

(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2005-291356

(P2005-291356A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
F 1 6 C 9/02	F 1 6 C 9/02	3 J 0 3 3
F 1 6 C 19/06	F 1 6 C 19/06	3 J 1 0 1
F 1 6 C 41/00	F 1 6 C 41/00	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2004-106881 (P2004-106881)	(71) 出願人	000005326 本田技研工業株式会社 東京都港区南青山二丁目1番1号
(22) 出願日	平成16年3月31日(2004.3.31)	(74) 代理人	100077665 弁理士 千葉 剛宏
		(74) 代理人	100116676 弁理士 宮寺 利幸
		(74) 代理人	100077805 弁理士 佐藤 辰彦
		(72) 発明者	岩本 達也 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
		(72) 発明者	齋藤 淳也 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 転がり軸受の解析方法及び解析システム

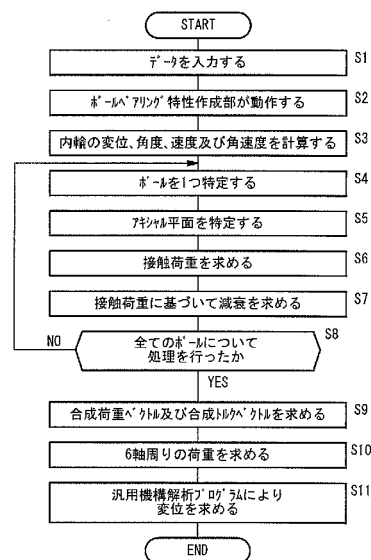
(57) 【要約】

【課題】 シャフトが結合されて変動負荷を受ける状態における転がり軸受の挙動を十分な解析精度で簡便に解析する。

【解決手段】 転がり軸受におけるボール4 4の位置と、該ボール4 4における接触点を含むアキシャル平面である仮想断面S 2を特定する(ステップS 5)。ボール4 4の仮想断面S 2上における接触荷重 $f_i$ を求める(ステップS 6)。ボール4 4の仮想断面S 2上における減衰を求める(ステップS 7)。各ボール4 4について仮想断面S 2、接触荷重 $f_i$ 及び減衰を求めた後(ステップS 8)、各接触荷重 $f_i$ 及び各減衰を合成して合成荷重ベクトルF及び合成トルクベクトルTを求める(ステップS 9)。合成荷重ベクトルF及び合成トルクベクトルTから6軸周りの荷重を求める(ステップS 10)。

【選択図】 図7

FIG. 7



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

略同軸の内輪及び外輪と、前記内輪と前記外輪の間に転がり可能に設けられた複数の転動体とを有する転がり軸受の解析方法において、

前記各転動体の仮想断面上における接触荷重を求める工程と、

前記各接触荷重を合成して合成荷重ベクトル及び合成トルクベクトルを求める工程と、を有することを特徴とする転がり軸受の解析方法。

## 【請求項 2】

請求項 1 記載の転がり軸受の解析方法において、

前記仮想断面は、前記転動体が前記内輪又は前記外輪と接触する接触点を含むアキシャル平面であることを特徴とする転がり軸受の解析方法。 10

## 【請求項 3】

請求項 1 記載の転がり軸受の解析方法において、

前記接触荷重は関数で求められ、該関数は解析プログラムにソルバとして組み込まれることを特徴とする転がり軸受の解析方法。

## 【請求項 4】

請求項 1 記載の転がり軸受の解析方法において、

前記転がり軸受の弾性的な特性を含む有限要素法モデルに対して前記合成荷重ベクトル及び前記合成トルクベクトルを作用させ、前記転がり軸受又は該転がり軸受に軸支されるシャフトの所定の箇所における変位又は歪みを求めることを特徴とする転がり軸受の解析方法。 20

## 【請求項 5】

略同軸の内輪及び外輪と、前記内輪と前記外輪の間に転がり可能に設けられた複数の転動体とを有する転がり軸受の解析システムにおいて、

前記各転動体のアキシャル平面上における接触荷重を求める手段と、

前記各接触荷重を合成して合成荷重ベクトル及び合成トルクベクトルを求める手段と、を有し、

前記アキシャル平面は、前記転動体が前記内輪又は前記外輪と接触する接触点を含む平面であることを特徴とする転がり軸受の解析システム。 30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、転がり軸受にシャフトが取り付けられた状態で、該シャフトに外力が作用する際の変位及び歪み等を解析するための転がり軸受の解析方法及び解析システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

エンジン開発におけるクランクシャフトの機構解析は、設計初期段階から重要視されており、このための機構解析技術が提案されている（例えば、非特許文献 1 参照）。また、多気筒型のエンジンにおけるクランクシャフトへの負荷増大を低減させるための設計方法が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。 40

## 【0003】

これらの技術及び方法で想定されているエンジンは多気筒型であって、クランクシャフトは滑り軸受により軸支されている。

## 【0004】

一方、単気筒小型エンジン等の組立型クランクシャフトは転がり軸受によって軸支されているものがある。このようなクランクシャフトの挙動解析には軸支する転がり軸受の挙動も解析する必要がある。転がり軸受の挙動に関しては種々の論文が発表されている（例えば、非特許文献 2、非特許文献 3 参照）。 50

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開平 1 0 - 1 6 9 6 3 7 号公報

【 非特許文献 1 】 Niino T. et al. 「Development of simulation technology for dynamic behavior of crankshaft system in motorcycle engines」 JSAE Review、 Vol.23 (2002)

【 非特許文献 2 】 坂口智也、赤松良信 「玉軸受の振動シミュレーション」 NTN TECHNICAL REVIEW、 No.69 (2001)

【 非特許文献 3 】 多田誠二 「高速回転下における保持器音および振動・挙動の解析」 KOYO Engineering Journal、 No.160 (2001)

【 発明の開示 】

10

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

前記の特許文献 1 及び非特許文献 1 に記載されている方法及び技術は多気筒エンジンで、クランクシャフトの軸受に滑り軸受を用いているエンジンのための解析に用いられるものであり、小型エンジン等で転がり軸受により軸支されているクランクシャフトの解析に適用することは困難である。

【 0 0 0 7 】

また、前記の非特許文献 2 及び非特許文献 3 に記載されている解析方法は、軸受単体の解析を行うための方法であり、クランクシャフトを含んだ機構全体の解析やクランクシャフトに変動荷重をうける場合の解析に適用することは困難である。

20

【 0 0 0 8 】

一方、転がり軸受の解析方法としては、従来から線形及び非線形の単純なばね・ダンパモデルが用いられているが、このようなモデルは、クランクシャフトのような変動荷重を受けるシャフトを軸支する転がり軸受の解析に対しては解析精度が不十分である。また、転がり軸受の 3 次元的幾何形状から各部の接触を判断して個々の転動体における荷重を求めるといった詳細接触解析手法を適用するためには膨大な計算時間を要し、実用的とはいえない。

【 0 0 0 9 】

本発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、クランクシャフト等のシャフトが結合されて変動荷重を受ける状態における転がり軸受の挙動を簡便に解析することができ、しかも十分な解析精度を有する転がり軸受の解析方法及び解析システムを提供することを目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

本発明に係る転がり軸受の解析方法は、略同軸の内輪及び外輪と、前記内輪と前記外輪の間に転がり可能に設けられた複数の転動体とを有する転がり軸受の解析方法において、前記各転動体の仮想断面上における接触荷重を求める工程と、前記各接触荷重を合成して合成荷重ベクトル及び合成トルクベクトルを求める工程と、を有することを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

また、本発明に係る転がり軸受の解析システムは、略同軸の内輪及び外輪と、前記内輪と前記外輪の間に転がり可能に設けられた複数の転動体とを有する転がり軸受の解析システムにおいて、前記各転動体のアキシャル平面上における接触荷重を求める手段と、前記各接触荷重を合成して合成荷重ベクトル及び合成トルクベクトルを求める手段と、を有し、前記アキシャル平面は、前記転動体が前記内輪又は前記外輪と接触する接触点を含む平面であることを特徴とする。

40

【 0 0 1 2 】

このように、各転動体の仮想断面上における接触荷重を合成して合成荷重ベクトル及び合成トルクベクトルを求めることにより、シャフトが結合されて変動荷重を受ける状態における転がり軸受の挙動を解析することができ、しかも十分な解析精度を有する。転動体は 3 次元的で複雑な接触に基づいて公転運動するが、上記の方法により転動体の運動を仮

50

想断面上の２次元平面における運動に置き換えることができ、接触荷重精度を維持したまま簡便に解析することができる。

【 0 0 1 3 】

この場合、前記仮想断面は、前記転動体が前記内輪又は前記外輪と接触する接触点を含むアキシャル平面であると、より正確な解析を行うことができる。

【 0 0 1 4 】

また、前記接触荷重は関数で求められ、該関数は解析プログラムにソルバとして組み込まれると、解析プログラムと協動的に解析処理を行うことができる。

【 0 0 1 5 】

前記転がり軸受の弾性的な特性を含む有限要素法モデルに対して前記合成荷重ベクトル及び前記合成トルクベクトルを作用させ、前記転がり軸受又は該転がり軸受到軸支されるシャフトの所定の箇所における変位又は歪みを求めてもよい。有限要素法モデルによれば、実績のある従来の解析ツールを適用して簡便に解析を行うことができる。変位又は歪みを求めることにより、転がり軸受、シャフト等の評価を適切に行うことができる。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 6 】

本発明に係る転がり軸受の解析方法及び解析システムによれば、各転動体の仮想断面上における接触荷重を合成して合成荷重ベクトル及び合成トルクベクトルを求めることにより、シャフトが結合されて変動荷重を受ける状態における転がり軸受の挙動を解析することができる。また、実用上十分な解析精度を有する。

20

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 7 】

以下、本発明に係る転がり軸受の解析方法及び解析システムについて実施の形態を挙げ、添付の図 1 ~ 図 1 9 を参照しながら説明する。

【 0 0 1 8 】

図 1 及び図 2 に示すように、解析対象となる転がり軸受 1 0 及び 1 2 は、単気筒型のエンジン 1 4 におけるクランクシャフト 1 6 の両端のジャーナル部 1 7 a、1 7 b を回転可能に軸支しており、クランクケース 1 8 に固定されている。クランクシャフト 1 6 はジャーナル部 1 7 a 及び 1 7 b と、コネクティングロッド 2 0 の下端部を回転可能に軸支するクランクピン 2 2 と、該クランクピン 2 2 の両端を支えるとともにバランスとして作用するウェブ 2 4 a、2 4 b とを有する。クランクピン 2 2 はジャーナル部 1 7 a、1 7 b に対して偏心しており、クランクシャフト 1 6 が回転することによりコネクティングロッド 2 0 の上端に軸支されたピストン 2 6 がシリンダボア 2 8 内で昇降する。シリンダボア 2 8 の上部の燃焼室内には霧化燃料が供給され、点火プラグ 3 0 によって着火、爆発してピストン 2 6 を所定タイミングで押し下げてクランクシャフト 1 6 を回転させることになる。クランクシャフト 1 6 には図示しないクラッチ及び変速機を介して車輪が接続されており、自動二輪車等の車両を駆動することができる。霧化燃料の着火、爆発によりクランクシャフト 1 6 には変動荷重が加わる。

30

【 0 0 1 9 】

図 3 に示すように、転がり軸受 1 0 は内輪 4 0 と、外輪 4 2 と、これらの内輪 4 0 と外輪 4 2 の間に転がり可能に設けられた複数のボール（転動体）4 4 とを有する。ボール 4 4 の個数を個数 N とする。外輪 4 2 は前記クランクケース 1 8 に固定されており、内輪 4 0 はジャーナル部 1 7 a に接続されている。

40

【 0 0 2 0 】

転がり軸受 1 2 は転がり軸受 1 0 と同構造であり、ジャーナル部 1 7 b を軸支している。

【 0 0 2 1 】

図 4 に示すように、ボール 4 4 は内輪 4 0 の軌道面 4 0 a と接触点 P で接触し、該接触点 P から接触荷重 f を受ける。接触荷重 f はラジアル平面（中心軸 Z に垂直な平面）S 1 に対して接触角  $\theta$  の角度の方向に作用する。ボール 4 4 は、接触荷重 f が作用する方向に

50

貫通量 だけ弾性変形してつぶれている。つまり、ボール 44 は、軌道面 40a と軌道面 42a に挟まれることにより微量だけ潰れて接触面が存在することになり、潰れる以前のボール 44 の元の形状の外周と軌道面 42a との距離が貫通量 として定義される。なお、図 4 においては、理解を容易にするために貫通量 が軌道面 42a の側にのみ存在するように図示しているが、実際にはボール 44 は軌道面 40a 側も変形しており、軌道面 40a 側と軌道面 42a 側はそれぞれ  $\frac{1}{2}$  ずつ弾性変形している。

#### 【0022】

ボール 44 は転がり軸受 10 の中心軸 Z を基準とした公転角度  $\theta$  に応じて、位置が特定される。つまり、中心軸 Z に直交する X 軸、Y 軸を図 5 に示すように規定し、ボール 44 が 8 つである場合には、X 軸上のボール 44a は、 $\theta = 0^\circ$  又は  $\theta = 360^\circ$  として特定される。また、ボール 44 から反時計方向に順に隣接するボール 44b, 44c は、それぞれ  $\theta = 45^\circ$ 、 $\theta = 90^\circ$  として特定される。また、X-Y 平面はラジアル平面 S1 になる。

10

#### 【0023】

次に、転がり軸受 10 及び 12 を解析するための解析システム 50 について説明する。

#### 【0024】

図 6 に示すように、解析システム 50 は入力装置としてのキーボード 52、マウス 54 及び記憶媒体ドライブ 56 と、解析装置としての本体 58 と、出力装置としてのモニタ 60 及びプリンタ 62 とを有する。記憶媒体ドライブ 56 は出力装置としても用いることができる。解析システム 50 は、例えば、パーソナルコンピュータシステムを用いることができる。

20

#### 【0025】

本体 58 は、転がり軸受 10、12 及びクランクシャフト 16 等の解析モデルデータ D3 を作成する転がり軸受特性作成部 66 と、作成された解析モデルデータ D3 に基づく解析を行う主計算部 68 とを有する。

#### 【0026】

転がり軸受特性作成部 66 は、プリプロセッサ部 70 と、線形静解析部 72 と、コンタクトプロセッサ部 74 とを有する。プリプロセッサ部 70 は、入力装置から入力された転がり軸受 10、12 及びクランクシャフト 16 等の形状、材質等のデータに基づいて線形静解析に必要な内輪 40、外輪 42 及びボール 44 の有限要素法データ D1 を作成する部分である。この有限要素法データ D1 には形状メッシュ、荷重及び所定の境界条件が付加される。線形静解析部 72 はプリプロセッサ部 70 で作成された有限要素法データ D1 を用いて線形静解析を行う部分であり、所定の節点剛性データ D2 を作成する。この線形静解析部 72 で行う線形静解析には、汎用構造解析プログラムが利用可能である。

30

#### 【0027】

コンタクトプロセッサ部 74 は、線形静解析部 72 で作成された節点剛性データ D2 を用いて、内輪 40、外輪 42 及びボール 44 の接触解析を行い解析モデルデータ D3 を作成する部分である。コンタクトプロセッサ部 74 は、ボール 44 の仮想断面 S2 上における接触荷重 f を求めるための接触関数を作成する手段を有し、該接触関数を解析モデルデータ D3 に含める。接触関数では貫通量  $\delta$ 、接触角  $\alpha$  等パラメータに基づき各ボール 44 毎の接触荷重 f を求めることができる。

40

#### 【0028】

この解析モデルデータ D3 は主計算部 68 に供給されるとともに所定の記憶部に記録される。

#### 【0029】

主計算部 68 は汎用機構解析プログラム 80 と、該汎用機構解析プログラム 80 に組み込む解析ソルバ 82 とを有する。解析ソルバ 82 は、汎用機構解析プログラム 80 に組み込まれることにより該汎用機構解析プログラム 80 と協動的に解析処理を行うことができる。

#### 【0030】

50

解析ソルバ 8 2 は、先ず、クランクケース 1 8 の外輪 4 2 の取付中心部を基準として内輪 4 0 の変位、角度、速度及び角速度を計算する。

【 0 0 3 1 】

次に、解析モデルデータ D 3 の接触関数から各ボール 4 4 毎の接触荷重  $f_i$  ( $i = 1 \sim N$ ) と、減衰とを求め、これらを合成して合成荷重ベクトル F 及び合成トルクベクトル T を求める。添え字  $i$  は各ボール 4 4 の識別番号である。合成荷重ベクトル F 及び合成トルクベクトル T は 3 次元的なベクトルとして求められる。接触荷重  $f_i$  は仮想断面 S 2 における 2 次元的なベクトル量として求められ、各ボール 4 4 毎に  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3 \dots f_N$  として表される。

【 0 0 3 2 】

解析ソルバ 8 2 は、具体的には、次の ( 1 ) 式及び ( 2 ) 式に基づいて合成荷重ベクトル F 及び合成トルクベクトル T を求める。

【 0 0 3 3 】

【 数 1 】

$$F = \sum_{i=1}^N \{F_i\} = \sum_{i=1}^N \{ \text{func}(\delta_i, \beta_i) + C(\text{func}(\delta_i, \beta_i)) \cdot \{v_i\} \} \quad \dots(1)$$

【 0 0 3 4 】

【 数 2 】

$$T = \sum_{i=1}^N \{T_i\} = \sum_{i=1}^N \{ \{ \text{func}(\delta_i, \beta_i) + C(\text{func}(\delta_i, \beta_i)) \} \cdot \{v_i\} \cdot \{l_i\} \} \quad \dots(2)$$

【 0 0 3 5 】

ここで、 $F_i$  及び  $T_i$  はボール 4 4 の 1 個分の接触荷重ベクトル及び軸周りトルクベクトルであり、 $C( )$  は減衰を求める関数であり、 $v_i$  は並進速度ベクトルである。 $C( )$  は、例えば、接触荷重  $f_i$  に対する比例関係の関数でもよい。

【 0 0 3 6 】

また  $l_i$  は中心軸 Z から接触点 P までの距離ベクトルである。 $\text{func}( )$  は、転がり軸受特性作成部 6 6 で得られた接触関数であり、 $f_i = \text{func}( )$  である。なお、 $$  及び  $$  は代表的な引数であり、接触関数はこれ以外の引数を取りうる。

【 0 0 3 7 】

また、 $$  は各ボール 4 4 毎の貫通量 であり、並進軸方向成分の値として直交する 3 軸方向の成分値で表される。

【 0 0 3 8 】

さらに、転がり軸受 1 0 に加えられる変動荷重等の外力により変位、内輪 4 0 及び外輪 4 2 の中心位置から転がり軸受 1 0 に発生する力及びトルクを求め、これらの力及びトルクを合成荷重ベクトル F 及び合成トルクベクトル T に反映させる。

【 0 0 3 9 】

なお、接触荷重  $f_i$  は、仮想断面 S 2 における 2 次元的なベクトル量であるが、各ボール 4 4 毎に仮想断面 S 2 の向きが異なることから、結局、接触荷重  $f_i$  は ( 1 ) 式において 3 次元的なベクトルとして扱われる。

【 0 0 4 0 】

求められた合成荷重ベクトル F は、直交する X 軸、Y 軸及び Z 軸の 3 方向成分に分解され、合成トルクベクトル T は、直交する 3 つの方向成分 (いわゆる、ロール、ピッチ及びヨーの方向成分) に分解され、結局、6 軸周りの荷重が求められる。得られた 6 軸周りの

10

20

30

40

50

荷重は汎用機構解析プログラム 80 の解析に供される。これにより、汎用機構解析プログラム 80 では転がり軸受 10、12 及びクランクシャフト 16 の所定の箇所における変位を求めることができる。解析ソルバ 82 は、汎用機構解析プログラム 80 における時間領域での数値積分法を用いた計算に対応可能な程度に高速な処理が可能である。

【0041】

次に、このように構成される解析システム 50 を用いて転がり軸受 10、12 及びクランクシャフト 16 の挙動解析を行う方法について説明する。以下の説明では、断りのない限り表記したステップ番号順に処理が実行されるものとする。

【0042】

まず、図 7 のステップ S1 において、入力装置から転がり軸受 10、12 及びクランクシャフト 16 等の形状、材質等のデータを入力する。 10

【0043】

ステップ S2 において、転がり軸受特性作成部 66 のプリプロセッサ部 70、線形静解析部 72 及びコンタクトプロセッサ部 74 が順に動作し、有限要素法データ D1、節点剛性データ D2 及び解析モデルデータ D3 を作成する。

【0044】

このとき、コンタクトプロセッサ部 74 は、接触関数  $f_{unc}(i, j)$  を作成する。

【0045】

ステップ S3 において、主計算部 68 は、クランクケース 18 の外輪 42 の取付中心部を基準として内輪 40 の変位、角度、速度及び角速度を計算する。 20

【0046】

ステップ S4 において、ボール 44 のうち 1 つを以下のステップ S5 ~ S7 の処理対象として特定する。具体的には、所定のカウンタの番号に従い、前記添え字  $i$  の番号を特定すればよい。

【0047】

ステップ S5 において、添え字  $i$  により特定されるボール 44 の公転角度  $\theta_i$  から接触荷重  $f_i$  が作用するアキシアル平面である仮想断面 S2 を特定する。

【0048】

ステップ S6 において、前記ステップ S5 で特定された仮想断面 S2 内での接触角  $\alpha_i$  及び接触荷重  $f_i$  を求める。接触荷重  $f_i$  は前記接触関数  $f_{unc}(i, j)$  により求められる。 30

【0049】

ステップ S7 において、接触荷重  $f_i$  に基づいて減衰を求める。この減衰は、前記関数  $C(i)$  により求められる。

【0050】

ステップ S8 において、全てのボール 44 について前記ステップ S5 ~ S7 の処理を行ったか否かを確認する。全てのボール 44 について処理が終了していればステップ S9 へ移り、未終了であればステップ S4 へ戻る。

【0051】

ステップ S9 において、前記 (1) 式及び (2) 式に基づいて合成荷重ベクトル  $F$  及び合成トルクベクトル  $T$  を求める。 40

【0052】

ステップ S10 において、合成荷重ベクトル  $F$  及び合成トルクベクトル  $T$  を分解して、6 軸周りの荷重を求める。

【0053】

ステップ S11 において、前記ステップ S10 で求められた 6 軸周りの荷重を汎用機構解析プログラム 80 に供給し、有限要素法等の手法により転がり軸受 10、12 又はクランクシャフト 16 の所定の箇所における変位を求めることができる。

【0054】

次に、解析システム50を用いて行われた転がり軸受10、12及びクランクシャフト16の挙動解析の結果について説明する。

【0055】

先ず、転がり軸受10及び12の単体の静的剛性検証を行った。つまり、解析モデルデータD3を用いて転がり軸受10及び12に対して静的にラジアル荷重 $F_r$ (図3参照)を加えた際のラジアル方向の弾性変形量とラジアル隙間との和である変位量 $d_r$ とラジアル荷重 $F_r$ との関係を調べた。同様に、静的にアキシャル荷重 $F_a$ (図3参照)を加えた際のアキシャル方向の弾性変形量とアキシャル隙間との和である変位量 $d_a$ とアキシャル荷重 $F_a$ との関係を調べた。

【0056】

図8及び図9に示すように、隙間量 $d_r$ 、 $d_a$ に関して、解析モデルデータD3に基づく解析グラフ線100a及び102aと、予め検証されている基礎グラフ線100b及び102bとはそれぞれ高い相関を示し、解析モデルデータD3を用いた転がり軸受10及び12の静的な剛性を充分再現可能であることが検証された。また、この検証は、ボール44の公転位置のレイアウトが異なる複数の場合について行い、それぞれ高い相関があることが確認された。

10

【0057】

次に、転がり軸受10、12とクランクシャフト16とのアセンブリ状態について検証した。この検証のために、図10に示すアセンブリ検証治具104を用いて実測データを計測した、アセンブリ検証治具104は、実際の転がり軸受10、12及びクランクシャフト16を前記クランクケース18と同様に保持するものであり、クランクピン22には、荷重を加えることのできるボルト106が設けられている。ボルト106は、所定の荷重で破断するように設定されており、該ボルト106が破断するまでの間は静的荷重が加えられ、破断時には衝撃荷重が加えられることになる。

20

【0058】

アセンブリ検証治具104には、4つのギャップセンサ108a~108dが設けられており、ウェブ24aの軸方向の変位 $d_{xa}$ 、上方向の変位 $d_{ya}$ 、ウェブ24bの軸方向の変位 $d_{xb}$ 、上方向の変位 $d_{yb}$ が計測可能である。

【0059】

ボルト106が破断するまでの間におけるボルト106に加わる荷重 $F_s$ に対する変位 $d_{xa}$ を図11に示す。図11から、アセンブリ検証治具104のギャップセンサ108aから得られた実測データ110bと、解析モデルデータD3を用いて解析システム50で得られたシミュレーションデータ110aとは高い相関を示すことが了解される。

30

【0060】

また、ボルト106の破断時における衝撃荷重に対する変位 $d_{xa}$ の変化及び変位 $d_{ya}$ の変化を図12及び図13に示す。図12から、実測データ112bと、解析モデルデータD3を用いて解析システム50で得られたシミュレーションデータ112aとは高い相関を示すことが了解される。同様に、図13から、実測データ114bと、シミュレーションデータ114aとは高い相関を示すことが了解される。なお、図示を省略するが、変位 $d_{xb}$ 及び変位 $d_{yb}$ についても、実測データとシミュレーションデータは高い相関を示した。

40

【0061】

図12及び図13に示す時系列変位結果を用いて、周波数解析を行った結果を図14及び図15に示す。この図14及び図15から了解されるように、特に1000[Hz]前後において実測データ117b及び118bとシミュレーション結果117a及び118aがほぼ符合している。

【0062】

このように、解析モデルデータD3は、静的及び動的な解析に充分適用可能であることが確認された。

【0063】

50

次に、実際のエンジン 14 (図 1 参照) における転がり軸受 10、12 及びクランクシャフト 16 の挙動と、解析システム 50 における解析結果との比較検証を行った。この比較検証のため、実際のエンジン 14 のクランクケース 18 にギャップセンサを設けてウェブ 24 a の変位  $y$  を計測するとともに、クランクピン 22 の隅部の遅角側に歪みゲージを設けて霧化燃料を爆発させる際の歪み  $s$  を計測した。エンジン 14 は、実際に霧化燃料を供給して着火、爆発させて運転した。

【0064】

図 16 及び図 17 に示すように、エンジン回転数  $N_e$  が  $4000 [r/min]$  時及び  $8000 [r/min]$  時のクランク角 に対するウェブ 24 a の変位  $y$  は、実測データ 120 b 及び 122 b とシミュレーションデータ 120 a 及び 120 a でそれぞれほぼ符合した。

10

【0065】

また、図 18 及び図 19 に示すように、エンジン回転数  $N_e$  が  $4000 [r/min]$  時及び  $8000 [r/min]$  時のクランク角 に対するクランクピン 22 の隅部における歪み  $s$  は、実測データ 124 b 及び 126 b とシミュレーションデータ 124 a 及び 126 a でそれぞれほぼ符合した。

【0066】

このように、解析システム 50 によれば、エンジン 14 の低速回転域及び高速回転域において実測データと高い相関を示すシミュレーションデータが得られ、実用上十分な解析精度を有することが確認された。

20

【0067】

また、エンジン回転数  $N_e$  が  $10000 [r/min]$  時の歪み  $s$  に関して、従来のはね・ダンパモデルを用いた場合のデータは、実測データ又は解析システム 50 により得られるシミュレーションデータと比較して 30% 程度の誤差があることが確認され、従来手法と比較して解析システム 50 の解析精度が高いことが実証された。

【0068】

上述したように、本実施の形態に係る転がり軸受の解析方法及び解析システム 50 によれば、各ボール 44 の仮想断面 S2 上における接触荷重  $f_i$  を合成して合成荷重ベクトル  $F$  及び合成トルクベクトル  $T$  を求めることにより、クランクシャフト 16 が結合されて変動負荷を受ける状態における転がり軸受 10、12 の剛性を再現可能であって、挙動を解析することができ、しかも十分な解析精度を有する。

30

【0069】

また、実際のエンジン 14 を運転する際には、ボール 44 は 3 次元的で複雑な接触に基づいて公転運動するが、上記の方法によりボール 44 の運動を仮想断面 S2 上における運動に置き換えることができ、接触荷重  $f$  の数値精度を維持したまま簡便に解析することができる。

【0070】

さらに、主計算部 68 では、主に仮想断面 S2 上の接触荷重  $f$  に基づいて解析を行うことから、解析モデルデータ D3 は構築が容易であり、しかもデータ量や計算負荷が低減し、解析時間の大幅な低減が図られる。

40

【0071】

また、本実施の形態に係る転がり軸受の解析方法及び解析システム 50 は、深溝型の転がり軸受 10 及び 12 に限らず、例えば、ころ軸受、ニードル軸受等の各種軸受けに適用可能であることはもちろんである。

【0072】

本発明に係る転がり軸受の解析方法及び解析システムは、上述の実施の形態に限らず、本発明の要旨を逸脱することなく、種々のステップ及び構成を採り得ることはもちろんである。

【図面の簡単な説明】

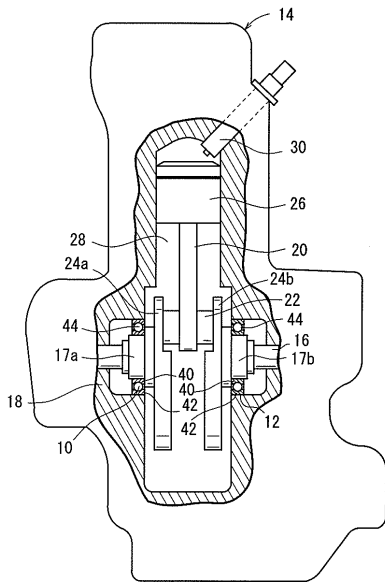
【0073】

50

- 【図 1】単気筒型のエンジンの一部断面側面図である。
- 【図 2】転がり軸受及びクランクシャフトの模式斜視図である。
- 【図 3】転がり軸受及びクランクシャフトの一部断面拡大斜視図である。
- 【図 4】転がり軸受のボール、内輪及び外輪のアキシャル断面図である。
- 【図 5】直交座標における公転角度とボールの位置との関係を示す図である。
- 【図 6】本実施の形態に係る転がり軸受の解析装置のブロック図である。
- 【図 7】本実施の形態に係る転がり軸受の解析方法の手順を示すフローチャートである。
- 【図 8】解析モデルデータの転がり軸受にラジアル方向の静荷重をかけてシミュレーションした結果を示すグラフである。
- 【図 9】解析モデルデータの転がり軸受にアキシャル方向の静荷重をかけてシミュレーションした結果を示すグラフである。 10
- 【図 10】アセンブリ検証治具の一部断面斜視図である。
- 【図 11】解析モデルデータのアセンブリに静荷重をかけてシミュレーションした結果である。
- 【図 12】解析モデルデータのアセンブリに衝撃荷重をかけてシミュレーションした上下方向の変位を示すグラフである。
- 【図 13】解析モデルデータのアセンブリに衝撃荷重をかけてシミュレーションした軸方向の変位を示すグラフである。
- 【図 14】解析モデルデータのアセンブリに衝撃荷重をかけてシミュレーションした上下方向の変位の周波数解析結果を示すグラフである。 20
- 【図 15】解析モデルデータのアセンブリに衝撃荷重をかけてシミュレーションした軸方向の変位の周波数解析結果を示すグラフである。
- 【図 16】低回転時のクランク角に対するウェブの変位のシミュレーション結果である。
- 【図 17】高回転時のクランク角に対するウェブの変位のシミュレーション結果である。
- 【図 18】低回転時のクランク角に対するクランクピンの歪みのシミュレーション結果である。
- 【図 19】高回転時のクランク角に対するクランクピンの歪みのシミュレーション結果である。
- 【符号の説明】 30
- 【0074】
- |                      |                      |    |
|----------------------|----------------------|----|
| 10、12 ... 転がり軸受      | 14 ... エンジン          |    |
| 16 ... クランクシャフト      | 17 a、17 b ... ジャーナル部 |    |
| 18 ... クランクケース       | 20 ... コネクティングロッド    |    |
| 22 ... クランクピン        | 24 a、24 b ... ウェブ    |    |
| 40 ... 内輪            | 40 a、42 a ... 軌道面    |    |
| 42 ... 外輪            | 44 ... ボール           |    |
| 50 ... 解析システム        | 58 ... 本体            |    |
| 66 ... 転がり軸受特性作成部    | 68 ... 主計算部          |    |
| 70 ... プリプロセッサ部      | 72 ... 線形静解析部        |    |
| 74 ... コンタクトプロセッサ部   | 80 ... 汎用機構解析プログラム   | 40 |
| 82 ... 解析ソルバ         |                      |    |
| $f$ 、 $f_i$ ... 接触荷重 | $f u n c$ ... 接触関数   |    |
| D1 ... 有限要素法データ      | D2 ... 節点剛性データ       |    |
| D3 ... 解析モデルデータ      | F ... 合成荷重ベクトル       |    |
| P ... 接触点            | T ... 合成トルクベクトル      |    |
| ... 公転角度             | 、 $i$ ... 接触角        |    |
| 、 $i$ ... 貫通量        |                      |    |

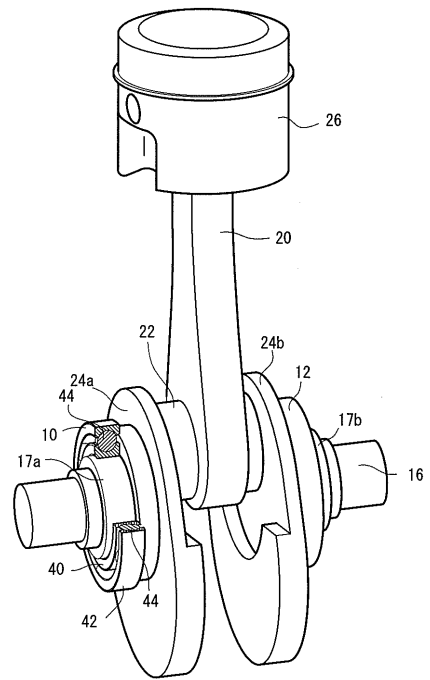
【 図 1 】

FIG. 1



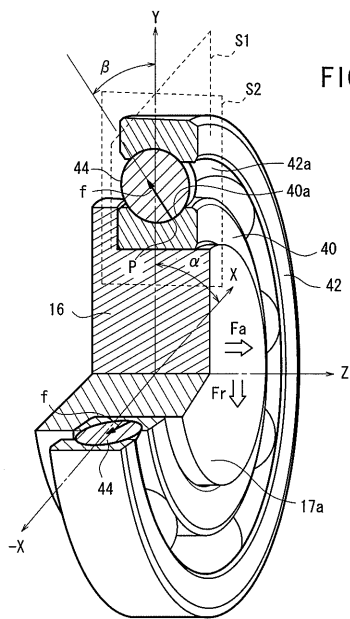
【 図 2 】

FIG. 2



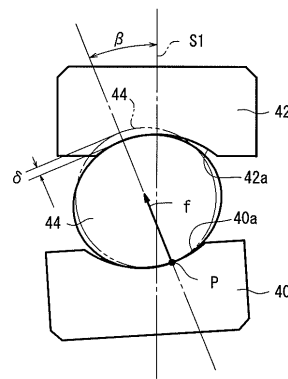
【 図 3 】

FIG. 3

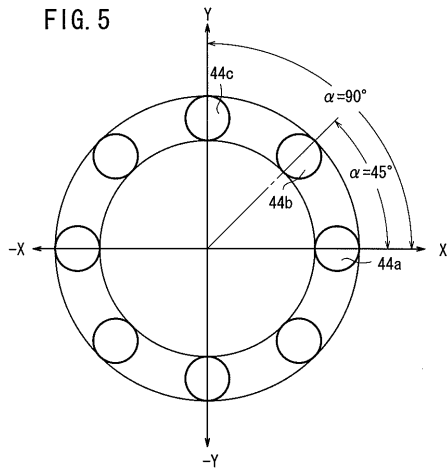


【 図 4 】

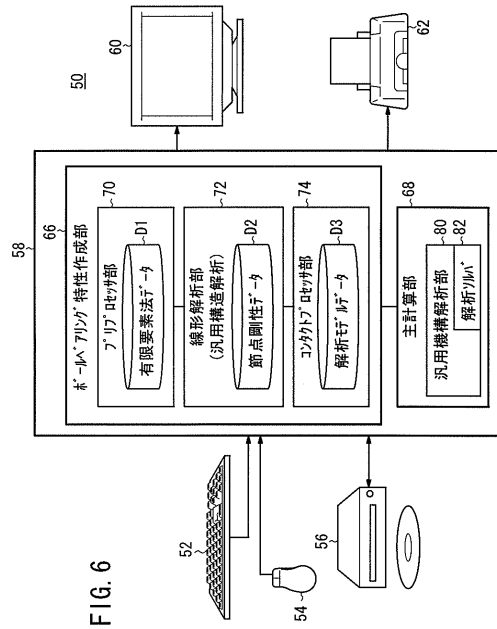
FIG. 4



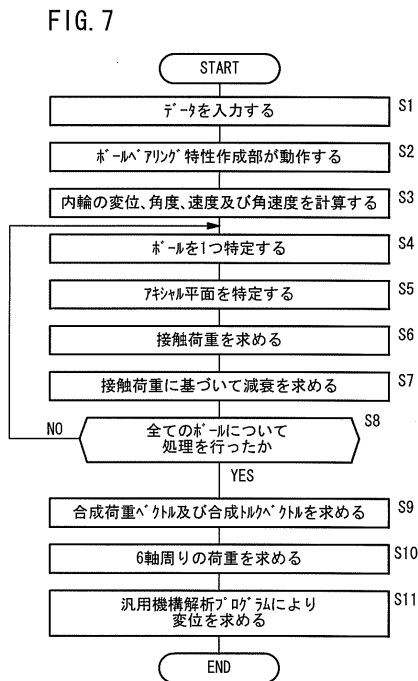
【 図 5 】



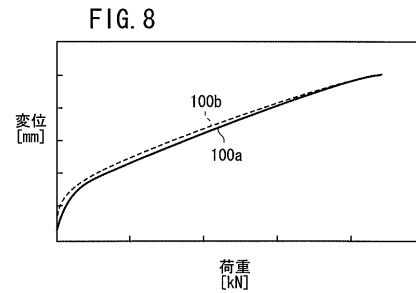
【 図 6 】



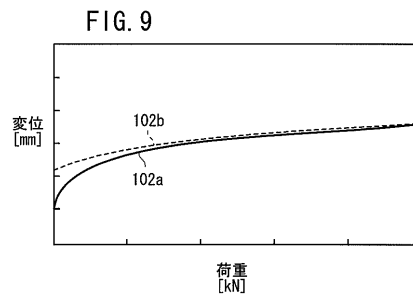
【 図 7 】



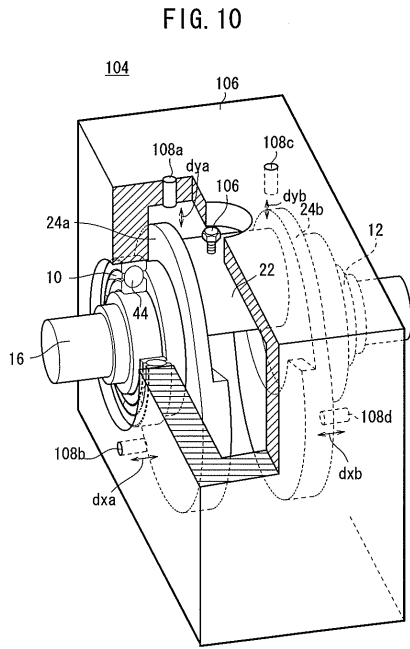
【 図 8 】



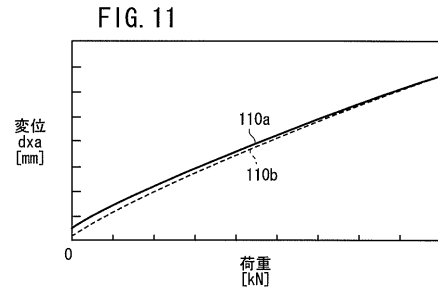
【 図 9 】



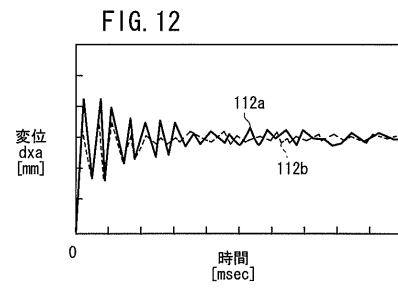
【 図 1 0 】



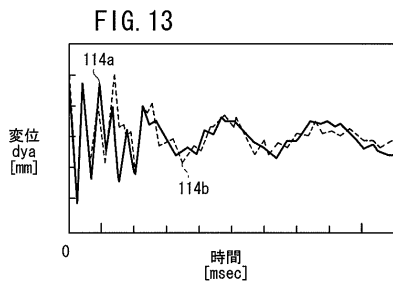
【 図 1 1 】



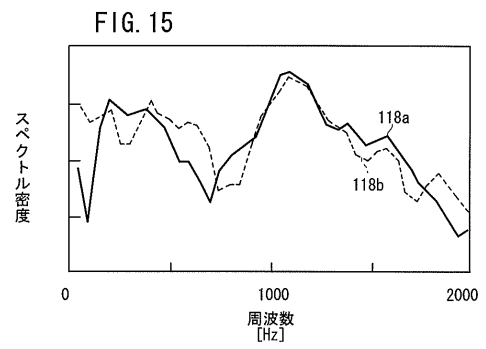
【 図 1 2 】



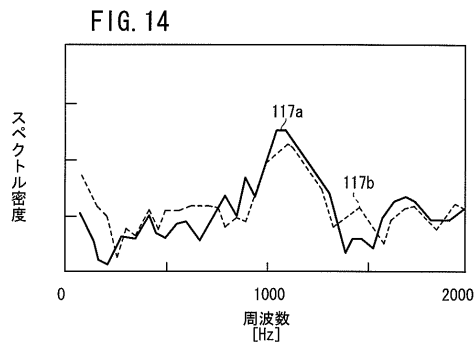
【 図 1 3 】



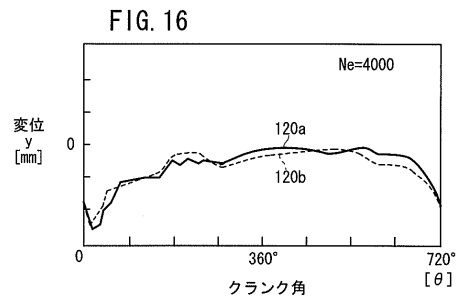
【 図 1 5 】



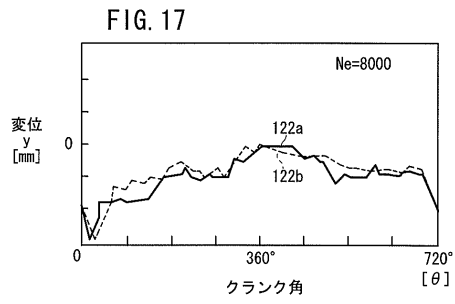
【 図 1 4 】



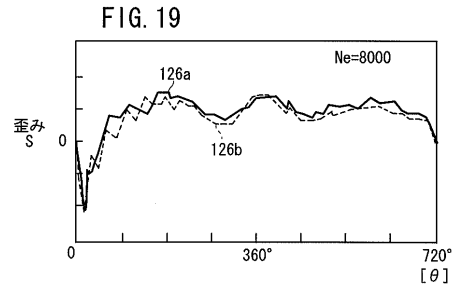
【 図 1 6 】



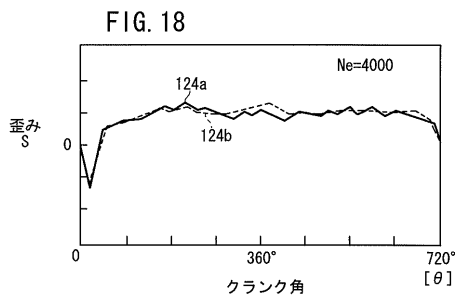
【 図 1 7 】



【 図 1 9 】



【 図 1 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 工藤 修

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

Fターム(参考) 3J033 AA02 AA05 GA08

3J101 AA03 AA42 AA52 AA62 FA25