

ラジアル玉軸受保持器の運動

(第3報 玉数を変えたときの運動および玉の自転すべり
接触による運動への影響について)

矢 沢 信 八*

(昭和47年10月31日受理)

1. 緒 言

第2報¹⁾において、保持器の回転運動は玉と保持器ポケットとの相対速度によるすべり接触機構によってなされることを明らかにし、それを裏付けるいくつかの運動特性について報告した。

本報は運動特性の中で、保持器の回転速度変動の原因を追求する際に特に問題になった保持器の回転運動に関与する玉数について、これまでの8個に次いで4個および2個と玉数を変えて実験を行ない、その時の運動状況と運動特性についておもに報告する。(この問題は保持器の運動のメカニズムを究明するためのキーポイントとなる重要なものと考えられる。)また玉の自転すべり接触が保持器の運動に影響するかどうかを調べるためにラジアルすきまの大きい(C3)軸受を使用して、接触角を大きくした場合の実験結果についても報告する。

2. 実験方法と試験軸受

2-1 実験装置と測定方法 これは第2報の場合と同じので第2報¹⁾を参照されたい。

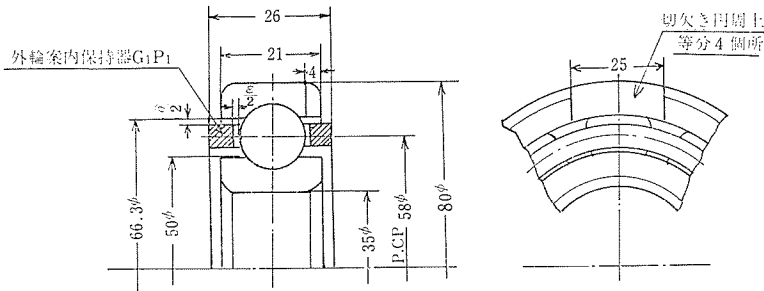
2-2 試験軸受 第2報の運動特性から G_1P_1 保持器も N_1P_1 保持器もともにその特性が等しい理由によって、今回の実験はすべて外輪案内の G_1P_1 保持器だけを使用した。表1に G_1P_1 保持器のすきま量を、表2は試験軸受の回転精度、ラジアルすきま、はめあいおよび接触角などについて示す。なお G_1P_1 保持器はポケット穴が円周等分8ヶ所明いているもので、これを用いて玉数4個および2個の場合についての実験を行なった。

2-3 実験条件 実験条件はスラスト荷重 $T = 40\text{kg}$ 、保持器回転速度 $340\text{r}\cdot\text{p}\cdot\text{m}$ 、#60スピンドル油潤滑のものについてだけ行なった。

3. 実験結果と考察

3-1 保持器の振動変位について 玉数を円周等分4個および2個の場合の振動変位と波形を図1および図2に示す。ともに半径方向(水平および鉛直)変位は8個の場合

* 機械工学教室 助手



保持器	すきま量	案内すきま δ	ポケットすきま ε
外輪案内保持器 G_1P_1		342 μ	640 μ

表1 試験軸受 #6307 の主要寸法と保持器のすきま量

単位： μ

精度 軸受	外輪ラジ アル振レ	外輪アキ シヤル振 レ	内輪ラジ アル振レ	内輪アキ シヤル振 レ	内輪 輪 横 振レ	ラジアル すきま	軸との はめあい	接触角 α
No. 2	2	5	2	7	5	4 C2	しまりば め 3	3°30'
No. 11	3	12	2	10	10	24 C3	しまりば め 1	12°00'

表2 試験軸受の回転精度，ラジアルすきま，はめあいおよび接触角

の変位量²⁾とほとんど変わらない。軸方向の変位量は2個の場合非常に大きく表われているが、4個の場合は8個のときとだいたい同じくらいである。2個の場合の変位量の大きい理由として、あとでこの点について再度触れるが、玉が2個だけなので軸方向変位に干渉するほかの玉がないためにこのように大きく出たものと考えられる。

3-2 軸方向運動について 保持器の運動特性の中で顕著なものとして軸方向の平行運動があるが、玉数4個と2個について軸方向の運動を軸左と軸右の2点で測定したものが図3と4である。図から明らかに両者ともに平行運動していることが分かる。ここで波形を観察すると、両者において保持器の1回転中に2山出ていることが見られる。またこれまでの8個についての実験のものを調べてみると、2個の場合のように著しくないが傾向として2山が出ている。(もちろんこれまでの実験中で1回転につき1山のものもあるけれど、一般的な傾向として波形はかなりくずれてはいるが2山のものが多い。)平行運動の原因としては第2報で考察したように保持器がもつジャイロ効果によるものと考えられる。

3-3 保持器の回転軸の傾きについて 保持器の回転軸特性として、保持器は水平方向において傾きをもっていることを第2報で述べた。今回の4個と2個について、第2報の場合と同じ方法で測定したものが図5と6である。やはり両図とも8個のときと同じく、0°および180°附近で山あるいは谷があることから、だいたい水平方向において傾いて回転していることが分かる。この傾きの原因については現在検討中であるが、玉の不等分配置や保持器の回転軸の垂れ下りなどが原因していると思われる。

3-4 保持器の回転運動に関与する玉数の推定 3-1の振動変位や、3-2と3

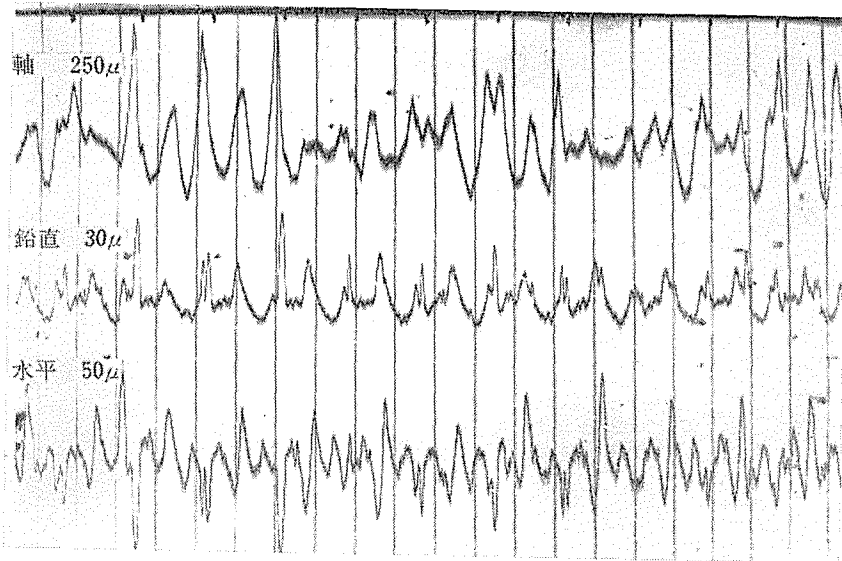


図1 玉数4個の場合の保持器の運動状況
(G_1P_1 保持器, $340r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #60スピンドル油)

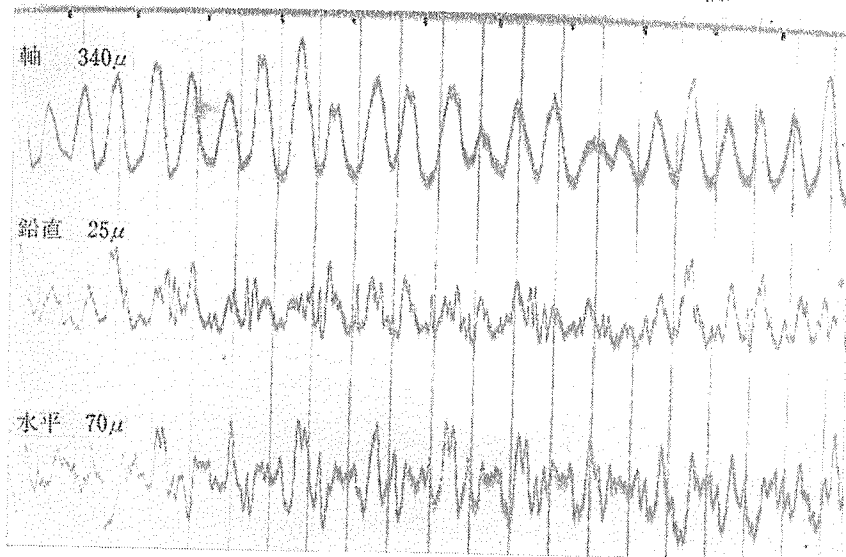


図2 玉数2個の場合の保持器の運動状況
(G_1P_1 保持器, $340r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #50スピンドル油)

一3の運動特性から玉8個のときとその傾向がほとんど同じことから、保持器の回転軸の位置が玉の公転軸の下方にあることそして回転速度が変動していることを改めて測定しなくても8個のときと同じであることが推定できる。以上玉数が4個と2個の場合の運動変位と特性が8個の場合と同じく、保持器1回転中に軸方向に2回振動していることから、保持器の運動に関与している玉は8個の内の2個で、しかも対称位置にあるものと推定で

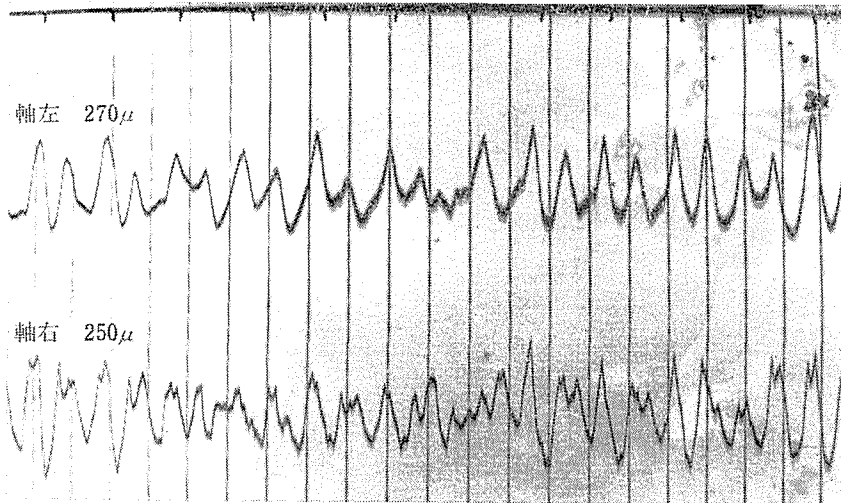


図3 玉数4個のときの軸方向運動
(G_1P_1 保持器, $340r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #60スピンドル油)

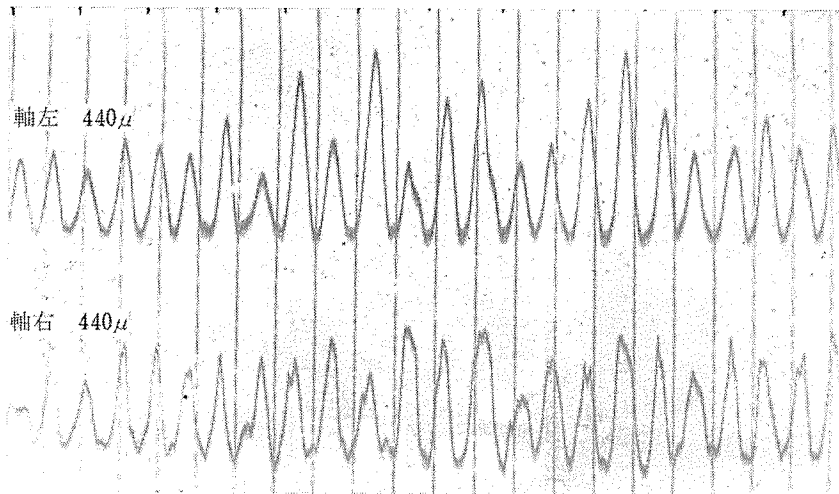


図4 玉数2個のときの軸方向運動
(G_1P_1 保持器, $340r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #60スピンドル油)

きる。元来、保持器の運動に関与する玉数については軸受研究者の関心事であって、一般には2個ないし3個ではないだろうかという想定はあった。次に軸方向変位量と波形について2個の場合と4個および8個の場合について比較検討すると、既に述べたように2個の場合には変位量が非常に大きく、波形は1回転中に明瞭に2山表われている。これに対して4個および8個のときは変位量は2個の場合に比べて小さく、波形がかなりくずれている。4個に対して8個の場合はよりくずれが大きくなる。この変位の小さくなることおよび波形がくずれることは運動に関与する2個以外の玉の干渉によるものと考え、干渉する

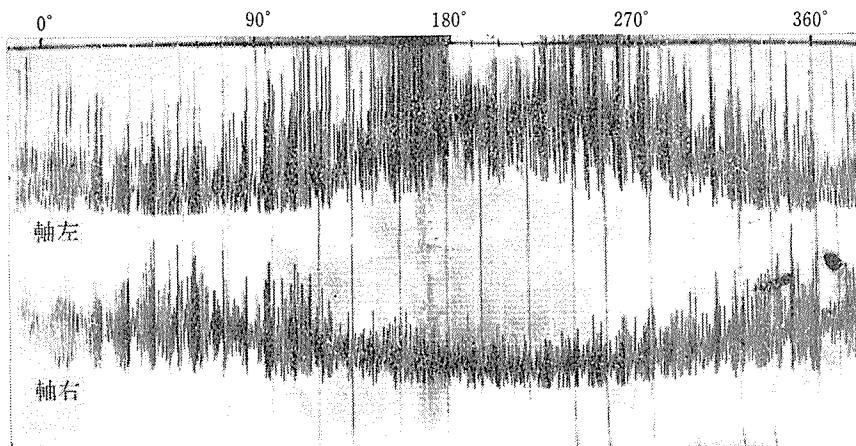


図5 玉数4個のときの保持器の回転軸の傾き
(G_1P_1 保持器, $620r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #60スピンドル油)

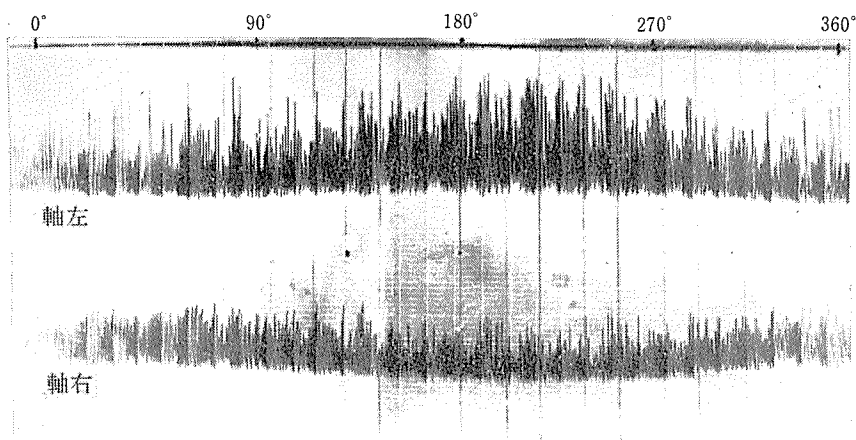


図6 玉数2個のときの保持器の回転軸の傾き
(G_1P_1 保持器, $340r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #60スピンドル油)

玉数が多くなると波形のくずれもより大きくなる訳である。以上の考察によって保持器の運動に関与する玉と、干渉する玉とは本質的にその機能が異なることが明らかになった。なお本研究においては#6307軸受玉数8個のものについて実験を進めて来たが、玉数が奇数個たとえば7個、5個のようなときには如何なる運動を行ない、またその運動に関与する玉数は何個かということについては今後の実験で改めて行なう予定である。

3-5 保持器の回転駆動機構について 保持器の回転運動を支配している玉は対称位置にある2個1組であることが推定されたが、この2個の玉によって保持器はどのように回転駆動されているか、そして玉とポケット間でどのような相互作用がなされているかについて以下考察を行なう。

既に明らかにしたように、軸方向に平行運動している保持器は水平方向において傾きを

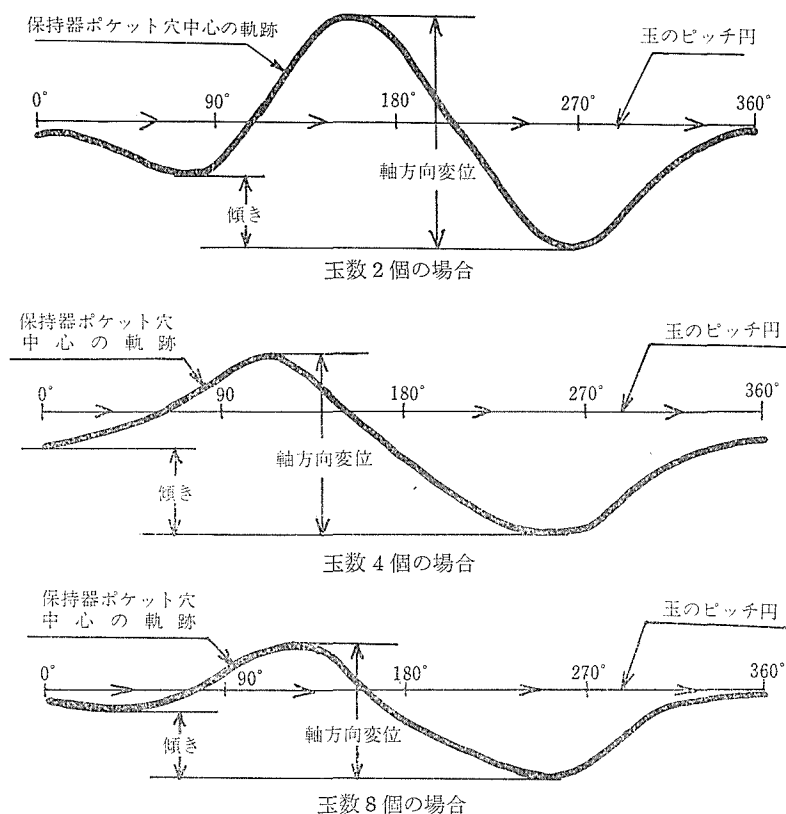


図7 保持器の傾きによって修正した軸方向運動
 (G_1P_1 保持器, $340r \cdot p \cdot m$, $T=30kg$, $\#60$ スピンドル油)

持っているので、これを玉の一公転と関連して考える必要から、軸方向運動を水平方向の傾き量で修正すると図7のような曲線が得られる。いずれの曲線もだいたい同じ傾向にあって、水平方向の直線は玉のピッチ円に相当し、修正された曲線が玉のはいつているポケット穴中心の運動軌跡である。図中に記されているように2つの谷の高さの差が保持器の傾きを、谷から山までの高さが軸方向の変位量になる。またこの曲線において、谷に向う曲線の傾斜はゆるく、山に向う傾斜が急であることにたいへん特徴をもっている。玉数2個の場合が最も典型的な状態であるので、モデル図として作成したのが図8である。この図について以下説明すると、図8—bに記載の対称位置にある2個の玉、①と②のそれぞれが $90^\circ \sim 270^\circ$ の下半円を公転するとき、保持器に対してだいたい $90^\circ \sim 150^\circ$ の間で制動を、 $150^\circ \sim 270^\circ$ で駆動を行ないながら、 270° に到達した玉は次に 90° に来た玉に保持器を渡すことによって、交互にリレーしながら回転駆動すると考えられる。したがって上半円の $270^\circ \sim 90^\circ$ においては玉とポケット穴は非接触域になる。上述の機構をさらに詳しく説明すると、 $150^\circ \sim 270^\circ$ 間で玉の駆動によって増速されつつある保持器は上半円で玉と非接触状態になって、かつ玉に遅れていた保持器ポケットを 90° 付近で玉に追いつかせ、しか

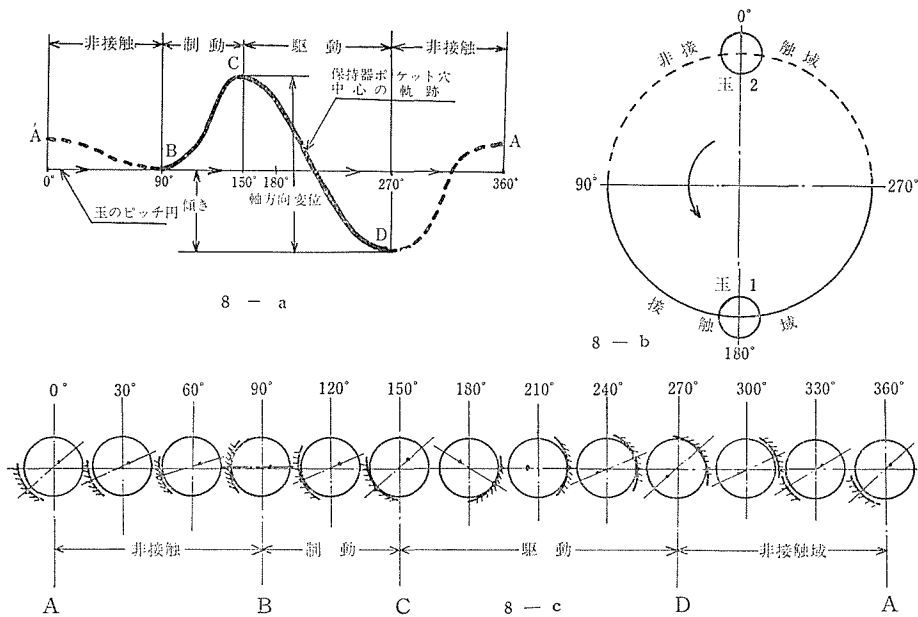


図8 玉数2個によるモデル図

もその点においては玉よりも相対速度が速いためその点から玉を押す状態に変わる。ここで常に一定速度で公転している玉³⁾は逆に保持器に制動を与える結果となる。この制動範囲がだいたい90°~150°間で行なわれるのでかなり急激な制動となる。玉の公転方向と保持器の回転方向とは保持器の傾きの分だけの角度差があるので、制動の際に保持器はBCだけ軸方向に変位させられることになる。次に制動が終わってから150°~270°の間で、第2報¹⁾3-5で説明した理由により玉によって駆動されて増速することになる。この際保持器は玉の公転方向に対して傾いているために軸方向にCD変位させられる。以上2個の玉が交互にこのような作用を保持器に行なうことになる。図8-cは8-aをさらに分かりやすく表わしたもので、玉の中心に対するポケット穴中心の位置および玉とポケット穴との接触と非接触状態が図中に明瞭に示されている。

3-6 玉の自転すべり接触による影響について 保持器の運動が玉と保持器ポケット穴との公転すべり接触によることは今までたびたび論じて来たが、玉とポケット穴とのすべり接触にもう一つ図9-cに示したように自転すべり接触がある。この接触によってポケット穴に作用する摩擦力が保持器の運動に大きく影響するものかどうか、これについて今まであまり検討されなかったし、またこの摩擦力が大きく作用するように工夫した実験もなされていない。そこでこの影響を調べるために表2に記載の軸受No. 11, ラジアルすきまC3を用いると、スラスト荷重によって表2に示すように接触角が大きくなって、図9-aおよびbに示したように玉の自転軸が大きく傾斜することになる。この場合に玉がポケット穴面に対して摩擦力が作用するとき特に軸方向分力が大きく効いて、軸方向の運動にかなり大きく影響を与えることが考えられる。この実験結果が図10に示すような変

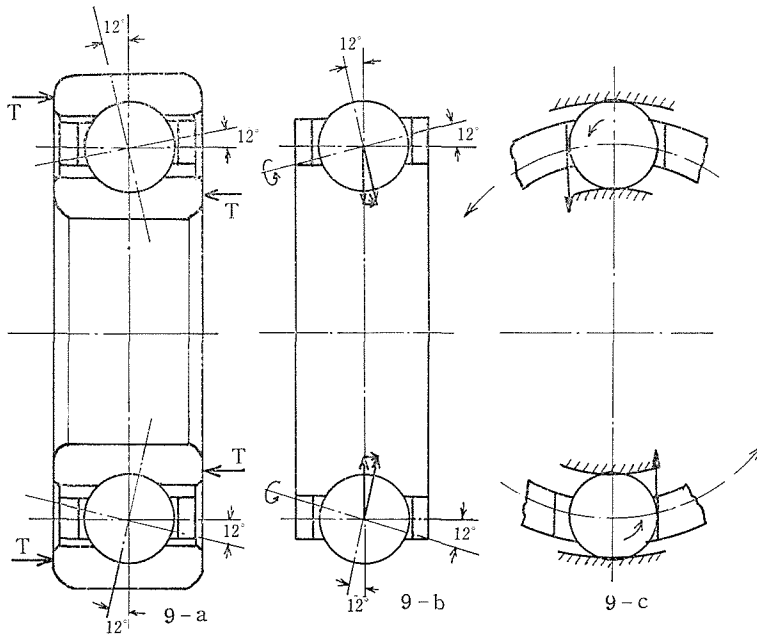


図9 接触角の大きい軸受の場合玉の自転すべり接触が保持器に作用する摩擦力

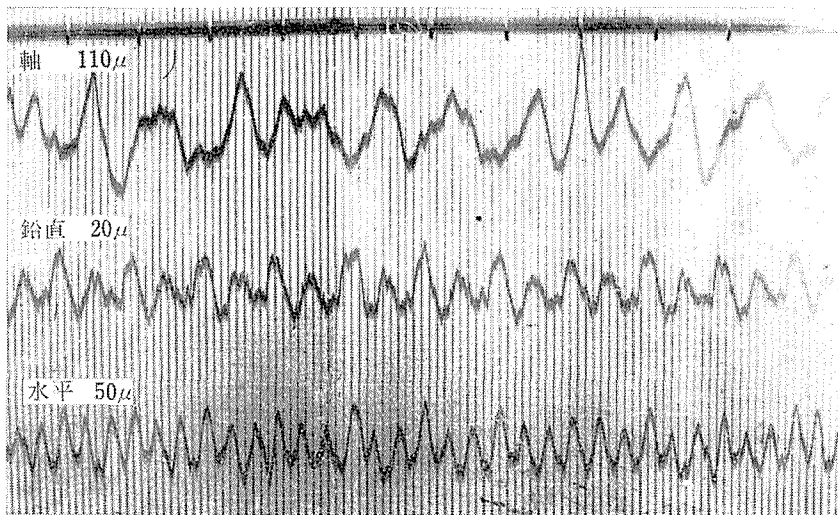


図10 ラジアルすきま C3 軸受の場合の各方向の運動状況
(G_1P_1 保持器, $620r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #60スピンドル油)

位置となってC2すきまの場合²⁾とほとんど同じである。また波形にしても第1報²⁾の図5のスピンドル油の場合に酷似している。また軸方向の運動について3点で測定した場合、(波形はあまり良くないが)図11に示すように平行運動しているのが見られる。

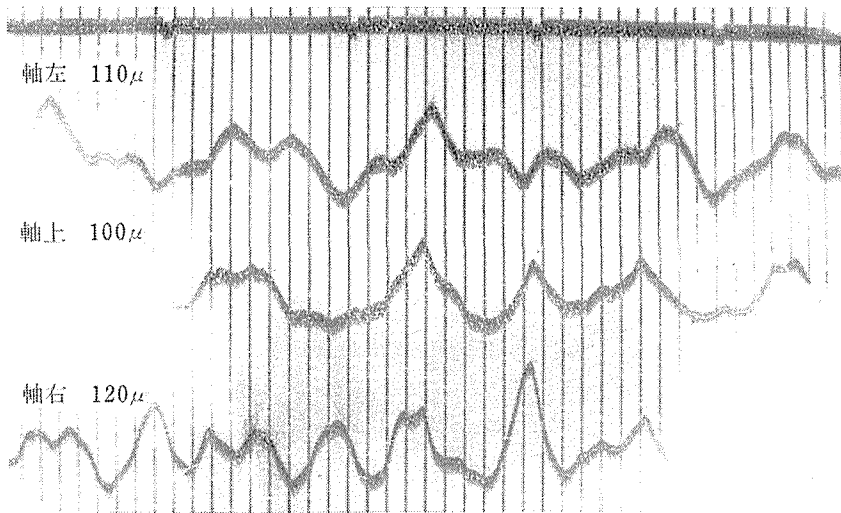


図11 ラジアルすきまC 3軸受の場合の軸方向の運動状況
(G_1P_1 保持器, $620r \cdot p \cdot m$, $T=40kg$, #60スピンドル油)

以上の両図からしてC 2すきまのときとその運動変位および特性がほとんど変わらないので、玉の自転すべり接触による摩擦力は保持器の運動に影響を与えないことが分かる。

4. 結 論

以上の実験結果と考察によって、保持器の運動を支配する玉数が2個であることが推定された。また自転すべり接触による摩擦力は保持器の運動に影響しないことが明らかになった。この結論を裏づける実験事実を列挙すれば次のとおりになる。

- 1) 玉数2個および4個における各方向の運動変位量は8個のときと等しい。(ただし2個の場合の軸方向変位量は運動に干渉する玉がないので非常に大きい)
- 2) 玉数2個および4個の場合の運動特性は8個の場合と全く同じ。
- 3) 玉数2個の場合の軸方向運動は変位量が大きく、1回転につき2振動を明確に行なっているが、玉数4個および8個の場合は2回振動しているが、干渉する玉のために変位量が小さく、振動波形がかなりくずれている。
- 4) 玉の接触角度を大きくした実験においても、その運動の変位と特性がほとんど変わらない。

本研究を進めるに当たり、御指導を賜った玉川大学赤岡純教授、そして有益な御教示を頂いた機械技術研究所、岡本純三課長殿に厚く御礼を申し上げます。

またこの研究を進めるに当たり絶えず御援助と激励を賜った機械工学科宮入武夫教授(現在東京商船大学)には心から感謝の意を表します。

本研究の実験を進めるに際し、熱心に協力された機械工学科47年度卒業生島田享久君(長野工業試験場)および細野孝君(住友ゴムK.K)に対して御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 矢沢 信州大学工学部紀要, No.32 (昭47-7), 75.
- 2) 矢沢 信州大学工学部紀要, No.32 (昭47-7), 61.
- 3) 平野, 田上, 機械学会論文集, 29-199 (昭38-3), 554.

Summary

**Study on the Motion of Solid Cages in Radial Ball Bearings
(3rd Report, On the Motion of Solid Cages by Change of the Numbers
of Balls in a Radial Ball Bearing and the Effect on the Motion of
Solid Cages of Sliding Contact of Rotation of Balls)**

Shinpachi YAZAWA

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

Inquiring into the cause for the variation of angular velocity in running cages in the 2nd report, the author guessed how many balls were concerned in the motion of solid cages.

From the results of the experiments on the motion of solid cages by change of the numbers of balls, in such a case as a radial ball bearing has 4 balls on the position of quarter in the pitch circle of ball or 2 balls on the bisection in the pitch circle of ball, it has been made clear that such a bearing has the same characteristics of the motion of solid cages as a ball bearing having 8 balls has, and solid cages generally oscillate twice in a revolution.

Therefore, the author considers clearly that the numbers of balls concerned in the motion of solid cages are two on the symmetrical positions in the pitch circle of ball.

The effect on the motion of solid cages by the action of sliding contact of rotation of balls was experimented with a radial ball bearing that had radial clearances of C3. (As radial clearances of C3 are very large, a radial ball bearing has a large contact angle in the case of the thrust loading.) According to the results of the experiments, the state of the motion of solid cages of such bearings is the same as that of the bearing having the radial clearances of C2. Therefore, it is clearly found that the frictional forces caused by the sliding contact of rotation of balls do not affect the motion of solid cages.