

氏名（本籍）	吉野貴彦（千葉県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博甲第132号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
学位授与年月日	平成27年3月31日
学位論文題目	サスペンションコントロールによる車両の操縦性・安定性向上手法に関する研究
論文審査委員	主査 野崎博路 副査 廣木富士男 鈴木健司 森和典（久留米工業大学） 高橋宏（湘南工科大学）

論文要旨

<目次>

- | | |
|--|--|
| <p>第1章 緒論</p> <p>1.1 本研究の目的</p> <p>1.2 従来研究と本研究の特色</p> <p>1.3 本研究の構成及び内容</p> <p>第2章 可変ステアリングギヤ制御と内外輪制駆動力制御</p> <p>2.1 緒言</p> <p>2.2 模擬走行実験装置</p> <p>2.3 可変ステアリングギヤ制御</p> <p>2.4 内外輪制駆動力制御</p> <p>2.5 結言</p> <p>第3章 キャンバ角制御の効果解析</p> <p>3.1 緒言</p> <p>3.2 大キャンバ角のコーナリング特性</p> <p>3.3 モーメント法を用いた運動性能解析</p> <p>3.4 3自由度・車両運動シミュレーション計算による解析</p> <p>3.5 模型車両による走行実験</p> <p>3.6 結言</p> <p>第4章 限界領域におけるキャンバ角制御及び制動力制御の効果比較</p> <p>4.1 緒言</p> <p>4.2 制御方式</p> <p>4.3 実験方法</p> <p>4.4 限界走行実験の結果及び考察</p> <p>4.5 結言</p> <p>第5章 キャンバ角制御と内外輪制駆動力制御の協調制御による限界性能向上</p> <p>5.1 緒言</p> | <p>5.2 規範タイヤ特性を用いた内外輪制駆動力制御</p> <p>5.3 規範タイヤ特性を用いた内外輪制駆動力制御の効果確認実験</p> <p>5.4 後輪キャンバ角制御の効果</p> <p>5.5 キャンバ角制御と内外輪制駆動力制御（規範タイヤ特性方式）の協調制御</p> <p>5.6 結言</p> <p>第6章 サスペンションコントロールを適用した電気自動車</p> <p>6.1 緒言</p> <p>6.2 電気自動車の概要</p> <p>6.3 ステアバイワイヤの構成</p> <p>6.4 大キャンバ角制御ユニットの構成</p> <p>6.5 スラローム走行実験とフィーリング評価結果</p> <p>6.6 結言</p> <p>第7章 結論</p> <p>第1章 緒論</p> <p>本章では、本研究の目的、そして、従来の研究から本研究の位置付けを示すと共に、本研究の構成を説明した。最近、自動車の駆動源だけに留まらず各種走行装置の電動化の方向が加速している。完全な電動化が達成されると、車両運動制御技術は一段と進化したものになることが期待される。</p> <p>例えば、電気自動車において四輪インホイールモータ方式を採用すれば、制駆動が四輪独立に制御可能となる。また、前後輪のみならず全輪を電磁的なアクチュエータで独立に舵角制御を行ったり、アクチュエータでタイヤのキャンバ角を大きな舵角で制御することも機構上容易にできる。</p> <p>さらには、このような制御装置のバイ・ワイヤ化により設計自由度を格段に広げることも可能になる。</p> |
|--|--|

以上の背景をもとに、本論文は、電気自動車時代に対応した操縦性・安定性向上手法に関する研究成果をまとめたものである。主にコーナリング限界領域の運動性能のなかで、工学的意義が高い研究結果について記述している。

次に、具体的に説明を加える。

従来技術としては、コーナリング限界領域の運動性能の研究成果として内外輪制駆動力制御によるダイレクトヨーコントロールの技術が実用化され、旋回制駆動時の挙動変化等を抑えることができるようになった。

しかしながら、これらの技術は、コーナリング限界時のヨーイング挙動を安定化させる方向であり、内外輪制駆動力制御ではコーナリング限界時の横加速度をコントロールすることは、タイヤ摩擦円の関係から限界がある。そこで、本研究の主要部分としては、キャンバ角を積極的にコントロールし、コーナリング限界時のヨーイングコントロールのみならず、横加速度方向のコントロールも可能とすることにより、コーナリング限界コントロール性向上を目的としたものである。

この内容についてモーメント法を使った解析、ドライビングシミュレータ、模型車両、実車製作走行によって立証しようと狙ったものである。

また、それでも、走行シチュエーションによっては、コーナリング限界を超え、ドリフト領域に至るケースも有りうるので、先行検討として、ドリフト領域においてカウンターステア操作を容易にする為、可変ステアリングギヤ制御、操舵角速度に応じた内外輪制駆動力制御、微分操舵アシストにより、その領域のカバーをすることも加えた。

以上が本研究の目的である。

第2章 可変ステアリングギヤ制御と内外輪制駆動力制御

本章では、カウンターステアを伴うドリフト領域のコントロール性を向上を狙いとして、カウンターステア時のコントロールを容易にする手法として、「可変ステアリングギヤ制御」、「操舵角速度に応じた内外輪制駆動力制御」、「微分操舵アシスト制御」の操舵系によりドリフト領域のコントロール性向上手法を明らかとした。これによりドリフト領域のコントロール性は大きく向上することがわかった。

第3章 キャンバ角制御の効果解析

本章では、グリップ限界領域そのものをコントロールする方向として、「操舵角に応じたキャンバ角制御」を

考案した。その効果を理論的に明らかにする為、モーメント法解析、及び3自由度シミュレーションを行ない理論的に検証し、模型車両実験にて、効果を明らかにした。限界領域において、操舵角に応じてキャンバ角を変化させることで、限界領域の限界横加速度と、ヨーモーメントを高めることができることを理論的に明らかにし、実験で立証したものは初めてであり、自動車のコーナリング限界領域の運動性能技術分野の発展に大きく寄与する一指針を示すことができた。

第4章 限界領域におけるキャンバ角制御及び制動力制御の効果比較

本章では、第3章のキャンバ角制御の効果を車両の横滑り制御へ適用した場合の効果について検討した。すなわち車体スリップ角がコーナリング限界領域に近づいてきたら、車体スリップ角に応じてキャンバ角を旋回方向に對地ネガティブキャンバ方向にもっていくことで、車体に横滑りが生じ、後輪が滑り出し、スピンのしかけ状態から、車両の横すべりを抑え、グリップ限界に引き戻すコントロールをさせた。すなわち「車体スリップ角に応じたキャンバ角制御」の効果を外輪制動力制御の効果に対比し、その優位性を示した。すなわち、キャンバ角制御ではグリップ限界を高めるコントロールなので、限界横加速度を制動力によって下げってしまう、制動力制御に比べ、限界コントロール性は著しく優ることを明らかにした。

第5章 キャンバ角制御と内外輪制駆動力制御の協調制御による限界性能向上

本章では、コーナリング限界で制駆動を伴う場合に、スピン等の挙動が発生し、車両挙動を著しく低下させてしまう為、その挙動を抑え、かつ、限界領域で横すべりが発生した状態でも、良好な限界コントロール性が得られる方向性を検討した。

すなわち「車体スリップ角に応じたキャンバ角制御と内外輪制駆動力制御の協調制御」により、コーナリング限界時のヨーモーメントコントロールと、限界横加速度のコントロールの2つを同時にコントロールする新たな手法を提案し、その効果を明らかにした。内外輪制駆動力制御においても、従来のヨーモーメントの増加の制御だけでは無く、少しでも限界横加速度を高めるべく4輪のタイヤ摩擦円を最大限にコントロールする規範タイヤ特性に近づけるヨーモーメント制御を提案している。この、「車体スリップ角に応じたキャンバ角制御と内外輪制駆動力制御の協調制御」の効果を明らかにしたものは

初めてであり、これも自動車のコーナリング限界領域の運動性能技術分野の発展に大きく寄与するものと判断できる。

第6章 サスペンションコントロールを適用した電気自動車

本章では、小型電気自動車を製作し、4輪キャンバ角コントロール及び、操舵系はステアバイワイヤを試作し、第2章の操舵系制御の効果を確認した。すなわち、これにより、コーナリング限界コントロール性を著しく改善することができた。すなわち、限界時の「舵の効きの向上」と「車両の横すべりの低減」の効果が確認できた。以上が結論である。

第7章 結論

本章は結論であり、本研究の成果を総括するとともに今後の課題について述べる。以上を総括すると、本研究の成果は、次のようになる。

グリップ限界領域からドリフト領域に至る迄の限界コントロールの向上手法を明らかとした。特にこれ迄効果の立証がなされていなかった大キャンバ角制御の効果について、理論的に明らかにし、ドライビングシミュレータ、模型車両、実車製作走行によってその効果を立証したのは本件が初であり、自動車運動性能技術分野の発展に大きく寄与すると判断できる。

今後の課題としては、人一自動車系とし、人間にとって違和感の無い望ましい制御であることを実車走行実験によって、さらに立証していくことがある。

本論文の技術の実用化開発により、コーナリング限界コントロール性が向上し、自動車のコーナリング中に発生する事故低減につながることを望んでいる次第である。

論文審査要旨

最近、自動車の駆動源だけに留まらず各種走行装置の電動化の方向が加速しており、車両運動制御技術は一段と進化が期待される。例えば、電気自動車において四輪インホイールモータ方式を採用すれば、制駆動が四輪独立に制御可能となる。また全輪を電磁的なアクチュエータで独立に舵角制御を行ったり、アクチュエータでタイヤのキャンバ角を大きな舵角で制御することも機構上容易にできる。さらには、この制御装置のバイ・ワイヤ化により設計自由度を格段に広げることが可能になる。以上の背景より、本論文は、電気自動車時代に対応した操

縦性・安定性向上手法に関し、コーナリング限界領域の運動性能の工学的意義が高い研究成果を記述している。

第1章は、本研究の目的、そして、従来の研究から本研究の位置付けを示すと共に、本研究の構成を説明している。従来技術としては、コーナリング限界領域の運動性能の研究成果として内外輪制駆動力制御によるダイレクトヨーコントロールの技術が実用化され、旋回制駆動時の挙動変化等を抑えることができるようになった。しかしながら、これらの技術はコーナリング限界時のヨーイング挙動を安定化させる方向であり、内外輪制駆動力制御ではコーナリング限界時の横加速度をコントロールすることは、タイヤ摩擦円の関係から限界がある。そこで、本研究の主要部分としては、キャンバ角を積極的にコントロールし、コーナリング限界時のヨーイングコントロールのみならず、横加速度方向のコントロールも可能とすることにより、コーナリング限界コントロール性向上を目的としたものである。この内容についてモーメント法を使った解析、ドライビングシミュレータ、模型車両、実車製作走行によって立証しようと狙ったものである。

また、それでも、走行シチュエーションによっては、コーナリング限界を超え、ドリフト領域に至るケースも有りうるので、先行検討として、ドリフト領域においてカウンターステア操作を容易にする為、可変ステアリングギヤ制御、操舵角速度に応じた内外輪制駆動力制御、微分操舵アシストにより、その領域のカバーをすることも加えた。以上が本研究の目的である。

第2章では、カウンターステアを伴うドリフト領域のコントロール性を向上を狙いとして、カウンターステア時のコントロールを容易にする手法として、「可変ステアリングギヤ制御」、「操舵角速度に応じた内外輪制駆動力制御」、「微分操舵アシスト制御」の操舵系によりドリフト領域のコントロール性向上手法を明らかとした。これによりドリフト領域のコントロール性は大きく向上することが明らかになった。

第3章では、グリップ限界領域そのものをコントロールする方向として、「操舵角に応じたキャンバ角制御」を考案した。その効果を理論的に明らかにする為、モーメント法解析、及び3自由度シミュレーションを行ない理論的に検証し、模型車両実験にて、効果を明らかにした。限界領域において、操舵角に応じてキャンバ角を変化させることで、限界領域の限界横加速度と、ヨーモーメントを高めることができることを理論的に明らかにし、実験で立証したものは初めてであり、自動車のコーナリング限界領域の運動性能技術分野の発展に大きく寄

与する一指針を示すことができた。

第4章では、第3章のキャンバ角制御の効果を車両の横滑り制御へ適用した場合の効果について検討した。すなわち車体スリップ角がコーナリング限界領域に近づいてきたら、車体スリップ角に応じてキャンバ角を旋回方向に対地ネガティブキャンバ方向にもっていくことで、車体に横滑りが生じ、後輪が滑り出し、スピンのしかけ状態から、車両の横すべりを抑え、グリップ限界に引き戻すコントロールをさせた。すなわち「車体スリップ角に応じたキャンバ角制御」の効果を外輪制動力制御の効果に対比し、その優位性を示した。すなわち、キャンバ角制御ではグリップ限界を高めるコントロールなので、限界横加速度を制動力によって下げってしまう、制動力制御に比べ、限界コントロール性は著しく優ることを明らかにした。

第5章では、コーナリング限界で制駆動を伴う場合に、スピン等の挙動が発生し、車両挙動を著しく低下させてしまう為、その挙動を抑え、かつ、限界領域で横すべりが発生した状態でも、良好な限界コントロール性が得られる方向性を検討した。

すなわち「車体スリップ角に応じたキャンバ角制御と内外輪制動力制御の協調制御」により、コーナリング限界時のヨーモーメントコントロールと、限界横加速度のコントロールの2つを同時にコントロールする新たな手法を提案し、その効果を明らかにした。内外輪制動力制御においても、従来のヨーモーメントの増加の制御だけでは無く、少しでも限界横加速度を高めるべく4輪のタイヤ摩擦円を最大限にコントロールする規範タイヤ特性に近づけるヨーモーメント制御を提案している。こ

の、「車体スリップ角に応じたキャンバ角制御と内外輪制動力制御の協調制御」の効果を明らかにしたものは初めてであり、これも自動車のコーナリング限界領域の運動性能技術分野の発展に大きく寄与するものと判断できる。

第6章では、小型電気自動車を製作し、4輪キャンバ角コントロール及び、操舵系はステアバイワイヤを試作し、第2章の操舵系制御の効果を確認した。すなわち、これにより、コーナリング限界コントロール性を著しく改善することができた。すなわち、限界時の「舵の効きの向上」と「車両の横すべりの低減」の効果が確認できた。

第7章は、本研究の成果を総括するとともに今後の課題について述べている。

グリップ限界領域からドリフト領域に至る迄の限界コントロールの向上手法を明らかとした。特にこれ迄効果の立証がなされていなかった大キャンバ角制御の効果について、理論的明らかにし、ドライビングシミュレータ、模型車両、実車製作走行によってその効果を立証したのは本件が初であり、自動車運動性能技術分野の発展に大きく寄与すると判断できる。

今後の課題としては、人—自動車系とし、人間にとって違和感の無い望ましい制御であることを実車走行実験によって、さらに立証していくことがある。

本論文の技術の実用化開発により、コーナリング限界コントロール性が向上し、自動車のコーナリング中に発生する事故低減につながる技術開発に寄与することが期待できる。

以上のことから博士（工学）学位請求論文として価値があると認められる。