

外界情報フィードバックとシャシー制御の連動による コーナリング限界での運転支援システムの考察

Consideration of Driving Assist in Critical Cornering by Synchronization
of External Information Feedback and Chassis Control

野崎 博路*)
Hiromichi Nozaki

山口 亮**)
Ryo Yamaguchi

吉野 貴彦***)
Takahiko Yoshino

自動運転が近い将来の実用化が期待されている。一方、運転する楽しみも重要であり、これらが自由にスイッチで切り替えられる方向が望ましいと考えられる。いずれにせよ、共に交通事故0を目指した開発が望まれる。そこで、運転する楽しみと走行安全性を高次元に両立させる手法として、外界情報フィードバックとシャシー制御の連動による、コーナリング限界での運転支援システムについて考察を行った。

The practical use of automatic driving in the near future is expected. On the other hand, it is thought that the direction where the driving pleasure is important, and these are freely changed by the switch is preferable. Anyway, development aims at both is hoped for traffic accidents 0. Then, the driving assist in the critical cornering by the synchronization of the external information feedback and the chassis control was considered as a technique for improving driving pleasure and driving safety in the higher dimension.

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。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”が搭載されてきつつある。

更に、電気自動車においては、車両のスペース的な余裕が大きく、車輪のキャンバ角制御や内外輪の制駆動力制御の自由度が大きく、これらのシャシー制御により走行領域は大きく拡大すると考えられ、運転の楽しみと走行安全性は大きく向上できる。

一方、走行安全性の更なる向上には、近年目覚ましく性能向上している、外界センサーによる情報フィードバックは、予測的コントロールでドライバの運転操作をより正確にアシストでき、走行安全性に大きく寄与できる。

そこで、本論文では、コーナリング限界での操縦安定性を向上することを目的に、運転支援システムの考察を行った例を示し、その有効性を紹介する。

2. 外界情報フィードバックとシャシー制御の連動 の実験に用いたドライビングシミュレータ

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、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なっている。

操舵方式制御技術は、ドライバにとって、違和感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、ドライバに違和感の無いアシスト制御技術の追求を行なっている。

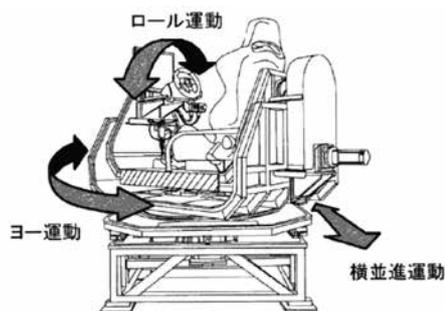


図1 ドリフトコーナリング対応ドライビングシミュレータ

*) 工学院大学工学部教授

***) 工学院大学大学院(現在 三菱自動車)

****) 久留米工業大学工学部講師

3. 外界情報フィードバックによるアシスト操舵

3.1. 障害物検知によるアシスト

外界センサにより、障害物を検知する。図2のように障害物との距離を L 、障害物との角度を θ とする。

図3に示すブロック線図のように、検知した障害物との距離、角度をフィードバックし、操舵角アシストを加える。距離 L が規定値以下に障害物が近づいた場合に、 θ の+、-で障害物の左右判別を行う。これにより、左に障害物があった場合右にハンドル操作、右に障害物があった場合左にハンドル操作を行うようにアシストする。手動操舵と操舵アシストの割合は、ドライバーの手動操舵50%に、操舵アシストが50%が加えられる。



図2 外界センサー情報

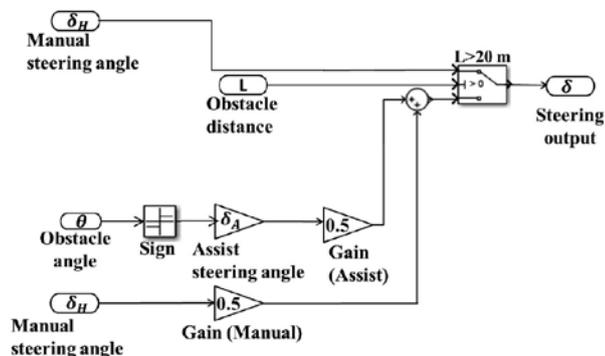


図3 障害物検知による緊急アシスト制御のブロック線図

3.2. 白線検知によるコーナリングアシスト

外界センサにより、白線を認識する。図4のように白線との角度を $\pm\theta$ とする。図5に示すブロック線図のように白線との角度をフィードバックし、操舵角アシストを加える。左の白線を見ているセンサの角度が $-\theta$ 側に大きくなった場合左カーブ、右の白線を見ているセンサが $+\theta$ 側に大きくなった場合左カーブと判断し、ハンドル操作をアシストする。手動操舵と操舵アシストの割合は、ドライバーの手動操舵50%に、操舵アシストが50%が加えられる。

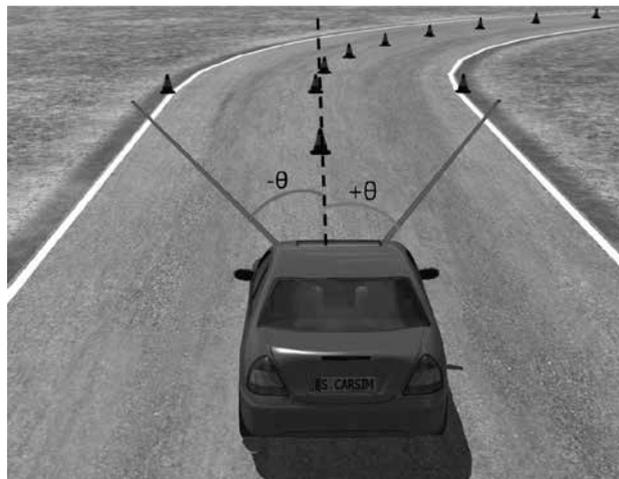


図4 外界センサー情報

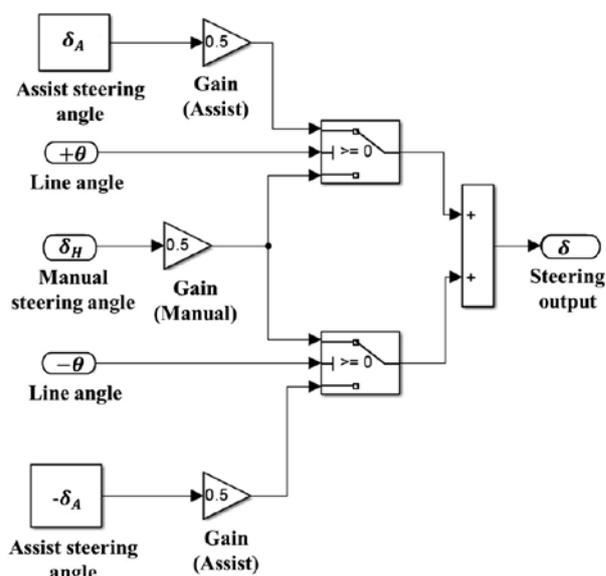


図5 白線検知によるコーナリングアシスト制御のブロック線図

4. シャシー制御

4.1. 内外輪制駆動力制御

内外輪制駆動力制御は、スリップ角が増加するにつれて横力が増加し続けるという特性のタイヤ（規範タイヤ）と実際の車両のタイヤが発生するヨーモーメントの差から各タイヤに制駆動力を配分することでヨーモーメントを制御する。

4.2. キャンバ角制御

キャンバ角制御（図6）では、旋回中心方向にタイヤを傾ける対地ネガティブキャンバ角制御を行う。コーナリング限界を迎えてもキャンバスラスト効果により、コーナリング限界性能が向上する。図7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。本実験で用いたキャンバ角制御のフローチャートを図8に示す。車体スリップ角が設定した値を超えた場合、後輪の対地ネガティブキャンバ角約20deg（コーナリングフォース1.2倍相当）が加わるようになっている。



図6 キャンバ角制御

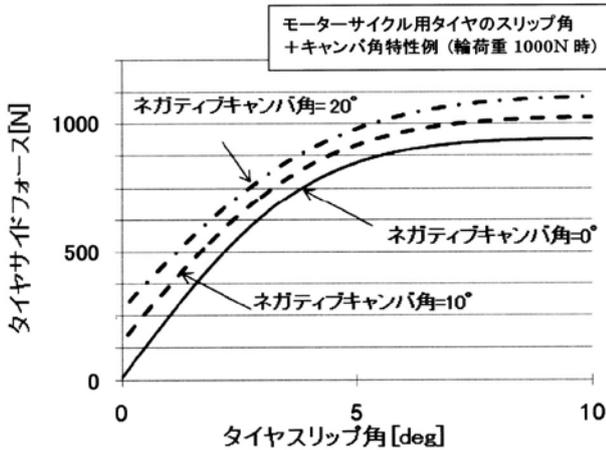


図7 ネガティブキャンバ角による最大コーナリングフォースの増加 (マジックフォーミュラによる計算値)

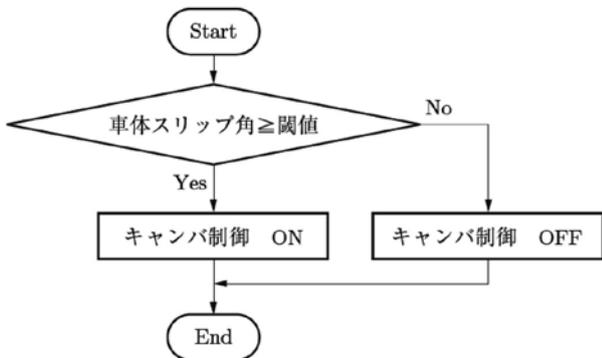


図8 キャンバ角制御のフローチャート

4.3. 微分操舵アシスト

微分操舵アシスト制御は、式(1)に示すとおり、ドライバーは自ら操舵した値よりも操舵角速度に比例した値分、前輪実舵角の位相が早くなり、ステアリング操作の容易さ、操縦安定性の向上を図る(図9)。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。本実験で用いたプログラムのブロック線図を図10に示す。車体スリップ角が規定値未満の時は $P = 0$ 、車体スリップ角が規定値以上の時には、 $P = 0.07$ の微分操舵アシストを加える制御を行った。

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

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 : 微分操舵アシスト定数

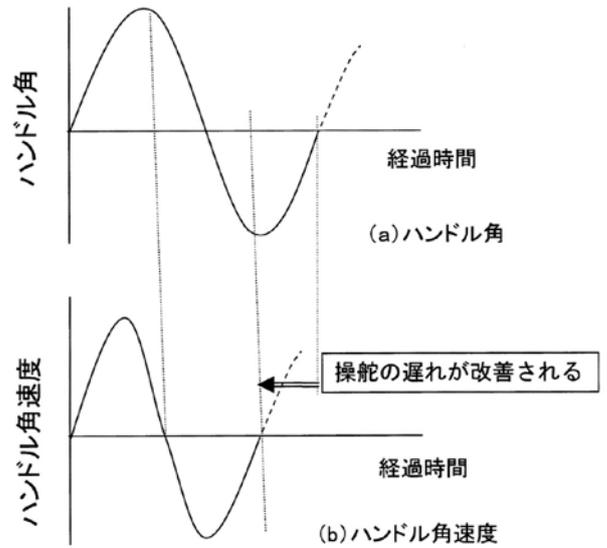


図9 ハンドル角とハンドル角速度～経過時間

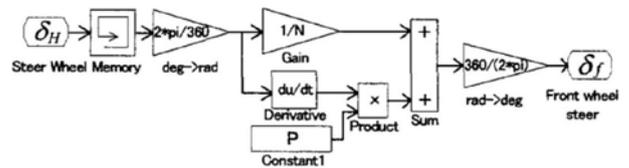


図10 微分操舵アシストのブロック線図

5. 外界情報フィードバックとシャシー制御の連動の効果

5.1. 障害物検知+シャシー制御による緊急回避アシスト実験結果

図11の車速 80km/h の車体スリップ角の時系列波形から手動運転では大きくスピンしているが、外界情報フィードバックした操舵アシストモデル (以下、操舵アシストモデルと称す。) では安定した走行ができていたことがわかった。更に、内外輪制駆動力制御を加えることでヨーモーメント制御によりスリップ角が減少し収束も早くなっていることがわかった。

コーナリング限界付近となる車速を 20 km/h アップした、図12の車速 100km/h の車体スリップ角の時系列波形から、内外輪制駆動力制御を加えた場合では収束せずスピンしているが、キャンバ角制御を加えた場合ではキャンバスラスト効果で車体スリップ角が抑えられ安定した走行ができていたことがわかった。

更に、ドリフトを伴うコーナリング限界となる車速を 20 km/h アップした、図13の車速 120km/h の車体スリップ角の時系列波形から、微分操舵アシストを加えることで、前輪実舵角の位相が進み、カウ

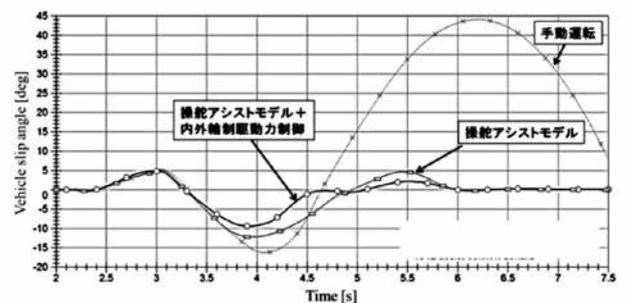


図11 車体スリップ角の時系列波形 (車速 80km/h)

ンターステアの応答性が向上したことで収束への波形が早まっていることがわかった。

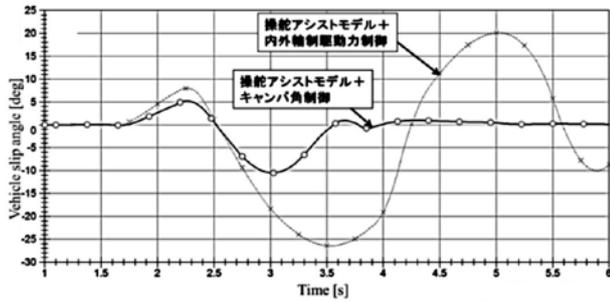


図 12 車体スリップ角の時系列波形 (車速 100km/h)

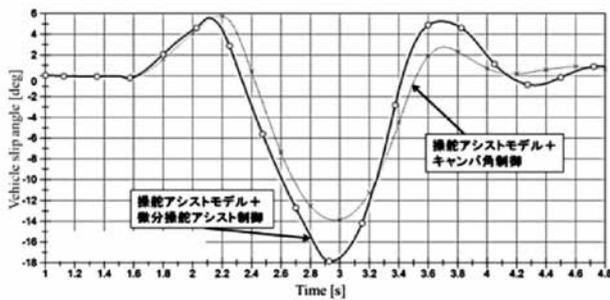


図 13 車体スリップ角の時系列波形 (車速 120km/h)

5.2. 白線検知によるコーナリングアシスト

一例を示すと、図 14 の車速 97km/h の走行軌跡のグラフから、内外輪制駆動力制御では対応できない領域において、キャンバ角制御を加えることで限界横加速度が向上し、コーナリング限界車速を高めることが可能となることがわかった。

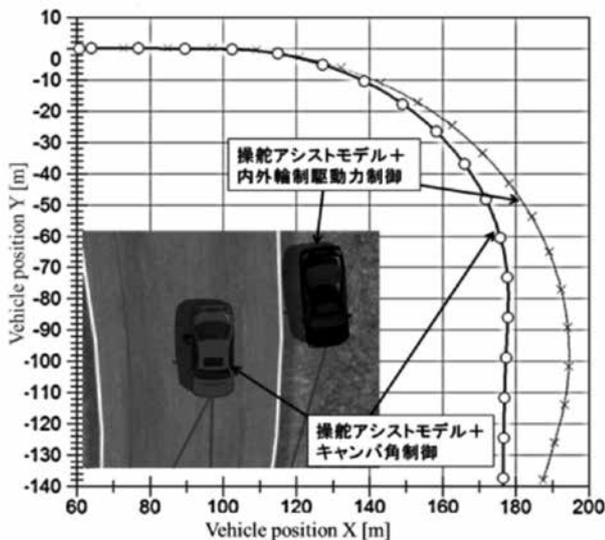


図 14 走行軌跡 (車速 97km/h)

6. 外界情報フィードバックとシャシー制御の連動の効果の実車実験

図 15 に示す小型電気自動車を製作して、シャシー制御 [内外輪制駆動力制御、大キャンバ角制御 ($\pm 20^\circ$)、ステアバイワイヤ製作による微分操舵アシスト] の効果を確認した。また、図 15 に示す外界センサーを装着し、その効果を検討している。

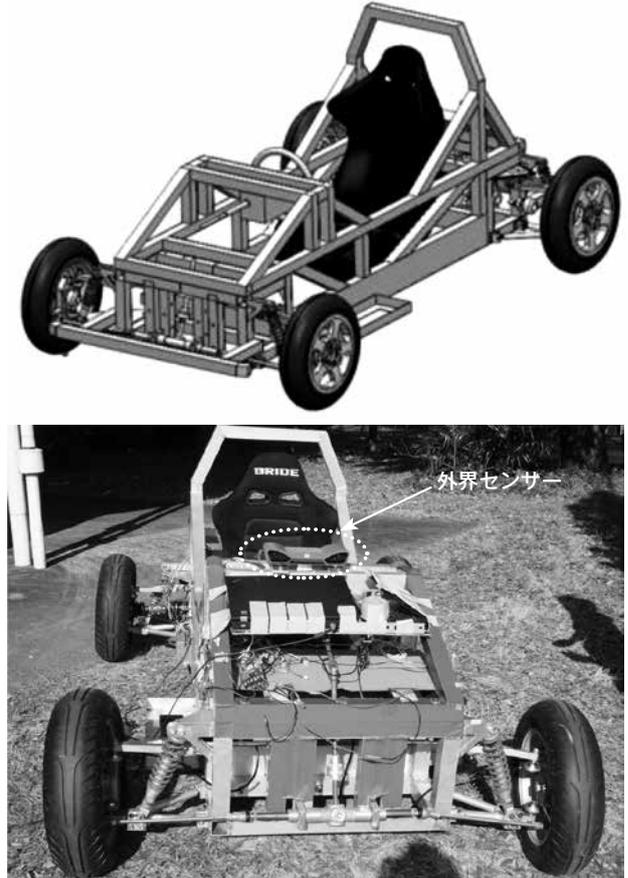


図 15 製作した小型電気自動車 (シャシーテストカー)

7. おわりに

外界情報フィードバックによる操舵アシストにより人間の反応の遅れを改善し、安全性の向上が確認できた。更に、シャシー制御を連動することによりコーナリング限界領域での操縦安定性の向上が確認できた。

以上より外界情報フィードバックによる操舵アシストとシャシー制御を連動することによりコーナリング限界を高め、安全性と運転する楽しさの更なる向上の実現が可能となることがわかった。

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) 野崎博路, 自動車の限界コーナリングと制御, 東京電機大学出版局, 2015.