

(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
2020年8月27日(27.08.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/171142 A1

- (51) 国際特許分類:
F16C 19/52 (2006.01) *G01M 13/04* (2019.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/006622
- (22) 国際出願日: 2020年2月19日(19.02.2020)
- (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 2019-027618 2019年2月19日(19.02.2019) JP
- (71) 出願人: 日本精工株式会社 (NSK LTD.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎一丁目6番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 周 康(ZHOU Kang); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日

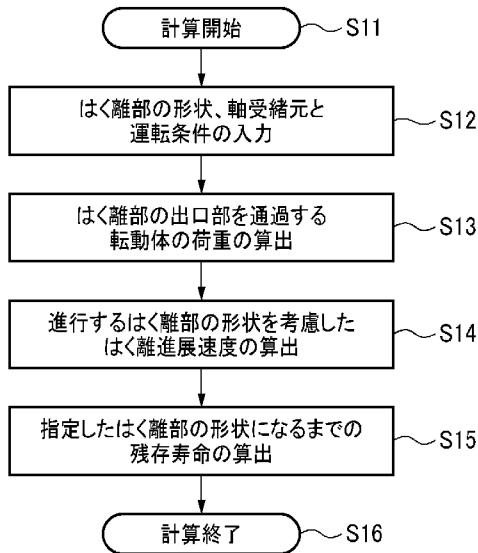
本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 千布 剛敏(CHIFU Taketoshi); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 溝口 大木(MIZOKUCHI Hiroki); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所(EIKOH PATENT FIRM, P.C.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目7番13号 虎ノ門イーストビルディング10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,

(54) Title: FLAKING DEVELOPMENT ANALYSIS METHOD AND FLAKING DEVELOPMENT ANALYSIS DEVICE FOR RACEWAY RING OF ROLLING BEARING

(54) 発明の名称: 転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法及びはく離進展解析装置



- S11 Start calculation
S12 Input shape of flaked portion, and specifications and operating conditions of bearing
S13 Calculate load on rolling element passing exit portion of flaked portion
S14 Calculate flaking development speed taking into account shape of progressing flaked portion
S15 Calculate remaining service life until flaked portion has a specified shape
S16 End of calculation

(57) Abstract: The objective of the present invention is to provide a flaking development analysis method and a flaking development analysis device for a raceway ring of a rolling bearing with which it is possible to predict a relationship between elapsed time and the shape of a flaked portion on the basis of the speed of development of flaking after fine flaking has occurred, and which enables bearing replacement to be performed with an appropriate timing. This flaking development analysis method includes: a step of using a flaking acquiring means (21) to acquire the presence or absence and the shape of a flaked portion (15) of a raceway ring (11); a step of calculating a rolling element load F acting on a rolling element (13) when the rolling element passes an exit portion (15a) of the flaked portion of the raceway ring, on the basis, at least, of the acquired shape of the flaked portion, the specifications of a rolling bearing (10), and the operating

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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).

規則4. 17に規定する申立て:

- 一 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4. 17(v))

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

conditions of the rolling bearing; a step of calculating a speed of development V of the flaked portion taking into account the shape of the advancing flaked portion, on the basis of the rolling element load F at the exit portion of the flaked portion; and a step of calculating a relationship between elapsed time of the rolling bearing and the flaking shape, on the basis of the speed of development V of the flaked portion.

(57) 要約: 微小はく離発生後のはく離の進展速度に基づいて、経過時間とはく離部の形状との関係を予測することができ、適切なタイミングでの軸受交換を可能とする転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法及びはく離進展解析装置を提供する。はく離取得手段(21)によって軌道輪(11)のはく離部(15)の有無及び形状を取得する工程と、少なくとも取得されたはく離部の形状、転がり軸受(10)の諸元、及び転がり軸受の運転条件に基づいて、転動体(13)が軌道輪のはく離部の出口部(15a)を通過するとき、転動体に作用する転動体荷重Fを算出する工程と、はく離部の出口部における転動体荷重Fに基づいて、進行するはく離部の形状を考慮したはく離部の進展速度Vを算出する工程と、はく離部の進展速度Vに基づいて、転がり軸受の経過時間とはく離形状との関係を算出する工程と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法及びはく離進展解析装置

技術分野

[0001] 本発明は、転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法及びはく離進展解析装置に関し、より詳細には、風力発電装置や、運搬車両を含む鉱山設備、圧延機のような鉄鋼設備などに用いられる転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法及びはく離進展解析装置に関する。

背景技術

[0002] 転がり軸受が荷重を受けて回転すると、内輪と外輪の軌道面及び転動体の転動面は絶えず繰返し荷重を受けるので、材料の疲れによってはく離と呼ばれるうろこ状の微小な損傷が現れることがある。一般的にこのはく離によって使用不能に至るまでを軸受寿命として定義している。しかし、風力発電装置用軸受のような大形軸受の場合、交換が容易ではなく、軸受にはく離が発生しても交換部品を調達し、実際に交換できるまでに多くの期間が必要となる。このため、部品の交換ができるまでの間、発電出力を制限するなどの対策を取った上で運転が続けられることがある。しかし、交換時期が遅れることで、はく離が急速に進んでしまうと、大量のはく離片がギヤに噛み込んだり、内外輪が割れたりして、最悪の場合、装置を長期間に亘って停止するようなメンテナンス作業が必要となる場合がある。

[0003] このため、定期検査の際に、次の検査までは正常運転又は出力を制限した運転が可能か、又はどの時点で交換する必要があるかの判定が必要となってくる。このような判定の方法として、例えば、特許文献 1 に記載の状態監視装置は、振動センサにより検出された波形を複数の損傷フィルタ周波数帯域に分割して抽出するフィルタ処理部と、フィルタ処理後の波形からスペクトルデータを得る演算処理部と、転がり軸受の回転速度に基づいて算出した軸受損傷周波数と演算処理部で得られたスペクトルデータを比較して転がり軸

受の異常部位を特定する精密診断部と、損傷フィルタ周波数帯域毎に算出される振動実効値に基づいて異常部位の損傷の程度を診断する損傷レベル診断部と、異常部位、異常部位の損傷の程度、及び回転部品の運転環境から異常部位の残存寿命を予測する残存寿命予測部と、を備え、異常部位の残存寿命を予測している。

[0004] また、特許文献2に記載の転がり軸受の状態監視装置では、転がり軸受の内外輪間のラジアル方向の相対変位を検出する変位センサが設けられ、検出された内外輪間の相対変位が、予め設定されたしきい値を超えると、転がり軸受に異常が生じたものと判定する。しきい値は、転がり軸受の負荷域中央を通過中の転動体が負荷を受けず、かつ、負荷域を通過中の残余の転動体が荷重を受けているとした場合の内外輪間の相対変位を基準変位として、該基準変位に基づいて設定される。特に、隣接する2つの転動体が同時に損傷部を通過するまでに損傷が軌道面周方向に拡大すると、荷重を受ける転動体が減少することによって転動体荷重が増大し、損傷の進展速度が上昇する点を考慮して設定された、しきい値との比較により、軸受交換時期が判定されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開2017-219469号公報

特許文献2：日本国特開2017-26445号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、特許文献1では、転がり軸受の残存寿命予測について記載されているが、これを実際に稼動している機械(特にはく離が生じても継続使用されるケース)に適用する場合には、下記の課題が生じている。

1. 軌道面に発生した初期はく離が周方向に拡大すると、転動体がはく離を通過する際に、転動体と内外輪とのすきまにより荷重を受けることができ

なくなる。そのため、負荷圏にある全ての転動体が荷重を受ける理想的な転動体荷重分布に対して、荷重を支える転動体が減少し、はく離を通過する転動体の近隣の転動体荷重が増加する。しかしながら、特許文献1では、転動体荷重の増加を考慮していないため、はく離の急激な拡大を予測できない。

2. 残存寿命を予測する際に、き裂の進展速度の式に用いられる応力拡大係数範囲 ΔK を算出するには、一般的に具体的な計算対象の形状が必要となる。しかしながら、はく離形状の記載がないため、寿命の予測精度が低い。

[0007] また、特許文献2では、軸受交換の時期を明確にするためのしきい値の設定方法については記載されているが、はく離の進展を予測するものではなく、交換までの残存寿命が予測できず交換用軸受を事前に手配することができない。

[0008] 本発明は、前述した課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、微小はく離発生後のはく離の進展速度を算出して、経過時間とはく離部の形状との関係を予測し、適切なタイミングでの軸受交換を可能とする転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法及びはく離進展解析装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の上記目的は、下記の構成により達成される。

(1) 回転機械に使用される、内外軌道輪と両軌道輪間の転動体を有する転がり軸受の軌道輪のはく離の進展を予測するはく離進展解析方法であって、

はく離状況取得手段によって前記軌道輪のはく離の有無及び形状を取得する工程と、

少なくとも取得されたはく離部の形状、前記転がり軸受の諸元、及び前記転がり軸受の運転条件に基づいて、前記転動体が前記軌道輪の前記はく離部の出口部を通過するときの、前記転動体に作用する転動体荷重を算出する工程と、

前記はく離部の出口部における転動体荷重に基づいて、進行する前記はく

離部の形状を考慮した前記はく離の進展速度を算出する工程と、

前記はく離の進展速度に基づいて、経過時間とはく離部の形状との関係を算出する工程と、

を備える、

転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。

(2) 回転機械に使用される、内外軌道輪と両軌道輪間の転動体を有する転がり軸受の軌道輪のはく離の進展を予測する転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置であって、

前記軌道輪のはく離の有無及び形状を取得するはく離状況取得手段と、

少なくとも取得されたはく離部の形状、前記転がり軸受の諸元、前記転がり軸受の運転条件に基づいて、前記転動体が前記軌道輪の前記はく離部の出口部を通過するときの、前記転動体に作用する転動体荷重を算出し、前記はく離部の出口部における転動体荷重に基づいて、進行する前記はく離部の形状を考慮した前記はく離の進展速度を求め、前記はく離の進展速度に基づいて、経過時間とはく離部の形状との関係を算出する演算部と、
を備える転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置。

発明の効果

[0010] 本発明の軌道輪のはく離進展解析方法及び軌道輪のはく離進展解析装置によれば、転動体が軌道輪のはく離部の出口部を通過するときに作用する転動体荷重から、進行するはく離部の形状を考慮したはく離の進展速度を求めて、経過時間とはく離部の形状との関係を予測するようにしたので、適切なタイミングでの軸受交換が可能となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の一実施形態に係る軌道輪のはく離進展解析装置の概略構成を示すブロック図である。

[図2A]円筒ころ軸受の内輪におけるはく離の進展状況の一例を示す図である。
。

[図2B]円筒ころ軸受の内輪におけるはく離の進展状況の一例を示す図である

。

[図2C]円筒ころ軸受の内輪におけるはく離の進展状況の一例を示す図である

。

[図2D]円筒ころ軸受の内輪におけるはく離の進展状況の一例を示す図である

。

[図3]はく離進展解析の手順を示すフローチャートである。

[図4]転がり軸受の運転経過時間とはく離部の形状との関係を算出する手順を示すフローチャートである。

[図5A]はく離発生前における転動体荷重の大きさを示す概念図である。

[図5B]はく離発生後における転動体荷重の大きさの変化を示す概念図である

。

[図6A]はく離部と転動体との関係を示す拡大図である。

[図6B]はく離部と転動体との関係を示す拡大図である。

[図7]はく離長さとはく離部の出口部における転動体荷重の関係を示すグラフである。

[図8A]はく離部の出口部を転動体が通過する状態を示す要部拡大図である。

[図8B]図8Aの状態ではく離部の形状を考慮したFEM解析により、任意の位置での応力分布を示す図である。

[図9]経過時間とはく離部のサイズの関係性を、本実施形態による解析結果と試験結果とを比較して示すグラフである。

[図10A]円筒ころ軸受の内輪における初期のはく離部を転動体が通過する状態を示す斜視図である。

[図10B]有限要素解析を3次元で行う際のはく離部の出口部について説明する内輪の上面図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の一実施形態に係る転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法及びはく離進展解析装置を図面に基づいて詳細に説明する。

[0013] 図1に示すように、本実施形態の軌道輪のはく離進展解析装置1は、機械

設備 20 に組み込まれた転がり軸受 10 の軌道輪（即ち、内輪 11 又は外輪 12）に発生したはく離部を解析するものである。はく離進展解析装置 1 は、転がり軸受 10 のはく離の有無及び形状を取得するはく離状況取得手段 21 と、はく離状況取得手段 21 で取得した信号をデータ伝送手段 22 を介して受信し、信号処理を行って転がり軸受 10 の軌道輪のはく離の有無、及びはく離進展解析を行う演算処理部 31、機械設備 20 を駆動制御する制御部 32、及び解析結果などを記憶する記憶部 33 を有する制御装置 30 と、モニタや警報機等からなり、はく離進展解析結果や転がり軸受 10 の残存寿命を出力する出力装置 40 と、を備えている。

[0014] 転がり軸受 10 は、機械設備 20 の回転軸に外嵌される内輪 11 と、ハウジング 14 等に内嵌される外輪 12 と、内輪 11 及び外輪 12 との間で転動可能に配置された複数の転動体 13 と、転動体 13 を転動自在に保持する不図示の保持器と、を有する。

[0015] なお、本実施形態では、転動体 13 と内輪 11 及び外輪 12 の軌道面が線接触し、図 2A～図 2D に示すように、内輪 11 のはく離の進展（11a→11b→11c→11d）が、周方向長さ A の変化（Aa→Ab→Ac→Ad）として一次元で近似できるころ軸受を想定し、内輪 11 の軌道面にはく離が発生する場合を例に説明する。

[0016] はく離状況取得手段 21 は、はく離状況の取得方法に応じて、任意のものが選択される。例えば、はく離状況取得手段 21 をファイバースコープやカメラとして、はく離部の形状を直接観察してもよい。或いは、本出願人が考案した日本国特願 2018-156535 に記載のはく離部の長さを検出する方法の場合には、はく離状況取得手段 21 は振動センサや荷重センサであってもよく、また、特許文献 2 に記載のはく離の長さを検出する方法の場合には、はく離状況取得手段 21 は変位センサであってもよい。さらに、はく離状況取得手段 21 は、温度や、潤滑油中の鉄粉量（濃度）などを検出するものであってもよい。なお、振動センサ、荷重センサ、変位センサは、転がり軸受 10 の固定輪である外輪 12 が取り付けられたハウジング 14 の負荷

圈に固定される。

- [0017] 制御装置30は、マイクロコンピュータ（ICチップ、CPU、MPU、DSP等）により構成されており、後述する各処理をこのマイクロコンピュータのプログラムにより実行する。
- [0018] 制御装置30は、演算処理部31で解析された転がり軸受10のはく離部の解析結果を、記憶部33に記憶すると共に、機械設備20の動作を制御部32へ出力し、解析結果に応じた機械設備20を駆動する制御信号を機械設備20の動作にフィードバック（回転数を落とすなどの安全運転動作）する。さらに、制御装置30は、有線又はネットワークを考慮した無線を利用したデータ伝送手段34により解析結果を出力装置40に送る。
- [0019] 出力装置40は、転がり軸受10の解析結果をモニタ等にリアルタイムで表示する。また、異常が検出された場合に、ライトやブザー等の警報機を用いてオペレータに異常であることの注意を促すようにしてもよい。また、信号のデータ伝送手段22は、はく離状況取得手段21からの信号を的確に送受信可能であればよいので、有線でも良いし、ネットワークを考慮した無線を利用してもよい。
- [0020] 図3は、はく離進展解析の手順を示すフローチャートである。まず、はく離状況取得手段21によりはく離の有無及び形状を取得する（ステップS1）。例えば、はく離状況取得手段21が、ファイバースコープの場合、軌道面が直接観察される。そして、軌道面に初期はく離部が観察された場合には、ステップS2で、はく離有りとして、本実施形態では、観察されたはく離部の形状から、はく離部の形状の周方向長さA（図2A～図2D参照）を取得する。そして、図4を用いて詳述する残存寿命計算に移行する（ステップS3）。残存寿命計算の処理の後、本処理フローを終了する。一方、ステップS2で、はく離無しの場合には、本処理フローを終了する。図3に示す処理を所定時間毎に実行する。
- [0021] 図4は、転がり軸受10の運転経過時間とはく離部の形状との関係を算出する手順を示すフローチャートであり、図3のステップS3の工程に対応す

る。したがって、上記ステップS 2ではく離部15の発生を検知した場合に、本フローの計算を開始し（ステップS 11）、はく離形状、軸受諸元、運転条件を演算プログラムに入力する（ステップS 12）。

[0022] 運転条件の一つである軸受荷重としては、一定の軸受荷重、直接測定した軸受荷重、発電出力や軸の回転トルクなどから間接的に求めた軸受荷重などが入力される。また、予め想定された運転荷重パターンを入力してもよい。また、回転速度としては、現在の回転速度で継続運転した場合を想定して、現在の回転速度が入力されてもよいし、初期はく離部が観察された時点で、運転速度を減速する場合には、減速した回転速度が入力されてもよい。

[0023] 次に、ステップS 12で入力した指標（即ち、初期はく離形状、軸受諸元、運転条件）に基づいて、はく離部15の拡大に伴って変化する、はく離部の出口部を通過する転動体13の転動体荷重 F を算出する（ステップS 13）。ここでは、ISO/T S 16281に準じた計算方法により転動体荷重 F を計算する。軸荷重 P が内輪11を押し各転動体13を同時に押すため、力のつりあい式を解くことで、はく離部の出口部の転動体荷重 F を算出する。

[0024] 図5Aに示すように、軸荷重 P により内輪11にラジアル軸受荷重が作用した状態で転がり軸受10が回転すると、負荷圏 $Q\ a\ r\ e\ a$ に位置する各転動体13には、転動体13の位置に応じた大きさの転動体荷重 F_0 が発生する。

[0025] 一方、転動体13と内輪11の軌道面との接触面圧が最大となる負荷圏 $Q\ a\ r\ e\ a$ 中央において、内輪11の軌道面にはく離が発生すると、図5Bに示すように、はく離部15を通過している転動体13は軸受荷重を支持することができず、図5Aに示した負荷圏 $Q\ a\ r\ e\ a$ の転動体13よりも少ない数の転動体13で軸受荷重を支持するため、その他の負荷圏 $Q\ a\ r\ e\ a$ に位置する各転動体13に増大した転動体荷重 F_1 が負荷される。したがって、図5Aにおける各転動体13の転動体荷重 F_0 の関係をを用いて、図5Bにおける力のつりあい式を解くことで、初期はく離部が生じた状態での、はく離部の

出口部の転動体荷重 F が算出される。具体的には、転動体荷重 F_0 及び F_1 は、ISO/TS 16281 に準じた計算方法により求められる。また、はく離部 15 を通過している転動体 13 の転動体荷重 F_1 は、荷重を受けないものとして計算される。

[0026] また、負荷圈 $Qare a$ 中央に生じた初期はく離部は、軌道面の円周方向（本発明に示した例においては転動体 13 の通過方向）に拡大していく。通常、はく離部 15 の出口部におけるき裂 15 a（図 6 A，図 6 B 参照）に転動体荷重が繰り返し負荷されることで、き裂 15 a は円周方向に徐々に進展し、その後、所定の長さのはく離片 15 b が段階的に発生する。そして、図 6 B に示すように、はく離部 15 の周方向長さ A が、隣り合う 2 つの転動体 13 が同時に入る長さ（周方向長さ $A =$ 転動体ピッチ間距離 d ）になると、はく離部 15 の出口部における転動体荷重 F_1 は増大して負荷されるようになる。

[0027] その後、転動体荷重 F は、図 7 に示すように、はく離部 15 の周方向長さ A が、転動体ピッチ間距離 d 、その 2 倍、3 倍となる毎に転動体荷重を受ける転動体数が減少していくので階段状に増大する。したがって、はく離部 15 の出口部における転動体荷重 F と、はく離部 15 の周方向長さ A との関係が、与えられる。

[0028] そして、ステップ S 13 で算出された転動体荷重 F に基づいて、進行するはく離部の形状を考慮したき裂進展解析を行い、き裂の進展速度をはく離部 15 が拡大する速度（はく離進展速度 V ）として算出する（ステップ S 14）。

[0029] 疲労現象におけるき裂進展挙動は、き裂長さとき裂に働く応力で表される線形破壊力学パラメータ K （応力拡大係数）に支配され、き裂が安定して進展する領域では、応力拡大係数 K の変動範囲 ΔK （応力拡大係数範囲）と応力 1 サイクルあたりのき裂進展量 da/dN は両対数直線関係となることが、下記する Paris 則として知られている。

[0030] $da/dN = C (\Delta K)^m$

但し、 C 、 m は、実験定数

従って、上式に ΔK を代入することで、本発明では、き裂進展速度をはく離進展速度 V として演算により求めることができる。具体的には、図8 Aおよび図8 Bに一例を示すように、ステップS 1 3で算出された転動体荷重 F が転がり軸受に作用した場合のF E M解析（有限要素解析）により、転動体1 3をはく離部1 5の出口部である、はく離部1 5の出口端面からき裂先端を越えた付近まで（図8 B参照）左から右に少しずつ動かした複数の位置で、内輪1 1に作用する各応力 σ を算出し、はく離部1 5の出口部における応力 σ の変動から応力拡大係数範囲 ΔK を算出する。なお、実際には、荷重を受ける転動体の数は、軸受の回転に応じて変動するが、ここでは、最大値を転動体荷重 F として入力している。また、F E M解析による応力 σ の算出から応力拡大係数範囲 ΔK を算出する過程は、定式化することができ、定式化した後は、該式を用いて計算することで、その都度のF E M解析は不要となる。

なお、はく離進展速度（き裂進展速度） V は、破壊力学で一般的な J 積分値を予め定式化して用いてもよい。

[0031] そして、求められた応力1 サイクルあたりのき裂進展量 da/dN に、円筒ころ1 3の数などの軸受諸元、回転速度などの運転条件を適用して、運転時間とはく離サイズ A との関係を、下記式を用いた理論計算から算出して、図9に示すグラフを作成する。

[0032] $A = A_0 + da/dN \times n$

A_0 ：観察された時点のはく離部の周方向長さ

n ：転動体が、負荷圏内ではく離部の出口部を負荷する回数

[0033] 図7において説明したように、転動体荷重 F は、はく離部1 5の周方向長さ A が転動体ピッチ間距離 d の倍数になる（負荷圏 $Q a r e a$ に存在する転動体1 3のうち、正しく負荷を受ける転動体が1つ減る）ごとに階段状に増大するので、はく離進展速度 V もはく離部1 5の周方向長さ A が転動体ピッチ間距離 d の倍数になるごとに速くなる。この転動体ピッチ間距離 d ごとのはく離進展速度 V の変化は、図9において屈曲点Bとして現れる。

[0034] 詳細には、はく離部 15 の周方向長さ A が転動体ピッチ間距離 d 未満のときに、はく離部の長さ A は図 9（両対数グラフ）において直線 L_1 に沿って直線的に増大する。また、はく離部 15 の周方向長さ A が転動体ピッチ間距離 d に達すると、はく離部 15 の周方向長さ A は、直線 L_1 より勾配の大きな（はく離進展速度 V が速い）直線 L_2 に沿って直線的に増大する。直線 L_1 と直線 L_2 との交点が、はく離部 15 の周方向長さ A が転動体ピッチ間距離 d に達したときの屈曲点 B となる。そして、屈曲点 B を越えるとはく離進展速度 V が急激に変化（増加）する。

[0035] 図 9 には、図 3 のフローチャートに従って求めたはく離進展解析結果と、運転時間とはく離サイズとの関係を調べたはく離進展試験の試験結果とを比較して示している。図 9 から分かるように、解析結果と試験結果とは、近似した傾向を示しており、本実施形態のはく離進展解析方法により転がり軸受 10 の残存寿命を精度よく予測可能であることが分かる。

[0036] なお、初期はく離が発生した後の転がり軸受 10 の使用可能時間、即ち、残存寿命は、その後に発生する障害（例えば、音や振動）の許容可能な程度によって決まるため、使用者ごとに異なる。従って、経過時間とはく離形状との関係を予め知ることは、転がり軸受 10 を適切に管理する上で重要である。

[0037] 次いで、図 9 に基づいて、転がり軸受 10 を使用可能なはく離部の周方向長さ A_L を指定することで、観察された時点のはく離部 15 の周方向長さ A 。からはく離部 15 が指定した形状（はく離部 15 の周方向長さ A_L ）になるまでの T_0 からの経過時間 T_L を求め、転がり軸受 10 の残存寿命（即ち、 $T_L - T_0$ 。）を算出する（ステップ S15）。

[0038] このように、残存寿命を、はく離進展速度 V が急激に大きくなる屈曲点 B に達するまでの残り時間から求めれば、急激なはく離進展による想定外の障害発生を防止することができるので好ましい。なお、指定するはく離部 15 の周方向長さ A_L は、転動体ピッチ間距離 d の前後に限定されず、転がり軸受 10 が使用可能な状態であれば、転動体ピッチ間距離 d を越える値（例え

ば2倍や3倍)に設定することもできる。

[0039] なお、上述した図4のフローチャートの手順は、各転がり軸受の諸元ごとに、所定の運転条件に対して、軸受寿命として想定される最大はく離部の長さまで予め計算しておき、その計算結果のデータをテーブル化して記憶部33に記憶しておいてもよい。

[0040] このように、はく離部15の周方向長さAの拡大による転動体荷重Fの増加を考慮した解析により、はく離進展の急上昇、及びはく離の急上昇時期(はく離部15の周方向長さAが転動体ピッチ間距離dの倍数になる時期)を精度よく予測することができる。これにより、転がり軸受10の交換の事前手配などの準備を効率的に行うことが可能となる。

[0041] 尚、本発明は、前述した各実施形態に限定されるものではなく、適宜、変形、改良、等が可能である。

例えば、上記実施形態では、FEM解析による応力の変動を2次元で計算しているが、3次元で計算することもできる。この場合、内輪11の軌道面11aに発生する初期のはく離部15の形状が、図10Aに示すように、軸方向に長い長円状であって、上記実施形態のように、周方向長さAの変化としてはく離の進展を近似しない場合であっても、応力の変動を計算することができる。

ここで、3次元で応力の変動を計算する際には、図10Bに示すように、初期のはく離部15の出口部は、はく離部15の周方向中央位置よりも転動体の通過方向となる。

[0042] また、この場合も、転動体13がはく離部15内に位置した際には、荷重を受けないことから、はく離部15の周方向長さが転動体ピッチ間距離dの倍数となる毎に、転動体荷重Fが階段状に増大し、併せて、はく離進展速度が急激に変化する点は、上記実施形態と同様である。

[0043] 以上の通り、本明細書には次の事項が開示されている。

(1) 回転機械に使用される、内外軌道輪と両軌道輪間の転動体を有する転がり軸受の軌道輪のはく離の進展を予測するはく離進展解析方法であって

、
はく離状況取得手段によって前記軌道輪のはく離の有無及び形状を取得する工程と、

少なくとも取得された前記はく離部の形状、前記転がり軸受の諸元、及び前記転がり軸受の運転条件に基づいて、前記転動体が前記軌道輪のはく離部の出口部を通過するときの、前記転動体に作用する転動体荷重を進行する前記はく離部の形状を考慮して算出する工程と、

前記はく離部の出口部における転動体荷重に基づいて、進行する前記はく離部の形状を考慮した前記はく離の進展速度を算出する工程と、

前記はく離の進展速度に基づいて、経過時間とはく離部の形状との関係を算出する工程と、

を備える、

転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。

この構成によれば、初期はく離発生後に転動体がはく離部の出口部を通過するときの転動体荷重に基づいて、進行するはく離部の形状を考慮してはく離の進展速度を算出するので、転がり軸受の経過時間とはく離部の形状との関係を精度よく予測することができる。

[0044] (2) 前記はく離部の形状は、前記はく離部の周方向長さであり、

前記はく離部の出口部における転動体荷重の算出工程は、はく離部の周方向長さに応じた力のつり合いを計算することで与えられる、(1)に記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。

この構成によれば、はく離部の周方向長さに応じてはく離部の出口部における転動体荷重を算出するので、転がり軸受における経過時間とはく離部の形状との関係を精度よく予測することができる。

[0045] (3) 前記はく離の進展速度算出工程は、前記はく離部の出口部における転動体荷重を用いた有限要素解析によって得られた前記はく離部の出口部における応力の変動を応力拡大係数範囲としたき裂進展速度によって与えられる、(2)に記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。

この構成によれば、Paris則に基づいてはく離の進展速度を解析することができる。

- [0046] (4) 予め指定した前記はく離部の形状になるまでの残存時間を残存寿命として出力する工程をさらに備える、(1)～(3)のいずれかに記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。

この構成によれば、転がり軸受の残存寿命を精度よく予測することができる。

- [0047] (5) 回転機械に使用される、内外軌道輪と両軌道輪間の転動体を有する転がり軸受の軌道輪のはく離の進展を予測する転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置であって、

前記軌道輪のはく離の有無及び形状を取得するはく離状況取得手段と、

少なくとも取得されたはく離部の形状、前記転がり軸受の諸元、前記転がり軸受の運転条件に基づいて、前記転動体が前記軌道輪の前記はく離部の出口部を通過するときの、前記転動体に作用する転動体荷重を進行する前記はく離部の形状を考慮して算出し、前記はく離部の出口部における転動体荷重に基づいて、進行する前記はく離部の形状を考慮した前記はく離の進展速度を求め、前記はく離の進展速度に基づいて、経過時間とはく離部の形状との関係を算出する演算部と、

を備える転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置。

この構成によれば、転がり軸受の運転経過時間とはく離部の形状との関係を精度よく予測することができる。

- [0048] (6) 前記転がり軸受の諸元に応じて、前記経過時間と前記はく離部の形状との関係は、予め記憶部に格納されている、(5)に記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置。

この構成によれば、記憶部に格納された経過時間とはく離部の形状との関係を用いることで、はく離進展解析の演算時間を短縮することができる。

- [0049] 以上、図面を参照しながら各種の実施の形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請

求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。また、発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施の形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

[0050] なお、本出願は、2019年2月19日出願の日本特許出願（特願2019-027618）に基づくものであり、その内容は本出願の中に参照として援用される。

符号の説明

- [0051] 1 はく離進展解析装置
- 10 転がり軸受
- 11 内輪（軌道輪）
- 12 外輪（軌道輪）
- 13 円筒ころ（転動体）
- 15 はく離部
- 15a はく離部の出口部のき裂
- 20 回転機械（機械設備）
- 21 はく離状況取得手段
- 31 演算処理部
- 33 記憶部
- A はく離部の周方向長さ
- F , F_0 , F_1 転動体荷重
- K 応力拡大係数
- t 運転経過時間
- V はくり離進展速度（き裂進展速度）
- ΔK 応力拡大係数範囲

請求の範囲

- [請求項1] 回転機械に使用される、内外軌道輪と両軌道輪間の転動体を有する転がり軸受の軌道輪のはく離の進展を予測するはく離進展解析方法であって、
- はく離状況取得手段によって前記軌道輪のはく離の有無及び形状を取得する工程と、
- 少なくとも取得されたはく離部の形状、前記転がり軸受の諸元、及び前記転がり軸受の運転条件に基づいて、前記転動体が前記軌道輪の前記はく離部の出口部を通過するときの、前記転動体に作用する転動体荷重を進行する前記はく離部の形状を考慮して算出する工程と、
- 前記はく離部の出口部における転動体荷重に基づいて、進行する前記はく離部の形状を考慮した前記はく離の進展速度を算出する工程と、
- 前記はく離の進展速度に基づいて、経過時間とはく離部の形状との関係を算出する工程と、
- を備える、
- 転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。
- [請求項2] 前記はく離部の形状は、前記はく離部の周方向長さであり、
- 前記はく離部の出口部における転動体荷重の算出工程は、はく離部の周方向長さに応じた力のつり合いを計算することで与えられる、請求項1に記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。
- [請求項3] 前記はく離の進展速度算出工程は、前記はく離部の出口部における転動体荷重を用いた有限要素解析によって得られた前記はく離部の出口部における応力の変動を応力拡大係数範囲としたき裂進展速度によって与えられる、請求項2に記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。
- [請求項4] 予め指定した前記はく離部の形状になるまでの残存時間を残存寿命として出力する工程をさらに備える、請求項1～3のいずれか1項に

記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析方法。

[請求項5]

回転機械に使用される、内外軌道輪と両軌道輪間の転動体を有する転がり軸受の軌道輪のはく離の進展を予測する転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置であって、

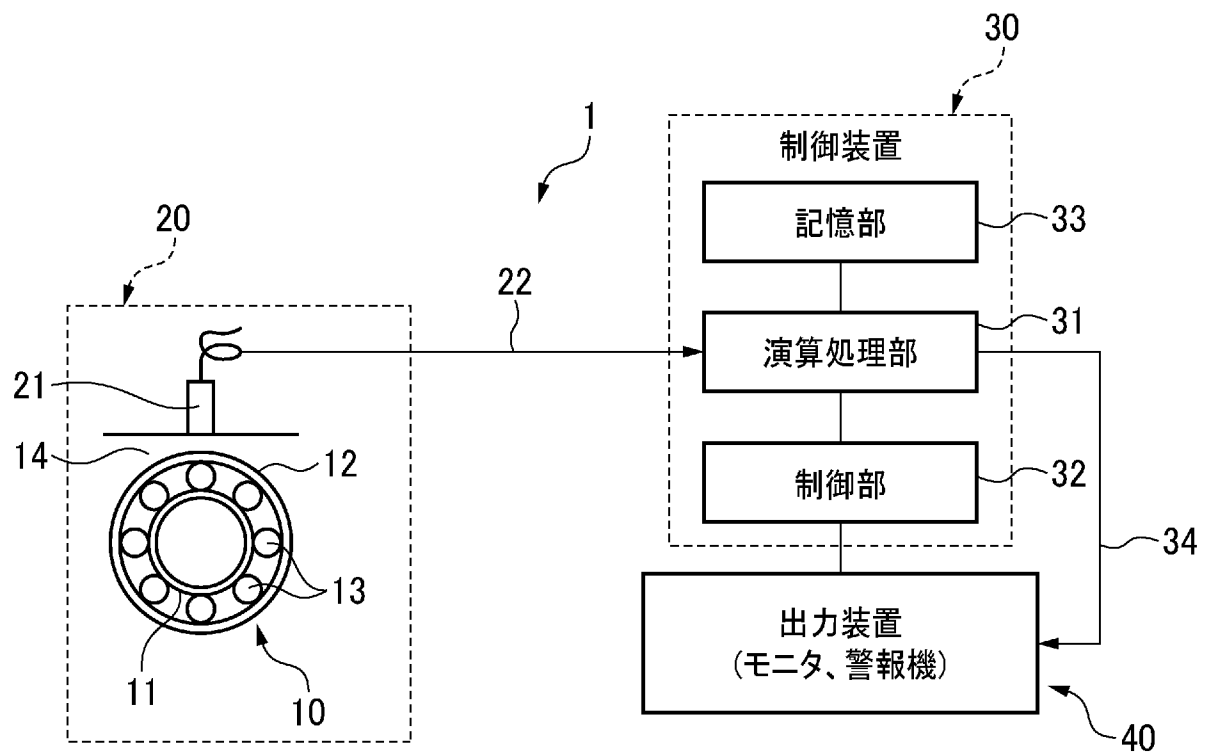
前記軌道輪のはく離の有無及び形状を取得するはく離状況取得手段と、

少なくとも取得された前記はく離部の形状、前記転がり軸受の諸元、前記転がり軸受の運転条件に基づいて、前記転動体が前記軌道輪のはく離部の出口部を通過するときの、前記転動体に作用する転動体荷重を進行する前記はく離部の形状を考慮して算出し、前記はく離部の出口部における転動体荷重に基づいて、進行する前記はく離部の形状を考慮した前記はく離の進展速度を求め、前記はく離の進展速度に基づいて、経過時間とはく離部の形状との関係を算出する演算部と、を備える転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置。

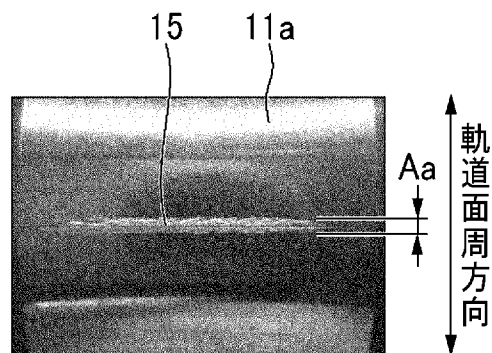
[請求項6]

前記転がり軸受の諸元に応じて、前記経過時間と前記はく離部の形状との関係は、予め記憶部に格納されている、請求項5に記載の転がり軸受の軌道輪のはく離進展解析装置。

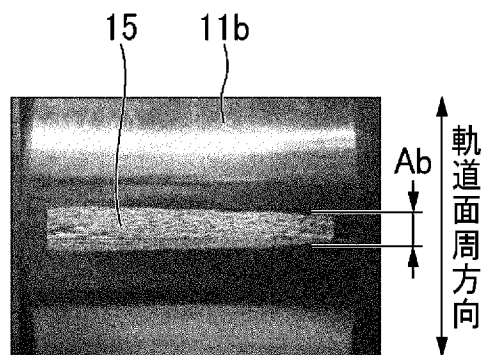
[図1]



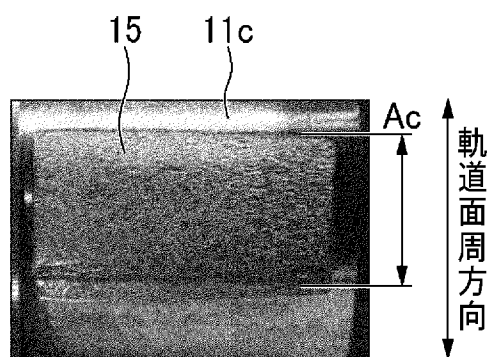
[図2A]



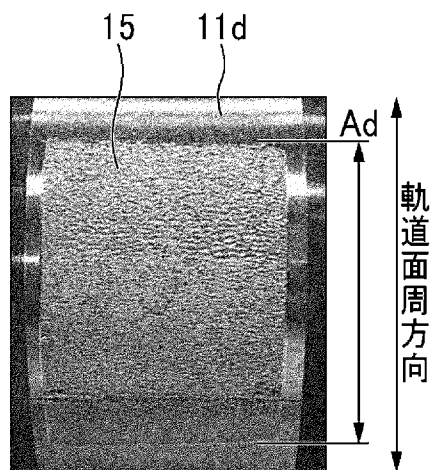
[図2B]



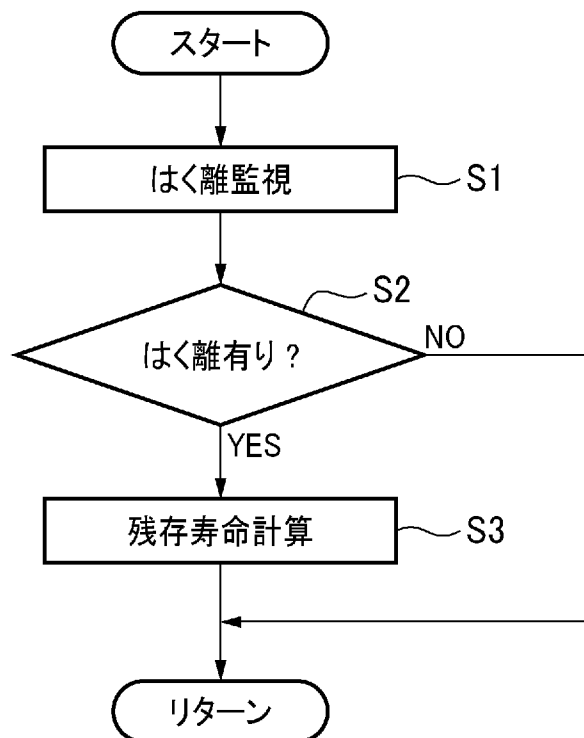
[図2C]



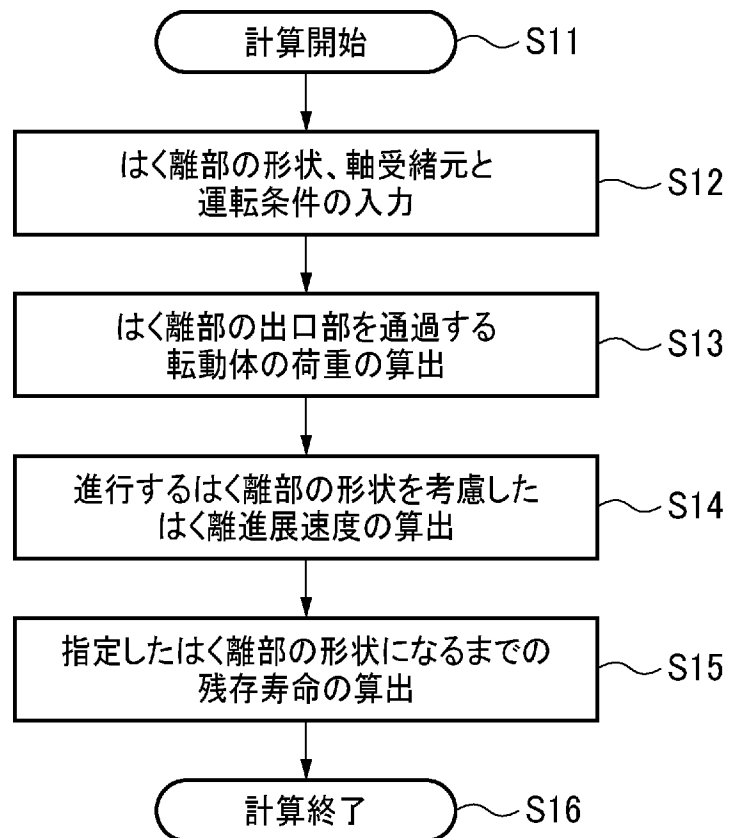
[図2D]



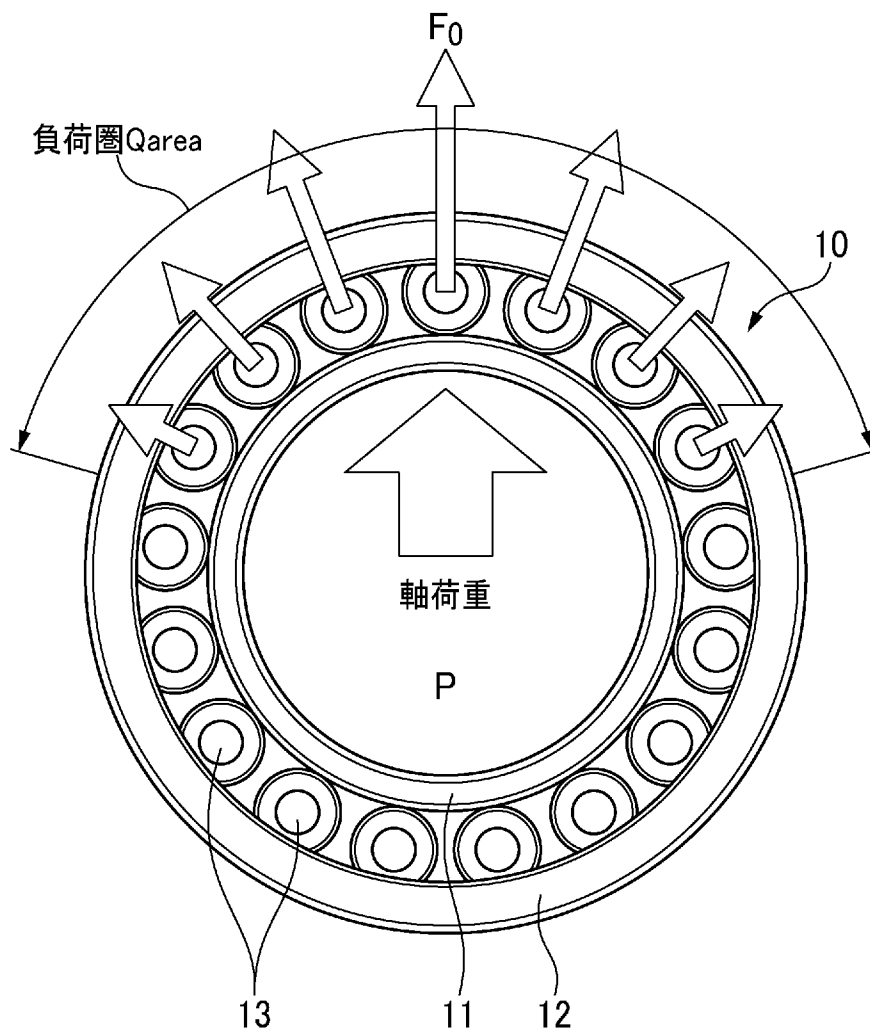
[図3]



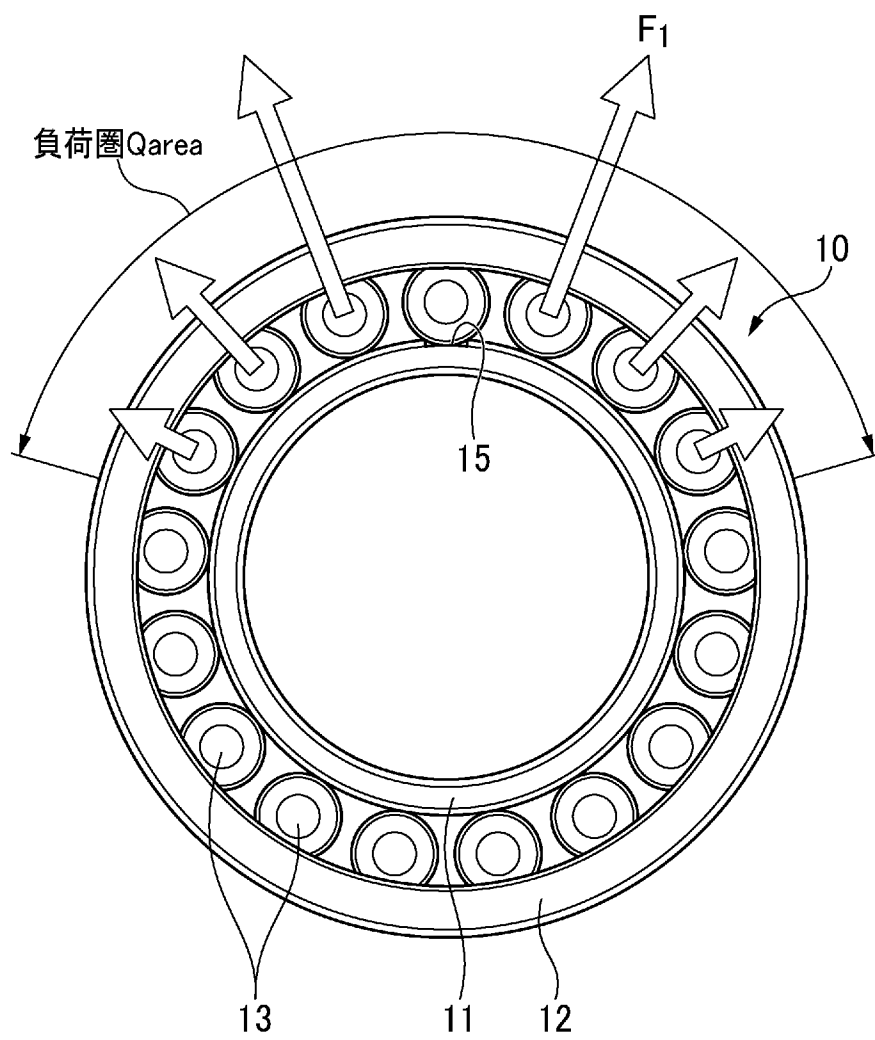
[図4]



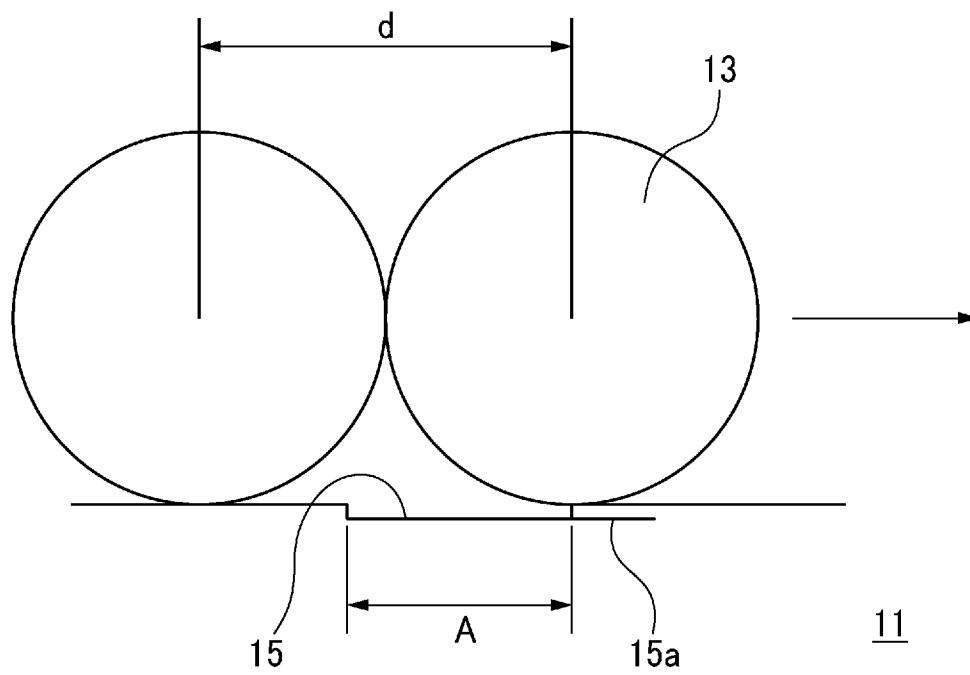
[図5A]



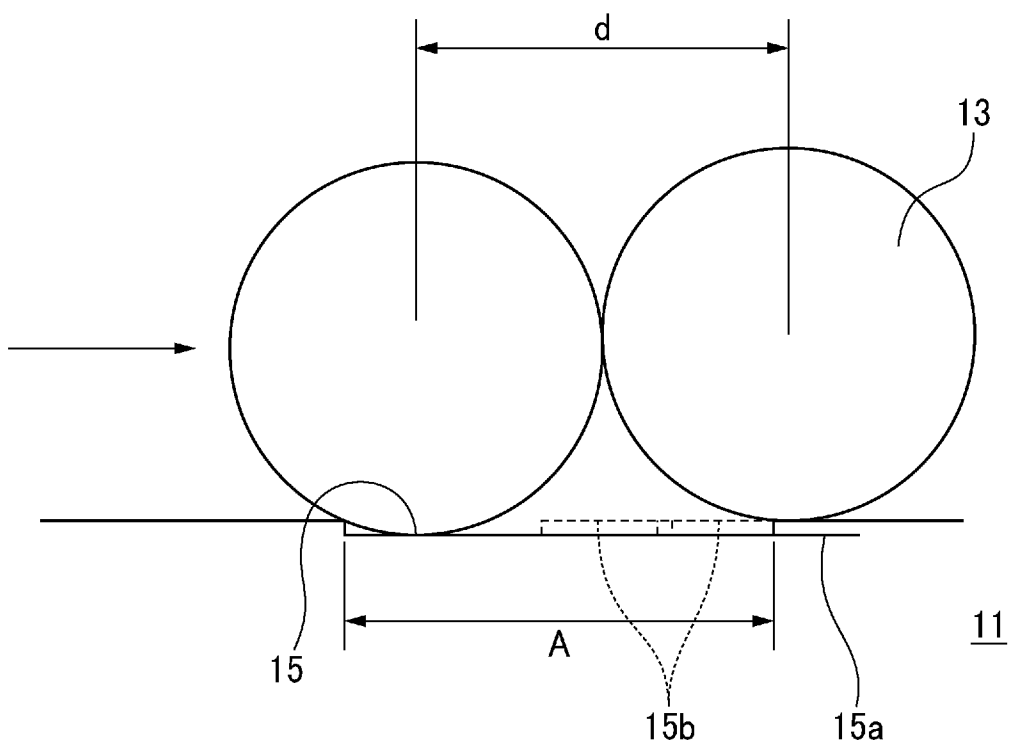
[図5B]



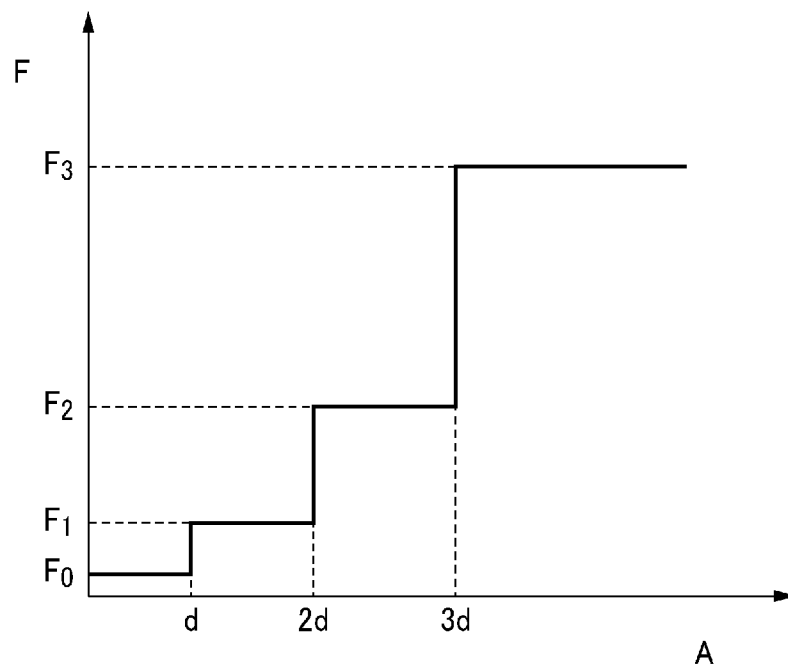
[図6A]



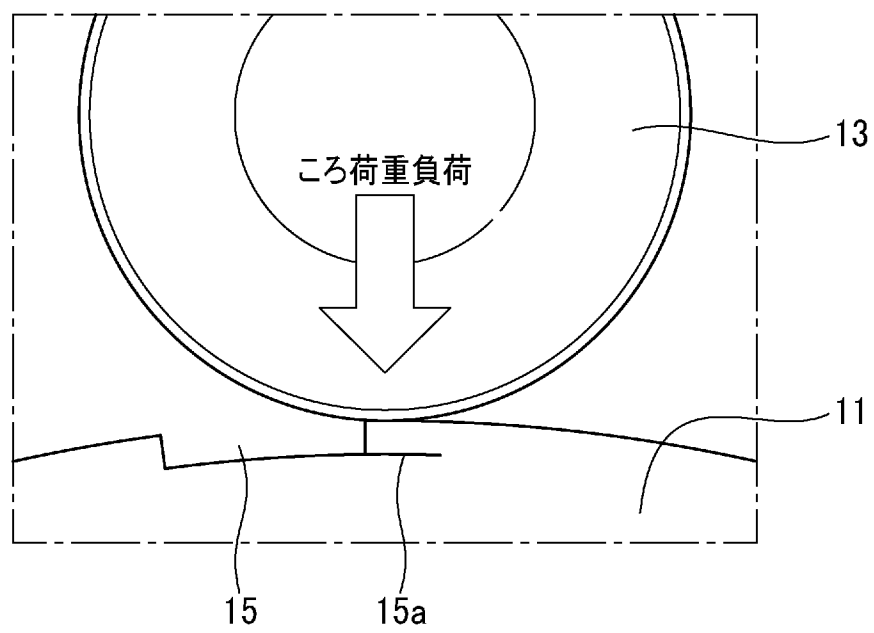
[図6B]



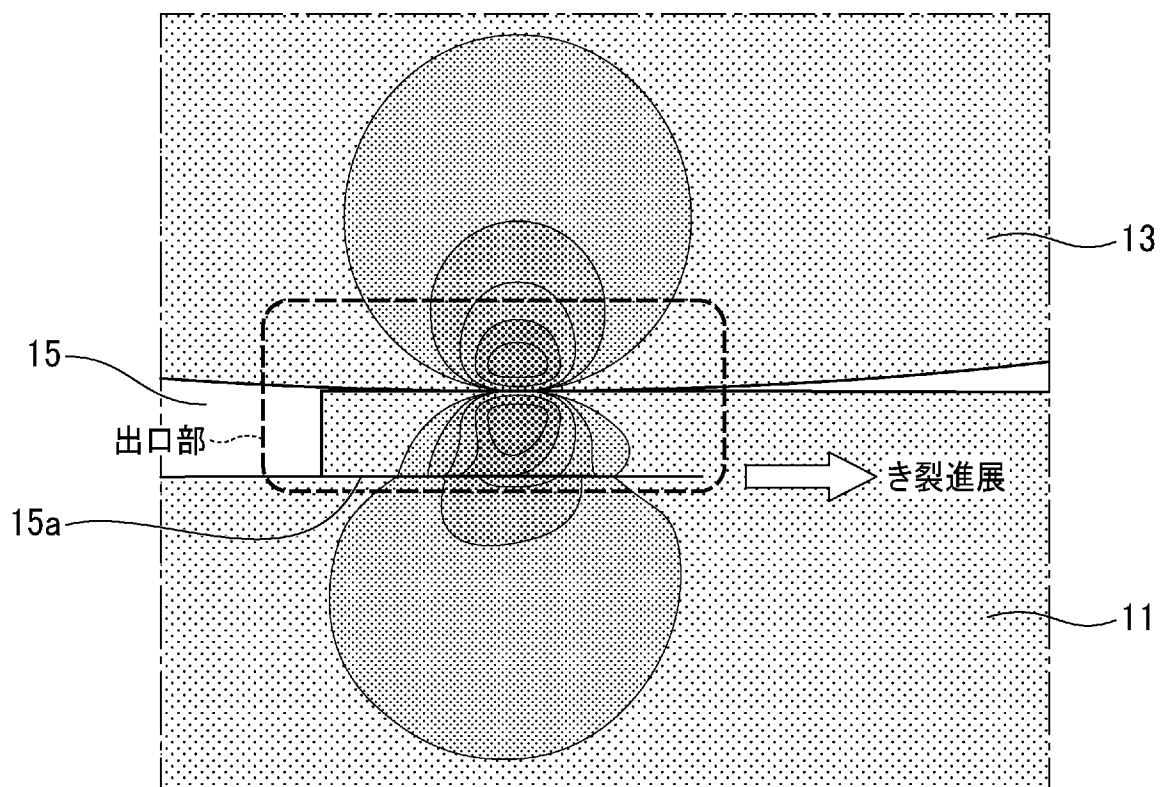
[図7]



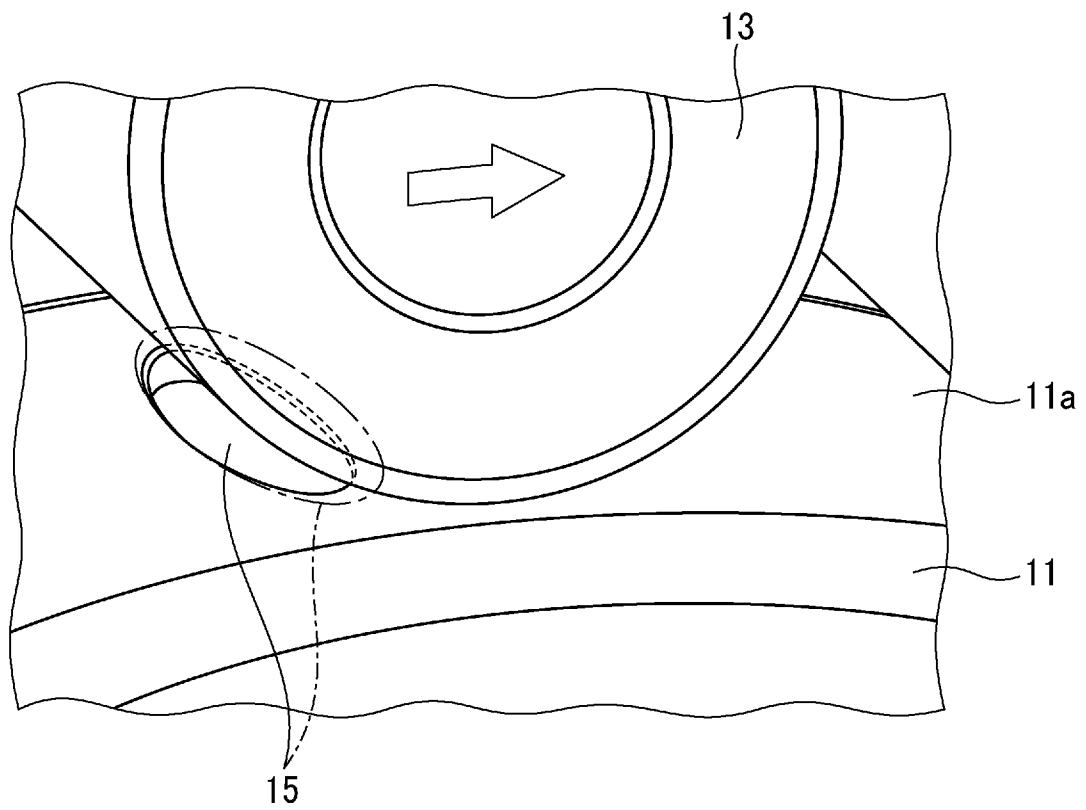
[図8A]



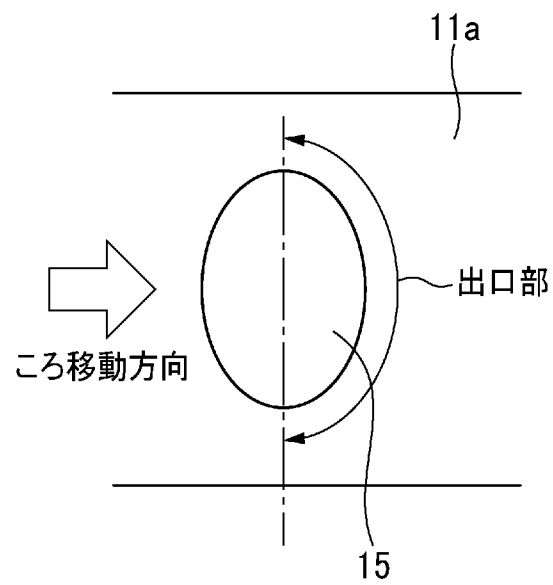
[図8B]



[図10A]



[図10B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/006622

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. F16G19/52 (2006.01) i, G01M13/04 (2019.01) i
FI: G01M13/04, F16C19/52

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. F16C19/52, G01M13/04

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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 2014-020778 A (NTN CORP.) 03 February 2014, paragraphs [0033]-[0061]	1-6
A	US 2011/0224917 A1 (ULUYOL, Onder et al.) 15 September 2011, paragraphs [0029]-[0034]	1-6
A	JP 05-001985 A (NSK LTD.) 08 January 1993, paragraphs [0011]-[0019]	1-6



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
23.03.2020

Date of mailing of the international search report
31.03.2020

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/JP2020/006622

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	橋本翔他, 転がり軸受のはく離強度に及ぼす微小欠陥寸法の影響 (第 2 報: 応力拡大係数に基づくドリル穴を有する転がり軸受のはく離強度の評価), 日本機械学会論文集, 2017, vol. 83, no. 852, pp. 1-12, DOI:10.1299/transjsme.16-00585, in particular, "3. Quantitative Evaluation of Rolling Fatigue Strength with Consideration of Small Cracks Originating from Drilled Holes" (HASHIMOTO, Sho et al. Effect of small defect on the flaking strength of rolling bearings (Part 2: Evaluation of the flaking strength of rolling bearing having a small drilled hole based on stress intensity factor). Transactions of the JSME.)	1-6
A	TOUMI, M. Y. et al., Numerical simulation and experimental comparison of flaw evolution on a bearing raceway: Case of thrust ball bearing, Journal of Computational Design and Engineering, 2018, vol. 5, pp. 427-434, DOI.org/10.1016/j.jcde.2018.01.004, in particular, [2.2 FE modeling]	1-6
X	千布剛敏他, 風力発電機用円筒ころ軸受のはく離拡大予測手法, NSK TECHNICAL JOURNAL, 21 January 2019, no. 691, pp. 65-73, entire text, all drawings (CHIFU, Taketoshi et al. Analysis Prediction Technique of Flaking Expansion in Roller Bearings for Wind turbines.)	1-6
E, A	WO 2020/040280 A1 (NSK LTD.) 27 February 2020, paragraphs [0021]-[0037]	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/006622

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2014-020778 A	03.02.2014	US 2015/0168254 A1 paragraphs [0058]– [0090] WO 2014/010514 A1 EP 2873961 A1 AU 2013287853 A1 CN 104471366 A EP 2365310 A1	
US 2011/0224917 A1	15.09.2011		
JP 05-001985 A	08.01.1993	(Family: none)	
WO 2020/040280 A1	27.02.2020	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F16C 19/52(2006.01)i; G01M 13/04(2019.01)i FI: G01M13/04; F16C19/52		
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）） F16C19/52; G01M13/04		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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 2014-020778 A (NTN株式会社) 03.02.2014 (2014-02-03) [0033]-[0061]	1-6
A	US 2011/0224917 A1 (ULUYOL Onder et al.) 15.09.2011 (2011-09-15) [0029]-[0034]	1-6
A	JP 05-001985 A (日本精工株式会社) 08.01.1993 (1993-01-08) [0011]-[0019]	1-6
A	橋本 翔 他, 転がり軸受のはく離強度に及ぼす微小欠陥寸法の影響（第2報：応力拡大係数に基づくドリル穴を有する転がり軸受のはく離強度の評価）, 日本機械学会論文集, 2017, Vol.83, No.852, pp.1-12, DOI:10.1299/transjsme.16-00585 特に「3. ドリル穴から発生する微小き裂の力学状態を考慮した転がり疲労強度の定量評価」欄	1-6
A	TOUMI M.Y. et al., Numerical simulation and experimental comparison of flaw evolution on a bearing raceway: Case of thrust ball bearing, Journal of Computational Design and Engineering, 2018, Vol.5, pp.427-434, DOI.org/10.1016/j.jcde.2018.01.004 特に「2.2 FE modeling」	1-6
☒ 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抵触するものではなく、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 23.03.2020		国際調査報告の発送日 31.03.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 福田 裕司 2J 9109 電話番号 03-3581-1101 内線 3252

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
X	千布 剛敏 他, 風力発電機用円筒ころ軸受のはく離拡大予測手法, N S K T E C H N I C A L J O U R N A L, 2019.01.21, No. 691, pp. 65-73 全文, 全図	1-6
E, A	W0 2020/040280 A1 (日本精工株式会社) 27.02.2020 (2020 - 02 - 27) [0021]-[0037]	1-6

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/006622

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2014-020778	A	03.02.2014	US 2015/0168254 A1 [0058]-[0090] WO 2014/010514 A1 EP 2873961 A1 AU 2013287853 A1 CN 104471366 A	
US	2011/0224917	A1	15.09.2011	EP 2365310 A1	
JP	05-001985	A	08.01.1993	(ファミリーなし)	
WO	2020/040280	A1	27.02.2020	(ファミリーなし)	