

(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2019-121335
(P2019-121335A)

(43) 公開日 令和1年7月22日(2019.7.22)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G06F 17/50 (2006.01)	G06F 17/50 612H	3D131
B60C 19/00 (2006.01)	G06F 17/50 680Z	5B046
	B60C 19/00 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2018-93967 (P2018-93967)
 (22) 出願日 平成30年5月15日 (2018.5.15)
 (31) 優先権主張番号 特願2018-796 (P2018-796)
 (32) 優先日 平成30年1月5日 (2018.1.5)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000183233
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 100104134
弁理士 住友 慎太郎
 (74) 代理人 100156225
弁理士 浦 重剛
 (74) 代理人 100168549
弁理士 苗村 潤
 (74) 代理人 100200403
弁理士 石原 幸信
 (72) 発明者 彌榮 洋一
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

最終頁に続く

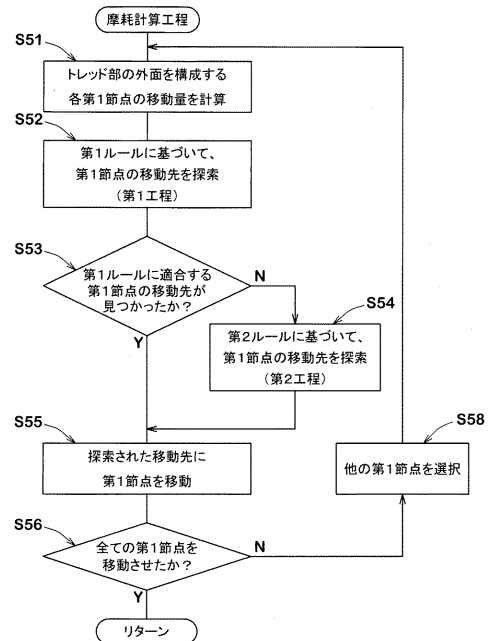
(54) 【発明の名称】 タイヤのシミュレーション方法

(57) 【要約】

【課題】 タイヤのトレッド部の摩耗状態を安定して計算する。

【解決手段】 コンピュータを用いて、タイヤのトレッド部の摩耗状態を計算するためのシミュレーション方法である。このシミュレーション方法は、複数の節点を有する有限個の要素を用いて、タイヤをモデル化したタイヤモデルを、コンピュータに入力する工程と、コンピュータが、節点のうち、タイヤモデルのトレッド部の外面を構成する第1節点をタイヤ半径方向内側に移動させて、トレッド部の摩耗状態を計算する摩耗計算工程とを含む。摩耗計算工程は、予め定められた第1ルールに基づいて、第1節点の移動先を探索する第1工程S52と、第1工程S52において、第1ルールに適合する第1節点の移動先が見つからない場合に、第1ルールとは異なる第2ルールに基づいて、第1節点の移動先を探索する第2工程S54と、第1節点を、探索された移動先に移動させる工程S55とを含む。

【選択図】 図8



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

コンピュータを用いて、タイヤのトレッド部の摩耗状態を計算するためのシミュレーション方法であって、

複数の節点を有する有限個の要素を用いて、前記タイヤをモデル化したタイヤモデルを、前記コンピュータに入力する工程と、

前記コンピュータが、前記節点のうち、前記タイヤモデルの前記トレッド部の外面を構成する第 1 節点をタイヤ半径方向内側に移動させて、前記トレッド部の摩耗状態を計算する摩耗計算工程とを含み、

前記摩耗計算工程は、予め定められた第 1 ルールに基づいて、前記第 1 節点の移動先を探索する第 1 工程と、

前記第 1 工程において、前記第 1 ルールに適合する前記第 1 節点の移動先が見つからない場合に、前記第 1 ルールとは異なる第 2 ルールに基づいて、前記第 1 節点の移動先を探索する第 2 工程と、

前記第 1 節点を、前記探索された移動先に移動させる工程と、

を含むタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 2】

前記要素は、隣接する前記節点間を連結する辺を含み、

前記節点は、前記第 1 節点と前記辺を介して隣接する節点である複数の隣接節点を含み

、
前記第 1 ルール及び前記第 2 ルールは、予め定められた条件に適合する一つの前記隣接節点、又は、前記隣接節点と前記第 1 節点とを連結する一つの辺の上の位置を、前記移動先として決定するものである、請求項 1 記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 3】

前記条件は、前記隣接節点が、前記トレッド部の前記外面を構成しないというものである、請求項 2 記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 4】

前記条件は、前記隣接節点が、前記トレッド部の前記外面を構成するというものである、請求項 2 記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 5】

前記条件は、前記トレッド部の前記外面のうち、前記隣接節点が、路面に接地しない外面を構成するというものである、請求項 4 記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 6】

前記条件は、前記隣接節点が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというものである、請求項 2 乃至 5 のいずれかに記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 7】

前記条件は、前記隣接節点が、その隣接節点と前記第 1 節点とを連結する前記辺と、前記第 1 節点からタイヤ半径方向内側にのびる直線とのなす角度が最小であるというものである、請求項 2 乃至 6 のいずれかに記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 8】

前記条件は、前記隣接節点が、その隣接節点と前記第 1 節点とを連結する前記辺と、前記トレッド部の前記外面を構成しかつ前記第 1 節点につながる複数の前記辺の法線方向を平均した方向とのなす角度が最小であるというものである、請求項 2 乃至 7 のいずれかに記載のタイヤのシミュレーション方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、タイヤのトレッド部の摩耗状態を計算するためのシミュレーション方法に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

下記特許文献 1 は、タイヤを有限個の要素で離散化したタイヤモデルを用いて、タイヤのトレッド部の摩耗状態を計算するためのシミュレーション方法を提案している。下記特許文献 1 のシミュレーション方法では、タイヤモデルのトレッド接地面を構成する第 1 節点を、その第 1 節点のタイヤ半径方向内側に位置する第 2 節点側に移動させるという単一のルールに基づいて、コンピュータが、第 1 節点を第 2 節点側に移動させている。これにより、下記特許文献 1 のシミュレーション方法では、トレッド部の摩耗状態が計算される。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

10

【 0 0 0 3 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 7 - 0 3 3 0 7 6 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 4 】

タイヤモデルのトレッド部を構成する各要素は、タイヤのトレッド部の形状を離散化することで形成されるため、それぞれ複雑な形状を有する場合がある。このため、第 1 節点のタイヤ半径方向内側には、第 2 節点が存在しない場合がある。このような場合、上記のような単一のルールでは、コンピュータが、第 1 節点の移動先を見つけることができず、第 1 節点を移動できないという問題があった。したがって、上記特許文献 1 のシミュレーション方法では、摩耗状態の計算が中断されたり、計算を続行できたとしても、計算されたトレッド部の摩耗状態が、実際のトレッド部の摩耗状態から乖離したりするため、摩耗状態の安定計算には、更なる改善の余地があった。

20

【 0 0 0 5 】

本発明は、以上のような実状に鑑み案出されたもので、タイヤのトレッド部の摩耗状態を安定して計算することができるシミュレーション方法を提供することを主たる目的としている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

本発明は、コンピュータを用いて、タイヤのトレッド部の摩耗状態を計算するためのシミュレーション方法であって、複数の節点を有する有限個の要素を用いて、前記タイヤをモデル化したタイヤモデルを、前記コンピュータに入力する工程と、前記コンピュータが、前記節点のうち、前記タイヤモデルの前記トレッド部の外面を構成する第 1 節点をタイヤ半径方向内側に移動させて、前記トレッド部の摩耗状態を計算する摩耗計算工程とを含み、前記摩耗計算工程は、予め定められた第 1 ルールに基づいて、前記第 1 節点の移動先を探索する第 1 工程と、前記第 1 工程において、前記第 1 ルールに適合する前記第 1 節点の移動先が見つからない場合に、前記第 1 ルールとは異なる第 2 ルールに基づいて、前記第 1 節点の移動先を探索する第 2 工程と、前記第 1 節点を、前記探索された移動先に移動させる工程と、を含むことを特徴とする。

30

【 0 0 0 7 】

本発明に係る前記タイヤのシミュレーション方法において、前記要素は、隣接する前記節点間を連結する辺を含み、前記節点は、前記第 1 節点と前記辺を介して隣接する節点である複数の隣接節点を含み、前記第 1 ルール及び前記第 2 ルールは、予め定められた条件に適合する一つの前記隣接節点、又は、前記隣接節点と前記第 1 節点とを連結する一つの辺の上の位置を、前記移動先として決定するものであってもよい。

40

【 0 0 0 8 】

本発明に係る前記タイヤのシミュレーション方法において、前記条件は、前記隣接節点が、前記トレッド部の前記外面を構成しないというものでもよい。

【 0 0 0 9 】

本発明に係る前記タイヤのシミュレーション方法において、前記条件は、前記隣接節点

50

が、前記トレッド部の前記外面を構成するというものでもよい。

【0010】

本発明に係る前記タイヤのシミュレーション方法において、前記条件は、前記トレッド部の前記外面のうち、前記隣接節点が、路面に接地しない外面を構成するというものでもよい。

【0011】

本発明に係る前記タイヤのシミュレーション方法において、前記条件は、前記隣接節点が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するものでもよい。

【0012】

本発明に係る前記タイヤのシミュレーション方法において、前記条件は、前記隣接節点が、その隣接節点と前記第1節点とを連結する前記辺と、前記第1節点からタイヤ半径方向内側にのびる直線とのなす角度が最小であってもよい。

10

【0013】

本発明に係る前記タイヤのシミュレーション方法において、前記条件は、前記隣接節点が、その隣接節点と前記第1節点とを連結する前記辺と、前記トレッド部の前記外面を構成しかつ前記第1節点につながる複数の前記辺の法線方向を平均した方向とのなす角度が最小であってもよい。

【発明の効果】

【0014】

本発明のタイヤのシミュレーション方法は、コンピュータが、タイヤモデルの節点のうち、前記タイヤモデルのトレッド部の外面を構成する第1節点をタイヤ半径方向内側に移動させて、前記トレッド部の摩耗状態を計算する摩耗計算工程を含んでいる。

20

【0015】

前記摩耗計算工程は、予め定められた第1ルールに基づいて、前記第1節点の移動先を探索する第1工程と、前記第1工程において、前記第1ルールに適合する前記第1節点の移動先が見つからない場合に、前記第1ルールとは異なる第2ルールに基づいて、前記第1節点の移動先を探索する第2工程と、前記第1節点を、前記探索された移動先に移動させる工程とを含んでいる。

【0016】

本発明では、前記第1ルールに基づいて、前記第1節点の移動先が見つからなくても、第2ルールに基づいて、前記第1節点の移動先を探索することができる。したがって、本発明では、前記第1節点をタイヤ半径方向内側に確実に移動させることができるため、前記トレッド部の摩耗状態を安定して計算することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】タイヤのシミュレーション方法を実行するためのコンピュータの一例を示す斜視図である。

【図2】タイヤの一例を示す断面図である。

【図3】タイヤのシミュレーション方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図4】タイヤモデル及び路面モデルの一例を示す斜視図である。

40

【図5】タイヤモデルの一例を示す断面図である。

【図6】前処理工程の処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図7】(a)は、第1節点が移動する前の状態を説明する図、(b)は、第1節点が移動した後の状態を説明する図である。

【図8】摩耗計算工程の処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図9】(a)は、第1ルールに基づいて移動先が決定された第1節点の一例を示す図、(b)は、第2ルールに基づいて移動先が決定された第1節点の一例を示す図である。

【図10】本発明の他の実施形態の第2ルールに基づいて移動先が決定された第1節点の一例を示す図である。

【図11】(a)は、第1ルールに基づいて移動先が見つからない第1節点の一例を示す

50

図、(b)は、第2ルールに基づいて移動先が決定された第1節点の一例を示す図である。

【図12】本発明の他の実施形態の第2ルールに基づいて移動先が決定された第1節点を示す図である。

【図13】本発明のさらに他の実施形態の第2ルールに基づいて移動先が決定された第1節点を示す図である。

【図14】本発明のさらに他の実施形態の第2ルールに基づいて移動先が決定された第1節点を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の実施の一形態が図面に基づき説明される。

本実施形態のタイヤのシミュレーション方法(以下、単に「シミュレーション方法」ということがある。)では、コンピュータを用いて、タイヤのトレッド部の摩耗状態が計算される。

【0019】

図1は、本実施形態のシミュレーション方法を実行するためのコンピュータの一例を示す斜視図である。コンピュータ1は、本体1a、キーボード1b、マウス1c及びディスプレイ装置1dを含んでいる。この本体1aには、例えば、演算処理装置(CPU)、ROM、作業用メモリ、磁気ディスクなどの記憶装置、及び、ディスクドライブ装置1a1、1a2が設けられている。記憶装置には、本実施形態のシミュレーション方法を実行するためのソフトウェア等が予め記憶されている。したがって、コンピュータ1は、タイヤのトレッド部の摩耗状態を計算するシミュレーション装置として構成される。

【0020】

図2は、本実施形態のシミュレーション方法で、トレッド部の摩耗状態が予測されるタイヤの一例を示す断面図である。本実施形態のタイヤ2は、トレッド部2aからサイドウォール部2bを経てビード部2cのビードコア5に至るカーカス6と、このカーカス6のタイヤ半径方向外側かつトレッド部2aの内部に配されるベルト層7とを具えている。

【0021】

トレッド部2aには、タイヤ周方向に連続してのびる主溝9が設けられている。これにより、トレッド部2aは、主溝9で区分された複数の陸部10が設けられている。また、各陸部10には、主溝9、9の間、又は、主溝9とトレッド接地端2tとの間をタイヤ軸方向にのびる横溝(図示省略)が設けられている。

【0022】

本明細書において、「トレッド接地端2t」とは、正規リムにリム組みしかつ正規内圧を充填した状態のタイヤ2に、正規荷重を負荷してキャンパー角0度にて平坦面に接地させたときのトレッド接地面のタイヤ軸方向の最外端とする。

【0023】

「正規リム」とは、タイヤに基づいている規格を含む規格体系において、当該規格がタイヤ毎に定めるリムであり、例えばJATMAであれば「標準リム」、TRAであれば「Design Rim」、ETRT0であれば「Measuring Rim」とする。

【0024】

「正規内圧」とは、タイヤに基づいている規格を含む規格体系において、各規格がタイヤ毎に定めている空気圧であり、JATMAであれば「最高空気圧」、TRAであれば表「TIRE LOAD LIMITS AT VARIOUS COLD INFLATION PRESSURES」に記載の最大値、ETRT0であれば「INFLATION PRESSURE」とするが、タイヤが乗用車用である場合には180kPaとする。

【0025】

「正規荷重」とは、前記規格がタイヤ毎に定めている荷重であり、JATMAであれば最大負荷能力、TRAであれば表「TIRE LOAD LIMITS AT VARIOUS COLD INFLATION PRESSURES」に記載の最大値、ETRT0であれば「LOAD CAPACITY」である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

カーカス 6 は、少なくとも 1 枚以上、本実施形態では 1 枚のカーカスプライ 6 A で構成される。このカーカスプライ 6 A は、トレッド部 2 a からサイドウォール部 2 b を経てビード部 2 c のビードコア 5 に至る本体部 6 a と、この本体部 6 a に連なりビードコア 5 の廻りをタイヤ軸方向内側から外側に折り返された折返し部 6 b とを含んでいる。本体部 6 a と折返し部 6 b との間には、ビードコア 5 からタイヤ半径方向外側にのびるビードエベックスゴム 8 が配される。また、カーカスプライ 6 A は、タイヤ赤道 C に対して、例えば 75 ~ 90 度の角度で配列されたカーカスコードを有している。

【 0 0 2 7 】

ベルト層 7 は、ベルトコードを、タイヤ周方向に対して例えば 10 ~ 35 度の角度で傾けて配列した内、外 2 枚のベルトプライ 7 A、7 B を含んで構成されている。これらのベルトプライ 7 A、7 B は、ベルトコードが互いに交差する向きに重ね合わされている。

【 0 0 2 8 】

図 3 は、タイヤのシミュレーション方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。本実施形態のシミュレーション方法では、先ず、タイヤ 2 をモデル化したタイヤモデルが、コンピュータ 1 に入力される (工程 S 1)。図 4 は、タイヤモデル 1 1 及び路面モデル 2 1 の一例を示す斜視図である。図 5 は、タイヤモデル 1 1 の一例を示す断面図である。なお、図 4 では、タイヤモデル 1 1 の主溝モデル 1 2 (図 5 に示す)、横溝モデル (図示省略)、及び、メッシュ (即ち、要素 F (i)) を省略して表示している。

【 0 0 2 9 】

図 5 に示されるように、工程 S 1 では、タイヤ 2 (図 2 に示す) に関する情報に基づいて、数値解析法により取り扱い可能な有限個の要素 F (i) (i = 1、2、...) で離散化している。これにより、タイヤ 2 がモデル化されたタイヤモデル 1 1 が設定される。数値解析法としては、例えば有限要素法、有限体積法、差分法又は境界要素法が適宜採用できるが、本実施形態では有限要素法が採用される。要素 F (i) としては、例えば、4 面体ソリッド要素、5 面体ソリッド要素、又は、6 面体ソリッド要素などが用いられるのが望ましい。各要素 F (i) は、複数個の節点 1 5 を有している。

【 0 0 3 0 】

本実施形態の要素 F (i) は、隣接する節点 1 5、1 5 間を連結する辺 1 6 が設けられている。辺 1 6 は、直線状にのびている。このような各要素 F (i) には、要素番号、節点 1 5 の番号、節点 1 5 の座標値及び材料特性 (例えば密度、ヤング率及び / 又は減衰係数等) などの数値データが定義される。

【 0 0 3 1 】

タイヤモデル 1 1 のトレッド部 1 1 a には、主溝 9 (図 2 に示す) が再現された主溝モデル 1 2 と、陸部 1 0 (図 2 に示す) が再現された陸部モデル 1 3 と、横溝 (図示省略) が再現された横溝モデル (図示省略) が設定されている。主溝モデル 1 2 及び横溝モデルには、溝底 1 2 b と、溝底 1 2 b からトレッド接地面 1 1 s にのびる溝壁 1 2 s とが設けられている。本実施形態のタイヤモデル 1 1 は、横溝モデルが設定されているが、省略されてもよい。

【 0 0 3 2 】

要素 F (i) の節点 1 5 には、タイヤモデル 1 1 のトレッド部 1 1 a の外面 1 4 を構成する第 1 節点 1 7 を含んでいる。この外面 1 4 には、後述の路面モデル 2 1 に接地するトレッド接地面 1 1 s、及び、溝底が隆起したタイバー 1 1 b (図 9 (b) に示す) を含んでいる。なお、外面 1 4 には、トレッド接地端 1 1 t からタイヤ半径方向の内方にのびるバットレス面 1 1 u、溝底 1 2 b 及び溝壁 1 2 s が含まれてもよい。タイヤモデル 1 1 は、コンピュータ 1 に入力される。

【 0 0 3 3 】

次に、本実施形態のシミュレーション方法では、コンピュータ 1 に、路面 (図示省略) をモデル化した路面モデル 2 1 (図 4 に示す) が入力される (工程 S 2)。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

工程 S 2 では、図 4 に示されるように、路面（図示省略）に関する情報に基づいて、数値解析法（本実施形態では、有限要素法）により取り扱い可能な有限個の要素 $G(i)$ ($i = 1, 2, \dots$) で離散化している。これにより、工程 S 2 では、路面モデル 2 1 が設定される。

【0035】

要素 $G(i)$ は、変形不能に設定された剛平面要素からなる。この要素 $G(i)$ には、複数の節点 2 2 と、節点 2 2、2 2 間を連結する辺 2 3 とが設けられている。さらに、要素 $G(i)$ は、要素番号や、節点 2 2 の座標値等の数値データが定義される。

【0036】

本実施形態では、路面モデル 2 1 として、平滑な表面を有するものが例示されたが、必要に応じて、アスファルト路面のような微小凹凸、不規則な段差、窪み、うねり、又は、轍等の実走行路面に近似した凹凸などが設けられても良い。路面モデル 2 1 は、コンピュータ 1 に記憶される。

10

【0037】

次に、本実施形態のシミュレーション方法では、コンピュータ 1（図 1 に示す）が、路面モデル 2 1 を転動するタイヤモデル 1 1 を計算する（前処理工程 S 3）。図 6 は、前処理工程 S 3 の処理手順の一例を示すフローチャートである。

【0038】

本実施形態の前処理工程 S 3 では、先ず、図 4 及び図 5 に示されるように、タイヤモデル 1 1 を路面モデル 2 1 に接地させるための境界条件が定義される（工程 S 3 1）。境界条件としては、例えば、タイヤモデル 1 1 の内圧条件、負荷荷重条件 L 、キャンパー角、及び、タイヤモデル 1 1 と路面モデル 2 1 との摩擦係数等が設定される。さらに、境界条件としては、走行速度 V に対応する角速度 V_1 、並進速度 V_2 、及び、旋回角度（図示省略）が設定される。なお、並進速度 V_2 は、タイヤモデル 1 1 が路面モデル 2 1 に接地している面での速度である。これらの条件は、コンピュータ 1（図 1 に示す）に入力される。

20

【0039】

次に、本実施形態の前処理工程 S 3 では、図 5 に示されるように、内圧充填後のタイヤモデル 1 1 が計算される（工程 S 3 2）。工程 S 3 2 では、先ず、タイヤ 2 のリム 2 6（図 2 に示す）がモデル化されたりムモデル 2 7 によって、タイヤモデル 1 1 のビード部 1 1 c、1 1 c が拘束される。さらに、タイヤモデル 1 1 は、内圧条件に相当する等分布荷重 w に基づいて変形計算される。これにより、内圧充填後のタイヤモデル 1 1 が計算される。内圧は、例えば、タイヤ 2（図 2 に示す）に基づいている規格を含む規格体系において、各規格が定めている空気圧が設定されるのが望ましい。

30

【0040】

タイヤモデル 1 1 の変形計算は、各要素 $F(i)$ の形状及び材料特性などをもとに、各要素 $F(i)$ の質量マトリックス、剛性マトリックス、及び、減衰マトリックスがそれぞれ作成される。さらに、これらの各マトリックスが組み合わされて、全体の系のマトリックスが作成される。そして、コンピュータ 1 が、前記各種の条件を当てはめて運動方程式を作成し、これらを微小時間（単位時間 $T(x)$ ($x = 0, 1, \dots$)) 毎にタイヤモデル 1 1 の変形計算を行う。このようなタイヤモデル 1 1 の変形計算（後述するタイヤモデル 1 1 の転動計算を含む）は、例えば、LSTC社製の LS-DYNA などの市販の有限要素解析アプリケーションソフトを用いて計算できる。なお、単位時間 $T(x)$ については、求められるシミュレーション精度によって、適宜設定することができる。

40

【0041】

次に、本実施形態の前処理工程 S 3 では、荷重負荷後のタイヤモデル 1 1 が計算される（工程 S 3 3）。工程 S 3 3 では、図 4 に示されるように、内圧充填後のタイヤモデル 1 1 と、路面モデル 2 1 との接触が計算される。次に、工程 S 3 3 では、負荷荷重条件 L 、キャンパー角（図示省略）、及び、摩擦係数に基づいて、タイヤモデル 1 1 の変形が計算される。これにより、工程 S 3 3 では、路面モデル 2 1 に接地した荷重負荷後のタイヤモ

50

デル 1 1 が計算される。

【 0 0 4 2 】

次に、本実施形態の前処理工程 S 3 では、路面モデル 2 1 を転動するタイヤモデル 1 1 が計算される（工程 S 3 4）。工程 S 3 4 では、先ず、図 4 に示されるように、角速度 V_1 がタイヤモデル 1 1 に設定される。さらに、路面モデル 2 1 には、並進速度 V_2 が設定される。これにより、工程 S 3 4 では、路面モデル 2 1 の上を転動しているタイヤモデル 1 1 を計算することができる。

【 0 0 4 3 】

タイヤモデル 1 1 の転動条件としては、例えば、タイヤ 2（図 2 に示す）の走行状態に応じて、自由転動、制動、駆動、及び、旋回など適宜設定することができる。これらの転動条件は、タイヤモデル 1 1 に角速度 V_1 及びスリップ角（図示省略）が適宜定義されることで、容易に設定することができる。

10

【 0 0 4 4 】

次に、本実施形態のシミュレーション方法では、コンピュータ 1 が、トレッド部 1 1 a の外面 1 4 の摩耗に関連付けられた物理量を計算する（工程 S 4）。工程 S 4 では、タイヤモデル 1 1 の節点 1 5 のうち、トレッド部 1 1 a の外面 1 4 を構成する第 1 節点 1 7（図 5 に示す）について、摩耗に関連付けられた物理量（以下、単に「物理量」ということがある。）が計算される。

【 0 0 4 5 】

本実施形態の工程 S 4 で計算される物理量は、第 1 節点 1 7 での摩耗エネルギーである。本実施形態の工程 S 4 では、図 4 に示されるように、路面モデル 2 1 を転動するタイヤ 2 に基づいて、第 1 節点 1 7（図 5 に示す）の摩耗エネルギー E が計算される。

20

【 0 0 4 6 】

工程 S 4 では、第 1 節点 1 7（図 5 に示す）の摩耗エネルギー E を計算するために、路面モデル 2 1 に接地する第 1 節点 1 7（図 5 に示す）において、せん断力 P 及びすべり量 Q が計算される。せん断力 P は、タイヤ軸方向 x のせん断力 P_x 、及び、タイヤ周方向 y のせん断力 P_y を含んでいる。すべり量 Q は、せん断力 P_x に対応するタイヤ軸方向 x のすべり量 Q_x 、及び、せん断力 P_y に対応するタイヤ周方向 y のすべり量 Q_y が含まれる。これらの各第 1 節点 1 7 のせん断力 P_x 、 P_y 及びすべり量 Q_x 、 Q_y は、シミュレーションの単位時間 $T(x)$ 毎に計算される。

30

【 0 0 4 7 】

そして、各第 1 節点 1 7 のせん断力 $P_x(i)$ 、 $P_y(i)$ と、該せん断力 $P_x(i)$ 、 $P_y(i)$ に対応するすべり量 $Q_x(i)$ 、 $Q_y(i)$ とが乗じられ、その乗じた値が各第 1 節点 1 7 の接地入から接地出まで積算される。これにより、各第 1 節点 1 7 での摩耗エネルギー E が計算される。各第 1 節点 1 7 の摩耗エネルギー E は、コンピュータ 1 に記憶される。

【 0 0 4 8 】

次に、本実施形態のシミュレーション方法は、コンピュータ 1 が、トレッド部 1 1 a の摩耗状態を計算する（摩耗計算工程 S 5）。本実施形態の摩耗計算工程 S 5 では、タイヤモデル 1 1 の節点 1 5 のうち、第 1 節点 1 7 をタイヤ半径方向内側に移動させて、トレッド部 1 1 a の摩耗状態を計算している。図 7 は、本実施形態の摩耗計算工程に関し、(a) は、第 1 節点 1 7 が移動する前の状態を説明する図、(b) は、第 1 節点 1 7 が移動した後の状態を説明する図である。なお、図 7 (b) では、(a) に示した第 1 節点 1 7 を含む全ての第 1 節点 1 7 を移動した後の状態を示している。

40

【 0 0 4 9 】

本実施形態の摩耗計算工程 S 5 では、予め定められた第 1 ルール又は第 2 ルールに基づいて、第 1 節点 1 7 の移動先（以下、単に「移動先」ということがある。）2 0 が探索される。本実施形態の第 1 ルール及び第 2 ルールは、第 1 節点 1 7 と辺 1 6 を介して隣接する節点である複数の隣接節点 1 8 のうち、予め定められた条件に適合する一つの隣接節点 1 8 と、第 1 節点 1 7 とを連結する一つの辺 1 6 の上の位置を、移動先 2 0 として決定す

50

るものである。第1ルール及び第2ルールの詳細については、後述する。また、隣接節点18には、第1節点17と隣接する他の第1節点17が含まれる。図8は、摩耗計算工程S5の処理手順の一例を示すフローチャートである。

【0050】

本実施形態の摩耗計算工程S5では、まず、各第1節点17の摩耗エネルギー（摩耗に関連付けられた物理量）Eに基づいて、各第1節点17の移動量Mが計算される（工程S51）。本実施形態の移動量Mは、第1節点17と隣接節点18とを連結する辺16に沿った移動量として定義される。

【0051】

各第1節点17の移動量Mは、第1節点17の摩耗エネルギーEが、摩耗係数Kで乗じられることによって計算される。摩耗係数Kは、図2に示したタイヤ2のトレッドゴム2gの単位摩耗エネルギー当たりの摩耗量を示す係数である。摩耗係数Kは、例えば、タイヤ2を用いた実車試験等に基づき、予め設定される。したがって、移動量Mは、第1節点17に対応するタイヤ2のトレッド部2a（図2に示す）の各位置での摩耗量として計算することができる。移動量Mは、コンピュータ1に記憶される。

10

【0052】

次に、本実施形態の摩耗計算工程S5では、第1ルールに基づいて、第1節点17の移動先20が探索される（第1工程S52）。上述したように、第1ルールは、予め定められた条件に適合する一つの隣接節点18と第1節点17とを連結する一つの辺16の上の位置を、移動先20として決定するものである。第1ルールの条件としては、適宜設定することができる。本実施形態の第1ルールの条件は、隣接節点18が、トレッド部11aの外面14を構成しないというものである。図9(a)は、第1ルールに基づいて移動先が決定された第1節点17の一例を示す図である。図9(b)は、第2ルールに基づいて移動先20が決定された第1節点17の一例を示す図である。

20

【0053】

図9(a)に示した第1節点17には、第1節点17と辺16を介して隣接する隣接節点18が三つ存在する。これらの隣接節点18のうち、第1ルールの条件（即ち、トレッド部11aの外面14を構成しないというもの）に適合する隣接節点18は、一つのみ存在している。このような場合、第1工程S52では、第1ルールの条件に適合する一つの隣接節点18と第1節点17とを連結する一つの辺16の上の位置に、第1節点17の移動先20が決定される。

30

【0054】

本実施形態の第1工程S52では、決定された一つの辺16に沿って、第1節点17から隣接節点18側に、第1節点17の摩耗エネルギーEから計算された移動量Mを離間した位置を、第1節点17の移動先20として決定される。このような移動先20に第1節点17を移動させることにより、第1節点17をタイヤ半径方向内側に移動させることができるため、トレッド部11aの摩耗状態を計算することができる。決定された移動先20は、コンピュータ1に記憶される。

【0055】

一方、図9(b)に示した第1節点17には、第1節点17と辺16を介して隣接する隣接節点18が2つ存在する。上述したように、タイヤモデル11の外面14には、トレッド接地面11s、及び、タイバー11bが含まれる。したがって、これらの隣接節点18のうち、第1ルールの条件（即ち、トレッド部11aの外面14を構成しないというもの）に適合する隣接節点18は、一つも存在しない。したがって、第1工程S52では、第1ルールに適合する第1節点17の移動先20を見つけることができない。このような場合、本実施形態の摩耗計算工程S5では、後述の第2工程S54において、第1節点17の移動先20が探索される。

40

【0056】

次に、本実施形態の摩耗計算工程S5では、第1工程S52において、第1ルールに適合する第1節点17の移動先20が見つかったか否かが判断される（工程S53）。第1

50

工程 S 5 2 において、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 が見つかったと判断された場合（工程 S 5 3 で、「Y」）、次の工程 S 5 5 が実施される。他方、第 1 工程 S 5 2 において、第 1 節点の移動先 2 0 が見つからないと判断された場合（工程 S 5 3 において、「N」）、次の第 2 工程 S 5 4 が実施される。

【 0 0 5 7 】

次に、本実施形態の摩耗計算工程 S 5 では、第 1 ルールとは異なる第 2 ルールに基づいて、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 が探索される（第 2 工程 S 5 4）。本実施形態の第 2 ルールは、第 1 ルールと同様に、予め定められた条件に適合する一つの隣接節点 1 8 と第 1 節点 1 7 とを連結する一つの辺 1 6 の上の位置を、移動先 2 0 として決定するものである。

【 0 0 5 8 】

本実施形態の第 2 ルールの条件は、隣接節点 1 8 が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというものである。このような条件は、本実施形態の第 1 ルールの条件（隣接節点 1 8 が、トレッド部 1 1 a の外面 1 4 を構成しないというもの）を満たさない隣接節点 1 8 も、検索対象に含まれる。したがって、第 2 ルールは、第 1 ルールに比べて、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 をより確実に探索することができる。

【 0 0 5 9 】

図 9（b）に示したように、第 1 節点 1 7 には、第 1 節点 1 7 と辺 1 6 を介して隣接する隣接節点 1 8 が 2 つ存在する（この例では、一方の隣接節点 1 8 a 及び他方の隣接節点 1 8 b）。これらの二つ隣接節点 1 8 a、1 8 b のうち、第 2 ルールの条件（即ち、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというもの）に適合する隣接節点 1 8 は、一つのみ存在している（この例では、他方の隣接節点 1 8 b）。このような場合、第 2 工程 S 5 4 では、第 2 ルールの条件に適合する一つの隣接節点 1 8（この例では、他方の隣接節点 1 8 b）と第 1 節点 1 7 とを連結する一つの辺（この例では、他方の辺 1 6 b）の上の位置に、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 が決定される。

【 0 0 6 0 】

本実施形態の第 2 工程 S 5 4 では、決定された一つの辺 1 6（この例では、他方の辺 1 6 b）に沿って、第 1 節点 1 7 から隣接節点 1 8（この例では、他方の隣接節点 1 8 b）側に、第 1 節点 1 7 の摩耗エネルギー E から計算された移動量 M を離間した位置を、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 として決定される。このような移動先 2 0 に第 1 節点 1 7 を移動させることで、第 1 節点 1 7 をタイヤ半径方向内側に移動させることができる。決定された移動先 2 0 は、コンピュータ 1 に記憶される。

【 0 0 6 1 】

次に、本実施形態の摩耗計算工程 S 5 では、第 1 節点 1 7 を、探索された移動先 2 0 に移動させる（工程 S 5 5）。図 7（a）に示されるように、移動先 2 0 は、第 1 節点 1 7 のタイヤ半径方向内側に位置している。このような移動先 2 0 に、第 1 節点 1 7 を移動させることで、図 7（b）に示されるように、トレッド部 1 1 a の摩耗状態を計算することができる。移動させた第 1 節点 1 7 は、コンピュータ 1 に記憶される。

【 0 0 6 2 】

工程 S 5 5 では、図 7（b）に示されるように、移動後の第 1 節点 1 7 と隣接節点 1 8 との距離 L 1 が、予め定められた閾値以下である場合、第 1 節点 1 7 を削除して、隣接節点 1 8 を新たな第 1 節点 1 7 として定義される。これにより、摩耗計算工程 S 5 では、トレッド部 1 1 a の摩耗をさらに進展させることができる。なお、距離 L 1 の閾値については、例えば、求められるシミュレーション精度に応じて、適宜設定することができる。

【 0 0 6 3 】

なお、第 2 工程 S 5 4 において、移動先 2 0 を決定することができなかつた場合には、第 1 節点 1 7 を移動させることができない。この場合、摩耗状態の計算を中断して、タイヤモデルを入力する工程 S 1（図 3 に示す）から再度実施されてもよい。

【 0 0 6 4 】

次に、本実施形態の摩耗計算工程 S 5 では、全ての第 1 節点 1 7 が移動先 2 0 に移動したか否かが判断される（工程 S 5 6）。工程 S 5 6 において、全ての第 1 節点 1 7 が移動

10

20

30

40

50

先20に移動したと判断された場合（工程S56において、「Y」）、次の工程S6（図3に示す）が実施される。他方、工程S56において、全ての第1節点17が移動先20に移動していないと判断された場合（工程S56において、「N」）、他の第1節点17を選択し（工程S58）、工程S51～工程S56が再度実施される。これにより、摩耗計算工程S5では、全ての第1節点17を、探索された移動先20に移動させることができる。したがって、本実施形態の摩耗計算工程S5では、トレッド部11aの摩耗状態を計算することができる。

【0065】

本実施形態の摩耗計算工程S5では、第1ルールに基づいて、第1節点17の移動先20が見つからなくても、第2ルールに基づいて、第1節点17の移動先20を探索することができる。したがって、本実施形態のシミュレーション方法では、第1節点17をタイヤ半径方向内側に確実に移動させることができるため、トレッド部11aの摩耗状態を安定して計算することができる。さらに、移動先20は、実際のタイヤ2の摩耗量として計算された移動量Mに基づいて決定されるため、実際のタイヤ2の摩耗形状にさらに近似した計算結果を得ることができる。

10

【0066】

次に、本実施形態のシミュレーション方法では、予め定められた終了条件を満足したか否かが判断される（工程S6）。終了条件については、例えば、計算終了時間や、トレッド部11aの摩耗量など、適宜設定することができる。工程S6において、終了条件を満足したと判断された場合（工程S6で、「Y」）、次の工程S7が実施される。他方、工程S6において、終了条件を満たしていないと判断された場合（工程S6で、「N」）、摩耗したタイヤモデル11に基づいて、工程S4～工程S6が再度実施される。これにより、本実施形態のシミュレーション方法（シミュレーション装置1A（図1に示す））では、終了条件を満たすまで継続して回転したトレッド部11aの摩耗状態を、擬似的に計算することができる。

20

【0067】

次に、本実施形態のシミュレーション方法では、コンピュータ1が、トレッド部11aの摩耗状態が良好か否かを評価する（工程S7）。摩耗状態が良好か否かの評価基準については、例えば、トレッド部11aの摩耗量の大きさや、所定の摩耗量に達するまでの計算ステップ（摩耗の進展ステップ）数等に基づいて、適宜設定することができる。本実施形態の工程S7では、例えば、陸部モデル13（図5に示す）でタイヤ周方向に隔設されたブロックモデル（図示省略）の偏摩耗（ヒールアンドトゥ摩耗）等の大きさに基づいて、摩耗状態が、良好か否かが評価される。

30

【0068】

本実施形態の工程S7では、まず、摩耗後のタイヤモデル11について、ブロックモデル（図示省略）の先着側の外径と、後着側の外径との差（ヒールアンドトゥ摩耗）が計算される。工程S7では、先着側の外径と後着側の外径との差が、予め定められた範囲内である場合に、摩耗状態が良好であると判断している。

【0069】

工程S7において、トレッド部11aの摩耗状態が良好であると判断された場合（工程S7において、「Y」）、図2に示したタイヤ2の設計図（CADデータ）に基づいて、タイヤ2が製造される（工程S8）。他方、工程S7において、トレッド部11aの摩耗状態が良好でないと判断された場合（工程S7において、「N」）、タイヤ2（図2に示す）が再設計され（工程S9）、工程S1～工程S7が再度実施される。これにより、本実施形態のシミュレーション方法では、トレッド部2aの摩耗状態が良好なタイヤ2を確実に設計することができる。

40

【0070】

本実施形態の第2ルールの条件としては、隣接節点18が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというものが例示されたが、このような態様に限定されない。図10は、本発明の他の実施形態の第2ルールに基づいて移動先20が決定された第1節点17を示す図

50

である。この実施形態において、前実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省略することがある。

【0071】

この実施形態の第2ルールの特徴は、隣接節点18が、隣接節点18と第1節点17とを連結する辺16と、第1節点17からタイヤ半径方向内側にのびる直線31とのなす角度1が最小であるというものである。

【0072】

図10に示されるように、第1節点17には、第1節点17と辺16を介して隣接する隣接節点18が2つ存在する。これらの隣接節点18のうち、第1ルールの特徴(即ち、トレッド部11aの外表面14を構成しないというもの)に適合する隣接節点18は、一つも存在しない。一方、二つ隣接節点18a、18bのうち、第2ルールの特徴(即ち、隣接節点18が、隣接節点18と第1節点17とを連結する辺16と、第1節点17からタイヤ半径方向内側に垂直にのびる直線31とのなす角度1が最小であるというもの)に適合する隣接節点18は、一つのみ存在している(この例では、他方の隣接節点18b)。このような場合、第2工程S54では、第2ルールの特徴に適合する一つの隣接節点18(この例では、他方の隣接節点18b)と第1節点17とを連結する一つの辺(この例では、他方の辺16b)の上の位置に、第1節点17の移動先20が決定される。

10

【0073】

図11(a)、(b)は、本発明のさらに他の実施形態のトレッド部11aの拡大図である。この実施形態において、前実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省略することがある。

20

【0074】

図11(a)に示した第1節点17には、第1節点17と辺16を介して隣接する隣接節点18が四つ存在する。これらの隣接節点18のうち、第1ルールの特徴(即ち、トレッド部11aの外表面14を構成しないというもの)に適合する隣接節点18は、二つ存在する(この例では、一方の隣接節点18a及び他方の隣接節点18b)。このような場合、第1節点17の移動先20の候補としては、一方の隣接節点18aと第1節点17とを連結する一方の辺16aの上の位置、及び、他方の隣接節点18bと第1節点17とを連結する他方の辺16bの上の位置が含まれる。したがって、第1工程S52では、第1ルールに適合する第1節点17の移動先20を一つに絞り込む(即ち、一つの移動先20を見つける)ことができず、工程S55において、第1節点17を移動させることができない。

30

【0075】

このような場合、第2工程S54では、第2ルールに基づいて、第1節点17の移動先20が一つに絞り込まれるのが望ましい。この実施形態の第2ルールの特徴は、第1ルールで探索された複数の隣接節点18(一例として、図11(b)に示した一方の隣接節点18a及び他方の隣接節点18b)のうち、一つの隣接節点18を限定するためのものである。この実施形態の第2ルールの特徴は、隣接節点18が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというものである。

【0076】

図11(b)に示されるように、第2ルールの特徴(即ち、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというもの)に適合する隣接節点18は、一つのみ存在している(この例では、他方の隣接節点18b)。このような場合、第2工程S54では、第2ルールの特徴に適合する一つの隣接節点18(この例では、他方の隣接節点18b)と第1節点17とを連結する一つの辺(この例では、他方の辺16b)の上の位置に、第1節点17の移動先20が決定される。

40

【0077】

このように、この実施形態の第2工程S54では、第1ルールで複数の隣接節点18が探索されたとしても、一つの隣接節点18を限定することができる。したがって、この実施形態では、第1節点17をタイヤ半径方向内側に確実に移動させることができるため、

50

トレッド部 11a の摩耗状態を安定して計算することができる。

【0078】

前実施形態の第 2 ルールの条件は、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというものが例示されたが、このような態様に限定されない。図 12 は、本発明の他の実施形態の第 2 ルールに基づいて移動先 20 が決定された第 1 節点 17 を示す図である。この実施形態において、前実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省略することができる。

【0079】

この実施形態の第 2 ルールの条件は、隣接節点 18 が、隣接節点 18 と第 1 節点 17 とを連結する辺 16 と、第 1 節点 17 からタイヤ半径方向内側にのびる直線 31 とのなす角度 1 が最小であるというものである。

10

【0080】

図 12 に示されるように、第 1 節点 17 には、第 1 節点 17 の四つの隣接節点 18 のうち、第 1 ルールの条件（即ち、トレッド部 11a の外面 14 を構成しないというもの）に適合する隣接節点 18 が二つ存在している（この例では、一方の隣接節点 18a 及び他方の隣接節点 18b）。これらの二つ隣接節点 18a、18b のうち、第 2 ルールの条件（即ち、隣接節点 18 が、隣接節点 18 と第 1 節点 17 とを連結する辺 16 と、第 1 節点 17 からタイヤ半径方向内側に垂直にのびる直線 31 とのなす角度 1 が最小であるというもの）に適合する隣接節点 18 は、一つのみ存在している（この例では、他方の隣接節点 18b）。このような場合、第 2 工程 S54 では、第 2 ルールの条件に適合する一つの隣接節点 18（この例では、他方の隣接節点 18b）と第 1 節点 17 とを連結する一つの辺（この例では、他方の辺 16b）の上の位置に、第 1 節点 17 の移動先 20 が決定される。

20

【0081】

図 11 及び図 12 に示した第 2 ルールの条件としては、隣接節点 18 が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというものや、隣接節点 18 が、隣接節点 18 と第 1 節点 17 とを連結する辺 16 と、第 1 節点 17 からタイヤ半径方向内側にのびる直線 31 とのなす角度 1 が最小であるというものが例示されたが、このような態様に限定されない。図 13 は、本発明のさらに他の実施形態の第 2 ルールに基づいて移動先 20 が決定された第 1 節点 17 を示す図である。この実施形態において、前実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省略することができる。

30

【0082】

この実施形態の第 2 ルールの条件は、隣接節点 18 が、その隣接節点 18 と第 1 節点 17 とを連結する辺 16 と、トレッド部 11a の外面 14 を構成しかつ第 1 節点 17 につながる複数の辺 16 の法線方向 33、34 を平均した方向 32 とのなす角度 2 が最小であるというものである。ここで、「平均した方向 32」とは、第 1 節点 17 につながる一方の辺 16 の法線方向 33 のベクトルと、他方の辺 16 の法線方向 34 のベクトルとの内積である。

【0083】

図 13 に示されるように、第 1 節点 17 には、第 1 節点 17 の四つの隣接節点 18 のうち、第 1 ルールの条件（即ち、トレッド部 11a の外面 14 を構成しないというもの）に適合する隣接節点 18 が二つ存在している（この例では、一方の隣接節点 18a 及び他方の隣接節点 18b）。これらの二つ隣接節点 18a、18b のうち、第 2 ルールの条件（即ち、隣接節点 18 が、その隣接節点 18 と第 1 節点 17 とを連結する辺 16 と、トレッド部 11a の外面 14 を構成しかつ第 1 節点 17 につながる複数の辺 16 の法線方向 33、34 を平均した方向 32 とのなす角度 2 が最小であるというもの）に適合する隣接節点 18 は、一つのみ存在している（この例では、他方の隣接節点 18b）。このような場合、第 2 工程 S54 では、第 2 ルールの条件に適合する一つの隣接節点 18（この例では、他方の隣接節点 18b）と第 1 節点 17 とを連結する一つの辺 16（この例では、他方の辺 16b）の上の位置に、第 1 節点 17 の移動先 20 が決定される。

40

50

【 0 0 8 4 】

このような第2ルールの特徴は、例えば、乗用車用のタイヤモデルに比べて、トレッドラジウスが小さくかつ要素F(i)の形状が複雑になりやすい自動二輪車用のタイヤモデルにおいて、トレッド部11aのトレッド接地面11sよりも内方に位置する隣接節点18を、効果的に探索することができる。

【 0 0 8 5 】

第2ルールの他の条件としては、例えば、隣接節点18が、トレッド部11aの外面14を構成しないというものでよいし、トレッド部11aの外面14を構成するというものでよい。このような第2ルールの特徴は、トレッド部11aの外面14を構成しない隣接節点18のみならず、トレッド部11aの外面14を構成する隣接節点18も検索対象として含まれるため、第1ルールに比べて、第1節点17の移動先20をより確実に探索することができる。

10

【 0 0 8 6 】

図14は、本発明のさらに他の実施形態の第2ルールに基づいて移動先が決定された第1節点17を示す斜視図である。この実施形態において、これまでの実施形態と同一の構成については、同一の符号を付し、説明を省略することがある。

【 0 0 8 7 】

図14に示した第1節点17には、第1節点17と辺16を介して隣接する隣接節点18が4つ存在する(隣接節点18a~18d)。上述したように、タイヤモデル11の外面14は、トレッド接地面11s、及び、タイバー11bを含んでいる。したがって、これらの隣接節点18は、トレッド部11aの外面14を構成しているため、第1ルールの条件(即ち、隣接節点18が、トレッド部11aの外面14を構成しないというもの)に適合する隣接節点18は、一つも存在しない。

20

【 0 0 8 8 】

また、4つ隣接節点18a~18dのうち、例えば、図9(b)に示した実施形態の第2ルールの条件(即ち、隣接節点18が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというもの)や、図10に示した実施形態の第2ルールの条件(即ち、隣接節点18が、隣接節点18と第1節点17とを連結する辺16と、第1節点17からタイヤ半径方向内側に垂直にのびる直線31とのなす角度1が最小であるというもの)に適合する隣接節点18は、トレッド接地面11sを構成する隣接節点18aである。このような隣接節点18aと第1節点17とを連結する一つの辺16の上の位置に、第1節点17の移動先(図示省略)が決定されても、第1節点17をタイヤモデル11のトレッド部11aの内部に移動させることができない。このため、トレッド部11aの摩耗状態を適切に計算することができない。

30

【 0 0 8 9 】

この実施形態の第2ルールの条件は、トレッド部11aの外面14のうち、隣接節点18が、路面に接地しない外面14を構成するというものである。この条件において、4つ隣接節点18a~18dのうち、第2ルールの条件(即ち、トレッド部11aの外面14のうち、隣接節点18が、路面に接地しない外面(本例では、タイバー11b)を構成するというもの)に適合する隣接節点18は、一つのみ存在している(この例では、タイバー11bに配される隣接節点18d)。このような場合、第2工程S54では、第2ルールの条件に適合する一つの隣接節点18dと第1節点17とを連結する一つの辺16の上の位置に、第1節点17の移動先20が決定される。

40

【 0 0 9 0 】

このように、全ての隣接節点18がトレッド部11aの外面14(トレッド接地面11s及びタイバー11b)を構成する場合において、他の実施形態の第2ルールの条件で、第1節点17をタイヤモデル11の内部に移動させうる移動先20を決定できなくても、この実施形態の第2ルールの条件は、第1節点17をタイヤモデル11のトレッド部11aの内部に移動させうる移動先20を決定することができる。したがって、トレッド部11aの摩耗状態を適切に計算することができる。

50

【 0 0 9 1 】

第 2 工程 S 5 4 では、これまでに例示した複数の条件を組み合わせた第 2 ルールに基づいて、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 が探索されてもよい。これにより、第 2 工程 S 5 4 では、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 をより確実に決定（探索）することができるため、トレッド部 1 1 a の摩耗状態を安定して計算することができる。

【 0 0 9 2 】

これまでの実施形態において、第 1 ルールとして説明した条件は、第 2 ルールの条件として定義されてもよいし、第 2 ルールとして説明した条件は、第 1 ルールの条件として定義されてもよい。これにより、タイヤモデル 1 1 の形状や要素 F (i) の形状に合わせて、第 1 ルールの条件、及び、第 2 ルールの条件がそれぞれ定義されることにより、第 1 節点 1 7 の移動先 2 0 をより確実に探索することができる。

【 0 0 9 3 】

これまでの実施形態の第 1 ルール及び第 2 ルールは、隣接節点 1 8 と第 1 節点 1 7 とを連結する一つの辺 1 6 の上の位置を、移動先 2 0 として決定するものが例示されたが、このような態様に限定されない。例えば、第 1 ルール及び第 2 ルールは、一つの隣接節点 1 8 を移動先として決定されてもよい。このような実施形態の摩耗計算工程 S 5 では、第 1 節点 1 7 を、隣接節点 1 8 に直接移動させることができるため（第 1 節点 1 7 を削除して、隣接節点 1 8 を新たな第 1 節点 1 7 として定義）、トレッド部 1 1 a の摩耗状態を短時間で計算することができる。

【 0 0 9 4 】

以上、本発明の特に好ましい実施形態について詳述したが、本発明は図示の実施形態に限定されることなく、種々の態様に変形して実施しうる。

【実施例】

【 0 0 9 5 】

図 3 に示した処理手順に従って、タイヤモデルのトレッド部の摩耗状態が計算された（実施例 1 ~ 実施例 4）。実施例 1 ~ 4 では、図 8 に示した処理手順に従って、第 1 ルールに基づいて、第 1 節点の移動先を探索する第 1 工程と、第 1 工程において、第 1 ルールに適合する第 1 節点の移動先が見つからない場合に、第 1 ルールとは異なる第 2 ルールに基づいて、第 1 節点の移動先を探索する第 2 工程と、第 1 節点を、探索された移動先に移動させる工程とを含む摩耗計算工程が実施された。

【 0 0 9 6 】

比較のために、単一のルール（第 1 ルール）に基づいて、第 1 節点の移動先を探索する第 1 工程と、第 1 節点を探索された移動先に移動させる工程とを含む摩耗計算工程により、タイヤモデルのトレッド部の摩耗状態が計算された（比較例）。共通仕様は、次のとおりである。

タイヤサイズ：2 1 5 / 5 5 R 1 7

リムサイズ：1 7 x 7 J

内圧：2 3 0 kPa

荷重：3 . 5 1 kN

第 1 ルールの条件：隣接節点が、トレッド部の外面を構成しないというもの

第 2 ルールの条件：

実施例 1：隣接節点が、タイヤ半径方向の最も内側に位置するというもの

実施例 2：隣接節点が、その隣接節点と第 1 節点とを連結する辺と、第 1 節点からタイヤ半径方向内側にのびる直線とのなす角度が最小であるというもの

実施例 3：隣接節点が、その隣接節点と第 1 節点とを連結する辺と、トレッド部の外面を構成しかつ第 1 節点につながる複数の辺の法線方向を平均した方向とのなす角度が最小であるというもの

実施例 4：トレッド部の外面のうち、隣接節点が、路面に接地しない外面を構成するというもの

10

20

30

40

50

【 0 0 9 7 】

テストの結果、比較例は、第 1 ルールに基づいて、第 1 節点の移動先を見つけることができず、第 1 節点を移動できない状態が発生した。これにより、比較例では、摩耗状態の計算が中断されてしまい、摩耗状態を安定して計算することができなかった。

【 0 0 9 8 】

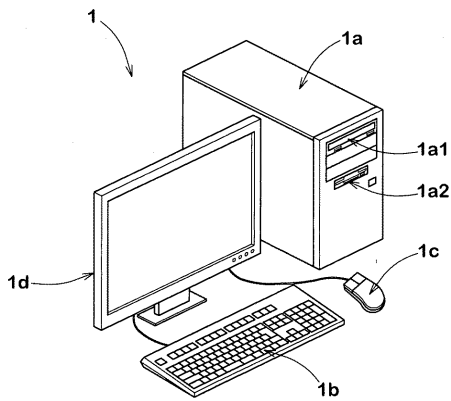
一方、実施例 1 ~ 4 は、第 1 ルールに基づいて、第 1 節点の移動先が見つからなくても、第 2 ルールに基づいて、第 1 節点の移動先を探索することができた。このため、実施例 1 ~ 4 は、第 1 節点をタイヤ半径方向内側に確実に移動させることができ、トレッド部の摩耗状態を安定して計算することができた。

【 符号の説明 】

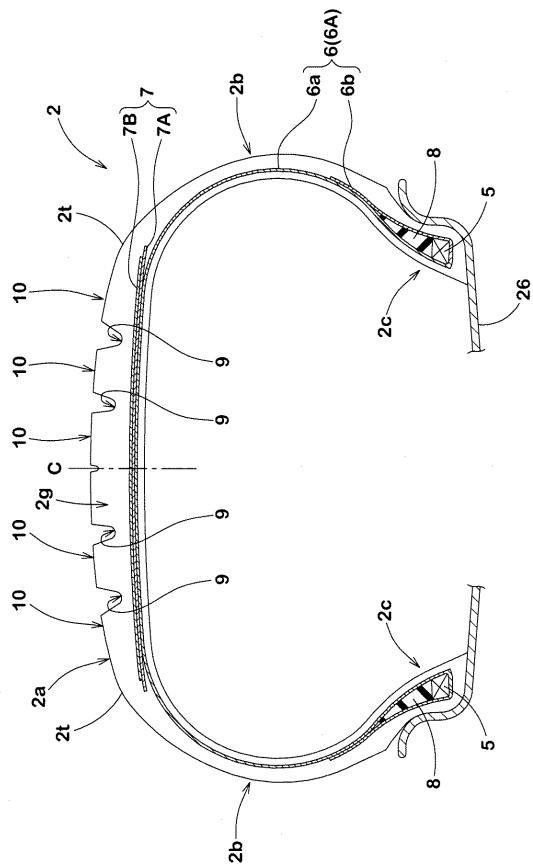
【 0 0 9 9 】

- S 5 2 第 1 ルールに基づいて、第 1 節点の移動先を探索する第 1 工程
- S 5 4 第 2 ルールに基づいて、第 1 節点の移動先を探索する第 2 工程
- S 5 5 第 1 節点を、探索された移動先に移動させる工程

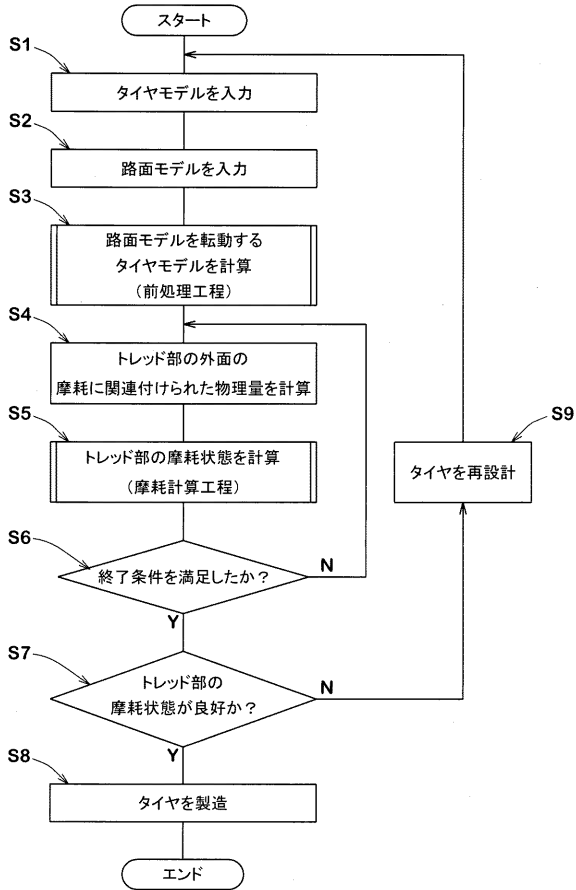
【 図 1 】



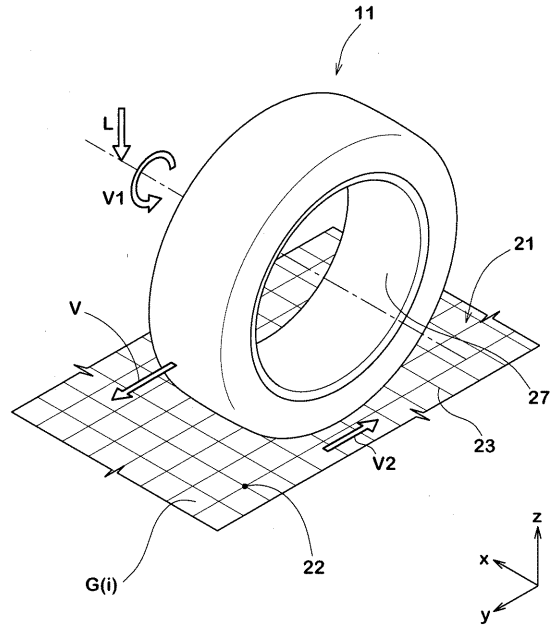
【 図 2 】



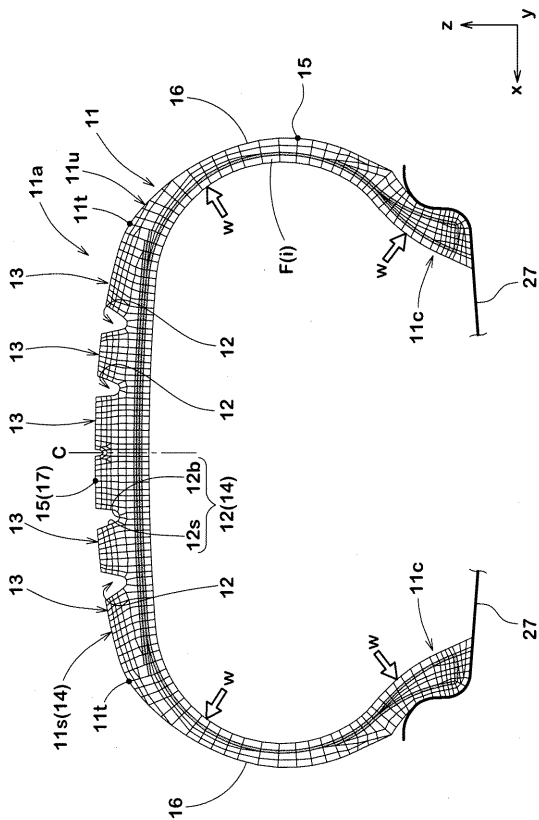
【図3】



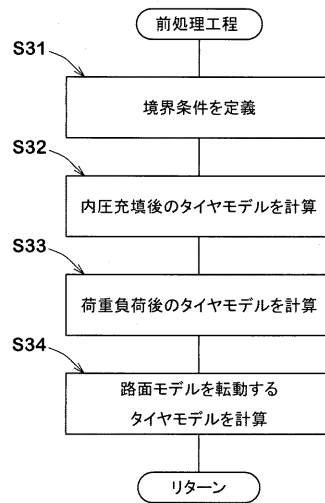
【図4】



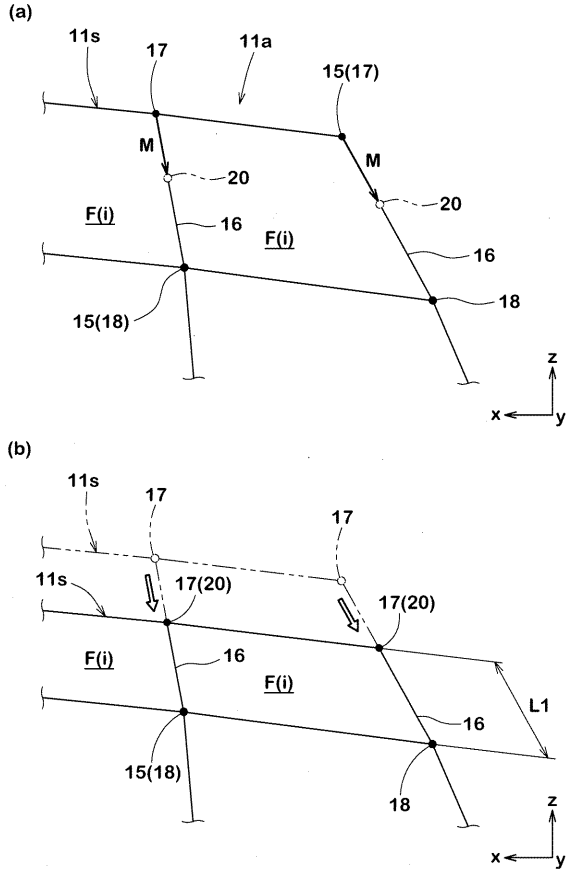
【図5】



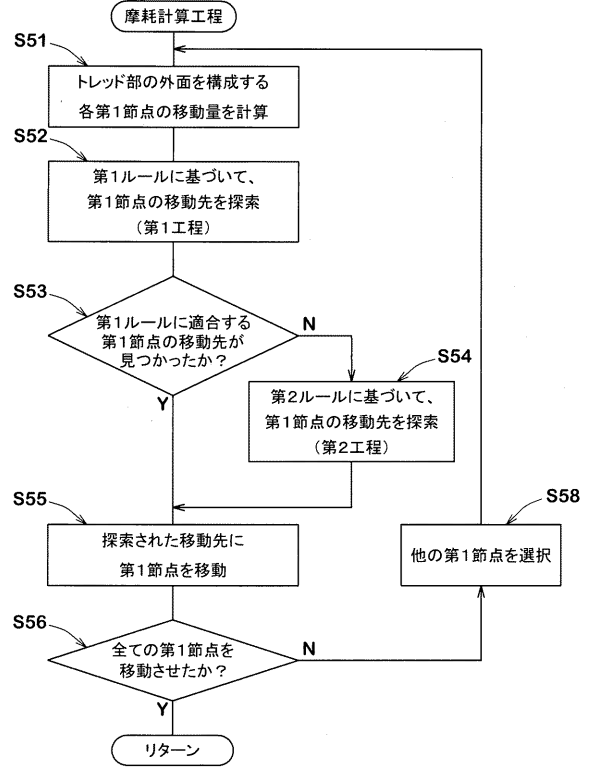
【図6】



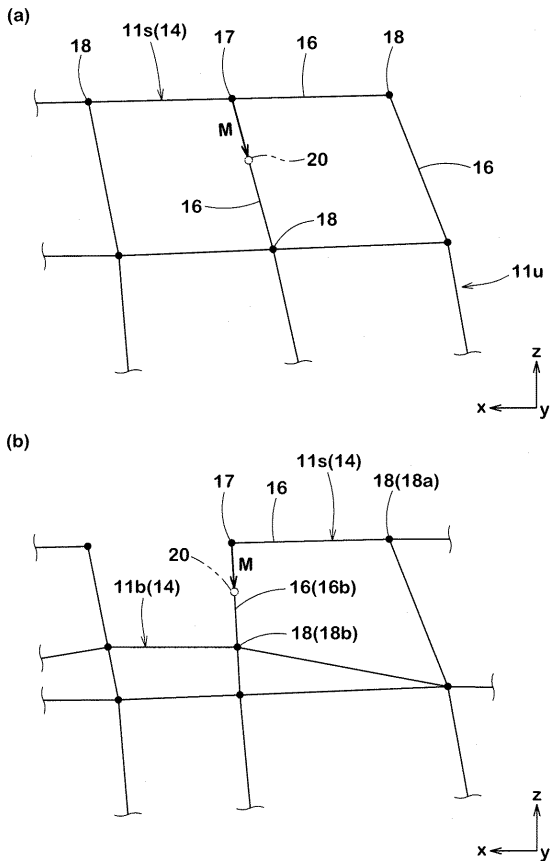
【図7】



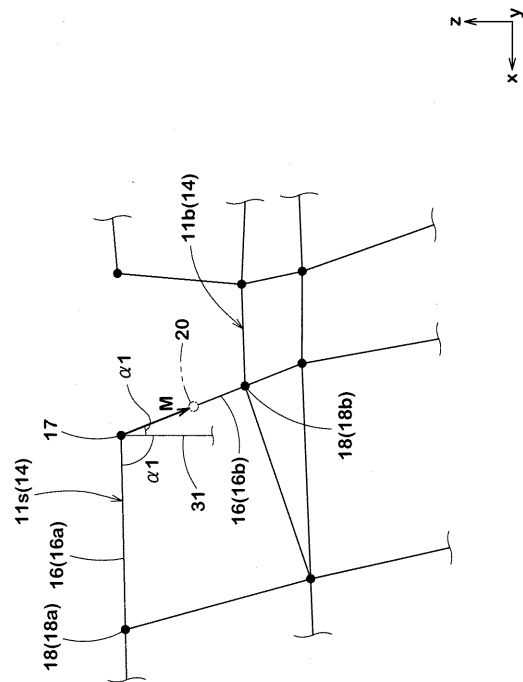
【図8】



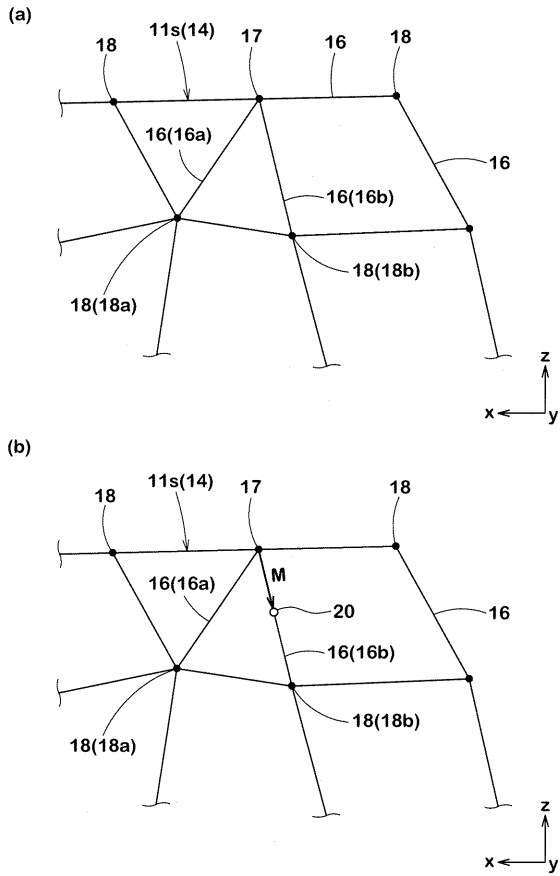
【図9】



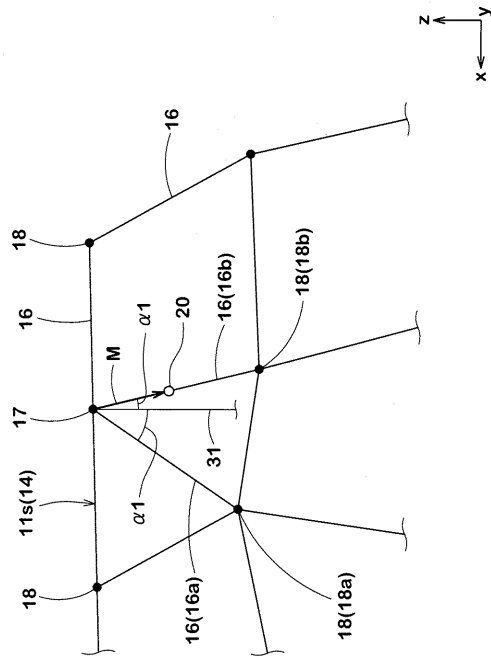
【図10】



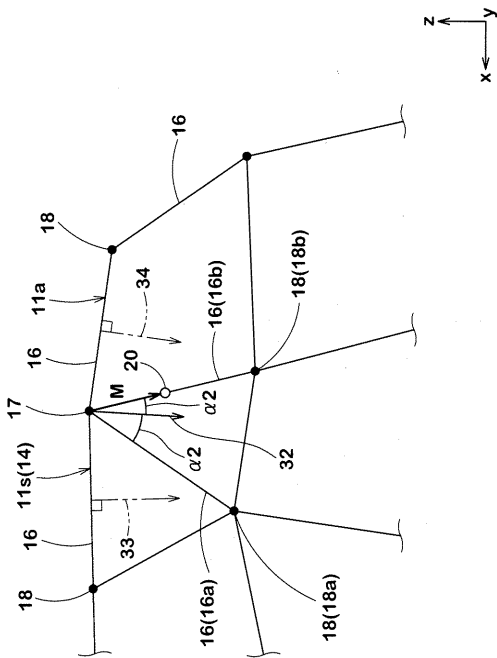
【 図 1 1 】



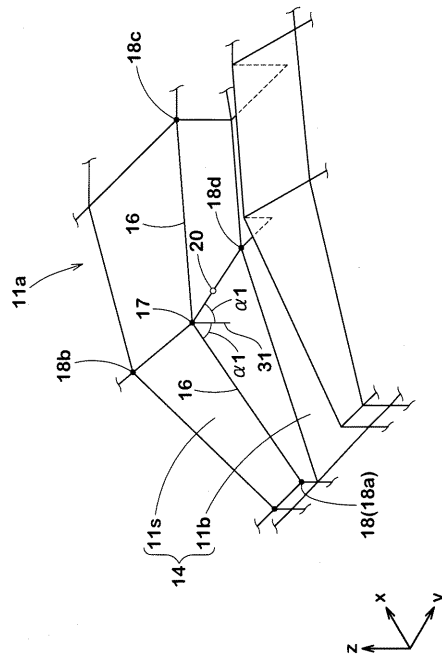
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 牧野 彰太

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) 3D131 BB01 EC24Z LA31 LA34

5B046 AA04 FA02 FA06 GA01 JA01 JA04 JA08