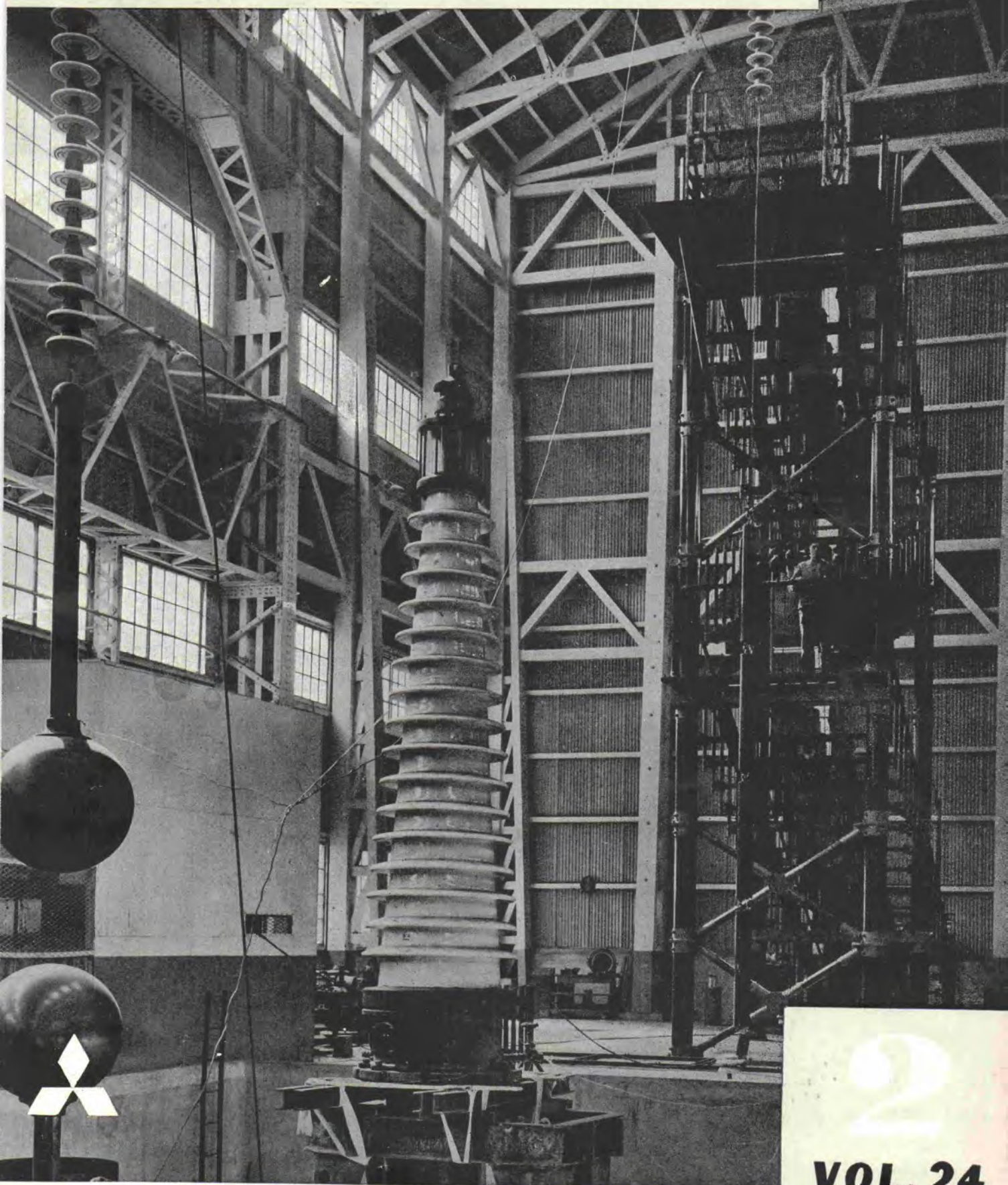


MITSUBISHI - DENKI

三菱電機



三菱電機株式会社

2

VOL. 24
1950



三菱電機

写真解説

VOL. 24 NO. 2

目次

電気機器劣化程度の判定について（誘電体損失の測定）	2
近畿日鐵 片山史雄 井原 新	
変圧器の衝撃電圧試験（1）	7
木村久雄 堀 眞幸	
電気用刷子の磨耗（1）	14
森田義男 前田利晴	
ロートロールの性能と應用	29
片岡高示 竹内眞一	
軸電流による軸受メタルの磨耗について	40
片山仁八郎	
「鑄鐵製グリッド」について	42
田中 敬一	

三菱電機株式会社

本社
東京都千代田区丸ノ内（丸ビル2階）
電話丸ノ内（3）334・19

施設部 千代田区神田鍛冶町3の3
電話神田（25）3338・3414・4207・4222・
5196・6040

大阪営業所 大阪市北区（阪神ビル内）
電話福島（45）5251・7. 2487

名古屋営業所 名古屋市中區廣小路通2の4
電話東（4）8 9・2338・4710・4711

福岡営業所 福岡市天神町（天神ビル内）
電話西 4480・4754・5091

札幌営業所 札幌市南1條西5の14
電話 3373・3911

仙臺事務所 仙臺市大町4の33
電話 仙臺 376

富山事務所 富山市安住町13の2
電話 4692・5273

廣島事務所 廣島市鐵砲町118
電話 中（2）1069

神戸製作所 神戸市兵庫區和田崎町

名古屋製作所 名古屋市中區矢田町

伊丹製作所 兵庫縣尼ヶ崎市南清水

長崎製作所 長崎市平戸小屋町

大船工場 神奈川鎌倉市大船

世田谷工場 東京都世田谷區池尻町

郡山工場 福島縣郡山市字境橋町

福山工場 福山市沖野上町

姫路工場 兵庫縣姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町91

中津工場 岐阜縣惠那郡中津町

岡岡工場 福岡市今宿青木690

札幌修理工場 札幌市北2條東12

研究所 兵庫縣尼ヶ崎市南清水

VOL. 24 NO. 3 内容豫定

超音波探傷装置について	豊田 準三 近藤 敬吉
連接々地試験	横須賀 正壽 安藤 安二
電気用刷子の磨耗（2）	森田 義男 前田 利晴
ラジオヒータによる蓄電器套管の乾燥について	馬場 文夫 渡邊 文敬 高木 明三

昭和25年6月20日印刷
昭和25年6月25日發行

『禁無斷轉載』
定價1部金30圓（送料6圓）

編輯兼發行人 吾郷 侃二
東京都千代田區丸の内2丁目3番地

印刷者 大橋 松三郎

印刷所 博文堂印刷所
東京都港區麻布竹谷町一番地

發行所
三菱電機株式會社内
「三菱電機」編輯部
電話丸之内（23）4151（9）
日本出版協會會員番號 213013

電 氣 機 器 劣 化 程 度 の 判 定 に つ い て (誘 電 體 損 失 の 測 定)

近畿日鐵技術局電気部

片 山 史 雄

近畿日鐵上本町營業局技術部

井 原 新

1. 序 論

吾々が變電所等において電気機器を保修する上に常に念頭を離れないことは、機器の劣化程度がどんな状態にあるかと云うことである。

吾々の経験では例外はあるが建設後約 15 年位はあまり問題はないようであるが、20 年位になると大修理を要する時期になったものとして色々不安を感じてくる。外から見える部分は点検を充分にやることで或る程度判定できるが、機器内部についてははたして引續き使用できるのか絶縁取替等の大修理を行わねばならないのか判定に苦しんでいる。これがある程度わかれば修理計畫もちた能率よく、事故を未然に防ぎ得るわけである。

當社の變電所機器は 20 年~30 年近く使用し事故も最近増加の傾向にあるので、一應その劣化程度を知りたく今回三菱電機各位の助力を得て當社中川變電所主要機器の判定を行つたものである。

次に測定器具の説明方法及び結果を述べる。

さて電気機器の絶縁の良否を試験するために損失角の測定は有力な一つの方法と考えられる。従来は主にメガーによる絶縁抵抗測定によつていたが、これは装置が簡單なので現場判定で専らこれだけで済ましていた。しかしこれだけの試験では不十分で折々不都合な事柄がある。

すなわち絶縁抵抗を測定して無限大の値を得てもその直後絶縁破壊したり、耐圧試験を施行すると不合格になつたりすることがある。目下のところ最も確實な方法とせられているのは誘電體損を調べることで、これは誘電體なる絶縁物に交流を流した時その内で消費される電力を云うもので E を誘電體に印加する電圧 I をその内に流れる電流 ϕ を E と I との相差角とすればこの誘電體損は $EI \cos \phi$ にて表される。これをまた $EI \sin \delta$ で表わす。ただし $\delta = 90^\circ - \phi$ しかるに $\delta \approx \theta$ なれば $\sin \delta \approx \tan \delta$ としてもよい。

ここで絶縁物は誘電體損が少ない。すなわち $\tan \delta$ が小さいほど良いのである。さてこの $\tan \delta$ を測定する方法であるが 1. Schering bridge によるもの、2. 眞空管

を用いた相差計によるもの、3. 電力計を用いるもの等がある。このうち 1. は実験室内で使用されるもので現場ではもち論、日常標準品の試験には用いられなかつた。2. は眞空管を用いる點及び電壓變動の影響が大きい點等で現場や工場では不便が多く、3. は電力計の低力率で使用するため誤差が多かつた。

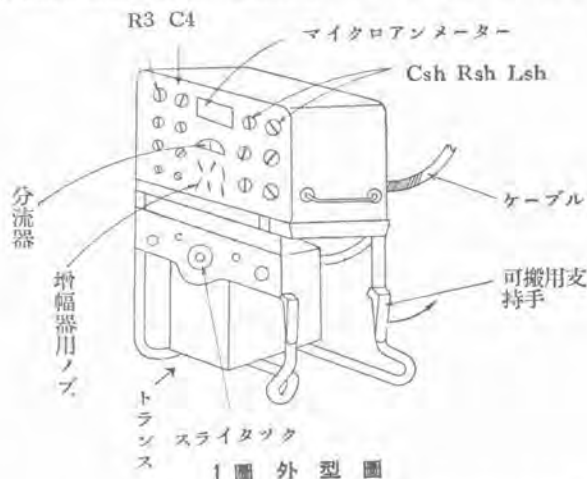
この外に最近に出来たもので力率計を改良して低力率に使えるようにしたものがあるが、これは静電容量の非常に小さい、例えば套管等には無効進電流が少なくて計器を十分に振らせることができない缺點がある。

以上の缺點を補正してなお Schering Bridge による程度の正確さを得られる逆 Schering Bridge ができ、これを使用して現場で套管を始め變壓器等の損失角 $\tan \delta$ を測定したのでこの結果を報告する。先ず順序としてこの Bridge の構造原理を略述する。

2. 誘電體ブリッジの概要

套管、變壓器發電機巻線及び静電蓄電器の力率を現場にて測定するためにつくられたもので、外形は 1 圖に示す。これは圖示の如くブリッジ本体電源部ケーブルの三部よりなる。

ブリッジ本体の中にはブリッジ回路、遮蔽回路及び標準空氣蓄電器がある。電源部はブリッジ本体の下にあり



13.8 KV/120 V 変圧器電圧をかえる単捲変圧器及び開閉器等がある。セットの大きさは巾 0.75 m 横 0.5 m 高さ 1.3 m でブリッジ本体と電源部はケーブルで接続され個々に運搬される。この装置は普通の注意を拂えば損傷はなく汽車または自動車で輸送できる。

ブリッジの回路、結線圖に示すように手動の可變型抵抗器 (R_3) 可變型蓄電器 (C_4) 遮蔽平衡制御器 (Lsh Rsh Csh) 及び検出用計器 (G) よりなり大地に對して試験電圧だけ高い電位にある金屬函の中に收められる。この函は更に接地された金屬の函につつまれている。この二つの函にて圍まれる空間は標準空氣蓄電器を作るために利用され、表面と背面とは保護環 (カードリング) の作用をする。表面盤のつまみは絶縁された軸にて各器具につながれ、被試験物の高壓の端子をセットにつなぐための試験用ケーブルは二重遮蔽を有し、中心に近い遮蔽は遮蔽平衡制御器につながれブリッジ回路より遮蔽への損失を消去するようになっている。検出用計器は増幅器付マイクロアンメータで、外部に現われた部分は大地と蓄電位で少しも危険がない。

3. 測定法

套管試験に際して油入遮斷器の場合は先ず開路し、變壓器の場合は巻線と套管との間を離し何れも母線と切離

標準空氣蓄電器の靜電容量は工場においてそのセットに付き正確に測定し運搬中変化のないよう間隔片を挿入する。ただし設計値は $165 \mu F$ である。

被試験物の靜電容量が $0.0045 \mu F$ 以上の場合は R_3 の分流器を使用すること。

ついでに誘電體損失は $W = E^2 2\pi f C \cos \theta$ で計算できる測定範圍、最高の測定電壓は 12.8 KV で以下單捲變壓器を順次電壓を變えうる。

最大の可測容量は $1.92 \mu F$ 最少のそれは (0~ で $39.5 \mu F$ 50 cy $47.5 \mu F$ である。

次に誘電體力率の測定範圍は 0.1% 位から 31.1% まで測り得る。

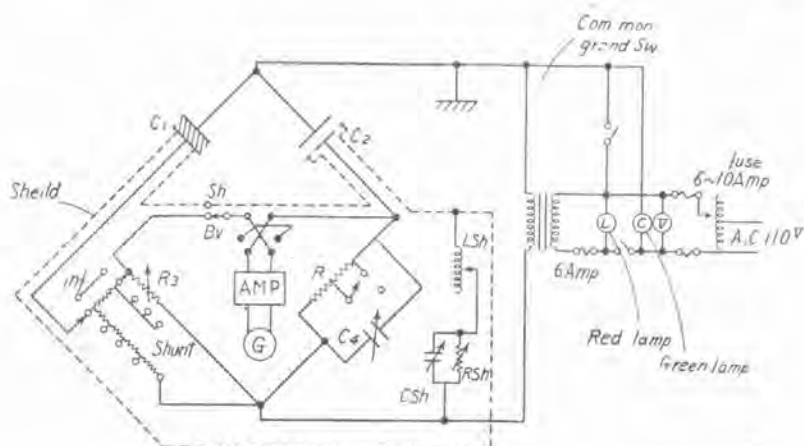
使用上の注意、ブリッジは雲母板のアレスター可熔片の二つの保護装置がある。被試験物が絶縁破壊した時は兩方の保護装置は同様に働く、その時は雲母板を豫備品とかえる必要がある。この時操作する人はつまみ及び前面機は全部接地されているから安全である。外部磁界による誘導誤差は検出回路の方向を切換えて平衡を取り、値のある平均を求めることにより除かれる。

4. 現場における實測の結果

24 年 12 月 18 日より 23 日までにわたりて近畿日鐵の中川變電所において套管變壓器及び迴轉變流器の損失

C_1 = 被試験物
 C_2 = 標準空氣コンデンサー $= 165 nF$
 $R_1 = 0 \sim 1111.1 \Omega$
 $R_4 = 2(5.5 \Omega (60 \sim) 318.5 \Omega (50 \sim))$
 $C = 0.001 \sim 31.111 nF$

2 圖 結 線 圖



して測定する。装置より出ているケーブルを套管の頭部に引掛け電源部を操作し高壓を印加し C_4 R_3 を動力し平衡をとる。

しかるのち遮蔽回路に切換え平衡をとる。非常に正確を要するのでなければ零の位置に置き、二重平衡を採らなくてもよい。ブリッジ平衡の場合は次式はより被試験物の靜電容量 (C) 量電體力率が算出される。

50~ の場合は $R_4 = 318.8 W$ 60 cy の場合は $265.5 W$ に切換える

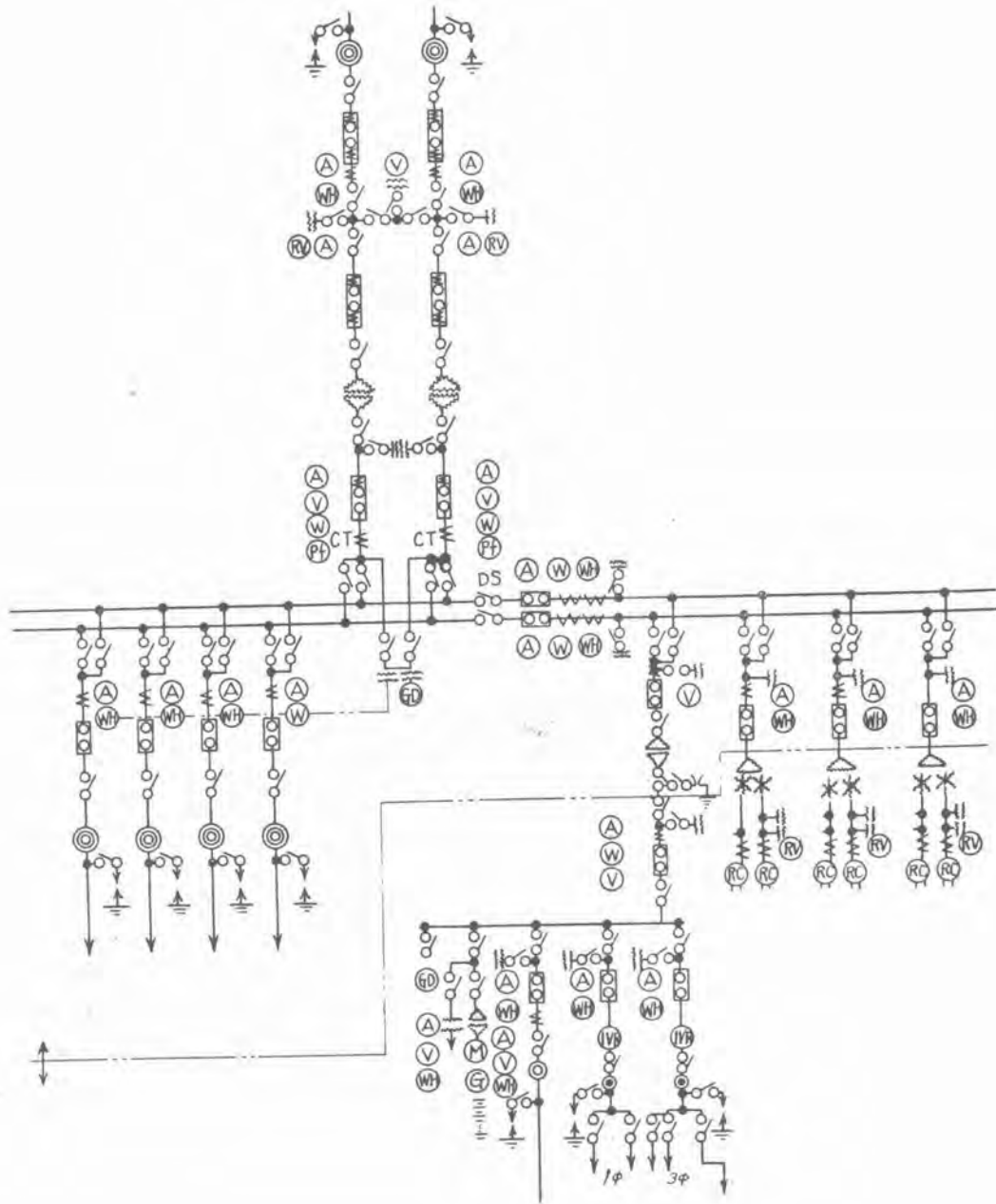
$$\begin{aligned} \text{被試験物靜電容量} &= C_1 = C_2 \times \frac{R_4}{R_3} - C_2 \times \frac{265.5}{R_3} (60 \text{ cy}) \\ &= C_2 \times \frac{318.8}{R_3} (50 \text{ cy}) \end{aligned}$$

角を測定した。ここにその實測値を報告する。

先ずこの變電所の單線結線圖を示せば 3 圖の如し

すなわち 70 KV にて受電し 3000 KVA の變壓器 6 台にて 30 KV に降壓し、その一部を他の變電所に送電し残りを更に迴轉變流機用變廻器にて 550 V に降し 2,000 KW. 1,500 V の迴轉變流機を 3 台動かしている。套管の損失角値

以下に報告するのは油入遮斷器に使用せられている套管で本体に取付けたまま測定した。なお 70 台は 70KV 用のもの 30 台は 30 KV 用のものを示す。また測定電壓は 10 KV の (0~ 交流電壓を以てした。



3 圖

機器	番號	温度	靜電容量	損失角	製作者	型	機器	番號	温度	靜電容量	損失角	製作者	型
OCB 71	1	11°C	184 μ F	1.8%	A社	蓄電器	OCB 36	1	11°C	110	14.2	B社	コムパ ウインド
	2	"	171	3.1	"	"		2	"	59	4.31	"	"
	3	"	177	1.5	"	"		2	"	59	4.1	"	"
	4	"	186	1.7	"	"		2	"	59	3.9	"	"
	5	"	172	2.0	"	"		2	"	59	3.9	"	"
	6	"	157	3.2	"	"		2	"	59	4.2	"	"
OCB 72	1	8°C	190	1.0	"	"	OCB 37	2	"	59	4.1	"	"
	2	"	200	0.9	"	"		2	"	59	4.4	"	"
	3	"	196	1.6	"	"		2	"	59	4.65	"	"
	4	"	193	2.3	"	"		2	"	59	5.0	"	"
	5	"	200	0.9	"	"		3	"	62	8.3	"	"
	6	"	225	4.0	"	"		4	"	106	11.2	"	"
OCB 73	1	11°C	196	1.0	"	"	OCB 38	5	11°C	61	6.0	"	"
	2	"	194	0.7	"	"		6	"	58	4.65	"	"
	3	"	192	0.98	"	"		1	"	84	14.0	"	"
	4	"	192	1.1	"	"		2	"	112	11.2	"	"
	5	"	193	1.0	"	"		3	"	117	15.6	"	"
	6	"	191	0.91	"	"		4	"	106	9.1	"	"
OCB 74	1	9°C	205	3.2	"	"	OCB 39	5	"	124	16.9	"	"
	2	"	201	1.8	"	"		6	"	121	8.6	"	"
	3	"	207	3.6	"	"		1	"	120	16.2	"	"
	4	"	190	3.1	"	"		2	"	69	16.2	"	"
	5	"	188	1.0	"	"		3	"	80	22.5	"	"
	6	"	190	2.0	"	"		4	"	77	16.2	"	"
OCB 31	1	11°C	169	5.6	"	"	OCB 40	5	"	76	18.8	"	"
	2	"	172	2.5	"	"		6	"	138	25	"	"
	3	"	159	2.2	"	"	OCB 41	1	13°C	152	2.1	A社	蓄電器
	4	"	159	3.0	"	"		2	"	153	2.3	"	"
	5	"	175	3.0	"	"		3	"	136	3.8	"	"
	6	"	164	3.6	"	"		4	"	154	2.2	"	"
OCB 32	1	15°C	154	2.0	"	"		5	"	180	1.2	"	"
	2	"	177	3.0	"	"		6	"	160	4.0	"	"
OCB 33	1	11°C	161	14.2	B社	コムパ ウインド	OCB 42	1	11.5°C	164	5.3	"	"
	2	"	120	17.4	"	"		2	"	166	10.8	"	"
	3	"	112	15.3	"	"		3	"	163	5.7	"	"
	4	"	109	19.6	"	"		4	"	166	7.6	"	"
	5	"	120	17.4	"	"		5	"	166	6.7	"	"
	6	"	66	11.3	"	"		6-2KV	"	166	5.9	"	"
OCB 34	1	"	109	12.8	"	"		6-4	"	166	5.9	"	"
	2	"	112	12.1	"	"		6-6	"	166	5.9	"	"
	3	"	63	10.8	"	"		6-8	"	166	5.8	"	"
	4	"	106	16.2	"	"		6-10	"	166	4.9	"	"
	5	"	115	19.0	"	"		6-8	11.5°C	165	5.4	"	"
	6	"	60.5	5.2	"	"		6-6	"	166	7.0	"	"
OCB 35	1	"	58	5.65	"	"		6-4	"	166	7.3	"	"
	2	"	59	4.2	"	"		6-2	"	166	7.5	"	"
	3	"	57	2.7	"	"	OCB 43	1	13°C	166	10.8	"	"
	4	"	60	3.7	"	"		2	"	166	10.0	"	"
	5	"	95	14.3	"	"		3	"	171	9.9	"	"
	6	"	92	10.7	"	"		4	"	171	10.2	"	"

機器	番號	溫度	静電容量	損失角	製作者	型
OCB 42	5	〃	180	10.8	A社	蓄電器
	6	〃	177	7.1	〃	〃
	1	〃	160	5.0	〃	〃
	2	〃	180	6.3	〃	〃
	3	〃	162	7.7	〃	〃
	4	〃	154	2.7	〃	〃
	5	〃	154	3.0	〃	〃
	6	〃	156	2.4	〃	〃

豫備套管						
No. 1	12°C		142	5.5	A社	蓄電器
No. 2	〃		28.3	3.1	B社	コンパウンド

損失角 tan %	1	1.2	2.3	3.4	4.5	5.6	6.7	7.8	8.10	10以上	計
A社中川 70KV 蓄電器	6	9	3	5	1						24
30KV 〃 舊			5	6	3	5	2	3	1	6	31
30KV 〃 新			2								2
B社中川 30KV C 舊			1	2	2	2	1		3	26	37
C社中川 30KV 〃 舊										1	1

変 壓 器

3,000KVA, 77.0KV/33.0KV, A社製 (1929年)											
A20°C			B20°C			C9°C			D13°C		
E13°C			F13°C			F13°C			F13°C		
HE	μF	tana	μF	tana	μF	tana	μF	tana	μF	tana	μF
	1,700	0.05	1,670	0.03	1,700	0.4	1,740	0.8	1,760	0.6	1,760
HL	2,170	0.07	2,170	0.03	2,170	0.3	2,170	0.6	2,170	0.55	2,170
LE	2,350	0.3	2,350	0.63	2,350	2.0	2,350	1.3	2,490	0.8	2,480

變 壓 器

2,100 KVA, 33,000/550V 油入自冷式 B社 1929 年											
No.1 19°C			No.2 22°C			No.3 14°C					
HE	μF	tana	μF	tana	μF	tana	μF	tana	μF	tana	μF
	2,350	1.3	2,490	1.5	2,450	0.03					
HLE	2,250	1.9	2,450	1.55	2,580	0.05					
LE			32,500	3.3 (但しケーブル入り)							

變 壓 器

100KVA, 33KV/.3KV 1929年 B社											
No.1	530μF	8%	No.2	515μF	6%	No.3	494μF	3%			

變 流 器 70KV, (8—13°C)

	A社	A社	E社	E社		
μF	282	3.4	100	90	295	278
tan α %	2.2	7.1	2.7	4	4.2	5

計器用變壓器 70KV/110V

μ	A社	A社	A社	A社	A社	A社	B社
μF	2.4	174	643	655	680	668	285
tan α %	31	31	2	2.5	3.4	2.3	2.7

變 流 器 30KV

μ	A社	A社	A社	A社	B社	B社	B社	B社	B社	B社	B社
μF	126	117	160	133	114	119	164	116	125	174	170
tan α %	18	1.0	24	16	12	12	17.5	11.7	8.2	23.6	17
μ	B社	B社	B社	B社	B社						
μF	148	1.9	144	136	142						
tan α %	23	28	22	22	23						

計器用變壓器 30KV/110V

μ	A社	A社	A社	A社	B社	B社	B社	B社	B社	B社	B社
F	396	400	337	330	364	367	355	333	320	313	302
tan %	20	31	8.9	7.0	6.7	11.1	15	7.8	7.7	6.7	7.0

油

劣化油	tan δ	31%			
良油	溫度	13°C	55	81	99
	tan α %	0.2	1.9	7.0	16

廻轉變流機 2,000KW 1,500V B社製 1929年

第1號機 18°C 第2號機 32°C 第3號機 18°C											
H. Arm.	31,800	μF	5.5%	50,000	μF	6.1%	2,500	μF	2.6%		
L. Arm.	33,500		9.8	33,500		9.6	33,600		1.9	卷替	
H. Field			3,870		2.7	3,820		1.9			
L. Field			2,530		5.8	3,700		1.5			

5. 實測値に對する考察

油入遮断器に使用されている套管は損失角を20°Cに換算して4%以下ならば良いとされているが、色々問題があり一應これを基準にして判定した。電壓70KV用はほとんど良いが、30KV用のものには大分劣化しているものがある。ことにコンパウンド充填型のものにおいては正に破損一步手前と思われるものも見受けられる。

なかで測定電壓を変更したものがあるが、電壓を上げて行つた時の損失角と電壓を下げた時の値とが一致せず、しかも後の方が大きくなつてゐるものは餘り感心できない。

變壓器の方は3,000KVA及び2,100KVAのものは劣化の様子は見えないが、100KVAの變壓器と變流器ならびに計器用變壓器には甚しく劣化しているものが見られる。ただしこのときは套管と線輪とを一所にして測定している。かつ良否判定の基準は米國では4%位にいてゐるようであるが、いまだ少し樂にしても良いのではないか。例えば6%位としたいと思う。

餘り悪いので油の影響かも知れぬので油をとつて損失角をみたが、果して悪く31%というのもあつた。これでは一應油を淨化する必要がある。

次に廻轉變流機は良否判定の基準を暫定的に10%とされているので未だ使用差支えはないが、かなり劣化しているものもある。

さすがに第3號機は巻きかえただけに損失角も少なくなつた。

最後に測定に當り多大の御世話になつた中川變電所所員各位に深謝する次第である。

變 壓 器 の 衝 撃 電 壓 試 験 (1)

本稿は昭和 24 年 11 月電氣學會専門講習會において同じ題の下に講演し、同録稿として發表されたものを電氣學會の了解を得て多少筆を加えていわゆる「補講」の形で發表するものであつて變壓器の衝撃電壓試験に關して一般にその趨勢、意義、方法等について記述すると共に當社における現在までの種々の試験結果を報告したものである。

本社電力技術課長
工 學 博 士

伊丹製作所検査課

木 村 久 男
堀 眞 幸

1. 緒 言

變壓器は送電線に接続され絶えず雷その他に基因する異常電壓の襲來を受けその絶縁強度は單に常規周波数の電壓に對して考慮するだけでは充分でない。

この現象は相當古くから知られていたことであつてこれに對して線端子附近の巻線間絶縁を強化することは高壓變壓器の出現の初期から經驗的に行われて來ており既に 1902 年英國特許公報にこれに關する記載を見ることが出来る⁽¹⁾。またこの現象の理論的研究は今世紀の初め頃から獨逸、米國、日本において、Wagner, Bohne, Blume, Boyajian, Weed, 鳳, 鯨井, 西 鳥養, 等の諸氏によつて次第に推し進められると共に 1925 年陰極線オシログラフの發明以來雷の實測が盛んに行われてその實體が究明せられてきた。かくして變壓器を襲う衝撃電壓の實體及び巻線間の電位分布電位振動等が明らかにせられその對策が進展せしめられるに従つてその衝撃電壓試験を実施する必要が生じてくる。

一方これと共に、1924 年頃から米國において送電系統の絶縁協調の問題が盛んに論ぜられ先ず系統の基礎絶縁レベルとして 50% 内絡電壓を基準とする考え方から出發し次いで耐電壓を考える方向に移行した。變壓器の衝撃電壓試験はこの絶縁協調問題と切り離して考えることはできないのであつて先ず系統の絶縁に對するいわゆる協調間隙を基礎として試験間隙を定めこれを試験電壓の基準とする方法が採られた。後に測定技術の發達と共に耐電壓は數値で表わされる様になつた。1 表第 2 列は 1937 年米國絶縁協調委員會によつて發表された 0% 内絡値に基づく絶縁レベルであつて第 3 列は閃絡電壓から耐電壓に移行することにより第 2 列の値から 5% 低減したものであり第 4 列はこれを整理して 1940 年發表され

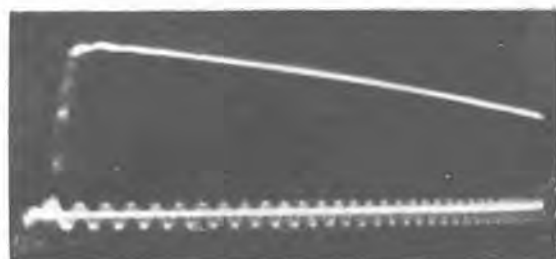
1 表

關係電壓階級 (KV)	1937年定義に よる BIL (KV)	同左(5%減) (KV)	1940年定義に よる BIL (KV)
1.2	32	30	30
2.5	53	50	45
5.0	63	60	60
8.66	80	76	75
—	—	—	95
15	100	95	110
23	150	143	150
34.5	190	180	200
46	250	238	250
64	360	342	350
92	470	447	450
115	570	542	550
138	680	646	650
161	790	750	750
196	950	903	900
230	1100	1050	1050
287	1360	1300	1300
345	1620	1550	1550

たものであつてその後この線に沿つて多少の改訂が加えられてきた。ここに關係電壓階級と同一の數値の定格電壓を有する機器の衝撃電壓に對するレベルは必ずしも表中のレベルにある事は要しないのであつてレベルの決定ということと機器のレベルを如何に選ぶかということとは別問題である。

また實際上變壓器を襲う衝撃波は

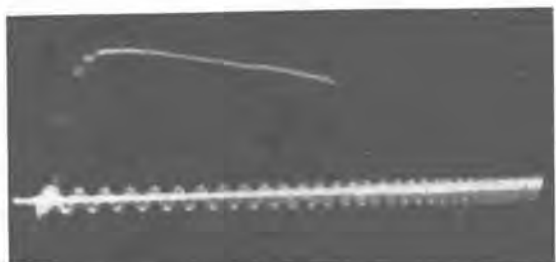
1. 内絡されることなく相當距離送電線を傳つて侵入する場合
2. 變壓器に直接または非常に近く落雷してその波頭が急峻に上昇して變壓器の套管または避雷器によ



(a)
全波

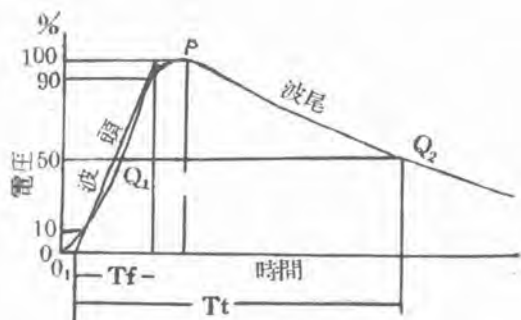


(b)
急峻波
頭波

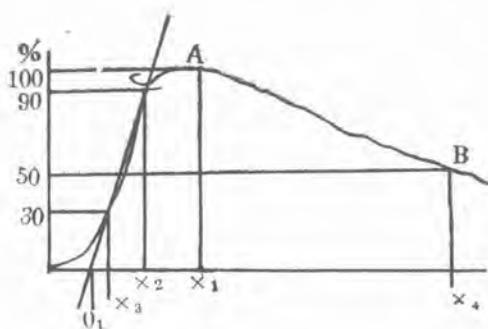


(c)
截断波

1 圖



(a)



(b)

2 圖

2 表 (a)

絶縁階級 (號)	全波電壓 (KV)	截断波電壓 (KV)
3 S	20	25
3 {	A	45
	B	30
6 {	A	60
	B	45
10	90	105
20	150	170
30	200	230
40	250	290
50	300	340
60	350	400
70	400	460
100	550	630
140	750	870
200	1050	1210

(a) 註 1

3 S は中古品
に對する値を
示す。

(b)

絶縁階級 (KV)	油入 500 KVA 以下			油入 500 KVA 以上		
	截断波		全波	截断波		全波
	波高値 (KV)	内絡最 小時間 (μ.S)	波高値 (KV)	波高値 (KV)	最小内 絡時間 (μ.S)	波高値 (KV)
1.2	36	1.0	30	54	1.5	45
2.5	54	1.25	45	63	1.5	60
5.0	69	1.5	60	88	1.6	75
8.66	88	1.6	75	110	1.8	95
15	110	1.8	95	130	2.0	110
25.0	135	3.0	150	175	3.0	150
34.5	230	3.0	200	230	3.0	200
46.0	290	3.0	250	290	3.0	250
69.0	400	3.0	350	400	3.0	350
92	520	3.0	450	520	3.0	450
115	630	3.0	550	630	3.0	550
138	750	3.0	650	750	3.0	650
161	865	3.0	750	865	3.0	750
196	1035	3.0	900	1035	3.0	900
230	1210	3.0	1050	1210	3.0	1050
287	1500	3.0	1300	1500	3.0	1300
345	1785	3.0	1550	1785	3.0	1550

つて急激に截断される場合

3. 送電線を傳播途中碍子等の閃絡によつて波尾で截断される場合

等によつて 1 圖 (a), (b), (c), の如くその波形波高値は種々であつてその凡ゆる場合を漏れなく考慮に入れて設計しこれ等に對する絶縁強度を一々試験によつて確かめることは到底できない。ここに實際上試験規準を規格として決定するの必要を生じる。

2. 我が國及び米國における試験規格 (2)-(1)

我が國においては最初この方面の施設が貧弱であり資料も少なかつたので大體において米國の例に倣ひ昭和10

年 11 月変圧器衝撃電圧試験調査に関する委員会が組織されて試験規格の作成に着手して以来幾多の論議と経験とを重ね昭和 19 年現行の規格として衝撃電圧試験⁽⁴⁾、衝撃電圧測定法⁽⁵⁾、変圧器衝撃電圧試験⁽⁶⁾、を發表するに至つた。その概要を米國規格⁽⁷⁾と改較しつつ述べると

1. 標準波形

$[(1 \times 40) \mu S]$ を採用しその波頭及び波尾長は 2 圖 (a) に示す T_f 及び T_r によつて定義する。

極性についてはこれを正極性に限る絶體的な理由はなくむしろ實際の雷には負極性のものが多いということもいわれているが衝撃電圧に関する資料は正極性に關するものが多くこのために正極性と決定せられている。

米國においては $[\pm (1.5 \times 40) \mu S]$ を採用し波頭としては 2 圖 (b) に示す様に $0.3 E$ と $0.9 E$ とを結ぶ線が時間軸と交わる點を時間の規約零點とし波頭長はこの兩點間の時間の 2 倍すなわち $2x_2x_3$ を取つている。

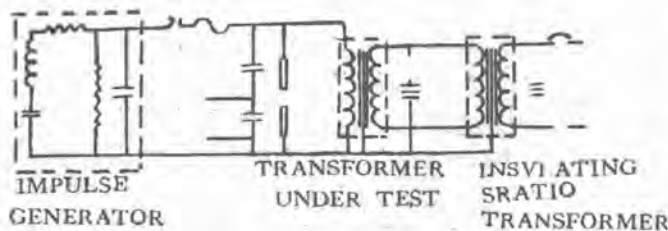
2. 衝撃電壓波高値

兩者の値を 2 表 (a) 及び (d) に掲げる。

3. 試験項目

一端接地 (全波及び截斷波各 1 回) 及び非接地 (全波 1 回) 試験を行いこの場合前試験においては供試變壓器の對地絶縁が印加衝撃電壓に耐えることを確かめる以外に巻線各部絶縁が衝撃電壓の印加により巻線内部に生起する電位振動に基ずく異常電位傾度に耐えることを確かめることを目標とし全波試験は内部電位振動を充分發展せしめることを主眼としているに對して截斷波試験は急峻な電位變化により電壓印加端子附近の巻線に沿ひ電位傾度を集中して課することを目標としている。また後の試験においては巻線内部に生起する電位振動によつて生じる印加電壓より高い對地電壓に對して巻線の絶縁及耐えることを確かめる一方この電壓によりたとえ中性點端子が内絡を來すことがあつてもその附近の巻線が損傷しないことを確かめることを目標としている。

米國においては截斷波を 2 回印加した後に全波を 1 回印加する。そしてこの衝撃電壓試験中變壓器は定格電壓定格周波數で勵磁し衝撃電壓は反對極性の波の、波高値の 30° 以内の範圍内で印加することを原則としている。この交流重疊の方法に關しては米國內においても相當の論議がありこの廢止を主張している者もある⁽⁸⁾⁽⁹⁾、この方法を採用した場合の回路圖の一例を示すと 3 圖の様で



3 圖

4 圖



あつてその主な欠點として

1. 勵磁の効果の少ないことすなわち余程特殊の事情のない限り衝撃電壓によつて損傷された通路を流れることがない。
2. 試験を複雑にする爲試験結果の判定に混亂を起させる。例えば保護用避雷器の動作によつて印加波形に 4 圖の様な變化が起りこれが内部破壊の判定を混亂せしめる場合がある。
3. 電壓分壓器として通常抵抗分壓器が利用されず容量分壓器を用いねばならないがこれによつて測定に振動が入り不正確となり易い。

等の點を擧げることができ、最近では米國でも無勵磁で試験することを許される様試験規格を改められた。

3. 衝撃電壓試験の方法

1. 豫備試験

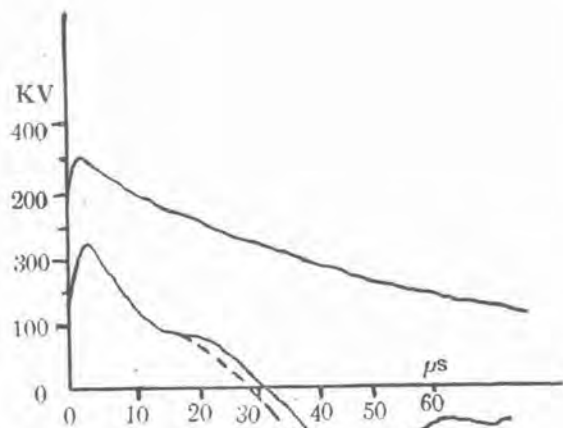
ア. 過渡現象直視装置による測定

正規試験を実施する前に通常過渡現象直視装置によつて各試験項目に對する波形電壓變動率電位振動等を測定し併せて衝撃電壓發生器の回路常數を決定する。

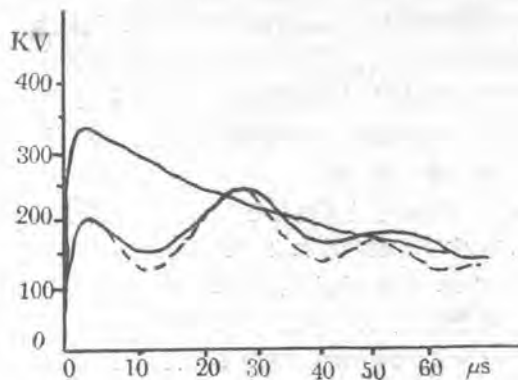
當所における從來の測定結果によると過渡現象直視装置による測定と正規試験の測定とは波形電壓變動率等においてかなり一致する結果を示しており兩者の波形の一例を示すと 5 圖の様である。同圖は 50,000 KVA 單相 220 KV 外鐵型變壓器の試験の際の結果を示すもので兩者の波高値をそろえて比較したものであつて (a) 及び (b) は低壓側 (44 KV) 印加 (c) 及び (d) は高壓側 (220/ $\sqrt{3}$ KV) 印加の一端接地及び非接地の各場合を示すもので實線は正規試験、點線は過渡現象直視装置による結果を示したものである。

イ. 電壓變動率の決定

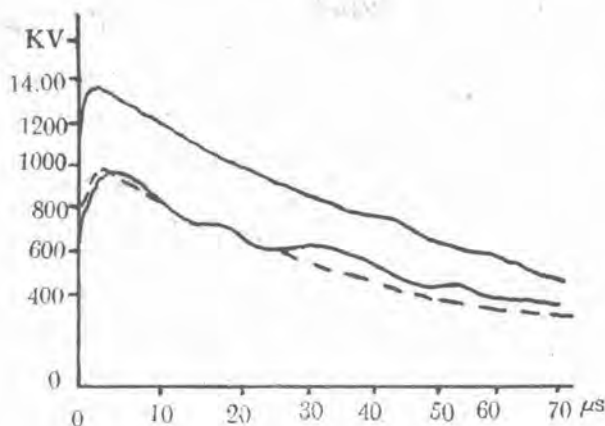
衝撃電壓發生器に供試變壓器を接続した場合の印加電壓はこれを接続しない場合の發生電壓とは異なるが供試變壓器に繰返し試験電壓附近の衝撃波を印加することは好ましくなくただ 1 回の電壓印加で所定の電壓値を得る様に整定しなければならない。このためには衝撃電壓發生器の充電電壓と發生電壓が直線的關係にある場合には試験電壓波高値の 50% 程度の低減電壓における測定値を直線的に延長して外挿法によつて充電電壓を決定する。當所において行つた 3 相 115 KV 12,000 KVA 變壓器の電壓變動



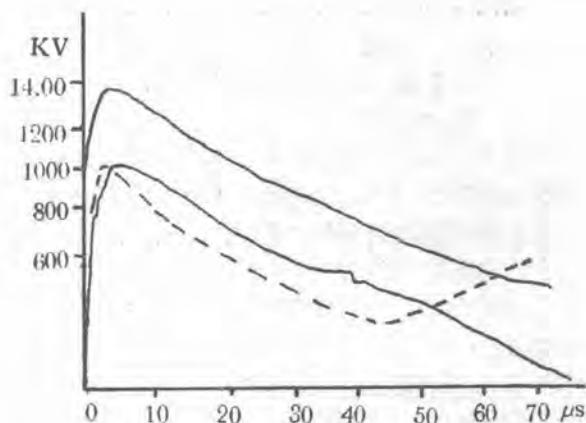
(a)



(b)



(c)



(d)

5

3 表

項 目	充電電圧 (KV)	無負荷発生電圧 E_0' (KV)	変圧器印加電圧 E' (KV)	E_0'/E_0 (%)	直視装置による E'/E_0 (%)	所要充電電圧 (KV)
高圧非接地	11	446	356	80.0	76.3	16.6
高圧接地	11	446	391	88.2	90.0	14.8
低圧非接地	9	82	74.5	91.0	85.0	12.4
低圧接地	9	82	7.22	88.0	75.6	16.6

率測定の場合を示せば3表のようになる。直線的関係が不確実な場合には試験電圧波高値の50%以上の低減電圧において前表 E' 及び E_0' を測定し、試験電圧波高値を E として

$$E_0 = E \times \frac{F_0'}{E}$$

なる無負荷電圧波高値に對應する衝擊電壓發生器の充電電圧を求めて決定する。

2. 試験器具及び測定器具回路

ア. 衝擊電壓發生器

現在衝擊電壓試験に使用されている衝擊電壓發生器は

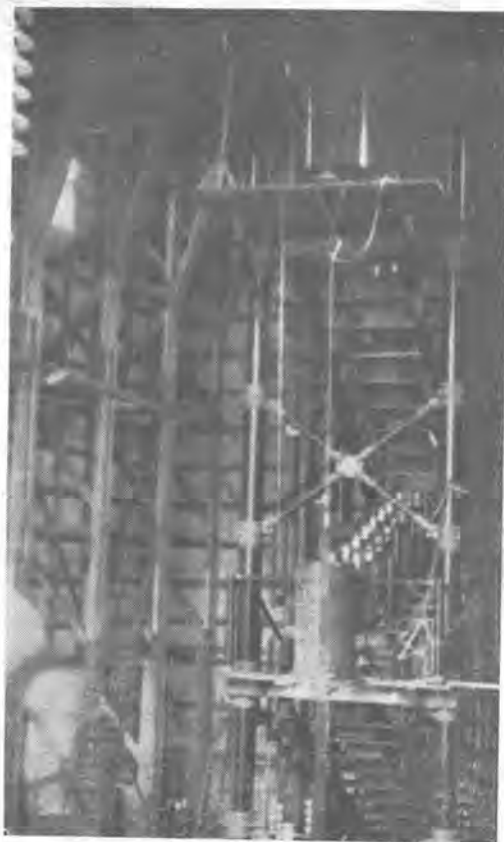
4 表

施設場所	最高電位 (KV)	最大エネルギー (KWS)	全容量 (μF)	蓄電器			充電方式
				個數	1個の耐圧 (KV)	1個の容量 (μF)	
三菱 同研究所 日立 東芝 同研究所 富士	3,600	52.5	0.0083	30	120	0.25	直列
	2,000	20	0.01	20	100	0.2	直列
	3,000	56	0.0125	40	75	0.5	直列
	1,750	12	0.008	28	75	0.22	直列
同研究所 富士	3,000	45	0.01	96	75	0.22	直列
	2,400	36	0.0125	24	100	0.3	直列

専ら多數個の蓄電器を高抵抗を通じて充電し火花間隙を通して直列に放電させる多段式發生器であつて我が國における主な電機製作所の發生器を示すと4表の様である。6圖に當社における發生器を示す。

イ. 測定器具

電壓波高値測定器としては球間隙、棒間隙、衝擊波高電壓計等があるが波形波高値の判定と共に故障檢出の方法として専ら陰極線またはブラウン管オシログラフが用いられている。この外當所においては電壓測定用としてクリドノグラフを、故障檢出としてコロナ試験器を併用して好結果を得ている。



6 図

ウ. 測定回路

オシログラフを用いて電圧を測定する場合分圧器を挿入する必要があるが、これによつて被測定現象の變化が少なくなることが必要であると共に、測定回路は試験電圧を忠實にオシログラフに記録する様細心の注意を要する。この場合誤差の原因となるものを列挙すると

1. 分圧器に基づくもの
2. 発生器よりの誘導によるもの
3. 大地電位の浮動によるもの
4. 測定回路中の往復反射
5. オシログラフ自体によるもの

等がある。

分圧器としては

1. 容量分圧器
2. 抵抗分圧器
3. 補償抵抗分圧器
4. 組み合わせ分圧器

等が用いられる。

容量分圧器は急峻な波形の現象に対して波形の變歪が少なく、また交流電源を重疊した場合にはこの分圧器を使用する必要を生じる。

抵抗分圧器は實際の測定上最も一般に用いられているものであるが測定する電圧が高い場合内絡を避けるため抵抗の長さが相當長くなり集中抵抗として働かず抵抗自体のインダクタンスと大地間の容量の影響を受けて電壓波形が變歪する。このため抵抗は無誘導とすると共に大

變壓器の衝撃電圧試験 (1)・木村・堀

地間容量の影響を考慮しなければならないのであつて、7 圖の様に大地間の全容量を C_g とし a 端子より矩形波 E が侵入した場合の ab 間の電圧は

$$e \approx \frac{R_2}{R_1} \left[1 + 2 \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \varepsilon^{-\frac{m^2 \pi^2}{C_g R_1} t} \right]$$

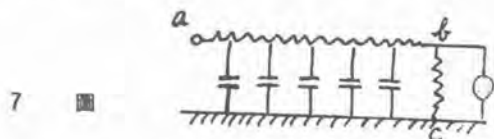
となり $E_t = E(\varepsilon^{-\alpha_1 t} - \varepsilon^{-\alpha_2 t})$ が侵入した場合には

$$e \approx \frac{R_2}{R_1} E \left(\varepsilon^{-\alpha_1 t} - \varepsilon^{-\alpha_2 t} \right) + \frac{R_2}{R_1} E 2 \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \left[\frac{d_1}{\alpha_1 - \frac{\pi^2 m^2}{C_g R_1}} (\varepsilon^{-\alpha_1 f} - \varepsilon^{-\frac{\pi^2 m^2}{C_g R_1} f}) - \frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \frac{\pi^2 m^2}{C_g R_1}} (\varepsilon^{-\alpha_2 f} - \varepsilon^{-\frac{\pi^2 m^2}{C_g R_1} f}) \right]$$

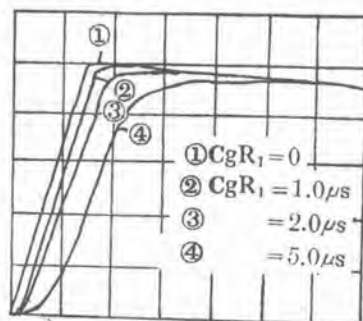
となり ($1.5 \times 40 \mu S$) の衝撃波に対する C_g の影響を 8 圖に示す。このために $R_1 C_g$ の値を $2 \mu S$ 以下にすることによつて波形の變歪を殆んど無いとみて差支ない程度にすることができる。

またこの静電容量の影響を除くため、調整電極及び遮蔽抵抗器を用いたり遮蔽電極を用いる等の方法によつて種々の補償抵抗分圧器が考えられるが未だ我が國では餘り使用されていない。

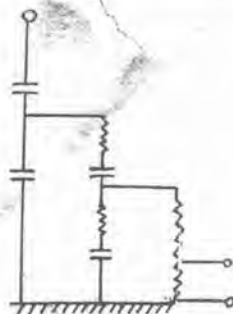
組み合わせ分圧器としては 9 圖にその一例を示す。抵抗及び容量の値を適當に選ぶことによつて分圧器の誤差を除き得ると共に 交流重疊の場合ならびに套管等を利用した便利な回路として利用の價值あるものである。



7 図



8 図



9 図

測定回路としては大地電位の浮動ならびに誘導作用の影響を除去するためには 10 圖の對稱測定回路が専ら用いられている⁽¹⁰⁾。

4 損傷の検出方法⁽¹¹⁾

損傷の検出は衝撃電壓試験における重要な要素であつて、これが的確になされないと試験の意義を失うおそれに伴うものであり、現在では下記の様な種々の方法が講ぜられ大體において些細の損傷の発見も可能な程度になつてゐるがなお損傷の種類及び箇所を検出は困難であつて今後の研究が必要である。

衝撃電壓試験の際に生じる變壓器の損傷をその検出容易なもの順に分類すると

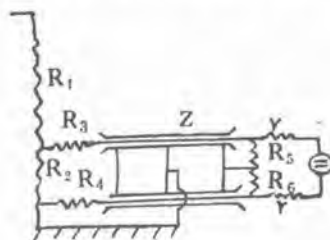
1. 主絶縁を含む巻線大地間
2. 巻線間
3. 巻線の大部分を占め大地間を含まないもの
4. コイル間
5. コイル面とコイルのタップ間
6. 巻圈間（ターン間）

等が挙げられる。これらに対する検出方法を列記すると

1 オシログラムに示される豫期される形にない所に

振動その他の變化のある場合

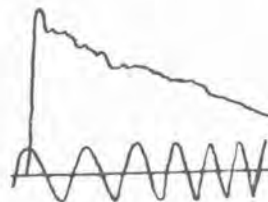
この例をオシログラムによつて示すと 11 圖線路端子が



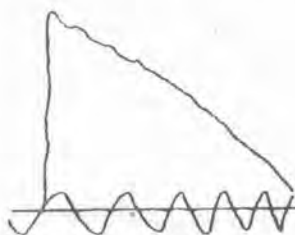
10 圖



11 圖



12 圖



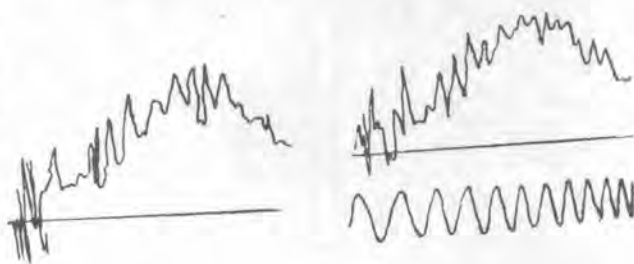
13 圖



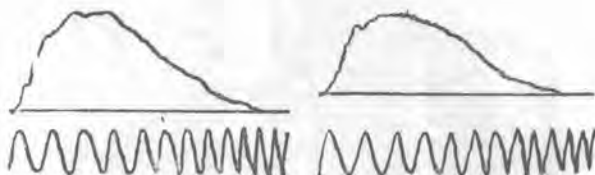
低減電壓

全電壓

14 圖



15 圖



低減電壓

全電壓

16 圖

ら大地への損傷。12 圖線路端子からやや離れたコイルの巻線の 10.2% の損傷。13 圖は検出不明の例でこの場合線路端子に接続されている部分の絶縁物の厚みが不足し破壊は起らないが絶縁物に必要以上のコロナを発生している場合である。

2. 接地電流を記録するかまたは大小を測定する方法⁽¹¹⁾

これは最近盛んに用いられている方法であつて低減電壓の時と電全電壓の時の電流波形を比較する方法で測定回路の電圧比を適當に調整してオシログラムの振幅を殆んど同じ位の大きさにし、重ね合すことができる様にすればその検出度は著しく向上される。

14 圖 巻線の 0.1% のターン間の損傷

15 圖 前記 13 圖の電壓波形に対する接地電流波形でこれを見ると判然とその差異を認め得る。

16 圖 巻線の 9% を含むタップ間の損傷

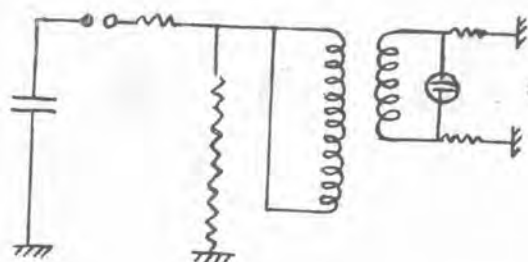
3. 二次巻線の不平衡電流を測定する方法

變壓器の巻線が對稱である場合 17 圖の方法で非接地試験の際の不平衡電流を記録してその變化をしらべる方法で同じ構造の變壓器が 2 台ある場合には 18 圖の接続により同様に損傷を検出することができる⁽¹²⁾。

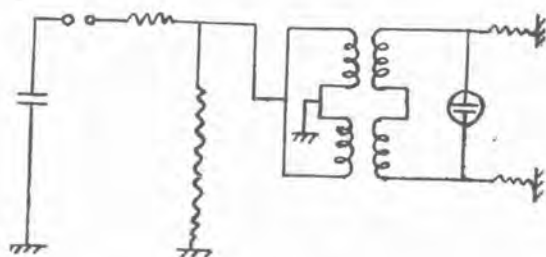
以上の方法は最近當所で行つて種々の變壓器の破壊試験においても採用した方法でその結果の詳細は後に記載する。

4 電流計を用いる方法

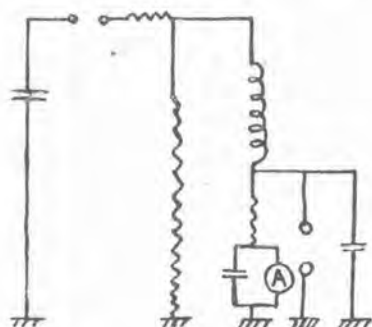
19 圖、20 圖に示す様に接地電流または平衡電壓を電



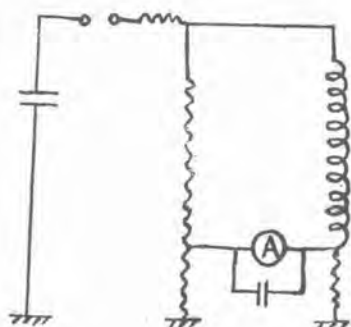
17 圖



18 圖



19 圖



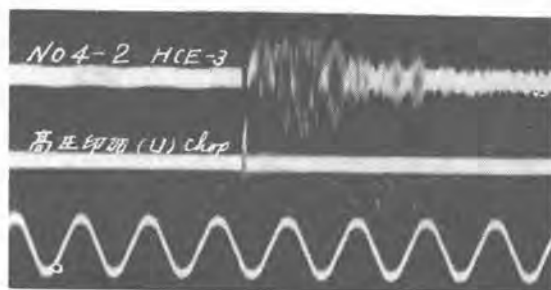
20 圖



21



圖



22 圖

流計または検流計によつて直讀する方法である。

5. 變壓器内部のコロナ音の記録

これは適當なマイクロホンを變壓器外函に取り付け内部に發生したコロナ音を増幅して記録する方法で 21 圖は試験中の a) マイクロフォン (b) は増幅器を示す。

22 圖は 當所において記録した線端子附近の損傷の場合のコロナ音の一例である。

6. 常規周波数の磁磁を重疊して試験する方法

我が國では現在この方法は採用しておらない。

(つづく)

文 献

- (1) 英國特許 No. 11851C—38 Pt. III 1902 Lake.
- (2) 技術討議會記事：衝擊電壓試験について「電學誌」(昭 13—3)
- (3) 日本電氣工業委員會衝擊電壓標準調查委員會報告「電學誌」(昭 15—8)
- (4) JEC—106
- (5) JEC—107
- (6) JEC—108
- (7) American standard association C—57.
- (8) L. C. Aicher; First line of defence, Allis chalmers Electrical Review Dec. 1940.
- (9) L. C. Aicher; Transformers are winding fight to lick lightning, Allis Chalmers Electrical Review Sep. 1945.
- (10) 只野：電，試，研，報，444.
- (11) L. C. Aicher; Experience with transformer impulse detection methods A.I.E.E. Technical paper 48—291. Sep. 1. 48.
- (12) J. H. Hagenguth; Progress in impulse testing of transformer AIEE Trans. 1944.
- (13) 三浦，二宮；「電，學誌速報」(昭 18—8)
- (14) 木村；油中におけるコロナの檢出裝置「三菱電機」(昭 14—7)

電 氣 用 刷 子 の 磨 耗 (1)

種々の機会に小容量の實用機を用いて、大氣中、水霧中、油附着状態、振動状態等で主として電気黒鉛刷子の磨耗の状態を調べた。實用における大氣中の磨耗は僅かな機械的條件によつて廣く分布し、更に油や水の整流子面への浸入が多くの場合磨耗を増大し、數倍 10 數倍あるいはそれ以上にも及ぶ事を知る事ができた。本報告は前後の種々の實驗を彙録して考察を加えつつ一つのまとまりをつけたのである。

森 田 義 男
前 田 利 晴
神戸製作所

I. 緒 言

電気用刷子の磨耗については従来種々の文献が發表されているが、實用機を用いて行つたものは比較的少ない。

一般に磨耗現象は種々の原因に左右され、實驗機實驗條件によつては、全く別の結果を得る事も珍らしくなく、普通に用いられる磨耗試験機や滑動環等では電気用刷子の磨耗の實用に近い結果を得る事は難しいと思われる。

この報告では小容量の實用機を用いて、主として電気黒鉛刷子の磨耗を對前とし、大氣中、水霧中、油附着状態、強制振動状態等で行つた前後の種々の實驗から磨耗の實用結果を得ようと試みたものである。しかし本實驗は何れも断片的でしかも實用機であつたため、實驗條件を一定にできず、原因別單獨にそれらの影響を十分に把握する事はできなかつたが、一應小容量の實用機にお

ける磨耗状況その他の大略を窺ひ知るには十分であらうと思われる。

本報告では先ずⅡで實驗方法のうちの共通事項のみを述べ、おのおの場合の方法條件等は次章各節で表示する事にした。Ⅲ～Ⅴではおのおの場合の結果をそのままお互の實驗の間に考察を加えずに記録するにとどめた。

Ⅵで大氣中の場合と水、油の整流子への浸入の場合の二つに分けて、各因子の影響、個々の實驗の關聯性、及び多少の考察を加える事にした。

實驗中の整流及び整流子面の状況については、磨耗實驗の主要な一條件でありまたその原因でもあるので、簡単に記載して参考に供したものである。

II. 實驗方法の概要

本報告の主流をなすものは 1.5KW 機上充電發電機に

1 表 實 驗 の 組 合 せ

實驗目的	大氣中の磨耗	負荷電流の磨耗	大黒刷子の磨耗	刷子の研磨性	振動による磨耗	エンジン直結による磨耗	偏心磨耗及缺損	水霧中の磨耗	油中磨耗	摩擦係数の測定
刷子の名稱	EG-41	EG-41	軟質天然黒鉛系	MG9RB R-140 EG-9 SA-45	EG-41 MG9RB サカエ 11R	EG-41	MG9RB 電気黒鉛系刷子	EG-41	EG-41	GH 325 P-1 EG-41 C
刷子の切方	〔I〕〔II〕〔III〕	〔I〕	〔I〕	〔I〕	〔I〕	〔I〕	〔I〕〔II〕〔III〕	〔III〕	〔I〕〔II〕〔III〕	〔I〕
實驗機	1.5KW 充電發電機	1.5KW 充電發電機	375W 充電發電機	眞鍮硬質ゴム滑動環 (徑 32mm)	ヨーマ振動臺 0.5HP 銃架電動機	18氣用エンジン 3KW 充電發電機		1.5KW 充電發電機	1.5KW 充電發電機	滑動環ニヨルム測定機
實驗條件	負荷電流一定 (25A/cm ²) 大氣中	負荷電流變化 (0~25 (0A/cm ²) 大氣中	負荷電流一定 (10A/cm ²) 大氣中	電流 0 大氣中	負荷電流 (8~11 A/cm ²) 大氣中	負荷電流變化 (0~20 A/cm ²) エンジン直結	負荷電流一定 (2.5 A/cm ²) 偏心大	負荷電流一定 (2.5 A/cm ²) 水霧中	負荷電流一定 (25A/cm ²) 油附着	電流 0 油、水、空中比較
實驗時間	10hr ~200hr	30hr	250hr	650hr	60~80hr	100hr	100hr	45hr	10~80hr	
回 數	13 回	6 回	1 回	各 1 回	各 1 回	1 回	各 1 回	1 回	14 回	
關 聯 性	大氣中磨耗	〃	〃	滑動面の切削の一例	大氣中磨耗の一因子の説明	大氣中、油中の實驗と關聯あり	大氣中磨耗の一因子の説明	大氣中との比較	大氣中、水霧中との比較	油中、水附着のときの摩擦係数、整流、磨耗の説明のための實驗

電気黒鉛 EG-41 刷子を用いた実験であるが、この外に数種の刷子、實用機その他を用いた。一般に實用機で實際の負荷を用いて行う実験の場合は、正確に實驗條件を一定にできないのが常である上に、更に數種の實用機を用いているのであるから、本章で實驗方法として一括して述べることは煩雜であり、實驗の對照にも不便であるので、Ⅲ～Ⅴの個々の場合に於て述べる事とし、ここでは本報告が含む實驗の範圍を示すための實驗の組合せ、及び凡てに共通の實驗方法について述べる事にする。

1. 實驗の組合せ

本報告で如何なる實驗が如何なる組合せで行われ、お互の實驗に如何なる關聯性があるかを示すために一覽表にしたのが1表である。

これ等の實驗が行われた方法條件等については次章のおおのの場合に表示する事にする。

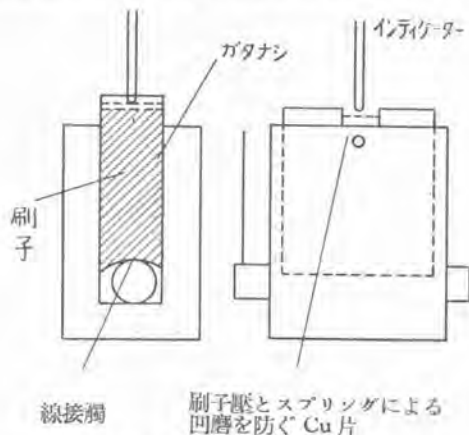
2. 磨耗寸法の測定その他

實驗の開始に當つては整流子面は特にことわらぬ限り、必ずグラインダー仕上をし、刷子は細目サンドペーパーで仕上げた後、整流子との接觸が完全になるまで大

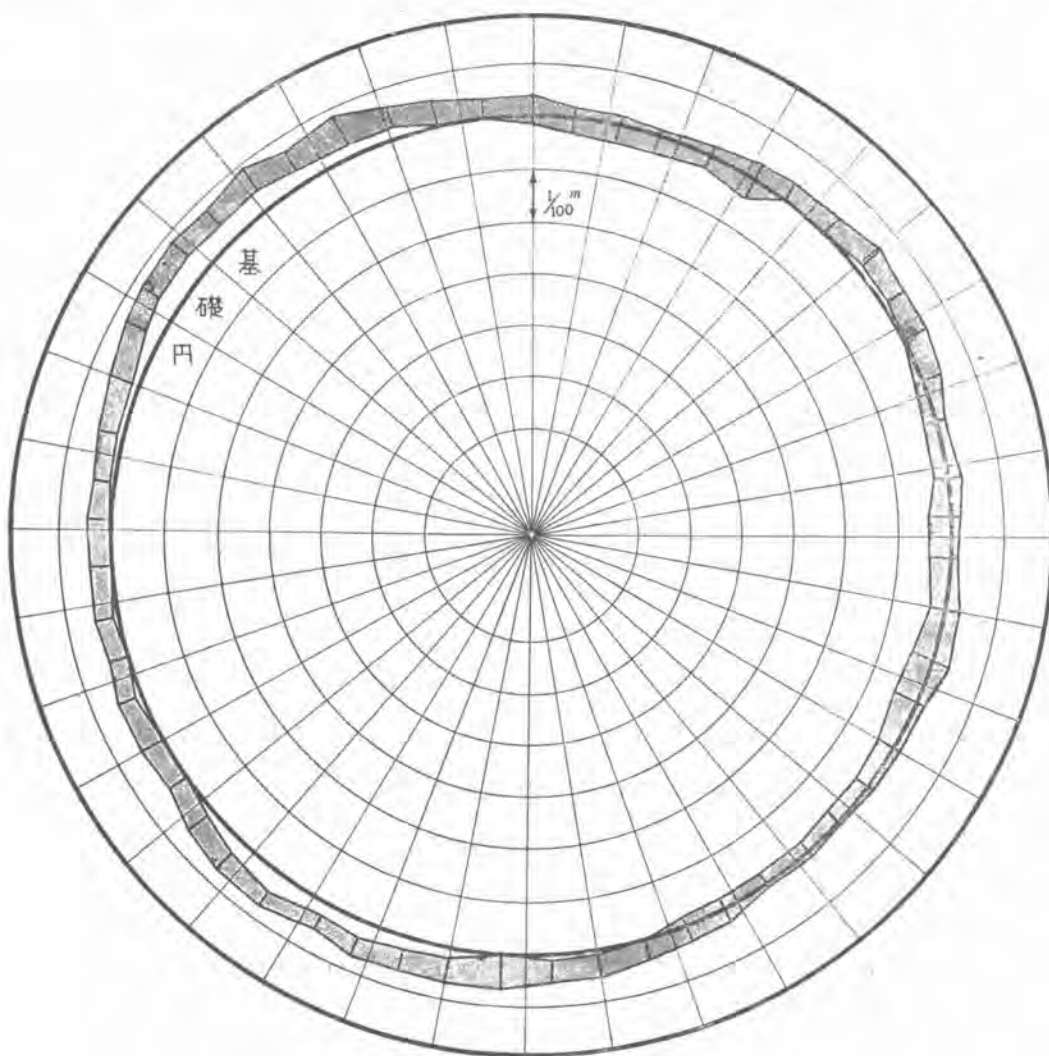
氣中で約 40 時間程度のすり合せをした。

磨耗量の測定は實用の意味からすべて寸法をもつてし、ミニメータに自製アタッチメントをつけ、刷子中央における磨減寸法をヨハンソンブローツタゲージと比較測定した。1圖は寸法測定のアタッチメントである。

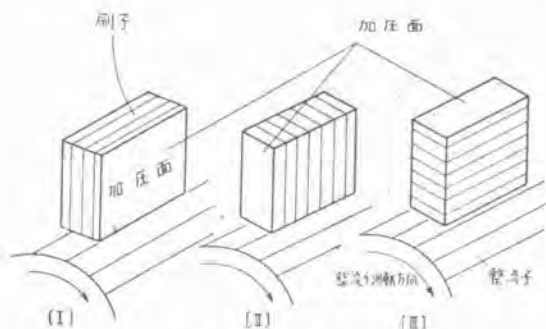
これを用うるとたとえ刷子が片べりを起しても特別の



1圖 刷子寸法測定装置



2圖 整流子偏心の一例 (測定回数 20 回 曲線の中は軸承によるもの)
(曲線内の放射線は測定點の位置を示す)



3 圖 刷子の切方

2 表 1.5V 充電發電機による實驗條件

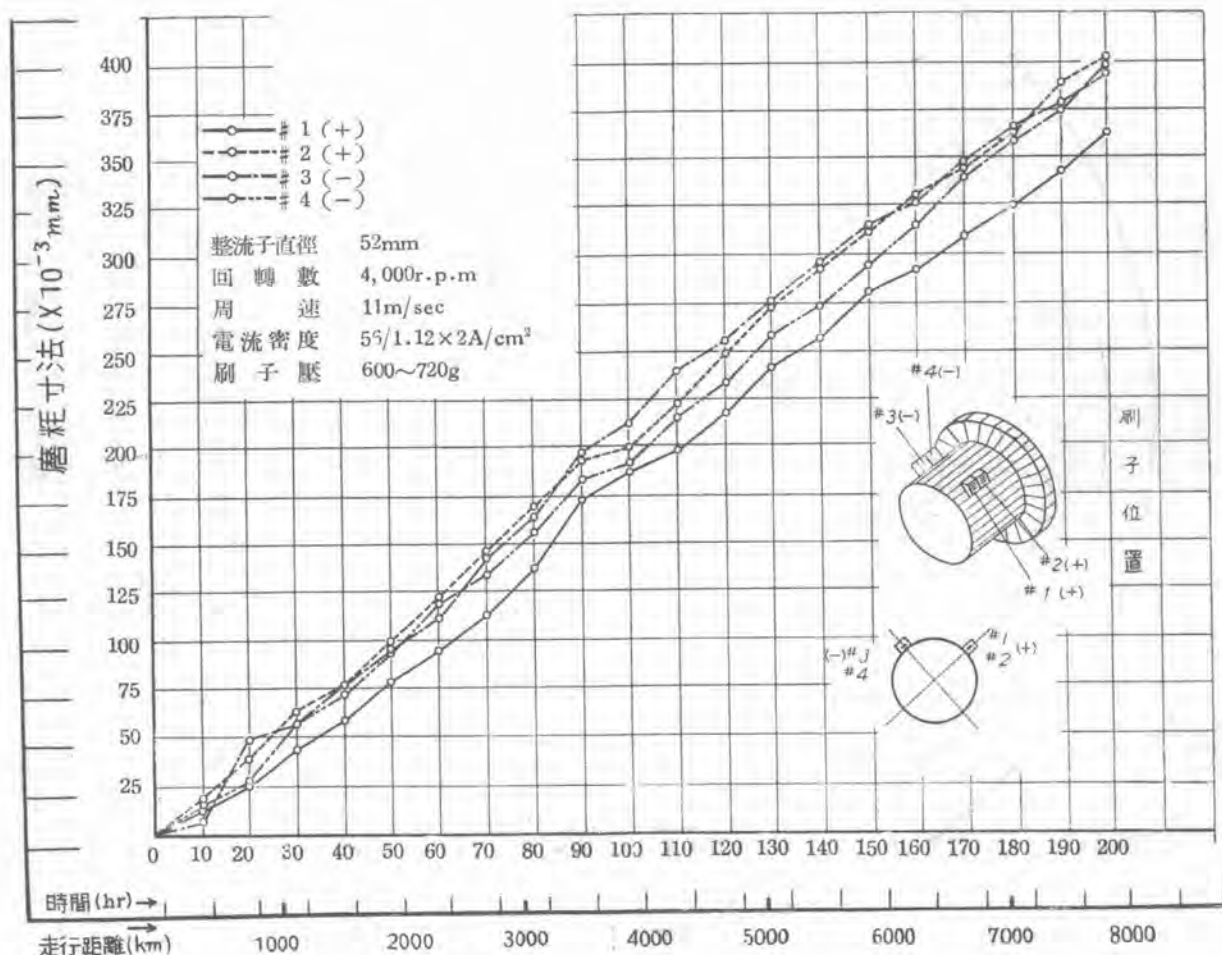
項 目	値	項 目	値
整流子直徑	52mm	周 速 度	11m/sec
負 荷 電 流	56A/27V	刷 子 寸 法	1.12cm ² ×2
界 磁 電 流	0.69~0.74 A	繼 鐵 溫 度	75°C一定
刷子電流密度	25A/cm ²	整流子偏心	0.006~0.037 mm
回 轉 數	4,000rpm	刷 子 壓 No. 1(+)	680 gr
全 走 行 距 離	8,000 km	〃 2(+)	740
走行距離/10hr	39.6km	〃 3(-)	600~660
運轉10時間/1日	20 日	〃 4(-)	610~720

易々となく外は、中央でその磨耗寸法の平均を測定する事ができる。なお刷子は運轉中は相當の高温になつており、これを取りはずして室温において測定するのであるが、實驗の溫度上昇による膨張残留は無視し得る程度である。整流子の偏心の測定は、實驗機の軸承を含めての寸法をミニメータで測定し、その最大偏れの $1/2$ を偏心としたもので實驗の前後に測定した。2 圖はこの測定の一例である。

刷子壓は一實驗中各單位運轉ごとに測定し、甚しく變化した場合は取替えた。刷子溫度はピグテールより2~3 耗下部と滑動面より 2~3 耗上部に埋込んだ熱電對により實驗中1時間ごとに測定した。大抵の場合はこの後者の溫度のみをその分布曲線より求めた平均値で示した。なお溫度は種々の條件でかなり廣く分布するため、平均値のみでは十分でないので、平均的な溫度範圍を示し参考に供した。

7. 刷子の切り方

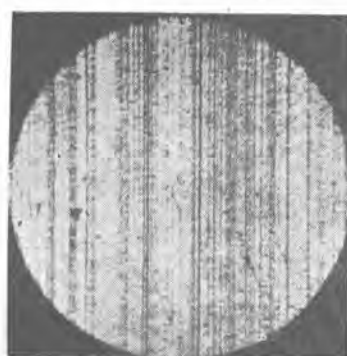
刷子の製造の上から来る加壓面に對し三つの切り出し方が考えられるが、その切り方と整流子の回轉方向との關係を「切り方」(I) (II) (III) の三つに區別して呼稱する事にする。(I) の切り方が從來慣用されている方法である。3 圖に切り方と整流子との關係を示した。



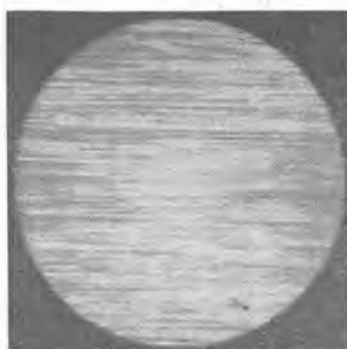
4 圖 1.5KW 充電發電機 による EG-41 の磨耗

3 表 EG-41 刷子の走行距離と磨耗

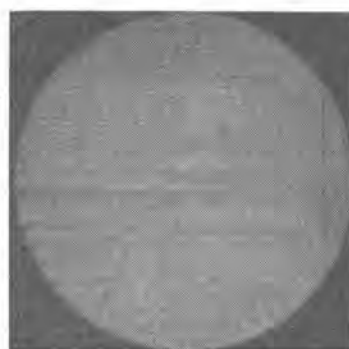
運轉時間	刷 子 温 度 (°C)				刷 子 磨 耗 (mm)				軸承 温度 (°C)	繼鐵 温度 (°C)	湿度 (%)	室温 (°C)	整 流 狀 況 整 流 子 狀 況
	No. 1 (+)	No. 2 (+)	No. 3 (-)	No. 4 (-)	No. 1 (+)	No. 2 (+)	No. 3 (-)	No. 4 (-)					
0	23	23	23	23	0	0	0	0	23	75	78	21	#2~#4 極小點狀火花 No. 2 刷子火花やや大 滑動面良好 No. 4 刷子=間歇的= 稍大ナル火花 微細火花整流子面次第 =暗紫色ニナル
10	144	133	162	173	0.011	0.020	0.017	0.008	71	74	80	22	
20	—	124	141	108	0.025	0.036	0.028	0.048	58	74	60	22	
30	135	134	133	134	0.043	0.057	0.059	0.056	73	75	63	22	
40	136	140	117	136	0.059	0.076	0.071	0.076	74	76	63	21	
50	134	113	124	123	0.077	0.098	0.094	0.096	74	73	60	22	
60	134	109	130	123	0.095	0.119	0.115	0.108	61	72	58	23	
70	135	125	134	128	0.115	0.046	0.123	0.139	69	74	50	22	
80	128	114	128	126	0.140	0.164	0.155	0.164	66	74	51	21	
90	135	85	120	123	0.173	0.186	0.183	0.192	78	76	51	22	
100	128	138	128	124	0.187	0.201	0.194	0.216	72	74	50	21	整流子面薄ク黒鉛ニテ 覆ワレル 間歇的=無火花状態アリ
110	132	114	123	111	0.198	0.223	0.216	0.239	74	75	80	22	
120	110	136	151	141	0.219	0.249	0.232	0.257	60	75	88	24	
130	141	121	150	141	0.240	—	0.257	0.274	69	75	80	23	
140	105	118	146	131	0.256	—	0.272	0.293	69	75	71	22	
150	141	48	155	138	0.278	—	0.294	0.311	79	75	70	23	
160	136	—	148	133	0.289	—	0.314	0.324	73	76	70	22	
170	139	134	150	137	0.313	—	0.340	0.348	74	75	72	22	
180	159	99	152	135	0.323	0.365	0.360	0.367	75	78	80	22	
190	143	143	141	123	0.343	0.336	0.375	0.380	74	75	74	24	
200	130	106	140	152	0.364	0.405	0.396	0.391	69	73	66	24	
平均磨耗量					0.011	0.045	0.051	0.045	約 (60~ 79)	(75)	(50~ 80)	(21~ 24)	コッパ－ビツク、チヤ ッター等ナシ、整流子 面ハウスイ黒鉛粉附着
mm/1000km					0.043		0.048						
	總平均				約 0.045								



×100

運轉 200hr 8000km 後の
刷子面

×100

運轉前整流子面
(グラインダー面)

×100

運轉 200hr 8000km 後の
整流子面

5 圖

III. 大 氣 中 の 磨 耗

Ⅱ, Ⅳ, Ⅴ では各種の機会に行つた磨耗その他の實驗結果をそのまま記述して單獨に一應の纏めを行つて見る。

1. 大 氣 中 の 實 驗 と そ の 結 果

ア. 大 氣 中 の 磨 耗

EG 41 切り方〔I〕の刷子を用いて、1.5KW 充電發電機で 200 時間走行距離 8,000 軒の運轉を行つた結果は、大氣中の磨耗の代表的な例であるので、一通り述べる事

電氣用刷子の磨耗(1)・森田・前田

にする。實驗方法及び條件は 2 表に示した如くで、10 時間單位の斷續運轉を行つて走行距離に對する磨耗寸法を測定したところ、走行距離に全く比例し平均磨耗量は 1,000 軒當り 0.045 耗程度である。

極性による差異は負側刷子がやや大である程度にすぎない。4 圖はこの狀況を示したものである。

この間の整流状態は全運轉を通じて極小點狀火花が刷子接觸端面に分布して生じている(#2~#4)程度で、まれに 1 耗位の有足火花または 20 分程度の無火花の状態

(315) 17

4 表 大 氣 中 の

實 驗 No.		1	2	3	4	5
刷 子 切 方		[I]	[I]	[I]	[I]	[I]
運 轉 時 間 (hr)		200	30	16 40	15	15
單位運轉時間 (hr)		10	30	20×50 回	15	15
整 流 子 偏 心 (mm)		0.007~0.003	0.018	0.019	0.014	0.038
主 刷 子 溫 度 (°C)		130~140	132~170	120~140 (整流子溫度)	—	—
平均刷子溫度 (°C)		135	—	—	—	—
整 流 概 況		#1~#4 大造 #2~#4	#4~#5	#4~#6 一側面熱火花	#1~#4	#4~#6
整流子面狀況		條痕小 80hr 以後 黒鉛粉薄膜アリ	條痕ナシ	モールド 整流子 運轉 中止 冷却 運轉ヲ繼續	條痕ナシ	整流子片一部磨耗
刷 子 No.		1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	—	1 2 3 4
極 性		(+) (-)	(+) (-)	(+) (-)	—	(+) (-)
刷 子 壓 始		680 740 600 720	680~710	750 740 630 640	750 710 750 760	610 610 730 700
g/1.12 cm ² 終		680 740 600 720	650~700	—	—	—
時 間 (hr) と 磨 耗 量 (mm)	hr 10	0.011 0.020 0.017 0.008	—	—	0.062 0.078 0.073 0.082	—
	15	—	—	0.071 0.066 0.111 0.894 (16.7hr)	—	0.802 1.08 1.00 1.01
	20	0.0 5 0.036 0.028 0.018	—	—	—	—
	25	—	—	—	—	—
	30	—	0.105 0.050 0.104 0.104	—	—	—
	40	0.043 0.057 0.059 0.056	—	—	—	—
	45	—	—	—	—	—
	60	—	—	—	—	—
	200	0.364 0.405 0.396 0.394	—	—	—	—
平均磨耗量 1/1000mm	各 平 均	0.041 0.046 0.051 0.045	0.078 0.038 0.078 0.078	0.086 0.080 0.14 0.099	0.095 0.120 0.113 0.126	1.23 1.67 1.54 1.56
	各極平均	0.043 0.018	— 0.078	0.083 0.12	0.11 0.12	1.45 1.55
	總 平 均	0.005	0.070 (0.04~0.08)	0.10	0.12	1.5
整流子回轉數 (rpm)		4000	4500	5000	4500	4500
周 速 (m/sec)		11	12	—	12	12
負 荷 電 流 (A)		56	56	56	56	56
電 流 密 度 (A/cm ²)		25	25	25	25	25
繼 鐵 溫 度 (°C)		75	75	通風ナシ	75	75
軸 承 溫 度 (°C)		60~90	—	33~84	—	—
濕 度 (%)		50~90	—	87~96	—	—
室 溫 (°C)		20~25	—	27~31	—	—
備 考		3 表ヨリ				

刷 子 の 磨 耗

6	7	8	9	10	11	12
[I]	[I]	[II]	[III]	[III]	[III]	[III]
30	30	30	50	10	60	45
10	30	10	10	10	15	15
0.028	0.028	0.018	0.031	0.053×2	0.014	0.028
—	測定セズ	130~155	145~185	//	100~140	測定セズ
—	//	133	160	//	120	//
#2~#5	#1~#4	#1~#4	#1~#4	大澁#1~#6	#1~#4	#1~#4
整流子面ヤヤ不良	條痕ナシ	條痕ナシ	條痕ナシ	條痕ナシ ベアリング磨損	條痕ナシ	條痕ナシ
1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 2 4	1 2 3 4
(+) (-)	(+) (-)	(+) (-)	(+) (-)	(+) (-)	(+) (-)	(+) (-)
850 710 720 760	800 740 770 730	670 680 710 710	750 740 730 650	750 740 730 650	760 660 650 670	810 770 750 790
—	—	670 650 710 690	750 750 700 700	750 750 700 700	720 500 650 650	—
—	—	— 0.032 0.035	0.068 0.044 0.057 0.038	0.775 0.361 0.683 0.050	—	—
—	—	—	—	—	0.055 0.043 0.057 0.053	—
—	—	— 0.068 0.081	0.117 0.091 0.119 0.076	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
0.175 0.247 0.125 0.260	0.174 0.40 0.163 0.492	— 0.081 0.035	0.174 0.128 0.168 0.097	—	0.112 0.095 0.115 0.106	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	0.159 0.131 0.170 0.157	0.445 0.319 0.482 0.413
—	—	—	—	—	0.215 0.172 0.224 0.213	—
—	—	—	—	—	—	—
0.137 0.190 0.150 0.200 0.16 0.17	0.133 0.330 0.125 0.378 0.13~0.35	— 0.062 0.073 — 0.067 — 0.7 (0.03 20時間以後)	0.13 0.075 0.13 0.074 0.10 0.10 0.10 (0.075~0.13)	1.8 0.83 1.65 1.08 1.3 1.2 1.2	0.083 0.066 0.086 0.081 0.075 0.083 0.08	0.238 0.172 0.246 0.212 0.20 0.23 0.21
4500	4500	4500	4500	//	4500	4500
12	12	12.2	12.2	//	12	12
56	56	56	56	//	56	56
25	25	25	25	//	25	25
75	75	75	75	//	75	75
—	—	60~75	64~78	//	66~80	—
—	—	55~75	56~75	//	46~50	—
—	—	9~20	14	//	14~22	—

も見られた。刷子滑動面は終始良好で、コツパーピツクチャツター等は皆無であつた。整流子面は2,000 軒走行程度より茶褐色に變じ、終了時には全面薄い黒鉛粉に覆われていた。刷子温度は1時間ごとの測定値から判定して、130°C~140°C、平均135°C程度であり、実験中の湿度はほぼ70~80%、刷子壓は1,500 軒程度走行後は變化がなかつた。これ等の状況を一覽表にしたものが3表であり、5 圖は整流子刷子の状態を示している。

次に4表は以上と同様に行つた大氣中の実験を一應集録して纏めたものである。

整流及整流子面の状況は上述と大抵は同様であるが、二三の特殊な条件のため、整流及び整流子の状態が悪化したものもある。例えば実験 No. 3 のモールド整流子を用いたものでは、通風冷却せず 20 分運轉 40 分冷却を50回繰返し、整流子が運轉中に遠心力のため、やや全面または一部突出する事が確められ、整流も普通よりやや悪い状態であつたし、No. 5 は整流子片中の一部が幾らか磨耗したままで行つている。また運轉中にベアリングが磨減しているのを發見した No. 11 の実験もあり、これ等の内 No. 5, No. 11 は何れも、他に比して大なる磨耗を示している。No. 7 の実験ではライザー側と軸承側とで大きく開いている。しかしながらこれ等を除いて考えても、1,000 軒當りの磨耗量は約0.05耗から0.2 耗またはそれ以上にも及んでいる。

これ等についての考察は一應省いて實驗における事實のみ拾うと、大氣中の磨耗は非常に廣範圍で種々の条件に左右されるが、運轉中途に何等かの特別な条件が與えられぬ限り、磨耗寸法は走行距離に比例する事。特性の差異は負側刷子、すなわち陽極刷子の磨耗が僅かに大であること、特異な条件、例えばベアリング磨損または磨減整流子面の異状等で大きな磨耗を起す事等が挙げられる。6 圖は磨耗量の分布と走行距離の關係を示したものである。

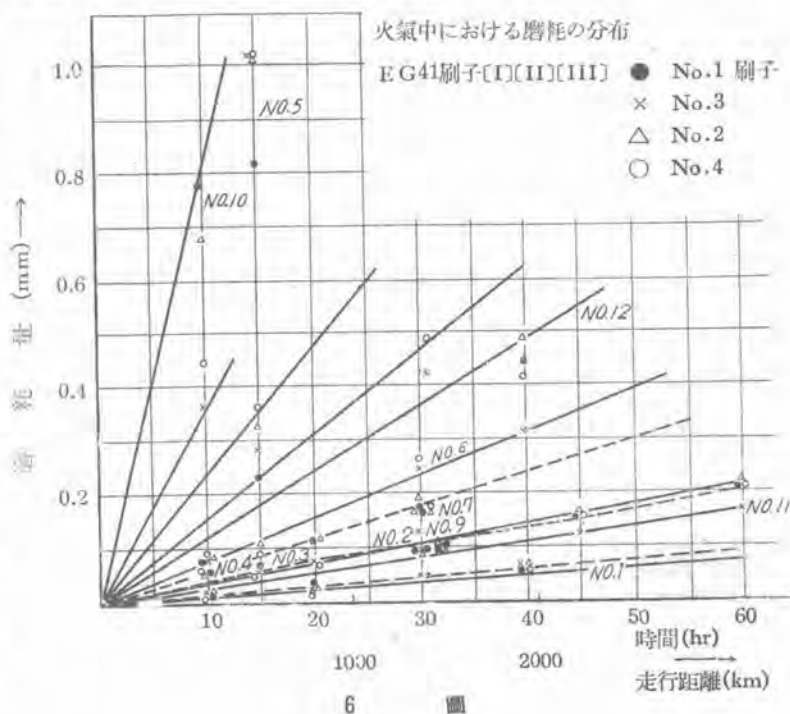
イ. 負荷電流の差異による磨耗

2 表の發電機で切り方 [I] の EG 41 刷子を用いて、運轉時間約 30 時間負荷電流を 0, 10, 20, 30, 40, 56, A の 6 種としてその他の条件は前同様で行つた。

整流状態は 20A までは無火花、30 A で整流番號 #2 (以下 # のみで表わす) 程度で電流増大とともに悪化した。負荷電流と磨耗寸法、刷子温度、整流等を示したものが5表である。

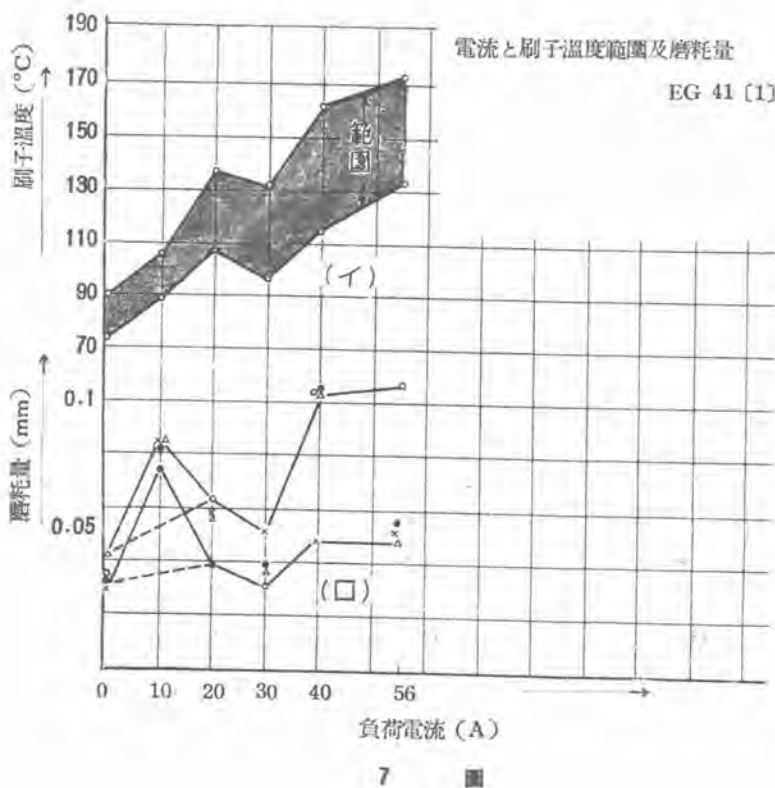
以上の結果をグラフに示したものが7圖(イ)(ロ)である。これによると負荷電流 10A、電流密度 4.5A/cm² のとき極大點があるが、磨擦係数の整流子温度による變態點に近い處であり、一概に實驗の誤りとも考えられない。しかし磨擦係数を直接磨耗に關係づけることはできないが、文献にはこの點で磨耗量が増大することを示している。ここでは後述の如く論點外であるので、一應省いておけば磨耗は電流とともにやや増大の傾向にあると考えられ、またその分散も電流に伴つて廣がつており、刷子温度も同傾向にある。また無電流の場合が文献に示される程磨耗が少なくなつてはいない。

ウ. 軟質刷子の磨耗



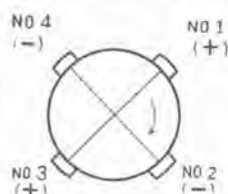
5 表 負荷電流と磨耗量

負荷電流 (A)	電流密度 (A/cm ²)	刷子温度 (°C)	刷子壓 (gr/cm ²)	30 hr の磨耗寸法 (mm)				平均磨耗量		整 流	實驗條件
				No.1 刷子	No.2 刷子	No.3 刷子	No.4 刷子	mm/ 1000Km	mg/ 1000Km		
0	0	89~75	683~710	0.033	0.027	0.043	0.034	0.026	6.1	# 1	1.5Kw/27V 偏心 mm
10	4.5	89~105	690~760	0.081	0.085	0.084	0.074	0.062	8.61	"	18/1000
20		108~138	660~700	0.038	0.058	0.057	0.063	0.041	6.8	"	回轉數
30	13.5	98~131	646~710	0.016	0.052	0.035	0.029	0.029	9.1	# 2~# 4	4500:pm
40		115~163	650~750	0.105	0.050	0.105	0.104	0.070	6.56	# 4~# 6	(23hr = 1000km)
56	25	132~171	650~700	0.015	0.058	0.108	0.050	0.051	8.45	# 4~	磨減温度 75°C



6 表 天然黒鉛系の磨耗の一例

刷子No.	1刷子	2刷子	3刷子	4刷子	整流	実験条件
極性	(+)	(-)	(+)	(-)		刷子寸法 1.29cm ² ×20
刷子壓	490	500	490	480		整流子直径 41.5mm
g/cm ²	380	440	350	370		回轉數 3500 rpm
	0	0	0	0		周速度 7.55km
運轉時間	35-40	0.013	0.012	0.024	0.019	負荷電流 25 A
と磨耗寸法	8-40	0.029	0.02	0.034	0.029	刷子電流密度 10A/cm ²
	63-23	0.041	0.032	0.046	0.043	繼鐵温度 75°C
	83-5	0.049	0.040	0.059		軸承温度 65~70°C
	100	0.069	0.059	0.068	0.080	運轉時間 10時間単位
	120	0.091	0.085	0.079		刷子温度 115~140°C
	140	0.104	0.108	0.105	0.121	偏心 0.020mm
(mm)	158		0.124	0.126		走行距離 2720km/100hr
	176	0.149	0.224	0.154	0.170	
初期平均磨耗量	0.25					
mm/1000Km						



この磨耗特性は EG 41 刷子とは異なつた例であるので、特に附加したものである。

実験は 375 W 充電發電機を用い、切り方 [I] の軟質天然黒鉛刷子を用いた。この場合の滑合時間は 80 時間走行距離 2,200 軒に及び、EG 41 刷子の 2 倍程度である。負荷電流 25A 繼鐵温度 75°C に常に調節、10 時間単位の繼續運轉を行つた結果である。実験方法は他と同様である。この結果を一覧表にしたものが 6 表である。

電氣用刷子の磨耗 (1)・森田・前田

磨耗量の走行距離に対する傾向はやや増大氣味であり、また磨耗量は 1000 軒當り 0.025 耗程度である。この點 EG 41 と異なつてゐるが、その後の實驗で整流子面の荒れや刷子の躍り等が、この種の刷子に甚しい磨耗や側面磨耗を生ずる事が判明し、この種の刷子が機械的條件の惡化に對して劣つてゐる事が考えられる。

8 圖は磨耗特性を 9 圖は整流子の走行後の状態を示したものである。

エ. 刷子の研磨性

聚電環上における刷子の研磨性、その他を調査した實驗の一部で刷子の種類による滑動面の縞刻度を比較したものである。

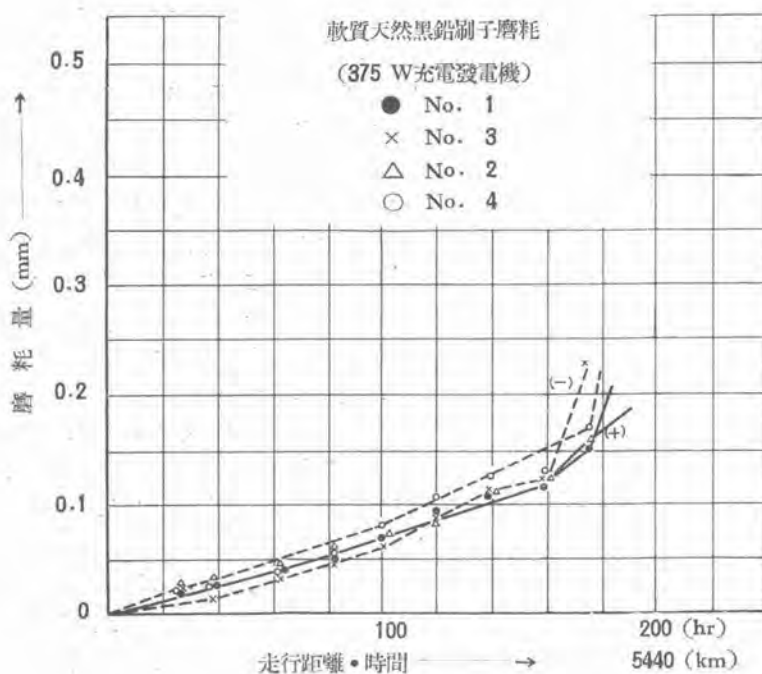
縞刻度の比較を定量的に行うのは、實際の整流子では適當な測定器を得る事ができず、他の實驗では凡て省略したが、この場合は聚電環が非常に小さくて測定に手頃であつたので材質が他と異なつてゐるに拘らずこゝに附加したものである。聚電環が高壓磁石發電機に用ゐるので眞鍮を硬質ゴムに埋込んだものである。實驗裝置は聚電環、刷子保持器ともに實用そのままを用いたもので、回轉數は 400r.p.m で行つた。この回轉數を低くしたのは刷子保持器の構造上、片當りになるのを恐れたからである。實驗に用いた刷子は MG 9 RB, R 140, EG 9, SA 45 等である。結果の概要を示すと 7 表の如くである。

運轉は 0.50 時間で走行距離にして 1,500 軒程度である。實際の面の觀測は仕上面検査器で行つたが、R 140 は肉眼でも認められる變質部が存在する不良刷子で、甚しく大きな傷を發生し、その深さ 0.03 耗にも達するがその他の部分はほぼ一樣な荒くない傷が分布している。

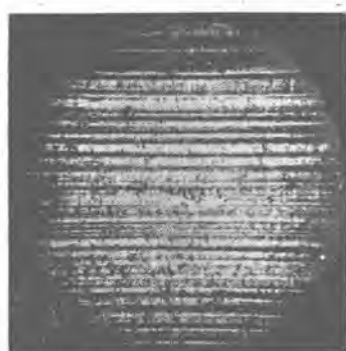
MG 9 RB は特に大きな傷はないが相當に荒いものが一樣に分布しており、深さは最大 0.007~0.01 耗程度である。

EG 9 は一例では相當荒い傷があるが大した事はなく、0.004~0.01 耗程度 SA 45 は 2ヶ所の大きな傷を除いて細かい傷が一樣に分布し、0.004~0.008 耗程度の深さである。この結果を 10 圖に示しておく。なお刷子はこの滑動面そのままの状態にある。

以上の如く刷子の與える傷は軟質である、金屬黒鉛質が比較的大である事や、變質部の存在する R 140 が縞刻度が大であり不均等であること、また優秀なものと考えられる。SA 45 等においても傷の發生が一樣でない事



8 圖



×50
10,000km 走行後 No. 4 刷子



×50
10,000km 走行後の面



×50
グラインダー面

9 圖

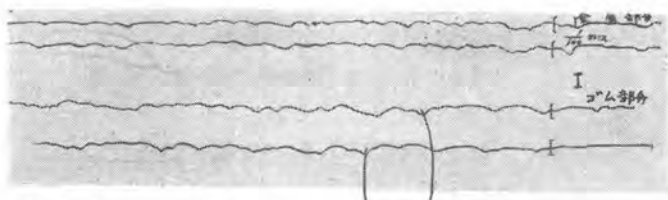
7 表 聚電環の研磨性

刷子種類	種類	磨耗量	磨耗増大率	附着性	研 磨 性	實 験 條 件
MG 9 R B	Cu50% 硬度 (17~20)	大	大	大	傷の生じ方一様・特に大なるものはないが大きく荒い	刷 子 5 φ
MG 9 R B	"	大	大	大		刷子壓 250=10g/cm ²
R - 140	炭素 (45) 質 (變質部有)	小	小	比較的小	特に大なる傷を發生する所あり	運轉時間 700 hr
EG - 9	電氣黒鉛質 (30)	中	小	小	特に大なる傷を發生しないが、細かい傷が一面に出る	回 轉 數 400 rpm
EG - 9	"	中	小	小		走行距離 1500 km
SA - 45	" (40)	中よりやや大	比較的大	比較的大	細かい傷なるも 2.3 のやや大なる傷あり	聚電環直径 32.1 mm
						眞鍮部圓周長 42.5 mm
						硬質ゴム長 58.0 mm
						無 電 流

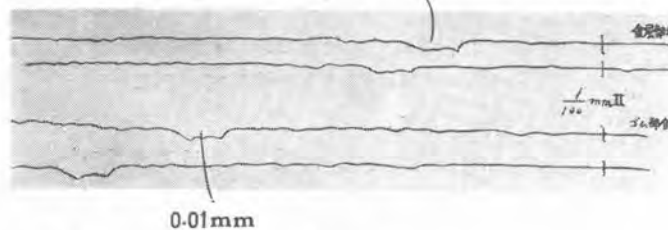
等が挙げられる。これは刷子中に存在する灰分、その他の硬質部がこの様な縋刻を甚しく助長せしめるもので、硬度等には全く関係ないのが普通とされる。また実験は眞鍮硬質ゴムに対して行つたもので、硬質ゴムの方が餘計に縋刻されている事を知る事ができる。銅では更に大

もち論エンジンの振動による直結電機の振動は非常に複雑であり、また本実験が振動臺駆動の不圓滑から、電動機主軸の一方のみであるので、單に一つの例を與え得るに過ぎないものである。磨耗及びその他の状況を 9 表に示しておく、11 圖はこれ等の刷子の走行距離に對す

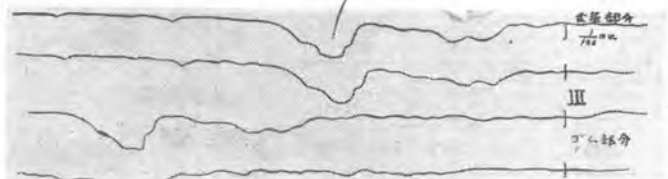
MG-9RB



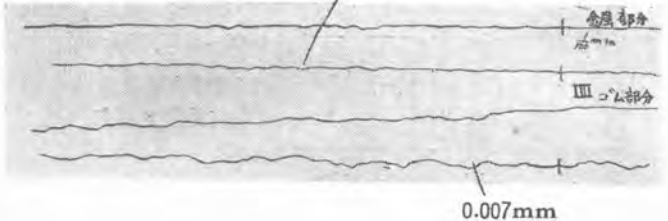
MG-9RB



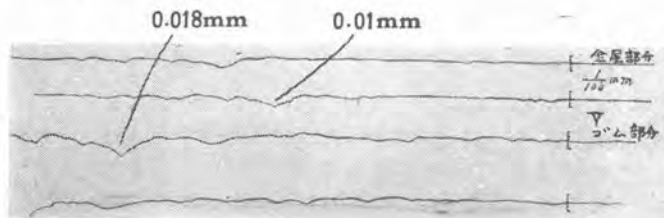
R 140



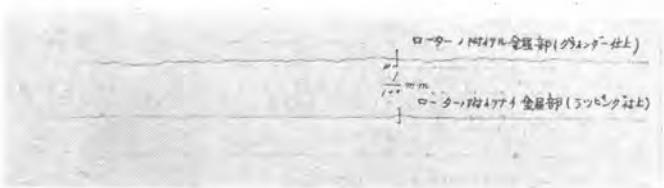
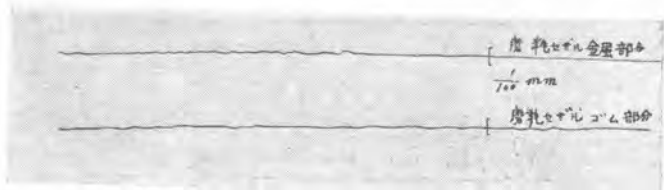
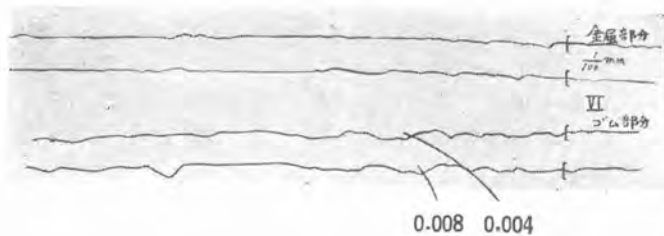
EG-9



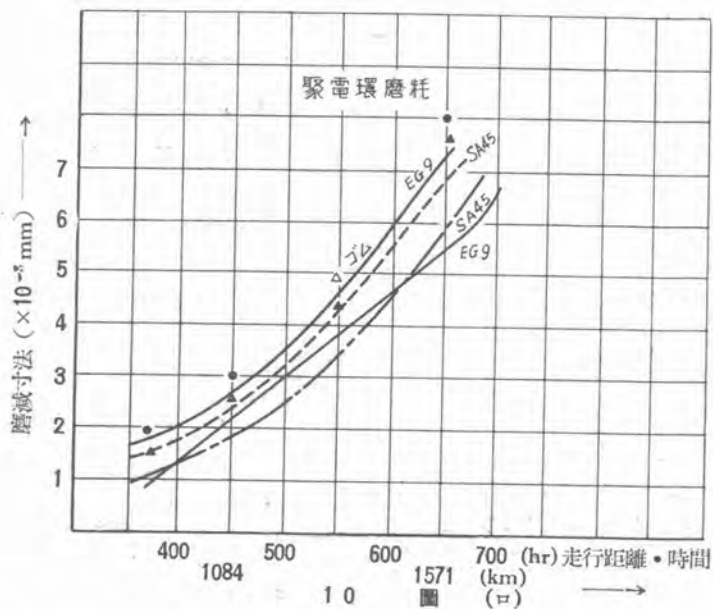
EG-9



SA-45



10 圖(イ) 聚電環の傷 (1,500km 走行後)



電氣用刷子の磨耗 (1) 森田・前田

る磨耗量を示したものである。

以上の振動試験による結果は、全く不完全な実験であるため信頼に値しないが、EG 41, サカエ 11 R, が大気中無振動の場合に比し、電流密度、刷子温度、刷子圧、整流、等の比較において良好な条件であるに拘らず、同じ走行距離に對して 2~3 倍にのぼつており、MG9RB については、普通の滑動環の実験においても磨耗は電氣黒鉛系に比し多少大きい、この実験では相當の開きを生じており、耐振磨耗に弱いことを示している。刷子の極性による差異は EG 41 のみ陰極刷子が大きくなっている外、他の刷子では判然としない。この EG 41 の差異は前發電機の実験とは逆になつてゐるが、電弧的な原因とは考えられず、原因は不明である。

この振動実験で最も顯著な影響は、側面磨耗が生ずる事である。軸方向の振動は刷子側面とは直角だけ異なるから、かかる振動の影響は、刷子の磨擦係數に變化を生

1mm/1000 8表 振動試験条件

刷子種類	EG 41	MG9RB	サカエ11	備 考
実験条件				
整流子直径 (mm)	47	〃		刷子数 4ヶ 約 4.2 m/sec
回 轉 數 (rpm)	2600~3100	〃		
刷子寸法 (mm)	19 × 7	〃		電動機主軸方向
刷子壓力 (g/cm ²)	410~440	390~440	310~350	
負荷電流 (A)	13.6~11.5	14.0~10.5	14.4~10	
負荷電流 (A/cm ²)	10.2~ 8.6	11~7.8	11~2.5	
振 動 數 (Hz)	9~10	〃	〃	
全 振 巾 (mm)	7~8	〃	〃	
整流子偏 (10 ⁻³ mm)	8.5	〃	〃	
鐵 鋼 温 度 (°C)	15~54	8~55	16~73	
室 温 (°C)	13~18	8~13	9~19	
濕 度 (%)	60~70	55~90	45~90	

る部分も認められた。この油の浸入の原因については、記述を省くが、その後できるだけ清浄にして更に 54 時間の実験を行つた

以上の状態の下における磨耗は 11 表 12 圖に示した通りである。

以上の実験条件は、おのおの場合に負荷時間、油の浸入程度等に差異があり、一つの實驗結果として見ることは妥當でなく、4 回別々の實驗として 12 表の如く纏めて見たところ、既述の大氣中の磨耗實驗の結果と比較して次のことが推定される。

(1) エンジン振動下における普通の無負荷の磨耗は、1,000 軒當り 0.05 耗程

9 表 振動による磨耗

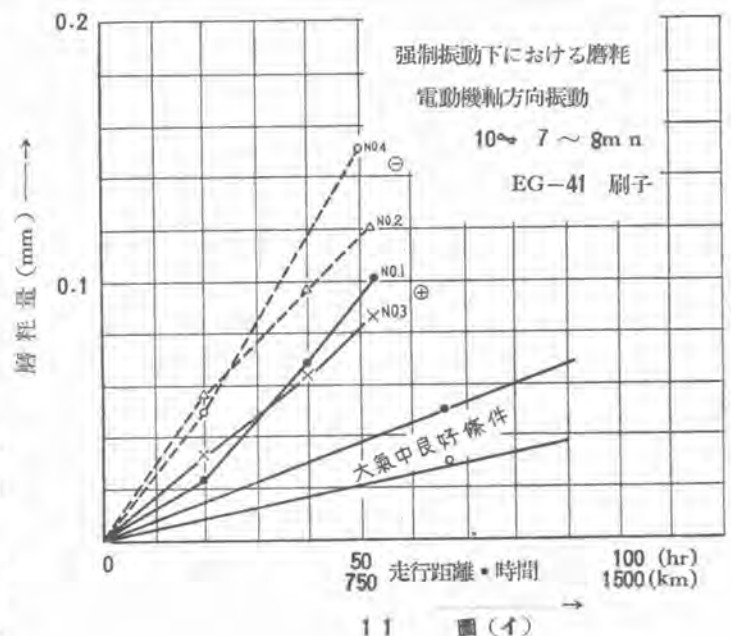
刷 子 種 類	E G - 4 1	M G 9 R B	サ カ エ 11	備 考
刷 子 壓 力 (g/cm ²)	No. 1 (+) 440 2 (-) 410 3 (+) 420 4 (-) 410	1 (+) 400 2 (-) 440 3 (+) 320 4 (-) 390	1 (+) 340 2 (-) 350 3 (+) 300 4 (-) 310	大氣中無振動状態の磨耗一例
時間 (hr)	20 0.024 0.056 0.032 0.050 40 0.068 0.096 0.064 — 50 0.10 0.12 0.087 0.15	0.10 0.050 0.040 0.11 — — — — 0.24 0.14 0.10 0.26	0.036 0.040 0.032 0.030 0.064 0.072 0.062 0.054 — — — —	(イ) EG 41 0.03~0.05/1000km (ロ) MG9RB— (ハ) サカエ11 0.05~0.07/700km
磨耗 (mm) 寸法	60 — — — — 80 — — — —	— — — — 0.37 0.20 0.20 0.40	0.094 0.084 0.076 0.11 — — — —	
平均磨耗量 (mm/1000km)	(+) 0.12 (-) 0.17 0.14	(+) 0.37 (-) 0.40 0.3	(+) (-) 0.12	上記は良好な状態における磨耗を示す
刷 子 缺 損 側 面 磨 耗 の 影 響	缺損ナシ 側面光澤ヲ帯ビル	缺損ナシ 側面磨耗小	側面磨耗 1/100~8/100 mm	
整 流 状 況	無火花状態	〃		

ぜしめ刷子函内での衝撃となるためであろう。

4. エンジンに發電機を直結した場合の磨耗

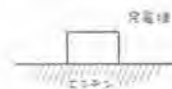
3KW 充電發電機に EG 41 切り方 [D] の刷子を用いて、18 氣筒エンジンに着装した場合の磨耗について述べる。實驗条件は 10 表の如くであるが、エンジンが發電機に與える振動は非常に複雑なので、測定値の内最大振巾のものの數値をもつて代表せしめる事にする。實驗はエンジンの耐久運轉に便乗したため一貫した方法とはせず、1 回 (3 回) 2 回、4 回、ともそれぞれ違つたエンジンで行つている。

第 1 回は 17 時間目點檢のとき、整流子ライザー側の刷子に油を吸収した形跡が認められ、次の 48 時間の點檢では何れの側の刷子も油を吸収しており、51 時間目では更に著しく油を吸収した。第 3 回の實驗終了時における點檢では、整流子面、刷子、刷子函に油の浸入著しく、整流子面は黒褐色で、溝には磨滅粉の橋絡をしてい



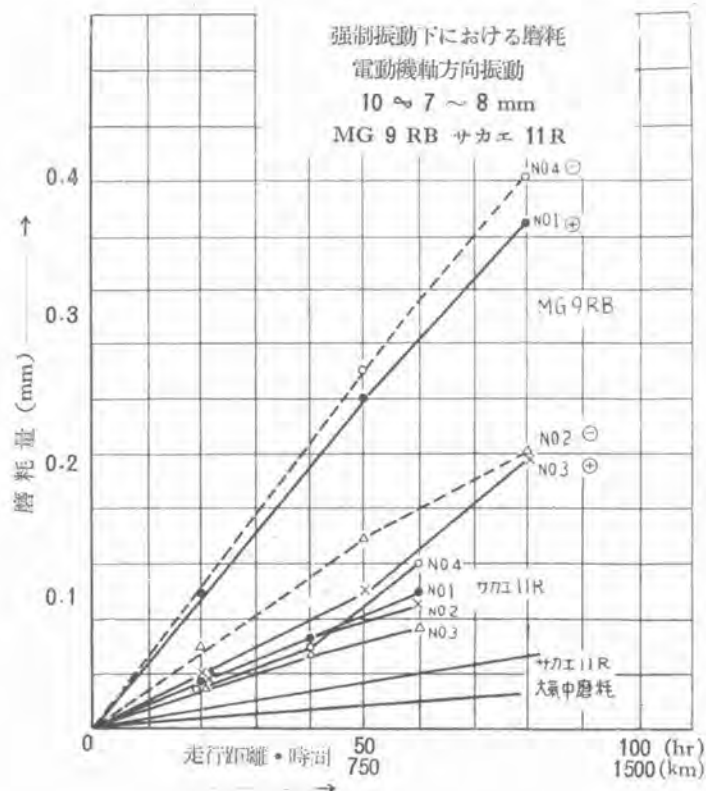
10 表 エンジン着装試験

項 目	エ ン ジ ン	項 目	330 型 發 電 機	備 考
型 名	1 八 42. 31 型 2 八 42. 21 型 3 八 42. 31 型 4 八 211	取 付	水 平 取 付 (八 211) 垂 直 取 付 (八 42)	發電機はフレキシブル軸にてエンジンと直結 振動は刷子の處では測定不能
HP	2200 (八42)	整流子徑	65 mm	
回 轉 數	2250 ~ 2500 (八 42) 2500 ~ 2800 (八211)	回 轉 數	5300 ~ 6300 rpm	
運 轉 時 間	合計 104 時間	周 速	約 180/sec	
振動状態	測定値ナシ	負 荷	0 ~ 100 A	
		刷子寸法・箇數	8×16×25mm×8	
		通 風	20 ~ 30	
		振 上 下	± 0.11 0.09 高すぎて不測 0.22 0.17	
		左 右	± 0.09 143 ~	
		動 前 後	± 0.09 180 ~	



11 表 エンジン着装による磨耗

	No.	通 計 時 間 (hr)	通 計 負 荷 時 間 (hr)	通 計 無 負 荷 時 間 (hr)	全 走 行 距 離 (km)	刷 子 磨 耗 量				備 考
						No.1	No.2	No.3	No.4	
軸 受 側	i	17	5.5	11.5	2450	0.048	0.081	0.038	0.038	刷子磨 750 g 刷子寸法 8×16×25×8ヶ 偏心 0.019 刷子温度 繼續温度 約 50°C
	ii	47	13	34	6700	0.10	0.124	0.072	0.067	
	iii	51	13	38	7300	0.177	0.148	0.122	0.077	
ライ ザ ー 側	i	17	5.5	11.5	2450	0.078	0.087	0.072	0.059	
	ii	47	13	34	6700	0.108	0.137	0.109	0.110	
	iii	51	13	38	7300	0.148	0.148	0.133	0.120	
イ軸 サ受 トラ	Vi	104	22	82	14600	0.289	0.222	0.244	0.232	
						0.277	0.201	0.237	0.269	



11 圖 (ロ)

度であるが、極少量の油が浸入した場合は 0.02~0.03 耗程度に減少する。

(2) 油の浸入量が大きくなると無負荷の場合でも 3~5 倍に増大する。

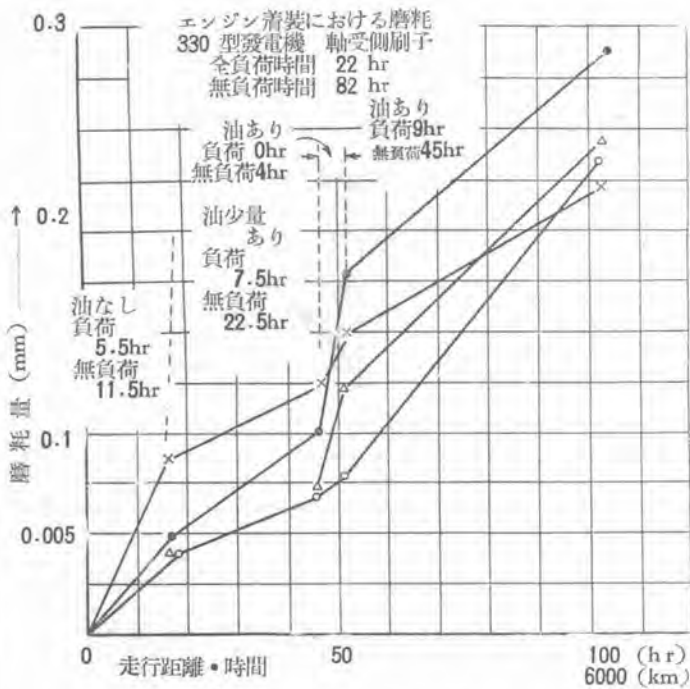
(3) エンジン振動による影響は明らかでないが、大気中無負荷の磨耗が 1,000 料當り 0.03 耗程度であるに比し 0.05 耗程度であること、油の量がやや大となつた場合、磨耗量が急昇する事、等が挙げられる。

以上の実験は何れにしても短時間の結果であり、環境も実験条件も共に不備であつたため、充分の検討はできなかったが、かゝるエンジン振動下における磨耗は期待する程大でないと思われる。これは刷子の磨耗が整流子または刷子に直接に與えられる振動のみに影響し、發電機の振動とは直接には関係ないため、本実験の如き結果を示したものであろう。

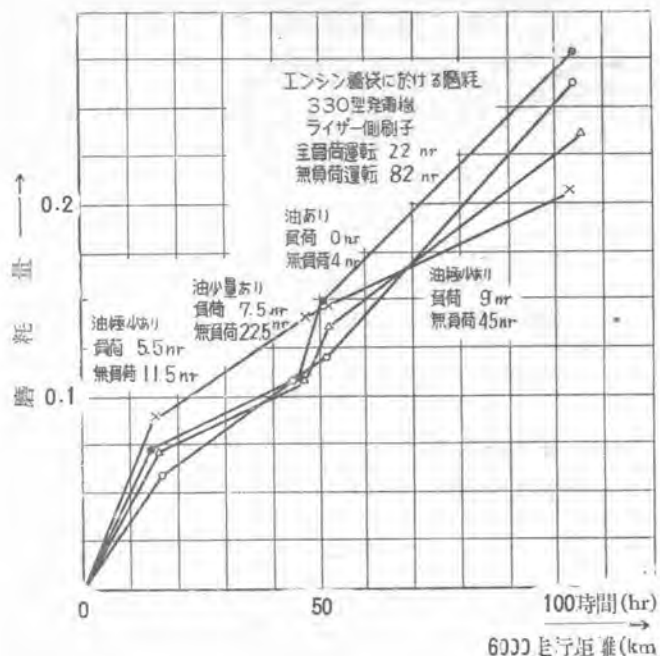
ウ. 偏心整流子による磨耗と缺損

整流子に殊更に甚しい偏心を與えた場合の磨耗と缺損が如何になるかの一例を、実験条件とともに示すと 13 表の如くである。

刷子材質は MG 9 RB のみである。この結果は非常にむらが多いが、磨耗量は普通の場合より可なり大きな値



12 圖(イ)



12 表 11 表の結果

実験 No.	条 件	負荷時間 (hr)	無負荷時間 (hr)	走行距離 (km)	刷 子 磨 耗 量				平均磨耗 1000km
					No.1	No.2	No.3	No.4	
1	軸 承 ライザー 油ナシ 油アリ極少 垂直取付	5.5	11.5	1040 (17hr)	0.058	0.084	0.038	0.038	0.050
					0.078	0.087	0.072	0.059	0.070
2	軸 承 ライザー 油極少 垂直取付	7.5	22.5	1800 (30)	0.052	0.040	0.034	0.029	0.022
					0.030	0.050	0.037	0.051	0.014
3	軸 承 ライザー 油やや大 垂直取付	0	4	240 (4)	0.077	0.024	0.050	0.010	0.16
					0.040	0.011	0.024	0.010	0.09
4	軸 承 ライザー 油極少 水平取付	9	45	3250 (54)	0.11	0.074	0.12	0.13	0.031
					0.13	0.053	0.11	0.15	0.031

13 表 偏心による磨耗

刷 子 No.	1	2	3	4	実 験 条 件	
極 名	(+)	(-)	(+)	(-)	機 體	慣性始動機
刷 子 圧 (gr)	1000	1100	1200	1060	整流子直徑	39 mm
					偏 心	0.2 mm
磨 耗 量 (mm)	0.65	1.45	3.44	2.17	回轉數×運轉時間 約 7000rpm×100hr	
	0.51	0.85	0.99	0.95		
	0.89	0.85	1.06	1.02	電 壓	4 V
磨耗平均 (mm/1000km)	0.1~0.18	0.3~0.18	0.7~0.2	0.45~0.2	電 流	50 A
側 面 磨 耗	最大 0.06 mm				刷子電流密度 50A/1.27×0.6cm ² ×2ヶ	
					刷子振動數 42×106回	



13 圖 切 り 方 と 欠 損

運轉時間 100 hr
回 轉 數 12,000 r.p.m.
電 流 100 A/1.27×0.6cm²×2
整 流 #3~#6

を示しており、特長としては側面磨耗が非常に多く、刷子函の端部で段付となつている事である。

次に實驗方法そのまま電氣黒鉛系刷子の切り方を異にしたものを實驗したところ、13 圖の如き結果を示した。すなわち、偏心小なる場合は刷子端部は欠損を示さないが、かゝる偏心による運轉では加壓層に沿うて、剝離する如き欠損を生じている。かゝる衝撃に對しては切り方〔II〕の使用が有利と考えられる。

IV. 水霧中における刷子の磨耗

2 表の發電機に EG 41 切り方〔II〕の刷子を用いて行つた實驗で、前述以外の條件は 14 表の如くである。

先ず磨合せ運轉 30 時間後、比較のため大氣中における磨耗實驗を 60 時間行い、整流子面を揮發にて洗い、偏心を測定し、次の要領で水霧を吹きつけて實驗を行つた。

すなわち噴霧器を壓縮空氣にて作動せしめ、約 1.2 立の水が毎時霧となり、そのうちの約 40% が發電機の整流子部分に飛込む程度にした。これは大體毎時 0.5 立が有效である如く考えたものである。その状況を 14 圖に示しておく。

1. 大氣中の磨耗

大氣中の整流狀況その他は、既に述べた結果と何等變りなく、磨耗は全く時間に正比例し磨耗量の平均は 1,000 粒當り 0.08 耗程度であつた。

2. 水霧中の整流及整流子面

大氣中と同様な極微細點狀、火花の狀態（#2~#4）が 7 時間位まで繼續し、その後次第に惡化（#5）し、20 時間前後に最も惡く（#5~#6）なり、負側刷子に振動が認められた。その後は元に復し #4~#5 を最後

14 表 實驗條件及磨耗量

條件	時間	刷子番號 極 性	刷 子 磨 耗 量 (mm)				平 均 mm/1000Km	備 考	
			# 1	2	3	4			
			(+)	(+)	(-)	(-)			
水霧中	15		0.109	0.184	0.111	0.207	0.23	偏 心	14/100`mm
	30		0.347	0.491	0.467	0.588	—	回 轉 數	4500 rpm
	45		0.525	0.612	0.907	0.914	0.50	刷子溫度	120~160°C
	平均 ^{mm} /1000Km		0.31	0.31	0.46	0.54	0.41	平均刷子溫度	140°C
	刷子壓 g 始終	760	660	650	670	—	軸承溫度	50~66°C	
		720	550	650	610		R.T.	15~23°C	
							R.H.	64~84 %	
							15時間繼續 9時間休止		
大氣中	15		0.055	0.043	0.057	0.052	—	偏 心	14/1000mm
	30		0.112	0.091	0.115	0.106	—	回 轉 數	4500 rpm
	45		0.159	0.131	0.170	0.157	—	刷子溫度	100~140°C
	60		0.215	0.172	0.224	0.213	—	平均刷子溫度	120°C
	平均 ^{mm} /1000Km		—	—	—	—	0.08	軸承溫度	66~80°C
	刷子壓 g 始終	760	660	650	670	—	R.T.	14~22°C	
		720	550	650	610		R.H.	46~67 %	
							15時間繼續 9時間休止		

まで持続した。

途中何等かの原因で霧が中断されると、これ等の點狀火花の数が直ちに減少し、時には無火花となる事もある。

しかし暫くすると整流はやゝ悪化して有足火花の發生を見た。

極性による整流の良否は大氣中と同様に、負側が正側に比しやや悪い様に思われる。

整流子面は運轉 1.5 時間後には既に薄黒色となり、磨滅粉が附着しているのが見られ、運轉終了時には整流子面に固着していた。

3. 水霧中の磨耗

刷子の温度は大氣中より約平均 26°C 位高目であつ

た。磨耗の結果は 14 表の如くである。

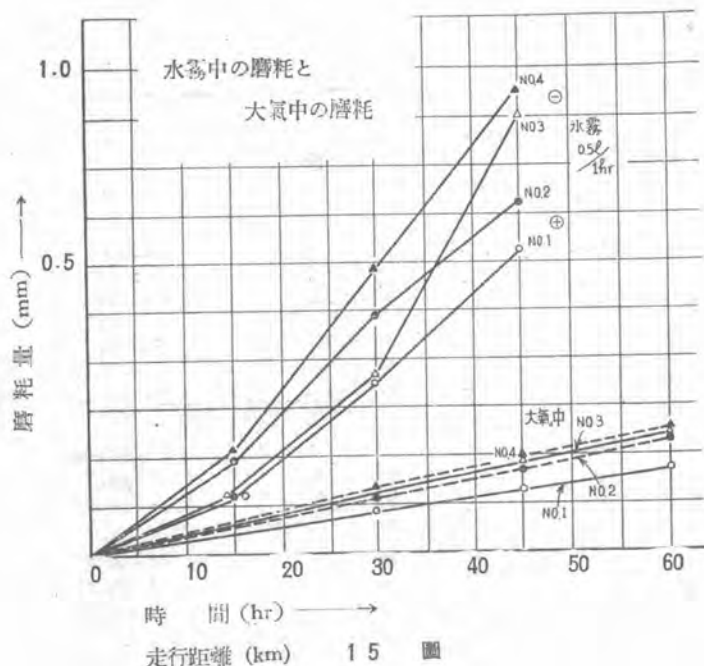
15 圖は磨耗の時間的割合を示しているが、大氣中における磨耗が時間的に對し比例的であるのに反し、水霧中の初期平均磨耗量は 1,000 料當り 0.24 耗、最後のそれは 1,000 料當り 0.50 耗で 2 倍となつている。全體の平均 1,000 料當り 0.41 を大氣中に比較すると約 5 倍であり、時間とともに更に増大する事になる。

また極性による平均磨耗量の相異は判然としており、正側に比し負側が約 1.5 倍を示し、運轉時間とともに擴大される傾向にある。

磨滅粉は微粒子の粘體となつて附近に附着し、負側刷子、刷子函に多く附着した。これが負刷子振動の原因であつたと思われる。また發電機が絶縁抵下を來たしたが低電壓のため運轉には支障はなかつた。刷子粘除去乾燥後は十分回復した。



14 圖 噴 霧 状 況



文 献

- (1) 日本學振 電氣用刷子の研究 [I, II]
- (2) T. Neukrichen "Kohlbiirsten" 譯文
- (3) 高橋、武政 潤滑油による整流子異常磨耗 (日立評論 19 8. 5)
- (4) C. Lynn, H.M. Elsey, Effect of Commutator Surface Film Condition on Commutation (AIEE. 1918.11)
- (5) 桑田勉 溶劑
山口文夫 潤滑劑
日本學振 金屬の磨耗

ロートトロールの性能と應用

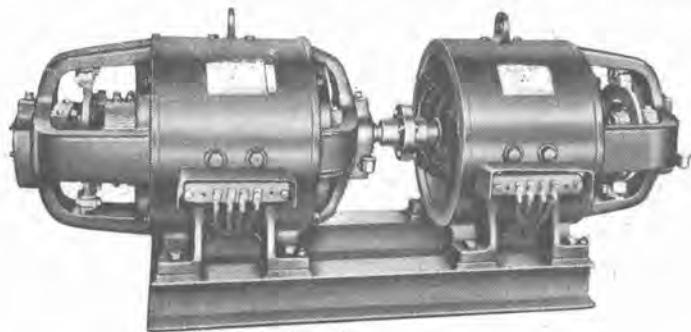
ロートトロールによる速度制御電壓調整方式についてロートトロールの性能を理論的に解析し、直流発電機の自動電壓調整、直流電動機、速度制御試験を行つてその性能の優秀なる事が實證された。次に電力方面及工業方面において廣範圍にわたり使用されるロートトロールの應用について數種の例をあげて説明を加えた。

神戸製作所 片岡 高 示
竹 内 眞 一

1. 緒 言

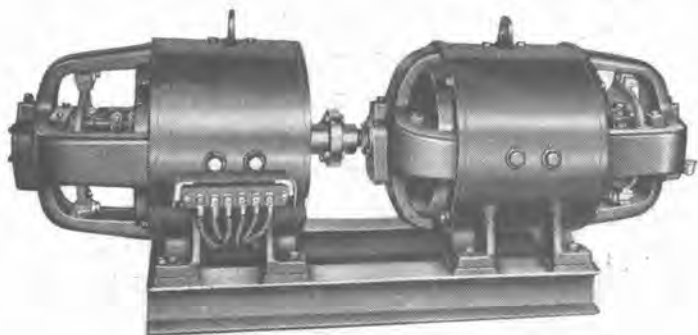
Rototrol は Rotating and Control を略した名稱であつて今より約 10 數年前に米國ウエスチングハウス社において發表された。當社においても昭和 16 年に調整勵磁機と云う名稱で鐵山鑿坑卷上用直流電動機（イルグナー制御方式）の速度制御方式の速度制御用として一種のロートトロールを製作し現在まで好成績に運轉を續けている。

その後ウ社においては、電力方面には發電機の自動電壓調整に、また工業方面には卷上機用、製鐵ミル用、製紙機用等の直流電動機、同期電動機の力率調

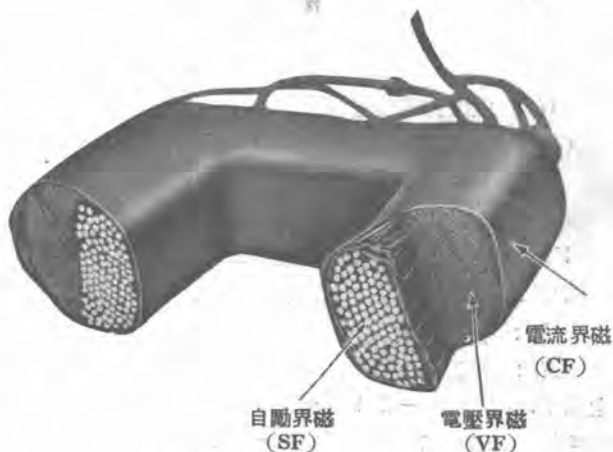


1 圖 0.5 KW ロートトロール外觀

右: 0.5 KW ロートトロール 左: 1 HP 駆動用直流電動機



2 圖 同 上



3 圖 ロートトロール主極コイル

整等各方面に廣範圍に應用されていて、從來のリレーや接觸器を使用した故障の多い消耗部分の多い維持費の高い装置を駆逐している状態である。

當社においても終戦後再びこの種の研究を始め種々研究的實驗を行つたが、最近相次いで卷上機用ロートトロールを製作納入した。

2. 構 造

ロートトロールは構造上普通の高速度の直流機に何ら變つた所がない。(1, 2 圖参照) たゞ色々の目的、用途に応じて種々に接続せられる 3 種類の界磁コイルをもっているのが特色である。従つて整流上特に考慮を拂わねばならないが、そのために設計上制限をうける様な事はない。たゞ或る種の用途において特に調整の精度を要求せられる場合には残留磁氣を極度に小さくせねばならぬ故に鐵轡を珪素鋼板の成層構造にしなければならない。

3 圖は主極コイルの切斷面を表している。次に述べる 3 つのコイル SF, VF, CF がそれぞれ斷面に表れている。

ロートトロールは主發電機の驅動機に直結し發電機と

3. 性能の理論的解析

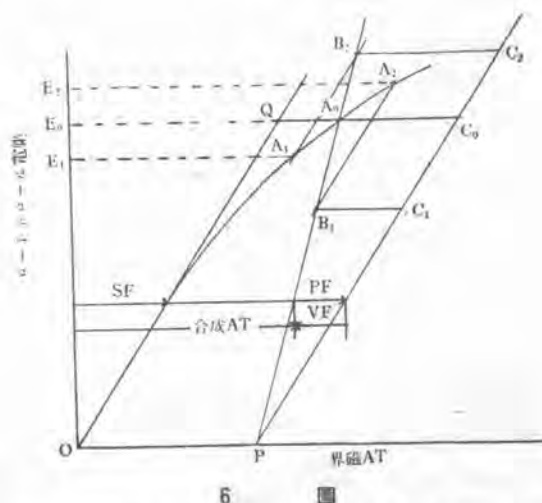
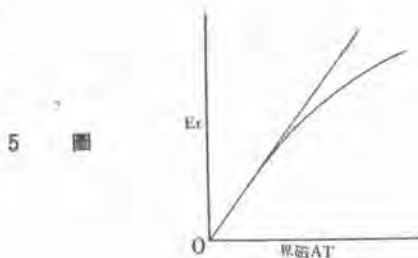
を示す。 SF はロートトロールの電機子回路に直列に接続されている故に、この場合ロートトロールは直巻発電機的一种である。また SF と PF は互に和働に VF は差働に作用する。ロートトロールは使用範囲の電圧では飽和せず発生電圧は界磁アンペア回数に比例する様に設計しておく。その接続において

2152

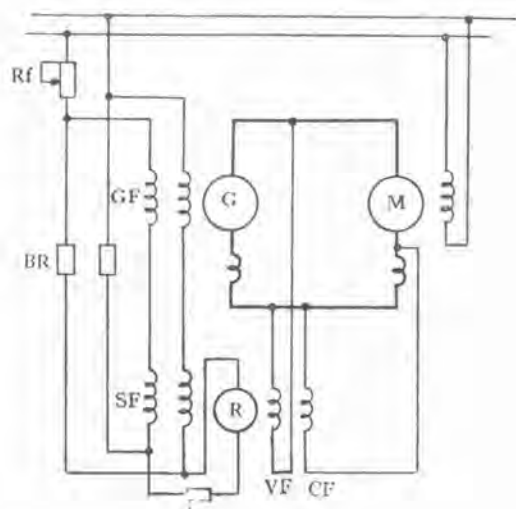
である。

30 (328)

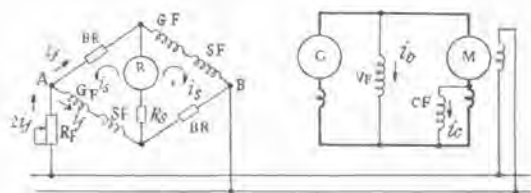
この様な直巻発電機を同調状態で使用する事がロータリールの特徴である。しかし完全に同調していると不安定でハンチングを起すから実際に使用の際は同調を少し外して、静的増巾率を犠牲にして安定な状態で使用している。



従つて $E_0 A_0$ が合成 TA となる。今何かの原因で E_g が VF の出す AT が $C_1 B_2$ に相當する値にまで上昇したとすれば、ロートトロールの電壓は飽和曲線上 A_1 に相當する E_1 まで下り、従つて發電機の勵磁を下げ電壓を下す。次に逆に發電機電壓が $C_1 B_1$ に相當するまで下ると、ロートトロールの電壓は A_2 に相當する E_2 に上昇して従つて發電機の電壓を上げる作用をする。斯の如くにし



7 図



8 図

ロートロールは発電機の自働電圧調整を行う。

4. レオナード制御直流電動機の自働速度調整

巻上用レオナード制御あるいはイルグナー制御方式可變電圧による直流電動機速度自働調整用には7圖の回路を使用する。性能の説明に便利な様にこの回路を主電動機主発電機回路とロートロールのブリッジ回路に分けて画くと8圖のようになる。

圖において下記記號以外は4圖と同じである。

BR: ブリッジ抵抗

GF, SF は一臺の全界磁を2回路に分けてブリッジに接続する。4圖の SF, VF, PF 各界磁と8圖の各界磁とを比較すると、4圖の SF は8圖の SF と PF の両方の作用をし、VF は4圖の VF と同じで本圖では新たに CF が設けられている。ブリッジ回路で GF と SF の抵抗の和と BR の抵抗を等しくしておくことは平衡ブリッジ回路を形成する故に、定電圧勵磁電源より R_f を通して A, B 間に印加される電圧により GF, SF に流れる電流 i_f はロートロールの電圧 E_r に無関係である。故に i_f によつて SF は4圖の PF と同様の作用をする。また E_r によつてブリッジの各分路に流れる循環電流 i_s は i_f に無関係である故に i_s によつて SF は4圖の SF と同一の作用をする。次に CF は主回路電流による電圧降下を補償する作用をする。

4圖の回路に比較して本回路の特長を説明すると、4圖では発電機はロートロールによつて直接勵磁される故にロートロールは発電機の勵磁容量に等しい出力を

ロートロールの性能と應用・片岡・竹内

必要とするが、8圖では発電機の勵磁の大部分は定電圧電源よりの勵磁 i_f による勵磁)によつて行われロートロールは不平衡を調整するだけの勵磁を與えればよいから出力が少なくてすみ、大出力の主機械に對しても標準型ロートロールを適用できる。従つて既設のレオナード制御方式においても標準型のロートロールを1臺追加する事によつて簡単に本方式に改造する事ができる。

この作用を式によつて説明すると、4圖の場合と同様に、ブリッジ回路 $R-GF-SF-BR-R_s-R$ に同 $BR-GF-SF-R_s$ に同

調の條件の成立する時は、

$$E_g = \frac{N_s}{N_v} r_v i_f + (r_{ag} + r_{am} + r_{cm}) I \dots \dots \dots (3)$$

あるいは

$$E_m = \frac{N_s}{N_v} r_v i_f \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここに

E_m : 主電動機誘起電圧

E_g : 主発電機誘起電圧

i_f : 定電圧電源による勵磁電流

I : 主回路電流 (負荷電流)

r_v : VF 界磁の抵抗

r_{ag} : 主発電機電機子回路抵抗

r_{am}, r_{cm} : 主電動機電機子, 補極コイル抵抗

N_s, N_v, SF, VF コイル毎極巻数。

式(4)より明らかな様に電動機の逆起電圧すなわち速度は一主電動機は一定勵磁なる故に一負荷電流に關係なしに i_f に比例する。すなわち R_f の調整によつて i_f によつて決定される各速度において負荷變化による速度變動率は零になる。

また式(3)によつて負荷電流一定のときは発電機電圧 E_g は i_f に比例するが、負荷が變化するとその負荷電流による主回路の電圧降下だけ E_g を高める。すなわち発電機の誘起電圧において電圧降下を完全に補償する様になつてゐる。如何なる速度においても速度變動率を完全に補償する事が本装置の特色であつて、從來の全発電機を複巻にする事による方法では或る一定速度においては速度變動率を補償し得ても他の速度においては完全に補償する事はできない。

特に低速度 (発電機低電圧) においては負荷による電圧降下の誘起電圧に對する割合が大きい故に負荷がかゝれば電圧が従つて電動機速度が非常に低下する事になるが、本装置によるときは式(4)に示す様に電動機速度は主電流に關係なく i_f のみによつてきまる。すなわち負荷の大小に無關係に R_f のノッチの位置に相當した速度が何時もえられ運轉が確實になる。從來のレオナード方式では速度制御の範圍は大體 $1/40$ であるに對して本装置では $1/120$ の廣範圍まで安定な制御が可能である。

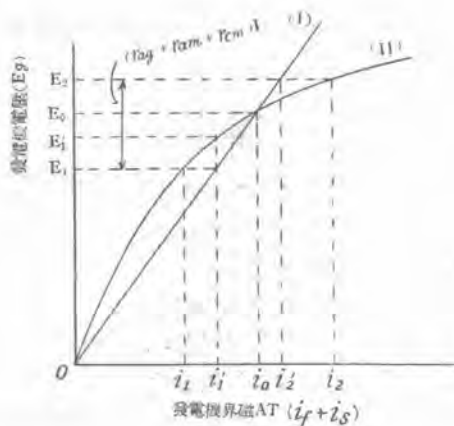
從來の方式では電動機を停止するとき発電機界磁電流を零にしても発電機の殘留磁機による電圧のために回路電流が流れて電動機は停止しない。このとき機械的ブレ

一キによつて電動機を停止せしめると、発電機が多少とも過復巻特性のときは循環電流が止らない様な現象が時々起る事がある。この現象を防止するために残留磁気打消し用の差働コイルを設けて停止の際にこれを働かせる様にしているが、本ロートトロール方式を使用すれば、発電機の飽和曲線に關係なしに i_f を零にすれば発電機の電壓も零になるから、ロートトロールの残留磁気をなくすれば発電機に残留磁気があつても差支えない。

次に式(3)に示す特性を圖によつて解析すると、先ず無負荷の場合は

$$E_g = \frac{N_s}{N_v} r_v i_f \dots\dots\dots (3a)$$

となる。この式の右邊の「 $\frac{N_s}{N_v} r_v i_f$ 」なる i_f に比例する



9 圖

値を9圖の直線(I)に表す。また直流発電機Gの無負荷飽和曲線を(II)で表す。今 R_f によつて調整せられる勵磁電流 i_f を i_1' の値とすると、ロートトロールのブリッジ回路の循環電流がなければ、GF は $i_f (=i_1')$ によつて勵磁せられて E_1' (i_1' に對する II) 曲線上の點)の電壓を出す筈である。発電機が E_1' の電壓を出せば VF 界磁が作用してロートトロールに逆つ電壓を發生し $\rightarrow \leftarrow$ 方向の循環電流を流して E_g を下げる作用をし式(3a)で $i_f = i_1'$ としたときの E_g を E_1 とすると、

$$E_1 = \frac{N_s}{N_v} r_v i_1'$$

なる値の E_1 にて安定する。従つてこのときは

$i_f = i_1'$, $i_s = i_1' - i_1$ で方向は i_f と逆すなわち $\rightarrow \leftarrow$ である。

次に (I) と (II) との交叉する點では $i_f = i_0$, $E_g = E_0$ となり $i_s = 0$ である。

また交叉點より i_f を増加した場合は、

$$i_f = i_2' \text{ において } E_g = E_2, i_s = i_2 - i_2'$$

i_s の方向は i_f と同一で $\rightarrow \leftarrow$ となる。要するに E_0 以下では i_s は i_f と逆方向に流れて GF の勵磁を下げ、 E_0 以上では i_s は i_f と同方向に流れて GF の勵磁を増す。

次に負荷電流 I が流れた場合を考えると、9圖で $i_f = i_1'$ を AB 間に流せば無負荷では $E_g = E_1$ となるが、負荷電流 I が流れるとそのための電壓降下を補償するために E_g は E_2 となる—CF 界磁が和動に働き勵磁をま

す—からこのときの i_s は $(i_2 - i_1')$ となる。すなわち
無負荷で $i_f = i_1'$, $E_g = E_1$ $i_s = i_1' - i_1$ 方向 $\rightarrow \leftarrow$,
 $E_a = E_1$

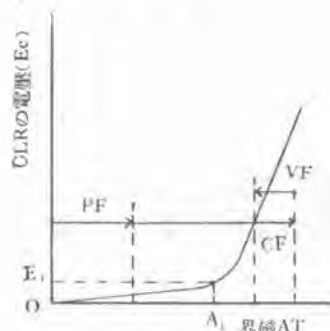
負荷 I で $i_f = i_1'$, $E_g = E_2 = E_1 + (r_{ag} + r_{an} + r_{cm}) I$
 $i_s = i_2 - i_1'$ 方向 $\rightarrow \leftarrow$ $E_m = E_1$

となり無負荷でも、負荷がかかつても E_m すなわち電動機速度には變化はない。

5. 電流制限ロートトロール (LCR)

電流制限ロートトロールの效用については9節應用の(4)に述べる事としこゝではその特殊の特性について數學的解析を試みるものとする。

電流制限ロートトロールは外觀は普通の4極直流発電機と同じであるが、その磁気回路が特殊の構造で極間に磁気分路があつてその特性は10圖に示す様に或る AT



10 圖

A_1 まではその發生電壓 E_1 は殆んど零に近く、 A_1 をこえると急激に電壓が上昇するものである。

巻上用直流電動機の光頭電流制限用としてこれを應用した接續圖を24圖に示す。圖において

R : 普通のロートトロール

その各界磁は

PF : 規準界磁

VF : 電壓界磁

IRF : IR 降下補償界磁

SF : 自勵界磁

また

CLR : 電流制限ロートトロール

でその界磁

PF, VF 同上

CF : 電流界磁

を表す。R の界磁 CLF は CLR によつて勵磁されていて PF とは差働に作用する。電動機電流 I が或る制限値 I_1 (過負荷耐量に相當する電流値) を越えると CLR の電流界磁 CF によるアンペア回數が増加し CLR の電壓を E_1 以上に急激に上げ R の CLR を過勵磁し R の電壓を下げ従つて E_g を下げて過電流を防止する。

この作用を數學的に解析すると、ロートトロールの電機子回路に3節にて述べたと同様に同調の條件の成立するときは

(1) CLR がその特性の屈曲點 A_1 以上で作用する場合

$$AI + aB = 0 \dots\dots\dots (5)$$

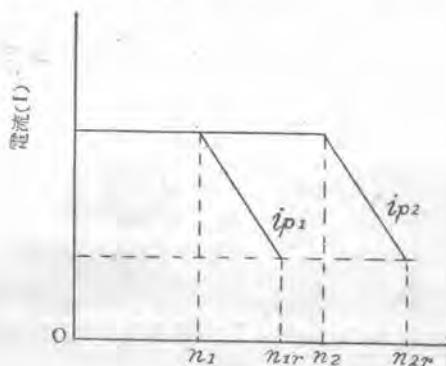
が成立する。こゝに

A, B 各界磁の常數によつてきまる常數

a 最大許容電流 I_1 によつてきまる常數

(CLR の特性の A_1 に關係する)。

式(5)には i_p は含まれていない、すなわちこの場合 I は i_p に無關係である。換言すれば i_p を如何に變化させても I は一定値 I_1 に保たれ、主開閉器の動作に關係なく過電流が防止される。



11 圖

i_p 一定の場合、速度 (n) と電流 (I) の關係

(2) CLR が A_1 以下で作用する場合、

$$I = \frac{Ci_p - DE_m}{I' - G} \dots\dots\dots (6)$$

こゝに

i_p : 規準界磁電流

E_m : 電動機誘起電壓

C, D, F, G : おおの常數

となる。規準界磁 i_p を一定すれば負荷電流 I は電動機電壓 E_m が大きくなるに従つて減少する。また E_m を一定とすれば I は i_p に比例する。

1), (2) を總合して考えると 11 圖において、電動機停止より起動する場合と考えると、主開閉器の操作によつて規準界磁電流 i_{p1} を投入すると起動電流が流れ CLR は屈曲點以上の電壓を發生し負荷電流を I_1 に保ちながら電動機は加速し電動機速度 n_1 に達した時 CLR の電壓は屈曲點に落ちそれ以上は速度の上昇に従つて I が減少し定格電流 I_n に達して i_{p1} に相等する速度 n_r になりこの n_r にて定常回轉を續ける。それ以上 i_p を徐々に増加すれば I_n を保ちながら速度が上昇する。次に起動の際に i_{p2} を投入すれば速度 n_2 に達するまで CLR は屈曲點以上で働き それ以上は速度が n_r に到るまで I は減少し i_p に相等する速度 n_{2r} に到つて定常速轉となる。

CLR に PF と VF を持つてゐる理由。

CLR の PF と VF を際けば式(5)は次の形になる。

$$Hi_p - JE_m + KI + L = 0 \dots\dots\dots (7)$$

となる。

こゝに H, J, K はそれぞれ常數である。

すなわち I を決定する式に i_p, E_m の項が入つて來る。(5) 式には i_p, E_m は含んでいなかった。 I を決定す

る式に i_p, E_m を含む事は I の制限すべき最大値が i_p あるいは E_m によつて變化する事である。これは I を i_p に無關係に一定にする目的には沿わない。

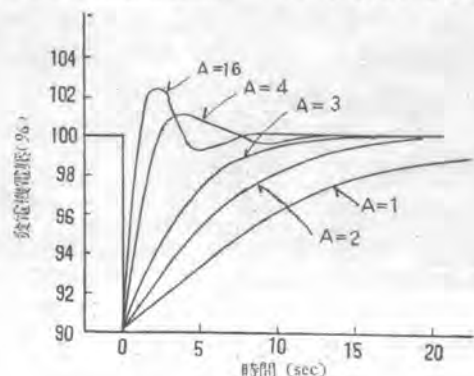
CLR に PF, VF を設けなければ最大制限電流は i_p によつて多少變化はするが過電流を防ぐ目的は達せられるから、逆轉サイクルの速いミル用直流電動機には構造を簡單にするためにこれ等の界磁は省略してある。 25 圖参照

6 増 巾 率

ロートロールの調整能力は次の2つの因子に關係する。

1. 靜的増巾率 (Static Amplification)
2. 動的増巾率 (Dynamic Amplification)

靜的増巾率は調整の感度と精度を決定する。電壓を基準とした靜的増巾率とは規準界磁に1ボルトの變化を與えたときの發電機電壓 (E_g) の變化を云う。例えば増巾率 10 とはロートロールの規準界磁に1ボルトの變化を與えたとき發電機電壓が 10 ボルト變化する事である。



12 圖 電壓回復曲線

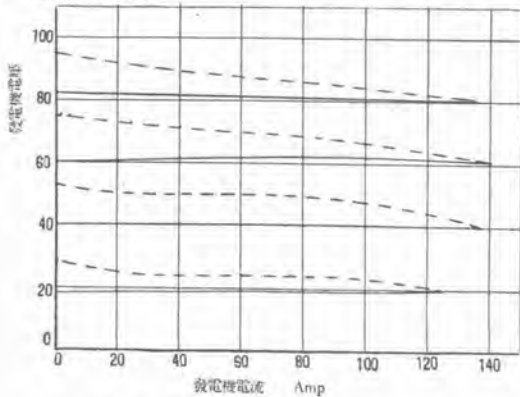
従つて式(1)の様に同調しているときには増巾率は理論的には無限大となる。何故なれば同調しているときは規準界磁に極小の勵磁を與えてもロートロール電壓は或る値まで發生するからである。

動的増巾率とは自勵界磁の助けをかりないときの増巾率の事で これはまた被調整値が變化した場合にそれを元の値に回復させる時の速應度を決定する。

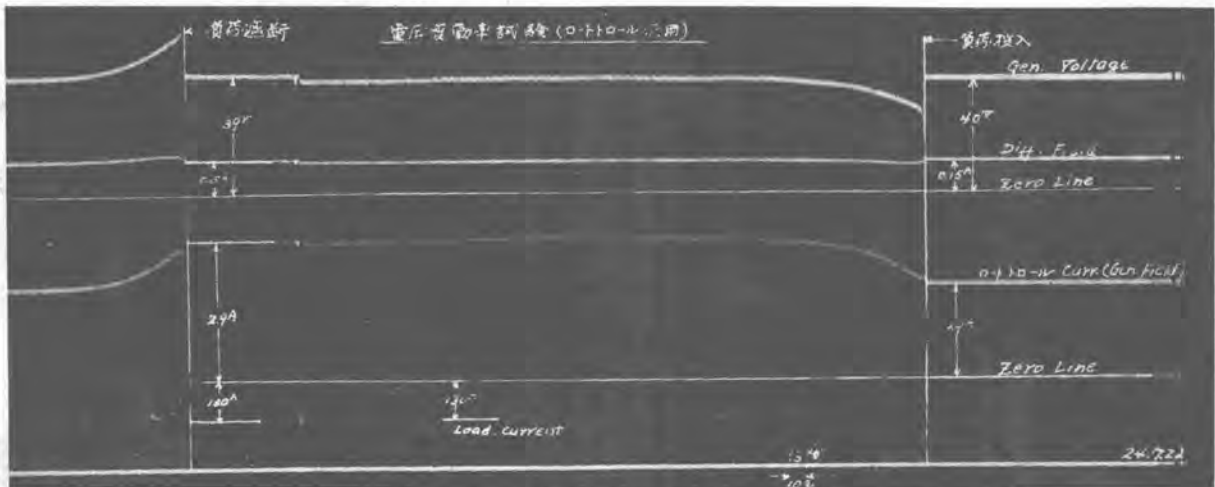
種々の動的増巾率の場合の速應性を示すと 12 圖のようになる。同圖では發電機の IR 降下が發電機端子電壓の頂度 10% になる様な負荷を急に投入した場合の回復率を示す。 $A=1, 2, 3, 4, 16$ の曲線はそれぞれ増巾率 1, 2, 3, 4, 16 のときの回復曲線である。負荷を投入した瞬間に電壓は 90% に降下するが 10% に回復するまでの時間は動的増巾率大なる程速くなる。

用途によつて高い速應度を要求される場合には大きい動的増巾率を必要とするが、動的増巾率を大にすればハンチングを起すが SF, VF はハンチングを防止する作用をする。或る程度以上高めようすると規準界磁に大きな電力消費を必要とするからこの場合には 25 圖の様、發電機 (あるいは電動機) の界磁は普通の勵磁機にて勵

實線 ロートトロールによる勵磁
點線 他勵磁



13 圖 15KW 直流發電機負荷特性



14 圖 負荷投入オシロ寫眞

磁し勵磁機の界磁をロートトロールで勵磁する様な二重勵磁の方式にするかあるいはまた特殊の「二段ロートトロール」を使用する。(二段ロートトロールについては別の機会に述べる事とする)。

7. 直流發電機自動電壓調整試驗

直流發電機

15KW 110V 137A 720 rpm 分巻

ロートトロール

0.5KW 100V 5A 1200 rpm (1 HP 直流電動機驅動)

接續圖 4 圖

(1) 各電壓における發電機負荷特性試驗(13 圖)

發電機電壓 40V において無負荷、全負荷の電壓何れも一定になる様にロートトロールを調整した。従つて他の電壓においては多少電壓變動率がある。點線はこの發電機をロートトロールによる勵磁でなく普通他勵磁とした場合、兩者を比較すればロートトロールの効果は明らかである。

(2) 負荷投入オシロ寫眞 (14 圖)

130 A の負荷電流を流す様な抵抗負荷を投入及遮斷した。最初無負荷で發電機電壓 40 V なる様に R_f を調整した。そのときのロートトロール電流(發電機勵磁電流) 1.9 A V_f 電流 0.15 A。負荷を投入すれば瞬間 E_g は降

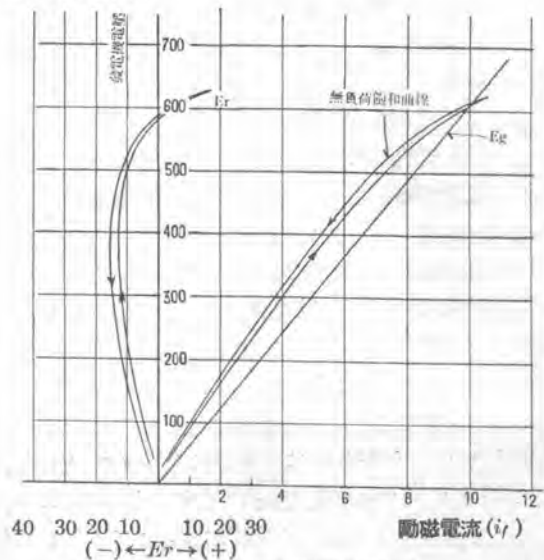
下するが 1 秒で電壓は殆んど回復している。ロートトロール電流は 2.9 A に増加する。

次に負荷を遮斷すれば瞬間 E_g は上るが前と同様 1 秒で殆んど回復する。

なおこの發電機の殘留磁機電壓は 9 ボルトあるが本試験で i_f を零にすれば發電機電壓は 4.5 V に減少している。それは 3 節にて述べた理由によるもので、ロートトロールの殘留磁氣が多少残つてゐるためでロートトロールの殘留磁氣をなくすれば發電機自體に殘留磁氣があつても電壓としては表われない。

8. 直流電動機自動速度調整試驗(巻上機用)

—レオナード制御方式—



15 圖 發電機電壓調整試驗

巻上用直流電動機 400KW 600V 710A 360rpm
直流發電機 435KW 600V 725A 900rpm
同上驅動同期電動機 490KW 2200V3φ 140A 900rpm
ロートトロール 0.5KW 140V 5A 1200rpm
接續 7 圖 (あるいは 8 圖)

(1) 發電機無負荷飽和曲線 15 圖

接續圖 8 圖でロートトロール R を切外して定電壓

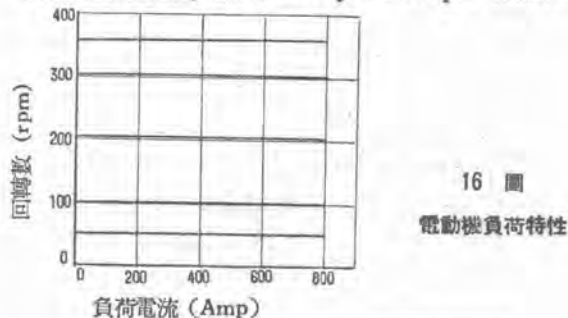
勵磁電源による勵磁とした場合の飽和曲線。

(2) 發電機電壓調整試驗 15圖

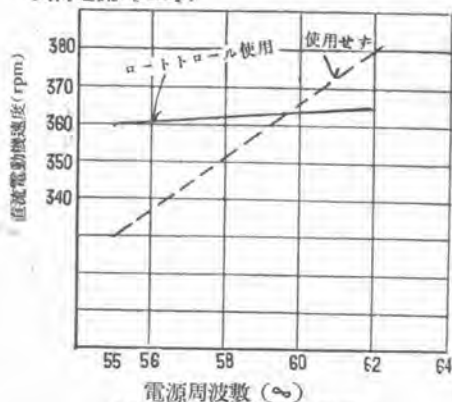
8圖の接続で(ロートロール使用)主電動機(M)を除外し發電機無負荷として、 R_f によつて i_f を變化させた場合の i_f と E_g の關係。15圖の E_g 直線、これは4節で述べた様に發電機の飽和曲線に無關係に直線になる可きものである。設計値と大體合致した直線となつてゐる。この場合のロートロールの發生電壓を E_r として圖に示してある。發電機飽和曲線と E_g 直線との交點にて $E_r=0$ となり、それ以上では E_r は正、従つて i_a は i_f と同方向、以下では E_r は負、 i_a は i_f と逆方向に流れる。飽和曲線と E_g 直線の交點の E_g と $E_r=0$ の E_g とが一致せぬのはロートロール残留磁氣のあるためであらう。飽和曲線には残留磁氣の影響が現れてゐるが E_g 直線には現れてない。

(3) 電動機負荷試験 16圖

8圖の通り主回路も形成し、 R_f の調整によつて電動機速度を決定し、各負荷において電動機に負荷をかけた場合の速度變動率を示す。50rpm~300rpmにおいて速



16圖
電動機負荷特性



17圖 電源周波数の影響

度變動率は殆んど零である。

(4) 電源周波數變化の影響 17圖

交流電源の周波數が變化すれば同期電動機、直流發電機速度が變化する故に R_f を一定としても直流電動機速度は變る。—勵磁電源壓は一定として—。ロートロールを使用すればその影響が少い。

(5) 勵磁電壓投入のオシロ寫眞 18圖

第(2)の試験と同様電動機を除外し發電機無負荷で i_f を急に投入した場合の E_g の上昇を示す。定常状態ではロートロールブリッジ回路の電流 i_{fr} (抵抗を流れるもの)と i_{fc} (コイルを流れるもの)は等しいが、過渡状態では異なる。オシロに示す様に i_{fr} は上昇が速いが i_{fc} は遅れる。すなわち投入の際には i_f 電流は $A \rightarrow BR \rightarrow (R) \rightarrow R_g \rightarrow BR \rightarrow B$ と流れるために R の電流は負になる。 E_g の上昇時間は約2秒である。

次に開路の場合は GF, SF に蓄えられていた $\frac{1}{2}Li_f^2$ のエネルギーが $GF \rightarrow SF \rightarrow R_g \rightarrow (R) \rightarrow BR \rightarrow A$ の回路にて消費されるために i_{fr} は急激に負の方向に轉じロートロール電流は正の方向に増加し、そのエネルギーが消耗した後 i_{fr} は i_{fc} と同様に減少をする。

なおこのロートロール巻上用として設計したもので速應度は要求されていない故に E_g の上昇率は比較的低い。

9. ロートロールの應用

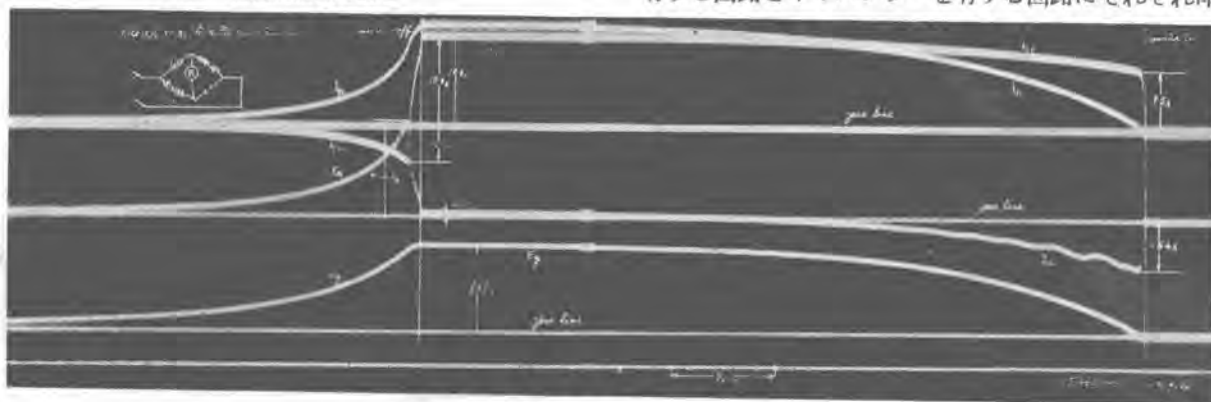
ロートロール勵磁機は電力方面にも工業方面にも實に廣範圍にわたつて多種多様に利用されるが、こゝではその代表的なものについて説明する。

(1) 交流發電機の自動電壓調整

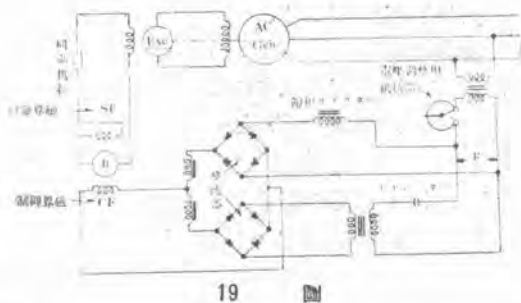
交流發電機の自動電壓調整器として要求せられる性能は、

- (1) 安定状態においては負荷、溫度及周波數の變化に關係なく發電機電壓を正確に維持する事。
 - (2) 發電機負荷の急變に對して最短時間で速應する
- 以上2つの性能をロートロール勵磁機はもつてゐる。この回路では飽和リアクターとキャパシターをもつてゐる。(19, 20圖参照)

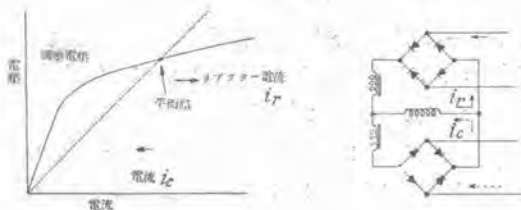
電壓トランスによつて發電機電壓が飽和リアクターを有する回路とキャパシターを有する回路にそれぞれ印加



18圖 勵磁電流投入オシロ寫眞



19 圖



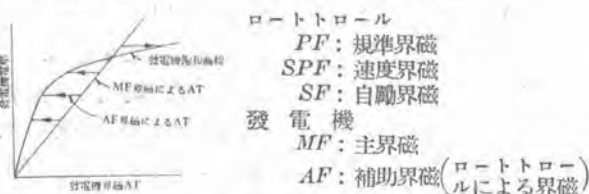
20 圖 ロートロール界磁電流と發電機電壓との関係

される。二つの回路の電流はそれぞれ整流されてその差がロートロール制御界磁 CF に流れる。もし何かの原因で交流發電機の電圧が上ると、非直線的なリアクター回路の電流がキャパシター回路の電流よりも急激に上昇する。そしてロートロールの電圧が下り交流發電機の電圧を適当な値に下げる。交流發電機の電圧が下つた場合は逆の現象がおこる。

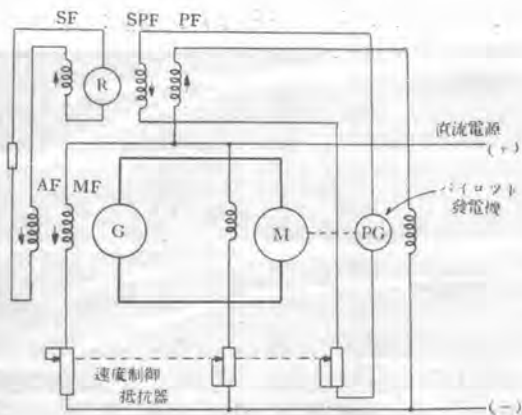
(2) 直流電動機の精密な速度調整

直流電動機を非常に正確に一定に保つ必要のあるときは直流電動機に直結したパイロット發電機をロートロールと共に使用する。この方式は製紙機、製鐵壓延機、織物機、ダイナモーター、及ゴムカレンダー機等に應用される。その特長は

- (1) 速度の全範囲にわたつての正確な速度制御
- (2) 補助増巾器の不必要による設備の簡易化と維持費



21 圖

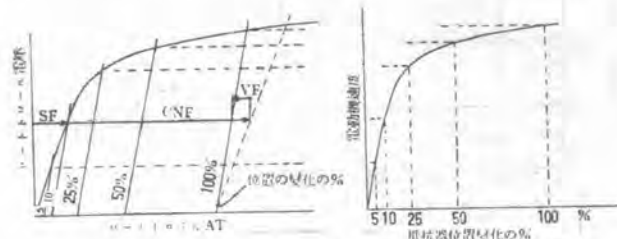
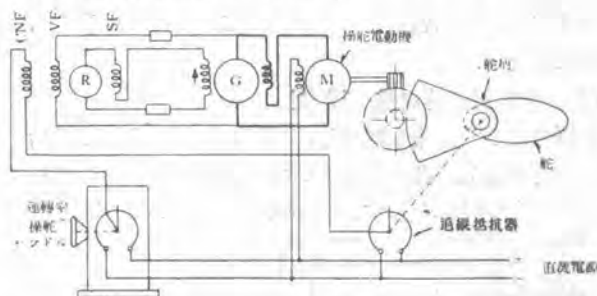


22 圖

の低下

- (3) 勵磁電壓の變化及界磁コイル温度の不均一による速度變化の自動的補償。(21, 22 圖参照)

大略の速度制御は直流發電機の主界磁 MF 及電動機の界磁調整によつてえられる。ロートロールは發電機の補助界磁 AF を勵磁し、正確な速度調整に必要な勵磁の修正をなす。ロートロール SPF 界磁は電動機速度の尺度となり規準界磁 PF と比較される。電動機速度に變化がおこればロートロールの三つの界磁 SF , SPF , PF の間の平衡がやぶれてロートロールは修正作用をする。ロートロールの規準界磁 PF とパイロット發電機の界磁とが直列に接続してある事は電源電壓及界磁温度の變化を補償するに役立つ。



23 圖 操舵装置に應用したロートロールの回路

(3) 正確な位置の調整

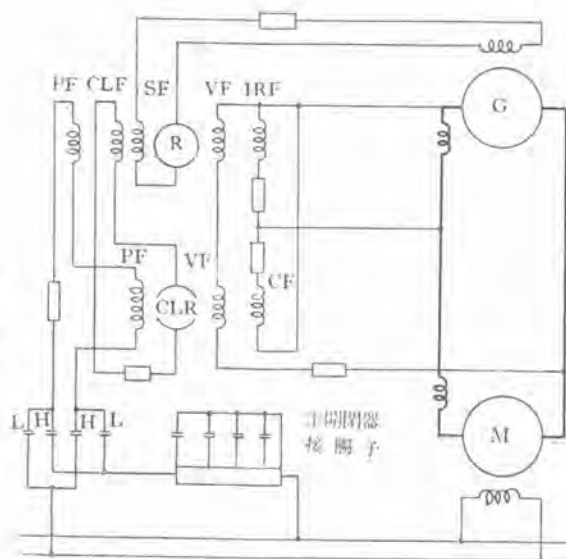
微小な電力の變化によつて大きな力を出す事を必要とする位置の調整にロートロールを應用する。その例としては

- (1) 大きな複雑な面をミリングによつて加工する場合ヒナ型の追跡に従つてカッターは正確な位置に來なければならない。例えば船のプロペラの面を加工する場合等は $\frac{2}{100}$ の精度がえられる。
- (2) 船の操舵機にあつては舵は操舵機の運動に従つて正確に位置しなければならない。操舵ハンドルに直結した抵抗器及縦舵装置にロートロールを使用する。この場合の誤差は $\frac{1}{4}$ 以内である。23 圖参照

ポテンシヨメータ式の抵抗器が運轉室の操舵ハンドルと舵柄にそれぞれ直結してある。ロートロール制御界磁 CNF は上記二つの抵抗器の移動腕の間に接続されていて、兩者の位置の差によつて勵磁せられる。兩者の間に差のあるときは直流發電機の電圧が発生し電動機は回轉し舵柄はその差を少なくする方向に動く。飽和曲線に示す様に、この場合にはロートロールは非常に飽和した所を使つてゐる。ロートロールの電壓界磁 VF

24 圖

鑛山用巻上機に使用する場合
の接続圖
電動機は界磁調整を行わぬか
ら電動機にはロートロール
は不要



ロートロール

PF: 規準界磁

VF: 電壓界磁

IRF: IR 降下界磁

SF: 自勵界磁

電流制限 (ロートロール)

PF: 規準界磁

VF: 電壓界磁

CF: 電流界磁

勵磁電源

はロートロールの電壓を低める、従つて電動機
の速度を低くし、舵が正確な位置に近すいた
時に速度をおとし行きすぎやハンチングを
防ぐに役立つ。

(4) 直流電動機の過電流防止 (電流制限 ロートロール使用) 一分塊ミル用として

この方式は標準型ロートロールと電流制限
ロートロールを組合せて使用するもので、
分塊ミルあるいは鑛山巻揚機等急速な加速、
減速及逆轉を頻りに繰返す様な負荷におい
て使用すれば、直流電動機及發電機の電流を
制限値以下に保つ故に電氣的機械的に機械
の保護となりしかも運轉能率が向上する。米
國においては舊式の壓延機にこの方式を増設
使用する事によつてインゴットの生産高が一
時間 162 噸より 200 噸に上昇したと述べて
いる。すなわちこの方式の利點とする所は、

- (1) 電動機及發電機の安全電流 (最高過負荷電流) 以内において最高の加速減速がえられる。
- (2) 主制御器の運轉の好拙に關係なく電流は一定値をこえないから機械の保護装置となる。
- (3) 負荷の大小に關係なく各速度において速度變化が

少い、すなわち速度變動率が非常に少い。

- (4) リレーや接觸子がなくなるために信頼度が高まり維持費が軽減せられる。(24 圖参照)

分塊ミルに使用する場合には電動機の界磁調整を行
うから電動機にもロートロールを必要とする。この
場合は逆轉の周期は巻上機の場合にくらべて非常
に速く、電動機速度變動率もそれ程問題になら
ないから電流制限ロートロールに PF, VF は詳
略してある。(25 圖参照)

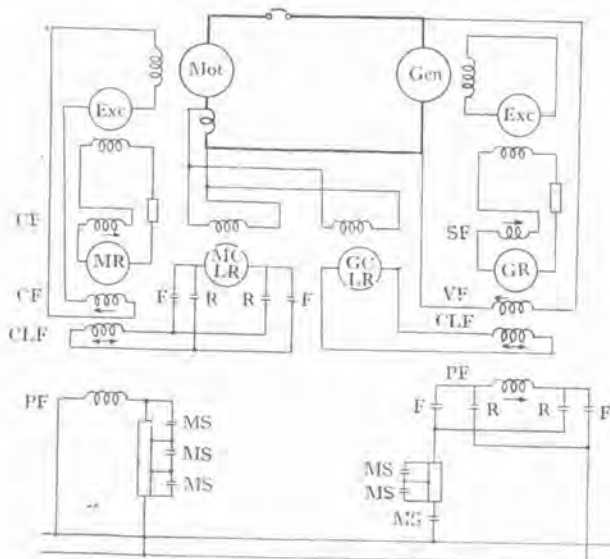
(5) 巻取機の張力調整

ロートロールは製鋼、織物、製紙、ゴム工業等
のコア型巻取機の巻取及巻外しの張力調整に廣く
使用せられる。この場合の特長は

- (1) 巻取コイルの大きさの變化に應じて巻取速度が常に圓滑に變化してもその間何時も巻取の張力の變化を一定限度内に精密に保ちうる。
- (2) ストリップの速度が實質上増加した。ロートロール調整器の使用により米國ではダンデム冷間壓延において實に 55 哩/時以上の速度を出す事ができた。

25 圖

分塊ミルに使用する場合の
接続圖



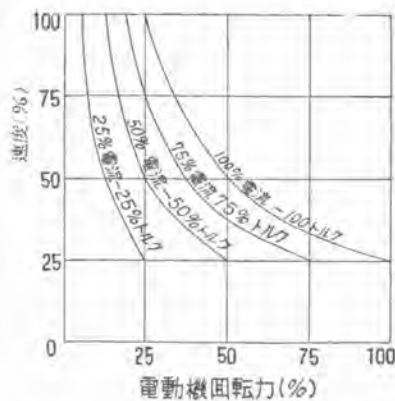
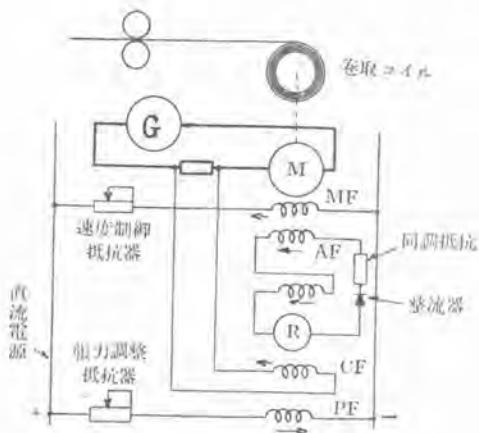
MR: 電動機ロート
ロール

MCLR: // 電流制限
ロートロール

GR: 發電機ロート
ロール

GCLR: // 電流制限
ロートロール

定電壓直流電源



電動機
MF: 主界磁
AF: 補助界磁
ロートロール
SF: 自動界磁
CF: 電流界磁
PF: 規準界磁

26 圖

26 圖

されていたものより種々の點において優れている。從來使用されていた様な大きな導體の直巻コイル及クロス接続は不必要になり、既設の機械にも簡単にこれを追加設置する事ができる。小さな電動機では AF なるコイルを設けず主界磁の間にロートロールをブリッジに接続すればよい。(27 圖参照)

(7) 同期電動機の安定度調整

脱出回轉力調整—過負荷耐量の増加

或る種の負荷に同期電動機を使用する場合には一時的に大きな尖頭負荷のかゝる事がある。もし勵磁を調整せず一定に保つものとするときは脱出より防ぐためにその尖頭負荷に應じた尖頭回轉力を出し得る様大型に設計しなければならない。この様な場合ロートロールによる勵磁電流の調整すなわち安定度調整は機械を小型にし設備費が低下する。

従つて電動機は定格負荷に對して設計すれば充分で、一時的な過勵磁によつて必要な過負荷容量が出せる。この様な負荷の例として製鐵用壓延、製紙工業の粹木機及電氣推進である。安定度調整はまた一種の力率調整となる。しかし正確度を必要としないから装置は簡單である。

(28 圖参照)

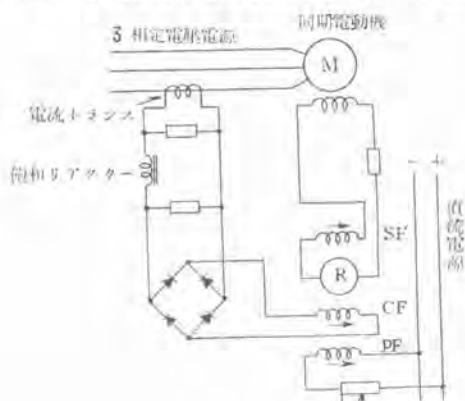
ロートロールの自動界磁 SF は同調を (下目に) 外してある。そして一定勵磁を與える規準界磁 PF と共に電動機の定格勵磁を與えるに必要なロートロール電壓を出す。ロートロール界磁 CF は、直列に飽和リアク

(3) 慣性の補償がてきるために加速度、減速度が大きくなる。(26 圖参照)

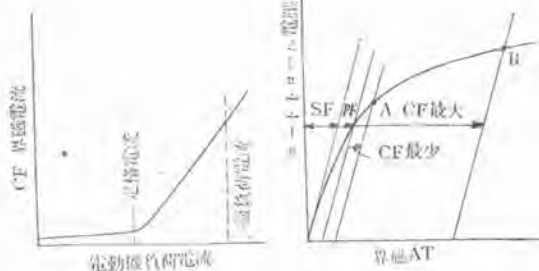
巻取電動機は界磁を二つもっている。主界磁 MF は巻取を始める時あるいは巻取機が空のときに正確な速度をうるために調整するもので、補助界磁 AF はロートロールによつて勵磁せられる。ロートロールは CF 界磁によつて測られる電動機電流を規準界磁 PF によつて與えられる値に相當した値に一定に保つ役目をする。電動機電流従つて張力は PF 界磁の調整抵抗器によつて調整せられる。

(6) 負荷の平衡作用

二つの電機子が一つの負荷に機械的に直結せられて、電氣的には並列運轉をなす場合がある。レオナード制御あるいは界磁調整によつて廣範圍に速度制御を行う場合には兩電機子の電流の平衡状態に注意しなければならぬ。ロートロールによる平衡方式は過去において使用



27 圖



28 圖

ターを接続した電流トランスの二次より整流して勵磁せられる。電動機電流の少いときはリアクターのインピーダンスは大で CF 電流は殆んど零に近い、定格電流附近でリアクターは飽和して、それ以上の電流ではインピーダンスは急激に減じ CF 電流が流れ電動機の勵磁電圧すなわちロートロール電圧は A より B に上昇し電動機に必要な勵磁を與える。

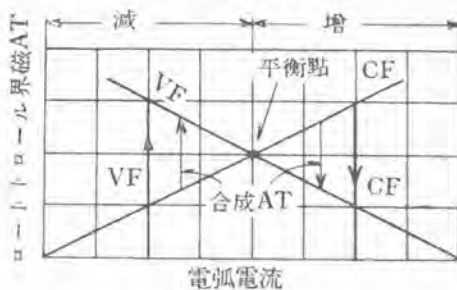
(8) 電氣爐の電力調整

電弧爐入力の調整—生産の増大—品質の改善

電弧爐の入力電力と電極の位置との相互關係より電極位置によつて入力電力の調整ができる。上記關係を利用したロートロールによる調整は次の如き優れた性能をもっている。

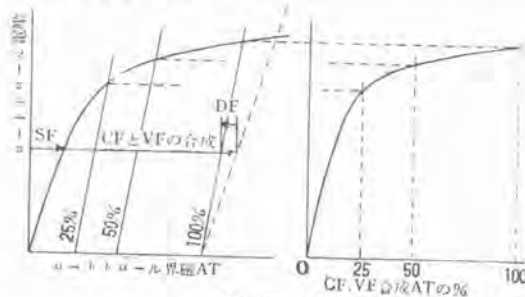
- (1) 電極の破壊は非常に減少した。
- (2) 運轉の圓滑と接觸子やリレーの除去によつて維持費が最小限になる。

電極距離



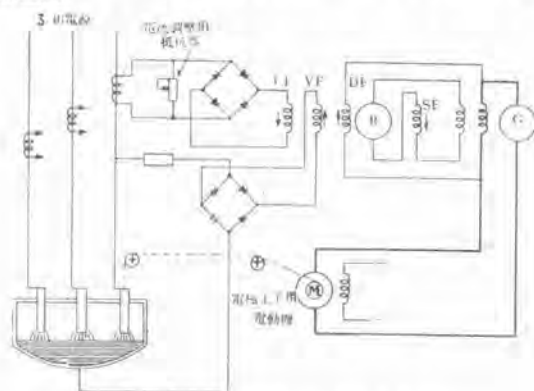
29 圖 (a)

爐の電弧電壓、電極電流の函數として表わしたロートロール界磁 AT



29 圖 (b)

電力の不均衡によるロートロール電壓及電極上下用電動機速度



30 圖 電弧爐調整回路 (I 相のみを示す)

(3) 可變電壓制御は爐の狀態に應じて電極の位置を速かにしかも自動的に調整する。

(4) 爐の生産高は上昇し鋼毎トンの電力消費量は減少する。(29, 30 圖参照)

電極電流と電弧電壓にそれぞれ比例した整流された電圧が CF と VF にそれぞれ印加され兩者は互に差動的に作用する。これ等の界磁は 11 圖 に示す様に電弧の電力が要求された價のときにその合成 AT が頂度零になる様に設計し調整してある。電弧電壓あるいは電極電流の變化によつて生ずる CF と VF との合成 AT はロートロール電壓を發生し平衡が成立するまで必要な方向に電動機を回轉させる。差動界磁 DF の作用は 11 圖 に示す様に電動機回轉すなわち電極位置が正しい位置に近ずいたときに電動機速度をおとして行き過ぎやハンチングを防ぐ。

10. 結 言

米國においてはロートロールは研究の域をはなれ既に實用期に入つていて、實に廣範圍に應用されている。當社においても終戦後この研究をすすめ、本文に示す様に巻上機用としては實驗の結果その性能の優秀性を確めた。種々の應用面においてその性能は理論上明らかであるが實用上なお研究すべき點があると考え、特に電流制限用ロートロール (CLR) 及二段ロートロールに関しては今後速かに實用の機會を得たく期待している次第で、その成果は別の機會に發表したいと考えている。

参 考 文 献

- W.H. Formhals : Rototrol—A Versatile Electrical Regulator W.E. May 1942, P. 51.
 - E.L. Harder & C.E. Valentine : Static Voltage Regulator for Rototrol Exciter E.E. Vol 64 Aug 1945, Trans P. 601.
 - W.R. Harris : Industrial Application of Rototrol Regulators E.E. Vol. 65 March. 1946, P. 118.
 - J.E. Barkle & C.E. Valentine : Rototrol Excitation System AIEE Tech. Paper 48-82 (Dec. 1947)
 - C.E. Valentine & C. Lynn : Main Exciter Rototrol Excitation for Turbine Generators AIEE. Tech. Paper 48-83 (Jan. 1948)
 - A.W. Kimball : Two-Stage Rototrol for Low-Energy Regulating Systems AIEE Tech. Paper 47-262.
 - S.L. Lindbeck : Rototrol for Ship Drive W.E. May 1947, P. 87.
 - E. Frish : Application of Rototrol W.E. July 1947 P. 121.
 - J.I. Carleton : The Transient Behavior of the Two-Stage Rototrol Main Exciter Voltage Regulating System as Determined by Electrical Analogy AIEE Tech. Paper 49-8 (Jan. 1949)
 - C. Lynn & C.E. Valentine : Rototrol Provides Generator Excitation W.E. March 1948, P. 34.
- ロートロール : 電氣工学海外論抄 1 卷 10 號 1948 年 4 月。

軸電流による軸受メタルの摩耗について

電気機械に軸電流が発生する場合には、軸受メタルの異常摩耗や、Pitting, Scoring 等の異常現象を発生するが、ここには、その発生機構について考察し、それらの原因が何れも軸電流による異常温度上昇にあることを述べている。

長崎製作所

片 山 仁 八 郎

1. 緒 言

軸電圧は鉄心磁路の不均衡によつて発生し、例えば固定子鉄心が分割せられている場合には多少とも発生するものであり、その分割の数と極数との割合が或る組合せになつた時は殊に大きな値となる。従つてこの様な鉄心の分割数はできるだけさけるべきであるが、標準化された生産機構の下では、或特殊の極数に對しては止むを得ずこの不都合な分割鉄心を採用せざるを得ぬ場合も起り得るのである。このために多数の電動機の中には風電圧の発生し得る条件のものもある譯である。

しかるに これら悪条件の電動機が多数存在するにもかかわらず、一般に軸電流による事故は滅多に発生しない。軸電流による事故が発生するのはよほど運の悪い時に限られている。これが何を意味するかと言うと軸電圧は発生していても、多くの場合には軸電流は流れていないと言うことである。あるいは流れていても、極めて少いことを意味する。換言すれば軸電流の値というものは使用条件・負荷状態等の外部条件によつて決定的に左右されるものであつて、軸電圧の発生すなわち軸電流事故と考える必要はない。

さて何が故にかくの如く偶発発生が大きいかと言えば、軸電流の回路に含まれる軸受部のインピーダンスが非常に不規則性の大きいものであるためである。軸と軸受の間には油膜がはさまれているが、この油膜の厚さや温度は一定でなく、潤滑状態・負荷条件等により常に變動している。従つて軸と軸受間のインピーダンスは大きく變動する譯であつて、このインピーダンスが異常に小さくなつた瞬間に大きな電流が流れて事故の原因となるのである。

2. 軸受の潤滑と磨耗について

順序として潤滑と磨耗の機構について考える必要があるが、通常次の様に考えられている。

軸受の潤滑が良好な間は摩擦係数は小さく、軸受の温度も低い。この時軸は完全に油の膜につつまれている。この油膜は軸と軸受間に單に物理的に存在するのみでな

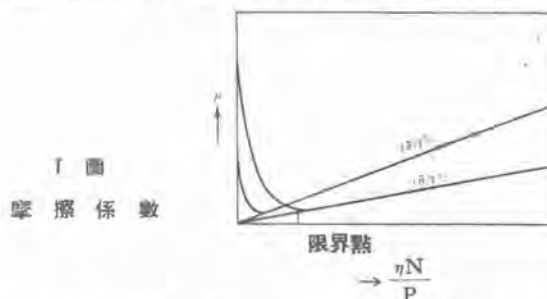
く、潤滑剤と金屬面との間の化學的親和力も作用しているのである。すなわち潤滑剤中に含まれる有極性原子團と軸受金屬の表面分子との間に吸引力を生じ、いわゆる吸着という現象を生じ、その結果として金屬表面に一定方向の分子配列ができるのである。この金屬面と油分子の間の牽引力が大きい程油膜の安定度が大となる故高荷重下の摩擦に際しても破れないばかりでなく、摩擦係数を小さくするのである。

摩擦係数を左右するものはこの潤滑剤の油性の他に軸受荷重、軸受寸法、回転數等がある。これらの間には普通次の式が成立する。

$$\mu = \frac{2\pi\gamma}{\delta A} \frac{\eta N}{P}$$

ただし A = 軸受投影面積
 η = 粘度
 N = 回転數
 P = 軸受荷重
 γ = 軸半径
 δ = 軸と軸受の隙

また μ と $\frac{\eta N}{P}$ との間には1圖の様な關係があつて $\frac{\eta N}{P}$ の或値に達すると、 μ は急激に大きくなつて潤滑が悪く



なる。この點を限界點と稱し、この状態を境界潤滑と呼ぶのである。

さて軸受部には回転によつて摩擦熱を生じ、軸受及び潤滑剤の温度を上昇せしめるが、液狀潤滑の状態では温度上昇は少ない。潤滑状態が悪化するにつれて、摩擦係数が大きくなり発生熱量も多くなつて、次第に温度上昇が高くなる。かくして境界潤滑状態となれば、急激に温

度上昇が増加し、軸受部や潤滑剤が高温にさらされる様になる。高温になるにつれて潤滑剤の粘度は低下し、摩擦係数を増大せしめます温度上昇に拍車をかけることになる。かくして或る温度に達すると軸受金属の機械的強度が低下し、軟くなり軸に熔着しいわゆる摩擦するに至る。これを熔着摩擦と呼ぶ。更に摩擦面の温度が高くなれば熔着する様になつて、軸受金属が押し出される様な傾向になつて摩擦する。これを熔融摩擦と言う。これ以上になると油膜がますます薄くなり殆んど数分子層程度となつて、固体摩擦となり、焼付いわゆる焼損となるのである。

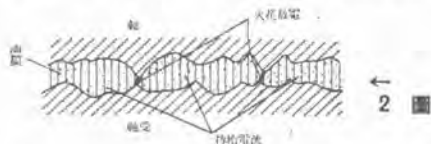
3. 軸電流による磨耗について

潤滑状態が劣下し、油膜の形成が悪くなつて境界潤滑状態に接近すれば、油膜の厚さは非常に薄くなる。例えば境界点の油膜の厚さは

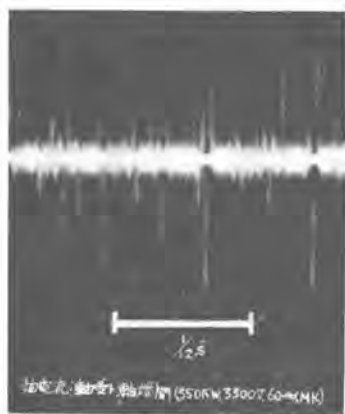
A.S.M.E. の実験によれば $0.000001 \text{ 吋} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ mm}$
Kingsbury の測定によれば $0.6 \times 10^{-5} \text{ mm}$

軸電圧が発生していればこの薄い油膜の抵抗を通して相当大きい電流が流れる。あるいは軸電圧と油膜の相対的關係如何によつては、油膜の耐電圧特性を超過し、油膜を破つて火花放電を行う。また軸受面を顕微鏡的に見れば、2 圖の如く凸凹部を有する。この凸凹部が回轉して、凸部と凸部が相對向した瞬間に火花放電が発生し、その他の部分では持續電流が流れ全體としてはこの2の電流が重疊される。この狀況は3圖のオウソログラムに示されている。

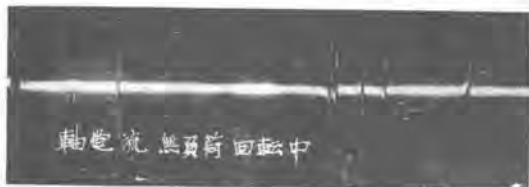
この電流は、電圧は低いけれども、回路のインピーダンスが小さいために、非常に大きな値になることがあ



← 2 圖



← 3 圖 (A)
軸電流



↓ 3 圖 (B)

り、數百アンペアに昇る例もあるのである。

この様な大電流が発生すれば、そのジニール熱も相當な値になり、そのため軸受金属の温度が高くなり、通常の摩擦熱に加重されて等価摩擦あるいは熔着摩擦の発生を促進する譯である。

かように軸受部の潤滑狀況が悪い場合には、摩擦熱のみによつて既に摩擦が大きくなつてゐる上に、軸電流の値も大きくなるので更に摩擦を増加發生せしめることになるのである。

また軸受荷重の分布、軸電流の分布は軸受面に均一になつてゐるものでなく、局部的に集中する傾向にあり、従つて摩擦も局部的に發生し易く、これが次々と轉移して全體の摩擦を早くすることも考えられる。更に電動機の起動の瞬間には油膜不完全であつて、極めて薄い分子層程度であるために Switch in の瞬間に大きな軸電流が流れて摩擦を促進するに至る。

4. Pitting, Scoring

さて軸と軸受金属間に火花放電の發生することは上述の通りであるが、この火花放電は大電流が瞬間的に、局部的に集中するために、その部分は軸受側も軸側も非常な高温にさらされる。その高温度によつてその部分は



4 圖 Pitting の穴 (300 倍)

軟化、熔融し、熔融した部分は油膜の壓力によつて吹き飛ばされるに至る。これが軸受金属に發生する Pitting であつて、火花放電による噴火口狀の穴が集團的に發生しているのである。(4 圖)

軸の方は軸受金属より硬度高く機械的強度も高いために軸受面の如き穴とならないで引つかいた様な傷となる。これが Scoring である。

5. 結 論

要するに軸電流による傷害は、それによつて生ずる熱が原因であつて、それが比較的小さくかつ定常的に發生するときには摩擦を招来し、大電流が局部的に、過渡的に發生すると Pitting や Scoring となる。

従来軸電流は Pitting や Scoring を生じなければ差支えないとされ、またあまり注意も拂われてゐなかつたがこれを起す一步前程度の軸電流によつて異常な摩擦現象を發生することが判つた。これは時によつては、むしろ Pitting や Scoring よりも警戒を要するものである。

文 献

誘導電動機の軸電流 三菱電機 Vol. 22 No. 7 頁 1.

「鑄 鐵 製 グ リ ッ ド」 に つ い て

グリッド材料としての高硅素鑄鐵の比抵抗に對して炭素及び硅素が如何に作用するかはグリッド製作上重要な問題であるが、當所で製作中のグリッドの成分に近い炭素 3% 硅素 3%, 4.5%, 6.0% のものについて比抵抗の變化及び熱處理の影響、濕度變化を調べ、合せて現在製作中のグリッドについて調べたのでその結果を報告する。

名古屋製作所 田 中 敬 一

1. 緒 言

鑄鐵の電気抵抗は鋼に比し甚だ大きい。そのため大電流を制御、調節するのにしばしばこの性質が利用される。現在當所で製作している電動機の制御用グリッドも鑄鐵製のものが用いられているが、鑄鐵はその鑄造條件、化學成分、組織等によりその比抵抗は非常に影響され易く現場ではその比抵抗調節には非常に苦心するものである。

鑄鐵はその成分として炭素、硅素、マンガ、磷、硫黄等を含み、それ等がおのおの組織上單體として存在するか、固溶體として存在するか、あるいはまた化合物として存在するかによりその比抵抗は大いに異つてくるから、同一化學成分のものでも組織により必ずしも同一比抵抗値をあたえない。

高硅素系グリッドの主成分である炭素、硅素について言えば、炭素は普通鑄鐵においては基質中に固溶體と Fe_3C として含まれそれ等が共析反應によりパーライトとして存在するが、大部分はいわゆる黒鉛炭素として基質中に片狀に點在、分布しているものであり、その析出量、形狀、分布狀態により鑄鐵の種々な比抵抗値があたえられる。

また硅素はそれ自身シリコフェライトとして地鉄中に固溶し大いに比抵抗を増大するが、また黒鉛の析出に對しても影響をあたえるものである。

これ等、2 種の元素を種々配合して比抵抗を加減し、所要の抵抗値を有するグリッドを製作したので、その結果を報告し鑄鐵製グリッド製作

に對する資料とするものである。

2. グリッドの形狀及寸法

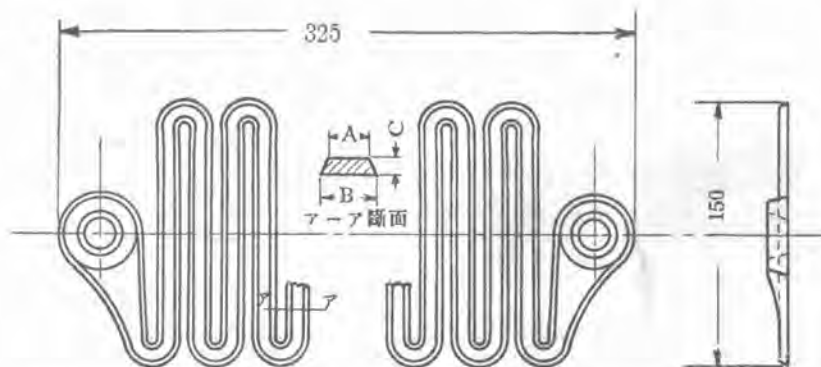
本實驗に使用したグリッドの形狀及寸法を 1 圖に示す。

3. 熔 解

熔解には 950～, 300 K.V.A. の鹽基性、高周波誘導電気爐を用い、地金は下表の如く他の元素の影響を少くするため、なるべくマンガ、硫黄の少ないものを選び、硅素は 75%, フェロシリコンを用いた。

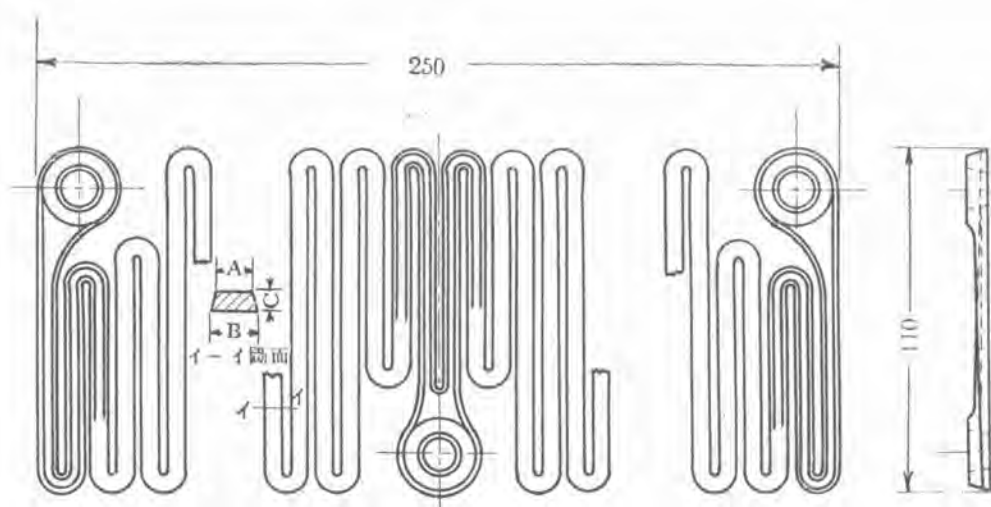
地 金 成 分

T.C. 2.0%, Si 1.96%, Mn 0.94%, P 0.35%, S 0.0475%



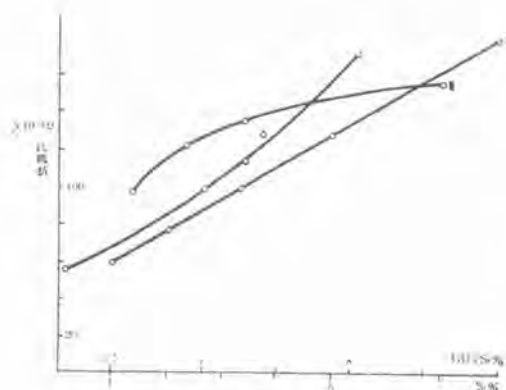
稱 呼	A	B	C	切口の面積 cm ²	抵 抗 Ω	1 個の重量 kg
GB 1	6	9	3	0.225	0.12	0.61
〃 2	10	13	〃	0.345	0.062	0.71
〃 3	9	12	5	0.525	0.042	0.91
〃 4	13	16	〃	0.725	0.025	1.02
〃 5	19	22	〃	1.025	0.013	1.05
〃 6	〃	〃	7	1.435	0.0094	1.47
〃 7	〃	〃	11	2.255	0.005	2.31

1 圖 グリッドの寸法及形狀 (a) GB グリッド



1 圖 グリッドの寸法及形状
(b) GS グリッド

稱 呼	A	B	C	切口の面積 cm ²	抵 抗 Ω	1 個の重量 kg
GS 1	2.35	3.65	3	0.09	0.62	0.35
GS 2	3.55	4.45	3	0.12	0.42	0.40
GS 3	4.55	5.45	3	0.15	0.29	0.44
GS 4	5.5	6.5	3	0.18	0.2	0.50



2 圖 Si 量による比抵抗の変化

4. 比抵抗の変化

ア. 硅素量による比抵抗の変化

試料は 100+15×5mm のものを生砂型に鑄込んで測定した。

その結果を 2 圖に示す。

圖中 (I) は炭素 3% のものに硅素量を変化せしめたもの。

(II) は炭素 3.5% のものに硅素量を変化せしめたもの。

(III) は (黒鉛炭素+硅素) の量の変化と比抵抗値との関係。

以上を見ると比抵抗値は硅素量の増加と共に多かれ、少かれ ほぼ直線的に増加している。

これは硅素が黒鉛の析出を助けると共に、基質中に入りシリコフェライトとして基質の抵抗を増大することによる。シリコフェライトの抵抗値は次の様な値があたえ

られる⁽¹⁾。すなわち。

硅素量	3%	46.61 $\mu\Omega/\text{cm}^2$
	4.5%	63.37 //
	6.0%	80.68 //

となつており、硅素量の増加と共に比抵抗は増加することが判る。

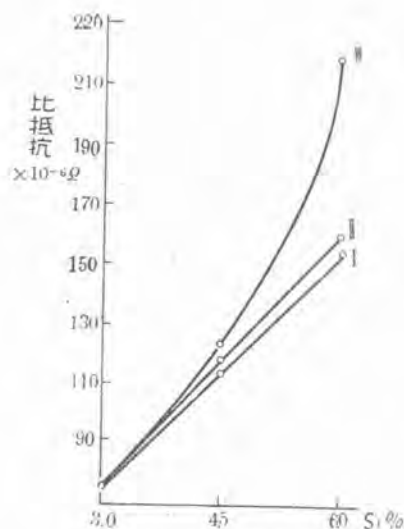
イ. 炭素による比抵抗の変化

炭素は普通鑄鐵においては化合炭素として、大體 0.5 ないし 1.0% を含み、残りは黒鉛炭素として含まれる。一般に全炭素量が多くなる程黒鉛の量は多くなる傾向にある。黒鉛の増加と共に比抵抗は増大するが、炭素及硅素の増加により黒鉛の形状、分布状態が變つてくるため一概には言えない。

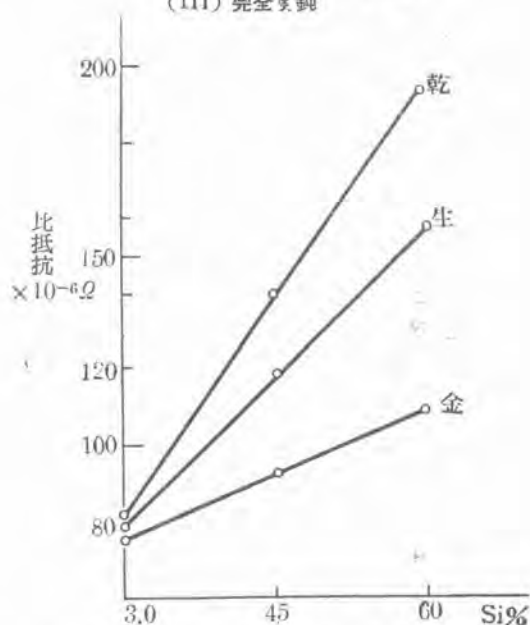
前の實驗に使用した試料を、先ず、700°C で 2.5 時間、次にこれを完全焼鈍すると、基質中の炭素の内パーライトは分解して黒鉛となり析出し、基質はシリコフェライトとなり比抵抗は増加してくる。

3 圖にこれを示す。

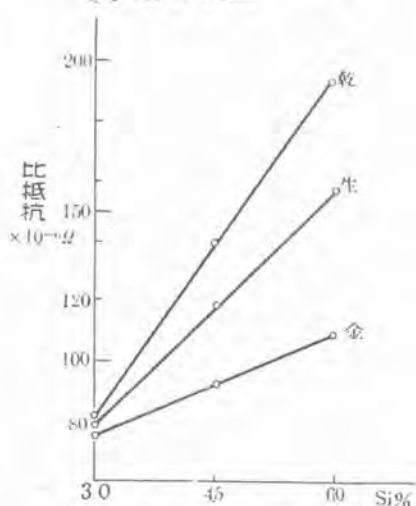
これによつて判るように鑄鐵の比抵抗は明かに黒鉛炭素の量に影響してくる。黒鉛の比抵抗は、1375 $\mu\Omega/\text{cm}^2$ であり⁽²⁾、硅素を含みぬパーライトの比抵抗は 190 $\mu\Omega/\text{cm}^2$ で⁽³⁾、シリコフェライトは前述のようなものである故それ等の比抵抗の間には非常に大きな差がある。そのため電流を通じた場合、電流は抵抗の大きい黒鉛をさけて抵抗の少ない基質中を通過しようとするものである。そのため通過距離が大きくなり、比抵抗が大きくなるように思われる。またこれらの理由により黒鉛は量のみが比抵抗に對し影響するものではなく、その形状、分布状態が非常に影響する。



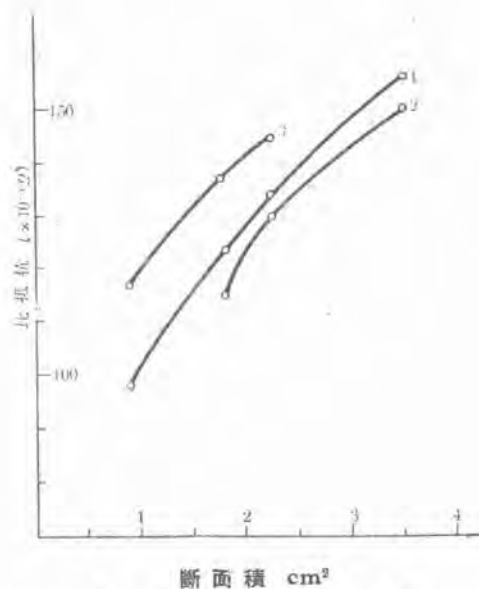
3 圖 比抵抗と熱處理との關係
(I) 鑄造のままのもの
(II) 700°C x 2.5 Hr 焼鈍
(III) 完全焼鈍



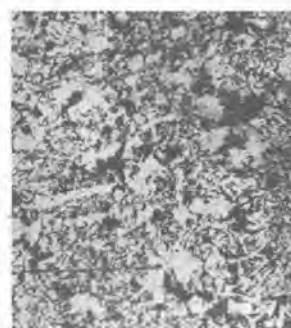
4 圖 金型、生型、乾燥型に鑄込んだものに對する熱處理の影響
(a) 700°C x 1 Hr



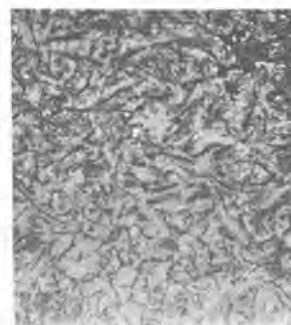
4 圖 (b) 完全焼鈍



5 圖 斷面積による比抵抗の變化



6 圖



7 圖

次に黒鉛の形状による比抵抗の變化を見るために、 $5 \times 150 \text{ mm}$ の試料を金型、生型、乾燥型に鑄込みおのの焼鈍を行い、その比抵抗を見ると4圖の如くなる。金型では完全にテールされ焼鈍後の炭素はいわゆるテンパーカーボンである。生型、乾燥型では一次の黒鉛が析出しており、同一成分のものでも黒鉛の形が異り、そのため比抵抗に差が出ている。すなわちテンパーカーボンのように塊状に様に分布されたものでは基質中を流れる電流が割合支障なく流れるので比抵抗は少く、一次黒鉛の析出量の多いもの程比抵抗値は大きくなっている。

實際のグリッドにおいても斷面積の大小により冷却速度が異り黒鉛の析出量も異り5圖のような比抵抗の變化が現われている。その成分は次の如きものである。

	T.C %	Si %	Mu %	P %	S %
No. 1	3.50	4.16	0.17	0.14	0.0125

No. 2	3.56	3.56	0.18	0.14	0.0120
No. 3	2.85	7.66	0.15	0.14	0.0126

No. 3 の成分のものを断面積 1 cm^2 のものに鑄込むと 6 圖の如き組織を示し、No. 2 のものを断面積 3.5 cm^2 のものに鑄込むと 7 圖の如き組織になる。

6 圖は 1450°C 以上の高温熔解されたため、黒鉛は共晶状のものとなり、基質は殆んどシリコフェライトになっている。また 7 圖は片状黒鉛とパーライトから成り普通の鑄鐵組織である。このように冷却速度 最高加熱温度によつても黒鉛の形状は變つてくるものである。

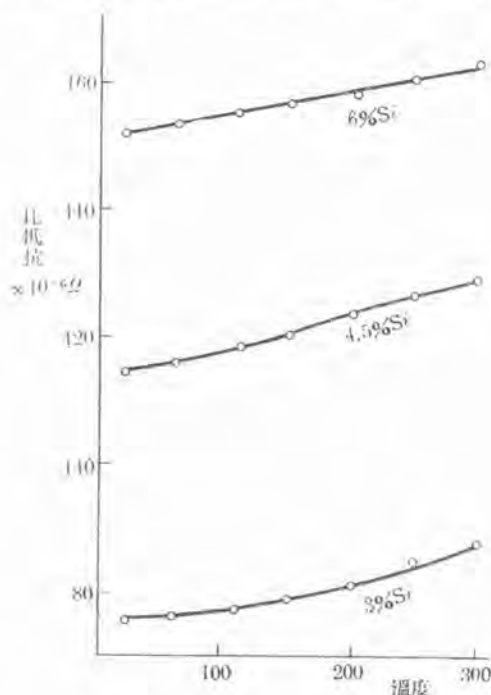
5. 比抵抗の温度變化

$5 \times 5 \times 150\text{ mm}$ の試料を生型に鑄込み 300°C までの温度變化を見ると 8 圖の如くなる。次に完全焼鈍を行つておのの 300°C までの温度變化を同圖に示す。

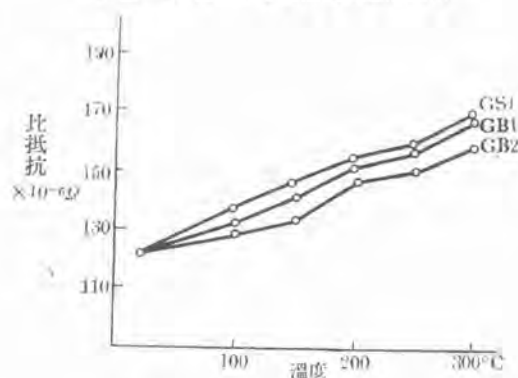
實際のグリッドについて行つた結果は 9 圖に示す。

6. 機械的性質

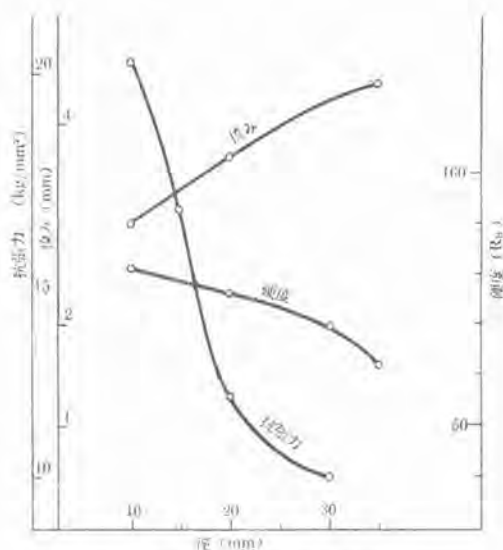
機械的性質としては径 10, 20, 30, 35 mm の丸棒を生



8 圖 Si 量による比抵抗の温度變化



9 圖 Gr. d の比抵抗の温度變化



10 圖 機械的性質

型に鑄込み日本標準規格に準じて抗張力、硬度、撓みについて行つた。結果は 10 圖の如くなる。

7. 結 言

以上述べた如く、グリッドの比抵抗は主として黒鉛炭素と珪素に左右され、それ等と比抵抗の關係について實驗を進めた。その結果を要約すれば、

- (1) 珪素量の増加は基質の抵抗値を増し、黒鉛の析出を助長し大に比抵抗を増大する。
- (2) 炭素は黒鉛として析出することにより比抵抗を増すが、その形状もまた比抵抗に對し影響する。

鑄鐵の成分としてはこれらの外になおマンガ、硫黄、磷等が通常含まれているが、これ等の元素は一般に云うと鐵と固溶體をつくるものは基質の抵抗を増し、化合物をつくるものは異状な變化をし連続的に變化しない。しかしながら鑄造時における黒鉛炭素の析出に對してそれ等元素の影響は無視できず一概に斷定はできない。殊にマンガ及び硫黄は黒鉛の析出をさまたげる方向に働くので當所で製作しているような断面積の小さいグリッドにはなるべく少いことが望ましい。すなわち白鉄化する恐れがあるからである。磷は 0.5% 位までは鐵に固溶するがそれ以上になると Fe_3P 、オーステナイト及びセメンタイトの三元共晶物であるステダイトを形成し基質中に點在する故それ自身の比抵抗を有し鑄鐵の比抵抗を増すが材質を脆くする缺點がある。

これ等不純物の影響については別に機會を見て報告することにする。

本報告を終るに當り、終始御指導、御鞭撻を受けた當所鈴木技師に深く感謝するものである。

文 献

- (1) Ycuseu; Traus. Am. Inst. Elec. Eng. 43 (1924), 145
- (2) A.S.M.; Metal Hand book. (1948)
- (3) 渡邊 ; 日立評論 (1935) 9 月 27

日發尼崎第二火力發電所復舊について

日發尼崎第二發電所は 發電所出力 300,000KW 單機出力 75,000KW の日本有数の發電所であるが、第1號機（三菱）第4號機（三菱）共に戰災被爆を蒙った。日發當局は終戰後直ちに本發電所の復舊に着手、昭和23年4月工事の完成を見、折柄の電力不足の時期に際會し大いに貢獻することができた。

本復舊工事の電氣關係はメーカーたる當社に委嘱せられたので、ここでは當社の關係した發電所の電氣關係工事全部に涉る概要を述べることにする。

1. 主發電機關係

(1) 主タービン發電機關係破壊の狀況

第1號タービン發電機は、被爆當時早速外部的な點檢を行つた結果彈片その他による被害は無かつた。しかしながら建家の屋上が破損したので、この修復工事が終了した後、發電機を開放點檢した。第1號機の上部端圍いを兩側とも分解内部點檢した所、タービン側に油漏れが若干有り線輪端部に油、ごみ等の附着が認められたが、集電環側は油漏れ無く兩方とも手入すると回轉子は引出さなくてもよいと認められた。

第4號タービン發電機は第1號機より被害が大きく、彈片その他により主發電機勵磁機等に相當被害があつたが、幸にして、固定子、回轉子、勵磁機等の線輪關係には被害は無かつた。外部的點檢の結果第4號機に對しては次のような狀況が判つた。

(1) 固定子枠は彈片により貫通し、彈痕等28ヶ所あつたが、その内8ヶ所は貫通し、固定子鐵心の外部を疵付けた部分もあつたが、大した被害では無かつた。たゞ1ヶ所のみは彈片が喰込んでいた。その後固定子枠の外部の彈片の跡を内部點檢ができる範圍に切りひろげ内部を點檢した結果、外板を貫通した彈片は鐵心外側を深さ約5耗、廣さ約30耗位の疵をつけ、その彈片は鐵心外側を通り發電機下部の風洞中に落ちていた。風洞中には20耗角の彈片が8個あつた。なお通風溝を通つて固定子線輪を疵つけていないかを彈片の大きさ、通風溝の大きさを考慮して充分點檢したが疵がついたような様子はなかつた。また回轉子には全然彈痕は無かつた。

(2) 發電機の勵磁機側カバーに1ヶ所貫通孔があつた。なおカバーの破片が回轉子の通風用斜穴より中心に落下していた。その他彈片は見當らず、基礎内下部にそれらしき彈片があつたが、その他は基礎内浸水當時掃除したときに恐らく取り除かれたものと思われる。

(3) 回轉子線輪は被害が無かつた。

(4) 發電機の勵磁機側軸受臺の取付ボルト、絶縁ワッシャが破損した。

(5) 主勵磁機用ラッキング板、押え板及び同上用整流子ブラケット取付孔の一部及び同上刷子岸用絶縁キヤップ等破損した。

(6) 副勵磁機を取付けた、主勵磁機用軸受臺のカバーならびに上部油止めの主勵磁機側が破損した。

(7) 固定子線輪端部のタービン側覗き孔用硝子2ヶ破損した。

(8) 主發電機勵磁機側主軸受油出口の覗孔用硝子が破損した。

2. 修理要領

前項では主發電機まわりの大體の點檢結果をのべたが、詳細に検討した結果なお種々な箇所の不具合が出た

がこれはそう取立てて云うほどのものでは無かつた。補機用電動機にしても大部分は、發電所側で修理、手直をした儘で使うことができたが、若干小容量のものは新製した。

(1) 第1號機關係

a. 前述したように發電機の端圍いを取外し、内側端圍いを分解し、各部表面を充分に手入し、同時に主發電機線輪を清掃した。

b. 主勵磁機ファンカバー及び刷子保持器等を取外して内部を手入し、主勵磁機、副勵磁機のアンダーカットを行いアンダーカット表面仕上を行つた。

c. 内部送風機は錆びていたから手入し絶縁ワッスを塗附した。

d. 油止板と軸の間隙及び刷子ボックスと整流子面の間隙の調整を行つた。

e. 主發電機用、勵磁機用軸受臺上部分解、軸受内部及び軸表面の検査及び手入。

f. 通風切替用扉の開閉用ワイヤロープが切斷していたため、改良手直した。

g. 主發電機用スラスト軸受、主發電機軸受ならびに固定子の空氣出入口温度用丸型温度計を新品と取換えた。

h. 昇磁加減抵抗器操作用電動機	新製
ダンパー用電動機	〃
ガバナーモートル	〃
蒸化器發生量自動調整弁用電動機	〃

(2) 第4號機關係

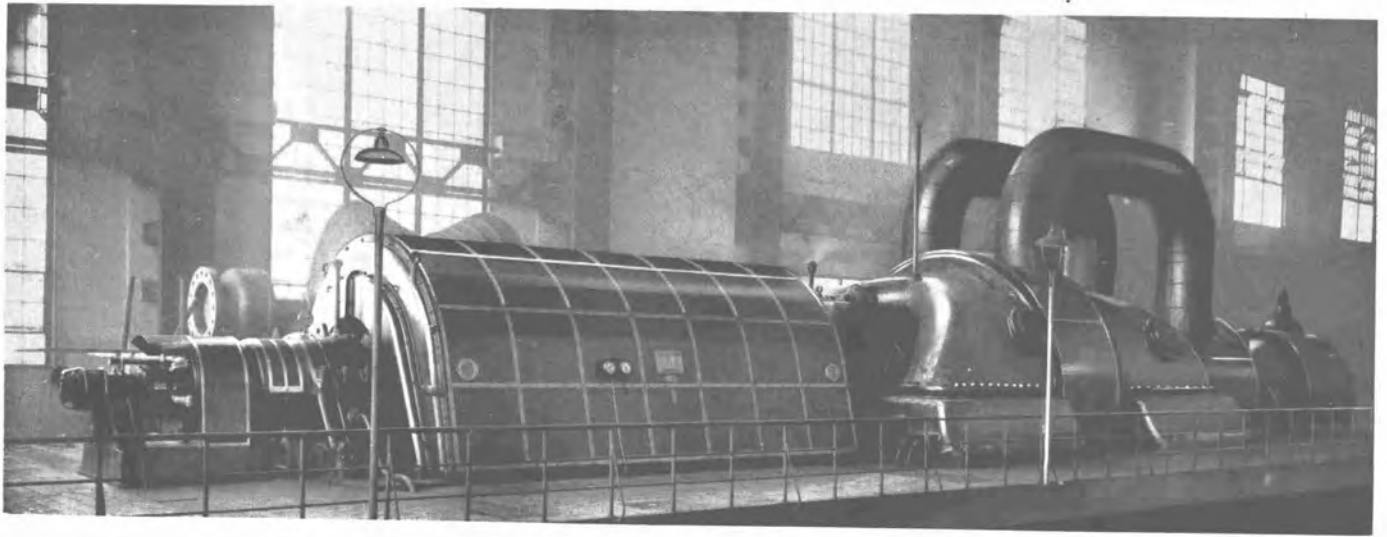
a. 1で述べた様に疵ついた鐵心部分をはつり取り鐵心相互の接觸を無くして、充分清掃した後鐵心間に絶縁紙を挿入した。固定子枠の外板を瓦斯切斷して切り擴げた後内側から4耗の鐵板を電氣熔接し、その上にラッキング板をはり押え板で取付けた。なお發電機の勵磁機側のカバーの貫通孔は外部から3耗の鐵板で電氣熔接した。

b. 1で述べた破損品はすべて新製した。

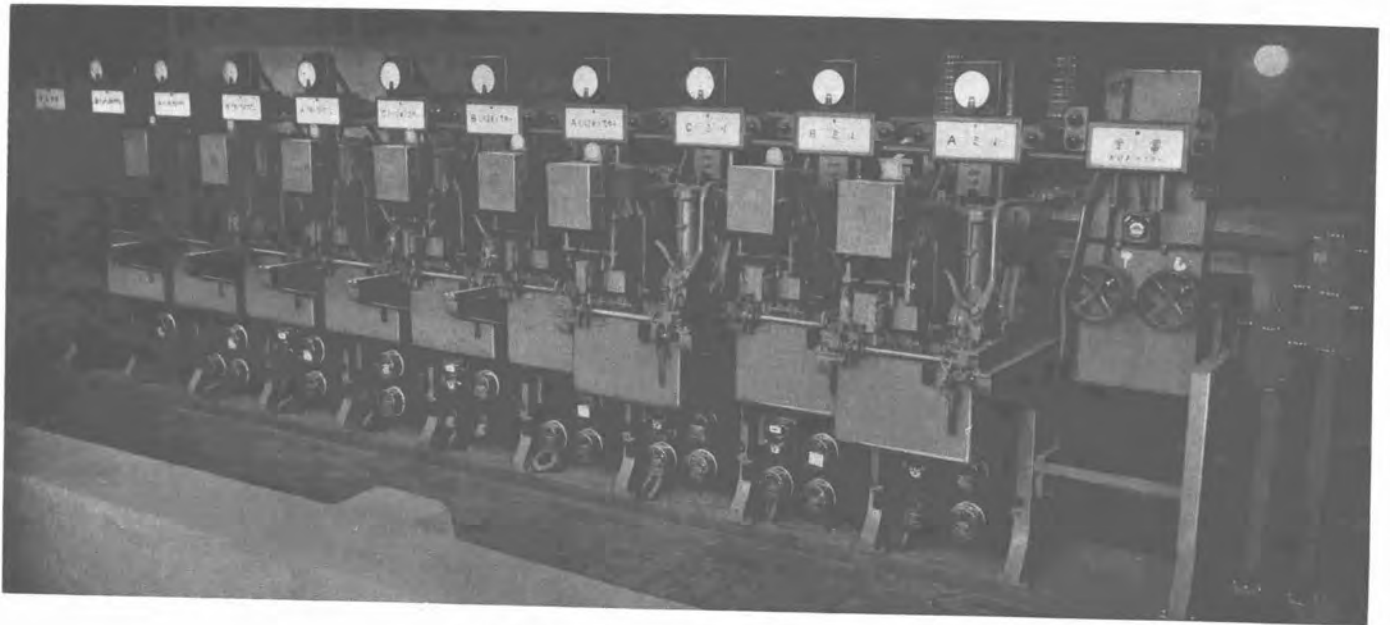
c. 第1號機と同じく、主發電機用スラスト軸受、主軸受ならびに固定子の空氣出入口用丸型温度計を新製した。

d. 昇磁加減抵抗器操作用電動機	新製
ダンパー用電動機	〃
給水加熱器、疎水用電動機	〃
同上用排水ポンプ用電動機	〃
蒸化器發生量自動調整弁用電動機	〃
空氣分離器抽出用ポンプ用電動機	〃

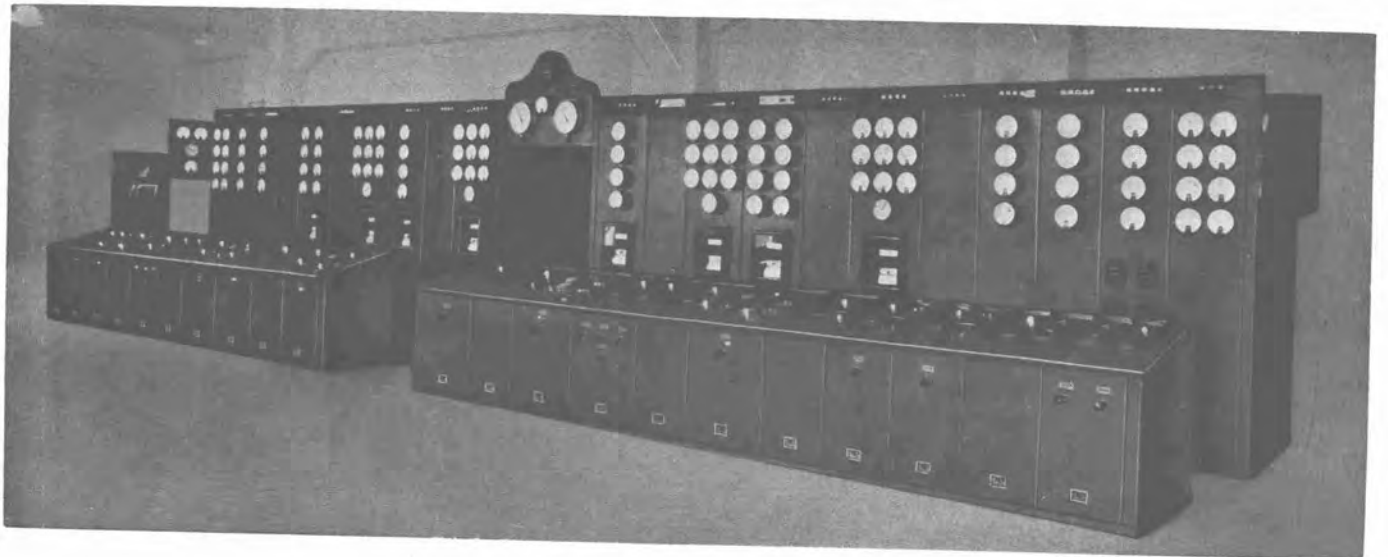
以上の修理によつて主タービン發電機關係が済んだということは、第1號機については被害が輕微であり、また第4號機については、固定子枠外板には相當被害があつたが、線輪關係に被害が無かつたからである。主タービン發電機の運轉特性は本工事後も從來に比べて遜色はない。



尼ニ納入 復舊用タービン発電機



尼ニ納入 復舊用メタルクラッド



尼ニ納入 復舊用配電盤