

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 12 月 29 日(29.12.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/208665 A1

- (51) 国際特許分類:
B62D 6/00 (2006.01) *B62D 119/00* (2006.01)
B62D 101/00 (2006.01) *B62D 137/00* (2006.01)
B62D 113/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/068637
- (22) 国際出願日: 2016 年 6 月 23 日(23.06.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-128761 2015 年 6 月 26 日(26.06.2015) JP
- (71) 出願人: 日本精工株式会社(NSK LTD.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎 1-6-3 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 遠藤 修司(ENDO Shuji); 〒3718527 群馬県前橋市鳥羽町 7 8 番地 日本精工株式会社内 Gunma (JP).
- (74) 代理人: 安形 雄三(AGATA Yuzo); 〒1070052 東京都港区赤坂 2-5-7 N I K K E N 赤坂ビル 8 階 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

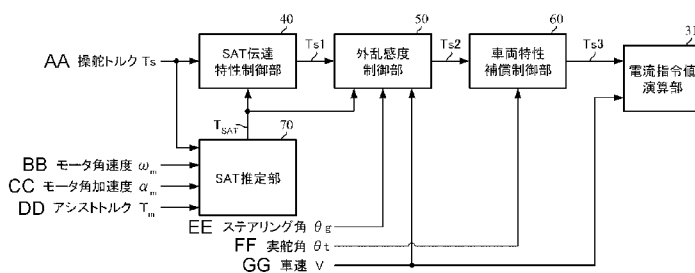
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: DRIVING ASSISTANCE CONTROL DEVICE USING ELECTRIC POWER STEERING MECHANISM

(54) 発明の名称: 電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置

[図4]



- 31 Current command value computation unit
40 SAT transmission characteristics control unit
50 Disturbance sensitivity control unit
60 Vehicle characteristics compensation control unit
70 SAT estimation unit
AA Steering torque T_s
BB Motor angular velocity ω_m
CC Motor angular acceleration α_m
DD Assist torque T_m
EE Steering angle θ_g
FF Actual steering angle θ_t
GG Vehicle velocity V

(57) Abstract: [Problem] To provide a driving assistance control device using an electric power steering mechanism that, by adapting steering torque information to driver characteristics on the basis of conditions that improve the predictability of the trajectory of a vehicle, improves trackability with respect to a target trajectory and improves the safety of a steering operation. [Solution] The present invention is provided with: a self-aligning torque (SAT) estimation unit that estimates self-aligning torque; a SAT transmission characteristics control unit that corrects the self-aligning torque in order to bring a time constant of self-aligning torque transmission characteristics to a desired value, and that compensates for steering torque; a disturbance sensitivity control unit that suppresses disturbances included in the self-aligning torque and compensates for steering torque; and a vehicle characteristics compensation control unit that compensates for steering torque on the basis of the actual steering angle so that vehicle characteristics will be primary delay characteristics.

(57) 要約:

[続葉有]

【課題】車両軌道の予測性を高める条件を基に操舵トルク情報を運転者の特性に適応させることにより、目標軌道に対する追従性を改善し、操舵運転の安全性を向上させる電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置を提供する。【解決手段】セルフアライニングトルクを推定するS A T推定部と、セルフアライニングトルク伝達特性の時定数を所望の値にするためにセルフアライニングトルクを補正し、操舵トルクを補償するS A T伝達特性制御部と、セルフアライニングトルクに含まれる外乱を抑圧し、操舵トルクを補償する外乱感度制御部と、車両特性が1次遅れ特性となるように、実舵角により操舵トルクを補償する車両特性補償制御部とを備える。

明 細 書

発明の名称：

電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、電流指令値に基づいてモータを駆動して操舵系をアシスト制御する電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置に関し、特に運転者が認識する目標軌道への車両軌道の追従性を向上させる電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置に関する。

背景技術

[0002] 車両の操舵系をモータの回転力でアシスト制御する電動パワーステアリング装置（EPS）は、モータの駆動力で減速機を介してギア又はベルト等の伝達機構により、ステアリングシャフト或いはラック軸に操舵補助力（アシスト力）を付与するようになっている。かかる従来の電動パワーステアリング装置は、操舵補助力のトルクを正確に発生させるため、モータ電流のフィードバック制御を行っている。フィードバック制御は、電流指令値とモータ電流検出値との差が小さくなるようにモータ印加電圧を調整するものであり、モータ印加電圧の調整は、一般的にPWM（パルス幅変調）制御のデューティの調整で行っている。

[0003] 電動パワーステアリング装置の一般的な構成を図1に示して説明すると、ハンドル1のコラム軸（ステアリングシャフト、ハンドル軸）2は減速ギア3、ユニバーサルジョイント4a及び4b、ピニオンラック機構5、タイロッド6a、6bを経て、更にハブユニット7a、7bを介して操向車輪8L、8Rに連結されている。また、コラム軸2には、ハンドル1の操舵トルクを検出するトルクセンサ10及び操舵角 θ を検出する舵角センサ14が設けられており、ハンドル1の操舵力を補助するモータ20が減速ギア3を介してコラム軸2に連結されている。電動パワーステアリング装置を制御するコントロールユニット（ECU）30には、バッテリー13から電力が供給され

ると共に、イグニッションキー 11 を経てイグニッションキー (IG) 信号が入力される。コントロールユニット 30 は、トルクセンサ 10 で検出された操舵トルク T_s と車速センサ 12 で検出された車速 V とに基づいてアシスト (操舵補助) 指令の電流指令値の演算を行い、電流指令値に補償等を施した電圧制御指令値 V_{ref} によって、EPS 用モータ 20 に供給する電流を制御する。

[0004] なお、舵角センサ 14 は必須のものではなく、配設されていなくても良く、また、モータ 20 に連結されたレゾルバ等の回転センサから操舵角を取得することも可能である。

[0005] コントロールユニット 30 には、車両の各種情報を授受する CAN (Controller Area Network) 100 が接続されており、車速 V は CAN 100 から受信することも可能である。また、コントロールユニット 30 には、CAN 100 以外の通信、アナログ／デジタル信号、電波等を授受する非 CAN 101 も接続可能である。

[0006] コントロールユニット 30 は主として MCU (CPU、MPU 等も含む) で構成されるが、その MCU 内部においてプログラムで実行される一般的な機能を示すと図 2 のようになる。

[0007] 図 2 を参照してコントロールユニット 30 の機能及び動作を説明すると、トルクセンサ 10 で検出された操舵トルク T_s 及び車速センサ 12 で検出された (若しくは CAN 100 からの) 車速 V は、電流指令値 I_{ref1} を演算する電流指令値演算部 31 に入力される。電流指令値演算部 31 は、入力された操舵トルク T_s 及び車速 V に基づいてアシストマップ等を用いて、モータ 20 に供給するモータ電流の制御目標値である電流指令値 I_{ref1} を演算する。電流指令値 I_{ref1} は加算部 32A を経て電流制限部 33 に入力され、最大電流を制限された電流指令値 I_{refm} が減算部 32B に入力され、フィードバックされているモータ電流値 I_m との偏差 ΔI ($= I_{refm} - I_m$) が演算され、その偏差 ΔI が操舵動作の特性改善のための PI (比例積分) 制御部 35 に入力される。PI 制御部 35 で特性改善された電

圧制御指令値 V_{ref} が PWM 制御部 36 に入力され、更に駆動部としてのインバータ 37 を介してモータ 20 が PWM 駆動される。モータ 20 のモータ電流値 I_m はモータ電流検出器 38 で検出され、減算部 32B にフィードバックされる。インバータ 37 は駆動素子として FET が用いられ、FET のブリッジ回路で構成されている。

[0008] 加算部 32A には補償信号生成部 34 からの補償信号 CM が加算されており、補償信号 CM の加算によって操舵システム系の特性補償を行い、収れん性や慣性特性等を改善するようになっている。補償信号生成部 34 は、セルフライニングトルク (SAT) 34-3 と慣性 34-2 を加算部 34-4 で加算し、その加算結果に更に収れん性 34-1 を加算部 34-5 で加算し、加算部 34-5 の加算結果を補償信号 CM としている。

[0009] このような電動パワーステアリング装置を運転支援制御装置として位置付けて、操舵運転の支援を行うものとして活用することができる。また、操舵運転とは車両軌道を運転者が認識する目標軌道に追従することであり、操舵運転の安全とは追従誤差が受容できる範囲に収まっていることと定義することができる。そして、操舵運転の安全を向上させるためには、運転者による車両軌道の予測が重要で、この予測性を高めるべく支援することが運転支援制御装置に求められる。

[0010] このような観点で運転者の操舵運転を支援する装置が提案されている。例えば、特許第 5291640 号公報（特許文献 1）では、ハンドルの舵角に対するヨーレートの特性を設定し、前方注視時間後の目標到達点の方向とハンドルの基準位置の方向とを一致させることにより、車両と運転者の一体感や操作性等の向上を図っている。つまり、目標軌道の曲率とハンドル舵角が一致するように、運転者から見た車両特性がニュートラルステア特性になるように制御している。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献 1：特許第 5291640 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] しかしながら、特許文献 1 に開示された装置では、所望の制御を行うためには、車輪とハンドルの機械的なリンクを切る必要があり、ステアリングギア比可変機構や S B W (Steer-By-Wire) 機構等を装備した高級車に対して有効な運転支援技術となっており、電動パワーステアリング装置を搭載した一般車への応用が困難である。

[0013] 本発明は上述のような事情よりなされたものであり、電動パワーステアリング装置を活用することを前提に、本発明の目的は、車両軌道の予測性を高める条件を基に操舵トルク情報を運転者の特性に適応させることにより、目標軌道に対する追従性を改善し、操舵運転の安全性を向上させる電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明は、少なくとも操舵トルクに基づいて電流指令値を演算し、前記電流指令値に基づいてモータを駆動して操舵系をアシスト制御する電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置に関し、本発明の上記目的は、セルフアライニングトルクを推定する S A T 推定部と、セルフアライニングトルク伝達特性の時定数を所望の値にするために前記セルフアライニングトルクを補正し、補正された前記セルフアライニングトルクにより前記操舵トルクを補償し、補償操舵トルク 1 として出力する S A T 伝達特性制御部と、前記セルフアライニングトルクに含まれる外乱を抑圧し、前記外乱を抑圧された前記セルフアライニングトルクにより前記補償操舵トルク 1 を補償し、補償操舵トルク 2 として出力する外乱感度制御部と、実舵角からヨーレートまでの車両特性が 1 次遅れ特性となるように、検出された実舵角により前記補償操舵トルク 2 を補償する車両特性補償制御部とを備えることにより達成される。

[0015] 本発明の上記目的は、前記車両特性補償制御部は、前記車両特性にダンピングを与える特性 $C_f(s)$ を用いて前記補償操舵トルク 2 を補償し、ヨー

レートの減衰率が電動パワーステアリング機構の固有振動数に応じて変化
する中で最も高い減衰率に近くなるように前記特性 $C_f(s)$ が調整されてい
ることにより、或いは前記特性 $C_f(s)$ は、前記ヨーレート¹の減衰率が略
0.8で、ヨーレートの固有振動数が略2 Hzから略4 Hzとなるように調
整されていることにより、或いは前記SAT²伝達特性制御部は外乱オブザー
バとして構成されることにより、或いは前記SAT²伝達特性制御部は、所望
の前記時定数で定義される伝達特性を用いて前記操舵トルクを補償すること
により、或いは前記外乱感度制御部は抑圧する外乱毎に制御器を具備するこ
とにより、或いは前記外乱感度制御部が抑圧する外乱の1つが小振幅トルク
振動による小振幅外乱であり、前記小振幅外乱に対する前記制御器は構造減
衰モデルで構成されることにより、或いは前記外乱感度制御部が抑圧する外
乱の1つがサスペンション前後方向共振点で励起される共振点外乱であり、
前記共振点外乱に対する前記制御器は外乱オブザーバとして構成されること
により、或いは前記外乱感度制御部が抑圧する外乱の1つが道路カントによ
るカント外乱であり、前記カント外乱に対する前記制御器は車両の直進状態
検出及び前記セルフアライニングトルクのオフセット補正を行うことにより
、より効果的に達成される。

発明の効果

- [0016] 本発明の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置によれば、車両軌道の予測性を高める条件を基に制御部を構成し、操舵トルク情報を運転者の特性に適応させることにより、目標軌道に対する追従性を改善し、操舵運転の安全性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

- [0017] [図1]電動パワーステアリング装置の概要を示す構成図である。
[図2]電動パワーステアリング装置のコントロールユニット（ECU）の構成例を示すブロック図である。
[図3]弱アンダーステア特性をもつ車両の操舵トルクに対するヨーレート特性を測定した結果を示す特性図である。

[図4]本発明の構成例を示すブロック図である。

[図5]路面からステアリングまでの間に発生するトルクの様子を示すイメージ図である。

[図6]ヨーレートのフィードバックにより車両特性を1次遅れ特性に単純化する場合の構成を示すブロック図である。

[図7]実舵角のフィードバックにより図6に示される構成と同等の制御を行う場合の構成を示すブロック図である。

[図8]SAT伝達特性制御部を外乱オブザーバで構成した場合のブロック図である。

[図9]図8に示される構成において、外乱オブザーバの推定値と実際の外乱が等しい場合の構成を示すブロック図である。

[図10]小振幅外乱制御器を構造減衰モデルで実現した場合の構成を示すブロック図である。

[図11]共振点外乱制御器を外乱オブザーバとした場合の構成を示すブロック図である。

[図12]図11に示される構成において、外乱オブザーバの推定値と実際の外乱が等しい場合の構成を示すブロック図である。

[図13]カント外乱制御器を備えた構成を示すブロック図である。

[図14]本発明の構成例の詳細を示すブロック図である。

[図15]本発明の動作例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0018] 本発明では、車両軌道の予測性を高める条件（以下、「予測向上条件」とする）を基に操舵トルク情報を運転者の特性に適応させる。車両軌道の予測では、従来の視覚情報に加え、操舵トルク情報も使用されていると想定されることから、操舵トルク情報を対象としている。そして、予測向上条件として、「運転者から見た車両特性が1次遅れ特性に単純化できる」（以下、「条件1」とする）、「ヨーレートに対する操舵トルクの伝達特性の時定数が適切な範囲にある」（以下、「条件2」とする）及び「外乱に対する車両軌

道の予測誤差の感度を運転者が受容できる範囲に管理できる」（以下、「条件3」とする）が挙げられる。

[0019] 以下、各条件について説明する。

[0020] まず、条件1について説明する。

[0021] 一般的に、操舵運転上、車両特性としては弱アンダーステア特性が望ましいことが知られている。そして、弱アンダーステア特性の減衰率は0.8程度である。減衰率が0.8の特性は、特性がややオーバーシュートすることにより、横風等の外乱に対する横変位が修正されるようになり、運転者が意図的に操舵する操舵時や外乱によって操舵されてしまう被操舵時のいずれにおいても良好な特性である。この弱アンダーステア特性は、減衰率が1である1次遅れ特性に近似して扱うことが可能であるので、車両特性が1次遅れ特性に単純化できれば、操舵感が良好となり、車両軌道の予測性も高めることができる。これより、条件1が導き出されている。ここで、車両特性は、実舵角からヨーレートまでの伝達特性で定義される。

[0022] 次に、条件2について説明する。

[0023] 車両軌道予測では、操舵トルク情報により推定されたヨーレート情報を使用されているとして、条件1が成立しているという前提で、操舵トルクからヨーレートまでの特性を導出すると、同特性の伝達特性 $D(s)$ は下記数1となる。

[0024] [数1]

$$D(s) = \frac{G_r C_s}{\tau_r s + 1}$$

G_r はヨーレートゲイン、 C_s はコンプライアンス特性、 τ_r はヨーレートの応答時定数、 s はラプラス演算子である。ここで、数1で示される特性について解析する。図3は、弱アンダーステア特性をもつ操舵感が良いと評価される車両の操舵トルクに対するヨーレート特性を測定した結果である。縦軸が操舵トルクで、横軸がヨーレートで、操舵入力周波数が通常運転に相当する0.3Hz、やや急なレーンチェンジに相当する0.5Hz及びそれら以上

の 1.5 Hz の場合の結果が示されている。本測定では約 2 Nm（ニュートンメートル）の操舵トルクからアシスト力が発生している。図 3 より、操舵入力周波数がヨーレート固有振動数以下の 0.3 Hz 及び 0.5 Hz では、操舵トルクとヨーレートがほぼ比例しており、周波数による変化も見られないことがわかる。操舵入力周波数がヨーレート固有振動数以上である 1.5 Hz では、位相遅れによる楕円形状とゲインの低下が見られる。よって、遅れ特性が 1.5 Hz 辺りから出てくる数 1 で示される特性は図 3 の特性とほぼ一致すると考えられる。また、図 3 の車両は操舵に一体感があると評されているので、ヨーレートに対する操舵トルクの伝達特性の時定数を適切に設定すれば、一体感をもった操舵が可能となり、車両軌道の予測性も高めることができる。これより、条件 2 が導き出されている。なお、車両のヨーレート固有振動数は、電動パワーステアリング装置のモータを除いた場合のハンドルの自由振動での振動周波数である。また、ヨーレートに対する操舵トルクの伝達特性は、操舵角を入力とした周波数スイープ（一定の割合で周波数を変化させる）を行い、その時のヨーレートに対する操舵トルクを測定することにより導出することができる。

[0025] 最後に、条件 3 について説明する。

[0026] 目標軌道に対する車両軌道の誤差の発生要因を外乱とする場合、外乱には操舵運転安全に必要な運転環境情報が含まれている。よって、運転者が外乱を情報として認識し、かつ目標軌道に対する追従性が阻害されないレベルに管理する必要がある。また、車両挙動に関わる情報伝達と外乱に対する感度低減はトレードオフの関係にあるので、これらのことを踏まえて、条件 3 が導き出されている。

[0027] 本発明では、上記 3 つの条件（条件 1、条件 2、条件 3）に対して、各条件を満たすための機能を有する制御部を備えている。具体的には、条件 1 に対しては車両特性補償制御部、条件 2 に対しては SAT 伝達特性制御部、条件 3 に対しては外乱感度制御部がそれぞれ条件を満たすための処理を行う。各制御部は操舵トルク情報を運転者の特性に適応させるために処理を行うが

、検出された操舵トルクに対して、SAT伝達特性制御部、外乱感度制御部、車両特性補償制御部の順で処理が行われる。

[0028] このように、操舵トルク情報を用いた車両軌道の予測の重要性から導かれた予測向上条件を満たす機能を用いて、検出された操舵トルクを補償することにより、目標軌道に対する追従性を改善し、操舵運転の安全性を向上させることができる。

[0029] 以下に、本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。

[0030] 図4は本発明の実施形態の構成例を示している。なお、電流指令値演算部31は、図2に示されている電流指令値演算部31と同一構成であるので、説明は省略する。また、電流指令値演算部31以降の構成及び動作は、図2に示されている構成及び前述の動作と同じである。

[0031] SAT推定部70は、操舵トルク T_s 、アシストトルク T_m 、モータ角速度 ω_m 及びモータ角加速度 α_m よりセルフアライニングトルク(SAT) T_{SAT} を推定する。SAT伝達特性制御部40は、推定されたSAT T_{SAT} を基に条件2を満たすように操舵トルク T_s を補償し、補償操舵トルク T_{s1} を出力する。外乱感度制御部50は、推定されたSAT T_{SAT} 、ステアリング角 θ_g 及び車速 V を基に条件3を満たすように補償操舵トルク T_{s1} を補償し、補償操舵トルク T_{s2} を出力する。車両特性補償制御部60は、実舵角 θ_t を基に条件1を満たすように補償操舵トルク T_{s2} を補償し、補償操舵トルク T_{s3} を電流指令値演算部31に出力する。

[0032] 各部について、詳細に説明する。

[0033] SAT推定部70においては、例えば特許第4192442号公報に示されているものを適用することができる。その概略を説明する。

[0034] 路面からステアリングまでの間に発生するトルクの様子は図5に示されるようになっており、運転者がハンドルを操舵することによって操舵トルク T_s が発生し、その操舵トルク T_s に従ってモータがアシストトルク T_m を発生する。その結果、車輪が転舵され、反力としてSATが発生する。その際、モータの慣性 J 及び摩擦(静摩擦) F_r によってハンドル操舵の抵抗とな

るトルクが生じる。これらの力の釣り合いから、下記数2のような運動方程式が得られる。

[0035] [数2]

$$J \cdot \alpha_m + Fr \cdot \text{sign}(\omega_m) + T_{SAT} = T_m + T_s$$

ここで、上記数2を初期値ゼロとしてラプラス変換し、 T_{SAT} について解くと下記数3が得られる。

[0036] [数3]

$$T_{SAT}(s) = T_m(s) + T_s(s) - J \cdot \alpha_m(s) + Fr \cdot \text{sign}(\omega_m(s))$$

上記数3からわかるように、モータの慣性 J 及び静摩擦 Fr を定数として予め求めておくことで、モータ角速度 ω_m 、モータ角加速度 α_m 、アシストトルク T_m 及び操舵トルク T_s より SAT T_{SAT} を推定することができる。

[0037] なお、推定された SAT をそのままフィードバックした場合、ステアリングが重くなり過ぎ、操舵感覚を向上することができない場合があるので、周波数特性を有するフィルタを用いて SAT T_{SAT} を信号処理し、操舵感覚を向上するのに必要十分な情報のみを出力するようにしても良い。また、本方法以外の方法で、 SAT を推定しても良い。

[0038] 次に、車両特性補償制御部60について説明する。

[0039] 車両特性補償制御部60が対象とする条件1は車両特性に関する条件である。車両特性は実舵角からヨーレートまでの伝達特性で定義され、二輪モデルにおける実舵角 θ_t からヨーレート r までの伝達特性は下記数4となる。

[0040] [数4]

$$r(s) = G_0 \frac{\tau_r s + 1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\xi s}{\omega_n} + 1} \theta_t(s)$$

[0041] [数5]

$$\omega_n = \frac{2L}{V} \sqrt{\frac{K_f K_r}{mI}} \sqrt{1 + KV^2}$$

[0042] [数6]

$$\xi = \frac{m(L_f^2 K_f + L_r^2 K_r) + I(K_f + K_r)}{2L\sqrt{mIK_f K_r(1 + KV^2)}}$$

[0043] [数7]

$$K = -\frac{m}{2L^2} \frac{L_f K_f - L_r K_r}{K_f K_r}$$

G_0 はゲイン、 τ_r はヨーレート時定数、 ξ はヨーレートの減衰率（ダンピング項）、 ω_n はヨーレート固有振動数、 L はホイールベース、 K_f 及び K_r はそれぞれ前輪及び後輪のコナリングパワー、 m は車両質量、 I は車両のヨー慣性モーメント、 L_f 及び L_r はそれぞれ前車軸及び後車軸重心点間距離である。

[0044] この車両特性に対して、例えば減衰率に基づいて1次遅れ特性への単純化を行うとした場合、ヨーレートの変化率を検出し、フィードバックする必要がある。これをブロック図で表わすと、図6のようになる。図6において、 T_{STG} は操舵トルク、 g_{tot} はトータルギア比、 K_{STG} は定数、 $V_r(s)$ は車両特性、 $C_r(s)$ はフィードバック特性であり、 g_{tot}/K_{STG} をゲインとするゲイン部610、 $V_r(s)$ を有する特性部620、 $C_r(s)$ を有する特性部630及び加算部640から構成される。

[0045] しかし、電動パワーステアリング装置では直接ヨーレートを検出できず、検出できるのは実舵角であり、出力するのはアシストトルクである。よって、電動パワーステアリング機構を用いて図6と同等の制御を行うためには、図7に示される構成において、図6と等価となる特性 $C_f(s)$ を有する特性部650を設計する必要がある。図6に示される構成での伝達特性と図7に示される構成での伝達特性はそれぞれ下記数8及び数9となり、数8及び数9を等価とする特性 $C_f(s)$ は下記数10で与えられる。

[0046] [数8]

$$\frac{r(s)}{T_{STG}(s)} = \frac{g_{tot}}{K_{STG}} \frac{V_r(s)}{1 - V_r(s)C_r(s)}$$

[0047] [数9]

$$\frac{r(s)}{T_{STG}(s)} = \frac{g_{tot}}{K_{STG}} \frac{V_r(s)}{1 - \frac{g_{tot}}{K_{STG}} C_f(s)}$$

[0048] [数10]

$$C_f(s) = \frac{K_{STG}}{g_{tot}} V_r(s) C_r(s)$$

車両特性が1次遅れ特性で近似できるための必要条件は

$$\xi \approx 1$$

であるから、

$$\xi \approx 1$$

とする運転支援機能が必要となる。そのために、ヨーレートにダンピング（減衰）を与える。図6において、 $C_r(s)$ を下記数11として、数4に代入すると、実舵角 θ_t からヨーレート r までの伝達特性、即ち車両特性は下記数12となり、ダンピングが与えられる。

[0049] [数11]

$$C_r(s) = \frac{K_d s}{\tau_r s + 1} \frac{1}{\omega_n}$$

[0050] [数12]

$$r(s) = G_0 \frac{\tau_r s + 1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{(2\xi + G_0 K_d)}{\omega_n} s + 1} \theta_t(s)$$

K_d は調整ゲインである。数10及び数12より、等価となる特性 $C_f(s)$ は下記数13となる。

[0051] [数13]

$$C_f(s) = G_0 \frac{K_{STG}}{g_{tot}} \frac{K_d s}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{(2\xi + G_0 K_d)}{\omega_n} s + 1}$$

特性 $C_f(s)$ を用いることにより、ヨーレートにダンピングを与えることができるが、実際のヨーレート特性は、車両のヨーレート特性とステアリング特性が直列結合した連成特性で表れるので、ステアリング特性を考慮する必要がある。つまり、ヨーレートの減衰率は、ステアリング特性を形成する電動パワーステアリング機構の固有振動数に応じて変化するので、この変化を考慮して特性 $C_f(s)$ を調整する必要がある。具体的には、電動パワーステアリング機構の固有振動数 ω_{STG} が、ヨーレートの減衰率を最も高くする下記数 14 の値に近くなるように、特性 $C_f(s)$ を調整する。

[0052] [数14]

$$\omega_{STG} \approx \sqrt{\frac{1}{\tau_{SAT}} \frac{1}{\tau_r}}$$

τ_{SAT} はセルフアライニングトルク伝達特性の時定数である。なお、固有振動数 ω_{STG} は、インパルス操舵（ハンドルを一瞬だけ素早く切る操作）を行って、自由振動させた場合の振動周波数である。

[0053] 前述のようにヨーレートの減衰率として適切な値は略 0.8 である。また、運転者が操作制御対応できるヨーレートの振動（変化率）の上限は略 2 Hz であり、緊急操舵を想定した車両の応答性を考慮して、ヨーレートの固有振動数は略 2 Hz から略 4 Hz であることが望ましい。ここで、ヨーレートの固有振動数が略 0.4 Hz から略 2 Hz までの場合は、運転者が制御可能である。よって、これらのことを踏まえて、特性 $C_f(s)$ を調整する。具体的には、例えばステアリング特性の極が安定かつ略 2 Hz 以下となるように調整する。なお、ヨーレートの固有振動数が略 0.4 Hz 以下の場合はヨーレートの制御が可能であり、ヨーレートを操舵トルクで制御できるように、ヨーレートと操舵トルクが比例関係となるようにする。これは、前述のように図 3 で示される特性に見られるものであるから、条件 2 を満たすことにより実現可能である。

[0054] 車両特性補償制御部 60 は、図 7 の破線で囲まれた特性部 650 及び加算部 660 で構成される。特性部 650 は数 13 で表される特性 $C_f(s)$ を

有し、特性 $C_f(s)$ を用いて実舵角 θ_t を変換する。また、特性 $C_f(s)$ のパラメータは数 14 を満たすように調整されている。

[0055] 次に、SAT 伝達特性制御部 40 について説明する。

[0056] SAT 伝達特性制御部 40 が対象とする条件 2 の内容は、上述のように、「ヨーレートに対する操舵トルクの伝達特性の時定数が適切な範囲にある」である。この条件に関係するヨーレート及び操舵トルクについては、両者の関係が操舵入力周波数によって変化するが、図 3 で示したように、弱アンダーステア特性をもつ操舵感が良いと評価される車両では、操舵入力周波数が 0.3 Hz 及び 0.5 Hz でほぼ同じ特性となるので、運転者にとっては車両軌道が予測しやすいと考えられる。よって、このような特性をアンダーステア特性の車両で実現できれば良い。そのためには、「車両のヨーレート固有振動数を高く設定する」「ステアリング特性によりセルフアライニングトルク伝達特性の時定数 τ_{SAT} の影響を補償する」等が必要である。このうち、「 τ_{SAT} の影響を補償する」は電動パワーステアリング機構で実現可能であるから、SAT 伝達特性制御部 40 はこれに対応する。

[0057] 本実施形態では、SAT 伝達特性制御部 40 を外乱オブザーバとして構成する。SAT を外乱と見做し、フィードバック制御系を有する電動パワーステアリング機構では入力誤差モデルである外乱オブザーバで容易に外乱トルクを求めることができるからである。

[0058] 図 8 は SAT 伝達特性制御部を外乱オブザーバで構成した場合のブロック図である。図 8 において、 θ_d は操舵角、 $T_{r_{SAT}}$ は実際の SAT、 $K_{t_{or}}$ はトーションバー剛性、 $C(s)$ はトーションバーを含んだ制御系の特性、 $STG(s)$ はステアリング特性、 $F_1(s)$ はフィルタ特性であり、 $K_{t_{or}}$ をゲインとするゲイン部 410、 $C(s)$ を有する特性部 420、 $STG(s)$ を有する特性部 430、 $STG^{-1}(s)$ を有する特性部 440、 $F_1(s)$ を有するフィルタ 450、加算部 460、461 及び減算部 462、463 から構成される。推定された SAT T_{SAT} がフィルタ 450 に入力され、フィルタ 450 にて SAT T_{SAT} を補正することにより τ_{SAT} の影響を補償す

ることになる。よって、そのような機能を実現する $F_1(s)$ を設定する必要がある。

[0059] 図8において、外乱オブザーバの推定値と実際の外乱が等しいと仮定すると、図9に示されるように、 T_{SAT} に対して $1 + F_1(s)$ の特性を通したように T_{SAT} が働くことになる。この $1 + F_1(s)$ を通した T_{SAT} が所望の時定数を有する特性になれば、 τ_{SAT} の影響を補償することができる。

[0060] ステアリング角 θ_g に対する $SAT \rightarrow T_{SAT}$ の伝達特性は、ヨーレートの減衰率が1に近いならば、下記数15で表される。

[0061] [数15]

$$T_{SAT} = G_{SAT} \frac{\tau_{SAT}s + 1}{\tau_r s + 1} \theta_g$$

G_{SAT} は SAT ゲインである。そして、所望の時定数を τ_{SATR} とし、所望の SAT を T_{SATR} とすると、ステアリング角 θ_g に対する $SAT \rightarrow T_{SAT}$ の伝達特性は下記数16となる。

[0062] [数16]

$$T_{SATR} = G_{SAT} \frac{\tau_{SATR}s + 1}{\tau_r s + 1} \theta_g$$

T_{SAT} と T_{SATR} の間で下記数17のような関係が成立すれば、 T_{SAT} は所望の時定数を有し、 τ_{SAT} の影響を補償することができることになる。

[0063] [数17]

$$(1 + F_1(s))T_{SAT} = T_{SATR}$$

数15と数16を数17に代入し、 $\omega_{SAT} = 1 / \tau_{SAT}$ 、 $\omega_{SATR} = 1 / \tau_{SATR}$ において、 $F_1(s)$ を求めると、下記数18となる。

[0064] [数18]

$$F_1(s) = \frac{\omega_{SAT} - \omega_{SATR}}{\omega_{SATR}} \frac{s}{s + \omega_{SAT}}$$

この $F_1(s)$ を用いて $SAT \rightarrow T_{SAT}$ を補正する。

- [0065] SAT 伝達特性制御部 40 は、図 8 の破線で囲まれたフィルタ 450 と加算部 460 で構成される。フィルタ 450 は数 18 で表される特性 $F_1(s)$ を有し、特性 $F_1(s)$ を用いて $SAT \rightarrow T_{SAT}$ を変換する。
- [0066] 最後に、外乱感度制御部 50 について説明する。
- [0067] 外乱感度制御部 50 の目的は「外乱に対する車両軌道の予測誤差の感度を運転者が受容できる範囲に管理できる」ことであるが、上述のように外乱には必要な運転環境情報が含まれているので、全てを抑圧すれば良いというものではない。さらに、車両挙動に関わる情報伝達と外乱に対する感度低減はトレードオフの関係にあるので、そのバランスを取る必要がある。そこで、抑圧すべき外乱を特定し、その特性に応じて外乱を個別に抑圧する。
- [0068] 外乱感度制御部 50 が主に抑圧対象とする外乱は、小振幅トルク振動による外乱（小振幅外乱）、サスペンション前後方向共振点で励起される外乱（共振点外乱）及び道路カントによる外乱（カント外乱）である。
- [0069] 小振幅外乱は、目標軌道に対する追従性に影響を及ぼさず、運転環境情報としても大きな意味を持たないので、抑圧した方が運転者の負担を軽減できる。このような振幅（本実施形態では操舵トルクの振幅）に依存する外乱に対しては、構造減衰による抑圧が有効である。構造減衰とは力の振幅や変位の大きさに依存する摩擦のことで、内部減衰、ヒステリシス減衰と呼ばれることもあり、リサージュ波形上では振幅依存のヒステリシスとして観察される。
- [0070] 操舵トルク振幅依存の摩擦特性を電動パワーステアリング機構で実現するためには、SAT の関数で摩擦特性を与えることになる。そのために、まず、適用すべき構造減衰モデルについて説明する。
- [0071] 構造減衰は、例えばゴムのような粘弾性体がつもつ変位の関数で発生するエネルギー損失により起きる減衰であるから、減衰項（減衰率）を変位項でまとめると、変位と速度の位相ずれを表現するために虚数 j が含まれる。そして、電動パワーステアリング機構の固有振動数が十分に大きく、かつ安定化しているならば、構造減衰モデルは、 $s = j\omega$ を用いると、下記数 19 で表

される特性になる。

[0072] [数19]

$$\frac{\theta_d}{T_{SAT}} = \frac{1}{(J_h + J_{STG})\omega^2 + K_{SAT} + j\eta K_{SAT}}$$

J_h はハンドル慣性の振動パラメータ、 J_{STG} はモータ慣性の振動パラメータ、 K_{SAT} は定数、 η は構造減衰係数である。上記数19では、構造減衰項を変位項に含めて表している。

[0073] $j\eta K_{SAT}$ はステアリング角 θ_g に比例した大きさではあるが、位相が90度ずれたタイミングで負荷が働くことを表している。よって、構造減衰の効果を実装するには、ステアリング角速度（ θ_g の微分値）の関数である減衰について θ_g に比例した振幅で負荷を与えれば良い。

[0074] 以上より、構造減衰モデルを有する構成のブロック図は、図10のようになる。図10において、 $F_2(s)$ はフィルタ特性であり、 $K_{t.or}$ をゲインとするゲイン部410、 $C(s)$ を有する特性部420、 $STG(s)$ を有する特性部430、 $STG^{-1}(s)$ を有する特性部440、構造減衰モデル510、 $F_2(s)$ を有するフィルタ511、微分部512、加算部461及び減算部462、463、513から構成される。図10の破線で囲まれた構造減衰モデル510、フィルタ511、微分部512及び減算部513が、外乱感度制御部50において小振幅外乱用の制御器（以下、「小振幅外乱制御器」とする）を構成する。

[0075] 具体的な小振幅外乱制御器としては、例えば特許第46964572号公報に示されているものを使用することができる。本公報記載の電動パワーステアリング装置では、SATをハンドル切増し又は切戻しの判定結果に従って正負ゲインでゲイン倍し、その信号を電流指令値から減算することによって、路面反力によるハンドル戻りに対してブレーキをかけ、ハンドルが戻り過ぎることがないようにしている。ハンドル切増し及び切戻しの判定は切増し切戻し判定部にて操舵トルク及び角速度を用いて行っており、ゲイン倍はゲイン部にてSATを入力して行っている。よって、図10における構造減

衰モデル510に切増し切戻し判定部及びゲイン部の機能を持たせ、微分部512にてステアリング角 θ_g を微分して算出されたステアリング角速度 ω_g の他に操舵トルク T_s も入力するようにすることにより、本公報記載の方法を用いて小振幅外乱を抑圧することができる。この場合、フィルタ511は不要となるが、本公報に記載されている関数変換部の機能を持たせて、強すぎる路面反力によってハンドルが急回転する問題の解決を図っても良い。

[0076] なお、小振幅外乱制御器として、特許第46964572号公報記載のものの以外の構造減衰モデルを使用しても良い。

[0077] 共振点外乱が励起されるサスペンションの前後方向の共振点は、タイヤ剛性やサスペンションのブッシュ剛性とステアリング系動特性の連成により表れる共振点である。従来、このようなサスペンションの前後方向共振点で増大するタイヤシミーやブレーキジャダ振動に対しては、サスペンションのブッシュにダンピング特性を持ったブッシュを採用したり、サスペンションを支えるサブフレームをゴムでマウントしたりして対応されてきた。しかし、これらの方法はステアリング系に余分なコンプライアンスを与えるため、予測向上条件の条件1及び条件2が悪化するというトレードオフの問題が発生する。そこで、本実施形態では、外乱オブザーバを用いて共振点外乱を抑圧する。タイヤシミーやブレーキジャダ振動はステアリング機構を通じてハンドルに伝わるので、逆位相の振動をモータに発生させ、相殺するような外乱オブザーバを用いる。

[0078] 図11は共振点外乱用の制御器（以下、「共振点外乱制御器」とする）を外乱オブザーバで構成した場合のブロック図である。図11において、 $F_3(s)$ はフィルタ特性であり、 $K_{t,r}$ をゲインとするゲイン部410、 $C(s)$ を有する特性部420、 $STG(s)$ を有する特性部430、 $STG^{-1}(s)$ を有する特性部440、 $F_3(s)$ を有するフィルタ520、加算部461及び減算部462、463、521から構成される。

[0079] 図8の場合と同様に、図11において外乱オブザーバの推定値と実際の外乱が等しいと仮定すると、図12に示されるように、外乱は $1 - F_3(s)$ の

特性を有するフィルタ 5 2 2 を通して伝わる。よって、フィルタ 5 2 2 の特性は、サスペンション前後方向共振を相殺するモデルを分子とし、相殺後の特性を分母とすることにより、下記数 2 0 となる。

[0080] [数20]

$$1 - F_3(s) = \frac{s^2 + 2\xi_2 \omega_{SUS} s + \omega_{SUS}^2}{s^2 + 2\xi_1 \omega_{SUS} s + \omega_{SUS}^2}$$

ξ_1 及び ξ_2 は減衰率で、 $\xi_1 \gg \xi_2$ を満たすように設定される。 ω_{SUS} はサスペンション前後方向共振周波数で、下記数 2 1 で算出される。

[0081] [数21]

$$\omega_{SUS} = \frac{V}{2\pi R}$$

R は車輪半径である。

[0082] 数 2 0 より、フィルタ 5 2 0 の特性 $F_3(s)$ は下記数 2 2 となる。

[0083] [数22]

$$F_3(s) = 1 - \frac{s^2 + 2\xi_2 \omega_{SUS} s + \omega_{SUS}^2}{s^2 + 2\xi_1 \omega_{SUS} s + \omega_{SUS}^2}$$

数 2 2 で表される特性 $F_3(s)$ はバンドパスフィルタ特性であり、共振ピークを打ち消すように作用することがわかる。

[0084] 図 1 1 の破線で囲まれたフィルタ 5 2 0 及び減算部 5 2 1 が、外乱感度制御部 5 0 において共振点外乱制御器を構成する。フィルタ 5 2 0 は特性 $F_3(s)$ を用いて $SAT \rightarrow T_{SAT}$ を変換する。

[0085] カント外乱は定常的な外乱であり、定常的な外乱とは、車両が直進状態での SAT がオフセットしていることを意味する。よって、カント外乱用の制御器（以下、「カント外乱制御器」とする）は車両の直進状態検出と SAT のオフセット補正を基本構成とする。

[0086] 図 1 3 はカント外乱制御器を備えた構成のブロック図で、 $K_{t.o.r}$ をゲインとするゲイン部 4 1 0、 $C(s)$ を有する特性部 4 2 0、 $STG(s)$ を有する特性部 4 3 0、 $STG^{-1}(s)$ を有する特性部 4 4 0、中立点学習を行う

中立点学習部530、車速に応じてオフセット補正値を補正する可変ゲイン部531、補正を徐々に行うように調整する徐変部532、SATを変換するフィルタ部533、スイッチ534、加算部461及び減算部462、463、535から構成される。

[0087] カント外乱制御器は、道路カントによる横流れの影響を補償するので、直進状態でのSATを基にオフセット補正値を算出する。オフセット補正値の算出は、まず基本となるオフセット補正値（以下、「基本オフセット補正値」とする）が算出され、算出後、基本オフセット補正値を用いて最終的に使用するオフセット補正値（以下、「最終オフセット補正値」とする）が算出される。そして、基本オフセット補正値は、任意に設定された期間（以下、「中立点学習期間」とする）、例えば直進状態を検出した時点からの所定の期間における直進状態でのSATを用いて算出される。基本オフセット補正値の算出に使用されるSATは、フィルタ部533にて変換されたSAT（以下、「変換SAT」とする）である。フィルタ部533は、 $SAT - T_{SAT}$ に重畳しているカント外乱以外の外乱、例えば小振幅外乱や共振点外乱を抑圧する。よって、小振幅外乱制御器や共振点外乱制御器の機能を流用しても良い。基本オフセット補正値の算出（中立点学習）は中立点学習部530で行われる。中立点学習部530は、中立点学習期間になったら、指令等を送ってスイッチ534が接点534aに接続するようにする。そして、ハンドルが中立点近辺に位置していることで直進状態を検出し、直進状態と判定した時のフィルタ部533から出力される変換SATを用いて基本オフセット補正値を算出する。直進状態検出は公知の技術を使用し、基本オフセット補正値としては、例えば変換SATの平均値を使用する。中立点学習期間が終了したら、中立点学習部530は、指令等を送ってスイッチ534が接点534bに接続するようにする。算出された基本オフセット補正値は中立点学習部530に保持される。基本オフセット補正値としては、平均値以外、例えば最頻値等を使用したり、他の統計的手法を用いても良い。

[0088] 基本オフセット補正値は、車速が変化しても活用できるように車速補正関

数を用いて変換され、補正過程での違和感の発生を防ぐために、補正は徐々に行われる。SATのオフセット量はアンダーステア特性をもつ車両では車速の関数となるので、これをSATの定常ゲイン G_{SAT} として、二輪モデルを用いて表わすと、下記数23のようになる。

[0089] [数23]

$$G_{SAT} = \frac{mL_f G_\alpha}{L}$$

[0090] [数24]

$$G_\alpha = \frac{1}{1 + KV^2} \frac{V^2}{L}$$

[0091] [数25]

$$K = \frac{m}{2L^2} \frac{L_f K_f - L_r K_r}{K_f K_r}$$

この定常ゲイン G_{SAT} を車速補正関数に使用する。

[0092] 中立点学習期間終了後、スイッチ534が接点534bに接続すると、徐変部532は中立点学習部530に保持されている基本オフセット補正値を入力し、補正を徐々に行うために、例えば、最初は基本オフセット補正値の $1/N$ 倍（ N は任意の自然数）のデータを、それ以降は $2/N$ 倍、 $3/N$ 倍と一定の割合で大きくなるデータを出力する（以下、徐変部532での処理を「徐変処理」とする）。もちろん、これ以外の方法で、例えば二次関数的に補正を徐々に行う等を使用しても良い。可変ゲイン部531は、徐変部532から出力されるデータを入力し、入力した車速 V を用いて算出された定常ゲイン G_{SAT} を乗算し、最終オフセット補正値として出力する。定常ゲイン G_{SAT} を乗算した結果が所定の最大値（例えば 3 Nm ）を超えた場合、その最大値を最終オフセット補正値とする。

[0093] 図13の破線で囲まれた中立点学習部530、可変ゲイン部531、徐変部532、フィルタ部533、スイッチ534及び減算部535が、外乱感度制御部50においてカント外乱制御器を構成する。

[0094] なお、外乱感度制御部50は小振幅外乱、共振点外乱及びカント外乱以外の外乱を抑圧しても良い。例えば、横風の影響を外乱として抑圧しても良い。横風により車体に働く力に対する車両の軌道変化、特に横変位を抑圧する。横変位を抑圧する上では、弱アンダーステア特性が望ましい。弱アンダーステア特性では、ヨーレートがわずかに振動的になることで、一旦発生した横変位が戻されるからである。逆に、アンダーステア特性が強く表れ、ヨーレートが振動的だと運転者が適切な安全行動を取れない危険が発生する。このため、ヨーレートの減衰率は0.8程度が良いと言われている。この減衰率となるような制御器を用いて横風の影響による外乱を抑圧する。

[0095] 以上の説明から、図4に示されている本発明の実施形態の構成例は図14のようになる。

[0096] 図14に示される構成における動作例を図15のフローチャートを参照して説明する。なお、外乱感度制御部50のカント外乱制御器での中立点学習期間は、直進状態を検出した時点からの所定の期間（例えば、5秒間）とし、以下の動作説明では、中立点学習部530は、中立点学習期間内にフィルタ部533から入力した変換SATの中で直進状態と判定した時点の変換SATを用いて算出した平均値を基本オフセット補正值として保持しており、スイッチ534は接点534bに接続しているものとする。

[0097] 動作が開始すると、操舵トルク T_s 、モータ角速度 ω_m 、モータ角加速度 α_m 、アシストトルク T_m 、ステアリング角 θ_g 、実舵角 θ_t 及び車速 V が入力される（ステップS1）。このうち、操舵トルク T_s は加算部460及びSAT推定部70に、モータ角速度 ω_m 、モータ角加速度 α_m 及びアシストトルク T_m はSAT推定部70に、ステアリング角 θ_g は外乱感度制御部50の微分部512に、実舵角 θ_t は車両特性補償制御部60の特性部650に、車速 V は外乱感度制御部50の可変ゲイン部531及び電流指令値演算部31にそれぞれ入力される。なお、モータ角加速度 α_m はモータ角速度 ω_m を微分することにより算出される。また、実舵角 θ_t は、ステアリング角 θ_g より $\theta_t = g_{t, t} \cdot \theta_g$ として算出することも可能である。

- [0098] SAT推定部70は、操舵トルク T_s 、モータ角速度 ω_m 、モータ角加速度 α_m 及びアシストトルク T_m を用いて数3よりSAT T_{SAT} を算出し（ステップS2）、算出されたSAT T_{SAT} は、SAT伝達特性制御部40のフィルタ450並びに外乱感度制御部50のフィルタ511、フィルタ520及びフィルタ部533に入力される。
- [0099] SAT伝達特性制御部40では、フィルタ450が数18で表わされる特性 $F_1(s)$ によりSAT T_{SAT} を補正し（ステップS3）、補償信号 C_{s1} を加算部460に出力する。加算部460は操舵トルク T_s に補償信号 C_{s1} を加算し、補償操舵トルク T_{s1} を出力する（ステップS4）。
- [0100] 外乱感度制御部50では、小振幅外乱制御器の構造減衰モデル510、フィルタ511及び微分部512により、SAT T_{SAT} 及びステアリング角 θ_g を用いて（さらに操舵トルク T_s を用いることもある）、小振幅外乱を抑圧するための補償信号 C_{s2} が求められる（ステップS5）。補償信号 C_{s2} は減算部513に入力され、補償操舵トルク T_{s1} から補償信号 C_{s2} が減算され、補償操舵トルク T_{s2a} が出力される（ステップS6）。
- [0101] SAT T_{SAT} を入力した外乱感度制御部50のフィルタ520は、数22で表わされる特性 $F_3(s)$ により共振点外乱を抑圧すべくSAT T_{SAT} を補正し（ステップS7）、補償信号 C_{s3} を減算部521に出力する。減算部521は補償操舵トルク T_{s2a} から補償信号 C_{s3} を減算し、補償操舵トルク T_{s2b} を出力する（ステップS8）。
- [0102] 外乱感度制御部50の徐変部532及び可変ゲイン部531は、中立点学習部530に保持された基本オフセット補正值を用いて、徐変処理、定常ゲイン G_{SAT} の乗算及び最大値制限により、カント外乱を抑圧するための最終オフセット補正值 O_c を算出する（ステップS9）。最終オフセット補正值 O_c は減算部535に入力され、補償操舵トルク T_{s2b} から最終オフセット補正值 O_c が減算され、補償操舵トルク T_{s2} が出力される（ステップS10）。
- [0103] 実舵角 θ_t を入力した車両特性補償制御部60の特性部650は、数13

で表わされる特性 $C_f(s)$ により実舵角 θ_t を用いて補償信号 Cs_4 を求める（ステップS11）。補償信号 Cs_4 は加算部660に入力され、補償操舵トルク Ts_2 に補償信号 Cs_4 が加算され、補償操舵トルク Ts_3 が出力される（ステップS12）。

[0104] 補償操舵トルク Ts_3 は電流指令値演算部31に入力される。

[0105] なお、ステアリング角 θ_g とモータ角 θ_m には $\theta_g \propto \theta_m$ の関係があるので、ステアリング角 θ_g を入力する代わりに、モータ角 θ_m を入力し、微分部512が $\theta_g = G \cdot \theta_m$ （ G は定数）としてモータ角 θ_m からステアリング角 θ_g を算出した後に微分するようにしても良い。この場合、モータ角速度 ω_m はモータ角 θ_m を微分することにより算出される。

[0106] 上述の実施形態では、車両特性補償制御部はヨーレートにダンピング（減衰）を与えることを基にして、車両特性を1次遅れ特性に近似させているが、他の方法により1次遅れ特性に近似させても良い。

[0107] また、SAT伝達特性制御部は外乱オブザーバで構成されているが、それ以外の2自由度構造で構成しても良い。

符号の説明

[0108] 1	ハンドル
2	コラム軸（ステアリングシャフト、ハンドル軸）
20	モータ
30	コントロールユニット（ECU）
31	電流指令値演算部
40	SAT伝達特性制御部
50	外乱感度制御部
60	車両特性補償制御部
70	SAT推定部

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも操舵トルクに基づいて電流指令値を演算し、前記電流指令値に基づいてモータを駆動して操舵系をアシスト制御する電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置において、
- セルフアライニングトルクを推定するSAT推定部と、
- セルフアライニングトルク伝達特性の時定数を所望の値にするために前記セルフアライニングトルクを補正し、補正された前記セルフアライニングトルクにより前記操舵トルクを補償し、補償操舵トルク1として出力するSAT伝達特性制御部と、
- 前記セルフアライニングトルクに含まれる外乱を抑圧し、前記外乱を抑圧された前記セルフアライニングトルクにより前記補償操舵トルク1を補償し、補償操舵トルク2として出力する外乱感度制御部と、
- 実舵角からヨーレートまでの車両特性が1次遅れ特性となるように、検出された実舵角により前記補償操舵トルク2を補償する車両特性補償制御部とを備えることを特徴とする電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。
- [請求項2] 前記車両特性補償制御部は、
- 前記車両特性にダンピングを与える特性 $C_f(s)$ を用いて前記補償操舵トルク2を補償し、
- ヨーレートの減衰率が電動パワーステアリング機構の固有振動数に応じて変化する中で最も高い減衰率に近くなるように前記特性 $C_f(s)$ が調整されている請求項1に記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。
- [請求項3] 前記特性 $C_f(s)$ は、前記ヨーレートの減衰率が略0.8で、ヨーレートの固有振動数が略2Hzから略4Hzとなるように調整されている請求項2に記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。
- [請求項4] 前記SAT伝達特性制御部は外乱オブザーバとして構成される請求

項 1 乃至 3 のいずれかに記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。

[請求項5] 前記 S A T 伝達特性制御部は、所望の前記時定数で定義される伝達特性を用いて前記操舵トルクを補償する請求項 4 に記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。

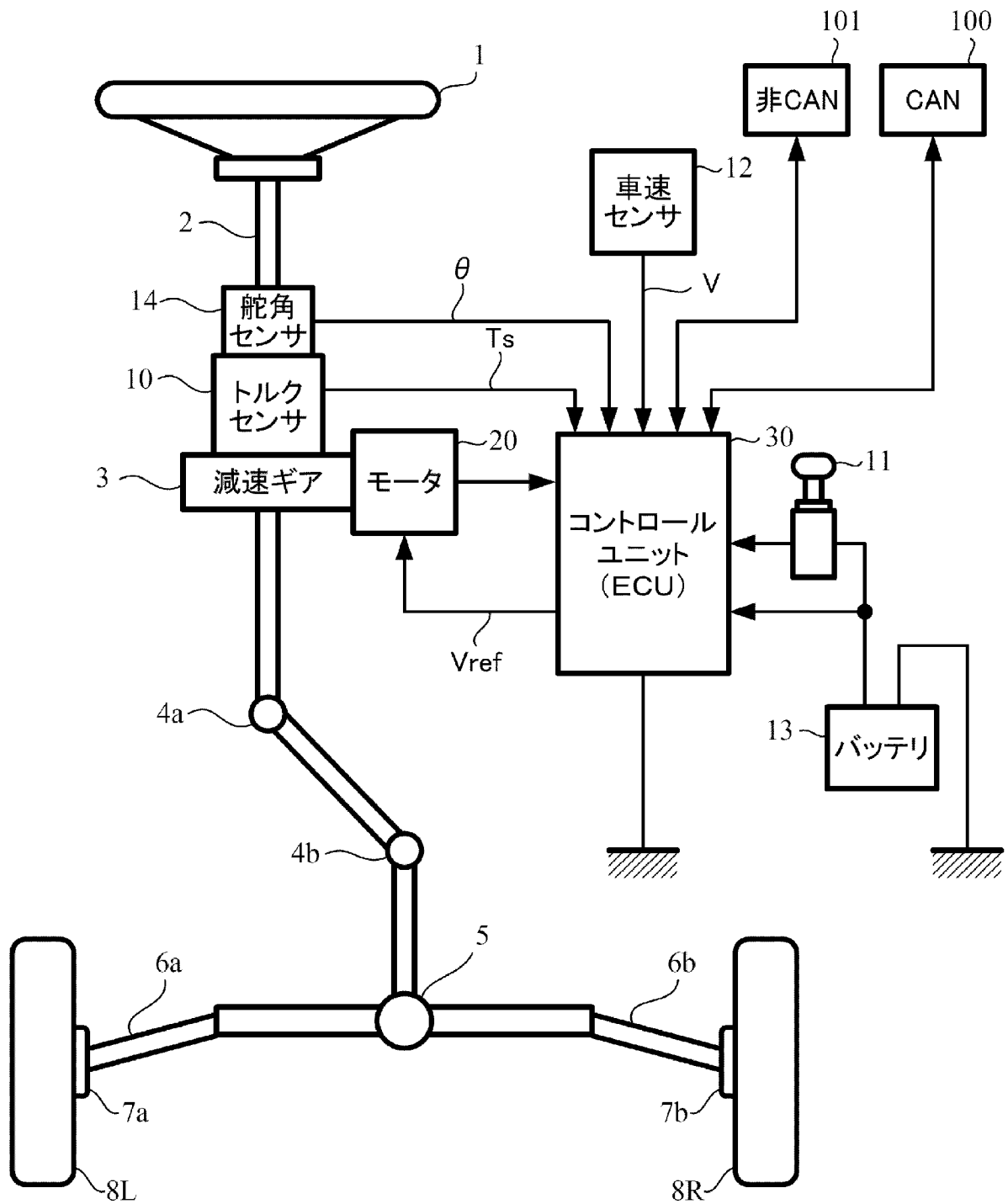
[請求項6] 前記外乱感度制御部は抑圧する外乱毎に制御器を具備する請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。

[請求項7] 前記外乱感度制御部が抑圧する外乱の 1 つが小振幅トルク振動による小振幅外乱であり、前記小振幅外乱に対する前記制御器は構造減衰モデルで構成される請求項 6 に記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。

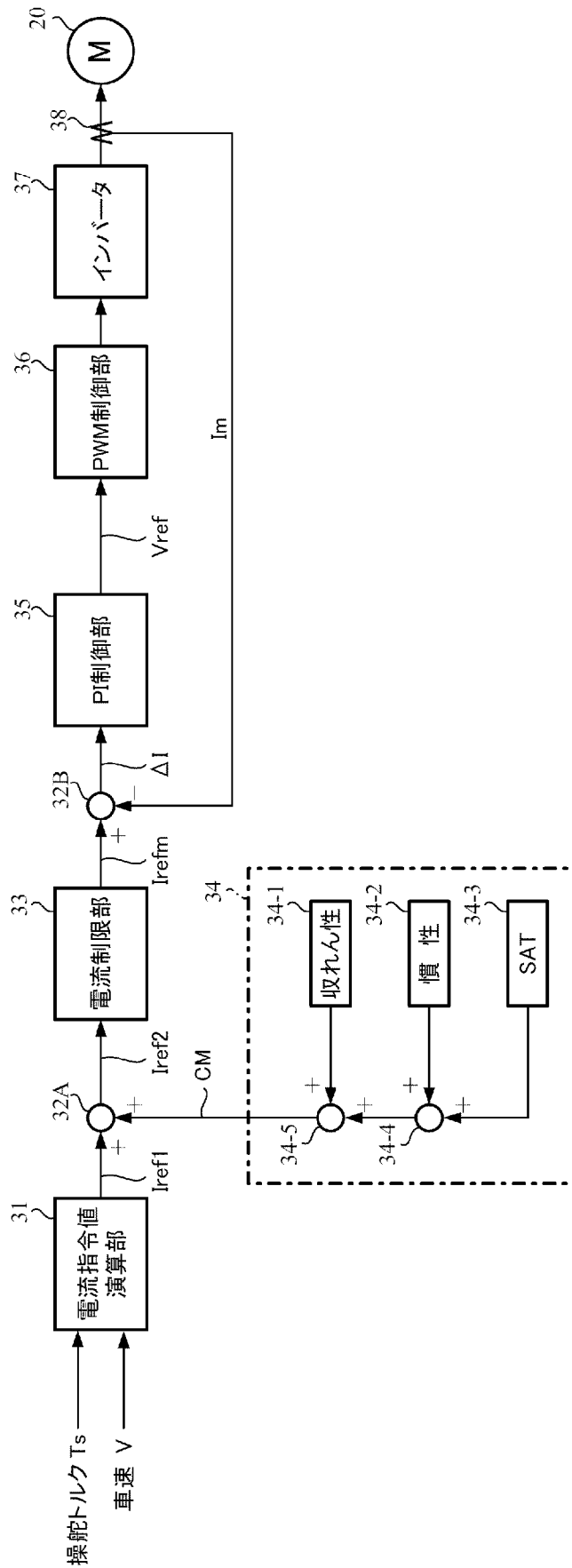
[請求項8] 前記外乱感度制御部が抑圧する外乱の 1 つがサスペンション前後方向共振点で励起される共振点外乱であり、前記共振点外乱に対する前記制御器は外乱オブザーバとして構成される請求項 6 に記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。

[請求項9] 前記外乱感度制御部が抑圧する外乱の 1 つが道路カントによるカント外乱であり、前記カント外乱に対する前記制御器は車両の直進状態検出及び前記セルフアライニングトルクのオフセット補正を行う請求項 6 に記載の電動パワーステアリング機構を用いた運転支援制御装置。

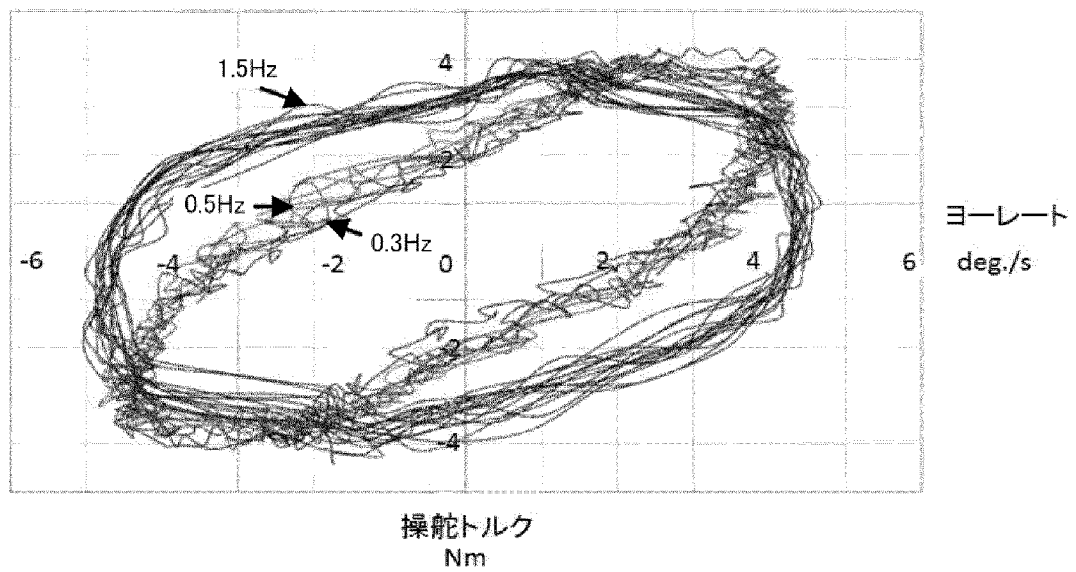
[図1]



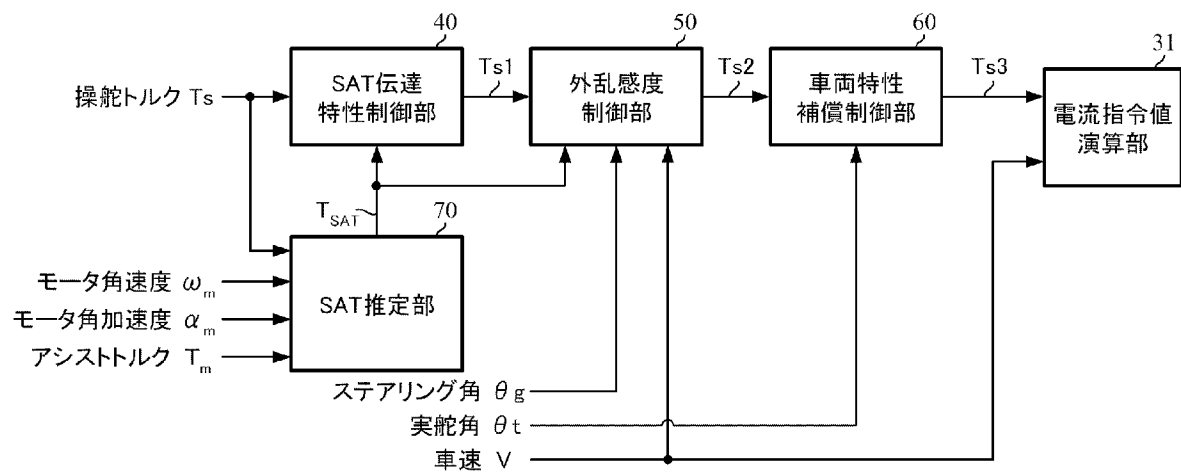
[図2]



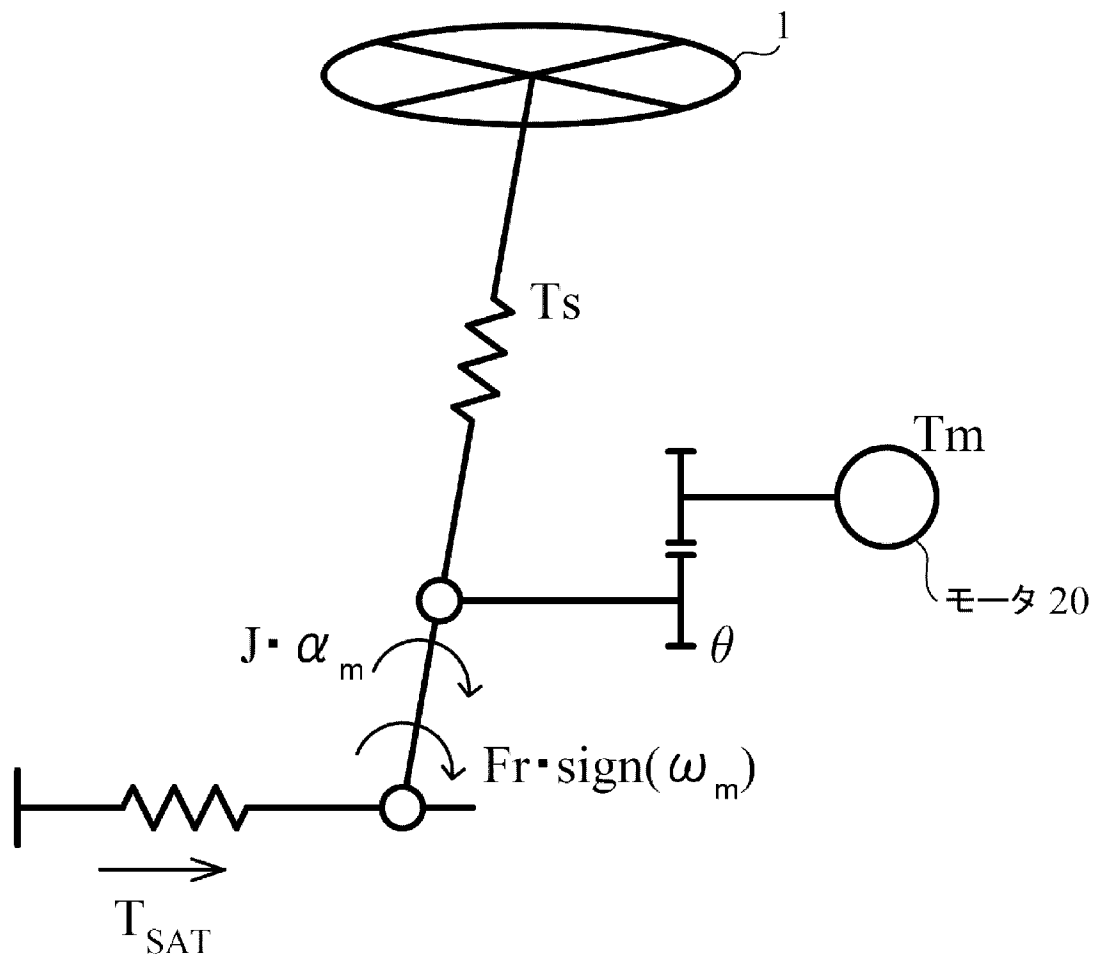
[図3]



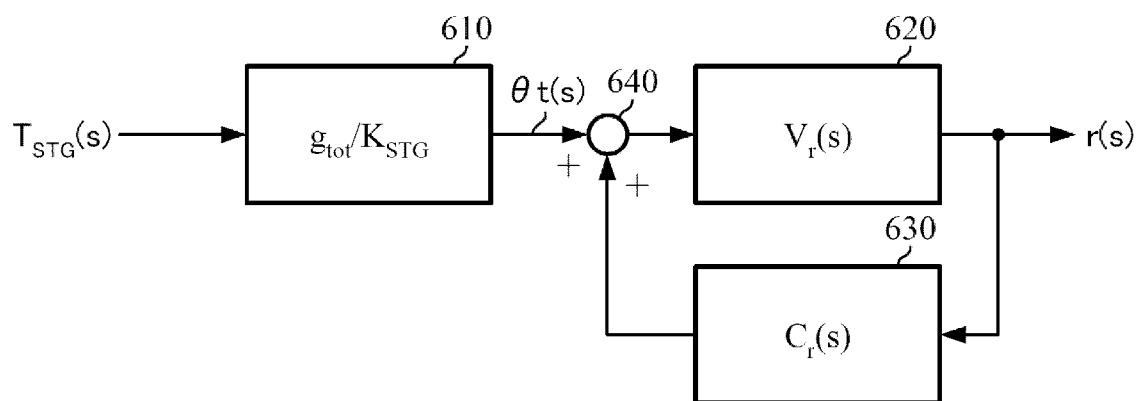
[図4]



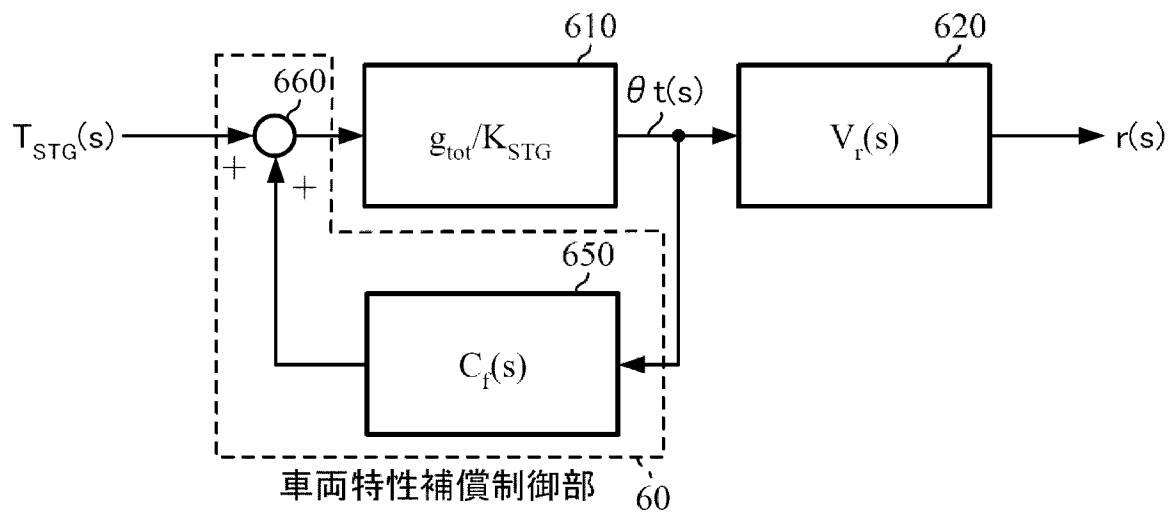
[図5]



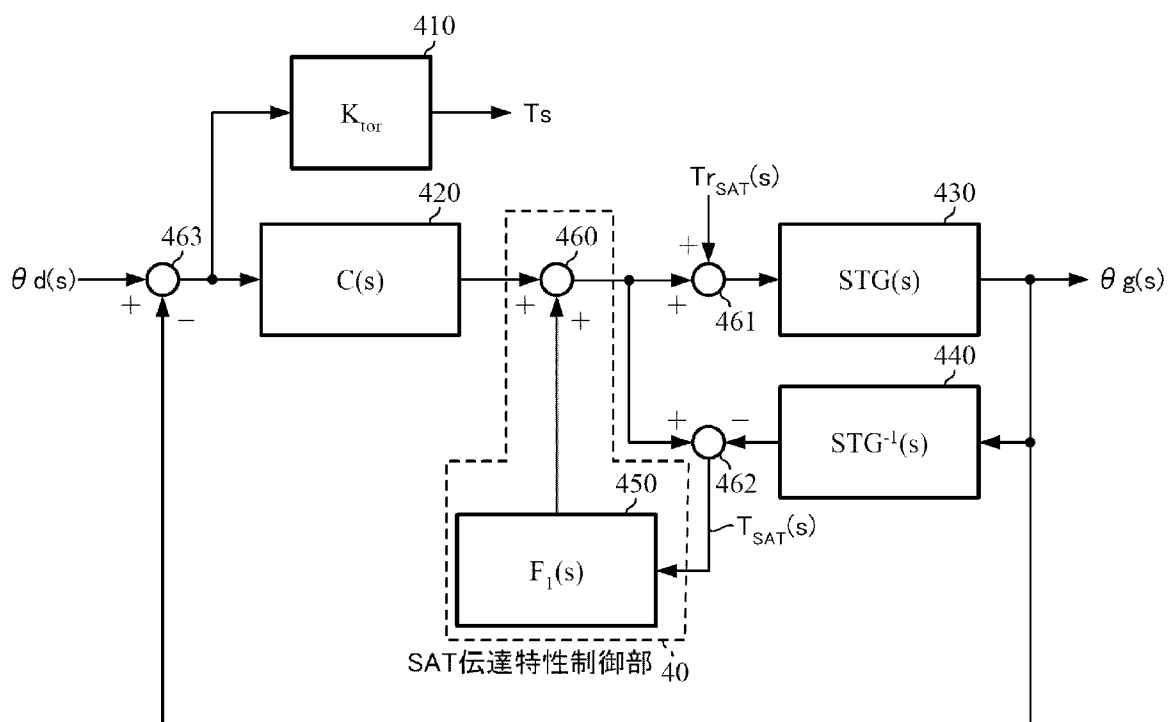
[図6]



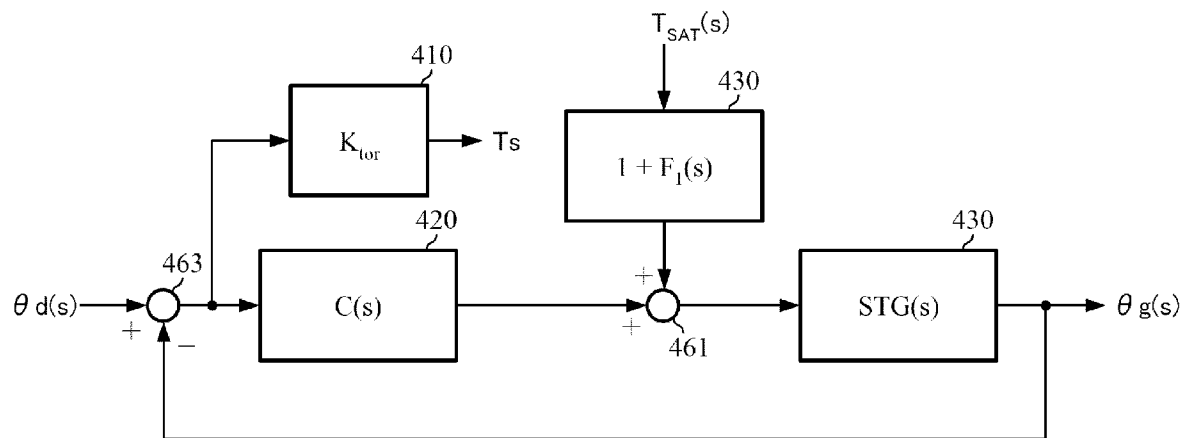
[図7]



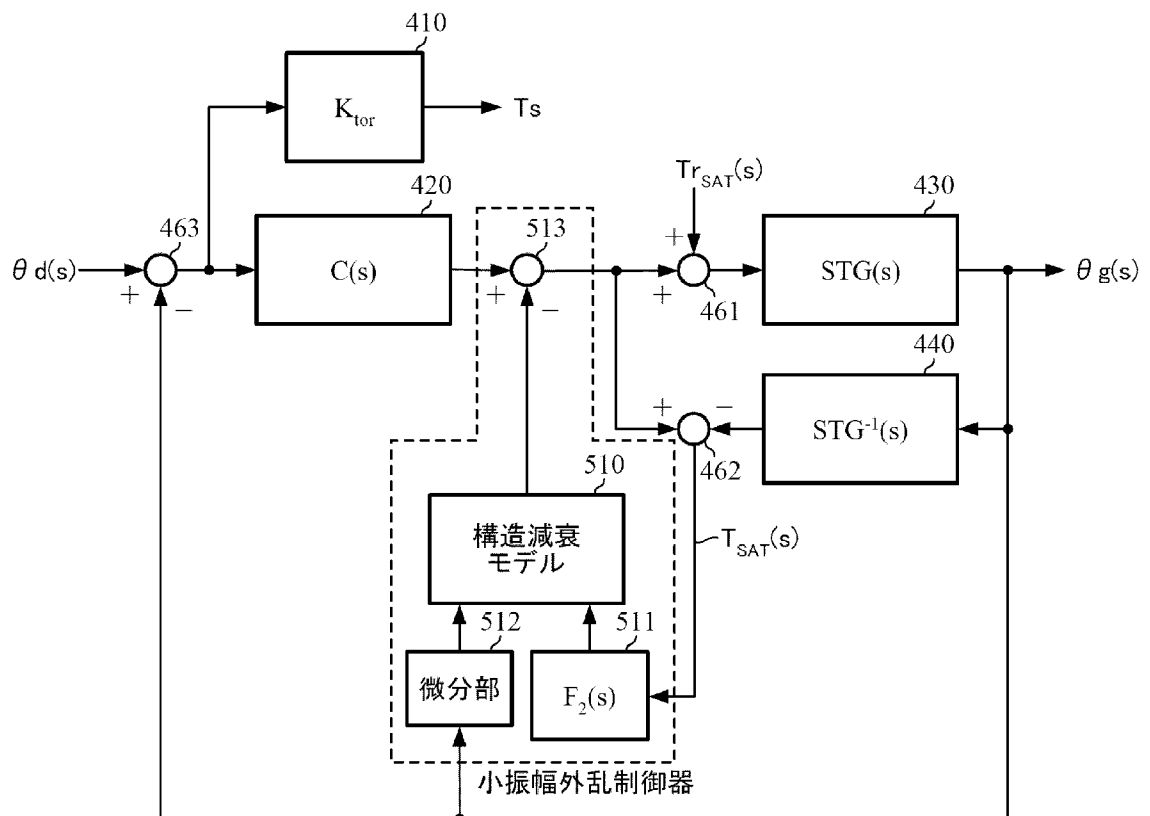
[図8]



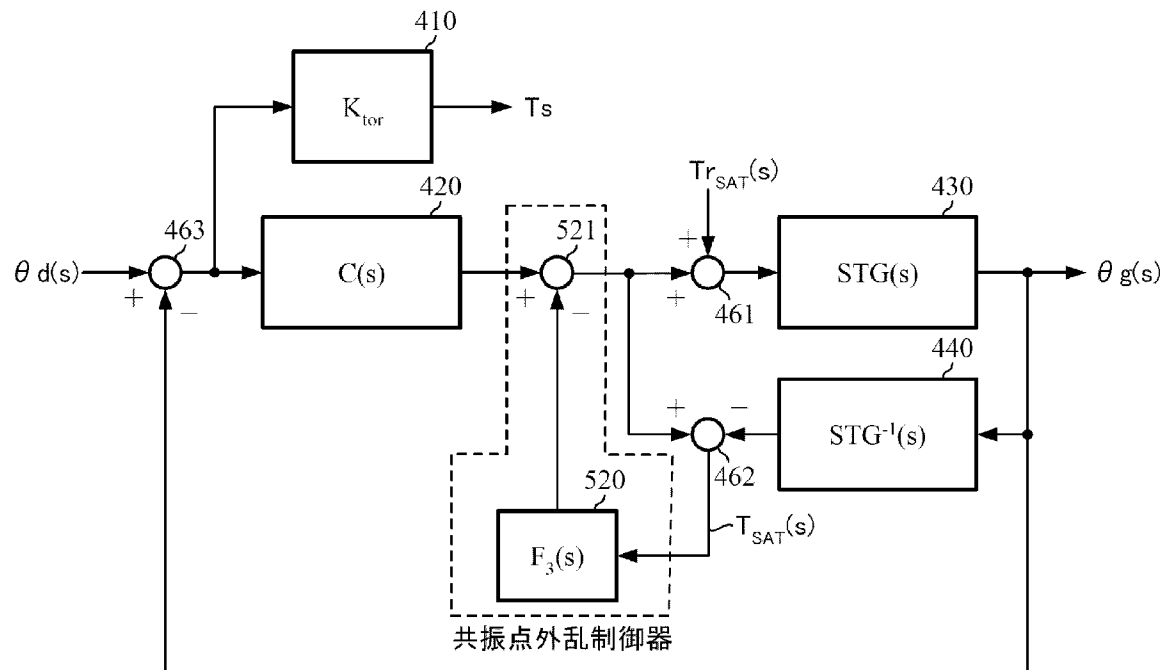
[図9]



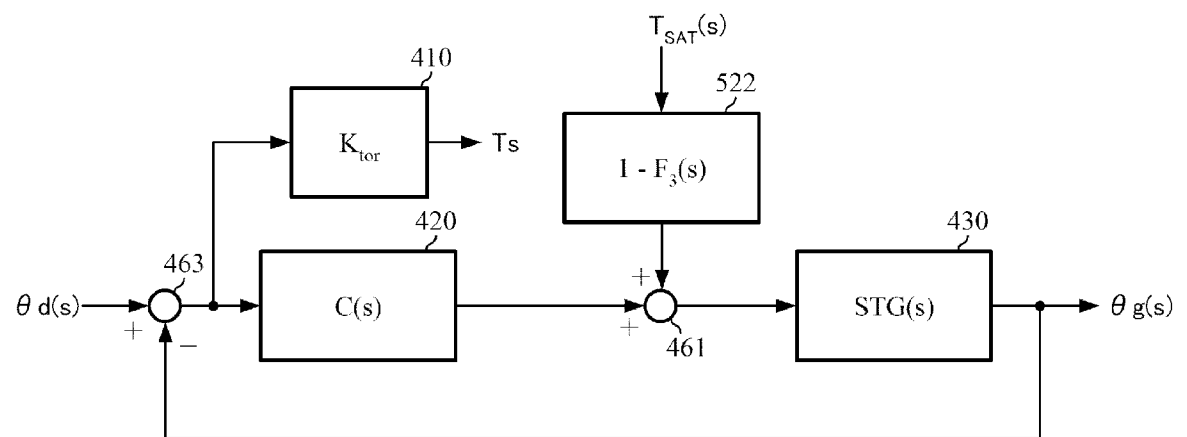
[図10]



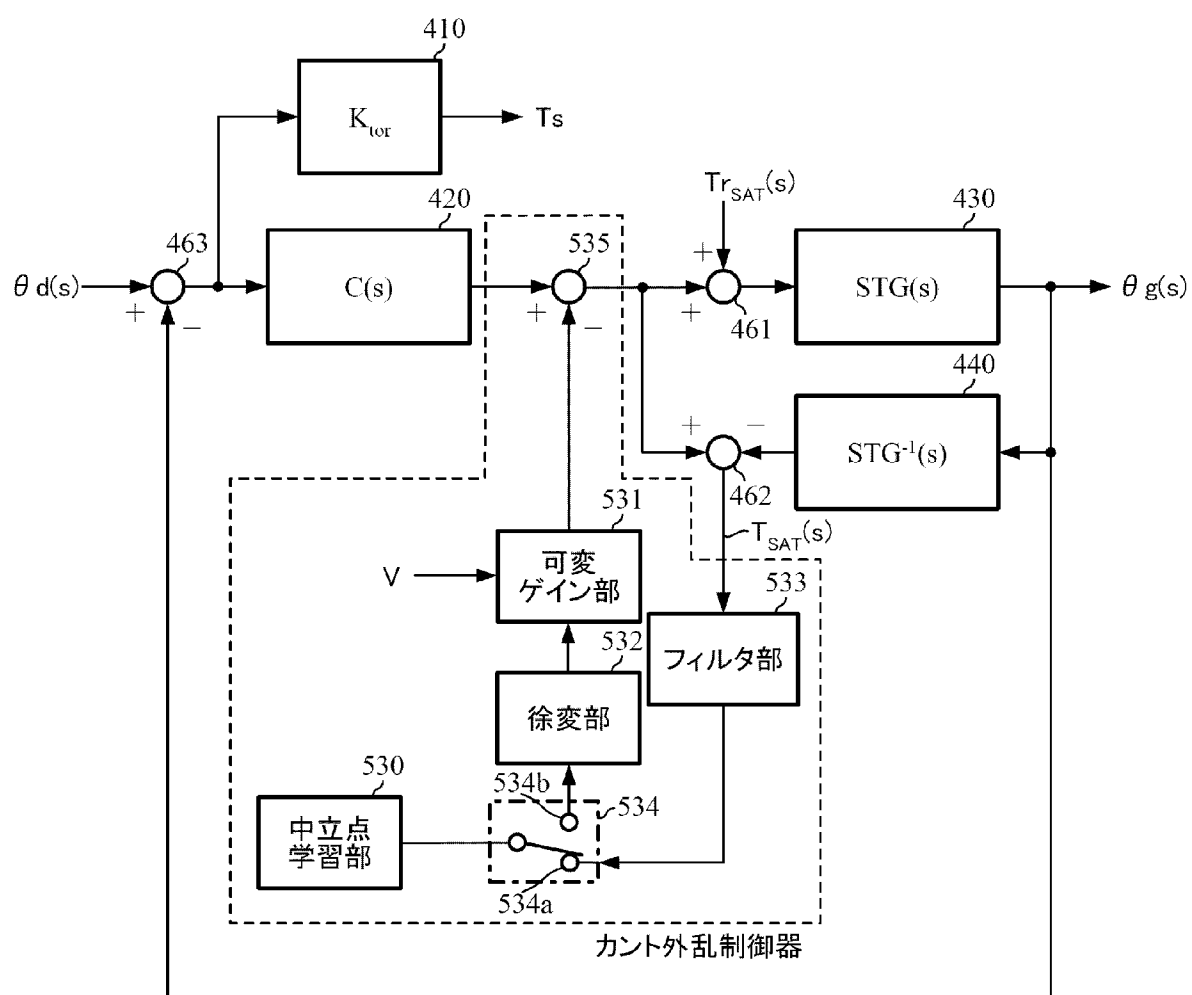
[図11]



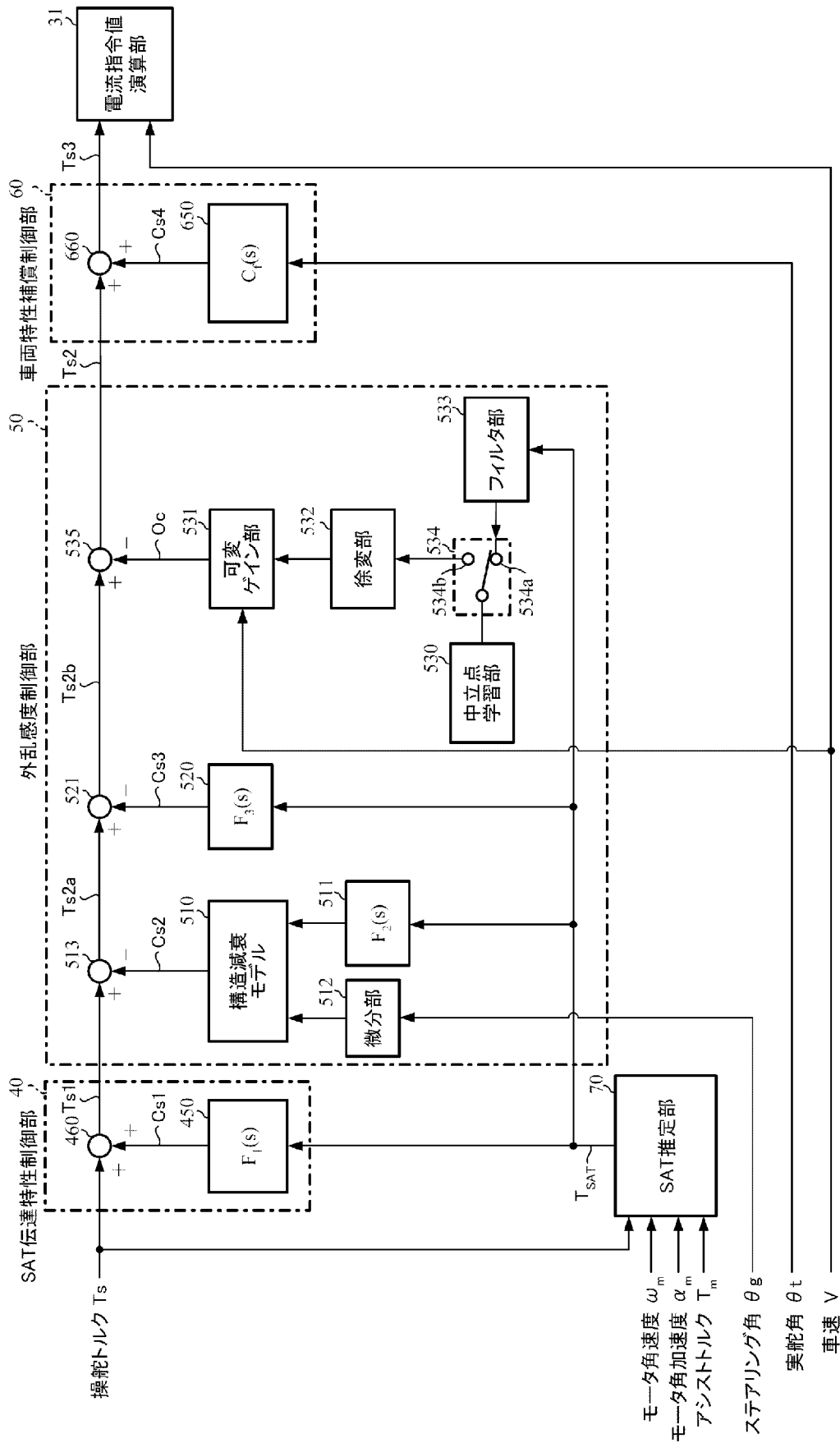
[図12]



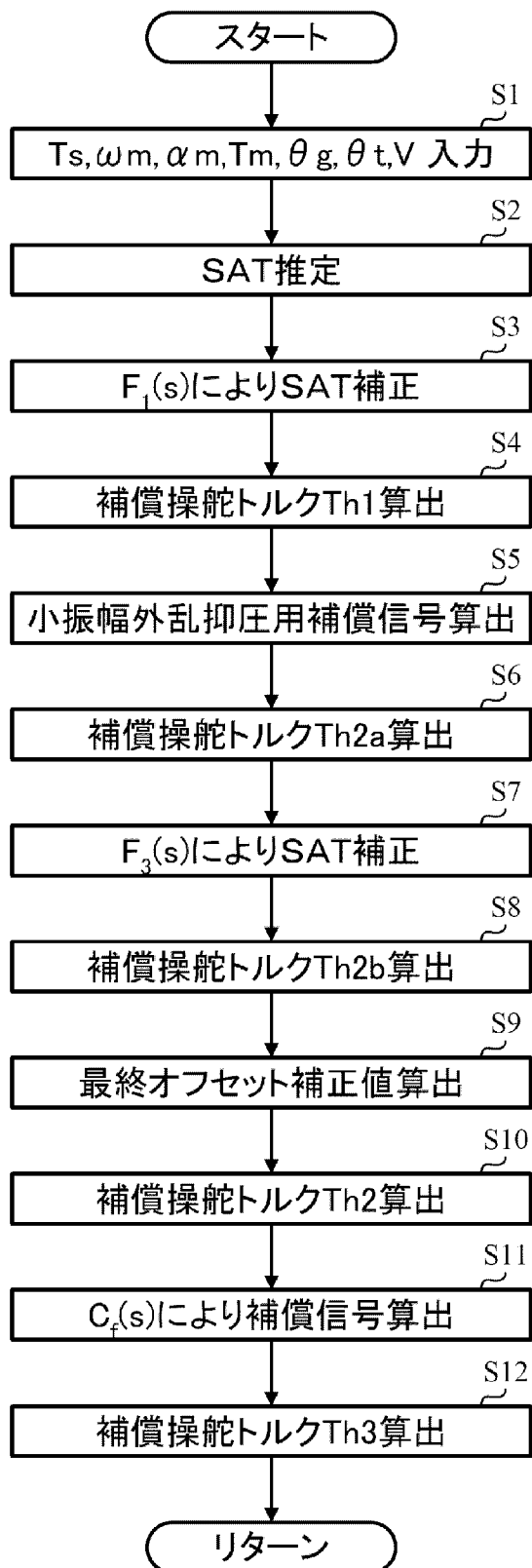
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068637

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B62D6/00(2006.01)i, B62D101/00(2006.01)n, B62D113/00(2006.01)n,
B62D119/00(2006.01)n, B62D137/00(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B62D6/00, B62D101/00, B62D113/00, B62D119/00, B62D137/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-18825 A (NSK Ltd.), 31 January 2008 (31.01.2008), entire text; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-9
A	JP 2007-302017 A (NSK Ltd.), 22 November 2007 (22.11.2007), entire text; fig. 1 to 11 & US 2010/0168963 A1 entire text & WO 2007/129573 A1 & EP 2039589 A1 & CN 101443226 A	1-9
A	JP 8-67267 A (Toyota Motor Corp.), 12 March 1996 (12.03.1996), paragraphs [0008] to [0030]; fig. 1 to 29 (Family: none)	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 August 2016 (05.08.16)

Date of mailing of the international search report
23 August 2016 (23.08.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B62D6/00(2006.01)i, B62D101/00(2006.01)n, B62D113/00(2006.01)n, B62D119/00(2006.01)n, B62D137/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B62D6/00, B62D101/00, B62D113/00, B62D119/00, B62D137/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-18825 A (日本精工株式会社) 2008.01.31, 全文, 図 1-2 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2007-302017 A (日本精工株式会社) 2007.11.22, 全文, 図 1-11 & US 2010/0168963 A1, 全文 & WO 2007/129573 A1 & EP 2039589 A1 & CN 101443226 A	1-9
A	JP 8-67267 A (トヨタ自動車株式会社) 1996.03.12, 段落 0008-0030, 図 1-29 (ファミリーなし)	1-9

❑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

❑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

05.08.2016

国際調査報告の発送日

23.08.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

鈴木 敏史

3Q

9431

電話番号 03-3581-1101 内線 3381