

Title	Study on biomimetic locomotion using oscillatory paired limbs
Author(s)	Sun, Xiaoqian
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/26201">https://doi.org/10.18910/26201</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## Synopsis of Thesis

Title: Study on biomimetic locomotion using oscillatory paired limbs  
(往復運動する一対の肢を用いた生物模倣型運動に関する研究)

Name of Applicant: 孫 小鈺

The utilization of paired biomimetic oscillatory limbs can be taken into account as a means of improving the maneuverability of underwater vehicles concurrently with either fully providing or assisting propulsion. Past researches on mechanical pectoral fins of fish and fore flippers of sea turtle concentrate on certain aspects of them (hydrodynamics, material or shape, for instance) and less work has been done on the compatibility between underwater vehicles and paired oscillating limbs.

In this thesis centering on how to apply paired flexible biomimetic flapping limbs onto underwater vehicles and how to investigate the effects of their locomotion on the swimming performance of their attached bodies, a united methodology is proposed to evaluate the performance of flexible artificial pectoral fins and prosthetic fore flippers from the aspects of (1) material properties and manufacturing of the paired oscillating limbs; (2) 3D kinematics of their movement; (3) the fluid dynamics characteristics. Furthermore, as an extension, this dissertation also discusses the characteristics of pectoral fins from the viewpoint of the effect of fin form and flexibility on the motion control of underwater vehicles by allowing the vehicle to carry out a specific task. On the one hand flexible prosthetic flippers are developed for an injured sea turtle "Yu"; on the other hand a series of flexible pectoral fin research is done specific to PLATYPUS, a biomimetic underwater vehicle. The main conclusions are summarized as below:

1) On prosthetic fore flippers of sea turtles

By observing the motion trajectories of fore flippers, it can be seen that on the horizontal plane parallel to the body of sea turtles, the fore flippers of Sho (a healthy sea turtle) and Yu depict a circular arc with large curvature, but in case of Yu equipped with prosthetic flippers, the projecting trajectory on this plane is a circular arc with small curvature; on the vertical plane from the side view of sea turtles, the projecting trajectories of the fore flippers of Sho and Yu are ovals but in case of Yu equipped with prosthetic flippers the trajectory is similar to an oval with twist at the posterior position for the left prosthetic flipper and at the middle position for the right prosthetic flipper.

The proposed 3D hydrodynamic analysis method based on wing element theory can to some extent evaluate the hydrodynamics of sea turtles' forelimb motion. It shows prosthetic flippers can assist generating thrust but the thrust generated by the right flipper is larger than that generated by the left one. Therefore from the viewpoint of the compatibility between fore flippers and sea turtles, it is better to improve present prosthetic flippers to make both flippers generate equal thrust to make sure that Yu's swimming motion become smooth.

## 2) On pectoral fins of Fish

Straight forward and backward swimming experiments of PLATYPUS verify that flexible pectoral fins can propel the vehicle faster than rigid ones do within the same fin controlling parameters. Iterative computation of spanwise deformation of asymmetric pectoral fins between Finite Element software and wing theory shows that flexible softer fin can generate larger thrust compared to flexible harder fin and rigid fin; lift force plays an important role in generating thrust; the investigation of tip deformation clarifies that spanwise deformation has positive influence on the generation of thrust for pectoral fins.

Point-to-point (PTP) control tests in still water and water currents are employed to investigate the effects of fin form and flexibility on the motion control of PLATYPUS. From turning ability test of PLATYPUS using only rear fins the azimuth fuzzy control range is selected; from swimming ability test of PLATYPUS using only fore fins the distance fuzzy control range is selected. From the PTP control tests in still water and in water currents, it can be said that the compatibility between underwater vehicles and pectoral fins changes under different given conditions. First, for different pectoral fins the suitable controlling scheme of the propulsor is different. Second, asymmetric flexible harder fin can propel PLATYPUS faster in straight forward and backward swimming in still water than asymmetric rigid fin and symmetric rigid fin do, and therefore it also does better in PTP control in still water. But during PTP control in water currents the symmetric rigid one has an advantage over the other two.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 孫 小 鈺 )			
		(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授	加藤 直三
	副 査	教授	戸田 保幸
	副 査	准教授	鈴木 博善

## 論文審査の結果の要旨

往復運動する一対の肢を用いた生物模倣型運動の利用は、水中ビークルの推進力を得るばかりでなく、操縦性を改善することに有効である。胸ひれ運動装置やウミガメの人工ひれのこれまでの研究は、流体力学や構造材料などの一面からのみに集中しており、動物の往復運動する一対の肢の水中ビークルへの適合性に関する研究は少ない。本論では、傷ついたウミガメの人工肢の開発研究や、もう一方では生物模倣型水中ビークルを用いた柔軟胸ひれの研究を通して、どのように往復運動する一対の肢が全体の体の遊泳性能に影響を与えるのか、またどのように動物の往復運動する一対の肢を水中ビークルの運動制御に応用できるのか、を扱っている。これらの問題を解決する統一的な方法として、ウミガメの人工前肢の遊泳性能や人工的な柔軟な胸ひれを、(1)材料特性、(2)3次元運動、(3)流体力学的特性の観点から評価している。さらにその延長として、ひれの形状と柔軟性が水中ビークルの運動制御へ与える影響の面から、胸ひれの特性を議論している。

本論は5章から成り立っている。

第1章では、これまでのウミガメの前肢と魚の胸ひれの運動に関する研究を解説し、本論の目的と全体構成を述べている。

第2章では、傷ついたウミガメの前肢に取り付ける人工前肢の設計と開発に貢献することを目的として、健全個体、左右前肢が傷ついた個体、人工前肢を取り付けた個体の三種類を用いて、前肢の各部分の三次元運動解析と三次元流体力学的解析を行い、特性の差を明らかにしている。三種類のウミガメの前肢の三次元運動解析から、ウミガメの上方から見た水平面内の運動では、健全ウミガメと傷ついたウミガメの前肢は、より大きな曲率の円弧の軌跡を描くが、人工前肢を取り付けたウミガメはより小さな曲率の円弧の軌跡を描くこと、ウミガメを側面から見た鉛直面内の運動では、健全ウミガメと傷ついたウミガメの前肢は長円形の軌跡を描くが、人工前肢を取り付けたウミガメの前肢は8の字の軌跡を描くことを明らかにしている。次に、ウミガメの前肢の各部分の三次元運動解析法と翼素理論を基にしたウミガメの前肢の三次元流体力学的解析法を提案し、ウミガメの3種類の前肢の流体力学的評価を行い、人工前肢を取り付けたウミガメは推力を発生するのに有効ではあるが、左右の推力に差があることがわかり、人工前肢のウミガメへの適合性を高めるためには、左右の推力が同じになるように人工前肢を改良し、滑らかな遊泳の実現を目指す必要があることを述べている。

第3章では、人工胸ひれの柔軟性と翼断面形状の観点から、何種類かの人工胸ひれを設計・製作し、胸ひれ運動装置を前後に二対装着した生物模倣型水中ロボット PLATYPUS に装着し、その遊泳性能の比較・評価を行っている。PLATYPUS を用いた実験では、柔軟な人工胸ひれを用いると剛体の人工胸ひれよりも前進と後進の速度が大きくなることを明らかにし、また、一様な素材を用いた胸ひれの翼長方向の変形に関する構造力学上の有限要素解析と流体力学上の翼理論解析との相互干渉の計算から、硬めの柔軟性を持つ人工胸ひれは、柔らかめの柔軟性を持つ人工胸ひれや剛体の人工胸ひれより大きな推力を発生すること、揚力の大きさが推力の発生に重要な役割を果たしていること、翼

端の変形の調査から翼長方向の変形が推力の発生に寄与していることを示している。

第4章では、生物模倣型水中ロボット PLATYPUS を用い、静止流体中と潮流中で三次元空間に位置するある点からある点への誘導制御 (PTP 制御) の実験を行い、人工胸ひれの翼形状と柔軟性による影響を調べている。ただし、前方の一对の人工胸ひれは距離制御を行い、後方の一对の人工胸ひれは方位角制御を行っている。実験の結果、人工胸ひれの水中ビークルへの適合性は、利用環境によって変わることを明らかにしている。具体的には、異なった胸ひれの翼形状や柔軟性に応じて最適な制御則が異なること、前後非対称で硬めの柔軟性を持つ人工胸ひれを用いると、前後対称または前後非対称で剛体の人工胸ひれに比べ、静止流体中での PLATYPUS の前進や後進の速度が速くなり、PTP 制御の性能も良いが、潮流中では逆に、前後対称で剛体の人工胸ひれが前後非対称で剛体または硬めの柔軟性を持つ人工胸ひれより PTP 制御の性能がよいことを明らかにしている。

第5章では、この論文全体の結論を述べている。

以上のように、本論文は、往復運動する一对の肢を用いた生物模倣型運動について、これまで十分に明らかにされてこなかった往復運動する一对の動物の肢の水中ビークルへの適合性について、傷ついたウミガメの人工肢の開発研究や、生物模倣型水中ビークルを用いた柔軟胸ひれの研究を通して、材料特性、3次元運動、流体力学的特性の観点から、統一的に考察を行ったものである。このように、本論文はこれまでの生物模倣型運動の研究に新しい知見を与えるものと評価される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。