

(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2015-36296

(P2015-36296A)

(43) 公開日 平成27年2月23日(2015.2.23)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
<b>B60C</b>	<b>23/04</b>	<b>(2006.01)</b>	B60C	23/04	G			
<b>B60C</b>	<b>19/00</b>	<b>(2006.01)</b>	B60C	19/00	H			
<b>G01M</b>	<b>17/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G01M	17/02	B			

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-163442 (P2014-163442)  
 (22) 出願日 平成26年8月11日 (2014.8.11)  
 (31) 優先権主張番号 13/964,307  
 (32) 優先日 平成25年8月12日 (2013.8.12)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 590002976  
 ザ・グッドイヤー・タイヤ・アンド・ラバー・カンパニー  
 THE GOODYEAR TIRE & RUBBER COMPANY  
 アメリカ合衆国オハイオ州44316-0001, アクロン, イースト・マーケット・ストリート 1144  
 1144 East Market Street, Akron, Ohio 44316-0001, U. S. A.  
 (74) 代理人 100123788  
 弁理士 宮崎 昭夫  
 (74) 代理人 100127454  
 弁理士 緒方 雅昭

最終頁に続く

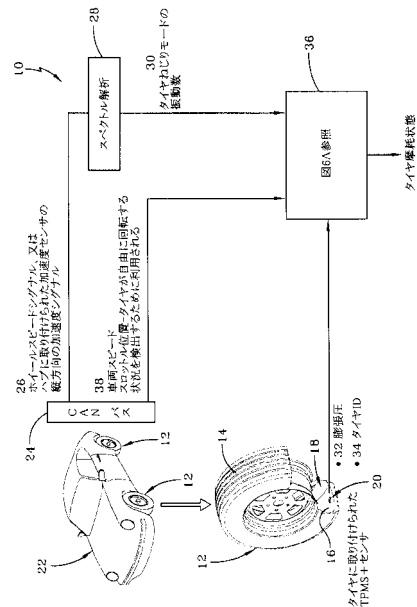
(54) 【発明の名称】ねじりモードのタイヤ摩耗状態推定システム及び方法

(57) 【要約】

【課題】タイヤの摩耗状態を推定するタイヤ磨耗状態推定システムを提供する。

【解決手段】タイヤ磨耗状態推定システムは、車両のタイヤに取り付けられ、タイヤ膨張圧を測定し、タイヤ膨張圧データを生成するタイヤ圧測定装置と、タイヤねじりモードの振動数の測定をし、タイヤのねじりモード振動数データを生成するタイヤねじりモード測定手段と、タイヤ固有の識別データを利用してタイヤ固有の振動数モード係数を生成するタイヤ識別手段と、を含む。タイヤの磨耗の推定は、タイヤ膨張圧データと、ねじりモード振動数データと、タイヤ固有に得られる振動数モード係数と、に基づいて成される。

【選択図】図7



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

車両を支持する少なくとも 1 つのタイヤと、

1 つのタイヤに取り付けられ、タイヤ膨張圧を測定し、タイヤ膨張圧データを生成するタイヤ圧測定手段と、

タイヤねじりモードの振動数の測定をし、タイヤねじりモード振動数データを生成するタイヤねじりモード測定手段と、

タイヤ固有の識別データを利用してタイヤ固有の振動数モード係数を生成するタイヤ識別手段と、

前記タイヤ膨張圧データ、前記ねじりモード振動数データ及び前記タイヤ固有の振動数モード係数に基づいてタイヤの磨耗状態の推定量を算出するタイヤ磨耗推定手段と、を含むことを特徴とする、タイヤ磨耗状態推定システム。

10

**【請求項 2】**

前記タイヤ圧測定手段は、タイヤキャビティ圧を圧力センサによって測定し、前記タイヤキャビティ圧の測定から前記タイヤ膨張圧データを伝えるように動作する、タイヤに実装された圧力測定装置を含むことを特徴とする、請求項 1 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

**【請求項 3】**

前記タイヤ固有の識別データは、前記タイヤに実装された圧力測定装置内に記憶され、前記圧力測定装置からアクセス可能であることを特徴とする、請求項 2 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

20

**【請求項 4】**

前記タイヤ固有の振動数モード係数は、ホイールスピードシグナル、又はハブに実装された加速度センサのシグナルを用いて生成されることを特徴とする、請求項 3 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

**【請求項 5】**

前記タイヤねじりモードの振動数の測定は、ホイールに実装された加速度計、又はタイヤクラウンに実装された加速度計で成されることを特徴とする、請求項 4 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

**【請求項 6】**

前記タイヤ磨耗推定手段は、タイヤ磨耗状態とタイヤねじりモードの振動数との間の相関モデルを含むことを特徴とする、請求項 4 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

30

**【請求項 7】**

前記相関モデルは、前記タイヤ磨耗状態と前記タイヤ膨張圧データと前記タイヤねじりモードの振動数の依存性をとらえる多項式モデルに基づいた再帰的最小二乗アルゴリズムを含むことを特徴とする、請求項 6 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

**【請求項 8】**

前記タイヤ磨耗推定手段は、前記タイヤ磨耗状態と前記タイヤねじりモードの振動数との間の相関モデルを含むことを特徴とする、請求項 1 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

40

**【請求項 9】**

前記相関モデルは、前記タイヤ磨耗状態と前記タイヤ膨張圧データと前記タイヤねじりモードの振動数の依存性をとらえる多項式モデルに基づいた再帰的最小二乗アルゴリズムを含むことを特徴とする、請求項 8 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

**【請求項 10】**

車両を支持する少なくとも 1 つのタイヤと、

1 つのタイヤに取り付けられ、タイヤキャビティの圧力を測定し、前記タイヤキャビティの圧力の測定からタイヤ膨張圧データを伝える、タイヤに実装された圧力測定装置と、

タイヤに実装されたデータ記憶装置内に記憶され、該データ記憶装置からアクセス可能なタイヤ固有の識別データと、

50

タイヤねじりモードの振動数の測定をし、タイヤねじりモード振動数データを生成するタイヤねじりモード測定手段と、

タイヤ固有の識別データ及びホイールスピードシグナル又はタイヤねじりモードの振動数の縦方向の加速度シグナルの測定を利用してタイヤ固有のねじりモードの振動数係数を生成するタイヤ識別手段と、

前記タイヤ膨張圧データ、前記タイヤねじりモード振動数データ及び前記タイヤ固有のねじりモード係数に基づいてタイヤの磨耗状態の推定量を算出するタイヤ磨耗推定手段と、を含むことを特徴とする、タイヤ磨耗状態推定システム。

【請求項 11】

前記タイヤねじりモードの振動数の測定は、ホイールに実装された加速度計、又はタイヤクラウンに実装された加速度計で成されることを特徴とする、請求項 10 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

【請求項 12】

前記タイヤ磨耗推定手段は、タイヤ磨耗状態とタイヤねじりモードの振動数との間の相関モデルを含むことを特徴とする、請求項 10 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

【請求項 13】

前記相関モデルは、前記タイヤの磨耗状態と前記タイヤ膨張圧データと前記タイヤねじりモードの振動数の依存性をとらえる多項式モデルに基づいた再帰的最小二乗アルゴリズムを含むことを特徴とする、請求項 12 に記載のタイヤ磨耗状態推定システム。

【請求項 14】

タイヤキャピティの膨張圧を測定してタイヤ膨張圧データを生成する少なくとも 1 つの圧力センサを有するタイヤ圧測定装置を、車両を支持するタイヤに取り付けることと、タイヤねじりモードの振動数を測定し、タイヤねじりモード振動数データを生成することと、

タイヤ固有の識別データに基づいてタイヤ固有のねじりモード係数を生成することと、前記タイヤ膨張圧データと、前記測定されたねじりモード振動数データと、前記タイヤ固有の識別データに基づく前記タイヤ固有の振動数モード係数とに基づいて、タイヤの磨耗状態の推定量の算出をすることと、を含むことを特徴とする、タイヤ磨耗状態を推定する方法。

【請求項 15】

ホイールスピードシグナル、又はタイヤねじりモードの振動数の縦方向の加速度シグナルの測定を用いて、前記タイヤ固有のねじりモード係数を生成することを含むことを特徴とする、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

ホイールに実装された加速度計、又はタイヤクラウンに実装された加速度計から、前記タイヤねじりモードの振動数を測定することを含むことを特徴とする、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記タイヤの磨耗状態の推定量の算出は、前記タイヤ磨耗状態と前記タイヤねじりモードの振動数との間の相関モデルを利用することを含むことを特徴とする、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 18】

前記タイヤ磨耗状態と前記タイヤ膨張圧データと前記タイヤねじりモードの振動数の依存性をとらえる多項式モデルに基づいた再帰的最小二乗アルゴリズムを含むように、前記相関モデルを設計することを含むことをさらに特徴とする、請求項 17 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、車両の動作中にタイヤパラメータデータを収集するタイヤ監視システムに関し、特に、そのような測定に基づいてタイヤの磨耗状態を推定するシステム及び

10

20

30

40

50

方法に関する。

【背景技術】

【0002】

車両に取り付けられたタイヤは、車両の動作中に圧力や温度のようなタイヤパラメータを測定するタイヤ圧監視システム(TPMS)によって監視される。TPMSタイヤ装備システムからのデータは、測定されたタイヤパラメータに基づいてタイヤの状態を確認したり、低いタイヤ圧又は漏れのような補修的なメンテナンスを必要とする状況をドライバに警告したりするために利用される。各タイヤ内のセンサは、タイヤ製造のプレキュアの段階で備えられるか、タイヤのポストキュア組立の段階で備えられる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

タイヤ摩耗状態のような別の要素が、車両の動作及び安全性のために、重要な検討事項である。したがって、タイヤ摩耗状態を測定し、圧力及び温度のような測定されたタイヤパラメータと共同し、制動及び安全制御システムのような車両システムに摩耗状態を伝えることがさらに望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の一態様によれば、タイヤ磨耗状態推定システムは、車両のタイヤに取り付けられ、タイヤ膨張圧を測定し、タイヤ膨張圧データを生成するタイヤ圧測定装置と、タイヤねじりモード(Tire Torsional Mode)の振動数の測定をし、タイヤねじりモード振動数データを生成するタイヤねじりモード測定手段と、タイヤ固有の識別データを利用してタイヤ固有の振動数モード係数を生成するタイヤ識別手段と、を含む。タイヤ磨耗の推定は、タイヤ膨張圧データと、ねじりモード振動数データと、タイヤ固有の振動数モード係数とに基づいて成される。

【0005】

別の態様では、タイヤに実装された圧力測定装置は、タイヤキャビティ圧を圧力センサによって測定し、タイヤキャビティ圧の測定からタイヤ膨張圧データを伝えるように動作する。タイヤ固有の識別データは、これに限定されるわけではないが、タイヤに実装された圧力測定装置のような、タイヤに基づくデータ記憶部に記憶され、当該データ記憶部からアクセス可能である。

【0006】

本発明の別の態様によれば、タイヤ固有のねじりモード係数は、ホイールスピードシグナル、又はハブに実装された加速度計若しくはタイヤクラウンに実装された加速度計から得られる縦方向の加速度シグナルから生成される。

【0007】

別の態様におけるタイヤ磨耗状態推定システムは、タイヤ磨耗状態とタイヤねじりモード振動数との間の相関モデルを利用し、この相関モデルは、タイヤの摩耗状態とタイヤ膨張圧データとタイヤねじりモードの振動数の依存性をとらえる多項式モデルに基づいた再帰的最小二乗アルゴリズムを採用する。

【0008】

定義

「ANN」又は「人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network)」は、学習フェーズ中にネットワークを介して流れる外部情報又は内部情報に基づきその構造を変える非線形の統計データモデリングに最適化されたツールである。ANNニューラルネットワークは、入力と出力の間の複雑な関係をモデル化するため、又はデータ内のパターンを発見するために利用される非線形の統計データモデリングツールである。

【0009】

タイヤの「アスペクト比」は、その断面幅(SW)に対する断面高さ(SH)の比を、百分率で表示するため100%を乗じたものを意味する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 0 】

「非対称トレッド」は、タイヤの中心面すなわち赤道面 E P に対して対称ではないトレッドパターンを有するトレッドを意味する。

## 【 0 0 1 1 】

「軸方向」は、タイヤの回転軸に平行な線又は方向を意味する。

## 【 0 0 1 2 】

「CANバス」は、コントローラエリアネットワークの略語である。

## 【 0 0 1 3 】

「チェーファ」は、リムとの接触によってコードプライが摩耗したり切れたりしないように保護し、リム上方の湾曲を分散するために、タイヤビードの外側の周囲に配置される細長い細片を意味する。

10

## 【 0 0 1 4 】

「周方向」は、軸方向に対して直交し、環状のトレッドの表面を周って延びる線又は方向を意味する。

## 【 0 0 1 5 】

「赤道中心面 ( C P ) 」は、トレッドの中心を通り、タイヤの回転軸に直交する平面を意味する。

## 【 0 0 1 6 】

「フットプリント」は、タイヤが回転又は転がっているときに、タイヤトレッドによって形成される、平坦な表面との接地面、すなわち平坦な表面と接触する領域を意味する。

20

## 【 0 0 1 7 】

「グループ」は、タイヤウォールのまわりに周方向又は横方向に延びた、タイヤウォールにおける長い空隙領域を意味する。「グループ幅」は、グループの長さにならってとった平均幅に等しい。グループは、記述されているような空気チューブを収容するサイズである。

## 【 0 0 1 8 】

「インボード側」は、タイヤがホイールに取り付けられてホイールが車両に取り付けられたときに、タイヤの、車両に最も近くなる側を意味する。

## 【 0 0 1 9 】

「カルマンフィルター」は、いくつかの推定された条件が満たされたときに、推定された誤差の共分散 ( Covariance ) を最小化するという意味で最適化される、予測子修正子型 ( Predictor-Corrector Type ) の推定量を導入する一組の数学的方程式である。

30

## 【 0 0 2 0 】

「横方向」は、軸方向を意味する。

## 【 0 0 2 1 】

「横方向縁部」は、標準荷重の下でタイヤが膨らんだ状態で測定した、軸方向の最も外側のトレッドの接地面すなわちフットプリントに接する線であって、赤道中心面に平行な線を意味する。

## 【 0 0 2 2 】

「ルーエンバーガー観測器 ( Luenberger Observer ) 」は、状態観測器 ( State Observer ) 又は推定モデルである。「状態観測器」は、与えられた現実のシステムの内部状態を、現実のシステムの入力及び出力の測定から推定するシステムである。

40

## 【 0 0 2 3 】

「 M S E 」は、測定されたシグナルと、カルマンフィルターが最小化する推定されたシグナルと、の平均二乗誤差 ( Mean Square Error ) の略語である。

## 【 0 0 2 4 】

「正味接触面積」は、トレッドの全周にわたって両方の横方向縁部間で地面に接触するトレッド要素の合計面積を、両方の横方向縁部間のトレッド全体の総面積で割ったものを意味する。

## 【 0 0 2 5 】

50

「非方向性トレッド」は、前進するための好ましい方向を持たないトレッドを意味しており、特定のホイールポジションで車両に配置されることを要さず、トレッドパターンが移動の好ましい方向に揃えられることを保証するように配置されることを要さない。これに対し、方向性トレッドパターンは、特定のホイールポジションを要求し、移動の好ましい方向を有する。

【0026】

「アウトボード側」は、タイヤがホイールに取り付けられてホイールが車両に取り付けられたときに、タイヤの、車両から最も遠くなる側を意味する。

【0027】

「蠕動」は、管状の通路に沿って、空気のような収容物質を推進させる波状の収縮による動作を意味する。

10

【0028】

「圧電フィルムセンサ」は、圧力、加速度、歪み又は力を電荷に変換することによってこれらの量を測定するために、フィルム体の曲げによって作動する圧電効果を利用したフィルム体形状の装置である。

【0029】

「PSD」は、パワースペクトル密度（FFT（高速フーリエ変換）と同義の専門用語）である。

【0030】

「半径方向」は、半径方向にタイヤの回転軸に向かう、又はタイヤの回転軸から遠ざかる方向を意味する。

20

【0031】

「リップ」は、少なくとも1つの周方向グループと、第2の周方向グループ又は横方向縁部と、によって画定された、トレッド上にある周方向に延びるゴム細片であって、全深さグループによって横方向に分割されていない細片を意味する。

【0032】

「サイブ」は、トレッド表面を細分して摩擦力を向上させる、タイヤのトレッド要素に彫り込まれた小スロットを意味しており、サイブは、タイヤのフットプリントで開いたままの状態になっているグループとは対照的に、概して幅が狭く、タイヤのフットプリントで閉じた状態になっている。

30

【0033】

「トレッド要素」又は「摩擦要素」は、両隣にグループを有する形状によって画定されるリップ又はブロック要素を意味する。

【0034】

「トレッドアーク幅」は、トレッドの両方の横方向縁部間で測定したときのトレッドの円弧長を意味する。

以下、本発明は、添付の図面を参照しつつ例示的に説明されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】図1は、トレッド領域に組み込まれたタイヤ圧監視システムを有するタイヤの斜視図である。

40

【図2】図2は、抽出するねじりモード成分に関連するグラフ領域を示すグラフであって、タイヤの振幅対振動数を示す振動数グラフである。

【図3A】図3Aは、32psiで、3つのタイヤ負荷レベルに対し、異なる負荷での第2ねじりモードの振動数を示す振動数対振幅のグラフである。

【図3B】図3Bは、36psiで、3つのタイヤ負荷におけるねじりモードを示す振動数対振幅のグラフである。

【図3C】図3Cは、40psiのタイヤ膨張での3つのタイヤ負荷におけるねじりモードを示す振動数対振幅のグラフである。

【図4A】図4Aは、3つの異なるタイヤ膨張圧のレベルでの3mmのサイズのタイヤク

50

リートに対する振動数対振幅の概略的なグラフである。

【図4B】図4Bは、60kph(km/h)のタイヤ設定、1300ポンドのタイヤ負荷、3つの異なる圧力レベルで、5mmのサイズのタイヤクリートに対する振動数対振幅の概略的なグラフである。

【図5】図5は、1300ポンドで、フルトレッド、ハーフトレッド及びトレッドなしの条件のタイヤに対する振動数対振幅と第2ねじりモードの領域とを示すグラフであって、これら3つのタイヤトレッド条件で得られたタイヤねじりモードの振動数に対する実験結果を示すグラフの集合である。

【図6A】図6Aは、32psiで、フルトレッド、ハーフトレッド及びトレッドなしの条件のタイヤに対する、タイヤねじりモードの振動数対振幅を比較したグラフであって、この膨張圧での3つのタイヤ条件に対するタイヤねじりモードの感度を表形式で示している。

【図6B】図6Bは、36psiで、フルトレッド、ハーフトレッド及びトレッドなしの条件のタイヤに対する、タイヤねじりモードの振動数対振幅を比較したグラフであって、この膨張圧での3つのタイヤ条件に対するタイヤねじりモードの感度を表形式で示している。

【図6C】図6Cは、40psiで、フルトレッド、ハーフトレッド及びトレッドなしの条件のタイヤに対する、タイヤねじりモードの振動数対振幅を比較したグラフであって、この膨張圧での3つのタイヤ条件に対するタイヤねじりモードの感度を表形式で示している。

【図7】図7は、車両のホイールスピードシグナル又は縦方向の加速度シグナルと、タイヤ膨張圧と、タイヤねじりモードの振動数及びそれに基づきタイヤ摩耗状態の推定を得るためのタイヤ識別と、を利用するタイヤ摩耗推定システムのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

図1を参照すると、タイヤトレッド摩耗推定システム10が、タイヤねじり振動シグナルのスペクトル解析に基づいて示されている。そのようなシステムは、タイヤ交換のときの車両オーナーへのアドバイスに有用であり、タイヤトレッドの摩耗の状況とロードコンディションのような他の要素との間の相互関係に関する情報をドライバに提供するために利用することができる。一般的に、タイヤの特性は、タイヤの摩耗の関数として変化する。

【0037】

車両22に取り付けられたタイヤ(代表的な1つ)12は、時間をかけて摩耗する、地面に係合するトレッド領域14を含む。タイヤ12は、タイヤのインナーライナー16によってタイヤキャビティ18を取り囲んでいる。タイヤ圧監視システムモジュール(TPM)20は、タイヤのインナーライナー16に取り付けられていてよい。モジュール20は、タイヤ固有の構造データを見極めることができるタイヤID情報を記憶している。

【0038】

このシステム10は、車両22のCANバス(コントローラエリアネットワーク)24で入手できるシグナル26を利用するタイヤ摩耗状態推定アルゴリズムを用いている。このシグナルは、ABS(アンチロックブレーキシステム)のための入力として利用されるホイールスピードシグナル、及び/又はアクティブサスペンションマネジメントシステムを備えた車両でのホイールハブの縦方向の加速度シグナル、を含んでいてよい。ホイールスピードシグナル又は縦方向の加速度シグナルから、モードの抽出28が成され、ねじりモードを抽出する。さらに、ホイールハブ加速度シグナルから、抽出するタイヤの垂直方向のモードを導出することができ、抽出されたタイヤの垂直方向のモードに基づきタイヤ磨耗状態が推定される。2013年6月14日に出願された同時係属中の米国特許出願番号13/917691は、垂直方向の振動のシグナルのスペクトル解析に基づくタイヤの摩耗推定システムを開示しており、参照によって本明細書に取り込まれる。関連する発明は、抽出されたねじりモードと、それに関する関連するタイヤ磨耗の推定と、に役立つ

10

20

30

40

50

。

#### 【0039】

図1は、タイヤ12における、トレッド領域14とは反対のクラウン搭載位置にあるTPMSモジュール20を示している。本明細書で使用される学術用語「TPMS+」は、その内部に構築された無線データ通信能力を有するタイヤ圧監視システムを意味する。したがって、TPMSモジュールは、キャピティ18内のタイヤ圧を監視し、圧力データを処理用の遠隔の受信機へ送る。この受信機（不図示）は、車体及び/又は遠隔に配置されていてよい。

#### 【0040】

それから、引き続き図7を参照すると、スペクトル解析法28を利用することによるタイヤねじりモードをタイヤ摩耗状態（タイヤトレッド14の深さレベル）の影響に関連付けるため、タイヤねじりモードの振動数を抽出する。相関モデル36（図6Aから図6C参照）が適用され、タイヤ摩耗状態の推定は与えられて測定されたタイヤ膨張圧に対するタイヤねじりモードの振動数に基づく。タイヤ固有のモデルがタイヤモデルの識別番号によって展開され、タイヤ圧の値が生成されて参照用に記憶される。いったん、TPMSに役立つタイヤ識別情報がタイヤから得られると、抽出された第2ねじりモードの振動数とTPMSで測定されたタイヤ圧とを利用し、正しい相関モデルが適用される。タイヤ固有の相関モデルの適用は、タイヤ摩耗レベルの的確な推定を与えるであろう。図7から、この相関モデルは、タイヤの自由回転の状況を検知するためのスロットル位置を示すデータ38をさらに組み込んでいるということがさらに分かるであろう。

#### 【0041】

ここで、ねじりモードの振動数とタイヤ摩耗状態との関係を利用する根拠が説明される。図2を参照すると、タイヤの振幅対振動数[Hz]のグラフは、互いに識別された、長いサスペンション(Long Suspension)のピークと、同位相回転のピークと、逆位相回転のピークと、を示している。このグラフの、点線で表された領域40は、対象とした負荷の推定に関係のあるモード、すなわち第2ねじりモードを表している。振動するタイヤのこのモードは、タイヤ磨耗状態（トレッド14の深さレベル）にとって有用であり、タイヤ磨耗状態は、タイヤ磨耗状態とタイヤねじりモードとの間の相関モデルの展開によるスペクトル解析方法の利用により解析することができる。

#### 【0042】

ねじり（回転）振動モードは以下に要約される。本明細書で使用される「ベルト」は、タイヤの構造的ベルト補強材のことである。

#### 【0043】

第1ねじりモード：同位相モードで、30～40Hzにあり、リムが回転振動を有しており、ベルトの回転がそれと同位相の振動を有する。

#### 【0044】

第2ねじりモード：リム及びベルトの回転速度が、反対の位相、逆位相モードにある（80Hz付近）。

#### 【0045】

ここで扱われる実験的テストの目的のため、サイズ255/45ZR19のグッドイヤーイーグルF1非対称タイヤ(Goodyear Eagle F1 Asymmetric Tire)が使用された。タイヤのトレッドの深さは、12kgのタイヤ重量を表す「新品」と、11kgのタイヤ重量を表す「半分摩耗」と、9.9kgのタイヤ重量を表す「完全に摩耗」と、に分類される。トレッドの深さが2.5mm減少するごとに、タイヤ重量が約10%低下する。

#### 【0046】

このテストは、固定されたスピンドル機上でクリート(Cleat)付きホイールを利用したタイヤに関して行われた。産業で通常使用される固定されたスピンドル機は、タイヤの負荷及び回転スピードに関してよい制御を与える。膨張圧が各テストの前に手動で変えられ、滑らない深さ(Non-Skid Depth)の互いに異なるレベルを持ったタイヤを利用することによって摩耗依存性が捉えられる。クリートの導入は、タイヤにおいて垂直方向のねじ

10

20

30

40

50



り励起を導くことが知られており、したがって、関連するテスト装置は関連する摩耗推定の方法論の評価に関するタイヤの励起を導入する。

【0047】

図3Aでは、3mmと5mmのクリート（滑り止め）が使われ、32psiの膨張で、700ポンドと1000ポンドと1300ポンドの負荷に対してねじりモードFFT-Fxを測定した。これらと同じサイズの2つのクリートに対し、図3Bでは、36psiの膨張で、上記と同じタイヤ負荷に対するグラフが示されている。図3Cのグラフでは、40psiの膨張の測定結果が示されている。図3A～3Cのグラフの結果は、タイヤの負荷状況の変化がシグナルの振幅に影響を与えるが、シグナルのスペクトル（モードの振動数）の変化が比較的小さい、ということを示している。

10

【0048】

3mmと5mmのサイズのクリートが、図4A及び図4Bのグラフで比較されている。タイヤ膨張依存性も、図4A及び図4Bのテスト結果で反映されているように試験された。図4Aは、32psi, 36psi, 40psiの膨張圧に関して、3mmのサイズのクリートを有するクリート付きホイール上のタイヤに対するテスト結果を示している。テストされた膨張圧での第2ねじりモードは、それぞれ、81Hz, 82.5Hz, 85Hzで発見された。この結果は、シグナルの振幅及びそのスペクトルが、タイヤ膨張の変化とともに適度に高く変化する、ということを示している。図4Bは、5mmのクリートを有するホイール上での、負荷の下でのタイヤに対するテスト結果を示している。テストされた膨張圧での第2ねじりモードは、それぞれ、81Hz, 83Hz, 85Hzで発見された。この結果は、シグナルの振幅及びそのスペクトルが、タイヤ膨張の変化とともに適度に高く変化する、ということを示している。

20

【0049】

図5は、グラフ及び表によって、60kphのスピード、1300ポンドの負荷で、3つのトレッド磨耗状態のレベルに対して第2ねじりモードの変化を示している。このねじりモードのスペクトル解析に関連するグラフの部分が示されている。この表は、3つのトレッドの条件に対する第2ねじりモードを示している。

【0050】

図6Aから図6Cでは、ねじりモードの振動数FFT-Fxの圧力依存性が、フルトレッド（Full Tread）、ハーフトレッド（Half Tread）及びトレッドの無いタイヤに対して、グラフで示されている。表に示されたねじりモードの算出値の違いにより表されているように、タイヤ磨耗状態の依存性は、最も高いねじりモードの違いを生じさせる。比較的高いタイヤ磨耗状態の依存性は、本発明に係るねじりモードの解析に基づくタイヤ磨耗状態推定アルゴリズムの展開に対する確証及び根拠を与える。さらに、このグラフは、この解析でタイヤ膨張圧が有する関係を示しており、タイヤ磨耗状態モデルへの入力として、測定されたタイヤ圧データを利用する根拠を与える。

30

【0051】

上記により、膨張圧、トレッド深さ、垂直方向の負荷及びスピード（回転速度）の、影響を及ぼす要素が、従属関係にあるということがわかる。膨張圧はタイヤの垂直方向のねじり剛性（Torsional Stiffness）に影響し、トレッド深さはトレッドの大きさ（Tread Mass）に影響し、垂直方向の負荷はタイヤ上の衝撃力に影響し、スピードは衝撃力及び剛性に影響する（遠心的硬化効果（Centrifugal Stiffening Effect））。各々の影響を与える要素のレベルが、振幅及び振動数に表れる。膨張の変化に関して、振幅及び振動数の変化は相対的に緩やかである。トレッドの深さは、振幅及び振動数に大きく影響する。垂直方向の負荷の変化の効果は、振幅に高い影響を与えるが、振動数に与える影響は小さい。一方で、スピードは、振幅に高い影響を与えるが、振動数には緩く影響を与えるのみである。

40

【0052】

この多重の依存性が、「振幅」へのアプローチを解決困難にする。しかしながら、タイヤ磨耗状態及び膨張圧に対するタイヤの第2ねじりモードの振動数の依存性は、関連する

50

効果的な方法論で「振動数」へのアプローチを可能にする。

【 0 0 5 3 】

図 7 から、タイヤねじり振動数についての情報は、以下の方法のうちの 1 つを用いて得られるということが分かる。

【 0 0 5 4 】

アプローチ 1 : ホイールスピードシグナルから

【 0 0 5 5 】

アプローチ 2 : ハブに取り付けられた加速度センサの縦方向の加速度シグナルの測定から

【 0 0 5 6 】

トレッド磨耗推定モデルのフィッティングの良好性が容認できるということが実験的に確かめられる。モデルのフィッティングは、相関係数 ( r ) = 0 . 9 8 8 を与えるフィッティングで、実験データに対して比較された。このように、このモデルの正当性が示される。多項式モデル ( 圧力に関して 2 次、トレッド深さに関して 1 次 ) が、良好なフィッティングを与えることを発見した。

【 0 0 5 7 】

図 7 に示されたタイヤに基づくフローチャートのモデルから、タイヤの磨耗状態は、タイヤの磨耗状態と膨張圧とタイヤねじりモードの振動数の依存性を捉えることによって得られる。タイヤ 1 2 の膨張圧及びタイヤ ID 情報 3 4 は、タイヤに実装された T P M S モジュール 20 から得られる。モデル係数は、タイヤの構造に特有であり、T P M S 記憶データから得られる識別証明によって確認される。与えられたタイヤ構造に対し、タイヤ磨耗状態の再帰的最小二乗法による推定が、タイヤ膨張圧と、( 正しいモデル係数を利用するための ) タイヤ ID と、タイヤねじりモードの振動数の情報と、を利用して成される。センサ及び T P M S モジュール 20 内に記憶されたデータは、圧力及びタイヤ ID 情報を得るために用いられる。車両でのタイヤねじりモードの測定は、上述したアプローチや図 7 に符号 2 6 で示すアプローチのどちらからでも得られる。ホイールに実装された加速度計、又はタイヤクラウンに実装された加速度計は、シグナルを提供するために利用することができる。

【 0 0 5 8 】

( 忘却因子 ( Forgetting Factor ) を有する ) R L S 推定アルゴリズムは、回帰ベクトル内に含まれる元のデータを利用してモデルの誤差の二乗の和を最小化するように、各サンプリングタイムで未知のパラメータを繰り返し更新する方法を提供する。以下は、タイヤ磨耗状態と膨張圧とタイヤねじりモードの振動数の依存性を捉えるモデルである。

#### フィッティングモデル

$$\text{タイヤねじりモードの振動数} = p00 + p10 \times \text{pressure} + p01 \times \text{トレッド深さ} + p20 \times \text{圧力}^2 + p11 \times \text{圧力} \times \text{トレッド深さ}$$

モデル係数 ( 9 5 % の信頼限界 ( Confidence Bound ) で ) :

$$\begin{aligned} p00 &= -35.94 \quad (-171.6, 99.72) \\ p10 &= 6.586 \quad (-0.9712, 14.14) \\ p01 &= -2.31 \quad (-5.37, 0.7512) \\ p20 &= -0.08333 \quad (-0.1881, 0.02144) \\ p11 &= 0.01786 \quad (-0.06682, 0.1025) \end{aligned}$$

上記の方程式は、以下のような標準的なパラメータ識別形式 ( Standard Parameter Identification Form ) に書き換えられる :

$$y = \mathbf{T} \cdot \mathbf{\theta}$$

ここで、

$$y = ( \text{タイヤねじりモードの振動数} - p00 - p10 \times \text{圧力} - p20 \times \text{圧力}^2 ) / ( p11 \times \text{圧力}$$

+ p01 )

= 1

=トレッド深さ ( 未知 - 推定されるもの )

である。

R L S 問題を解くための手続きは以下ようになる。

ステップ 0 : 未知のパラメータ ( 0 ) 及び共分散行列 P ( 0 ) を初期化し、忘却因子 を設定する。

ステップ 1 : システムの出力 y(t) を測定し、回帰ベクトル ( t ) を計算する。

ステップ 2 : 識別誤差 e(t) を計算する。

【数 1】

$$e(t) = y(t) - \varphi^T(t) \cdot \theta(t-1)$$

10

ステップ 3 : ゲイン ( Gain ) k(t) を計算する。

【数 2】

$$k(t) = P(t-1)\varphi(t) \left[ \lambda + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t) \right]^{-1}$$

20

ステップ 4 : 共分散行列を計算する。

【数 3】

$$P(t) = \left( 1 - k(t)\varphi^T(t) \right) \lambda^{-1} P(t-1)$$

ステップ 5 : 未知パラメータを更新する。

【数 4】

$$\theta(t) = \theta(t-1) + k(t)e(t)$$

30

ステップ 6 : 各タイムステップに対し、ステップ 1 から 5 を繰り返す。

ここで、y は出力であり、 は回帰ベクトルであり、 は未知パラメータである。回帰ベクトルの入力及び出力は、それぞれ、タイヤトレッド深さの未知パラメータを解くための ( 忘却因子を有する ) 再帰的最小二乗法によるパラメータ推定アルゴリズムにおける入力及び出力として利用される。

【 0 0 5 9 】

この関連するタイヤ磨耗の推定方法は、車両でのタイヤねじりモードの測定とタイヤ内でのタイヤねじりモードの測定とのいずれか一方、又は交差検証 ( Cross-Validation ) の目的でその両方に役に立つ。車両での測定に対し、ねじりモードは、ホイールスピードシグナルとハブに取り付けられた加速度計からの縦方向の加速度シグナル 2 6 とのいずれか一方から抽出される。ハブに実装された加速度計は、商用で利用可能であり、車両のサスペンション管理システムの一部として利用される。様々な表面で導出されたテストから、タイヤねじりモードは、すべての道の状況下で首尾よく検出されるということがわかった。テスト結果のすべてが、関連する方法論に従ってトレッド磨耗の推定の目的のためのいずれのアプローチからもねじりモードを抽出することを立証した。

40

【 0 0 6 0 】

関連するシステムの、車両でのアルゴリズムの実施は、タイヤねじりモードのタイヤ内の測定に利用することができる。車両 2 2 は、CANバス 2 4 によって、タイヤ磨耗状態推定モデル内への入力としての車両スピード、負荷及びスロットル位置を提供する。( 加

50

速度計を含む) TPMSモジュール20は、タイヤ12から、膨張圧と、タイヤIDデータと、クラウンに取り付けられた加速度計からの加速度シグナルと、を提供する。上述したように、半径方向の加速度シグナルのスペクトル解析から、タイヤねじりモードの振動数が得られ、タイヤ磨耗状態推定モデルへ入力される(図6A)。このようにして、推定されたタイヤ磨耗状態を得ることができる。

【0061】

前述の記載から、関連するトレッド磨耗推定システムがタイヤ磨耗状態を推定するための新規なアルゴリズムを利用するということがわかるであろう。タイヤ磨耗状態は、タイヤ磨耗状態と膨張圧とタイヤねじりモードの振動数の依存性をとらえる多項式モデルに基づいて定式化されたRLSアルゴリズムを用いることによって再帰的に推定される。RLSアルゴリズムに対するモデル入力は、タイヤ膨張圧と、(正しいタイヤ固有のモデル係数を利用するために必要とされる)タイヤIDと、タイヤねじりモードの振動数と、を含む。タイヤ膨張圧及びタイヤID情報は、タイヤに装着されたTPMSモジュールから利用できる。タイヤねじりモードの振動数に関する情報は、本明細書で説明されたアプローチのうちの1つを利用することによって得られる。

10

【0062】

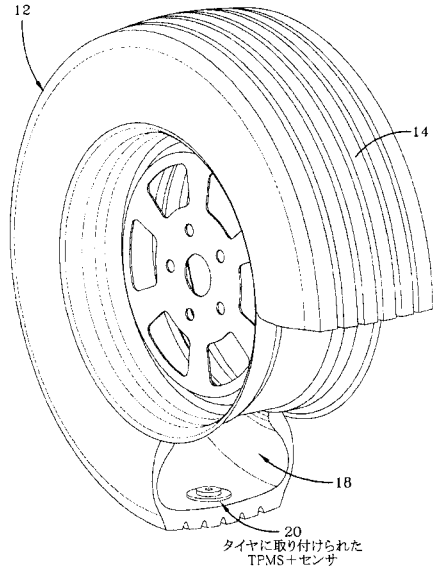
両方のアプローチを、結果の交差検証のために採用することができる。所望のトレッド磨耗推定の実現におけるリアルタイムRLSアルゴリズムの適用と、正確な推定結果とが、実験的に確かめられた。

【0063】

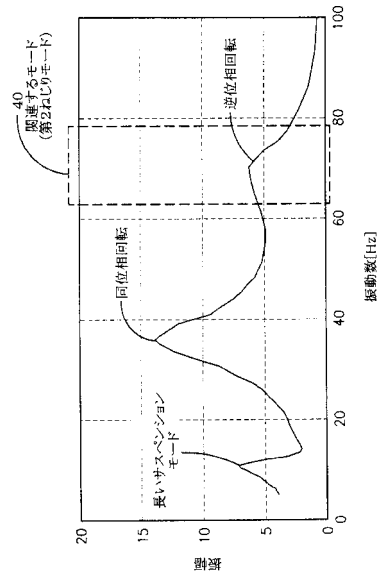
本明細書で提供された記載を考慮すると、本発明の変更が可能である。ある代表の実施形態とその詳細が関連する発明を説明するために示されている一方で、主題となる発明の範囲から逸脱することなく様々な変更及び修正をすることができるということは当業者にとって明らかであろう。したがって、以下の添付の特許請求の範囲によって規定された発明の範囲で意図された最大限の範囲内で、特定の実施形態について変更することができるということを理解すべきである。

20

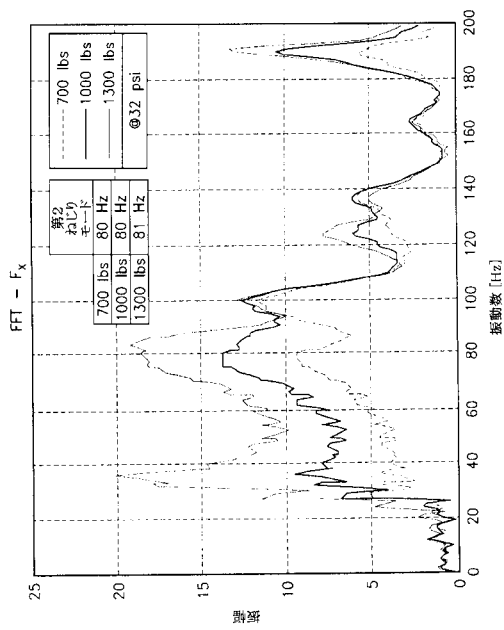
【図1】



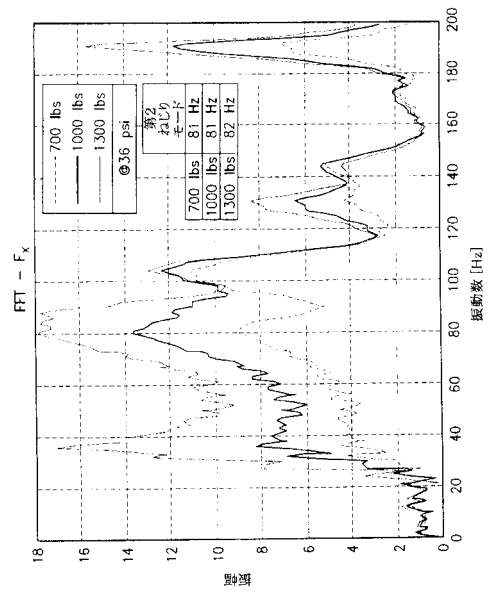
【図2】



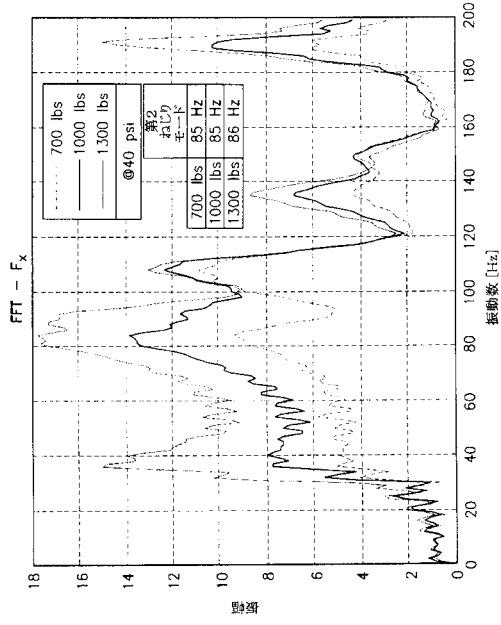
【図3A】



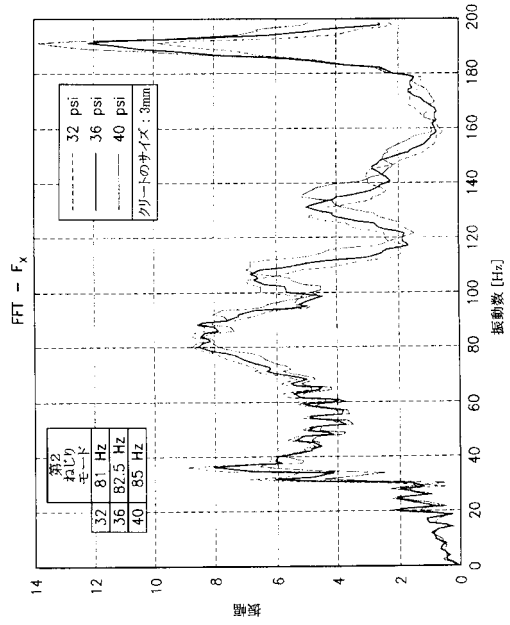
【図3B】



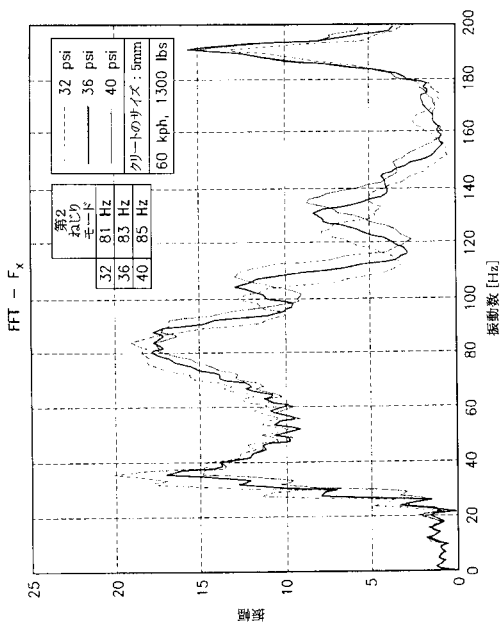
【 図 3 C 】



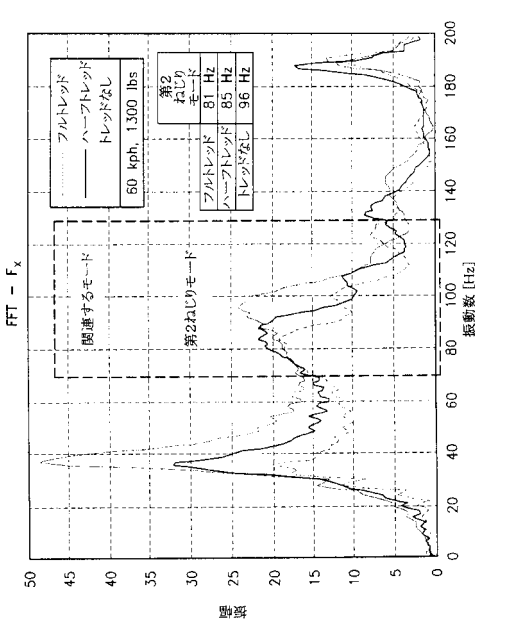
【 図 4 A 】



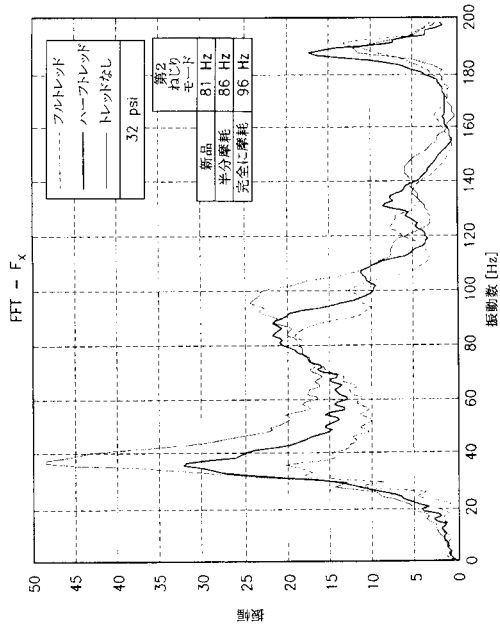
【 図 4 B 】



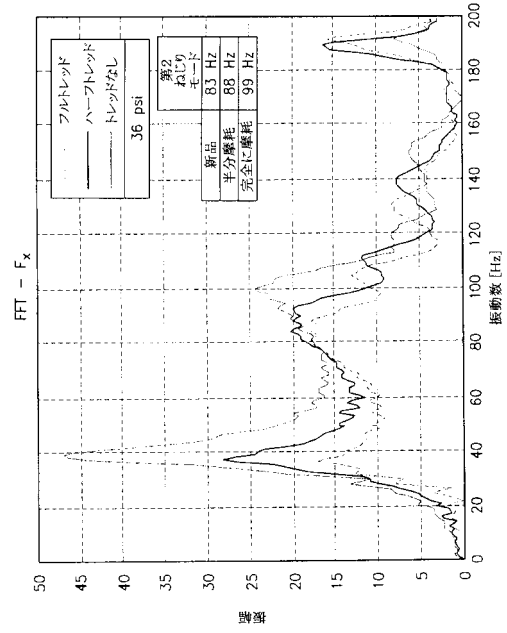
【 図 5 】



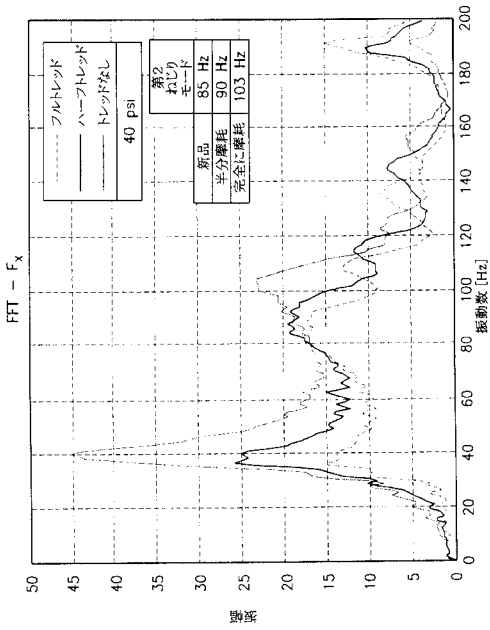
【図 6 A】



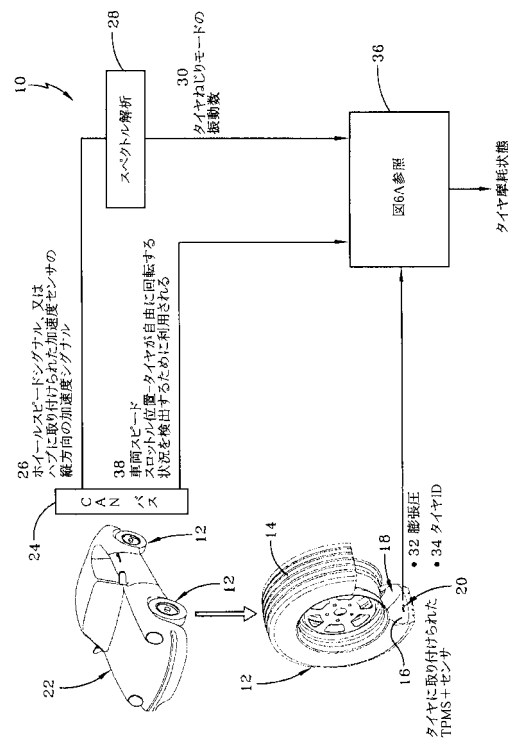
【図 6 B】



【図 6 C】



【図 7】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 カンワー ブハラト シン  
アメリカ合衆国 44224 オハイオ州 ストー ウィンドハム リッジ ドライヴ 4036  
アパートメント ナンバー 208
- (72)発明者 イウ ワー ルク  
アメリカ合衆国 44236 オハイオ州 ハドソン ウィルシャー パーク ドライヴ 542  
2
- (72)発明者 アンソニー ウィリアム パーソンズ  
ルクセンブルク国 エル - 1466 ドメルダンジュ リュ ジャン アングラン 10