

feature article

安全走行を支援する新しい車両運動制御技術 「G-Vectoring制御」

New Vehicle Dynamics Control Concept "G-Vectoring" for Enhancement of Safe Driving

山門 誠 Makoto Yamakado

高橋 絢也 Junya Takahashi

齋藤 真二郎 Shinjiro Saito

安部 正人 Masato Abe

カーブ通過時にハンドル操作に合わせて加減速を自動制御し、スムーズで安定したコーナリングを実現する世界初の車両運動制御技術を神奈川工科大学と共同で開発した。熟練ドライバーの滑らかな運転には、加減速と車両横方向の加加速度の間に強い相関があり、これを「加減速指令値=横加加速度×車両固有のゲイン」として定式化し、G-Vectoring制御と名づけた。車両前後加速度と横加速度の合成加速度(G)が車両を中心にシームレスに回転する(Vectoring)ことにより、G-Vectoring制御は快適・安全で、かつむだが少なく環境に配慮した車両運動を実現する。日立グループは、車両運動制御の基盤技術としてこの技術の各種システムへの適用を拡大していく。

1. はじめに

近年、地球環境問題の高まりから、むだなガソリンを消費して排ガスを出すことを防ぐために、自動車の急加速や急ブレーキなどを行わない滑らかな運転が推奨されている。最新の環境自動車においては、エコモニタなどドライバーのエコ運転をアシストするためのインタフェースも積極的に導入されつつある¹⁾。

一方、コーナリングにおいては、ハンドルとアクセル・ブレーキ操作を適切に連係させる必要がある。このため熟練者と経験の浅いドライバーの運転技量の差が出やすい。タイミングの悪いアクセルやブレーキ操作を行うと、カーブ途中での急ブレーキのみならず、失速により、例えば後続車からの追突を避けるためなどで再加速を行うことになる。これは乗員に乗り心地の悪さを与えるばかりでなく、安全運転やガソリンの消費、タイヤの摩耗などの点からも、改善が必要である(図1参照)。

このような観点から、日立グループは神奈川工科大学と共同で、滑らかなコーナリングを実現する運転支援システムのための基盤技術の開発を進めてきた。具体的には、ハンドルはドライバー自身が操作し、それに対して違和感なく自動で加減速させるシステムである(図2参照)。

特にわれわれが着目したのが熟練ドライバーのハンドルとブレーキの連係操作である。この連係制御則を抽出し、模擬できれば上述のようなシステムが実現される。

ここでは、安全走行を支援する新しい車両運動制御技術「G-Vectoring制御」の実現に向けた運転分析、制御則の導出、実証試験結果について述べる。

2. 熟練ドライバーの運転分析

一般ドライバーと、カーメーカーのテストドライバーとしての訓練を受けた熟練ドライバーの運転を分析対象とした。カーブを通過して行くときのハンドル操作と加減速(アクセル・ブレーキ)操作によって実現された両者の車両運動を、横軸に車両の横加速度、縦軸に前後加速度を示した図(「g-g」ダイグラム)²⁾を用いて比較した(図3参照)。

一般ドライバーは、カーブの手前で減速を済ませ、ハンドル操作のみでカーブを通過しがちである。このときの減速量は目分量と言ってもよく、カーブに対して過不足があると、むだな、または唐突な加減速を伴って再び調整を行うことになる。

また、一般ドライバーの運転では、カーブ進入において急峻(しゅん)に横加速度が立ち上がり、カーブ脱出では、横加速度が急峻に減少する。このように運転されると乗員は前後左右に大きく揺すられることになる。

一方、熟練ドライバーにおいては、ハンドル操作に応じて加減速量を調整するため、前後と横の加速度が連成し、合成加速度が弧を描くように推移している。このように運転すると車両や乗員に加わる慣性力の絶対値が急変することなくシームレスに弧を描くように変化し、ぎくしゃく感が低減され、乗り心地が改善される。

さらに、熟練ドライバーの運転では、直進からコーナリングへの遷移状態に的確に減速している。この減速によって車両は前方に傾いた状況になり、前輪を押さえつける垂直荷重が増加する。そして前輪のタイヤは、より大きなコーナリングフォースを発生することになる³⁾。これによ

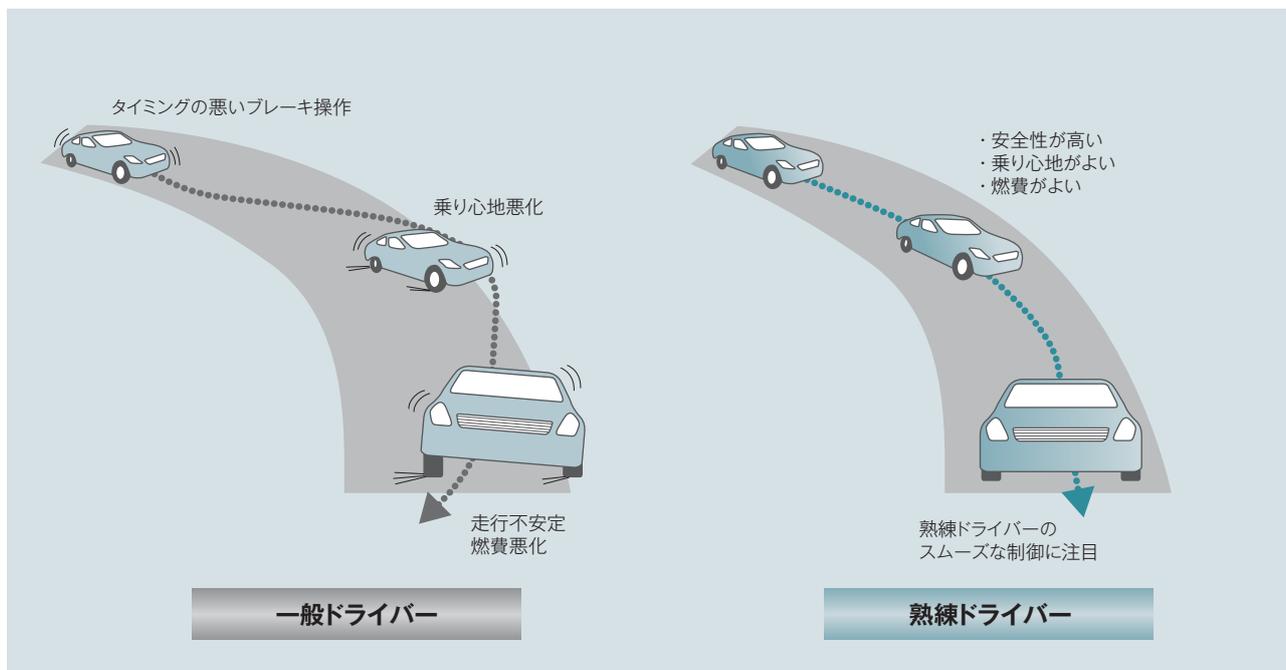


図1 一般ドライバーと熟練ドライバーの比較

熟練ドライバーの運転は、安全性、乗り心地、タイヤ摩耗、燃費などの多目的最適化手法の指標となりうる。

り、よりハンドルが利く状態となり、必要以上にハンドル角を増やす必要もないため、タイヤ摩耗が抑制され、走行抵抗によるエネルギー損失も低減される。

以上のように熟練ドライバーの運転では、乗り心地、操縦性改善による安全性の向上、省エネルギーを実現した走りとなっている。

3. 制御則の導出

前述のような、熟練ドライバーの滑らかで理にかなったコーナリングを、実車試験で得られた計測結果を用いて詳細に調査した。その結果、熟練ドライバーの行う連係操作は、ハンドル操作によって車両に発生する横方向の加加速度（ジャーク：加速度の時間変化）に基づいて前後加減速を制御すれば再現可能であることを見いだした^{4), 5)}。

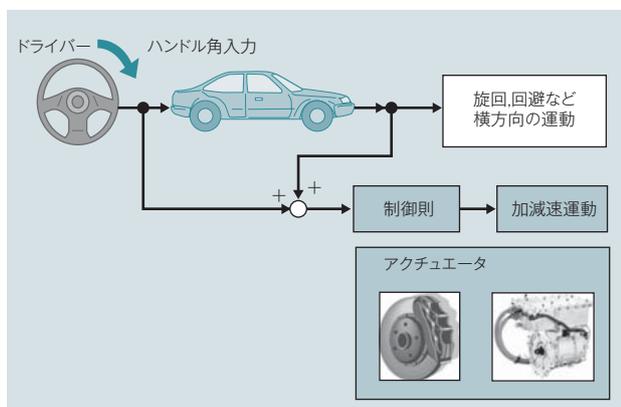


図2 ハンドル操作に合わせた自動加減速装置の概要

ハンドルはドライバーが操作し、それに連係した最適な加減速を自動で行う。熟練ドライバーと同等な制御則が見いだせば、スムーズで安定したコーナリングを実現できる。ハンドル操作も自動なら、自動運転となる。

加加速度は、加速度とともに人間が直接体感可能な物理量である（速度は、体感できず視覚情報より得ている）⁶⁾。日立グループは1990年代初頭に加加速度のセンシング、

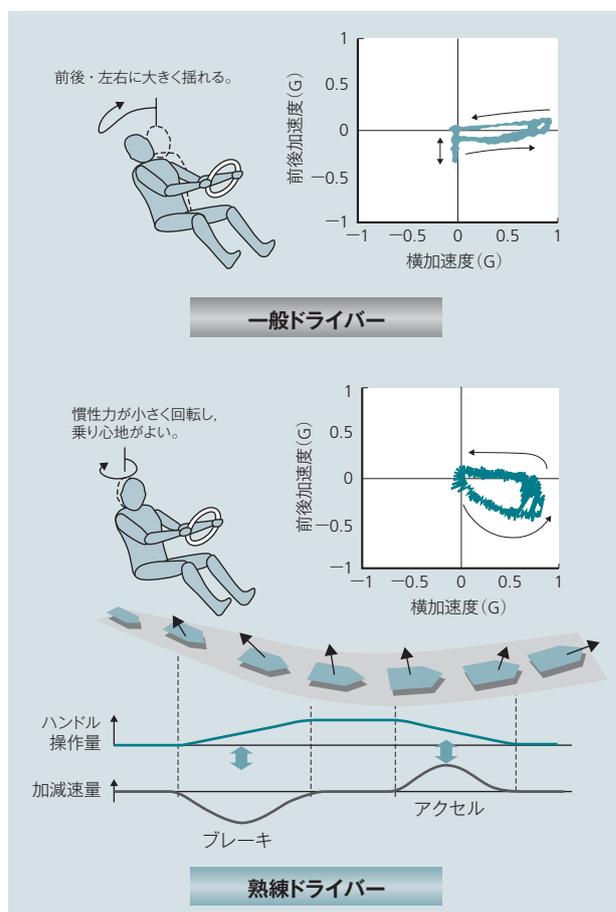


図3 一般ドライバーと熟練ドライバーの比較

横軸に車両の横加加速度、縦軸に前後加加速度を示す（「g-g」ダイグラム）と、それらの関係度合いが観察しやすい。

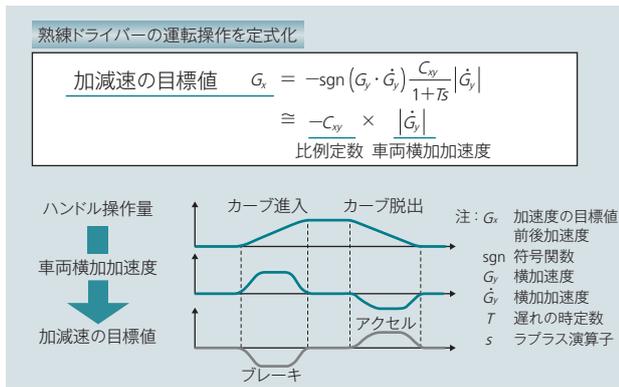


図4 横運動連係の加減速制御則
基本的には、車両横加加速度にゲインを掛け合わせたものを加減速の目標値にするという、シンプルな制御則である。

およびそれを利用した運動制御システムに着手しており⁷⁾、ほぼ20年の時を経て、加加速度の工学的な利用方法の一つを見いだすことができた(図4参照)。

この制御によると、車両前後加速度と横加速度の合成加速度(G)がシームレスに回転する(Vectoring)。そこでこの制御を「G-Vectoring(ジーベクタリング)制御」と名づけた。

4. 実車試験結果

4.1 実験車両

市販車両に日立製ブレーキユニットを搭載し、先の制御則で得られた指令に基づいて、G-Vectoring制御の検証実験を行った(図5参照)⁸⁾。

コントローラ自体は、減速と加速の両方の指令を算出しているが、今回は減速側に焦点を絞り、加速側はドライ

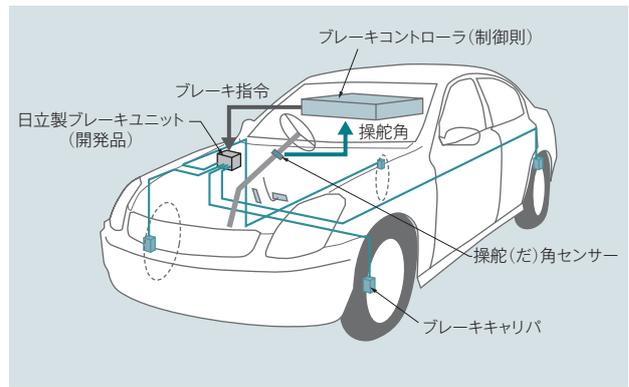


図5 実験車両
市販車両に日立製ブレーキユニットを搭載した。ハンドル操作に応じた自動減速が可能となっている。

バーが制御を行うこととした。

横加加速度情報は、ハンドル舵(だ)角から車両運動モデル³⁾を用いて算出した加速度を時間微分して得ることとした。近年の車両においては、ハンドル舵角センサーは標準で搭載されている。このため、この制御用の新たなセンサーを搭載することなく、コンパクトなシステムの構築が可能となる。

この実験車を用い、G-Vectoring制御により、先に述べた熟練ドライバーが実現している複数のメリットを再現できるのかを確認するため、実証実験を行った。

4.2 カーブ進入特性

指定速度が50 km/h, 60 km/h, 70 km/h (13.9 m/s, 16.7 m/s, 19.4 m/s)で半径20 mのカーブを走行したときの車両の姿勢と走行軌跡を図6に示す。それぞれ、制御

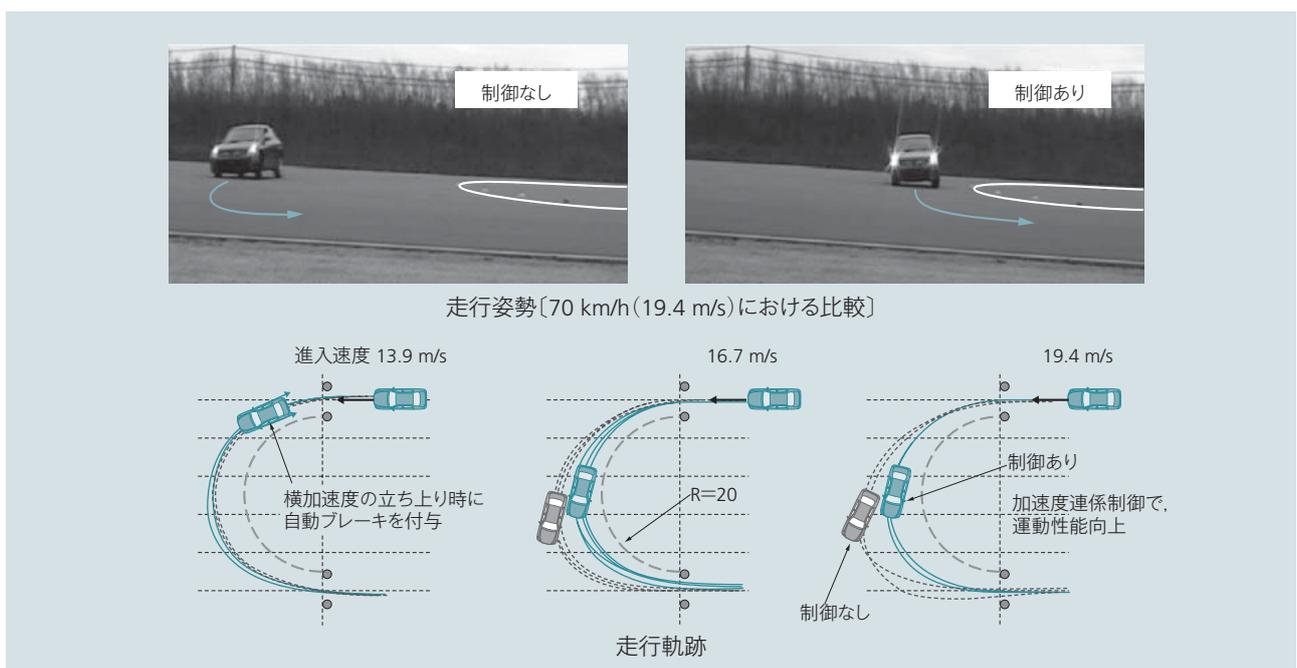


図6 カーブ進入特性
半径20 mのコースに徐々に速度を増加させて進入する。速度増加に伴い、制御なしではコースをトレースできなくなる。

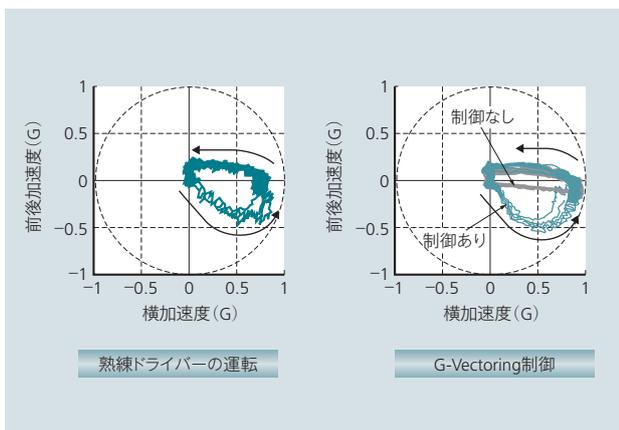


図7 走行中の加速度遷移

G-Vectoring制御により、熟練ドライバーと同様のシームレスな合成加速度制御が実現できている。

なし(図中点線)、制御あり(図中実線)の軌跡を比較した。

50 km/hではそれぞれの軌跡にほとんど差が見られないが、60 km/hになると制御の有無で顕著な差が見られ、70 km/hになるとその差は大きくなる。

制御により、舵(かじ)の利きが向上し、走行ラインの膨らみがなく、むだな加減速が減り、安全性、燃費の向上が期待できる。

4.3 乗り心地向上

半径20 mのカーブに対して60 km/hで進入した熟練ドライバーの運転とG-Vectoring制御車両の加速度遷移を比較した(図7参照)。

制御によって熟練ドライバーと同様の加速度軌跡を実現でき、頭部の動きが少なく、乗り心地が向上することを確認できた。

5. おわりに

ここでは、安全走行を支援する新しい車両運動制御技術「G-Vectoring制御」の実現に向けた運転分析、制御則の導出、実証試験結果について述べた。

今回は、G-Vectoring制御を自動ブレーキに適用したものについて紹介したが、加減速さえできれば、モータによる回生制動などでも実現できる汎用的な技術であると考えている。

また、このシステムは、カメラ、レーダ、あるいはGPS(Global Positioning System)などから得られる前方情報やインフラ情報を用いていない。純粋に車両としての運動性能を向上させるための基盤技術を構築し、実証したものである。

日立グループは、今後、この技術に加え、各種外界情報を用い、さらに魅力的なシステムの構築を進め、トータルソリューションを提案し続けていく。

参考文献など

- 1) 本田技研工業株式会社：インサイト エコアシスト、<http://www.honda.co.jp/INSIGHT/assist-system/index.html>
- 2) William L. Milliken, et al.: Race Car Vehicle Dynamics, SAE (1995)
- 3) 安部：自動車の運動と制御, 東京電機大学出版局 (2007)
- 4) 山門, 外: 加加速度情報を用いた横運動と関係して加減速するドライバモデルの提案, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.3, p.53~58 (2008)
- 5) 山門, 外: 横運動に係して加減速を制御する車両の横運動特性に関する検討, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.8-08, p.9~14 (2008)
- 6) 人間-環境系編集委員会編: 人間-環境系, p.288~291, 人間と技術社 (1973)
- 7) 山門, 外: 加加速度を用いた運動評価・制御システムの研究, 日本機械学会論文集64巻619号C編 (1998)
- 8) 齋藤, 外: 横運動に係して自動減速するG-Vectoring制御試作車両の運動評価, 自動車技術会論文集 Vol.40, No.3, p.629~634 (2009)

執筆者紹介



山門 誠

1987年日立製作所入社, 機械研究所 車両システム研究部 所属
現在, 車両運動制御の研究に従事
博士(工学), JSAEプロフェッショナルエンジニア
日本機械学会会員, 自動車技術会会員, SAE会員



高橋 絢也

2004年日立製作所入社, 機械研究所 車両システム研究部 所属
現在, 車両運動制御の研究に従事
博士(工学)
日本機械学会会員, 自動車技術会会員, 日本燃焼学会会員



齋藤 真二郎

2005年日立製作所入社, 機械研究所 車両システム研究部 所属
現在, 車両運動制御の研究に従事
日本機械学会会員, 自動車技術会会員, ASME会員



安部 正人

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
車両運動制御の研究に長年にわたって従事
工学博士
日本機械学会会員, 自動車技術会フェロー, SAE会員, Vice President of IAIVSD (International Association for Vehicle System Dynamics)