

UDC 531.74

航空技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AERONAUTICAL LABORATORY

TR-3

風洞用角度計の試作実験

小橋安次郎・長州秀夫・高島一明・波木井潔

1960年8月

航空技術研究所
NATIONAL AERONAUTICAL LABORATORY

風洞用角度計の試作実験

小橋安次郎・長州秀夫
高島一明・波木井 潔

An Experiment on Angle Measuring Instruments of Airplane Models in Wind Tunnel Test

By Yasujiro KOBASHI, Hideo NAGASU, Kazuaki TAKASHIMA,
& Kiyoshi HAKII

We tried to develop a new device for measuring the angle of attack of airplane models in wind tunnels: we aimed at measuring the angle by transducers built in the model in order to avoid the complicated compensation of the error caused by the deflection of the sting which supported the model.

Two transducers were newly made and tested. Although they suffered from the hysteresis as much as $\pm 30'$, and we eventually thought they were unsatisfactory yet for the accurate detection of the angle, we could get some ideas to improve the characteristics of the instrument. Moreover, strange phenomena happened in connection with the sensitivity of the angle transducers, and it will take further investigations to make clear of these phenomena.

一般に高速風洞では、模型の支持方法としてスティング・ストラットによる方法が用いられている。当研究所の遷音速風洞もこの方式を採用する予定で準備を進めている。

この場合模型の気流に対する角度を測定するにはスティング根元において、スティングの傾き、あるいは回転角を測定し、後にスティングの撓みを補正して、真の迎角、偏揺角を求める方法が行われている。

ところが、そのためにはスティング自身、スティング取付部、天秤受感部およびストラットの撓みを考える必要があり非常に繁雑である。そこで直接迎角を測定する方法として角度測定用の発信器を模型内部に取付けることを考え、発信器および付属の電気装置の試作実験を行なった。遷音速風洞での使用状態を考え目標測定範囲 $\pm 20^\circ$ 、精度はフルスケールの 1% 以上を狙って $10'$ とした。

§ 1 試作角度計の原理

台の上に振子を置き台を傾けると、振子は常に鉛直下方に向くから最初に振子のあった場所

OP' と $\angle POP'$ を生じる。(第1図参照)

直ちにわかるごとくこの角は台の傾き角 θ に等しく、この角度を電氣的に測定することによって台の傾き角 θ を求めることができる。

風洞内での気流が水平面に平行であると考えれば、模型と気流とのなす角は模型内部に納められた振子の台の傾き角 θ に等しい。

更に模型がその軸の回りに φ だけ回転した場合はもう1ヶの振子を模型内部に納めることによって回転角 φ を検出できる。(第2図参照) なおこの場合振子の移動面が鉛直線を含まなくなると若干の補正が必要である。

真の迎角、偏揺角は θ および φ からオイラーの角を用いて、真の迎角を α 、偏揺角を ψ とすると次式で与えられる。

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta \cos \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}} \right)$$

$$\psi = \cos^{-1} (\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}) = \sin^{-1} (\sin \theta \sin \varphi)$$

§2 装 置

全体の装置は第3図のブロック線図に示すごとく、自動平衡式に角度を測定できる。

§§2.1 角度発信器

角度発信器は本装置中最も重要な部分で、第4図のような扇形振子の円弧部にしゅう動抵抗 AB をはりつけ、しゅう動子として台に固定された極 P を持つものである。

極 P としゅう動抵抗の間は摩擦をさけるため僅かばかり離してある。したがってしゅう動抵抗には交流を通し P と抵抗との間の電気容量を経て交流電圧を検出する。なお、このしゅう動抵抗は第5図のごとく別に備えられた抵抗とでホイットストン・ブリッジを作っている。

試作した角度発信器はⅠ型、Ⅱ型の2種類あり、Ⅰ型は発信器が振子移動面に垂直に傾いた際に振子移動面も傾いて振子が傾斜するものであり、Ⅱ型はこの場合に振子移動面が鉛直線を含むように保っているものである。

なお振子軸受部は最初ボールベアリングとしたが、後に改造して宝石を使用したピボットとした。第6図(a)に寸法、(b)に写真を示す。抵抗線は芯線太さ $0.05 \text{ mm}\phi$ のエナメル被覆マンガン線(仕上り外径 $0.09 \text{ mm}\phi$)を約250回まきつけてある。(マンガン: $49 \mu\Omega/\text{cm}$, 0.05ϕ の線は $2.5 \Omega/\text{cm}$)

全抵抗はⅠ型、Ⅱ型とも約 $1.4 \text{ k}\Omega$ である。抵抗線に相対する極の長さは抵抗線と極との間の電気容量が振子が移動した場合にも変化しないよう抵抗線外径の2倍以上とし、また極の長さすなわち結合電気容量の大きさが感度にどんな影響を与えるかを見るため抵抗線外径の2,

4, 6, 8 倍の物およびエッジとした。極と抵抗線との間は約 0.5 mm である。(第 7 図参照) さて第 6 図より振子の重心および重量を求めると振子の長さ 21 mm, 重量 12.6 g の単振子と考えられる。この振子が 10' 傾いた時の回転モーメントは 0.077 g・cm となる。

一方軸受をボールベアリングとすると摩擦係数は通常 $\mu \approx 0.001$, 軸太さは約 0.4 mm ϕ , したがって、摩擦によるモーメントは 2.52×10^{-4} g・cm, ゆえに 10' 程度の角度偏差に振子は充分追従できる。

軸受をピボットとした場合は上の場合より一層追従性がよいと考えられる。

なお使用にあたって振子全体をシリコン油中に浸し振動を防止した。

§§ 2.2 発振器

角度発信器および抵抗で構成するホイットストンブリッジに交流電圧を与えるための発振器で周波数約 1.6 kc 出力電圧約 5 Vr.m.s. で並列 T 型発振器とした。

§§ 2.3 増幅器, 復調器および 50 c/s 変調器

実際の風洞実験では角度発信器と増幅器初段管の間に約 20 m の距離があるので, 約 20 m のシールド線は無誘導式に巻いて発信器と初段管の間をつないだ。

シールド線は大体 2 pF/cm の容量があり, 抵抗線と極間の容量に比べると極めて大きいので第 8 図 (a) のごとくして信号電圧が減衰するのを防いだ。実際の場合は (b) のごとく二重シールド線を用いるのがよいと思われる。

なおシールド外線を接地する普通の使い方では全く計器としての役をなさなかった。

増幅器, 復調器, 50 c/s 変調器等の総合利得は約 90 db である。

§§ 2.3 電 源

300 V 定電圧電源を製作使用した。なお増幅器部のヒータ電源として 6 V 蓄電池を使用した。全回路図を第 9 図に示す。

§ 3 結果および考察

実験条件を色々変えて実験を行なった。条件とデータとの関係を第 1 表に示す。結果をまとめると次のごとくなる。

§§ 3.1 結 果

1. 測定範囲についての性質は $\pm 15^\circ$ 位までの間が直線的变化である。 $\pm 15^\circ$ 以上で線が折れるのは振子が支持棒にあたって動かなくなったためである。また折れ曲る前に直線からはづれるのは導線がバネのような働きをすることおよび軸受に原因があると思われる。またこれは抵抗線の巻き方にも直接関係あることは当然で抵抗線を一様に巻くことによって直線性が得られる。

第1表 実験条件とデータ図番

図番号*	軸 受		極 長					直 角 方 向 傾 き β					測定範囲
	ピボット	ボール	エツジ	0.21	0.38	0.54	0.73	-10°	-5°	0°	+5°	+10°	
10, 11	○		○							○			±30°
12, 13†		○	○							○			±15°
14 †		○	○								○		//
16, 17†		○	○									○	//
18 †		○	○						○				//
20, 21†		○	○										//
22, 23		○	○					○		○			±10°
24, 25		○		○						○			//
26, 27		○			○					○			//
28, 29		○				○				○			//
30, 31		○					○			○			//
32, 33	○		○							○			±15°
34, 35	○		○									○	//
36, 37	○		○					○					//
38, 39	○						○			○			//
40	○						○					○	//
42	○						○	○					//

* 図番号偶数番号Ⅰ型，奇数番号Ⅱ型，15，19，41 欠番。

† シールド線 20 m を付けていない。

第 43, 44 図は発信器の代りにダミーの切替抵抗を用いたもの。第 10~42 図で横軸は発信器を設置した台の傾き角 (θ) 縦軸はブリッジ他辺の抵抗のしゅう動子の動き (n) を示す。

2. 第 45 図からわかるようにガタは極長とは無関係のようだがⅡ型ボールベアリング軸受の場合は極長の増加に伴って，かなりガタが減少している。一方感度（実験データの勾配）については第 46 図に見るように極長の増加に伴い感度増加の傾向が見られる。ただⅡ型ピボット軸受の場合は逆に減少している。

感度とガタで発信器を含むブリッジの性能を表わすと考えられ第 47 図が得られる。この図からガタの減少は感度の増加を伴うようでガタ—感度の相関係数はマイナス 0.23 であり特にⅡ型ボールベアリング軸受の場合，相関係数はマイナス 0.91 に達する。

3. 第 48 図からわかるようにブリッジの励起交流の周波数はあまり高くてもまた低くても具合が悪くこの発信器では 1 ~ 3 kc が適当である。この理由は低い周波数では抵抗線極間の容量が小さいため十分信号が得られず，また高い周波数では抵抗線間の分布容量が問題となるからであろう。

4. 振子の回転面を鉛直方向から傾けると第 49 図に示すごとく感度が増加する。（Ⅱ型はすでに述べたように振子回転面は常に鉛直に保たれているので感度の変化はない。）これは見かけの感度が増加したとでも言うべきことで真に感度が増加したのではない。振子回転面が鉛直から傾くと振子の移動がそのために増加するからである。発信器の傾き角を θ ，回転角を

φ とし、振子の移動量、すなわちこの角度計の指示する角 θ_T を求めると

$$\theta_T = \theta + \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos \theta \sin \theta (1 - \cos \varphi)}{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta \cos \varphi} \right\}$$

となる。たとえば $\theta = 15^\circ$, $\varphi = 10^\circ$ とすると $\theta_T \doteq 17^\circ$ となり 2° 程度の誤差を生ずる。

5. 発信器と増幅器初段管との間の距離は問題でない。

§§ 3.2 ガタ、感度に対する考察

ブリッジ入力電圧	V_i
ブリッジ出力電圧	V_o
抵抗線を巻いてある角度範囲	θ
振子が台に対して動いた角度	θ_0
振子が動き始める最小角度	θ_d
台の傾いた角度	θ_i
増幅器全体の利得	A
平衡電動機の起動電圧	V_d

とすると

$$V_o = \frac{\theta_0}{2\theta} V_i \quad (1)$$

この値で平衡電動機が動くには

$$|AV_o| = V_d \quad (2)$$

(2) と (1) から θ_0 を求めると

$$\theta_0 = \frac{2\theta V_d}{AV_i} \quad (3)$$

これが電気系のガタで角度計全体のガタは

$$\frac{2\theta V_d}{AV_i} + \theta_d$$

したがって、 θ_i がこの値以上にならぬと平衡状態から動き出さない。実際の場合の定数を入れると $\theta \doteq 60^\circ$, $V_i \doteq 5 \text{ V r.m.s.}$, $V_d = 8 \text{ V r.m.s.}$, $A = 86 \text{ db}$ とするとガタ幅 $\bar{\theta}$ は

$$\bar{\theta} = 0.6' + \theta_d$$

$A = 66 \text{ db}$ とすると

$$\bar{\theta} = 6' + \theta_d$$

である。実験の際の A の値は上記の範囲内であり、 θ_d は発信器軸受の摩擦によるものと思われる全体としてガタが増加する。

次に角度計の感度を調べて見る。

k_1 : 発信器が 1° 傾いた際の抵抗変化。約 $23.3 \Omega/^\circ$

K : 平衡電動機の回転角に対する指針の移動距離。0.206 mm/ $^\circ$

k_2 : 平衡電動機の回転角に対するブリッジ抵抗の変化。2.78 $\Omega/^\circ$

b : 発信器側ブリッジ抵抗と電動機側ブリッジ抵抗の比。0.14

とすると感度は

$$\frac{k_1 K}{k_2 b} = 12.3 \text{ mm}/^\circ$$

となる。しかるに実際の感度は第 46 図に見るごとく感度に若干のばらつきがあり、更にかなり感度が低下していることがわかる。この原因を探するため次のような実験を行なった。

第 50 図のように発信器の代りに抵抗 R_2 を用い、コンデンサー C を色々変化させたところ R_1 側の動きが C の大きさによって変化し、第 51 図のごとく感度の変化が見られた。ただし、第 51 図では抵抗変化をそれと等価な角度変化に換算した感度を取ってある。この場合 P とアースの間に電圧計を挿入したところ、計算によるブリッジバランス点以外のところで最小読みを示し、計算によるブリッジバランス点では非常に大きい読みを与えた。また最初にブリッジバランス点に R_1 側のしゅう動子を置き、増幅器、平衡電動機のスイッチを入れて平衡点を求めるとやはり計算値のところよりかなりずれ、スイッチ切替の際のバランス点と同じところでバランスする。すなわち C の値によってブリッジの平衡点が変化するという現象が起った。

角度発信器ではこの容量が 1 pF よりも更に小さく大体 0.1 pF 程度と推定されるので先に述べたような感度の低下をもたらしたと思われる。また極の取り替えの際に極と抵抗線との距離を常に一定にできないことが感度のばらつきをおこしたのであると思われるがこの点については更に研究を必要とする。

なお第 43 図、第 44 図に示すものは容量約 10 pF のものが入っているので感度はほとんど低下していない。(10.8 mm/ $^\circ$, 11.7 mm/ $^\circ$)

でしたがって、抵抗線と極の間の容量を増加することは感度を良くすることとなり更にこれは前に述べたようにガタの減少をもたらすのである。

§ 4 結論、今後の設計上の注意

当初目標としたものは得られず現在のものの性能はⅠ型、Ⅱ型とも測定範囲 $\pm 15^\circ$ 、応答速度 0.2°/s でガタ幅、感度については

Ⅰ型ホールベアリング

ガタ幅 約 $\pm 30'$

指示感度 約 7 mm/ $^\circ$

Ⅰ型ピボット軸受

ガ タ 幅 約 $\pm 20'$

指示感度 約 $6 \text{ mm}/^\circ$

Ⅱ型ボールベアリング

ガ タ 幅 約 $\pm 9'$

指示感度 約 $8 \text{ mm}/^\circ$

Ⅲ型ピボット軸受

ガ タ 幅 約 $\pm 9'$

指示感度 約 $6 \text{ mm}/^\circ$

である。しかし発信器の良いものを製作することにより目標性能を持つ角度計を作りうる事が予想される。発信器の良いものとは軸受部の摩擦が十分小さく、抵抗線極間の容量が十分大きいもの (10 pF あれば十分) である。更に応答速度と指示感度は平衡電動機および指針用のプーリーを取り替えることによっても改善できる。

角度計設計上の注意をまとめると

1. 発信器軸受部の摩擦を出来るだけ小さくすること。
2. 発信器抵抗線、極間の容量を大きくすること。
3. 発信器の抵抗線を一様に巻くこと。
4. 出来るだけハムを拾わないようにし、出来れば帯域通過濾波器を入れる。
5. 平衡電動機は起動電圧低く、かつトルクの強いものを選ぶ。
6. 出来れば回転計型発電機をつけて応答速度を早くしても不安定にならないようにする。

である。

また別の型の発信器としては

1. 現在のもので極を振子側に、抵抗線を台に固定するもの。
2. 振子を鉄の錨型のものにして差動型トランスを使うもの。

があげられる。

最後にこの実験に色々御忠告を与えられた東京大学工学部塩入助教授に深く感謝致します。

附 録

スティングの傾き角 θ 、回転角 φ から迎角 α および偏揺角 ψ を求める。

第 52 図 (a) で気流は z 軸と反対方向である。迎角は気流の対称機軸面えの成分と機軸とのなす角であるから z の $x'z'$ 面への射影と z' とのなす角で与えられる。また偏揺角は気流と対称機軸面とのなす角である。したがって $x'z'$ 面と z とのなす角である。

図で $0-xyz$ と $0-x'y'z'$ との関係は次の方向余弦の表から明らかである。

	x'	y'	z'
x	$\cos \theta \cos \varphi$	$-\cos \theta \sin \varphi$	$\sin \theta$
y	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	0
z	$-\sin \theta \cos \varphi$	$\sin \theta \sin \varphi$	$\cos \theta$

まづ偏揺角は z と $x'z'$ のなす角だから

$$\cos\left(\psi + \frac{\pi}{2}\right) = \sin \theta \sin \varphi$$

$$\therefore \sin \psi = \sin \theta \sin \varphi$$

$$\therefore \psi = \text{Sin}^{-1}(\sin \theta \sin \varphi) = \text{Cos}^{-1}(\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}) \quad (1)$$

次に迎角を求める。偏揺角の場合と同様にしてまづ z と $x'y'$ 面, $z'y'$ 面とのなす角を求めると z と $x'y'$ 面の間の角は明らかに $\pi/2 - \theta$, $z'y'$ 面とのなす角は γ とおいて

$$\sin \gamma = \sin \theta \cos \varphi$$

となる。そこで第 52 図 (b) のように X, Y, Z なる角を考えて

$$\cos \psi \sin X = \sin \theta \cos Y$$

$$\cos \psi \cos X = \cos \gamma \sin Z$$

$$\cos \gamma \cos Z = \sin \theta \sin Y$$

なる連立方程式を得る。 X が迎角で X を求めると

$$\sin X = \frac{\sin \theta \cos \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}}$$

$$\begin{aligned} \therefore \alpha = X &= \text{Sin}^{-1}\left(\frac{\sin \theta \cos \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}}\right) \\ &= \text{Cos}^{-1}\left(\frac{\cos \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

(1), (2) が求める式である。

次にスティングの回転による振子の移動角を求めよう。スティング中に取付けられた発信器はスティングが θ だけ傾き, φ だけ回転すると振子の運動面が鉛直から傾くときは正確な θ を示さなくなることは本文中で述べてある。

この場合最初 θ だけ傾いた時は振子は第 53 図 (a) の状態である。ただし z 軸は紙面に垂直で振子の運動面は常に振子とスティングを含む面である。次にスティングの回りに φ だけ回転させると (b) 図となる。

さて $0-xyz$ と $0-x'y'z'$ の関係を求める。 $x'y'z'$ は xy 面内で y 軸と角 θ をなす直線の回りに $z \rightarrow y$ の方向に xyz を回転させたもので方向余弦の関係は次のようになる。

	x'	y'	z'
x	$\cos^2 \theta \cos \varphi + \sin^2 \theta$	$-\cos \theta \sin \theta (1 - \cos \varphi)$	$\sin \varphi \cos \theta$
y	$-\sin \theta \cos \theta (1 - \cos \varphi)$	$\sin^2 \theta \cos \varphi + \cos^2 \theta$	$\sin \varphi \sin \theta$
z	$-\cos \theta \sin \varphi$	$-\sin \theta \sin \varphi$	$\cos \varphi$

さて振子の重力成分は x 軸方向だから上の回転により y' 方向の成分を生ずる。振子は $x'y'$ 面内で z' を軸としてこの重力成分によって角 δ だけ回転する。この時新しい座標 $x''y''z''$ と $x'y'z'$ の関係は次のごとくなる。(c) 図参照)

	x''	y''	z''
x'	$\cos \delta$	$-\sin \delta$	0
y'	$\sin \delta$	$\cos \delta$	0
z'	0	0	1

上の2つの表から x の y'' 方向の成分を求めると

$$\sin \delta (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta \cos \varphi) - \cos \delta \cos \theta \sin \theta (1 - \cos \varphi)$$

振子はこの成分が0になるまで回転するから、その時の δ を求めると

$$\tan \delta = \frac{\cos \theta \sin \theta (1 - \cos \varphi)}{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta \cos \varphi}$$

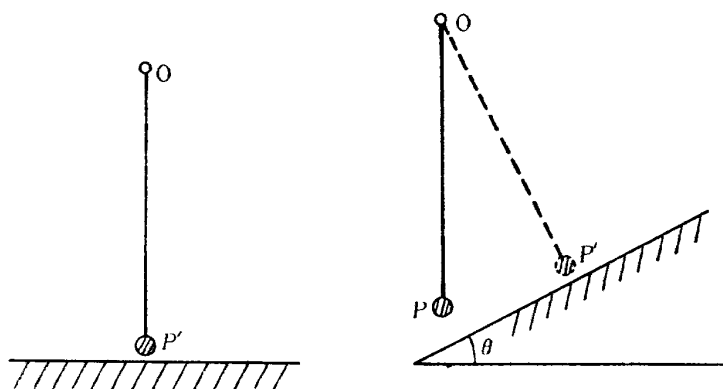
したがって最初スティングが水平であった時から振子は次の角度だけ回転したことになる。

$$\begin{aligned} \theta_T &= \theta + \delta \\ &= \theta + \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos \theta \sin \theta (1 - \cos \varphi)}{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta \cos \varphi} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

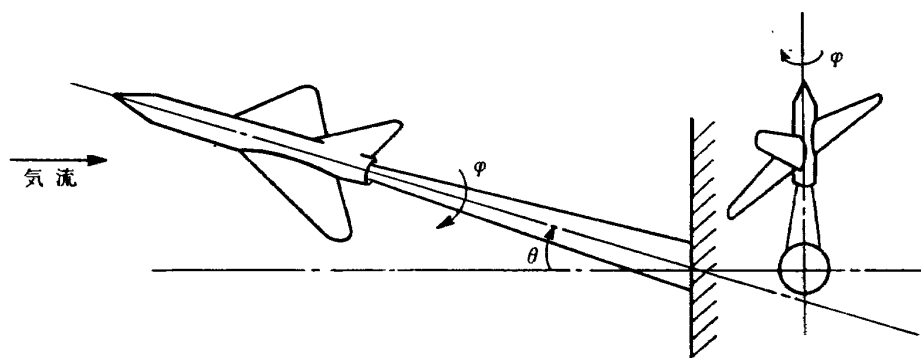
これが角度計の指示となる。

文 献

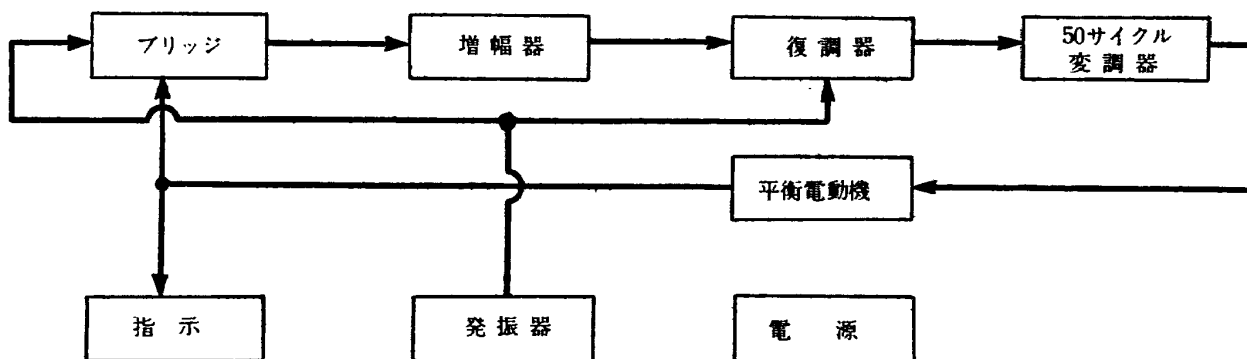
- 1) B. Chance, V. Hughes, E. F. Macnicol, D. Sayer, and F.C. Williams, Waveforms, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1949.
- 2) G. E. Valley and H. Wallman, Vacuum Tube Amplifiers, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1949.
- 3) J. Dimeff and T.B. Fryer, Capacitance Pick-up Measures Small Forces, Electronics, Vol. 30, No. 2, 1957.



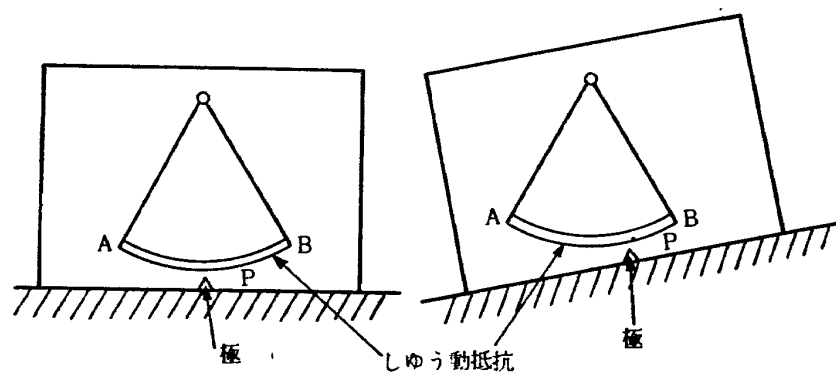
第1図 振子と台



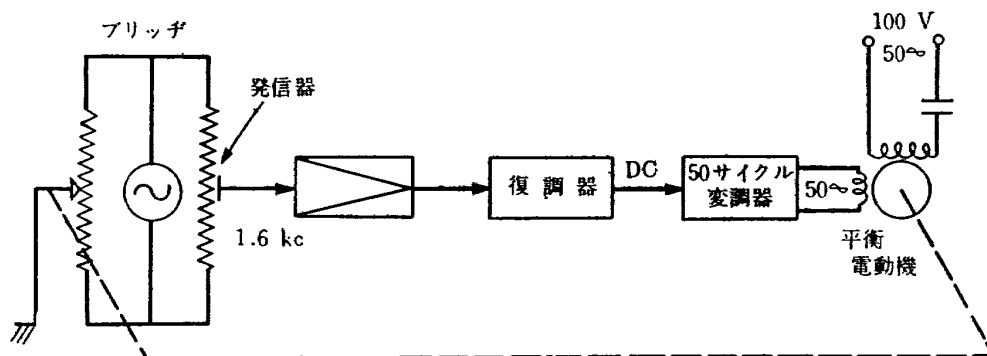
第2図 模型と気流



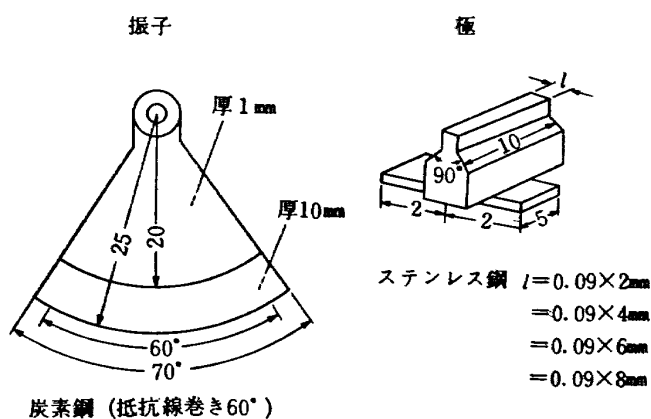
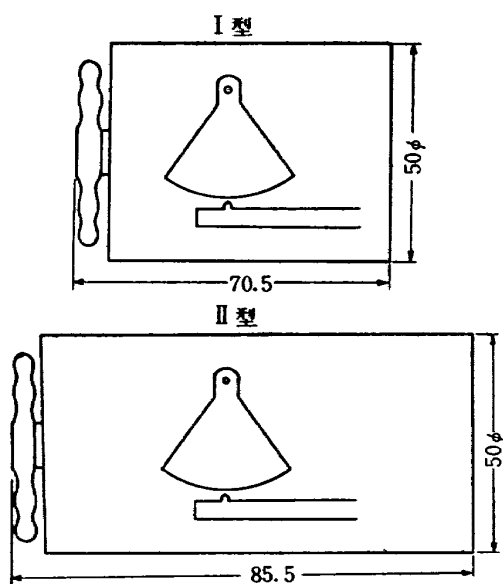
第3図 試作角度計のブロック線図



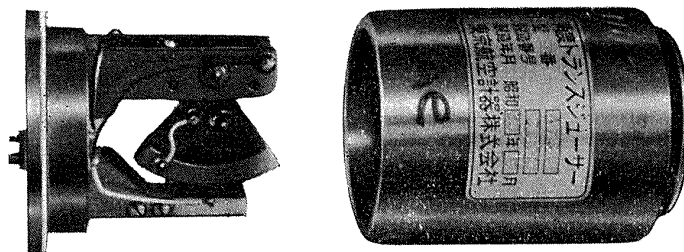
第4図 角度発信器概念図



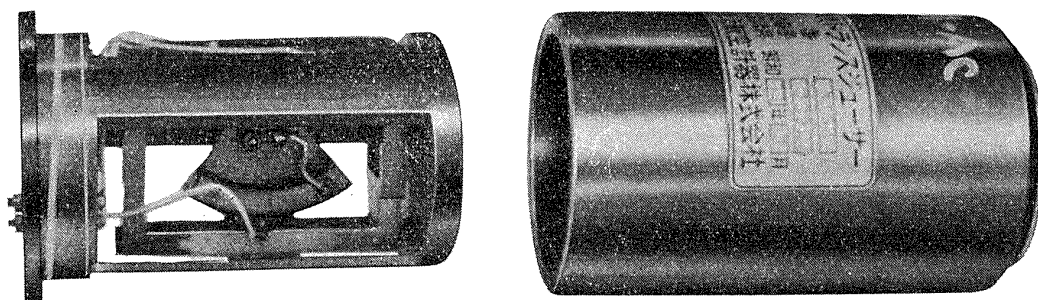
第 5 図 発信器を含むブリッジの自動平衡法



第 6 図 (a) 発信器外形寸法

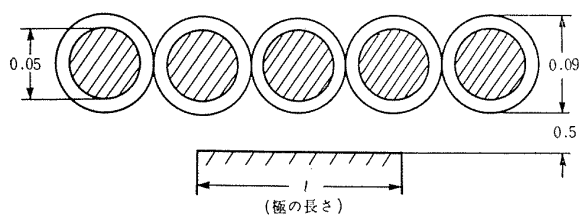


発信器 I 型

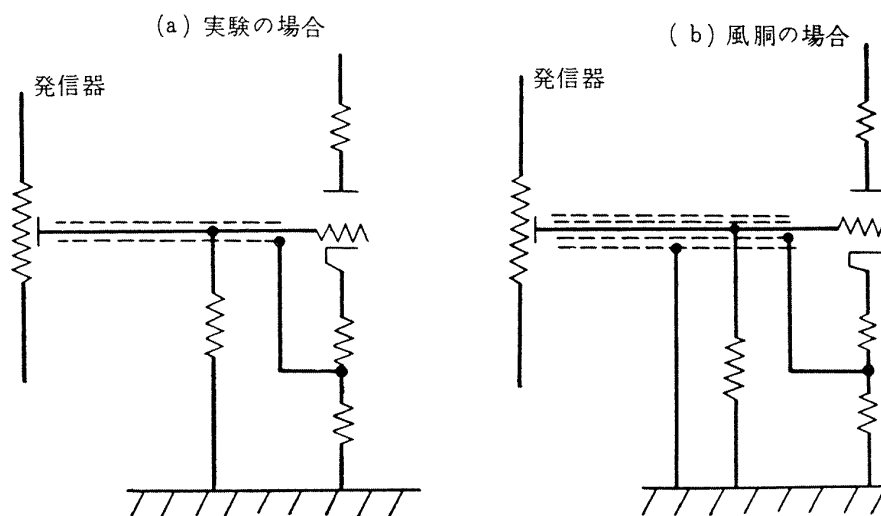


発信器 II 型

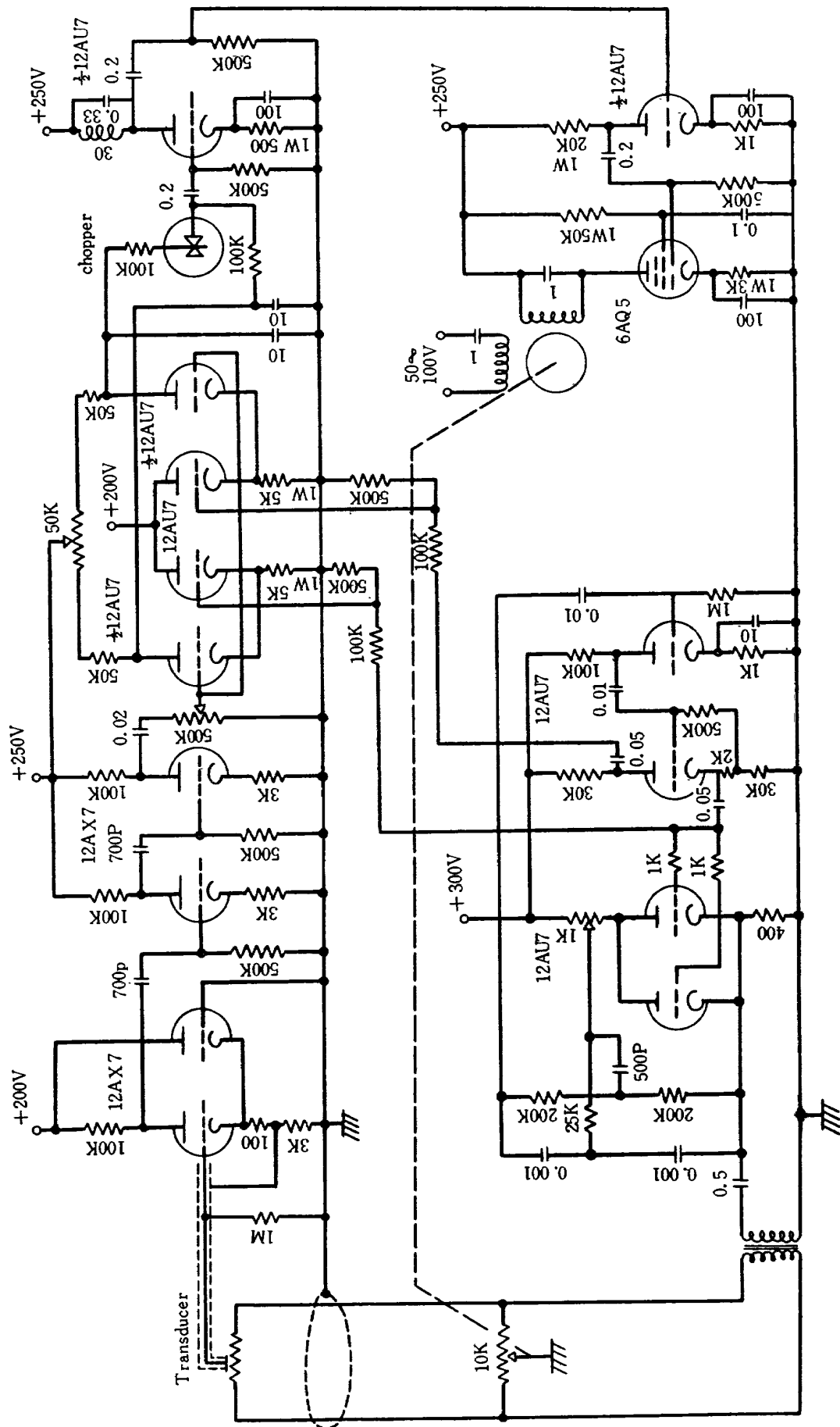
第 6 図 (b) 発信器全体図



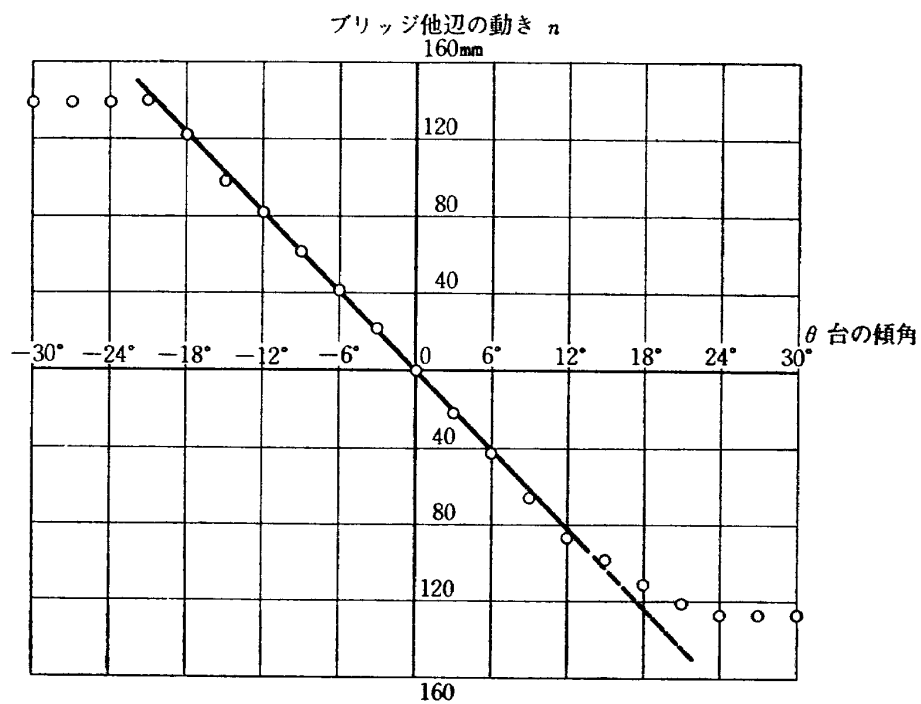
第 7 図 極と抵抗線



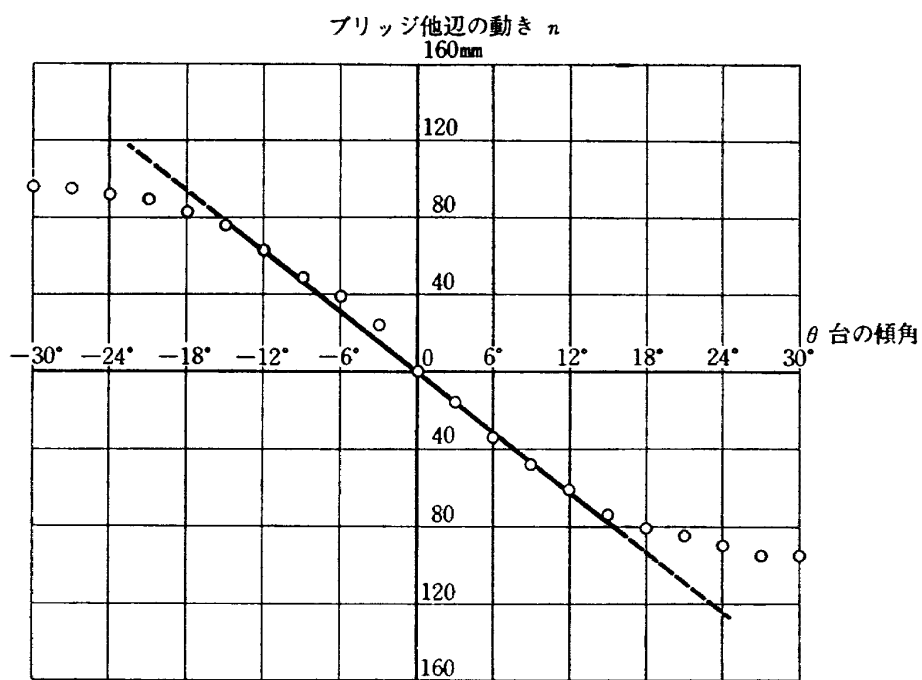
第 8 図 発信器と初段管の結合



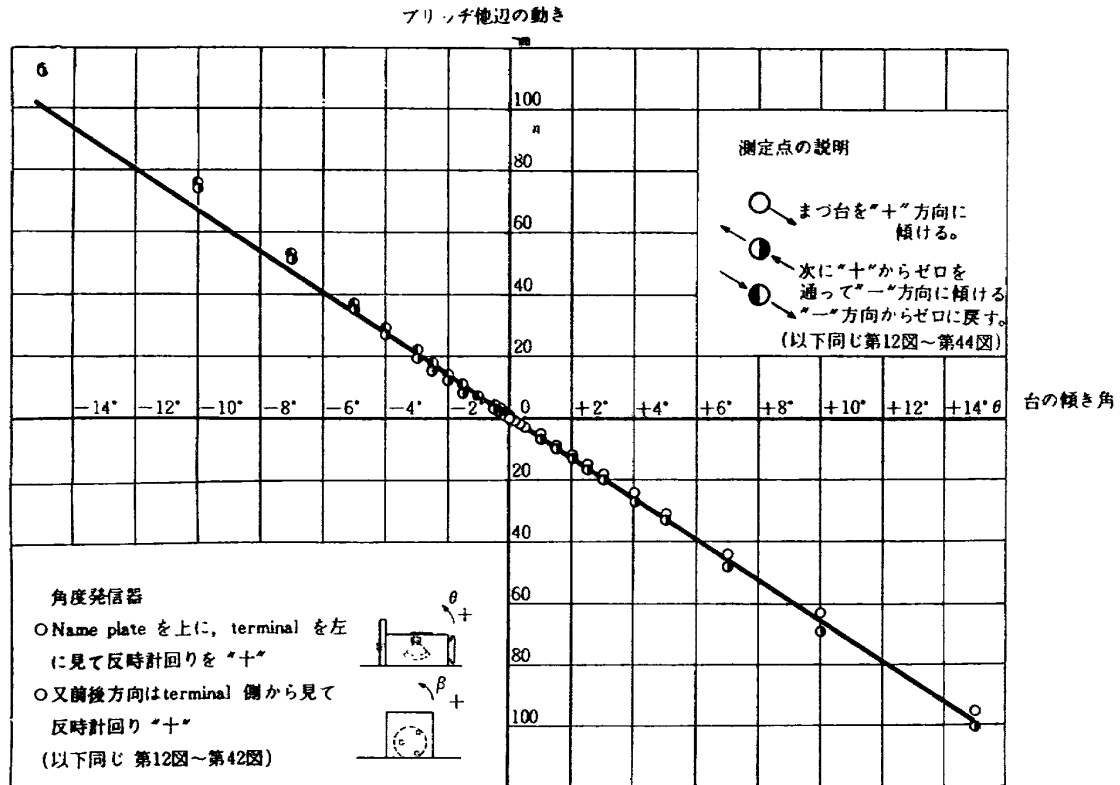
第9図 角度計回路図



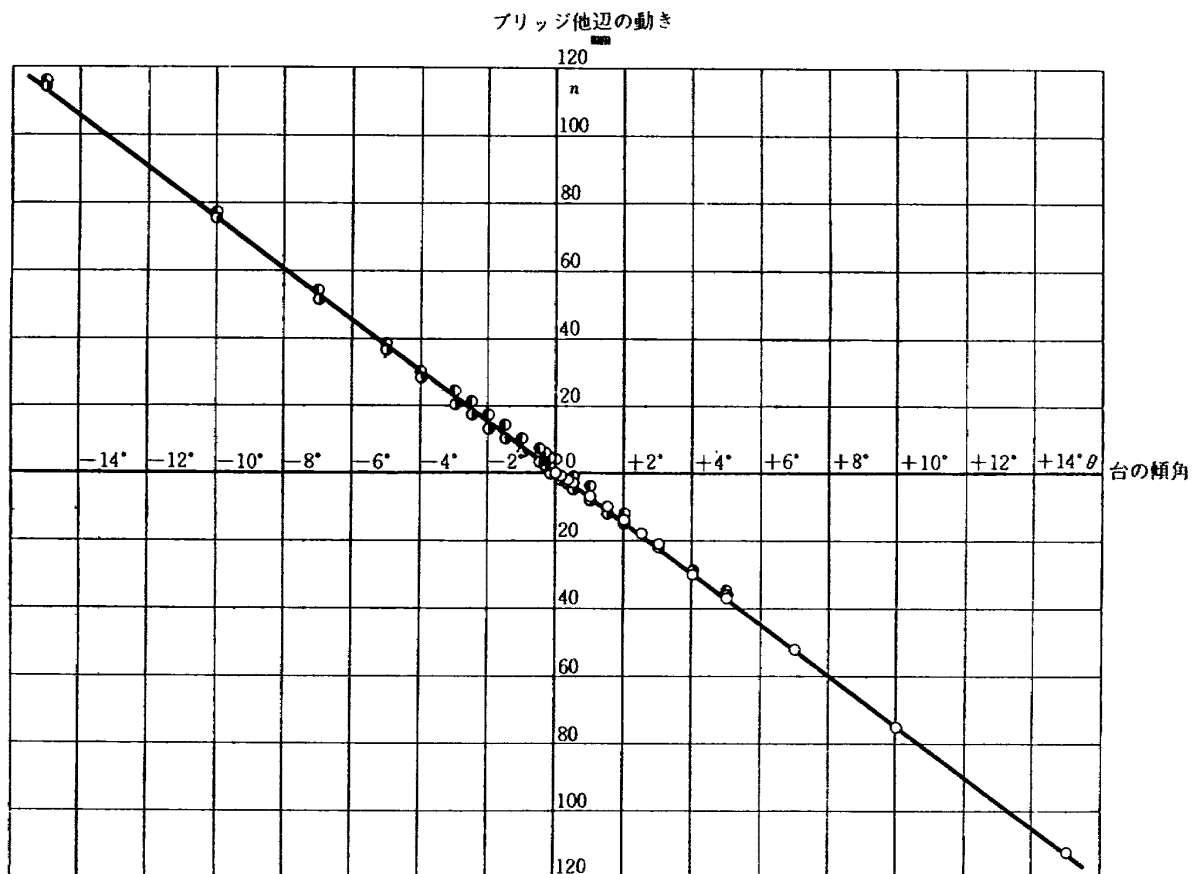
第 10 図 発信器 I 型測定範囲



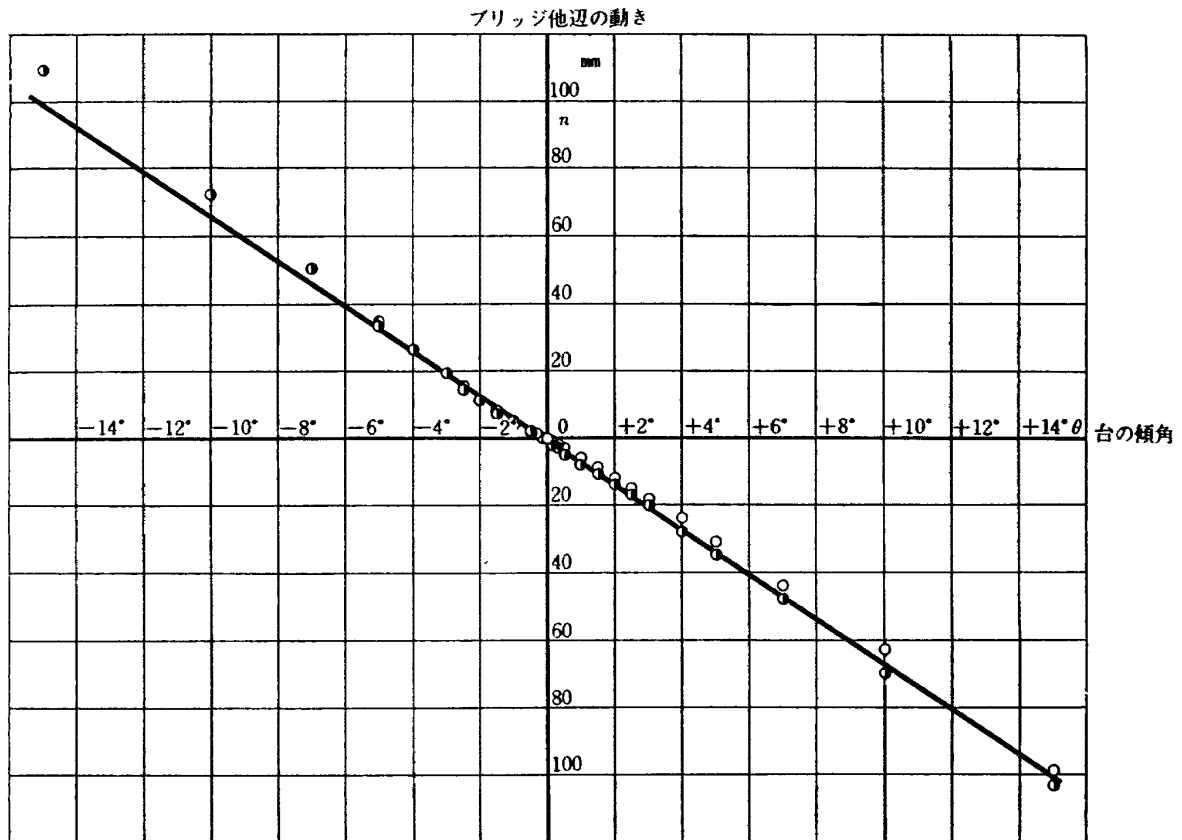
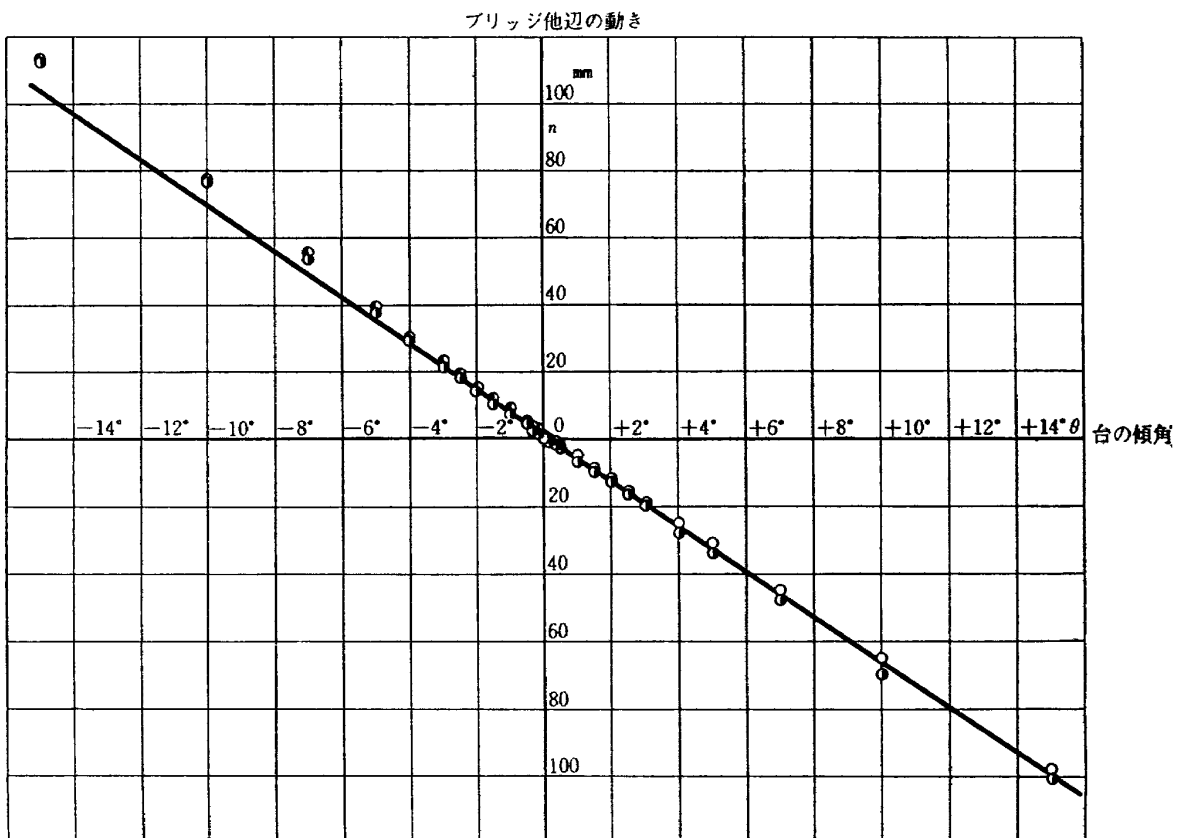
第 11 図 発信器 II 型測定範囲

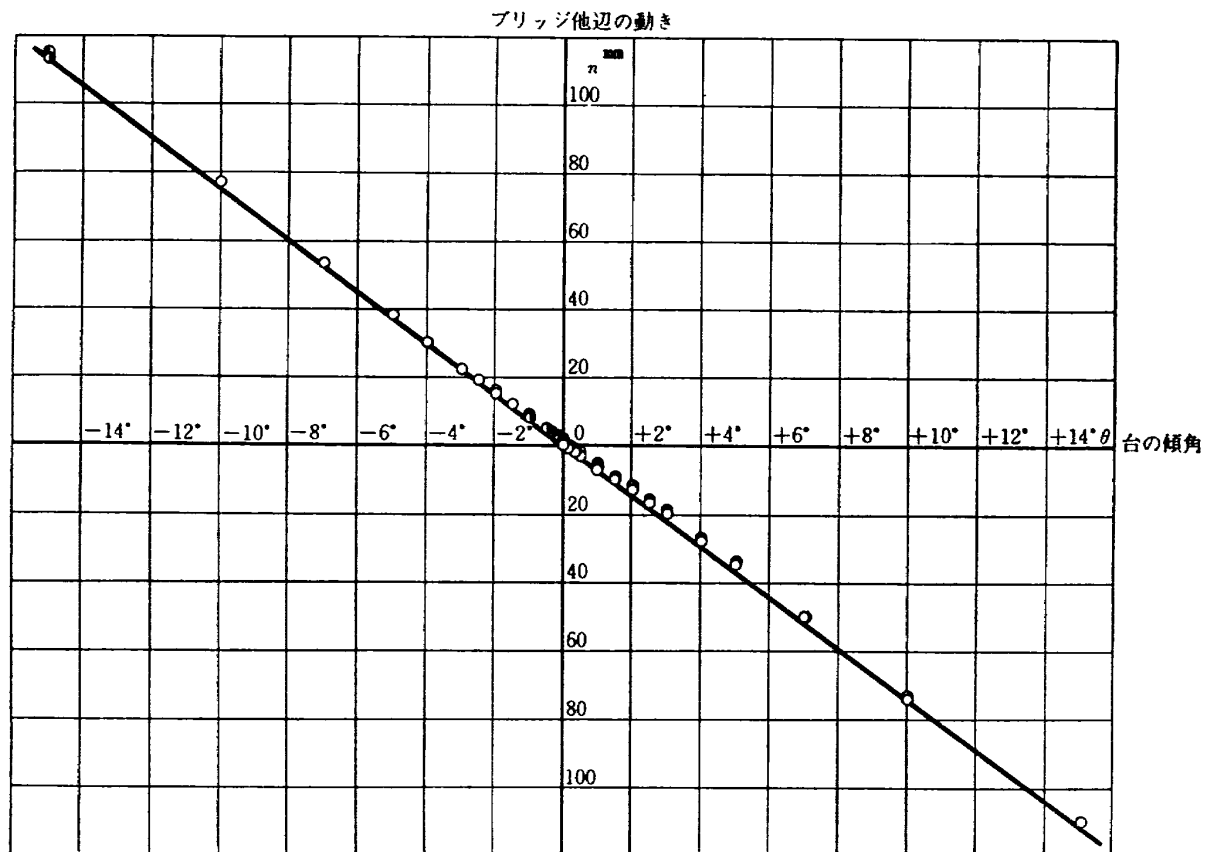


第 12 図 発信器Ⅰ型, ボールベアリング $\beta=0$, 極エッジ

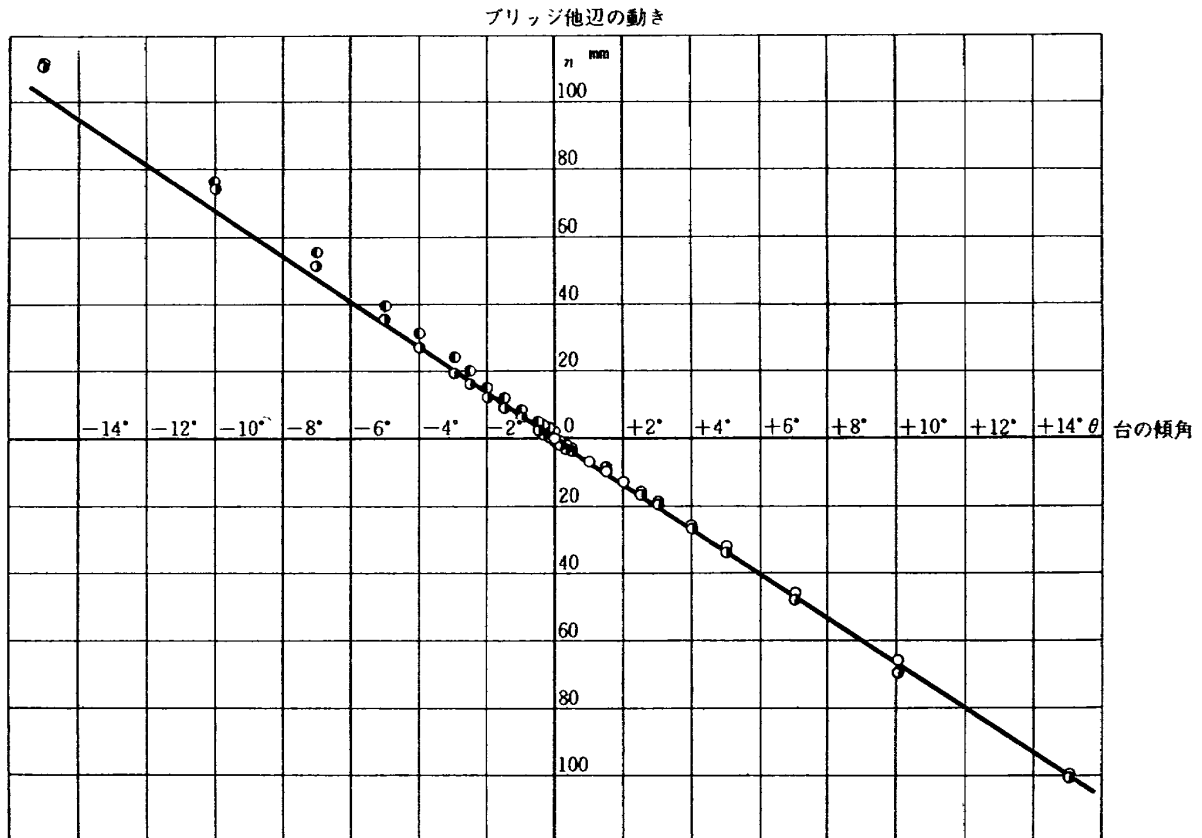


第 13 図 発信器Ⅱ型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極エッジ

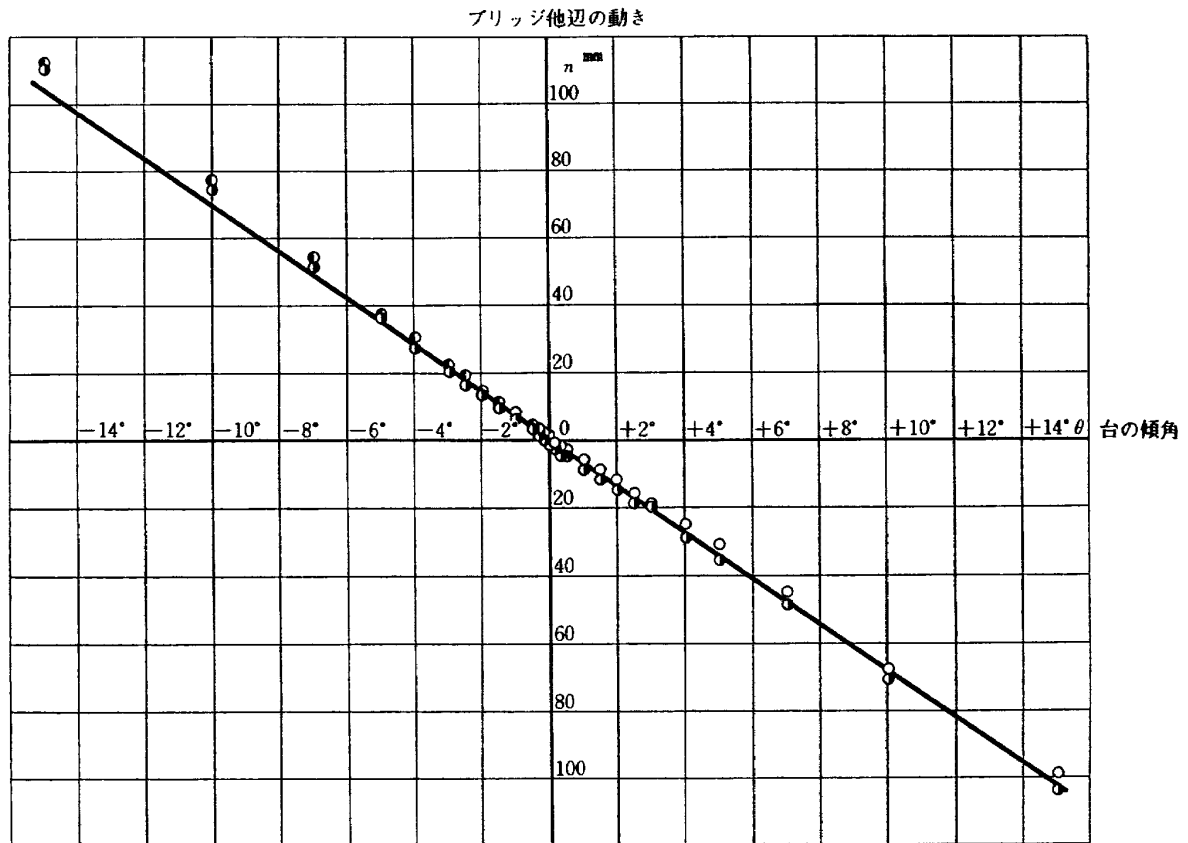
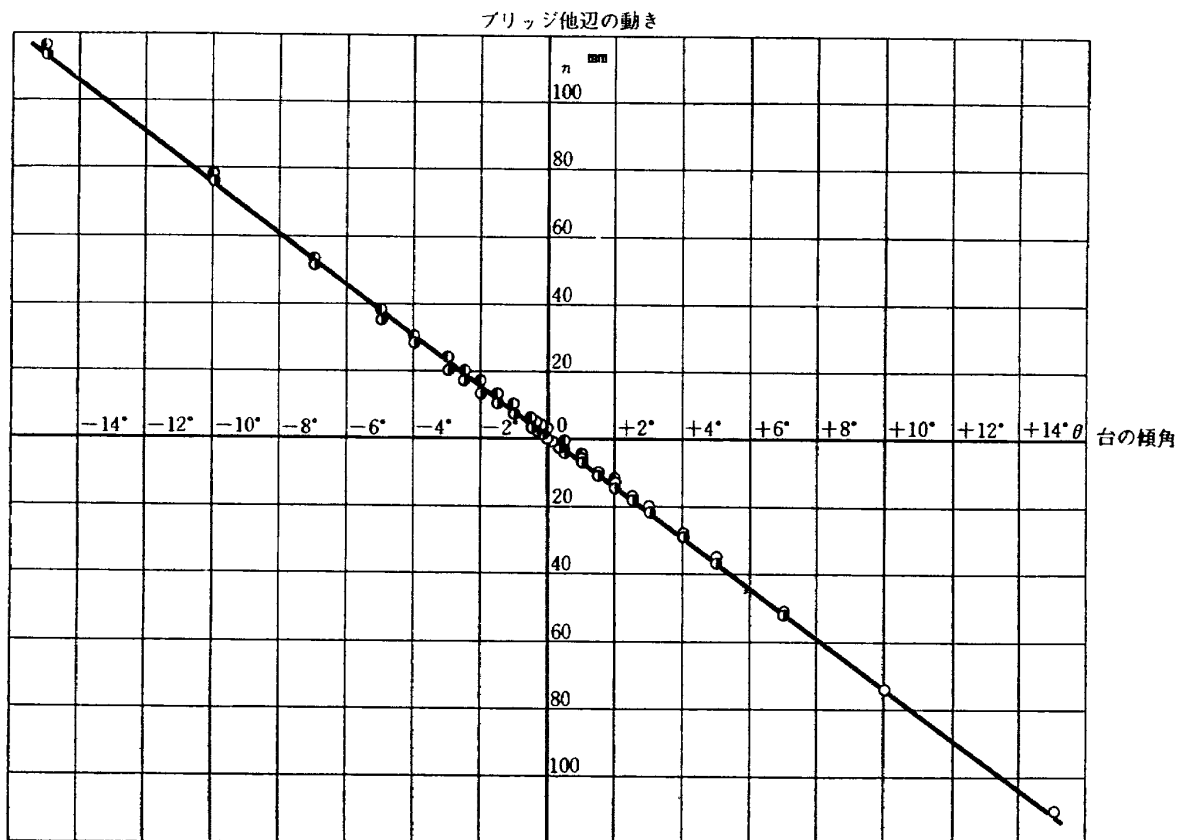
第 14 図 発信器 I 型ボールベアリング, $\beta=5^\circ$, 極エッジ第 16 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta=10^\circ$, 極エッジ

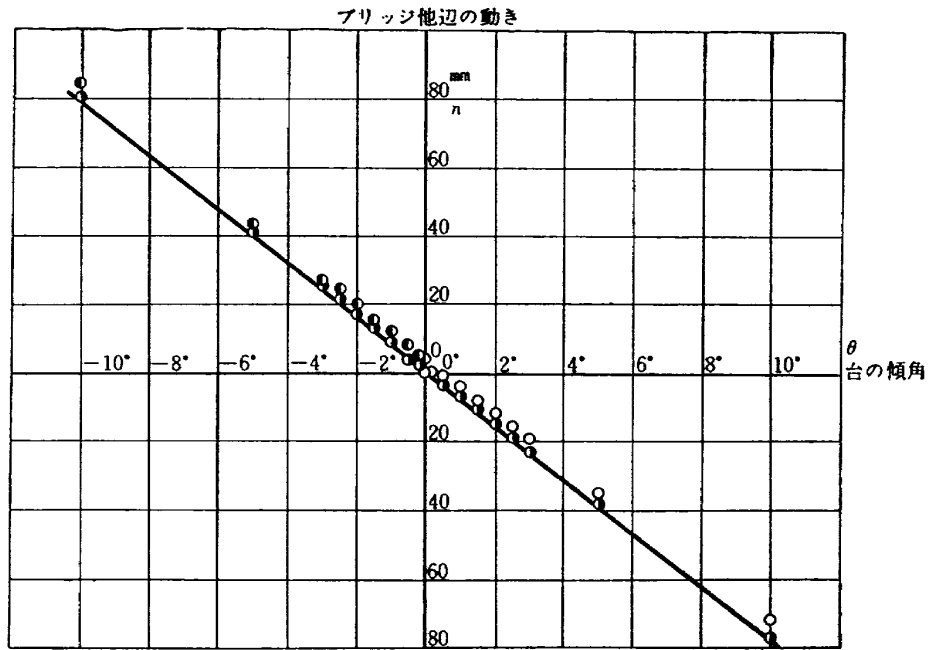


第 17 図 発信器 II 型, ボールベアリング, $\beta=10^\circ$, 極エッジ

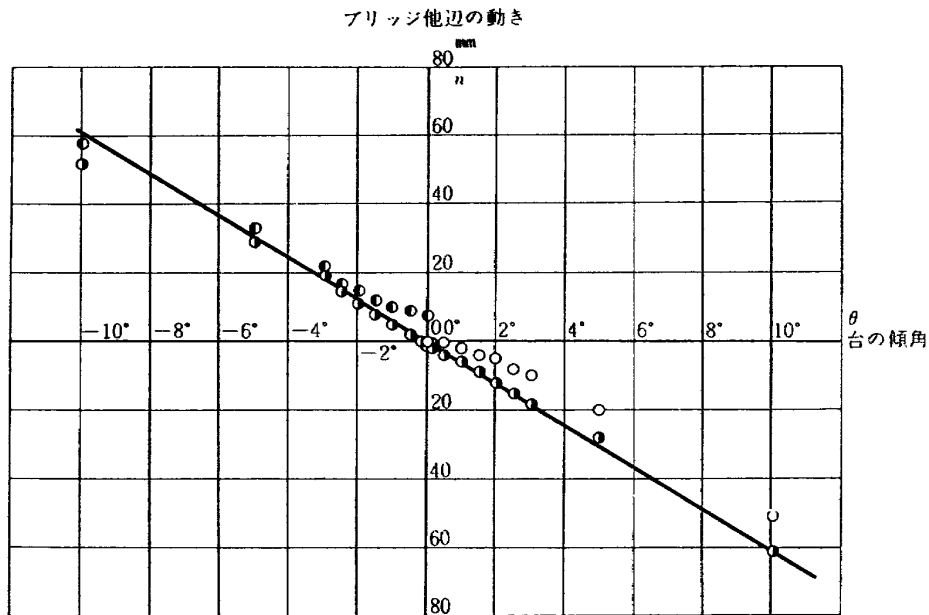


第 18 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta=-5^\circ$, 極エッジ

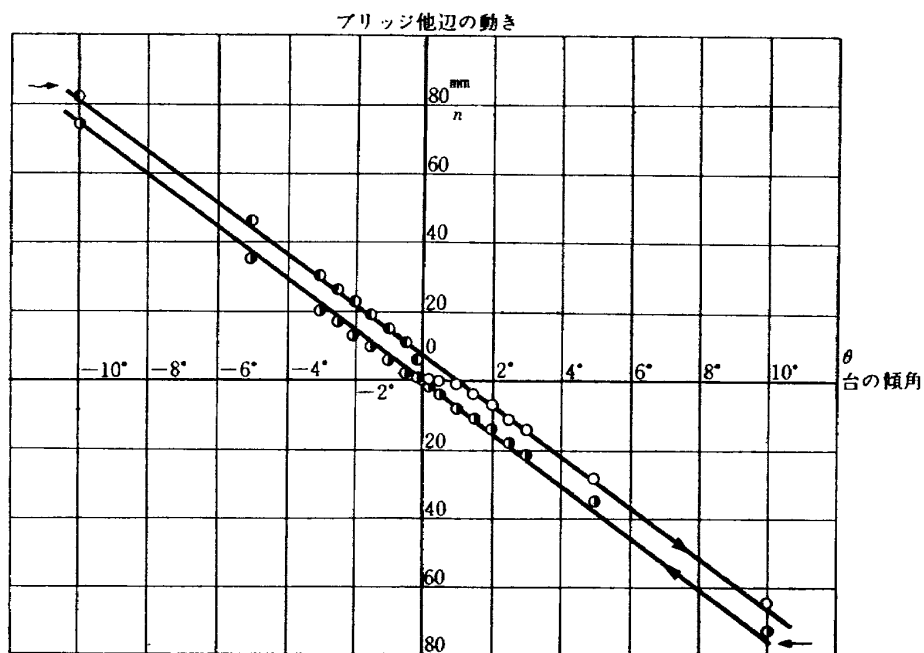
第 20 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta = -10^\circ$, 極エッジ第 21 図 発信器 II 型, ボールベアリング, $\beta = -10^\circ$, 極エッジ



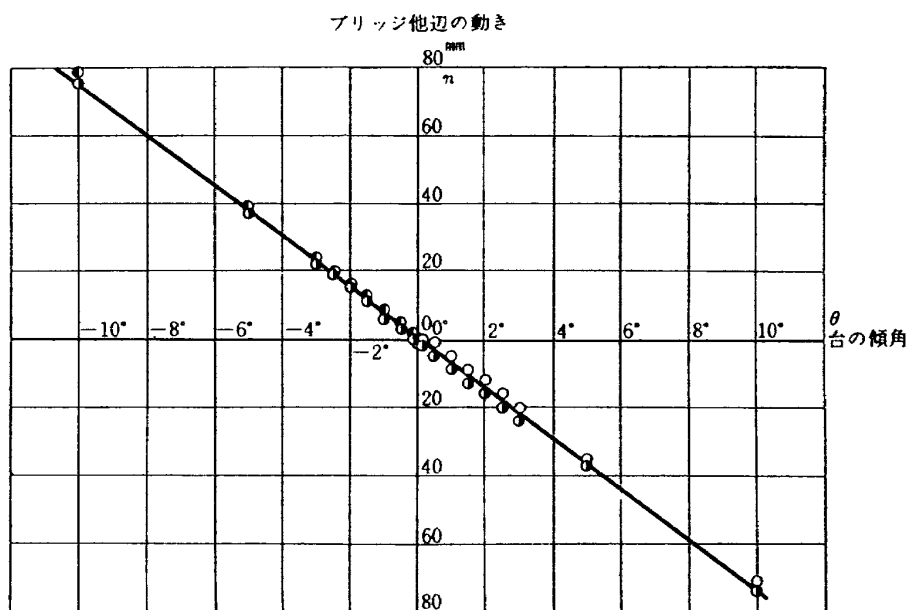
第 22 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極エッジ



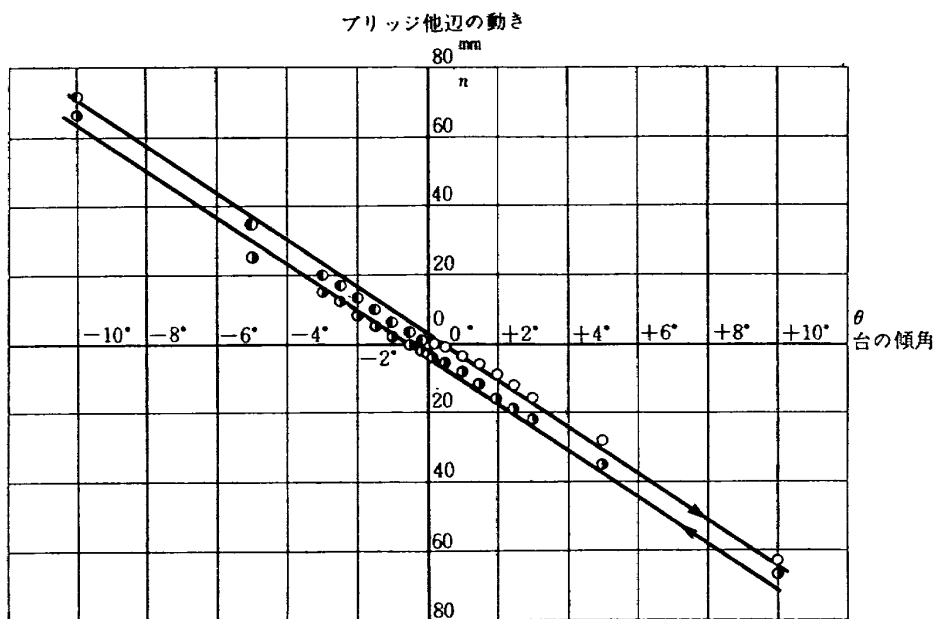
第 23 図 発信器 II 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極エッジ



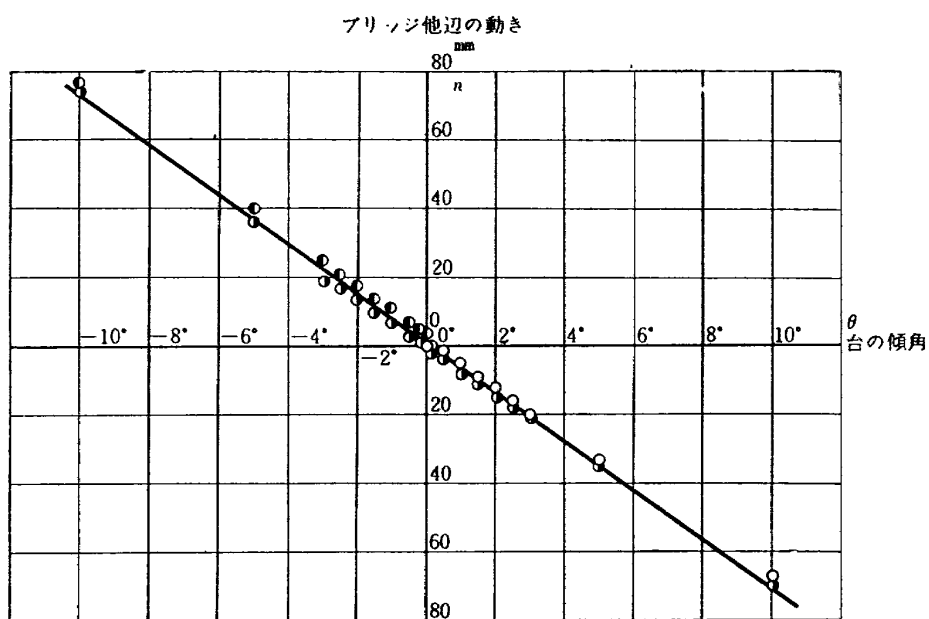
第 24 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.21mm



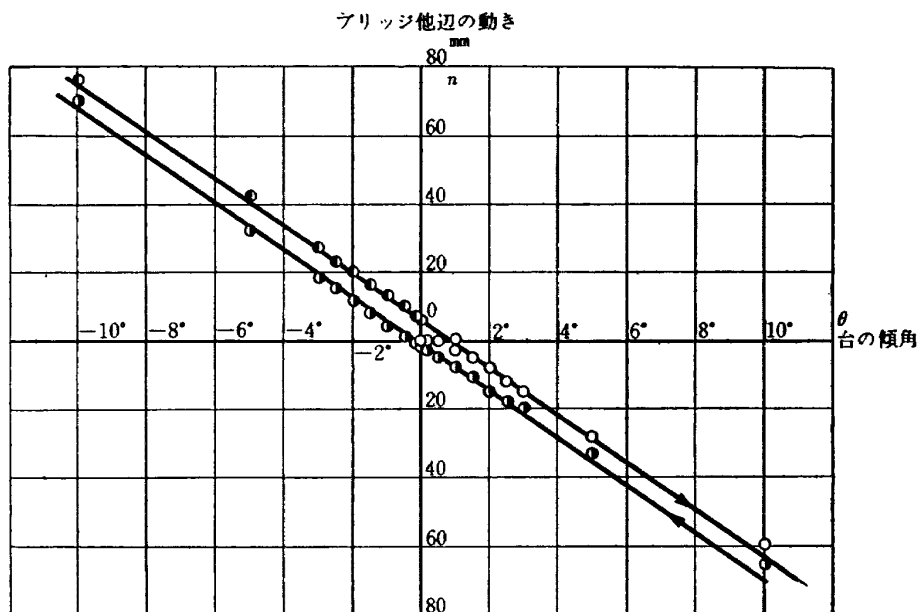
第 25 図 発信器 II 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.21 mm



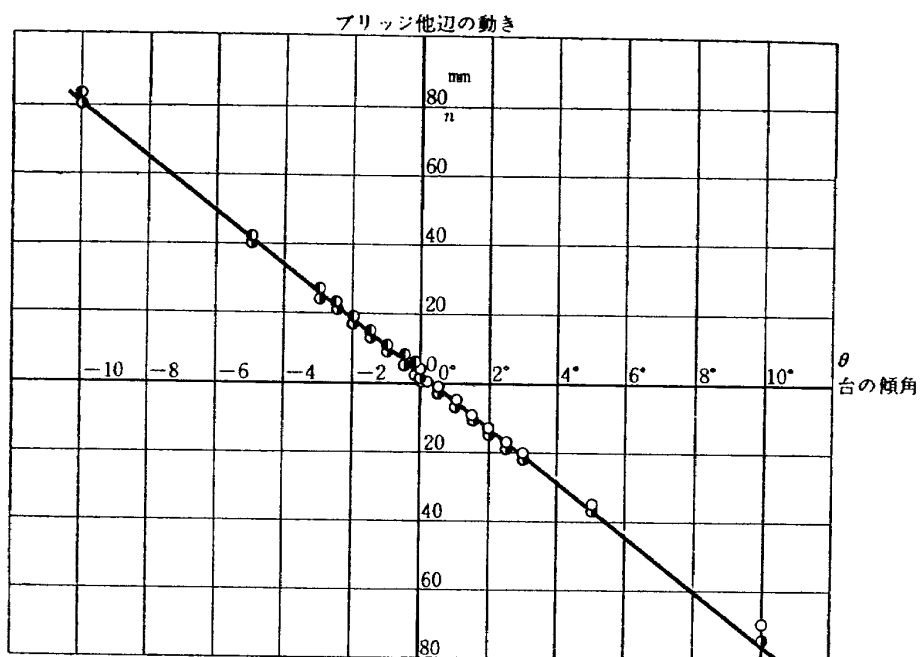
第 26 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.38mm



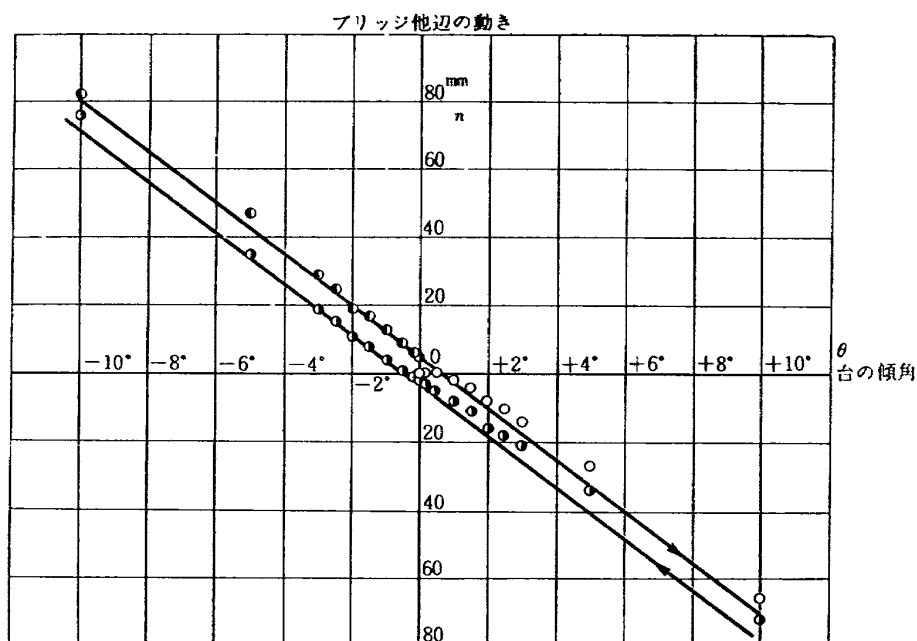
第 27 図 発信器 II 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.38mm



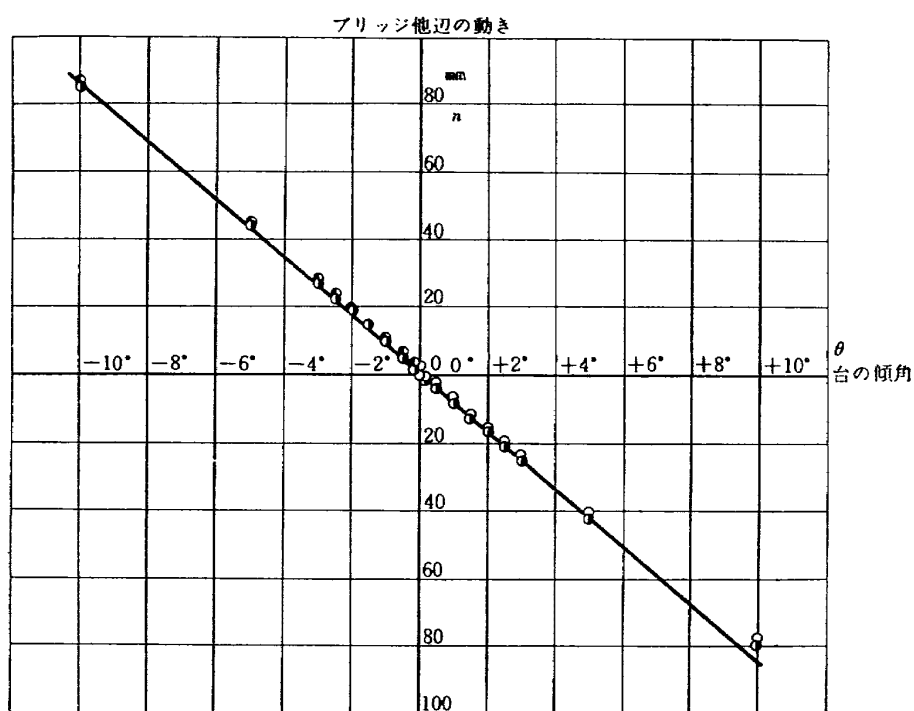
第 28 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.54mm



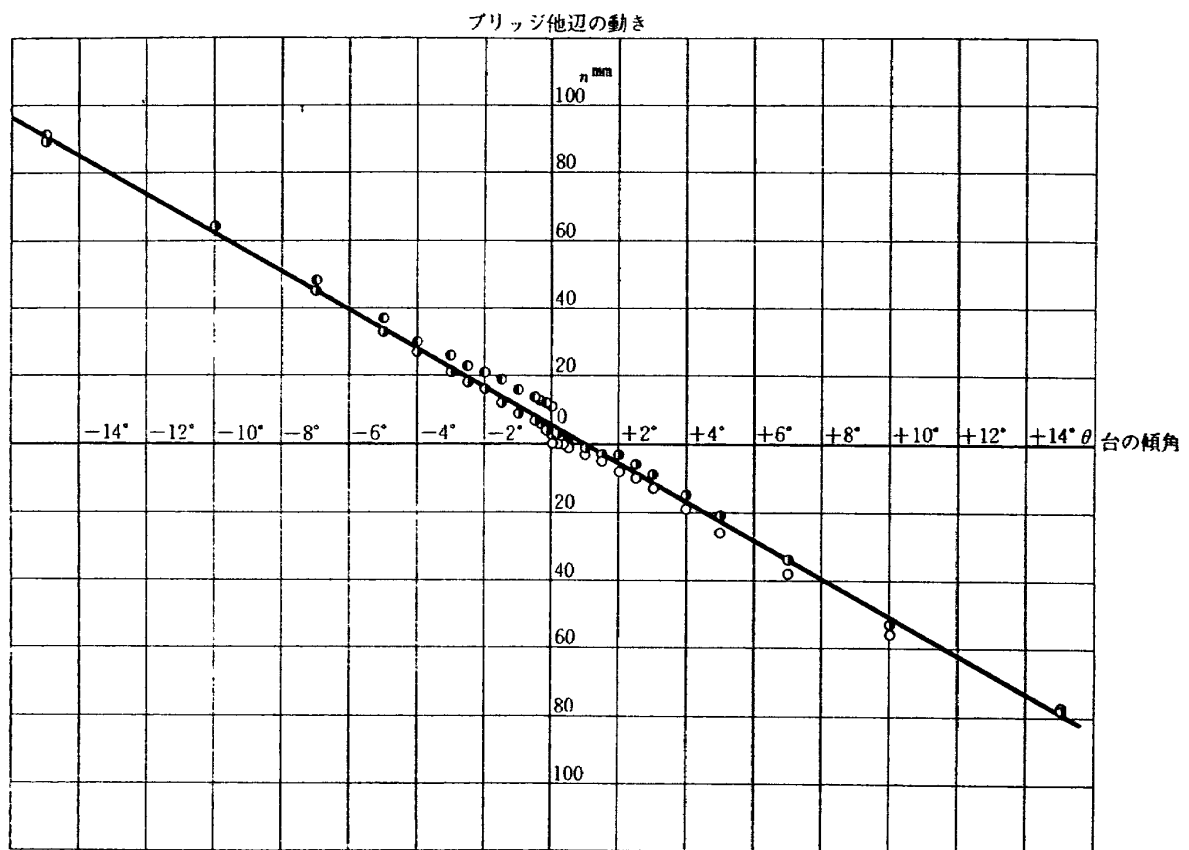
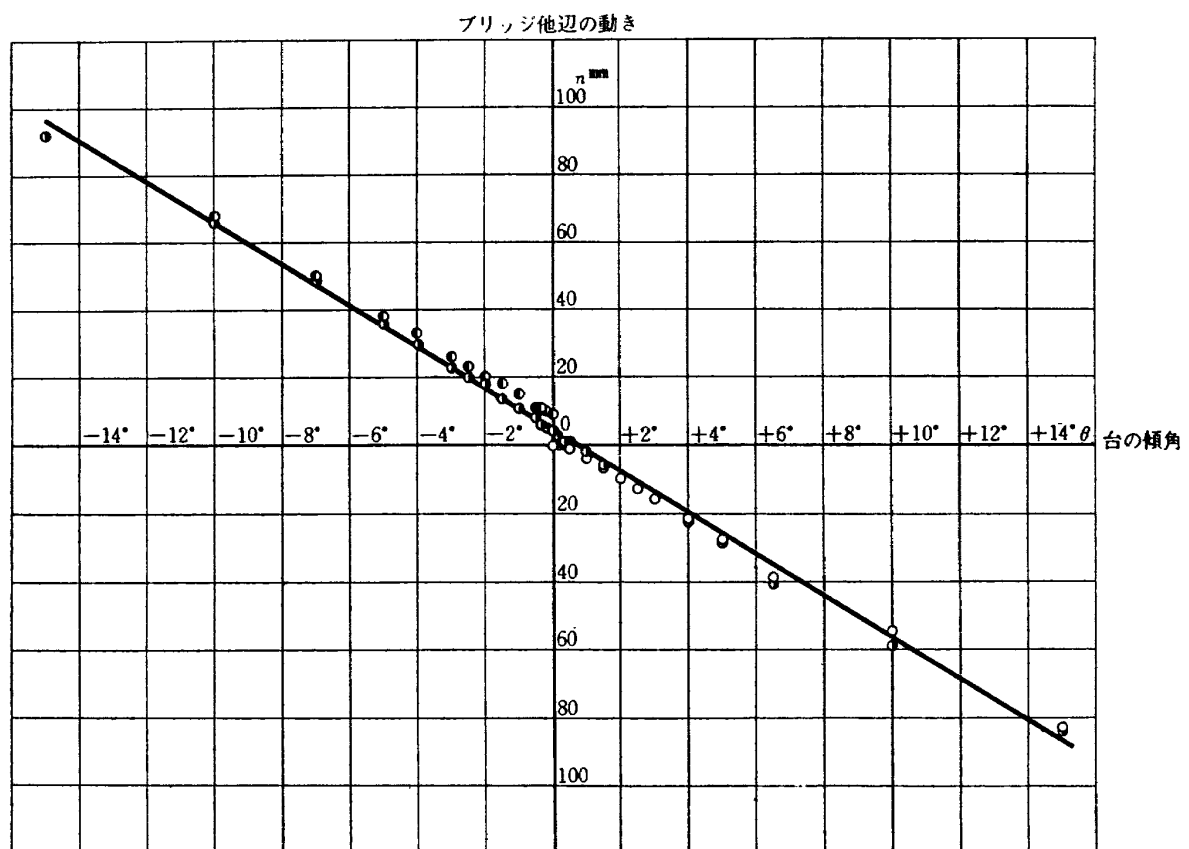
第 29 図 発信器 II 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.54mm

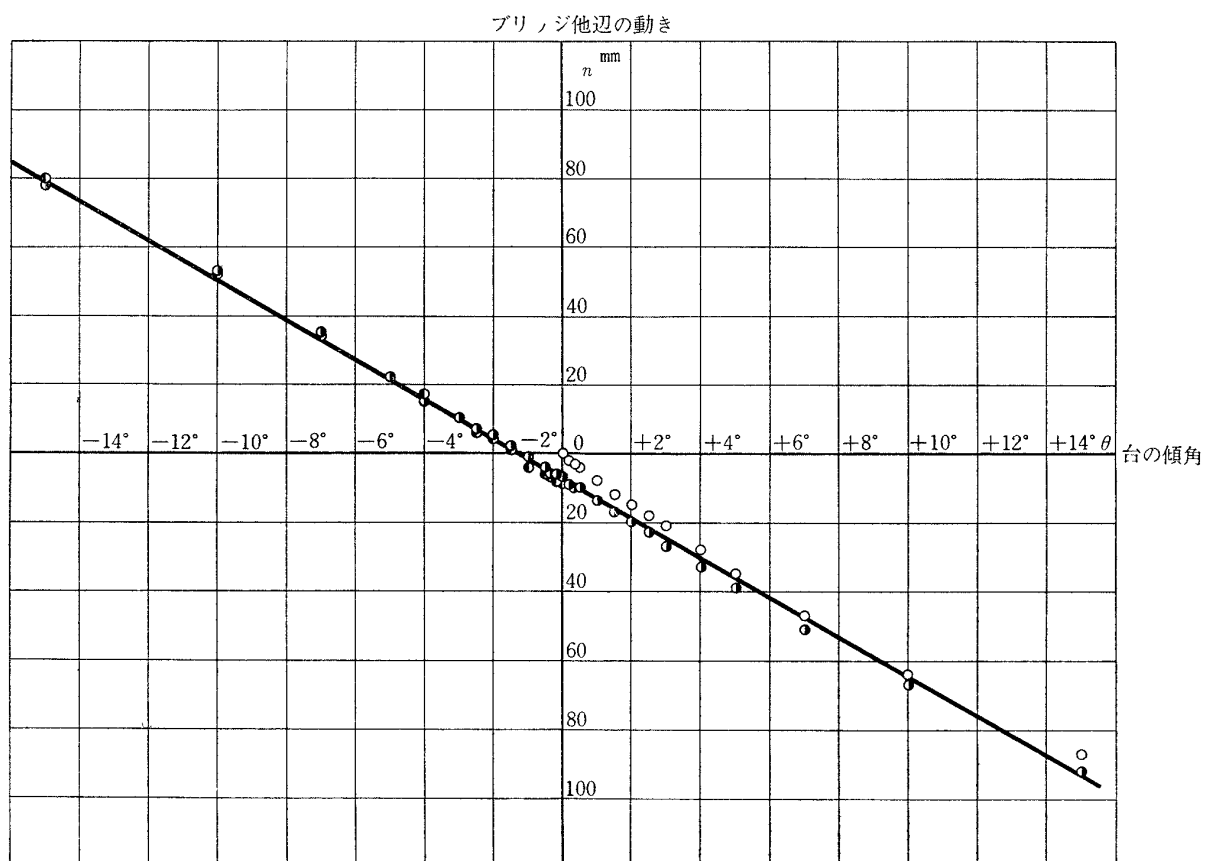
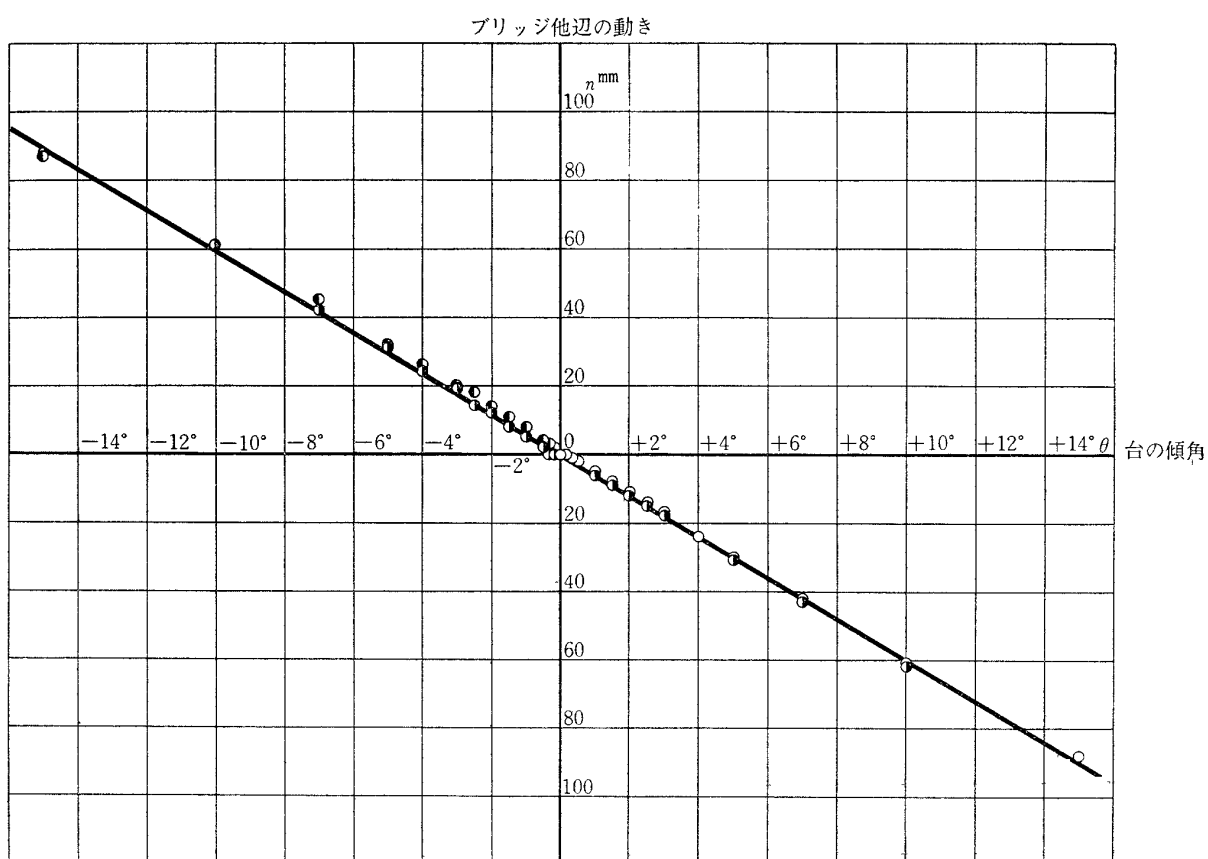


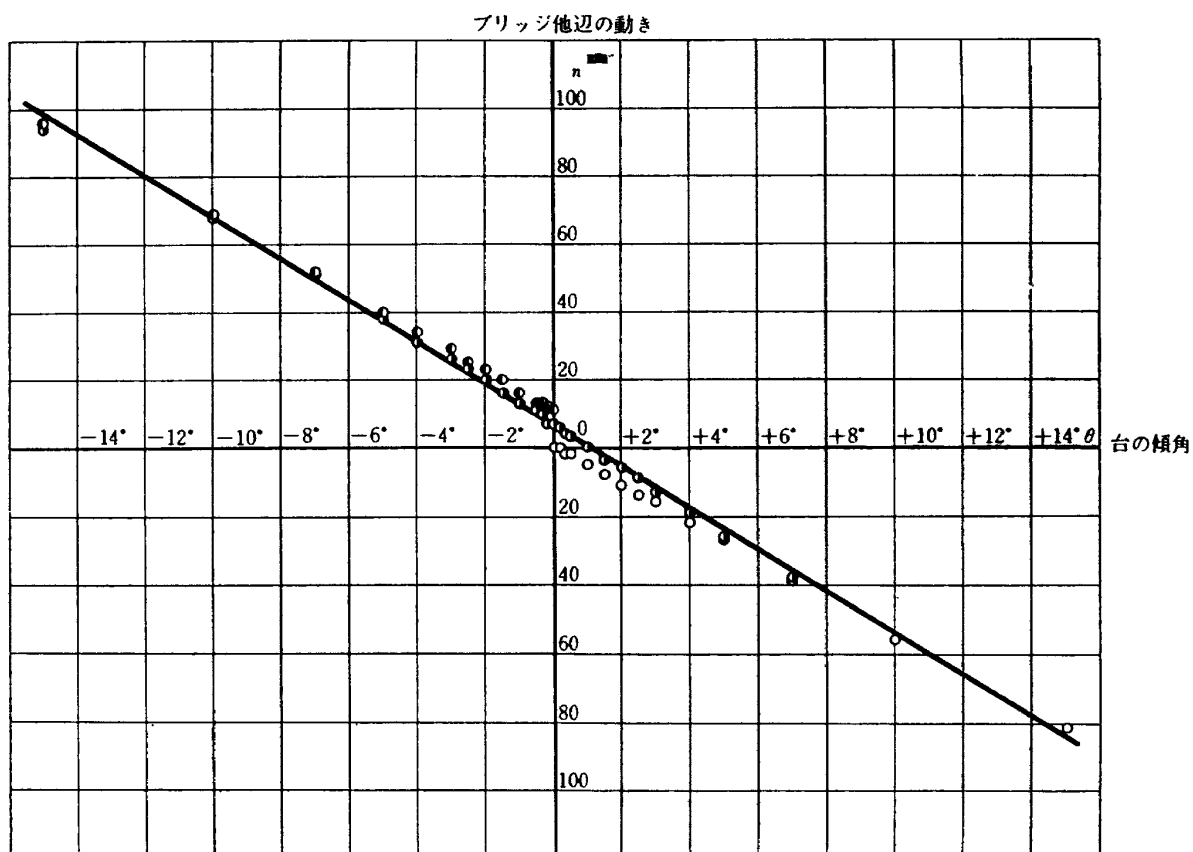
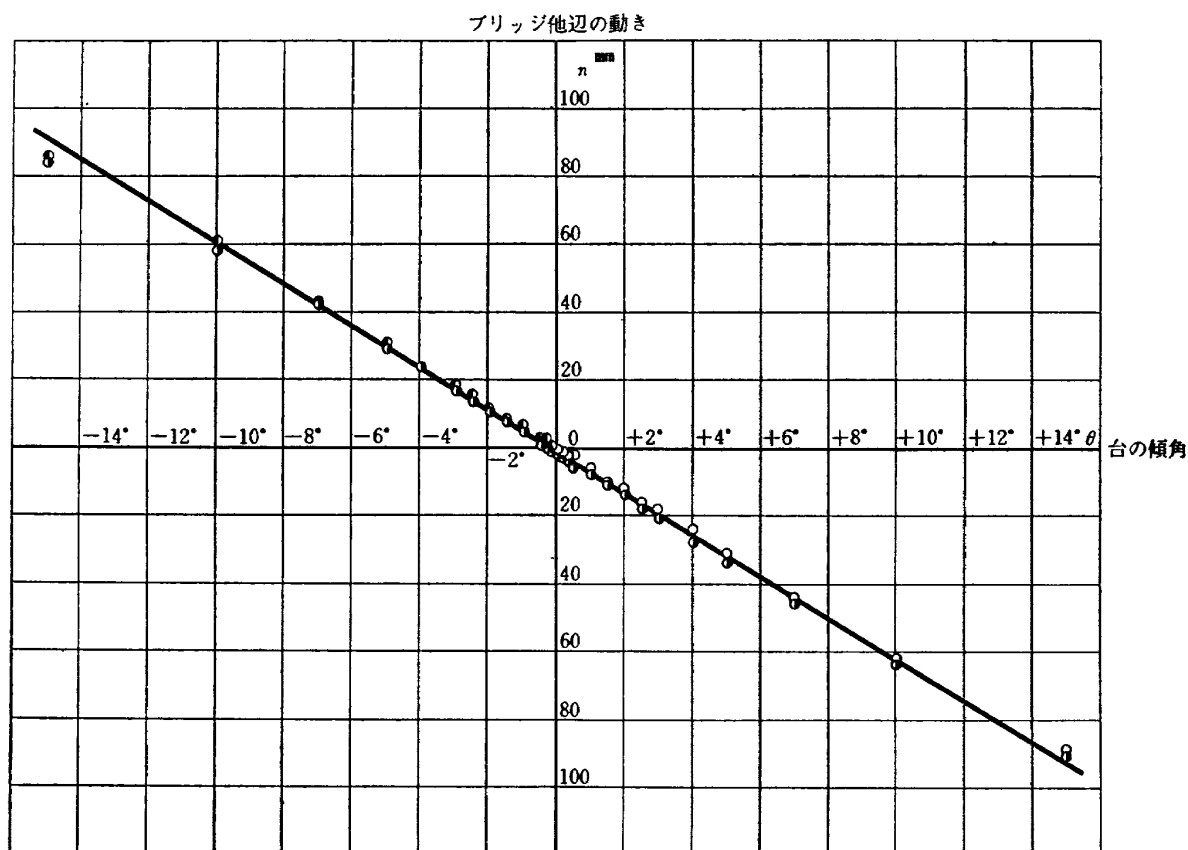
第 30 図 発信器 I 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.73mm

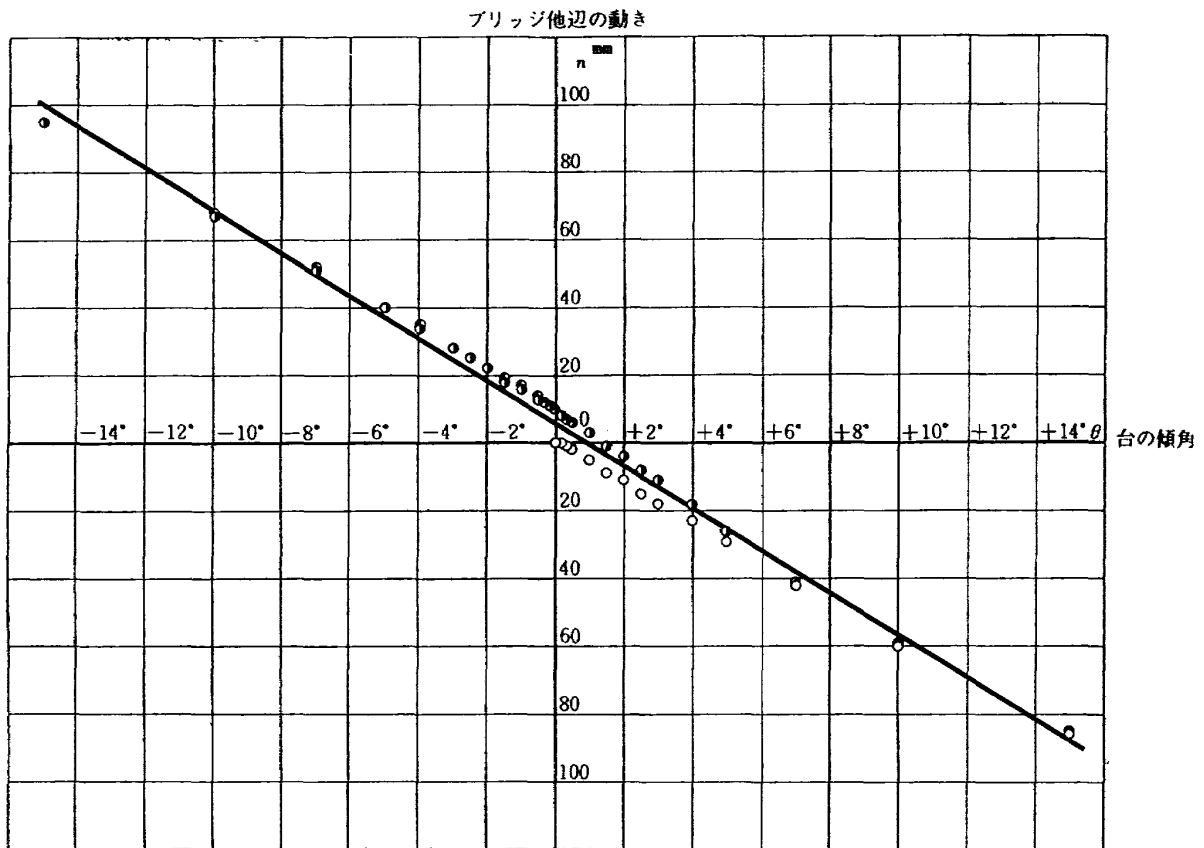


第 31 図 発信器 II 型, ボールベアリング, $\beta=0$, 極 0.73mm

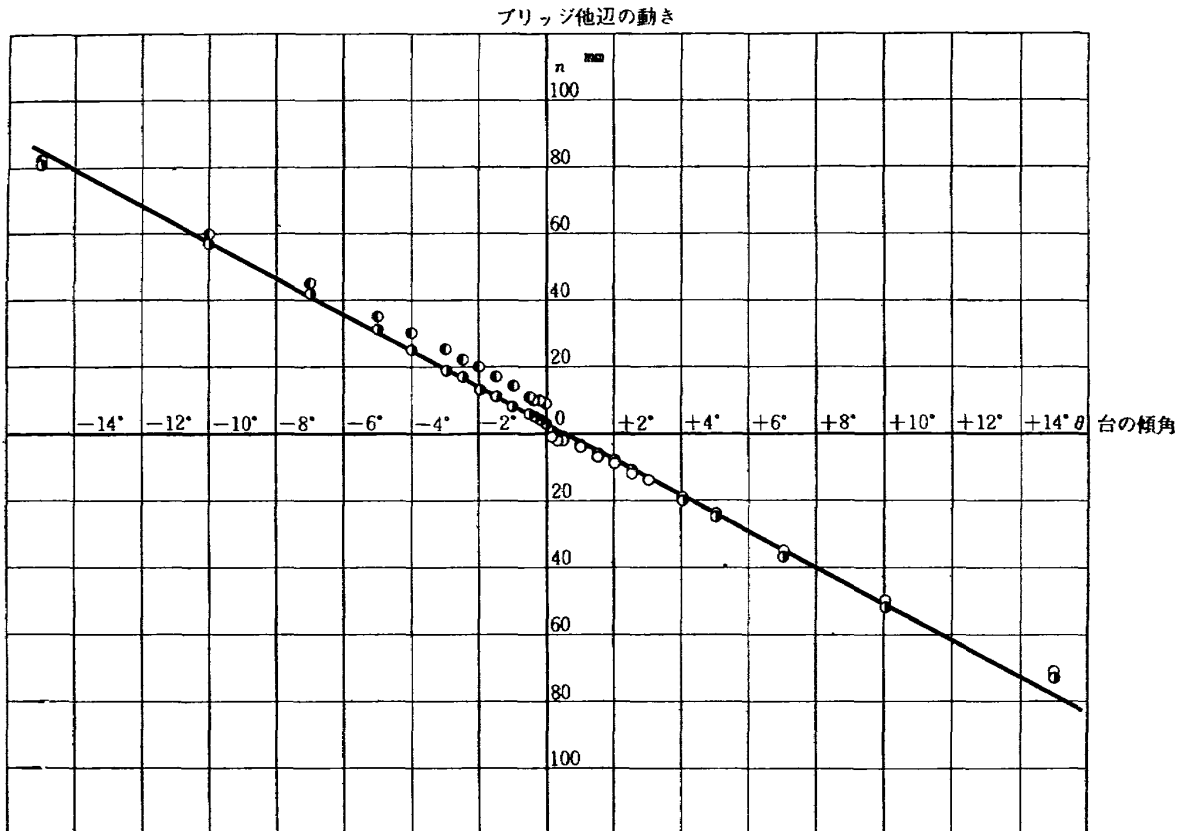
第 32 図 発信器 I 型, ピボット, $\beta=0$, 極エッジ第 33 図 発信器 II 型, ピボット, $\beta=0$, 極エッジ

第 34 図 発信器 I 型, ピボット, $\beta=10^\circ$, 極エッジ第 35 図 発信器 II 型, ピボット, $\beta=10^\circ$, 極エッジ

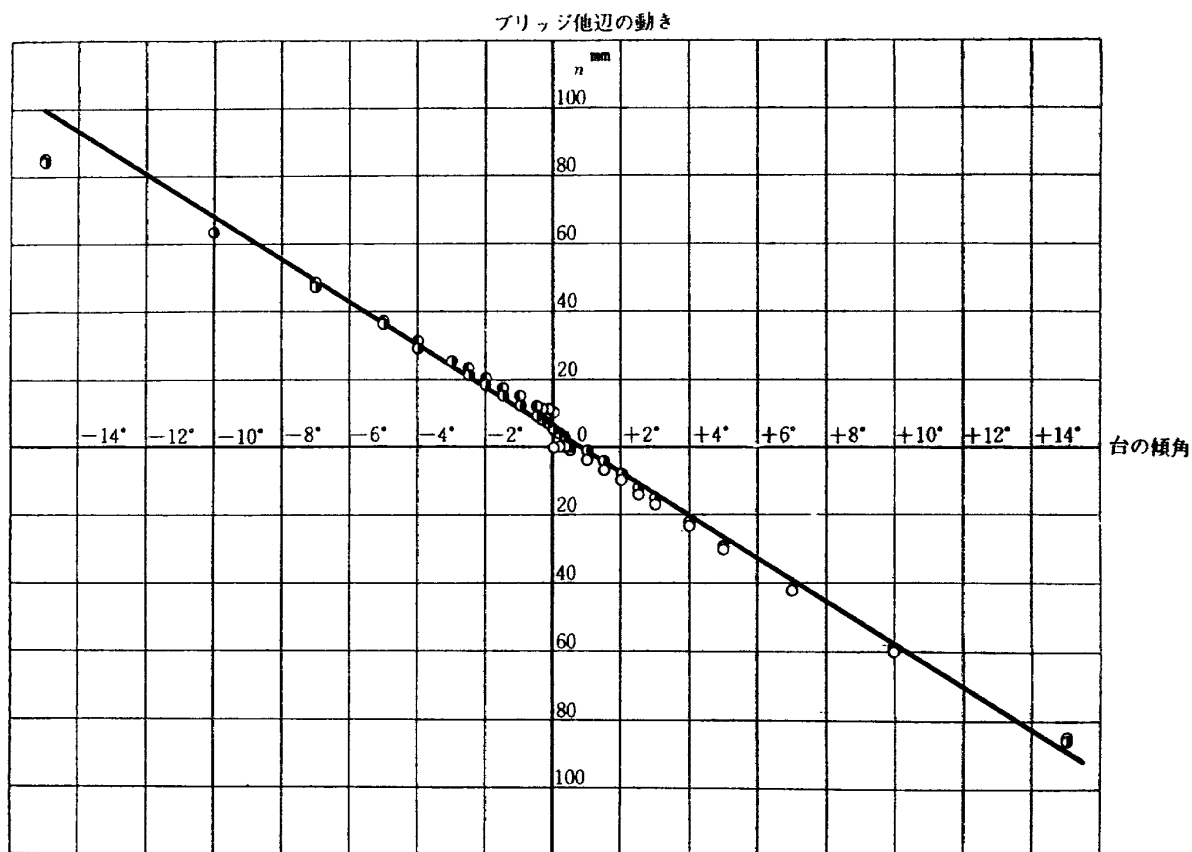
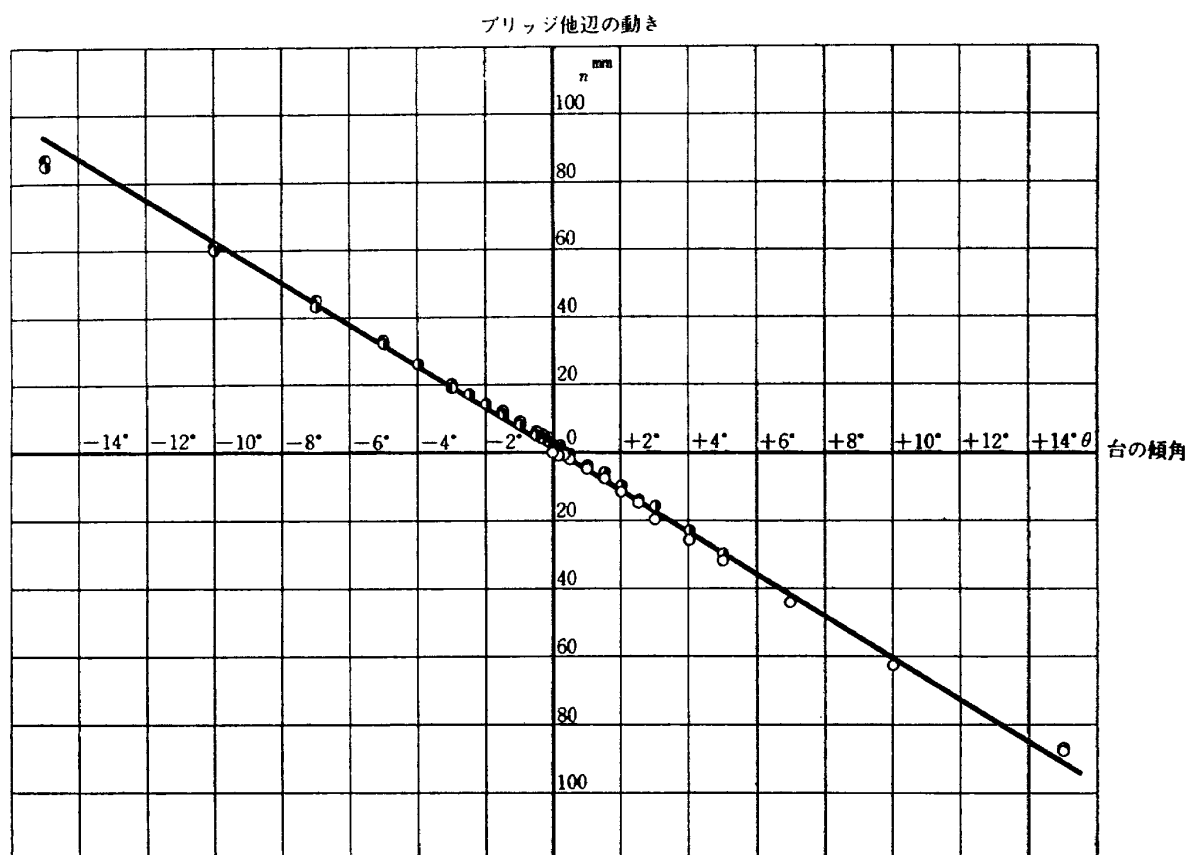
第 36 図 発信器 I 型, ピボット, $\beta = -10^\circ$, 極エッジ第 37 図 発信器 II 型, ピボット, $\beta = -10^\circ$, 極エッジ

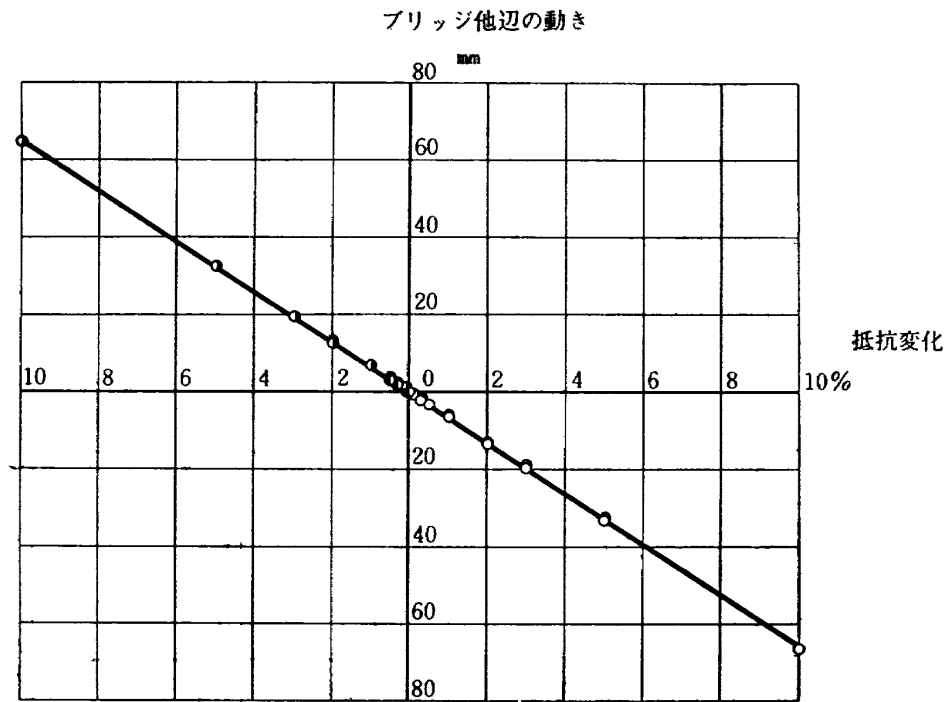


第 38 図 発信器 I 型, ピボット, $\beta=0$, 極 0.73mm



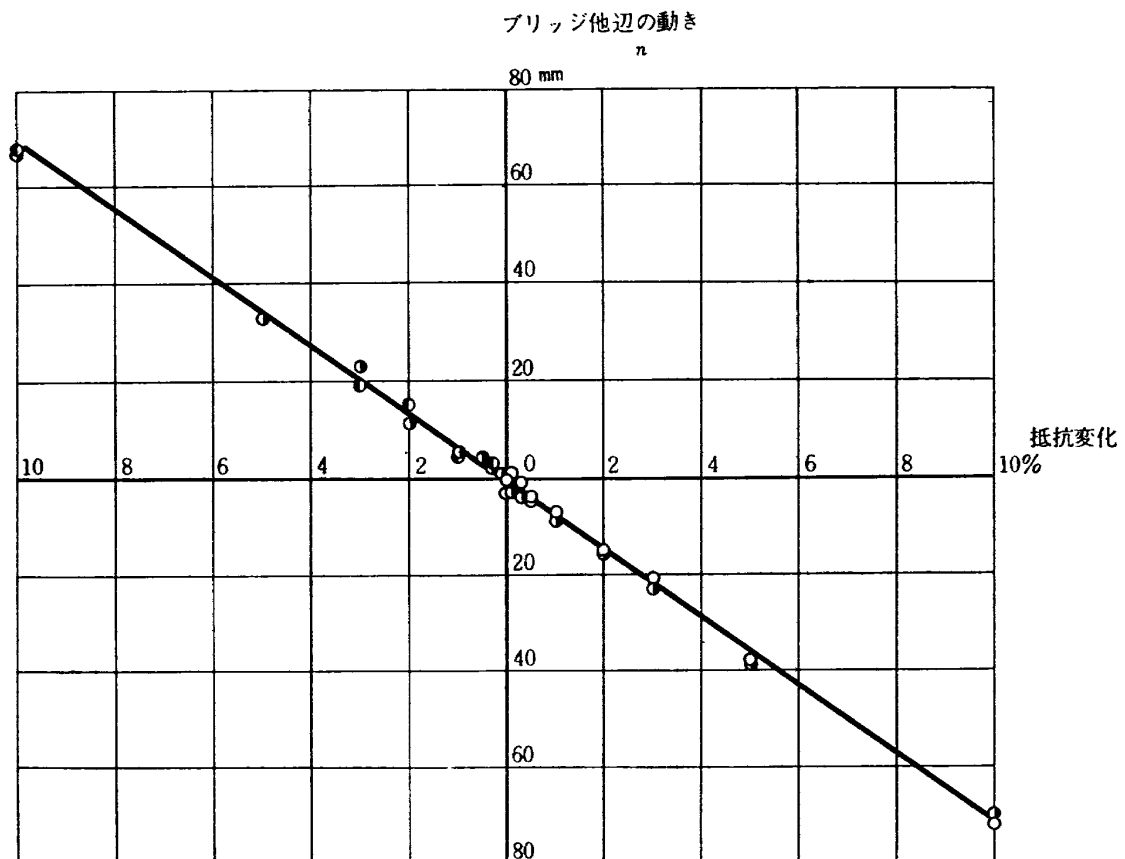
第 39 図 発信器 II 型, ピボット, $\beta=0$, 極 0.73mm

第 40 図 発信器 I 型, ピボット, $\beta=10^\circ$, 極 0.73mm第 42 図 発信器 I 型, ピボット, $\beta=-10^\circ$, 極 0.73mm



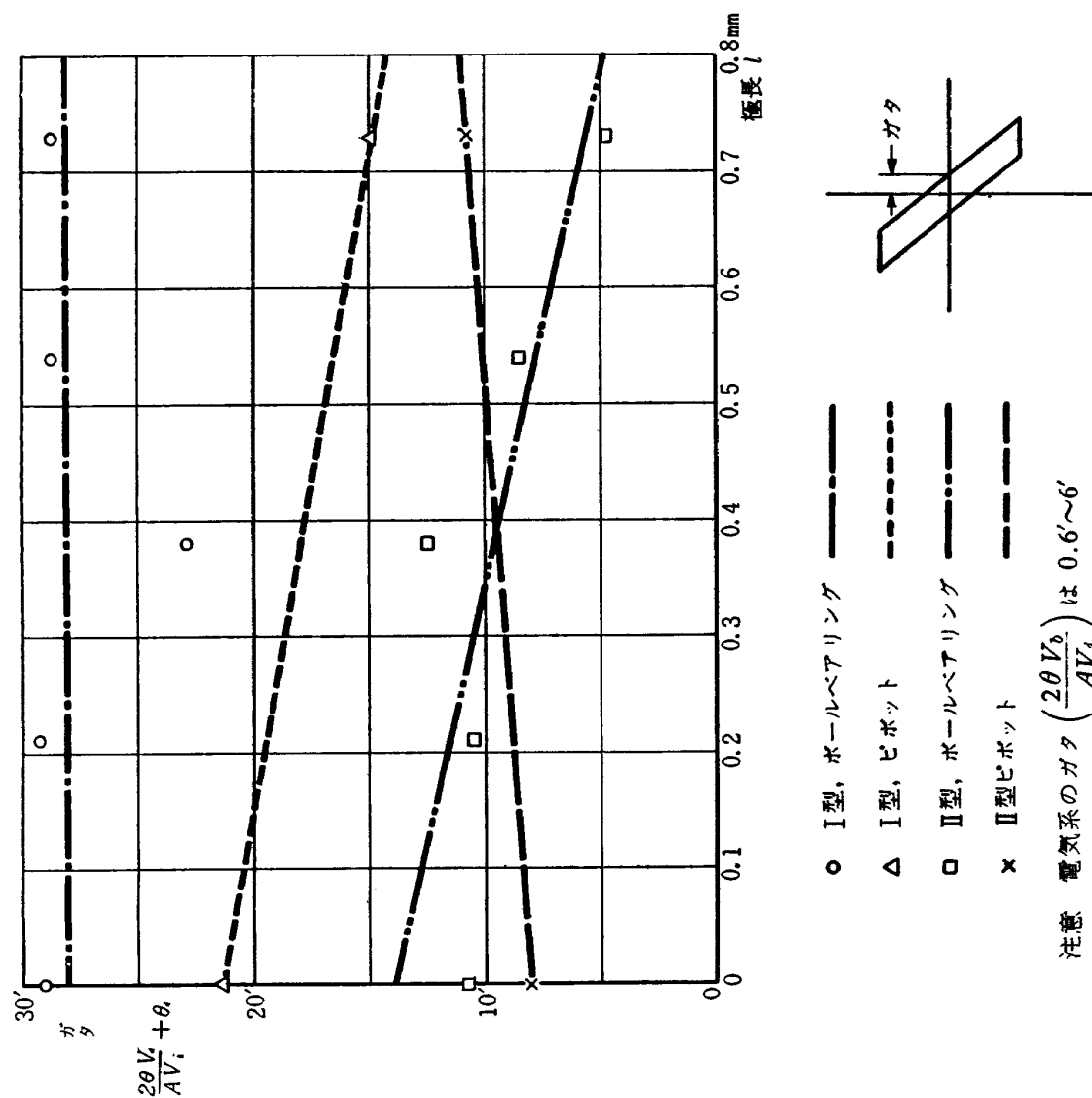
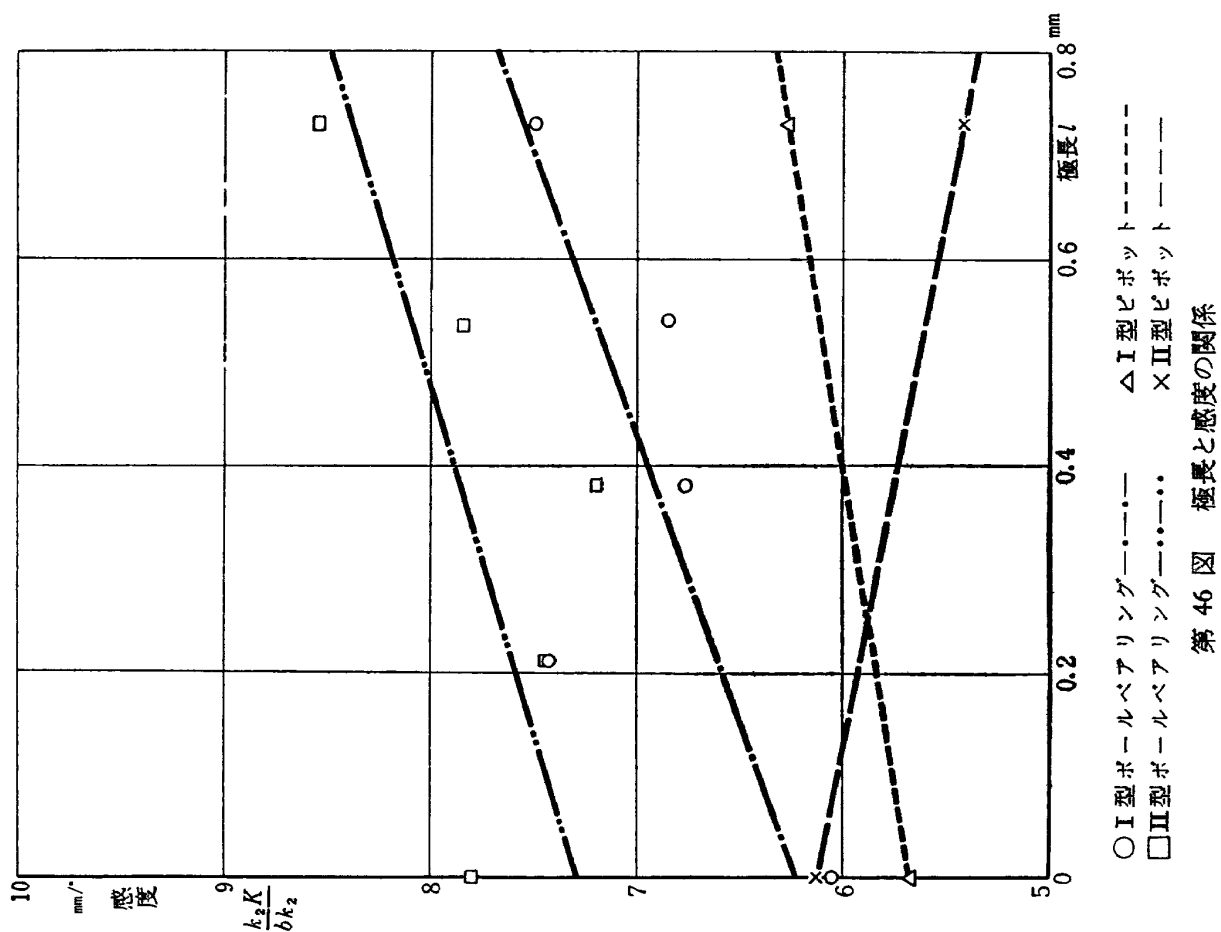
第 43 図 切替抵抗使用 第 1 回

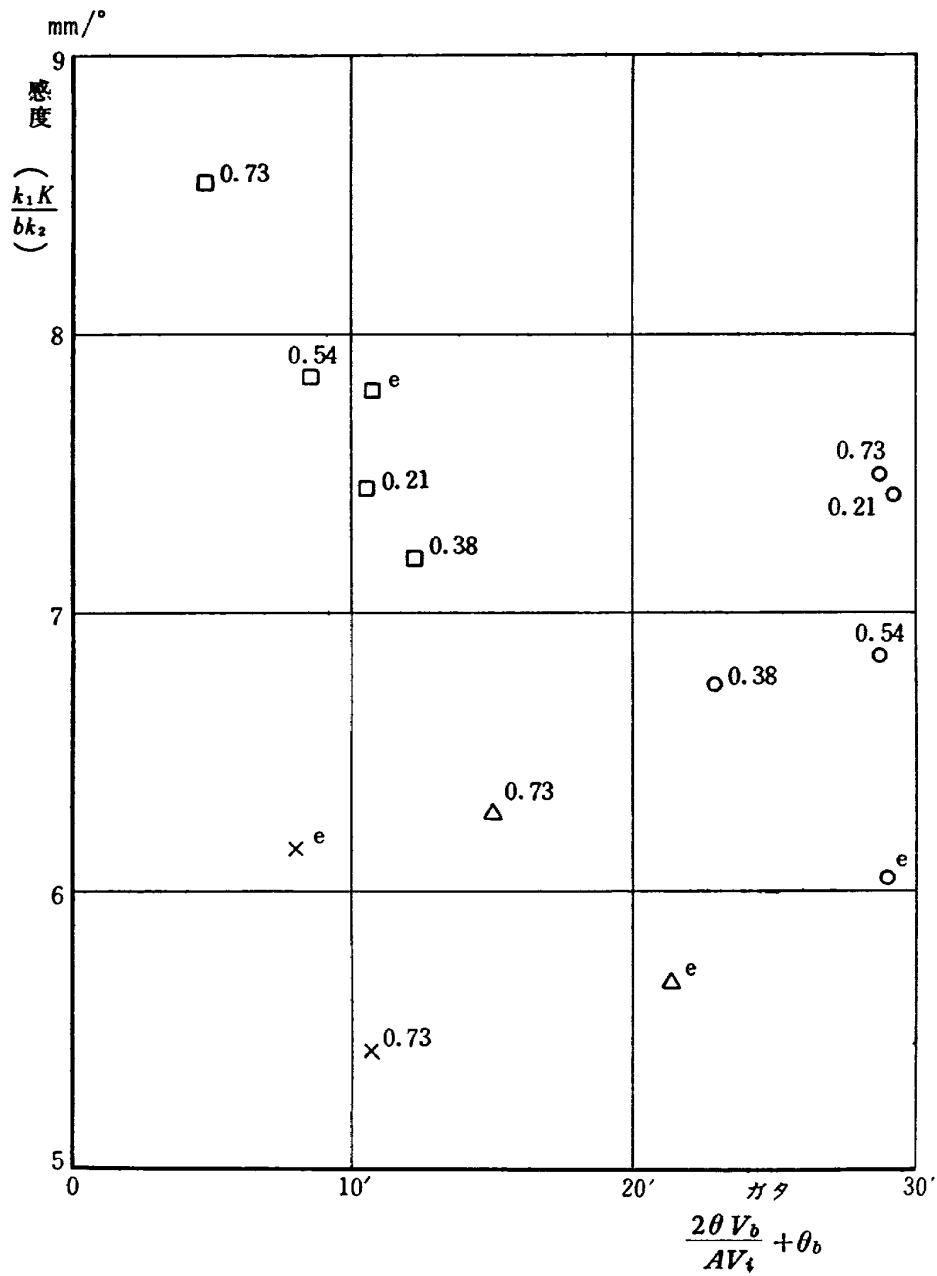
感度を角度に換算して $10.8\text{mm}/^\circ$



第 44 図 切替抵抗使用 第 2 回

感度を角度に換算して $11.7\text{mm}/^\circ$





○ I型 ボールベアリング

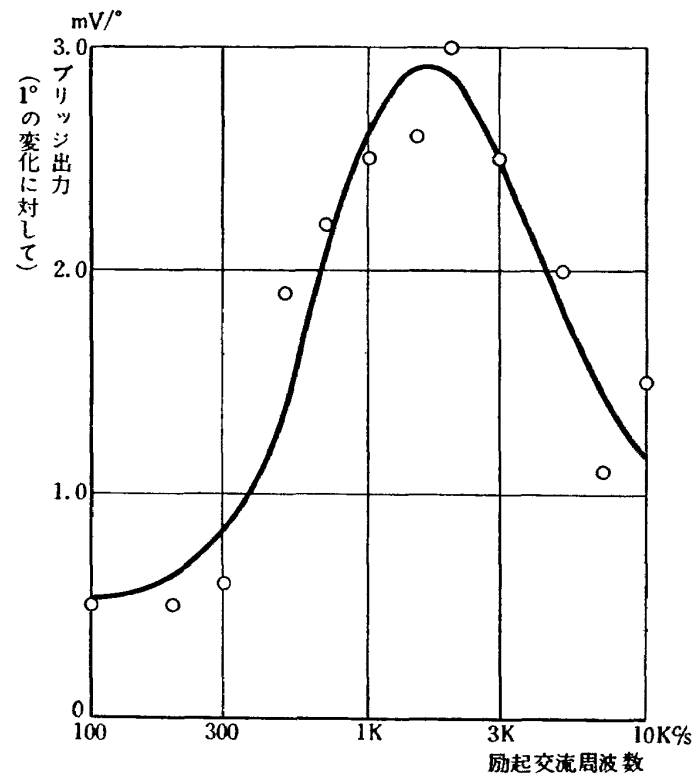
△ I型 ビボット

□ II型 ボールベアリング

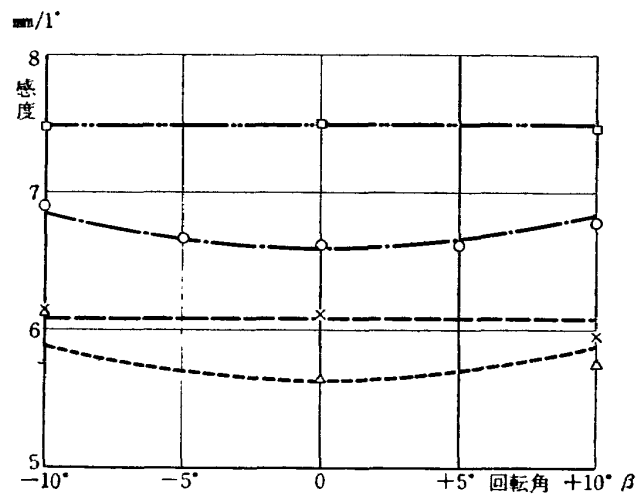
× II型 ビボット

注意 電気系のガタ $\left(\frac{2\theta V_b}{AV_i} \right)$ は 0.6' ~ 6'

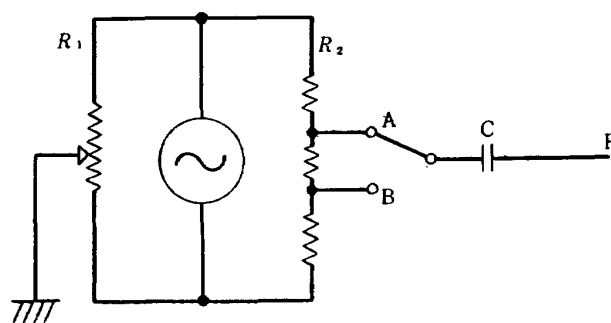
第 47 図 発信器の性能



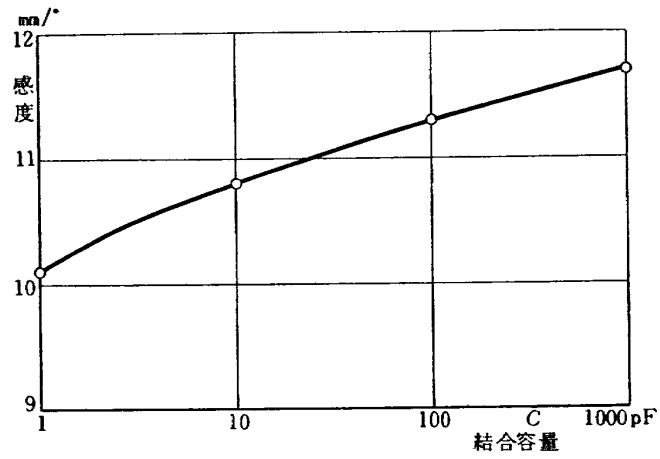
第 48 図 励起交流周波数とブリッジ出力
II 型, ピボットエッジ



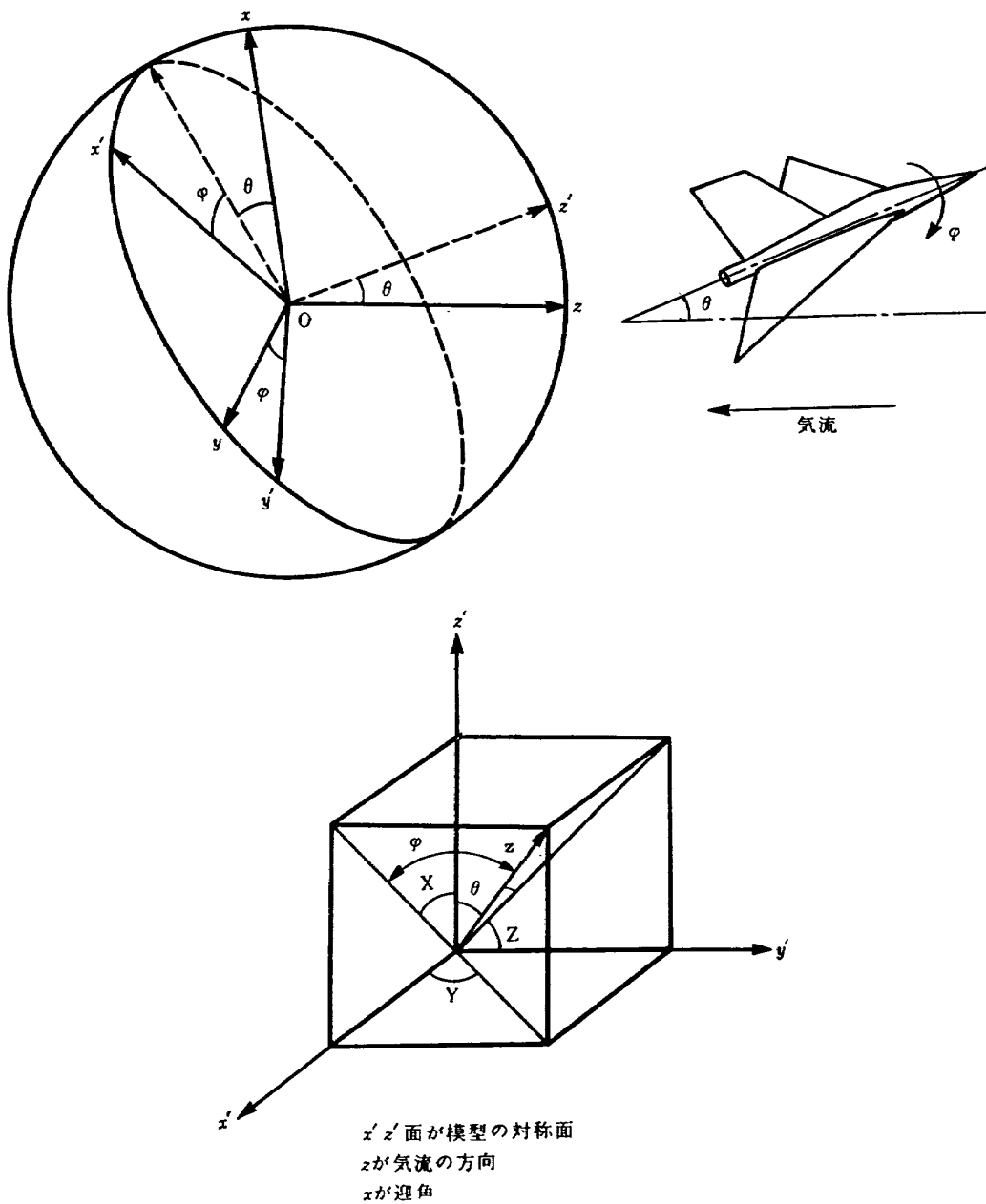
第 49 図 発信器回転角と感度の関係



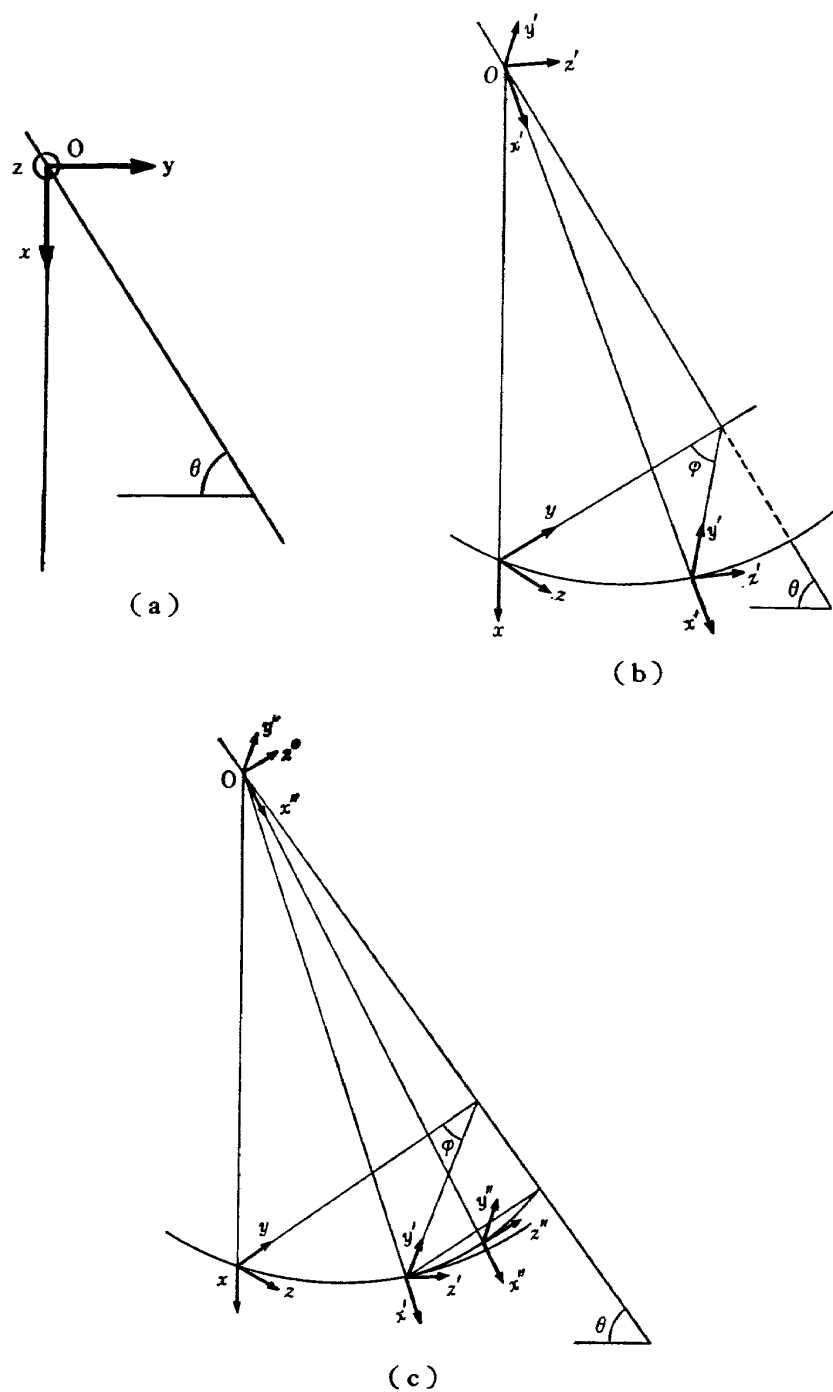
第 50 図 発信器の代りに切替抵抗使用



第 51 図 結合容量と感度の関係



第 52 図 測定角と真の迎角, 偏揺角



第 53 図 振子移動の補正

航空技術研究所報告 3 号

昭和 3 5 年 8 月 発行

発 行 所 航空技術研究所
 東京都三鷹市新川 700
 電話武蔵野(022)(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
