

# 航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-64

航空力学における磁わい計器の応用

幸尾治朗

1964年3月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 報 告

TR-32	補強板の圧縮強度に関する一解析 A Method of Analysis on the Compressive Strength of Stiffened Plates	1962年11月	川井忠彦, 江川幸一
TR-33	主翼繰返し荷重試験装置 Repeated Load Testing Rigs for Full Scale Aircraft Wing Structures	1962年12月	竹内和之, 飯田宗四郎 小野幸一
TR-34	高速軸流圧縮機の研究 (I) —翼型と翼列の検討— An Investigation of High Speed Axial Flow Compressor (I) —The Selection of Compressor Cascade—	1963年1月	松木正勝, 大山耕一 宮地敏雄
TR-35	高速軸流圧縮機の研究 (II) —単段試験装置の設計と全体性能— An Investigation of High Speed Axial Flow Compressor (II) —Design and Over-all Performance of a Single Stage Axial Flow Compressor—	1963年1月	松木正勝, 宮地敏雄 大山耕一, 吉田晃 西脇英夫, 岩部柱相
TR-36	衝撃波風洞による表面熱伝達の実験 Studies of Surface Heat Transfer Using a Hypersonic Shock Tunnel	1963年1月	和田 勇, 松崎利一
TR-37T	Studies of the Flow in a Low Pressure Hypersonic Shock Tunnel Using an Electron-Beam Densitometer	January 1963	Isamu Wada
TR-38	鑄鉄のような脆性材料からなる円板の回転強度 Strength of Rotating Discs of Brittle Material like Cast Iron	1963年2月	佐藤和郎, 永井文雄
TR-39	高負荷燃焼器の研究 (第1報) —その性能におよぼす各種因子の影響の定性的考察— A Study of High Intensity Combustor (I) —Its Qualitative Analysis—	1963年2月	大塚貞吉, 鈴木邦男
TR-40	胴体内圧繰返し荷重試験装置について Repeated Load Testing Facility for Full-Scale Aircraft Fuselage Structures	1963年2月	竹内和之, 川島矩郎 野原利雄
TR-41	輻射熱量計の較正 Calibration of Radiometer	1963年2月	竹中幸彦, 江川幸一 小川鉦一
TR-42	非定常境界層の相似解とその安定 A Similar Solution of Unsteady Laminar Boundary Layer and Its Stability Characteristics	1963年7月	小橋安次郎, 恩地 瑛
TR-43	超音速における操縦面の効きについて On the Effectiveness of Control Surfaces in Supersonic Flow	1963年2月	河崎俊夫
TR-44	高速翼列の実験について (流入角の大きい減速翼列の予備実験) Some Notes about the Effect of Tunnel Configuration and Testing Technique on Compressor Cascade Performance	1963年2月	近藤 博, 藪田光弘 坂口 一, 山崎紀雄
TR-45	固有値問題 ( $\sum \lambda^k A_k$ ) $x=0$ の数値解法 A Numerical Method for the Eigenvalue Problem ( $\sum \lambda^k A_k$ ) $x=0$	1963年4月	戸川隼人
TR-46	翼の固有振動数に関する一解析法 On the Vibration Analysis of Aircraft Wings	1963年6月	川井忠彦, 泉日出夫 戸川隼人, 林 洋一
TR-47	鑄鉄円板の回転破壊におけるコリオリの力の影響 Influence of Coriolis' Force on the Burst of Rotating Disc of Cast Iron	1963年8月	佐藤和郎, 永井文雄
TR-48	曲面に沿う境界層 Effects of Surface Curvature on Laminar Boundary-Layer Flow	1963年8月	林 二 識
TR-49	高速軸流圧縮機の研究 (III) An Investigation of High Speed Axial Flow Compressor (III)	1963年9月	松木正勝, 宮地敏雄 大山耕一, 吉田晃 西脇英夫, 岩部柱相

# 航空力学における磁わい計器の応用\*

幸 尾 治 朗\*\*

## Some Developments of the Magnetostriction Type Measuring Instruments for the study of Aircraft Dynamics

Jiro Kōo

The principles of The magnetostriction type measuring instrument are mentioned briefly, and seven instruments which the auther has been developed for the study of Aircraft Dynamics are introduced.

These are as follows:

1. Dynamic angle of attack meter (Model study)
2. Dynamometer for aerodynamic stability measurements (Model study)
3. Accelerometer and angular velocity meter (Flight testing)
4. Control force indicator (Flight testing)
5. Water pressure indicator for seaplanes (Model study)
6. Rotary spinning balance (Model study)
7. Three-component balance for ground effect machine (Model study)

### 1. ま え が き

鉄，ニッケルおよびその合金等のいわゆる強磁性材料を磁場内に置くと，ひずみを生じ，寸法の変化をまねく現象は磁わい効果として古くから知られている。寸法の変化は，材料の種類，もしくは合金の組成割合によってその符号を異にし，たとえば，低い磁場におかれた純鉄では伸びを生ずるのに反して，ニッケル，コバルトや高い磁場（100 エルステッド以上）におかれた純鉄では縮みを生ずる。

この効果を利用して，強磁性材料を交番磁化して振動的な寸法変化を生ぜしめる装置を磁わい振動子と称し，魚群探知機，測深機，超音波加工機，洗滌機等，産業上の応用分野は広い。

磁わい現象には上述の効果とは逆に，磁場内におかれた強磁性材料に機械的な力を加えて，ひずみを生じさせると，磁束密度が変化し，磁気的な性質を変える効果がある。後者を，圧力，荷重，トルク等の力学量の計測用変換器として応用したものを磁わい計器と称する。

磁わい計器の特徴の第1はひずみに対する磁化の変化，いわゆるひずみ感度が非常に大きい点で

---

\* 昭和39年1月8日受付

\*\* 飛行実験部

ある。たとえば、軟鋼にはった抵抗線ひずみ計では、 $1 \text{ kg/mm}^2$  程度の応力で 0.01% の抵抗変化が見られるのに対して、磁わい計器では同じ応力に対して 1,000 倍に相当する 10% にも及ぶ磁化の変化を生ずる。言いかえると、同じ大きさの力を測定するのに加えられるべきひずみ、すなわち、測定面の変位ははるかに少なく  $1/1,000$  でよいことになり、変換器の固有振動数を高くとることが可能で、測定周波数域が拡大できることを意味する。

したがって、他の計測器用変換器に比較して計測回路が簡単になり、特に大量の計測においては増幅器を全く必要とせず、磁わい管の出力をそのまま取り出して記録、または、メーターで読み取ることが可能である。磁わい計器の測定原理は、強磁性体の磁氣的性質が加えられた応力に伴って変化する点を利用する関係上、特殊な計測法として、鋼材の機械加工による残留ひずみを測定するとか、橋桁、鉄塔等の構造物に加えられた死荷重を測定することも可能である。また、強磁性体で造られた軸系のトルクを測るのに、スリップリングのような接触物を必要とせず、空間をへだてて巻かれたコイルによって検出することもできる。多くの工業用材料は磁性体よりなっているので、各部分をそれぞれ、検出器と考えた使い方についても研究開発を行なう余地がある。第 2 の特徴は耐環境性である。後述のごとく、強磁性体の管に絶縁銅線を巻いた構造の変換器であり、本質的に湿度、温度変化、塵埃、汚損等に対して強い。長期間、接近できないような場所に設置して安定に計測を続けることができる。この計器は、現在まで工学上の多くの分野において実用に供されてきたが、本報告においては、著者が開発研究を続けてきた磁わい計器の中で特に航空力学の分野に関係のあるもの数例について述べる。磁わい計器の原理の詳細な解説、他の工業、工学の分野における応用例および航空力学上の実際の応用例については後出の文献を参照されたい。

## 2. 測定原理

磁化による寸法変化の効果としては、

A) ジュール (Joule) 効果

磁化と同じ方向に生ずる、伸びまたは縮みの寸法変化。

B) ヴィーデマン (Wiedemann) 効果

円周磁界およびそれに直角な縦方向の磁界を加えた時にねじれを生ずる効果。

C) その他

等があり、逆に機械的な寸法変化によって磁化の変化を生ずる効果としては、

D) ヴィラリー (Villari) 効果 (縦磁わい効果)

加えられた力と同じ方向、またはそれに直角方向の磁化の変化を生ずる。

E) ヴェルトハイム (Wertheim) 効果 (振り磁わい効果)

縦軸方向に磁化した棒をねじると、円周方向に磁化を生ずる。

F) 逆ヴィーデマン (Wiedemann) 効果

円周方向に磁化した棒をねじると、縦軸方向に磁化を生ずる。

G) 二次振り効果

縦軸方向に磁化した棒をねじると、同じ縦軸方向の磁化が変化する。

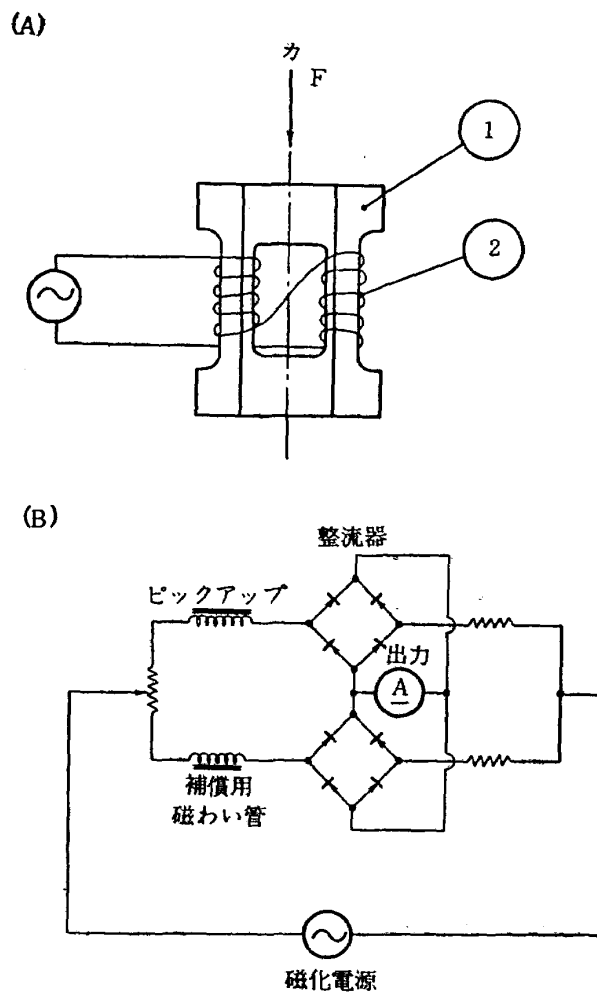
H) 本多一長岡効果 (体積磁わい効果)

流体圧によって生ずる体積変化に伴う磁化の変化現象。

等が知られ、磁わい計器として最も多く用いられるものは、D) 縦磁わい効果、E) 振り磁わい効果である。以下これらの二つの効果について説明する。

2.1 縦磁わい効果を利用した計器

第1図に縦磁わい計器の原理図を示す。(A)において、磁性材料の管(以後、磁わい管と呼ぶ)①に窓をあけ、コイル②を巻き、(B)に示されるごとくブリッジ回路を組み、交流磁化しておく、管①に矢印方向の力  $F$  を加えると、磁化の変化に伴なってコイルのインピーダンスが変化し、ブリッジに組まれた補償用磁わい管との間に不平衡を生じ、加えられた力量に比例した電流が出力と



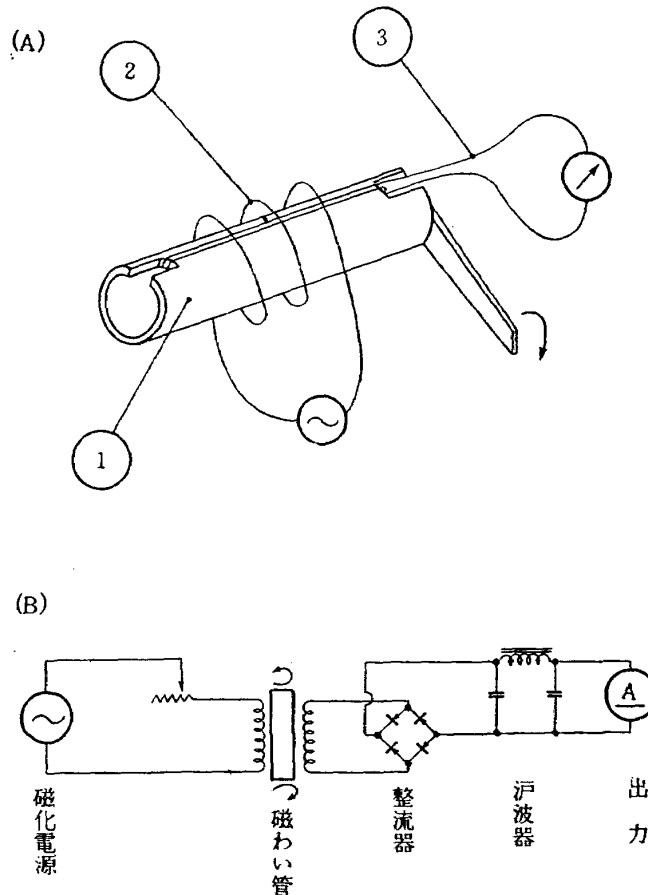
第1図 縦磁わい計器原理図

して得られる。

本型式の磁わい計器は 1 kg ないし 100 ton 程度の力の測定に用いられる。

## 2.2 振り磁わい効果を利用した計器

第 2 図に振り磁わい計器の原理図を示す。(A) において、磁わい管①に、一次コイル②を巻き、縦軸方向に交流電流によって磁化し管の一端を固定しておいて、磁わい管の他端につけた腕を介してトルクを加え、管をねじってやると、二次コイル③に交番出力を生ずる。(B) のごとく回路を組み、交流出力を整流、濾波してやれば、出力計には、管に加えられたねじり力に比例した電流が流れる。振り磁わい式の計器は、腕の先端で数 g ないし 50 kg 程度の力量に用いられる。



第 2 図 振り磁わい計器原理図

一般的にいえば、縦磁わい計器は、大荷重もしくは高周波数特性が要求される場合に適し、振り磁わい計器は比較的小さな力、特にグラム単位の微少な力の測定に用いて便利である。

磁わい管の出力は、いずれの型式についても、その容積ならびに磁化電流の周波数にほぼ比例する。

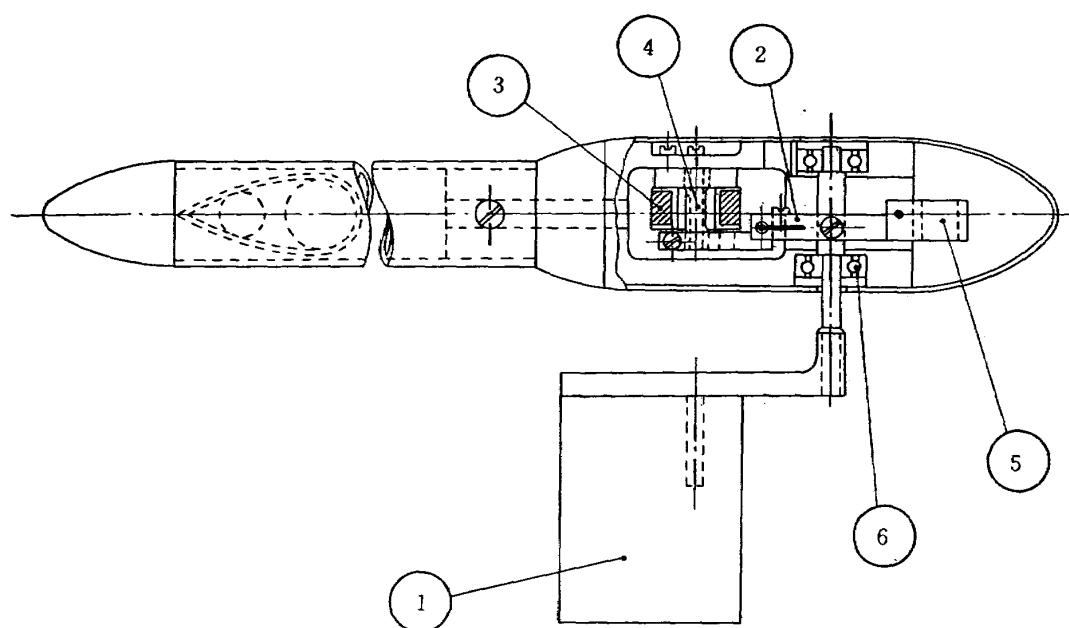
振り磁わい計器は計測量に対応して変化する出力を測定する、いわゆる変位法として用いられるが、縦磁わい計器では零位法で用いられることもある。縦磁わい計器で静的な力量を精密に測定したい時には零位法が用いられるのは抵抗線ひずみ計の場合と同じである。

振り磁わい，縦磁わい，いずれの場合においても磁化交流電流が振幅変調されて出力として取り出される。

### 3. 応用計器

#### 3.1 動的風向計

輸送機の航行中に加わる突風荷重の状況は，航空機構造の寿命に重大な影響を持つ。昭和 31 年ごろ，運輸省で国内主航空路について，ダグラス DC-4 にフライトレコーダーを装備し，その加速度応答から突風状況を推定する実験を行なった。この実験に先だち，飛行機の重心位置の変化と突風応答の関係を求める必要から突風風洞で次の実験を行なった。DC-4 型機の飛行模型を風洞気流中で半自由飛行の状態にし，正弦波状の上下突風を加えて，各種重心位置の場合についての応答の周波数特性より突風に対する伝達函数を求めた。この時加えた正弦波状突風の振幅，周波数を遅れなく正確に測定記録する目的で，動的風向計を設計試作した。第 3 図に本器の概略図を示す。翼

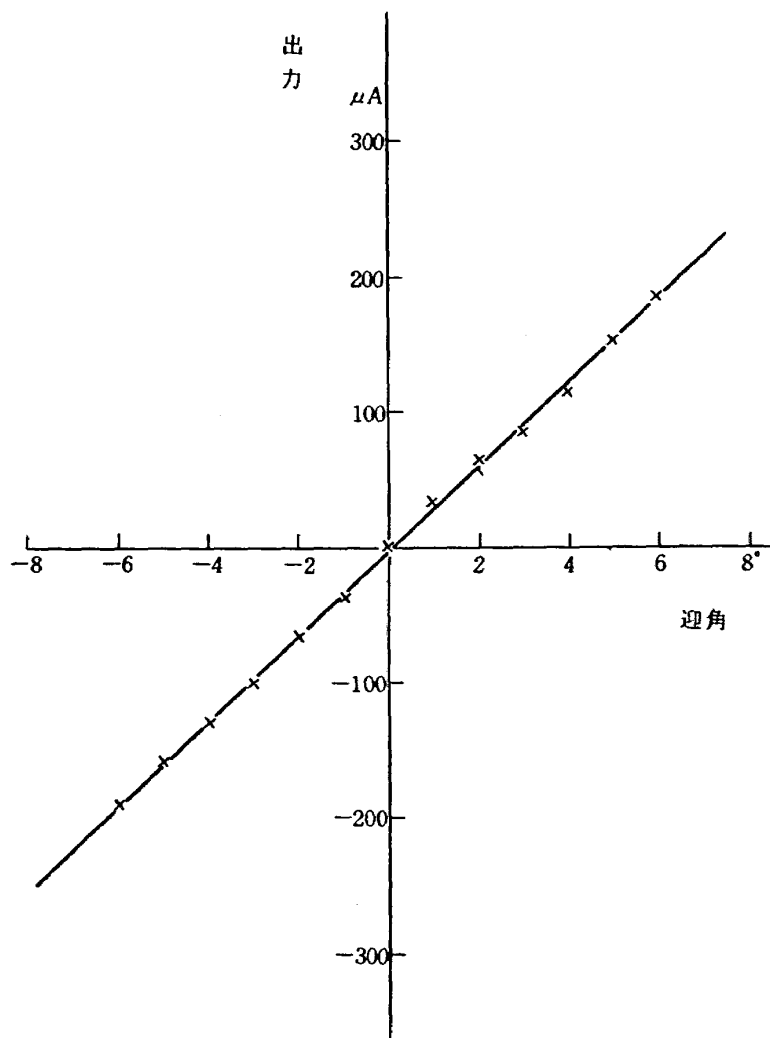


第3図 動的風向計

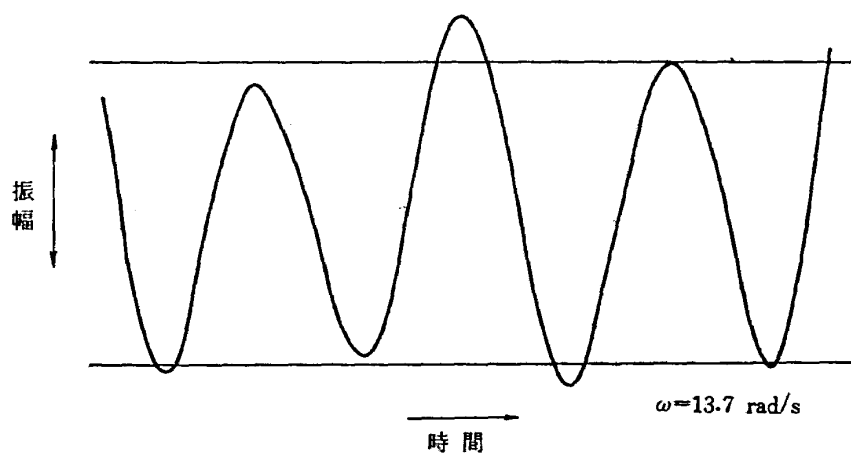
に生ずる揚力は，風速一定として，その迎角に比例するので，図において，翼型①に生じた揚力で腕軸②を通して磁わい管④を振り，振り磁わい効果として風向を検知する。③は磁化コイル，⑤は釣合いの錘りである。

#### 計器の諸元

- |          |                               |
|----------|-------------------------------|
| 1. 翼型の翼幅 | 60 mm                         |
| 2. 翼弦長   | 40 mm                         |
| 3. 発生揚力  | 迎角 $\pm 5^\circ$ で $\pm 20 g$ |



第4図 動的風向計校正曲線 (風速 20 m/sec)



第5図 迎角計データ



4. 測定周波数 10 c/s 以下  
5. 測定精度 2%

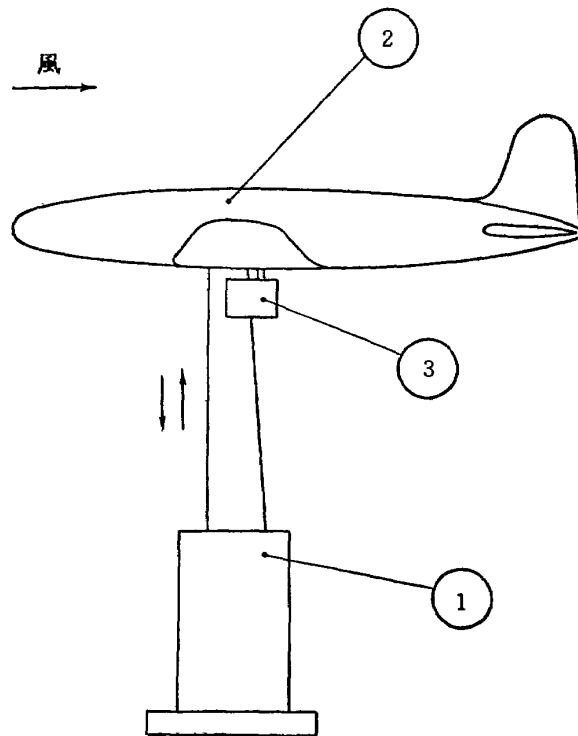
第4図に風速 20 m/s で測定した較正曲線を示す。出力は測定回路出力部において電磁オシロに流れた電流を示す。第5図には気流偏向翼列によって発生した正弦波状上下突風の実測記録を例示する。

「注」 測定精度は、電気回路を含む直線性、温度特性等の総合精度を示す。

### 3.2 動安定微係数測定用力量計

動安定微係数の推定は航空機の運動解析に必要なものであり、従来、風洞実験による種々の測定法が試みられてきた。今までの方法では、迎角  $\alpha$  の変化率による縦揺れモーメント  $M\dot{\alpha}$  と姿勢角の変化によるモーメント  $Mq$  との和としてしか測定できず、分離困難とされた。

本計器は  $M\dot{\alpha}$  を模型実験により求める目的で試作されたものである。第6図に示すごとく、一定振幅で上下に正弦波状に駆動される支持棒①の上端に、模型②が重心位置をピボットを介して縦揺れ自由に取り付けてある。



第6図 安定微係数測定装置

模型を風洞気流中で上下に運動させ、生じた縦揺れモーメントを振り磁わい式力量計③で測定した。この時生ずる縦揺れモーメント  $M$  は次式で与えられる。

$$M = M\alpha(\dot{h}/V) + M\dot{\alpha}(\dot{h}/V)$$

$M\alpha$  = 迎角による縦揺れモーメント

$M\dot{\alpha}$  = 迎角の変化率による縦揺れモーメント

$h$ : 風洞模型の上下変位

$V$ : 風速

$h = h_0 \sin \omega t$  とすると

$$M = M\alpha(h_0/V)\omega \cos \omega t - M\dot{\alpha}(h_0/V)\omega^2 \sin \omega t$$

両辺に  $a \sin \omega t$  をかけると

$$Ma \sin \omega t = -(a/2)(h_0/V)M\dot{\alpha}\omega^2 + (a/2)(h_0/V)M\alpha\omega \sin 2\omega t \\ + (a/2)(h_0/V)M\dot{\alpha}\omega^2 \cos 2\omega t$$

右辺の直流成分より  $M\dot{\alpha}$  に比例したものが得られる。

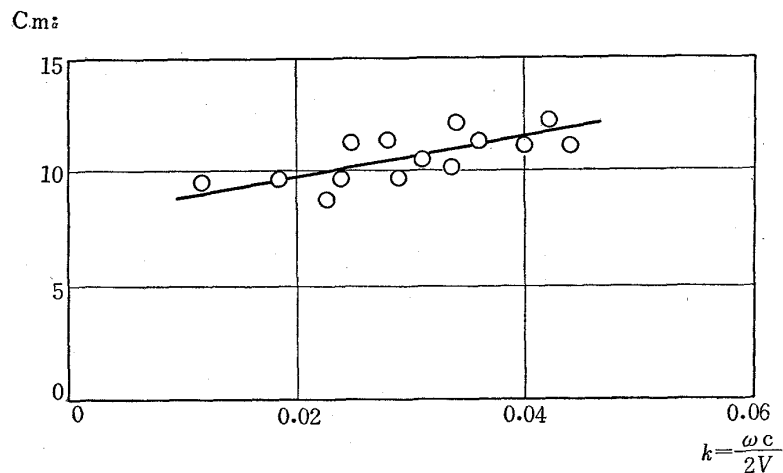
力量計③の出力に、支持枠①の上下動を電圧変動としてポテンショメーターで取り出して掛算回路を通してやり、濾波器で交流成分をのぞくと  $M\dot{\alpha}$  に比例した直流出力を得る。

実験に用いた計測回路のブロック、ダイアグラムを第7図(A)に、実験結果を(B)に示す。(B)において横軸には無次元周波数を、縦軸には微係数  $Cm\dot{\alpha}$  を取ってある。

(A)



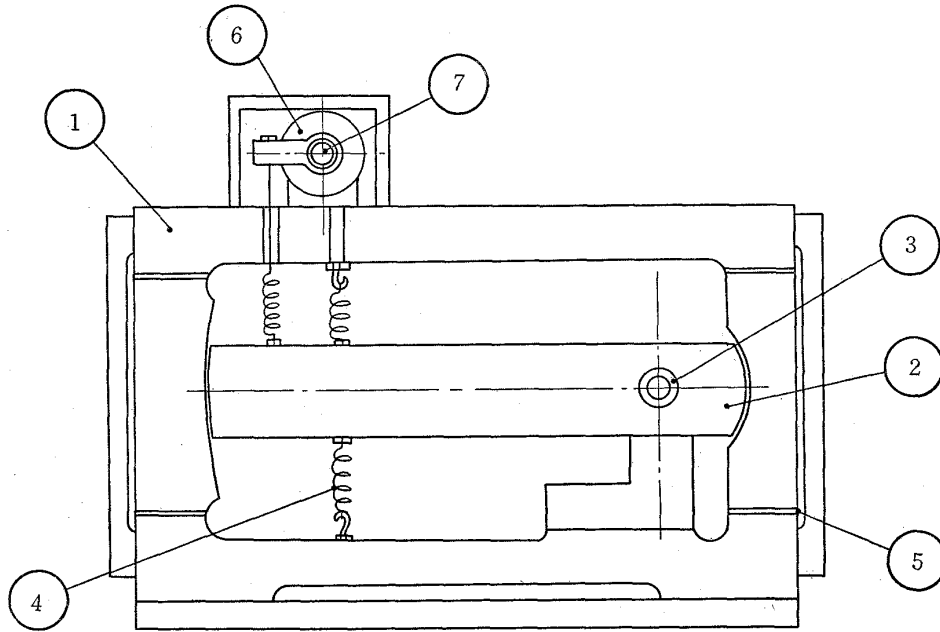
(B)



第7図 動安定微係数測定回路およびデータ

### 3.3 加速度計, 角速度計

飛行実験用高精度加速度計として第8図のごときものを試作した。可動重錘の前後、両側壁はいずれも 0.1 mm の間隙を有し、空気摩擦によりダンピングを与える。ダンピングは空気バイパス穴の微調整で行ないダンピング係数を 0.66 に定めた。空気の粘性係数は高度によってあまり変化せず、温度によっては変るけれども、実験高度があまり大きくない限りその影響は小さいのでダン



第8図 加速度計

ピングをほぼ一定にすることができる。初期の試作においてピックアップとして用いたポテンショメーターに見られた、抵抗線の摩耗による記録の飛びの悩みから解放され、また飛行機の上昇、下降に伴って生ずる露によるリークの問題が解消し、耐環境性が向上した。レイトジャイロについては、せつ動運動を磁わい管で拘束し、力量として取り出したので、ポテンショメーター変換器の時に生ずるジンバル軸の傾きによる角速度軸のカップルがさけられた。耐環境性は同じく向上した。

## 計器の諸元

## 加速度計

- |          |            |
|----------|------------|
| 1. 測定周波数 | 最大 4 c/sec |
| 2. 測定加速度 | -1 g ~ 3 g |
| 3. 重量    | 2 kg       |
| 4. 測定精度  | 2.5%       |

## 角速度計

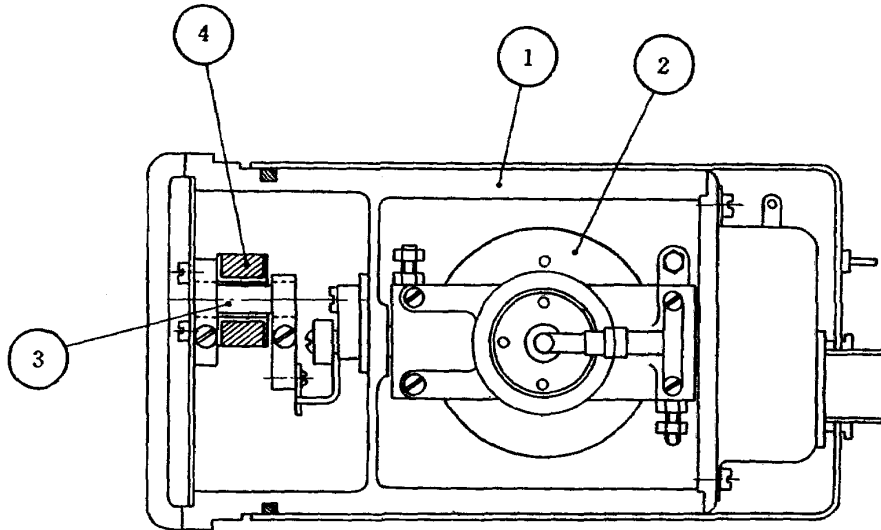
- |          |                   |
|----------|-------------------|
| 1. 測定周波数 | 最大 20 c/sec       |
| 2. 測定角速度 | $\pm 0.7$ rad/sec |
| 3. 重量    | 1 kg              |
| 4. 測定精度  | 2.5%              |

第8図に加速度計、第9図に角速度計を示す。

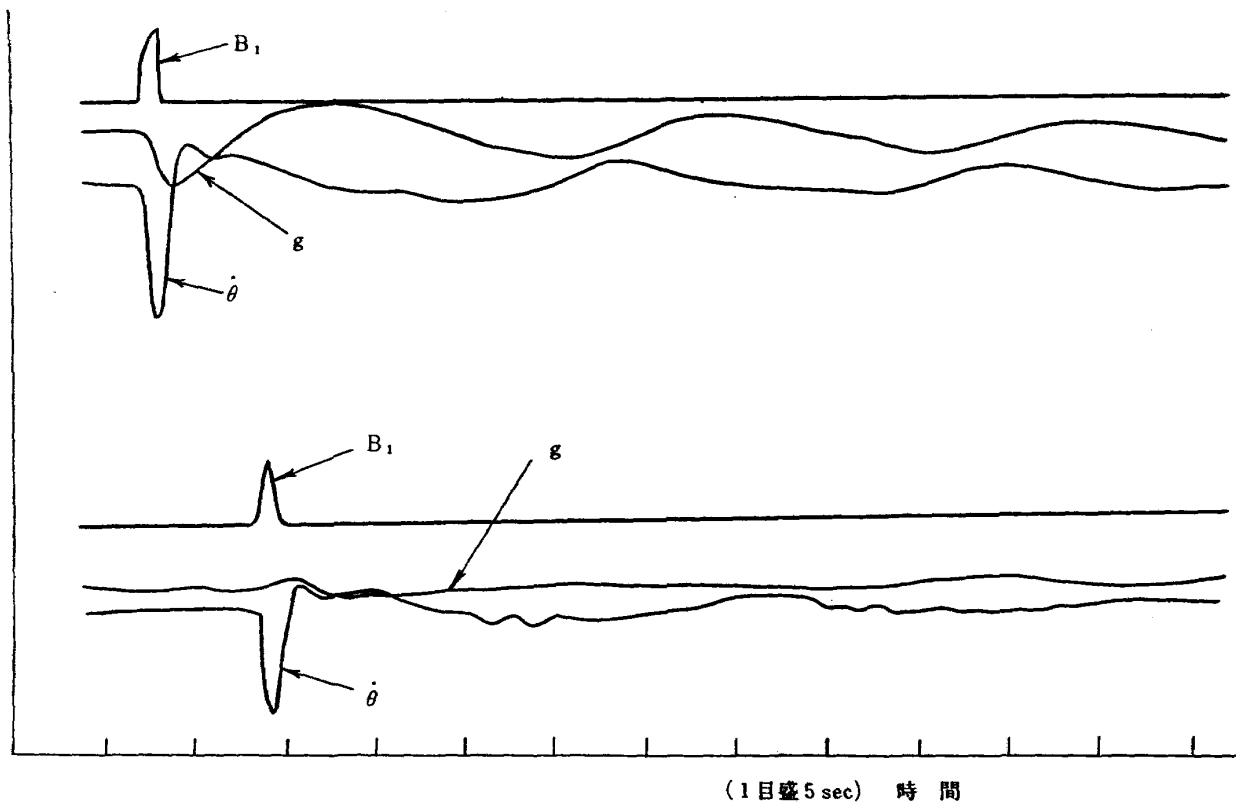
第8図において①は外箱、②は重錘、③はピボット軸受、④は復元力を生ずるバネ、⑤はダンピング用空気調節穴、⑥は磁化コイル、⑦は磁わい管を示す。上下加速度に比例した重錘②の動きを

柔らかなバネを介して磁わい管で力量として検出する。第9図において①は外筐，②はジャイロローター，③は磁わい管，④は磁化コイルを示す。

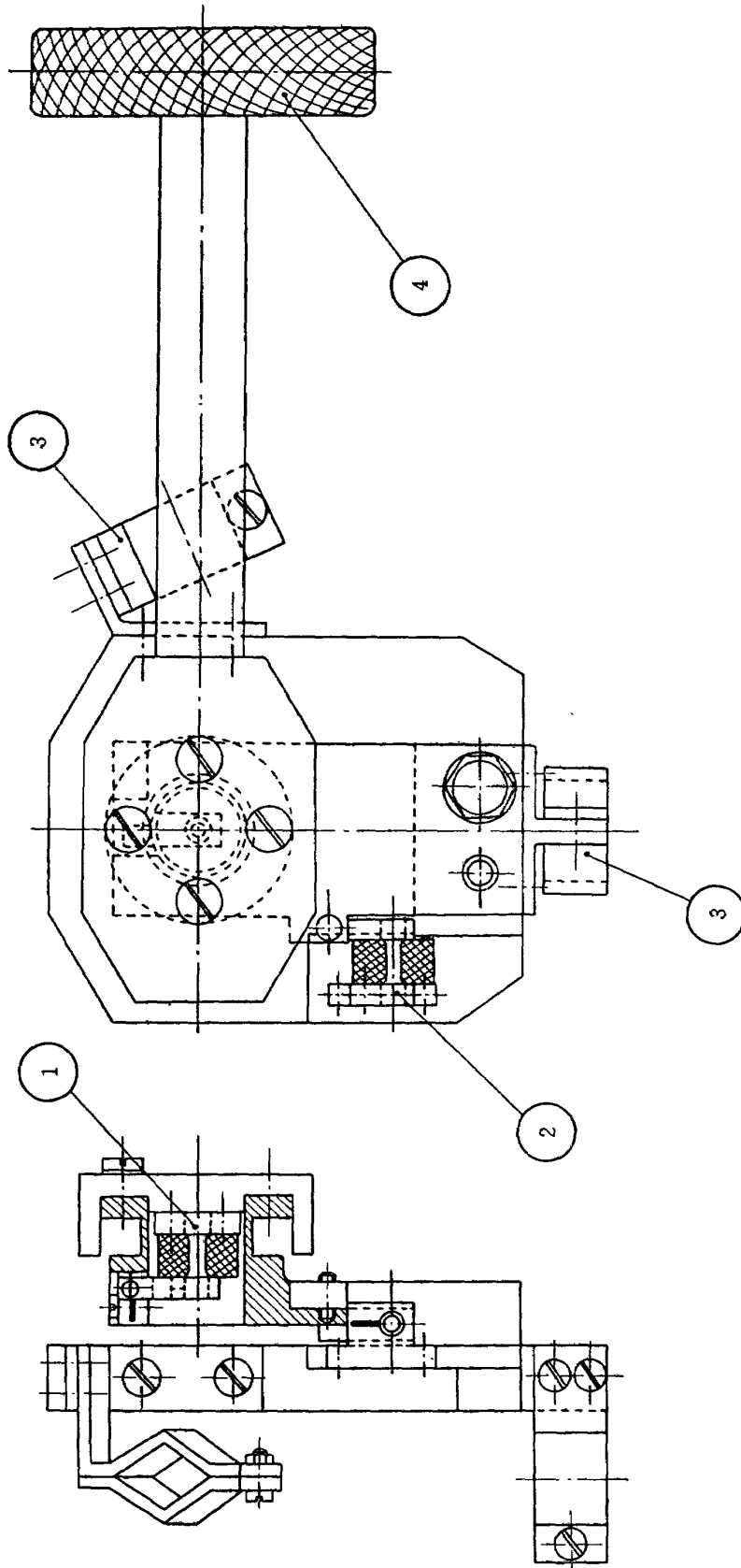
本計器で行なわれたヘリコプター飛行実験のデータの一部（川航評論 第9号）を第10図に示す。



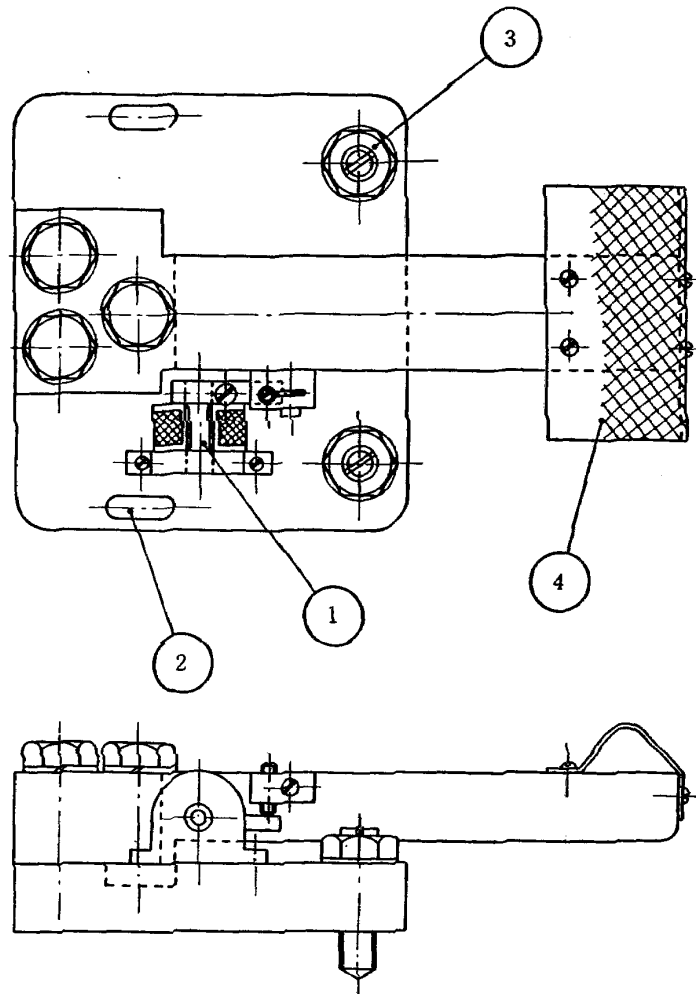
第9図 角速度計



第10図 ヘリコプター飛行試験記録例



第 11 図 操舵力計 (昇降舵, 補助翼)



第 12 図 方向舵力計

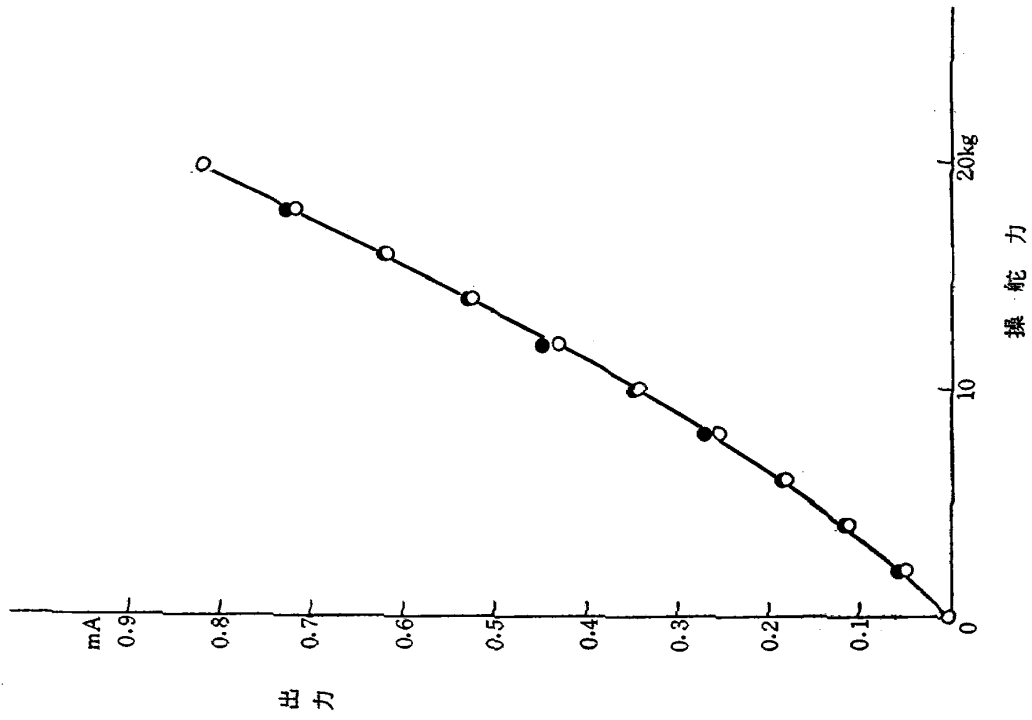
### 3.4 操舵力計

当初ダグラス DC-4 型機の操舵力測定計器として設計試作したもので、実機の操舵輪、足踏ペダルに外装するようになっている。三舵力とも、磁わい計器をひずみ計として使うもので、舵力による鋼製ビームの曲げひずみを振り磁わい計器で取り出す。

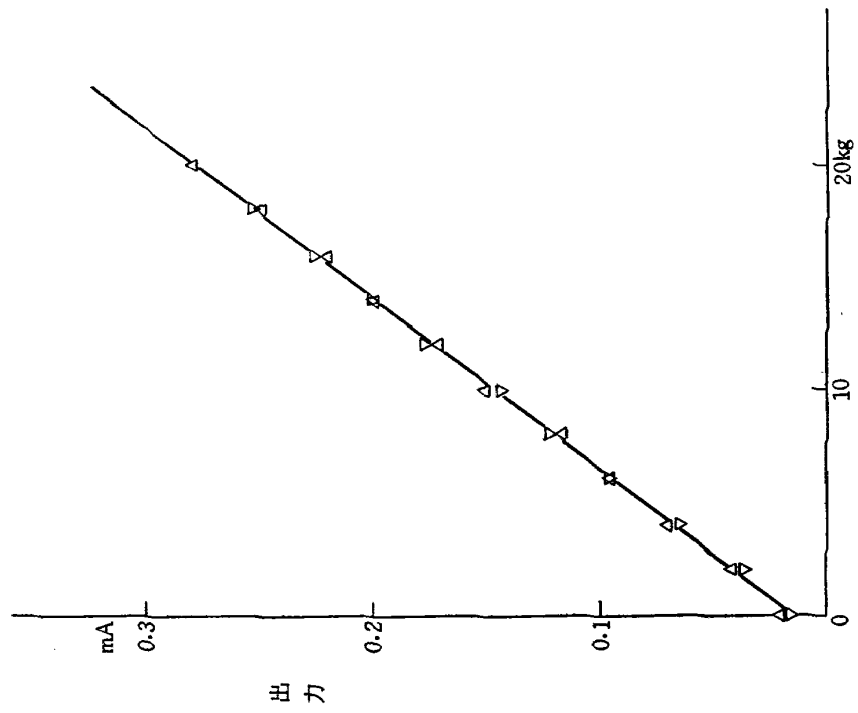
計器の諸元

- |          |              |
|----------|--------------|
| 1. 方向舵力  | ±30 kg       |
| 2. 昇降舵力  | ±30 kg       |
| 3. 補助翼舵力 | 18×175 kg-mm |
| 4. 測定精度  | 3%           |

計器の三面図を第 11 図、第 12 図に示す。第 11 図で①は補助翼操舵力用磁わい管、②は昇降舵用磁わい管、③は実機の操舵ハンドルに装着する取り付け金具、④は本器の操舵ハンドルを示す。第 12 図で①は踏力測定用磁わい管、②③は実機の方舵ペダルに装着する金具、④は計器の足踏みペダルを示す。第 13 図、第 14 図に昇降舵、方向舵の校正曲線を示す。



第 14 図 方向舵校正曲線



第 13 図 昇降舵校正曲線

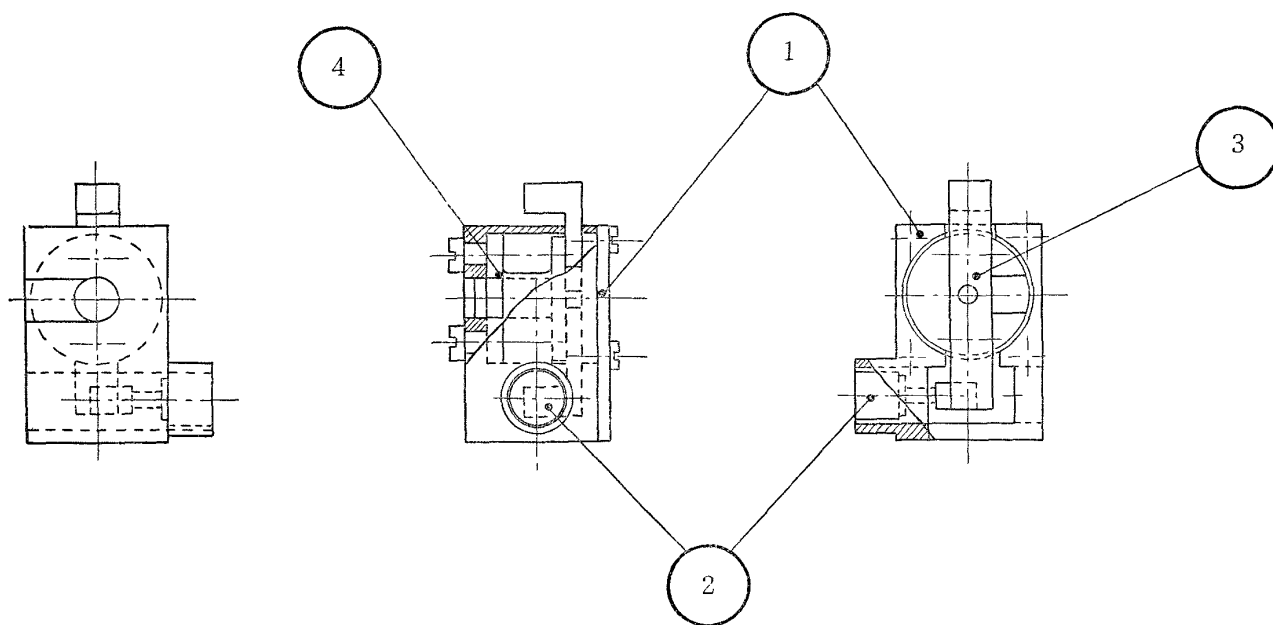
### 3.5 模型飛行艇着水圧力計

飛行艇が着水する場合に艇体下面，側面に加わる衝撃水圧の分布状況を，模型実験で測定する目的で設計試作したものである。振り磁わい計器の小型化への努力によって得た模型船水圧分布測定計器を，さらに小型化する目的で試みた H 型磁わい管をはじめて応用したものである。H 型磁わい管は従来の磁わい管の両端をフランジ状とし，外箱とともに磁気回路を閉じることにより，反磁場効果をへらし得たので，管の長さを従来のものの 1/2 程度にすることができた。この結果，外形寸法は 10 mm×13 mm×15 mm の大きさとなった。

計器の諸元

- |            |                         |
|------------|-------------------------|
| 1. 測定圧力    | 最大 1 kg/cm <sup>2</sup> |
| 2. 測定受圧面直径 | 4 mm                    |
| 3. 測定周波数   | 最大 200 c/s              |
| 4. 測定精度    | 2.5%                    |

第 15 図に本器の三面図を示す。①は外箱，②は受圧ピストン，③は水圧を磁わい管へねじりとして伝える腕，④は磁化コイル枠兼用の H 型磁わい管である。



第 15 図 飛行艇模型用水圧計

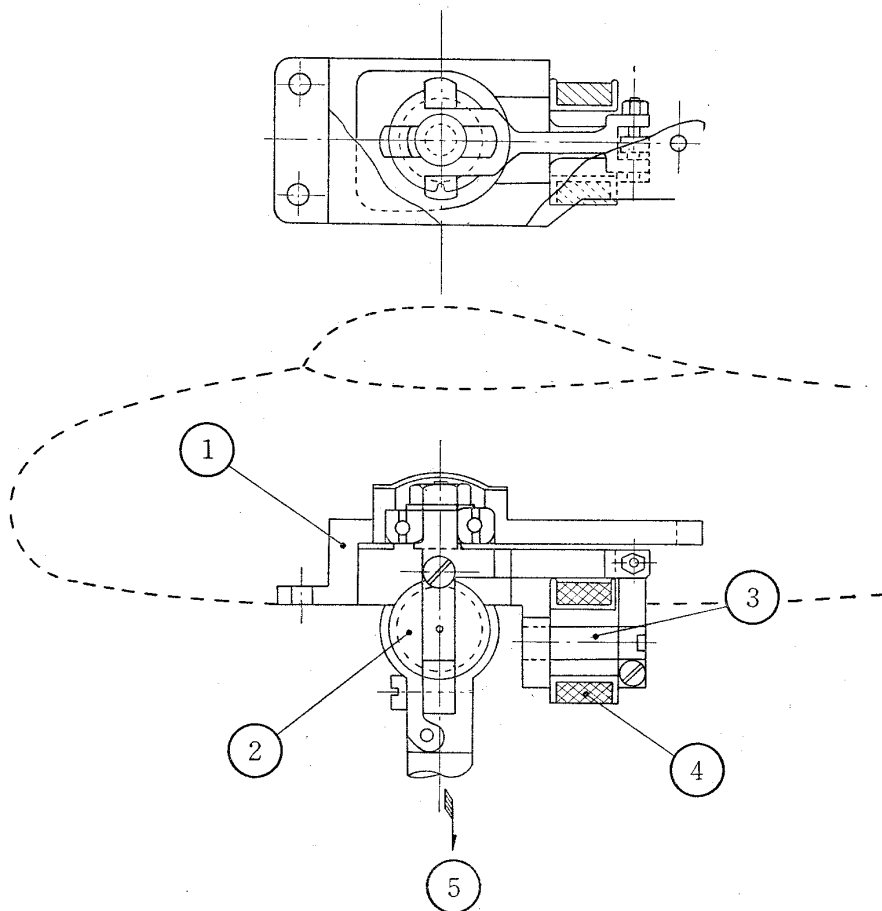


### 3.6 錐もみ測定用天秤

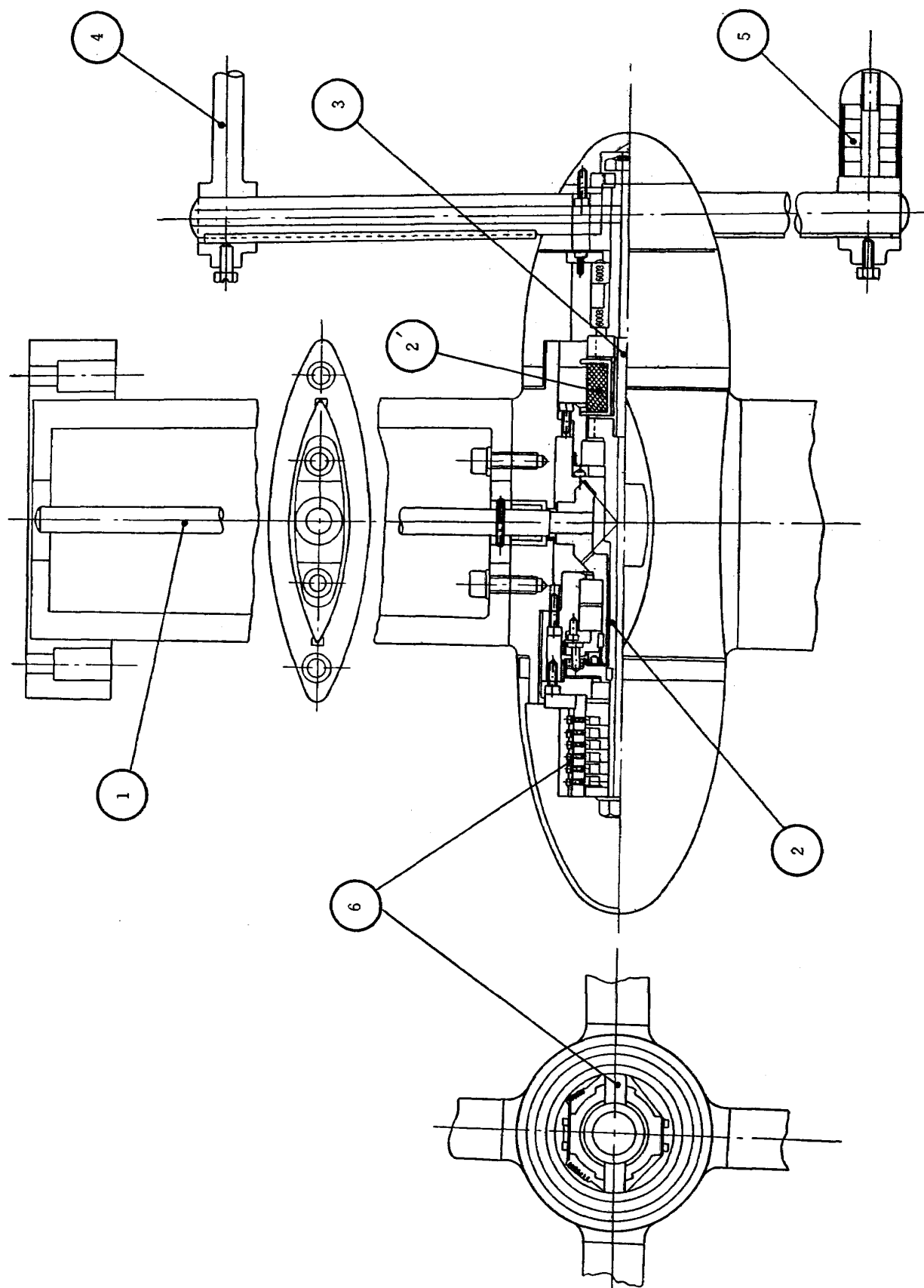
飛行機の錐もみ特性の実験的研究には、垂直風洞による自由飛行模型による方法が多い。普通の横型風洞で錐もみ特性の研究を行なう目的で本計器を用いて実験を行なった。本器は一種の回転天秤で、モーターで外部より駆動される回転軸に直角に取りつけられた腕木の先に、任意の錐もみ半径で模型を取りつける。姿勢、回転半径を設定して、駆動し、駆動トルクが零になるように決めてやると、この時、空力的に釣合った錐もみ状態を示すことになる。回転中における、機体軸まわりの片揺れモーメント、横揺れモーメント、縦揺れモーメントを測定すると、飛行機の錐もみ特性がわかる。本天秤は錐もみモーメントと、三軸回りのモーメントの中で錐もみ特性に最も寄与する片揺れモーメントを磁わい管で取り出すものである。

計器の諸元

- |             |                 |
|-------------|-----------------|
| 1. 錐もみモーメント | 最大 7 kg-cm      |
| 磁わい管        | 外径 9 mm 内径 8 mm |
| 2. 片揺れモーメント | 最大 3.5 kg-cm    |
| 磁わい管        | 外径 5 mm 内径 4 mm |



第 16 図 錐もみ測定用天秤 (片揺れモーメント)



第 17 図 錐もみ測定用天秤 (錐もみモメント)

### 3. 測定精度 3%

第 16 図, 第 17 図に本天秤の概略図を示す。第 16 図は片揺れモーメント測定用計器で, ①に模型を取りつけ, ②の自在接手で姿勢を任意に定める。⑤は第 17 図の腕木④へ接続する。③は磁わい管, ④は磁化コイルを示す。

第 17 図は錐もみモーメント測定用計器で, ①は駆動軸で風洞壁外に取りつけられたモーターで動かされる。駆動力は傘歯車を経て風方向の軸②へ伝わる。③はモーメント測定用磁わい管, ②'は磁化コイルを示す。模型は腕木④の先に取りつけられた第 16 図の計器に着ける。⑤は釣合用重錘, ⑥は③で検出したモーメントに比例した電気量を風洞壁外の計測器へ伝達するスリッピングである。

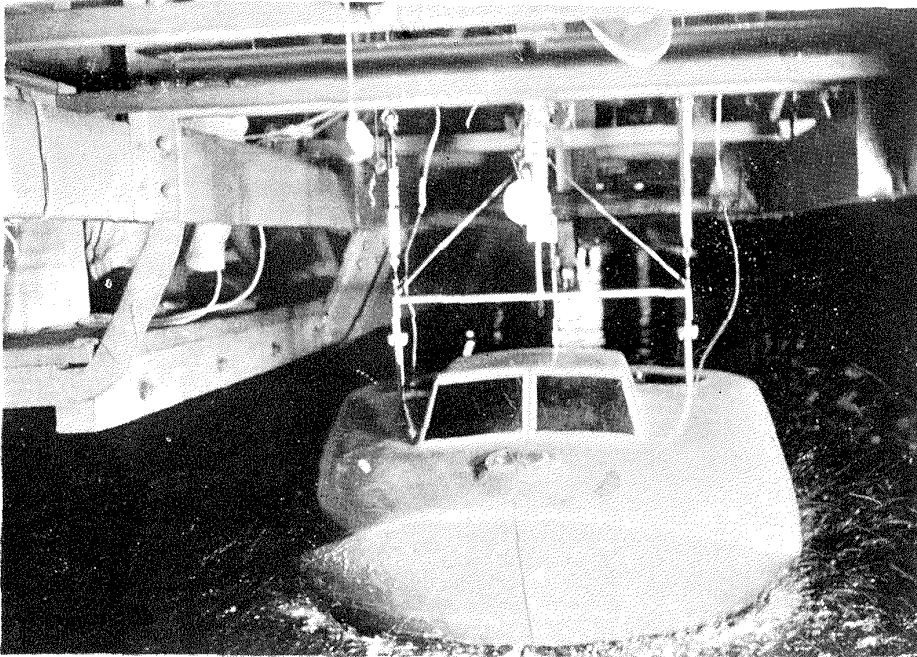
#### 3.7 GEM 模型用三分力天秤

地面効果を積極的に利用した新しい乗物として GEM (Ground Effect Machine) の開発研究が近來, わが国でも諸所で進められている。

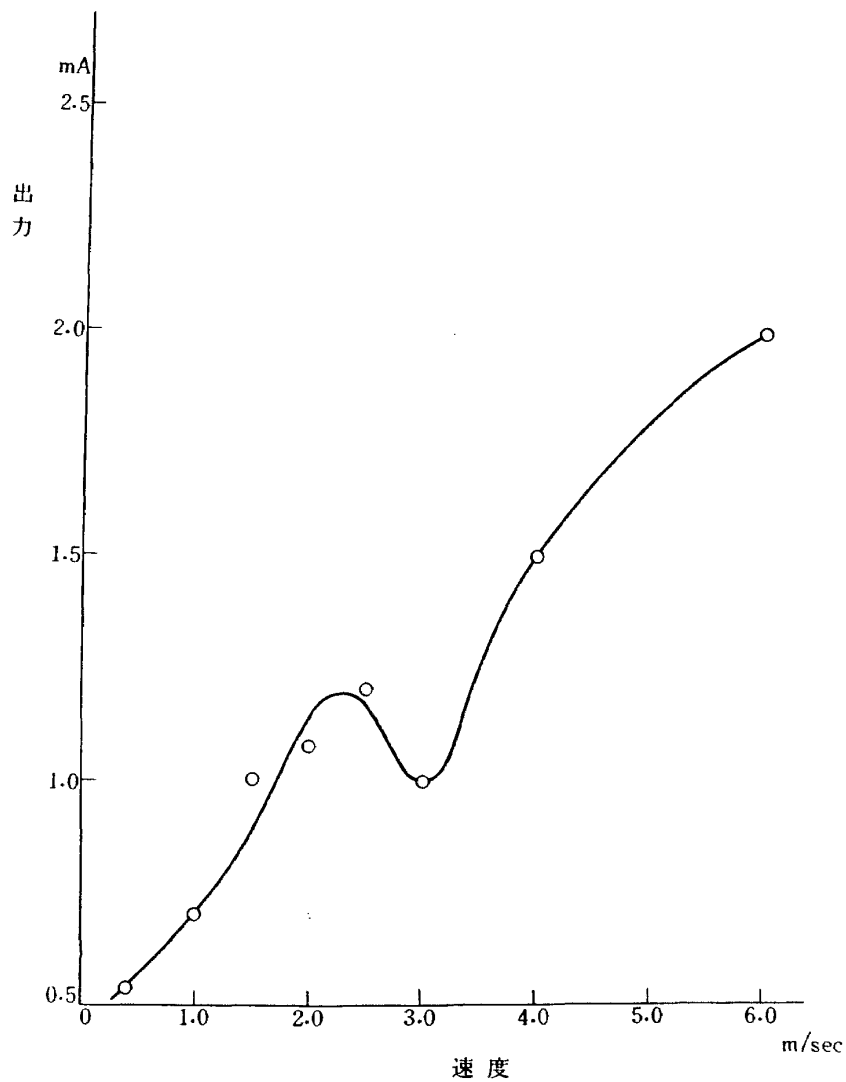
本計器は水上航行用 GEM の地上, 水上の特性比較の目的で試作した計器である。模型は船舶模型水槽の台車に本器を介して取り付けられた。この天秤は前述の諸計器が振り磁わい効果を応用しているのに対して, 縦磁わい効果を適用したものである。

使用 GEM 模型諸元

1. 型式 周辺ジェット型, 並列2ダクト式
2. 寸法 1365 mm (長さ)×800 mm (幅)×360 mm (高さ)
3. 縮尺 1/5



第 18 図 GEM 水槽実験



ホバー高度=4 cm, 機体迎角=2°

第 19 図 水槽実験記録例

#### 計器の諸元

1. 測定値
  - 揚力 最大 10 kg
  - 抵抗 3 kg
  - 縦揺れモーメント 2×40 kg-cm
2. 測定精度 3%

第 18 図に水槽実験中の写真を示す。本写真はハンプ速度付近におけるものである。第 19 図は本器により実測されたハンプ速度のデータの一例を示す。

#### 4. 計測回路

磁わい計器による計測では、通常、振幅変調方式をとる。ある一定周波数（1,000～3,000 c/s が多く用いられる）の交流電流で磁わい管を交番磁化しておき、加えられた力量に比例して変調された振幅を持つ出力を取り出す。出力感度は前述のごとく、磁化電流の周波数にほぼ比例するが、周波数が高くなるにつれて表皮効果を伴い有効磁化が減少していく。したがって、測定周波数、力量の大きさ、磁わい管の肉厚等のかね合いを考慮して磁化電流の周波数を定める。大荷重で、高い精度を要求されないものでは、50 c/s の商用電源をそのまま鉄共振型電圧調整器を通した程度で用いられる。

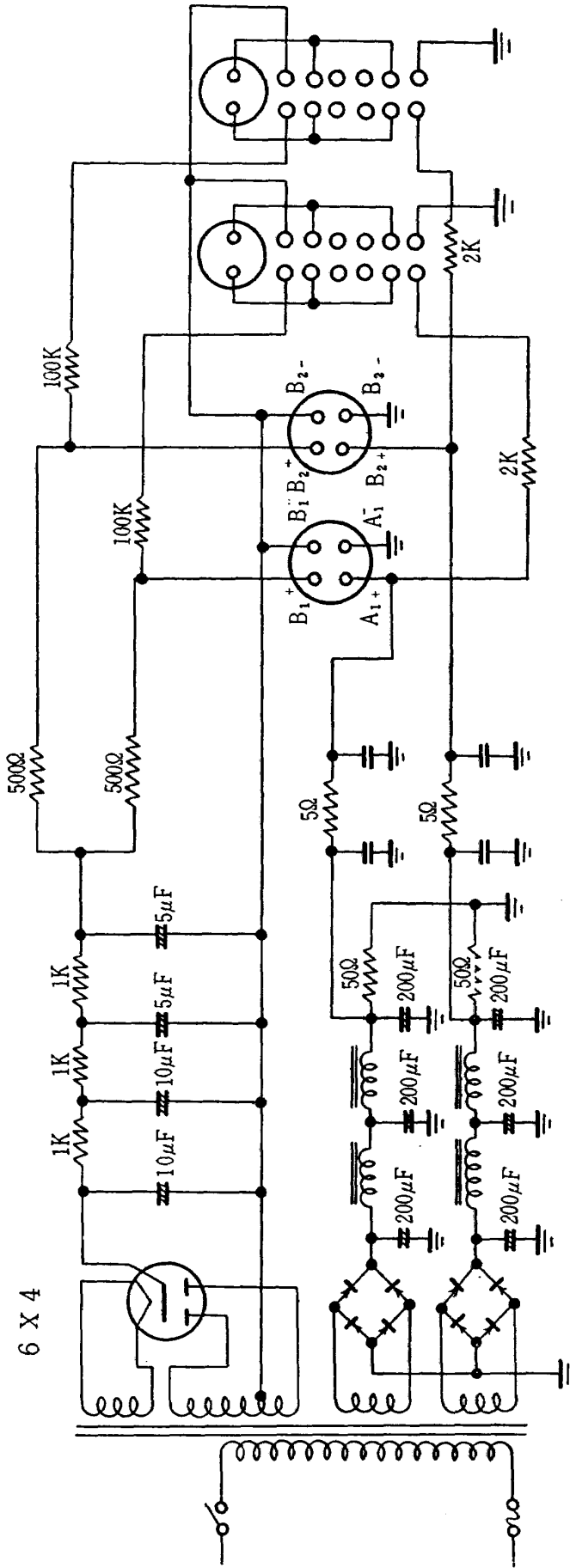
磁わい計測器ではひずみ出力が大きいので、用いられる電気回路は出力の増幅としてよりも、測定精度を上げる手段として考慮される。たとえば、磁化電流の安定化回路、発振周波数の安定回路等がそれである。前者は、電圧変動、その他の回路内の要素の特性変動の補償と、計測ピックアップの温度補償回路等を含む。

第 20 図に操舵力計用簡易型交直両用電源回路を示す。50 c/s と乾電池に切り替える。

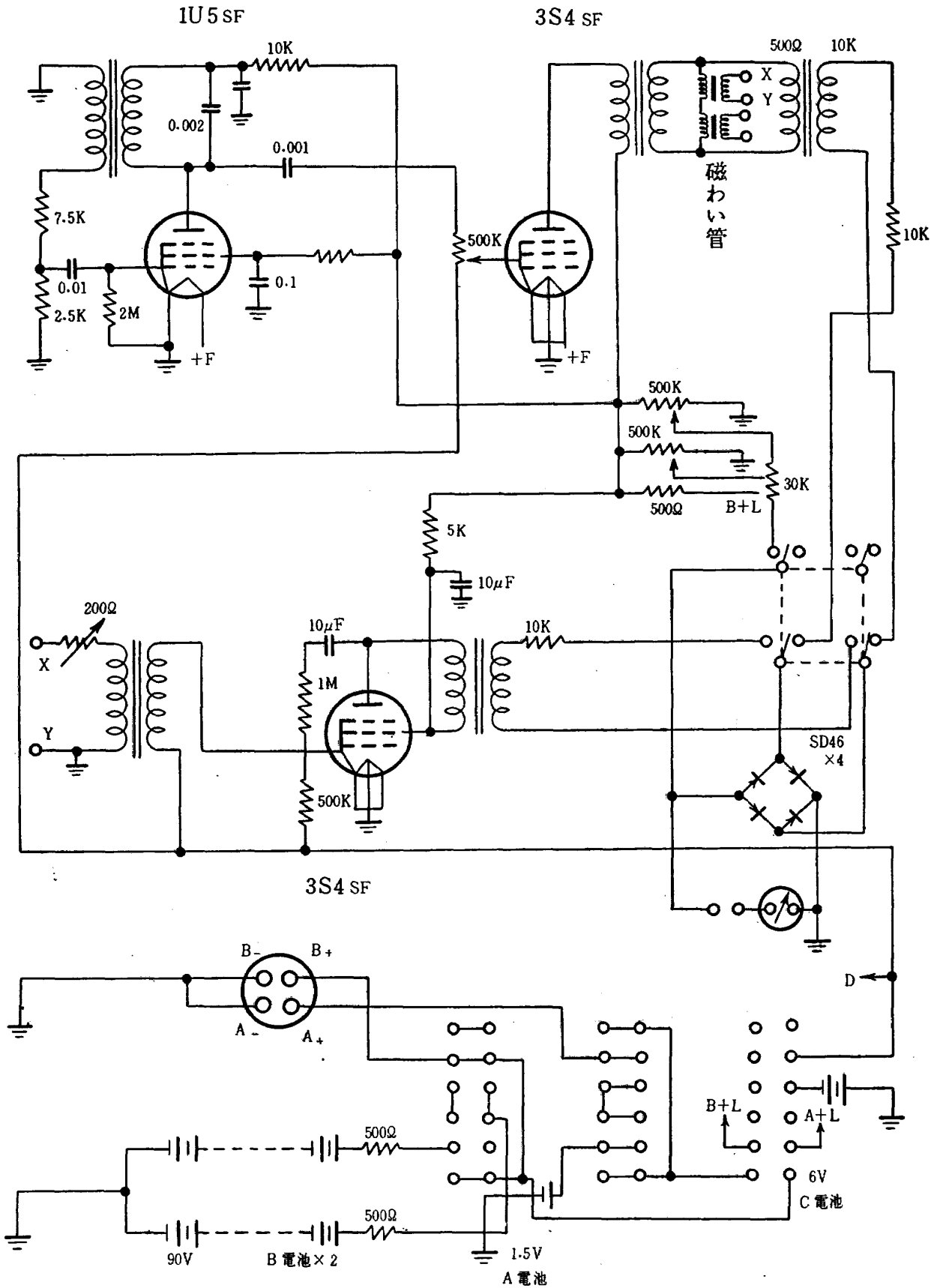
第 21 図に同じく操舵力計磁化および増幅回路を示す。これらの回路は機上用計器としての簡易さを主眼としているため、安定化について特別の考慮は払われていないが実用上差し支えなかった。

第 22 図、第 23 図に着水圧力計、錐もみ天秤等に用いられた計測回路について、磁化電源、出力増幅、位相検波用電源移相回路等を示す。

第 22 図は移相発振回路、発振電力安定回路、温度補償回路を示す。初めの  $\frac{1}{2}$  12A×7、で移相発振を行ない、6BD6、6AQ5 で増幅し、磁わい管を磁化する。R は磁わい管の温度係数補償用抵抗で、温度の変化に伴って抵抗 R の端子に生ずる電圧変動をフィードバックして、後の  $\frac{1}{2}$  12A×7 の部分で磁化電流を調整する。磁わい管の温度係数はかなり大きいものもあり材料によっては 0.35%/C° 程度になるので、温度変化の大きいところで用いる計器にはこの種の補償回路を用いる。計器出力は磁化電流にだいたい比例するので、磁わい管の温度係数と同程度の温度特性を示すごとく銅線とマンガン合金線を組み合わせて、回路に示す R 抵抗とし、磁わい管と同じ温度のところに非誘導に巻いておくと、温度変化による磁わい計器の感度変化を補償するための磁化電流の変化を生ぜしめうる。このほか、さらに精度を上げるため、回路素子、メーター類についても補償用にサーミスターをつけるようなことは他の各種の測定器の場合と同様である。第 23 図で上段の 12AU7 は位相回転を行なうもので、第 22 図の AB 端子で得られた磁化電力の位相を調整して、6AL5 を用いた位相検波回路の参照電圧として加える。本例において、最終段の直流出力は、電磁オシロに接続した場合（出力インピーダンスが数十オーム程度）で最大 ±3 mA であった。この時の測定精度は 2% であった。

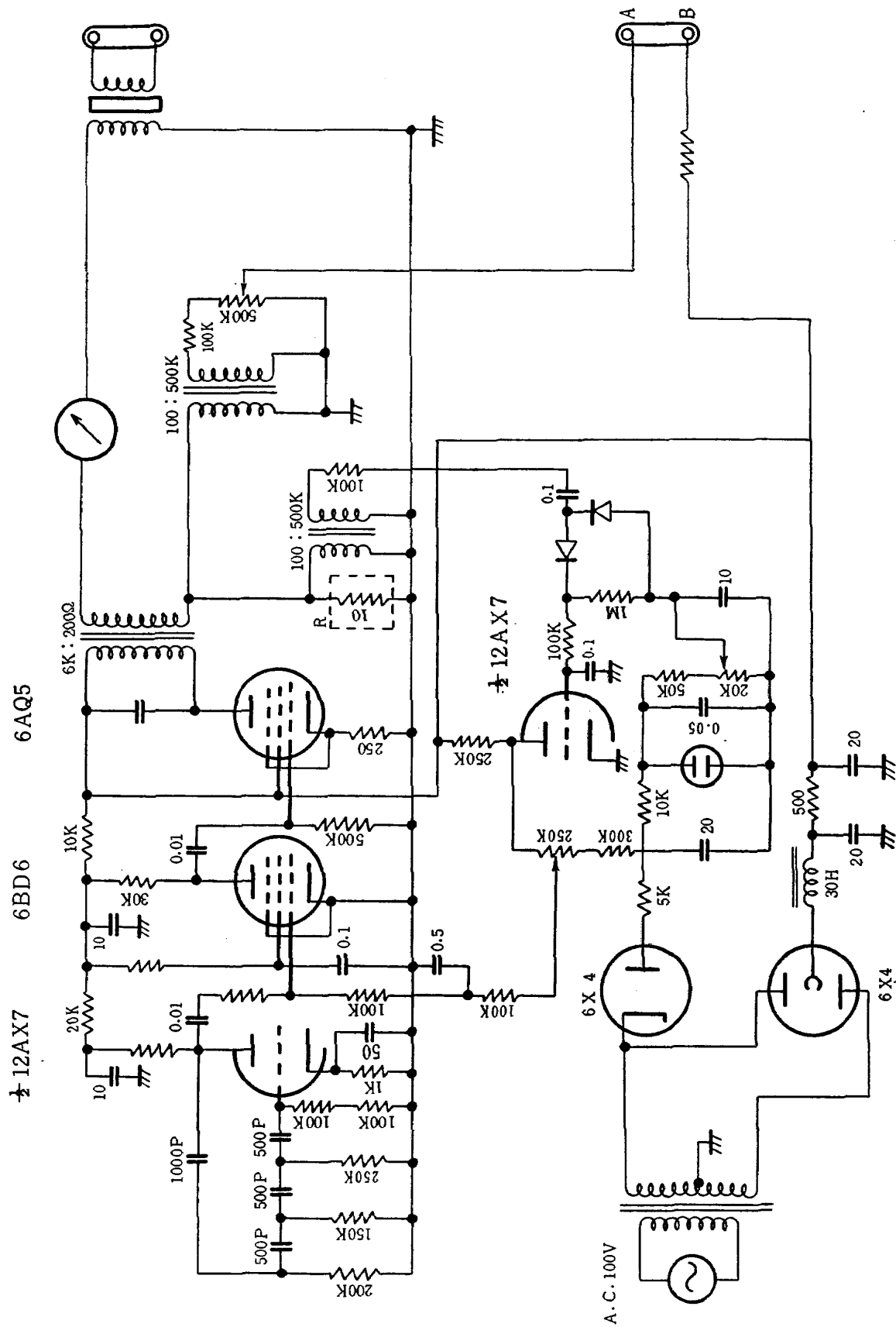


第 20 図 操舵力計電源



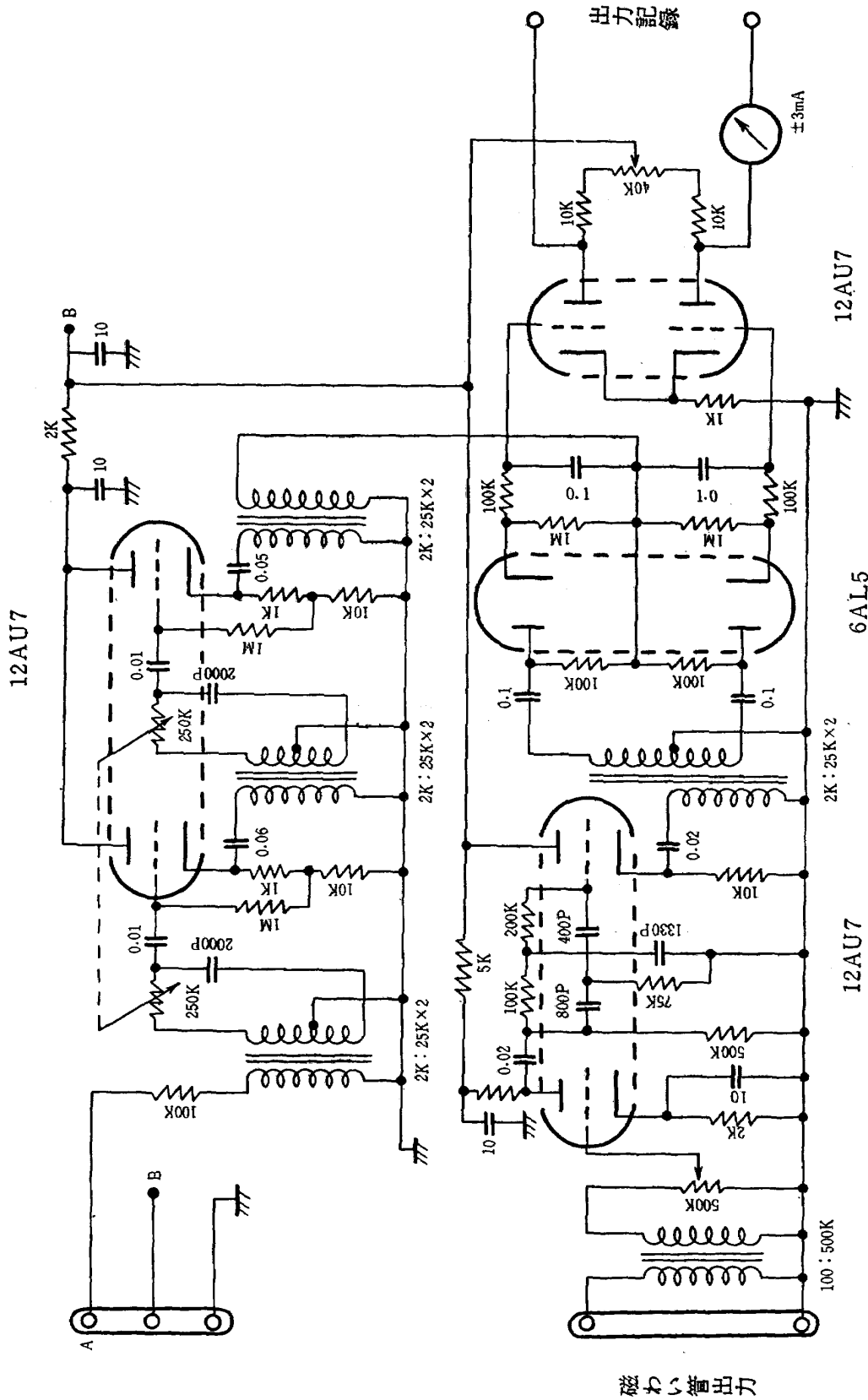
第 21 図 操舵力計電気装置

磁化出力



第 22 図 振り磁歪管 (水圧計, 錐もみ天秤) 用磁化出力回路





第 23 図 振り磁歪管 (水圧計, 錐もみ天秤) 用増幅および位相調節回路

## 5. あとがき

以上、航空力学の分野に応用された磁わい計器の中で、7種の例について紹介した。航空機の安定性、操縦性等の運動力学における計測には余り高い測定周波数特性を要求されることはないので、前述の例のごとく、振り磁わい方式の計器が多く用いられる。要求される測定精度、実験の種類（模型実験、飛行実験）等によって、計測器の機構や、補償回路、測定回路の組み合わせが考えられるが、実用計器としての指示計器を含めた総合精度は1.5%程度である。ひずみ感度が大きいことは耐環境性と相まって本器の特長であるが、機械的歪を磁気の変化として取り出すという本質的な原理のため、機械加工の精度ないしは加工残留ひずみが感度のバラツキ、または初期値の原因となる可能性があるから、加工後のひずみ取りのための熱処理を必要とする。最近ではフェライト等の新しい磁わい材料の開発とともに、その応用分野もさらにひろがるものと考えられる。最後にこれらの計器の開発にあたって助言をいただいた、船舶技術研究所の安積健次郎氏、岩柳順二氏、藤井弥平氏に感謝の意を表す。また、実験は当部の別府護郎氏、岡 遠一氏の協力により行なわれたことを付記する。

## 参 考 文 献

### I. 磁わい効果および計器一般

1. K. Honda: 「Magnetic Properties of Matter」 Shokabo & Co (1940)
2. 山本達治: 「磁性合金」 修教社 (1941)
3. 茅 誠司: 「強磁性」 岩波書店 (1952)
4. 安積健次郎: 「磁わい計測とその応用」 オーム社 (1962)

### II. 航空力学における応用例

1. 荒木 浩, 別府護郎: 輸送機の突風応答に関する一実験, 運輸技術研究所報告 Vol. 10, No. 6 (1960)
2. 別府護郎: 動安定係数測定法に関する一つの試み, 運輸技術研究所報告 Vol. 10, No. 6 (1960)
3. 高島勢記: 47 G-2 ヘリコプターの安定性について, 川航評論 第9号 (1961)

<p>NAL TR-64 航空宇宙技術研究所 航空力学における磁わい計器の応用</p> <p>1964年3月 24ページ</p> <p>磁わい効果を応用した計測器について測定原理の説明を行ない、工学上の応用例の中で航空力学に用いられた7例についてのべる。 各計器は次のとおり。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 動的風向計</li> <li>2. 動安定微係数測定用力量計</li> <li>3. 加速度計, 角速度計</li> <li>4. 操舵力計</li> <li>5. 模型飛行艇着水圧力計</li> <li>6. 錐もみ測定用天秤</li> <li>7. GEM模型用三分力天秤</li> </ol>	<p>I. 幸尾治朗 II. NAL TR-64 III. 533.6.05 53.082.7</p>	<p>NAL TR-64 航空宇宙技術研究所 航空力学における磁わい計器の応用</p> <p>1964年3月 24ページ</p> <p>磁わい効果を応用した計測器について測定原理の説明を行ない、工学上の応用例の中で航空力学に用いられた7例についてのべる。 各計器は次のとおり。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 動的風向計</li> <li>2. 動安定微係数測定用力量計</li> <li>3. 加速度計, 角速度計</li> <li>4. 操舵力計</li> <li>5. 模型飛行艇着水圧力計</li> <li>6. 錐もみ測定用天秤</li> <li>7. GEM模型用三分力天秤</li> </ol>	<p>I. 幸尾治朗 II. NAL TR-64 III. 533.6.05 53.082.7</p>
<p>NAL TR-64 航空宇宙技術研究所 航空力学における磁わい計器の応用</p> <p>1964年3月 24ページ</p> <p>磁わい効果を応用した計測器について測定原理の説明を行ない、工学上の応用例の中で航空力学に用いられた7例についてのべる。 各計器は次のとおり。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 動的風向計</li> <li>2. 動安定微係数測定用力量計</li> <li>3. 加速度計, 角速度計</li> <li>4. 操舵力計</li> <li>5. 模型飛行艇着水圧力計</li> <li>6. 錐もみ測定用天秤</li> <li>7. GEM模型用三分力天秤</li> </ol>	<p>I. 幸尾治朗 II. NAL TR-64 III. 533.6.05 53.082.7</p>	<p>NAL TR-64 航空宇宙技術研究所 航空力学における磁わい計器の応用</p> <p>1964年3月 24ページ</p> <p>磁わい効果を応用した計測器について測定原理の説明を行ない、工学上の応用例の中で航空力学に用いられた7例についてのべる。 各計器は次のとおり。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 動的風向計</li> <li>2. 動安定微係数測定用力量計</li> <li>3. 加速度計, 角速度計</li> <li>4. 操舵力計</li> <li>5. 模型飛行艇着水圧力計</li> <li>6. 錐もみ測定用天秤</li> <li>7. GEM模型用三分力天秤</li> </ol>	<p>I. 幸尾治朗 II. NAL TR-64 III. 533.6.05 53.082.7</p>

TR-50	境界収縮法による偏微分方程式の境界値問題の数值解法 Numerical Method for Boundary Value Problems of Partial Differential Equations by Boundary Contraction	1963年9月	樋口一雄, 能美 力
TR-51	人間の静的不安定系の制御能力 Human Control Ability of the Statically Unstable System	1963年9月	武田 峻
TR-52	粒状加熱器の熱特性 Thermal Characteristics of a Pabble-Bed Heater	1963年9月	林 二 識
TR-53	円管流の非定常熱伝達 (第1報) 一壁温が時間と流向距離のみによる場合— Thermal Characteristics of the Unsteady Flow through a Circular Pipe whose Temperature depends on Time and Flow-Directional Distance only	1963年10月	林 二 識
TR-54	偏微分方程式の混合境界値問題の差分法による数值解法 Difference Method for the Mixed Boundary Value Problems	1963年10月	三好 甫
TR-55	ボスをもった車盤の回転強度 Rotating Strength of Rotor Which Has a Boss	1963年11月	佐藤和郎, 永井文雄
TR-56	亜音速および遷音速における二次元非定常空気力の測定 (第I報) Measurements of the Unsteady Airloads for Two-Dimensional Flow at Subsonic and Transonic Speed Range (I)	1963年11月	中村泰治, 田辺義一
TR-57T	Measurements of the Aerodynamic Derivatives of a Biconvex-Flat Airfoil in Supersonic Flow at Mach Number 2 to 3	January 1964	Takao Ishii Mitsunori Yanagisawa
TR-58	高度500フィートないし10,000フィートにおける上下突風の測定および解析 Measurements and Analyses of gust Velocities from 500 to 10,000 feet altitude	1964年1月	竹内和之, 小野幸一 山根皓三郎
TR-59	磁気テープデータ処理設備とその特性 The Magnetic Tape Data Reduction System and Its Performance	1964年1月	田畑浄治, 中正夫 山本芳樹, 三浦雅男
TR-60	変厚平板翼の振動について On the Natural Vibration of Plate-Like Wings of Variable Thickness	1964年1月	塙 武敏, 越出慎一 戸川隼人, 川井忠彦
TR-61	後退角45°, テーパー比0.6の薄い片持翼の遷音速におけるフラッタ特性におよぼすマッハ数の影響の実験的研究 Some Effects of Mach Number on the Transonic Flutter Characteristics of Thin Cantilever Wings Having a Taper Ratio 0.6 and a Sweptback Angle of 45°	1964年2月	中井暎一, 小原 瑛
TR-62	超音速における翼端板効果 The Effects of End-plates at Supersonic Speeds	1964年2月	尾形吉和
TR-63	非定常流中の円柱に作用する空気力について Aerodynamic Forces Acting on a Circular Cylinder in Unsteady Flow	1964年3月	小橋安次郎, 遠藤 浩 北村清美

## 航空宇宙技術研究所報告64号

昭和39年3月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町1880  
電話武蔵野(0422)(3)5171(代表)

印刷所 笠井出版印刷社  
東京都港区芝南佐久間町1の53