

旋回性能実験用魚ロボットの基本性能

機関動力部 * 平田 宏一

氷海技術部 滝本 忠教

1. まえがき

魚の泳法を模擬した推進方法は、高速かつ高効率推進の可能性があるため、海中ロボットの新しい推進方法として期待されている¹⁾。また、魚の泳法を模擬した海中ロボット（魚ロボット）が実際の魚と同等の旋回性能を実現できれば、海中探査や生態観測を目的とした海中作業ロボットとしての実用範囲が広がれるものと考えられる。本報では、魚ロボットの旋回方法について検討し、試作した魚ロボットを用いて基本的な運動パターンにおける旋回性能実験を行った。

2. 魚ロボットの旋回方法

実際の魚は胸ひれや腹ひれを利用して巧みに旋回している。本報で述べる魚ロボットは、構造を簡略化し、運動制御を容易にするため、尾柄及び尾ひれの運動だけで旋回させる構造とした。尾柄及び尾ひれの運動を利用する魚ロボットの旋回方法は、図 - 1 に示す 3 種に要約できると考えられる²⁾。

同図(a)は、尾柄及び尾ひれの運動を左右どちらかに偏らせて運動させる旋回方法である。これは、尾柄及び尾ひれが推進力を発生させながら、魚ロボットの頭部及び胴部が船舶における方向舵と同様の働きをすると考えられる。

同図(b)は、魚ロボットを直進運動させた状態から、尾柄及び尾ひれを左右のどちらかに偏らせた状態で運動を停止させて旋回をさせる方法である。

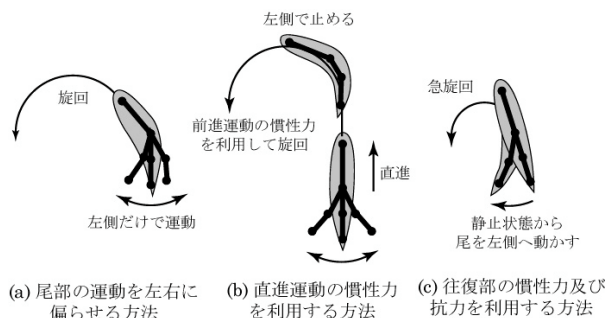


図 - 1 魚ロボットの旋回方法

同図(c)は、魚ロボットを静止させた状態から、尾柄及び尾ひれを左右のどちらかに勢いよく運動させて旋回する方法である。静止時からの旋回が可能であり、旋回直径を最も小さくできると考えられる。

3. 旋回性能実験用魚ロボット

旋回方法について検討した結果、体高が高い体形（側扁形）の魚が急旋回や遊泳速度を変えるのに適していると考えられた。そのため、側扁形の体形を有するタイの体形を参考にして、実験用魚ロボットの形状及び各部の寸法を決定した。

図 - 2 に試作した旋回性能実験用魚ロボットの構造を示す。尾柄及び尾ひれの 2 つの関節は、ラジコン模型用（R/C）サーボモータによって駆動される。運転時には、魚ロボットの上部にバルサ製のフロートを取り付け、一定の深度で遊泳させる。また、尾柄及び尾ひれの運動は、R/C 送信機と D/A コンバータを取り付けたパーソナルコンピュータによって遠隔制御される。

4. 実験用魚ロボットの旋回性能

魚ロボットの旋回方法は図 - 1 に示す 3 種に要約でき、これらの基本的な運動を適切に組み合わせることで複雑かつ多様な旋回を実現できると考えられる。しかし、試作した魚ロボットは、十分な直進速

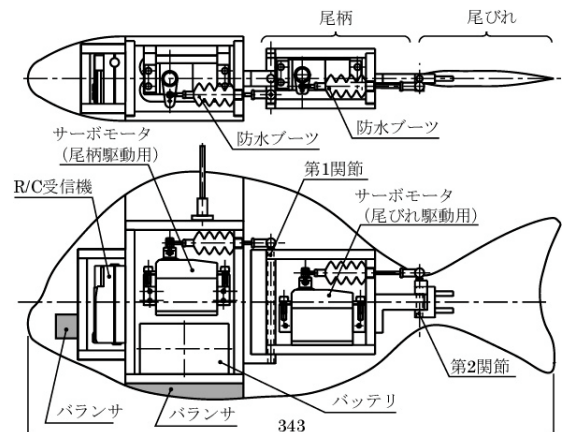


図 - 2 旋回性能実験用魚ロボットの構造

度が得られず、図 - 1(b)に示した方法での実験結果は得られなかった。以下、図 - 1 (a)及び(c) の方法による旋回性能を測定した。

4.1 尾柄・尾ひれを偏らせる旋回方法

尾柄及び尾ひれの運動を左右どちらかに偏らせて運動させる旋回方法において、尾柄及び尾ひれには最も基本的な正弦状の運動を与えた。胴部に対する尾柄の角度 $A_1(\text{deg})$ 及び尾柄に対する尾ひれの角度 $A_2(\text{deg})$ は次式で表される。

$$A_1 = K_a A_{1\max} \sin 2\pi f t + A_{1\max} (1 - K_a) K_i \quad (1)$$

$$A_2 = K_a A_{2\max} \sin(2\pi f t - b) + A_{2\max} (1 - K_a) K_i \quad (2)$$

ここで、 f は周波数、 t は時間、 b は尾柄と尾ひれとの位相差 (90 deg 一定) である。 $A_{1\max}$ 及び $A_{2\max}$ は尾柄及び尾ひれの最大振れ角であり、以下の実験において $A_{1\max} = 30 \text{ deg}$ 、 $A_{2\max} = 40 \text{ deg}$ に設定している。 K_a は振幅の度合いを表す係数 (0 ~ 1)、 K_i は偏りの度合いを表す係数 (-1 ~ 1、直進時は 0) である。

図 - 3(a)に振幅度 K_a に対する旋回直径 D 及び 360 deg の旋回に要する時間 T の実験結果を示す。これより、振幅度 K_a が小さいほど旋回直径 D が減少し、旋回時間 T が長くなることがわかる。これは振幅度 K_a が小さいほど、魚口ボットの推進力が小さくなるものの、尾柄及び尾ひれの偏りが相対的に大きくなるためであると考えられる。また、旋回直径 D は、偏り度 K_i の増大に伴い小さくなるが、偏り度 K_i が時間 T に与える影響はかなり小さいことがわかる。

図 - 3(b)に周波数 f に対する旋回直径 D 及び旋回時間 T の実験結果を示す。これより、周波数 f が高いほど、旋回直径 D が減少し、旋回時間 T が短くなることがわかる。

以上の実験により、周波数 f 、振幅度 K_a 及び偏り度 K_i が旋回性能に及ぼす影響が確認された。これらの特性をうまく取り扱うことで、魚口ボットの高度な運動制御が可能になると考えられる。

4.2 尾部の慣性力及び抗力を利用した旋回方法

図 - 4 は、魚口ボットの尾柄及び尾ひれを右に傾けて静止させた状態から、約 0.5 sec の間に左へ運動させて急旋回させた場合の合成写真である。運動開始から約 1 sec 後には、魚口ボット胴部の旋回角度は約 100 deg にも達しており、この旋回方法は、上述の尾柄及び尾ひれを偏らせて運動させる方法と比べて、かなりの急旋回が可能であることがわかる。

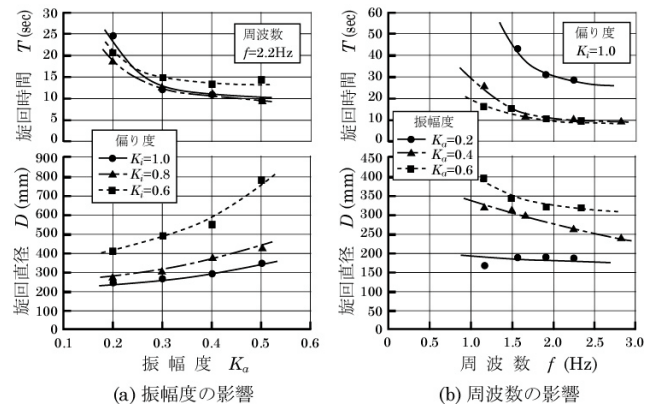


図 - 3 尾柄・尾ひれを偏らせる旋回方法

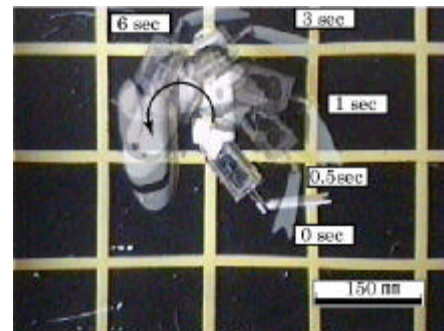


図 - 4 実験用魚口ボットの急旋回

しかも、静止させた状態からの旋回が可能であるため、海中口ボットとしての応用性も高いものと考えられる。しかし、この方法は旋回角度の制御が困難であり、瞬時に旋回させるためには、尾柄及び尾ひれを駆動させるための十分なトルクを有する動力源が必要となる。

5. あとがき

以上、旋回性能に着目した実験用魚口ボットを用いて旋回性能を測定した。それらの結果より、魚口ボットは尾部の運動だけで様々な旋回を実現できることが確認された。これらの特徴を活かした運動制御手法を開発することにより、さらに高度な運動特性が得られ、実際の魚と同等の旋回性能を実現できると考えている。

参考文献

- (1) 永井實, イルカに学ぶ流体力学, オーム社, 1998.
- (2) 平田宏一, 藁科真一: 実験用魚口ボットの旋回性能に関する研究, 日本設計工学会東北支部, 平成 11 年度研究発表講演会(1999), 68-71.