

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-30378

(P2010-30378A)

(43) 公開日 平成22年2月12日(2010.2.12)

|                                |                       |             |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                   | F I                   | テーマコード (参考) |
| <b>B 6 0 C</b> 23/08 (2006.01) | B 6 0 C 23/08 B       | 2 F 0 5 5   |
| <b>B 6 0 C</b> 23/06 (2006.01) | B 6 0 C 23/06 A       |             |
| <b>G 0 1 L</b> 17/00 (2006.01) | B 6 0 C 23/08 Z       |             |
|                                | G 0 1 L 17/00 3 0 1 G |             |

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 15 頁)

|           |                              |           |                                |
|-----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2008-193165 (P2008-193165) | (71) 出願人  | 000183233                      |
| (22) 出願日  | 平成20年7月28日 (2008.7.28)       |           | 住友ゴム工業株式会社                     |
|           |                              |           | 兵庫県神戸市中央区脇浜町 3 丁目 6 番 9 号      |
|           |                              | (74) 代理人  | 110000280                      |
|           |                              |           | 特許業務法人サントレスト国際特許事務所            |
|           |                              | (72) 発明者  | 藤田 肇                           |
|           |                              |           | 兵庫県神戸市中央区脇浜町 3 丁目 6 番 9 号      |
|           |                              |           | 住友ゴム工業株式会社内                    |
|           |                              | (72) 発明者  | 川崎 裕章                          |
|           |                              |           | 兵庫県神戸市中央区脇浜町 3 丁目 6 番 9 号      |
|           |                              |           | 住友ゴム工業株式会社内                    |
|           |                              | Fターム (参考) | 2F055 AA12 BB20 EE39 FF49 GG49 |

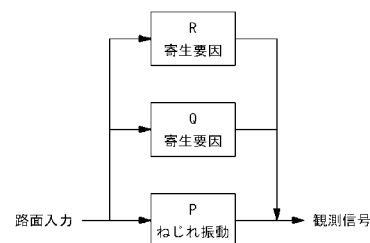
(54) 【発明の名称】 タイヤ空気圧低下検出装置および方法、ならびにタイヤの空気圧低下検出プログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】安定して共振周波数を推定することができ、これにより高精度にタイヤ空気圧低下を検出することができるタイヤ空気圧低下検出装置を提供する。

【解決手段】車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段と、この情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段と、前記情報検出手段により得られる回転速度情報から、当該回転速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段と、推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段とを備えている。

【選択図】図 3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段と、

この情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段と、

前記情報検出手段により得られる回転速度情報から、当該回転速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段とを備えており、

10

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第 1 の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により 5 種類の独立信号に分解する分解手段、および

第 2 の工程として、第 1 の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段

を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴とするタイヤ空気圧低下検出装置。

**【請求項 2】**

20

車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段と、

この情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段と、

この回転加速度情報から、当該回転加速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段とを備えており、

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第 1 の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により 5 種類の独立信号に分解する分解手段、および

30

第 2 の工程として、第 1 の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴とするタイヤ空気圧低下検出装置。

**【請求項 3】**

前記パラメータ推定手段が、最小二乗法により線形モデルのパラメータを推定するように構成されている請求項 1 または 2 に記載のタイヤ空気圧低下検出装置。

**【請求項 4】**

40

前記判定手段は、あらかじめ求めておいた基準周波数を含む所定範囲の周波数領域に共振ピークを有する波形が存在する場合に、当該共振ピークをタイヤのねじれ方向の共振周波数と推定するように構成されている請求項 1 または 2 に記載のタイヤ空気圧低下検出装置。

**【請求項 5】**

車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する検出工程と、

この検出工程により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する演算工程と、

前記検出工程により得られる回転速度情報から、当該回転速度情報の周波数特性を推定す

50

る推定工程と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定工程とを含んでおり、

前記推定工程は、

前記情報を含む時系列信号に対し、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により５種類の独立信号に分解する第１の工程、および

第１の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定する第２の工程

を含んでおり、かつ、

前記判定工程において、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴とするタイヤ空気圧低下検出方法。

#### 【請求項６】

車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する検出工程と、

この検出工程において得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する演算工程と、

この演算工程において得られる回転加速度情報から、当該回転加速度情報の周波数特性を推定する推定工程と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定工程とを含んでおり、

前記推定工程は、前記情報を含む時系列信号に対し、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により５種類の独立信号に分解する第１工程、および

第１の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定する第２工程

を含んでおり、かつ、

前記判定工程において、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴とするタイヤ空気圧低下検出方法。

#### 【請求項７】

前記パラメータを推定する工程において、最小二乗法により線形モデルのパラメータを推定するように構成されている請求項５または６に記載のタイヤ空気圧低下検出方法。

#### 【請求項８】

前記判定工程において、あらかじめ求めておいた基準周波数を含む所定範囲の周波数領域に共振ピークを有する波形が存在する場合に、当該共振ピークをタイヤのねじれ方向の共振周波数と推定するように構成されている請求項５または６に記載のタイヤ空気圧低下検出方法。

#### 【請求項９】

走行中の車両のタイヤの共振周波数に基づいて当該タイヤの空気圧低下を検出するためにコンピュータを、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段、前記情報検出手段により得られる回転速度情報から、当該回転速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段、および、推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段として機能させ、

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第１の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により５種類の独立信号に分解する分解手段、お

10

20

30

40

50

よび

第2の工程として、第1の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴とするタイヤの空気圧低下検出プログラム。

【請求項10】

走行中の車両のタイヤの共振周波数に基づいて当該タイヤの空気圧低下を検出するためにコンピュータを、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段、この回転加速度情報から、当該回転加速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段、および、推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段として機能させ、

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第1の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により5種類の独立信号に分解する分解手段、および

第2の工程として、第1の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段

を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴とするタイヤの空気圧低下検出プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、走行中の車両のタイヤの共振周波数に基づき、当該タイヤの空気圧低下を検出するタイヤ空気圧低下検出装置および方法、ならびにタイヤの空気圧低下検出プログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

自動車安全に走行できるための要素の1つとして、タイヤの空気圧をあげることができる。空気圧が適正值よりも低下すると、操縦安定性や燃費が悪くなり、タイヤバーストの原因となる場合がある。このため、タイヤ空気圧の低下を検出し、運転者に警報を出して適切な処置を促すタイヤ空気圧警報装置(Tire Pressure Monitoring System; TPMS)は、環境保全および運転者の安全性確保という見地から重要な技術である。

【0003】

従来の警報装置は、直接検知型と間接検知型の2つに分類することができる。直接検知型は、タイヤホイール内部に圧力センサを組み込むことでタイヤの空気圧を直接計測するものである。空気圧の低下を高精度に検出することができる一方で、専用のホイールが必要となることや実環境での耐故障性能に問題があることなど、技術的、コスト的な課題を残している。

【0004】

一方、間接検知型はタイヤの回転情報から空気圧を推定する方法であり、動荷重半径(Dynamic Loaded Radius; DLR)方式と、共振周波数(Resonance Frequency Mechanism; RFM)方式に細分類することができる。DLR方式は、減圧したタイヤが走行時につぶれることで動荷重半径が小さくなり、その結果正常圧のタイヤよりも速く回転する現象を利用し、4つのタイヤの回転速

10

20

30

40

50

度を比較することで圧力低下を検出する方式である。車輪速センサから得られる車輪の回転速度信号だけを用いて比較的簡単に演算処理できることから、主に一輪のパンクを検出することを目的として広く研究が進められてきた。しかし、車輪の回転速度を相対比較しているに過ぎないため、4輪が同時に減圧する場合（自然漏れ）は検知することができない。また、車両の旋回、加減速や荷重の偏りなどの走行条件によっても車輪速差が生じるため、全ての走行状態を通じて精度良く減圧を検知できないという問題がある。

#### 【0005】

他方、RFM方式は、減圧によって車輪速信号の周波数特性が変化することを利用して正常圧との差異を検出する方式である。DLR方式と異なり、あらかじめ保持しておいた各輪の正常値との絶対比較であるため、4輪同時減圧にも対応でき、より良い間接検知方式として注目されている。しかし、走行条件によっては強いノイズなどが原因で、目的とする領域の周波数の推定値が車両速度や路面状況に頑健でないなどの課題がある。本発明は、RFM方式に基づくタイヤの状態検知装置に関するものである。以下、RFM方式の基本原則についてより詳しく述べる。

10

#### 【0006】

車両が走行すると、タイヤが路面から力を受けることで現れる前後方向のねじれ運動と、サスペンションの前後の運動とが連成共振を起こす。この共振現象は、車輪の回転運動にも影響を及ぼすため、アンチロックブレーキングシステム（Anti-Lock Braking System; ABS）に搭載された車輪センサから取得される車輪速信号にも共振現象に関する情報が含まれる。また、連成共振はタイヤのねじれ剛性に起因した固有の振動モードであるため、その励起状態はタイヤの物理特性を構成する空気圧の変化にのみ依存して変化し、車両速度や路面の変化に依存することはほとんどない。すなわち、空気圧が低下するとタイヤのねじれ運動のダイナミクスが変化するため、車輪速信号を周波数解析すると、連成共振が作るピーク（共振ピーク）は減圧時では正常圧時よりも低周波数側に現れる。

20

#### 【0007】

図6は、空気圧が正常であるタイヤと正常圧から25%減圧したタイヤを車両に装着し、一定時間の間に得られたそれぞれの車輪加速度信号（車輪速信号の時間階差を計算して得られる）に対して高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform; FFT）を適用することで得られるパワースペクトルを表わしている。

30

#### 【0008】

40~50Hz付近の成分がタイヤの前後方向の振動と車両のサスペンションとが共振することによって起こる振動であり、内圧の変化によってピーク値をもつ周波数（共振周波数）がより低周波側に移動していることが分かる。この現象は、前述の特性からタイヤや車両の種類、走行速度や路面の状況などから独立して現れるため、RFM方式ではこの共振周波数に着目し、初期化時に推定した基準周波数よりも相対的に低いと判断される場合に警報を出す。ここで、ABSから取得される車輪速信号から共振周波数を推定する必要があるが、計算資源に限られる車載の計算機では必要な時系列データを記憶させておくことが難しいため、FFTによる周波数分析を行うことは困難である。このため、従来の手法においては、以下に述べるオンライン手法を用いて共振周波数を推定している。

40

#### 【0009】

振動は2次モデルで記述できることから、車輪速信号を2次の自己回帰（Autoregressive; AR）モデルに基づいて時系列解析を行う。具体的には、次の式（1）で示されるモデルにおけるパラメータ $\theta = \{a_1, \dots, a_K\}$ をカルマンフィルタ（逐次最小二乗法）で推定する。

#### 【0010】

##### 【数1】

$$y(t) = \sum_{i=1}^K a_i y(t-i) + \varepsilon \quad \dots\dots (1)$$

50

## 【 0 0 1 1 】

ここで、 $y(t)$  は時刻  $t$  における車輪速、 $\varepsilon$  は白色ノイズを表しており、 $K$  はモデルの次数である。ARモデルを表わす伝達関数の極に対応する周波数が共振周波数として推定されるため、前記モデルにより共振ピークが正しく抽出されていれば、正確に共振周波数を得ることができる。

## 【 0 0 1 2 】

しかし、従来から多く提案されているこうした手法には次のような問題がある。第一に、路面が滑らかな道路を走行する場合は当該路面から受ける力が弱く、共振現象も小さくなるため、目的とする信号とは独立に混入するノイズの影響が相対的に大きくなる。すなわち、信号ノイズ(SN)比が悪くなるため、共振周波数を正確に推定することが困難になる。第二に、高速走行(時速80キロ以上)した場合、タイヤの上下振動が増加するなどの原因により高周波数成分の信号が強くなるため、共振ピークが不明瞭になる傾向がある。第三に、共振ピークが現れる近傍の周波数領域に強いノイズがピークを作ると、その影響を受けて共振周波数の推定値が不安定になる。このような状況下において得られた走行データに対してFFTを適用した結果を図7に示す。走行条件によってはこれらの問題が重畳し、共振周波数を安定して推定することが特に難しい。また、推定値が不安定であれば異常判定のための基準を設定することも難しく、RFM方式による異常検出システムの実用化を困難にする要因となっている。

## 【 0 0 1 3 】

このようなRFM方式の問題を解決するものとして、特許文献1では、路面、車両速度および温度という空気圧の推定に影響を与える要因の組み合わせの数だけ初期化および推定を行うことが提案されている。また、特許文献2では、共振周波数に影響を及ぼす外部要因として、外気温度、車両速度およびタイヤが路面から受ける振動の3つを挙げており、これら3つの外部要因のうちいずれか2つまたは全てに基づいて、あらかじめ決められた補正関数を用いることで推定値を状況に応じて補正している。

## 【 0 0 1 4 】

【特許文献1】特開2005-14664号公報

【特許文献2】特許第3152151号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 1 5 】

しかし、特許文献1に記載された方法では、例えば各要因を3種類ずつ想定すると全部で27のウィンドウを保持することになるが、これら全てに対して初期化を行うことは煩雑であるだけでなく、初期化が終了しないウィンドウに対しては異常判定を行うことができない。初期化されていないウィンドウを周囲のウィンドウから内外挿により補間する方法も提案されているが、補間方法がタイヤの物理特性に基づいたものではないため、異常検出精度の信頼性に欠ける。

また、特許文献2記載の方法における補正関数も物理特性に基づいて決められたものではないため、異常検出の普遍性に問題がある。

## 【 0 0 1 6 】

ところで、近年、独立成分分析(Independent Component Analysis; ICA)と呼ばれる技術が様々な分野で活用されつつある。ICAとは、未知の原信号の線形混合として観測信号が得られるときに、統計的な独立性の仮定のみから原信号を復元する技術である。この技術では、ノイズなどの不必要な要因による影響が着目したい現象からの寄与に対して支配的となる場合においても、多くの複雑な信号から目的とする情報を取り出すことができ、画像や音声などのデジタル信号の処理、筋電や脳波などの生体情報の解析などに応用されており(例えば、ティー・ダブリュー・リー(T. W. Lee)、「インデペンデント・コンポーネント・アナリシス(Independent Component Analysis)」、クルウアー・アカデミック・パブリッシャーズ(Kluwer Academic Publishers), 1998年

10

20

30

40

50

）、注目を集めている。現在では、主に機械学習と呼ばれる情報工学分野で活発に研究が行われている多変量解析技術の一種である。

【 0 0 1 7 】

ICAは、観測信号からの未知の入力信号を復元する過程で伝達特性を推定することからブラインド同定に他ならず、制御工学などの分野へも応用されている（例えば、新田益大、「独立成分分析の制御工学への応用に関する研究」、奈良先端科学技術大学院大学博士論文、2007年）。

しかし、走行中の車両のタイヤ空気圧の低下を検出するために車輪速信号などに含まれるノイズを除去することについては性能の保証が自明でなく、未だに提案も実施もなされていない。

10

【 0 0 1 8 】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、安定して共振周波数を推定することができ、これにより高精度にタイヤ空気圧低下を検出することができるタイヤ空気圧低下検出装置および方法、ならびにタイヤの空気圧低下検出プログラムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 9 】

本発明の第1の観点に係るタイヤ空気圧低下検出装置（以下、単に「検出装置」ともいう）は、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段と、

20

この情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段と、

前記情報検出手段により得られる回転速度情報から、当該回転速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段とを備えており、

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第1の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により5種類の独立信号に分解する分解手段、および

30

第2の工程として、第1の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段

を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴としている。

【 0 0 2 0 】

本発明の第1の観点に係る検出装置では、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により5種類の独立信号に分解し、これら分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定する。このとき、分解した信号の中にはねじれ共振に関する情報を多く含んだ信号が存在し、これに着目することで正確に共振周波数を求めることができる。言い換えれば、走行条件に依存して異常検出が困難となる状態を、独立成分分析により5種類の独立信号に分解する手法により解決することができる。なお、「異常検出が困難な状況」とは、ノイズなどの影響により目的とする共振ピークが不明瞭になるか、または共振周波数を正確に推定することができない状況のことである。

40

【 0 0 2 1 】

本発明の第2の観点に係る検出装置は、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段と、

この情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段と、

50

この回転加速度情報から、当該回転加速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段とを備えており、

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第 1 の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により 5 種類の独立信号に分解する分解手段、および

第 2 の工程として、第 1 の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴としている。

#### 【 0 0 2 2 】

本発明の第 2 の観点に係る検出装置においても、第 1 の観点に係る検出装置と同様、正確に共振周波数を求めることができる。また、第 2 の観点に係る検出装置では、車輪加速度データを用いているが、この車輪加速度データは車輪速度データよりも変化が少ないことから、演算精度を上げることができる。

#### 【 0 0 2 3 】

前記パラメータ推定手段を、最小二乗法により線形モデルのパラメータを推定するように構成することができる。最小二乗法によりパラメータを推定するので、与えられたデータに対する最適解を求めることができる。

#### 【 0 0 2 4 】

前記判定手段を、あらかじめ求めておいた基準周波数を含む所定範囲の周波数領域に共振ピークを有する波形が存在する場合に、当該共振ピークをタイヤのねじれ方向の共振周波数と推定するように構成することができる。

#### 【 0 0 2 5 】

本発明の第 3 の観点に係るタイヤ空気圧低下検出方法（以下、単に「検出方法」ともいう）は、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する検出工程と、

この検出工程により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する演算工程と、

前記検出工程により得られる回転速度情報から、当該回転速度情報の周波数特性を推定する推定工程と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定工程とを含んでおり、

前記推定工程は、

前記情報を含む時系列信号に対し、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により 5 種類の独立信号に分解する第 1 の工程、および

第 1 の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定する第 2 の工程

を含んでおり、かつ、

前記判定工程において、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴としている。

#### 【 0 0 2 6 】

本発明の第 3 の観点に係る検出方法では、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により 5 種類の独立信号に分解し、これら分解された各信号に対して 2 次の線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定する。このとき、分解した信号の中にはねじれ共振に関する情報を多く含んだ信号が存在し、これに着目することで正確に共振周波数を求めることができる。言い

10

20

30

40

50

換えれば、走行条件に依存して異常検出が困難となる状態を、独立成分分析により５種類の独立信号に分解する手法により解決することができる。

【００２７】

本発明の第４の観点に係る検出方法は、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する検出工程と、

この検出工程において得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する演算工程と、

この演算工程において得られる回転加速度情報から、当該回転加速度情報の周波数特性を推定する推定工程と、

推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定工程と

10

を含んでおり、

前記推定工程は、前記情報を含む時系列信号に対し、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により５種類の独立信号に分解する第１工程、および

第１の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定する第２工程

を含んでおり、かつ、

前記判定工程において、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴としている。

20

【００２８】

本発明の第４の観点に係る検出方法においても、第３の観点に係る検出方法と同様、正確に共振周波数を求めることができる。また、第４の観点に係る検出方法では、車輪加速度データを用いているが、この車輪加速度データは車輪速度データよりも変化が少ないことから、演算精度を上げることができる。

【００２９】

前記パラメータを推定する工程において、最小二乗法により線形モデルのパラメータを推定するように構成することができる。最小二乗法によりパラメータを推定するので、与えられたデータに対する最適解を求めることができる。

【００３０】

前記判定工程において、あらかじめ求めておいた基準周波数を含む所定範囲の周波数領域に共振ピークを有する波形が存在する場合に、当該共振ピークをタイヤのねじれ方向の共振周波数と推定するように構成することができる。

30

【００３１】

本発明の第５の観点に係るタイヤの空気圧低下検出プログラムは、走行中の車両のタイヤの共振周波数に基づいて当該タイヤの空気圧低下を検出するためにコンピュータを、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段、前記情報検出手段により得られる回転速度情報から、当該回転速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段、および、推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段として機能させ、

40

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第１の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により５種類の独立信号に分解する分解手段、および

第２の工程として、第１の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段

を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴としている。

【００３２】

50

本発明の第 6 の観点に係るタイヤの空気圧低下検出プログラムは、走行中の車両のタイヤの共振周波数に基づいて当該タイヤの空気圧低下を検出するためにコンピュータを、車両の各輪のタイヤの回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を定期的に検出する情報検出手段により得られる回転速度情報から、タイヤの回転加速度情報を演算する回転加速度情報演算手段、この回転加速度情報から、当該回転加速度情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段、および、推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段として機能させ、

前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、

第 1 の工程として、車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により 5 種類の独立信号に分解する分解手段、および

第 2 の工程として、第 1 の工程において分解された各信号に対して線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段

を含んでおり、かつ、

前記判定手段は、推定されたタイヤのねじれ方向の共振周波数に基づいてタイヤの空気圧の低下を判定するように構成されていることを特徴としている。

【発明の効果】

【0033】

本発明の検出装置および方法、ならびにタイヤの空気圧低下検出プログラムによれば、安定して共振周波数を推定することができ、これにより高精度にタイヤ空気圧低下を検出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、添付図面を参照しつつ、本発明の検出装置および方法、ならびにタイヤの空気圧低下検出プログラムの実施の形態を詳細に説明する。

図 1 に示されるように、本発明の一実施の形態に係る検出装置は、4 輪車両に備えられた 4 つのタイヤの左前輪 (FL)、右前輪 (FR)、左後輪 (RL) および右後輪 (RR) の回転速度情報を検出するため、各タイヤに関連して設けられた通常的車輪速度検出手段 (回転速度情報検出手段) 1 を備えている。

【0035】

前記車輪速度検出手段 1 としては、電磁ピックアップなどを用いて回転パルスを発生させてパルスの数から回転角速度及び車輪速度を測定するための車輪速センサまたはダイナモのように回転を利用して発電を行い、この電圧から回転角速度及び車輪速度を測定するためのものを含む角速度センサなどを用いることができる。前記車輪速度検出手段 1 の出力は、ABS などのコンピュータである制御ユニット 2 に与えられる。この制御ユニット 2 には、例えばタイヤが減圧していることを表示するための液晶表示素子、プラズマ表示素子または CRT など構成された表示器 3、ドライバーによって操作することができる初期化ボタン 4、タイヤの減圧をドライバーに知らせる警報器 5、およびタイヤ近傍の温度を検出する温度センサ 6 が接続されている。

【0036】

制御ユニット 2 は、図 2 に示されるように、外部装置との信号の受け渡しに必要な I/O インターフェース 2a と、演算処理の中核として機能する CPU 2b と、この CPU 2b の制御動作プログラムが格納された ROM 2c と、前記 CPU 2b が制御動作を行う際にデータなどが一時的に書き込まれたり、その書き込まれたデータが読み出されたりする RAM 2d とから構成されている。

【0037】

前記車輪速度検出手段 1 では、タイヤの回転数に対応したパルス信号 (以下、「車輪速パルス」ともいう) が出力される。そして、この車輪速パルスを所定のサンプリング周期  $\Delta T$  (秒)、例えば  $\Delta T = 0.005$  秒毎にサンプリングすることで、車輪速信号の時系列データを得ることができる。サンプリング周期は、着目しているタイヤのねじり方向の

共振周波数が数十Hz付近に現れることから、それ以上の周期とする必要がある。

【0038】

本実施の形態に係る検出装置は、車輪速度検出手段（回転速度情報検出手段）1、タイヤ近傍の温度を検出する温度センサ6、旋回信号およびホイールトルク信号を検出する手段とからなる情報検出手段、この情報検出手段により得られる回転速度情報、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号から当該情報の周波数特性を推定する周波数特性推定手段、および推定された周波数特性に基づいて前記タイヤの空気圧の低下を判定する判定手段とで主に構成されている。そして、タイヤの空気圧低下検出プログラムは、前記制御ユニット2を周波数特性推定手段、および判定手段として機能させる。前記周波数特性推定手段は、前記情報を含む時系列信号に対し、第1の工程として、車輪速信号、車輪速の階差信号（車輪加速度信号）、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号を入力として独立成分分析により5種類の独立信号に分解する分解手段、および第2の工程として、第1の工程において分解された各信号に対して2次の線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定するパラメータ推定手段を含んでいる。

10

【0039】

本発明では、車両の走行条件により発生するノイズの影響により共振周波数の推定値が不安定になる問題を、前述したICAを用いることにより解決している。すなわち、本来の対象信号であるタイヤのねじれ振動に関する信号に対し、寄生要因からのノイズがこれと並列に混入して観測信号が生成されていると仮定し、これらを独立に分解することで所望の信号だけを得る。図3は、以上を模式的に表現した図であり、路面から入力を受けて車輪速信号が出力されるまでを表わしている。観測信号には、着目する要素（ねじれ信号の情報を含む要素P）以外に不要な寄生要因（QおよびR）からの影響が並列に混入しているが、ICAを用いることでこれらの信号を分解して対象とするねじれ振動に関する信号だけを取り出す。従来手法により共振周波数を推定したときに前述した問題（安定的に推定することができない）が発生するのは、不要な寄生要因が含まれたまま信号を解析していることが原因であると考えられるが、本発明ではこうした寄生要因を取り除いているので、環境に対して頑健に共振周波数を推定することができる。

20

【0040】

本発明では、入力に用いる観測信号として、車輪速信号、車輪速の階差信号（車輪加速度信号）、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号の5種類を用いる。これらの信号は共振周波数を頑健に推定するために重要な特徴量である。前述した特許文献2においては、車輪速信号から推定した共振周波数を残りの情報に基づいて状況に応じて補正しているが、本発明では、前記5種類の信号を5次元の観測信号として通常のICAアルゴリズムを適用する。すなわち、原信号の行列をS、線形混合行列をAとしたとき、観測行列Xは、

30

$$X = AS$$

として得られるとし、統計的な独立条件から、

$$V = WX$$

なる原信号の推定値Vと、混合行列の逆変換Wを得る。Vの各次元に含まれる時系列情報は互いに独立であり、それぞれが共振周波数の推定に影響を与える並列な要素から生成された原信号とみなすことができる。本発明では、これらの独立分解された各信号を従来の解析手法を用いて解析する。具体的には、各信号に対して2次の線形モデルを仮定し、当該線形モデルのパラメータを推定する。分解した信号の中には、ねじれ共振に関する情報を多く含んだ信号が存在し、これに着目することで正確に共振周波数を求めることができる。例えば初期化時に基準周波数を求めておき、この基準周波数を含む所定範囲の領域をモニタリングし、当該領域に共振ピークを有する波形が存在する場合にこの共振ピークをタイヤのねじれ方向の共振周波数と推定することができる。前記所定範囲の領域はタイヤや車両の種類により異なるが、一般的な乗用車の場合、例えば基準周波数の前後6Hzとすることができる。

40

【0041】

50

なお、前述した 5 種類の信号のうち外気温信号は、例えば、前記タイヤの近傍の温度を検出する温度センサ 6 により得ることができ、また、ホイールトルク信号と旋回信号は、ESC (横すべり防止装置) から得ることができる。これらの信号は、制御ユニット 2 の I/O インターフェイス 2 a に入力される。

【0042】

[実施例および比較例]

次に本発明の検出方法の実施例を説明するが、本発明は以下に記載する実施例のみに限定されるものではない。

実車テストおよび計測実験などから求めた使用タイヤの共振周波数は約 48 Hz であった。このタイヤを装着した車両を、舗装したアスファルトを高速走行 (100 kph) させ、各輪タイヤの回転情報を 4 ms 毎にサンプリングし、車輪速信号の時系列データとし、ついで、得られた車輪速度の階差を取ることで車輪加速度とした。2 分間のデータ (データ数 30000) に対して、車輪加速度情報のみに FFT を適用した場合 (従来手法。比較例) と、本発明を適用した場合 (実施例) とを比較した。結果を図 4 ~ 5 に示す。

【0043】

図 4 は、車輪加速度信号のみを FFT により解析した周波数特性と、本発明を適用して解析したスペクトル波形を示しており、横軸は周波数 (Hz)、縦軸は信号の強さ (dB) を示している。図 4 より、従来手法のように車輪加速度情報のみを周波数分析すると、共振ピークは極めて不明瞭であり、共振周波数を正確に求めることができないことが分かる。これは、先に述べたように、路面が滑らかな道路を走行した場合は路面から受ける力が弱く、共振現象も小さくなるため、目的の信号とは独立に混入するノイズの影響が相対的に大きくなる、すなわち信号ノイズ (SN) 比が悪くなることや、高速走行 (時速 80 キロ以上) した場合はタイヤの上下振動が増えるなどの原因により、高周波成分の信号が強くなるのが原因としてあげられる。加えて、共振ピークが現れる近傍の周波数領域に強いノイズがピークを作る場合があり、その影響を受けて共振周波数の推定値が不安定になることもある。

【0044】

これに対し、実施例では、様々な情報が混合された 5 種類の信号 (車輪速信号、車輪加速度信号、外気温信号、旋回信号およびホイールトルク信号) を統計的に独立となる 5 種類の信号へ分解してから、これらの各信号を従来手法と同じく 2 次の AR モデルで時系列解析している。図 4 における 5 つの 2 次曲線が、各信号を時系列解析した結果を表わしている。分解した信号の中には、ねじれ共振に関する情報を多く含んだ信号が存在し (図 4 における 2 次曲線のうち実線で描かれたもの)、これに着目することにより正確に共振周波数を求めることができる。

【0045】

図 5 は、従来手法と本発明をそれぞれ適用した場合における共振周波数の推定の頑健性を示す図である。この図は、10 回の試行 (各試行は 2 分間) の各データの各 10 秒分のデータで共振周波数を推定したときの 120 回に対する平均と分散を示している。従来手法は、平均的に妥当な推定結果を示している。しかし、一般にランフラットタイヤは減圧感度 (正常圧時と減圧時の共振周波数の差) が 2 Hz 弱程度と小さいため、推定結果のばらつきが判定結果に大きな影響を及ぼすが、従来手法では推定値の標準偏差が 1.42 と減圧感度に対して大きく、実用に耐える精度ではない。これに対して、本発明を適用すれば推定値の標準偏差が 0.23 と非常に小さくなり、推定のばらつきを大きく抑えることができる。これは、ICA による信号の独立分解によってノイズの影響やピークが不明瞭になる原因を除去し、ねじれ共振に関する情報を多く含んだ信号を抽出しているためと考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図 1】本発明の検出装置の一実施の形態を示すブロック図である。

【図 2】図 1 に示される検出装置の電氣的構成を示すブロック図である。

10

20

30

40

50

【図 3】路面から入力を受けて車輪速信号が出力されるまでを模式的に表わす図である。

【図 4】車輪加速度信号のみを F F T により解析した周波数特性と、本発明を適用して解析したスペクトル波形を示す図である。

【図 5】従来手法と本発明をそれぞれ適用した場合における、共振周波数の推定の頑健性を示す図である。

【図 6】2 分間の車輪加速度信号に対して F F T を適用したときのパワースペクトル密度の分布を表す図である。

【図 7】ランフラットタイヤを装着し路面が滑らかな道路を高速走行した 2 分間の車輪加速度信号に対して、F F T を適用したときのパワースペクトル密度の分布を表す図である。

10

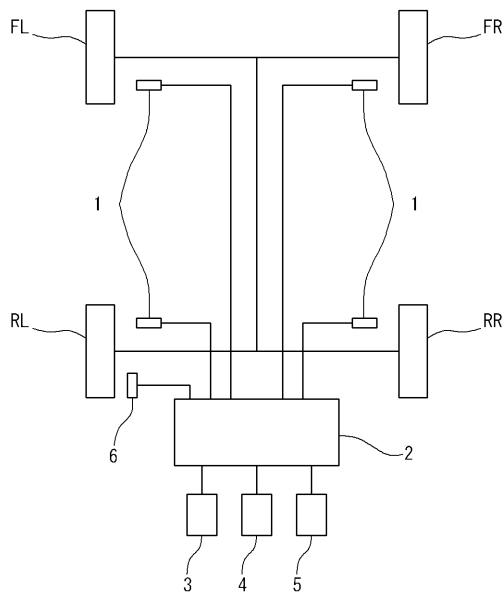
【符号の説明】

【 0 0 4 7 】

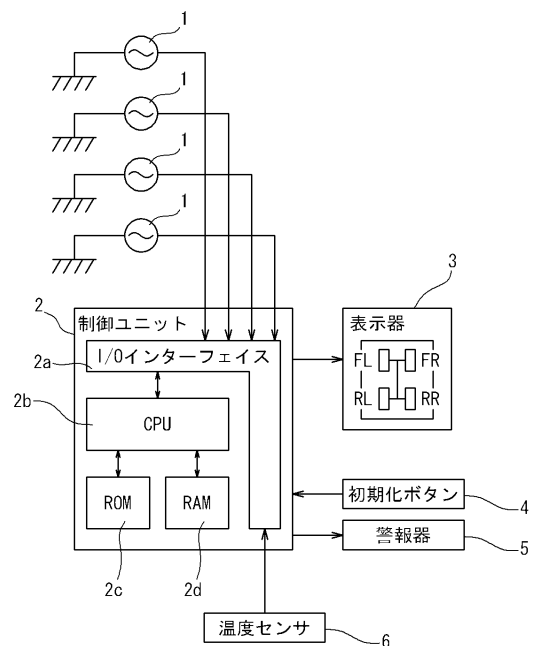
- 1 車輪速度検出手段
- 2 制御ユニット
- 2 a インターフェース
- 2 b C P U
- 2 c R O M
- 2 d R A M
- 3 表示器
- 4 初期化ボタン
- 5 警報器
- 6 温度センサ

20

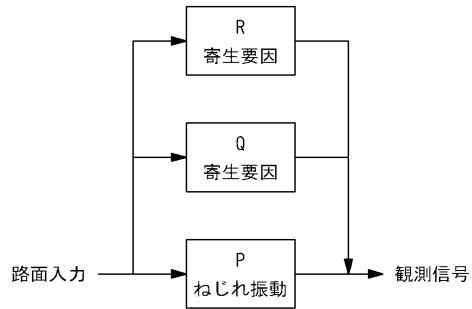
【図 1】



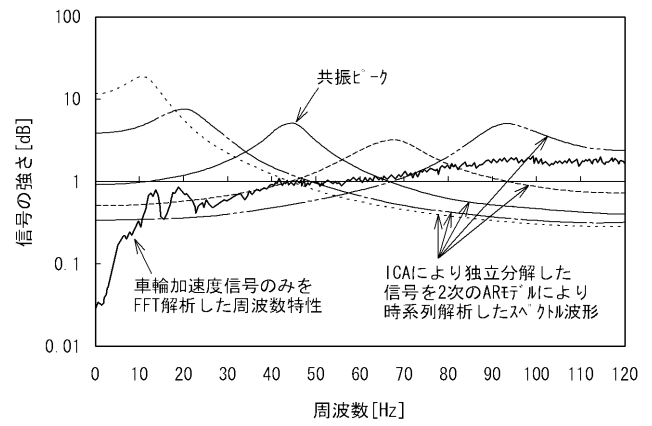
【図 2】



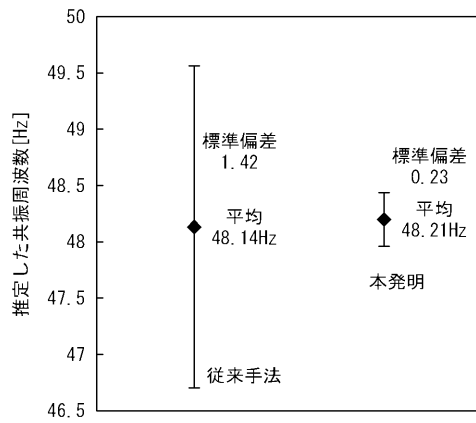
【図 3】



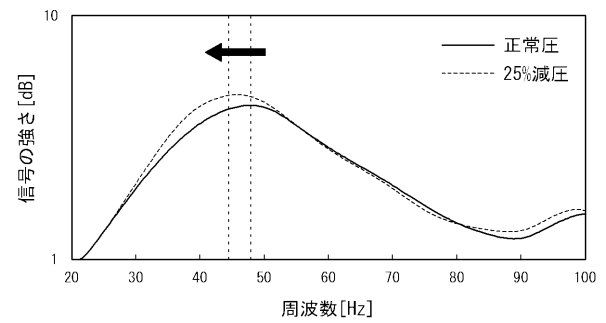
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【 図 7 】

