

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4723057号  
(P4723057)

(45) 発行日 平成23年7月13日(2011.7.13)

(24) 登録日 平成23年4月15日(2011.4.15)

(51) Int.Cl.

F I

G O 6 F 17/50 (2006.01)

G O 6 F 17/50 6 O 4 A

B 6 O C 19/00 (2006.01)

G O 6 F 17/50 6 8 O Z

B 6 O C 19/00 Z

請求項の数 7 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2000-196488 (P2000-196488)  
 (22) 出願日 平成12年6月29日(2000.6.29)  
 (65) 公開番号 特開2002-15010 (P2002-15010A)  
 (43) 公開日 平成14年1月18日(2002.1.18)  
 審査請求日 平成18年6月5日(2006.6.5)  
 審判番号 不服2009-20777 (P2009-20777/J1)  
 審判請求日 平成21年10月28日(2009.10.28)

(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 岡野 敏彦  
 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 小石 正隆  
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 製品形状設計方法およびこれを用いて設計される空気入りタイヤ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

最適製品形状を設計する製品形状設計方法であって、

タイヤモデル作成手段が、複数の製品形状の中から入力設定された複数の基底形状を線型的に組み合わせて複数のサンプル製品形状を生成する形状生成過程と、

タイヤ性能評価手段が、構造解析手段によって行なわれた前記サンプル製品形状の構造解析から前記サンプル製品形状の所定の製品性能の種類に対する製品性能の評価値を求める性能評価過程と、

最適化解析手段が、入力指定された製品性能の種類に対する前記製品性能の評価値を最適化して評価値が最適値となる最適製品形状を抽出する製品形状抽出過程とを含み、

前記複数の基底形状は、タイヤ断面方向の複数の固有モードの変形形状であり、

前記製品形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、あるいはタイヤデフレート時のタイヤ断面形状であることを特徴とする製品形状設計方法。

【請求項2】

前記形状生成過程において、前記タイヤモデル作成手段は、前記基底形状に重み付けを行なう重み付け係数を用いて線型的に組み合わせることで前記サンプル製品形状を生成する請求項1に記載の製品形状設計方法。

【請求項3】

前記形状生成過程において、前記重み付け係数の値は、実験計画法に基づいて設定される請求項2に記載の製品形状設計方法。

**【請求項 4】**

前記製品形状抽出過程において、前記最適化解析手段は、前記製品性能の評価値に基づいて応答曲面算出手段によって求められた曲面近似関数に基づいて前記最適製品形状を抽出する請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の製品形状設計方法。

**【請求項 5】**

前記曲面近似関数は、前記重み付け係数を設計変数として前記製品性能の評価値を表す関数であり、前記製品形状抽出過程において、前記最適化解析手段は、この曲面近似関数に基づき前記製品性能の評価値が最適値となる重み付け係数を求めることによって前記最適製品形状を抽出する請求項 4 に記載の製品形状設計方法。

**【請求項 6】**

前記固有モードは、1 次以上 5 次以下のタイヤ断面方向の固有モードを含む請求項 1 に記載の製品形状設計方法。

**【請求項 7】**

請求項 2 ~ 6 のいずれかに記載の製品形状設計方法を用いて設計され、前記複数の基底形状は、前記タイヤ断面形状におけるタイヤ断面方向の 1 次、2 次および 3 次の固有モードの正規化された変形形状であり、前記重み付け係数を用いてこの複数の基底形状を線型的に組み合わせて設計した前記タイヤ断面形状を有する空気入りタイヤであって、

前記 1 次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、 $+0.6$  以上  $+0.9$  以下であり、

前記 2 次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、 $-1.5$  以上  $-1.2$  以下であり、

前記 3 次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、 $+1.2$  以上  $+1.5$  以下であることを特徴とする空気入りタイヤ。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、製品性能の評価値に基づいて製品形状を最適に設計する製品形状設計方法に関し、特に、車両に用いられるタイヤの断面形状をタイヤ性能の評価値に基づいて最適設計を行うタイヤ断面形状の設計方法およびこの方法を用いて設計される空気入りタイヤに関する。

**【0002】****【従来の技術】**

従来、構造体の構造や形状等の設計は、構造体を試作して実験を行うことによって性能評価を行い、また、構造体の構造解析モデルを作成し、有限要素法等をはじめとする種々の構造解析手法を用いて数値実験を行って性能評価を行い、その性能評価結果に基づいて、構造体や構造解析モデルの再試作・再作成を行う、いわゆる試行錯誤による設計探索が多かった。そのため、設計者の所望する最適な構造体を設計するには、多大の労力や多大の時間、さらには多大の試作コストを費やす必要があった。

**【0003】**

この点、タイヤ製造業者においても同様であり、タイヤの設計は、試行錯誤による試作や数値実験により、多大な労力、時間およびコストを必要とした。特に、タイヤの回転軸を含む平面で切断した断面形状、すなわちタイヤ断面形状は、タイヤ性能に大きな影響を及ぼすため、所望のタイヤ性能を得るためには特に慎重に設計する必要があった。

ところで、今日、スーパーコンピュータ等による数値計算の高速処理の向上により、最適な製品性能を得るための数値計算による最適設計手法が、種々提案されている。これによると、上記問題を解決し、効率よく最適設計を行うことができるとされている。

**【0004】****【発明が解決しようとする課題】**

しかし、構造体であるタイヤは、タイヤ断面形状の規定方法の複雑さに起因して上記最適設計手法が十分に活かされないといった問題があった。

10

20

30

40

50

例えば、図9(a)のA部に示すように、最適設計手法を用いて求められる最適タイヤ断面形状は一部分が屈曲する場合があり、このような断面形状を有するタイヤをタイヤ加硫金型(モールド)を用いて実際に製造することは非常に困難であり、最適設計により求められた最適タイヤ断面形状を実現することはできないといった問題があった。

#### 【0005】

一般に、タイヤ断面形状は、図9(b)に示すように、タイヤの内面形状やタイヤの中心部材として形成されるカーカス部材の配置形状やタイヤのトレッド部の外面形状やサイド部の外面表面が滑らかな形状によって規定されているが、最適タイヤ断面形状についても複数の円弧形状の連続によって規定され、しかもこれらの円弧形状が滑らかに接続されるように定義されることが必要である。そのため、上記最適設計手法をタイヤ断面形状に用いる場合、円弧形状が滑らかに接続されるように円弧形状を定める曲率半径、円弧中心位置および円弧長の数多くの設計変数を拘束する多くの拘束条件を設定しなければならない。しかし、この拘束条件を、最適タイヤ断面形状を求める際に汎用性を持ちつつ処理することは困難である。また、専用の処理ルーチンを設けなければならない、上記最適設計手法を効果的に用いることができないといった問題があった。

10

#### 【0006】

一方において、タイヤ断面形状を最適化する方法が、国際公開WO99/07543に開示されている。これによると、タイヤ性能やタイヤの製造条件における拘束条件を考慮してタイヤ性能を表す目的関数を最適にするタイヤの設計変数(設計パラメータ)を求めることができる。しかし、タイヤクラウン部の形状の最適化やサイド部の形状の最適化等、特定の部位に限定した断面形状の最適化に留まっており、断面形状全体といった広い設計範囲を効率的に最適化するには依然としていたっていない。このような問題は、形状を規定する設計変数が複雑な構造体の場合に同様に生じる問題である。

20

#### 【0007】

そこで、本発明は、上記問題点を解決すべく、製品形状を製品性能の評価値に基づいて最適に設計する際、少ない設計変数で広い設計範囲を規定して、製品性能を最適にする最適製品形状を効率よく求める製品形状設計方法、特に、タイヤ断面形状を少ない設計変数で広い設計範囲を規定して、タイヤ性能に応じた最適設計を効率よく行うタイヤ断面形状の設計方法を提供するとともに、この方法によって設定される空気入りタイヤを提供することを目的とする。

30

#### 【0008】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、最適製品形状を設計する製品形状設計方法であって、タイヤモデル作成手段が、複数の製品形状の中から入力設定された複数の基底形状を線型的に組み合わせて複数のサンプル製品形状を生成する形状生成過程と、タイヤ性能評価手段が、構造解析手段によって行なわれた前記サンプル製品形状の構造解析から前記サンプル製品形状の所定の製品性能の種類に対する製品性能の評価値を求める性能評価過程と、最適化解析手段が、入力指定された製品性能の種類に対する前記製品性能の評価値を最適化して評価値が最適値となる最適製品形状を抽出する製品形状抽出過程とを含み、前記複数の基底形状は、タイヤ断面方向の複数の固有モードの変形形状であり、前記製品形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、あるいはタイヤデフレート時のタイヤ断面形状であることを特徴とする製品形状設計方法を提供するものである。

40

ここで、製品性能とは、構造力学、流体力学、電気力学あるいは磁気力学によって評価される各種性能をいう。

#### 【0009】

ここで、前記形状生成過程において、前記タイヤモデル作成手段は、前記基底形状に重み付けを行なう重み付け係数を用いて線型的に組み合わせることで前記サンプル製品形状を生成するのが好ましく、前記形状生成過程において、前記重み付け係数の値は、実験計

50

画法に基づいて設定されるのが好ましい。

さらに、前記製品形状抽出過程において、前記最適化解析手段は、前記製品性能の評価値に基づいて応答曲面算出手段によって求められた曲面近似関数に基づいて前記最適製品形状を抽出するのがよい。

また、前記曲面近似関数は、前記重み付け係数を設計変数として前記製品性能の評価値を表す関数であり、前記製品形状抽出過程において、前記最適化解析手段は、この曲面近似関数に基づき前記製品性能の評価値が最適値となる重み付け係数を求めることによって前記最適製品形状を抽出するのがよい。

【 0 0 1 0 】

前記複数の基底形状は、タイヤ断面方向の複数の固有モードの変形形状であるのがよく、より好ましくは、前記固有モードは、1次以上5次以下のタイヤ断面方向の固有モードを含むのがよい。

【 0 0 1 1 】

また、本発明は、本発明の製品形状設計方法を用いて設計され、前記複数の基底形状は、前記タイヤ断面形状におけるタイヤ断面方向の1次、2次および3次の固有モードの正規化された変形形状であり、前記重み付け係数を用いてこの複数の基底形状を線型的に組み合わせ設計した前記タイヤ断面形状を有する空気入りタイヤであって、

前記1次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、 $+0.6$ 以上 $+0.9$ 以下であり、

前記2次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、 $-1.5$ 以上 $-1.2$ 以下であり、

前記3次の固有モードにおける変形形状の前記重み付け係数は、 $+1.2$ 以上 $+1.5$ 以下であることを特徴とする空気入りタイヤを提供するものである。

【 0 0 1 2 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の製品形状設計方法について、タイヤ断面形状を製品形状とする好適実施例を基に詳細に説明する。

【 0 0 1 3 】

図1は、本発明の製品形状設計方法の一実施例であるタイヤ断面形状の設計方法を行い、最適タイヤ断面形状を抽出する最適形状算出装置10の概略ブロック図を示す。この最適形状算出装置10は、初期タイヤ断面形状情報および拘束条件および最適化をするタイヤ性能の種類およびその評価値の目標値を入力することで最適タイヤ断面形状を抽出することができる装置であり、例えば、CPU、ROM、RAM、メモリ、入力装置および出力装置を備えるコンピュータによって構成され、ROMに記憶されたソフトウェアによってタイヤ断面形状の最適化が実施される装置であってもよいし、後述する構成部分の一部あるいは全部が回路等によってハードウェア処理される専用装置で構成されてもよい。ここで、最適タイヤ断面形状とは、入力されたタイヤ性能における評価値が、設計変数の範囲において、最大、最小となり、また入力された目標値と一致あるいはそれに近くなるタイヤ断面形状をいう。

【 0 0 1 4 】

最適形状算出装置10は、タイヤ基底形状取得部12、構造解析部14、タイヤモデル作成部16、実験計画設定部18、タイヤ性能評価部20、応答曲面算出部22および最適化解析部24とを主に有して構成される。ここで、構造解析部14で行われる構造解析は、公知の有限要素法(FEM)等の構造解析手法によって行なわれてタイヤ性能の予測が行われる。従って、タイヤモデル作成部16で作成されるタイヤ断面形状のモデルは、FEMモデル等の構造解析モデルである。

ここで、タイヤ断面形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、あるいは、タイヤデフレート時のタイヤ断面形状である。すなわち、最適形状算出装置10によって抽出される最適タイヤ断面形状は、タイヤ加硫金型によって規定されるインモールドタイヤ断面形状、または、タイヤデフレート時のタイヤ断面形状であるの

10

20

30

40

50

で、タイヤ加硫金型を容易に作ることができ、最適タイヤ断面形状を有するタイヤを効率よく製造することができる。

【0015】

タイヤ基底断面形状取得部12は、初期タイヤ断面形状情報から、後述する直交表作成の際の因子となる複数のタイヤ基底断面形状を取得する部分である。すなわち、タイヤ基底断面形状取得部12は、初期タイヤ断面形状情報から剛性マトリクスKを求め、この剛性マトリクスKを構造解析部14に送るとともに、構造解析部14で算出されたタイヤ断面方向の断面1次、2次および3次等の固有モードの変形形状をタイヤ基底断面形状とるように構成される。すなわち、タイヤ基底形状取得部12は、初期タイヤ断面形状の断面固有モードの変形形状をタイヤ基底断面形状とすることを特徴としている。得られたタイヤ基底断面形状はタイヤモデル作成部16に送られる。

10

ここで、初期タイヤ断面形状情報とは、最適化を図りたい所望のタイヤのベルト部材、カーカス部材、トレッド部材、サイド部材、ステイフナー部材やビード部材等のタイヤ構成部材の配置位置を定める位置座標を含む、各タイヤ構成部材毎にメッシュ状に要素分割を行って得られるノード座標と、各タイヤ構成部材に対応したヤング率やポアソン比等の材料定数の値とを有し、これらの情報から剛性マトリクスKを生成することができる入力情報である。

【0016】

本実施例におけるタイヤ基底断面形状は、1次以上5次以下の固有モードの変形形状であればいずれであってもよいが、好ましくは、1次、2次および3次の固有モードの変形形状であるのがよい。

20

【0017】

構造解析部14は、タイヤ基底形状取得部12やタイヤ性能評価部20より送られる剛性マトリクスKに基づいて公知のFEM等により固有値解析や構造解析を行う部分である。固有値解析では、固有ベクトルを求めてタイヤ基底断面形状を求め、構造解析では、図示されない入力装置から入力された、あるいは予め設定されたタイヤ性能の評価値、例えば固有振動数、縦ばね定数、横ばね定数、前後ばね定数、転がり抵抗係数、ベルト間の所定位置における層間剪断歪みやステイフナー部材の所定位置における応力分布や応力歪み、さらには、タイヤが地面に接地して負荷荷重を受けて撓んでいる際の圧力等を数値計算によって求める。

30

【0018】

タイヤモデル作成部16は、タイヤ基底断面形状取得部12で求められたタイヤ基底断面形状を正規化し、この正規化されたタイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせて複数のサンプルタイヤ断面形状の構造解析モデルを生成し、剛性マトリクスKを作成する部分である。詳細は、後述する。なお、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせてサンプルタイヤ断面形状を生成する際、重み付け係数が用いられるが、この重み付け係数の値は、実験計画設定部18で設定される実験計画法における水準の割り付けの対象とされる。作成された剛性マトリクスKは、タイヤ性能評価部20に送られる。

【0019】

タイヤ性能評価部20は、構造解析部14で算出するための複数のタイヤ性能の種類を図示されない入力装置を介して設定し、この指定されたタイヤ性能の種類とタイヤモデル作成部16で作成された剛性マトリクスKとを構造解析部14に送るとともに、構造解析部14で数値計算されたタイヤ性能の評価値を受け取り、さらに、タイヤ断面形状として規定される寸法、例えばタイヤ最大幅SWやタイヤの外径ODや、タイヤ重量WTをタイヤ性能の評価値として求める部分である。タイヤ性能の種類は、図示されない入力装置を介して設定されるが、予め設定されたタイヤ性能であってもよい。

40

【0020】

応答曲面算出部22は、実験計画法によって作成された複数のサンプルタイヤ断面形状に基づいたタイヤ性能の評価値に基づいて、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせる際に用いた重み付け係数を設計変数として、タイヤ断面形状の設計空間を曲面近似関数を

50

用いて規定する部分である。すなわち、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせる際に用いる重み付け係数を設計変数として、タイヤ性能の評価値を曲面近似関数を用いて表す。ここで、曲面近似関数は、チェビシェフの直交多項式や $n$ 次多項式等が挙げられる。タイヤ性能を規定した曲面近似関数は、最適化解析部 2 4 に送られる。

#### 【 0 0 2 1 】

最適化解析部 2 4 は、最適な評価値を得たいタイヤ性能の種類およびその評価値の目標値が図示されない入力装置を介して入力されるとともに、最適な評価値を求める際にタイヤ性能に一定の条件を課す拘束条件が入力された後、この最適な評価値を得たいタイヤ性能を表す曲面近似関数を、上記拘束条件を考慮しながら、タイヤ性能の最適な評価値、たとえば、タイヤの一次固有振動数の最小値や、縦ばね定数、横ばね定数、前後ばね定数の最大値や、目標値と一致あるいは最も近似される評価値等を求め、さらに、曲面近似関数が最適な評価値を実現する設計変数を抽出する部分である。

上記例は、所望のタイヤ性能の評価値を最適にする例であるが、複数のタイヤ性能を統合して 1 つにまとめたタイヤ性能の評価値、すなわちタイヤ性能の評価値を加減乗除してまとめられた評価値を最適化するものであってもよい。

ここで、曲面近似関数に用いられる設計変数は、上述したようにタイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせる際に用いる重み付け係数であるので、最適な評価値を達成する重み付け係数を抽出することで、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせる最適なタイヤ性能を実現する最適タイヤ断面形状を容易に抽出することができる。得られた最適タイヤ断面形状は、最適形状算出装置 1 0 の出力として、図示されないタイヤ加硫金型作成 C A D システム等に図示されない出力装置を介して送られる。あるいは、タイヤデフレート時のタイヤ断面形状情報として、ハードディスクや記録メディア等に図示されない出力装置を介して記録される。

また、最適な評価値が得られない場合、得られた最適タイヤ断面形状の情報をタイヤ基底断面形状取得部 1 2 に差し戻し、この最適タイヤ断面形状の情報を初期タイヤ断面形状情報として、再度最適タイヤ断面形状を求めてもよい。

#### 【 0 0 2 2 】

次に、本発明の製品形状設計方法について、図 2 ( a ) の流れを概説する。

まず、初期製品形状情報が最初に入力設定され ( ステップ 1 0 0 ) 、この製品形状に基づく複数の基底形状が設定される。さらに、この基底形状に基づいてサンプル製品形状が生成され、応答曲面法に従って処理が行なわれる ( ステップ 1 0 2 ) 。ここで応答曲面法とは、実験計画法に従って実験計画され ( ステップ 1 0 4 ) 、この実験計画された製品形状について F E M 等による構造解析が行なわれ ( ステップ 1 0 6 ) 、製品の設計空間を近似する解析手法である。すなわち、基底形状を実験計画法に従って線型的に組み合わせる複数のサンプル製品形状が生成され、この生成されたサンプル製品形状の製品性能の評価値が F E M 等の構造解析を用いて求められ、この複数のサンプル製品形状を構成する基底形状の水準と、構造解析によって求められた評価値とから、非線形関数によって表される複雑な製品の設計空間が、直交多項式等の曲面近似関数を用いて表される。

その後、製品性能を設計変数で表す上記曲面近似関数が用いられて、設計変数を逐次変更しながら評価値が求められ、最適評価値が得られたか判断する ( ステップ 1 0 8 ) 。最適評価値が得られたと判断された場合は、設計変数に基づいて最終の最適タイヤ断面形状が抽出され ( ステップ 1 1 0 ) 、最適評価値が得られないと判断された場合、設計変数が変更されて修正され ( ステップ 1 1 2 ) 、上記曲面近似関数の評価値が求められる。このようにして、最適値が得られるまで、繰り返し数値計算が行われる。

#### 【 0 0 2 3 】

一方、従来の構造解析による最適製品形状を求める方法は、初期製品形状情報を設定入力し ( ステップ 1 5 0 ) 、構造解析を行い ( ステップ 1 5 2 ) 、製品性能の評価値を行い、評価値が最適評価値となっているかどうか判断する ( ステップ 1 5 4 ) 。最適評価値となっていると判断された場合、この製品形状が設計変数に基づいて最適製品形状が抽出される ( ステップ 1 5 6 ) 。最適評価値でないと判断された場合、タイヤ断面形状の設計変数

の修正が行なわれ（ステップ１５８）、再度構造解析が行なわれ、タイヤ性能の評価値が求められる。このようにして、最適値が得られるまで、繰り返し数値計算が行われる。

【００２４】

このように、本発明は実験計画法および構造解析を用いて求められた応答曲面近似関数に基づき最適な評価値を求めるため、従来のように、修正された製品形状に基づいて再度構造解析を行なう必要はなく、最適計算の計算時間が短縮される。

【００２５】

このような本発明の製品形状設計方法の流れを、最適形状算出装置１０を用いたタイヤ断面形状の設計方法に従って、図２および図３に基づき詳細に説明する。図３には、図２に示されるステップ１００からステップ１０８までの流れを細かく示している。

まず、初期タイヤ断面形状情報が入力設定される（ステップ１００）。初期タイヤ断面形状情報は、上述したように、最適化を図りたい所望のタイヤの構成部材の配置位置を定める位置座標を含み、各タイヤ構成部材毎にメッシュ状に要素分割を行ったノード座標と、このＦＥＭモデルの各タイヤ構成部材に対応したヤング率やポアソン比等の材料定数の値とを含む入力情報である。タイヤ基底断面形状取得部１２において、この入力情報より構造解析に用いられる剛性マトリクスＫが作成され、作成された剛性マトリクスＫは、構造解析部１４に送られて固有値解析が行なわれる。固有値解析の結果、タイヤ断面方向の断面１次、２次および３次等の固有モードの変形形状が固有ベクトルとして求められ、この断面１次、２次および３次等の固有モードの変形形状が正規化される。正規化は、固有ベクトルの長さを１に揃えるものでも、最大変位を１とするものであってもいずれでもよい。

【００２６】

このような断面１次、２次および３次の固有モードの変形形状の例が図４（ａ）～（ｃ）に示されている。図４（ａ）～（ｃ）では、乗用車用タイヤの断面形状の半分すなわちタイヤセンターラインから右半分が図示されている。図中、初期タイヤ断面形状は黒く表わされ、断面１次、２次および３次の固有モードの変形形状は白く書き表わされて重ね書きされている。重なっている部分は固有モードの変形形状が優先して表示されている。図４（ａ）の断面１次固有モードの変形形状は、トレッド部からショルダー部にかけての領域Ａとサイド部の領域Ｂにおいて、初期タイヤ断面形状と差が生じ、変形が大きくなっていることがわかる。一方図４（ｂ）の断面２次固有モードの変形形状は、トレッド部の領域Ｃとバットレス部の領域Ｄとサイド部からステイフナー部にかけての領域Ｅにおいて初期タイヤ断面形状と差が生じ、変形が大きくなっていることがわかる。図４（ｃ）の断面３次固有モードの変形形状では、領域Ｆ、ＧおよびＨで初期タイヤ断面形状と差が生じ、変形が大きくなっていることがわかる。

本実施例では、このような固有モードの変形形状がタイヤ基底断面形状として設定される（ステップ１０６ａ）。

【００２７】

本実施例では、タイヤ基底断面形状として、断面１次、２次および３次の固有モードの変形形状を採用しているが、本発明においては、断面１次、２次および３次の固有モードの変形形状に限定されず、断面１～５次の固有モードの変形形状の中から設定されるものであればよい。６次以上の高次の固有モードの変形形状は局所的に屈曲した変形形状が多くなり、このような形状を断面形状に持つタイヤを設計し製造することは困難となるからである。

また、本発明においてタイヤ基底断面形状として、断面１～５次の固有モードの変形形状を必ずしも採用する必要はなく、既存のタイヤ断面形状を採用してもよい。この場合、タイヤ基底断面形状と初期タイヤ断面形状との差異が、図４（ａ）～（ｃ）のように、タイヤ基底断面形状間で異なっているのが好ましい。また、タイヤ基底断面形状は、３つである必要はなく、以降で述べる実験計画に応じて複数個設定すればよい。なお、本実施例では、４因子３水準のＬ<sub>9</sub>直交表を用いるため、タイヤ基底断面形状は３つ設定される。

【００２８】

次に、タイヤモデル作成部 16 において、断面 1 次、2 次および 3 次の固有モードの変形形状を用いて、実験計画法による直交表に基づいたサンプルタイヤ断面形状が生成される（ステップ 104a）。すなわち、ステップ 104a は、複数の基底形状を線型的に組み合わせて複数のサンプル製品形状を生成する本発明の形状生成過程に該当する。

#### 【0029】

具体的には、断面 1 次、2 次および 3 次の固有モードの変形形状を  $L_9(3_4)$  の直交表における 4 因子のうちの 3 因子とし、残り 1 因子を誤差因子とする。また、 $L_9(3_4)$  の直交表における水準については、断面 1 次、2 次および 3 次の固有モードの変形形状を構造解析モデルのノード座標で表したベクトルを  $X_i$  ( $i = 1, 2$  または  $3$ ) とし、初期タイヤ断面形状を構造解析モデルのノード座標で表したベクトルを  $X_0$  とした場合、ベクトル  $X_i$  に重み付けを行う重み付け係数であって、下記式 (1) で示すように、ベクトル  $X_i$  とベクトル  $X_0$  との差分に対する重み付け係数  $W_i$  ( $i = 1, 2$  または  $3$ ) によって定義される。また、 $L_9(3_4)$  の直交表で生成される 9 個のタイヤ断面形状は、式 (1) で示すように、構造解析モデルのノード座標のベクトル  $X_s$  で表される。すなわち、表 1 で示すように、重み付け係数  $W_1$ 、 $W_2$  および  $W_3$  の値を  $-1.5$ 、 $0$  および  $+1.5$  とする 3 水準によって No. 1 ~ No. 9 の 9 個のサンプルタイヤ断面形状を生成する。ここで、重み付け係数  $W_1$ 、 $W_2$  および  $W_3$  の値の設定範囲は、いずれも、 $-1.5$  以上  $+1.5$  以下であり、 $-1.5$  より小さくまたは  $+1.5$  より大きくすると、タイヤ製造上、加硫故障などの不具合が生じるタイヤ断面形状となってしまうからである。

#### 【数 1】

$$X_s = X_0 + \sum_{i=1}^3 W_i \cdot (X_i - X_0) \quad (1)$$

#### 【0030】

このように、タイヤ基底断面形状を線型的に組み合わせてタイヤ断面形状を定義するので、最適タイヤ断面形状は、図 9 (a) に示すようにタイヤ断面形状が局所的に屈曲する形状とならず、タイヤ断面形状が滑らかに表され、最適タイヤ断面形状を持つタイヤを容易に製造することができる。

#### 【0031】

#### 【表 1】

10

20

30



表 1

	$W_1$	$W_2$	$W_3$
No.1	-1.5	-1.5	-1.5
No.2	-1.5	0	0
No.3	-1.5	+1.5	+1.5
No.4	0	-1.5	0
No.5	0	0	+1.5
No.6	0	+1.5	-1.5
No.7	+1.5	-1.5	+1.5
No.8	+1.5	0	-1.5
No.9	+1.5	+1.5	0

10

20

## 【0032】

こうして生成される9個のサンプルタイヤ断面形状の例が図5に示されている。例えばNo.1のタイヤ断面形状は、表1のNo.1の行に示されるように、重み付け係数 $W_1$ を-1.5、重み付け係数 $W_2$ を-1.5、重み付け係数 $W_3$ を-1.5として式(1)に従ってノード座標が表されるタイヤ断面形状である。No.7のタイヤ断面形状は、重み付け係数 $W_1$ を+1.5、重み付け係数 $W_2$ を-1.5、重み付け係数 $W_3$ を+1.5とすることによって生成される。

No.1のタイヤ断面形状とNo.7のタイヤ断面形状を比較すると、サイド部の凸形状の形が異なり、No.7は、No.1に比べて、凸形状の位置が下にあることがわかる。

30

## 【0033】

本実施例では、 $L_9(3_4)$ の直交表を用いたが、本発明においてはこれに限定されず、 $L_{27}(3_{13})$ や $L_{81}(3_{40})$ 等種々の直交表を用いることができる。少なくとも直交表を用いることで、より少ないサンプルタイヤ断面形状のタイヤ性能評価により効率よく応答曲面法の曲面近似関数を得ることができる。

なお、本発明においては、直交表を用いてタイヤ断面形状を生成する場合に限定されず、2元配置や多元配置等の公知の実験計画法に基づきサンプルタイヤ断面形状を生成してもよい。

## 【0034】

このようなNo.1~No.9のサンプルタイヤ断面形状について、構造解析部14において、FEM等による構造解析が行われ、タイヤ性能評価部20において、タイヤ性能の評価値が得られる(ステップ106b)。すなわち、ステップ106bは、ステップ104aで生成された複数のサンプルタイヤ断面形状の製品性能の評価値を求める過程で、本発明における性能評価過程に該当する。

40

具体的には、タイヤの固有振動数や、縦ばね定数や、横ばね定数や、前後ばね定数や、転がり抵抗係数や、タイヤのベルト部材に働くベルト張力や、タイヤを地面に押し付けた際のタイヤトレッド部に働く圧力分布等が、タイヤ断面形状に対応した剛性マトリクス $K$ を用いて数値計算を行うことによって算出される。このような評価値が求められる複数のタイヤ性能の種類は、予め入力して指定されてもよいし、予め設定されるものであってもよい。また、タイヤ最大幅 $SW$ や、タイヤの外径 $OD$ や、タイヤ重量 $WT$ も求められタイヤ

50

性能の評価値として加えられる。

【 0 0 3 5 】

次に、タイヤ性能の評価値を用いて、応答曲面算出部 2 2 において、応答曲面法における曲面近似関数が抽出される（ステップ 1 0 2 a）。

曲面近似関数とは、上記重み付け係数  $W_i$ （ $i = 1, 2$  あるいは 3）を設計変数としてステップ 1 0 6 b で求めたタイヤ性能の評価値を表す関数で、例えば、下記式（2）で示すようなチェビシェフの直交多項式が挙げられる。

【 数 2 】

評価値 =  $b_{000}$

10

$$+ b_{000} \cdot (W_1 - \bar{W}_1) + b_{010} \cdot (W_2 - \bar{W}_2) + b_{001} \cdot (W_3 - \bar{W}_3)$$

$$+ b_{200} \cdot [(W_1 - \bar{W}_1)^2 - \frac{a_1^2 - 1}{12} h_1^2]$$

$$+ b_{020} \cdot [(W_2 - \bar{W}_2)^2 - \frac{a_2^2 - 1}{12} h_2^2]$$

$$+ b_{002} \cdot [(W_3 - \bar{W}_3)^2 - \frac{a_3^2 - 1}{12} h_3^2] \quad (2)$$

20

尚、 $\bar{W}_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) は  $W_i$  の平均値、  
 $a_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) は水準数、  
 $h_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) は水準間隔である。

【 0 0 3 6 】

式（2）で示されるチェビシェフの直交多項式では、重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の交互作用に当たる  $W_1 \cdot W_2$  や  $W_2 \cdot W_3$  や  $W_3 \cdot W_1$  が表されていないが、その理由は、後述するように、重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の交互作用を考慮しなくてもよいからである。

30

なお、本発明においては、チェビシェフの直交多項式に限定されず、高次多項式等公知の関数で表されるものでもよい。この場合、関数を定める係数等のパラメータの値が、サンプルタイヤ断面形状の数および直交表等における水準数によって一義的に決定されるように、サンプルタイヤ断面形状の数および直交表等における水準数に応じて関数は適宜選択される。

【 0 0 3 7 】

曲面近似関数は、タイヤ性能の評価値を回帰させ、曲面近似関数の係数等のパラメータの値を求めることによって得られる。例えばチェビシェフの直交多項式の場合、式（2）における  $b_{000}$ 、 $b_{100}$ 、 $b_{010}$ 、 $b_{001}$  ... の係数を重回帰することによってチェビシェフの直交多項式に基づいた曲面近似関数が得られる。

40

重回帰の方法は公知の方法が用いられる。

こうして求められた曲面近似関数は、上述した種々のタイヤ性能について求められる。

【 0 0 3 8 】

図 6 (a) ~ (f) には、一例として、タイヤ性能の評価値であるタイヤ最大幅  $SW$ 、タイヤ外径  $OD$ 、タイヤ重量  $WT$ 、タイヤ横ばね定数  $KL$ 、縦ばね定数  $KV$ 、転がり抵抗係数  $RRC$ 、タイヤ断面 1 次固有振動数  $f_1$ 、タイヤ断面 2 次固有振動数  $f_2$  およびタイヤ断面 2 次固有振動数  $f_2$  とタイヤ断面 1 次固有振動数  $f_1$  との差が、図 5 に示される  $N$

50

○ 1 ~ 9 のサンプルタイヤ断面形状でどのように変化するか、曲面近似関数によって得られた近似線（図中、R S M と記された点線）と構造解析によって得られたタイヤ性能の評価値の評価線（図中、F E M と記された実線）とが記されている。なお、各グラフの縦軸のタイヤ性能の評価値は、指数で表されている。

これによると、どのタイヤ性能の評価値においても近似線と評価線とがほぼ一致しており、曲面近似関数は、タイヤ性能の評価値を精度良く近似していることがわかる。

#### 【 0 0 3 9 】

このように、式（ 2 ）を用いて得られる曲面近似関数は、上述したように重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の交互作用を考慮せずに近似したものであるが、交互作用を含めなくてもタイヤ性能の評価値を精度良く近似している。この理由は、 $L_9(3_4)$  の直交表に割り 10  
つける際のタイヤ基底断面形状に、初期タイヤ断面形状の断面固有モードの変形形状を採用しているからであると考えられる。すなわち、初期タイヤ断面形状の断面固有モードの変形形状をタイヤ基底断面形状とすることによって、設計変数である重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の交互作用を考慮しなくても精度良く応答曲面を近似することができる。

#### 【 0 0 4 0 】

次に、図示されない入力装置から指定された最適な評価値を得たいタイヤ性能の曲面近似関数を用いて、指定された拘束条件の下に、タイヤ性能の曲面近似関数の評価値を最適化する重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  を求める（ステップ 1 0 8 ）。すなわち、ステップ 1 0 8 は上記したステップ 1 0 2 a とともに、製品性能の評価値に基づき、評価値が指定された目標値に対して最適となる最適製品形状を抽出する本発明における製品形状抽出過程 20  
に該当する。

#### 【 0 0 4 1 】

ここで、最適化したいタイヤ性能の種類は、特に限定されず、F E M 等の構造解析によって評価値が求まるものであればいずれであってもよい。

例えば、横ばね定数  $K L$  を、拘束条件なしに最大にしたい場合、横ばね定数  $K L$  の評価値を表す曲面近似関数を最大値とする重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  を求める。また、転がり抵抗係数  $R R C$  を初期タイヤ断面形状の転がり抵抗係数と同等あるいはそれ以下とする拘束条件の下、横ばね定数  $K L$  を最大にしたい場合、転がり抵抗係数  $R R C$  の拘束条件で定まる重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の範囲の中で横ばね定数  $K L$  の評価値を表す曲面近似関数を最大値とする重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  を求める。拘束条件下の重み付け係 30  
数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の抽出は、重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の値を逐次変更しながら求める（ステップ 1 1 2 ）が、逐次変更する方法は、公知の手法を用いればよい。少なくとも本実施例においては、曲面近似関数が 2 次多項式によって表されるので、最適評価値を得る重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の値を容易に求めることができる。

#### 【 0 0 4 2 】

なお、上記実施例では、構造解析によって評価値が求まる単一のタイヤ性能であるが、複数のタイヤ性能の評価値を加減乗除して得られる値をタイヤ性能として最適化を図ってもよいし、さらには、拘束条件についても複数のタイヤ性能の評価値を加減乗除したものを 40  
用いてもよい。

#### 【 0 0 4 3 】

求められた重み付け係数  $W_1$  や  $W_2$  や  $W_3$  の値は、式（ 1 ）に示すタイヤ基底断面形状と初期タイヤ断面形状の差分の重み付けの値であるので、式（ 1 ）を用いることで最適タイヤ断面形状、すなわち、構造解析モデルにおけるノード座標のベクトルを得ることができ 50  
る。

このようにして最適タイヤ断面形状は抽出され出力される（ステップ 1 1 0 ）。

また、最適タイヤ断面形状のタイヤ性能の評価値が十分でない場合、例えば、最大化を図りたい横ばね定数の絶対値が十分に大きくならない等の場合、最適タイヤ断面形状を初期タイヤ断面形状としてステップ 1 0 0 に差し戻してもよい。

#### 【 0 0 4 4 】

図 7（ a ） ~ （ d ）には、乗用車用タイヤの指定したタイヤ性能に基づいてタイヤ断面形

状を最適化した際の最適な評価値が記されている。

図中の「REG」は、過去に設計されたタイヤの一例であり、「LW」は、そのタイヤ重量 $WT$ を軽量化するために、設計者が従来の方法（試行錯誤による方法）により考案した軽量化のためのタイヤ断面形状を持つタイヤであり、「Opt01」は、「LW」のタイヤ断面形状を初期タイヤ断面形状として、横ばね定数 $KL$ を最大にしたタイヤ断面形状を持つタイヤである。図7（a）は、タイヤ性能として横ばね定数 $KL$ を、（b）は転がり抵抗係数 $RRC$ を、（c）は、断面1次固有振動数を、（d）は、断面2次固有振動数を表している。

例えば、図7（a）を見ると、最軽量化した「LW」は、横ばね定数 $KL$ が極端に低下することがわかる。また、図7（b）では、最軽量化した「LW」よりも横ばね定数 $KL$ を最大化した「Opt01」の方が転がり抵抗係数 $RRC$ が小さくなっていることがわかる。また、「Opt01」は、「REG」に比べても転がり抵抗係数 $RRC$ が小さくなっている。

#### 【0045】

図8（a）には、図7（a）に示す「LW」の初期タイヤ断面形状が、図8（b）には、横ばね定数 $KL$ を最大にした最適タイヤ断面形状が記されている。図8（a）および（b）を比較すると明らかなように、サイド部の曲率が大きく変化していることがわかる。

#### 【0046】

図8（b）に示す最適タイヤ断面形状は、横ばね定数 $KL$ を最大にしているが、同時に転がり抵抗係数 $RRC$ が大きく低減しており、従来、転がり抵抗係数 $RRC$ を抑制しかつ横ばね定数 $KL$ を大きくすることは困難とされてきた点を克服している。すなわち、転がり抵抗係数 $RRC$ を抑制しつつ横ばね定数 $KL$ を最大にする最適タイヤ断面形状が実現されている。

本発明は、転がり抵抗性能を低減しかつ操縦安定性を向上するための最適タイヤ断面形状を有する空気入りタイヤを提供する。ここで、最適タイヤ断面形状として設計変数のとり得る範囲は、断面1次の固有モードの変形形状の重み付け係数 $W_1$ を $+0.6$ 以上 $+0.9$ 以下、断面2次の固有モードの変形形状の重み付け係数 $W_2$ を $-1.5$ 以上 $-1.2$ 以下、断面3次の固有モードの変形形状の重み付け係数 $W_3$ を $+1.2$ 以上 $+1.5$ 以下とすることである。ここで、固有モードの変形形状は、最大変位を1として正規化されたものであり、初期タイヤ断面形状とは、図8（a）に示されるような自然平衡形状またはそれに近いタイヤ断面形状である。これに対し、本発明の最適タイヤ断面形状は、自然平衡形状またはそれに近いタイヤ断面形状の固有モードベクトルを線形結合することにより生成されるものである。なお、重み付け係数 $W_1$ 、 $W_2$ および $W_3$ の値が正とは、図4に示される変形状態を正として定義される。

#### 【0047】

このようなタイヤ断面形状について、重み付け係数 $W_1$ 、 $W_2$ および $W_3$ をそれぞれ $+0.75$ 、 $-1.50$ および $+1.50$ とした例で説明する。

表2は、重み付け係数 $W_1$ 、 $W_2$ および $W_3$ のそれぞれの値 $+0.75$ 、 $-1.50$ および $+1.50$ とした時の横ばね定数 $KL$ および転がり抵抗係数 $RRC$ の評価値を100として、重み付け係数 $W_1$ 、 $W_2$ および $W_3$ をそれぞれ $+0.75$ 、 $-1.50$ および $+1.50$ を中心に変化させた場合の横ばね係数 $KL$ と転がり抵抗係数 $RRC$ の評価値の変化を示し、それとともに、実際にタイヤを製造する際の加硫故障の有無を示している。

#### 【0048】

#### 【表2】

10

20

30

40

表 2

$W_1$	$W_2$	$W_3$	KL	RRC	加硫故障
+0.25	-1.50	+1.50	98.0	101.6	無し
+0.75	-1.50	+1.50	100.0	100.0	無し
+1.20	-1.50	+1.50	98.0	98.5	無し
+0.75	-1.00	+1.50	97.8	97.2	無し
+0.75	-1.50	+1.50	100.0	100.0	無し
+0.75	-2.00	+1.50	—	—	有り
+0.75	-1.50	+1.00	98.0	98.1	無し
+0.75	-1.50	+1.50	100.0	100.0	無し
+0.75	-1.50	+2.00	—	—	有り

## 【 0 0 4 9 】

それによると、重み付け係数 $W_1$ は、+0.75より大きくてもまた小さくても、横ばね係数KLの評価値が小さくなり、操縦安定性能にとって好ましくない。一方、重み付け係数 $W_1$ は、大きいほうが転がり抵抗係数RRCは小さくなるが、横ばね係数KLの低下を抑制するために好ましいことではない。

重み付け係数 $W_2$ は、大きい方が横ばね係数KLの評価値が大きくなり、操縦安定性能にとって好ましい方向であるが、重み付け係数 $W_2$ を大きくすると、図4(b)に示す領域Eのスティフナー部が大きく外側に張り出した形状になり、加硫時のブラダーがタイヤ内周面から均一に圧着されず加硫故障が発生する。

そのため、重み付け係数 $W_2$ の値を大きくすることはできない。

重み付け係数 $W_3$ は、+1.50より小さい場合、横ばね係数KLの評価値が小さくなり、操縦安定性能にとって好ましくない。一方、+1.50より大きいと、重み付け係数 $W_2$ と同様に加硫故障が発生する。

なお、図中-は、加硫故障が発生するため、横ばね係数KLや転がり抵抗係数RRCを評価できないことを意味している。

このように、転がり抵抗係数RRCと加硫故障を拘束条件として横ばね係数KLを最大にする最適タイヤ断面形状を求めることで、上記設計範囲が得られる。

## 【 0 0 5 0 】

このように、重み付け係数 $W_1$ 、 $W_2$ および $W_3$ といった少ない設計変数で広いタイヤ断面形状の設計空間を定義できるタイヤ基底断面形状の利点とタイヤ性能の最適な評価値を効率的に探索する応答曲面法を組み合わせることで、効率的かつ効果的なタイヤ断面形状の最適設計が可能となる。

## 【 0 0 5 1 】

以上、本発明の製品形状設計方法およびこの方法を用いて得られた空気入りタイヤについて、詳細に説明したが、本発明は上記実施例に限定はされず、本発明の要旨を逸脱しない

範囲において、各種の改良および変更を行ってもよいのはもちろんである。

【 0 0 5 2 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明は製品形状の基底形状を線型的に組み合わせて、式(1)のように製品形状を定義するので、少ない設計変数で効率よく製品形状を表すことができ、また、最適製品形状は局所的に屈曲する形状とならず、製品形状を滑らかに表すことができる。

また、製品の固有モードの変形形状を基底形状とすることによって、設計変数の交互作用を考慮しなくても精度良く応答曲面を近似することができる。

さらに、少ない設計変数で広い設計空間を定義できる基底形状を用いる利点と製品性能の最適な評価値を効率的に探索する応答曲面法を組み合わせることで、効率的かつ効果的な製品形状の最適設計が可能となる。

その結果、タイヤ断面形状において、転がり抵抗係数を抑制しつつ横ばね定数を大きくする滑らかな最適タイヤ断面形状を効率的かつ効果的に設計することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の製品形状設計方法を実施するタイヤ断面形状の最適形状算出装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図2】 (a)は、本発明の製品形状設計方法の一例を示すフローチャートであり、(b)は、従来の製品形状設計方法のフローチャートである。

【図3】 図2(a)に示される製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際の要部の流れを示すフローチャートである。

【図4】 (a)～(c)は、本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際に設定されるタイヤ基底断面形状を説明する図である。

【図5】 本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際に生成されるサンプルタイヤ断面形状を説明する図である。

【図6】 (a)～(f)は、本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際のタイヤ性能の評価値と曲面近似関数によって求められた値との比較を示す図である。

【図7】 (a)～(d)は、本発明の製品形状設計方法をタイヤ断面形状に適用した際の最適なタイヤ性能の評価値を示す図である。

【図8】 (a)は、初期タイヤ断面形状を示す断面図であり、(b)は、最適タイヤ断面形状の一例を示す断面図である。

【図9】 (a)は、従来の製品形状設計方法で得られる最適タイヤ断面形状であり、(b)は、タイヤ断面形状を規定する設計変数を説明する図である。

【符号の説明】

10 最適形状算出装置

12 タイヤ基底断面形状取得部

14 構造解析部

16 タイヤモデル作成部

18 実験計画設定部

20 タイヤ性能評価部

22 応答曲面算出部

24 最適化解析部

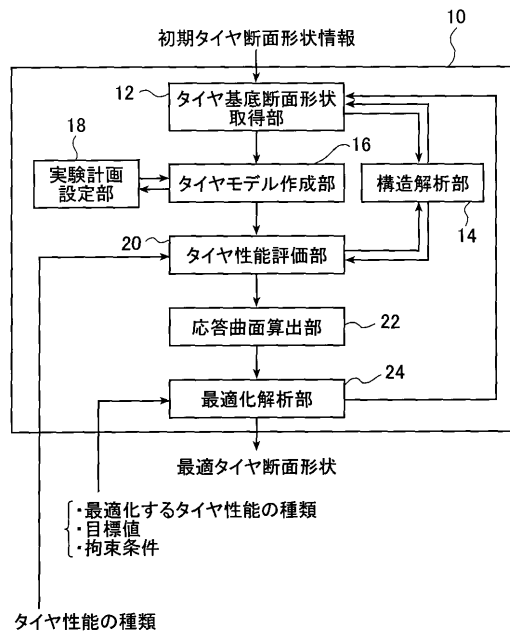
10

20

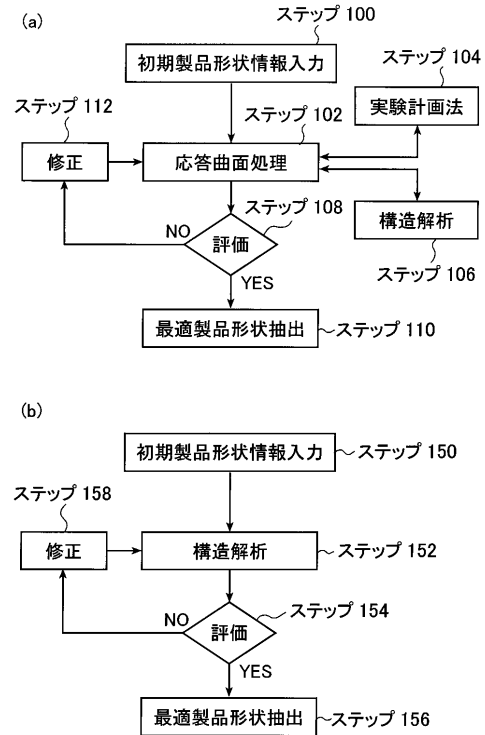
30

40

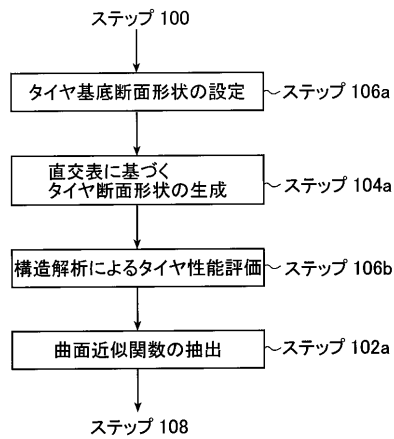
【図 1】



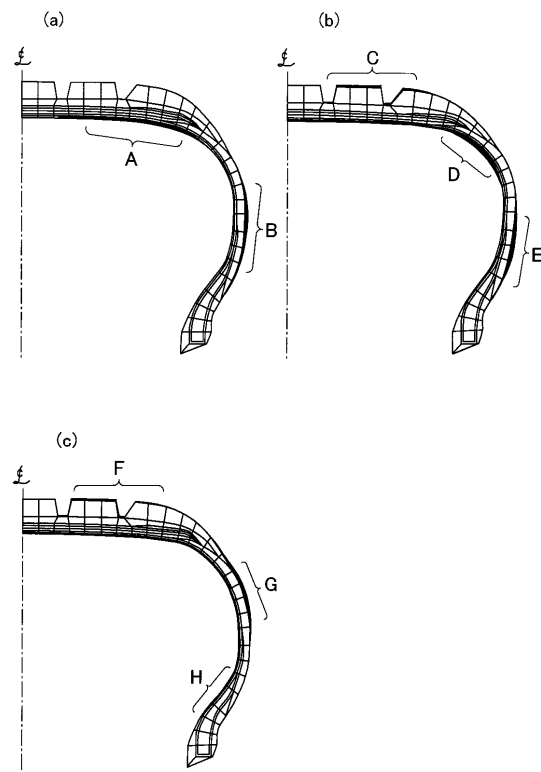
【図 2】



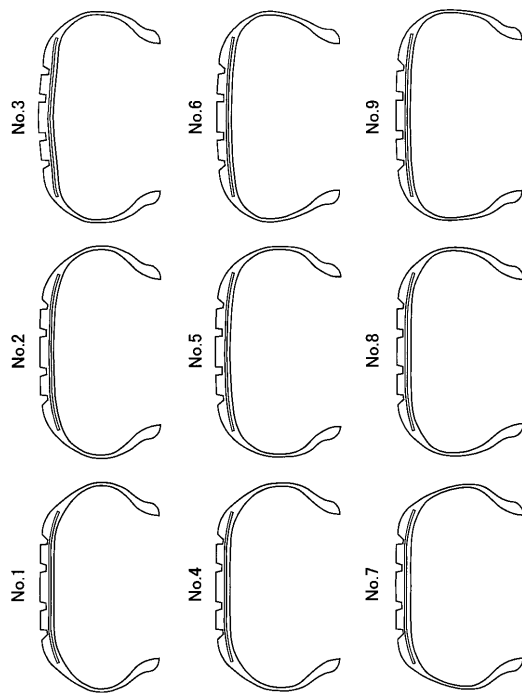
【図 3】



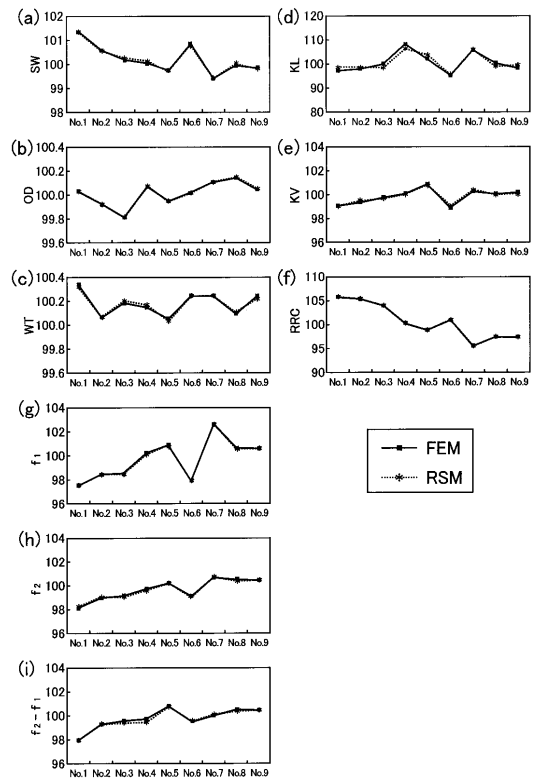
【図 4】



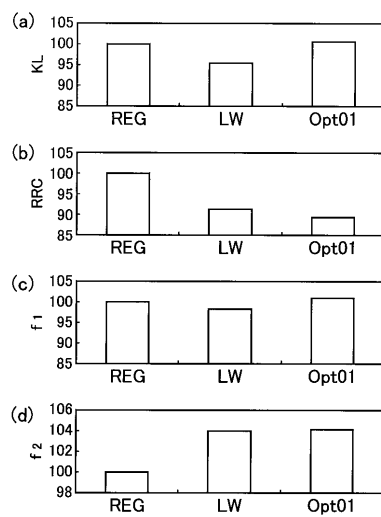
【図 5】



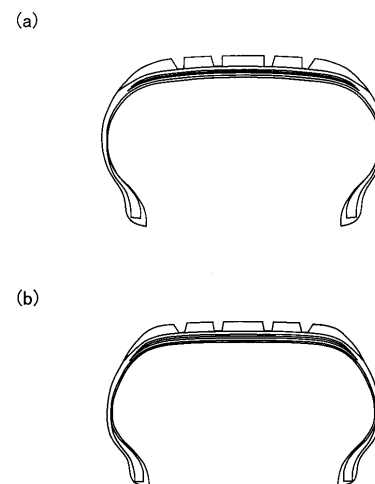
【図 6】



【図 7】



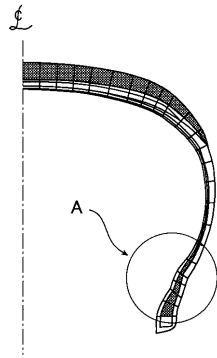
【図 8】



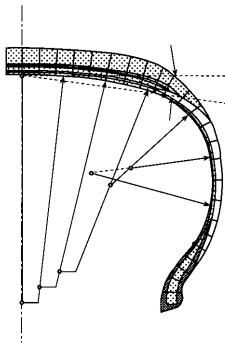


【図 9】

(a)



(b)



---

フロントページの続き

合議体

審判長 板橋 通孝

審判官 千葉 輝久

審判官 溝本 安展

(56)参考文献 特開平 1 1 - 2 0 3 3 3 0 ( J P , A )

特開平 1 0 - 2 0 7 9 2 6 ( J P , A )

国際公開第 9 9 / 0 7 5 4 3 ( W O , A 1 )

鈴木良彦 他, 構造最適化システムの開発と適用, F U J I T S U , 1 9 9 7 年 1 月 1 0 日 ,  
第 4 8 巻, 第 1 号, p . 4 1 - 4 6

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G06F17/50