

審査の結果の要旨

氏 名 玉 成 錫
(オク ソンソク)

本論文は「Design and Control of Personal Mobility with Spherical Wheels Composed of Serial Kinematic Chain」(直列リンク系で構成される球状車輪をもつパーソナルモビリティの設計と制御)と題し、6章からなっている。

個人の空間移動を可能にする機械として、自転車やモータバイクや自動車が占める位置の間に新しいシステムを提案する努力がなされてきている。これらは広くパーソナルモビリティと呼ばれている。高齢者の日常生活支援、障害者の行動範囲拡大のための高機能車椅子などとしてだけでなく、若者向けのスポーツ性を備えた乗り物、ショッピングの行き帰りに車からドアまでを結ぶ乗り物、オフィスや工場でイスを兼ねた移動機械など、知能機械情報システムとして新しい応用が広がっている。本論文は、パーソナルモビリティの車輪駆動系に全方向性を可能にする球状車輪を採用する構成法に対して新しい駆動方式を提案し、それを用いた3種類のパーソナルモビリティを開発した成果をまとめたものである。これまでの球状車輪の駆動系は摩擦駆動によって伝達力を受けけるものとして設計されてきたが、これは大きなペイロードや人が搭乗するような場合に十分な伝達力を伝えることが困難であるという課題があった。本論文では直列リンク系で球状車輪を駆動することで、摩擦に頼らない方式を提案する。これを実現するために機械設計だけでなく、特異点回避を前提にした駆動系の制御の問題を解決している。パーソナルモビリティの実現形態として、静的安定性をもつ三球車である $SO(3)$ 、一方向に静的安定性を持ち他方向に動的安定性を確保しなければならない二球車である $SO(2)$ 、二方向に動的安定性を確保しなければならない一球車である $SO(1)$ を開発した。

第1章は序論であり、本論文の背景となる問題や先行する研究について調査を行ったうえで、移動体の運動性と車輪についての比較や分類をし、本研究の目的を明確に述べている。

第2章は、本論文の根幹となる駆動方式についての提案を与えている。球状車輪を3軸方向に駆動する形態は、車輪の形状や構造が単純で等方向な踏破性を持ち、全方向移動を可能にする駆動方式として、いくつかの先行研究が文献として紹介されている。そのほとんどは摩擦駆動によって球状車輪を駆動するもので、人が搭乗して移動するような大きな負荷を想定したものではない。本研究では、パーソナルモビリティとして球状

車輪を採用する場合の根本的な技術課題としてこの問題の解決に取り組んだ。3自由度リンク機構の3つの駆動軸が一点で交わる点に球状車輪の中心を配置する構造が、問題への回答として提案されたものである。無限回転するインホイールモータによる球状車輪の駆動軸を末端の主たる駆動軸とすることで、車輪をモータバイクのタイヤの概念を拡張したような実用的なものとして実現している。本章では、リンク駆動方式の欠点である特異点の存在についても考察し、特異点を回避する制御系の設計法を導いている。

第3章は、第2章で提案した球状車輪のリンク駆動方式を3組使用して、静的安定で全方向移動が可能なパーソナルモビリティを開発した結果をまとめたものである。この移動方式はガンマナイフなどのような放射線治療に際して、準備室から治療室へと患者を移動し、治療の場面では精密な位置決めを行う自走式患者用ベッドなどへの応用を目標として開発された。

第4章は、第2章で提案した球状車輪のリンク駆動方式を2組使用して、静的安定方向と動的安定化を必要とする方向を混在させた、全方向移動可能なパーソナルモビリティを開発した結果をまとめたものである。これは人が乗る向きによって、全方向移動するモータバイクのような移動形態や全方向移動するセグウェイのような移動形態を選択的に実現するものである。

第5章では、第2章で提案した球状車輪のリンク駆動方式を1組だけ使用して、全ての方向に動的な安定化が必要なパーソナルモビリティを開発した結果をまとめている。動的な安定化と応答性が、人が搭乗する場合においては操作性にも関わる最も重要な課題である。機械の安定化の問題としてだけではないこの問題について、搭乗者の重心位置の推定などを含む、制御系の設計を提案し、搭乗実験を行った結果を示し考察を行っている。

第6章は結論であり、以上の成果から得られた知識をまとめるとともに、今後の研究を展望している。

以上を要するに、本研究はパーソナルモビリティの設計と制御の問題に取り組み、単純な形状で実用的な単一球車輪を摩擦伝達に頼らない方式で駆動するシステムを提案し、その機械設計と制御系の設計を研究した成果をまとめたものであり、知能機械情報学ならびにロボティクスに寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。