



# 自動運転時代における車両運動性能の追求

自動車技術会 関東支部 講演会

「車両運動制御技術と運動性能評価技術」 取材

宮田 湧希 (東京都市大学大学院 総合理工学研究科 機械専攻)

更新日：2020年3月18日

## 1. はじめに

2020年1月14日に神奈川工科大学で開催された自動車技術会関東支部主催の講演会「車両運動制御技術と運動性能評価技術」を聴講・取材させていただきました。本講演会は、マツダ株式会社の車両運動制御技術であるG-ベクタリングコントロール(以下、GVC)や運動性能評価技術を学ぶことを目的としたものです。講演に加え、神奈川工科大学自動車システム開発工学科の研究設備見学も行われました。

私は大学で自動車の車体構造に関する研究を行っています。車体の剛性(変形のしにくさ)は自動車の操縦性、安定性といった車両運動性能に影響するため、自動車にとって重要な要素です。私は構造の剛性そのものについて検討を行っていますが、今回は車両運動に関する理解を深めることにより、研究の視野を広げることを目的として取材を行いました。

本レポートでは、各講演の概要や見学会の様子のほか、講演者の方々にもインタビューをさせていただきましたので、その内容についてまとめます。



図1 会場の様子

## 2. 講演「車両運動制御技術 G-ベクタリングコントロールの原点とそのポテンシャル」

講演者：山門 誠氏

GVCの開発ヒストリーと今後の展望について、GVC開発者の一人である山門 誠氏(神奈川工科大学 創造工学部 自動車システム開発工学科 教授)による講演が行われました。

自動車は、減速して前輪に荷重がかかると操舵の応答性が向上します。反対に、加速して後輪に荷重がかかると直進安定性が向上します。このため運転に慣れたドライバーは、ターンイン時(コーナー進入時)にアクセル操作・ブレーキ操作により適切に減速し、ターンアウト時(コーナー脱出時)に適切に加速することで車両の運動をコントロールします。

GVCは、このようなドライバーによる加減速の操作を制御により実現することを可能にする技術です。ターンイン時にはドライバーのステアリング操作に応じてエンジントルクを絞り減速、ターンアウト時にも同様にドライバーのステアリング操作に応じてエンジントルクを増やし加速します。

ステアリング操作によって生じる車両における横加速度の時間的変化(横加加速度 $\dot{G}_y$ )に対し前後加速度 $G_x$ を連係させるこのシステム(図2)は、前後・横の加速度ベクトルを統合制御することからG-ベクタリングコントロール(GVC)と名づけられました。

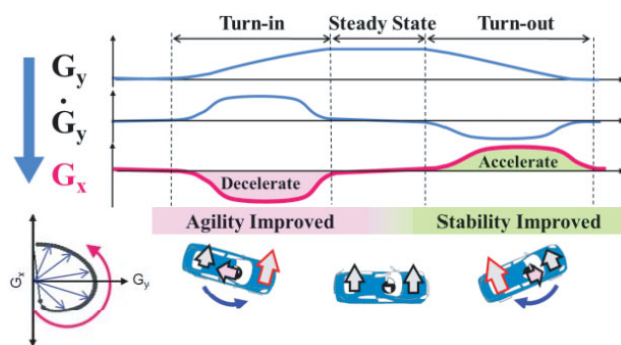


図2 GVCの概念<sup>(1)</sup>

ターンイン：横加速度 $G_y$ の変化の大きさによって前後加速度 $G_x$ を小さくする。

ターンアウト：横加速度 $G_y$ の変化の大きさによって前後加速度 $G_x$ を大きくする。

現在研究が進められている技術として、GVCを車両に搭載されたカメラと組み合わせるシステムが紹介されました。これは走行時に障害物を回避する際に緊急度をカメラで判断し、それに応じてGVCにより一時的に操縦性能を向上させ、障害物を回避しやすくするというシステムです。

こうした車両運動性能の向上が車両の安全性に対しても大きな貢献をするとのことで、運動性能の追求はスポーツタイプの車だけではなく、一般の車にも非常に重要なことであると再認識しました。

### 3. 講演「ドライバモデルのパラメータ同定値を用いた車両運動性能評価」

講演者：安部 正人氏

ドライバの操舵に対する車両の応答を考えるうえで、ドライバの運転感覚と車両の運動性能間の関係を理解することは重要です。安部 正人氏(神奈川工科大学 名誉教授)はそうした人の感性による性能評価に対応する量の抽出を試みてきましたが、本講演はその手法に関する研究成果をまとめたものです。

まず、レーンチェンジ(車線変更)時のドライバ-車両系の関係を下図のように考えます。

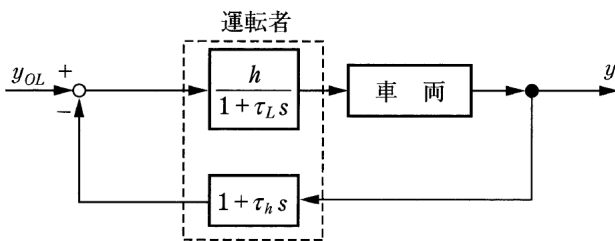


図3 車線変更時におけるドライバ-車両系<sup>(2)</sup>

$y_{OL}$  はドライバが目標とする車両の横変位、 $y$  は実際の車両の横変位であり、ドライバはこれらの量を比較してステアリング操作を行います。ここでドライバのパラメータである、操舵角に比例するゲイン  $h$ 、ドライバの前方注視操作をあらわす予見時間  $\tau_h$ 、人間の総合的な遅れ  $\tau_L$  を実験により同定します。安部氏は実験により、 $\tau_L$  が大きい車両は安定性が高く、 $\tau_L$  が車両の操縦性と強く関係することを示しました。

従来、運動性能の評価はテストドライバの官能評価に頼ってきましたが、このようにステアリング操作と車両の横運動からドライバパラメータ  $\tau_L$  を同定することで、運転のしやすさに関する定量的な評価を行うことが可能となります。実際に神奈川工科大学では、GVC による車両運動制御を定量的に評価するためにこの  $\tau_L$  を用いているとのことです。

講演を拝聴し、「運転のしやすさ」を評価することの難しさ、奥深さを感じることができました。

また安部氏は、この評価方法を検討する際にレーンチェンジという単純な状況に注目した理由として「ある典型的な実験で原理を見抜くことが大事だ」と語られました。複雑なあらゆる状況を検討するのではなく、現象の本質を示す典型的な状況を見極めてから取り組むという考え方は、私自身としても研究に生かしたいと感じました。

### 5. 神奈川工科大学 研究開発設備見学

山門氏、安部氏による講演後、神奈川工科大学自動車システム開発工学科が研究に用いている車両・設備の見学会が行われました。

#### ●GVC 実験車両、 $\tau_L$ 計測車両

GVC の機能確認に用いる実験車両および  $\tau_L$  を計測するための実験車両を見学しました。いずれの車両も、速度や加速度、ステアリング角度を計測するために様々なセンサ、カメラが搭載されていることが確認できました。特に GVC においては前後加速度によるピッチ運動の計測が重要となるため、車両の四隅には車高センサも搭載されているそうです。

#### ●運転支援システム実験車両

運転支援システムを搭載する実験車両を実際に走行させる実験を見学することができました。これは離れた場所にいるオペレータが、車両に搭載されたカメラの映像を確認しながら、リアルタイムで車両のテレオペレートを行うというものでした。



図4 運転支援システム実験車両

#### ●シャシーダイナモ

シャシーダイナモは、動力計を兼ねたローラー上を車両が走行することで、車両の動力性能、燃費、乗り心地等を計測する装置です。神奈川工科大学におけるシャシーダイナモでは、部屋の壁一面に吸音材が設けられているため、騒音の計測も可能だとのことでした。

#### ●ドライビングシミュレータ

このシミュレータは、レール上を移動して車両の前後左右の運動、ターンテーブルでヨー運動、運転席の下に備わった 6 軸ヘッドでピッチ運動・ロール運動を再現するものです。今回は、レーンチェンジのシミュレーションを見学することができました。神奈川工科大学では実車両を用いた実験のほか、このドライビングシミュレータによっても  $\tau_L$  を同定する実験を行っているとのことです。



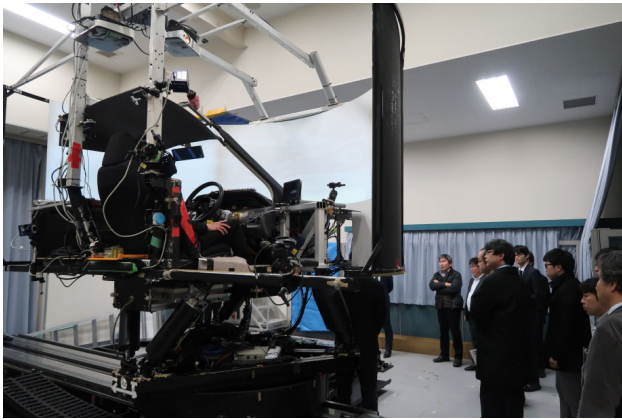


図5 ドライビングシミュレータ

## 4. ラウンドテーブルディスカッション 「自動運転と車両運動制御技術の将来について 聞こう、話そう」

山門氏と安部氏に加え、井上 秀雄氏(神奈川工科大学)、芝端 康二氏(神奈川工科大学)、山本氏(トヨタ自動車(株))を交えたラウンドテーブルディスカッションが行われました。

### ●神奈川工科大学における車両運動制御の研究

冒頭、山門氏が主宰する車両運動・制御研究室(山門・狩野研究室)について紹介がなされました。車両運動・制御研究室では「インテリジェント化による次世代「人馬一体感」の創造」をテーマに、運動制御、ドライバ行動、自動車のインテリジェント化などについて研究を行っています。

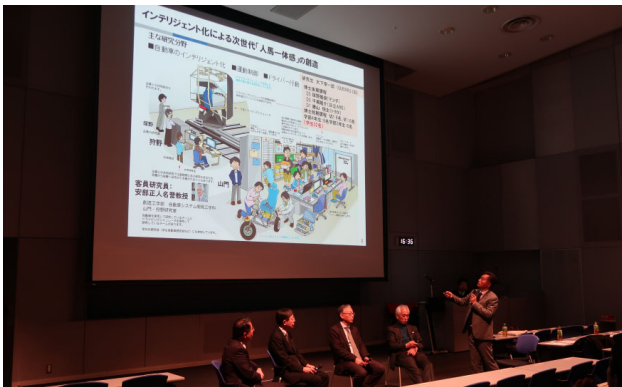


図6 ラウンドテーブルディスカッション

### ●自動運転時代における車両運動性能の追求

車両運動・制御研究室で取り組む研究を踏まえ、「完全自動運転車だけでなく、半自動運転車が別物として進化すると考えている」と、山門氏。安部氏は「ドライバをアシストするシステムをさらに発達させるために、車両運動制御技術の発展は必要だ」と力強く話されました。お二方とも、今後実現すると予想される完全自動運転車の価値は認めつつも、ドライバが意のままに運転できる自動車の価値が高

くなり、そうした自動車の開発が今後重要であると力説されていました。

芝端氏は「70年代の自動車開発ではエンジンの燃費改善が課題として強く意識されていたが、操縦安定性については何が大事なのか、と言われながら仕事をしていた」とご自身のメーカーでの経験を振り返り、「自動運転時代となる今後は運動性能を追求することが必要とされてくる」と語られました。

また山本氏は、「自動運転車でもビークルダイナミクスのコア部分は変わらないし、変わらないものの代表がビークルダイナミクスだと思う」と、芝端氏と同じくこれからの時代における車両運動制御技術の重要性を強調されました。

### ●今後の車両運動性能はどうあるべきか？

山本氏はこの問いに対し、「乗員がステアリングを握っていないときにどのような性能が重要になるか。この辺りの研究が今後必要になる」と述べられ、自動運転化によって広がる車両運動性能の今後の可能性についてお話いただきました。

高齢者の自立を支援する自律運転知能システムの研究に取り組む井上氏は、ご自身の研究の狙いが「人と車が協調し、車の安全性を高めていくこと」であり「周囲を認識し自律走行する技術は進化しているが、人間による安全な運転を支援する技術も進化させる必要がある」と指摘されました。

ディスカッションの中で山門氏は「しっかりと走り、曲がり、止まるような、限界性能に余裕がある車両は制御できる幅が広がる」とも仰いました。制御が車両運動性能の多くを決めるという印象を持っていた私は、ハード面でしっかりとした車両への期待が高まっていることを少し意外に感じました。

## 6. 懇談会・インタビュー

講演会・見学会の終了後の懇談会において、山本氏、芝端氏、学校法人ホンダ学園の渥美氏に座談会の形でインタビューを行うことができました。



図7 インタビューの様子  
(山本氏(左手前)、渥美氏(左奥)、芝端氏(右奥))

## ●車両運動性能開発の魅力とは？

車両運動性能の開発について、「エンジンは達成目標が数値として決まっている。だが運動性能については自分たちで目標を定めなければいけない」と芝端氏。こうした特徴が、車両運動性能開発の難しいところであり、面白さでもあると語られました。

また「運動性能は官能で評価するものだから、そういう意味では嗜好品のようなもの」と渥美氏。今後、自動運転化や電動化に伴い様々な要素が自動車からなくなるかもしれないが、車に魅力を与えることに大きな貢献をする運動性能の追求は今後も終わらないだろうと語られました。

## ●車体剛性が高ければ車両運動性能は良いのか？

このことについて伺ったところ、「そういうわけでもない」と芝端氏。「数値的に剛性が高い・低いというよりも、“剛性感(しっかりしているとドライバが感じるかどうか)”があるかないかで運動性能は変わる。剛性感があるからといって、必ず剛性が高いというわけではない」。車体の全体的な剛性ではなく、車体のどこの部位の剛性を高めるのかによって剛性感は変わるため、剛性のバランスの調整が設計において難しい点だとのこと。

また山本氏は「車体剛性は操縦性、安定性はもちろん乗り心地にも関わるもの」とし、運動性能の向上においては制御技術だけでなく、制御される車体おける進化も必要であると述べられました。

車体剛性と車両運動性能の関係は私が考えていたよりも奥深いものであり、今後も検討を続けなければならないテーマであることを理解しました。

## ●メーカーや車種による車両運動性能の違い

これについて、「運動性能の8割くらいはどのメーカーも共通している。残りの2割でメーカーの色、車ごとの個性を出す」と芝端氏。各メーカーとも基本性能はしっかりと押さえたうえで、乗り味などで個性を出していくとのこと。

また山本氏は「地域によって路面の状況が違うし、速度域も違う。これらに対応するために要求される性能が異なるから、運動性能はそういった所でも差が出てくる」と仰いました。

## ●GVCの開発ストーリー

懇談会終了後、山門氏にもお話を伺うことができました。

お話の中で、GVCが初めの構想からマツダ(株)による製品化までおよそ20年かかったと伺いました。そのうえで山門氏は「もちろん検討する中で課題は多くあったが、上手くいかないからといって簡単に諦めてはいけない」とし、やり抜くことの大切

さを強調されていました。また構想から製品化まで山門氏が一貫して関わったことについては、「理論を構築するだけでなく、実際にそれを技術として確立し、製品として世に送り出す。これが技術者として大事なことだと思う」と語られました。

またGVCの開発においては、多くの路面形状、速度域を持つテストコースでマツダ社員も山門氏も参加したテストを繰り返したそうで、「皆が本気で車、世界を良くしようと考えているのを感じた」と振り返られました。よりよい車を作ってよりよい社会を作るという熱意は、私自身も本講演会において講演者や参加者の方々に対し感じたことでした。

## 7. まとめ

私は取材前、運動性能が今後どのように必要とされるのか、明確なイメージを持っていませんでした。しかし取材では、自動運転車であっても本質的には従来の自動車と変わらないこと、そして緊急回避性能、乗り心地等も運動性能の範疇であり、これまで以上に追求することが必要であると理解しました。

また今後は完全な自動運転車と半自動運転車に分かれて進化するという考え方、そして後者にはGVCのようなドライバ中心の技術が必要であるという点は非常に興味深いものでした。この先は自動車を単一の方向に進化させるのではなく、ニーズごとに異なった特徴を持つ自動車を作り分けることが重要ではないかと感じます。

ご講演およびインタビューでは車両運動性能に関して多くのことを学ぶことができたほか、取材をさせて頂いた方々からはクルマづくりに対する熱い情熱を感じることができました。未来のニーズを予測し、自分の持つ技術がそれにどう応えられるのか。これを考えて信念として持ち、実現に向けて努力することが技術者に必要なことであると感じました。

## 謝辞

貴重なご講演をしてくださったご講演者の方々、懇談会にて快くインタビューを受けてくださった方々、また神奈川工科大学の方々には大変お世話になりました。誠にありがとうございました。

そしてこのような機会を設けてくださった自動車技術会の皆様、取材の調整を行ってくださった自動車技術会の小泉氏、神奈川工科大学の狩野助教には大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- (1) 佐藤 健一ほか：G-Vectoring Controlの開発，マツダ技報，No.34, p.99-104 (2017)
- (2) 安部正人：自動車の運動と制御 第2版，東京電機大学出版局 (2012)