

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3853344号
(P3853344)

(45) 発行日 平成18年12月6日(2006.12.6)

(24) 登録日 平成18年9月15日(2006.9.15)

(51) Int.C1.

F 1

B60C 19/00 (2006.01)B60C 19/00 Z
G06F 17/50 (2006.01) G06F 17/50 612L
G06F 17/50 680Z

請求項の数 18 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2005-47068 (P2005-47068)
 (22) 出願日 平成17年2月23日 (2005.2.23)
 (65) 公開番号 特開2006-232011 (P2006-232011A)
 (43) 公開日 平成18年9月7日 (2006.9.7)
 審査請求日 平成18年7月7日 (2006.7.7)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000006714
 横浜ゴム株式会社
 東京都港区新橋5丁目36番11号
 (74) 代理人 100080159
 弁理士 渡辺 望穂
 (74) 代理人 100090217
 弁理士 三和 晴子
 (72) 発明者 宮下 直士
 神奈川県平塚市追分2番1号 横浜ゴム株
 式会社 平塚製造所内
 (72) 発明者 加部 和幸
 神奈川県平塚市追分2番1号 横浜ゴム株
 式会社 平塚製造所内

審査官 有田 恒子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】タイヤの摩耗予測方法、タイヤの設計方法、タイヤの製造方法、タイヤの摩耗予測システム及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を求めることにより、タイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗予測方法であって、

タイヤにスリップ率を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力の、前記スリップ率に対して変化する特性曲線を取得するステップと、

前記特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、前記特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を導出するステップと、

前記タイヤ力学要素パラメータの値を前記タイヤ力学モデルに与えて、タイヤの接地面に形成される凝着域と滑り域を求め、この滑り域からタイヤ滑り量を求めるステップと、

このタイヤ滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、前記スリップ率が与えられたときのタイヤのトレッド部材の摩耗特性を予測するステップと、を有することを特徴とするタイヤの摩耗予測方法。

【請求項2】

前記スリップ率は、タイヤにスリップ角が与えられたときのスリップ率及び制駆動方向のスリップ率の少なくとも一方を含む請求項1に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項3】

前記タイヤ軸力は、前記タイヤにスリップ角が与えられて、タイヤ回転軸に対して平行な方向に作用する横力であり、

10

20

前記特性曲線を取得するステップでは、前記横力の特性曲線の他に、前記横力により生じるセルファライニングトルクのスリップ角依存性を表す特性曲線を取得する請求項2に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項4】

前記タイヤ力学モデルは、タイヤにスリップ角が与えられたときの横力を算出するとともに、セルファライニングトルクをタイヤの接地面に作用する横力によって生じる横力トルク成分と、タイヤの接地面に作用する前後力によって生じる前後力トルク成分とに分けてセルファライニングトルクを算出するモデルである請求項3に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項5】

前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する際、前記横力の特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出される横力の対応する曲線との二乗残差和と、前記セルファライニングトルクの特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出されるセルファライニングトルクの対応する曲線との二乗残差和とを、重み付け係数を用いて重み付け加算した値であって、前記重み付け係数として、前記横力および前記セルファライニングトルクのそれぞれの特性曲線の、スリップ角に依存して変化する値のばらつきの情報から求められる係数を用いた複合二乗残差和の値が、所定値以下となるように、前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する請求項3又は4に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項6】

前記タイヤに対してスリップ角及び制駆動方向のスリップ率が与えられ、前記タイヤ軸力は、前記タイヤ回転軸に対して平行な方向に作用する横力及び前記タイヤ回転軸に対して直交する方向に作用する前後力であり、
20

前記特性曲線を取得するステップでは、前記横力のスリップ角依存性の特性曲線のほかに、前記横力により生じるセルファライニングトルクのスリップ角依存性を表す特性曲線と、前記前後力のスリップ率依存性を表す特性曲線を取得する請求項2に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項7】

導出された前記タイヤ力学要素パラメータの値を用いて、所定のスリップ角及び制駆動方向のスリップ率におけるタイヤ滑り量を、前記タイヤ力学モデルに基づいて算出し、
30

算出したタイヤ滑り量を用いて、前記所定のスリップ角及び制駆動方向のスリップ率におけるタイヤのトレッド摩耗特性を予測するステップ、をさらに有する請求項6に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項8】

前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する際、前記前後力の特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出される前後力の対応する曲線との二乗残差和と、前記横力の特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出される横力の対応する曲線との二乗残差和と、前記セルファライニングトルクの特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出されるセルファライニングトルクの対応する曲線との二乗残差和とを、重み付け係数を用いて重み付け加算した値であって、前記重み付け係数として、前記横力および前記セルファライニングトルクのそれぞれの特性曲線の、スリップ角に依存して変化する値のばらつきの情報から求められる係数を用いた複合二乗残差和の値が、所定値以下となるように、前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する請求項6又は7に記載のタイヤの摩耗予測方法。
40

【請求項9】

前記特性曲線から、前記タイヤ力学モデルに基づいて、前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する際、セルファライニングトルクにより発生するタイヤの捩じり変形によって、付与されるスリップ角が修正された実効スリップ角を用いてタイヤ力学要素パラメータの値を導出する請求項3～8のいずれか1項に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項10】

導出される前記タイヤ力学要素パラメータの値は、タイヤのトレッド部材と路面との間の凝着摩擦係数およびすべり摩擦係数と接地圧分布の形状を規定する形状規定係数を含む
50

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項 1 1】

前記凝着摩擦係数、前記すべり摩擦係数および前記形状規定係数は、求められた、タイヤの剪断変形に対する剛性パラメータ、タイヤの横曲げ変形に対する剛性パラメータおよびタイヤの捩じり変形に対する剛性パラメータの少なくとも 1 つを用いて導出する請求項 10 に記載のタイヤの摩耗予測方法。

【請求項 1 2】

前記タイヤに対して制駆動方向のスリップ率が与えられ、前記タイヤ軸力は、前記タイヤ回転軸に対して直交する方向に作用する前後力であり、

前記特性曲線を取得するステップでは、前記前後力のスリップ率依存性を表す特性曲線を取得する請求項 2 に記載のタイヤの摩耗予測方法。 10

【請求項 1 3】

請求項 1 ~ 1 2 のいずれか 1 項に記載のタイヤの摩耗予測方法を用いてトレッド部材の摩耗特性を予測するステップと、

トレッド部材の摩耗特性の予測結果が目標を達成しない場合、タイヤ力学要素パラメータの値を修正するステップと、

トレッド部材の摩耗特性の予測結果が目標を達成する場合、設定されたタイヤ力学要素パラメータの値をタイヤ設計仕様特性として決定するステップと、を有することを特徴とするタイヤの設計方法。 20

【請求項 1 4】

修正する前記タイヤ力学要素パラメータは、前記タイヤ力学モデルにおける剛性を表す剛性パラメータを含み、前記タイヤ設計仕様特性として決定したタイヤ力学要素パラメータの値に基づいて、タイヤの構造部材の設計を行うステップを、さらに有する請求項 1 3 に記載のタイヤの設計方法。 20

【請求項 1 5】

修正する前記タイヤ力学要素パラメータは、前記タイヤ力学モデルにおける凝着摩擦係数又は滑り摩擦係数を含み、前記タイヤ設計仕様特性として決定したタイヤ力学要素パラメータの値に基づいて、タイヤのゴム部材の材料設計を行うステップを、さらに有する請求項 1 3 又は 1 4 に記載のタイヤの設計方法。 30

【請求項 1 6】

請求項 1 3 ~ 1 5 のいずれか 1 項に記載のタイヤの設計方法により定められたタイヤの構成部材又はタイヤのゴム部材を用いて、タイヤを製造することを特徴とするタイヤの製造方法。

【請求項 1 7】

タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を求めるにより、タイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗評価予測システムであって、

タイヤにスリップ率を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力の、前記スリップ率に対して変化する特性曲線を取得する手段と、

前記タイヤ軸力の特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、前記特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を導出する手段と、 40

前記タイヤ力学要素パラメータの値を前記タイヤ力学モデルに与えて、タイヤの接地面に形成される凝着域と滑り域を求め、この滑り域からタイヤ滑り量を求める手段と、

このタイヤ滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、前記スリップ率が与えられたときのタイヤのトレッド摩耗特性を予測する手段と、を有することを特徴とするタイヤの摩耗予測システム。

【請求項 1 8】

タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を求めるによりタイヤの摩耗特性を予測させるための、コンピュータが実行可能なプログラムであって、 50

タイヤにスリップ率を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力の、前記スリップ率に対して変化する特性曲線を取得し、コンピュータのメモリに記憶させる手順と、

前記メモリに記憶された前記タイヤ軸力の特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、前記特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を、前記コンピュータの演算手段に導出させる手順と、

導出された前記タイヤ力学要素パラメータの値を前記タイヤ力学モデルに与えて、タイヤの接地面に形成される凝着域と滑り域を前記演算手段に求めさせ、この滑り域からタイヤ滑り量を前記演算手段に求めさせる手順と、

このタイヤ滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、前記スリップ率が与えられたときのタイヤのトレッド摩耗特性を、前記演算手段に予測させる手順と、10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗予測方法、この方法を用いてタイヤを設計するタイヤの設計方法、この設計方法で設計されたタイヤを製造するタイヤの製造方法、前記タイヤの摩耗予測方法を行うタイヤの摩耗予測システム及びこれを実行させるプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

車両に装着されるタイヤは、路面に接触して転動するため、走行とともにトレッド部材が摩耗する消耗品である。このため、タイヤのトレッド部材は、他性能（操縦性能や振動乗心地性能）を犠牲にしない範囲で摩耗特性が良好なタイヤが望まれている。

一般に、タイヤのトレッド部材の摩耗特性、例えばトレッド部材の摩耗量は路面に大して部分的に滑るトレッド部材の滑り量と、トレッド部材におけるゴムの耐摩耗物性とによって決定される。

一般に、トレッド部材の使用条件に対する摩耗割合は、大きい順に並べるとコーナリング時、制動時、駆動時となっていることが知られている。

【0003】

ところで、摩耗割合が大きいコーナリング時には、トレッド部材の路面に対する滑り量がスリップ角によって一意的に定まるものではなく、トレッド部材の凝着摩擦係数、滑り摩擦係数のみならず、ベルト部分の構造やサイド部分の構造の影響を受けて定まる。

又、摩耗割合が比較的大きい制動時においても、トレッド部材の路面に対する滑り量は、制動時のスリップ率によって一意的に定まるものではなく、トレッド部材の凝着摩擦係数、滑り摩擦係数のみならず、ベルト部分の構造やサイド部分の構造の影響を受けて定まる。

【0004】

一方、タイヤの摩耗特性を予測する場合、トレッド部材におけるゴムの破断物性やゴムの室内ラボ試験（摩耗量測定試験）結果で評価される。室内ラボ試験として、例えば、新JIS K 6264に記されている各種試験法が用いられる。40

しかし、上述したようにタイヤにおけるトレッド部材の摩耗特性は、トレッド部材のゴム物性のみによって左右されるものではない。摩耗特性は、トレッド部材の凝着摩擦係数、滑り摩擦係数の他に、ベルト部分の構造やサイド部分の構造の影響を受けるものであり、ゴム物性の評価だけではタイヤの摩耗特性を精度よく予測することはできない。又、実車による摩耗試験を行うことで、摩耗特性を精度良く予測することはできるが、試験に時間がかかり過ぎるといった問題があった。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

20

30

40

50

そこで、本発明は、タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤの摩耗特性を予測する際、トレッド部材におけるゴム物性の評価のみならず、トレッド部材の路面に対する滑り量を用いてタイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗予測方法、この予測を用いて行うタイヤの設計方法、このタイヤの設計方法を用いて行うタイヤの製造方法、及びタイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗予測システム及びこのシステムを実行させるプログラム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】

【0006】

本発明は、タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を求ることにより、タイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗予測方法であって、10 タイヤにスリップ率を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力の、前記スリップ率に対して変化する特性曲線を取得するステップと、前記特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、前記特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を導出するステップと、前記タイヤ力学要素パラメータの値を前記タイヤ力学モデルに与えて、タイヤの接地面に形成される凝着域と滑り域を求め、この滑り域からタイヤ滑り量を求めるステップと、このタイヤ滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、前記スリップ率が与えられたときのタイヤのトレッド部材の摩耗特性を予測するステップと、を有することを特徴とするタイヤの摩耗予測方法を提供する。

【0007】

ここで、前記スリップ率は、タイヤにスリップ角が与えられたときのスリップ率及び制駆動方向のスリップ率の少なくとも一方を含むことが好ましい。20

前記タイヤ軸力は、前記タイヤにスリップ角が与えられて、タイヤ回転軸に対して平行な方向に作用する横力であり、この場合、前記特性曲線を取得するステップでは、前記横力の特性曲線の他に、前記横力により生じるセルファライニングトルクのスリップ角依存性を表す特性曲線を取得することが好ましい。

その際、前記タイヤ力学モデルは、タイヤにスリップ角が与えられたときの横力を算出するとともに、セルファライニングトルクをタイヤの接地面に作用する横力によって生じる横力トルク成分と、タイヤの接地面に作用する前後力によって生じる前後力トルク成分とに分けてセルファライニングトルクを算出するモデルであることが好ましい。30

又、前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する際、前記横力の特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出される横力の対応する曲線との二乗残差和と、前記セルファライニングトルクの特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出されるセルファライニングトルクの対応する曲線との二乗残差和とを、重み付け係数を用いて重み付け加算した値であって、前記重み付け係数として、前記横力および前記セルファライニングトルクのそれぞれの特性曲線の、スリップ角に依存して変化する値のばらつきの情報から求められる係数を用いた複合二乗残差和の値が、所定値以下となるように、前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出することが好ましい。

【0008】

又、前記タイヤに対してスリップ角及び制駆動方向のスリップ率が与えられ、前記タイヤ軸力は、前記タイヤ回転軸に対して平行な方向に作用する横力及び前記タイヤ回転軸に対して直交する方向に作用する前後力であり、前記特性曲線を取得するステップでは、前記横力のスリップ角依存性の特性曲線のほかに、前記横力により生じるセルファライニングトルクのスリップ角依存性を表す特性曲線と、前記前後力のスリップ率依存性を表す特性曲線を取得することも好ましい。40

その際、導出された前記タイヤ力学要素パラメータの値を用いて、所定のスリップ角及び制駆動方向のスリップ率におけるタイヤ滑り量を、前記タイヤ力学モデルに基づいて算出し、算出したタイヤ滑り量を用いて、前記所定のスリップ角及び制駆動方向のスリップ率におけるタイヤのトレッド摩耗特性を予測するステップ、をさらに有することが好ましい。前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する際、前記前後力の特性曲線と前記タイ50

ヤ力学モデルで算出される前後力の対応する曲線との二乗残差和と、前記横力の特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出される横力の対応する曲線との二乗残差和と、前記セルフアライニングトルクの特性曲線と前記タイヤ力学モデルで算出されるセルフアライニングトルクの対応する曲線との二乗残差和とを、重み付け係数を用いて重み付け加算した値であって、前記重み付け係数として、前記横力および前記セルフアライニングトルクのそれぞれの特性曲線の、スリップ角に依存して変化する値のばらつきの情報から求められる係数を用いた複合二乗残差和の値が、所定値以下となるように、前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出することが好ましい。

【0009】

さらに、前記特性曲線から、前記タイヤ力学モデルに基づいて、前記タイヤ力学要素パラメータの値を導出する際、セルフアライニングトルクにより発生するタイヤの捩じり変形によって、付与されるスリップ角が修正された実効スリップ角を用いてタイヤ力学要素パラメータの値を導出することが好ましい。10

【0010】

導出される前記タイヤ力学要素パラメータの値は、タイヤのトレッド部材と路面との間の凝着摩擦係数およびすべり摩擦係数と接地圧分布の形状を規定する形状規定係数を含むことが好ましい。前記凝着摩擦係数、前記すべり摩擦係数および前記形状規定係数は、予め求められた、タイヤの剪断変形に対する剛性パラメータ、タイヤの横曲げ変形に対する剛性パラメータおよびタイヤの捩じり変形に対する剛性パラメータの少なくとも1つを用いて導出することが好ましい。20

【0011】

又、前記タイヤに対して制駆動方向のスリップ率が与えられ、前記タイヤ軸力は、前記タイヤ回転軸に対して直交する方向に作用する前後力であり、前記特性曲線を取得するステップでは、前記前後力のスリップ率依存性を表す特性曲線を取得することが好ましい。

【0012】

さらに、本発明は、前記タイヤの摩耗予測方法を用いてトレッド部材の摩耗特性を予測するステップと、トレッド部材の摩耗特性の予測結果が目標を達成しない場合、タイヤ力学要素パラメータの値を修正するステップと、トレッド部材の摩耗特性の予測結果が目標を達成する場合、設定されたタイヤ力学要素パラメータの値をタイヤ設計仕様特性として決定するステップと、を有することを特徴とするタイヤの設計方法を提供する。30

【0013】

この場合、修正する前記タイヤ力学要素パラメータは、前記タイヤ力学モデルにおける剛性を表す剛性パラメータを含み、前記タイヤ設計仕様特性として決定したタイヤ力学要素パラメータの値に基づいて、タイヤの構造部材の設計を行うステップを、さらに有することが好ましい。又、修正する前記タイヤ力学要素パラメータは、前記タイヤ力学モデルにおける凝着摩擦係数又は滑り摩擦係数を含み、前記タイヤ設計仕様特性として決定したタイヤ力学要素パラメータの値に基づいて、タイヤのゴム部材の材料設計を行うステップを、さらに有することが好ましい。

【0014】

さらに、本発明は、前記タイヤの設計方法により定められたタイヤの構成部材又はタイヤのゴム部材を用いて、タイヤを製造することを特徴とするタイヤの製造方法を提供する。40

【0015】

さらに、本発明は、タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を求めるこことにより、タイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗評価予測システムであって、タイヤにスリップ率を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力の、前記スリップ率に対して変化する特性曲線を取得する手段と、前記タイヤ軸力の特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、前記特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を導出する手段と、前記タイヤ力学要素パラメータの値を前記タイヤ力学モデルに与えて、タイヤの接地面に形成され50

る凝着域と滑り域を求め、この滑り域からタイヤ滑り量を求める手段と、このタイヤ滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、前記スリップ率が与えられたときのタイヤのトレッド摩耗特性を予測する手段と、を有することを特徴とするタイヤの摩耗予測システムを提供する。

【0016】

さらに、本発明は、タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を求ることによりタイヤの摩耗特性を予測させるための、コンピュータが実行可能なプログラムであって、タイヤにスリップ率を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力の、前記スリップ率に対して変化する特性曲線を取得し、コンピュータのメモリに記憶させる手順と、前記メモリに記憶された前記タイヤ軸力の特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、前記特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を、前記コンピュータの演算手段に導出させる手順と、導出された前記タイヤ力学要素パラメータの値を前記タイヤ力学モデルに与えて、タイヤの接地面に形成される凝着域と滑り域を前記演算手段に求めさせ、この滑り域からタイヤ滑り量を前記演算手段に求めさせる手順と、このタイヤ滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、前記スリップ率が与えられたときのタイヤのトレッド摩耗特性を、前記演算手段に予測させる手順と、を有することを特徴とするプログラムを提供する。

【発明の効果】

【0017】

本発明では、タイヤにスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて算出する。導出されるタイヤ力学要素パラメータの値は、特性曲線を精度高く再現するので、タイヤ滑り量も精度高く予測することができる。このため、予測されるタイヤ滑り量を用いて精度高くタイヤ摩耗特性を評価、予測することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、添付の図面に示す実施形態に基づいて、本発明のタイヤの摩耗予測方法、タイヤの設計方法、タイヤの製造方法、タイヤの摩耗予測システム及びプログラムを詳細に説明する。

【0019】

本発明のタイヤの摩耗予測方法の下記に示す実施形態では、まず、タイヤにスリップ角を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力のスリップ角依存性を表す特性曲線と、タイヤ回転軸に作用するセルフアライニングトルクのスリップ角依存性を表す特性曲線とを、種々のスリップ率の下に取得する。これらの特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、前記特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を導出する。次に、このタイヤ力学要素パラメータの値をタイヤ力学モデルに与えて、タイヤの接地面に形成される凝着域と滑り域を求め、この滑り域からタイヤ滑り量を求める。この滑り量により、タイヤの摩耗特性を予測する。すなわち、タイヤにスリップ角と制駆動方向のスリップ率を自在に与えることにより、そのときのトレッド部材の滑り量を求め、この滑り量と、ゴム物性の情報とを用いてタイヤの摩耗特性を予測する。

なお、スリップ角を θ とすると $tan \theta$ はスリップ率であるので、本発明における「スリップ率」は制駆動方向のスリップ率の他に、スリップ角 θ としたときの $tan \theta$ も含む。

以降では、スリップ角と制駆動方向のスリップ率を区別して説明する。

このようなタイヤ滑り量を求めるタイヤ力学モデルは下記に詳述する。

【0020】

図1は、本発明のタイヤの摩耗予測方法を実施する装置1の構成図である。装置1は、各種プログラムを実行させることで車両の設計方法を行うコンピュータで構成される。

10

20

30

40

50

装置1は、前後力 F_x 、横力 F_y 、セルフアライニングトルク（以降、単にトルクという） M_z 等のタイヤ軸力・トルクのデータの入力を受けることによって後述するタイヤ力学モデルに基づいて複数のタイヤ力学要素パラメータ（以降、パラメータという）の値を導出する、あるいは、タイヤ力学モデルにおけるタイヤ力学要素パラメータの値の入力を受けることによって、タイヤ力学モデルを用いて前後力、横力およびトルク等のタイヤ軸力・トルクのデータを算出する装置である。

【0021】

装置1は、コンピュータの各部位及び各プログラムの実行を管理、制御するCPU2と、バス3を介して各種条件や演算結果を記憶するメモリ4と、各種条件や各種情報を指示入力するマウスやキーボード等の入力操作系5と、入力操作系5をバス3に接続するインターフェース6と、各種条件や情報の入力画面や各種プログラムの処理結果を表示し、プリント出力する出力装置7と、後述する各種プログラムを有し、本装置1の機能を実行するプログラム群8と、を有して構成される。

【0022】

ここでプログラム群8は、統合・管理プログラム10、タイヤ力学モデル演算プログラム12、タイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14、タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム16、滑り量算出プログラム18及び摩耗特性予測プログラム20を有する。

タイヤ力学モデル演算プログラム12は、タイヤ力学モデルを解析式で表し、タイヤ力学要素パラメータを用いて前後力、横力およびトルク等のタイヤ軸力・トルクを算出するプログラムである。

タイヤ力学モデル演算プログラム14は、与えられたタイヤ力学要素パラメータの値を用いて、所定のスリップ角及び制駆動方向のスリップ率の条件下、前後力、横力およびトルクの対応算出データ（前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' ）を処理結果として、タイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14、タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム16に返す演算部である。

【0023】

図2、図3、図4(a)～(c)、図5(a)～(d)および図6(a)～(c)はタイヤ力学モデルを説明する図である。

タイヤ力学モデルは、図2に示すように、剛体の円筒部材にサイドウォールのばね特性を表す複数のばね要素からなるサイドウォールモデルと、これらのはね要素に接続された弾性リング体からなるベルトモデルと、この弾性リング体の表面に接続されたトレッドモデルを表す弾性要素からなるトレッドモデルとを有して構成されるものである。

【0024】

タイヤ力学モデルに基づいて導出される力学要素パラメータは、以下のものが例示される。

- (a) タイヤの横方向、前後方向の剪断剛性によって定められる前後剛性・横剛性 K_t 、
- (b) 路面とタイヤ間の滑り速度0における滑り摩擦係数 μ_d 、
- (c) 路面とタイヤ間の凝着摩擦係数 μ_s 、
- (d) ベルト部材の横方向曲げ係数、
- (e) タイヤのタイヤ中心軸周りのねじり剛性の逆数であるねじりコンプライアンス($1/G_{m_z}$)、
- (f) 横力発生中の接地面の接地圧力分布を規定する係数n、
- (g) 接地圧力分布の偏向の程度を表す係数 C_q 、
- (h) 接地面におけるタイヤ中心位置の前後方向への移動の程度を示す移動係数 C_{x_c} 、
- (i) 横力発生時の実効接地長 l_e 、
- (j) 滑り摩擦係数 μ_d の転動速度依存性係数 b_v 、等である。

【0025】

ここで、前後剛性・横剛性 K_t 、横方向曲げ係数、ねじりコンプライアンス($1/G_{m_z}$)の G_{m_z} は、それぞれタイヤの剪断変形に対する剛性パラメータ、横曲げ変形に対する剛性パラメータおよびタイヤの捩じり変形に対する剛性パラメータである。また、横

10

20

30

40

50

力の発生する方向である横方向とは、タイヤ回転軸の軸線方向を意味する。したがって、タイヤが直進状態で転動する場合の横方向は転動方向に対する左右方向となって方向が一致するが、スリップ角が付いた場合の横方向はタイヤの転動方向に対してスリップ角分ずれる。前後方向とは、タイヤの接地する路面に平行であり、かつタイヤ回転軸の軸線方向に対して直交する方向をいう。また、タイヤ中心軸（図5（a）, (b) 中の軸CLをいう）は、タイヤの転動する回転軸に直交し、かつタイヤの幅方向の中心面を通る、路面に垂直な軸である。

【0026】

図3に示すように、線形パラメータおよびベルト部材の横方向曲げ係数や係数 C_q 等の非線形パラメータからなる力学要素パラメータが設定され、スリップ角、制駆動方向のスリップ率 S 、転動速度 V 、及び前後力 F_x 、横力 F_y 、トルク M_z を入力することで、図3中の式(1)～(8)によって処理された前後力、横力およびトルクの値（以降、前後力 F_x' 、横力 F_y' 、トルク M_z' とする）が算出されるように構成されている。勿論、入力された前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の値と、処理された前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' の値との誤差が所定値以下、すなわち略一致した（収束した、タイヤ力学モデルで力が釣り合い状態となった）場合にのみ、前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' の値が力の釣り合い状態を実現するタイヤの横力およびトルクの値として決定される。

なお、線形パラメータとは、式(6)～(8)において線形の形式で表されている力学要素パラメータをいい、非線形パラメータとは、式(6)～(8)において非線形の形式で表されている力学要素パラメータをいう。

【0027】

タイヤ力学要素演算プログラム12は、式(1)に示すように、入力されたトルク M_z とねじりコンプライアンス($1/G_{mz}$)とによって求められるねじり戻し角を算出し、このねじり戻し角を、付与されたスリップ角から差し引くことにより、実効スリップ角 ϵ を算出する。このように実効スリップ角 ϵ を算出するのは、トルク M_z が0より大きい場合、トルクは付与されたスリップ角を低減するようにタイヤ自身に作用し捩じり戻す作用を有するからである。したがって、トルク M_z が0より大きい場合、図4（a）に示すように、実際に付与されたスリップ角 ϵ に対して実効スリップ角 ϵ は小さくなる。

【0028】

さらに、式(2)により、前後力 F_x から接地圧分布の形状を規定する偏向係数 q を算出する。偏向係数 q とは、スリップ角 $\epsilon=0$ の直進状態の接地圧分布（図5（a）参照）が、図5（b）に示すように横力 F_y が発生して接地圧分布が進行方向前方（接地面における踏込み端）に向かって偏向した接地圧分布の形状を表すパラメータである。この接地圧分布を $p(t)$ （ t は、図5（a），(b) 中の進行方向の後方向に向かって t 軸をとった場合の接地長さで規格化した座標位置）とすると、接地圧分布 $p(t)$ の形状は、図5（b）中の式(9)で表される関数 $D_{gsp}(t; n, q)$ で規定される。

ここで、関数 $D_{gsp}(t; n, q)$ 中の係数 n は横力発生中の接地面の接地圧分布を規定するもので、図5（c）に示すように接地圧分布の踏込み端および蹴りだし端付近で角張る（曲率が大きくなる）ように接地圧分布を規定する係数である。また、図5（d）に示すように係数 q が0から1になるにしたがって接地圧分布のピーク位置は踏込み端側に移動するように設定されている。このように係数 q および係数 n は、接地圧分布の形状を規定する形状規定係数である。

【0029】

さらに、式(3)により、横力 F_y の発生時のタイヤ中心位置が踏込み端側へ移動する程度を表す値($x_c/1$)をトルク M_z と関連づけて算出する。ここで1は、接地長である。このように式(3)においてタイヤ中心位置 O の移動を定めるのは、図5（b）に示すように、トルク M_z の回転中心となるタイヤ中心位置 O が横力 F_y の発生により接地面の踏込み側に移動するためである。

【0030】

10

20

30

40

50

さらに、式(4)により、スリップ角 ϕ が大きいときに起こる接地面内の滑り摩擦と凝着摩擦との境界位置(l_h/l)を算出する。境界位置(l_h/l)は、以下のように定義される。

図6(a)～(c)に示される最大摩擦曲線は、凝着摩擦係数 μ_s に接地圧分布 $p(t)$ を乗算したものである。踏込み端で路面と接地したタイヤのトレッド部材は、蹴りだし端に移動するにつれてスリップ角 ϕ によって徐々に路面から横方向の剪断を受け、トレッド部材に横方向剪断力(凝着摩擦力)が発生する。さらに、路面の移動速度とタイヤの転動速度と差によって生じる制駆動方向のスリップ率 S によって、トレッド部材は徐々に路面から前後方向に剪断を受け、トレッド部材に前後方向剪断力(凝着摩擦力)が発生する。タイヤと路面との間に発生する剪断力は、横方向剪断力と前後方向剪断力との合力により表される。10

この剪断力の合力は、徐々に大きくなって最大摩擦曲線に達すると、路面に凝着していたタイヤトレッド部材は滑り出し、滑り摩擦係数 μ_d に接地圧分布 $p(t)$ を乗算したすべり摩擦曲線に従って滑り摩擦力が発生する。図6(a)では、境界位置(l_h/l)より踏込み端側の領域がタイヤトレッド部材が路面に凝着した凝着域となり、蹴りだし側の領域がタイヤトレッド部材が路面に対して滑る滑り域となる。境界位置(l_h/l)は、式(4)により定まる。

図6(b)は、スリップ角 ϕ が図6(a)に示すスリップ角よりも大きくなつた状態を示している。境界位置(l_h/l)は図6(a)に比べて踏込み端側に移動している。さらに、スリップ角 ϕ が大きくなると、図6(c)に示すように接地面の踏込み端の位置からすべり摩擦が発生する状態となる。20

【0031】

図6(a)～(c)からわかるように、スリップ角 ϕ によって凝着域とすべり域の割合が大きく変化する。このような凝着域およびすべり域の横方向摩擦力、すなわち横力成分をタイヤ幅方向に沿って積分することによって横力 F_y' を算出することができ、さらにタイヤ中心〇周りのモーメントを算出することによってトルク M_z' を算出することができる。

同様に、前後方向剪断力についても、凝着域および滑り域の前後方向摩擦力、すなわち前後力成分をタイヤ幅方向に沿って積分することによって前後力 F_x' を算出することができる。30

式(6)～(8)では、上述の凝着域および滑り域に分けて、実効スリップ角 ϕ_e を用いて前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' を算出する。

なお、滑り摩擦係数 μ_d は、式(5)に示すように、滑り速度依存性を有するように規定されている。

【0032】

式(6)は、2つの項(2つの前後力成分)の和によって前後力 F_x' を算出する。第1項は積分範囲が $0 \sim (l_h/l)$ の積分であって、凝着域に発生する凝着前後力成分を表す。第2項は積分範囲が $(l_h/l) \sim 1$ の積分であって滑り域に発生する滑り前後力成分を表す。

式(7)では2つの項(2つの横力成分)の和によって横力 F_y' を算出する。第1項は積分範囲が $0 \sim (l_h/l)$ の積分であって、凝着域に発生する凝着横力成分を表す。第2項は積分範囲が $(l_h/l) \sim 1$ の積分であってすべり域に発生する滑り横力成分を表す。40

【0033】

また、式(8)中、第1項は積分範囲が $0 \sim (l_h/l)$ の積分であって、凝着域に発生する凝着横力成分によって生じるトルク成分を表し、第2項は積分範囲が $(l_h/l) \sim 1$ の積分であってすべり域に発生するすべり横力成分によって生じるトルク成分を表す。なお、式(8)中では、上記2つのトルク成分の他に別のトルク成分、すなわち、第3、4項が設けられている。第3、4項は $(l_h/l) \cdot \tan \phi_e$ に比例した項であり、後述するようにタイヤの接地面がスリップ角 ϕ によって横方向に移動し、この時の移動量とタ50

イヤの前後力とによって生じるタイヤ中心O周りのトルク成分を表す。すなわち、トルク M_z' は、凝着横力によって生じるトルク成分、すべり横力によって生じるトルク成分および前後力によって生じるトルク成分の3つの成分の合計によって算出される。

【0034】

式(7)中の第1項の凝着横力成分は凝着域における横力であり、式(7)では、実効スリップ角 ϵ_e によって生じるトレッド部材の横方向変位がベルトの横曲げ変形によって緩和された状態を表すことによって凝着横力成分を算出する。

第2項のすべり横力成分はすべり域における横力であり、式(7)では、実効スリップ角 ϵ_e によって生じる接地圧分布 $p(t)$ の形状を関数 $D_{g_s p}(t; n, q)$ で表してすべり横力成分を算出する。
10

なお、本実施形態では、横剛性及び前後剛性を同じ値 K_t としたタイヤ力学モデルであるが、本発明では、トレッド部材に設けられるトレッドパターンによって横剛性及び前後剛性は異なるものとして、異なるパラメータとして設定してもよい。この場合、横剛性を K_t とし、前後剛性を K_x とした場合、式(6)中の第1項に含まれる K_t を K_x とし、式(8)中の第3項に含まれる K_t を K_x として、別々の非線形パラメータとして定めるとよい。

又、滑り域における滑り摩擦係数 μ_d についても、トレッドパターンによって横方向と前後方向で異なるパラメータとして扱ってもよい。

【0035】

図4(a)～(c)は、実効スリップ角 ϵ_e 、ベルトの変形によって生じる緩和された凝着横力成分および前後力成分とトルク成分との関係を、接地面を模式的に表して図示したものである。
20

図4(a)は、スリップ角 ϵ が付与された際、スリップ角 ϵ によって生じるトルクによってスリップ角 ϵ を減ずるようにタイヤ自身に作用し、実効スリップ角 ϵ_e となっている状態を示している。図4(b)は、この実効スリップ角 ϵ_e によって生じる横方向変位とベルトの横曲げ変形によって生じる横方向変位の関係を示している。図4(c)はタイヤの接地面が横力によって横方向に移動することによって生じる、前後力分布がトルク M_z' に寄与するメカニズムを示している。図4(c)中、 M_{z1} および M_{z2} は凝着横力成分によるトルク成分および滑り横力成分によるトルク成分を、 M_{z3} は接地面に作用する前後力によるトルク成分を示している。
30

【0036】

図7は、制駆動方向のスリップ率 S 、スリップ角 ϵ が付与されタイヤ力学モデルに基づいて前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' が算出されるまでの処理ブロック図である。図7からわかるように、本発明におけるタイヤ力学モデルは、前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' の算出の際、ベルトの横曲げ変形、接地圧分布の形状変化およびタイヤの捩じり変形がフィードバックされて式(6)～(8)において算出される。なお、前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' を算出する際に用いるベルトの横曲げ変形、接地圧分布の形状変化およびタイヤの捩じり変形には、付与される横力 F_y およびトルク M_z が用いられる。
40

【0037】

なお、タイヤ力学モデル演算部12において算出される前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' は、付与された前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z と必ずしも一致しない。しかし、後述するタイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14、タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム16において行なわれるシーケンス処理により、タイヤ力学モデルにおいて、付与される前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z と算出される前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' とが略一致する(力の釣り合い状態となる)ように、前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z が探索され、タイヤ力学モデルにおいて釣り合い状態にある前後力、横力およびトルクが算出される。

【0038】

タイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14は、制駆動方向のスリップ率 S を例えれば
50

0 ~ 1 まで変化させ、さらにスリップ角 θ を例えれば0 ~ 20度まで変化させ、接地面に凝着域と滑り域が存在する時の前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' が、与えられた特性曲線の前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z に一致するように上述の線形パラメータおよび非線形パラメータを導出する部分である。

【0039】

図8は、タイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14において行なわれる処理の流れを示している。

具体的には、図8に示すように、一定の負荷荷重において制駆動方向のスリップ率を種々変えた条件の下、スリップ角を0 ~ 20度変化させて前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の特性曲線を取得する(ステップS202)。10

次に、非線形パラメータである横方向曲げ係数 G_m 、ねじりコンプライアンス($1/G_m$)、係数n、前後剛性・横剛性と凝着摩擦係数との比 K_t/μ_s 、の比係数 C_q 、移動係数 C_{xc} 等を所定の値に初期設定する(ステップS204)。

【0040】

次に、前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の特性曲線と初期設定された非線形パラメータを用いて線形最小二乗回帰を行なう(ステップS206)。具体的には、滑り速度0における滑り摩擦係数 μ_d 、係数 b_v 、前後剛性・横剛性 K_t の線形パラメータに関する正規方程式を作成し、この正規方程式を解くことによって線形パラメータの値を算出する。すなわち、線形最小二乗回帰を行なう。ここで、正規方程式とは残差二乗和を上記線形パラメータのそれぞれで偏微分して偏微分値を0とした線形パラメータの個数分作成される線形パラメータに関する方程式である。20

こうして初期設定された非線形パラメータの値および正規方程式を用いて算出された線形パラメータの値および前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の特性曲線のデータをタイヤ力学モデル演算プログラム12に付与する。この付与によって図7のブロック図の流れに従って制駆動方向のスリップ率 S におけるスリップ角 θ における前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' が算出される。

【0041】

次に、これらの前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' の算出データと、付与されたスリップ角 θ における前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の特性曲線のデータとを用いて、下記式(10)で表される複合二乗残差和 Q_c を計算する(ステップS208)。30 この場合、式(10)中のNは付与される制駆動方向のスリップ率 S 、スリップ角の条件設定数である。また、このときの重み付け係数 g_x , g_y , g_m は、N個のスリップ角、制駆動方向のスリップ率の条件における前後力 F_x 、横力 F_y 、トルク M_z の分散から求められたものである。

【0042】

【数1】

$$Q_c = g_x \cdot \sum_{i=1}^N (F_{xi} - F_{xi}')^2 + g_y \cdot \sum_{i=1}^N (F_{yi} - F_{yi}')^2 + g_m \cdot \sum_{i=1}^N (M_{zi} - M_{zi}')^2 \quad (10)$$

【0043】

また、 g_x , g_y および g_m は、前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z のデータについてN個のスリップ角、スリップ率の条件における前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の分散を x^2 , y^2 および m^2 としたとき、下記式で表される係数であり、複合二乗残差和 Q_c を求める際に用いる重み付け係数である。40

$$g_x = 1 / x^2$$

$$g_y = 1 / y^2$$

$$g_m = 1 / m^2$$

すなわち、複合二乗残差和 Q_c は特性曲線の値のばらつきの情報である分散の逆数を重み付け係数とし、前後力、横力およびトルクのそれぞれの二乗残差和を重み付け加算したものである。

【0044】

このように、前後力 F_x の特性曲線の値とタイヤ力学モデル演算プログラム12にて算出された前後力 F_x' の値との残差二乗和に重み付け係数 g_x を乗算したものと、横力 F_y の特性曲線の値とタイヤ力学モデル演算プログラム12にて算出された横力 F_y' の値との残差二乗和に重み付け係数 g_y を乗算したものと、トルク M_z の特性曲線の値とタイヤ力学モデル演算プログラム12にて算出されたトルク M_z' の値との残差二乗和に重み付け係数 g_m を乗算したものとを加算することによって複合二乗残差和を計算する。ここで、複合二乗残差和を用いるのは、上述の場合と同様に、非線形パラメータの算出において複数のスリップ角、スリップ率の条件における前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' を前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z のそれぞれに同時に一致させるためである。

10

複合二乗残差和は、所定値以下となって収束しているか否かを判別する（ステップS210）。

収束していないと判別すると、ステップS204で初期設定された非線形パラメータの調整を行う（ステップS212）。この非線形パラメータの調整は、例えばNewton-Raphson法に従って行なわれる。

【0045】

この非線形パラメータはステップS210において収束すると判別されるまで調整されるが、この調整が行なわれる度に、線形パラメータに関する線形最小二乗回帰（ステップS206）および複合二乗残差和の計算（ステップS208）を行なって、上記式（10）による複合残差二乗和を求める。そして、複合二乗残差和が所定値以下になると、非線形パラメータの調整が行なわれる。複合二乗残差和が所定値以下になると、線形最小二乗回帰で算出された各非線形パラメータを決定し（ステップS214）、これらの力学要素パラメータをメモリ4に記憶する。

20

以上が、タイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14の行なう、タイヤ力学モデルを用いた制駆動方向のスリップ率 S 、スリップ角 θ における線形パラメータおよび非線形パラメータの導出の流れである。

【0046】

タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム16は、所定の負荷荷重における、上記タイヤ力学モデルにおけるタイヤ力学要素パラメータである線形パラメータおよび非線形パラメータを用いて、所定の制駆動方向のスリップ率及び所定のスリップ角におけるタイヤ軸力・トルクデータを算出する部分である。例えば、制駆動方向のスリップ率 S を一定として、スリップ角 θ を $0 \sim 20$ 度まで変化させたときの特性曲線を求めたり、スリップ角 θ

30

を一定として、制駆動方向のスリップ率 S を $0 \sim 1$ まで変化させたときの特性曲線を求めたり、また、スリップ角 θ を一定にして、縦軸を横力、横軸を前後力としたときの摩擦橈円を求めたりする。

【0047】

図9は、タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム16において行なわれる処理の流れの一例を示している。この例は、前後力、横力およびトルクのスリップ角 θ の依存性を表す特性曲線を算出する例である。

40

タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム16は、まず、導出された線形パラメータおよび非線形パラメータをメモリ4から読み出して設定する（ステップS400）。

さらに、負荷荷重 F_z における前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z を初期設定する（ステップS402）。

この後、スリップ角依存性を表す特性曲線を算出する場合、設定されたスリップ角 $\theta = 0$ とともに線形パラメータおよび非線形パラメータおよび初期設定された前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z をタイヤ力学モデル演算プログラム12に付与する。タイヤ力学モデル演算プログラム12では、付与された線形パラメータおよび非線形パラメータと、初期設定された前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z が用いられて式（6）～（8）に従って前後力 F_x' 、横力 F_y' 、トルク M_z' が算出される（ステップS404）。

50

【0048】

こうして算出された前後力 F_x' 、横力 F_y' 、トルク M_z' はタイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム 16 に返される。タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム 16 は、タイヤ力学モデル演算プログラム 12 に付与した前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の設定値と算出された前後力 F_x' 、横力 F_y' 、トルク M_z' の計算値との複合二乗残差和を式(10)に従って算出する(ステップ S406)。

次に、算出された複合二乗残差和が所定値以下となって収束しているか否かを判別する(ステップ S408)。

収束していないと判別すると、先に設定された前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の設定値を調整する(ステップ S410)。この調整された前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z と線形パラメータおよび非線形パラメータとが再度タイヤ力学モデル演算プログラム 12 に付与される。10

こうして、複合二乗残差和が所定値以下となって収束するまで、前後力 F_x 、横力 F_y およびトルク M_z の設定値を調整する。この設定値の調整は、例えば上述したNewton-Raphson法に従って行なわれる。こうして、前後力 F_x' 、横力 F_y' 、トルク M_z' を決定する(ステップ S412)。

【0049】

次に、スリップ角 δ が所定のスリップ角以下であるか否かを判別する(ステップ S416)。

スリップ角 δ が所定のスリップ角以下であると判別した場合、スリップ角 δ の条件が変更される($\delta + \Delta\delta$)(ステップ S414)。そして、変更されたスリップ角 δ における前後力 F_x 、横力 F_y 、トルク M_z の初期値が設定され(ステップ S402)、前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' が算出され(ステップ S404)、複合二乗残差和が算出され(ステップ S406)、この複合二乗残差和の収束が判別される(ステップ S408)。20

こうして、スリップ角 δ が所定スリップ角となるまで繰り返し変更される(ステップ S416)。このスリップ角の変更の度に前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' を算出し、収束する前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' を決定する。決定された前後力 F_x' 、横力 F_y' およびトルク M_z' はメモリ 4 に記憶される。

このようにして、スリップ角 δ に依存する前後力、横力およびトルクの特性曲線を求める。30

【0050】

滑り量算出プログラム 18 は、タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム 16 において、収束した前後力、横力およびトルクが算出されるたびに、このときの式(4)中の $1 \cdot [S^2 + \{ \tan(\theta_e) - (\cdot I) \cdot F_y \cdot (1 - l_h / l) \}^2]^{(1/2)}$ を算出し、この算出結果をタイヤの滑り量とする部分である。

図 10 に示すように、凝着域と滑り域との境界位置(l_h / l)における変形量である $1 \cdot [S^2 + \{ \tan(\theta_e) - (\cdot I) \cdot F_y \cdot (1 - l_h / l) \}^2]^{(1/2)}$ がタイヤ滑り量となる。算出されたタイヤ滑り量はメモリ 4 に記憶される。

【0051】

摩耗特性予測プログラム 20 は、滑り量算出プログラム 18 で算出され、メモリ 4 に記憶されたタイヤの滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、所定の横力が発生時のタイヤのトレッド部材の摩耗特性を予測する部分である。40

トレッドゴム部材の摩耗特性は、予め新 J I S K 6 2 6 4 で規定される試験法にて求められるゴム部材の物性データをデータベースとして保有しており、この物性データと所定の横力発生時のタイヤの滑り量とを乗算した結果をタイヤの摩耗特性として予測する部分である。

ゴム部材の物性データとして、例えばリング状試験片を D I N 摩耗試験法によって摩耗量を測定して得られる単位走行距離当たりの摩耗量を求める。このゴム物性としての摩耗量は、予め基準ゴム部材を定め、この基準ゴム部材の摩耗量を基準として指数として表す50

こともできる。

ゴム部材のゴム物性データとして、この他に破断伸び E_b や破断強度 T_b や破断エネルギー $- E_b \times T_b$ を用いることもできる。この場合、基準ゴム部材の値を基準値として指数を用いることが好ましい。

このようにして算出された摩耗特性の予測結果としての数値或いは指数が、出力装置 7 に画面表示、或いはプリント出力される。

装置 1 は、以上のように構成される。

【0052】

装置 1 は、タイヤに制駆動方向のスリップ率が与えられて接地面に滑り域を形成するときのタイヤ滑り量を求ることによりタイヤの摩耗特性を予測するタイヤの摩耗予測を行わせるための装置として機能するが、このような装置は、コンピュータに所定の機能を作成させる下記プログラムを実行することによって構成される。10

このようなプログラムは、タイヤに制駆動方向のスリップ率を与えたときのタイヤ回転軸に作用するタイヤ軸力及びセルファーライニングトルクの、制駆動方向のスリップ率に対して変化する特性曲線を取得し、コンピュータのメモリ 4 に記憶させる手順と、20

メモリ 4 に記憶された特性曲線から、複数のタイヤ力学要素パラメータを用いて構成されるタイヤ力学モデルに基づいて、この特性曲線を定めるタイヤ力学要素パラメータの値を、コンピュータの演算ユニットに導出させる手順と、20

導出されたタイヤ力学要素パラメータの値をタイヤ力学モデルに与えて、タイヤと接地面の間に形成される凝着域と滑り域を前記演算手段に求めさせ、この滑り域からタイヤ滑り量をコンピュータの演算ユニットに求めさせる手順と、20

このタイヤ滑り量を、トレッドゴム部材の摩耗特性データと共に用いて、制駆動方向のスリップ率が与えられたときのタイヤのトレッド摩耗特性を、コンピュータの演算ユニットに評価せしめる手順と、を有するとよい。20

【0053】

図 11 は、このような装置 1 を用いて行われる本発明のタイヤの摩耗特性予測方法を示すフローチャートである。

まず、タイヤ力学要素パラメータ導出プログラム 8 では、メモリ 4 に記憶されている特性曲線の計測データが呼び出されて、制駆動方向のスリップ率を種々変えた条件の下、スリップ角を 0 ~ 20 度に変化させたときの特性曲線が取得される（ステップ S300）。特性曲線は、例えば FLAT TRAC-I, FLAT TRAC-II, FLAT TRAC-III (MITSUBISHI TIRE & RUBBER CO., LTD. 社製商品名) 等の室内試験機を用いて計測データが取得される。30

【0054】

次に、タイヤ力学モデル演算プログラム 12 が実行され、取得した特性曲線の値を用いて、タイヤ力学モデルで定義されている線形パラメータ及び非線形パラメータを含むタイヤ力学要素パラメータの値が導出される（ステップ S302）。

次に、導出されたタイヤ力学要素パラメータを用いて、タイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム 16 において、所定の制駆動方向のスリップ率 S における特性曲線が算出されるとともに、所定の横力発生時のタイヤ滑り量が算出される（ステップ S304）。タイヤ滑り量は、境界位置 (l_h / l) における変形量である $l \cdot [S^2 + \{ \tan(\theta_e) - (1 - F_y \cdot (1 - l_h / l))^2 \}]^{(1/2)}$ である。40

【0055】

次に、算出されたタイヤ滑り量と、タイヤの接地幅と、メモリ 4 に記憶されているトレッド部材のゴム物性データをデータベースから呼び出して、ゴム物性データとを乗算して、摩耗特性が予測される（ステップ S306）。

ゴム物性データは、例えばゴム部材の室内摩耗試験結果のデータであり、又破断エネルギー ($E_b \times T_b$) が所定の基準ゴム部材を基準とした指標で表したものである。

こうして、タイヤ滑り量、ゴム物性データおよび接地幅を乗算した結果が出力装置 7 に出力される。

【0056】

このようなタイヤの摩耗予測は、タイヤ設計に用いることができる。

図12は、このようなタイヤ設計の流れを示すフローチャートである。

まず、タイヤ力学要素パラメータの値が設定される(ステップS320)。

この設定されたタイヤ力学要素パラメータの値を用いてタイヤ軸力・トルクデータ算出プログラム16において、所定の制駆動方向のスリップ率 S 、スリップ角における、タイヤ軸力、トルクの値が算出されるとともに、所定のタイヤ軸力(横力)発生時のタイヤ滑り量が算出される(ステップS322)。このタイヤ滑り量を用いて、上述したステップS306のように摩耗特性の予測が行われる(ステップS324)。予測された摩耗特性が予め定められた目標を達成するか、否かが判別される(ステップS326)。判別の結果、目標を達成しない場合、タイヤ力学要素パラメータが修正される(ステップS328)。修正されたタイヤ力学要素パラメータは、ステップS322に戻され、再度タイヤ滑り量が算出される。こうして、ステップS326において、目標を達成するまで繰り返しタイヤ力学要素パラメータが修正される。修正の方法は特に限定されないが、例えば予め定められた変化幅を用いて段階的に修正する。

最後に、目標を達成するタイヤ力学要素パラメータの値は、タイヤ設計仕様特性として決定され(ステップS330)、この特性に基づいて、タイヤ形状を含めたタイヤの構造設計及びゴム部材の配合設計を含めた材料設計が行われる。

こうして設計されたタイヤは、タイヤ設計仕様特性を満足するように製造される。

【0057】

本発明のタイヤ摩耗予測方法について、タイヤに制駆動方向のスリップ率、スリップ角を与えたときの特性曲線から、所定の制駆動方向のスリップ率、スリップ角におけるタイヤの摩耗特性を予測する方法を説明したが、本発明においては、制駆動方向のスリップ率を0として、スリップ角依存性の特性曲線からコーナリング時のタイヤの摩耗特性を予測することもできる。

図13は、このときのタイヤ力学モデルを説明する図である。

図13に示すタイヤ力学モデルを表す式(11)～(16)は、図3に示す力学モデルのうち、式(1)～(8)に対して制駆動方向のスリップ率 $S = 0$ とすることにより得られる式と対比して、式(2)，(3)中の F_x を M_z としたことと、式(8)中の第3、第4項が異なること以外は同じである。

ここで、図13中の式(16)における A_x は、接地面内の前後剛性 A_x であり、接地面が横方向に移動することによりトルク M_z' に影響を与える線形パラメータである。

また、図14は、スリップ角 ϕ が付与されタイヤ力学モデルに基づいて横力 F_y' およびトルク M_z' が算出されるまでの処理ブロック図である。図14からわかるように、タイヤ力学モデルは、横力 F_y' およびトルク M_z' の算出の際、ベルトの横曲げ変形、接地圧分布の形状変化およびタイヤの捩じり変形がフィードバックされて式(15)，(16)において算出される。なお、横力 F_y' およびトルク M_z' を算出する際に用いるベルトの横曲げ変形、接地圧分布の形状変化およびタイヤの捩じり変形には、付与される横力 F_y およびトルク M_z が用いられる。

【0058】

このようなタイヤ力学モデルを用いてタイヤ力学要素パラメータを導出するタイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14では、横力及びトルクの特性曲線が与えられると、この2つの特性曲線に合うようにタイヤ力学要素パラメータの値が導出される。

この場合、複合二乗残差和 Q_c は、下記式(17)に従って算出される。この場合、式(17)中の N は付与されるスリップ角 ϕ の条件設定数である。また、このときの重み付け係数 g_y, g_m は、 N 個のスリップ角の条件における横力 F_y 、トルク M_z の分散から求められたものである。

【0059】

【数2】

$$Q_c = g_y \cdot \sum_{i=1}^N (F_{yi} - F_{yi}')^2 + g_m \cdot \sum_{i=1}^N (M_{zi} - M_{zi}')^2 \quad (17)$$

【0060】

さらに、本発明のタイヤ摩耗予測方法においては、スリップ角を0として、制駆動方向のスリップ率依存性の特性曲線から、タイヤ制動時、又は駆動時におけるタイヤの摩耗特性を予測することもできる。

図15は、このときのタイヤ力学モデルを説明する図である。

図15に示すタイヤ力学モデルを表す式(21)～(24)は、図3に示す力学モデルのうち、式(1)～(8)に対してスリップ角 = 0とすることにより得られる式と同じである。

図16(a)は、制駆動方向のスリップ率S、転動速度Vが付与されタイヤ力学モデルに基づいて前後力F_{x'}が算出されるまでの処理ブロック図である。図16(a)からわかるように、タイヤ力学モデルは、前後力F_{x'}の算出の際、接地圧分布の形状変化がフィードバックされて式(24)において算出される。

図16(b)は、このときの接地面内における凝着域及び滑り域を説明する図である。図16(b)では、踏み込み端から5cmの位置がl_hに対応し、この位置におけるトレッド部材の前後方向の、路面に対する変位量が滑り量とされる。

【0061】

このようなタイヤ力学モデルを用いてタイヤ力学要素パラメータを導出するタイヤ力学要素パラメータ導出プログラム14では、前後力の制駆動方向のスリップ率依存性の特性曲線が与えられると、この特性曲線に合うようにタイヤ力学要素パラメータの値が導出される。

この場合、収束しているか否かの判別に用いる複合二乗残差和Q_cは、特性曲線における前後力F_xの値と、タイヤ力学モデルを用いて算出された前後力F_{x'}の値との二乗残差和である。

【0062】

図17(a)～(c)は、図13及び図14に示すタイヤ力学モデルを用いて、横力のスリップ角依存性の特性曲線からタイヤ力学要素パラメータの値を導出したときのタイヤ滑り量を表す図である。

図17(a)は、与えられた横力の特性曲線を表した図であり、図17(b)は、この特性曲線から導出されたタイヤ力学要素パラメータの値を用いて算出された横力の算出データを示した図である。図17(c)は、導出されたタイヤ力学要素パラメータの値を用いて算出されるタイヤ滑り量を示している。

図17(b)に示すように、横力の算出データは、図17(a)に示す特性曲線を忠実に再現しており、タイヤ力学要素パラメータの値が精度高く導出されたことを意味し、また、タイヤ力学モデルが特性曲線を忠実に再現できるモデルであることがわかる。

【0063】

図17(c)は、このようにして求められたタイヤ力学要素パラメータの値を用いて算出されるタイヤ滑り量の横力依存性を表した図である。タイヤA～Eの5種類である。これからわかるように、タイヤ滑り量は、タイヤによって種々異なっていることがわかる。

このようなタイヤ滑り量のうち、所定の横力におけるタイヤ滑り量を代表値として、上述したように、トレッド部材のゴム物性データとタイヤの接地幅とを乗算して、タイヤの摩耗特性を予測する。具体的には、ゴム物性データとして所定の摩耗試験法によって摩耗量を測定して得られる単位走行距離当たりの摩耗量の場合、摩耗特性の値が大きいほど、摩耗特性は劣っているものと判断される。

【0064】

図18(a)、(b)は、図15及び図16に示すタイヤ力学モデルを用いて、前後力の制駆動方向のスリップ率依存性の特性曲線に従ってタイヤ力学要素パラメータの値を導

10

20

30

40

50

出したときの特性曲線と算出データを示す図である。

図18(a)は、与えられた前後力の特性曲線を表した図であり、図18(b)は、この特性曲線から導出されたタイヤ力学要素パラメータの値を用いて算出された前後力の算出データを示した図である。

図18(b)に示すように、前後力の算出データは、図18(a)に示す特性曲線を忠実に再現しており、タイヤ力学要素パラメータの値が精度高く導出されたことを意味し、また、タイヤ力学モデルが特性曲線を忠実に再現できるモデルであることがわかる。

【0065】

さらに、タイヤ力学モデルを構成するタイヤ力学要素パラメータを一旦導出すると、このパラメータを用いて、異なる制動方向のスリップ率及びスリップ角における横力及び前後力を算出することができる。図19はこのようにして算出される前後力と横力の関係の一例(コーナリング制動時の摩擦円)を示している。10

タイヤ滑り量は、このようなタイヤ力学モデルと、このモデルを構成するタイヤ力学要素パラメータを用いて算出される。

【0066】

図20(a)は、タイヤA～Cにおけるトレッドゴム部材のゴム物性データとして、破断伸び E_b と破断強度 T_b のデータを示している。指数が低いほうが破断伸び及び破断強度が小さく、破断エネルギー $E_b \times T_b$ が大きいほどゴム部材としての耐摩耗性がよいという点からすると、ゴム物性から判断されるタイヤの摩耗特性はタイヤC(優) > タイヤB > タイヤA(劣)と予測される。しかし、実際のタイヤでの摩耗寿命は、タイヤA(600km以上) > タイヤB(40300km) > タイヤC(28300km)となっており、ゴム物性データでは説明ができない。20

【0067】

しかし、本発明に従って、図20(d)に示すようにタイヤ滑り量を算出することにより、タイヤの摩耗特性を予測することができる。

図20(b), (c)は、室内試験で計測される横力及びトルクのスリップ角依存性の特性曲線を示す図であり、導出されたタイヤ力学要素パラメータの値を用いて特性曲線の対応する横力及びトルクを算出して、30、30、30でプロットしている。横力、トルクの特性曲線のいずれにおいても、30、30、30でプロットは特性曲線上に乗っており、精度よくタイヤ力学要素パラメータの値が導出されていることがわかる。

この導出されたパラメータの値を用いて算出されるタイヤ滑り量は、図20(d)に示すように、タイヤAはタイヤB, Cに比べて極めて小さく、滑り量の小さい順番は、タイヤA、タイヤB、タイヤCの順になっている。したがって、このタイヤ滑り量と上述した破断エネルギー $E_b \times T_b$ の指数とを乗算した結果は、タイヤA(摩耗特性:優) > タイヤB > タイヤC(摩耗特性:劣)となる。これがタイヤ摩耗特性の予測である。この予測結果は、ゴム部材のゴム物性データでは説明のできない上述の摩耗寿命の順を説明することができる。

【0068】

このように、タイヤ力学モデルを構成するタイヤ力学要素パラメータの値を特性曲線から導出し、これを用いて路面に対するタイヤ滑り量を算出することで、タイヤの摩耗特性を精度よく評価することができる。またタイヤ力学要素パラメータの値を修正することにより、修正したパラメータの値を有するタイヤの摩耗特性を容易に予測することができる。40

【0069】

以上、本発明のタイヤの摩耗予測方法、タイヤの設計方法、タイヤの製造方法、タイヤの摩耗予測システム及びプログラムについて詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されず、本発明の主旨を逸脱しない範囲において、種々の改良や変更をしてもよいのはもちろんである。

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】本発明のタイヤの摩耗予測方法を実施する、本発明のタイヤの摩耗予測システムの一例の装置のブロック図である。

【図2】本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられるタイヤ力学モデルを説明する図である。

【図3】本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられるタイヤ力学モデルを説明する他の説明図である。

【図4】(a)～(c)は、本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられるタイヤ力学モデルを説明する他の説明図である。

【図5】(a)～(d)は、本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられるタイヤ力学モデルを説明する他の説明図である。 10

【図6】(a)～(c)は、本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられるタイヤ力学モデルを説明する他の説明図である。

【図7】本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられるタイヤ力学モデルにおいて前後力、横力およびトルクを算出するまでの処理ブロック図である。

【図8】本発明のタイヤの摩耗予測方法において実施される1つの処理の流れを示すフローチャートである。

【図9】本発明のタイヤの摩耗予測方法において実施される1つの処理の流れを示すフローチャートである。

【図10】本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられるタイヤ力学モデルを説明する他の説明図である。 20

【図11】本発明のタイヤの摩耗予測方法の処理の流れを示すフローチャートである。

【図12】本発明のタイヤの設計方法の処理の流れを示すフローチャートである。

【図13】本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられる他の実施形態として用いられるタイヤ力学モデルを説明する図である。

【図14】図13に示すタイヤ力学モデルにおいて横力およびトルクを算出するまでの処理ブロック図である。

【図15】本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられる他の実施形態として用いられるタイヤ力学モデルを説明する図である。

【図16】(a)は、図15に示すタイヤ力学モデルにおいて前後力を算出するまでの処理ブロック図であり、(b)は、図15に示すタイヤ力学モデルにおける凝着域及び滑り域を説明する図である。 30

【図17】(a)は、本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられる特性曲線の例を示す図であり、(b)は本発明のタイヤの摩耗予測方法において算出される特性曲線に対応する算出データの例を示す図であり、(c)は、本発明のタイヤの摩耗予測方法において算出されるタイヤの滑り量の例を示す図である。

【図18】(a)は、本発明のタイヤの摩耗予測方法において用いられる特性曲線の他の例を示す図であり、(b)は本発明のタイヤの摩耗予測方法において算出される特性曲線に対応する算出データの他の例を示す図である。

【図19】本発明のタイヤの摩耗予測方法において算出される摩擦係数の例を示す図である。 40

【図20】(a)～(d)は、本発明のタイヤの摩耗予測方法において求められるタイヤの摩耗特性の例を説明する図である。

【符号の説明】

【0071】

1 装置

2 C P U

3 バス

4 メモリ

5 入力操作系

6 インターフェース

10

20

30

40

50

7 出力装置

8 プログラム群

1 0 統合・管理プログラム

1 2 タイヤ力学モデル演算プログラム

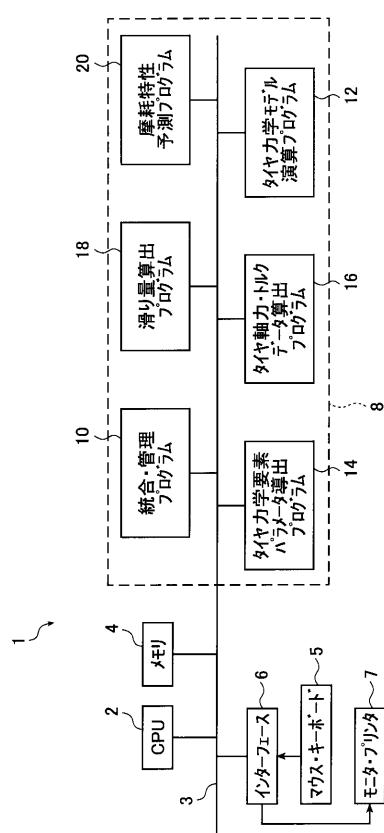
1 4 タイヤ力学要素パラメータ導出プログラム

1 6 タイヤ軸力・トルク算出プログラム

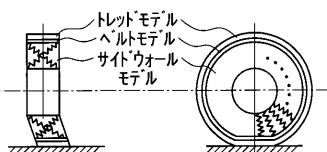
1 8 滑り量算出プログラム

2 0 摩耗特性予測プログラム

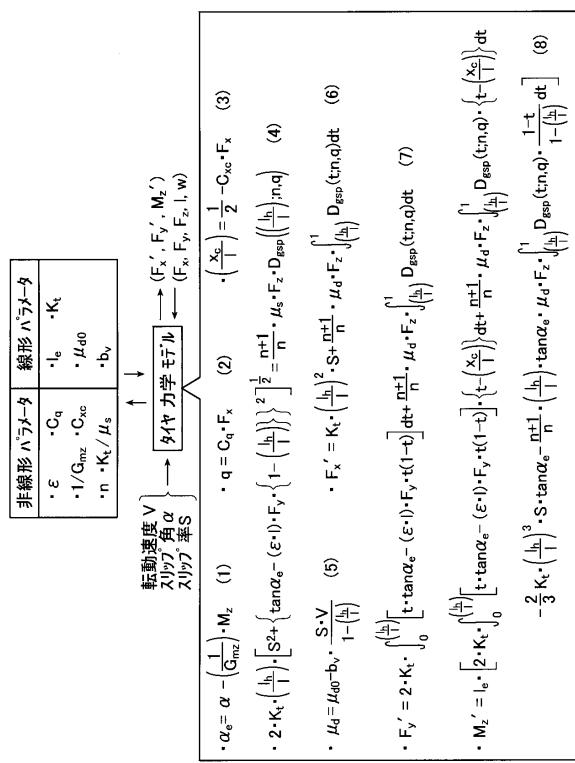
【図1】



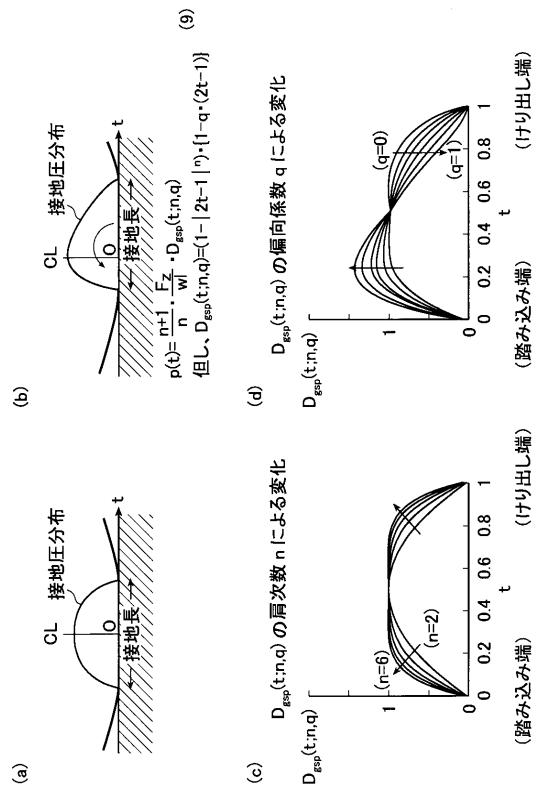
【図2】



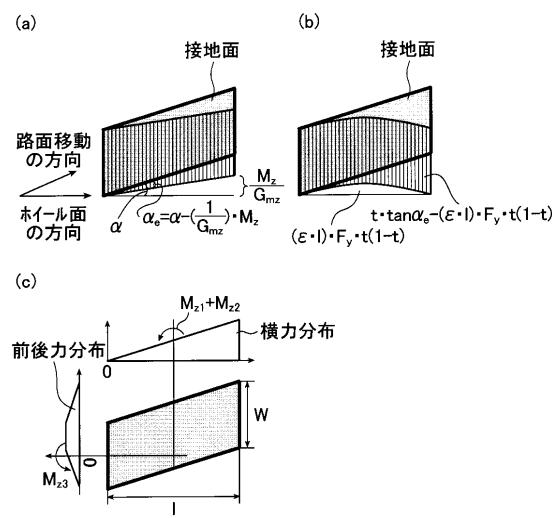
【図3】



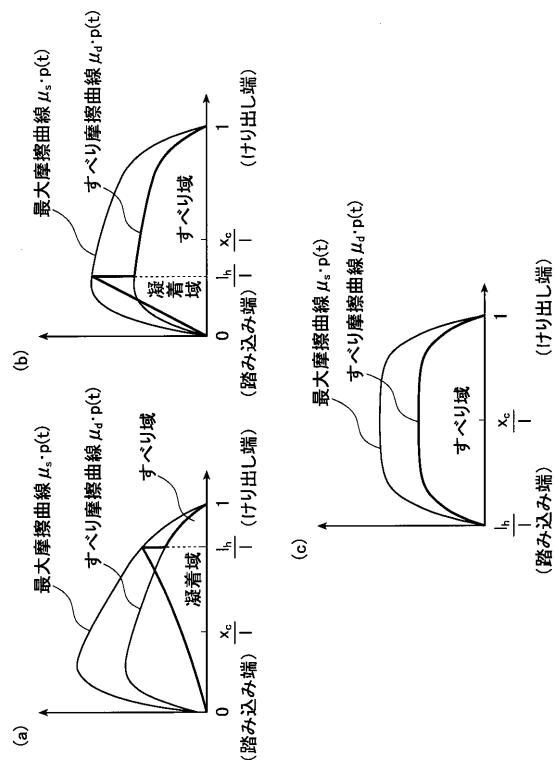
【図5】



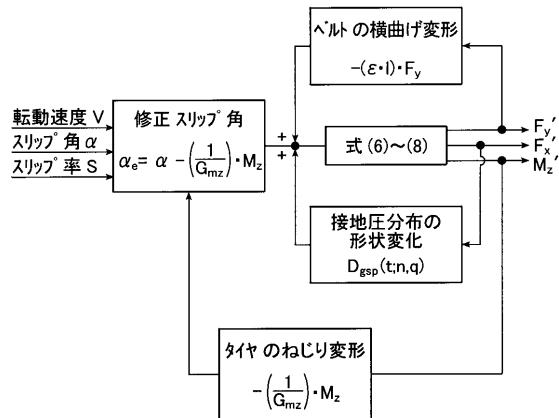
【図4】



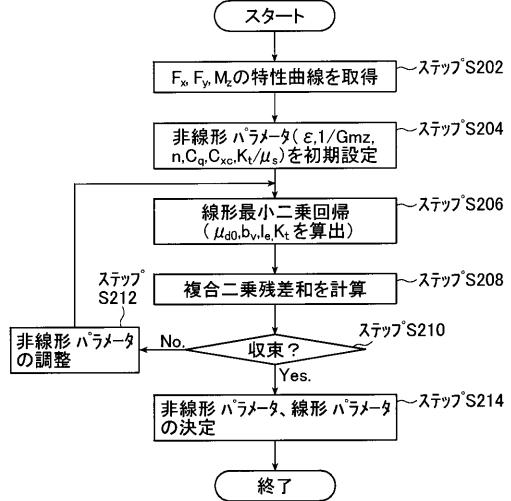
【図6】



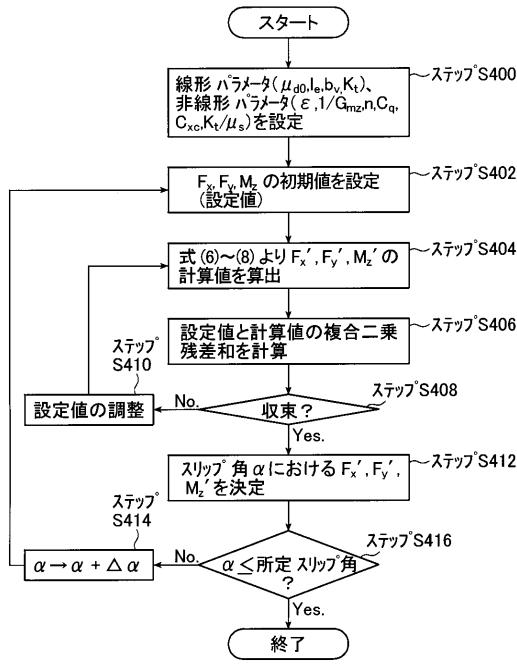
【図7】



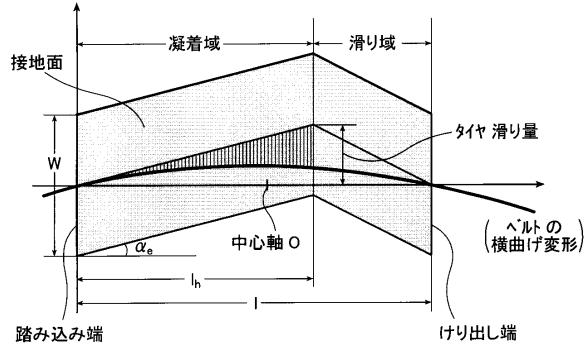
【図8】



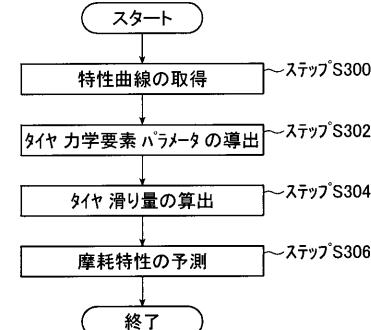
【図9】



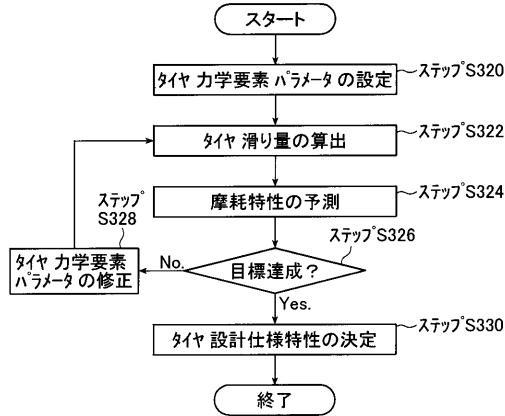
【図10】



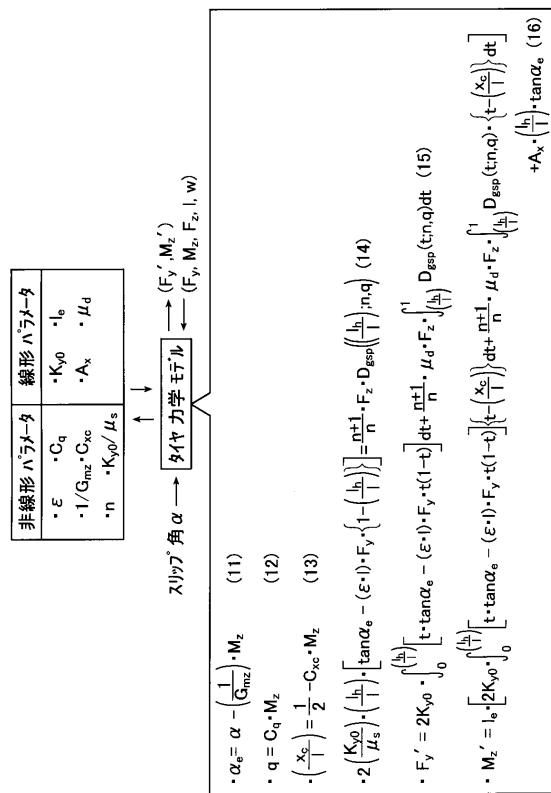
【図11】



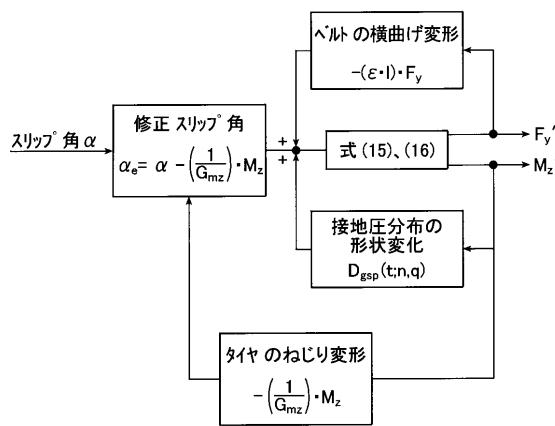
【図12】



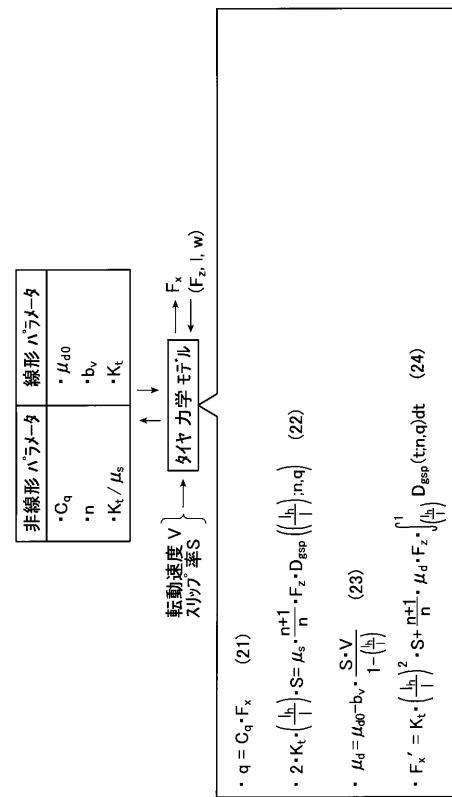
【図13】



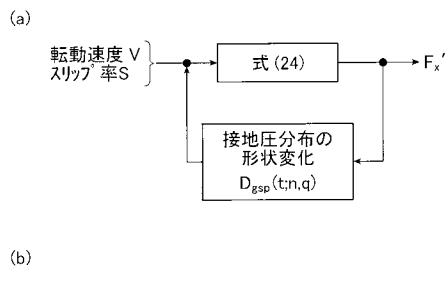
【図14】



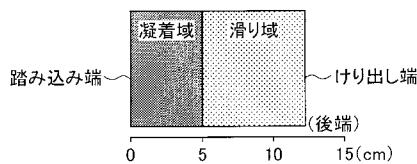
【図15】



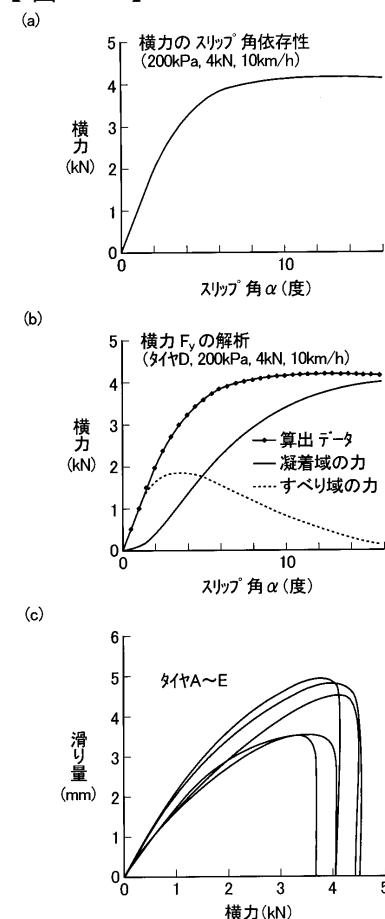
【図16】



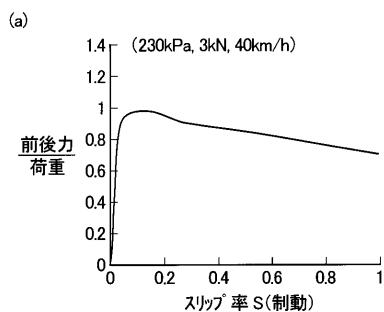
(b)



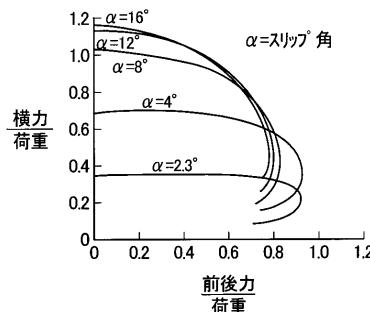
【図17】



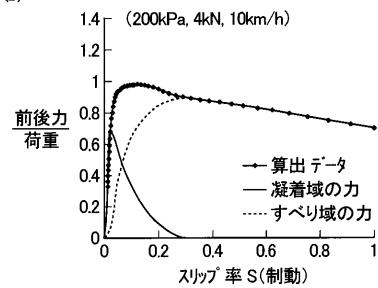
【図18】



【図19】

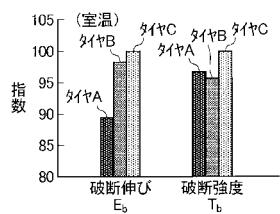


(b)

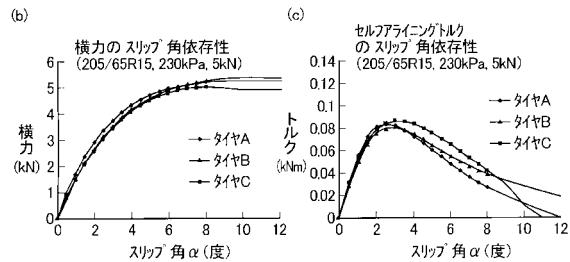


【図20】

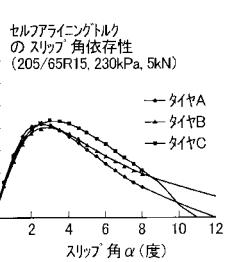
(a)



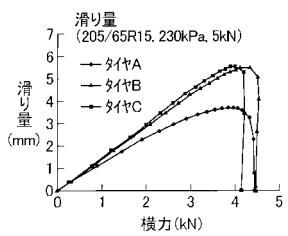
(b)



(c)



(d)



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001 - 1723 (J P , A)
特開平11 - 321257 (J P , A)
特開2004 - 142571 (J P , A)
特開2005 - 88832 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

B 6 0 C 1 9 / 0 0
G 0 6 F 1 7 / 5 0