

# 小型電気自動車におけるシャシー制御と外界情報フィードバックによるコーナリング限界の性能向上

## Performance Improvement in Critical Cornering by Synchronization of Chassis Control and External Information Feedback

野崎 博路\*

Hiromichi Nozaki

山口 亮\*\*

Ryo Yamaguchi

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、小型電気自動車を製作して、シャシー制御と外界情報フィードバックによる、コーナリング限界での性能向上について検討した。

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, in the small sized electric vehicle, the performance improvement in the critical cornering by the synchronization of the chassis control and the external information feedback was examined.

### 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代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い。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、前報(参考文献1)に引き続き、以下の検討を行った。具体的には、小型電気自動車を製作し、コーナリング限界での操縦安定性向上を目的に、シャシー制御と外界情報フィードバックによる効果について検討した。

### 2. 本研究の位置づけ

本研究の具体的な内容に入る前に、本研究の位置づけにつ

いて示す。

自動運転化が進む自動車の望ましい方向は下記と考えられる。

- ①運転を楽しむドライブモード(運転支援を含む)
- ②リラックスして快適空間を楽しむ自動運転モード

この2つのモードが、スイッチで切り換えられると、運転する喜びと、自動運転が共存が図れるからである。

そこで、本研究では、前者の①について、運転を楽しめ、かつ、運転支援で事故を防止する、いわゆる“半自動運転”のモードの検討として、シャシー制御と外界センサによるアシスト制御の望ましい運動について検討を行っている。

具体的なシャシー制御と外界センサによるアシスト制御の運動について、表1に示す。(注：内外輪制駆動力制御については、限界コーナリング性能自体を高める効果はキャンバ角制御の方がはるかに高いので[前報の参考文献1参照]、本報では省略しているが検討は行っている。)

表1 シャシー制御と外界センサによるアシスト制御の運動

	コントロール手段		主な性能向上	主な効果
シャシー制御	a). ステアリング系のコントロール	ステアバイワイヤ(微分操舵アシスト組込)	・カウンターステアの遅れをカバー	◎運転の楽しさの向上 ◎走破性の拡大による走行安全性の向上
	b). サスペンション系のコントロール	キャンバ角制御	・限界コーナリング性能向上	
外界センサによるアシスト制御	c). 外界センサによる操舵アシスト		・先読みコントロール	◎安全性の向上

### 3. シャシー制御の効果の把握

#### 3.1. 製作した小型電気自動車の概要

図1に示す小型電気自動車を製作して、シャシー制御として、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2つの制御の効果を確認した。



図1 製作したシャシー制御車両

#### 3.2. キャンバ角制御の概要

大スリップ角すなわちタイヤのコーナリング限界付近における、キャンバ角が増加した時のタイヤの横力の増加について、図2(参考文献2)のような、実験結果がある。これは、旋回時の外輪の横力を示すが、コーナリング限界付近の大スリップ角領域においても、ネガティブキャンバ角により、横力が増加していることがわかる。

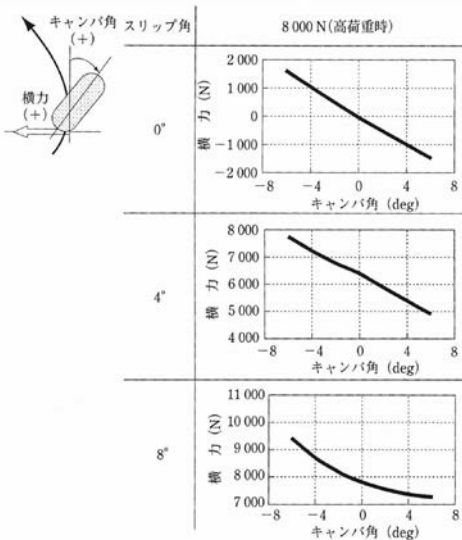


図2 大キャンバ角時のタイヤサイドフォース特性(実験値)

キャンバ角制御では、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3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。製作したシャシー制御車両において、図4に示すように、前後輪のキャンバ角制御を含めたサスペンションは、ユニット化して種々のサスペンションの試験への対応を容易な構造とした。本実験で用いたキャンバ角制御の作動装置を図5に示す。操舵角に対するキャンバ角の関係特性は、図6のように設定した。

ンバ角制御を含めたサスペンションは、ユニット化して種々のサスペンションの試験への対応を容易な構造とした。本実験で用いたキャンバ角制御の作動装置を図5に示す。操舵角に対するキャンバ角の関係特性は、図6のように設定した。

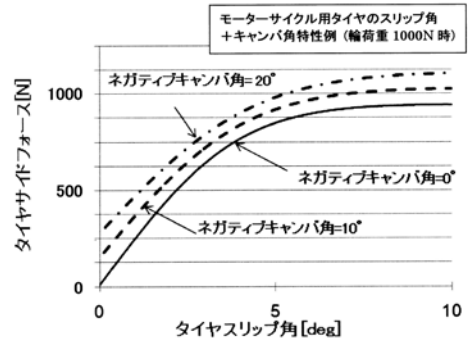


図3 タイヤサイドフォース特性(キャンバ角変化時)  
(マジックフォーミュラによる計算値)

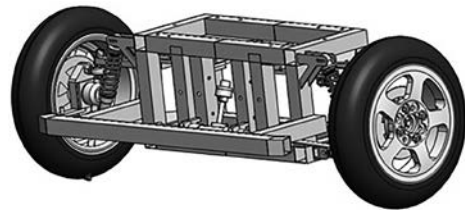
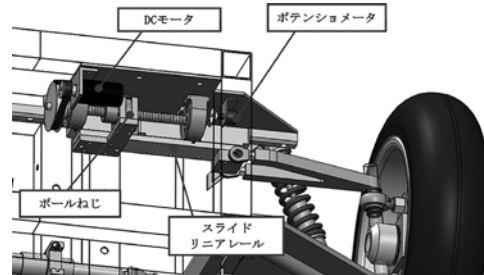
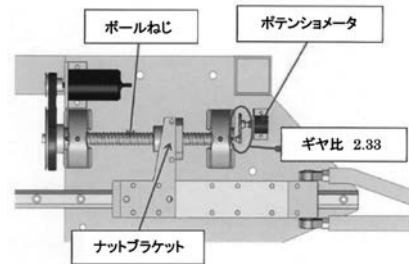


図4 キャンバ角制御ユニット(前輪例)



(a) キャンバ角制御メカニズム



(b) キャンバ角制御の作動部

図5 キャンバ角制御の作動装置

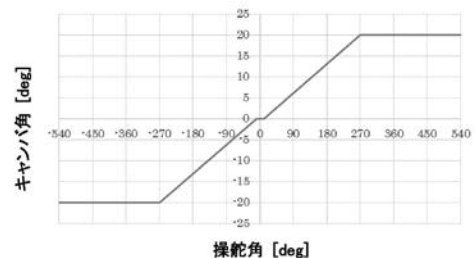


図6 操舵角～キャンバ角の関係特性

### 3.3. 微分操舵アシストの概要

ステアリング系は、図7に示す、ステアバイワイヤシステムを製作して装着している。

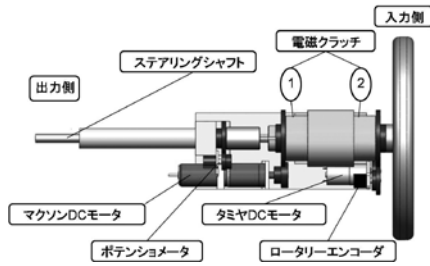


図7 ステアバイワイヤシステム

微分操舵アシスト制御は、式(1)に示すとおり、ドライバ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。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8に示す。P=0.07の微分操舵アシストを加える制御を行った。

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

$\delta_f$  : 前輪実舵角,  $\delta_H$  : 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

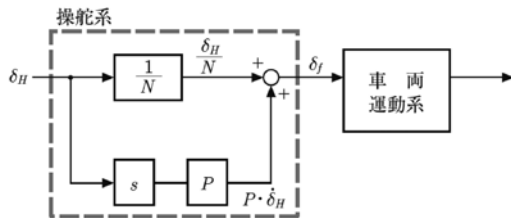


図8 微分操舵アシストのブロック線図

## 4. 実験方法および実験結果

### 4.1. 実験方法

図9に示すように、スラローム走行試験とJターン走行試験を行った。被験者は、車速は、25km/hを維持して走行した。走行実験の様子を図10に示す。

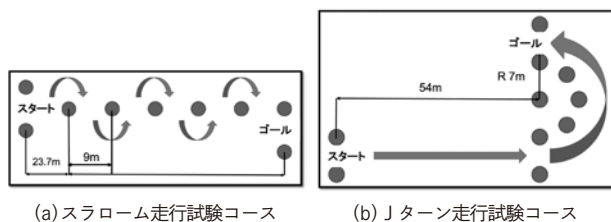


図9 走行試験コース



図10  
走行実験の様子

### 4.2. キャンバ角制御の実験結果

図11は、スラローム走行試験時における前輪キャンバ角制御における操舵角の時系列波形を示す。この実験結果より、旋回方向に前輪ネガティブキャンバ角制御されることにより、コーナリング限界における操舵角をより小さくても、舵の効きが良いのでうまくコントロールできていることがわかった。また、図12より、Jターン走行試験時も同様に、舵の効きが良いのでコーナリング限界において、より小さい操舵角でコントロールできていることがわかった。

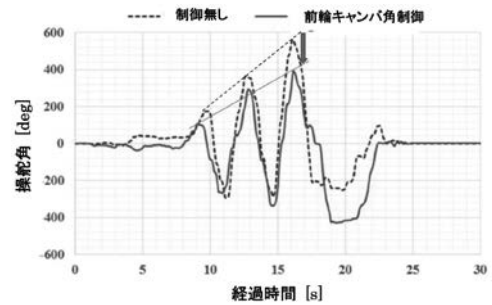


図11 前輪キャンバ角制御における操舵角の時系列波形 (スラローム走行試験時)

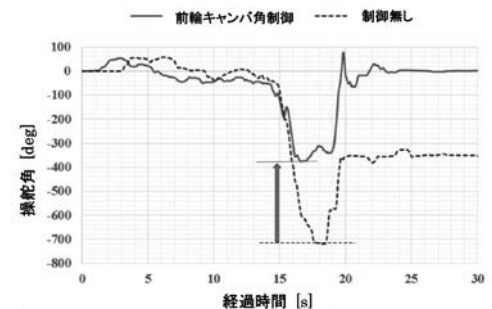


図12 前輪キャンバ角制御における操舵角の時系列波形 (Jターン走行試験時)

図13は、Jターン走行試験時における4輪キャンバ角制御における操舵角の時系列波形を示す。この実験結果より、旋回方向に4輪ネガティブキャンバ角制御されることにより、舵の効きが良いのでコーナリング限界において、より小さい操舵角でコントロールでき、更に、後輪の横滑りも抑えられて前後輪のバランスが良くコントロールできていることがわかった。



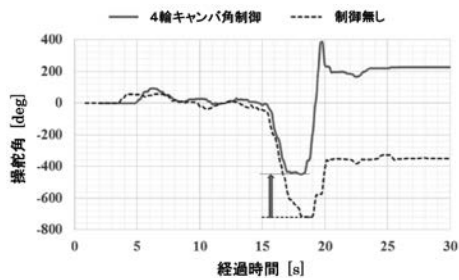


図13 4輪キャンバ角制御における操舵角の時系列波形 (Jターン走行試験時)

#### 4.3. 微分操舵アシスト制御の実験結果

図14は、スラローム走行試験時における微分操舵アシスト制御における操舵角のヨーレイトの時系列波形を示す。操舵フィーリングにおいて、コーナリング限界における操舵に対する前輪の応答レスポンスが高まり、クイックな舵の効きが得られており、実験結果でも、図14に示すように、ヨーレイトの応答性が向上し、限界コーナリングにおける性能向上を確認できた。

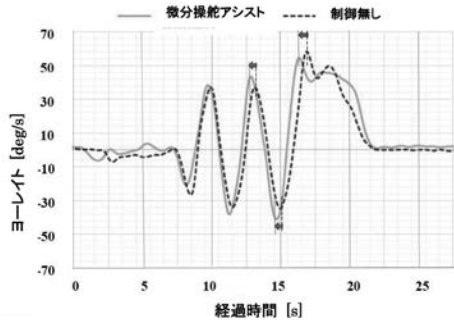
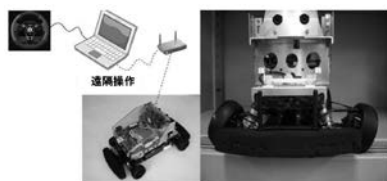


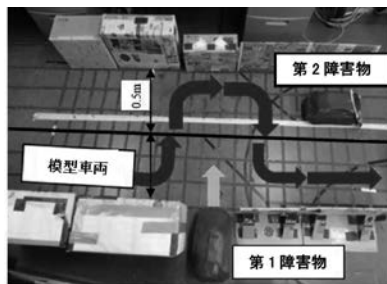
図14 微分操舵アシスト制御におけるヨーレイトの時系列波形 (スラローム走行試験時)

#### 5. 外界センサを用いた操舵アシスト効果の確認実験

図15は、外界センサによる操舵アシストの走行実験(模型車両)の概要を示す。外界センサによる操舵アシストの実験において、手動操舵50%、外界センサによる操舵アシスト50%にて



(a)遠隔操作の模型車両



(b)走行コース

図15 外界センサによる操舵アシストの走行実験(模型車両)

行っている。被験者は、車速は、70cm/sを維持して走行した。

図16は、外界センサによる操舵アシストの走行実験(模型車両)の結果を示す。この結果より、外界センサによる操舵アシストにより、先読みコントロールされ、車両のヨーレイトの応答が早まっていることがわかった。

また、図17に示すように、前頁の図1に示す小型電気自動車に外界センサを組み込み、実車においてその効果を把握している。

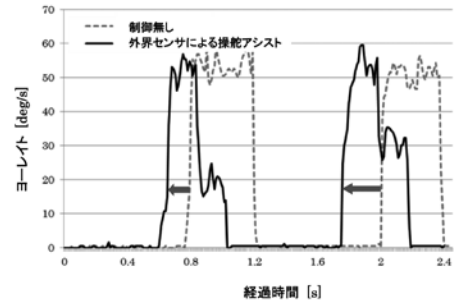


図16 外界センサによる操舵アシスト効果の確認実験結果



図17 製作した小型電気自動車(シャシーテストカー)

#### 6. おわりに

実際の走行実験から、シャシー制御によるコーナリング限界領域での操縦安定性の向上を確認できた。更に、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。以上より、実際の走行実験から、シャシー制御と外界情報フィードバックによる操舵アシストにより、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, 山口亮, 吉野貴彦: 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, JAHFA (JAPAN AUTOMOTIVE HALL OF FAME), No.17, 2017年, pp.93-96
- 2 小林弘, 大山鋼造, 金島政弥: 実走行時のタイヤ接地特性計測, 自動車技術, vol.65, No.7, 2011年, pp.75-80
- 3 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.