

新電気式 Gyro-Horizon (第1報)

所 員 佐 々 木 達 治 郎
渡 邊 保

目 次

- 1. 緒 言
- 2. 起 立 原 理
- 3. 試作器の構造及一般的構造
- 4. 實 験.....
 - a. 實 験 概 要
 - b. 實 験 装 置
 - c. 實験記録の一般的説明
 - d. 實 験
- 5. 結 言

1. 緒 言

現在水平儀で最も廣く用ひられて居るのは Sperry 式人工水平儀であるが、近來各種航空用指示計器の電化が特に目立つて來た様である。

水平儀關係に於ても之が電化の研究に依り新方向を開拓して行かれるならば面白い事であり意義も多分にあると思ふ。

勿論、各國に於ても之は既に試みられて居り其等の報告も見られ相當の成績を擧げて居るものも有る様である。

本水平儀は當方にて考案し實驗せる結果の報告で、未だ研究途中なるも現在迄の所、水平儀として精度も充分有り獨特の特徴を持つて居り略々實用可能である事を認める事が出來たので第一報として報告する次第である。

現在引續き實驗中のデーターはこれを續報として報告する筈である。

本報告では總ての點に付き Sperry Horizon と比較し其の優劣を論じて見た。

2. 起 立 原 理

本報告に於て起立と云ふ言葉は gyroscope が各方向より地球の鉛直線方向へ precession

(1) Jahrbuch der Deutschen Luftfahrtforschung (1938) S.231.

Verfahren und Bauglieder automatischer Flugzeugsteuerungen, Von Eduard Fischel.

を行ふ事を意味する。

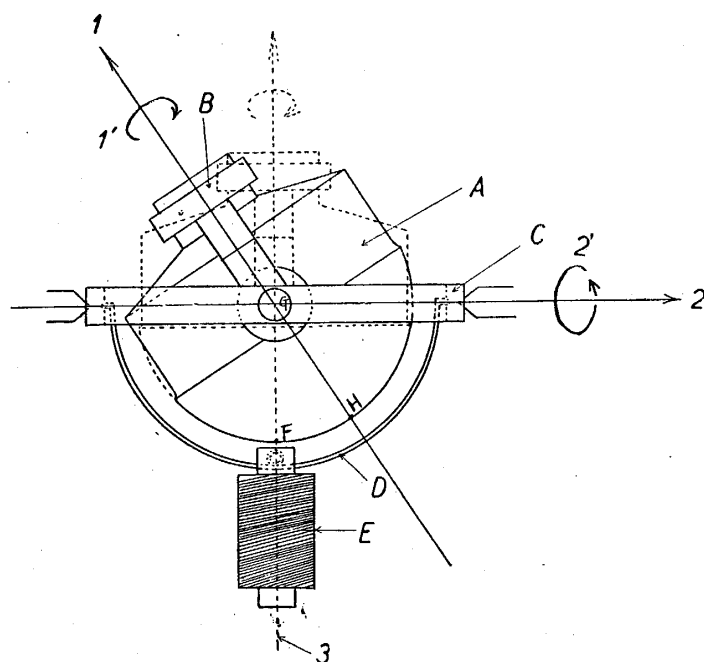
此の水平儀の起立力發生の原理は一言にして云へば、高速度にて廻轉して居る gyroscope の銅製半球狀面へ磁石をかざして、球面にフーコー電流を發生せしめ其の電流の廻轉制動作用を利用して gyro に攝動（此の場合は起立）を與へるのである。

此の起立作用の零となる點は銅製半球面にフーコー電流の起らざる點即ち gyro の回轉軸方向が丁度磁石の方向と一致した時であり、此の點が gyro の靜止點となるのである。

今、此の磁石を振子となし其の方向を常に地球の鉛直線方向とする時は gyro の方向も此の方向となり地球の鉛直線方向の指向力を有する事となる譯である。

本水平儀はかゝる根本原理より發達し第一圖に其の構造及起立の原理を示す如く、大様、半球面狀回轉子 (A) は垂直デンバル (B) 及水平デンバル (C) にて三軸自由に支持せられ水平デンバル (C) には、半圓狀磁石振子支持デンバル (D) にて支へられ常に鉛直線方向を示すべくさせる磁石振子 (E) より成り廻轉子 (A) の半球面は之れを銅製とした。

今、高速度にて廻轉矢 (1') の方向に廻轉しつつある半球面廻轉子 (A) の angular momentum の方向は矢 (1) の方向である。磁石振子に電流を流し磁氣を帶びしむれば球面上の磁石振子と電磁氣的に接する點 (F) にはフーコー電流が發生する。



第 1 圖 原 理 圖

此の電流は點 F に於て、高速度回轉中の廻轉子 (A) に廻轉制動作用を及ぼし其の廻轉方向と逆方向に廻轉せしめんとする力即ち、圖の場合點 F に於て紙面に垂直に紙背の方向へ廻さんとする力である。此れは重心 G を中心とし廻轉矢 (2) の torque であり其の方向は矢 (2) の方向である。

廻轉子 (A) は今新たにかゝる偶力を與へられたるを以て漸次其の方向を變じ矢 (2) の方向へ precession を開始する。次第に矢 (1) の方向が磁石振子の方向即ち矢 (3) の方向へ近づけば銅製半球面の磁石振子に電磁氣的に接する點の緣周速度が低くな

り従つて發生するフーコー電流も弱く precession も遅くなる。

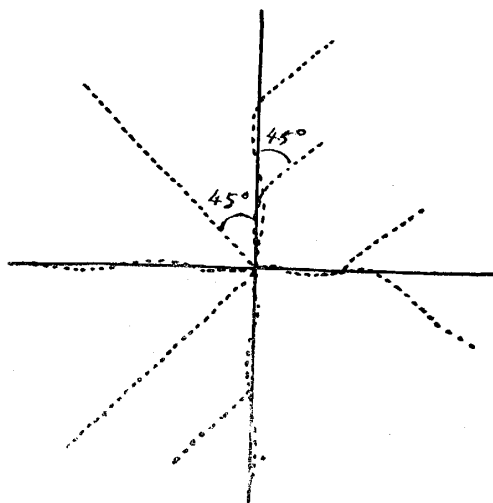
遂に半球面の回轉中心たる H 點が磁石振子と相對するに到り緣周速度は零となりフーコー電流は此處に全く發生せず precession は止る。矢 (1) が垂直線方向矢 (3) に一致したる時に止るのである。

如何なる位置よりの起立も全くこれと同一理論に起立するのである。

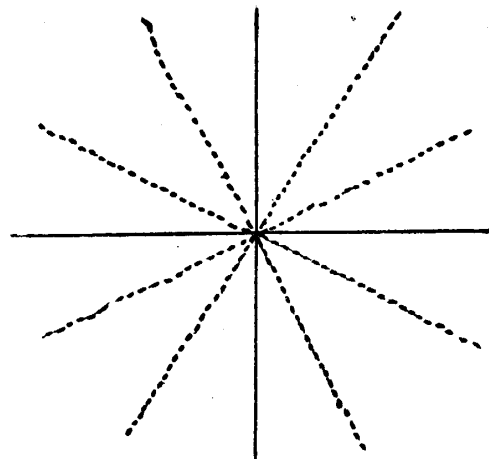
故に本水平儀は總ての位置より直線軌跡を以て起立すべく此の點 Sperry Horizon と多少趣を異にし且つこれに優るのである。

前航空研究所囑託根岸宏二氏の直接摩擦式デヤイロ水平儀もこれと同じ原理のもので、これは半球面へ直接、液體或は固體を接觸せしめ、其の摩擦に依り起立せしめるものでこれを直接式と名付ければ本式は間接式とでも云ふべきものである。

衆知の如く Sperry Horizon の起立装置は四個の各々振子辨を持つ噴氣口より噴出する jet の reaction に依り起立するものであり其の起立曲線は座標を第六圖に示す如く決定した時第二圖に見る如く X, Y, 軸上及中心より X, Y 軸に 45 度をなす線上よりの起立の時は直線的に他の場合は其の構造上必ず兩軸の何れかへ歸つて起立するのであるが、本水平儀は後述の實驗データにても知れる如く總ての點より直線的に起立する特徴を持つ。(第三圖)



第 2 圖 Sperry 式の起立曲線



第 3 圖 本水平儀の起立軌跡圖

此の何れが良で何れが否かは軌跡のみに就ては論ずべくも無いが、其の起立速度に於て、Sperry Horizon に於ては約三度迄は Constant であり、三度以内に入つて次第に遅くなるのであるが、本水平儀は其の理論上、角度が減するに従つて起立速度が遅くなる譯であるが、實驗に依れば十度位迄は目立つた差は無く、それより僅かに遅くなり約四度附近より Sperry 式と同じ様な現象を見る事が出来た。

本水平儀は磁石振子の供給電流の加減に依り自由に起立速度を速める事が出来る。此の點は Sperry 式に比し確かに利點であると思ふ。構造上、本水平儀は廻轉子の廻轉速度は Sperry 式に比し相當遅くて済み、これに附隨して製作上の利點も多い事と思ふ。

3. 試作器の構造

本水平儀の本格的テストに入る前に、云はゞ豫備的の實驗をして其の性能の大體を察知する爲に、先づ有合せの部品を利用して製作したのが本器である。従つて其の示す性能は、大體は同一なるも、多少實際よりも劣ると云ふ事は豫想出来る。

第四圖に其の構造を示す如く、gyroscope は、Gyrorector 用のものでこれは水平儀としては餘りに其の power が大きい嫌ひがある。従つてこれを起立させる爲の力も大きくなけ

ればならなかつた。然し他に、之れと云つて取上げて問題にする程の支障も考へられぬので實驗に供した次第である。此の獨樂は gyrorector として使用する場合は特殊の風車式發電機で電流を供給し其の周波數に應じた回轉速度を持つ三相交流式モーターで、固定子の外周に廻轉子がある特殊の形をしたものである。

Rotor (A) は上下より Ball-Bearing にて stator に支へられて居る。stator の一端は垂直デンバル(B)に保持せられ、此の所から三相交流の lead-wire が出されて居る。

Rotor (A) の半球面は特に試作せるので銅製、厚一耗である。

垂直デンバル(B)及水平デンバル(C)は何れも鐵製なる爲多少、實驗に不利を來したのであるが大した影響は無かつた様である。

此等を用ひた pivot 及 Ball-Bearing は Sperry Horizon 用に製作したもので本實驗では Rotor が Sperry 式に比し相當重い爲、少々無理はある様だが他に方法が考へられぬので其儘使用した。

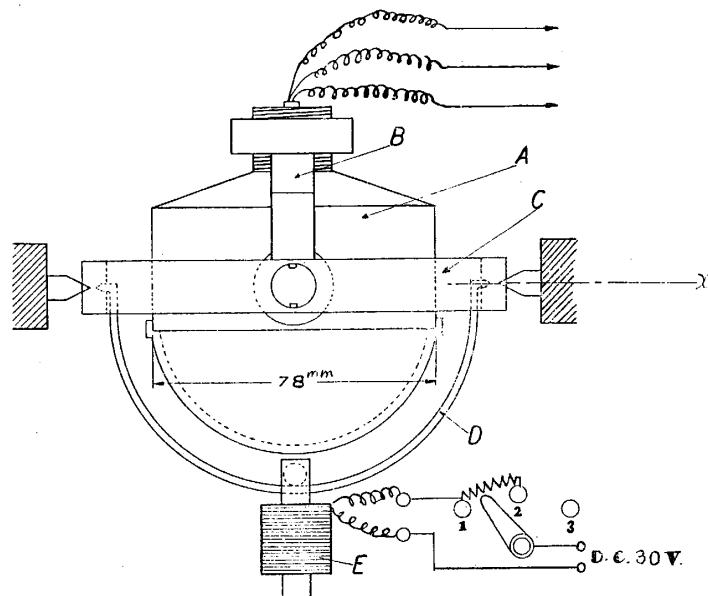
水平デンバル (C) には磁石振子支持用半圓形のデンバル (D) が有り、これはピボットにて X 軸に廻轉自在に保持せられて居る。之れは磁氣の影響を考慮して眞鍮製とした。

磁石振子 (E) は軟鐵製心棒に約 1900 回捲ける Coil を付け心棒の頭部に Roller を組込んだものである。Roller は廻轉摩擦を少くする爲に pivot で支へた。此の Roller は圖に見る如く半圓デンバル (D) 上を轉がるもので磁石の方向を如何なる状態に於ても鉛直方向と一致せしむる爲のものである。

圖に三個の Switch と lever が有るのは、水平儀の起立速度を加減する装置である。即ち飛行機が出發する時、或は急速に水平儀の指示を信頼したい場合に仲々水平儀の起立が遅く、靜止する迄時間がかゝる様では急速の間に合はない。

Sperry 式に於ても相當時間がかゝり、一つの缺點と見られないでもないが、本水平儀では前にも述べた通り磁石の供給電流の加減でこれを自由に Control 出来るのであるから、或る許容範圍で最大の電流を流して速やかに起立せしめるのが Switch (1) の場合である。

然し、通常の飛行状態では、かゝる大な電流は不要であるし不經濟でもある。其の時にはこの電流を適當に落して使はねばならぬ。Switch (2) の場合がこれである。圖では Resistance で落して居る。



第 4 圖 試作器構造圖

- | | |
|--------------|-------------------|
| A.....ローター | D.....磁石振子用半圓デンバル |
| B.....垂直デンバル | E.....磁石振子 |
| C.....水平デンバル | |

又 Sperry 式にしても、本式にしても振子を以て其の基準とする水平儀では必ず加速度に依り指示誤差を生ずる。⁽²⁾

勿論、之れを防止した考案もあるが、これ等は別として、一般水平儀としては大きな缺點である。本式に於ても磁石に電流を流した儘或は永久磁石を使用したる場合は理論上 Sperry 式以上の誤差を豫想されるが、磁石振子を電磁石とし加速度状態に於てのみ電流を切斷すれば gyroscope は全く free となり何等影響を受けずに済むのである。圖に於て Switch (3) がこれである。

勿論、これは旋回計を利用してこれを以て自動的に Relay を働かし切斷する事も容易である。

此等の點は Sperry 式に比し便利であらうと信ずる。

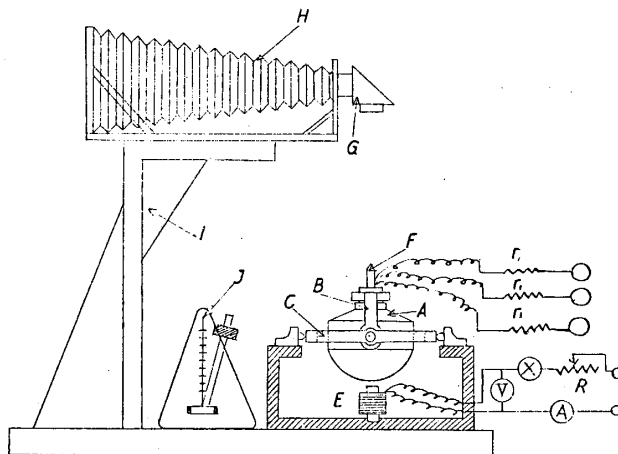
一般的構造

上述せるは試作器の構造であるが本原理に立脚する水平儀としての構造は、大體は第四圖の通りであるが、三相交流の供給方法、磁石振子電流の供給方法を考慮し新たに製作中である。又デンバルは輕合金とし磁氣の影響を無くして實驗を行ひ追つて報告する筈である。

4. 實 驗

a) 概 要

實驗の方法として全部を完全に組立てゝから一氣に總括せる實驗を行ふよりは各細部に區分して各々に付き次々に實驗し、最後に此等の總括實驗を行つた方が、其の性能の精細を知る事が出来るし事故も早く知れるし効果的と思つたから區分實驗として先づ次の實驗を行つた。



第 5 圖 實 驗 装 置

- | | |
|------------------|--------------------------|
| A ジャイロスコープ | I カメラ用垂直臺 |
| B 垂直デンバル | J メトロノーム |
| C 水平デンバル | $r_1 r_2 r_3$ 電球抵抗 |
| E 磁石振子 | ⊗ スイッチ |
| F マーク | Ⓐ アムペア計 |
| G プリズム | Ⓥ ボルト計 |
| H カメラ | R 加減抵抗 |

る事が出来るし事故も早く知れるし効果的と思つたから區分實驗として先づ次の實驗を行つた。

磁石振子、ローラー、及支持デンバル (D) の製作前に、磁石振子を固定して、其の方向を鉛直線方向と假定して gyroscope の起立曲線を取つて見たのである。

此の實驗は gyroscope の起立速度及起立軌跡及靜止點の安定度及精度を知る爲の實驗である。

b) 實驗裝置

此の實驗を行ふ爲第五圖に示す如き裝置を作成した。裝置を説明すれば、本水平儀の頭上に少さいマーク (F) を付してこれをプリズム (G) を

(2) 航空彙報 168 號根岸、渡邊、スペリー式水平儀の水平旋回誤差, Lufo. 14 (1937) Lfg. 4 S. 283. Erich Schmid.

(3) 航研彙報 168 號武田、人工水平儀の旋回誤差防止の一方法

經てカメラ H に寫れる像を透明紙上に寫し取り水平儀頭部の運動軌跡を記録したのである。此の場合、軌跡と同時に起立速度を求める爲にメトロノーム (J) に依り五秒毎に報時して點を記録したのである。従つて點と點との間は五秒である。

又磁石供給電流を種々變化して上述の實驗を行つたのであるが此の變化及其の度合を見る爲には、其の回路中に電流計④、電壓計⑤、Switch⑥ 電流加減用抵抗器 (R) を入れた。磁石振子 (E) は其の位置及銅製球面との間隔を實驗に依り最良の位置に固定したのである。

c) 實驗記錄の一般的説明

先づ gyro 軸頭の運動軌跡を見る基準として第六圖に示された様な座標軸を考へる事とした。即ち、水平儀の支點より上方に水平面(座標面)を考へ左右及前後方向に直交軸を取りこれを圖の如く 1, 2, 3, 4, の方向と定めた。gyro 軸の方向は gyro 頭上のマークより水平面へ引ける垂線と水平面との交點を以て表はされる。即ち圖の場合點 A がそれである。

實驗記錄には便宜上其の全部に角度の線を記入した。これは上述の方法で以て豫め其の角度の位置へ gyro を定めて透明紙上に記録して o 點を中心として其の點迄を半徑として圓を畫いたものである。

本實驗ではプリズムを使用した爲、得た結果は總て實際運動の逆であるが本報告にてはこれを正當の場合に訂正して實際の運動通りの記録とした。

次に實驗の精度であるが、gyro に供給する電流、磁石に供給する電流は勿論變動はなく磁石の發熱もほとんど無かつた。

記錄はカメラで大體實物の一倍半弱の擴大を行ひ、マークは充分少さく相當精度は良い。又記錄の時はルーペにて精密に見て記録したので此の實驗としては充分であると思ふ。

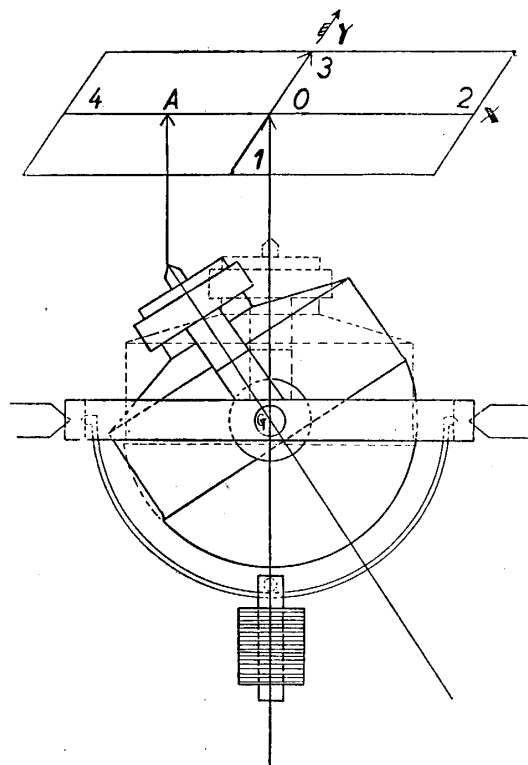
起立速度は勿論磁石電流の多少に依り變化する譯であるが同じ條件で行つても約 5% 程度の變動が生ずるし、時には相當の變動 (約 15%) に達する事もある。勿論これは供試水平儀の構造の然らしむる所であり無理の設計でなければもつと精度の上る事は云ふ迄も無い。

此の缺點は Sperry 式にも見られるもので、約 5~10%, 日を別々にして行へば 30% 程度の變動も見られる様である。

斯く、起立速度の變動は運動曲線に重大關係を持つ以上定量的實驗は無理であるが然し磁石電流を加減し又數回の同一實驗に依り定量的比較は充分出来る。

d) 實 驗

實驗は先づ磁石振子電壓 18 V. 0.435 Amp. で行つた。此の時の軌跡は A 表に示す如く四

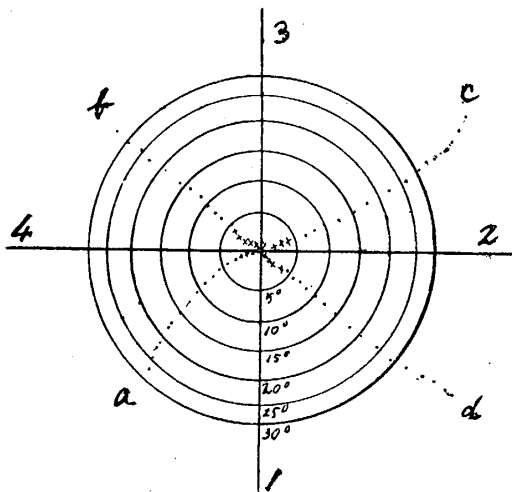


第 6 圖 座 標 軸

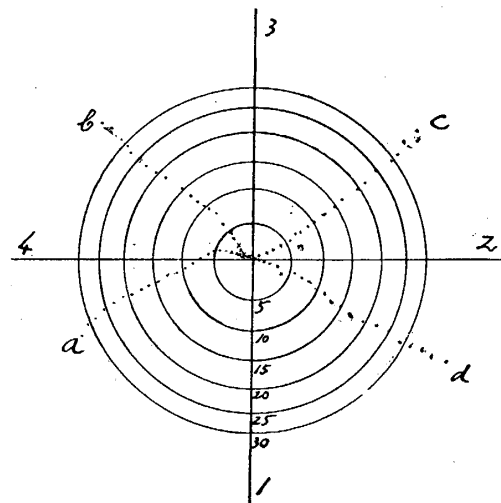
點 a, b, c, d よりの起立は, b, d に於て大體理論上の豫想に近く a, c. に於て少々變な經路をたどつて居る. 約四度近くになれば各方向からの起立速度は遅くなり五秒間隔の記録では無理となつた爲これを十秒とした. 此の結果から見れば極く僅か重心が支點より下に在る様に見える. a, c の直接原因は先づ磁石振子電流の小さい事, 重心の狂ひ等が擧げられる.

B 表は 19V. 0.46Amp. の状態で行つた結果である. 矢張り a に於て少々變な軌跡を示

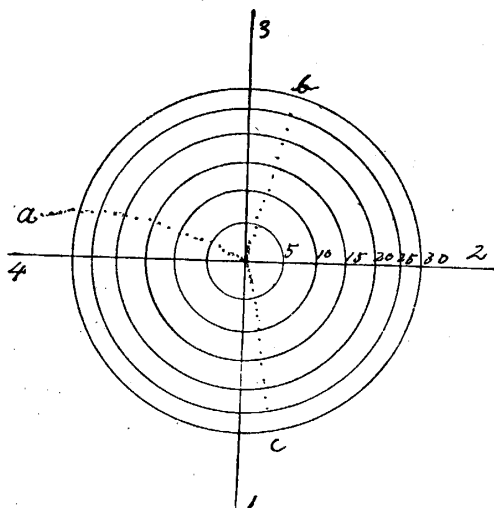
第 7 圖



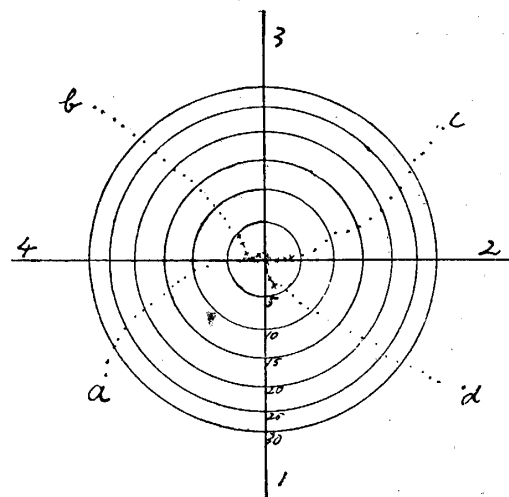
A 表 磁石振子供給電流
18 Volts 0.435 Amp.
○ の間隔..... 5秒
× の間隔..... 10秒
回 轉 數.....2,400 r.p.m.



C 表 磁石振子供給電流
20 Volts 0.50 Amp.
○ の間隔..... 5秒
× の間隔..... 10秒
回 轉 數.....2,400 r.p.m.



B 表 磁石振子供給電流
19 Volts 0.46 Amp.
○ の間隔..... 5秒
× の間隔..... 10秒
回 轉 數.....2,400 r.p.m.

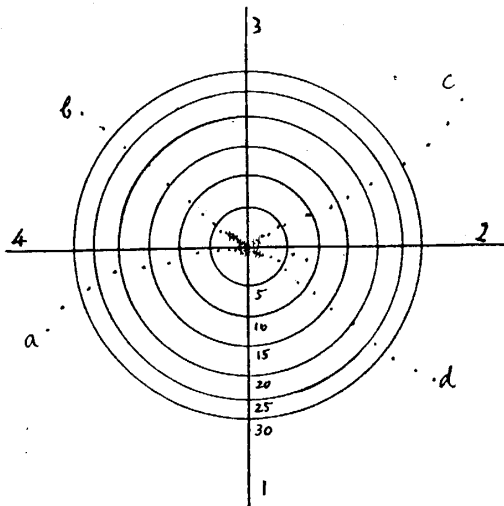


D 表 磁石振子供給電流
20 Volts 0.50 Amp.
○ の間隔..... 5秒
× の間隔..... 10秒
回 轉 數.....2,400 r.p.m.

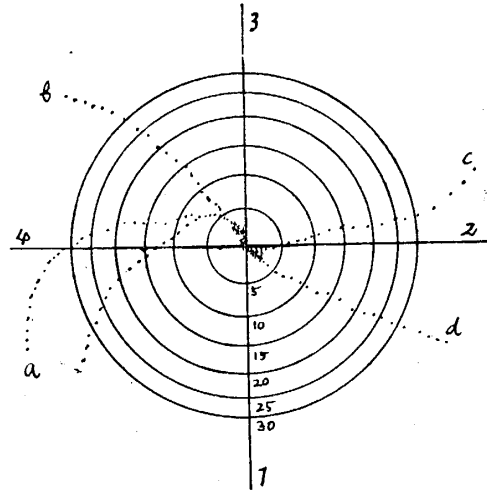
して居る。起立速度もほとんど A 表の場合と同一である。此の結果では未だ完全に理論的豫想経路を示して居ない。然し、静止點の安定は A 表共良好であつた。以上の如く 0.03 Amp. 位の増加では本水平儀に於ては、ほとんど結果は同じ事が知られる。

C 表及 D 表は 20V 0.50 A の時の結果である。これでは、ほとんど理論に近い起立軌跡をなして居る事がよくわかる。起立速度も速くなつて來た様である。此の状態では數回の實驗

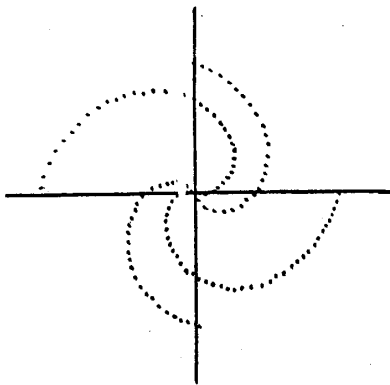
第 8 圖



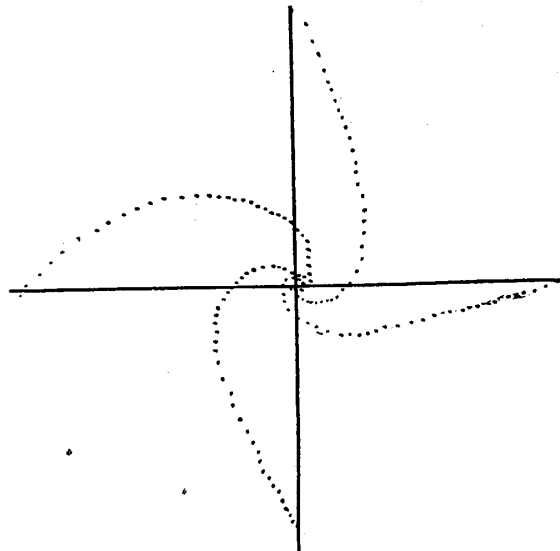
E 表 磁石振子供給電流
30 Volts 0.725 Amp.
○ の間隔……… 5秒
× の間隔……… 10秒
回 轉 數……… 2,400 r.p.m.



F 表 磁石振子供給電流
15 Volts 0.36 Amp.
○ の間隔……… 5秒
× の間隔……… 10秒
回 轉 數……… 2,400 r.p.m.



G 表 Sperry Horizon
重心下偏せる場合の起立軌跡
○ の間隔……… 4秒



H 表 本 水 平 儀
重心を下偏せる場合の起立軌跡
○ の間隔……… 5秒

を重ねて行ひ全部本表に近い結果を得た。

勿論静止點の安定は良く、ルーペで見て 5 分間連續觀測して不變であつた。

次に 30V. 0.725 Amp. にて測定した結果が E 表である。此の時は起立は極めて早く 30 度を約一分程で起立して終つた。水平儀として通常使用状態ではかかる速度は不要で、急速起立を必要とする場合は大變便利である。

これはほとんど直線的軌跡をなし、總て豫想と一致して居る。唯 a の場合及 b, c, の場合若干は鐵製デンバルの影響を受けて起立開始の時曲線を畫いて居る。これは勿論デンバルを非磁性體にて作れば除去し得るものである。

F 表の場合は 15V. 0.36Amp. の時の結果である。明らかに起立力の弱い事を示し、不足を證明して居る。a の場合は E 表と同様デンバルの影響を受けて居る。其の他の曲線も種々の影響を受けて直線的軌跡の面影は無く、僅かに d の場合うなづける位である。然し静止點の安定は相當良好で 1 倍半の擴大でも肉眼でやうやく其の變動を知り得る程度で勿論實用には何等支障は來さなと思ふ。此の場合は起立速度も可成り遅くなつて居る。

G 表と H 表は重心が下偏せる場合の Sperry 式と本式の軌跡の比較である。いづれも、同一經路をたどつて居る事がわかる。

5. 結 語

以上の報告は前述せる如く本水平儀の性能の大體を知る爲の實驗の結果であり今猶實驗を繼續中である爲總括的な批評は尙早であるが現在迄の實驗の結論として次の諸點を舉げる。

1. 總ての起立軌跡は直線的である。
2. 起立速度は磁石電流の加減に依り自由に制御する事が出来る。
3. 静止點の安定は良好（本實驗裝置の構造に於て）
4. 重心の變化に依る起立軌跡の傾向は Sperry 式と同様である。
5. 起立速度は大體十度迄はほとんど一定でそれより漸次遅くなるが目立つ程でなく四度以内に入つて Sperry Horizon と同様相當遅くなり、それがはつきり感知出来る程度となる。
6. gyro の廻轉は Sperry Horizon に比し相當低くて済む。1,000 r.p.m. 乃至 3,00 r.p.m. にて充分である。

以上の結論は 4 を除いた外は重心が支點に一致したる場合の議論である事を附言する。

本實驗に協力下さつた村瀬宗晴君に御禮を申上げて筆を置く。