

(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10月4日(04.10.2018)



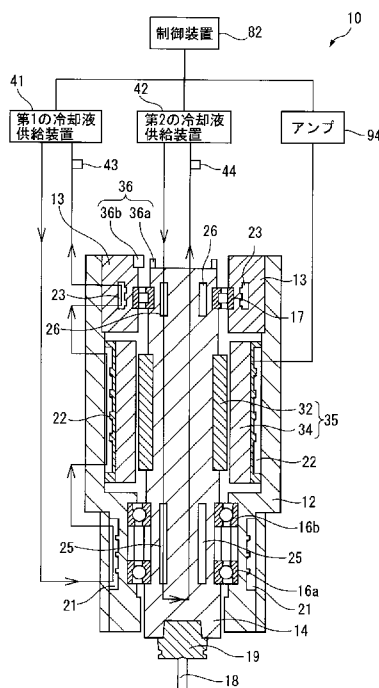
(10) 国際公開番号
WO 2018/179280 A1

- (51) 国際特許分類:
F16C 35/067 (2006.01) *F16C 35/063* (2006.01)
B23B 19/02 (2006.01) *F16C 37/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/013401
- (22) 国際出願日: 2017年3月30日(30.03.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社 牧野 フ ラ イ ス 製 作 所 (MAKINO MILLING MACHINE CO., LTD.)
 [JP/JP]; 〒1528578 東京都目黒区中根 2 丁
 目 3 番 1 9 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 川田 毅(KAWADA, Takeshi); 〒2430303
 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4 0 2 3 番地 株式
- 会社 牧野 フ ラ イ ス 製 作 所 内 Kanagawa (JP). 根
 深 鉄 平(NEBUKA, Tepei); 〒2430303 神奈川
 県愛甲郡愛川町中津 4 0 2 3 番地 株式 会社
 牧野 フ ラ イ ス 製 作 所 内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 青 木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.);
 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目 5
 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル 青和特許
 法律事務所 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, JP, KE, KG, KH, KN,

(54) Title: MAIN SHAFT DEVICE

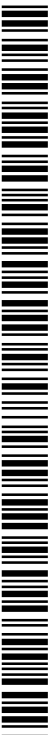
(54) 発明の名称: 主軸装置

[図1]



- 41... FIRST COOLING LIQUID SUPPLY DEVICE
- 42... SECOND COOLING LIQUID SUPPLY DEVICE
- 82... CONTROL DEVICE
- 94... AMPLIFIER

(57) **Abstract:** A main shaft device (10) is attached to a work machine (80). The main shaft device (10) is provided with a main shaft (14) that supports a tool (18) or a workpiece, and a main shaft motor (35) that causes the main shaft (14) to rotate. The main shaft device (10) is provided with bearings (16a, 16b, 17) that are rolling bearings which support the main shaft in an inner race, and a housing (12) and a rear housing (13) that secure an outer race of the bearings (16a, 16b, 17). The housing (12) and the rear housing (13) are formed of a material having a coefficient of thermal expansion



WO 2018/179280 A1

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：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

greater than that of the main shaft (14).

(57) 要約：主軸装置 (10) は、工作機械 (80) に取り付けられる。主軸装置 (10) は、工具 (18) またはワークを支持する主軸 (14) と、主軸 (14) を回転させる主軸モータ (35) とを備える。主軸装置 (10) は、内輪にて主軸を支持する転がり軸受である軸受 (16 a, 16 b, 17) と、軸受 (16 a, 16 b, 17) の外輪を固定するハウジング (12) およびリアハウジング (13) とを備える。ハウジング (12) およびリアハウジング (13) は、主軸 (14) よりも熱膨張係数が大きい材質にて形成されている。

明 細 書

発明の名称：主軸装置

技術分野

[0001] 本発明は、工作機械に取り付けられる主軸装置に関する。

背景技術

[0002] 工作機械は、工具またはワークを回転する主軸装置を備える。例えば、工作機械が工具を回転する主軸装置を備える場合には、工作機械は、工具を軸線の周りに回転させることができる。工作機械は、工具をワークに接触させて、ワークに対して工具を相対的に移動することにより、所望の形状にワークを加工することができる。主軸装置は、工具が連結された主軸を備える。主軸は、軸受を介してハウジングに支持されている。主軸が回転することにより、工具またはワークが回転する。

[0003] 工作機械では、切削の種類に応じて工具またはワークを高速で回転させる場合がある。主軸が高速で回転する主軸装置には、主軸を支持する軸受として転がり軸受を採用することができる。

[0004] 特開2003-056582号公報には、軸心の冷却液通路およびハウジングの冷却液通路を備える回転軸装置が開示されている。この回転軸装置は、軸心の冷却液通路およびハウジングの冷却液通路に供給する冷却液の温度を制御して、軸受の外輪を軸受の内輪よりもわずかに膨張させることが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2003-056582号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 転がり軸受を備える主軸装置では、転がり軸受に主軸の径方向に予め定められた圧力が加えられる。すなわち、主軸装置は、転がり軸受に予圧が加え

られるように組み立てられる。転がり軸受に与圧を与えることにより、所望の転がり軸受の特性が得られる。適正な予圧の大きさの範囲は予め定められている。

[0007] 主軸装置が駆動して主軸が回転すると、転がり軸受の転動体と内輪との摩擦および転動体と外輪との摩擦により、転がり軸受の温度が上昇する。主軸およびハウジングは、同じ材質で形成されていても、体積が異なるために熱容量が異なる。ハウジングよりも体積が小さい主軸は、熱容量が小さいために温度が上昇しやすい。一方で、主軸よりも体積の大きいハウジングは、熱容量が大きいため温度が上昇しにくい。このために、主軸の膨張量はハウジングの膨張量よりも大きくなる。特に、主軸の径方向の膨張量は、ハウジングの径方向の膨張量よりも大きくなる。このために、主軸が回転すると、軸受に加わる圧力は増大する。主軸の回転速度が大きくなるほど、軸受の温度は上昇する。このために、主軸の高速で回転すると、軸受に作用する圧力が大きくなる。

[0008] また、軸受の内輪は主軸と共に回転するために、内輪には遠心力が作用する。更に、内輪の周りを回転する転動体にも遠心力が作用する。内輪および転動体の遠心力により、軸受に作用する圧力が増大する。特に、主軸が高速で回転すると、軸受に作用する圧力が大きくなる。

[0009] このように、主軸が回転して軸受に加わる圧力が大きくなると、軸受の寿命が短くなったり、軸受が破損したりする場合がある。特に、主軸が高速で回転すると、軸受の寿命が短くなったり、軸受が破損したりする虞がある。

[0010] 本発明は、運転期間中に転がり軸受に加わる圧力を抑制する主軸装置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

[0011] 本発明の主軸装置は、工作機械に取り付けられ、工具またはワークを回転する。主軸装置は、工具またはワークを支持する主軸と、主軸を回転させる主軸モータとを備える。主軸装置は、内輪、転動体、および外輪を有し、内輪にて主軸を支持する転がり軸受と、転がり軸受の外輪を固定する軸受支持

部とを備える。軸受支持部は、主軸よりも熱膨張係数が大きい材質にて形成されている。

[0012] 上記発明においては、主軸装置は、軸受支持部に第1の冷却液を供給する第1の冷却液供給装置を備えることができる。軸受支持部は、第1の冷却液が流れる第1の流路を有することができる。第1の流路は、転がり軸受の外輪の側方に配置されることができる。第1の冷却液供給装置は、第1の冷却液の温度を調整する機能を有し、第1の流路に第1の冷却液を供給することができる。

[0013] 上記発明においては、主軸装置は、第1の冷却液供給装置を制御する制御装置を備えることができる。制御装置は、第1の冷却液の温度を制御する第1の温度制御を実施することができる。第1の温度制御は、主軸モータの回転速度が高くなるほど第1の冷却液の温度を上昇させる制御を含むことができる。

[0014] 上記発明においては、主軸装置は、主軸に第2の冷却液を供給する第2の冷却液供給装置を備えることができる。主軸は、第2の冷却液が流れる第2の流路を有することができる。第2の流路は、転がり軸受の内輪の側方に配置されることができる。第2の冷却液供給装置は、第2の冷却液の温度を調整する機能を有し、第2の流路に第2の冷却液を供給することができる。

[0015] 上記発明においては、主軸装置は、第2の冷却液供給装置を制御する制御装置を備えることができる。制御装置は、第2の冷却液の温度を制御する第2の温度制御を実施することができる。第2の温度制御は、主軸モータの回転速度が高くなるほど第2の冷却液の温度を低下させる制御を含むことができる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、運転期間中に転がり軸受に加わる圧力を抑制する主軸装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]実施の形態における主軸装置の概略断面図である。

[図2]実施の形態における工作機械のブロック図である。

[図3]実施の形態における主軸モータの回転速度と転がり軸受に加わる圧力との関係を示すグラフである。

[図4]実施の形態における主軸モータの回転速度と第1の冷却液の目標温度との関係を示すグラフである。

[図5]実施の形態における主軸モータの回転速度と第2の冷却液の目標温度との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] 図1から図5を参照して、実施の形態における主軸装置について説明する。本実施の形態の主軸装置は、工作機械に取り付けられている。本実施の形態の工作機械は、加工プログラムに基づいて工具とワークとを相対的に移動させて自動的に加工を行う数値制御式の工作機械である。

[0019] 図1に、本実施の形態の主軸装置の概略断面図を示す。本実施の形態では、工具18が配置されている方向を主軸装置10の前側と称し、工具18が配置されている側と反対側を後側と称する。主軸装置10は、中空状のハウジング12と、ハウジング12に支持された主軸14とを含む。主軸14は、円柱状に形成されている。主軸14は、工具ホルダ19を介して工具18を支持している。主軸14は、フロントベアリングとしての軸受16a、16bと、リアベアリングとしての軸受17を介して回転自在に支持されている。本実施の形態の軸受16a、16b、17は、転がり軸受である。転がり軸受は、内輪、外輪、および内輪と外輪との間に配置された転動体を含む。軸受16a、16b、17の内輪は、主軸14を支持する。

[0020] 主軸装置10は、軸受16a、16b、17の外輪を固定する軸受支持部を備える。軸受16a、16bの外輪は、ハウジング12の内面に固定されている。ハウジング12の軸受16a、16bに接触する部分が軸受支持部として機能する。また、主軸装置10は、ハウジング12の内面に固定されたリアハウジング13を含む。リアハウジング13は、軸受17を支持する。軸受17の外輪は、リアハウジング13に固定されている。リアハウジン

グ 1 3 は、軸受支持部として機能する。

- [0021] 主軸装置 1 0 は、主軸 1 4 を回転させる主軸モータ 3 5 を含む。本実施の形態の主軸モータ 3 5 は、ビルトインタイプのモータである。主軸モータ 3 5 は、主軸 1 4 の外面に固定されたロータ 3 2 と、ハウジング 1 2 の内面に固定されたステータ 3 4 とを含む。主軸装置 1 0 は、主軸モータ 3 5 に電気を供給する電気供給装置としてのアンプ 9 4 を含む。
- [0022] 主軸 1 4 の内部は、工具ホルダ 1 9 を保持したり解放したりする機構が配置されている。ワークの加工時には、主軸 1 4 は、工具ホルダ 1 9 を介して工具 1 8 を保持する。主軸モータ 3 5 が駆動することにより、工具 1 8 が主軸 1 4 と共に回転する。
- [0023] 主軸装置 1 0 は、主軸 1 4 の回転速度を検出するための回転角検出器としてのエンコーダ 3 6 を含む。本実施の形態のエンコーダ 3 6 は、ギヤ 3 6 a とエンコーダセンタ 3 6 b とを含む。本実施の形態のギヤ 3 6 a は、主軸 1 4 の後側の端部に配置されている。エンコーダセンタ 3 6 b は、ギヤ 3 6 a と対向するようにリアハウジング 1 3 に固定されている。
- [0024] 本実施の形態における主軸装置 1 0 は、軸受 1 6 a, 1 6 b, 1 7 を冷却液にて冷却可能に形成されている。冷却液としては、冷却水または冷却オイルを用いることができる。
- [0025] ハウジング 1 2 は、第 1 の冷却液が流れる第 1 の流路 2 1, 2 3 を有する。流路 2 1 は、軸受 1 6 a, 1 6 b の位置に対応して形成されている。流路 2 1 は、軸受 1 6 a, 1 6 b の側方に配置されている。流路 2 1 は、軸受 1 6 a, 1 6 b の近傍に形成されている。本実施の形態の流路 2 1 は、軸受 1 6 a, 1 6 b を取り囲むように形成されている。リアハウジング 1 3 は、第 1 の冷却液が流れる第 1 の流路 2 3 を有する。流路 2 3 は、軸受 1 7 の位置に対応して形成されている。流路 2 3 は、軸受 1 7 の側方に配置されている。流路 2 3 は、軸受 1 7 の近傍に形成されている。本実施の形態の流路 2 3 は、軸受 1 7 を取り囲むように形成されている。
- [0026] また、本実施の形態における第 1 の冷却液は、主軸モータ 3 5 を冷却する

ように形成されている。ハウジング12とステータ34を支持する部材との間には、第1の冷却液が流れる第1の流路22が形成されている。

[0027] 主軸14は、第2の冷却液が流れる第2の流路25、26を含む。流路25は、軸受16a、16bの位置に対応して形成されている。流路25は、軸受16a、16bの側方に配置されている。流路25は、軸受16a、16bの近傍に形成されている。流路26は、軸受17の位置に対応して形成されている。流路26は、軸受17の側方に配置されている。流路26は、軸受17の近傍に形成されている。

[0028] 主軸装置10は、軸受支持部に第1の冷却液を供給する第1の冷却液供給装置41を備える。第1の冷却液供給装置41は、ハウジング12およびリアハウジング13に形成された第1の流路21、22、23に、第1の冷却液を供給する。第1の冷却液供給装置41は、第1の冷却液の温度を調整できるように形成されている。本実施の形態の第1の冷却液供給装置41は、冷却液を供給するためのポンプと、冷却液を冷却するためのチラーユニットと、冷却液を加熱するためのヒータとを含む。チラーユニットは、圧縮機、膨張弁、および熱交換器を含む。第1の流路23から第1の冷却液供給装置41に戻る流路の途中には、第1の温度センサ43が配置されている。第1の温度センサ43は、ハウジング12およびリアハウジング13を冷却した後の冷却液の温度を検出する。

[0029] 第1の流路21に第1の冷却液が供給されることにより、軸受16a、16bが冷却される。第1の流路23に第1の冷却液が供給されることにより、軸受17が冷却される。また、第1の流路22に第1の冷却液が供給されることにより、主軸モータ35が冷却される。なお、主軸モータ35を冷却するための第1の流路22には、他の冷却液供給装置から冷却液が供給されていても構わない。すなわち、主軸モータ35を冷却する装置は、軸受を冷却する装置とは別に形成されていても構わない。

[0030] 主軸装置10は、主軸14に第2の冷却液を供給する第2の冷却液供給装置42を備える。第2の冷却液供給装置42は、主軸14に形成された第2

の流路 25, 26 に、第 2 の冷却液を供給する。第 2 の冷却液供給装置 42 は、第 2 の冷却液の温度を調整できるように形成されている。本実施の形態の第 2 の冷却液供給装置 42 は、第 1 の冷却液供給装置 41 と同様に、冷却液を供給するためのポンプと、冷却液を冷却するためのチラーユニットとを含む。第 2 の流路 25 から第 2 の冷却液供給装置 42 に戻る流路の途中には、第 2 の温度センサ 44 が配置されている。第 2 の温度センサ 44 は、主軸 14 を冷却した後の冷却液の温度を検出する。

[0031] 本実施の形態の温度センサ 43, 44 は、主軸 14、ハウジング 12、およびリアハウジング 13 を冷却した後の冷却液の温度を検出するように形成されているが、この形態に限られない。温度センサは、冷却液の温度を検出可能な任意の位置に配置することができる。例えば、温度センサは、冷却液供給装置 41, 42 から流出する冷却液の温度を検出するように配置されていても構わない。または、温度センサは、それぞれの流路 21, 22, 23, 25, 26 を流れる冷却液の温度を検出するように配置されていても構わない。

[0032] 図 2 に、本実施の形態における工作機械のブロック図を示す。図 1 および図 2 を参照して、工作機械 80 は、機械本体 81 と制御装置 82 とを備える。機械本体 81 は、主軸装置 10 と、ワークに対して工具 18 を相対移動させる移動装置 91 とを含む。機械本体 81 には、たとえば、直線送り軸として互いに直交する X 軸、Y 軸および Z 軸が設定されている。移動装置 91 は、工具を X 軸方向に移動させる装置および工具を Y 軸方向に移動させる装置を含む。また、移動装置 91 は、ワークが固定されたテーブルを Z 軸方向に移動させる装置を含む。移動装置 91 としては、この形態に限られず、ワークに対して工具を相対的に移動させる任意の装置を採用することができる。

[0033] 制御装置 82 は、例えば、バスを介して互いに接続された CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、および ROM (Read Only Memory) 等を備えるデジタルコンピュータにて構成されている。工作機械 80 には、ワークを加工する手順が設定された加工プログラム 78 が入

力される。制御装置 8 2 は、加工プログラム 7 8 に基づいて、機械本体 8 1 を制御する。

[0034] 制御装置 8 2 は、数値制御部 8 3 を含む。数値制御部 8 3 は、加工プログラム 7 8 に基づいて送り軸に関する送り指令を移動装置 9 1 に送出する。移動装置 9 1 は、送り指令に基づいてワークと工具 1 8 との相対移動を行う。制御装置 8 2 は、主軸装置 1 0 を制御するための主軸制御部 8 4 を含む。数値制御部 8 3 は、加工プログラム 7 8 に基づいて、主軸を制御する主軸指令を主軸制御部 8 4 に送出する。加工プログラム 7 8 には、主軸モータ 3 5 の回転速度が定められている。主軸指令には、例えば主軸モータ 3 5 の回転速度に関する指令および冷却液の流量および温度に関する指令が含まれる。

[0035] 主軸制御部 8 4 は、主軸指令に基づいて、主軸装置 1 0 を制御する。主軸制御部 8 4 は、主軸モータ 3 5 を制御する主軸モータ制御部 8 6 を含む。主軸モータ制御部 8 6 は、主軸指令に基づいて、主軸モータ 3 5 の動作指令をアンプ 9 4 に送出する。主軸モータ 3 5 の動作指令には、主軸モータ 3 5 の回転速度が含まれる。アンプ 9 4 は、主軸モータの動作指令に基づいて、主軸モータ 3 5 に電気を供給する。主軸モータ 3 5 が駆動することにより、主軸 1 4 が回転する。主軸 1 4 の回転速度は、エンコーダ 3 6 にて検出される。エンコーダ 3 6 の出力は、主軸モータ制御部 8 6 に送信される。主軸モータ制御部 8 6 は、エンコーダ 3 6 の出力に基づいて主軸モータ 3 5 の動作指令を修正することができる。

[0036] 主軸制御部 8 4 は、冷却液供給装置 4 1, 4 2 を制御する冷却液制御部 8 7 を含む。冷却液制御部 8 7 は、動作指令を第 1 の冷却液供給装置 4 1 および第 2 の冷却液供給装置 4 2 に送出する。また、冷却液制御部 8 7 は第 1 の温度センサ 4 3 から第 1 の冷却液の温度を取得する。冷却液制御部 8 7 は、第 2 の温度センサ 4 4 から第 2 の冷却液の温度を取得する。

[0037] 冷却液制御部 8 7 は、主軸モータ制御部 8 6 から主軸モータ 3 5 の回転速度（主軸 1 4 の回転速度）を取得する。冷却液制御部 8 7 は、主軸モータ 3 5 の回転速度に応じた冷却液の温度となるように、第 1 の冷却液供給装置 4

1 および第2の冷却液供給装置42を制御する。例えば、温度センサ43、44から取得した冷却液の温度が予め定められた目標温度よりも高い場合に、冷却液制御部87は、冷却液の温度を下げるように冷却液供給装置41、42を制御する。

[0038] 制御装置82は、工作機械80に関する情報を記憶する記憶部85を含む。例えば、記憶部85は、加工プログラム78、冷却液の目標温度、および冷却液の目標流量を記憶する。特に、記憶部85は、主軸モータ35の回転速度に対応する第1の冷却液の目標温度および第2の冷却液の目標温度を記憶する。主軸モータ35の回転速度と冷却液の目標温度との関係は、数式で予め定められている。記憶部85は、この数式を記憶する。または、主軸モータ35の回転速度と冷却液の目標温度との関係は、対応表にて予め定められていても構わない。記憶部85は、この対応表を記憶しても構わない。

[0039] 図1を参照して、本実施の形態の主軸装置10の軸受支持部は、主軸14よりも熱膨張係数が大きい材質にて形成されている。本実施の形態においては、ハウジング12の熱膨張係数は、主軸14の熱膨張係数よりも大きい。また、リアハウジング13の熱膨張係数は、主軸14の熱膨張係数よりも大きい。本実施の形態では、主軸14は炭素鋼にて形成され、ハウジング12およびリアハウジング13は、アルミニウム合金にて形成されている。主軸14の材質および軸受支持部の材質は、この形態に限られない。軸受支持部の熱膨張係数が主軸の熱膨張係数よりも大きくなる任意の材質を採用することができる。例えば、主軸の材質として炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を採用し、ハウジングの材質としてアルミニウム合金を採用することができる。

[0040] 図3に、主軸の回転速度と運転時に軸受に加わる圧力との関係のグラフを示す。ここでは、フロントベアリングとしての軸受16a、16bに加わる圧力を例示するが、リアベアリングとしての軸受17に加わる圧力も同様の傾向を有する。主軸装置10は、転がり軸受に予め定められた圧力（予圧）が加わるように組み立てられる。主軸装置10が停止している状態において

、転がり軸受には圧力が加えられている。

[0041] 図3には、主軸の材質および軸受支持部の材質が同一の比較例の主軸装置のグラフが示されている。比較例の主軸装置は、例えば、主軸、ハウジング、およびリアハウジングが炭素鋼にて形成されている。比較例の主軸装置は、第1の冷却液供給装置および第2の冷却液供給装置を備える。

[0042] 図4に、第1の冷却液の目標温度のグラフを示す。図5に、第2の冷却液の目標温度のグラフを示す。図4および図5に示すグラフでは、横軸は主軸モータ35の回転速度を示し、縦軸は冷却液の目標温度を示している。グラフの冷却液の目標温度は、制御装置82の記憶部85に記憶された目標温度に対応する。

[0043] 図4を参照して、比較例の主軸装置では、回転速度に関わらずに、第1の冷却液の温度が一定になるように第1の冷却液供給装置41を制御する。図5を参照して、比較例の主軸装置では、回転速度に関わらずに、第2の冷却液の温度が一定になるように第2の冷却液供給装置42を制御する。本実施の形態では、このような一定に維持する温度を基準温度 T_r と称する。基準温度 T_r は、例えば、工作機械が配置されている部屋の気温または工作機械のベッドの温度等を採用することができる。第1の冷却液供給装置41の基準温度 T_r と第2の冷却液供給装置42の基準温度 T_r は、同じ値であっても異なる値であっても構わない。以後、第1の冷却液供給装置41の基準温度を T_{r1} にて示し、第2の冷却液供給装置42の基準温度を T_{r2} にて示す。

[0044] 主軸が回転することにより、軸受の内輪と転動体と摩擦および外輪と転動体との摩擦により、軸受の温度が上昇する。図3を参照して、比較例の主軸装置では、第1の冷却液の温度および第2の冷却液の温度を一定に維持しているが、冷却液の流路21, 23, 25, 26は、軸受16a, 16b, 17から離れている。このために、冷却液の温度と軸受16a, 16b, 17の温度とに差が生じる。主軸モータ35の回転速度が上昇すると、軸受16a, 16b, 17の温度は上昇する。さらに、主軸14が回転すると、軸受

16 a, 16 b, 17の内輪に対して外側に向かう方向の遠心力が作用する。外輪は固定されているために、主軸モータ35の回転速度が上昇すると軸受16 a, 16 b, 17に加わる圧力が増大する。

[0045] このように、主軸モータ35の回転速度が大きくなるほど、軸受16 a, 16 b, 17の温度が上昇して膨張量が大きくなる。また、主軸14の回転速度が大きくなるほど遠心力が大きくなる。このために、主軸モータ35の回転速度が大きくなるほど、軸受16 a, 16 b, 17に加わる圧力が増大する。

[0046] 特に、本実施の形態における主軸装置10および比較例の主軸装置では、主軸が高速にて回転する。高速の回転速度としては、例えば、20000 rpm以上を例示することができる。比較例の主軸装置では、高速の領域において軸受に加わる圧力の上昇幅は大きくなる。

[0047] 図3には、比較例から材質を変更した主軸装置の実施例が示されている。この主軸装置では、冷却液制御部87は、比較例の主軸装置と同様に、第1の冷却液の温度および第2の冷却液の温度を一定に維持する制御を実施している。本実施の形態における主軸装置10では、ハウジング12の熱膨張係数およびリアハウジング13の熱膨張係数が、主軸14の熱膨張係数よりも大きい。すなわち、軸受支持部の熱膨張係数は、主軸の熱膨張係数よりも大きい。同一の上昇幅にて温度が上昇すると、軸受支持部の膨張量は、主軸14の膨張量よりも大きくなる。

[0048] 軸受16 a, 16 b, 17の温度が上昇したときに、軸受支持部の径方向の膨張量は、主軸14の径方向の膨張量よりも大きくなる。このために、軸受16 a, 16 b, 17に加わる圧力の上昇を抑制することができる。材質を変更した主軸装置における軸受に加わる圧力は、比較例の主軸装置における軸受に加わる圧力よりも小さくなる。特に、主軸14を高速にて回転させた時に、軸受16 a, 16 b, 17に加わる圧力の上昇を抑制することができる。この結果、軸受16 a, 16 b, 17の破損を抑制したり、軸受16 a, 16 b, 17の寿命が短くなることを抑制したりすることができる。

[0049] 本実施の形態における主軸装置10は、軸受16a, 16b, 17が、ハウジング12およびリアハウジング13に固定されている装置に好適である。例えば、フロントベアリングに加わる圧力を調整する為のばねが主軸装置の内部に配置されている場合がある。このような主軸装置では、軸受の温度が上昇したときに、ばねにより軸受に加わる圧力の上昇を抑制することができる。一方で、軸受が軸受支持部に固定されている主軸装置では、主軸装置の運転に伴って軸受に加わる圧力が上昇しやすい。このために、本発明の効果が顕著になる。

[0050] 図1および図2を参照して、本実施の形態においては、第1の冷却液供給装置41により、ハウジング12およびリアハウジング13に供給する第1の冷却液の温度を調整することができる。冷却液制御部87は、第1の流路21~23に供給する冷却液の温度を変化させる第1の温度制御を実施することができる。なお、本実施の形態では、第1の冷却液の流量を一定に制御しているが、この形態に限られず、第1の冷却液の流量を変化させても構わない。

[0051] 主軸モータ35の回転速度が低い領域では、軸受が受ける圧力の上昇幅が小さいために、冷却液の温度が一定の基準温度 T_{r1} になるように制御することができる。図4を参照して、第1の温度制御において、冷却液制御部87は、主軸モータ35の回転速度が N_t 以下の領域では、回転速度に依存せず、第1の冷却液の温度を一定に維持する制御を実施する。ここでの例では、第1の冷却液の温度が基準温度 T_{r1} に維持される。回転速度 N_t は、予め定められている。回転速度 N_t は、例えば、軸受16a, 16b, 17が損傷する虞のある回転速度を採用することができる。

[0052] 主軸モータ35の回転速度が N_t よりも大きな領域では、冷却液制御部87は、主軸モータ35の回転速度が大きくなるほど第1の冷却液の温度が高くなるように制御する。すなわち、冷却液制御部87は、主軸モータ35の回転速度が大きくなるほど、基準温度 T_{r1} からの温度上昇幅を大きくする制御を行うことができる。このように、第1の温度制御は、主軸モータ35

の回転速度に応じて第1の冷却液の温度を上昇させる制御を含む。

[0053] 図1、図2、および図4を参照して、主軸制御部84の冷却液制御部87は、主軸モータ35の回転速度（主軸14の回転速度）を主軸モータ制御部86から取得する。冷却液制御部87は、アンプ94に送信する主軸モータ35の動作指令の回転速度を取得する。または、冷却液制御部87は、エンコーダ36の出力値を取得しても構わない。冷却液制御部87は、第1の温度センサ43から第1の冷却液の温度を取得する。

[0054] 冷却液制御部87は、第1の冷却液の温度が回転速度に基づく目標温度に近づくように、第1の冷却液の温度を調整する。冷却液制御部87は、第1の冷却液供給装置41を制御する。たとえば、第1の冷却液の温度を上げる場合には、冷却液制御部87は、第1の冷却液供給装置41の冷却能力を低下させる制御を実施することができる。または、ヒータを駆動して第1の冷却液の温度を上昇させても構わない。

[0055] 第1の温度制御により、回転速度が N_t よりも大きな領域において、主軸モータ35の回転速度が大きくなるほど、ハウジング12およびリアハウジング13の温度を上昇させることができる。ハウジング12およびリアハウジング13の膨張量を大きくすることができる。

[0056] 図3には、本実施の形態の主軸装置10において第1の温度制御を実施した時の実施例のグラフが示されている。この実施例では、回転速度が N_t よりも大きな領域において、第1の冷却液の温度を変化させる一方で、第2の冷却液の温度を基準温度 T_{r2} に維持する制御が実施されている。回転速度が N_t よりも大きな領域において、ハウジング12およびリアハウジング13の膨張を促進することができる。第1の温度制御を実施することにより、回転速度が N_t よりも大きな領域で、軸受16a、16b、17に加わる圧力の上昇を効果的に抑制できることが分かる。

[0057] 図1および図2を参照して、本実施の形態においては、第2の冷却液供給装置42により、主軸14に供給する第2の冷却液の温度を調整することができる。冷却液制御部87は、第2の流路25、26に供給する冷却液の温

度を変化させる第2の温度制御を実施することができる。なお、本実施の形態では、第2の冷却液の流量を一定に制御しているが、この形態に限られず、第2の冷却液の流量を変化させても構わない。

[0058] 図5を参照して、第2の温度制御において、冷却液制御部87は、主軸モータ35の回転速度が N_t 以下の領域では、回転速度に依存せずに、第2の冷却液の温度を一定に維持する制御を実施する。ここでの例では、第2の冷却液の目標温度が基準温度 T_{r2} に維持される。

[0059] 主軸モータ35の回転速度が N_t よりも大きな領域では、冷却液制御部87は、主軸モータ35の回転速度が大きくなるほど第2の冷却液の温度が低くなるように制御する。すなわち、冷却液制御部87は、主軸モータ35の回転速度が大きくなるほど、基準温度 T_{r2} からの温度低下幅を大きくする制御を行うことができる。このように、第2の温度制御は、主軸モータ35の回転速度に応じて第2の冷却液の温度を低下させる制御を含む。

[0060] 図1、図2、および図5を参照して、冷却液制御部87は、第2の温度センサ44から第2の冷却液の温度を取得する。冷却液制御部87は、第2の冷却液の温度が目標温度に近づくように、第2の冷却液の温度を調整する。冷却液制御部87は、第2の冷却液供給装置42を制御する。例えば、第2の冷却液の温度を下げる場合には、冷却液制御部87は、第2の冷却液供給装置42の冷却能力を上昇させる制御を実施することができる。

[0061] 図3には、本実施の形態の主軸装置10において、第1の温度制御および第2の温度制御を実施した時の実施例のグラフが示されている。この実施例では、回転速度が N_t よりも大きな領域において、第1の冷却液の温度を上昇させると共に第2の冷却液の温度を低下させている。回転速度が大きくなるほど、第1の冷却液の温度と第2の冷却液の温度との差が大きくなる。回転速度が N_t よりも大きな領域において、ハウジング12およびリアハウジング13の膨張を促進することができる。また、回転速度が N_t よりも大きな領域において、主軸14の膨張を抑制することができる。この結果、軸受16a、16b、17に加わる圧力の上昇を効果的に抑制することができる。

- 。
- [0062] 本実施の形態の主軸装置 10 は、第 1 の冷却液供給装置 41 および第 2 の冷却液供給装置 42 を備えるが、この形態に限られず、主軸装置は、第 1 の冷却液供給装置および第 2 の冷却液供給装置のうち、少なくとも一方を備えることができる。第 1 の冷却液供給装置を備える主軸装置は、第 1 の温度制御を実施することができる。第 2 の冷却液供給装置を備える主軸装置は、第 2 の温度制御を実施することができる。または、主軸装置は、冷却液供給装置を備えていなくても構わない。
- [0063] 上記の第 1 の温度制御および第 2 の温度制御においては、主軸モータ 35 の回転速度が N_t よりも大きな領域において冷却液の目標温度を変化させているが、この形態に限られず、任意の回転速度の領域において冷却液の目標温度を変化させることができる。例えば、第 1 の温度制御では、全ての回転速度の領域において、回転速度が大きくなるほど第 1 の冷却液の目標温度を大きくしても構わない。第 2 の温度制御では、全ての回転速度の領域において、回転速度が大きくなるほど第 2 の冷却液の目標温度を小さくしても構わない。
- [0064] 主軸を支持する転がり軸受としては、任意の種類の転がり軸受を採用することができる。例えば、アンギュラー軸受およびコロ軸受などの転がり軸受を採用することができる。
- [0065] 本実施の形態の主軸装置は、工具を保持するが、この形態に限られない。主軸装置は、ワークを保持しても構わない。主軸装置がワークを保持する工作機械としては、旋盤を例示することができる。旋盤では、主軸装置がワークを保持して回転させる一方で、移動装置がワークに対して工具を相対的に移動させることができる。
- [0066] 上記の実施の形態は、適宜組み合わせることができる。上述のそれぞれの図において、同一または相等する部分には同一の符号を付している。なお、上記の実施の形態は例示であり発明を限定するものではない。また、実施の形態においては、請求の範囲に示される形態の変更が含まれている。

符号の説明

[0067]	1 0	主軸装置
	1 2	ハウジング
	1 3	リアハウジング
	1 4	主軸
	1 6 a, 1 6 b, 1 7	軸受
	1 8	工具
	2 1, 2 3, 2 5, 2 6	流路
	3 5	主軸モータ
	3 6	エンコーダ
	4 1, 4 2	冷却液供給装置
	4 3, 4 4	温度センサ
	8 2	制御装置
	8 6	主軸モータ制御部
	8 7	冷却液制御部

請求の範囲

- [請求項1] 工作機械に取り付けられ、工具またはワークを回転する主軸装置であって、
工具またはワークを支持する主軸と、
前記主軸を回転させる主軸モータと、
内輪、転動体、および外輪を有し、内輪にて前記主軸を支持する転がり軸受と、
転がり軸受の外輪を固定する軸受支持部とを備え、
前記軸受支持部は、前記主軸よりも熱膨張係数が大きい材質にて形成されていることを特徴とする、主軸装置。
- [請求項2] 前記軸受支持部に第1の冷却液を供給する第1の冷却液供給装置を備え、
前記軸受支持部は、第1の冷却液が流れる第1の流路を有し、
第1の流路は、前記転がり軸受の外輪の側方に配置されており、
第1の冷却液供給装置は、第1の冷却液の温度を調整する機能を有し、第1の流路に第1の冷却液を供給する、請求項1に記載の主軸装置。
- [請求項3] 第1の冷却液供給装置を制御する制御装置を備え、
制御装置は、第1の冷却液の温度を制御する第1の温度制御を実施し、
第1の温度制御は、主軸モータの回転速度が高くなるほど第1の冷却液の温度を上昇させる制御を含む、請求項2に記載の主軸装置。
- [請求項4] 前記主軸に第2の冷却液を供給する第2の冷却液供給装置を備え、
前記主軸は、第2の冷却液が流れる第2の流路を有し、
第2の流路は、前記転がり軸受の内輪の側方に配置されており、
第2の冷却液供給装置は、第2の冷却液の温度を調整する機能を有し、第2の流路に第2の冷却液を供給する、請求項1に記載の主軸装置。

- [請求項5] 第2の冷却液供給装置を制御する制御装置を備え、
 制御装置は、第2の冷却液の温度を制御する第2の温度制御を実施
 し、
 第2の温度制御は、主軸モータの回転速度が高くなるほど第2の冷
 却液の温度を低下させる制御を含む、請求項4に記載の主軸装置。

[図2]

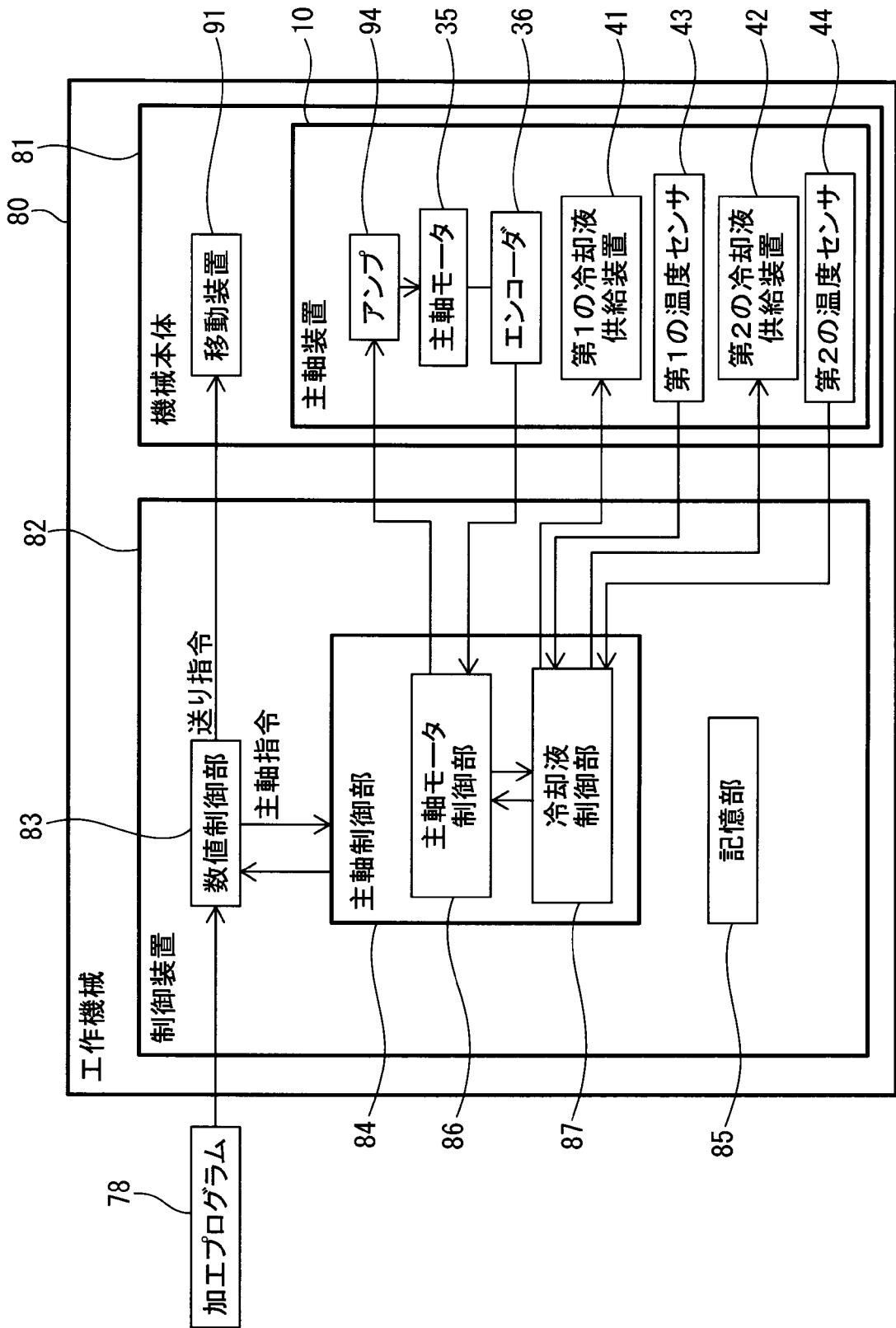
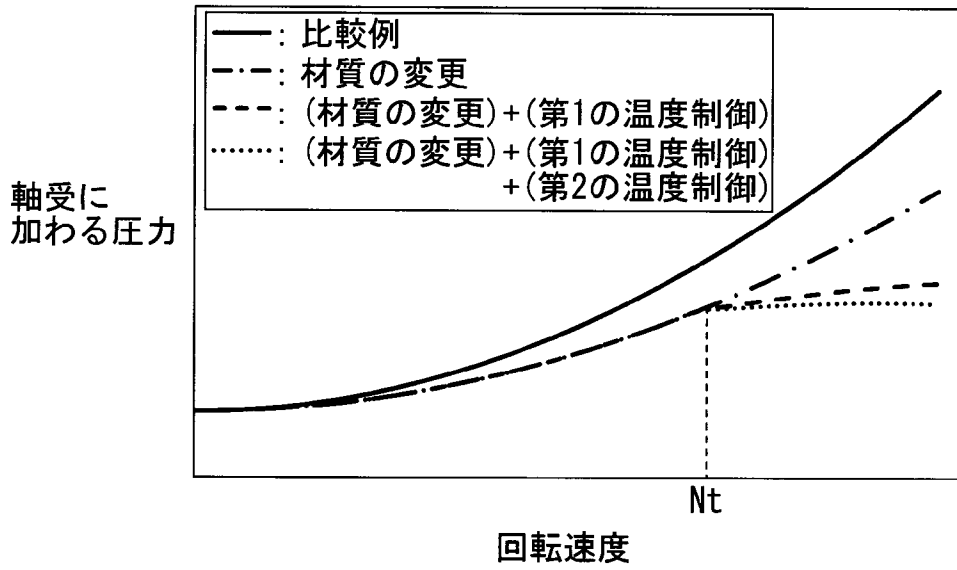


図2

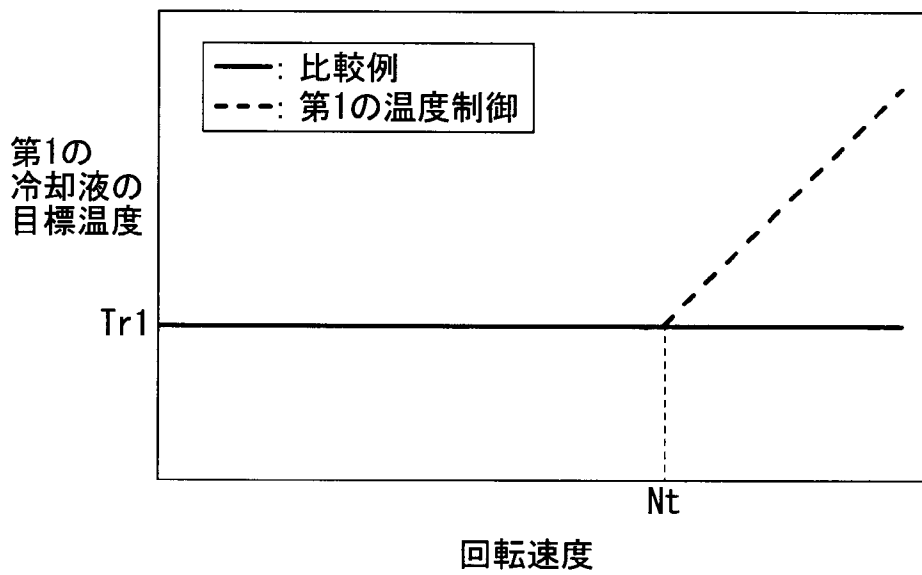
[図3]

図3



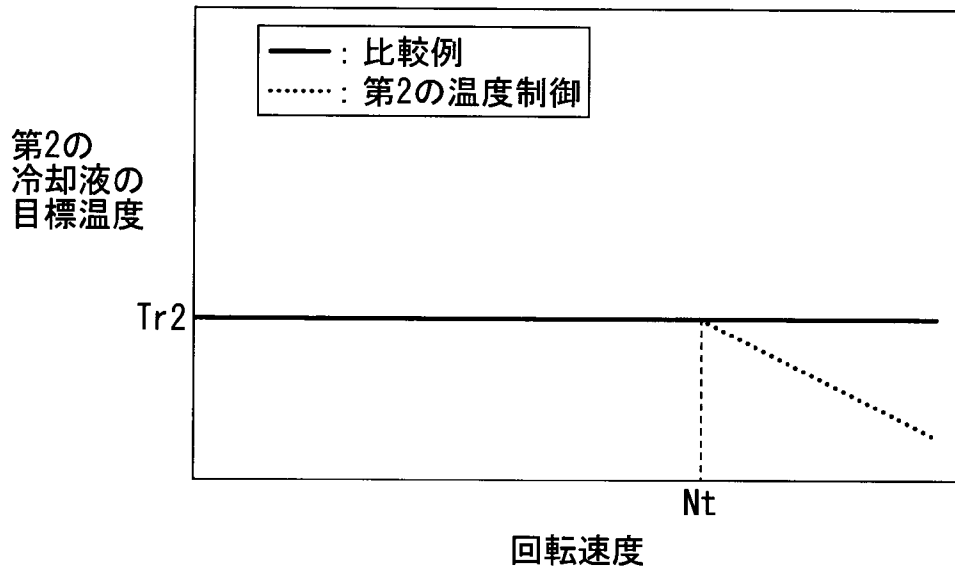
[図4]

図4



[図5]

図5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/013401

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F16C35/067(2006.01)i, B23B19/02(2006.01)i, F16C35/063(2006.01)i, F16C37/00(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)
 F16C35/067, B23B19/02, F16C35/063, F16C37/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
X Y	JP 04-087704 A (Nippondenso Co., Ltd.), 19 March 1992 (19.03.1992), page 2, lower right column, line 20 to page 4, upper right column, line 4; fig. 1, 2 (Family: none)	1 2-5
Y	JP 2003-056582 A (Makino Milling Machine Co., Ltd.), 26 February 2003 (26.02.2003), paragraphs [0009] to [0029]; fig. 1 to 3 & US 2004/0013335 A1 paragraphs [0032] to [0069]; fig. 1 to 5 & WO 2003/016733 A1 & EP 1418352 A1	2-5
A	JP 06-010949 A (Riken Corp.), 21 January 1994 (21.01.1994), (Family: none)	1

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 20 June 2017 (20.06.17)	Date of mailing of the international search report 04 July 2017 (04.07.17)
--	---

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/JP2017/013401

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 2011-167799 A (NTN Corp.), 01 September 2011 (01.09.2011), (Family: none)	2-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F16C35/067(2006.01)i, B23B19/02(2006.01)i, F16C35/063(2006.01)i, F16C37/00(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. F16C35/067, B23B19/02, F16C35/063, F16C37/00

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X	JP 04-087704 A（日本電装株式会社）1992.03.19,	1
Y	第2頁右下欄第20行-第4頁右上欄第4行, 図1, 2（ファミリーなし）	2-5
Y	JP 2003-056582 A（株式会社牧野フライス製作所）2003.02.26, 段落[0009]-[0029], 図1-3 & US 2004/0013335 A1, 段落[0032]-[0069], 図1-5 & WO 2003/016733 A1 & EP 1418352 A1	2-5

☑ 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

20.06.2017

国際調査報告の発送日

04.07.2017

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）

西藤 直人

3 J

3119

電話番号 03-3581-1101 内線 3328

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 06-010949 A (株式会社リケン) 1994. 01. 21, (ファミリーなし)	1
A	JP 2011-167799 A (NTN株式会社) 2011. 09. 01, (ファミリーなし)	2-5