

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7319940号
(P7319940)

(45)発行日 令和5年8月2日(2023.8.2)

(24)登録日 令和5年7月25日(2023.7.25)

(51)国際特許分類	F I			
G 0 1 M 17/02 (2006.01)	G 0 1 M	17/02		
B 6 0 C 19/00 (2006.01)	B 6 0 C	19/00		B
B 6 0 C 11/24 (2006.01)	B 6 0 C	19/00		Z
	B 6 0 C	11/24		Z

請求項の数 7 (全15頁)

(21)出願番号	特願2020-54835(P2020-54835)	(73)特許権者	000005278 株式会社ブリヂストン 東京都中央区京橋三丁目1番1号
(22)出願日	令和2年3月25日(2020.3.25)	(74)代理人	100141243 弁理士 宮園 靖夫
(65)公開番号	特開2021-154792(P2021-154792 A)	(72)発明者	西山 健太 東京都中央区京橋三丁目1番1号 株式 会社ブリヂストン内
(43)公開日	令和3年10月7日(2021.10.7)	審査官	岡村 典子
審査請求日	令和4年12月16日(2022.12.16)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 タイヤ摩耗推定方法、及び、タイヤ摩耗形状判別方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

タイヤに装着された加速度センサーにより検出したタイヤ径方向加速度の時系列波形を微分した径方向加速度波形に出現する正負のピークのいずれか一方もしくは両方の大きさから算出されたタイヤ接地端部またはタイヤ接地端部近傍における変形速度の指標と、前記正のピークと負のピークとの時間間隔である接地時間と前記正負のピークのいずれか一方のピークの間隔である前記タイヤの回転時間との比である接地時間比と、前記タイヤの無荷重時の半径であるタイヤ半径と前記タイヤの走行時の半径である有効半径との差であるたわみ量とを用いて、前記タイヤの摩耗の度合いを推定するタイヤ摩耗推定方法。

【請求項2】

前記タイヤのタイヤ径方向加速度、タイヤ周方向加速度、及び、回転角速度を計測するとともに、前記計測されたタイヤ径方向加速度、タイヤ周方向加速度、及び、回転角速度を用いて算出した当該タイヤの変位の軌跡から前記たわみ量を推定することを特徴とする請求項1に記載のタイヤ摩耗推定方法。

【請求項3】

前記タイヤのタイヤ径方向加速度とタイヤ周方向加速度とを計測し、前記計測されたタイヤ径方向加速度とタイヤ周方向加速度とから前記タイヤの回転角速度を推定するとともに、前記計測されたタイヤ径方向加速度とタイヤ周方向加速度、及び、前記推定された回転角速度を用いて算出した当該タイヤの変位の軌跡から前記たわみ量を推定することを特徴とする請求項1に記載のタイヤ摩耗推定方法。

【請求項 4】

前記有効半径を、前記タイヤが取付けられている車両に搭載された距離センサーにより検出された前記車両と路面との距離から算出することを特徴とする請求項 1 に記載のタイヤ摩耗推定方法。

【請求項 5】

前記変形速度の指標と前記接地時間比と前記たわみ量とを特徴量とし、これらの特徴量から、機械学習アルゴリズムにより、前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別する判別ステップと、

前記タイヤの摩耗の度合いを推定するステップとを備え、

前記判別ステップでは、

前記特徴量と、予め求めておいた摩耗形状がセンター摩耗であるタイヤの特徴量とセンター摩耗ではない摩耗形状のタイヤの特徴量とを学習データとして構築した判別モデルとに基づいて、前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別し、

前記タイヤの摩耗の度合いを推定するステップでは、

前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であると判別された場合は、

前記算出された変形速度の指標と、前記接地時間比と、予め求めておいた、タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるタイヤの前記変形速度の指標と前記接地時間比とタイヤの摩耗の度合いとの関係とを用いて前記タイヤの摩耗の度合いを推定し、

前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗ではないと判別された場合は、

前記算出された変形速度の指標と、前記接地時間比と、予め求めておいた、タイヤの摩耗形状がセンター摩耗ではないタイヤの前記変形速度の指標と前記接地時間比と摩耗の度合いとの関係とを用いて、前記タイヤの摩耗の度合いを推定することを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれかに記載のタイヤ摩耗推定方法。

【請求項 6】

前記変形速度の指標と前記接地時間比とを用いて、前記タイヤの摩耗の度合いを推定する推定ステップと、

前記変形速度の指標と前記接地時間比と前記たわみ量とを特徴量とし、これらの特徴量から、機械学習アルゴリズムにより、前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別する判別ステップと、

前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であると判別された場合には、前記推定された摩耗の度合いを補正する補正ステップと、を備え、

前記判別ステップでは、

前記特徴量と、予め求めておいた摩耗形状がセンター摩耗であるタイヤの特徴量とセンター摩耗ではない摩耗形状のタイヤの特徴量とを学習データとして構築した判別モデルとに基づいて、前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別し、

前記補正ステップでは、

前記予め求めておいた、摩耗形状がセンター摩耗であるタイヤの摩耗の度合いと摩耗形状がセンター摩耗でないタイヤの摩耗の度合いとの差を用いて、前記推定された摩耗の度合いを補正することを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれかに記載のタイヤ摩耗推定方法。

【請求項 7】

走行中のタイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別する方法であって、タイヤに装着された加速度センサーにより検出したタイヤ径方向加速度の時系列波形を微分した径方向加速度波形に出現する正負のピークのいずれか一方もしくは両方の大きさから算出した、タイヤ接地端部またはタイヤ接地端部近傍における変形速度の指標を求めるステップと、

前記正のピークと負のピークとの時間間隔である接地時間と前記正負のピークのいずれか一方のピークの間隔である前記タイヤの回転時間との比である接地時間比を求めるステップと、

前記タイヤの無荷重時の半径であるタイヤ半径と前記タイヤの走行時の半径である有効半

10

20

30

40

50

径との差であるたわみ量を求めるステップと、
前記求められた変形速度の指標と接地時間比とたわみ量とを特徴量とし、これらの特徴量から、機械学習アルゴリズムにより、前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗か否かを判別する判別ステップと、を備え、
前記判別ステップでは、
前記特徴量と、予め求めておいた摩耗形状がセンター摩耗であるタイヤの特徴量とセンター摩耗ではない摩耗形状のタイヤの特徴量とを学習データとして構築した判別モデルとに基づいて、前記タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別することを特徴とするタイヤ摩耗形状判別方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、タイヤの摩耗の度合いを推定する方法と、走行中のタイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別する方法とに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、タイヤの摩耗の度合いを推定する方法としては、タイヤ内に加速度センサーを配置し、この加速度センサーで検出され蹴り出したタイヤ径方向の加速度の微分波形に出現する正負のピークのいずれか一方もしくは両方の大きさである、タイヤ接地端部における変形速度の指標を算出するとともに、前記正のピークと負のピークとの時間間隔である接地時間と前記正負のピークのいずれか一方のピークとの時間間隔である前記タイヤの回転時間との比である接地時間比を算出し、これら算出された変形速度の指標と接地時間比とを、予め求めておいたタイヤの摩耗の度合いである残溝量と変形速度の指標と接地時間比と関係を示すマップとから当該タイヤの摩耗の度合いを推定する方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】WO2009/008502A1

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記特許文献1のように、変形速度の指標と接地時間比とからタイヤの残溝量を推定した場合、摩耗形状がセンター摩耗であるタイヤでは、実際の残溝量が新品側に検出されてしまう（推定された摩耗量が、実際の摩耗量よりも小さくなってしまふ）、といった問題点があった。

図12は、新品タイヤ（; New）と、残溝量が新品タイヤの半分である摩耗形状の異なる2種類のタイヤ（、; Mid-worm）と、スリップサインの近くまで摩耗したタイヤ（; Full-worm）の4種類の試験タイヤ搭載した車両を一定速度で走行させて測定したタイヤ径方向加速度の微分ピーク値（Derivative Peak）と接地時間比（Contact Time Ratio）との関係を示す図で、印は摩耗形状がセンター摩耗（Center）であるタイヤ、印は摩耗形状が均等摩耗（Even）であるタイヤである。この例では、荷重を変化させることで、複数の接地時間比におけるタイヤ径方向加速度の微分ピーク値を測定した。

40

同図からわかるように、摩耗形状がセンター摩耗であるタイヤの変形速度の指標と接地時間比との関係は、新品タイヤ側にずれていることがわかる。

【0005】

本発明は、従来の問題点に鑑みてなされたもので、タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かを判別する方法と、タイヤの摩耗形状に係らず、走行中のタイヤの摩耗の度合いを精度よく推定できる方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 6 】

本発明は、走行中のタイヤの摩耗の度合い(残溝量もしくは摩耗量)を推定する方法であって、タイヤに装着された加速度センサーにより検出したタイヤ径方向加速度の時系列波形を微分した径方向加速度波形に出現する正負のピークのいずれか一方もしくは両方の大きさ(接地端の微分ピーク値)から算出した、タイヤ接地端部またはタイヤ接地端部近傍における変形速度の指標と、前記正のピークと負のピークとの時間間隔である接地時間と前記正負のピークのいずれか一方のピークの間隔である前記タイヤの回転時間との比である接地時間比と、前記タイヤの無荷重時の半径であるタイヤ半径と前記タイヤの走行時の半径である有効半径(車軸と路面との距離)との差であるたわみ量とを用いて、前記タイヤの摩耗の度合いを推定することを特徴とする。

10

このように、走行中のタイヤの変形速度の指標と接地時間比とに加えて、タイヤのたわみ量を摩耗のメジャーとしてタイヤの摩耗の度合いを推定したので、当該タイヤの摩耗形状がセンター摩耗であるか否かにかかわらず、タイヤの摩耗の度合いを高精度に推定することができる。

なお、タイヤの摩耗の度合いは、予め求めておいた、変形速度の指標と接地時間比とたわみ量とを変数とする回帰式から求めてもよいし、摩耗形状がセンター摩耗か否かを判別し、センター摩耗である場合には、変形速度の指標と接地時間比とから推定した摩耗の度合いを補正してもよい。

あるいは、均等摩耗のマスターカーブとセンター摩耗のマスターカーブの2つのマスターカーブを準備し、摩耗形状により、マスターカーブを選択するようにしてもよい。

20

【 0 0 0 7 】

なお、前記発明の概要は、本発明の必要な全ての特徴を列挙したものではなく、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となり得る。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 8 】

【 図 1 】 本実施の形態 1 に係るタイヤ摩耗推定装置の構成を示す図である。

【 図 2 】 加速度センサーの取付け位置と加速度の検出方向とを示す図である。

【 図 3 】 タイヤ径方向加速度波形、及び、加速度微分波形の一例と、回転時間と接地時間の算出方法とを示す図である。

【 図 4 】 $R_c - V_R$ マップの一例を示す図である。

30

【 図 5 】 本実施の形態 1 に係るタイヤ摩耗推定方法を示すフローチャートである。

【 図 6 】 タイヤ径方向加速度、タイヤ周方向加速度、タイヤ周方向速度、及び、回転角速度の時間変化波形を示す図である。

【 図 7 】 計測点の回転角、前後方向加速度、及び、上下方向加速度の時間変化波形を示す図である。

【 図 8 】 計測点の前後方向速度と上下方向速度の時間変化波形を示す図である。

【 図 9 】 計測点の前後方向の変位と上下方向の変位の時間変化波形と、計測点の軌跡を示す図である。

【 図 1 0 】 本実施の形態 2 に係るタイヤ摩耗推定装置の構成を示す図である。

【 図 1 1 】 特徴量の分布と分離平面である識別関数を示す模式図である。

40

【 図 1 2 】 残溝量の異なるタイヤの変形速度の指標と接地時間比と関係を示すマップである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 0 9 】

実施の形態 1 .

図 1 は、本実施の形態 1 に係るタイヤ摩耗推定装置 1 0 の構成を示す図で、タイヤ摩耗推定装置 1 0 は、第 1 及び第 2 の加速度センサー 1 1 A , 1 1 B と、加速度微分波形演算手段 1 2 と、微分ピーク値算出手段 1 3 と、接地時間比算出手段 1 4 と、角速度推定手段 1 5 と、たわみ量算出手段 1 6 と、記憶手段 1 7 と、残溝量推定手段 1 8 とを備える。

加速度微分波形演算手段 1 2 ~ 残溝量推定手段 1 8 の各手段は、例えば、コンピュータ

50

のソフトウェア、及び、RAM等のメモリーから構成される。以下、これら加速度微分波形演算手段12～残溝量推定手段18の各手段を演算部10Bという。本例では、演算部10Bを車体側に設置したが、タイヤ内に設けてもよい。

図2(a)、(b)に示すように、第1及び第2の加速度センサー11A、11Bは、ともに、タイヤ1のインナーライナー部2のタイヤ気室3側のほぼ中央部に配置されたセンサーケース11内に収納されて、路面からトレッド4に入力する振動を加速度として検出する。

第1の加速度センサー11Aは、検出方向がタイヤ径方向になるように配置されて、路面から入力するタイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ を検出し、第2の加速度センサー11Bは、検出方向がタイヤ周方向になるように配置されて、タイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ を検出する。なお、各図において、x方向は車両進行方向、y方向は車両幅方向(タイヤ幅方向)、z方向は上下方向である。

また、図は省略するが、センサーケース11には、第1及び第2の加速度センサー11A、11Bの出力をそれぞれ増幅する増幅器やA/D変換器、及び、A/D変換された信号を、演算部10Bに送信する送信機などが収納されている。なお、演算部10Bを、センサーケース11などのタイヤ1内に設置した場合には、演算部10Bで得られた推定結果を、車体側に設けられたの車両制御装置(図示せず)に送信すればよい。

第1及び第2の加速度センサー11A、11Bの大きさは、タイヤ1の大きさに対してかなり小さいので、ほぼ同一の位置にあると見做せる。以下、図2(b)の点Aに示す、第1及び第2の加速度センサー11A、11Bの位置を計測点という。

【0010】

加速度微分波形演算手段12は、第1の加速度センサー11Aで検出されたタイヤ径方向加速度の時系列波形である径方向加速度波形を抽出し、この抽出された径方向加速度波形を時間微分した波形である加速度微分波形を求める。

図3(a)は、径方向加速度波形の一例を示す図で、横軸は時間[sec.]、縦軸は加速度[G]である。同図の破線で囲った、負の傾きが最大になる箇所が踏み込み側の接地端 p_f で、正の傾きが最大になる箇所 p_k が蹴り出し側の接地端である。

また、図3(b)は、加速度微分波形の一例を示す図で、横軸は時間[sec.]、縦軸は加速度微分値[G/sec.]である。この加速度微分波形には、2つのピークが出現する。波形の前側、すなわち、時間的に先に現れるピークが踏み込み端側のピーク P_f で、時間的に後に現れるピークが蹴り出し端側のピーク P_k である。径方向加速度波形の接地端 p_f 、 p_k における傾きが大きいほど、加速度微分波形におけるピーク P_f 、 P_k の大きさは大きくなる。

図3(c)に示すように、加速度微分波形における踏み込み端側のピーク P_f と蹴り出し端側のピーク P_k との間隔が接地時間 T_t で、時間的に隣接する2つの蹴り出し端側のピーク P_k 、 P_{k+1} の間隔が、タイヤが一回転する時間である回転時間 T_r である。なお、踏み込み側のピークの時間間隔から回転時間 T_r を求めてもよい。

【0011】

微分ピーク値算出手段13では、踏み込み端側のピーク P_f の大きさである踏み込み端側の微分ピーク値 V_{Rf} を算出してこれを変形速度指標 V_R とし、これを残溝量推定手段18に送る。なお、変形速度指標 V_R としては、蹴り出し端側の加速度微分値である蹴り出し端側微分ピーク値 V_{Rk} を用いてもよいし、踏み込み端側微分ピーク値 V_{Rf} と蹴り出し端側微分ピーク値 V_{Rk} との平均値を用いてもよい。

接地時間比算出手段14では、図3(c)に示した、蹴り出し端側のピーク P_k が現れた時間 T_1 とこの蹴り出し端側のピークがタイヤ1が1周してから再び現れるまでの時間 T_2 との時間差である回転時間 T_r と、踏み込み端側のピーク P_f と蹴り出し端側のピーク P_k 間の時間である接地時間 T_t とを算出し、この算出した接地時間 T_t を回転時間 T_r で除算した接地時間比 R_c を算出する。算出された接地時間比 R_c は、残溝量推定手段18に送られる。

なお、 $T_r = T_2 - T_1$ で、 $R_c = (T_t / T_r)$ である。

角速度推定手段15は、第1及び第2の加速度センサー11A、11Bでそれぞれ検出したタイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ とから、タイヤ1の回

10

20

30

40

50

転角速度 (t) を推定する。

たわみ量算出手段 16 は、第 1 及び第 2 の加速度センサー 11A, 11B でそれぞれ検出したタイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ と、角速度推定手段 15 で推定した回転角速度 (t) とから、計測点 A の軌跡を演算して、走行時のタイヤ 1 の縦断面形状であるタイヤ 1 の外形を求め、このタイヤ 1 の外形からたわみ量 d を推定する。たわみ量 d は、タイヤ 1 の無荷重時の半径であるタイヤ半径を R 、タイヤの走行時の半径である有効半径を R_{eff} とすると、 $d = R - R_{eff}$ と表わせる。

回転角速度 (t) の推定方法と、たわみ量 d の算出方法については、後述する。

【0012】

記憶手段 17 は、予め求めておいた、複数の $R_C - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ を記憶する。 $R_C - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ は、タイヤ 1 の摩耗の度合いを推定するためのマップで、たわみ量 $d_k (k = 1 \sim n)$ 毎に作成される。なお、本例では、摩耗の度合いとして残溝量 H を用いているが、摩耗量 M を摩耗の度合いとしてもよい。摩耗量 M は、新品時におけるタイヤ 1 の溝深さを H_0 、残溝量を H とすると、 $M = H_0 - H$ で表される。

図 4 に示すように、たわみ量が d_k である $R_C - V_R$ マップ $17M_k$ は、予め求めておいた残溝量が H_j である摩耗品の接地時間比 R_C と変形速度指標 V_R との関係を示すマスターライン L_j を、横軸を接地時間比 R_C 、縦軸を変形速度指標 V_R とした平面上に描画したもので、本例では、マスターライン L_j を、 $H_1 = 8 \text{ mm}$ (New)、 $H_2 = 6 \text{ mm}$ 、 $H_3 = 4 \text{ mm}$ 、 $H_4 = 2 \text{ mm}$ (Full-worm) の 4 本 ($j = 1 \sim 4$) とした ($j = 1 \sim 4$) が、3 本 (New、Mid-worm、Full-worm) でもよいし、5 本以上としてもよい。

$R_C - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ は、新品タイヤ (New) 及びスリップサインの近くまで摩耗したタイヤ (Full-worm) を含む、残溝量 H_M と摩耗形状の異なる複数の試験タイヤを搭載した車両を、様々な荷重状態で走行させたときの接地時間比 R_C のデータと、変形速度指標 V_R のデータと、たわみ量 d のデータとを用いて求められる。

なお、ショルダー摩耗の場合は、センター部の残溝量が均等摩耗の残溝量とほぼ同じならば、接地時間比 R_C 、変形速度指標 V_R 、及び、たわみ量 d は、均等摩耗の場合とほぼ同じになるので、本例では、摩耗形状を、センター摩耗と均等摩耗の 2 種類とした。

【0013】

残溝量推定手段 18 は、微分ピーク値算出手段 13 で算出した変形速度指標 V_R と、接地時間比算出手段 14 で算出した接地時間比 R_C と、たわみ量算出手段 16 で算出したたわみ量 d と、記憶手段 17 に記憶しておいた $R_C - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ とを用いて、当該タイヤ 1 の摩耗の度合いである残溝量 H を推定する。

$R_C - P$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ は、上記のように、残溝量 H と摩耗形状の異なる試験タイヤを搭載した車両を走行させて検出したタイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ とを用いて求められたものであるから、この $R_C - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ を用いれば、摩耗形状がセンター摩耗であるか否かにかかわらず、残溝量 H を精度よく推定することができる。

なお、図 4 に示すように、 $R_C - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ に代えて、予め求めておいた、接地時間比 R_C 、変形速度指標 V_R 、及び、たわみ量 d の 3 つを変数とした残溝量 H の回帰式 $H = F(R_C, V_R, d)$ を用いて、タイヤ 1 の残溝量 H を推定してもよい。この回帰式 $H = F(R_C, V_R, d)$ も、上記の $R_C - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ と同様に、残溝量 H と摩耗形状の異なる試験タイヤを搭載した車両を走行させて検出したタイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ とを用いて求められる。したがって、回帰式 $H = F(R_C, V_R, d)$ を用いても、当該タイヤ 1 の残溝量 H を精度よく推定できる。

【0014】

次に、本実施の形態 1 に係るタイヤ摩耗推定方法について、図 5 のフローチャートを参照して説明する。なお、摩耗の度合いを推定する際、タイヤ 1 を搭載した車両は、平坦な路面を一定速度 V_0 で直進しているものとする。

まず、タイヤ 1 のインナーライナー部 2 に設置された第 1 及び第 2 の加速度センサー 11A, 11B にて、路面からタイヤ 1 に入力するタイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周

10

20

30

40

50

方向加速度 $a_T(t)$ を、それぞれ検出する (ステップ S 1 0)。

次に、タイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ を時間微分した波形である加速度微分波形を求め (ステップ S 1 1)、この加速度微分波形の踏み込み端側のピーク P_f の大きさである踏み込み端側微分ピーク値 V_{Rf} を算出してこれを変形速度指標 V_R とする (ステップ S 1 2) とする。更に、加速度微分波形における踏み込み端側のピーク P_f と蹴り出し端側のピーク P_k との間隔である接地時間 T_t と、2つの蹴り出し端側のピーク P_{k1} 、 P_{k2} の間隔である回転時間 T_r とを算出 (ステップ S 1 3) した後、この算出された接地時間 T_t と回転時間 T_r との比である接地時間比 R_c を算出する (ステップ S 1 4)。接地時間比 R_c は、 T_t/T_r で表わせる。

次に、上記のステップ S 1 0 で検出したタイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ とから、タイヤ 1 の回転角速度 $\omega(t)$ を算出する (ステップ S 1 5)。そして、タイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ と回転角速度 $\omega(t)$ とから、タイヤ 1 のたわみ量 d を算出する (ステップ S 1 6)。

なお、変形速度指標 V_R の算出と、接地時間比 R_c の算出と、たわみ量 d の算出とは、必ずしも、この順で行う必要はなく、順板を入替えてもよいし、並列処理してもよい。

最後に、ステップ S 1 3 で算出した変形速度指標 V_R と、ステップ S 1 5 で算出した接地時間比 R_c と、ステップ S 1 6 ~ S 1 7 で算出したたわみ量 d と、記憶予め求めておいた $R_c - V_R$ マップ $17M_1 \sim 17M_n$ を用いて、当該タイヤ 1 の摩耗の度合いである残溝量 H を推定する (ステップ S 1 7)。

【0015】

ステップ S 1 5 の回転角速度 $\omega(t)$ の推定方法は、以下の通りである。

まず、図 6 (a)、(b) に示すように、タイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ とから、それぞれ、タイヤ 1 回転分の波形を切り出す。

次に、タイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ から、以下の式 (1) を用いて、タイヤ周方向速度 $v(t)$ を計算する。

【数 1】

$$v(t) = \int_0^t a_T(s) ds + V_0 \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 V_0 は車速であり、タイヤの回転周期とタイヤ半径、GPS データ等から計算することができる。 $v(t)$ は、中心化などの前処理を行うこともある。

図 6 (c) に示すように、タイヤ周方向速度 $v(t)$ は、踏み込み端に近づくにつれて減少し、接地領域に入るとまた増加するが、接地領域の中心付近から再び減少し、蹴り出し端で最小となり、その後、上昇することがわかる。

次に、タイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向速度 $v(t)$ とから、以下の式 (2) により、タイヤ 1 の回転角速度 $\omega(t)$ を推定する。

$$\omega(t) = a_R(t) / v(t) \quad \dots\dots(2)$$

図 6 (d) は回転角速度 $\omega(t)$ の推定値の時間変化を示す。

上記の式 (2) は、センサー (計測点 A) がある時刻 t において等速円運動をしていると仮定して導出したもので、計測点 A が等速円運動をしているときの加速度 $a_R(t)$ 及び速度 $v(t)$ は、以下の式で表せる。

$$a_R(t) = v^2(t) / R(t)$$

$$v(t) = R(t) \omega(t)$$

ここで、 $R(t)$ は時刻 t における曲率半径である。

上記の 2 つの式から $R(t)$ を消去して $\omega(t)$ について解けば、上記式 (2) が得られる。

【0016】

次に、ステップ S 1 6 のたわみ量 d の算出方法について説明する。

本例では、たわみ量 d を、計測点 A の軌跡から算出する。

まず、以下の式 (3) を用いて、回転角速度 $\omega(t)$ の推定値を積分し、回転角 $\theta(t)$ の時

10

20

30

40

50

間変化波形を求める。計測点の回転角 θ は、図7(a)に示すように、タイヤ1の中心から見たときの計測点Aの回転角度で、初期値 θ_0 は0(接地中心)や $-\pi$ (最上部)など、適当な値を設定することができる。

【数2】

$$\theta(t) = \int_0^t \omega_T(s) ds + \theta_0 \quad \dots\dots(3)$$

図7(a)に回転角 $\theta(t)$ の時間変化を示す図で、回転角 $\theta(t)$ は、ほぼ直線的に変化するが、同図の丸で囲んだ接地中心付近 ($t = 0.1 \text{ sec}$ 付近) では、回転角速度 $\dot{\theta}(t)$ が小さくなることに伴い、その変化が小さくなっていることがわかる。

10

次に、以下の式(4)、(5)に示すように、上記の回転角 $\theta(t)$ を用いて、タイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ とを、グローバル座標系 (x, z) の加速度である前後方向加速度 $a_x(t)$ と上下方向加速度 $a_z(t)$ とに座標変換する。グローバル座標系 (x, z) は、図2(a)、(b)に示した、 x 方向を車両進行方向、 y 方向を車両幅方向(タイヤ幅方向)、 z 方向を上下方向とした座標系である。

【数3】

$$a_x(t) = a_T(t) \cos \theta(t) - a_R(t) \sin \theta(t) \quad \dots\dots(4)$$

$$a_z(t) = a_T(t) \sin \theta(t) + a_R(t) \cos \theta(t) \quad \dots\dots(5)$$

20

前後方向加速度 $a_x(t)$ と上下方向加速度 $a_z(t)$ の時間変化波形を、図7(b)、(c)に示す。

【0017】

次に、グローバル座標系に変換された加速度を積分し、以下の式(6)、(7)を用いて計測点Aの前後方向速度 $v_x(t)$ と上下方向速度 $v_z(t)$ とを算出する。

【数4】

$$v_x(t) = \int_0^t a_x(s) ds + v_{x0} \quad \dots\dots(6)$$

$$v_z(t) = \int_0^t a_z(s) ds + v_{z0} \quad \dots\dots(7)$$

30

但し、 $a_x(t)$ 、 $a_z(t)$ は、中心化などの前処理を伴うこともある。また、初期値 v_{x0} 、 v_{z0} は任意の値に設定することができる。

前後方向速度 $v_x(t)$ と上下方向速度 $v_z(t)$ の時間変化波形を、図8(a)、(b)に示す。

更に、速度を積分し、以下の式(8)、(9)を用いて計測点Aの前後方向の変位 $u_x(t)$ と上下方向の変位 $u_z(t)$ とを算出する。

【数5】

$$u_x(t) = \int_0^t v_x(s) ds + u_{x0} \quad \dots\dots(8)$$

$$u_z(t) = \int_0^t v_z(s) ds + u_{z0} \quad \dots\dots(9)$$

40

但し、 $v_x(t)$ 、 $v_z(t)$ は、中心化などの前処理を伴うこともある。また、初期値 u_{x0} 、 u_{z0} は任意の値に設定することができる。

前後方向の変位 $u_x(t)$ と上下方向の変位 $u_z(t)$ の時間変化波形を、図9(a)、(b)に示す。

そして、時間成分を除き、変位 $u_x(t)$ 、 $u_z(t)$ を2次元平面に図示することで、図9(c)に示すような、計測点Aの軌跡を得る。

50

この計測点 A の軌跡に対して、円をフィッティングして回帰円 C_{fit} を求め、その半径である回帰半径 R_{fit} とを求めるとともに、タイヤ 1 がたわんだ状態の半径である有効半径 R_{eff} とを求める。本例では、図 9 (d) の模式図に示すように、有効半径 R_{eff} を、同図の破線で示す、回帰円 C_{fit} の中心 O から計測点 A までの距離の最小値とした。

最後に、以下の式により、たわみ量 d を算出する。

$$d = R_{fit} - R_{eff}$$

なお、摩耗の度合いを推定するためのたわみ量 d 、もしくは、後述するセンター摩耗判定に使用する特長量としては、たわみ量 d でも良いし、たわみ率 $k_d = d / R_{fit}$ でもよい。

【 0 0 1 8 】

実施の形態 2 .

図 10 は、本実施の形態 2 に係るタイヤ摩耗推定装置 20 の構成を示す図で、同図において、11A, 11B は第 1 及び第 2 の加速度センサー、12 は加速度微分波形演算手段、13 は微分ピーク値算出手段、14 は接地時間比算出手段、15 は角速度推定手段、16 はたわみ量算出手段、21 は識別モデル記憶手段、22 は摩耗形状判別手段、23 は R - V マップ記憶手段、24 は残溝量推定手段である。

第 1 及び第 2 の加速度センサー 11A, 11B ~ たわみ量算出手段 16 までの、実施の形態 1 と同符号の各手段は、実施の形態 1 と同一構成なので、その説明を省略する。

【 0 0 1 9 】

識別モデル記憶手段 21 は、予め求めておいた、摩耗形状識別モデル 21M を記憶する。

摩耗形状識別モデル 21M は、図 11 に示すように、タイヤ 1 の摩耗形状が均等摩耗 (Even wear; 以下、N 状態という) であるか、センター摩耗 (Center wear; 以下、M 状態という) であるかを識別する識別関数 $f_{NM}(x)$ により分離するための基準特徴ベクトル Y_{ZSV} と、基準特徴ベクトル Y_{ZSV} を重み付けするラグランジュ乗数 z とを備える ($Z = N$ または M) 。

基準特徴ベクトル Y_{ZSV} とラグランジュ乗数 z とは、残溝量 H と摩耗形状の異なる複数の試験タイヤを搭載した車両を、様々な荷重状態で走行させたときの接地時間比 R_c のデータと、変形速度指標 V_R のデータと、たわみ量 d のデータとを成分とする特徴ベクトル $Y_Z = (R_c z, V_R z, d z)$ を求めた後、これら特徴ベクトル Y_Z を学習データとして、サポートベクターマシン (SVM) により求められる。

【 0 0 2 0 】

摩耗形状判別手段 22 は、微分ピーク値算出手段 13 で算出した変形速度指標 V_R と、接地時間比算出手段 14 で算出した接地時間比 R_c と、たわみ量算出手段 16 で算出したたわみ量 d とを成分とする特徴量ベクトル $X (R_c, V_R, d)$ と、識別モデル記憶手段 21 に記録されているサポートベクトル Y_{NSV} と Y_{MSVV} 、及び、ラグランジュ乗数 N, M を用いて、カーネル関数 $K_N (X, Y_{NSV})$, $K_M (X, Y_{MSVV})$ を算出した後、これらのカーネル関数 $K_N (X, Y_{NSV})$, $K_M (X, Y_{MSVV})$ を用いて、タイヤの摩耗形状を識別するための識別関数 $f_{NM}(x)$ の値を求め、この識別関数 $f_{NM}(x)$ の値により、当該タイヤ 1 の摩耗形状が N 状態 (均等摩耗) であるか、M 状態 (センター摩耗) であるかを判別する。摩耗形状判別手段 22 の判別結果は、残溝量推定手段 24 に送られる。

なお、カーネル関数 K_N, K_M としては、例えば、ガウシアンカーネルなどが好適に用いられる。

【 0 0 2 1 】

R - V マップ記憶手段 23 は、予め求めておいた、残溝量が H_j かつ摩耗形状が均等摩耗である摩耗品の接地時間比 R_c と変形速度指標 V_R との関係を示す第 1 のマスターライン L_{Nj} と、残溝量が H_j かつ摩耗形状がセンター摩耗である摩耗品の接地時間比 R_c と変形速度指標 V_R との関係を示す第 2 のマスターライン L_{Mj} とを、それぞれ、横軸を接地時間比 R_c 、縦軸を変形速度指標 V_R とした平面上に描画した第 1 の $R_c - V_R$ マップ 23N (Even-Map) と第 2 の $R_c - V_R$ マップ 23M (Center-Map) とを記憶する。

第 1 及び第 2 の $R_c - V_R$ マップ 23N, 23M は、いずれも、接地時間比 R_c と変形速度指標 V_R とから摩耗の度合いを推定するためマップで、第 1 の $R_c - V_R$ マップ 21N は、

10

20

30

40

50

摩耗形状が均等摩耗で、かつ、残溝量 H の異なる複数の試験タイヤを搭載した車両を、様々な荷重状態で走行させたときの接地時間比 R_c のデータと、変形速度指標 V_R のデータとを用いて求められる。

一方、第 2 の $R_c - V_R$ マップ 2 1 M は、摩耗形状がセンター摩耗で、かつ、残溝量 H の異なる複数の試験タイヤを搭載した車両を、様々な荷重状態で走行させたときの接地時間比 R_c のデータと、変形速度指標 V_R のデータとを用いて求められる。

残溝量推定手段 2 4 は、微分ピーク値算出手段 1 3 で算出した変形速度指標 V_R と、接地時間比算出手段 1 4 で算出した接地時間比 R_c と、 $R - V$ マップ記憶手段 2 3 に記憶しておいた第 1 の $R_c - V_R$ マップ 2 3 N もしくは第 2 の $R_c - V_R$ マップ 2 3 M とを用いて、当該タイヤ 1 の摩耗の度合いである残溝量 H を推定する。

具体的には、摩耗形状判別手段 2 2 により、当該タイヤ 1 の摩耗形状が均等摩耗であると判定された場合には、算出された変形速度指標 V_R と接地時間比 R_c 、及び、第 1 の $R_c - V_R$ マップ 2 3 N とを用いて、当該タイヤ 1 の摩耗の度合いである残溝量 H を推定し、摩耗形状がセンター摩耗であると判定された場合には、算出された変形速度指標 V_R と接地時間比 R_c 、及び、第 2 の $R_c - V_R$ マップ 2 3 M を用いて、当該タイヤ 1 の摩耗の度合いである残溝量 H を推定する。

【 0 0 2 2 】

このように、微分ピーク値算出手段 1 3 にて変形速度指標 V_R を、接地時間比算出手段 1 4 にて接地時間比 R_c を、たわみ量算出手段 1 6 にてたわみ量 d を算出した後、上記算出された変形速度指標 V_R 、接地時間比 R_c 、及び、たわみ量 d を成分とする特徴量ベクトル X (R_c, V_R, d) と、予め摩耗形状ごとに求めておいた特徴量ベクトルであるサポートベクトル $Y_Z = (R_{cZ}, V_{RZ}, d_Z)$ を学習データとして構築した判別モデル (摩耗形状識別モデル 2 1 M) とに基づいて、機械学習のアルゴリズムを用いて、前記タイヤの摩耗形状が均等摩耗であるか、センター摩耗であるかを判別したので、当該タイヤ 1 の摩耗形状を精度よく判別することができる。

また、摩耗形状を考慮して当該タイヤ 1 の摩耗の度合いを推定したので、タイヤの摩耗形状に係らず、走行中のタイヤの摩耗の度合いを精度よく推定することができる。

【 0 0 2 3 】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は前記実施の形態に記載の範囲には限定されない。前記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者にも明らかである。そのような変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲から明らかである。

【 0 0 2 4 】

例えば、前記実施の形態 1, 2 では、タイヤ径方向加速度 $a_R(t)$ とタイヤ周方向加速度 $a_T(t)$ とから回転角速度 $\omega(t)$ を推定したが、振動ジャイロなどの角速度センサーを用いて回転角速度 $\omega(t)$ を直接計測してもよい。角速度センサーは、計測点 A に設置することが好ましい。

また、たわみ量 d についても、タイヤ 1 が取付けられている車両に距離センサーを設置して、車両と路面までの距離を計測し、この車両と路面間と距離からたわみ量 d を算出してもよい。具体的には、距離センサーの設置位置と路面との距離を車軸と路面との距離に換算してこれを有効半径 R_{eff} とし、この有効半径とタイヤ半径 R との差をたわみ量 d とすればよい。

また、前記実施の形態 2 では、摩耗形状判別手段 2 2 を、サポートベクトルマシーン (SVM) から構成したが、ロジスティック回帰やランダムフォレスト、ニューラルネットワークなどの他の機械的学習のアルゴリズムを用いてもよい。

また、前記実施の形態 2 では、摩耗形状により、摩耗の度合いを推定するマップを選択する構成としたが、第 1 の $R_c - V_R$ マップ 2 3 N のみ準備するとともに、予め、接地時間比 R_c と変形速度指標 V_R とが同じ、摩耗形状が均等摩耗であるときの残溝量 H_N と、摩耗形状がセンター摩耗における残溝量 H_M との差である補正量 ΔH を求めておき、摩耗形状がセンター摩耗である場合には、第 1 の $R_c - V_R$ マップ 2 3 N で求めた残溝量 H' を、 $H =$

10

20

30

40

50

$H' + H$ と補正して出力するようにしてもよい。なお、摩耗形状がセンター摩耗でない場合には、補正の必要はなく、 H' とをそのまま出力すればよい。

【符号の説明】

【0025】

- 1 タイヤ、2 インナーライナー部、3 タイヤ気室、4 トレッド、
- 10 タイヤ摩耗推定装置、11 センサーケース、11A 第1の加速度センサー、
- 11B 第2の加速度センサー、12 加速度微分波形演算手段、
- 13 微分ピーク値算出手段、14 接地時間比算出手段、15 角速度推定手段、
- 16 たわみ量算出手段、17 記憶手段、17M₁ ~ 17M_n R_c-V_Rマップ、
- 18 残溝量推定手段。

10

20

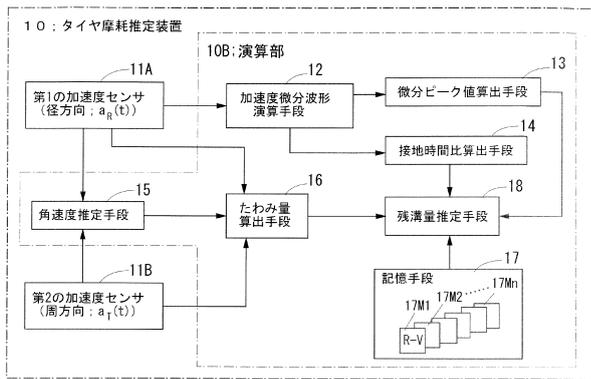
30

40

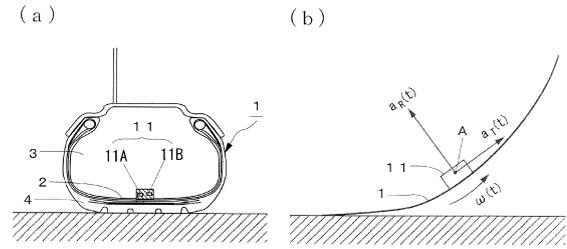
50

【図面】

【図 1】

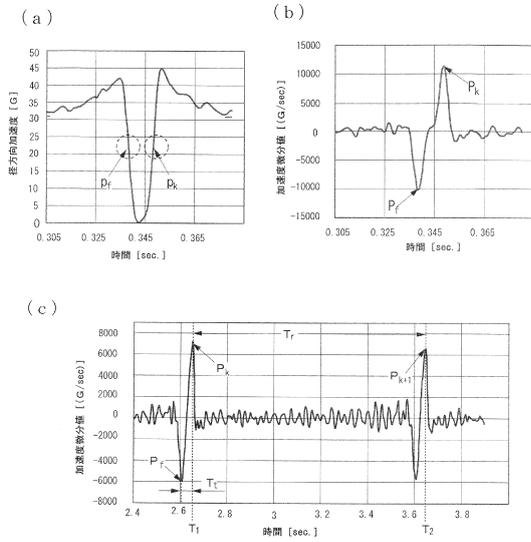


【図 2】

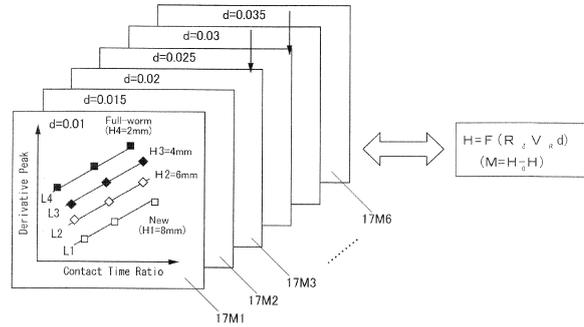


10

【図 3】



【図 4】



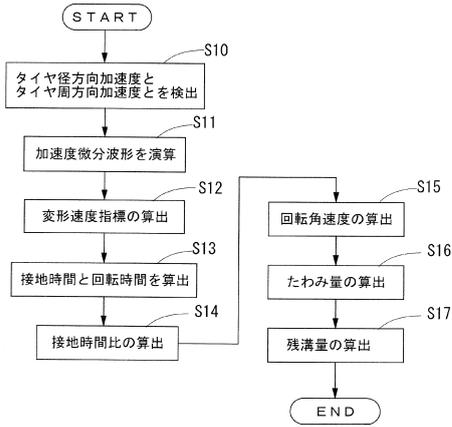
20

30

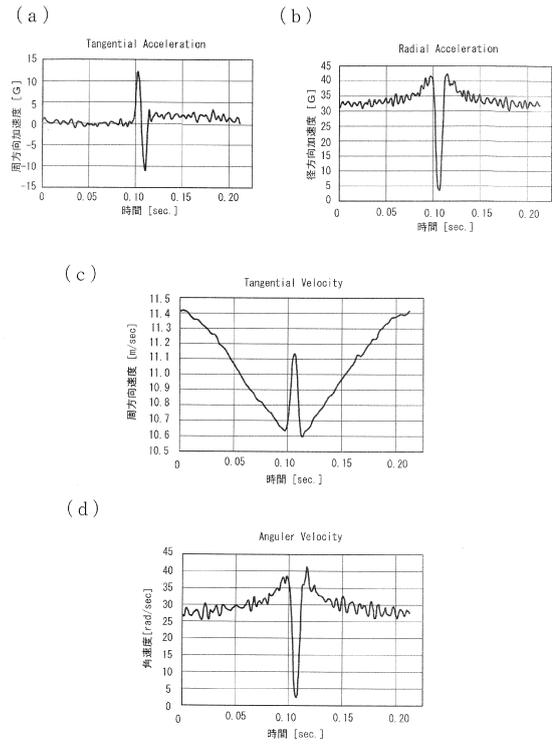
40

50

【図5】



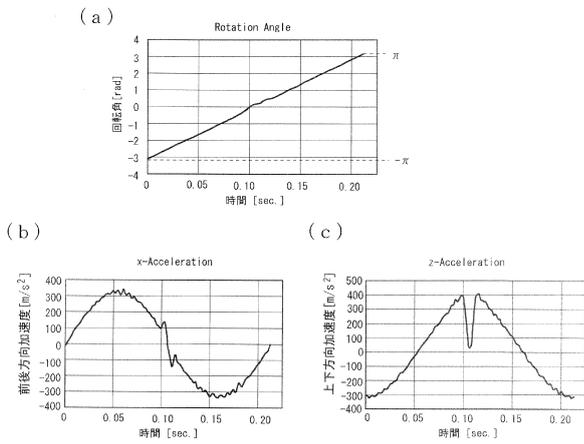
【図6】



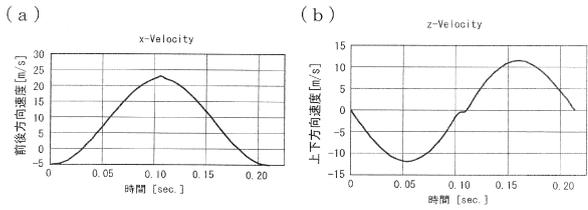
10

20

【図7】



【図8】

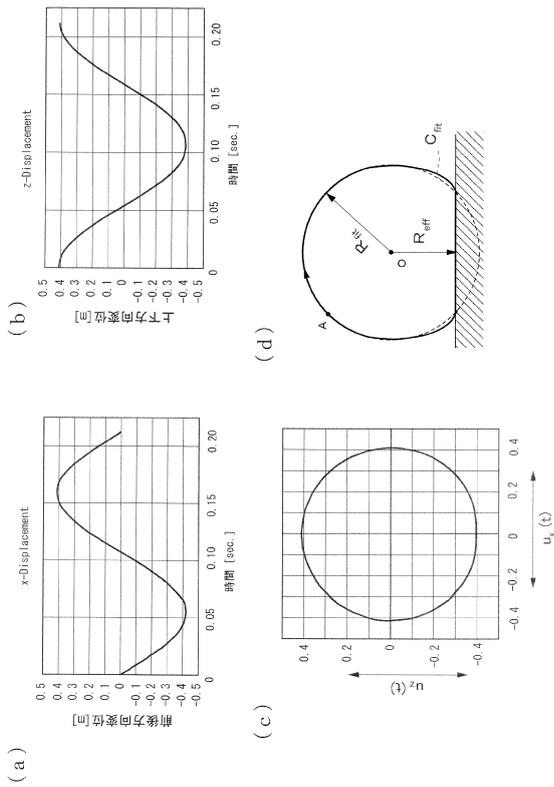


30

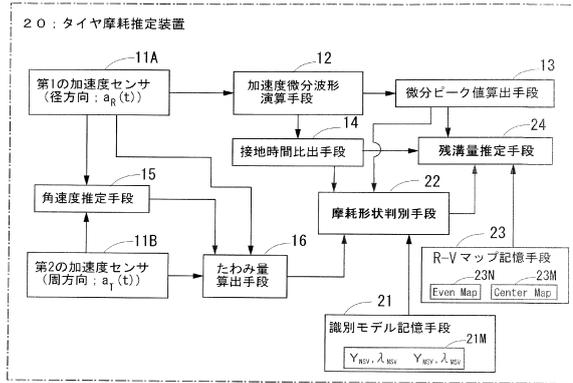
40

50

【図 9】



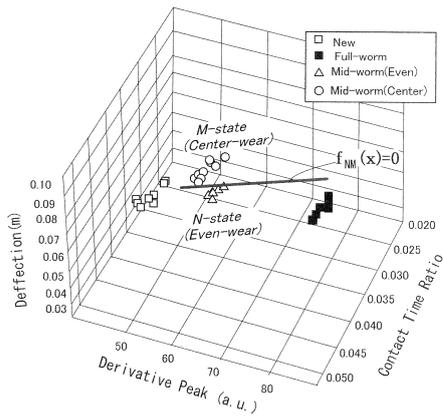
【図 10】



10

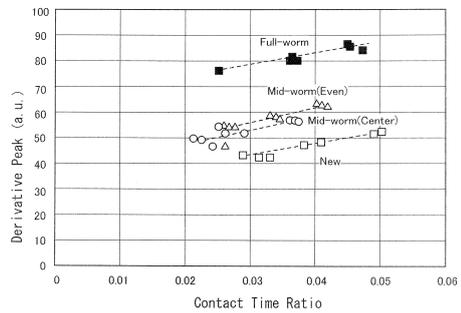
20

【図 11】



30

【図 12】



40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2009/157516(WO,A1)
国際公開第2009/008502(WO,A1)
特開2009-19950(JP,A)
特開平10-115578(JP,A)
特開2011-168211(JP,A)
特開2020-32990(JP,A)
米国特許出願公開第2018/0188025(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01M 17/02
B60C 19/00
B60C 11/24