

メ ッ キ の 研 究 (第 1 報)

—メ ッ キ 及び 塗膜の厚さの測定—

北 川 公* 西 谷 邦 雄**

The Thickness Determination of the Electroplate and
Painted Film (Part 1)

—New Magnetic Thickness Gauge—

By Hiroshi Kitagawa, D.S., and Kunio Nishitani

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The extensive investigations reported in literature for some purpose in the measuring methods generally used for the thickness of the electroplate and the painted film proved that none of them can afford the universal application for the lack of preciseness.

Disgusted with the fact and urged by their own need, they have managed to contrive a magnetic thickness gauge consisting of torsion balance and permanent magnet.

This new gauge, in spite of its relatively simple construction, has turned out to be an instrument which permits satisfactory measurements with relatively small error for any thickness from 5μ to 200μ .

To add to it, this gauge is affected very little in measurement by the coarseness of surface, and the correction for the difference of the base metal plate can easily be accomplished.

〔I〕 緒 言

メッキ及び塗膜の厚さはその膜の耐摩耗性、耐蝕性等を決する重要な要素の一つであるので、その測定方法は第1表(次頁参照)に分類列記したようにこれまでに多くの人々によつて種々試みられて来ているが、実際に現場で使用するには次の諸条件を充たすものでなければ実用にならない。即ち

- (1) 装置はなるべく簡単軽量で持ち運びが出来、堅牢で破損し難いこと。
- (2) 測定が簡単で何等熟練を必要とせず、測定に時間及び手数がかゝらない事。

- (3) 測定に再現性があり、測定値が正確で信頼出来る事。
- (4) 任意の場所で測定が出来、被測定物の任意の箇所を測定出来る事。
- (5) なるべく品物自体を損わない事。

第1表の諸測定方法のうち適当な方法として

- (1) コード法
- (2) 化学反応の速さによる測定法
- (3) 永久磁石を用いる方法
- (4) 電磁的測定法
- (5) 熱起電力による測定法

等が考えられるが、前二者は品物を傷つけてしまうので余り思わしくない。又熱起電力及び電磁的方法による測定は後程述べるように何れも不満足なもので実用に耐え

* 日立製作所中央研究所 理博

** 日立製作所中央研究所

第 1 表 文献に見られる各種メッキ厚さ測定法分類
Table 1. Methods for Measuring Thickness of Coatings

平均の厚さ測定法	秤量法 ⁽¹⁾	溶解に依る方法
		剝離法
		直接秤量法
平均の厚さ測定法	通電による方法 ⁽¹⁾	
	比重変化による方法 ⁽²⁾	
局部的厚さ測定法	尺度に依る測定	マイクロメータによる測定
		顕微鏡測定法 (Micrograph) ⁽³⁾⁽⁴⁾
		コード法 (Chord Method) ⁽⁵⁾⁽⁶⁾
	化学反応の速さによる測定	浸漬法 (Immersion Method) ⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾
		滴下法 (Spot Test) ⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾
		流滴法 (Dropping Test) ⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾
		射出法 (Jet Method) ⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾
		電解法 (Electrolytic Method) ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾
	局部的厚さ測定法	ガス化法 ⁽²²⁾
		磁氣的測定法
	局部的厚さ測定法	永久磁石を用いる方法 ⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾
		電磁的測定法 ⁽³⁰⁾⁽³¹⁾⁽³²⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾
	局部的厚さ測定法	スペクトルによる方法 ⁽³⁹⁾
	局部的厚さ測定法	熱起電力による測定法 ⁽⁴⁰⁾
	局部的厚さ測定法	渦流損による方法 ⁽⁴¹⁾
局部的厚さ測定法	放射線を応用する方法	X線による測定法 ⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾⁽⁴⁶⁾
		β線散乱による方法 ⁽⁴⁷⁾

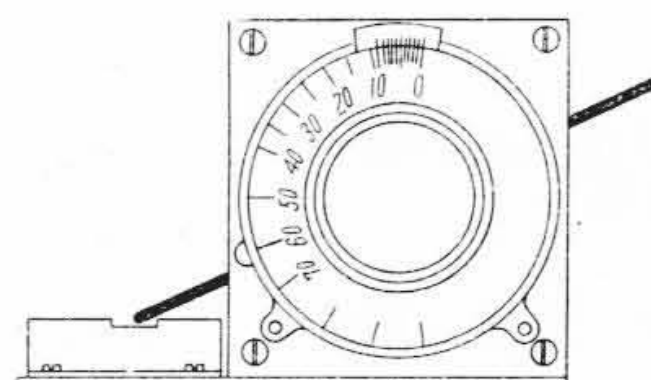
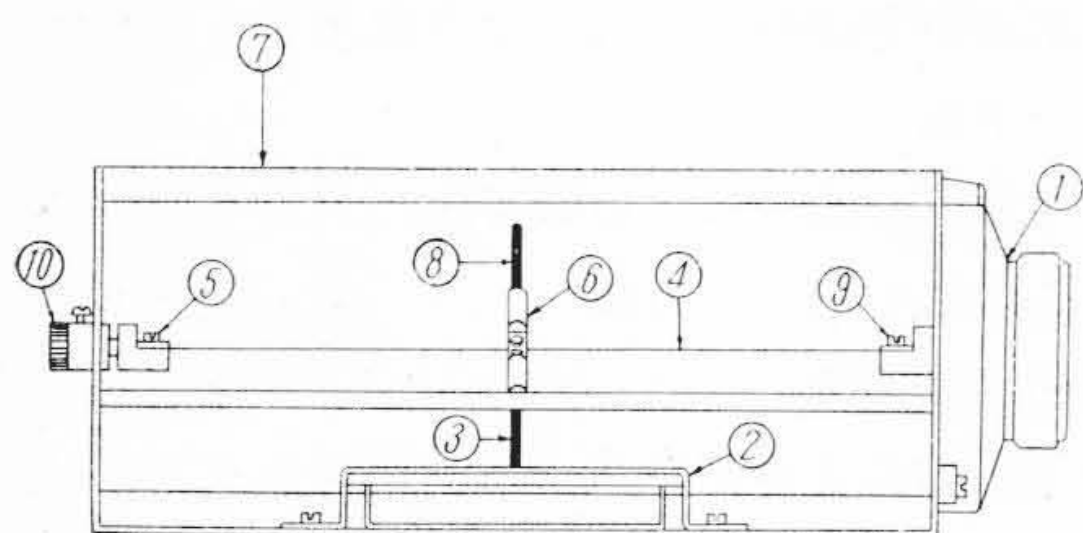
るものは永久磁石を用いる方法と推察される。永久磁石による測定方法はメッキ及び塗膜層又は素地のうち少なくとも何れか一つが強磁性体でなければ応用出来ないが、測定対象となる品物の大半が鉄素地上のメッキであるか又は非鉄合金上にニッケルメッキの場合であることを考えれば応用範囲は広い上に上述のようにその測定方法が實際上最も適したものであると考えられるので、これまでにバランス式或はスプリングバランス式による諸装置が考案されている。然し更に簡単実用的な装置が得られないかと思ひ研究を行い、永久磁石と振り秤を用いる実験室並びに現場の測定に適する装置を試作した。そ

の結果は良好であつたのでこれを他の方法の検討結果と共にここに報告する。

〔II〕 永久磁石を利用したメッキの厚さ測定装置とその測定

(1) 原理

原理は周知のように、鉄又は鋼素地の上にメッキした非磁性金属が、これを接触せしめる永久磁石と素地金属との吸引力を弱めることを利用して非磁性金属のメッキの厚さを測定する方法である。鉄又は鋼と磁石との吸引力は両者が互に接触している時最大で、非磁性被覆、例



- ① ダイヤル (1/10 目盛のバーニア付) 180° 回転全目盛 100
- ② 試料台
- ③ 永久磁石
- ④ ピアノ線
- ⑤⑨ ピアノ線止具
- ⑥ 永久磁石取付具
- ⑦ フレーム補強用アングル
- ⑧ カウンターバランス
- ⑩ 零点調節用金具

第 1 図 メッキ及び塗膜の厚さ測定試作装置
Fig. 1. New Magnetic Thickness Gauge

例えば亜鉛、銅、カドミウム、エナメル、ペイント、その他がその間にある時は、その厚さに従つて磁石と素地の鉄又は鋼との吸引力は弱まる。今市販の棒磁石を適当に減磁し、最大吸引力を約 10g 重程度にして用いた場合、1mm の間隙の時の吸引力は約 0.2g 重であり、この程度の力は通常のバランスによつて測定可能である。

ニッケルメッキの場合も同様であるが、ニッケルは鉄の約 1/4 の導磁率を有しているため、他の非磁性金属の場合に比して吸引力の減少は少ないがそれでもその減少度は測定にかゝる。

今既知の厚さの被覆による永久磁石と鉄素地との吸引力の減少を適当なバランスで測定し、被覆の厚さと吸引力の減少との関係を求めて標準曲線を作成しておけば、未知の試料でもそれと磁石との吸引力を測定することによつてその厚さを知ることが出来るわけである。

(2) 装置の構造

以上の原理に基づいて第 1 図に示す如き装置を試作した。

i) バランス

従来この種の装置のものにスプリングバランス式のものがあるが、それらは必ずしも現場的でなく、又回転部分の摩擦抵抗があると指示の精度に影響を及ぼすおそれが多いので、本装置には指示に影響する摩擦部分を全然含まない振り秤方式を採用した。

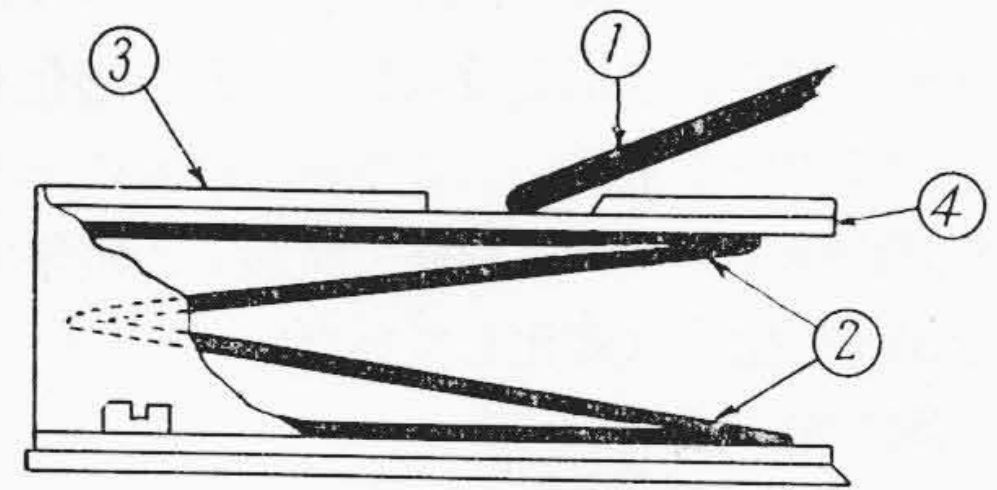
この式のバランスは、機構が極めて簡単であり、測定の正確度に影響する廻転部分の摩擦が皆無で、ピアノ線の径を適当に選ぶことによつて希望する感度に調節出来る、而も尚微小な感度の調節は磁石の取付け位置を移動させて行い、磁石の変化をこれによつて補正することが出来る*。又磁石に適当なカウンターバランスを附加することによつて重力による影響をを打消し、如何なる方向の測定も可能となる。只使用するピアノ線のヒステリシスが問題になるが、弾性限界以下で使用すれば影響はない。感度は 100 目盛りで 7.98g、1 目盛り当り約 0.080g であつた。

装置は磁石及びピアノ線以外は総て非磁性材料を用い測定に影響を与えぬように留意してある。即ちフレーム、試料台、磁石及びピアノ線止具、補強用アングル等すべ

* 「振り秤の振り角 ϕ 、線の長さ l 、半径 r 、剛性率を n 、偶力の能率を N とすれば感度 S は

$$S = \frac{\phi}{N} = \frac{2l}{\pi r^4 n}$$

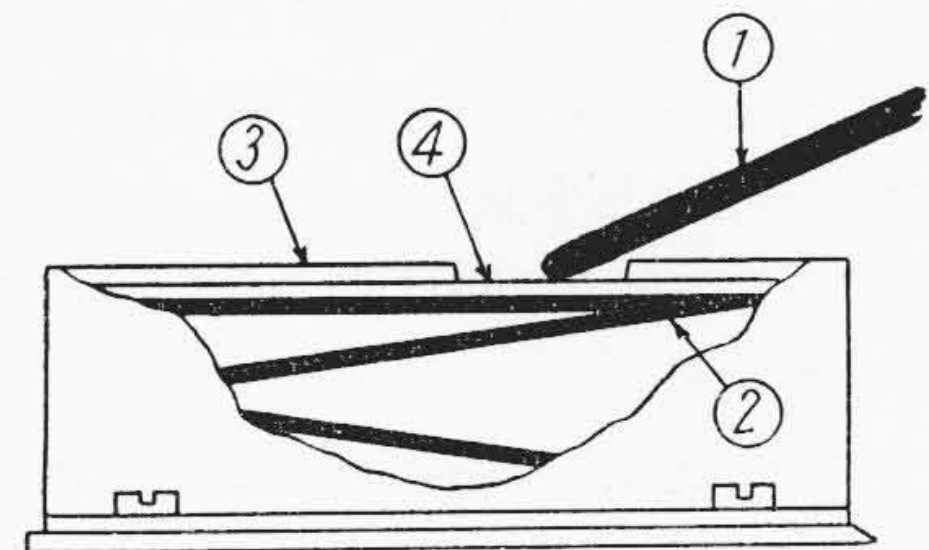
で表わされる。従つてバランスの感度は、 l 、 n が一定であれば r^4 に逆比例する。即ちピアノ線の径を変えることによつて感度を調節出来る。又 r 、 n が一定の時は感度は l に比例する。従つて磁石の位置を移動させて l を変え、連続的に微小な感度の調節が出来る。」



①永久磁石 ②磷青銅スプリング
③試料台上面 ④試料押え

第 2 図 試 験 台

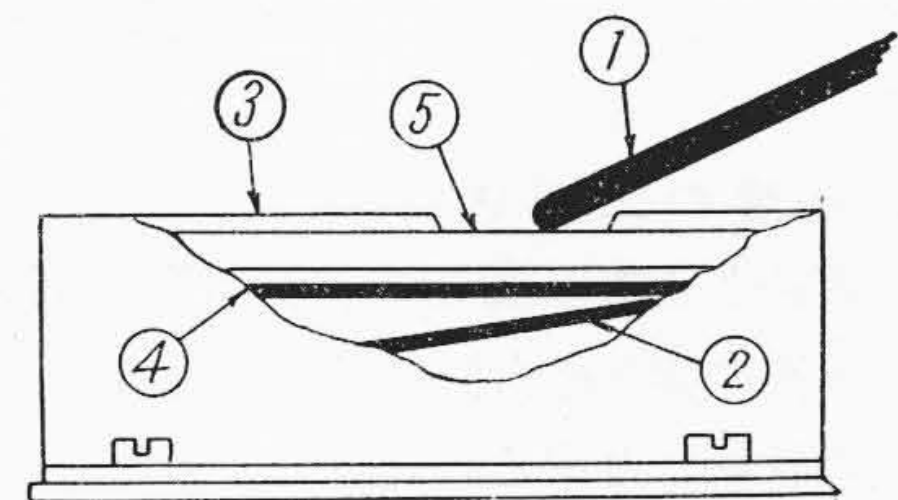
Fig. 2. Sample Holder



①永久磁石 ②磷青銅スプリング
③試料台上面 ④試料押え上面

第 3 図 零 点 調 節

Fig. 3. Zero Point Adjust



①永久磁石 ②磷青銅スプリング
③試料台上面 ④試料押え
⑤試料面

第 4 図 試 料 挿 入 図

Fig. 4. Holding of Sample

てアルミニウム又は真鍮を使用した。

ii) 試料台

磁石と試料面との接触点の位置及び接触角を常に一定に保持するよう構造されている(第 2 図参照)。試料はスプリングで台の下面に押し付けられ表面のレベルを常に一定に保つ。試料台の中央には溝が切つてありこの溝より試料面が露出するようになっており、磁石は丁度この露出面に接触する。溝がピアノ線と平行になつてゐるのは磁石の位置を移動させてバランスの感度を調節するためである。

iii) 磁石

磁石はコバルト鋼、アルニコ等の使用が磁力及び耐久

性の点から望ましいが簡単には 2ϕ 程度のドリルの刃を用い先端を半球に磨き出し焼入れ後これを磁化し適当に減磁を行つて用いてもよい。この程度のもので十分実用になり試作後 1 年 2 ヶ月を経て試験した結果でも測定に支障を出す程磁力は変化していない。

(3) 測定法

i) 試料を測定するに先だち先づダイヤルを零目盛に合わせ、第 1 図の⑩の金具を廻転し磁石の先端を試料押えの面とすれすれに静止する点にもつていき金具を固定して零点を調節する。(第 3 図参照)

ii) 次にダイヤルを廻転し磁石を試料台より離す。

iii) 試料台と試料押えの間に試料をはさむ。この時試料面は試料台の下面と平面的に接触していなければならない。(第 4 図参照)

iv) ダイヤルを廻転して零目盛に戻す。この時磁石は試料と接触する。

v) ダイヤルを廻転して磁石が試料面から離れる目盛を読む。

以上で測定は終るのであるが、v) の試料測定の時ダイヤルの廻転速度が大きいと測定した吸引力の値が実際よりも少なく出るおそれがある。これを避けるには先ず普通の廻転速度で第 1 回の測定を行い、略々概略の値を知り、第 2 回目の測定で第 1 回に得られた概略の値の近くまでダイヤルの目盛りが来た時廻転速度を落して正確な値を得るようにする。

(4) 本装置の正確さ

本装置の正確さは次の二つに分けて考えられる。

i) 測定装置の振り秤自体の正確さ

ii) 試料の状態より来る誤差

以上二つの中 ii) に就いては項を改めて述べることに

第 2 表 使用振り秤の荷重と ϕ との関係
($r=0.1075$ mm $l=80.0$ mm)

Table 2. Relation between the Load W and the Scale Reading ϕ of the Torsion Balance ($r=0.1075$ mm, $l=80.0$ mm)

荷 重 W (mg)	ϕ (目盛)
10	1.5
20	3.1
30	4.6
40	6.2
50	7.7
60	9.2
70	10.8
90	13.9
100	15.4
200	30.8
300	46.1
400	61.6
500	76.9
600	92.5

してこゝでは振り秤自体の正確さに就いて考察する。

振り秤の振り角 ϕ , 線の長さ l , 半径 r , 剛性率を n , 偶力の能率を N とすれば感度 S は

$$S = \frac{\phi}{N} = \frac{2l}{\pi r^4 n}$$

なる関係があることは脚註に述べた。

今使用ピアノ線の n は一定であるとして N, l, r を変えた時 ϕ との関係を見ればこの振り秤の正確さがわかるわけである。

(a) l, r が一定で N を変えた時、 ϕ が N に比例すればこの秤の正確なことがわかる。従つて $\phi = kN$ (k は比例常数) よりの偏差が正確度を表わす。第 2 表は荷重を 10 mg から 600 mg まで変化した時の荷重と ϕ との関係を測定したものである。第 2 表より N と ϕ は比例することがわかる。

(b) N, r が一定で l を変えた時の測定値を第 3 表に示す。これによれば l と ϕ は比例することがわかる。この時の荷重は 100 mg である。

(c) N, l が一定で r を変えた時の測定値を第 4 表に示す。

第 4 表より

$$r^4 \phi = \frac{2lN}{\pi n} = \text{const}$$

なる関係式が成立つてることがわかる。

以上でこの装置に採用した振り秤の振り角 ϕ , 偶力 N , ピアノ線の径 r , 長さ l は前述の式に従うことを實際上確

第 3 表 使用振り秤の l と ϕ との関係
(荷重=100 mg $r=0.1075$ mm)

Table 3. Arm Length l vs Scale Reading ϕ
(load=100 mg $r=0.1075$ mm)

l (mm)	ϕ (目盛)
20.0	3.9
30.0	5.8
40.0	7.7
50.0	9.6
62.3	12.0
72.4	13.9
81.8	15.8
96.0	18.5

第 4 表 使用ピアノ線の r と ϕ との関係
(荷重=500 mg $l=80.0$ mm)

Table 4. Radius r vs Scale Reading ϕ
(load=500 mg, $l=80.0$ mm)

r (mm)	ϕ (目盛)	$r^4 \phi$
0.1075	76.9	10.3×10^{-3}
0.130	36.5	10.4×10^{-3}
0.149	21.1	10.4×10^{-3}

め得たわけであるが、この装置で測定を行う際には

- i) 指示ダイヤルの目盛りの読みによる誤差
- ii) 零点調節を肉眼にて行うことに基づく誤差
- iii) その他試料面のレベルと零点レベルとのずれに基づく誤差及びダイヤルのガタによる誤差

等の誤差を考慮しなければならない。以上の中 iii) に基づく誤差は装置の工作の精度、使用材料に関係し、工作の精度をよくし、使用材料の強度並びに厚さに考慮を払うことによつて或る程度避けることが出来る。

i) 及び ii) は装置の工作をよくしても避けることの出来ないものである。i) の誤差は目盛りの読みの精度によつて定まるものであつて、この装置に於ては副尺により、読みに基づく誤差は $1/10$ 目盛である。ii) は肉眼が間隙を識別出来る限度で定まり、これを約 0.01mm とするとこの装置ではダイヤルの読みにして約 0.01 目盛に当る。

今、i)、ii) に基づく誤差をそれぞれ ϵ_1, ϵ_2 (目盛) とすれば、これに基づくバランスの誤差 ϵ は

$$\epsilon = \frac{N}{\phi}(\epsilon_1 + \epsilon_2) = \frac{0.11 N}{\phi}$$

となる。

試作装置の振り秤の $\frac{N}{\phi}$ は 0.080 g 重/目盛であるから、 ϵ は 0.0088 g 重となり、これが i) ii) に基づくこのバランスの誤差である。これを尙減少せしめるためには、 $1/20 \sim 1/50$ 目盛まで読み取ることが出来る副尺にすることが望ましいが、試料の状態による誤差を考慮に入れると $1/10$ 目盛で十分実用になる。

第 5 表 標準試料のメッキの厚さと吸引力

Table 5. Thickness of the Electroplate d vs Magnetic Attractive Force Reading F_d

d (μ)	F_d (目盛)	ΔF_d
0.07	99.6	0.2
0.124	99.4	0.4
0.24	99.4	0.4
0.52	98.1	1.7
1.07	94.0	5.8
2.24	88.3	11.5
4.9	74.0	25.8
8.9	56.0	43.8
13.4	44.0	55.8
25.0	24.3	75.5
35.0	16.7	82.1
50.0	13.4	86.4
55	11.8	88.0
60	11.2	88.6
112	6.5	93.3

F_0 ...標準試料と磁石との吸引力

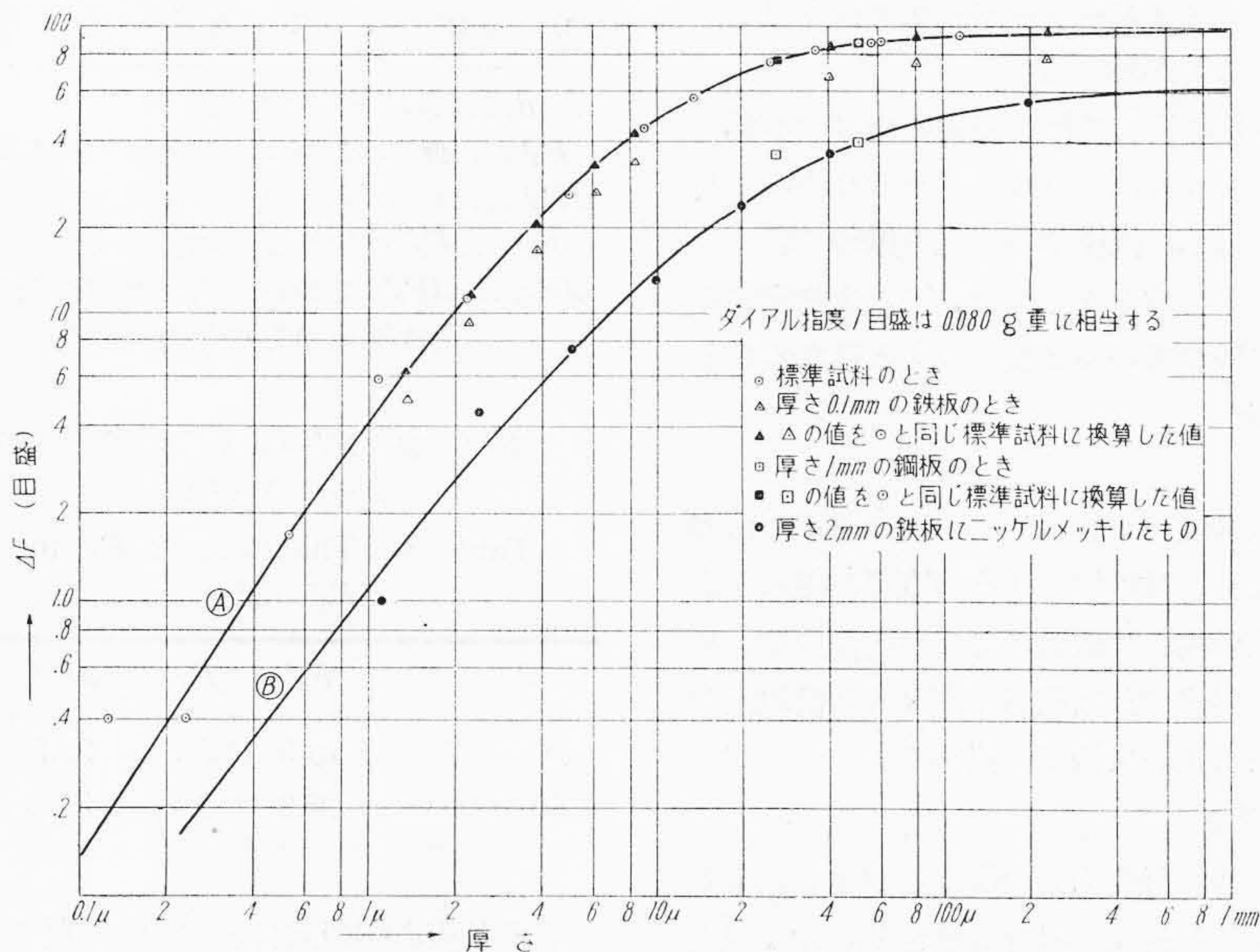
d ...メッキの厚さ

F_d ...厚さ d のメッキをつけた時の吸引力

ΔF_d ...厚さ d のメッキをつけた時の吸引力の減少

(5) 較 正

この装置によつて未知の厚さの測定を行うに先だち、磁石の吸引力と厚さとの関係を示す標準曲線を作成しておく必要があるので、標準試料として厚さ 2 mm 、表面積 20 cm^2 の純鉄板を用い、これに青化銅メッキを施して測定した結果は第 5 表、第 5 図の如くである。尙メッキ量は化学天秤で量り平均の厚さを算出した。第 5 表及び第 5 図よりこの装置は被覆の厚さ 0.5μ より測定可能



第 5 図 永久磁石を利用したメッキの厚さ測定器の較正曲線

Fig. 5. Calibration Curve (Scale Reading vs Thickness)

第 6 表 研磨度の F_0 に及ぼす影響
Table 6. Effect of the Surface Polishing Grade on the F_0

エメリー ペーパー番号	F_0 (試料A)	F_0 (試料B)
No. 3	96.8	97.0
No. 2	97.6	97.8
1M	98.7	98.3
1F	99.0	101.0
0	98.9	101.2
02	99.1	101.4
03	99.4	101.1
04	99.5	101.3
05	99.4	101.2

であることがわかる。

(6) 測定の正確度に及ぼす種々の影響

i) 表面の粗さ

測定の際、試料の表面の粗さは測定の正確度に大きく影響する。殊に測定するメッキ層が薄い場合、その影響は大きい。又表面が粗いと F_0 の測定に当つて測定値が非常に分散し、正しい F_0 の値を知ることが困難な場合があるので、この影響を見るために試料の表面を粗さの異なるエメリーペーパーで研磨して測定した。第 6 表はその結果を示したものであつて、No. 3 より 1M までは F_0 の測定値は真の値より過小値を示し且つ可成りバラツキがある。しかし表面の粗さが小さくなるにつれて F_0 は一定値に近づき同時にバラツキも少なくなる。第 6 表より表面の粗さは 0.3 のエメリーペーパー仕上程度以上であることが望ましいことがわかる。

メッキの厚さの測定に当つては、表面の粗さの影響を極力避けるようにしなければならない。そのためには測定場所に油を一滴たらし、直径 2 cm 位の鋼球で軽くこすつて表面を平らにし、油をよく拭き去つた後測定するとよい。この際油が残っていると誤差のもとになるから注意する必要がある。

ii) 表面の曲率

本装置は測定が点接触で行われるので面の曲率の影響をうけることが少なく、球の場合はその直径が磁石の直径の 5 倍以上、円筒の場合は磁石の方向が円筒の中心軸の方向に向くように測定すれば磁石の直径の 3 倍以上なら標準曲線をそのまま用いて測定が出来る。

iii) 素地鉄板の厚さ

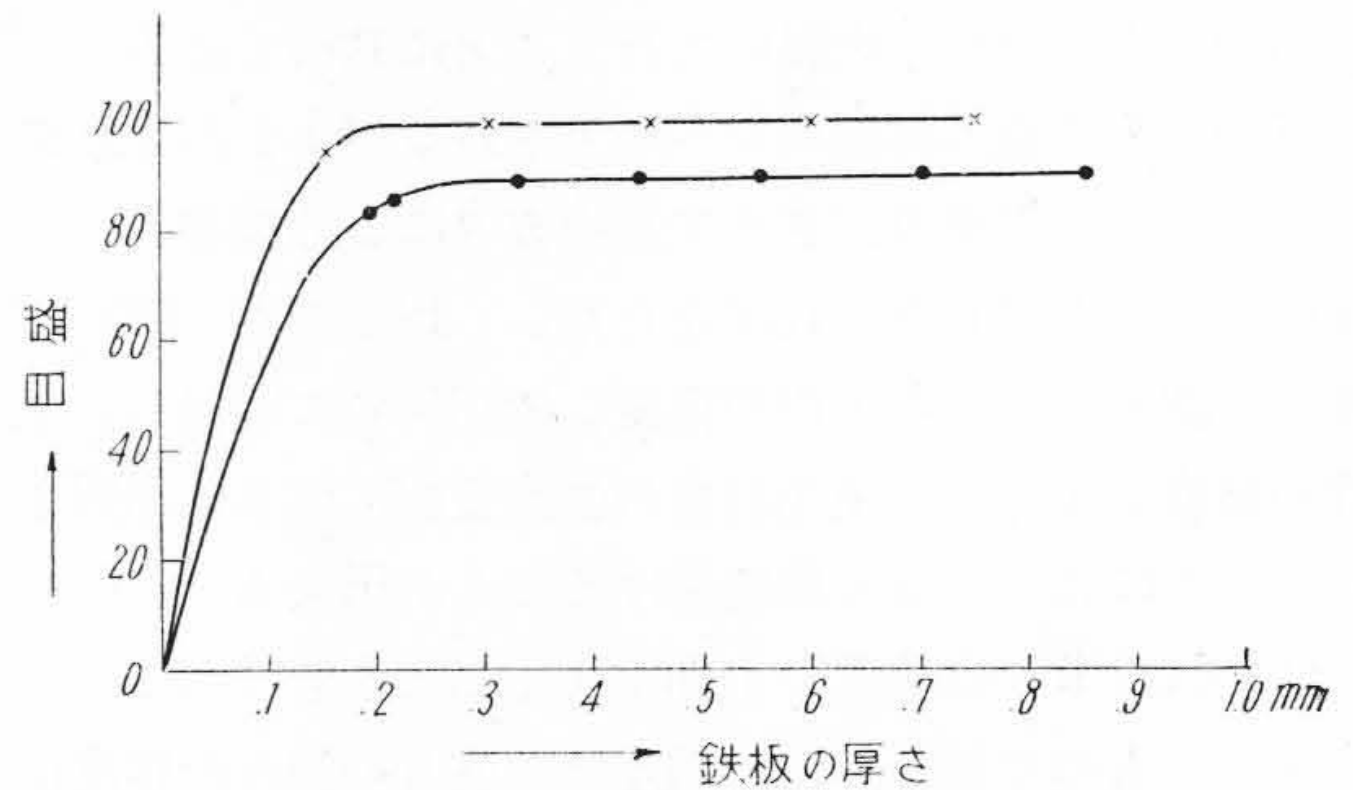
第 6 図は鉄板の厚さと吸引力との関係を測定したものであつて、A, B 何れの鉄板の場合も厚さ 0.5 mm 以上では吸引力に変化のないことがわかる。

iv) 素地鉄板の磁氣的性質

目盛 = 0.080 g 重

× A 鉄板

○ B 鉄板



第 6 図 鉄板の厚さと吸引力との関係

Fig. 6. Relation between the Magnetic Attractive Force and the Thickness of the Iron Plate

第 7 表 $F_0' = 79.7$ (目盛) の鉄板上のメッキの厚さと吸引力

Table 7. Thickness vs F_d' for the Plate $F_0 = 79.7$

d (μ)	F_d' (F_d)	$\Delta F_d'$ (ΔF_d)	偏差%
1.37 (1.35)	74.7 (93.5)	5.0 (6.25)	- 1.5
2.22 (2.20)	70.5 (88.3)	9.2 (11.5)	- 1.0
3.78 (3.80)	63.0 (78.9)	16.7 (20.9)	+ 0.5
6.04 (6.40)	53.2 (66.6)	26.5 (33.2)	+ 5.6
8.35 (8.60)	46.0 (57.5)	33.7 (42.3)	+ 3.0
40 (40)	12.2 (15.3)	67.5 (84.5)	0
80 (100)	5.3 (6.6)	74.4 (93.2)	+12.5
230 (240)	2.2 (2.75)	77.5 (97.0)	+ 4.3

d ...メッキ層の厚さ

F_d' ...厚さ d のメッキ層をつけた時の吸引力

$\Delta F_d'$...厚さ d のメッキ層による吸引力の減少

F_d ... F_d' を標準試料に換算した値

ΔF_d ... $\Delta F_d'$ を標準試料に換算した値

() は測定値を標準試料の場合に換算した値

第 8 表 $F_0' = 46.0$ (目盛) の鋼板上のメッキの厚さと吸引力

Table 8. Thickness vs F_d' for the Plate $F_0' = 46.0$

d (μ)	F_d' (F_d)	$\Delta F_d'$ (ΔF_d)	偏差%
26 (27)	10.5 (22.7)	35.5 (77.1)	+ 4
50 (50)	6.2 (13.4)	39.8 (86.4)	0

素地鉄板に標準試料と磁氣的性質の異なるものを使用した時、メッキの厚さと吸引力との関係が如何に変るかを見るために最大吸引力(素地と磁石とを直接接触した時

の吸引力) 79.7 (目盛) の厚さ 0.1 mm の鉄板と 46.0 (目盛) の厚さ 1 mm の銅板とに就いて測定を行い第 7 表及び第 8 表に表示したような結果を得た。これより次の如き簡単な比例関係があることがわかった。

$$F_a = kF_a'$$

$$\Delta F_a = k\Delta F_a' \quad (\text{但し } k = \frac{F_0}{F_0'})$$

ここに

F_0 ..標準試料と磁石との吸引力

F_0' ..測定すべき鉄板と磁石との吸引力

F_a ..厚さ d のメッキを施した標準試料と磁石との吸引力

F_a' ..厚さ d のメッキを施した鉄板と磁石との吸引力

ΔF_a ..厚さ d のメッキによる標準試料と磁石との吸引力の減少

$\Delta F_a'$..厚さ d のメッキによる鉄板と磁石との吸引力の減少

即ち、第 7 表、第 8 表を第 5 図に記入すれば標準曲線と綺麗に一致する。従つて F_0' を測定し k を求めれば素地の磁氣的性質の如何に拘わらず標準曲線がそのまま使用出来一々補正曲線を作成する必要はない。又鉄板が薄い場合も全く同様に扱うことが出来る。

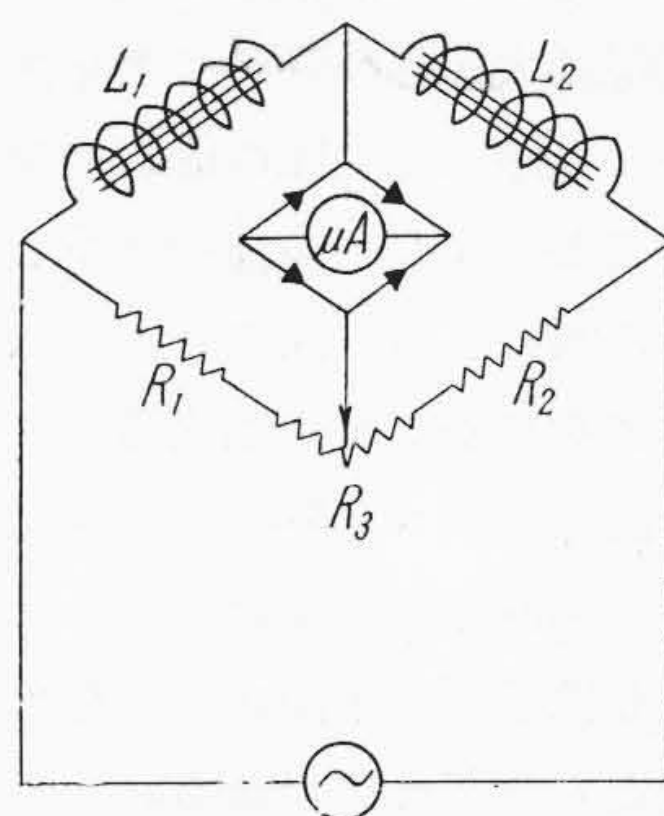
(7) ニッケルメッキの厚さ測定

第 9 表に純鉄板にニッケルメッキを施した時のメッキの厚さと吸引力の実測結果を示す。第 5 図 B 曲線はこれを表わしたものであつて、非磁性体メッキの場合即ち A 曲線に較べて感度は多少下がるが尚 $5 \mu \sim 100 \mu$ の範囲に亘つて測定が出来、一般のニッケルメッキも殆ど厚さはこの範囲内に限られているので鉄板上のニッケルメッキの厚さ測定用としても十分使用出来ることがわかる。

第 9 表 $F_0=101.0$ (目盛) の鉄板上のニッケルメッキの厚さと吸引力

Table 9. Thickness of the Ni Deposit vs F_a for the Plate $F_0=101.0$

メッキの厚さ d (μ)	F_a	ΔF_a
1.1	100.0	1.0
2.4	96.5	4.5
5.0	93.5	7.5
9.7	88.0	13.0
19.5	77.5	23.5
40.5	65.0	36.0
200	46.0	55.0



R_1, R_2 $2k\Omega$
 R_3 100Ω ポテンシヨメータ
 L_1, L_2 電磁石

第 7 図 電磁式メッキ層の厚さ測定装置の回路図

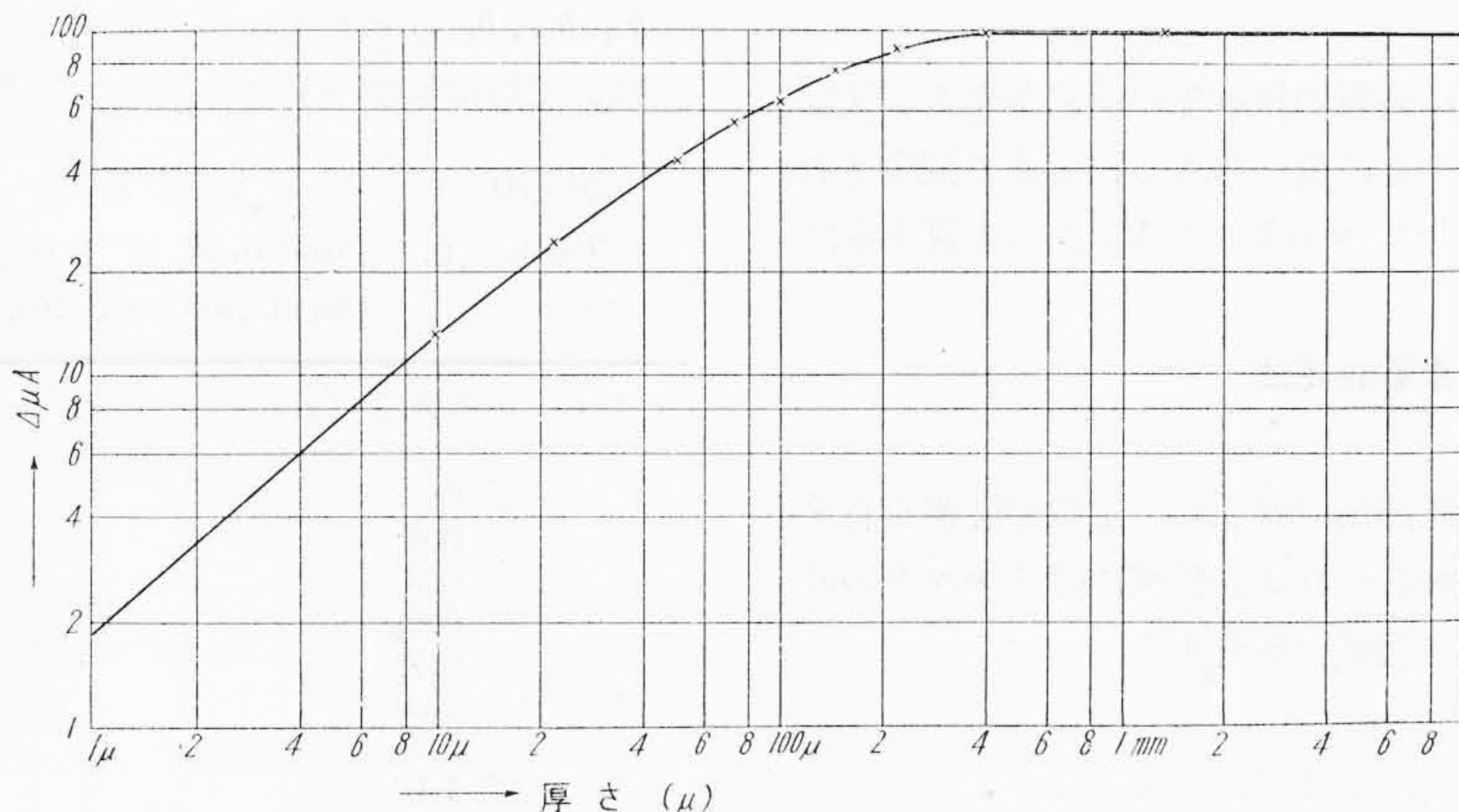
Fig. 7. Circuit of the Electromagnetic Thickness Meter

[III] 他の二三の測定法の検討及びこれらの比較及び検討

(1) 電磁式測定法

i) 原理

鉄の上の非磁性体の被覆が鉄の磁気効果を減じ、電磁



第 8 図 電磁式測定装置の較正曲線 (試料は厚さ 2mm の純鉄に銅メッキを行い厚さ 0.05 mm 以上はマイクロメータにて測定)

Fig. 8. Calibration Curve for the Electromagnetic Thickness Meter

石を含む磁気回路の磁気抵抗を増すことを利用して被覆の厚さを測定すれば、比較的簡単に連続的に測定を行うことが出来る理である。

ii) 装置及び測定法

第7図はこの原理にもとづいて試作した装置の回路図であつて、二箇の相等しい電磁石と抵抗よりなるブリッジ回路で、100Ωの可変抵抗で回路のバランスをとる。今一方の電磁石に鉄板を接触させるとこの電磁石のインダクタンスは増加し、回路の平衡が破れメータに電流が流れる。この時印加電圧を加減して針がメータの全目盛を指すように調節する。次に接触せしめた鉄板と電磁石との間に間隙をおくとその間隙の大きさに従つて不平衡電流は減少する。従つて鉄板と電磁石との間に既知の厚さの非磁性体の薄膜をはさむことによつて電流の減少と薄膜の厚さとの関係をグラフに画いておけばこれによつて未知の非磁性体の薄膜の厚さを知ることが出来る。この実験に使用した電磁石は直流抵抗1,200Ωの電話交換機用リレーのコイルであつて漏洩磁束を少なくするために接触端を残してシールドし接触面は平面仕上げを行つた。第8図はこの装置で測定したグラフである。

iii) 結果の検討

電磁式測定法はその原理から知られるように簡単迅速に而も連続的に測定が出来るが次の欠点がある。

- (a) 電源電圧及び周波数の変動の影響を受け、指示に安定性を欠く、殊に周波数の影響は簡単に除去することは困難である。
- (b) 湿度の影響を受け易く、高湿度では漏洩電流によつて指示が狂い測定不能となることがある。
- (c) 曲面の測定が出来ない。
- (d) メッキのように被覆層が導体の場合は渦電流の影響を受ける。

以上の中 (b), (c) は装置の接触部の構造を変え、又回路の絶縁に注意することに依つて或る程度まで減少させることが出来るが、(a), (d) はこの測定法の本質上避けられない。

(2) 熱起電力による測定法

i) 原理

メッキを施した金属部品の表面に一定の温度差を有する一対の接触片を接触させれば、接触片間にメッキの厚さに応じて変化する熱起電力が発生する。

即ち第9図に於て

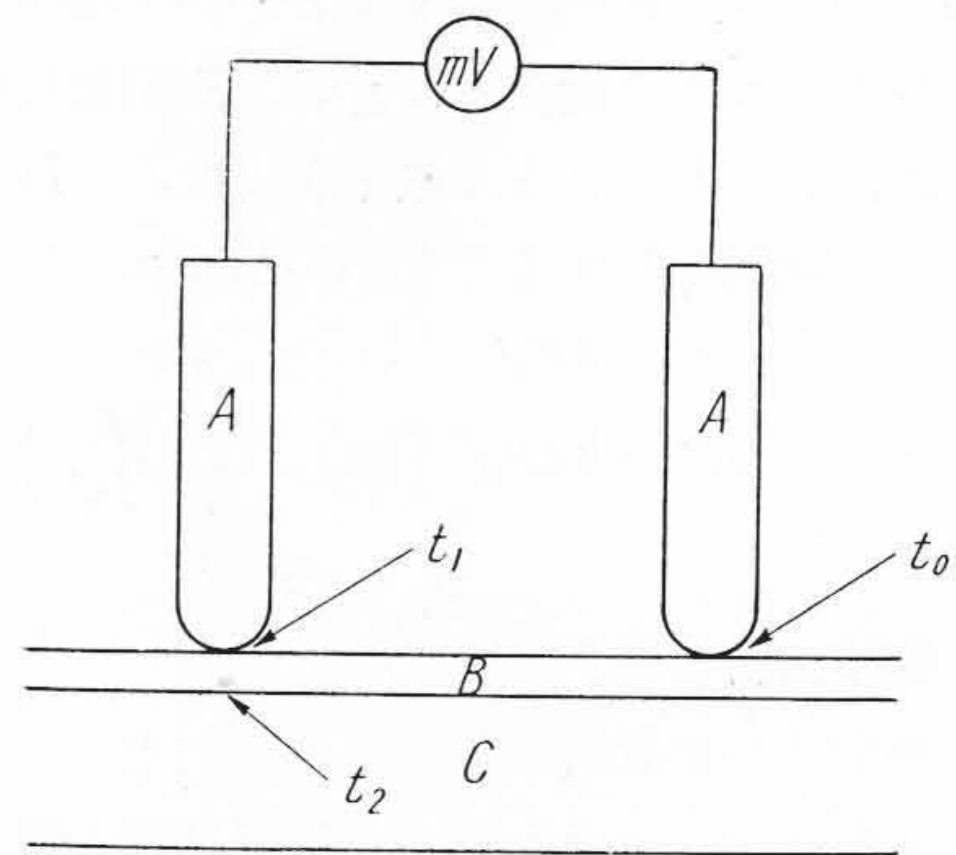
mV...電位差計又はミリボルトメータ

A...一対の接触片、左方が加熱されている

B...メッキ層

C...地金

t₁...加熱した接触片とメッキ層との接触面に於ける



第9図 熱起電力による測定法の原理
Fig. 9. Skeleton Schema of the Thermoelectric Measurement

る温度

t₁...加熱した接触片の下に於けるメッキ層と地金との境界面の温度

t₀...加熱せざる接触片とメッキとの接触面に於ける温度

とすると

$$E = \left\{ \pi AC \int_{t_0}^{t_1} (b_A - b_C) dt \right\} - \left\{ \pi BC \int_{t_2}^{t_1} (b_B - b_C) dt \right\}$$

ここに

$$\int_{t_0}^{t_1} \pi AC = [\pi AC]_{t_1} - [\pi AC]_{t_0}$$

$$\int_{t_2}^{t_1} \pi BC = [\pi BC]_{t_1} - [\pi BC]_{t_2}$$

[πAC]_{t₁}等はペルチエ効果に基づく起電力。

括弧内の AC, BC は接触部の両金属を示す。

括弧外の t₀, t₁, t₂ は接触部の温度を示す。

b_A, b_B, b_C はそれぞれの金属中にてトムソン効果に基づいて単位温度上昇につき電位の上昇する量を示す。

第10表 メッキの厚さと熱起電力
Table 10. Thickness of the Electroplate vs Thermoelectric Force

メッキの厚さ (μ)	起電力 (mV)
0	0.110
0.4	0.127
0.5	0.126
0.69	0.129
0.79	0.129
1.0	0.129
1.4	0.135
1.6	0.130
2.3	0.142
2.5	0.114
5.9	0.145

註 試料は純鉄板上に青化銅メッキを施したものをを用いた。

上記の式に於て A, B, C なる金属の材質が一定で接触片の接触部の曲率が地金の大きさに比して小さいときは $t_1 - t_0$ が一定となり右辺の第 1 項は常数となる。メッキの厚さに応じて t_2 が変化するので右辺第 2 項はメッキの厚さに対応する。従つて E を測ることによつてメッキの厚さを知ることが出来る。

ii) 測定装置

第 8 図の A の接触片には 25% Cr 鋼を用い、先端は半径 1 mm の半球に削り出して使用した。接触片の一方にはニクロム線を巻いてヒーターとし、ヒーターの電流を一定にして両接触片の温度差を 150°C に保持し、電圧は電位差計を用いて測定した。

iii) 測定結果の検討

この方法は品物を損わず、熱起電力を生ずる金属に対して総てに応用出来て便利な方法であると考えられるが第 10 表の測定結果より見て、メッキ層の厚さの増加に対し熱起電力は増加の傾向を示しているが、箇々の測定値は相当のバラツキがあり確実な測定方法とは考えられない。尙発生する熱起電力が小さいので電圧指示の方法にも困難があり実用化はむづかしいと考えられる。

(3) コード法

i) 原理

曲面の被覆は平鑪で削り、平面の被覆は精密なグラインダーで削り、地金を露出させ、その切口の巾を測れば、被覆の厚さ d は

$$d \doteq \frac{C^2}{8R} \quad \left\{ \begin{array}{l} R = \text{グラインダー又は曲面} \\ \quad \text{の曲率半径} \\ C = \text{切口の幅} \end{array} \right.$$

によつて計算される。

ii) 測定結果

第 11 表は銅板上の鉛メッキをこの方法で測定した結果である。マイクロメータによる測定と比較して $\pm 10\%$ の範囲でよく一致していることがわかる。

この方法は簡単で且つ殆ど総てのメッキに応用出来るが、品物を損うという欠点がある。銅-鉛、真鍮-クロームのように何れも非磁性体の場合に適用価値があるものと考えられる。

[IV] 本試作装置の応用例

(1) 複層メッキ

非磁性金属ばかりの複層メッキの場合は問題はないが、Fe-Cu-Ni 等のメッキでも Ni の層が薄い場合にはさきの校正曲線により測定が可能である。

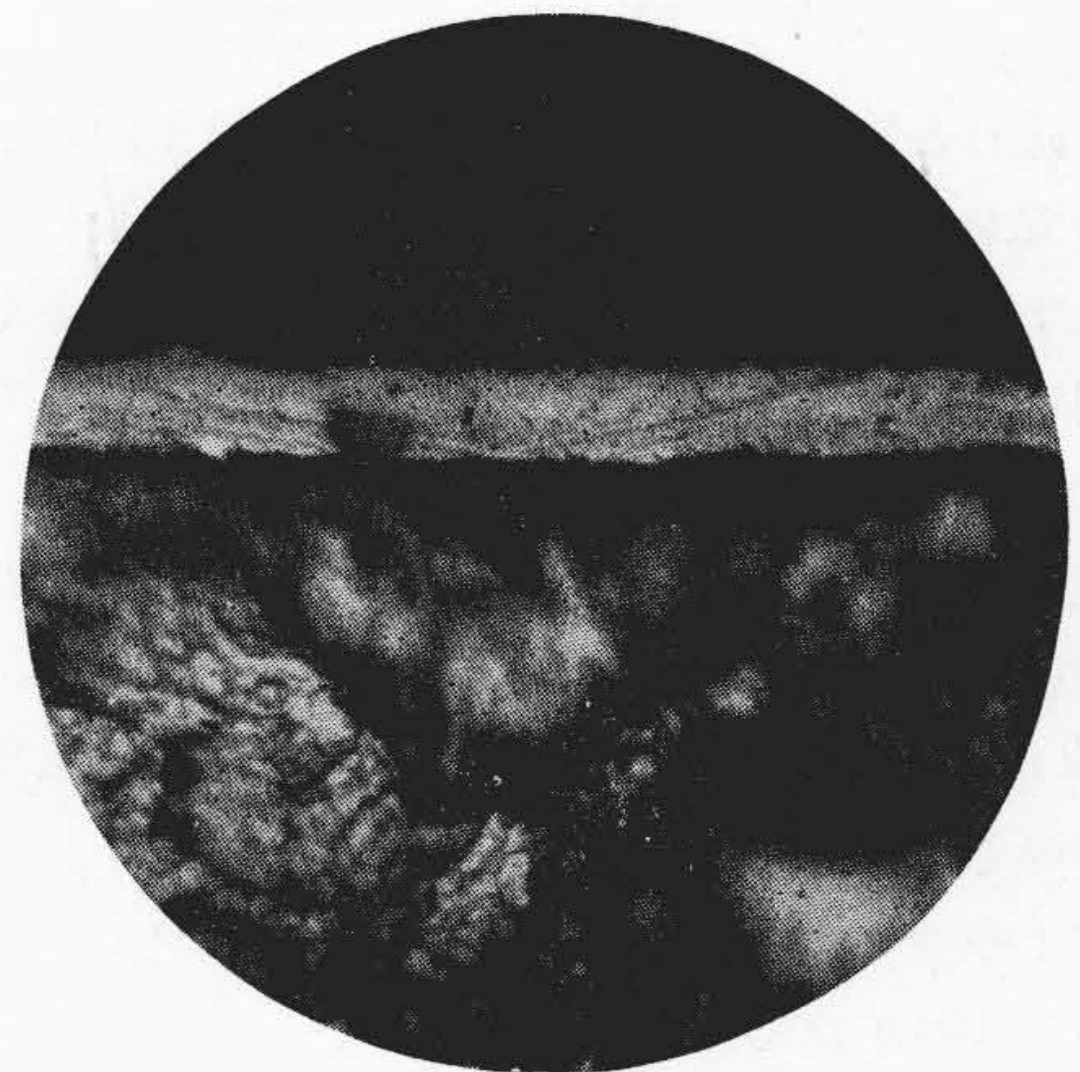
第 10 図は Fe-Cu-Ni の複層メッキの顕微鏡写真で、顕微鏡による測定値は、0.0143 mm であつた。同じ試料を本装置で測定したところ 0.013 mm と幾分低い値を示してはいるが可成りよく一致した値が得られた。

第 11 表 コード法によるメッキの厚さの測定

Table 11. Thickness Determination by the Chord Method

	コード法による測定		マイクロメータによる測定	偏差
	C (mm)	d (μ)	d (μ)	
試料 1	2.9	19	20	-5
	2.6	15	16	-6
	2.7	17	17	0
	2.6	15	16	-6
	3.0	20	22	-9
	3.2	23	22	+5
試料 2	4.0	35	32	+7
	3.6	29	30	-3
	3.7	30	30	0
	3.5	28	30	-7

R=55 mm のグラインダー使用



第 10 図 Fe-Cu-Ni の複層メッキ試料の顕微鏡写真 $\times 390$

Fig. 10. Microscopic Figure of the Electroplate $\times 390$

第 12 表 亜鉛熔鍍の厚さの測定

Table 12. Thickness Determination of the Dry Galvanized Plate

試料番号	本装置による測定値 (μ)	コード法による値 (μ)	偏差%
No. 1	54	54	0
2	66	64	+3
3	94	98	-4
4	50	48	+4
5	56	53	+6
6	55	52	+6
7	56	54	+4

(2) 亜鉛溶鍍への応用

亜鉛溶鍍鉄板は亜鉛と鉄との境界面に合金層があり、これが鉄に比して遙かに弱いながらも強磁性を有している。このため、過少な測定値を示すおそれがあると考えられるが、測定の結果によれば第12表に表示したように他の方法で測定した値とよく一致している。

又、多数の試料の測定によれば、顕微鏡による測定値は、0.08~0.13 mm, 平均 0.125 であつたのに対し、本装置による測定では 0.09~0.14 mm, 平均 0.129 mm とよく一致する結果が得られている。

(3) その他の応用

鉄素地上の塗膜の厚さ、紙、ビニール、その他のシートの厚さの測定、変つた例としては磁性材料の導磁率の簡単な測定等各種の応用分野がある。

又細い径のピアノ線と交換してバランスの感度をあげることによつて非磁性金属上のニッケルメッキの厚さの測定も簡単に行うことが出来る。

〔V〕 結 言

永久磁石と振りバランス方式によるメッキ層の厚さの測定装置を試作したが、これは他の方法に比較して簡単な構造であるにも拘らず指示が正確で再現性がよく、測定に何等の熟練をも要しないので、実験室ばかりでなく現場用の測定装置としても適したものである。

測定範囲は 5μ より 200μ (0.2 mm) 迄、約 $\pm 10\%$ の誤差範囲で測定出来るが、今少し誤差を許せば、 0.5μ より 2 mm 迄の広範囲に亘つて測定が可能で通常のメッキの厚さはすべてこの範囲に含まれる。

鉄鋼上のニッケルメッキに対しても、メッキの厚さが 5μ から 100μ 迄応用が出来る。

又、測定は点接触で行われるため、面の曲率の影響をうけることが少なく、直径 1 cm 以上の球面及び同じく直径 6 mm 以上の円筒の上のメッキの測定も特別に補正を行う必要なく平面の場合と全く同様簡単に測定出来る。

本測定装置は現在、日立製作所内の各工場で使用され、メッキ製品の管理に応用されて成果を挙げつゝある。

終りにのぞみ、本研究を遂行するにあたり終始御懇篤なる御指導をたまわつた湯本清比古博士に深謝すると共に、本報告に当り、資料を提供された日立製作所内各工場の関係者の各位に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

(1) Richard B. Saltonstall: *Metal Finishing* **42**, 606~9, 638~9 (1944)
 (2) L. S. Larkin: *J. Electrodepositors' Tech. Soc.* **18**, 48~54 (1943)

(3) C. E. Haussner: *Monthly Rev. Am. Electroplaters' Soc.* **23**, 5 (1936)
 (4) H. J. Reed: *Proc. Am. Electrochem. Soc.* 1947, P. 135~45
 (5) F. C. Mesle: *Metal Ind. (NY)*, **33**, 263 (1935)
 (6) W. Blum & A. Brenner: *J. Res. Nat. Bur. Standards* **16**, 171 (1936)
 (7) E. C. Grosback & H. H. Walkap: *Nat. Bur. Standards J. Res.* **12**, 785 (1934)
 (8) S. I. Dyackkovskii: *Sci. Rec. Gorky State Univ. No. 7*, 113~18 (1939). *Khim. Referat. Zhur. No. 7*, 117~18
 (9) S. G. Clarke: *Metal Ind. (London)* **49**, 419~22 (1936)
 (10) W. Blum & W. A. Olson: *Am. Electroplaters' Soc. Convention Proc.* **28**, 25 (1940)
 (11) D. V. Stepanov, I. P. Liaschenko, M. S. Matveava: *Zavodskaya Lab.* **5**, 1189~91 (1936)
 (12) S. G. Clarke: *J. Electrodepositors' Tech. Soc.* **8**, No. 11 (1933)
 (13) R. O. Hull & P. W. C. Strausser: *Monthly Rev. Am. Electroplaters Soc.* **32**, March (1935)
 (14) A. Brenner: *J. Res. Nat. Bur. Standards*, **23**, 387 (1939)
 (15) J. W. Higgins: *Am. Soc. T. M. Bull.*, #100, 21~4 (1939)
 (16) S. G. Clarke: *J. Electrodepositors' Tech. Soc.* **12**, 1, 157 (1936)
 (17) S. G. Clarke: *Am. Electrodepositors' Soc. Convention Proc.* **27**, 24 (1939)
 (18) A. Ogarev: *J. Applied Chem. (U.S.S.R.)* **19**, 311~5 (1946); *Metal Ind.* **70**, 338~40 (1947)
 (19) H. J. Reed & J. H. Thompson: *Plating* **35**, 922~4, 966 (1948)
 (20) S. Anderson & R. W. Mannel: *Trans. Electrochem. Soc.* **78**, 373 (1940)
 (21) H. J. Francis: *Trans. Electrochem. Soc.* **93**, 79~83 (1938)
 (22) M. O. Kamper: *Zavodskaya Lab.*, **5** 1396 (1936)
 (23) A. Brenner: *J. Res. Nat. Bur. Standards*, **18**, 565 (1937)
 (24) W. E. Hoare & B. Chalmers: *J. Electrodepositors' Tech. Soc.* **14**, 113 (1938)

- (25) G. E. Richards: J. Electrodepositors' Tech. Soc. **15**, 101 (1938)
- (26) I. V. Radchenko & F. K. Shestakovsky: J. Tech. Phys. (U.S.S.R.) **5**, 1372 (1935)
- (27) A. Brenner: J. Res. Nat. Bur. Standards, **20** 357 (1938)
- (28) E. A. Bozhevolnov: Korroziya i Berka s Nei. **7**, No. 2, 47~9 (1942)
- (29) E.G. Harrison: J. Sci. Inst., **29**, 89~91 (1952)
- (30) W. H. Tait: J. Electrodepositors' Tech. Soc. **14**, 108 (1938)
- (31) W. H. Tait: J. Sci. Inst. **14**, 341~3 (1937)
- (32) G. E. Company: Instrument, **8**, 341 (1935)
- (33) M. A. Rusher: G. E. Rev. **41**, 486 (1939)
- (34) W. B. Elwood: Bell Lab. Rec. **19**, 37 (1940)
- (35) 橋倉勝治: 中島研究報告 6 卷 第 2 号 P. 101
- (36) 田中晋輔、那須卓也: 科学測器 3 卷 第 11 号 P. 551 (昭 18)
- (37) C. M. Hathaway & E. S. Lec.: Mech. Eng. **59**, 653~9 (1939)
- (38) J. H. Zaat: Metalloberflache, **5**, A 185~91, Metal Fin., **5**, 78~9 (1953)
- (39) Anneliese Lanenstein: Metallwirtschaft, **20**, 990~4 (1941)
- (40) 水谷太郎: 科学測器 3 卷 第 5 号 P. 212 (昭 18)
- (41) 水島三和、池川龍男: 応用物理 19 卷 第 5 号 P. 156 (昭 25)
- (42) H. R. Isenberger: Am. Electroplaters' Soc. Convention Proc. **27**, 77 (1939)
- (43) R. C. Wood: Metal Finishing, **39**, 365 (1941)
- (44) E. L. Gepshtein, I. B. Lukov & L. S. Palatrik: J. Tech. Phys. (U.S.S.R.) **11**, 525~31 (1941)
- (45) H. Friedman & L. S. Birks: R.S.I. **17**, 99 (1946)
- (46) G. F. Kosolapov & B. Yu. Matt: J. Techn. Phys. U.S.S.R., **9**, 141~4 (1939)
- (47) Tracer Laboratory Catalog B: SM-6 Backscattering Type Beta Gauge
- (48) H. Krause: Anz. Maschinenwesen, **61**, No. 67, T 2~4 (1938)
- (49) H. J. Reed: Proc. Am. Electrochem. Soc. 1947, P. 135~45
- (50) H. J. Reed: Proc. Am. Electroplaters, Soc. 1946, P. 213~5



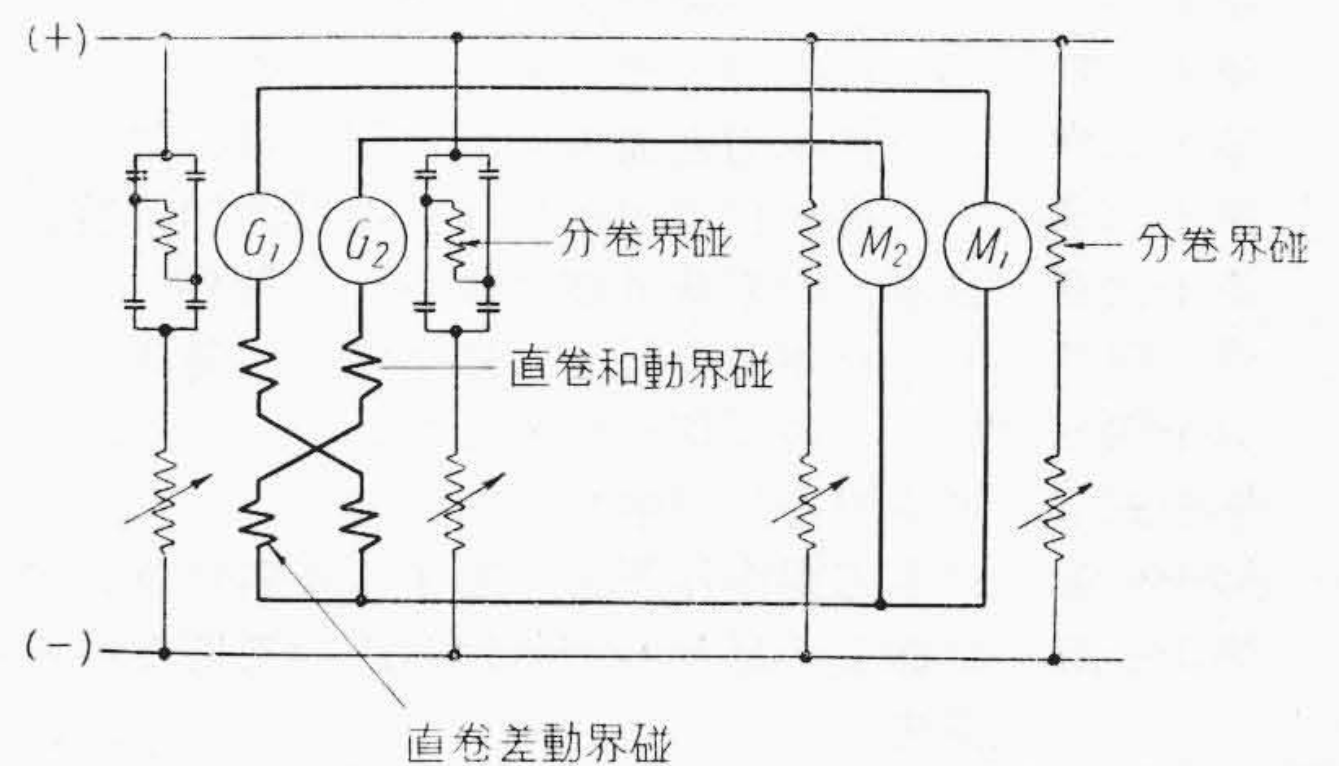
特許第196851号

御法川 潔

直流電動機の並行運転方式

レオナード式制御により複数直流電動機の可逆並行運転を行う場合、従来は直流発電機と電動機とが同数であれば、発電機、電動機共それぞれ並列接続したため、直流電動機に負荷平衡用の直巻和動界磁巻線及び直巻差動界磁巻線を必要とし、且つこれら直巻巻線の接続を切換える切換開閉器を備えなければならない。

然るに本発明に於ては図面に示すように、発電機はそれぞれ負荷平衡用の直巻和動界磁巻線及び直巻差動界磁巻線を設け、これらを交叉接続するも、電動機には負荷平衡用の直巻巻線を廃し、従つて交叉接続を行わず、各発電機端子より各電動機に各別に給電するようにしたものである。この方式によれば電動機側の負荷の不均衡は、発電機側に於ける直巻界磁巻線の交叉接続による励磁効果により、十分これを補償することができるから、実際の並行運転上に何等支障を来すことなく、而も電動機の



構造は、直巻界磁巻線を省いただけ小型に設計することができ、接続も簡単となり、逆転の際の直巻界磁切換えの手数もなく、切換開閉器等の運転所要補助設備を省略し得たものである。

(滑川)

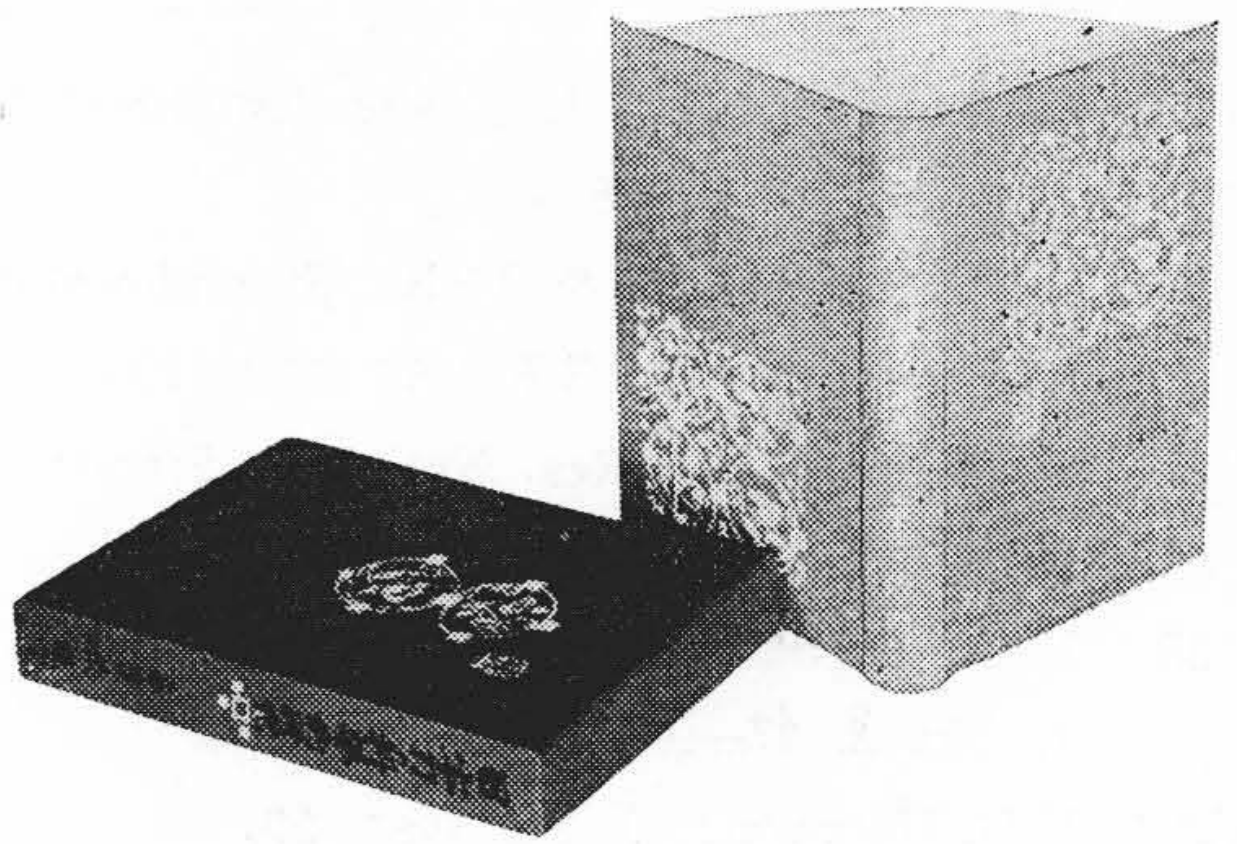
日本刀の科学的研究

工学博士
日本学士院会員

東大名誉教授
冶金学者

俵 国 一

新刊 (昭和28年7月30日発行) B列5判 444頁
特製豪華美本 (装幀 棟方志功画伯) 定価 2,000円



俵国一博士は、我国に於ける鉄鋼学界の長老であり鉄冶金学の泰斗であつて、特にその日本刀に関する研究は前人未踏の境を開かれたものとして全世界に名声噴々たるものがある。

大正十年「日本刀の科学的研究」に対して学士院賞の授賞、昭和十年宮中御前にて「冶金学上より見たる日本刀の特色」を進講せられ、後、文化勲章を受け、文化功労者に推挙せられた博士が、永年にわたり日本刀に関し科学的にあらゆる角度より究明した研究結果を後世の人々に残すべく老齢をも顧みず今回編纂されたもので、日本刀に関する我国唯一の科学的研究書である。日本刀の価値を知る者はもとより苟くも鉄鋼に関心をもつ者の必読すべき名著と信ずる。

日立製作所相談役 高尾直三郎氏 後書より

俵先生の日本刀の研究は、今日から見ても実に立派なもので有ります。日本刀が世界的に優秀なる鉄製品なることは云う迄も有りませんが、日本産の原料を用い日本独自の方法で造られた事に大なる意義があります。即ち独創品であつて模造品ではありません。それ程の日本刀も全てが秘伝と神秘との帳の内につままれて居るし、且つそれがさう云う帳の内に居ることに対し無関心で有つたので有ります。さう云うものに科学のメスを入れたのが俵先生で、その発表を纏めたのが此の報告書、即ち本書であります。(以下略)

略 目 次

緒 論	
第一章 鉄鋼協会に於ける講演	
第二章 日本刀の原料として庖丁鉄、卸し鉄	
第三章 鋼卸し鉄法及び銑卸し鉄法に就いて	
第四章 日本刀の地鉄に関する資料	
第五章 日本刀の有する化学成分	
第六章 日本刀の「スペクトル」分析に就いて	
第七章 日本刀の肌模様と焼入	
第八章 機械学会に於ける講演	
第九章 日本刀の研磨法に就き	
第十章 日本刀の研磨に関する資料	
第十一章(一) 刀の研ぎ面の模様と鍛錬組織	
第十一章(二) 刀身の研磨法と其外観に就きて	
第十二章(一) 日本刀の形状と寸度の測定	
第十二章(二) 日本刀表面の肉取曲線に就いて	
第十二章(三) 再び日本刀に於ける肉取曲線に就いて	
第十三章 日本刀の形状寸度に就いての資料	
第十四章(一) 日本刀の反りと切れ味との関係	
第十四章(二) 刀の「切れ味」に就いて	
第十五章 日本刀の打撃中心に就いて	
第十六章 日本刀製作作業法に関する資料に就いて	
第十七章 記録より見たる刀剣鍛錬法の異同及びその得失	
第十八章 黄金鍛及び銅鉄鍛に就いて	

第十九章 日本刀の沸及び匂に就いて	
第二十章 日本刀の沸及び匂に関する資料	
第二十一章 鋼の加熱温度と焼入組織の関係	
第二十二章(一) 日本刀のチケイに就いて	
第二十二章(二) 来物のチケイに就いて	
第二十三章(一) 日本刀の移り及び地沸に就いて	
第二十三章(二) 移りに就いて	
第二十四章 日本刀の金筋、刃ガラミ及び白ジミに就いて	
第二十五章(一) 信国短刀の横断面に就いて	
第二十五章(二) 倫光短刀に就いて	
第二十六章 日本刀の「焼直し物」と云う事に就いて	
第二十七章(一) 日本刀の有する硬度と比重に就いて	
第二十七章(二) 再び日本刀の刃部の硬度に就いて	
第二十八章 日本刀の疵に就いて	
第二十九章(一) 古直刀に就いて	
第二十九章(二) 再び古墳発掘の直刀に就き	
第三十章 古直刀の焼入組織に就いて	
第三十一章 満洲鞍山附近に於いて発掘せる古代の鉄具類その他	
第三十二章 鎧の小札に就いて	
第三十三章 南蛮鉄について	
折込附図 四図	

発行所

東京都千代田区丸ノ内一丁目四番地
(新丸ビル七階)

日立評論社 振替 東京 71824 番

発売所

東京都中央区日本橋通二丁目六番地

丸善株式会社 振替 東京 5 番