初足を前に左から右に(体側の側ヒレは右から左に波の山が進むように運動させている)動いているが、図(3)から鉛直軸周りに半回転し続いて同じ方向であるが、体を前に進行している。このような 2 つの例と、どちらの形状でもかなり大きな個体(たとえばオーストラリアコウイカ)まで確認されているということで、観測用などの水中移動体ではこれまでの複数のスラスターを利用する方法に比べ側ヒレシステムが優位に立てる部分もあるかもしれないと考えたのが始めである。

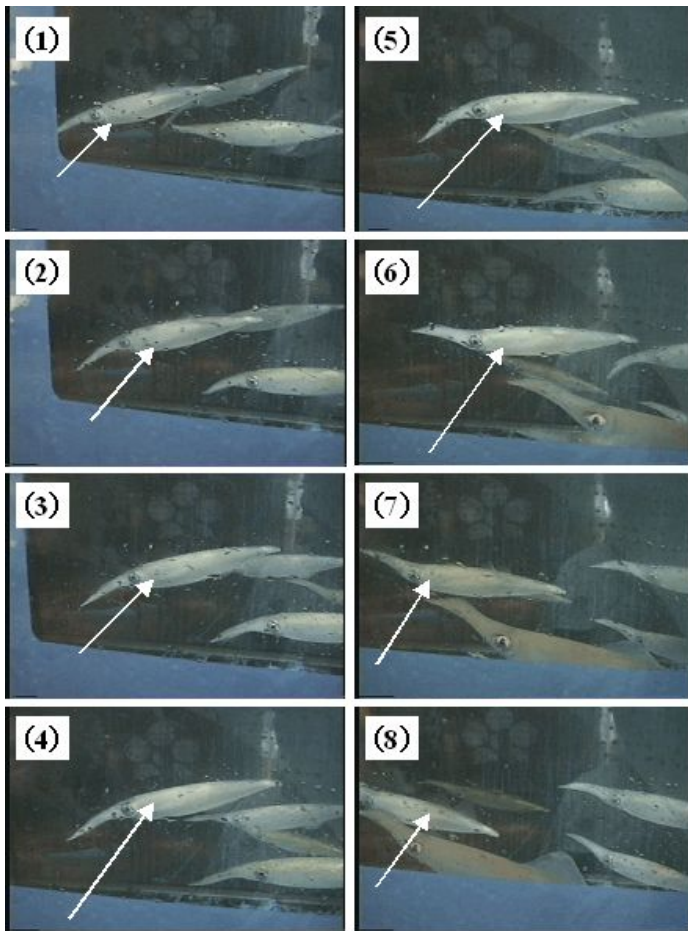


図3 水槽内でのスルメイカの泳ぎ

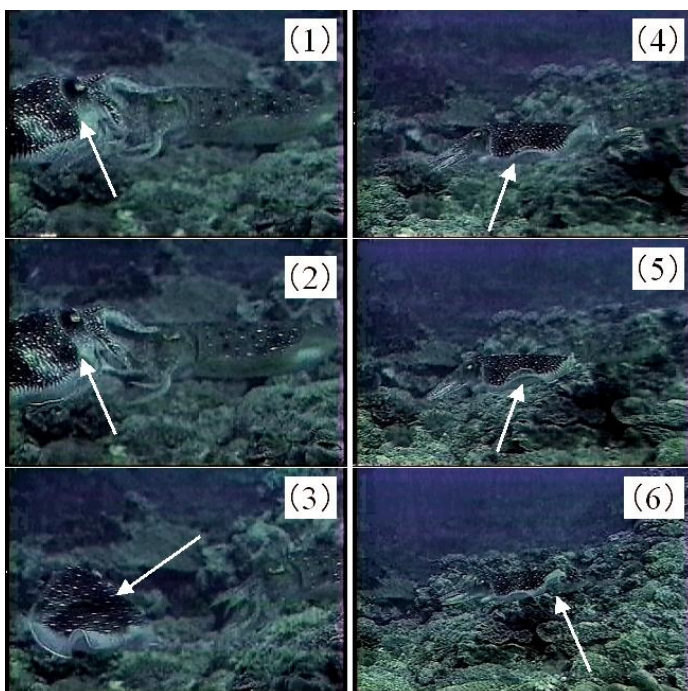


図4 コウイカの旋回運動

これまで示したように、著者らの行っているイカ型水中移動体は、屈曲型側ヒレ推進器を用いたもので、一般によく知られているイカのジェット推進を用いるものではない。これについてはいろいろな場所でお話しするたびよく聞かれることであるが、いくつかのビデオなどをみたところ通常時にイカはそれほどジェット推進を用いていないようである。

3. 研究の推移

前節で見たように、イカやある種のエイあるいはカレイなどのある種の状態における泳ぎのように体の両側についたヒレを進行波状に動かす側ヒレ推進に興味を持ち研究してきた。まずモデル化としては図4に示すようなコウイカの類を考え図5に示すように平べったい抵抗体に側ヒレのついたものを基本に考えることとした。

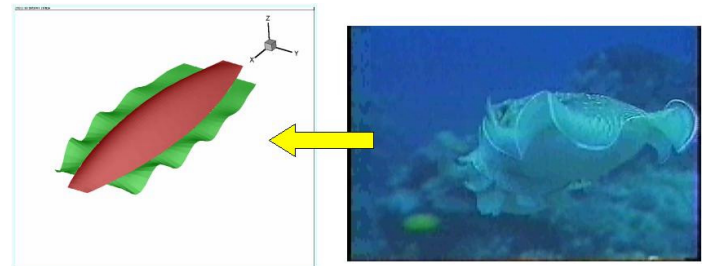


図5 モデル化

これは予備的に行った2次元CFD計算から上下力を完全に消すのは難しく、抵抗体の上下運動などをなくすには図5のような形状にすれば抵抗体部分の上下方向の付加質量(加速度に比例する抵抗で質量が増えたと考えることができる、ただし方向によって異なる)や抗力(速度と同じ位相の力)が大きく進行方向以外の運動が小さくできると考えられたからである。またヒレはどこかの部分を強制的に動かせば流体力との兼ね合いで自然に進行波になるような素材でできているとも考えられるが、カレイなどは多くの骨がヒレにあるので、ヒレの形状は多くの骨に膜が張られた形で骨の運動により形作られるものと考えた。これは多くのヒレ骨を動かす必要があるが、それぞれの骨は単純な支点周りの回転運動で安価なモーターなどで作成可能であり、またいくつかが故障しても大まかな形を作ることが可能と考えたためである。以下これまで作ってきたモデルの概要を示す。

3.1 第0号機

実際のモデルを作って実験することは予算上困難であったので初期にはCFDによる検討を行った。これはコンピュータ内の数値水槽内でモデル化した物体を泳がせてどのようなモデルを作成可能か調査していたということである。

図7が一例で平板の抵抗体にヒレがついたものを基本とし、抵抗体が少し厚みを持ったものなどを計算した。

図6の下に示すようにヒレ先端はあまり動かず後方ほど振幅が大きくなる状態が効率は先端も動かす場合より若干いいことがわかったが、大きな推力のためには先端も動かした

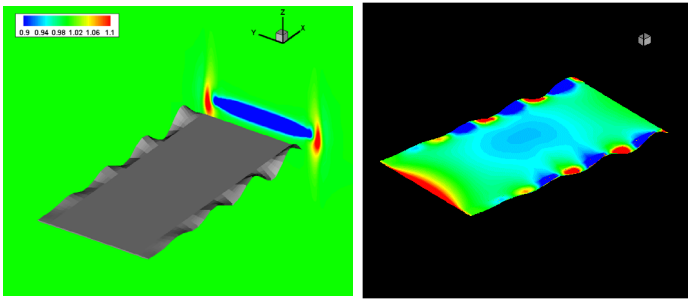


図6 CFDによる結果（第0号機、左：平板抵抗体と進行波運動をする側ヒレ後方の主流方向流速、右：厚みのある抵抗体の場合の表面圧力。どちらもほぼ抵抗体とヒレ全体が自航する状態）無次元化してあらわしたヒレ端部の運動

$$z_{b0} = 0.05x \sin(n\pi t - 8\pi x) \quad n=12$$

ほうがいいことなどもわかった。ヒレのみで考えた効率はプロペラ推進器より小さい50%弱となった(表面積が大きく摩擦が大きい)がこの程度であればほかの利点も大きいと考えられたため、簡単な模型から作成して調査することとした。

3.2 第1号機（スコッチヨークによるヒレ骨の駆動）

最初の模型としては、ムカデのおもちゃなどを参考にして左右1対のモーターを用い、それぞれのモーターによる回転軸に15個のギヤを取り付けそのギヤにより回転するギヤにスコッチヨーク機構を用いて上下運動に変換した。図7にモデルおよび双胴船に取り付け自航させた実験状態を示す。



図7 モデル1：左が機構部、右が双胴船につけた自航試験ヒレ端部 $Z_0 = A_0 \sin(2\pi NT - 3\pi(X/L))$ L :ヒレ長

$$A_0 = \{-0.024((X/L) - 0.5) + 0.0275\}$$

本体に比べて大きいストラットと双胴船模型とともにあるにもかかわらず、3Hzでヒレを動かし0.2m/s強の速度が出た。またモーターの回転方向を切り替える前後進試験では少し時間はかかるがスムーズに前進から後進に切り替わることがわかり、左右のヒレを逆に動かすことによって、重心を動かさずにその場で回頭できることもわかり次のモデルに進むこととした。またこの模型では流体力の計測も行いCFDと比較した結果CFDでかなり推力は推定可能である

ことがわかった。また流場を体積内で計測可能なPTVと比較した結果CFDで流場もかなり推定可能ながわかった。

3.2 第2号機（サーボモーターユニットを並べた模型）

第1号機はスコッチヨークを用いているためさまざまな形のヒレの運動形状を実験で行うには困難が多かった。そこでヒレの骨1本1本を1つのサーボモーター（模型用）で制御する方法を考え図8に示すような防水のユニットを作成しそれを左右それぞれに16個並べたヒレを作成した。作成された模型を図9に示す。ヒレ骨ユニットは図9に示す32本のケーブルで制御コンピュータにつながれさまざまな形状を作ることができる。

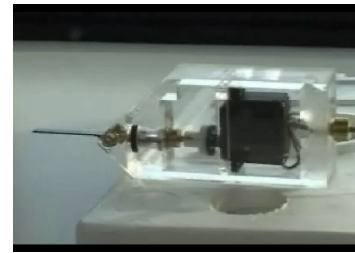


図8 サーボモーターユニット

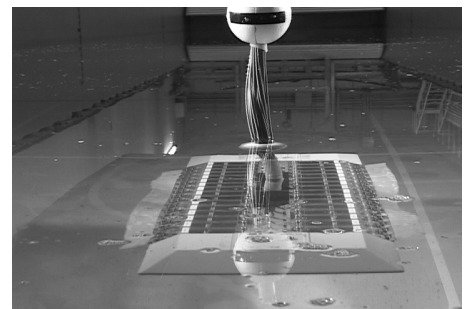


図9 第2号機

このモデルによってヒレが平らな場合の抵抗、ひれの形状の違いによる流体力など計測可能となった。また旋回は非常に大きな旋回角速度が得られることがわかった。

3.3 第3号機

1号機には大きなストラットがつき、2号機には32本のケーブルがついていたため完全に自由な運動をさせることが困難であった。そのため、模型内部にヒレ骨制御用コンピュータを積み込み、さまざまなヒレ運動データを外部コンピュータからの無線によりストアし、それを切り替えるタイミングを外部コンピュータからの命令により行うものを作成した。ヒレユニットは2号機と同じものである。図10に3号機を示す。図にあるフロートが無線装置であり、制御コンピュータからの信号を受ける。図にあるように内部にバッテリーも積み込んでおりこれで約半日走行可能である。また図には見えにくい前章で述べた足に対応する尾ビレもつい

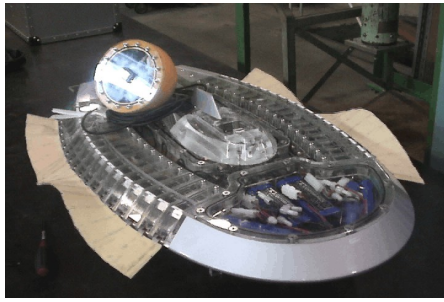


図 10 第 3 号機

ている。この模型では 2 Hz で 0.5m/s 近い速度が出ており、また旋回も早い。また足を使った深さ方向移動や、ヒレのみによる 6 自由度運動などが確認され今後さらに優れた運動性能が出てくる可能性もある、図 11 に内部コンピュータのみによる指定経路追跡を行ったものを示す。これは外部からの制御は開始だけで後の運動はすべて内部コンピュータに蓄えられたデータで指定した経路をたどる実験をしたものでほぼ動くことができる。いくつかの予備実験の後、センサーとして CCD カメラとその照明用 LED、重心の上下移動装置などをつけ、6 自由度方向に様々な動きを可能とした。またゲーム用 Joy Pad での操縦も可能とし様々な動きを行っている。例として図 12 にローリングを行い壁にへばりついて前後進する様子を示す。また図 13 に片側の側ヒレを横方向推進器、片側を舵に使った深さの変更を示す。

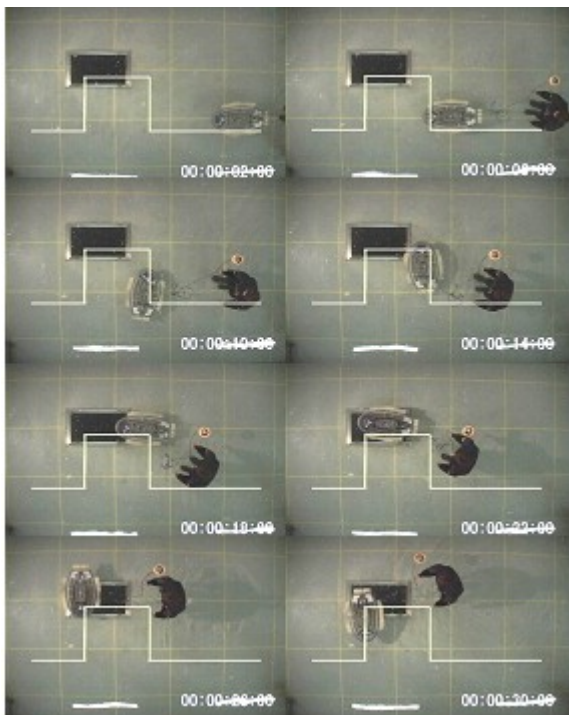


図 11 ヒレ運動データによる指定経路追跡

4 おわりに

以上著者らが行ってきたイカ型水中移動体について示してきたが、動いている映像は下記 Web ページにありますの

でご興味のある方は参照ください。

<http://www.naoe.eng.osaka-u.ac.jp/~toda/>

今回参加させていただきよい経験をさせていただきました。

西村委員長はじめ実行委員の方々に感謝いたします。

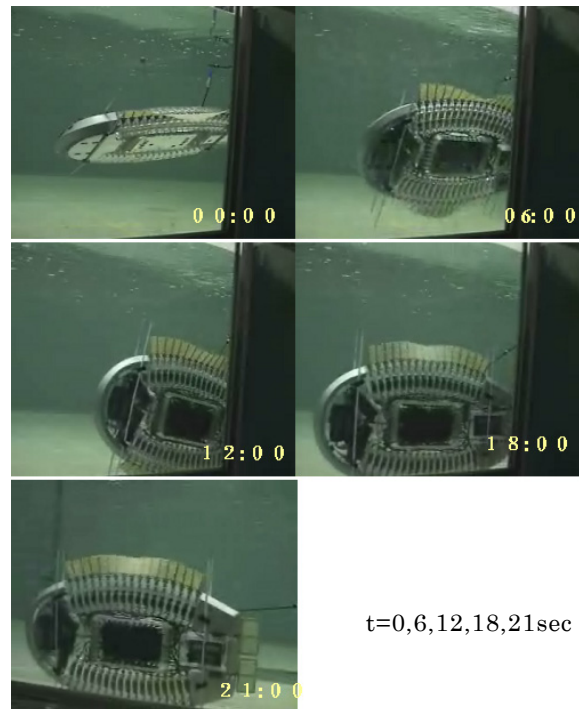


図 12 壁にへばりついての前後進

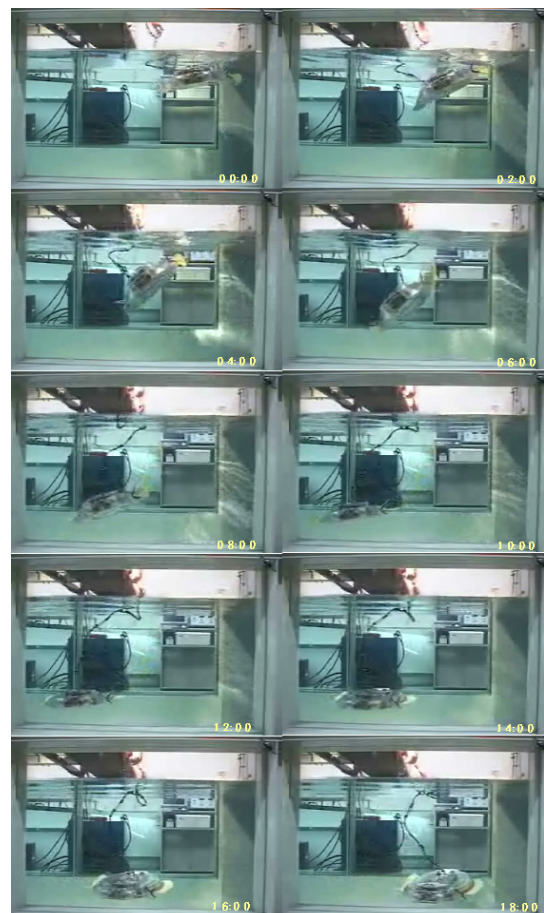


図 13 両側のヒレを用いた深さ変更(左右次が 2 段目左右のように 2 秒ごと。まっすぐ降下も可能であるが抵抗が大きいので前進あるいは横移動可能な幅がある場合はこのように下がるか、回りながら降下するのがよい。)