

論文の内容の要旨

論文題目 スキッドステア方式マイクロロボットの磁石車輪における
すべりに関する研究

氏 名 武田 宗久

本論文は、スキッドステア方式マイクロロボットの磁石車輪における定常状態のすべりに関して明らかにしている。そして、その結果をもとに、水平及び垂直移動が可能なミリメートルサイズのスキッドステア方式磁石車輪駆動マイクロロボットの実現可能性を示している。

車輪駆動方式はメートルサイズ以上のマクロな世界では、最も効率良く、かつ高速移動が可能なため、自動車、鉄道をはじめとして主流の移動方式となっている。一般に自動車等の車輪駆動走行車では、旋回する時にすべての車輪軸が1点に交わる「アッカーマン・ジャントー理論」と呼ばれる幾何学に従うような機構や制御を用いることで、複雑なすべり現象の影響が少ない状態を作って、走行させる工夫を行っている。しかしながら、実際には、車輪と走行面との複雑なインターアクションにより、すべりが発生し、精度よく車輪駆動走行車を制御することができない課題がある。したがって、車輪駆動走行車を考える上においては、すべりに関する研究は非常に重要になる。また、車輪駆動では、車輪のグリップ力（車輪の摩擦係数×抗力）を高めることが走行を安定させるためには重要であるが、サイズが小さくなると、自重が軽くなるため、地面と車輪の間の抗力が小さくなって、グリップ力が減少し、すべりが発生して上手く走行できなくなる課題が発生する。その欠点をカバーするために、車輪を磁石にして磁石吸着力を利用した磁石車輪を用いたマイクロロボットが開発されているが、その磁石吸着力に関する研究はこれまでほとんどなされていないため、磁石車輪駆動マイクロロボットでは、磁石吸着力の研究も重要となる。

磁石車輪駆動マイクロロボットにおいては、すべりと磁石吸着力が重要なことを述べたが、ここでは、対象とする車輪駆動方式として、構造が簡単ではあるが、旋回時には

すべりが必ず発生する固定4輪のスキッドステア方式のマイクロロボットを対象とする。スキッドステア方式とは車体左右の車輪の回転差により横滑りを起こさせて進行方向を変えるステアリング方式のことで、複雑な操舵機構やキャスタ（自在に向きの変わる小さな車輪）がなく、モータも少なく済むため、機構としては最も簡単でロバストな構造であることから、マイクロロボットの移動方式としては適した方式であるからである。しかしながら、スキッドステア方式は左右の駆動輪の速度差で横すべりを生じさせながら旋回させる方式であるため、車輪のグリップ力を十分に確保するとともにそのすべり特性を把握することが、その走行性能、特に定常状態の旋回性能を確保する上で重要となる。メートルサイズのマクロな移動ロボットに関しては、タイヤのすべり特性を考慮した研究が活発に行われてはいるが、マイクロロボットに関しては、車輪のグリップ力並びにすべり特性を考慮した旋回特性の研究はこれまでほとんどなされていない。そこで、本研究ではスキッドステア方式マイクロロボットの磁石車輪における定常状態でのすべりに関して明らかにする。また、磁石吸着力とすべりの関係についても明らかにする。

さらに、産業用途等において、今後必要になると考えられる壁面移動に関しても、磁石車輪を用いることで可能になるため、磁石車輪駆動マイクロロボットの壁面移動時におけるすべりと磁石吸着力に関しても明らかにする。マイクロロボットは小さいため、搭載できる機能が限定されるため、細管の検査等をマイクロロボットにさせるためには、マイクロロボット間の協調作業が必要になると考えられるが、これまでの壁面移動の研究においては、単独のロボットによる壁面移動の研究は多くなされているが、複数のロボットが連結して壁面移動する研究は殆どなされていない。そこで、マイクロロボットの適用の一つとして考えられる細管の検査のため、すべりと磁石吸着力に加えて、フープ力等の外力をも考慮した磁石車輪駆動マイクロロボットの複数個連結移動の条件を明らかにする。

まずは、磁石車輪の基礎特性として磁石車輪吸着力の計測及び解析を行い、磁石車輪を用いる場合には、磁石車輪形状や対象物形状により発生するギャップを考慮する必要があることを明らかにした。さらに、これまですべり特性が明らかでなかったSmCo磁石車輪のすべり特性を計測し、SmCo磁石車輪のすべり特性は、タイヤ車輪や鉄道車輪のすべり特性と異なること及び点接触する樽型磁石車輪の方が線接触する円筒型磁石車輪と比較し、すべり特性が安定していることを明らかにした。

次に、磁石車輪の動力学やすべり及び磁石吸着力の効果を考慮した車輪式移動ロボットの運動学及び動力学の定式化をベースに4輪スキッドステア方式磁石車輪駆動マイクロロボットの水平走行動力学モデルを構築した。また、計測したSmCo磁石車輪のすべり特性を踏まえて構築したすべりを考慮したスキッドステア方式磁石車輪駆動マイクロロボットの水平走行シミュレータを用いて、駆動輪と従動輪への磁石吸着力の配分、磁

石吸着力の効果, タイヤ車輪すべり特性と磁石車輪すべり特性の比較等について考察し, 定常状態での旋回性能を向上させるためには, 磁石車輪すべり特性を活かすように, 従動輪の磁石吸着力を駆動輪の $1/9$ 程度にすることが有効であることを示した. さらに, 試作したスキッドステア方式磁石車輪駆動マイクロロボットを用いた定常旋回性能の計測結果について, シミュレーション結果とも比較しながら考察し, 構築したすべりを考慮した車輪の動力学モデルが妥当であることを実証した.

また, スキッドステア方式磁石車輪駆動マイクロロボットの垂直走行性能解析のための 3 次元動力学モデルを導出するとともに, 単独及び複数個連結垂直移動シミュレーションによる垂直走行性能の解析を行った. その結果, 細管等の曲率を有する壁面に対しては, 磁石車輪と細管とのギャップを考慮して, 磁石吸着力を設計する必要があること及び複数個連結移動の条件について明らかにするとともに連結移動の場合には, 連結デバイスによるフープ力や隣接するマイクロロボットからの負荷を考慮する必要があることを明らかにした. また, 試作したスキッドステア方式磁石車輪駆動マイクロロボットの垂直走行性能の計測結果とシミュレーション結果の比較について検討し, その有効性を実証した.

以上, 本論文では, スキッドステア方式マイクロロボットの磁石車輪における定常状態のすべりに関して明らかにするとともに, 水平及び垂直移動が可能なミリメートルサイズのスキッドステア方式磁石車輪駆動マイクロロボットの実現可能性を示した.