

| | | | |
|---|--|----|------|
| 京都大学 | 博士 (工学) | 氏名 | 龍 四宮 |
| 論文題目 | Screw-theory-based Synthesis Method and Dynamic Behavior Study of Wheeled Mobile Robot (車輪式移動ロボットのスクリー理論に基づく総合法と動力学の挙動に関する研究) | | |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、車輪式移動ロボットである車輪式移動装置とモバイルパラレルマニピュレータ (Mobile parallel manipulator, MPM) を対象として、要求される運動自由度を実現できる機構を包括的・理論的に導出するためにスクリー理論に基づく機構総合法を構築し、また、全方向移動装置の動的挙動を解析してコーナ走行戦略やローリング特性を分析し、それらについて論じた結果をまとめたものであって、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、車輪式移動ロボットについて概説し、その運動学や動力学に関する先行研究と未解決の課題について説明している。そして、これを踏まえて本研究の目的および本論文の構成について述べている。</p> <p>第2章では、要求される運動自由度を実現する車輪式移動装置の車輪構成を包括的・理論的に導出する機構総合法がないという課題を解決するため、スクリー理論に基づく車輪式移動装置の機構総合法を提案している。車輪を回転対偶と滑り対偶の組合せとみなし、車輪と地面および移動装置フレームをパラレルリンク機構とみなすことで、車輪からフレームにかかるレンチや必要となる車輪のツイストを算出し、適した車輪の種類と組合せを理論的に導出する方法を構築している。また、スクリー理論を用いて移動装置の運動学方程式を導出する方法を提案している。3自由度2輪型全方向移動装置に提案した機構総合法を適用して、要求を満足する車輪の組合せと移動装置の運動学方程式を理論的に導出し、その有効性を示している。</p> <p>第3章では、前章で提案した車輪式移動装置の機構総合法を拡張することで、スクリー理論に基づく6自由度MPMの機構総合法を提案している。本総合法はモバイルベースの機構総合と、連鎖の機構総合、および駆動ユニットと連鎖の連結方法の検討から構成されている。モバイルベースの機構総合は前章の方法を用いている。連鎖の機構総合法は、駆動ユニットと出力プレートをつなぐ3つの連鎖が同じ対偶の組合せから構成されていることと、駆動ユニットの相対運動が出力プレートの平面内3自由度運動を生じさせず、2方向への傾きと上下運動のみを生じさせることを条件として構築されている。出力プレートへのレンチが4種類に分類できることを示し、特異姿勢を利用する方法あるいは連鎖を追加する方法によって出力プレートの3自由度運動を実現できることを示している。駆動ユニットと連鎖の連結方法の検討では、出力プレートにかかるレンチの数と連鎖の過拘束状態を考慮すると連鎖構造を3つに分類できることを明らかにし、それに基づいて連鎖の末端対偶を適切に拘束する方法を示している。提案した機構総合法を用いることで、新しい機構を含む複数のMPM構造を理論的に導出している。</p> <p>第4章では、全方向移動装置が1つのコーナを有する通路を走行する際に走行時間を短くする走行戦略について論じている。4つのオムニホイールから構成される全方向移動装置が車輪と地面の間に滑りを発生させない駆動条件下で走行することを前提として動力学モデルが構築されている。全方向移動装置が任意の方向に移動できることを考慮して、姿勢変化をコーナリングの前にするか、後にするか、コーナリング中に</p> | | | |

| | | | |
|--|---------|----|------|
| 京都大学 | 博士 (工学) | 氏名 | 龍 四宮 |
| <p>するかという点から分類した 3 つの走行フォームを設定している。また、各走行フォームについて、コーナ通過後に走行経路が通路中央線を越えるか否か、通路境界線に接するか否かなどで分類して走行パターンを設定している。それらのフォームとパターンの組合せに対して動力学解析を行い、通路通過に要する時間を評価している。様々な通路幅とコーナ角度、通路長の条件について解析を行い、それらの通路条件に対して走行時間を短くするフォームとパターンの組合せを明らかにしている。</p> <p>第 5 章では、2 つの 2 層式アクティブオムニホイールを有する全方向移動単軌道車のローリング特性を分析している。ホイールの左右のローラの片方が地面と接触する場合と、両方が接触する場合、およびどちらも接触しない場合に分けた動力学モデルを考え、運動方程式を導出して解析を行っている。この結果、この単軌道車はある速度範囲内ではロール方向に転倒することなく走行できること、初期状態でロール方向に傾きがあっても転倒せずに走行できることを明らかにしている。この際のロール運動を分析し、ロール角変化が短周期と長周期の運動から構成されていること、左右のローラの地面との接触の切り替わりが本現象を引き起こすことを明らかにしている。また、速度が高くなるとローラと地面が接触しない時間が増加し、単軌道車が倒れやすくなることを示している。全方向移動単軌道車を用いて実験を行い、走行時にロール方向の倒れを戻す現象が生じることを確認している。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について述べている。</p> | | | |

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、車輪式移動ロボットである車輪式移動装置とモバイルパラレルマニピュレータ (Mobile parallel manipulator, MPM) の機構総合法を提案するとともに、全方向移動装置の動的挙動を解析してコーナ走行戦略やローリング特性を分析したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. スクリュー理論に基づき、要求される運動自由度を実現できる車輪式移動装置の機構総合法を提案している。車輪を回転対偶と滑り対偶の組合せとみなし、車輪と地面および移動装置フレームをパラレルリンク機構とみなすことで、適した車輪の種類と組合せを理論的に導出することを可能にしている。また、スクリュー理論を用いて移動装置の運動学方程式を導出する方法を提案している。本方法を3自由度2輪型全方向移動装置の機構総合に適用し、その有効性を示している。
2. スクリュー理論に基づく6自由度MPMの機構総合法を提案している。本方法は、駆動ユニットと出力プレートをつなぐ連鎖の機構総合と、モバイルベースの機構総合、および駆動ユニットと連鎖の連結方法の検討から構成されており、特異姿勢を利用する方法あるいは連鎖を追加する方法によって出力プレートの3自由度運動を実現する機構を得る。本方法を用いることで、新しい機構を含む複数のMPM構造を理論的に導出している。
3. 全方向移動装置が1つのコーナを有する通路を走行する際の動力学モデルを構築し、解析により通路走行時間を評価している。移動装置の姿勢変化のタイミングの違いや走行経路の違いの影響と、通路幅やコーナ角度、通路長の影響を明らかにし、各通路条件に対して走行時間を短くする走行方法を明らかにしている。
4. 2つの2層式アクティブオムニホイールを有する全方向移動単軌道車を対象として動力学解析を行い、単軌道車がある速度範囲内ではロール方向に転倒することなく走行できることを明らかにしている。また、左右のローラの地面との接触の切り替わりがその原因であることを示している。実験により走行時にロール方向の倒れを戻す現象が生じることを確認している。

以上のように本論文は、車輪式移動装置とMPMの機構総合法を構築し、また、全方向移動装置の動力学挙動を明らかにしており、車輪式移動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4年2月16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、(令和5年9月29日までの間)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。