

A Pitot-type Waterflow Sensor System for Biologging of Marine Animals

February 2026

Takuto Kishimoto

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	岸本 卓大
主 論 文 題 名 : A Pitot-type Waterflow Sensor System for Biologging of Marine Animals (海中動物のバイオロギングのためのピトー管型流速センサシステム)					
(内容の要旨) ウミガメやペンギンなどの海中動物のバイオメカニクス研究において、海流に対する相対的な速度である対水速度は、運動や行動解析における重要な指標の一つである。海中動物は長時間の直接観察が困難であるため、センサを装着して行動を記録するバイオロギング手法が広く用いられてきた。従来はプロペラ式流速センサが主に使用されてきたが、可動部を有するため浮遊物や付着物の影響を受けやすく、長期安定計測が難しいという課題に加え、高時間分解能や多軸計測も困難であった。そこで本研究では、水流によって生じる圧力差を筐体内部の差圧センサ素子で検出して流速を算出する、ピトー管の原理を応用した新型流速センサを研究開発した。孔を膜で覆い非圧縮性流体を封入することで、外乱に対して頑健かつ高時間分解能な計測を可能にし、また複数の孔とセンサ素子により二軸計測を実現した。さらに一軸センサシステムを用いた野生ウミガメでの実験により、時間分解能の高い対水速度計測への有効性を実証した。 第1章では、本研究の背景と目的について述べた。 第2章では、提案する一軸ピトー型流速センサの原理、設計、製作について述べた。まず、アカウミガメの遊泳特性からセンサ要件を定め、次に流速センサの計測原理を定式化し、物理モデルを構築した。これらの原理と設計要件に基づき、センサの設計および試作を行った。 第3章では、製作したセンサの基本特性を評価した。まず、センサに圧力差を印加し、実験結果を物理モデルの予測と比較した。次に、水温や加速度などの外乱を印加し、提案するセンサ構造がこれらの影響を効果的に低減することを検証した。最後に、回流水槽で定常流れを印加し、センサ出力を流速に換算する式を導出した。 第4章では、二軸流速センサの原理、設計、および基本特性評価について述べた。センサの物理モデルを踏まえ、流速と流れの向きを推定するニューラルネットワーク構造を用いた回帰モデルを構築した。次に、センサを試作し、回流水槽実験により流速・流向に対するセンサ応答を取得し、得られたデータでニューラルネットワークを学習させた結果、流速と流れの向きを精度良く計測できることを示した。 第5章では、一軸流速センサをバイオロギングシステムに統合し、実環境での検証を行った。まず、水族館でのウミガメ実験により、センサ出力と映像で捉えた遊泳行動との対応を確認した。次に、モータ駆動の釣竿にセンサと従来型プロペラログを装着し、両者の計測した流速を比較して精度を評価した。最後に、野生のアカウミガメにプロペラログと共にシステムを装着し、自然海域でのバイオロギング実験を実施した。両者の計測した流速を比較した結果、センサが野外条件下でアカウミガメの対水速度を高精度かつ高時間分解能に計測できることを実証した。 第6章では、本研究の主な結論および今後の課題をまとめた。					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	☒ "KOU" ☐ "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	Kishimoto Takuto
Thesis Title A Pitot-type Waterflow Sensor System for Biologging of Marine Animals			
Thesis Summary In the biomechanics of marine animals such as sea turtles and penguins, swimming speed relative to ocean currents, known as relative waterflow speed, is a key parameter for evaluating swimming locomotion and related ecological behavior. Because long-term direct observation of marine animals is difficult in their aquatic habitat, biologging methods using sensors attached to animals have been widely used. Conventional propeller-type waterflow sensors are commonly employed; however, their moving parts make them weak to fouling by floating debris, which limits long-term reliability and prevents high-temporal-resolution or multi-axis measurements. To overcome these limitations, this study developed a Pitot-type waterflow sensor that estimates waterflow speed using differential pressure sensor elements embedded in the sensor housing. By sealing incompressible fluid beneath a membrane covering the inlets, the sensor achieves robust and high-temporal-resolution measurements, while multiple inlets and sensing elements enable two-axis velocity estimation. The one-axis waterflow sensor was integrated into a biologging system, which was then used to validate the proposed sensor effectiveness through field experiments with wild sea turtles. Chapter 1 introduces the background and objective of this research work. Chapter 2 describes the principle, design, and fabrication of the one-axis Pitot-type sensor, beginning with requirements derived from sea turtle swimming characteristics and followed by formulation of the measurement principle, physical model, and prototype development. Chapter 3 evaluates the sensor's basic characteristics: differential pressure tests are compared with model predictions, environmental disturbances are applied to confirm robustness, and water tunnel experiments yield an equation for converting sensor output to waterflow speed. Chapter 4 presents the two-axis sensor, introducing its physical model, analyzing pressure distributions, and constructing a neural network (NN) to estimate speed and direction. A prototype sensor is fabricated, tested in controlled waterflows, and the NN is trained with the results, demonstrating accurate two-axis measurements. Chapter 5 presents field tests of the one-axis sensor integrated into a biologging system. Aquarium experiments are performed to verify correspondence between the sensor outputs and the swimming behavior captured in video recordings. Next, a motorized fishing rod test compared waterflow speeds measured by the sensor and a propeller logger. Finally, a biologging experiment is conducted in a natural marine environment by attaching the sensor system to a wild sea turtle. The results demonstrate that the developed sensor system measures the relative waterflow speed of loggerhead turtles under field conditions. Chapter 6 presents the overall conclusions obtained from this research.			