

氏名	い お い きよし 五 百 井 清
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2431 号
学位授与の日付	平 成 3 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	水 中 マ ニ ュ レ ー タ の 運 動 と 制 御 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査)  
 教 授 得 丸 英 勝 教 授 吉 川 恒 夫 教 授 赤 松 映 明

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、水中マニピュレーターの機構設計と制御方式を論じたものであり、6章からなっている。

第1章は緒論であり、研究の動機と目的、従来の研究との関連等について述べている。

第2章は水中マニピュレーターの設計・制御を行う上で最も基本となる力学モデルの構築を行っている。

水中マニピュレーターの運動方程式系の導出は Newton-Euler 力学を用いた地上のマニピュレーターの運動方程式系に集中力として流体抗力、流体揚力、浮力を取り入れ、また付加質量、付加慣性モーメントを導入することによってなされている。これに基づき、順動力学解析および逆動力学解析の可能なシミュレーションシステムを作成している。本システムはマニピュレータの手先と対象物との簡単な接触問題も取り扱えるようになっており、またヤコビ行列の自動生成機能、慣性行列の計算機能も持っている。さらに、水中構造物に起因するカルマン渦の影響をも取り入れ得るようになってきている。慣性行列の計算機能は第3章の可変ゲインの決定に有効に利用される。

第3章では、マニピュレーターの位置や姿勢の変化にともなう各アームの制御ゲインの決定法について論じている。本論文で取り扱っている水中マニピュレータは、各関節に油圧揺動モータが直接取り付けられたダイレクトドライブ構造のため、バックラッシュが少なくトルク制御が行いやすい反面、位置・姿勢の変化による慣性モーメントの変化が制御系に与える影響が大きく、マニピュレータの可動範囲全域にわたって制御系のゲイン調整を綿密に行う必要が生じる。このゲイン調整はアームの位置・姿勢の変化に応じて時々刻々行う必要があるため、特性方程式の根配置を用いる方法ではなく、閉ループ伝達関数とその相補伝達関数、干渉指数を用いる簡便な方法を考案している。この妥当性を非線形シミュレーションと実験によって確かめている。

第4章では、水中で外乱の補償を行ないながら位置と力のハイブリッド制御を行う制御系を提案し、その有効性を実験により確かめている。従来提案されていたハイブリッド制御法は位置サーボの閉ループの代わりに速度サーボの閉ループを使って構成されており、このためヤコビ行列の逆行列を計算する必要があり、また通常的位置サーボへの復帰が難しいという問題点があった。そこで、位置と姿勢の順変換を有

効に使用する手法でハイブリッド制御系を構成し、これらの問題点を解決している。また、動揺外乱補償も自然に取り入れることが出来ることを示している。提案した外乱補償型のハイブリッド制御法を6自由度水中マニピュレータに適用し、その有効性を検証している。

第5章では、遠隔操作法の一つであるマスタスレーブ・マニピュレータシステムについて論じている。最初に、操作しやすいマスタマニピュレータの構造を力学的側面から解析し、すべての方向に同じ質量特性を持つマスタマニピュレータが好ましいことを示し、その設計法を提案している。さらに、マスタマニピュレータの操作範囲中心の設定について論じている。

ついで、マスタアームとスレーブアーム間の変位や力の倍率を自由に変更出来るようにすることを目的として、操作部の静的な力のバランスのみでなく動的な力のバランスも考慮した異構造マスタスレーブシステムの構築を行っている。この制御方式として、これまで提案されている対称型、力逆送型および力帰還型のバイラテラル制御方式を統合化したシステムを構成している。このマスタマニピュレータを使用したバイラテラル制御方式の力感覚の操作試験を行い、良好であることを実証している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は水中において作業を行うマニピュレータの機構設計ならびに制御系設計を論じたものであり得られた主な成果は次の通りである。

1. マニピュレータの運動方程式は大きな非線形性を有する。しかも、水中において作業する場合流体力が作用する。流体力は付加質量テンソル、付加慣性テンソル、浮力、揚力、抗力の形で導入し、逆動力学解析、順動力学解析の可能な運動方程式及びそのシミュレーションシステムを構築した。ここで、逆動力学解析とはアームの動きが与えられたとき関節に加えるべきトルクを求めることであり、マニピュレータの強度設計、機構設計の支援には必須のものである。本システムは固着脚の動揺、水中構造物から発生するカルマン渦の影響等をも取り入れられるようになっており、マニピュレータの精密作業が考慮が払われている。

2. 水中マニピュレータは地上マニピュレータに較べて脚の動揺が大きい。このような環境の下で精密作業を行わせるため、動揺補償の容易な手先位置・力ハイブリッド制御方式を考案している。しかも、ここで考案された方式は、手先が対象物から離れたとき位置・姿勢制御へのモード変更が容易なものとなっている。

3. マニピュレータの自律作業が困難な場合を想定して、マスタスレーブシステムについて研究し、操作性の観点から全方向等慣性マスタアームの設計法を提案し、またマスタアームとスレーブとの位置及び力の倍率を自由に設定できる異構造マスタスレーブシステムを提案している。

以上の成果により、本論文は学術上、實際上寄与するところが少なくなく、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成2年10月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。