

ラジアル玉軸受保持器の運動

(第1報 ラジアル荷重およびスラスト荷重時における運動状況)

矢 沢 信 八*

(昭和47年5月31日受理)

1 緒 言

回転中における保持器の運動は玉と保持器間の力の授受¹⁾とともに、玉軸受の摩擦、音響そして焼付きなど軸受の性能に大いに関係を持つことはすでに周知のことである。この運動について、今までにいくつかの研究がなされている。

曾田²⁾はプレス保持器の端面側に鏡を取付けて、低速回転から高速回転の各段階における運動状況を光学的図形に写して、それについて種々説明を行なっている。井沢³⁾も同様な方法でプレス保持器について回転速度、荷重そして潤滑油などいろいろと実験条件を変えて写し、半径方向よりも軸方向の揺動が強く記録されている結果から、保持器の運動は主に回転揺動運動であると述べ、様々な実験結果に対して考察を行なっている。最近では萱場ら⁴⁾はやはり同じ光学的な方法を用いて、プレス保持器の中心の運動を円振動と見なして、光学的図形の外接円と内接円から半径方向の変位量を種々な実験条件について測し、その結果について玉の運動との関係からいろいろと考察を行なっている。後藤ら⁵⁾はグリース潤滑の特定条件下における玉軸受の異常音発生の原因を究明するために、保持器の軸方向の振動数を測定して、異常音発生についての現象解析を行なっている。しかしこの研究は保持器の運動の目的と異なるために、振動変位やその発生機構については何もふれていない。下間ら⁶⁾は保持器静止式試験機(内外輪逆転式試験法)を用いて、もみ抜きとプレスの両保持器の運動を光学的な方法で測定し、スラスト荷重をかけたときの振動変位と振動数を求め、それらの動特性についてだいたいの傾向を報告している。

以上の保持器の運動に関する諸研究によって、色々な実験条件における運動の状況が明らかにされた。本来保持器は3次元的に運動をしているものであるが、これを平面的に写した光学的図形のために、それより一段と進めた運動の発生機構の究明となると、これだけでは不十分である。そして曾田、井沢、萱場らの研究ではいずれも保持器の片側端面にブリッジを設けて、そこに鏡を取付けているが、この様な操作を施すことによって保持器の本来の運動が非常に阻害されていることは十分考えられる。

ラジアル玉軸受に用いられる保持器には外輪案内、内輪案内および転動体案内の三種類がある。外輪案内と内輪案内はもみ抜き形で製作され、転動体案内はおもにプレス形であるが、もみ抜き形のものもある。運動についてこれまでの研究では転動体案内のプレス保

* 機械工学教室 助手

持器が主であって、外輪案内および内輪案内のものについてはほとんどない。したがってそれぞれの案内形式のものについての運動特性について比較したものは全然ないのが実情である。

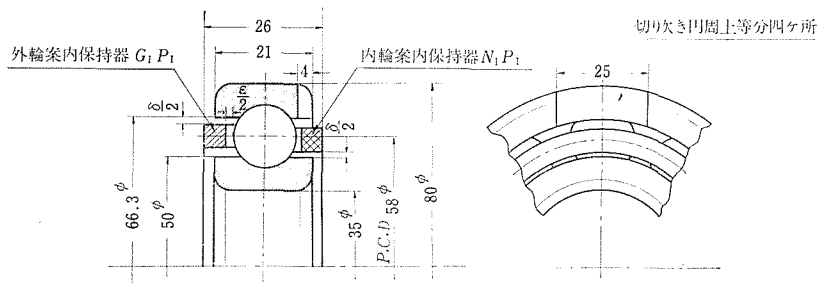
本研究ではこれまでの諸研究で用いられた光学的方法と全く異なる筆者が開発した非接触形振動計⁷⁾を用いて、もみ抜き保持器三種類について、種々実験条件のもとにおける各方向の運動状況を詳細に測定して、それぞれの保持器の運動特性を求め、その特性からさらに運動の発生機構を究明しようとするものである。

本報ではまず保持器の運動状況をつかむために外輪案内と内輪案内の保持器について純ラジアル荷重あるいは純スラスト荷重のもとで、荷重、回転速度、潤滑油など実験条件を変えて、水平、鉛直そして軸の三方向の運動を測定した。以下その実験結果と考察について報告する。

2 試験軸受および実験方法

2-1 試験軸受

試験軸受は単列深みぞ形玉軸受 (6307 内径 35 mm, 外径 80 mm, 幅 21 mm) の並級で、表 1 の図に示すようにピックアップがそお入できる切り欠きを、外輪片側端面の円周上等分四カ所に設けた。保持器のすきま量と重量を表 1 に示し、材質は高力黄銅である。保持器の幅はピックアップ先端部の面積と対向する必要から、軸受幅より 5 mm 大きくした。試験軸受の回転精度、アジアルすきまおよびはめあいなどについては表 2 に示す。軸受をそれぞれの部品に分解した状態を写真 1 に示す。



保持器	すきま・重量		案内すきま		ポケットすきま		重量		備考
	設計すきま	実すきま	設計すきま	実すきま	設計すきま	実すきま	実際の重量	保持器幅 20.5の重量	
外輪案内 保持器 G_1P_1	300~400 μ	342 μ	601~711 μ	640 μ			200gr	145gr	1) 6307に組み込みの玉は 12/32 (13.494) × 8 個で 1 個約 10gr である。 2) 保持器幅 26 を 20.5 にすると 約 55gr 軽くなる。
内輪案内 保持器 N_1P_1	300~400 μ	346 μ	601~711 μ	640 μ			194gr	139gr	

表 1 試験軸受 #6307 の主要寸法および保持器のすきまと重量

単位：μ

軸受番号	外輪 ラジアル 振レ	外輪 アキシャル 振レ	内輪 ラジアル 振レ	内輪 アキシャル 振レ	内輪 横振レ	ラジアル すきま	軸との はめあい	備 考
No. 2	1	3	2	4	1	5	しまりばめ 1	N_1P_1 保持器 に使用
No. 3	1	3	1	5	4	6	しまりばね 2	G_1P_1 保持器 に使用

表2 試験軸受の回転精度，半径方向すきま，および はめあい

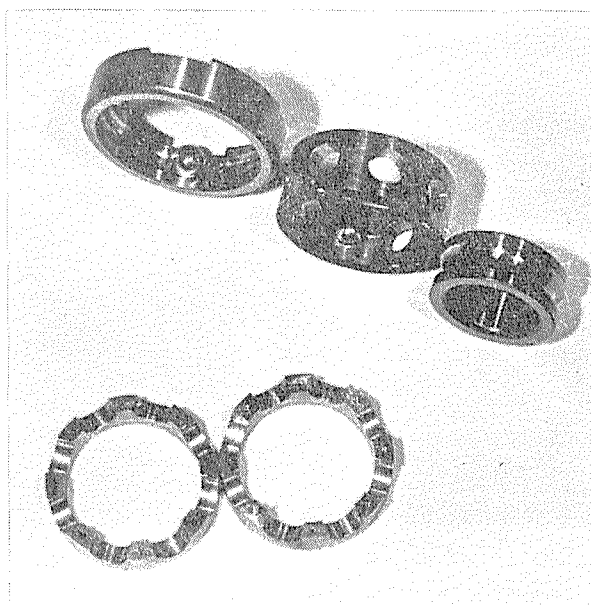


写真1

2-2 実験条件

表3に実験条件を，表4に潤滑油の粘度の測定結果を示す。

項 目	条 件		
ラジアル荷重 R	5 kg	10 kg	35 kg
スラスト荷重 T	5 kg	10 kg	35 kg
保持器回転速度 n_r	300 r. p. m	600 r. p. m	900 r. p. m.
潤滑油	#20モビール油	#60スピンドル油	白 灯 油
潤滑法	回転する前に約1ccを給油する		

表3 実 験 条 件

単位：CS₂

種 類	測定温度°C	30°	50°	100°
#60スピンドル油		10	5	1.7
#20モビール油		160	47	10

表4 潤滑油の粘度

2-3 実験装置

装置の概観を写真2に示す。Aは軸受試験機，Bは200Wの単相整流子電動機で試験機を絹の平ベルトで駆動する。Cはピックアップとそのホルダー，Dは振動計本体，Eは連続形周波数分析器，Fは電磁オンログラフである。ラジアル荷重の負荷装置は図1に示し，10倍の拡大率をもったレバー式によって試験軸受に荷重をかける。スラスト荷重の負荷装置は図2に示し，ラジアル荷重の場合と同じ10倍の拡大率をもったレバー式である。軸の回転駆動は整流子電動機のブラシあるいはスライダックによって，保持器が表3に示す所定の回転速度になるように速度調整を行なった。

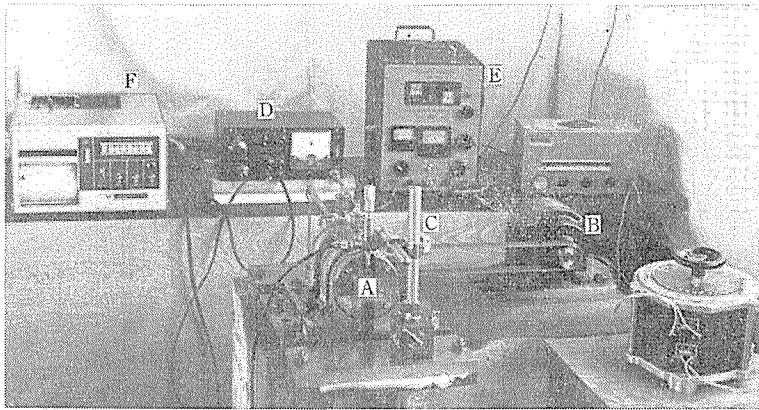


写真2 実験装置の概観

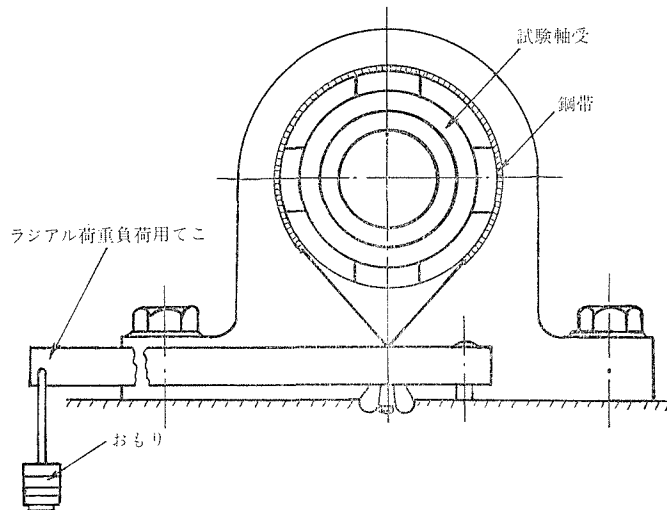


図1 ラジアル荷重負荷装置

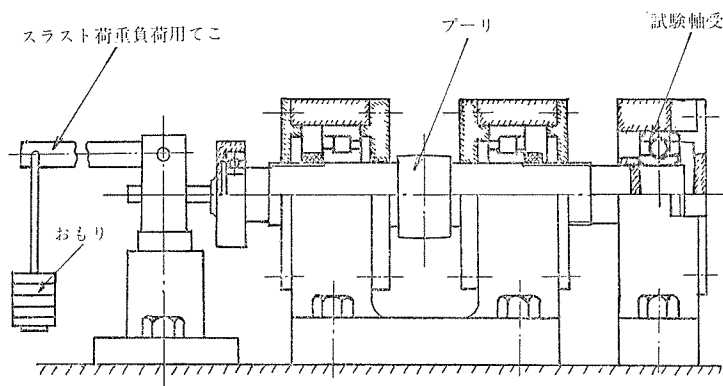


図2 スラスト荷重負荷装置

2-4 測定方法

測定対象物である保持器は慣性モーメントが小さく、しかも転動体あるいは軌道輪に案内されて回転しているので、ある瞬間には空間上に浮いた状態になることが考えられる。またそこには潤滑油が付着しているので、絶えずその油膜の厚さが変わることから、電磁誘導変換による非接触形変位振動計を用いることが適当であると考えた。したがってこの考えに基づ

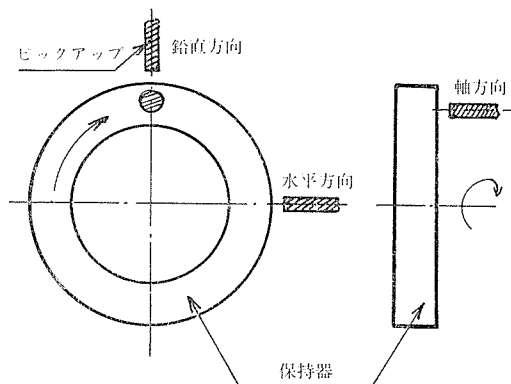


図3 ピックアップの設定位置

いて振動計を開発し、所期の成果⁷⁾を得たので、これを用いて各方向の運動状況を電磁オシログラフに記録させた。複雑な振動の周波数成分を調べるために、振動計からの信号電圧を連続形周波数分析器に入れて分析を行ない、各周波数に対応する dB を電磁オシログラフに記録させた。

測定は先ず試験軸受に所定の荷重をかけ、回転駆動に先立って変位較正を行なうためにピックアップの先端を保持器の測定面（ラジアル方向の測定ならば外周面、軸方向ならば端面、図3を参照）から $0.5\text{ mm} \sim 1.0\text{ mm}$ 離してセットする。次に振動計の指針を零にしてレベルセットを行ない、ピックアップ後部に取付けられているマイクロメータによって所定の量だけ移動させる。先にレベルセットによってオシログラフ記録紙上の中央部にあった光点は、マイクロメータの移動量に応じた分だけ移動するので、これによって変位較正のマークがオシログラフ記録紙上に記録される。較正が終わってから潤滑油を試験軸受に所定量だけ注油し、回転駆動を開始する。ここで光点の振れが先に行なった変位較正の範囲内にあるかどうかを確認し、もし範囲から外れていたならば、ピックアップを移動さ

せて、その範囲内に入るように調整を行なって、最後に振動波形を記録する。

周波数分析については分析器の出力を OVER ALL 40 dB として使用するのが正規であるが、測定器の出力電圧が小さいので、20 dB にして分析を行なった。今回の実験は種々実験条件に対しての水平、鉛直そして軸の各方面の運動状況を握むことが目的であるから、振動計一要素で各方向の測定を行なった。

3 実験結果と考察

3-1 各方向の振動変位の大きさ (スピンドル油潤滑の場合について)

図4は保持器の回転速度を変えたときの三方向の振動変位(全振幅)を示したものである、実験条件としては潤滑油に #60スピンドル油を用いて、ラジアル荷重またはスラスト荷重を負荷し、その大きさを 5 kg, 10 kg および 35 kg とした。(白灯油およびモビール

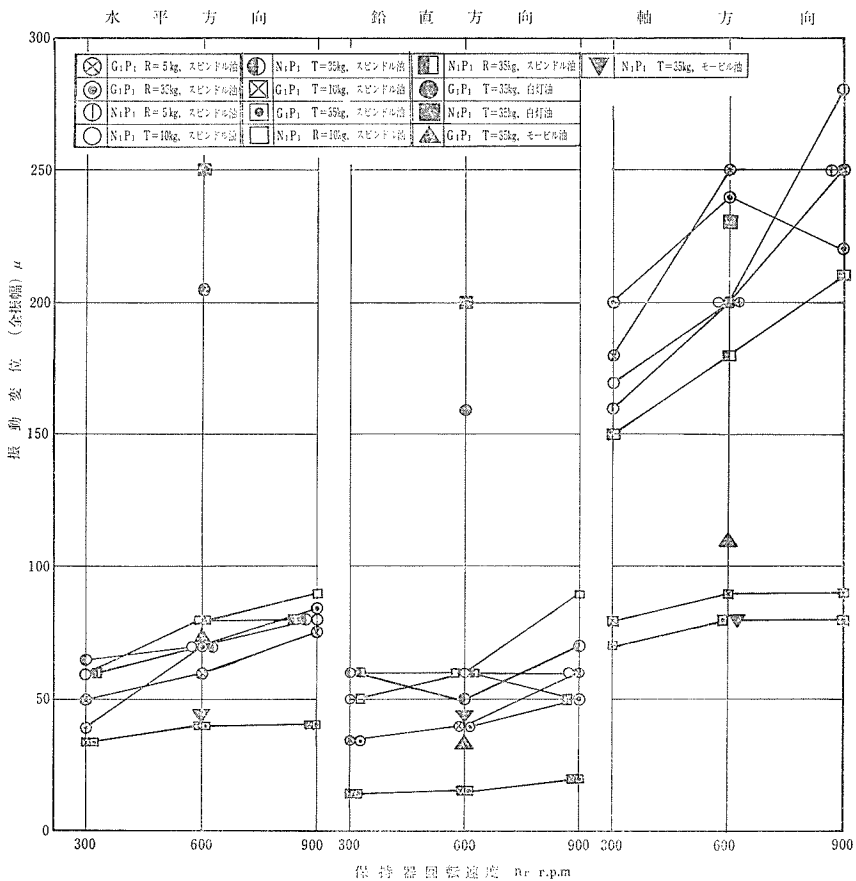


図4 G₁P₁ および N₁P₁ 保持器について回転速度, 荷重, および潤滑油の種類いなど変えた場合の各方向の振動変位

油潤滑のときの振動変位も図に記入されているが、これについては3-4 潤滑油の影響のところで説明する)

図から半径方向(水平と鉛直の両方向)の変位量を観察すると、保持器 G_1P_1 と N_1P_1 とともに、半径方向に動き得る量は案内すきま量 340μ に等しいが、いずれもその $1/4 \sim 1/9$ 程度で大変小さい(G_1P_1 保持器スラスト荷重のときを除く)。保持器の形式は違いが曾田²⁾の実験でも、低速域においては同じ状況が示されている、軸方向の変位量は軸方向に動き得る量すなわちポケットすきま量 640μ の $1/2.5 \sim 1/4$ で、やはりすきまいっぱいには振れていない(G_1P_1 保持器、スラスト荷重のときを除く)。しかし先の半径方向のものに比べると非常に大きく振れている、保持器は回転運動をしているので半径方向の振れ量が大きく現われると当初予想していたが、むしろ軸方向に大きく出たことは、保持器の運動の著しい特性と考える。図から観察して、一般的に変位の大きさは軸方向、水平方向そして鉛直方向の順となっている。なお G_1P_1 保持器のスラスト荷重時における三方向の運動が非常に小さく、水平方向では $1/10$ 、鉛直方向では $1/20$ となっており、下間の実験⁶⁾でも 7305 B 軸受にスラスト荷重を負荷したとき約 $1/10$ と報告しているが、同じ傾向を示している。この条件における各方向の振動変位は大変小さくしかも規則性をもっていることに特徴がある。これは後でも触れるが、荷重形式と保持器の案内形式に主として起因するものと考えられる。

3-2 荷重(形式と大きさ)の影響

軸受に負荷する荷重は直接保持器にかからないので、図4に見られるように荷重の大きさを変えても、変位にはほとんど影響が認められない。このことは下間⁶⁾や萱場⁴⁾の実験でも明白に出ている。しかし荷重の形式に対しては、ラジアル荷重のときの方がスラスト荷重のときよりわずかに大きく出ている。これはスラスト荷重の場合は全玉が荷重を受けて拘束され、回転中に公転すべりや自転すべりがないので⁸⁾、保持器一回転における玉と保持器ポケットの間では一定の接触状態を保つものに対して、ラジアル荷重の場合は負荷圏と非負荷圏が区別され、非負荷圏では玉の拘束が弱いので玉の転り運動中にすべりが生じ易い。したがってポケットとの接触状態が変動し易くなり、その結果振動変位が大きくなったりまた波形に乱れが生じてくるものと考えられる。今回使用した試験軸受は最初からラジアルすきまの小さい C 2 のものを選んで、取り付け後の残留すきまを小さくすることを狙った。それゆえにラジアル荷重を負荷しても非負荷圏での玉のすべりは小さく、そのためにスラスト荷重を負荷したときの変位量と比べてもあまり大きな差が出なかったものと思われる。保持器の運動は玉の運動(すべりの有無)と非常に関係をもっていることが今回の実験結果から明らかになった。

3-3 回転速度の影響

図4から保持器の回転速度の増加に対して、変位量は半径方向ではわずかに増加の傾向が見られ、また軸方向ではかなり大きく増加しているものもある。しかし中には回転速度の増加に対して、逆に減少したり、横ばいになっているものもあるので、一概に速度の影響を受けて変位量も変わるという断定は出来ない。むしろ回転速度の影響はあまり受けなないと考えたほうが妥当である。下間らの実験⁶⁾では軸相当回転速度 $1014 \sim 5112$ r. p. m. の

範囲では両保持器ともに振幅は一定値を示したと報告している。(筆者の場合は軸回転速度が780~2340 r. p. m. である) また保持器につりあいがある、それが回転速度の増加によって変位量に影響するならば、半径方向の変位量はもっと大きく現われなければならないはずで、この点も考え合わせてみると、保持器の回転速度300~900 r. p. m. 程度では振動変位にほとんど影響を与えないものと考えられる。

3-4 潤滑油の影響

三種類の潤滑油を使用して測定した結果、振動状況が著しく変わることが認められた。粘度の低い白灯油の場合は図4に見られるようにスピンドル油やモビール油の場合に比べて非常に大きな変位を示し、図5と6の振動波形では鉛直方向では鋭い衝撃的な状況を示している。粘度の高いモビール油の場合は、半径方向の変位量はスピンドル油の場合とほとんど同じであるが、軸方向では大変小さく表われている。この潤滑油の影響については井沢³⁾や登場⁴⁾の実験でもその光学的図形の波形から、粘度の低いときあるいは乾燥状態では、はね返り運動を示し、高粘度のときは減衰効果によって、記録波形が大変円滑な状態を示していることを報告している。以上によって保持器の運動は玉と保持器ポケットの間の潤滑状態によって大きく影響されることが分った。

3-5 保持器の案内形式による影響

図4において半径方向の振動変位量から、保持器の案内形式の違いによる変位量は、一般に内輪案内形の方が外輪案内形よりもわずかに大きく出ている。その差は半径方向の変位量で20~40 μ で、案内すきま量に比べてその値は10%程度で小さく、図から見ても両者をはっきり区別する程の差を有していない。内輪案内形の方が大きい理由としては、保持器の案内を考えると、その内径(案内面)が内輪と同方向に回転ししかもやく2倍の周速度をもっている内輪外径と接触して、円周方向に駆動を受けるので当然半径方向の変位が大きくなる。これに対して外輪案内形では逆に静止している外輪内径によって制動を受けて変位が小さくなる。先に3-1の変位の大きさの考察でもちょっと触れたが、外輪案内形でスラスト荷重の場合は荷重形式と上に述べた外輪案内面における制動の二つの条件によって変位が小さくしかも規則性が生じるものと考えられる。

3-6 振動波形について

保持器の回転速度600 r. p. m. のときの、各種実験条件における実際の振動波形の一例を図5, 6, 7, に示す。全般的に見て波形は複雑ではあるが、だいたい規則性をもっていることが分る。今回の測定は三方向の同時測定ではないため、各方向の波形間の関係を観察することは出来ないけれど、水平と鉛直の半径方向の両波形を比較してみても、波形が大変違っていることが目立つ。また保持器一回転中にいくつもの山や谷があって、かなり複雑な振動をしている様子が見られる。実験条件を変えることによって発生する波形もそれぞれ特徴をもっている。例えば図5の G_1P_1 保持器でスピンドル油の場合とか、図5と6の白灯油の場合、あるいは図7のラジアル荷重の場合などは今まで述べて来た実験結果と考察の中で特に触れたものである。

3-7 各方向の振動の周波数分析の結果について

前項の図5, 6, 7に示した複雑に見える波形を周波数分析器で分析した結果、その一

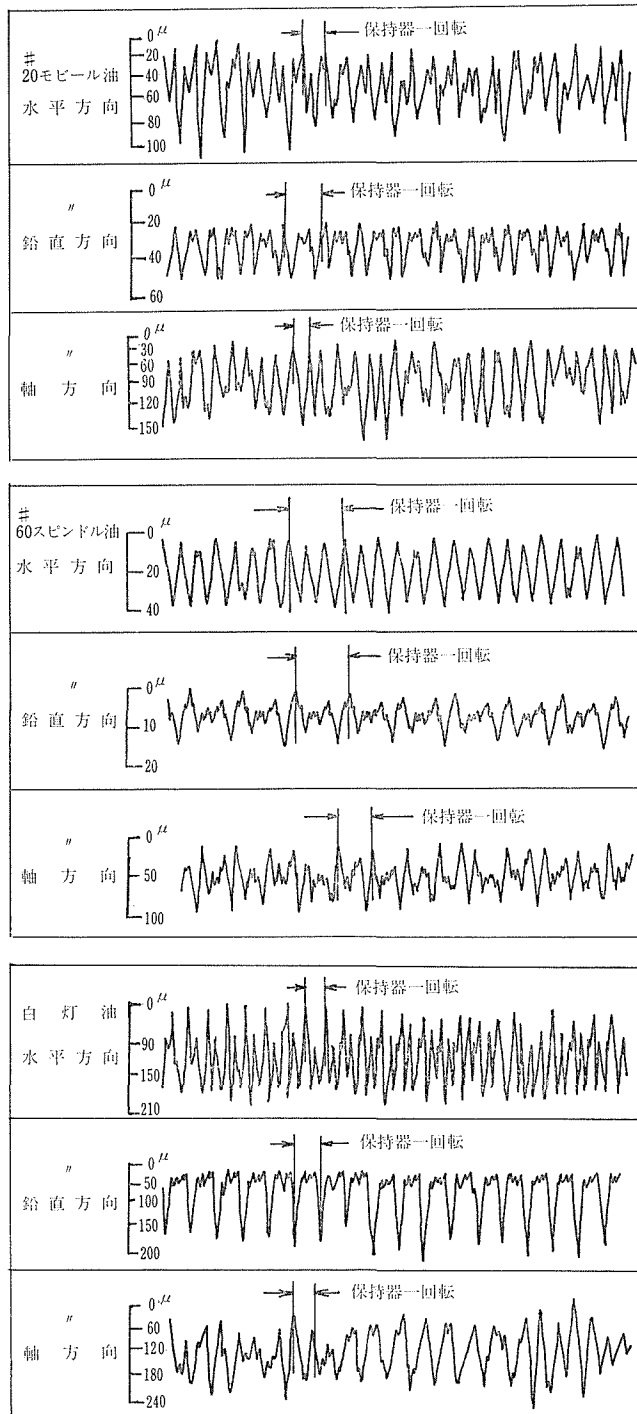


図5 潤滑油を変えた場合の G_1P_1 保持器の振動波形 $T = 35\text{kg}$, $n_r = 600 \text{ r. p. m.}$

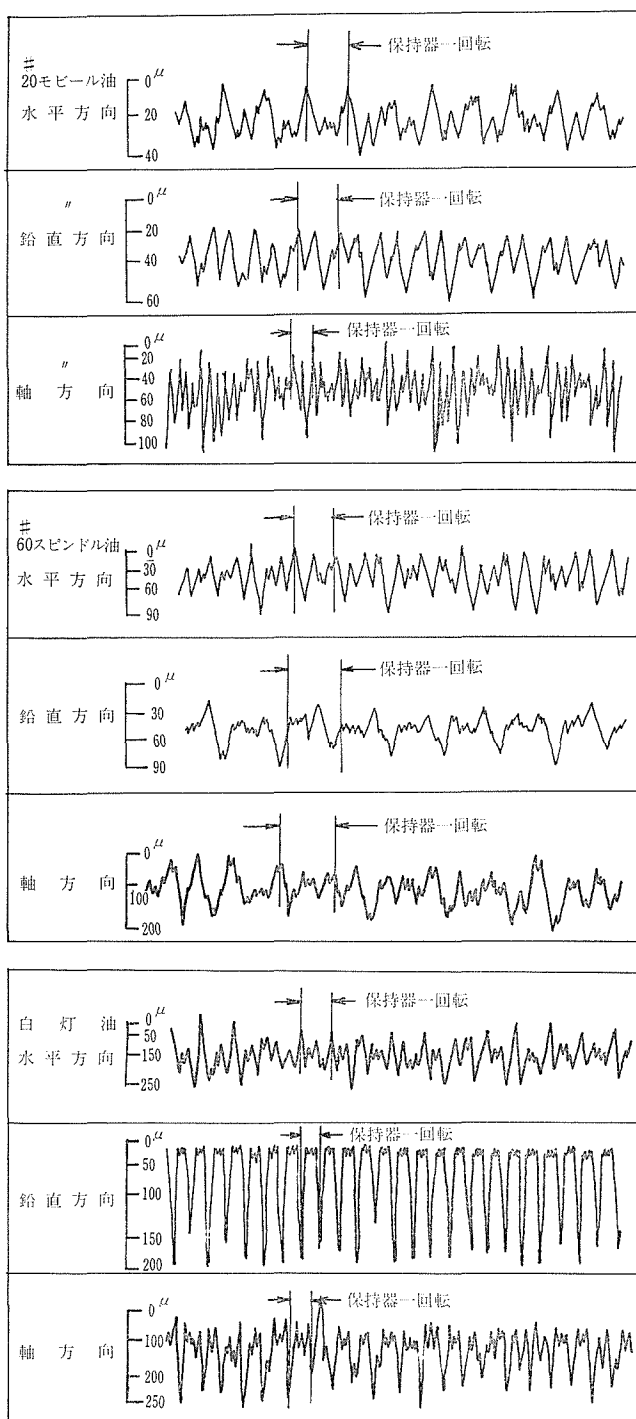


図6 潤滑油を変えた場合の N_1P_1 保持器の振動波形 $T = 35\text{kg}$, $n_r = 600\text{ r. p. m.}$

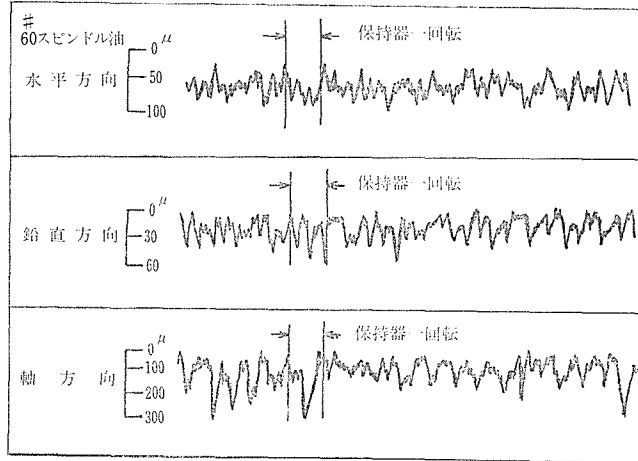


図7 N_1P_1 保持器 $R=10\text{ kg}$, $n_r=600\text{ r.p.m.}$, #60スピンドル油のときの振動波形

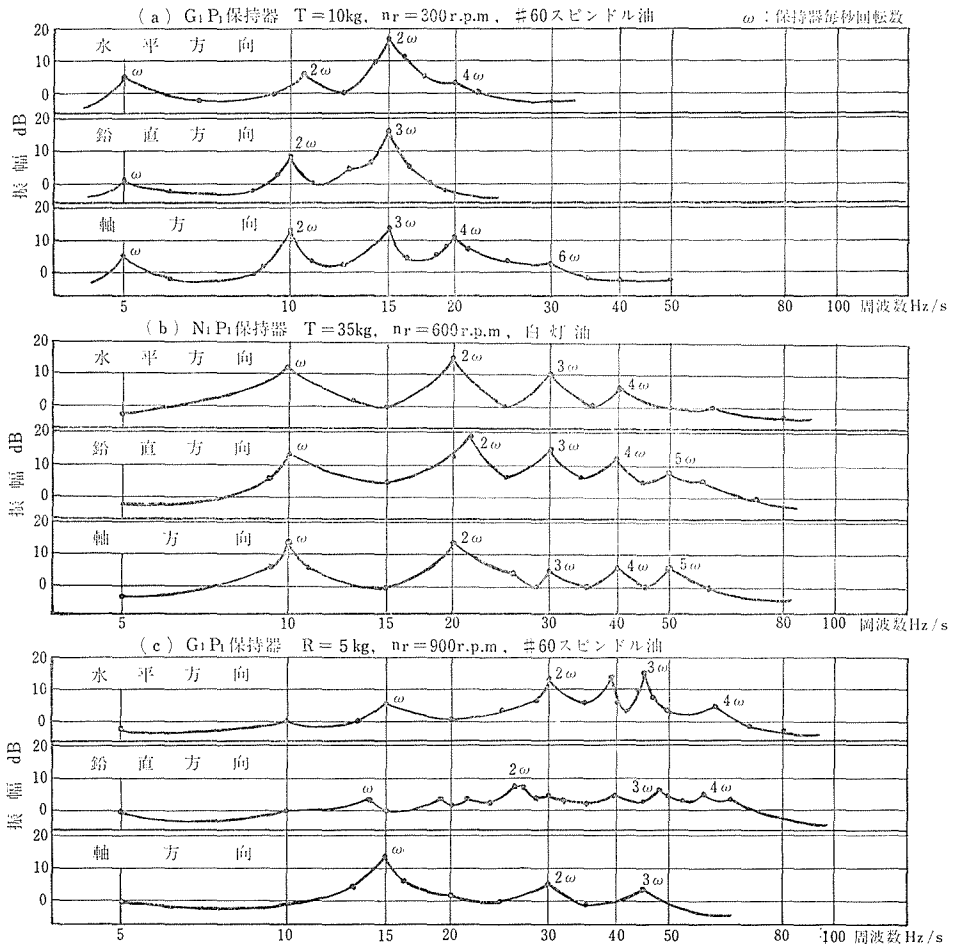


図8 種々試験条件における周波数成分の一例

例が図8のようになる。保持器の回転速度を ω (基本周波数)とすると、いずれもその整数倍の成分が各方向の振動の中に含まれていることが明確に現われている。 ω 成分の大きいものや、あるいは 2ω 、または 3ω の大きいものなど様々であるが保持器の回転速度が基調となっていることが、保持器の運動の大きな特徴といえる。

保持器に作用するいろいろな外力について考察すると、保持器ポケット内においては玉の自転のすべり接触によって作用する摩擦力、玉の公転速度と、保持器ポケット穴の周速度との相対速度の結果生じる公転すべり接触が作用する駆動力や制動力、そのほかに外輪案内面において、保持器の外径に作用する制動力、また内輪案内面が保持器の内径に作用する駆動力などが上げられる。

保持器の各方向の振動についての周波数分析の結果からすれば、保持器の回転速度が基調になっているので、上に述べたいろいろな力の中で最も大きく保持器に作用しているのは、玉の公転速度と保持器ポケット穴の周速度との相対速度によって生じる力(公転すべり接触によって生じる摩擦力で保持器を押し駆動力と制動する制動力の二つがある)であると考えられる。

4 結 論

以上の実験結果と考察から、種々の実験条件における外輪案内および内輪案内の保持器の運動を三次元的(水平、鉛直および軸の各方向)に測定することによって、その運動状況が次のように明らかになった。

- 1) 水平、鉛直および軸の三方向の振動変位はそれぞれのすきま量いっぱい振れていない。一般に軸方向の変位量は他の二方向に比べて非常に大きい。
- 2) ラジアル荷重またはスラスト荷重の負荷において、荷重の大きさにはほとんど影響されないが、荷重の形式に対してはラジアル荷重のときの方が変位量はわずかに大きく現われる。
- 3) 今回の実験のように保持器の回転速度300~900 r. p. m. 程度では振動変位は回転速度の影響をほとんど受けない。
- 4) 潤滑油に対して運動は非常に敏感に効いている。すなわち粘度の低い白灯油の場合には運動が衝撃的で変位量が大きく、粘度の高いモビール油の場合は変位が小さい。
- 5) 外輪案内保持器と内輪案内保持器のいずれも運動状況は同じであるが、半径方向の変位量では内輪案内の方がわずかに大きい。
- 6) 振動波形は各方向ともだいたい規則的である。一回転中の各方向の振動は波形から見てかなり複雑であって各方向ともその波形は異なる。
- 7) 各方向の振動を周波数分析した結果、すべての実験条件に対して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。このことは保持器の運動の大きな特徴で、これによって保持器の運動は玉の公転運動において、玉と保持器ポケットとの間の接触の挙動に主として起因することが推定される。

本研究を行なうに当たり、絶えず御指導を賜った鉄道技術研究所、主任研究員赤岡純先生(現在玉川大学)に深甚の謝意を表します。またこの研究を進めるに当たって種々御

教示と御援助そして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) を始め機械工学科の諸先生方に心から御礼を申し上げます。

本実験研究を進めるのに多大な協力をされた42年度機械工学科卒業生, 渡辺賢二, 岡田忠夫そして石田恒郎の三君に感謝致します。

最後に本研究の試験軸受の製作に大変な御協力を賜った日本精工株式会社に対して厚く御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 角田, 機械学会論文集, 32-239 (昭41-7), 1164.
- 2) 曾田, 機械の研究, 1~6 (昭26-6), 261.
- 3) 井沢, 科学研究所報告, 31-3 (昭和30-5), 203.
- 4) 萱場, 鈴木, 野口, 精密機械, Vol 35, No.10 (昭44-10), 643.
- 5) 後藤, 渡辺, 機械学会誌, 68-556 (昭40-5), 607.
- 6) 下間, 川口, 河本, 金山, 利岡, 塚本, 機械学会関西支部41定時総会 (昭41-3), 29.
- 7) 矢沢, 信州大学工学部紀要, No.21 (昭41-12), 67.
- 8) 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.
(1st Report, The states of the Motion of Sold Cages in Radial Ball
Bearings under Radial or Thrust Load)

Shinpachi YAZAWA

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

The motion of revolving solid cages was measured in radial (horizontal and vertical) and axial directions under various experimental conditions by the non-contacting displacement vibrometer utilizing variations of self-inductance.

Out of the experimental results, it is found that the motion was considerably affected by the coefficient of viscosity of lubricating oil, by the conditions of lubrication between balls and pockets and by the conditions of motion of balls under the loading, that is, by the condition whether the balls have slips or not while balls are rotating and revolving.

And the oscillations of integral number's frequency, 1, 2, 3, tims as large as the revolving speed of the cage, are usually contained within the motion.

As the frequencies have no relation to the number of balls and the rotating speed of the inner ring, the author presumed that the oscillations of the cage were brought about by contacting conditions between balls and cage pockets.