

## 論文の内容の要旨

論文題目 ドライバが意のままと感じる車両操舵応答特性に関する研究

氏名 田尾 光規

「走る」「曲がる」「止まる」といったクルマの基本性能を担う車両運動性能は、これまで数多くの研究や実際の量産車開発を通じて、飛躍的な進化を遂げてきた。タイヤのコーナリングパワーの向上やリアサスペンションの横剛性と横力トーイン特性の増加を中心とした車両スタビリティの向上、リアサスペンションの性能向上に合わせたフロントサスペンションのアンダーステア角の低減やステアリング剛性向上、ステアリングギヤレシオのクイック化等による車両回頭性の向上、そしてサスペンションロール剛性増加による車両ロール角の低減等、車両運動性能は大きく向上してきた。これらは、車両を安全に走行させるというもっとも基本的な要件に加えて、ドライバーが、意のままに、車両を操れることを目指して、多くの研究者・技術者の方々が、長い年月をかけて取り組まれてきた結果に他ならない。現在量産されている車両では、ほとんどのユーザが通常の使い方において、不満を感じないレベルの性能が実現されている。カーブを走行した時に、ロールのぐらつきによる嫌味を感じることはほとんど無く、アンダーステアによる曲がりにくさ感じることもまずない。

このように、飛躍的な進化を遂げてきた車両運動性能であるが、次の進化に向けて、一つの大きな課題が存在する。それは、ドライバーが「意のまま」と感じる車両特性の解明である。これまでの車両運動性能の進化は、どちらかという、車両をいわゆる工業製品のひとつと捉え、その製品自体の基本性能の高さを表す特性を、ドライバーにとって好ましいと考えられる方向へ改善することによって実施されてきた。前述の例で述べると、旋回時のアンダーステアの度合いを示すスタビリティファクタを低減したり、横加速度に対するロール角を小さくしたりすることがそれに該当する。しかしながら、これら基本特性の向上による運動性能の向上は、多くのドライバーにとって、既に概ね十分なレベルに到達しており、この基本特性による更なる改善は、これまでのようにドライバーに大きな効果を与えることが望めない割に、運動性能以外の他性能、燃費性能、静粛性能や乗心地性能等に、悪影響を及ぼす状態となっている。よって、これまで進められているドライバーにとって良いと思われる車両の基本性能の向上に加えて、ドライバー視点から見た、ドライバーが「意のまま」と感じる車両特性の解明とその実現が望まれる。

車両の走行とは、現在の車両の走行状態から、次にドライバーが目標とした走行状態に対してドライバーの操作特性で決まる車両への入力と、車両の応答特性による車両挙動と走行状態の変化、そしてまたその次の走行状態に対する次のドライバーの入力、これらの繰り返しによって作

られていく。よって、ドライバが「意のまま」と感じる車両特性を解明するためには、ドライバの操作特性を把握した上で、ドライバと車両の組合せであるクローズドループの中で、どういう状態になっていることがドライバに望まれるのかを定義し、その状態を実現できる車両特性を明らかにしていく必要がある。

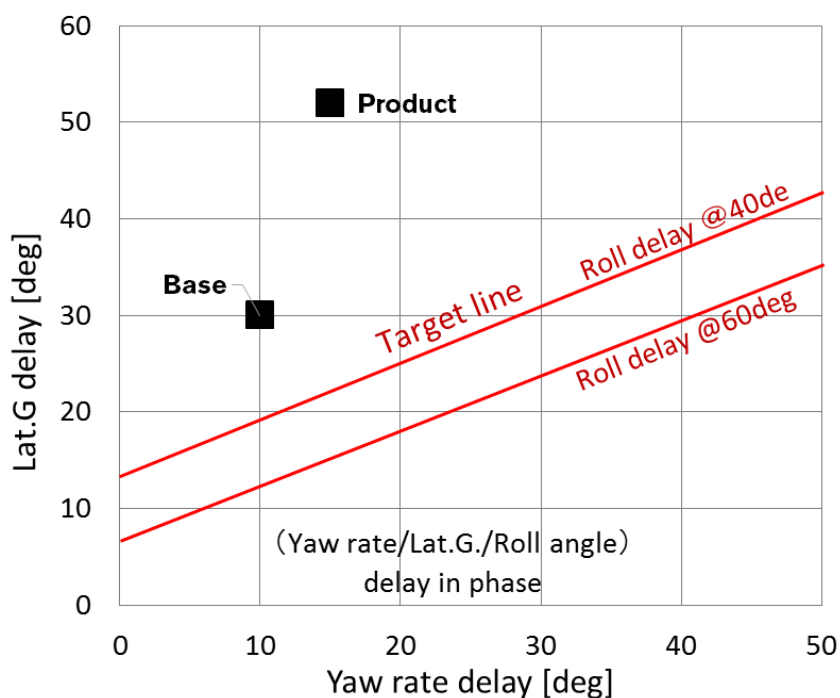
本研究では、「走る」「曲がる」「止まる」の3つの現象の中で、ドライバの入力に対して、車両のヨーレイト、横加速度、ロール角等、多くの物理現象を考慮する必要があるために、そのメカニズムが最も複雑となる「曲がる」に着目し、一定速走行でカーブを走行するドライバが「意のまま」と感じる車両操舵応答特性の解明に取り組んだ。

第1章では、本研究の背景として車両運動性能の発展、現状の課題と先行研究の状況、これらに基づいた本研究の目的、前提条件、そして論文の構成を述べた。「操舵に対する車両のヨーレイト、横加速度、ロールの遅れを、ある適切なバランスで設定することにより、ドライバは目標とした走行ラインを正確にトレースできる。」「その特性とすることで、従来の応答遅れ低減による性能向上と合わせて、より効果的に「ドライバが意のままと感じる」性能を向上できる。」という2つの仮説を述べた。

第2章では、カーブを走行中の車両挙動に対するドライバの操舵のメカニズムを分析し、その操舵角入力を精度よく再現できるドライバモデルを構築した。ヨー、ロール、横方向、それぞれに高い感度を持つ、前方注視点誤差モデル、ロールフィードバックモデル、走行軌跡モデルを定義して組み合わせることにより、3つの車両特性が異なる車両仕様を走行した場合でも、その操舵角を精度よく再現できるドライバモデルとそのパラメータを同定できることを示した。また、本研究で活用したドライビングシミュレータ（DS）による実験環境構築についても述べた。DSというシステムの制約の中でも、実車の計測データと定量的に比較しながらそれを可能な限り合わせ込むことによって、カーブを走行中の操舵角波形およびフィーリング評価で、高い実車再現性が確認されたことを述べた。

第3章では、第1章で立てた定性的な仮説「操舵に対する車両のヨーレイト、横加速度、ロールの遅れを、ある適切なバランスで設定することにより、ドライバは目標とした走行ラインを正確にトレースできる。」に対して、第2章で定量的に把握したドライバの操舵特性を使って、解析によりその「適切なバランス」を定量的に算出した。カーブの進入で、3つのドライバモデルがどのように機能するのかについて考察し、操舵角に対する車両のヨーレイト、横加速度、ロール角の遅れ違いの車両走行軌跡、操舵パターンの変化をシミュレーションで分析することによって、下記に示すバランスラインを算出した。横軸に操舵周波数入力に対する車両ヨーレイトの位相遅れ角（@1Hz）、縦軸に同じく横加速度の位相遅れ角とし、ロールの位相遅れ角を40deg、及び60degとした時の、「カーブの進入でドライバが目標とした走行ラインを正確

にトレースできる車両特性」を，グラフ中の赤い2本のラインで示した．従来研究では，ヨーレイト，横加速度の位相遅れ角を望小特性として，これらの特性を小さくすることのみを目標に取り組んできたが，この赤いラインに沿わせながらその遅れを低減することによって，より効果的に，「ドライバーが意のままと感じる」性能を向上できるという仮説を立てた．



図「ドライバーが意のままと感じる」性能を効果的に向上できる車両特性

第4章では，第3章で定量的に算出した「ドライバーが目標とした走行ラインを正確にトレースできる操舵応答特性」の仮説について，DS実験により検証した．この特性とすることで，従来の応答遅れ低減による性能向上と合わせて，より効果的に「ドライバーが意のままと感じる」性能を向上できることを修正操舵量計測と官能評価により検証した．

第5章では，第4章と同じく，第3章で定量的に算出した「ドライバーが目標とした走行ラインを正確にトレースできる操舵応答特性」を，実際に具現化した検証実車両を使って，その仮説を検証した．同じくこの特性とすることで，従来の応答遅れ低減による性能向上と合わせて，より効果的に「ドライバーが意のままと感じる」性能を向上できることを修正操舵量計測と官能評価により検証した．検証実車両の試作においては，従来の2輪モデルに対して，タイヤの横剛性による車両応答への影響を考慮できる要素を加えた新たな車両モデルを定義し，目標の操舵応答特性を実現するための，タイヤ及びロードホイールの仕様を決定するまでの定量的なプロセスを解説した．

第6章では、研究の目的の対する検証実験で得られた結果に対する解釈、制約条件や発展性等についてその考察を述べた。今後のレーンチェンジ等へのシーンの拡大、ピッチ挙動などの特性の拡大等への本研究の発展、ドライバモデルのバラツキに対する今後の課題、今回の特性の旋回R違いへの適用性、また、タイヤの横剛性やロールを制御するショックアブソーバー技術への期待、そして、実車両の試乗体感結果を含めた研究の有効性を述べた。

最後に、第7章では、第1章から、第6章までに得られた内容を総括し、以下のように結論としてまとめた。

- 車両のヨー方向、ロール方向、横方向、3つの挙動に対するドライバの操舵特性を把握し、それらを組み合わせたドライバモデルを構築した。実験結果との比較によりモデルのパラメータを同定することによって、カーブを走行中のドライバの時間に対する操舵角を精度よく予測できることを確認した。
- ドライバの操舵特性を把握した上で、ドライバと車両が直進からカーブに進入していくときのドライバの操舵と車両挙動の関係、そしてそれらの走行軌跡への影響を知ることで、ドライバが目標とした走行ラインを正確にトレースできる、車両ヨーレイト、ロール角、横加速度の遅れのバランス関係があること、その定量的な関係を明らかにした。
- カーブの進入で、ドライバが目標とした走行ラインを正確にトレースできる車両応答特性とすることによって、従来の研究手法の操舵に対するヨーレイトや横加速度の応答遅れ低減による性能向上と合わせて、より効果的に「ドライバが意のままと感じる」性能を向上できることを、DS実験と実車実験で明らかにした。また、脳計測を実施し、仕様毎のドライバの生体反応を比較することで、官能評価の確からしさを裏付けた。

今後の展望として、これまで進化してきた車両性能そのものの更なる進化に加えて、昨今盛んになっている電子制御デバイスの活用しながら、今回解明してきたドライバが意のままと感じる性能を、あらゆるシーン、あらゆる現象へ発展させていく。そして、任せて安心できる自動運転への応用はもちろんのこと、自動運転が普及した時代にも、走る楽しさを提供し続けられるよう、そして事故のない社会に貢献できるよう、本研究を発展させていく。