

セルフアライニングトルク推定による車両の横滑り抑制制御 Lateral Skid Control of Vehicle by Estimated Self Aligning Torque

80222720 関口大介 (Daisuke Sekiguchi) Supervisor 村上俊之 (Toshiyuki Murakami)

1 背景

近年，交通システムの安全性向上がより一層求められている．本研究では予防安全技術の側面から，電動パワーステアリング（EPS）を用いた車両横滑り時の操舵補助システムを開発する事を目的とする．ここではEPSの制御特性を活かし，前輪が路面から受けるセルフアライニングトルク（SAT）の推定技術を提案する．これにより前輪の横滑り状態を推定し適切なステアリング補助を行えるシステムを構築することを目指した．

2 ステアリングの構成

本研究で対象とするステアリング機構を図1に示す．

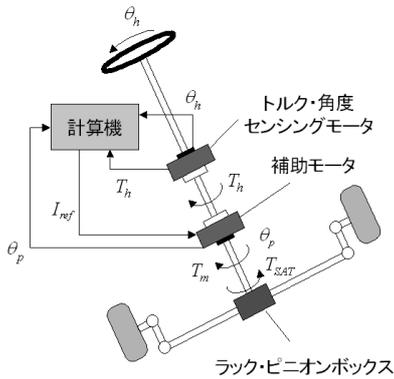


図 1: ステアリングの構成

ステアリングシャフトには2つのモータが取り付けられており，上位モータは反力推定オブザーバ [1] によって操舵トルク T_h を読み取るトルクセンサとして働く．上下のモータのエンコーダによって検出された操舵角 θ_h およびピニオン回転角 θ_p の差を補償するように下位の補助トルクが働く．ステアリングの動力学方程式は次のように表される．

$$T_h = C_h(\dot{\theta}_h - \dot{\theta}_p) + K_h(\theta_h - \theta_p) \quad (1)$$

$$J_a \ddot{\theta}_p = T_{SAT} + T_h + T_m \quad (2)$$

ここで， T_{SAT} ， T_m はそれぞれ SAT，補助モータトルクを表し， J_a はステアリングシャフト回りの慣性モーメントを表す．また， K_h ， C_h はそれぞれトーションバーの弾性および粘性係数である．

補助トルクの制御機構を図2に示す．ステアリングシャフト回りの摩擦 $F + D\dot{\omega}$ を補償し，SATのみを検出するために反力推定オブザーバが用いられている．ここで K_t はモータのトルク定数を表し，下添字 n は公称値を， $\hat{\cdot}$ は推定値を意味する．指令電流 I_{ref} は θ_h と θ_p の差，およびゲイン K_p ， K_d によって決められる．

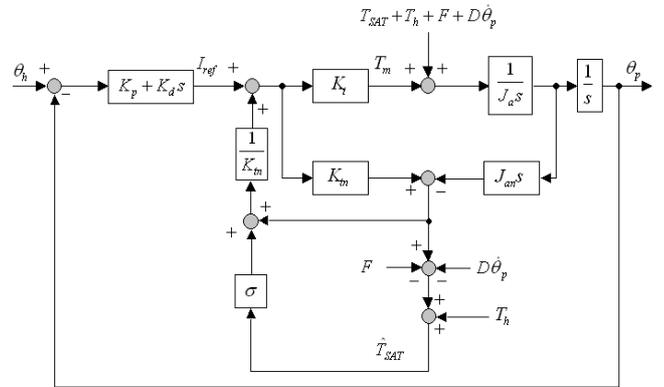


図 2: 補助トルクの制御機構

ここでは，前輪の SAT の時間変化 \dot{T}_{SAT} が定められた値を超えたときに横滑り状態とみなし，補助トルクを横滑り角が減少する方向に発生させる． $|\dot{T}_{SAT}|$ が $2000(\text{Nm/s})$ を超えたとき， \dot{T}_{SAT} の 0.06 倍の補助トルクを 5.0 秒間のステップ入力として発生させるようにした．このことを踏まえて図2を見ると，図中の σ は

$$i) |\dot{T}_{SAT}| > 2000 \text{ のとき } \sigma = 0.06 \cdot s (0.5 \text{ 秒間}) \quad (3)$$

$$ii) |\dot{T}_{SAT}| \leq 2000 \text{ のとき } \sigma = 0 \quad (4)$$

となる．

3 シミュレーション

提案した制御法の有効性を実証するために，シミュレーションを行った．車両モデルは小型トラックを模擬した2輪モデルとし，時速 72km ，操舵角 30° それぞれ一定で回旋走行するものとした．1秒後にすべてのタイヤ・路面間の摩擦係数 μ が 0.23 から 0.06 および 0.13 に減少する2つの場合を想定した．得られた車体・前輪の横滑り角と車両変位の時間変化を図3，図4に示す．

両図より，両場合において車両の横滑り角 β が1秒後から抑制されたことが分かる．また，図5より前輪の横

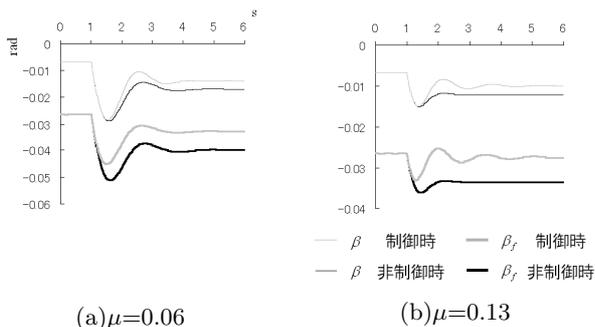


図 3: 車体と前輪の横滑り角, β , β_f

横滑りが生じた 6.0 秒後に SAT が -5.5Nm 付近まで急激に減少していることが分かる。

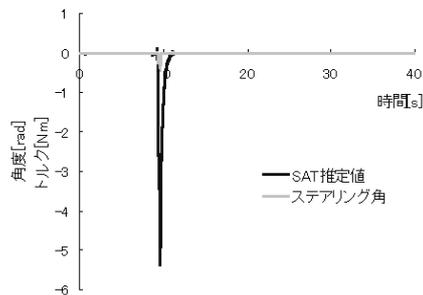


図 7: 前輪が横滑りしたときの SAT 推定値

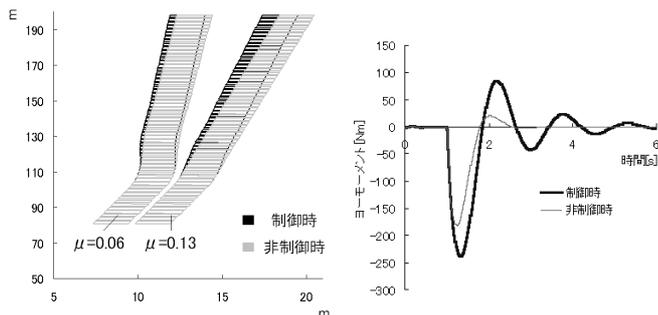


図 4: 車両変位

図 5: ヨーモーメント

滑り角抑制によって、ヨーモーメント減少による車両の安定化が実現できたことが分かる。

4 小型車による実験

SAT 推定法の有効性を検証するため、補助モータを実装した小型電気自動車の前輪を平路面に着地させた状態でステアリングを操舵し、SAT 推定値と操舵トルクを比較した (図 6)。図から、補助トルクが機能して摩擦トルクを補償し、操舵トルクの波形に比較的追従した SAT 推定値が得られていることから、本研究の制御アルゴリズムによる SAT 推定は妥当であるということがいえる。

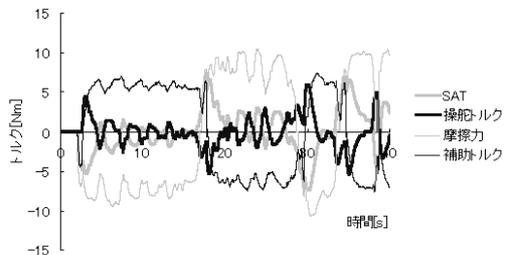


図 6: 前輪着地操舵試験

次に、砂地のグラウンドで走行実験を行った。前輪角 45° 、速度 20km/h の旋回運動上でぬかるみに進入させた。まず、制御を行わないで走行して横滑りさせた場合の前輪 SAT 推定値の時系列データを図 7 に示す。ここで、

次に制御を機能させて走行実験を行った。ここでは、SAT が -5.0Nm 未満、 \dot{T}_{SAT} が -60Nm/s 未満に減少した瞬間に 10.0Nm の補助トルクをステップ状に 3.0 秒間発生させるようにした。図 8 に SAT 推定値、ステアリング角、補助トルク値の時系列データを示す。

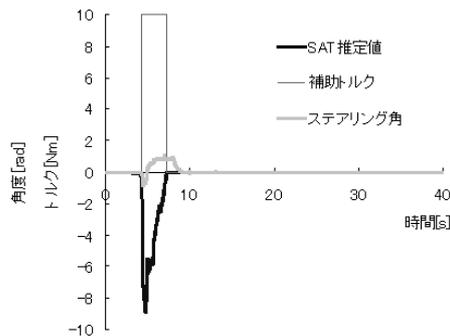


図 8: 制御時のトルク

補助トルクが働いたときは、図 7 に見られる非制御時と比べてステアリング角が前輪の横滑りを抑える方向に変化したことが分かる。このため、シミュレーションと同様に前輪の横滑り角を実車においても抑えられることが実証できた。

5 結論

本研究では自動車の前輪セルフライニングトルク (SAT) を電動パワーステアリングを用いて推定する手法を示し、推定された SAT を用いることで車両が横滑りした際の不安定挙動を改善する一制御手法を提案した。シミュレーションと実車走行実験を行い、前輪と車体を横滑り状態から回復させることができることを実証した。

参考文献

[1] 村上俊之, 大西公平: "外乱オブザーバによる多自由度ロボット の動特性同定法" 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.1, pp.131-139, (1993)