

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3650342号

(P3650342)

(45) 発行日 平成17年5月18日(2005.5.18)

(24) 登録日 平成17年2月25日(2005.2.25)

(51) Int.Cl.⁷

F I

G O 1 M 17/02

G O 1 M 17/02

B

B 6 O C 19/00

B 6 O C 19/00

Z

B 6 O C 25/00

B 6 O C 25/00

請求項の数 5 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2001-159525 (P2001-159525)	(73) 特許権者	000183233
(22) 出願日	平成13年5月28日 (2001.5.28)		住友ゴム工業株式会社
(65) 公開番号	特開2002-350294 (P2002-350294A)		兵庫県神戸市中央区脇浜町3丁目6番9号
(43) 公開日	平成14年12月4日 (2002.12.4)	(74) 代理人	100082968
審査請求日	平成14年6月11日 (2002.6.11)		弁理士 苗村 正
		(74) 代理人	100104134
			弁理士 住友 慎太郎
		(72) 発明者	白石 正貴
			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
		審査官	小山 茂

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

タイヤをホイールにリム組みしたタイヤ・ホイール組立体を有限個の要素で分割したタイヤ・ホイール組立体モデルを設定するステップと、

このタイヤ・ホイール組立体モデルに、設定した転動条件により転動シミュレーションを行うステップと、

前記転動シミュレーションを行ったタイヤ・ホイール組立体モデルから評価値を取得するステップとを含むとともに、

前記タイヤホイール組立体モデルは、タイヤを有限個の要素に分割したタイヤモデルを設定するステップと、ホイールを有限個の要素で分割したホイールモデルを設定するステップと、前記タイヤモデルと前記ホイールモデルとを数値解析法を用いて嵌合シミュレーションさせる嵌合ステップとを含んで設定され、

かつ、前記嵌合ステップは、

タイヤモデルのビード部のビード巾をリム巾より小さく変形させてホイールモデルに装着するステップと、

ホイールモデルの外表面をタイヤモデルの境界条件として与えしかもタイヤモデルとホイールモデルとの境界面に摩擦係数を設定するステップと、

前記ホイールモデルに装着されたタイヤモデルに内圧の条件を設定し、該タイヤモデルを変形させてホイールモデルに嵌合させるステップと、

前記嵌合した後、タイヤモデルとホイールモデルとの間の前記摩擦係数を高く設定する

10

20

ステップとを含むことを特徴とするタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法。

【請求項 2】

前記摩擦係数は、タイヤモデルとホイールモデルとの嵌合前の段階で0.1であり、嵌合後に0.3に高められる請求項1記載のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法。

【請求項 3】

前記転動条件は、内圧、荷重、タイヤ・ホイール組立体モデルのスリップ角、転動加速度、キャンバー角又は転動面との摩擦係数の1以上を含むことを特徴とする請求項1記載のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法。

【請求項4】

前記評価値は、車軸力、上下力、各部の応力、各部の歪又はタイヤモデルとホイールモデルとのずれ量の1以上を含むことを特徴とする請求項1記載のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載したシミュレーション方法を実行することを特徴とするタイヤ・ホイール性能のシミュレーション装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、タイヤ・ホイール組立体の性能評価を精度良く行いうるタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法及び装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】

本件出願人は、例えば特開平11-153520号公報で示されるようなタイヤ性能のシミュレーション方法を提案している。このものは、タイヤを有限個の要素に分割したタイヤ有限要素モデルを設定し、これを有限要素法を用いて走行シミュレーションするものである。タイヤ有限要素モデルは、対象とされる構造物を有限な細かい要素に分割して近似した数値解析モデルである。各要素には、密度や弾性率などの材料特性が定義され、各要素の形状から質量や剛性を計算し、与えられた境界条件（例えば内圧、荷重、転動速度など）による変形を各要素で計算し、これらを重ね合わせ等して最終的に系全体の動きや変形を模擬（シミュレーション）することができる。

【 0 0 0 3 】

またこのような走行シミュレーションからは、タイヤ有限要素モデルが受ける各種の荷重、接地圧、振動などの値ないし分布といった評価値を得ることができる。従って、タイヤを実際に試作する前に、その大凡の性能を机上で知ることができるため、試作、テスト、評価を繰り返していた従来の開発手法に比して大幅な開発効率の向上が図られつつある。

【 0 0 0 4 】

本発明者らは、このようなシミュレーション方法から得られる評価値のさらなる精度の向上を試みた。精度の向上については、一般的にはより細かな要素を用いてタイヤを分割することが考えられるが、この方法では計算時間の著しい増大を招くわりには精度の向上にも限界がある。本発明者らは、種々研究を重ねたところ、従来のタイヤ性能のシミュレーション方法では、タイヤ単体を有限要素モデルにモデル化し、これに各種の垂直荷重や回転力の条件を設定している点に着目した。

【 0 0 0 5 】

すなわち、前記特開平 1 1 - 1 5 3 5 2 0 号公報には、その段落 0 0 3 5 に、タイヤ有限要素モデルを仮想リムに装着することが記載されているが、これは図 2 6 に示すように、タイヤ有限要素モデル a のリム接触域 b を拘束するとともに該リム接触域 b のタイヤ軸方向距離 W をリム巾に強制変位させることを意味している。しかもタイヤ有限要素モデル a の回転軸 C L は、図 2 3 に示したようにタイヤ有限要素モデル a のリム接触域 b との相対距離 r が常に一定となるよう連結固定されるものである。また前記公報以外の従来のシミュ

ュレーション方法のいずれのものも、タイヤ単体をモデル化するに止まっている。

【0006】

しかしながら、実際には車軸からの駆動力は、ホイール（又はホイールリムとも称される）を介してタイヤに伝達されるものであるため、従来の方法ではタイヤとホイールとが相互に影響し合う種々の要因、例えばタイヤとホイールとの間に生じる摩擦力やタイヤとホイールとのタイヤ周方向のずれといった要因を一切考慮に入れることができない。また近年では、タイヤ単体だけではなくホイールと組み合わせた組立体についてのトータル的な性能も重視されつつある。そして、本発明者らは、鋭意研究を重ねたところ、これらの要因がシミュレーション結果の精度に影響を及ぼしていることを突き止めた。

【0007】

本発明は、以上のような新規な問題点を究明したことに基づいて案出なされたもので、タイヤをホイールにリム組みしたタイヤ・ホイール組立体を有限個の要素で分割したタイヤ・ホイール組立体モデルを設定し、このタイヤ・ホイール組立体モデルに、設定した転動条件により転動シミュレーションを行って種々の評価値を取得することを基本として、前記問題点を解決しうるタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法及び装置を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明のうち請求項1記載の発明は、タイヤをホイールにリム組みしたタイヤ・ホイール組立体を有限個の要素で分割したタイヤ・ホイール組立体モデルを設定するステップと、このタイヤ・ホイール組立体モデルに、設定した転動条件により転動シミュレーションを行うステップと、前記転動シミュレーションを行ったタイヤ・ホイール組立体モデルから評価値を取得するステップとを含むとともに、前記タイヤホイール組立体モデルは、タイヤを有限個の要素に分割したタイヤモデルを設定するステップと、ホイールを有限個の要素で分割したホイールモデルを設定するステップと、前記タイヤモデルと前記ホイールモデルとを数値解析法を用いて嵌合シミュレーションさせる嵌合ステップとを含んで設定され、かつ、前記嵌合ステップは、タイヤモデルのビード部のビード巾をリム巾より小さく変形させてホイールモデルに装着するステップと、ホイールモデルの外表面をタイヤモデルの境界条件として与えしかもタイヤモデルとホイールモデルとの境界面に摩擦係数を設定するステップと、前記ホイールモデルに装着されたタイヤモデルに内圧の条件を設定し、該タイヤモデルを変形させてホイールモデルに嵌合させるステップと、前記嵌合した後、タイヤモデルとホイールモデルとの間の前記摩擦係数を高く設定するステップとを含むことを特徴とするタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法である。

【0009】

また請求項2記載の発明は、前記摩擦係数は、タイヤモデルとホイールモデルとの嵌合前の段階で0.1であり、嵌合後に0.3に高められる請求項1記載のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法である。

【0010】

また請求項3記載の発明は、前記転動条件は、内圧、荷重、タイヤ・ホイール組立体モデルのスリップ角、転動加速度、キャンバー角又は転動面との摩擦係数の1以上を含むことを特徴とする請求項1記載のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法である。

【0011】

また請求項4記載の発明は、前記評価値は、車軸力、上下力、各部の応力、各部の歪又はタイヤモデルとホイールモデルとのずれ量の1以上を含むことを特徴とする請求項1記載のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法である。

【0012】

また請求項5記載の発明は、請求項1乃至4のいずれかに記載したシミュレーション方法を実行することを特徴とするタイヤ・ホイール性能のシミュレーション装置である。

【0015】

【発明の実施の形態】

10

20

30

40

50

以下本発明の実施の一形態を図面に基づき説明する。

図1には、本発明を実施するためのコンピュータ装置1が示されている。このコンピュータ装置1は、本体1aと、入力手段としてのキーボード1b、マウス1cと、出力手段としてのディスプレイ装置1dとから構成されている。本体1aには、図示していないが、公知のように演算処理装置、メモリー、磁気ディスクなどの大容量記憶装置、CD-ROMやフロッピーディスクのドライブ1a1、1a2などを適宜具えている。そして、前記大容量記憶装置には後述するタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法を実行するためのプログラムが記憶されている。

【0016】

図2には、本発明のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法を用いたタイヤ・ホイール開発手順の一例が示されており、以下順に説明する。先ず本実施形態では、評価しようとするタイヤ・ホイール組立体に基づいてタイヤ・ホイール組立体モデルを設定する（ステップS1）。

【0017】

タイヤ・ホイール組立体モデルは、例えば図3に示すようなサブルーチンにて設定することができる。本実施形態では、先ず、タイヤを有限個の要素に分割したタイヤモデルを設定する（ステップS11）。

【0018】

図4には、このようなタイヤモデルの前提となるタイヤTの内部構造を示している。タイヤTは、路面と接地するトレッド部12と、その両端から半径方向内方にのびるサイドウォール部13、13と、このサイドウォール部13の内端部に形成されホイールに支持装着されるとともにビードコア15を具えたビード部14、14とを具える。またタイヤTは内部にカーカスプライ16Aからなるトロイド状のカーカス16と、このカーカス16の外側に配された2枚のベルトプライ17A、17Bからなるベルト層17とを有し、残余を実質的にゴム、即ち、トレッドゴム12G、サイドウォールゴム13G、ビードゴム14Gなどで形成している。前記カーカスプライ16A、ベルトプライ17A、17Bは、繊維コードの両面に小厚さのトッピングゴムを被覆して形成された複合材Fからなる。

【0019】

図5は、タイヤモデル2の一例を3次元上に表したものである。タイヤモデル2は、前記タイヤTを有限個の要素2a、2b、2c…に分割して設定することにより、コンピュータ装置1にて取り扱い可能な数値データとして設定される。具体的には、各要素2a、2b、2c…の節点座標値、形状、材料特性、例えば密度、ヤング率、減衰係数などが定義される。各要素2a、2b、2c…には、例えば2次元平面としての四辺形要素、3次元要素としては、複雑形状を表現するのに適した4面体ソリッド要素が好ましいが、これ以外にも5面体ソリッド要素、6面体ソリッド要素などを用いることもでき、いずれもコンピュータで処理可能な要素が用いられる。タイヤTのゴム部分については主に3次元ソリッド要素が用いられる。図5のものではトレッド表面のパターン形状（縦溝、横溝）もより忠実に再現しているが、パターン以外の検討を重点的に行いたい場合には図6に示すようにトレッド表面からトレッド溝を簡略化ないし省略化したスムーズモデル2'とすることもできる。なおこのとき、トレッドの接地部の圧力やせん断力の分布を表現できるように、1要素の周方向長さを接地長さの25%以下とすることが望ましく、またトレッドの断面方向の円弧を滑らかに表現しうよう、1要素の幅方向寸法は20mm以下とすることが望ましい。

【0020】

また複合材F（例えばベルトプライ17A又は17B）は、図7に示すように繊維コードcを四辺形膜要素5a、5bに、また繊維コードを被覆しているトッピングゴムtについては六面体ソリッド要素5c～5eにそれぞれモデル化し、これらを厚さ方向に順番に積層した複合シェル要素で分割している。四辺形膜要素には、繊維コードcの直径に等しい厚さと、繊維コードの配列方向とこれと直交する方向とにおいて剛性の異なる異方性が定義される。またゴムを分割している各ソリッド要素については、超粘弾性材料として定

10

20

30

40

50

義して取り扱うことができる。

【0021】

またタイヤモデル2は、タイヤの回転軸を含む子午線断面において先に2次元形状を特定し、これを仮想のタイヤ回転軸の回りに周方向に回転させ所定の周方向長さで単位化して要素分割することにより、比較的簡単にモデリングを行うこともできる。また3次元CADのデータを利用して精度良く分割することもできる。さらに例えばビード部とホイールとの嵌合状態をより正確に把握したい場合、タイヤモデル2は、タイヤTのビード部の形状をより緻密に分割することが望ましい。このようにタイヤTからタイヤモデル2を設定する手順や分割方法などは、目的に応じ種々定めうる。

【0022】

次に本実施形態ではホイールを有限個の要素で分割したホイールモデル3を設定する（図3のステップS12）。図8はモデル化されるホイールWの一例を示す斜視図、図9はその一部断面図を夫々示している。

【0023】

ホイールWhは、リム部Wrとディスク部Wdとから構成されている。リム部Wrは、タイヤの着脱を容易とするための深さと巾を持ったウエル部Wr1と、その両側に形成されかつ前記タイヤTのビード部14の半径方向力を受けるビードシート部Wr2と、このビードシート部Wr2に連なってタイヤ半径方向にのび前記タイヤTのビード部14の軸方向力を受けるフランジ部Wr3とを含んで構成されている。またディスク部Wdは、本実施形態では中心側に配されるハブ部Wd1と、このハブ部Wd1から放射状にのびかつ外端が前記リム部Wrに一体に固着された5本のスポーク部Wd2とから構成されている。前記ハブ部Wd1には車軸に取り付けるための取付孔Wd3が形成される。

【0024】

図10には、ホイールを有限個の要素で分割したホイールモデル3を3次元上に表した一例を示す。ホイールモデル3も前記タイヤモデル2と同様に、ホイールWhを有限個の要素3a、3b、3c…に分割して設定され、コンピュータ装置1にて取り扱い可能な数値データとして設定される。前記各要素3a、3b、3c…は、本例では3次元要素（例えば四面体要素）で分割している。但し、これに限定されず、ホイールの形状に応じて五面体、六面体、平面シェル要素などで適宜分割しうる。例えば四～六面体要素などは、アルミホイールなど肉厚が比較的大のホイールでかつその形状により分割し易い要素形状のものに用いられる。一方、スチールホイールなど肉厚が小さいホイールには、シェル要素を用いることができる。図11(A)、(B)には、四面体要素Ea、六面体要素Ebで分割した一例を示す。

【0025】

またタイヤモデルのビード部との嵌合状態や圧力分布等を精度良く調べるために、ビードシート部Wr2やフランジ部Wr3をより緻密に分割することが望ましい。なおタイヤモデル2を設定するステップS11と、ホイールモデル3を設定するステップS12と実行順序を逆としても良く、又はこれらのステップS11、12を並列して行うこともできる。

【0026】

次に本実施形態では、前記タイヤモデル2とホイールモデル3とを数値解析法として有限要素法を用いて嵌合シミュレーションさせる嵌合ステップを行う（図3のステップS13）。なお嵌合シミュレーションとは、タイヤモデル2がホイールモデル3に嵌合するときの挙動をコンピュータ上（数値上）で逐次再現することをいう。嵌合シミュレーションの課程は、本例では図12に示す次のステップS131～S133の通りである。

【0027】

先ず、ステップS131では、図13に示すように、タイヤモデル2のビード部を、そのビード巾がリム巾よりも十分に小さくなるように変形させてホイールモデル3に装着する。タイヤモデル2のビード部に前記変形を生じさせるために、タイヤ軸方向内側に向く軸方向力Fをタイヤモデル2のビード部に設定する。そしてタイヤモデル2の各要素毎につ

10

20

30

40

50

いて、この軸方向力に対する変形計算を行いこれらを重ね合わせてタイヤモデル2の系全体の変形計算を行う。また微小時間毎にこのような変形計算を行なうとともに、その計算結果を、例えば逐次ディスプレイ装置1dに表示したときにはタイヤモデル2のビード部に軸方向力Fを与えたときの変形課程を可視的にシミュレーションすることもできる。

【0028】

また図13を示したように、ビード部の巾を減じたタイヤモデル2の回転中心軸CL1と、ホイールモデル3の回転中心軸CL2とを揃えて同一の3次元座標軸上に重ねて設定することにより、タイヤモデル2をホイールモデル3に落とし込んだ状態をコンピュータ上（数値上）に取り込むことができる。この際、タイヤモデル2のビード部は、ホイールモデル3の外表面と接するか或いはホイールモデル3から離間するように定められる。

10

【0029】

なおタイヤモデル2のビード巾を変形させてホイールモデル3に装着するに際して、タイヤモデル2に関してはビード部の軸方向以外が自由に動くときとタイヤモデル2とホイールモデル3の中心が大きくずれたり、タイヤモデル2が回転するなど不安定な動きが生じるおそれがあるため、タイヤモデル2の任意の一点（例えばトレッド面上の任意の一点）を初期位置で固定しておくことが望ましい。

【0030】

ステップS132では、ホイールモデル3との接触を考慮しつつ前記タイヤモデル2の前記ビード部の変位を解除する。該変位の解除は、前記軸方向力Fを0に設定することで行う。また軸方向力を0に設定したタイヤモデル2について、再び変形計算を行う。この変形計算も、例えば微小時間毎に行ない、各計算結果をディスプレイ装置1d上に表したときには、タイヤモデル2のビード部の復元課程をシミュレートすることもできる。またこのステップS132では、タイヤモデル2とホイールモデル3との接触を考慮している。つまり、ホイールモデル3の外表面は、タイヤモデル2の変形計算に際してビード部の変形を拘束する壁面として機能するよう境界条件が設定される。また、タイヤモデル2と前記ホイールモデル3との境界面には、摩擦係数が設定される。従って、タイヤモデル2の変形計算、ひいては復元時のシミュレーションに際して、タイヤモデル2とホイールモデル3との接触部には摩擦力の影響を考慮に入れることができ、タイヤモデルの嵌合状態をより精度良くシミュレーションすることが可能になる。

20

【0031】

さらにステップS133では、ホイールモデル3に装着されたタイヤモデル2に内圧の条件を設定し、該タイヤモデル2の変形をホイールモデルとの接触を考慮しつつ計算することにより、図14の如くタイヤモデル2とホイールモデル3との嵌合をさせ得る。タイヤモデル2の内圧は、タイヤ内部に等分布荷重Pを負荷する。図16に示すように、例えば4つの節点Nからなる一つの要素面Eにおいて、該要素面Eが受ける全荷重を例えばPとすると、該荷重Pを節点数4で除した $P/4$ を各節点Nに負荷する。

30

【0032】

また、タイヤモデル2のビード部は、内圧の条件を設定されることにより、ホイールモデル3のビードシート部3Aと接触しつつタイヤ軸方向に移動する。このため、両者の間には摩擦力が発生する。この段階では、タイヤモデル2とホイールモデル3のビードシート部3Aとの間の摩擦係数を0.1程度に設定している。この値は実際のタイヤのリム組み時、ホイールのビードシートに潤滑剤が塗布されたときの摩擦係数に相当する。

40

【0033】

タイヤモデル2の変形計算は、上記のステップS132と同様に行われる。またタイヤモデル2の変形の結果を微小時間に行いかつ、逐次表示したときには内圧充填に基づくタイヤモデル2のビード部の変形挙動及びタイヤモデル2とホイールモデル3との最終的な嵌合状態までを可視的にシミュレーションすることができる。また、タイヤモデル2、ホイールモデル3の嵌合圧力の分布、ホイールの組み入れ易さなどもこのシミュレーションから求めることができ、ホイール形状、タイヤ形状の開発に役立たせることができる。そして、図14に示したように、ホイールモデル3にタイヤモデル2が装着されたタイヤ・ホ

50

イール組立体モデル4を設定しうる。

【0034】

また、タイヤモデル2とホイールモデル3とが嵌合すると、該タイヤモデル2とホイールモデル3との間の摩擦係数を0.3程度に設定し、タイヤモデル2とホイールモデル3とが容易に位置ずれないように設定するのが望ましい。なお摩擦係数の0.3という値は、一般的なホイールの表面とタイヤのビード部との摩擦係数に近似する。また、タイヤモデル2とホイールモデル3との嵌合不良が生じた場合には、例えばタイヤモデル2への内圧をさらに高め、その後、摩擦係数を高めて減圧する計算を行って適正なタイヤ・ホイール組立体モデル4をシミュレーション設定する。

【0035】

このような嵌合シミュレーションを終えると、図2に示したように、このタイヤ・ホイール組立体モデル4で、設定した転動条件により転動シミュレーションを行う（ステップS2）。具体的には、図15に示すように、先ずタイヤホイール組立体モデル4に転動条件を設定する（ステップS21）。

【0036】

転動条件としては、内圧、荷重、タイヤ・ホイール組立体モデル4のスリップ角、転動加速度、キャンバー角又は転動面（路面モデル）との摩擦係数の1以上を含むことが望ましい。内圧は前記の如く設定しうる。荷重は、例えば図18の如くホイールモデル3の回転中心軸CL2に垂直荷重Fsを与えることにより設定できる。さらに図19に示すように、路面モデルR（後述）を移動させる路面進行方向を、タイヤモデル2の中方向の中心であるタイヤ中心線に対して角度 α ずらせることにより、実質的にスリップ角 α を与えることができる。またタイヤ・ホイール組立体モデル4にキャンバー角などを設定することもできる。さらに、ホイールモデル3の回転中心軸CL2にトルク（回転力）を設定すれば、駆動時又は減速時の転動シミュレーションを行うことができる。

【0037】

また路面モデルRは、図17（A）、（B）に示すように、平相路や突起路などを含む種々の路面を要素化したものであって、例えば平面剛要素Ecを用いてモデル化されている。なお氷路、雪路、ウェット路などとするときには、前記路面モデルRの上に、氷、雪又は水をモデル化した流体要素（オイラー要素）Faを定義する（図17（A）参照）。さらに路面モデルRは、タイヤモデル2との間の摩擦係数が予め定義される。

【0038】

またホイールモデル3は、本例ではその回転中心軸CL1を移動不能に固定されるが、この回転中心軸CL2の回りには回動自在に設定される。従って、タイヤモデル2と接触している路面モデルRを前後に移動させるよう条件を設定することにより、タイヤモデル2と路面モデルRとの間に摩擦力が生じ、タイヤ・ホイール組立体モデル4を前記回転中心軸CL1の回りに転動させる転動計算が可能となる。

【0039】

次に、上記設定された転動条件に基づいてシミュレーションが行われる。転動シミュレーションとは、タイヤ・ホイール組立体4の転動条件下における転動時の挙動をコンピュータ上（数値上）で模擬的に再現することである。本転動シミュレーションも、有限要素法により行われる。例えば、各モデルの要素の形状、要素の材料特性、例えば密度、ヤング率、減衰係数などをもとに、要素の質量マトリックスM、剛性マトリックスK、減衰マトリックスCを作成する。前記各マトリックスを組み合わせて、シミュレーションされる全体の系のマトリックスを作成する。また上記転動条件をあてはめて、下記数1の運動方程式を作成する。そしてこの数1を微小時間 t ごとに逐次計算する（ステップS22）。計算結果を3次元座標上に連続的に表すことにより転動の挙動を再現する可視的な転動シミュレーションを行なうことができる。なお具体的な数値計算は、汎用の有限要素法解析ソフトウェアなどを用いて適宜行うことができる。

【数1】

10

20

30

40

$$F = M \ddot{x} + C \dot{x} + K x$$

ここで、各符号は、次の通りである。

F : 外力マトリックス

M : 質量マトリックス

C : 減衰マトリックス

K : 剛性マトリックス

x : 変位マトリックス

$\dot{x}$: 速度マトリックス

$\ddot{x}$: 加速度マトリックス

10

【0040】

次に、前記転動シミュレーションを行ったタイヤ・ホイール組立体モデル4から評価値を取得するステップを行う（図2のステップS3）。前記評価値としては、車軸力、上下力、コーナリング力、ホイール各部の応力、セルフアライングトルク、振動力、その他のタイヤモデルの各部の応力、各部の歪又はタイヤモデルとホイールモデルとのずれ量の1以上を含むことが望ましい。前記車軸力、コーナリング力は操縦安定性として、また上下力、振動力は乗り心地性能として、各部の応力、各部の歪は強度、接地圧、接地形状又は摩擦エネルギーと関連するパラメータとしてそれぞれタイヤ開発ないしホイール開発に利用することができる。これらの各値は、例えば予め設定され前記転動シミュレーションの中で逐次出力されかつ記憶される。図20には、転動シミュレーションを3次元上にアニメーションとして表した一例を示す。また図21には転動条件にスリップ角 α ($\alpha \neq 0$)を設定したときのコーナリング力の作用を示す転動シミュレーションの一例を示している。図22～図24には、このコーナリング中のホイールモデルの応力分布を示している。色の濃い部分程、応力が高いことを示す。荷重負荷方向は符号Qで示される。これらのホイールモデルについての結果から、コーナリング中に大きな応力の作用している部分を補強し、応力の小さな部分を削ることにより、軽量化を剛性とのバランスを両立しうるホイールの設計を行うことができ、ホイール開発の向上に役立つ。さらに図25には、タイヤモデル2とホイールモデル3とをリム組シミュレーションで装着した断面図を示し、他方、タイヤモデル単体でリム組状態を表現したものを一点鎖線で示す。図25から明らかなように、タイヤモデル単体でリム組状態を仮想的に表現したものでは、実際にはホイールからはみ出す変形をなしており、本発明のものに比べて精度的に劣ることが分かる。

20

30

【0041】

次にこれらの評価値を検討し、予め定めた目標に到達したか否かを判断する（ステップS4）。ステップS4でNの場合、タイヤモデル2又はホイールモデル3の材料、形状といった設計因子を変更し（ステップS5）、再度、転動シミュレーションを行う（ステップS2）。他方、ステップS4でYの場合には、例えば試作、実験ステップS6を実行する。

【0042】

試作、実験ステップS6では、タイヤモデル2、ホイールモデル3に基づいて実際にタイヤ、ホイールを試作するとともに、実験、評価（実評価）を行い、これらの評価で満足なゆく結果が得られた場合には開発を終え（ステップS7でY）、例えば製品として決定される。このように、本実施形態のシミュレーション方法にあつては、シミュレーションにより、タイヤ・ホイール組立体の性能を机上で予測でき、目標に達するまでタイヤ、ホイールの設計因子を種々変更し、車両に最適なタイヤ、ホイール組立体を種々検討することができる。従って、従来の試作を繰り返していた開発手法に比して大幅に効率化でき、開発期間の短縮に役立ちタイヤの低コスト化なども可能とする。また本発明によるシミュレーション方法を用いた場合、タイヤ単体ではなく、ホイールとの接触を考慮に入れた評価値を取得しうる。従って、ホイールとの接触圧力や接触面積が大きく変化する駆動、減速時や旋回時などにおいて、より実車評価に近いシミュレーション結果を得ることができる。一例として、本発明を用いた場合、新規の車両に適合したタイヤを開発する期間を、従

40

50

来の標準的な開発期間に対して約3～4ヶ月の短縮化が図れた。

【0043】

なお試作、実験ステップS7の実車評価において、タイヤ・ホイール組立体の性能がシミュレーションの結果とは異なり目標に到達し得ていないことが判明した場合（ステップS7でN）、転動シミュレーションと実車評価との差があるため、目標値の変更又は転動シミュレーションの補正を行う。この補正処理では、解析モデルと実物とが精度良く対応できていない事が考えられるので、まず、タイヤ・ホイール組立体モデル4の性能（例えばコーナリング性能）と、シミュレーションで得られたタイヤモデル単体の性能とを比較し、両者の相関付けを行う（ステップS8）。

【0044】

このように、実車評価をシミュレーションの結果にフィードバックさせることにより、次回以降のシミュレーション結果の精度をより高めることができ、ひいてはシミュレーションの信頼性を向上しうる。

【0045】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明のタイヤ・ホイール性能のシミュレーション方法及び装置にあっては、タイヤとホイールとが相互に影響し合う種々の要因、例えばタイヤとホイールとの間に生じる摩擦力やタイヤとホイールとのタイヤ周方向のずれといった要因などを考慮に入れつつ転動シミュレーションを行うことが可能となるため、従来に比して実車評価に近いシミュレーション結果を得ることができる。

【0046】

また、タイヤホイール組立体モデルを、タイヤを有限個の要素に分割したタイヤモデルを設定するステップと、ホイールを有限個の要素で分割したホイールモデルを設定するステップと、前記タイヤモデルと前記ホイールモデルとを数値解析法を用いて嵌合シミュレーションさせる嵌合ステップとを含んで設定しているため、タイヤとホイールとの嵌合状態までもシミュレーションすることができる。従って、嵌合状態から生じるタイヤとホイールとの間に生じる摩擦力の変化や、タイヤとホイールとのタイヤ周方向のずれ量などをさらに精度良くシミュレーションでき、より実車評価に近いシミュレーション結果を得ることが可能となる。またタイヤのリム組性などについても併せて評価することができる。

【0047】

また、前記嵌合ステップは、タイヤモデルのビード部のビード巾をリム巾より小さく変形させてホイールモデルに装着するステップと、ホイールモデルの外表面をタイヤモデルの境界条件として与えしかもホイールモデルとの境界面に摩擦係数を設定するステップと、前記ホイールモデルに装着されたタイヤモデルに内圧の条件を設定し、該タイヤモデルを変形させてホイールモデルに嵌合させるステップと、前記嵌合した後、タイヤモデルとホイールモデルとの間の前記摩擦係数を高めるステップとを含んでいるため、より精度良くタイヤ・ホイールの嵌合を擬似化でき、ひいてはタイヤ・ホイール性能のシミュレート精度の向上に役立つほか、嵌合後、タイヤモデルとホイールモデルとの間の摩擦係数を高めることで、タイヤモデルとホイールモデルとが容易に位置ずれしないように設定できる。

【0048】

また、前記タイヤモデルと前記ホイールモデルとの境界面に、摩擦係数を設定しているため、タイヤとホイールとの間に生じる摩擦力の変化や、タイヤとホイールとのタイヤ周方向のずれ量などをさらに精度良くシミュレーションでき、より実車評価に近いシミュレーション結果を得ることが可能となる。またタイヤをホイールに組み込む際にはホイールに潤滑剤が予め塗布されるが、前記摩擦係数を請求項2のようにこの潤滑剤と対応させて種々設定することにより、潤滑剤の開発などにも役立つ。

【0049】

また請求項3記載の発明のように、前記転動条件は、内圧、荷重、タイヤ・ホイール組立体モデルのスリップ角、転動加速度、キャンバー角又は転動面との摩擦係数の1以上を

10

20

30

40

50

含むときには、実車走行時の各種の状況で転動シミュレーションを行うことができ、より多目的にタイヤの開発を行うのに役立つ。

【0050】

また請求項4記載の発明のように、前記評価値は、車軸力、上下力、各部の応力、各部の歪又はタイヤモデルとホイールモデルとのずれ量の1以上を含むときには、これらの各評価値から、例えば操縦安定性、直進安定性、乗り心地、耐摩耗性能など種々の性能を検討でき、より多目的にタイヤの開発を行うのに役立つ。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の処理を実行するためのコンピュータ装置の線図である。

【図2】本発明の処理手順を含むタイヤ開発手順の一例を示すフローチャートである。

10

【図3】タイヤ・ホイール組立体モデルを設定する処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図4】タイヤの断面図である。

【図5】タイヤモデルの一例を示す斜視図である。

【図6】タイヤモデルの他の例を示す斜視図である。

【図7】複合材のモデル化を説明するための概念図である。

【図8】ホイールの斜視図である。

【図9】ホイールの部分断面図である。

【図10】ホイールモデルの一例を示す斜視図である。

【図11】(A)、(B)は、サイドウォール部のモデル化の例を示す概念図である。

20

【図12】嵌合シミュレーションのルーチンを示すフローチャートである。

【図13】ホイールモデルにタイヤモデルを組み入れた状態を示すシミュレーションの線図である。

【図14】タイヤモデルに内圧を充填した状態を示す3次元シミュレーションの線図である。

【図15】転動シミュレーションのルーチンを示すフローチャートである。

【図16】要素への荷重負荷を説明する略図である。

【図17】(A)、(B)は、路面モデルの一例を示す斜視図である。

【図18】タイヤモデルとホイールモデルとが嵌合しかつ接地した状態を示すシミュレーションの線図である。

30

【図19】スリップ角を説明する平面図である。

【図20】タイヤ・ホイール組立体モデルの3次元転動シミュレーションの線図である。

【図21】コーナリング中の転動シミュレーションの一例を示す断面図である。

【図22】コーナリング中のホイールモデルの応力分布図である。

【図23】コーナリング中のホイールモデルの応力分布図である。

【図24】コーナリング中のホイールモデルの応力分布図である。

【図25】本発明と従来例とを比較したタイヤモデルのリム組断面図である。

【図26】従来のシミュレーション方法を説明する線図である。

【符号の説明】

2 タイヤモデル

40

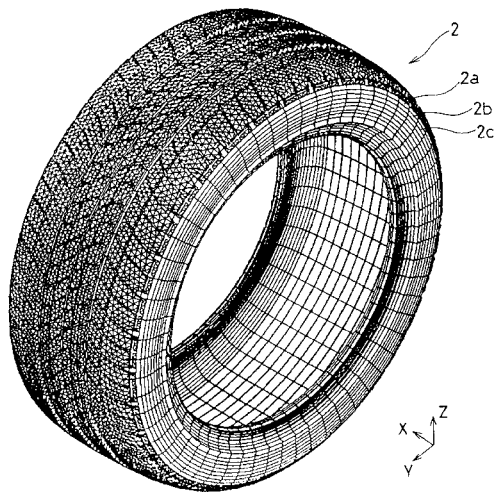
3 ホイールモデル

4 タイヤ・ホイール組立体モデル

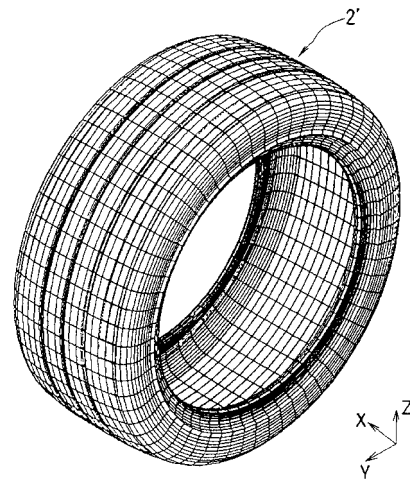
T タイヤ

W r ホイール

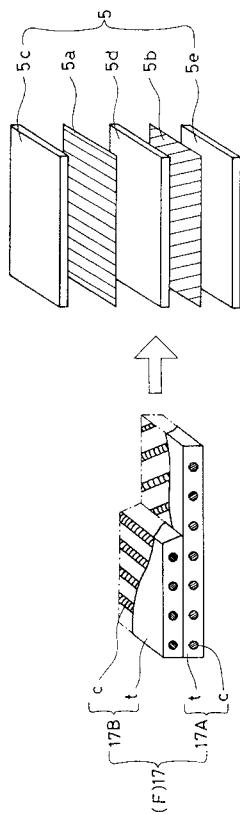
【図 5】



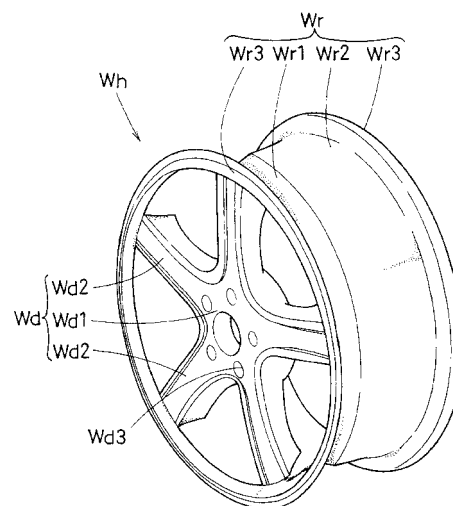
【図 6】



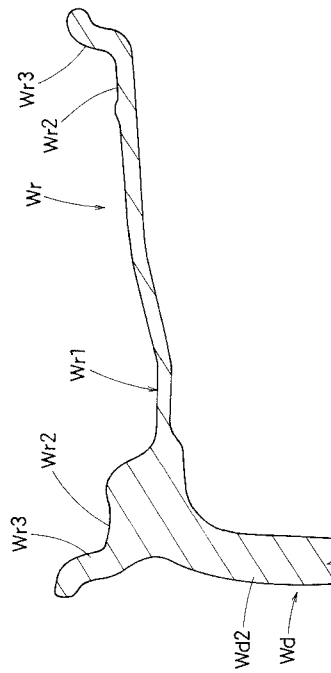
【図 7】



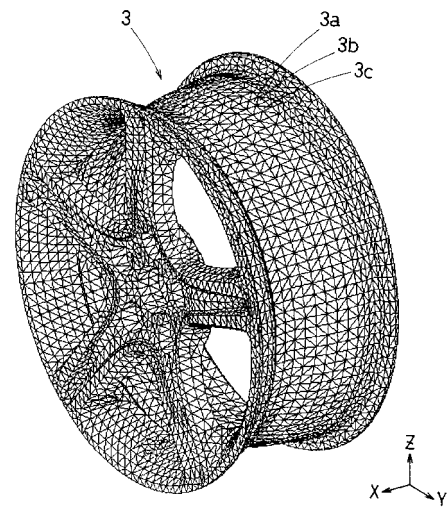
【図 8】



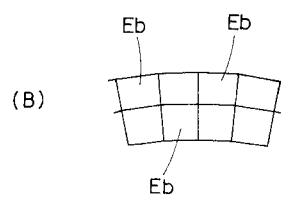
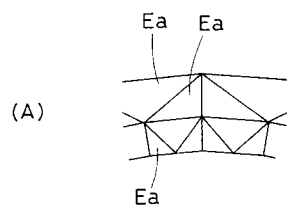
【図 9】



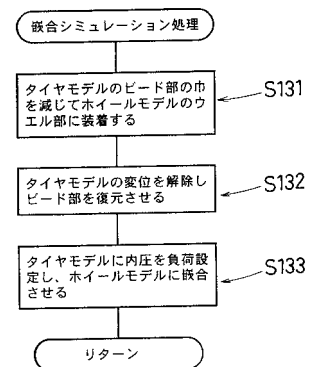
【図 10】



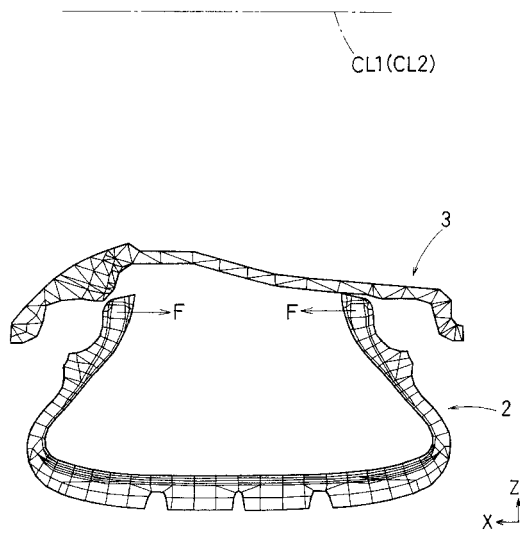
【図 11】



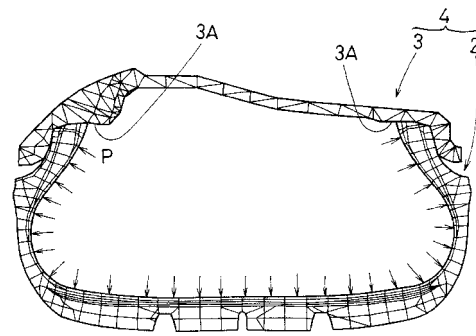
【図 12】



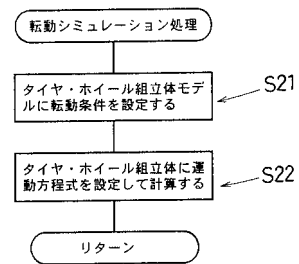
【図 13】



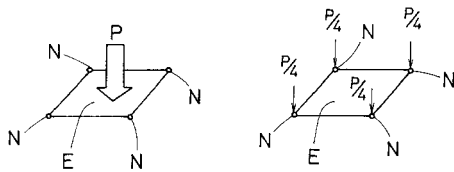
【図 14】



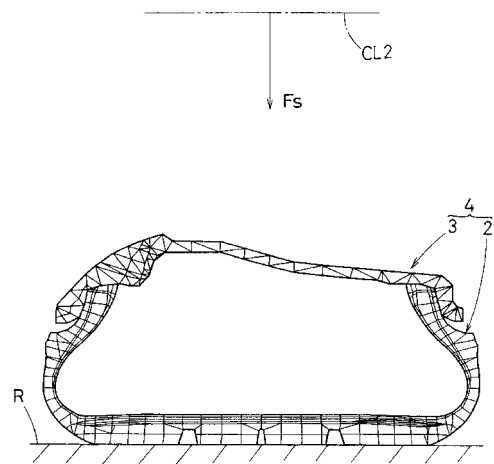
【図 15】



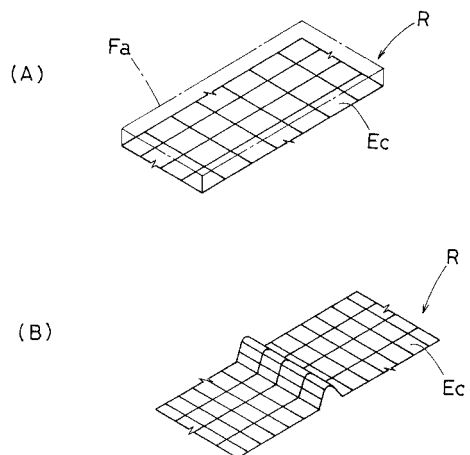
【図 16】



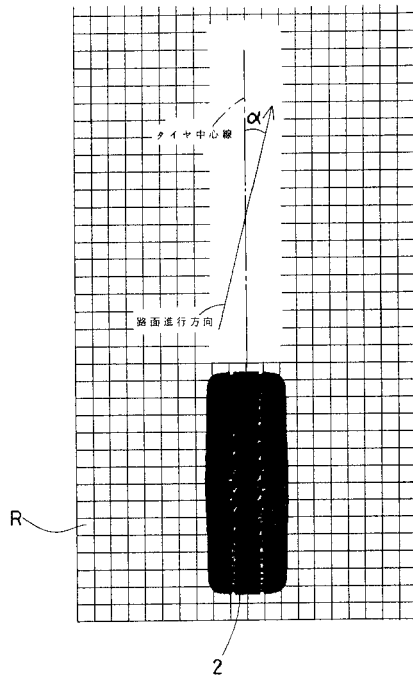
【図 18】



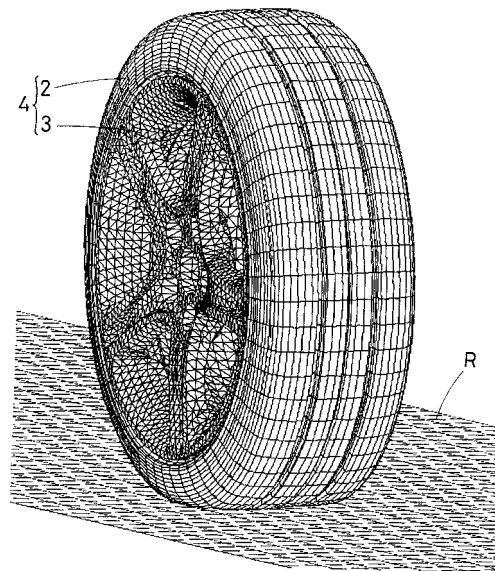
【図 17】



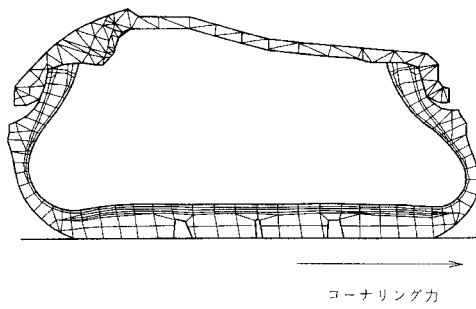
【図 19】



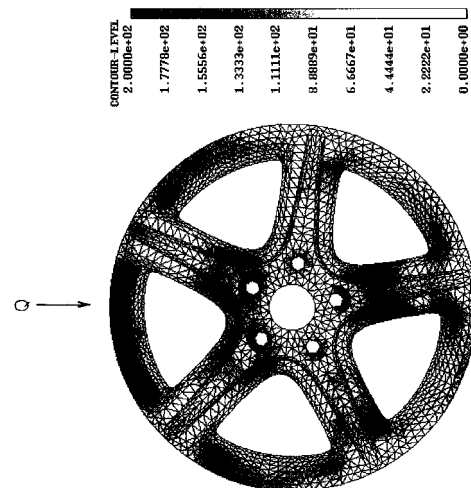
【図 20】



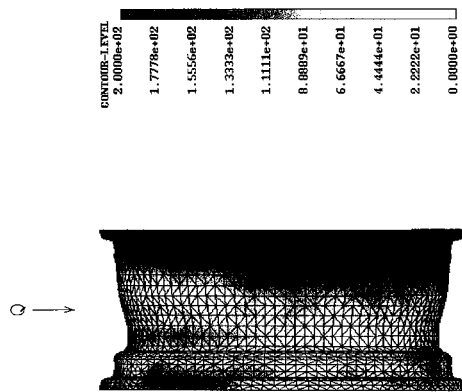
【図 21】



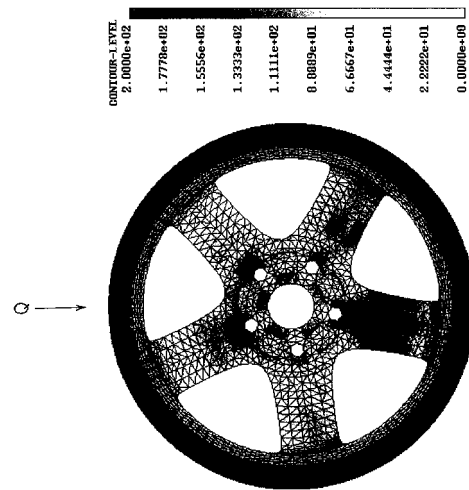
【図 22】



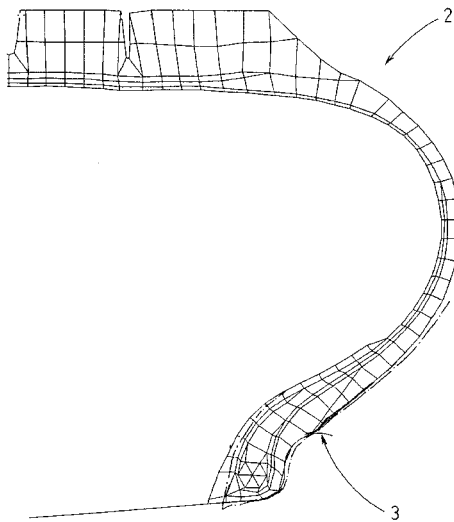
【図 2 3】



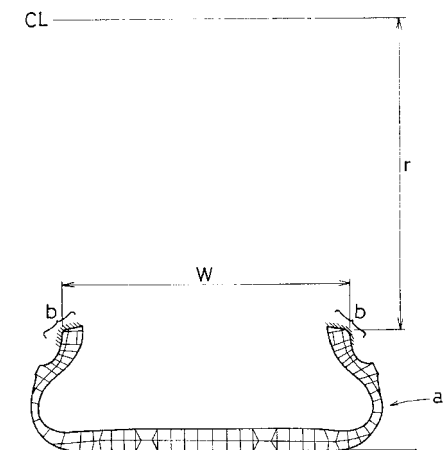
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平11-153520 (JP, A)
特開平07-329526 (JP, A)
特開2001-356080 (JP, A)
加部和幸・小石正隆, タイヤ構造設計のためのスーパーコンピュータによるCAE, YOKOHAMAテクノビュー, 日本, 横浜ゴム株式会社, 1992年 3月, No. 16
- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G01M 17/02
B60C 19/00
B60C 25/00