

社団法人 日本設計工学会 四国支部
平成 21 年度研究発表講演会
講演論文集

開催日：2010 年 3 月 16 日（火）

会 場：香川大学 工学部

主 催

社団法人 日本設計工学会 四国支部

共 催

香川大学 工学部

路面の滑り検知のためのリアルタイム測定システム

岡宏一（高知工科大学）
片岡源宗（高知工科大学）
楠川量啓（正，高知工科大学）
熊谷靖彦（高知工科大学）
○児玉迪弘（高知工科大学）

1. はじめに

高知県では山間部などで冬季に降雪や路面が凍結することがある。その際スリップによる車両事故が発生することが十分考えられる。スリップ事故が発生する際はタイヤと路面との摩擦係数が低下していると考えられる。これをリアルタイムで検知できれば運転者への警告やアクティブ操舵、情報の共有による道路情報網の整備など利用範囲は広いと考えられる。このような目的のためには車両に搭載でき、走行中に路面摩擦を検出が可能な簡単な計測システムが適している。このような装置として ABS 信号を用いて路面の摩擦係数を推定するシステムが開発されている⁽¹⁾。

本研究では、このシステムに GPS 情報を用いて補正を行い、勾配路面での精度向上を行った。また、旋回時において、新しい推定方法について提案を行う。

2. システムの原理

2.1 本研究で使用するシステムについて

2.1.1 ABS 信号について

ABS とは Antilock Brake System と呼ばれるもので、急ブレーキや低摩擦路面でのブレーキ操作においてタイヤがロックし滑るのを防止する装置である。ABS はタイヤの回転数をモニタしており、ブレーキを踏んだ際にタイヤがロックされたことを検知すると、制動力を弱めてロックを解除し、再び制動力を強めてブレーキをかける。

本研究では ABS の回転数をモニタしている信号を使用し、この信号を ABS 信号と呼称する。

2.1.2 スリップ率について

車両が走行する場合、走行抵抗と加速度に相当する駆動力 F が必要となる。走行抵抗とは転がり抵抗 R_r 、空気抵抗 R_a 、勾配抵抗 R_e 、加速抵抗 R_c などであり次式のように表わせる。

$$F = R_r + R_a + R_e + R_c \quad \dots (1)$$

この駆動力 F は車軸の回転速度と車速との相対速度から発生すると考えられる。この相対速度をすべり量と考えると、このすべり量は、従動輪の速度を車速と考えることができる。ABS 信号から FF 車、FR 車の場合、駆動輪速度と従動輪速度を得ることができる。駆動輪速度と従動輪速度の速度比をスリップ率と考えることができる。スリップ率は次の式で求めることができる。

$$Sr = \frac{(vd - vf)}{vd} \quad \dots (2)$$

Sr : スリップ率 vd : 駆動輪速度 vf : 従動輪速度

2.2 推定原理

スリップ率と車の駆動力との関係を、路面摩擦係数をパラメータとして表したものが Fig.1 の μ - S 特性である。スリップ率が小さい場合は駆動力とスリップ率の関係はほぼ線形であることがわかる。また、摩擦係数によってその線形の傾きが変わっていることがわかる。この傾きを測定することによって路面との摩擦係数を測定する。

駆動力はその時点での速度や路面状況、道路勾配などの影響を受けるので実際の駆動力を正確に求めることはできない。しかし、通常の走行時ではこれらの影響による変化は小さいと仮定し、駆動力は一定の平衡点にあるとすると、その点からの駆動力の変化は車両の加速度と比例関係にあると考えることができることが式(1)よりわかる。つまり加速度の変化率とスリップ率の変化率から摩擦係数を求めることができる。

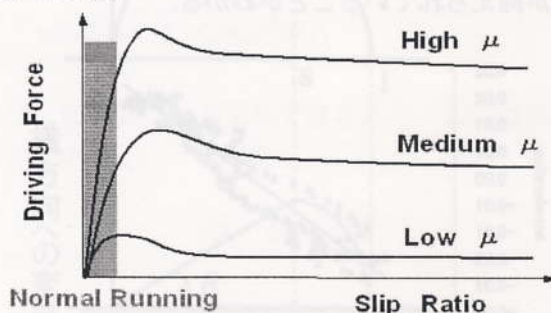


Fig.1 Characteristics between road friction and slip ratio

3. 勾配路面の精度向上について

3.1 勾配路面での測定における問題点

道路に勾配が存在した場合、Fig. 2 に示すように車の駆動力に影響を及ぼす。しかし走行抵抗の一つとして勾配抵抗を無視して推定を行っているため、誤差が生じることとなる。

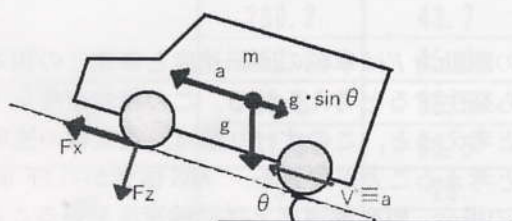


Fig.2 Influence of inclination

3.2 GPS 信号の利用による制度の向上

3.2.1 GPS の使用について

近年カーナビの普及により GPS 装置は通常の車両にも標準で取り付けられるようになってきている。これは今回提案する精度向上案において追加の装置が不要であると考えられる。

3.2.2 GPS 信号補正による路面摩擦係数の推定

道路勾配の変化が誤差を生じる原因となるため、GPS を利用することを提案する。GPS からは現在位置を知る以外に、南北方向、東西方向、上下方向の変位情報を知ることができる。これらのデータから勾配を検出することができる。求めた勾配に基づいて Fig. 2 の $g \sin \theta$ を加速度データに加えて路面摩擦係数を推定し誤差を抑える。

3.2.3 GPS 信号による補正結果

補正後の加速度とスリップ率の測定結果を Fig. 3 に示す。この傾きが路面摩擦係数の関数になっていると考えられる。補正前と補正後の路面摩擦係数の推定結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 の上の図が路面摩擦係数の変化で、下の図が走行路面の勾配変化である。2 度から 4 度に勾配が変化した際の摩擦係数の変化が抑えられていることがわかる。

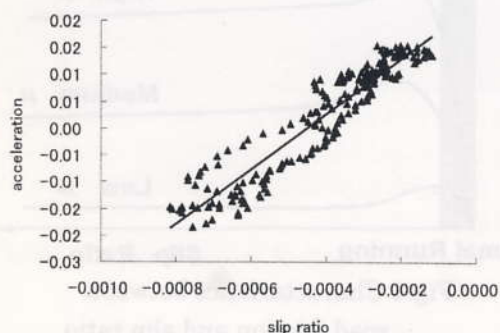


Fig.3 Correction μ -s characteristics

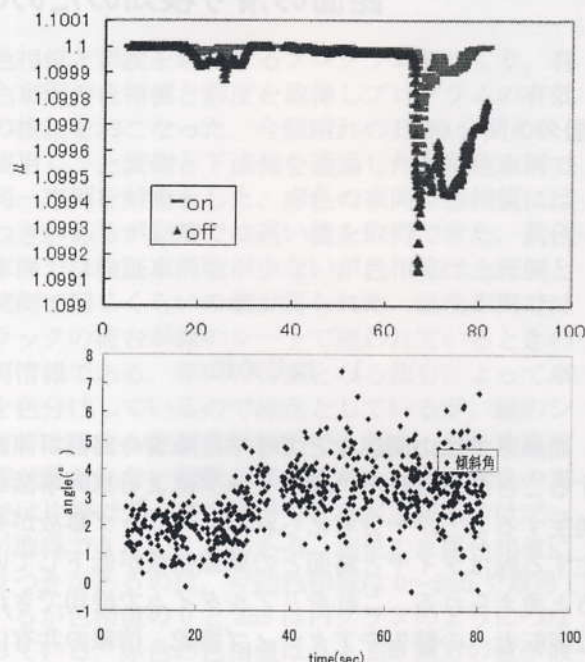


Fig.4 Friction and influence

4. 旋回時の推定方法について

現在、様々な方法で旋回時の摩擦係数の推定が行われている。しかしこれらの方法は正確なシミュレーションモデルが必要であったり、大型の専用車両が必要であったりするため本研究が目指す簡便で車載できる装置とはなりえない。

本研究では ABS 信号及び GPS 信号から得られる情報から路面摩擦係数を推定する方法を提案する。本研究で提案する方法はシミュレーションを用いず解析的手法によって推定するものである。

4.1 推定のために追加した装置

4.1.1 直動型変位センサ

タイヤのロッドとタイヤの実舵角は線形であると考えられる。本センサをタイヤのロッドに取り付けロッドの横変位の計測を行い、タイヤの実舵角を測定する。

4.1.2 アンテナを二つ持った GPS

GPS 電波を二本のアンテナで受信し、その位相差から方角を測定できる装置である。本研究ではこの装置を GPS コンパスと呼称する。

4.2 旋回時に発生するスリップ角と横力

車両が旋回している時、タイヤの移動方向とタイヤの向いている方向には差が生じる。その角度の差をスリップ角という。タイヤに生じる力は Fig. 5 のようになる。真上方向が進行方向とすると、進行方向への力はタイヤの回転方向とそれに垂直な力に分解される。タイヤの回転方向に垂直な力はタイヤに

働く遠心力であると考えられる。その遠心力に相当する力として旋回内向きに力が発生している。この力を横力という。

タイヤを切ることにより前輪にスリップ角が発生する。この際発生した横力を進行方向とそれに垂直な力に分解したときに、進行方向と垂直な力がコーナリングフォースである。このコーナリングフォースが車両の重心周りに働き、モーメントが発生し車両が回頭を始める。車両が回頭することにより車両の向きと同方向に固定された後輪にもスリップ角が発生する。その際後輪にもコーナリングフォースが発生する。この前後のコーナリングフォースによって発生するモーメントの差により車両は回頭する。なお、このモーメントが釣り合った際に定常旋回となる。

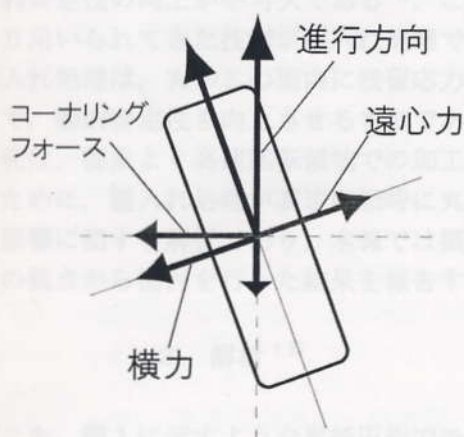


Fig.5 Power generated in tire

4.3 横力について

4.3.1 遠心力から求める横力

ABS 信号より左右のタイヤの回転数がわかる。旋回時は左右のタイヤで回転数に差が出る。Fig6 のように移動距離と旋回半径が近似できると考えることができる。左右のタイヤの間隔より各タイヤの旋回半径が求まる。タイヤにかかる遠心力が次のように求まる。

$$\text{横力} = mv^2 / R \quad \dots (3)$$

m : タイヤにかかる重量 v : 速度 R : 旋回半径

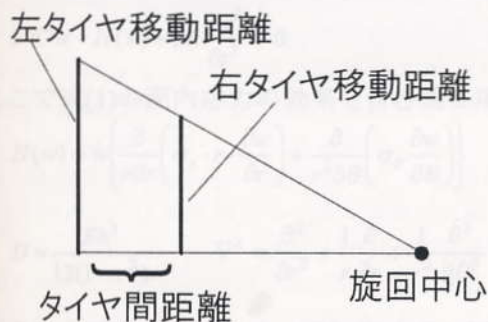


Fig.6 Calculation turning radius

4.3.2 タイヤの変形から求める横力

タイヤにかかる重量 m は Fig. 7 の上図のようにタイヤの接地長 l に対して放物線状にかかるすると、放物線の式は以下のように仮定できる。

$$y = a\left(x - \frac{l}{2}\right)^2 + b \quad \dots (4)$$

l : 接地長 a, b : 定数

この放物線の全区間を積分した値はタイヤにかかる重量より以下になる。

$$\int_0^l \left\{ a\left(x - \frac{l}{2}\right)^2 + b \right\} = m \quad \dots (5)$$

境界条件 $x=0$ の時に $y=0$, $x=l$ の時に $y=0$, により a, b が求まる。

GPS 情報より車両の進行方向が、GPS コンパスより車両の向きが、直動型変位センサから実舵角が求まり、それらからスリップ角が以下の通り求まる。

$$\beta = \text{車両の方角} + \text{実舵角} - \text{進行方向} \quad \dots (6)$$

β : スリップ角

タイヤは旋回時 Fig. 7 の下図のようにスリップ角 β で徐々に横方向に変形していきある一点で滑っていると考えられる。この滑る点は、「タイヤの横弾性係数とその時点までのゆがみの総量の積」と「路面摩擦係数と滑る場所のタイヤにかかっている荷重の積」が釣り合う点であると考えられる。よって以下の式が成り立つ。

$$\left\{ a\left(s - \frac{l}{2}\right)^2 + b \right\} \mu = \frac{(s^2 G \tan \beta)}{2} \quad \dots (7)$$

s : 滑り位置 μ : 路面摩擦係数 G : タイヤの横弾性係数
これを s について整理すると、

$$s = \frac{12ml\mu \cos \beta}{12m\mu \cos \beta + Gl^3 \sin \beta} \quad \dots (8)$$

Fig. 7 の下図の全区間を積分した値が横力となる。滑った場所以降の曲線部分を直線で近似すると、横力は以下のように求まる。

$$\text{横力} = l s G / 2 \tan \beta \quad \dots (9)$$

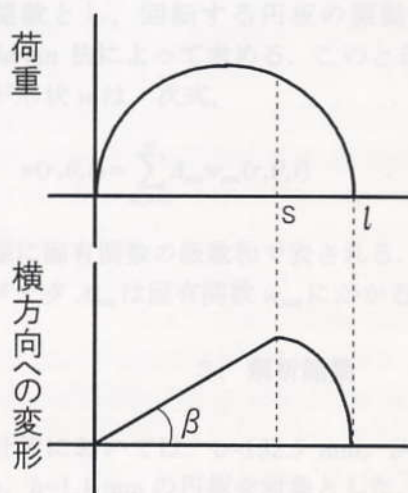


Fig.7 Load and lateral deformation

4.3 路面摩擦係数の推定

式(4), (8), (9)の連立式を解くと路面摩擦係数が以下のように求まる。

$$\mu = -\frac{Gl^3mv^2 \sin \beta}{6m(2mv^2 \cos \beta - Gl^2R \sin \beta)} \quad \dots (10)$$

本研究で提案した推定方法は、各タイヤでそれぞれ推定することができる。複数輪の兼ね合いは車体及び積載物の重量分布と旋回時のそれらのモーメントからタイヤにかかる重量を求めることのみで行うことができる。

5. おわりに

今回は ABS 信号を使った路面摩擦係数推定システムの勾配路面での推定精度向上について、GPS 信号を用いた。

旋回時において GPS 信号と ABS 信号を用いた新たな推定方法を提案した。今後は提案した方法の実用性について実験及び検証を行っていく。

参考文献

- (1)川崎裕章, 自動車技術会 2001 年季秋大会「走行中のタイヤの滑りやすさ測定」(2001)
- (2)酒井秀男, タイヤ工学-入門から応用まで (改訂版), グランプリ出版, (2001)



現在、様々な方法で路面摩擦係数の推定が行われている。しかし、これらの方法は正確なシミュレーションモデルが必要であったりするため、本研究所が独自で推定できる装置は必要でない。

本研究では、GPS 信号と ABS 信号を用いた方法から路面摩擦係数を推定する方法を提案する。本研究で提案する方法は、GPS 信号と ABS 信号の両方を用いて、車両の位置と速度を正確に推定することによって、路面摩擦係数を推定することができる。また、GPS 信号と ABS 信号の両方を用いて、車両の位置と速度を正確に推定することによって、路面摩擦係数を推定することができる。また、GPS 信号と ABS 信号の両方を用いて、車両の位置と速度を正確に推定することによって、路面摩擦係数を推定することができる。

4.1 GPS 信号と ABS 信号を用いた方法

GPS 信号と ABS 信号の両方を用いて、車両の位置と速度を正確に推定することによって、路面摩擦係数を推定することができる。また、GPS 信号と ABS 信号の両方を用いて、車両の位置と速度を正確に推定することによって、路面摩擦係数を推定することができる。

4.2 旋回時に発生するコリオリ力と重力

車両が旋回している時、タイヤの回転方向とタイヤの向きが異なる。このとき、タイヤの回転方向をスリット方向、タイヤの向きをスリット方向と異なる方向とする。このとき、スリット方向と異なる方向に力がかかる。この力によって、タイヤの回転方向とタイヤの向きが異なる。このとき、スリット方向と異なる方向に力がかかる。この力によって、タイヤの回転方向とタイヤの向きが異なる。

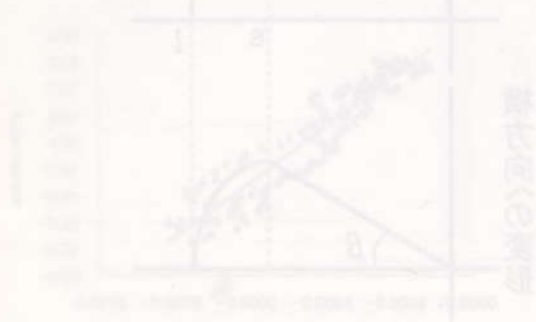


Fig.5 Correction factor characteristics