



Title	小型レーシングカーにおける車体スリップ角の推定アルゴリズムの構築
Author(s)	矢野, 太一
Citation	平成27年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2016
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/54660">https://hdl.handle.net/11094/54660</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 平成 27 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏名	やの たいち 矢野 太一	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	3 年
ふりがな 共同 研究者名	みつはし ゆい 三橋 結衣	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	2 年
					年
アドバイザー教員 氏名	吉田 憲司	所属	大阪大学工学研究科		
研究課題名	小型レーシングカーにおける車体スリップ角の推定アルゴリズムの構築				
研究成果の概要	直接積分法と直線判別アルゴリズムを用いて、車両のスリップ角を推定する方法を提案した。提案する方法に対して、数値シミュレーションと実走行において検証を行った。				

### 1. 緒言

#### 1.1 研究目的

近年、市販されている自動車にも車体のスリップ防止装置などの制御装置が多く搭載されている。その制御を行う上で重要な車両の状態を表すパラメータの一つとして「車体スリップ角」が挙げられる。この車体スリップ角は、車両の進行方向ベクトルと車両の方向ベクトルの角度の差を表すものである。この車体スリップ角がつくことで、車は旋回中にタイヤのグリップを得て、コーナーを曲がることができる。このように、車体スリップ角は車両の状態を表すための非常に重要なパラメータであるにも関わらず、実際に測定するためのセンサは非常に高価であり、市販車等においてセンサを搭載するのは非常に困難である。搭載可能な安価なセンサの値を用いて車体スリップ角を推定する研究や開発などが数多くなされている[1]。その方法の代表的な方法として、直接積分法や拡張カルマンフィルタ等を用いたものが存在する[2]。カルマンフィルタなどは内部に運動モデルを必要とする。しかし、実際に走行する車両を運動モデルに表す際には、タイヤモデルを表すことが難しく、現在一般的に用いられる Pacejka のタイヤモデルは複雑な式となっている。また路面  $\mu$  などの推定なども非常に難しい問題の一つとして挙げられる。これらの問題に対して、タイヤモデルや路面  $\mu$  の推定などが不要であり、非常に計算コストが低い直接積分法を用いることを考える。この直接積分法では積分計算によってセンサノイズやオフセットの影響が推定値に蓄積されてしまう問題がある。この問題に対して、レーシングカーにおいては、予め定められたコースを走るため、必ずコーナーと直線区間が存在する。この時、車両が直線区間を走っている場合は、車体スリップ角は必ずゼロになるため、車体スリップ角をリセットすることで、ノイズやオフセットの蓄積の問題の解消を考える。このレーシングカー特有の特徴を活かして、直接積分法及び直線判定アルゴリズムを用いて、低計算コストの車体スリップ角推定法の提案を行う。

#### 1.2 研究概要

本研究では、車両の運動方程式から直接積分を行うための式の導出を行う。次に、直線区間判別アルゴリズムの構築を行う。これらを用いて、車両の4輪モデルを表した運動モデルを用いた数値シミュレーション及び実走行のログデータより車体スリップ角の推定を行う。また、実走行時の精度検証においては、実際のセンサを用いての評価検証を行うことは難しいため、定常区間における値を評価することで、その精度をある程度の範囲に保証することを考える。

## 2. 車両モデルの導出

車両において、直接積分法を用いるための旋回状態における運動方程式を導出する。車両において4輪のタイヤを、前後の左右輪が等価的に車両の前後軸との交点にそれぞれ集中していると考え、4輪の車両を等価的な前後2輪モデルによって置き換える。

### 2.1 運動方程式の導出

車体スリップ角 $\beta$ およびヨーレート $\gamma$ の2変数を用いた車両横方向の並進運動方程式は次のように求まる[3]。

$$MV(\dot{\beta} + \gamma) = 2F_{yf} + 2F_{yr} \quad (\text{添え字 } f: \text{フロント}, r: \text{リア}) \quad (1)$$

式(1)における右辺は、横力の総和であり、これは加速度センサを用いることで計測することができる。

$$2F_{yf} + 2F_{yr} = Ma_y \quad (2)$$

よって横加速度 $a_y$ を用いて表すと次のようになる。

$$MV(\dot{\beta} + \gamma) = Ma_y \quad (3)$$

$$\dot{\beta} = \frac{a_y}{V} - \gamma \quad (4)$$

よって式(1)及び式(2)を用いると次のように表すことができる。

これにより、式(4)は車体スリップ角の微分方程式となる。この式の左辺における横加速度 $a_y$ 、車速 $V$ 、ヨーレート $\gamma$ は、それぞれ加速度センサ、車速、ジャイロセンサーといった安価なセンサを用いて計測することができる変数のみで表されており、これらを積分していくことで車体スリップ角を求めていくことができる。また、積分を行っていく際には数値積分を行うことになるが、その際には台形積分を用いる。

### 2.2 直線区間アルゴリズム

直線区間における判別を行うことを考える。本研究は、小型レーシングカーを対象としているためドライバーは一般的にラップタイム最小化を目指す。その際に、過去の走行時のログデータより直線では必ずスロットルを全開にしていることが分かる。よって、まずスロットルポジションセンサー(TPS)の値を判別することで直線を判別できるといえる。しかし、ドライバーはコーナー脱出段階やコーナー途中でもスロットルを全開にする可能性はある。そこで、直線区間では舵角センサ( $\delta$ )及びヨーレート( $\gamma$ )もある程度値が小さくなることを用いて、直線区間にに入ったことを

判別する精度の向上を高める。このとき、舵角センサ及びヨーレートのみで判別せずにスロットルポジション込で判別する理由として、左右周りの連續コーナーなどでは直線でなくとも、舵角及びヨーレートがわずかな時間がらゼロ付近になる可能性がある。しかし、そのような状態で車体スリップ角が必ずゼロであるということは困難である。そのため、レーシングカーに乗るドライバーの特徴を活かすことで、より精度の高い判別を行うことを考えた。これらのアルゴリズムを考慮した車体スリップ角を推定するアルゴリズムは Fig.1 のように表される。このとき、 $\lambda$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  はそれぞれのコースにおいて変更するしきい値である。

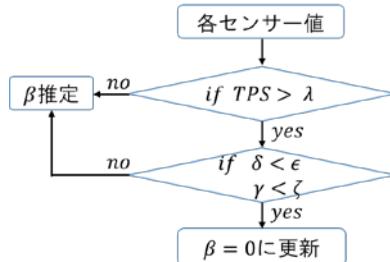


Fig.1 推定アルゴリズム

### 2.3 定常状態におけるスリップ角

推定を行う上で、精度保証を行うことが大切である。しかし、今回の場合は前述の通り実測するには測定するセンサが非常に高価であるため、実測データとの比較を行って検証することは困難である。そこで、定常時においては式(5)で表される車体スリップ角の推定を用いることである程度精度良く推定できることが分かっている[4]。これを用いることで、定常状態における精度を保証する。

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{V_y}{V_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{a_y \Delta t}{a_x \Delta t + V}\right) \quad (5)$$

## 3. 車体スリップ角の推定

### 3.1 数値シミュレーション

本研究で提案する推定アルゴリズムにおいて、まずは数値シミュレーションにおいて検証を行う。この時に用いる数値シミュレーションでは、車両のタイヤ等非線形項においても考慮された4輪モデルを用いて検証を行う。このとき、数値シミュレーションにおける刻み時間時間は、0.001[s]を用いて計算を行っているが、推定の値には、実走行データを扱う際のデータのサンプリングデータが 100[Hz]であることを考慮して、0.01[s]ごとの値を用いて推定を行っている。

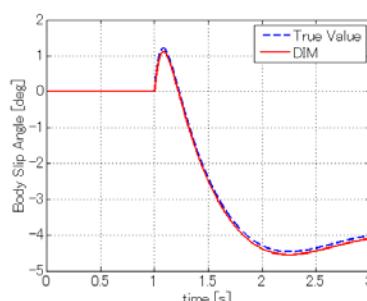


Fig.2 ステップ入力を加えた場合のスリップ角推定

ステップ入力を加えた際の結果は、Fig.2 のようになる。このとき、2[s]付近から少し実際の値からずれが生じている。これは、積分化誤差によるものであると考えられる。しかし、誤差は 2% 以下であり、使用する精度としては問題ない値である。

次に、Fig.3.(a)のような複合した入力をフロントのタイヤに加える。この時の結果は、Fig.3.(b) のようになる。このとき、DIM(Direct Integration Method)は直接積分法による推定のみを行っている場合であり、mod. DIM は、本研究で提案するアルゴリズムを用いた場合の値となっている。結果より、提案するアルゴリズムにおいては、一度目のサインカーブ入力時に蓄積される積分誤差に対して、2.1[s]付近で  $\beta = 0$  に更新することで、次のサインカーブの入力を行った際のスリップ角の推定への影響を無くすことが出来ていると考えられる。また、こちらの数値シミュレーションにおいても、推定するスリップ角に対して実際のスリップ角については、誤差が 2% 以内に収めることができている。

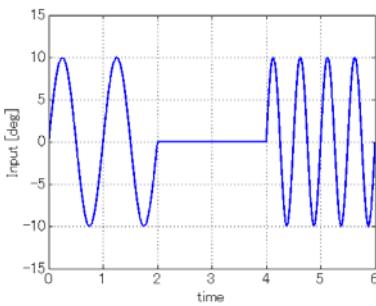


Fig.3.(a) フロント舵角入力

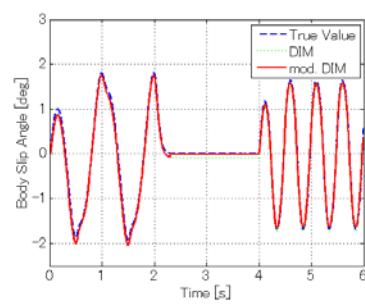


Fig.3.(b) スリップ角推定

### 3.2 実走行

小型レーシングカーを用いた実走行時のログデータより推定を試みる。Fig.4 のようなオーバルコースを 1 周した条件を用いる。この時、データにおいてローパスフィルタを用いてセンサノイズを出来る限り低減させる。それらを用いて推定を行った結果、Fig.5 のようなった。このときも直接積分法のみの推定の方は、直線区間においてもスリップ角の値を持ってしまっており、実際の値から外れてしまっている。この影響による誤差が蓄積されていることで、二個目のコーナーを曲がる際にその影響を受けて、定常時は実際の値よりも小さい値を取ってしまっていることが考えられる。また、提案するアルゴリズムにおいては、3.3 節による定常の値に対して近い値を取っており、誤差は 4~5% 以内に収まっている。一方で、6.8[s]付近におけるコーナーから直線へ移り変わる際に大幅なスリップ角の修正が行われており、上手く推定出来ていないことが分かる。これは、3.1 節の結果から考えると、積分誤差ではなくセンサノイズやローパスフィルタによる処理の影響が大きいと考えられる。

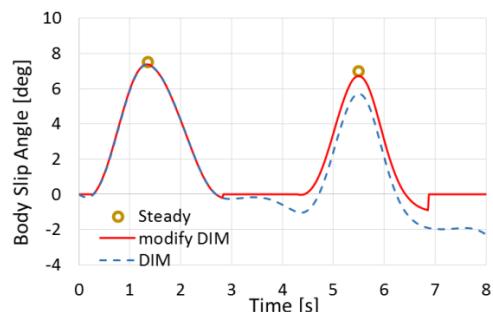
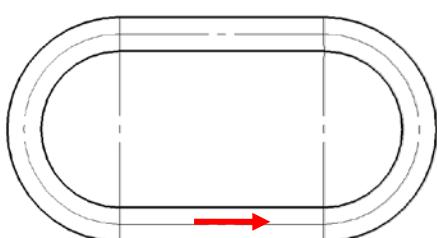


Fig.4 オーバルコース

#### 4. 結言

直接積分法と直線判別アルゴリズムを用いて、高価なセンサを用いなくても車両のスリップ角を推定する方法を提案した。それに対して、数値シミュレーション及び実走行データを用いた検証を行った結果、ある程度の精度の範囲内で推定が行えることを示した。しかし、実走行データにおいては、定常付近における値のみの検証に留まっており、コーナー入口や出口付近など車両の過渡状態時の車体スリップ角の推定については、他の推定方法や可能であれば実測との比較を行ってさらに高い精度での検証を行うことが求められる。

Fig.5 実験データ

#### 参考文献

- [1]山口裕之，“車体横すべり角推定法の開発”，豊田中央研究所 R&D レビュー Vol.36 No.1(2001.3)
- [2]永井惇也，“非線形カルマンフィルタを用いた車体スリップ角の推定”，日本機械学会論文集(C 編)Vol.79(2013),No.806,p.3358-3367
- [3]安倍正人，自動車の運動と制御，東京電気大学出版局，ISBN 978-4-501-41700-0, 2008
- [4]株式会社ブリヂストン，車体スリップ各及び四輪のスリップ角の推定方法，公開特許公報，特開 2006-256469, 2006.9.28

#### 5. 謝辞

本研究は我々が所属する大阪大学フォーミュラレーシングクラブ（以下 OFRAC）での車両開発へ用いることを目的としています。OFRAC はこれまで多くの方々からの多大なるご支援により活動を行ってきました。昨年度まで行われていた課外研究奨励費に引き続き、今年度も自主研究奨励費への採択していただいているおかげで、持続的なチームの成長を達成できています。本自主研究奨励事業に携わる多くの方々に心から感謝いたします。

アドバイザー教員である吉田憲司先生には本件のアドバイス、予算執行にとどまらず、日々の OFRAC での活動全般に渡ってご協力いただきました。感謝の念が絶えません。

これからも OFRAC は大阪大学の学生としての誇りを持って、自己研鑽に励み活動を行っていきたいと思います。