

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6900877号  
(P6900877)

(45) 発行日 令和3年7月7日(2021.7.7)

(24) 登録日 令和3年6月21日(2021.6.21)

(51) Int.Cl.	F I
<b>B 6 2 D 6/00</b> (2006.01)	B 6 2 D 6/00 Z Y W
<b>B 6 2 D 5/04</b> (2006.01)	B 6 2 D 5/04
B 6 2 D 101/00 (2006.01)	B 6 2 D 101:00
B 6 2 D 111/00 (2006.01)	B 6 2 D 111:00
B 6 2 D 113/00 (2006.01)	B 6 2 D 113:00

請求項の数 9 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-214030 (P2017-214030)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成29年11月6日(2017.11.6)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2019-64568 (P2019-64568A)	(74) 代理人	100106150 弁理士 高橋 英樹
(43) 公開日	平成31年4月25日(2019.4.25)	(74) 代理人	100082175 弁理士 高田 守
審査請求日	令和2年2月18日(2020.2.18)	(74) 代理人	100113011 弁理士 大西 秀和
(31) 優先権主張番号	特願2017-193545 (P2017-193545)	(72) 発明者	工藤 佳夫 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(32) 優先日	平成29年10月3日(2017.10.3)	審査官	神田 泰貴
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ステアバイワイヤシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

車両に搭載されるステアバイワイヤシステムであって、  
前記車両の車輪を転舵する転舵装置と、  
ステアリングホイールに付与される操舵反力を制御する操舵反力制御装置と  
を備え、  
前記操舵反力制御装置は、異なるパラメータを用いて複数種類の軸力を算出し、前記複数種類の軸力に基づいて最終軸力を算出し、前記最終軸力に相当する前記操舵反力を発生させ、  
前記複数種類の軸力は、  
前記車輪の転舵角又はステアリングホイールの操舵角に基づいて算出される基本軸力と、  
アンダーステア時に前記基本軸力よりも小さくなるアンダー軸力と、  
オーバーステア時に前記基本軸力よりも大きくなるオーバー軸力と  
を含み、  
前記操舵反力制御装置は、  
アンダーステア時の前記基本軸力と前記アンダー軸力との差を反映したアンダーステア度を算出し、前記アンダーステア度に応じた分だけアンダーステア時の前記最終軸力を前記基本軸力よりも減少させ、  
オーバーステア時の前記基本軸力と前記オーバー軸力との差を反映したオーバーステア

度を算出し、前記オーバーステア度に応じた分だけオーバーステア時の前記最終軸力を前記基本軸力よりも増加させる

ステアバイワイヤシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のステアバイワイヤシステムであって、

前記操舵反力制御装置は、前記基本軸力と第 1 基本軸力ゲインとの積と前記アンダー軸力とアンダー軸力ゲインとの積との和に基づいて、アンダーステア時の前記最終軸力を算出し、

前記操舵反力制御装置は、前記アンダーステア度が強くなるにつれて、前記第 1 基本軸力ゲインを減らし、前記アンダー軸力ゲインを増やす

ステアバイワイヤシステム。

10

【請求項 3】

請求項 1 に記載のステアバイワイヤシステムであって、

前記操舵反力制御装置は、前記基本軸力に 1 以下の補正ゲインを乗ずることによって、アンダーステア時の前記最終軸力を算出し、

前記操舵反力制御装置は、前記アンダーステア度が強くなるにつれて、前記補正ゲインを減らす

ステアバイワイヤシステム。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のステアバイワイヤシステムであって、

前記転舵装置は、転舵軸を介して前記車輪につながる転舵モータを含み、

前記複数種類の軸力は、前記転舵モータを駆動する転舵電流に基づいて算出される早期変化軸力を含み、

前記アンダー軸力として、前記早期変化軸力が用いられる

ステアバイワイヤシステム。

20

【請求項 5】

請求項 1 に記載のステアバイワイヤシステムであって、

前記操舵反力制御装置は、前記基本軸力と第 2 基本軸力ゲインとの積と前記オーバーステア軸力とオーバーステア軸力ゲインとの積との和に基づいて、オーバーステア時の前記最終軸力を算出し、

前記操舵反力制御装置は、前記オーバーステア度が強くなるにつれて、前記第 2 基本軸力ゲインを減らし、前記オーバーステア軸力ゲインを増やす

ステアバイワイヤシステム。

30

【請求項 6】

車両に搭載されるステアバイワイヤシステムであって、

前記車両の車輪を転舵する転舵装置と、

ステアリングホイールに付与される操舵反力を制御する操舵反力制御装置と

を備え、

前記操舵反力制御装置は、異なるパラメータを用いて複数種類の軸力を算出し、前記複数種類の軸力に基づいて最終軸力を算出し、前記最終軸力に相当する前記操舵反力を発生させ、

40

前記複数種類の軸力は、

前記車輪の転舵角又はステアリングホイールの操舵角に基づいて算出される基本軸力と

アンダーステア時に前記基本軸力よりも小さくなるアンダー軸力と、

を含み、

前記操舵反力制御装置は、アンダーステア時の前記基本軸力と前記アンダー軸力との差を反映したアンダーステア度を算出し、前記アンダーステア度に応じた分だけアンダーステア時の前記最終軸力を前記基本軸力よりも減少させ、

前記操舵反力制御装置は、前記基本軸力から第 1 オフセット量を減ずることによって、

50

アンダーステア時の前記最終軸力を算出し、

前記操舵反力制御装置は、前記アンダーステア度が強くなるにつれて前記第1オフセット量を増やす

ステアバイワイヤシステム。

【請求項7】

請求項6に記載のステアバイワイヤシステムであって、

前記操舵反力制御装置は、前記基本軸力に第2オフセット量を加えることによって、オーバーステア時の前記最終軸力を算出し、

前記複数種類の軸力は、更に、オーバーステア時に前記基本軸力よりも大きくなるオーバー軸力を含み、

10

前記操舵反力制御装置は、前記基本軸力と前記オーバー軸力との差を反映したオーバーステア度を算出し、前記オーバーステア度が強くなるにつれて前記第2オフセット量を増やす

ステアバイワイヤシステム。

【請求項8】

車両に搭載されるステアバイワイヤシステムであって、

前記車両の車輪を転舵する転舵装置と、

ステアリングホイールに付与される操舵反力を制御する操舵反力制御装置とを備え、

前記操舵反力制御装置は、異なるパラメータを用いて複数種類の軸力を算出し、前記複数種類の軸力に基づいて最終軸力を算出し、前記最終軸力に相当する前記操舵反力を発生させ、

20

前記複数種類の軸力は、

前記車輪の転舵角又はステアリングホイールの操舵角に基づいて算出される基本軸力と

、

オーバーステア時に前記基本軸力よりも大きくなるオーバー軸力と、

を含み、

前記操舵反力制御装置は、オーバーステア時の前記基本軸力と前記オーバー軸力との差を反映したオーバーステア度を算出し、前記オーバーステア度に応じた分だけオーバーステア時の前記最終軸力を前記基本軸力よりも増加させる

30

ステアバイワイヤシステム。

【請求項9】

請求項8に記載のステアバイワイヤシステムであって、

前記操舵反力制御装置は、前記基本軸力と基本軸力ゲインとの積と前記オーバー軸力とオーバー軸力ゲインとの積との和に基づいて、オーバーステア時の前記最終軸力を算出し

、

前記操舵反力制御装置は、前記オーバーステア度が強くなるにつれて、前記基本軸力ゲインを減らし、前記オーバー軸力ゲインを増やす

ステアバイワイヤシステム。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、ステアバイワイヤシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

ステアバイワイヤ(Steer-By-Wire)方式の車両が知られている。ステアバイワイヤ方式の場合、車輪を転舵する転舵機構は、ステアリングホイールから機械的に分離されている。その代わりに、転舵機構には電動モータが設けられる。ステアリングホイールの操作に応じて電動モータを駆動することにより、転舵が行われる。その一方で、ドライバに操舵フィーリングを与えるために、擬似的な操舵反力がステアリングホイールに付与される。

50

## 【 0 0 0 3 】

特許文献 1 は、ステアバイワイヤ方式のステアリング制御装置を開示している。転舵機構は、転舵輪を駆動する転舵アクチュエータを有する。転舵機構には、路面反力等により転舵反力が働く。この転舵反力は、センサを用いて検出される、あるいは、外乱オブザーバを用いて推定される。一方、操舵機構は、ステアリングホイールに操舵反力を付与する操舵アクチュエータを有する。操舵アクチュエータの制御量は、操舵トルク、転舵反力、及び転舵反力の時間微分等に基づいて決定される。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 4 - 0 3 4 9 2 3 号公報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 5 】

上記の特許文献 1 に開示されている技術では、アンダーステアあるいはオーバーステアといった限界域の車両状態におけるステアリング制御は検討されていない。そのような限界域においても、車両状態に応じた適切な操舵フィーリングを再現することが望ましい。

## 【 0 0 0 6 】

本発明の 1 つの目的は、アンダーステアあるいはオーバーステアといった限界域の車両状態に応じた操舵フィーリングを再現することができるステアバイワイヤシステムを提供することにあり、

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 7 】

第 1 の発明は、車両に搭載されるステアバイワイヤシステムを提供する。

前記ステアバイワイヤシステムは、

前記車両の車輪を転舵する転舵装置と、

ステアリングホイールに付与される操舵反力を制御する操舵反力制御装置と

を備える。

前記操舵反力制御装置は、異なるパラメータを用いて複数種類の軸力を算出し、前記複数種類の軸力に基づいて最終軸力を算出し、前記最終軸力に相当する前記操舵反力を発生させる。

前記複数種類の軸力は、

前記車輪の転舵角又はステアリングホイールの操舵角に基づいて算出される基本軸力と、

、

アンダーステア時に前記基本軸力よりも小さくなるアンダー軸力と、

を含む。

前記操舵反力制御装置は、アンダーステア時の前記基本軸力と前記アンダー軸力との差を反映したアンダーステア度を算出し、前記アンダーステア度に応じた分だけアンダーステア時の前記最終軸力を前記基本軸力よりも減少させる。

## 【 0 0 0 8 】

第 2 の発明は、車両に搭載されるステアバイワイヤシステムを提供する。

前記ステアバイワイヤシステムは、

前記車両の車輪を転舵する転舵装置と、

ステアリングホイールに付与される操舵反力を制御する操舵反力制御装置と

を備える。

前記操舵反力制御装置は、異なるパラメータを用いて複数種類の軸力を算出し、前記複数種類の軸力に基づいて最終軸力を算出し、前記最終軸力に相当する前記操舵反力を発生させる。

前記複数種類の軸力は、

前記車輪の転舵角又はステアリングホイールの操舵角に基づいて算出される基本軸力と

10

20

30

40

50

、  
 オーバーステア時に前記基本軸力よりも大きくなるオーバー軸力と、  
 を含む。

前記操舵反力制御装置は、オーバーステア時の前記基本軸力と前記オーバー軸力との差を反映したオーバーステア度を算出し、前記オーバーステア度に応じた分だけオーバーステア時の前記最終軸力を前記基本軸力よりも増加させる。

【発明の効果】

【0009】

第1の発明によれば、基本軸力とアンダーステア時に基本軸力よりも小さくなるアンダー軸力が算出される。それら基本軸力とアンダー軸力を対比することによって、アンダーステアを容易に検知し、アンダーステア度を容易に算出することができる。また、アンダーステア時の最終軸力は、アンダーステア度に応じた減少量だけ基本軸力よりも小さくなる。従って、アンダーステア時の操舵反力は、基本軸力に相当する操舵反力よりも小さくなる。これにより、アンダーステア時にドライバが感じる“舵力抜け感”を再現することが可能となる。

10

【0010】

第2の発明によれば、基本軸力とオーバーステア時に基本軸力よりも大きくなるオーバー軸力が算出される。それら基本軸力とオーバー軸力を対比することによって、オーバーステアを容易に検知し、オーバーステア度を容易に算出することができる。また、オーバーステア時の最終軸力は、オーバーステア度に応じた増加量だけ基本軸力よりも大きくなる。従って、オーバーステア時の操舵反力は、基本軸力に相当する操舵反力よりも大きくなる。これにより、ステアリングホイールを切り戻しやすくなる。すなわち、オーバーステア時のカウンタステア操作がアシストされる。ドライバは、カウンタステアを行いやすいと感じる。

20

【0011】

このように、本発明のステアバイワイヤシステムによれば、車両状態に応じた適切な操舵フィーリングを再現することが可能となる。特に、アンダーステアあるいはオーバーステアといった限界域においても、車両状態に応じた適切な操舵フィーリングの再現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

30

【0012】

【図1】本発明の実施の形態に係るステアバイワイヤシステムの構成例を概略的に示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態におけるアンダー軸力を説明するための概念図である。

【図3】本発明の実施の形態におけるアンダー軸力の1つである第5軸力を説明するための概念図である。

【図4】本発明の実施の形態におけるオーバー軸力を説明するための概念図である。

【図5】本発明の実施の形態に係るステアバイワイヤシステムの操舵反力制御装置の機能構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の実施の形態に係る操舵反力制御における最終軸力の算出の第1の例を示す概念図である。

40

【図7】本発明の実施の形態に係る操舵反力制御における最終軸力の算出の第2の例を示す概念図である。

【図8】本発明の実施の形態に係る操舵反力制御における最終軸力の算出の第3の例を示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

添付図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。

【0014】

1. ステアバイワイヤシステム

50

図1は、本実施の形態に係るステアバイワイヤシステム1の構成例を概略的に示すブロック図である。ステアバイワイヤシステム1は、車両に搭載されており、ステアバイワイヤ方式で車両の車輪WH（転舵輪）を転舵する。図1に示されるように、ステアバイワイヤシステム1は、ステアリングホイール10、ステアリングシャフト20、反力発生装置30、転舵装置40、センサ群51～58、及び制御装置100を備えている。

【0015】

ステアリングホイール10（ハンドル）は、ドライバが操舵に用いる操作部材である。ステアリングシャフト20は、ステアリングホイール10に連結されており、ステアリングホイール10と共に回転する。

【0016】

反力発生装置30は、ステアリングホイール10に対して操舵反力を擬似的に付与する。この反力発生装置30は、反力モータ31と減速機構32を含んでいる。反力モータ31のロータは、減速機構32を介してステアリングシャフト20につながっている。反力モータ31を作動させることにより、ステアリングシャフト20ひいてはステアリングホイール10に擬似的な操舵反力を付与することができる。この反力モータ31の動作は、制御装置100によって制御される。

【0017】

転舵装置40は、車輪WHを転舵する。この転舵装置40は、転舵モータ41、減速機構42、転舵バー43、及びタイロッド44を含んでいる。転舵モータ41のロータは、減速機構42を介して転舵バー43につながっている。転舵バー43は、タイロッド44を介して車輪WHに連結されている。転舵バー43とタイロッド44は、以下、まとめて転舵軸45と呼ばれる。転舵モータ41は、減速機構42及び転舵軸45を介して、車輪WHにつながっている。転舵モータ41が回転すると、その回転運動は転舵軸45の直線運動に変換され、それにより車輪WHが転舵される。すなわち、転舵モータ41を作動させることにより、車輪WHを転舵することができる。この転舵モータ41の動作は、制御装置100によって制御される。

【0018】

ハンドル角センサ51は、ステアリングホイール10の操舵角であるハンドル角MAを検出する。ハンドル角センサ51は、検出したハンドル角MAの情報を制御装置100に送る。

【0019】

操舵トルクセンサ52は、ステアリングシャフト20に印加される操舵トルクTを検出する。操舵トルクセンサ52は、検出した操舵トルクTの情報を制御装置100に送る。

【0020】

回転角センサ53は、反力発生装置30の反力モータ31の回転角を検出する。回転角センサ53は、検出した回転角の情報を制御装置100に送る。

【0021】

回転角センサ54は、転舵装置40の転舵モータ41の回転角を検出する。転舵モータ41の回転角は、車輪WHの転舵角に相当する。よって、回転角センサ54は、車輪WHの転舵角を検出しているとも言える。回転角センサ54は、検出した転舵角の情報を制御装置100に送る。

【0022】

転舵電流センサ55は、上記の転舵モータ41を駆動する転舵電流Imを検出する。転舵電流センサ55は、検出した転舵電流Imの情報を制御装置100に送る。

【0023】

車速センサ56は、車両の速度である車速Vを検出する。車速センサ56は、検出した車速Vの情報を制御装置100に送る。尚、車速センサ56の代わりに車輪速センサを用い、各車輪の回転速度から車速Vが算出されてもよい。

【0024】

ヨーレートセンサ57は、車両のヨーレートを検出する。ヨーレートセンサ57は、

10

20

30

40

50

検出したヨーレート の情報を制御装置 100 に送る。

【0025】

横加速度センサ 58 は、車両にかかる横加速度  $G_y$  を検出する。横加速度センサ 58 は、検出した横加速度  $G_y$  の情報を制御装置 100 に送る。

【0026】

制御装置 100 は、本実施の形態に係るステアバイワイヤシステム 1 を制御する。この制御装置 100 は、プロセッサ、メモリ、及び入出力インタフェースを備えるマイクロコンピュータを含んでいる。当該マイクロコンピュータは、ECU (Electronic Control Unit) と呼ばれる。制御装置 100 は、センサ群 51 ~ 58 から検出情報を受け取り、検出情報に基づいてステアバイワイヤシステム 1 を制御する。

10

【0027】

具体的には、制御装置 100 は、転舵装置 40 の転舵モータ 41 の駆動制御を行うことによって、車輪 WH の転舵を制御する。例えば、制御装置 100 は、ハンドル角 MA 等に基づいて目標転舵角を算出する。そして、制御装置 100 は、回転角センサ 54 によって検出される転舵角 と目標転舵角に基づいて、転舵モータ 41 を駆動するための制御信号を生成する。転舵モータ 41 は制御信号に従って駆動され、転舵モータ 41 の回転により車輪 WH が転舵される。尚、このときに転舵モータ 41 を駆動する電流が転舵電流  $I_m$  である。

【0028】

また、制御装置 100 は、反力発生装置 30 の反力モータ 31 の駆動制御を行うことによって、ステアリングホイール 10 に付与される操舵反力を制御する。具体的には、制御装置 100 は、センサ群からの検出情報に基づいて目標操舵反力を算出する（この目標操舵反力の算出の詳細は、後述される）。そして、制御装置 100 は、目標操舵反力が発生するように反力モータ 31 の駆動制御を行う。例えば、制御装置 100 は、目標操舵反力、反力モータ 31 の回転角、操舵トルク T 等に基づいて、反力モータ 31 を駆動するための制御信号を生成する。反力モータ 31 は制御信号に従って駆動され、それにより操舵反力が発生する。

20

【0029】

制御装置 100 と反力発生装置 30 は、「操舵反力制御装置 100 R」を構成している。操舵反力制御装置 100 R は、反力モータ 31 を用いて操舵反力を発生させ、ステアリングホイール 10 に操舵反力を付与する。また、操舵反力制御装置 100 R は、その操舵反力を制御する。以下、本実施の形態に係る操舵反力制御について詳しく説明する。

30

【0030】

## 2. 複数種類の軸力

ドライバの操舵フィーリングの観点から、操舵反力は、路面から車輪 WH を通して転舵軸 45 に印加される反力を考慮して決定されることが好ましい。以下の説明において、転舵軸 45 に印加される反力に相当するパラメータ（成分）は、「軸力」と呼ばれる。本実施の形態に係る操舵反力制御では、異なるパラメータに基づく“複数種類の軸力”が考慮される。それら複数種類の軸力の次元は統一される。以下に示される例においては、複数種類の軸力の次元として、横加速度  $G_y$  の次元  $[m/s^2]$  が用いられる。

40

【0031】

### 2-1. 第1軸力 AF1

第1軸力 AF1 は、転舵角  $[\text{deg}]$  と車速  $V [m/s]$  に基づいて算出される。例えば、第1軸力 AF1 は、次の式 (1) で表される。

【0032】

【数1】

$$AF1 = \frac{1}{1 + K_h V^2} \frac{V^2 \theta}{l N} \quad \dots(1)$$

【0033】

50

ここで、 $l$  はホイールベース [ m ] であり、 $N$  はオーバオールギア比である。 $K_h$  はスタビリティファクタであり、次の式 ( 2 ) で表される。

【 0 0 3 4 】

【 数 2 】

$$K_h = -\frac{m}{2l^2} \frac{l_f K_f - l_r K_r}{K_f K_r} \quad \dots(2)$$

【 0 0 3 5 】

ここで、 $m$  は車両質量 [ k g ] である。 $l_f$  は車両重心点とフロント車軸との間の距離 [ m ] であり、 $l_r$  は車両重心点とリア車軸との間の距離 [ m ] である。 $K_f$  は前輪コーナリングパワー [ N / r a d ] であり、 $K_r$  は後輪コーナリングパワー [ N / r a d ] である。

10

【 0 0 3 6 】

式 ( 1 ) の場合、第 1 軸力  $A F 1$  は転舵角  $\theta$  に比例する。つまり、転舵角  $\theta$  が大きくなるにつれて、第 1 軸力  $A F 1$  も増加する。過渡特性も考慮する場合、第 1 軸力  $A F 1$  は、次の式 ( 3 ) で表される。

【 0 0 3 7 】

【 数 3 】

$$AF1 = \frac{1}{1 + K_h V^2} \frac{V^2}{l} \frac{\omega_n^2 (T_{y2} s^2 + T_{y1} s + 1)}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \frac{\theta}{N} \quad \dots(3)$$

20

【 0 0 3 8 】

ここで、 $T_{y1}$  及び  $T_{y2}$  は、それぞれ、次の式 ( 4 ) 及び式 ( 5 ) で表される。 $\omega_n$  は固有振動数であり、次の式 ( 6 ) で表される。 $\zeta$  は減衰比であり、次の式 ( 7 ) で表される。 $I$  はヨーイング慣性モーメント [ k g · m ] である。

【 0 0 3 9 】

【 数 4 】

$$T_{y1} = \frac{l_r}{V} \quad \dots(4)$$

30

【 0 0 4 0 】

【 数 5 】

$$T_{y2} = \frac{I}{2lK_r} \quad \dots(5)$$

【 0 0 4 1 】

【 数 6 】

$$\omega_n = \frac{2l}{V} \sqrt{\frac{K_f K_r}{mI}} \sqrt{1 + K_h V^2} \quad \dots(6)$$

40

【 0 0 4 2 】

【 数 7 】

$$\zeta = -\frac{m(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r) + I(K_f + K_r)}{2l \sqrt{mI K_f K_r (1 + K_h V^2)}} \quad \dots(7)$$

【 0 0 4 3 】

尚、上述の通り、車輪  $W H$  の転舵角  $\delta$  は、ハンドル角  $M A$  (ステアリングホイール 1 0 の操舵角) に基づいて決定される。従って、第 1 軸力  $A F 1$  は、転舵角  $\delta$  の代わりにハン

50

ドル角  $M A$  に基づく式で表されてもよい。すなわち、第 1 軸力  $A F 1$  は、転舵角  $\delta$  の代わりにハンドル角  $M A$  に基づいて算出されてもよい。

【 0 0 4 4 】

2 - 2 . 第 2 軸力  $A F 2$

第 2 軸力  $A F 2$  は、ヨーレート  $\dot{\gamma}$  [ rad / s ] と車速  $V$  [ m / s ] に基づいて算出される。例えば、第 2 軸力  $A F 2$  は、次の式 ( 8 ) で表される。

【 0 0 4 5 】

【 数 8 】

$$AF2 = \gamma \cdot V \quad \dots(8)$$

10

【 0 0 4 6 】

式 ( 8 ) の場合、第 2 軸力  $A F 2$  は、ヨーレート  $\dot{\gamma}$  に比例する。つまり、ヨーレート  $\dot{\gamma}$  が高くなるにつれて、第 2 軸力  $A F 2$  も増加する。

【 0 0 4 7 】

2 - 3 . 第 3 軸力  $A F 3$

第 3 軸力  $A F 3$  は、横加速度  $G y$  [ m / s <sup>2</sup> ] に基づいて算出される。例えば、第 3 軸力  $A F 3$  は、次の式 ( 9 ) で表される。

【 0 0 4 8 】

【 数 9 】

$$AF3 = Gy \quad \dots(9)$$

20

【 0 0 4 9 】

式 ( 9 ) の場合、第 3 軸力  $A F 3$  は、横加速度  $G y$  に比例する。つまり、横加速度  $G y$  が高くなるにつれて、第 3 軸力  $A F 3$  も増加する。

【 0 0 5 0 】

2 - 4 . 第 4 軸力  $A F 4$

第 4 軸力  $A F 4$  は、横加速度  $G y$  [ m / s <sup>2</sup> ] とヨーレート  $\dot{\gamma}$  [ rad / s ] に基づいて算出される。例えば、第 4 軸力  $A F 4$  は、次の式 ( 10 ) で表される。

【 0 0 5 1 】

【 数 10 】

$$AF4 = Gy + \frac{I}{l_r m} \dot{\gamma} \quad \dots(10)$$

30

【 0 0 5 2 】

式 ( 10 ) 中の第 2 項は、ヨーレート  $\dot{\gamma}$  の時間微分に関連する項である。  $m$  は車両質量 [ kg ] であり、  $I$  はヨーイング慣性モーメント [ kg · m ] であり、  $l_r$  は車両重心点とリア車軸との間の距離 [ m ] である。横加速度  $G y$  とヨーレート  $\dot{\gamma}$  の時間微分との和は、車輪  $W H$  の横力に相当する。横力が大きくなるにつれて、第 4 軸力  $A F 4$  も増加する。

【 0 0 5 3 】

2 - 5 . 第 5 軸力  $A F 5$

第 5 軸力  $A F 5$  は、転舵モータ 4 1 を駆動する転舵電流  $I m$  [ A ] に基づいて算出される。例えば、第 5 軸力  $A F 5$  は、次の式 ( 11 ) で表される。

【 0 0 5 4 】

【 数 11 】

$$AF5 = \frac{Kt}{\xi_n + \xi_c} \frac{I}{l_r m} I_m \quad \dots(11)$$

40

【 0 0 5 5 】

ここで、  $K t$  は、電流トルク変換係数 [ N m / A ] である。  $\xi_n$  はニューマチックトレール [ m ] であり、  $\xi_c$  はキャストトレール [ m ] である。式 ( 11 ) の場合、第 5 軸力

50

A F 5 は、転舵電流  $I_m$  に比例する。つまり、転舵電流  $I_m$  が大きくなるにつれて、第 5 軸力 A F 5 も増加する。

【 0 0 5 6 】

2 - 6 . 基本軸力 A F \_\_ B

基本軸力 A F \_\_ B は、目標操舵反力を決定する際のベースとなる軸力である。本実施の形態によれば、上記の第 1 軸力 A F 1 が、基本軸力 A F \_\_ B として用いられる。上述の通り、第 1 軸力 A F 1 は、転舵角（ハンドル角 M A）に応じて変化し、転舵角（ハンドル角 M A）が大きくなるにつれて増加する。このような第 1 軸力 A F 1 は、ビルドアップ感（転舵角あるいはハンドル角 M A が増えるにつれて、手ごたえも増える感覚）の再現に適している。

10

【 0 0 5 7 】

2 - 7 . アンダー軸力 A F \_\_ U

アンダー軸力 A F \_\_ U は、アンダーステア時に基本軸力 A F \_\_ B よりも小さくなる性質を有する軸力である。尚、特に断りのない限り、本明細書における大小関係は、絶対値の大小関係を意味する。例えば、アンダー軸力 A F \_\_ U が基本軸力 A F \_\_ B よりも小さいとは、アンダー軸力 A F \_\_ U の絶対値が基本軸力 A F \_\_ B の絶対値よりも小さいことを意味する。

【 0 0 5 8 】

図 2 は、アンダー軸力 A F \_\_ U を説明するための概念図である。ここでは、ステアリングホイール 1 0 が操作され、ハンドル角 M A 及び転舵角 が時間と共に増加する場合を考  
える。図 2 中の横軸は、時間  $t$  及び転舵角 を表している。上記の複数種類の軸力のうち  
第 2 軸力 A F 2、第 3 軸力 A F 3、及び第 4 軸力 A F 4 は、アンダーステア（U S）状態  
において基本軸力 A F \_\_ B よりも小さくなるという性質を有している。つまり、第 2 軸力  
A F 2、第 3 軸力 A F 3、及び第 4 軸力 A F 4 は、アンダー軸力 A F \_\_ U である。

20

【 0 0 5 9 】

図 3 は、転舵電流  $I_m$  に基づく第 5 軸力 A F 5 を説明するための概念図である。第 5 軸  
力 A F 5 も、アンダーステア（U S）状態において基本軸力 A F \_\_ B よりも小さくなる  
という性質を有している。つまり、第 5 軸力 A F 5 もアンダー軸力 A F \_\_ U である。更に、  
図 2 と図 3 との対比から分かるように、第 5 軸力 A F 5 の変化は、他のアンダー軸力 A F  
\_\_ U（A F 2、A F 3、A F 4）の変化よりも早く開始する。

30

【 0 0 6 0 】

転舵モータ 4 1 は、転舵電流  $I_m$  によって駆動される。転舵モータ 4 1 が作動すること  
により車輪 W H の舵角が変化し、その結果として、横加速度  $G_y$  及びヨーレート が変化  
する。つまり、転舵電流  $I_m$  の変化は、横加速度  $G_y$  やヨーレート の変化よりも早く発  
生する。従って、転舵電流  $I_m$  に基づいて算出される第 5 軸力 A F 5 は、他の軸力 A F 2  
～ A F 4 よりも早く変化を開始する。その意味で、第 5 軸力 A F 5 は、「早期変化軸力」  
と呼ばれる。

【 0 0 6 1 】

本実施の形態では、第 2 軸力 A F 2、第 3 軸力 A F 3、第 4 軸力 A F 4、及び第 5 軸力  
A F 5 のうち少なくとも 1 つが、アンダー軸力 A F \_\_ U として用いられる。

40

【 0 0 6 2 】

2 - 8 . オーバー軸力 A F \_\_ O

オーバー軸力 A F \_\_ O は、オーバーステア時に基本軸力 A F \_\_ B よりも大きくなる性質  
を有する軸力である。図 4 は、オーバー軸力 A F \_\_ O を説明するための概念図である。図  
4 のフォーマットは、図 2、3 のフォーマットと同じである。ヨーレート に基づいて算  
出される第 2 軸力 A F 2 及び第 4 軸力 A F 4 は、オーバーステア（O S）状態において基  
本軸力 A F \_\_ B よりも大きくなるという性質を有している。つまり、第 2 軸力 A F 2 及び  
第 4 軸力 A F 4 は、オーバー軸力 A F \_\_ O である。本実施の形態では、第 2 軸力 A F 2 と  
第 4 軸力 A F 4 のうち少なくとも 1 つが、オーバー軸力 A F \_\_ O として用いられる。

【 0 0 6 3 】

50

尚、第2軸力AF2及び第4軸力AF4は、アンダー軸力AF<sub>U</sub>とオーバー軸力AF<sub>O</sub>の両方の性質を有している。

【0064】

3. 操舵反力制御の概要

3-1. 機能構成

図5は、本実施の形態に係る操舵反力制御装置100R(制御装置100)の機能構成を示すブロック図である。操舵反力制御装置100Rは、機能ブロックとして、センサ情報取得部110、軸力算出部120、状態判定部130、最終軸力算出部140、及びアクチュエータ制御部150を備えている。

【0065】

センサ情報取得部110は、センサ群51~58から検出情報を取得する。

【0066】

軸力算出部120は、異なるパラメータを用いて複数種類の軸力を算出する。算出される複数種類の軸力は、基本軸力AF<sub>B</sub>、アンダー軸力AF<sub>U</sub>、及びオーバー軸力AF<sub>O</sub>を少なくともも含んでいる。例えば、軸力算出部120は、転舵角(あるいはハンドル角MA)、車速V、ヨーレート、横加速度Gy、及び転舵電流Imに基づいて、上述の軸力AF1~AF5を算出する。

【0067】

状態判定部130は、算出された複数種類の軸力に基づいて、車両状態が常用域か限界域(アンダーステア、オーバーステア)かを判定する。より詳細には、状態判定部130は、基本軸力AF<sub>B</sub>、アンダー軸力AF<sub>U</sub>、及びオーバー軸力AF<sub>O</sub>を対比することによって、車両状態を判定する。

【0068】

例えば、アンダー軸力AF<sub>U</sub>が基本軸力AF<sub>B</sub>より小さい場合( $AF_U < AF_B$ )、状態判定部130は、車両状態がアンダーステア傾向にあると判定する。また、このとき、状態判定部130は、基本軸力AF<sub>B</sub>とアンダー軸力AF<sub>U</sub>との差を反映した「アンダーステア度DUS」を算出する。アンダーステア時の基本軸力AF<sub>B</sub>とアンダー軸力AF<sub>U</sub>との差が大きくなると、アンダーステア度DUSも強くなる。

【0069】

一方、オーバー軸力AF<sub>O</sub>が基本軸力AF<sub>B</sub>より大きい場合( $AF_O > AF_B$ )、状態判定部130は、車両状態がオーバーステア傾向にあると判定する。また、このとき、状態判定部130は、基本軸力AF<sub>B</sub>とオーバー軸力AF<sub>O</sub>との差を反映した「オーバーステア度DOS」を算出する。オーバーステア時の基本軸力AF<sub>B</sub>とオーバー軸力AF<sub>O</sub>との差が大きくなると、オーバーステア度DOSも強くなる。

【0070】

最終軸力算出部140は、目標操舵反力の算出に用いられる「最終軸力AF<sub>F</sub>」を算出する。特に、最終軸力算出部140は、複数種類の軸力、アンダーステア度DUS、及びオーバーステア度DOSに基づいて、車両状態に応じた適切な最終軸力AF<sub>F</sub>を算出する。

【0071】

より詳細には、アンダーステア時、最終軸力算出部140は、基本軸力AF<sub>B</sub>よりもアンダーステア度DUSに応じた減少量だけ小さい軸力を、最終軸力AF<sub>F</sub>として算出する。言い換えれば、最終軸力算出部140は、アンダーステア度DUSに応じた減少量だけ、アンダーステア時の最終軸力AF<sub>F</sub>を基本軸力AF<sub>B</sub>よりも減少させる。

【0072】

一方、オーバーステア時、最終軸力算出部140は、基本軸力AF<sub>B</sub>よりもオーバーステア度DOSに応じた増加量だけ大きい軸力を、最終軸力AF<sub>F</sub>として算出する。言い換えれば、最終軸力算出部140は、オーバーステア度DOSに応じた増加量だけ、オーバーステア時の最終軸力AF<sub>F</sub>を基本軸力AF<sub>B</sub>よりも増加させる。

【0073】

10

20

30

40

50

アクチュエータ制御部 150 は、最終軸力  $A F\_F$  から目標操舵反力を算出する。最終軸力  $A F\_F$  が大きくなるほど、目標操舵反力も大きくなる。そして、アクチュエータ制御部 150 は、目標操舵反力が発生するように反力モータ 31 の駆動制御を行う。例えば、アクチュエータ制御部 150 は、目標操舵反力、反力モータ 31 の回転角、操舵トルク  $T$  等に基づいて、反力モータ 31 を駆動するための制御信号を生成する。反力モータ 31 は制御信号に従って駆動され、それにより操舵反力が発生する。

【0074】

### 3 - 2 . 効果

以上に説明されたように、本実施の形態によれば、基本軸力  $A F\_B$ 、アンダー軸力  $A F\_U$ 、及びオーバー軸力  $A F\_O$  を含む複数種類の軸力が算出される。それら基本軸力  $A F\_B$ 、アンダー軸力  $A F\_U$ 、及びオーバー軸力  $A F\_O$  を対比することによって、アンダーステアやオーバーステアを容易に検知し、アンダーステア度  $D U S$  やオーバーステア度  $D O S$  を容易に算出することができる。

10

【0075】

基本軸力  $A F\_B$  は、転舵角（あるいはハンドル角  $M A$ ）に基づいて算出される。転舵角（ハンドル角  $M A$ ）が大きくなるにつれて、基本軸力  $A F\_B$  は増加する。このような基本軸力  $A F\_B$  をベースとして操舵反力を発生させることにより、適度なビルドアップ感（転舵角あるいはハンドル角  $M A$  が増えるにつれて、手ごたえも増える感覚）を再現することが可能となる。

【0076】

20

アンダーステア時の最終軸力  $A F\_F$  は、アンダーステア度  $D U S$  に応じた減少量だけ基本軸力  $A F\_B$  よりも小さくなる。従って、アンダーステア時の操舵反力は、基本軸力  $A F\_B$  に相当する操舵反力よりも小さくなる。これにより、アンダーステア時にドライバが感じる“舵力抜け感”を再現することが可能となる。

【0077】

オーバーステア時の最終軸力  $A F\_F$  は、オーバーステア度  $D O S$  に応じた増加量だけ基本軸力  $A F\_B$  よりも大きくなる。従って、オーバーステア時の操舵反力は、基本軸力  $A F\_B$  に相当する操舵反力よりも大きくなる。これにより、ステアリングホイール 10 を切り戻しやすくなる。すなわち、オーバーステア時のカウンタステア操作がアシストされる。ドライバは、カウンタステアを行いやすいと感じる。

30

【0078】

このように、本実施の形態のステアバイワイヤシステム 1 によれば、車両状態に応じた適切な操舵フィーリングを再現することが可能となる。特に、アンダーステアあるいはオーバーステアといった限界域においても、車両状態に応じた適切な操舵フィーリングの再現することが可能となる。尚、上記の説明のうち、アンダーステアとオーバーステアのいずれか一方に関連する処理だけが実施されてもよい。

【0079】

また、本実施の形態によれば、転舵軸 45 にかかる反力を直接検出するためのセンサは不要である。このことは、コスト削減の観点から好ましい。更に、本実施の形態によれば、転舵軸 45 にかかる反力を推定するための外乱オブザーバも不要である。このことは、計算負荷の軽減の観点から好ましい。

40

【0080】

### 4 . 具体例

以下、本実施の形態に係る操舵反力制御における最終軸力  $A F\_F$  の算出に関するいくつかの例を説明する。

【0081】

#### 4 - 1 . 第 1 の例

図 6 は、第 1 の例を示す概念図である。まず、図 6 中のブロック 200 について説明する。操舵反力制御装置 100 R は、基本軸力  $A F\_B$  とアンダー軸力  $A F\_U$  の差分  $U$  を算出する。差分  $U$  は、次の式 (12) で表される。

50

## 【 0 0 8 2 】

式 ( 1 2 ) :

$$U = | A F \_ B | - | A F \_ U |$$

## 【 0 0 8 3 】

更に、操舵反力制御装置 1 0 0 R は、差分 U に応じたアンダーステア度 D U S を算出する。差分 U が大きくなるにつれ、アンダーステア度 D U S は強くなる傾向にある。図 6 に例示されるように、不感帯が設けられていてもよい。差分 U とアンダーステア度 D U S との対応関係は、予め規定され、マップあるいは数式の形式で与えられる。操舵反力制御装置 1 0 0 R は、当該対応関係を参照して、差分 U に応じたアンダーステア度 D U S を算出する。尚、差分 U 及びアンダーステア度 D U S の算出が、状態判定部 1 3 0 の処理に相当する。

10

## 【 0 0 8 4 】

続いて、操舵反力制御装置 1 0 0 R は、アンダーステア度 D U S に基づいて、第 1 基本軸力ゲイン G B 1 とアンダー軸力ゲイン G U を算出する。第 1 基本軸力ゲイン G B 1 は、最終軸力 A F \\_ F に対する基本軸力 A F \\_ B の寄与度を定める重みゲインである。アンダー軸力ゲイン G U は、最終軸力 A F \\_ F に対するアンダー軸力 A F \\_ U の寄与度を定める重みゲインである。

## 【 0 0 8 5 】

図 6 に示されるように、第 1 基本軸力ゲイン G B 1 は、アンダーステア度 D U S が強くなるにつれて、1 から減少する。逆に、アンダー軸力ゲイン G U は、アンダーステア度 D U S が強くなるにつれて、1 に向かって増加する。アンダーステア度 D U S と第 1 基本軸力ゲイン G B 1 との対応関係、及び、アンダーステア度 D U S とアンダー軸力ゲイン G U との対応関係は、予め規定され、マップあるいは数式の形式で与えられる。操舵反力制御装置 1 0 0 R は、当該対応関係を参照して、アンダーステア度 D U S に応じた第 1 基本軸力ゲイン G B 1 及びアンダー軸力ゲイン G U を算出する。

20

## 【 0 0 8 6 】

操舵反力制御装置 1 0 0 R は、基本軸力 A F \\_ B 、第 1 基本軸力ゲイン G B 1 、アンダー軸力 A F \\_ U 、及びアンダー軸力ゲイン G U に基づいて、仮軸力 A F \\_ T を算出する。仮軸力 A F \\_ T は、次の式 ( 1 3 ) で表される。尚、式 ( 1 3 ) 中のアンダー軸力 A F \\_ U は、上記式 ( 1 2 ) 中のアンダー軸力 A F \\_ U とは別の種類であってもよい。

30

## 【 0 0 8 7 】

式 ( 1 3 ) :

$$A F \_ T = G B 1 \times A F \_ B + G U \times A F \_ U$$

## 【 0 0 8 8 】

次に、図 6 中のブロック 3 0 0 について説明する。操舵反力制御装置 1 0 0 R は、基本軸力 A F \\_ B とオーバー軸力 A F \\_ O の差分 O を算出する。差分 O は、次の式 ( 1 4 ) で表される。

## 【 0 0 8 9 】

式 ( 1 4 ) :

$$O = | A F \_ O | - | A F \_ B |$$

40

## 【 0 0 9 0 】

更に、操舵反力制御装置 1 0 0 R は、差分 O に応じたオーバーステア度 D O S を算出する。差分 O が大きくなるにつれ、オーバーステア度 D O S は強くなる傾向にある。図 6 に例示されるように、不感帯が設けられていてもよい。差分 O とオーバーステア度 D O S との対応関係は、予め規定され、マップあるいは数式の形式で与えられる。操舵反力制御装置 1 0 0 R は、当該対応関係を参照して、差分 O に応じたオーバーステア度 D O S を算出する。

## 【 0 0 9 1 】

続いて、操舵反力制御装置 1 0 0 R は、オーバーステア度 D O S に基づいて、第 2 基本軸力ゲイン G B 2 とオーバー軸力ゲイン G O を算出する。第 2 基本軸力ゲイン G B 2 は、

50

最終軸力  $A F\_F$  に対する仮軸力  $A F\_T$  の寄与度を定める重みゲインである。オーバー軸力ゲイン  $G O$  は、最終軸力  $A F\_F$  に対するオーバー軸力  $A F\_O$  の寄与度を定める重みゲインである。

【 0 0 9 2 】

図 6 に示されるように、第 2 基本軸力ゲイン  $G B 2$  は、オーバーステア度  $D O S$  が強くなるにつれて、1 から減少する。逆に、オーバー軸力ゲイン  $G O$  は、オーバーステア度  $D O S$  が強くなるにつれて、1 に向かって増加する。オーバーステア度  $D O S$  と第 2 基本軸力ゲイン  $G B 2$  との対応関係、及び、オーバーステア度  $D O S$  とオーバー軸力ゲイン  $G O$  との対応関係は、予め規定され、マップあるいは数式の形式で与えられる。操舵反力制御装置 1 0 0 R は、当該対応関係を参照して、オーバーステア度  $D O S$  に応じた第 2 基本軸力ゲイン  $G B 2$  及びオーバー軸力ゲイン  $G O$  を算出する。

10

【 0 0 9 3 】

操舵反力制御装置 1 0 0 R は、仮軸力  $A F\_T$ 、第 2 基本軸力ゲイン  $G B 2$ 、オーバー軸力  $A F\_O$ 、及びオーバー軸力ゲイン  $G O$  に基づいて、最終軸力  $A F\_F$  を算出する。最終軸力  $A F\_F$  は、次の式 ( 1 5 ) で表される。尚、式 ( 1 5 ) 中のオーバー軸力  $A F\_O$  は、上記式 ( 1 4 ) 中のオーバー軸力  $A F\_O$  とは別の種類であってもよい。

【 0 0 9 4 】

式 ( 1 5 ) :

$$A F\_F = G B 2 \times A F\_T + G O \times A F\_O$$

【 0 0 9 5 】

< 常用域 >

常用域の場合、アンダーステア度  $D U S$  及びオーバーステア度  $D O S$  は共に 0 である。第 1 基本軸力ゲイン  $G B 1$  が 1 となり、アンダー軸力ゲイン  $G U$  が 0 となるため、仮軸力  $A F\_T$  は、基本軸力  $A F\_B$  と等しくなる ( $A F\_T = A F\_B$ )。更に、第 2 基本軸力ゲイン  $G B 2$  が 1 となり、オーバー軸力ゲイン  $G O$  が 0 となるため、最終軸力  $A F\_F$  は、仮軸力  $A F\_T$ 、すなわち、基本軸力  $A F\_B$  と等しくなる ( $A F\_F = A F\_B$ )。基本軸力  $A F\_B$  が最終軸力  $A F\_F$  として用いられることにより、適度なビルドアップ感が再現される。

20

【 0 0 9 6 】

< アンダーステア >

アンダーステア時、オーバーステア度  $D O S$  は 0 である。第 2 基本軸力ゲイン  $G B 2$  が 1 となり、オーバー軸力ゲイン  $G O$  が 0 となるため、最終軸力  $A F\_F$  は、仮軸力  $A F\_T$  と等しくなる ( $A F\_F = A F\_T$ )。その仮軸力  $A F\_T$  は、上記式 ( 1 3 ) で表される。アンダーステア度  $D U S$  が強くなるにつれて、第 1 基本軸力ゲイン  $G B 1$  は減少する一方で、アンダー軸力ゲイン  $G U$  は増加する。また、アンダーステア時のアンダー軸力  $A F\_U$  は、基本軸力  $A F\_B$  よりも小さい。結果として、算出される最終軸力  $A F\_F$  は、基本軸力  $A F\_B$  よりも小さくなる ( $A F\_F < A F\_B$ )。最終軸力  $A F\_F$  を基本軸力  $A F\_B$  よりも減らすことにより、操舵反力が抑制され、アンダーステア時の“舵力抜け感”が再現される。

30

【 0 0 9 7 】

尚、アンダー軸力  $A F\_U$  として、特に第 5 軸力  $A F 5$  が用いられてもよい。上述の通り、第 5 軸力  $A F 5$  は、他の軸力  $A F 2 \sim A F 4$  よりも早く変化を開始する「早期変化軸力」である。このような第 5 軸力  $A F 5$  をアンダー軸力  $A F\_U$  として用いることにより、より早期にアンダーステア状態を検知することが可能となる。結果として、アンダーステア状態に適した操舵反力をより早期に発生させることが可能となる。

40

【 0 0 9 8 】

< オーバーステア >

オーバーステア時、アンダーステア度  $D U S$  は 0 である。第 1 基本軸力ゲイン  $G B 1$  が 1 となり、アンダー軸力ゲイン  $G U$  が 0 となるため、仮軸力  $A F\_T$  は、基本軸力  $A F\_B$  と等しくなる ( $A F\_T = A F\_B$ )。従って、上記式 ( 1 5 ) は、次の式 ( 1 6 ) と

50

なる。

【0099】

式(16)：

$$AF\_F = GB2 \times AF\_B + GO \times AF\_O$$

【0100】

オーバーステア度DOSが強くなるにつれて、第2基本軸力ゲインGB2は減少する一方で、オーバー軸力ゲインGOは増加する。また、オーバーステア時のオーバー軸力AF\_Oは、基本軸力AF\_Bよりも大きい。結果として、算出される最終軸力AF\_Fは、基本軸力AF\_Bよりも大きくなる( $AF\_F > AF\_B$ )。最終軸力AF\_Fを基本軸力AF\_Bよりも増やすことにより、操舵反力が増大し、カウンタステア操作が適切にアシストされる。

10

【0101】

4-2. 第2の例

図7は、第2の例を示す概念図である。第2の例では、図6中のブロック200(アンダーステアに関連する処理)の変形例を説明する。差分Uは、第1の例と同じであり、上記式(12)で表される。第2の例では、この差分Uそのものがアンダーステア度DUSに相当し( $DUS = U$ )、差分Uの算出が状態判定部130の処理に相当する。

【0102】

操舵反力制御装置100Rは、アンダーステア度DUS(差分U)に応じた補正ゲインGCを算出する。補正ゲインGCは、1以下であり、アンダーステア度DUSが強くなるにつれて減少する傾向にある。図7に例示されるように、不感帯が設けられていてもよい。アンダーステア度DUSと補正ゲインGCとの対応関係は、予め規定され、マップあるいは数式の形式で与えられる。操舵反力制御装置100Rは、当該対応関係を参照して、アンダーステア度DUSに応じた補正ゲインGCを算出する。

20

【0103】

上述の通り、アンダーステア時の最終軸力AF\_Fは、仮軸力AF\_Tと等しい。操舵反力制御装置100Rは、基本軸力AF\_Bに補正ゲインGCを乗ずることによって、仮軸力AF\_T、すなわち、最終軸力AF\_Fを算出する( $AF\_F = AF\_T = GC \times AF\_B$ )。アンダーステア度DUSが強くなるにつれて、補正ゲインGCは減少する。その結果、算出される最終軸力AF\_Fは、基本軸力AF\_Bよりも小さくなる( $AF\_F < AF\_B$ )。最終軸力AF\_Fを基本軸力AF\_Bよりも減らすことにより、操舵反力が抑制され、アンダーステア時の“舵力抜け感”が再現される。

30

【0104】

尚、アンダー軸力AF\_Uとして、特に第5軸力AF\_5が用いられてもよい。第5軸力AF\_5をアンダー軸力AF\_Uとして用いることによって、より早期にアンダーステア状態を検知することが可能となる。結果として、アンダーステア状態に適した操舵反力をより早期に発生させることが可能となる。

【0105】

4-3. 第3の例

図8は、第3の例を示す概念図である。第3の例は、基本軸力AF\_Bと共に、第2軸力AF\_2あるいは第4軸力AF\_4が用いられる。上述の通り、第2軸力AF\_2及び第4軸力AF\_4は、アンダー軸力AF\_Uとオーバー軸力AF\_Oの両方の性質を有している。そのような性質を有する第2軸力AF\_2あるいは第4軸力AF\_4を利用することによって、以下に説明されるように、処理を簡略化することが可能となる。

40

【0106】

一例として、第2軸力AF\_2を利用する場合を考える。第4軸力AF\_4を利用する場合も同様である。操舵反力制御装置100Rは、基本軸力AF\_Bと第2軸力AF\_2の差分を算出する。差分は、次の式(17)で表される。

【0107】

式(17)：

50

$$= A F \_ B - A F \_ 2$$

## 【0108】

第4の例では、この差分がアンダーステア度DUSあるいはオーバーステア度DOSに相当する。アンダーステア時、第2軸力AF<sub>2</sub>は基本軸力AF<sub>B</sub>より小さくなるため、差分は正となる。この正の差分がアンダーステア度DUSに相当する。一方、オーバーステア時、第2軸力AF<sub>2</sub>は基本軸力AF<sub>B</sub>より大きくなるため、差分は負となる。この負の差分がオーバーステア度DOSに相当する。尚、差分の算出が状態判定部130の処理に相当する。

## 【0109】

続いて、操舵反力制御装置100Rは、差分に応じたオフセットOFFを算出する。差分が正の場合のオフセットOFFは、正のオフセットOFF<sub>P</sub>である。一方、差分が負の場合のオフセットOFFは、負のオフセットOFF<sub>N</sub>である。差分の絶対値が大きくなるにつれて、オフセットOFF(OFF<sub>P</sub>、OFF<sub>N</sub>)の絶対値も大きくなる傾向にある。図8に例示されるように、不感帯が設けられていてもよい。差分とオフセットOFFとの対応関係は、予め規定され、マップあるいは数式の形式で与えられる。操舵反力制御装置100Rは、当該対応関係を参照して、差分に応じたオフセットOFFを算出する。

10

## 【0110】

続いて、操舵反力制御装置100Rは、基本軸力AF<sub>B</sub>とオフセットOFFに基づいて、最終軸力AF<sub>F</sub>を算出する。より詳細には、最終軸力AF<sub>F</sub>は、次の式(18)で表される。

20

## 【0111】

式(18)：

$$A F \_ F = A F \_ B - O F F$$

## 【0112】

<常用域>

常用域の場合、差分は0であり、オフセットOFFは0である。従って、最終軸力AF<sub>F</sub>は、基本軸力AF<sub>B</sub>と等しくなる(AF<sub>F</sub> = AF<sub>B</sub>)。基本軸力AF<sub>B</sub>が最終軸力AF<sub>F</sub>として用いられることにより、適度なビルドアップ感が再現される。

## 【0113】

<アンダーステア>

アンダーステア時、オフセットOFFは、正のオフセットOFF<sub>P</sub>となる。従って、最終軸力AF<sub>F</sub>は、オフセットOFF<sub>P</sub>の分(第1オフセット量)だけ、基本軸力AF<sub>B</sub>よりも小さくなる(AF<sub>F</sub> < AF<sub>B</sub>)。差分(アンダーステア度DUS)が大きくなるにつれて、第1オフセット量も増加する。最終軸力AF<sub>F</sub>を基本軸力AF<sub>B</sub>よりも減らすことにより、操舵反力が抑制され、アンダーステア時の“舵力抜け感”が再現される。

30

## 【0114】

<オーバーステア>

オーバーステア時、オフセットOFFは、負のオフセットOFF<sub>N</sub>となる。従って、最終軸力AF<sub>F</sub>は、オフセットOFF<sub>N</sub>の絶対値(第2オフセット量)だけ、基本軸力AF<sub>B</sub>よりも大きくなる(AF<sub>F</sub> > AF<sub>B</sub>)。差分(オーバーステア度DOS)が大きくなるにつれて、第2オフセット量も増加する。最終軸力AF<sub>F</sub>を基本軸力AF<sub>B</sub>よりも増やすことにより、操舵反力が増大し、カウンタステア操作が適切にアシストされる。

40

## 【0115】

4-4. 第4の例

図1に示される転舵装置40において、転舵モータ41の回転を転舵軸45に伝達する際の摩擦が増える状況がある。一例として、転舵モータ41の回転を転舵軸45に伝達するために、ボールねじが使用される場合を考える。低温条件下では、ボールねじのグリス

50

の粘度が高くなり、摩擦が増えてしまう。

【 0 1 1 6 】

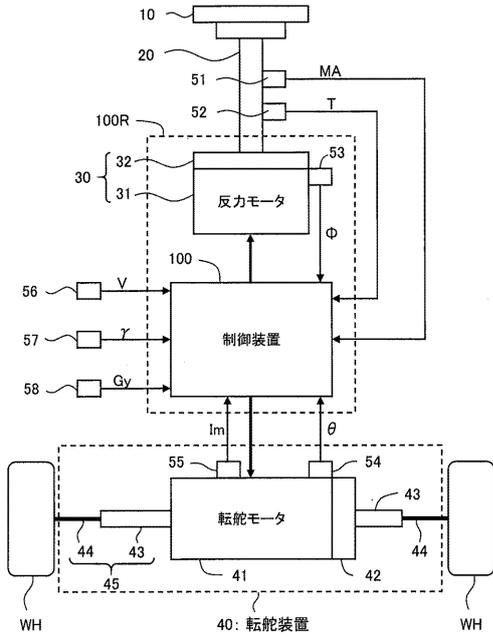
転舵電流  $I_m$  に基づいて算出される第 5 軸力  $A F 5$  は、そのような摩擦の影響も含んでしまう。摩擦が増える状況では、第 5 軸力  $A F 5$  の精度が低下するため、第 5 軸力  $A F 5$  を用いないことが好ましい。例えば、ステアバイワイヤシステム 1 に温度センサ（図示しない）が更に設けられる。温度センサによって検出される温度が閾値以下である低温条件下では、操舵反力制御装置 1 0 0 R は、第 5 軸力  $A F 5$  をアンダー軸力  $A F \_ U$  から外す。これにより、低温条件下における処理精度の悪化を防ぐことが可能となる。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 7 】

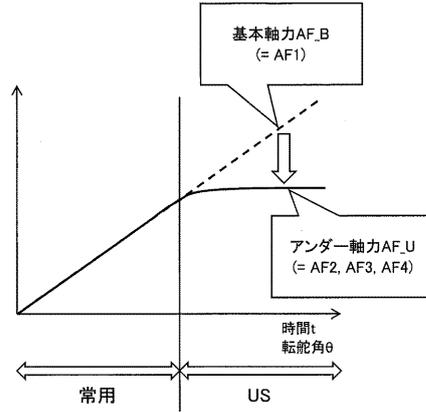
1	ステアバイワイヤシステム	10
1 0	ステアリングホイール（ハンドル）	
2 0	ステアリングシャフト	
3 0	反力発生装置	
4 0	転舵装置	
5 1	ハンドル角センサ	
5 2	操舵トルクセンサ	
5 3	回転角センサ	
5 4	回転角センサ	
5 5	転舵電流センサ	20
5 6	車速センサ	
5 7	ヨーレートセンサ	
5 8	横加速度センサ	
1 0 0	制御装置	
1 0 0 R	操舵反力制御装置	
1 1 0	センサ情報取得部	
1 2 0	軸力算出部	
1 3 0	状態判定部	
1 4 0	最終軸力算出部	
1 5 0	アクチュエータ制御部	30
$A F \_ B$	基本軸力	
$A F \_ F$	最終軸力	
$A F \_ O$	オーバー軸力	
$A F \_ U$	アンダー軸力	
W H	車輪（転舵輪）	

【図1】

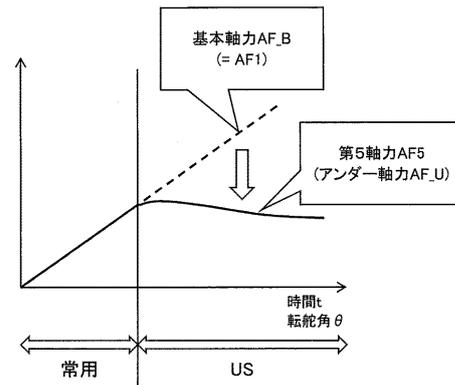


1: ステアバイワイヤシステム

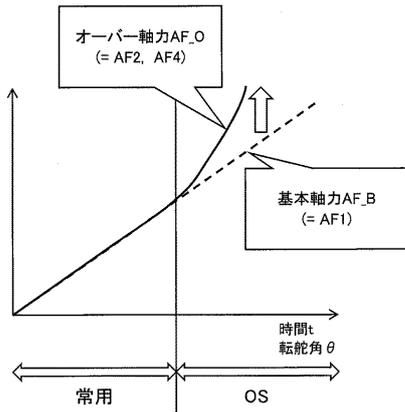
【図2】



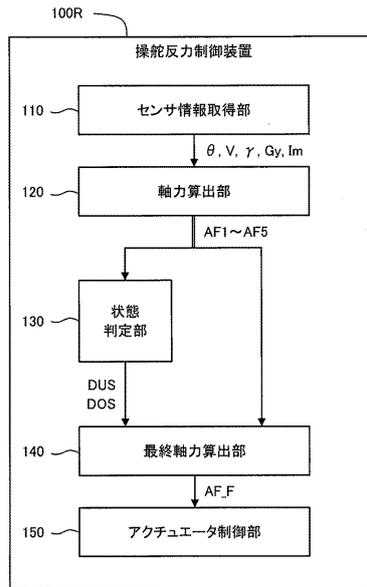
【図3】



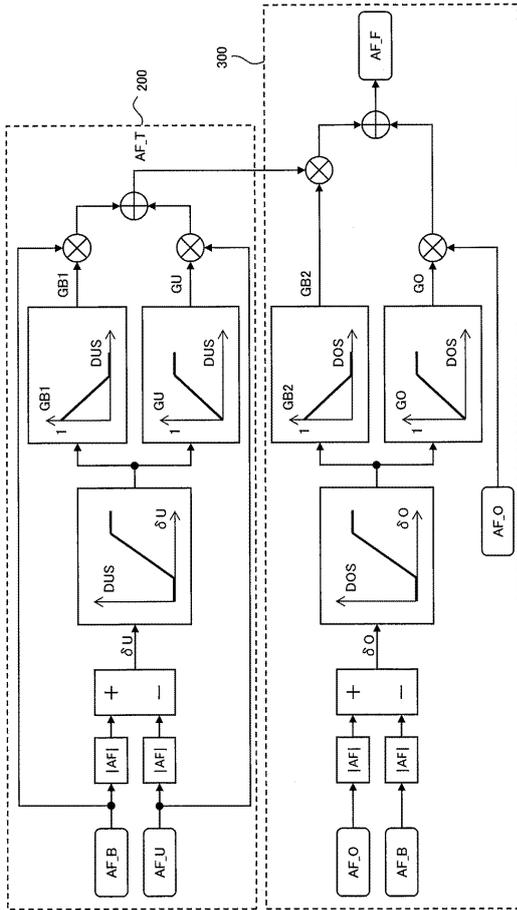
【図4】



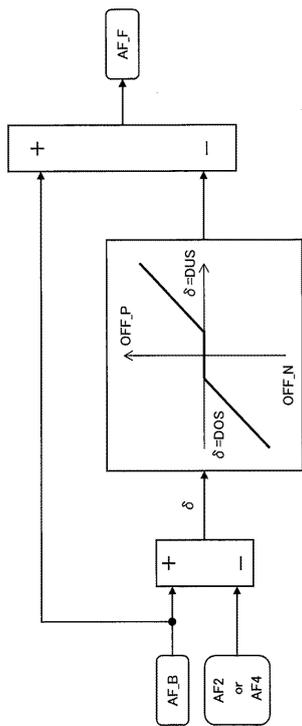
【図5】



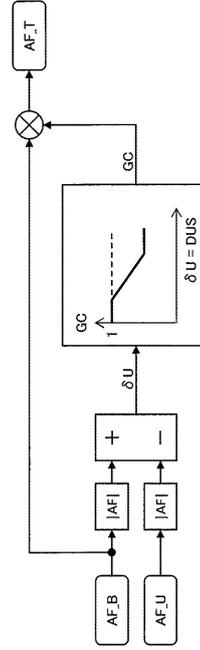
【 6 】



【 8 】



【 7 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
B 6 2 D 119/00 (2006.01) B 6 2 D 119:00

(56)参考文献 特開2017-149359(JP,A)  
国際公開第2013/061567(WO,A1)  
特開2015-093529(JP,A)  
特開2006-347286(JP,A)  
特開2003-175853(JP,A)  
米国特許出願公開第2017/0232998(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B 6 2 D 6 / 0 0 - 6 / 1 0