

京都大学	博士 (工学)	氏名	YAO QIANG
論文題目	A Nonholonomic Parallel Mechanism and Body Motion-Based Leader-Follower Operation Methods for Mobile Manipulators (作業移動型ロボットの非ホロノミックパラレル機構と身体動作に基づくリーダー・フォロワー操作法に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、作業移動型ロボットを対象として、非ホロノミック機構を利用することでモータ数よりも多くの自由度を制御可能なパラレル作業移動型ロボットを提案し、また、身体動作を用いたリーダー・フォロワー操作法に注目し、ロボット操作時の視点変化の影響や足指利用時の操作性を調査し、それらについて論じた結果をまとめたものであって、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、作業移動型ロボットについて概説するとともに、従来のパラレル作業移動型ロボットやその操作法に関する現在および将来的な課題について説明している。また、これらを踏まえ、本研究の目的および論文の構成について述べている。</p> <p>第2章では、パラレル作業移動型ロボットについて、非ホロノミック拘束を有する2台の2輪独立駆動車、3組のねじ対偶、3組の回転対偶、1つのプラットフォーム、およびそれらをつなぐリンクから構成される単ループ型の新機構を提案している。本機構は4個のモータにより駆動車が平面上で運動することによって、プラットフォームの空間6自由度運動を制御可能にしており、従来の作業移動型ロボットよりも少ない数のモータで構成できる利点を有する。本機構について解析を行い、プラットフォームと駆動車の位置・姿勢に関する幾何学関係式を導出した。本機構を移動可能なパラレル機構として扱い、幾何学関係式から逆運動学方程式を導出した。特異点の解析を行い、駆動車の中心点を通る直線が中央のねじ軸の中心軸の床面に対する射影に直交する場合に第2種特異点となることを明らかにした。また、拘束が失効する姿勢が存在することを指摘し、プラットフォームの姿勢角を制限することで拘束が失効する姿勢と第2種特異点を回避できることを示した。駆動車が非ホロノミック拘束を受けること、ねじ対偶の可動範囲に制限があることなどの条件を満足しながら任意の初期状態から任意の目標状態に到達するための経路計画法を提案している。本経路計画ではプロセスを4つのステップに分けており、各ステップにおいては4個以下の出力変数を主に変化させつつ他の出力変数をほぼ一定の値に保持することで、4つのステップが終了した時点で6つの出力変数が全て目標値に到達するようにしている。また、外乱が存在する状況下でも定められた経路に沿った運動を可能にするため、経路追従フィードバック制御システムを構築している。シミュレーションと実機を用いた実験を行い、提案した機構や経路計画法および制御システムの有効性を実証している。</p> <p>第3章では、作業移動型ロボットの操作において操作者から見たロボットの姿勢が変化することに注目し、視点変化が操作性に与える影響について調査している。仮想空間内で仮想ロボットハンドを操作する評価システムを構築し、上肢の動作によりロボットを操作する操作法とボタン式デバイスを用いた操作法に対して視点変化が与える影響を実験を通じて定量的に評価している。リーチングタスクを対象として実験を行い、どの視点角でも上肢の動作を用いた操作法はボタン式操作法よりもタスク終了に要する時間が短いことや、主観的操作性が高いことを示した。また、操作指令を出している操作時間と、それを出していない非操作時間に分解して解析を行い、どの視点</p>			

角においても上肢を用いた操作法はボタン式操作法よりも非操作時間が短く、その差が大きいことを示し、このことが2つの操作法のタスク終了時間に違いがある主な理由であることを明らかにした。また、ボタン式操作法で非操作時間が長い理由について検討し、ボタンの位置を観察してどのボタンを押すかを考える時間が必要となることなどを論じている。ボタン式操作法について試行錯誤の回数を分析し、位置操作では試行錯誤の回数に視点角によって有意差があったが、姿勢操作では有意差はないことを明らかにした。姿勢変化では正逆のどちらの方向に回転しても目標姿勢に到達できることが原因であると論じている。ファジー推論に基づく動作の理想度を評価し、上肢を用いた操作法では視点角が変わっても理想度の変化は小さいこと、どの視点角でも位置操作が姿勢操作よりも理想度が高いことを示した。

第4章では、上肢以外の身体部位の動作を用いた操作法として足指の屈曲動作と伸展動作を用いた操作法に着目し、その操作性を実験的に調査している。装着しやすいこと、指の動作に柔軟に対応できること、足指と手指の動作を同様に計測できることを考慮してワイヤ式センサを用いた操作デバイスを開発した。これを用いて足指（母趾・第二趾）および手指（示指・中指）に対し1本または2本の指を用いたときの操作性をリーチングタスクを通じて評価している。これにより手指と足指の操作性の差異を定量化した。1本の指を対象とする場合、足指の母趾と第二趾の操作性に大きな差がないことや、第二趾を操作に用いる場合は可動域の端付近から中央付近に向かって伸展する際にその反対方向動作と比べて操作性が低くなる傾向があることを明らかにした。2本の指での実験として一方の指を可動範囲の中央付近に位置したままで他方の指で操作をする実験を行い、1本の指で操作する場合に比べて足指と手指の操作性の差が大きくなることや、第二趾を可動域の端付近まで伸展する場合に操作性が低くなることを明らかにした。

第5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。

氏 名

Y A O Q I A N G

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、作業移動型ロボットを対象として、非ホロノミック機構を利用するパラレル作業移動型ロボットの提案、解析、および実験を行うとともに、身体動作を用いたリーダー・フォロワー操作法の視点変化の影響や足指利用時の操作性を実験的に調査したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 非ホロノミック機構を利用することで空間6自由度運動を4個のモータで制御可能なパラレル作業移動型ロボット機構を提案している。本機構の運動には非ホロノミック拘束、運動学的特異点、ねじ対偶の可動範囲といった条件が作用することを指摘し、それらを満足しながら任意の初期状態から任意の目標状態に到達するための経路を与える経路計画法を提案している。また、定められた経路に追従するためのフィードバック制御システムを構築している。シミュレーションと実験により、提案した機構および経路計画法の有効性を確認している。
2. 作業移動型ロボットの操作における視点変化の影響を評価する評価システムを構築し、上肢の動作を用いた操作法とボタン式デバイスを用いた操作法に対して実験的調査を行っている。計測された挙動を分析して複数の評価指標を提案し、両操作法の特徴について比較した結果、上肢の動作を用いた操作法は非操作時間が短くなる点で操作性に優れることや、視点変化はボタン式デバイスを用いた操作法における位置操作に影響することを明らかにしている。
3. 足指の屈伸動作を用いた操作法について、ワイヤ式センサを用いた操作デバイスを開発して実験を行い、手指との比較を通じてその操作性を評価している。その結果から、1本の指で操作する場合と2本の指で操作する場合のそれぞれで手指と比した足指の操作性を評価し、2本の指で操作する場合は足指と手指の操作性の差が大きくなることを明らかにしている。また、1本指と2本指の場合で指の屈伸する方向と位置に対する操作性が異なることを明らかにしている。

以上のように本論文は、パラレル作業移動型ロボットの新機構および経路計画法を提案し、また、身体動作を用いた操作法の特性を解明しており、移動作業型ロボットの分野において、学術上、實際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、令和5年2月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 学位授与後即時公表可