

スリップ率に着目した電気自動車の運動制御

2009SE008 安藤成亮

指導教員：大石泰章

1 はじめに

近年，地球温暖化や大気汚染といった環境問題や，エネルギー供給問題の解決策として電気自動車が普及し始めている．また，電気自動車は内燃機関に代わり電動モータにより駆動力を発生させることから高い制御性を持ち，従来のガソリン自動車にはできない車両運動制御を可能にするという面からも注目を集めている [1]．その一方で，省エネルギー化のためには，車両の小型軽量化，タイヤの低 RRC（転がり抵抗）化が望まれるが，これらは，時定数が小さくなり入力に対して素早く応答するため，同じ制御則の場合，自動車の操縦安定性能の低下，乗心地の悪化を招くという問題がある．

そこで本研究では，各タイヤの中にモータを配置する 4 輪インホイールモータ (IWM) を用いた将来車両を想定し，車両の小型軽量化を実現しつつ，従来車両と同等の操縦安定性を確保することを目的とする．そのために，特にスリップ率を目標値に追従させる制御器を使ったトラクションコントロールを用いる．研究するにあたって，自動車技術会と計測自動制御学会が共同で設置した自動車制御とモデル研究専門委員会から問題提供されたベンチマーク問題「エネルギー消費と動的性能の両立を目指した新モビリティ用車両制御」[2] を考察対象とし，配布ソフト Dymola を用いて，シミュレーション，アニメーションにより効果の検証を行う．

2 インホイールモータとは

インホイールモータとは，タイヤの中にモータを配置することで，従来のようにドライブシャフトを介してタイヤを駆動するのではなく，電動モータの力により直接タイヤを駆動する構造である．これによりエンジン搭載スペースが不要になり，従来車両から車体構造を大きく変えることができ，さらに，ドライブシャフトが不要になり，従来車両のようにハンドルを取られることなく操舵輪の駆動力配分をすることが可能になる．また，モータ駆動の特徴である高応答性を生かしたタイヤのスリップ率制御や，発生トルクが正確に把握できることからタイヤから路面に伝わる駆動力や制動力を推定することを容易にする [3]．それを 4 輪すべてに配置することで車両を自在に制御でき車両挙動を安定化することができる．この特徴を生かし，本研究ではタイヤのスリップ率を制御することで車両挙動を安定化することを目標にする．

3 ベンチマーク問題

3.1 車両仕様

ベンチマーク問題で使用する電気自動車である小型軽量化車両と，比較対象となるガソリン車の従来車両の仕様を表 1 に示す．このように車両が小型化されることで操縦安定性が失われるので，制御を用いてこれを解決する．

表 1 車両仕様

車両	従来車両	小型軽量化車両
車両質量	1300[kg]	510[kg]
ホイールベース	2600[mm]	2000[mm]
車幅	1760[mm]	1190[mm]
車高	1515[mm]	1469[mm]

3.2 シミュレーション走行条件

図 1 のような半径 50m の半円形カーブに沿って，初速 0km/h から発進し，5 秒後に速度 60km/h まで等加速度で加速し，速度を維持したまま 180 度旋回することを考える．また，車両と路面の滑りにくさを表した摩擦係数 μ を 0.6 とする．ただし摩擦係数 μ は摩擦力 F と垂直抗力 N を用いて以下のように定義される．

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

$\mu = 0.6$ とは，雨などで濡れたアスファルトと同等の値である．

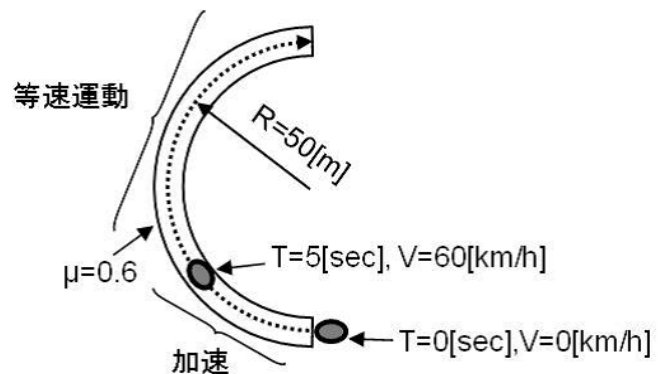


図 1 シミュレーション走行条件

3.3 シミュレータ

ベンチマーク問題ではダッソーシステムズのソフトウェア Dymola に基づくシミュレータが配られている．Dymola は，階層的なモデル構造，ライブラリ，コネクタ，複数の要素で構成された非因果関係な接続に対応しており，多くの技術領域のシステム間の複雑な相互作用や動的挙動のシミュレーションを可能にする．シミュレータは提供されており，その一部に各ホイールの速度，車両の速度，スリップ率，トルクなどについてのモデルがある．ベンチマーク問題に挑戦する者はこれらの制御則を変更することが求められる [2]．

4 スリップ率制御

4.1 制御器の設計

本研究で着目するスリップ率とは次式で定義される駆動輪速度 V_W と車体速度 V の関数である。

$$\lambda = \frac{V - V_W}{V_W} \quad (2)$$

特に $\lambda = 0$ のとき完全粘着, $\lambda = -1$ のとき完全空転を意味する。路面とタイヤの間に発生する摩擦力には, タイヤの前後方向に働く前後力と, 車両の進行方向と直角に作用する横抗力があり, これからわかるように前後方向と横方向に摩擦係数を持つスリップ率を直接制御することができればその効果は非常に大きいと考える。本研究では, このスリップ率 λ を直接制御するフィードバック制御を考える。特に, P 制御, PI 制御, PID 制御を用い, 比較することでそれぞれに期待される効果を検証する。PI 制御では P 制御より定常特性を改善し, 制御量を目標値に一致させること, PID 制御では PI 制御より過渡特性を改善し, 制御量を目標値にすばやく一致させることを期待し行うことにする。このスリップ率制御器を用いたブロック線図を図 2 に示す。

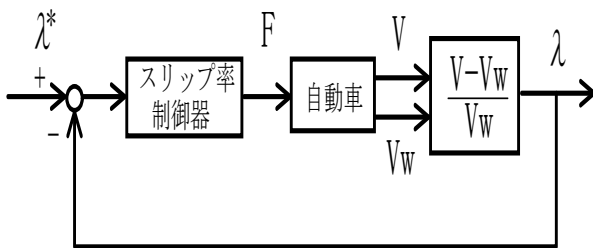


図 2 スリップ率制御のブロック線図

図中において, λ^* は目標スリップ率, λ はスリップ率, F はモータトルクを表す。

4.2 シミュレーション

与えられたシミュレータにスリップ率制御器を加え, Dymola を用いてシミュレーションを行い, スリップ率を図にプロットした。図 3 は P 制御, PI 制御, PID 制御を行った際のスリップ率の比較であり, 図 4 はスリップ率制御を行う前とスリップ率制御後の比較である。ただし, スリップ率の目標値は -0.15 とし, 図はそれぞれ左前輪のスリップ率を比較したものである。また, 図 3 の P 制御, PI 制御, PID 制御の比較では, アニメーションで路面を正しく走った場合のスリップ率をプロットした。

図 3 から P 制御より PI 制御がスリップ率の目標値である -0.15 に一致させるように追従し, 定常特性を改善している。しかし, PI 制御と PID 制御を比較すると, 過渡特性は改善されず, 制御量も目標値にすばやく一致していない。これは比較対象がそれぞれアニメーションで路面を正しく走った場合のスリップ率を比較しているためと

考える。また, 図 4 よりスリップ率制御を行うことによりスリップ率を -0.15 に抑えることができ, 路面を正しく走ることに成功した。

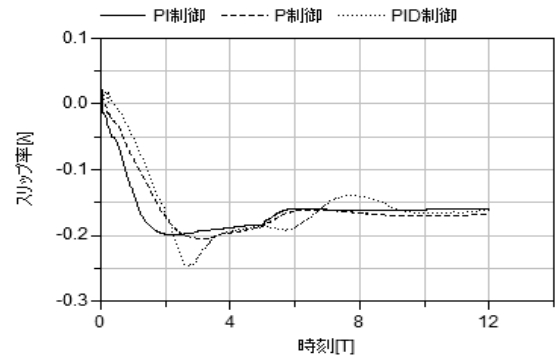


図 3 P 制御, PI 制御 PID 制御による比較

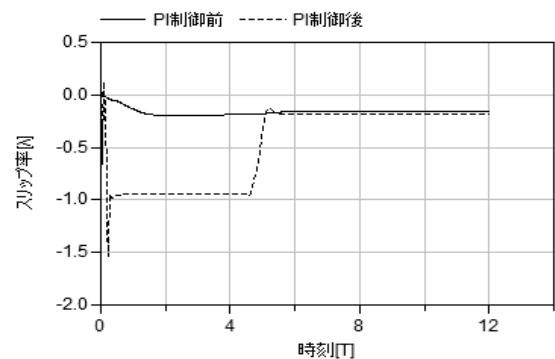


図 4 スリップ率制御前後による比較

5 おわりに

今回は, スリップ率制御のみで車両運動を所望の挙動にすることを目的とし, P 制御, PI 制御, PID 制御を用い比較を行った。しかし, 現状では路面を走る目的は達成されたが, 車速が目標値に至っていないという問題がある。したがって, ステア角, キャンバ角, 駆動制動力の総合制御や, 4 輪の独立した制御, 路面状態の検出などを用い, より安定した車両挙動を目指すことが今後の課題である。

参考文献

- [1] 吉田裕明:『進化するインホイールモーターシステム』. 計測と制御, Vol. 50, No. 3, pp. 184–188, 2011.
- [2] JSAE-SICE 自動車制御とモデル研究専門委員会:『エネルギー消費と動的性能の両立を目指した新モビリティ用車両制御』. 配布資料.
- [3] 堀洋一・鶴岡慶雅・豊田靖:『電気自動車のトラクションコントロールに関する基礎研究』. 電学論, Vol. 118, No. 1, pp. 45–50, 1998.