

電気自動車の時代に対応する操舵方式制御の考察

Consideration of Steering Method Control Corresponding to Age of Electric Vehicle

野崎 博路^{*)}

Hiromichi Nozaki

電気自動車の時代の到来と共に、ハンドル角に対する前輪の操舵角の関係は電気的な信号に基づく、

“ステアバイワイヤ”が適用化されていく動向にある。

従って、種々の走行シチュエーションにおいて操縦性の優れた操舵方式制御が可能となると判断できる。

そこで、本論文では、この操舵方式制御手法について考察を行った。

The relation of the front wheel steer angle to the steering wheel angle is in the trend from which “Steer By Wire” based on an electric signal is made application with the coming in the age of the electric vehicle. Therefore, it can be judged that the steer method control with excellent manoeuvrability becomes possible in various running situations. Then, this steer method control technique was considered in this paper.

1. はじめに

リチウム電池の小型・高性能化が実現されてきている今日、電気自動車の時代の到来が近づいてきているようである。また、車輪の中にモータを搭載した“インホイールモータ”という新しい技術が開発され、電気自動車はコンパクト化が可能となり、新しいモビリティの創出が可能になってきている。例えば、バイクと自動車の間領域的な1~2人乗り に特化したパーソナルカー等が出現しつつある。そして、車両にセンサー類を多く付け、走行中の事故防止技術により、まさに魚のようにスムーズに、すり抜けられる走りが未来のモビリティとして実現するのではと思われる。

また、電気自動車の時代の到来と共に、ハンドル角に対する車輪の操舵角の関係も機械的な結合に変わり電気信号に基づくモータによる操舵方式である“ステアバイワイヤ”が搭載されると考えられ、これを用いると操舵制御の自由度が広がり、操縦安定性の更なる向上が期待されている。また、ステアバイワイヤを用いればハンドル角等の電気信号に基づく様々な操舵制御を簡単に組み込むことが可能になる。従って、ドライバの思いのままに操れる操舵制御手

法等が課題となってくると思われる。

そこで、ステアバイワイヤが実用化され様々な操舵制御を組み込めることが可能になることを念頭に置き、現在、操縦安定性を向上させるための操舵制御についての検討を行っている。そこで、本論文では、操縦安定性を向上することを目的に、走行シチュエーションに応じた操舵方式制御の構築を行った例を示し、その有効性を紹介する。

2. 走行シチュエーションに応じた操舵方式制御実験

ドライビングシミュレータは、緊急回避等の実験を容易にできる利点がある。そこで近年、三菱重工業(株)と共同開発致した「ドリフトコーナリング対応ドライビングシミュレータ(図1)」を用いて実験を行った。このドライビングシミュレータは、各自由度を独立させ、大きなヨーイングと大きな横加速度を体感可能としている。すなわち、無限回転可能なヨーイング機構を有し、また、ロールにより、定常的な横加速度を模擬させ、並進運動により過渡的な横加速度を模擬し、合成することにより、実走行時の大きな横加速度(±0.7G)をシミュレートしたものである。そして、ドライバにとって望ましい操舵方式制御技術についての検討を行っている。

操舵方式制御技術は、ドライバにとって、違和感

^{*)} 工学院大学工学部教授

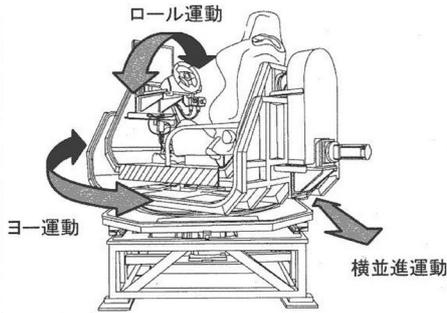


図1 ドリフトコーナリング対応ドライビングシミュレータ

の無い特性が要求されるので、ドライビングシミュレータ上で、ドライバーに違和感の無いアシスト制御技術の追求を行っている。

図2 (a) は、レーンチェンジ時におけるハンドル角を示しているが、通常の場合、ハンドル角に対して前輪の実舵角が比例的に転舵される。一方、図2 (b) は、その時のハンドル角速度の波形を示している。すなわち、ハンドル操舵角速度に応じて前輪の実舵角が転舵されるとすると、飛躍的に車両の応答の遅れが改善されることがわかる。従って、

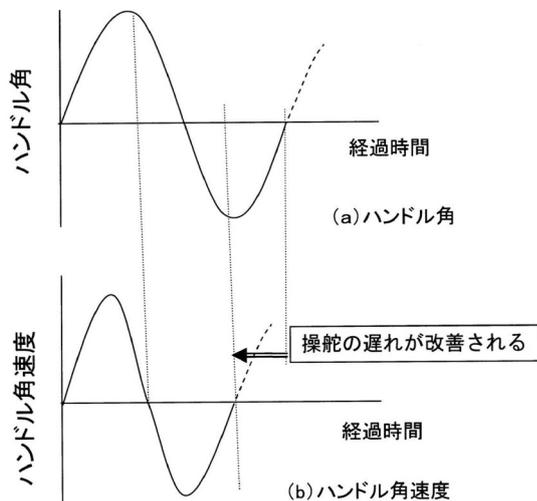


図2 ハンドル角とハンドル角速度～経過時間

緊急回避の車線変更等が瞬時に行えることがわかる。特に、後輪がグリップを失って、スピンになりかけた場合に、早いカウンターステアが必要となるが、この操作にも極めて有効となることがわかる。

実験を行った結果、下記走行シチュエーションにおいて、特に効果的であることが確認できた。

- ・緊急回避の車線変更等が瞬時に行える
- ・ドリフトコーナリング時に早いカウンターステアが可能

一方、問題点もあり、この方式の場合、円旋回中は、ハンドルを回し続けなければ、旋回が続けられないという問題点がある。図3は、直進から円旋回に入っている状態を示すが、ステアリングを切っている間はヨー角も同様に増加し車両が旋回できずコースアウトしていることがわかる。これはステアリング角速度のみ

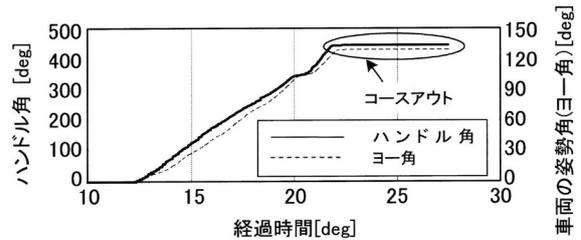


図3 微分操舵のみによる操舵方式における実験結果

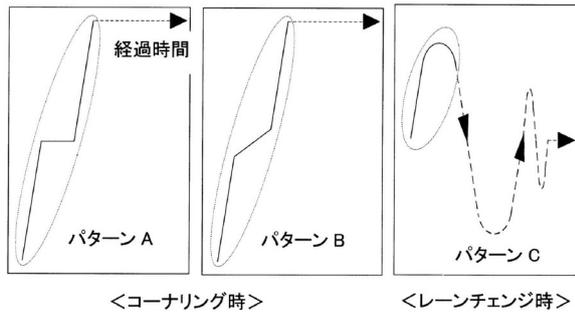
に応じて車両が旋回しているためであり、微分操舵のみではステアリングを切り続けることでしか車両は旋回せず、実際の走行に不向きなことがわかった。そこで、ハンドル角に応じて前輪が転舵される分とハンドル角速度に応じて前輪が転舵される分を組み合わせた微分操舵アシストとし、その配分を走行シ

$$\delta_f = \delta_H / N + P^* \cdot \dot{\delta}_H \quad \dots(1)$$

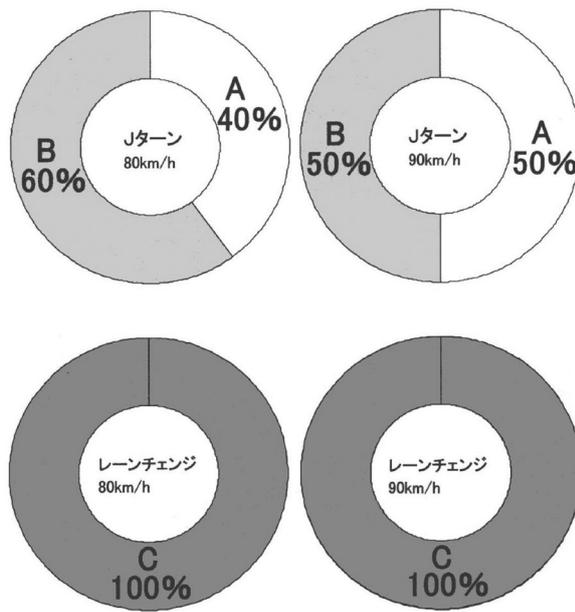
δ_f : 前輪実舵角, δ_H : 操舵角, $\dot{\delta}_H$: 操舵角速度,
 N : ステアリングギヤ比,
 P^* : 走行シチュエーション対応可変微分操舵アシスト定数

チュエーションに応じて変化させることが望ましいと考えた。すなわち、上式により前輪が転舵されるようにした。

上記の理由により、グリップコーナリングにおいては、微分操舵アシストが大きいとハンドル角を止めたとき、前輪実舵角が切れ戻る現象が発生するので、微分操舵アシスト係数は極小としている。加えて、



(a) 操舵パターン



(b) 操舵パターンの割合

図4 操舵パターンと操舵パターンの割合

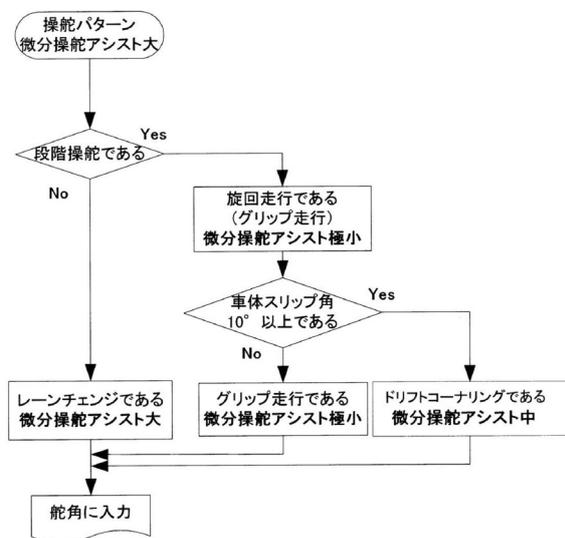


図5 操舵方式制御のフローチャート

コーナリング時と、レーンチェンジ時のシチュエーションの判別は、操舵パターンの違い (図4) より行い、段付操舵の場合はコーナリング時と判別し、滑らかな正弦波状の操舵の場合はレーンチェンジ時と判別している (コーナリング時は、ラインに沿う為の修正操舵が加わるので、このような操舵パターン傾向を示す)。

従って、図5示すように、コーナリングにおいては、グリップコーナリング時には、微分操舵アシストを極小とし、ドリフトコーナリング時には微分操舵アシストを違和感が無い程度中位に加えた。そして次に、緊急回避を模擬したレーンチェンジにおいては、レーンチェンジ～グリップコーナリング～ドリフトコーナリング間の切り替わりにドライバに違和感が感じない範囲で効果を大きめの設定とした。

また、段付操舵の場合すなわちコーナリング時において、タイヤ特性に基づき、車体スリップ角が10deg (注: 最大コーナリングフォース発生時車体スリップ角) 以下の場合はグリップコーナリングと判別し、10deg を超えた場合はドリフトコーナリングと判別し、ドリフトコーナリングにおいてのみ、微分操舵アシストを加えている。すなわち、図5のような操舵方式制御フローを実行して実験を行い、次の結果を得た。

- ・レーンチェンジ～グリップコーナリング～ドリフトコーナリング間において、ドライバが違和感の無い範囲で各走行シチュエーションに応じた操舵方式制御の望ましい効果が得られた。
- ・同様の内容を次項に示す遠隔操作式模型車両においても行い、ドライビングシミュレータによる実験結果と同様の傾向であることがわかった。

3. 操舵角に伴うキャンバ角制御実験

前項の操舵方式制御により、緊急回避性能の向上、そして、グリップ限界を越えドリフト領域に入った時のカウンターステアのコントロール性は改善されることがわかる。一方、旋回限界横加速度の向上の面では、4輪のキャンバ角制御が有効と考えられる。前項の前輪のステア方向の制御にこの4輪のキャンバ角方向の制御が加わることで、トータルの車輪の

姿勢角がより望ましく制御されることになると判断できる。

図6は、モーターサイクル用のタイヤにて、キャンバ角を大きく変化させた時のタイヤサイドフォース特性（マジックフォーミュラによる計算値）を示している。ハンドル角に応じて前輪のキャンバ角がネガティブキャンバ方向に変化させるようにすると、限界コーナリングフォースを高める方向に作用させることができる(図6において、コーナリング限界付近のスリップ角 10° 付近において、キャンバ角の効果は大きいことがわかる)。従って、モーターサイクル用のタイヤのような比較的丸い形状のタイヤとの適合により、操舵角に比例したネガティブキャンバ

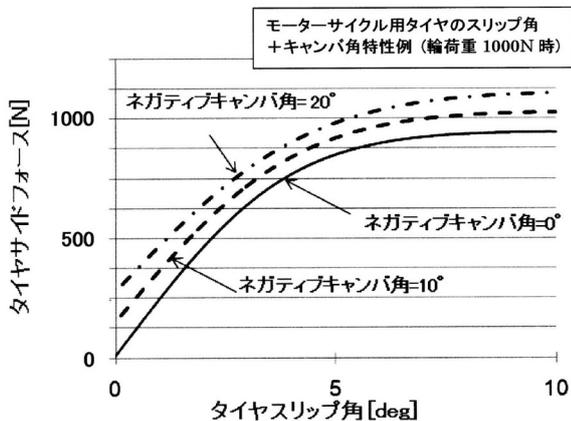


図6 ネガティブキャンバ角による最大コーナリングフォースの増加(マジックフォーミュラによる計算値)

角制御を行うことにより、コーナリング限界性能を飛躍的に向上させることができると判断できる。

図7に示す遠隔操作式の模型車両により、操舵角比例方式キャンバ角制御 ($\pm 20^{\circ}$) の実験を行い、次の結果を得た。

- ・コーナリング限界横加速度において、 $0.1 \sim 0.2G$ の向上が確認でき、コーナリング限界における、舵の効きと安定性が共に向上することが確認できた。
- ・同様の内容は前項に示すドライビングシミュレータによる実験でも同様の傾向であることがわかった。

4. おわりに

緊急回避時において違和感の無い望ましい操舵アシスト制御技術として、走行シチュエーションに応

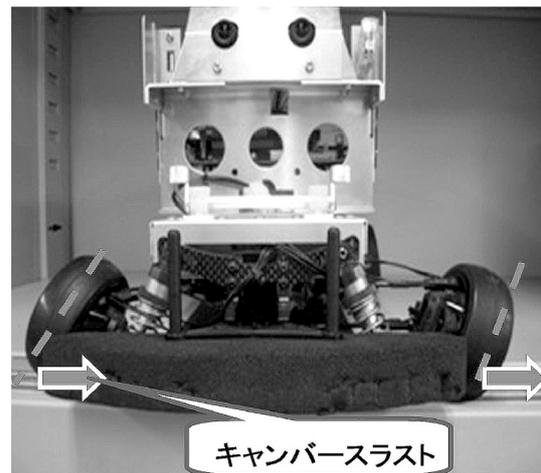
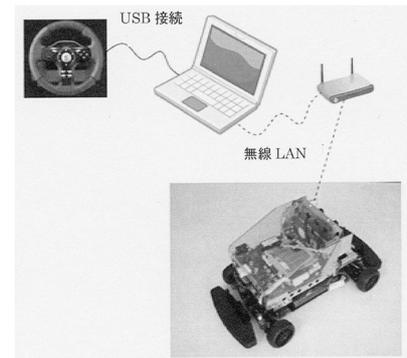


図7 遠隔操作による模型車両実験

じた操舵方式制御の研究を進めている。ドライビングシミュレータ及び模型車両での種々の走行シチュエーションに応じた操舵方式制御の効果を確認した。その結果、シチュエーションに応じて適正な操舵方式制御を行うことにより、問題点を克服し、違和感の無い操舵方式制御が可能となることがわかった。更に、操舵角に比例したネガティブキャンバ角制御がコーナリング限界横加速度へ及ぼす効果の確認が得られた。

すなわち、走行シチュエーションに応じて、車輪の姿勢角を3次元に制御することで、格段の走行安定性向上が得られることがわかった。

電気自動車の時代に対応し、今後、より一層新しい走行安定性の技術が発展し、交通事故を抑制に寄与していくことが望まれる。

参考文献

- 1) Nozaki, H., Effect of Differential Steering Assist on Drift Running Performance, SAE Technical Paper Series, 2005-01-3472 (2005), pp.1-8.
- 2) Nozaki, H., Consideration of Steering Method Control Based on Driving Situations, Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.75, No.752 (2009), pp.781-788.