

(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	--

平成 31 年 3 月 26 日  
Year Month Day

## 学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph. D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 (major) 平成 27 年度入学 (Admission year) 学籍番号 15833010 氏名 下野 宗司 印 (student ID No.) (Name) (Seal)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	遠山 茂樹
論文題目 (Title)	水中 3 次元測定器の基礎研究
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese)  本論文では多関節リンク機構を用いた水中位置把握手法である水中 3 次元測定器について以下の基礎的な研究を行ったものである。 <ul style="list-style-type: none"><li>● 水中 3 次元測定器の設計と試作機の開発</li><li>● 水中 3 次元測定器の精度評価と人工ニューラルネットワークを用いた誤差補正手法</li><li>● 水中環境における水圧と流れによる影響の考察</li></ul> 海底資源開発や水中構造物の点検作業をはじめ水中空間への注目が高まっており、水中ロボットの活用が期待されている。水中ロボットによる作業の高度化における重要な技術として位置把握技術がある。水中における位置把握には音響測位装置、慣性航法装置を用いた手法が一般的である。一方で、これら手法は音波の遮られやすい複雑な構造物付近では計測ミスが発生する、時間に伴う位置ドリフトが生じるといった課題がある。このため、多様化が見込まれる水中ロボットの用途に従来手法だけでは対処が難しいことが考えられる。本論文では以上の背景より、多関節リンク機構を用いた水中位置把握手法として、水中 3 次元測定器を提案する。提案手法は水中ロボットと水上に位置する起点の間を多関節リンクで接続した構成をとり、起点からのロボットの位置はリンク機構の運動学より得られる。このため、時間経過に伴う計測値のドリフトがなく、外部環境によらない安定した	

計測が行える利点を持つ。

第1章では水中ロボットとその用途について解説した後、その重要技術の一つとして水中位置把握手法について現状の手法を紹介する。そしてそれらの課題を踏まえた新しい水中位置把握手法として水中3次元測定器を提案する。

第2章では水中3次元測定器のリンク機構の設計について述べる。リンク機構に必要な機能としては、関節角度計測、関節駆動、通信機能、さらに耐水圧、防水機能が求められる。水中機器で一般に用いられる耐圧、防水技術について紹介する。提案手法のリンク機構をこれらの機能を備えた関節モジュールを複数連結した構成と定義し、関節モジュールの構造を示す。またリンクを円筒とした場合に水中で受ける水圧に耐える寸法を評価する。続いて、関節角度の計測分解能から生じる位置計測誤差について考察する。

第3章では第2章で示した構造を持つリンク機構の試作機について解説する。試作機は全長1.9m、5関節を持つ。関節角度はロータリエンコーダにより計測され、CAN通信を通じて水上機器に値が伝送される。各部は防水構造をとり、水中での使用が可能となっている。

第4章では試作機の計測精度の評価と人工ニューラルネットワークを用いた誤差補正手法について述べる。まず、DH記法に基づく運動学を試作機について構築した。そして、既知座標の計測実験により運動学のキャリブレーションと精度評価を行った。計測実験は水中および陸上で行い、両者の差を考察した。続いて、計測精度を向上させるため、人工ニューラルネットワークを用いた運動学の誤差補正手法について述べる。構築したネットワークは試作機の関節角度情報と運動学の計測誤差により学習を行った。学習済みのネットワークにより、計測誤差は51.0%低減された。また、ネットワークの構成及び学習データ数を変化させた場合の誤差補正性能の変化について述べる。

第5章では水中環境より水中3次元測定器が受ける水圧および流れの影響について考察する。水圧による影響にはリンク構造のひずみによる計測誤差がある。リンクを鉛直に水中に挿入した場合を想定し、その時に受ける水圧で生じるリンクひずみによる計測誤差を評価した。流れのある水中で計測を行う場合について、リンクを能動駆動する場合と受動関節とした場合の流れによる抗力の影響を評価した。能動駆動に必要なトルクを流速、リンク長ごとに求め、能動駆動可能な条件を考察した。また受動関節とし、水中ロボットでリンクが受ける抗力を受け持つ際に必要な推力を計算し、現有の水中ロボットの発生推力との比較を行った。

第6章では本研究の成果をまとめるとともに、今後の研究課題として、実運用を考えた多数の関節をもつリンク機構のキャリブレーション方法、またリンク機構の収納および展開を行う水面の支援装置の必要性を挙げる。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

This paper reports the fundamental study on the underwater positioning system using multi-joint serial link. The system consists of an underwater robot and a serial link. The link is connected between the robot and a base point positioned on the water surface. The position of the robot from the base point is obtained by kinematics of the serial link.

In chapter 1, the research background is described. Firstly, the overview of an underwater robot is explained. Then, underwater positioning methods are focused, and the acoustic positioning method, inertial navigation method, and other methods are explained. Based on some problems included in these methods, a novel underwater positioning method using a serial link is proposed.

In chapter 2, the design of the serial link is explained. The required functions for the link are joint angle measurement, communication to the water surface, and joint drive. Furthermore, pressure-tight and water-proof functions are also required. The structure of the serial link is defined as connecting multiple link modules which have the above functions. The design of the link module is explained. Then, position error due to joint angle measurement error is evaluated.

In chapter 3, the experimental model of the serial link is explained. Its length is 1.9m and has five joints. Joint angles are measured by encoders and angle information is transmitted to the water surface equipment through CAN communications.

In chapter 4, the evaluation of positioning accuracy and error compensation methods are described. Firstly, the kinematics of the experimental model is constructed based on DH notation. Then, its calibration and evaluation of positioning accuracy are conducted with experiments that measure known positions. The experiment was conducted both underwater and in the air, and their differences are discussed. To improve position accuracy, an error compensation method using an artificial neural network is constructed, and it reduces 51.0% of the position error.

In chapter 5, the influence of water pressure and water current when the proposed system is deployed to the actual environment is discussed. The position error due to the strain of the link caused by water pressure is discussed. Then, the effect of water current when the link joint is active or passive is evaluated.

In chapter 6, chapters 1 to 5 are summarized, and future works are shown. As future works, the calibration method for the serial link which has a large number of joints, and water surface equipment that manages the serial link are discussed.