

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年7月5日(05.07.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/123802 A1

(51) 国際特許分類:
G01M 13/04 (2006.01) F16C 29/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/045915

(22) 国際出願日: 2017年12月21日(21.12.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

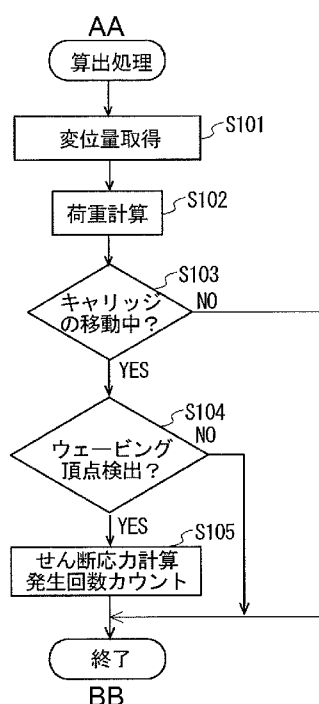
(30) 優先権データ:
特願 2016-256586 2016年12月28日(28.12.2016) JP

(71) 出願人: T H K 株式会社 (THK CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1088506 東京都港区芝浦二丁目 1 2 番 1 0 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 海野 旭弘 (UNNO, Akihiro); 〒1088506 東京都港区芝浦二丁目 1 2 番 1 0 号 T H K 株式会社内 Tokyo (JP). 林 勇樹 (HAYASHI, Yuki); 〒1088506 東京都港区芝浦二丁目 1 2 番 1 0 号 T H K 株式会社内 Tokyo (JP). 田中 由紀 (TANAKA, Yuki); 〒1088506 東京都港区芝浦二丁目 1 2 番 1 0 号 T H K 株式会社内 Tokyo (JP). 大橋 智史 (OHASHI, Tomofumi); 〒1088506 東京都港区芝浦二丁目 1 2 番 1 0 号 T H K 株式会社内 Tokyo (JP). 浅野 祐介 (ASANO, Yusuke); 〒1088506 東京都港区芝浦二丁目 1 2 番 1 0 号 T H K 株式会社内 Tokyo (JP). 木暮 克徳 (KOGURE, Katsunori); 〒1088506 東京都港区芝浦二丁目 1 2 番 1 0 号 T H K 株式会社内 Tokyo (JP).

(54) Title: LIFESPAN DIAGNOSIS DEVICE, METHOD, PROGRAM, AND SYSTEM FOR MOTION GUIDANCE DEVICE

(54) 発明の名称: 運動案内装置の寿命診断装置、方法、プログラムおよびシステム



S101...Obtain amount of displacement

S102...Calculate load

S103...Is carriage being moved?

S104...Has waving peak been detected?

S105...Count number of times shear-stress calculation occurred

AA...Calculation process

BB...End

(57) Abstract: The present application discloses a lifespan diagnosis device, method, program, and system for a motion guidance device, which make it possible to diagnose the lifespan with high precision. Provided is a lifespan diagnosis device for a motion guidance device in which a movable member is attached to a track member via a plurality of rolling elements so as to allow relative movement, the lifespan diagnosis device including: a stress calculating means that calculates stresses during movement for individual virtual segments defined by dividing the rolling surface of the movable member



(74) 代理人: 平川 明, 外(HIRAKAWA, Akira et al.);
〒1030004 東京都中央区東日本橋三丁目4番1
0号 アクロポリス21ビル8階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

along the direction of the track formed by the track member on the basis of the amounts of displacement of the movable member with respect to the track, the stresses during movement being stresses that occur in the individual segments while the movable member is being moved; a counting means that counts, for each of the segments, on the basis of the amount of displacement, the number of occurrences of a stress during movement, which occurs repeatedly with waving during movement of the movable member along the track; and a diagnosis means that calculates, for each of the segments, a lifespan exhaustion ratio based on the magnitudes of stresses during movement and the number of occurrences of a stress during movement and that diagnoses the lifespan of the motion guidance device on the basis of the calculated lifespan exhaustion ratios for the individual segments.

(57) 要約: 本願は、寿命を高精度に診断可能な運動案内装置の寿命診断装置、方法、プログラムおよびシステムを開示する。軌道部材に複数の転動体を介して移動部材を相対移動可能に組み付けた運動案内装置の寿命診断装置であって、軌道部材が形成する軌道に対する移動部材の変位量を基に、移動部材の転動面を軌道の方向沿いに分けした仮想の区間毎に、移動部材が移動している際に各区間に発生する応力である移動時応力を算出する応力算出手段と、移動部材が軌道沿いに移動する際のウェービングに伴い繰り返し発生する移動時応力の発生回数を、変位量を基に区間毎にカウントするカウント手段と、移動時応力の大きさと移動時応力の発生回数とに基づく寿命到達率の算出を区間毎に行い、算出した各区間の寿命到達率を基に運動案内装置の寿命診断を行う診断手段と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

運動案内装置の寿命診断装置、方法、プログラムおよびシステム

技術分野

[0001] 本願は、運動案内装置の寿命診断装置、方法、プログラムおよびシステムを開示する。

背景技術

[0002] ロボットや工作機械、半導体・液晶製造装置等の各種装置類には、可動部の進路を案内するための部品が用いられる。例えば、可動部が直進する箇所にはリニアガイドが用いられる。このような部品の選定に際しては、通常、安全係数を乗じた荷重に対して余裕のある定格荷重を持つものが選定されるが、近年では、例えば、部品に歪ゲージを取り付け、部品に加わる実荷重を算出して部品をより適格に管理する試みも行われている（例えば、特許文献1を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2007-263286号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 可動部の進路を案内する運動案内装置は、転動体が接する転動面を形成する材料に疲労が蓄積すると、案内精度が低下する可能性がある。そこで、転動面を形成する材料の疲労を把握するべく、転動面に加わる荷重を測定し、寿命診断を行うことが考えられるが、例えば、上述の歪ゲージを用いた実荷重の測定方式を用いる場合、歪ゲージでは転動面の疲労を部位毎に捉えることが難しいため、転動面の局所的な疲労による寿命を予測することが難しい。

[0005] そこで、本願は、寿命を高精度に診断可能な運動案内装置の寿命診断装置

、方法、プログラムおよびシステムを開示する。

課題を解決するための手段

- [0006] 上記課題を解決するため、本発明では、運動案内装置の軌道部材が形成する軌道に対する移動部材の変位量を基に、転動面を区分けした仮想の区間毎に各区間の発生応力を算出し、応力の発生回数を区間毎にカウントし、応力の大きさと発生回数とに基づいて算出される各区間の寿命到達率から運動案内装置の寿命診断を行うことにした。
- [0007] 詳細には、本発明は、軌道部材に複数の転動体を介して移動部材を相対移動可能に組み付けた運動案内装置の寿命診断装置であって、軌道部材が形成する軌道に対する移動部材の変位量を基に、移動部材の転動面を軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に、移動部材が移動している際に各区間に発生する応力である移動時応力を算出する応力算出手段と、移動部材が軌道沿いに移動する際のウェービングに伴い繰り返し発生する移動時応力の発生回数を、変位量を基に区間毎にカウントするカウント手段と、移動時応力の大きさと移動時応力の発生回数とに基づく寿命到達率の算出を区間毎に行い、算出した各区間の寿命到達率を基に運動案内装置の寿命診断を行う診断手段と、を備える。
- [0008] ここで、ウェービングとは、転動体の転動面に対する周期的な相対位置のずれに起因する移動部材の姿勢変化や振動（脈動）のことである。ウェービングは、移動部材の移動に伴って周期的に発生する微小な変位となって現れるため、上記の寿命診断装置では、転動体が転動面に応力を繰り返し与えて材料を疲労させることに起因する運動案内装置の寿命診断において、ウェービングに伴って繰り返される応力の発生回数をカウントし、運動診断装置の寿命診断に用いることにしている。
- [0009] そして、ウェービングは、例えば、軌道部材が形成する軌道に直交する方向をラジアル方向として規定した場合に、軌道部材に対する移動部材のラジアル方向沿いの相対的な変位に振動成分となって現れるため、上記の寿命診断装置では、軌道部材が形成する軌道に対する移動部材の変位量を基に、移

動部材が軌道沿いに移動する際のウェービングの振動数をカウントすることになっている。上記の寿命診断装置では、転動面に発生する応力を、軌道部材に対する移動部材の相対的な変位量を基に算出しているため、ウェービングに伴う繰り返し発生する応力の発生回数についても当該相対的な変位量を基にカウントすることで、軌道に対する移動部材の変位量のデータを有効に利用している。

[0010] ところで、上記の寿命診断装置が診断を行う運動案内装置では、軌道部材に複数の転動体を介して移動部材が相対移動可能に組み付けられているため、転動面には複数の転動体が接触している。運動案内装置は、転動面が局部的に疲労しても移動部材の進路の案内に支障を来す可能性がある。そこで、上記の寿命診断装置では、移動部材の転動面を軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に応力を算出することで、転動面全体の応力を基にした寿命診断よりも診断精度の向上を図っている。仮想の区間数は、少なくとも2以上であれば、転動面全体の応力を基にした寿命診断よりも部分的な疲労を捉えて診断精度の向上が図られることになるが、例えば、転動面に接触している転動体の個数分の区間数であれば、転動体の各区間に発生する応力と各転動体にかかる荷重との対応関係が把握しやすいため、上記移動時応力の算出が容易である。

[0011] なお、本発明は、方法、コンピュータプログラムあるいはシステムの側面から捉えることもできる。例えば、本発明は、軌道部材に複数の転動体を介して移動部材を相対移動可能に組み付けた運動案内装置の寿命診断方法であって、軌道部材が形成する軌道に対する移動部材の変位量を基に、移動部材の転動面を軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に、移動部材が移動している際に各区間に発生する応力である移動時応力を算出し、移動部材が軌道沿いに移動する際のウェービングに伴い繰り返し発生する移動時応力の発生回数を、変位量を基に区間毎にカウントし、移動時応力の大きさと移動時応力の発生回数とに基づく寿命到達率の算出を区間毎に行い、算出した各区間の寿命到達率を基に運動案内装置の寿命診断を行う、運動案内装置の寿命

診断方法であってもよい。

発明の効果

[0012] 上記の寿命診断装置、方法、プログラムおよびシステムは、運動案内装置の寿命を高精度に診断可能である。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の一実施形態の運動案内装置の寿命診断システムの全体図である。

[図2]本実施形態の運動案内装置の外観斜視図である。

[図3]本実施形態の運動案内装置の内部構造の概要を示した図である。

[図4]図4（a）はレールの長手方向から見た運動案内装置の正面図であり、図4（b）はB部拡大図である。

[図5A]図5 Aは、コンピュータが実行する寿命診断の第1の処理フローを示した図である。

[図5B]図5 Bは、コンピュータが実行する寿命診断の第2の処理フローを示した図である。

[図6]キャリッジに外力が働くときの、センサの出力の変化を示す図である。

[図7]キャリッジ内の玉が接触している部分を示した図である。

[図8]変位5成分が生じる前の内部荷重の状態を示す図である。

[図9]変位5成分が生じた後の内部荷重の状態を示す図である。

[図10]図10は、キャリッジがレールを移動する際の玉の動きを示した図である。

[図11]図11は、リニアエンコーダによって検出されるキャリッジの位置を横軸とし、センサによって検出される変位を縦軸としたグラフである。

[図12]図12は、転動面を区分けする仮想の区間の一例を示した図である。

[図13]図13は、キャリッジが移動している時に転動面で繰り返し発生する最大せん断応力のカウント値の一例を示した図である。

[図14]図14は、材料のS-N曲線の一例を示した図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の実施形態について説明する。以下に示す実施形態は、本発明の実施形態の一例であり、本発明の技術的範囲を以下の態様に限定するものではない。

[0015] 図1は、本実施形態の運動案内装置の寿命診断システムの全体図を示す。符号1が運動案内装置、符号2a～2d、3a～3dがセンサ、符号4がリニアエンコーダ、符号5がデータロガー、符号6がコンピュータ（本願でいう「寿命診断装置」の一例である）である。

[0016] まず、運動案内装置1の構成を説明する。運動案内装置1は、レール11（本願でいう「軌道部材」の一例である）と、レール11の長手方向沿いに相対移動可能に組み付けられるキャリッジ12（本願でいう「移動部材」の一例である）と、を備える。この実施形態では、レール11が実機のベース7に取り付けられ、キャリッジ12に実機のテーブル8（図9参照）が取り付けられる。実機は、例えば、ロボット、工作機械、半導体又は液晶製造装置等である。テーブル8を含む可動部の運動方向は、運動案内装置1によって案内される。なお、運動案内装置1を上下反転し、キャリッジ12をベース7に取り付け、レール11をテーブル8に取り付けることもできる。また、運動案内装置1は、レール11の長手方向が水平でなく、水平面に対して傾斜し或いは直交する状態で用いられてもよい。

[0017] 図2は、運動案内装置1の外観斜視図を示す。説明の便宜上、レール11を水平面に配置し、レール11の長手方向から見たときの方向、すなわち図2に示すx軸を前後方向、y軸を上下方向、z軸を左右方向として運動案内装置1の構成を説明する。もちろん、運動案内装置1の配置は、このような配置に限られることはない。

[0018] レール11の左右の両側それぞれには、上下二条の転動面11aが設けられる。転動面11aの断面は円弧状である。レール11の上面には、レール11をベース7に締結するための締結部材が通される通し孔11bが長手方向沿いに適当なピッチで設けられる。

[0019] キャリッジ12は、レール11の上面に対向する水平部12-1と、レー

ル 1 1 の側面に対向する一対の袖部 1 2 - 2 と、を有し、断面コの字状である。キャリッジ 1 2 は、移動方向の中央のキャリッジ本体 1 3 と、キャリッジ本体 1 3 の移動方向の両端に配置される一対の蓋部材 1 4 a, 1 4 b と、一対の蓋部材 1 4 a, 1 4 b の移動方向の両端に配置される一対のセンサ取付け部材 1 5 a, 1 5 b (図 1 参照) と、を備える。蓋部材 1 4 a, 1 4 b は、レール 1 1 の上面に対向する水平部 1 4 - 1 と、レール 1 1 の側面に対向する一対の袖部 1 4 - 2 と、を有し、断面コの字状である。センサ取付け部材 1 5 a, 1 5 b も、レール 1 1 の上面に対向する水平部 1 5 - 1 と、レール 1 1 の側面に対向する一対の袖部 1 5 - 2 と、を有し、断面コの字状である (図 4 (a) 参照)。蓋部材 1 4 a, 1 4 b は、ボルト等の締結部材によってキャリッジ本体 1 3 に締結される。センサ取付け部材 1 5 a, 1 5 b は、ボルト等の締結部材によってキャリッジ本体 1 3 及び蓋部材 1 4 a, 1 4 b に締結される。なお、図 2、図 3 では、センサ取付け部材 1 5 a, 1 5 b が省略されている。

[0020] 図 3 は、運動案内装置 1 の内部構造の概要を示した図である。図 3 に示すように、キャリッジ本体 1 3 には、レール 1 1 の四条の転動面 1 1 a に対向する四条の転動面 1 3 a が設けられる。キャリッジ本体 1 3 には、各転動面 1 3 a と平行に戻し路 1 3 b が設けられる。蓋部材 1 4 a, 1 4 b には、各転動面 1 3 a と各戻し路 1 3 b とを繋げる U 字状の方向転換路 1 4 c が設けられる。方向転換路 1 4 c の内周側は、キャリッジ本体 1 3 と一体の断面半円状の内周部 1 3 c によって構成される。レール 1 1 の転動面 1 1 a とキャリッジ本体 1 3 の転動面 1 3 a との間の負荷転走路、一対の方向転換路 1 4 c、戻し路 1 3 b によってトラック状の循環路が構成される。循環路には、複数の玉 1 6 (本願でいう「転動体」の一例である) が収容される。レール 1 1 に対してキャリッジ 1 2 が相対的に移動すると、これらの間に介在する玉 1 6 が負荷転走路を転がる。負荷転走路の一端まで転がった玉 1 6 は、一方の方向転換路 1 4 c に導入され、戻し路 1 3 b、他方の方向転換路 1 4 c を経由して、負荷転走路の他端に戻る。

[0021] <センサの構成>

図1に示すように、センサ2a～2d, 3a～3dは、例えば静電容量式の変位計であり、レール11に対するキャリッジ12の変位を非接触で検出する(図4(b)の拡大図参照)。上記のように、キャリッジ12の移動方向の両端部には、一对のセンサ取付け部材15a, 15bが取り付けられる。一方のセンサ取付け部材15aには、4つのセンサ2a～2dが取り付けられる。4つのセンサ2a～2dは、レール11の長手方向において同一の位置に配置される。他方のセンサ取付け部材15bにも、4つのセンサ3a～3dが取り付けられる。4つのセンサ3a～3dは、レール11の長手方向において同一の位置に配置される。レール11の長手方向におけるセンサ2a～2dとセンサ3a～3dとの間の距離は L_1 である(図1を参照)。なお、各センサ2a～2d, 3a～3dをキャリッジ12の移動方向沿いに互いにずらして配置することも可能である。

[0022] 図4は、レール11の長手方向から見たセンサ取付け部材15aを示す。上記のように、センサ取付け部材15aは、レール11の上面11cに対向する水平部15-1と、レール11の左右側面に対向する一对の袖部15-2と、を有する。水平部15-1には、ラジアル方向の変位を検出する2つのセンサ2a, 2bが配置される。センサ2a, 2bは、レール11の上面11cに隙間をあけて向かい合っており、レール11の上面11cまでの隙間を検出する。2つのセンサ2a, 2b間の左右方向における距離は L_2 である。

[0023] 一对の袖部15-2には、水平方向の変位を検出する2つのセンサ2c, 2dが配置される。センサ2c, 2dは、レール11の側面11dに隙間をあけて向かい合っており、側面11dまでの隙間を検出する。

[0024] レール11を水平面に配置したと仮定した状態において、センサ2a, 2b及びセンサ2c, 2dは、キャリッジ12の上面(取付け面)よりも下方に配置される。キャリッジ12の上面(取付け面)の上にテーブル8を取り付けるためである。センサ2a～2dのケーブル2a₁～2d₁は、センサ取

付け部材 15 a の袖部 15 - 2 から左右方向に引き出される。なお、ケーブル 2 a₁ ~ 2 d₁ をセンサ取付け部材 15 a の前面から前方に（紙面に垂直方向に）引き出すこともできる。また、センサ取付け部材 15 a の上面の高さをキャリッジ 12 の上面（取付け面）よりも低くし、センサ取付け部材 15 a の上面とテーブル 8 との隙間をケーブル 2 a₁, 2 b₁ を引き出す隙間として利用することもできる。

[0025] 図 1 に示すセンサ取付け部材 15 b も、センサ取付け部材 15 a と同様に、水平部 15 - 1 と一対の袖部 15 - 2 とを有し、センサ 3 a ~ 3 d がセンサ 2 a ~ 2 d にそれぞれ対応する位置に配置される。

[0026] <リニアエンコーダの構成>

リニアエンコーダ 4 は、キャリッジ 12 の x 軸方向の位置を検出する。例えば、リニアエンコーダ 4 は、実機のベース 7 又はレール 11 に取り付けられるスケールと、実機のテーブル 8 又はキャリッジ 12 に取り付けられ、スケールを読み取るヘッドと、を備える。なお、レール 11 上のキャリッジ 12 の位置を検出する位置検出手段は、リニアエンコーダに限定されるものではない。例えば、実機のテーブルがボールねじ駆動の場合、位置検出手段として、ボールねじを駆動するモータの角度を検出するロータリーエンコーダを用いることもできる。

[0027] <データロガー、コンピュータの構成>

センサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d が検出したキャリッジ 12 の変位情報は、所定のサンプリング周期毎に記録計であるデータロガー 5 に記録される。リニアエンコーダ 4 が検出したキャリッジ 12 の位置情報も、所定のサンプリング周期毎にデータロガー 5 に記録される。データロガー 5 は、記録した変位情報及び位置情報を有線又は無線通信手段を介してコンピュータ 6 に送信する。データロガー 5 は、実機の近傍に配置される。コンピュータ 6 は、実機の近傍又は遠隔地に配置される。

[0028] センサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d は、レール 11 に対するキャリッジ 12 の変位量を検出する。レール 11 に対するキャリッジ 12 の変位量は、キャリ

ッジ 1 2 に荷重が加わっていない無負荷状態におけるセンサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d の検出値からの差分である。そこで、センサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d から変位情報が送られるデータロガー 5 では、センサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d から送られる変位情報の値から、予め記憶された無負荷状態におけるセンサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d の検出値を差し引いた値が、レール 1 1 に対するキャリッジ 1 2 の変位量として記録される。

[0029] コンピュータ 6 は、データロガー 5 に記録された情報を使い、運動案内装置 1 の寿命診断を行う。図 5 A は、コンピュータ 6 が実行する寿命診断の第 1 の処理フローを示した図である。また、図 5 B は、コンピュータ 6 が実行する寿命診断の第 2 の処理フローを示した図である。コンピュータ 6 は、運動案内装置 1 が用いられている実機が稼働中、図 5 A に示す第 1 の処理フローを繰り返し実行することにより、キャリッジ 1 2 がレール 1 1 の軌道沿いに移動している時のウェーピングに伴う繰返し荷重に関するデータを取得する。そして、コンピュータ 6 は、図 5 B に示す第 2 の処理フローを、例えば、第 1 の処理フローが 1 0 0 回繰り返される毎、実機が稼働している間に数分から数時間毎といった定期的なタイミング、或いは、実機のメンテナンス時といった不特定のタイミングで実行することにより、第 1 の処理フローで生成したデータを基にした寿命診断を行う。

[0030] <寿命診断の概要>

まず、図 5 A に示す第 1 の処理フローの概要について説明する。

[0031] 運動案内装置 1 が用いられている実機の稼働中、コンピュータ 6 は、各センサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d からキャリッジ 1 2 の変位量を取得する (S 1 0 1)。取得されたキャリッジ 1 2 の変位量は、データロガー 5 に記録される。そして、コンピュータ 6 は、ステップ S 1 0 1 で取得したキャリッジ 1 2 の変位量のデータを基に、キャリッジ 1 2 に作用する荷重の計算を行う (S 1 0 2)。

[0032] 算出された荷重は、キャリッジ本体 1 3 の転動面 1 3 a の各部に発生する応力の計算に用いられる。転動面 1 3 a の各部に発生する応力を計算するに

あたり、コンピュータ 6 は、まず、リニアエンコーダ 4 が検出するキャリッジ 12 の位置情報を基に、キャリッジ 12 が移動中であるか否かの判定を行う（S 103）。

[0033] 運動案内装置 1 の寿命を示す現象の一例として、転動面 13 a に発生するうろこ状の剥離（以下、「フレーキング」という）が挙げられる。フレーキングは、転動面 13 a よりやや深い位置に、玉 16 の荷重を受ける転動面 13 a からのせん断応力が繰り返し加わり、転動面 13 a を形成する材料が疲労することにより発生する。ここで、キャリッジ 12 の移動の際のウェービングに伴う繰り返し荷重は、転動面 13 a よりやや深い位置にせん断応力を繰り返し発生させる主たる原因であるため、コンピュータ 6 は、ステップ S 103 で肯定判定が行われた場合、キャリッジ 12 の変位量及び位置情報を基に、ウェービングの頂点の検出を行う（S 104）。なお、S 103 で否定判定されると、本算出処理を終了する。そして、ステップ S 104 でウェービングの頂点が検出されると、コンピュータ 6 は、ステップ S 102 で算出した荷重を基に、キャリッジ 12 が移動している時に転動面 13 a の各部に発生するせん断応力を計算し、応力の大きさと転動面 13 a の部位毎に応力の発生回数をカウントするカウンタに対してカウント値の加算処理を行う（S 105）。なお、S 104 でウェービングの頂点の検出が行われないと、本算出処理を終了する。

[0034] ステップ S 101 からステップ S 105 までの一連の処理を擁する上記第 1 の処理フローが繰り返し実行されることにより、キャリッジ 12 が移動している際の荷重振幅によってキャリッジ 12 の転動面 13 a の各部に繰り返し加わるせん断応力の発生回数が、応力の大きさと転動面 13 a の部位毎に集計される。集計されたデータは、次に概要を説明する第 2 の処理フローにおいて、繰り返し荷重で進行する転動面 13 a の部位毎の疲労の把握に用いられることになる。

[0035] 次に、図 5 B に示す第 2 の処理フローの概要について説明する。コンピュータ 6 は、第 1 の処理フローが繰り返し実行されることで集計された転動面

13の部位毎の応力の発生回数のデータを使い、線形累積損傷則（「マイナー則」と呼ばれる場合もある）を用いた寿命到達率の計算を行う（S201）。そして、コンピュータ6は、キャリッジ12の残りの使用可能距離（期間）の計算を行う（S202）。

[0036] 以下、各ステップの詳細について説明する。

[0037] <S101>

運動案内装置1が用いられている実機の稼働中、コンピュータ6は、各センサ2a～2d, 3a～3dからキャリッジ12の変位量を取得する。各センサ2a～2d, 3a～3dの計測値はセンサから転動面までの距離であるため、コンピュータ6は、キャリッジ12に荷重が加わっていない無負荷時のセンサから転動面までの距離を基準とし、この距離からの差分をキャリッジ12の変位量としてデータロガー5に格納する。

[0038] <S102>

次に、ステップS102の詳細について説明する。コンピュータ6は、キャリッジ12の変位に基づいて、キャリッジ12に働く荷重を算出する。コンピュータ6は、荷重を算出するにあたって、まず、各センサ2a～2d, 3a～3dから取得したキャリッジ12の変位量に基づいて、キャリッジ12の変位5成分を算出する。次に、コンピュータ6は、変位5成分に基づいて、複数の玉16それぞれに働く荷重及び接触角を算出する。次に、コンピュータ6は、各玉16の荷重及び接触角に基づいて、キャリッジ12に働く荷重（外力5成分）を算出する。上記の3工程を詳細に以下に説明する。

[0039] <キャリッジの変位5成分の算出>

図2に示すように、運動案内装置1にx-y-z座標軸を設定すると、x-y-z座標軸の座標原点に働く荷重は、ラジアル荷重と逆ラジアル荷重の合計である F_y と、水平荷重の F_z である。キャリッジ12をレール11に押し付ける方向で、図2のy軸の正方向へ働く荷重がラジアル荷重である。その逆の方向、すなわちキャリッジ12をレール11から引き離す方向が逆ラジアル荷重である。キャリッジ12をレール11に対し横へずらす方向で、

図2のz軸正負方向へ働く荷重が水平荷重である。

[0040] また、 $x-y-z$ 座標軸まわりのモーメントは、ピッチングモーメントの合計である M_a と、ヨーイングモーメントの合計である M_b と、ローリングモーメントの合計である M_c である。キャリッジ12には、外力として、ラジアル荷重 F_y 、ピッチングモーメント M_a 、ローリングモーメント M_c 、水平荷重 F_z 、ヨーイングモーメント M_b が働く。キャリッジ12にこれらの外力5成分が作用すると、キャリッジ12にはそれぞれに対応する変位5成分、すなわちラジアル変位 α_1 (mm)、ピッチング角 α_2 (rad)、ローリング角 α_3 (rad)、水平変位 α_4 (mm)、ヨーイング角 α_5 (rad)が生ずる。

[0041] 図6は、キャリッジ12に外力が働くときの、センサ2a~2dの出力の変化を示す。図6において斜線のハッチング付きの矢印は、出力が変化するセンサであり、図6において白抜きの矢印は、出力が変化しないセンサである。キャリッジ12にラジアル荷重 F_y が働くとき、キャリッジ12とレール11との間の上下方向の隙間が小さくなる。一方、キャリッジ12に逆ラジアル荷重 $-F_y$ が働くとき、キャリッジ12とレール11との間の上下方向の隙間が大きくなる。センサ2a, 2bは、この上下方向の隙間の変化(変位)を検出する。なお、センサ取付け部材15b(図1参照)に取り付けられるセンサ3a, 3bも、この上下方向の変位を検出する。

[0042] キャリッジ12にラジアル荷重 F_y 又は逆ラジアル荷重 $-F_y$ が働くとき、キャリッジ12のラジアル変位 α_1 は、センサ2a, 2bが検出した変位を A_1 , A_2 、センサ3a, 3bが検出した変位を A_3 , A_4 とすると、例えば以下の式で与えられる。

(数1)

$$\alpha_1 = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) / 4$$

[0043] キャリッジ12に水平荷重 F_z が働くとき、キャリッジ12がレール11に対し横へずれ、キャリッジ12の一方の袖部12-2とレール11との間の水平方向の隙間が小さくなり、キャリッジ12の他方の袖部12-2とレー

ル 1 1 との間の水平方向の隙間が大きくなる。センサ 2 c, 2 d は、この水平方向の隙間の変化（変位）を検出する。なお、センサ取付け部材 1 5 b（図 1 参照）に取り付けられるセンサ 3 c, 3 d も、この水平方向の変位を検出する。キャリッジ 1 2 の水平変位 α_4 は、センサ 2 c, 2 d が検出した変位を B_1, B_2 、センサ 3 c, 3 d が検出した変位を B_3, B_4 とすると、例えば以下の式で与えられる。

（数 2）

$$\alpha_4 = (B_1 - B_2 + B_3 - B_4) / 4$$

[0044] キャリッジ 1 2 にピッチングモーメント M_a が働くとき、センサ 2 a, 2 b とレール 1 1 の間の隙間が大きくなり、センサ 3 a, 3 b とレール 1 1 との間の隙間が小さくなる。ピッチング角 α_2 が十分に小さいとすると、ピッチング角 α_2 (rad) は、例えば以下の式で与えられる。

（数 3）

$$\alpha_2 = ((A_3 + A_4) / 2 - (A_1 + A_2) / 2) / L_1$$

[0045] キャリッジ 1 2 にローリングモーメント M_c が働くとき、センサ 2 a, 3 a とレール 1

1 との間の隙間が小さくなり、センサ 2 b, 3 b とレール 1 1 との間の隙間が大きくなる。ローリング角 α_3 が十分に小さいとすると、ローリング角 α_3 (rad) は、例えば以下の式で与えられる。

（数 4）

$$\alpha_3 = ((A_1 + A_3) / 2 - (A_2 + A_4) / 2) / L_2$$

[0046] キャリッジ 1 2 にヨーイングモーメント M_b が働くとき、センサ 2 c, 3 d とレール 1 1 の間の隙間が小さくなり、センサ 2 d, 3 c とレール 1 1 との間の隙間が大きくなる。ヨーイング角 α_5 が十分に小さいとすると、ヨーイング角 α_5 (rad) は、例えば以下の式で与えられる。

（数 5）

$$\alpha_5 = ((A_1 + A_4) / 2 - (A_2 + A_3) / 2) / L_2$$

[0047] 以上により、センサ 2 a ~ 2 d, 3 a ~ 3 d が検出する変位に基づいて、

キャリッジ 12 の変位 5 成分を算出できる。

[0048] <各玉に働く荷重及び接触角の算出>

キャリッジ 12 内の玉 16 が接触している部分を x 軸方向に断面にした状態を図 7 に示す。図 7 により、各玉ピッチは、1 より少し大きい値をとる κ を用いて κD_a とし、各玉の x 座標が決定され、それを X_i とする。キャリッジ 12 内の玉 16 が転動する部分の長さを $2 U_x$ とする。 $2 U_x$ 内に並ぶ玉数を有効玉数といい l とする。キャリッジ 12 の両端部分には、半径 R で深さが λ_s となるようなクラウニング加工と呼ばれる R 形状の大きな曲面加工が施されている。

[0049] キャリッジ 12 に外力 5 成分、すなわちラジアル荷重 F_y 、ピッチングモーメント M_a 、ローリングモーメント M_c 、水平荷重 F_z 、及びヨーイングモーメント M_b が働いたときに、キャリッジ 12 に変位 5 成分、すなわちラジアル変位 α_1 、ピッチング角 α_2 、ローリング角 α_3 、水平変位 α_4 、ヨーイング角 α_5 が生ずるとして理論式をたてる。

[0050] キャリッジ 12 の玉番号 i におけるキャリッジ 12 内断面の、変位 5 成分が生じる前の内部荷重の状態を図 8 に、変位 5 成分が生じた後の内部荷重の状態を図 9 にそれぞれ示す。ここでは、キャリッジ 12 の玉列番号を j 、玉列内の玉番号を i とする。玉径は D_a 、レール 11 側、キャリッジ 12 側ともに転動面と玉 16 との適合度を f 、すなわち転動面曲率半径は $f D_a$ とする。また、レール側転動面曲率中心位置を A_r 、キャリッジ側転動面曲率中心位置を A_c とし、それらを結んだ線と z 軸とのなす角である接触角の初期状態を γ とする。さらに、レール 11 の上側にある 2 つの転動面を各々転がる玉 16 同士の玉中心間距離を $2 U_{z12}$ 、レール 11 の下側にある 2 つの転動面を各々転がる玉 16 同士の玉中心間距離を $2 U_{z34}$ 、レール 11 の上側の転動面および下側の転動面を各々転がる玉 16 同士の玉中心間距離を $2 U_y$ とする。

[0051] 玉 16 には予圧が作用している。まず、予圧の原理について説明する。レール 11、キャリッジ 12 の対向する転動面間に挟まれた部分の寸法は、レール 11、キャリッジ 12 の設計時の寸法及び転動面の幾何形状によって決

まる。そこに入るべき玉径が設計時の玉径であるが、そこに設計時の玉径よりも僅かに大きな寸法 $D_a + \lambda$ の玉 16 を組み込むと、玉 16 と転動面の接触部は H e r t z の接触論により、弾性変形をし、接触面を形成し、接触応力を発生させる。そうして発生した荷重が内部荷重であり、予圧荷重である。

[0052] 図 8 では、その荷重を P_0 で表しており、接触部の弾性変形によるレール 11、キャリッジ 12 間の相互接近量を δ_0 で表している。実際は玉位置が図 8 の一点鎖線で描いた、レール 11、キャリッジ 12 の転動面間の中心位置に存在するが、両転動面の玉 16 との適合度 f は等しいので、玉 16 の 2 箇所の接触部に発生する H e r t z の接触論に基づく諸特性値が同じである。このため、玉 16 をレール側転動面位置にずらして描くことにより、レール 11、キャリッジ 12 の転動面間の相互接近量 δ_0 をわかりやすくしている。

[0053] 通常、予圧荷重は、キャリッジ 1 個あたり上側の 2 列分（又は下側 2 列分）のラジアル方向荷重として定義しているので、予圧荷重 P_{pre} は次式で表される。

（数 6）

$$P_{pre} = 2 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^2 P_{0i} \sin \gamma_j$$

[0054] 次に、この状態から運動案内装置 1 に外力 5 成分が作用して、変位 5 成分が生じた状態を説明する。図 9 に示すように、座標原点とした運動案内装置 1 の中心が変位 5 成分であるラジアル変位 α_1 、ピッチング角 α_2 、ローリング角 α_3 、水平変位 α_4 、ヨーイング角 α_5 によって i 番目の玉位置でのレール 11 とキャリッジ 12 の相対変位が起きている。

[0055] このとき、レール側転動面曲率中心は動かないが、キャリッジ 12 が移動するので、キャリッジ側転動面曲率中心は各玉位置で幾何学的に移動する。その様子はキャリッジ側転動面曲率中心である A_c が A_c' へ移動するものとして表している。この A_c が A_c' へ移動した量を y 方向と z 方向に分けて考

え、 y 方向に移動した量を δ_y とし、 z 方向へ移動した量を δ_z とすると、以降添え字は i 番目の玉、 j 番目の玉列を表すものとして、

(数 7)

$$\delta_{yij} = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 z_{cij}$$

$$\delta_{zij} = \alpha_4 + \alpha_5 x_i - \alpha_3 y_{cij}$$

と表すことができる。ここで、 z_c 、 y_c は、点 A_c の座標である。

[0056] 次に、レール 11 側とキャリッジ 12 側の転動面曲率中心を結んだ線が、玉荷重の法線方向である接触角となるので、初期接触角であった γ_j は β_{ij} へと変化し、さらに、この両転動面曲率中心間距離は、当初の A_r 、 A_c 間の距離から A_r 、 A_c' 間の距離へと変化する。この両転動面曲率中心間距離の変化が、玉 16 の両接触部での弾性変形となり、図 8 で説明したときと同様に、玉 16 をレール側転動面位置にずらして描くことにより、玉 16 の弾性変形量 δ_{ij} が求まる。

[0057] この A_r 、 A_c' 間の距離も y 方向と z 方向とに分けて考え、 y 方向の距離を V_y とし、 z 方向の距離を V_z とすると、前述の δ_{yij} 、 δ_{zij} を用いて、

(数 8)

$$V_{yij} = (2f - 1) D_a \sin \gamma_j + \delta_{yij}$$

$$V_{zij} = (2f - 1) D_a \cos \gamma_j + \delta_{zij}$$

と表せる。これにより A_r 、 A_c' 間の距離は、

(数 9)

$$\overline{ArAc'} = \left(V_{yij}^2 + V_{zij}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

となり、接触角 β_{ij} は、

(数 10)

$$\tan \beta_{ij} = \frac{V_{yij}}{V_{zij}}$$

となる。以上より玉 16 の弾性変形量 δ_{ij} は、

(数 1 1)

$$\delta_{ij} = \left(V_{yij}^2 + V_{zij}^2 \right)^{\frac{1}{2}} - (2f - 1)D_a + \lambda - \lambda_{xi}$$

となる。

[0058] ここで、図 7 で示したキャリッジ 1 2 内の玉 1 6 が接触している部分を x 軸方向に断面にした状態において、クラウニング、加工部分に入っている玉 1 6 の弾性変形量 δ_{ij} は、キャリッジ 1 2 側の転動面曲率中心の A_c がレール側転動面曲率中心 A_r から離れる形となっており、その分だけ少なくなる。それはちょうど玉径をそれに見合う形で小さくしたものと同等とみなせるため、その量を λ_{xi} として上式中で差し引いている。

[0059] H e r t z の接触論により導かれた転動体が玉の場合の弾性接近量を示す式を用いると、弾性変形量 δ_{ij} から転動体荷重 P_{ij} が下記の式によって求められる。

(数 1 2)

$$P_{ij} = C_b \delta_{ij}^{\frac{3}{2}}$$

ここで、 C_b は非線形のばね定数 ($N/mm^{3/2}$) であり、下記の式で与えられる。

(数 1 3)

$$Cb = 2^{\frac{3}{2}} \left(\frac{2K}{\pi \mu} \right)^{-\frac{3}{2}} \left[\frac{1}{8} \left\{ \frac{3}{E} \left(1 - \frac{1}{m^2} \right) \right\}^2 \Sigma \rho \right]^{-\frac{1}{2}}$$

ここで、 E は縦弾性係数、 $1/m$ はポアソン比、 $2K/\pi\mu$ は H e r t z 係数、 $\Sigma\rho$ は主曲率和である。

[0060] 以上により、キャリッジ 1 2 の変位 5 成分 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ を用いて、キャリッジ 1 2 内のすべての玉 1 6 について、接触角 β_{ij} 、弾性変形量 δ_{ij} 、転動体荷重 P_{ij} を式で表すことができたことになる。

[0061] なお、上記においては、わかり易くするために、キャリッジ 1 2 を剛体として考えた剛体モデル負荷分布理論を使用している。この剛体モデル負荷分布理論を拡張し、キャリッジ 1 2 の袖部 1 2 - 2 の変形を加味すべく梁理論を適用したキャリッジ梁モデル負荷分布理論を使用することもできる。さらに、キャリッジ 1 2 やレール 1 1 を F E M モデルとしたキャリッジ・レール F E M モデル負荷分布理論を使用することもできる。

[0062] <荷重（外力 5 成分）の算出>

あとは、上記の式を使って外力としての 5 成分、すなわちラジアル荷重 F_y 、ピッチングモーメント M_a 、ローリングモーメント M_c 、水平荷重 F_z 、ヨーイングモーメント M_b に関するつり合い条件式をたてればよい。

(数 1 4)

ラジアル荷重 F_y に関して、

$$F_y = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^I P_{ij} \sin \beta_{ij}$$

(数 1 5)

ピッチングモーメント M_a に関して、

$$M_a = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^I P_{ij} \sin \beta_{ij} x_{ij}$$

(数 1 6)

ローリングモーメント M_c に関して、

$$M_c = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^I P_{ij} \omega_{ij}$$

ここで、 ω_{ij} は、モーメントの腕の長さを表し、次式で与えられる。 z_r 、 y_r は、点 A_r の座標である。

$$\omega_{ij} = z_{rij} \sin \beta_{ij} - y_{rij} \cos \beta_{ij}$$

(数 1 7)

水平荷重 F_z に関して、

$$F_z = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^I P_{ij} \cos \beta_{ij}$$

(数 1 8)

$$M_b = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^I P_{ij} \cos \beta_{ij} x_i$$

ヨーイングモーメント M_b に関して、

以上の式からキャリッジ 1 2 に働く荷重（外力 5 成分）を算出することができる。

[0063] <S 1 0 3>

次に、ステップ S 1 0 3 の詳細について説明する。コンピュータ 6 は、キャリッジ 1 2 が移動中であるか否かの判定を行う。キャリッジ 1 2 が移動中であるか否かは、リニアエンコーダ 4 が検出するキャリッジ 1 2 の位置情報を基に判定することができる。コンピュータ 6 は、例えば、リニアエンコーダ 4 が検出するキャリッジ 1 2 の位置情報が時系列で変化していればキャリッジ 1 2 が移動中と判定し、位置情報が時系列で変化していなければキャリッジ 1 2 が停止中と判定する。

[0064] <S 1 0 4>

次に、ステップ S 1 0 4 の詳細について説明する。コンピュータ 6 は、データロガー 5 に記録されているキャリッジ 1 2 の変位量及び位置情報を基に、ウェーピングの頂点の検出を行う。

[0065] ウェーピングは、レール 1 1 の転動面 1 1 a 及びキャリッジ本体 1 3 の転動面 1 3 a と玉 1 6 との間に生ずる周期的な相対位置のずれに起因するキャ

リッジ１２の姿勢変化や振動（脈動）である。図１０は、キャリッジ１２がレール１１を移動する際の玉１６の動きを示した図である。キャリッジ１２には複数の玉１６が備わるが、これら複数の玉１６のうちキャリッジ１２を支持する玉１６は、レール１１の転動面１１ａとキャリッジ本体１３の転動面１３ａとの間に挟まっている玉１６（図１０において斜線のハッチングが付されている玉１６）である。そして、図１０（Ａ）と図１０（Ｂ）とを見比べると判るように、レール１１の転動面１１ａとキャリッジ本体１３の転動面１３ａとの間に挟まっている玉１６の数は、レール１１に対するキャリッジ１２の相対移動に伴って増減を繰り返す。この繰り返しの周期は、キャリッジ１２がレール１１に対し隣接する玉１６同士のピッチと同じ量だけ移動する周期に一致する。よって、ウェービングの頂点は、センサ２ａ～２ｄ，３ａ～３ｄによって検出された変位の波形のうち、キャリッジ１２がレール１１を移動する際に転がる玉１６と転動面１１ａ，１３ａとの間の相対位置のずれの周期に一致する波の頂点ということになる。

[0066] そこで、コンピュータ６は、ウェービングの頂点の検出にあたって、まず、変位５成分のそれぞれについて、リニアエンコーダ４から得られるキャリッジ１２のレール１１上の位置と、各センサ２ａ～２ｄ，３ａ～３ｄから得られる変位量との関係を表したデータを解析する。そして、コンピュータ６は、キャリッジ１２の位置と変位量との関係を表したデータの中から、ウェービングを表すデータの有無を判定する。ウェービングを表すデータの有無は、例えば、横軸をキャリッジ１２のレール１１上の位置とし、縦軸をキャリッジ１２の変位量としたグラフの波形をイメージした場合に、玉１６のピッチと略同一周期で現れるピークがあればウェービングがあると判定され、玉１６のピッチと略同一周期で現れるピークが存在しなければウェービングが無いと判定される。

[0067] 図１１は、リニアエンコーダ４によって検出されるキャリッジ１２のレール１１上の位置を横軸とし、センサ２ａ～２ｄ，３ａ～３ｄによって検出される変位を縦軸としたグラフである。キャリッジ１２には８つのセンサ２ａ

～2 d, 3 a～3 dが備わっており、また、キャリッジ12はレール11を往復するため、キャリッジ12の位置と変位との関係を示す線は、本来、複数存在する。しかし、理解を容易にするため、図11のグラフでは、キャリッジ12の位置と変位との関係を1本の折れ線で示している。図11のグラフを見ると判るように、キャリッジ12の変位には、比較的緩慢な変位と比較的細かな変位の2種類の振動成分があることが判る。このうち、前者の比較的緩慢な変位は、例えばレール11の転動面11aの精度等に起因するウェービング以外の振動成分と考えられる。一方、後者の比較的細かな変位は、ウェービングに起因する振動成分であり、キャリッジ12がレール11を移動している際に発生する変位である。図11のグラフに示される比較的細かな変位の各頂点の横軸の間隔は、概ねボール16のピッチに一致する。

[0068] コンピュータ6は、図11のグラフに表されるような、キャリッジ12のレール11上の位置と変位量との関係を表したデータを基に、玉16のピッチと略同一周期で現れる細かなウェービングの振動成分を検出し、当該振動成分の波形の頂点の検出を行う。なお、コンピュータ6は、複数あるセンサ2a～2d, 3a～3dのうち何れか1つ以上のセンサによって検出される変位のデータからウェービングが検出されれば、当該ウェービングの波形の頂点を検出する。

[0069] <S105>

コンピュータ6は、ステップS104でウェービングの波形の頂点を検出すると、ステップS102で算出された荷重を基に、キャリッジ12の転動面13aに発生する最大せん断応力（本願でいう「移動時応力」の一例である）を計算する。本実施形態では転動面13aの局所的な疲労による寿命を把握するため、コンピュータ6は、転動面13aに発生する最大せん断応力の計算を、転動面13aを軌道の方法沿いに区分けした仮想の区間毎に行う。

[0070] 図12は、転動面13aを区分けする仮想の区間の一例を示した図である。本実施形態では理解を容易にするため、転動面13aを有効玉数で分割し

た仮想の区間毎に最大せん断応力を計算する場合について説明する。このように区分けされた転動面 13a の各区間に発生するせん断応力は、Hertz の弾性接触論に従い、ステップ S102 の説明で示した転動体荷重 P_{ij} 、及び、球体と平面との接触部分に生ずる歪の解析モデルを用いて予め作成した式に従って算出することができる。

[0071] 次に、コンピュータ 6 は、算出した各区間の最大せん断応力を基に、最大せん断応力の発生回数を応力の大きさ毎にカウントする。図 13 は、キャリッジ 12 が移動している時に転動面 13a で繰り返し発生する最大せん断応力のカウント値の一例を示した図である。コンピュータ 6 は、例えば、図 13 に示すように、応力の大きさを 50 MPa 毎に段階的に区分し、算出した最大せん断応力に該当する区分のカウント値を 1 ウェービング毎に、換言すると、図 11 に示したウェービングの波形において頂点が発生するタイミング毎に、1 ずつ加算する。よって、カウント値は、キャリッジ 12 の積算移動距離に比例して増加する。転動面 13a を疲労させる応力の発生回数が、応力の大きさ毎および区間毎に集計されることにより、例えば、転動面 13a の特定の区間において局部的に繰り返される応力が発生している場合であっても、転動面 13a の局部的な疲労を運動案内装置 1 の寿命診断に反映できる診断用の基礎データが得られる。

[0072] < S201 >

コンピュータ 6 は、第 1 の処理フローが繰り返し実行されることで集計された集計結果を使い、寿命到達率を計算する。寿命到達率は、転動面 13a の区間毎に算出される。そして、算出された全区間の寿命到達率の中から最も寿命到達率の高い値が運動案内装置 1 の寿命診断に採用される。寿命到達率は、例えば、線形累積損傷則を用いて算出される。図 14 は、材料の S-N 曲線の一例を示した図である。線形累積損傷則は、材料の疲労において、物体が応力を繰り返し受ける場合に、疲労により損傷へ至るまでの寿命を予測するものであるため、キャリッジ 12 の移動中に発生する荷重振幅により繰り返される応力による材料の疲労の把握に有効である。線形累積損傷則に

従えば、対象となる材料のS－N曲線における特定の繰返し応力に対する破断繰返し数を L_i 、材料への実際の繰返し数を n_i とすると、寿命到達率Dは以下の式で与えられる。

(数19)

$$\sum_{i=1}^I \frac{n_i}{L_i} = D$$

[0073] <S202>

コンピュータ6は、ステップS201の処理を終えると、転動面13aの区間毎に算出された全区間の寿命到達率の中から最も寿命到達率の高い値を使い、キャリッジ12の残りの使用可能距離（期間）を計算する。使用可能距離（期間）は、例えば、線形累積損傷則に従えば、寿命到達率Dが1になった場合である。よって、使用可能距離 D_{Life} は、リニアエンコーダ4の位置情報から得られるキャリッジ12の積算移動距離を D_{int} とすると、以下の式で表すことができる。

(数20)

$$D_{Life} = (1 - D) / D * D_{int}$$

また、使用可能期間 T_{Life} は、リニアエンコーダ4の使用開始時から寿命到達率D算出時までの経過時間を T_{int} とすると、以下の式で表すことができる。

(数21)

$$T_{Life} = (1 - D) / D * T_{int}$$

[0074] コンピュータ6が実行する上記ステップS101からS202までの各処理の詳細は以上の通りである。上記のコンピュータ6は、玉16がキャリッジ12の転動面13aに応力を繰返し与えるウェービングの振動数を寿命診断に用いているため、ウェービングの振動数を用いずに行われる寿命診断よりも高精度な診断結果が得られる。また、上記のコンピュータ6は、ウェービングの振動数を、キャリッジ12の転動面13aに発生する応力の算出

にも用いているセンサ 2 a, 2 b, 3 a, 3 b の変位情報でカウントするため、ウェービングの振動数をカウントするためのセンサ類を別途設ける場合よりも装置構成が複雑でない。また、上記のコンピュータ 6 は、キャリッジ 1 2 の転動面 1 3 a を軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に応力を算出しているため、転動面 1 3 a 全体の応力を基にした寿命診断よりも高い診断結果を得ることができる。

符号の説明

[0075] 1…運動案内装置、2 a, 2 b, 2 c, 2 d, 3 a, 3 b, 3 c, 3 d…センサ、4…リニアエンコーダ、5…データロガー、6…コンピュータ、1 1…レール、1 2…キャリッジ、1 5 a, 1 5 b…センサ取付け部材、1 5-1…水平部、1 5-2…袖部、1 6…玉

請求の範囲

- [請求項1] 軌道部材に複数の転動体を介して移動部材を相対移動可能に組み付けた運動案内装置の寿命診断装置であって、
- 前記軌道部材が形成する軌道に対する前記移動部材の変位量を基に、前記移動部材の転動面を前記軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に、前記移動部材が移動している際に各区間に発生する応力である移動時応力を算出する応力算出手段と、
- 前記移動部材が前記軌道沿いに移動する際のウェービングに伴い繰り返し発生する前記移動時応力の発生回数を、前記変位量を基に前記区間毎にカウントするカウント手段と、
- 前記移動時応力の大きさと前記移動時応力の発生回数とに基づく寿命到達率の算出を前記区間毎に行い、算出した前記各区間の寿命到達率を基に前記運動案内装置の寿命診断を行う診断手段と、を備える、
- 運動案内装置の寿命診断装置。
- [請求項2] 前記診断手段は、線形累積損傷則に従って前記寿命到達率の算出を行い、算出した前記各区間の寿命到達率を基に前記運動案内装置の寿命診断を行う、
- 請求項 1 に記載の運動案内装置の寿命診断装置。
- [請求項3] 前記診断手段は、前記移動時応力の大きさ毎の発生回数を前記区間毎に集計したテーブルのデータを基に、前記寿命到達率の算出を前記区間毎に行う、
- 請求項 1 または 2 に記載の運動案内装置の寿命診断装置。
- [請求項4] 前記移動部材は、前記軌道に対し直交する方向沿いに前記軌道部材の表面に対する距離を測定するセンサを有し、
- 前記変位量は、前記センサの出力に基づいて取得される、
- 請求項 1 から 3 の何れか一項に記載の運動案内装置の寿命診断装置。
- [請求項5] 軌道部材に複数の転動体を介して移動部材を相対移動可能に組み付

けた運動案内装置の寿命診断方法であって、

前記軌道部材が形成する軌道に対する前記移動部材の変位量を基に、前記移動部材の転動面を前記軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に、前記移動部材が移動している際に各区間に発生する応力である移動時応力を算出し、

前記移動部材が前記軌道沿いに移動する際のウェーピングに伴い繰り返し発生する前記移動時応力の発生回数を、前記変位量を基に前記区間毎にカウントし、

前記移動時応力の大きさと前記移動時応力の発生回数とに基づく寿命到達率の算出を前記区間毎に行い、算出した前記各区間の寿命到達率を基に前記運動案内装置の寿命診断を行う、

運動案内装置の寿命診断方法。

[請求項6]

軌道部材に複数の転動体を介して移動部材を相対移動可能に組み付けた運動案内装置の寿命診断プログラムであって、

コンピュータに、

前記軌道部材が形成する軌道に対する前記移動部材の変位量を基に、前記移動部材の転動面を前記軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に、前記移動部材が移動している際に各区間に発生する応力である移動時応力を算出させ、

前記移動部材が前記軌道沿いに移動する際のウェーピングに伴い繰り返し発生する前記移動時応力の発生回数を、前記変位量を基に前記区間毎にカウントさせ、

前記移動時応力の大きさと前記移動時応力の発生回数とに基づく寿命到達率の算出を前記区間毎に行い、算出した前記各区間の寿命到達率を基に前記運動案内装置の寿命診断を行わせる、

運動案内装置の寿命診断プログラム。

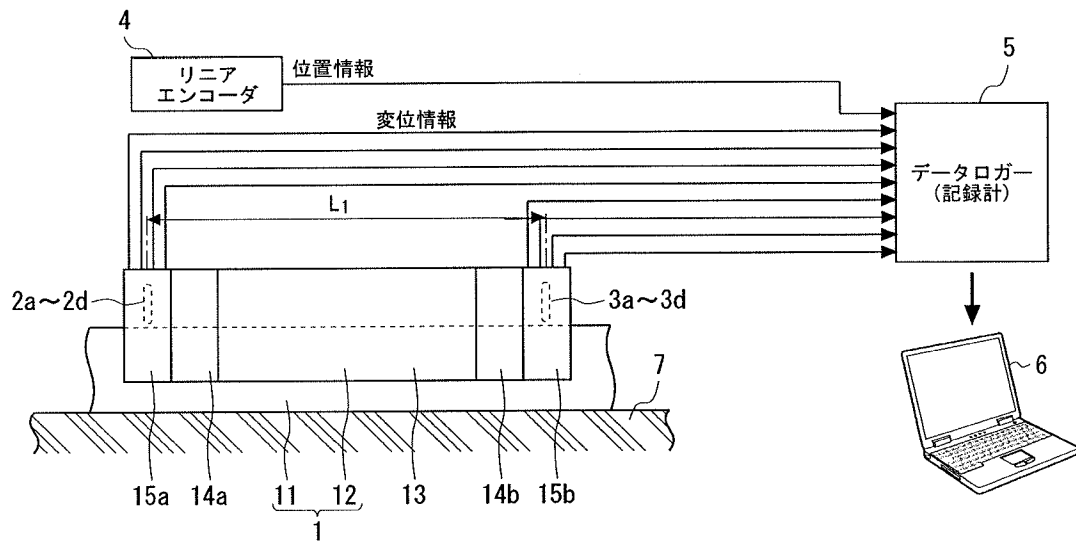
[請求項7]

軌道部材に複数の転動体を介して移動部材を相対移動可能に組み付けた運動案内装置と、

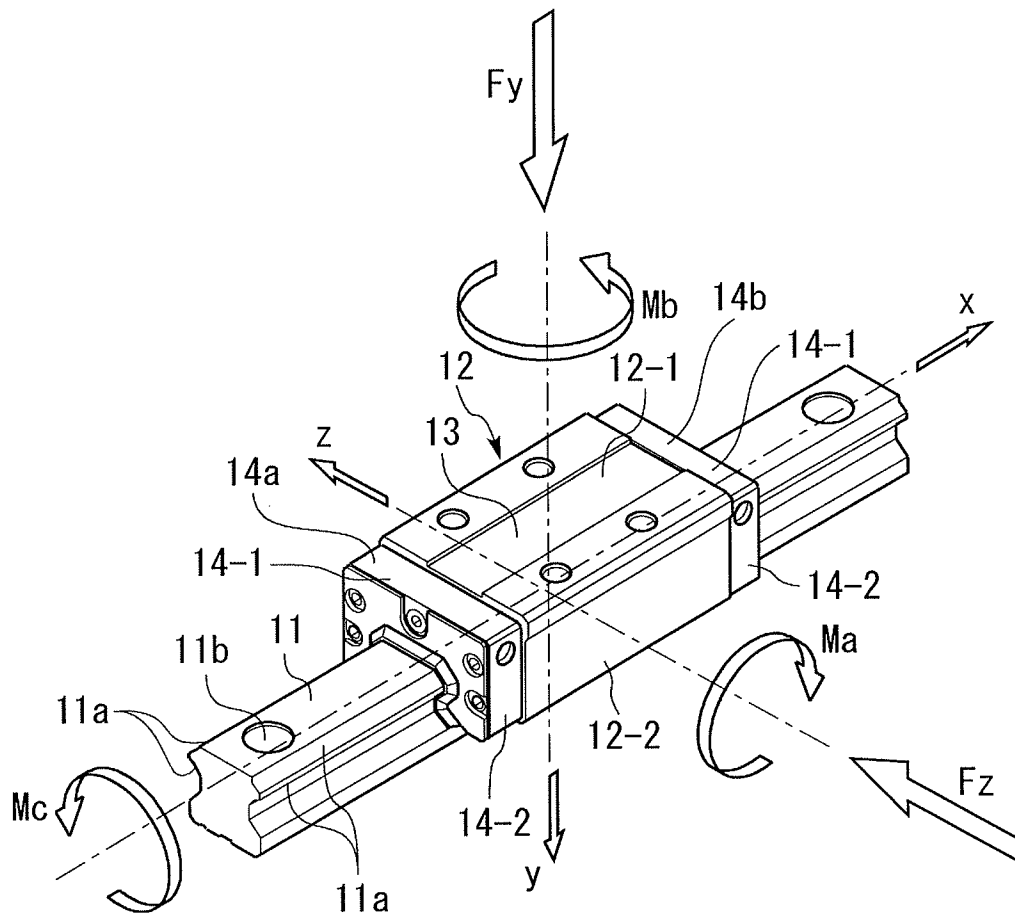
前記軌道部材が形成する軌道に対する前記移動部材の変位量を基に、前記移動部材の転動面を前記軌道の方向沿いに区分けした仮想の区間毎に、前記移動部材が移動している際に各区間に発生する応力である移動時応力を算出する応力算出手段と、

前記移動部材が前記軌道沿いに移動する際のウェービングに伴い繰り返し発生する前記移動時応力の発生回数を、前記変位量を基に前記区間毎にカウントするカウント手段と、

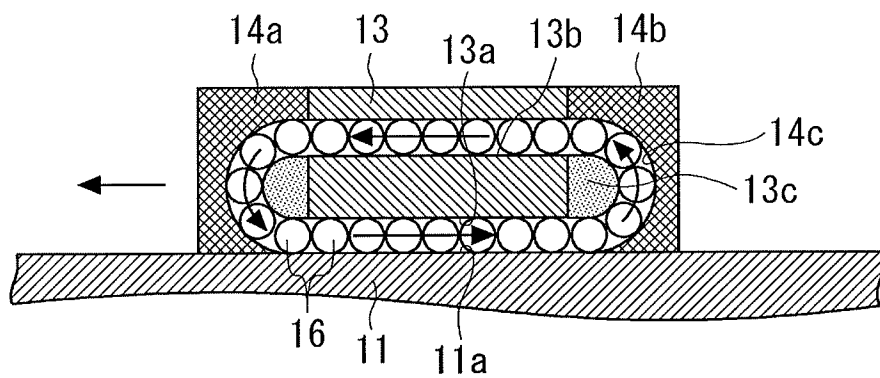
前記移動時応力の大きさと前記移動時応力の発生回数とに基づく寿命到達率の算出を前記区間毎に行い、算出した前記各区間の寿命到達率を基に前記運動案内装置の寿命診断を行う診断手段と、を備える、
運動案内装置の寿命診断システム。



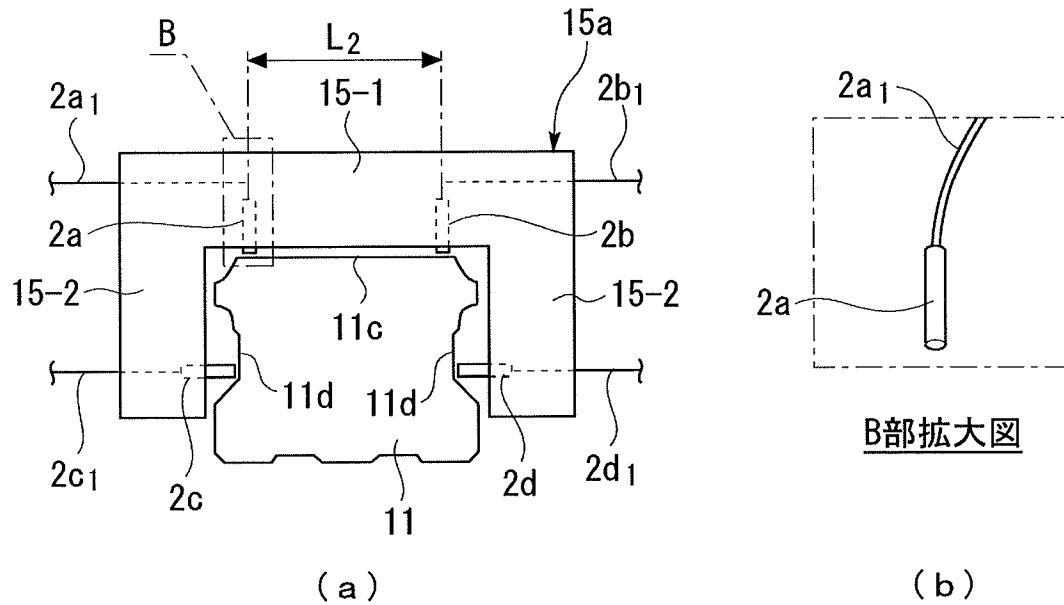
[図2]



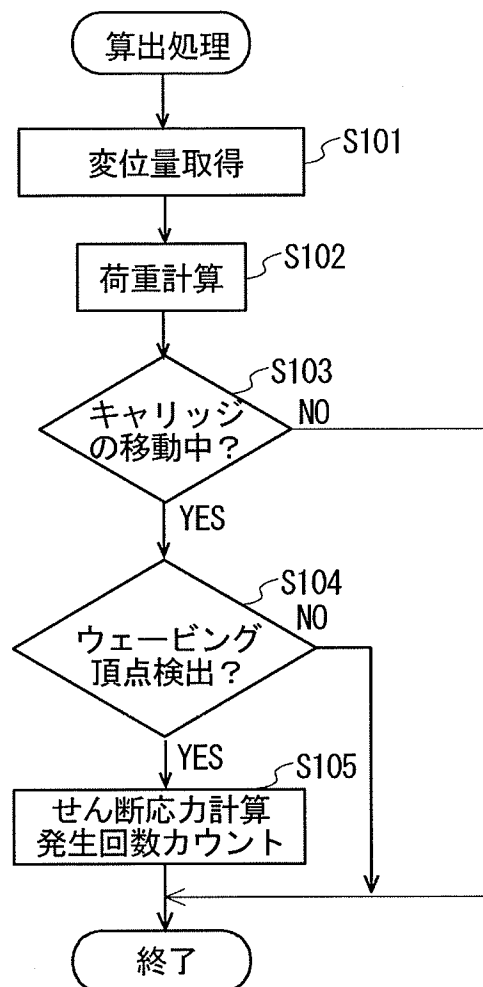
[図3]



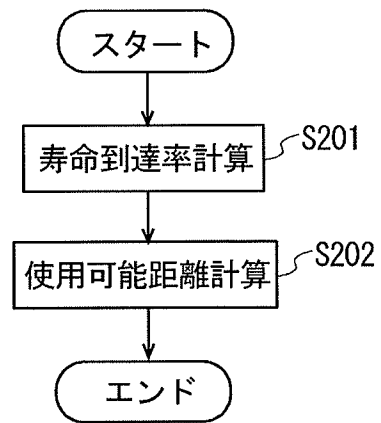
[図4]



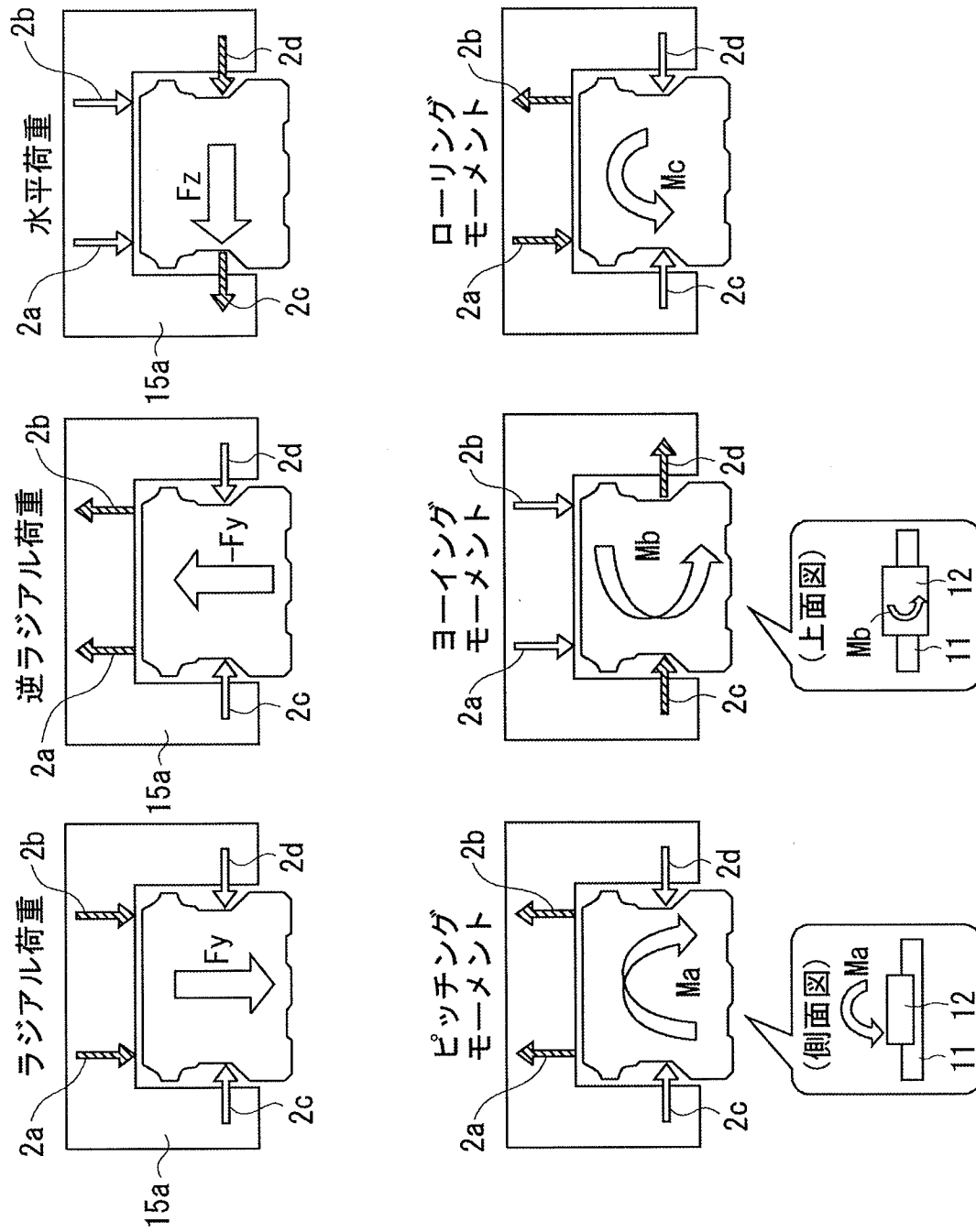
[図5A]



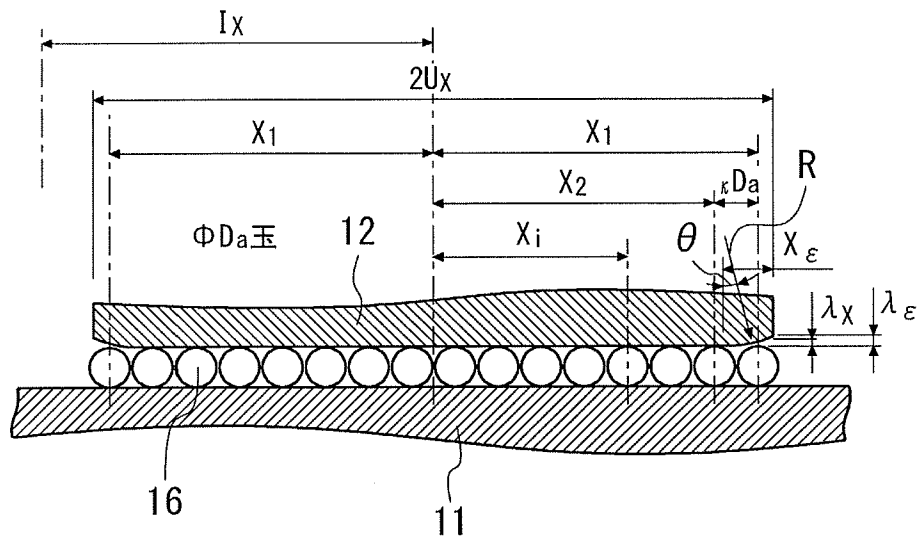
[図5B]



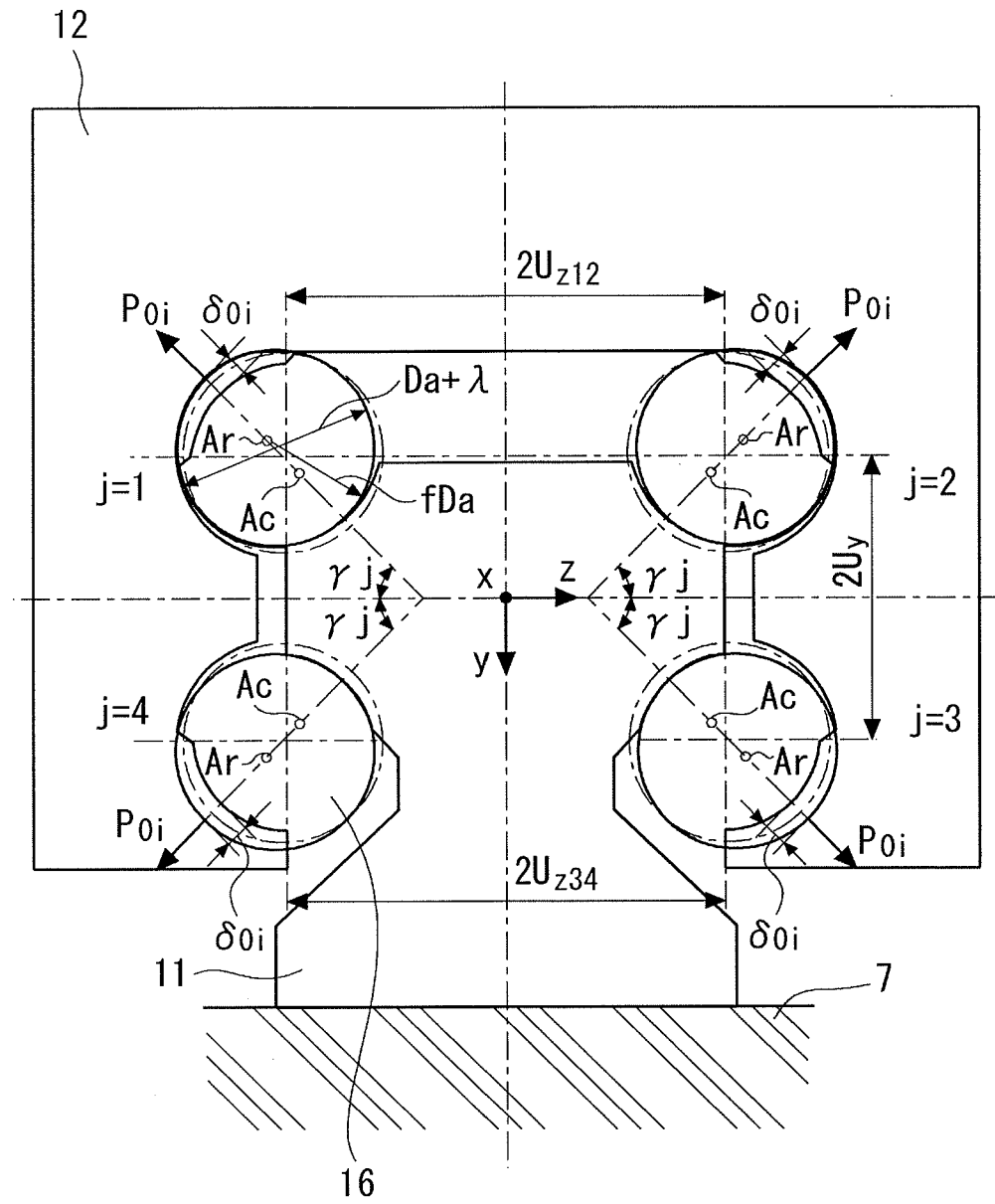
[図6]



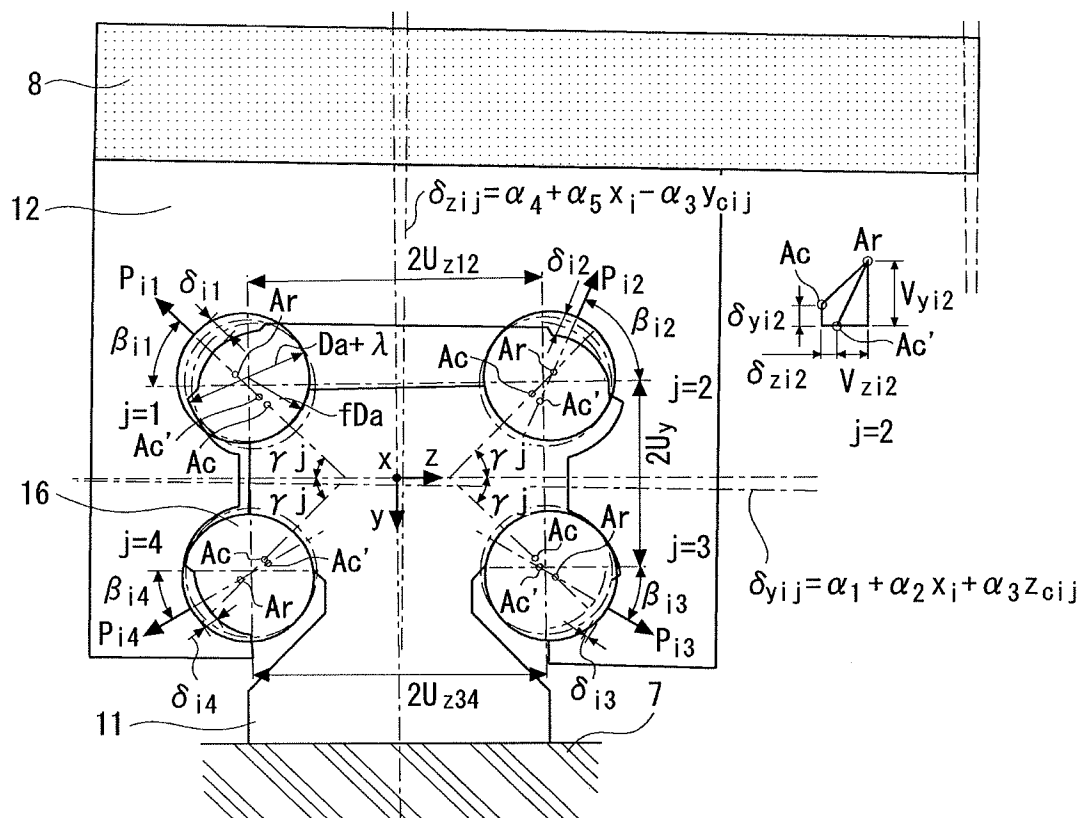
[図7]



[図8]

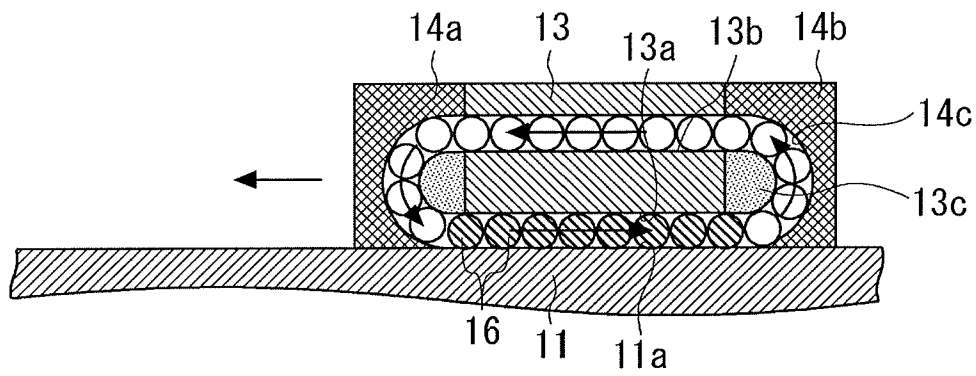


[図9]

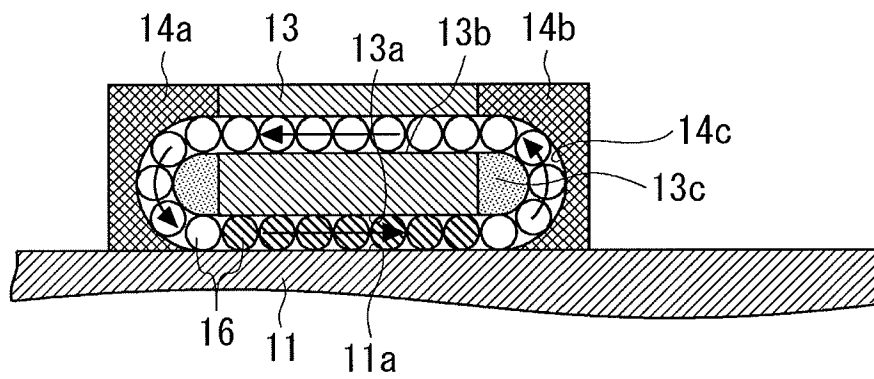


[図10]

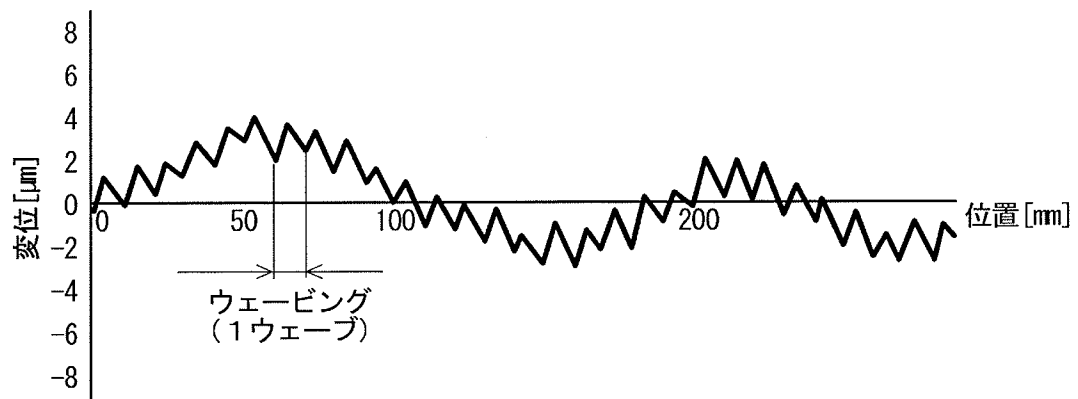
(A)



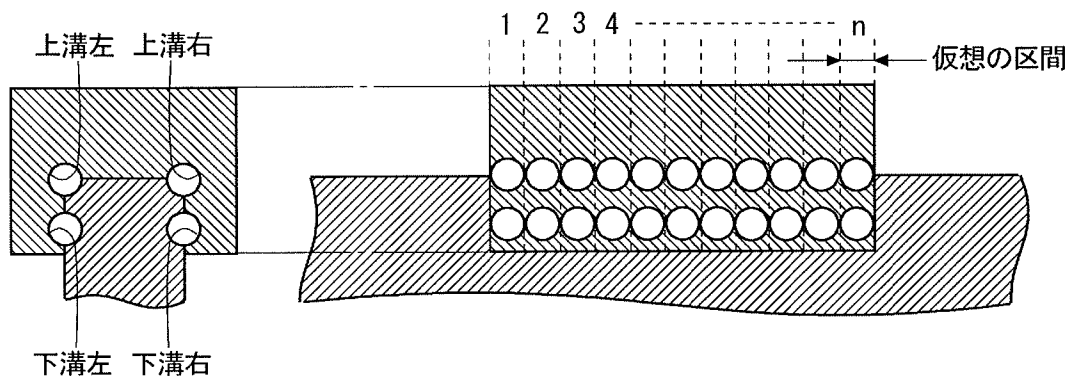
(B)



[図11]



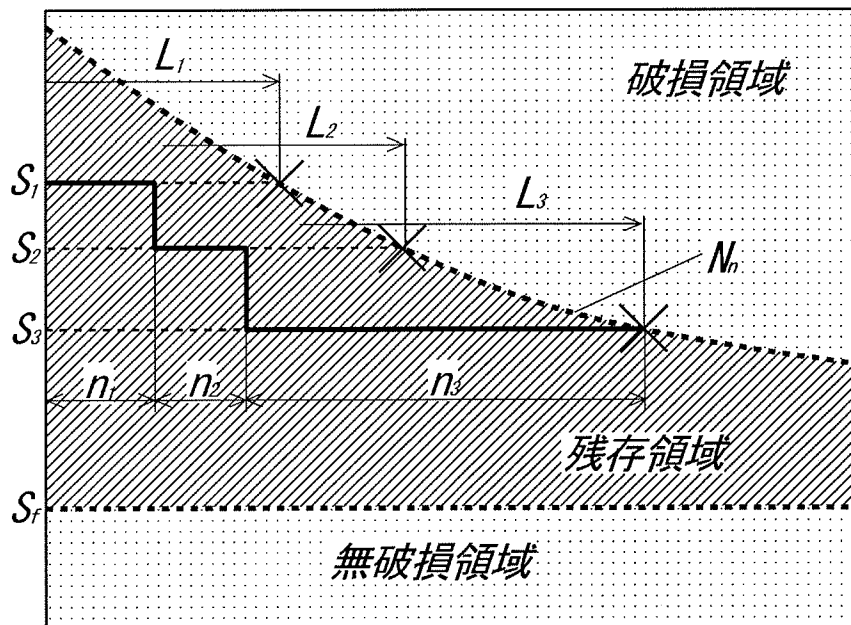
[図12]



キャリッジ移動時の繰返しせん断応力カウント

[illegible]

[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/045915

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01M13/04 (2006.01) i, F16C29/06 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. G01M13/04, F16C29/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-218888 A (NSK LTD.) 07 December 2015, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2015-224728 A (NSK LTD.) 14 December 2015, entire text, all drawings (Family: none)	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/045915

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-74853 A (NTN CORP.) 09 April 2009, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2011-85532 A (NTN CORP.) 28 April 2011, entire text, all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01M13/04(2006.01)i, F16C29/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01M13/04, F16C29/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2015-218888 A (日本精工株式会社) 2015. 12. 07, 全文全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2015-224728 A (日本精工株式会社) 2015. 12. 14, 全文全図 (ファミリーなし)	1-7

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.03.2018

国際調査報告の発送日

13.03.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

素川 慎司

2 J

4844

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-74853 A (N T N株式会社) 2009. 04. 09, 全文全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2011-85532 A (N T N株式会社) 2011. 04. 28, 全文全図 (ファミリーなし)	1-7