

(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2012-78286

(P2012-78286A)

(43) 公開日 平成24年4月19日(2012.4.19)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO 1 L 25/00 (2006.01)	GO 1 L 25/00 B	2 F 0 5 1
GO 1 L 5/16 (2006.01)	GO 1 L 5/16	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2010-225715 (P2010-225715)	(71) 出願人	000001199
(22) 出願日	平成22年10月5日 (2010.10.5)		株式会社神戸製鋼所
			兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
		(74) 代理人	100061745
			弁理士 安田 敏雄
		(74) 代理人	100120341
			弁理士 安田 幹雄
		(72) 発明者	岡田 徹
			兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号
			株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内
		(72) 発明者	掛林 康典
			兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目3番1号
			株式会社神戸製鋼所高砂製作所内
		Fターム(参考)	2F051 AA01 AB09 BA07 DA03 DB03

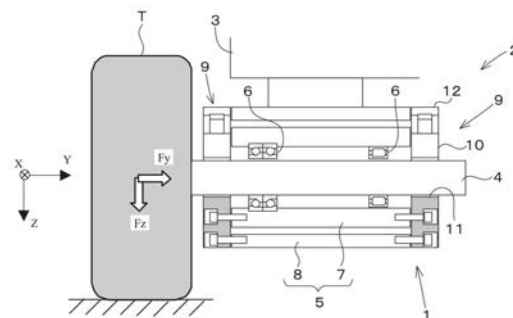
(54) 【発明の名称】 タイヤ試験機に用いられる多分力計測スピンドルユニットの校正方法

(57) 【要約】

【課題】スピンドル軸芯方向に沿って離れた位置に2つの多分力計測センサを備えた多分力計測スピンドルユニットにおいて、タイヤに作用する実荷重を求める際に用いる変換行列を確実に校正することができ、校正された変換行列を用いることで、タイヤに発生する並進荷重およびモーメントを精度よく算出する。

【解決手段】本発明に係る多分力計測スピンドルユニット1の校正方法は、スピンドル軸4に作用する荷重を計測する「計測工程」と、この計測工程で得られた計測荷重ベクトルとこの計測荷重ベクトルに作用する変換行列Eとを用いて、タイヤTに働く実荷重ベクトルを求める「算出工程」と、この算出工程に先立って、複数の一次独立な試験条件の基で計測荷重ベクトルを計測し且つ得られた計測荷重ベクトルを基に変換行列Eを校正する「校正工程」を有している。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試験用のタイヤを装着可能なスピンドル軸と、該スピンドル軸が軸受部を介して回転自在に支持されるハウジングと、前記スピンドル軸の軸芯方向に沿って離れた位置に設けられると共にハウジングに固定され且つ前記スピンドル軸に作用する荷重を計測可能な2つの多分力計測センサとを備えた多分力計測スピンドルユニットを用いて、前記スピンドル軸に作用する荷重を計測する「計測工程」と、この計測工程で得られた計測荷重ベクトルとこの計測荷重ベクトルに作用する変換行列とを用いて、前記タイヤに働く実荷重ベクトルを求める「算出工程」と、を有するタイヤ試験方法に適用される校正方法であって、

前記算出工程に先立って、複数の一次独立な試験条件の基で計測荷重ベクトルを計測し且つ得られた計測荷重ベクトルを基に前記変換行列を校正する「校正工程」を有していることを特徴とする多分力計測スピンドルユニットの校正方法。

【請求項 2】

前記2つの多分力計測センサは、スピンドル軸に作用する少なくとも並進3自由度の荷重を計測可能に構成されており、

前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に m 個の成分を有する計測荷重ベクトルを選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列を作用させることで、タイヤで発生する実荷重から選定された n 個の成分($n \leq m$)を有する実荷重ベクトルを算出することとし、

前記校正工程では、 m 種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、

求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列を算出し、算出された変換行列を前記算出工程における変換行列とすることを特徴とする請求項1に記載の多分力計測スピンドルユニットの校正方法。

【請求項 3】

前記2つの多分力計測センサは、スピンドル軸に作用する少なくとも並進3自由度の荷重を計測可能であると共に、少なくともタイヤ進行方向及びタイヤ荷重方向回りのモーメントが計測可能に構成されており、

前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に m 個の成分を有する計測荷重ベクトルを選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列を作用させることで、タイヤTで発生する実荷重から選定された n 個の成分($n \leq m$)を有する実荷重ベクトルを算出することとし、

前記校正工程では、 m 種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、

求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列を算出し、算出された変換行列を前記算出工程における変換行列とすることを特徴とする請求項1に記載の多分力計測スピンドルユニットの校正方法。

【請求項 4】

前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に5個の成分を有する計測荷重ベクトル($f_x 1, f_x 2, f_z 1, f_z 2, f_y 1 + f_y 2$)を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列Eを作用させることで、タイヤTで発生する実荷重(F_x, F_y, F_z, M_x, M_z)から選定された n 個($n \leq 5$)の成分の実荷重ベクトルを求めることとし、

前記校正工程では、5種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列E($5 \times n$ 行列又は $n \times 5$ 行列)を算出することを特徴とする請求項2に記載の多分力計測

10

20

30

40

50

スピンドルユニットの校正方法。

【請求項 5】

前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に9個の成分を有する計測荷重ベクトル ($f_x 1, f_x 2, f_z 1, f_z 2, f_y 1 + f_y 2, m_x 1, m_x 2, m_z 1, m_z 2$) を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列 E を作用させることで、タイヤ T で発生する実荷重から選定された5個の成分を有する実荷重ベクトル (F_x, F_y, F_z, M_x, M_z) を求めることとし、

前記校正工程では、9種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列 E (9×5 行列又は 5×9 行列) を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の多分力計測スピンドルユニットの校正方法。

10

【請求項 6】

前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に10個の成分を有する計測荷重ベクトル ($f_x 1, f_x 2, f_z 1, f_z 2, f_y 1, f_y 2, m_x 1, m_x 2, m_z 1, m_z 2$) を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列 E を作用させることで、タイヤ T で発生する実荷重から選定された5個の成分を有する実荷重ベクトル (F_x, F_y, F_z, M_x, M_z) を求めることとし、

前記校正工程では、10種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列 E (10×5 行列又は 5×10 行列) を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の多分力計測スピンドルユニットの校正方法。

20

【請求項 7】

前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に12個の成分を有する計測荷重ベクトル ($f_x 1, f_x 2, f_z 1, f_z 2, f_y 1, f_y 2, m_x 1, m_x 2, m_y 1, m_y 2, m_z 1, m_z 2$) を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列 E を作用させることで、タイヤ T で発生する実荷重から選定された5個の成分を有する実荷重ベクトル (F_x, F_y, F_z, M_x, M_z) を求めることとし、

前記校正工程では、12種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列 E (12×5 行列又は 5×12 行列) を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の多分力計測スピンドルユニットの校正方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、タイヤ試験機において、計測対象であるタイヤから発生する複数方向の荷重を当該タイヤの支持軸の部分で同時に測定する多分力計測スピンドルユニットの校正方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、走行状態にあるタイヤの動的特性、例えばタイヤの転がり抵抗などを測定する際には、タイヤ試験機が用いられる。このようなタイヤ試験機には、計測対象であるタイヤをスピンドル軸にて回転自在に支持すると共に、タイヤから発生する複数方向の荷重をスピンドル軸の部分で同時に測定可能となっている多分力計測スピンドルユニットが備えられている。

40

50

【0003】

この多分力計測スピンドルユニットに取り付けられたタイヤは、タイヤ試験機に備えられた走行ドラムの外周に所定の荷重をもって接地され、タイヤのキャンバ角やスリップ角および接地荷重などの各種条件の下で、多分力計測スピンドルユニットに備えられた「多分力計測センサ（ロードセル）」によって、スピンドル軸に作用する各方向の荷重を同時計測する。

【0004】

その後、求められた計測荷重からタイヤに作用する実荷重を算出するものとなっている。

なお、本明細書で「荷重」と表現した際には、モーメントも含まれることとする。例えば、タイヤを走行ドラムへ押し付ける方向を z 軸、タイヤ進行方向を x 軸、タイヤ回転軸芯（スピンドル軸芯）方向を y 軸とおくと、タイヤに作用する実荷重としては、タイヤ接地荷重 F_z 、タイヤ転がり抵抗力 F_x （トラクティブ力）、タイヤ横力 F_y （コーナリングフォース）、 z 軸回りのモーメントであるセルフアライニングトルク M_z 、 x 軸回りのモーメントであるオーバーターニングモーメント M_x 、 y 軸回りのモーメントである転がり抵抗モーメント M_y がある。

【0005】

ところで、このような多分力計測スピンドルユニットに備えられた「多分力計測センサ」としては様々な構成のものがあ、例えば、特許文献1～特許文献4に開示されたものがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開昭57-169643号公報

【特許文献2】特開昭52-133270号公報

【特許文献3】米国特許第4,821,582号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

例えば、特許文献1に開示されたロードセルが採用されたスピンドルユニットを用いることで、タイヤに起因するスピンドル軸での6分力の計測が可能となる。しかしながら、特許文献1に開示されたスピンドルユニットにおいては、タイヤ荷重は多分力計測センサ本体からオフセットした位置に作用するために、多分力計測センサに作用するモーメントが大きくなり十分な耐荷重が得られない状況が懸念される。

【0008】

一方、特許文献2、特許文献3の多分力計測センサは、特許文献1の多分力計測センサが有する難点を回避可能なものである。

すなわち、特許文献2、特許文献3のスピンドルユニットにおいては、2つの多分力計測センサをスピンドル軸の軸芯方向に所定の距離を持って配備しており、特に特許文献3のスピンドルユニットにおいては、2つの多分力計測センサを剛性の高い円筒部材（スリーブ）で結合する構造となっており、多分力計測センサに作用するモーメント等を小さくでき、十分な耐荷重を得ることができる。

【0009】

しかしながら、このようなスピンドルユニット構造であると、2つの多分力計測センサ間で並進と回転が拘束される状態、換言すれば、不静定状態乃至は過拘束状態となる。その結果、タイヤ試験を行った際に、2つの多分力計測センサで計測される計測荷重は、単純に外力の釣合条件からは求まらず、円筒部材及び多分力計測センサの剛性の関係により決まる撓みや撓み角の条件も、多分力計測センサの計測荷重に影響することとなる。

【0010】

このような影響（悪影響）を軽減するために、多分力計測センサと円筒部材との一体化

10

20

30

40

50

構造も考えられるが、加工コストが嵩んだりメンテナンスが煩雑となる等の課題がある。分割構造であれば、問題箇所の交換のみで継続使用できるといったメンテナンス容易性は、非常に優位な利点である。

また、2つの多分力計測センサと円筒部材とが剛性の高い過剰な拘束状態となっていることから、特許文献2、特許文献3のスピンドルユニットのような構造は、熱の影響を受けやすいという問題がある。

【0011】

つまり、このようなスピンドルユニットは、わずかな熱歪みが生じて、ユニット内部には大きな内力が発生する。具体的には、スピンドル軸を支持するベアリングが熱源となり、その熱はユニット全体に伝わり温度分布が生じる。この結果、スピンドルユニットに歪みが生じ、その熱変形が多分力計測センサに強制変形力として作用して、タイヤ荷重とは関係の無い荷重が多分力計測センサから出力され、その影響が計測誤差となって現れる。

【0012】

以上述べたように、2つの多分力計測センサがスピンドル軸芯方向に沿って離れた位置に配備され、それぞれの多分力計測センサが円筒部材などに取り付けられた構成のスピンドルユニットにおいては、過拘束の影響や熱変形の影響により、タイヤに発生する荷重（並進荷重およびモーメント）を精度良く計測することが困難になる状況が発生する。

このような状況を回避するための手段として、タイヤ試験に先立ち、多分力計測スピンドルユニットを校正する（校正試験を行う）ことが非常に有効である。

【0013】

そこで、本発明は、上記問題点に鑑み、スピンドル軸芯方向に沿って離れた位置に2つの多分力計測センサを備えた多分力計測スピンドルユニットにおいて、タイヤに発生する並進荷重およびモーメントを精度良く計測することを可能とするような多分力計測スピンドルユニットの校正方法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】

【0014】

上述の目的を達成するため、本発明においては以下の技術的手段を講じた。

本発明に係る多分力計測スピンドルユニットの校正方法は、試験用のタイヤを装着可能なスピンドル軸と、該スピンドル軸が軸受部を介して回転自在に支持されるハウジングと、前記スピンドル軸の軸芯方向に沿って離れた位置に設けられると共にハウジングに固定され且つ前記スピンドル軸に作用する荷重を計測可能な2つの多分力計測センサとを備えた多分力計測スピンドルユニットを用いて、前記スピンドル軸に作用する荷重を計測する「計測工程」と、この計測工程で得られた計測荷重ベクトルとこの計測荷重ベクトルに作用する変換行列とを用いて、前記タイヤに働く実荷重ベクトルを求める「算出工程」と、を有するタイヤ試験方法に適用される校正方法であって、前記算出工程に先立って、複数の一次独立な試験条件の基で計測荷重ベクトルを計測し且つ得られた計測荷重ベクトルを基に前記変換行列を校正する「校正工程」を有していることを特徴とする。

【0015】

この手段によれば、多分力計測スピンドルユニットの校正、言い換えるならば、試験用のタイヤに作用する実荷重を求める際に使用する変換行列の校正が確実にでき、タイヤに発生する実荷重を精度良く計測することを可能となる。

好ましくは、前記2つの多分力計測センサは、スピンドル軸に作用する少なくとも並進3自由度の荷重を計測可能に構成されており、前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に m 個の成分を有する計測荷重ベクトルを選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列を作用させることで、タイヤで発生する実荷重から選定された n 個の成分（ $n \leq m$ ）を有する実荷重ベクトルを算出することとし、前記校正工程では、 m 種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトル

ルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列を算出し、算出された変換行列を、前記算出工程における変換行列とするとよい。

【0016】

この手段によれば、試験用のタイヤに作用する n 個（ n 方向）の荷重を求めるためには、必ずしも2つの多分力計測センサの全ての出力値を利用する必要はなく、 m 個の出力値を利用するだけでよいことになる。

例えば、試験用のタイヤに作用する $n = 2$ の荷重（ F_x 、 M_z ）のみを求めたい場合は、基本的には多分力計測センサの出力値 f_{x1} 、 f_{x2} だけでよいことになる（ M_z は f_{x1} と f_{x2} との線形結合で表される）。

【0017】

とはいえ、多分力計測スピンドルユニットの組立誤差や、多分力計測スピンドルユニットの試験機本体への取り付け誤差（アライメント誤差）等により、この f_{x1} と f_{x2} の出力値に z 軸方向の荷重が影響してくる場合がある（クロストーク）。その場合には、 f_{z1} と f_{z2} の出力を利用することにより、タイヤ荷重の計測精度は向上する。この場合には、計測荷重ベクトルは $m = 4$ 個の成分を有するものとなり、校正工程においては、 F_x や M_z の既知の荷重を与える試験だけでなく、 F_z や M_x をそれぞれ独立に与えた実験を行う必要がある。以上の4つの複合荷重でも構わないが、それぞれの大きさの比が少なくとも4種類以上変えて行う必要がある。校正荷重 F_z や M_x に関しては未知の荷重で構わないが、それら荷重を与える際に、 F_x や M_z 方向にも同時に荷重が作用する場合には、 F_x や M_z 方向の荷重は既知である必要がある。

【0018】

また、前記2つの多分力計測センサは、スピンドル軸に作用する少なくとも並進3自由度の荷重を計測可能であると共に、少なくともタイヤ進行方向及びタイヤ荷重方向回りのモーメントが計測可能に構成されており、前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に m 個の成分を有する計測荷重ベクトルを選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列を作用させることで、タイヤで発生する実荷重から選定された n 個の成分（ $n \leq m$ ）を有する実荷重ベクトルを算出することとし、前記校正工程では、 m 種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列を算出し、算出された変換行列を、前記算出工程における変換行列とするとよい。

【0019】

このように、多分力計測センサが並進3自由度に加えてモーメントも計測できる六分力計（スピンドル軸芯回りのモーメント無しの5分力でも可）であると、モーメントを含めた全方向の荷重に対する相互干渉補正を行っておくことができ、多分力計測スピンドルユニットとしてのキャリブレーションを行わなくても、タイヤ実荷重の算出が可能となる。また、より多くの計測荷重を得ることが可能となるため、タイヤに発生する実荷重（並進荷重およびモーメント）を精度良く計測することを可能とする多分力計測スピンドルユニットの校正方法が実現できる。

【0020】

なお、前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に5個の成分を有する計測荷重ベクトル（ f_{x1} 、 f_{x2} 、 f_{z1} 、 f_{z2} 、 $f_{y1} + f_{y2}$ ）を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列を作用させることで、タイヤで発生する実荷重（ F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_z ）から選定された n 個（ $n \leq 5$ ）の成分の実荷重ベクトルを求めることとし、前記校正工程では、5種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列（ $5 \times n$ 行列又は $n \times 5$ 行列）を算出するとよい。

【0021】

この手段によれば、2つの多分力計測センサの並進荷重成分 (f_{x1} , f_{y1} , f_{z1}) と (f_{x2} , f_{y2} , f_{z2}) を利用し、(f_{x1} , f_{x2} , f_{z1} , f_{z2} , $f_{y1} + f_{y2}$) の5成分を有する計測荷重ベクトルと、タイヤで発生する実荷重ベクトル (F_x , F_y , F_z , M_x , M_z) を関係づける変換行列を校正試験により求め、その変換行列を基に計測荷重ベクトルから実荷重ベクトルを算出できるようになる。

【0022】

詳しくは、2つの多分力計測センサがハウジングに固定された不静定構造である本スピンドルユニットでは、一般に、多分力計測センサで計測される m_z は f_{x1} と f_{x2} の線形結合で表され、 m_x も f_{z1} と f_{z2} の線形結合で表される。よって、校正試験により求まった変換行列でタイヤの実荷重を算出する際には、必ずしも、モーメント成分は必要としない。また、 F_y に関しても構造上 f_{y1} と f_{y2} は独立の関係に無いことから、本発明では、多分力計測センサの出力 f_y を $f_{y1} + f_{y2}$ としてまとめて取り扱うことにする。

【0023】

以上述べた計測荷重の選択と合成により、計測荷重ベクトルの5成分とタイヤ実荷重ベクトルの5成分とを1対1に対応づけられる。その上で、5種類の一次独立な試験条件の基、既知となっているのタイヤ荷重と多分力計測センサの計測荷重を対応づける校正試験を行うことで、正確な変換行列を陽的 (5×5 の変換行列は逆行列が求まる) に計算することができる。

【0024】

なお、本発明の多分力計測スピンドルユニットにおいて、 M_y はスピンドル軸を支えるベアリングの回転摩擦力の値を示すだけであり、タイヤ実荷重としては意味を為さないと考えた。 M_y を計測したい場合は、多分力計測センサ単体の m_{y1} と m_{y2} の出力値の和を取ることににより可能である。また、多分力計測スピンドルユニットでの校正試験を行う場合は、 F_y と同様の考えで $m_{y1} + m_{y2}$ を利用する。

【0025】

また、前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に9個の成分を有する計測荷重ベクトル (f_{x1} , f_{x2} , f_{z1} , f_{z2} , $f_{y1} + f_{y2}$, m_{x1} , m_{x2} , m_{z1} , m_{z2}) を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列を作用させることで、タイヤで発生する実荷重から選定された5個の成分を有する実荷重ベクトル (F_x , F_y , F_z , M_x , M_z) を求めることとし、前記校正工程では、9種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列 (9×5 行列又は 5×9 行列) を算出してもよい。

【0026】

この手段は、2つの多分力計測センサからの出力である m_{x1} , m_{x2} , m_{z1} , m_{z2} を校正に加えるものである。本発明の多分力計測スピンドルユニットでは、当該ユニットの温度上昇の分布による熱歪み変形に対しては、多分力計測センサ出力値のモーメント m と荷重 f には相関が無く一次独立の関係となる。それ故、本手段により、温度分布による計測誤差の影響を低減できる。校正工程の際には、タイヤ位置に並進3自由度、モーメント2自由度の独立した荷重に加えるとともに、様々な温度分布により発生する荷重を校正データとして取り扱い、少なくとも9種類の一次独立な条件のデータを用いることにより変換行列が算出できる。

【0027】

また、前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に10個の成分を有する計測荷重ベクトル (f_{x1} , f_{x2} , f_{z1} , f_{z2} , f_{y1} , f_{y2} , m_{x1} , m_{x2} , m_{z1} , m_{z2}) を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換

行列を作用させることで、タイヤで発生する実荷重から選定された5個の成分を有する実荷重ベクトル (F_x , F_y , F_z , M_x , M_z) を求めることとし、前記校正工程では、10種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列 (10×5 行列又は 5×10 行列) を算出してもよい。

【0028】

この手段は、計測荷重ベクトルの成分に f_{y1} , f_{y2} を分離して加える方法である。より多くの変数を独立して用いることにより、より精度の高い変換行列の作成が可能となる。少なくとも10種類の一次独立な条件のデータを用いることにより変換行列が算出できる。なお、変数が多い分、適正な校正データを得ることが難しい場合もあり、その時は、変換行列の特性が悪くなるために注意が必要である。

10

【0029】

また、前記算出工程では、2つの多分力計測センサから出力される複数の出力値を基に12個の成分を有する計測荷重ベクトル (f_{x1} , f_{x2} , f_{z1} , f_{z2} , f_{y1} , f_{y2} , m_{x1} , m_{x2} , m_{y1} , m_{y2} , m_{z1} , m_{z2}) を選定し、選定された計測荷重ベクトルに変換行列を作用させることで、タイヤで発生する実荷重から選定された5個の成分を有する実荷重ベクトル (F_x , F_y , F_z , M_x , M_z) を求めることとし、前記校正工程では、12種類の一次独立な試験条件となるように、各成分が既知とされた実荷重ベクトル、及び／又は、温度変化を多分力計測スピンドルユニットに対して与え、その上で、2つの多分力計測センサの出力値から前記計測荷重ベクトルを求め、求めた計測値ベクトルと、各成分が既知とされた実荷重ベクトルとを関係づけるような変換行列 (12×5 行列又は 5×12 行列) を算出することは好ましい。

20

【0030】

この手段は、さらに、計測荷重ベクトルの成分に m_{y1} , m_{y2} を加える方法である。より多くの変数を独立して用いることにより、より精度の高い変換行列の作成が可能となる。少なくとも12種類の一次独立な条件のデータを用いることにより変換行列が算出できる。なお、変数が多い分、適正な校正データを得ることが難しい場合もあり、その時は、変換行列の特性が悪くなるために注意が必要である。

30

【0031】

なお、タイヤ実荷重ベクトルの成分として、 M_y を加える場合は、変換行列は 6×12 となる。

【発明の効果】

【0032】

本発明に係る技術を用いれば、スピンドル軸芯方向に沿って離れた位置に2つの多分力計測センサを備えた多分力計測スピンドルユニットにおいて、タイヤに作用する実荷重を求める際に用いる変換行列を確実に校正することができ、校正された変換行列を用いることで、タイヤに発生する並進荷重およびモーメントを精度よく算出することが可能となる。

40

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明の実施形態に係る多分力計測スピンドルユニットの構成を示した図である。

【図2】多分力計測センサ（ロードセル）の正面図及び斜視図である。

【図3】多分力計測センサの計測荷重とタイヤ荷重の関係を示すモデル図である。

【図4】多分力計測センサの計測荷重とタイヤ荷重の関係を示すモデル図である（多分力計測センサの剛性を含めた図）。

【図5】温度分布により発生する多分力計測スピンドルユニット内の内力状態を示した図である。

50

【図 6】多分力計測スピンドルユニットの校正試験における荷重条件を示した図である。

【図 7】本発明に係る校正試験を行った結果を示した図である（ 5×5 の変換行列）。

【図 8】多分力計測スピンドルユニットの校正試験における温度分布を示した図である。

【図 9】本発明に係る校正試験を行った結果を示した図である（ 5×9 の変換行列）。

【発明を実施するための形態】

【0034】

本発明の実施形態を、図を基に説明する。なお、以下の説明では、同一の部品には同一の符号を付してある。それらの名称及び機能も同じである。したがって、それらについての詳細な説明は繰返さない。

図 1 に、本実施形態に係る多分力計測スピンドルユニット 1 の概略構造を示す。

10

本実施形態の多分力計測スピンドルユニット 1 は、走行状態にあるタイヤ T の動的特性、例えば、タイヤ T の転がり抵抗などを測定するタイヤ試験機 2 を構成するものであり、タイヤ試験機 2 のフレーム 3 に取り付けられている。

【0035】

多分力計測スピンドルユニット 1 は、試験用のタイヤ T が端部に取り付けられ且つそのタイヤ T と一体回転するスピンドル軸 4 を有しており、このスピンドル軸 4 が軸芯水平状態でハウジング 5 内に遊嵌され、軸受部 6（ベアリング）を介してハウジング 5 に回転自在に支持されている。

詳しくは、多分力計測スピンドルユニット 1 のハウジング 5 は二重筒構造となっており、軸芯が水平方向を向くように配備された円筒状のインナースリーブ 7（内筒体）の内部に、スピンドル軸 4 が水平状に挿入されており、軸受部 6 を介してインナースリーブ 7 に回転自在に支持されている。インナースリーブ 7 は、このインナースリーブ 7 より径大となっている円筒状のアウタースリーブ 8（外筒体）内に、同軸状に挿入されている。インナースリーブ 7 とアウタースリーブ 8 とは軸芯方向に略同尺であり、それぞれの端部が外観円盤状のロードセル 9（多分力計測センサ）により互いに連結されている。このような構成を備えた多分力計測スピンドルユニット 1 は、そのアウタースリーブ 8 がタイヤ試験機 2 のフレーム 3 に取り付けられるものとなっている。

20

【0036】

上記の如く、ロードセル 9 とハウジング 5 を一体型で構成せずに分割構造とすることにより、加工コストを下げるができる。また、それぞれ独立した 2 つのロードセル 9 を利用することにより、装置に組み付ける前に、ロードセル 9 単独での校正試験が行える。ロードセル 9 単独での相互干渉が除去された計測荷重を元に、スピンドルユニット 1 全体で再度、校正試験を行うことにより、さらに、相互干渉を小さくすることができる。

30

【0037】

図 2 には、ロードセル 9 すなわち多分力計測センサが示されている。

本実施形態のロードセル 9 は、外観が円盤状であり、中央に配備されたリング形状の着力体 10 を有している。着力体 10 の中心に設けられた開口 11 にはスピンドル軸 4 が遊嵌状態で貫通するものとなっている。着力体 10 の径方向外側には、リング形状の固定体 12 が配備されている。着力体 10 と固定体 12 とは同中心となるように配備されていて、着力体 10 と固定体 12 とは径方向に放射状に伸びる複数（4 つ）の梁部材 13（起歪体）により連結されている。

40

【0038】

この着力体 10 とインナースリーブ 7 とがボルト等の締結具により強固に結合されていて、スピンドル軸 4 → 軸受部 6 → インナースリーブ 7 → 着力体 10 へと力が伝わるようになっている。また、固定体 12 とアウタースリーブ 8 ともボルト等の締結具により強固に結合されていて、結果として、スピンドル軸 4、インナースリーブ 7、アウタースリーブ 8、ロードセル 9 が一体となった構造となり、多分力計測スピンドルユニット 1 が構成されている。

【0039】

図 2（b）に示すように、起歪体 13 には歪ゲージ 51～82 が貼られ、検知部 14 と

50

なっている。なお、歪ゲージ 51～66 が並進荷重を計測するためのものであり、歪ゲージ 67～82 がモーメントを計測するためのものである。

例えば、着力体 10 に x 軸方向の荷重 f_x が作用した場合は、上下方向に伸びる起歪体 13 に図 2 (a) の紙面内での曲げ変形が発生し、その曲げ歪みが歪ゲージ 51～54 で検知され計測荷重 f_x に換算される。計測荷重 f_z の場合は、左右方向に伸びる起歪体 13 に曲げが発生する。計測荷重 f_y の作用時は 4 つの起歪体 13 が図 2 (b) の紙面貫通方向に曲げ変形する。一方、着力体 10 にモーメント m_x が作用した場合は、左右方向に伸びる起歪体 13 は捩れ、上下方向に伸びる起歪体 13 が紙面貫通方向に曲げ変形する。上下方向に伸びる起歪体 13 に貼られた 67～70 の歪ゲージにより、この曲げモーメントを検知する。モーメント m_z が作用した場合には、左右方向に伸びる起歪体 13 に曲げが発生する。モーメント m_y が作用した場合には、4 つ全ての起歪体 13 が紙面内方向に変形する。

10

【0040】

図 2 (b) から明らかなように、本実施形態の多分力計測スピンドルユニット 1 においては、スピンドル軸 4 の軸芯方向に沿って離れた位置に、2 つのロードセル 9 (ロードセル 9) が配備されているため、ロードセル 9 は、x、y、x 方向の並進荷重が計測できる三分力計であると共に、x、z 軸回りのモーメントが計測できる 5 分力計、もしくは y 軸回りのモーメントも計測できる 6 分力計となっている。それ故、本実施形態の多分力計測スピンドルユニット 1 においては、スピンドル軸 4 に作用する少なくとも並進 3 自由度の荷重 f_x 、 f_y 、 f_z 及び、少なくともタイヤ T 進行方向 (x 軸) m_x 、タイヤ T 荷重方向 (z 軸) 回りのモーメント m_z を、それぞれ 2 組計測できる。

20

【0041】

以上の構成を有する多分力計測スピンドルユニット 1 では、前述の如く、計測用のタイヤ T で発生した荷重やモーメントは、タイヤ T が取り付けられたスピンドル軸 4 へ伝わり、スピンドル軸 4 → 軸受部 6 → インナースリーブ 7 → ロードセル 9 の着力体 10 へと力が伝わった上で、ロードセル 9 の検知部 14 により、計測荷重が計測される (計測工程)。

次に、ロードセル 9 の検知部 14 により計測された計測荷重 (計測荷重ベクトル) から、タイヤ T に作用している実荷重 (実荷重ベクトル) を算出する手法について述べる (算出工程)。

【0042】

30

まず、試験用のタイヤ T が取り付けられたスピンドル軸 4 に、並進荷重やモーメントが作用すると、ロードセル 9 の起歪体 13 で曲げや剪断、ねじれ変形が生じて、その変形量 (歪み量) を起歪体 13 に取り付けられたロードセル 9 で検知され、計測荷重として出力される。

便宜的に、図 3 に示す「x-y 平面内の簡略化モデル」を利用して説明を進める。

【0043】

スピンドル軸 4 に沿った方向で、タイヤ T に近い側に設けられたロードセル 9 で計測される荷重を f_{x1} 、 f_{y1} 、 m_{x1} とし、タイヤ T から遠い側に設けられたロードセル 9 で計測される荷重を f_{x2} 、 f_{y2} 、 m_{x2} とする。その場合、タイヤ T に作用する実荷重 F_x 、 F_y 、 M_z は、式 (1) で表すことができる。

40

【0044】

【数 1】

$$F_x = f_{x1} + f_{x2}, \quad F_y = f_{y1} + f_{y2}, \quad M_z = m_{x1} + m_{x2} - L_1 f_{x1} - L_2 f_{x2} \quad (1)$$

【0045】

この関係を拡張し、 F_z 、 M_x 、 M_y に関して全てまとめると、式 (2) のようになる。

【0046】

【数 2】

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -L_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -L_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{z1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \\ M_{z1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ F_{z2} \\ M_{x2} \\ M_{y2} \\ M_{z2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

【0047】

ロードセル9単体の校正が確実に行われていれば、式(2)を用いることで、正確にタイヤTに作用する荷重を算出することができる。式(2)を用いる場合、各ロードセル9は、モーメントが計測できる多分力計測計であることが必要条件である。なお、y軸回りのモーメントMyはベアリングの回転摩擦力に相当するため、必ずしも必要とならない故、各ロードセル9は、my1、my2の出力を必ずしも必要としない。

【0048】

ところが、本発明の多分力計測スピンドルユニット1ように、スピンドル軸4の軸芯方向の離れた位置に2つのロードセル9を備えた構造においては、加工精度や組立誤差、結合部の特性により、式(2)のロードセル9単体の校正のみでは十分な精度が確保できない場合がある。

詳しくは、多分力計測スピンドルユニット1では、2つのロードセル9が剛性の高い部材(インナースリーブ7及びアウタースリーブ8)で結合されることにより、二つのロードセル9間で並進と回転が拘束された不静定すなわち過拘束状態となり、その結果、タイヤT荷重が作用した際に、二つのロードセル9で観測される荷重やモーメントは、単純に外力の釣合条件からは求まらず、スリーブおよび多軸ロードセル9の剛性の関係により決まる撓みや撓み角の条件もロードセル9の計測値に影響することになる。

【0049】

ロードセル9単体において計測荷重の相互干渉(クロストーク)を極力避ける構造としても、スピンドルユニット1として形状誤差や組立誤差さらに結合部の状態により、荷重の相互干渉が生じて計測誤差が発生しやすいという課題が残ることになる。

また、剛性の高い過剰な拘束状態となっていることから、熱の影響を受けやすいという問題がある。わずかな熱歪みが生じて、スピンドルユニット1内部には大きな内力が発生する。スピンドル軸4を支持する軸受部6が熱源となり、その熱はユニット全体に伝わり温度分布が生じる。この結果、スピンドルユニット1に歪みが生じ、その熱変形がロードセル9に強制変形力として作用して、タイヤT荷重とは関係の無い荷重が計測され誤差となって現れる。加えて、ロードセル9がモーメント出力の無い三分力計の場合には、式(2)は適用できない。

【0050】

以上のことを鑑みるに、ロードセル9、ひいては多分力計測スピンドルユニット1の校正試験(校正作業)が必要となる。

以下、本発明の特徴的な技術である「多分力計測スピンドルユニットの校正方法」について述べる。

〔校正試験（１）〕

まず、ロードセル 9 で計測される計測値と、タイヤ T に作用する作用力との関係が、式（３）のように、変換行列 E により変換されるとする。この変換行列 E の各成分を校正試験により求める。

【 0 0 5 1 】

【数 3】

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} & e_{15} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & e_{24} & e_{25} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & e_{34} & e_{35} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} & e_{44} & e_{45} \\ e_{51} & e_{52} & e_{53} & e_{54} & e_{55} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{x2} \\ f_{z1} \\ f_{z2} \\ f_{y1} + f_{y2} \end{pmatrix} = \mathbf{E} \times \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{x2} \\ f_{z1} \\ f_{z2} \\ f_{y1} + f_{y2} \end{pmatrix} \quad (3) \quad 10$$

【 0 0 5 2 】

式（３）においては、タイヤ実荷重として、少なくとも一次独立な 5 種類の既知の荷重を与えることにより、変換行列 E を求めることができる。換言するならば、各試験条件でのタイヤ実荷重ベクトルからなる行列を F、その試験条件下においてロードセル 9 で検出された計測荷重ベクトルからなる行列を X とおくと、変換行列 E は式（４）で算出できる。

20

【 0 0 5 3 】

【数 4】

$$\mathbf{F} = \mathbf{E}\mathbf{X} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E} = \mathbf{F}\mathbf{X}^{-1} \quad (4)$$

【 0 0 5 4 】

さらに、精度の高い変換行列 E を算出する為には、荷重条件を多くしての最小二乗法が有効である。その場合、行列 F および X は列数が 5 以上となる。行列 X の逆行列が求まらないために、次式の疑似行列を用いて計算を行う。この式は最小二乗法と等価となる。

【 0 0 5 5 】

【数 5】

$$\mathbf{F} = \mathbf{E}\mathbf{X} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E}\mathbf{X}\mathbf{X}^T = \mathbf{F}\mathbf{X}^T \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E}\mathbf{X}\mathbf{X}^T(\mathbf{X}\mathbf{X}^T)^{-1} = \mathbf{F}\mathbf{X}^T(\mathbf{X}\mathbf{X}^T)^{-1} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E} = \mathbf{F}\mathbf{X}^T(\mathbf{X}\mathbf{X}^T)^{-1} \quad (5) \quad 30$$

【 0 0 5 6 】

なお、この計算の荷重条件には少なくとも一次独立の 5 種類のデータが含まれている必要がある。ところで、一次独立な実験データが 5 種類あるかどうかは、実験データ行列 X のランク（階数）の計算から求まる。ランクは行列 x の特異値分解などにより計算できる。

次に、ロードセル 9 荷重の f_y を $f_{y1} + f_{y2}$ として扱った理由を説明する。

【 0 0 5 7 】

図 3 から推定される様に、ロードセル 9 の出力 f_{y1} と f_{y2} は独立の関係には無い（スピンドル軸 4 にの軸芯に沿った荷重であり、互いに分離できない値）である。タイヤ実荷重 F_y はロードセル 9 の y 方向の荷重およびインナースリーブ 7 の縦剛性により求まる比で、荷重分配される。式（４）および式（５）の変換行列の算出の際に、 f_{y1} と f_{y2} を分離して取り扱おうと、ロードセル 9 の荷重行列 X が一次独立とならずに、逆行列や疑似逆行列が求まらない。式（２）から明らかな様に、タイヤ実荷重 F_y はロードセル 9 の計測荷重 $f_{y1} + f_{y2}$ で表されるために、式（３）でも和の形で扱うことができる。

【 0 0 5 8 】

次に、本実施形態の校正試験（１）において、式（２）には存在するモーメント荷重を除いた理由を説明する。

本実施形態の多分力計測スピンドルユニット 1 は、ロードセル 9 の x, z 方向の荷重に

50

対して不静定な構造となっていることは前述したとおりである。それ故に、2つのロードセル9の荷重は単純な外力の釣合条件からでは求まらずに、外力とロードセル9や各部の剛性により求まる撓みや撓み角の関係をも用いて荷重を計算する必要がある。

【0059】

図4は、そのモデル図を示したものである。簡単化の為に、x-y平面で発生する荷重に関する図としている。ここで、簡単の為に梁の曲げ剛性を無限大とおくと、各ロードセル9の変位と回転角の関係は、式(6)で表される。

【0060】

【数6】

$$\theta_{z1} = \theta_{z2}, \quad \theta_{z1} = \frac{x_1 - x_2}{L_2 - L_1} \quad (6) \quad 10$$

【0061】

また、変位と荷重およびモーメントの関係は、ロードセル9のバネ剛性を用いて、式(7)で表せる。

【0062】

【数7】

$$f_{x1} = k_{x1}x_1, \quad f_{x2} = k_{x2}x_2, \quad m_{x1} = k_{\theta1}\theta_{z1}, \quad m_{x2} = k_{\theta2}\theta_{z2} \quad (7)$$

【0063】

式(4)と式(5)から、モーメント m_{z1} 、 m_{z2} は、式(8)の如く表すことができ、 f_{x1} と f_{x2} との線形結合の関係にあることが分かる。すなわち、一次独立でない。

【0064】

【数8】

$$m_{z1} = \frac{k_{\theta1}}{L_2 - L_1} \left(\frac{1}{k_{x1}} f_{x1} - \frac{1}{k_{x2}} f_{x2} \right), \quad m_{z2} = \frac{k_{\theta2}}{L_2 - L_1} \left(\frac{1}{k_{x1}} f_{x1} - \frac{1}{k_{x2}} f_{x2} \right) \quad (8)$$

【0065】

よって、前述の f_y と同様に、ロードセル9の荷重行列Xに荷重 f とモーメント m の両成分を加えると、行列Xが一次独立でなくなり、逆行列が求まらなくなる。なお、ロードセル9の f_x 、 f_z の代わりに m_x 、 m_z 成分のみを式(3)に加えても、理論上、変換行列は求まることにはなる。しかしながら、モーメント剛性を高める為に、二つのロードセル9を用いた本ユニット構造では、各ロードセル9自体に発生するモーメントは並進荷重に比べて相対的に小さくなる(歪ゲージの出力が小さい)。精度を高めるためには、 f 成分を使うのが有効である。

【0066】

なお、実際には、スピンドル軸4、インナースリーブ7、アウタースリーブ8(図4では、ロードセル9のバネの基礎部の剛性に相当)は剛体では無いために、式(6)にはそれらの曲げ剛性EIが含まれる形となる。ロードセル9剛性とスリーブの曲げ剛性の大小関係により、ロードセル9の f 成分と m 成分の関係は変化するが、線形結合の特性は変化しないこととなる。

[校正試験(2)]

次に、本実施形態における他の校正試験について述べる。

【0067】

この校正試験では、ロードセル9で計測される計測値と、タイヤTに作用する作用力との関係が、式(9)のように、 5×9 の変換行列Eにより変換されるとする。この変換行列Eの各成分を校正試験により求める。

【0068】

10

20

30

40

50

【数 9】

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} & e_{15} & e_{16} & e_{17} & e_{18} & e_{19} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & e_{24} & e_{25} & e_{26} & e_{27} & e_{28} & e_{29} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & e_{34} & e_{35} & e_{36} & e_{37} & e_{38} & e_{39} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} & e_{44} & e_{45} & e_{46} & e_{47} & e_{48} & e_{49} \\ e_{51} & e_{52} & e_{53} & e_{54} & e_{55} & e_{56} & e_{57} & e_{58} & e_{59} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{x2} \\ f_{z1} \\ f_{z2} \\ f_{y1} + f_{y2} \\ m_{x1} \\ m_{x2} \\ m_{z1} \\ m_{z2} \end{pmatrix} = \mathbf{E} \times \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{x2} \\ f_{z1} \\ f_{z2} \\ f_{y1} + f_{y2} \\ m_{x1} \\ m_{x2} \\ m_{z1} \\ m_{z2} \end{pmatrix} \quad (9)$$

10

【0 0 6 9】

式（9）における変換行列Eを求めるためには、少なくとも9種類の荷重条件が必要である。変換行列Eの算出は次式の疑似逆行列の方法で求まる。

【0 0 7 0】

【数 1 0】

$$\mathbf{F} = \mathbf{E}\mathbf{X} \Rightarrow \mathbf{E}\mathbf{X}\mathbf{X}^T = \mathbf{F}\mathbf{X}^T \Rightarrow \mathbf{E}\mathbf{X}\mathbf{X}^T(\mathbf{X}\mathbf{X}^T)^{-1} = \mathbf{F}\mathbf{X}^T(\mathbf{X}\mathbf{X}^T)^{-1} \Rightarrow \mathbf{E} = \mathbf{F}\mathbf{X}^T(\mathbf{X}\mathbf{X}^T)^{-1} \quad (10)$$

20

【0 0 7 1】

図5に示すように、多分力計測スピンドルユニット1では、ユニットの温度分布による熱歪みによって生じる内力に対しては、ロードセル9による計測荷重fとmは、校正試験（1）の場合とは異なる関係式となる。図5に示す様な内力状態は、タイヤT荷重では発生し得ないため、内力状態に応じて関係式が異なるということは、内力変化に対してはmとfは一次独立となることとなる。このロードセル9のモーメント出力を加えた校正式（式（9））により、温度分布等による計測誤差の影響を低減できる。校正試験データ、タイヤT位置に並進3自由度、モーメント2自由度の独立した荷重を、様々な温度分布状態で計測し、それらを校正データ群として取り扱うことにより、変換行列が算出できる。

【0 0 7 2】

30

本校正試験において、9個の一次独立の実験データとなっているかは、前述の通り実験データ行列Xのランク計算（階数計算）により評価できる。

[校正試験（3）]

さらに、本実施形態における他の校正試験について述べる。

本校正試験では、ロードセル9で計測される計測値と、タイヤTに作用する作用力との関係が、式（11）のように、 5×10 の変換行列Eにより変換されるとする。この変換行列Eの各成分を校正試験により求める。

【0 0 7 3】

【数 1 1】

$$\begin{pmatrix} F_x & F_y & F_z & M_x & M_z \end{pmatrix}^T = \mathbf{E} \cdot \begin{pmatrix} f_{x1} & f_{x2} & f_{z1} & f_{z2} & f_{y1} & f_{y2} & m_{x1} & m_{x2} & m_{z1} & m_{z2} \end{pmatrix}^T \quad (11)$$

40

【0 0 7 4】

本校正試験では、ロードセル9で計測される計測値として、10種類の一次独立のロードセル9荷重が出力される様な、外力、内力（温度影響）条件を与えることとする。f_{y1}とf_{y2}に独立に荷重を発生させるためには、内部温度の発生等の内力を発生させる必要がある。インナースリーブ7とアウトースリーブ8に温度差を与えることにより実現可能である。

[校正試験（4）]

さらに、本実施形態における他の校正試験について述べる。

【0 0 7 5】

50

本校正試験では、ロードセル 9 で計測される計測値と、タイヤ T に作用する作用力との関係が、式 (12) のように、 5×12 の変換行列 E により変換されるとする。この変換行列 E の各成分を校正試験により求める。

【0076】

【数12】

$$\begin{pmatrix} F_x & F_y & F_z & M_x & M_z \end{pmatrix}^T = E \cdot \begin{pmatrix} f_{x1} & f_{x2} & f_{y1} & f_{y2} & f_{z1} & f_{z2} & m_{x1} & m_{x2} & m_{y1} & m_{y2} & m_{z1} & m_{z2} \end{pmatrix}^T \quad (12)$$

【0077】

この校正試験は、 m_{y1} 、 m_{y2} に有意な一次独立の荷重出力が実現できた場合に、この変換行列 E を使用する。また、校正データ群に、上記の様々な温度分布状態で各種独立した荷重条件を与えたものに加えて、式 (13) で表される条件を加えることにより精度が改善される。

【0078】

【数13】

$$(F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z) = 0 \quad \text{の時に } m_{y1}=1, m_{y2}=-1 \quad (13)$$

【0079】

式 (13) は、y 軸方向に関するものであり、外力が作用しない状態で、y 方向の内力（インナースリーブ 7 の伸縮、ねじれ）が発生しても、それらの荷重はタイヤ T に近い側のロードセル 9 とタイヤ T から遠い側のロードセル 9 で作用反作用として対称で現れてくることを意味する。この条件式を加えることにより、式 (11) の変換行列 E の同定精度が向上し、試験時の各種条件においても、二つのロードセル 9 出力荷重から、精度よくタイヤ T 発生荷重を算出することができる。

〔校正試験を行った結果〕

最後に、以上述べた多分力計測スピンドルユニット 1 の校正方法を実施した際の結果について説明する。

【0080】

まず、校正試験 (1) を行った結果について述べる。

この校正試験では、図 6 に示すような 5 種類の試験条件を与えて試験を行った。すなわち、校正試験においての荷重状態は、図 6 (a) に示す F_x 荷重（トラクティブ力）を付与する条件、図 6 (b) に示す F_y 荷重（タイヤ T 軸荷重）を付与する条件、図 6 (c) に示す F_z 荷重（車体荷重）を付与する条件があり、加えて、図 6 (d) に示す M_x モーメントを付与する条件、図 6 (d) に示す M_z モーメントを付与する条件がある。

【0081】

モーメント M_x および M_y は、スピンドル軸 4 に取り付けられたタイヤ T の中心から距離 L だけ離れた位置に F_z および F_x を載荷することにより複合荷重として与えた。 M_x の値は $L \times F_z$ 、 M_z は $L \times F_x$ となる。

図 7 に、タイヤ T に作用する実荷重の計測精度の検証結果として、 F_x および F_z に対する計測精度を示す。

【0082】

図 7 における○は、校正試験 (1) を行った後の F_x 計測誤差を示したものであり、両荷重に対する計測誤差がほとんど無いことが確認でき、 5×5 の校正式の有効性が確認できる。その後、タイヤ試験を行い、その直後に F_x 計測誤差を計測した。その結果を●で示している。●のグラフから明らかなように、タイヤ試験終了直後に精度検証試験をしたところ、大きな誤差が生じていることがわかる。これは、ドラム荷重 F_z を載荷した状態で、タイヤ T を回転させることにより、軸受部 6 で熱が発生し、スピンドルユニット 1 内に温度分布が生じて内力が発生する影響と思われる。

【0083】

そこで、図 8 に示す様に、4 つの温度分布状態を作り、校正試験 (2) を行ってみた。

10

20

30

40

50

温度分布状態は、図 8 (a) に示すタイヤ試験直後の温度分布条件、図 8 (b) に示すアウタースリーブ 8 全体を加熱した条件、図 8 (c) に示すアウタースリーブ 8 の上部を加熱すると共に下部を冷却した条件、図 8 (d) に示すアウタースリーブ 8 の左右側一方を加熱すると共に左右側他方を冷却した条件がある。

【0084】

校正試験 (2) では、変換行列 E が 5×9 であり、試験条件としては、図 6 の荷重 5 条件と、図 8 の温度分布 4 条件で合計 9 条件を採用した。

図 9 に結果を示す。図 9 における○は、校正試験 (2) を行った後の F x 計測誤差を示したものであり、荷重に対する計測誤差がほとんど無いことが確認できる。その後、タイヤ試験を行い、その直後に F x 計測誤差を計測した。その結果を●で示している。●のグラフから明らかなように、タイヤ試験終了直後に精度検証試験をしたところ、校正試験 (2) を行っている故に、スピンドルユニット 1 内に温度分布が存在した後も、荷重に対する計測誤差がほとんど無いことがわかる。

【0085】

以上述べたように、本発明に係る技術を用いれば、スピンドル軸芯方向に沿って離れた位置に 2 つの多分力計測センサを備えた多分力計測スピンドルユニット 1 において、タイヤ T に作用する実荷重を求める際に用いる変換行列 E を確実に校正することができ、校正された変換行列 E を用いることで、タイヤ T に発生する並進荷重およびモーメントを精度よく算出することが可能となる。

【0086】

なお、今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

例えば、本実施形態で示した校正式は、ロードセル 9 からの歪信号出力値を荷重やモーメントに換算したものを基に記述しているが、実際の荷重演算においては、ロードセル 9 の歪み信号を荷重やモーメントに変換する行列と、本発明によるロードセル荷重をタイヤ荷重に変換する行列 E を、あらかじめ合成して一つの行列としておくことが望ましい。このことにより、ロードセル 9 の歪み信号から直接タイヤ荷重を計算することが出来、計算時に発生する桁落ち誤差を低減するとともに、計算時間の短縮化が図れる。

【符号の説明】

【0087】

- 1 多分力計測スピンドルユニット
- 2 タイヤ試験機
- 3 フレーム
- 4 スピンドル軸
- 5 ハウジング
- 6 軸受部
- 7 インナースリーブ
- 8 アウタースリーブ
- 9 ロードセル
- 10 着力体
- 11 開口
- 12 固定体
- 13 起歪体 (梁部材)
- 14 検知部
- 51 ~ 82 歪ゲージ
- T タイヤ

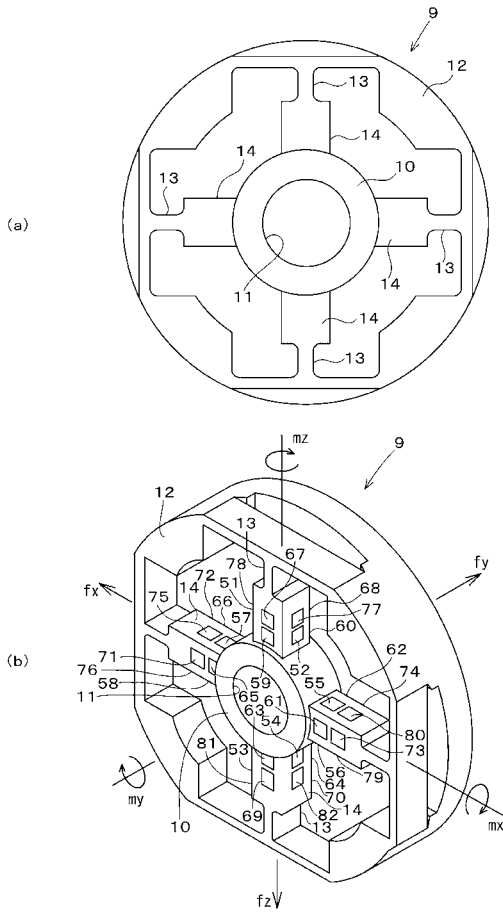
10

20

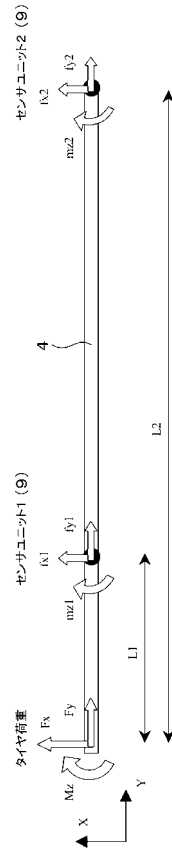
30

40

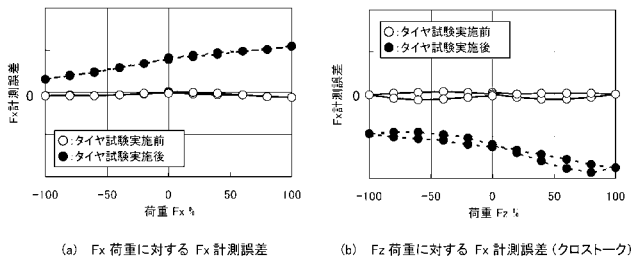
【図 2】



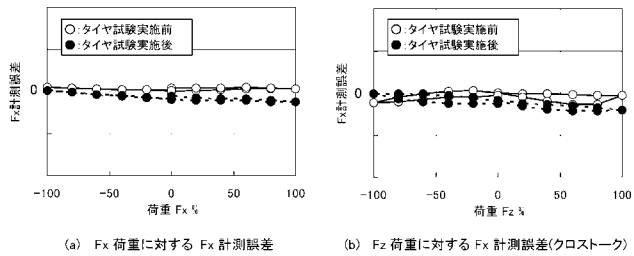
【図 3】



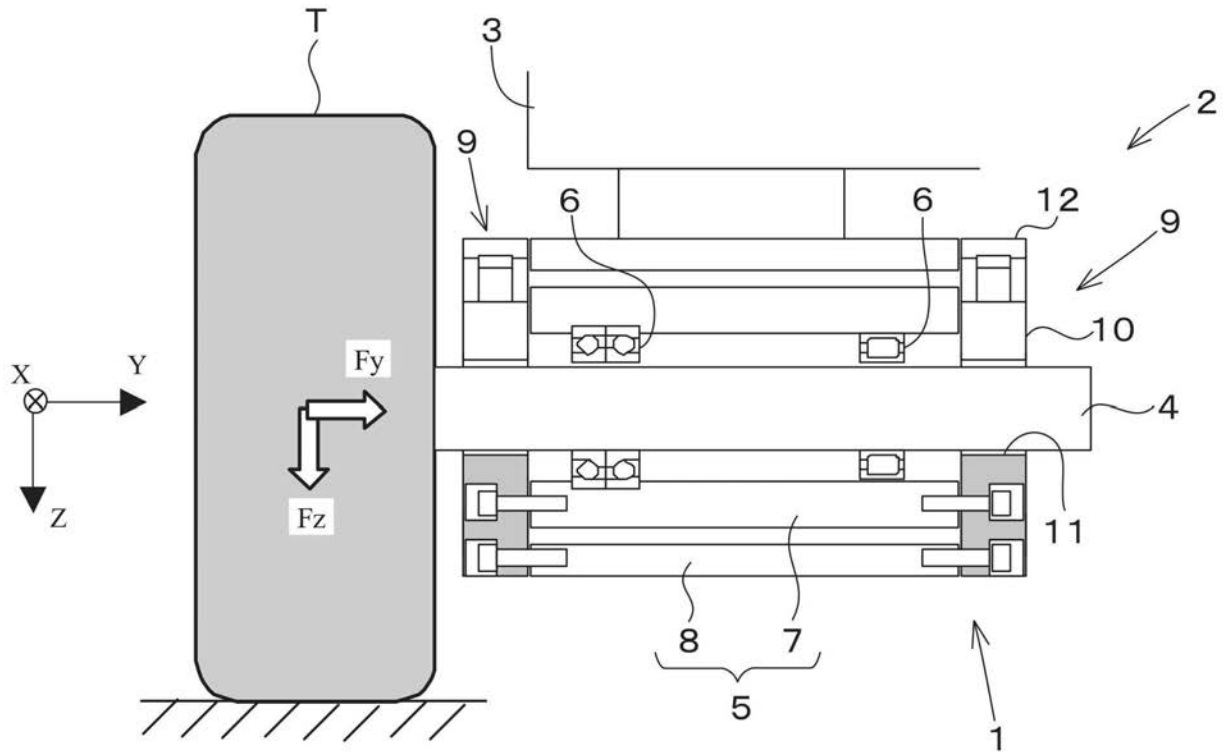
【図 7】



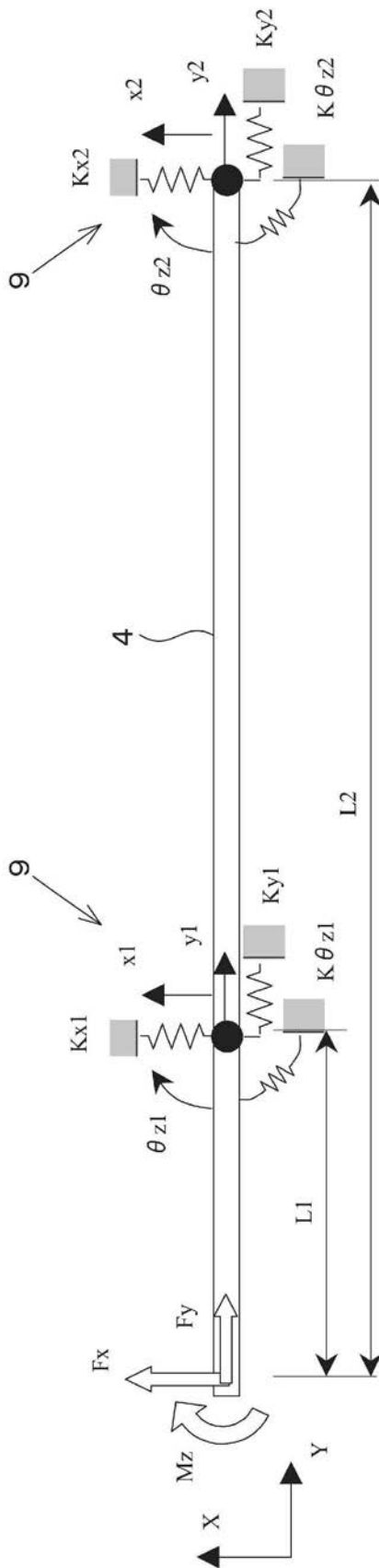
【図 9】



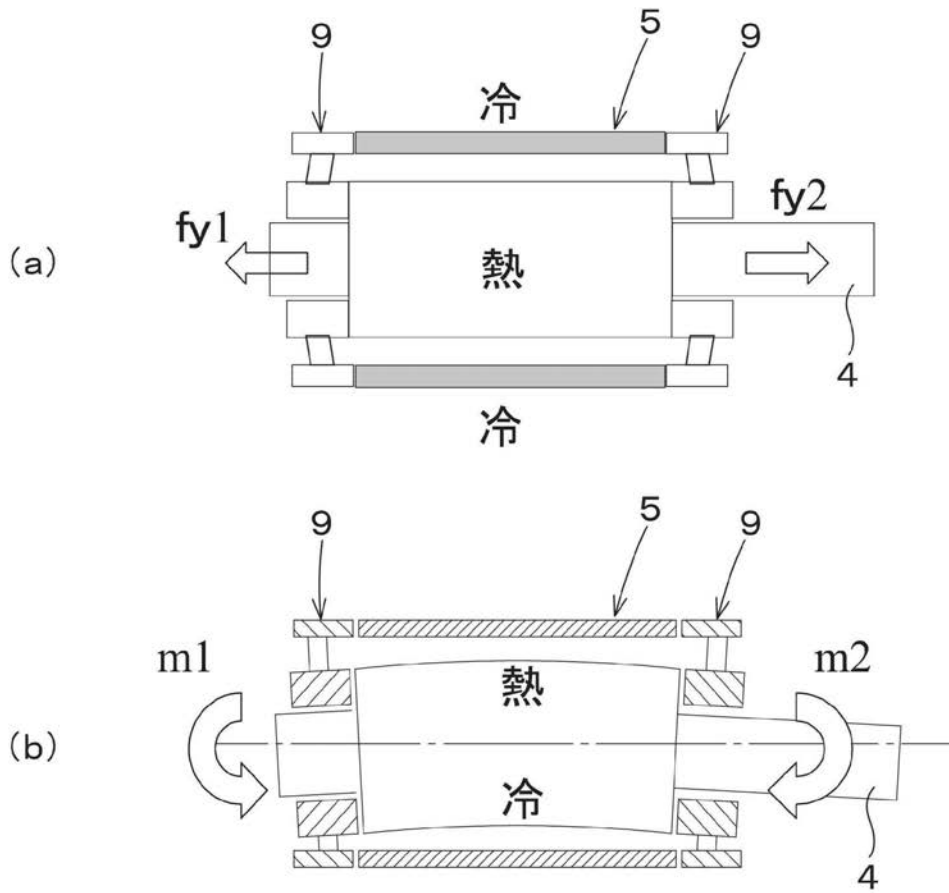
【図 1】



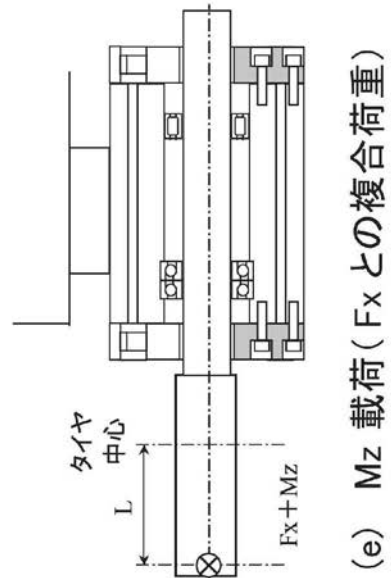
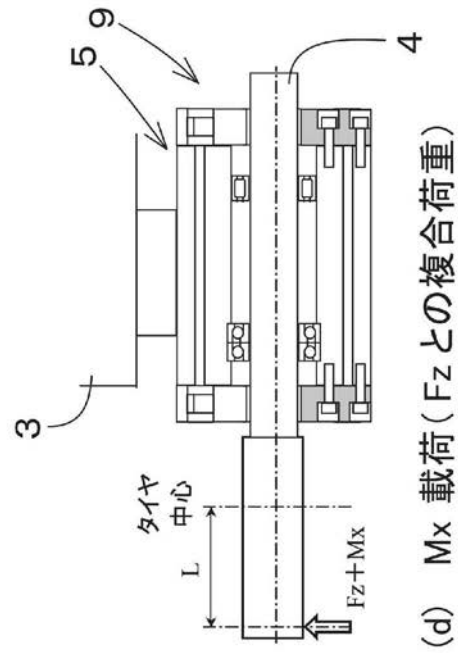
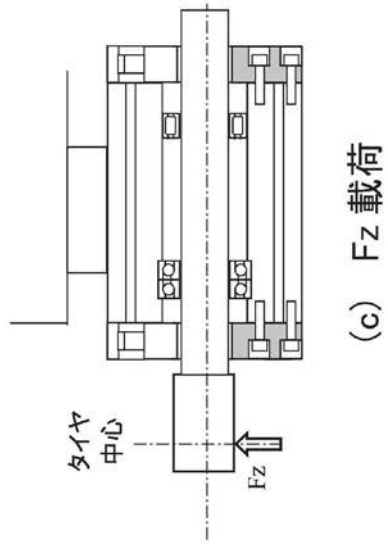
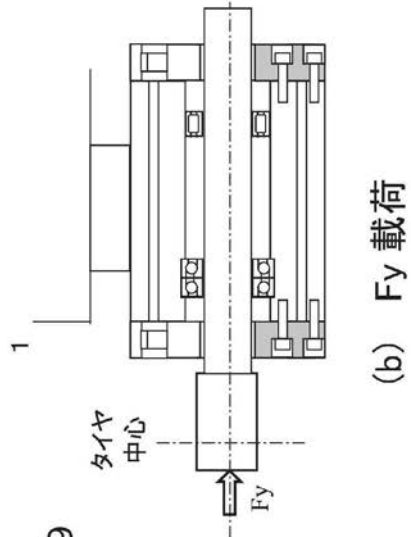
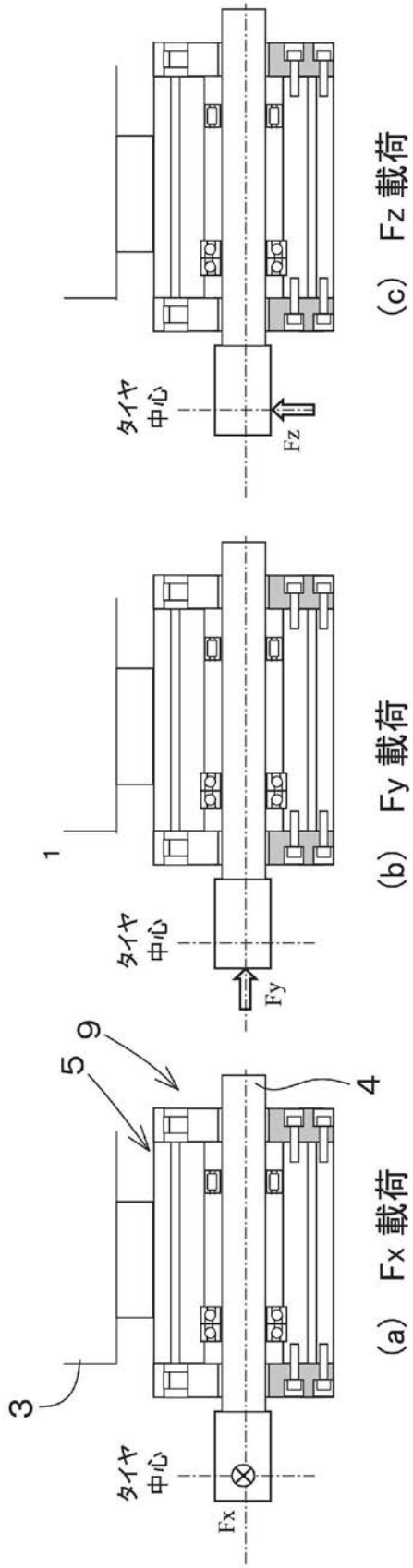
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 8】

