(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
2020年12月17日(17.12.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/250517 A1

(51) 国際特許分類:
G01M 17/02 (2006.01)　*H01L 41/08* (2006.01)
B60C 19/00 (2006.01)　*H01L 41/113* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2020/010984

(22) 国際出願日：　2020年3月13日(13.03.2020)

(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 2019-111194　2019年6月14日(14.06.2019)　JP

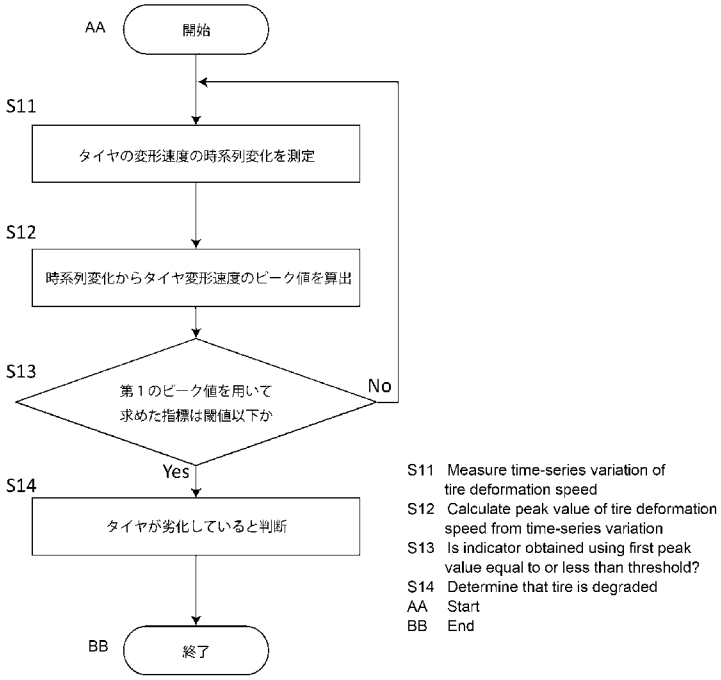
(71) 出願人: アルプスアルパイン株式会社(**ALPS ALPINE CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町１番７号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 不藤 平四郎(**Fudo, Heishiro**); 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町１番７号 アルプスアルパイン株式会社内 Tokyo (JP). 篠原 英司(**SHINOHARA, Eiji**); 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町１番７号 アルプスアルパイン株式会社内 Tokyo (JP). 市瀬 真哉(**ICHISE, Shinya**); 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町１番７号 アルプスアルパイン株式会社内 Tokyo (JP). 戸張 博之(**TOBARI, Hiroyuki**); 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町１番７号 アルプスアルパイン株式会社内 Tokyo (JP). 山本 秋人(**YAMAMOTO, Akihito**); 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町１番７号 アルプスアルパイン株式会社内 Tokyo (JP). 大野 裕樹(**ONO, Yuki**); 〒1458501

(54) **Title:** TIRE DEGRADATION ESTIMATING DEVICE, AND TIRE DEGRADATION ESTIMATING METHOD

(54) 発明の名称： タイヤ劣化推定装置およびタイヤ劣化推定方法

[図1]



(57) **Abstract:** A tire degradation estimating method according to an embodiment of the present invention enables a degree of degradation of a tire to be estimated, by comprising: a deformation speed measuring step (S11) of using a tire degradation estimating device disposed on an inner side surface of the tire to measure a tire deformation speed, which is the deformation speed of the tire when the tire is rotating, and obtaining a time-series variation of the tire deformation speed; a calculating step (S12) of calculating a peak value of the tire deformation speed from the time-series variation of

WO 2020/250517 A1

[続葉有]

東京都大田区雪谷大塚町１番７号 アルプスアルパイン株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人：大 窪 克 之 (OKUBO, Katsuyuki); 〒1010051 東京都千代田区神田神保町一丁目１２神保町一丁目ビル９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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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)）

the tire deformation speed; and an estimating step (S13) of estimating the degree of degradation of the tire using a first peak value, which is the peak value of the tire deformation speed before lead-in of the tire or after trail-out of the tire, in the time-series variation of the tire deformation speed.

(57) 要約：本発明の一態様に係るタイヤ劣化推定方法は、タイヤの内側面に配置されたタイヤ劣化推定装置を用い、タイヤが回転しているときのタイヤの変形速度であるタイヤ変形速度を計測し、前記タイヤ変形速度の時系列変化を得る変形速度計測ステップ（Ｓ１１）と、前記タイヤ変形速度の時系列変化から、前記タイヤ変形速度のピーク値を算出する算出ステップ（Ｓ１２）と、前記タイヤ変形速度の時系列変化における、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記ピーク値である第１のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定する推定ステップ（Ｓ１３）と、を備えるため、タイヤの劣化度合いを推定できる。

明　細　書

発明の名称 ： タイヤ劣化推定装置およびタイヤ劣化推定方法

技術分野

[0001] 本発明は、タイヤの摩耗等の劣化の程度を推定するタイヤ劣化推定装置およびタイヤ劣化推定方法に関する。

背景技術

[0002] タイヤの摩耗が進行すると、乾いた路面を走行する際におけるグリップ性能や、濡れた路面を走行する際におけるタイヤと路面との間の水を排出する排水性能が低下する。そこで、運転者や車両管理者は、トレッドの摩耗状態を目視で点検し、安全性を確保するために使用限度を超える前にタイヤを交換する。目視による点検にはタイヤの溝に設けられたスリップサインなどが用いられるが、点検作業は煩雑であり、また、摩耗状態の評価を誤るおそれもある。評価を誤った場合、性能が低下したタイヤが継続して使用されることになり、安全性の観点から好ましくない。

そこで、目視以外の方法によってタイヤの摩耗の程度を推定する方法が提案されている。たとえば、特許文献１には、安定してかつ精度よくタイヤの摩耗の程度を推定する方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第５１１１５０５号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献１に記載の方法は、タイヤ径方向加速度からタイヤ変形速度を算出し、タイヤ回転時間を求め、変形速度と回転時間から変形速度の指標を求め、指標の大きさから摩耗度合いを算出する。また、回転速度によって変動するタイヤの変形速度の指標を基準化するために、タイヤの回転時間の三乗値を乗算または除算する。この方法は、タイヤ荷重、圧力、速度、路面の摩

擦係数などの複数のデータを考慮して摩耗の程度を割り出すことから、タイヤの摩耗度合いを推定するために必要な計算量が大きくなる。このため、タイヤ劣化推定装置の電力消費量が増えるという問題がある。

そこで、本発明は、従来とは異なる方法によって、タイヤの劣化の程度を推定することができるタイヤ劣化推定装置およびタイヤ劣化推定方法の提供を目的としている。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明は、タイヤの踏み込み時以前（接地前）または蹴り出し時以後（接地後）における変形と、タイヤの接地時における変形とを用いることにより、摩耗や柔軟性の低下といったタイヤの劣化の度合いを評価することができるという知見に基づいており、以下の構成を備えている。

[0006] 本発明のタイヤ劣化推定方法は、タイヤの内側面に配置されたタイヤ劣化推定装置を用いたタイヤ劣化推定方法であって、前記タイヤが回転しているときの前記タイヤの変形速度であるタイヤ変形速度を計測し、前記タイヤ変形速度の時系列変化を得る変形速度計測ステップと、前記タイヤ変形速度の時系列変化から、前記タイヤ変形速度のピーク値を算出する算出ステップと、前記タイヤ変形速度の時系列変化における、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記ピーク値である前記第１のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定する推定ステップと、を備えることを特徴とする。

タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後におけるタイヤ変形速度のピーク値である第１のピーク値を用いることで、タイヤの劣化の程度を精度よく推定することができる。

[0007] 前記算出ステップは、前記時系列変化から、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記ピーク値である前記第１のピーク値、およびタイヤ接地時における前記タイヤ変形速度のピーク値である前記第２のピーク値を算出し、前記推定ステップは、前記第２のピーク値と前記第１のピーク値との比に基づいて、前記タイヤの前記劣化度

を推定してもよい。

第１のピーク値に加えて第２のピーク値を算出し、両者の比を用いてタイヤの劣化度を推定することにより、外部温度の変化等に起因する変化の影響を抑えて、推定精度を向上させることができる。

[0008] 前記推定ステップは、接地前における前記第１のピーク値を前記第２のピーク値で除算して得られた第１の比率、または接地後における前記第１のピーク値を前記第２のピーク値で除算して得られた第２の比率に基づいて、前記タイヤの前記劣化度を推定してもよい。

前記推定ステップは、前記第２のピーク値に対する前記第１のピーク値の比率が、基準値の５０％以下となったときに、前記タイヤが劣化したと推定してもよい。

[0009] 本発明のタイヤ劣化推定方法は、他の態様として、タイヤの内側面に配置されたタイヤ劣化推定装置を用いたタイヤ劣化推定方法であって、前記タイヤが回転しているときの前記タイヤの変形速度を計測し、タイヤ変形速度を積分したタイヤ変形量の時系列変化を得る変形量計測ステップと、前記タイヤ変形量の時系列変化から、前記タイヤ変形量のピーク値を特定する算出ステップと、前記タイヤ変形量の時系列変化における、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形量の前記ピーク値である第３のピーク値を用いて、前記タイヤの前記劣化度を推定する推定ステップと、を備えることを特徴とする。

[0010] 前記変形量計測ステップは、前記時系列変化から、タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形量の前記第３のピーク値、およびタイヤ接地時における前記タイヤ変形量の第４のピーク値を算出し、前記推定ステップは、前記第３のピーク値と前記第４のピーク値との比に基づいて、前記タイヤの劣化度を推定してもよい。

[0011] 本発明のタイヤ劣化推定装置は、タイヤの内側面に配置されてタイヤの劣化状態を判別するタイヤ劣化推定装置において、前記タイヤが回転しているときの前記タイヤの変形を計測可能な変形計測部と、タイヤ変形速度の時系

列変化から、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の時系列変化における第１のピーク値を算出する算出部と、前記タイヤ変形速度の前記第１のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定する推定部と、を備えることを特徴とする。

[0012] 前記算出部が、前記タイヤ変形速度の時系列変化から、タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の第１のピーク値、およびタイヤ接地時における前記タイヤ変形速度の第２のピーク値を算出し、前記推定部が、前記タイヤ変形速度の前記第１のピーク値および前記第２のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定するものであってもよい。

[0013] 前記変形計測部は、シート状に形成された圧電センサであり、前記タイヤの前記内側面に接して配置され、前記タイヤの前記内側面の変形速度を測定するとともに、当該測定した変形速度を前記タイヤ変形速度としてもよい。

[0014] 前記圧電センサは、第１の圧電センサおよび第２の圧電センサを備えており、前記第１の圧電センサと前記第２の圧電センサとは、前記タイヤの変形方向に対する感度が異なっていてもよい。

前記第１の圧電センサは、前記第２の圧電センサよりも、前記タイヤの幅方向の感度が高いものであってもよい。例えば、前記第１の圧電センサは、法線方向から見たときに長方形状に形成されており、長手方向がタイヤの幅方向となるように配置されており、前記第２の圧電センサは、法線方向から見たときに円形状に形成されていてもよい。前記第１の圧電センサおよび前記第２の圧電センサは、前記タイヤの回転方向に沿った同一直線上に配置されていてもよい。

圧電センサを、タイヤの変形方向に対する感度が異なる第１の圧電センサおよび第２の圧電センサで構成することにより、第１と第２の圧電センサからの出力の差を用いて、たとえば、タイヤの幅方向のような特定方向の変形を検知することができる。

[0015] 前記推定部は、前記第１の圧電センサの計測結果に基づく、前記タイヤの

踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記第１のピーク値と、前記第２の圧電センサの計測結果に基づく、前記タイヤの接地時における前記タイヤ変形速度の第２のピーク値とを用いて、前記タイヤの劣化度を推定してもよい。

前記推定部は、前記第２のピーク値に対する前記第１のピーク値の比率、または、前記第１の圧電センサおよび前記第２の圧電センサの計測結果に基づくタイヤ変形速度の前記第１のピーク値の差に基づいて、タイヤの劣化度を推定してもよい。

これらの構成により、推定部はタイヤの劣化度を精度よく推定することができる。

[0016] タイヤ劣化推定装置は、外部と通信可能な通信部と、前記タイヤが劣化していると前記推定部が推定した場合に警告の指示を行う警告部と、をさらに備えていてもよい。

推定部によりタイヤが劣化していると推定されたときに、警告部からの警告を通信部を介して出力し、車両の管理者や運転者に知らせることができる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、第１のピーク値を用いることにより、少ない計算量でタイヤの劣化度を精度よく推定することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]第１の実施形態のタイヤ劣化推定方法のフローチャート

[図2]（ａ）回転に伴うタイヤの変形を模式的に示す模式図、（ｂ）タイヤの変形速度（実線）および変形量（破線）の変化を示す波形のグラフ

[図3]第２の実施形態のタイヤ劣化推定方法のフローチャート

[図4]第３の実施形態のタイヤ劣化推定方法のフローチャート

[図5]タイヤ劣化推定装置の機能ブロック図

[図6]（ａ）タイヤ劣化推定装置の変形計測部の構成例を模式的に示す平面図、（ｂ）変形計測部の他の構成例を模式的に示す平面図

[図7]図６の変形計測部のタイヤ内側面への変形計測部の配置状態を模式的に示す斜視図

[図8]シミュレーションにより得られた、タイヤの内側面面の変形速度および方向を模式的に示す平面図

[図9]（ａ）タイヤの回転とタイヤ劣化推定装置の位置（回転角度）とを説明する平面図、（ｂ）タイヤの回転角度と変形計測部の圧電センサからの出力電圧との関係を示す波形

[図10]タイヤ（新品・中古品）の波形のピーク値の変化を示すグラフ、（ａ）矩形圧電センサの測定結果（ｂ）円形圧電センサの測定結果

[図11]タイヤ（新品・バフ摩耗品）の波形のピーク値の変化を示すグラフ、（ａ）矩形圧電センサの測定結果（ｂ）円形圧電センサの測定結果

発明を実施するための最良の形態

[0019] 本発明の実施形態について、以下、図を参照しつつ説明する。各図において、同一の部材や工程（ステップ）には同じ番号を付して、適宜、説明を省略する。

（第１の実施形態）

図１に示すように、本実施形態のタイヤ劣化推定方法は、タイヤの内側面に配置されたタイヤ劣化推定装置を用いたタイヤ劣化推定方法であって、変形速度計測ステップ（Ｓ１１）と、算出ステップ（Ｓ１２）と、推定ステップ（Ｓ１３）とを備えている。以下、各ステップについて説明する。

[0020] 変形速度計測ステップ（Ｓ１１）は、回転しているタイヤ２００における、タイヤ劣化推定装置１００が配置された箇所の変形速度であるタイヤ変形速度を計測するステップである。図２（ａ）は、タイヤ２００が回転しているときの変形を模式的に示した正面図であり、図２（ｂ）は、回転しているタイヤ２００において、タイヤ劣化推定装置１００により測定されるタイヤ変形速度およびタイヤ変形量の時系列変化を模式的に示す波形である。同図では、実線がタイヤ変形速度の時系列変化を示し、破線がタイヤ変形量の時系列変化を示している。

[0021] 図２（ａ）に示すように、タイヤ劣化推定装置１００は、タイヤ２００の回転によって、変形計測部１０（図５参照）が配置された箇所が、路面５０に対する踏み込み、接地、蹴り出しを繰り返すことに伴って生じるタイヤ２００の変形を測定する。タイヤ劣化推定装置１００の変形計測部１０（図５、図７参照）により、タイヤ２００の回転に伴って、周期的な変形が計測される。変形速度計測ステップは、このタイヤ２００の周期的なタイヤ変形速度の変化を計測する。図２（ｂ）のグラフは、横軸が時間を示し、縦軸がタイヤ変形速度の大きさまたはタイヤ変形量を示している。実線がタイヤ変形速度の時系列変化の波形を、破線がタイヤ変形量の時系列変化の波形を、それぞれ簡略化したものである。

[0022] 算出ステップ（Ｓ１２）では、変形速度計測ステップにおいて計測したタイヤ変形速度の時系列変化から、タイヤ変形速度の時系列変化を示す波形における波の頂点（ピーク）の値（極大値・極小値）であるピーク値を算出する。ここで、タイヤ変形速度のピーク値を与えるピークは、タイヤ２００の内側面２０１におけるタイヤ劣化推定装置１００が配置された箇所に対応するタイヤ表面２０２が、路面５０に接地していないときにおけるピーク（第１のピーク）と、路面５０に接地しているときにおけるピーク（第２のピーク）とに分類される。これらのピークについて、図２（ａ）および図２（ｂ）を用いて説明する。

[0023] タイヤ表面２０２が、路面５０に接地していないときにおけるピークである第１のピークは、図２（ａ）および図２（ｂ）に示すように、踏み込み時以前のピーク（図２（ｂ）ではピークａ１およびピークａ２）および蹴り出し時以後におけるピーク（図２（ｂ）ではピークａ５およびピークａ６）からなる。タイヤ表面２０２と路面５０との接地時にはタイヤ２００の変形量が最大となり（図２（ａ））、接地時の中心点（以下、適宜「接地中心点Ｃ」という）の前後において、互いに反対向きのピークａ３、ａ４が第２のピークとして現れる（図２（ｂ））。

[0024] 算出ステップでは、タイヤ接地時の前後である、踏み込み時以前または蹴

り出し時以後における「第１のピーク」を求める。図２（ｂ）に示すように、接地時におけるピークａ３の前にａ１およびａ２の２つのピーク、接地時におけるピークａ４の後にａ５およびａ６の２つのピークが、それぞれ現れる。これら４つのピークのうち、接地時のピークａ３およびａ４に近い位置に生じるピークａ２およびａ５は、ピークａ１およびａ６よりもピーク値の絶対値が大きいことから、検知が容易である。このため、タイヤ表面２０２と路面５０との非接地時、すなわちタイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における、タイヤ変形速度の絶対値が最大となるピークａ２およびａ５を第１のピークとして用いることが好ましい。なお、本明細書では、接地中心点Ｃの直前に生じる接地時のピークａ３と同じ側のピークをトップピーク、接地中心点Ｃの直後に生じる接地時のピークａ４と同じ側のピークをボトムピークともいう。例えば、図２（ｂ）の波形では、第１のピーク値のうちａ１とａ５とがトップピークであり、ａ２とａ６とがボトムピークである。

[0025] 推定ステップ（Ｓ１３）は、算出ステップにおいて算出したタイヤ変形速度の時系列変化における第１のピークの値である第１のピーク値を用いて、タイヤの劣化度を推定するステップである。第１のピーク値を用いて求めた指標と閾値とを比較し、指標が閾値以下である場合（Ｓ１３のＹｅｓ）、タイヤ２００が劣化していると判断し（Ｓ１４）、タイヤ劣化推定を終了する。指標が閾値よりも大きい場合（Ｓ１３のＮｏ）、変形速度計測ステップ（Ｓ１１）に戻る。

[0026] 推定ステップ（Ｓ１３）は、タイヤの劣化度を推定するために第１のピーク値を用いる。このため、算出ステップ（Ｓ１２）は、タイヤ変形速度のピーク値のうち、少なくとも第１のピーク値を求める。

[0027] ここで、図９（ｂ）を参照する。図９（ｂ）は、タイヤの回転角度と変形計測部の圧電センサからの出力電圧との関係を示す波形について、新品タイヤの場合と、中古品タイヤの場合と、を示している。図９（ｂ）から、接地時のピーク値であるａ３、ａ４ではその出力値に新品・中古でほとんど差が

ないのに対して、接地前後のピーク値であるａ１、ａ２、ａ５、ａ６では差が出ていることがわかる。すなわち、タイヤの変形速度の最大値は、タイヤ２００が地面に接地している接地時よりも、接地前後において、タイヤ２００の劣化の程度、特に、劣化による硬度等の特性の変化を敏感に反映することが分かる。このため、算出ステップで求めたタイヤの接地前後におけるタイヤ変形速度のピーク値である第１のピーク値を用いてタイヤの劣化度を推定することにより、精度よくタイヤの劣化状態を推定できる。例えば、ピークａ２のピーク値またはピークａ５のピーク値が、所定の閾値以下であることや、ピークａ２またはピークａ５のピーク値が、各ピーク値の初期値に対して所定の割合以下となったことの検出により、タイヤ２００が劣化したと推定する。所定の割合としては、例えば、４０～６０％、５０％等とすることができる。

[0028] （第２の実施形態）

図３に示すように、本実施形態のタイヤ劣化推定方法は、上述した算出ステップ（Ｓ１２）に変えて、算出ステップ（Ｓ２２）を備えている点において、第１の実施形態と異なっている。算出ステップ（Ｓ２２）は、第１のピークに加えて、タイヤ接地時におけるタイヤ変形速度の第２のピーク値を算出する。

第２のピークは、トップ側およびボトム側においてピーク値が最大となるピークである。算出ステップ（Ｓ２２）において、第１のピーク値に加えて第２のピーク値を算出することにより、推定ステップ（Ｓ２３）で第１のピーク値と第２のピーク値とを用いることができる。これにより、タイヤの劣化度の推定において、外部の温度変化等によるタイヤの特性変化の影響を考慮できるから、推定精度を高くすることが可能になる。

[0029] 第２のピークは、図２（ｂ）に示すように、タイヤ接地時における接地中心点Ｃの前後にそれぞれ、波形の反対方向に一つずつ生じる。図２（ｂ）の波形では、タイヤ２００の変形量が最大となる接地中心点Ｃの直前および直後のピークａ３およびピークａ４が第２のピークであり、これらピークにお

ける変形速度の値が第２のピーク値である。第２のピーク値はそれぞれ、タイヤ接地時における反対方向へのタイヤの変形速度の最大値である。

[0030] 本実施形態では、算出ステップ（Ｓ２２）において、第１のピーク値に加えて第２のピーク値を算出している。このため、算出ステップ（Ｓ２２）に続く推定ステップ（Ｓ２３）において、第１のピーク値と第２のピーク値とを用いて求めた指標をタイヤの劣化の推定に用いることができる。第１のピーク値に加えて第２のピーク値を用いることにより、タイヤの劣化程度以外の要素の影響を抑えて、推定の精度を向上させることができる。例えば、低温環境下では全ての材料が硬くなる傾向なので、その出力波形は常温時の出力波形と相似で変化する。このため、外部環境の変化によって、第１のピーク値と第２のピーク値と変化した場合であっても、第２のピーク値と第１のピーク値との比は同じである。それに対して、摩耗の場合はトレッドゴムだけが削れることでワイヤーの影響が大きくなるため、出力波形は、相似ではなくなる。そのため、第２のピーク値と第１のピーク値との比を指標とすれば、外部温度のような環境の影響を抑制することができる。

[0031] 推定ステップ（Ｓ２３）では、タイヤ２００の劣化度を推定するために、たとえば、図２（ｂ）における、ピークａ２（第１のピーク）のピーク値をピークａ３（第２のピーク）のピーク値で除算して得られた第１の比率、またはピークａ５（第１のピーク）をピークａ４（第２のピーク）で除算して得られた第２の比率を用いることができる。これらは第１のピークと第２のピークとの組み合わせの例であり、これら以外を組み合わせてもよく、また、第２のピーク値を第１のピーク値で除算した比率を用いてもよい。

[0032] 推定ステップ（Ｓ２３）は、たとえば、第２のピーク値に対する第１のピーク値の比が、基準値に対して所定の割合以下となったときに、タイヤが劣化していると判断する（Ｓ１４）。基準値に対して所定の割合以下ではないときに、変形速度計測ステップ（Ｓ１１）に戻って、タイヤの変形速度の時系列変化の測定を継続する。基準値としては、使用前の時点におけるタイヤ（新品）の第２のピーク値に対する第１のピーク値の比（初期値）が挙げら

れる。所定の割合は、タイヤの種類等に応じて、適切な値を設定すればよいが、例えば、４０～６０％、５０％とすればよい。

[0033] ＜第３の実施形態＞

本実施形態のタイヤの劣化度推定方法は、タイヤの変形速度の時系列変化（図２（ｂ）の実線）の代わりに、タイヤの変形量の時系列変化（図２（ｂ）の破線）から特定したタイヤ変形量の第３のピーク値を用いて、タイヤの劣化度を推定する。

図４に示すように、本実施形態のタイヤの劣化度推定方法は、変形量計測ステップ（Ｓ３１）と、算出ステップ（Ｓ３２）と、推定ステップ（Ｓ３３）を備えている。

[0034] 変形量計測ステップ（Ｓ３１）は、タイヤの変形量の時系列変化を測定するステップであり、例えばタイヤが回転しているときのタイヤの変形速度を計測し、タイヤ変形速度を積分することでタイヤ変形量を測定する。これにより、同図に破線で示すタイヤ変形量の時系列変化の波形が得られる。

[0035] 算出ステップ（Ｓ３２）は、タイヤ変形量の時系列変化から、タイヤ変形量のピーク値を特定する。図２（ｂ）に示すように、タイヤ変形量の時系列変化の波形には、踏み込み時以前のピークｂ１、ｂ２、変形量が最大である接地時のピークｂ３、蹴り出し時以後のピークｂ４およびｂ５が生じる。

[0036] 上述したピークｂ１～ｂ５のうち、第３のピークはｂ１、ｂ２、ｂ４およびｂ５である。第１の実施形態における第１のピーク同様、タイヤ変形量の第３のピークは、劣化に伴うタイヤの伸縮性の変化を敏感に反映する。したがって、推定ステップ（Ｓ３３）において、タイヤ変形量の第３のピーク値を用い、求めた指標が閾値以下である場合にタイヤが劣化していると判断することで（Ｓ１４）、精度よくタイヤの劣化度を推定できる。

[0037] なお、算出ステップ（Ｓ３２）において、第３のピーク値に加えて、変形量が最大となる第４のピーク値を求めてもよい。第３のピーク値に加えて、第４のピーク値を用いることにより、タイヤ変形速度同様、温度変化などの影響を抑制できるから、推定ステップ（Ｓ３３）における推定精度が向上す

る。推定ステップ（Ｓ３３）において、タイヤ２００の劣化の程度を評価する指標として、第３のピーク値を第４のピーク値で除算した値を用いてもよい。この場合、例えば、当該指標が、初期値に対して所定の割合（閾値）以下である場合（Ｓ３３のＹｅｓ）、タイヤが劣化していると判断し、初期値に対して所定の割合（閾値）以下ではない場合（Ｓ３３のＮｏ）、変形量計測ステップ（Ｓ３１）に戻って、算出ステップ（Ｓ３２）および推定ステップ（Ｓ３３）を繰り返す。

[0038]（第４の実施形態）

図５は、本実施形態のタイヤ劣化推定装置１００の機能ブロック図である。タイヤ劣化推定装置１００は、タイヤ２００の内側面２０１（図２（ａ）参照）に配置されてタイヤの劣化の程度を判別するものであり、変形計測部１０、算出部２１および推定部２２を備えている。

[0039] 変形計測部１０は、タイヤ２００が回転しているときのタイヤの変形速度を計測可能なものであり、例えば、合成樹脂のマトリックス中に圧電粒子が分散されてなる圧電体層が、電極層に挟まれた構成を備えたシート状に形成された圧電センサを用いることができる。変形計測部１０は、タイヤ２００の内側面に接して配置され、タイヤ内側面の変形速度を測定するとともに、測定結果をタイヤ変形速度として算出部２１に出力する。

[0040] 算出部２１は、変形計測部１０が計測したタイヤ変形速度の時系列変化から、タイヤ変形速度の時系列変化におけるピーク値を算出する。図２（ｂ）に実線で示したタイヤ変形速度の時系列変化の波形では、タイヤの踏み込み時以前（接地前）におけるピークａ１およびａ２、ならびに蹴り出し時以後（接地後）におけるピークａ５およびａ６（第１のピーク）のピーク値や、接地時におけるピークａ３およびａ４（第２のピーク）のピーク値などを算出する。ピーク値の算出は、タイヤ変形速度の時系列変化のデータから求めたり、時系列変化の波形の画像を解析して求めたりすることができる。

[0041] 推定部２２は、算出部２１において算出した第１のピーク値を用いて、タイヤ２００の劣化度を推定する。

算出部２１および推定部２２は、タイヤ劣化推定装置１００の種々の制御を担う制御部２０の一部である。図５に示すように、制御部２０は、タイヤが劣化したことを知らせる警告部２３を備えており、推定部２２により推定されたタイヤの劣化度が、所定の閾値以下となった場合、タイヤ劣化を警告する信号を出力する。制御部２０としてＣＰＵ（中央演算処理装置）などが用いられ、算出部２１、推定部２２、警告部２３は、ソフトウェアの機能として構成されてもよい。

[0042] 本実施形態のタイヤ劣化推定装置１００は、上述した変形計測部１０および制御部２０に加えて、記憶部３０および通信部４０を備えている。記憶部３０には種々のデータが記録されており、これら記録されたデータは制御部２０がタイヤの劣化状態を推定したり警告したりする際などに参照される。記憶部３０に記憶されるデータとしては、例えば、評価に用いる指標とタイヤの劣化度との関係を示すテーブル等が挙げられる。推定部２２は、算出部２１が算出した第１のピーク値に基づく指標と、記憶部３０に記憶された情報とを比較することにより、タイヤ２００の劣化状態を精度よく推定できる。なお、記憶部３０は、タイヤ劣化推定装置１００と通信可能な、車体３００などの外部の装置が備えたものを用いてもよい。

[0043] 変形計測部１０が計測したタイヤ変形速度の時系列変化から、変形計測部１０を設けた部分が接地する前後におけるタイヤ変形速度における第１のピーク値を算出する。図２（ｂ）に実線で示したタイヤ変形速度の時系列変化の波形では、タイヤの踏み込み時以前（接地前）におけるピークａ１およびａ２、ならびに蹴り出し時（接地後）におけるピークａ５およびａ６における頂点、すなわち、各ピークにおける変形速度の最大値である第１のピーク値を算出する。

[0044] 推定部２２は、算出部２１において算出した第１のピーク値を用いて、タイヤ２００の劣化度を推定する。図２（ｂ）に示すように、タイヤ変形速度の時系列変化を示す波形では、接地時において、トップ側とボトム側とのそれぞれに、最大のピークａ３とａ４とが生じる。本発明は、トップ側とボト

ム側とのそれぞれにおける最も大きなピークａ３およびａ４の前後（接地の前後）に生じる第１のピーク、すなわちピークａ１、ａ２、ａ５、および／またはａ６の値を用いることにより、タイヤ２００の劣化状態を精度よく推定できる。

[0045] 推定部２２は、上述した第１のピーク値に加えて、タイヤ接地時におけるタイヤ変形速度の第２のピーク値を算出し、第１のピーク値および第２のピーク値を用いて、タイヤの劣化度を推定してもよい。例えば、第１のピーク値を第２のピーク値で除算して得られる値を指標として用い、タイヤの劣化度を評価してもよい。

[0046] この場合、第１のピーク値のうち、タイヤ接地時の前または後におけるタイヤ変形速度の最大値と、タイヤ接地時におけるタイヤ変形速度の最大値である第２のピークとを組合せて用いることが好ましい。例えば、図２（ｂ）における、ピークａ２またはピークａ５のピーク値をピークａ３またはピークａ４のピーク値で除算して得られる値（ａ２／ａ３）、（ａ２／ａ４）、（ａ５／ａ３）（ａ５／ａ４）等をタイヤの劣化の程度を評価する指標として用いることができる。

[0047] また、変形計測部１０は、タイヤ変形速度に代えて、タイヤ変形速度を積分して得られるタイヤ変形量の時系列変化を得てもよい。この場合、推定部２２は、タイヤ変形量の時系列変化から、タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後におけるタイヤ変形量の第３のピーク値、およびタイヤ接地時におけるタイヤ変形量の第４のピーク値を算出し、第３のピーク値と第４のピーク値との比に基づいて、タイヤの劣化度を推定する。例えば、図２（ｂ）に破線で示すタイヤ変形量の時系列変化を示す波形における、ピークｂ２またはｂ４のピーク値（第３のピーク値）を、ピークｂ３のピーク値（第４のピーク値）で除算して得られる値（ｂ２／ｂ３またはｂ４／ｂ３）をタイヤ２００の劣化状態を評価する指標として用いてもよい。

[0048] 変形計測部１０は、例えば、シート状に形成された圧電センサを用いることができる。圧電センサは、図６（ａ）および図６（ｂ）に示すように、第

１の圧電センサ１１と、第１の圧電センサ１１とはタイヤ２００の変形方向に対する感度が異なる第２の圧電センサ１２とを備えていることが好ましい。

[0049] 図６（ａ）に示すように、例えば、第１の圧電センサ１１が、法線方向（Ｚ軸方向）から見たときに長方形状に形成されるとともに、第２の圧電センサ１２が、法線方向から見たときに円形状に形成された構成としてもよい。このように、第１の圧電センサ１１をＸ軸方向とＹ軸方向とで形状異方性がある形状とし、第２の圧電センサ１２をＸ軸とＹ軸とで形状異方性がない形状とすることにより、変形計測部１０が設けられた部分におけるタイヤの変形の大きさに加えて、特定方向の変形速度を測定することができる。例えば、全方向に等しく変形が生じた場合に、第１の圧電センサ１１と第２の圧電センサ１２との出力が等しくなるようにし、タイヤの幅方向の変形速度が大きいと第１の圧電センサ１１の出力が第２の圧電センサ１２の出力よりも大きくなるようにする。これにより、第１の圧電センサ１１と第２の圧電センサ１２との出力差により、タイヤの変形方向を測定することができる。

[0050] 推定部２２は、第１の圧電センサ１１の出力と、第２の圧電センサ１２の出力との差を用いて、特定方向の変形速度を得てもよい。この場合、各出力の差が小さいことから、第１の圧電センサ１１の出力と第２の圧電センサ１２の出力との差を増幅して用いてもよい。

[0051] 例えば、第１の圧電センサ１１の長手方向がタイヤの幅方向（Ｗ、Ｙ軸方向）となるように配置することで、第１の圧電センサ１１により主にタイヤの幅方向の変形を精度よく計測することができる。後述するように、タイヤは接地前後において、幅方向に大きく変形する。このため、第１の圧電センサ１１を用いることにより、特に、接地前後におけるタイヤの変形速度を精度よく測定することが可能となる。図６には、変形計測部１０が第１の圧電センサ１１および第２の圧電センサ１２の両方を備えた例を示したが、変形計測部１０は第１の圧電センサ１１または第２の圧電センサ１２の一方のみを備えた構成としてもよい。

[0052] 第１の圧電センサ１１のアスペクト比（Ｗ１：Ｌ１）は、幅方向に加えられた力を高感度で精度よく測定するとともに、出力を大きくするために、１０：１以上１０：１０以下が好ましく、１０：３以上１０：８以下がより好ましく、１０：４以上１０：６以下がさらに好ましい。また、長手方向（Ｙ軸方向）に伸びる切欠き部が複数設けられた構成としてもよい。

第１の圧電センサ１１のタイヤの幅方向の長さＷ１は１０～２０ｍｍ程度が好適であり、第１の圧電センサ１１の形状（回転方向（周方向）の長さＬ１×幅方向の長さＷ１）として、例えば、５ｍｍ×１０ｍｍや７ｍｍ×１５ｍｍ等が挙げられる。また、第１の圧電センサ１１の直径Ｌ２は、５～２０ｍｍ程度が好適である。

[0053] 図６（ｂ）は、変形計測部の他の構成例を模式的に示す平面図である。同図に示すように、第１の圧電センサ１１は、２～５個程度の同形状（矩形）の圧電センサ１１ａ、１１ｂ、１１ｃをタイヤの回転方向に平行に並べた構成としてもよい。この構成により、幅方向の変形速度の測定精度が向上する。この場合、第１の圧電センサ１１の幅方向の長さＷ１は、圧電センサ１１ａ、１１ｂ、１１ｃのタイヤの幅方向の長さＷ１と等しく、第１の圧電センサ１１のタイヤの回転方向の長さＬ１は、各圧電センサ１１ａ、１１ｂ、１１ｃの長さｌを合計した値（３ｌ）となる。なお、図６（ｂ）には、同形状の圧電センサ１１ａ、１１ｂ、１１ｃを用いた例を示したが、異なる形状のものを用いてもよい。また、圧電センサ１１ａ、１１ｂ、１１ｃの間に隙間が形成されるように配置してもよい。

[0054] 図７は、第１の圧電センサ１１および第２の圧電センサ１２を備えた変形計測部１０がタイヤ２００の内側面２０１に設けられた状態を模式的に示している。同図に示すように、第１の圧電センサ１１および第２の圧電センサ１２は、タイヤ２００の回転方向Ｌに沿った同一直線上に配置することが好ましい。これにより、第１の圧電センサ１１と第２の圧電センサ１２とに対する、タイヤ２００の幅方向Ｗにおける位置の影響を抑えることができる。したがって、第１の圧電センサ１１および第２の圧電センサ１２からの出力

の差を精度よく測定できる。

[0055] 推定部２２によるタイヤの劣化度の推定には、第１の圧電センサ１１および第２の圧電センサ１２の測定結果に基づくピーク値の両方を用いても、一方のみを用いてもよい。

また、推定部２２は、第１の圧電センサ１１と第２の圧電センサ１２の計測結果に基づく第１のピーク値の差に基づいて、タイヤの劣化度を推定してもよい。タイヤの幅方向への変形速度が大きくなるほど、幅方向（Ｙ軸方向）への変形に対する感度が良好な第１の圧電センサ１１の出力と、変形方向による感度の差が無い第２の圧電センサ１２の出力との差が大きくなる。接地時の前後における幅方向の変形速度は、タイヤの劣化による特性変化により変化する程度が大きい。したがって、タイヤの幅方向の検知感度が異なるセンサからの出力の差を用いることで、幅方向への変形速度の変化を検知し、精度よくタイヤの劣化度合いを推定することができる。

[0056] 本実施形態のタイヤ劣化推定装置１００の制御部２０は、推定部２２によりタイヤが劣化していると推定された場合に警告の指示を行う警告部２３を備えている。上述した推定部２２からの出力、および／または、警告部２３からの出力は、通信部４０を介して、車体３００に出力される。推定部２２や警告部２３からの出力に基づいて、車体３００の備える表示装置等にタイヤ２００の劣化状態を表示したり、音や光による警告を発したりする。通信部４０は、車体３００に加えて、スマートフォン等の携帯端末に出力したり、公衆通信回線を介して、外部のサーバなどに出力したりしてもよい。

[0057] タイヤ劣化推定装置１００によって得られたタイヤの状態に関する情報は、単独で用いても、他の装置から得られた情報と組み合わせて用いてもよい。他の装置としては、自動車のタイヤ空気圧を監視するＴＰＭＳ（Ｔｉｒｅ Ｐｒｅｓｓｕｒｅ Ｍｏｎｉｔｏｒｉｎｇ Ｓｙｓｔｅｍ）等が挙げられる。

[0058] 上述した実施形態では、変形計測部１０、制御部２０、記憶部３０および通信部４０を備えたタイヤ劣化推定装置１００について説明した。しかし、

これは一例であり、変形計測部１０および通信部４０によりタイヤ劣化推定装置１００を構成してもよい。この場合、車体３００が備えているＥＣＵ（Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ　Ｃｏｎｔｒｏｌ　Ｕｎｉｔ）が、制御部２０、算出部２１、推定部２２および警告部２３の機能を果たす。通信部４０が通信回線を介して通信可能な、車体３００等の装置が備える記憶手段を用いることができる。ＥＣＵによるタイヤの劣化状態に関する情報の取得は、例えば、車体３００が４０～６０ｋｍ／時間くらいの速度を維持しているときに、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（ブルートゥース、登録商標）等の無線通信手段を用いてタイヤ劣化推定装置１００と通信を行い、数秒間のデータだけを受信することにより行う。

実施例

[0059] ＜タイヤの歪特性＞

図８は、踏み込み前、踏み込み時、接地時、蹴り出し時、および蹴り出し後における、回転中のタイヤ２００の内側面２０１に生じる歪み特性、すなわち変形方向および変形速度の大きさのシミュレーション結果を示す模式図である。同図における中抜き矢印は、向きが変形方向を示し、大きさが変形速度の大きさを示している。タイヤ２００は、内部に封入された空気の空気圧によって回転方向（Ｌ）に伸び、幅方向（Ｗ）に縮む傾向があるが、接地時は回転方向（Ｌ）への伸びが支配的であり、踏み込み時および蹴り出し時は幅方向（Ｗ）への伸びが支配的になる。

[0060] 回転中（走行中）におけるタイヤ２００には、接地による垂直荷重と、回転による遠心力あるいは、タイヤの幅方向の曲率変形による力が加わっている。タイヤ２００が回転することで、接地する部分が周期的に変化するから、各部に加えられる垂直荷重が周期的に変化する。この力が加えられた状態である接地時におけるタイヤの挙動は、図２（ａ）および図２（ｂ）に示すピークａ３およびａ４として捕えることができる。

[0061] タイヤ２００が路面５０に接地する直前・直後の踏み込み部分・蹴り出し部分において、タイヤ２００の回転方向（Ｌ）の伸びが緩み、同時に幅方向

（Ｗ）の縮みが緩む。これにより、タイヤ２００は回転による遠心力の働きで、幅方向に伸びる。この踏み込み時以前および蹴り出し時以後におけるタイヤ２００の挙動を圧電センサ等で測定することにより、図２（ｂ）の出力波形における、ピークａ１およびａ２（踏み込み時以前）ならびにピークａ５およびａ６（蹴り出し時以後）を得ることができる。なお、踏み込み時以前および蹴り出し時以後とは、タイヤ２００の回転に伴って生じるタイヤ劣化推定装置１００が設けられた部分の周期的な変形の一周期における範囲を特定するものである。

[0062] ＜新品タイヤと中古品タイヤの評価＞

図９（ｂ）は、平面形状が矩形の第１の圧電センサ１１（サイズ１０ｍｍ×６ｍｍ：１０ｍｍ×２ｍｍの３本セット、図６（ｂ）参照）を、その長手方向がタイヤ２００の幅方向と平行になるように、タイヤ（新品および中古）２００の内側面２０１に配置し、タイヤ２００の回転に伴う第１の圧電センサ１１からの出力電圧を測定した結果を示すグラフ（波形）である。回転角度Ｘは、図９（ａ）に示すタイヤ２００の接地時トップピーク点とタイヤ２００の回転中心Ｏとを結ぶ直線と、回転中心Ｏとタイヤ劣化推定装置１００とを結ぶ直線がなす角度をいい、接地時におけるトップピーク点を基準として、踏み込み時側をマイナス（－）、接地後の蹴り出し時以後側をプラス（＋）とする。なお、接地時トップピーク点とは、図９（ｂ）に示す、接地時における最初のピークａ３が得られるタイヤ劣化推定装置１００の位置をいう。

[0063] 図９（ｂ）では、新品タイヤを測定して得られた波形を実線で示し、中古品タイヤを測定して得られた波形を破線で示している。なお、中古品タイヤは、硬度等の特性の変化および摩耗による厚みの低下の両方が生じたものである。同図の波形から、トップ側およびボトム側の何れでも、タイヤの接地時において出力電圧の最大値（ピークａ３およびａ４）が得られ、タイヤの接地時の前後において複数のピーク（ａ１、ａ２、ａ５、ａ６）が得られた。これら、タイヤの接地時の前後におけるピークは、タイヤの接地時におけ

るピークよりもピーク値が小さいが、新品タイヤと中古品タイヤとの差が大きかった。この結果から、タイヤの接地時の前後におけるピークを用いることで、タイヤの劣化の程度を精度よく評価できることが分かった。

[0064] ＜圧電センサの形状による影響＞

変形計測部１０として、平面形状が矩形の第１の圧電センサ１１（サイズ１０ｍｍ×６ｍｍ：１０ｍｍ×２ｍｍの３本セット、図６（ｂ）参照）からなる変形計測部１０を備えたタイヤ劣化推定装置１００を、第１の圧電センサ１１の長手方向がタイヤの幅方向と平行になるように、タイヤ（新品および中古）の内側面に配置して、圧電センサからの出力を測定した結果を以下の表１および図１０（ａ）に示す。

[0065] [表1]

[表 1] 矩形圧電センサ	新品	中古	中古／新品
ａ２	０．５８	０．１８	０．３１
ａ３	１．１０	０．９２	０．８４
ａ２／ａ３	０．５３	０．２０	０．３８
ａ４	１．０１	０．８６	０．８５
ａ５	０．３５	０．１１	０．３０
ａ５／ａ４	０．３４	０．１２	０．３６

[0066] 変形計測部１０として、平面形状が円形の第２の圧電センサ１２（直径１０ｍｍ、図６（ｂ）参照、）からなる変形計測部１０を備えたタイヤ劣化推定装置１００を、タイヤ（新品および中古）の内側面に配置して、第２の圧電センサ１２からの出力を測定した結果を表２および図１０（ｂ）に示す。

[0067] [表2]

[表 2] 円形圧電センサ	新品	中古	中古／新品
ａ２	０．２７	０．２６	０．９６
ａ３	１．０６	１．１２	１．０６
ａ２／ａ３	０．２５	０．２３	０．９２
ａ４	１．０９	１．０１	０．９３
ａ５	０．１３	０．１０	０．７７
ａ５／ａ４	０．１２	０．１０	０．８３

[0068] ＜新品タイヤのバフ研磨前後の評価＞

変形計測部１０として、平面形状が矩形の第１の圧電センサ１１（サイズ１０ｍｍ×２ｍｍの３本セット、図６（ｂ）参照）からなる変形計測部１０を備えたタイヤ劣化推定装置１００を、第１の圧電センサ１１の長手方向がタイヤの幅方向と平行になるように、タイヤ（新品）の内側面に配置し、バフ研磨によりタイヤ表面のゴムを所定の厚みで削りとる前（初期値：０％）と後（全体の３０％・５０％研磨）に測定した結果を表３および図１１（ａ）に示す。

[0069] [表3]

[表 3] 矩形圧電センサ	新品（研磨０％）	研磨後（研磨３０％）	研磨後（研磨５０％）	研磨後（研磨５０％）／新品
ａ２	０．２５	０．２７	０．２５	０．９７
ａ３	０．７１	０．９４	１．２８	１．８１
ａ２／ａ３	０．３６	０．２９	０．１９	０．５３
ａ４	０．７１	０．９２	１．３３	１．８６
ａ５	０．１１	０．０８	０．１３	１．１９
ａ５／ａ４	０．１５	０．０９	０．１０	０．６４

[0070] 変形計測部１０として、平面形状が円形の第２の圧電センサ１２（直径Ｌ２＝１０ｍｍ、図６参照、）を、タイヤ（新品および中古）の内側面に配置して、圧電センサからの出力を測定した結果を表４および図１１（ｂ）に示す。

[0071] [表4]

[表 4] 円形圧電センサ	新品（研磨０％）	研磨後（研磨３０％）	研磨後（研磨５０％）	研磨後（研磨５０％）／新品
ａ２	０．２９	０．２９	０．２４	０．８２
ａ３	０．９７	１．３１	１．７３	１．７８
ａ２／ａ３	０．３０	０．２２	０．１４	０．４６
ａ４	０．９８	１．３４	１．８２	１．８５
ａ５	０．１８	０．１４	０．１５	０．８０
ａ５／ａ４	０．１８	０．１０	０．０８	０．４３

[0072] 表１～４の結果のうち、ａ２／ａ３およびａ５／ａ４について、新品時の値に対する劣化後（中古またはバフ研磨後）における値の比について、以下

の表５にまとめて示す。

[0073] [表5]

[表 5]	圧電センサ	新品	中古	中古／新品
ａ２／ａ３	矩形	０．５３	０．２０	０．３８
	円形	０．２５	０．２３	０．９２
ａ５／ａ４	矩形	０．３４	０．１２	０．３６
	円形	０．１２	０．１０	０．８３

	圧電センサ	新品	研磨後（研磨５０％）	研磨後（研磨５０％）／新品
ａ２／ａ３	矩形	０．３６	０．１９	０．５３
	円形	０．３０	０．１４	０．４６
ａ５／ａ４	矩形	０．１５	０．１０	０．６４
	円形	０．１８	０．０８	０．４３

[0074] 図１０は、新品タイヤと中古品タイヤの測定により得られたピーク値を比較するグラフであり、変形計測部として（ａ）が矩形の圧電センサ、（ｂ）が円形の圧電センサを用いた測定結果を示している。

[0075] タイヤの劣化に伴うタイヤの挙動変化は、タイヤの変形速度の経時的な波形におけるピーク値の変化として捉えることができた。図１０（ａ）と図１０（ｂ）とに示すように、タイヤの幅方向の感度が良好な平面形状が矩形の矩形圧電センサを用いることにより、タイヤの劣化の程度を感度よく検知することができた。また、接地前後におけるピーク（ａ２、ａ５）のほうが、接地時におけるピーク（ａ３、ａ４）よりも、新品タイヤと中古品タイヤとの波形の差が大きく、タイヤの劣化の程度を感度よく検知することができた。

[0076] 図１１は、バフを用いて新品タイヤを強制的に摩耗させた後に測定して得られたピーク値を比較するグラフであり、変形計測部として（ａ）矩形圧電センサ、（ｂ）円形圧電センサを用いた測定結果を示している。

図１１（ａ）～図１１（ｂ）に示すように、タイヤの摩擦進行に伴うタイヤの挙動変化は、タイヤの変形速度の経時的な波形のピークの変化として捉えることができた。測定に用いる圧電センサは、タイヤの幅方向の感度が良

好な平面形状が矩形の圧電センサと、平面形状が円形の圧電センサとで、大きな違いは無かった。接地時のピーク（ａ３、ａ４）のほうが、接地前後におけるピーク（ａ２、ａ５）よりも、タイヤの摩耗の進行程度を感度よく検知することができた。

[0077] 図１０（ａ）、図１０（ｂ）および図１１（ａ）、図１１（ｂ）に示すように、タイヤの劣化が、硬度などの特性変化によるか摩耗によるかによって、タイヤの変形速度のピークのうち、感度のよいものが異なっていた。しかし、接地前後における第１のピーク値を接地時における第２ピーク値で除算して得られた値（第１のピーク／第２のピーク、ａ２／ａ３、ａ５／ａ４）を、タイヤ劣化の指標として用いることにより、経時的な柔軟性変化などの特性変化および摩耗によるゴムの厚の減少のいずれも検知して、タイヤの劣化状態を推定することが可能である。すなわち、（第１のピーク／第２のピーク）の値は、タイヤの劣化が進行するにしたがって小さくなるから、初期の値からの変化を評価指標とすることにより、経時的な劣化を伴う摩耗および経時的な劣化を伴わない急激な摩耗の何れの劣化も推定することができる。新品と中古品のタイヤの違いを精度良く検知できることから、矩形の圧電センサを変形計測部として用いることが好ましいといえる。

産業上の利用可能性

[0078] 本発明は、タイヤの劣化の程度を推定する方法および装置として有用である。

符号の説明

[0079] １０ ：変形計測部

１１、１１ａ、１１ｂ、１１ｃ ：第１の圧電センサ

１２ ：第２の圧電センサ

２０ ：制御部

２１ ：算出部

２２ ：推定部

２３ ：警告部

３０　　：記憶部

４０　　：通信部

５０　　：路面

１００　：タイヤ劣化推定装置

２００　：タイヤ

２０１　：内側面

２０２　：タイヤ表面

３００　：車体

Ｃ　　：接地中心点

Ｏ　　：回転中心

Ｘ　　：回転角度

Ｌ　　：回転方向

Ｗ　　：幅方向

ａ１、ａ２、ａ５、ａ６：ピーク（第１のピーク）

ａ３、ａ４　　：ピーク（第２のピーク）

ｂ１、ｂ２、ｂ４、ｂ５：ピーク（第３のピーク）

ｂ３　　：ピーク（第４のピーク）

請求の範囲

[請求項1] タイヤの内側面に配置されたタイヤ劣化推定装置を用いたタイヤ劣化推定方法であって、

前記タイヤが回転しているときの前記タイヤの変形速度であるタイヤ変形速度を計測し、前記タイヤ変形速度の時系列変化を得る変形速度計測ステップと、

前記タイヤ変形速度の時系列変化から、前記タイヤ変形速度のピーク値を算出する算出ステップと、

前記タイヤ変形速度の時系列変化における、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記ピーク値である第１のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定する推定ステップと、

を備えることを特徴とするタイヤ劣化推定方法。

[請求項2] 前記算出ステップは、前記時系列変化から、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記ピーク値である前記第１のピーク値、およびタイヤ接地時における前記タイヤ変形速度の前記ピーク値である第２のピーク値を算出し、

前記推定ステップは、前記第２のピーク値と前記第１のピーク値との比に基づいて、前記タイヤの前記劣化度を推定する

請求項１に記載のタイヤ劣化推定方法。

[請求項3] 前記推定ステップは、

接地前における前記第１のピーク値を前記第２のピーク値で除算して得られた第１の比率、または

接地後における前記第１のピーク値を前記第２のピーク値で除算して得られた第２の比率に基づいて、前記タイヤの前記劣化度を推定する

請求項２に記載のタイヤ劣化推定方法。

[請求項4] 前記推定ステップは、前記第２のピーク値に対する前記第１のピー

ク値の比率が、

基準値の５０％以下となったときに、前記タイヤが劣化したと推定する

請求項２に記載のタイヤ劣化推定方法。

[請求項5] タイヤの内側面に配置されたタイヤ劣化推定装置を用いたタイヤ劣化推定方法であって、

前記タイヤが回転しているときの前記タイヤの変形速度を計測し、タイヤ変形速度を積分したタイヤ変形量の時系列変化を得る変形量計測ステップと、

前記タイヤ変形量の時系列変化から、前記タイヤ変形量のピーク値を特定する算出ステップと、

前記タイヤ変形量の時系列変化における、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形量の前記ピーク値である第３のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定する推定ステップと、

を備えることを特徴とするタイヤ劣化推定方法。

[請求項6] 前記変形量計測ステップは、前記時系列変化から、タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形量の前記第３のピーク値、およびタイヤ接地時における前記タイヤ変形量の第４のピーク値を算出し、

前記推定ステップは、前記第３のピーク値と前記第４のピーク値との比に基づいて、前記タイヤの前記劣化度を推定する

請求項５に記載のタイヤ劣化推定方法。

[請求項7] タイヤの内側面に配置されて前記タイヤの劣化状態を判別するタイヤ劣化推定装置において、

前記タイヤが回転しているときの前記タイヤの変形を計測可能な変形計測部と、

タイヤ変形速度の時系列変化から、前記タイヤの踏み込み時以前ま

たは蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の時系列変化における第１のピーク値を算出する算出部と、

前記タイヤ変形速度の前記第１のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定する推定部と、

を備えることを特徴とするタイヤ劣化推定装置。

[請求項8] 前記算出部が、前記タイヤ変形速度の時系列変化から、タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記第１のピーク値、およびタイヤ接地時における前記タイヤ変形速度の第２のピーク値を算出し、

前記推定部が、前記タイヤ変形速度の前記第１のピーク値および前記第２のピーク値を用いて、前記タイヤの劣化度を推定する、

請求項７に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項9] 前記変形計測部は、シート状に形成された圧電センサであり、前記タイヤの前記内側面に接して配置され、前記タイヤの前記内側面の変形速度を測定するとともに、当該測定した変形速度を前記タイヤ変形速度とすることを特徴とする請求項７に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項10] 前記圧電センサは、第１の圧電センサおよび第２の圧電センサを備えており、前記第１の圧電センサと前記第２の圧電センサとは、前記タイヤの変形方向に対する感度が異なる、

請求項９に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項11] 前記第１の圧電センサは、前記第２の圧電センサよりも、前記タイヤの幅方向の感度が高い、

請求項１０に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項12] 前記第１の圧電センサは、法線方向から見たときに長方形状に形成されており、長手方向が前記タイヤの幅方向となるように配置されており、

前記第２の圧電センサは、法線方向から見たときに円形状に形成されている、

請求項１１に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項13] 前記第１の圧電センサおよび前記第２の圧電センサは、前記タイヤの回転方向に沿った同一直線上に配置されている

請求項１０、１１または１２に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項14] 前記推定部は、前記第１の圧電センサの計測結果に基づく、前記タイヤの踏み込み時以前または蹴り出し時以後における前記タイヤ変形速度の前記第１のピーク値と、前記第２の圧電センサの計測結果に基づく、前記タイヤの接地時における前記タイヤ変形速度の第２のピーク値とを用いて、前記タイヤの劣化度を推定する

請求項１０ないし１３のいずれか１項に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項15] 前記推定部は、前記第２のピーク値に対する前記第１のピーク値の比率に基づいてタイヤの劣化度を推定する

請求項１４に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項16] 前記推定部は、前記第１の圧電センサおよび前記第２の圧電センサの計測結果に基づくタイヤ変形速度の前記第１のピーク値の差に基づいて、前記タイヤの劣化度を推定する

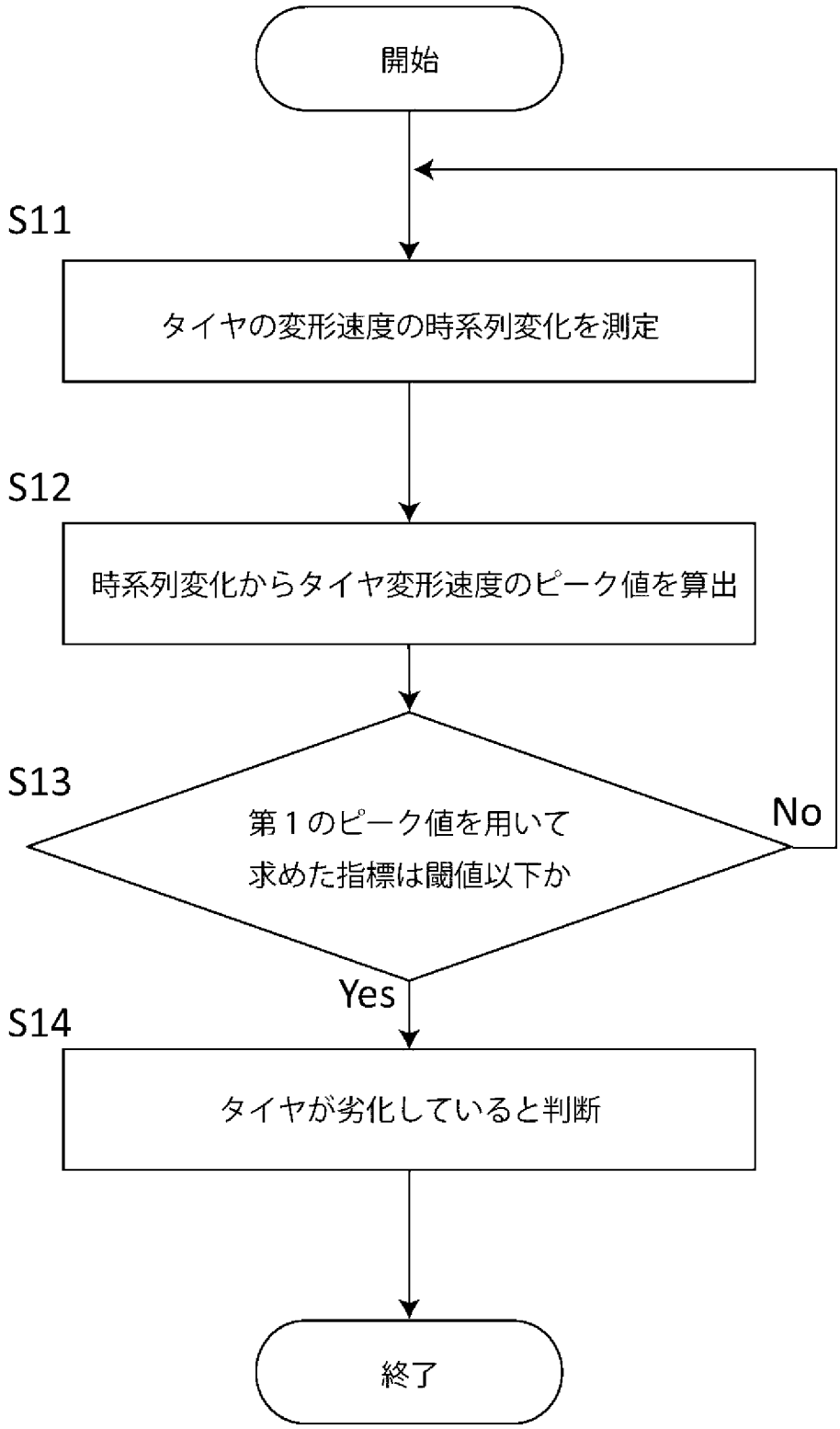
請求項１１に記載のタイヤ劣化推定装置。

[請求項17] 外部と通信可能な通信部と、

前記タイヤが劣化していると前記推定部が推定した場合に警告の指示を行う警告部と、をさらに備えている、請求項７に記載のタイヤ劣化推定装置。

[図1]

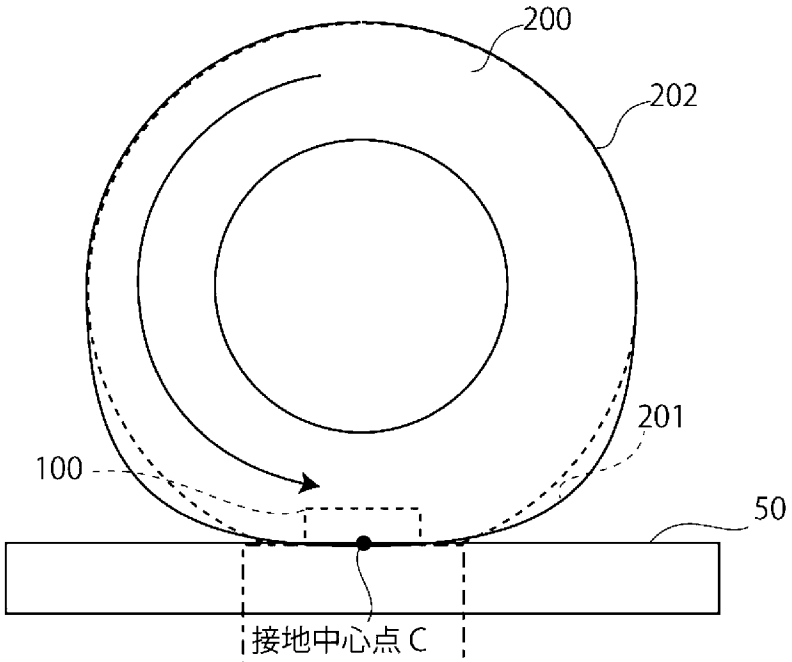
[図1]


開始
S11
タイヤの変形速度の時系列変化を測定
S12
時系列変化からタイヤ変形速度のピーク値を算出
S13
第１のピーク値を用いて
求めた指標は閾値以下か
No
Yes
S14
タイヤが劣化していると判断
終了

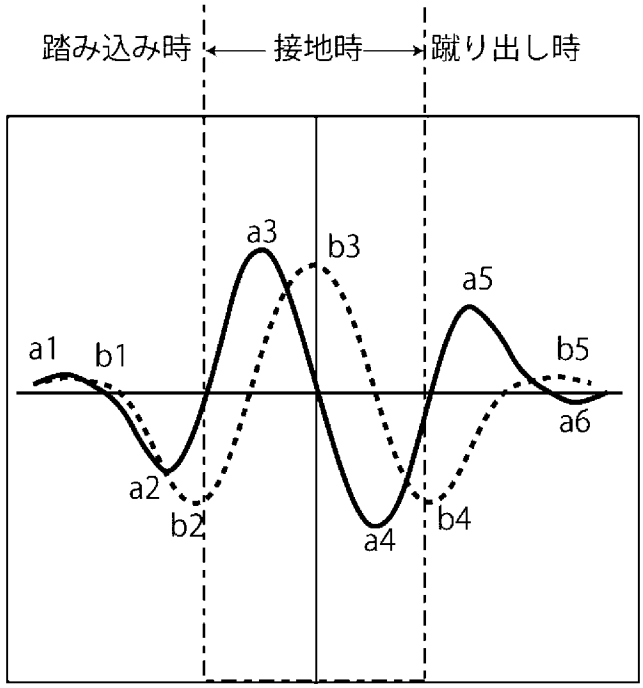
[図2]

[図2]

(a)

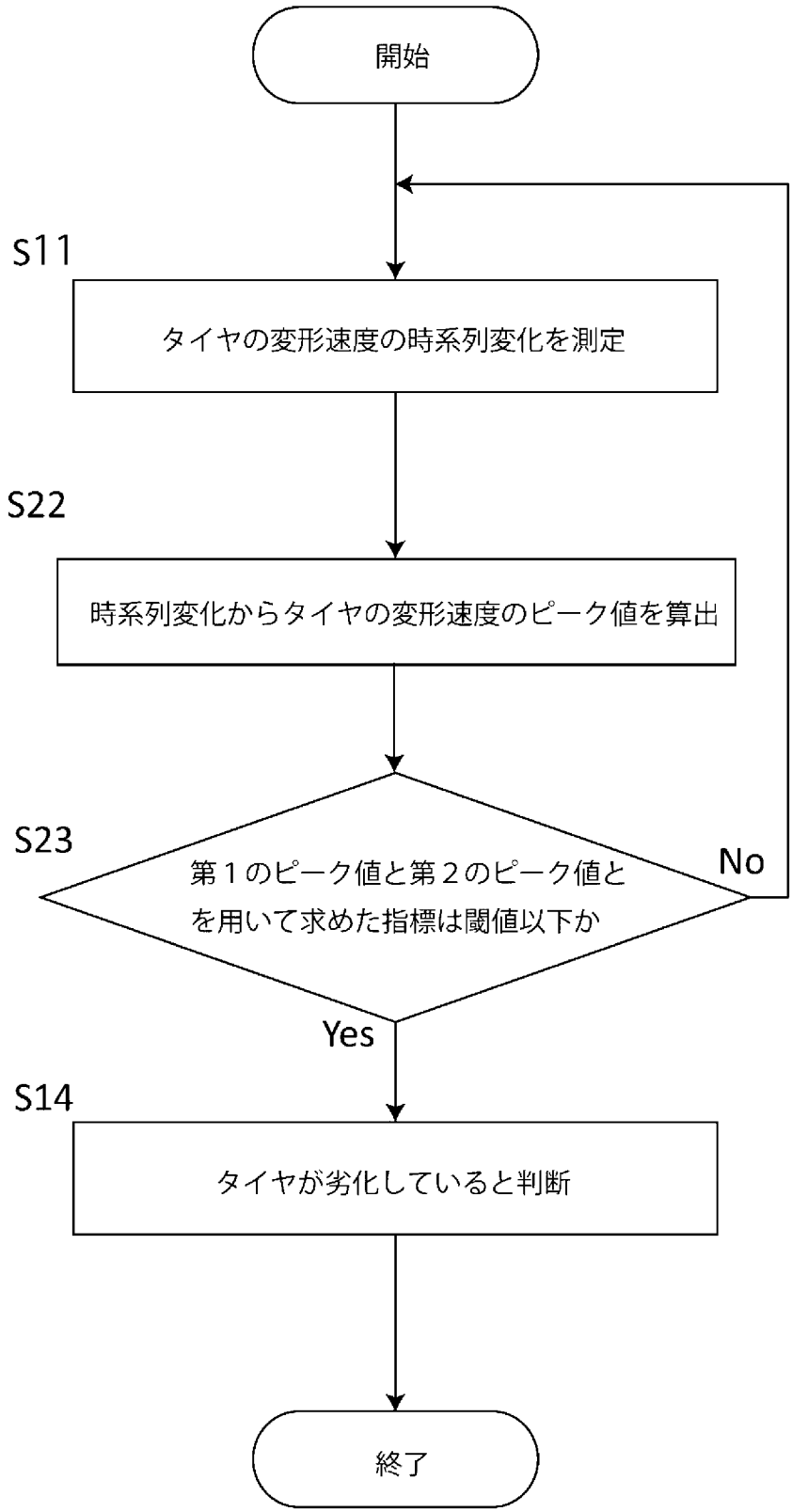

200
202
201
100
50
接地中心点 C

(b)


踏み込み時
接地時
蹴り出し時
a1
b1
a2
b2
a3
b3
a4
b4
a5
b5
a6

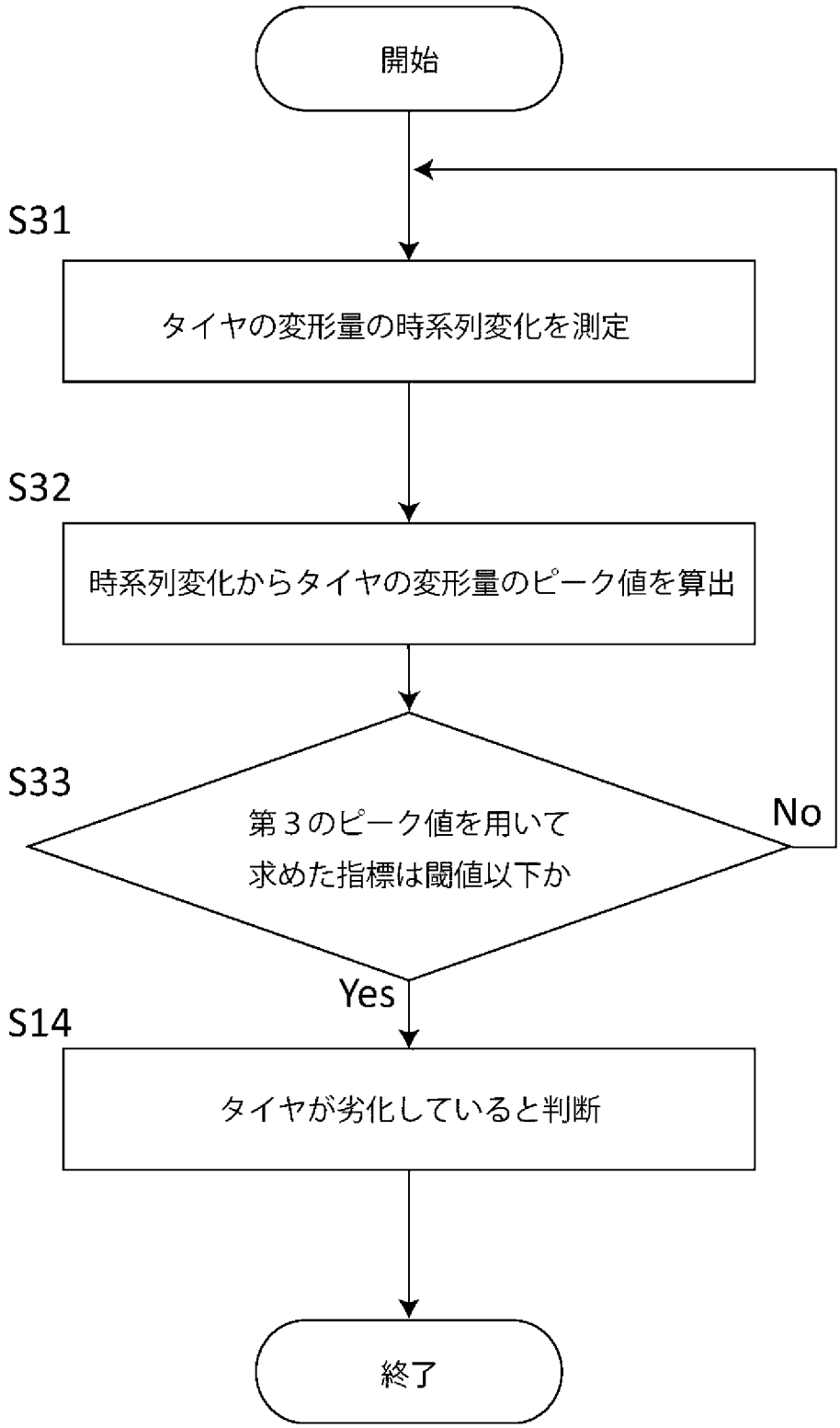
[図3]

[図3]


開始
S11
タイヤの変形速度の時系列変化を測定
S22
時系列変化からタイヤの変形速度のピーク値を算出
S23
第１のピーク値と第２のピーク値と
を用いて求めた指標は閾値以下か
No
Yes
S14
タイヤが劣化していると判断
終了

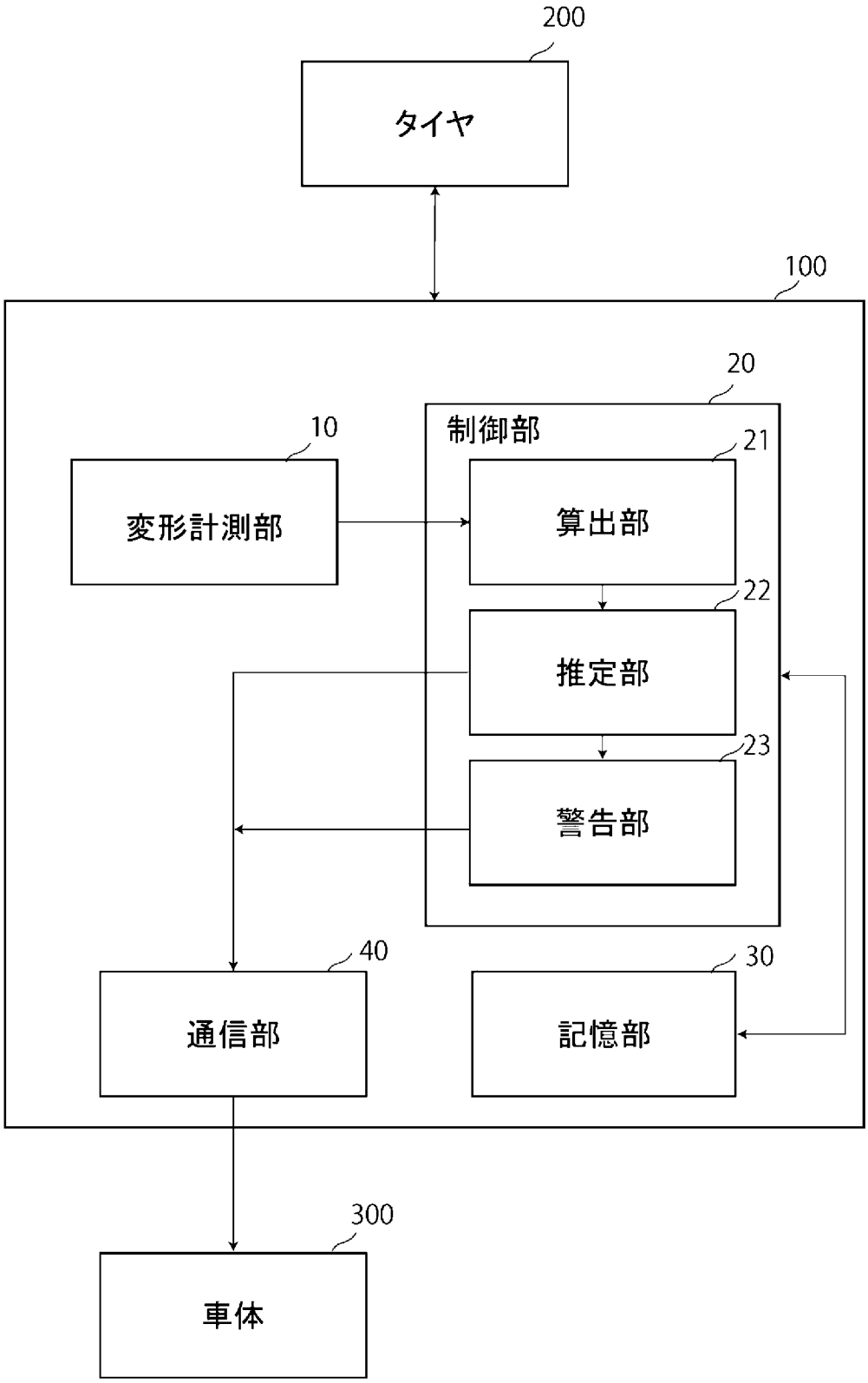
[図4]

[図4]


開始
S31
タイヤの変形量の時系列変化を測定
S32
時系列変化からタイヤの変形量のピーク値を算出
S33
第３のピーク値を用いて
求めた指標は閾値以下か
No
Yes
S14
タイヤが劣化していると判断
終了

[図5]

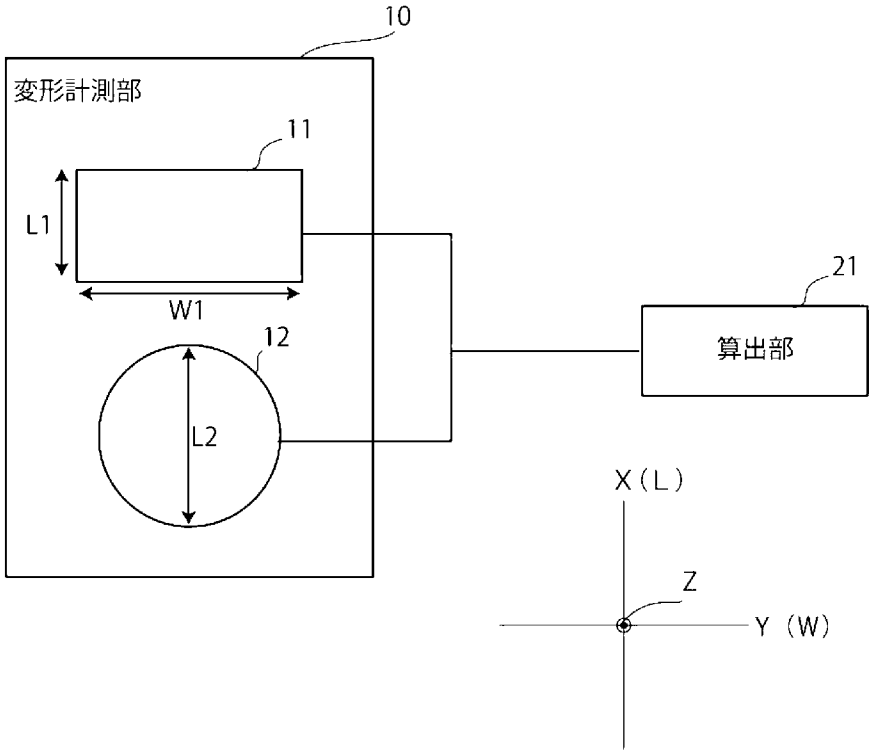
[図5]


200
タイヤ
100
20
制御部
10
変形計測部
21
算出部
22
推定部
23
警告部
40
通信部
30
記憶部
300
車体

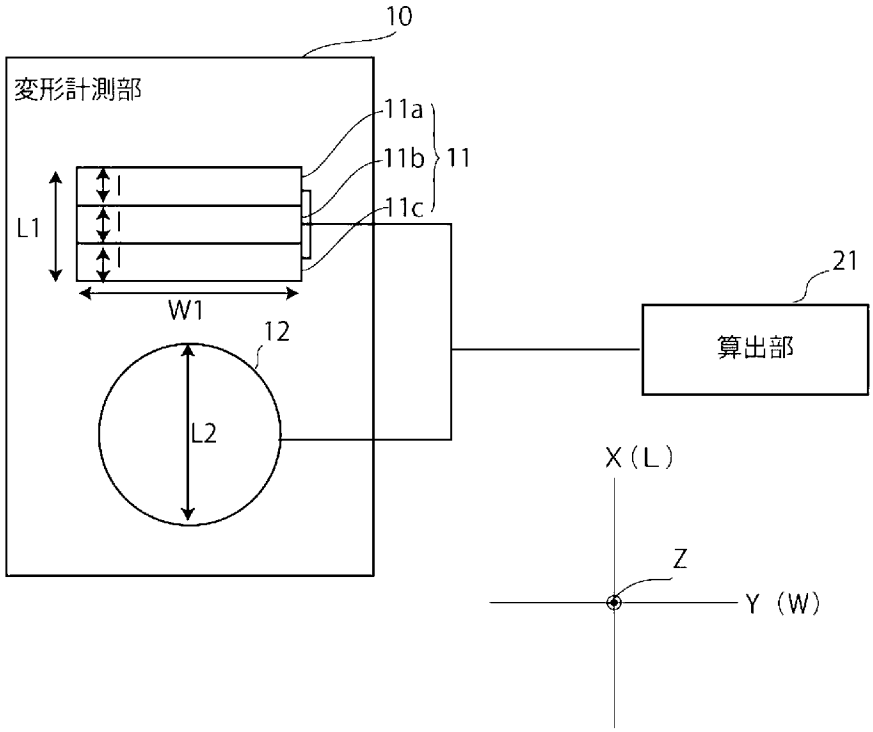
[図6]

[図 6]

(a)

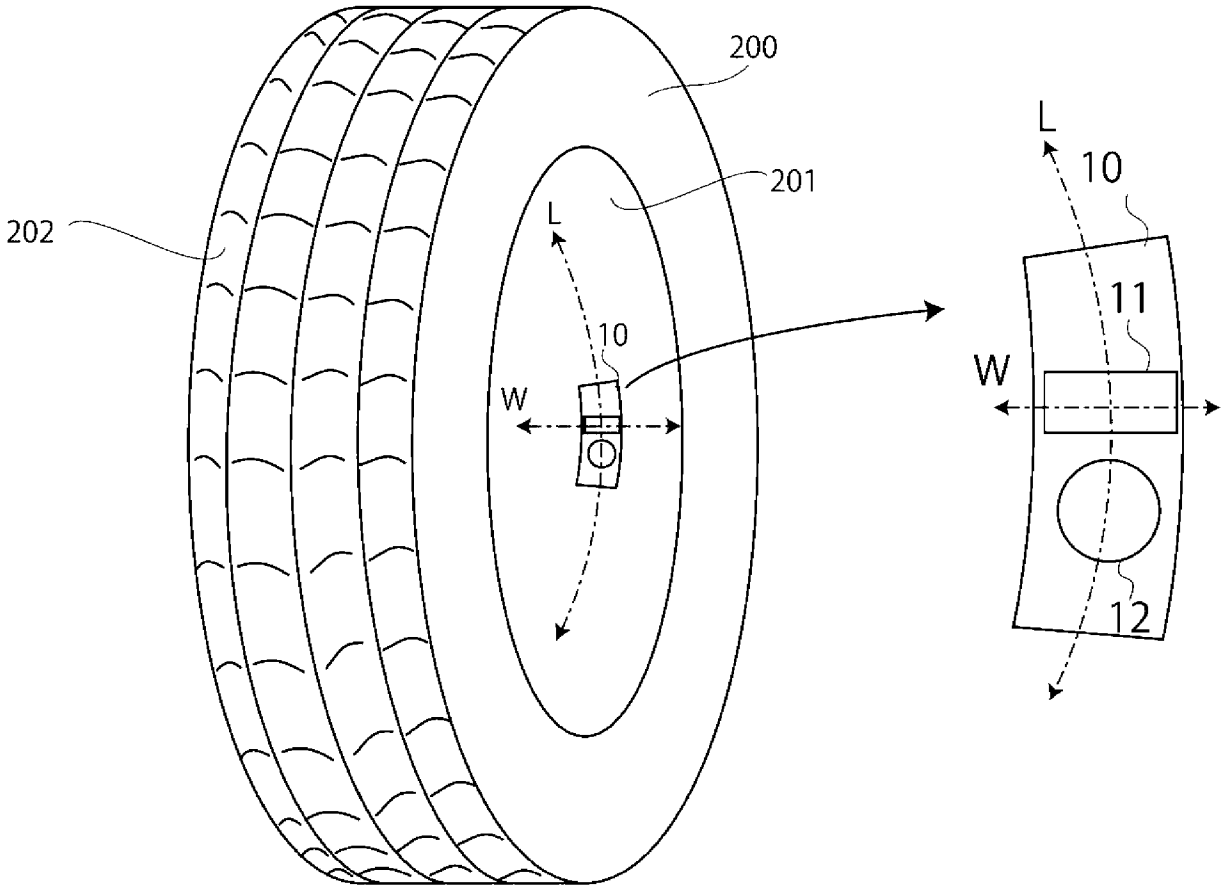

10
変形計測部
11
L1
W1
12
L2
21
算出部
X（L）
Z
Y（W）

(b)


10
変形計測部
11a
11b
11c
11
l
l
l
L1
W1
12
L2
21
算出部
X（L）
Z
Y（W）

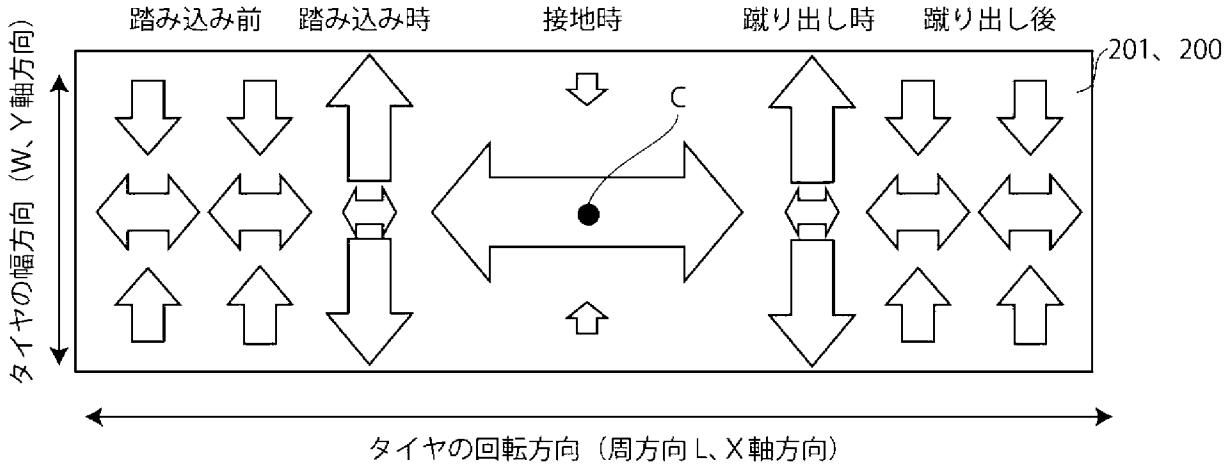
[図7]

[図 7]



[図8]

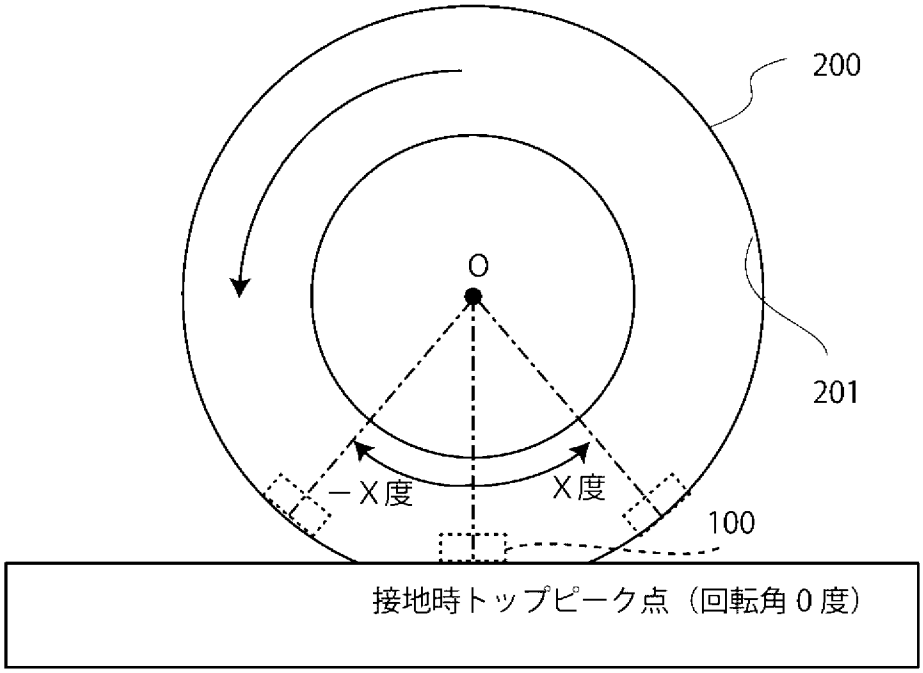
[図８]


踏み込み前
踏み込み時
接地時
蹴り出し時
蹴り出し後
201、200
C
タイヤの幅方向（W、Y軸方向）
タイヤの回転方向（周方向L、X軸方向）

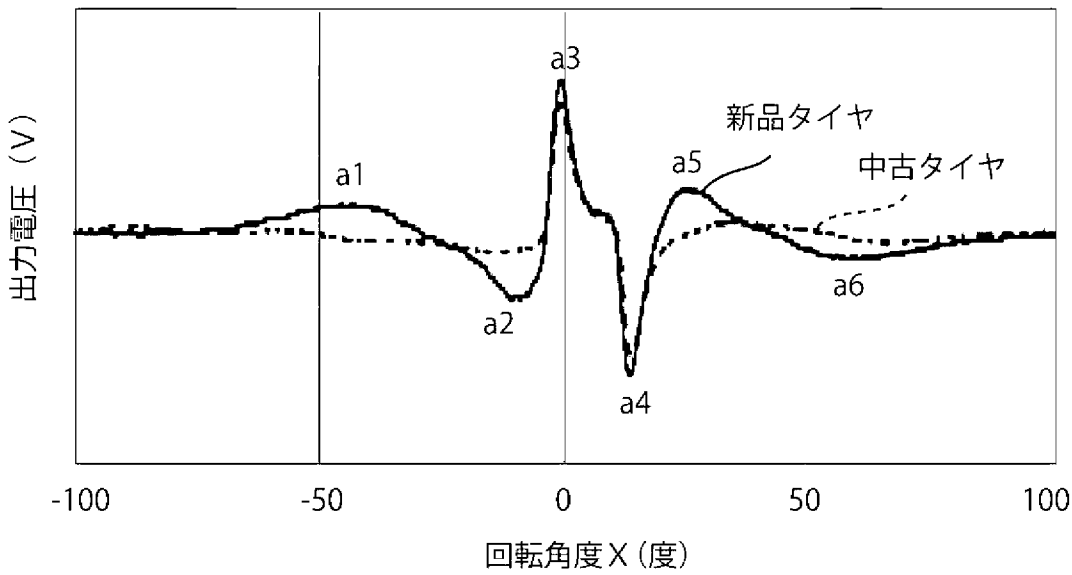
[図9]

[図 9]

(a)


200
O
201
－X度
X度
100
接地時トップピーク点（回転角 0 度）

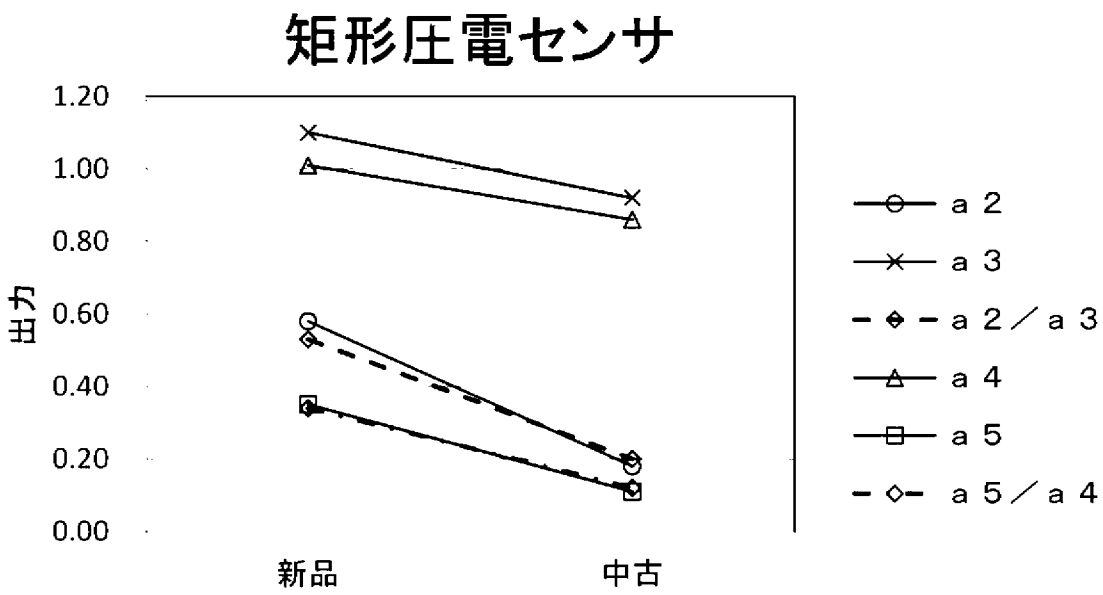
(b)


出力電圧（V）
a1
a2
a3
a4
a5
a6
新品タイヤ
中古タイヤ
-100
-50
0
50
100
回転角度X（度）

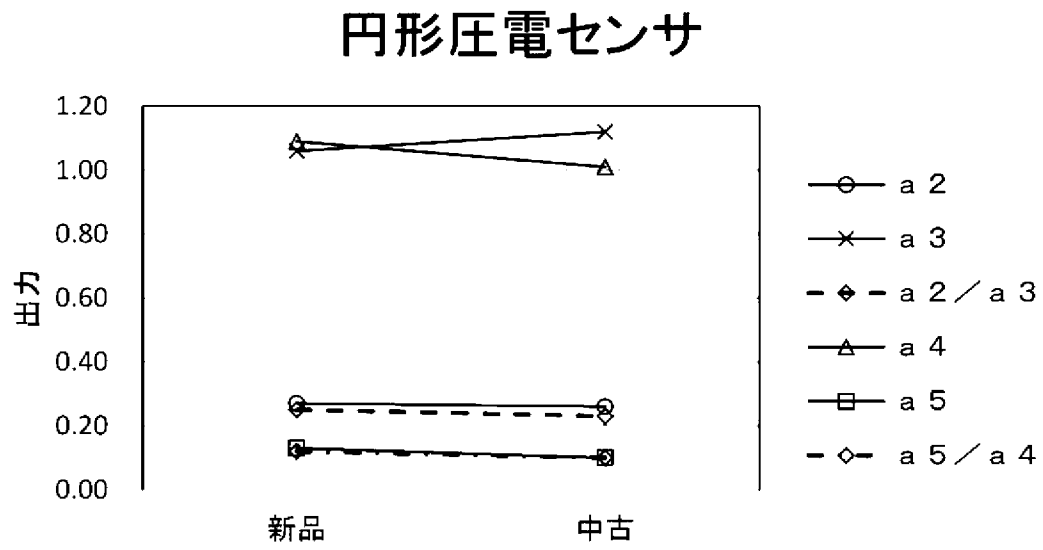
[図10]

[図10]

(a)


矩形圧電センサ
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
出力
新品
中古
a 2
a 3
a 2／a 3
a 4
a 5
a 5／a 4

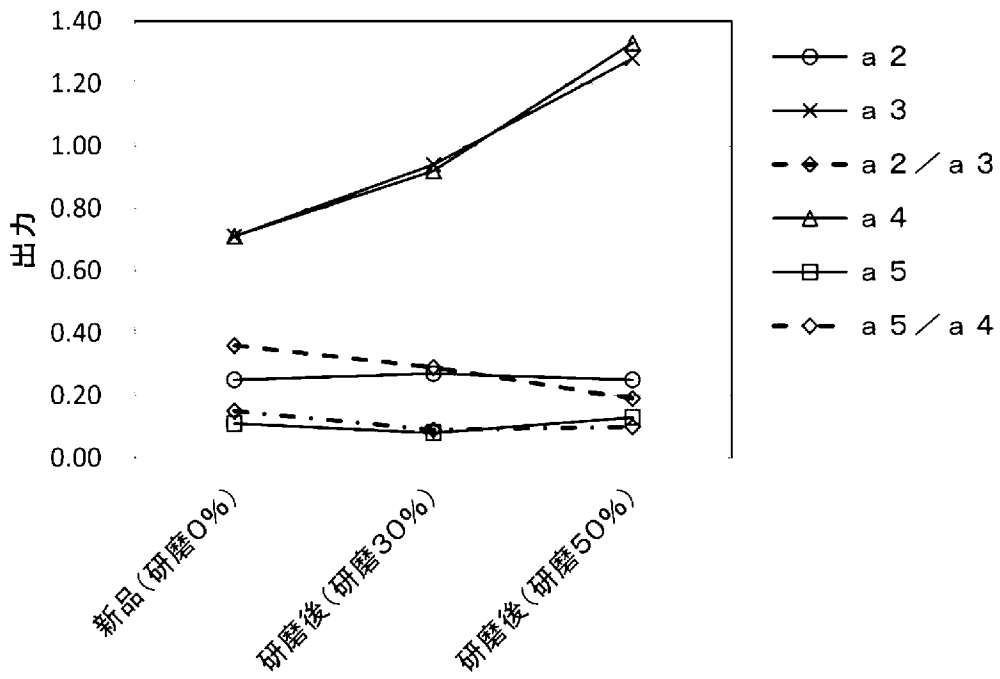
(b)


円形圧電センサ
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
出力
新品
中古
a 2
a 3
a 2／a 3
a 4
a 5
a 5／a 4

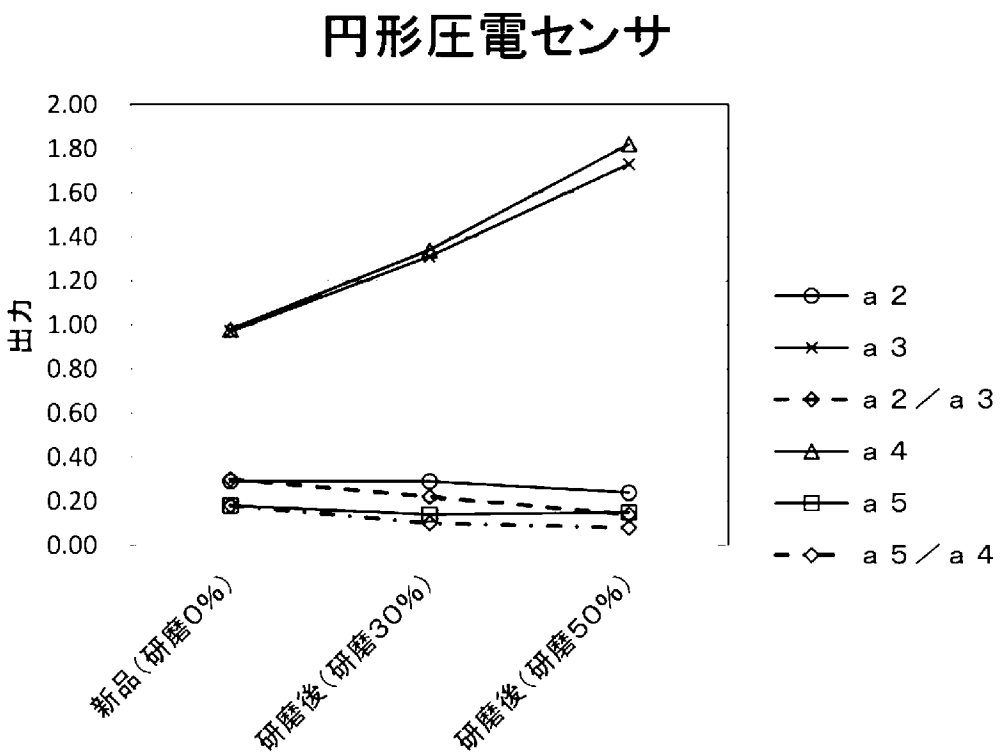
[図11]

[図11]

(a)


矩形圧電センサ
出力
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
新品(研磨0%)
研磨後(研磨30%)
研磨後(研磨50%)
a 2
a 3
a 2／a 3
a 4
a 5
a 5／a 4

(b)


円形圧電センサ
出力
2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
新品(研磨0%)
研磨後(研磨30%)
研磨後(研磨50%)
a 2
a 3
a 2／a 3
a 4
a 5
a 5／a 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/010984

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01M 17/02(2006.01)i; B60C 19/00(2006.01)i; H01L 41/08(2006.01)i; H01L 41/113(2006.01)i
FI: G01M17/02; B60C19/00 H; H01L41/08; H01L41/113
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)
G01M17/02; B60C19/00; H01L41/08; H01L41/113

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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.
Y A	JP 2011-168211 A (BRIDGESTONE CORPORATION) 01.09.2011 (2011-09-01) paragraphs [0008]-[0025], fig. 1-12	1-4, 7-9, 17 5-6, 10-16
Y	JP 2009-061917 A (BRIDGESTONE CORPORATION) 26.03.2009 (2009-03-26) paragraph [0012]	1-4, 7-9, 17
Y	JP 2005-345238 A (BRIDGESTONE CORPORATION) 15.12.2005 (2005-12-15) paragraphs [0013], [0017]	1-9, 17
Y	JP 2016-190615 A (BRIDGESTONE CORPORATION) 10.11.2016 (2016-11-10) paragraph [0015]	1-9, 17
Y A	WO 2009/008502 A1 (BRIDGESTONE CORPORATION) 15.01.2009 (2009-01-15) paragraphs [0027]-[0029], fig. 9-11	5-6 1-4, 7-17
A	JP 2014-234038 A (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 15.12.2014 (2014-12-15) entire text, all drawings	1-17

☒ 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	Date of mailing of the international search report
21 May 2020 (21.05.2020)	02 June 2020 (02.06.2020)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/010984

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 2012-218682 A (HONDA MOTOR CO., LTD.) 12.11.2012 (2012-11-12) entire text, all drawings	1-17
A	JP 2006-142991 A (THE YOKOHAMA RUBBER CO., LTD.) 08.06.2006 (2006-06-08) entire text, all drawings	1-17
A	US 2010/0131208 A1 (MANCOSU, Federico) 27.05.2010 (2010-05-27) entire text, all drawings	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/010984

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2011-168211 A	01 Sep. 2011	(Family: none)	
JP 2009-061917 A	26 Mar. 2009	(Family: none)	
JP 2005-345238 A	15 Dec. 2005	(Family: none)	
JP 2016-190615 A	10 Nov. 2016	US 2018/0079262 A1 paragraph [0029] EP 3279013 A1 CN 107614294 A	
WO 2009/008502 A1	15 Jan. 2009	US 2010/0186492 A1 paragraphs [0131]-[0138], fig. 9-11 EP 2172759 A1	
JP 2014-234038 A	15 Dec. 2014	(Family: none)	
JP 2012-218682 A	12 Nov. 2012	(Family: none)	
JP 2006-142991 A	08 Jun. 2006	US 2007/0205879 A1 entire text, all drawings EP 1813493 A1	
US 2010/0131208 A1	27 May 2010	EP 2099663 A1 entire text, all drawings	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/010984

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01M 17/02(2006.01)i; B60C 19/00(2006.01)i; H01L 41/08(2006.01)i; H01L 41/113(2006.01)i
FI: G01M17/02; B60C19/00 H; H01L41/08; H01L41/113

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））

G01M17/02; B60C19/00; H01L41/08; H01L41/113

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	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０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
Y	JP 2011-168211 A (株式会社ブリヂストン) 01.09.2011 (2011-09-01) 段落 [0008]-[0025], [図1]-[図12],	1-4, 7-9, 17
A		5-6, 10-16
Y	JP 2009-061917 A (株式会社ブリヂストン) 26.03.2009 (2009-03-26) 段落 [0012]	1-4, 7-9, 17
Y	JP 2005-345238 A (株式会社ブリヂストン) 15.12.2005 (2005-12-15) 段落 [0013], [0017]	1-9, 17
Y	JP 2016-190615 A (株式会社ブリヂストン) 10.11.2016 (2016-11-10) 段落 [0015]	1-9, 17
Y	WO 2009/008502 A1 (株式会社ブリヂストン) 15.01.2009 (2009-01-15) 段落 [0027]-[0029], [図9]-[図11]	5-6
A		1-4, 7-17
A	JP 2014-234038 A (国立大学法人　東京大学) 15.12.2014 (2014-12-15) 全文全図	1-17

☑ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
21.05.2020	02.06.2020

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
素川　慎司 2J 4844

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

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 2012-218682 A (本田技研工業株式会社) 12.11.2012 (2012-11-12) 全文全図	1-17
A	JP 2006-142991 A (横浜ゴム株式会社) 08.06.2006 (2006-06-08) 全文全図	1-17
A	US 2010/0131208 A1 (MANCOSU, Federico) 27.05.2010 (2010-05-27) 全文全図	1-17

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2020/010984

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2011-168211 A	01.09.2011	（ファミリーなし）	
JP 2009-061917 A	26.03.2009	（ファミリーなし）	
JP 2005-345238 A	15.12.2005	（ファミリーなし）	
JP 2016-190615 A	10.11.2016	US 2018/0079262 A1 段落［0029］ EP 3279013 A1 CN 107614294 A	
WO 2009/008502 A1	15.01.2009	US 2010/0186492 A1 段落［0131］－［0138］，［図9］－［図11］ EP 2172759 A1	
JP 2014-234038 A	15.12.2014	（ファミリーなし）	
JP 2012-218682 A	12.11.2012	（ファミリーなし）	
JP 2006-142991 A	08.06.2006	US 2007/0205879 A1 全文全図 EP 1813493 A1	
US 2010/0131208 A1	27.05.2010	EP 2099663 A1 全文全図	