

## ジャイロスコープ ボーネンベルゲル式 GP-2形

ジャイロスコープ (Gyroscope) の特性は広く航空・航海の各種の計測器および自動操縦装置に用いられ、とくに現今では I.C.B.M などロケットの頭脳の一部として主要な役割を演じています。本器はジャイロスコープの機構の説明ならびにジャイロスコープおよびジャイロコンパス (Gyro Compass) に関する多数の実験を基本的にしかも的確に行なう装置であります。したがってとくにジャイロスコープの本体は均質でかつ耐久性のある材料を使用し、各部はじゅうぶんな精度で作られています。

おもな実験種目 (ジャイロスコープの特性)

1. ジャイロスコープの回転惰性 (回転軸〔回転面〕の保持性)
2. ジャイロスコープの摂動 (Precession)
3. ジャイロコンパスの指北性

### 構 造

図 1 に示すように慣性能率の大きな「こま」1 は互いに直角に交わる軸をもつ内環 2、中環 3、外環 4 の 3 つの環 (ジンブル gimbal) によって保持され、かつ「こま」の重心を各環の回転軸の交点 すなわちそれらの重心に一致させ、「こま」の軸はどんな方向でもとり得るよう、いわゆる 3 つの自由度を有するカルダン支持になっています。外環 4、付設のストップ 5 は外環に対する中環 3 の回転をなくするもので、これによって「こま」軸は 3 つの自由度から 2 つの自由度

に変えられ後述するジャイロスコンパスの実験に供されます。このジャイロスコープ本体(1.2.3.4)が支持柱10の上端に取りつけられていて、その首金具6はちょうネジ7および、さおつきネジ8で外環をその面内において任意の傾斜および回転をさせて固定できます。傾斜の角度は目盛り9によって知ることができます。

また支柱10はハンドル11によって軽く回転することができ、かつジャイロスコープの本体を抜き取ることもできます。引き手つき琴ひも12、撰動錘13、大小各1個を付属します。全重量4kg

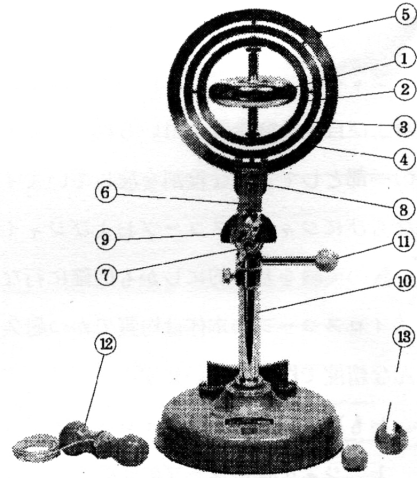


図1 構造

## 使用法

### 1. 「こま」の回転操作

「こま」に回転を与えるには、まず「こま」軸の穴に付属のひもの一端を差し込み「こま」を手で回転して堅く巻きつけます。つぎにひもを回転軸に直角に引張るのですが、この際「こま」は質量が大きくまわりにくい(慣性能率が大きい)ので、はじめは徐々に力を入れて、終わり頃に急速に力を加えて引くことがたいせつです。はじめから急速に力を作用させてもわずかな時間で早い回転(大きい角加速度)を与えることは無理で単に「こま」軸の軸受けだけに

力がはたらき、機械に無理ができてたいせつなバランスを破ったり最悪の場合には軸受けを破損するおそれがあります。また引き終わりになって力を抜くと「こま」は加速度で回転が早くなるのにひもがこれにともなわず、逆に巻きつけられることがありますから注意をしなければなりません。

## 2. ジャイロスコープの回転慣性

まず、ストッパをゆるめて「こま」を3つの自由度に保ちます。つぎにちょうネジもしくはさおつきネジをゆるめて、外環を任意の方向に傾けて固く締めつけた後、(1)の方法で「こま」に回転を与え「こま」軸を任意の方向に向かわせます。ハンドルを回わして、その「こま」の位置を変えてもあるいは「こま」全体の装置を支持台から取りはずし、これをどのように持ちかえても、その回転軸はつねに一定方向(宇宙空間に対し)に向かいます。(図2.3.参照)

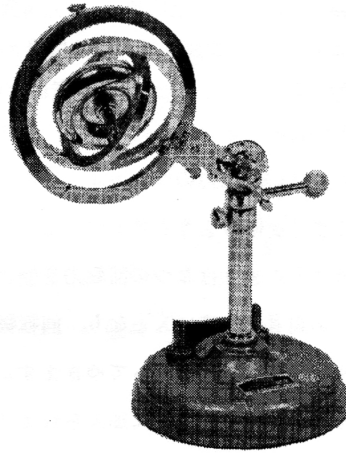
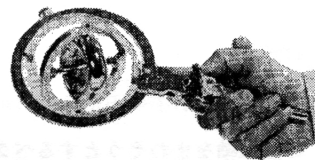


図2 回転慣性



## 3. ジャイロスコープの振動

まず各環を一平面内に収めたとき「こま」軸が水平になるようにさおつきネジで外環を垂直に保たせて「こま」に急速な回転を与えた後、内環を水平に動かし、

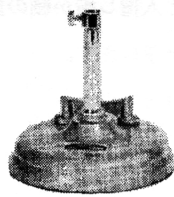


図3 回転慣性

重錘をサイドからそう入してその荷重によって「こま」軸を傾けようとする「こま」軸はその方向に傾むかず、そのかわりに「こま」軸の重力の面に直角な向きに回転をはじめます。(図4) その回転方向は図5において(この図は真上から見たものとし、したがって紙面は水平面にあるものとします)、「こま」が矢印Xのように回転するとき錘をYにつけて紙面から裏側に向かって外力を加えると、内環すなわちコマ軸は、Zの方向に回転をし、一見奇異な運動をします。これがいわゆる摂動であります。つぎに重錘を反対側に付着させると反対の摂動が起こり、また「こま」の回転方向を逆にすると、旋動も逆になります。図6は回転ベクトルを考えて数量的にその合成を示したものであり、 $\dot{X}$ を

「こま」の回転力のベクトル、 $\dot{Y}$ を「こま」を傾けようとするベクトルとすると「こま」は2つの回転力を受けるため両者の合成は $\dot{X}'$ となり、回転軸は $\dot{X}$ から $\dot{X}'$ の方向に移ってゆきます。 $\dot{Y}$ は錘によって連続的に加えられますから結局 $\dot{Z}$ なる回転、すなわち $\dot{X}\dot{Y}$ を含む面に⊥かつ上向きの回転ベクトル $\dot{Z}$ になります。一般にフレミングの法則のように「こま」の回転ベクトルの方向を右手の中指に外力が「こま」の回転軸をまわそうとするベクトルの方向を親指にとると人指し指が軸の旋回ベクトルの方向を示します。

また摂動角速度 $\Omega$ は  $\Omega = \frac{T}{I\omega}$  であらわされ、

ここに T; 傾けようとするトルク  
I; 「こま」の慣性能率

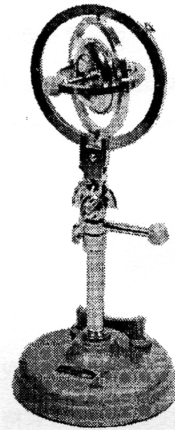


図4 摂動の実験

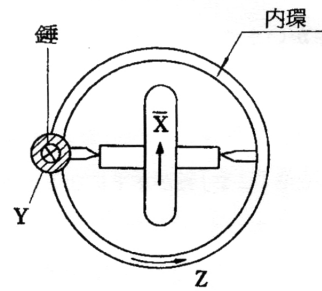


図5 摂動の向き

$\omega$  ; 「こま」の角速度

したがって付属の大小の重錘を取りかえて実験すると重錘の重さに比例して振動の角速度に違いがあるのが立証できます。

$$\Omega = \frac{T}{I\omega} \text{ の証明 (参考)}$$

図7において、最初「こま」の軸がOX方向にあったものがトルクTによって微小時間 dt 間に  $d\theta$  だけ移動してOR方向に変わったとすると、力学の法則により回転体の角運動量の変化は外力の力積の能率に等しいから角運動量の変化

$$\vec{XR} = H d\theta = I\omega d\theta$$

ここに H ; こまの角運動量  
この場合にはたらいた外力の力積の能率は  $T \cdot dt$  である。

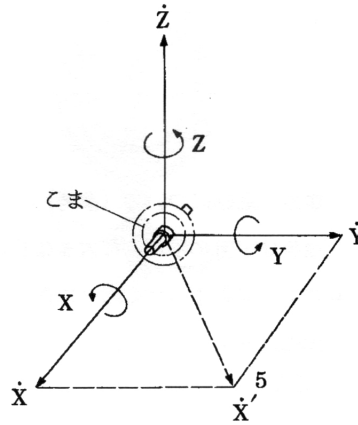


図6 振動の原理

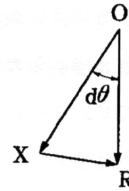


図7 角運動量の変化

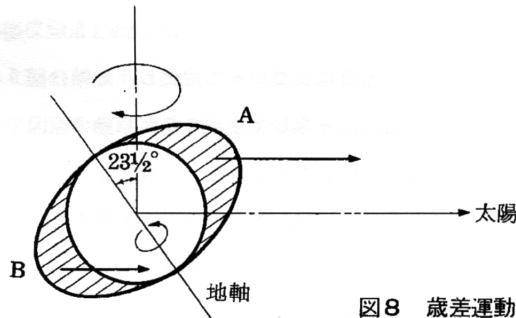


図8 歳差運動の原理

$$\therefore IW \cdot d\theta = T \cdot dt$$

$$\therefore \frac{d\theta}{dt} = \frac{T}{IW}$$


$$\downarrow$$

$$\therefore \Omega = \frac{T}{IW}$$

#### 4. 歳差・章動について (参考)

地球は宇宙に浮かんだ大きな「こま」であるから歳差・章動の現象はジャイルスコープとまったく同一原理によって説明できます。

地球は完全な球面ではなく回転長円体であり、しかも赤道は黄道に対して  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  傾いています。それゆえ太陽の地球におよぼす引力に不等を生じます。月の引力もまた同様です。白道は  $5^{\circ}$  強しか傾いていないから、平均として月もまた黄道上にあるものと考えてさしつかえありません。

図8において斜線部を地球のふくれた余分の部分とすると太陽に対しそのA部とB部とでは距離の違いから引力に差ができ、地球の軸を引き起こそうとするようにはたらきます。したがって地軸は  に示すように、首振りをします。これが歳差運動です。

地軸を傾けようとする力は、黄道ないし白道と赤道との交点に太陽ないし月があるときにはゼロで交点と直角の方向にきたときに最大となります。この力がゼロになるのは太陽の場合は春秋分のときで月の場合は1月に2回あります。また別に白道交点週期(白道と黄道との交点)は18.618年で逆行一周天するから主としてこれら3つの周期にしたがって変化し、地軸は図9における~~~~線で示すように複雑な首振りをします。これが章動の原因です。

#### 5. ジャイロコンパス (転輪ら針儀) の指北性

組み立て)ます図10のようにジャイロ本体を傾けずに正立させ各環を一平面内に収めたとき「こま」軸が水平にあるようにさおつきネジにより外環を固着替えします。すなわち1.の実験と外環の取りつけが  $90^{\circ}$  違うわけです。なお外環のスト

ッパで中環を固定して2つの自由度とし、ちょうネジによりこれを支柱に対して任意の傾きに保持します。

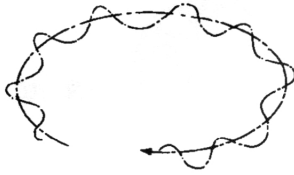


図9 章動の原理



図10 「こま」の回転軸が水平になるよう固定がえをする

解説) 上記の組み立てにより支柱軸は仮想地球軸となり図11の $\theta$ は緯度であり目盛板によってこれを知ることができ、かつ「こま」軸は仮想地球の水平面内において自由にその方向を変える仕組みとなります。なお仮想地球はくび金具がちょうネジ軸を中心として作る円の支柱軸まわりの回転体として仮想するとよろしい。したがってその円は1つの仮想子午線面であります。ジャイロコンパス本体を(イ)(ロ)(ハ)のおおのの位置に固定させると、その「こま」軸はどのように回転しても子午線につねに平行であるから仮想地球の水平面内において自由にその方向を変えられ、なお(イ)は赤道 (ロ)は任意の緯度 (ハ)は極地の位置における「こま」を表わします。(図12)

操作法) 上記のジャイロコンパスを極地以外の任意の場所に固定して「こま」に回転を与え、その「こま」軸を子午線面以外の任意の方向に置けば軸はいつまでもその方向を保持します。

つぎにハンドルで支柱軸まわりに旋回させて仮想地球自転運動を与えると「こま」軸はただちに子午線面内に向う運動を起こしてついに子午線面に一致します。それ以後はどのように自転運動を継続しても「こま」の軸はなん

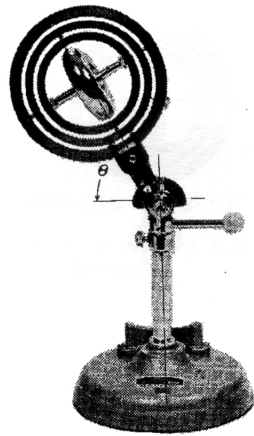


図11 ジャイロコンパスの実験

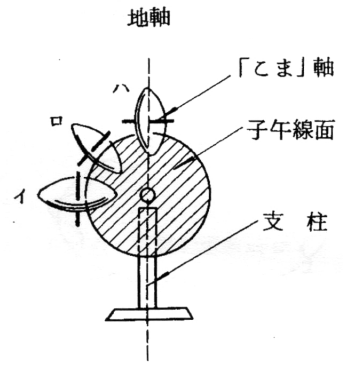


図12 「こま」軸は子午線面に含まれる。

ら反作用を示さず即刻に追従してつねに仮想子午線面に含まれ軸は南北をさします。すなわち「こま」の軸は支柱軸まわりに1つの円すい面を描きます。(〔参考〕支柱軸まわりの旋回を逆転すれば「こま」の軸は転倒してふたたび同様になります。これがすなわちジャイロコンパスの指北性であります。ジャイロスコープとジャイロコンパスの違いは図13で明白にわかります。なおこの実験においてその指北能率は赤道地区は大きく極地に行くにしたがい小さくなり、極地においては指北能率はゼロであり、ジャイロスコープの基本的理論も立証することができます。また赤道地区では指北能率が最大であるから「こま」の回転速度はわずかであってもたやすく指北することが立証できます。



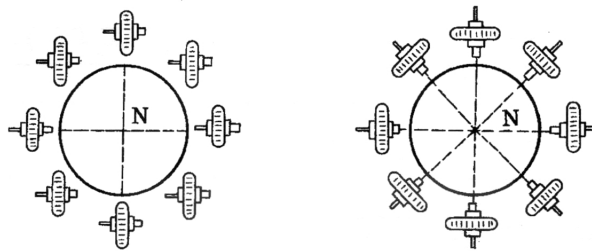


図13 ジャイロスコープとジャイロコンパスとの姿勢の違い

注意事項

「こま」の中心、すなわち重心は3軸(「こま」軸、内環の回転軸、中環の回転軸)の交点と完全に一致することが必要で、少しでも違いがあるとモーメントが現われ、予期しない運動が起こるから実験前に調整しなければならない場合があります。

重心と交点一致する場合には「こま」軸をいかなる位置に置いてもつねにつり合ってその位置に静止します。もしいずれかに傾く場合一時的に調整するには内環の「こま」軸をささえた2つのピボットをゆるめ軸を左右いずれかに移動して締めなおすによろしい。

なお

- 1) ピボットの先端と「こま」軸受けの凹点とは両端とも軽く接する程度でよく、かたく締めつけると「こま」は回転しにくくなります。またゆるいと「こま」軸は左右にガタツキます。
- 2) ピボットの締めネジはつねに内環の内

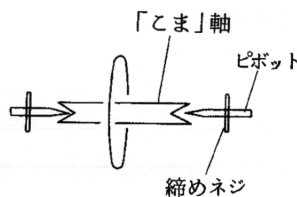


図14 「こま」の支持

側に接するように強く締めつけることが大切であって締めネジを移動して重心調整するものではありません。