

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7369045号
(P7369045)

(45)発行日 令和5年10月25日(2023.10.25)

(24)登録日 令和5年10月17日(2023.10.17)

(51)国際特許分類	F I
B 6 2 D 6/00 (2006.01)	B 6 2 D 6/00
B 6 2 D 5/04 (2006.01)	B 6 2 D 5/04
B 6 0 W 40/064 (2012.01)	B 6 0 W 40/064
B 6 2 D 101/00 (2006.01)	B 6 2 D 101:00
B 6 2 D 103/00 (2006.01)	B 6 2 D 103:00

請求項の数 12 (全24頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2020-9880(P2020-9880)	(73)特許権者	509186579 日立Astemo株式会社 茨城県ひたちなか市高場2520番地
(22)出願日	令和2年1月24日(2020.1.24)	(74)代理人	110002572 弁理士法人平木国際特許事務所
(65)公開番号	特開2021-115937(P2021-115937 A)	(72)発明者	酒寄 剛 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	令和3年8月10日(2021.8.10)	(72)発明者	前田 健太 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
審査請求日	令和4年5月13日(2022.5.13)	(72)発明者	藤林 智明 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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 操舵制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

車両のステアリングホイールに運転者の操作に対する反力を生じさせる反力アクチュエータを制御するための操舵制御装置であって、
前記車両の横加速度と、前記車両のタイヤを転舵させるための転舵トルクとを取得し、
前記横加速度と前記転舵トルクとの関係が線形になる領域において前記横加速度の増加量と前記転舵トルクの増加量の変化の割合を算出し、
前記変化の割合に前記横加速度を乗じた基準転舵トルクと、前記転舵トルクとの差に基づいて、前記タイヤのスリップ角と横力との関係であるコーナリングフォース特性の非線形度を算出し、
前記コーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域における前記反力を、前記コーナリングフォース特性が線形となる線形領域における前記反力よりも増大させることを特徴とする操舵制御装置。

【請求項2】

前記運転者の操作による前記ステアリングホイールの操舵角を取得し、
前記非線形領域において前記操舵角の増加に応じて前記反力を増加させることを特徴とする請求項1に記載の操舵制御装置。

【請求項3】

前記車両の速度を取得して、前記速度と前記操舵角に基づいて前記運転者による前記ステアリングホイールの操作に対する基準反力を算出し、

前記非線形度に基づいて、前記運転者による前記ステアリングホイールの操作に対する追加反力を算出し、

前記基準反力と前記追加反力を加算することで前記反力を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の操舵制御装置。

【請求項 4】

前記車両の速度を取得し、

前記横加速度がしきい値以上であり、かつ前記速度がしきい値以上であり、かつ前記コーナリングフォース特性が前記線形領域である場合に、前記変化の割合を学習することを特徴とする請求項 1 に記載の操舵制御装置。

【請求項 5】

前記変化の割合を逐次最小二乗法によって算出することを特徴とする請求項 4 に記載の操舵制御装置。

【請求項 6】

前記車両の横加速度と、前記タイヤを転舵させるための転舵トルクとを取得し、

前記横加速度と前記転舵トルクとの関係が線形になる領域において前記横加速度の増加量と前記転舵トルクの増加量の変化の割合を算出し、

前記変化の割合に前記横加速度を乗じた基準転舵トルクと、前記転舵トルクとの差がしきい値以下の場合に前記線形領域であることを判定し、前記差が前記しきい値を超える場合に前記非線形領域であることを判定することを特徴とする請求項 1 に記載の操舵制御装置。

【請求項 7】

前記車両の横加速度と、前記タイヤを転舵させるための転舵トルクとを取得し、

前記横加速度が増加し、かつ前記転舵トルクが増加から減少へ転じた場合に、前記線形領域から前記非線形領域への移行を検知することを特徴とする請求項 1 に記載の操舵制御装置。

【請求項 8】

前記運転者の操作による前記ステアリングホイールの操舵トルクを取得し、

前記非線形領域において前記操舵トルクがしきい値以上である場合に、前記タイヤを転舵させるための転舵トルクを増加させることを特徴とする請求項 1 に記載の操舵制御装置。

【請求項 9】

前記非線形領域において前記しきい値以上の前記操舵トルクが一定時間にわたって継続した場合に、前記反力を減少させることを特徴とする請求項 8 に記載の操舵制御装置。

【請求項 10】

前記運転者の操作による前記ステアリングホイールの操舵角と、前記タイヤの転舵角とを取得し、

前記操舵角と前記転舵角との関係に基づいて基準転舵トルクを算出し、

前記非線形領域において前記操舵トルクが前記しきい値以上である場合に、前記操舵トルクの大きさに応じた追加転舵トルクを算出し、前記基準転舵トルクに前記追加転舵トルクを加算した値を前記転舵トルクとして出力することを特徴とする請求項 8 に記載の操舵制御装置。

【請求項 11】

前記運転者の操作による前記ステアリングホイールの操舵角速度を取得し、

前記操舵角速度が規定のしきい値を超えた場合に、前記反力の増加率を規定の上限値に制限することを特徴とする請求項 1 に記載の操舵制御装置。

【請求項 12】

前記ステアリングホイールと前記タイヤを転舵させる転舵機構とが機械的に連結されていない場合に、前記反力を生じさせることを特徴とする請求項 1 に記載の操舵制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本開示は、操舵制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来からステア・バイ・ワイヤ（SBW）システムのように、ステアリングホイール等の操作部材に対してアクチュエータからの力を与えることができる構成の車両用操舵装置に関する発明が知られている（下記特許文献1を参照）。特許文献1に記載された発明は、運転者に必要な情報を適切に伝達することができ、これにより、快適な運転環境を提供できる車両用操舵装置を提供することを目的としている（同文献、第0008段落）。

【0003】

上記の目的を達成するために、特許文献1は、運転者によって操作される操作部材の操作に応じて、舵取り車輪を転舵させるための舵取り機構を作動させる車両用操舵装置を開示している（同文献、請求項1、第0009段落）。この従来の車両用操舵装置は、アクチュエータと、少なくとも一つのセンサと、信号解析手段と、制御手段とを含む。アクチュエータは、運転者への情報伝達のために、操作部材に力を加える。少なくとも一つのセンサは、車両の運動に関わる物理量を検出し、検出結果に応じた検出信号を出力する。信号解析手段は、センサが出力する検出信号を解析し、解析結果を出力する。制御手段は、信号解析手段が出力する解析結果に基づいて、アクチュエータを制御する。

10

【0004】

この構成によれば、車両の運動に関わる物理量（操作部材の操作、舵取り機構の動作、制動機構の動作、駆動系の動作、タイヤの負荷などについてのものを含む。）を検出するセンサの検出結果が解析され、その解析結果に基づいて、アクチュエータが制御される（同文献、第0010段落）。より具体的には、たとえば、タイヤに加わる負荷の変化速度または変化加速度が大きいほど大きな反力がステアリングホイールを介して運転者に伝えられ、また、車速が大きいほど大きな反力がステアリングホイールを介して運転者に伝達される（同文献、第0028段落）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2004-155282号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記従来の車両用操舵装置では、車両のタイヤが路面に対してすべりを生じるすべり域において、すべりを生じない粘着域と比較して、タイヤに加わる負荷の変化速度または変化加速度が小さくなる。その結果、ステアリングホイールを介して運転者に伝達される反力が減少し、運転者によるステアリング操作が過剰になり、車両の安定性が低下するおそれがある。

【0007】

本開示は、ステアリングホイールを介して運転者により適切な反力を伝達することができ、車両の安定性を向上させることが可能な操舵制御装置を提供する。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本開示の一態様は、車両のステアリングホイールに運転者の操作に対する反力を生じさせる反力アクチュエータを制御するための操舵制御装置であって、前記車両のタイヤのスリップ角と横力との関係であるコーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域における前記反力を、前記コーナリングフォース特性が線形となる線形領域における前記反力よりも増大させることを特徴とする操舵制御装置である。

【発明の効果】

【0009】

本開示の上記一態様によれば、ステアリングホイールを介して運転者により適切な反力

50

を伝達することができ、車両の安定性を向上させることが可能な操舵制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本開示に係る操舵制御装置の実施形態1を示す概略構成図。

【図2】図1に示す操舵制御装置の機能ブロック図。

【図3】図2の非線形度算出機能の詳細を示す機能ブロック図。

【図4】車両の横加速度と転舵トルクとの関係の一例を示すグラフ。

【図5】図3の学習機能の動作の一例を示すフロー図。

【図6】図2の反力算出機能の詳細を示す機能ブロック図。

10

【図7】実施形態1の操舵制御装置の動作を説明するグラフ。

【図8】本開示に係る操舵制御装置の実施形態2を示す概略構成図。

【図9】図8に示す操舵制御装置の機能ブロック図。

【図10】図9に示す操舵制御装置における転舵制御機能の動作を説明するフロー図。

【図11】実施形態2の操舵制御装置の動作の一例を説明するグラフ

【図12】実施形態3の操舵制御装置における反力算出機能の機能ブロック図。

【図13】図12に示す反力算出機能の動作を説明するフロー図。

【図14】実施形態3の操舵制御装置を搭載した車両が走行する状態を示す平面図。

【図15】実施形態3の操舵制御装置の動作を説明するグラフ。

【発明を実施するための形態】

20

【0011】

以下、図面を参照して本開示に係る操舵制御装置の実施形態を説明する。

【0012】

[実施形態1]

図1は、本開示に係る操舵制御装置の実施形態1を示す概略構成図である。本実施形態の操舵制御装置100は、たとえば、車両10に搭載されたマイクロコントローラであり、ステアリングホイール13に運転者による操作方向と反対方向の反力を生じさせる反力アクチュエータ16を制御する。

【0013】

図1に示す例において、車両10は、たとえば、タイヤ11と、速度センサ12と、ステアリングホイール13と、操舵角センサ14と、転舵機構15と、反力アクチュエータ16と、加速度センサ17と、通信バスライン18と、操舵制御装置100と、を備えている。タイヤ11は、たとえば、左右の前輪が転舵機構15によって転舵される操舵輪であり、左右の後輪が車両10の図示を省略するエンジンやモータなどの動力源に動力伝達機構を介して連結された駆動輪である。

30

【0014】

速度センサ12は、たとえば、各々のタイヤ11の回転速度に基づいて、車両10の速度やヨーレートを検知する。ステアリングホイール13は、車両10の運転者によって操作される。車両10は、たとえば、ステアバイワイヤシステムを搭載している。すなわち、ステアリングホイール13は、たとえば、操舵輪であるタイヤ11に対し、機械的に連結されていないか、または、機械的に連結された状態と、機械的な連結が解除された状態とを切り替え可能に構成されている。

40

【0015】

操舵角センサ14は、車両10の運転者によって操作されたステアリングホイール13の操舵角 および操舵角速度を検知する。転舵機構15は、たとえば、操舵輪であるタイヤ11を転舵させる転舵アクチュエータ15aと、この転舵アクチュエータ15aによるタイヤ11の転舵角 を制御する転舵角制御ユニット15bとによって構成されている。

【0016】

反力アクチュエータ16は、ステアリングホイール13に車両10の運転者の操作に対する反力を発生させる。加速度センサ17は、車両10の前後方向の加速度と、車両10

50

の横方向の加速度である横加速度 A_s とを検知する。また、加速度センサ 17 は、車両 10 の加速度と姿勢角を検知する慣性センサであってもよい。

【0017】

操舵制御装置 100 は、通信バスライン 18 を介して、速度センサ 12、操舵角センサ 14、反力アクチュエータ 16 に接続されている。操舵制御装置 100 は、通信バスライン 18 を介して、車両 10 の速度 V およびヨーレート、ステアリングホイール 13 の操舵角、反力アクチュエータ 16 が発生している反力としてのトルク T_r など取得する。また、操舵制御装置 100 は、加速度センサ 17 から、車両 10 の横加速度 A_s を含む加速度を取得する。また、操舵制御装置 100 は、転舵機構 15 から、操舵輪であるタイヤ 11 を転舵させるための転舵トルク T_s と、タイヤ 11 の転舵角 δ を取得する。

10

【0018】

図 2 は、図 1 に示す操舵制御装置 100 の機能ブロック図である。操舵制御装置 100 は、たとえば、図示を省略する中央処理装置 (CPU) などの演算装置、主記憶装置、補助記憶装置、入出力装置、タイマーなどを備えたマイクロコントローラによって構成された電子制御装置またはその一部である。

【0019】

操舵制御装置 100 は、たとえば、操舵角取得機能 110 と、速度取得機能 120 と、横加速度取得機能 130 と、転舵トルク取得機能 140 と、非線形度算出機能 150 と、反力算出機能 160 と、を備えている。これら操舵制御装置 100 の各機能は、たとえば、操舵制御装置 100 において補助記憶装置に記憶されたデータベースを参照しながら、主記憶装置にロードされたプログラムを、演算装置によって周期的に実行することで実現することができる。

20

【0020】

操舵角取得機能 110 は、操舵角センサ 14 から運転者によるステアリングホイール 13 の操舵角 δ を取得する。速度取得機能 120 は、速度センサ 12 から車両 10 の速度 V を取得する。また、速度取得機能 120 は、加速度センサ 17 から取得した車両 10 の前後方向の加速度の積分値から車両 10 の速度 V を算出してもよい。横加速度取得機能 130 は、加速度センサ 17 から車両 10 の横加速度 A_s を取得する。転舵トルク取得機能 140 は、転舵機構 15 からタイヤ 11 の転舵トルク T_s を取得する。また、これら操舵角取得機能 110、速度取得機能 120、横加速度取得機能 130、および転舵トルク取得機能 140 は、たとえば、取得した各情報の信号にフィルタ処理を施してノイズや外乱を除去し、取得した各情報の信頼性を向上させてもよい。

30

【0021】

非線形度算出機能 150 は、コーナリングフォース特性の非線形度 D_n を算出する。ここで、コーナリングフォース特性とは、車両 10 のタイヤ 11 のスリップ角と横力との関係である。詳細については後述するが、本実施形態の操舵制御装置 100 において、非線形度算出機能 150 は、横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係に基づいて、コーナリングフォース特性の非線形度 D_n を算出する。

【0022】

反力算出機能 160 は、操舵角取得機能 110 によって取得した操舵角 δ と、速度取得機能 120 によって取得した車両 10 の速度 V と、非線形度算出機能 150 によって算出したコーナリングフォース特性の非線形度 D_n を入力とする。反力算出機能 160 は、操舵角 δ 、速度 V 、および非線形度 D_n に基づいて、反力アクチュエータ 16 によって発生させる反力としてのトルク T_r の指令値を算出する。

40

【0023】

反力算出機能 160 は、算出した反力としてのトルク T_r の指令値を、たとえば、通信バスライン 18 を介して反力アクチュエータ 16 へ出力する。反力アクチュエータ 16 は、たとえば、通信バスライン 18 を介して入力されたトルク T_r の指令値に応じて、運転者のステアリングホイール 13 の操作に対する反力としてのトルク T_r を発生させる。

【0024】

50

図3は、図2の非線形度算出機能150の詳細を示す機能ブロック図である。図4は、車両10の横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係の一例を示すグラフである。非線形度算出機能150は、たとえば、学習機能151と、基準転舵トルク算出機能152と、非線形判定機能153とを有している。

【0025】

学習機能151は、横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係を学習する。より詳細には、学習機能151は、たとえば、操舵角 δ と、車両10の速度 V と、横加速度 A_s と、転舵トルク T_s と、前回の演算周期で算出された車両10のコーナリングフォース特性の非線形度 D_n とを入力とする。学習機能151は、これらの入力に基づいて、転舵トルク T_s の増加量 ΔT_s を横加速度 A_s の増加量 ΔA_s で除した変化の割合 $(\Delta T_s / \Delta A_s)$ 、すなわち、図4において実線L1で示す横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係の直線部分の傾きを出力する。

10

【0026】

図4に示すように、車両10の横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係は、車両10のタイヤ11のスリップ角と横力との関係であるコーナリングフォース特性が線形となる線形領域では、コーナリングフォース特性と同様に線形となる。なお、転舵トルク T_s は、転舵アクチュエータ15aの出力トルクである。また、車両10の横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係は、コーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域では、コーナリングフォース特性と同様に非線形となる。

【0027】

コーナリングフォース特性が線形となる線形領域は、タイヤ11の横力が飽和する前の状態に対応する。コーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域は、タイヤ11の横力が飽和した状態に対応する。図4に示す例において、横加速度 A_s が所定の値 A を超えると、転舵トルク T_s が増加から減少に転じる。この領域は、タイヤ11の横力が飽和した非線形領域であると推測される。このような横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係に着目し、学習機能151は、入力された横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係を学習する。

20

【0028】

また、車両10のアクセルまたはブレーキの操作に基づく加減速動作により、タイヤ11に作用する垂直荷重が変化すると、タイヤ11のコーナリングフォースおよびコーナリングパワーも変化する。さらに、路面の摩擦係数が変化すると、タイヤ11のコーナリングフォース特性も変化する。このように、タイヤ11のコーナリングフォースまたはコーナリングパワーが変化すると、図4に示すように、転舵トルク T_s が増加から減少に転じる横加速度 A_s の値 A も変化する事が考えられる。

30

【0029】

したがって、学習機能151は、たとえば、操舵角 δ と、速度 V と、横加速度 A_s と、転舵トルク T_s と、線形領域または非線形領域の判定結果を入力として、転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 $(\Delta T_s / \Delta A_s)$ を学習する。より詳細には、学習機能151は、たとえば、横加速度 A_s が所定のしきい値以上であり、車両10の速度 V が所定のしきい値以上であり、かつ、コーナリングフォース特性が線形となる線形領域である場合に限り、図4のグラフにおける直線部分の傾きを学習する。

40

【0030】

以下、図5を参照して、学習機能151の動作の一例を説明する。図5は、図3の学習機能151の動作の一例を示すフロー図である。学習機能151は、所定の周期で図5に示す開始から終了までの各処理を繰り返し実行する。学習機能151は、図5に示す処理を開始すると、まず、車両10の横加速度 A_s が所定のしきい値以上であるか否かの判定処理P1を実行する。

【0031】

学習機能151は、判定処理P1において、車両10の横加速度 A_s が所定のしきい値以上である(YES)と判定すると、次の判定処理P2を実行する。また、学習機能15

50

1 は、判定処理 P 1 において、横加速度 A_s が所定のしきい値より小である (NO) と判定すると、前回の処理までに学習した傾き、すなわち、転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s) を保持する処理 P 5 を実行する。その後、学習機能 1 5 1 は、図 5 に示す処理を終了する。

【0032】

すなわち、学習機能 1 5 1 は、車両 1 0 の横加速度 A_s が所定のしきい値より小である場合は、学習処理 P 4 を実行しない。これにより、ステアリングホイール 1 3 が直進に対応する中立点に位置するときの運転者の微小な操舵に対して学習処理 P 4 を行うことが防止され、車両 1 0 の直進走行時に転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s) を学習されるのを防止できる。

10

【0033】

学習機能 1 5 1 は、次の判定処理 P 2 において、車両 1 0 の速度 V がしきい値以上であるか否かを判定する。学習機能 1 5 1 は、この判定処理 P 2 において、車両 1 0 の速度 V がしきい値以上である (YES) と判定すると、次の判定処理 P 3 を実行する。また、学習機能 1 5 1 は、この判定処理 P 2 において、車両 1 0 の速度 V が所定のしきい値より小である (NO) と判定すると、前回の処理までに学習した転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s) を保持する処理 P 5 を実行する。その後、学習機能 1 5 1 は、図 5 に示す処理を終了する。

【0034】

すなわち、学習機能 1 5 1 は、車両 1 0 の速度 V が所定のしきい値より小である場合は、学習処理 P 4 を実行しない。これにより、車両 1 0 の停車中、徐行中、または、たとえば 5 [km/h] 以下のクリープ走行中などに、転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s) を学習されるのを防止できる。これにより、たとえばノイズの多いデータが学習されるのを防止できる。

20

【0035】

学習機能 1 5 1 は、次の判定処理 P 3 において、車両 1 0 のタイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形領域であるか否かを判定する。学習機能 1 5 1 は、非線形判定機能 1 5 3 の出力である線形領域か否か判定結果または後述するコーナリングフォース特性の非線形度に基づいて、車両 1 0 のタイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形領域であるか否かを判定する。

30

【0036】

学習機能 1 5 1 は、この判定処理 P 3 において、車両 1 0 のタイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形領域である (YES) と判定すると、次の学習処理 P 4 を実行する。また、学習機能 1 5 1 は、この判定処理 P 3 において、コーナリングフォース特性が非線形領域である (NO) と判定すると、前回の処理までに学習した転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s) を保持する処理 P 5 を実行する。その後、学習機能 1 5 1 は、図 5 に示す処理を終了する。

【0037】

すなわち、学習機能 1 5 1 は、コーナリングフォース特性が非線形領域である場合は、学習処理 P 4 を実行しない。これにより、コーナリングフォース特性の非線形領域において非線形となる転舵トルク T_s と横加速度 A_s との関係が学習されるのを防止することができる。

40

【0038】

また、たとえばタイヤ 1 1 の垂直荷重の変化や路面の摩擦係数変化などにより、横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係が変化してしまった場合は、学習時の分散が大きくなると考えられる。そのため、学習機能 1 5 1 は、分散が所定の値以上の場合は、学習処理 P 4 を実行しないようにしてもよい。また、学習機能 1 5 1 は、分散が所定の値以上となる状態が所定の周期にわたって継続した場合、学習済みの値を消去し、再度、学習処理 P 4 を行ってもよい。学習処理 P 4 は、これらの処理を含んでもよい。

【0039】

50

学習機能 151 は、学習処理 P4 において、入力された横加速度 A_s と転舵トルク T_s に基づいて、逐次的に転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s)、すなわち、図 4 に示す実線 L1 の直線部分の傾きを算出して更新する。

【0040】

逐次的に傾きを求める手法の一例としては、逐次最小二乗法を採用することができる。より具体的には、図 4 に示すような横加速度 A_s と転舵トルク T_s の時系列データから直線 L2 の原点付近の傾きを推定する場合を想定する。この場合、たとえば $y = \cdot$ という関係を持つデータの入力 x と出力 y から λ を推定するためには、あるサンプル k において、以下の式 (1)、(2) を逐次計算すればよい。

(出典: <http://fujilab.k.u-tokyo.ac.jp/papers/2008/kanouSICE08.pdf> 第 4 頁)

10

【0041】

【数 1】

$$\Gamma(k) = \frac{1}{\lambda^*} \left[\Gamma(k-1) - \frac{\Gamma(k-1)\zeta^2(k)\Gamma(k-1)}{\lambda^* + \zeta(k)\Gamma(k-1)\zeta} \right] \quad \dots(1)$$

【0042】

【数 2】

$$\theta(\hat{k}) = \theta(\hat{k}-1) - \frac{\Gamma(k-1)\zeta(k)}{\lambda^* + \zeta(k)\Gamma(k-1)\zeta} \cdot [\zeta(k)\hat{\theta}(k-1) - y(k)] \quad \dots(2)$$

20

【0043】

以上により、図 5 に示す各処理が終了する。また、学習機能 151 は、学習した転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s)、すなわち、図 4 に示す実線 L1 の直線部分の傾きを、図 3 に示す基準転舵トルク算出機能 152 へ出力する。なお、学習機能 151 の出力の初期値は、車両 10 の諸元に適合した尤もらしい値を予め設定しておくことができる。

【0044】

基準転舵トルク算出機能 152 は、学習機能 151 の出力である転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s)、すなわち図 4 に示す実線 L1 の直線部分の傾きと、車両 10 の横加速度 A_s を入力とする。基準転舵トルク算出機能 152 は、たとえば、転舵トルク T_s と横加速度 A_s の変化の割合 (T_s / A_s) に、車両 10 の横加速度 A_s を乗じることで、基準転舵トルク T_{sb} を算出して出力する。

30

【0045】

非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク算出機能 152 の出力である基準転舵トルク T_{sb} と、転舵アクチュエータ 15a の出力である転舵トルク T_s とを入力とする。非線形判定機能 153 は、これらの入力に基づいて、コーナリングフォース特性が線形となる線形領域であるか、または、コーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域であるかの判定を行う。また、非線形判定機能 153 は、たとえば、コーナリングフォース特性の非線形性の度合い、すなわちタイヤ 11 がどれほどスリップしているかを表す指標である非線形度 D_n を算出する。

40

【0046】

より具体的には、非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク算出機能 152 の出力である基準転舵トルク T_{sb} と、転舵アクチュエータ 15a の出力である転舵トルク T_s との差 T を算出する。ここで、基準転舵トルク T_{sb} は、図 4 において一点鎖線で示す直線 L2 上の点である。この直線 L2 は、図 4 において実線 L1 で表すように、学習機能 151 によって学習した横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係における直線部分を含んでいる。

【0047】

50

したがって、転舵トルク T_s が、学習機能 151 によって学習した横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係における直線部分の上にある場合には、基準転舵トルク T_{sb} と転舵トルク T_s との差 T は略ゼロになる。一方、横加速度 A_s が増加して、横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係が非線形になると、直線 L2 上の基準転舵トルク T_{sb} と、実線 L1 上の転舵トルク T_s との差 T が増大する。

【0048】

これにより、非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク T_{sb} と転舵トルク T_s との差 T に基づいて、コーナリングフォース特性が線形となる線形領域であるか、または、コーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域であるかの判定を行うことができる。すなわち、非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク T_{sb} と転舵トルク T_s との差 T がしきい値以下である場合に、コーナリングフォース特性が線形となる線形領域であると判定することができる。また、非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク T_{sb} と転舵トルク T_s との差 T がしきい値を超えた場合に、コーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域であると判定することができる。

10

【0049】

さらに、非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク T_{sb} と転舵トルク T_s との差 T に基づいて、コーナリングフォース特性の非線形性の度合いである非線形度 D_n を算出することができる。より具体的には、非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク T_{sb} と転舵トルク T_s との差 T を、非線形度 D_n として算出することができる。また、非線形判定機能 153 は、基準転舵トルク T_{sb} と転舵トルク T_s との差 T を正規化することで、非線形度 D_n を算出してもよい。この正規化は、たとえば、図 4 に実線 L1 で示すように、転舵トルク T_s が上昇から減少に転じる臨界点における転舵トルク T_s によって行うことができる。

20

【0050】

非線形判定機能 153 による前周期の判定結果は、図 3 に示すように、学習機能 151 の入力とすることができる。この構成により、コーナリングフォース特性の線形領域と非線形領域との境界付近で、非線形判定機能 153 による判定結果の頻繁な変更を抑制することができる。

【0051】

具体的には、たとえば、非線形判定機能 153 は、複数回にわたって実行した判定結果が同一であった場合に、判定結果を変更してもよい。これにより、後述する反力算出機能 160 によって算出される反力としてのトルク T_r の指令値のハンチングを抑制することが可能になる。非線形判定機能 153 は、判定結果および非線形度 D_n を、図 2 に示すように、反力算出機能 160 へ出力する。

30

【0052】

図 6 は、図 2 の反力算出機能 160 の詳細を示す機能ブロック図である。反力算出機能 160 は、たとえば、基準反力算出機能 161 と、追加反力算出機能 162 とを備えている。基準反力算出機能 161 は、車両 10 の運転者によるステアリングホイール 13 の操舵角 δ と、車両 10 の速度 V とを入力とし、運転者の操作に対する基準反力としての基準トルク T_{rb} の指令値を算出する。

40

【0053】

基準反力算出機能 161 は、たとえば、操舵角 δ に対するばね成分、操舵角 δ の時間微分である操舵角速度に対する粘性成分、および摩擦成分などに基づいて、反力としてのトルクの指令値を算出する。また、基準反力算出機能 161 は、たとえば、車両 10 の速度 V に応じて、ばね成分、粘性成分、および摩擦成分などの係数を変更することで、車両 10 の速度 V に応じて、ステアリングホイール 13 に運転者による操作に対する基準反力として発生させる基準トルク T_{rb} の指令値を変更することができる。

【0054】

追加反力算出機能 162 は、非線形度算出機能 150 の出力である非線形度 D_n を入力として、基準反力算出機能 161 で算出された基準反力の指令値に加算する追加反力とし

50

での追加トルク T_{ra} の指令値を算出する。追加反力算出機能 162 は、たとえば、非線形度 D_n の大きさに比例した追加トルク T_{ra} の指令値を算出する。すなわち、追加反力算出機能 162 は、非線形度 D_n が大きいほど、追加トルク T_{ra} の指令値を増大させ、非線形度 D_n が小さいほど、追加トルク T_{ra} の指令値を減少させるように、追加トルク T_{ra} の指令値を算出する。

【0055】

より具体的には、追加反力算出機能 162 は、たとえば、非線形度 D_n に対して線形的または二次関数的に、追加反力としての追加トルク T_{ra} の指令値を増加させるように設計することができる。なお、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が線形となる線形領域では、横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係が線形となり、非線形度 D_n が略ゼロとなるため、追加反力算出機能 162 が算出する追加反力としての追加トルク T_{ra} の指令値も略ゼロになる。

10

【0056】

反力算出機能 160 は、図 6 に示すように、基準反力算出機能 161 の出力である基準反力としての基準トルク T_{rb} の指令値と、追加反力算出機能 162 の出力である追加反力としての追加トルク T_{ra} の指令値とを加算する。これにより、反力算出機能 160 は、運転者によるステアリングホイール 13 の操作に対する反力としてのトルク T_r の指令値を出力する。

【0057】

以下、本実施形態の操舵制御装置 100 の作用を説明する。

20

【0058】

たとえば、電動パワーステアリング装置では、運転者によるステアリングの操作力がアクチュエータによって補助され、ステアリングホイールと操舵輪との間の機械的な連結を介して操舵輪に伝達される。この場合、運転者は、たとえば、ステアリングホイールと操舵輪との間の機械的な連結を構成するステアリングコラムを通して、路面の摩擦係数や凹凸など、タイヤや路面の状態を感知して、車両を安定して走行させることが可能となる。

【0059】

一方、ステアリングホイールとタイヤを転舵させる転舵機構とが機械的に連結されていないステアパイワイヤシステムでは、運転者によるステアリングホイールの操舵角を検出して、操舵輪であるタイヤを制御する。この場合、運転者は、タイヤや路面の状態をステアリングホイールと操舵輪との間の機械的な連結を通して感知することができない。そのため、たとえば、タイヤの横力が飽和してコーナリングフォース特性が非線形になったときに運転者がステアリングホイールを過剰に操作してしまい、車両がアンダーステアの状態になるなど、車両を安定して走行させることが困難になるおそれがある。

30

【0060】

そこで、本実施形態は、前述のように、車両 10 のステアリングホイール 13 に運転者の操作に対する反力を生じさせる反力アクチュエータ 16 を制御するための操舵制御装置 100 を提供している。この操舵制御装置 100 は、車両 10 のタイヤ 11 のスリップ角と横力との関係であるコーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域における反力を、コーナリングフォース特性が線形となる線形領域における反力よりも増大させる。

40

【0061】

図 7 は、本実施形態の操舵制御装置 100 の動作を説明するグラフである。図 7 の上のグラフは、横軸を時間 t [s]、縦軸を操舵角 [deg] として、車両 10 の運転者の操作によるステアリングホイール 13 の操舵角 δ が、おおむね一定の角速度 [deg/s] で増加している状態を示している。図 7 の下のグラフは、横軸を時間 t [s]、縦軸を反力アクチュエータ 16 が発生させるトルク T_r [Nm] とし、運転者の操作に対してステアリングホイール 13 に発生する反力であるトルク T_r が、操舵角 δ の増加にともなって増加する様子を示している。

【0062】

図 7 の上のグラフのように、時刻 t_1 までの間、車両 10 の運転者は、ステアリングホ

50

ホイール 13 を一方向に回転させ、実線 L3 で示す操舵角 δ を一定の角速度で増加させている。時刻 t_1 までの間は、車両 10 のタイヤ 11 の横力は飽和せず、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が線形領域にある。この時刻 t_1 までの線形領域において、図 7 の下のグラフのように、操舵制御装置 100 は、たとえば、反力アクチュエータ 16 を制御して、実線 L4 で示す反力としてのトルク T_r を、操舵角 δ と同様に線形に増加させる。

【0063】

その後、時刻 t_1 において、何らかの原因により、車両 10 のタイヤ 11 の横力が飽和して、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が線形領域から非線形領域に移行したとする。すると、操舵制御装置 100 は、反力アクチュエータ 16 を制御して、図 7 の下のグラフのように、実線 L4 で示す時刻 t_1 以降の非線形領域における反力としてのトルク T_r を、破線 L5 で示す線形領域における反力としてのトルク T_r よりも増大させる。

10

【0064】

これにより、運転者は、ステアリングホイール 13 を回転させて操舵角 δ を増加させるために、反力としてのトルク T_r に逆らって、より大きな力を加える必要が生じる。その結果、運転者は、ステアリングホイール 13 の操作が重くなったことを感知し、操舵角 δ を増加させる操作を中止することができる。このように、操舵制御装置 100 は、反力アクチュエータ 16 によって運転者に伝達する反力を増大させることで、タイヤ 11 のグリップの限界、すなわち、それ以上のタイヤ 11 のパフォーマンス向上が困難な非線形領域にあることを、運転者に通知することができる。また、操舵制御装置 100 は、運転者によるステアリングホイール 13 の操作に対する反力を増大させることで、運転者が操舵角 δ を増加させようとする操作を抑制することもできる。

20

【0065】

その結果、図 7 の上のグラフのように、時刻 t_1 以降の非線形領域において、反力としてのトルク T_r を増大させた場合の実線 L3 で示す操舵角 δ は、反力としてのトルク T_r を増大させなかった場合の破線 L6 で示す操舵角 δ と比較して減少する。これにより、たとえば、車両 10 のタイヤ 11 のコーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域において、運転者がステアリングホイール 13 の操舵角 δ を過剰に増加させることが防止され、車両 10 がアンダーステアの状態になるのを抑制することができる。したがって、本実施形態によれば、ステアリングホイール 13 を介して運転者により適切な反力を伝達することができる、車両 10 の安定性を向上させることが可能な操舵制御装置 100 を提供することができる。

30

【0066】

また、本実施形態の操舵制御装置 100 は、たとえば図 1 および図 2 に示すように、車両 10 の運転者の操作によるステアリングホイール 13 の操舵角 δ を取得する。そして、操舵制御装置 100 は、たとえば図 7 に示すように、タイヤ 11 のスリップ角と横力との関係が非線形となる時刻 t_1 以降の非線形領域において、運転者のステアリングホイール 13 の操作に対する反力としてのトルク T_r を、操舵角 δ の増加に応じて増加させる。

【0067】

この構成により、タイヤ 11 のスリップ角と横力との関係であるコーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域において、運転者がステアリングホイール 13 を回転させて操舵角 δ を増加させようとする、より大きな反力としてのトルク T_r を受ける。これにより、タイヤ 11 の横力が飽和した非線形領域において、ステアリングホイール 13 の操舵角 δ の増加を抑制し、車両 10 の安定性を向上させることができる。

40

【0068】

また、本実施形態の操舵制御装置 100 は、たとえば図 1 および図 2 に示すように、車両 10 の横加速度 A_s と、タイヤ 11 を転舵させるための転舵トルク T_s とを取得する。そして、操舵制御装置 100 は、たとえば図 4 に示すように、横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係が線形になる領域において横加速度 A_s の増加量 ΔA_s と転舵トルク T_s の増加量 ΔT_s の変化の割合 ($\Delta T_s / \Delta A_s$) を算出する。さらに、操舵制御装置 100 は、たとえば図 3 に示すように、変化の割合 ($\Delta T_s / \Delta A_s$) に横加速度 A_s を乗じた

50

基準転舵トルク T_{sb} と、転舵トルク T_s との差に基づいて、コーナリングフォース特性の非線形度 D_n を算出する。

【0069】

この構成により、車両10の横加速度 A_s と、タイヤ11を転舵させるための転舵トルク T_s とに基づいて、タイヤ11のコーナリングフォース特性の非線形性の程度を推定することが可能になる。コーナリングフォース特性は、前述のように、タイヤ11のスリップ角と横力との関係である。しかし、タイヤ11の横力を測定するためには、専用のセンサが必要となり、コストの増加、メンテナンス性の低下、構成の複雑化などの課題がある。また、タイヤ11の変形などを検出するセンサによって、タイヤ11の横力を正確に測定するのは、困難である。

10

【0070】

これに対し、本実施形態の操舵制御装置100は、前述の構成により、車両10の横加速度 A_s と転舵トルク T_s とに基づいて、タイヤ11のコーナリングフォース特性の非線形度 D_n を算出することができる。そのため、操舵制御装置100は、非線形度 D_n に基づいて、タイヤ11のコーナリングフォース特性の非線形性の程度を推定し、非線形性の程度に応じて反力アクチュエータ16を制御することができ、運転者のステアリングホイール13の操作に対して適切な反力を返すことができる。したがって、本実施形態の操舵制御装置100によれば、タイヤ11が非線形領域に移行するのを抑制することができ、タイヤ11が非線形領域に移行した場合でも、車両10の安定性を向上させることができる。

20

【0071】

また、本実施形態の操舵制御装置100は、たとえば図6に示すように、車両10の速度 V を取得して、速度 V と操舵角 δ に基づいて運転者によるステアリングホイール13の操作に対する基準反力としての基準トルク T_{rb} を算出する。また、操舵制御装置100は、非線形度 D_n に基づいて、運転者によるステアリングホイール13の操作に対する追加反力としての追加トルク T_{ra} を算出する。そして、操舵制御装置100は、これら基準反力と追加反力を加算することで、反力としてのトルク T_r を算出する。

【0072】

この構成により、タイヤ11のコーナリングフォース特性の線形領域では、非線形度 D_n が略ゼロになることで、追加トルク T_{ra} が略ゼロになる。そのため、この線形領域では、操舵制御装置100は、反力アクチュエータ16により、速度 V と操舵角 δ に基づく基準トルク T_{rb} を、車両10のステアリングホイール13に、運転者の操作に対する反力として発生させる。一方、タイヤ11のコーナリングフォース特性の非線形領域では、追加トルク T_{ra} は、非線形度 D_n の増加にともなって増加する。そのため、この非線形領域では、操舵制御装置100は、反力アクチュエータ16により、非線形度 D_n の増加にともなって増加する追加トルク T_{ra} と、基準トルク T_{rb} との和を、車両10のステアリングホイール13に、運転者の操作に対する反力として発生させる。これにより、操舵制御装置100は、車両10のタイヤ11のスリップ角と横力との関係であるコーナリングフォース特性が非線形となる非線形領域における反力を、コーナリングフォース特性が線形となる線形領域における反力よりも増大させることができる。

30

40

【0073】

また、本実施形態の操舵制御装置100は、たとえば図1および図3に示すように、車両10の速度 V を取得する。そして、操舵制御装置100は、たとえば図5に示すように、横加速度 A_s がしきい値以上であり、かつ速度 V がしきい値以上であり、かつタイヤ11のコーナリングフォース特性が線形領域である場合に、学習処理P4を実行する。この学習処理P4は、横加速度 A_s の増加量 ΔA_s と転舵トルク T_s の増加量 ΔT_s との変化の割合 ($\Delta T_s / \Delta A_s$) を学習する処理である。

【0074】

この構成により、本実施形態の操舵制御装置100は、たとえば、図4に実線L1で示す横加速度 A_s と転舵トルク T_s との関係が線形になっている直線部分を含む直線L2の

50

傾きを、適切な条件で学習することができる。この直線 L 2 の傾きは、すなわち、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形となる線形領域における、横加速度 A_s の増加量 A_s と 転舵トルク T_s の増加量 T_s との変化の割合 (T_s / A_s) である。この変化の割合 (T_s / A_s) を適切な条件で学習することで、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性の非線形性の度合いを示す非線形度 D_n の精度を向上させることができる。

【 0 0 7 5 】

また、本実施形態の操舵制御装置 1 0 0 は、横加速度 A_s の増加量 A_s と 転舵トルク T_s の増加量 T_s との変化の割合 (T_s / A_s) を、たとえば逐次最小二乗法によって算出する。この構成により、加速度センサ 1 7 と 転舵アクチュエータ 1 5 a から逐次的に得られる車両 1 0 の横加速度 A_s の時系列データと 転舵トルク T_s の時系列データに基づいて、横加速度 A_s の増加量 A_s と 転舵トルク T_s の増加量 T_s との変化の割合 (T_s / A_s) を精度よく求めることができる。

10

【 0 0 7 6 】

また、本実施形態の操舵制御装置 1 0 0 は、前述のように、車両 1 0 の横加速度 A_s と、タイヤ 1 1 を 転舵させるための 転舵トルク T_s とを取得する。さらに、操舵制御装置 1 0 0 は、前述のように、横加速度 A_s と 転舵トルク T_s との関係が線形になる領域において横加速度 A_s の増加量 A_s と 転舵トルク T_s の増加量 T_s の変化の割合 (T_s / A_s) を算出する。さらに、操舵制御装置 1 0 0 は、変化の割合 (T_s / A_s) に横加速度 A_s を乗じた基準 転舵トルク T_{sb} と、 転舵トルク T_s との差が、しきい値以下の場合に、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形領域であることを判定し、しきい値を超える場合に、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が非線形領域であることを判定する。

20

【 0 0 7 7 】

この構成により、車両 1 0 の横加速度 A_s と 転舵トルク T_s とに基づいて算出した非線形度 D_n によって、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形領域であるか、非線形領域であるかを判定することが可能になる。したがって、本実施形態の操舵制御装置 1 0 0 によれば、タイヤ 1 1 の横力を測定するための専用のセンサが不要になることにより、コストの低下、メンテナンス性の向上、および構成の簡略化などを実現することができる。

【 0 0 7 8 】

また、本実施形態の操舵制御装置 1 0 0 は、前述のように、車両 1 0 の横加速度 A_s と、タイヤ 1 1 を 転舵させるための 転舵トルク T_s とを取得する。この場合、操舵制御装置 1 0 0 は、たとえば図 4 に示すように、横加速度 A_s が増加し、かつ 転舵トルク T_s が増加から減少へ 転じた場合に、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性の線形領域から非線形領域への移行を検知することができる。

30

【 0 0 7 9 】

この構成により、車両 1 0 の横加速度 A_s と 転舵トルク T_s とに基づいて、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形領域であるか、非線形領域であるかを判定することが可能になる。したがって、本実施形態の操舵制御装置 1 0 0 によれば、タイヤ 1 1 の横力を測定するための専用のセンサが不要になることにより、コストの低下、メンテナンス性の向上、および構成の簡略化などを実現することができる。

40

【 0 0 8 0 】

また、本実施形態の操舵制御装置 1 0 0 は、前述のように、ステアリングホイール 1 3 と タイヤ 1 1 を 転舵させる 転舵機構 1 5 とが機械的に連結されていない場合に、ステアリングホイール 1 3 に 運転者の操作に対する反力を生じさせる。この構成により、ステアパイワイヤシステムを採用した車両 1 0 において、タイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が線形領域から非線形領域に移行したことを、運転者のステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力によって、運転者に通知することができる。

【 0 0 8 1 】

以上説明したように、本実施形態によれば、ステアリングホイール 1 3 を介して運転者により適切な反力を伝達することができ、車両 1 0 の安定性を向上させることが可能な操

50

舵制御装置 100 を提供することができる。

【0082】

[実施形態2]

次に、図8から図11を参照して、本開示に係る操舵制御装置の実施形態2を説明する。図8は、本開示に係る操舵制御装置の実施形態2を示す概略構成図である。本実施形態の操舵制御装置100Aは、前述の実施形態1に係る操舵制御装置100と同様に、車両10Aに搭載されたマイクロコントローラであり、ステアリングホイール13に運転者による操作方向と反対方向の反力を生じさせる反力アクチュエータ16を制御する。

【0083】

図8に示す例において、車両10Aは、操舵トルクセンサ19を備える点と、転舵機構15の転舵角制御ユニット15bの機能が操舵制御装置100Aによって代替される点が、図1に示す車両10と異なっている。操舵トルクセンサ19は、運転者のステアリングホイール13の操作による操舵トルク T_d を検出して、通信バスライン18を介して操舵制御装置100Aに出力する。車両10Aのその他の構成は、図1に示す車両10と同様であるので、同様の部分には同一の符号を付して説明を省略する。

10

【0084】

図9は、図8に示す操舵制御装置100Aの機能ブロック図である。本実施形態の操舵制御装置100Aは、実施形態1に係る操舵制御装置100と同様に、演算装置、主記憶装置、補助記憶装置、入出力装置、タイマーなどを備えたマイクロコントローラによって構成された電子制御装置またはその一部である。

20

【0085】

操舵制御装置100Aは、たとえば、操舵角取得機能110と、速度取得機能120と、横加速度取得機能130と、非線形度算出機能150と、反力算出機能160とを備えている。これらの各機能は、前述の実施形態1の操舵制御装置100における各機能と同様であるので、説明を省略する。

【0086】

また、本実施形態の操舵制御装置100Aは、さらに、操舵トルク取得機能170と、転舵角取得機能180と、転舵制御機能190と、を有している。これらの各機能は、たとえば、操舵制御装置100Aにおいて補助記憶装置に記憶されたデータベースを参照しながら、主記憶装置にロードされたプログラムを、演算装置によって周期的に実行することで実現することができる。

30

【0087】

操舵トルク取得機能170は、たとえば、操舵トルクセンサ19によって検出された操舵トルク T_d を、通信バスライン18を介して取得する。転舵角取得機能180は、たとえば、転舵アクチュエータ15aから出力されたタイヤ11の転舵角 δ を取得する。転舵制御機能190は、たとえば、操舵角 δ 、操舵トルク T_d 、転舵角 δ 、および非線形度 D_n を入力とする。

【0088】

図10は、図9に示す転舵制御機能190の動作を説明するフロー図である。転舵制御機能190は、たとえば、図10に示す開始から終了までの各処理を、所定の周期で繰り返し実行する。

40

【0089】

転舵制御機能190は、図10に示す処理フローを開始すると、まず、入力された情報に基づいて、基準転舵トルク T_{sb} を算出する処理P11を実行する。具体的には、転舵制御機能190は、たとえば、操舵角 δ と転舵角 δ との関係に基づいて、転舵角 δ を修正するために必要となる基準転舵トルク T_{sb} を算出する。操舵角 δ と転舵角 δ との関係は、たとえば、疑似的なギヤ比などで定義して、操舵制御装置100を構成する補助記憶装置などに記憶させておくことができる。これにより、基準転舵トルク T_{sb} を容易に算出することができる。

【0090】

50

次に、転舵制御機能 190 は、非線形度算出機能 150 によって算出した非線形度 D_n に基づいて、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が非線形領域か否かの判定処理 P 12 を実行する。この判定処理 P 12 は、たとえば、非線形度 D_n がしきい値を超えているか否かを判定することによって行うことができる。

【0091】

転舵制御機能 190 は、判定処理 P 12 において、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が非線形領域にない (NO)、すなわち線形領域にあると判定すると、図 10 に示す処理フローを終了して、処理 P 11 で算出した基準転舵トルク T_{sb} を転舵トルク T_s として出力する。また、転舵制御機能 190 は、判定処理 P 12 において、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が非線形領域にある (YES) と判定すると、次の判定処理 P 13 を実行する。

10

【0092】

転舵制御機能 190 は、判定処理 P 13 において、操舵トルク T_d がしきい値以上であるか否かを判定する。この操舵トルク T_d のしきい値は、たとえば、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が線形領域から非線形領域に移行したときの操舵トルク T_d に、所定のマージンを持たせた値に設定することができる。

【0093】

転舵制御機能 190 は、判定処理 P 13 において、操舵トルク T_d がしきい値以上ではない (NO)、すなわちしきい値よりも小さいと判定すると、図 10 に示す処理フローを終了して、処理 P 11 で算出した転舵トルク T_s の指令値を出力する。また、転舵制御機能 190 は、判定処理 P 13 において、操舵トルク T_d がしきい値以上である (YES) と判定すると、次の処理 P 14 を実行する。

20

【0094】

転舵制御機能 190 は、処理 P 14 において、操舵トルク T_d の大きさに応じた追加転舵トルク T_{sa} を算出し、処理 P 11 において算出した基準転舵トルク T_{sb} に追加転舵トルク T_{sa} を加算した値を、転舵トルク T_s として出力する。また、転舵制御機能 190 は、処理 P 14 において、しきい値以上の操舵トルク T_d があらかじめ規定された一定時間にわたって継続した場合、処理 P 11 で算出した転舵トルク T_s に逆方向のトルクを追加して、反力としてのトルク T_r を減少させてもよい。以上により、図 10 に示す処理フローが終了する。

30

【0095】

以下、本実施形態の操舵制御装置 100A の作用を説明する。

【0096】

図 11 は、本実施形態の操舵制御装置 100A の動作の一例を説明するグラフである。図 11 において、各グラフの横軸は、時間 t [s] である。また、図 11 において、一番上のグラフは、縦軸が操舵角 [deg] であり、上から二番目のグラフは、縦軸が操舵トルク T_d [Nm] であり、上から三番目のグラフは、縦軸が反力としてのトルク T_r [Nm] であり、一番下のグラフは、縦軸が転舵角 [deg] である。

【0097】

図 11 の一番上のグラフのように、時刻 t_1 までの間、車両 10A の運転者は、ステアリングホイール 13 を一方向に回転させ、実線 L 11 で示す操舵角 を一定の角速度で増加させている。時刻 t_1 までの間は、車両 10A のタイヤ 11 の横力は飽和せず、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が線形領域にある。

40

【0098】

この時刻 t_1 までの線形領域において、操舵制御装置 100A は、図 11 の上から三番目のグラフのように、たとえば、反力アクチュエータ 16 を制御して、実線 L 13 で示す反力としてのトルク T_r を、操舵角 と同様に線形に増加させる。また、操舵制御装置 100A は、図 11 の一番下のグラフのように、たとえば、転舵アクチュエータ 15a を制御して、タイヤ 11 の転舵角 を、操舵角 と同様に線形に増加させる。

【0099】

50

その後、時刻 t_1 において、何らかの原因により、車両 10A のタイヤ 11 の横力が飽和して、タイヤ 11 のコーナリングフォース特性が線形領域から非線形領域に移行したとする。すると、操舵制御装置 100A は、反力アクチュエータ 16 を制御して、図 11 の上から三番目のグラフのように、実線 L13 で示す時刻 t_1 以降の非線形領域における反力としてのトルク T_r を、線形領域における反力としてのトルク T_r よりも増大させる。

【0100】

これにより、運転者は、ステアリングホイール 13 を回転させて操舵角 δ を増加させるために、反力としてのトルク T_r に逆らって、より大きな力を加える必要が生じる。その結果、運転者が操舵角 δ を増加させようとする操作が抑制され、図 11 の一番上のグラフに示す操舵角 δ の増加が緩やかになる。しかし、この時刻 t_1 以降の非線形領域においても、図 11 の上から二番目のグラフにおいて実線 L12 で示すように、運転者が操舵トルク T_d を増加させている。

10

【0101】

この場合、操舵制御装置 100A は、たとえば、転舵制御機能 190 による判定処理 P13 において、操舵トルク T_d がしきい値以上であると判定し、前述の処理 P14 を実行する。これにより、操舵制御装置 100A は、操舵トルク T_d の大きさに応じた追加転舵トルク T_{sa} を算出し、前述の処理 P11 において算出した転舵トルク T_s に追加転舵トルク T_{sa} を加算した値を、転舵トルク T_s として出力する。

【0102】

以上のように、本実施形態の操舵制御装置 100A は、運転者の操作によるステアリングホイール 13 の操舵トルク T_d を取得し、非線形領域において操舵トルク T_d がしきい値以上である場合に、タイヤ 11 を転舵させるための転舵トルク T_s を増加させる。この構成により、たとえば、図 11 の上から二番目のグラフのように、時刻 t_1 以降の非線形領域における操舵トルク T_d の増加を検知し、転舵角 δ を増加させたいという運転者の意図を、車両 10A の制御に反映させることができる。

20

【0103】

また、本実施形態の操舵制御装置 100A は、たとえば、図 11 の上から二番目のグラフのように、時刻 t_1 以降の非線形領域において、しきい値以上の操舵トルク T_d が一定時間にわたって継続した場合に、反力としてのトルク T_r を減少させる。この構成により、運転者がステアリングホイール 13 の、転舵角 δ を増加させたいという運転者の意図を、車両 10A の制御に反映させることができる。

30

【0104】

また、本実施形態の操舵制御装置 100A は、運転者の操作によるステアリングホイール 13 の操舵角 δ_d と、タイヤ 11 の転舵角 δ_s とを取得する。そして、操舵制御装置 100A は、操舵角 δ_d と転舵角 δ_s との関係に基づいて基準転舵トルク T_{sb} を算出する。さらに、操舵制御装置 100A は、非線形領域において転舵トルク T_s がしきい値以上である場合に、操舵トルク T_d の大きさに応じた追加転舵トルク T_{da} を算出し、基準転舵トルク T_{db} に追加転舵トルク T_{da} を加算した値を転舵トルク T_s として出力する。

【0105】

この構成により、タイヤ 11 を転舵させるための転舵トルク T_s を増加させることができ、図 11 の一番下のグラフのように、時刻 t_1 以降の非線形領域において、実線 L14 で示す転舵角 δ を増加させることができる。したがって、運転者がステアリングホイール 13 の、転舵角 δ を増加させたいという運転者の意図を、車両 10A の制御に反映させることができる。

40

【0106】

以上説明したように、本実施形態の操舵制御装置 100A によれば、前述の実施形態 1 の操舵制御装置 100 と同様の効果を奏することができるだけでなく、運転者の操作を優先させ、運転者の操作を車両 10A の制御に反映させることができる。

【0107】

[実施形態 3]

50

次に、図 1 から図 5 を援用し、図 1 2 から図 1 5 を参照して、本開示に係る操舵制御装置の実施形態 3 を説明する。本実施形態の操舵制御装置は、図 1 2 に示す反力算出機能 1 6 0 A の構成が、前述の実施形態 1 に係る操舵制御装置 1 0 0 の反力算出機能 1 6 0 と異なっている。本実施形態の操舵制御装置のその他の構成は、前述の実施形態 1 の操舵制御装置 1 0 0 と同様であるので、同様の部分には同様の符号を付して説明を省略する。

【 0 1 0 8 】

図 1 2 に示すように、本実施形態の操舵制御装置において、反力算出機能 1 6 0 A は、追加反力算出機能 1 6 2 に非線形度 D_n に加えて、操舵角センサ 1 4 によって検出されたステアリングホイール 1 3 の操舵角 δ が入力される。

【 0 1 0 9 】

図 1 3 は、図 1 2 に示す反力算出機能 1 6 0 A の動作を説明するフロー図である。本実施形態の操舵制御装置は、図 1 3 に示す処理フローを、所定の周期で繰り返し実行する。反力算出機能 1 6 0 A は、まず、実施形態 1 の反力算出機能 1 6 0 と同様に、追加反力算出機能 1 6 2 により、追加反力としての追加トルク T_{ra} を算出する処理 P 2 1 を実行する。

【 0 1 1 0 】

反力算出機能 1 6 0 A は、次に、操舵角速度を算出する処理 P 2 2 を実行する。この処理 P 2 2 において、追加反力算出機能 1 6 2 は、たとえば、操舵角 δ の時間微分値である操舵角速度を算出して、次の判定処理 P 2 3 に進む。この判定処理 P 2 3 において、追加反力算出機能 1 6 2 は、前の処理 P 2 2 で算出した操舵角速度が、しきい値以上であるか否かを判定する。

【 0 1 1 1 】

この判定処理 P 2 3 において、追加反力算出機能 1 6 2 は、操舵角速度が、しきい値以上ではない (NO) と判定すると、処理 P 2 1 で算出した追加トルク T_{ra} を出力とし、図 1 3 に示す処理フローを終了する。一方、この処理 P 2 3 において、追加反力算出機能 1 6 2 は、操舵角速度が、しきい値以上である (YES) と判定すると、次の処理 P 2 4 を実行する。

【 0 1 1 2 】

処理 P 2 4 において、追加反力算出機能 1 6 2 は、操舵角速度の大きさに基づいて、処理 P 2 1 で算出した追加反力としての追加トルク T_{ra} を低減する。ここで、追加トルク T_{ra} を低減する処理 P 2 4 は、たとえば、処理 P 2 2 で算出した操舵角速度にゲインを乗じた値を、追加トルク T_{ra} から減算する処理である。以上により、図 1 3 に示す処理フローが終了する。

【 0 1 1 3 】

次に、本実施形態の操舵制御装置の作用を説明する。

【 0 1 1 4 】

図 1 4 は、本実施形態の操舵制御装置を搭載した車両 1 0 が複数の車線を有する道路を走行している状態を示す平面図である。図 1 5 は、本実施形態の操舵制御装置の動作を説明するグラフである。図 1 5 の上のグラフにおいて、横軸は、時間 [s] であり、縦軸は、ステアリングホイール 1 3 の操舵角 δ [deg] である。図 1 5 の下のグラフにおいて、横軸は時間 t [s] であり、縦軸は、運転者によるステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力としてのトルク T_r [Nm] である。

【 0 1 1 5 】

図 1 4 に示すように、車両 1 0 が走行する中央の車線に隣接する左車線から、他の車両 2 0 が車両 1 0 の前方で中央の車線に割り込んできた場合を想定する。この場合、車両 1 0 の運転者は、他の車両 2 0 との衝突を回避するために、ステアリングホイール 1 3 を急操作する緊急回避を行うことが考えられる。

【 0 1 1 6 】

このような緊急回避時のステアリングホイール 1 3 の急操作では、運転者の操作によるステアリングホイール 1 3 の操舵角 δ が、緊急回避に必要な操舵角に対して過大になるこ

10

20

30

40

50

とがある。操舵角 が過大になると、タイヤ 1 1 の転舵角 が過大になり、高速走行中の車両 1 0 のタイヤ 1 1 の横力が飽和して、コーナリングフォース特性が線形領域から非線形領域に移行し、車両 1 0 の走行が不安定になるおそれがある。

【 0 1 1 7 】

これに対し、本実施形態の操舵制御装置は、図 1 3 の処理 P 2 1 から処理 P 2 2 に示すように、運転者の操作によるステアリングホイール 1 3 の操舵角速度を取得する。さらに、本実施形態の操舵制御装置は、図 1 3 の判定処理 P 2 3 から処理 P 2 4 に示すように、操舵角速度が規定のしきい値を超えた場合に、車両 1 0 の運転者によるステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力の増加率を、規定の上限値に制限する。

【 0 1 1 8 】

たとえば、図 1 4 の斜線ハッチングで示す領域 R において、車両 1 0 のタイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が、線形領域から非線形領域に移行したとする。すると、本実施形態の操舵制御装置は、たとえば図 1 5 に示すように、時刻 t_1 で操舵角速度が規定のしきい値を超えるまでの間、運転者によるステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力としてのトルク T_r を増加させる。これにより、運転者は、車両 1 0 のタイヤ 1 1 のコーナリングフォース特性が、線形領域から非線形領域に移行したことを、ステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力を通して感知することができる。

【 0 1 1 9 】

また、本実施形態の操舵制御装置は、たとえば図 1 5 に示すように、時刻 t_1 で操舵角速度が規定のしきい値を超えると、車両 1 0 の運転者によるステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力の増加率を、規定の上限値に制限する。これにより、運転者によるステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力としてのトルク T_r が急激に増加することが防止され、ステアリングホイール 1 3 の操舵角 が急激に減少することが防止される。

【 0 1 2 0 】

そのため、運転者によるステアリングホイール 1 3 の操作に対する反力としてのトルク T_r が急激な増加と減少を繰り返すことが防止され、緊急回避時の運転者の不安感を取り除き、ステアリングホイール 1 3 の操作をより容易にすることができる。したがって、本実施形態の操舵制御装置によれば、ステアリングホイール 1 3 を介して運転者により適切な反力を伝達することができ、車両 1 0 の安定性を向上させることができる。

【 0 1 2 1 】

以上、図面を用いて本開示に係る操舵制御装置の実施形態を詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲における設計変更等があっても、それらは本開示に含まれるものである。

【 0 1 2 2 】

たとえば、本開示の操舵制御装置は、従来の電動パワーステアリングシステムを採用する車両にも適用することができる。この場合、アシストモータの出力と車両の横加速度の関係を、前述の学習機能と同様に学習し、基準トルクと転舵トルクの差に基づいて非線形度を算出する。この非線形度に基づいて、車両のタイヤが線形領域にあると判定した場合に、従来と同様にアシスト量を付与する。また、非線形度に基づいて、車両のタイヤが非線形領域にあると判定した場合に、アシストモータの出力トルクを減少させ、モータによるアシスト量を減少させることで、運転者のステアリングホイールの操作に対する反力を増加させることが可能になる。これにより、車両の走行時の安定性を向上させることができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 2 3 】

1 0 : 車両

1 1 : タイヤ

1 3 : ステアリングホイール

1 5 : 転舵機構

1 6 : 反力アクチュエータ

10

20

30

40

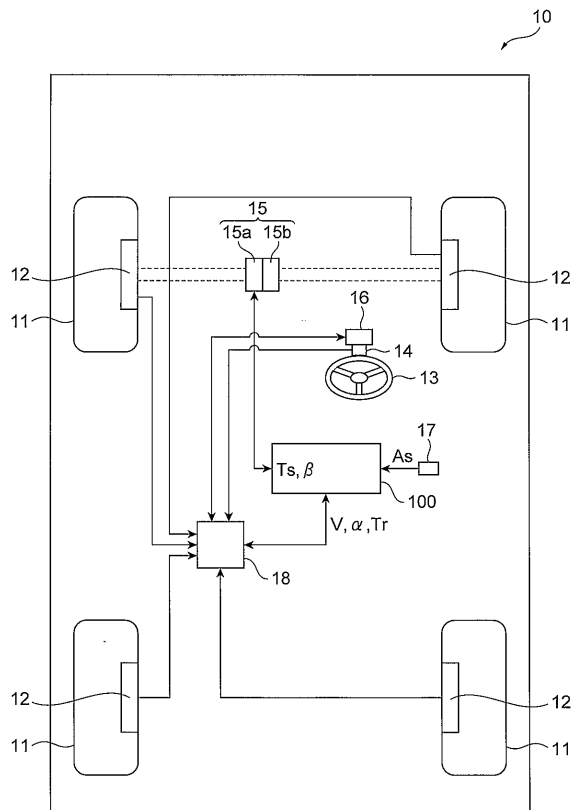
50

- 100 : 操舵制御装置
- 100A : 操舵制御装置
- As : 横加速度
- Td : 操舵トルク
- Tr : トルク (反力)
- Tra : 追加トルク (追加反力)
- Trb : 基準トルク (基準反力)
- Ts : 転舵トルク
- Tsa : 追加転舵トルク
- Tsb : 基準転舵トルク
- V : 速度
- β : 操舵角
- α : 転舵角
- ΔAs : 横加速度の増加量
- ΔTs : 転舵トルクの増加量
- ΔTs / ΔAs : 変化の割合

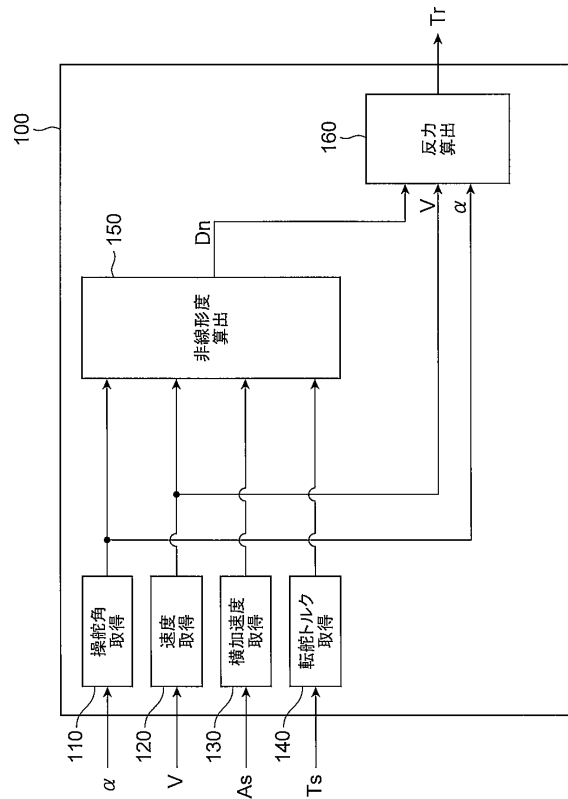
10

【図面】

【図1】



【図2】



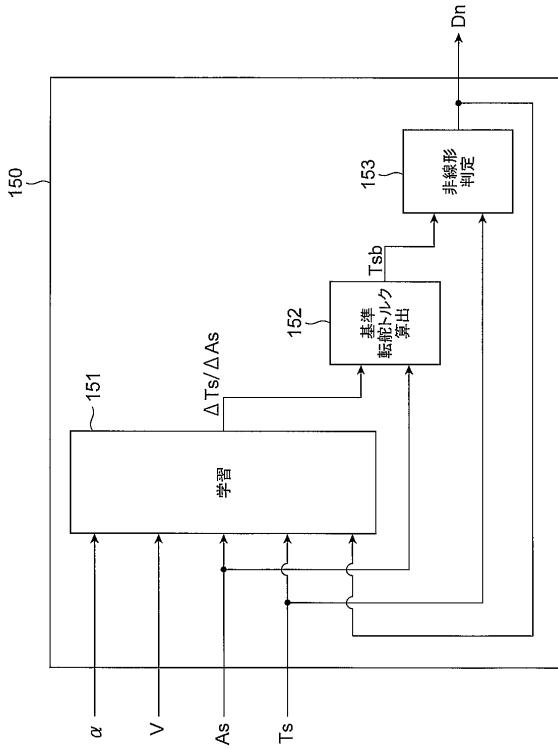
20

30

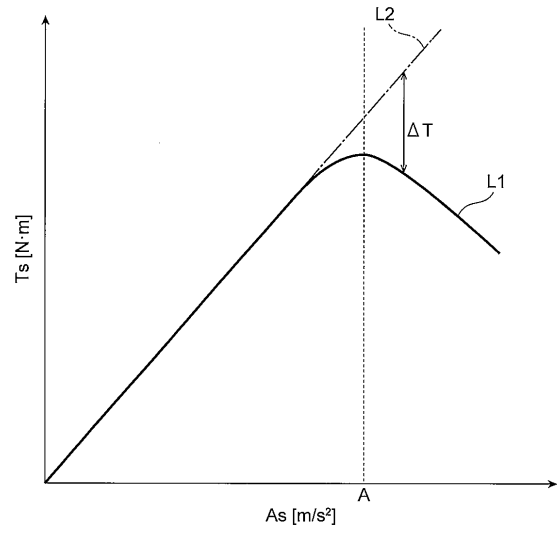
40

50

【図3】



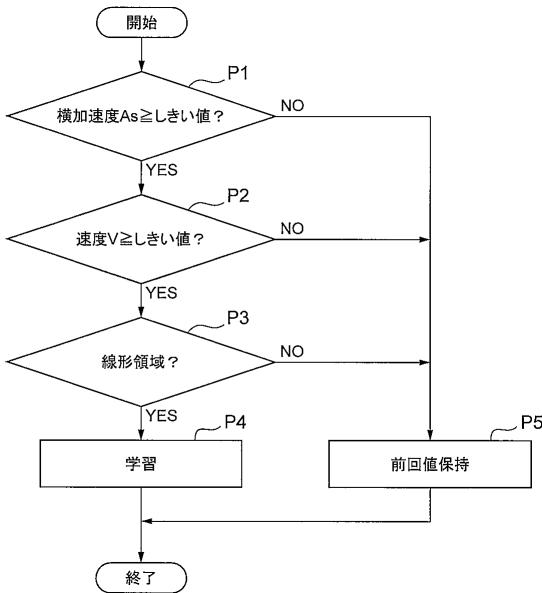
【図4】



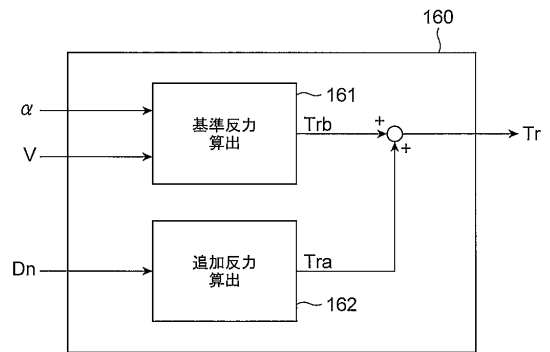
10

20

【図5】



【図6】

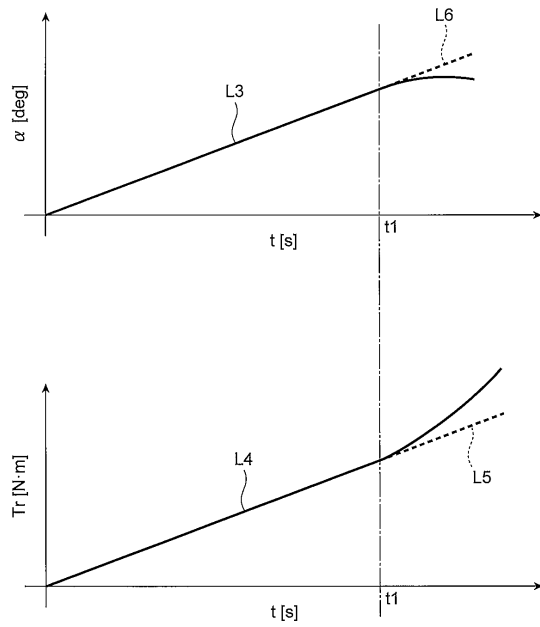


30

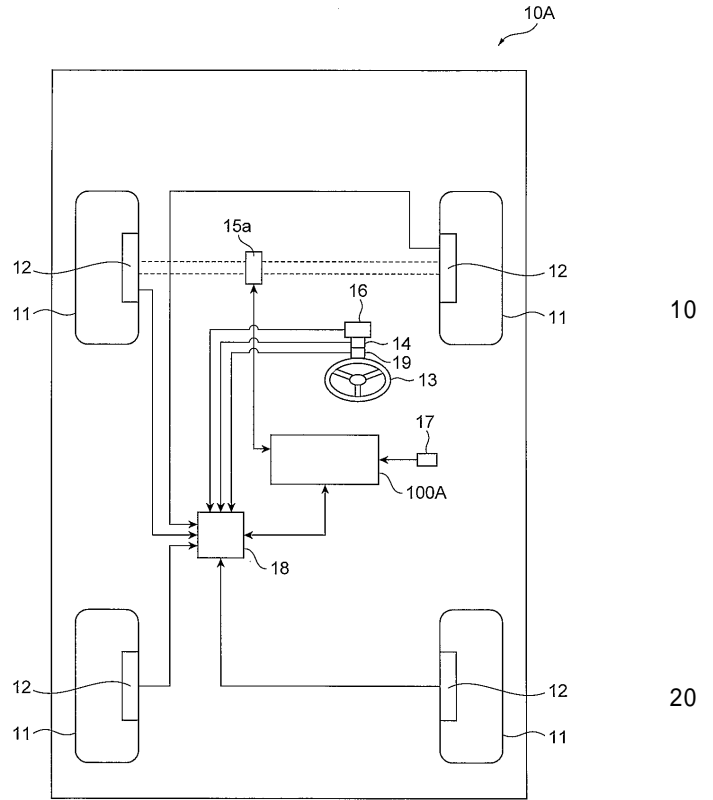
40

50

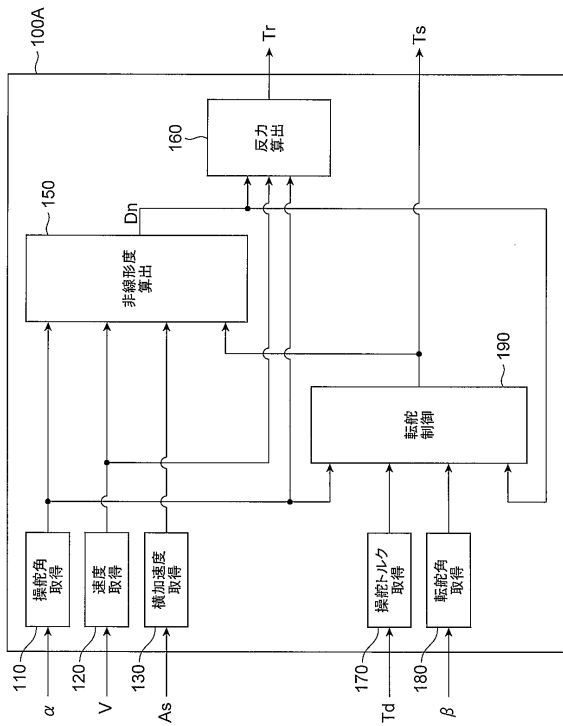
【図7】



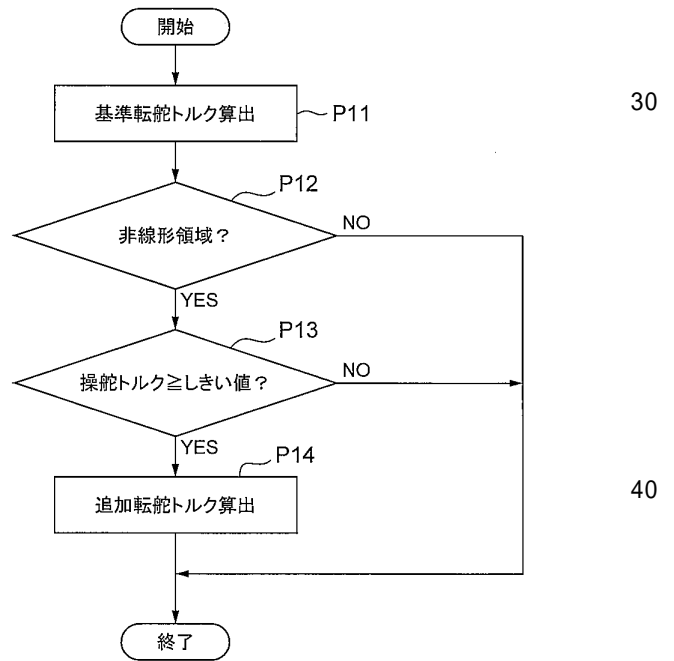
【図8】



【図9】



【図10】



10

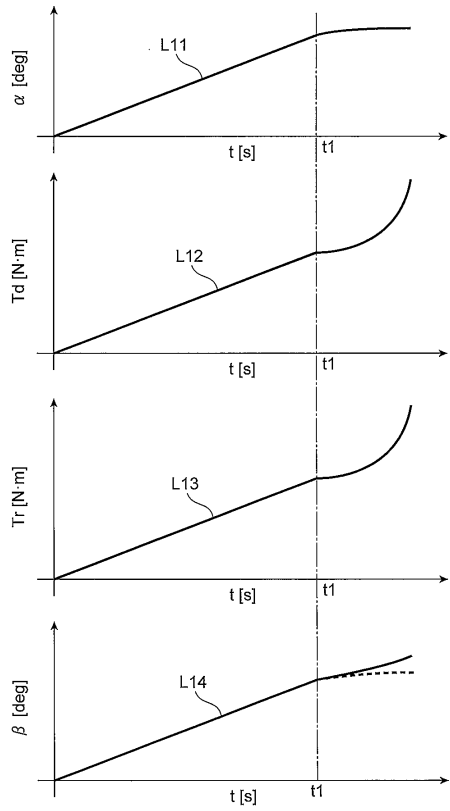
20

30

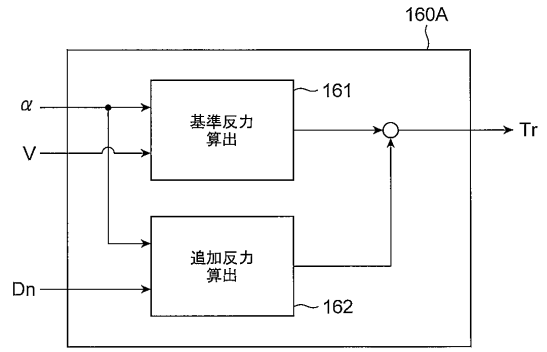
40

50

【図 1 1】



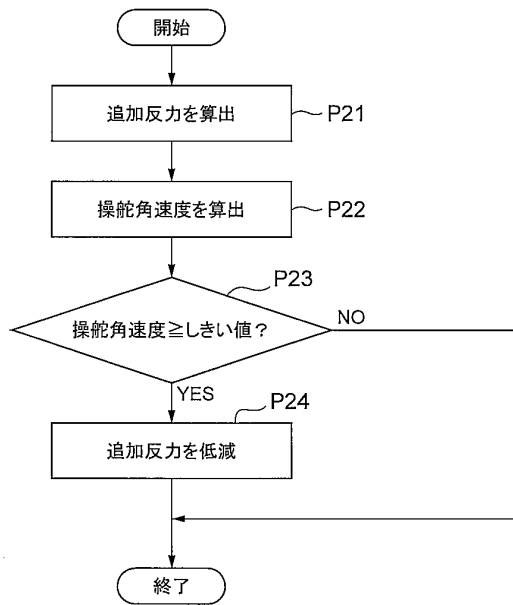
【図 1 2】



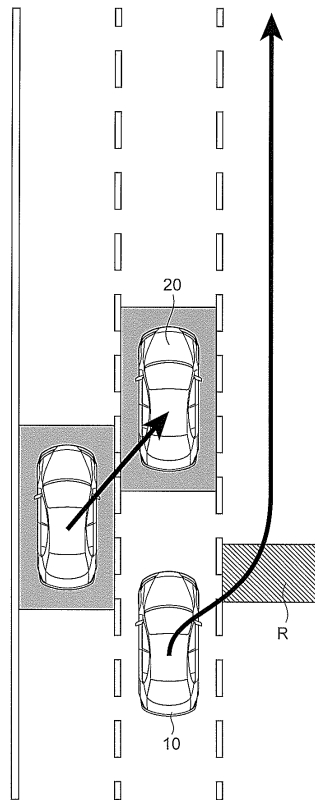
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

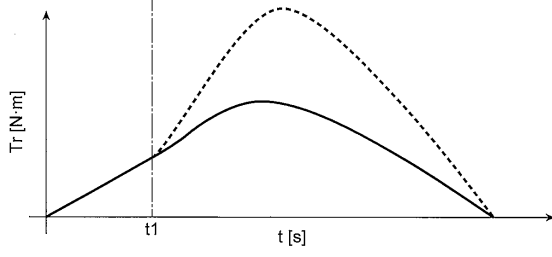
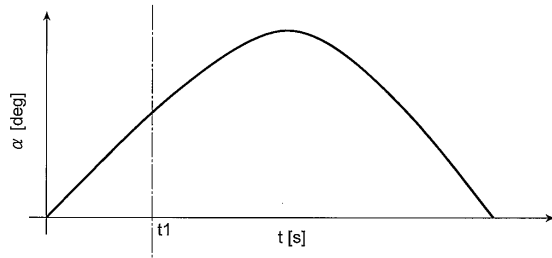


30

40

50

【 15 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

B 6 2 D 113/00 (2006.01)	B 6 2 D 113:00
B 6 2 D 117/00 (2006.01)	B 6 2 D 117:00
B 6 2 D 119/00 (2006.01)	B 6 2 D 119:00

(72)発明者 園田 大樹

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

審査官 森本 康正

(56)参考文献

特開昭64-074168(JP,A)
特開2003-160042(JP,A)
特開2012-232704(JP,A)
特開2004-155282(JP,A)
特開2006-151134(JP,A)
特開2016-002884(JP,A)
特開2005-096672(JP,A)
中国特許出願公開第108791276(CN,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

B 6 2 D 5 / 0 4 - 6 / 1 0
B 6 2 D 1 0 1 / 0 0 - 1 3 7 / 0 0
B 6 0 W 1 0 / 0 0 - 6 0 / 0 0