

# ラジアル玉軸受保持器の運動

(第2報 ラジアル荷重およびスラスト荷重時における運動特性)

矢 沢 信 八\*

(昭和47年5月31日受理)

## 1 緒 言

第1報<sup>1)</sup>では種々実験条件のもとで、三方向の運動測定から外輪案内および内輪案内の保持器の運動状況をつかみ、そして色々な実験結果から保持器の運動に特に影響するものとしては、荷重形式と潤滑油の粘度が上げられた。この条件のもとで運動状況が変わることは、振動波形から十分観察することが出来た。また各方向の振動について周波数分析した結果、保持器の回転速度を基調としてその整数倍の成分が含まれていることも分かり、保持器の運動は玉の公転速度と保持器の回転速度の相対速度の結果、玉と保持器ポケットとの接触の挙動におもに起因していることを推論した。

本報では前報の実験結果を基にしてさらに保持器の運動特性を調べるために、保持器に不つりあいをつけたときの振動状況、回転中の保持器の中心位置と回転速度の変動そして保持器の軸方向の運動状態などについて測定した。その実験結果から保持器には著しい運動特性があることが分り、第1報で推論した玉と保持器ポケットとの接触による保持器独特の運動を行なっていることが確かめられた。以下実験結果とそれについてかなり詳細な考察を行なったので報告する。

## 2 試験軸受および実験方法

### 2-1 試験軸受

試験軸受は第1報のときと同じく単列深みぞ形玉軸受6307を使用した。保持器のすきま量や試験軸受の回転精度などは第1報の表1と2を参照されたい。

### 2-2 実験条件

第1報のときと同じ条件で行なったが、潤滑油は今回は#60スピンドル油だけを使用した。(第1報の表3参照)

### 2-3 実験装置

第1報のときの装置に対して次の点を変更した。すなわち試験機の駆動を写真1に示すように750Wの3相誘導電動機を用いて、Vベルト駆動にし、3段のVプーリの位置を回転軸の後部に取付けた。

---

\* 機械工学教室 助手

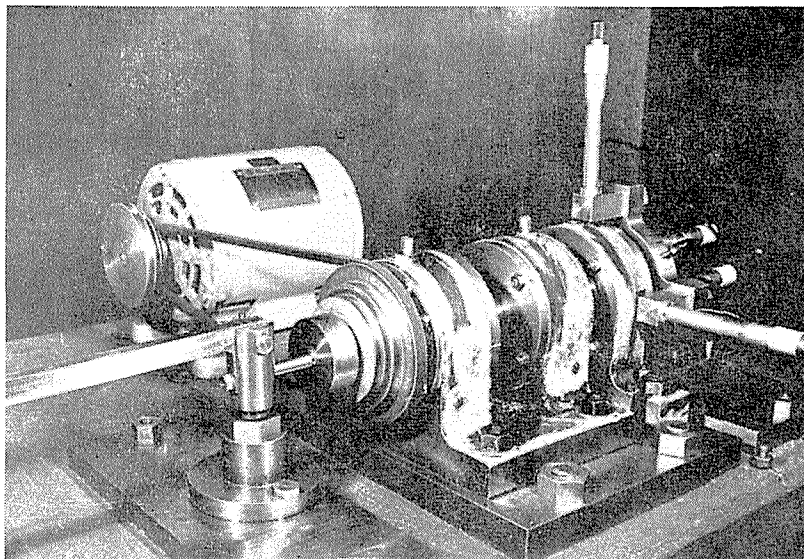


写真 1

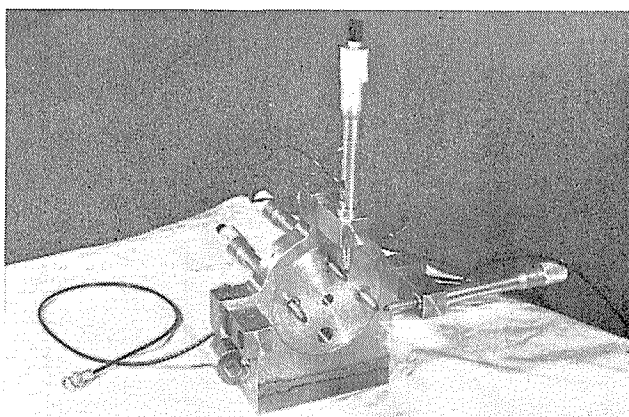


写真 2

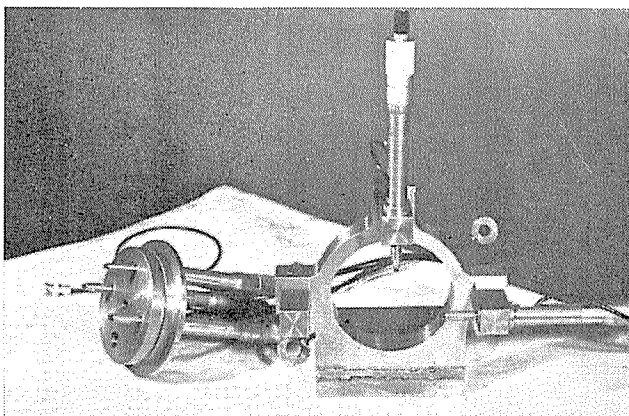


写真 3

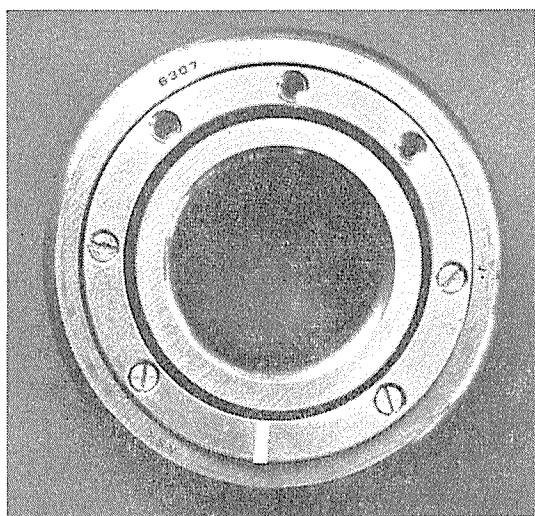


写真4

は回転中の保持器の軸方向の傾きを測定するために、軸方向のピックアップが円周方向に移動できるように工夫したものである。

B 保持器に人為的に不つりあいを設けるために、写真4に示すように8本のビスから3本約2g抜いて、不つりあい側にスコッチライトを貼った。

C 回転速度変動の測定 保持器の回転速度の変動を視測するために、保持器の端面円周等分8カ所に半径方向に白線を記入した。変動状況を写真に撮影するために、保持器端面に黒色のアクリルラッカーを吹き付けて黒地にし、そこに0.7mmの線を白ペンキで記入してコントラストを良好にした(写真10を参照)。変動の視測は先ずストロボの閃光を保持器の回転速度と同期させて、次にその同期速度の8倍(8倍は玉数と同じく、また変動の見やすさから選ぶ)の閃光速度で照射すると、不等速回転運動をしていると白線は円周方向に振動して見える。これを写真のシャッター速度をおそくして写すと、白線は静止のときより太く写る。

D 各方向の振動変位の測定位置 各方向の振動変位をピックアップする位置とその名称を図1に示す。

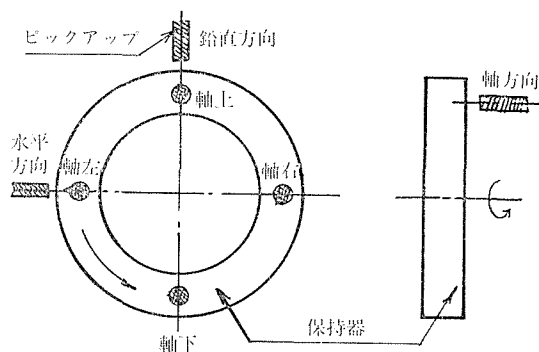


図1 ピックアップの設定位置

## 2-4 測定方法

各方向の振動変位測定は第1報で説明した方法と同じであるが、今回は保持器の運動の諸特性を測定するために、色々な測定方法を用いたので以下それらについて説明する。

A ピックアップ スタンド  
写真2に示すようなピックアップスタンドを新しく製作した。保持器の運動は軸方向に大変特徴があるので、写真3に見られるように、軸方向の2点あるいは3点同時測定を行なうために円板に4カ所ピックアップを取り付けるねじ穴を設けた。また円板状にしたの

### 3 実験結果と考察

#### 3-1 静不つりあいによる運動特性

静不つりあいを人為的に設けた保持器を回転させて、鉛直方向あるいは水平方向に不つりあいの位置が来たとき、オシログラフにパルスを入れて記録したのが、図2と3である。図2は  $G_1P_1$  保持器について鉛直方向に不つりあいが来たときで、図3は  $N_1P_1$  保持器について水平方向に不つりあいが来たときのものである。いずれもパルス位置（不つりあい

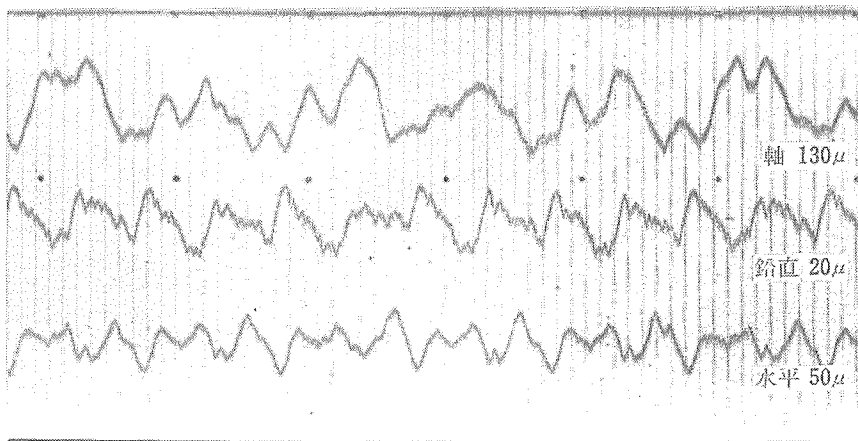


図2  $G_1P_1$  保持器,  $R = 40$  kg, 600 r. p. m

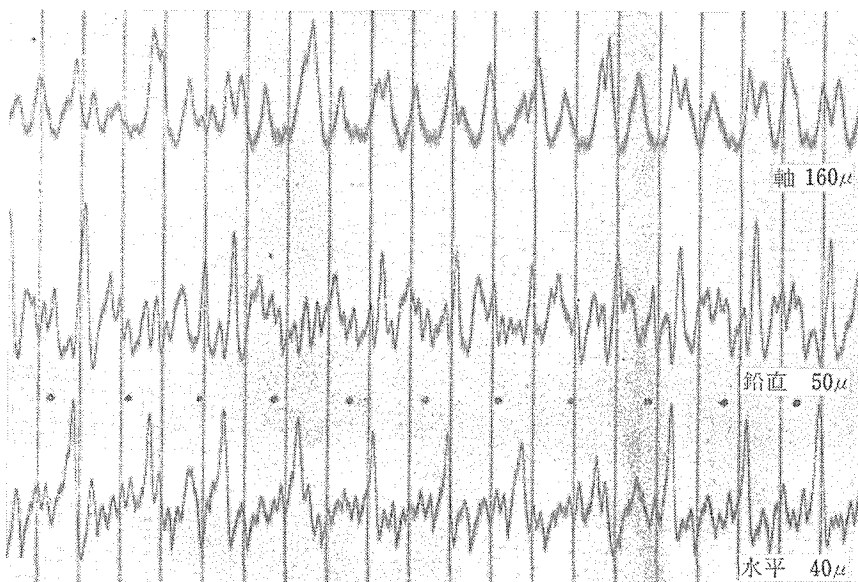


図3  $N_1P_1$  保持器,  $T = 40$  kg, 600 r. p. m

位置)と変位波形の山の頂点が互にずれていることが分る。弾性軸に取りつけられた、質量をもつ回転円板の場合は、それらによって一つの振動系を形成するが、保持器の場合は保持器が質量をもつ剛体であり、弾性軸に相当するものがないので振動系を形成しない。したがって不つりあいによる遠心力が保持器に作用するとき、その力の方向と変位の方向とは一致しなければならないが、いずれの図からも力と変位が一致していることが認められない。また各方向の変位量からしても、不つりあいをつけないうちとほとんど変わらないし、また変位波形そのものも、一回転中に山数が二つ以上あることも考え合わせて、保持器の運動は不つりあいの影響をほとんど受けない。

### 3-2 軸方向の運動特性

三方向の振動変位中、最も大きい軸方向の振動を軸方向の三点で測定すると、図4と5に示すように、 $G_1P_1$ 形、 $N_1P_1$ 形のいずれの場合も平行運動をしている。軸方向の変位量は各点とも一般に等しいが、たまに大きな変位相互差を生じる場合もある。しかしその場合も変位波形の位相はほとんど同じである。

保持器の運動において特に軸方向に大きな変位を生じ、かつこのような平行運動をし

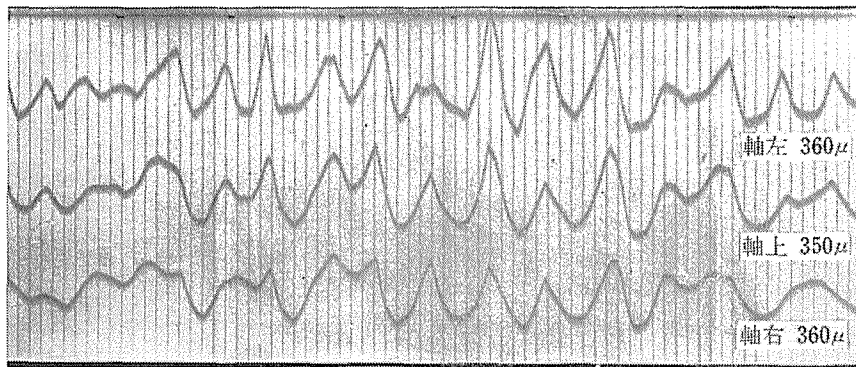


図4  $G_1P_1$  保持器,  $R = 40$  kg, 600 r. p. m

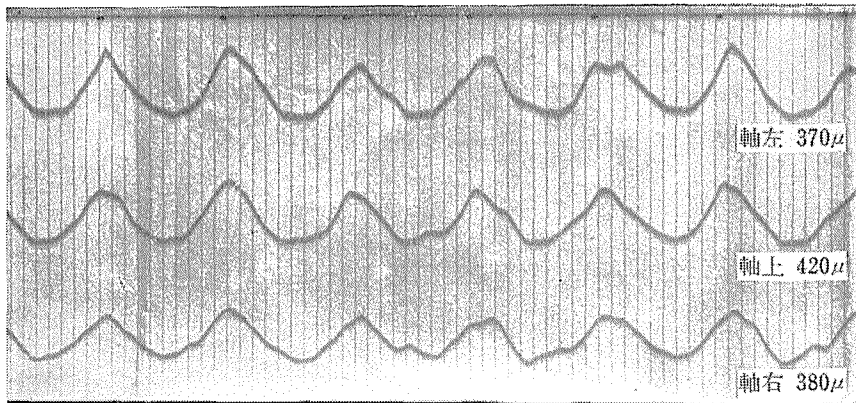


図5  $N_1P_1$  保持器,  $T = 40$  kg, 600 r. p. m

ていることは保持器の顕著な運動特性と考える。

平行運動を起こす原因としては、回転している保持器のジャイロ効果が考えられる。すなわち保持器に作用するいろいろな力<sup>1)</sup>に対しても、その回転軸（保持器には実際軸がないが、仮想的な軸としてこれを以後回転軸と呼ぶ）の方向を保とうとする性質を持っていることである。したがって保持器にはコマのように軸がないので、その位置が固定されないうで、ある外力が作用すればその作用した方向に姿勢を崩さないで移動することになる。ゆえに今回のように軸方向の外力を受けたために軸方向の平行移動が現われたのであるが、この軸方向の力の発生については次の3-3で述べる。

### 3-3 保持器の回転軸特性

軸方向に大きい振動変位をもつ原因を追求するために、前述の測定方法の2-4・Aで説明した玉の公転軸（試験機の回転軸）に直角に取付けられた円板の水平位置、軸左と軸右の二カ所に取付けられているピックアップをその点を起点として、反時計方向にゆっくりと回転移動し、その時の保持器の軸方向の振動状態について $G_1P_1$ 保持器と $N_1P_1$ 保持器について記録したのが、図6と7である。図はいずれも正弦曲線を示しているので、保持器が玉の公転軸に対して傾いていることになる。両図とも $180^\circ$ 附近に曲線の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る。図では

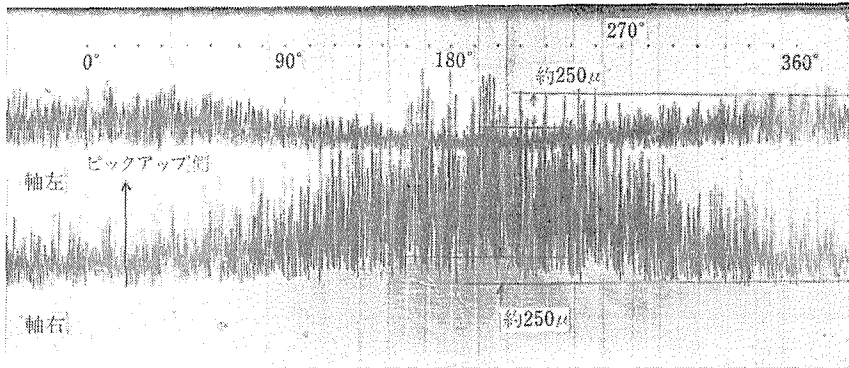


図6  $G_1P_1$  保持器,  $R = 30 \text{ kg}$ ,  $340 \text{ r. p. m}$

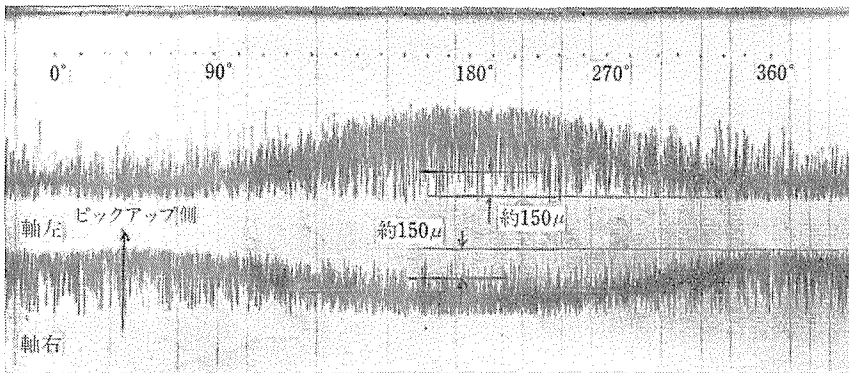


図7  $N_1P_1$  保持器,  $T = 40 \text{ kg}$ ,  $900 \text{ r. p. m}$

$G_1P_1$ の傾きは軸左が前方(ピックアップ側)で軸右が後方になって、約 $250\mu$ の傾きをもっている。 $N_1P_1$ では軸右が前方に軸左が後方になって約 $150\mu$ の傾きをもっているので、いずれもかなり大きく傾いている。

玉の公転軸に対して保持器の回転軸が交差していることから、保持器は玉の公転運動によって、円周方向に力を受けるとともに、軸方向の分力も受けることから、軸方向の変位が生じる原因がこれによって明らかになった。傾きがポケットすきまいっぱいの $640\mu$ になると軸方向の振動変位は不可能になるが、傾きが多くの実験からだいたい $200\mu$ を中心に上下 $70\sim 80\mu$ 以内に入っていることから、軸方向変位が可能になる。この傾きを起す原因についてはまだはっきりと説明は出来ない。これは保持器の駆動に関与する玉数や円周上の玉の不等間隔配置などが原因になるものと考えるので、その点から検討して実験したいと考える。

#### 3-4 保持器の回転軸の位置

半径方向における振動変位の小さい保持器の回転運動に対して、保持器の回転軸のだいたいの位置を知る必要から測定したのが、図8と9である。図8は $G_1P_1$ 保持器の場合で、

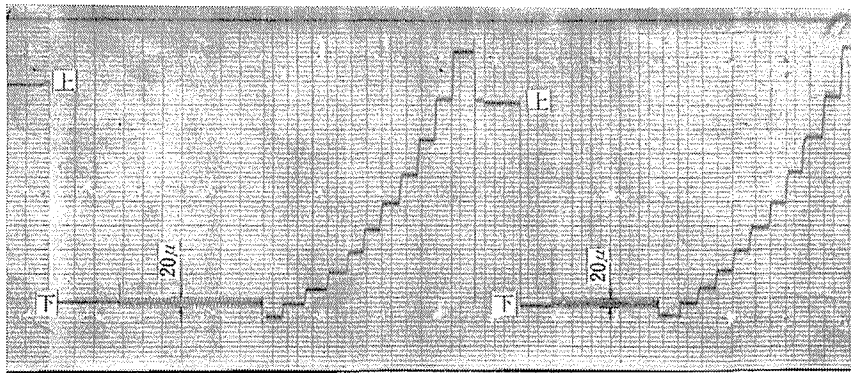


図8  $G_1P_1$  保持器,  $T = 20\text{ kg}$ ,  $320\text{ r. p. m}$

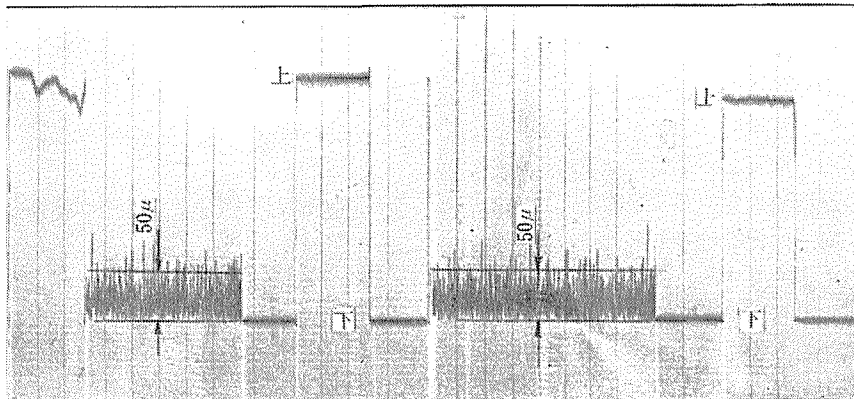


図9  $N_1P_1$  保持器,  $T = 50\text{ kg}$ ,  $900\text{ r. p. m}$

図9は $N_1P_1$ 保持器の場合を示す。両図とも下の方に太く見える部分が、鉛直方向の振動状況を示し、上と下にある線は静止時に保持器を手で上下に動かしたときの保持器の最上点と最下点の位置である。これらの図からいずれの保持器もその回転軸は玉の公転軸の下方にあって、しかも最下点にあるので外輪あるいは内輪の案内面で接触していることが分る。曾田<sup>2)</sup>の実験でもこのような傾向にあることが光学的図形から見られる。

このように保持器の案内面が軌道輪の案内面まで下るということは、単純に静的な状態と同じ保持器自身の重さのためということではない。これは先の不つりあいの影響がないことと、さらに保持器のその位置にあって玉からの駆動が可能であるということで、そのときに保持器の回転軸は玉の公転軸に対して傾いているとか、軸方向に振動するとか、あるいは次の3-5で述べる回転速度変動という特性があって始めて可能になると考える。

### 3-5 保持器の回転速度特性

図10は静止時において保持器端面の円周に等間隔8カ所に白線が記入されている状態を写した。図11と12は回転中の保持器の速度変動している状態を前述の2-4・Cで説明した測定方法で写したものである。図11は $G_1P_1$ 保持器について、図12は $N_1P_1$ 保持器についていずれも図10に対して太く見えるのは速度変動によって円周方向に振動していることを表わしている。実際に観測すると保持器は円周方向に規助的に振動している状態がはっきりと見られた。



図10 静止時における  
保持器の端面

図11  $G_1P_1$  保持器  
 $T=40\text{kg}$ , 340r. p. m

図12  $N_1P_1$  保持器  
 $T=40\text{kg}$ , 930r. p. m

回転中の保持器の速度変動に関する文献は見当たらないが、一般に保持器は玉の公転速度に等しい一定速度で回転しているとされている<sup>3)</sup>。今回実際に測定された回転速度変動は保持器のもつ著しい運動特性と考える。

この速度変動の生じる原因としては、3-3の保持器の回転軸特性と3-4の回転軸の位置の二つの運動特性が考えられる。

今考えやすくするために、図13に示すように一個の玉とそのポケット穴とによって保持器が駆動されている状態を考える。玉のピッチ円①とそれに対して水平方向に傾きをもった保持器において、それら間で絶えず変わる接触半径を玉のピッチ円①の平面上に画くと、隋円②のようになる(この場合円①と②の中心は一致しているものとする)。玉がピッチ円①上を等角速度で公転しているのに対して、接触円②において保持器を駆動する角



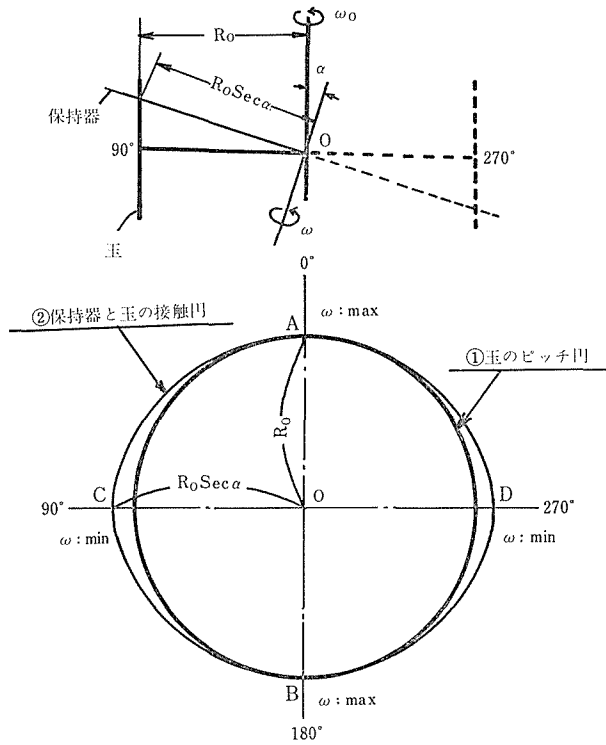


図13 玉のピッチ円に対して水平方向に傾きをもった保持器のピッチ円の場合の保持器の角速度  $\omega$  の変化

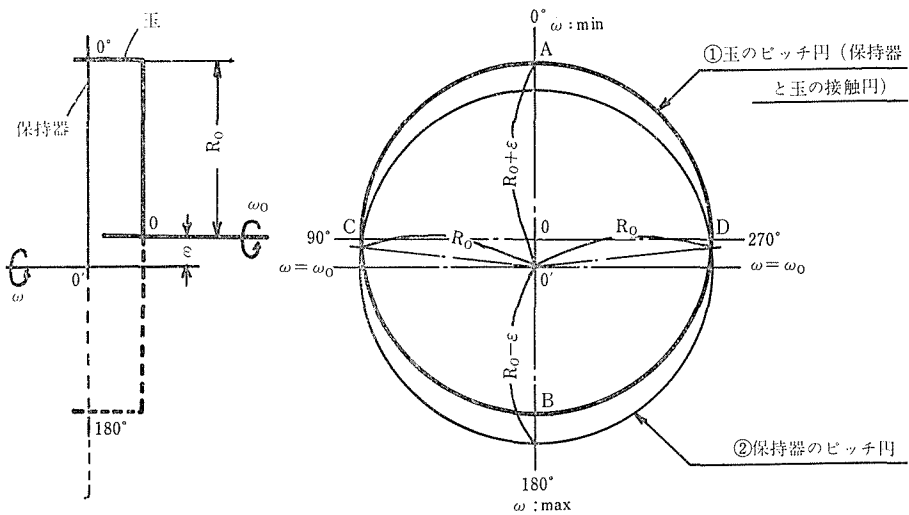


図14 玉のピッチ円 (保持器と玉との接触円) の下方に保持器のピッチ円がある場合の保持器の角速度  $\omega$  の変化

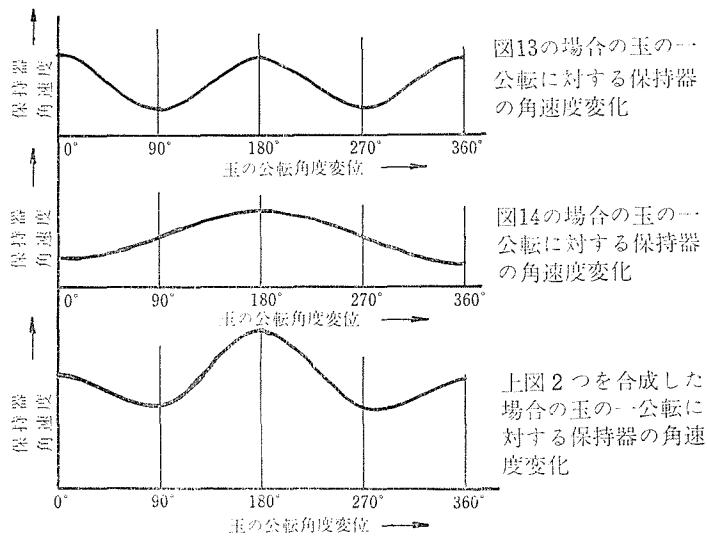


図15 玉の公転角度変位に対する保持器の角速度変化

速度は常に変動している。すなわち図において鉛直方向の二点  $A$ ,  $B$  では瞬間角速度は最大で、水平方向の二点  $C$ ,  $D$  では最小となって、その外の四区間では角速度最大から最小へ、あるいはその逆の最小から最大へと連続的に変化する。ゆえに一個の玉の等速一公転に対して保持器は二回変動駆動されることになる。

図14では玉のピッチ円①に対して、下方にある保持器のピッチ円②すなわち玉の公転軸の下方にある保持器の回転軸の場合で、この時は玉とポケットとの接触円は玉のピッチ円①になる、この場合も保持器を駆動する角速度は常に変動している。すなわち図14において鉛直方向  $A$  点では瞬間角速度が最小で、 $B$  点では最大となる。水平方向の  $C$  点、 $D$  点は中立点となり、結局保持器は玉の一公転に対して、一回速度変動を行なうことになる。以上二つの場合の玉の一公転における保持器の角速度変動と、それらを重ね合わせた結果が図15のようになって、保持器は大体下の半円周において速く駆動され、上の半円周では遅く駆動されることになる。

以上の速度変動についての説明は1個の玉についてなされたが、円周上の玉8個すべてがこのように保持器を駆動する状態になることは一応考えられるが、しかし仮にこのようになった場合には速度変動は理論的には不可能になり、結局一定速度で回転すること以外には考えられない。現実にははっきりと速度変動があることは、考え方を改めて保持器の駆動に参与する玉数は何個であるかという問題に関係して来る。それゆえに、ここでは保持器の運動特性によって、円周上の特定の玉\*によって速度変動が引き起されるという説明に留める。(\*その後の玉数を変えた実験で、保持器の運動を支配しているのは対称位置にある2個であることが、ほぼ分って来たので次回に報告する予定である)

### 3-6 保持器の案内形式の違いによる運動特性の差異について

3-1 から 3-5 までの運動の諸特性に関する実験を  $G_1P_1$  保持器と  $N_1P_1$  保持器について

行なったが、これまでの実験結果で述べたように、両者の間にはほとんど差異が見られなかった。ただここですこし触れておきたいことは、第一報の3-5案内形式による影響で、振動変位の大きさが内輪案内形の方が半径方向でわずかに大きいことを上げ、その原因について考察を行なった。これについては今回の運動特性3-4の結果と一致していることにより、その理由が明らかになった。しかしこの変位の差は、両者それぞれの特性として区別するほどのものでないとする。

### 3-7 保持器の運動の総合的考察

保持器の運動の諸特性から、保持器の運動は不つりあいの影響がほとんどないことが分り、そして3-2から3-5までの四つの特性は相互に密接な関係をもっていると考えられるので、それを総合的に考察すると、保持器の運動は保持器の回転軸が玉の公転軸と交差し、しかもその下方にあることから、玉の等速公転運動に対して、保持器は特定の玉とポケット穴による接触駆動によって、一回転中に加速されたり、減速されたりして、回転速度変動を行なう。その際に玉のポケット内における接触点はそれらの間の相対速度変動によって、刻々と変わり、さらに保持器の回転軸の傾きとあいまって軸方向変位を生じさせる結果となる。したがって保持器の回転速度変動と軸方向振動とは密接な関係をもつことになる。それゆえに保持器の三方向の振動中で軸方向振動が主振動となり、半径方向（水平方向、鉛直方向）のそれは主振動の結果生じる副次的なものとする。

この運動は内輪案内保持器も外輪案内保持器も同じ傾向にあるので、運動の観点から両者の優劣はないとする。

## 4 結 論

以上の実験結果と考察によって、両保持器の運動が玉と保持器ポケットとの相対速度の変動によるすべり接触機構に起因することが明らかになった。そしてそれを裏づける保持器の運動特性から次のことが明らかにされた。

- 1) 動不つりあいの影響を受けない。
- 2) 軸方向に平行運動を行なって回転速度変動と密接な関係をもつ。この軸方向の振動が保持器の主振動となる。
- 3) 保持器の回転軸と玉の公転軸とは交差している。
- 4) 保持器の回転軸は玉の公転軸の下方にあって、しかも回転軸の取り得る位置の最下点附近にある。
- 5) 上記3)と4)が原因となって保持器は回転速度変動を行ない、その変動は大きい。
- 6) 内輪案内および外輪案内の両保持器の運動特性に差異はほとんどない。

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

また常日頃何かと有益な御指導と御討論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。

本研究の実験を行うに当たって、非常に熱心に協力された45年度機械工学科卒業生 静谷文雄君(小森印刷 K.K), 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), 61.
- 2) 曾田, 機械の研究, 1-6 (昭26-6), 261.
- 3) 萱場, 鈴木, 野口, 精密機械, Vol.35 No.10 (昭44-10), 643.

## Summary

### **Study on the Motion of Solid Cages in Radial Ball Bearings.**

#### **(2nd Report, The Characteristics of the Motion of Solid Cages in Radial Ball Bearings under Radial or Thrust Load)**

Shinpachi YAZAWA

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

The author clearly found it from the various experiments, that the motion of the solid cage, being affected by no influence of the dynamic unbalance of the cage, was caused to occur by sliding contact between revolving balls and cage pockets.

As the cage rotates and inclines horizontally to the revolving axis of ball and is at the lower position of it, the speed of the cage increases or decreases while the balls are revolving. The running cage is given parallel oscillation in the axial direction by the action of revolving balls and the gyroscopic effect of the cage. And the axial oscillation closely relates to the variation of the revolving speed of the cage. It becomes the main oscillation among these oscillations of horizontal, vertical and axial directions.

There were no differences between the characteristics of the motion of the solid cages guided by the inner ring and those of the motion of the ones guided by the outer ring. Therefore the author considers that there is little reason to choose between both the cages from the viewpoint of motion.