

(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
2011年6月30日(30.06.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/077626 A1

- (51) 国際特許分類:
B60W 40/10 (2006.01) B62J 99/00 (2009.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/006588
- (22) 国際出願日: 2010年11月10日(10.11.2010)
- (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 2009-288836 2009年12月21日(21.12.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ヤマハ発動機株式会社 (YAMAHA HATSUDOKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4388501 静岡県磐田市新貝2500番地 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井上 博介 (INOUE, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒4388501 静岡県磐田市新貝2500番地ヤマハ発動機株式会社内 Shizuoka (JP). 藤井 隆弘 (FUJII, Takahiro) [JP/JP]; 〒4388501 静岡県磐田市新貝2500番地ヤマハ発動機株式会社内 Shizuoka (JP). 関 吉美智 (SEKI, Yoshimichi) [JP/JP]; 〒4388501 静岡県磐田市新貝2500番地ヤマハ発動機株式会社内 Shizuoka (JP).

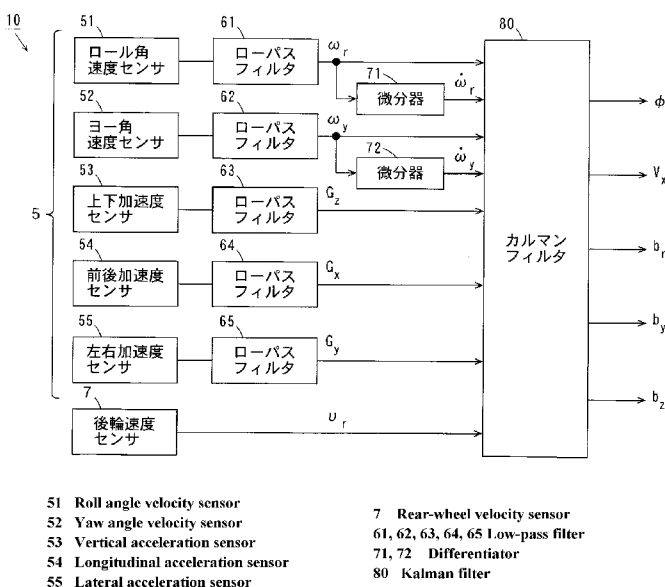
- (74) 代理人: 福島 祥人 (FUKUSHIMA, Yoshito); 〒5640052 大阪府吹田市広芝町4番1号江坂・ミタカビル3階 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ROLL ANGLE ESTIMATION DEVICE AND TRANSPORT EQUIPMENT

(54) 発明の名称: ロール角推定装置および輸送機器

[図2]



- 51 Roll angle velocity sensor
52 Yaw angle velocity sensor
53 Vertical acceleration sensor
54 Longitudinal acceleration sensor
55 Lateral acceleration sensor
7 Rear-wheel velocity sensor
61, 62, 63, 64, 65 Low-pass filter
71, 72 Differentiator
80 Kalman filter

(57) Abstract: The disclosed roll angle estimation device has a Kalman filter which estimates the roll angle of the vehicle body, the vehicle velocity, the roll angle velocity sensor offset, the yaw angle velocity sensor offset, based on the detection values of the roll angle velocity sensor, the yaw angle velocity sensor, the vertical acceleration sensor, the longitudinal acceleration sensor, the lateral acceleration sensor, and the rear-wheel velocity sensor and also based on the estimated values of the roll angle, the vehicle velocity, the roll angle velocity sensor offset, the yaw angle velocity sensor offset, and the vertical acceleration sensor offset that were found in the previous estimation operation.

(57) 要約: ロール角推定装置のカルマンフィルタは、ロール角速度センサ、ヨー角速度センサ、上下加速度センサ、前後加速度センサ、左右加速度センサおよび後輪速度センサの検出値ならびに前回の推定動作によるロール角、車両速度、ロール角速度センサオフセット、ヨー角速度センサオフセットおよび上下加速度センサオフセットの推定値に基づいて、車体のロール角、車両速度、ロール角速度センサオフセット、ヨー角速度センサオフセットおよび上下加

速度センサオフセットを推定する。

WO 2011/077626 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： ロール角推定装置および輸送機器

技術分野

[0001] 本発明は、ロール角推定装置およびそれを備えた輸送機器に関する。

背景技術

[0002] 従来より、自動二輪車等の車両のロール角を推定する種々の推定装置が提案されている。例えば、推定装置により推定されたロール角に基づいてヘッドライトの向きを制御することにより車両の傾斜にかかわらずヘッドライトで適切な方向に光を照射することができる。

[0003] 特許文献1に記載された車両姿勢推定装置では、車両運動の前後加速度、横加速度、上下加速度、ヨー加速度およびロール角速度の各検出値、前後車体速度の推定値およびピッチ角速度の推定値に基づいてロール角およびピッチ角が推定される。

特許文献1：特開2009-73466号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、従来の推定装置では、高い精度で車両のロール角を推定することができない。それにより、例えば、車両が傾斜していないにもかかわらず、ヘッドライトの向きが傾くことがある。

[0005] 本発明の目的は、移動体のロール角を高い精度で推定することが可能なロール角推定装置およびそれを備えた輸送機器を提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] (1) 本発明の一局面に従うロール角推定装置は、移動体のロール角を推定するロール角推定装置であって、少なくとも2つの方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出する第1および第2の角速度検出器と、少なくとも3つの方向における第1、第2および第3の加速度をそれぞれ検出する第1、第2および第3の加速度検出器と、

移動体の進行方向の移動速度に関する情報を検出する速度情報検出器と、移動体のロール角を推定するとともに第 1 および第 2 の角速度検出器ならびに第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器のうち少なくとも 1 つのオフセット誤差を推定するように構成された推定部とを備え、推定部は、第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、速度情報検出器の検出値ならびに前回の推定動作によるロール角の推定値およびオフセット誤差の推定値に基づいて、移動体のロール角および少なくとも 1 つのオフセット誤差を推定するものである。

[0007] そのロール角推定装置においては、少なくとも 2 つの方向に沿った第 1 および第 2 の軸の周りでの第 1 および第 2 の角速度がそれぞれ第 1 および第 2 の角速度検出器により検出される。また、少なくとも 3 つの方向における第 1、第 2 および第 3 の加速度がそれぞれ第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器により検出される。さらに、移動体の進行方向の移動速度に関する情報が速度情報検出器により検出される。そして、推定部により移動体のロール角が推定されるとともに第 1 および第 2 の角速度検出器ならびに第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器のうち少なくとも 1 つの検出器による検出値のオフセット誤差が推定される。

[0008] この場合、推定部は、現在の推定動作において第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値ならびに前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値に基づいて、移動体のロール角および少なくとも 1 つのオフセット誤差を推定する。

[0009] このように、ロール角とともにオフセット誤差が推定され、オフセット誤差の推定値が次の推定動作の際に用いられる。それにより、第 1 および第 2 の角速度検出器ならびに第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器のうち少なくとも 1 つのオフセット誤差によるロール角の推定精度の低下が補償される。その結果、ロール角を高い精度で推定することが可能となる。

[0010] (2) 第 1 および第 2 の角速度検出器は、互いに異なる方向に沿った第 1

および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出し、第1、第2および第3の加速度検出器は、互いに異なる第1、第2および第3の方向における第1、第2および第3の加速度をそれぞれ検出してもよい。

[0011] この場合、互いに異なる方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度がそれぞれ第1および第2の角速度検出器により検出される。また、互いに異なる第1、第2および第3の方向における第1、第2および第3の加速度がそれぞれ第1、第2および第3の加速度検出器により検出される。

[0012] (3) 推定部は、少なくとも1つのオフセット誤差として、第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差を推定してもよい。

[0013] 角速度検出器では、加速度検出器に比べてオフセット誤差が発生しやすい。したがって、第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の推定精度が十分に向上する。

[0014] (4) 推定部は、少なくとも1つのオフセット誤差として、第1および第2の角速度検出器のオフセット誤差を推定してもよい。

[0015] この場合、第1および第2の角速度検出器のオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の推定精度がより向上する。

[0016] (5) 推定部は、少なくとも1つのオフセット誤差として、第1、第2および第3の加速度検出器の少なくとも1つのオフセット誤差をさらに推定してもよい。

[0017] この場合、第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差の推定値に加えて第1、第2および第3の加速度検出器の少なくとも1つのオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の推定精度がさらに向上する。

[0018] (6) 第1の加速度は移動体の上下方向における加速度であり、推定部は、第1の加速度検出器のオフセット誤差を推定してもよい。

[0019] 移動体のロール角が小さい範囲では、移動体の上下方向の加速度はほとん

ど変化しない。このような上下方向の加速度の検出値が第 1 の加速度検出器のオフセット誤差により変化した場合、ロール角の推定の際に上下方向の加速度の検出値の変化の影響が大きくなる。したがって、第 1 の加速度検出器のオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の小さい範囲での推定精度がさらに向上する。

[0020] (7) 移動体は、前輪および後輪を有し、速度情報検出器は、情報として後輪の回転速度を検出する後輪回転速度検出器を含み、推定部は、移動体の移動速度をさらに推定するように構成され、現在の推定動作において第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、後輪速度検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、移動体のロール角、少なくとも 1 つのオフセット誤差および移動体の移動速度を推定してもよい。

[0021] 移動体の移動速度と後輪の回転速度と移動体のロール角との間には一定の関係がある。そのため、後輪の回転速度の検出値およびロール角の推定値に基づいて移動体の移動速度を推定することができる。したがって、現在の推定動作において第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、後輪の回転速度の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、移動体のロール角、少なくとも 1 つのオフセット誤差および移動体の移動速度を推定することができる。

[0022] 移動体が小さい半径で低速で旋回する場合には、後輪の回転速度は前輪の回転速度に比べて移動体の移動速度に近い。したがって、後輪の回転速度の検出値を用いることにより、移動体のロール角、少なくとも 1 つのオフセット誤差および移動体の移動速度を高い精度で推定することが可能となる。

[0023] (8) 移動体は、前輪および後輪を有し、速度情報検出器は、前輪の回転速度を検出する前輪回転速度検出器と、前輪回転速度検出器の検出値から後

輪の回転速度を情報として推定する後輪回転速度推定部とを含み、推定部は、移動体の移動速度をさらに推定するように構成され、現在の推定動作において第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、後輪速度検出器の推定値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、移動体のロール角、少なくとも 1 つのオフセット誤差および移動体の移動速度を推定してもよい。

[0024] 移動体が小さい半径で低速で旋回する場合には、前輪の旋回半径は後輪の旋回半径に比べて大きくなる。それにより、前輪回転速度検出器により検出される前輪の回転速度は後輪の回転速度に比べて高くなる。そこで、前輪回転速度検出器の検出値から後輪回転速度推定部により後輪の回転速度が推定される。それにより、前輪回転速度検出器が設けられた場合にも、後輪回転速度検出器が設けられた場合と同様に、移動体のロール角、少なくとも 1 つのオフセット誤差および移動体の移動速度を高い精度で推定することが可能となる。

[0025] (9) 推定部は、現在の推定動作において第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値ならびに前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値の関係を用いて移動体のロール角および少なくとも 1 つのオフセット誤差を推定するカルマンフィルタを含んでもよい。

[0026] この場合、カルマンフィルタのアルゴリズムを用いることにより推定部を容易に実現することができる。

[0027] (10) 本発明の他の局面に従う輸送機器は、移動可能に構成された移動体と、移動体のロール角を推定する上記発明に係るロール角推定装置と、ロール角推定装置により推定されたロール角を用いた処理を行う処理部とを備えたものである。

[0028] その輸送機器においては、上記発明に係るロール角推定装置により移動部のロール角が高い精度で推定される。それにより、処理部によるロール角を

用いた処理が高い精度で行われる。

発明の効果

[0029] 本発明によれば、移動体のロール角を高い精度で推定することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1] 図1は本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。

[図2] 図2は本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置の構成を示すブロック図である。

[図3] 図3はカルマンフィルタの概念を示す図である。

[図4] 図4はセンサ群の取り付け位置を説明するための図である。

[図5] 図5は後輪の断面図である。

[図6] 図6はセンサ群の取り付け位置をベクトルで表した図である。

[図7] 図7はロール角推定装置による各パラメータの推定値の時間遷移を示す図である。

[図8] 図8は各パラメータの推定値の時間遷移を示す図である。

[図9] 図9は本発明の他の実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。

[図10] 図10は車両の旋回時の前輪および後輪の旋回半径を示す図である。

[図11] 図11は前輪速度と後輪速度との関係の計算結果を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0031] 以下、本発明の実施の形態に係るロール角推定装置を車両に適用した例を説明する。

[0032] (1) 車両の構成

図1は本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。図1の車両100は自動二輪車である。

[0033] 図1に示すように、車両100は車体1を備える。車体1の前部に前輪2が取り付けられ、車体1の後部に後輪3が取り付けられる。また、車体1の

中央部には、センサ群 5 が取り付けられる。センサ群 5 の詳細については、後述する。

[0034] 後輪 3 のホイールに後輪 3 の回転速度を検出する後輪速度センサ 7 が取り付けられる。

[0035] 車体 1 の前側の上部には、ハンドル 11 が左右に揺動可能に設けられる。ハンドル 11 の近傍にナビゲーションシステム 12 が設けられる。また、車体 1 の前部にはヘッドライト 14 およびヘッドライト駆動装置 15 が設けられる。ヘッドライト駆動装置 15 はヘッドライト 14 の向きを制御する。車体 1 の後部には、電子制御ユニット（以下、ECU と略記する）20 が設けられる。

[0036] センサ群 5 および後輪速度センサ 7 の出力信号は、ECU 20 に与えられる。ECU 20 は、車体 1 の各部を制御するとともに車体 1 のロール角を推定し、推定したロール角を例えばナビゲーションシステム 12 およびヘッドライト駆動装置 15 に与える。

[0037] 本実施の形態では、センサ群 5、後輪速度センサ 9 および ECU 20 がロール角推定装置を構成する。

[0038] （２）ロール角推定装置の構成

図 2 は本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置の構成を示すブロック図である。

[0039] 図 2 のロール角推定装置 10 は、センサ群 5、後輪速度センサ 7、ローパスフィルタ 61～65、微分器 71、72 およびカルマンフィルタ 80 により構成される。カルマンフィルタ 80 の機能は、図 1 の ECU 20 およびプログラムにより実現される。

[0040] センサ群 5 は、ロール角速度センサ 51、ヨー角速度センサ 52、上下加速度センサ 53、前後加速度センサ 54 および左右加速度センサ 55 を含む。

[0041] ロール角速度センサ 51 は、車体 1 のロール角速度を検出するように車体 1 に設けられる。ロール角速度は、車両 100 の前後軸周りの角速度である

。ヨー角速度センサ 5 2 は、車体 1 のヨー角速度を検出するように車体 1 に設けられる。ヨー角速度は、車両 1 0 0 の上下軸周りの角速度である。

[0042] 上下加速度センサ 5 3 は、車体 1 の上下加速度を検出するように車体 1 に設けられる。上下加速度は、車体 1 の上下方向の加速度である。前後加速度センサ 5 4 は、車体 1 の前後加速度を検出するように車体 1 に設けられる。前後加速度は、車体 1 の前後方向の加速度である。左右加速度センサ 5 5 は、車体 1 の左右加速度を検出するように車体 1 に設けられる。左右加速度は、車体 1 の左右方向の加速度である。

[0043] ロール角速度センサ 5 1 の出力信号は、ローパスフィルタ 6 1 を通してロール角速度としてカルマンフィルタ 8 0 および微分器 7 1 に与えられる。ローパスフィルタ 6 1 は、ロール角速度センサ 5 1 の出力信号のノイズを除去する。微分器 7 1 は、ロール角速度の微分値をロール角加速度としてカルマンフィルタ 8 0 に与える。ヨー角速度センサ 5 2 の出力信号は、ローパスフィルタ 6 2 を通してヨー角速度としてカルマンフィルタ 8 0 および微分器 7 2 に与えられる。ローパスフィルタ 6 2 は、ヨー角速度センサ 5 2 の出力信号のノイズを除去する。微分器 7 2 は、ヨー角速度の微分値をヨー角加速度としてカルマンフィルタ 8 0 に与える。

[0044] 上下加速度センサ 5 3 の出力信号は、ローパスフィルタ 6 3 を通して上下加速度としてカルマンフィルタ 8 0 に与えられる。前後加速度センサ 5 4 の出力信号は、ローパスフィルタ 6 4 を通して前後加速度としてカルマンフィルタ 8 0 に与えられる。左右加速度センサ 5 5 の出力信号は、ローパスフィルタ 6 5 を通して左右加速度としてカルマンフィルタ 8 0 に与えられる。

[0045] 後輪速度センサ 7 の出力信号は、後輪速度としてカルマンフィルタ 8 0 に与えられる。後輪速度は、路面と後輪 3 のタイヤとの間に滑りが生じないと仮定した場合のタイヤの最外周の回転速度であり、実際には後輪速度センサ 7 の出力信号およびタイヤのサイズに基づいて算出される。説明を簡略化するために、図 2 では、後輪速度センサ 7 から後輪速度を示す信号が出力されるものとする。

[0046] ここで、ロール角速度、ロール角加速度、ヨー角速度、ヨー角加速度、上下加速度、前後加速度、左右加速度および後輪速度を下表の符号で表す。なお、各パラメータを表す符号の上の 1 つのドットは 1 階微分を意味する。

[0047] [表1]

パラメータ	意味
ω_r	ロール角速度
$\dot{\omega}_r$	ロール角加速度
ω_y	ヨー角速度
$\dot{\omega}_y$	ヨー角加速度
G_z	上下加速度
G_x	前後加速度
G_y	左右加速度
v_r	後輪速度

[0048] カルマンフィルタ 80 は、上記のパラメータに基づいてロール角、車両速度、ロール角速度センサオフセット、ヨー角速度センサオフセットおよび上下加速度センサオフセットを推定して出力する。

[0049] ここで、車両 100 の進行方向に平行な鉛直面を前後方向鉛直面と呼び、前後方向鉛直面に垂直な鉛直面を左右鉛直面と呼ぶ。ロール角は、左右鉛直面内で重力方向に対する車体 1 の傾斜角度である。車両速度は、車体 1 の進行方向の速度である。

[0050] ロール角速度センサオフセットは、ロール角速度センサ 51 のオフセット誤差であり、ヨー角速度センサオフセットは、ヨー角速度センサ 52 のオフセット誤差であり、上下加速度センサオフセットは、上下加速度センサ 53 のオフセット誤差である。

[0051] 車両速度、ロール角速度センサオフセット、ヨー角速度センサオフセットおよび上下加速度センサオフセットを下表の符号で表す。

[0052]

[表2]

パラメータ	意味
ϕ	ロール角
V_x	車両速度
b_r	ロール角速度センサオフセット
b_y	ヨー角速度センサオフセット
b_z	上下加速度センサオフセット

[0053] 本実施の形態に係るロール角推定装置 10 では、ロール角速度センサ 51、ヨー角速度センサ 52、上下加速度センサ 53、前後加速度センサ 54、左右加速度センサ 55 および後輪速度センサ 7 を用いて後述する式 (17)、(18) の 5 つの関係式が導出される。これらの関係式を用いてロール角 ϕ および車両速度 V_x という 2 つのパラメータが推定される。すなわち、関係式の数と推定される出力の数との間に冗長性が存在する。言い換えると、関係式の数が推定する出力の数よりも多い。この冗長性を利用してロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z を推定することが可能となる。

[0054] (3) カルマンフィルタ 80 の構成

図 3 はカルマンフィルタ 80 の概念を示す図である。図 3 のカルマンフィルタ 80 では、以下に説明する車両 100 の運動学モデルが用いられる。

[0055] 図 3 において、カルマンフィルタ 80 は、システム方程式 8a、加算機能 8b、積分機能 8c、観測方程式 8d、減算機能 8e およびカルマンゲイン 8f により構成される。システム方程式 8a は関数 $f(x, u)$ を含み、観測方程式 8d は関数 $h(x)$ を含み、カルマンゲイン 8f は 5 次のカルマンゲイン K を含む。

[0056] 現在の推定動作において、システム方程式 8a の入力パラメータ u として、ロール角速度 ω_r の検出値、ロール角加速度（ロール角速度 ω_r の微分値）の検出値、ヨー角速度 ω_y の検出値、ヨー角加速度（ヨー角速度 ω_y の微分値）お

よび前後加速度 G_x の検出値が与えられる。また、システム方程式 8 a の入力パラメータ x として、前回の推定動作によるロール角 ϕ の推定値、車両速度 V_x の推定値、ロール角速度センサオフセット b_r の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_y の推定値および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が与えられる。システム方程式 8 a の出力は、ロール角 ϕ の微分値、車両速度 V_x の微分値、ロール角速度センサオフセット b_r の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_y の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値である。

[0057] ロール角 ϕ の微分値、車両速度 V_x の微分値、ロール角速度センサオフセット b_r の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_y の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値に前回の推定動作により得られた 5 次のカルマンゲイン K が加算される。

[0058] カルマンゲイン K が加算されたロール角 ϕ の微分値、車両速度 V_x の微分値、ロール角速度センサオフセット b_r の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_y の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値が積分されることにより、現在の推定動作によるロール角 ϕ の推定値、車両速度 V_x の推定値、ロール角速度センサオフセット b_r の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_y の推定値および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が得られる。

[0059] また、観測方程式 8 d の入力パラメータ x として、ロール角 ϕ の推定値、車両速度 V_x の推定値、ロール角速度センサオフセット b_r の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_y の推定値および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が与えられる。観測方程式 8 d から上下加速度 G_z の算出値、左右加速度 G_y の算出値および後輪速度 v_r の算出値が得られる。

[0060] また、カルマンフィルタ 8 0 には、入力パラメータ y として上下加速度 G_z の検出値、左右加速度 G_y の検出値および後輪速度 v_r の検出値が与えられる。上下加速度 G_z 、左右加速度 G_y および後輪速度 v_r の検出値と算出値との差に基づいてカルマンゲイン K が算出される。

[0061] この運動学モデルのシステム方程式 8 a および観測方程式 8 d を導出することにより、入力パラメータ u 、 y と出力パラメータ x との関係式を導くこ

とができる。

[0062] (4) システム方程式および観測方程式の導出

本実施の形態では、運動学モデルを簡単化するために以下の点を仮定する

。

[0063] (a) 車両 100 はピッチングしない。

[0064] (b) 後輪 3 と路面との間に回転方向の滑りは生じない。

[0065] (c) 後輪 3 の横滑り速度は 0 である。

[0066] (d) 路面は平坦でかつ傾斜していない。

[0067] これらの仮定 (a) ~ (d) に基づいて以下のようにして運動学モデル式を導出する。

[0068] ロール角、ロール角の微分値、ピッチ角、ピッチ角の微分値、ヨー角、ヨー角の微分値、ロール角速度、ヨー角速度およびピッチ角速度を下表の符号で表す。

[0069] [表3]

パラメータ	意味
ϕ	ロール角
$\dot{\phi}$	ロール角の微分値
θ	ピッチ角
$\dot{\theta}$	ピッチ角の微分値
ψ	ヨー角
$\dot{\psi}$	ヨー角の微分値
ω_r	ロール角速度
ω_y	ヨー角速度
ω_p	ピッチ角速度

[0070] まず、一般的なオイラー角と角速度との関係式から次式が成立する。

[0071]

[数1]

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tan \theta \sin \phi & \tan \theta \cos \phi \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi \sec \theta & \cos \phi \sec \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_p \\ \omega_y \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

[0072] 上記の仮定 (a) からピッチ角およびその微分値は0となる。したがって、上式 (1) は次式のようにになる。

[0073] [数2]

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_p \\ \omega_y \end{bmatrix} \quad \cdots (2)$$

[0074] 上式 (2) の2行目よりピッチ角速度 ω_p を削除することができる。それにより、次式が求まる。

[0075] [数3]

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_y \sec \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (3)$$

[0076] 図4はセンサ群5の取り付け位置を説明するための図である。図4の左側に車両100の左側面を示し、右側に車両100の正面を示す。図5は後輪3の断面図である。図6はセンサ群5の取り付け位置をベクトルで表した図である。

[0077] 図4において、センサ群5の取り付け位置をPSとする。取り付け位置PSから後輪3の中心までの水平距離をLとし、路面から取り付け位置PSまでの高さをhとする。

[0078] 図5においては、後輪3は路面RDに対してロール角 ϕ 傾斜している。上

記の仮定（d）より路面RDは傾斜していない。後輪3のタイヤTRと路面RDとの接地点をPとする。また、後輪3のタイヤTRの断面の半径を R_{cr} とし、後輪3の半径を R_e とする。

[0079] 図6において、慣性座標系の原点Oを基準とするセンサ群5の取り付け位置PSの位置ベクトルを r_v とし、慣性座標系の原点Oを基準とする接地点Pの位置ベクトルを r_{v_0} とし、接地点Pからセンサ群5の取り付け位置PSまでのベクトルを ρ_v とする。この場合、 $r_v = r_{v_0} + \rho_v$ が成り立つ。

[0080] ここで、位置ベクトル r_v の2階微分ベクトル、位置ベクトル r_{v_0} の2階微分ベクトル、ベクトル ρ_v の2階微分ベクトルおよび重力加速度ベクトルを下表の符号で表す。なお、各パラメータを表す符号の上の2つのドットは2階微分を意味する。

[0081] [表4]

パラメータ	意味
$\ddot{r}_v$	位置ベクトル r_v の2階微分ベクトル
$\ddot{r}_{v_0}$	位置ベクトル r_{v_0} の2階微分ベクトル
$\ddot{\rho}_v$	取り付け位置ベクトル ρ_v の2階微分ベクトル
g_v	重力加速度ベクトル

[0082] ここで、取り付け位置PSの上下加速度センサ53、前後加速度センサ54および左右加速度センサ55により検出される加速度ベクトルを G_v とする。加速度ベクトル G_v は、次式のように、位置ベクトル r_v の2階微分ベクトルに重力加速度ベクトルを加算することにより得られる。

[0083] [数4]

$$G_v = \ddot{r}_v + g_v = \ddot{r}_{v_0} + \ddot{\rho}_v + g_v \quad \cdots (4)$$

[0084] 以下、上式（4）の右辺を算出する。図6のベクトル ρ_v は、次式で表される。

[0085]

[数5]

$$\rho v = [e] \rho \quad \cdots (5)$$

[0086] 上式(5)において、 $[e] = [e_1, e_2, e_3]$ である。 e_1 、 e_2 および e_3 は、車体1に固定された基底ベクトルであり、 e_1 は車体1の前方向の基底ベクトルであり、 e_2 は車体1の左方向の基底ベクトルであり、 e_3 は車体1の垂直上方向の基底ベクトルである。また、 ρ は行列である。上式(5)の行列 ρ は、図4および図5より次式で表される。

[0087] [数6]

$$\rho = \begin{bmatrix} L \\ R_{cr} \sin \phi \\ h - R_{cr} (1 - \cos \phi) \end{bmatrix} \quad \cdots (6)$$

[0088] 上式(6)からベクトル ρv の2階微分ベクトルは次式のように求まる。

[0089] [数7]

$$\ddot{\rho} v = [e] \begin{bmatrix} a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \end{bmatrix} \quad \cdots (7)$$

[0090] 上式(7)において、 a_x 、 a_y および a_z は関数である。関数 a_x 、 a_y 、 a_z は上式(5)および(6)を計算することにより求めることができる。上式(6)から上式(7)への変形の際に上式(3)を用いることによりロール角 ϕ の微分値およびヨー角 ψ の微分値を消去することができる。

[0091] 次に、車両100の横滑り速度を V_y とする。図6の位置ベクトル $r v_0$ の1階微分ベクトルは、車両速度 V_x および横滑り速度を V_y を用いて次式のように表される。

[0092] [数8]

$$\dot{r}_{v_0} = [e_0] \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (8)$$

[0093] 上式(8)において、 $[e_0] = [e_{0_1}, e_{0_2}, e_{0_3}]$ である。 e_{0_1} 、 e_{0_2} および e_{0_3} は、慣性座標系の基底ベクトル $[e] = [e_1, e_2, e_3]$ をヨ一角 ψ のみ回転させることにより得られる基底ベクトルである。

[0094] 仮定(c)から $v_y = 0$ とし、上式(8)を1階微分すると、位置ベクトル r_{v_0} の2階微分ベクトルは次式のように表される。

[0095] [数9]

$$\ddot{r}_{v_0} = [e] \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ v_x \omega_y \\ -v_x \omega_y \tan \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (9)$$

[0096] 最後に、重力加速度ベクトルは次式のように表される。

[0097] [数10]

$$g_v = [e] \begin{bmatrix} 0 \\ g \sin \phi \\ g \cos \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (10)$$

[0098] 上式(10)においては、 g は重力加速度の大きさである。

[0099] 上式(4)、(7)、(9)、(10)から取り付け位置PSにおいて検出される加速度ベクトル G_v は次式のように表される。

[0100]

[数11]

$$Gv = \ddot{r}v + gv = \ddot{r}v_0 + \ddot{\rho}v + gv =$$

$$[e] \begin{bmatrix} \dot{V}_x + a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ V_x \omega_y + a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x \omega_y \tan \phi + a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$\cdots (11)$$

[0101] ここで、取り付け位置PSで検出される加速度ベクトルGvは、前後加速度センサ54により検出される前後加速度G_x、左右加速度センサ55により検出される左右加速度G_y、および上下加速度センサ53により検出される上下加速度G_zを用いて次式のように表される。

$$[0102] \quad Gv = [e] [G_x, G_y, G_z]$$

したがって、上式(11)より、前後加速度G_x、左右加速度センサ55により検出される左右加速度G_y、および上下加速度センサ53により検出される上下加速度G_zは次式のようになる。

[0103] [数12]

$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \\ G_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_x + a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ V_x \omega_y + a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x \omega_y \tan \phi + a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$\cdots (12)$$

[0104] 次に、後輪速度v_rと車両速度V_xとの関係を求める。上記の仮定(b)から後輪3と路面との間に滑りがないので、図5から後輪速度v_rと車両速度V_xの間には次式の関係が成り立つ。

[0105]

[数13]

$$\frac{V_x}{R_e - R_{cr} (1 - \cos \phi)} = \frac{v_r}{R_e} \quad \cdots (13)$$

[0106] 上式 (13) から次式が求まる。

[0107] [数14]

$$v_r = \frac{R_e}{R_e - R_{cr} (1 - \cos \phi)} V_x = \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e (1 - \cos \phi)} V_x \quad \cdots (14)$$

[0108] 上式 (3), (12), (14) から次式が求まる。

[0109] [数15]

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ v_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r \\ G_x - a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \end{bmatrix} \quad \cdots (15)$$

[0110] [数16]

$$\begin{bmatrix} G_y \\ G_z \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x \omega_y + a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x \omega_y \tan \phi + a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \\ \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e (1 - \cos \phi)} V \end{bmatrix} \quad \cdots (16)$$

[0111] 上式 (15) をシステム方程式として用い、上式 (16) を観測方程式として用いることにより、拡張カルマンフィルタを適用することが可能となる

。

[0112] さらに、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z が変化する場合でも、それらの値の変化は車両 100 の動きに比べて遅い。そのため、ロール角速度センサオフセット b_r の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_y の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値を 0 とみなすことができる。

[0113] また、上式 (15)、(16) のロール角速度 ω_r 、ヨー角速度 ω_y および上下加速度 G_z をそれぞれ $\omega_r - b_r$ 、 $\omega_y - b_y$ および $G_z - b_z$ で置き換えることにより次式を導出することができる。

[0114] [数17]

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ V_x \\ b_r \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r - b_r \\ G_x - a_x(\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots (17)$$

[0115] [数18]

$$\begin{bmatrix} G_y \\ G_z \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x(\omega_y - b_y) + a_y(\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x(\omega_y - b_y) \tan \phi + a_z(\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \\ \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e(1 - \cos \phi)} V \end{bmatrix} \quad \dots (18)$$

[0116] 上式 (17)、(18) では、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z が考慮されている。

- [0117] 上式（１７）をシステム方程式とし、上式（１８）を観測方程式として、拡張カルマンフィルタを適用することにより、ロール角 ϕ 、車両速度 V_x 、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z を推定することができる。
- [0118] ここで、上式（１７）の右辺が図３の関数 $f(x, u)$ に相当し、上式（１８）の右辺が図３の関数 $h(x)$ に相当する。
- [0119] 角速度センサでは、加速度センサに比べてオフセット誤差が発生しやすい。したがって、本実施の形態では、ロール角速度センサ５１のオフセット誤差（ロール角速度センサオフセット b_r ）およびヨー角速度センサ５２のオフセット誤差（ヨー角速度センサオフセット b_y ）が推定される。ロール角速度センサオフセット b_r およびヨー角速度センサオフセット b_y の推定値を次の推定動作の際に用いることによりロール角 ϕ の推定精度が十分に向上する。
- [0120] また、３つの加速度センサ（上下加速度センサ５３、前後加速度センサ５４および左右加速度センサ５５）のオフセット誤差を推定することができれば、ロール角 ϕ の推定精度がさらに向上することが期待される。しかしながら、３つの加速度センサのオフセット誤差を推定する場合には、可観測性を保つことはできない。そこで、本実施の形態では、次の理由により上下加速度センサ５３のオフセット誤差（上下加速度センサオフセット b_z ）を推定する。車体１のロール角 ϕ が小さい範囲では、車体１の上下加速度はほとんど変化しない。このような上下加速度の検出値が上下加速度センサオフセット b_z により変化した場合、ロール角 ϕ の推定の際に上下加速度の検出値の変化の影響が大きくなる。したがって、上下加速度センサオフセット b_z の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角 ϕ の小さい範囲での推定精度がさらに向上する。
- [0121] （５）各パラメータの推定値の算出
- 図７および図８はロール角速度センサ５１がオフセット誤差を有する場合および有しない場合における各パラメータの推定値の時間遷移を示す図である。

- [0122] ここでは、車両 100 にオフセット誤差を有しないロール角速度センサ 51、ヨー角速度センサ 52、上下加速度センサ 53、前後加速度センサ 54、左右加速度センサ 55 および後輪速度センサ 7 を取り付け、実際に走行するロール角速度センサ 51、ヨー角速度センサ 52、上下加速度センサ 53、前後加速度センサ 54、左右加速度センサ 55 および後輪速度センサ 7 の検出値に基づいて各パラメータの推定値を算出した。また、ロール角速度センサ 51 の検出値に 3 deg/s のオフセット誤差を付加し、各パラメータの推定値を算出した。図 7 はロール角 ϕ および車両速度 V_x の推定値を示し、図 8 はロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z の推定値を示す。
- [0123] 符号 $L0$ は、ロール角速度センサ 51 にオフセットが付加されない場合における各パラメータの推定値を示し、 $Loff$ は、ロール角速度センサ 51 の検出値にオフセット誤差が付加された場合における各パラメータの推定値を示す。
- [0124] 図 7 に示すように、ロール角速度センサ 51 の検出値にオフセット誤差が付加された場合におけるロール角 ϕ の推定値は、短時間でロール角速度センサ 51 の検出値にオフセット誤差が付加されない場合におけるロール角 ϕ の推定値に一致している。また、ロール角速度センサ 51 の検出値にオフセット誤差が付加された場合における車両速度 V_x の推定値は、ロール角速度センサ 51 の検出値にオフセット誤差が付加されない場合における車両速度 V_x の推定値にほぼ一致している。
- [0125] 図 8 に示すように、ロール角速度センサ 51 検出値にオフセット誤差が付加された場合におけるロール角速度センサオフセット b_r の推定値とロール角速度センサ 51 の検出値にオフセット誤差が付加されない場合におけるロール角速度センサオフセット b_r の推定値との差はオフセット誤差の値 (3 deg/s) に等しくなる。
- [0126] なお、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z の推定値は、ロール角速度センサ 51 の検出値にオフセット誤差が付加さ

れない場合にも付加された場合にもほぼ0となった。

[0127] このように、本実施の形態に係るロール角推定装置10によれば、ロール角速度センサ51がオフセット誤差を有する場合でも、ロール角 ϕ を高精度で推定することができることがわかる。

[0128] (6) 実施の形態の効果

本実施の形態に係るロール角推定装置10によれば、ロール角 ϕ および車両速度 V_x とともにロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z が推定され、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が次の推定動作の際に用いられる。それにより、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z によるロール角 ϕ の推定精度の低下が補償される。その結果、ロール角 ϕ を高い精度で推定することが可能となる。

[0129] また、加速度センサに比べてオフセットが発生しやすいロール角速度センサ51およびヨー角速度センサ52のオフセット誤差の推定値が次の推定動作に用いられる。それにより、ロール角 ϕ の推定精度が十分に向上する。

[0130] さらに、上下加速度センサ53のオフセット誤差の推定値が次の推定動作の際に用いられる。それにより、ロール角 ϕ の小さい範囲での推定精度がさらに向上する。

[0131] また、後輪速度センサ7により検出される後輪速度 v_r の検出値が推定動作に用いられる。それにより、車両100が小さい半径で低速で旋回する場合でも、車体1のロール角 ϕ 、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y 、上下加速度センサオフセット b_z および車両速度 V_x を高い精度で推定することが可能となる。

[0132] このように、ロール角推定装置10により車体1のロール角 ϕ が高い精度で推定される。それにより、ECU20により推定されたロール角 ϕ に基づいてナビゲーションシステム12およびヘッドライト駆動装置15が正確に動作する。

[0133] (7) 他の実施の形態

(a) 上記実施の形態に係るロール角推定装置 10 では、後輪 3 のホイールに後輪 3 の回転速度を検出する後輪速度センサ 7 が取り付けられるが、図 9 に示すように、後輪速度センサ 7 の代わりに前輪 2 のホイールに前輪 2 の回転速度を検出する前輪速度センサ 6 が取り付けられてもよい。図 9 は本発明の他の実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。すなわち、上記実施の形態では、後輪速度センサ 7 により検出される後輪速度 v_r が用いられるが、後輪速度センサ 7 により検出される後輪速度 v_r の代わりに、図 9 に示される前輪速度センサ 6 により検出される前輪速度から後輪速度 v_r が推定されてもよい。

[0134] 車両 100 が小さい半径で低速で旋回する場合には、前輪 2 の旋回半径は後輪 3 の旋回半径に比べて大きくなる。それにより、前輪速度センサ 6 により検出される前輪 2 の回転速度は後輪 3 の回転速度に比べて高くなる。そこで、前輪速度センサ 6 により検出される前輪 2 の回転速度から ECU 20 により後輪速度 v_r が推定される。

[0135] 図 10 は車両 100 の旋回時の前輪 2 および後輪 3 の旋回半径を示す図である。上記の仮定 (c) より後輪 3 の横滑り速度は 0 であるため、前輪 2 の旋回半径 r_f と後輪 3 の旋回半径 r_r との間には次式の関係が成り立つ。

[0136] [数19]

$$r_f^2 = r_r^2 + La^2 \quad \cdots (19)$$

[0137] ここで、 La は車両 100 のホイールベース長である。上式 (19) より次式が得られる。

[0138] [数20]

$$\frac{r_f}{r_r} = \sqrt{1 + \frac{La^2}{r_r^2}} \quad \cdots (20)$$

[0139] 前輪 2 の接地点の速度 V_f と後輪 3 の接地点の速度 V_r との比は前輪 2 の旋回半径 r_f と後輪 3 の旋回半径 r_r と等しくなる。したがって、次式が成り立つ。

[0140] [数21]

$$\frac{V_f}{V_r} = \frac{r_f}{r_r} = \sqrt{1 + \frac{La^2}{r_r^2}} \quad \dots (21)$$

[0141] さらに、車両 100 が定常旋回していると仮定すると、後輪 3 の旋回半径 r_r は後輪 3 の接地点の速度 V_r およびロール角 ϕ を用いて次式で表される。

[0142] [数22]

$$r_r = \frac{V_r^2}{g \tan \phi} \quad \dots (22)$$

[0143] 上式 (22) において、 g は重力加速度の大きさである。上式 (22) を上式 (21) に代入すると、次式が導き出される。

[0144] [数23]

$$V_r^4 - V_f^2 V_r^2 + La^2 g^2 \tan^2 \phi = 0 \quad \dots (23)$$

[0145] 上式 (23) から後輪 3 の接地点の速度 V_r は次式のように表される。

[0146] [数24]

$$V_r = \sqrt{\frac{V_f^2 + \sqrt{V_f^4 - 4La^2 g^2 \tan^2 \phi}}{2}} \quad \dots (24)$$

[0147] 上式 (24) は次式の条件が満たされる場合にのみ解を持つ。

[0148]

[数25]

$$V_f^4 - 4La^2g^2 \tan^2 \phi \geq 0 \quad \cdots (25)$$

[0149] 車両100の旋回半径が小さい場合には、上式(25)の条件が満たされない場合が生じる。そのような場合にも解が存在するように、上式(24)を次式のように修正する。

[0150] [数26]

$$V_r = \begin{cases} \sqrt{\frac{V_f^2 + \sqrt{V_f^4 - 4La^2g^2 \tan^2 \phi}}{2}} & (V_f^4 \geq 4La^2g^2 \tan^2 \phi \text{ のとき}) \\ \frac{V_f}{\sqrt{2}} & (V_f^4 < 4La^2g^2 \tan^2 \phi \text{ のとき}) \end{cases} \quad \cdots (26)$$

[0151] 上式(26)におけるロール角 ϕ としては前回の推定動作におけるロール角 ϕ の推定値を用いる。

[0152] 上式(26)から前輪2の接地点の速度 V_f と後輪3の接地点の速度 V_r との関係が求められる。したがって、前輪速度センサ6により検出される前輪2の回転速度(以下、前輪速度 v_f と呼ぶ)から後輪速度 v_r を算出することができる。

[0153] 図11は前輪速度 v_f と後輪速度 v_r との関係の計算結果を示す図である。図10の横軸は後輪速度 v_r を表し、縦軸は前輪速度 v_f を表す。

[0154] 図11に示すように、前輪速度センサ6により検出される前輪速度 v_f から後輪速度 v_r を推定することができる。したがって、前輪速度センサ6のみが設けられる場合にも、後輪速度センサ7が設けられた場合と同様に、車体1のロール角 ϕ 、車両速度 V_x 、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度

センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z を高い精度で推定することができる。

[0155] (b) 上記実施の形態におけるロール角速度センサ 5 1 およびヨー角速度センサ 5 2 の代わりに車両 1 0 0 の前後方向および上下方向とは異なる 2 以上の軸の周りでの角速度を検出する 2 以上の角速度センサを用いてもよい。この場合、幾何学的方法により 2 以上の角速度センサの検出値をロール角速度 ω_r およびヨー角速度 ω_y に変換することが可能である。それにより、上式 (17), (18) を用いることができる。

[0156] (c) 上記実施の形態におけるロール角速度センサ 5 1 およびヨー角速度センサ 5 2 に加えて、車両 1 0 0 の左右方向の軸の周りでの角速度を検出する角速度センサを用いてもよい。この場合、ロール角 ϕ の推定精度がさらに向上する。

[0157] (d) 上記実施の形態における上下加速度センサ 5 3、前後加速度センサ 5 4 および左右加速度センサ 5 5 の代わりに車両 1 0 0 の上下方向、前後方向および左右方向とは異なる 3 以上の方向の加速度を検出する 3 以上の加速度センサを用いてもよい。この場合、幾何学的方法により 3 以上の加速度センサの検出値を上下加速度 G_z 、前後加速度 G_x および左右加速度 G_y に変換することが可能である。それにより、上式 (17), (18) を用いることができる。

[0158] (e) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 8 0 によりロール角速度センサオフセット b_r およびヨー角速度センサオフセット b_y が推定されるが、これに限定されず、ロール角速度センサオフセット b_r のみが推定されてもよく、ヨー角速度センサオフセット b_y のみが推定されてもよい。ロール角速度センサオフセット b_r のみを推定する場合、その他のセンサオフセットの値をゼロとして計算を行えばよい。同様にヨー角速度センサオフセット b_y のみを推定する場合、その他のセンサオフセットの値をゼロとして計算を行えばよい。

[0159] (f) 上記実施の形態では、上下加速度センサオフセット b_z が推定される

が、これに限定されず、前後加速度センサ 54 のオフセット誤差が推定されてもよく、または左右加速度センサ 55 のオフセット誤差が推定されてもよい。

[0160] (g) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 80 の入力パラメータの 1 つとして後輪速度 v_r が用いられるが、これに限定されず、車両 100 の走行速度（車両速度）を測定可能な速度センサにより検出される車両速度をカルマンフィルタ 80 の入力パラメータの 1 つとして用いてもよい。

[0161] (h) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 80 により車両速度 V_x が推定されるが、例えば、速度センサにより車両速度が検出される場合には、カルマンフィルタ 80 により車両速度 V_x が推定されなくてもよい。

[0162] (i) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 80 が ECU 20 およびプログラムにより実現されるが、これに限定されず、カルマンフィルタ 80 の一部またはすべての機能が電子回路等のハードウェアにより実現されてもよい。

[0163] (j) 上記実施の形態におけるカルマンフィルタ 80 の代わりに、他の適応フィルタリング手法を用いてもよい。例えば、LMS（最小平均二乗）適応フィルタまたは H_∞ フィルタリング等を用いてもよい。

[0164] (k) 上記実施の形態では、ロール角推定装置 10 が自動二輪車に適用されるが、これに限定されず、ロール角推定装置 10 は自動四輪車もしくは自動三輪車等の他の車両または船舶等の種々の輸送機器に適用することができる。

[0165] (l) 上記実施の形態では、ロール角推定装置 10 により推定されたロール角 ϕ がナビゲーションシステム 12 およびヘッドライト駆動装置 15 に用いられるが、これに限定されず、ロール角推定装置 10 により推定されたロール角 ϕ は、輸送機器の他の制御等の種々の処理に用いることができる。

[0166] (8) 請求項の各構成要素と実施の形態の各要素との対応

以下、請求項の各構成要素と実施の形態の各要素との対応の例について説明するが、本発明は下記の例に限定されない。

- [0167] 上記実施の形態では、車両 100 の前後方向の軸が第 1 の軸の例であり、車両 100 の上下方向の軸が第 2 の軸の例であり、ロール角速度 ω_r が第 1 の角速度の例であり、ヨー角速度 ω_y が第 2 の角速度の例であり、ロール角速度センサ 51 が第 1 の角速度検出器の例であり、ヨー角速度センサ 52 が第 2 の角速度検出器の例である。
- [0168] また、第 1 の方向が車両 100 の上下方向の例であり、第 2 の方向が車両 100 の前後方向の例であり、第 3 の方向が車両 100 の左右方向の例であり、上下加速度 G_z が第 1 の加速度の例であり、前後加速度 G_x が第 2 の加速度の例であり、左右加速度 G_y が第 3 の加速度の例であり、上下加速度センサ 53 が第 1 の加速度検出器の例であり、前後加速度センサ 54 が第 2 の加速度検出器の例であり、左右加速度センサ 55 が第 3 の加速度検出器の例である。
- [0169] さらに、後輪速度 v_r または前輪速度 v_f が移動速度に関する情報の例であり、後輪速度センサ 7 または前輪速度センサ 6 が速度情報検出器の例であり、ECU20 が推定部の例である。
- [0170] また、車両 100 または車体 1 が移動体の例であり、前輪 2 が前輪の例であり、後輪 3 が後輪の例であり、後輪速度センサ 7 が後輪速度検出器の例であり、前輪速度センサ 6 が前輪回転速度検出器の例であり、ECU20 が後輪回転速度推定部の例である。
- [0171] また、ローパスフィルタ 63, 64, 65 が第 1、第 2 および第 3 のローパスフィルタの例であり、ECU20 およびプログラムにより実現されるカルマンフィルタ 80 がカルマンフィルタの例である。ナビゲーションシステム 12 またはヘッドライト駆動装置 15 が処理部の例である。
- [0172] 請求項の各構成要素として、請求項に記載されている構成または機能を有する他の種々の要素を用いることもできる。

産業上の利用可能性

- [0173] 本発明は、輸送機器等のロール角を推定するために利用することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 移動体のロール角を推定するロール角推定装置であって、
- 互いに異なる少なくとも2つの方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出する第1および第2の角速度検出器と、
- 互いに異なる少なくとも3つの方向における第1、第2および第3の加速度をそれぞれ検出する第1、第2および第3の加速度検出器と、
- 前記移動体の進行方向の移動速度に関する情報を検出する速度情報検出器と、
- 前記移動体のロール角を推定するとともに前記第1および第2の角速度検出器ならびに前記第1、第2および第3の加速度検出器のうち少なくとも1つのオフセット誤差を推定するように構成された推定部とを備え、
- 前記推定部は、現在の推定動作において前記第1および第2の角速度検出器の検出値、前記第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、前記速度情報検出器の検出値、前の推定動作によるロール角の推定値ならびに前の推定動作によるオフセット誤差の推定値に基づいて、前記移動体のロール角および前記少なくとも1つのオフセット誤差を推定する、ロール角推定装置。
- [請求項2] 前記第1および第2の角速度検出器は、互いに異なる2つの方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出し、
- 前記第1、第2および第3の加速度検出器は、互いに異なる3つの方向における第1、第2および第3の加速度をそれぞれ検出する、請求項1記載のロール角推定装置。
- [請求項3] 前記推定部は、前記少なくとも1つのオフセット誤差として、前記第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差を推

定する、請求項 1 記載のロール角推定装置。

[請求項4] 前記推定部は、前記少なくとも 1 つのオフセット誤差として、前記第 1 および第 2 の角速度検出器のオフセット誤差を推定する、請求項 1 記載のロール角推定装置。

[請求項5] 前記推定部は、前記少なくとも 1 つのオフセット誤差として、前記第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の少なくとも 1 つのオフセット誤差をさらに推定する、請求項 4 記載のロール角推定装置。

[請求項6] 前記第 1 の加速度は前記移動体の上下方向における加速度であり、
前記推定部は、前記第 1 の加速度検出器のオフセット誤差を推定する、請求項 5 記載のロール角推定装置。

[請求項7] 前記移動体は、前輪および後輪を有し、
前記速度情報検出器は、前記情報として前記後輪の回転速度を検出する後輪回転速度検出器を含み、

前記推定部は、前記移動体の移動速度をさらに推定するように構成され、現在の推定動作において前記第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、前記第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、前記後輪速度検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、前記移動体のロール角、前記少なくとも 1 つのオフセット誤差および前記移動体の移動速度を推定する、請求項 1 記載のロール角推定装置。

[請求項8] 前記移動体は、前輪および後輪を有し、
前記速度情報検出器は、
前記前輪の回転速度を検出する前輪回転速度検出器と、
前記前輪回転速度検出器の検出値から前記後輪の回転速度を前記情報として推定する後輪回転速度推定部とを含み、

前記推定部は、前記移動体の移動速度をさらに推定するように構成され、現在の推定動作において前記第 1 および第 2 の角速度検出器の

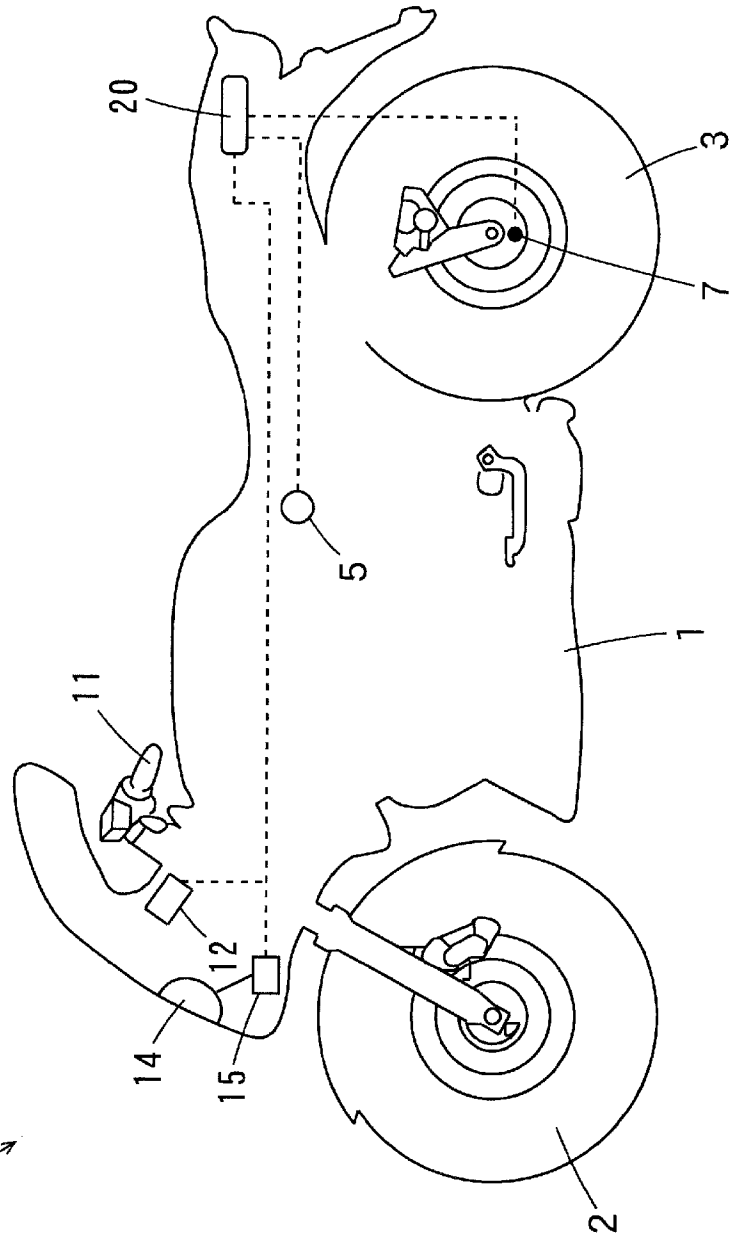
検出値、前記第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、前記後輪速度検出器の推定値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、前記移動体のロール角、前記少なくとも 1 つのオフセット誤差および前記移動体の移動速度を推定する、請求項 1 記載のロール角推定装置。

[請求項 9] 前記推定部は、現在の推定動作において前記第 1 および第 2 の角速度検出器の検出値、前記第 1、第 2 および第 3 の加速度検出器の検出値、前記速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値および前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値の関係を用いて前記移動体のロール角および前記少なくとも 1 つのオフセット誤差を推定するカルマンフィルタを含む、請求項 1 記載のロール角推定装置。

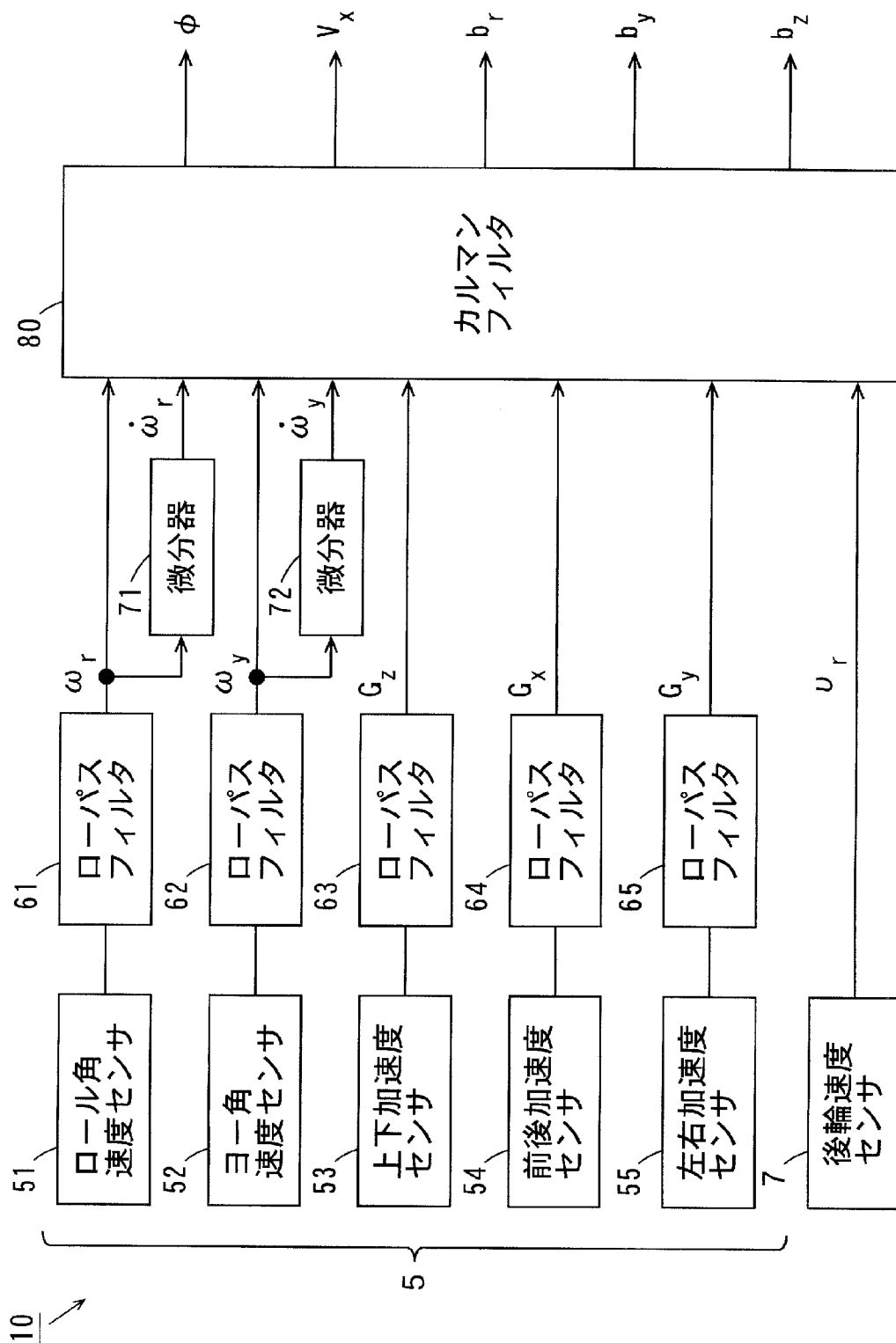
[請求項 10] 移動可能に構成された移動体と、

前記移動体のロール角を推定する請求項 1 記載のロール角推定装置と、

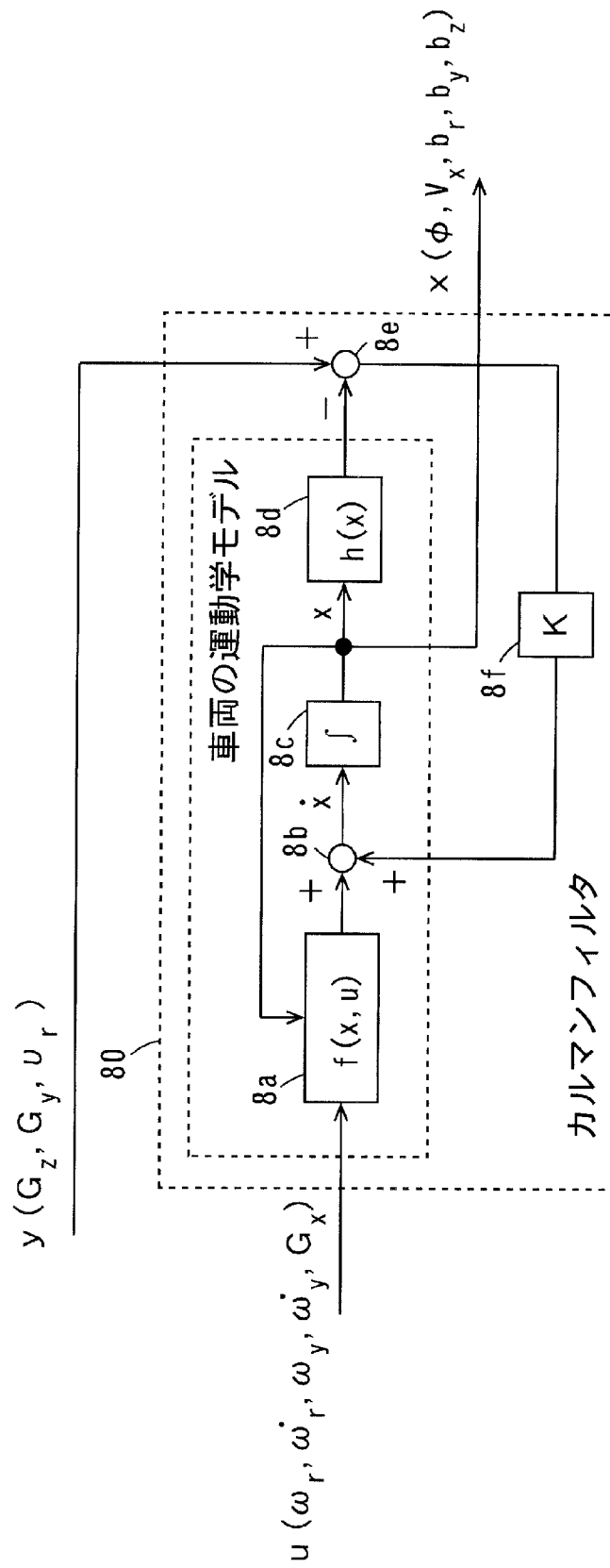
前記ロール角推定装置により推定されたロール角を用いた処理を行う処理部とを備えた、輸送機器。

$$\frac{100}{\text{---}} \nearrow$$


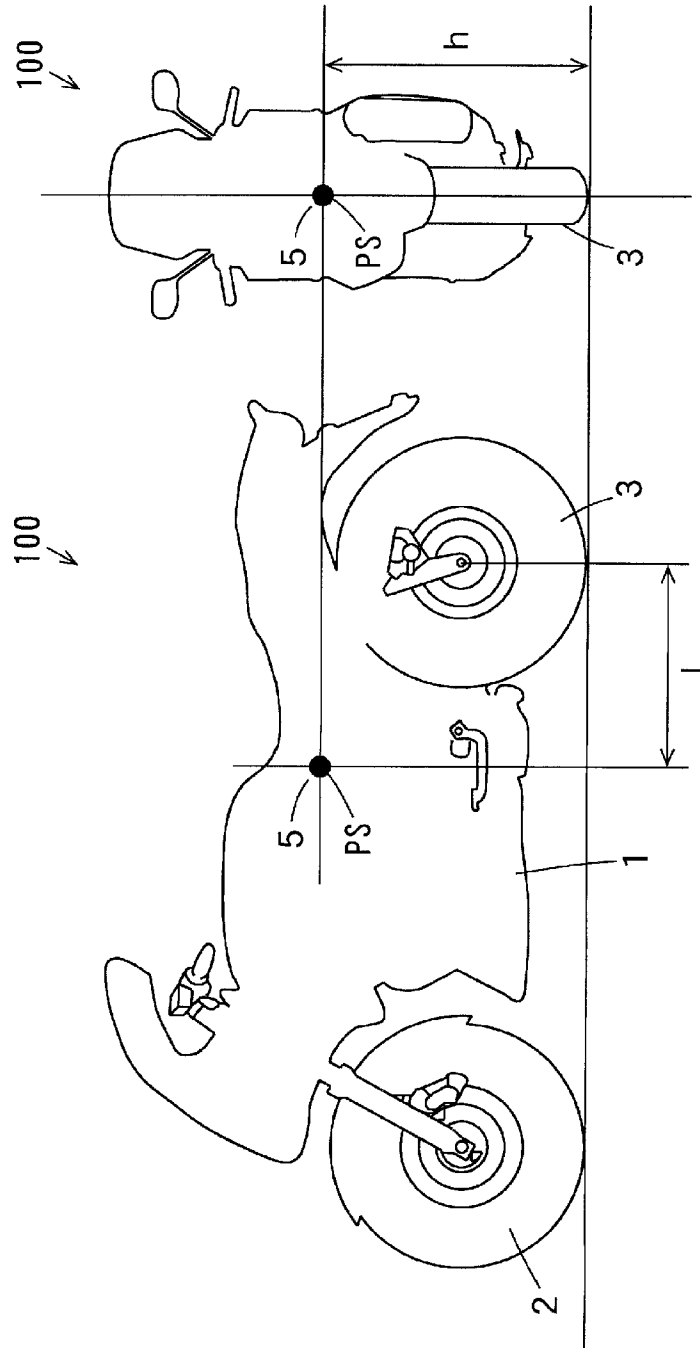
[図2]



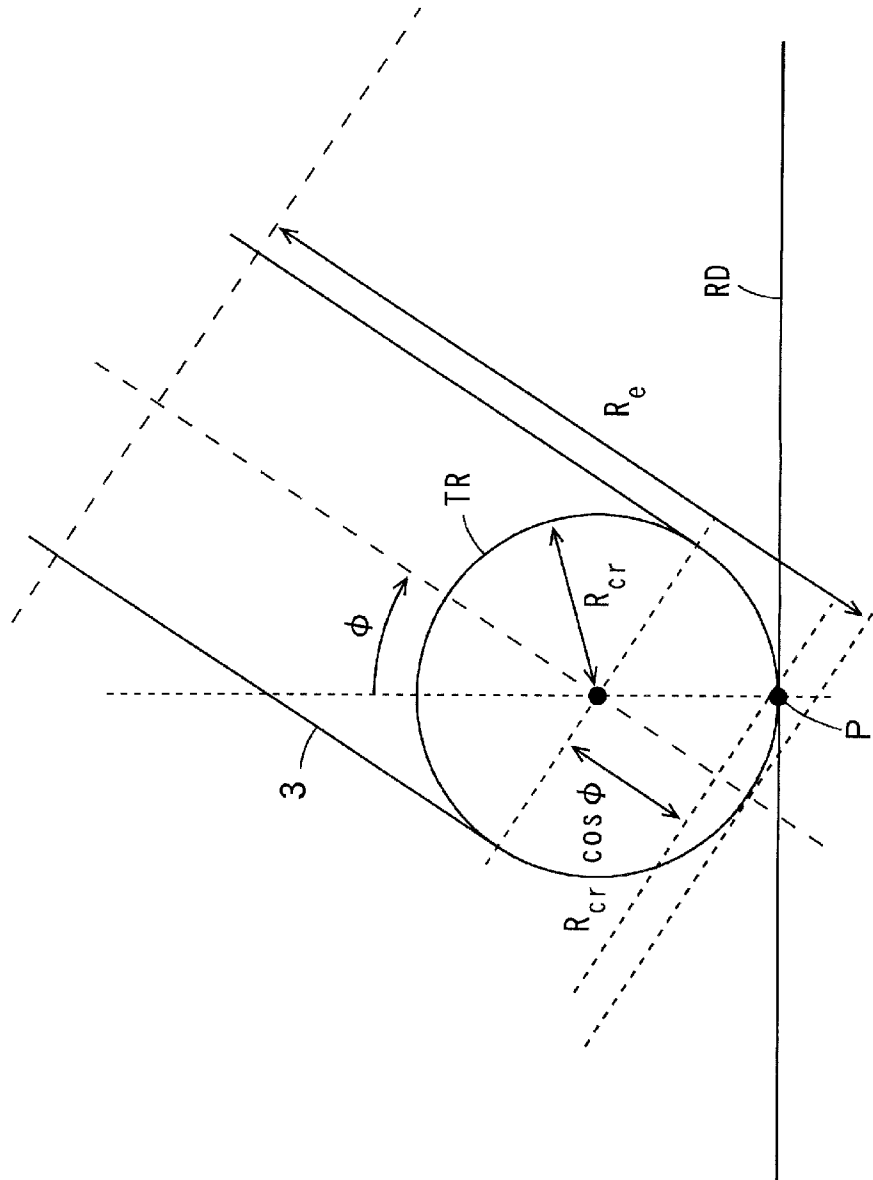
[図3]



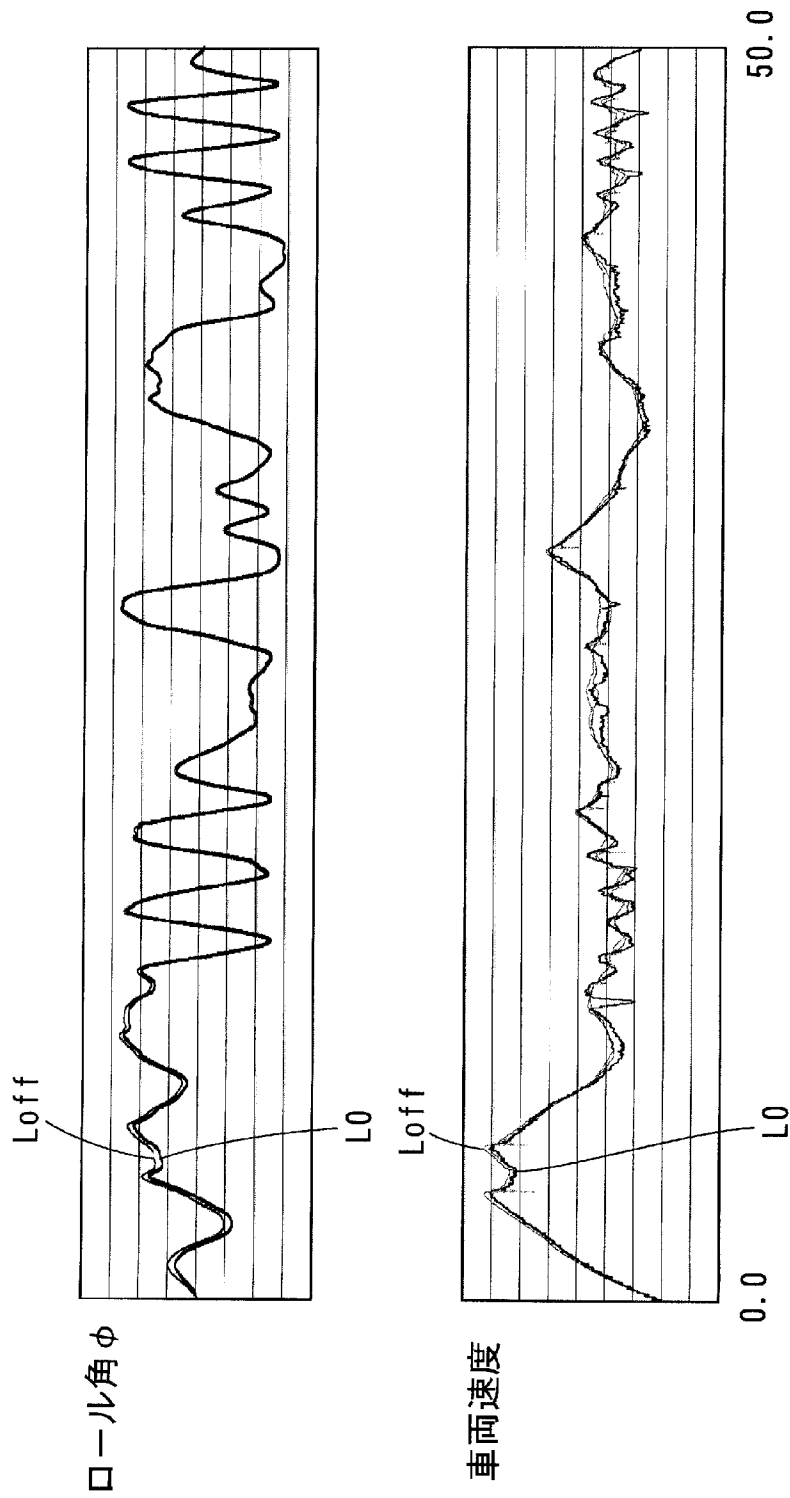
[図4]



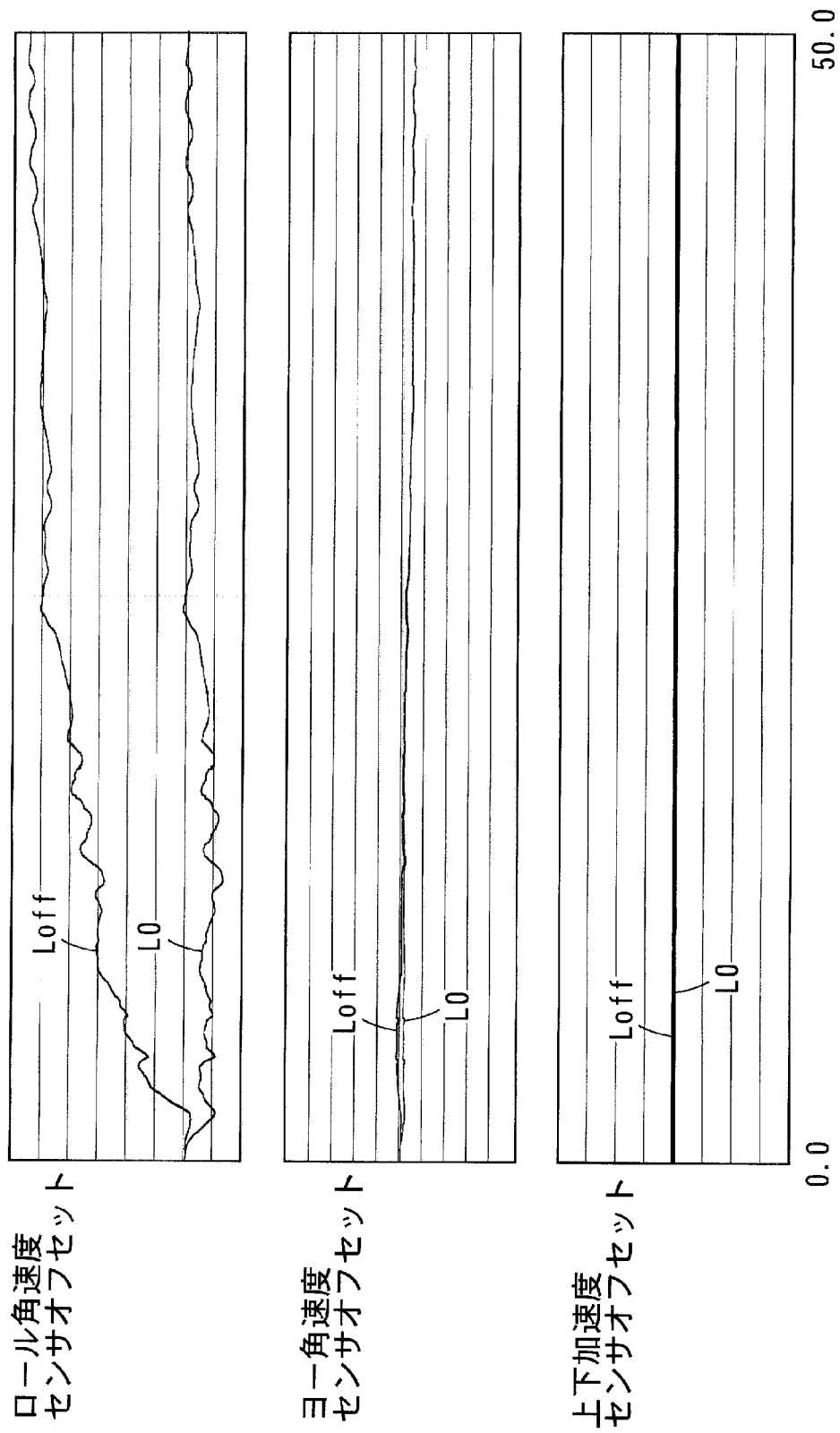
[図5]



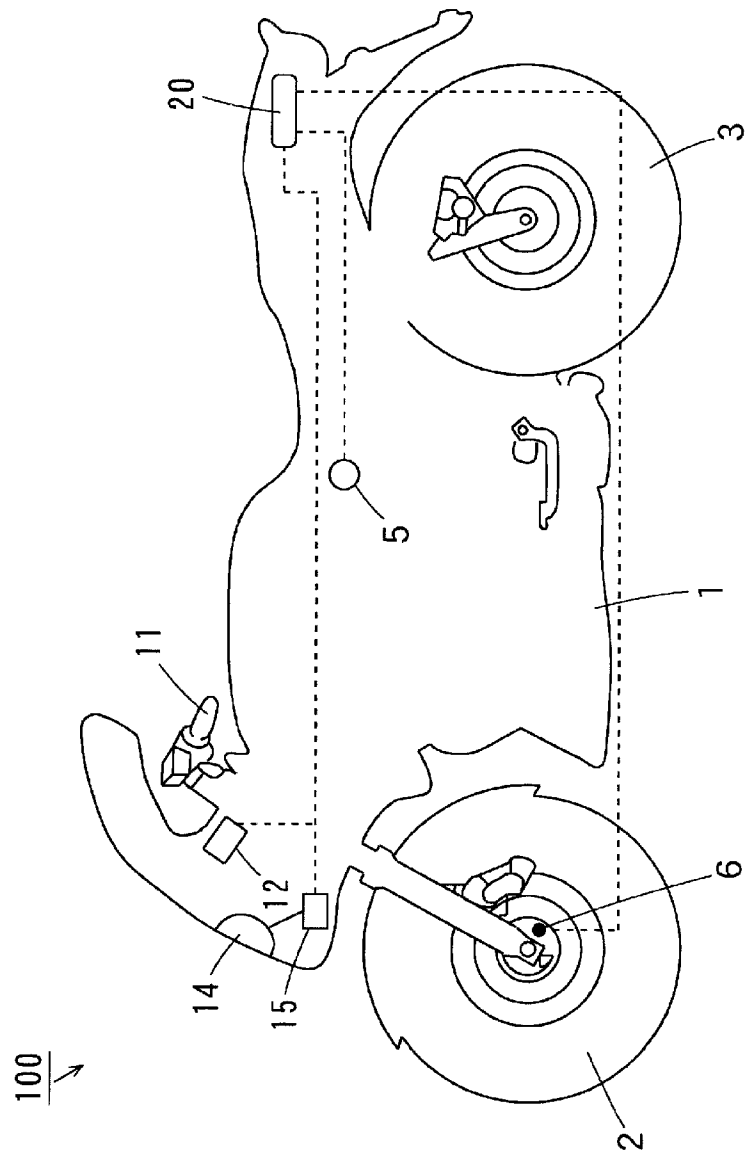
[図7]



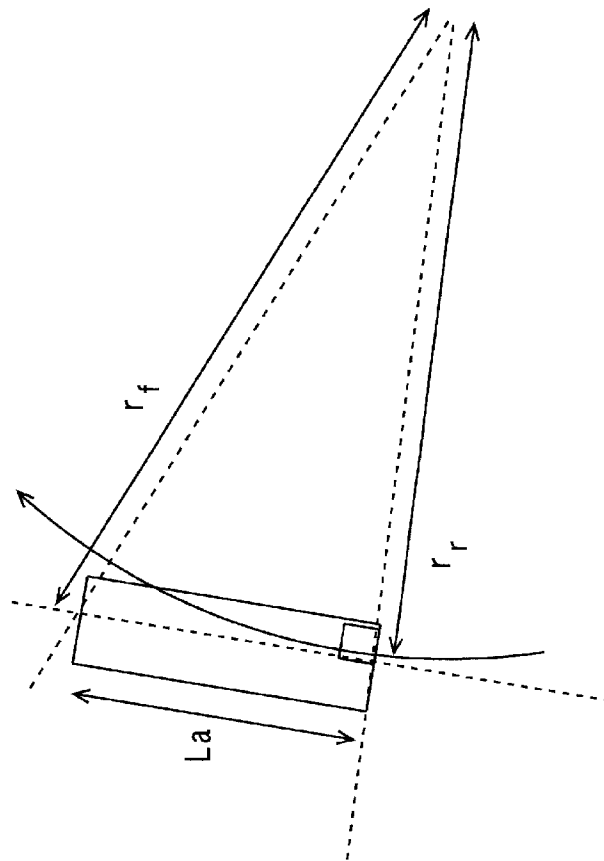
[図8]



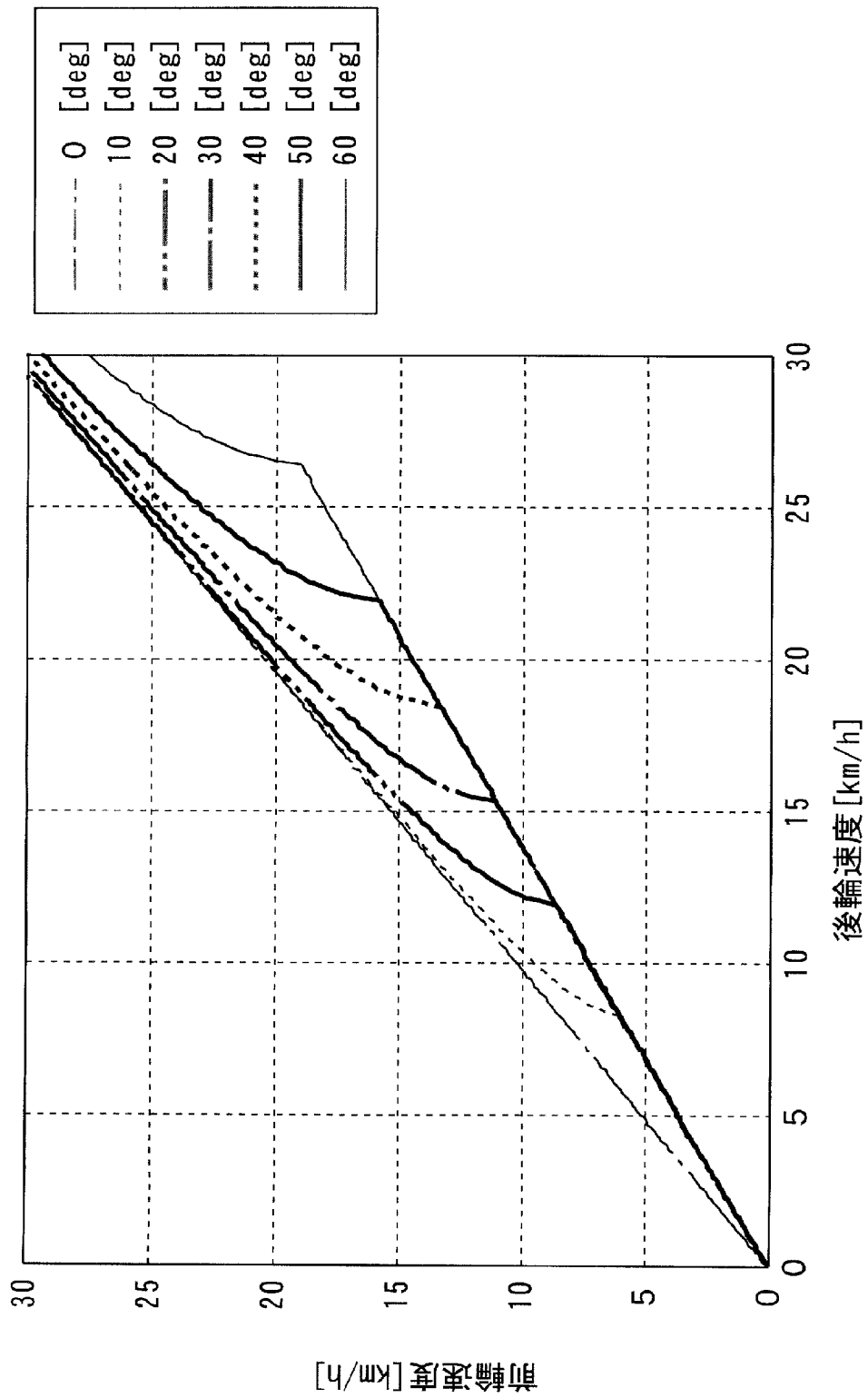
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/006588

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B60W40/10 (2006.01) i, B62J99/00 (2009.01) i

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)

B60W40/10, B62J99/00, B60R16/02, B60G1/00-99/00

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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 2009-73466 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 09 April 2009 (09.04.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2008-94375 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 24 April 2008 (24.04.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2009-530177 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 27 August 2009 (27.08.2009), entire text; all drawings & WO 2007/107935 A1 & US 2009/0103319 A1	1-10

☒ 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
09 February, 2011 (09.02.11)Date of mailing of the international search report
22 February, 2011 (22.02.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/006588

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-271914 A (Continental Teves, Inc.), 06 October 2005 (06.10.2005), entire text; all drawings & US 2005/0216146 A1 & DE 102005012456 A1	1-10
A	WO 2007/148818 A1 (Toyota Motor Corp.), 27 December 2007 (27.12.2007), entire text; all drawings & US 2009/0326858 A1 & EP 2034270 A1	1-10
E,A	JP 2011-11582 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 20 January 2011 (20.01.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2007-271605 A (Yamaha Motor Co., Ltd.), 18 October 2007 (18.10.2007), entire text; all drawings & US 2007/0213904 A1 & EP 1832882 A1	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. B60W40/10(2006.01)i, B62J99/00(2009.01)i

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 (I P C))

Int.Cl. B60W40/10, B62J99/00, B60R16/02, B60G1/00-99/00

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 2009-73466 A (株式会社豊田中央研究所) 2009.04.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2008-94375 A (株式会社豊田中央研究所) 2008.04.24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2009-530177 A (コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ ヴィ) 2009.08.27, 全文, 全図 & WO 2007/107935 A1 & US 2009/0103319 A1	1-10

☒ 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
「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
「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)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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
「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
「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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 9 . 0 2 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 2 . 0 2 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

森林 宏和

3 Q

3 0 2 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 8 1

C (続き) . 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 2005-271914 A (コンチネンタル・テヴェス・インコーポレーテッド) 2005.10.06, 全文, 全図 & US 2005/0216146 A1 & DE 102005012456 A1	1-10
A	WO 2007/148818 A1 (トヨタ自動車株式会社) 2007.12.27, 全文, 全図 & US 2009/0326858 A1 & EP 2034270 A1	1-10
E, A	JP 2011-11582 A (川崎重工業株式会社) 2011.01.20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2007-271605 A (ヤマハ発動機株式会社) 2007.10.18, 全文, 全図 & US 2007/0213904 A1 & EP 1832882 A1	1-10