

**産学連携**  
**シーズ & ニーズ**  
**長岡工業高等専門学校**

**安定化サポートシステムを想定した二輪車のロボスタ姿勢制御**

長岡工業高等専門学校  
 電子制御工学科  
 講師 佐藤 拓史

1 はじめに

自転車やオートバイといった二輪車は私たちに身近な乗り物のひとつであり、皆さんよくご存知のことと思います。こうした二輪車は、はじめから上手に乗ることは難しく、何度も練習することによって転倒することなく乗れるようになります。皆さんも子供のころ、自転車に乗るためにこのような苦労をしたことでしょうか。

二輪車の運転が難しい要因は、二輪車がもともと不安定な乗り物であり、静止時や低速時に上手にバランスをとってあげないと転倒してしまふという乗り物だからです。しかし、ある程度の走行速度が得られれば非常に安定した走行が実現できます。これは、タイヤが回転することによって生ずる復元力(ジャイロ効果)によつて、安定性が増すためです。

このように、私たちにとつて身近な乗り物である二輪車を題材にした研究も古くから行われてきています。その研究は大別して二つに分類でき

ます。一つは二輪車の特性を解明するための理論解析に関する研究で、もう一つは二輪車を制御対象として扱う研究になります。二輪車の理論解析では、二輪車の特性を明らかにすることにより、より安全な二輪車の構造設計や二輪車のシミュレーション技術に大いに役立つもので、現在もなお研究が進められています。

一方、二輪車を制御対象とした研究では、二輪車のコンパクトさや機動性を生かした自律システムの構築を目的にしたものや二輪車の安定化サポートシステムを想定した制御系の構築を目的としたものがあります。

本テーマは後者の安定化サポートシステムを開発することを目的として研究を進めています。特に運転技術の未熟な初心者や運動能力が劣つた高齢者などは、走りはじめや停止時の低速時にうまくバランスをとることができなく転倒してしまう危険性が高くなります。そのため、このような安定化サポートシステムの開発は初心者や高齢者の転倒事故を予防するシステムとして期待できます。

2 安定化サポートシステムに必要な要素

二輪車の安定化サポートシステムとして考えた場合、次のような点を考慮した制御系を構成しなければなりません。

一つは、二輪車は走り出しや停止時のような低速域で転倒の危険性が非常に高くなります。そのため、このような速度域で安定化を実現する必要があります。そこで、安定化が

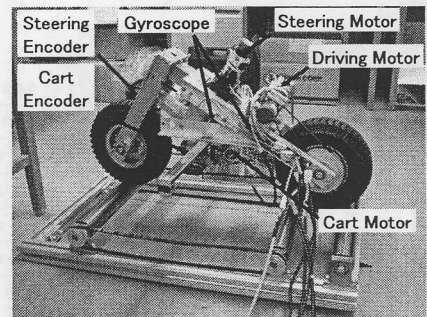


図1 実験用二輪車モデル

難しいとされる静止時にも安定化を実現することができれば、低速域での安定化は可能になると考えられます。そのため、二輪車にバランス装置を搭載することで対応することになりました。実験モデルとして、図1に示すような台車系を用いたバランス装置を搭載した二輪車を製作しました。

もう一つは、運転者は千差万別であり、その体重も大きく異なります。そのため二輪車全体の質量も変動が起るようになります。また、荷物の搭載によつても二輪車の質量は変動することになります。このような場合でも安定化を実現することが必要となります。さらに二輪車は走行速度によつて安定性が変化する乗り物ですので、走行速度の変動に対しても安定性を保つ必要があります。

3 二輪車の数学モデル

理論解析の分野では、1971年にSharpが4自由度モデルを用いた二輪車の直進安定性解析を発表し、

これ以降、理論解析の分野が活発に行われています。現在では、このSharpモデルの改良版を用いたものやマルチボディモデルを用いたモデルによる解析が行われています。

しかし、理論解析で主流の数学モデルは非線形モデルであり非常に複雑な構造となっています。そのため、制御系設計に用いるモデルとしては不向きであり、より簡素な数学モデルが必要になります。そこで二輪車を前輪部、後輪部、バランス装置部の剛体モデルと考え、平衡点(直立状態)周りで線形化を行うことにより簡素な数学モデルを導出しました。

4 ロバスト性を考慮した制御系設計

質量の変動や速度の変動が起きても安定化を実現しなければならぬので、ここでは、それぞれの変動量を不確かさとして捕らえることにより安定性を保証できるロバスト制御系設計法を用いて実現しています。具体的にはそれぞれの変動分を不確かさ量として見積もり、その不確かさを覆う関数を設定することにより制御器を設計しています。

得られた制御による実験結果の一例を図2に示します。これは速度変動に対する実験結果であり、26インチの自転車がおよそ10[km/h]と15[km/h]で走行している時のタイヤ回転数に相当する走行速度の結果です。走行速度の違いで多少応答に小刻みな結果が見られますが、安定した走行が実現できています。また、グラフの1[sec]時にインパルス状

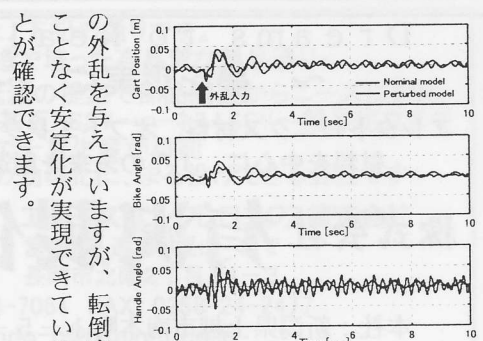


図2 速度変動に対する実験結果

5 おわりに

私たちの身近にある自転車の安定化サポートシステムを想定した二輪車の安定化について紹介させていただきました。まだ基礎研究の段階であり、制御系の設計と二輪車モデルによる検証実験を行っている状況です。現在は走行速度の変動に対して、より姿勢変化の少ない制御系を構成することを検討しています。将来的には実際の自転車を用いた実証実験を行い、安定化サポートシステムの可能性を検討したいと考えています。また、当研究室では人と関わるシステムの制御をテーマに研究しており、このほかにも高層ビルの建築現場や港湾の荷物の積み下ろしで活躍する旋回型クレーンやマスター・スレーブ型ロボットアームの操作性に関する研究、高層ビルなどに設置されている制振装置をアクティブ化し、居住性を考慮した制御系の構成法についても研究を行っています。