

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6416574号  
(P6416574)

(45) 発行日 平成30年10月31日(2018.10.31)

(24) 登録日 平成30年10月12日(2018.10.12)

(51) Int.Cl.	F I
<b>B60W 30/045 (2012.01)</b>	B60W 30/045
<b>B60T 7/12 (2006.01)</b>	B60T 7/12 F
<b>B60T 8/24 (2006.01)</b>	B60T 8/24
<b>B60T 8/1755 (2006.01)</b>	B60T 8/1755 A
<b>B60W 40/109 (2012.01)</b>	B60W 40/109

請求項の数 17 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-197752 (P2014-197752)	(73) 特許権者 509186579 日立オートモティブシステムズ株式会社 茨城県ひたちなか市高場2520番地
(22) 出願日 平成26年9月29日(2014.9.29)	(74) 代理人 100098660 弁理士 戸田 裕二
(65) 公開番号 特開2016-68649 (P2016-68649A)	(72) 発明者 山門 誠 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所 内
(43) 公開日 平成28年5月9日(2016.5.9)	(72) 発明者 印南 敏之 茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブ システムズ株式会社内
審査請求日 平成29年2月13日(2017.2.13)	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車両の制御方法、車両制御システム、車両制御装置、および制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

車両の横方向の運動に関連する入力値に基づいて、車両の前後方向の駆動力或いは制動力を制御する車両の制御方法において、

前記駆動力或いは制動力のうち前輪が担う前輪配分比率を前記入力値に基づいて変化させ、

前記入力値が増加するときには、前記入力値がゼロの場合の前輪配分比率よりも小さくなるように前記前輪配分比率を制御する第1の制御、及び、

前記入力値が減少するときは、前記入力値がゼロの場合の前輪配分比率よりも大きくなるように前記前輪配分比率を制御する第2の制御、のうち少なくとも1つを行うことを特徴とする車両の制御方法。

【請求項2】

前記第1の制御、及び前記第2の制御を行うことを特徴とする請求項1に記載の車両の制御方法。

【請求項3】

前記入力値は、車両の横加速度の絶対値であることを特徴とする請求項1に記載の車両の制御方法。

【請求項4】

前輪配分比率 $R_{FR}$ は、

$$R_{FR} = R_{FR0} - \text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{dp}}{1 + T_s} |\dot{G}_y|$$

(但し、 $G_y$ ：車両横加速度、 $G_{y\_dot}$ ：車両横加加速度、 $C_{dp}$ ：横加加速度ゲイン、 $T$ ：一次遅れ時定数、 $s$ ：ラプラス演算子、 $R_{FR0}$ ：初期配分比率)で生成されることを特徴とする請求項3に記載の車両の制御方法。

【請求項5】

前記入力値は、車両のヨーレイトの絶対値であることを特徴とする請求項1に記載の車両の制御方法。

【請求項6】

前輪配分比率 $R_{FR}$ は、

$$R_{FR} = R_{FR0} - \text{sgn}(r \cdot \dot{r}) \frac{C_{dpr}}{1 + T_r s} |\dot{r}|$$

(但し、 $r$ ：車両ヨーレイト、 $r\_dot$ ：車両ヨー角加速度、 $C_{dpr}$ ：ヨー角加速度ゲイン、 $T$ ：一次遅れ時定数、 $s$ ：ラプラス演算子、 $R_{FR0}$ ：初期配分比率)で生成されることを特徴とする請求項5に記載の車両の制御方法。

【請求項7】

前記入力値は、操舵角の絶対値であることを特徴とする請求項1に記載の車両の制御方法。

【請求項8】

前輪配分比率 $R_{FR}$ は、

$$R_{FR} = R_{FR0} - \text{sgn}(\delta \cdot \dot{\delta}) \frac{C_{dp\delta}}{1 + T_r s} |\dot{\delta}|$$

(但し、 $\delta$ ：操舵角、 $\delta\_dot$ ：操舵角速度、 $C_{dp\delta}$ ：操舵角速度ゲイン、 $T$ ：一次遅れ時定数、 $s$ ：ラプラス演算子、 $R_{FR0}$ ：初期配分比率)で生成されることを特徴とする請求項7に記載の車両の制御方法。

【請求項9】

前記入力値に応じた前記前輪配分比率の値が予め記憶されたマップを用いて、前記前輪配分比率を制御することを特徴とする請求項1に記載の車両の制御方法。

【請求項10】

前記入力値が増加する時は、車両が減速するように制御し、前記入力値が減少する時は、車両が加速するように制御することを特徴とする請求項1乃至9の何れかに記載の車両の制御方法。

【請求項11】

車両の加減速制御は前後加速度指令値に基づいて行われ、

前記前後加速度指令値 $G_{xc}$ は、

$$G_{xc} = -\text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{xy}}{1 + T_s} |\dot{G}_y|$$

(但し、 $G_y$ ：車両横加速度、 $G_{y\_dot}$ ：車両横加加速度、 $C_{xy}$ ：横加加速度ゲイン、 $T$ ：一次遅れ時定数、 $s$ ：ラプラス演算子)で生成されることを特徴とする請求項10に記載の車両の制御方法。

【請求項12】

車両の前後加速度をx軸、車両の横加速度をy軸とし、

車両の前方向をx軸の正、車両の操舵方向をy軸の正、とする車両固定座標系で、車両に操舵入力があった場合、あるいは車両がy方向に正である旋回を開始した場合に、車両の横加速度が正の方向に発生すると共に、車両の前後加速度が負の方向に発生することにより、前後加速度と横加速度を表示した座標の軌跡が、原点近傍から第II象限に向けて、時計

10

20

30

40

50

回りのなめらかな曲線となることを特徴とする請求項 10 に記載の車両の制御方法。

【請求項 13】

制動力の前輪配分比率を小さくするということが、前輪が発生する制動力、及び/又は、制動トルクを減らし、

制動力の前輪配分比率を大きくするということが、前輪が発生する制動力、及び/又は、制動トルクを増やし、

駆動力の前輪配分比率を小さくすることが、前輪が発生する駆動力、及び/又は、駆動トルクを減らし、

駆動力の前輪配分比率を大きくすることが、前輪が発生する駆動力、及び/又は、駆動トルクを増やす、ことである請求項 1 に記載の車両の制御方法。

10

【請求項 14】

前輪を駆動するフロントモータと、後輪を駆動するリアモータと、請求項 1 乃至 13 の何れかに記載の車両の制御方法を実行する制御装置と、を有し、

前記フロントモータへの供給電圧を制御することにより、前記前輪配分比率を変化させることを特徴とする車両制御システム。

【請求項 15】

ステレオカメラを有し、前記制御装置がステレオカメラに内包されていることを特徴とする請求項 14 に記載の車両制御システム。

【請求項 16】

請求項 1 乃至 13 に記載の車両の制御方法を実行するための車両制御装置。

20

【請求項 17】

請求項 1 乃至 13 に記載の車両の制御方法を処理装置で実行するための制御プログラム

。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、車両の駆動力、制動力、あるいは駆動力と制動力の両方の、前後輪への配分比率を制御する車両の運動制御方法、装置、および、それを搭載した車両に関する。

【背景技術】

【0002】

量産第一世代のEV (Electric Vehicle) は、内燃機関の代替としてモータが搭載されており、車両1台に対して、モータは一つとなっている。今後のより価格帯の高いEV/HEV (Hybrid Electric Vehicle) においては、差別化を図るためにも複数のモータを搭載する車両が増加すると思われる。

30

【0003】

前輪用モータと後輪用モータを有する前後ツインモータ配置車両は、その構成上、4輪駆動方式となり、発進・加速性能が向上する。そして、旋回時においても減速時の運動エネルギーを前後輪で回生することができるため、回生量を大きくしやすい。特に荷重に応じて回生トルクを配分することにより、回生量を最大化することができる(ブレーキトルクの前後配分と同様に安定した姿勢で減速・回生できる)。

40

【0004】

これに対し、左右ツインモータ配置においては、旋回時に内輪で回生して減速力と電気エネルギーを得るとともに、このエネルギーを用いて外輪を力行することにより加速力を得て、Direct Yaw-moment Control (DYC) を行う。ところが内輪は外輪に比べて旋回速度が低く、外輪側の逆起電圧に対して低い電圧でしか発電できない。したがって、内輪にて回生発電はできるが、実質的にはバッテリーから電気エネルギーを持ち出して、外輪側に供給することになり、車両全体としては旋回時にはほとんど回生ができない。

【0005】

また、前後ツインモータ配置車両は全輪駆動であるが、左右ツインモータ配置の場合、全輪駆動化には、もう一つモータが必要となり、コストと重量増を招く。このように、左

50

右ツインモータ配置のメリットはディファレンシャルギアの省略と、DYCができることが挙げられる。しかしながらDYCにおいては、制駆動力により発生する左右のリンク半力のアンバランスから、ロールモーメントが発生し、ヨー運動とロール運動の自然な練成が損なわれる場合が多い。

【 0 0 0 6 】

以上のような背景から、前後ツインモータ配置車両の旋回性能（操縦性・安定性）を向上させる前後配分制御コンテンツを見出すことにより、左右ツインモータ配置車両と同等以上の旋回性能を得ることが望まれている。また、この前後配分比率を動的に制御する方法は、EV/HEVのみではなく、1つの原動機で四輪駆動を実現する、これまでの四輪駆動車のうち、前後配分機能を有する車両でも適用可能である。

10

【 0 0 0 7 】

この課題に対し、例えば、特許文献1では、所定の車両状態に応じて前後輪への駆動力配分を制御する前後輪駆動力配分制御システムと、所定の車両状態に応じて左右輪への駆動力配分を制御する左右輪駆動力配分制御システムと、旋回中、前記左右輪駆動力配分制御システム側での制御によりオーバステアモーメントが発生する時あるいは発生が予測される状態にある時を検出するオーバステアモーメント検出手段と、オーバステアモーメントが検出された時、オーバステアモーメント検出量に応じた前輪配分量を加えた補正制御を前後輪駆動力配分制御システム側で行なわせる第1総合制御手段と、を備えていることを特徴とする前後輪と左右輪の駆動力配分総合制御装置の技術が開示されており、旋回中、前記前後輪駆動力配分制御システム側での制御によりアンダーステアモーメントが発生する時あるいは発生が予測される状態にある時を検出するアンダーステアモーメント検出手段と、アンダーステアモーメントが検出された時、アンダーステアモーメント検出量に応じた旋回外輪配分量を加えた補正制御を左右輪駆動力配分制御システム側で行なわせる第2総合制御手段と、を備えていることを特徴とする前後輪と左右輪の駆動力配分総合制御装置の技術が開示されている。

20

【 0 0 0 8 】

また、特許文献2においては、入力された車両の横方向の加加速度（ $G_{y \dot{d}ot}$ ）に、速度（ $V$ ）及び横加速度（ $G_y$ ）から決定され、予め記憶されたゲイン（ $K_{G_y V}$ ）を乗じ、乗じた値に基づいて、車両の前後加速度を制御する制御指令を生成し、生成された前記制御指令を出力することを特徴とする車両の運動制御方法が開示されている。この方法によると非特許文献1に述べられているとおり、前後加速度と横加速度の合成加速度ベクトル（ $G$ ）の軌跡が車両重心固定の座標系において、なめらかな曲線を描くように方向づけられ（Vectoring）、G-Vectoring制御（GVC:G-Vectoring Control）と呼ばれている。

30

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特開平 6 - 8 0 0 3 5 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 8 - 2 8 5 0 6 6 号公報

【 非特許文献 】

40

【 0 0 1 0 】

【 非特許文献 1 】 Improvement in vehicle agility and stability by G-Vectoring control. Yamakado, J. Takahashi, S. Saito, A. Yokoyama & M. Abe, Vehicle System Dynamics, Volume 48, Supplement 1, December 2010, pages 231-254

【 非特許文献 2 】 M. Abe, Vehicle Handling Dynamics, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2009.

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 1 】

特許文献1では、横加速度が大で差動制限トルク大の時、または横加速度が大で差動制

50

限トルクの増大変化が大の時にオーバステアモーメントがでやすいことで、オーバステアモーメントのでやすさに応じて差動制限トルク感応ゲイン  $K_{gd}$  を高い値として与えるようにしている。しかしながら、このような方法では、システムの稼働自体に起因するオーバステアの予兆を示すものであるとともに、なぜオーバステアとなりやすいのかが明確にされておらず、結果として車両の各状態での走りこみチューニングが必要となり、汎用的な設計方法が確立されているとはいえない。したがってこの技術により、システムを構成する場合、高コストのシステムとなってしまうことが懸念される。

【0012】

さらに特許文献1では、低 $\mu$ 路旋回時等であって、旋回中、前後輪駆動力配分制御システム側で前輪側への駆動力配分を増す制御によりアンダーステアモーメントが発生する時あるいは発生が予期される状態にある時、アンダーステアモーメント検出手段によりアンダーステアモーメント状態が検出される。そして、アンダーステアモーメントが検出された時、第2総合制御手段において、アンダーステアモーメント検出量に応じた旋回外輪配分量を加えた補正制御が左右輪駆動力配分制御システム側で行なわれる。すなわち、アンダーステア制御では、左右輪の駆動力配分制御装置が必要となり、前後ツインモータ配置車両では、実現できないDYCを行うことにより解決を図ろうとしている。

【0013】

また、特許文献2のGVCにおいては、車両の横運動に連係して、前後加速度を制御することにより、加減速に起因する荷重移動がステア特性に好適に働き、DYCを行わなくても、操縦性と安定性の向上を図れることは実証されているが、加減速指令値を実現するための駆動力・制動力を前輪・後輪にどのように配分すれば良いかということに関して、開示しているものではなかった。

【0014】

本発明は、駆動力・制動力を前輪、後輪に適正に配分することにより、ステア特性を好適とし、操縦性と安定性の両方の向上を実現する前後制駆動配分制御(Distribution plus、D+と命名)を実行する車両の運動制御方法、装置、およびそれらを備えた車両を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記目的を達成させるために、本発明の車両の運動制御装置およびそれを搭載した車両は、車両の前輪と後輪の制動・駆動配分を制御する手段を有し、該車両の横加速度の絶対値が増加するときには前輪への配分を小さくし、該車両の横加速度の絶対値が減少するときは、前輪への配分を大きくすることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

車両の操縦性と安定性の両方の向上を実現する前後制駆動配分制御(D+)が具現化され、車両の運動制御装置およびそれを搭載された車両(トランスファー方式四輪駆動、前後ツインモータ配置車両)を提供することができる。また、制動側のみを考えると、前後配分を変更できるブレーキ装置、およびそれが搭載される車両に対しても適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明に用いるGVC車両の左コーナー進入から脱出までの様子を示す図である。

【図2】図1のような走行をした場合の時系列データを示す図である。

【図3】車両重心点の横すべりによって発生するタイヤ横力の着点を示す図である。

【図4】車両の瞬時スタティックマージンを示す図である。

【図5】タイヤ特性の非線形特性の近似を示す図である。

【図6】タイヤ摩擦円を示す図である。

【図7】D+制御により前後配分比が変化する様子を示す図である。

【図8】効果確認用のフルピークルシミュレーションの概要を示す図である。

【図9】フルピークルシミュレーションの操舵角入力、前後加速度、および横加速度、”

10

20

30

40

50

g-g”ダイアグラムを示す図である。

【図10】フルビークルシミュレーションの操舵角入力、本発明の前後配分比率、瞬時スタティックマージンを示す図である。

【図11】本発明の実施例の全体構成を示す図である。

【図12】本発明のコントローラ内部処理と前後モータとの関係を示す図である。

【図13】本発明実施時のコーナリングシナリオと駆動力配分様態を示す図である。

【図14】本発明実施時と、不実施時の、それぞれの特徴を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

まず、課題を解決するための手段について、その基本的な考え方を説明し、その構成、実施形態について述べていく。

【0019】

本発明は、駆動力・制動力をいかに前後に配分するかという技術に関するものである。もちろん、加減速を発生させることに伴い、駆動力・制動力が発生するのであるが、どのような加減速かという部分に関しては、特に限定はない。例えばドライバが、コーナリング中に随意に行うアクセル・ブレーキ操作に応じて、駆動力・制動力を前後に配分しても良いし、非特許文献1のG-Vectoring制御に基づく、コントローラからの加減速制御指令に基づいて、駆動力・制動力を前後に配分しても良い。ここでは、熟練ドライバの横運動連係動作を再現できるG-Vectoring制御(以下、GVC)に基づいて決定された加減速を実現するための駆動力・制動力を前後に配分することを考える。

【0020】

以下、まず、GVCについて概要を述べる。次に、非特許文献2に基づいて車両のタイヤ特性に関する基本的な考え方について論じる。ここでは、タイヤのコーナリングフォースの1)横滑り角に対する非線形特性、2)荷重依存性、3)駆動力・制動力依存性について論じ、本発明における課題を解決するための手段を導出する。そして最後に、その構成、実施形態について述べていく。

<横運動に連係した前後加速度制御(G-Vectoring)>

ハンドル操作による横運動に連係して自動的に加減速することにより、前輪と後輪の間に荷重移動を発生させて車両の操縦性と安定性の向上を図る方法が、非特許文献1に示されている。具体的な加減速指令値(目標前後加速度Gxc)は、以下数1に示す通り、

【0021】

【数1】

$$G_{xc} = -\operatorname{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{xy}}{1+Ts} |\dot{G}_y| + G_{x\_DC} \quad \text{※}\dot{G}_y = G_{y\_dot} \quad (1)$$

【0022】

基本的に横加加速度Gy\_dotにゲインCxyを掛け、一次遅れを付与した値を前後加減速指令にするとというシンプルな制御則である。

【0023】

なお、Gyは車両横加加速度、Gy\_dotは車両横加加速度、Cxyはゲイン、Tは一次遅れ時定数、sはラプラス演算子、Gx\_DCは横運動に連係しない加減速度指令、例えば後に述べるようなブリクラッシュブレーキなどに対応するものである。

【0024】

これによりエキスパートドライバの横と前後運動の連係制御ストラテジの一部が模擬でき、車両の操縦性・安定性の向上が実現できることが、非特許文献1で確認されている。

【0025】

この式のGx\_DCは横運動に連係していない減速度成分(オフセット)である。前方にコーナーがある場合の予見的な減速、あるいは区間速度指令がある場合に必要となる項である。また、sgn(シグナム)項は、右コーナー、左コーナーの両方に対して上記の動作が得られるように設けた項である。具体的には、操舵開始のターンイン時に減速し、定常旋

10

20

30

40

50

回になると（横加加速度がゼロとなるので）減速を停止し、操舵戻し開始時のコーナー脱出時に加速する動作が実現できる。

【0026】

このように制御されると、前後加速度と横加速度の合成加速度（Gと表記）が、横軸に車両の前後加速度、縦軸に車両の横加速度をとるダイアグラムで、時間の経過とともに曲線的な遷移をするように方向付けられる（Vectoring）のため、「G-Vectoring制御」と呼ばれている。

【0027】

数1の制御を適用した場合の車両運動に関して、具体的な走行を想定して説明する。

【0028】

図1は、直進路A、過渡区間B、定常旋回区間C、過渡区間D、直進区間Eという、コーナーへの進入、脱出の一般的な走行シーンを想定している。このとき、ドライバによる加減速操作は行わないものとする。

【0029】

また、図2は、操舵角、横加速度、横加加速度、数1にて計算した加減速指令、そして四輪の制動、駆動力について時刻暦波形として示した図である。後で詳細に説明するが、前外輪と前内輪、後外輪と後内輪は、左右（内外）それぞれ同じ値と成るように制動力・駆動力が配分されている。ここで制駆動力とは各輪の車両前後方向に発生する力の総称で、制動力は車両を減速する向きの力であり、駆動力は車両を加速する向きの力と定義する。

まず直進路区間Aから車両がコーナーに進入する。過渡区間B（点1～点3）では、ドライバが徐々に操舵を切増すに従い、車両の横加速度 $G_y$ が増加していく。横加加速度 $G_{y\_dot}$ は、点2近辺の横加速度が増加している間、正の値をとることになる（横加速度増加が終了する3の時点ではゼロに戻る）。このとき、数1より、制御車両には横加速度 $G_y$ の増加に伴い、減速（ $G_{xc}$ は負）指令が発生する。これに伴い、前外、前内、後外、後内の各輪に略同じ大きさの制動力（マイナス符号）が加わることになる。

【0030】

その後、車両が定常旋回区間C（点3～点5）に入ると、ドライバは操舵の切増しを止め、操舵角を一定に保つ。このとき、横加加速度 $G_{y\_dot}$ は0となるため、加減速指令 $G_{xc}$ は0となる。よって、各輪の制動力・駆動力もゼロとなる。

【0031】

次に、過渡区間D（点5～7）では、ドライバの操舵の切戻し操作によって車両の横加速度 $G_y$ が減少していく。このとき車両の横加加速度 $G_{y\_dot}$ は負であり、数1より制御車両には加速指令 $G_{xc}$ が発生する。これに伴い、前外、前内、後外、後内の各輪に略同じ大きさの駆動力（プラス符号）が加わることになる。

【0032】

また直進区間Eでは横加加速度 $G_y$ が0となり横加加速度 $G_{y\_dot}$ もゼロとなるため加減速制御は行われない。以上のように、操舵開始のターンイン時（点1）からクリッピングポイント（点3）にかけて減速し、定常円旋回中（点3～点5）には減速を止め、操舵切戻し開始時（点5）からコーナー脱出時（点7）には加速する。このように、車両にG-Vectoring制御を適用すれば、ドライバは旋回のための操舵をするだけで、横運動に連係した加減速運動を実現することが可能となる。

【0033】

また、この運動を前後加速度を横軸、横加速度を縦軸にとり、車両に発生している加速度様態を示す“g-g”ダイアグラムに表すと、滑らかな曲線状（円を描くよう）に遷移する特徴的な運動になる。本発明の加減速指令は、このダイアグラムで、時間の経過とともに曲線的な遷移をするように生成される。この曲線状の遷移は左コーナーについては、図1に示すように時計回りの遷移となり、右コーナーについては、 $G_x$ 軸について反転した遷移経路となり、その遷移方向は半時計回りとなる。このように遷移すると前後加速度により車両に発生するピッチング運動と、横加速度により発生するロール運動が好適に連係し

10

20

30

40

50

、ロールレイト、ピッチレイトのピーク値が低減される。

【0034】

この制御は、図1に示すとおり、一次遅れ項、左右の運動に対する符号関数を省略して考えると、車両横加加速度にゲイン-Cxyを掛け合わせた値を前後加速度指令にしているので、ゲインを大きくすることにより、同一横加加速度に対して、減速度、あるいは加速度を大きくすることが出来る。

【0035】

以下では、GVC適用を前提として、タイヤのコーナリングフォースの力学的特性をレビューすることにより、本発明で対象とする制動力・駆動力の前後配分指針の導出を進める。

10

【0036】

<車両のステア特性に関する考察>

先に述べたGVCは、横運動に応じて前後運動を連係させるための基本的な制御指針であるが、前後運動が発生すると前後輪間に荷重移動が発生する。また、そもそも前後運動を発生させるためには、制動力・駆動力を発生させる必要がある。これらの現象は、前後輪の横力を発生させるゲインであり、かつ車両のステア特性を司るコーナリングスティフネスを変化させる。結果的にはGVCにより前後運動をすることが、横運動にも影響を与える。本章では、横運動への影響、特にステア特性に焦点を合わせて検討を進め、ステア特性を好適にする前後力(トルク)配分の導出のための準備を行う。

【0037】

20

(1) 車両のステア特性

アンダーステア(U.S.)、オーバーステア(O.S.)、ニュートラルステア(N.S.)という概念は、車両の運動特性を論じるうえで、きわめて重要な概念である。いま車両が操舵角ゼロのもとでなんらかの原因で重心点に横すべり角が生じたとすれば、前後輪にも同じ横すべり角が生じ、横力が発生する。この横力は重心点周りのモーメントとなり、ヨーイング運動はよく知られているように、

【0038】

【数2】

$$I \frac{dr}{dt} + \frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{V} r = -2(l_f K_f - l_r K_r) \beta \quad (2)$$

30

となる。ここで、 $I$ ：車両のヨーイング慣性モーメント、 $r$ ：ヨーレイト、 $l_f$ ：車両重心点と前車軸間の距離、 $l_r$ ：車両重心点と後車軸間の距離、 $K_f$ ：前輪のコーナリングスティフネス、 $K_r$ ：後輪のコーナリングスティフネス、 $V$ ：車両速度、 $\beta$ ：横すべり角である。

が正であれば、この式により、車両の重心点には、以下のようなヨーイングモーメントが働く。

- 1)  $l_f K_f - l_r K_r$  が正のときは、負。
- 2)  $l_f K_f - l_r K_r$  がゼロのときは、ゼロ。
- 3)  $l_f K_f - l_r K_r$  が負のときは、正。

1)の場合、横すべり角によって前後輪に発生する横力の合力の着点の重心点より前方になり、2)の場合は、重心点に一致し、3)の場合は、後方になる。この前後輪のコーナリングフォースの合力の着点をニュートラルステアポイント(NSP: Neutral-Steer-Point)と呼ぶ。

40

【0039】

車両の重心点が横すべり角を生じたとすれば、前後輪に働く横力は $2K_f$ 、 $2K_r$ となる。図3のように、NSPと車両重心点間の距離を $l_n$ とすると、NSP回りの $2K_f$ と $2K_r$ によるモーメントはつりあわねばならないから

【0040】



【数3】

$$(l_f + l_{Nr}) \cdot 2K_f \beta - (l_r - l_{Nr}) \cdot 2K_r \beta = 0 \quad (3)$$

この式より、

【0041】

【数4】

$$l_N = -\frac{l_f K_f - l_r K_r}{K_f + K_r} \quad (4)$$

を得る。つまり、NSPは、1) のとき重心点より前へ、3) のとき重心点よりも後ろへ、  
そして2) のとき重心点と一致する。そして、 $l_N$ をホイールベース $l$ で割って無次元化し  
た値をスタティックマージン(Static Margin、以下S.M.と書く)と呼び、ステア特性を  
定量的に現す指標としてよく知られている。

10

【0042】

【数5】

$$S.M. = \frac{l_N}{l} = -\frac{l_f K_f - l_r K_r}{l(K_f + K_r)} \quad (5)$$

車両のステア特性はS.M.を用いて次のように定義することができる。

- |           |      |    |
|-----------|------|----|
| 1) S.M.>0 | U.S. | 20 |
| 2) S.M.=0 | N.S. |    |
| 3) S.M.<0 | O.S. |    |

生産車両のほとんどは、1) のS.M.>0となるように設計されている。たとえば車両1がS.  
M.1で、車両2がS.M.2として、S.M.1>S.M.2の場合、車両1も車両2もU.S.であることには  
変わりがないが、車両2のほうが、車両1に比べてよりU.S.が弱いと考えることができる  
。

【0043】

さらに、数式(5)からわかるように、前輪、後輪のコーナリングスティフネス  
 $K_f$ 、 $K_r$ がコーナリングフォースの非線形性、タイヤへの垂直荷重、あるいは制・駆動力  
の影響を受けて変化した場合、SMは変化することになる。次節以降で考えるように瞬時の  
S.M.(Instantaneous S.M.、以下I.S.M.と書く)を考える場合、一台の車両においても  
、上記諸条件によってU.S.が強い瞬間やU.S.が弱くなる瞬間があり、あるいはこれを逆手  
にとってタイヤへの垂直荷重を加減速により制御をしたり、あるいは制・駆動力の前後配  
分比を横運動に連係して制御することによりI.S.M.を好適に制御したりする方法を考える  
ことができる。

30

【0044】

図4に示すようにドライバが操舵を開始する状況(図4中1~3、図1と同様)にお  
いては、U.S.を相対的に弱くすることにより、操縦性を改善し必要な操舵角を少なくした  
り、逆に、操舵を戻して直線状態へ戻るとき(5~7)には、相対的にU.S.が強くなると  
安定性が向上したりする。ドライバから見ると、「ハンドリング性能が高い車」と感じる  
ことができる。これに対し、コーナー進入時にU.S.が強くなり、コーナー脱出時にU.S.が  
相対的に弱くなると、「アンダーステアが強く、安定性も悪い」というような評価となっ  
てしまう。次節以降ではI.S.M.に影響を与える諸因子、横すべり角、荷重、制・駆動配分  
について順に示していくことにする。

40

【0045】

(2) タイヤ特性の非線形性の影響

これまで、タイヤに働く横力がその横すべり角に比例するという前提の下にS.M.を考  
えてきた。ここでは、タイヤの横すべり角が大きくなり、横力が必ずしも横すべり角に比  
例しなくなったとき、それがS.M.にどのような影響を与えるかを考えてみることにする。

【0046】

50

タイヤの横力 $Y$ と横すべり角  $\beta$  の間の関係として、ここでは簡単のために、横すべり角 $\beta_0$ におけるコーナリングステイフネスが $K_0$ で、横力が摩擦力 $\mu W$  ( $W$ : タイヤ垂直荷重) で飽和するとして、これを横すべり角の2次式で近似すると、

【 0 0 4 7 】

【 数 6 】

$$Y_{f\beta} = K_{f\beta_0} \beta_{f\beta} - \frac{K_{f\beta_0}^2}{4\mu W_{f\beta}} \beta_{f\beta}^2 \quad (6)$$

が得られる。

ここで、数式(6)を  $\beta_{f\beta}$  で偏微分し形式的に横すべり角  $\beta_f$  における等価コーナリングステイフネスを求めると、

【 0 0 4 8 】

【 数 7 】

$$K_{f\beta} = \frac{\partial Y_{f\beta}}{\partial \beta_{f\beta}} = K_{f\beta_0} - \frac{K_{f\beta_0}^2}{2\mu W_{f\beta}} \beta_{f\beta} = K_{f\beta_0} \left( 1 - \frac{K_{f\beta_0}}{2\mu W_{f\beta}} \beta_{f\beta} \right) \quad (7)$$

例えば、前輪1輪について考えた場合、 $W_f = l_r \cdot mg / 2$ なので、結局、

【 0 0 4 9 】

【 数 8 】

$$K_{f\beta} = \frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} = K_{f\beta_0} \left( 1 - \frac{K_{f\beta_0}}{\mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f \right) \quad (8)$$

となる。さて、質量 $m$ のヨーイング慣性モーメント $I$ の車両が、 $G_y$ の横加速度、ヨーレート $\dot{r}$ で旋回していると仮定すると、前後輪に働く横方向の力は、その大きさのみを考えれば、

【 0 0 5 0 】

【 数 9 】

$$2Y_f(\beta_f) = \frac{l_r}{l} m G_y + \frac{1}{l} I \dot{r} = 2 \left( K_{f\beta_0} \beta_f - \frac{K_{f\beta_0}^2}{4\mu \frac{l_r mg}{2l}} \beta_f^2 \right) \quad (9)$$

これに近似式、 $l_r m \cdot l_f \cdot l_r$ を代入し、両辺を $\mu l_r mg / l$ で割ると、

【 0 0 5 1 】

【 数 10 】

$$\frac{1}{\mu g} (G_y + l_f \dot{r}) = 2 \frac{K_{f\beta_0}}{\mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f - \frac{K_{f\beta_0}^2}{\mu \frac{l_r mg}{l} \mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f^2 = 2 \frac{K_{f\beta_0}}{\mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f - \left( \frac{K_{f\beta_0}}{\mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f \right)^2 \quad (10)$$

ここで、因数分解ができるように、1から数式(10)を引くと、

【 0 0 5 2 】

【 数 11 】

$$1 - \frac{1}{\mu g} (G_y + l_f \dot{r}) = 1 - 2 \frac{K_{f\beta_0}}{\mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f + \left( \frac{K_{f\beta_0}}{\mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f \right)^2 = \left( 1 - \frac{K_{f\beta_0}}{\mu \frac{l_r mg}{l}} \beta_f \right)^2 \quad (11)$$

よって、数(10)の平方根をとって、 $K_{f\beta_0}$ を掛けると

【 0 0 5 3 】

10

20

30

40

50

【数 1 2】

$$K_{f0} \sqrt{1 - \frac{1}{\mu g} (G_y + l_f \dot{r})} = K_{f0} \left( 1 - \frac{K_{f0}}{\mu \frac{l_r m g}{l}} \beta_f \right) = \frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} \quad (12)$$

(G<sub>y</sub> + l<sub>f</sub>)/μg << 1 とすると開平でき、

【0054】

【数 1 3】

$$\frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} \approx K_{f0} \left( 1 - \frac{1}{2\mu g} (G_y + l_f \dot{r}) \right) \quad (13) \quad 10$$

同様に、後輪についても

【0055】

【数 1 4】

$$\frac{\partial Y_r}{\partial \beta_r} \approx K_{r0} \left( 1 - \frac{1}{2\mu g} (G_y - l_r \dot{r}) \right) \quad (14)$$

となる。したがって、タイヤ特性の非線形性の影響を考慮した、瞬時スタティックマージン I.S.M.<sub>NL</sub> は、

【0056】

20

【数 1 5】

$$\begin{aligned} I.S.M._{NL} &= \frac{l_f \frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} - l_r \frac{\partial Y_r}{\partial \beta_r}}{l \left( \frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} + \frac{\partial Y_r}{\partial \beta_r} \right)} = \frac{l_f K_{f0} \left( 1 - \frac{1}{2\mu g} (G_y + l_f \dot{r}) \right) - l_r K_{r0} \left( 1 - \frac{1}{2\mu g} (G_y - l_r \dot{r}) \right)}{l \left( K_{f0} \left( 1 - \frac{1}{2\mu g} (G_y + l_f \dot{r}) \right) + K_{r0} \left( 1 - \frac{1}{2\mu g} (G_y - l_r \dot{r}) \right) \right)} \\ &= \frac{l_f K_{f0} - l_r K_{r0} \left( 1 - \frac{G_y}{2\mu g} \right) - \frac{\dot{r}}{2\mu g} (l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0})}{l \left( (K_{f0} + K_{r0}) \left( 1 - \frac{G_y}{2\mu g} \right) + \frac{\dot{r}}{2\mu g} (l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) \right)} \\ &= \frac{l_f K_{f0} - l_r K_{r0} (2\mu g - G_y) - (l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0}) \dot{r}}{l \left( (K_{f0} + K_{r0}) (2\mu g - G_y) + (l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) \dot{r} \right)} \quad (15) \\ &= \frac{l_f K_{f0} - l_r K_{r0} \left\{ (2\mu g - G_y) - \frac{(l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0})}{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0})} \dot{r} \right\}}{l \left( (K_{f0} + K_{r0}) \left\{ (2\mu g - G_y) + \frac{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0})}{(K_{f0} + K_{r0})} \dot{r} \right\} \right)} \\ &= S.M._0 \frac{\left\{ (2\mu g - G_y) - \frac{(l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0})}{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0})} \dot{r} \right\}}{\left\{ (2\mu g - G_y) - I.S.M._0 \dot{r} \right\}} \quad 40 \end{aligned}$$

ここで、U.S.の車両 (S.M.<sub>0</sub> > 0、-(l<sub>f</sub>K<sub>f0</sub> - l<sub>r</sub>K<sub>r0</sub>) > 0) に対して操舵切りはじめの状況を考える。すなわち横加速度G<sub>y</sub>の絶対値が小さく (G<sub>y</sub> = 0)、ヨーレイトの増加が大きい旋回初期について考える。

【0057】

【数 1 6】

$$I.S.M._{NL} \approx S.M._0 \frac{\left\{ 2\mu g - \frac{(l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0})}{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0})} \dot{r} \right\}}{\left\{ 2\mu g - I.S.M._0 \dot{r} \right\}} = S.M._0 \frac{\{2\mu g + D\dot{r}\}}{\{2\mu g - C\dot{r}\}} \quad (C, D: Const > 0) \quad (16) \quad 50$$

瞬時スタティックマージンI.S.M.<sub>NL</sub>は正の定数C>0、D>0とヨー角加速度(r>0)との積を、分母から引き、分子に足すことになるので、ヨー角加速度が大きくなると、車両はU.S.が強くなるということを示している。また、逆に旋回から直進に戻る場合、ヨー角加速度は負となり、分母が大きく、分子が小さくなり、U.S.が相対的に弱くなるということも示している。したがって、タイヤ特性の非線形性の影響は、程度に差異はあれ、コーナー進入時にU.S.が強くなり、コーナー脱出時にU.S.が相対的に弱くなると、「アンダーステアが強く、安定性も悪い」という、先に示したような、よからぬ特性の元凶であるといえる。また、横すべり角速度が非常に小さいとして、

【0058】

【数17】

$$G_y = V(\dot{\beta} + r) \approx V \cdot r \quad (17)$$

として、また十分に短い間には速度変化も微小という仮定を置くと、

【0059】

【数18】

$$\dot{G}_y \approx V \cdot \dot{r} \rightarrow \dot{r} = \frac{\dot{G}_y}{V} = C^* \dot{G}_y, \quad C^* = \text{pseudo Const} \quad (18)$$

となり、ヨー角加速度情報は、横加加速度情報を内包していると考えられる。

【0060】

したがって、ヨー角加速度(横加加速度)を大きくしないように、具体的には操舵速度を大きくしないような運転をすることが肝要である。また逆に、ヨー角加速度(横加加速度)がゼロとなり、すなわち定常旋回となって横加加速度が安定すると、瞬時スタティックマージンI.S.M.<sub>NL</sub>は、元のS.M.<sub>0</sub>に戻るといって、特性を具備していることに注意されたい。

【0061】

(3) 加減速による荷重依存性の影響

前節で、横すべり角に対して非線形特性を有するタイヤにおいては、制御を加えないと操縦しにくい特性となるメカニズムを内包していることがわかった。本節では、加減速を行うことにより、この特性を緩和するメカニズムについて考えるために、まずコーナリングフォースの荷重依存性について精査していく。

【0062】

加減速を行うと、タイヤの垂直荷重が移動する。例えば、減速中は後輪から前輪に、加速中は前輪から後輪に荷重が移動する。一方、コーナリングフォースは良く知られているように荷重依存性を有する。ここで、コーナリングスティフネスを $K_{iw}$ ( $i=f, r$ 、 $f$ :フロント、 $r$ :リア)として、これらがタイヤ垂直荷重 $W_i$ に対して1次の荷重依存性(比例係数 $C_1$ )を持つとすると、

【0063】

【数19】

$$K_{iw} = C_1 W_i \quad (19)$$

であらわせる。一方、車両の重心高さを $h$ として、車両が $G_x$ で加減速すると、前輪荷重(1本分)は、

【0064】

【数20】

$$W_f = \frac{m l_r g}{2l} \left( 1 - \frac{h}{l_r g} G_x \right) \quad (20)$$

となり、後輪荷重(1本分)は、

【0065】

10

20

30

40

50

【数 2 1】

$$W_r = \frac{ml_f g}{2l} \left( 1 + \frac{h}{l_f g} G_x \right) \quad (21)$$

となる。したがってコーナリングスティフネスは、前後それぞれ、

【0066】

【数 2 2】

$$K_{fw} = C_1 W_f = C_1 \frac{ml_r g}{2l} \left( 1 - \frac{h}{l_r g} G_x \right) = K_{f0} \left( 1 - \frac{h}{l_r g} G_x \right) \quad (22)$$

10

【0067】

【数 2 3】

$$K_{rw} = C_1 W_r = C_1 \frac{ml_f g}{2l} \left( 1 + \frac{h}{l_f g} G_x \right) = K_{r0} \left( 1 + \frac{h}{l_f g} G_x \right) \quad (23)$$

となる。したがって、加減速 $G_x$ で運動中の、瞬時スタティックマージン $I.S.M.G_x$ は、

【0068】

【数 2 4】

$$\begin{aligned} I.S.M.G_x &= \frac{l_f K_{fw} - l_r K_{rw}}{l(K_{fw} + K_{rw})} = \frac{l_f K_{f0} \left( 1 - \frac{h}{l_r g} G_x \right) - l_r K_{r0} \left( 1 + \frac{h}{l_f g} G_x \right)}{l \left( K_{f0} \left( 1 - \frac{h}{l_r g} G_x \right) + K_{r0} \left( 1 + \frac{h}{l_f g} G_x \right) \right)} \quad (24) \\ &= \frac{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) - \frac{h}{g} G_x \left( \frac{l_f K_{f0}}{l_r} + \frac{l_f K_{r0}}{l_f} \right)}{(K_{f0} + K_{r0}) - \frac{h}{g} G_x \left( \frac{1}{l_r} - \frac{1}{l_f} \right)} = \frac{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) - \frac{h}{g} \left( \frac{l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0}}{l_f l_r} \right) G_x}{(K_{f0} + K_{r0}) - \frac{h}{g} \left( \frac{l_f - l_r}{l_f l_r} \right) G_x} \end{aligned}$$

20

ここで、加減速の影響を直接的に見やすくするために $l_f = l_r$ と簡略化すると、

【0069】

【数 2 5】

$$\begin{aligned} I.S.M.G_x &= \frac{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) - \frac{h}{g} \left( \frac{l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0}}{l_f l_r} \right) G_x}{(K_{f0} + K_{r0})} = \frac{1}{l} \frac{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0})}{(K_{f0} + K_{r0})} + \frac{h}{l g l_f l_r} \frac{(l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0})}{(K_{f0} + K_{r0})} G_x \quad (25) \\ &= S.M._0 + \frac{h}{l g l_f l_r} \frac{(l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0})}{(K_{f0} + K_{r0})} G_x = S.M._0 + K \cdot G_x \quad \left( K = \frac{h}{l g l_f l_r} \frac{(l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0})}{(K_{f0} + K_{r0})} > 0 \right) \end{aligned}$$

30

となる。数(25)は、車両が加速( $G_x > 0$ )すると、スタティックマージンは増加してU.S.が強くなり、逆に減速( $G_x < 0$ )するとスタティックマージンは減少してU.S.が弱くなるということを示している。GVCは、横加速度が増加する旋回初期に減速することにより、U.S.を弱め、横加速度が低下して直線状態に戻るような旋回終了時に加速することにより、U.S.を強め、安定性を向上させている。すなわち、先の節で述べたタイヤ非線形特性に起因する操縦性・安定性の劣化を補償する働きがある。

40

【0070】

(4) 加減速を実現する前後力依存性の影響

先の節では、加減速による荷重移動に起因するステア特性変化について論じた。一方、加減速するためには4輪のタイヤで前後力を発生させる必要がある。この力がタイヤのコーナリングフォースに影響を与える。古典的なクーロン摩擦の法則に従えば、図6に示すように、タイヤが発生するコーナリングフォース $Y$ と駆動力(または制動力) $X$ は、どのような場合にも、次式を満足しなければならない。

50

【 0 0 7 1 】

【 数 2 6 】

$$\sqrt{Y^2 + X^2} \leq \mu W \quad (26)$$

つまりタイヤと地面のあいだに働く水平面内のあらゆる方面の力の合力は、そのときの垂直荷重に摩擦係数を掛けた値以上になることはできず、合力のベクトルは半径  $\mu W$  の円内にとどまる。この円を摩擦円と呼ぶ。もし、タイヤの前後方向に  $X$  の駆動力か制動力が働いているとすれば、大きな横すべり角で達しうる最大のコーナリングフォース  $Y_{\max}$  は、次のような式になる（ここで簡単化のために、加減速を実現する前後力依存性加減速を実現する前後力依存性のみに着目し、加減速による荷重移動については、考えないことにする）。

【 0 0 7 2 】

【 数 2 7 】

$$Y_{\max} = \sqrt{\mu^2 W^2 - X^2} \quad (27)$$

いま、駆動力や制動力がゼロのときのコーナリングフォース  $Y_0$  の横すべり角に対する関係について、どのような横すべり角でも、駆動力（または制動力）によるコーナリングフォースの低下率が同じであると仮定すると、次式が成立する。

【 0 0 7 3 】

【 数 2 8 】

$$Y = Y_0 \sqrt{1 - \left(\frac{X}{\mu W}\right)^2} \approx F_0 \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{X}{\mu W}\right)^2\right) \quad (28)$$

この関係を元に、前節の加減速を実現する駆動力（または制動力）を、どのように前後に配分するかについて検討を進めていく。

【 0 0 7 4 】

まず、前後加速度  $G_x$  で加減速している車両の前後輪の垂直荷重 ( $W_f$ 、  $W_r$ ) を考えると

【 0 0 7 5 】

【 数 2 9 】

$$W_f = \frac{m l_r g}{2l} \left(1 - \frac{h}{l_r g} G_x\right), \quad W_r = \frac{m l_f g}{2l} \left(1 + \frac{h}{l_f g} G_x\right) \quad (29)$$

となる。ここで、駆動力あるいは制動力の荷重比例の配分概念を導入する。前輪に配分する制駆動力と後輪に配分する制駆動力の比率を  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) とする。

【 0 0 7 6 】

【 数 3 0 】

$$\alpha = \frac{W_f}{W_f + W_r} = \frac{W_f}{\frac{mg}{2}} = \frac{l_r}{l} \left(1 - \frac{h}{l_r g} G_x\right), \quad (1 - \alpha) = \frac{l_f + l_r}{l} - \left(\frac{l_r}{l} - \frac{h}{gl}\right) G_x = \frac{l_f}{l} \left(1 + \frac{h}{l_f g} G_x\right) \quad (30)$$

この比率に従い前後加速度  $G_x$  を実現するための前後輪の駆動力あるいは制動力 ( $X_f$ 、  $X_r$ ) を分配すれば、

【 0 0 7 7 】

【 数 3 1 】

$$X_f = \alpha \frac{1}{2} m G_x = \frac{l_r}{2l} \left(1 - \frac{h}{l_r g} G_x\right) m G_x, \quad X_r = (1 - \alpha) \frac{1}{2} m G_x = \frac{l_f}{2l} \left(1 + \frac{h}{l_f g} G_x\right) m G_x \quad (31)$$

これを、数式 (26) に代入することを考え、 $X / \mu W$  を前後それぞれ計算すると

【 0 0 7 8 】

10

20

30

40

50

【数 3 2】

$$\frac{X_f}{\mu W_f} = \frac{l_r \left(1 - \frac{h}{l_r g} G_x\right) m G_x}{\mu \frac{m l_r g}{2l} \left(1 - \frac{h}{l_r g} G_x\right)} = \frac{G_x}{\mu g} \quad \frac{X_r}{\mu W_r} = \frac{l_f \left(1 + \frac{h}{l_f g} G_x\right) m G_x}{\mu \frac{m l_f g}{2l} \left(1 + \frac{h}{l_f g} G_x\right)} = \frac{G_x}{\mu g} \quad (32)$$

となり、結果として、前輪と後輪のコーナリングフォースが同じ割合で、低下することになる。

【0079】

10

【数 3 3】

$$Y_f = Y_{f0} \sqrt{1 - \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2} \approx Y_{f0} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right) \quad Y_r = Y_{r0} \sqrt{1 - \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2} \approx Y_{r0} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right) \quad (33)$$

両者を、それぞれ前輪の横すべり角  $\beta_f$ 、 $\beta_r$  で偏微分して等価的なコーナリングステイフネスを求めると、

【0080】

【数 3 4】

$$\frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} = \frac{\partial Y_{f0}}{\partial \beta_f} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right) \quad \frac{\partial Y_r}{\partial \beta_f} = \frac{\partial Y_{r0}}{\partial \beta_f} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right) \quad (34) \quad 20$$

よって瞬時スタティックマージン I.S.M.<sub>LD</sub> は、

【0081】

【数 3 5】

$$I.S.M._{LD} = -\frac{l_f \frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} - l_r \frac{\partial Y_r}{\partial \beta_f}}{l \left(\frac{\partial Y_f}{\partial \beta_f} + \frac{\partial Y_r}{\partial \beta_f}\right)} = -\frac{l_f \frac{\partial Y_{f0}}{\partial \beta_f} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right) - l_r \frac{\partial Y_{r0}}{\partial \beta_f} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right)}{l \left(\frac{\partial Y_{f0}}{\partial \beta_f} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right) + \frac{\partial Y_{r0}}{\partial \beta_f} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{G_x}{\mu g}\right)^2\right)\right)} \quad (35) \quad 30$$

$$= -\frac{l_f \frac{\partial Y_{f0}}{\partial \beta_f} - l_r \frac{\partial Y_{r0}}{\partial \beta_f}}{l \left(\frac{\partial Y_{f0}}{\partial \beta_f} + \frac{\partial Y_{r0}}{\partial \beta_f}\right)} = I.S.M._0$$

【0082】

数式(35)のように、駆動力あるいは制動力を前後輪の荷重に比例して配分すると、駆動力あるいは制動力によるステア特性の変化なしに、加減速を行えることになる。一般に、ブレーキによる制動力の前後配分は、ほぼ荷重比例となるように設計されている。従って、ブレーキ制御にてGVCを実現する場合、前節で述べた、減速による荷重移動を用いたステア特性の改善効果のみを得ることができる。

40

【0083】

本章では、タイヤのコーナリングフォースの1)非線形性、2)荷重依存性、3)制動力あるいは駆動力の影響を瞬時スタティックマージン(I.S.M.)で評価した。これにより、1)による操舵開始時のヨー角加速度(加減速度)に起因する操縦・安定性の悪化メカニズムを内包していること、2)GVCによる好適な荷重移動による操縦・安定性の補償メカニズムが形成されること、3)制動力あるいは駆動力を前後荷重比率で配分すると、ステア特性に影響を及ぼさないことを確認することができた。次章では、さらなるステア特性の改善効果を目指し、駆動力あるいは制動力の動的な配分制御(Distribution plus, D+)についての検討を進めていく。

【0084】

50

< 前後輪配分制御 (D+) >

本章では、ステア特性を好適にする前後力 (トルク) 配分の導出を行う。まず、前章の前後荷重比率配分から次のような配分オフセット  $d_p$  を、前輪には加え、後輪には減ずることとする。

【 0 0 8 5 】

【 数 3 6 】

$$X_{Df} = \alpha(1+d_p)\frac{1}{2}mG_x = \frac{l_r}{2l}\left(1-\frac{h}{l_r g}G_x\right)(1+d_p)mG_x$$

$$X_{Dr} = \left\{1-\alpha(1+d_p)\right\}\frac{1}{2}mG_x = \frac{l_f}{2l}\left(1+\frac{h}{l_f g}G_x\right)(1-d_p)mG_x$$
(36)

10

これらを荷重で割ると、

【 0 0 8 6 】

【 数 3 7 】

$$\frac{X_{Df}}{\mu W_f} = \frac{\frac{l_r}{2l}\left(1-\frac{h}{l_r g}G_x\right)(1+d_p)mG_x}{\mu\frac{ml_r g}{2l}\left(1-\frac{h}{l_r g}G_x\right)} = \frac{G_x(1+d_p)}{\mu g}$$

$$\frac{X_{Dr}}{\mu W_r} = \frac{\frac{l_f}{2l}\left(1+\frac{h}{l_f g}G_x\right)mG_x - \frac{1}{2}d_p mG_x}{\mu\frac{ml_f g}{2l}\left(1+\frac{h}{l_f g}G_x\right)} = \frac{G_x(1-d_p)}{\mu g}$$
(37)

20

ここで、加減速に伴う前後の荷重移動によるコーナリングステイフネスの変化を示した数式 (22)、数式 (23) について、数式 (28) のように、どのような横すべり角でも、駆動力 (または制動力) によるコーナリングフォースの低下率が同じであると仮定すると、次式が成立する。

【 0 0 8 7 】

【 数 3 8 】

$$K_{fDR} = K_{f0}\left(1-\frac{h}{l_r g}G_x\right)\sqrt{1-\left(\frac{X_{Df}}{\mu W_f}\right)^2} = K_{f0}\left(1-\frac{h}{l_r g}G_x\right)\sqrt{1-\left(\frac{G_x(1+d_p)}{\mu g}\right)^2}$$

$$\approx K_{f0}\left(1-\frac{h}{l_r g}G_x\right)\left(1-\frac{1}{2}\left(\frac{(1+d_p)}{\mu g}\right)^2 G_x^2\right) \approx K_{f0}\left(1-\frac{h}{l_r g}G_x\right)\left(1-\frac{1}{2(\mu g)^2}(1+2d_p)G_x^2\right)$$
(38)

30

【 0 0 8 8 】

【 数 3 9 】

$$K_{rDR} = K_{r0}\left(1+\frac{h}{l_f g}G_x\right)\sqrt{1-\left(\frac{X_{Dr}}{\mu W_r}\right)^2} = K_{r0}\left(1+\frac{h}{l_f g}G_x\right)\sqrt{1-\left(\frac{G_x(1-d_p)}{\mu g}\right)^2}$$

$$\approx K_{r0}\left(1+\frac{h}{l_f g}G_x\right)\left(1-\frac{1}{2}\left(\frac{(1-d_p)}{\mu g}\right)^2 G_x^2\right) \approx K_{r0}\left(1+\frac{h}{l_f g}G_x\right)\left(1-\frac{1}{2(\mu g)^2}(1-2d_p)G_x^2\right)$$
(39)

40

ここで、括弧内の値が、同じオーダーの微量と考えれば、

【 0 0 8 9 】



【数 4 0】

$$K_{fDR} = K_{f0} \left( 1 - \frac{h}{l_f g} G_x - \frac{1}{2(\mu g)^2} (1 + 2d_p) G_x^2 \right) \quad (40)$$

【0090】

【数 4 1】

$$K_{rDR} = K_{r0} \left( 1 + \frac{h}{l_r g} G_x - \frac{1}{2(\mu g)^2} (1 - 2d_p) G_x^2 \right) \quad (41)$$

と展開できる。これらから、瞬時スタティックマージン  $I.S.M._{DR}$  を求めると、

10

【0091】

【数 4 2】

$$\begin{aligned} I.S.M._{DR} &= -\frac{l_f K_{fDR} - l_r K_{rDR}}{l K_{fDR} + K_{rDR}} \\ &= -\frac{(l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu g} \right)^2 G_x^2 \right\} - \frac{h}{l_f l_r g} (l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0}) G_x - (l_f K_{f0} + l_r K_{r0}) \left( \frac{1}{\mu g} \right)^2 d_p G_x^2}{(K_{f0} + K_{r0}) \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu g} \right)^2 G_x^2 \right\} - \frac{h}{l_f l_r g} (l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) G_x - (K_{f0} - K_{r0}) \left( \frac{1}{\mu g} \right)^2 d_p G_x^2} \\ &= \frac{1(l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) (1 - E \cdot G_x^2) - F \cdot G_x - H \cdot d_p G_x^2}{l (K_{f0} + K_{r0}) (1 - E \cdot G_x^2) + G \cdot G_x + I \cdot d_p G_x^2} \\ &\approx -\frac{1(l_f K_{f0} - l_r K_{r0})}{l (K_{f0} + K_{r0})} + F' G_x + D_p G_x^2 \approx S.M._0 + K G_x + D_p G_x^2 \end{aligned} \quad (42)$$

20

ただし、

【0092】

【数 4 3】

$$\left( \begin{aligned} E = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu g} \right)^2 > 0, \quad F = \frac{h}{l_f l_r g} (l_f^2 K_{f0} + l_r^2 K_{r0}), \quad G = -\frac{h}{l_f l_r g} (l_f K_{f0} - l_r K_{r0}) > 0, \\ H = (l_f K_{f0} + l_r K_{r0}) \left( \frac{1}{\mu g} \right)^2 > 0, \quad I = -(K_{f0} - K_{r0}) \left( \frac{1}{\mu g} \right)^2 > 0 \end{aligned} \right) \quad (43)$$

30

であり、数式(42)の最後の変形は、枝葉を落として幹を見るために、 $(G_x / \mu g)^2 \ll 1$ 、 $l_f K_f - l_r K_r = 0$ 、 $K_f = K_r$  という、妥当性はあるが、かなり大胆な仮定を置いた。今回の式展開では、簡単化のために、前述したようなコーナリングフォースの非線形によってヨー角加速度(加加速度相当)に応じて瞬時のスタティックマージンが増加する項を含んでいないが、これはS.M.0に内包して考えることとして、数式(16)の影響を数式(42)に代入する。さらに  $G_x$  に対し、GVCによる加減速制御を適用すると、

【0093】

【数 4 4】

$$\begin{aligned} I.S.M._{DR} &= S.M._0 \left\{ \frac{2\mu g + D \cdot C^* \cdot \dot{G}_y}{2\mu g - C \cdot C^* \cdot \dot{G}_y} \right\} + K G_x + D_p G_x^2 \\ &= S.M._0 \left\{ \frac{2\mu g + D \cdot C^* \cdot \dot{G}_y}{2\mu g - C \cdot C^* \cdot \dot{G}_y} \right\} - K \cdot \text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{xy}}{1 + T_s} |\dot{G}_y| + D_p \left( \text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{xy}}{1 + T_s} |\dot{G}_y| \right)^2 \\ &= S.M._0 \left\{ \frac{2\mu g + D \cdot C^* \cdot \dot{G}_y}{2\mu g - C \cdot C^* \cdot \dot{G}_y} \right\} - K \cdot \text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{xy}}{1 + T_s} |\dot{G}_y| + D_p \left( \frac{C_{xy}}{1 + T_s} |\dot{G}_y| \right)^2 \end{aligned} \quad (44)$$

数式(44)の第2項が示していることは、横加加速度に応じて減速することにより、横

50

加加速度に応じて増加する（アンダーステア傾向となる）瞬時スタティックマージンI.S.M.の増加を緩和できるということである。しかしながら、第3項では、減速度が自乗されてしまい、符号の概念が無くなってしまう。そこで、前後配分オフセット $D_p$  ( $H \cdot d_p$ )を、第2項と同じ符号特性を持たすために、次の制御則（Distribution Plus : D+）を導入する。

【 0 0 9 4 】

【数 4 5】

$$D_p = -\text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{dp}}{1+T_S} |\dot{G}_y| \quad (45)$$

10

D+による配分比の変化様態を図1のケースと同様に示すと、図7のようになる。

ドライバが操舵を開始する状況（図7中1~3、図1と同様）においては $D_p$ が負となり、GVCによる減速度を発生させるための減速力の前後配分比 $R_{FR}$ が、初期設定値 $R_{FR0}$ 後輪寄りとなり、U.S.を相対的に弱くすることにより、操縦性を改善し必要な操舵角を少なくすることができる。また、逆に、操舵を戻して直線状態へ戻るとき（図7中5~7、図1と同様）には、 $D_p$ が正となり、GVCによる加速度を発生させるための駆動力の前後配分比 $R_{FR}$ が、前輪寄りとなり、相対的にU.S.が強くなると安定性が向上する。これを、数式(44)に代入すると、

【 0 0 9 5 】

【数 4 6】

$$I.S.M._{DR} = S.M._0 \left\{ \frac{\{2\mu g + D \cdot C^* \cdot \dot{G}_y\}}{\{2\mu g - C \cdot C^* \cdot \dot{G}_y\}} - \text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{xy}}{1+T_S} |\dot{G}_y| \left[ K + C_{dp} \cdot C_{xy} \left( \frac{|\dot{G}_y|}{1+T_S} \right)^2 \right] \right\} \quad (46)$$

20

となり、先に述べた荷重比例前後配分よりも、瞬時スタティックマージンの補償効果が大きく、さらなる操縦性と安定性の向上が図れることを期待できる。

【 0 0 9 6 】

D+制御を採用した最終的な前後配分比 $R_{FR}$ を考えると、初期値を $R_{FR0}$ として、以下のような式で表せる。

【 0 0 9 7 】

【数 4 7】

$$R_{FR} = R_{FR0} + D_p = R_{FR0} - \text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{dp}}{1+T_S} |\dot{G}_y| \quad (47)$$

30

<フルビークルシミュレーションによるD+制御の評価>

これまで解析的に検討した内容を元に数式(45)で定式化したD+制御について、11自由度のフルビークルモデルを用いて検討する。図8は、フルビークルモデルの自由度・概要を示す図である。11自由度のフルビークルモデルではヨー運動だけではなくロール運動、ピッチ運動も計算できる。タイヤモデルはブラッシュモデルを採用している。これにより、タイヤのコーナリングフォースの1)非線形性、2)荷重依存性、3)制動力あるいは駆動力の影響を演算ステップ毎に解析的に計算することができる。操舵は、あらかじめ舵角入力決定された、「フィクストステア」モデルを用いた。左コーナーへの進入を模擬し、(1)制御なし、(2)GVC加減速を前後固定配分の制動力・駆動力で実現、(3)GVCをD+制御による前後配分を制御した制動力・駆動力で実現した、3つのケースについて評価した。(2)については、GVC指令を実現する制動力、駆動力をほぼ前後荷重比の0.6(前:0.6、後:1-0.6=0.4)に固定し、(3)については、0.6に数式(45)で得られる前後オフセットを足し合わせることで配分比を決定した。なお、加加速度ゲイン $C_{dp}$ は1.0で計算した。図8の下に記した表は、諸パラメータ一覧である。

40

【 0 0 9 8 】

タイヤモデルの内部変数として計算される瞬時等価コーナリングスティフネスを用いて

50

瞬時スタティックマージン (I.S.M.) を評価した。図4に示したような改善傾向が見られるか否かを精査する。

【 0 0 9 9 】

図 9、10 はシミュレーション結果である。図 9 上段は、操舵角である。時刻0.5秒から35度に向けて操舵を開始し、1.5秒で35度に落ち着く。そのまま、3.5秒まで操舵を維持して旋回を続け、その後4.5秒に操舵角をゼロに戻している。ちょうど図 1、2 と同様な操舵状態を示している。

【 0 1 0 0 】

図9中段は、それぞれ、横加速度 $G_y$ 、前後加速度 $G_x$ の時系列計算結果であり、下段は、前後加速度 $G_x$ と横加速度 $G_y$ のリサージュ波形を示す、いわゆる "g-g" ダイアグラムである。操舵開始時の0.5秒から1.5秒の間は、操舵により横加加速度 $G_{y\_dot}$ が発生する。したがって、数式(1)に基づきGVCが発動する(制御指令がゼロではなくなる)。操舵が停止している1.5秒から3.5秒までは、横加速度 $G_y$ がほぼ一定(横加加速度がゼロ)であるため、GVCの前後加速度 $G_x$ は発生しない。3.5秒から4.5秒にわたって横加速度 $G_y$ が減少する、すなわち負の横加加速度が発生するため、GVCは加速指令となる。以上のようなプロセスで、発生する横加速度 $G_y$ と前後加速度 $G_x$ の合成加速度ベクトルは、下段の "g-g" ダイアグラムに示すように滑らかな曲線状にベクタリングすることになる。よって、先に示したように旋回開始時には減速により前輪荷重が増し、脱出時には加速により後輪の荷重が増えることになる。

【 0 1 0 1 】

さて、図 10 の上段は、再び操舵角、中段はD+による前後配分を示すグラフである。図 9 のGVC同様、横加加速度 $G_{y\_dot}$ が発生している場合、数式(45)に基づいて、前後輪の配分オフセットが計算される。この計算例では、初期前輪配分設定は0.6(後輪:0.4)となっている。操舵開始時の0.5秒から1.5秒の間は、GVCによる減速度を発生するため減速力を前後輪で賄う必要がある。この期間では、正の横加加速度が発生するので数式(45)に従って、オフセット量は負になり、前輪の配分は0.6より小さくなる。これは前輪の制動力配分が、後輪に移動し、より多くの制動力を後輪で負担していることを示している。

【 0 1 0 2 】

また、操舵が停止している1.5秒から3.5秒までは、横加速度 $G_y$ がほぼ一定(横加加速度 $G_{y\_dot}$ がゼロ)であるため、オフセット量もゼロとなり、初期前輪配分設定0.6に戻る。3.5秒から4.5秒にわたって横加速度 $G_y$ が減少する、すなわち負の横加加速度が発生するため、数式(45)に従って、オフセット量は正となる。するとGVCの加速指令を実現するための駆動力のうち前輪で負担する割合が増加する。

【 0 1 0 3 】

さて、図 10 下段は、前に述べた瞬時スタティックマージン (I.S.M.) を、(1)制御なし (Without\_Control)、(2)GVC加減速を前後固定配分の制動力・駆動力で実現 (Without\_D+)、(3)GVCをD+制御による前後配分を制御した制動力・駆動力で実現したもの (With\_D+) の、3つのケースについて示したものである。

【 0 1 0 4 】

(1)では、タイヤのコーナリングフォースの1)非線形性により、操舵開始と同時にI.S.M.が増加、すなわちU.S.が強くなり、操舵終了時に、I.S.M.が減少、すなわち、OS方向に遷移する。ハンドルを切り始めると曲がりやすく、戻すときにはふらつく等、結果として操縦性、安定性ともに劣化していることが見て取れる。

【 0 1 0 5 】

これに対して、(2)のGVCのみでは、コーナリングフォースの2)荷重依存性により、減速による荷重移動が発生し、コーナー進入時の、U.S.が低減され操縦性が向上する。一方、脱出時にはGVCに基づいた加速により後輪に荷重が移動するが、後輪での加速力の負担があるため、3)制動力あるいは駆動力の影響を受けて、若干のU.S.方向へのシフト(安定性の向上)に留まっている。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 0 6 】

本発明を適用した(3)においては、GVCのみの(2)に比べて、旋回開始時のU.S.の低減と、旋回脱出時のO.S.方向への変化を食い止める効果が大幅に改善できている。この結果から、本発明で開示した数式(45)によるD+制御は、駆動力・制動力を前輪、後輪に適正に配分することにより、ステア特性を好適とし、操縦性と安定性の両方を向上が可能であることが示された。

< D+制御の抽象化による拡張 >

数式(45)で基本概念を示したD+制御であるが、数式(16)に示すように、ヨー角加速度が大きくなると、車両はU.S.が強くなるという知見から考えると、情報量として横加加速度以外の量も適用することが可能である。まず、ヨー角加速度を使うと、

## 【 0 1 0 7 】

## 【数48】

$$D_{pr} = -\text{sgn}(r \cdot \dot{r}) \frac{C_{dpr}}{1+T_{rS}} |\dot{r}| \Rightarrow R_{FR} = R_{FR0} + D_{pr} = R_{FR0} - \text{sgn}(r \cdot \dot{r}) \frac{C_{dpr}}{1+T_{rS}} |\dot{r}| \quad (48)$$

としても、同様な効果が得られる。ただし、 $r$ :車両のヨーレート、 $r_{dot}$ :車両のヨー角加速度である。さらに、ヨー角加速度は、カウンターステアなどを必要としない、通常運転領域では、操舵角速度と直接的な関係があるため、 $\delta$ :操舵角、 $\delta_{dot}$ :操舵角速度として、

## 【 0 1 0 8 】

## 【数49】

$$D_{p\delta} = -\text{sgn}(\delta \cdot \dot{\delta}) \frac{C_{dp\delta}}{1+T_{\delta S}} |\dot{\delta}| \Rightarrow R_{FR} = R_{FR0} + D_{p\delta} = R_{FR0} - \text{sgn}(\delta \cdot \dot{\delta}) \frac{C_{dp\delta}}{1+T_{\delta S}} |\dot{\delta}| \quad (49)$$

のように、定式化することも考えられ、これらの全ての方法は、本発明の範囲内である。

## 【 0 1 0 9 】

さて、以上のように定式化された本発明を、文章により定義すると以下のようなになる。

## 【 0 1 1 0 】

数式(45)については、

横加加速度 $G_{y\_dot}$ がゼロの場合の前輪の配分比率を初期比率と定義し、  
横加加速度 $G_{y\_dot}$ が正のときには、前輪の配分比率を初期比率よりも小さくし、  
横加加速度 $G_{y\_dot}$ が負のときには、前輪の配分比率を初期比率よりも大きくするように変更する。

別の言い方をすれば、

横加加速度 $G_{y\_dot}$ がゼロの場合の後輪の配分比率を初期比率と定義し、  
横加加速度 $G_{y\_dot}$ が正のときには、後輪の配分比率を初期比率よりも大きくし、  
横加加速度 $G_{y\_dot}$ が負のときには、後輪の配分比率を初期比率よりも小さくするように変更する。

更に別の言い方をすれば、

横加加速度の絶対値が増加するときには、前輪の配分比率を小さくし、後輪の配分比率を大きくするように変更し

横加加速度の絶対値が減少するときには、前輪の配分比率を大きく、後輪の配分比率を小さくするように変更するということである。

## 【 0 1 1 1 】

数式(48)については、式(47)の場合と同様であり、

ヨーレートの絶対値が増加するときには、前輪の配分比率を小さく、後輪の配分比率を大きくするように変更し、

ヨーレートの絶対値が減少するときには、前輪の配分比率を大きく、後輪の配分比率を小さくするように変更するということである。

## 【 0 1 1 2 】

10

20

30

40

50

数式(49)については、式(47)の場合と同様であり、操舵角の絶対値が増加するときには、前輪の配分比率を小さく、後輪の配分比率を大きくするように変更し、操舵角の絶対値が減少するときには、前輪の配分比率を大きく、後輪の配分比率を小さくするように変更するということである。

【0113】

さて、ここまでは、駆動力・制動力を前輪、後輪に適正に配分することにより、ステア特性を好適とし、操縦性と安定性の両方を向上する制御方法について述べた。以下では、その制御方法を用いた制御装置および車両について構成を述べる。

【0114】

本発明の車両の運動制御装置を用いた車両の第一の実施例の全体構成を図11に示す。本実施例において車両0はフロントモータ21により左前輪11、右前輪12を駆動し、リアモータ22により、左後輪13、右後輪14を駆動する、2モータ前後配置EV/HEV四輪駆動車である(また、図11ではバッテリーなどの電池部品についての記載は省略している)。

【0115】

ドライバのステアリング40の操舵量は、操舵角センサ53により検出され、ADAS(Advanced driver assistance system)コントローラ30で操舵角速度の計算など、演算処理される。ドライバのアクセルペダル41の踏み込み量は、アクセルセンサ54により検出され、ADASコントローラ30で演算処理される。ドライバのブレーキペダル42の踏み込み量は、ブレーキセンサ55により検出され、ADASコントローラ30で演算処理される。

そしてADASコントローラ30は、これらの量に応じて、フロントモータ21、リアモータ22に関して、図示しないインバータ等による電力制御、トルク制御を実施する。ADASコントローラ30から出力される、速度上昇(加速)、速度低下(減速)指令に基づいて、力行駆動および回生制動が可能となる。例えば、GVCで求められる減速度、目標速度指令などの前後運動指令に基づいて減速作用を発生させることができる。

【0116】

つぎに本発明のセンサ群について述べる。

【0117】

図11に示すように、横加速度センサ51とヨーレートセンサ52は重心点近辺に配置されている。横加速度センサ51の出力を微分して横加加速度情報を得るロジック、およびヨーレートセンサ52の出力を微分して、ヨー角加速度を得るロジックは、図12に示すように、ADASコントローラ30に内蔵されている。

【0118】

また、特開2011-7353号公報に示されるように、車両速度、操舵角、車両運動モデルを用いた推定ヨーレート・横加速度を用いて横加加速度あるいはヨー角加速度を得てもよいし、これらを例えばセレクト・ハイなどの処理により組み合わせ用いてもよい。

【0119】

さらに、車両0には、ステレオカメラ56が搭載されている。ステレオカメラ56は、左右方向に2つの撮像素子であるCCDカメラで構成されている。

【0120】

2つのCCDカメラは、たとえば車室内のルームミラー(図示せず)を挟むような形で配置され、車両前方の対象物を車両固定系の異なる座標から個別に撮像し、2つの画像情報をステレオ画像処理装置(ステレオカメラ56内に搭載)に出力する。なお、ここではCCDカメラを用いたが、CMOSカメラを用いても良い。

【0121】

ステレオ画像処理装置には、ステレオカメラ56から画像情報が入力されるとともにADASコントローラ30を経由して車速Vが入力される。これらの情報に基づき、ステレオ画像処理装置は、ステレオカメラ56からの画像情報に基づいて車両0前方の立体物データや白線データ等の前方情報を認識し、自車走行路を推定する。本実施例においては、明示的にAD

10

20

30

40

50

ASコントローラ30にてGVCおよびD+制御を実施し、フロントモータ21、リアモータ22を制御する構成としているが、両制御ロジックは演算量が非常に少ないために、ステレオカメラ56内のステレオ画像処理装置に搭載してもよい。これにより、衝突被害軽減ブレーキシステムを構成するために、すでに車両に搭載されているステレオカメラなどでコントローラを共有でき、コスト低減につながる。

【0122】

図12に、本発明のADASコントローラ30とフロントモータ21と、リアモータ22の信号伝達構成を示す。

【0123】

ADASコントローラ30には、操舵角、ヨーレイト、横加速度などの車両横運動情報、アクセル、ブレーキなどのドライバ情報が入力される。横運動情報は、それぞれ微分などの信号処理がなされ、操舵角速度、ヨー角速度、横加加速度が求められる(図12では、物理量として横加加速度で代表)。この横加加速度に対し、数式(1)同様にゲイン $C_{xy}$ を掛けて、GVC加減速指令値を算出する。これにドライバからのアクセルによる加速指令、ブレーキによる減速指令を加えて、加減速指令を算出する。一方、ADASコントローラ30には、数式(45)、数式(48)数式(49)に示すように、横加加速度、ヨー角速度、操舵角速度に基づいて、配分オフセット $D_p$ を演算し、初期配分 $R_{FR0}$ から加減算することにより、前後配分比 $R_{FR}$ を計算しても良いし、図12に示すように、横軸が操舵角速度、ヨー角速度、横加加速度のマップとして、記憶しておいても良い。このような場合、2次元マップの傾きが $C_{dp}$ となる。先の、加減速指令を前後配分比 $R_{FR}$ に振り分け、前2輪を駆動するフロントモータ21とリア2輪を駆動するリアモータ22の回生・力行電力を制御して、加減速指令と近くなるように制御される。

【0124】

図13は、本発明の実施形態をコーナリングシナリオに基づいて図示したものである。

【0125】

進行方向に沿って左コーナーに進入すると、正の横加加速度が立ち上がり、加加速度も正となる。よって、数式(1)にしたがってGVCによる減速指令が発生する。また、正の加加速度発生に伴い、数式(45)あるいはADASコントローラ30のマップに基づいて、 $R_{FR}$ が小さくなり、結果として後輪への制動力配分が大きくなる(図13(a)、(b)の各輪制動力の矢印)。

【0126】

次に、クリッピングポイント、あるいは定常旋回になると加加速度がゼロとなるために、加減速指令もゼロとなり、制動/駆動力は発生しない(図13(c))。

【0127】

さらに、左コーナーから脱出すると、正の横加加速度が低下するというこで、加加速度が負となる。よって、数式(1)にしたがってGVCによる加速指令が発生する。また、負の加加速度発生に伴い、数式(45)あるいはADASコントローラ30のマップに基づいて、 $R_{FR}$ が大きくなり、結果として前輪への駆動力配分が大きくなる(図13(d)、(e))。

【0128】

以上のように、本発明においては、旋回開始時に、後輪の制動力が大きくなり、脱出時に前輪の駆動力が大きくなるように、前後駆動力、制動力を変化させることができる。

【0129】

本実施例においては、2モータ前後配置車両について言及したが、もちろん実施例前半でのタイヤ特性に基づいた解析内容は、これに限定されるものではなく、前後トルク配分装置を有し、内燃機関を1台搭載、あるいは電気モータを1台搭載した車両においてもハンドリング性能の向上が可能である。また、加速制御を行わず、減速制御のみに特化すると、摩擦ブレーキの前後配分制御としても適用が可能である。

【0130】

以上のように、本発明によると、車両の操縦性と安定性の両方の向上を実現する、前後制駆動配分制御(D+)が具現化され、車両の運動制御装置およびそれを搭載された車両(

10

20

30

40

50

トランスファー方式四輪駆動、2モータ前後配置車両)を提供することができる。また、制動側のみを考えると、前後配分を変更できるブレーキ装置、およびそれが搭載される車両に対しても適用可能である。また、本実施例においては、もっぱらGVCを適用した場合について言及したが、図12にあるように、ドライバのアクセル、ブレーキ情報のみに基づき、すなわちGVCゲイン $C_{xy}=0$ の状態、ドライバの加減速要求に基づいて、D+制御を行っても、ドライバが熟練運転者のように、的確な加減速を行っている前提においては、車両の操縦性と安定性の両方の向上を実現できる。

【0131】

さて、最後に本発明を適用した車両と、適用していない車両の特徴について図14を用いて、述べておく(ただし、2モータ前後配置EV/HEVについて記載)。

10

【0132】

まず、低速走行条件で、図1、2あるいは図13のようなコースを走行することを想定する。フロントモータ21とリアモータ22の電力( $P_f$ 、 $P_r$ )を計測し、フロントモータの電力比( $P_f/(P_f+P_r)$ )を計算する。本発明を適用した車両では、コーナー進入時にフロントモータの電力比がコーナー進入前に比べ低下する。またコーナー脱出時には、フロントモータ21の電力比が増加する。

【0133】

次に同一コーナーを高速で走行した場合のフロントモータの電力比と、低速で走行した場合のフロントモータの電力比とを比較することを考える。同一コーナーを高速走行して迎えるためには、必然的に操舵速度、ヨー角速度、横加加速度が低速走行する場合と比べて大きくなる。すると、数式(45)、数式(48)、数式(49)、あるいはマップなどの情報に従って、電力比のオフセット自体が大きくなり、図14(2)に示すように、本発明の低速条件での走行時に比べて、コーナー進入時にはよりフロントモータの電力比が小さくなり、コーナー脱出時にはよりフロントモータの電力比が大きくなる。これが本発明を搭載した車両の特徴である。

20

【0134】

EV/HEVでない場合でも、同等な観点で、前後ブレーキ油圧、トランスファー締結力、あるいは、ホイール6分力計測にて、進入時には前輪が発生する減速力が小さくなり、脱出時には前輪が発生する駆動力が大きくなることで、本発明を搭載した車両か否かを判別することができる。

30

【符号の説明】

【0135】

0 車両

1 1 左前輪

1 2 右前輪

1 3 左後輪

1 4 右後輪

2 1 フロントモータ

2 2 リアモータ

3 0 ADASコントローラ

4 0 ステアリング

4 1 アクセルペダル

4 2 ブレーキペダル

5 1 横加速度センサ

5 2 ヨーレートセンサ

5 3 操舵角センサ

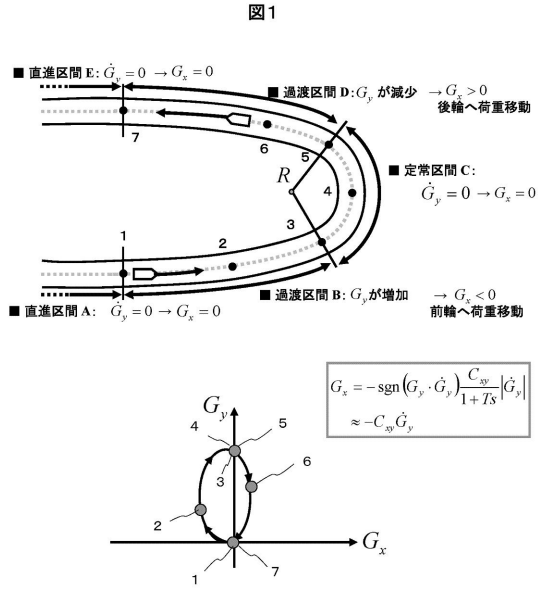
5 4 アクセルセンサ

5 5 ブレーキセンサ

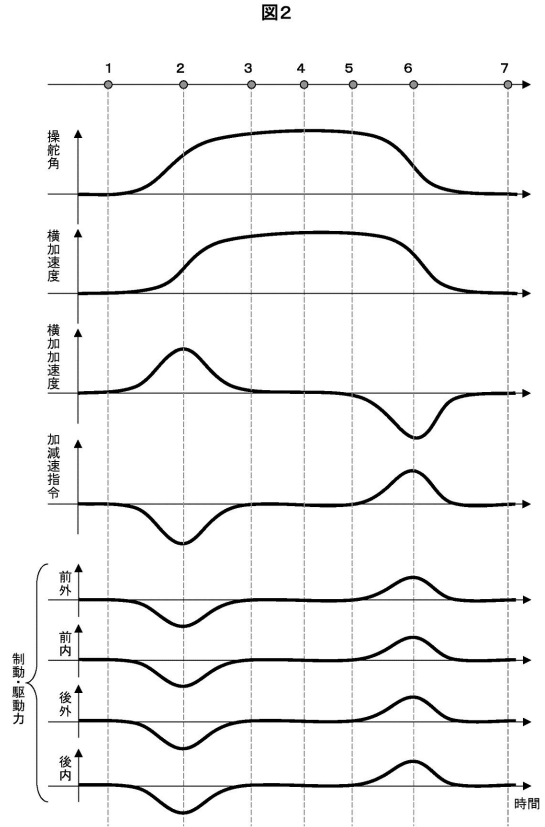
5 6 ステレオカメラ

40

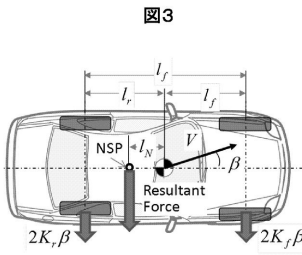
【 図 1 】



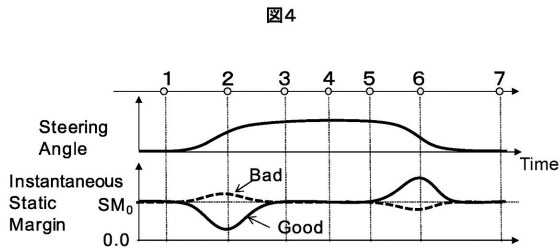
【 図 2 】



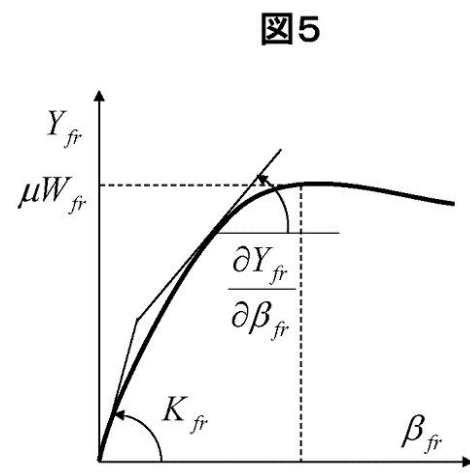
【 図 3 】



【 図 4 】



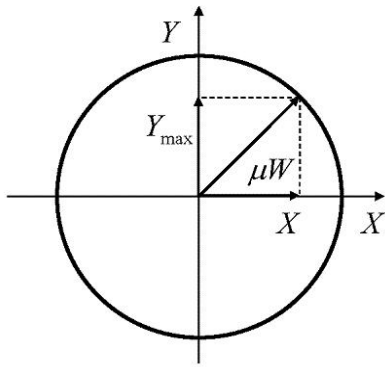
【 図 5 】





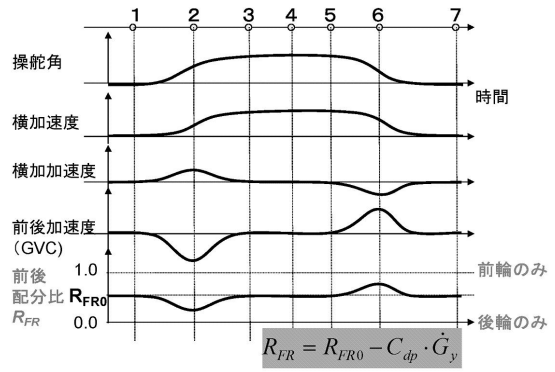
【図6】

図6



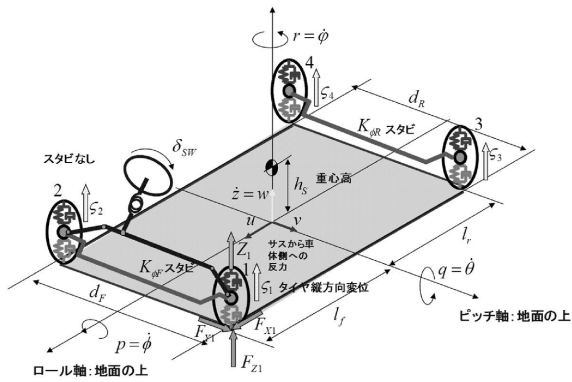
【図7】

図7



【図8】

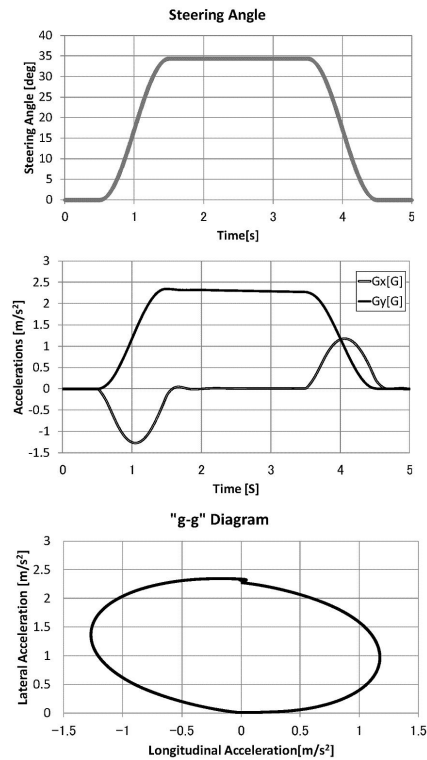
図8



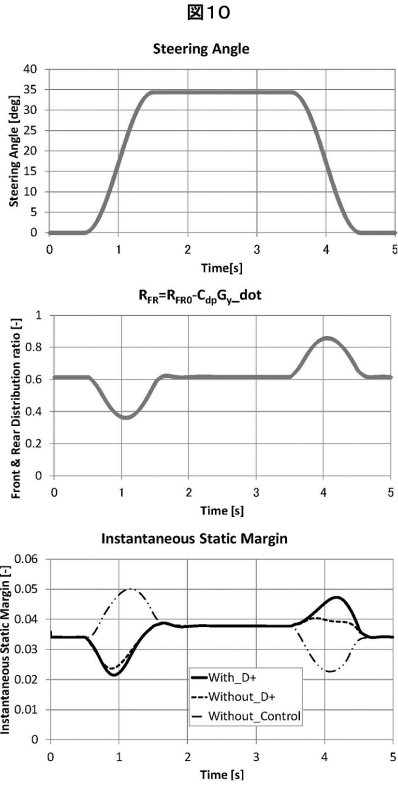
Symbol	Definition	Value	Symbol	Definition	Value
$m$	Vehicle Mass	1503 kg	$h$	Height of C.G.	0.531 m
$l_f$	C.G. to front axle	1.036 m	$V_0$	Initial Speed	50km/h
$l_r$	C.G. to rear axle	1.630 m	$\delta_{max}$	Max. δ angle	35deg
$d$	Wheel Tread	1.482 m	$C_{gz}$	GVC gain	0.35
$T$	GVC delay time	0.05 s	$C_{dp}$	Distribution gain	1.0

【図9】

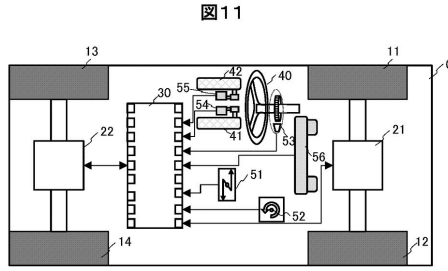
図9



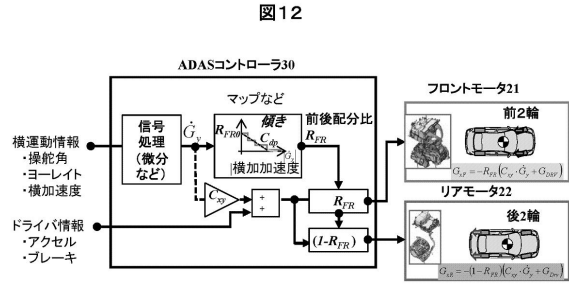
【 図 1 0 】



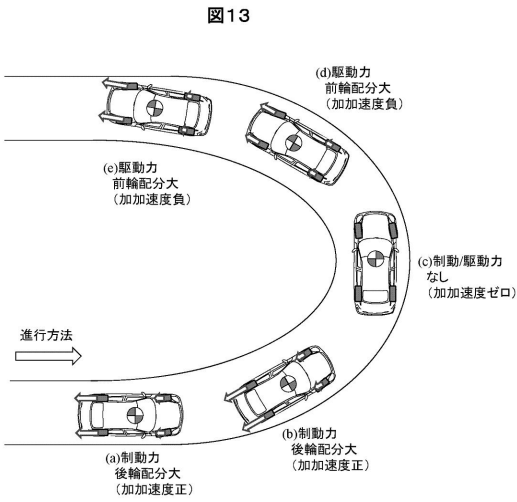
【 図 1 1 】



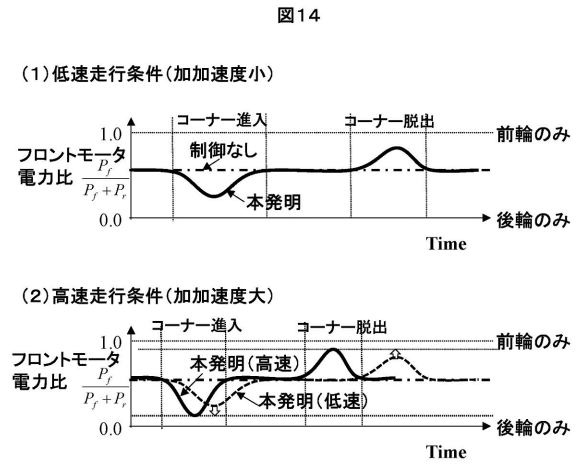
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
B 6 0 W 40/114 (2012.01) B 6 0 W 40/114

(72)発明者 長塚 敬一郎  
茨城県ひたちなか市高場2520番地  
式会社内  
日立オートモティブシステムズ株

審査官 高 木 真顕

(56)参考文献 特開2010-228690(JP,A)  
特開2005-349887(JP,A)  
特開2004-338506(JP,A)  
特開2013-067382(JP,A)  
特開2011-088576(JP,A)  
特開2015-085820(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B 6 0 W 3 0 / 0 0 - 5 0 / 1 6  
B 6 0 T 7 / 1 2 - 8 / 1 7 6 9  
B 6 0 T 8 / 3 2 - 8 / 9 6