

氏 名	くりすまさみつ 栗 栖 正 充
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1495 号
学位授与の日付	平成 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科機械工学専攻
学位論文題目	ロボットによる押し作業に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 吉川恒夫 教授 片井 修 教授 土屋和雄

### 論 文 内 容 の 要 旨

ロボットが手先効果器やロボット本体より大きい物体を移動させる場合、その物体を押し移動させるという押し作業が有効となる。また、運搬作業を押し作業で行う場合、移動マニピュレータと呼ばれる移動機能を有するロボットアームの使用が適しているが、移動マニピュレータが与えられた様々な作業を高速かつ効率的に遂行するためには適切な軌道計画法と制御法が必要である。本論文はロボットによる自律的な押し作業の実現方法の確立、および移動マニピュレータの動的な制御とそのための軌道計画法の確立を目的として行った研究をまとめたものであり、第 1 章から第 7 章までの各章で構成される。

第 1 章は序論であり、ロボットによる押し作業ならびに移動マニピュレータに関する研究の現状を述べるとともに、本論文の研究目的および内容を概説している。

第 2 章では押される対象物に生じる運動を知るためには対象物の底面にはたらく摩擦力を知る必要があるという考えに基づき、まず底面にはたらく摩擦力をモデル化するものとして摩擦力分布を定義している。つぎに対象物に加わる力と摩擦力分布との静力学的な関係を明確にし、対象物を数回押すことによって摩擦力分布を推定する方法を提案している。最後に推定法の有効性を数値例および実験により示している。

第 3 章では摩擦力分布が既知であり対象物が移動しても変化しないという仮定の下に、押す点を変更せずに対象物を目標位置、目標姿勢まで 1 本のアームで押し移動させるための対象物の軌道を計画する手法を提案している。まず対象物に関する運動学的拘束より系の状態方程式を記述し、さらにアームの手先が対象物に対して滑らないための条件、対象物が障害物に接触しないための条件などを定式化している。つぎにそれらに手先の道のり、速度の分散などを指標とした評価関数を加えることにより、軌道計画問題を最適制御問題に帰着させ、その問題を共役勾配法を用いて数値的に解くことにより対象物の軌道を得ている。

第 4 章では前章と同じ仮定の下に、押す点の複数回の変更を許した押し操作で対象物を移動させる作業を計画する手法を提案している。まず対象物から見た押す点の位置と速度の方向を固定することにより、

対象物の移動経路を直線経路および円弧経路に限定し、それらの経路の組み合わせの中から対象物を押す回数や対象物が移動する道のりなどを最小とする経路を選ぶという問題として、押し作業の計画問題を定式化している。ついで、この問題の解法について述べ、数値例により押し作業の計画例を挙げ検討を行っている。

第5章では摩擦分布が変化しないという仮定が成立しない実環境において、対象物を計画した軌道に沿って移動させるための制御法を提案している。まず対象物の運動が独立二輪駆動型移動ロボットの運動と近似的に同等とみなすことができることを示し、ついで、この同等性を利用し対象物を目標軌道に追従させる制御則を導いている。また、その有効性をシミュレーションにより示している。さらに移動マニピュレータの制御則、目標軌道の与え方について述べ、最後に移動マニピュレータによる押し作業の実験を行い、提案する手法の有効性を検証している。

第6章では動特性を考慮した移動マニピュレータの軌道計画法ならびに力制御の一手法を提案している。まず移動マニピュレータの状態方程式ならびに手先や台車に関する制約式を導出し、それらにマニピュレータの作業性や手先の操作力の方向などを指標とした評価関数を加え、軌道計画問題を最適制御問題として定式化し、その問題を数値的に解くことにより移動マニピュレータの軌道を得ている。さらに手先の位置と力および台車の位置を同時に制御する動的ハイブリッド制御法を提案し、軌道計画法によって生成した軌道を用いて実験を行い、軌道計画法の有効性ならびに動的ハイブリッド制御法の有効性を検証している。

第7章は結言であり、本論文の研究成果を要約し、将来の研究課題について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文はロボットによる自律的な押し作業の実現方法の確立、および移動マニピュレータの動的な制御とそのための軌道計画法の確立を目的として行った研究をまとめたものである。押し作業においては、ロボット自体よりも大きな対象物を扱うことを考え、対象物を1点で押す方法を採用し、移動マニピュレータによる押し作業の実現を目指している。得られた主な成果は以下の通りである。

1. 押される対象物の運動は対象物の底面と床面との間に生じる摩擦力の分布に依存するが、対象物を数回押すことでこの摩擦分布を推定する方法を提案している。
2. 摩擦分布が既知で変化しないという仮定の下に、1本のアームによる押し作業において、押す点を変更せずに対象物を目標位置、目標姿勢まで移動させるための対象物の軌道を計画する手法を提案している。
3. さらに、押す点の複数回の変更を許した押し操作で対象物を移動させる作業を計画する手法を提案している。
4. 摩擦分布が変動する可能性のある実環境において、対象物を計画した軌道に沿って移動させるための制御法を提案し、移動マニピュレータを用いた押し操作実験によりその有効性を検証している。
5. 移動マニピュレータの別な作業として手先を壁に押しつけながら移動する作業を対象とし、動特性を考慮した移動マニピュレータの軌道計画法、ならびに手先の位置と力および台車の位置を同時に制御す

る移動マニピュレータの動的ハイブリッド制御法を提案し、実験によりそれらの有効性を検証している。

以上、本論文はロボットによる押し作業の自動計画法とその実行方法、および移動マニピュレータの動的な軌道計画法と力制御法を提案したもので、得られた成果は学術上、実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成8年1月23日に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。