

冷間圧延設備用電気浄油装置の開発

Development of Electric Filter for Cold Strip Mill Plant

大 石 正 彦* 谷 口 堯*
Masahiko Ōishi Takashi Taniguchi
飯 島 徳 治** 矢 萩 捷 夫**
Tokuji Iijima Hayao Yahagi

要 旨

冷間圧延では圧延油のよごれが製品に及ぼす影響が大きいにもかかわらず、この種の調査、研究は十分に行なわれず、従来からの経験的なもので解決されているのが現状である。本報はこの冷間圧延設備での圧延油ろ過の現状と、日立製作所で新しく開発した電気浄油装置の試験結果をまとめたものである。

電気浄油装置の試作品を某冷間圧延設備に設置して試験した結果そのろ過特性は高精度であり、精密ろ過装置としての使用が十分可能であることが確認された。それと同時に今まで抽象的にしか表現されていなかった冷間圧延設備の圧延油よごれ状態などが定量的に確認された。

1. 緒 言

冷間圧延設備をなんら支障なく運転し、かつ高品質の製品を得るためには、圧延材と圧延ロール間の潤滑、冷却ならびに圧延油の清浄度を十分保守管理することが重要な問題である。ここで圧延油の清浄度を管理するためにろ過装置が冷間圧延設備に設けられているが決定的なものがなく、現今これらのろ過機の開発研究が強力に行なわれている。これら圧延油のろ過装置の設備費および維持費の占める割合は大きく機械設備費の約10～30%程度となっており年々高精度化されているため、これら設備費の占める割合も年々上昇する傾向にある。

最近消耗品が少なく高精度であると報告されている2～3の市場品があるが、まだ満足できるものは未開発の状態である。これらの欠点と長所とを区別すると次のようになる。

(a) 表面ろ過方法ではろ過効率の改善は十分可能であるが、この効率を増大させると目詰りによる圧力増加とフィルタ・エレメントの取換ひんどの増加、さらには圧力増加によってろ材や表面捕集ダストが油に混入するおそれがある。

(b) 遠心分離方法では表面ろ過機能はないためろ材の混入するおそれもなく圧力増加も認められない。しかしろ過効率を改善することは現実では非常に困難である。また高速回転部分を有するため設備や保守の面に問題が生じてくる。

これらのろ過精度は通常で数パーセント程度であるにもかかわらず使用されているのはおそらくこれら問題点を解決する決定的なろ過機がないからとおもわれる。

しかるに冷間圧延で使用されている圧延油の使用量は膨大で一般に油循環回路を設けて使用している。ここで図1はZ. R. Millの油循環回路の一例を示したものであり、ライン・フィルタ F_1 で捕集されない微細なダストは高精度のバイパス・フィルタ F_2 により除去される。このバイパス・フィルタの容量は経験的にライン・フィルタ処理量の10%程度とされている。本研究はこの精密ろ過装置用として従来大形化できなかった電気浄油装置を大形化し、さらにエレメントの寿命をのばすため種々研究、調査を行なったものである。また圧延油中に含まれている添加剤がこれら浄油装置の特性を左右することも摘出し、これらについての検討も加えた。

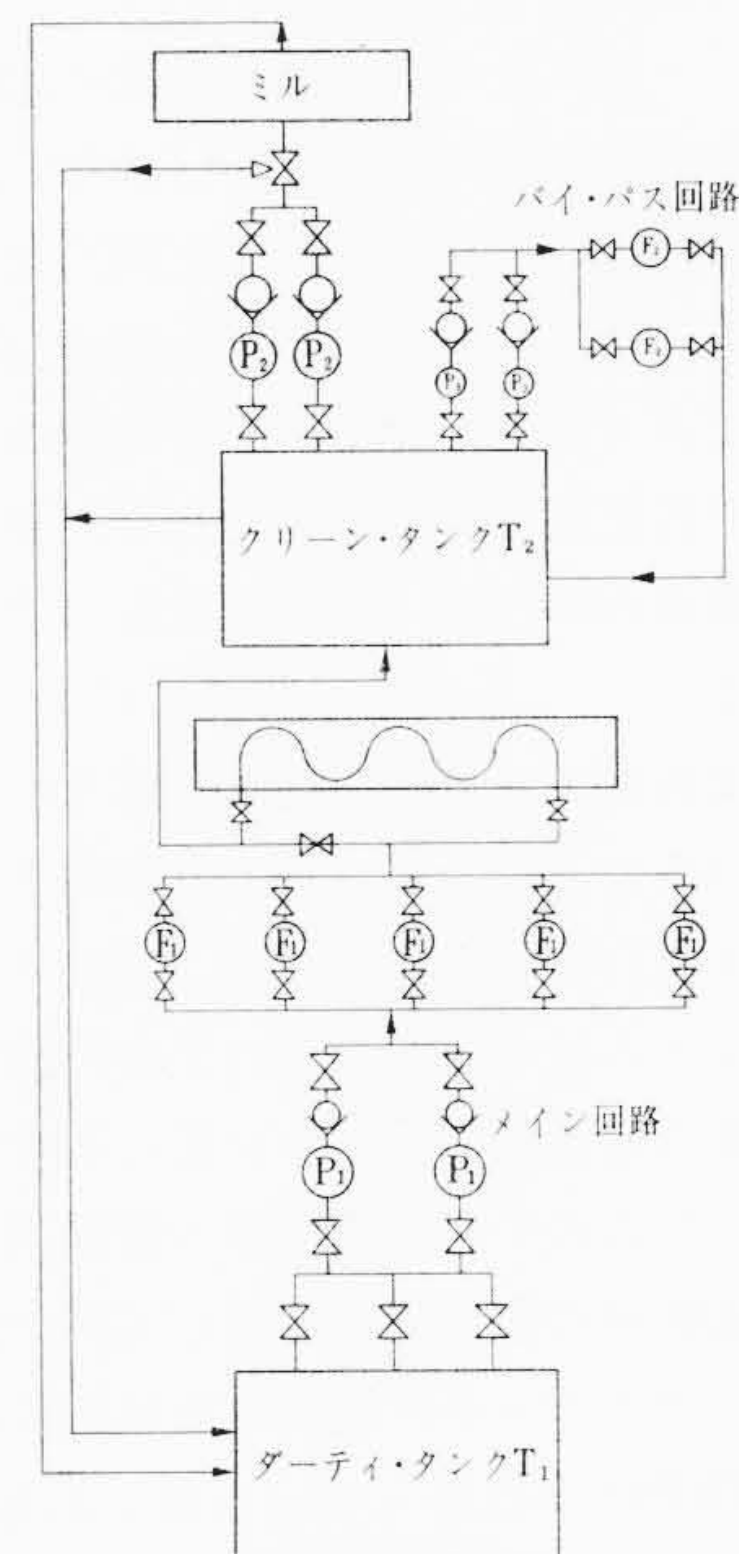


図1 Sendzimir Mill の圧延油循環回路の一例

2. 圧延油管理と問題点

2.1 圧延油の調査

冷間圧延でも薄板またはハクの圧延を行なう場合には適切な圧延油を用いることがたいせつである。現在一般に用いられている圧延油の性質は表1⁽¹⁾に示すとおりである。表からわかるように圧延油は水溶性と非水溶性とに大別されるが、ここでは特に非水溶性圧延油について述べる。

一般に圧下率が高くしかも圧延速度が大きい場合には、油界面の温度は数百度に達すると言われており、このような高温高压条件のもとでも適切な潤滑性を保持することが圧延油の具備すべき最も重要な性質である。そのほかに金属表面における均一な付着性、圧延後の油除去の容易なことおよび高温高压の下で繰り返し使用の条件に対しても寿命の長いことすなわち特性変化の少ないことが望まれる。いいかえれば長い使用期間にわたって粘度および粘度指数が変化しないこと、および高温高压条件のもとで油の化学的変化が起こってスカムを生じないことが必要である。前者の粘度および粘度指数の変化は圧延油自体の潤滑機能の変化を意味するもので、圧延油

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所日立研究所

表1 圧延油の一般的性質

用途	軟銅板 冷間圧延	アルミニウム 熱間圧延	ステンレス鋼板 銅・真鍮 冷間圧延	アルミニウム箔 冷間圧延	アルミニウム薄板 冷間圧延	アルミニウム薄板 冷間圧延
	水溶性	水溶性	非水溶性	非水溶性	非水溶性	非水溶性
比重 (15/4℃)	0.9132	0.9234	0.8830	0.8223	0.8291	0.8370
粘度 (cst(ssu))						
37.8 (℃)	23.65 (11.35)	39.4 (183.5)	22.54	4.36	4.82 (41.77)	5.74
98.9 (℃)	4.16 (39.93)	5.17 (43.2)	3.90	1.54	1.64	1.84
粘度指数	76	47.4	50.5	108	106	106
引火点 (coc)(℃)	154	160	172	134	136	134
流動点 (℃)	-125	-35	-35	0	-25	-5
色相	2½-	4-	2	1-	1-	1-
全酸価 (mg KOH/g)	4.29	0.51	1.93	0.26	0.49	0.79
けん化価 (mg KOH/g)	34.64	3.31				
残留炭素 (%)	0.11	1.5	0.02	0.01 以下	0.01 以下	0.01 以下
灰分 (%)	0.44	1.07				
硫酸分 (%)	0.05					
硫黄分 (%)	0.171	0.633				
摩擦係数 (μ)	0.105					

としての適用を不可能にせしめる場合がある。一方スカムは油から生成されるもので、一般にその発生量は油量に比較して僅少であるため圧延油の特性に変化をあたえることは少ない。圧延油は長期間にわたり循環使用されるので保守管理上定期的な分析を行ない油の汚染状態をは握することが必要である。一般に行なわれている分析項目は粘度、酸価、ダスト量、比重、ケン化価などであり、これらは圧延油メーカーや各圧延工場によりそれぞれ独自の方法で管理されている。以下に筆者らが行なった調査検討の中で特に興味あるものを下記に紹介する。

圧延油については各油メーカーが種々検討を行ない油性向上のため添加剤を入れていることは周知のとおりである。添加剤は圧延油の種類により、種々使い分けられており、特にアルミハクの圧延油には融点の高いワックス状のようなものが多く添加されているようである。これらは各ろ過装置の目詰りを起こしやすくし、ろ過性能を低下させる原因となるので、圧延油中の添加剤の性質を知るとともに、このような圧延油の浄化装置に対しては十分注意した取り扱いが必要となる。一方ステンレス鋼板用圧延油には添加剤としてオレイン酸(C₁₇H₃₃COOH)がはいっている例がある。この添加剤のはいった圧延油について調査を行なったところ某社では添加剤が化学変化したのが見られた。すなわちオレイン酸が圧延時の高温、高圧の使用過程によってステアリン酸(C₁₇H₃₅COOH)に変化したものである。これは赤外吸収スペクトルの分析を行なった結果明確になったものである。オレイン酸の融点は14℃、ステアリン酸の融点は70.1℃であり、油中に溶解しているときは透明な液体であるが、融点以下になればワックス状になる。ステアリン酸となった場合、普通圧延油は40～50℃で使用されているところが多いことから油温はステアリン酸の融点以下なので油中にはワックス状のものが析出するおそれがある。ただし溶解度の関係でただちに析出するとはかぎらない。このように前者と同様に圧延油の性状とろ過装置の取り扱いには注意することが必要である。

粘度についても定期的に測定する必要がある。稼働中の粘度は使用期間によって変わってくる。ある油メーカーでは新油に対して±15%の増減を使用範囲としている。某社の圧延油について測定したところ新油に対して約2倍ほど粘度が高くなっていた場合があった。この状態では圧延油としての特性を失なっていることも考えられるので、粘度について十分注意することが必要である。

2.2 油中ダストの調査

最近のめざましい冷間圧延の発展に伴い、その浄油対策として種々のフィルタが検討されているにもかかわらず、決定的なフィルタ

表2 各種圧延ダストの分光分析

分析項目 試料	Ti	Zn	Cu	Co	Sn	V	Al	Fe	Cr	Si	Ni	Mn
ステンレス圧延ダスト	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
伸銅圧延ダスト	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
アルミハク圧延ダスト	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-

表3 油中ダストの化学分析

分析項目 試料	Co	Ni	Ti	Cu	Al	Fe	Mn	Si	Cr
ステンレス圧延ダスト	0.08	2.5	0.14	0.16	3.97	11.34	0.21	31.52	2.25

表4 油中ダストの化学分析

分析項目 試料	Tc	Si	Ni	Cr	Fe
ステンレス圧延ダスト	3.2	6.54	0.96	13.94	71.06

が開発されていないのは次の事項についての技術が確立されていないことが原因と考えられる。まず圧延油の汚染状態について定量的な判定法が確立されておらず、また汚染油が製品に及ぼす悪影響の度合も明確にされていないことである。前者についてはP.W.Coffman氏⁽²⁾が油中に含まれる鉄含有量で、またC.H.Prithard氏は油中ダストを分析して得たFe₂O₃量より算定した鉄含有量でもって汚染量の評価をしているが、これらはいずれもFe以外の含有量を見捨てるものであって汚染度をこれで決めるのは危険である。これに対して筆者らは遠心分離機を用いて汚染油からダストを分離し、この重量を測定して定量的数値とした。しかし汚染状態をダスト量のみで評価することは危険であって、潤滑機能に及ぼす影響としては不明であるが、油の色相、濁度やダストの形状、そしてダストの成分などを加味して検討する必要があると考えられる。

ダストが圧延中に混入してくる経路としては次のものがあげられる。

- (a) 圧延時にベアリング、ロールおよび圧延機相互間が高圧のもとで作動しているためにこの相互間の研摩作用による微金属粉末の発生。この圧延時の研摩作用により発生する金属粉末は非常に微細であり、かつその量が多いので本研究のような浄油機のおもな対象物である。
- (b) 圧延前の圧延素材の表面処理が不完全なために起因する高粘性油および焼鈍時のカーボン粉末や、砂および木片物の混入(したがって前処理はできるだけ理想的な形で行なわれることが望まれる)。

以下にダストの調査検討結果をのべる。

2.2.1 油中ダストの成分

油中のダストを採取して成分を知っておくことはたいせつなことである。表2は某社の圧延油中のダストの分光分析例を示したものである。これより各種圧延材によって特有のダスト成分があることに注目する必要がある。すなわちステンレス圧延ではFe、Cr伸銅圧延ではCu、そしてアルミハク圧延ではAlの成分が、ダストの多くを占めているものであり、このダスト成分から明らかのように圧延時の研摩によって発生したダストが主成分となっている。

次に油中ダストの化学分析の一例を表3、4に示す。この分析はいずれもステンレス圧延ダストの一例である。これより表3においてFe 11.34%、Si 31.52%となっており研摩による発生ダスト

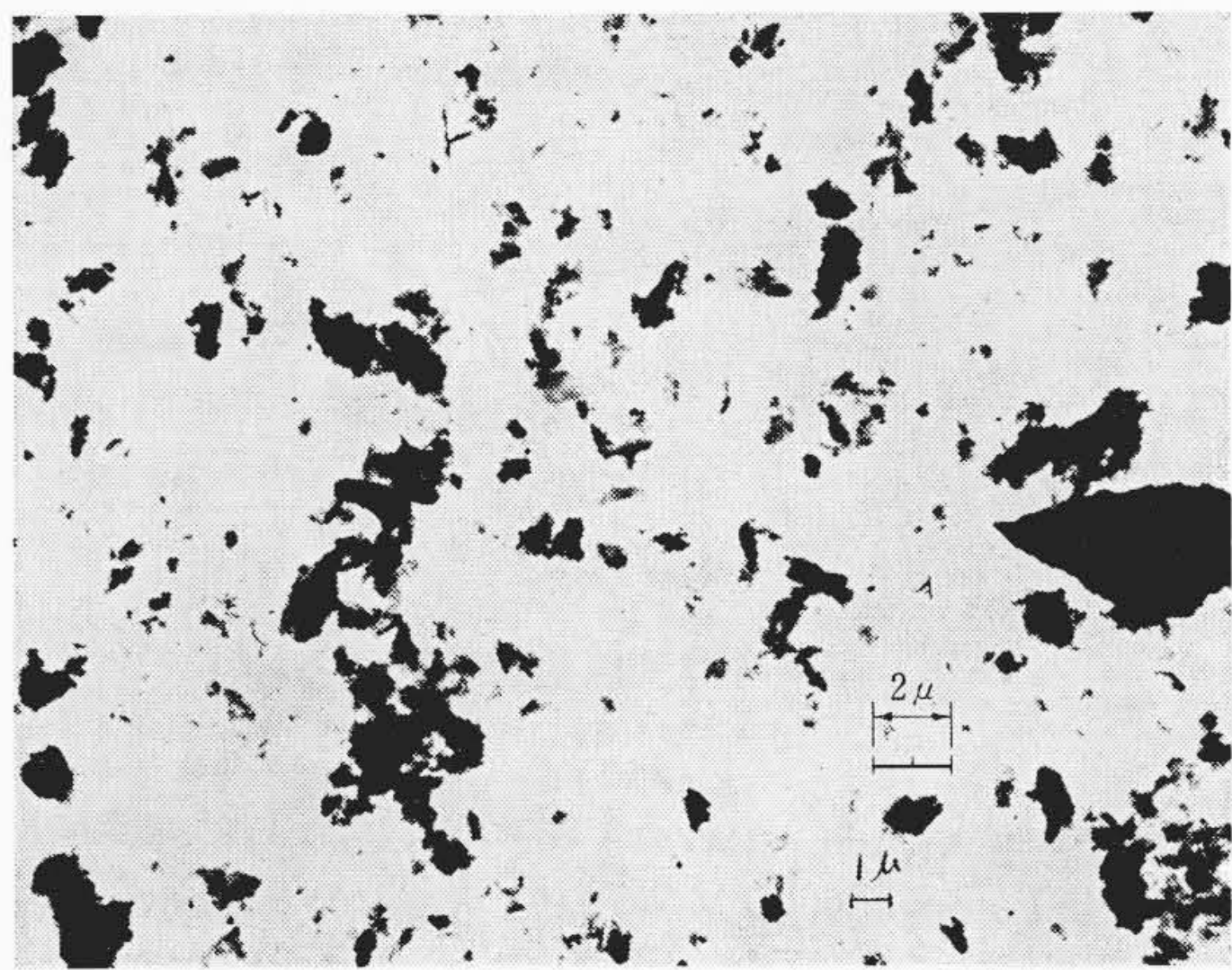


図2 ステンレス圧延ダストの形状写真 (×4,000 倍)

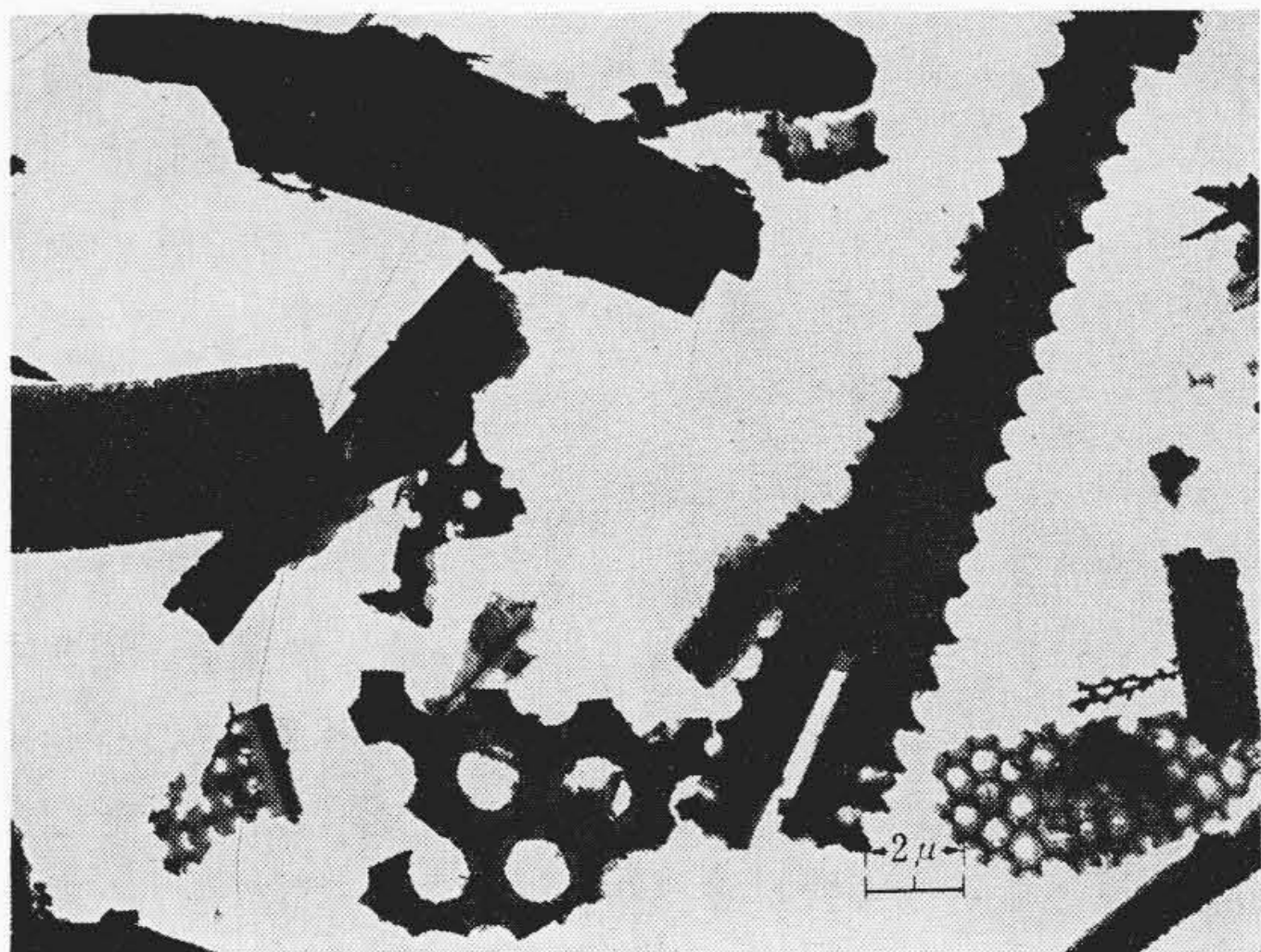


図3 アルミ箔圧延ダストとプレコートフィルタより混入せる珪藻土の写真 (×5,000 倍)

より Si がかなり多い値を示している、これは試料を採取した圧延油回路にプレコート・フィルタとして珪藻土をろ過助材とした装置が運転されており、ろ過助材である珪藻土が油中に混入したため、珪藻土の主成分である Si が多く認められたものといえる。また表 4 においては圧延研磨による発生ダストと考えられる Fe, Cr が全体の 85% を占めている。

2.2.2 油中ダストの粒子径

圧延時の研磨によって発生したダストの粒子は非常に小さいといわれているが、ダストの状態を示す資料はほとんどない。一般に油中に微細な粒子が分散している場合、粒子は強力な油膜におおわれているために光の屈折を生じて顕微鏡にて観察することはむずかしい。そこでベンゾールまたは石油エーテルなどの溶剤を用いて洗浄し、油分を十分除去してダストをよく分散したのち電子顕微鏡で形状写真を撮影した。その一例は図 2, 3 に示すとおりである。図 2 はステンレス鋼板圧延によるダスト粒子径写真であり、これから 1μ 程度のものが多くそして 1μ 以下といったものも数多くみられる。このように 1μ 以下という粒子径になると現在使用されているろ過装置では清浄が困難であることがわかる。図 3 はアルミ箔圧延によるダストと珪藻土を示す。珪藻土はプレコート・フィルタのろ過助材であるが、前記したように、プレコートが破れて油回路にはいつてしまったため、このようにダストと珪藻土が混入した状態になったものである。

2.2.3 油中ダスト量と濁度

圧延油の汚染状態を判定する方法はいまだ統一されていないが、筆者らは上記したように遠心分離によってダストを分離し、その重量値でもって表わし、これと濁度判定法を併用した。これ

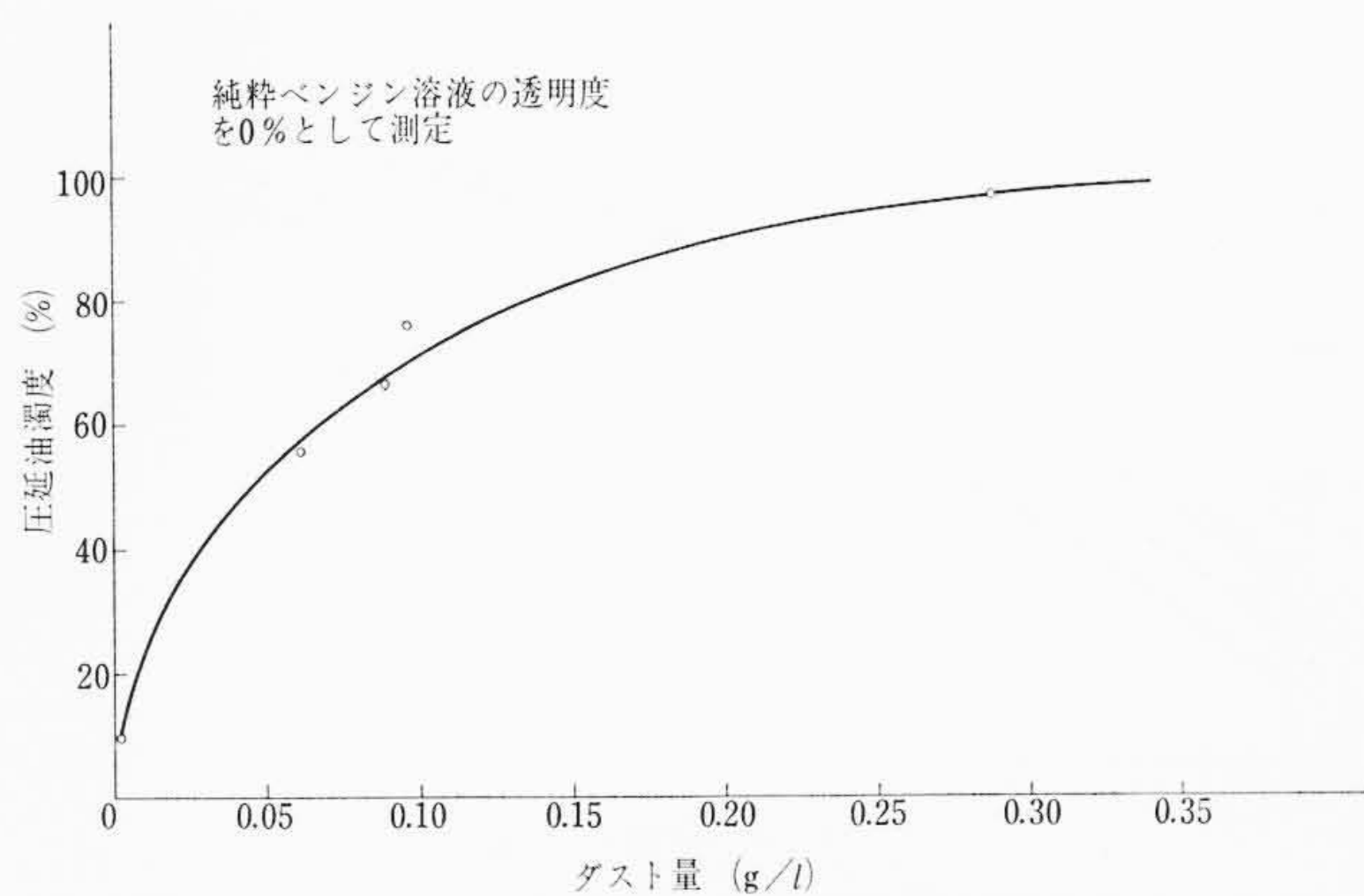


図4 圧延油濁度とダスト量の関係

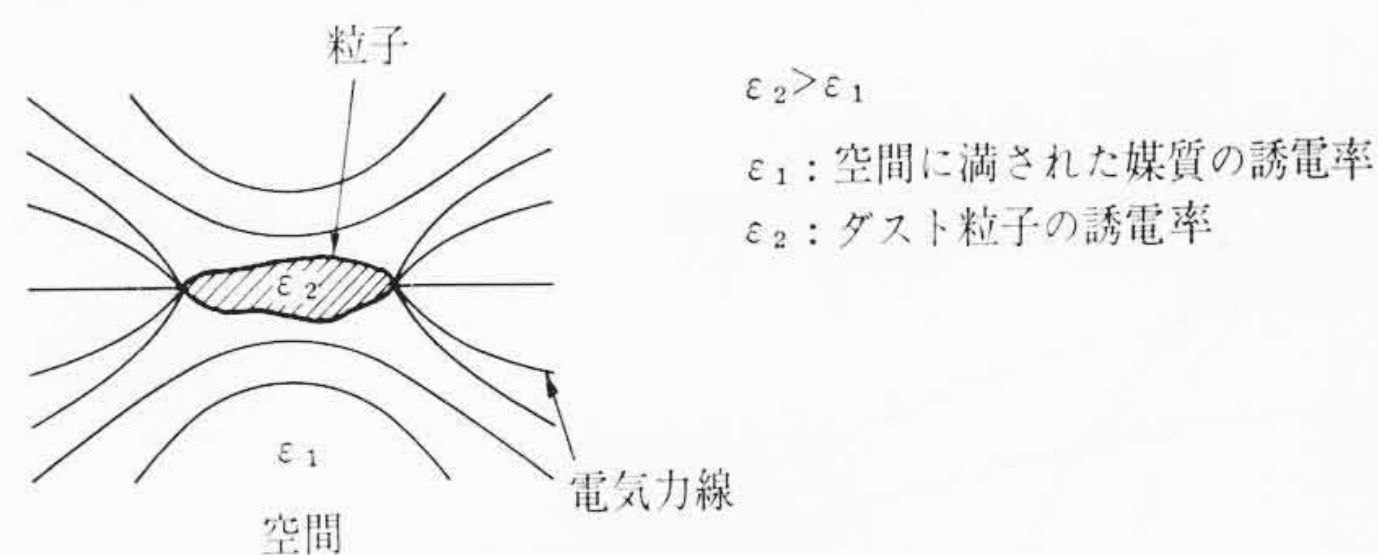


図5 電界内における粒子周囲の状態

は固形物の重量による判定法では試料をサンプリングしてからかなりの時間を必要とするため、短時間でチェックする必要がある場合には濁度による測定が非常に便利である。この場合、前もってダスト量に対する濁度の校正曲線を作成するとよい。この校正表はどこの圧延油にも適用されるものではなく、各使用場所や日時によって変わってくることは言うまでもないことである。油中ダスト量と濁度の関係の一例を示したのが図 4 である。これより濁度 50% のときはダスト量 0.045 g/l 、濁度 90% のときはダスト量 0.20 g/l というように濁度測定だけによって油中のダスト量を知ることができる。

3. 電気浄油装置

従来、ろ過装置としては機械的なろ過方法が研究され、わずかなろ過流量を対象とする場合にはすでに吸着ろ過方法や電気浄油方法が実用化されている。しかるに流量が増加した場合の電気浄油装置のろ過特性や、その応用面に関する基礎資料も全然見あたらず、ただ、定性的な判定で方法の適否を述べているにすぎない。これに対してわれわれは圧延油循環回路のうちのバイ・パスフィルタの精密ろ過装置として電気浄油の開発を進めたものである。

3.1 電気浄油の原理

電場内に物体が存在すると、この物体の両端には図 5 に示すような電気力線が生じ、この部分の電界の強さに関連して物体は運動を開始する。この運動速度は溶液の誘電率とダストの誘電率に関連し(1)式⁽³⁾に示すようにこれらの差が大きいほど大きくなる。

$$F = qE + \frac{D_p^3}{4} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \cdot KE^2$$

ここでダストの電荷がない場合 $q=0$ であるから

$$F = \frac{D_p^3}{4} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} KE^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 F : 粒子が受ける力 (dyne)

D_p : 粒子の大きさ (cm)

ϵ : 誘電率

K : 比例定数

E : 電界強度 (V/cm)

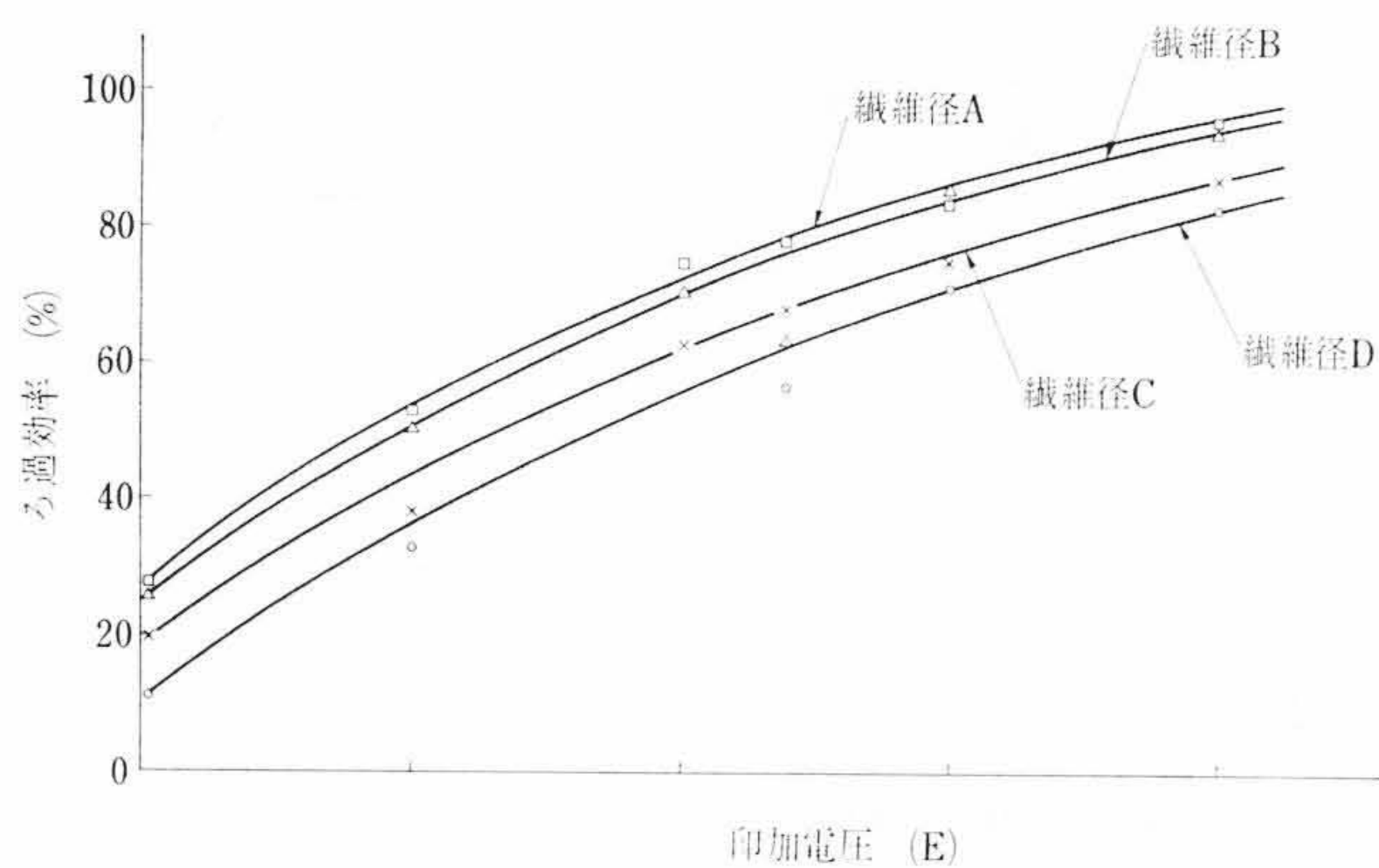


図6 ろ過効率に及ぼすガラス繊維径と印加電圧の関係

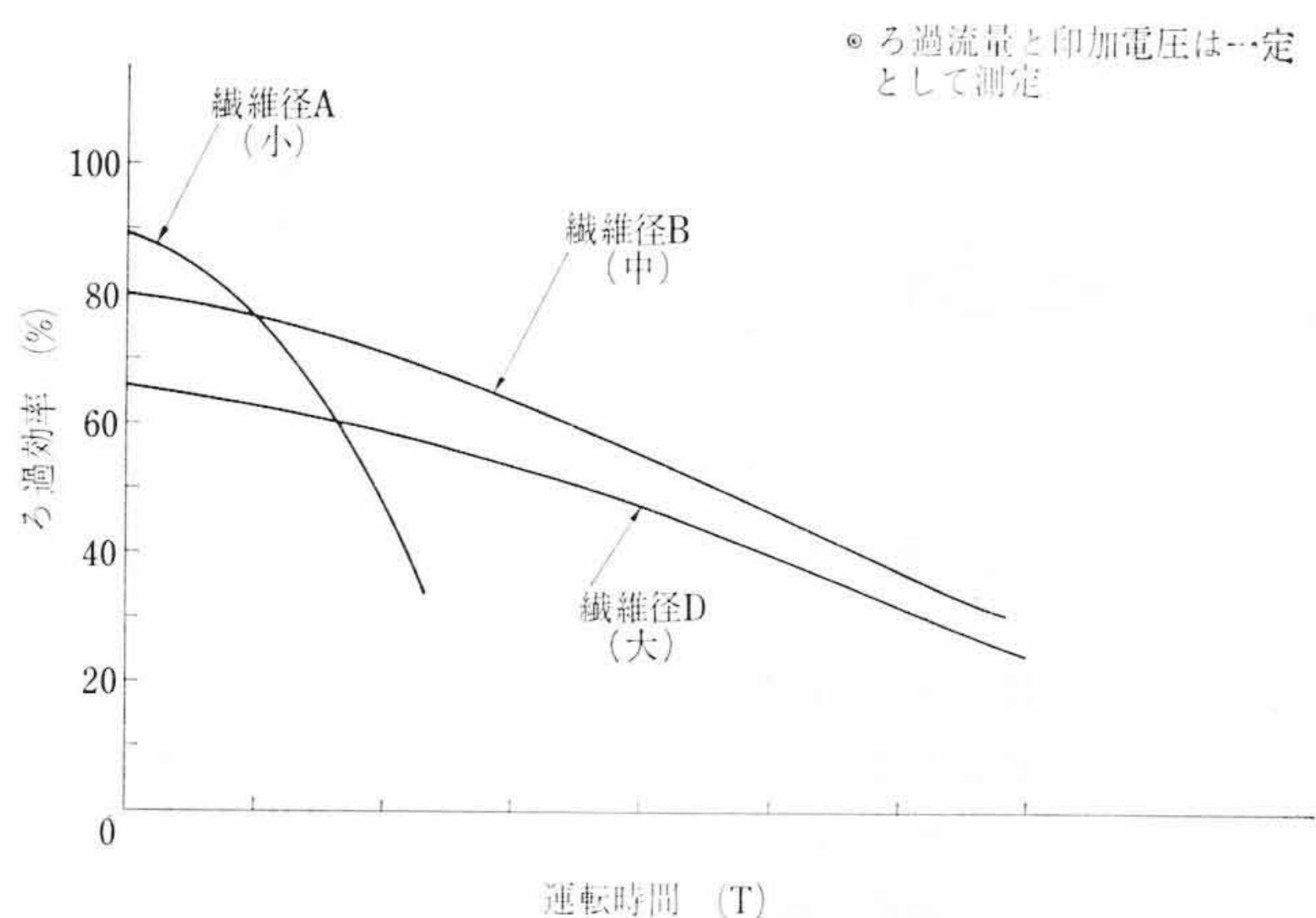


図7 ガラス繊維径による運転時間とろ過効率の関係

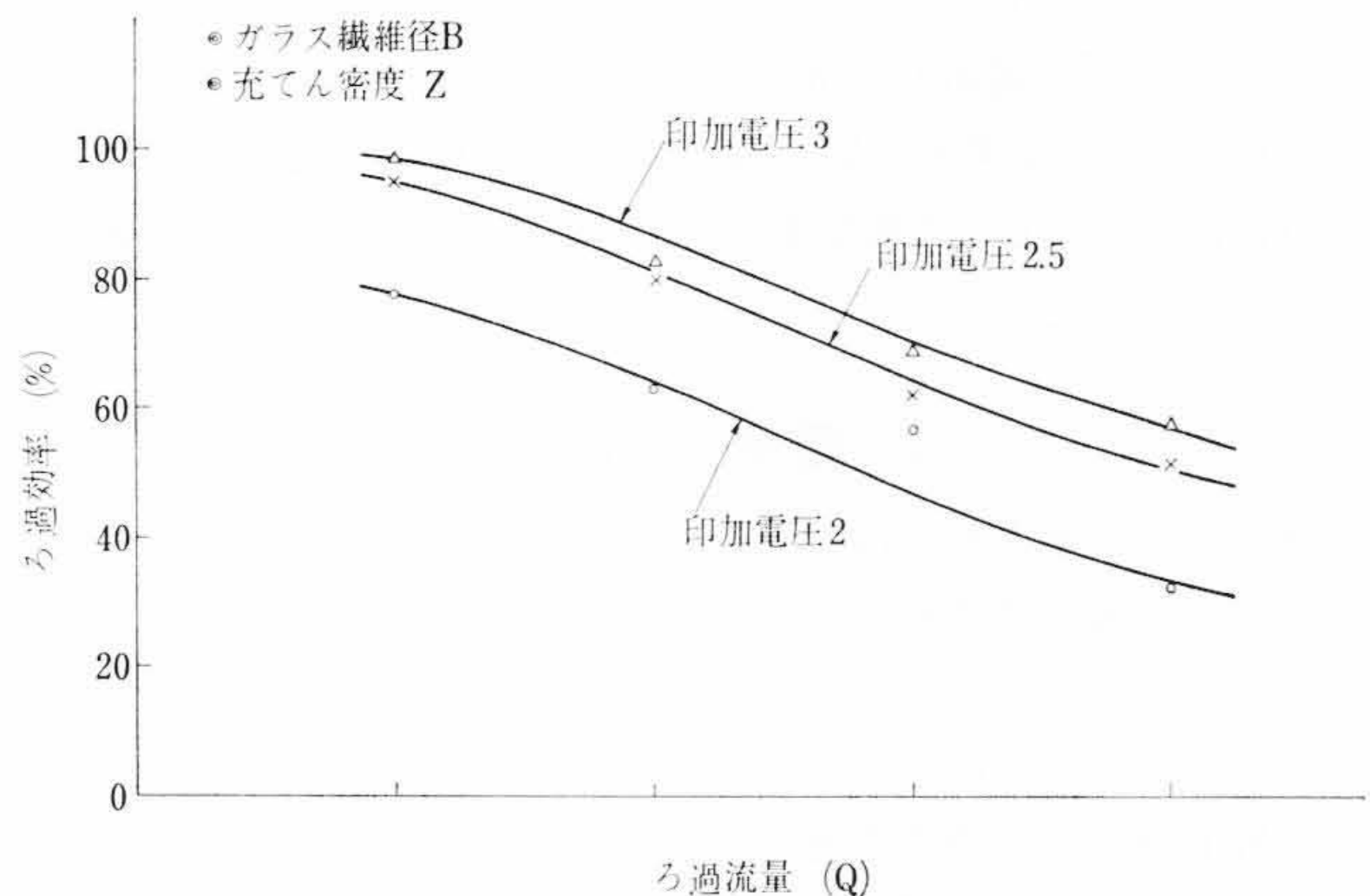


図8 印加電圧とろ過流量変化によるろ過効率の関係

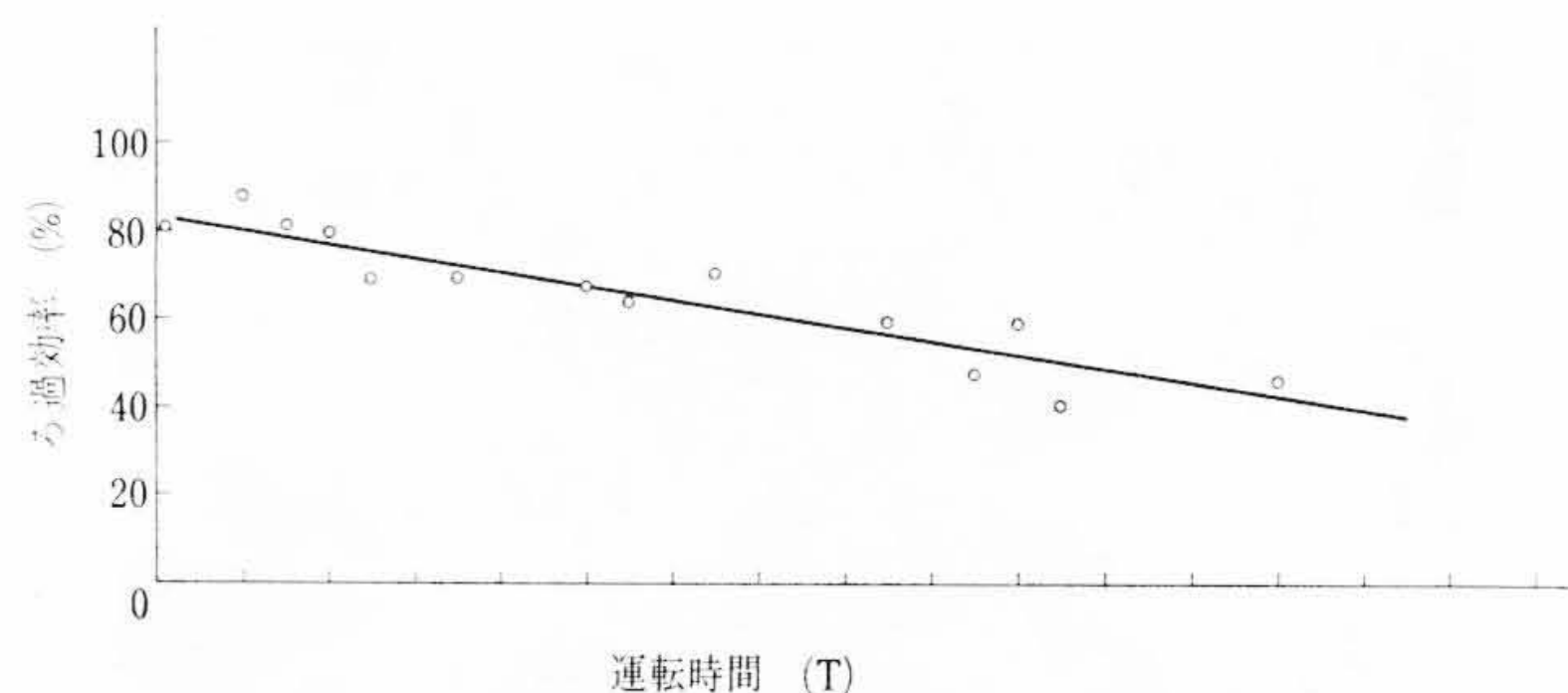


図9 電気浄油装置連続運転の特性

界が強く、またはいってくるダストが大きく、そして繊維径が小さく、充てん密度が高ければ除去率は高くなることがわかる。

3.2 ろ過特性

前記したように本電気浄油装置は、電極間にある誘電率をもった絶縁性の媒質を充てんした場合であり、各媒質表面で電界ひずみが得られるために短時間のうちにダストはこの媒質表面に吸着し保持される結果、高度のろ過効果が期待される。しかし実際にいかなる繊維を用い、荷電条件をどこに設定するか、実プラントの設計にとっては最も重要な要素である。ここで

- (a) ガラス繊維を変えた場合
- (b) 印加電圧値を変えた場合
- (c) ろ過流量を変えた場合

についてろ過特性の試験を行なった。その結果を図6～図8に示した。図6はガラス繊維類と印加電圧を変化された場合のろ過効率を示したものであり、これから繊維径が小さいものほど、そして印加電圧が高いほどろ過効率は良いことがわかる。図7ではろ過流量、印加電圧を一定にしてガラス繊維径を変えた場合のろ過効率を示したもので、これから繊維径の小さいものは運転開始直後は高いろ過効率を示すが、運転時間が経過するに伴って急激に低下する。これに対して繊維径の大きいほうは運転開始直後は前者より低い効率になっているが、運転時間によって急激にろ過効率が低下することはない、繊維径Bの場合は安定した高い効率を示している。

ここで、明らかにされた最適条件を加味して繊維径B、充てん密度を選定しこの条件で印加電圧、ろ過流量を変化した場合の効率について検討した。その結果は図8に示すとおりである。以上のような試験を行なうことによって実用化値を知ることができた。

3.3 電気浄油装置の連続運転

電気浄油装置の基礎試験により実用化に必要な資料を得ることができたが、実圧延機における油循環回路に設置した場合どのようなろ過特性を示すものかを知る必要がある。そこで現地の油循環回路にパイ・パス回路を設けて連続運転を行なった。その結果を図9に示す。このようにガラス繊維を取換えることなく長時間連続運転することができた。ろ過効率は運転経過によって徐々に低下しているが、従来より使用されている機械的なろ過装置よりまさっていることがわかった。図10は電気浄油装置の写真である。

3.4 逆洗によるろ過助材の再生

本装置のろ過助材となる繊維質表面に金属性ダストが保持されるために長時間にわたって運転する場合には捕集機能が悪くなり、ついには短絡現象を引き起こすことになる。そこで荷電を停止、繊維表面に保持されていたダストを洗い流す方法、すなわち通常の油の流れとは逆方向に圧延油を通して捕集されたダストを洗い流し出す逆洗方法をとった。これは繊維の寿命を長くするうえに効果的である。しかし逆洗によっても捕集したダストを100%洗い流すことは到底無理であり、繊維はある限界で順次取換えることが必要である。図11は、逆洗を行ないながら運転を続けたときの各エレメントが捕集するダスト量を表わしたものである。この図でエレメントに付着

物体が偏平な形状を示す場合には偏平部分における電界強度が大きくなって当然物体の受ける力は大きくなるため激しい運動を生ずることになる。今回報告する電気浄油装置の場合電極間に油よりも誘電率の高い研磨された微細な金属粉末が混入した状態にあり、さらに電極間には、絶縁性繊維質が充てんされているため、かつまたこの空間部分は非常に小さく、しかも繊維質表面には高い電界が集中するため、ダスト粒子は繊維表面に静電的に付着保持される。

このように静電界におけるダストの運動は電界強度の2乗に比例し、ダストの粒子径の3乗に比例する。しかし本電気浄油装置におけるように電場内に密に細かいガラス繊維が充てんされているところの表面形状、充てん密度などにより油中の電場の強さが変わってくるためダストの受ける力は当然違ってくるし、また油とともに粒子も運動しているため、電場の力によって運動する状況も変わってくる。したがって推算どおりにならないが、本式から想像しても電

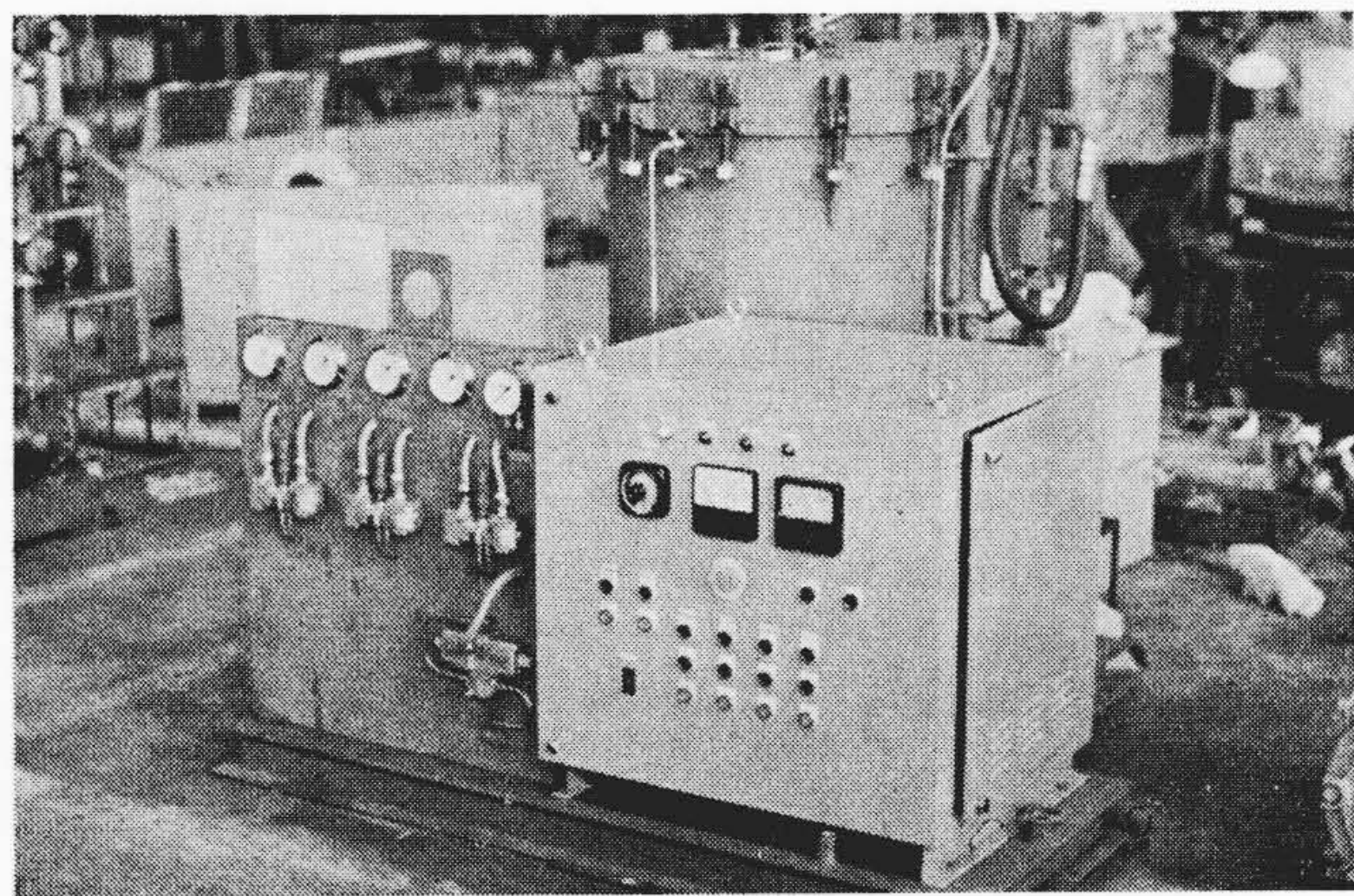


図10 電気浄油装置

するダスト量はある値から一定量になっているが、これは逆洗効率（ダスト除去率）を常に一定と仮定して行なっているためで、実際の逆洗効率は時間経過とともに低下すると考えられるので図のようにはならないが、ダスト捕集量の推定用として役立つ資料である。

4. 結 言

以上冷間圧延における圧延油状態とろ過装置の現状ならびに、日立製作所で新しく開発した電気浄油装置について記述したがこれを要約すると次のとおりである。

- (1) 現状ではろ過精度を良くしようとすると設備費および維持費がかさむのでろ過精度および、ろ過器の種類は経験的に決定されている。
- (2) 従来のろ過装置ではろ過効率がさほど良くなく、特に主フ

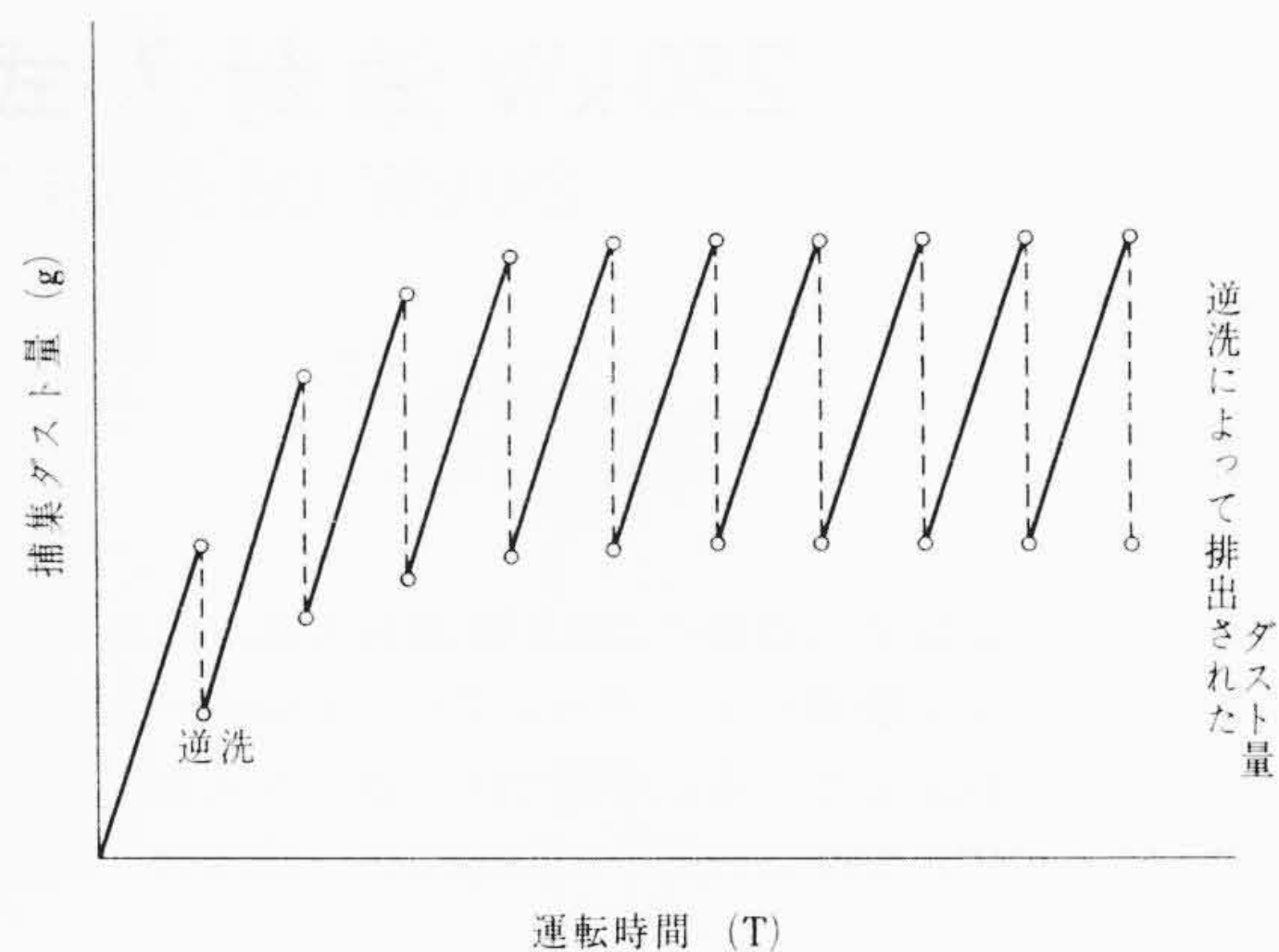


図11 連続運転時の捕集ダストならびに再生模様

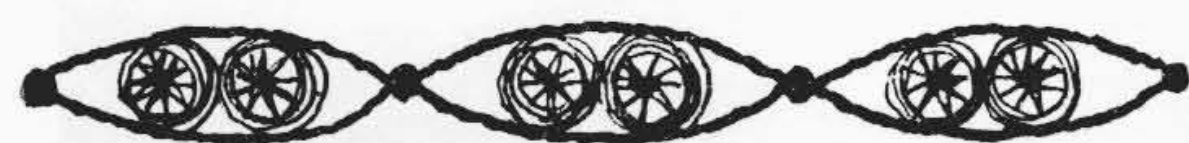
ィルタでは数%程度と考えられる。

- (3) 電気浄油装置の実用性が確認された。
- (4) 油中添加剤の挙動がろ過性能を左右する。すなわち高凝固点の添加剤はろ過性能を低下する原因となる。
- (5) 油中ダストの粒子状態およびダストの成分が確認された。

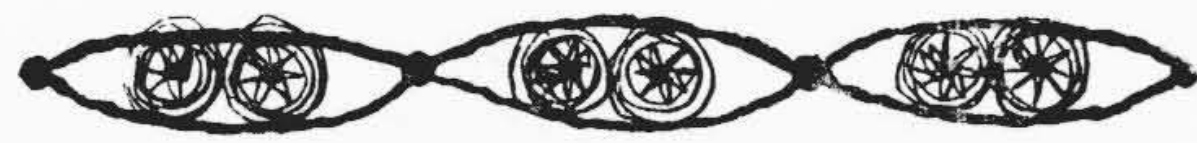
終わりにのぞみ、本研究の遂行にあたり終始ご指導を賜った山口大学工学部橋本清隆教授、ならびに関係各位に心から深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 出光興産株式会社：商品カタログ
- (2) P.W.Coffman：Iron & Steel Engineer (June 1960)
- (3) 竹山説三：電磁気学現象理論 p.121 (1958) 丸善



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第816452号

河 合 義 夫・大 鋸 英 五

自 励 式 交 流 発 電 機

この考案は自励式交流発電機の短絡時の発電機電流を任意の値に制限できるようにして、短絡時の保護を行なうとともに発電機の乾燥運転にもこの短絡電流を利用しうるようにすることを目的となされたものであり、図はその実施例を示す単線結線図である。図で1は発電機、2はその界磁巻線、3は負荷回路である。4は飽和変流器で負荷回路にそう入され、その出力は前期界磁巻線2へ負荷電流に比例した励磁要素を与える。4'はその飽和度を変えるための直流励磁巻線である。5は発電機電圧を励磁回路電圧に下げるための変圧器、6はリアクタ、7は整流器である。整流器7の出力は界磁巻線2に与えられる。8は周知の自動電圧調整装置で、変流器4の直流励磁巻線4'を付勢する。11, 12, 13は初期励磁を与えるための逆流防止整流器、可変抵抗、直流電源である。

しかし、発電機1の運転初期には界磁巻線2には電源13より一定の初期励磁電流が供給され、発電機1が電圧を確立するのを助け、いったん電圧が確立されたのちは変流器4、変圧器5より得られる励磁要素により運転が安定に継続されることは周知のとおりであるが、単にこれだけでは、たとえば負荷回路に短絡事故が発生した場合には電圧が低下するため自動電圧調整装置8の機能は失われてしまい、変流器4の飽和度が低下し、ますます短絡電流が増大することになる。このため本案では界磁巻線2に加えられる電圧を可変抵抗9、逆流防止整流器10を介して変流器4の直流励磁巻線4'に帰還することによってこの危険を防止し、さらには短絡電流を乾燥運転にも利用できるようにしたものである。本案の構成では界磁巻線2に供給される励磁電流の一部は抵抗9、整流器10を介して変流器4の直流励磁巻線4'に帰還されるから、短絡事故のため自動電圧

調整装置8が不動作になっても変流器4の与える励磁要素が異常に増大するということなく、かくして所期の目的を達することができる。
(福島)

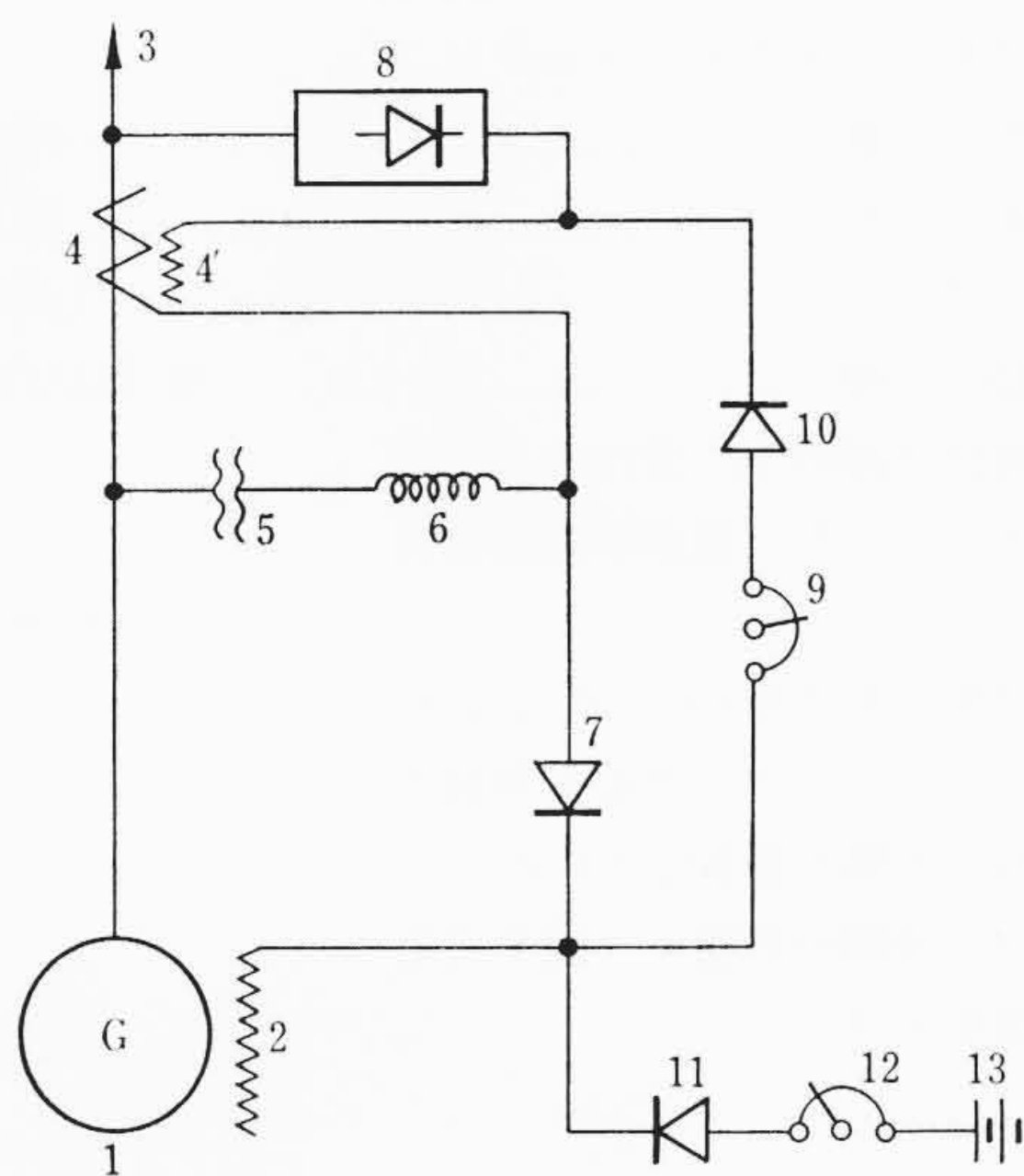


図 1